

平成 15 年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(2)

「未来社会に求められる科学的資質・能力に関する科学教育課程の編成原理」

( 課題番号 15020272 ) 研究中間報告書

# 英国における科学的探究能力育成の カリキュラムに関する調査

平成 16 年 2 月

研究代表者

小倉 康

( 国立教育政策研究所 )



## はしがき

本報告書は、平成 15 年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(2)「未来社会に求められる科学的資質・能力に関する科学教育課程の編成原理」(課題番号 15020272)の研究中間報告書であり、同時に、平成 16 年 2 月 16 日と 19 日に東京と京都で開催した「科学的探究能力育成のカリキュラムに関する講演会・フォーラム」における報告・講演資料集であります。

本研究では、平成 14 年度からこれまで、英国と米国の科学技術カリキュラムに関わって多くの情報を収集してきました。本報告書は、それらの中で英国における「科学的探究能力」の育成に焦点を当て、文献調査と渡航調査で得られたこれまでの情報を整理し分析した結果について報告したものです。本研究では科学的な手法を用いて問題を追究し解決することに関わる「科学的探究能力」を、すべての子どもに育成すべき科学的リテラシーとして捉えています。また、科学の学習によって学力全般の向上という付加価値をもたらす「科学教育を通じた認知的促進」(CASE)プログラムについて、開発者であるロンドン大学キングス・カレッジ校のフィリップ・アデイ教授にその理論と実践の詳細を執筆いただいた論文を収録しています。さらに、これらに関連して、浅海範明氏、笠潤平氏、樋口真須人氏、山崎貞登氏、伊藤大輔氏、磯部征尊氏による論文を収録しています。これらを通じて、英国における科学的探究能力の育成、及びものづくりや設計を通じた創造的能力の育成のカリキュラムについて紹介することで、わが国の初等中等の科学教育・科学技術教育の発展に貢献したいと考えています。皆様にご活用頂ければ誠に幸いに存じます。

また、本研究は平成 16 年度に最終報告書を作成することとしています。今後の発展に向けて、皆様方から率直なるご意見、ご指導、ご鞭撻を頂戴いたしたいと思っております。

なお、講演会・フォーラムの開催に当たっては、上記の掲載論文を執筆頂いた諸先生方に加え、京都教育大学の村田隆紀学長、同大学の岡本正志教授、長年、日英教育研究交流に尽力してこられた笠耐先生(元・上智大学教授)、科学技術振興事業団の日夏健一氏、その他大勢の方々から多大なご支援ご協力を賜りました。ここに、厚く御礼申し上げます。

なお、講演会・フォーラムでは参加者へのアンケート調査を実施しましたが、これへの回答結果については、整理後、最終報告書にてご報告する予定です。

最後に、本研究機会を与您頂いた科学研究費補助金特定領域研究・領域「新世紀型理数系教育の展開研究」代表者の増本健先生、領域総括班と事務局の先生方、特に叱咤激励頂きました A02 総括の伊藤卓先生に心より感謝申し上げます。

平成 16 年 2 月

研究代表者 小倉 康

## 研 究 組 織

研究代表者	小倉 康	国立教育政策研究所教育課程研究センター 基礎研究部総括研究官
研究分担者	人見 久城	宇都宮大学教育学部助教授
研究協力者	山崎 貞登	上越教育大学教授
	磯部 征尊	兵庫教育大学連合大学院生
	伊藤 大輔	兵庫教育大学連合大学院生
	浅海 範明	山口県熊毛郡田布施町立麻郷小学校教諭
	笠 潤平	京都女子高等学校教諭
	樋口 真須人	大阪府教育センター科学教育部指導主事

## 概 要

まず、イングランドを中心とした英国の科学カリキュラムの実施状況について、国際比較的な観点から文献と既存の調査データを分析し、その特徴を以下のように概括した。

英国の生徒の科学の成績は国際的に高い水準にある。

英国の生徒の科学への学習態度は国際的に良好な水準にある。

英国では、多くの生徒が科学の学習を楽しんでいる。

英国では、多くの生徒が科学の学習を大切であると感じている。

英国では、多くの生徒が将来、科学を用いる職業に就きたいと思っている。

英国では、科学の平均学習時間が長い。

英国では、近年、学力が向上しつつある。

そして、英国の科学カリキュラムの基本的特徴を次のように概括した。

義務教育期間の学習内容を4つの段階として大きなまとまりで捉えている。

学習到達目標までの過程を8つの段階を経た学習の高まりとして捉えている。

「科学」の学習内容を「科学的探究」を含む4領域で捉えている。

「科学」を「英語（国語）」「数学」と並ぶ中核（コア）教科に位置づけている。

教科横断的に、重要な諸スキルを発展させる機会を強調している。

次に、英国における「科学的探究能力」の指導と評価の詳細を明らかにするために、英国に渡航し、関係機関を訪問した。インタビュー調査の結果と収集した資料を分析し、英国における「科学的探究能力」の指導と評価について、以下の諸特徴を明らかにした。

系統的に「科学的探究能力」が指導されるように情報提供を工夫している。

教科書において「科学的探究能力」の指導が組み込まれている。

日常的な科学の授業を通じて「科学的探究能力」の指導と評価を工夫している。

全国テストで筆記試験による「科学的探究能力」の評価を工夫している。

資格試験の「コースワーク」により「科学的探究能力」を指導し評価している。

「コースワーク」の評価結果の信頼性を高める工夫をしている。

学ぶ側も教える側も実践的な「科学的探究」の大切さを理解している。

さらに、本報告書では、英国における先進的な科学教育カリキュラムに関する報告として、ロンドン大学キングス・カレッジ校のフィリップ・アデイ教授による「科学教育を通じた認知的促進」(CASE)プログラムの理論と実践に関する論文を収録している。CASEプログラムでは、科学のみならず、数学や英語（国語）においても学力が向上するという結果が確認されている。

その他、CASEプログラムの一部をわが国で試験的に実践した結果を含む2件の論文と「コースワーク」に関わる教員研修に関する論文、さらに、英国における設計・ものづくりを中心とした「創造的問題解決能力」の育成に関わる2件の論文を収録した。

「科学的探究能力育成のカリキュラムに関する講演会・フォーラム」

平成 16 年 2 月 16 日（東京）・19 日（京都）

プログラム

- 13：00 ～ 13：30 基調報告  
テーマ 英国科学カリキュラムの概況  
報告者 小倉 康（国立教育政策研究所）
- 13：30 ～ 15：00 講演  
テーマ 「思考に関する科学」の文脈としての「科学」  
講演者 フィリップ・アデイ教授（ロンドン大学キングス・カレッジ校）
- 15：00 ～ 15：10 休憩
- 15：10 ～ 15：40 調査報告  
テーマ 英国科学カリキュラムにおける「科学的探究能力」の指導と評価  
報告者 小倉 康（国立教育政策研究所）
- 15：40 ～ 16：00 実践報告  
テーマ 小学校総合的な学習の時間における CASE 理論の実践的活用  
報告者 浅海 範明（山口県田布施町立麻郷小学校）
- 16：00 ～ 16：20 実践報告  
テーマ 日本の中学・高校の理科教育の変革のために英国から学ぶもの  
報告者 笠 潤平（京都女子中学高校）
- 16：20 ～ 16：55 フォーラム  
テーマ 英国の実践に学ぶ、わが国の科学カリキュラムの発展に向けた可能性  
コメンテーター 笠 耐（元・上智大学） 山崎貞登（上越教育大学 2/16）  
岡本正志（京都教育大学 2/19）
- 16：55 ～ 17：00 閉会

## 目 次

第1章	英国科学カリキュラムの概況 小倉 康 (国立教育政策研究所)	… 3
第2章	英国科学カリキュラムにおける「科学的探究能力」の指導と評価 小倉 康 (国立教育政策研究所) 浅海範明 (山口県熊毛郡田布施町立麻郷小学校)	… 27
第3章	Science as a context for the Science of Thinking フィリップ・アデイ教授 (ロンドン大学キングス・カレッジ校) 「思考に関する科学」の文脈としての「科学」(翻訳)	… 129 … 155
第4章	小学校総合的な学習の時間における CASE 理論の実践的活用 浅海範明 (山口県熊毛郡田布施町立麻郷小学校)	… 183
第5章	CASE とは何か 笠 潤平 (京都女子高等学校)	… 197
第6章	科学的探究能力の育成と教員研修 樋口真須人 (大阪府教育センター)	… 219
参考	英国における設計・ものづくり教育と「創造的問題解決能力」に関する研究	
1.	イングランド OCR 試験局の中等教育修了一般資格試験 “Design and Technology” の評価規準とポートフォリオ 磯部征尊 (兵庫教育大学連合大学院生)、山崎貞登 (上越教育大学)	… 227
2.	北アイルランド 4~11 歳の ‘Science and Technology’ の学習プログラム 伊藤大輔 (兵庫教育大学連合大学院生)、山崎貞登 (上越教育大学)	… 239





## 第 1 章

### 英国科学カリキュラムの概況

小倉 康（国立教育政策研究所）



## 英国科学カリキュラムの概況

小倉 康（国立教育政策研究所）

### 第1節 科学カリキュラムの実施状況 - 国際比較的視点から -

英国の生徒の科学の成績は国際的に高い水準にある。

表1は、1999年実施の第3回国際数学・理科教育調査における中学2年生段階の参加各国の生徒の理科成績の結果である。英国（イングランド）の成績は平均点538点で、英国と2位のシンガポールから17位のブルガリアまで、統計的な有意差は無く、国際的に高い水準であることがわかる。なお、わが国の結果と英国との結果に統計的な有意差は無い。

表1 1999年実施の第3回国際数学理科教育調査における中学2年段階の生徒の理科成績の国際比較結果（国立教育政策研究所(2001)『数学教育・理科教育の国際比較』ぎょうせい、81頁より作成。[IEA(2000)“TIMSS 1999 International Science Report” Boston College,p.32.]

国/地域	平均得点	標準誤差	調査対象学年	平均年齢
台湾	569	4.4	8	14.2
シンガポール	568	8.0	8	14.4
ハンガリー	552	3.7	8	14.4
日本	550	2.2	8	14.4
韓国	549	2.6	8	14.4
オランダ	545	6.9	8	14.2
オーストラリア	540	4.4	8または9	14.3
チェコ	539	4.2	9	14.4
英国(イングランド)	538	4.8	9	14.2
フィンランド	535	3.5	8	13.8
スロバキア	535	3.3	8	14.3
ベルギー(フラマン語圏)	535	3.1	8	14.1
スロベニア	533	3.2	7	14.8
カナダ	533	2.1	8	14.0
香港	530	3.7	8	14.2
ロシア	529	6.4	7または8	14.1
ブルガリア	518	5.4	8	14.8
アメリカ合衆国	515	4.6	8	14.2
ニュージーランド	510	4.9	8.5 ~ 9.5	14.0
ラトビア	503	4.8	8	14.5
イタリア	493	3.9	8	14.0
マレーシア	492	4.4	8	14.4
リトアニア	488	4.1	8.5	15.2
タイ	482	4.0	8	14.5
ルーマニア	472	5.8	8	14.8
イスラエル	468	4.9	8	14.1
キプロス	460	2.4	8	13.8
モルドバ	459	4.0	9	14.4
マケドニア	458	5.2	8	14.6
ヨルダン	450	3.8	8	14.0
イラン	448	3.8	8	14.6
インドネシア	435	4.5	8	14.6
トルコ	433	4.3	8	14.2
チュニジア	430	3.4	8	14.8
チリ	420	3.7	8	14.4
フィリピン	345	7.5	7	14.1
モロッコ	323	4.3	7	14.2
南アフリカ	243	7.8	8	15.5

表 2 は、2000 年実施の OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) における 15～16 歳段階 (わが国では高校 1 年の 7 月に実施) の参加各国の生徒の科学的リテラシー成績の結果である。英国(United Kingdom)の成績は平均点 532 点で、2 位の日本から 7 位のオーストラリアまで、統計的な有意差は無く、国際的に高い水準であることがわかる。

表 2 2000 年実施の OECD 生徒の学習到達度調査(PISA)における 15～16 歳段階の生徒の科学的リテラシー成績の国際比較結果 (国立教育政策研究所(2002)『生きるための知識と技能』ぎょうせい, 129 頁より作成。[OECD(2001) “Knowledge and Skills for Life”, p.88.]

国	平均得点	標準誤差
韓国	552	2.7
日本	550	5.5
フィンランド	538	2.5
英国	532	2.7
カナダ	529	1.6
ニュージーランド	528	2.4
オーストラリア	528	3.5
オーストリア	519	2.5
アイルランド	513	3.2
スウェーデン	512	2.5
チェコ	511	2.4
フランス	500	3.2
ノルウェー	500	2.7
アメリカ合衆国	499	7.3
ハンガリー	496	4.2
アイスランド	496	2.2
ベルギー	496	4.3
スイス	496	4.4
スペイン	491	3.0
ドイツ	487	2.4
ポーランド	483	5.1
デンマーク	481	2.8
イタリア	478	3.1
リヒテンシュタイン	476	7.1
ギリシャ	461	4.9
ロシア	460	4.7
ラトビア	460	5.6
ポルトガル	459	4.0
ルクセンブルク	443	2.3
メキシコ	422	3.2
ブラジル	375	3.3

英国の生徒の科学への学習態度は国際的に良好な水準にある。

表 3 は、1999 年実施の第 3 回国際数学理科教育調査における中学 2 年段階の生徒の「理科への積極的な態度」(PATS\*)指標の 3 段階(High, Medium, Low)別に見た割合を、理科を物理や化学等に分科しないで 1 つの教科として扱っている国について示した結果である。良好な科学への学習態度を意味する High PATS の生徒の割合は、英国 (イングランド) では 39%であり、理科の成績面で上位に位置する国々の中ではシンガポールに次いで国際的に高い水準であることがわかる。なお、わが国の High PATS の生徒の割合は、10%で国際的に最低水準である。

表 3 1999 年実施の第 3 回国際数学理科教育調査における中学 2 年段階の生徒の「理科への積極的な態度」(PATS\*)指標の 3 段階(High, Medium, Low)別に見た割合と理科の平均得点 - 理科を物理や化学等に分科しないで 1 つの総合科目として扱っている国 - (IEA(2000) “TIMSS 1999 International Science Report” Boston College,p.144.より作成。)

理科を総合科目として教える国	High PATS(高)		Medium PATS(中)		Low PATS(低)	
	生徒割合%	平均得点	生徒割合%	平均得点	生徒割合%	平均得点
マレーシア	72 (1.0)	498 (4.7)	28 (1.0)	480 (5.8)	1 (0.1)	- (-)
フィリピン	63 (1.4)	372 (7.3)	35 (1.3)	314 (8.9)	2 (0.2)	- (-)
チュニジア	63 (1.1)	430 (3.8)	33 (0.9)	430 (4.2)	4 (0.4)	429 (6.3)
ヨルダン	59 (1.4)	472 (3.7)	35 (1.1)	438 (5.1)	5 (0.6)	447 (11.1)
南アフリカ	58 (1.7)	251 (8.7)	35 (1.1)	234 (9.4)	6 (1.0)	232 (17.9)
イラン	56 (1.4)	454 (4.5)	40 (1.3)	444 (5.1)	4 (0.3)	445 (10.8)
インドネシア	52 (1.3)	435 (4.9)	47 (1.2)	438 (4.5)	0 (0.1)	- (-)
チリ	49 (1.3)	425 (4.5)	45 (1.0)	419 (4.3)	5 (0.5)	428 (8.6)
シンガポール	46 (1.4)	594 (8.1)	49 (1.2)	549 (7.8)	5 (0.6)	509 (12.3)
トルコ	45 (1.2)	443 (5.3)	49 (0.9)	431 (4.0)	5 (0.5)	428 (7.3)
タイ	43 (1.3)	492 (4.9)	55 (1.3)	476 (4.6)	1 (0.2)	- (-)
英国(イングランド)	39 (1.1)	559 (5.5)	53 (1.1)	532 (5.6)	8 (0.6)	514 (10.2)
キプロス	33 (0.9)	494 (2.9)	53 (0.8)	448 (2.7)	13 (0.8)	434 (6.4)
アメリカ合衆国	32 (0.9)	543 (5.9)	51 (0.8)	515 (4.5)	16 (0.6)	489 (4.3)
イスラエル	30 (1.2)	484 (7.2)	50 (0.9)	474 (4.7)	20 (1.1)	461 (6.8)
カナダ	30 (0.8)	556 (2.8)	52 (0.8)	530 (2.6)	18 (0.8)	511 (4.0)
イタリア	29 (1.2)	514 (4.9)	58 (1.1)	489 (4.2)	13 (0.9)	475 (6.1)
ニュージーランド	28 (1.0)	525 (7.3)	56 (0.8)	511 (5.3)	16 (0.9)	493 (5.7)
オーストラリア	27 (1.1)	569 (5.5)	53 (1.0)	541 (4.6)	20 (1.2)	507 (6.6)
台湾	27 (0.8)	607 (4.7)	64 (0.7)	561 (4.4)	10 (0.6)	528 (6.7)
香港	25 (1.0)	555 (5.1)	65 (0.8)	526 (3.7)	9 (0.6)	497 (4.8)
韓国	10 (0.5)	613 (4.3)	66 (0.7)	550 (2.6)	24 (0.8)	519 (3.4)
日本	10 (0.5)	599 (6.3)	60 (0.9)	554 (2.6)	30 (1.0)	527 (3.0)
国別平均の平均値	40 (0.2)	499 (1.1)	49 (0.2)	473 1.0	10 (0.1)	467 (2.4)

( )内は標準誤差

\* PATS 指標は、「理科が好きだ」「理科の勉強は楽しい」「理科の勉強はたいくつだ」「理科は生活の中でだれにも大切だ」「将来、理科を使うことが含まれる仕事をしたい」の 5 つの質問への回答の平均値を用い、積極性が高まる 1 から 4 までの 4 段階尺度上で、平均値が 3 より大きい場合を High PATS、2 より大きく 3 以下の場合を Medium PATS、2 以下の場合を Low PATS としている。

PATS 指標に用いられた生徒への質問項目への回答をより詳細に調べてみると、わが国の生徒たちの回答傾向と比較して、以下の特徴があることがわかる。

英国では、多くの生徒が科学の学習を楽しんでいる。

英国では、多くの生徒が科学の学習を大切であると感じている。

英国では、多くの生徒が将来、科学を用いる職業に就きたいと思っている。

図 1～図 3 は、1999 年実施の第 3 回国際数学理科教育調査における生徒質問紙における「理科の勉強は楽しい」「理科は生活の中でだれにも大切だ」「将来、理科を使うことが含まれる仕事をしたい」の 3 つの質問項目について、公開されている国際データベース(ISC Boston College, <http://timss.bc.edu>)に基づいて、回答別に、英国(イングランド)と日本、及び参考のためにシンガポールとアメリカ合衆国を加えた 4 カ国について、各母集団生徒の推定回答割合を計算した結果をグラフ化したものである。いずれの項目についても、日本の生徒の回答と比較して、イングランドの生徒の回答はより良好な状況を示している。

図1 「理科の勉強は楽しい」に対する回答別の中学2年段階の生徒の割合

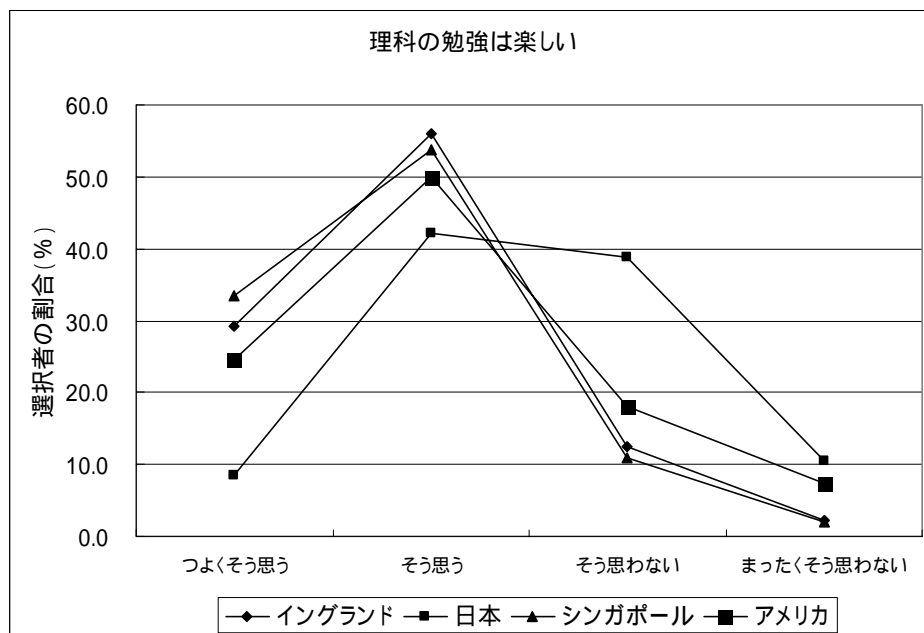


図2 「理科は、生活の中でだれにも大切だ」に対する回答別の中学2年段階の生徒の割合

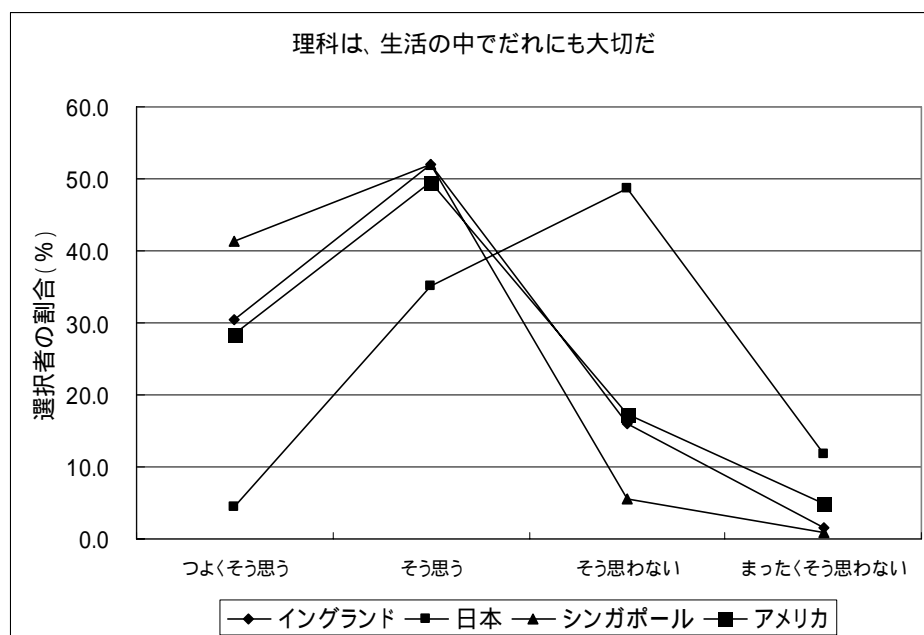
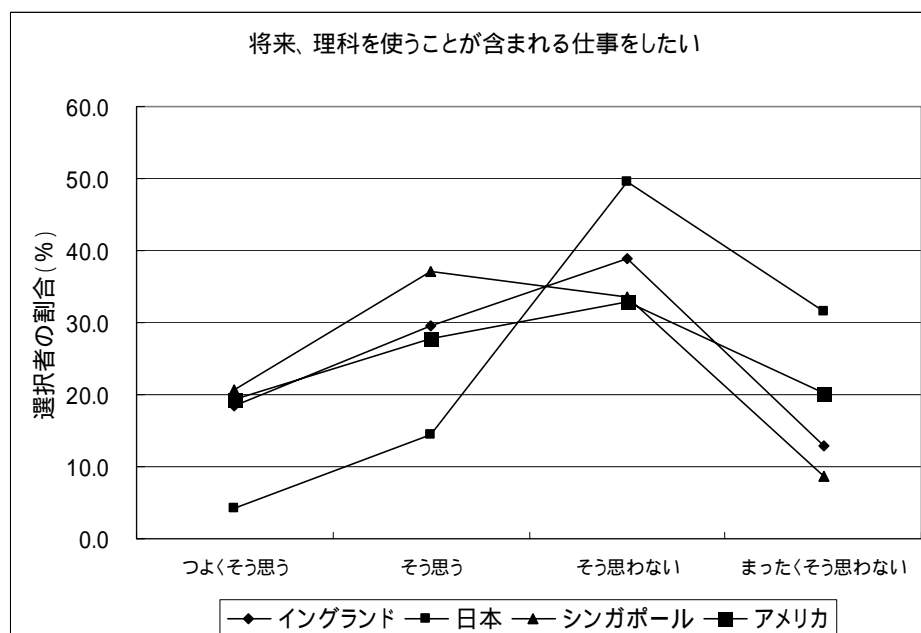


図3 「将来、理科を使うことが含まれる仕事をしたい」に対する回答別の中学2年段階の生徒の割合



英国では、科学の平均学習時間が長い。

表4は、1999年実施の第3回国際数学理科教育調査における教師質問紙において、理科教師が回答した1週間当たりの生徒の「数学」と「科学(理科)」の学習時間について、公開されている国際データベース(ISC Boston College, <http://timss.bc.edu>)に基づいて、英国(イングランド)と日本を含む4カ国の平均値と中央値、及び最頻値を計算したものである。イングランドにおける「科学」の授業時間数は、最頻値が180分と、日本の場合の150分よりも長い。他の国では、この段階の「科学」の授業時間数の最頻値は「数学」のそれと同じか多くなっている。また、イングランドでは、授業時間数は、制度的に規定されていないため、学校ごとにばらつきがある。そこで、図4から図7に、4カ国の授業時間数のヒストグラムを示した(縦軸は回答した教師の数、横軸は表示目盛の両側25分(下側を含む)の時間幅を示す)。

イングランドでは、週当たり175分以上225分未満の範囲に最も高いピークがあり、表1の結果と併せて、多くの学校では180分程度の授業時間数を「科学」に配分していることがわかる。また、次に多いのは225分から275分の時間幅である。

表4 1999年実施の第3回国際数学理科教育調査における中学2年段階での「数学」と「科学(理科)」の週当たり授業時間数(分)の4カ国比較

国	数学			科学(理科)		
	平均	中央値	最頻値	平均	中央値	最頻値
英国(イングランド)	181	180	180	187	180	180
日本	196	200	200	149	150	150
シンガポール	212	210	210	200	210	210
アメリカ合衆国	250	225	225	240	235	250

図4 英国(イングランド)での科学の授業時間のヒストグラム

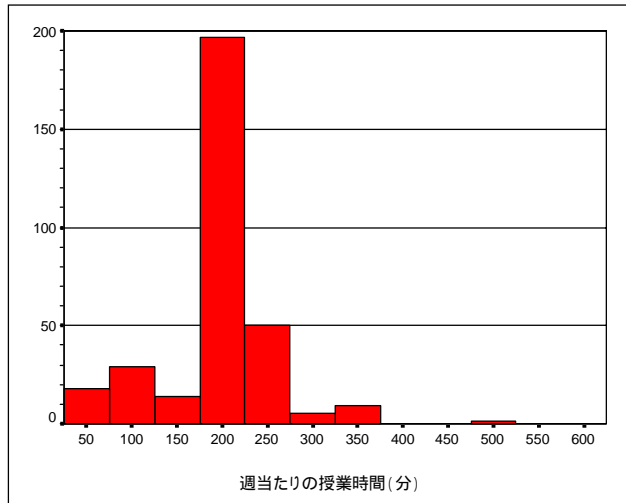


図6 シンガポールでの科学の授業時間のヒストグラム

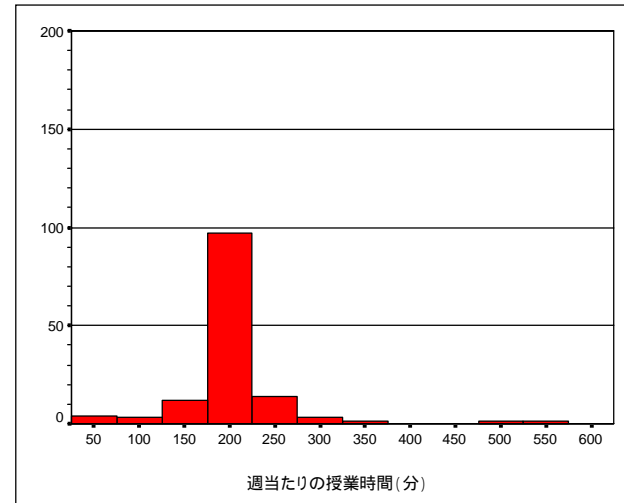


図5 日本での理科の授業時間のヒストグラム

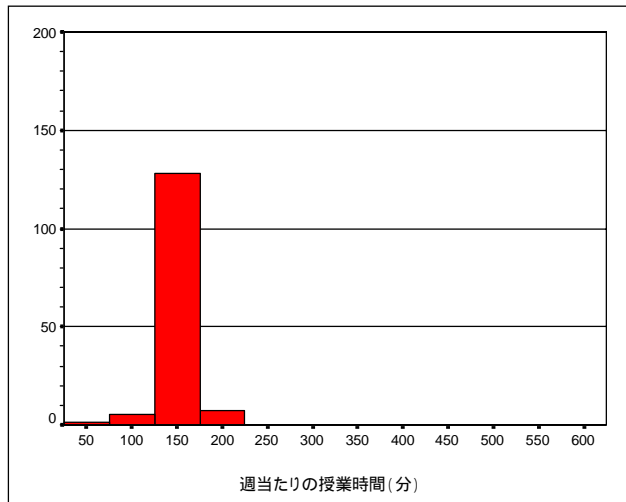
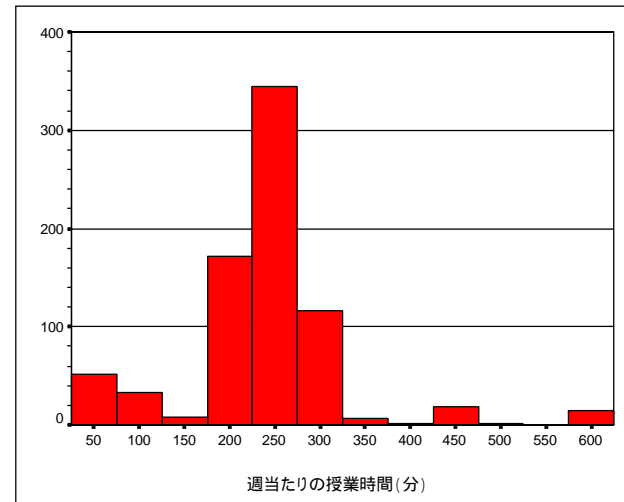


図7 アメリカ合衆国での科学の授業時間のヒストグラム





英国の教育省である DfES (Department for Education and Skills)の文書「KeyStage3 のカリキュラム設計」では、日本の小学校 6 年から中学校 2 年に相当する KeyStage3 段階での授業時間数配分に関して、規定は無いとしながらも、基本となる配分例を示している(表 5)。これによれば、「科学」の週当たりの授業時数は 180 分、年間授業時数は 6480 分で、日本の標準である 5250 分の約 1.23 倍である。

表 5 KeyStage3 段階での授業時数配分の基本形(表中の 1 時間は 60 分である) (DfES (2002) “Designing the Key Stage 3” (Ref: DfES 0003/2002), p.25より作成。)

科目	週当たり平均時間	1年間36週の合計時間	典型週25時間の指導時間割合
英語(国語)	3:00	108	12%
数学	3:00	108	12%
科学	3:00	108	12%
デザイン・テクノロジー	1:30	54	6%
情報テクノロジー	1:00	36	4%
歴史	1:15	45	5%
地理	1:15	45	5%
第一外国語	2:00	72	8%
芸術・デザイン	1:00	36	4%
音楽	1:00	36	4%
体育	1:30	54	6%
公民	0:45	27	3%
宗教教育	1:15	45	5%
合計	21:30	774時間	86%

では、5カ年の中等教育全体では(日本の小学校6年から高校1年までの年齢段階に相当)「科学」への授業時間数配分はどうなっているであろうか。表 6 は、英国の学校評価機構である Ofsted<sup>1</sup>による中学校の教育に関する調査報告書で示された典型的な時間配分である。「科学」は、後半の2カ年で「二重認定科学」(Science Double Award)を選択する生徒が約 85%(同報告書, p.20)と大多数を占めるため、「科学」の週当たりの授業時間割合が 20%(週約 5 時間(300 分相当))に増加している。一方、日本では中学校 3 年の「理科」では週当たり 2 ないし 3 単位(100 ないし 150 分)とその半分以下である。

表 6 KeyStage3 及び KeyStage4 段階での科目別授業時数配分の典型的割合(%) (Ofsted (2002) “NATIONAL SUMMARY DATA REPORT for SECONDARY SCHOOLS”, p.19より作成。)

すべての中等教育学校の週当たり授業時間に占める割合(%)の中央値					
科目	第7学年	第8学年	第9学年	第10学年	第11学年
英語(国語)	13	12	12	13	13
数学	12	12	12	12	12
科学(最大)	12	12	12	20	20
デザイン・テクノロジー(最大)	8	8	8	10	10
情報テクノロジー	4	3	3	4	4
歴史	6	7	7	-	-
地理	6	7	7	-	-
芸術	4	4	4	-	-
音楽	4	4	4	-	-
体育	8	8	8	5	5
外国語(最大)	10	12	12	12	12
宗教教育	4	4	4	4	4

英国では、近年、学力が向上しつつある。

表 7 は、1995 年実施と 1999 年実施の 2 回にわたる第 3 回国際数学理科教育調査において、両調査に参加した 26 カ国について中学 2 年段階の生徒の理科成績の変化を示したものである。26 カ国の平均得点は、1995 年の 518 点から 521 点へと 3 点上昇している。イングランドについても、5 点上昇している。日本については 5 点下降している。ただし、これらの変化はすべて統計的な有意差は無いものである。

表 7 1995 年実施と 1999 年実施の第 3 回国際数学理科教育調査における中学 2 年段階の生徒の理科成績の変化 (IEA(2000) “TIMSS 1999 International Science Report” Boston College,p.36.より作成。)

国	1995年調査での 平均得点	1999年調査での 平均得点	1999年と1995年 の得点差、有意差
ラトビア	476 (3.3)	503 (4.8)	27 (5.9)
リトアニア	464 (4.0)	488 (4.1)	25 (5.7)
香港	510 (5.8)	530 (3.7)	20 (6.8)
カナダ	514 (2.6)	533 (2.1)	19 (3.3)
ハンガリー	537 (3.1)	552 (3.7)	16 (4.9)
オーストラリア	527 (4.0)	540 (4.4)	14 (6.0)
キプロス	452 (2.1)	460 (2.4)	8 (3.3)
ロシア	523 (4.5)	529 (6.4)	7 (7.9)
→ 英国(イングランド)	533 (3.6)	538 (4.8)	5 (5.8)
オランダ	541 (6.0)	545 (6.9)	3 (9.1)
スロバキア	532 (3.3)	535 (3.3)	3 (4.5)
韓国	546 (2.0)	549 (2.6)	3 (3.4)
アメリカ合衆国	513 (5.6)	515 (4.6)	2 (7.2)
ベルギー(フラマン語圏)	533 (6.4)	535 (3.1)	2 (7.1)
ルーマニア	471 (5.1)	472 (5.8)	1 (7.8)
イタリア	497 (3.6)	498 (4.8)	1 (5.9)
ニュージーランド	511 (4.9)	510 (4.9)	-1 (6.9)
→ 日本	554 (1.8)	550 (2.2)	-5 (3.0)
スロベニア	541 (2.8)	533 (3.2)	-8 (4.4)
シンガポール	580 (5.5)	568 (8.0)	-12 (9.8)
イラン	463 (3.6)	448 (3.8)	-15 (5.2)
チェコ	555 (4.5)	539 (4.2)	-16 (6.1)
ブルガリア	545 (5.2)	518 (5.4)	-27 (7.5)

( )内は標準誤差。

表 8～表 10 は、KeyStage4 (第 10～11 学年)の終わりに、資格授与機構(Awarding Boards<sup>ii)</sup>)が実施して A\*から G までの 8 段階の修了資格の階級認定を行う GCSE(中等教育一般修了資格)試験において、多くの生徒が受験する「二重認定科学」(Science Double Award)、一部の生徒が受験する 3 つの単独科学履修のうちの「物理」、及び「数学」の選択者について、1992 年から 2001 年までの結果をイングランドの教育課程の開発と評価に当たる QCA<sup>iii)</sup>がまとめたものである。水準の高い A\*～C 階級の生徒割合の推移が示すように、この 10 年間、学力がおおむね向上を続けてきたことがわかる。この傾向は、これ以外の殆どの教科・科目に共通している。

表8 1992年度から2001年度へかけてのGCSE 中等教育一般修了資格試験で「二重認定科学」(Science Double Award)を受験した生徒の認定階級(A\*～G)別割合の変化(QCA(2002)“Inter Examination Board Statistics”から作成。) (Uは認定に達しなかったことを意味する)

"Science Double Award"での各到達階級別の受験者割合(%)

実施年	A*	A	B	C	D	E	F	G	U
1992	0.0	10.3	12.7	22.1	19.6	17.0	11.6	5.2	1.6
1993	0.0	10.6	12.8	22.8	19.2	16.5	11.2	5.1	1.8
1994	2.9	7.1	18.7	19.0	22.7	16.0	9.1	3.1	1.4
1995	3.6	7.0	18.3	20.8	21.5	16.2	8.7	2.6	1.2
1996	3.3	7.5	18.5	21.1	21.2	15.6	8.7	2.7	1.3
1997	3.7	7.3	18.0	20.8	21.7	15.8	8.7	2.6	1.4
1998	3.6	8.0	13.1	26.0	21.3	14.7	8.1	3.1	2.1
1999	3.8	7.6	12.6	26.2	21.7	15.0	8.3	3.1	1.7
2000	3.9	8.1	12.6	27.0	21.6	14.4	7.8	2.9	1.7
2001	4.0	8.0	12.4	27.5	21.1	14.3	7.9	3.1	1.8

実施年	A*～C	A*～G
1992	45.0%	98.4%
1993	46.1%	98.2%
1994	47.7%	98.6%
1995	49.7%	98.8%
1996	50.5%	98.7%
1997	49.8%	98.6%
1998	50.7%	97.9%
1999	50.2%	98.3%
2000	51.6%	98.3%
2001	51.9%	98.2%

受験者総数
621177
668272
810371
924462
937304
929523
948498
960870
980536
1001610

表9 1992年度から2001年度へかけてのGCSE 中等教育一般修了資格試験で「物理」を受験した生徒の認定階級(A\*～G)別割合の変化(QCA(2002)“Inter Examination Board Statistics”から作成。) (Uは認定に達しなかったことを意味する)

"Physics"での各到達階級別の受験者割合(%)

実施年	A*	A	B	C	D	E	F	G	U
1992	0.0	21.5	19.6	25.9	15.1	9.4	5.3	2.4	0.8
1993	0.0	24.0	21.1	23.1	14.9	9.0	4.8	1.9	1.1
1994	9.0	19.0	21.6	24.5	12.7	7.4	3.4	1.4	0.9
1995	12.9	21.2	30.8	20.4	7.8	3.8	1.7	0.2	1.2
1996	13.3	22.1	31.2	18.8	7.5	4.1	1.8	0.2	1.0
1997	13.6	22.7	29.4	20.6	7.5	3.8	1.4	0.1	0.8
1998	15.9	24.6	25.0	21.3	8.6	2.9	0.8	0.2	0.9
1999	18.2	24.4	24.2	20.7	8.4	2.4	0.8	0.2	0.7
2000	17.2	25.9	24.6	20.2	8.3	2.3	0.6	0.2	0.6
2001	17.5	26.3	24.4	20.5	7.9	2.1	0.6	0.2	0.5

実施年	A*～C	A*～G
1992	67.0%	99.2%
1993	68.2%	98.9%
1994	74.1%	99.1%
1995	85.3%	98.8%
1996	85.5%	99.0%
1997	86.3%	99.2%
1998	86.7%	99.1%
1999	87.5%	99.3%
2000	88.0%	99.4%
2001	88.7%	99.5%

受験者総数
78037
65279
53506
43839
46452
44978
45524
46791
46691
46674

表 10 1992 年度から 2001 年度へかけての GCSE 中等教育一般修了資格試験で「数学」を受験した生徒の認定階級(A\*～G)別割合の変化(QCA(2002)“Inter Examination Board Statistics”から作成。) (U は認定に達しなかったことを意味する)

"Mathematics"での各到達階級別の受験者割合(%)

実施年	A*	A	B	C	D	E	F	G	U
1992	0.0	8.7	10.2	25.8	17.5	17.3	11.8	5.3	3.4
1993	0.0	8.5	10.3	26.5	19.2	16.3	11.0	4.7	3.4
1994	1.8	6.7	15.8	22.0	17.2	15.5	12.5	6.3	2.2
1995	1.9	6.6	13.4	23.1	17.1	16.2	12.8	6.7	2.4
1996	2.1	7.0	14.3	23.3	16.4	15.7	12.5	6.5	2.1
1997	2.1	7.5	14.6	23.2	16.5	15.6	12.2	6.3	2.1
1998	2.2	7.6	15.5	21.2	17.2	16.2	9.2	5.2	5.8
1999	2.3	7.9	16.2	21.3	18.2	15.3	9.4	5.0	4.4
2000	2.8	7.9	16.7	21.9	17.8	15.7	9.1	4.3	3.8
2001	2.8	8.3	17.0	22.0	18.0	14.8	9.0	4.4	3.6

実施年	A*～C	A*～G
1992	44.7%	96.6%
1993	45.3%	96.6%
1994	46.3%	97.8%
1995	44.9%	97.6%
1996	46.7%	97.9%
1997	47.3%	97.9%
1998	46.5%	94.2%
1999	47.7%	95.6%
2000	49.3%	96.2%
2001	50.2%	96.4%

受験者総数
636716
621128
640626
678445
695409
686982
682143
691826
684850
704248

学力の向上は、KeyStage2 (第3～6学年)とKeyStage3 (第7～9学年)でも現れている。表11と表12は、それぞれ、すべての生徒がKeyStage2とKeyStage3の終わり(日本の小学校5年と中学校2年の年齢段階の生徒に相当)に受験する、QCAが1998年から実施しているナショナル・カリキュラムの全国テストの「科学」の結果を示している。レベルはナショナル・カリキュラムの到達目標(Attainment Target)を到達している水準を1から8までの8段階で示すものである。

表 11 KeyStage2 の全国テスト「科学」における生徒の到達水準別割合の 1998 年度から 2002 年度へかけての変化(QCA (2003) “Standards at Key Stage 2” Ref.[QCA/02/955], p.59 から作成。)

Key stage 2の「科学」の全国テスト結果(1984～2002年)  
(学年集団の各到達レベル別割合%)

レベル	3未満	3	4	5	6
1998	4	23	53	16	0
1999	3	16	51	27	0
2000	3	11	50	34	0
2001	1	9	53	34	0
2002	2	9	49	38	0

表 12 KeyStage3 の全国テスト「科学」における生徒の到達水準別割合の 1998 年度から 2002 年度へかけての変化(QCA (2003) “Standards at Key Stage 3” Ref.[QCA/02/958], p.3 から作成。) (EP は Exceptional Performance「並はずれた成績」であり全国テストでは測定不能な水準を意味する。)

Key stage 2の「科学」の全国テスト結果(1984～2002年)  
(学年集団の各到達レベル別割合%)

レベル	3未満	3	4	5	6	7	8	EP
1998	4	10	25	29	20	7	0	0
1999	3	9	28	31	18	5	0	0
2000	3	10	23	30	23	6	1	0
2001	2	7	20	32	26	7	1	0
2002	2	7	20	33	22	10	1	0

表 11 と表 12 から、徐々にではあるが、1998 年からの 5 年間で、生徒の「科学」の学力到達水準の分布が、明らかに高まる方向に変化していることがわかる。

なお、GCSE における認定階級 (A\*～G) と、全国テストにおける学力到達水準 (1～8) は、ともに規準 (基準) に基づく評価、いわゆる絶対評価により決定されるものである。

## 第2節 科学カリキュラムの構造<sup>1</sup>

本節では、英国の科学カリキュラムの基本的特徴について概括する。

義務教育期間の学習内容を4つの段階として大きなまとまりで捉えている。。

図8に、英国の学校段階が示されている。日本よりも1年早い5歳で小学校に入学し、日本の高校1年に相当する16歳の年までの11年間が義務教育期間であり、それをKey Stage 1からKey Stage 4までの4つの学校段階に分けている。一般的には、Key Stage 1とKey Stage 2が初等教育、Key Stage 3とKey Stage 4が中等教育とされる。

ナショナル・カリキュラムでは、各Key Stageに対して、公的資金を使用するすべての学校で教えらるべき教育内容を定めているが、個々の教育内容をいずれの学年(Year)で学習するかについては規定していない。しかし、Key Stage 1からKey Stage 3までのそれぞれの終わり(Year(学年)2とYear6、Year9)に、英語(国語)と数学、科学(Key Stage 1の除く)の全国テスト(National tests)が実施され、各Key Stageで履修されるべき教育内容についての実現状況と、子どもたちの到達水準が測定される。また、全国テストを実施するしないにかかわらず、すべての教科について、教師が子どもたちの到達水準を評価し報告する。また、Key Stage 4の2年間の学習は、中等教育修了資格の獲得のために、大多数の生徒がGCSE(中等教育一般修了資格)、GVNQ(一般職業国家資格)等の資格試験を受験し、個々の生徒の選択教科の成績に応じて認定資格がその階級とともに与えられる。この資格試験の結果から、全国的な子どもたちの到達水準が評価される。

年齢	段階	学年(Year)	テスト
3-4	Foundation		
4-5			
5-6	Key Stage 1	第1学年	
6-7		第2学年	全国テスト(英語(国語)、数学)
7-8	Key Stage 2	第3学年	
8-9		第4学年	
9-10		第5学年	
10-11		第6学年	全国テスト(英語(国語)、数学、科学)
11-12	Key Stage 3	第7学年	
12-13		第8学年	
13-14		第9学年	全国テスト(英語(国語)、数学、科学)
14-15	Key Stage 4	第10学年	一部の生徒がGCSE受験
15-16		第11学年	大半の生徒がGCSE, GVNQなど受験

図8 英国における学校段階と学習の評価 (<http://www.parentcentre.gov.uk> を元に作成。)

<sup>1</sup>英国(イングランド)のカリキュラムについての総合的かつ詳細な情報は、QCAとNFER(National Foundation for Educational Research)が運営するカリキュラム情報の国際データベースINCA(International Review of Curriculum and Assessment Frameworks Archive, <http://www.inca.org.uk>)から提供されている。

学習到達目標までの過程を 8 つの段階を経た学習の高まりとして捉えている。

ナショナル・カリキュラム(QCA (1999) “The national curriculum for England- Science” による)では、Key Stage 1 から Key Stage 4 までの各段階で学習されるべき内容 (programme of study) を規定する一方で、すべての Key Stage を通じて、生徒が到達する目標 (Attainment target) の水準 (Level) をレベル 1 からレベル 8 までの 8 段階、及びレベル 8 を超える「並はずれた成績 (Exceptional Performance)」として、段階的に捉えている。

次の表はナショナル・カリキュラムにおいて示されている、Key Stage 1 から Key Stage 3 までの各 Key Stage の生徒の大多数が属すると期待されている到達水準の範囲と、各 Key Stage の終わりに大多数の生徒が到達することが期待されている到達水準である。

	大多数の生徒が取り組みると期待される水準の範囲	大多数の生徒がKey Stageの終わりに到達することが期待される水準	
Key stage 1	1-3	7歳	2
Key stage 2	2-5	11歳	4
Key stage 3	3-7	14歳	5/6

例えば、生徒が 7 歳から 11 歳までの 4 年間を過ごす Key stage 2 の間に、大多数の生徒の到達目標水準がレベル 2 からレベル 4 まで高められることが下限の目標となる。第 1 節の表 11 では、Key stage 2 の終わりの全国テストの結果は、この下限のレベル 4 に達しない生徒の割合は、1998 年度の 27% から、2002 年度では 11% まで低下している。また、下限を上回るレベル 5 以上と評価された生徒の割合は、1998 年度の 16% から、2002 年度では 38% へと増加しているなど、学力の高まりが確認できる。

生徒たちとその保護者は、義務教育期間中に、その生徒が 8 段階のうちでのどの到達水準に位置しているかを公的な試験によって確認する機会が数回あり、また、各教師は常に個々の生徒の到達水準を判断しつつ、その能力水準に適した学習指導を行うことが求められている。

「科学」の学習内容を「科学的探究」を含む 4 領域で捉えている。

ナショナル・カリキュラムでは、「科学」で学習されるべき内容 (programme of study) を、領域 1「科学的探究」と領域 2「生命のプロセスと生物」、領域 3「物質とその特性」、領域 4「物理的プロセス」の 4 つの領域に分けて記述している。このうち、領域 1「科学的探究」は、他の 3 つの領域の学習の際に、併せて学習されるものであり、単独で学習されるものではない。また、領域 1「科学的探究」は、日本の学習指導要領「理科」では内容として明示されていない学習内容であり、「科学の本質」や「科学的探究能力」を直接規定する内容である。図 9、図 10 にそれぞれ Key stage 2 と Key stage 4 における領域 1「科学的探究」の内容を示す。これらから、Key stage 4 は Key stage 2 と比べて、同じ構造を保ちつつも、「科学的探究」に関する学習内容に広がりや深まりが見られる。

また、図 11 には、「科学」の領域 1「科学的探究」に関する到達目標 (Attainment target) の各水準 (レベル) の記述を示す。レベルが高まるとともに、より高度な種類と範囲の「科学的探究」が要求されていることがわかる。なお、レベル 4 の記述が、Key stage 2 の終わり (日本では小学校 5 年) までに大多数の生徒が到達することが期待されている水準を示している。

#### 領域 1「科学的探究」(Key Stage 2)

##### 科学での考え方と証拠

1. 生徒たちは以下の事項を教えられるべきである
  - a 科学は、創造的に思考することに関わり、それによって生物と非生物がどのようにうまく動いているかを説明しようとしたり、原因と結果のつながりを見出したりすることであること (例えば、ジェンナーによるワクチンの研究)。
  - b いろいろな考えを、観察と測定から得られた証拠を用いて確かめることが大切であること。

##### 調査能力

2. 生徒たちは以下の事項を教えられるべきである。
  - 「計画すること」
    - a 科学的に調査できる疑問をもち、どうやって答えを見つけるかを決めること。
    - b 直接経験や他のある程度の広がりのある情報源からの情報を検討し、疑問に答えるためにそれらを用いること。
    - c 何をするか、どんな種類の証拠を集めるか、及びどんな器具と物質を用いるかを決める際に、何が起こりうるかについて考えたり、試しにやってみたりする。
    - d 他の要因を同じに保ったまま一つの要因を変えて効果を観察したり、測定したりして、公正な検証や比較を行うこと。

##### 「証拠を得ることと提示すること」

- e 単純な機器と物質を適切に使い、安全を確保して活動すること。
- f データ収集に当たって、ICT (情報通信技術) を使用することを含んだ組織的な観察や測定を行うこと。
- g それが相応しい場面で繰り返しによって観察や測定をチェックすること。
- h ダイアグラムや図、表、棒グラフ、線グラフ、及び ICT (情報通信技術) を含む幅広い手法を用いて、データを適切にかつ組織的なやり方で他人に伝えること

##### 「証拠を検討し、評価すること」

- i 自分たちの観察や測定、あるいはその他のデータを比較して、それらの中に単純なパターンや関連性を見出すこと。
- j 結論を導くために、観察や測定、あるいはその他のデータを用いること。
- k そうした結論が予測と合致するかどうか、また結論がさらなる予測を可能とするかを決めること。
- l 観察や測定、あるいはその他のデータや結論を説明するために、彼らの科学的知識と理解を用いること。
- m 自分たちの研究と、他人の研究を振り返って、その意味と限界について論じること。

図 9 Key stage 2 における領域 1「科学的探究」の学習内容 (QCA (1999) “The national curriculum for England-Science” から作成。)



### 領域 1「科学的探究」(Key Stage 4)

#### 科学での考え方と証拠

1. 生徒たちは以下の事項を教えられるべきである
  - a. いかにか科学的な考え方が発表され、評価され、広まっていくか。(例えば、出版物や他の科学者のレビューによって)
  - b. 経験的な証拠を異なって解釈することから、いかにか科学的な論争が巻き起こるか。(例えば、ダーウィンの進化論)
  - c. 科学的な仕事、それがなされる状況から影響を受ける様(例えば、社会的、歴史的、倫理的、精神的)と、そうした状況が考え方を受け入れるかいなかにいかにか影響を与えるか。
  - d. 産業的、社会的、及び環境的な問題に取り組む際の科学の力と限界について考察すること。それは、科学が答えられることと答えられないこと、科学的な知識の不確かさ、及び、関連する審美的な諸問題も含む。

#### 調査能力

2. 生徒たちは以下の事項を教えられるべきである。
  - 「計画すること」
    - a. 科学的な知識と理解を用いて、さまざまな考えを調査できる形式に変換し、適切な方略を計画すること。
    - b. 直接経験に基づく証拠を用いるか、あるいは二次的な情報源からの証拠を用いるかを決定すること。
    - c. 適切な場面で、予備的な作業を行って、予測を立てること。
    - d. 証拠を収集する際、考慮すべき主要な要因について検討し、また、容易に変数がコントロールできないような状況で(例えば、野外作業や調査など)いかにか証拠を収集できるかを検討すること。
    - e. 収集しようとするデータの範囲と程度(例えば、生物調査の際の適切な標本の量)、技法、装置、及び用いる材料を決定すること。
  - 「証拠を得ることと提示すること」
    - f. 幅広い装置や材料を用いて、かつ、自身や他人の安全を確保する作業環境を保つこと。
    - g. データ収集に当たって、ICT(情報通信技術)を使用することを含んだ観察や測定を行うこと。
    - h. 誤差を低減したり、信頼性の高い証拠を得たりするために十分な観察や測定を行うこと。
    - i. 観察や測定における不確かさの程度を判断すること。(例えば、繰り返し測定における分散を用いて、測定値の平均値の正確さの程度を判断すること)
    - j. ダイアグラムや表、チャート、グラフ、及びICT(情報通信技術)を用いて、量的データや質的データを表現したり、他人に伝えたりすること

#### 「証拠を考察すること」

- k. ダイアグラムや表、チャート、グラフを用いて、データにおけるパターンや関連性を見つけたり説明したりすること。
- l. 計算の結果を適切な程度の正確さで表現すること。
- m. 観察や測定、その他のデータを用いて、結論を導くこと。
- n. こうした結論がどの範囲において予測を支持するか、及び、さらなる予測を可能とするか、について説明すること。
- o. 科学的な知識と理解を用いて、観察や測定、その他のデータ、及び結論を説明したり解釈したりすること。

#### 「評価すること」

- p. 不規則なデータについて、それらを却下、もしくは採用するための理由について検討するとともに、測定と観察にともなう不確かさに関して、データの信頼性を検討すること。
- q. 収集した証拠がいかなる結論やなされる解釈を十分に支持するかどうかについて検討すること。
- r. 用いた方法に対する改善点を示唆すること。
- s. さらなる調査について示唆すること。

図 10 Key stage 4 における領域 1「科学的探究」の学習内容(QCA (1999) “The national curriculum for England- Science” から作成。)

## 到達目標 1 : 科学的探究

## レベル 1

生徒たちは、事物や生物、観察する出来事の単純な特徴を記述したり、それに適切に応じるとともに、単純な方法(例えば、それに関する勉強について話したり、絵を描いたり、単純な図表など)を用いて、見つけたことを伝達する。

## レベル 2

生徒たちは、助けを得て、物事をいかに見出すかについての提案に応えたり、疑問に答えるためにデータをいかに収集するかについて、自分から提案したりする。彼らは、助けを得て、情報を見つけるために、単純なテキストを用いる。彼らは、与えられた単純な装置を用い、課題に関連した観察を行う。彼らは、事物や生物、出来事を観察したり比較したりする。彼らは、科学的な語彙を用いて観察について記述したり、適切な場面で単純な表を用いて記録したりする。彼らは、発生したことが期待したことであったかどうかについて語る。

## レベル 3

生徒たちは、ある疑問の答えをいかに見つけるかについて、提案に応えたり、自身の考えを提案したりする。彼らは、なぜ疑問に答えるためにデータを収集することが重要であるかがわかっている。彼らは、ある範囲の単純な装置を用いて、関係のある観察を行ったり、長さや質量といった量を測定したりする。彼らは、適切な場面で、いくらか助けを得て、公正な検証(fair test)を行うが、それがなぜ公正であるかがわかっている、説明できる。彼らは、さまざまなやり方で観察したことを記録する。彼らは、観察したことに説明を加えたり、記録された測定結果の中の単純なパターンを説明したりする。彼らは、彼らが何を見出したかを科学的なやり方で伝達したり、彼らの活動の改善点を示唆したりする。

## レベル 4

生徒たちは、科学的な考えが、証拠に基づいていることがわかっている。彼ら自身の調査活動の中で、彼らはある疑問に答えるために(例えば、公正な実験を行うなどの)適切な取り組み方を決定する。適切な場面で、彼らは一つの要因以外の要因を同じに保ったままいかにその要因を変化させるかを記述したり、課題を遂行する方法を示したりする。彼らは、適切な場面で予測する。彼らは、彼らに与えられた情報源から情報を選択する。彼らは、課題に対して、ふさわしい装置を選択し、適切な一連の観察と測定を行う。彼らは、表と棒グラフを用いて、観察したことを記録したり、比較したり、測定したりする。彼らは、単純なグラフを作成するために打点することを始め、これらのグラフを用いて、データ中のパターンを指摘したり解釈したりする。彼らは、彼らの結論をこうして得たパターンや科学的知識や理解と関連づけたり、適切な科学用語を用いて結論を伝達したりすることを始める。彼らは、彼らの活動の改善点について理由を与えながら示唆する。

## レベル 5

生徒たちは、実験上の証拠や創造的な思考が、ある科学的な説明(例えば、キーステージ 2 でのジェンナーの種痘の研究や、キーステージ 3 でのラボアジェの燃焼の研究など)を行うためにいかに取り込まれてきたかを記述する。彼らがある科学的な疑問に答えようとするとき、彼らはある適切な取り組み方を見わける。彼らは一定範囲の情報源から選択を行う。調査が公正な検証を必要とするとき、考慮すべき鍵となる要因を見わける。適切な場面で、彼らは彼らの科学的知識と理解に基づいて予測を行う。彼らは、一定範囲の課題に応じて器具を選択し、それを効果的に用いることを計画する。彼らは、課題に適切な正確性を保って、一連の観察、比較、測定を行う。彼らは観察と測定を繰り返し行ったり、出くわした変化に対して単純な説明を提案したりすることを始める。彼らは、系統的に観察したことや測定結果を記録し、適切な場面で、データを線グラフで表現する。彼らは、証拠に一致する結論を導き、それを科学的知識や理解に関連づけることを始める。彼らは、彼らの調査方法がいかに改善され得るかについて実際に示唆する。彼らは、適切な科学用語と種々の決まりを用いながら、データを定性的かつ定量的に伝達する。

( 次頁に続く )

#### レベル6

生徒たちはいくつかの認められた科学的考え方を支持する証拠を記述したり、科学者による証拠の解釈がいかに新たな考えを発展させたり受け入れることにつながるかを説明する。彼ら自身の調査活動の中で、彼らは科学的知識と理解を用いて、ある適切な取り組み方を見付ける。彼らは、種々の情報源を効果的に用いたり選択したりする。彼らは課題に対して十分な測定や比較、観察を行う。彼らは、さまざまな量を、細かい目盛り分けのされた道具を用いて、正確に測定する。彼らは、グラフや図形を用いて効果的にデータや特徴を示すことを可能にするような尺度を選ぶ。彼らは示される主なパターンにうまく合わない測定結果や観察結果を見付ける。彼らは、証拠に一致する結論を導き、科学的知識と理解を用いて結論を説明する。彼らは、いかに彼らの調査方法が改善され得るかについて、理由のある示唆を行う。彼らは適切な方法を選択したり用いて、科学用語と種々の決まりを用いながら、データを定性的かつ定量的に伝達する。

#### レベル7

生徒たちは、科学の諸理論に基づいていくつかの予測を記述したり、それらの予測を検証するために、いくつかの収集された証拠の例を与えたりする。彼ら自身の研究において、彼らは科学的知識と理解を用いて疑問に対して適切な取り組み方を決定する。彼らは、複雑な状況や要因が容易にコントロールできないとか、適切な手続きを計画できないとかといった状況において、鍵となる要因を見付ける。彼らは一定範囲の情報源から情報を合成して、二次的なデータに制約が伴う可能性を見付ける。彼らは広い範囲の器具を用いて、正確に系統的な観察や測定を行う。彼らは、信頼できるデータを得るために、彼らがいつ繰り返しの測定や比較、観察を行うことが必要であるかを見付ける。彼らは、適切な場面で、グラフでデータを表現し、データにもっともよく合う線を用いる。彼らは、証拠に一致する結論を導き、結論を科学的知識と理解を用いて説明する。彼らは、彼らが収集したデータが彼らの導いた結論を支持するのに十分であるかどうかを考察し始める。彼らは、記号やフローチャートなどを含む広い範囲の科学用語や技術用語、及び種々の決まりを用いて、彼らが行った事柄を伝達する。

#### レベル8

生徒たちは、追加された科学的証拠に照らして、変容されなくてはならなくなった科学的説明やモデルの事例を上げる。彼らは、ある範囲の情報源から、データを評価したり合成したりする。彼らは、異なる類の科学的な疑問を調査することが、異なる方策を要することがわかり、彼ら自身の研究において、科学的知識と理解を用いて、ひとつの適切な方策を選択する。彼らは、どの観察結果が定性的な研究に関係するかを決定し、彼らの記録中にその詳細を適切に含む。彼らは、比較や測定に必要とされる正確さの程度を決定し、彼らが変量間の関係を検証することを可能とするデータを収集する。彼らは、不規則な観察や測定の結果を見分け、また説明することを始め、それを考慮してグラフを描く。彼らは、彼らの証拠から結論を導くために科学的知識と理解を用いる。彼らは、結果のグラフや表を批評的に考察する。彼らは、いろいろな見方があることを自覚していることを示しつつ、適切に科学用語と種々の決まりを用いて、見出した事柄と論点を伝達する。

#### 並はずれた成績

生徒たちは、その後の実験によって疑われることになった科学的説明やモデルの事例を上げ、科学的理論を修正する上での証拠の重要性について説明する。彼らは、一定範囲の情報源からデータを評価したり合成したりする。彼らは、異なる類の科学的疑問を調査することが異なる方策を要することがわかり、彼ら自身の研究において、科学的知識と理解を用いて、ひとつの適切な方策を選択する。彼らは、関連ある観察や比較の結果を記録し、とりわけ重要な点を明らかに見分ける。彼らは、測定に際して正確さの程度を決定し、その要件を満たすデータを収集する。彼らは、変量間の関係を検証するために彼らのデータを用いる。彼らは、不規則な観察と測定の結果を見分けたり説明したりして、それを考慮してグラフを描く。彼らは、彼らの証拠から傾向やパターンを解釈したり、結論を導いたりするために科学的知識や理解を用いる。彼らは、結果のグラフや表を批評的に考察し、いかに彼らが付加的な証拠を収集することができるであろうかについて理由とともに説明する。彼らは、不確かさの程度といろいろな異なる見方があることを自覚していることを示しつつ、適切に科学用語と種々の決まりを用いて、見出した事柄と論点を伝達する。

図 11 領域「科学的探究」に関する到達目標(Attainment target)の各水準別の記述(QCA (1999) “The national curriculum for England- Science”から作成。)

「科学」を「英語（国語）」「数学」と並ぶ中核（コア）教科に位置づけている。

ナショナル・カリキュラムでは、英語（国語）と数学、科学の 3 教科が、コア・サブジェクト（中核教科）に位置づけられている。その理由は、言語と数学的基礎、及び科学的方法が、その他の教育課程と、成人の生活のあらゆる局面で必要な基礎であるからとされる（INCA mainstream England 5.2.2, <http://www.inca.org.uk>）。

「科学」の重要性については、ナショナル・カリキュラム「科学」の中に、次のように記されている。

#### 「科学」の重要性

「科学」は生徒たちを刺激し、身の回りの世界の事物現象に関する好奇心をかき立てる。また、この好奇心を知識で満たす。科学はアイデアと実際上の経験とを直接結びつけ、そのため、さまざまな水準で学習者が取り組むことができる。科学的な方法は実験による証拠とモデル化を通じた説明の発展と評価に関わっている。これが批評的思考と創造的思考に拍車をかける。科学を通して、生徒たちはいかに重要な科学的アイデアが産業やビジネス、医学に影響を与え、生活の質を改善させるようなテクノロジーの変化に貢献するものであるかを理解する。生徒たちは科学を学ぶ重要性を認識し、その世界的な発展を追跡する。彼らは、自身の生活に影響するかもしれない科学に基礎をおく諸問題と社会の行く末、及び世界の将来について疑問をもったり討論したりすることを学ぶ。

(QCA (1999) "The national curriculum for England- Science", p.15)

教科横断的に、重要な諸スキルを発展させる機会を強調している。

ナショナル・カリキュラムでは、教科横断的に、キー・スキルズ(key skills)と呼ばれる 6 つの重要な諸能力を育成することが求められている。それらについて、ナショナル・カリキュラム「科学」では、以下のように例を挙げて説明している。

- ・ さまざまな文脈において事実やアイデアや意見を明らかにするとともに他人に伝えることを通じた「コミュニケーション」スキル。
- ・ 直接的や二次的なデータを収集し、吟味し、分析することを通じた「数の応用」スキル。
- ・ 広範な情報通信技術の使用を通じた「情報テクノロジー」スキル。
- ・ 科学的調査を実行することを通じた「他人と一緒に作業する」スキル。
- ・ 成し遂げてきたことを振り返り、達成したことを評価することを通じた「自分の学習と成績を向上させる」スキル。

さらに、次のようなその他の資質・能力的側面の育成が現在のナショナル・カリキュラムでは強調されている。

- ・ 科学的探究のプロセスに生徒が取り組むことを通じた「思考スキル(thinking skills)」。
- 「思考スキル」の下位スキルとして、「情報処理スキル（関連情報調べ、情報の並べ替えや分類や配置、情報の比較や対照、関連性の同定や分析）」「推理スキル（意見や行為

を理由づけること、推測すること、演繹すること、情報に裏付けられた判断や決定をすること、推理に正確な言語を用いること)」「探究スキル(疑問を尋ねること、探究課題の定義、研究計画、結果の予測、結論の見通し、結論の導き)」「創造的思考スキル(アイデアの一般化、アイデアの深化、仮説化、想像の適用、刷新的対案の模索)」「評価スキル(評価基準の作成、評価基準の適用、情報とアイデアの価値判断)」の5つが上げられている。

- ・ 生徒が、科学者の研究についての学習や、科学的なアイデアがテクノロジーの製品やプロセスに用いられるやり方を学ぶことを通じた「事業や企業家のスキル (enterprise and entrepreneurial skills) 」。
- ・ 科学を基礎とした産業や経済の事業の学習、及び地域の科学者たちや技術者たち、さまざまな職場との接触を通じた「労働に関わる学習」の促進。
- ・ 確かな科学を基礎とした意識決定のスキルを伸ばし、科学とテクノロジーの応用に関わる価値と倫理を追求し、多様性や相互依存性といったいくつかの重要な概念に関して知識と理解を深めることを通じた「持続可能な発展のための教育」の促進。

こうした、教科横断的な資質・能力育成のために、具体的なナショナル・カリキュラムとの関連とその指導資料が収集、普及されつつある。(QCA, “National Curriculum Online”, <http://www.nc.uk.net>)

## まとめ

第 1 章ではまず、イングランドを中心とした英国の科学カリキュラムの実施状況について、文献や既存の調査データの分析によって、国際比較的な観点からの概括を行った。その要点は以下の通りである。

英国の生徒の科学の成績は国際的に高い水準にある。

英国の生徒の科学への学習態度は国際的に良好な水準にある。

英国では、多くの生徒が科学の学習を楽しんでいる。

英国では、多くの生徒が科学の学習を大切であると感じている。

英国では、多くの生徒が将来、科学を用いる職業に就きたいと思っている。

英国では、科学の平均学習時間が長い。

英国では、近年、学力が向上しつつある。

次に、英国の科学カリキュラムの基本的特徴について概括した。

義務教育期間の学習内容を 4 つの段階として大きなまとまりで捉えている。

学習到達目標までの過程を 8 つの段階を経た学習の高まりとして捉えている。

「科学」の学習内容を「科学的探究」を含む 4 領域で捉えている。

「科学」を「英語（国語）」「数学」と並ぶ中核（コア）教科に位置づけている。

教科横断的に、重要な諸スキルを発展させる機会を強調している。

このように、英国の科学カリキュラムが置かれている状況はわが国のそれとは大きく異なっている。わが国では青少年の科学技術への関心の低さが深刻な問題となっており、英国で見られる科学への良好な学習態度の状況は興味深く感じる一方で、それがどのような要因によってもたらされているのかについては明らかではない。これについての明瞭な示唆が得られれば、高い水準の学力を維持しつつ、良好な学習態度の形成を目指すわが国での状況の改善に寄与するであろう。英国での取り組みをより詳しく調べることは、この意味で重要性の高い示唆につながる可能性がある。そこで、本研究では、すべての生徒にとって将来の生活の上で応用できる範囲が広いと考えられる「科学的探究」の能力育成に焦点を当て、ナショナル・カリキュラムの開発・評価の担当者、資格授与機構の担当者、初等教育と中等教育の現場における担当者らから、より詳しい情報を得ることとした。

## 補足

<sup>i</sup> Ofsted (Office for standards in education, <http://www.ofsted.gov.uk>)

イングランドにおいて、基本的に公的補助を受けるすべての学校の評価と指導を行う職員数約 2500 人の独立行政機関。1992 年に設置。対象となるすべての学校（約 24000 校）は、Ofsted によって 6 年に 1 度の査察を受ける。初等教育段階で 2 人が査察官 3 日間、中等教育段階で 15 人の査察官が 4 日間に渡って広範囲な査察を行い、学校の特徴、教育の水準と成果、活動、指導状況、管理運営、前回査察からの改善点、今後のさらなる改善点などに関して、膨大な情報を収集し、勧告を含めた「査察報告書」を作成し公開する。査察報告書に対して、学校側は改善計画書を提出し公開しなければならない。査察によって、深刻な問題点が明らかとなった場合には、特別措置が取られ、長期の観察と指導が行われる。地方教育当局（LEA）も改善支援策を講じるよう求められる。さらに改善が見られない場合には、教育省命令により学校閉鎖の可能性もある。「査察報告書」は、Ofsted のホームページからダウンロードできる他、各学校が求めに応じて住民に提示することが義務づけられている。（以上、Ofsted ホームページから提供されている情報と、Ofsted (2003) “Ofsted Department Report 2002-2003”に基づく。）

<sup>ii</sup> Awarding Bodies（資格授与機構）

GCSE や GCE-A level, GNVQ など、多種多様な教育修了資格認定試験の開発・実施を行う。GCSE については、the EdExcel Foundation, Oxford Cambridge and RSA Examinations (OCR), the Assessment and Qualifications Alliance (AQA) の 3 団体が、試験問題、試験要目 (specifications)、試験実施学校との連絡調整、採点要領の作成と採点者研修、校内採点のチェック、資格認定、QCA との協議などを行っている。どの試験科目でどの資格授与機構の試験を受けるかは、学校が独自に選ぶ。また、GCSE 試験に向けた学習が中心となる Key stage 4 段階の教科書の多くは、いずれかの資格授与機構の試験要目に準拠していることを明示している。

<sup>iii</sup> QCA (Qualifications and Curriculum Authority, <http://www.qca.org.uk>)

イングランドにおいて、ナショナル・カリキュラムの開発・実施とその評価、教育修了資格認定の枠組み開発など、教育課程と教育修了資格全般に関わる諸事業・研究を司る職員数約 500 人の独立行政機関。1997 年に設置。Key stage 1, 2, 3 段階の全国テストは、QCA が行い、その結果に基づいて、学力向上へ向けた指導資料を作成している。





## 第 2 章

### 英国科学カリキュラムにおける 「科学的探究能力」の指導と評価

小倉 康（国立教育政策研究所）

浅海範明（山口県田布施町立麻郷小学校）



## 英国科学カリキュラムにおける「科学的探究能力」の指導と評価

小倉 康（国立教育政策研究所）

浅海範明（山口県田布施町立麻郷小学校）

第1章の内容から、英国では、高い水準の学力を維持しつつ、良好な学習態度が形成されている様子がうかがえる。高い水準の学力を維持しつつも、良好とは言えない状況にある学習態度の改善を目指すわが国にとって、英国での取り組みをより詳しく調べることから有益な示唆が得られる可能性がある。そこで、平成15年9月24日～30日の期間に英国への訪問調査を行い、さまざまな取り組みの中でもすべての生徒にとって将来応用できる範囲が広いと考えられる「科学的探究能力」の育成に特に焦点を当て、ナショナル・カリキュラムの開発・評価の担当者、資格授与機構の担当者、及び、初等教育段階と中等教育段階の教師らから、インタビューと資料収集、及び授業観察を通じてより詳しい情報を得ることとした。

訪問先と対応者は以下の通りである。

**QCA (Qualifications and Curriculum Authority、資格カリキュラム行政機関)**

Rose Clesham 氏、Rebecca Edwards 氏（ともに Science 担当）と面談。

**Edexcel（資格授与機構）**

John Fincham 氏（Science 担当）と面談。

**Warren Junior School (Key stage2 段階の小学校)**

Roger Mitchell 氏（副校長職の科学教師）と学校長と面談、授業観察。

**The Weald School (Key stage3, Key stage 4, Six form を併せ持つ中等教育学校)**

Nick Webb 氏（科学科長、科学教師）と科学教師と面談、授業観察。

インタビュー調査では、限られた時間内で、それぞれの機関や学校の機能に応じて、科学カリキュラムにおける「科学的探究能力」の指導と評価に関わるあらゆる側面の情報を得るよう努めたが、特に調査によって明らかにしようとした疑問は以下の点である。

- ☆ 科学的探究能力を科学のカリキュラムにどう位置づけているのだろうか？
- ☆ 科学的探究能力をいかに指導し評価するのだろうか？
- ☆ 科学的探究能力を「全国テスト」でいかに評価するのだろうか？
- ☆ 科学的探究能力を「コースワーク」でいかに指導し評価するのだろうか？
- ☆ 絶対評価の下で、どのように評価の信頼性を高めているのだろうか？
- ☆ 生徒は意欲的に科学的探究に取り組んでいるのだろうか？

以下では、まず第1節～第4節において、計4カ所におけるインタビューの記録（筆者が要旨を整理したもの）を掲載した後、第5節以降において、調査の観点別にインタビュー調査の結果と収集した資料の分析を踏まえた考察を行う。

## 第1節 QCAインタビュー記録

### 第1回目(2003年9月24日)

#### ナショナル・カリキュラムの解釈

ナショナル・カリキュラムの到達目標 (Attainment target) の各レベルの評価基準が、一般的な用語で記載されているので、教師から各レベルの評価が不明確だと指摘される。私たちは、そうした質問に対して、Web上で教師たちが各レベルの解釈に参考になる情報を公開して、それができるだけ理解できるよう努めている。

#### 到達状況のモニター

各 Key stage の終わりに教師による各生徒の到達レベルの評価の結果が、学校ごとにまとめられて報告されるが、それとは別に、国は、到達状況をモニターするために、7歳(数学、英語)、11歳(数学、英語、科学)、14歳(数学、英語、科学)のすべての生徒にナショナルテストを実施する。16歳の段階では、試験機関(Exam Boards; ここでは Awarding Bodies(資格授与機構)のこと)が資格試験を行うが、ナショナル・カリキュラムを基礎としながら、その解釈は生徒の進路や科目の難易度によってかなり異なってくる。すべての生徒に共通なテストは、14歳のナショナルテストが最後である。科学のナショナルテストは、4領域 (Scientific Investigation、Physical Science、Biology、Chemistry) の測定問題が混合したもの。テストで、4領域を通した生徒の到達レベルを評価する。通常は、教師の判断した到達レベルとナショナルテストの結果による到達レベルとはほぼ一致する。学校は、各生徒の科学の到達レベルを、一つのレベルとして報告するが、それは、4つの科学の領域のそれぞれの到達レベルを平均した(一般に整数に丸められる)ものである。Key Stage 3までのナショナルテストで測定するのはレベル7までである。Key Stage 3までのスタンダードで、われわれは、多くの生徒がレベル8以上となることは期待していない。レベル8以上はGCSEのスタンダードである。

#### 到達状況

ナショナル・カリキュラムが作成されたとき、各教科の到達レベルは、Paul Black 教授と教科の専門家が、生徒の理解の発達過程に基づいて設定した。一般的な成長では、2年間にほぼ1つ上のレベルに達すると見なされた。したがって、7歳段階でレベル2、その2年後にレベル3が期待される。ところが、興味深いことに、Key Stage 2で期待されるレベル4は、テスト結果の平均のレベルとは異なっている。Key Stage 2の科学では、87%の生徒がレベル4以上であり、期待を上回っていて、数学や英語よりもかなり高い。Key Stage 3の期待レベルはレベル5であるが、科学の場合、67%の生徒がレベル5以上であり、これはほぼ数学と英語と同じ状況である。1999年にナショナルテストが始まって、平均のレベルは一端大きく上昇し、その後も少しずつ上がってきた。

ところが、2003年のナショナルテストでは、これまでの科学のテストが知識に偏りすぎていて、プロセス（スキル）が弱かったので、領域1「科学的探究」をより重視した問題を課した。これによって、これまでのような上昇傾向に少し変化があるかもしれない。これまでも領域1「科学的探究」は、科学の重要な要素であったが、テストは主要ではなかった。しかし、これからはKey Stage2とKey Stage3のテストにおいてもこれを組み込むことで、よりプラクティカルな科学の授業がされるだろう。

### 筆記テスト偏向の問題

教育の文化がテスト中心になりつつあって、なかなかその文化から逃れられない。だけど、それとは別に大事なスキルがあるということを理解する必要がある。テストによって本人の実力がわかるよりも、筆記テストでうまく出来たということがわかるだけで、要するに、筆記テストで測れるスキルと、それ以外の大事なスキルとのバランスをいかにとるかが重要だ。教師の判断を要するコースワークの評価も、筆記テスト以外で図ろうとする重要なスキルであり、QCAの中には、教師の判断をより重視するグループがある。

そこで、ナショナルテストによる評価と教師による評価を比較した結果を公表したが、新聞は関心を示さなかった。彼らは単にテストの得点（教師が判断しないスコア）だけに興味がある。先日、「なぜ生徒がナショナルテストで不合格になったか」という記事が載ったが、ナショナルテストでは、合格、不合格は関係なく、どれくらいの生徒がどの段階にいるかという状況を示しただけにもかかわらず、彼らは合格・不合格として結果を報じた。

GCSEのような資格試験として合格・不合格を判定するようには設計されていないナショナルテストでは、生徒がどのレベルにいるかという診断的な結果や学校のパフォーマンスを測る。にもかかわらず、教師もそのことを理解しながら、保護者などからプレッシャーを受けている。保護者は自分の子どもがレベル4（Key Stage 2）に到達しているかどうかということが知りたい。というのは、それが期待されている到達レベルだから。

### イギリスで成長しつつある塾産業

学校外でチューターの助けを借りて期待されているレベルを達成しようとする生徒が増えており、そうしたビジネスが成長している。それぐらい保護者たちは重要性をもってレベルを気にしている。私自身、長年科学教師であったが、そのときは、学校で十分学習すればよいので、生徒は学校外であるレベルを達成するためにより多くの時間を費やす必要はないと強く感じていた。

### 年少段階からの「科学的探究」指導の強調

領域「科学的探究」に関して、QCAは、5歳児からの科学教育で、教師たちが科学的事実を伝える指導から、「科学と探究についていかに考えるか」を指導するように促している。という

のも、GCSE の科学で成功(A\*~C)する生徒の割合は約半数で長年ほとんど変わっておらず、残りの約半数という膨大な数の 16 歳段階の生徒が科学をよく理解していないことを国は憂慮してきた。本質的には、より若い年齢段階で科学的なプロセスについて十分に指導されていないことが問題である。それでわれわれは年少の段階からの科学の指導のされ方を変えるよう取り組んでいる。それによって、子どもたちが十分に領域「科学的探究」を学習することで、より多くの生徒が GCSE の科学で成功するようになると考えている。子どもたちの能力開発や保護者に対するものなど、さまざまな短期的な施策も行われているが、この問題に対してはずっと長期的な見通しで取り組んでいる。年少段階での科学の指導を変えるといっても、学校側に十分な科学的資質をもたない教師が多いことが問題となる。そこで、われわれの立場としては、ナショナル・カリキュラムとともに、ナショナルテストで領域「科学的探究」を強調することによって、教師と LEA(地方行政当局)と教師教育者たちに、科学がいかに関指導されるべきかについて認識してもらうのだ。

### 物理科学教師の確保の困難

生徒にとって科学が困難に感じられていることから、科学の学位を目指す大学生が少なく、したがって、十分な数の科学の教師を得ることが難しくなっている。中等教育段階の科学の教師の過半数は生物の学位取得者で、物理科学の学位を持つ科学教師が少ない。このことが、生徒に科学を教える際にも影響し、生徒の学習で物理科学の側面が弱くなる。そして再び、生徒が物理科学を専攻しなくなるという悪循環を生んでいると政府は憂慮している。

### 必修と選択の「科学」と内容

政府は、人々がより科学を専攻するように、16 歳までに生徒が広い領域の科学を履修するように、Double Award (二重資格科学)を導入したが、A レベルの段階でその目論見はうまくいかないことがわかった。政府は、2年前からなぜうまく行かないのかの理由を検討している。その一環で、小学校段階の科学の指導も含めた見直しが行われている。

10 年ほど前までは、すべての生徒は物理、化学、生物を総合したコンバインド科学を 16 歳までの義務教育で履修していたが、それは、選択式にすると女子が生物を男子が物理を取りやすいと思われていたからである。しかし、それはうまくいかなくて(物理の選択者増加につながらなかった)、現在では 14 歳までに共通の科学のコースを履修し、14 歳以降(Key Stage 4)は、職業コースを含めて、多様な生徒に応じて多様なコース選択ができるようになりつつある。したがって、14 歳 (Key Stage 3 終了)でのテストが、すべての生徒が学ぶ共通の科学の最終段階を示すことになる。2006 年には選択の自由度がさらに拡大する。

(14 歳段階で共通の科学の学習を終えようとする内容の程度が制約されるのではないかな?)  
 そうだ。だから例えば、14 歳では DNA についてはその構造などは教えないが、細胞がどのように情報を伝えるかとか、単純な遺伝の考え方について 14 歳までに教える。15 歳や 16 歳で

は、タンパク質の生成を含め、より高度な DNA についての学習を行う。

**Key Stage 3** の終わりの 14 歳のナショナルテストでレベル 3 程度にある生徒でも、14 歳からは GCSE のコースにしたがうしかないのは適切でない。職業技術の方面に進む約 20% の生徒にとって、GCSE のコースは適合していないといわれている。この 20% の生徒たちが、技術的な方向に進むとしても、(14 歳以降で) 否定的でなく肯定的に学習できるようにすることが重要だ。

科学は断片的な事実 (facts) に偏って教えられてきたが、16 歳の資格試験で、生徒たちは、例えば人のほとんどすべての骨の名称を覚えたりしたことは、医者や看護婦にならないかぎり必要のない情報である。いかに骨が体を支えたり、筋肉が関節を動かしたりといったしくみを生徒が理解することは重要である。われわれは、科学でできるだけ多くの事実を覚えさせるのではなく、科学がいかに機能するかを理解させるように変えたいと思っている。科学がいかに機能するかは、市民にとって重要なことで、私はそうした事柄に関する 16 歳対象の試験を新たに開発する取り組みに最近かかわった。

科学は市民性(citizenship)であるという人がいるが、科学が現代世界で生きていくのに必要であり、例えば GM (遺伝子組み換え) に関してよいか悪いかを意志決定できるように、ニュースペーパーにしたがったり、それによって利益を得る人の意見を鵜呑みにしたりしないようにしなければならない。

### 生徒に必要とされる「科学」

われわれは、どのような科学が、若い生徒たちが実社会と科学的な諸問題に対処するために必要とされているかを同定したい。

そうした諸問題を取り上げることが、生徒たちの学習への興味や動機を喚起させるということを見いだした。たくさんの事実を学びたいという生徒は少ない。私にとって科学とは何なのか、私にどんな影響を与え、私の人生にどんな影響があり、自分たちの子どもにどう関係するのか、などが大切である。

### 「科学」の授業を変えること

われわれの取り組んでいる課題は、教師たちがそうした文脈で生徒が科学を学習することで、よりよく行動しよりよく学習するようになり、たくさんの事実を教えることに固執して授業をしていると、試験が終われば忘れてしまうと言うようにすることだ。これは大変重要な課題で、必要なことだと、多くの教師は受け入れている。

そうであっても、いざ授業となると、以前のやり方に立ち戻ってしまうので、私たちはそうならないように教師が教え方を変えることをサポートする道を探っている。あなた方が調べていることの一つである“CASE”もそうした道の一つと思う。

教師の教え方を変えるとともに、生徒の学習意識も変える必要がある。生徒も科学でたくさんの事実を覚えないといけないと意識している。生徒が教師から何を学ぶかに関する態度を変えなくてはならない。

ほかにもさまざまなプロジェクトがあり、例えば、すべての教科で創造性をいかに育むかに関するプロジェクトで、科学について私はプレゼンテーションをしたときに、科学教師の反応はとてもよかった。この方法によってよりよく教えることができるし、生徒がよりよく学べると感じたのであろう。それが実際に教室で使われるようにしたい。

これまで触れてこなかったけれども、政府は、リテラシーとニューメラシーを重視する方向で数学と英語と科学の達成を求めている。そのための小学校段階のストラテジーを検討して、実際に学校でコンサルティングして、生徒のリテラシーとニューメラシーを実際に伸ばさせようとするもので、とてもうまくいきつつある。

さらに政府は、**Key Stage 3**の中学校でも、教え方を変えるストラテジーや教授学習を改善するために生徒を相互作用させる方法を数学、英語と科学で用いることを決めた。

来年かそれ以後になれば、(ナショナルテストの結果で、) 教え方と学び方の改善の成果が現れると期待している。**われわれは、スタンダードを向上させることにとても真剣で、カリキュラム内容を変えること、評価手段を変えること、教え方を変えること、に取り組んでいる。**

### 教科書との関わり

教科書については、QCA は直接関与しない。いずれかの教科書を推薦するようなことはないが、教科書の質は、ほとんどの教科書でとてもよい。現在、教科書出版社たちは領域「科学的探究」の扱い、特にコースワークに関する諸課題をどう扱うかで検討を必要としており、QCA との定常的なコミュニケーションの中で、スタッフが教科書出版社の人たちの協議に加わることもある。

### コースワークの意義について

コースワークの質を高めることが、14歳以降の科学を改善するかというと、答は明らかにイエスであり、科学に必要なすべての要素がコースワークを含めることによって可能となる。

日本ではコースワークは無いのか？(回答：日本では資格試験的なコースワークは無いけれども、それに類する学習は最近始めた「総合的な学習」に見られ、生徒が自主的に調査探究した事柄をまとめさせ発表させている。また、よりコースワークに近いものとしては、小学生の多くが夏休み期間に科学の自由研究を行って科学論文を作成し提出している。しかし、筆記試験に特化された入学試験への準備過程で、そうした実際的な科学的探究活動から遠ざかって、そのまま戻ってこないのが実情だ。私は、コースワーク的なものを試験で評価することによって、科学への関心を高められるのではないかと考えている。)



## コースワークは科学への関心を高めるか

イギリスでも試験に合格するための勉強が、生徒たちの科学への関心、実践的な科学への関心を締め出している。ただ、コースワークが、生徒たちの関心を引きつけることに効果的であるかどうかについては注意が必要だ。

16歳のGCSEで、9ないし10の科目について、コースワークを課すことで、生徒はすべての教科でコースワークを3月までに提出しなくてはならず、6月の試験まで大変なプレッシャーを与えている。しかし、コースワークで使われるスキルは、レポートを書いたり、研究したり、など同様なものであるので、1つか2つのプロジェクトですべての教科を含むものであれば、より優れたスキルの評価になるのではという議論がある。教師もコースワークの評価など大変な作業となるので、そうできれば問題を軽減することができる。コースワークはとてもよい学習だと思うが、それをどのように導入するかは、そうした問題性を考慮して生徒に過度に負担にならないよう慎重に検討した方がよい。

## コースワークに関する想定外の状況

資格授与機構側では、科学のGCSEやAレベルの科学のコースワークは、期待された程度には効果を上げていないと考えている。というのは、教師たちが毎年同じ実験をコースワークに取り上げるような学校が80%にもなると言われており、これは想定された状況とはまったく異なっている。

ロンドン大学のある教授は、コースワークはどんなときに価値があるかというディレンマについて述べている。(コースワークの内容にも問題があるとしても本当の)問題は、試験の要件としてコースワークが無ければ、いかにそれがよいものであっても、授業から実験が無くなってしまふということだ。Key Stage 2とKey Stage 3のナショナルテストと同様なことだ。アセスメントの一部であるから、それが授業で扱われる。試験の要件となれば、生徒は、創造的意欲の有無にかかわらず、必ずそれをしなくてはならない。

また、教師は、プラクティカルな学習が同じことの繰り返しであるべきでないとしても、コースワークで生徒がよりよい点を取るためのソリューションを数年のうちに見つけ、それを繰り返すようになる。個人的には、コースワークを試験の要件からはずしてもよいと思う。イギリスの中等学校では、殆ど実験室を持たない初等学校とは異なり、実践的な科学の学習ができるように条件整備されており、もっと教科書以外から科学を学ぶことが強調されるべきなのだ。

筆記試験による実践的な科学の学習成果の評価法の開発において、生徒の興味や価値を反映した評価のやり方が、生徒により興味のある多様な活動を保証することがわかってきた。そこで、コースワークも、生徒により興味のある多様な活動を確保できるようにしなければならないと考えている。

### ナショナルテストにおける「科学的探究」の扱い

ナショナルテストについては、3年前から、実践的な学習を実際に行わなければ解答できないようなテスト問題づくりを手がけてきた。教師たちとともに、どこの学校でもそれを可能とする文脈の問題を作成し、それによって、教師の教え方により影響を与えられるような優れた教授法を反映するように心がけている。

### GCSE におけるコースワークの扱い

GCSE の科学では、コースワークは必修となっている。コースワークは筆記試験以外で試験される実践的な学習であって、試験において、その重要な部分を強化するものだ。資格授与機構の筆記試験では測ることが容易でない研究スキルの測定を重視している。生徒は実践的な学習を、いかに素材を用いるか、科学がいかに行われるかを理解し、いかにプロジェクトレポートを書くかなど、実際に実験をしながらフォーマルにまとめていく学習が、3回とか5回あるうちで、もっとも良かったものを、試験用のコースワークとする。

### ポートフォリオとコースワーク

職業教育の資格試験においては、受験者は彼らがどのように知識やスキルを日常的なコースで用いてきたかを証明する証拠としてポートフォリオを収集しておくことを要求する。学校の中には、すべての教科でこうした評価手法を用いようとするところがあるが、それは必ずしも容易ではない。それぞれの教科は、育成する知識、理解スキル、コースワークなど広い範囲をもっており、それが特にAレベルでは顕著だ。科学では、生徒が数多く実験したりそれについて記述したりするので、実践的なスキルの評価のための証拠として納得のいくポートフォリオを収集するのは大変だ。その点、コースワークは、範囲を狭めて、行動的で実践的な学習の一部分を見ようとするので、教師は資格試験の受験者である生徒によりコースワークを準備させることが容易となる。もっとも、それは、知識や科学を実行するスキルを広い範囲で証明するものとはならない。

### 実験テストとコースワーク

われわれは以前、科学の実験テスト(**practical science examination**)を実施していたが、教師たちは、生徒が正解を得るためにプレッシャーを受けながら行う実験テストでは、生徒の科学での実践的な実行能力を非常に限られた範囲でしか評価できないと感じた。教師たちは、コースワークの方がより広い範囲でそれを評価できると判断した。そして、そうしたものとしてコースワークを導入したのだが、評価結果をより信頼性の高いものにしようとした結果、コースワークで評価する範囲も徐々に狭まってきた。このことが **GCSE** や **GCE** に関して最も心配されることである。今現在、われわれが目指していることは、生徒の授業における学習成果でより広い範囲の実践的な能力を評価するためのこれまでとは異なるやり方を探ることである。どれだけ科学についてわかっているかだけでなく、どの程度科学的に実行できるかをいかに評価で

きるかということだ。

### コースワークにおける4つのスキルとその扱い

14歳から16歳のほとんどの生徒が行うコースワークを機能させるために、資格授与機構の評価では最も関心ある評価領域として次の4つを設定している。第一は、科学的探究を計画(planning investigation)できるかどうか、第二は、いかに証拠を得るか(obtaining evidence)、第三は、いかに結果を分析するか(analyzing results)、そして第四は、いかに評価するか(evaluating)である。この4つのスキルは長年の協議の末に設定されたもので、原則的にはすばらしいと考えている。

この4つのスキルが実際にどのように表現されるかについて何が起きているかということ、科学的探究の計画を立てていないグループに対して、「これとこれとこれ」と確認してから「さあやみなさい」と指導するので、科学的探究を計画することを理解させるという本質が伝わっていないことがある。同じことが他のスキルについてもありうる。

この4つのスキルが GCSE コースワークの基本となっており、相当の成功を収めてきたが、ここに来てより単純記憶的な学習(rote learning)になりつつある。というのは、教師の中には、まとまった科学的探究をしてスキルを育成することをしないで、単に試験の要求を満たすためのコースワークを指導するものがあるからだ。

### ナショナルテストにおける4つのスキルの扱い

そこで、われわれが行っている Key Stage 2 と Key Stage 3 のテストでは、これらのスキルをテスト問題に含めようとしている。生徒たちに単に彼ら自身の探究計画を立てさせるのではなく、有名な科学者やさまざまな人々の立てた探究計画の例を示して、そのどこがよいかとか悪いかを問うようにしたり、いかにシステムティックに証拠を得るかを考えさせたりなど、はじめの2つのスキルについてはそれほど難しい問いではないが、あとの2つのスキルについてはより難しい問いとなる。分析をしたり、実験を評価したりすることは、生徒たちはとても苦手である。GCSE レベルにおいても、これら後半2つのスキルはかなり高度である。

### テストの変化と指導への影響

しかし、こうしたテストの変化が、これらのスキルを授業でいかに教えるかに影響を与えてきている。こうした高度なスキルを試験で意識しなくてもよかった時は、試験で成功することはより容易であっただろう。しかし、状況は変わりつつあることを意識する必要があり、数年後には、これらのスキルに関してあきらかなパフォーマンスの向上を見ることができると思う。

### システムティックな科学的探究の指導

小学校、及び Key Stage 3 (中学校) の一部では、科学の教師たちは、自分はこのスキル

を教えている、たくさんの実践的な学習を指導していると言う。しかし、**システマティック**なやり方では教えていないし、科学的探究を科学の一部としては扱わないのである。物理や化学、生物のように個別の科学として科学のプロセス面も適切に記述することが必要なので、われわれはテストでそれに努めている。条件制御をした実験をいかに適切に説明することなど、**Key Stage 3** から **Key Stage 4** にかけて、科学的探究のプロセスを形式化することが重要なのだ。これまでは生徒に科学的探究を経験させることは強調されてきたが、それをシステマティックなものとはしてこなかった。

### ナショナルテスト問題の性格

ナショナルテストは、**Key Stage 2** と **Key Stage 3** の終わりに、各約 60 万人の生徒全員を対象に実施するが、生徒の学習してきた地域や環境は非常に異なっているので、どの生徒にも差別的にならないようにしなければならない。また、テストしているものが、確かに科学に関するものであって、読解スキルを問うものとならないようにリテラシー（読み書き）の面でも生徒に差別的にならないように気をつけている。

### 筆記試験における「科学的探究」のスキルの位置づけ

ナショナルテストで科学的探究のスキルをテストすることをあまり強調すべきではないと考えている。科学的探究のスキルをテストに含めることで、短期的には教師たちにそれが重要であることを示すことができるが、長期的には筆記試験で測られやすいものと日頃の授業で学習するスキルやプロセスとのバランスを取り戻したいと思っている。これはテストを変えるだけでは実現できず、さらなる努力が必要だが、とりあえず安易な方法として、テストで問うことで科学的探究のスキルが重要であることを示しているのである。

### 年少段階からのスキル学習の積み上げ

アイデアとしては、ある段階はその前の段階の上に設定されるので、例えば **Key Stage 3** は **Key Stage 2** の上に設定され、同様に、**GCSE** は **Key Stage 3** の上に設定されることになる。科学は 14 歳から始まると考える人たちがいて、**GCSE** に向けてさあこれが科学だと教えようとするが、これはまったく間違いで、資格授与機構は **Key Stage 3** までの経験に基づいて **GCSE** を設定しなければならないので、科学的探究の学習(**Sc 1**)やコースワークといったスキルの強調が、**GCSE** に反映されることになるのである。このようにして、5 歳から 18 歳までの科学の学習が進展していく。

### スパイラルカリキュラム

ナショナル・カリキュラムでは内容をスパイラルに配置しているが、教師はこのことを理解し受け入れていたが、2 年前まで生徒がこのことを理解していなかったことがわからなかった。生徒は科学で同じことが何度も繰り返し出てくると感じていた。この国では政府は科学の教育

についてとても気にしているのです。2年前の「全国科学年」に多くの学校が関わるさまざまなプロジェクトを行い、多くの実験機器や材料を学校につき込んで、それを用いるための教師の研修も行った。それらのプロジェクトの1つで、科学博物館(science museum)は、生徒のGCSE科学に対する意識を調べた。数多くの質問項目にオンライン(インターネット)で答えてもらうもので、その中で、生徒がスパイラルカリキュラムによって知識理解が進むということについてわかっていないということがわかった。それまでそのことは強調されてこなかったのに、それが大切であることを認識した。カリキュラムをより効果的にするためには、教師、教育者、保護者がカリキュラムを理解することだけでなく、子どもたちもそれを理解する必要がある。最も大切なはずの学習者たちのことが忘れられていたことはわれわれにとっても重い教訓となり、改善に取り組むことを決めた。

### コースワークの経過

コースワークには長い歴史がある。40年前には科学の大半は知識を学ぶことで、実践的な学習はほとんどなかったが、30年以上前に、科学教師と大学の教師が協力して、いかに科学教育の状況を変えるかについて議論を重ね、実践的な学習と科学がいかに研究されるかの学習に重きを置いたNaffieldの物理、化学、生物のプログラムが開発され、Aレベルの科学に大きな影響を及ぼした。生徒に実際的な科学研究を遂行させることを促進したので、そこでは質の高い実践的な科学が学習コースの一部として行われ評価の対象となった。その後、80年代前半に16歳段階でのコースワークの導入について検討がされることになった。ただし、Naffieldのコースワークは優秀な生徒を背景に科学的探究の4つのスキルを強調する中でもとくに高度な後ろの2つ(AnalyzingとEvaluation)を重視したので、すべての生徒を対象とするモデルとしては普及しなかった。

### 実験テストの経過

80年代の終わり頃、われわれは生徒の実際的な実験スキルに強い関心をもっていた。温度計が読めるか、これとこれができるかなど、チェックシートのようなものを用いて細かくスキルを評価していた期間が数年間あった。それ自身は重要なことだとしてもあまり生徒の科学的探究について多くが得られないことがわかった。何かをしようとして、それがうまくいかないと、すべてを破棄して、まったく新しいことを導入しようとする傾向があるので、それまでの重要な事柄を保持したまま、その上に積み重ねていくようなことにならない。そこで、そうした実験スキルのチェックはまったく行われなくなった。

しかし、教師たちがチェックシートでスキルを評価することを否定するとしても、科学者が実験装置を正確に読みとることは不可欠であるように、実験スキルをテストすることは科学の学習の大切な一部として重要であるので、われわれはいかにすればそれら大切なことがらを正当化して取り込めるかを探し求めている。

## 科学的探究重視の政策の妥当性

われわれが実行してきた事柄の多くは、それがベストかどうかのシステムティックな調査研究（リサーチ）に基づいて判断するよりも、むしろ、実行した後の結果に着目して、それがうまく機能しているかそうでないかを判断している。例えばコースワークの効果をリサーチするには2年とか5年とか10年といった期間が必要となるが、別の調査ではこの3年間にイングランドにおける科学的探究能力(領域1)はずっと高まったという結果が出ていることは、効果を示す証拠だ。かなり多くのリサーチが大学を中心に行われていて、その一部はわれわれの実行していることに直接関係するものである。2000年の約6ヶ月間、**Key Stage 3**のアセスメントをレビューしたときに、研究者を招いて、リサーチからわれわれにどんなことが言えるか、科学のアセスメントを改善するために何をすべきか、など意見を求めたが、彼らは皆、科学のアセスメントをよくするためには、物理や化学、生物の**知識理解を問う問題をより少なくして、科学的探究のスキルを用いる問題をより多く取り入れるべきだ**と述べた。われわれはリサーチからは現れてこない課題に取り組む一方で、行われているリサーチに耳も傾けている。

## 研究と開発

われわれ自身がリサーチをするわけではないが、外部のリサーチを取り入れたり、必要であれば、コミッションリサーチ（委員会式の調査研究）を行ったりすることで、われわれは知りたいことをはっきりさせる方向に向かいつつある。

例えば、ナショナルテストでは、すべての14歳が科学のテストを受けるが、われわれは昨年夏、大学に委員会へ参加してもらい、数千人の答案を調べて、どんな生徒に問題があり、それがなぜなのかを教えるよう依頼した。それによって、レポートを作成し、すべての学校に配布した。生物に関しては「生徒はこの領域に困難を感じているので、この領域の授業について考えましょう」といったように。

## ナショナルテストの経過

科学のナショナルテストはたぶん1994年に始まったが、当初は学習プログラムに盛り込まれた実践的な学習とスキルはテストではなく教師の評価による方がよいとされていたのでテストでは問われなかった。しかし、テストで問うことによって教師が科学的探究スキルを強調した授業を行うことを促進しようとしたのだ。2000年から科学的探究スキルの評価を意識した問題をいくつか導入し、2003年（本年）から本格的に科学的探究スキルの評価のために設定された問題を導入するようになった。そのため、昨年はかなり時間をかけて多くの教師や教師教育者や関係者たちと問題を検討した。

## ナショナルテストの問題作成

GCSE 試験と異なり、ナショナルテストの問題は、数千人の生徒で予備調査を行い、多くの統

計データを検討し、問題に問題点がないか、どのくらい難しいかなどを検討する。約 2 倍の数の作成問題を 2 回の予備調査を経てテスト問題を作成している。ある問題が別の問題の前にあるか後ろにあるかも重大な検討対象となる。Key Stage 2 のテスト (45 分×2 ブックレット) では、生徒はすべて同じ問題を受ける。Key Stage 3 のテスト (1 時間×2 ブックレット) では、生徒のレベルに応じて、用意された低い段階(lower tier)とより高い段階(higher tier)用の 2 種類のいずれかを受けるが、それらの 50%の問題は共通問題である。Key Stage 2 のテストでは、1ブックレット当たり 40 点で、合計 80 点である。Key Stage 3 のテストでは、低い段階のテストは1ブックレット当たり 90 点で、合計 180 点で、高い段階のテストは1ブックレット当たり 75 点で、合計 150 点である。問題は、すべての生徒にアクセシブルなものとなるように、写真や図を重視して、文章に依存しすぎないようにしている。知識への比重を軽くし、科学的探究のスキルやプロセスを問う問題をより取り入れている。テスト結果を基に、授業改善へ向けた教師用の研修教材を作成している。

### ナショナルテストの今後

ナショナルテストを悉皆でなく抽出で行うかどうか実際に議論されているが重要な問題だ。現在のように教師が自分で評価して診断的結果を得ることができるものとするか、評価の客観性を重んじて外部の評価者に評価を委ねるかも重要な問題だ。人を介さずコンピュータを用いて評価しようという動きもある。ナショナルテストも GCSE も、次の 5 年で科学の評価形態は変わるだろう。そのための多くの作業も必要になるだろう。先日も IT を活用した新たなタイプのテストのデモがあった。

## 第 2 回目 (2003 年 9 月 30 日)

### コースワークのモデレーション

現在 QCA が考えていることは、コースワークの実施やモデレーターがどのように機能しているかということである。現在教師が全ての責任をおっている。今までにはやっていなかったことだ。彼らはモデレーターの専門家ではないが、自分が教えているコースワークの採点だけでなく、構内でのモデレーションや他の学校とのモデレーションも行わなくてはいけない。かつて自分が教えていたときもそれをやっていたが、大変責任の重いもので問題を抱えている。どの試験機関に属するかによって異なるが、自分の勤めていた学校について言えば、6 つの学校がグループになっていて、2 ヶ月に 1 度の割合で各校のコースワークを持って集まり、基準をあわせていた。ある試験機関は、年度末のみにコースワークを提出することを要求していたが、その時点で各校の採点基準が違っていた場合には、採点結果が大きすぎてしまうことになる。基準に従って採点することは非常に難しいことで、基準をそろえることは時間のかかる大変なことである。

## コースワークによる評価の大切さ

しかし、わが国のほとんどの理科教師は実技を行った結果が試験に組み込まれていることを良いことだと受け止めている。生徒もまた、その必要性を理解している。実験を考えたり、結果を振り返ったり、それを表現するといった探究活動の全般的な側面は筆記試験では評価できないものである。(NCのスタンダードに即して、採点していくというシステムが、よく機能しているというコメントに対して) 男子に良くあることだが、作品の「見栄え」は良くないが、科学的な中身としては、十分基準を満たしているというような場合がある。丁寧に仕上げることや美しく色分けすることを求められているわけではなく、科学をどのように使っているかできちんと得点が与えられるのだ。女子はじっくりと丁寧に取り組むので、コースワークは女子に有利だという声を聞くが、科学についていえば、理解していることを比較的短い文章で表すことができるので、それほど差はないであろう。英語、歴史、地理といった教科では、大掛かりな研究でかなりの分量を要求されるが、科学のコースワークはある特定の分野に焦点化されたものであるから、30 ページものコースワークが必ずしも良いとは限らないのだ。インターネットから膨大な情報をダウンロードしただけのものであるかもしれないし、教科書からの引用かもしれない。コースワークは一部家庭でもやることができるので、教師は専門性を持ってこれらの作品を評価しなければならない。

## GCSE の POAE システム

POAE は科学的探究のひとつの過程であるから、「これは実際の探究活動の過程ではない。」という批判もある。我々もかつては全ての実験で、この過程を踏まえることを要求していたが、今ではその実験に適した POAE のある特定の部分を取り出して教えることもありえるとしている。ただし、最低 1 単元は POAE 全ての過程を通して行うことにしている。GCSE においては、3 つのコースワークをそれぞれ POAE の 4 つの部分に分割して、各部分の 1 番良い得点を合計することができるようになっているが、各コースワークの少なくとも 1 つの得点は合計に含めなくてはいけないなど、細かい決まりがある。これによってある特定の分野に偏ることなく学習が進められることになる。

## 小学校からの POAE システム導入の検討

GCSE においてこのような枠組みで学習を進めることについては、この 2~3 年で教師によく理解されてきたと思う。現在私が考えていることはこのような POAE システムによる科学の学習を小学校や、中学校の前半の、もっと早い段階から導入できないかということである。小学校段階でも、多くの実験が行われているのだが、このようなシステムにのっとったものになっているとは限らない。この学習の枠組みが、14 歳の段階で突然導入されているのだ。中学校においても 11 から 13 歳の間はこのようなシステムで学習を進めていないのである。望ましい導入の仕方ではないと思うが、全ての学年を通してこのような学習が推進されるようになることを狙って、ナショナルテストにこのタイプの問題を導入することも考えている。さらにナ



ショナルテストは各 **Key Stage** の終末にしかおこなわれないので、小学校段階や、中学校の前半の段階で年間を通してどのようにしてこのシステムを用いるのかを説明した手引書を刊行する予定である。とくに領域 1「科学的探究」の分野を教師によく理解してもらうことが必要である。数こなすことが必要なわけではなく、いかにして技能と結びつけるかということが大切なのだ。NC（ナショナル・カリキュラム）の **Level** をよく理解してもらうということである。GCSE において C グレードが意味することはわかっているようだが、領域 1「科学的探究」の **Level4** が何を意味しているかについての理解は十分ではない。このことが良く理解されていないから、指導も不十分なのだ。

### NC 導入後の小学校における指導の変化

中学校段階には大きな変化はなかったが、小学校段階についてはかなり大きな変化があった。NC が導入される以前は各学校が独自の方法で教育を行っていた。しかし NC が施行され、ナショナルテストが行われるようになってから、それらは行われなくなった。午前中の授業は算数、英語、それに週 2 時間程度の理科といったように、より計画的なものになった。小学校教師は、授業の創造性を奪うし、子どもが楽しんで学習しないという理由からこれを嫌ったが、教育水準は上がった。あれから 10 年がたつが、現在教師は見直しを始めており、あるときはフォーマルな形の授業を行い、あるときはより自由度の高い授業を行うようになってきている。Ofsted はフォーマルな形で子どもたちが教育されることを望んでいたのだから、教師はそれに従っていたのだ。3～4 年前まではきちんと並べられた机に座って、とてもフォーマルな形で授業が行われていた。それは QCA や Ofsted がそのようにさせたためだ。最近は教師が自信を持って違った方法で、NC が要求する内容を教えることができるようになってきている。NC 以前に行われていたトピック学習のような、より創造的な授業を目指して、教育課程を変える学校も見られるようになった。全てを、同じ方法で行うというのではなく、あるときはフォーマルにまたあるときは自由度の高い授業形態というように、効果的な方法を組み合わせるようになってきたということだ。しかし実績を上げていけば何も問題はないのだが、もしうまくいっていないことになれば、Ofsted はフォーマルに教えることを要求するであろう。それは創造的に教えるというのはとても難しいことであり、教師にかなりの力量が必要になる。フォーマルに教えていたほうが、確実だということだ。特に理科においては、小学校の教師は理科専攻ではないことが多いので、彼らはフォーマルに理科を教えることを好む。もし教師が優秀な科学者であればそのような教え方に縛られる必要はないであろう。先日あなた方が訪問した学校の副校長などは大変科学に造詣が深く、ICT をどのように理科の授業の中で生かしていくかというようなことまで考慮する能力がある人物である。彼の学校は小学校のあるべき姿を示すモデル校である。（日本の総合的な学習の時間について）教科を超えて技能の育成を図るという目標を達成するには優秀な教師が必要である。教科内に焦点化してそれらを行ったほうが安全で、容易であろう。日本の学校では学力差に応じたクラス編成は行われていないだろうから、それはより困難になるであろう。

## 学習の様子の記事

基本的には学校に任されているとあってよい。学校に対し法的に要求されるものは、各 **Key stage** の終わり（7 歳、11 歳、14 歳、16 歳、18 歳）に成績についての報告書を作成しなくてはならないことのみである。というのも、教育活動というものは連続的なもので、11 歳から 14 歳までの 3 年間は学校としては成績を把握しておかなければならないが、1 年ごとのテストのために準備するといったものではない。我々は到達度を把握するための資料を提供しているが、単元ごとに到達度を把握するというのが効果的であろう。（これは、NC の記述が、学年ごとではなくて、**Key stage** ごとに記述されているためであろう。）特に中学校段階では、テストばかりやって、有用な情報は少しも得られないという悪い評判もある。自分もやってきたことだが、中学校の科学部門はとてテストが好きで、単元ごとにテストをやって、その成績は数字に置き換えられて蓄積されているわけだが、有用な情報が得られない。教師は学年ごとのテストをつくってくれるように **QCA** に要求してくるが、我々はテストを作成するつもりはない。もっと適切な教育活動に心がけてほしいとっている。テストの成績をいくら蓄積し、保護者会で説明したとしても、それをどのように伸ばしたらよいかという話にならないかぎり、意味がないことだ。**LEA** や **Ofsted** が評価について助言を与えることはあるが、基本的には学校に任されている。**Ofsted** の査察官が理科の授業について調査にきたとしても、生徒の成績を見るよりは、どのように教えているかということのほうに興味があるだろう。生徒個々人の成績は校内の資料として残してあるだろうが、公的に報告するようなものではない。自分の娘も **Key stage 1** のテストを受け、そこそこの成績だったのだが、将来 **Key stage 2** のテストが終わったときに学校は娘がどの **Level** にあるかということはいってこないだろう。学年の終わりにテストを行っているのだから、学校はわかっているはずだが、それについては明らかにしない。自分が微妙な立場にいる（**QCA** で働いているということ）ことはわかっているけれども、親としては **Key stage 2** を半ば終了した娘がどの **Level** に属しているかということは、とても関心のあることだ。しかし保護者会において、よくバランスが取れているとか、どのような援助を与えると良いかという話はしてくれるが、**Level** について話されることはない。どうして話しにくいかということも理解はできるが、いくつかの学校は学期末のレポートで子どもの **Level** を教えてくれるらしいが、ほとんどの学校では教えてくれない。

### Key stage 間での評価基準の共通性

**Key stage** で基準が異なっているのではないかという批判もある。私の娘は 7 歳のときに **Level3** だといわれたが、**Key stage 2** に進んだときに **Level2** だといわれることもありえるのだ。**Level3** のままだといわれるかもしれない。**Level** はゆっくりと上がっていくものだから、各学年の終わりに **Level** を通知することについて学校側はとて慎重である。中学校にいくと **Level** がぜんぜん違っているという意見もある。小学校の採点は甘いというのだ。

現在学校は全国的に生徒の成績だけでなく、どれだけ生徒を伸ばしたか (**Value-added**) という

点でも評価されている。したがってすでに優秀な生徒が入ってくる私立学校の **Value-added** はそう高くはないだろう。反対に、標準的な公立校で成績の振るわない生徒を伸ばしてやることができれば、**Value-added** はとても高くなる。問題なのは、各 **Key stage** で **Level** の基準が同じにならないということだ。教える内容が違っているので、**Key stage 2** において **Level 5** と判定された生徒と、**Key stage3** において **Level 5** と判定された生徒が同じ能力ということにはならない。原則的には 5 歳から 14 歳までの範囲で共通した基準となるように **Level** は作られているのだが全く同じにはならない。**GCSE** はその次が **A** レベルで、もともと違う基準で評価されるわけだから、このような問題は起こらない。

### ティーチング・ストラテジーについて

ノートの指導だけが特に重要視されているわけではないが、特に英語と算数においてフォーマルな形の授業を進めるために、4～5年前から政府によってティーチング・ストラテジーが導入された。これは教師に授業の進め方を非常に細かく示したもので、このストラテジーに沿った授業が今も進行中である。英国の小学校では現在全ての学校の全ての学級で英語や算数のストラテジーに沿った授業を行わなくてはならない時間が設定されている。この 2, 3 年で少しは柔軟になったとはいえ、当初は教師の猛反発に会った。しかし学力は向上したのだ。だから、最近の教師の意見は、それ自体そんなに悪いものではないけど、もう少し柔軟にやりたいという風になってきた。彼らはそのように教えるのが好きではないが、英語力や計算力は上がってきているようだ。政府はもっと早期に解決できる見通しだったようだが、まだ解決までには至っていない。わが国では極端に学力が低い生徒の存在が問題になっている。

### コースワークは女子に有利か

男子は女子ほど好きではないと思うが、理科の場合はそうでもないと思う。というのはたとえ 30 ページものコースワークを作ったからといって中身がなければしょうがない。これまでに何人かの賢い男子を教えてきたが、彼らはそんなにたくさん量は書かない。しかし内容は理解しているので十分なのだ。

理科のコースワークは膨大な量の文章を書くことを要求しない。別に書いてもかまわないが、それによって得点が高くなるということではない。美しく仕上がってなくても、きちんと実験をやって、何をやるかを理解していて、グラフなどに結果が表現できればそれでよいのだ。実験の客観性について述べるような場合でも、他の教科に比べればその分量はずっと少ない。理科のコースワークは男子も良くやっているというのはそのような理由によるのだろう。

### インターネット情報を締め出す対策について

全国的にそのような措置がとられているということは決してない。学校によってはすべてのコースワークを教室で行わせるなどして、そのような情報にアクセスできないようにしているとこもあるようだ。しかし、情報を得ること自体は悪いことではなく、書き写すことが問題な

のだから、どの部分が引用によるものかということについては教師が専門性を持って判断することだと思う。これまで非常に成績のよい生徒に対して、特別なテストを行ってきたが、今年からはそれをやめて、発展的な課題を提示することにした。ネット上には、どのようにして研究を進めるかということや、評価の基準などを示した一覧、そしてコースワークの実例も載せている。ある人は、賢い生徒はその実例をダウンロードして自分の作品として提出してしまうのではないかというが、教師がどのように対応するかということが大切なのであって、文献やインターネットで情報を集めるという活動を制限し、情報を隠すということは適当でないと思う。このような情報にどのように対応するかということは、問題にすべきだと認識はしているが、程度の問題ではないだろうか。

### 諸外国でのコースワークについて

コースワークを用いているかどうか詳しくは知らないが、スカンジナビアの国々では、教師の評価を重視した試験が行われているようだ。毎日の観察から、実技等も含めて生徒の能力を判断し、試験によらず教師がグレードを与えるシステムになっている。

### コースワーク導入に伴う困難

GCSE が始めて導入された年には、試験機関によってコースワークの配点が異なっていた。ある試験機関は50パーセントもあったし、ある試験機関はコースワークを取り入れなかった。そして、実技を重視して高いグレードを与える試験機関と、そうでない試験機関とに不釣合いが生じ、公平さを欠くものになった。そこで現在では20パーセントに統一している。これは試験においてそれほど多くの部分を占めるわけではないが、この部分があることによって、すべての生徒が実技を義務付けられることになる。いまはどのような決まりになっているか確かではないが、実技を行わない場合は、グレードを与えないという決まりになっていた。**20パーセントという割合はそれほど大きいものではないが、必ずやらなくてはいけないということがポイントだ。**大変成績の良い生徒は、コースワークをやらなくても、最高80パーセントまでの得点を得ることができる。そうすると、コースワークをやらなくてもAのグレードを得ることができるという計算になるが、そういう事態にならないように、コースワークを行わなければ、受験資格を与えないようにした。

一方でコースワークの導入によって試験のときのように、成績に差が出なくなるという理由で敬遠されたということもある。2年間で行ったコースワークの中で最も良い物を提出すればよいということであれば、大体どの生徒も半分は得点できるのだ。コースワークの配点は満点の場合、全体の20パーセントだが、ほとんどの生徒の得点はそのうちの9パーセントから16パーセントの間に集中している。試験であれば、ほとんど解答できない生徒と満点の生徒の間にばらつくが、コースワークは得点の範囲が大変狭い。ただし**生徒にそれをやらせるという効果がある。**教師がコースワークを嫌っているのは、コースワークをやらせても、みんな同じ得点になってしまうからだ。Aレベルのコースワークについても同じようなことがあって、はっ

きりとは記憶していないが、配点は 20 パーセントだが、5 パーセント程度の重さしかないといわれている。コースワークの得点が全て似通ったものになるためだ。しかしコースワークは必ずやらなければならない。

多くの中学校はコースワークに対して積極的ではないもうひとつの理由は、もともと試験で良い成績が取れない生徒に、何とかがんばらせようという目論見もコースワーク導入の理由のひとつだったのだが、肝心のそういった生徒たちはそれをやりたがらないということだ。一般的な公立学校で下位のグループの生徒の様子を思い浮かべればわかることだが、私自身、そのような生徒を無理やり席に着かせてコースワークをやらせることに何時間も費やした。それほど大変なことではないと思うが、そんなことをしていると授業に出てこなくなってしまう。書いたり、家で残りを仕上げたりといったことは嫌いなのだ。やりたくもない生徒にやらせるために何時間も使うのは時間の無駄だという教師もいる。しかし、試験の一部になっていることで、教師は必ずそれらのことを指導しなくてはいけない。

試験機関は優秀なコースワークを出版して、採点方法の参考にしてもらったり、実際の基準がどのようなものかということを知らせたりしている。試験期間の発行するそれらの例は、実際の生徒の作品ではなく、大学の教授か何かが書いたものだろうという人がいるが、実際のコースワークはその程度のレベルにある。生徒はそれぐらいのことができる能力を持っているということだ。

### 年少段階からの科学のプロセスに関する指導

私は 84 年から教え始めたが、その時点でも生徒は多くの実験に取り組んでいた。しかしそれは組織化された方法では行われていなかった。そういった方法を教えることに本気で取り組んでいなかったからだ。そして今我々が狙っているのはその方法を 14 歳よりもっと早くから導入することなのだ。7, 8, 9 歳ぐらいの段階から科学のプロセススキルを導入していきたい。小学校の教師には、理科授業やテストの内容について昨年ずいぶん話をした。小学校の教師は一般的に理科の素養が十分ではないし、実験機器もそろっていないということで不安な様子だったが、小学校の理科は、ぜんまい仕掛けの車のおもちゃでどんなことが教えられるかということなのだ。「ぜんまいを 5 回巻いたら何メートルいくか予想してみよう。」「それをどうやって確かめたらよいだろう。」「車が進む距離はどんな要因の影響を受けるだろう。カーペットの上と、床の上では違った結果になるだろうか。」このように**実験室などの特別な環境**で行わなくてはならない様なものではなく、誰にだってできることなのだ。ただ、計画することや条件を統制すること、科学的な用語を使って表現することや結果をきちんと記録することなど、**科学の方法というものをきちんと意識した活動**になっていれば良いのだ。科学的なプロセスの教育が小学校段階で重要視されていることで、ナショナルテストにも科学機器を使った問題を入れることはなく、日常の事象から科学的な能力を測ろうとしている。

### 教育省と QCA の関係

QCA は教育省に対して助言したり、NC の実施状況を調査したり、ナショナルテストを実際に作ったりしている。ナショナルテストの実施については QCA が国の示した到達度にあうような形で、問題の難易度を操作しているのではないかという人がいるが、われわれは完全に独立した組織である。QCA が GCSE を廃止したいといったら、それは 6～7 年後には起こりえることだが、政府はわれわれに調査書の提出を求めるであろう。われわれは試験機関や学校に対して調査を行うことになるだろう。そしてその調査に基づいて答申はするが、実行に移すかどうかは政府が決めることである。政府が決定すれば実施するのはわれわれである。一般的に教育省の人間は教育の専門家というわけではないから、学校現場や試験機関、地方教育行政当局などから集まってきているわれわれが実際の政策を動かしていく役割を担っている。

### GCSE の問題点

16 歳の段階が問題になっている。学力の低いほうの下から 4 分の 1 の生徒は何の資格も持たないまま学校を出てしまう。GCSE はそれに取り組む学力を持たない生徒にとっては何の意味も持たない。これがひとつの問題である。また、もう一方で優秀な生徒にとって GCSE は簡単すぎるのだ。全員が受験可能な単一の試験として開発されたため、すでにグレード A では対応しきれなくなっていて、A\* というグレードをつくった。しかしこれもまた 10 個の A\* を取る生徒が続出しており、対応を迫られている。GCSE を改善するイメージとしては、コースの選択を始める 14 歳のときに 16 歳までを見通すのではなくて、18～19 歳ぐらいまでの期間を見通して、学問的なコースや職業的なコースなどの生徒が望む多種多様な履修コースを用意すればどうだろうか。コースワークはいずれのコースにも対応できるものだろう。GCSE は中間層にはよいシステムだが、下位層と上位層にいる生徒にとっては問題がある。数は多くないが、いくつかの学校は意味がないといって GCSE にまったく取り組んでいない。そのかわりに 15 歳の生徒に AS レベルをやらせている。GCSE は彼らにとって挑戦する価値がないものなのだ。現段階でもいくつかのコースは用意されているのだが、一般的に 14～16 歳までは学問的な教え方をされるコースに所属していて、成績がよくなければ就職したり職業コースへ進んだりするという状態だ。14 歳の段階でよくわからない生徒は本当に意欲を持つことが難しい。したがって、20 年ほど前のシステムに戻るようなものだが、中学校と大学が共同して学問的な部分と職業的な部分を少しずつ体験するようなコースを開発してはどうかといわれている。2 年間という短い期間で教育を考えるのではなく、もっと長い期間を見通して考えていこうとしている。まだ何も始まってはいないが議論は高まっている。ある政策担当官はすでに 10 年以内で何とかしようといっており、GCSE をなくした後、どのようにやっていくかという問題について QCA では調査が進んでいる。

### 科学が重要視される理由について

地理や歴史についてもどうしてそれが重要なのかということはよく語られることであるが、特に科学が中心に語られるのは、経済的な理由によるものであろう。科学者が必要であるし、

科学嫌いにしてしまえば科学に取り組む人材もいなくなってしまうだろう。

### 教員養成制度について

校内の教員研修について QCA としてかかわってはいない。教員の養成制度は大まかに3つのコースがあるといっていよう。教育学士としての3~4年のコースがあるが、これは中学校の教師が取るルートではない。ほとんどの中学校教師は、専門分野で学位をとった後 PGCE に進んで教員免許を取得する。最近では1年間の現場要請コースもある。これは大学卒業後、すぐ現場に入り、指導を受けながら資格を取れるコースで、給料も支払われる。私は教員の養成に携わったことはないが、個人的にはよくないシステムだと思う。しかしある意味でこれは有効な方法であろう。大学を出てすぐに現場で教えることに耐えられれば、その学生は優秀だということだ。しかしコースワークについて学ぶ時間はほとんどない。30~35週間のコースのうち20週間は学校にいる(教えながら)。PGCEのコースであっても学校にいるのは20週間である(純粹に学生として)。短い期間に非常にたくさんのものを吸収しなくてはならないということだ。コースワークのモデレーションなどが行われる4、5月に学生は学校から離れてしまうので、それについて学ぶ機会はほとんどない。教員養成の誰に聞いても、きちんと養成するには時間が足りないというであろう。教師になってから学ばなくてはならないことが非常に多い。コースワークの採点基準を理解することはとても大変なことだし、採点するだけではなく、その基準に沿って、教えなくてはならないわけだから、本当に大変なことなのだ。なお、卒業してすぐに学校に配属された場合は最低賃金しか支払われないが、何らかの職歴があればそれは考慮に入れられる。



QCA の Clesham 氏(左)



## 第2節 Edexcel(資格授与機構)インタビュー記録(2003年9月26日)

### コースワークの定義と概要

コースワークとは評価の対象になるレポートのようなもので、**Internal Coursework** と **External Coursework** に大別される。**Internal Coursework** は教師が評価を出すもので、**External Coursework** は教師および、授与機構が評価を出すものである。要するに外部評価を受けるということである。外部評価には試験も含まれる。**Internal** とは内部評価のことであり、各学校や、カレッジで評価される。

コースワークは実技的なものや、探究的な学習によるもので、**IT** などのコースでは、探究的ではあるけれども、作品を作るといった実技的なものではなく、内面的な探究活動であるから、コースワークが常に実技的であるとはいえない。ただ、講義を聴くというような受身の学習から生まれるものではないといえる。

評価はまず教師が行う。**BTEC**(技術系の高等資格)では他の教師も評価の確認 (**Verify**)に加わった後、授与機構が評価を行う。**GCE** や **GCSE** では学校内での確認は必ずしも必要なく、教師が評価をした後に、授与機構が評価を行う。

コースワークというのは、生徒の学習の過程から生まれた作品という意味である。

**GCE** や **GCSE** では設定された観点にしたがって採点が行われる。その観点とは、計画、評価といったものである。

化学でいえば、コースワークのいくつかの例を授与機構が各学校に示す。示された例の中から各学校が選択してコースワークに取り組む。各学校で独自のものに取り組むことはできるが、コースワークの内容とその評価方法を事前に授与機構に提出をして承認を受ける必要がある。これは大変なことであり、**99** パーセントの学校が示された例の中から選択して、コースワークを行っている。

**GCE-A** レベルなどでは、**Internal Coursework** か **External Examination** かを選択することも可能で、コースワークをやらない場合もある。

**A** レベルの化学のコースワークガイドの中にはいくつかの実技の例が示されている。**Edexcel** の仕事の一つとして、指導に役立つ資料を教師に提供するということがある。一般の出版社は、学生への参考書の出版を行うことが多いので、**Edexcel** では教師への援助を主な仕事としており、これら数多くの出版物は、注文すれば手に入れることができる。**BTEC** についても同様に多くの参考書を出版している。

**GCSE** では、1つの研究課題を提出するが、**A** レベルの化学では、少なくとも**10**の実践的学

習の成果のうちでよいもの 4 つを採点して授与機構に提出する。

これは化学を例にしたときの話で、教科ごとにそれぞれ特徴がある。生物や地理では、野外調査などを取り入れているので、実技（のコースワーク）とは異なったものになる。

BTEC はまた異なった評価を行っている。コースワークではなく、2 年の学習成果のすべてをポートフォリオに集積してそれを提出する。ポートフォリオの内容は各人の取り組んだ課題によって、多様なものになる。実技、野外調査、職場での体験、実験室の設計、職場における管理情報システムの利用等さまざまなものを含むであろう。

BTEC も高いレベルになると微生物学とか遺伝について、また有機化学や無機化学、物理化学についても学ぶが、これらは学問的な学習とは違って、「素材」や「高分子」といったものを実技的な学習を通して学ぶもので、深まりのあるものだ。

実験室運営というコースもある。実験助手の役割について学ぶもので、物理、生物、化学の知識以外に、実験助手の仕事内容や、実験器具の組み立てなどについても学習する。

GCE、GCSE では、コースワークを最後の年の 2 学期にやることが多い。それはそれまでの実技によって経験が豊かになっているからである。GCE-A レベル化学を例にすると、いくつかの実技をやった後に評価を受ける実技（コースワーク）を 1 学期の末から 2 学期にかけて行う。

GCSE や GCE のコースでは、週の授業時間のうちの何時間かを研究課題（Assignment）に使う。これは試験に備えて知識理解を進めておかななくてはいけないためである。BTEC のコースでは、ほとんどの授業が実技か、課題追究のために使われる。

GCSE におけるコースワークの配点は 20 パーセントであるが、授業時間の 20 パーセントを使うというわけではない。コースワークの中のいくつかの部分は、家庭で行うことも可能だからだ。

実技のような授業においては、授業中にある程度の評価を行うこともあるが、レポートの採点を行うのは、授業が終わってからや、帰宅後、週末ということもある。

授業中での観察のポイントとしては、安全にやっているかということや、実験器具が正確に組み立てられているかというようなことである。

レポートのみに評価が集中すると、実技をやらずにレポートを書いてしまうのではないか。

コースワークに入る前に、その練習になるような実技を十分に行っている。コースワークと全く同じ課題を行うわけではないが、コースワークをするための技能の向上につながるようなものである。そのような例を与えておかないと、コースワークをうまくやることはできないであろう。(GCSE,GCE)

## コースワークの不正防止について

これらの情報は教師のためでもあり、生徒のためのものでもあるが、これらが不正に使用されることも考えられる。IT について学習しているときなどには特に気をつけることが必要だ。いくつかの学校では手書きのコースワークの提出を求めている。ダウンロードした情報をそのまま提出するのを防ぐ意味がある。単に書き写してしまうことをどうやって防ぐかという問題もある。難しい問題であるが、重要なことである。

すべての活動を学校でやらせれば防ぐことができるであろう。また、GCSE や GCE ではその作品が確かに自分の手によるものであるという署名を求めている。両親が署名に加わる場合もある。不正が発覚すれば、不合格となり、授与機構はそれ以上の試験を受けることを拒否する。こういった試験の不正の問題は、U.K.だけでなく、世界各国で問題になっていることである。

生徒が自分のコースワークを売りに出すということも考えられる。しかしこれらの不正に関する試みはたいてい失敗に終わる。というのも、教師は生徒のことがよく見えているからだ。日常の能力、試験の結果や実技の能力から考えて、そのコースワークがかけ離れて素晴らしいできばえのものであったら、「これはあなたの作品なのですか。」ということになるだろう。教師のこういった判断を信用している。

インタビューをして作品が本当にその生徒のものであるか確かめるようなことはしていないが、教師が評価について研修する際には、どのようにしてこれらの不正を発見するかということについて話し合っている。今まで使ったこともないような言葉が出てきたり、綴りの間違いが全くなかったりするということも「他人の作品ではないか。」と考えるきっかけとなる。教師は日ごろからその生徒の書きぶりをよく見ているからだ。教師のこのような判断を信用している。

他の生徒も不正について教師に告げるであろう。「自分は B をもらったが、彼は不正をして A をもらっている。」というような事態になれば、本人の目の前では言わないにしても、教師に訴えて来ることが考えられる。

このような不正に関することを考えれば、試験のほうがコースワークより安全であろう。コースワークは生徒、教師、校風、そして採点基準などを信用して成り立つものである。

## 実際的な活動が生徒を動機付ける

しかし科学を好きにさせるひとつの大きな要因として、多くの実習を行うことがある。理論的な側面を無視するわけにはいかないにしても、より多くの実技を取り入れることが生徒を動機付けることにつながるであろう。実技だけに限ったことではない。もっと探究的に授業をすることも大切である。ただ前に立って、知識を伝達するのではなく、生徒とのやり取りの中から授業を進めていくことが大切だ。

私も BTEC コースを担当したときに、学問的な側面ばかりを教えていた。GCSE や GCE に見られるような、「教えて、試験する。」という形態の教え方であるが、この教え方になかなか馴染めなかった。ある程度経験を重ねていくうちに、実技を入れたほうが生徒の興味をより喚起して、強く動機付けられることがわかってきた。そして生徒に「自らが学習を進めている。」という感覚を持たせることができた。

ただし、A レベルをやっている生徒は、もっと知識、理解に重点化した授業を好んだ。彼らの望む学習形態は、また違ったものである。おのおのの生徒の目標に合わせる事が重要である。

しかし、学問的なコースであろうと、職業的なコースであろうと、実技というものは必要であり、それがなければ科学はつまらない教科になってしまうだろう。座学だけで教え込むことのできる生徒も一部にはいるが、科学は実際にやってみて学ぶ側面が強い。だから科学は全員が学ばなくてはいけない教科なのに、やる気のある生徒は少ないという問題がおきているのだ。うちの娘も科学はつまらないといっている。それは十分な実技を行っていないからだ。事実を単に教えるだけで、それが実際にどのように働くかということを実験室で示していないのだ。

私は今机の前に座って仕事をしていることが多いけれどもトレーニングコースで学校現場へ出たときなどは、実験器具に触りたくなる。以前学校で生徒と実技をすることがとても楽しかった。実技をする機会を奪われてとても残念である。

**試験においてコースワークがなくなったら、学校における実技も減ってしまうか。**

それは基本的には正しくないことだ。よい教師であればそんなことはしないであろう。実技は、科学の授業の基本的な部分を支えており、生徒を動機付けているものだからだ。しかし、これは必要ないといって、実技を減らす教師が出てくるかも知れない。試験の中で実技的な側面をテストすることは可能であるが、やはり実際に実験してみるのとは違ってくる。アフリカの国々などでは、実験のための設備が十分でないから、授業で実技について（口頭で）教えることになってしまうし、アメリカでは、コンピュータシミュレーションで、実技を行う試みもなされているようだ。しかしこれらは、五感を使って実際に行ってみるものとは異なるものだ。大変危険な実験ならまだしも、実際にやらせてみるべきことだ。私は古いタイプかもしれないが、実験が好きでこの道に進んだ者である。

**コースワークの評価の客観性を高める**

実技の採点は、グレード別に採点方法を示したものがあり、すべての教師はそれを参照して採点しなくてはならない。実技の多い BTEC のコースでは、授与機構が採点する前に、学校内で評価を交換して二重にチェックするようにしてある。GCSE や GCE では義務付けられたものではないが自主的に行っている学校もある。その生徒が好きであるとか嫌いであるとかの主観的な判断から離れて、客観的になることを求められる。これを「職務上の判断」と呼んでいる。これに従って教師は評価しなくてはならない。

授与機構はある程度の許容範囲を持って各学校の評価を受け入れているが、その許容範囲を超えた評価が提出された場合には、授与機構から試験官を派遣して、コースワークが適正に評価されていない旨を伝える。GCSE や GCE ではすべてのコースワークを提出して、チェックを受けることになる。

いくら評価方法についてのガイドを配布したとしても、評価を客観的に行うということは難しい。だから授与機構ではコースワークに用いる実技の例を示し、評価方法についての情報を提供する。また、学校の評価システムもチェックする。これらが GCSE タイプの試験について授与機構ができることである。教師の評価技能を高めるためのセミナーも開設している。そこでは、実際にいくつかのコースワークを評価してみて、試験官の行った評価と自分の評価との違いを知り、許容範囲内で評価が行えるように訓練される。

#### コースワークの配点割合(20パーセント)の適切性

それは教科の特性によるので一概には言えない。BTEC、社会学、芸術、などそれぞれ違った割合になるだろう。社会学では少ないだろうし、芸術関係ではもっと多くなるだろう。その教科の目的にあわせることが必要だ。

#### コースワークの指導過程における教師の助言の許容範囲について

(GCSE,GCE について) コースワークを書き終えた後で、それをいったん提出し、そりよいものにする機会が与えられる。(通常は一回。)教師は「これとこれとこれを書き加えなさい。」といったように具体的なアドバイスをしてはいけないが、「序言の部分の引用が十分ではない。」とか、「論点が明確ではない。」などの概括的な助言は与えることができる。いったん正式にコースワークを提出すると、その年度内でやり直す機会はない。

授与機構は学校から出された評価について審査し、高い得点を与えすぎていると判断した場合、その評価を下げるということもある。たとえば提出された20人の生徒のコースワークがすべてAの判定であるとする、「これはおかしい。」ということになる。一般的に成績には、正規分布どおりにならないとしても、ばらつきが存在するはずで、すべての生徒の判定がAになっていればもう少し(多くの生徒の作品を提出させて)詳しく見なければいけなくなる。成績のよい学校と、そうでない学校ではそのばらつき具合が異なっているだろうが、モデレーターは、疑わしい評価の分布を見抜く訓練をしている。こういった行為をモデレーションと呼んだり、ペリフィケーションと呼んだりする。いずれにせよ、評価の質を保つための行為である。

#### コースワーク評価の教員研修について

教員養成課程において、評価にかかわることはある程度勉強しているとは思いますが、評価の仕方や、成績を上げるためのセミナーなどを当授与機構で行っている。それぞれの学校やカレッジにおいてそのようなセミナーを行うこともある。

NVQ コースの評価を行うためには、そのようなセミナーに参加して、資格を得る必要があるが、GCSE や GCE ではそのような資格は必要とされていない。むかし GNVQ が実施されたとき、すべての教師がそのような資格を得ることが難しかったので、授与機構へ評価を持ち込んだり、私的なモデレーターが生徒の成績をつけていたりしたことがあった。

多くのコースについて、評価や成績向上のための教員のトレーニングプログラムが年間を通して用意されている。これらは全国的な規模で展開されており、ロンドン、バーミンガム、マンチェスターの会場で、各地の教員が参加できるようになっている。

また、経験豊かな教員が新しく来た教員の面倒を見るということがある。新しく来た教員にとって、何の手助けもなしに、評価を行うのは大変なことである。

新しい教員に限らず、評価についてよく理解することは大変なこと、いくら手助けとなるような資料を配布しても、どれだけ読まれていて、どの程度理解されているかということはいわからない。だから、本当は評価に関する研修に参加してもらったほうがよい。研修の間はきちんと聞いていなくてはいけないわけだし、実際に研修の中で評価を試してみる機会も与えられる。

その研修を担当しているのはモデレーターであるから、実際の生徒のコースワークをいくつか保管している。そのコースワークの名前や得点を隠して、参加者に採点させてみる。そして試験官の採点と自分の採点を比較していくことを通して、採点の方法をつかんでいくのだ。QCA には異なった授与機構から評価ガイドを持ち寄って採点方法を習得していくコースもある。

評価のためのガイドは、授与機構からも QCA からも出版されているし、各種の研修コースもあるわけで、評価についてわからないという言い訳はできない。ただそのような研修の機会があるという情報が、きちんと一人一人の教師に伝わっていないということは考えられる。いずれにせよ、研修コースに参加して、教師の行った評価をチェックしているモデレーターと一緒に、評価を行ってみるといことが、最も効果的な研修方法である。そこでは評価に関するとてもきめ細やかな情報を得ることができる。これはとても大切なことで、もし教師の評価が適切でなかったために、ある生徒の成績が悪くなってしまったとしたら、それは教師の責任である。



インタビューに応じていただいた Fincham 氏(左)

### 第3節 小学校インタビュー記録(2003年9月25日)

**【訪問した小学校】** 訪問した小学校は、ロンドン近郊の住宅地にあり、3学年(7~8歳)から6学年(10~11歳)の各学年4学級をもつイギリスではかなり学年規模の大きい小学校である。1998年6月に実施されたOfstedの査察報告書によれば、総合的に良好な評価を受けており、とりわけ「科学」についてはKey stage 2のナショナルテストの結果で全国平均を大きく上回る成績を上げている。中学校が隣接していて、食堂など施設の一部を共用している。小学校では、昨年度から3カ年間、イギリス政府が実施するICTプロジェクトの27校のうちの1校(小学校は全部で5校)に選ばれ、約1億円(50万ポンド)の補助金を得て、教育活動全体を通じて最新のICTを活用した効果的な授業の実践研究を進めている。インタビューに応じていただいたミッチェル氏は、科学教師であり、かつ副校長であり、英国の科学教育協会(ASE)の小学校部門主任を務めているということである。インタビューに先立って、授業の様子を参観した。それは、5学年の科学の授業で、電流回路の学習であった。科学の授業は普通教室で行われるが、通常、小学校には科学の実験室は無いということである。ICTプロジェクトのおかげで、すべての教室で、コンピュータプロジェクター、大型スクリーン、コンピュータ、実物投影装置、ビデオ機器、オーディオ機器、タブレット式無線ポインティングデバイスなどが設置されており、本授業においても、それらが重要なメディアとして多用されていた。特に、無線のポインティングデバイスは、教師が教室を移動しながら、どこからでもスクリーンに映されたコンピュータ画面を操作している様子が印象的であった。教師だけでなく、児童も事物を用いて発表する際には実物投影装置を用いてスクリーンに映しながら説明することに慣れている様子であった。さらに今年中には、各教室に児童用の十分な数のノートパソコンが配置されるということである。イギリスではリテラシーとニューマラシーの育成が重視されているが、この科学の授業でも、特に児童が発表したり意見を言ったりする際に、正確に文章として表現することが重視されており、児童たちの表現能力がとても高いと実感できるものであった。

#### 科学的探究の実践的学習

小学校の科学では大きく2種類の実践的(プラクティカル)な学習を行う。1つは、ある特定の課題に関わる実践的な学習で必要なスキルを直接教えるものである。もう1つは、科学的探究(scientific investigation)であり、子どもたちがある事象について解決できるような形式で疑問を明確に述べられるようにするなど、かなり異なった教え方となる。そこで重視するのは、スキルを明らかにしていくことで、疑問が明らかになれば、その疑問に答えるために適切な方法について考えさせることであり、彼らが研究(リサーチ)をできるようにすることである。例えば、「砂糖を水に溶かす」という学習では、子どもたちは砂糖が早く溶けることにどんな



要因が関係しているかを見つけようと、いろいろな疑問を明確にしてから、どのように探究していくかを考えるのだが、砂糖の量や水の量、水の温度など、変えることのできるすべての要因を明らかにし、次にそれらのうちの1つだけを変化させ残りの要因を同じにして調べることが、要因を制御した公正な実験 **fair test** になることを考えさせ、そして、いかに実際に変化する量を測定するかを考えさせる。こうした文脈で、つまり、何を変化させるか、変化をいかに測定するか、変化させる以外の要因が変化に影響していないことを確かにするために同じにしておくこと、という流れで、われわれの学校では科学的探究を教えている。

小学校の科学的探究に関する本 “**Making sense of primary science investigations (1997) from The Association for Science Education (ASE)**” は、小学校科学では特に著名な **Ann Goldsworthy** と **Rosemary Feasey** が書いたもので、小学校の科学教師が科学的探究を子どもたちに教えることについて、とてもよいガイドなので、ぜひ見てみてほしい。私が知る限りたぶん小学校科学では最高の本だと思う。

生徒は、まず水の温度を変えてみて、砂糖が溶けるのにどのくらい時間がかかるかを調べるといったとする。そして、予測 **prediction** を立て、「水の温度が・・・になると、砂糖の溶ける時間は・・・になる」といったように予測する。次に、それを適切に調べる実験について考えさせ、測定のために、水の温度を計るための温度計や溶ける時間を計る時計を用いることを考え、さらに、かきまぜ方についても考えさせ、公正な実験のためにすべての場合に同じかきまぜ方にする。「公正な実験」(**fair test**)は、制御した探究を行わせるために、かなり強調している重要な留意点(**key focus**)である。これは5学年の学習であるが、より低学年の子どもたちの場合は、より定性的に、シンプルに変化を観察することにより重きを置き、あるいは、グラニュー糖や白糖、氷砂糖など、砂糖の種類を変えて違いを調べたりする。5～6学年になると、より定量的な側面を強調するようにしている。また、電気回路の学習では、小学校の子どもたちでは、電流についてはまだ測定できないので、1個の電球と2個や3個の直列つなぎの電球の明るさの違いを調べさせ、結果を記述させるような学習を行う一方、中学校(**Key Stage 3**)の生徒たちならば、電流計や電圧計を使わせて、実際に電流を測定したり、抵抗を計算させたりする。

### スパイラルカリキュラム

子どもたちは5歳からほぼ2年ごとに<手を螺旋状にまわしながら>同じ領域に戻って、より程度の高い学習を行う。1学年2学年の科学カリキュラムから、同じ領域を含むより程度の高い3学年4学年のカリキュラム、さらに程度の高い5学年6学年、さらにまた程度の高い7学年から9学年、そしてさらに高い10学年11学年と、4回(5回)にわたって同じ内容を訪れ、そのたびに拡張されていく。**Key Stage1, Key Stage2**の小学校の科学カリキュラムは、2年間隔で、とてもうまくフィットしている。1・2学年と、3・4学年、5・6学年の各2年の終わりには、ナショナルカリキュラムに説明されているように、子どもたちがレベル2、

レベル3、レベル4に到達するように考えられている。われわれは、6学年の終わりに、すべての児童がレベル4に到達することを期待としている。

### 小学校科学での科学的探究の振興

実践的な探究学習によって、子どもたちは結果を表にまとめ、レベルに合った適切なグラフ～絵文字の積み上げグラフ、棒グラフ、折れ線グラフなど～を作成するスキルを身に付けさせ、また6学年の優秀な児童にはさらに発展的に複数の実験結果から平均を求めたり、結果の信頼性の考え方に触れたりもする。科学的探究をふり返って結果について考えさせることもコースの重要な側面であり、予測と比較させながら結論を述べさせる。それが一致しないときは、2つの可能性について考えさせ、1つは予測が間違っていたことで、もう1つは探究に問題があって別のやり方であればよりよい結果が得られたのでないかということである。中学校と異なると小学校では科学を専門とする教師が稀であるので、科学的探究を組織的に指導することは多くの教師にとってチャレンジングで容易ではないが、このように科学的探究のプロセスを確実に扱うことは重要な意味をもつ。長年にわたって、イングランドの子どもたちは、テストで良い得点を取るように訓練されてきた。Key Stage 2の終わり頃になると実践的な学習が軽視されがちであった。そこで、教室でより実践的な学習が行われるよう、QCAは今年からナショナルテストで実践的なスキルを問う問題を多く取り入れた。児童はその新しいタイプの問題ではただ知識を答えるのではなくて、与えられた問題状況から慎重に判断してどのような実践的な解決が妥当かを考えなくてはならない。例えば、運動場の影が動いていく現象を取り上げて、それに何の関係しているかをどのように調べるかを問う問題だ。この種の問いは今まであまり問われなかったものであるが、授業でより実践的な学習をしておくことを要求するものだ。このように、徐々には変わりつつが、イングランドの小学校ではまだ十分な実践的な学習が行われてはいない。ただし、私はよい方向に向かいつつあると思う。

### 教師による評価の大切さ

われわれはとてもペーパーテストに依存したシステムをとっている。というのは、ペーパーテストはより実施しやすいからで、実践的な学習を教師自身が評価すると、教師の個人差によって、評価の信頼性は低くなってしまふからである。しかし、ペーパーテストからわかるのは、子どもたちがペーパーテストでどのくらい良かったかであって、必ずしもその子どもたちがどのくらい科学についてわかっているかを示すとは限らない。子どもと言葉を交わして、適切な問いかけをすることで、教師はテスト問題での解答からよりも子どもが科学についてどの程度わかっているかをはるかによく把握できる。教師による評価とペーパーテストによる評価とのバランスを取ることが必要だ。もう一つ、言葉のやりとりは、子どもの概念発達を助け、質問することがさらに子どもを伸ばす働きをすることも重要だ。質問して言葉のやりとりを交わすことは、子どもを伸ばすために、教師が持っている最も強力な道具だ。

### ナショナルテストの問題点

ペーパーテストからは多くの情報を知ることができる。私は、ペーパーテストについて問題を抱えてはいない。何が問題かといえば、ナショナルテストの結果がいかに関全体に伝えられるかということだ。学校の結果を比較する表を出すことは、学校間の競争となり、学校が子どもにテストでよい得点を採らせるような指導に偏ったり、そのため、最良の教育的体験が子どもに与えられないといったことに結びついたりする。学校は、比較表の下位でなく、上位に位置づけられなければならないというプレッシャーを受ける。

私の理想では、ペーパーテストは有用だから残した方がよいとは思いますが、その結果をレポートすることは止めた方がよいと思う。そのことでペーパーテストは学校にとって適切な目的をもったとても有益な評価手段の一つとなる。今は、学校間の比較によって、教師や子どもに多大なプレッシャーがかかっている。

1995年にナショナルテストに科学が加えられてから、とりわけ5学年や6学年で実践的な科学の学習が低減する傾向を見てきたが、科学は単に知識の伝授ではなく、科学的なプロセスや態度と包括的に指導されるべきでとても恥ずかしいことだと思う。

### 科学的探究の指導計画

科学のナショナルカリキュラムには4つの領域（科学的探究と3つの学問内容つまり、生物、化学、物理）があり、達成目標についても、科学的探究面の実践的な能力と生物、化学、物理それぞれの達成目標がある。この学校では、3学年から6学年までの4年間で、これら3つの内容領域をどこで扱うかを決めている。例えば、電気については3学年と5学年で、生物としての人間については3学年と5学年で、植物については4学年と6学年でといったように、どの内容をいつ扱うかは明確である。授業がいかに関展開されるかは、科学的探究面にかかわるものであるが、私たちはかなり多くの時間、およそ半分の授業時間を科学的探究に関わる実践的な学習にあてるようにしている。また、ナショナルカリキュラムにおける科学的探究は、実践的な学習以上のものを含んでいる。例えば、科学が歴史的に社会に対してどのような意味をもってきたかとか、科学によってどのような主張や論争が繰り広げられたかなども、科学の学習プログラムに含まれることが期待される。子どもたちについては、学習プログラムをどの程度まで達成しているかのレベルを見きわめ、4学年の終わりには大半の子どもをレベル3に、6学年の終わりにはレベル4に到達させる。実際にこの学校では6学年の終わりに95%の子どもがレベル4以上で、60%の子どもがレベル5に到達していること、及び、この2年間にレベル4以上の子どもの割合が増えていることを誇りに思っている。成長の早さ（ピッチ）に関して、われわれはできる限り個々の子どもに応じてより高いレベルに到達するように取り組んでいる。そのことが、理解を発達させるために、認知的に公正（フェア）なやり方だと考えている。

### 教師の主体性の確保

こうしたやり方によって各学年で扱うべき学習プログラムを決めている。科学に関して、各教師がその学年の決められた学習プログラムをいかに教えるかについては教師の自主性に任されている。先ほど、観察した授業もそうであるが、あのように教えなさいとは、誰からも彼女に指示したわけではない。授業の主目標について、彼女がクラスの子どもたちのためにどのような学習計画を立てるかは彼女が決めることだ。この学年のどの学級でも、電気を扱うし、電流回路について教えることは共通しているけれども、各教師がいかに教えるかは、若干異なっているということだ。

### 学習状況の評価

われわれは、教師による評価やテスト、その他の評価など多様な評価手法を用いる。現在、新たに導入している評価手法は、ICTを活用して、学習の終わりに子どもが携帯端末上で他肢選択の問いに解答させることで、個々の子どもの状況と、クラスの状況、学年の状況まで即座に把握することができ、指導にフィードバックさせることができる。

### 評価結果と指導の改善

評価の結果、ある概念をうまく理解できていない子どもが特定のクラスにいて、別のクラスにいない場合、それらの教師の間で、どのように教えているか、どのようにすればよりよくなるかなど、話し合うことができる。学校全体でも、もし5学年での電気に関する学習が十分でなければ、学年全体のプログラムを見直すこととなる。こうして学年を通して、各学習トピックの終わりに収集されるすべての評価データは、子どもやクラス、学年の学習改善に生かされる。この学校では、年間5回、評価結果をとりまとめる期間を設けており、リテラシーとニューマラシー、及び他のすべての領域について、個々の生徒がどこまで達成しているかを把握し、それによって、学習の進展状況を確認している。例えば、これまで順調にリーディング力を伸ばしてきたある子どもが突然低下したことがわかったとき、何が起こったのか、学校で何かすべきことがあるか、あるいは子ども個人の環境に関して何かすべきことがあるか、など検討することができる。評価は多くの情報と多くの取り組み方をもたらしてくれる。評価については、この学校が特別ではなく、**Key Stage 2**の学校の多くは、こうした評価を重視している。

### 年間5回の評価期間

年間5回の評価期間では、子どもはいつも評価されることを意識することはない。というのは、それは特別なテストではない。年間5回、われわれは子どもたちの進展を見きわめ、次の2ヶ月間に特定の子どもに何が必要なのかを特定する。私はこれを“**Plug in the gaps**”（空白を埋める）と呼んで、特定の子どもにおける空白を次の2ヶ月間で埋めるということだ。年間5回、各教師が、担当する個々の子どものプロファイルを提出する。伝統的にはSATの結果によって年度の終わりに次の年度の目標を立てていた。（学校長）

### テストに依らない教師による評価

われわれは基本的にテストではなく教師による評価を用いている。前にも話したように、テストでわかることは子どもがテストでいかによい成績を上げられるかであって、子どもがどの程度達成しているか、実際にどこまで知っているかを把握するならば、教師の方がよく把握できるのである。2ヶ月ごとに教師の評価を得て、次への目標を立てるのである。

### 具体の評価基準

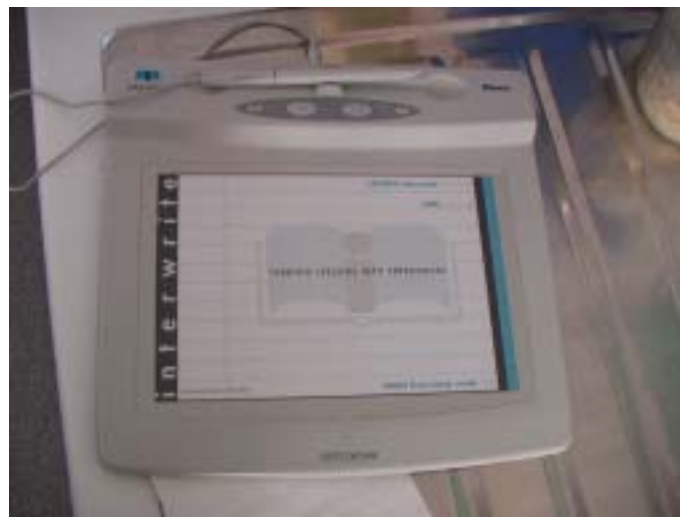
毎年、われわれは各学年の子どもにその学年で学ばせたい概念とスキルを特定して、これを規準にして子どもの達成度を評価する。すべての子どもたちが、それらの概念やスキルの80%以上を習得することを目指す。もし、100%であればそれは素晴らしいが、初期的には80%に設定している。この学校の子どもの20%は、何らかの特別な支援を要する者であるので、目標を80%に設定している。こうした目標を各学年で設定して、すべての子どもに目標を達成させようとしている。(学校長)



第5学年(わが国の小学校4年)での「電流」単元  
(写真左上)二人一組で豆電球の単回路について調べている。  
(写真左下)調べてわかったことを教卓の実物投影装置で発表している。  
(写真右上)学習した事柄を丁寧な言語表現でノートに記述している。



第5学年(わが国の小学校4年)での「電流」単元  
 (写真左上)教師が教室を移動しながら、プロジェクタの画面を無線式のタブレット装置でポインティングや書き込んで、学習内容を説明している。  
 (写真右上)教師が使用していた無線式のタブレット装置。



インタビューに応じていただいた Mitchell 氏(中央)と訪問者(写真右下)



## 第4節 中学校インタビュー記録(2003年9月29日)

**【訪問した中学校】** 訪問した中学校は、ロンドンから南方へ電車で約1時間の郊外にあり、農地が多く見られる地域の小規模な町に位置している。7～9学年の **Key stage 3** と10～11学年の **Key stage4** の中学校と、Aレベルを学習する **Sixth Form** とを併設した学校で、中学校では各学年に300人弱の生徒が在籍し、10学級ほどの構成となっている。2000年11月に実施された **Ofsted** の査察報告書によれば、総合的に極めて良好な評価を受けており、**Key stage 3** のナショナルテストの結果、**Key stage 4** の **GCSE** の結果ともに、全国平均を大きく上回る成績を上げている。インタビューに応じていただいた科学教師のウェブ氏は、科学科の主任である。途中、もうひとりの科学教師スティーブからも話を聞くことができた。二人は、校内でのコースワークの評価の調整を中心的に担当しており、とくにスティーブ氏は、資格授与機構が行う外部調整の担当者（モデレーター）を兼務しているとのことである。

### 授業時間の半分は実験

科学の授業全体の大体半分の時間が実験に当てられている。1時間を理論の学習に当てたらその次の授業は実験という風に進んでいくから、大体半分という感じになるだろう。「実験はいつやるのですか。」という質問が良く出るが、生徒はとても実験に積極的である。特に小学校から上がってきてすぐの生徒たちは、とても熱心の実験をやる。放課後の科学クラブですすんで実験に参加する生徒もいる。

### コースワークへ向けた指導

いくつかの探究的な学習を終えた後で、これからの実験は、評価されるものだということを生徒に知らせてから、コースワークへ入る。第7学年においてかなり多くの実験技能を導入されることになるというのも、イングランドにおける科学教育は進歩してきており、最近になって **Key stage2** においても振り子の長さがその周期にどのように影響するかというようなことを通して科学の能力を診断するようになった。しかしながら、ほとんどの小学校には科学の教室がないため、多くの子どもは正式な実験については何の経験もないまま中学校にやってくる。第7・8学年を通じて実験の技能とともに、実験を計画し、データを取り、結果を考察し、実験を評価するといった一連の実験手順についても習得させる必要がある。そして **Key stage3** の終わりには第9学年で行った3つのプラクティカルワーク（実践的学習）の結果によって、それらの技能を評価する。これは **GCSE** や A レベルほど厳格なものではない。それらの評価が外部チェックを受けることはまずない。もちろん評価の証拠となるものはきちんと残しておく、外部チェックが入ったときにはそれらをきちんと示せるようにしておかなくてはならない。外部チェックは、抜き打ち的なもので、毎年必ずあるというわけではない。よって **Key stage**



3の評価はKey stage4の方法とよく似ているが外部チェックを受けることはないということだ。Key stage4の評価は大変厳格なものだ。

### コースワークの評価基準

教師がガイダンスに沿ってコースワークの採点をしていく。ガイダンスには、得点を与えるべき事項が列挙されており、生徒のコースワークの該当する部分にチェックを入れながら得点を付加していく。

最近では全員に同じ課題を与えるようにしている。当初、試験機関（exam board; ここでは資格授与機構 awarding body のこと）はそれぞれの生徒が違ったテーマで取り組むことを推奨していたが、教師が良く理解しているテーマのほうが指導もしやすく、生徒もよく理解できるからだ。

試験機関が示している採点のガイドラインの記述は必ずしもはっきりしているわけではなく、それをよりはっきりと生徒に伝えることが大切である。「実験を計画するために、適宜準備する。」という記述がガイドラインにあった。生徒は教科書や、インターネットから実験に関する情報を収集し、実験の準備をしたが、それは試験機関が意図していたものではなく、得点を与えられないというような事態が起こった。こういったことを試験機関にも伝え、シラバスの改善を図っているがまだ完全なものとはいえない。このシステムが始めて導入された8年か9年前の年はこういった問題もあって、評価が揺らいだ部分もあった。それより以前から実践的能力面の試験をやっていた。しかしそれは、探究的な活動ではなく、また、現在使われている試験基準に即したものではなかった。もっと実験技能に重きを置いたもので、例えば滴定実験などの決まった実験を科学教室で行い、1～2枚のレポートで生徒一人一人の様子を採点していくようなものだった。現在行っているコースワークで生徒にとって難しいのは実験の評価の部分である。また実験結果の分析も難しい。この部分ではなかなか点が取れない。（事例として示されたコースワークの生徒はほとんど得点しているが、非常に優秀ということであろう。）コースワークはほぼ全員が満点を取ることを期待している。というのは教師がコースワークの作成に援助を与えることができるからだ。最も到達度の低い生徒でも、コースワークでは8割程度の得点を取れるようにしたい。

### コースワークの指導

今、第11学年の学級でやっているのは実験の計画段階の指導で、その段階が終わった時点で、一度提出させる。そして付箋紙にアドバイスを書いて返却する。1回しかやらないが。そして次の段階へ移るのだ。コースワークが提出された後、抜け落ちている部分を指摘することができる。例えば、予備実験を行っていないなどだ。それを聴いて予備実験を行い、書き加えることはできるが、その助言を受け入れるかどうかは生徒しだいである。何を書かなくてはいけないかということについて直接援助することはできないが、改善のための手立てを示すことはで

きる。例えば生徒が「この理論の部分を読んでくれませんか。」と持ってきて、「何点ですか。」と聞いたとする。そうすると「これは6点である。(8点中)」そして「8点を取るには、反応速度における衝突理論の全体像に言及してもっと高いレベルの理論に到達しなくては行けない。教科書をもう一度参照してごらん。」といった助言をする。教師が何を書かないといけなかつということまで指示してしまうと、生徒全員が同じことを書いて満点になってしまう。そういうことを外部チェックで防いでいるのだ。外部チェックにおいて問題になるのは、全員の生徒が同じことを書いては行ないかという点である。

### 不正の防止とモデレーション

今年がはじめてだがAレベルをやっている生徒が2人ほど、ネット上の情報か何かをコピーして使用するという不正を行ったが、その作品が同じ生徒の他の作品に比べて極めてできが良いということがモデレーションの過程で判明した。そこでその生徒の成績はいったん白紙に戻し、他の作品についても提出させて判定を行った。外部チェックという仕事のひとつの側面がそのような、どこまでの援助を与えられて作られた作品かということをはっきりさせるということである。教師もどこまでの援助を与えるべきかということについてトレーニングを積まなくては行けない。モデレーターが中心となって、ヒントを与えすぎているプリントの具体例などを示して共通理解を図る。また、指導に用いたすべての資料をモデレーターに送付する必要がある。

**Ms Turner** が本校のモデレーターとして（試験機関によって）任命されている。学校側の採点結果を生徒の名前とともに一覧表にまとめたものを彼女に送付すると、彼女がモデレーションのためにチェックしたい生徒の作品を指定してくる。それらの作品を彼女に送付してチェックを受け、問題がなければそれ以上の作品を送付する必要はない。何らかの問題が指摘されればさらに多くの生徒の作品を送付してモデレーションを受ける。めったにないことだが、彼女が学校に来て、すべての作品をチェックするということもありえる。どの生徒の作品を抽出するかということについては、全くのランダムサンプリングではなく、各教師の生徒が入るようにし、トップの成績の作品、最低レベルの作品、各評価の境界に当たる作品などが抽出されている。

### 指導と評価結果の関連

（何回も書き換えるように指示を続ければ得点はどんどんあがっていくのではないか。）そうとは限らない。生徒が高い得点に至らないのは、十分な努力をして行ないとか、そこに書かなくては行けないことについて十分理解して行ないからである。たとえばこの事例の生徒は、実験の評価の部分でグラフを書こうとしているのだけれど、低いレベルに留まっている。この生徒はここに書くべきことについて理解が十分ではない。手立ては助言できるが、書くことそのものについては助言できないのでこれ以上点が伸びるということはない。実際のコースワークに入る前に、理論について教え、このコースワークにおいて得点するために気をつけるポイント

トについて説明する。その後にはコースワークの第1ステップである予備実験に入る。予備実験に関するレポートが提出されたならばそれに対して何点であるかということコメントする。そしてその理由として、理論や結果が明記されていないためであるというように説明する。助言に従って書き直されたものは評価の時点まで見ない。生徒が「この理論はありますか。」というような質問をしても、「そこをこのように書き直しなさい。」という助言はできない。それでは生徒の実力を試すことにならないからだ。「予備実験の結果をきちんと書いておかないと7点になるよ。」という程度の助言になるだろう。

### 時間的制約の影響

時間の制約も大きい。(コースワークのために)3週間以上を費やすことはできない。10週間に一度は試験がある。2時間続きの1回は実験に、そして計画、分析、評価、計4回の授業(2時間続き)である。すべての活動を学校で済ませようとしていたときもあったが、時間的に無理があるので、データの処理(表やグラフにすること)や実験の評価の部分を家庭で書くことはできる。計画の段階や分析の部分は学校で書かせるようにしている。というのもこれらの部分は、インターネットの情報等から、不正に引用しやすい部分だからである。10から12の有料サイトが、コースワークに関する情報を提供しており、それらの利用が問題になっている。もちろん使う言葉が違ってくるので、それを発見することはできる。教科書の記述も同様であるが、生徒の書く文章と違って文法が完璧である。コースワークの表紙の部分には、この作品は、前述の資料以外には何の参考資料もなく、自分自身で書き上げたものである旨について署名しなくてはならない。また使用した資料については全て書き出しておかなければいけない。

### モデレーターとの評価のずれ

モデレーターは教師の採点と自分自身の採点を比較して、(60点満点中)プラスマイナス4点の範囲以内に収まっているかを調べる。それがその範囲を超えていた場合には、教師の採点を変更させる。私とスティーブがここに来てからは、このような変更が行われたことはない。私もかつてモデレーターだったし、スティーブは今もモデレーターをやっているのだから。すべての教師がこれらの方法について熟知している必要がある。私とスティーブが中心になって、実例を元にどのポイントに何点を与えるかというような採点方法についての研修をかなり行った。指導についてもどこまでのことを言ってもよいかということについて熟知しておかないと、ある教師は援助しすぎて全ての生徒がある程度の得点をとってしまうというようなこともおきるであろう。生徒に高い得点を取らせるためにできるだけ援助はしなくてはいけないが、どこまで援助してよいかをわかっていなければならない。

### 新任教員の苦労

新規に採用された教員にはかなりの負担になる。11歳から14歳の特に男子は生徒指導の面でも大変である上にこのようなことについても考えなくてはいけないのだ。したがって採用して

2年間は授業をうまく成立させることを重点に取り組み、試験などはあまり行わない。スティーブや私が授業に同席して助けたり、これらの試験の採点について助言を与えたりしてはいるが大変なことである。

### 校内モデレーションを行う教員の苦勞

コースワークの採点は本当に大変で、昨年度も第11学年の生徒の作品を少なくとも750は採点しなくてはいけなかったが、一人一人の作品を全て我々が採点しているというわけではない。モデレーターがやるように優秀なもの、下位のもの、真ん中のものからそれぞれ4つのサンプルを取り出し、それがきちんとできていれば、他の採点についても大丈夫であろうということで、その教師の採点を認める。もしもそれがうまくいっていないようであれば、全ての作品の採点を見直す。それをスティーブと私でやっているのだ。GCSEの試験にエントリーするにはいくらのお金を払い、コースワークの採点についてもお金を払うのだが、校内のモデレーションには何も支払われない。誰に聞いても大変な仕事だというであろう。

### コースワークがGCSEの成績に与える影響

試験でDをもらった生徒が良いコースワークを提出すればCになるだろうし、試験でCの最低レベルにいる生徒ができの悪いコースワークを提出すればDになってしまうだろう。コースワークのできばえは、成績の境界線にいる生徒にとって重要な要因になる。生徒によく言っていることは「コースワークは試験のようにあがることもなく、自分の最大限の能力を発揮することができるわけだから、とても大事なものである。」ということだ。全ての教科においてコースワークを真剣にやるように助言している。全体の成績の割合からいえば20パーセントであるがこれは十分に影響を与えるものである。

### 複数のコースワークを提出

(2つのGCSE資格対象となる) Double award scienceの場合3つのコースワークをやったそのうちの良いもの2つがグレードをつける際の対象になる。単独の科学を3つやっている生徒の場合は物理・生物・化学それぞれにひとつずつのコースワークが必要になる。Double awardをやっている生徒には3つやることを進めている。そうすれば3つの中から良いもの2つを選ぶことができ、良い点を取るチャンスが増えるからだ。

### 生徒はコースワークの大切さを理解している

彼らはコースワークが好きである。なぜならコースワークがどれだけ有用なものであるかわかっているからだ。彼らがコースワークを嫌いなのは、ひとつには短い期間に大変な仕事をしなくてはいけないということと、科学に限ったことではないが、いろいろな教科(地理、歴史等)のコースワークの締め切りが同じ時期に重なってしまうと大変なので、2年間にわたってコースワークのスケジュールを作っている。その締め切りに間に合わないときには受け付けられな

い。生徒は締め切りに追われるのが嫌いなのだ。彼らはコースワークの大切さを理解しているし、やらなくてはならないと思っている。それに評価されるということには抵抗はあろうが、コースワークの過程は嫌いではない。コースワークが自分の能力を最大限に発揮できることも理解している。締め切りに追われるのがいやなだけだ。よくできる生徒については何の問題もない。彼らはコースワークを楽しんでやっている。問題なのは、ある程度の能力があるのに、期限を守って学習を進められない生徒たちだ。レポートをこまめに提出させるのは、彼らに期限を守らせるためという理由もある。(多くは男子)例えば **GCSE Double award science** をやっている中程度の生徒などは、締め切りに間に合わないことはわかっているが、これが自分の性格なのだといってなかなか進まない。

### 実験が好きである以上のことが必要

実験はとても好きだから、試験を受けるより、実技試験を好む。彼らが一番嫌がるのは、ペーパーテストの中にある実験についての質問だ。どのようにこの実験を行うか。とか、どのように反応速度を調べるか。といった質問だ。このタイプの問題の正答率はとても悪い。コースワークの中でできているのだから、こんな質問はしなくても良いのではないかと思う。**Key stage 3** のナショナルテストにはこのようなタイプの問題がたくさん入っている。だから、我々は、実験はもちろんするけれども、この2~3年実験についての理論もしっかりと教えるようになった。「どうしてこうやるのか。」というようなことだ。これまでもある程度は教えていたが、特に下の学年の生徒たちは、実験をととても楽しんでいるのだが、探究の過程を意識して何のためにやっているかを意識していないことがよくある。純粋に実験という活動を楽しんでいるだけなのだ。だから実験の目的などを書くことは好きではない。どうしてこの実験をすることが必要なのか。というようなことについてかなりの時間を割いて教えるようになった。実験重視の流れは大学や、企業からの要請に基づくもので、大学や企業は **A** レベル終了後の生徒の実技面の力が十分でないことを **QCA** に告げ、**QCA** は学校に要求を出してくる。企業が持っているような機器は学校にはないので、そのような機械の操作に習熟させることは不可能であるが、実験によって得たものを、応用する力は養っていきたい。実験そのものは楽しんで、そこから知的に何かをつかみとることは難しいものだ。

### 筆記試験での実践的スキルの評価の困難さと意義について

教師が実践面の評価を担うというのは正直なところ大変なのだ。一方では教えるという仕事があるのだから。そういったこととは別の問題として、生徒は、試験で試されるより、実際の授業の中で本領を発揮するという一面がある。そのような問題がナショナルテストの中に今年度は1問あった。今後それは増えていくだろう。そういった対策を続けていき、そのような問題に生徒が対応できるようになっていくことを望んでいる。生徒はそのような対策は好きではないと思うが。探究過程を理解することは、特に実験の評価などは、非常に高いレベルの思考力を要求される。12, 3歳の子どもがこれまで触れたこともないようなものについて何がうまく

いっていないかというようなことを判断するのは難しいことだ。慣れ親しんだものであれば、実験結果が期待したものとは違うということも判断することもできるだろうが、これまでに経験したことがないようなものを紙に書いてあるものから理解することはとても難しいことだ。小学校の実験を手伝ったことがあるが、振り子の実験で、錘の重さを重くすると、周期は短くなるだろうとみんな思うだろう。それを実際にやらせてみればその実験結果から、それは何かおかしいということに気づくであろうが、それを紙に書いた記述から評価させようとするのは、大人に対しての方法である。年少の子どもは特に、何かをすることで学んでいくものだ。言葉で記述してあるものから何かを理解させようとするのは大人のやり方である。ペーパーテストで聞かれるのは探究活動そのものではなく、化学反応における温度の影響を調べるために硫酸ナトリウムと塩酸を反応させるが、その実験器具をどのように組み立てるか述べよといったものである。そのような問題は、16歳の生徒にとってもうまく答えることができない。5月になると、試験の準備で例題を解いているが、Aレベルにおいても同様に難しい。彼らの中には実験は科学的なもので楽しいものという感覚はあるだろうが、論理を伴ったものであるという認識が薄いのではないだろうか。実験したときのことを思い出して、それを書き出してごらんというように実験したときのことを思い出すように助言するのだが、Aレベルの生徒にとってもそれは難しい。一人一人の生徒が試験においてどのように解答したかという資料が試験機関から送られてくるが、実験に関する設問の正答率は驚くほど悪い。これを何とかしようと、長い間苦労しているのだが。

### 科学は体験的に学ぶことができる教科

これには科学の学ばれ方の特徴が現れていると思う。特別な援助が必要であると認定されるような、例えば失語症等の疑いがある低位の生徒は、数学や英語では良い成績を出すことはできないが、科学では良い成績を出すことがある。それは、科学は体験的に学ぶことができる教科であるからだ。これは一般の生徒にとっても同じことで、彼らが科学を好んだり、よくできたりするのは体験的に学ぶことができるためだと思う。実際に実験を試みるほうが、このような理由で、これをやらなくてはいけないのだと何回もいうよりよく過程を理解している。それはこのASレベルのコースワークを見ればわかるのだが、(優秀な生徒のコースワークを見ながら)この段階になると実験過程について教えることはほとんどない。自分で計画し、予備実験を行って、理論がどのように証明されるかを考えながら、実験を進めている。危険率の計算もやってある。これを2~3週間でやってしまう。これらのコースワークは基本的に教師の助けを借りずに行うものである。この生徒はミネラルウォーターについての調査を行い、それを作っている企業にもコメントを求めながら、この調査を完成させている。物理と生物についてはコースワークのほかにも実験の試験を選択することができる。かなり大変な実験で、緊張もするだろうが、時間がかからないという理由でこれらを選択する生徒もいる。コースワークでは、実験の時間は学校で確保するが、自宅でもかなりやらなくてはいけない。

### 科学で2つのAレベル

今年から全ての生徒に 4 つの A レベルをとるように言っている。そのうち最低 2 つは科学に関する科目を薦めている。生物だけをやって他の科学をやらないということがしばしばあるが、生物は簡単だという認識が生徒にあるからだ。正直言って A レベルについていえば、化学はとでも難しい。物理もかなり難しい。生物も難しいのだが、生徒はそのように感じないようだ。

A レベルの授業はそれぞれの科目について 2 週間に 11 時間ある。(日課表は 2 週間単位になっている。)

### モデレーターによるチェック

モデレーターのサンプルの選び方は、成績の上位から、下位までの全体から、幾つかの部分に分けて満遍なく選ぶ。教師がどの程度の援助をしているかということは学校により差がある。初めて探究的な活動を評価しようとした年には、特に教師が問題になった。彼らが教えすぎてしまったのだ。モデレーターが入ってすべての作品をチェックした。モデレーターは実技の試験を行うようになってからずっと存在してきた。実技の試験が導入されてからずっとあったはずだから、20 年以上も前からということになるだろうか。最近ではモデレーターが入ることはほとんどないのだが、インターネットからの情報をそのまま書き写して、自分の作品として提出されたときがあった。現在大変たくさんの情報がネット上に存在している。そのような不正を発見するためには、こちらもサーチエンジンなどを使ってある特定の表現やグラフを引き出し、生徒の作品と比較するというようなこともやって見なくてはいけない。またこれまでの作品に比べて、文章に間違いがなかったり、つづりが間違っていなかったりということで見つかる場合もある。インターネットでは、成績の良かったコースワークを送付すると、15 ポンドの賞金を出すようなものもある。彼らは、コースワークの例を示しているだけだといっているが、生徒はそれをそのまま使おうとする。(そのようなサイトは違法ではないのか。) インターネット上の法律はあいまいな部分が多いので、違法にはならないだろう。参照のためのみに利用するように、免責条項を掲げているあるサイトもある。そのような不正が発覚した際、どのような処分になるかということについては詳しく知らないが、科学分野の GCSE 受験が拒否された事例がある。4 万 7 千ものコースワークの例が無料で参照できる状態にある。有料のサイトまで含めるともっとある。教師がそのような不正を発見できなかった場合、モデレーターに非難されることになる。モデレーターは担当した教師にその作品を送り返し、これは明らかに書き写されたものだということを知らせる。

### 生徒はコースワークが好きか

女子は良くやっている。男子はあまり好まなくて、試験を受けるほうを選びたがるようだ。授業時間以外にたくさん勉強しなくてはならないからだろう。コースワークそのものについてはもしそれが期限付きではなくて、いろいろなことをやってみることができるのであれば好きになるかもしれない。

### コースワークのユニークさは求めない

実際のところ、採点基準に沿って高い得点を得ようとすれば、可能な実験は限られてくる。試験機関はインターネットの情報などを用いても、お決まりの3つの実験とは違った研究を行うよう進めているが、我々は教師がよく理解しているものを行おうとしている。今まで誰もやったことのないようなテーマに取り組んだ生徒がいたが、採点するのがとても大変だった。常にガイドラインを見直すことが必要だったからだ。それは蛍光反応に関するもので、大学の最先端で研究されているようなものだった。それが正しいかどうか判断しろといわれても、確信をもてなかった。A レベルについてはユニークなテーマに取り組むことを進めるが、GCSE については時間も限られているし、そのようなことは薦めない。A レベルについては1ヶ月ほどあるからオリジナルなテーマに取り組むことも可能であろう。GCSE の場合は、全部で10ものコースワークに取り組まなくてはいけないことも考えると、無理だと思う。ひとつの教科で3つのコースワークが含まれることになるから、その数は膨大なものになるし、工業デザインなどの教科では、コースワークの配点は60パーセントもあるから、ますます大変なことになる。

### 筆記試験での実験技能の評価の困難さについて

Key stage 3の中に実験を通じての論理的思考のトレーニングとして入ってきているが、A レベルの生徒にとっても難しい。これらの問題のためのトレーニングを進めるようになってきたから、これからはもっとよく答えられるようになるだろう。上位の生徒はそのようなトレーニングが可能だが、低位の生徒は、実際にやってみなければわからないことが多く、やったことを理論的に説明するようなことは難しいだろう。Key stage 3のテストにより多くそのような問題が入っている。(A レベル物理には1問ぐらい) コースワークで行った内容が、そのようなテストに出題された場合、その結果はとても良い。コースワークの中で、実際に実験を進めることで、その内容に対する理解が促進されているということだ。

### 提出するコースワークと配点

GCSE Double award science の場合、物理、生物、化学の中から最低2つを選んでコースワークを行う。もしもうひとつやった場合は、その3つ中から得点の高い2つを選んで、コースワークの得点とすることができる。2つしかやらなければ、全ての点数がカウントされるので、3つやっておいたほうが、良い得点を取るチャンスが増える。(最高4つまで提出可能) という理由で、3つのコースワークをすることを薦めている。(各コースワークの合計点で上から二つを取るのではなく、計画(P)、観察(O)、分析(A)、評価(E)のそれぞれの部分で3つのコースワークの得点を比較し、それぞれの部分の上から2つの得点を合計し各部分の得点とする。ひとつのコースワークの各部分の満点は、計画8点、観察8点、分析8点、評価6点になっているから、1つのコースワークの満点は30点になり、2つ分で60点の満点となる。) A レベルでは、最低1つのコースワークが物理、生物、化学それぞれに必要になり、2つまで提



出することができる。(GCSE Double award scienceにおいて) 3つのコースワークを行うのには多くの時間がかかるが、3つのコースワークのうち、最初のは第10学年のときに行ったもので2つ目が第10学年の終わり、3つ目が第11学年にやったものだが、得点が次第にあがってきている。はじめの1つを練習と考えれば3つやることの意味は大いにある

#### 単独科学3つと二重資格の科学(Double award science)との違いについて

Double award science も、単独科学3つも物理、化学と生物をやるのだが、そのレベルには大きな違いがある。試験の難易度が明らかに違うのだ。公立の学校で単独科学に取り組んでいるところはほとんどない。私立の学校で主に取り組まれている。成績優秀な公立校の生徒か私立校の生徒が取り組んでいる。公立校の普通の生徒の能力では単独科学に取り組むことは難しい。本校でAレベルをやっている生徒はほとんどGCSEにおいて単独科学に取り組んだ生徒である。Double award science から来る生徒もいくらかいるが、ほとんどは単独科学をやっていた生徒である。2つの単独科学をやるということは認められていない。ナショナルカリキュラムにおいて科学全般を学習することが規定されているからである。教育課程から見れば単独科学を三つやるのもDouble award science をやるのも変わりはないのだが、試験の難しさという点から見るとこれらは明らかに違う。試験の内容はどちらも物理、化学と生物を含んでいて単独科学の試験の中にも簡単な問題は含まれているのだが、Aの評価をもらうための正答率もこれら二つでは異なっている。GCSE Double award science でA\*の評価を得た生徒が単独科学のGCSEでA\*を取れるわけではない。GCSE Double award science でBであったとしても単独科学でBは取れないであろう。規定上は同じなのだが、実際に教えるときにはかなりの差がある。単独科学の生徒に対しては、化学結合の話などをコースの初めからすぐに導入するが、Double award science の生徒にはゆっくりと導入していく。物理においては用いる方程式の数も違ってくる。Aレベルに進んでくる生徒に対してはある一定の学力を要求するが、Double award science でBの成績では、Aレベルの学習にはついていけない。それにはいろいろな要因があって、成熟度であったり、オーガナイズする力だったり、やる気だったりするのだが、GCSE Double award science でかなりうまくやっていたとしても、Aレベルではなかなかそうはいかないのだ。

#### 物理、化学と生物を学習する時期について

第10・11学年、の2年間にわたって物理、化学と生物を学習する。学年全体を10のグループに分けて、第1から第6までのグループは各教科に専門の教師がおり授業を受けている。第7から第10までのグループは、物理専攻の科学教師と生物専攻の科学教師の2人の教師から授業を受けている。そして1週間に5時間程度(物理、生物、化学合わせて)の授業がある。年間40週で計算すると220時間ほどの科学の授業を受けていることになる。(正確には第7・8学年は2週間で9時間の授業、第9学年は10時間、第10・11学年は11時間の授業、)Aレベルをやっている生徒については、物理、生物、化学、それぞれについて2週間で11時間の

授業を行っている。それぐらいの時間がないとやっていけない。コースワークはあるし、論述タイプの試験もあるし、たくさんの方がASレベルに詰まっている。コースワークとその試験には5週間かかる。それが5月に行われるということは、9月から初めて、クリスマスやイースターの休みを考えると、7ヵ月半でそれら全てをこなした上に内容を教えていかななくてはならない。実際その日程でやっているのだが良いとはいえない。化学は今年から少し内容を減らしたが他の教科は変わっていない。授業時数は他の教科についても同じだが、実業科学(A-VCE Science)(レベルとしてはAレベルと同じだがAレベル2単位分にカウントされる。)については2倍程度の授業時数になり23時間程度であるが、コースワークが中心の授業だ。

### GCSE の日程について

第10学年から始めて2年間のコースだと考えて、第10学年で10ヶ月、第11学年で7ヵ月半教える期間がある。そして科学については、主に第10学年でコースワークに取り組む。というのは、生徒は全部で10ものコースワークに取り組まなければいけないわけだから、すべてを第11学年に持ってくることは無理がある。したがって学校内でどの教科のコースワークをどの時期にやるかということを決め、2年間で満遍なくコースワークに取り組めるようにスケジュールを決めている。第11学年のときにやったほうが点は良くなるのだが、第11学年に10教科全部のコースワークをやるのには無理がある。科学では2つのコースワークを第10学年でやることにしている。イースター休みの前までに採点を済ませて一覧表を試験機関に送る。モデレーターは一覧表からチェックのために抽出する作品を選び、送り返してくる。筆記試験は5月の終わりから6月の初めに行われる。この日程は全国的に統一されている。これは11月に行われたGCSEのモジュラー試験も同じことだ。またこれらを受ける生徒の年齢も同じだ。大人になってからGCSEを受けることはできるが、成績の統計などからはこれらの受験生は除外されている。

### 一般的な科学授業における実験の割合について

第11学年になると、終わらせなくてはいけないことが見えてくるので、それまでに比べて実験の量は少なくなる。生徒によく言うことは、「この場面で実験をすることもできるが、もし私が演示すればそれは15分で終わる。みんながやれば1時間かかるだろう。そのように授業を進めれば、3月には全ての内容を終わることができるから、後の1ヶ月は試験の準備に使えるよ。実験するのとどちらが良いかな。」このように聞くと、ほぼ9割の割合で試験のための準備をするほうが良いという答えが返ってくる。低位のグループでは実験を好むことがあるので、そういうときには実験をすることにしている。彼らは一般的に、試験問題に集中して取り組むことが難しい。

### 試験準備について

筆記試験へ向けての準備もやっている。やればやるほど、結果も良くなる。模擬試験のような

ものを行ったりする。ほとんど全ての生徒は、試験の結果を大変気にしている。過去の問題をオーバーヘッドなどで示し、生徒に解かせてみて、模範解答を示すというような授業をする。全ての内容について準備することはできないが、どのように書いたらよいかということをおおくのはとても有効なことである。試験が要求している用語と生徒の使う用語は時々食い違っているからだ。科学がわかっていないのではなくて問題の意味がわからないということもある。

### 学級編成

1 学年を 10 のグループに分けている。これらは完全に習熟度別編成で、第 1、第 2 グループは 3 つの単独科学をやっている、**Key stage 3** においてレベル 7 から 8 に達していた生徒だ。第 3 から第 9 までのグループは **Double award science** をやっているが、第 3 から 6 までのグループは、**Key stage 3** においてレベル 6 の生徒、第 7 から 8 グループはレベル 5、第 9 グループはレベル 4。第 10 グループは職業コース (**V-GCSE**) をやっている、レベル 4 の生徒がほとんどで、レベル 3 の生徒がごく少数いる。第 1、2 グループの間にも差があって、第 1 グループの生徒は **A\*** かまたは **A** の成績が期待されている。第 2 グループは **B** か **C** であろう。今年、第 3 グループ (**Double award science**) の生徒で **A\*A\***をとったものがいたが、**A\***に関していえば単独科学の **A\***とあまり差はないであろう。しかし **Double award science** の **B** は単独科学の **B** より明らかに低い。



実験準備専用のテクニシャンルーム



Key stage 3 の科学授業風景



Key stage 4 の科学授業風景



Aレベル「化学」のコースワーク中のグループ



実験室に掲示のコースワーク評価基準の説明



インタビューに答应ていただいた Webb 氏(右)

## 第5節 科学カリキュラムで科学的探究能力の指導をどう具体化するのだろうか？

① 系統的に「科学的探究能力」が指導されるように情報提供を工夫している。

すでに第1章第2節で概括されたように、ナショナル・カリキュラムにおいて「科学」は「科学的探究」を含む4つの学習内容領域を持っている。下表のように、義務教育の11年間に4つの学校段階のすべてにおいて、「科学的探究」が設定され、学校段階とともにその内容が高度なものとなるように設計されている（第1章図9、図10を併せて参照）。

表1 「科学」のナショナル・カリキュラムの学習内容の構成と配置(QCA (1999) “The national curriculum for England- Science” から作成。)

内容領域	学年 学校段階	1-2	3-6	7-9	10-11	
		KS1	KS2	KS3	KS4	
内容領域	内容のまとめ				Single	Double
領域1: 科学的探究	科学におけるアイデアと証拠					
	調査能力					
領域2: 生命のプロセスと生物	生命のプロセス					
	細胞と細胞の機能					
	細胞の活動					
	人間と他の動物					
	生物としての人間					
	緑の植物					
	生物としての緑の植物					
	変異と分類					
	変異、分類と遺伝					
	変異、遺伝と進化					
環境における生物						
領域3: 物質とその特徴	物質の分類					
	物質の変化					
	混合物質の分離					
	反応のパターン					
領域4: 物理的プロセス	電気					
	電気と磁気					
	力と運動					
	光と音					
	波動					
	地球と地球外					
	エネルギー源とエネルギーの移動					
放射能						

(“KS”は Key Stage の略で、異なる学校段階を意味する。●は、ナショナル・カリキュラムに当該の内容のまとめの表記が見られることを意味するが、その内容は異なる学校段階で異なり、Key Stage とともに高度化する。“Single”は1つの GCSE 資格、“Double”は2つの GCSE 資格取得を想定した「科学」のカリキュラムである。)

わが国の学習指導要領「理科」のように、学習内容の項目がそれぞれ独立した学習単位となるようには設計されておらず、領域1「科学的探究」は、それ以外の3つのいわゆる科学の内容に関する学習領域を指導する中で、その活動を通じて学習される設計となっている。各教師は、科学の内容と科学的探究の内容とを適切に絡み合わせて指導計画を作成することが必要である。また、「学校段階」は複数の学年範囲を持つため、ナショナル・カリキュラムの学習内容をどの学年に、どのような順序でどの程度まで指導するかについ

でも計画作りは容易でないと考えられる。

そこで、QCA が学校側の指導計画づくりの参考となるように作成した“schemes of work”が、教育省 DfES のホームページ(<http://www.standards.dfes.gov.uk/schemes3/>)から提供されている。

例として、Key Stage 3 の schemes of work(指導計画)を取り上げる。3カ年の「科学」の指導計画は、合計 37 単元（学年 7・8 は 12 単元、学年 9 は 13 単元）で構成され、それぞれ 7～10 授業時間(60 分単位)程度の中規模単元となっている（QCA (2000) “Science: a scheme of work for key stage 3 – Teacher’s guide”、及び各単元別の指導計画書を参照した。ともに上記、ホームページよりダウンロード可能である）。

指導計画の第 1 番目の単元「7A Cells」（細胞）は、領域 2 の「生命のプロセスと生物」の内容「細胞と細胞の機能」に関するもので、「細胞は生物の基本単位であり、組織を構成し、そこから器官が形成されること」「植物と動物での細胞の構造とその違い」「いくつかの細胞の機能」について学習する約 8 時間(60 分単位)で構成されている。この単元における「科学的探究」に関する学習内容と調査内容は、次のように記述されている。

内容「科学におけるアイデアと証拠」

- ・ いかに顕微鏡を用いた観察が生物の構造についてのアイデアを発展させることに役立つものであるか。

内容「調査能力」

「計画すること」

- ・ 生物調査での標本数の大きさについて検討すること。

「証拠を得ることと提示すること」

- ・ 顕微鏡を安全かつ効果的に用いること
- ・ 顕微鏡による観察を行い記録すること

「証拠を考察すること」

- ・ 顕微鏡観察で得られた情報を比較し解釈すること
- ・ 結論を導き説明すること

「評価すること」

(無し)

調査内容

- ・ 適切な標本数で、かつ、関連する要因をコントロールしながら花粉管の成長を調べること

また、各単元の学習の終わりに生徒に期待される姿が、生徒の学習への習熟度を 3 段階に分けて明示されている。この単元の「科学的探究」に関する期待は以下の通りである。

「大半の生徒の姿」

- ・ 顕微鏡観察から得られた証拠に関連づけて生物の構造に関して持っていたアイデアを記述する。顕微鏡を用いて観察をし、単純な図でそれを記録する。花粉管について



疑問をもって、調べることができ、適切な標本を用いる。適切なグラフで結果を表現し、それが何を示しているかを説明する。

「あまり学習が進まなかった一部の生徒の姿」

- ・ 顕微鏡を用いて観察したことを図に描き、調べたことから何がわかったかを記述する。

「発展的に学習が進んだ一部の生徒の姿」

- ・ 顕微鏡観察から得られた証拠がいかに生物の構造についてのアイデアを変化させたかを説明する。顕微鏡下の標本の大きさを推定するとともに、花粉管の調査に選んだ標本の妥当性について述べる。

**schemes of work**(指導計画)には、このほかに、この単元の基礎となる既習内容、健康と安全面への配慮、正しい言語の使用への配慮、参考資料リスト、学校外学習の可能性、などに加えて、大まかな各時の学習計画（学習目標、教授活動、学習成果、留意点）が記述されている。

こうした指導計画面での提供によって、科学の内容の学習に埋め込まれる形で、「科学的探究能力」が系統的に育成されるよう工夫されている。

指導計画面とともに、評価の面においても、情報提供の工夫がなされている。QCA の担当者はインタビューの中で次のように述べている。

*[到達レベルの解釈]* ナショナル・カリキュラムの到達目標 (*Attainment target*) の各レベルの評価基準が、一般的な用語で記載されているので、教師から各レベルの評価が不明確だと指摘される。私たちは、そうした質問に対して、**Web** 上で教師たちが各レベルの解釈に参考になる情報を公開して、それができるだけ理解できるよう努めている。

QCA の運営する **Web** サイトの一つ “National Curriculum in Action” では、教師が生徒の学習結果に基づいて生徒の到達レベルを判断できるようになるために、生徒の具体的な学習内容を提示しながら解説を行っている (<http://www.ncaction.org.uk>)。Key stage 2 の終わり（第 9 学年）の「科学」の事例紹介では、5 つの単元での生徒 Roxanne のノートやレポートの内容が示され、それぞれがどの程度の到達目標を反映しているかが述べられた後、まとめとして、次のように全体としての到達レベルを判定している。

Roxanne の成績を決定するに当たって、レベル 3, 4, 5 が検討対象となるが、レベル 4 がもっとも適していると判断される。しかし、Roxanne は、いくらかレベル 3 とレベル 5 の特徴も示している。

Roxanne は、どういう実験が公正であるかがわかっており、また指示が無くても公正な実験を適用していることは、レベル 4 の一つの特徴である (Mopping-up と Dissolving salt の 2 つの単元の事例から)。彼女は、検討すべき要因を特定し、一つの要因を変化させる一方、その他の要因を同じに保っていることは、レベル 4 と 5 の特徴である。

Roxanne は、適切な場面で、レベル 4 の特徴である予測をしている (Mopping-up と Dissolving salt)。彼女は彼女の知識と理解 (Mopping-up) に基づいてそうした予測をしており、レベル 5 以上の特徴を示している。



Roxanne は、適切な器具を選んで用いており (Mopping-up と Dissolving salt)、レベル 3 以上の特徴を示し、また、課題に十分な観察と測定を行っている (Green plants、Different surfaces と Dissolving salt)。これはレベル 4 の特徴である。いくつかの場面では、彼女の観察と測定は課題に対して適切な正確性を示している (Lichens と Mopping-up) が、これは彼女の学習で一貫した特徴とはなっていない。

Roxanne は、さまざまな手法で彼女の観察を記録していることは、レベル 3 の特徴である (すべての事例)。彼女は、棒グラフを用い単純なグラフを打点し始めており (Different surfaces と Dissolving salt)、レベル 4 の特徴である。しかし、まだそれらのグラフは軸が等間隔となっていない (Dissolving salt)。

Roxanne は彼女が何を見出したかを彼女の実験と調査結果から述べている (Mopping-up と Dissolving salt) ことは、レベル 3 の特徴である。彼女はこれを彼女の知識と理解に関連づけ始めている (Mopping-up) ことは、レベル 4 に合っている。

このように、生徒の到達レベルを判定する際に、複数のかなり広範な単元の学習成果に基づいて、その生徒の得意な側面と不得意な側面の両面を考慮に入れて判断するよう、また、生徒に対してその到達状況を示すことのできる機会を十分に指導計画に盛り込むよう促している。また、生徒の学習成果をどのように記録するかについては、学校の方針に沿って各教師が工夫するよう求めている。

以上のように、QCA は、ナショナル・カリキュラムにおいて「科学的探究能力」の学習内容と到達目標を形式的に示すだけでなく、それを学校における指導計画としていかに展開するか、及び、学習の成果をいかに評価するかを含めた情報提供を工夫している

## ② 教科書において「科学的探究能力」の指導が組み込まれている。

インタビューでも QCA は教科書に関与していないと述べられているように、英国では教科書の作成は自由であり、教師がナショナル・カリキュラムの指導と評価に適した教科書を選択するものとなっている。ナショナル・カリキュラムの内容の指導は法律で義務づけられているので、それを網羅しない教科書は採択されないこととなる。

「科学的探究能力」の指導が、いかに教科書中で反映されているかについて、収集した数点の科学教科書の教師用指導書を調べた。

事例として、Key stage 2 段階の Nelson Thornes 社の「科学」の教師用指導書で、どのように「科学的探究能力」の指導が組み込まれているかを表 2 に示す。

表 2 において、トピックは、Key stage 2 の 4 年間 (第 3~6 学年) 用に設定された 39 の単元の通し番号であり、トピック 1 の「動物と植物の世界」からトピック 14 「微生物」までが、科学の内容領域 2 「生命のプロセスと生物」に、トピック 15 「磁性と硬度、吸収力」からトピック 24 「混合物」までが、科学の内容領域 3 「物質とその特性」に、そして、トピック 25 「電流回路の作成」からトピック 39 「太陽、地球、月と時間」までが、科学の内容領域 4 「物理的プロセス」に対応している。

表 2 Key Stage 2 段階の「科学」におけるナショナル・カリキュラムの学習内容と学習トピックとの関連づけの例  
(Clemson, W. (2001) “Key Stage 2: Science”, Nelson Thornes, pp.8-9. (科学教師用指導書)を元に作成。)

学習内容 トピック		領域1 科学的探究					領域2 生命のプロセスと生物					…			
		1		2			1			2		…			
		a	b	a	b	c	…	a	b	c	a	b	c	…	…
1	動物と植物の世界													…	…
2	歯													…	…
3	食事													…	…
4	心臓、薬、運動と健康													…	…
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

表 2 に示されているように、トピックごとに、科学の内容領域 1「科学的探究」への対応が明示されており、授業案に記載されている学習活動を通じて意図された科学的探究能力の育成が図られている。

Key stage 3 段階 (第 7～9 学年) については、Collins 社の科学の教科書 “Absolute Science” の教師用指導書を調べたところ、前述の QCA の指導計画 “schemes of work” に沿った構成となっており、授業案に示された学習活動によってナショナル・カリキュラムで求められている科学的探究能力の指導が具体的に示されている。

Key stage 4 段階 (第 10～11 学年) については、Edexcel 資格授与機構の GCSE Science のシラバスに準拠した Nelson Thornes 社の科学教科書 “Nelson Modular Science” を調べた。この教科書は 3 分冊で構成され、1 番目の教科書単独で、単一資格用の科学 Science Single Award 用に、1 番目と 2 番目の教科書を組み合わせ、二重資格用の科学 Science Double Award 用に、さらに、3 冊すべてを組み合わせ、3 つの資格が得られる単独科学のコース用に使用できるようになっている。それぞれの教科書が 6 つ程度の章を持ち、その中が数多くの小単元に分けられている。そして、各単元において「科学的探究能力」を育成するための実践的活動に関する情報が教師用指導書と教師向けの Web ページで提供されている。

“Nelson Modular Science” の 1 番目の教科書の終わりに、「コースワーク」という章が設けられており、GCSE で課せられる「コースワーク」について、どのような課題研究レポートを作成することが期待され、いかなる評価基準で採点されるかが説明されるのに続いて、測定対象となる科学的探究の 4 つの能力領域「計画すること」「証拠を得ること」「証拠を分析し考察すること」「評価すること」のそれぞれについて、具体的な生徒のコースワークで評価の低いもの、評価の中くらいのもの、評価の高いものの数事例が、それらを採点した教師のコメントとともに掲載されている。生徒がこれを読むことによって、どのような点に注意して研究を進め、報告書を書けば、より高い評価が得られるかが理解できるようになっている。なお「コースワーク」の詳細については次節で述べる。

## 第6節 科学的探究能力をいかに指導し評価するのだろうか？

### ③ 日常的な科学の授業を通じて「科学的探究能力」の指導と評価を工夫している。

インタビューで訪問した小学校と中学校では、ともに実践的な観察実験活動を数多く取り入れた科学の授業が行われていた。

小学校インタビュー記録：[科学的探究の指導計画]「・・・授業がいかに展開されるかは、科学的探究面にかかわるものであるが、私たちはかなり多くの時間、およそ半分の授業時間を科学的探究に関わる実践的な学習にあてるようにしている。・・・」

中学校インタビュー記録：[授業時間の半分は実験]「科学の授業全体の大体半分の時間が実験に当てられている。1時間を理論の学習に当てたらその次の授業は実験という風に進んでいくから、大体半分という感じになるだろう。・・・」

このように、活動を多く取り入れた指導において、どのように「科学的探究能力」の指導を工夫しているかについて、特に小学校のインタビュー記録に多くの記述が見られる。

小学校インタビュー記録：[科学的探究の実践的学習]「・・・重視するのは、スキルを明らかにしていくことで、疑問が明らかになれば、その疑問に答えるために適切な方法について考えさせることであり、彼らが研究（リサーチ）をできるようにすることである。・・・変えることのできるすべての要因を明らかにし、次にそれらのうちの1つだけを変化させ残りの要因を同じにして調べることが、要因を制御した公正な実験 *fair test* になることを考えさせ、そして、いかに実際に変化する量を測定するかを考えさせる。こうした文脈で、・・・われわれの学校では科学的探究を教えている。・・・「公正な実験」(*fair test*)は、制御した探究を行わせるために、かなり強調している重要な留意点(*key focus*)である。・・・より低学年の子どもたちの場合は、より定性的に、シンプルに変化を観察することにより重きを置き、あるいは、・・・種類を変えて違いを調べたりする。5～6学年になると、より定量的な側面を強調するようにしている。」

[小学校科学での科学的探究の振興]「・・・科学的探究をふり返って結果について考えさせることもコースの重要な側面であり、予測と比較させながら結論を述べさせる。それが一致しないときは、2つの可能性について考えさせ、1つは予測が間違っていたことで、もう1つは探究に問題があって別のやり方であればよりよい結果が得られたのでないかということである。」

しかし、このように科学的探究を重視した科学の指導をしている小学校は一般的には多くないものと思われる。中学校とQCAにおける次のインタビュー記録がそのことを示唆している。

中学校インタビュー記録：[コースワークへ向けた指導]「・・・最近になって *Key stage2* においても振り子の長さがその周期にどのように影響するかというようなことを通して科学の能力を診断するようになった。しかしながら、ほとんどの小学校には科学の教室がないため、多くの子どもは正式な実験については何の経験もないまま中学校にやってくる。第7・8学年

を通じて実験の技能とともに、実験を計画し、データを取り、結果を考察し、実験を評価するといった一連の実験手順についても習得させる必要がある。」

QCA インタビュー記録：[年少段階からの「科学的探究」指導の強調]「・・・本質的には、より若い年齢段階で科学的なプロセスについて十分に指導されていないことが問題である。それでわれわれは年少の段階からの科学の指導のされ方を変えるよう取り組んでいる。それによって、子どもたちが十分に領域「科学的探究」を学習することで、より多くの生徒がGCSEの科学で成功するようになると考えている。」

[年少段階からの科学のプロセスに関する指導]「・・・7, 8, 9 歳ぐらいの段階から科学のプロセススキルを導入していきたい。小学校の教師には、理科授業やテストの内容について昨年ずいぶん話をした。小学校の教師は一般的に理科の素養が十分ではないし、実験機器もそろっていないということで不安な様子だった・・・」

訪問した小学校では、科学の単元ごとに図 1 のような独自の指導計画を作成していた。図 1 の単元「物質の変化と混合、分離」の内容 2「物質の変化」は、5 つの活動から構成され、概念的な学習成果 (A~E) と科学的探究に関わる学習成果 (1~3) がどのように組み込まれているかが明確にされているのに加え、この内容の評価基準として到達レベル 3 (L3) からレベル 5 (L5) までの生徒の期待される姿が記述されている。

第5学年 - 夏学期 - 物質の変化と混合、分離	概念的学習成果:
<b>学習内容:</b> Key stage 2 - 物質とその特性 内容2: 物質の変化 内容3: 混合物質の分離 他の学習内容とのリンク 第2学年 - 物質の変化 第3学年 - 物質の変化	<b>内容2: 物質の変化</b> A) 可逆変化が可能な変化とそうでない変化があることを知る B) 温度は、物質がいかに熱いか冷たいかの程度であることを知る C) 氷結と凝結は冷却によって起こり融解と蒸発は加熱によって起こることを知る D) 水が循環的に固体から液体、気体へいつも変化していることを知る E) 物質には加熱すると燃焼するものがあると知るそれが永久に変化した(不可逆的变化)とわかる
<b>実験的探究の科学の学習成果:</b> <b>1. 実験調査を計画すること</b> (i) アイデアを調査するために科学的知識と理解を用いることができる。 (ii) 科学的知識と理解に基づいて予測する (iii) 2~3の変数(要因)で公正な検証実験を実行する (iv) 変数を制御した適切な器具を選択する  <b>2. 証拠を得ること</b> (i) 一連の観察を行い、繰り返したり正確さを確かめたりする (ii) 正確に測定する 質量(g, kg), 長さ(mm, cm, m), 時間(分, 秒), 力(N), 温度( ) (iii) 自信を持って幅の広い器具を用いる  <b>3. 証拠を考察すること</b> (i) 表や図、グラフを用いて結果を記録する 線グラフを徐々に用いる (ii) 単純なパターンを自信を持って説明する (iii) より複雑なパターンを説明する。パターンと科学的知識と理解に基づいて一般化し始める (iv) 幅広い人々に情報伝達する (v) 実験や調査について批判的に評価する	<b>氷の調査</b> 1,2,3 温度の測定を含む氷の溶解の調査 (A,B,C)  <b>氷の消失</b> 1,2,3 異なる場所で、(ふたのしてある、していない) (A,B,C) 水の入った皿を用いた蒸発速度の調査。雨の水たまりでも繰り返す。  <b>凝結(水滴)</b> 2 氷のかたまりをグラスに入れたときや鏡に息を吹きかけたとき、(A,B,C) グラスにやかんの湯気がかかったとき、冷凍庫の扉を開けたとき、などの凝結(水滴)を観察する。  <b>水の循環</b> (D) 水の循環の調査、描画、討論、理論的モデルを含む  <b>ものを加熱する</b> 1,2,3 異なる物質を加熱する - 少量の綿、紙、チョコレート、ソフトマーガリン、(A,E) 粘土、パン生地、ケーキ。< 燃焼活動では健康と安全に留意。 >
	<b>評価基準</b> L3 何がチョコレートと水を溶かしたり固まらせたりしたか、そして、粘土に水を加えたり水を除去したりすることが可逆的な変化であることを説明できる。何が粘土を燃やしたりパンを焼いたり、紙やろうそくを燃やしたりしたかを説明できる。これらが可逆的でない変化であることを説明できる。 L4 可逆的变化と不可逆的变化についての知識を使って、他の物質の変化について予測できる。融解、氷結、凝結、蒸発という用語を変化に関連づけて用いる。 L5 雨の水たまりが消えるなど、融解や氷結や蒸発や凝結が起こるさまざまな状況を特定できる。既知の知識を用いて、変化が可逆的であるかそうでないかを予測できる。基礎的な理論的モデルを用いて水の循環を説明できる。

図 1 訪問調査した小学校で作成されていた第5学年単元「物質の変化と混合、分離」に関する指導計画の一部

「科学的探究能力」の到達レベルの判断が容易でないことは先述したが、訪問した小学校では、ナショナル・カリキュラムに従って、「科学的探究能力」を「実験調査を計画すること」「証拠を得ること」「証拠を考察すること」の3観点で捉え、表3のように、それぞれの観点に複数の指導項目を設定し、各項目別に、レベル1からレベル5までの統一した判断基準を作成していた。

表3 訪問調査した小学校で作成されていた「科学的探究能力」到達レベルの判断基準

実験調査を計画すること	「問題を提起すること」	
	L1	「それは何色だろうか」といった単純な質問に答える。
	L2	どうやって物事を見つけるかの示唆に答え、助けがあれば、自分自身で示唆を行う。「どうやれば?」「なぜ?」「もし…したらどうなるか?」といった質問に答える。
	L3	示唆に答えて、調べることが可能な自分の考え(日常経験により)を提案する。
	L4	ある考え(過去の経験に基づいて)を調査できるような問題に変えるために公正な実験に関する知識を用いる(作業状況に応じて調査が実行可能になるよう教師が支援する)。
	L5	調査の対象となる問題を提起する時、作業状況に応じた知識と理解を、公正な実験に関する知識と結合させる。
	「予測すること」	
	L1	何が起りつつあるかを記述できる。
	L2	何が起るであろうかを簡単に述べるができる。
	L3	過去の直接経験(性格である必要はないが熟慮されたものである必要がある)に基づいて、何が起るであろうかを述べるができる。
	L4	上のことを、科学的知識と理解(支援を受けながら)を用いて行い、道理にかなった説明を行う。予測がより性格になりつつある。
	L5	上のことを、科学的知識と理解に基づいて予測する。説明に科学的用語を用いる。
	「公正に実験すること」	
	L1	公正な実験が必要であるとわからないまま活動している。
	L2	教師が支援して公正な実験を行えるが、なぜそれが公正なのかを説明できない。
	L3	なぜ実験が公正であるか、あるいは公正でないか、及びどのようにそれを公正にするかを言葉で説明することができる(教師のガイドを要する)。
	L4	L3を独力でできる。まとまった調査の一部として、公正な実験を計画することができる。また、変数制御をいかに行うか(どの要因を変化させたり、同じに保ったりするか)を知っている。
	L5	公正な実験が計画に組み込まれている。重要な諸要因を特定し、繰り返しの調査や、複数回の測定を行う。
	「器具を選ぶこと」	
	L1	単純な器具が教師から与えられる。
	L2	教師から与えられる器具がなぜ適切であるかを議論できる。
	L3	教師によって与えられたある限られた範囲の単純な器具から選ぶ。
	L4	課題に用いるに相応しい器具を選択する。
	L5	ある範囲の課題に対して器具を選択する。
	証拠を得ること	「観察すること」
L1		関連ある観察ができる。
L2		関連ある観察と単純な比較ができる。
L3		単純な説明を支持する観察ができる。
L4		課題に対して適切な一連の関連ある観察ができる。
L5		課題に対して適切で、正確な、一連の繰り返しの観察ができる。
「測定し記録すること」		
L1		定性的な観察ができる。
L2		比較ができる。
L3		長さや質量のような量を測定する。
L4		課題に対して適切な一連の測定ができる。
L5		課題に対して適切で、正確な、一連の繰り返しの測定ができる。
「器具を用いること」		
L1		教師の助けを得て、一つの単純な器具を使うことができる。
L2		与えられた単純な器具(教師の助けによる一つか二つの器具に限定)を正しく用いる。
L3		関連ある観察と測定を行うためのある範囲の単純な器具を正しく用いる(より独力で広範な器具を用いる)。
L4		独力で課題に対して適切なある広範な器具を用いる。
L5		課題に対して、より正確な一連の測定と観察を行うために、注意深く正確性のあるより洗練された器具を用いる。

(前ページからの続き)

証拠を考察すること	「表・グラフ・チャート」	
	L1	絵に描いたり、事前に用意された図表に埋めたりして、記録できる。
	L2	そうすることが適切な場面で、単純な表を使って、記録できる。
	L3	さまざまな方法で観察を記録できる。棒グラフを教師の助けを借りて使える。
	L4	表や棒グラフを(独力で)用いて、観察と測定を明確に表現できる。打点による単純なグラフを作成し始める。
	L5	観察と測定を系統的に(測定を繰り返して)記録でき、データを線グラフとして表現できる。
	「パターンを認識すること」	
	L1	ある一つの場面で何が起こったかを記述する。
	L2	観察に言及して、起こった事柄の類似性や差異性を記述できる。
	L3	観察に言及して、なぜ出来事が起こったのかを説明できる。
	L4	助けを得て、データの中にパターンや傾向を指摘できる。
	L5	データを検討する際に、確信を持って、関連ある傾向を特定できる。
	「パターンを解釈し説明すること」	
	L1	あるパターンがあることに気づくが、なぜなのかにコメントできない。
	L2	あるパターンの原因である類似性を認識できる。起こった事柄が期待した事柄なのかどうかを述べることができる。
	L3	あるパターンを特定して、それが発生した理由に関連する説明を提案できる。
	L4	データ中に傾向を特定して解釈することができ、データを証拠として、科学的知識と理解に基づいた結論を構成することができる。結論を導く際に、データのパターンを考慮し、また、結論を科学的知識と理解に関連づけ始める。
	L5	データをより深いレベルで解釈し、一般化を行い、科学的知識と理解で正当化する。科学的な用語を用いる。証拠と一致する結論を導くとともに、科学的知識と理解に結論を関連づけ始める。
	「わかったことを伝達すること」	
	L1	言語的叙述と、絵と記述を通して、何を行ったかを報告できる。
	L2	何を行ったかについて、単純な記述を提供できる。
	L3	順序立てた絵と記述を通して、わかったことを伝達する。
	L4	一つの調査について記述する際に、ノートを下書きし直すことを始める。
	L5	調査とわかったことを他人に伝達しようとする際に、ある共通の様式が必要であることを認識している。
	「実験や調査を評価すること」	
L1	わかった事柄の正確性を検討しないで調査について報告する。	
L2	助けを得て、やろうとしている観察や測定の正確性を検討する。	
L3	どのような場面で観察や測定が完全に正確なものとするのが困難であるかを認識している。	
L4	技術的問題に気づいていて、結果の正確性に影響を与えるような測定器具の質について認識している。より正確なものとするために何をすることがひつようであるかを検討する。自分の証拠が予測を支持するかどうかを示せる。	
L5	もし調査が繰り返されたら、類似した結果が得られるかどうかを検討する。いかに自分の結果に確信があるかを検討し始める。	

このように、訪問した小学校では、ナショナル・カリキュラムで意図されている「科学的探究能力」の指導と評価を、補助的な資料の開発も含めて工夫していた。

中学校段階においては、実験設備が整って実験活動を重視した指導がなされているのに加え、**Key stage 4**における「コースワーク」の指導過程を通して、「科学的探究能力」に関する重点的な学習が行われているが、QCAとしては、小学校段階での「科学的探究能力」の指導の普及に取り組んでいる。

QCA インタビュー記録：[年少段階からの科学のプロセスに関する指導]「・・・7, 8, 9歳ぐらいの段階から科学のプロセススキルを導入していきたい。小学校の教師には、理科授業やテストの内容について昨年ずいぶん話をした。小学校の教師は一般的に理科の素養が十分ではないし、実験機器もそろっていないということで不安な様子だったが、小学校の理科は、ぜんまい仕掛けの車のおもちゃでどんなことが教えられるかということなのだ。「ぜんまいを5回巻いたら何メートルいくか予想してみよう。」「それをどうやって確かめたらよいだろう。」

「車が進む距離はどんな要因の影響を受けるだろう。カーペットの上と、床の上では違った結果になるだろうか。」このように実験室などの特別な環境で行わなくてはいけない様なものではなく、誰にだってできることなのだ。ただ、計画することや条件を統制すること、科学的な用語を使って表現することや結果をきちんと記録することなど、科学の方法というものをきちんと意識した活動になっていけば良いのだ。」

④ 全国テストで筆記試験による「科学的探究能力」の評価を工夫している。

ナショナルテスト（全国テスト）は、QCAがKey stage 1からKey stage 3までの各Key stageの終わりに、統一テストによってナショナル・カリキュラムの実現状況を把握するために実施する悉皆調査で、「科学」については、Key stage 2とKey stage 3の2回実施される。QCAでインタビューに回答いただいたClesham氏は「科学」のナショナルテストの責任者である。インタビューでは、繰り返し、ナショナルテストにおいて「科学的探究能力」を測定する問題を含めることの重要性が語られた。

QCA インタビュー記録：[年少段階からの「科学的探究」指導の強調]「・・・年少段階での科学の指導を変えるといっても、学校側に十分な科学的資質をもたない教師が多いことが問題となる。そこで、われわれの立場としては、ナショナル・カリキュラムとともに、ナショナルテストで領域「科学的探究」を強調することによって、教師とLEA(地方行政当局)と教師教育者たちに、科学がいかに指導されるべきかについて認識してもらいたいのだ。」

「[科学]の授業を変えること」「・・・来年かそれ以後になれば、(ナショナルテストの結果で、)教え方と学び方の改善の成果が現れると期待している。われわれは、スタンダードを向上させることにとても真剣で、カリキュラム内容を変えること、評価手段を変えること、教え方を変えること、に取り組んでいる。」

「[ナショナルテストにおける「科学的探究」の扱い]「・・・ナショナルテストについては、3年前から、実践的な学習を実際に行わなければ解答できないようなテスト問題づくりを手がけてきた。教師たちとともに、どこの学校でもそれを可能とする文脈の問題を作成し、それによって、教師の教え方により影響を与えられるような優れた教授法を反映するように心がけている。」

ナショナルテストにおいて「科学的探究能力」を測定する問題を含めるようになった背景には、これまでのナショナルテストは「知識に偏りすぎていて、プロセス（スキル）が弱かった」ことへの反省もある。わが国と同様に、「教育の文化がテスト中心になりつつあって、なかなかその文化から逃れられない」状況下で、知識に偏りすぎたテストが学習指導にもたらす悪影響に対する一つの対策であるとも言える。しかし、テストにおいて「科学的探究能力」を評価することの限界も意識している。

QCA インタビュー記録：[筆記試験における「科学的探究」のスキルの位置づけ]「ナショナルテストで科学的探究のスキルをテストすることをあまり強調すべきではないと考えている。科学的探究のスキルをテストに含めることで、短期的には教師たちにそれが重要であるこ

とを示すことができるが、長期的には筆記試験で測られやすいものと日頃の授業で学習するスキルやプロセスとのバランスを取り戻したいと思っている。これはテストを変えるだけでは実現できず、さらなる努力が必要だが、とりあえず安易な方法として、テストで問うことで科学的探究のスキルが重要であることを示しているのである。」

より本質的には、テストにおける「科学的探究能力」を測定する問題の有無にかかわらず、科学の授業において「科学的探究能力」が指導される状況をもたらすことがねらいであることがわかる。

小学校でのインタビューでも、ナショナルテストにおける「科学的探究能力」に関する出題の意義と限界について、QCAと同様の見解が得られた。

小学校インタビュー記録：[小学校科学での科学的探究の振興]「・・・長年にわたって、イングランドの子どもたちは、テストで良い得点を取るよう訓練されてきた。Key Stage 2の終わり頃になると実践的な学習が軽視されがちであった。そこで、教室でより実践的な学習が行われるよう、QCAは今年からナショナルテストで実践的なスキルを問う問題を多く取り入れた。児童はその新しいタイプの問題ではただ知識を答えるのではなくて、与えられた問題状況から慎重に判断してどのような実践的な解決が妥当かを考えなくてはならない。例えば、運動場の影が動いていく現象を取り上げて、それに何が関係しているかをどのように調べるかを問う問題だ。この種の問いは今まであまり問われなかったものであるが、授業でより実践的な学習をしておくことを要求するものだ。このように、徐々に変わりつつが、イングランドの小学校ではまだ十分な実践的な学習が行われてはいない。ただし、私はよい方向に向かいつつあると思う。」

[教師による評価の大切さ]「・・・子どもと言葉を交わして、適切な問いかけをすることで、教師はテスト問題での解答からよりも子どもが科学についてどの程度わかっているかをはるかによく把握できる。教師による評価とペーパーテストによる評価とのバランスを取ることが必要だ。」

中学校でのインタビューにおいてもナショナルテストにおけるこうした変化は肯定的に受け入れられていた。

中学校インタビュー記録：[小学校科学での科学的探究の振興]「・・・そのような（実践面の評価）問題がナショナルテストの中に今年度は1問あった。今後それは増えていくだろう。・・・そのような問題に生徒が対応できるようになっていくことを望んでいる。・・・探究過程を理解することは、特に実験の評価などは、非常に高いレベルの思考力を要求される。」

具体的に「科学的探究能力」に関連するどのような問題がナショナルテストで出題されているだろうか。

図2、図3は、Key stage 2の終わり（第6学年；日本の小学校5年）の「科学」のナショナルテストの問題の事例である。



## 問題事例 A 種の発芽

(a) (二人の子どもたちの実験の様子の写真)

この子どもたちは3通りの温度でレタスの種が発芽する様子を観察し記録しました。彼らは、それぞれの温度で同じ数の種を蒔きました。

温度 (°C)	発芽したレタスの種の合計					
	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
5	0	0	—	0	1	1
15	0	0	0	1	5	9
25	0	2	8	13	17	19

3日目の5°Cでどのくらい多くの種が発芽したかを書き入れて、表を完成させなさい。

(b) 子どもたちは種について、何かを見つけだそうとしていました。

どんな疑問を、子どもたちは調べようとしていたのですか？

---



---

(c) 子どもたちは、表の結果について議論しました。

結果の表を見て、次の各結論が、正しいか、誤りか、あるいは正誤は言えないかを決めなさい。それぞれの結論について、正解一つにチェックしなさい。正誤は

	正	誤	言えない
最も速く発芽したのは25°Cだ。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25°Cでは、6日目までにすべての種が発芽した。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5°Cは種が発芽するには冷たすぎる。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
発芽に最も良い温度は15°Cだ。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(d) アランは予測しました： (写真) 「どんな種類の種でも発芽するのに最も良い温度は25°Cだ。」

ファイザが言いました： (写真) 「あなたはその予測を支持するために十分な情報を集めていない。」

(i) あなたは、だれに同意しますか？ 一つにチェックしなさい。

アランに同意する       ファイザに同意する       アランとファイザに同意しない

(ii) あなたの答えを説明しなさい。

---



---

図2 Key stage 2の終わりの「科学」のナショナルテストの問題事例A

### 問題事例 B ペーパータオル

- (a) 4人の子どもたちが、それぞれ異なる種類のペーパータオルを調べました。

サリー (写真) 「ワイパタオルは、2層になっている」

イアン (写真) 「ソアカタオルは、厚いな」

アリス (写真) 「モッパタオルはやわらかい」

スチュアート (写真) 「クリーナタオルは透かして見るができない」

すべての子どもたちの発言の種類を答えなさい。

一つをチェックしなさい。

予測  測定  計画  観察

- (b) ロバートとローレンは、4つのタオルの上に水をたらして、それらがこれ以上水を保てなくなるまでそうしました。(状況の写真)

彼らは、結果を表にしました。

ペーパータオルの種類	吸収した水の量 (cm <sup>3</sup> )
ワイパ	12
ソアカ	18
モッパ	9
クリーナ	15

彼らはタオルについて、何かを見つけ出そうとしています。

どんな疑問を、子どもたちは調べようとしていたのですか？

\_\_\_\_\_

- (c) 彼らが調査を行うときに**変化させた**一つの要因は何ですか？

\_\_\_\_\_

図3 Key stage 2の終わりの「科学」のナショナルテストの問題事例B

図4は、Key stage 3の終わり（第9学年；日本の中学校2年）の「科学」のナショナルテストの問題の事例である。

これらの問題から、調査課題の特定、予測、公正な実験（変数制御）、表データからのパターンの認識と解釈、調査の評価、など、「科学的探究能力」の指導で強調される要素に関わった質問が、問われていることがわかる。

問題作成に当たっては、「すべての生徒にアクセシブルなものとなるように、写真や図を重視して、文章に依存しすぎないようにしている。知識への比重を軽くし、科学的探究のスキルやプロセスを問う問題をより取り入れている。」（QCA インタビュー記録 [ナショナルテストの問題作成]）とあるように、よりビジュアルに問題状況が把握できて、できるだけ読解力の差が結果に影響しないようにするといった工夫が、出題問題全体を通じて図られている。

### 問題事例

アランとイーシャは、グロッシー液体洗剤の方が他の液体洗剤よりもより多くのシャボン玉ができると主張しているポスターを見ました。

(ポスターの絵)

彼らは、3種類の異なる液体洗剤でできるシャボン玉の量を調べました。

彼らは、それぞれの液体洗剤を試験管に入れ、水を加えて、振りしました。

(実験の様子の写真、振っている試験管にはゴム栓がしてある)

(a) もし、ポスターでの主張が彼らの実験結果で支持されたとしたら、彼らは何を見ることになるのでしょうか？

(b) 彼らはそれぞれの試験管で同じ量の液体洗剤を使用すべきなのはなぜですか？

(c) この調査を行った初回は、すべての液体洗剤でシャボン玉が試験管の上までできました。このことが問題になったのはなぜですか？

(d) ジェーンはそれぞれの試験管の液体洗剤を少なくして、再び調査をしました。彼女は、シャイン液体洗剤についてある予測をしました。写真は彼女の結果を示しています。

(中ぐらいの泡)	(いっぱい泡)	(少ない泡)
グロッシー洗剤	シャイン洗剤	フレッシュ洗剤

ジェーンの結果は、シャインに関する彼女の予測を支持しています。ジェーンの予測とは何でしたか？

図4 Key stage 3の終わりの「科学」のナショナルテストの問題事例

⑤ 資格試験の「コースワーク」により「科学的探究能力」を指導し評価している。

「コースワーク」は、GCSE などの教育資格試験の多くの科目で課せられている「課題研究レポート」に似た生徒の制作物で、資格授与機構の試験要領 (specification; シラバス) で示された評価基準によって、生徒の属する学校内で評価され得点化されるものである。評価の信頼性を高めるためのチェック体制も確立されている。コースワークによりどのように「科学的探究能力」を指導し評価しようとしているのだろうか。

コースワークの試験要領は、資格の種類によって、また、資格試験を実施する資格授与機構によって異なっているが、ここでは、「科学」の GCSE 資格試験について、訪問した Edexcel 資格授与機構の記載情報 (Edexcel Publications Code: UG009871, UG008983) を中心に、その大まかな特徴について記述することとする。(詳細な規定については各資格授与機構の試験要領を参照いただきたい。)

GCSE のコースワークは、GCSE の認定階級 (A\*~G) の判定に用いられる総得点のうち 20% を占める。その他の 80% の配点を筆記試験が占めている。

ナショナル・カリキュラムの領域 1「科学的探究」の内容 (第 1 章図 10 参照) のうち、「科学での考え方と証拠」については、領域 2~領域 4 の内容とともに、筆記試験の中で評価がなされる。コースワークによって評価されるのは、領域 1「科学的探究」の「調査能力」つまり「科学的探究能力」に関する内容である。

「科学的探究能力」は、ナショナル・カリキュラムにおける規定に従って、「計画すること」(P)、「証拠を得ること」(O)、「証拠を分析し考察すること」(A)、「評価すること」(E) の 4 つの能力に関する個別得点の総合点として測定される。QCA インタビューで言及されているように、これは「POAE システム」と呼ばれている。

一つのコースワークに関する P,O,A,E は、それぞれ、8 点、8 点、8 点、6 点で配点されるため、一つの資格試験に対して最大 30 点となる。二つの GCSE 資格の授与対象となる Double Award Science では、60 点満点となる。この得点をいくつのコースワークで構成するかについては、複雑なルールが規定されており、例えば、一つのまとまったコースワークで POAE それぞれに得点し、それと PO だけのコースワーク、及び AE だけのコースワークを組み合わせ、3 つのコースワークで最大 60 点を得ることが可能であるなど、さまざまなパターンが認められている。

生徒に対して、POAE それぞれの能力が何を意味するか、また、各能力に関して、低い得点と高い得点が質的にどのように異なるかを説明するために与えられている情報を図 5 に示す。(前述の教科書“Nelson Modular Science”のように、4 つの能力領域それぞれについて、具体的な生徒のコースワークの事例を掲載してコースワークについて説明している教科書もある)。

一般的に、生徒は、こうした情報を手がかりに、教師の指導を受けながら、第 10 学年と第 11 学年の 2 年間で、必要な数と種類のコースワークを準備し、学校に提出し、学校がそれを採点し、その結果を資格授与機構に報告するという流れである。

## 能力領域 P「計画すること」(Planning)

2 点

♥単純な手順を計画している。

4 点

♥根拠の確実な証拠が得られるように計画している。  
♥準備物やその他の証拠の出所をリストにしている。

6 点

♥自分の課題に対して科学的知識と理解を用いた計画を立てる。  
♥どのような事柄が、いかに調査がうまく進むことに影響を与えるか、そして自分の計画がいかにそれらの事柄を変化させたり抑制（コントロール）させたりするか、について述べている。  
♥なぜそれらの事柄を検討するかが重要であるかについての科学的な理由付けをしている。  
♥自分が起こると考えていること、及び科学的理由について述べている。  
♥自分がどのような証拠を得ようとしているか、及びどのくらいの量の証拠を必要としているかについて述べている。

8 点

♥自分が実行するために計画しようとしていることについて詳細に記述している。  
♥自分の考えている計画がなぜその課題を実行するのに一つの良いやり方であるかの説明に、詳細な科学的理由付けを行っている。  
♥自分が得る結果が正しくできるだけ正確であるものとなることを確かなものとするために、どのように準備物を用いるかについて説明している。  
♥自分が起こると考えていることを述べ、またこれの説明に詳細な科学的理由を与えている。  
♥自分の計画を支持する何らかの過去の研究を記述している。  
♥自分の計画を支持するために、書籍や CD-ROM、インターネット、その他の出所から得られた何らかの情報を与えている。

## 能力領域 O「証拠を得ること」(Obtaining Evidence)

2 点

♥ある安全なやり方でいくらか証拠を収集している

4 点

♥課題を実行する際に、自分が後で見出したことを述べるができるように、十分な証拠を確保している。  
♥自分の結果を記録している。

6 点

♥できるだけ正確に証拠が得られるように準備物を用いている  
♥自分の証拠が十分な範囲に渡るようにしている。  
♥自分がある結論を導くことができるように十分な証拠を確保するようにしている。  
♥もし自分の証拠がかなりばらついていると思えば、可能な場合に何度か繰り返して測定を行っている。  
♥自分の証拠を正確に記録するようなある明確なやり方を用いている。  
♥明確な表題と正しい単位をもつ結果の表を用いることを考慮している。

8 点

♥正確な証拠を得るのに役立つ準備物を用いている。  
♥平均的な測定値を得るために結果を繰り返して得ている。自分の証拠が信頼できるものであることを確かめている。  
♥ある明確で正確なやり方で証拠を記録している。

## 能力領域 A 「証拠を分析し考察すること」 (Analysing and considering evidence)

2 点

♥自分の証拠から見出したことを述べている。

4 点

♥自分の証拠の中によりはっきりと何らかのパターンが示せるようなやり方を選んでいる。

♥円グラフや棒グラフ、図表、あるいは自分の証拠をよりはっきりと示すやり方を用いている。

♥自分の証拠の中にどんなパターンや傾向が見られるかを述べている。

6 点

♥例えば、図表や図解、線グラフを用いたり、自分のデータをうまく利用できるように役立つ計算を行うなどして、自分の証拠をはっきりと示す最良の方法を用いている。

♥もっとも適切に当てはまる線になっているか？

♥自分の証拠を用いるとともにそれに何らかの処理を施して、ある道理にかなう結論を導き、何が見つけたかを説明している。

♥結論の中で、証拠を用いて、科学的な説明を行っている。

8 点

♥例えば、図解やグラフ、計算など、自分の証拠を処理する最良の方法を用いている。

♥この処理によって、調査に対するある意味のある結論を導いている。

♥科学的知識を用いて、ある詳細なやり方で自分が記述した結論を説明している。

♥もし、自分が起こるだろうと考えた予測をしていたなら、自分の結果が期待したような結果になったかどうかについて述べている。

♥もし、証拠が期待したような結果であったなら、その証拠が自分の予測にどのくらいよく当てはまるかについて説明している。

♥もし、証拠が期待したような結果でなかったなら、なぜその証拠が自分の予測を支持しなかったのかについて説明している。

## 能力領域 E 「評価すること」 (Evaluating)

2 点

♥自分が何をしたりどんな証拠を得たかに基づいて (自分が述べてきた理由も含め)、自分がその課題がうまく調査できたと思うかどうかを述べている。

4 点

♥自分のグラフに言及して、証拠がその課題に対して十分に正確であると思うかどうかを述べている。

♥何か変則的な結果が無かったであろうか？もしあったなら、グラフのどこにそれが示している。もし無くても、自分のグラフの形状について何かを述べている。

♥より正確な証拠を得ようとするために可能性のある方法の改善について少なくとも一つ提案している。

6 点

♥自分の方法が、信頼できる証拠を与え、いつも正しいと期待できるかどうかについて述べ、自分が述べたことに詳細な理由を与えている。

♥主なパターンに当てはまらないように見えた何らかの結果を指摘して、なぜそうした違いが起こったのかを説明している。

♥ある結論を導くのに十分な証拠を得ていると思うかどうかについて述べ、自分が述べたことに詳細な理由を与えている。

♥自分の方法と証拠について検討している。自分の結論を支持するより多くの証拠を得るために、いかに自分の方法を改善できるだろうか？

図 5 生徒に対する「科学」のコースワークの評価基準に関する手引き (Edexcel (2001) "Coursework guide Edexcel GCSE in Science", UG009871, p.10 より作成。)

QCA のインタビューでは、コースワークの重要性が、繰り返し語られている。

QCA インタビュー記録：[コースワークの意義について]「コースワークの質を高めることが、14 歳以降の科学を改善するかという、答は明らかにイエスであり、科学に必要なすべての要素がコースワークを含めることによって可能となる。」

[コースワークによる評価の大切さ]「・・・わが国のほとんどの理科教師は実技を行った結果が試験に組み込まれていることを良いことだと受け止めている。・・・実験を考えたり、結果を振り返ったり、それを表現するといった探究活動の全般的な側面は筆記試験では評価できないものである。」

[コースワークに伴う困難]「・・・20 パーセントという割合はそれほど大きいものではないが、必ずやらなくてはいけないということがポイントだ。大変成績の良い生徒は、コースワークをやらなくても、最高 80 パーセントまでの得点を得ることができる。そうすると、コースワークをやらなくても A のグレードを得ることができるという計算になるが、そういう事態にならないように、コースワークを行わなければ、受験資格を与えないようにした。」

コースワークの指導の状況は、学校や教師によって異なっていると思われるが、中学校のインタビュー記録から、大まかな様子について以下のように推定することができる。

第 10・11 学年の生徒は、2 週間に 11 時間の科学の授業を受け、その多くが *Double Award Science* のコースである。生徒の多くは 2 年間でおよそ 3 つの *GCSE* コースワークをそれぞれ約 3 週間費やして作成し提出する。彼らは科学以外の教科でもコースワークを提出しなくてはならないため、それ以上の時間を費やすことはできない。その期間、教師は、実験計画、実験実施、結果の分析と考察、評価の *POAE* を各 2 時間程度かけて指導するほか、時間が足りないため、*AE* については生徒が自宅に持ち帰って作業することもある。

指導の過程で、教師は「このように書きなさい」といった具体的な指示をすることはできないが、より高い得点が得られるために改善を要する点を指摘したり、そのために必要な情報収集について助言したりすることは認められている。それによって、コースワークでは到達度の低い生徒でも 8 割程度の得点が取れるようになることが期待されている。

A レベルのコースワークとは異なり、*GCSE* のコースワークではユニークさは求められない。生徒が異なる教科で提出しなくてはならないコースワークの数は非常に多く、時間的制約も厳しい。また教師にとってもユニークなコースワークの採点は困難である。結果的に、多くの生徒の *GCSE* コースワークは、お決まりのテーマとなっている。

コースワークのテーマがお決まりのものになってきている現状について、QCA でのインタビューではかなり否定的に評価されていた。

QCA インタビュー記録：[コースワークに関する想定外の状況]「資格授与機構側では、科学の *GCSE* や A レベルの科学のコースワークは、期待された程度には効果を上げていないと考えている。というのは、教師たちが毎年同じ実験をコースワークに取り上げるような学校が 80%にもなると言われており、これは想定された状況とはまったく異なっている。・・・教師は、プラクティカルな学習が同じことの繰り返しであるべきでないとしても、コースワークで

生徒がよりよい点を取るためのソリューションを数年のうちに見つけ、それを繰り返すようになる。個人的は、コースワークを試験の要件からはずしてもよいと思う。・・・」

QCA インタビューにおいて「1つか2つのプロジェクトですべての教科を含むものであれば、より優れたスキルの評価になるのではという議論がある」と話されていることから、GCSE コースワークの指導や実施形態については、今後さらなる改革が行われるものと考えられる。

コースワークにおける「科学的探究能力」の評価は、基本的に学校内で各科学教師によって行われた後、内部と外部で一部についてのチェックを行い、問題がなければその評価結果が採用される。したがって、それぞれの科学教師が、生徒のコースワークを適切に評価できることが必要となっている。

図6は、コースワークを評価する際に用いる評価基準であり、この表記に照合しつつ、各コースワークを採点するものとなっている。図6には、2, 4, 6, 8点(E「評価する」は最大6点まで)についてのみ表記されているが、これらの表記を手がかりに、それに部分的に達していたり、達していなかったりすることで、それらの中間の点数を付ける。まったくその領域の能力を発揮できない場合には0点もあり得る。前述の教科書“Nelson Modular Science”では、生徒に対して、2点がGCSE資格の階級Gに、4点が階級Eに、6点が階級Cに、そして8点が階級Aの水準におよそ相当すると解説されている。

本章の末尾に、生徒のGCSE コースワークの事例、及び参考としてAレベルのコースワークの事例を掲載している。翻訳に当たっては、文章表現に問題がある点も含めて、できるだけ生徒の作成したままの表現を再現するよう努めたものである。GCSE コースワークについては、30満点中30点、Aレベルのコースワークについては45満点中44点という、高い評価を受けた事例である。その他、訪問時には、評価の低いコースワーク事例も多く見ることができたことから、これらの事例が、中学校と大学準備教育段階(Sixth form)での指導の結果、期待されているコースワーク像を反映したサンプルであると見なすことができると考える。

GCSE コースワークの事例は、「オームの法則の検証」という基礎的な内容について、理論的考察、予備実験に基づく材質の選択、実験の計画、信頼できるデータの収集と分析、結果の考察、結論と調査全体の評価、といった一連の「科学的探究」を展開しており、POAEの評価基準に沿って、それぞれに満点を与えられるに足る記載をしていることが、教師の採点メモから確認できる。教師の採点メモは、他の教師や外部評価者(モデレーター)が採点の判断基準をチェックする際に重要な証拠となるものである。



## 能力領域 P「計画すること」(Planning)

- 2点 P.2a 単純な手順を説明している。
- 4点 P.4a 根拠を確実にするような証拠を収集するように計画している。  
P.4b 証拠に関して相応しい準備物や情報源の利用を計画している。
- 6点 P.6a ある手続きを計画し伝えるために科学的知識と理解を用い、重要な諸要因を特定したり、変化させたり、抑制したり、考慮に入れたり、また、適切な場合に予測を行っている。  
P.6b 証拠を収集するために、ある適当な範囲と大きさを決定している。
- 8点 P.8a ある適切な手法を計画し伝えるために詳細な科学的知識と理解を用いており、そこに、正確で信頼できる証拠を生成する必要性と、予測をした場合に予測を正当化する必要性を考慮している。  
P.8b 計画を述べるために、適切な場合に先行研究から関連する情報を用いている。

## 能力領域 O「証拠を得ること」(Obtaining Evidence)

- 2点 O.2a ある単純で安全な手順を用いていくらか証拠を収集している。
- 4点 O.4a 活動に十分で適切な証拠を収集している。  
O.4b 証拠を記録している。
- 6点 O.6a 十分に体系的で正確な証拠を集め、また、適切な場面で繰り返しや確認をしている。  
O.6b 収集した証拠を明確にかつ正確に記録している。
- 8点 O.8a ある適切な範囲で信頼できる証拠を得たり記録したりするための正確な手順と技能を用いている。

## 能力領域 A「証拠を分析し考察すること」(Analysing and considering evidence)

- 2点 A.2a 証拠によって何が示されるかを簡潔に述べている。
- 4点 A.4a 証拠を説明するための基礎として、単純な図解や図表やグラフを用いている。  
A.4b 証拠中の傾向とパターンを特定している。
- 6点 A.6a ある結論に向けて証拠を処理するために、相応しい図解や図表、グラフ（適切な場合に最適に当てはまる線が引かれている）、あるいは数字で表す方法を作ったり用いたりしている。  
A.6b 証拠に合致するある結論を導き、それを科学的知識と理解を用いて説明している。
- 8点 A.8a 詳細な科学的知識と理解を用いて、証拠を処理して導かれた根拠の確かな結論を説明している。  
A.8b 予測がなされていた場合に、どの程度まで結論がその予測を支持するかを説明している。

## 能力領域 E「評価すること」(Evaluating)

- 2点 E.2a 用いた手順や得られた証拠に関連した批評を行っている。
- 4点 E.4a 何らかの変則を特定しながら、証拠の質について批評している。  
E.4b 手順の適切性について批評し、また適切な場合に、それを改善するための変更点を示唆している。
- 6点 E.6a 証拠の信頼性と、それが結論を支持するに十分かどうかについて、変則を説明しながら、批評的に考察している。  
E.6b 付加的に関連する証拠を与えるさらなる研究について、詳細に記述している。

図6「科学」のコースワークの評価基準 (Edexcel (2000) "Specification Edexcel GCSE in Science: Single & Double Award A", UG008983, pp.66-69より作成。内容は、他の2つの資格授与機構に同一である。OCR(Oxford Cambridge and RSA Examinations) (2001) "COURSEWORK GUIDANCE BOOKLET GCSE Science", Assessment and Qualifications Alliance (AQA) (2003) "AQA GCSE 3462") この配点の記述は階層的に設計されている。

⑥ 「コースワーク」の評価結果の信頼性を高める工夫をしている。

コースワークは、基本的に学校の科学教師が採点するため、共通の評価基準を元に採点したとしても、教師間で、評価基準の解釈に大なり小なりのずれが生じる。このずれが大きい場合には、認定資格の信頼性が低下してしまうため、いかにこの評価の信頼性を高めるかは重要な課題となる。

一つは、学校内での評価のずれを調整(モデレーション)すること、そしてもう一つは、資格授与機構側でいわゆるモデレーターによる外部審査によって評価のずれを調整することの2つの取り組みが行われている。

中学校でのインタビューにおいて、そうした対処の詳細が語られている。

中学校インタビュー記録：[モデレーターとの評価のずれ]「モデレーターは教師の採点と自分自身の採点を比較して、(60点満点中) プラスマイナス4点の範囲以内に収まっているかを調べる。それがその範囲を超えていた場合には、教師の採点を変更させる。私とスティーブがここに来てからは、このような変更が行われたことはない。・・・私とスティーブが中心になって、実例を元にどのポイントに何点を与えるかというような採点方法についての研修をかなり行った。」

[校内モデレーションを行う教員の苦労]「コースワークの採点は本当に大変で、昨年度も第11学年の生徒の作品を少なくとも750は採点しなくてはいけなかったが、一人一人の作品を全て我々が採点しているというわけではない。モデレーターがやるように優秀なもの、下位のもの、真ん中のものからそれぞれ4つのサンプルを取り出し、それがきちんとできていれば、他の採点についても大丈夫であろうということで、その教師の採点を認める。もしもそれがいうまくいっていないようであれば、全ての作品の採点を見直す。」

[モデレーターによるチェック]「モデレーターのサンプルの選び方は、成績の上位から、下位までの全体から、幾つかの部分に分けて満遍なく選ぶ。教師がどの程度の援助をしているかということは学校により差がある。初めて探究的な活動を評価しようとした年には、特に教師が問題になった。彼らが教えすぎてしまったのだ。モデレーターが入ってすべての作品をチェックした。モデレーターは実技の試験を行うようになってからずっと存在してきた。実技の試験が導入されてからずっとあったはずだから、20年以上も前からということになるだろうか。最近ではモデレーターが入ることはほとんどないのだが、インターネットからの情報をそのまま書き写して、自分の作品として提出されたときにあった。現在大変たくさんの情報がネット上に存在している。そのような不正を発見するためには、こちらもサーチエンジンなどを使ってある特定の表現やグラフを引き出し、生徒の作品と比較するというようなこともやって見なくては行けない。またこれまでの作品に比べて、文章に間違いがなかったり、つづりが間違っていないということで見つかる場合もある。」

このように、各学校の教師が多大な労力を払ってコースワークの評価の信頼性を高め、また、評価結果を調整するモデレーターという専門職も必要不可欠な存在として確立されていることがわかる。

また、資格授与機構側の取り組みについては、Edexcel でのインタビューで次のように語られている。

*Edexcel* インタビュー記録：[コースワークの評価の客観性を高める]「実技の採点は、グレード別に採点方法を示したものがあり、すべての教師はそれを参照して採点しなくてはならない。・・・その生徒が好きであるとか嫌いであるとかの主観的な判断から離れて、客観的になることを求められる。これを「職務上の判断」と呼んでいる。これに従って教師は評価しなくてはならない。授与機構はある程度の許容範囲を持って各学校の評価を受け入れているが、その許容範囲を超えた評価が提出された場合には、授与機構から試験官を派遣して、コースワークが適正に評価されていない旨を伝える。GCSE や GCE ではすべてのコースワークを提出して、チェックを受けることになる。いくら評価方法についてのガイドを配布したとしても、評価を客観的に行うということは難しい。だから授与機構ではコースワークに用いる実技の例を示し、評価方法についての情報を提供する。また、学校の評価システムもチェックする。これらが GCSE タイプの試験について資格授与機構ができることである。教師の評価技能を高めるためのセミナーも開設している。そこでは、実際にいくつかのコースワークを評価してみて、試験官の行った評価と自分の評価との違いを知り、許容範囲内で評価が行えるように訓練される。」

[コースワークの指導過程における教師の助言の許容範囲について]「・・・授与機構は学校から出された評価について審査し、高い得点を与えすぎていると判断した場合、その評価を下げるということもある。たとえば提出された20人の生徒のコースワークがすべてAの判定であるとすると、「これはおかしい。」ということになる。一般的に成績には、正規分布どおりにならないとしても、ばらつきが存在するはずで、すべての生徒の判定がAになっていればもう少し(多くの生徒の作品を提出させて)詳しく見なければいけなくなる。成績のよい学校と、そうでない学校ではそのばらつき具合が異なっているだろうが、モデレーターは、疑わしい評価の分布を見抜く訓練をしている。」

## 第7節 生徒は意欲的に科学的探究に取り組んでいるのだろうか？

### ⑦ 学ぶ側も教える側も実践的な「科学的探究」の大切さを理解している。

インタビュー調査では、英国における生徒の科学への良好な意識の背景を探るため、生徒の科学への学習意欲に関わる質問を問いかけてみたが、それに対する複数の回答は、学ぶ側にも教える側にも実践的な「科学的探究」の大切さが理解されているという印象を強くするものであった。つまり、英国における科学や科学的探究への学習意欲は、それが好きか嫌いかといった情意的な意識よりも、それがいかに大切かというより認知的な価値判断によって支えられているのではないかと考えられるのである。

*QCA* インタビュー記録：[コースワークによる評価の大切さ]「・・・わが国のほとんどの理科教師は実技を行った結果が試験に組み込まれていることを良いことだと受け止めている。生徒もまた、その必要性を理解している。」

*Edexcel* インタビュー記録：[実践的な活動が生徒を動機付ける]「・・・科学を好きにさせるひとつの大きな要因として、多くの実習を行うことがある。理論的な側面を無視するわけにはいかないにしても、より多くの実技を取り入れることが生徒を動機付けることにつながるであろう。実技だけに限ったことではない。もっと探究的に授業をすることも大切である。ただ前に立って、知識を伝達するのではなく、生徒とのやり取りの中から授業を進めていくことが大切だ。」

中学校インタビュー記録：[生徒はコースワークの大切さを理解している]「彼らはコースワークが好きである。なぜならコースワークがどれだけ有用なものであるかわかっているからだ。・・・彼らはコースワークの大切さを理解しているし、やらなくてはならないと思っている。それに評価されるということには抵抗はあろうが、コースワークの過程は嫌いではない。コースワークが自分の能力を最大限に発揮できることも理解している。締め切りに追われるのがいやなだけだ。よくできる生徒については何の問題もない。彼らはコースワークを楽しんでやっている。問題なのは、ある程度の能力があるのに、期限を守って学習を進められない生徒たちだ。」

[実験が好きである以上のことが必要]「実験はとても好きだから、試験を受けるより、実技試験を好む。・・・特に下の学年の生徒たちは、実験をととても楽しんでいるのだが、探究の過程を意識して何のためにやっているかを意識していないことがよくある。純粋に実験という活動を楽しんでいるだけなのだ。だから実験の目的などを書くことは好きではない。どうしてこの実験をすることが必要なのか。というようなことについてかなりの時間を割いて教えるようになった。」

## まとめと考察

第2章では、まず、英国のQCA、Edexcel、小学校、及び中学校での訪問調査についてインタビューの結果を記述した。そして、インタビューの記録と、収集した資料等を元に、「科学的探究能力」の指導と評価について考察し、次の特徴を明らかにした。

- ① 系統的に「科学的探究能力」が指導されるように情報提供を工夫している。
- ② 教科書において「科学的探究能力」の指導が組み込まれている。
- ③ 日常的な科学の授業を通じて「科学的探究能力」の指導と評価を工夫している。
- ④ 全国テストで筆記試験による「科学的探究能力」の評価を工夫している。
- ⑤ 資格試験の「コースワーク」により「科学的探究能力」を指導し評価している。
- ⑥ 「コースワーク」の評価結果の信頼性を高める工夫をしている。
- ⑦ 学ぶ側も教える側も実践的な「科学的探究」の大切さを理解している。

さて、英国の科学カリキュラムに関して見出されたこれらの諸特徴から、わが国の科学カリキュラムを振り返り考察を行う。

まず、わが国においては、学習指導要領において「科学的探究能力」を系統的に指導するような設計となっていないため、どのような科学的探究能力をいつの段階でどの程度まで育成するかが明らかでない。結果として、科学カリキュラムの中で、意図的計画的に効率よくより高度な科学的探究能力が育成されているとは言えないであろう。

したがって、教科書も、科学の内容面での知識理解中心の構成となり、科学的探究能力が徐々に深められ発展していくような構成となっているとは言えないであろう。

また、わが国でも日常的な理科授業において、観察実験を通じた理科学習が強調されているところではあるが、それを通じて育成すべき「科学的探究能力」が曖昧で、ややもすると、科学的に探究すること無く、手順に従って観察実験という行為を経験したに過ぎないものとなりかねない。また、英国で強調されているような「実験計画」と「証拠の獲得」、「証拠の分析と考察」、及び「評価」まで含めた一連の「科学的探究」過程には、相応の時間が必要であり、授業時数の少ないわが国の理科授業において、そのような「科学的探究」を通じた「科学的探究能力」の指導は物理的一般的に困難であると考えられる。したがって、そのような一連の「科学的探究」に携わる機会を工夫して設定することが、「科学的探究能力」を意図的計画的に育成するための重要な要件であると考えられる。

英国の科学カリキュラムでは、ナショナルテストや資格試験のコースワークを通じて、「科学的探究能力」の指導と評価に非常な労力と時間、情熱、知恵が注ぎ込まれていた。これは、わが国の科学カリキュラムと大きく異なる点である。わが国においても科学的探究能力の育成は一般的には重要な教育目標であるが、それが具体的な教育内容として系統的に規定されていない現状において、それが主たる指導と評価の対象とはなりにくい。一方、英国においては、科学カリキュラムが、科学の概念的体系と、科学的探究能力の発達の体系の2つの体系が車の両輪のように組み込まれて編成されているため、科学的探究能

力の育成がこのように重視されていると考えられる。ここに、両国での科学カリキュラムの編成原理に大きな違いがある。

英国では科学を学ぶ側も教える側も実践的な「科学的探究」の大切さを十分認識した環境の下で、「科学的探究能力」の育成が図られていた。わが国で、理科を学習することの大切さを意識している生徒が少ない（第1章図2）状況を改善するためには、科学カリキュラムにおいてこうした価値意識の醸成に取り組みねばならないと考える。

さて、今日わが国の高等学校では、SSH（スーパーサイエンスハイスクール）や理数科などにおいて、生徒の科学の課題研究を重視した科学カリキュラムが開発され広まりつつある。しかし、そのような実践的な科学的探究の経験を積んだ生徒の学習成果を適切に評価する手法や評価の基準については、未だ開発されているとは言い難い状況である。英国のGCSEやAレベルの資格試験におけるコースワークの評価手法は、高い妥当性と信頼性をもつ課題研究レポートの評価法として、わが国でも活用可能なのではないであろうか。その際には、あらかじめ、どのような評価基準で課題研究レポートが評価されるのかを生徒に理解させた上で、課題研究を実行させ、提出されたレポートを客観的に評価し、評価結果を指導に生かすという、これまでとは異なった教授学習過程を採ることとなる。今後、実践的に研究を行ってみる必要があると考える。

また、わが国においては、多くの小学生が、夏休み期間に探究的な観察実験を伴う科学研究を意欲的に行い、科学論文を作成するというすばらしい文化が存在している。その多くは、自ら調査課題を設定し、観察や実験を計画し、証拠を集め、分析し考察するという、一連のオーセンティックな科学的探究を論文にまとめたものとなっている。しかし、中学生、高校生となると、そうした文化は陰を潜め、大半の生徒にとって自主的な科学研究は無関係な存在となってしまふ。これを有効に活用し発展させるための一つの可能性は、小学生に始まる科学研究が、発達とともに次第に高度な科学的探究へと発展するような指導過程を科学カリキュラムに組み込むことであると考えられる。その指導を通じて、すべての子どもたちに「科学的探究」の大切さを理解させるとともに、実社会で求められる実践的な科学的探究能力を身につけさせることが可能となるのではないだろうか。

## GCSE コースワークの事例 (GCSE Physics, POAE ともに満点)

(できるだけ生徒の記述と教師の書き込みに忠実になるよう訳した)

### 予備実験：

#### 基礎理論：

電流は、導線を通して、電子によって運ばれる。電子は、イオンを介して移動し、電子は抵抗がどのくらい高いか低いかを決定する。抵抗を変化させるものには4つあり、それら4つの事柄は、温度、太さ、材質、及び長さです。しかし、それについてはここで深入りしない。金属中のイオンは、位置が固定されている。電子が導線を通るときに、電子はイオンに衝突し、それで運動エネルギーを失って速度を落とす。そうして抵抗がより高くなる。それで、材質中により多くのイオンがあることは、一般的により多くの抵抗を材質が持つことを意味する。

なぜ導線中の抵抗が異なるかは次の理由による。

#### 温度：

導線中の温度が増すにつれて、一カ所に固定されたイオンが振動し始める。というのは、イオンの温度があがるにつれより多くのエネルギーをもつので振動できるのである。このことは電子にとっては問題となる。というのは、電子が導線を伝わって移動する際に、イオンがより動くことで、電子がより障害に衝突するからである。これは、抵抗がより高いことは、電子がイオンによって減速されるからだということの意味する。

#### 材質：

導線の材質はその抵抗に影響を与える。というのは異なる金属は多かれ少なかれイオンを持っており、もし金属がより多くのイオンを持っているなら、より少ないイオンを持っている導線に比べて、その抵抗が高くなるからである。

#### 太さ：

導線の太さはその抵抗に影響を与える。これは、もし導線がより小さい断面積のものよりもより広い断面積をもつなら、より広い断面積がより小さい抵抗となる、その理由は、電子が導線を移動するのに、細い導線よりもより多くのスペースをもつからだ。例えば、より広い導線は例えば自動車道路の一つ以上の道であって、したがって、交通がより速く進むように、抵抗はより低い。もし、より細い導線であるなら、田舎の道路で、交通がとてもゆっくりと進むように、抵抗はより高い。

#### 長さ：

長さもまた抵抗に影響を与える。これは長さが増すにつれて、電子がより多くのイオンを通過しなくてはならないからだ。これは抵抗に影響ないはずだ、というのは  $R=R_1+R_2$  の公式による。長さが抵抗に影響する理由は、より短い導線がより速く導線が暖まるからだ。これは、イオンがより速く動いて、電子が減速されて、抵抗がより高くなるということの意味する。

part

### 予備実験：

#### 目的：

目的は、どの種類の導線が単位長さ当たりで最も高い抵抗か、及び最も低い抵抗かを決定することである。

予備実験において、異なる材質を用いることが抵抗にどのくらい影響を与えるかを調べる。例えば、銅は、導線の太さが 0.5mm で長さが 100cm のときに 0.3 オームの抵抗を持つ。この情報は、コンピューターシミュレーションを用いて見つけたものだ。しかし、これはすべての金属で同じではない。公正に確かめるため、それぞれの材質の長さと同直径を同じにした。また、導線の温度も導線の抵抗に影響を与えるので、その温度を変えないようにする。

**方法：**

50cm の長さの金属線を選び、それぞれワニ口クリップを使って、マルチメーターにつないで、回路にする。マルチメーターは電源を内蔵しているので、それを電源につなげる必要はない。マルチメーターは、導線の長さに伴う抵抗を測定しようとしている。次のような 4 種類の異なる金属についてこれを繰り返す。

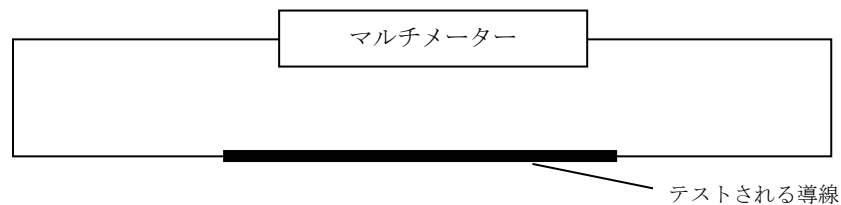
銅

鉄

ニクロム

コンスタンタン

より正確な結果を得るために、それぞれの導線について 2 回測定し、その平均値を取る。

**図解：****結果：**

材質	抵抗 ( )		
	1 回目	2 回目	平均
ニクロム	17.2	21.7	19.5
鉄	4.2	4.5	4.4
コンスタンタン	10.0	11.6	10.8
銅	1.1	1.0	1.1

**結論：**

結果から、抵抗が平均で 1.1 と最も小さかった銅が最も電気を通し、抵抗が平均で 19.5 だったニクロムがもっとも電気を通さないことがわかった。私は、ニクロムの計測は測定値同士がかなり離れているので、最も信頼性が良くなかったと思う。本番の実験では、最も高い抵抗値であったニクロムを用いようと思う。その理由は、長さの違いが、より大きな抵抗の違いになって現れ、より正確な結果をもたらさと思うからだ。

P8b



### 1本の導線（ニクロム）の抵抗値を見つける実験

#### 目的：

この実験の目的は、長さがどのくらい導線の抵抗値に影響するかを調べることである。

#### 計画：

##### オームの法則

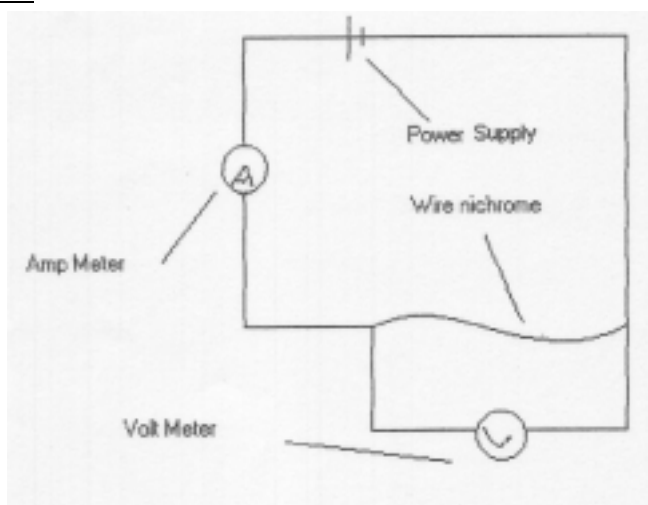
オームの法則は導線の抵抗値を計算するために用いられる。これは、実験がどのくらいの抵抗を導線が持っているかを見出すことであるので、オームの法則がとても便利である。オームの法則を用いるのは、ある決まった長さの導線の抵抗を調べなければならないからである。

P6b  
part

オームの法則の公式は次のものである。  $R = V/I$

R=抵抗    V=電圧    I=電流

#### 実験



#### 器具

- ・ 電流計
- ・ 電圧計
- ・ 電源
- ・ 導線
- ・ 1 mのものさし

P4b  
P2a  
P4a

電流と電圧、導線の長さを測定する。これらすべては、正しく測定し、どれ 1 つを読み落としてしまうと正しい抵抗値が計算できないので、とても大切だ。

電流計の最大は 10 アンペアまで測る。

電圧計の最大は 20 ボルトまで測る。

#### いかに実験を公正に保つか

この実験をできるだけ公正に保つために、次に上げるさまざまな事柄を行う。

- ・ 実験を繰り返すたびに、同じ装置を用いる。これは、もし装置を実験を繰り返すたびに変わると、結果が変わってしまうからだ。これは、装置を変えると、装置自身がわずかに変化することによる。

P6b part

- ・ 実験を通じて、温度を同じに保たなくてはならない。これは、導線の温度が上がると、導線中のイオンの運動エネルギーが増すからである。それでイオンがより速く動き、電子がより導線中を移動するのがよりむずかしい仕事となるので抵抗が増す。これを抑制するために、測定を迅速に、かつ、電源を同時に入れる。
- ・ 実験を同じに保つために、その他のすべての要因を同じにしておかなくてはならない。

**安全**

O2a

- ・ この実験を安全に行うため、高い電圧で短い測定を行わないようにする。導線の温度が増すにつれて、危険度が増し、手をやけどするかもしれない。

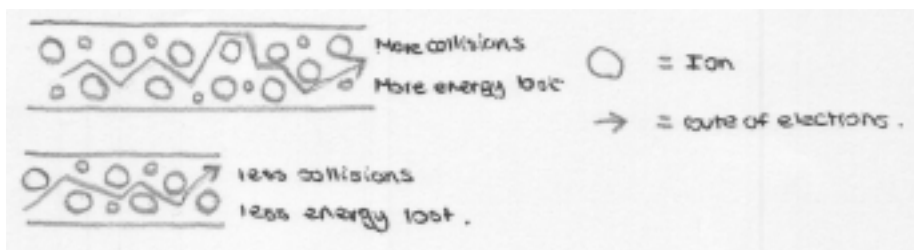
P6b

表では、1mm の精度で測定しようとする。20,30,40,50,60,70,80,90,100cm の長さで測定を行う。平均の測定を行う。

P6a part

**予測**

私の予測は、導線の長さが増すにつれて導線の抵抗が同様に増すということである。これは、導線の長さが増すと、より多くのイオンと電子が衝突するからだ。これは、電子が運動エネルギーを失い、減速し、抵抗が増すということを意味する。電子が長い導線と短い導線を移動する様子を下に示す。



また私は、長さが 2 倍になると、 $R=r_1+r_2+r_3$  の公式から、抵抗が 2 倍になると思う。それは、もし 20cm で 2A であれば、それを 40cm とすると、もう一つの 20cm になるので、もう 1 つの 2A になる。それで  $R=2A+2A=4A$  になり、長さが 2 倍になると抵抗が 2 倍になるということの意味する。

私が期待するグラフはこのようになる。



P8a

グラフがこのようになると期待する理由は、 $R=R_1+R_2+R_3$  の公式で、もし導線の長さが 2 倍になると導線の抵抗が 2 倍になることを意味するからだ。この公式を用いるのは、回路が直列回路になっているからだ。

**観察**

	長さ(cm)	電圧			電流 (I)			抵抗		
		1	2	3	Av	1	2	3	Av	( )
	20.0	4.71	4.71	4.70	4.7	0.62	0.61	0.61	0.61	7.70
O4a	30.0	4.82	4.84	4.82	4.82	0.42	0.32	0.43	0.42	11.47
O4b	40.0	4.90	4.91	4.90	4.90	0.32	0.33	0.33	0.32	15.31
O6a	50.0	4.95	4.96	4.95	4.95	0.27	0.26	0.26	0.26	19.03
O6b	60.0	4.98	4.99	4.98	4.98	0.22	0.22	0.22	0.22	22.63
O8a	70.0	5.00	5.01	5.01	5.0	0.19	0.19	0.19	0.19	26.31
	80.0	5.03	5.03	5.02	5.02	1.17	0.16	0.17	0.17	31.37
	90.0	5.04	5.04	5.05	5.04	0.15	0.15	0.15	0.15	33.60
	100.0	5.05	5.06	5.06	5.05	0.13	0.13	0.13	0.13	38.84

**分析**

A2a

私のグラフは、長さが増すにつれて抵抗値が増している。しかし、興味深いことに、長さが2倍になると抵抗もそうになっていることをグラフは示している。私のグラフと結果は、私の予測が正しかったことを示している。これは、私が長さが2倍になると抵抗も同様に2倍になると予測したことによる。これは、 $R=R1+R2$  の公式によるもので、私の結果はこのことを結論する。

	長さ(cm)	電圧			電流 (I)			抵抗		
		1	2	3	Av	1	2	3	Av	( )
	20.0	4.71	4.71	4.70	4.70	0.62	0.61	0.61	0.61	7.70
	40.0	4.90	4.91	4.90	4.90	0.32	0.33	0.33	0.32	15.31
	80.0	5.03	5.03	5.02	5.02	1.17	0.16	0.17	0.17	31.37

A6a

公式  $R=R1+R2$  は、直列回路でのみ使える。公式は、長さが2倍になると抵抗が2倍になることを意味する。 $R=r1+r2+r3$  は、もし20cmで2Aであれば、40cmにすると、もう1つの20cmとなり、そのためもう1つの2Aとなる。

抵抗 =  $\frac{\text{抵抗係数} \times \text{長さ}}{\text{断面積}}$        $R = \frac{\rho l}{A}$

A8a

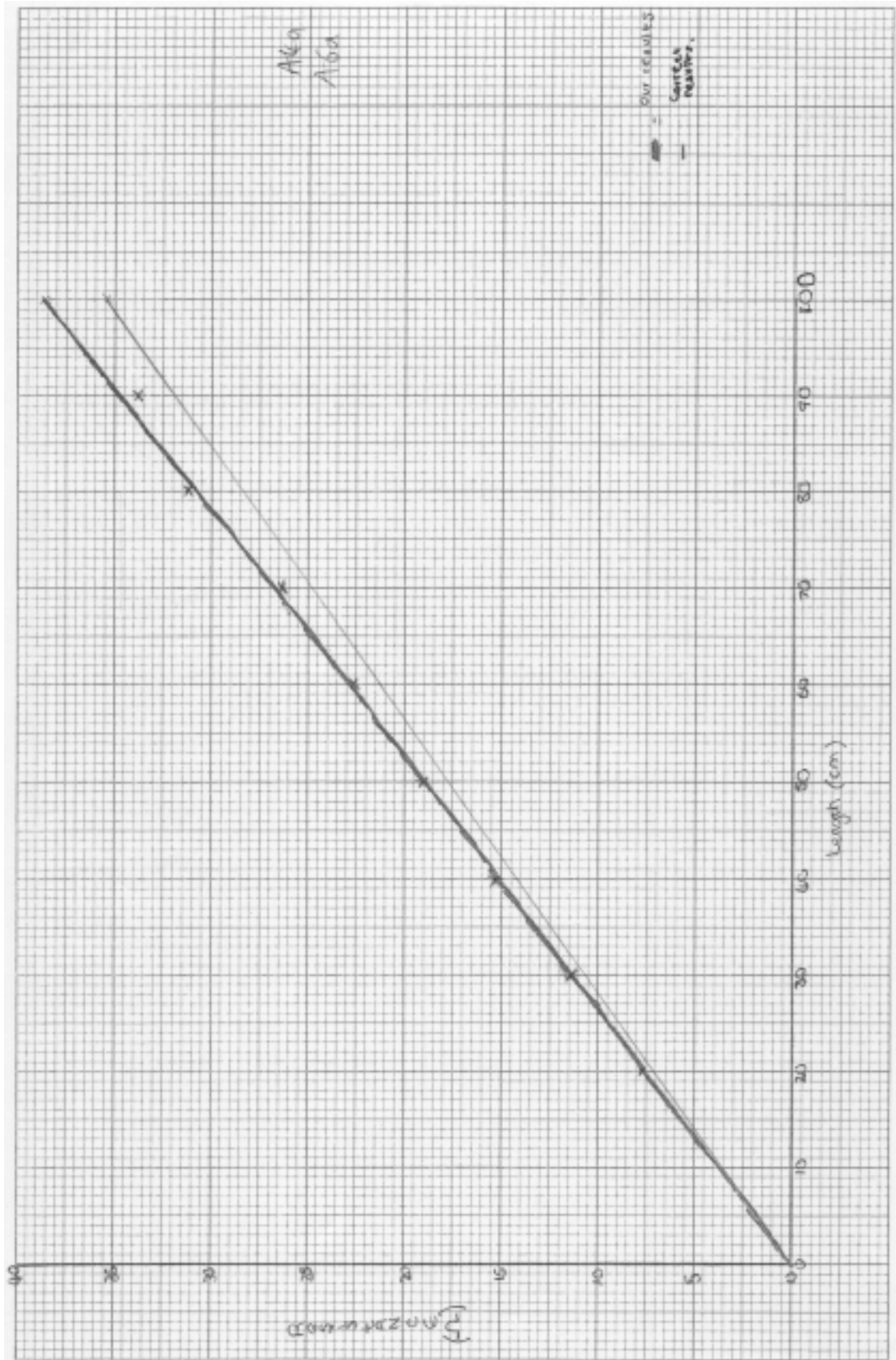
実験ではPと断面積は一定である。そのため、公式はRが直接長さ(L)に比例すると予測する。結果はこのことを示している。これは、長さが2倍になると抵抗が2倍になることを示している。ここで私は、長さが2倍になると、導線の長短によって、抵抗が2倍になることがわかる。一本の長い導線には、より大きな抵抗がある。これは、電子が導線を通ってずっと遠くまで行かなくてはならないからだ。これは、電子と衝突する道により多くのイオンがあることを意味している。電子の通る道のりが長いと、イオンとのすべての衝突のために電子の運動エネルギーがより少なくなる。短い導線では、抵抗はより小さい、というのは、電子は長い導線を伝わるように遠くまで行かなくて済むからだ。もし、短い導線を通して伝わるならば、運動エネルギーを減速する電子はそう多くない。それで、導線をより速く伝わるので、より小さい抵抗となる。長さが増すとともに電流は減少する。これは、導線が長くなると、電子が通過するのにより多くのイオンと衝突するからだ。それで長さが増すとイオンも増すので、電流が減速する。

A8b

A4b

理論的には欠陥があるが、なお、A8bを当てるに十分である

**評価**



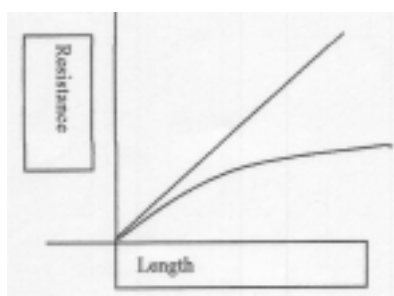
- E2a 私の結果の表とグラフは、導線の抵抗への長さの効果の証拠となる。結果の信頼性は可能な限り正確であるとは言えない。グラフ上では、重大な変則は無いが、直線からわずかにずれた結果が 2 つある。これは、たぶん次のような事柄によるものだろう。
- E4a

これは、たぶん、どれくらい長い時間導線に電気を流すかを測っていなかったからである。このことは、導線が温まって電子が運動エネルギーを得ると、抵抗をより小さくするという問題を引き起こすだろう。これが結果を変化させうる。

- E4b もう一つ結果を変化させたかもしれないことは、ワニロクリップは分厚かったが、もしそれがより薄かったら実験をかなり改善しただろう。ワニロクリップが結果を変化させたかもしれない理由は、抵抗の長さを正しく測ることがそれによって難しいことがわかったからである。

グラフ上の結果は、ニクロムの真値として公表されている正しい結果とわずかに異なっている。私たちの結果で、長さが短いところの方が、グラフの終わりの当たりの長さが長いところよりも、より接近している。たぶん、同じ装置を使ってもふたたび同じ結果が得られるだろう。

もしこの実験を繰り返すので有れば、より長い長さを用いるべきだ。というのは、抵抗が長さに比例して大きくなるのか、抵抗が水平になり始めるのかがわかるからだ。



#### 確固とした結論：

結果は一つの確固とした結論を支持するものである。それは、結果が抵抗が増すとともに長さも増すということを語っているからである。それで、もし長さが 2 倍になると、抵抗も 2 倍にある。下の表が示すように。

長さ(cm)	電圧			電流	電流			抵抗
	1	2	3	Av	1	2	3	( )
20.0	4.71	4.71	4.70	4.70	0.62	0.61	0.61	7.70
40.0	4.90	4.91	4.90	4.90	0.32	0.33	0.33	15.31
80.0	5.03	5.03	5.02	5.02	1.17	0.16	0.17	31.37

- E6a この表は 100% 正確ではない、というのは、用いている装置が可能な限り正確なものでないからで、それで、結果はわずかにずれている。しかし、それでも長さが 2 倍になると抵抗が 2 倍になることを示している。

#### さらなる実験：

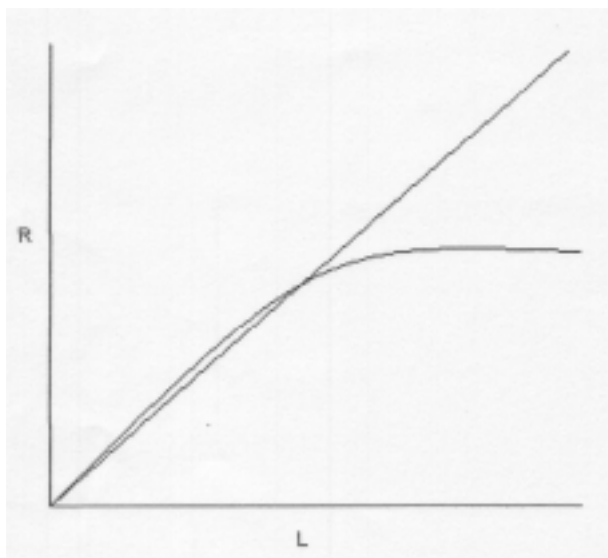
さらなる実験がさまざまなやり方で可能である。

ワニロクリップの代わりに、異なる材質（炭素棒）を用いることができるだろう。これで実験がより正確になるだろう。

導線を一定の温度に保つことができる。そのために、導線をオイルバスにつければよい。もし、温度が一定であれば、導線の長さによって温度が変わって導線の抵抗が変わるのを心配しなくて済む。

また、より正確なグラフを得られるために、導線の長さを変化させることもできる。それによって、もっと多くの分析のための結果が得られるだろう。また、より長い長さを試してみることもできる。これは、長さを延長することで、線が直線が続けるのか、あるいは曲がって水平になるのかを明らかにしてくれるだろう。

*E6b*



A レベルコースワークの事例 (A レベル化学、P(「計画する」11 満点中 11 点)、I(「実施する」12 満点中 11 点、A(「証拠を分析し考察する」11 満点中 11 点)、E(「評価する」11 満点中 11 点)により、合計 45 点満点中 44 点)

(できるだけ生徒の記述と教師の書き込みに忠実になるよう訳した)

## 「メタノールからペンタノールまでの、一連のアルコールの燃焼熱の違いに関する研究」

### 目的

燃料としてのエネルギー効率を調べるという見地から、(分子の小さい順に) 5 番目までのアルコールについて燃焼熱を確定する。

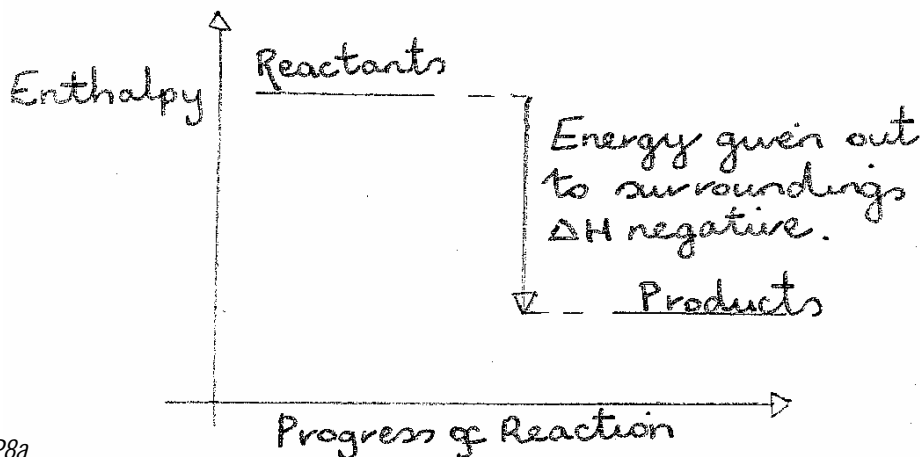
### P5a

物質同士に反応が生じるときには、反応物と、その周りの環境との間に、熱交換が起こるが、それは発熱であったり、吸熱であったりする。この熱の交換が、エンタルピーの交換ということだ。そしてこの熱交換は、化学的な計算や実験によって求めることができる。ここで使う燃焼という意味は、燃料を酸素の中で完全に燃焼させるということである。

燃料は燃焼によって外部に熱を放出するが、また燃料自身をも加熱する。これは燃焼という反応が発熱反応であることを意味しており、すべてのアルコールの燃焼について当てはまる。

### 発熱反応

反応過程のはじめの段階は、化学結合を切断する段階で、その後新たな生成物を合成する段階になる。したがって、結合をきるときにはエネルギーを必要とし、生成物を合成するときには、エネルギーが作られる。反応の開始時においては、結合エネルギーをきるために、ある一定のエネルギーが必要になる。このエネルギーが、結合が形成されたときに生まれるエネルギーよりも低い場合には、余分なエネルギーが、外部に熱として放出される。この過程は、結合エネルギーのレベルを表した下の図のようになる。



### P8a

余分な熱が失われ、エンタルピーエネルギーが減っていくような反応系は、発熱反応ということになり、エンタルピーエネルギーの値はマイナスになる。燃焼熱は下のように表すことができる：



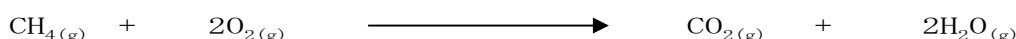
$\Delta H$  はエンタルピーの変化であり、「c」は「燃焼」を意味する。というのも、エンタルピーの変化はいろいろな反応によってもたらされるためである。たとえば化合物の生成による変化の場合には「f」ということになる。 $\ominus$  という記号は常温常圧における反応ということを意味している。常温常圧とは、物質が安定な状態である、1 気圧、絶対温度 298 度ということだ。これによってエンタルピーの変化を比較可能なものとし、誤った結果に対して、一定の指標を与えることができる。

吸熱反応は、結合を切るエネルギーの方が、反応の最終段階で結合が生成されるときエネルギーよりも大きい反応である。したがって物質は外部からエネルギーを取り込まなくてはならないため、温度が下がるという結果になる。これはアルコールの燃焼には該当しない。燃焼は常に発熱反応である。

### 結合エネルギーの理論

以下にアルカン的一种であるメタン（類似のアルコールはメタノール）の燃焼について例示する。各結合エネルギーは（データ集の値によって）計算される。燃焼によるエンタルピーの総量は、結合の生成による値から、結合の切断による値を引くことにより求められる。

$$\Delta H_c = H_{\text{生成物質}} - H_{\text{反応物質}}$$



結合の切断			結合の生成		
		平均の結合エンタルピー			平均の結合エンタルピー
C-H	4 × 413	1652 kJmol <sup>-1</sup>	C=O	2 × 802	1610 kJmol <sup>-1</sup>
O=O	2 × 498	996 kJmol <sup>-1</sup>	O-H	4 × 464	1856 kJmol <sup>-1</sup>
	総量	2648 kJmol <sup>-1</sup>		総量	3466 kJmol <sup>-1</sup>

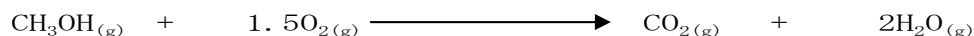
結合の生成におけるエンタルピーの総量のほうが大きいので、この反応は発熱反応となる。そしてこの二つの差がメタンの燃焼熱ということになる。-818 kJmol<sup>-1</sup> (3466 - 2648) 発熱反応であるから値はマイナスになる。反応において、多くのエネルギーが生み出されれば、この値は大きくなる。よって結合エネルギーの大きい物質が、燃焼において多くの熱を放出するということになる。アルコール類の中で効率のよい燃料を探るといふこの実験で行おうとしている物質についても同様な計算を行うことができるが、詳細は後で述べる。

このエンタルピーの計算は、他の不確定な要因が影響を与えることなく、最良の状態で燃焼すると仮定しているが、実際にはいくら最小限にとどめようとしても、燃焼の程度に影響を与えるような数々の要因の影響があるだろう。

818 kJmol<sup>-1</sup>という数字は燃焼によるエンタルピーエネルギーから算出されたものである（周囲への熱の放出であるから負の値）。これはメタン 1mol がすべて完全に燃焼すれば、818 kJmol<sup>-1</sup>の熱が外部に放出されるということである。私が調べている 5 種類のアルコールも同じような仕組みで熱を放出する。アルコールが燃料とされるのはこのためである。



メタノール (CH<sub>3</sub>OH) の燃焼によるエンタルピーの変化はメタンで行ったように、以下のように計算される。結合エネルギーを以下のように計算した。



結合の切断		平均の結合エンタルピー	
C-H	3 × 413	1239	kJmol <sup>-1</sup>
O-H	464	464	kJmol <sup>-1</sup>
C-O	358	358	kJmol <sup>-1</sup>
O=O	1.5 × 498	747	kJmol <sup>-1</sup>
総量		2808	kJmol <sup>-1</sup>

結合の生成		平均の結合エンタルピー	
C=O	2 × 802	1610	kJmol <sup>-1</sup>
O-H	4 × 464	1856	kJmol <sup>-1</sup>
総量		3466	kJmol <sup>-1</sup>

$3466 - 2808 = -658 \text{ kJmol}^{-1}$  がメタノールの  $\Delta H_c^\ominus$  ということになる。

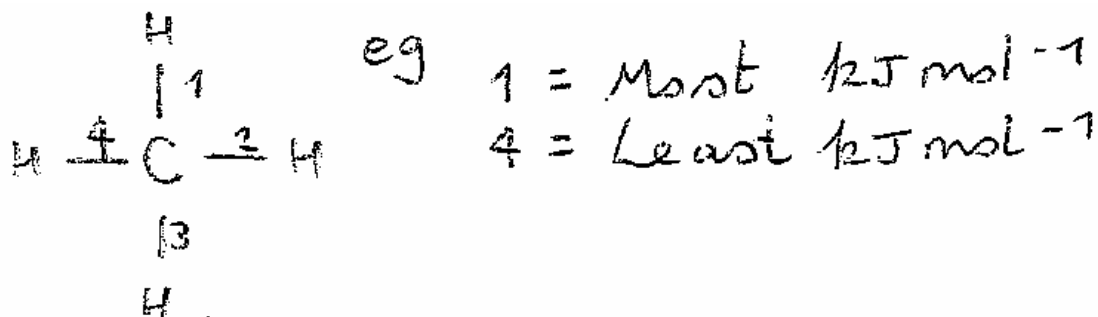
P11a

データ集の数字はこの計算した数字と少し違っている。それはこの計算で用いた水の結合エネルギーは気体の状態における値であるためだ。データ集では液体の状態での数値を使っている。

データ集によると、アルコールの燃焼熱の値は常温常圧下で、次のようになっている。

$\Delta H_c$ Methanol (メタノール)	CH <sub>3</sub> OH	-726.3	kJmol <sup>-1</sup>
$\Delta H_c$ Ethanol (エタノール)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-1366.7	kJmol <sup>-1</sup>
$\Delta H_c$ Propanol (プロパノール)	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	-2017.3	kJmol <sup>-1</sup>
$\Delta H_c$ Butanol (ブタノール)	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	-2674.9	kJmol <sup>-1</sup>
$\Delta H_c$ Pentanol (ペンタノール)	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> OH	-3322.9	kJmol <sup>-1</sup>

以上のデータは各燃料の結合エネルギーの平均値を使って計算されたものである。というのたとえばメタンであれば、次の4つの結合はそれぞれ違ったエネルギーを持っているからだ。



上の表から、5種のアルコールの  $\Delta H_c$  の値が下に行くほど大きくなっていくことに気づくであろう。これについて以下に詳しく説明する。

Name of Alkane	Bond enthalpy of Products
<u>Methane</u> $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$ $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	Products: Carbon dioxide and water $\text{C}=\text{O} \quad 2 \times 805 \quad 1610 \text{ kJ mol}^{-1}$ $\text{H}-\text{O} \quad 4 \times 464 \quad 1856 \text{ kJ mol}^{-1}$  $\text{Total} = \underline{3466 \text{ kJ mol}^{-1}}$
<u>Ethane</u> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\   \quad \quad   \\ \text{H}-\text{C} - \text{C}-\text{H} \\   \quad \quad   \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$ $\text{C}_2\text{H}_6 + 3\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}=\text{O} \quad 4 \times 805 \quad 3220 \text{ kJ mol}^{-1}$ $\text{H}-\text{O} \quad 6 \times 464 \quad 2784 \text{ kJ mol}^{-1}$  $\text{Total} = \underline{6004 \text{ kJ mol}^{-1}}$
<u>Propane</u> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}=\text{O} \quad 6 \times 805 \quad 4830 \text{ kJ mol}^{-1}$ $\text{H}-\text{O} \quad 8 \times 464 \quad 3712 \text{ kJ mol}^{-1}$  $\text{Total} = \underline{8542 \text{ kJ mol}^{-1}}$
<u>Butane</u> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ $\text{C}_4\text{H}_{10} + 6\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}=\text{O} \quad 8 \times 805 \quad 6440 \text{ kJ mol}^{-1}$ $\text{H}-\text{O} \quad 10 \times 464 \quad 4640 \text{ kJ mol}^{-1}$  $\text{Total} = \underline{11080 \text{ kJ mol}^{-1}}$
<u>Pentane</u> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ $\text{C}_5\text{H}_{12} + 8\text{O}_2 \rightarrow 5\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}=\text{O} \quad 10 \times 805 \quad 8050 \text{ kJ mol}^{-1}$ $\text{H}-\text{O} \quad 12 \times 464 \quad 5568 \text{ kJ mol}^{-1}$  $\text{Total} = \underline{13618 \text{ kJ mol}^{-1}}$

## P11a

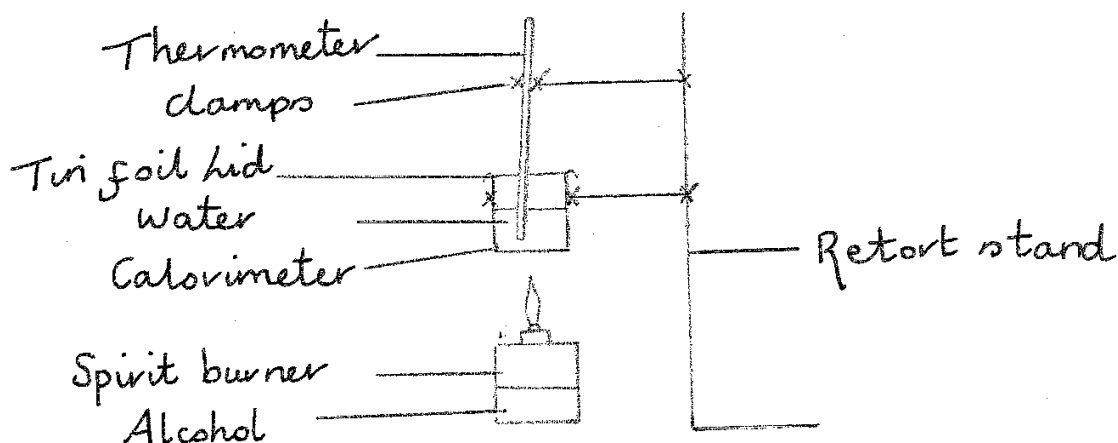
以上がアルカンにおける分子の構造と ( $\Delta H_c$  増加の) 傾向である。しかしこれを自分の研究であるアルコールの場合に適用することができる。生成物の結合エネルギー (結合の生成により、外部に出てくるエネルギー) が表の下になるにつれて大きくなっている。下のグループほど、炭素、水素、酸素原子が多く存在しているため、燃焼の際により多くの二酸化炭素や水が精製されるということであるから、下の方ほど能力が高い。ペンタノールの方へ行くにつれ、1 モルあたり、より多くのエネルギーを放出するということである。このことから、ペンタノールの方へ行くほどより多くの熱を放出し、メタノールがこの5種類のアルコールの中では最も能力が低い。

これは前出の表の中に、メタノールの燃焼熱が1モル当たり2596kJであり、ペンタノールに比べるとかなり低いということと一致する。

アルコールの燃焼について、理論は説明したが実験においてはこれらの値の精度を変化させる多くの要因がある。理論を実際に試してみるために、これらの要因について検討する。

## 方法

### 実験装置の図



アルコール類 メタノール、エタノール、プロパノール、ブタノール、ペンタノール

### その他の器具

- \* 液体を正確に測るメスシリンダー
- \* 0.01gまで測ることができる天秤
- \* 断熱のための陶板とアルミホイル
- \* ストップウォッチ

### アルコールの燃焼の精度に影響を与える要因

#### アルコールランプ

##### 芯の大きさ

P8b

太くて長い芯は表面積が大きくなり、炎に触れるアルコールの量が変化するので、芯の長さや直径はアルコールの燃焼に影響を与えるであろう。同じ太さで同じ長さの芯を使わなくてはならない。また、多種のアルコールが混合しないように、各アルコールにはそれぞれ別個の芯を用いなくてはならない。

P11b

##### ランプの大きさ

熱量計からの距離を等しく保つために、同じ大きさのランプを用いなくてはならない。そして一定の量を毎回測って入れなくてはならない。

##### 炎の高さ

銅の熱量計に炎があたると、一度に直接熱が伝わって急に水を温めるし、炎があたらなければ温まりにくいだろうから、この問題を軽減するために、常に一定の距離を保たなくてはならない。

温められる水

もし水の量が一定でないとすれば、たとえば水の量が多くなれば、 $20^{\circ}\text{C}$ 水温を上昇させるのにかかる時間が変わってくるので、多くのアルコールを消費してしまうことになる。

熱量計*P11b*

材質が違くと、熱量が異なり、中の水の温度が同じになるまでの時間が変わってしまう。したがって同じタイプの熱量計を用いることが必要である。銅は熱量が小さく、すぐに温まって、水にエネルギーを与えるのにもっとも短い時間で済む。

熱の損失

この実験においてもっとも不確かなのは、すべての熱を比熱計に与えることができるかどうかということである。外部に熱が漏れないように十分な断熱を毎回施すことが必要である。

温度計

温度計の精度について不確かであれば、それが結果を変えてしまうことになるであろう。毎回同じ温度計を用いることが必要である。

予備実験

実際の実験の前に、不確定な要素をできるだけ減らし、どの測定方法が最も正確で適した結果を与えるかについて調べてみた。

メタノール*P11a*

燃焼前のアルコールランプの質量 =  $116.56\text{ g}$  燃焼後のアルコールランプの質量 =  $115.27\text{ g}$

水を  $20^{\circ}\text{C}$  上昇させるのに用いたアルコールの質量 =  $1.29\text{ g}$  ( $116.56 - 115.27$ )

水温の上昇 :  $19^{\circ}\text{C} - 39^{\circ}\text{C}$

かかった時間  $3.20$  分

水の体積 =  $65\text{ cm}^3$

芯の高さ =  $10\text{ mm}$

アルコールの量 =  $35\text{ cm}^3$

温度変化 =  $20^{\circ}\text{C}$

芯から熱量計までの距離 =  $8\text{ cm}$

芯の直径 =  $5\text{ mm}$

メタノール 2*P11a*

燃焼前のアルコールランプの質量 =  $116.00\text{ g}$  燃焼後のアルコールランプの質量 =  $114.94\text{ g}$

水を  $20^{\circ}\text{C}$  上昇させるのに用いたアルコールの質量 =  $1.06\text{ g}$

水温の上昇 :  $20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$

かかった時間  $2.04$  分

変更点

芯の高さ =  $15\text{ mm}$

芯から熱量計までの距離 =  $6\text{ cm}$

その他の条件は上の実験と同じにした。条件を適正なものにするために、同じ芯と、アルコールランプを用いた。上に示したような変更により、同じように熱するための時間が短くなり、少ないアルコールで済むようになった。このように改良した方法で、今後も実験を続ける。

## メタノール 3

燃焼前のアルコールランプの質量=131.40g 燃焼後のアルコールランプの質量=129.57g

水を20℃上昇させるのに用いたアルコールの質量=1.47g

水温の上昇：20℃—40℃

かかった時間 1.23分

今回は断熱をよくするためにアルコールランプの周りに4枚の陶板を置き、アルミホイルでふたをした。これにより、外部に逃げる熱が減り、大部分の熱が熱量計に届くようになった。そして水の温度を20℃上昇させるのにかかる時間が短縮された。これは断熱によって、熱がよく伝わるようになったということを示している。

## P11a

予備実験の結果より、つぎのような実験条件を定めて、実験を行うことにした。

水の体積=65cm<sup>3</sup>

温度変化=20℃

芯の高さ=15mm

芯から熱量計までの距離=6cm

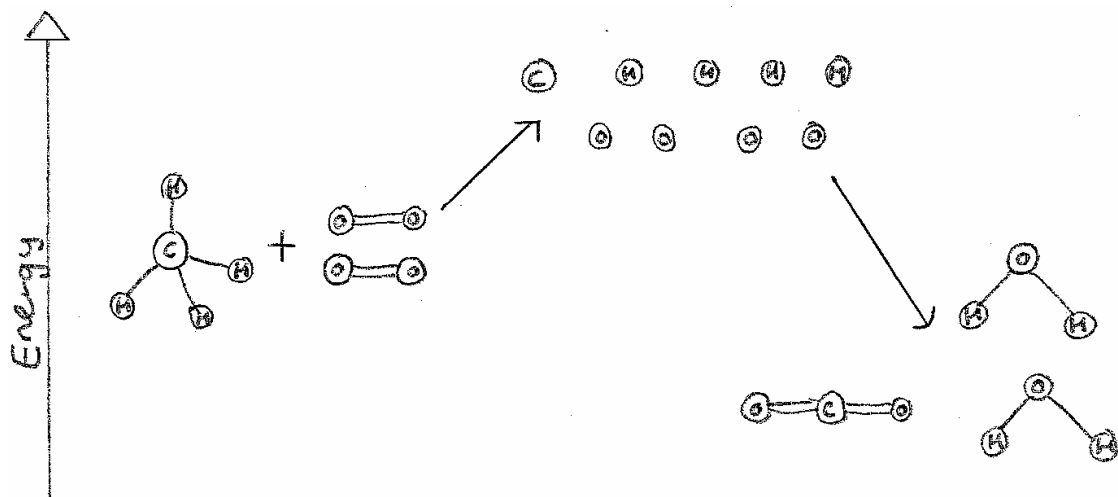
アルコールの量=35cm<sup>3</sup>

芯の直径=10mm

熱量計 銅製

断熱 陶板4枚 アルミホイル

## 第2次



上の図は化学の参考書にあるエンタルピーの部分からとったものであるが、メタンの燃焼にかかわるすべての分子が含まれている。反応は結合の切断と、結合の生成を含んでいる。メタンにおいては、炭素と水素の間の4つの単結合と、酸素原子の間の二重結合を切断する必要がある。発熱反応においては生成物が作られる際に、結合を切るのより大きなエネルギーが放出される。たくさんの原子が切断されれば、より大きなエネルギーが生まれる。よって1モルのペンタノールは、1モルのメタノールに比べてより多くのC=OやH<sub>2</sub>Oを作り出すので、炭素数の多いアルコールの方が、より多くのエネルギーを一定時間内に作り出すということになる。(以下実験の部分一部省略)

## P11a

A2a  
A2b  
A5a  
A5b

上の結果は、水を 20℃ 温めるのに、表の下のグループの方に行くほど、少ないアルコールで済むということを示している。それはまた、水を温めるのに、ペンタノールがもっとも短い時間で済み、メタノールが最も時間がかかるということも示している。これは私の予想通りで、5種のアルコールはデータ集にあったような傾向を示した。アルコールの（燃料としての）能力は、（炭素数の多い）ペンタノールへ向かうにつれ高くなる。これは炭素や他の原子を最も多く含み、多くの結合が生成することになるから、1モルあたり、より多くのエネルギーを放出するというので、少ない燃料で済む。計算によれば、ペンタノールが最大のエンタルピーを持ち、メタノールが最小、その他のアルコールはその中間に位置する。

次の方程式による。

$$E = m C \Delta T$$

ここでEは、一定量の水（60 cm<sup>3</sup>）の温度を20℃上昇させるのに必要なエネルギーであるから、常に一定となる。推測される（不確かな）要因の影響を最小限にした場合である。

$$\text{エネルギー} = \text{質量} \times \text{水の熱量} \times \text{温度変化}$$

kg                      J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>                      °CまたはK

A8a

水の密度 = 1 g cm<sup>-3</sup>

$$\begin{aligned} \text{したがって } E &= 65 \text{ g} \times 4.2 \times 10^3 \times 20^\circ\text{C} \\ &= 0.065 \times 4.2 \times 10^3 \times 20 = 5460 \text{ J} = \underline{5.46 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

したがって、水の温度を20℃上昇させるのに、5.46 kJのエネルギーが必要である。

それぞれのアルコールの燃焼熱を計算するために、水の温度を20℃上昇させるのに何モル必要であったかを計算しなくてはならないので、

エネルギーをモル数で割って、

$$\frac{\text{使用したアルコールの質量}}{\text{アルコールの分子量}} = \text{モル数} \quad \frac{\text{水の温度を20℃上昇させるのに必要なエネルギー}}{\text{使用したアルコールのモル数}} = \text{燃焼熱}$$

これらの式からそれぞれのアルコールの能力を算出することができる。

メタノールの能力

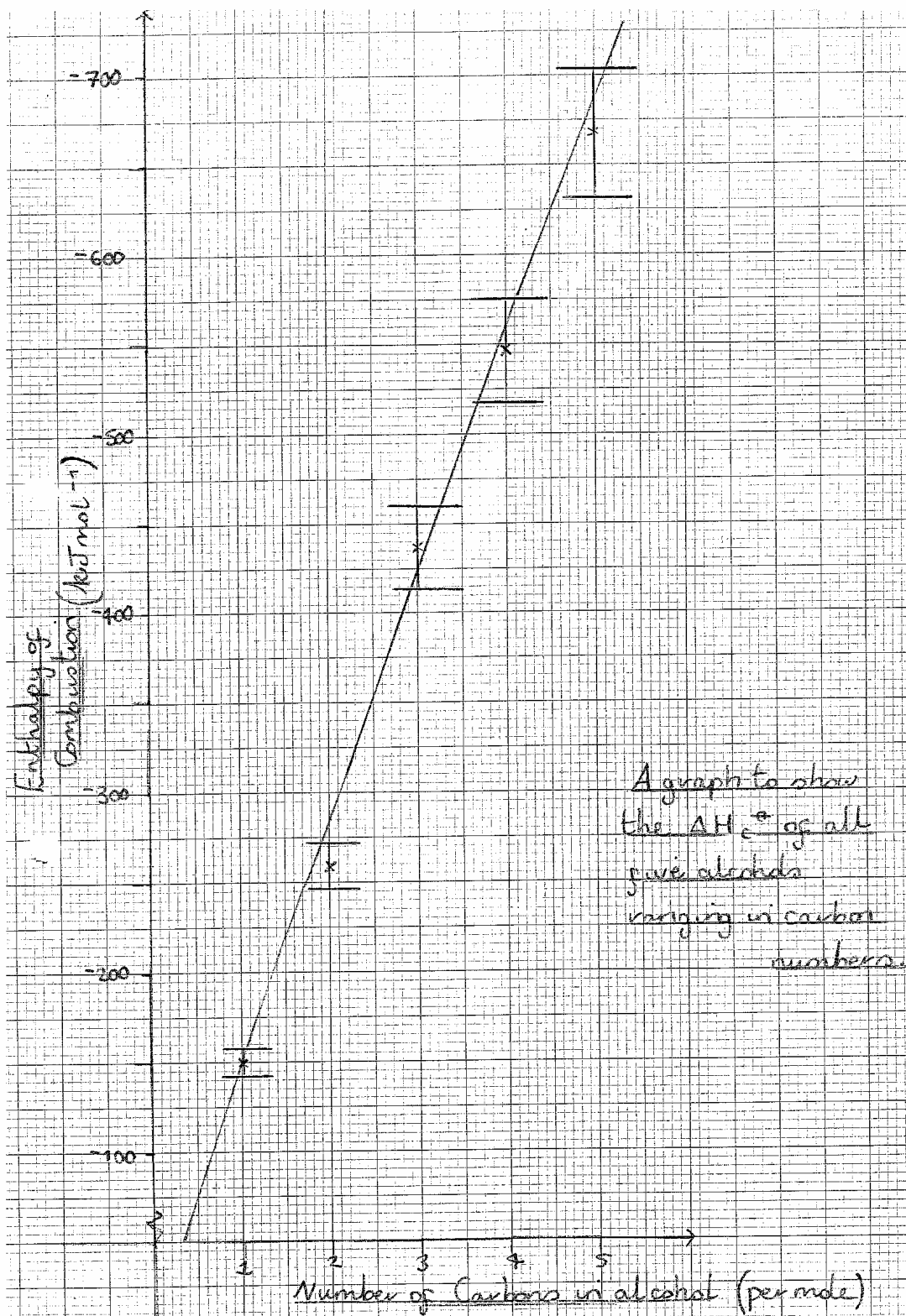
分子量 : CH<sub>3</sub>OH

炭素 = 12

$$12 + (3 \times 1) + 16 + 1 = 32.0 \text{ g}$$

水素 = 1

酸素 = 16



$$\text{燃焼したメタノールのモル数} = \frac{1.16 \text{ g}}{32.0 \text{ g}} = 0.0363 \text{ モル} \quad (3 \text{ s f})$$

$$\text{メタノールの燃焼熱} = \frac{5.46 \text{ kJ}}{0.0363} = 150 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (3 \text{ s f})$$

A11a

これと全く同じ計算過程を5種類全てのアルコールに適用して、これらのアルコールの燃焼熱を比較するために、表にまとめた。燃焼熱が高いほど、能力の高いアルコールということである。なぜなら、1モルあたり、より多くの熱を発生させるからだ。

アルコール	燃焼させた質量	燃焼させたモル数	燃焼熱
メタノール	1.16 g	0.0363	-150 kJ mol <sup>-1</sup>
エタノール	0.97 g	0.0211	-259 kJ mol <sup>-1</sup>
プロパノール	0.75 g	0.0125	-437 kJ mol <sup>-1</sup>
ブタノール	0.74 g	0.0100	-546 kJ mol <sup>-1</sup>
ペンタノール	0.72 g	0.00818	-667 kJ mol <sup>-1</sup>

予想されたように、ペンタノールに向かっていくにつれ、燃焼熱は増加する。数値は全て負の値であるが、これは熱量計の中の水に、熱を与えているためである。

- A11a 次ページのグラフは、アルコールの炭素数と、先ほどの実験結果から計算したアルコールの燃焼熱との関係を示したグラフである。各点を最もうまくつなぐ回帰直線は、燃焼熱が炭素数に比例して大きくなることを示す直線になっている。ペンタノールは最も大きい燃焼熱を示し、メタノールが最も低い。これは第2次における、アルコールの構造からペンタノールが一番高いであろうという予想を支持している。各点は直線の近くに分布しており、結果が正確であることを示している。これら5種のアルコールの燃焼熱はデータ集に載っているものとずいぶん違っている。これは燃焼に影響する要因、特に熱の損失という要因の影響を受けていないことに起因する。これは理想的な環境における理論値で、自分の実験に比べるとずいぶん高いものになっている。これは、教室という理想的ではない環境のために、かなり多くの熱が外部に漏れてしまったためである。しかしながら、その次のグラフに示すように、(理論値と)自分の実験を比較してみると、自分の実験は他の(不確かな)要因に影響を受けているものの、(炭素数と燃焼熱の)関係は同じ傾向を示していることがわかる。
- A11b
- A11a

### 誤差計算

実験結果に影響を与える要因があるという点からは、この実験が理想的なものではないと考えられるが、実験に含まれる誤差を計算してグラフ上に示すことで、本当に的確な回帰直線になっているか検討する。もしもこの直線が的確であれば、この結果は変則的なものではなく、値をばらつかせる何らかの要因に影響を受けたのだということがわかる。



各アルコールの $\Delta H_c$ を計算するときの誤差について計算する。

$$E = m C \Delta T$$

水の質量の誤差  $-1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ g}$

E2a 温度測定の誤差 =  $0.5^\circ\text{C}$

E2b これらの誤差は、実験者の不正確さによるものである。

E5a Cの値は、データ集に載っていたものなので、誤差を無視できる。

E11b

Eの計算に係る誤差の総計

$$E = (0.065 \text{ kg} \pm 0.001 \text{ g}) \times 4.2 \times 10^3 \times (20^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C})$$

これをパーセントに直して、

$$E = (0.065 \text{ kg} \pm 1.54\%) \times 4.2 \times 10^3 \times (20^\circ\text{C} \pm 2.5\%) = 5.46 \text{ kJ} \pm 4.04\%$$

したがってエネルギーを求める際の誤差の割合は、 $5.46 \text{ kJ} \pm 4.04\%$

燃焼したアルコールのモル数を求める際の誤差

$$\text{モル数} = \frac{\text{使用したアルコールの質量 (g)}}{\text{アルコールの分子量}}$$

天秤からくる質量の誤差:  $0.01 \text{ g}$

アルコールの分子量は、データ集のものなので、誤差を無視できる。

各アルコールのモル数を求める際の誤差:

アルコール	燃焼させた質量	燃焼させたモル数
メタノール	$1.16 \text{ g} \pm 0.862\%$	$0.363 \pm 0.862\%$
エタノール	$0.97 \text{ g} \pm 1.031\%$	$0.0211 \pm 1.031\%$
プロパノール	$0.75 \text{ g} \pm 1.333\%$	$0.0125 \pm 1.333\%$
ブタノール	$0.74 \text{ g} \pm 1.351\%$	$0.0100 \pm 1.351\%$
ペンタノール	$0.72 \text{ g} \pm 1.389\%$	$0.00818 \pm 1.389\%$

全体の誤差割合を求めるために

$$\frac{5.46 \text{ kJ} \pm 4.04\%}{\text{修正されたモル数}}$$

例えば

$$\text{メタノール} : \frac{5.46 \text{ kJ} \pm 4.04\%}{0.363 \pm 0.862\%} = 150 \text{ kJ mol}^{-1} \pm 4.902\% = 150 \text{ kJ mol}^{-1} \pm 7.353$$

**A11b**

不確かさの絶対量が計算されている。

したがってメタノールの燃焼熱の範囲は、 $143 \text{ kJ mol}^{-1} - 157 \text{ kJ mol}^{-1}$

5種のアルコールについて全く同様な計算をして、燃焼熱の誤差の範囲を表にまとめた。

アルコール	$\Delta H_c$ の誤差範囲
メタノール	$-143 \text{ kJ mol}^{-1} \longrightarrow -157 \text{ kJ mol}^{-1}$
エタノール	$-246 \text{ kJ mol}^{-1} \longrightarrow -272 \text{ kJ mol}^{-1}$
プロパノール	$-414 \text{ kJ mol}^{-1} \longrightarrow -460 \text{ kJ mol}^{-1}$
ブタノール	$-517 \text{ kJ mol}^{-1} \longrightarrow -575 \text{ kJ mol}^{-1}$
ペンタノール	$-631 \text{ kJ mol}^{-1} \longrightarrow -703 \text{ kJ mol}^{-1}$

これらの誤差範囲は先ほどのグラフ上に赤い線でその範囲を示した。

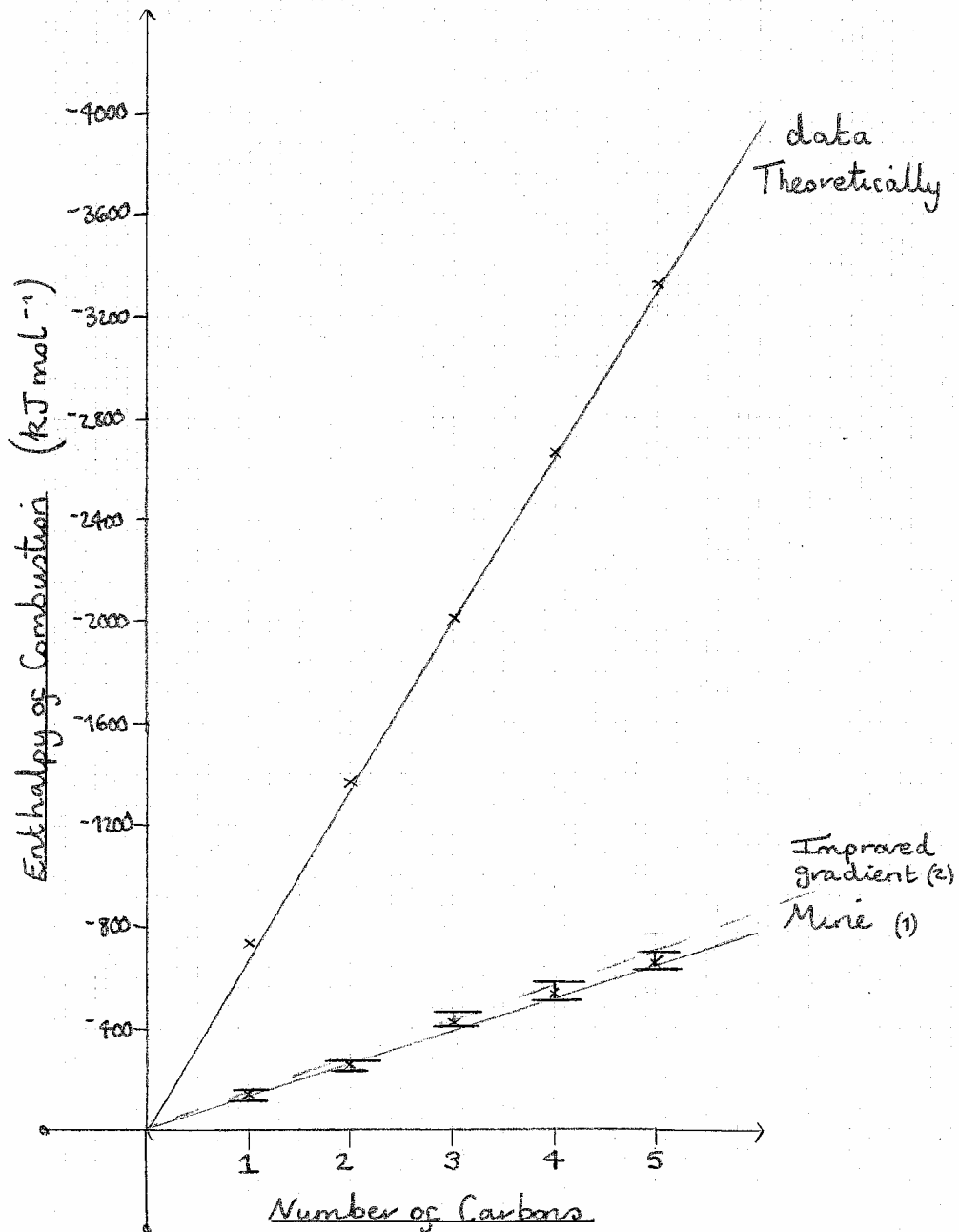
**E2b** グラフに示されるように先ほどの回帰直線はエタノールを除いてこのエラーバーの間を通過している。これはほんの少しのずれであるとはいえ変則的な結果であり、エタノールの実験が何か不確かな要因の影響をより強く受けたということになる。

**E11b** グラフの傾向は、十分に比例の関係を示しており、炭素数が増えるにしたがって燃焼熱が増加し、アルコールの能力が高まっているといえる。ひとつの結果がわずかにずれているが、回帰直線は予想を支持している。実験は成功しており、燃焼率の影響を受けているとはいえ、ほぼ矛盾のないものになっている。自分の実験結果をデータ集の理想的な値と比較してみる。ここでは、燃焼は外部の影響を受けずに理想的な状態で燃焼させている。私の結果は、その値よりも低いものになっているが、ペンタノールに向かうにつれて、燃焼熱が増加するという傾向は一致すべきものである。これは私の実験が、全ての熱が熱量計の容器に伝わっていないということの影響を受けたものだ。主な原因は、外部への熱損失である。実験の評価のところで、これを改善する手立てについて詳しく述べる。データ集の燃焼熱と私の実験のデータの差から、熱が水に伝わる効率が悪かったことがわかる。これらの本当の値は、熱をうまく閉じ込めて測定されたものだが、これについても後で詳しく述べる。

**E5b** 次のグラフは、自分の実験結果と、理論値との比較をしたものである。

**E8b** もし自分の実験の値が非常に正確であったら、値は低いにせよ、これらの直線は平行になるはずである。そしてこれら2本の直線は同様な傾向を示すことになるであろうし、同じ形態になることだろう。これは全ての（エタノールからペンタノールまでの）実験に対して、常に一定量、燃焼熱を引き下げる要因が働いたときのみ起こりうる。しかしこの実験ではそのようになっておらず、人的な不正確さか外部環境要因によって、その要因（が与える影響の大きさ）は実験の途中で変化している。二つのグラフはどちらも直線になっており、燃焼熱が比例的に大きくなっていくことを示している。しかし自分の実験では水や熱量計に対してそれほど熱を与えていない。このグラフにエラーバーを付加すると、新たな回帰直線を引くことができる。これは私の実験結果の誤差範囲を考慮に入れたものだが、そのようにするとグラフの傾きは急になり、本当の値に近づく。

A Graph to Show the comparison  
of my experiment with  
the data book values



とはいえ、依然としてこの二つのグラフはかなり異なっている。しかしこれは私の実験の熱損失によるものである。自分の実験は炭素数が1つ増えるごとに、燃焼熱が平均  $150 \text{ kJ mol}^{-1}$  ずつ増加していることがわかる。これが一定になっているために、グラフは直線になっている。燃焼熱の値は高くないけれども、燃焼熱の増加はある一定の傾向を持っており一貫している。

A11b

この傾向は本当の値についても見られ、炭素数が増えるごとに、燃焼熱が平均  $600 \text{ kJ mol}^{-1}$  ずつ増加している。自分の実験は、(不確かな要因の) 影響を受けない標準的で正確な燃焼熱と同じ傾向を示しているということだ。

### 評価

グラフで示したように、自分の実験は十分に一貫した結果を示している。しかし、データ集にあるほどの正確さには達していない。これは実験を行った環境が理想的なものではなく、外部からの影響を受けたためだと考えられる。データ集にある5種類のアルコールの燃焼熱は、アルコールが最も効率よく燃焼し、最大の熱を発生させるような理想的な環境下で測定されたものである。この(不確かな要因による) 影響は、燃焼熱の値が低くなり、炭素数の増加に伴う燃焼率増加の割合が低くなるという形でグラフに現れている。これは実験途中のさまざまな要因の影響によるものである。

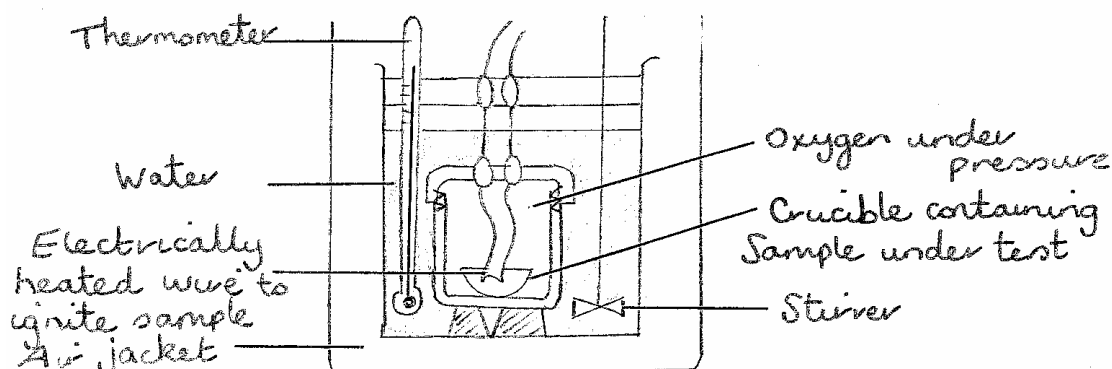
影響の大きさの順に述べる。

#### 1) 熱損失

E11b

アルコールランプの炎によって作られた熱は、いくつもの理由で、水まで十分に到達しない。このことは自分の実験結果が低い数値になったことでわかる。陶板を使って断熱することが熱損失を防ぐのに有効なことは予備実験の段階で明らかになった。しかし依然として、炎は水温を高める前に、空気や銅製の熱量計を温めなくてはならない。最小の時間で容器が温まる、最も比熱の低い材料でできた熱量計を用いたのはそのためである。また、すきま風や対流は熱損失を促進してしまうであろう。これらを取り除くことができれば(水の) 温度をあげることに使われる熱の量は大きく違ってくるであろう。考えられる方法としては、「爆弾熱量計」を用いることである。これは教科書にあるアイデアだが、より正確に熱を捕らえることができる。これは压力容器の中で、電熱線により着火するものである。すきま風もないし、空気の対流も起こらない。また、近接しているものへ熱が逃げることもないので、熱の損失がない。この方法は、一定の圧力、一定の体積のもとで行わなくてはならない。

E11a



## 2) ランプの芯

E11a

同じアルコールを燃焼させるのには同一の芯を用いたが、アルコールの種類を変えるときには、アルコールが混ざり合わないよう芯を交換しなくてはならなかった。新しい芯は、違った表面積を持っているだろうし、表面積が広ければより多くのアルコールが（炎に）接することになるから、変則的な実験結果をもたらすであろう。いくつかのアルコールの実験では、芯から出る炭素のカスが残ったが、それが次の実験に影響を与えたとも考えられる。したがって、毎回新しい芯に取り替えることにより、この要因は除外できる。芯の高さも、この実験結果の一貫性に影響を与えうる。というのも、芯が高くなれば炎は熱量計に近づくので、それによって多くの熱を与えることになったり、銅の容器の下につくすすの形成要因になったりする。このことは、熱量を変化させ、熱と容器の間で邪魔をすることになる。そして、水を温める前にすすを温めることになるので、時間が長くなる。アルコールの種類によってすすの生成量が異なっていた。これは不完全燃焼を示すものであり、周囲の酸素濃度を高めることで解消できる。自分の実験では最後の2つのアルコールが最も多くのすすを生成した。このことが、水温を20℃上昇させるのに長い時間がかかったことの原因かもしれない。

## 3) 反復実験

各アルコールは不確かさを取り除くために3回ずつ繰り返して測定をした。しかしさらに繰り返すことで、より正確な平均を導くことができるだろう。また、ヘキサノールを加えるといった、より多くのアルコールを実験してみることで、真の値とのより広範な比較が、可能になるであろう。

## 4) 予備実験

実験の理想的な状況を探るために、より多種の実験装置の考案や、新しいアイデアの導入が考えられる。

## 5) 測定

実験の誤差率は、測定の不正確さを許容しているが、メスシリンダーを容積の小さいものに替えたり、シリンジやピペットに替えることが精度を上げるのに有効であろう。水の体積の違いは、その熱量に影響を与え、一定の水温上昇にかかる時間を変化させることになる。温度計の位置も温度を決定するのに影響を与えるであろう。例えば、温度計が熱量計に触れていたならば、それは水の温度ではなく、銅の温度を測ってしまったことになり、大変異なったものになるだろう。したがって、温度計は容器の真ん中で、容器に触れないようにしておかなくてはならない。ストップウォッチを止めて、測ったときの温度が、正確な値ではなかったかもしれない。これが結果に影響していることも考えられる。これはより正確な温度計を用いることによって解消できる。

## 6) アルミホイルのふた

予備実験において、水温を上昇させるのにかかる時間が減ったことから、アルミホイルのふたが断熱に効果があることがわかった。しかしこれが水や空気の対流を妨げ、水全体の温度が様ではなかったとすれば、温度計の読みが不正確になったということも考えられる。

## 7) 質量の測定方法

自分の実験では、水を温めるのにどれだけのアルコールが使われたか、その質量を測定し、エネルギーの算出を行っている。正確な測定のためには、何千グラムも測れるような上皿天秤があると良い。

アルコールは異なった構造を持ち、下のグループに行くほど、多くの炭素を含んでいる。

この物理的な特性が、アルコールの燃え方に影響を与えているのかもしれない。アルカンにおいてその沸点は、炭素鎖が長くなるにつれて高くなる。炭素数が増えると、分子の中の分子間力が強まるためである。このことがアルコールにも当てはまるのではないだろうか。ペンタノールの方へ行くにしたがって、今ある結合を切ることが難しくなる。そのことが自分の実験における、ブタノールとプロパノールの燃焼熱が低くなってしまったことの説明にならないだろうか。これら二つのアルコールが燃焼するのに気化しようとする、他のアルコールより多くのエネルギーが必要になる。したがってより長い時間がかかり、アルコールの使用量は増えてしまう。この特徴は（分子量の大きい）アルコールにとって不利に働くが、より正確な実験で回避できる。

この実験は、データ集にもあるような、燃焼熱の傾向を明らかにした。かなりの割合の熱損失によって、燃焼熱の値は低くなってしまったが、（5種の）アルコールは比例的な燃焼熱の増加を示した。結果は、精度や、それが示す傾向から、一貫したものであり、不確かさは非常に低い。（回帰直線の）勾配は、本来の傾きより緩やかではあるものの、比例的に変化している。燃焼熱の傾向と、それが分子構造とどのように関連しているかが示され、実験結果によって証明された。いくつかの要因は他の要因に比べて、より大きな影響を燃焼に与えているが、前に示したように、要因は全実験を通じて一定なので、規則正しいグラフとなっている。

教師によるコメント：評価シートより

**P** 数多くの場面で、**11a / 11b** をすべて満たしている。優れたレベルの理論で、上手く述べられている。正確性を要することを考慮して全体を計画している。  
(11点満点中、11点)

**I** ノートを参照  
(12点満点中、11点)

**A** 理論が散漫な感じもするが、実験結果とその傾向に関する深い考察やその前の理論との比較がそれを相殺している。  
(11点満点中、11点)

**E** 誤差がきちんと計算されている。誤差の各要因について分析され、改善方法を示している。  
(11点満点中、11点)

合計 44点 (最大 45点)

## 第 3 章

Science as a context for the Science of Thinking

「思考に関する科学」の文脈としての「科学」

フィリップ・アデイ教授（ロンドン大学キングス・カレッジ校）





## **Science as a context for the Science of Thinking**

**Philip Adey, Centre for the Advancement of Thinking, King's College London**

### **1 Introduction**

This paper will describe the origins, structure, and effects of an innovation called Cognitive Acceleration through Science Education (CASE). As the title indicates, CASE is based on the science *of* thinking, that is psychological theories of how we think and how our thinking can be improved, and it uses science in the school curriculum as the vehicle to enhance thinking.

CASE is designed as an intervention in the science curriculum of students aged about 11 to 14 years. It is not a complete curriculum, but its activities replace 'regular' science activities about once every two weeks. It had its origins in work done in the 1970s at Chelsea College in London which showed that many of the concepts included in science curricula in the United Kingdom (and throughout the world) made demands beyond the intellectual capability of the students for whom it was intended.

The team at Chelsea College, led by Professor Michael Shayer, took a scientific approach to the problem of difficulty. On the one hand, we needed an accurate description of the intellectual profile of the school population and on the other, we needed a way of measuring and describing the level of difficulty of science concepts. The theory of cognitive development which had been elaborated by Piaget provided us with just the sort of description we needed. Drawing on his descriptions of types of thinking available at different stages, we (1) developed an instrument with which curriculum materials could be analysed for the cognitive demands that they made, and (2) developed group tests of cognitive development (Shayer, Wylam, Küchemann & Adey, 1978) and used them in a very large scale survey to establish the levels of thinking of children at different ages in the school population of England and Wales. It was shown clearly (Shayer & Adey, 1981) that the science curriculum made unrealistic demands on the ability of many – perhaps a majority – of the school population.

There are in principle two possible approaches to this problem: make the science curriculum easier, or raise the intellectual capability of the students. While the former would be relatively easy, it would inevitably engender academic and political difficulties, and in any case may be seen as a defeatist solution. Although the prospect of raising all students' ability to think may appear daunting, this was precisely the aim of the CASE project, initiated in 1982.

## 2 The Underlying Psychology

By ‘Cognitive Acceleration’ we mean the process of accelerating students’ ‘natural’ development process through different stages of thinking ability, towards the type of abstract, logical, and multi-variate thinking which Piaget describes as ‘formal operations’. Formal operational thinking is characterised by the ability to hold a number of variables in mind at once - for example to be able to weigh up two sides of an argument, to consider even-handedly the advantages and disadvantages of a particular course of action, or to be able to see both the separate and combined effects of a number of input variables (for example, sunlight, carbon dioxide, water) on an outcome (the production of glucose). Piaget had suggested that this type of thinking becomes available to children as a process of natural intellectual development around the ages of 14 or 15 years. However our Chelsea survey showed that only 30% of 16 year olds were capable of such thinking, and this conclusion was supported by work with college freshmen in the US, and parallel (but smaller scale) surveys in other parts of the world.

Up to the late 1970s, attempts at cognitive acceleration had shown little evidence of success. However, these studies had adopted a rather short-term and direct instructional approach, as if the mind’s ability to process information could be changed by learning a new set of rules. We believed that such approaches were flawed since the mind’s processing ability grows slowly, in response to demand placed upon it by challenging problems. This gives us the first of five ‘pillars’ of CASE theory, *Cognitive Conflict*. This occurs when a student encounters a problem which he cannot easily solve for himself but which, with carefully structured help from an adult or more able peer can either be solved, or will lead to gain in understanding of the nature of the problem. The principle of cognitive conflict is also encapsulated within the idea of a ‘Zone of Proximal Development’ (ZPD) developed by Vygotsky (1978). The ZPD is the difference between what a child can do unaided, and what he can do with the help of an adult. Vygotsky says ‘... the only good learning is that which is in advance of development’. In other words, learning tasks which are well within the child’s capability do not provide the challenge which stimulates cognitive growth. CASE activities are designed to be intellectually challenging.

Vygotsky also provides us with the second ‘pillar’ of CASE: *social construction*. As a good Soviet psychologist, Vygotsky was very conscious of the fact that people work together to build knowledge; it is a social process. We talk to one another, argue, listen, and gradually build our understanding through social interaction. CASE teachers learn to facilitate good social interaction, creating a classroom atmosphere in which polite disagreement is encouraged, and it is all right to change one’s mind.

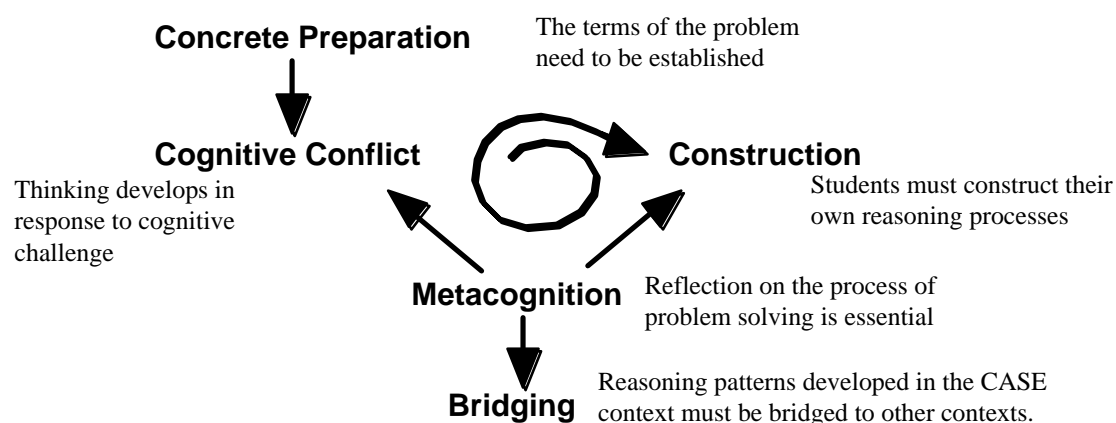
The third pillar of CASE theory is the encouragement of *Metacognition*. Metacognition means essentially ‘thinking about your own thinking’, although as an extremely fashionable

notion in cognitive psychology the word metacognition has been used in many different ways (Brown, 1987). We can only help ourselves to develop higher level thinking if we take some control of our thinking, that is, become conscious of ourselves as thinkers. In CASE, students are encouraged to take time to reflect on how they solved a problem, what they found difficult about it, what sort of reasoning they used, how they sought help and what sort of help they needed. This is time consuming and quite difficult to do, and teachers and students need a lot of help and encouragement initially to become more metacognitive in their approach.

There are just two more pillars of CASE theory. One is the idea of *Concrete Preparation*. You cannot simply present students with a difficult problem and expect the cognitive conflict to do the work of cognitive acceleration. There must be a phase of preparation in which the language of the problem is introduced, along with any apparatus to be used and a context in which the problem is set. The aim is to ensure that the difficulties encountered are just intellectual, and as far as possible are not confounded by problems language or context. The final pillar is *Bridging*, the linking of ways of thinking developed in the particular context of the CASE activity to other contexts within the science, mathematics, or other parts of the curriculum and to experiences in real life. If it is to become generally available, reasoning developed within a special context must be abstracted, and the student shown how it can be used as a general thinking tool.

Figure 1 illustrates the relationship of these five pillars to one another.

**Figure 1: Five ‘Pillars of CASE Wisdom’**



The relationship of cognitive conflict to social construction, shown by a spiral arrow, is not straightforward. When faced with a problem, we tend to seek simple solutions. We ‘short-circuit’ a full analysis of the problem in order to reach an accommodation which will meet the immediate

needs of the situation. For example, in determining what factors cause iron to rust and finding that nails in water rust faster than dry nails, the student will be content with the solution 'rust is caused by water' without looking more deeply into the possible effects of air as well. Cognitive conflict by itself does not automatically lead to re-construction of concepts or to reaching a full understanding. The cognitive conflict must be maintained and this can only be done by the teacher through close questioning. This gives a hint about the nature of the pedagogy required for cognitive acceleration which will be described in a later section on professional development.

The 'Five Pillars' provide a foundation for the pedagogy of cognitive acceleration, but by themselves they specify nothing about the subject matter context. Teaching methods based on the Piaget-Vygotsky foundation outlined above could be developed in any subject matter. So why did we choose to work through science rather than, say, mathematics, history, or English? There was a pragmatic element to the answer - the early Chelsea work which led to the CASE project was science based and both Michael Shayer and myself had science backgrounds. But there was also a good theoretical reason for at least starting the work in science. The original detailed description of formal operations provided by Inhelder & Piaget (1958) is characterised by a set of mental 'schemata': control of variables, ratio and proportionality, compensation, equilibrium, correlation, probability, and the use of formal models. These schemata are immediately recognisable by scientists and science teachers as descriptive of important types of relationships between variables, and they are the stuff of experimental design and the elucidation of general patterns of behaviour in the natural world. Formal operations are a quite general way of processing data in any intellectual field and the schema of formal operations can be interpreted in the context of any academic subject area, but their application to science is fairly straightforward. Science presented itself as a most obvious gateway into the development of high level thinking.

When we started developing activities in 1984 we had not yet fully articulated the theoretical model outlined above. The schemata of formal operations were established as the framework about which activities would be structured, the 'pillar' of cognitive conflict was recognised as central to the process of cognitive acceleration and constructivism had always been a main pillar of Piaget's account of cognitive development. The need for concrete preparation was a pragmatic necessity which came from our experience as teachers, and bridging likewise seemed of obvious importance if the schema were to be generalised. But our elaboration of the importance of metacognition grew throughout the project, from being implicit in the type of questioning that we promoted, to becoming an explicit and very important part of the CASE method. This gradual evolution of the 'pillars' of CASE as a complete theoretical structure underpinning the design and delivery of activities has since become very important in the process of professional development of teachers, to be described later.

### 3 Development of the Curriculum Activities

#### *Target population*

In line with the origin of CASE described in section 1, we were concerned with a broad range of ability, the majority of the student population for whom science appeared to be rather difficult. In terms of ability, our target was the middle eighty to ninety percent of students. Now, the experience of cognitive conflict will depend on an individual's ability. What provides an interesting and productive puzzle for one individual may appear trivial to a more able child and incomprehensible to a less able peer. While careful design of activities and flexible pedagogy can provide a wide range of levels of conflict within a particular activity, we considered it impracticable to include within our target population either the exceptionally able child, who would already be using formal operations by the age of 11 years, or those with serious learning difficulties who at 11 years may still be preoperational.

We targeted the 11 - 14 year age range because for the great majority of students this is the age of preparation for formal operational thinking. There is some evidence (Epstein, 1990) that there are brain-growth spurts at about 11 in girls and 12 in boys which may be part of a physiological maturation programme evolved to prepare adolescents for the intellectual demands of adulthood. Our survey of the population referred to in the introduction showed that only a small proportion of actual children attained the ages of cognitive development described by Piaget in his 'epistemic subject'. The population survey may be read as an indication of a deficit in the quality of stimulation provided for the majority of children at home and in school. On this reading, such a deficit should be remediable by appropriately designed stimulation at the right ages.

There is a pragmatic reason also for choosing 11 - 14 years as the age of operation of CASE. In the UK, 11+ is the age of transfer from primary school, which have class teachers who teach all subjects, to secondary school with specialist subject teachers. An intervention set within a science context would require science teachers who already understood - implicitly if not explicitly - the nature of the scientific reasoning patterns which form the context of the intervention.

Armed with the main features of a theoretical model, with the schemata of formal operations and with our experience as science teachers, the CASE authors (initially Michael Shayer, then joined by myself and Carolyn Yates) started to draft activities we thought would be appropriate for our target population. We discussed the form and practicalities of the activities amongst ourselves and with other academics and teachers. We ourselves taught each of the drafted activities to classes in London comprehensive schools which represented the age and ability

range of our target population, and the kind of social and ethnic mix typical of inner city schools in the UK. After a year of the funded project we had a bank of some twenty activities ready for a wider trial. Here two of the activities will be described to illustrate the application of the ‘pillars’ to practice. The materials are published as ‘Thinking Science’ (3<sup>rd</sup> edition: Adey, Shayer, and Yates, 2001)

**TS4: Tubes.** This is the fourth activity in the programme. In the previous activities, the ideas of variable, values of variables, and relationships have been introduced. Students have a box of small tubes. Questioning in a whole class discussion ensures that they identify the variables and values: length of tube (short, medium, long); width of tube (wide or narrow); and the material of the tube (copper or plastic). This is the *concrete preparation* phase of the activity, familiarising students with the basic ideas they are going to manipulate and the practical apparatus they are to use. Now they are asked to tap the tubes, open end against the palm of their hands, and listen to the note produced. The question is this: what affects the note that you get? They have some free exploration time and are asked, if they think they know what affects the note, to explain to the teacher or to another student what they think and why they think it. There is often a need, after some minutes, to call the class together and suggest that they take tubes just two at a time.

This is the phase of *cognitive conflict* and *social construction*. A child may come up with the claim that the width of tube affects the note. ‘Show me’ says the teacher. The student demonstrates with two tubes of different width that produce different notes. Looking at the tubes, teacher points out that they also have different lengths. ‘How do you know whether it is the length or the width that affects the note?’ Here the teacher is establishing some cognitive conflict, challenging the student to take account of a variable which she had not yet noticed. Typically a child might answer ‘both width and length that affect the note’. She does this as it seems a simple way to resolve the conflict, but the teacher perseveres with the questioning, concluding ‘go and choose another pair of tubes, but this time try to find a pair that will give us a clear answer’. Note that the teacher does not direct the student to choose two tubes in which only one variable has altered. The whole point is that the student must construct for herself this control of variables strategy.

In a mixed ability class of 12 year olds, it is possible that there will be one or two children who find the whole task so easy that they do not experience much cognitive conflict. For these the teacher may suggest a higher level task, such as looking for interaction between variables. There may be one or two others who, at the end of the 60 or 70 minute lesson, remain quite confused by the whole exercise and still fail to see the point of controlling variables. The great majority, however, will have experienced (through interaction with the apparatus, worksheet questions, the teacher and with other students) sufficient conflict to have constructed for

themselves at least the beginning of a control of variables strategy. The full development of this into an internalised, unconscious, schema which is 'naturally' brought to bear on all experimental situations will still take some time, but essential groundwork has been laid and the concrete 'change everything and see what happens' schema will have been severely shaken, if not broken up altogether. Even for the least able students who remain confused at the end of the activity there will have been a struggling with the problem and some doubts cast on the ineffective concrete strategy. Even a slight sense of unease at the way in which experimental questions are approached is of value. It is the cognitive struggle which is critical in the promotion of cognitive development, so the objective has been reached if every child experiences some cognitive conflict and goes some way towards finding a resolution satisfactory to her or himself. Toward the end of the lesson, the teacher asks students to reflect on mistakes they have made, on what they have learned, and gets them to re-trace their reasoning as they struggled with the control of variables strategy – this is the *metacognitive* work. Finally, they are invited to think of other topics in which the general control of variables strategy may be useful, to *bridge* the thinking from this lesson to other contexts.

**TS 18, Treatments and Effects**, is taught in the second year of the programme. This is set in the context of the schema of correlation. The *concrete preparation* discussion concerns two researchers who are testing the effect of a new fertiliser on the growth of carrots. Each has a treatment and non-treatment set of carrot plants and counts the number of plants in each set which show increased yield over a standard. The data is presented to the whole class as two 2 x 2 tables (treated / untreated and shows effect / no effect) and the discussion emphasises that the data from the untreated carrots is as important as that from the treated carrots (concrete operators tend to look only at treated carrots, to see if many show increased yield). Each group of students is now given a set of 20 cards. Each set of cards shows one organism (rose, wheat, cow, pig, or sheep), and also shows whether or not the organism has received some treatment (e.g. fertiliser, pills to make more milk, etc.) and whether the animal or plant demonstrates an effect (by growing more, producing more milk, meat, etc.). Students first sort the cards into four piles according to whether they have:

- A not been treated and not shown an effect
- B not been treated but shown the effect anyway
- C been treated but not shown an effect
- D been treated and shown an effect.

Students then address the question of whether any effect seen is likely to be the result of the treatment or not. For example, IF the treatment cause the effect, in which of the four piles A, B, C, and D would you expect to find large numbers? This generates considerable *cognitive conflict* and discussion in groups (*social construction*) leads to the conclusion that you would expect piles A and D to be large, and B and C to be small. In the discussion of these results the terms positive correlation, negative correlation, and no correlation are introduced to help students think about what sorts of relationships exist between treatments and effects. This activity models at a simple level the type of experimental evaluation of treatments which is at the heart of much medical, agricultural, and other research. Without an understanding of correlation and associated probabilistic relationships, the majority of popular science reports in newspapers are incomprehensible. Again, a *metacognitive* discussion explores the difficulties that students encountered, and they are encouraged the *bridge* the idea of correlation to topics outside the science classroom..

In none of these ‘Thinking Science’ lessons do students complete notes of ‘conclusions reached’ or ‘knowledge captured’. There may be no written product at all, as the worksheets are used just to record data which forms the raw material for thinking about relationships. This again highlights a difference between the CASE intervention activities and the regular science curriculum, a difference which some teachers initially find hard to accept.

### *Fitting it into the curriculum*

CASE does not offer a complete alternative science curriculum. Indeed, the pedagogic difficulty of managing intervention lessons and the fact that no science content is explicitly covered make it unsuitable as a substitute for regular science teaching. Furthermore, while the uncertainty with which students are sometimes left at the end of CASE lessons is productive in moderate amounts, it might well become demotivating if it were a permanent feature of science lessons. CASE is described as an ‘intervention’ both because it is a process of intervention in ‘normal’ cognitive development, but also because it is an intervention in the regular science curriculum. CASE activities are taught instead of regular science activities once every two weeks which might represent about twenty percent of the time allocated to science. Teachers sometimes say ‘it sounds like a good idea but we do not have the time for it’. This is an understandable position, but the reality is that very little time is actually ‘lost’ to the curriculum content material. This is partly because CASE already covers some of the process objectives of the curriculum, but mostly because as the students’ thinking develops so they are able to understand and make sense of the regular curriculum material more efficiently, in less time. Luckily we have very good evidence to



support this claim, and this evidence generally persuades teachers that the risk of ‘losing’ so much curriculum time is worth taking, at least on a trial basis.

#### **4 Trials and Evaluation**

The effect of the CASE intervention on students’ cognitive development and academic achievement determined from our original research project has now been widely reported - see for example Adey & Shayer (1993, 1994); Shayer & Adey (1992a, 1992b) . A summary of that work will be given here before considering more recent evidence.

##### **THE 1984-87 EXPERIMENT.**

The results which will be described here are for the ten experimental classes in seven schools that continued with the programme for a period of two years. In each of these schools, one or two classes were designated as ‘experimental’, and from September 1985 started to use the Thinking Science activities once every two weeks for two years. Four of the experimental groups had children aged about 11+ years, and six had children aged about 12+ years. In each school also parallel ‘control’ classes were identified which were matched with the experimental classes for age and ability. The control classes were taught their regular science curriculum without loss of time for the CASE intervention.

All classes were given a pre-test of cognitive development and then at the end of the two year intervention period, post-tests of cognitive development and a test of science achievement. This was the end of the intervention programme, but one year later we revisited the schools to collect information on all of the students’ science achievement. One further year later, in July 1989, those classes which had started the CASE intervention in their Year 8 took their General Certificate of Secondary Education (GCSE) examinations. This is the national public examination taken at 16 years by all students in schools in England and Wales. For all of the students who had previously been in classes designated as experimental and control we collected the grades attained in science, mathematics, and English. One year on again (July 1990), those who had started in Year 7 sat their GCSEs and again we collected their grades. We thus had the data which allowed us to compare (a) cognitive growth and (b) academic achievement over a long period of initially matched students some of whom had experienced the CASE intervention and some of whom had simply followed their regular science courses.

**Table 1: Residualised gain scores on successive tests after completion of two year CASE intervention, based on pre-cognitive tests September 1984**

		Group	Number	Mean gain	Standard deviation	Significance, p<	Effect size (s.d.)
Immediate post cognitive test		11+ boys	29	-0.21	0.95	-	-
		11+ girls	27	0.08	1.10	-	-
July 1987		12+ boys	65	0.70	1.00	.001	0.75
		12+ girls	52	0.03	0.98	-	-
1 year delayed science achievement		11+ boys	37	2.72	15.45	-	-
		11+ girls	31	7.02	12.76	.025	0.60
July 1988		12+ boys	41	10.46	16.6	.005	0.72
		12+ girls	36	4.18	14.41	-	-
GCSE 1989	Science	12+ boys	48	1.03	1.34	.005	0.96
		12+ girls	45	0.19	1.38	-	-
	Maths	12+ boys	56	0.55	1.23	.005	0.50
		12+ girls	54	0.14	1.27	-	-
	English	12+ boys	56	0.38	1.27	.05	0.32
		12+ girls	57	0.41	0.96	.01	0.44
GCSE 1990	Science	11+ boys	35	-0.23	1.46	-	-
		11+ girls	29	0.67	1.36	.025	0.67
	Maths	11+ boys	33	-0.21	1.59	-	-
		11+ girls	29	0.94	1.26	.005	0.72
	English	11+ boys	36	0.26	1.65	-	-
		11+ girls	27	0.74	1.32	.025	0.69

All results will be reported in terms of residualised gain (r.g.) scores, determined from the regression of any post test on to the initial pre-test. Note that r.g. scores build in comparison to controls and that by definition the mean r.g. score of a control group must be zero. Table 1 summarises results for boys and girls at different ages of starting. There are a number of striking features of these results :

- The immediate effects seem to be rather limited, but (1) more recent immediate effects obtained on cognitive development have been much larger (see below) and (2) there is a strong correlation on an individual student basis between cognitive gains over the two year intervention programme and subsequent gains in GCSE scores.
- There is a long term, and apparently growing, effect of the intervention of students' academic achievement. The effect of the raised cognitive levels will be, starting at the end of the intervention, to improve student's ability to benefit from normal classroom instruction. Such improvement is likely to be cumulative as better understood conceptual learning provides a sounder platform for further learning, and so on.
- There is a strong 'far transfer' effect. An intervention programme set in a scientific context effects students' achievement in mathematics and in English literature. Such transfer implies that CASE has tapped into and influenced a deep-seated function of the mind which has a broad effect on students' intellect.
- There seems to be an age/gender interaction effect, in that the intervention is most effective with younger girls and with older boys. Although this notion fits neatly with a model of a cognitive window of opportunity for the promotion of formal operations, which in line with their generally earlier maturity at this age comes earlier for girls than it does for boys, we must be very careful before drawing such a conclusion. For one thing, the 11+ group was actually more able overall than the 12+ group, both age groups starting the intervention at about the same mean level of cognitive development. For another, more recent data does not show anything like the same gender effect.

## MORE RECENT RESULTS

In the original research experiment we were able to measure effects on experimental classes against well-matched controls. However, the numbers were relatively small, we ourselves were still in the process of inventing the method for training the teachers, and the teachers themselves were working on the project in isolation within their schools.

Following the publication of the long-term effects on GCSE scores in May 1991, there was a great demand from schools for the materials and methods that would enable them to replicate the results. Since then, we have been running a series of two-year inservice teacher education courses to introduce the methods. This professional training will be described in more detail in Section 5. Although we are now collecting much new data, an important difference between this and the original experiment is that now we have a method which we believe works, we cannot ethically deny it to any class just to provide an experimental control. One way of analysing new data is to compare gains made by CASE schools with the national norms established in the Chelsea survey

(Shayer and Adey 1981, and see Section 2). From the first cohort of schools participating in the CASE training programme, we were able to collect pre- and post-test data on levels of cognitive development for sixty-three classes in eight schools. Some of these classes made a Year 7 (aged 11+ years) start on the intervention, some a Year 8 (12+) start, and one school started the intervention in both years. A summary of the effect sizes of the school mean residualised gain scores compared with national norms is shown in table 2.

**Table 2: Effect sizes of cognitive development: residualised gain scores in eight schools which participated in CASE training, 1991-93**

School	Start age	Effect size ( $\sigma$ units)
1	11+	0.67
1	12+	0.76
2	11+	0.69
3	11+	1.12
4	11+	1.12
5	12+	0.80
6	11+	1.0
7	12+	0.29
8	12+	1.26*

\* by comparison with previous year 9 group, questionable.

Of the sixty-three classes, there was a significant negative effect in one class, possibly due to some error in the administration of the pre-test. In four others there were insignificant negative effects. In three classes there were positive effects of less than  $0.3\sigma$ . In all of the remaining fifty-five classes there were significant positive effects of the CASE intervention on children's rate of cognitive development. As we have shown previously, cognitive gains attained over the intervention period are related to subsequent academic gains.

In 1995 and 1996 we were able to collect data on academic achievement of CASE schools, compared with non-CASE schools, for the 'Key Stage 3 National Curriculum Test' (KS3 NCT), as well as for GCSE grades of students who had used CASE in 1991 – 93 and those who did CASE in 1994-96. I will present the KS3 results first and then the 1999 GCSE data. In the UK,

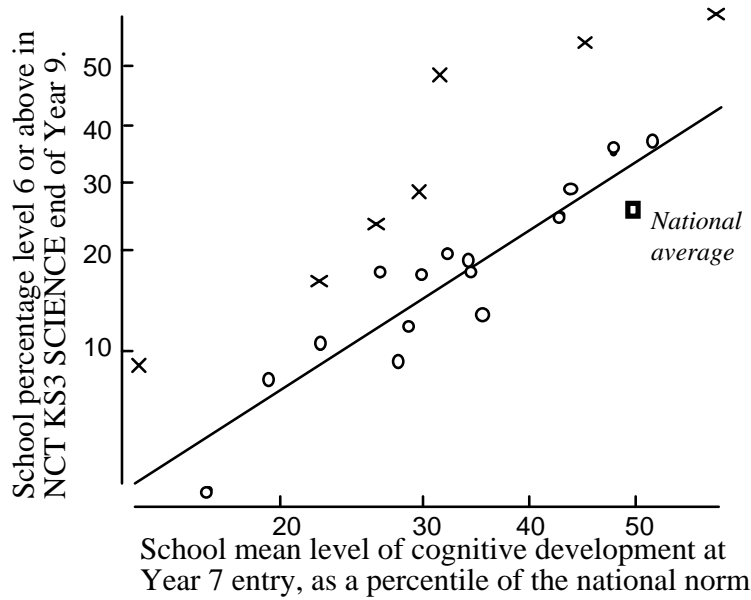
the government has instituted a series of nationally moderated tests to be given in various subject areas at the end of each 'Key Stage' of education, which means at the ends of years 2, 6, and 9 when children are about 7, 11, and 14 years old respectively. For schools which use Thinking Science in years 7 and 8, the KS3 NCT given at the end of year 9 provides a convenient measure of academic achievement one year after the end of the intervention.

In figures 2a, 2b, 2c each point represents one school. The horizontal, x, axis is the mean score of the school's students at the beginning of Year 7 (secondary school entry) on measures of levels of cognitive development, expressed as a percentile of the national average. This is a measure of the school's intake ability, which is a reflection of factors such as the socio-economic conditions in the school's environs and whether there are selective schools in the area which cream off the more able students. It so happens that almost all of the schools for which we have data at present are in the lower half of the intake ability range. The vertical, y, axis is a measure of success in the KS3 NCT. These tests are scored for National Curriculum levels, which fall on a range from 1 to 10 (or more recently 1 to '8 and over'). The percentage of students attaining level 6 and above at Key Stage 3 is commonly taken as a measure of the success of the school. In order to make the plot linear, all scores have been transformed into logits:  $\ln(\%/100-\%)$ . This is why the axis scales are not equal-interval.

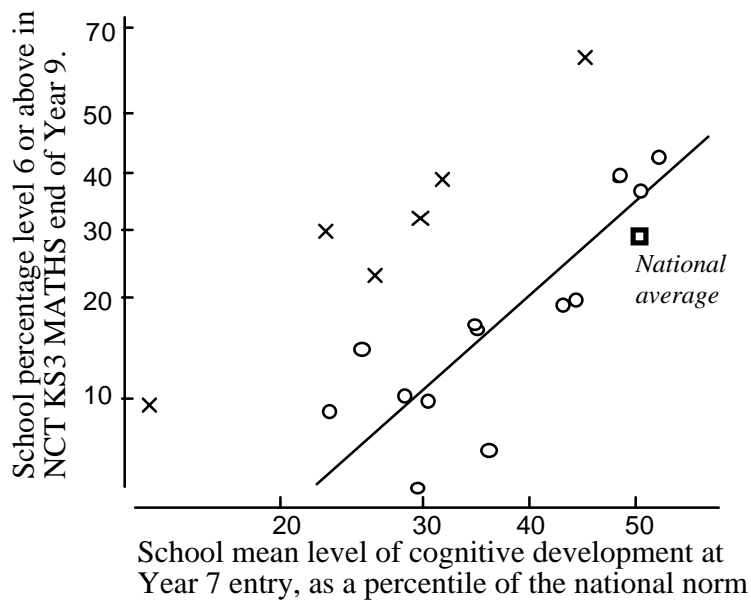
These figures show, not surprisingly, that success on the Key Stage 3 tests is strongly related to the intake ability of the school's pupils. What is striking is that CASE schools all lie above - often far above - the regression line for control schools. This means that whatever the intake level of the school, CASE schools are adding significantly more academic value to their students than non-CASE schools. The effect is equivalent to an addition of about 30 percentile points to school mean academic achievements.

**Figure 2: relationship between school entry cognitive levels and NCT KS3 test performance at end of year 9 for CASE (X) and non-CASE (O) schools.**

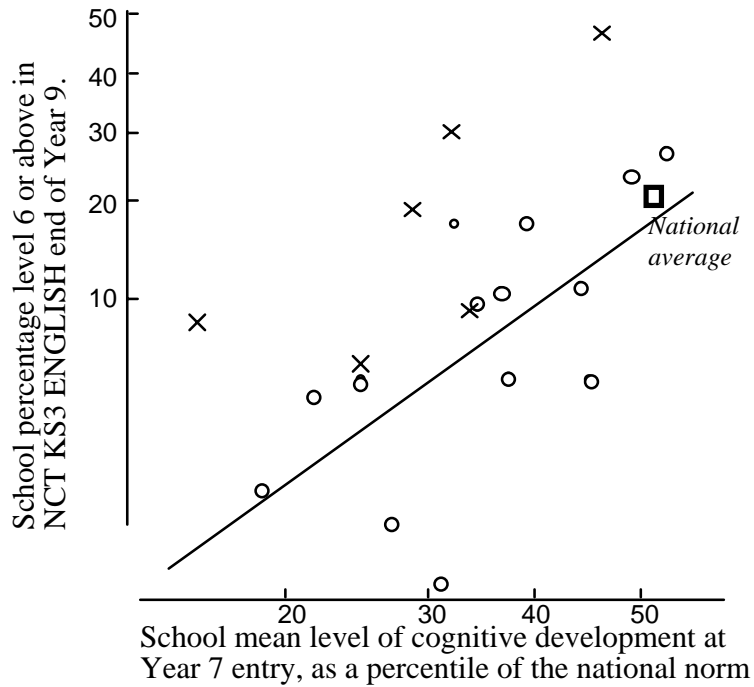
**2a: Science**



**2b: Mathematics**

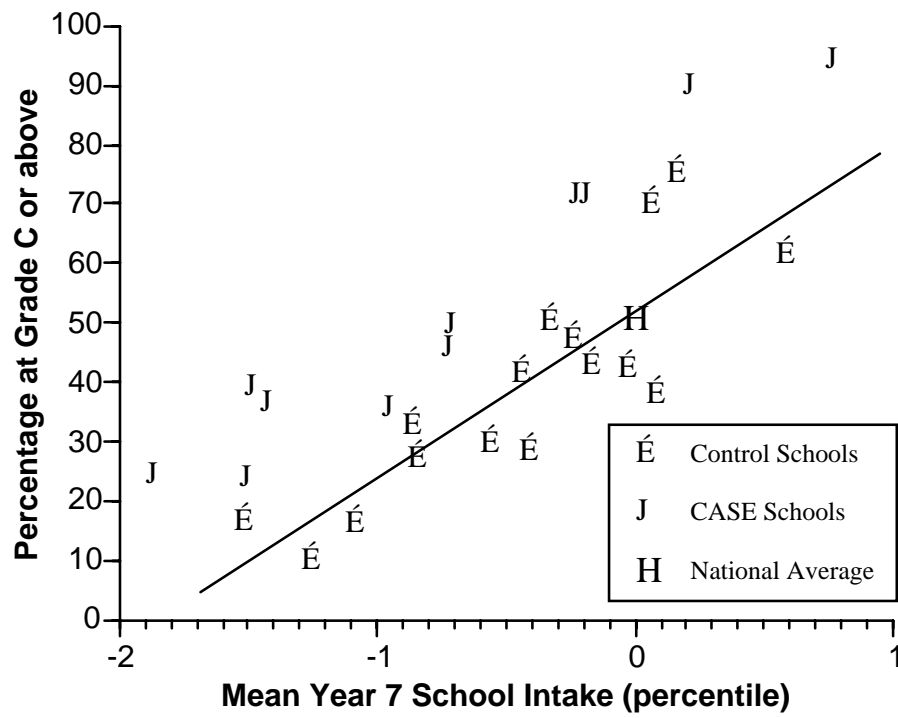


## 2c: English



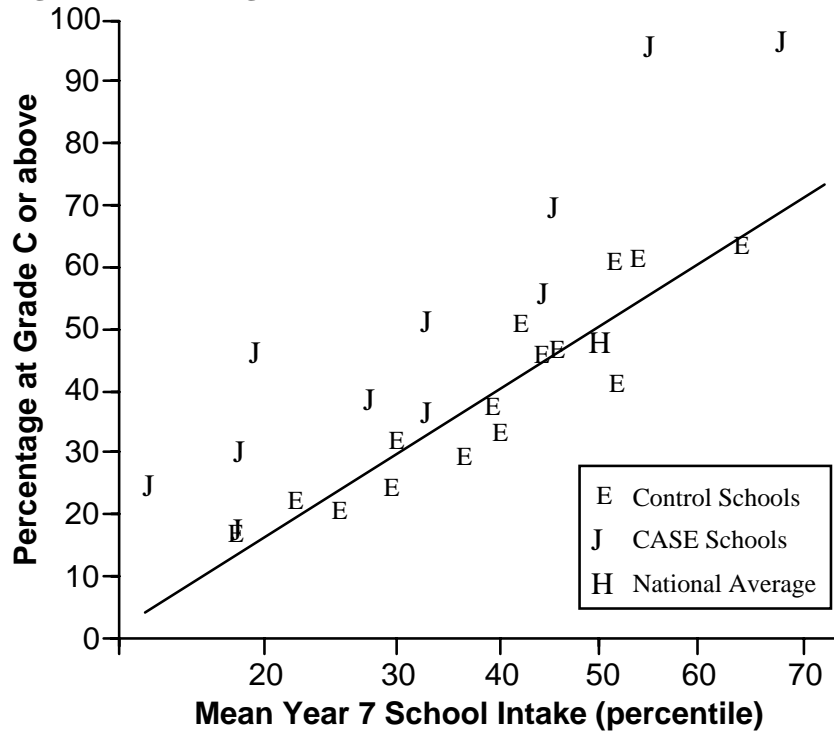
The 1995 and 1999 GCSE results for students who used CASE three years previously follow a similar pattern. It is analysed in exactly the same way as the KS3 data, except that the measure used for a school's mean success at GCSE is the percentage of students attaining grades A, B, or C at GCSE, on a scale which runs from A to G plus 'fail'. Grades A - C are generally considered a 'good' pass at GCSE and a basis for continuing education in that subject area. Figures 3a - c summarise the results for the 1999 GCSE. It is clear that the CASE intervention has systematically added greater academic value to students of a given starting cognitive level than is normal for non-CASE schools, and that the effect is on a general function of students which transfers beyond the science context in which the cognitive intervention programme is delivered.

**Figure 3a: GCSE grades 1999: Science**

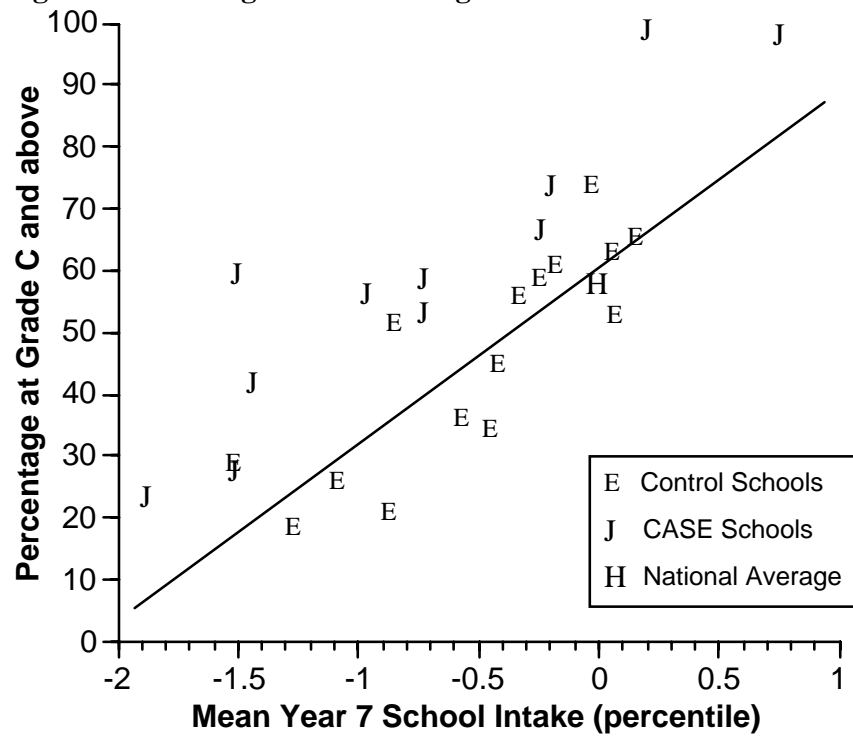




**Figure 3b: GCSE grades 1999: Mathematics**



**Figure 3c: GCSE grades 1999: English**



## 5 CASE and the Professional Development of Teachers

It will be clear that teaching children to think is a subtle, complex process which cannot be reduced to a set of specific activities for teachers to follow. The reason that there can be no such thing as a 'teacher-proof curriculum' is that the process of teaching is an essentially human social enterprise involving myriad types of interaction between teacher and pupils. For teaching to be effective, each teacher has to find her or his own way of working with the great variety of personalities and intelligences which they meet every day.

If these principles are true for teaching in general, they are even more important when applied to teaching for the development of reasoning. We have to consider what the teacher of thinking needs to be able to do, what normal training and experience have prepared them for, and how the gap between the two might be closed. Teaching for the development of reasoning in children is the antithesis of teaching for the recall of factual content. The development of critical thinking, or higher level reasoning, in children requires by definition that children be given an opportunity to exercise their own minds, to engage in critical appraisal, to risk opinions in a sympathetic atmosphere and then have the opinions challenged in a rational but respectful manner. This means the creation in the classroom of a very special sort of atmosphere which is intellectually rigorous but at the same time friendly and safe - in the sense that all children should feel confident in taking cognitive risks. To create such an atmosphere, the teacher needs to have:

- clear objectives in terms of the type of reasoning being developed in a particular thinking lesson;
- some familiarity with the underlying theory of cognitive acceleration;
- an intimate understanding of the range of reasoning and arguments displayed by his or her pupils, if not of the particular levels of argument employed by each individual pupil;
- mastery of a range of techniques such as leading questioning, suspension of judgement, setting challenges appropriate to particular children, and the ability to interpret children's utterances in terms of the type of thinking they are using.

The 'needs list' may be seen as something of a specialisation of the requirements placed on any teacher, rather than a radically different type of teaching. It is, or at least should be, part of every good teachers' repertoire to be clear about objectives, familiar with teaching materials, sensitive to children's needs, and in command of questioning and other techniques. But for the development of reasoning in children, each of these requirements is raised to a higher degree, or applied to rather particular methods and materials different from the normal content-oriented curriculum.

The development in teachers of the pedagogical skills required to teach for cognitive acceleration will depend on continuing professional development through inservice courses for teachers. There may be formidable problems associated with motivating teachers to participate in such programmes, with funding them, and with accrediting them, but in this monograph I will concentrate only on the underlying theory and the practice we have developed within the CASE project.

*Research on effective inservice practices.*

A great deal of research has been undertaken into factors which impinge on the effectiveness of inservice courses in changing teachers' classroom practice. Joyce & Showers (1980, 1988) undertook a meta-analysis of nearly 200 studies of the effect of Staff Development. They state their conclusions strongly, summarised in table 3. The message is clear: for inservice courses to be effective, the occasional day spent in a university or professional development centre will have no effect, however well-structured and organised it may be. Coaching work by the tutors in schools is essential. Such research evidence supports the experience of inservice providers who often hear teachers say 'Well your ideas seem well and good in this nice university setting, but they wouldn't work in my school / with my students / etc.' Many teachers, quite reasonably, need to be convinced that the theory can be put into practice in their own schools, and the only way to do this is to work with the teachers in their classes, supporting them there in the implementation of the teaching of thinking.

**Table 3: Mean effect sizes in standard deviation units of different Staff Development procedures on possible INSET outcomes.**

<b>Feature of course</b>	<b>Outcome: development of teachers'...</b>		
	<b>knowledge</b>	<b>skill</b>	<b>practice</b>
<b>give information</b>	0.63	0.35	0.00
<b>+ demonstrate</b>	1.65	0.26	0.00
<b>+ opportunity to practice</b>		0.72	0.00
<b>+ feedback</b>	1.31	1.18	0.39
<b>+ coaching in school</b>	2.71	1.25	1.68

after Joyce and Showers 1988 p. 71

### *The structure of CASE Professional Development*

The inservice Professional Development programme we devised to introduce CASE to schools takes Joyce and Showers' findings seriously, and includes elements of theory, practice, and in-school coaching. It also includes elements concerned with the management of change in schools.

As described above, CASE methods are rooted in Piagetian ideas of cognitive conflict and equilibration, and in Vygotskian ideas of social construction and metacognitive reflection on the development of one's own thinking. Thus the methods which teachers are to implement, although described in print, are rooted in theory which it is essential to understand for effective deployment of the necessary skills. No teachers' guide, however comprehensive, can ever convey the richness of a classroom practice which is required to raise permanently students' general levels of thinking. Some understanding of the learning process is essential for any successful teacher development, but it is especially important in interventionist teaching aimed at the development of thinking. The construction for oneself of intervention methods is related to the sense of ownership that teachers build in taking on the new methods. Until one has taken ownership of a method with one's own idiosyncratic interpretation and colouring by personality and the particular school environment, it will remain an 'add-on' skill which is easily lost when the external stimulus of the inservice programme is removed. The curriculum in the classroom is created and managed by the teacher. Ownership of a method for teaching thinking enables it to be built in naturally to this classroom curriculum.

The CASE Professional Development (PD) programme runs over two-years in parallel with a school's initial implementation of the two year Thinking Science programme. Over the two years, there are seven days when teachers attend our inservice centre and a further four or five half days when we work with the teachers in the school. The amount of time devoted, in particular, to the coaching visits by expert CASE trainers makes these rather expensive programmes. Typical fees for the two year programme are about £3,000 per school. Inservice education in the UK now is funded by monies which are devolved to individual schools, so each school has its own inservice budget. Schools often see investment in the CASE inservice course as worthwhile in terms of the general professional development of teachers as well as raising student achievement.

We do not work with individual teachers, but only with whole school science departments. It is essential that all science teachers participate in the programme. However enthusiastic individuals may be, the difficulties of maintaining a distinctly different and novel teaching method in a school surrounded by others who continue with mainstream curriculum teaching are formidable. By insisting on working with a whole department, it becomes far more likely to make the new teaching goals and methods part of the culture of that department and that school.

Since it is not practical for a school to release all of its science teachers for the Centre-based days, which are held on normal school days, a school will usually send two teachers. One may be the 'CASE co-ordinator' in the school, and the other may rotate, with a different person coming to each occasion. This provides a balance between continuity and exposure of as many of the department as possible to the PD programme. In addition to our own inputs in the schools, CASE co-ordinators are encouraged to develop implementation plans which include in-school PD sessions which the co-ordinator runs. We use part of our school visit time to support the co-ordinator in his/her PD sessions in the schools.

We also run a parallel programme for the training of CASE Trainers. Trainers may be drawn from university departments of education, from local government advisory services, from freelance consultants, or from schools themselves. Some Head teachers see an advantage in having their school become a training centre for CASE. Trainers attend many of the same sessions as the teachers from schools, but they also have sessions of their own devoted to management of change in schools, to research data on effective Professional Development, and to the writing of action plans for the training programmes they propose to run.

### *Researching Professional Development*

There is a general way in which the effectiveness of the professional development programme is evaluated by the academic gains made by students in schools which participate in the programme, described in section 4 above. But making a more specific link between the professional development course, the development of teachers' practice, and cognitive gains made by students is a more difficult form of evaluation to establish. We have now amassed a considerable amount of data related to factors which make professional development effective. Space does not allow me to describe this research in detail, but it is fully described in Adey et. al. 2004, where we have set our own data in the context of the extensive literature on effective professional development, and developed a model of the key factors (figure 4).

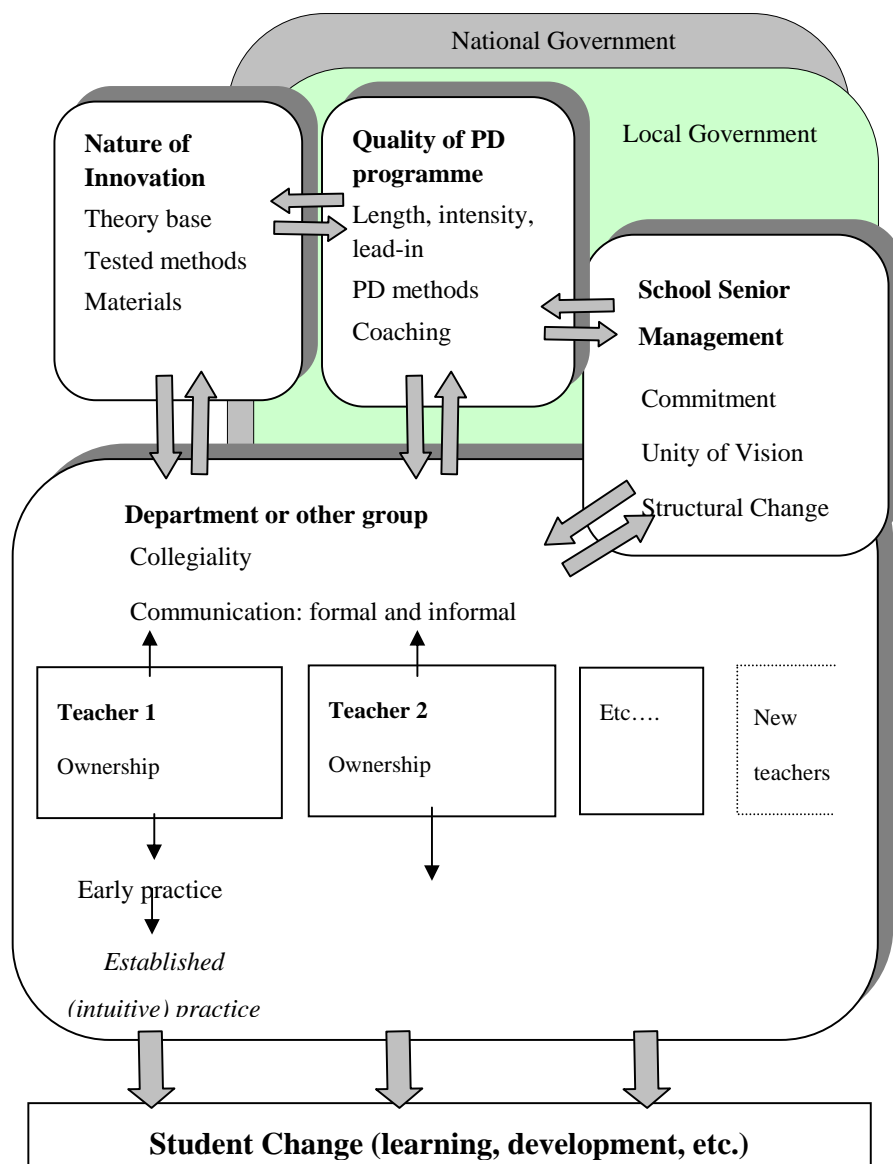
The 'bottom line' in the model is change in students. The whole point of an innovation in a school is to change the students in some way, for example to improve their achievement of behaviour. If a professional development programme is effective, it should lead to such change in students. There are four main elements in the model:

- 1 The nature of the innovation. To be effective, an innovation needs a sound theory base, some evidence of effect on students, and print or other materials which teachers find useful.
- 2 The quality of the professional development, which generally need to be sufficiently long and intensive and to include an element of in-class coaching.

- 3 The school’s principal (head teacher) must support the innovation, allow the time for its implementation, and consider its maintenance when, for example, an individual teacher leaves the school and is replaced.
- 4 Collegiality amongst teachers. For radical innovations, teachers in a school need to work together in a sharing and mutually supportive environment.

It is a feature of this model that all four of these elements need to be set in the ‘positive’ mode for the PD to be effective. If any one of them is ‘negative’, the PD will fail.

**Figure 4: A comprehensive model of effective professional development of teachers**



## 6. Widening the impact of Cognitive Acceleration

Since its inception in the early 1980s, Cognitive Acceleration has spread widely and in many ways. The original CASE materials have been extensively revised through three editions, and are now used very widely in schools in the United Kingdom. They have been translated into many languages and have been trialled in at least 10 countries that I know about. The principles have been applied to mathematics (CAME, Adhami, Johnson, & Shayer, 1998), technology (CATE, Hamaker, 2003) and the expressive arts (ARTS, Gouge & Yates, 2003). We also now have cognitive acceleration programmes for much younger students: *Let's Think!* for 5 year olds (Adey, Robertson, & Venville, 2001) and *Let's Think Through Science!* for 7 year olds (Adey, Nagy, Robertson, Serret, & Wadsworth, 2003).

## 7. Conclusion

I hope that I have shown that Cognitive Acceleration through Science Education is an effective way to raise educational achievement by addressing directly students general ability to process information – their general intelligence. It is a long term approach to raising general intellectual capability in the population of young adolescents. It is long term in its implementation since it requires two years of curriculum intervention, and it is even longer term in its evaluation, since the effects are tracked up to three years after the end of the intervention. It is therefore inevitable that the adoption of CASE into the pedagogy of schools is a slow process but some 20 years after its original design, its use continues to grow. We may attribute the success of CASE to two general features: the interplay of theory and practice in its design and implementation, and the view of 'curriculum' as encompassing both printed material and teacher professional development. I believe that any successful approach to improving the quality of our students' education must be rooted in sound learning theory, and that theory must be shared to some extent with the teachers, and also that no successful innovation can be 'canned' and handed to teachers as a finished product. The teachers have to make it for themselves, with our help.

## References

- Adey, P. (1984). The core curriculum - cage or support? *School Science Review*, **65** (230), 144-148.
- Adey, P. S. (1993). *The King's-BP CASE INSET pack*. London: BP Educational Services.
- Adey, P.S., with Hewitt G, Hewitt J., and Landau N. (2004). *The Professional Development of Teachers; Practice and Theory*. Dordrecht, Kluwer Academic.

Adey, P., Nagy, F., Robertson, A., Serret, N., & Wadsworth, P. (2003). *Let's Think Through Science!* London: nferNelson.

Adey, P., Robertson, A., & Venville, G. (2001). *Let's Think!* Slough, UK: NFER-Nelson.

Adey, P. S., & Shayer, M. (1993). An exploration of long-term far-transfer effects following an extended intervention programme in the high school science curriculum. *Cognition and Instruction*, **11** (1), 1 - 29.

Adey, P. S., & Shayer, M. (1994). *Really Raising Standards: cognitive intervention and academic achievement*. London: Routledge.

Adey, P. S., Shayer, M., & Yates, C. (1992). *Thinking Science - U.S. Edition*. Philadelphia: Research for Better Schools.

Adey, P. S., Shayer, M., & Yates, C. (1993). *Naturwissenschaftlich denken* (Mund, H.A., Trans.). Aachen: Aachener Beiträge zur Pädagogik.

Adey, P. S., Shayer, M., & Yates, C. (2001). *Thinking Science: The curriculum materials of the CASE project*. (3rd ed.). Cheltenham: Nelson Thornes.

Adhami, M., Johnson, D. C., & Shayer, M. (1998). *Thinking Mathematics: The Curriculum Materials of the CAME project*. London: Heinemann.

Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation and other more mysterious mechanisms. In R. Kluwe & F. Weinert (Eds.), *Metacognition, Motivation and Understanding*, . London: Lawrence Erlbaum.

Burmann, U., & Adey, P. (1999?). The development of learning strategies under specific teaching conditions. *submitted to European Journal of Psychology of Education*, .

Department for Education and Employment. (1997). *Excellence in Schools*. London: The Stationery Office.

Epstein, H. T. (1990). Stages in Human Mental Growth . *Journal of Educational Psychology*, (82), 876-880.

Hamaker, A. (2003). *Cognitive Acceleration through Technology Education*. Taunton: Nigel Blagg Associates.

Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The Growth of Logical Thinking*. London: Routledge Kegan Paul.

Joyce, B., & Showers, B. (1980). Improving inservice training; the messages of research. *Educational Leadership*, **37** (5), 379-385.

Joyce, B., & Showers, B. (1988). *Student Achievement through Staff Development*. New York: Longman.



Larkin, J., McDermott, Simon, & Simon. (1980). Expert and Novice performance in solving physics problems. *Science*, **208** (June), 1335 - 1342.

Leo, E. L., & Galloway, D. (1995). Conceptual links between Cognitive Acceleration through Science Education and Motivational Style: A Critique of Shayer and Adey. *International Journal of Science Education*, **18** (1), 35-49.

Renner, J. W., Stafford, Lawson, McKinnon, Friot, & Kellogg. (1976). *Research, teaching, and learning with the Piaget model*. Norman: University of Oklahoma Press.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1981). *Towards a Science of Science Teaching*. London: Heinemann.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1992a). Accelerating the development of formal thinking II: Postproject effects on science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, **29** (1), 81-92.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1992b). Accelerating the development of formal thinking III: Testing the permanency of the effects. *Journal of Research in Science Teaching*, **29** (10), 1101-1115.

Shayer, M., Wylam, H., Küchemann, D. E., & Adey, P. S. (1978). *Science Reasoning Tasks*. Slough: National Foundation for Educational Research.

Stenhouse, L. (1975). *An introduction to curriculum research and development*. London: Heinemann Educational Books.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.



「思考に関する科学」の文脈としての「科学」<sup>1</sup>

フィリップ・アデイ

(ロンドン・キングスカレッジ・思考促進センター)

(日本語訳: 小倉 康)

第1節 はじめに

本論文は、「科学教育による認知的加速(CASE)」と呼ばれる一つの刷新に関して、その起源と構造、及び効果について述べる。その名の通り、CASE(ケース)は、私たちがいかに思考するか、また思考がいかに改善されるかに関する心理学的理論としての思考に関する科学に基づいて、学校カリキュラムにおける科学を思考強化の手段として用いている。

CASEは、約11歳から14歳までの生徒たちに対する科学カリキュラムにおけるある干渉として設計されている。それは、まとまったカリキュラムではなく、ほぼ2週間に一度、正規の科学の活動に置き換わる活動である。それは、1970年代に、連合王国(及び世界中)で、科学のカリキュラムで扱われる概念の多くが、意図している生徒たちの知的能力を超えた要求をしているということを示したロンドンのチェルシーカレッジで行われた研究に起源を発している。

マイケル・シェアー教授の率いるチェルシーカレッジのチームは、困難さという問題に対してある科学的なアプローチを採った。われわれは学校の母集団に関する知的プロフィールについての正確な記述を必要とする一方、他方で科学概念の困難さの程度を測定し記述する方法を必要とした。ピアジェによって組み立てられた認知発達理論は、われわれが必要としたまさにそうした記述をわれわれに与えてくれた。異なる段階で利用可能な思考のタイプに関する彼の記述を頼りに、われわれは(1)カリキュラムの教材が求める諸々の認知的な要求を分析することを可能とする測定手段を開発し、また(2)認知的発達に関する集団テストを開発した(Shayer, Wylam, Kuchemann & Adey, 1978)。それらを、イングランドとウェールズの学校の母集団での異なる年齢ごとに子どもたちの思考の段階を立証するための非常に大規模な調査において用いた。学校の母集団の多く - たぶん大多数 - の能力にとって、科学のカリキュラムは非現実的な要求をしているということが明確に示された(Shayer & Adey, 1981)。

この問題へのアプローチには原理的に、科学のカリキュラムをより易しくすることか、生徒の知的能力を向上させること、という2つの可能性がある。前者は比較的容易ではあるけれども、学問的かつ政策的な困難を免れないであろうし、いかにも敗北主義者の解決法と見なされてしまう。生徒たちの思考する能力を高めることの展望にはひるんでしまいがちであるが、まさにこれが1982年に始まったCASEプロジェクトの目標だった。

<sup>1</sup> 本翻訳においては、“science”が学校で学習される教科として用いられる場合も「科学」と訳し、日本における呼称である「理科」は用いていない。

## 第2節 背景にある心理学

私たちが意味する「認知的加速」は、ピアジェが「形式的操作」として述べるところの、抽象的で論理的で多変量的な類の思考へ向かって、異なった段階にいる生徒たちの「自然な」思考力の発達を加速する過程のことである。形式操作的思考は、一度に多くの変数を頭の中で保持する能力によって特徴づけられる、たとえば、論争の二つの側面を比較検討することができたり、ある特定の一連の行動の利点と欠点を公平に検討できたり、また、ある結果（たとえばグルコースの生成）について多くの入力変数（たとえば太陽光、二酸化炭素、水）のそれぞれの影響と合成された影響の両面で捉えることができることなどである。ピアジェは、このような類の思考は、自然な知的発達の過程として、14ないし15歳辺りの子どもたちに利用できるようになると示唆した。しかし、チェルシーでの私たちの調査では、そうした思考ができる16歳たちはたったの30%に過ぎず、また、この結果は、米国の大学1年生に関する研究、世界の他の地域の同様な（小規模ではあるが）調査によっても支持された。

1970年代の終わり頃までは、認知的加速の試みはほとんど成功の証拠を示せないでいた。しかし、そうした研究は、かなり短期的で直接的な教授法を用いたもので、まるで情報を処理するための心的な能力がひとまとまりの新たなルールによって変化しうるかのようであった。私たちはそうした取り組みには欠陥があると考えていた。というのも、心的な処理能力は挑戦しがいのある問題によって能力を要求されるのに応じてゆっくりと成長するものと信じていたからである。このことが、CASE理論の5つの「柱」の第一番目である**認知的葛藤**を私たちにもたらしている。認知的葛藤は、生徒が自分では容易に解決することができない問題に遭遇する時に起こり、その問題は大人やより能力の高い友人による慎重に組み立てられた助けによって解決されたり、あるいはその問題の性質についての理解を深めたりすることになる。認知的葛藤の原理は、ヴィゴツキー(1978)によって研究された「発達の最近接領域」(ZPD)の考え方に要約されているものでもある。ZPDとは、子どもが助けを借りないでできることと、大人の助けを借りてできることとの違いである。ヴィゴツキーは「・・・唯一のよい学習とはそれが発達に先行していることである」と述べている。言い換えれば、子どもの能力の範囲で済む学習課題は、認知的成長を刺激する挑戦の機会を与えてはいないのである。CASEの活動は認知的に挑戦することになるように設計されている。

ヴィゴツキーは私たちにCASEの第二番目の「柱」である**社会的構築**をももたらしている。ソビエトの一人の優れた心理学者として、ヴィゴツキーは人々がともに知識を構築するために働きかけるという事実、それが一つの社会的プロセスであるということ強く意識していた。私たちは、社会的相互作用を通じて、他人に話しかけ、他人と議論し、耳を傾け、また徐々に私たちの理解を構築している。CASEを教える教師たちは、優れた社会的相互作用を促し、礼儀をわきまえて異なる意見を発することを助長する学級の雰囲気醸成を醸しだし、さらにそれが人の考えを変える上でまったく正しいことであるということ学ぶ。

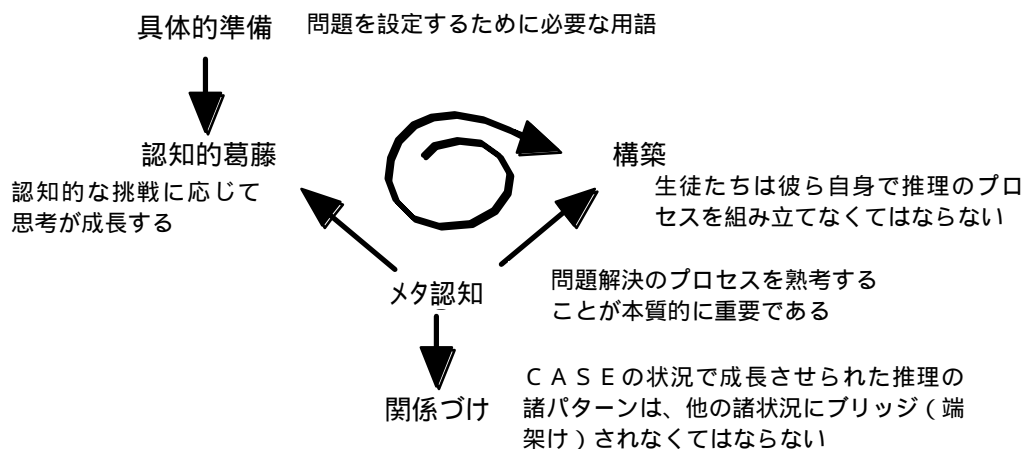
CASEの第三番目の柱は、**メタ認知**の刺激である。メタ認知は本質的には「自分自身の思考について思考すること」を意味するが、認知心理学において極端に流行した観念として、メタ認知の言葉はさまざまな用法で用いられてきた(Brown, 1987)。

私たちは、もし私たちの思考をいくらか制御して、つまり、思考する者として自分たち自身を意識するようになれば、その時のみ、私たちがより高い次元で思考するように自分自身で成長させることができる。CASEでは、生徒たちがある問題をいかに解決するかとか、彼らその問題の何を困難であると感じるか、彼らがいかなる類の推理を用いるか、彼らがどのように助けを求めるか、そして、彼らがいかなる類の助けを必要とするかといったことについて、生徒たちが時間をとって熟考することを促される。このことは、時間を消費するとともに、きわめて行うことの難しいことであり、教師も生徒も、彼らの取り組み方が、よりメタ認知的なものとなるために、はじめは多くの助けと刺激を必要とする。

CASE理論には、もう2つの柱がある。一つは**具体的準備**の考え方である。生徒たちに、単にある難しい問題を提示するだけで、認知的加速のはたらきをする認知的葛藤を期待することはできない。そこには、その問題の専門用語が、用いられる器具と問題が設定されている状況とともに導入される準備の段階がなくてはならない。その目的は、遭遇した困難さが確かに知的困難さにのみよるものであり、可能な限り、用語や状況に関する問題と区別されることである。最後の柱は**関係づけ**（訳注：ブリッジングの直接の意味は橋を架けること）であり、それはCASEの活動の特定な状況で成長される諸々の思考様式を他の科学や数学、その他のカリキュラム要素における諸状況に関連づけ、さらに現実生活におけるさまざまな経験に結びつけることである。もし、ある特別な状況で成長させられた推理を、広く利用可能なものにしたいならば、それは抽象化されて、いかに一般的な思考ツールとして用いることができるかが生徒に示されなくてはならない。

図1は、これら5つの柱の互いの関係を図解である。

図1：5つの「CASEの知恵に関する柱」



螺旋状の矢印で示されている認知的葛藤と社会的構築との関係は複雑である。ある問題に直面したとき、私たちは単純な解答を探そうとする。私たちは問題全体の分析を「途中省略」(直訳は「短絡」)して、その状況が直接必要とするある調和に到達しようとする。

たとえば、どんな要因が鉄をさびさせるかを決定することと、水中の釘が乾燥した釘よりも速くさびることを見いだすことにおいては、生徒たちは「さびは水によって引き起こされる」という解で満足するだろうが、同じように空気に関してあるかもしれない影響について、より詳しくは調べようとしなない。認知的葛藤はそれだけでは概念の再構造化を自動的に導くものでも、十分な理解に到達するものでもない。認知的葛藤は、持続されなくてはならず、また持続は教師の注意深い発問を通じてのみ可能となるのである。このことは、認知的加速に必要となる教授学的特質に関するあるヒントを与えており、それについては専門性開発（訳注：一般には「現職教育」を意味）に関する後半の部で述べるつもりである。

「5つの柱」は認知的加速の教授学の基礎を規定するものであるが、それ自身では教科内容の文脈について何も特定しない。上述の概要のようなピアジェとヴィゴツキーを基礎とした教授法は、どの教科内容においても展開できるだろう。それで、なぜ私たちが数学や歴史や英語といったものよりも科学を通じた学習を選んだか。その答えの実際上の要素の1つは、CASEプロジェクトを進めたチェルシーの初期の研究が科学を基礎としたものであり、また、マイケル・シェアーと私がともに科学の出身であったからである。しかし、少なくとも科学に関する学習を始めることが好都合な、ある理論的な理由もあった。インエルダとピアジェ(1958)が提唱した形式的操作に関するオリジナルの詳細な記述は、変数の制御、比と比例、代償、平衡、相関、確率、及び諸々の形式的モデルの使用という、ひとまとまりの心的な「シエマ」によって特徴づけられている。これらのシエマは、科学者や科学の教師たちにとっては、実験の設計の要素であったり、自然界の一般的行動パターンを説明であったりするもので、変量間の関係を示す重要ないくつかの型を記述したのものとして直接理解可能なものである。諸々の形式的操作は、どんな知的領域でのデータをも処理するきわめて一般的な方法であり、形式的操作のシエマはどんな学問的な教科領域の状況にも解釈できるのだけれども、それを科学に応用することはかなり直接的なのである。科学は、高次の思考を展開する際のもっとも明瞭な入り口として表現されている。

私たちが1984年に活動を展開し始めた時には、私たちは上述したような理論的なモデルをまだ十分明確に表現してはいなかった。形式的操作のシエマはどの活動を構造化するかに関する枠組みとして設定され、認知的葛藤の「柱」は認知的加速の中核的プロセスであると認識され、また構成主義は常にピアジェの認知発達に関する説明の主な柱の一つであった。具体的準備の必要は教師としての私たちの経験から実際上必要であったもので、また同様にブリッジングはもしシエマが一般化されるとすれば明らかに重要であると思われたものである。しかし、メタ認知の重要性は、私たちが奨励する類の発問の中に暗黙に存在したところから、CASEの方法の非常に重要な部分として明示されるようになるまで、プロジェクト全体を通じて入念に練って発展してきたものである。以来、CASEの設計と活動の配置を支える一つの完全なる理論構造としての「柱」に関するこうした緩やかな進化は、後に述べるように、教師たちの専門性開発のプロセスにおいてとても重要なものとなった。

### 第3節 カリキュラムとしての諸活動の開発

#### 対象集団

1節で述べたC A S Eの発端の時から、私たちは、広い能力の範囲に、つまり科学がどちらかといえれば難しいと意識している大部分の生徒集団に関心があった。能力に関しては、私たちの対象集団には80%台半ばから90%の生徒たちが含まれている。ここで、認知的葛藤の体験は、個々人の能力に依存するだろう。ある子どもには興味深く実りの多い葛藤をもたらすことが、より能力のある子どもにはつまらなく見えたり、より能力の低い友人には理解できないものに見えたりするだろう。活動を慎重に設計し柔軟性のある指導法を用いることで、広範なレベルに応じた葛藤をもたらすことが可能であり、その一方で、私たちが対象としている集団では、11歳までにすでに形式的操作を用いているような極端に能力の高い子どもや11歳でも前操作期にいて深刻な学習不振に陥っているような子どもを含めることは実行不可能であると考えた。

私たちは、生徒の大多数が形式操作的な思考への準備にある年齢である11歳から14歳までを対象とした。11歳の女子と12歳の男子において、脳発達が生発であるといういくつかの証拠(Epstein, 1990)があるが、これは成人に求められる知的要求に対して若者が準備するために進化してきたある生理的成長プログラムの一部であろう。冒頭で紹介した私たちの母集団生徒に関する調査では、実際にはほんの小さい割合の子どもたちしか、ピアジェがその「認識主体」で述べた認知発達年齢に達していない。母集団生徒の調査結果は、大多数の子どもたちが家庭や学校で与えられている刺激の質が不足していることを示唆していると読みとることができる。

C A S Eを行う年齢に11から14歳児を選択する実際的な事情もある。イギリスにおいては、11歳と何ヶ月かで初等学校から中等学校に移動し、初等学校では学級担任が全科目を教えるが、中等学校では教科担任が教えることになる。科学という文脈で干渉していくには、その干渉の背景にある科学的な推理パターンの性質について、すでに明確にあるいは暗黙に理解している科学の教師が必要となるのである。

理論モデルに関する主な特徴と、形式的操作のシエマ、及び科学教師としての経験とを踏まえ、C A S Eの著者(当初マイケル・シェアー、その後、私とキャロライン・イエーツが加わった)らは、私たちの対象集団にとって適切と考えられる諸々の活動の下書きを始めた。私たちは、自分たち自身で、また他の研究者たちや教師たちとで、その諸活動の形式と実践性について議論した。ロンドンのコンプリヘンシブ・スクール(訳注:一般的な公立学校)で、私たちの対象集団をよく表現できる年齢と能力範囲で、かつイギリスの都市部学校で社会的人種的に典型的な構成にある学級生徒に対して私たち自身が下書き段階の各活動を教えた。

プロジェクトが予算化されて1年後に、私たちはより広範な試用段階を迎えた20余りの活動を蓄積した。では、次の2つの活動で、「柱」を実践に適用することを説明しよう。この教材は、「考える科学 Thinking Science」で出版されたものである。

TS4:管 これはプログラムの第4番目の活動である。それまでの活動で、変数の考え方と変数の値、及びその関係が紹介されている。生徒たちは、小さな複数の管の入った箱を持っている。一斉授業の討論で発問を行い、生徒たちに、管の長さ(短い、中くらい、長い)や、管の太さ(広い、狭い)、管の材質(銅かプラスチック)といったいくつかの変数とその値を明確に同定させる。これは、活動の**具体的準備**の段階であり、生徒たちにこれから実際に用いる器具を操作する基本的な考え方に慣れさせるものである。そこで、生徒たちは彼らの手のひらを使って開いている管の一方を閉じて、出てくる音を聞いてみるよう指示される。このときの質問は「あなたが聞いている音に何が影響していますか？」である。生徒たちは、しばらく自由に調べる時間を経て、彼らが何が音に影響しているかを知っているかどうかを尋ねられ、考えていることとどうしてそう考えるかについて教師や他の生徒に説明するよう求められる。しばしば必要となることは、生徒たちが一度にたった2つの管しか使っていないことを数分後に学級全体に知らせることである。

これが**認知的葛藤**と**社会的構成**の段階である。一人の生徒は管の太さが音に影響するという主張を提案するだろう。教師は「見せてみて」と言う。生徒は違った長さの2つの管が異なる音を発生させるのを示す。それらの管を見て、教師は長さも異なっていることを指摘する。「どうやったら、音に影響を与えるのが、長さなのか、太さなのか分かるかな？」ここで教師はある認知的葛藤を引き起こそうとして、生徒に彼女がまだ気づいていなかった変数を考慮するよう要求するのである。典型的な生徒の回答は、「太さと長さはどちらも音に影響する」である。彼女はこれが葛藤を解決する単純な方法に思えてそうするのだけれど、教師は屈せず発問し、「もう1組の管を選んで、今度は明らかな答えを与えてくれる1組を見つけてごらん下さい」といったまとめをする。教師は、直接、生徒にどれか一つの変数を変化させるような2つの管を選ぶよう指示してないことに注意してほしい。その生徒がこうしていくつかの変数を制御する方略を彼女自身で構築しなくてはならないことが要点である。

12歳の能力混合の学級では、課題全体があまりに簡単に感じて、たいした認知的葛藤を体験しない子どもが一人か二人はいるだろう。そうした子どもに対しては、教師は、複数の変数間の相互作用について調べるような、より高い水準の課題を促す。また、60分か70分の授業の終わりに、学習全体がまったくわけがわからなくて、変数を制御することの大切さがわからないでいる子どもが一人か二人はいるだろう。しかし、大多数の生徒は(器具やワークシートの質問、教師や他の生徒たちとの相互作用を通じて)十分な葛藤を体験し、彼ら自身で少なくとも変数制御の初歩的な方略を構築するだろう。これが、内面化された無意識にすべての実験状況に「自然に」適用されるシエマへと完全に発達するには、まだいくらか時間がかかる。



しかし、実質的な基礎的学習がなされたので、すべてをばらばらにするのでなければ、「何もかも変えてみてから何が起こるかを見てみる」という具体のシエマは、かなり揺さぶられている。たとえ活動の終わりにわけがわからなくなっている能力の低い生徒でも、問題に取り組もうとして、具体的方略が不十分なのでないかという疑いが投げかけられたであろう。実験上の発問に取り組む中でいくらかの不安感ですら価値がある。認知発達を促進する上で重要なのは認知的に奮闘することであって、だからもし子どもがいくらか認知的葛藤を体験し、彼女や彼自身に満足のいくある解決法を見いだそうと何らかの方法に取り組むのであれば目的は達せられるのである。授業の終わりにかけて、教師は生徒たちに彼らがおかした誤りと学習した事柄について振り返るよう求め、彼らに変数制御の方略で取り組んだ推理を回想させる。これが**メタ認知**の学習になる。最後に、生徒たちは、一般的な変数制御の方略が有用となる他の題材について考えるよう求められ、この授業で学んだ思考が他の状況に**関係づけ**られる。

TS18: 処理と効果はプログラムの2年目で教えられる。これは、相関シエマの文脈に位置づけられている。**具体的準備**において、ニンジンの成長に関してある新しい肥料の効果を確かめようとしている二人の研究者について討論する。二人とも、それぞれ処理されたニンジンと処理されていないニンジン群のそれぞれで、標準的な大きさを越えたニンジンの数を数えた。データは2組の2×2表(処理/非処理、及び効果あり/効果なし)で学級に与えられ、討論では、非処理のニンジンのデータが、処理されたニンジンのデータと同じくらい重要であることを強調する(具体操作期の生徒たちは、処理されたニンジンにのみについて、収量が多いかどうかを見ようとしがちである)。ここで生徒の各班に、20枚のカード群が渡される。それぞれのカードには、ある生物(バラ、小麦、牛、豚、あるいは羊)と、その生物が何らかの処理を受けたか受けていないか(例えば、肥料や、より多くのミルクを出させるための薬など)及びその動物ないしは植物が何らかの効果を示したか(より大きな成長や、より多くのミルクや肉の生成、など)が示されている。生徒たちは、まずカードを、次の観点から4つのまとまりに分類する。

- A 処理されてなくて、効果が見られないもの
- B 処理されてないが、効果が見られるもの
- C 処理されているが、効果が見られないもの
- D 処理されていて、効果が見られるもの

そこで生徒たちは、見られる効果が処理による結果によるものだろうかそうではなさそうかという発問に取り組む。例えば、もし、処理が効果の原因であれば、A, B, C, Dの4つのまとまりのどれに大きな数が見つかるか期待されるだろうか？

この質問によって、かなりの**認知的葛藤**が起こり、班内での討論（**社会的構成**）がまとまりのAとDが大きい数で、まとまりのBとCが小さい数になると期待されるという結論を導く。こうした結果について討論する中で、正の相関、負の相関、及び相関無しという用語が導入され、生徒がどのような関係が処理と効果の間に存在するかについて思考するのを助ける。この活動は、単純な水準で、多くの医学や農業や他の研究での核となる実験的な処理の評価の型とモデル化するものである。相関の理解やそれに関連する確率的な関係の理解無しでは、新聞でのポピュラーな科学記事の多くが理解できない。再び、**メタ認知的**討論によって生徒が遭遇した困難さが追求され、生徒たちは相関の考え方を科学の授業外の題材に**関係づける**よう促される。

これらの「考える科学」の授業は、いずれも、生徒たちに「到達した結論」や「見つけた知識」のノートを完成させようとはしない。記述の成果は何もなく、ワークシートはただ関係について思考する際の素材となるデータを記録するためだけに用いるのである。このことは、再び、CASEの干渉活動と正規の科学カリキュラムとの違いを際立たせ、この違いを教師の中には当初受け入れることが難しいと感じるものもある。

### カリキュラム中に位置づける

CASEは完全な代用科学カリキュラムを提供するものではない。実際、干渉の授業を運営することに関する教育学上の困難さと、明示的に取り扱われている科学の内容が無いという事実によって、正規の科学の教授に代わるものとしては不適切になっている。さらに、生徒たちがCASE授業の終わりにしばしば抱く不確かさは適度な程度では実りが多いが、科学の授業がいつもそういう特徴をもつとすれば、学習動機をかなり低下させるようになってしまっただろう。CASEでは、「通常」の認知発達中に干渉を加えるプロセスであるからのみならず、正規の科学カリキュラム中に干渉を加えるものであるから、「干渉」と記される。CASEの諸活動は、2週間に1度、正規の科学の活動の代わりに教えられ、それは科学に配当される時間の約20%に相当する。教師はよく「よいアイデアに聞こえるけれども私たちにはそのための時間が無い」と言う。理解できる姿勢ではあるが、実際にはカリキュラムの学習内容に対してごくわずかの時間が「失われる」に過ぎない。このことは、一部はCASEがすでにカリキュラムのプロセス目標（訳注：思考能力の育成に関する教育目標）のいくらかを含んでいることによるが、多くは生徒たちの思考が発達することで正規のカリキュラム内容がより少ない時間で効果的に理解され納得されることが可能になることによるものである。幸いにも、私たちはこの主張を裏付ける非常によい証拠を持っており、この証拠が多くの教師たちに、少なくとも試用段階で、そんなに多くのカリキュラム時間を「失う」ことの危険を冒してもやってみる価値があると納得させるのである。

#### 第4節 試用と評価

CASEの干渉が生徒たちの認知発達と学業成績に与える効果については、私たちの当初の研究プロジェクトの時から測定され、今では広く報告されるようになった。例えば、Adey & Shayer (1993, 1994), Shayer & Adey (1992a, 1992b)を見なさい。その取り組みのより最近の詳細な証拠を検討する前に、次に概括を示す。

##### 1984年から87年にかけての実験

ここに述べるのは、2年間のプログラムを継続した7つの学校の10の実験学級に関するものである。それらの学校では、1ないしは2の学級を「実験」として設定し、1985年の9月から「考える科学」の活動を2週間に1度、2年間に渡って使用し始めた。実験群の4学級は、子どもたちはほぼ11歳+（訳注：日本では小学校6年生に相当）の年齢で、6学級ではほぼ12歳+（訳注：日本では中学校1年生に相当）の年齢であった。各学校では「統制」学級も並行して指定され、年齢と能力に関して実験学級と一致するようにした。統制学級ではCASEの干渉に時間を失うことなく正規の科学カリキュラムが教えられた。

すべての学級で認知発達に関する事前テストを実施し、そして2年の干渉の最後に、認知発達に関する事後テストと科学の成績に関するテストを行った。このときが干渉プログラムの終わりであったが、1年経って、1989年7月に、第8学年（訳注：日本では中学校1年生に相当）でCASEの干渉を始めた学校の生徒たちは、GCSE（一般中等教育修了資格）試験を受けた。これは、イングランドとウェールズの学校のすべての16歳の生徒が受ける国が行う公的試験である。かつて実験学級と統制学級に指定された学級にいたすべての生徒たちについて、私たちは科学と数学と英語で達成された評点を収集した。さらに1年後（1990年7月）に、第7学年で始めた学校の生徒たちがGCSE試験を受け、私たちは再び彼らの評価点を収集した。こうして私たちは初期には同じであったがCASEの干渉を経験した生徒とただ正規の科学授業を受けた生徒について、(a)認知発達と(b)学業成績とを長期的に比較することが可能となった。

表 1: CASE の 2 年間の干渉後のテストで 1984 年 9 月の事前認知テストから向上した得点 (残差化後)

	群	被験者数	平均の 増加得点	標準 偏差	有意性 p<	*Effect Size (s.d.)	
1987 年 7 月の 干渉直後の 認知テスト	11+ 男子	29	-0.21	0.95	-	-	
	11+ 女子	27	0.08	1.10	-	-	
	12+ 男子	65	0.70	1.00	.001	0.75	
	12+ 女子	52	0.03	0.98	-	-	
1988 年 7 月の 1 年後の 科学の成績	11+ 男子	37	2.72	15.45	-	-	
	11+ 女子	31	7.02	12.76	.025	0.60	
	12+ 男子	41	10.46	16.6	.005	0.72	
	12+ 女子	36	4.18	14.41	-	-	
GCSE 1989 年	科学	12+ 男子	48	1.03	1.34	.005	0.96
		12+ 女子	45	0.19	1.38	-	-
	数学	12+ 男子	56	0.55	1.23	.005	0.50
		12+ 女子	54	0.14	1.27	-	-
	英語	12+ 男子	56	0.38	1.27	.05	0.32
		12+ 女子	57	0.41	0.96	.01	0.44
GCSE 1990 年	科学	11+ 男子	35	-0.23	1.46	-	-
		11+ 女子	29	0.67	1.36	.025	0.67
	数学	11+ 男子	33	-0.21	1.59	-	-
		11+ 女子	29	0.94	1.26	.005	0.72
	英語	11+ 男子	36	0.26	1.65	-	-
		11+ 女子	27	0.74	1.32	.025	0.69

\*訳者註 Effect Size (効果の大きさ) は、一般的に、2 群の得点差を統制群の標準偏差で割った係数を指し、1.0 が 1 標準偏差分に相当する。実験群の分布が、統制群の分布とどのくらい離れているかを示すために用いられる。

すべての結果は、当初の事前テストに対する事後テストの回帰から計算される残差である増加得点で示される。残差化された増加得点は、統制群との比較によるものであり、統制群の増加得点がゼロであるように定義されていることに注意していただきたい。表 1 は、異なる年齢で干渉を始めた男子と女子に関する結果をまとめている。これらの結果には、次のような目立った諸特徴がある。

- ・ 直後の効果はやや限られているように思えるが、(1)認知発達に関して獲られた最近の直後の効果はずっと大きい(後で述べる) また(2)個々の生徒に関しての2年間の干渉プログラムによる認知的な増加得点とGCSEでの増加得点との間には強い相関がある。
- ・ 生徒たちの学業成績に関して、長期的で明らかに成長している干渉の効果が見られる。干渉の終わりに始まる認知的水準の向上の効果が、生徒たちが通常の授業から獲得できる能力を改善するのであろう。そうした改善が概念学習をより良く理解させ、さらなる学習へのよりしっかりとした足場を提供するように積み重なっていく可能性が考えられる。
- ・ 強い「遠隔転移」効果が見られる。科学の文脈で設定された干渉プログラムが、数学と英語での生徒たちの成績に効果を与えている。こうした転移は、CASEが深層の心的機能を刺激して生徒たちの知性に広範な効果を与えるように影響を及ぼしたことを意味する。
- ・ 年齢と性別との相互作用効果が見られ、干渉は年齢の低い方の女子と年齢の高い方の男子により効果的である。この見方は、この年齢では一般的に女子の方が男子よりもより早期に成熟することと一致するように、形式的操作の促進のための機会に関する認知的な窓というモデルにうまく適合するのではあるが、私たちはそうした結論を導くのはとても注意深くなければならない。一つの理由は、11歳+の生徒群は12歳+の生徒群と認知発達に関してほぼ同じ平均点の水準で干渉を始めたことから、実際には全体的により能力の高い生徒群であったからである。もう一つの理由は、より最近のデータでは、同じような性別の効果は見られていないからである。

#### より最近の結果

当初の実験研究において、私たちは一致度の良い統制学級に対する実験学級の効果を測定することができた。しかしながら、被験者数はやや小さく、教師の研修方法についてもなお探索の途上であった。また、教師たち自身は彼らの学校で独立してプロジェクトに関わっていた。

1991年5月にGCSE得点への長期的な効果に関して報告した後は、教材と手法に関して学校側から多大な求めがあり、学校が結果を再生できるようになった。この時以来、私たちは手法を紹介するための2年間の一連の現職教育コースを運営してきた。この専門性開発については、第5節でより詳細に記述するつもりである。私たちは、現在、多量に新たなデータを収集しているのだが、これと当初の実験との重要な違いは、今では私たちがうまく機能すると信じている方法を持っており、どの学級にも実験的に制御のみを与えることが倫理的に拒否できないということである。新たなデータを分析する一つの方法は、CASE学校によってなされた増加を、チェルシーでの調査で確立された全国的な基準と比較することである(Shayer and Adey 1981, 第2節参照)。

最初にCASEの研修プログラムに参加した学校群によって、私たちは8つの学校での63学級に関する認知発達の水準について事前テストと事後テストのデータを集めることができた。これらの学級の中には、第7学年(11歳+の年齢)で干渉を始めたものと、第8学年(12歳+の年齢)で始めたもの、及び両方の学年で始めた1校がある。全国的な基準と比較して残差化された学校平均の増加得点に関するEffect Size(効果の大きさ)を表2にまとめて示す。

表2：認知発達の効果(Effect Size)：1991年から93年にCASEの研修プログラムに参加した8つの学校での残差化された増加得点

学校	開始年齢	Effect Size (単位 $\sigma$ )
1	11+	0.67
1	12+	0.76
2	11+	0.69
3	11+	1.12
4	11+	1.12
5	12+	0.80
6	11+	1.0
7	12+	0.29
8	12+	1.26*

\* 前年の第9学年と比較して結果に疑問がもたれている。

63の学級のうち、有意に負の効果が見られた学級が1つあったが、これは、たぶん事前テストの実施における何らかの間違いによるものである。他に4つの学級で有意ではない負の効果が見られた。3つの学級では、0.3より小さい正の効果が見られた。残りの55の学級のすべてで、子どもたちの認知発達の速度に関して、CASEの干渉の有意な正の効果が見られた。前述のように、干渉の期間を通じて達成された認知的な増加は、その後の学業上の増加に関連している。

1995年と1996年には、私たちは「キー・ステージ3の全国テスト(KS3 NCT)」(訳注：イギリスの第9学年(日本の中学校2年)の終わりに生徒全員に課せられる到達度テスト)に関するCASE実施校の成績と非実施校の成績と比較するデータを収集できた。同様に、1991年から93年にかけてCASEを受けた生徒たちのGCSEの評価点に関して、さらには、1994年から96年にかけてCASEを受けた生徒たちのGCSEの評価点に関して、CASE実施校の成績と非実施校の成績と比較するデータを収集できた。まず、KS3 NCTの結果について述べた後に、1999年のGCSEのデータを紹介する。

イギリスにおいては、教育の各「キー・ステージ」の終わり、つまり学齢 2, 6, 9 年の終わりで、子どもがそれぞれおよそ 7, 11, 14 歳の時に、さまざまな教科領域で、政府が一連の全国統一テストを行ってきた。「考える科学」を第 7・第 8 学年で用いる学校では、第 9 学年の終わりに、KS3 NCT が実施されるので、干渉後に 1 年経た後の学業成績を測定するのに都合がよいのである。

図 2a、2b、2c において、各点が一つの学校を表している。横軸 x 軸は、第 7 学年の始め（中等学校入学時）における生徒の認知発達段階の測定結果の学校平均を意味し、全国平均に対する割合で表されている（訳注：全国平均が 50% に合わされている）。これが、学校の入学者の能力であり、学校周辺の社会的経済的諸条件を要因とする影響を受けている。また、地域に入学者を選抜する学校がある場合により高い能力の生徒たちが引き抜かれている。そのため、私たちが現在持っているデータに関わる学校の殆どは、入学者の能力範囲の下半分に位置している。縦軸 y 軸は、KS3 NCT での結果である。これら（科学と数学、英語）のテストは、ナショナル・カリキュラム上の到達水準として得点化され、1 から 10（最近では 1 から「8 かそれ以上」）で示される。キー・ステージ 3 では、到達水準が 6 かそれ以上であった生徒の割合は、通常、学校の成功を見る一つの測定値として用いられる。プロットを直線とするために、すべての得点是对数変換されている[対数(割合% / (100-割合%))]。これによって、軸のスケールは等間隔ではなくなっている。

驚くことではないが、これらの図から KS3 NCT の結果は、その学校の生徒の入学時の成績に強く関連することがわかる。目を見はるのは、CASE の学校が統制群の学校に関する回帰直線よりもすべて上に - 時にはかなり上に - 位置していることである。このことは、学校の入学時の水準にかかわらず、CASE の学校は非CASE の学校よりもその生徒たちの学業で有意に高い価値を附与していることを意味している。この効果は、学校平均の学業成績に対して約 30% の上昇に相当する。

図 2： 学校の入学時の認知的水準と第 9 学年でのキー・ステージ 3 の全国テストの結果での CASE 学校 (x) と非 CASE 学校 (o) の結果

図 2a: 科学

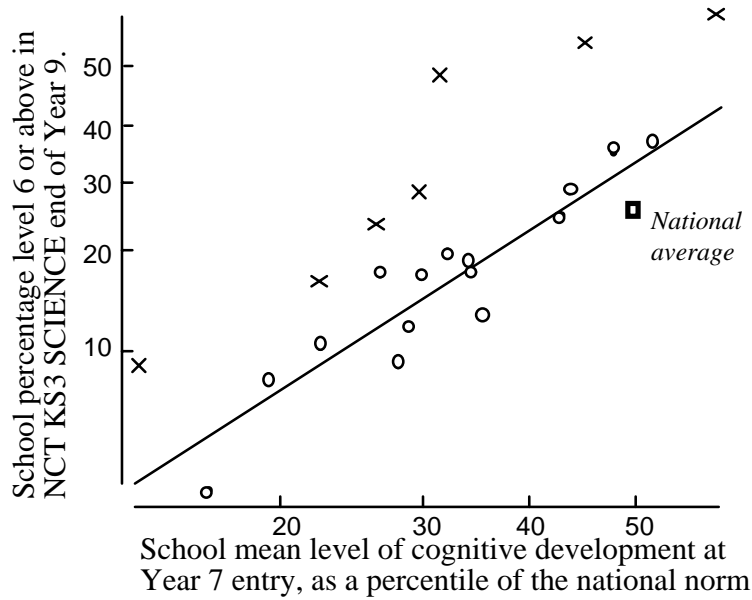


図 2b: 数学

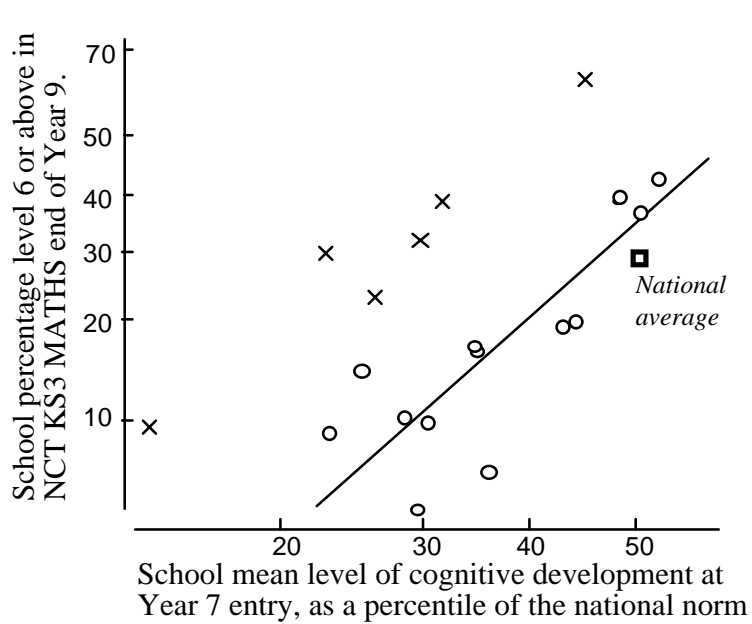
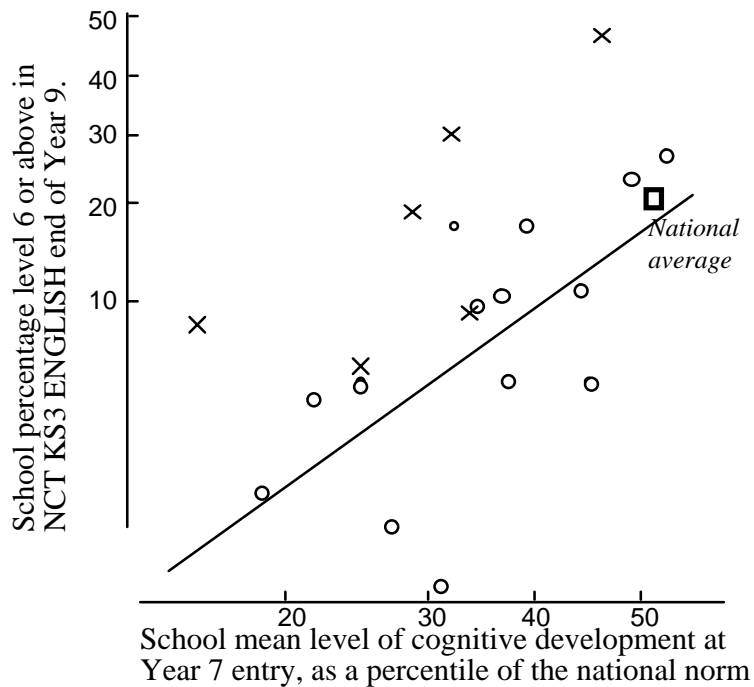




図 2c: 英語



CASEを受けてから3年後の生徒の1995年と1999年のGCSEの結果も同様なパターンとなった。それは、KS3(全国テスト)のデータとまったく同じ方法で分析され、ただGCSEでの成果の学校平均は、GCSEでAからG及び「落第」で示される尺度上で、A, B, Cの到達段階であった生徒の割合で測られている。到達段階AからCは、一般的にGCSEを「良好」に通過したと見られ、その教科領域での教育を継続する基礎になると考えられている。図3aから3cは、1999年のGCSEの結果をまとめたものである。CASEの干渉によって当初の認知的水準から非CASE実施校で得られるよりも大きな学業的付加価値が組織的に得られていることが明らかである。そして、この効果は認知的な干渉プログラムが指導された文脈である科学を超えて生徒たちの一般的な能力に転移している。

図 3a : 1999 年の GCSE での到達段階 : 科学

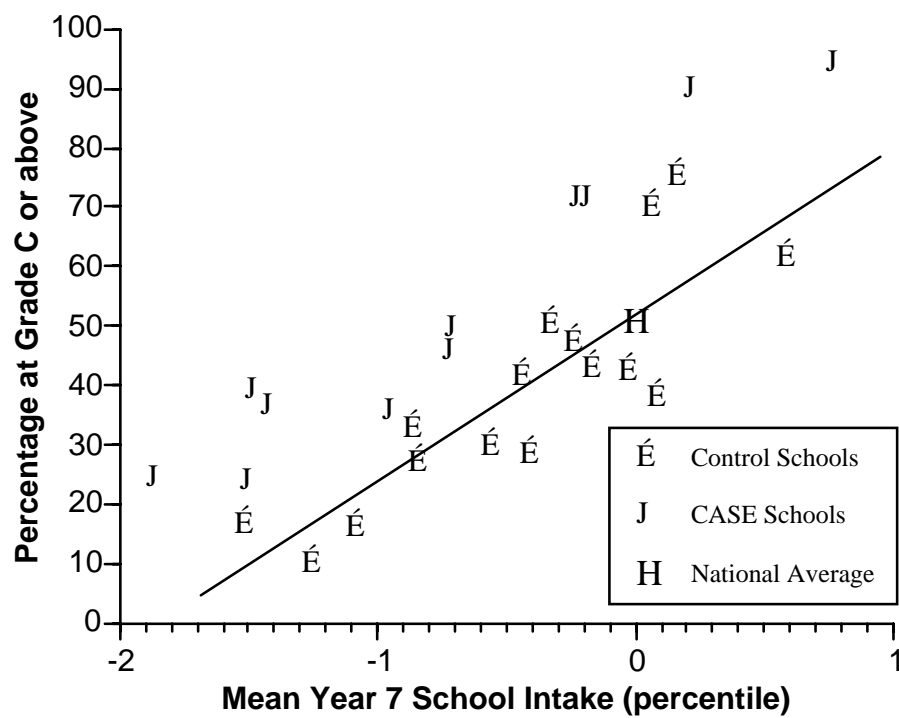


図 3b : 1999 年の GCSE での到達段階 : 数学

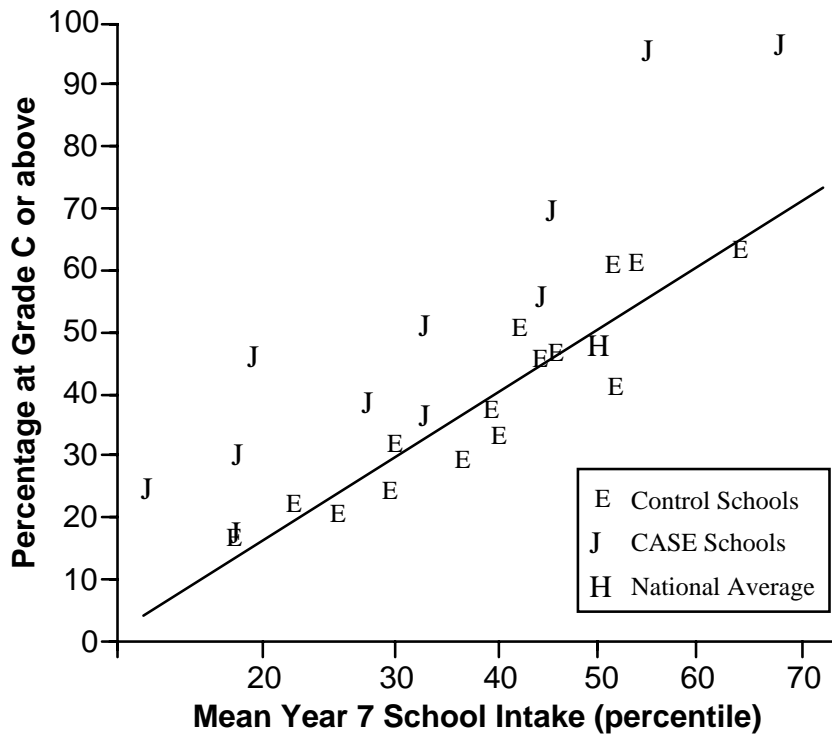
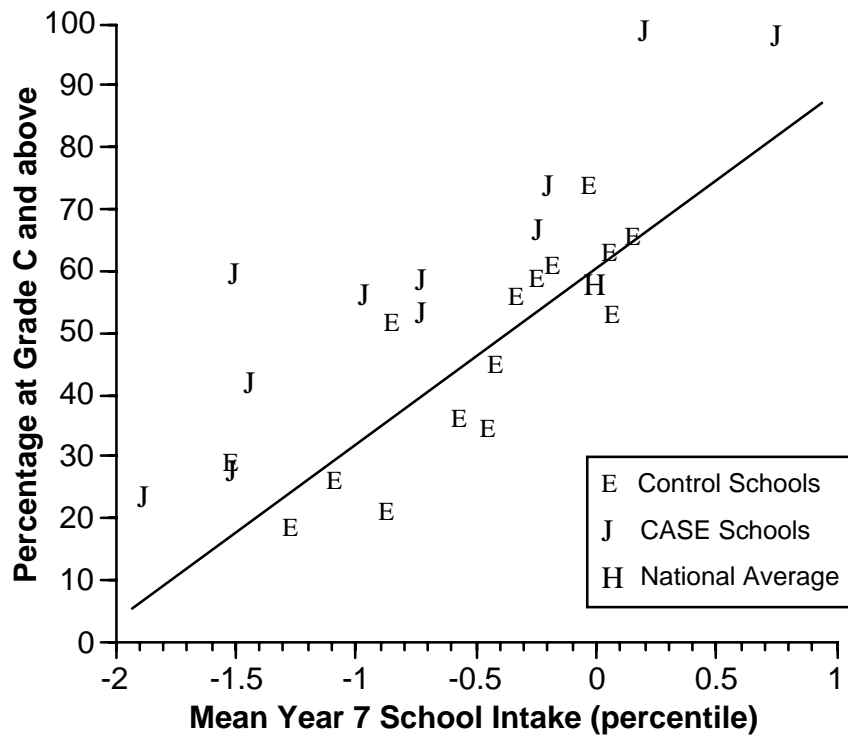


図 3c : 1999 年の GCSE での到達段階 : 英語



### 第5節 CASEと教師の専門性開発

子どもたちが考えるように教えることは、巧みな複雑な過程であり、教師が従えばよいような特定の一連の活動に簡略化できないことは明らかであろう。そのような「教師に依らないカリキュラム」があり得ない理由は、教授過程の本質は、教師と生徒たちとの無数の相互作用を介した人間社会的営みであるからである。効果的な教授のためには、各教師は、彼ら自身のやり方で、日々出会う多種多様な個性を持った生徒たちにはたらきかけなくてはならない。

もし、教授に関するこうした原理が一般的に真実だとすれば、なおさら推理の発達を教授することを適用するのに教師の重要性は増す。私たちは、思考を教える教師に何ができないてはならないかということ、教師たちがどのような一般的な訓練と経験で準備されているかということ、そして、これらの2つの隔たりをいかに縮められるかということを検討しなくてはならない。子どもたちの推理の発達を教授することは、事実的な内容を記憶再生させる教授とは正反対である。子どもたちの批判的思考（訳注：クリティカル・シンク、批判的思考などとも言われる。）あるいは高次の推理の発達は、定義からして当然、子どもたちが彼ら自身の頭を鍛える機会を与えられ、批判的に評価を行ったり、共感的雰囲気にあることを承知の上で反論したり、しかしその意見は合理的ではあるが他人を尊重したやり方で発せられるものとなることを要求する。このことは、教室の中であるきわめて特殊な雰囲気を醸成し、それが知的に厳格ではあるが、同時に親しみがあ危険の心配のない雰囲気であり、すべての子どもたちが自信を持って認知的な危険を冒せると感じるべきものであることを意味している。そのような雰囲気を醸成するために、教師は次の事柄を把握する必要がある：

- ・ ある特定の思考授業でどのような種類の推理が発達されようとしているかに関する明確な目標を持つこと
- ・ 認知的加速の基礎的理論にある程度精通すること
- ・ もし個々の生徒の主張が特定の水準で営まれない場合、生徒たちが示すどういう推理や議論を展開しているかについてよく理解すること
- ・ 問いかけをしたり判断を保留したりすること、特定の子どもたちに適切なやりがいのある課題を設定すること、及び子どもたちが用いる思考の型について彼らの発話内容から解釈する能力、といったテクニックをある範囲において習得すること

これらの「必要な事項」は、根本の異なった教授というよりはむしろ、どの教師にも必須の専門性のように思える。目標を明確にし、教材内容に精通し、子どもたちに必要な事柄に敏感で、また発問やその他のテクニックを使いこなせることは、優れた教師たちのレパートリーの一部である、ないしは少なくともそうあるべきことである。しかし、子どもたちの推理の発達に関して、これらの必須事項は、通常の内容志向カリキュラムよりも程度を高くするか、かなり異なった特定の手法や教材を適用させる

教師たちの認知的加速に関する教授に求められる教授スキルの開発は、現職教育の課程を通じた継続性のある専門性開発にかかっている。教師たちがそうしたプログラムに参加するよう動機づけることや、プログラムを予算化すること、教師たちを認定すること、などに関連する諸問題は強敵であるが、本論文では、私は私たちがC A S Eプロジェクト内で開発してきた基礎的理論とその実践のみにとどめておく。

#### 効果的な現職教育実践に関する研究

教師たちの授業実践を変化させる現職教育課程の効果を関わる諸要因について、多くの研究がなされてきた。ジョイスとショアー(Joyce & Showers 1980, 1988)は人材開発の効果に関する 200 近くの研究についてメタ分析を実施した。彼らは、表 3 にまとめられているように、現職教育課程が効果的となるためには、大学や専門性開発センターにおいて時たま過ごすことはそれがとてもよく組織化され構造化されているとしても効果が無く、学校内で指導者によってコーチング(実践的指導)に取り組むことが不可欠であると、強く結論づけた。そうした研究の証拠は、現職教育の実施者たちが、教師たちが「あなたの考えはとてもよいし、このすばらしい大学の環境ではそれでよいと思うが、私の学校(あるいは、私の生徒たち、など)ではうまくいかないだろう」と言うのをしばしば耳にする経験によって支持される。多くの教師は、きわめてわかりやすく、その理論が彼ら自身の学校で実践できるのを確信することを必要としており、このための唯一の手段は、教師たちとともに彼らの教室で取り組み、その場で教師たちに思考の教授の実施を応援することである。

図 3 : 現職教育の考えられる成果に関する異なる人材開発手法の効果(Effect Size)の平均値(単位:標準偏差)

課程の特徴	成果： 教師が発達させた事項		
	知識	技能	実践
情報の提供	0.63	0.35	0.00
+ 演示	1.65	0.26	0.00
+ 実践機会		0.72	0.00
+ フィードバック(評価情報)	1.31	1.18	0.39
+ 学校でのコーチング	2.71	1.25	1.68

after Joyce and Showers 1988 p. 71

### CASEの専門性開発の構造

私たちが学校にCASEを導入するために考案した現職教育専門性開発のプログラムは、ジョイスとショアーが見いだした事柄を重視し、理論と実践、及び学校内でのコーチングという要素を含めている。また、もし必要な場合は、学校における変化のマネジメント（管理）に関する要素も含めている。

前述のように、CASEの手法は、ピアジェ学派の認知的葛藤と平衡の考え方、及びヴィゴツキー学派の社会的構成と自分自身の思考を発達させることに関するメタ認知的反省の考え方に根本がある。したがって、教師たちが実行することとなる手法は、記述されるとしても、本質的には、必要な技能を効果的に展開することに関する理解が不可欠な理論に根付いている。今まで、どんな教師用手引き書も、それがわかりやすいとしても、生徒たちの一般的な思考の水準を持続的に高めようとする授業実践を鮮明に伝えることはできていない。どんな教師開発でも成功するには学習過程に関していくらか理解することが不可欠だが、とりわけ思考の発達を目指す干渉的な教授に関しては重要である。干渉の手法を自身で構築することは、教師たちが新たな手法を採る際にもたらされるオーナーシップ（所有権）のような感覚につながる。教師が、その個性と特定の学校環境によって、ある方法について教師自身の特異な解釈と色づけによってオーナーシップがもてるようになるまでは、外的刺激である現職教育プログラムが去ると容易に失われる「付け足し」の技能にとどまる。思考を教授する手法のオーナーシップは、それを教室のカリキュラムに自然に組み込むことを可能とする。

CASEの専門性開発(PD)は、2年間の「考える科学」プログラムの最初の実施と平衡して行われる2年間に渡るプログラムである。2年間に、教師たちが私たちの現職教育センターで終日参加する日が7日あり、さらに4回ないしは5回、半日間、私たちが教師たちと学校で取り組む。特に、熟達したCASEのトレーナーがコーチングのために訪問することに費やす時間量によって、プログラムの費用はかなり高額になっている。典型的な2年間のプログラムの費用は、学校あたり約3000ポンドである。イギリスでの現職教育は、今日、個々の学校に委ねるものとして予算化されているので、各学校が独自に現職教育予算をもっている。CASEの現職教育コースへ投資した学校は、生徒たちの成績を向上させることと同様に、教師たちの一般的な専門性の開発に関しても価値があるとしばしば見なしている。

私たちは個々の教師と取り組むのではなく、学校の科学科全体とのみ取り組む。すべての科学の教師たちがプログラムに参加することが不可欠である。個人的に熱心な教師がいても、主流のカリキュラムを教え続ける他の教師に囲まれながら、学校内で明確に異なる、新奇な教授法を継続することはとても困難である。学科全体での取り組みに固執することによって、その学科とその学校の文化の一部としての新たな教授目標と教授手法を創造する可能性が飛躍的に高まるのである。

平日に学校のすべての科学教師が(PD)センターでの研修のために学校を離れることは、学校にとって実際的でないため、学校は通常2名の教師をセンターに派遣する。

一人はその学校の「CASEコーディネーター」であり、他方は毎回異なる教師が参加できるようにローテーションする。これによって、PDプログラムの継続性とそれに学科のできるだけ多くの教師を触れさせることのバランスがもたらされる。私たち自身による学校へのインプットに加えて、CASEコーディネーターたちは、彼らが校内でPDセッションを運営して、その実行計画を開発するよう促される。私たちは、その学校訪問時間の一部を、コーディネーターによる校内でのPDセッションを支援するように使っている。

私たちはまた、並行して、CASEトレーナーの教育プログラムを運営している。トレーナーたちは、大学の教育学部教官であったり、地方自治体のアドバイザーであったり、フリーランサーのコンサルタントであったり、あるいは学校自身であったりする。校長の中には、自分の学校がCASEのトレーニングセンターとなることを有益に感じている。トレーナーたちは学校の教師たちと同じセッションに参加するだけでなく、学校における変化の管理や、効果的なPDに関する研究データ、そして彼らが実施するトレーニングプログラムの実行計画づくりに関するトレーナーたちのセッションにも参加する。

#### 専門性開発について研究すること

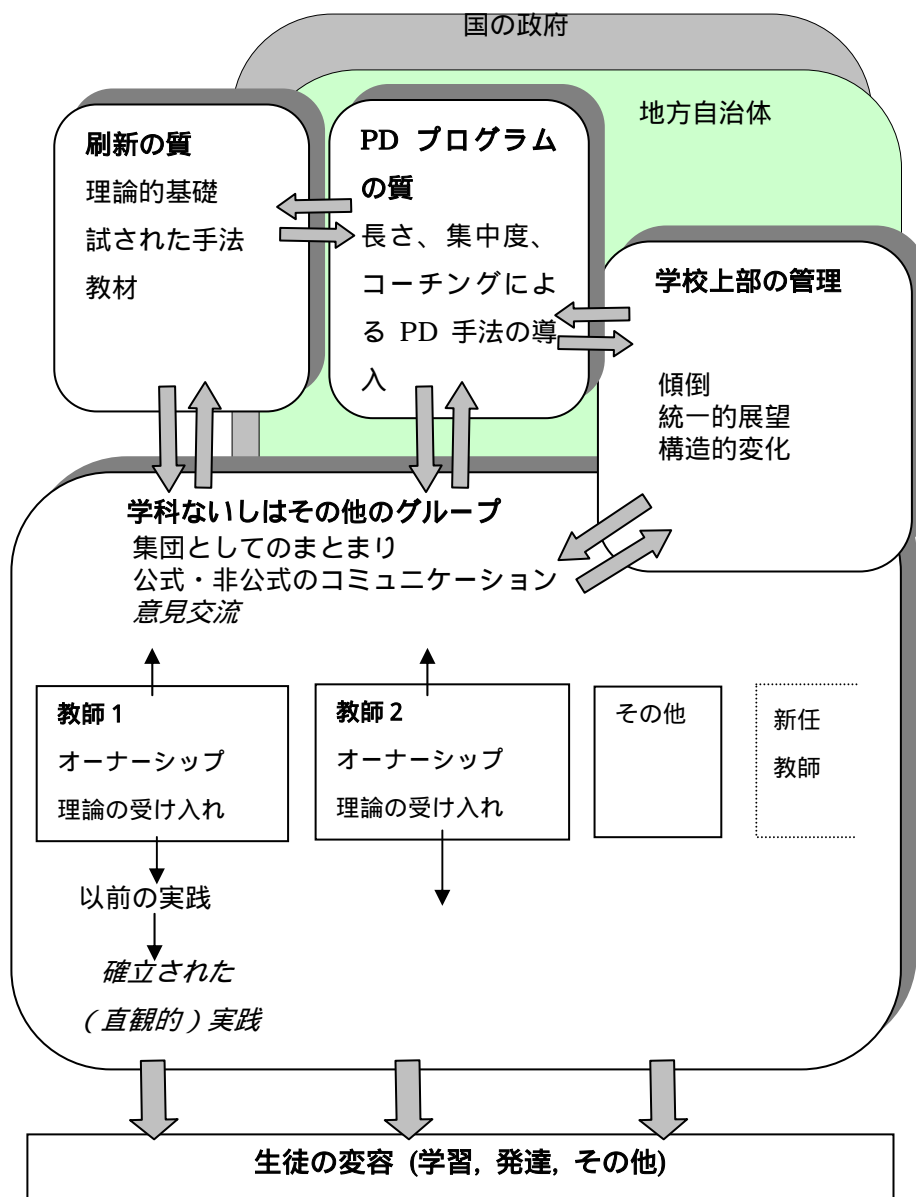
第4節で述べたように、専門性開発プログラムの効果を、プログラムに参加している学校の生徒たちの学業成績の向上によって測定するある一般的な方法がある。しかし、専門性開発課程と、教師たちの実践の発達、及び生徒たちの認知的向上との間の関連をより詳しく評価することは、もっと難しい評価手法となる。私たちは、今では、専門性開発を効果的なものとする諸要因に関する大量のデータを蓄積している。誌面の都合で、その研究についての詳細をここで述べることはできないが、その完全な報告はAdey et.al. 2004で述べられる。そこで私たちは、効果的な専門性開発に関する広範な文献の文脈で私たちのデータを位置づけ、鍵となる諸要因のモデルを開発した(図4)。

そのモデルの「底辺」は生徒たちの変化である。学校における刷新の要点は、何らかの方法で生徒たちに変化を与えることである。例えば、生徒たちの成績行為を改善することである。もし、ある専門性開発プログラムが効果的であるとすれば、それはそのような変化を生徒にもたらすものでなくてはならない。モデルには主に次の4つの要素がある：

1. 刷新の特徴。効果的であるために、刷新には、根拠のある理論的基礎と、生徒たちへの効果に関するいくつかの証拠、及び教師たちが便利だと感じる印刷物やその他の教材が必要である。
2. 専門性開発の質が、十分に長く集中的なもので、かつ教室内でのコーチングの要素を含むものであることが一般的に必要である。

3. 学校の校長が刷新を支援し、その実施に時間を費やすことを許可し、かつ例えばある一人の教師がその学校を離れると代わりを配置するような管理（マネジメント）について考慮することが必要である。
  4. 教師の集団としてのまとめり。根本的な刷新のためには、一つの学校内の教師たちが分担して相互協力的な環境で一緒に取り組むことが必要である。
- PD を効果的なものとするために、これらの 4 つの要素すべてが「積極的」なモードに設定されることがこのモデルの特徴である。もし、どれか一つの要素が「消極的」なモードだと、PD は成功しない。

図 4： 効果的な教師の専門性開発に関する一つの包括的なモデル





## 第6節 認知的加速の影響を拡大すること

1980年代初頭を発端に、それから「認知的加速」は広く多くのやり方で普及してきた。初期のCASE教材は、第3版となるまでにかなり改訂され、今ではイギリスの学校で広く用いられている。CASE教材は、さまざまな言語に翻訳され、私を知る少なくとも10の国々で試みられてきた。その諸原理は、数学(CAME, Adhmi, Johnson, & Shayer, 1998)に、テクノロジー(CATE, Hamaker, 2003)に、そして表現の芸術(ARTS, Gouge & Yates, 2003)に適用されてきた。私たちは今ではもっと年少の児童たちのための認知的加速プログラムも作成している：5歳児向けの「考えてみよう！」(Adey, Robertson, & Venville, 2001)と、7歳児向けの「科学によって考えてみよう！」(Adey, Nagy, Robertson, Serret, & Wadsworth, 2003)。

## 第7節 結論

私は、ここに示してきた「科学教育による認知的加速(CASE)」が直接に生徒たちが情報を処理する一般的な能力つまり彼らの一般的知性に働きかけることで教育上の成績を向上させる一つの有効な方法であると見込んでいる。それは、青少年の集団の一般的な知的能力を向上させるための時間のかかるアプローチである。それは、2年間のカリキュラムへの干渉である点でその実行において時間がかかり、また、干渉が終わってから3年を経過するまでその効果が追跡される点でその評価においてさらに長い時間がかかる。それゆえに、CASEを学校の教授法に取り入れることは、その発端から20年近く経ってもゆっくりとしたプロセスであるが、その利用は増え続けている。私たちは、CASEの成功は、そのデザインと実行における理論と実践の相互作用と、印刷物と教師の専門性開発の両方を併せ持つものとして「カリキュラム」を捉えていることの2つの一般的特徴によるものと捉えている。私は、生徒たちの教育の質を向上させるどんなアプローチでも、その成功のためには、しっかりとした学習理論に基礎づけられ、その理論をある程度教師たちが共通理解することが必要であり、また、成功しない刷新は、ある完成した製品として教師たちに「缶詰」にされ手渡されるようなものであると考えている。教師たちは、自分たち自身で私たちの支援を得ながら、それを成し遂げなくてはならない。

## 参考文献

- Adey, P. (1984). The core curriculum - cage or support? *School Science Review*, **65** (230), 144-148.
- Adey, P. S. (1993). *The King's-BP CASE INSET pack*. London: BP Educational Services.
- Adey, P.S., with Hewitt G, Hewitt J., and Landau N. (2004). *The Professional Development of Teachers; Practice and Theory*. Dordrecht, Kluwer Academic.
- Adey, P., Nagy, F., Robertson, A., Serret, N., & Wadsworth, P. (2003). *Let's Think Through Science!* London: nferNelson.
- Adey, P., Robertson, A., & Venville, G. (2001). *Let's Think!* Slough, UK: NFER-Nelson.
- Adey, P. S., & Shayer, M. (1993). An exploration of long-term far-transfer effects following an extended intervention programme in the high school science curriculum. *Cognition and Instruction*, **11** (1), 1 - 29.
- Adey, P. S., & Shayer, M. (1994). *Really Raising Standards: cognitive intervention and academic achievement*. London: Routledge.
- Adey, P. S., Shayer, M., & Yates, C. (1992). *Thinking Science - U.S. Edition*. Philadelphia: Research for Better Schools.
- Adey, P. S., Shayer, M., & Yates, C. (1993). *Naturwissenschaftlich denken* (Mund, H.A., Trans.). Aachen: Aachener Beiträge zur Pädagogik.
- Adey, P. S., Shayer, M., & Yates, C. (2001). *Thinking Science: The curriculum materials of the CASE project*. (3rd ed.). Cheltenham: Nelson Thornes.
- Adhami, M., Johnson, D. C., & Shayer, M. (1998). *Thinking Mathematics: The Curriculum Materials of the CAME project*. London: Heinemann.
- Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation and other more mysterious mechanisms. In R. Kluwe & F. Weinert (Eds.), *Metacognition, Motivation and Understanding*, . London: Lawrence Erlbaum.
- Burmann, U., & Adey, P. (1999?). The development of learning strategies under specific teaching conditions. *submitted to European Journal of Psychology of Education*, .
- Department for Education and Employment. (1997). *Excellence in Schools*. London: The Stationery Office.
- Epstein, H. T. (1990). Stages in Human Mental Growth . *Journal of Educational Psychology*, (82), 876-880.
- Hamaker, A. (2003). *Cognitive Acceleration through Technology Education*. Taunton: Nigel Blagg Associates.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The Growth of Logical Thinking*. London: Routledge Kegan Paul.

Joyce, B., & Showers, B. (1980). Improving inservice training; the messages of research. *Educational Leadership*, **37** (5), 379-385.

Joyce, B., & Showers, B. (1988). *Student Achievement through Staff Development*. New York: Longman.

Larkin, J., McDermott, Simon, & Simon. (1980). Expert and Novice performance in solving physics problems. *Science*, **208** (June), 1335 - 1342.

Leo, E. L., & Galloway, D. (1995). Conceptual links between Cognitive Acceleration through Science Education and Motivational Style: A Critique of Shayer and Adey. *International Journal of Science Education*, **18** (1), 35-49.

Renner, J. W., Stafford, Lawson, McKinnon, Friot, & Kellogg. (1976). *Research, teaching, and learning with the Piaget model*. Norman: University of Oklahoma Press.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1981). *Towards a Science of Science Teaching*. London: Heinemann.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1992a). Accelerating the development of formal thinking II: Postproject effects on science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, **29** (1), 81-92.

Shayer, M., & Adey, P. S. (1992b). Accelerating the development of formal thinking III: Testing the permanency of the effects. *Journal of Research in Science Teaching*, **29** (10), 1101-1115.

Shayer, M., Wylam, H., Küchemann, D. E., & Adey, P. S. (1978). *Science Reasoning Tasks*. Slough: National Foundation for Educational Research.

Stenhouse, L. (1975). *An introduction to curriculum research and development*. London: Heinemann Educational Books.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.



## 第 4 章

### 小学校総合的な学習の時間における CASE 理論の実践的活用

浅海範明（山口県田布施町立麻郷小学校）



# 小学校総合的な学習の時間における CASE 理論の実践的活用

山口県熊毛郡田布施町立麻郷小学校

教諭 浅海 範 明

## 1 研究の意図

「生きる力」の育成をめざして総合的な学習の時間が創設された。この総合的な学習の時間の重要な課題は、問題解決能力の育成である。(p.2~3) そして、問題解決能力の育成には、問題解決を根底で支える論理的思考力を高めることが不可欠である。例えば、小学校3年生で「地域内の危険な場所」を見つけるため、何箇所かで交通量調査を行うとしよう。その際、調べる時刻や天候などの条件が統一されていなければ、正しい結論を導くことができない。事象の比較を客観的に行おうとすれば、「条件を統制する」という論理的な思考力が必要になる。そしてこのような思考力を育成することは、思考力の面から見た「知の統合化」や「教科との連携」という意味においても、総合的な時間に育成されることが望まれているものだと考える。しかし、「条件統制」のような論理的思考力は体験活動の中で自然に形成されるようなものではなく、教師による意図的な働きかけが必要である。そこで、体験的な問題解決学習を行う一方で、CASE の認知加速の試みを活用した意図的な論理的思考力の育成を行うことで、より確かな問題解決能力を身に付けさせることができるのではないかと考えた。(p.4)

## 2 学習プログラムの開発：CASE プロジェクトの知見をいかに活用するか

CASE において開発された Thinking Science という一連の理科授業は、「考え方のトレーニングの時間」として2週間に1回程度行う一斉授業の形態になっている。(p.5~7) しかし、総合的な学習の時間は、体験的な学習が重視されるので、論理的思考力の育成に焦点を当てた授業に多くの時間を割くことは適切とはいえない。また、総合的な学習の時間は、個人やグループで学習を進めることが多く、一斉指導の形で学習に介入することは子どもたちの学習の妨げになる可能性がある。そこで、CASE によって提案された推論形式を、短時間で個別にトレーニングできるように、コンピュータによる個別学習プログラムを開発することにした。(p.8) これによって、時間の制約を受けずに、気軽にトレーニングに取り組めるようになると考えた。学習プログラムの開発に当たっては、CASE の授業方法を参考にした。

## 3 実践とその結果

「分類」の推論形式を育成するためのプログラムを第3学年の児童に、「条件統制」の推論形式を育成するためのプログラムを第4学年の児童に実施した。事前、事後テストの成績を比較することで、プログラムの有効性を検証した。(p.9~12) その結果、いずれのプログラムについても、これらの推論形式の育成に効果があることが示された。

現行指導要領において重要視されている問題解決能力

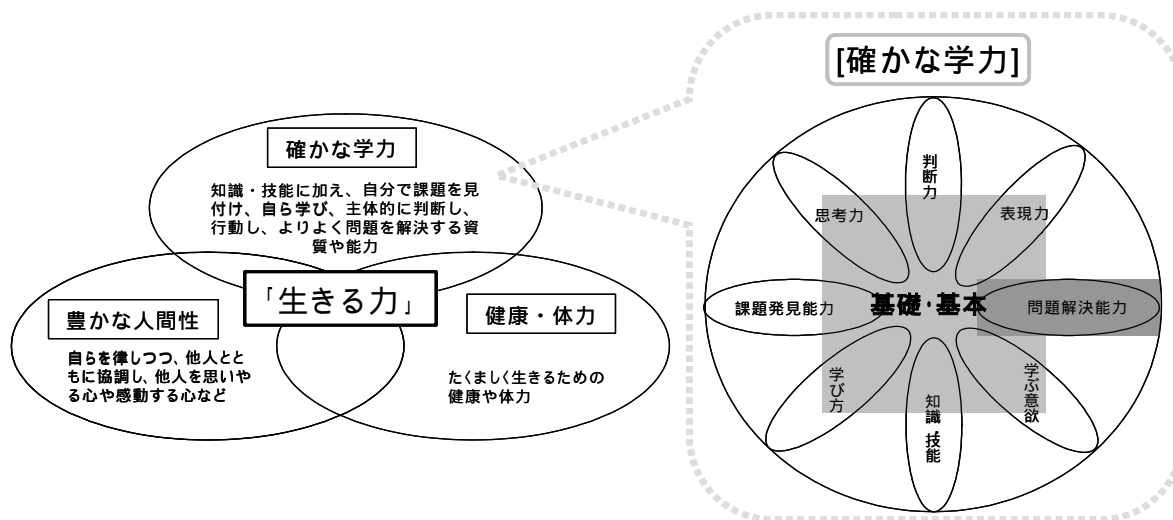
「我々はこれからの子供たちに必要となるのは、いかに社会が変化しようと、自分で課題を見つけ、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、行動し、よりよく問題を解決する資質や能力であり、また、自らを律しつつ、他人とともに協調し、他人を思いやる心や感動する心など、豊かな人間性であると考えた。たくましく生きるための健康や体力が不可欠であることは言うまでもない。我々は、こうした資質や能力を、変化の激しいこれからの社会を「生きる力」と称することとし、これらをバランスよく育てていくことが重要であると考えた。」(下線は筆者)

第15期中央教育審議会「審議のまとめ」(平成8年6月18日)より

1 新学習指導要領や学力についての基本的な考え方等

新学習指導要領の基本的なねらいは[生きる力]の育成。各学校では、家庭、地域社会との連携の下、[生きる力]を知の側面からとらえた[確かな学力]育成のための取組の充実が必要。

[確かな学力]とは、知識や技能に加え、思考力・判断力・表現力などまでを含むもので、学ぶ意欲を重視した、これからの子どもたちに求められる学力



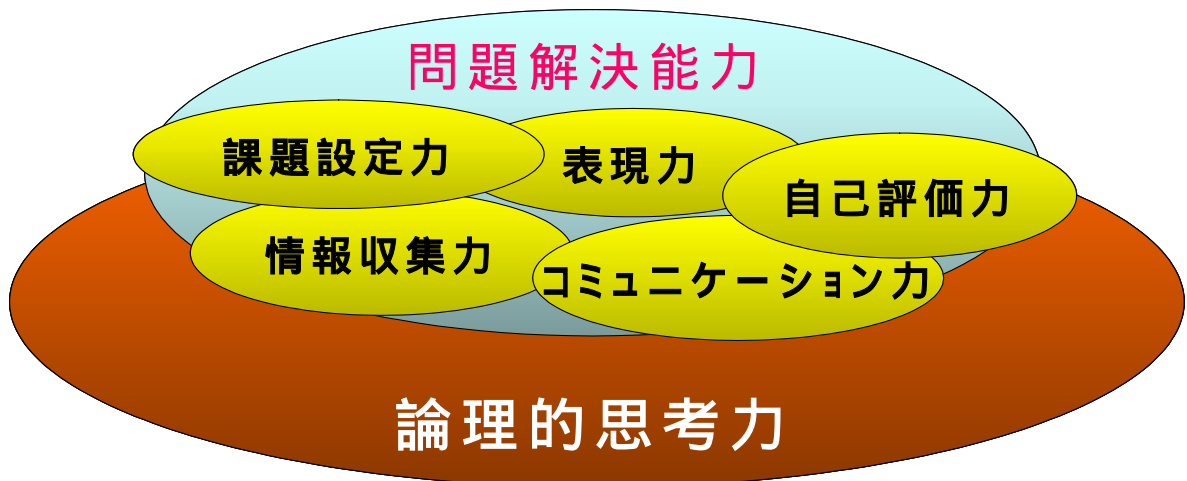
(網かけは筆者)

初等中等教育における当面の教育課程及び指導の充実・改善方策について(答申の概要)

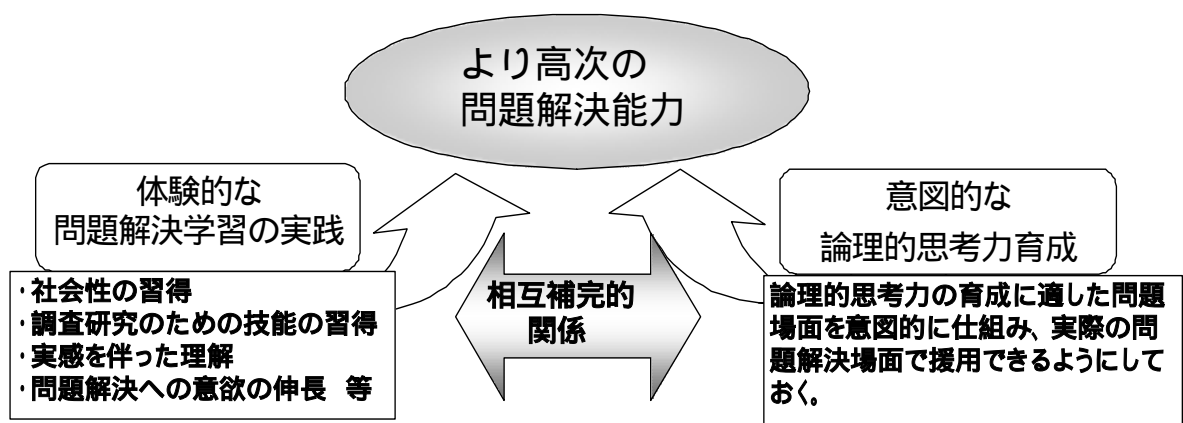
(平成15年10月7日)より



問題解決能力を根底で支える論理的思考力



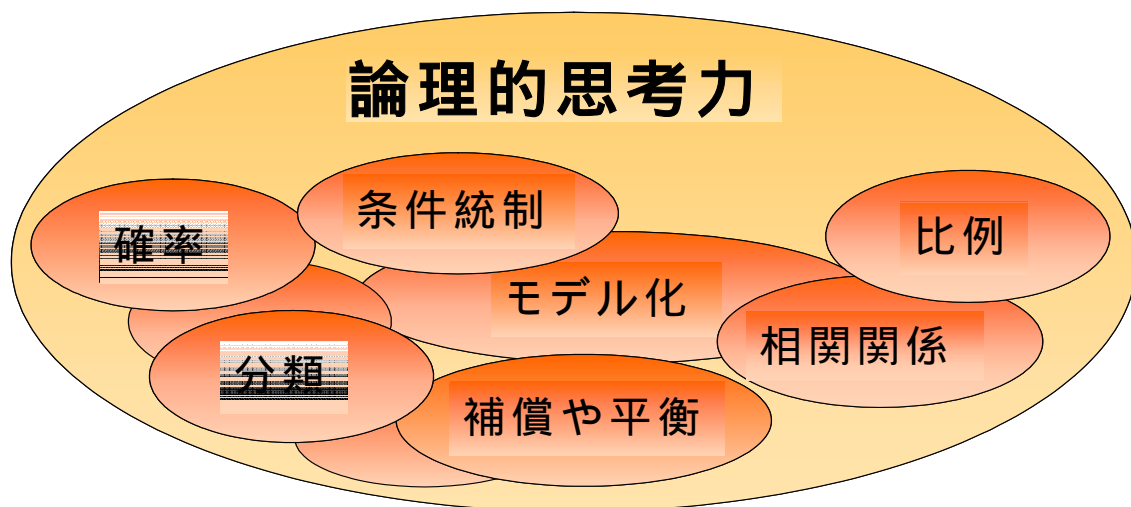
問題解決能力は、問題解決学習の実践と意図的な論理的思考力の育成が相互補完的に働きかけることで、より高次のものに変容させることができる。



\* 児童自らが、試行錯誤しながら問題解決へ向けて進んでいくが、よりよい解決に向けて、進むべき方向を示してくれるのが論理的思考力であり、体験的、問題解決的学習のナビゲーターとしての役割を持つ。

論理的思考力は、種々の推論形式によって構成され、各々の推論形式を強化することで、論理的思考力がより高度になっていく。

\* CASE (Cognitive Acceleration through Science Education) プロジェクトの研究成果による



### 本研究で取り上げた推論形式と総合的な学習との関わり

推論形式	特 性	総合的な学習の時間との関わり
分 類	対象から特定の属性を抽出し、その共通点や相違点に着目し、関係付けて把握する能力	海岸で集めたごみを分類することから、その対策を具体化する。
条 件 統 制	適切に条件を設定して、現象の原因を明らかにしようとする能力	交通量の調査など、各種の調査を行う際、適切な条件を設定する。
相 関 関 係	1対1対応だけの因果関係ではなく、複数のサンプルから得られた結果の全体的な傾向を把握して結論付けようとする能力	洗剤が生物に与える影響や、肥料が米の収穫量に与える効果を調べる実験などで、客観的な結論を導く。
モ デ ル 化	事象を抽象化して図に表したり、その図を使って考えを進めたりする能力	まとめの段階で事象を図式化し、その関係を簡潔に表現する。
比 例	伴って変わる2つの量の間にある比例関係を認識する能力	自分の家から出るごみの量から日本全体の家庭ごみの量を推測する。

\* 課題設定場面で、「どうして子どもは不思議に思わないのだろう。」と感じる場面があるが、それは子どもたちが、大人にとっては当たり前の、これらの推論形式に従って考えていないためである。

\* 推論形式は他にも考えられるが、本研究では、小学校総合的な学習の時間で有効であると思われるものを選択して研究する。

## CASE (Cognitive Acceleration through Science Education) におけるトレーニングプログラムの概要

\* 研究母体 ロンドン大学キングス・カレッジ、思考力発達促進センター

代表 フィリップ・アディ教授 (Dr. Philip Adey)

<http://www.case-network.org/index.html>

\* 次のページに示した授業計画のように所要時間がおよそ70分の授業を2年間にわたって30回行う。よって2～3週間に1度の頻度でこれらの授業が行われることになる。

\* 指導方法の特徴

これらの授業には、次のような特徴がある。(CASEの知恵に関する柱)

- ・ **具体的準備**・・・概念を意識づける確定した言葉を用いる。
- ・ **関係づけ**・・・同じ推論形式を、異なった題材を用いて経験させること。
- ・ **認知的葛藤と新しい認知構造の構築**・・・これまでの認識とのずれを経験させ、その事象を説明する新たな認知構造を学習者自らが作り上げること。
- ・ **メタ認知**・・・自分の理解をモニタリングすること。

本研究では、上記プロジェクトの授業内容や指導方法を参考にして、総合的な学習の時間の中で柔軟に実施できるトレーニングの形態を探った。そして、コンピュータによる個別学習プログラムの形で、トレーニングを行うことを考え、そのプログラムを開発することにした。

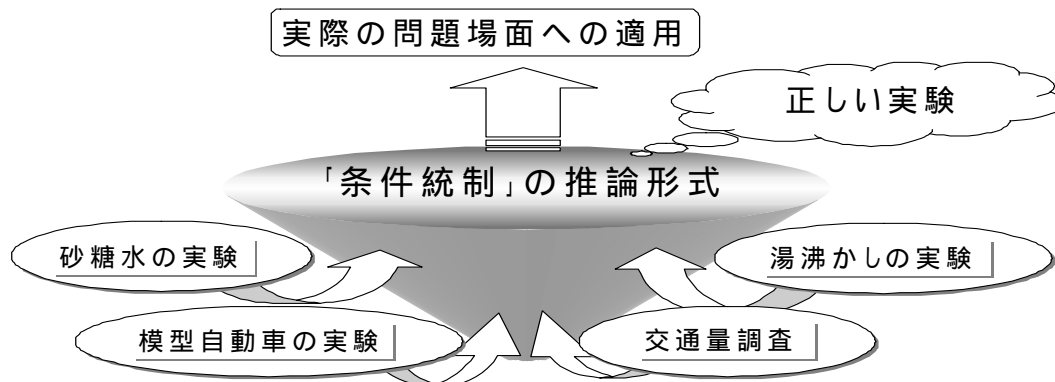
## Thinking Science (CASE プロジェクトで開発されたカリキュラム)の授業計画

			授業タイトル	育成をねらう推論形式	授業内容の概要	
第7学年(11~12才)	1学期	1	変量ってなに？	変量とその値	これからのトレーニングに必要な「変量」と「値」についての概念形成を行う。教材としては、平面図形や実験器具の容積のような理科的なものだけではなく、お湯を沸かす場面、皿に盛られたソーセージの図などが用いられる。	
		2	2つの変量			
		3	正しい調べ方	条件統制		材質や長さ、太さの異なったパイプを吹いたときに出る音の高さを調べる実験を条件を統制することに着目して行う。
		4	どんな関係？	変量とその値		おもりの重さとバネの伸び(比例関係)、油の温度とその油が流れ落ちる速さ(反比例の関係)という二つの事象をグラフ化し、法則性をつかませる。
		5	斜面を転がるボール	条件統制		大きさ、材質、色の異なったボールを斜面で転がし、もう一つの球に衝突させてどこまで転がせるかという実験を、条件統制に着目して行う。
	2学期	6	歯車と比	比例	歯車、紙の枚数と厚み、地図の縮尺等を用いて比や比例について理解させる。	
		7	倍率(縮図と顕微鏡)	比例	縮図や顕微鏡の倍率を用いて、比や比例について理解させる。	
		8	一輪車	比例	一輪車でのこの原理を題材にして、荷物の重さと持ち上げる力との比例関係や、荷物の重さと支点からの距離の反比例関係を理解させる。	
		9	幹と枝	補償	幹から何回枝分かれしたか、その回数とその枝の太さの関係を調べ、反比例についての定性的理解を図る。	
		10	てこ	補償	てこに加える力と、支点からの距離の関係をj用いて反比例を理解させる。てこの他にも、反比例的な事例を示し概念形成を促進する。	
	3学期	11	電流と導線の長さや太さ	補償	電流の大きさと導線の長さの関係をj用いて、反比例の概念を形成させる。	
		12	電圧と電流、電力	補償	電力を一定にしたときの電流と電圧の反比例関係を導入し、「補償」の概念を確かなものにする。	
		13	表か裏か(コイントス)	確率	コインを投げて表がでたときと裏がでたときを記録し、グラフ化することなどを通して、確立の概念を導入する。	
		14	組み合わせ	組み合わせ	これからのトレーニングに必要なとなる、「複数の変量を、もれや重複がないように組み合わせる。」という能力を身に付けさせる。こまを4色に塗り分ける場面や数種の料理を皿に盛り付ける場面を用いる。	
		15	紅茶の味比べ	確率	「ミルクと紅茶のどちらを先に注いだミルクティーか。」という味比べで、でたらめに答えてもどれくらい正答することができるか、コインの表裏の事象と結びつけて理解させる。	

第8学年(12、13才)	1学期	16	変量の相互作用	条件統制	イースト菌を活発にさせる要因やさびを促進する2つの要因を条件統制や条件の組み合わせに着目させて実験し、より複雑な実験条件の操作ができるようにする。
		17	ダンゴムシの性質	相関関係	ダンゴムシの好きな環境を湿度と明るさの2つの要因を組み合わせた4種類の条件下で調べ、相関関係の概念を導入する。
		18	肥料や薬とその効果	相関関係	植物や動物に肥料や薬を与えたときの効果についてのシミュレーションから、相関関係の考え方に習熟する。
		19	全体はいくつ？	確率	全体の数を調べるのが困難なとき、その一部の個体にマーキングをしてもとの集団に戻し、再び個体を取り出して、マーキングされた個体数の割合から全体数を推計する方法を経験させる。
		20	さいころの目	確率	2つのさいころを振り、でた目を表にまとめる活動を通して、確立の概念を確かなものにする。
	2学期	21	なかま作り	分類	種々の生きものをなかま分けする活動を通して分類の概念を導入する。
		22	鳥の分類	分類	より多くの条件を使って、複雑な分類ができるようにする。分類に適した条件とは何かということにも気付かせる。
		23	物質の三態	モデル化	種々の物質が融ける様子を観察し、融ける前と後では物質がどのように変化したのかを説明しようとする過程から、説明するのに適したモデルを考えるようにする。
		24	溶解	モデル化	物質が溶解する様子や溶媒の蒸発によって析出する様子を観察させ、適当なモデルを用いて説明できるようにする。
		25	化学反応	モデル化	ろうそくの燃焼や銅と硫黄の反応などを観察させ、適当なモデルを用いて説明できるようにする。
	3学期	26	圧力	複合した変量	圧力や密度のような二つの変量から成り立つ変量を導入する。体重や、履いている靴の違いでどの程度地面にめりこむかが異なることなどを例示する。
		27	浮くか沈むか	複合した変量	容積や質量のちがういくつかのピンについて、水に浮くか沈むかを調べることを通して、密度という二つの変量が複合した変量の必要性を理解させる。
		28	どちらがあがる？	平衡	てこの両側のおもりとそれぞれの支点からの距離のように4つの変量がバランスを保っているような事象について理解させる。天秤の他にも、傾斜のちがう坂に、質量のちがう2台の車がロープでつながれてぶら下がっているような場面も用いる。
		29	天秤のつり合い	平衡	
		30	ダイバー	複合した変量	浮沈子の実験から、浮沈子の容積と質量、浮沈子を浮かべる水の量とその水に加える食塩の量という4つの複雑な変量の関係が理解できるようにする。

これらの推論形式をいかに身に付けさせて、実際の問題解決場面で、児童自らが使えるようにするか。

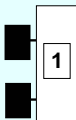
ある推論形式に関係する事象を、教科の枠組みを越えたいろいろな題材を用いて経験させ、より一般化した形で児童に意識させる。またその意識化されたものに、固有の名称を与えることで、実際の問題解決場面において容易に呼び出せるようになる。

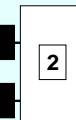


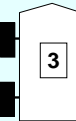
- \* 「条件を統制する」という行為が、その実験対象と結びついている段階では、新たな問題場面に直面したときに、その推論形式を適用することが難しい。同じ推論形式を複数の対象で繰り返し経験することで「『条件統制』ってこんなこと。」というイメージが生まれ、どの対象に対しても「同じことをやっている。」と感じた時点で、その推論形式の概念が形成されたことになる。
- \* いったん概念形成が行われれば、自ら推論形式を使うことも可能であろうし、それを忘れてしまっても、「正しい実験になるようにしてごらん。」と助言するなど、わずかな支援で学習を進めることができる。
- \* コンピュータプログラムの実際（「条件統制」を身に付けさせるプログラムより）

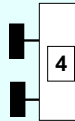
あきらくんは ボディの先をとがらせると、よく走るようになる。 と考えています。

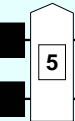
何番と何番の車を走らせてみると、たしかめられますか。  
下の組み合わせから、よいものを2つえらんでください。  
プリントに を付けたら、えらんだ組み合わせをクリックしましょう。

  
1

  
2

  
3

  
4

  
5

1番と3番

1番と5番

2番と3番

4番と5番

学校の前とコンビニの前では、どちらがたくさん車が通るか決めるために

だれの結果とだれの結果を使って決めたらよいでしょう。

同じにしなくてはいけないのは何か

ヒント

学校の前の道は  
はれの日、1分間に  
35台通ったよ

コンビニの前の道は  
はれの日、1分間に  
25台通ったよ

Aくん  
Bさん  
Cくん  
Dくん

コンビニの前の道は  
雨の日、1分間に  
30台通ったよ

学校の前の道は  
雨の日、1分間に  
40台通ったよ

A君とBさん

A君とC君

BさんとD君

C君とD君

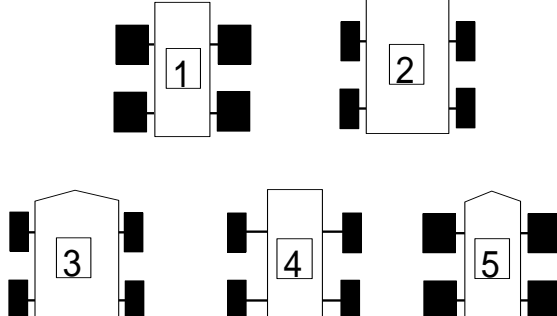
正しい組み合わせを2つえらんで、プリントに を付けてからクリックしてね。

## 推論形式が身に付いたことをどのようにして確かめるか。

よく走る車  
ボディーの形やはば、タイヤの太さがちがう5種類の車があります。  
あきさんは、  
「ボディーの先をとがらせるとよく走るようになるよ。」  
とっています。

**ボディーの先をとがらせるとほんとによく走るようになるのかな？**  
あきさんの考えがっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2台だけです。あなたは、どの車とどの車をころがしてみますか。  
番の車と 番の車

どうしてその2台をためしてみるのですか



### 事前テスト

(10月29日実施)

ボディーの先をとがらせることの効果を調べたいのであるから、条件統制された実験にするためには、タイヤの幅とボディーの幅が同じ車で、先がとがっているものと、先がとがっていないものを比べなくてはならない。

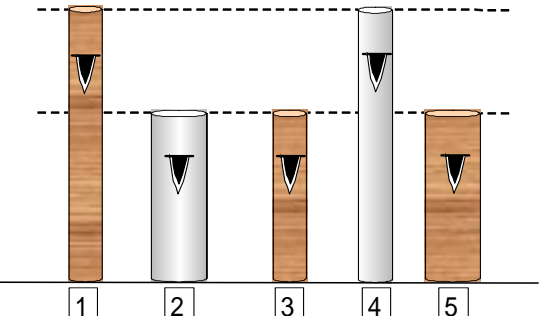
したがって、1番と5番または2番と3番を選択しなくてはならない。

正しい組み合わせを選択し、その選択理由として、「タイヤの幅や、ボディーの幅が同じだから。」(片方のみの記述も可)という内容が記述されているものを正答とした。

ふえの音の高さ  
木や鉄で作られた、長さや太さのちがうふえが5本あります。  
あきさんは、  
「鉄でできたふえの方が、高い音がするよ。」  
とっています。

**ふえを鉄で作ると、ほんとに音が高くなるのかな？**  
あきさんの考えがっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2本だけです。あなたは、どのふえとどのふえをふいてみますか。  
番のふえと 番のふえ

どうしてその2本をふいてみるのですか



### 事後テスト

(11月13日コンピュータ

プログラムの実施と同じ日に実施)  
材質が音の高さに与える効果を調べたいのであるから、条件統制された実験にするためには、笛の太さや笛の長さが同じ笛を比べなくてはならない。

したがって、1番と4番または2番と5番を選択しなくてはならない。

正しい組み合わせを選択し、その選択理由として、「笛の長さや太さが同じだから。」(片方のみの記述も可)という内容が記述されているものを正答とした。

これら二つのテストは、事前に別のグループに同時に実施して、正答率に差がないことを確認した。そしてこれら二つのテストの解答状況を比較した。

事前・事後テストの全問題「条件統制」(第4学年に実施)

事前テスト

設問 1


せんざいのせいとう 年組

AのせんざいとBのせんざいはどちらがよこれをよく落とすことができるか、よこれたくつしたをせんたくして比べようとしています。

あなたはどのようにして実験しますか。

実験の仕方

正しい結果を出すために気を付けなくてはいけないことは何ですか。



\* 設問 1 はいずれかの欄に条件統制に関する記述がみられたものを正答とし

設問 2

よく走る車

ボディの形やはば、タイヤの太さがちがう5種類の車があります。

あきさんは

「ボディの先をとがらせるとよく走るようになるよ。」

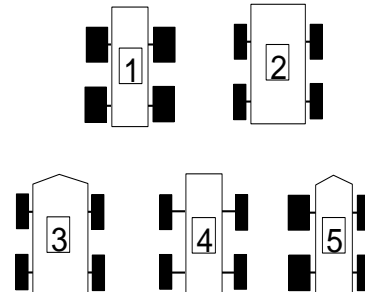
とっています。

ボディの先をとがらせるとほんとによく走るようになるのかな?

あきさんの考えがあっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2台だけです。あなたは、どの車とどの車をころがしてみますか。

番の車と  番の車

どうしてその2台をためしているのですか



設問 3・4

あきらくんは、

「タイヤを太くするとよく走るようになるよ。」

とっています。

タイヤを太くするとほんとによく走るようになるのかな?

あきらくんの考えがあっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2台だけです。あなたは、どの車とどの車をためしてみますか。

番の車と  番の車

どうしてその2台をためしているのですか。

あなたは、ボディの形(先がとがっているか、とがっていないか)、ボディのば、タイヤの太さのうち、よく走るようになるのに関係があるのはどの理由だと思いますか。一番関係あると思う理由を下から一つだけえらんで、番号に丸を付けてください。

- 1 ボディの形(とがらせるまたはとがらせない)とよく走るようになる。
- 2 ボディのばをひろくする(またはせまくする)とよく走るようになる。
- 3 タイヤを太くする(または細くする)とよく走るようになる。

どうやってたしかめますか。ためしてよいのは2台だけです。

番の車と  番の車

どうしてその2台をためしているのですか。

事後テスト

設問 1

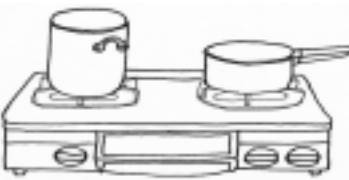
なべのせいとう 年組

AのなべとBのなべはどちらが早くおゆをわかすことができるか調べようとしています。

あなたはどのようにして実験しますか。

実験の仕方

正しい結果を出すために気を付けなくてはいけないことは何ですか。



\* 設問 1 はいずれかの欄に条件統制に関する記述がみられたものを正答とした。

設問 2

ふえの音の高さ

木や鉄で作られた、長さや太さのちがうふえが5本あります。

あきさんは

「鉄でできたふえの方が、高い音がするよ。」

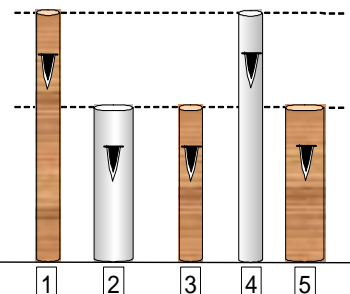
とっています。

ふえを鉄で作ると、ほんとに音が高くなるのかな?

あきさんの考えがあっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2本だけです。あなたは、どのふえとどのふえをふいてみますか。

番のふえと  番のふえ

どうしてその2本をふいてみるのですか



設問 3・4

あきらくんの考えがあっているか、たしかめたいのですが、ためしてよいのは2本だけです。あなたは、どのふえとどのふえをふいてみますか。

番のふえと  番のふえ

どうしてその2本をふいてみるのですか

あなたは、太さと、長さ、材料(木でできているか、鉄でできているか)のうち、ふえの音を高くするのに関係があるのはどの理由だと思いますか。一番関係あると思うのを下から一つだけえらんで、丸を付けてください。

- 1 太くする(または細くする)とふえの音を高くすることができる。
- 2 長くする(または短くする)とふえの音を高くすることができる。
- 3 鉄で作る(または木で作る)とふえの音を高くできる。

それをどうやってたしかめますか。ためしてよいのは2本だけです。

番のふえと  番のふえ

どうしてその2本をふいてみるのですか



事前・事後テストの全問題「分類」(第3学年に実施)

事前テスト

**のりもの**のなま分け

みなさんはいろいろなのりものを知っていますね。

下ののりものをいくつかのなまかに分けたいと思います。

どのようになまかめますか。

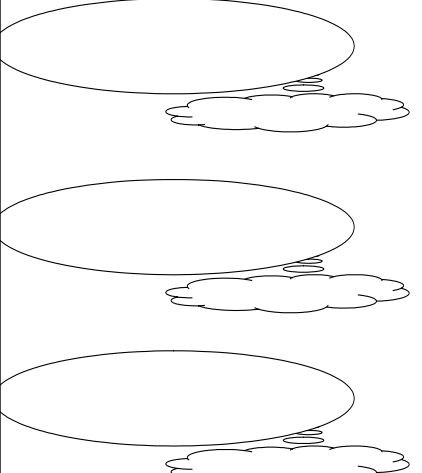
分け方はいくつかあります。



なまかにするのりもの名前を ○ の中に書いてね。

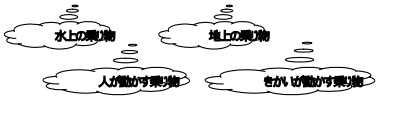
どうしてなまかにしたのか、その理由を ☁ の中に書いてね。

同じのりものを何回使ってもいいよ。




次の4つの理由をぜんぶ1つべんに使って、ぜんぶのりものをなまかめ分けることはできないでしょうか。

のりものは1回ずつしか使えません。



ここを使って自由に書いてみてね。



事後テスト

**食べ物**のなま分け

レストランに行くといろんなメニューがありますね。

下の食べ物をいくつかのなまかに分けたいと思います。

どのようになまかめますか。

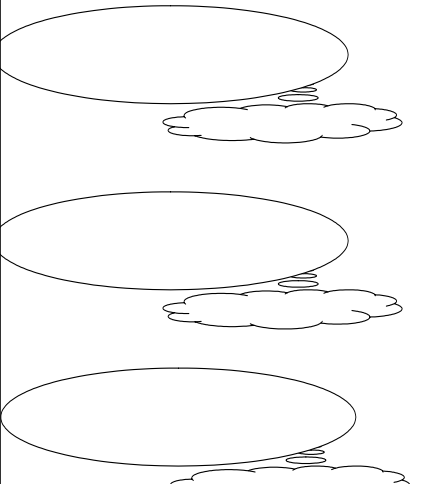
分け方はいくつかあります。



なまかにする食べ物の名前を ○ の中に書いてね。


どうしてなまかにしたのか、その理由を ☁ の中に書いてね。

同じ食べ物を何回使ってもいいよ。




次の4つの理由をぜんぶ1つべんに使って、ぜんぶの食べ物をなまかめ分けることはできないでしょうか。

食べ物は1回ずつしか使えません。



ここを使って自由に書いてみてね。





## 第 5 章

### CASE とは何か

笠 潤平（京都女子高等学校）



## CASE とは何か

京都女子高等学校

笠 潤平

(抄録)

イギリスの CASE (Cognitive Acceleration through Science Education) プロジェクトは、理科の授業を通じて、児童・生徒の認知能力の向上を促進するプログラムの開発プロジェクトである。このプロジェクトは、70 年代にイギリスで Shayer、Adey を中心に行われたピアジェの理論の大規模な検証調査に端を発して生まれ、授業構成については、ヴィゴツキーの理論を利用しながら、80 年代半ばに Shayer、Adey を中心に開発されて以来、多くの現場教員の協力を得て改良を重ねて発展し、イギリスではすでに 20 年近くになる実践を経て、対象年齢においても、5~6 歳や 7~8 歳用の教材の開発、教科においても科学から数学、技術教育、演劇・音楽・美術の教材開発が行われるなど第 2 段階に入る広がりを見せているが、日本ではあまり紹介されていない。ここでは、Shayer、Adey によるいくつかの文献をもとに、その背景となっている理論、授業の実際、そして成果、最近の広がりについて簡単に紹介したい。

### 1 前史 CSMS 調査

1974 年から 80 年にかけて、Shayer、Adey らは、the British Social Science Research Council の支援を受けて、the Concepts in Secondary Mathematics and Science Programme (CSMS) という大規模な調査を行った。この調査は、子どもの成熟にともなう、より抽象的・形式的な思考操作 (Schema) を行う能力の段階的な獲得というピアジェのモデルに依拠して、イギリスの中等学校生徒の認知能力の発達段階の分布に関する統計的概観を目指すものだった。それはまたピアジェのモデルの妥当性に関する基礎的な検証であり、さらに、Shayer ら自身による理科のトピックの理解に必要な認知能力のレベルの分析と合わせて、現行の中等学校の理科カリキュラムの内容が生徒たちの現実の認知能力レベルとどれだけ合致しているかの検証という意味も持っていた。ピアジェらが子どもの思考操作の発達理論を作り上げる上で、子どもの観察やインタビューの題材として利用した現象や作業は、そのほとんどが小中学校の理科で扱われるトピックと重なるものであるという点から言えば、理科カリキュラムの内容と生徒の現実の認知能力の間の検証を、ピアジェらのモデルに依拠して試みようという問題意識は自然なものだった。しかし、ピアジェが行った個々の子どもに対する長時間にわたる観察やインタビューに代えて、大勢の子どもたちの発達段階の特定を同時に行うためには、クラス単位で比較的短時間に実施可能な調査の方法を開発しなければならなかった。調査結果をまとめた著作 *“Towards a Science of Science Teaching”* (1981) の中で、Shayer、Adey らは、この調査方法の理論的な基礎づけ、調査自体の妥当性の検討などに続いて、とくに、5 つの異なる課題を用いた調査をすべて受けた男子 370 名・女子 180 名あまりの生徒の調査結果の因子分析などにもとづいて、ピアジェらの主張する、思考操作の発達には段階的な区別があるというモデルは妥当性があるとし、その上で、イギリスの中等学校段階の生徒人口を代表すると考えられる 1 万 2 千名の広範な被験者の調査結果から、ピアジェらがその著作の中で述べている発達段階と年齢の対応関係とは違って、同じ年齢でも驚くほど広範囲にわたる発達段階の差が存在するという結果を発表し、さらに、たとえばナフィールドのような標準的な中等学校理科教科書のトピックで要求されている思考操作がしばしば多くの生徒の発達段階を越えていることを報告した。これらの報告は大きな反響を呼び起こした。<sup>1)</sup>

## 2 CASEのねらいと教材

### 2.1 ピアジェのモデルにもとづく教材の形成

CASE(Cognitive Acceleration through Science Education) プロジェクトは、上述の調査を前提として、1981年から84年を準備段階とし、84年から87年にかけて当時のロンドン大学Chelsea College(現在はKing's Collegeに統合されている)において、Shayer、Adeyらによって実施された。その基本的な前提についてここで簡単に紹介しておこう。ただしここでのピアジェの理論と後述するヴィゴツキーの理論に関する説明は、すべてShayer、Adeyの著作に説明されている限りのものである。<sup>2)3)</sup>

Shayer、Adeyは最近編著“*Learning Intelligence*”(2002)のなかで、人間の思考には、一般的なプロセッサー(general processor)が存在し、このプロセッサーの働きは年齢とともに成熟・高度化し、その成熟・高度化の促進・加速には環境からの働きかけが影響するという3点が、認知的加速(Cognitive Acceleration, CA)の試みの一般的な前提であると述べている。より具体的には、CASEを開発するにあたってのかれらの基本的観点は、子どもの成熟とともに、子どもが用いることができるようになる思考操作は、具体的なものから抽象的・形式的なものへ段階的に進展していくという、ピアジェによるモデル(ただしそのもっとも抽象的な部分の手前まで)にほぼもとづいている。

簡単に言うと、CASEというのは、いくつかの形式的な思考操作を選んで、その一つひとつについて数回の授業ごとに、実際の実験・実習と紙上の作業を組み合わせた一連の活動(activity)とグループおよびクラス全体の討論を通じて十分な体験と反省をさせ、そのことを通じて全体としての認知能力の促進・加速を目指すものだが、その思考操作の選択に際しても、かれらは、ピアジェらが人間の形式的思考操作の一般的な型=スキーマ(Schema)として挙げた、変数の制御(control of variables)や分類(classification)、蓋然性の観念(Notions of probability)、相関性の観念(Notions of correlation)、形式的モデルの構築と使用(Construction and use of formal models)などをほぼ踏襲している。

また教材の難易度の分析や配置の決定の際にも、ピアジェらによる、前具体的操作段階(1 pre-concrete operational)、初期具体的操作段階(2 A early concrete operational)、後期具体的操作段階(2 B late concrete operational)、過渡段階(2 B/3 A transitional)、初期形式的操作段階(3 A early formal operational)、後期形式的操作段階(3 B late formal operational)という段階的な特徴づけを用いている。

さらに、かれらは、CSMS調査の結果の分析などをもとに、一連の形式的思考操作は、ピアジェらの主張のように、その獲得・未獲得について一まとまりの一貫性があるとも見ている。ただし、先にも紹介したが、同じくCSMS調査の結果、その発達段階の現実の分布は、ピアジェらの報告している認知能力の発達年齢に比べて、はるかに広く多様で全体としては遅いものであること(逆に言えば、ピアジェらの報告例の年齢別の発達段階は、おおよそ上位10%程度の生徒の発達段階に相当すること)が明らかになったとしている。

Shayer、Adeyらは、人間の認知のしくみ一般について現在多くの研究と仮説があるなかで、ピアジェのモデルについてもさまざまな議論があることを認めており、また理科教育研究に限っても、たとえば構成主義などのような、認知能力よりも生徒の前概念の考慮という内容的側面に焦点を当てる立場など、さまざまな観点があることを認めている。しかし、認知のしくみや教育のダイナミズムについて多くの未解明点があるにも関わらず、CASEプロジェクトのような思考操作に焦点を当てた認知能力の加速の試みは、後に見るように理科=自然科学的思考の能力をはじめ、一般的な認知能力の顕著で持続的向上という点で大きな実践的效果を示していることを現在強調している。

### 2.2 教材

CASEプロジェクトで開発された教材は“*Thinking Science*”と名付けられて市販されているが、この教材の対象年齢は11歳から14歳(イギリスの義務教育は日本より1年早くスタートするので、イギリスの学年の

第6学年から第9学年)である。ただし4年間をかけるのではなく、そのうちの2年間(たとえば12歳・13歳すなわち第7学年・第8学年)通常の科学の授業と並行的に、2週間に1回の割合で行うことを想定して、全部で30回の授業分の教材が用意されている。(第2版までは1回75分~90分の授業とされていたが、第3版では1回50分~60分とされている。)それぞれの授業は1つ1つ完結しながら、数回で1つの思考操作に関連するさまざまな経験をするようになっていく。そして全体を用意された順序に従って進めると、(ピアジェの段階づけに照らして)より高度な抽象的・形式的な思考操作を要求される課題に徐々に進むようになっていく。表1に第3版の30回の授業の題を示す。題とともにその授業でテーマとなっている思考操作が示されている。<sup>4)5)</sup>

“*Thinking Science*”の教材には、背景理論などの全体についての説明に続き、全30回の授業のすべてについて、1つ1つの授業ごとに、その狙い、キーワード、準備すべき器具・装置のリスト、詳細な授業プラン、ノートシート(生徒が授業中の活動で書き込むシート)原稿、ワークカード(生徒が授業中に参照するカード)原稿、さらに進む場合の発展的教材、OHPマスター原稿などが用意されている。

1 変わるものは何か?	変数	16 相互作用	変数
2 2つの変数	変数	17 コインを回す	蓋然性
3 どんな関係か?	変数	18 味見	蓋然性
4 「公正な」テスト	変数	19 わらじ虫の行動	相関性
5 転がるボール	変数	20 手当てと効果	相関性
6 グループに分ける	分類	21 サンプリング:池の中の魚	蓋然性
7 進んだ分類	分類	22 サイコロを投げる	蓋然性
8 ギヤと比率	比例性/比率	23 物質の状態を説明する	形式的モデル
9 手押し車	比例性	24 溶液を説明する	形式的モデル
10 幹と枝	反比例性	25 化学反応を説明する	形式的モデル
11 つりあいを保つ	反比例性	26 圧力	複合的な変数
12 電流、長さ、厚さ	反比例性	27 浮かぶ・沈む	複合的な変数
13 豆のサンプリング	蓋然性	28 丘を登り谷を下る	平衡
14 豆を育てる	蓋然性	29 ダイバー	複合的な変数
15 選択肢	組み合わせ	30 つりあいをとりもどす	平衡

表1 “*Thinking Science*”(第3版)の授業一覧

### 3 取り上げられている思考操作

つぎにCASEプロジェクトではどのような思考操作の獲得を促進しようとしているのかを、“*Thinking Science*”第3版をもとに、当該の授業の例をまじえながら簡単に紹介しよう。

#### 3.1 変数の制御と無関係な変数の除外(Control of variables and Exclusion of irrelevant variables)

“*Thinking Science*”の冒頭(授業1~5)に取り上げられて、全体の準備ともなっているのが、「変わるもの=変数」(variables)とその「値」および「変数同士の関係」および「変数の制御」という観念である。授業では、「科学者は、変わるものとその値に注目し、あるものが変わるとき他のものがどう変わるかという関係を探っているのだ」ということを端的に導入し、ついで「入力変数」と「結果の変数」という観念を導入

し、いくつかの「関係」のパターンをさまざまな簡単な実例で体験させ、ついで、ある変数間の関係を調べようとするとき、注目する以外の変数をどのように扱えばよいかを生徒自身の討論の中で相互から学ばせていく。私見によれば(CASEの本来の趣旨とは離れるのだが)この部分だけでも、日本の理科教育にすぐに取り入れる意義があると思われる。(これについては、後で授業の流れを詳しく紹介する。)

### 3.2 分類(classification)

分類という作業はさして難しい思考操作を必要としないように思える。たしかに、ピアジェによっても、ある簡単な与えられた特徴に従って分類することには具体的操作しか必要としない。しかしすべての分類は人為的なものであることを理解し、どのような分類が必要かを場合に依じて判断するような作業では、分類を外から眺めることができなければならない。このような場合、形式的思考操作が必要とされる。

授業6「グループに分ける」では、まず簡単な分類を5つ、多様なコンテキストで行っていく。これは後に述べる具体的準備の段階である。課題は次第に難しくなっていく、授業7「進んだ分類」では、二つの基準で複合的に分類する課題、連続的な量について分類する課題、なにかの目的のために自分で分類する基準を決めて分類する課題などに進む。ここで生徒たちに与えられるのは、一つの答えがないような状況である。そして、次が大変重要でかつ面白い段階だが、行なった分類のうち、難しかったものはどれか、やさしかったのはどれかを各班から出し合い、むずかしかった理由とやさしかった理由を述べ合う。班によって意見が違う場合それはなぜかについても議論する。その中ではそれぞれの課題についての「正しい分類の仕方」という答えを結論として出すのでもなければ、分類一般の仕方についての形式的な一般論を生徒に押し付けるのでもない、この授業は、十分に慣れたコンテキストの中で分類を自分で組織的に考える作業を体験させ、そしてその作業について討論の中で問い直させるだけなのである。

### 3.3 比率(ratio)と比例性(proportionality)

ここでいう比率(ratio)とは、二つの変数の間の固定された比による関係の( $y = mx$ で $m$ は一定)のことで、たとえば地図の上での長さを実際の長さの関係がわかるといったことを指すのに対して、比例性(proportionality)は、 $a$ 対 $b$ と $c$ 対 $d$ を比べることを意味している。後者は少なくとも4つの独立な変数の操作を必要とする形式的操作である。

授業9「手押し車」では、手押し車のモデルである一本のてこの途中に吊り下げられたおもりの重さと端で持ち上げるのに必要な力の比を調べていく。グラフのないところで、持ち上げるのに必要な力を求めたり(それには、比の関係の内的な理解が必要となる)、さらに進んだ課題として、二つの異なる比を持つてこを比較する問題もふくまれる。

### 3.4 反比例性(inverse proportionality)と平衡(equilibrium)

ピアジェによれば、反比例性の質的な表現は具体的操作だが、その数学的な表現は形式的操作を必要とするとされる。また平衡の概念は、 $a \cdot b = c \cdot d$ という関係の理解を含み、これは少なくとも4つの独立な変数の操作を必要とする形式的操作である。

授業11「つりあいを保つ」では、天秤の一方の腕のある場所にある重さのおもりを固定し、それにつりあうようにもう一方の腕につるすおもりの重さと支点からの距離の関係を調べさせて、反比例性を導入する。後に、授業28「丘を登り、谷を下る」や授業30「つりあいをとりもどす」において、平衡の授業に進むと、天秤のどちらの腕のどこにどんな重さのおもりをつるすとつりあうかを考えさせる。面白いことに、これらの授業を力のモーメントを教える授業として使う誘惑に負けてはならないと釘をさしている。



### 3.5 蓋然性 (probability) と相関性 (correlation)

確率モデルを理解するためには偶然性と因果性の理解が必要であるとされる。相関のパターンは入力変数と結果の変数の間の連関の強さを表現する。この蓋然性と相関性という2つの観念は、生物学や社会科学あるいは実生活における原因と結果の証拠の評価には不可欠である。

蓋然性についての授業はゆっくりと進み、まず授業 13「豆のサンプリング」では母集団を代表するような標本集団にはどのくらいの標本が必要かを確かめ、標本抽出についての初歩的な観念を持つ。つづいて授業 14「豆を育てる」では、メジアン(中央値)と値の分布範囲などから変数の取る統計的な値を見ることを体験する。また授業 15「選択肢」ではすべての場合の数え上げなどを行い、授業 17「コインを回す」ではコインの表が2回、3回、4回と連続して出る頻度と全体の試行回数との関係などを調べ、確率的現象の振る舞いを知る。そして授業 18「紅茶の味見」においては、ティーカップに紅茶とミルクのどちらを先に入れたか味見で見分けられると称する人がいたとして、5回の味見のうち何回当たればその人の能力を信じることができるかという問題について考える。また授業 19「わらじ虫の行動」では、わらじ虫を実際に実験に用い、暗くて湿ったところ、暗くて乾いたところ、明るくて湿ったところ、明るくて乾いたところの4箇所のもっとも多くわらじ虫が行くかを調べ、得られたデータから何を言えるかについて討論する。

### 3.6 説明と予測における抽象的理論の利用 (the use of abstract models to explain and predict)

ここで行うのはピアジェらが形式的モデル(formal model)の構築と利用と呼んだものである。それは抽象的な実体を想像上で操作しなければならないワーキングモデルを使う操作である。Shayer、Adeyらによれば「科学者はこうしたモデルを用いる仮説をつかうことに長けている。モデルは現象を説明したり予測したりするのに用いられ、ある種の現実を表現しているとも言える。抽象的なモデルを用いるには、『ミクロな世界』に入り、その世界の中のどの部分への作用をも他の部分への影響に結びつけることができなければならない。そこでは動的なシステムについて考える能力が必要とされる。」

授業 23「物質の状態を説明する」では、3態変化の説明を生徒に試みさせる。まず描写と説明の違いを学んでいき、つぎにモデル的な説明を試みるが、この段階では決して粒子的(原子論的)モデルを教師から導入したり結論づけたりしない。ついで授業 24「溶液」で溶解の説明を生徒が試み、最後に授業 25「化学反応」で粒子的(原子論的)モデルにもとづいて化学反応を説明することを学び、この3回の授業のモデルをつくる過程自体を振り返る。

### 3.7 複合的な変数 (compound variables)

複合的な変数というのは、たとえば力/面積により導入される圧力、質量(重さ)/体積により導入される密度のように、新たに定義されたその変数自体の量的な大小の理解がなんらかの現象を理解する上で必要となる一方で、要素となっている複数の変数の独立の増減の効果も理解できなければならないような変数である。このような変数の理解には形式的操作が必要となる。圧力とならんで、体積と重さを複合的に考えないと物が浮かぶか沈むかを理解することができない(後述する)認知的葛藤が生じる状況を与える教材も用意されている。

## 4 授業の組み立てとその背景の理論

### 4.1 ヴィゴツキー

こうした思考操作を行っていくためのCASEプロジェクトの授業構成の理論も独自で興味深いものなので、つぎにそれを紹介しよう。Shayer、Adeyらが効果的な授業プランを構成する上でピアジェの研究と並んで参考にしたと述べているのは、知識の形成や理解は第一義的に社会的な過程であるとする考えや最近接発達領域の概念といったヴィゴツキーの思想である。このヴィゴツキーの思想を踏まえながら、授業実践からのフィー

ドバックされて来た意見などを取り入れた改良の結果、授業構成の上ではつぎの5つの観点が重要であるとされている。

#### 4.2 具体的準備(Concrete preparation)

すべての授業は、具体的でしばしば実際の作業や実験から始まり、またいくつかの授業では、授業のほとんどの活動が、その後の授業展開のための準備となる作業や実験に当てられる。これは具体的準備と呼ばれる。ここで目指されるのは、生徒たちに課題の中で用いられる新しい用語に十分慣れさせること、課題の与えられる状況をよく把握させることである。授業中に生徒たちが用いていくうちにより豊かな意味を持つようなキーワードが明示されながら導入される。ここでは、すべての生徒が課題に取り組むことができるような準備を十分に与えることを目的にしている。

#### 4.3 認知的葛藤(Cognitive conflict)

つぎに生徒たちは適切な難しさの課題に出会う。Shayer、Adeyによれば、これはヴィゴツキーの最近接発達領域 (zone of proximal development) という概念およびピアジェの平衡 (equilibration) という概念にもとづいている。この最近接発達領域というのは、子どもが自力では到達できないが、教師などの大人や他の子どもたちの助けを得れば、到達することが可能な学習上の領域で、生徒たちにはそのような領域の課題が与えられなければならない。

#### 4.4 社会的構成 (Social construction)

このCASEプロジェクトの教材でとくに興味深いのは、班やクラスの討論(それは生徒同士のやりとりでも教師とのやりとりでもよい)を生徒の認知的発達の本質的な手段として重視している点である。Shayer、Adeyらはここでヴィゴツキーの考えを全面的に強調する。かれらによれば、ヴィゴツキーが明らかにしたのは、知識や理解の成立はなによりもまず社会的プロセスであるという点である。理解は、まず第1に学習者が参加している社会的な場で生まれ、その後に個人によって内的なものとなる。新しい考えについて述べること、班での討論を通じてそれを探究すること、説明をもとめたり、根拠付けをもとめたりすることは、すべて個人の知識を打ち立てるための不可欠なプロセスである。そこで、この教材の授業プランでは、かならずしもすべての生徒が実験や作業を終了することを求めない一方(教師用ガイドに、2,3の班が終了したら全体の実験をそこで切り上げてよいなどという指示がある場合もある)、グループ討論やクラス討論はかならず組み込まれている。また、討論の過程を十分体験することが重視される一方、端的に言えば生徒が授業の結論を知識として覚えておこうと思うような動機づけはない。

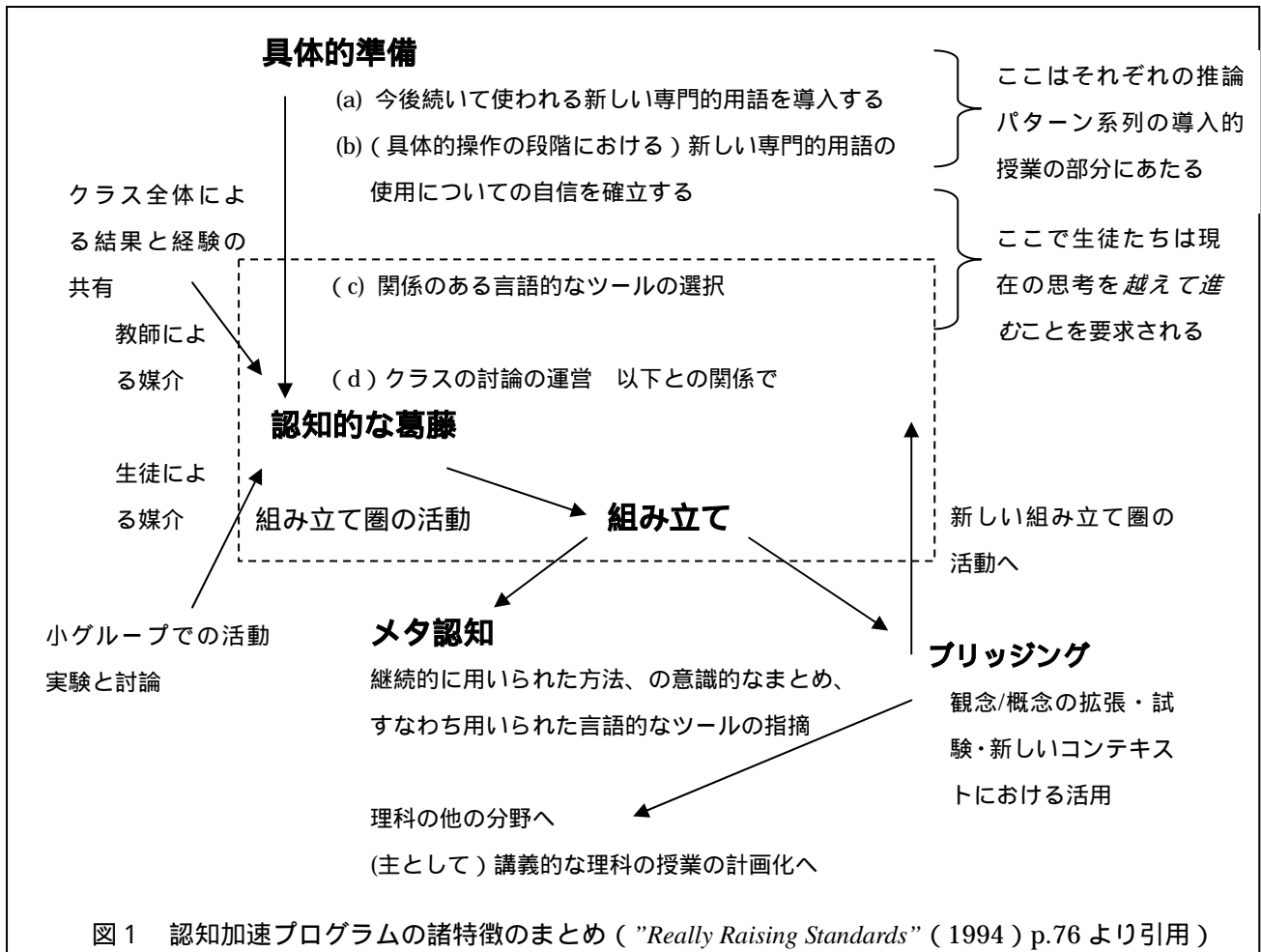
#### 4.5 メタ認知(Metacognition)

メタ認知は、自分自身の思考について思考することを意味している。思考スキルのあらゆるプログラムの成功例はこうしたメタ認知の重要性を証拠だてていると Shayer、Adey らは主張する。そこで、この教材の授業プランでは、ほぼ毎回の授業でその日の作業や討論全体の意味を振り返るクラス全体の討論が組み込まれ、実験・作業・討論の中で自分たちや他の班が行った思考について振り返ることが重視される。たとえば、先に紹介した7「進んだ分類」の授業での終わりの討論はその典型である。

#### 4.6 ブリッジング(Bridging)

ブリッジングはこれらの授業で発展させられた思考のスキルを他の場面でも使うように橋渡しをすることである。これも多くの授業の終盤において教師が意識的に行うようにその都度明確に指示されている。

図3に、以上の観点を組み込んだ授業構成の概念図を、かれらの前著“*Really Raising Standards*”（1994）から引用して示す。



## 5 授業の実例

つぎに著者が勤務校で行った“*Thinking Science*”の授業例をもとに授業の実際の様子について報告しよう。

2002年度に著者が勤める京都女子中学校・高等学校では、中学校において土曜講座という新しい形態の授業を導入した。これは金曜までの正規の授業カリキュラムとは別に、教員の発意によって、より発展的な内容を含む授業を行うものである。著者は、同僚の教師3名（理科2名・数学1名）とともに、中学2年、3年を対象に「理数特論」と名付けた理科と数学の内容にまたがる通年の授業を担当した。受講者は両学年とも約60名程度で、30名のクラスを2クラスずつ設けた。この中で、“*Thinking Science*”の教材を一部用いたのである。ただし授業は第2版にもとづいている。

### 5.1 授業1「変わるものは何か」

授業1「変わるものは何か」から授業5まではすべて、変数の意味とその制御についてさまざまな課題を行っていく。とくにこの授業1は、“*Thinking Science*”全体の導入という意味を持つ。その意味でCASEの授業の雰囲気を理解する上でよい例となるだろう。そこで、この授業1についてはほぼ授業の流れ通り紹介しよう。

授業をたとえばまず、「科学者は何をしているか」という問



図2 さまざまな本

いかけから始める。すると「実験」とか「難しい計算」とか「ロケットを飛ばす」とかの意見が出てくるだろうが、そこで、科学者は「ことなるもの同士のつながり」あるいは「変わるもの」や「変わるもの」同士の「関係」に注目するという話をしていく。たとえば、「ヒイラギの実が多ければ、寒い冬である」、「黒い車は黄色い車よりも事故が多い」というとき、わたしたちはこうした説がどのくらい正しいかをヒイラギの実の数と冬の寒さの間に関係があるかどうかを見ることによって研究することができる、と述べ、板書などしながら「...しかし、わたしたちはまず何に注目するかをはっきりさせなければならない。変わるもの、あるいは違うものは何か？わたしたちは変化するものを表すために『変わるもの』(=『変数』)という言葉を使う。この場合の変数は、『ヒイラギの実の数』と『冬の寒さ』あるいは『事故の数』と『車の色』で、その値は『多い/少ない』、『寒い/おだやか』、『多い/少ない』、『黒い/黄色』などである。...」と話をしていく。

つづいて、生徒全員がよく見える場所に数札の本を広げ、お互いどのように違っているかを自由に挙げさせ(たとえば「大きさ」「色」「表紙のタイプ」その他出てきたものは何でも)、それらを黒板などにリストアップし、この「変わるもの=変数」それぞれに、どんな「値」を取れるか、その例を述べさせる。(たとえば「大きさ」なら大・中・小、「色」なら赤・青・黄色といったものかもしれない。)これは「変わるもの」とその「値」という観念になれるための作業である。(図2参照)

つぎに、大・中・小3つの青い3角形と3つの赤い正方形を黒板などに貼り付け、「変わるもの=変数」とその値を述べさせる。そして簡単なことだが、色と形は関係していることを確認する。そして、もし次に取り出す図形が3角形だと言え、みなはそれが赤だろうと予測できること、つまり変数の間の関係はつぎに何が起きるかの予測を可能にすることを確認する。つぎに、やはり用意した青と赤の3角形と正方形を使いながら、色と大きさが関係するような例を示し直す。(図3参照)

次に、生徒たちは、4つのピーカーを見せられる。ピーカーには番号が打たれ、また青か赤の色が付けられていて、青2つは大きく、赤2つは小さい。生徒からはピーカーの中は見えないようになっていて、その重さは見当がつかない。生徒に「変わるもの=変数」とその「値」と「関係」を述べさせる。重さも「変数」となることを示唆する。そして、つぎに生徒に手伝わせるなどして、各ピーカーの重さを測り、ワークシートの表を完成させるが、下の表のように準備してあるため、重さと大きさとの関係は、「驚くべきことに」何もない。大きさから重さを予想することはできないし逆もできない。すなわち、生徒たちは、変数の同士の間に(予想に反して)関係がない場合を経験する。このような経験は、関係を探するという方法を「外から」眺める上で重要であるとされる。(図4参照)

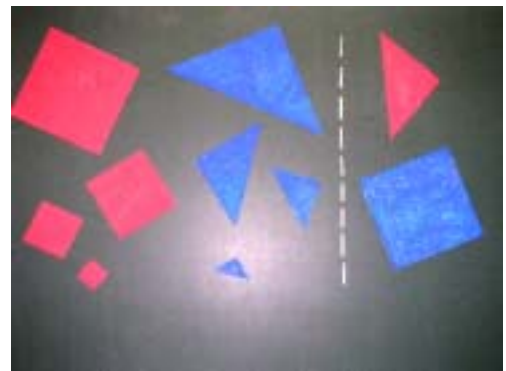


図3 3角形と正方形

番号	色	大きさ	重さ
1	青	大	(150 g)
2	青	大	(250 g)
3	赤	小	(150 g)
4	赤	小	(250 g)

表2 4つのピーカー



図4 4つのピーカー

最後に「変わるもの=変数」とその「値」と「変数同士の関係」を考える、簡単でオープンエンドな課題が与えられる。

以上が第1回の授業の全体である。イギリスの教師にとってはおそらくこれほど詳細にシナリオが設定された授業はあまり経験がないと思われるが、それは授業の目的と方法自体が、通常の理科の授業とまったく異なるからであろう。見てわかるように、生徒がさまざまな活動を通じて非常にゆっくと新しい概念と思考操作に慣れていくことを保障している。まず「変わるもの＝変数」(variables 必ずしも数値を取るものだけのことでないので、授業では最初「変わるもの」という言い方をした)と「値」(values その変数の取る値という意味での)と「関係」という言葉が導入される。ただはじめは、「こちらが増加したとき、あちらも増加する」・「こちらが増加したとき、あちらは減少する」・「(お互い)関係がない」という程度である。この授業の活動は、「おおよそすべて具体的準備」である。

## 5.2 授業2「2つの変数」・授業3「どんな関係か？」

続いて、授業2「2つの変数」では、サーカス形式(実験室内に設置されたいくつかの実験装置を生徒が順番に回りながら実験を行なう形式)で準備されている4つの実験(課題)によって、変数についての具体的準備がさらに行われる。今回は、「入力」(“input”)変数と「結果」(“outcome”)の変数という言葉が導入され、また変数間の関係を考えるという観点の強化が目指される。ここでの作業も、おおよそすべて具体的準備である。実験2は省いても全体の実験後の討論は省略しないようにという注意がされている。(付属参考資料「教師用ガイド」「ワークカード」を参照のこと。)

実験1～第1の実験台には、ワークカードAの図のような(資料参照)滑車とおもりとばねばかりとからなる装置が組み立てられてある。これを見て生徒は、ワークカードの指示にしたがって実験を行い、ワークシートに答える。実験の結果は、比例的である：入力変数の値が増大すると結果の変数の値が増大する。

実験2～第2の実験台には、ワークカードBの図のような(資料参照)大きささまざまな容器が置かれ、水の入った容器1の水を他の容器に入れて、その水位を測るという簡単な測定実験が用意されている。これなど反比例することは自明に思われるかも知れないが、中2・中3の生徒も結構楽しみながら作業した。「直径が大きくなるとともに高さが低くなるというパターンを見るために、直径の大きさの順番に結果を書いて見ること示唆してやるべきかも知れない」という示唆が教師用ガイドにある。

実験3～第3の実験台には、ワークカードCの図のように(資料参照)1週間ほど前に同じ樹木から取られた4枚の葉が置かれている。ただし採取した時点で、その1枚には表裏に、1枚には表だけに、1枚には裏だけに、ワセリンが塗られていて、もう1枚にはワセリンが塗られていない。課題は、ワセリンの塗り方による葉の状態の違いについて、入力変数と結果の変数とそれらの値を挙げて、その関係を述べることである。面白いことに、入力変数は「ワセリンを塗った面」でその値は数量化できない、結果の変数は「乾燥し具合」である。しかしその関係は一つの科学的な発見である。

実験4～第4の実験台にはワークカードD(資料参照)だけが置かれていて、そのワークカードには、さまざまな身長と体重の6人の子どもの絵が描かれている。そして課題は、2つの変数の間に関係は何かを結論づけることである。しかし実際にはこどもたちの身長と体重には関係が存在しない。また、身長と体重のどちらを、入力変数と取ってもよい例ともなっている。こうした例を知ることが、さまざまな関係の認識を「外から」見るのに役立つ。

つぎに授業3「どんな関係か？」では、ばねにつるすおもりの重さとばねの伸びの関係についての実験と、油の温度と油が漏斗を流れ落ちる速さの関係についての実験から、比例関係と入力変数の増加とともに結果の変数が減少する関係についての作業を行う。

## 5.3 授業4「『公正な』テスト」

さらに、授業4「『公正な』テスト」では、材質(ガラス/プラスチック)、長さ(長い、中ぐらい、短い)

幅（広い、中ぐらい、狭い）の違うさまざまな管が用意されていて、これらの3つの「入力変数」の音の高さ（「結果の変数」）への影響を調べるための実験方法を考えることが要求される。ただしルールとして管を調べるときは1回に2本を選び、その2本の音の高さを比べることができることにして、4組の試験例を考えさせる。生徒が実験に取り組んでいる間、生徒の間を回り、どういうテストがよいのかについて尋ねる。そのあと、全体で生徒たちが選んだ試験例が公正なテストになっているかどうかを議論し、一度に一つの変数に注目することなどを結論づける。また理科授業の他の実験やトピックなどに関連づける。そしてやさしく適度にオープンエンドな問題が定着のために与えられる。ただし、面白いことに、「公正なテスト」ということは強調されるが、「変数のコントロール」という方法を特に教師から「与える」べきではないとされる。この授業によって始めて「認知的葛藤」が本格的に与えられる。

#### 5.4 授業5「転がるボール」

変数の制御（コントロール）の授業の最後は、授業5「転がるボール」である。図5のような装置を用意し、鉄、鉛、ガラスなどの材質の大きささまざまで色も変えてあるような球を用意して、下の「目標球」を上

の「転がり球」で動かせる距離を調べる。教師用ガイドの言葉を借りれば、「依然として『変数の制御（コントロール）』についてとくに触れずに、生徒たちに、多変数の課題を行なわせる。その課題は、意味のある結果が生まれるためには変数の制御（コントロール）が不可欠であるようなものとなっている。装置が紹介

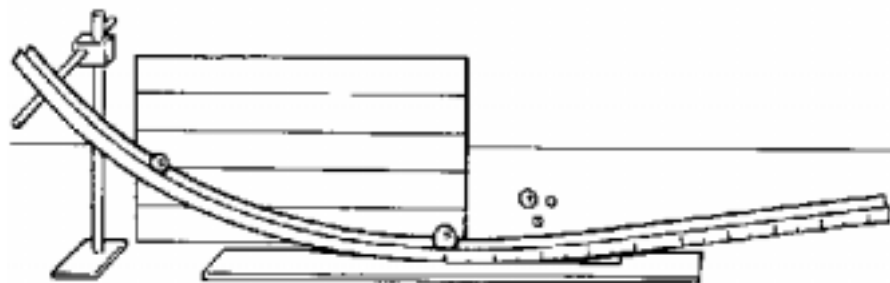


図5 転がるボールの実験器具（“Thinking Science”第2版より）

され、クラスで実験を計画する。」すべての球を並べて見せ、変数を明確にする。『転がり球』『目標球』の大きさ、重さ、色、材質、『転がり球』を離す高さ、あるいは『転がり球』の離す位置から『目標球』までの距離。『目標球』が到達する高さ/距離など、あるいは「これ以外でも生徒が挙げた変数すべて」でよい。つぎに、変数を制御しない例や、およそ無関係な変数を調べて見せる例を選んで『実験』を演示して見せる。生徒がコンテキストを理解した上で、計画ワークシートを配布し、ワークシートに取り組む時間を与える。「この作業は、生徒たちに非常に多くの認知的葛藤を与える。生徒たちは、そこに書かれている実験例の多くがうまく計画されていないことを認識しなければならないからである。」教室を回って質問し、生徒が選んだ理由づけを探る。前回の授業の実験のまとめの討論にふれてもよい。クラス全体の討論で『転がり球』を離す高さとして『目標球』が進む距離の関係を調べる実験を計画するようにもとめる。満足の行く案に合意ができれば、生徒に手伝ってもらってその実験を行なう。最後に「変数同士の関係」についてのいくつかの問題をやることによって「変数」に関するこれまでのすべての学習内容の理解を確実なものにする。

しばらくおいて、授業16「相互作用」の授業でふたたび「変数」が取り上げられるが、一歩進んだ面白い教材になっている。酵母菌が紹介され、そして酵母菌は生きていること（ドライイーストの状態ではいわば「休眠していること」）、活動のためには水が必要であること、さらに呼吸のためには糖分と温度が必要であることが導入される。そして糖分と温度の影響を見る実験を行う。そして糖分と温度の条件がどちらも満たされることによって、もっとも呼吸が盛んになることが観察される。次に鉄さびの形成の実験が行われ、水分と酸素とが揃ったときにさびがもっとも出来ることが観察される。こうして、二つの「入力変数」が合わさって「結果の変数」が大きくなるような現象を見て、それについて考えることになる。



## 6 成果

### 6.1 第7・8学年におけるCASEの実践と5年後のGCSE成績の相関

イギリス内外で、このCASEプロジェクトが注目を浴びている大きな理由は、その実際的な成果、とりわけCASEの実施とGCSE(中等教育一般修了試験、義務教育の終わりにあたって通常16歳時に受験する修了試験)の通常の科目の成績の上昇との相関にある。図6は、ShayerとAdeyの編集になる最近著“*Learning Intelligence*”(2002)から引用したものだ(以下図7・8も同様)。ここでは、第7・8学年すなわち11歳・12歳時にCASEの授業を実施した学校の5年後のGCSE試験の科学の成績の平均を縦軸にとって、コントロール集団としてとられた学校のGCSE成績と比較したものである。(GCSEの評価はABCDEという段階づけで与えられているが、かりに各段階の差を「等間隔」としてプロットしてある。)横軸には、第7学年入学時に行った認知能力の発達段階の同定テストにおける当該学校の平均点が、そのテストの全国結果の百分位数中のどこに位置するかを取ってある。すなわち、当該学校の平均点が、全国結果の百分位数中の下から30パーセントの位置にあれば、そこにプロットしてある。このように整理して、CASEを用いた実験校とコントロール校とを比較すると、CASEなしで期待できる5年後の成績とCASEの効果とを見て取れるわけである。ご覧のとおり結果は驚くべきものになっている。第1にコントロール校の集団内においても、第7学年の入学時の認知能力の発達段階分布についての調査の結果と5年後の科学の成績はあきらかに相関している。これは、認知能力に関する調査の結果の、GCSEのような通常の学力試験結果に対する予言性が高いことを表している。その上で、CASEを実施した学校の集団のGCSE成績は、コントロール校の集団の成績に比べて明らかに高くなっている。その平均的な上昇は、1.05段階(標準偏差0.5)と計算されている。

さらに注目されているのは、他教科の成績との相関である。図7は縦軸に当該校の(5年後の)GCSEの数学の成績の平均を取ってある。(横軸は図6と同じ)ここでもCASEの実施校の相対的な成績上昇は明らかで、その平均的上昇は0.95段階(標準偏差0.5)である。また図8は縦軸にGCSEの英語の成績を取ったもの(横軸は同じ)で、驚くべきことにここでも、平均的上昇0.90段階(標準偏差0.57)のCASE実施校の相対的な成績の上昇が見られる。これらの結果をもとにShayerとAdeyは、心理学でいう一般的な学習転移(transfer)が起きていると言えるのではないかとしている。

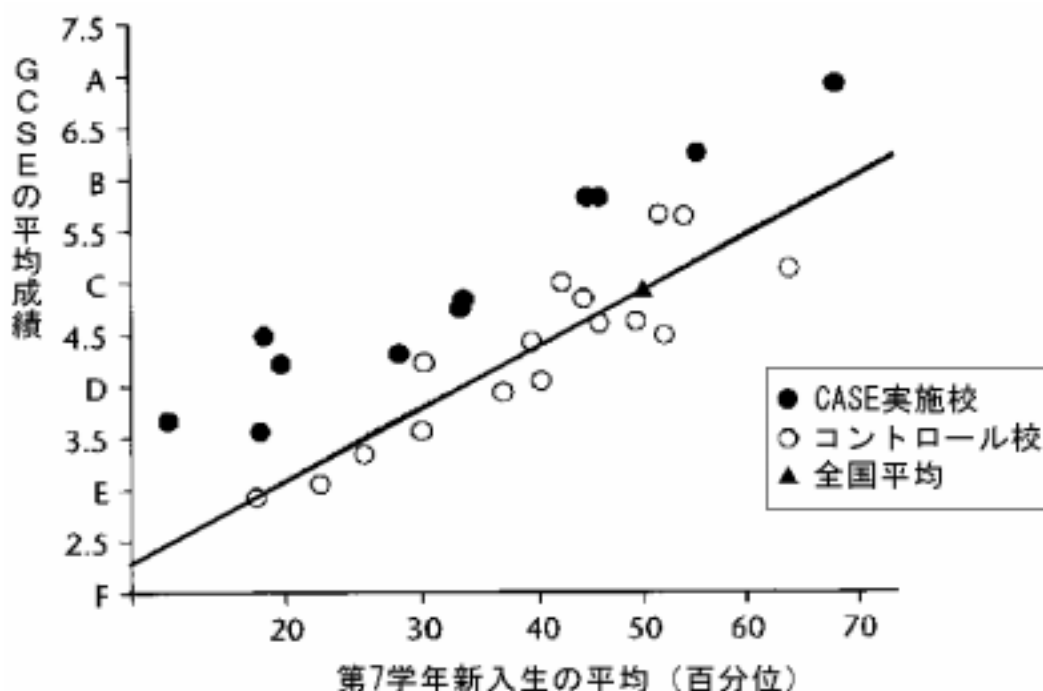


図6 GCSE1999年の「科学」の成績の向上((*Learning Intelligence*”(2002) p.10より)

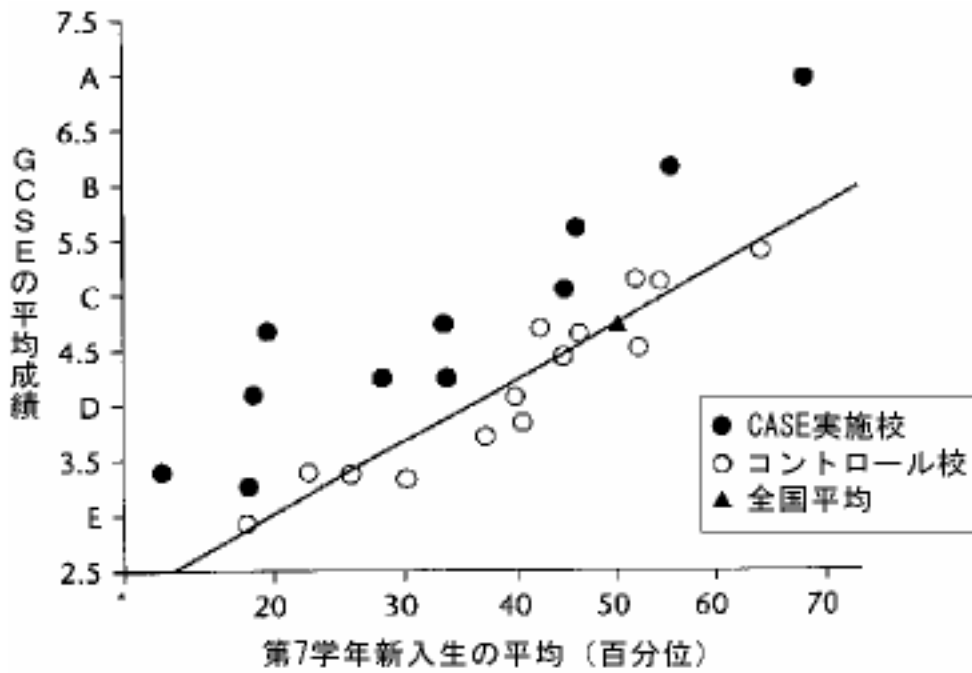


図7 GCSE1999年の「数学」の成績の向上 (( "Learnig Intelligence" (2002) p.10 より )

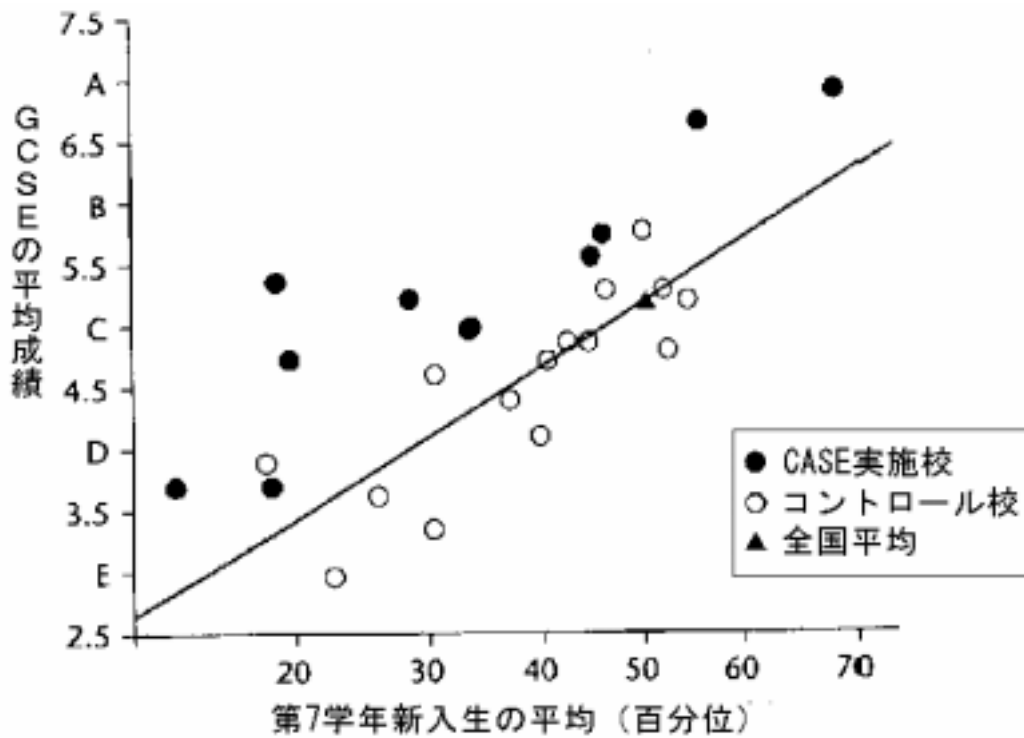


図8 GCSE1999年の「英語」の成績の向上 (( "Learnig Intelligence" (2002) p.10 より )



## 7 最近の発展

つぎにこの Shayer と Adey を中心とする Cognitive Acceleration (CA) の実践と研究の最近の発展について簡単に述べておこう。上に述べたように、CASE プログラムはめざましい成果を挙げつつある。イギリスでは現在ナショナル・カリキュラムのもとで、各学校が義務教育の各段階での全国統一テストの成績を公表されるという圧力のもとにあるなど、「学力」向上熱は高い。その中で、このプログラムは一般的学力を顕著に上昇させる授業として注目されている。しかしそれを別にしても、このプログラムの潜在的な可能性はイギリス内外の理科教師、教育関係者、研究者の注目を大きく集めている。現在は、イギリスでは、他の年齢・学年の教材の開発 CASE@KS 1 (5 歳~6 歳)、CASE@KS 2 (7 歳~8 歳) などが開発されつつあり、また GAME (数学 12 歳~14 歳)、CATE (技術教育)、GAME Primary (数学 9 歳~11 歳) などをはじめ、演劇、音楽、美術などの教科領域において認知能力の発達を目指す教材の開発も行われている。たとえば CASE@KS 1 (5 歳~6 歳) では、ある基準に従った並べ替え、簡単な分類、因果性、視点の移動、さまざまな保存の概念といった(ここでもピアジェに基本的に依拠しながら)具体的思考操作の発達を目指す教材が開発されている。また、イギリスの教師にとっても、通常の授業とは大きく異なる目的と方法を持った授業であるため、CASE を教えるための教師教育のプログラムが開発され、それを通じた CASE の普及が進んでいる。また、国際的な注目もあびていて、少なくともフィンランド、ドイツ、オランダ、マラウィ、韓国、米国などで追試ないし実際の利用が行われ始めている。

## 8 終わりに

最後に、CASE が日本の理科教育にとって持つ意味について、主として中高教員の立場からいくつか私見を述べておきたい。

### 8.1 本格的検討が必要である

まず、何よりも、CASE 本来の趣旨を丁寧に受け止め、その理論と成果を十分に検討し、日本の理科教育に取り入れる可能性を本格的に検討することが必要である。CASE プロジェクトは一方で先に述べたように大きな成果を挙げ、また背景の理論も実際の教材も内容的に非常に興味深いものだが、他方で、通常の理科授業とはその目的と方法が根本的に異なり、とりわけこれまでの日本の理科教育の流れとは根本的に異質である。日本の理科教育は、多くの現場の教員・理科教育関係者が自負しているように、長年にわたる非常に豊富な経験の蓄積をもち、また仮説実験授業をはじめ世界に誇るに足る授業形態も生んできた。しかし、学ぶべき知識・内容の規定が事実上中心となっていた学習指導要領の制約のもとに長年置かれてきたため、この CASE のように、科学の知識内容を教えるのではなく、かと言って実験や作業の実際上のスキルを教えるのではなく、さらには通常言われる「科学の方法」を教えること自体を目的とするのではなく、より一般的な思考操作の能力を長期間をかけて育てようとする授業プログラムが、日本の教育現場の中から生まれることはおろか、現場の教員に自然に理解が広まることもみようみまねで普及することもなかなか難しいだろうと思われる。本格的な検討のための意識的な努力がぜひとも必要である。

### 8.2 思考操作に焦点を当てることの魅力

上記の点を踏まえた上でのことだが、われわれにとって、思考操作に焦点を当てる教材に触れるのは新鮮な体験である。先に紹介した「科学者は、『変わるもの』とその『関係』に注目しているのだ」ということや「変数の制御」の実験における重要性を教えることが大事だということは誰でも同意するだろうが、日本ではそのこと自体を正面から強調する教材はあまりない。この教材ではそのこと自体に焦点をあて、それを子どもたちにゆっくりと体験させ意識させる。筆者が実際に行った授業では、勤務している女子中学校の中2・中3の生

徒を対象としたので、認知能力の発達段階としては、先に紹介した授業を理解困難と感じる生徒は少数で（難しいという感想の生徒もいないわけではなかったが）、多数の生徒は比較的たやすく理解したように思われる。そのような生徒たちは、すでに必要な思考操作が可能な段階にまで達していたが、ただ、そのような観点を明確に指摘されたことがなかったので知らなかったのにすぎないのではないかとも思われた。それでも生徒たちは、これらの授業の目的と方法を非常に新鮮に受け止め、この授業を経ると、通常の理科の実験でも、その実験での「変数」は何かということに注目するのが重要であるということが自然に受け入れられるようになる。面白いことに、その意味で言えば、大学生もまた同様である。大学の理科教育法の授業の中で、この教材を用いた例においても、その次の授業から、実験の計画とレポートが格段に改善される学生が現れるとのことである。（逆に言えば、現実には、高校・大学においても、変数の制御などに無頓着な実験や実験報告をする者が多く、また他人が「公正」でない実験をしたり報告をしたりした時におかしいと言うことはできるのに、自分の報告では自覚的に定式化・言語化はできない場合も多いのである。）

あるいはまた、統計学の理解は、自然科学・社会科学を通じて重要である一方、込み入った思考操作、意味や次元の異なるいくつかの因子や変数を複合的に理解することを必要とするが、日本の高校では学ぶ機会が事実上存在しない。先に紹介したように、この教材のように、初歩的であれ、それをゆっくりと学ばせていくこと自体が注目すべき取り組みだろう。

言い換えると、科学に必要な思考操作を育てる、あるいは科学で必要な観点到自覚的に立てるようにするという目標を、日本の教育関係者は、理科教育の自覚的な目標の一つとしてもっと意識すべきである。たとえば、新しい理科カリキュラムを巡る論議がいま行われつつあるが、新しいカリキュラムを作るのであれば、教科内容の配列だけでなく、どのような思考操作を育てるかを自覚的に設定し、そのためにどの年齢でどのような教材を置き、どのような授業形態を取るかも併せて準備すべきであると思われるが、そのような指摘は今のところほとんどない。もしそのような検討を行うとすれば、この教材はとてもよい参考になるだろう。

### 8.3 CASE 本来の狙い

しかしそれでも、CASE 教材の趣旨としては、各思考操作を各作業を通じて、その都度直接に（逆に言えば互いに独立に）習得させることを目的にしているのではないことに注意する必要がある。すなわち、変数の制御を学んだ、だから変数の制御はもうできる（不確かな人はその意味と手順は覚えておこう）とか、統計学に必要なさまざまな思考操作や手順をしっかりと身につけたということが、それぞれの授業の到達点として問題になるのではない。

あるいは、たとえば中学理科の第1分野や高校の化学を教えた経験がある人ならば誰でも同意するだろうが、化学を教える上でのもっとも大きな難点の一つは、目の前で起きている現象そのものとその原子レベルや化学反応式による説明との対応を生徒に理解させることである。そして、ピアジェらの立場に立てば、これは、たんに教師側の説明のしかたの問題ではなく、直接目に見えない抽象的なワーキングモデルで現象を動的に理解することができるかどうかという思考の形式的操作能力の発達段階に関わることがらである。そしてこのCASE教材では、先に述べたように、この形式的モデルの構築と利用に焦点を当てた授業が含まれている。しかし端的に言えば、それらの授業の目的は、授業を受けたら粒子的（原子論的）説明ができるようになること、言い換えると形式的モデルを使う能力だけをその時間に直接伸ばすということではない。むしろ、“*Thinking Science*”全体の2年間の授業を通じて、形式的操作一般の能力の発達を加速・促進させるのが本来の狙いで、そのために、どの教材も、そのために用意されている、さまざまな形式的思考操作を多様に体験させる教材の一つなのである。（Shayer、Adey は、形式操作は、獲得・未獲得がある程度一まとまりとして起きる、すなわち段階として進むというピアジェの立場に基本的に依拠している。）その点に照らせば、CASE教材の部分的な利用は、時として魅力的であるにしても、CASE本来の長所を生かすことにはならないのである。

## 8.4 授業方法の決定的な違い

こうした背景の理論と狙いを持つために、この CASE の授業とふつうの理科の授業の間には決定的な違いがある。この授業では、現実のコンテキストの中で当該の思考操作が必要な状況で思考する体験を持つこと、それについてのメタ認知やブリッジングや社会的構成の体験をさせることが目的となっていて、そのために教師は、授業の中で生徒が具体的なコンテキストと体験の中で、自分自身で問題の意味を十分理解し考えるようにとくに気を配り、積極的に生徒と対話し、生徒同士の討議も促して、思考の発展を媒介しようとする。その一方、その授業ごとのまとめを押し付けること、結論を覚えさせることなどは必要とされていない。それが、後々の一般的な学力試験の成績の向上につながるような長期的な効果をもつとしたら、それは、日本の現在の教育と対比において瞠目すべきことではないだろうか。

## 8.5 カリキュラムを作る上での客観的裏づけ

最後に理科カリキュラムの検討に対する、CSMS 調査とその分析の意義についても述べておきたい。日本で現在行われているカリキュラム論議の中では、小学校から高校に至るまでを見通したカリキュラムをどのように作るべきかということが焦点の一つになっている。しかし、具体的に、どのトピックをどこに置き、どの程度までを到達目標とするかという問題になると、その議論はもっぱらわれわれの経験的な判断に基礎を置くものとなりがちである。ところが、生徒の非常に多様な能力や発達段階にどのように対応するか、という全体の問題に対するコンセンサスを作ろうとすれば、非常に複雑な現象についての総合的な検討とバランスの取れた丁寧な議論が必要となるだろう。そしてその議論の際には、さまざまな生徒たちにとって各学習内容の程度が適切であるかどうかの議論を、より客観的な俎上に載せて行うことが必要になるだろう。その点では、この CASE 開発の基礎となった CSMS 調査とその分析という Shayer、Adey のもう一つの仕事が参考となるだろう。前著 *“Really Raising Standards”* (1994) の中でかれらは、イギリスのナショナル・カリキュラムについてたとえば次のように論じている。

「到達目標 3 レベル 7 ( f ) 化学反応の速度に影響するファクターを理解すること

1992 年 キー・ステージ 3 SAT5-8、試験 3 パート 1 g (パラフィンの分解のための実験装置の図が与えられている。) 問い 1 この装置は分解反応を速めるために作られたものである。その方法を二つ述べよ。 問い 2 分子を用いて、なぜその二つの方法が分解を速めることになるのか説明せよ。

分析: 第 1 問目は、単に、学習ずみの具体的な原因-結果というシェーマによって答えることができる。: 反応は温度と触媒とによって促進される。しかし第 2 問目は、熱と触媒の働きによって分子の活性化が起きるといった観点からの理解を必要とする。このためには、適切な説明を与えるような抽象的(形式的)モデルを必要とする。レベル 7 は 16 歳の平均的生徒によって到達可能であるものと想定されている。しかし第 2 問に答えるために必要な思考の型を用いることができるのは、その年齢の生徒の 32 パーセント以下に過ぎない。

(*“Really Raising Standards”* (1994) P.36)

われわれはこのような観点についてよく考えてみなければならない。

(おわり)

付記 この文章はもともと CASE について日本の中学・高校の理科の先生方に紹介することを念頭に書き始めたもので、今回、国立教育政策研究所の小倉康氏のお誘いで Adey 先生をお迎えしたフォーラムで短い報告をするにあたっての資料として、予稿集に載せていただくことになり急いでまとめました。今後、さまざまな方々のご意見などを聞いて改稿し、何らかの形であらためて発表したいと考えています。

参考文献

- 1) Shayer,M. and Adey,P. 1981: *Towards a Science of Science Teaching*, Oxford, Heinemann Educational
- 2) Adey,P. and Shayer,M. 1994: *Really Raising Standards* Cognitive Intervention and Academic Achievement, London, Routledge
- 3) Shayer,M. and Adey,P. ed. 2002: *Learning Intelligence* Cognitive Acceleration Across the Curriculum from 5 to 15 years, Buckingham, Open University Press
- 4) Shayer,M., Adey,P. and Yates,M.1995: *Thinking Science* 2nd edition, Nelson, Walton-on-Thames
- 5) Shayer,M., Adey,P. and Yates,M. 2001 : *Thinking Science* 3rd edition, Nelson, Walton-on-Thames

参考資料 1 “Thinking Science”(第2版)教師用ガイドの内容例 授業2 「2つの変数」

第3版では、各授業がレッスン1~30と呼ばれ、その中の各実験・作業がアクティビティと呼ばれているが、第2版では各授業がアクティビティ1~30と呼ばれていて、各実験・作業には統一した呼び名がない。ここに掲載しているのは、勤務校での授業の試行のために著者が試した教師用ガイドで、第2版にもとづいている。

## アクティビティ 2 2つの変数

## 変数

### イントロダクション

このアクティビティでは、いくつかの実験をサーカス形式(訳注 実験室内に設置されたいくつかの実験装置を生徒が順番に回りながら実験を行なう形式)で行なう。どの実験にも二つの変数が関係する。このアクティビティの目的は、

- (a) 「入力」(“input”)変数と「結果」(“outcome”)の変数という言葉を導入する(「独立」変数・「従属」変数という聞きなれてはいるが間違いやすい言葉の代わりに、こうした言葉を用いることを薦めたい)
- (b) 変数と関係についての認識を強化する、

という2点である。

このアクティビティも、おおそすべて(ピアジェの説で言う)具体的準備(**concrete preparation**)である。ただし葉っぱについての実験は、一つの認知的な葛藤(**cognitive conflict**)を引き起こし、生物学的な話題への「ブリッジング」(**bridging**)の機会を与えるだろう。

各実験へ割り振る時間は10分ずつ程度でよい。授業時間が50分しかない場合には、実験2を省いてもよいが、実験後の討論は省略しないこと。

### 装置の要約

**注意** 実験3については、前もって準備をしておくことが必要である。

実験室に、(4つの実験について)各実験2セットずつ合計8セットの実験装置を準備して、各実験のワークカードとともに配置しておく。

実験1 滑車、力測定器(ばねばかり)、おもり、ワークカードA

実験2 直径がいろいろな円筒形の容器、ワークカードB

実験3 4枚の葉っぱ、表にワセリンを塗ったもの、裏にワセリンを塗ったもの、両方に塗ったもの、どちらにも塗っていないもの、ワークカードC

実験4 ワークカードD

### 生徒一人ずつに

#### ワークシート

### 手順の要約

- 1 変数間の関係について再度要点を確認する 今度は「入力」変数の値が変わるとともに、変化が起きる、そこで「結果」の変数に何が起きるかを見る
- 2 4つの実験を順番に見ていこう
  - 1 滑車:「入力」変数を大きくしていくと「結果」の変数も大きくなっていく例
  - 2 液体の高さ: 直径が大きくなるとともに液体の高さが低くなるというパターンを発見するように促

す

- 3 葉っぱ：生徒たちは水がワセリンを通して漏れることができないということを仮定して、そこからふつうは葉っぱのどちらの面から水が漏れているのかを導き出す
  - 4 身長と体重： 関係がなり例（どちらを「入力」変数としても「結果」の変数としてもよい）
- 3 結果の討論 理科の授業の中での他の実験・実習の例と関連づける

### 手順の詳細

- 1 (10-15分) 前回の授業で導入した変数（訳注 われわれは「変わるもの」という言い方で導入した）と変数同士の関係について、生徒たちに思い出させる。二つの例についてOHP原稿が用意されている。通常の理科の授業の中から、該当する例をいくつか示すとよい。

今回の授業では、生徒たちは、変数についてさらに探求を深め、一つの変数が変わる実験をいくつか行ない、そのとき他の変数に何が起きるかを見る。実験者(生徒または教師)が変化させる変数は「入力」変数と呼ばれる。入力変数はわれわれがある程度制御できる変数である。たとえば重さを増やすときには、重さが入力変数である。というのは変化させるかどうかをわれわれが決定できるからである。

もう一方の変数、すなわちわれわれが何かを行なった結果として変わる変数の方は、「結果」の変数である。もしばねに吊るすおもりの重さを大きくするなら、ばねの伸びの長さが結果の変数である。

- 2 (30-35分) 生徒を数人ずつの班に分け、4つの実験を示し、それぞれ「順繰りに」何をしていくかを説明する。役に立つ内容上の知識が副産物として得られることもありうるが、それぞれの実験における変数とその変数間の関係が重要であることを強調する。

(A)「滑車」の実験は、直接的である：入力変数の値が増大すると結果の変数の値が増大する。

(B)「液体の高さ」の実験では、直径が大きくなるとともに高さが低くなるというパターンを見るために、直径の大きさの順番に結果を書いて見ることを示唆してやるべきかも知れない。

(C)「葉っぱ」の実験はもっともむずかしい実験である。入力変数は「ワセリンを塗った面」で、結果は「乾燥し具合」である。

(D)「こどもたちの身長と体重」の実験は関係が存在しない場合の例である。また、どちらを、入力変数と結果の変数と取ってもよい例ともなっている。

- 3 (10分) 全員が実験を終了したらそれぞれの実験の結果について討論する。なるべく多くの生徒に自分たちの答えとそこにいたる考えとを、クラスに対して発表させる。他の理科の実験・実習の例を思い出させて、「入力」変数が何で「結果」の変数が何かを尋ねる。これは「ブリッジング」(bridging)である。

訳注 variable、input variable、outcome variable の訳について

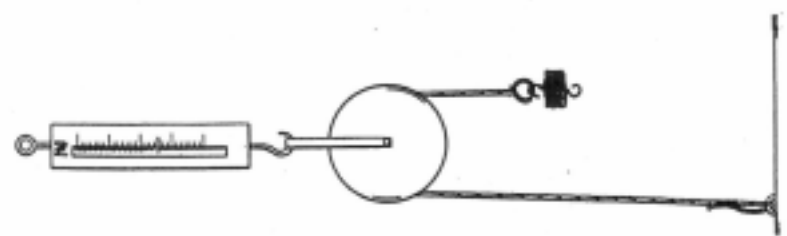
このThinking Science教材でのvariablesは、数であるとは限らないので、アクティビティ1では、「変わるもの」とやさしく訳したが、アクティビティ2では、input variableを「入力変数」、outcome variableを「結果の変数」というように訳した。「変わるもの」というままでは用語になりにくいからである。また、outcome variableを、input variableに対応させて「出力変数」と訳すかどうか迷うところだが、原語が“output”ではないし、出力と言う言葉もこの実験の文脈では生徒に分かりにくいと思うのでここでは「結果の変数」とした。

アクティビティ 2  
2つの変数

ワークカードA

変数

1 滑車の実験



ばねばかりと滑車とを使用して、下図のよう  
におもりを持ち上げなさい。

ばねばかりの目盛りの読みは、おもりを持ち  
上げるのに、あなたがどれだけの力を使っ  
ているかを示している。

3個または4個の異なる質量のおもりでやり  
なさい。各々の質量に対して、それを持ち上  
げるのに必要な力を見つけてなさい。

ワークシート(1の部分)の表に記入して、  
質問に答えなさい。

つぎのように、1個の質量は  
20gです。



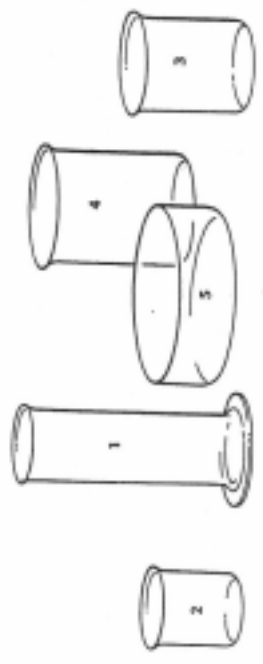
アクティビティ 2  
2つの変数

ワークカードB

変数

2 液体の長さ

いくつかの容器がある。それぞれ、高さや幅が異なっている。

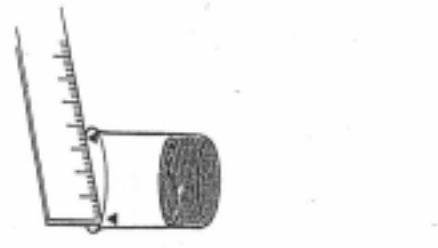


最も小さいのは、100 cm<sup>3</sup>のピーカーである。

100 cm<sup>3</sup>のピーカーのふちまで、水をいれなさい。  
よく注意して、その水を他の容器に注ぎなさい。

その容器の中の水の直径(容器の内側の幅)を  
測定しなさい。ワークシート(2の部分)の表  
にその直径を記入しなさい。

水の深さを測定しなさい。



その結果をワークシート(2の部分)の表に記入しなさい。

その水を他の容器に注いで、その中の水の直径と深さを測定しなさい。

すべての容器に対して、同じことを行って、測定結果を表に記入しなさい。  
ワークシート(2の部分)の質問に答えなさい。

アクティビティ 2 ワークカードC  
2つの変数

変数

3 木の葉

新鮮な木の葉は水を含んでいる。木の葉が水を失うとき、それは乾燥して縮む。

木の葉はその表面から、または裏面から、または両面から水を失うであろう。この実験は、木の葉のどの面から水が失われるかを見つけるための実験である。

2日前に木の葉の面にワセリンを塗った。ワセリンが塗られた面からは水は逃げ出すことができない。

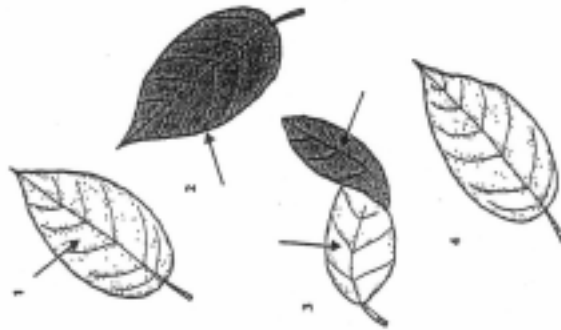
吊るしてある4枚の木の葉を見なさい。

木の葉1は、表面にワセリンが塗られている。

木の葉2は、裏面にワセリンが塗られている。

木の葉3は、両面にワセリンが塗られている。

木の葉4は、両面共ワセリンが塗られていない。



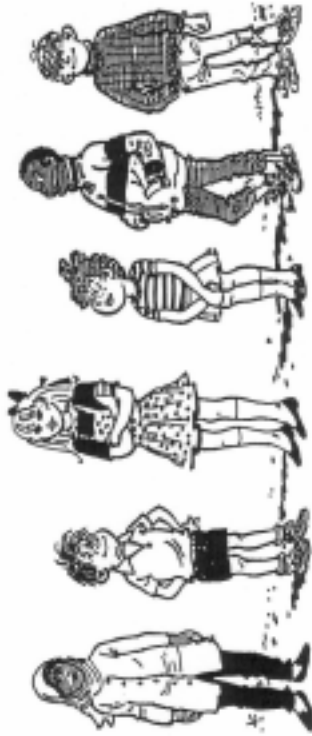
ワークシート (3の部分) の表に記入して、質問に答えなさい。

アクティビティ 2 ワークカードD  
2つの変数

変数

4 身長と体重

ここには6人の子供の絵がある。



名前	ベーナ	クラータ	シヤロン	スーザン	ロバート	リー
身長 cm:	148	146	151	142	149	144
体重 kg:	43	31	38	35	34	42

各人の身長 (センチメートル単位) と体重 (キログラム単位) が、おれらの絵の下に書かれている。

ワークシート (4の部分) の表を完成させなさい。各人を身長順に並べて、最も背が高い人を最初に、最も高い人を最後に記入しなさい。

表が完成したら、質問に答えなさい。



## 第 6 章

### 科学的探究能力の育成と教員研修

樋口 真須人（大阪府教育センター）



# 科学的探究能力の育成と教員研修

樋口 真須人  
大阪府教育センター

## 1 はじめに

児童・生徒の科学的探究能力を系統的に育成するためには、探究活動を指導する教員が探究に必要なスキルの内容とその発達に対して共通の認識を持ち、発達段階に対応した指導を行うことが必要である。英国では、GCSE(中等教育修了一般資格)の科学の試験においても、探究活動について共通の評価基準を定め、探究活動で必要なスキルの達成状況を評価することによって、科学的探究能力の育成を行っている。著者は英国の GCSE 科学における探究活動の調査を行い、大阪府教育センターにおいて、2年前から英国の研究能力の育成方法の紹介と探究活動のあり方を考える研修を実施している。本報では、平成 15 年度に実施した小中学校理科長期指導者研修について報告する。

## 2 研修について

### (1) 研修の目的

英国の探究能力の育成法を紹介し、GCSE の方法に従った探究活動を行い、英国で育成が図られている科学的探究能力とはどのようなものであるかを考える。

### (2) 研修の概要

平成 15 年度に実施した研修の概要を下に示す。

#### < 第一日目 > ルーブリック（評価基準）と研究力の育成

教育評価について

英国の探究活動

- ・ ナショナルカリキュラムにおける「科学的な探究」
- ・ ナショナルテストにおける探究に関する設問

GCSE 科学のコースワーク

- ・ コースワークの評価について
- ・ 研究レポートの作成の要点

評価トレーニング

- ・ サンプルの採点練習
- ・ グループでの検討

#### < 第二日目 > GCSE 科学の探究活動の模擬体験

振り子をテーマにした探究活動

研究レポートの作成

#### < 第三日目 > まとめ

研究レポートの検討

### (3) 研修内容

#### < 第一日目 > ルーブリックと研究力の育成

教育評価について

相対評価や目標に準拠した評価について、それらの評価の特徴を概説した。また、探究活動には、「論理的な思考ができる」や「証拠に基づいた結論を導くことができる」などのスキルが含まれており、このような高次のスキルは、正解・誤りのような2分法的な評価が難しく、ルーブリックを利用した評価方法が適していると考えられていることなどを解説した。

## 英国の探究活動

邦訳した英国の科学のナショナルカリキュラム(2000年版)を使って、科学のナショナルカリキュラムの特徴と『科学の探究』の到達目標などを解説した。また『科学の探究』で育成することを求められている探究能力を、より具体的に理解することを目的として、ナショナルテスト(キーステージ2、キーステージ3)の『科学の探究』の設問を使った演習を行い、意見を交換した。研修で使用したキーステージ2(7~11歳)の設問の一例<sup>1)</sup>を下に示しておく。

**例題 . 買い物袋**

- a) 子どもたちは、5種類の買い物袋を使って、袋が壊れるまで耐えられる最大の質量を調べている。子どもたちは、袋が壊れるまで、0.5kgの砂のパックを加えていった。子どもたちが調べようとしているテーマは、次のうち、どれか？  
一つ正しい答えを選び、✓印をつけよ。

一番大きな袋はどれか？

一番長持ちしないのはどれか？

運びやすいのはどれか？

最も大きな質量に耐えられる袋はどれか？

一番伸びる袋はどれか？

- b) 子どもたちは、kg単位で袋が壊れる直前の質量を記録した。

**袋が耐えることができる質量(kg)**

	スーパー	マート	セイバー	バジェット	オーケー
テスト1	4	3	7	8.5	6
テスト2	1	3.5	7.5	8	6
テスト3	4	3	7.5	8	6

おのおのの袋について、3回ずつテストした理由を答えよ。

- c) ある袋の実験結果が正しくないようである。再テストを行った方がよい袋はどれか？

その理由を説明せよ。

- d) ある子どもは、バジェットの袋が一番強いと言っている。

バジェットの袋が一番強いと決定するのに十分な実験結果がそろっているか？  
正しい答えを一つ選び、✓印をつけよ。

はい

いいえ

その理由を説明せよ。

### GCSE 科学のコースワーク

「GCSE 科学の資格の取得をめざす生徒は、所属している学校で科学の授業の一部として探究活動を行い、研究レポートを提出する。教員は提出された研究レポートを読み、『計画』、『証拠の入手』、『証拠の分析』、『評価』に区分された研究技能分野の修得状況を確認し、探究活動を評価する」というコースワークのシステムを解説し、各技能分野のレポート作成の要点を示した。また、評価基準（ループリック）<sup>2)</sup>の内容と評価方法について詳細な説明を行った。以下に「計画」分野のレポート作成上の要点と評価基準を例示した。

#### <レポート作成上の要点>

- ・予想（仮説）を立て、今後起こることを説明しているか？
- ・予想（仮説）の理由について説明しているか？  
（自分の持っている知識、教科書・データベースなどから得た情報により説明する。教科書を丸写ししないで、自分の言葉で説明すること）
- ・実験器具のリストを作成しているか？
- ・要因がどのように影響を与えるか予想できているか？
- ・一定に保つべき要因と変化させる要因が示せているか？
- ・何を測定するつもりか明確に示しているか？  
（測定範囲と測定回数を示すこと。使用する実験器具から予想される精度を示すこと。）
- ・計画について詳細に記述しているか？  
（安全や予備実験について）

#### <評価基準>

得点	技能内容	難度
2点	・簡単で安全な手順を計画できる。	↓
4点	・正しいテスト、実験手順を計画できる。適切に予想を立てることができる。 ・適切な器具を選択できる。	
6点	・科学的な知識・理解を使って、実験手順を計画し、変化させる要因・一定に保つべき要因・考慮すべき要因を見つけ、適切に予想することができる。 ・観察や測定の適切な回数や範囲を決めることができる。	
8点	・詳細な科学的な知識・理解を使って、適切な戦略を立てることができる。正確で信頼できる証拠事実を集める必要性に配慮し、予測の根拠を適切に示す。 ・適切に、二次的な情報源や予備実験の情報を使うことができる。	

#### 評価トレーニング

コースワークに対する教員の評価を統一するために、GCSE の資格授与機関はグループモデレーション(教員研修)を実施している。このグループモデレーションを参考として、GCSE 科学で求められている探究能力をより深く、具体的に理解するために、GCSE 科学のコースワークのループリック(評価基準)に従った評価トレーニングを以下のように実施した。なお、評価トレーニングでは、資格授与機関の OCR がウェブページに掲載している研究レポートのサンプル(「物体の質量がモーターの効率に与える影響について」)<sup>3)</sup>を教材として使用した。

- ( ) 研修生一人一人がサンプルを読み、評価基準に従って、採点を行う。
- ( ) 採点結果について、グループ(3~4名)内で討議を行い、グループとして結論を出す。
- ( ) グループの結論を報告した後に、資格授与機関が例示している採点結果と比較を行う。
- ( ) ループリックを利用した評価などについて意見を交換する。

## <第二日目> GCSE 科学の探究活動の模擬体験

「振り子」をテーマとした探究活動を GCSE 科学のコースワークの方法により以下のように実施した。

- ( ) GCSE 科学での探究活動の要点の確認。
- ( ) グループ(3～4名)で探究活動を実施。
- ( ) GCSE のコースワークの評価基準に従い、研究レポートを作成する。

一例として、研修生が作成した「振り子の研究」のレポートの一部(「計画」の部分)を下に示しておく。

# 振り子の研究

研究者氏名 英国 太郎

## 1. 計画

### (1) 目的

単振り子の長さが周期に与える影響について

### (2) 変数

独立変数 : 糸の長さ

従属変数 : 20回の振動にかかる時間

一定に保つ変数: 振れ幅、おもりの質量、空気の抵抗、重力

### (3) 予想

振り子の長さが増加するに従って、振り子の周期も増加すると考える。その理由は、振れ幅を同じにしたときに、振り子の長さが長いほど最高点での位置エネルギーが小さくなるからである。最高点での位置エネルギーが小さくなると、最下点での速さは小さくなり、振り子が往復にかかる時間(周期)は長くなると予想される。

### (4) 方法

全ての実験器具を集める。

おもりの質量を測定する。

おもりを糸に結びつけ、右図のように実験装置を組む。

分度器を使って振れ幅を一定の角度に保つ。

ストップウォッチを使って20回の振動にかかる時間を測定し、記録する。なお測定は、振り子が最下点を通過するときに行う。

信頼性を高めるために、5回繰り返す。

糸の長さを変えて、測定を行う。



## 実験器具のリスト

糸、スタンド、分度器、ものさし、ストップウォッチ、おもり

## 危険性の評価

危険な内容は含まれていない。

## 変数表

従属変数	測定値	測定方法
周期	20回の振動にかかる時間を測定。 一つの系の長さについて5回繰り返す。	デジタルストップウォッチ
<b>独立変数</b>		
系の長さ	20 ~ 160cm まで (20cm 刻みで)	物差し
<b>一定に保つ変数</b>		
振幅	小さい (10 ° 以下)	分度器
質量	10 g	電子天秤
空気の抵抗	極めて小さい	
重力	9.8 N/kg	

### (5) 予備実験のデータ

おもりの質量を変化させる

質量を 4.2 倍にしたが、時間に対してほとんど影響がなかった。

長さ (cm)	質量 (g)	振幅 (cm)	時間 (振動回数は 20 回) (s)
50	67.9	10	28.42
50	287.6	10	28.23

振幅を変化させる

振幅を 3 倍にしたが、時間に対してほとんど影響がなかった。

長さ (cm)	質量 (g)	振幅 (cm)	時間 (振動回数は 20 回) (s)
50	67.9	10	28.42
50	67.9	30	28.45

長さを変化させる

長さを 4 倍にしたら、時間は約 2 倍となった。

長さ (cm)	質量 (g)	振幅 (cm)	時間 (振動回数は 20 回) (s)
20	67.9	10	17.71
80	67.9	10	35.84

、 から、振れ幅とおもりの重さは、周期には影響しないことが分かった。そこで、単振り子の長さとの関係について、振れ幅とおもりの重さを一定にし、実験を行うこととした。

以下省略

### <第三日目> まとめ

他グループから提出された研究レポートを、GCSE 科学のコースワークのルーブリック（評価基準）に基づき、レポートの優れた点、改善が必要な点をグループ内で議論した。その後、自分たちが作成した報告書と模範レポートとの比較を行い、さらに GCSE 科学の探究活動への理解を深めた。

### 3 我が国の探究活動への示唆

最後に、我が国で児童・生徒の科学的探究能力を系統的に育成するための課題として次の二点をあげておく。

#### (1) 「探究的な学習」をより明確に

英国の科学のナショナルカリキュラムは、『科学的な探究』(Scientific Enquiry)、『生命過程と生物』、『物質と性質』、『物理的な過程』から構成されており、『科学的な探究』は4分野のうちの一つとなっている。

アメリカの科学のナショナルスタンダード<sup>4)</sup>では、『探究としての科学』(Science as inquiry)は、8分野のうちの一つとなっており、カルフォルニア州のスタンダード<sup>5)</sup>においても、『探究と実験』(Investigation and Experimentation)は、『物理』、『化学』、『生物』、『地学』と並ぶ一つの分野となっている。我が国の教育現場において「探究的な学習」がこれまで以上に活発に行われるようにするためには、より明確に「探究的な学習」を位置づけることが必要であろう。

また、研修において、探究スキルの内容や到達目標についての具体的な理解を研修生に与えるために、ナショナルテストの『科学の探究』の設問を使った演習を行った。筆記テストで全ての能力を評価することはできないが、ハイ・ステイクスなテストで探究に関する設問を課すことは、探究スキルの内容を分かりやすく示し、教育現場における探究活動の活性化に役立つと考えられる。

#### (2) 探究活動の評価について

ルーブリックを使用すると、評価がより客観的で系統的なものになる、評価基準を事前に示すことにより、児童生徒がより明確な目標を持って学習ができるなどの利点があるが、直ちに全ての評価者が首尾一貫した評価ができるわけではない。研修においても、GCSE のグループモデレーションを参考とした評価トレーニングを研修生に対して実施したが、十分な説明のための時間が取れなかったこともあり、各グループの採点結果は必ずしも資格授与機関が示した模範の採点結果と一致しなかった。ルーブリックを効果的に使用するためには、分かりやすく共有しやすい評価基準の開発、豊富な事例集、情報の提供、効果的なトレーニング(教員研修)などの支援システムの構築が必要であると考えられる。

### 参考文献

- 1) QCA Sample Materials <http://www.qca.org.uk>
- 2) OCR Teacher Support : Coursework Guidance Booklet , (2001)p.14
- 3) OCR Teacher Support : Coursework Guidance Booklet , (2001)p.31
- 4) National Science Educaion Standards , National Academy Press , (1995)p.111
- 5) Science Content Standards for California Public Schools <http://www.cde.ca.gov/board/pdf/science.pdf>



( 参考 ) 英国における設計・ものづくり教育と  
「 創造的問題解決能力 」 に関する研究

- 1 . イングランド OCR 試験局の中等教育修了一般資格試験  
“ Design and Technology ” の評価規準とポートフォリオ

磯部征尊 ( 兵庫教育大学連合大学院生 ) 、 山崎貞登 ( 上越教育大学 )

- 2 . 北アイルランド 4 ~ 11 歳の ‘ Science and Technology ’  
の学習プログラム

伊藤大輔 ( 兵庫教育大学連合大学院生 ) 、 山崎貞登 ( 上越教育大学 )



日本産業技術教育学会誌第45巻第2号(2003)55~66

## イングランドOCR試験局の中等教育修了一般資格試験 “Design and Technology”の評価規準とポートフォリオ†

### Assessment Criteria and the Portfolio Assessment of “Design and Technology” in the General Certificate of Secondary Education by the OCR (Oxford Cambridge and Royal Society of Arts Examinations) Examination Board in the United Kingdom

磯部 征 尊\*      山崎 貞 登\*\*  
Masataka ISOBE      Sadato YAMAZAKI

連合王国の技術科教育課程のスコープとして重視される「技術科固有の認識方法」である designing/design process (Layton, 1993) と、「科学の問題解決プロセス」「一般的な問題解決プロセス」の類似性と相違性について、非計量多次元尺度法を用いて比較した。その結果、designing/design processのうち、「必要性の調査」「複数のアイデアの創造・工夫と選択」「製作品の試験」は、「一般的な問題解決プロセス」や「科学の問題解決プロセス」と比較して、ポートフォリオ評価法で重視される「反省的思考力」の軸方向に集中して散布図に位置されることを明らかにした。さらに、OCR試験局のGCSE試験Design and Technologyのコースワークにおける「ポートフォリオ評価法」の評価規準と評価基準を現地調査に基づき調査した結果、評価規準と評価基準は、designingのプロセスに対応して設定され、工夫・創造力の育成が重視されることを明らかにした。

キーワード：連合王国, Design and Technology, designing, ポートフォリオ評価法, 反省的思考力

#### 1. 緒 論

「教科の再編・統合を含めた将来の教科等の構成の在り方について、早急に検討に着手する必要がある(第15期中央教育審議会第一次答申, 1996: p.38)」<sup>1)</sup> などに見られるように、中学校技術・家庭科技術分野(以下、技術科教育)をはじめ、各教科の存在を保障する主体が何か今日問われている。教科の存在を保障する根拠については多くの先行研究が見られる。これらの先行研究のうち、単一学会を超えた組織的な研究は、特に、教科教育課程研究に対する影響が大きいと思われる。日本学術会議第1部に所属する日本教科教育学会等の教科教育系学会から構

成される「教科教育学研連」における一連のシンポジウムの議論も注目される。同シンポジウムにおいては、教科の存在を保障する根拠として、「(1)認識対象の違い、(2)認識の方法の違い、(3)学問ないしは科学の知識体系のちがひ、(4)子どもの活動領域のちがひ」を挙げている<sup>2)</sup>。

「(1)認識対象の違い」及び、「(2)認識の方法の違い」に着目し、海外の技術科教育の教育課程を見渡すと、「技術教育の認識対象」「技術教育の認識方法」を、教育課程のスコープ(領域・範囲)として位置づけ、各スコープについて学習者の発達水準に沿ってシーケンス(配列・系統性)を設定している事例が多い(山崎ら, 2001)<sup>3)</sup>。我が国では、日本産業技術教育学会(1999)<sup>4)</sup>が普通教育としての技術教育課程の「認識対象」と「認識方法」として、「技術教育固有の対象と内容構成」及び、「技術教育固有の認識方法(技術的課題解決力:英語では“technological problem solving,” “designing/design process”)」<sup>5)</sup>を提案している。技術科教育固有の認識方法としての「問題

(2002年11月25日受付, 2003年5月25日受理)

\* 兵庫教育大学大学院生

\*\* 上越教育大学

† 2001年12月本学会技術科教育分科会第7回研究会(神戸)にて発表

解決的な学習」に関する先行研究は、これまでも幾つかの報告がなされている<sup>6)</sup>。しかし、技術科教育固有の「問題解決的な学習」と、他教科や「総合的な学習の時間」の「問題解決的な学習」との相違点と類似点については、先行研究が極めて少ない。従って、技術科教育における問題解決プロセス、または「designing/design process」と「一般的な問題解決プロセス」「科学の問題解決プロセス」との共通点・相違点を比較検討することは、「技術科の存在意義」を保障するために重要であると考えられる。

連合王国<sup>7)</sup>の普通教育とひその技術科教育は、Craft, Design and Technology (以下, CDT), Design and Technology (以下, DT) のように、「技術教育固有の認識方法」を重視するために、教科名に design の名称が加えられ、designing 力の育成が重視されている<sup>8)</sup>。一方、海外の技術科教育における design 及び、designing は、様々な概念規定がある (Layton, 1993<sup>9)</sup>; Province of British Columbia Ministry of Education, 1995<sup>10)</sup>; Yi, 1996<sup>11)</sup>; Wu et al., 1996<sup>12)</sup>)。

連合王国の技術科教育に関する日本の先行研究は、数多く報告されている。design の重要性を指摘した論文として、白沢 (1989)<sup>13)</sup> や柴田 (1995, 1997)<sup>14-15)</sup>、木村・佐貫 (1994)<sup>16)</sup>、村田 (1989)<sup>17)</sup> などの先行研究がある<sup>18)</sup>。白沢 (1989) は、design とは、「製作方法・製作計画を考案する一連の活動で、CDT の中心をなしている (白沢, 1989; p.76)」と報告した。木村・佐貫 (1994) や村田 (1989) は、CDT 教科の目標や内容についての特徴の一端を明らかにした。しかし、design の定義づけや、DT 教科に design が使われている理由に関しては、述べられていない。

柴田 (1995) は、初等学校用の技術科教科書の内容を検討し、その内容構成及び、方法上の特徴として、学習活動の「定型」を紹介した。柴田 (1995) は、その「定型」には、一連の学習活動を示しており、design 活動と称されていることを指摘した。一方、design 活動の内容に関して、柴田 (1997) は、教科書の内容を中心に検討を行い、designing を「デザイン工程」<sup>19)</sup> と紹介した。また、5～16歳段階の教育課程及び、技術科教科書の内容構成は、「デザイン工程」を想定した活動中心の教授・学習が要求されており、児童・生徒の発達水準に応じて系統的に示されていることを報告した。しかし、「designing/design process」と「一般的な問題解決プロセス」「科学の問題解決プロセス」との共通点・相違点について比較

検討した国内の先行研究は、管見の限りない。

我が国では、2002年(平成14年)から小中学校の全教科において絶対評価が完全実施された。しかし、各教科では統一スタンダードとしての評価規準と評価基準がなく、その作成が各学校に委ねられている。そのため、保護者や地域への説明責任に耐えうるような客観性・妥当性のある到達度評価の実施が課題である。一方、連合王国では、16歳時、18歳時修了時に卒業資格試験が実施されている。16歳時の卒業資格試験(以下, GCSE試験)<sup>20)</sup>を実施する試験局は複数存在し、評価規準・評価基準<sup>21)</sup>は、各試験局でスタンダードが設定され、試験局間での標準化が行われている。GCSE試験の技術教科DTの試験内容は、筆記試験とコースワーク<sup>22)</sup>である。コースワークとは、自由製作によるものづくり及びポートフォリオ制作のことである(OCR, 1998)<sup>23)</sup>。しかし、技術科教育のGCSE試験に関する国内先行研究のうち、試験の評価内容・方法や、「ポートフォリオ評価法」<sup>24)</sup>の詳細について言及した先行研究は、管見の限りない。

そこで、本研究の第1の目的は、Layton (1993)<sup>9)</sup>の Technology/design process<sup>25)</sup> と、「Science process (以下、科学の問題解決活動) モデル」や「一般的な問題解決活動 (General model for problem solving) モデル」との共通点・相違点について、統計分析及び現地調査で探究することである。特に、designing 過程と、ポートフォリオ評価法で重視される生徒の反省的思考力 (reflective thinking) の関連に着目する。第2の研究目的は、OCR試験局<sup>23)</sup>のGCSE試験<sup>20)</sup> Design and Technology (以下, DT) のコースワークの「ポートフォリオ評価法」の観点・評価規準を現地調査により明らかにすることである。

## 2. designing/design process の特徴

### 2.1 Collins教科書とLayton (1993) のdesigning/design process の概念

我が国の技術科教育では、design を「設計」と訳す場合が多い。日本の中学校技術・家庭科教科書では、「設計」を、「どんな機能が必要かを考えよう→材料を選ぼう→じょうぶな構造を考えよう→構想をまとめ、図にかき表そう (間田・中村, 2002; p.34-35)。」<sup>26)</sup> 「設計では、製作にかかる費用や使う目的、条件をふまえ、機能やじょうぶさ、形などを考えて図に表します (石田ら, 2002; p.10)。」<sup>27)</sup> と説明している。

日本の技術科教師には、連合王国の design や

designing概念について、ほとんど知られていない。また、designingの和訳は何か、共通理解があるとは言い難い。

そこで、本研究では、DT教科のdesign及び、designingの概念を検討するため、複数出版されている技術科教育の教科書の内、柴田(1997)が内容分析を行ったCollins Educationalから出版されている教科書(以下、Collins教科書)<sup>28)</sup>を研究対象とした<sup>29)</sup>。

同書には、design概念が、3つの異なる側面から説明されていた。第1は、電話の形状が歴史的な経緯と共にどのように変化してきたのかという例が示されていた。第2は、製品に関する問題解決の例示であった。第3は、コミュニケーション手段としてのdesign、すなわち、テレビやポスター、雑誌としてのdesignであった。テレビやポスター、雑誌が与える情報や伝言が、design概念の一つとして示されていた。

一方、designingは次のように定義されていた。

“designing is concerned with the whole process from identifying a problem, through to creating a solution and then testing it (Breckon, 1991; p.6).”

designingとは、問題の動機や必要性に関する認識から、解決に向けた創造や、分析等の活動までを通した全過程を意味する(筆者和訳)。

しかし、同教科書では、designingと、「科学の問題解決プロセス」や「一般的な問題解決プロセス」との共通点・相違点についての記述は見られなかった。Collins教科書のdesigningに対し、Layton(1993)は、Technology/design process及び「科学の問題解決プロセスモデル」、「一般的な問題解決プロセスモデル」を、「問題解決プロセス(Problem-solving processes)」の一種として位置付けていた(表1)。Collins教科書のdesigning内容分析の結果、Layton(1993)のTechnology/design processとの共通性が明らかとなった。そこで、本研究では、以後両者をまとめてdesigning/design processと表記する。Layton(1993)は、これらの活動の共通点・相違点を指摘していた。「科学の問題解決プロセス」とdesigning/design processの共通点・相違点としては、以下の点を指摘している。

“The descriptions of the activities employ common terms, such as ‘generating a problem/detailing a problem’, ‘planning’ and ‘evaluation’(Layton, D., 1993: 47).”

両者の活動は、「問題の一般化/問題の詳細化」や「計画」、「評価」における一連のプロセスが共通して

いる(筆者和訳)。

“For science, if the theory or hypothesis ‘fit the facts’, if it does not breath the canons of good scientific practice (e. g. parsimony, replicability), then contextual preferences external to science play on part. In contrast, the products of technological activity have to satisfy diverse external criteria. Not only must the product ‘work’ (i.e. do what it was intended to do), but also it must satisfy a range of other conditions which may include environmental benignity, cost, aesthetic preferences, ergonomic requirements and market size. ‘Doing science’ is different, therefore, from ‘doing technology’(Layton, D. 1993: 48)”

科学は、理論もしくは仮説が事実に一致していれば、それがたとえ良き科学的実践の規範(例えば、節約、再生可能性など)が示されていない場合においても、科学に対する状況的で外的規準は、些細な要因に過ぎない。一方、技術的な活動によりつくられた製品は、多様かつ外的な規準を満たしていなければならない。すなわち、製品は、機能する(予め意図されたことを行う)ばかりだけでなく、温度環境、コスト、美的嗜好、人間工学的要求、市場規模などを含む、一定範囲内の状況に一致しなければならないのである。それゆえ、「科学すること」と「技術すること」とは異なる(筆者和訳)。

しかしながら、designing/design process及び「科学の問題解決プロセスモデル」、「一般的な問題解決プロセスモデル」の3つの活動プロセスにおける共通点や相違点について、詳細な記載は示されていない。

## 2.2 非計量多次元尺度法によるLayton(1993)のdesigning/design processの特徴

本節では、Layton(1993)の表1のdesigning/design processと、「科学の問題解決プロセス」「一般的な問題解決プロセス」とを比較検討し、designingの特徴を明らかにすることを目的とする。

研究対象は、Layton(1993)<sup>9)</sup>の表1及びYi(1996)<sup>11)</sup>とした。Layton(1993)<sup>9)</sup>の文献を選択した理由は、Laytonが、普通教育としての技術科教育の役割と共に、科学教育との関係を極めて考慮していたためである<sup>30)</sup>。本研究では、比較の対象項目として、表1の計18項目に着目した。Yi(1996)<sup>11)</sup>を選択したのは、同論文が、連合王国とアメリカの最も著名な技術教育関係者らを対象(連合王国30人、

イングランドOCR試験局の中等教育修了一般資格試験 "Design and Technology" の評価規準とポートフォリオ

表1 問題解決プロセス (Problem-solving processes)

一般的な問題解決プロセス (General model for problem solving)	科学の問題解決プロセス (Science process)	技術/design 活動 (Technology/design process)
①. 問題の理解	⑦. 自然現象の認識	⑬. 必要性の調査
②. 問題の詳述	⑧. 問題の詳述	⑭. 必要性の詳述
③. 解決案の考案	⑨. 仮説の提案	⑮. アイデアの考案
④. 解決案を1つ選択	⑩. 仮説を1つ選択	⑯. アイデアを1つ選択
⑤. 活動	⑪. 実験	⑰. 製作
⑥. 結果の評価	⑫. 結果と仮説の適合度	⑱. 製作品の試験

出典: (Layton, Technology's Challenge to science education, 1993, p.46.)

アメリカ33人)とし、技術教育における問題解決 (problem solving in technology education) 観に関する質問紙調査結果を詳細に分析した研究のためである。同論文は、各モデルのプロセスを比較・検討する指標として、重要であると判断した。比較の対象項目としては、表2の技術教育の問題解決目標 (Goals of Problem Solving in Technology Education) に着目した<sup>31)</sup>。

表2の16項目の内、項目3の「designingスキルの発達」を比較の対象項目からはずした。その理由は、designingの概念探究が本研究の目的であり、比較の

表2 技術教育の問題解決目標 (Goals of Problem in Technology Education)

1. 技術における過去の経験
2. 調査・探究スキルの発達
3. designingスキルの発達
4. 計画・製作スキルの発達
5. 思考スキルの発達
6. 表現・伝達スキルの発達
7. 個人または、集団による作業能力の発達
8. 仕様書・製品の評価
9. 安全性に対する注意力の発達
10. 材料や道具、メカニズムの理解・活用
11. 技術的システムの理解・応用
12. 操作/技術的システムの理解・応用
13. 技術教育で学んだ経験を実践的問題や他の課題に適用する力
14. 技術や個々の関係、社会、環境の相互作用を分析する力
15. 生活の質を向上させる興味・関心を深く創造する力
16. 日常生活で生じている問題・現象に対して、批評できる力

(出典: Yi, Problem Solving in Technology Education at the Secondary level as Perceived by Technology Educators in the United Kingdom and the United States, 1996, p.86. を基に筆者らが再構成した)

対象項目として取り扱うことができないからである。従って、各モデルのプロセス (計18項目) と「designingスキルの発達」項目を省いた計15項目の問題解決目標を比較検討することとした。その際、2段階からなる評定尺度を作成した。そのプロセスを実行する上で、直接的に関与・関連する力を「1」とし、それ以外を「0」の数値を与えて分析した。

前節で述べた評定尺度を基に、マトリックスを作成した。この比較検討は、筆者らを含む計3人で行われた。検討者によって「1」または「0」のように、異なる数値結果が見られた項目は、協議して判断した。次に、マトリックスの結果に基づき、18項目のプロセスに対し一対比較を行い、「1」尺度の不一致の個数を計算した。その結果を順位尺度として、非計量多次元尺度法を行った。同分析には、SAS (MDS プロシジャ) を用いた。

次元数の決定理由について述べる。非計量多次元尺度法は、「因子分析の固有値のように、あてにできる統計量がないので、mconvergeとgconvergeの基準の0.01に反復推定が達し、反復が収束したときBadness-Of-Fit Criterionが十分小さいか、また、距離と最適変換データのプロットが直線に近いかなどで判断する (山際・田中, 2002; p.116)」<sup>32)</sup> 手法である。従って、本研究は、Badness-Of-Fit Criterionが十分小さいか、また、距離と最適変換データのプロットが直線に近いかという点に着目した結果、3次元解を採用した。その時のBadness-Of-Fit Criterionは0.08であった。

各変数の2次元プロットを図1に示す。プロットを見ると、⑪「実験」と⑰「製作」が第1次元の正の方向、⑬「必要性の調査」と⑮「アイデアの考案」、⑱「製作品の試験」、⑫「結果と仮説の適合度」、⑥「結果の評価」が負の方向に分かれていた。正の方向

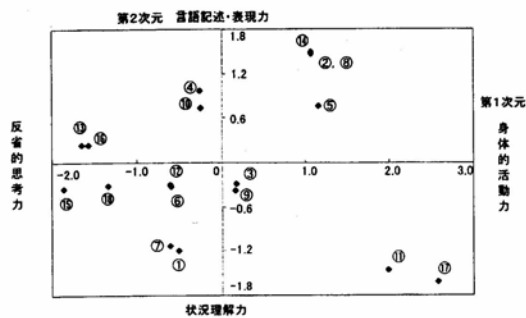


図1 各活動プロセス(合計18項目)の二次元プロット図

は、その時々状況に応じて、身体表現を伴う外的活動であると考えられる。一方、負の方向に集約された項目は、事前に想定していたものとは異なる予想しなかった出来事に出会い、状況との反省的な会話を通じて、問題を設定し直し、新たな意味を発見していくという一連の内的プロセスであったと考えられる。これは、「反省的思考」<sup>33)</sup>に基づいた実践であると考えられる(Schön, 2001)。従って、第1次元の正方向を「身体的活動力」、1次元の負の方向を「反省的思考力」と命名した。また、第2次元の正方向に、⑭「必要性の詳述」と②・⑧「問題の詳述」がプロットされた。これら3項目は、自分が設定した問題を、他者へ表現・説明していく外的活動である。一方、第2次元の負の方向に、①「問題の理解」と⑦「自然現象の認識」が分布した。これらの項目は、周囲の状況を把握して、新たな発見をしていく内容活動が中心である。そこで、第2次元の正方向を「言語記述・表現力」、負の方向を「状況理解力」と命名した。

図1より、特徴として2点が考えられる。第1点は、⑰「製作」と⑪「実験」の項目であった。他の項目に比べ、極めて離れた位置にプロットされた。また、⑰「製作」が右下、⑪「実験」が左上にプロットされた。

第2は、⑬「必要性の調査」⑮「アイデアの考案」⑯「アイデアを1つ選択」⑰「製作品の試験」の項目であった。これら4項目が、他の項目に比べ、「反省的思考力」の軸方向に集中して散布図に位置されていた。これら4項目は、全てdesigningの各プロセスであった。つまり、ものづくりの活動には、身体的活動と共に、反省的思考の両面が関連していると考えられる。

### 3. OCR試験局GCSE試験“Design and Technology”教科のコースワークの評価規準

#### 3.1 研究目的

designing/design process過程が、どのような評価の観点・評価規準を用いて評価されているのかを探るため、OCR試験局のGCSE試験DT教科を検討することを研究目的とする。

#### 3.2 研究方法

2001年6月21～26日の6日間、筆者らは、スコットランドのパス(Perth)市に所在する10歳から18歳までの中・高一貫した私立Strathallan学校を訪問<sup>34)</sup>し、技術教科DTの授業見学を行った<sup>35)</sup>。主に、GCSE試験用のポートフォリオ制作や、ものづくりの様子を調査した。筆者らは、技術担当教官からDT教科の聞き取り調査により、OCR試験局の試験シラバス<sup>36)</sup>の資料を入手した。本研究では、OCR試験局<sup>23)</sup>が作成するGCSE試験シラバスを中心に分析・考察を行った。

#### 3.3 試験及び評価内容・方法

GCSE試験の技術教科DTの試験内容は、筆記試験とコースワーク<sup>37)</sup>であった。コースワークとは、自由製作によるものづくり及びポートフォリオ制作のことである(OCR, 1998)。コースワークの評価の対象(Assessment Objectives)を表3に示す。

表3より、コースワークの評価対象は、designingに対応して設定されていると考えられる。一方、各評価対象の評価規準(Coursework Assessment)と評価基準の一部を表4に示す。表4より、各評価対象の評価基準が、4段階から数値設定されていた。

試験シラバスに示されている評価規準と評価基準は、事前に学校の教員及び受験者に公表されていた。

表3 OCR試験局“Design and Technology”の16歳時試験(1998)

評価対象	配点(点)
1. ものづくりの動機付け・必要性の理解	4
2. 調査	12
3. アイデアの創出	14
4. 計画	14
5. 展開(製作)	48
6. 評価と改善	8
合計	100

イングランドOCR試験局の中等教育修一般資格試験 "Design and Technology" の評価規準とポートフォリオ

表4 コースワークの各評価対象の評価規準と評価基準（一部）

学習の到達段階 (Level of Response)	配点
<b>1. ものづくりの動機付け・必要性の理解</b>	
・作りたいものを、きちんと表現できる。	0-1
・使用者の動機または、必要性のどちらか一方を考慮した上で、作りたいものを表現することができる。	2
・使用者の動機及び、必要性の両面を考慮し、作りたいものを明確に表現することができる。	3
・使用者の動機及び、必要性の両面を考慮し、作りたいものを明確かつ、正確に表現することができる。	4
<b>2. 調査</b>	
・自分の製作目的を探究することができない。 ・既製品の寸法や大きさ、特徴など、ある程度の認識を持っている。	0-3
・検証データまたは、集積データを基に、製作品の使用目的を調査している。 ・既製品に対して、幾つかの評価を行っている。	4-6
・検証データ及び、集積データを基に、製作品の使用目的を調査している。 ・既製品に対して、使用者のニーズを考慮した評価を行っている。	7-9
・製作に関連のある検証データ及び、集積データを基に、使用目的の調査を十分に行っている。 ・既製品に対して、使用者のニーズを反映した評価を十分に行っている。	10-12
<b>3. アイデアの創出</b>	
・1, 2つの解決案を提案できる。もしくは、自分の解決案をほとんど提案できない。	0-3
・幾つかの解決案を提案できる。また、問題の状況に応じて自分の解決案を提案することができる。	4-6
・自分の必要性に応じた解決案を提案できる。チェックリストの結果から、ある程度自分の解決案を選択できる。	7-10
・自分の必要に応じた解決案を広範囲にわたって提案できる。 ・必要性や目的を満たしているかどうかの詳細な評価及び、考察結果から解決案を提案できる。	11-14
<b>4. 計画</b>	
・幾つかの材料や製作方法を確認している。また、完成品の模型製作を試みている。	0-3
・調査結果を基に、必要な材料や製作方法、道具を適切に選んでいる。 ・製作に向けて、モデリングによる製作品のチェックをしている。	4-6
・製作に向けて、モデリングや試験を行っている。 ・適切な技法を用いて、上手に表現している。	7-10
・製作品の構想を十分把握しており、モデリングによって修正箇所の調査や修正を行っている。 ・適切な技法を幅広く用いて、質の高い表現を行うことができる。	11-14
<b>5. 展開（製作）</b>	
・ほとんど計画ができていない。また、使用する材料や道具、装置を選ぶことができない。	0-12
・適切な材料や道具、装置を使用することによって、問題を克服している。 ・アドバイスを受けながら、作業にふさわしいスキルや技法を活用している。	13-24
・見通しをもって製作に取り組んでいる。 ・作業手順に従って、適切な技法を行っている。	25-36
・材料や道具、装置等の知識を十分に備えており、状況に応じて順応する力を持っている。 ・作業に適切な技法を自主的に考え、実行している。安全な作業手順を極めてよく理解している。	37-48
<b>6. 評価と改善</b>	
・製作品の詳細に関して、適切なコメントができていない。また、どこを改善したらよいか分からない。	0-2
・製作品の詳細及び、材料や道具の使用に関して、適切なコメントをしている。 ・表面的な改善しか行えない。	3-4
・製作品の詳細及び、材料や道具の使用に関して、的を射たコメントや自己評価を行っている。 ・製作品や制御装置に対し、必要な改善を行っている。	5-6
・製作品の詳細及び、材料や道具の使用に関連のある評価を行っている。 ・製作品や制御装置の一層の改善や発展に向けて、幾つかの案を考案している。	7-8

※評価対象は、ゴシック体で示した6点である。評価規準と評価基準は、「・」印で示された項目と配点である。



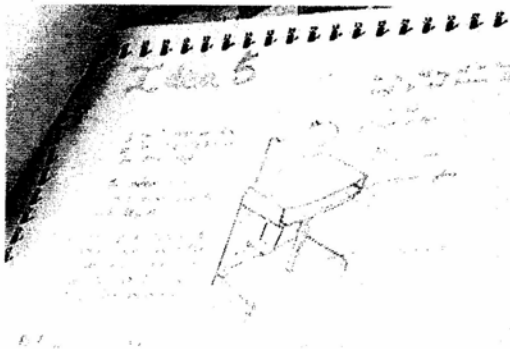


写真1 アイデア第5案

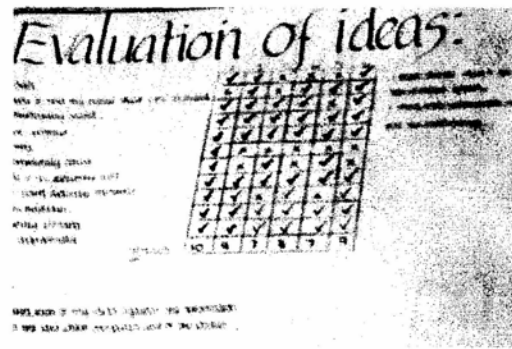


写真2 アイデアチェックリスト

学校の教員は、評価規準と評価基準に基づいてカリキュラムを構想していた<sup>38)</sup>。受験者は、評価規準と評価基準の要件に従い、ポートフォリオ評価法に基づくポートフォリオ制作と製作を行っていた。一方、コースワーク評価は、各学校の教員及び試験局係官の両者から採点されていた<sup>39)</sup>。

### 3.4 ポートフォリオ評価法の実際

筆者らは、生徒のポートフォリオ学習過程を観察した。生徒たちの凝縮ポートフォリオは、約30～40枚から成り、表4の評価規準に基づいて構成されていた。本稿では、特に「アイデアの創出」の点を中心に報告する。「アイデアの創出」では、様々な種類の雑誌から複数のアイデアを創出し、構想図を描いていた(写真1)。生徒たちは、製作品のアイデアを5, 6つ以上考案していた。各アイデアには、その考案した理由や、特徴、利点が記載されていた。複数のアイデアを記載後、生徒たちは、自分たちの製作目的に基づき、チェックリストを作成していた(写真2)。

児童・生徒たちは、チェックリストの結果から、アイデアを一つに絞り、そのアイデアをさらに検討した。写真1, 2より、「生徒それぞれの違いを考慮した評価であること」「生徒が自己評価(ふりかえり)の目当てをもつこと」「学びの目当て(goal)へ向かって進歩の過程をオンゴーイングに生徒自身が評価活動すること」に焦点をおいた「アセスメント(assessment)」としての評価活動が行われていたと考えられる(寺西, 2000)<sup>41)</sup>。一方、小田(2001)<sup>42)</sup>は、資料やデータからアイデアを幾つか抽出し、比較・予測をし、代案を出すことによって、自分なりに知識を修正したり、自己構成することができると指

摘している。研究対象の生徒は、ポートフォリオ評価法によって、知識の自己構築が図られ、工夫・創造する力が育成されていたと考えられる。

以上述べたように、生徒たちは各自、A3用紙に具体的な記述、描写、写真の貼り付け等を行いつつ、具体的な形や色の調和的な配置や動きの感じを表現していた。つまり、技術教科DTのポートフォリオは、プレゼンテーション・ツールの1つとして、自分の作品の良さや特徴を相手に伝えるためのファイルであったと考えられる。また、全体を通して、ポートフォリオは、自己の表現力や説明力、プレゼンテーション能力の向上に貢献していたと解釈できる。

## 4. 総合考察

本研究の結果、生徒たちのdesigningの各過程において、「ポートフォリオ評価法」により、実践の事後に出来事を振り返る行為だけでなく、活動を展開しながら反省的思考を巡らした反省的な実践が展開されていた(佐藤, 2001)<sup>43)</sup>。また、行動しながら思考を巡らすことで、本当の意味での生きた活動となり、「実践的な知」を獲得することができると考えられる(龍崎, 2002)<sup>44)</sup>。「実践的な知」の獲得に向けて、教師及び生徒たちは、ポートフォリオ評価を展開していた。そこで、図1の結果や現地調査結果を踏まえ、反省的思考に着目したDT教科におけるポートフォリオ評価法と各designing過程の関係を図2に示す<sup>45)</sup>。

図2の主たる特徴は、各プロセスのコアに「ポートフォリオ評価法による内省と改善」を位置付けたことである。子どもたちの各活動プロセスは、ポートフォリオ評価法により、内省や反省的思考の繰り返

イングランドOCR試験局の中等教育修一般資格試験“Design and Technology”の評価規準とポートフォリオ

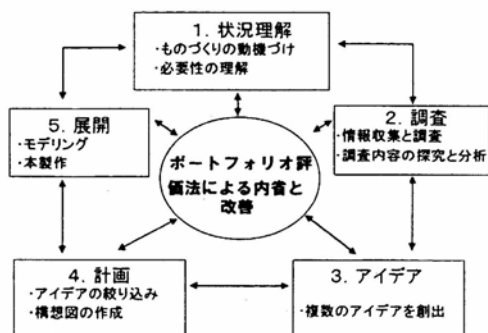


図2 ポートフォリオ評価法と各designing過程の関係

しが絶えず実践されていたと考えられる。また、自分の製作動機や必要性に最も相応しいアイデアを一つに絞り込む過程であったと言える。

連合王国では、反省的思考を重視したdesigning力を伸長かつ評価するために、ポートフォリオによって評価が行われていた。ポートフォリオの評価活動を通じて、絶えず自己や他者との「自己内対話」「自己変容」が展開されていたと考えられる。ポートフォリオ評価が行われる前に、評価の観点及び、評価規準が示されていた利点として、村川(2001; p.75)<sup>46)</sup>は、「子どもが「具体的にどうすればいいかが分かる指導が行われているので効果的である」と述べている。一方、教師にとっては、「子どもによる知識の再構成を促すような指導言を身につけることができる」ようになると言われている(西岡ら, 2001; p.77)<sup>47)</sup>。また、ポートフォリオを含むGCSE試験の評価が、複数の教師や試験官から行われていた。また、GCSE試験のシラバスや評価を実施した背景としては、「公的なアカウントビリティ(public accountability)」を明らかにするという目的があった<sup>48-49)</sup>。従って、「アセスメント」としての評価活動の中には、「公平性」と共に、「アカウントビリティ」の観点が重視されていたと考えられる。

技術科教育における問題解決的な学習方法として、“プロジェクト・メソッド”が従来注目されていた(細谷, 1980; 大河内, 1988; 城, 1990; 佐藤, 1991)<sup>50-53)</sup>。“プロジェクト・メソッド”では、最終的な結果を判断・評価(evaluation)することに重点がおかれていた。一方、連合王国のdesigningは、最終的な完成品のみではなく、図2に示したように、問題状況の把握から絶えず間ない評価(assessment)が行われている。日本の技術科教育は、問題解決的な

学習が重視されている。技術科の教科としての存在意義が問われている今日、「技術科の問題解決的な学習プロセス」について、一般的な問題解決プロセスや理科の問題解決プロセスを比較し、それらの類似性や相違性についての説明責任を伴う教育実践が今後求められる。

## 5. 結論

連合王国の技術科教育課程におけるスコープとして重視される「教科固有の認識方法」であるdesigning/design processと、「科学の問題解決プロセス」「一般的な問題解決プロセス」の類似性と相違性について、非計量多次元尺度法を用いて比較した。その結果、designing/design processのうち、「必要性の調査」「複数のアイデアの創造・工夫と選択」「製作品の試験」は、「一般的な問題解決プロセス」や「科学の問題解決プロセス」に比べ、ポートフォリオ評価法で重視される「反省的思考力」の軸方向に集中して散布図に位置されることを明らかにした。さらに、OCR試験局のGCSE試験Design and Technologyのコースワークにおける「ポートフォリオ評価法」の評価規準と評価基準について現地調査した結果、評価規準と評価基準は、designingのプロセスに対応して設定され、工夫・創造力やプレゼンテーション力の育成が重視されることを明らかにした。

## 註

- 1) 第15期中央教育審議会第一次答申：21世紀を展望した我が国の教育の在り方について、文部省(編集)、文部時報1437号、ぎょうせい、p.38, 1996.
- 2) 降旗勝信：教科教育学の成立条件—人間形成に果たす教科の役割—、東洋・蛭谷米司・佐島群己(編集代表)、東洋館、1990.
- 3) 山崎貞登(研究代表者)：横断的テーマ「情報技術」から生徒の学びの総合化をはかる教育実践研究、平成11年度～平成12年度上越教育大学研究プロジェクト研究成果報告書(課題番号 99224)、p.45, 2001.
- 4) 日本産業技術教育学会：21世紀の技術教育—技術教育の理念と社会的役割とは何か—そのための教育課程の構造はどうあるべきか—、『日本産業技術教育学会誌』第41巻3号別冊、1999.

- 5) 細谷俊夫ら編著(1990)『新教育学大事典』第一法規によると、「問題解決学習」とは「学習者がすすんで学習問題をとらえ、解決思考の学習活動をしながらか、これを追究し解明していく学習方法(p.381)」である。一方、「課題学習」とは「学習過程における子どもの経験を目的で主体的なものにするために、特定の主題や課題の下に教材と学習活動を組織して展開する学習の様式(p.454)」である。前掲<sup>4)</sup>では、「技術的問題解決」ではなく、「技術的課題解決」としている。理由は、「ものづくりに関わる問題を技術的視点で認定し、課題化して、一定の制約条件のもとで最適化を図りつつ解決する(日本産業技術教育学会, 1999; p. 5)」<sup>4)</sup>活動が重視されているからである。
- 6) 先行研究としては、例えば、以下の文献が挙げられる。桐田襄一：技術・家庭科における学習効果の評価尺度について、『日本産業技術教育学会誌』第33巻3号, pp.149-155。左田和幸・松浦正史：技術的な課題の問題解決過程におけるプランに関する基礎的研究、『日本産業技術教育学会誌』第36巻1号, pp.1-8.など。
- 7) 連合王国は、イングランド(England)、ウェールズ(Wales)、スコットランド(Scotland)及び北アイルランド(Northern Ireland)の4地域であり、各地域はナショナル・カリキュラムあるいはガイドラインを持つ。詳細は、以下の文献を参照のこと。志水宏吉：「変わりゆくイギリスの学校」、東洋館出版社, p.17, 1994。
- 8) 先行研究としては、例えば、以下の文献が挙げられる。柴田徹：ナショナル・カリキュラムの技術教科書内容への影響とその教育史的意味 - イギリス技術教育内容史研究の方法論の視点から -、『産業教育学研究』第27巻第2号, 1997. 掲上書3)など。
- 9) Layton, D.(1993). Technology's Challenge to science education. Buckingham, U.K.: Open University Press.
- 10) Province of British Columbia Ministry of Education.(1995). Applied Skills K to 7 Technology Education Component (The first of three Applied Skills K to 7 Integrated Resource Package), Province of British Columbia, Canada.
- 11) Yi, S. (1996). Problem Solving in Technology Education at the Secondary level as Perceived by Technology Educators in the United Kingdom and the United States. Unpublished doctoral dissertation, Ohio State University: U.S.A.
- 12) Wu, T., Custer, R. L. and Dyrenfurth, M. J. (1996). Technological and Personal Problem Solving Styles: Is there a Difference? Journal of Technology Education, 7 (2), 55-71.
- 13) 白沢温美：イギリスにおける工作・技術教育の動向、『技術教育研究』第33号, p.76, 1989.
- 14) 柴田 徹：英国イングランド初等学校 Design and Technology 用教科書の内容、『技術教育研究』No.46, 1995.
- 15) 掲上書8)を参照。
- 16) 木村誠・佐貫正明：イギリス CDT (Craft Design and Technology) 教科書の内容分析 - Technology を中心に - , 静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇)第25号, pp.167-182, 1994.
- 17) 村田昭治：イギリスにおける教育の機会均等と技術教育, 家庭科教育 日本産業教育学会研究紀要第17号, pp.1-26, 1989.
- 18) 他の先行研究として、例えば、以下の文献を参照のこと。Pavlova, M. and Pittis, J. (2002). Technology Education in Russia: Socio-Cultural Limitations to Design- Approach, 『職業と技術の教育学』第15号(名古屋大学教育発達科学科技術・職業教育学研究室発行), 15-42.
- 19) 柴田(1997)は、キーステージ4における教科書において、「デザイン工程は『デザインブリーフ→研究→構想→中間評価→展開→作業計画→具現化→試験→評価』の9工程(柴田, 1997, p.38)」と報告した。
- 20) GCSE (General Certificate of Secondary Education; 一般に、中等教育修了一般資格試験と訳される)試験は、中等教育終了段階(16歳時)に実施されている修了資格試験である。なお、GCSE試験は、国家試験ではなく、イングランド、ウェールズ、北アイルランドの3地域で行われている。なお、スコットランドでは、Standard試験と呼ばれる中等教育修了一般資格試験が実施されている。
- 21) 「評価規準」と「評価基準」について、学校教育関係者の間では、「相対評価の基準(ノーム)」と「到達度(絶対)評価の基準(スタンダード)」との混同が従来から大きな問題点であった。そのため、文部科学省や国立教育政策研究所の刊行物等は、「評価基準」の用語は一切用いず、質的キジュンとしての「評価規準」のみ表記するのが一般的

- である。理由は、評価のキジュン全体を指すとして、「評価規準」(量は質の一属性であるという考え方)の語を用いているからである。従って、文部科学省や国立教育政策研究所の刊行物等で表記される「評価規準」は、「評価基準」の意味も含む文脈もあるので留意が必要である。特に、到達度評価法により学習者の発達や水準に対応した学習評価をするには、量的な評価基準(スタンダード)の概念が必要である。
- 22) コースワークの製作活動時間は、各学校に任されている。
- 23) OCR.(1998). Design and Technology : Resistant Materials Technology [1462] GCSE (Full Course) for Examination in 2000. なお、OCR (Oxford Cambridge and Royal Society of Arts Examinations) 試験局とは、GCSE試験を実施しているイングランド試験局の内の1つである。GCSE試験については、註(21)を参照。
- 24) 西岡(2002)によると、ポートフォリオ評価法とは、「ポートフォリオ作りを通して、子どもの自己評価を促すとともに、教師も子どもの学習を評価する方法(p.38)」と定義されている。詳細は、以下の文献を参照のこと。西岡加名恵：第2章教育評価の方法、新しい教育評価の理論と方法(編著者：田中耕治)、日本標準、2002。
- 25) 本研究結果より、連合王国のDT教科におけるdesignやdesign process, designing概念は、日本の技術科教育における「設計」概念とかなりの相違点が見られたために、英文表記とした。
- 26) 間田泰弘・中村祐治(編集代表)：技術・家庭技術分野、開隆堂、p.10、2002。
- 27) 石田晴久・加藤幸一・渋川祥子(編集代表)、新しい技術・家庭、東京書籍、pp.34-35、2002。
- 28) Fowler, P. and Horsley, M. (1994). Collins Craft, Design and Technology Suitable for Key Stage 4. London, U.K.: Collins Educational.
- 29) 筆者の一人である山崎の文部省長期在外研究員派遣(1996年2月20日～6月9日、連合王国)及び、その後の現地調査によると、Collins教科書が、イングランドの多数の学校で使用されていた。なお、柴田(1997)<sup>19)</sup>が指摘しているように、連合王国の教科書は、自由発行・自由採択制(柴田, 1997, p.34)]である。
- 30) Laytonは、連合王国の技術教育研究者の第一人者である。同氏は、1980年代のOECDやUNESCOに多大な貢献をもたらした人物である。例えば、掲上書10)の他に、以下の文献を参照のこと。Layton, D. (Ed.) (1993). Innovations in science and technology education, ISBN: 92-3-102975-4, Paris, France: the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- 31) 表2は、Yiが、問題解決目標に関する幾つかの先行研究を吟味した結果から提案されている。
- 32) 山際勇一郎・田中敏：ユーザーのための心理データの多変量解析法、教育出版、2002。
- 33) Schön, D. (2001)は、「『なすことによって学ぶ』ことの重視は、行為しながら考えること、さらに、行為しながらその中で「デザインする」ことを意味する(p.221)」と述べるように、デザインする過程(designing)によって、反省的実践を理論化している。従って、designing過程の各プロセスは、極めて反省的思考と関連していると考えられる。詳細は、以下の文献を参照のこと。Donald A. Schön：専門家の知恵 反省的実践家は行為しながら考える(所収)、佐藤学・秋田喜代美(訳者)、ゆみ出版、2001。小林剛・皇紀夫・田中孝彦(編者)：臨床教育学序説、柏書房、2002。など。
- 34) 同校を選択した理由は、前掲29)で述べた筆者の一人である山崎が滞在した学校のためである。
- 35) 同校では、イングランドとスコットランドの両方のGCSE資格試験を実施していた。それは、イングランドの大学進学を希望する生徒が、多数存在するためである。
- 36) GCSE試験の技術教科DTは、受験者の能力等に応じて、2種類の資格試験(標準試験、上級試験)が実施されている。[OCR.(1998). Design and Technology: Resistant Materials Technology [1462] GCSE (Full Course) for Examination in 2000.]
- 37) コースワークの製作活動時間は、各学校に任されている。
- 38) 連合王国の各学校では、試験局のシラバスに従い、各学校に基礎を置く(School based curriculum)構想カリキュラムを作成する。各学校に基礎を置くカリキュラムとは、個々の学校における教職員集団及び、子ども、保護者・地域住民集団による3つの教育集団の連携によって促進されるカリキュラムを示す(天野, 1999)。構想カリキュラムを開発する背景としては、構成主義学習の推進が考えられる。久保田(2000)は、カリキュラム開発

- を行う上で重要な学習環境の一つとして、教師が、問題解決に向けて取り組むプロセスを学習者自身が自分のこととしてとらえられる環境をデザインすべきであることを指摘している(久保田, 2000, p.68)」。一方、寺西(2000)は、地域(自然・社会・文化・人々)の特徴を生かし、協同でつくるカリキュラムであると共に、教科書に代わって、リソースが決めてになる等の特徴を挙げている(寺西, 2000, p.70)。[天野正輝:総合的学習のカリキュラム創造, ミネルヴァ書房, 1999. 久保田賢一:構成主義パラダイムと学習環境デザイン, pp.68, 関西大学出版部, 2000. 寺西和子:総合的学習の評価ーポートフォリオ評価の可能性ー, p.7, 明治図書, 2000.]
- 39) GCSE試験を実施する試験局の配布物「試験官へ(To the Examiner...)」<sup>40)</sup>によると、不公平な試験が行われないようにする対策の一つとして、「採点は、複数の試験官によって行われる(Marking is by different examiners.)」と述べている(Edexcel, 2001)。各試験局は、試験内容や教科間の難易度を、受験者の得点データや採点結果の内容を用いて吟味している。
- 40) Edexcel.(2001). To the Examiner...?. London, England, U.K.: Author.
- 41) 掲上書38)を参照。
- 42) 小田勝己:ポートフォリオで学力形成, 学事出版, 2001.
- 43) 掲上書33)を参照。
- 44) 龍崎 忠:第三章 反省的な実践を志向する臨床教育学, 小林 剛・皇 紀夫・田中考彦(編者):臨床教育学序説(所収), 柏書房, 2002.
- 45) 図2「5. 展開」の「モデリング」とは、構想模型を型紙や段ボール紙などを用いて、製作する作業を意味する。
- 46) 村川雅弘(編集):「生きる力」を育むポートフォリオ評価, ぎょうせい, 2001.
- 47) 西岡加名恵・梅澤 実・宮本浩子:教師の力量形成におけるポートフォリオ評価法の効果ー小学校6年生総合学習の事例研究ー, 鳴門教育大学学校教育実践センター紀要No.16, pp.69-78, 2001.
- 48) GCSE試験の結果に基づいて学校間の標準化を観察・調整しているQCA(the Qualification and Curriculum Authority) 49)によると、GCSE試験が導入された背景として、以下のように述べている。“In 1985-6, GCSE syllabuses and specimen examination papers designed by the examining groups were approved against national criteria by the SEC. This process represented a considerable movement in the direction of transparency and public accountability(QCA, 2003).”
- “1985~1986年, 中等試験局(Secondary Examinations Council:SEC)によって, 国家規準の設立に向けて承認された試験団体が, GCSE試験シラバスや試験問題をデザインした。この作成プロセスの中には, 公的な説明責任を明らかにするという目的・動向が顕著に表れていた(筆者和訳)。”
- 49) QCA(the Qualification and Curriculum Authority). (2003). The Story of the General Certificate of Secondary Education (GCSE). England, U.K., [http://www.qca.org.uk/nq/framework/the\\_story\\_of\\_gcse.asp](http://www.qca.org.uk/nq/framework/the_story_of_gcse.asp).
- 50) 細谷俊夫:教育方法, 岩波全書, 1980.
- 51) 大河内信夫:技術科教育におけるプロジェクト法のあり方について, 日本産業技術教育学会誌第30巻1号, pp.73-84, 1988.
- 52) 佐藤 学:米国カリキュラム改造史研究, 東京大学出版会, 1991.
- 53) 城 仁士:立体の投影・構成行為の発達と形成, 風間書房, 1990.

イングランドOCR試験局の中等教育修了一般資格試験 "Design and Technology" の評価標準とポートフォリオ

### Abstract

The first purpose of this study was to compare Layton's(1993) model of "designing/design process", which has been stressed as scopes of technology education in U.K. with his model of "Science process" and "General model for problem solving" by Multidimensional Scaling and our field surveys. The second purpose was to investigate coursework assessment and standard of "portfolio assessment" of coursework for "Design and Technology" as a General Certificate of Secondary Education in the OCR Examination Board. The results were summarized as follows:

- (1) "Determine the need", "Formulate ideas", "Select one idea" and "Test product" were plotted in the direction of "reflective thinking", which were stressed in "portfolio assessment" rather than processes of "Science process" and "General model for problem solving."
- (2) Coursework assessment and standard of coursework for "Design and Technology" as a General Certificate of Secondary Education in the OCR Examination Board were set out in accordance with concept of "designing/design process" and assessment of device and creativity were emphasized at coursework assessment.

Keyword: United Kingdom (U.K.), Design and Technology, Designing, Portfolio Assessment, Reflective Thinking

## 北アイルランド 4~11 歳の‘Science and Technology’の学習プログラム

## Program of Study ‘Science and Technology’ for 4-11 years in Northern Ireland

○ 伊藤 大輔\*, 山崎 貞登\*\*

Daisuke ITOH\*, Sadato YAMAZAKI\*\*

兵庫教育大学連合大学院生\*, 上越教育大学\*\*

Graduate Student, Joint Graduate School in Science of School Education,

Hyogo University of Teacher Education\*, Joetsu University of Education\*\*

[要旨]本報告では、北アイルランド 4~11 歳段階の Science and Technology 学習領域のうち、「Science と Technology の調査と製作 (Investigating and Making in Science and Technology)」における科学教育と技術教育の関係について検討した。その結果、社会的構成主義の学習観から、1) 探究的・実地的な学習活動、2) 日常 (社会) 生活、Science, Technology の相互関係を重視していることがわかった。

1G6-15

キーワード：北アイルランド, ‘Science and Technology’, 学習プログラム, 社会的構成主義

## 1. 緒言

平成 8 年の中央教育審議会の第一次答申<sup>1)</sup>以降、教育課程改革に対する関心が高まっている。本学会においても、種々の議論がなされ、展望を示した先行研究<sup>2)</sup>も刊行されている。それらの中で提案されている科学・技術科<sup>3)</sup>は、新教育課程に対する 1 つのアプローチであり、国際的な科学技術教育改革動向にも、科学教育と技術教育の連携を強化する傾向がうかがえる<sup>4)</sup>。

そこで本報告は、北アイルランド初等教育課程に着目し、同地域の科学・技術教育に関わる‘Science and Technology’学習領域のうち、「Science と Technology の探究と製作 (Investigating and Making in Science and Technology)」における科学教育と技術教育の関係について検討することを目的とする。

## 2. 北アイルランドの科学・技術教育

同地域の科学・技術教育は、初等段階 (4~11 歳) において‘Science and Technology’学習領域で実施されている。学習領域とは、各領域に複数の教科活動が対応し、児童生徒の視点からまとめた教育課程の構成領域をいい、旧来の教科枠を越えた新たな知の形成を求める意図がある。一方、中等段階 (12~16 歳) では、‘Technology and Design’及び‘Science’という教科の形態によりそれぞれ実施されている。

## 3. ‘Science and Technology’の構成と概要

本研究の対象は、学習プログラム<sup>5), 6)</sup>である。北アイルランドには、ナショナル・カリキュラムが存在し、それによって教科構成が規定されている。同地域のナショナル・カリキュラムは、学習

プログラム (Program of Study) と到達目標 (Attainment Target) から構成される。学習プログラムは、各年齢段階で全ての児童生徒に提供されるべき知識・スキル・理解を意味する。

‘Science and Technology’の学習プログラムの構成を表 1 に示す。学習プログラムは、「Science と Technology の探究と製作」「Science と Technology の知識と理解」の 2 つから構成されていた。Science と Technology に関する知識と理解は、探究と製作の実際的な活動を通して形成される<sup>7)</sup>と規定され、領域の中核となっていた。一方、知識と理解は、生物・物質・物理的プロセスの 3 つの領域から構成され、具体的な指導内容を規定していた。これらの構成は、中等段階の Science の学習プログラムに類似している。また、全段階を通してストランド (項目) は一貫しており、指導内容に顕著な量的変化は確認されなかった。

## 4. ‘Science と Technology の探究と製作’の構成と特徴

Science と Technology の探究と製作は、「計画」「実行と製作」「解釈と評価」の 3 つのストランドから構成されていた (表 2)。特徴は次の 2 点に整理される。第一は、対話やプレゼンテーション等、コミュニケーション・スキルや表現力が重視されていることにある。ここに、知識と理解は、直接経験だけではなく、教師と児童あるいは児童と児童等のコミュニケーションを通して形成されるとする社会的構成主義の学習観が窺われる。第二は、発達水準の個人差に配慮したシーケンスが設定されていることにある。各キーステージのストランドは、それぞれに共通する内容を包含し、柔軟



的に編成されていた(表2)。

5. Science and Technology の学習活動

教師向け指導書<sup>9)</sup>の活動プログラム(program of work)では、日常生活の文脈における Science と Technology という視点が重視されていた。児童は、探究的、実際の学習活動を通して、他者やものと関わりながら、生活や産業に対する Science と Technology の応用やそれらの相互作用に関する認識を高めることが期待されていた。

6. 結言

本報告は、以下のように要約される。

- (1) Science と Technology の探究と製作では、他者との相互作用を通して知識・理解・スキルが形成されるという認識から、コミュニケーションやプレゼンテーションなどのスキルが重視されていた。
- (2) 各ストランドにおける指導内容の配列をみると発達水準の個人差に配慮したシーケンスが設定され、柔軟的に編成されていた。
- (3) 同領域の学習活動では、生活や産業に対する Science と Technology の応用等、生活、Science, Technology の相互関係が重視されていた。

《付記》

本研究は、平成15年度科学研究費補助金(特定領域研究(2))「未来社会に求められる科学的資

質・能力に関する科学教育課程の編成原理(研究代表者:小倉康, 課題番号 15020272)」から補助を受けたものである。

註

- 1) 文部省編: 21世紀を展望した我が国の教育の在り方について, 第15記中央教育審議会第一次答申, ぎょうせい, (1996)
- 2) 例えば, 日本学術協力財団: 21世紀を展望する新教育課程編成への提案, 大蔵省印刷局, (1996)など。
- 3) 武村重和: 21世紀のカリキュラムはこうなる!, 明治図書, pp. 14-160, (1999)など。
- 4) 山崎貞登: 科学・技術教育の世界的流れ, 日本科学教育学会年会論文集 25, (2001) pp. 77-82
- 5) Department of Education Northern Ireland: Program of Study Science and Technology at Key Stage 1, Belfast: Author, (1996a).
- 6) Department of Education Northern Ireland: Program of Study Science and Technology at Key Stage 2, Belfast: Author, (1996b).
- 7) 掲上書 6), p. 4
- 8) Council for the Curriculum, Examination and Assessment: Science and Technology at Key Stages 1 & 2, Belfast: Author, (2001).

表1 'Science and Technology'の学習プログラムの構成

	4~8歳段階(キーステージ1)	8~11歳段階(キーステージ2)
Science と Technology の探究と製作	計画(6), 実行と製作(8), 解釈と評価(5)	計画(6), 実行と製作(10), 解釈と評価(8)
Science と Technology の知識と理解	生物: 人間(6)・動物と植物(9) 物質: 特性(5)・変化(2)・環境(3) 物理的プロセス: カとエネルギー(4)・電気(3)・音(3)・光(3)	生物: 人間(6)・動物と植物(8) 物質: 特性(4)・変化(6)・環境(3) 物理的プロセス: カとエネルギー(5)・電気(4)・音(2)・光(3)

※( )内は、指導内容(知識・理解・スキル)の個数を示す。

表2 「Science と Technology の探究と製作」の構成と内容

	計画	実行と製作	解釈と評価
KS1	質問に対する回答	感覚による観察	結果(成果)のプレゼン
	作品と使用材料の決定と説明(T)	材料加工と再構成の実践(T)	結果(成果)の特徴に関するプレゼン
	質問とその結果の検討・予想	類似点と相違点を考慮した観察	結果(成果)の効果的な提示
	正しい試験・実験の識別	観察結果の分類と記録	予想と対比させた結果の報告
KS2	調査・予測可能な問題の識別	接合法の探究と実践(T)	作品の報告とその改良案の提示(T)
	適切な素材と部品の選択(T)	計測スキルの強化	適切な結果の記録・提示法の選択
	公正な試験・実験方法の提案	素材と工具の使用(T)	結果の比較・考察
	製作プランの設定(T)	適切な方法による観察/実験結果の記録	作品の修正・改良案の提案(T)
KS2	公正な試験・実験のデザイン	計測手段と方法の設定	結果の類型化
		公正な試験・実験の実行	作品の総括的評価(T)
		安全性と精度を考慮した観察・計測の実践	
		材料の加工法とスキルの発展(T)	
	データベースを活用した結果の記録と整理		
	動力源をもった作品の製作(T)		
	表等を活用した結果の記録と提示		

- 1) 破線内は 8~11歳(KS2)段階の内容
- 2) 網掛け内は、4~8歳(KS1)段階とKS2段階に共通する内容
- 3) (T)は、技術に関連する内容を示す



平成 15 年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(2) ( 課題番号 15020272 )  
「未来社会に求められる科学的資質・能力に関する科学教育課程の編成原理」

研究中間報告書  
英国における科学的探究能力育成のカリキュラムに関する調査

平成 16 年 2 月発行

発行者 153-8681 東京都目黒区下目黒 6-5-22

国立教育政策研究所

小倉 康