

英語を使った早期科学教育に関する海外調査に基づく検討

加藤徹也^{1)*} 野村 純¹⁾ 中澤 潤¹⁾ 杉田克生¹⁾
 山下修一¹⁾ ホーンベバリー¹⁾ 木下 龍¹⁾ 大井恭子¹⁾
 西垣知佳子¹⁾ 本田勝久¹⁾ 物井尚子¹⁾ 芦田大介²⁾
 井上 創²⁾

¹⁾千葉大学教育学部 ²⁾千葉大学教育学部附属中学校

A Consideration on Early Education of Science through English under Research of Cases Abroad

KATO Tetsuya^{1)*} NOMURA Jun¹⁾ NAKAZAWA Jun¹⁾ SUGITA Katsuo¹⁾
 YAMASHITA Shuichi¹⁾ Beverley HORNE¹⁾ KINOSHITA Ryu¹⁾ OI Kyoko¹⁾
 NISHIGAKI Chikako¹⁾ HONDA Katsuhisa¹⁾ MONOI Naoko¹⁾ ASHIDA Daisuke²⁾
 INOUE Hajime²⁾

¹⁾Faculty of Education, Chiba University

²⁾Attached Junior High School of Faculty of Education, Chiba University

JST 支援事業「未来の科学者養成講座」は千葉大学で平成 20 年度から行われ成果を上げた。ここで養成する科学者の未来像がグローバル世界で生き残る人物となるよう、我々は英語による学習システムを構築することにした。内容面では「未来の科学者養成講座」で開発された「ラボ on the デスク」や個人型実験キット「パーソナルデスクラボ」を用いることとし、言語面での改編に関わる検討を行ったので報告する。まず、二言語主義と先進的な教育改革および理数教育の成功で知られるシンガポールの事例を調査した。次に、ヨーロッパの非英語圏で 10 年ほど前から盛んになった英語（非母語）と教科の統合学習（CLIL, クリル）の考え方を参照し、適合させることを検討した。

A project, called “Fostering next-generation Scientists”, started in Chiba University in 2008 with the support of JST and achieved respectable results. In order to shape a future vision for the students as actively-working scientists in a global society, we expanded the research project to develop a learning system through English. For the scientific content, we decided to use the system developed in the previous project, “Laboratory on the Desk” and “Personal Desk Lab”. Thus the aspects of changing language we addressed there were reported in this paper. First, we studied the case of Singapore, that is well-known for bilingualism, advanced reformation of education, and accomplishments of mathematics and science education. Secondly, we reviewed the ideas of an approach called “Content and Language Integrated Learning”, known as CLIL, of which the lessons were delivered in a number of non-native English countries using English in Europe for ten years, in order to apply them to our present project.

キーワード：早期科学教育 (Early Education of Science)

英語を用いた科学実験 (Science Experiments Session through English)

シンガポールの教育 (Education in Singapore)

内容言語統合学習 (CLIL) (Content and Language Integrated Learning (CLIL))

1. 序 論

世界がグローバル化している時代にあつて、日本における早期科学教育を英語で行う必要性が認識されている。特に日本がグローバル世界で生き残るためには、日本語や日本文化、教育システムの特質を考慮した上で、英語による学習システムを構築していかなければならない。我々は、千葉大学で平成 20 年度から行われた科学技術振興機構 (Japan Science and Technology Agency,

JST) 支援事業「未来の科学者養成講座」^[1]の実験講座を英語で行うことで、早期から理系「出る杭人材」をグローバルな視点で養成することを考える。今回はその事業の準備段階であるが、海外調査に基づいて検討したことを紹介する。

海外の参照例としては、同じ島国でありながら、グローバル社会で活躍するエリート人材を計画的に養成し成功しているシンガポールを第一に取り上げることにした。シンガポールでは英語を公用語として重視し、理数系を中心とする教育が成功していること、またトラッキング制度 (ストーリーミング制度ともいう) という特徴を

*連絡先著者：加藤徹也

もつことが近年非常に注目されている^[2-5]。

2. シンガポール調査

シンガポールの理数教育は、近年実施され結果が公開された国際数学・理科教育動向調査 (Trends in International Mathematics and Science Study, TIMSS) で小・中学生の学力が世界トップレベルに評価されるなどで注目を浴びた。また、建国以来徹底した二言語政策、すなわち英語と母語 (English and Mother Tongue, EM) による教育を意識し続けながら英語を重視している点や、児童・生徒を学力・習熟度別にふるい分けしてエリート選出と育成を行う点などの教育事情は、日本の公教育システムとかけ離れているが、出る杭を育てようとする早期教育には大いに参考にすべき実践例であると考え、本研究における第一の調査対象とした。

2.1 シンガポールの教育事情

シンガポールは、中国系74%、マレー系13%、インド系9%、その他からなる典型的な多民族国家で、人口500万人 (住民377万人と外国人123万人)、国土712km²、離島を除くと淡路島ほどの面積の都市国家である。宗教も、仏教33%、イスラム教15%、道教11%、ヒンズー教5%、キリスト教19%など (無宗教17%) に分かれる。シンガポールにおける教育体系を考える上で、他国には見られない特徴に、学区制の不在、私立校の不在、二言語政策の徹底に加えて、トラッキング制度の徹底があるという^[5]。

トラッキング制度^[5] (ストリーミング制度^[3]) とは、生徒を到達度や能力別に分流させ、能力・適性・興味・関心などに応じて学習させるというもので、その背景には、学歴を就労時の潜在的な能力や生産性につながるレッテルとしてスクリーニングに使い、どれくらいのレベルの労働力がどれほど必要かという算出に合わせた計画的な教育を行うマンパワー政策がある。世界の潮流は既に、1980年代後半にはマンパワー政策の効率性が疑問視され、自由化・市場化へと変わっていった中で、今でもシンガポールではマンパワー政策に基づく効率化が図られている。経済発展を政府が強く牽引し、貿易産業省が教育省 (Ministry of Education, MOE) を含む他の省庁をリードする状況が現在も機能している。

シンガポールにおける教育上の転機は1979年に提出されたレポート (ゴ副首相 (当時) を長とする委員会による) にある。そこで示された1971~74年の平均中退率が、小学校29%、中学校36%にも上ったことで、これは教育の浪費であるとされ、それまでの生存重視 (survival-driven) で二言語政策を徹底させるための単線型の6-4-2制から、効率重視 (efficiency-driven) のトラッキング制度へとパラダイム・シフトしたという^[5]。有名な小学校三線分流 (4年修了時に各学校内で、英語と母語のレベルの異なるEM1・2・3の三コースにふるい分けるなど) が登場するのも1979年であった。この転換は、シンガポールの第二次産業革命 (Second Industrial Revolution) と呼ばれる経済戦略上の方向転換、すなわち、労働集約的な低賃金産業への依存から資

本集約的な高付加価値産業への転換と同期したものである。

2004~2008年には小学校でのEM1・2・3というコース別ストリーミングは廃止されたが、教科別バンディングという形で児童の能力別ふるい分けは残るといわれる。小学校6年修了時 (12歳) のPrimary School Leaving Examinationを経ると、中学校のコースは三 (~四) 線分流で、Special/Express (60%, 4年間)、Normal Academic (25%, 5年間)、Normal Technical (15%, 4年間)、およびその上の課程と一体となったIntegrated Programmeへと分かれる。最近はコース間の柔軟な移動も可能とされている。中学校修了時 (Expressの場合16歳) にはGCE 'O' Level (GCE=The Singapore-Cambridge General Certificate of Education, シンガポール教育省とケンブリッジ大学試験機構の共同による教育修了資格で、'O'はOrdinary Level) 試験がある。Normal Academicの4年次とNormal Technicalの修了時 (いずれも16歳) にはGCE 'N' (=Normal) Level 試験がある。

小学6年と中学4年 (Expressの場合) を合わせた10年の普通教育の後は後期中等教育で、ジュニア・カレッジ (2~3年間) 31%、ポリテクニク (3年間) 43%、技術教育校 (Institute of Technical Education, ITE, 2年間) 22%等に分かれる。大学進学 (Expressの場合18歳) にはGCE 'A' (=Advanced) Level 試験を受ける。大学進学率が25%程度。大学は主に3校 (シンガポール国立大学 (National University of Singapore, NUS)、南洋理工大学 (Nanyang Technological University, NTU)、シンガポール経営大学)、いずれも実学重視・科学技術重視で、undergraduate 卒業に3~4年の課程がある。

近年は柔軟性と多様性のある教育システムに移行しており、その中で、スーパー・エリートの養成が顕著に行われている。後述する2005年設立のシンガポール国立大学附属中学校 (NUS High School) を含む、5校の名門中学校と3校の名門ジュニア・カレッジを対象に、希望する生徒に対して中学校4年修了時のGCE 'O' Level 試験を免除するという中高一貫制度を始めた。

一方でシンガポールの職業・技術教育システムは世界最高ともいわれている^[5]。2007年度にはシンガポールITEが、ハーバード大学が主催するIBM Innovations Award in Transforming Government 賞を受賞し、世界的評価を得た。キャット (2009) は、ウルトラ・メリトクラティックともいわれるシンガポールの、スクリーニングでふるい落とされた選抜敗者や下位トラックの学校における生徒の学習意欲や学校のイメージ等を調査し、日本における中・下位層の学力の底抜けの問題と対照しながら、シンガポールでITEが社会的に機能する理由を分析している^[5]。その根本に、数学・理科・技術の重視^[4]があることは言うまでもない。

2.2 シンガポール国立教育研究所訪問

本研究チームのうちの4名 (加藤徹也、野村純、山下修一、木下龍) は、2011年7月19日~23日の日程でシンガポールへ渡航した。その一番の目的が、シンガポー

ル国内唯一の教員養成機関であるシンガポール国立教育研究所 (National Institute of Education, NIE)^[6]への訪問 (7月21日) である。

NIEは千葉大学と大学間協定をもつ南洋理工大学 (NTU) の中の研究機関であり、また、世界中の九つの主導的な教育機関 (オーストラリア・メルボルン大学教育学研究科, ブラジル・サンパウロ大学教育学部, カナダ・トロント大学オンタリオ教育研究所, 中国・北京師範大学教育学部, デンマーク・オルフス大学教育学部, 韓国・ソウル大学教育カレッジ, イギリス・ロンドン大学教育研究所, アメリカ・ウィスコンシンマディソン大学教育学部と、シンガポール・NIE) が組む International Alliance of Leading Education Institute の一機関である。アカデミック・スタッフ 450 名を抱え、12 部門におよぶアカデミック・グループを備えている。現職等含めて 6726 人の学生が在籍し、男女比は男性 3 対女性 7 である。現職 (In-service) を除く現役 (Pre-service) の学生には、4 年間の学部生が 1 学年 640 名、2 年間の大学院生が 350 名のほか、1 年間の PGDE (Postgraduate Degree of Education) プログラムの学生が 1050 名いる^[7]。

その 12 部門のうちの自然科学・理科教育 (Natural Science & Science Education, NSSE) 部門のスタッフである, TAN, K.C. Daniel 氏 (NSSE 副部門長), TAN, Aik Ling 氏, YEO, Ai Choo Jennifer 氏の三氏と協議をもった (図 1)。TAN Aik Ling 氏と YEO Jennifer 氏からは、シンガポールの理科教育と NIE での理科教師教育を説明して頂いた。その中で特に印象深かったものは、シンガポールの理科教育の authentic and inquiry-based (真正で探求ベースの) という特徴や、小学校の三線分流廃止により始まった school-based science practical assessment についての説明などである。また、NSSE 部門は、55 名のアカデミック・スタッフが理学 (生物・化学・物理) と教育を融合させた構成で入っていて、特に大学院関係では教育学修士コース 60 名、理学修士生命科学コース 150 名、その他研究生 50 名が在籍するという^[7]。三氏とも専門は理科教育学である。

英語による早期科学教育に関する研究の協議では、本研究プロジェクトの概要を加藤が、これまで未来の科学者養成講座としての取り組んできた学習プログラム等を野村が解説、それをもとに協議し、三氏から研究プロ

ジェクトへの示唆を受けた。例えば、英語と母国語を併用した講座は、生徒にとって頭の切り替えが困難であり、英語を使用するならば、英語のみでの実施に徹底すべきだとする指摘などを、彼らの教育経験を踏まえながら聞いた。この研究協議を通して、本研究プロジェクトへの NIE との協力体制を築くことができた。この研究プロジェクトの Teaching Assistant の学生を NIE に派遣して短期留学させたらよい、などの積極的な提案も NIE 側から受けた。

2.3 NUS High School 訪問

NIE の TAN Daniel 氏に仲介して頂いたおかげで 7 月 22 日には NUS High School (正式名称はさらに、of Mathematics & Science と続く。中国式では新加坡国立大学附属数理中学とも表記)^[8]を訪問することができた。この学校は中・高一貫に相当する 6 年制で、数校しかない Specialised Schools のひとつであり、また NTU とも附属校としての連携を持ち、特に数学と科学の教育に重点を置く。一般の学校の生徒が secondary school 4 年とそれに続く GCE 'O' Level 試験、さらに junior college 等で 2~3 年をかけて GCE 'A' Level に達するところを、NUS High School では GCE 'O' Level 試験なしに 6 年間で達し、Junior College (University 入学前の課程で、日本の高校に相当) と同じ程度の diploma を授与する。優秀な生徒には飛び級や GCE 'A' Level 試験の省略もあるという。先進的な理数教育事例として、授業見学を含む学校見学を行った。

広報担当である CHIA, Mingjuan Edna 氏から学校全体の手際よい説明を受けた上で、授業見学を行った (図 2)。見学した授業は化学分野の電気分解のもので、生徒 24 名の学級規模であった。直前までは英語授業を行っていた部屋のまま、5 分ほどの休憩をはさんで教員が入れ替わり、多くの生徒は着席したまま講義がスタートした。プロジェクターで前回行った実験の映像を見せて復習するなど、IT 機器の利用が工夫されていた。教師の発問も、単純な記憶に関わる問いではリズムに乗った即答を促し、生徒から積極的な意見を聞きだして展開するときとうまく使い分けていた。

授業見学の後は、学校の施設・設備を見学した。全体として、先進的な理数教育を支えるに足る物的な教育条件が十分に整備されていた。とりわけ分析装置は充実し



図 1 NIE ロビーにて、研究協議の参加者



図 2 化学 (電気分解) の講義風景

ていて、日本の大学での教育クラスをはるかに超える、先進的研究室の水準であった(図3・4)。また、NUSやNTU、その他の大学を含めた理数系大学教員が年間200名以上メンターとして登録されていて、人的な教育条件整備の充実も確認することができた。

2.4 シンガポール科学館(SCS)訪問

上記の二つの訪問に先立つ7月20日にはシンガポール科学館(Science Centre Singapore, SCS)⁹⁾を訪問した(図5)。SCSは、総面積20,000m²の敷地内に、1,000個以上の展示物を有し、年間100万人以上の来場者を迎える世界でも有数の科学館である。ここで、学校教育を取り巻く科学教育を担う科学館の実施状況や、科学館と学校教育との連携のあり方などについて訪問調査した。

SCSの展示内容は、科学、技術および数学に関する幅広いトピックに及ぶ。これらに関わる最先端の成果を、子どもや一般向けに参加型・体験型展示として配置していた。また、科学的な知見ばかりではなく、思想としての科学も大きく取り上げ、著名な哲学者たちの足跡を紹介するギャラリー(図6)、左からポパー、クーン、アリストテレス)も整備されていた点に驚かされた。

学校教育との連携に関しては、学校教育における科学教育を補完するプログラムや体験型イベントが多数準備されていた。調査当日も30名程度の生徒・児童が、教員に引率されながら、立ち替わり見学や科学遊技、テスラ・コイル放電の体験に参加していた。



図3 Analytical Chemistry LAB



図5 Science Centre Singapore



図4 Synthetic Chemistry LAB



図6 科学哲学者の紹介ギャラリー

2.5 渡航から得た問題提起

シンガポールは一世代で発展途上国から先進国に飛躍した国である。そこでの明確なビジョンとリーダーシップに支えられたシステム改革は教育においても力強く、成果を上げつつさらなる改革を進めている。その成功の要因のひとつに、省庁(MOE)、教員養成機関(NIE)と学校の間での密接な連携が挙げられる¹⁴⁾。NIEとNUS High Schoolの協力関係はSpecialised School特有の例外的なものに過ぎないだろう。しかし、NIEの研究成果を踏まえてカリキュラムを改訂する周期が3年と短いことが、何よりその協力関係の結果であるといえる。次章で見るとような教科書へのMOE認定も、最新のものでは2010年発行のカリキュラム(syllabus)に対応するテキストで認定期間2011~2015年と、2周期分であることが明示されている。

シンガポールでは、ストリーミングという制度により全ての教科について、学習内容が別コースになる。そのようなエリート養成が教育システム全体の中で位置づけられているシンガポールに対し、そうではない日本での早期教育では単独の教科で行われるのが当面の状況である。日本における早期科学教育、特に英語を使う場合となると、公教育での平均的な達成度を考える必要がある。シンガポールでの平均的な達成度はどう捉えられているのかも大変気になるところである。われわれの方向性を検討するために、中学校理科と英語に的を絞って、シンガポールのカリキュラムや教科書を参照してみることにした。

3. シンガポール中学校のカリキュラムと教科書

シンガポール教育省 (MOE) の Web サイト^[10]には教師用の教科カリキュラム (syllabus) が一部掲載されている。このカリキュラムおよび承認された教科書の中で、中学校の英語と理科に関して入手したもののうち目付いた特徴を述べる。

中学校の入学年齢は日本と同じだがシンガポールでは速習型でも4年のコースであり、日本に対応させるには高校1年を含むことになる。中学校1・2年は Lower Secondary, 3年以上は Upper Secondary と分かれる。理科関係は、Lower Secondary には Science の1教科, Upper Secondary は Biology, Chemistry, Physics の3教科で、3教科それぞれ Express コース用 (3E・4E), Normal Academic 用 (1・2年目用 3NA・4NA と3年目用 5NA) がある。3NA・4NA 用は GCE 'N' Level, 3E・4E 用と 5NA 用は GCE 'O' Level で、特に 5NA 用は 3NA・4NA 用を補完しながら時間をかけて復習する。日本の大学受験に対応するのはさらに上の GCE 'A' Level であり、理科が Biology, Chemistry, Physics と分かれても GCE 'O' Level での内容は限定的である。

3.1 English Language Syllabus 2010^[11]

英語と母語による二言語主義がシンガポールの教育システムの礎であることが冒頭に示されている。特に英語は、ローカルレベルでは異なる民族・文化集団の間をつなぐ共有語としての機能を持ち、グローバルレベルではインターネット、科学・技術、世界貿易の共通語となり、知識基盤経済 (knowledge-based economy) への参入の機会を与えると説く。また、国民の英語能力として、全員が基礎技量 (foundational skills)、特に文法・スペル・発音基礎を身につけるべきで、大半が英語の読み書きいづれも優良な能力レベル (a good level of competence) に達し、さらに、最低でも 20% が高度に習熟 (a high degree of proficiency) するという要求を明示している。端的にまとめた6点の原則、すなわち、文脈重視、学習者中心、学習の意思疎通、関連付け、過程指向、連鎖 (Contextualization, Learner-centered, Learning-focused interaction, Integration, Process orientation, Spiral progression, 略して CLLIPS) と、6つの指導課程、すなわち、気付き、記憶強化、修得の評価、応用、発見の導出、明瞭な指導 (raising Awareness, structuring Consolidation, facilitating assessment for Learning, enabling Application, guiding Discovery, instructing Explicitly, 略して ACoLADe) を提唱している。

3.2 'All About English Secondary'^[11,12]

現時点では1年と2年のものしか出ていないようである。1E/1NA 用^[11]と2E 用^[12]を入手した。各280ページ程度で挿絵も多いが文字も多く、かなり分量があるが、これが現行の中学1～2年用のものであることは MOE の Approved Textbook List^[13]にもある。内容は MOE の定めた4章 (Listening and Viewing, Reading and Viewing, Speaking and Presenting, Writing and Pre-

senting) が並ぶ中に多数の節があり、そこでは文法もさることながら、critical thinking スキルの節も目立つ。

例を示すと、1年生用では、声質の読み方 (recognising voice qualities), 流し読み (skimming), 拾い読み (scanning), ことばの使い分け (understanding register), プレインストーミング, 引きつける説明 (writing expositions: persuasive essays) などがあり、2年生用では話者の信憑性の判断 (determining a speaker's credibility), 推測の仕方と結論の導き方 (making inferences and drawing conclusions), 声色の使い方 (using voice quality), 丁寧な接し方 (interacting politely), 提案書の書き方 (writing expositions: proposal) などがあった。提案書としては grant proposal, research proposal, sales proposal, action proposal を挙げて簡素に説明し、警察の見廻り強化の中学生による提案書を例示している。文法のコーナーでは Nominalisation (動詞を名詞化してフォーマルさを上げる技巧) の解説などもある。

3.3 'Life Accents'^[13,14]

Upper Secondary (中3～高1) 用の English Language 教科書である。3E^[14]と4E^[15]等の各学年用がそれぞれA, Bに2分冊 (各137ページ程度) され、workbook もそれぞれ別にある。巻頭に表組があり、各単元に Text type & Reading, Listening, Speaking, Thinking, Vocabulary, IT, Grammar, Writing Portfolio, Comprehension Smart という学習項目がどう組み込まれているかが明記されている。初出から時間がたつこと、学年が高いことで、'All About English' に比べて挿絵の量も鮮明度も控えめであるが、豊かな教科内容や実践的・発展的内容を統合している。

3.4 Science Syllabus Lower Secondary E/NA 2007^[10]

シンガポールの科学教育は、全体にわたって発問を中心とする体系をとる。発問者としての生徒と、発問の主導者としての教員が、日常生活 (個人個人の観点), 社会 (人間関係の観点), 環境 (自然観) という科学が果たすべき三つの役割の中で、1. 知識・理解・応用, 2. 機能・過程, 3. 倫理・態度, という三領域で何をなすか、という形で整理されている。ただし、Lower Secondary ではカリキュラムの時間の85%をそれらの獲得に当て、残りの15%を空白 (white space) としてにおいて、生徒が学習を有意義で楽しいものと感じるような魅力的な教育方法や学習方法に使うように残すと明記されている。

発問を中心とする教授法・学習法についての解説も文献を引用しながら記されている。その中で目に付いたのは、それを運用するための戦略として、次のようなアイコンを列挙している点である。つまり、プレインストーミング、ケーススタディ、コンセプトマッピング、協同学習、デモンストレーション、野外体験、ゲーム、探求、学習拠点、マインドマッピング、モデル構築、問題解決、中・長期プロジェクト、質問、ロールプレイ・劇・舞踊と運動、個人個人のアクティブラーニング (=Strate-

gies for Active and Independent Learning, SAIL), IT活用, 国民教育, 倫理と態度, と多岐に渡っていた。

3.5 Science In Focus GCE 'O' Level Physics^[16]

このテキストの裏表紙には GCE 'O' Level の物理のシラバスを網羅する5つの主題, つまり, 測定, ニュートン力学, 熱物理学, 波, 電磁気学があるとされている。測定の章には単位の議論や二次元ベクトルの幾何学的表記や足し合わせの他, ノギスとマイクロメーターの使用法が詳細に解説されている。全体にわたって代数式をほとんど使用せず, 比例あるいは反比例の関係を三角形の図で統一的に表現し, 計算課題も掛け算か割り算の文字式にすぐに値を代入するだけの単純なものがほとんどであるが, 光の屈折の法則で使う sin 関数の小数計算やそれを逆に解くことは含まれている。用語の解説は巻末に glossary がまとめてあるだけであった。Chemistry, Biology の巻に述べる "WORD ANALYSIS" はない。electron の扱いはほぼ無いに等しく, capacitor, inductance も登場しない。ページ数は後に述べる Chemistry, Biology とほぼ同じで, 350-370 ページ程度である。

生徒にクリティカル・シンキングを促す挑戦的な質問コーナー THINK TIME では, 「床に固定していない書類棚にものが満載されているとき最上段の引き出しを開けるのが危険なのはなぜ?」「プリズムを使用した潜望鏡が鏡を使用したものより良いのはなぜ?」等, 図なしに考えるのは難しい問いかけもある。章末には整理用・練習用の部分と一般的な練習問題, さらに "Critical Thinking Questions" として, たとえば「800cc の軽量な日本車は 3,000cc の大型のヨーロッパ車に比べて燃費が良いことで知られている。小型な方が燃費が良い理由は何か。」「一様な磁場中に電流が流れている導線が置いてある。導線に力が働かない理由を説明しなさい」のような, 復習を兼ねて深い議論を促す課題がある。

日常生活での物理の重要性を指摘するコーナー IT'S A FACT として, 波の章には津波の紹介があり, 2004 年インド洋地震で最高 30m の津波がインドネシア・スリランカ・インド・タイ等を襲った話題を取り上げている。光の章ではフラッシュをたいした写真の赤目の話題, 熱の章にはマイクロプロセッサのヒートシンクに関わる伝導・対流・放射の話題などがある。発展的な学習として, 全体で 20 箇所, IT LINK として Web サイトにアクセスする指示があるほか, 学習内容の範囲を超える問いかけも EXTENSION として掲載され, これは例えば「地球と月のあいだの距離を見積る方法を示せ。」「シンガポール交通警察はレーダーを使って車の速度をモニターしている。この装置の仕組みはどうなっているか?」などがある。また, Physics in Society に例えば歴史的なエピソード, Physics in Daily Life に例えば技術の利用, Physics and the Environment に例えば発電などを取り上げたコーナーがある。

興味深いのは, 囲み記事ではなく地の文中に詳細な具体例を多く載せている点である。電気であれば電気工事士の資格試験で見るような内容が大きく扱われている。内部にフューズが入っているコンセントプラグを, 内部写真だけでなく, ビニルコードを剥き配線する作業の説

明, 配線ミスによって感電を起こす仕組みの説明, 電力量計や配電盤を含む家庭内の電気配線の説明などである。力学の分野では, 自転車のブレーキパッドがすり減ったときに新品と並べて交換する理由を示したり, 大型貨物船の船体に表示されている満載喫水線 (Plimsoll line) は世界の海域により意味が異なるなど, 海事関係の具体例も多い。

3.6 同 Chemistry^[17]

Physics と同じ枠組みで作成されている。テーマは7つで, 実験科学としての化学, 原子構造, 化学計算, 周期律, 反応の化学, 大気, 有機化学, である。構成は Physics と極めて似ている。所々に "WORD ANALYSIS" があり, また巻末に1ページの表 "Word Analysis" があり, 接頭・接尾語とその意味, 使用例が示されている。例えば, histogram の -gram は write down を, electrode の -ode は rod を表すなどである。Glossary はなく, 電気分解 electrolysis, 加水分解 hydrolysis の扱いはない。

章末の EXTENSION では, 例えば「クリティカル・シンキングのスキルを使って, 答えが 2 mol の H₂O となる問題を可能な限り多数作成せよ」というものや, 「ラザフォードが有名な散乱実験の結果を説明するのに使った比喩に, 15 インチ弾をティッシュペーパーに向かって発射したら跳ね返えされて戻ってきたのと同じくらい信じ難い現象だ, というものがある。この比喩を説明せよ」など, 時間をかけて調べ, 議論すべき探求課題がある。Chemistry in Society のコーナーでは, たとえばラボアジェの波乱に満ちた伝記と火薬や酸素の研究, また, プルンケット (テフロンを発見) とカロザース (ナイロンを発見) が遊び半分の偶然と興味からプラスチックを発見したなど, 歴史が多く取り上げられ, いずれも説明を求める設問が複数添えられている。PRACTICE には Free Response Questions があったが, これは Critical Thinking Questions に相当するもので, 例えば「色のわからない液体が与えられた。液体は元素か, 化合物か。説明し, どうやって同定すればよいか, 適切なテストの方法を説明しなさい」などがある。

3.7 同 Biology^[18]

巻頭に, 本書の Consultant for Pedagogy として, また1ページの巻頭言「科学者はどう考え, 研究するか」のメッセンジャーとして, NIE 所長 Lee Sing Kong 教授 (専門は生命科学・園芸学) が掲載されている。全体の構成は Physics, Chemistry と同じだが, 巻末には Glossary が, また途中至る所に "WORD ANALYSIS" がある。そこで取り上げる語の数も多く, またその語源がラテン語・ギリシャ語のスペルとともに示されていて, 生物学の用語の難しさが顕著にみられる。Biology だけ巻頭に設けられた Student's Introduction の中で, 生物学用語の理解の仕方について詳しく説明していて, "WORD ANALYSIS" を参照し, ことば元来の意味をつかむ, 接頭・接尾語などパーツに分解する, 同一語源のことばを探してグループとして覚える, 文の中でことばが果たす役割を見つける, Glossary で平易な英語で

書かれたものを参照する、という助言がある。この Student's Introduction の大半は Active learning に割り当てられていて、発問をどう立てるか、修得したことをどう広げるか、情報を図・表で表すことや復習について、具体的な例を上げながら詳しく説明している。

章末の EXTENSION は例えば、科学的想像力を要求する「知性は遺伝する形質か？どうやって探求を進めたらよいのか説明しなさい」というタイプの問いだけでなく、科学以外の創造力を要求する「葉緑体になったつもりで、晴れた日の一日の日記を書きなさい。」「動物の臓器で眼と同等のものを探そう。その臓器での見え方を説明するような詩か文章を書きなさい」といった課題も多々見られる。

3.8 Advanced Physics for you GCE 'A' Level^[19]

参考までに、GCE 'A' Level に対応するテキストとしてイギリス Nelson Thornes 社の物理学教科書を確認した。GCE 'A' Level では capacitor は扱うが、電気回路中の inductance は扱わない。現代物理学、具体的には放射能、核エネルギー、素粒子物理学について各1章を割り当てた扱いがある。巻末には総合問題 (synoptic questions) のほか、各種スキルのまとめ (Study skills, Revision skills, Examination Technique, Key skills in Physics, Doing your practical work) が数学の整理 (Check your math) に並んで整理されている。

3.9 まとめ

今回見渡した範囲でも、シンガポールの教育が、理念的にも実際の実施状況も、最新の研究成果をいち早く反映させる体制が出来上がっているように見受けられた。それは公立小学校にも浸透していて、別件で2011年2月に山下がシンガポールの理科授業を参観した時に、協同学習の導入の前にその意義の説明を聞いてから学習に入った(図7)ことでも明らかである。その内容は日本の大学・大学院の理科教育の授業の中で「協同学習の意義」として説明されるものとほとんど同じであった。これを実現させるための教員の姿勢の改革はとても気になることであり、今後予定している NIE スタッフとの協議で明らかにしていきたい。



図7 協同学習の意義について、小学校での説明

4. 内容言語統合型学習 (CLIL) の視点

教科内容と語学を組み合わせるという考え方にはいくつかの流れがあり、一つには主にアメリカで英語を第二言語として習得させる研究 (Second Language Acquisition) を背景とする内容中心指導法 (Content-based Instruction, CBI) という体系も知られている。ヨーロッパでは内容言語統合型学習 (Content and Language Integrated Learning, CLIL) という体系がある。CLIL は複言語主義 (plurilingualism)、つまり、政治・経済上の必要性から複数の言語能力を保持し、文脈や目的に応じて必要な言語を必要なレベルで使えるようにするという考え方を背景として、スペイン・イタリア・ドイツ・オランダなどの英語を外国語として用いる環境で、最近の教育メソッドを包含し、高い実用性を持たせたものになっている^[20]。

CBI はネイティブ教師が教えるものとされるが、日本国内で大学レベルの科学実験が指導できるネイティブ教師の数はそう期待できず、本研究で成功したとしても研究成果の波及効果は見込めない。一方の CLIL は非ネイティブ教師が授業担当になることを前提とし、実施上の現実的な問題への対処にも対応していて、ときに母語 (first or home language, L1 と略記される) とどう切り替えるか、困難を感じる教員をどう巻き込んでいくかなどの問題についても取り扱いがある。われわれのプロジェクトに多かれ少なかれ CLIL の方法論を参照する必要が出てくることは必須と考えた。

4.1 CLIL の特徴と原理

文献^[21]によると、「CLIL は、教科のカリキュラム内容の教育と、非母国語の教育とを包括したひとつの取り組みあるいは手法であり、私たちのグローバルな技術社会では、他言語の知識が学習者の第一言語におけるスキルを高めるとともに、世界中の人たちとの科学・芸術・技術に関する意思疎通のためのスキルも高めるといことで、重要度が増大している」とある。CLIL の特徴は特に、内容 (Content) と言語 (Communication) に、さらに顕著な特徴となる認知 (Cognition, 思考とも訳す) と文化 (Culture, 学習活動や内容を取り巻く背景の意味で、協同 Community を当てることもある) が加わった 4C が強調されている。また、言語教育としては 3 種、専門用語など内容の言語 (Language of learning)、授業で計画された活動を進めるための言語 (Language for learning)、偶発的に追加されるアクティブラーニングの言語 (Language through learning, 辞書を引いてみる、結果を見直す、証拠を示すなど) に分類される。認知スキルも暗記・理解・適用という低次スキル (Lower Order Thinking Skill, LOTS) と、分析・評価・創造という高次スキル (Higher Order Thinking Skill, HOTS) を分別し意識することが求められる。

教科を主とするか、語学を主とするか、それらの融合の仕方などにより、CLIL は多面的に定義されている。日本では英語教育の一環として語彙・文法を有意義に学習する機会と考えられる場合 (soft CLIL) が多いが、ヨーロッパでは英語は手段とし、教科教育を学ぶとする

場合 (hard) も盛んだという。教科カリキュラム・シラバスあるいは授業時間の中への組み込み方も、単発 (light) であったり定期的 (heavy) であったり、時間を切った一部分 (partial) にしたり時間全体 (total) にしたり、日本語を使ったり (bilingual)、英語だけであったり (monolingual)、など様々なタイプがありうる。そのような中にも、CLIL には大きな原理として、(1)内容学習と語学学習の比重 1 : 1、(2)オーセンティック素材 (新聞、雑誌、Web site など) の使用の推奨、(3)文字だけでなく音声、数字、視覚 (図版や映像) による情報の提供、(4)様々なレベルの思考力 (暗記・理解・適用・分析・評価・創造) の活用、(5)タスクの多用、(6)協同学習 (ペアワーク、グループ活動) の重視、(7)内容と言語の両面での足場 (学習の手助け) の用意、(8)異文化理解・国際問題の要素の導入、(9)4 つの技能のバランス良い統合した使用、(10)学習スキルの指導、があるとされる。

なお、L1 (母国語) の使用も限定的に可能であるとしている^[21]。内容によっては意思疎通に L1 を使うことが教育効果や学習効果からありうる。授業者も学習者も、場合によっては特定の目的で二言語を切り替え、学習者が内容を理解するのを助けたり、学習者が理解を確認したり、説明したりする。また、CLIL は導入部で既存の知識を活性化させるウォームアップやブレインストーミングで学習者が自ら内容を表現することを奨励するが、このとき L1 を使うこともある。また授業の終わりでクラス全体に対し学んだことを確認する plenary において授業者が発する問いかけには、今日何を学んだか、何が新しかったか、何が難しかったか、何に驚いたか、もっと何をしたかったかが含まれる。ここでも学習者が L1 を使うこともある。意図的に新規な概念や言葉を導入し、隣の生徒と組ませて二言語辞書で語彙を調べさせる、という例もある。

ただし、目的言語の思考様式と L1 の思考様式の違いに起因する翻訳や置き換えは最も高いレベルの認知スキルを要するものとされ、混用することなく、単純に切り替えるのが望ましいという。

4.2 CLIL の教材作成

CLIL の教材作成の流れは、4C のうちの内容：Content の領域の材料集めから始まり、続いてほかの三領域、つまり、言語：Communication、認知：Cognition、文化／協同：Culture／Community に渡るタスクの作成が続く。タスク作成のフレームワークは、材料・情報の提示：Presentation、情報の処理：Process (あるいは練習：Practice)、産出：Production という PPP の三段階の流れに分けられ、さらに、それら各段階を支える足場 (scaffolding) の提供が必要であるとされる^[20]。

特に CLIL で強調されているのは教科の既習内容を英語で学び直すわけではないという明確な立場である。新たな教科内容の学習を英語活動の中でいかにサポートするか、特にオーセンティックな素材において普通に現れる難しい英語や慣れない内容に対し、言語面と内容面のサポートが必要になり、その具体的方法としての足場をどう与えるかが重要になる。生徒の理解度をモニターしながらその場で与えるという手法もあるが、教材作成時

にその中に足場を与えることも想定される。この場合、言語面ではテキスト書き換え、キーワード説明、単語・文法の注釈、内容面では興味喚起、背景説明、経験の活性化などが挙げられる^[21]。

4.3 実験講座への対応例

科学実験講座「音と振動」の例を Do Coyle らが提案^[21]する Creating a Tool Kit にあてはめると附録 1 のようになるだろう。この内容は昨年度までの講座「弦楽器の振動数」を二つに分割し、作業内容がやや複雑な部分、具体的には、弦を共振させることで振動のなかの一つの成分を増幅するという「振動の分析」にあたる部分を除外することで、入門的な位置づけにしたものである。講座ごとに設定すべき内容を上から単純に番号づけし、左端に付した。講座によらず共通に使えるものには下線を施した。

4.4 展望

前節の講座シラバスはまだ一例に過ぎない。特に講座によらない共通部分に関しては他の作成のもとで検討し、また実践への助けになるか、適しているかなど検討する必要がある。また、このようなシラバス作成の前段階として、まわりの教師をどう巻き込んで共通理念を形成し、本質的な困難さを乗り越えるかについても CLIL のテキストには提案があるが、その点についても今後の課題である。最近の高校理数教育では SSH の一環として科学研究を英語で発表するという例もあるので、それらとの連携も視野に入れたい。

5. まとめ

CLIL Tool Kit の最終段階は教師相互の研修を課題とし、発問を基盤とする専門的学習コミュニティをどう形成するかを取り上げている。教員養成課程として、また現職教員の研修の場として、教育学部としての取り組みにも参考にしていきたい内容である。科学教育に関して、この点はシンガポールの理科教育カリキュラムは参考になりそうであり、今後さらに調査を深めていきたい。ただし、シンガポールでは二言語主義とはいえ、政府が国民に要求する英語能力は極めて高く、現状の日本での教育で比較・参照するには違いが大きい点に注意する必要がある。

謝 辞

渡航前の交渉には千葉大学と南洋理工大学の間の大学間提携があったことが幸いで、千葉大学理事 長澤成次先生、学術国際部国際企画課 袖山洋志さん、NIE の PIAR (広報・国際部) Valerie Sim さんにお世話になりました。奈良教育大学 森本弘一先生、千葉大学教育学部 鶴岡義彦先生、同 戸田善治先生には貴重な情報の入手に協力いただきました。本文中で触れたように、NIE Singapore の Tan Daniel 先生、Tan Aik Ling 先生、Jennifer Yeo 先生には継続的なご協力の約束をいただいています。ここに感謝の意を表します。本研究は平成 23

～25年度の科学研究費補助金基盤研究(B)『グローバル社会に対応する英語で行う早期科学教育プログラムの開発』(課題番号 23300280)の採択を受けて行われたものです。

附録1 講座シラバスの例

カリキュラムの目標：科学実験およびそれを英語で行うための科学的・言語的スキル向上

GLOBAL GOAL: Develop scientific & language skills for experiments of science though English

1 * 講座タイトル：「音と振動」

TITLE: SOUND AND FREQUENCY (PHYSICS)

2 * 使用する英語レベル：中学校2～3年生

English level: 2nd or 3rd grade of junior-high school students

3 * 目的 Aims

○英語による実験(説明の理解から共同作業のまとめまで)に慣れさせる To help learners get accustomed to experiments through English, from understanding explanation of the procedure to summarizing the collaboration

○音と有理数,あるいは,音楽と物理の関係に気付かせる To realize the relation of sound and rational numbers, or the relations of music and physics

○発信器や周波数表示の器具を使って特定の周波数の音が出せるようにする To help learners understand how to produce sounds with definite frequencies using a signal generator and tools of frequency display

○周波数が非常に低い(あるいは高い)音がどう感じられるかを体験させる To feel lowest or highest sounds

○複数の音の音程差や協和性と,周波数比との関係を体験的に認識させる To recognize the relation between ratios of frequencies of sounds and musical intervals or harmonies

○二つの音の周波数の近さとうなりとの関係を体験的に認識させる To recognize the relation between nearness in frequencies and beating produced by two sounds of definite tones

○英語による論文発表・口頭発表につながる発展的な課題に取り組みさせる To make learners tackle tasks which will motivate learners to write a paper or make an oral presentation in English

*教育内容 4項目 (=4Cs)

4 ** 内容 (1st C: Content)

○関連する身近な問題を議論するための語彙 Vocabulary for talking/writing about related daily-life issues

○実験の背景,実験の意義,理論を議論するための語彙 Vocabulary for talking/writing about the background, meaning, and theory

** 認知 (2nd C: Cognition)

5 *** 低次スキル (Lower Order Thinking Skill, LOTS)

○手順書に従い,必要な場合は記憶した上で,機器を

操作する To operate instruments according to a procedure manual, if necessary, only recalling memory

○設定と結果を整理して記録する To take notes on results with configurations smartly

○機器操作や実験結果を口頭や文書で報告する To report operations and results orally or in writing

6 *** 高次スキル (Higher Order Thinking Skill, HOTS)

○予想と結果を比較し設定や読み取り・記録の正常を確認,あるいは異常を発見する To make sure of settings and readings from comparison of results with expectations, or find errors

○測定結果を元に,次の設定を考えて実験をすすめる To proceed with experiments with a new configuration complementary with results

○自分の結果と協同実験者の結果を比較し,相違点を見付け,その理由を説明する To compare his (her) results with collaborators, find the difference and consider the reasons

7 ** 文化/協同 (3rd C: Culture/Community)

○科学史的な文脈における実験の意義を理解する

To understand the meaning of the experiments in the science-historical context

○グローバル基準による表現を用い,世界の科学研究や教育とのつながりを探る To use expressions under a global standard, and try to find the connection to world-wide research and education

** 言語 (4th C: Communication, ①～③)

8 *** ①専門用語などの内容の言語 (Language of Learning)

○内容に関わる必須の専門用語(音の高さ,大きさ,音色,可聴周波数,超音波) Obligatory vocabulary in the field of theme science (e.g., pitch, loudness, timbre of sounds, audible frequency range, ultrasound/ultrasonic sound)

○理解を深めるための近接領域あるいは日常の用語(楽音・音名・音階・ハーモニー・音程など音楽用語) Related-field or daily-life vocabulary for enrichment of understanding (e.g., music terms as tone, tone name, scale, harmony, interval)

○実験装置や部品の名称とそれに対する作業動作や記録のための語彙 Vocabulary for calling names of instruments and their parts, reading operational guides and taking notes of results

9 *** ②授業で計画された活動を進めるための言語 (Language for Learning)

○実験手順に挙げられる作業の語彙 Vocabulary of procedures in operation protocol

○手順や結果を協同実験者と相互に確認し,必要なら修正するための話し方 Language of confirmation of procedures and results with collaborators and make corrections if necessary

○考えられる事故や危険の予防,緊急時の指示に関する語彙 Vocabulary of precaution of possible troubles and hazards, and directions in emergency

10 *** ③偶発的に追加されるアクティブラーニングの言語 (Language through Learning)

○実験の進行に不明な点があるときにそれを説明し質問する To explain to the teacher what is unclear in the procedure and ask him/her to support

○実験記録に明らかな欠落や誤解が見られる場合、教師の指摘に従い協同実験者と討論する If teacher found an apparent mistake or misunderstanding in notes, discuss with collaborators

○実験結果に対する科学的な考察や非科学的な感想を書く To write a discussion scientifically and describe personal feelings induced by results

11 * 学習の成果 Learning Outcomes, 講座の終わりまでに次のことができる

○「高さ」という音の性質を、振動数という定量的な指標で表現する Describe the pitch of sounds in terms of frequencies quantitatively

○可聴な高さの音の振動数範囲について説明する Explain the frequency range of audible sounds

○発信器等の器具を使い、一定の振動数の音を鳴らす Using instruments like signal generators and DMM, produce a sound with definite frequency

○二つの音に関する音程差と振動数比の関係を予測する Expect relation between an interval of two tones and ratio of those frequencies

○音階あるいはハーモニーを構成するいくつかの音の振動数比を予測する To expect a ratio of frequencies for tones which consist of a scale or a harmony

○二つの音が近い振動数にあるときの「うなり」を予測する To expect a beating if two tones are near in frequencies

12 * 評価の基準 (講師, 協同実験者, あるいは本人による評価の観点) 省略

文 献

[1] 平成 20~22 年度 独科学技術振興機構協定事業 未来の科学者養成講座「輝ける若者の未来へ向けて 高等教育への連続性を持つ科学体得プログラム『ラボ on the デスク』によるタウンアカデミアの展開」千葉大学教育学部 養護教育講座 2011 年。

http://rikai.jst.go.jp/miraisci/final_pdf/h20_chiba.pdf

[2] 橋本健夫・鶴岡義彦・川上昭吾 編著「現代理科教育改革の特色とその具現化—世界の科学教育改革を視野に入れて」, 第 4 章第 6 節「シンガポール—複線型の教育制度」(森本弘一・川上昭吾 執筆)

2010 年, 東洋館出版社。

[3] 川上昭吾・森本弘一・劉卿美・橋本健夫 「シンガポールの教育, 特に, ストリーミングについて」愛知教育大学教育創造開発機構紀要 vol.1 pp. 39~45, 2011 年。

[4] 経済協力開発機構 (OECD) 編著 渡辺良 監訳 「PISA 調査から見る, できる国・頑張る国—トップを目指す教育」第 7 章, 2011 年, 明石書店。

[5] シム・チュン・キャット著 「シンガポールの教育とメリトクラシーに関する比較社会学的研究」2009 年, 東洋館出版社。

[6] <http://www.nie.edu.sg/>

[7] Tan Aik Ling and Jennifer Yeo, a handout (private communication), July 2011, NIE Singapore.

[8] <http://www.highsch.nus.edu.sg/>

[9] <http://www.science.edu.sg/>

[10] <http://www.moe.gov.sg/education/syllabuses/>

[11] C. Sandra-Segeram et al., "All About English Textbook Secondary 1E/NA" Pearson Longman 2010.

[12] Dr P. Doyle et al., "All About English Textbook Secondary 2E" Pearson Longman 2010.

[13] <http://at1.moe.gov.sg/>

[14] C. Davis et al., "Life Accents An English Language Course for Upper Secondary 3A", "3B", Marshall Cavendish Education, 2003-2004.

[15] B. Tomlinson et al., "Life Accents An English Language Course for Upper Secondary 'O' level 4 S/E 5NA Book A", "Book B", Marshall Cavendish Education, 2003-2004.

[16] Dr R.M. Heyworth, J. G.R. Briggs, "Science In Focus 'O' level Physic", Pearson Longman 2010.

[17] L.W. Yong, L.K. Wai, "Science In Focus 'O' level Chemistry", Pearson Longman 2010.

[18] Beverly Tay, "Science In Focus 'O' level Biology", Pearson Longman 2010.

[19] K. Johnson, et al., "Advanced Physics for you", Nelson Thornes, 2000.

[20] 渡部良典・池田真一・和泉真一 「CLIL (内容言語統合学習) 上智大学外国語教育の新たな挑戦 第 1 巻 原理と方法」上智大学出版会 2011 年。

[21] Kay Bentley, "the TKT Course CLIL Module", Cambridge University Press 2010.

[22] Do Coyle et al., "CLIL Content and Language Integrated Learning", Cambridge University Press 2010.