

目 次

序章 一問題の所在と研究の目的一	1
小林辰至 (上越教育大学)	
第1章 本研究における学力のとらえ方	3
小林辰至 (上越教育大学) 丹沢哲郎 (静岡大学) 磯崎哲夫 (広島大学)	
山崎貞登 (上越教育大学) 國宗 進 (静岡大学)	
第1節 PISA型学力のとらえ方	3
第2節 カナダ・アメリカにおける学力の捉え方	13
丹沢哲郎 (静岡大学)	
第2章 21世紀の科学技術社会を生きるためのカリキュラム開発の原理	26
磯崎哲夫 (広島大学)	
第3章 数学・技術の統合カリキュラムの事例検討	36
森山 潤 (兵庫教育大学大学院)	
第4章 理科・技術科・数学科の統合カリキュラム開発	44
第1節 算数・数学教育の立場から	44
二宮裕之 (埼玉大学) 日野圭子 (宇都宮大学)	
國宗 進 (静岡大学)	
第2節 技術科の立場から一技術教育における材料と加工に関する学習の具体例一	68
大谷 忠 (茨城大学)	
第3節 理科の立場から	77
磯崎哲夫 (広島大学)	
第5章 「ものづくり」を中核とした技術・算数・理科の統合カリキュラムの実践例	92
一新潟県三条市立下田中学校・長沢小学校・荒川小学校の「ものづくり学習領域」一	
山崎貞登 (上越教育大学大学院)	
内山陽介 (上越教育大学大学院2008年度修了生, 現兵庫県加古川市立氷丘中学校)	
大森忠寿・稲田高志 (新潟県三条市立荒沢小学校)	
関原和人 (上越教育大学大学院2008年度修了生, 現上越市立直江津中学校)	
太田雅彦 (上越教育大学大学院・院生)	
森山 潤 (兵庫教育大学大学院)	
大谷 忠 (茨城大学教育学部)	

序章 一問題の所在と研究の目的一

小林辰至（上越教育大学）

21世紀は、政治・経済・文化をはじめとする社会のあらゆる領域において新しい知識・情報・技術の重要性が飛躍的に増大する、いわゆる知識基盤社会の時代であるといわれる。知識基盤社会では、今日誰でもメディアを通して見聞きする「生活と健康」「地球と環境」「科学技術」等の科学に関する社会的諸問題（socio-scientific issues）について思考・判断・意思決定する高度な能力が要求される。

このような高度の能力は、経済協力開発機構（OECD）が実施した国際学習到達度調査（PISA）の枠組みの基本理念となっている21世紀型の学力（コンピテンシー）に相当する。コンピテンシーは、単なる知識や能力だけではなく、技能や態度をも含む様々な心理的・社会的なリソースを活用して、特定の文脈の中で複雑な要求（課題）に対応する能力として捉えられている。そして、キー・コンピテンシーは「①社会・文化的、技術的ツールを相互作用的に活用する能力」「②多様な社会グループにおける人間関係の形成能力」「③自立的に行動する能力」の3つのカテゴリーから成っている。21世紀型の学力（コンピテンシー）は、従前的な教科縦割り教育だけで育成することは困難である。それ故にこそ、数学、理科、技術において育成される資質能力を統合し、21世紀の知識基盤社会を生きていく市民を育成する統合カリキュラムに関する理論的研究と開発が求められている。

日常生活においては、科学と技術の結びつきは強いにもかかわらず、現在の教育においては、初等教育から高等教育まで、科学と技術は区別して教えられている。これは「まず科学を学ばば、その後科学を利用する方法を学ぶことができる」という哲学に基づいている（Amos, S. & Booham, R. eds., *Teaching Science in Secondary Schools*, RoutledgeFalmer, Ch.6, 2002）。他方、一般の人々は科学と技術を一体のものとして見なしており、両者を切り離していわゆる科学のみを教えようとするのは不自然であることが指摘されている（Millar, R. & Osborne, J., eds., *Beyond 2000*, King's College London, 1998）。他方、我が国では、歴史的にみて科学と技術が統合的に扱われた時代がある。

本研究では、統合カリキュラムが目指す人間形成の理念を「豊かな感性と確かな学力に裏付けられた「変化に対応する力」「経験から学ぶ力」「批判的立場で考え、行動できる力」を身につけた、良き民主主義社会の形成者」として捉えることにする。そのうえで、理科・技術・数学の各教科についてそれぞれの目標と照らし合わせて教科固有の資質・能力と共通する資質・能力（①問題解決とデザイン（探究プロセス・数学的プロセス・デザインプロセス）、②意思決定能力、③コミュニケーション能力、④調和と制御に関わる知識・理解、⑤感性）、⑥システムの調和と統制に関わる知識・理解）を育成するための「内容選択の原理」と「活動導入の原理」を策定し、統合カリキュラム開発の理論を確立するとともに単元・カリキュラムを開発し、その有効性を実践を通して検討することを目的とする。なお、本研究の全体構成のイメージは図1の通りである。

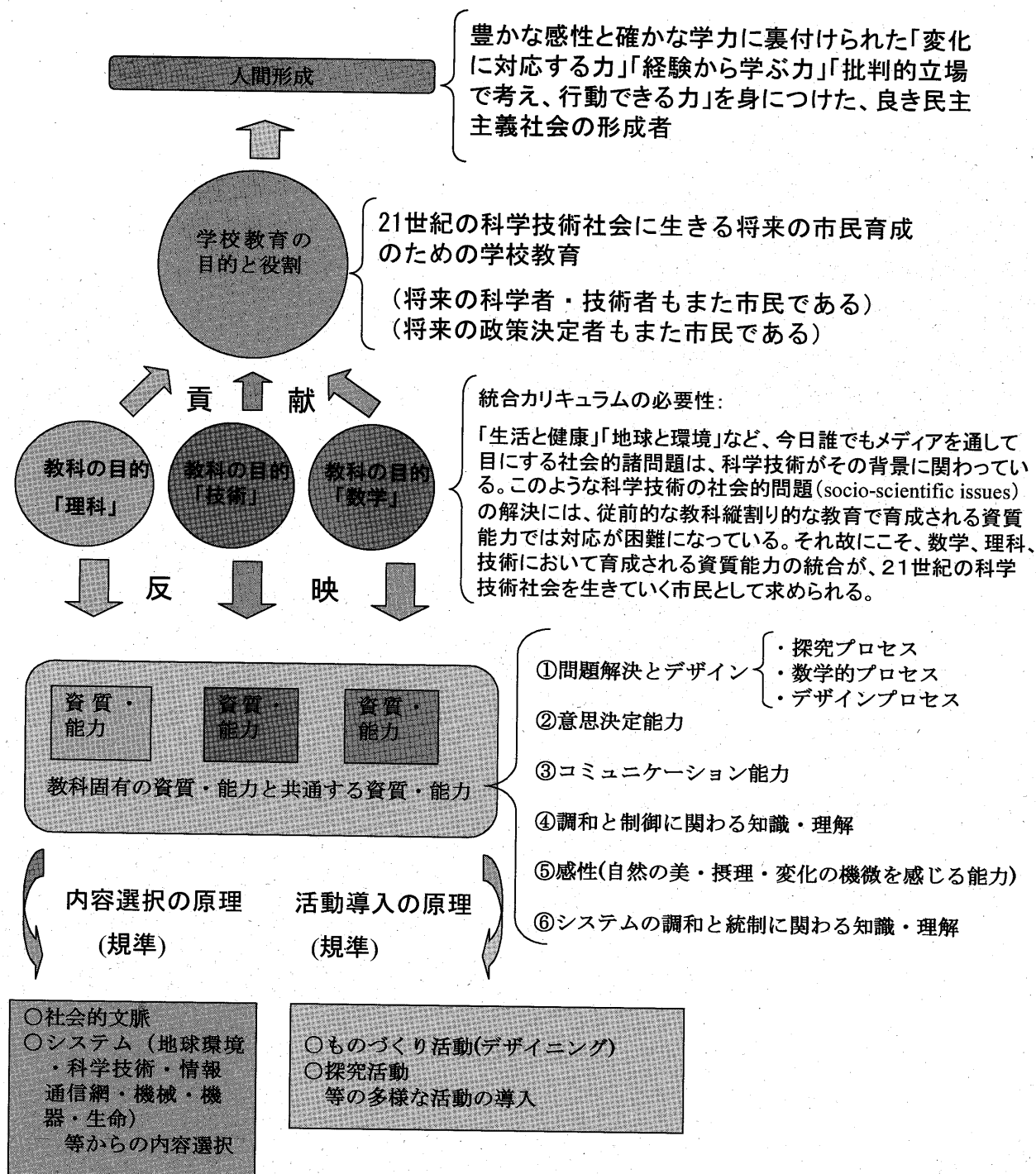


図1 本研究の全体構成のイメージ

第1章 本研究における学力のとらえ方

第1節 PISA型学力のとらえ方

小林辰至（上越教育大学）

丹沢哲郎（静岡大学）

磯崎哲夫（広島大学）

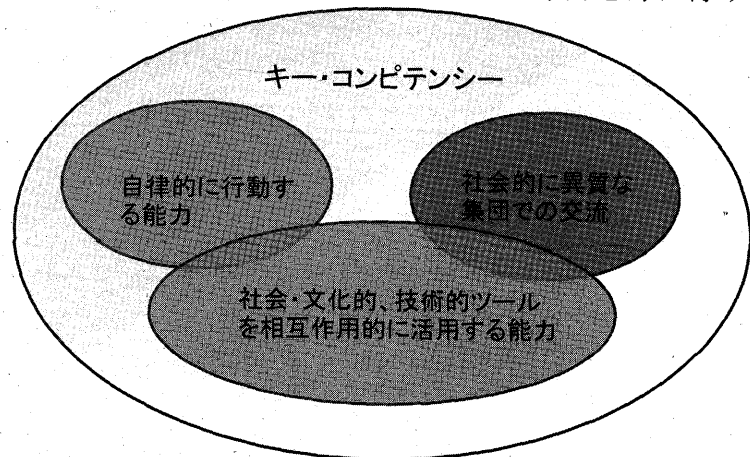
山崎貞登（上越教育大学）

國宗 進（静岡大学）

1. キー・コンピテンシーの定義と3つのカテゴリー

現代社会は地球規模で国際化と高度情報化が進行し、多様で複雑化している。経済協力開発機構（OECD）は、次の世代がこのような社会に適応し、生き抜くうえで必要とされる能力概念である「コンピテンシー」を、国際的・学際的・政策的に研究することを目的として、研究プロジェクトを組織した。この研究プロジェクトは、DeSeCo（Definition and Selection of Competencies:Theoretical and Conceptual Foundations）とよばれ、1997年に活動を開始し、2003年の最終報告で終了した。

DeSeCo プロジェクトは、単なる知識や技能の習得を越え、共に生きるための学力を身に付けて、人生の成功と、良好な社会を形成するための鍵となる能力概念「キー・コンピテンシー」を定義し、①「社会的に異質な集団で交流すること」、②「自律的に活動すること」、③「道具を相互作用的に用いること」の3つのカテゴリーに分けている。



人間が生きるということを根源的に考えると、それは自ら自律して行動することである。そして、生きるためには、さまざまな有形・無形の道具を使いこなすことが不可欠である。さらに、人間は社会の中で他者と交流しながら、生き・生かされている。地球規模で多様性と複雑化が進行している現代社会で生きるためには、異質な他者と関わる社会の中で、言語・思考様式・機器等の社会的・文化的・技術的道具を活用し、民主主義の社会を維持・発展させるために、自律的に行動できるようになる必要がある。

2. キー・コンピテンシーの3つのカテゴリーと下位項目

(1) 社会的に異質な集団での交流

「社会的に異質な集団での交流」のカテゴリーは、3つの下位カテゴリーで構成されている。1つは、「他者とうまく関わること」で、他者との関係を構築したり維持したりすることを可能にする能力である。その際、「共感」は最も重要なものと考えられる。また、自分自身を律する能力も重要である。

2つは、「協力する能力」で、共通の目的に向かって他者と協力し、一緒に仕事をする能力で

ある。この能力の重要な要素は、(1)自らの考えを提示し、他者の考えに耳を傾けること、枠組みを切り替えて異なる視点から問題に接近すること、(2)全体の目標及び他者の役割や責任との関係で、自らの役割や責任を理解すること、(3)自らの考えを全体に調和させることである。

3つは、「対立を処理し解決する能力」で、対立考えや利害を調整したり、解決策をみつけ出す能力である。この能力の重要な要素は、(1)異なる立場があることを知り、現状の課題と利害について、原因と理由を分析すること、(2)合意できる領域とできない領域を認識すること、(3)問題を再構成すること、(4)妥協点と妥協に必要な条件を決めながら、問題解決の優先順位をつけることである。

(2) 自律的に行動する能力

「自律的に行動する能力」のカテゴリーは、3つの下位カテゴリーで構成されている。

1つは、「大きな展望」の中で活動する能力として捉えられるものであり、行動したり何かを決定する際の規範や歴史的背景、あるいは、その文脈の中での自らの立場を理解したり、問題とそれに関わる諸要因を総合的・多面的に捉えたりする能力である。

2つは、「人生計画や個人的なプロジェクトを設計し、実行する能力であり、人生設計や個人的なプロジェクトを設計する能力は、これから先のことを時系列で予測し問題解決に必要な手だてを適切に順序立て、効率的・効果的な手段を講じることである。

3つは、「自らの権利、利益、限界、ニーズを守り、主張する能力」で、自らの権利や利益等を明確にして、それを主張したり守ったりすることを、自律した活動の根本に位置づけることである。この能力を発達させることにより、人間は個人的な権利や集団の権利を主張し、尊厳のある存在を保障され、自らの人生に自信と誇りを持つことができる。

(3) 社会・文化的、技術的ツールを相互作用的に活用する能力

「ツール」は機械やコンピュータなどの物としての道具だけではなく、言語・情報・知識のような社会文化的なものも含む広い意味で用いられている。

「社会・文化的、技術的ツールを相互作用的に活用する能力」のカテゴリーは、3つの下位カテゴリーで構成されている(表1)。

1つは、「言葉、シンボル、テキストを相互作用的に活用する力」で、いわゆる「コミュニケーション能力」「リテラシー」である。この能力の具体例の1つは、PISAで定義された読解力リテラシーの枠組みである。読解力とは、「自らの目標を達成し、自らの知識と可能性を発達させ、効果的に社会に参加するために、書かれたテキストを理解し、利用し、熟考する能力」である。もう1つの具体的には、数学的リテラシーである。数学的リテラシーはPISAによると、「数学が世界で果たす役割を見つけ、理解し、現在及び将来の個人の生活、職業生活、友人や家族や親族の社会生活、建設的で関心をもった思慮深い市民としての生活において確実な数学的根拠にもとづき判断を行い、数学に携わる能力である。」と定義されている。

2つは「知識や情報を相互作用的に活用する力」で、知識や情報を得るだけでなく、情報の質、適切さ、価値を批判的に評価し、それらを効果的に責任を持って活用する能力である。この能力は具体的には、科学的リテラシーである。科学的リテラシーはPISAでは「自然界及び人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために、科学的知識を利用し、課題を明確にし、証拠に基づく結論を導き出す能力」と定義されている。

3つは、「技術を相互作用的に活用する力」で、技術の目的や機能を理解するとともにその可能性を構想し、技術がもたらす新たな活動がもたらす相互作用を認識し、日常生活で活用する能力である。

表1 キー・コンピテンシーの3つのカテゴリーの下位項目と PISA 型学力におけるリテラシーの対応関係

カテゴリー	下位カテゴリー	能力の具体例
社会的に異質な集団での交流	①他者とうまく関わる能力：共感	コミュニケーション能力
	②協力する能力	
	③対立を処理し解決する能力	
自律的に行動する能力	①「大きな展望」の中で活動する能力	
	②人生計画と個人的なプロジェクトを設計し、実行する能力	
	③自らの権利、利益、限界、ニーズを守り、主張する能力	
ツールを相互作用的に用いる能力	①言葉、シンボル、テキストを相互作用的に活用する力	読解力リテラシー 数学的リテラシー
	②知識や情報を相互作用的に活用する力	科学的リテラシー
	③技術を相互作用的に活用する力	

3. 本研究における能力目標の検討

(1) 算数・数学の能力目標の抽出

算数・数学で育成する能力は、一般的に「①算数・数学を生み出す力」、「②算数・数学を使う力」、「③算数・数学で表す力」、「④算数・数学で考え合う力」の4つに大別することが可能で、それぞれ以下の下位能力を抽出できる。

①算数・数学を生み出す力

- i 算数・数学できまりや方法などを見つける力
- ii 算数・数学で前提をもとに確かめる力
- iii 算数・数学で多様に考える力
- iv 算数・数学で関係づけて考える力
- v 算数・数学で発展的に考える力

②算数・数学を使う力

- i 現実の問題を算数・数学の問題に直す力
 - ii 算数・数学のきまりに従って処理する力
 - iii 算数・数学で処理した結果を振り返る力
 - iv 算数・数学で予測・推測する力
 - v 算数・数学で感覚的・概括的に判断する力
- ③算数・数学で表す力
- i 式・表・グラフ・図などに表す力
 - ii 式・表・グラフ・図などを使う力
 - iii 式・表・グラフ・図などを読む力
- ④算数・数学で考え合う力
- i 算数・数学で説明する力
 - ii 算数・数学で解釈する力
 - iii 算数・数学で話し合う力

(2) 理科の能力目標の抽出

理科で育成する能力については、上述の算数・数学を参考にして、「①科学を生み出す力」「②理科を使う力」「③表現する力」「④科学的知識や科学の方法を用いて伝える力」の4つに大別し、それぞれ以下の下位能力を抽出した。

①科学を生み出す力

- i 自然事象に不思議さや疑問を感じる力
- ii 自然事象を比べる力
- iii 自然事象をシステムとして総合的・多面的に捉える力
- iv 自然事象を原因と結果に分けて考える（因果性への気付き）力
- v 自然事象から変数を抽出する力
- vi 自然事象から抽出した変数を関係づけて仮説や予想を立てる力
- vii 観察や実験条件を制御する力
- viii 数量的データを解析する力
- ix 観察や実験の結果を仮説と関係づけて考察する力
- x 自然事象の美・摂理・変化の特徴を感じる力

②理科を使う力

- i 科学的知識や概念を活用して探究活動や日常生活を行う力
- ii 科学の方法を探究活動や日常生活を行う力
- iii 科学的知識・概念や客観的事実にもとづいて意志決定する力

③表現する力

- i 自然事象の特徴や性質等を言語化する力
- ii 自然物の形態や特徴等をスケッチする力
- iii 仮説や予想を言語化する力

- iv 観察や実験の結果を表やグラフに表現する力
- v 観察や実験の結果を仮説や予想と関係づけて言語化する力

④科学的知識や科学の方法を用いて伝える力

- i 自然事象を科学的知識や科学の方法で説明する力
- ii 観察や実験で得られた結果を仮説や予想と関係づけて解釈する力
- iii 科学の方法にもとづいて論理的に話し合う力

(3) 技術の能力目標の抽出

技術で育成する能力については、上述の算数・数学、理科を参考にして、「①技術と社会について考え合う力」「②技術を生み出し表す力」「③技術を使う力」の3つに大別し、それぞれ以下の下位能力を抽出した。

①技術と社会について考え合う力

- i 技術の意義と必要性について考え合う力
- ii ものづくりの技術を理解し、適切に活用する力
- iii 技術が及ぼす影響を理解し、評価する力
- iv 技術相互間の関連性と、技術と他教科との関係について考え合う力

②技術を生み出し表す力

- i 現実の状況から技術の課題を設定し、解決策を提案する力
- ii 設計する力
- iii 段取りする力
- iv 製作・制作と、工夫・改善する力
- v 報告書を作成し、表現・交流する力

③技術を使う力

- i 材料と加工に関する技術を使う力
- ii エネルギー変換に関する技術を使う力
- iii 情報に関する技術を使う力
- iv 生物に関連する技術を使う力

4. 算数・数学・技術・理科の統合カリキュラム開発における能力目標の検討

本研究では、算数・数学・技術・理科の統合カリキュラム開発を行うに当たって、育成したい知識・理解・能力について次の5つのカテゴリーを設定するとともに定義した(表2)。1つは、「問題解決とデザイン(探究プロセス・数学的プロセス・技術デザインプロセス)の能力」で、結論に至るまでの見通しを根拠を示しながら立案し、順序立てて追究したり問題解決したりする能力のことである。2つは、「意志決定能力」で、事象を総合的・多面的に捉えるとともに客観的事実を收拾し、原理・法則等を駆使して客観的に結論を得て、判断・行動する能力のことである。3つは、「コミュニケーション能力」で、問題を捉え解決に至るまでの過程を客観的・論理的に他者に伝える能力のことである。4つは、「システムの調和と制御に関わる知識・理解・能力」で、機器等の科学・技術によってつくられたものや自然の事象等をシステムとしてとらえ、それに関わる諸要因との関連性・因果性の観点から、科学的知識にもとづいて調和と制御

を考えたり実行したりする能力のことである。5つは、「感性（自然の美・摂理・変化の特徴を感じる能力）」で、自然の事象やその変化から規則性や秩序を感じ取ったり表現したりする能力のことである。

表2 算数・数学・技術・理科に共通する資質・能力の抽出

①問題解決（探究プロセス・数学的プロセス・技術デザインプロセス）の能力
・結論に至るまでの見通しを根拠を示しながら立案し、順序立てて追究したり問題解決したりする能力
②意志決定能力
・事象を総合的・多面的に捉えるとともに客観的事実を收拾し、原理・法則等を駆使して客観的に結論を得て、判断・行動する能力
③コミュニケーション能力
・問題を捉え解決に至るまでの過程を客観的・論理的に他者に伝える能力
④システムの調和と制御に関わる知識・理解・能力
・機器等の科学・技術によってつくられたものや自然の事象等をシステムとしてとらえ、それに関わる諸要因との関連性・因果性の観点から、科学的知識にもとづいて調和と制御を考えたり実行したりする能力
⑤感性（自然の美・摂理・変化の特徴を感じる能力）
・自然の事象やその変化から規則性や秩序を感じ取ったり表現したりする能力

5. コンピテンシー育成の観点から見た統合カリキュラムのイメージ

本研究では、批判を覚悟の上で、算数・数学、技術、理科の教科の固有性を以下のようにシンプルに捉えることにする。まず、理科の固有性は、自然の事象対象に科学の方法や科学的知識・概念を駆使して探究する思考様式にある。技術の固有性は、人間の生活を便利で快適にする有形の物を、デザインと称する科学の方法に極めて類似した思考様式で創造することにある。数学の固有性は、抽象的な数理の概念を文字や記号を用いて表現することにある。理科と技術はそれぞれが対象とする事象に関わる規則性や予測等を表現する言葉として数学を用いていると考えられる。

以上のように教科の固有性を簡潔に述べることには疑義もあると考えられるが、このような理解の上で統合カリキュラムを構想すると図2のようなイメージになる。理科の固有性が探究する思考様式にあるとしたとき、最も重要になるのは変化する事象から従属変数と独立変数を抽出し、両者を因果関係でとらえ検証可能な仮説を設定することである。従属変数と独立変数が数量化可能であれば、その関係はX軸とY軸の関係、つまり関数として表現ができる。理科と算数・数学と統合する最も重要な視点の1つはここにあると言える。その他、測定と単位や

平均・割合等々，理科と数学を統合する上で重要な観点は数多く存在する。技術における物づくりは，理科及び算数・数学を統合した結果として，ある目的や機能をもった有形の物が創出される。その物づくりの過程において，統合カリキュラムで育成しようとする，問題解決（探究プロセス・数学的プロセス・デザインプロセス），意志決定能力，コミュニケーション能力，システムの調和と制御に関する知識・技能・能力，自然の美・摂理・変化の機微を感じる感性が育まれると考える。

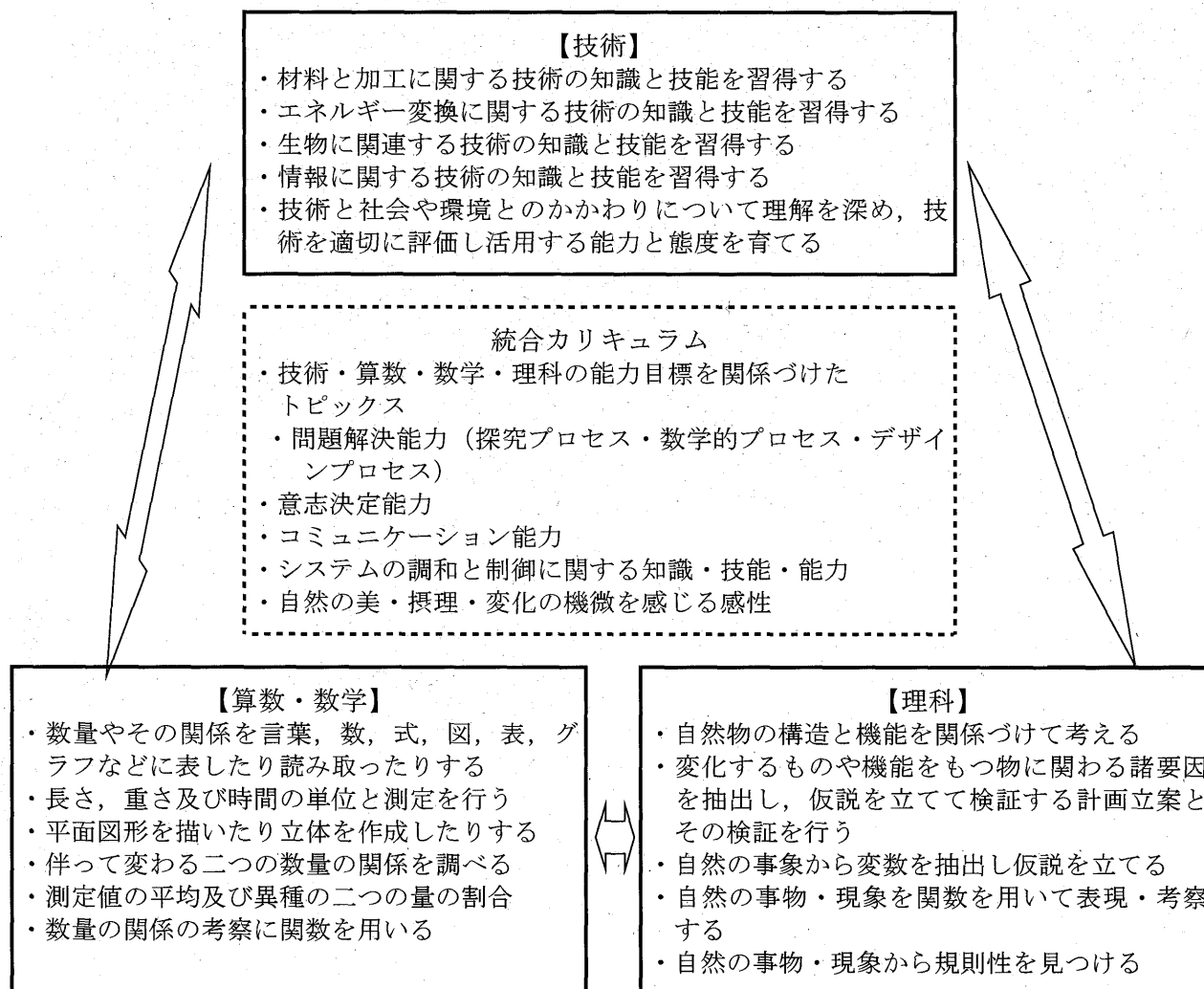


図2 コンピテンシー育成の観点から見た統合カリキュラムのイメージ

6. キー・コンピテンシーの3つのカテゴリーの下位項目と統合カリキュラムにける能力目標の対応関係

キー・コンピテンシーの3つのカテゴリー「社会的に異質な集団での交流」「自律的に行動する能力」「ツールを相互作用的に用いる能力」それぞれの下位カテゴリーに，上述した本研究で開発する統合カリキュラムで育成する能力目標を対応させた（表3）。

カテゴリー「社会的に異質な集団での交流」の下位項目「①他者とうまく関わる能力：共感」「②協力する能力」「③対立を処理し解決する能力」には，「②意志決定能力（事象を総合的・多面的に捉えるとともに客観的事実を收拾し，原理・法則等を駆使して客観的に結論を得て，判

断・行動する能力)」と「③コミュニケーション能力（問題を捉え解決に至るまでの過程を客観的・論理的に他者に伝える能力）」を対応させた。

カテゴリー「自律的に行動する能力」の下位項目「①「大きな展望」の中で活動する能力」「②人生計画と個人的なプロジェクトを設計し、実行する能力」「③自らの権利、利益、限界、ニーズを守り、主張する能力」には、「②意志決定能力（事象を総合的・多面的に捉えるとともに客観的事実を收拾し、原理・法則等を駆使して客観的に結論を得て、判断・行動する能力）」を対応させた。

カテゴリー「ツールを相互作用的に用いる能力」の下位項目については、1つめの「①言葉、シンボル、テキストを相互作用的に活用する力」に「①問題解決（数学的プロセス）の能力（結論に至るまでの見通しを根拠を示しながら立案し、順序立てて追究したり問題解決したりする能力）」と⑤感性（自然の事象やその変化から規則性や秩序を感じ取ったり表現したりする能力）」を対応させた。2つめの「②知識や情報を相互作用的に活用する力」には「①問題解決（探究プロセス）の能力（結論に至るまでの見通しを根拠を示しながら立案し、順序立てて追究したり問題解決したりする能力）」と「⑤感性（自然の事象やその変化から規則性や秩序を感じ取ったり表現したりする能力）」を対応させた。3つめの「③技術を相互作用的に活用する力」には「①問題解決（デザインプロセス）の能力」と「④システムの調和と制御に関わる知識・理解・能力（機器等の科学・技術によってつくられたものや自然の事象等をシステムとしてとらえ、それに関わる諸要因との関連性・因果性の観点から、科学的知識にもとづいて調和と制御を考えたり実行したりする能力）」を対応させた。

さらに、カテゴリー「ツールを相互作用的に用いる能力」の下位項目については、3つの下位カテゴリー「①言葉、シンボル、テキストを相互作用的に活用する力」「②知識や情報を相互作用的に活用する力」「③技術を相互作用的に活用する力」それぞれについて、数学と理科から抽出した能力目標を対応させた。

本研究における統合カリキュラムは図2に示したように、算数・数学と理科の上に具体的な物づくりとしての技術が位置づけられている。換言すれば、算数・数学を通して育成される数の処理等の抽象的な算数・数学的なものの見方・考え方及び理科を通して習得する自然の事象に関わる知識・概念・探究能力とを活用して目的のある構造と機能を備えた物づくりとしての技術に生かされると捉えることにする。

表3 キー・コンピテンシーの3つのカテゴリーの下位項目と統合カリキュラムにける能力目標の対応関係

カテゴリー	下位カテゴリー	本研究で設定した能力目標
社会的に異質な集団での交流	①他者とうまく関わる能力：共感	②意志決定能力（事象を総合的・多面的に捉えるとともに客観的事実を收拾し、原理・法則等を駆使して客観的に結論を得て、判断・行動する能力） ③コミュニケーション能力（問題を捉え解決に至るまでの過程を客観的・論理的に他者に伝える能力）
	②協力する能力	
	③対立を処理し解決する能力	
自律的に行動する能力	①「大きな展望」の中で活動する能力	②意志決定能力（事象を総合的・多面的に捉えるとともに客観的事実を收拾し、原理・法則等を駆使して客観的に結論を得て、判断・行動する能力）
	②人生計画と個人的なプロジェクトを設計し、実行する能力	
	③自らの権利、利益、限界、ニーズを守り、主張する能力	
ツールを相互作用的に用いる能力	①言葉、シンボル、テキストを相互作用的に活用する力	①問題解決（数学的プロセス）の能力（結論に至るまでの見通しを根拠を示しながら立案し、順序立てて追究したり問題解決したりする能力） ⑤感性（自然の事象やその変化から規則性や秩序を感じ取ったり表現したりする能力）
	②知識や情報を相互作用的に活用する力	①問題解決（探究プロセス）の能力（結論に至るまでの見通しを根拠を示しながら立案し、順序立てて追究したり問題解決したりする能力） ⑤感性（自然の事象やその変化から規則性や秩序を感じ取ったり表現したりする能力）
	③技術を相互作用的に活用する力	①問題解決（デザインプロセス）の能力 ④システムの調和と制御に関わる知識・理解・能力（機器等の科学・技術によってつくられたものや自然の事象等をシステムとしてとらえ、それに関わる諸要因との関連性・因果性の観点から、科学的知識にもとづいて調和と制御を考へたり実行したりする能力）

表4 キー・コンピテンシーのカテゴリー「ツールを相互作用的に用いる能力」の下位カテゴリーと本研究における能力目標との対応

カテゴリー	下位カテゴリー	能力の具体例
<p>ツールを相互作用的に用いる能力</p>	<p>① 言葉、シンボル、テキストを相互作用的に活用する力</p>	<p>読解力、理科、数学、算数、技術</p> <p>① 言語化する力 テキストを要約する力 シンボルや図表を読み取る力 図表やグラフを説明する力 図表やグラフから情報を抽出する力 図表やグラフを比較する力 図表やグラフを解釈する力 図表やグラフを表現する力 図表やグラフを制作する力 図表やグラフを評価する力 図表やグラフを改善する力 図表やグラフを共有する力 図表やグラフを協働する力 図表やグラフを創造する力</p> <p>② 知識や情報を相互作用的に活用する力</p> <p>③ 技術を相互作用的に活用する力</p>
<p>② 知識や情報を相互作用的に活用する力</p>	<p>② 知識や情報を相互作用的に活用する力</p>	<p>② 知識や情報を相互作用的に活用する力</p> <p>① 知識や情報を相互作用的に活用する力 ② 知識や情報を相互作用的に活用する力 ③ 知識や情報を相互作用的に活用する力 ④ 知識や情報を相互作用的に活用する力</p>
<p>③ 技術を相互作用的に活用する力</p>	<p>③ 技術を相互作用的に活用する力</p>	<p>③ 技術を相互作用的に活用する力</p> <p>① 技術を相互作用的に活用する力 ② 技術を相互作用的に活用する力 ③ 技術を相互作用的に活用する力 ④ 技術を相互作用的に活用する力</p>

第2節 カナダ・アメリカにおける学力の捉え方

丹沢哲郎（静岡大学）

1. はじめに

第1節においては、OECDにおける学力の捉え方を、キー・コンピテンシー概念を軸に提示した。また、この考え方を基礎に置きながら、本研究グループが構築した「算数・数学、技術、理科に共通する資質・能力」（以下「共通資質・能力」と略す）を5つのカテゴリーに分けて提示した。そこでここでは、本研究の一つの成果であるこの「共通資質・能力」と、西欧諸国、特にカナダとアメリカにおける学力との関係を、具体的な事例をもとに検討したい。

周知のように、カナダはPISA 2006において、前回調査の11位から3位（OECD加盟国中では2位）へと科学的リテラシー得点の順位を大幅に上げ、教育への取組が注目されている国の一つである。またアメリカは、教育研究能力の高さと諸外国の教育への影響力の大きさでは抜きんでており、学力の問題を検討する上で無視できない国である。こういった事情が二国をここで取り上げる理由である。なお、本稿では、筆者の専門とする理科教育を中心に論を進めるが、必要に応じて、適宜技術、算数・数学の内容にも言及することとする。

2. カナダにおける学力の捉え方

カナダでは、Council of Minister of Education, Canada（カナダ教育大臣協議会）から、Common Framework of Science Learning Outcomes K to 12（幼稚園から第12学年までの科学の学習成果に関する共通フレームワーク、以下「共通フレームワーク」と略す）なる文書が1997年に発表された¹⁾。この文書は、「カナダの生徒たちに科学的リテラシーを育むことを意図している」とされており、第1節で見たコンピテンシーという言葉は用いられていない。一般にヨーロッパ諸国ではコンピテンシーが、北米大陸ではリテラシーが用いられる傾向があるが、カナダもその例に漏れない。そこでここでは、カナダ教育大臣協議会が定めるところの科学的リテラシーの内容と「算数・数学、技術、理科に共通する資質・能力」との関係を考察してみたい。

(1) 「共通フレームワーク」を支える理念：科学的リテラシー

本書では、第2章において「性別や文化的背景にかかわらず、カナダのすべての生徒が科学的リテラシーを身につけられる機会を有するべきであるという見解によって、フレームワークが方向付けられている」と述べており、それに続いて科学的リテラシーを以下のように定義している。

「科学的リテラシーとは、科学に関連した態度やスキル、そして知識の結合体であり、それは常に変化し続けている。これらの結合体は、科学的探究や問題解決、そして意思決定能力を身につけるために必要とされ、また生涯にわたる学習者となるために必要とされ、さらに自分たちを取り巻く世界に関する不思議さに惹かれる感覚を維持し続けるために必要とされるものである」

そしてまた、このような捉え方にに基づきながら、カナダの科学教育の目的として、第3章で表1に示す5つの項目を掲げている。

科学的リテラシーならびにこれら5項目の目標を見ると理解されるように、ここでは、何より

表 1. カナダにおける科学教育の目標

- ・科学や技術の営みについて、不思議さや興味といった感覚を抱かせるよう、あらゆる学年の生徒を促す。
- ・新しい知識を獲得し、問題を解決するために、科学と技術を用いるよう生徒を促す。その結果、生徒は自分自身と他の人の生活の質を改善できようになるだろう。
- ・科学に関連した社会的、経済的、倫理的、そして環境に関する課題を批判的に取り扱えるよう生徒に準備させる。
- ・生徒が高いレベルの学習を順に進められる機会をつくり、科学に関連した職業の準備を生徒にさせ、そして彼らの関心や能力に応じた科学関連の趣味を持たせられるよう、科学の基礎を生徒に提供する。
- ・科学、技術、そして環境に関連したきわめて多様な職業に関する知識を、様々な適正と関心を有した生徒に身につけさせる。

も、科学をそれ自身だけの営みとして捉えず、技術や社会、経済、環境等々との関連の中に科学を位置づけ、そこでの問題解決過程において科学を効果的に使用できる生徒を育成しようとしている点が、その特徴として指摘できる。第二は、第一の特徴と関連するが、科学と技術を問題解決の効果的な手法として分けて捉え、これらを適切に使用できるよう意図していることである。このことは、上述の科学的リテラシー定義で「科学的探究や問題解決」と、二つの行為に区別して表現しているところに現れている。もちろん前者が科学の、後者が技術のプロセスに対応している。科学的探究も広義には問題解決の一つのプロセスであるが、科学と技術それぞれに固有な解決プロセスとして両者の特徴を捉えようという意図がここに読み取れる。

第三に、第一の特徴で述べた科学を用いた問題解決の結果として、具体的な行動を意思決定する力が求められている点が指摘できる。それは、表1にあるように「生活の質を改善する」ことが目的としてあるからである。そして最後に、将来の職業準備とか余暇の過ごし方に科学が積極的に関わろうとしている姿が読み取れる。自分の能力を判断し、自分の人生のあり方を考察できるいわゆるキャリア教育的な視点がここには表現されており、生徒が「生涯にわたる学習者」であり続けられることを目的としている。

科学的リテラシー定義にあるように、「科学に関連した態度やスキル、そして知識の結合体」を教授しようという科学教育の目標は自明であるとしても、以上のように、科学教育の目的は、生活の質の改善のためであったり将来の職業準備や余暇の活用のためであったりと、幅広い文脈の中に置かれている。ここにカナダの学力観の特徴がある。

(2) 「共通フレームワーク」を構成する4つの基礎力

「共通フレームワーク」の第4章では、科学的リテラシーを構成する重要な要素として、表2に示す4つを掲げている。ここに述べられている力こそ、本稿が分析しようとしている学力の具体的な姿である。日本の評価観点で用いられている用語との関係で言うと、知識・理解が基礎力3（知識）に、技能・表現と科学的思考が基礎力2（スキル）に、意欲・関心・態度が基礎力4（態度）に対応している。

表2. 科学リテラシーを構成する4つの基礎力

基礎力1：科学，技術，社会，そして環境（STSE）

生徒は、科学と技術の本質や、それらの相互関連、そしてそれらの社会的・環境的な文脈について理解する。

基礎力2：スキル

生徒は、科学的・技術的探究に求められるスキル、問題解決に求められるスキル、科学的な考えや結果を伝えるためのスキル、協働して働くためのスキル、そして情報に裏づけられた意思決定を行うためのスキルを身につける。

基礎力3：知識

生徒は、生命科学や物理科学、そして宇宙・地球科学における知識を構築し諸概念を理解する。そして自分の知識を解釈し、統合し、拡張するために、これらの理解を応用する。

基礎力4：態度

生徒は、自分自身と社会そして環境のすべてが相互に利益を得られるように、科学と技術の知識を責任をもって獲得し応用する態度を備えるよう促される。

ここで注意しなければならないのは、日本で言うところの科学的思考力がスキルとして捉えられている点である（基礎力2）。一般に西欧諸国では、思考力に対応する言葉は *thinking skill* であり、思考も技能の一つとして位置づけられている。抽象的な思考力なる言葉よりも、具体的に指導が可能なスキルとして捉える視点は我々に多くの示唆を与えるものである。具体的には、「疑問を持ち、問題の所在を同定し、事前に自身の考えを持ち計画を行うこと」「観察によって証拠を集めたり、モノや装置を操作したりすることによって、計画を実行に移すこと」「情報と証拠を吟味し、結果の解釈のためにデータを処理し提示すること」、そして「結果や結論を伝え、協働して活動を実施すること」の4つに分けて説明されている。

また、基礎力3に関しても、ここでは通常科学知識だけが意図されているのではなく、生命科学・物理科学・地球宇宙科学の3領域の知識を統合するための「統合概念」(*unifying concepts*)の重要性が指摘されている。それらは「定常性と変化」「エネルギー」「類似性と多様性」「システムと相互作用」の4つである。

そしてまた、基礎力4で述べている態度には、日本での理科授業に対する意欲・態度とか科学に対する関心とかに加え、科学的な態度や、人間・社会・環境などに対する科学の責任や構えのようなものを包含している。忍耐強さ、証拠の重視、論理の尊重、思慮深さなど、科学的な態度の育成は日本の理科教育に欠けている指導の視点であるかもしれない。

ところで、4つの基礎力のうち残りの一つである基礎力1 (STSE) は、日本の理科教育が最も扱いを苦手としている力である。ここでは、科学と技術の本質や、科学・技術・社会・環境の間の相互関係に関する理解の育成が主題となっている。1980年代のアメリカ科学教育界を席卷した STS 運動の考え方はこれに最も近いが、人間社会だけでなく環境を強調して取り上げている点に特色が見られる。もちろん STS の最後の S、すなわち Society (社会) にも環境は包摂され

ているのであるが、これが特に表題に掲げられている。地球規模での環境問題が深刻になる中、ことさらに環境を取り上げる意図は十分に理解できる。

カナダ教育大臣協議会は、以上の4つの基礎力に基づいてカリキュラム開発が行われることを求めている。

(3) 具体的なプログラムの提案

それでは、理科における以上の学力観あるいは目的・目標観に基づく、カリキュラムは具体的にどのように構想されるのであろうか。少なくともここで想定されるのは、日本で扱っている理科の学習内容を越えて、技術の諸概念や問題解決のプロセス、科学とはいかなる営みか、そして科学とそれに関係する営みとの相互関連や相互依存などである。これに対して、「共通フレームワーク」では幼稚園から第9学年までの学習活動例が例示され、そこで期待される学習成果が詳細に述べられている。

たとえば、次ページに示す表3は、第5学年対象の物理科学「力の単純機械」の事例である。この事例の前に、STSE（基礎力1）、スキル（基礎力2）、知識（基礎力3）ごとに分けて学習活動項目が示されており、それらに続いて表3のような具体的な活動例が示されるという構成になっている。この事例を一見すると分かるように、身の回りの単純機械を例に、科学と技術、社会、そして環境との関連づけが図られており、同時に単純機械の背後にある科学的理解（力と運動についての理解）と技術的理解（特に機械や道具の意味と設計の重要性についての理解）が深まるよう計画されている。そしてまた、生徒自らが調べた事柄について結果や解釈を行う段階では、表現の手段として数学が必要となることは容易に想像がつく。特に表3の「発展」の段階で、てこや斜面、滑車などによる負荷量の低減を説明するためには、表やグラフを用いて数学的に表現することが必要となろう。

このように、科学の学習でありながら、文脈として技術的な問題解決を扱い、その表現の手段として数学を用いている姿がここに読み取れるのである。これこそ本研究が最終的なゴールとして目指すカリキュラムの一つであると言えることができる。

(4) 「共通フレームワーク」と「共通資質・能力」の関係

それではここで、以上の事実をもとに、本稿の最初に示した目的、すなわち「本研究の一つの成果である『共通資質・能力』とカナダにおける学力との関係」に立ち返って検討を加えてみたいと思う。

本稿第1節の表3に示したように、理科・数学・技術科の統合カリキュラムにおいて生徒に育成したい能力とは以下のようなものであった。

1. 問題解決の能力

- ・科学的探究のプロセス：理科
- ・デザインプロセス：技術
- ・数学的プロセス：数学

2. 意思決定能力

3. コミュニケーション能力

4. システムの調和と制御に関わる知識・理解・能力

5. 自然の美・摂理・変化の機微を感じる感性

では、これらの能力は、「共通フレームワーク」特に4つの「基礎力」とどのような対応関係にあるだろうか。

表3. 「共通フレームワーク」に例示された活動

力と単純機械（第5学年）

運動の学習とその原因となる力の学習によって、生徒は力について、より洗練された理解を構築し始める。生徒が単純機械を操作することによって、物体に作用する力について、定量的な記述から単純ではあるが定性的な記述へと進むことができるようになる。物体の移動に対する摩擦の影響もまた同様に調べることができる。小さな力で目的を達成することができる単純機械の能力は、生徒がそれらの能力を比較し改善するとき、強調すべき主要な事柄である。単純機械は生活の様々なところで使われており、生徒はそれらの設計と利点について把握できるようになるべきである。本事例では、科学と技術の間の相互関連を強調している。

[探索]

- ・生徒は、身の回りの単純機械の例を探す。
- ・物を持ち上げたり、運搬したり、移動したりするときに使う装置を、学校や家庭、そして地域の中から探す。
- ・上記の活動から以下のような問いが出てくるであろう：「エレベーターのない建物の2階にピアノを届けるための最良の方法は何だろうか」

[発展]

- ・生徒は、様々な単純機械を調べ、それらの機械の負荷を変える能力を調べる。
- ・てこや斜面、滑車、ローラー、車輪、そして軸といったものが、負荷量を変えものを持ち上げる能力検証し、比較する。
- ・ピアノを動かし、必要な材料を決め、その根拠を示す最も効果的な方法のために、チームを作って計画を立てそれを提示する。
- ・実際に機能するつり上げシステムのモデルを作る。

[応用]

- ・一つのモデルを作るために、生徒は単純機械を使うことによってその理解を応用する。
- ・本事例は、以下の学習成果を生徒が獲得できるよう導く方法を示唆している。

(以下略)

まず1～3の「問題解決の能力」「意思決定能力」「コミュニケーション能力」は、直接的には「基礎力2」に包含される。と同時に「問題解決の能力」には、科学・技術・数学における問題解決プロセスを通してそれぞれの学問の本質を理解することも含まれるため、「基礎力1」の一部も対応している。さらに「基礎力1」には、科学と技術の本質とそれらの相互関連、ならびにそれらの社会的・環境的な文脈が指摘されているが(表2)、本研究の出発点がそもそも科学・技術・数学の相互関連を図ったカリキュラム開発にあるのであるから、これらの力は当然のこととして前提されている。

続いて4の「システムの調和と制御に関わる知識・理解・能力」は、「基礎力3」で指摘している統合概念のうち「システムと相互作用」に対応し、これは、科学・技術・数学で扱われる世界

を一つのシステムとして見る視点である。そして最後の能力5「自然の美・摂理・変化の機微を感じる感性」は、基礎力に対応関係がない。これはいわば日本の教育の特色とも言えるものであり、自然界とその移ろいの美しさ、科学的探究プロセスにおける論理の美しさ、技術的設計の巧みさ、自然事象や数学世界に潜む法則や原理、公理のシンプルさに感動する心など、科学・技術・数学を包含する学習を通して育成したい能力である。

以上の検討の結果、「基礎力」のうち「基礎力3」の生命科学・物理科学・宇宙地球科学の知識と諸概念の理解、ならびに「基礎力4」の知識を責任をもって獲得し応用する態度(表2)が対応関係をもたないことが分かる。しかし、知識・理解に関する学習内容をもたない教育はあり得ないし、学習や学習したことを応用する行為に態度的な裏付けを求めない教育などないことも自明のことである。つまり、本研究が構築した「共通資質・能力」には、これらの基礎力は自明のこととして明示されていない。

以上のように、カナダの「共通フレームワーク」と本研究で構築した「共通資質・能力」を比較すると、感性の扱いを除いてほぼすべてが対応関係を持つことが理解される。科学、技術、数学をそれぞれ独立した学問として学習するのではなく、学習に文脈を設定する中で、それぞれの特色と関係性を学ぼうとしている点が、特に両者に共通して見られる視点である。

3. アメリカにおける学力の捉え方

アメリカの科学教育においては、1980年代のいわゆる「科学教育の危機」(crises in science education)以来、21世紀に備えた科学教育の目標、あるいは生徒に育成したい力について集約的に議論が重ねられてきた。それらのうち、公的に広く認知されている文書が、National Research Councilより1996年に出版されたNational Science Education Standards²⁾(以下NSESと略す)であり、American Association for the Advancement of ScienceがProject 2061の最初の成果として1989年に出版したScience for All Americans³⁾(以下SAAと略す)であった。これらの書物でも、カナダ同様やはり科学教育の目標を科学的リテラシーの育成にあるとして、その学習内容を規定している。近年のアメリカ科学教育では、この認識でほぼ一致していると言ってよい。

本稿では、カナダの事例に続いて、科学的リテラシー概念を手がかりにこれらの書物における学力の捉え方を分析し、同様に「共通資質・能力」との対応関係を見ていくこととする。

(1) NSESにおける学力の捉え方

1) 学校科学の目標と科学的リテラシー

NSESでは、学校における科学の学習目標と科学的リテラシーの意味に関して、表4に引用するような内容を述べている。これは、学校科学が育成すべき児童・生徒の姿を記述したものであるが、同時に児童・生徒に身につけたい学力の具体的な姿でもある。ここでの特徴は、以下の4点にまとめられる。

- ・学力の中心的な中身は、科学の概念とプロセスに関する知識・理解を指している。
- ・しかし、その知識や理解が必要とされる背景は、意思決定、公的議論への参加、そこでの自分の立場の表明、科学に関する一般報道の理解と情報の質の評価など、社会的な文脈の中で捉えられていること。
- ・「好奇心に導かれ…探究し」とあるように、科学に関する興味・関心は学力の前提として位置づけられ、さらに「証拠に基づいた議論」や「情報の質の評価」、「結論の有効性に関

表 4. NSES における科学の目標と科学的リテラシーの意味 (抜粋)

学校科学の目標について

学校科学の目標は、自然界を理解し知識を得ることに感動し、豊かな経験をすることができる有能な児童・生徒を教育することである。さらに、個人で意思決定する際に適切な科学のプロセスと原理を使用することができ、公的な会議に参加し、科学や技術の問題に関して議論することができることである。

科学的リテラシーの意味について

科学的リテラシーとは、個人の意思決定や、市民的・文化的な活動への参加、そして経済生産力の向上のために必要な、科学の概念およびプロセスについての知識・理解のことである。(中略)

科学的リテラシーは、好奇心に導かれ日常経験について探究し、答えを見つけたり意思決定したりすることができる人のことを意味する。このことは、自然現象について記述し、説明し、かつ予測できる能力をもっている人のことを意味する。科学的リテラシーによって、一般的な報道における科学記事を理解しながら読むことができ、結論の有効性に関する社会的な議論に積極的に関与することができる。そして、科学的リテラシーは、全米および地方において決定が必要とされている科学的な問題を識別でき、科学的・技術的内容について自分の立場を表明できることを含んでいる。科学的リテラシーを身につけた市民は、科学情報の出所や、その情報が扱う科学の方法についての理解をもとに、情報の質を評価することができるに違いない。さらに科学的リテラシーは、証拠に基づいた議論を行い、証拠を吟味し、かつそのような議論から結論を適切に導く能力を意味している。

する議論」などの表現に見られるように、科学的な態度も学力に含まれていること。

・「科学や技術の問題」「科学的・技術的内容」などの表現から判断するに、科学的リテラシーには技術的な要素も含まれていること。

2) 科学教育における科学と技術の関係、科学教育と数学教育の関係

上で述べた 4 つの特徴のうち、最後の技術との関わりは、本研究が理科・数学・技術科の総合あるいは統合したカリキュラム開発を目指している以上、少し詳細に見ておく必要がある。まず科学と技術の関係性について以下のような記述が見られる。

「科学と技術の主たる違いは、その目的が異なるということである。すなわち、科学の目的は自然界を理解することであり、一方技術の目的は人間のニーズを満たすために現実世界で修正や改造を行うことである。(中略) 技術における設計は、ちょうど科学における探究と対応するものである。

技術と科学は緊密に関連している。ある問題にはしばしば科学的な側面と技術的な側面の両方が存在する。自然界の疑問を解き明かそうとする欲求が技術製品の開発へと駆り立て、さらに技術に関するニーズは科学研究へと駆り立てる。また、鉛筆からコンピュータに至る技術製品は、自然現象の理解を促進するための道具を提供する」

1) で述べたように、NSES における科学の学力には技術的な要素が含まれている。その両者

の関係性を述べたものがここでの記述である。その関係性とは、①科学と技術の目的は異なること、②しかし技術の問題解決（設計）は、科学における探究に対応したプロセスであること、③しかも両者は相互関連的に密接に関係していること、の2点である。では科学教育で扱う技術の内容とは何であるのか。科学教育が技術教育を取り込むことなのか。

NSESは教授・専門性向上・アセスメント・内容・プログラム・システムという6つのスタンダードから構成されているが、そのうちの内容スタンダードの中に「科学と技術」という項目がある。ここでは、科学教育における技術の取り扱いについて以下のように述べている。

「科学と技術スタンダードは技術教育のスタンダードではなくて、むしろ設計のプロセスと科学的営為についての基本的な理解に関する能力を強調したものであり、また、科学と技術との様々な結合様式についての理解を強調している。

探究としての科学スタンダードにおいて育成される能力を補うものとして、問題の同定と明示、コストと費用便益分析を扱った解決方法の設計、問題解決の実施、そして解決方法の評価といった能力を、本スタンダードは求めている」

この引用文から理解されることは、主はあくまでも科学の学習であり、技術の学習はそれを「補うもの」、つまり技術との対比から科学の特質を描き出そうとするものである。その中で、技術の問題解決プロセスの本質を設計に見だし、それを理解し、科学と技術の相互関連性を理解できるというのが両者に関わる学力観である。

科学教育のあり方を考える上で、このように技術的な要素を含めた学力観が提示されているが、ここで重要な点は、科学と技術の統合の可能性は明らかに存在するという点である。それをどのようなカリキュラムに実現するかは別の問題であり、ここで押さえておくべきことは、カナダにおける学力観にも見られたとおり、社会的な文脈の中で捉えた理科の学力を考えるとき、技術を除いて構想することはできないという点である。

それでは、NSESでは科学と数学の関係はどう扱われているのだろうか。これについては、前述のようにNSESを構成する6つのスタンダードのうち、内容スタンダードの「探究としての科学」の中に「科学的探究のあらゆる側面において数学を使用する」という一項が設けられている。そこでは、生徒が身につけるべき能力として「疑問を持ち、データを集め、それらを組織化し、提示し、そして確信のもてる説明を構築するために数学を使用できる」ことを指摘している。そして、この能力を育成するために、カリキュラム上両者をどう位置づけるかについて、プログラムスタンダードの中のスタンダードCとして以下のように述べている。

「科学プログラムは、数学のプログラムと調和（coordinate）されなければならない。その目的は、科学の学習において数学の理解を深めたり数学を使えたりするためであり、さらに数学の理解そのものを改善するためである」

ここに見られる両者の関係性は相互補完的な関係であり、科学の授業において数学を使用することはもちろん、「数学の教師が科学の事例や方法を使用する」ことも提言され、さらには直接的に「学校レベルで、数学と科学の教師が調和のとれたプログラムを開発すべきである」と提言されている。つまり、学校で理科と数学のカリキュラムを構想する際、両者を独立した教科として前提しながらも、互いの学習内容を把握し、互いにその成果を利用しあったり強化しあったりするプランが求めているのである。

本スタンダードは、科学との関係から学校カリキュラムのあり方について提言したものであり、学力の捉え方を示したものではない。しかしながら、科学の学習において数学を活用する能力が

ここでは目指されており、科学を語る言葉としての数学の理解を、学力の中で捉えている点は重要である。

(2) SAA における学力の捉え方

1) 科学の捉え方と科学的リテラシー

本書について語るとき、その前提として押さえておくべき事柄がある。それは、科学・技術・数学を包括的に一つの科学として捉えていることである。たとえば「科学教育、すなわち科学、数学、技術による教育」といった表現は随所に見られる。したがって、本書も科学的リテラシーの育成を目標として掲げているが、「科学的リテラシーとは、科学、数学、技術に関するリテラシーを包含し、教育の中心的目標」であると捉えている。つまり、科学の学習に技術や数学がどう関係しているかではなく、NSES よりもさらに歩を進めて3者を横並び的に、同列のものとして捉え、その総体を「科学」と捉えているのである。

では、そのように捉えたとき科学的リテラシーとはいかに定義されるのであろうか。この点について本書は以下のように述べている。

「科学的リテラシーを身につけた人とは、科学、数学、技術がそれぞれの長所と限界を備え、かつ相互に依存する人間活動であるということ意識した上で、科学の主要な概念と原理を理解し、自然界に精通してその多様性と共通性の双方を認識し、個人的・社会的目的のために科学的な知識と考え方をを用いるような人である」

ここにもまた、NSES とまったく同一の見解を見て取ることができる。つまり、科学を個人的・社会的な文脈の中で捉え、個人生活や社会の発展のために科学の知識と考え方を使用できる生徒の育成が目指されている。また同様に、学力の中身としては科学の主要な概念理解を含んでおり、科学・技術・数学の本質を捉えること、すなわちそれぞれの問題解決のプロセスを含んでいる。

2) 科学・技術・数学と人間社会、ならびに三者の関係

上記指摘のうち、「個人生活や社会の発展のために科学の知識と考え方を使用」することについては、本書は以下のような認識を示している（以下要約）。

- ・人間社会が抱える問題に対して、科学は探究を通して解決のための知識を与える。
- ・世界や地域が抱える切迫した問題は技術的な起源を持つものが多く、それらに対処する手段を技術は提供する。また科学の成果を活用しながら新しい知識を生み出す手段を提供する。
- ・科学が育む自然に対するある種の敬意の気持ちが、技術利用の可否に関して判断基準を提供する。
- ・科学的な思考の習慣を身につけることによって、有効な問題解決が可能となる。詐欺やペテンなど被害から自身を守ることにもつながる。
- ・システム、フィードバック、費用便益の分析、副作用の不可避性など、技術的な原則を理解することによって、技術が環境や文化に与える意味を健全に評価できる。
- ・科学・技術・数学に関する理解と科学的な思考の習慣を身につけることによって、個人の人生の質は高められ、よりよい世界への展望も開くことができる。

ここには、科学と技術が原因となる多くの社会的問題の存在を認めながらも、それらの解決のために、科学・技術・社会に関する知識・理解、科学的な思考の習慣、科学と技術の問題解決プロセスの理解と習得、そして自然への敬意の感情といったものが必要であることが読み取れる。

では、科学・技術・数学の関連性についてはいかなる認識が示されているだろうか。科学と技術の関係については、第3章の「技術の本質」において、NSES とほぼ同様の記述がなされている。しかし数学と科学、数学と技術の関係性については、第2章「数学の本質」の中で集約的に述べられている。(以下要約)

- ・科学は興味深い研究対象を数学に提供し、数学はデータ解析に利用できる強力な道具を科学に提供してきた。科学と数学はともに一般的なパターンと関係を見出そうとするものであり、その意味において両者は同じ方向を向いた活動である。
- ・数学は科学の主要言語である。数学の記号言語は、結果的に科学的な概念を明確に表現するものとなった。さらに、科学的な概念とデータを分析するための規則を規則も提供している。
- ・数学と科学は多くの共通する特徴を持っている。自然界を理解できるという信念、想像力と論理との相互作用、率直さと開放性という理想など。
- ・数学はまた、コンピュータ・ハードウェアやプログラミング技術の設計などに大きく貢献してきた。工学に対してもコンピュータ・シミュレーションに利用可能な記述方法を提供してきた。

上のような数学と科学や技術との関係性は、NSES では述べられていなかったが、ここで指摘すべき数学の最大の特徴は、自然界(科学)と設計された世界(技術)を語る言語としての数学の役割の重要性である。その意味において、科学と技術の学習において、どこでも数学は関与することができるであろう。

(3) 「共通資質・能力」と、NSES ならびに SAA の示す学力の関係

アメリカの学力分析に用いた以上2つの書物では、NSES が科学の範疇に技術的な要素を含めており、SAA が科学・技術・数学の総体を一つの科学と捉えていることから、本研究が策定した理科・数学・技術科の統合(総合)カリキュラムで育成したい「共通資質・能力」と比較するのに適した素材であると言える。そこで、2で述べたカナダにおける事例同様、NSES ならびに SAA の示す学力と「共通資質・能力」との関係をここで検討する。

まず「共通資質・能力」の「1. 問題解決の能力」「2. 意思決定能力」との関係である。これらはともに科学的リテラシーの育成を目標に掲げており、前述の通り、個人の生活や社会生活の中で問題解決に向けて情報に裏づけられた振る舞いができる生徒の育成を目指している。その意味において、これらアメリカの書物は、両者の能力を科学教育の目標として捉えるというよりも、一歩進んで目的として掲げていると捉えることができる。いわば科学教育の大前提として位置づけられているのである。具体的には、たとえば NSES の内容スタンダードの中に「個人的・社会的観点から見た科学」という一項が設けられ、「科学教育の一つの重要な目的が、個人や社会に関わる課題について理解し、それに関連して行動を起こすための手段を児童・生徒に提供することにある」として、この点を明確に表現している。

次に「3. コミュニケーション能力」についてであるが、たとえば NSES では、内容スタンダードの中の「科学の歴史と本質」という一項において、科学者の営みについて「ある科学者はチームを組んで働き、またある科学者は単独で仕事をしているが、皆、他の者たちと広く情報交換をしている」という認識を示し、科学研究におけるコミュニケーション能力の必要性を指摘している。それを受けて、同じく「探究としての科学」という一項の中に「研究結果と説明を伝達する能力」を含め、第9-12学年の事例では「生徒によってなされた説明についての議論は、皆で研

究結果を吟味する一つの形態であり、これは科学の重要な一つの側面である。科学における経験について仲間と語り合うことによって、意味と理解を発展させる手助けとなる」と述べ、育成すべき能力としてコミュニケーション能力を明確に位置づけている。

同じ状況はSAAの随所にも見られる。たとえば、学習・指導のあり方について言及した第13章では、「科学・数学・技術の指導」という一項において「集団的な手法を用いる」ことを提言し、具体的な指導の姿として以下のように述べている。

「科学研究と技術研究の協同的な本質は、教室において頻繁にグループ活動を行うことによって強化されるべきである。科学者や技術の大部分は集団で研究をしており、単独で研究している者はそれほど多くない。同様に、生徒には互いに学び合うこと責任を共有する経験をさせるべきである。共通理解に至る過程において、グループ内の生徒たちは互いに手順や意味について情報交換を行い、得られた知見について議論し、作業がどの程度進んでいるかについて評価を行わなければならない」

以上のように、2つの書物ともに、科学者の研究の実態を踏まえて、生徒にもコミュニケーションの能力を身につけるよう求めている。

続いて「4. システムの調和と制御に関わる知識・理解・能力」に関してである。各種の技術的な生産物とそれらが組み合わさった問題解決策と自然界（物理的世界・生物学的世界）を一つのシステムとして捉える視点も、2つの書物で共通して指摘している。しかもSAAでは数学的な世界もまた一つのシステムであると捉え、これらの見方や捉え方を育成する必要性を強調している。したがって、たとえばNSESでは、特定の学年の特定の学習領域でこれを育成すべきとはせず、科学の学習全体にわたって育成すべき「統合概念」であるとしている。近年のアメリカの科学教育においては、このように自然界や技術世界を統合的に捉えたアプローチは、もはや常識となりつつあると言える。

最後に「5. 自然の美・摂理・変化の機微を感じる感性」に関しては、カナダにおける事例同様、西欧文化の中にその姿を見いだすことが困難である。これはやはり本研究の独自の視点であると言ってよい。

4. おわりに

以上見てきたように、カナダ、アメリカ両国における科学・技術・数学教育の学力観は、本研究が構築した学力観とほぼ軌を一にするものである。その背後には、それぞれの教科を単独の学習領域として想定せず、三者の織りなす交点に新しい教育の姿を描き出しているという共通性がある。アメリカでは、今回分析に使用した2つの書物の理念を反映した多くの科学教科書がすでに開発されており、実践に移されつつある。振り返って日本の状況を考えるとき、その理念さえ一般に認知されていない状況にある。

一方、OECDにおける学力観についてはすでに第1節で述べられているが、そこが実施しているPISA2006調査における科学的リテラシーの問題枠組みは以下のようにになっている。

- ①状況・文脈：科学とテクノロジーが関係する生活場面を認識すること
- ②知識：自然界に関する知識（科学の知識）と科学自体に関する知識（科学についての知識）の両者を含む科学的知識に基づいて、自然界を理解すること。
- ③能力：科学的な疑問を認識し、現象を科学的に説明し、証拠に基づいた結論を導き出すことを含む能力を示すこと。

④態度：科学に対する興味・関心、科学的探究の支持、天然資源や環境に対して責任ある行動をとるための動機付けを示すこと。⁴⁾

これらを一読して分かることは、ここで結論したことが北アメリカ大陸諸国に限った話ではなく、広くヨーロッパ諸国（正確には OECD 加盟国）にも言えるということである。社会的文脈の中に科学や技術、数学を置き、社会で生きて働く力をつけることが、今やグローバルスタンダードとなった観がある。日本でも、本研究が設定したような学力をもとに、今後カリキュラム開発が行われていくことが求められており、本報告書の後段では、その具体的な姿が示されることとなる。

しかしながら、いざ日本において具体的なカリキュラムを作成するとなると、数々の困難に直面することとなる。たとえば、具体的に統合（総合）科目のようなものを作成したとすると、それをカリキュラム上どこに位置づけるのか、また誰がそれを教えるのか。では現在ある、理科、数学、技術科を前提とした場合、それらを結びつける中心的な教科はどれにするのか。さらに、たとえ中心教科が決まったとした場合、教員同士の間で教科間の調整をどうやって行うのか。文部科学省が指導要領によってカリキュラムの枠組みを決定し、その内容を規定している現状では、解決すべき課題は多い。

本研究では、当面技術科を中心教科に位置づけ、理科と数学との調整を図るという方策を採用している。それは、理科と数学の学習の社会的な文脈を、技術科が最も提供しやすいという事情によるものである。これらの実践を通して、本研究が捉えた能力の姿である「共通資質・能力」についてまずは評価し、今後教育界にその意義を問うていくことになる。

注・引用文献

1) Council of Minister of Education, Canada (1997) Common Framework of Science Learning Outcomes K to 12.

以下の Web Site からダウンロード可能 (2010 年 1 月確認)

<http://204.225.6.243/science/framework/>

本書の日本語訳は、以下の文書として公開されている。

小倉康 (2006) 幼稚園から第 12 学年までの科学の学習成果に関する共通フレームワーク。

平成 17 年度科学研究費補助金特定領域研究 (課題番号 17011073) 「科学的探究能力の育成を軸としたカリキュラムにおける評価法の開発」研究資料

また、日本語訳は以下の Web Site からダウンロードも可能 (2010 年 1 月確認)

<http://www.nier.go.jp/ogura/ScFrCn97.pdf>

2) National Research Council (1996) National Science Education Standards. National Academy Press, Washington, DC

本書の日本語訳は、以下の書物として出版されている。

長洲南海男監修、熊野善介・丹沢哲郎他訳 (2001) 全米科学教育スタンダード。梓出版社

3) American Association for the Advancement of Science (1989) Science for All Americans. Oxford University Press, New York

以下の Web Site からダウンロード可能 (2010 年 1 月確認)

<http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>

本書の日本語訳は、以下の文書として公開されている。

日米理数教育比較研究会 (2005) プロジェクト 2061:すべてのアメリカ人のための科学.
文部科学省科学技術・学術政策局基盤政策課

また、日本語訳は以下の Web Site からダウンロードも可能 (2010年1月確認)

http://www.project2061.org/publications/sfaa/SFAA_Japanese.pdf

- 4) 国立教育政策研究所編 (2008) 生きるための知識と技能:OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA)
2006 年調査国際結果報告書. ぎょうせい

第2章 21世紀の科学技術社会を生きるためのカリキュラム開発の原理

磯崎哲夫 (広島大学)

はじめに

21世紀における教科教育、とりわけ、算数・数学、理科、技術の関係をどう捉え、カリキュラムを構成するのか。わが国においては、昭和16年以降算数と理科が一つの教科「理数科」となった以外の例として、教科の再編まで含めた理科、算数・数学科、技術科の統合や融合は見られない。諸外国に目を転じてみると、フランスやイスラエルの前期中等教育段階において科学と技術が統合された教科は存在していたものの、算数・数学とそれらの教科との統合や融合は見られない。

そこで、本小論では、カリキュラム構成原理に関して近年新しい方向性を示しているイギリスの事例を分析しながら、教科の関連性、目的論、内容論を中心に論じてみる。そして、ここから導出される考えを参考にカリキュラム開発の原理について検討してみたい。ただし、ここでは主として科学教育の視座が中心となることをまずは断っておく。なお、イギリスを中心に論じる場合は、科学教育あるいは科学の授業、日本について論じる場合は理科教育あるいは理科の授業とした。

I 科学と技術の関係についての歴史的素描

1. 科学教育との関連で見た技術教育

イギリスにおいて科学が学校教育に導入され始めた19世紀半ば頃、科学教育 (science education) に加えて技術教育 (technical education) という言葉が使用されるようになっていた。この科学教育と技術教育の区分は必ずしも明確ではなかった。たとえば、科学教育振興運動の代表であるハクスレー (Huxley, T. H.) は、「技術教育は、簡単に言えば、よい教育 (good education) である。それは、普通という以上に、物理科学 (physical science) や、ドローイング (drawing)、さらに近代言語により注意が払われたものであり、それについての特種技術的なものは何もない。」¹⁾と指摘している。この見解に、技術教育が主として理論を教えるなら、それは自由教育 (liberal education) と見なされるという社会的背景を読みとることができる。ダベンポート・ヒル (Davenport-Hill, R.) は、「今日 (註: 1880年代)、技術教育は明確なる二つの意味を有している。一つは、特別な技芸 (art) と商業 (trade) を教えること (teaching) であり、他の一方は、すべての技芸と商業に関連のある初等科学の教育 (instruction) である。」²⁾と、技術教育の二つの方向性を指摘している。当時の同じような見解は、ミリス (Millis, C. T.) の次のような表現にも認められる。「技術教育とは、産業に応用が可能な技芸および科学の原理と、特定の産業や雇用に対し、技芸と科学の特定の領域の適用についての教育を提供することである」³⁾

次に、今日の見解を見てみよう。コットグローブ (Cotgrove, S.) は「19世紀においては、技術教育と科学教育はしばしば同義語として使われており、両者を明確に区別することは困難である」⁴⁾と、科学教育と技術教育が同じ意味で用いられていたことを指摘している。また、マスグレイブ (Musgrave, P. W.) も同じような見解を示している。すなわち、「19世紀の技術教育への要請にみられる一つの特徴は、それが原理についてであって実践についてではないことである。…1860-70年代の技術教育はまさに科学教育を意味していた。」⁵⁾と。当時、技術教育は、これ以外にも中等教育と同じ意味に解釈される場合もあった。たとえば、中等教育に関する王立委員会 (Royal Commission on

Secondary Education) の報告書では、技術教育は中等教育の範囲内で考えられ、中等教育は技術教育という概念なくしては考えられないことが示された⁶⁾。

ところで技術教育には、'technical education' と 'technological education' の二つの原語がある。アールズ (Argles, M.) は、約 100 年にわたるイギリスの技術教育を分析し、'technical education' と 'technological education' の両者の違いを明確に区分することは困難であるとしながらも、後者は教授のより高度な形態であり、前者は応用科学の教授や教育のような、より地味な仕事の意味を有している、と指摘している⁷⁾。

また、技術教育には 'technology education' の原語もある。この 'technology' についてレイトン (Layton, D.) は、'technology' は、新しい学校教科であり、すべての子どもに対する一般教育としては歴史と伝統が欠けており、'technology' の一分野は職業教育等において教えられていた、指摘している⁸⁾。むしろ、今日的には、'technical education' よりも 'technological education' や単に 'technology' という用語の方が一般的である。

では、'technological education' や 'technology' は、今日的にはどのように定義されているのであろうか。1988 年教育改革法に基づくナショナル・カリキュラム (National Curriculum: NC) において科学の省令の原案を作成した「科学に関する調査委員会 (Science Working Group: SWG)」の最終報告書に示された定義についてみてみよう⁹⁾。

技術とは、一つの創造的な人間活動である。それは、ものをつくり出し、ものを制御し、あるいは十分なるデザインと手立てによって、また、関連する知識や資源を利用することによって、さらに、より良くものが作動できるようにすることによって、適切な変革をもたらすのである。

また、ブラック (Black, P.) とハリソン (Harrison, G.) は、技術について、「技術とは、人類の目的を達成するために、物質、エネルギーおよび自然現象といった資源を利用する鍛錬されたプロセスである。」と定義し、これらの定義は必然的に以下のような三つの教育的目標を導き出すとしている¹⁰⁾。

- ・技術が人類の目的を達成するためのリソースであること、そして人類として判断をしなければならぬ諸問題に技術が関連していることについて、子どもが「認識」できるようにする。
- ・個人の経験を通して、技術的活動を遂行するために子どもの「実際的能力」を育成する。
- ・子どもが、技術的活動を行う際に必要とされる知識と、知的・身体的スキルを獲得するのを支援する。

少なくとも、ここに見られる技術教育は、明確に科学教育と区別されるものである。レイトンは、技術は応用科学ではないと指摘し、SWG も科学と技術は非常に密接な関係であることは認めながらも、以下のように両者の違いを指摘している¹¹⁾。

科学と技術は密接なつながりを持っているけれども、両者にはその目的による重要な違いがある。科学は物質界や生物界についての確かな知識を追求することに関心があるのに対し、技術は人類の要求によって導かれ、人類の要求を満たしたり、それらと関係する問題を解決することを含んでいる。それは、楽観的であるとともに、問題解決に関わるコストと得られる利益にも関係している。

科学は探究主導であり、発見は科学のためである。結論は証拠とデータから導き出され、可能な限り客観的である。それに対して、技術は本質的には(人類の)要求を満たしたり、あるいは問題を解決することである。その最もよい解決法は、しばしば主観的な判断を含み、幅広い範囲の要因を考慮

に入れた後で、ようやく見いだされるであろう。

つまり、ここに見られるように、科学と技術は密接不離な関係である。このことは、それぞれの本質においては相違があり、学問領域をその背景に持ち存立する現在の教科においても、科学教育と技術教育もそれぞれの教科固有の存在意義と価値があることを意味していると言えるであろう。

2. 科学教育の背景にある科学の定義の変容

レイトンは、19世紀前半の一般的な身の回りのものについての科学教育が失敗した原因として、科学者の間に一般教育の文脈における、「応用科学 (applied science)」の教授に強い反感があったことを指摘している¹²⁾。また、マズグレイブは、科学の実際の側面は常に低い地位しか与えられておらず、その結果、純粋科学者は紳士と見なされたけれども、応用科学者はアマチュアの地位を失い、職業人となっていった、と当時の純粋科学と応用科学の関係を論じている¹³⁾。このようにイギリスの科学教育の歴史を展望すると、それは基本的にはアカデミックな純粋科学 (pure science) が対象であった。そして、科学的知識とは、「価値観に縛られず客観的」であった。レイトンは、クーン (Kuhn, T.) の『本質的緊張』の概念を援用し、「人間形成のための科学教育と、専門家養成を意図した科学教育との間に本質的緊張があるように思われる。歴史的に、その緊張は、『純粋 (科学)』に基づき、社会的に切り離された文脈性のない科学的知識を中心としたカリキュラムによって解決されてきた」と、価値中立的な純粋科学こそが歴史的に学校で教えられる科学教育の学習内容であったことを指摘している¹⁴⁾。

もちろん、このような科学教育に対して何ら疑問がなかったわけではなく、科学の社会的側面や技術教育との関連を重視した教育ムーブメント (いわゆる STS (Science and Technology in Society) 教育) が 1970 年代以降急速に高まり始めた。この STS 教育は、レイトンによれば、技術が学校教育の内容として存在する 3 つのタイプ (すなわち、独立教科として、クロス・カリキュラムとして、科学の内容として (technology with science)) のうちの一つであり、科学教育と技術教育の融合の一つの形である¹⁵⁾。高等教育機関の学生を対象とした 1981 年の "Science in Society" コースや 1983 年の "Science in a Social Context" コースを契機として、"Science and Technology in Society (SATIS)" プロジェクトが開始され、現在までに SATIS 14-16, SATIS 16-19, SATIS 8-14, SATIS Atlas, Science across Europe, SATIS Science with Technology などの教材が次々と開発されており、学外資格試験 (GCSE 試験や GCE-A レベル試験) においても関連する試験科目が設定されている。

加えて、近年では科学そのもののとらえ方が変容してきている。たとえば、ASE (Association for Science Education) は、西洋科学見直しと古い科学観からの脱却を試みた政策声明において、科学教育の目的の一つとして、「科学を一つの間活動として認識すること」を掲げている¹⁶⁾。これは、科学 (の活動) が、文化的、社会的、経済的、技術的、かつ政治的文脈に依存しているからである。少なくとも、今日の「科学」は、全くの価値中立的とは言いがたいであろう。また、ジェンキンス (Jenkins, J.) は、レヴィ (Levy, E.) の科学の 3 つの種類に関する分類 (基礎的・基本的科学, 戦略的 (strategic) 科学, 負託された (mandated) 科学) を引用しながら、今日の科学的成果の多くが、戦略的、負託された科学であるのに、学校で教えられる科学の内容は、基礎的・基本的科学であると分析し、科学の果たすべきリスク・アセスメントを例に取り上げ、大多数の子どもたちが学校外で出会う科学に関連した諸問題は、不確実で複雑であることから、むしろこれからは負託された科学についても学ぶことが、子どもたちの日常生活との利便性や関連性からも考えて必要であると主張している¹⁷⁾。少なくとも、現代の科学がこのような 3 つのタイプに分類されること自体、もはや科学は価値観や政治、社会活動におけるプライオリティーから切り離すことはできず、先進国の社会・経済体制を維持する

重要な装置となっていることを意味している、と解釈してもよい。

この他に、スノー (Snow, C. P.) の有名なリードでの講演 (1959年) は、科学を多元的な意味における「文化」の性格を有しているという前提で人文的文化との分断を指摘したものであった¹⁸⁾。科学教育においてこの科学を文化として捉える考え方は、19世紀中葉に科学教育の意義と価値を論じたハクスレー (Huxley, T. H.) にまで遡ることができる。また、今日では、その2つの文化の分断を乗り越えるべく第3の文化ともいうべき考え方が提唱されている¹⁹⁾。ザイマン (Ziman, J.) は、科学の最も明確な側面は、組織化された宗教、法学、人文学や芸術といったものと類似するひとつの社会的制度 (social institution) であると指摘している²⁰⁾。この他の論者も同じよう意味で、社会的事業 (social enterprise) や、人類の活動 (human activity) といった表現を使っている。これらの捉え方は、科学とは社会との関わりにおいて人類が営々と築き上げてきた産物であり、科学 (の活動) が文化的、社会的、経済的かつ政治的文脈に依存していることを意味している。少なくとも、今日の科学は、従前から科学教育において信じられてきた価値中立的とは必ずしも言えない。

このように科学を捉えると、将来の科学の生産者や消費者にかかわらず、すべての児童・生徒が、「科学のありのままの姿 (たとえば, how science operates)」²¹⁾ やその活動に従事する科学者の研究や仕事を理解し学ぶ必要はなかろうか。それ故にこそ、近年、欧米諸国の科学教育においては、民主的な意思決定に参加することが求められている。

以上見てきたように、確かに、科学技術社会において人類は技術の恩恵を受けており、その結果として、科学教育に科学の社会的側面に関する内容や技術的な内容を取り込むことが近年、科学教育学界において強調されている。しかしながら、それは科学教育と技術教育の完全なる融合を目指したのではないと見なすべきであろう。むしろ、それは、子どもの中にあるであろう、抽象的な純粋科学的知識と現実社会における生活の文脈における科学的知識の乖離を、いかに埋めるかといった考え方に基づいているように思われる。

先にも指摘したように、科学教育には科学教育の意義と価値があり、技術教育には技術教育の意義と価値がある。このことは算数・数学教育においても同様である。教科理科、算数・数学、技術科がそれぞれの存在意義と価値を無視して融合することは、必ずしも賢明なことではない。とは言え、それぞれの教科の意義と存在価値を整理しながら連携をとり、人間形成に貢献することは意味のあることであろう。

II 教科の目的論—なぜ教えるのか—

1. 誰のための科学教育か

ミラー (Millar, R.) は、学校で行われる科学教育には少なくとも次のような二つの目的が混在していると述べている²²⁾。一つは、将来さらに科学を学ぶ少数の児童・生徒のための基礎を提供しなければならないこと。もう一方は、すべての児童・生徒にとって基礎となる「科学的リテラシー (scientific literacy)」を身につけさせることである。しかし、今日、義務教育段階 (5歳~16歳) におけるカリキュラムは、16歳以降の学習の準備としては貧弱であり、また科学的リテラシーを育成する明確なモデルも欠けている、つまり虻蜂取らずになっている、と彼は指摘している。

また、中等理科教師を対象としたリーチ (Leach, J.) の調査結果によると、教師には次のことについて一般的な合意があることが明らかにされている²³⁾。まず、今日の科学教育は、すべての生徒の要求を満たしているとは言えず、とりわけ最も良くできる生徒やできない生徒の要求を満たしていないこと。次に、科学教育の目的は、子どもを科学的知識の潜在的なプロデューサー (producers) というよりも、科学のユーザー (users) であり消費者 (consumers) として準備すべきであること。

確かに、中等教育段階において将来の科学者養成のための科学教育も必要であることは誰も認めるところであるが、彼・彼女も将来の科学者であると同時に将来の一般市民でもある。また、学校教育修了後に目を転じてみると、科学者も彼・彼女自身が所属している科学者共同体以外の科学の領域においては、一般市民以上に専門家であることは可能であろうか。さらに、具体的な科学の社会的問題に関する意思決定に際して、専門の科学者以上に一般市民の地域知 (local knowledge) がその解決に寄与することもある²⁴⁾。科学者という専門家から科学に関して非専門家である一般市民への、一方的な科学的知識の注ぎ込みという見方 (いわゆる「欠如モデル (deficit model)」²⁵⁾) も改める必要がある。このようなことを考えたとき、「科学のありのままの姿 (authentic science, how science operates, how science really works)²⁶⁾」を理解することも、従前的ないわゆる基礎的・基本的科学の内容に加えて学ぶ必要はなかるうか。

2. 科学教育の目的論の分類

オズボーン (Osborne, J.) は、イギリスにおける科学教育の目的論の論議を科学が有する価値の観点から四つに整理している²⁷⁾。まず、学習者が実践的な意味において科学 (科学的知識と科学の方法) を学ぶことから利益を得るという、実用的・功利的価値である。二つ目は、高度科学技術社会では経済の国際的競争を支えるための科学者や技術者を供給する必要があるとする、経済的・国家的価値である。三つ目は、人類が営々として築いてきた文化としての科学を認識し享受する、教養的・文化的価値である。最後は、現代社会に顕在化している多くの問題が科学や技術に関連しており、いわゆる科学の社会的問題 (socio-scientific issues) の議論に参加し、意思決定 (decision making) を行うために必要であるとする、民主的価値である。もちろん、これらには一長一短があり、どれにプライオリティーを置くかは政治的闘争であり、カリキュラムや学習内容に違いが現れる。

このような分類によく当てはまる具体例として、1989年のナショナル・カリキュラムの導入に際するベーカー (Baker, K.) 教育科学大臣の見解を挙げるができる。彼は、科学教育の必要性について次のように指摘している。「まず、今日、科学的、技術的変化が加速されており、すべての若い人達が科学概念に親しむことは重要なことである (筆者註：実用的・功利的価値、以下同じ)。次に、国家として、科学研究やその商業的・産業的応用において先頭に立ってイギリスの国際的地位を維持することが可能な、より多くの若い人達を必要としている (経済的・国家的価値)。三番目は、よく科学教育を受けた人は、例えば、自分達自身の健康や科学的知識が必要不可欠とされる社会的問題に対して、より学識があり、調和のとれた判断をすることが期待される (民主的価値)。最後は、すべての若い人達は、活力に満ちかつ享受可能な、われわれの文化的遺産として科学を見なすように助長されなければならない (教養的・文化的価値)。」²⁸⁾ (下線は筆者による)

もともと、イギリスでは19世紀中頃のハクスリーの主張に典型的に認められるように、科学教育の目的論は、実用的・功利的価値と教養的価値に分類され、科学教育を学校教育の一部として広く認知させるためには両者の統合が必要であった²⁹⁾。その意味からも、オズボーンの分類にある経済的・国家的価値と民主的価値は、20世紀以降付加されたものであり、とりわけ科学の営みが社会的に影響を強く及ぼすようになった20世紀第二、第三の四半世紀以降であると言える。また、これらは、基本的には先進諸国を中心としたものであり、第三世界においてこのような分類がすべて当てはまるとは言い難い。いずれにしても、このような目的論の多様性の背景には、先にも示したように「科学」そのものの見方あるいは定義の変容と、その国の歴史的かつ政治的文脈が関係していることは留意しなければならない。

3. 目的論としての科学的リテラシー

先に示したミラーの見解は、これからの科学教育の目的として、科学的リテラシーの育成が求められることを意図している。また、21世紀における科学教育の方向性を示した“Beyond 2000”³⁰⁾においても義務教育段階の科学教育の目的として、科学的リテラシーの育成が勧告されている。これらは、子どもを未来における科学のユーザーや消費者と捉えている、といってもよい。少なくとも義務教育段階における子どものための科学教育は、より教養的・文化的価値や民主的価値に基づいた目的論が展開されていると言える。

では、この科学的リテラシーとは、どのような定義なのであろうか。ジェンキンスの分析によれば、論者によりその意味するところはかなり幅がある³¹⁾。たとえば、科学教育研究者達による代表的なものとして、ドライバーら (Driver, R. et al.) による科学の三つの要素 (科学の内容の理解, 探究の科学的アプローチ, 社会的事業としての科学の理解) の理解³²⁾ や、ソロモン (Solomon, J.) の次のような定義がある³³⁾。すなわち、①科学 (に関する文書等) が読め、理解できる能力、②科学についての (自分自身の) 意見を表現する能力、③現在はもとより将来に対しても、現代科学に注意を払うこと、④民主的な意思決定に参加すること、⑤科学, 技術, 社会の相互作用を理解すること, である。

また、科学的リテラシーや科学の大衆理解 (Public Understanding of Science) 以外にも、基本的には同じような意味ではあるが、より行動面 (for action) を重視した「科学的実践力 (scientific capability)」³⁴⁾ という言葉も標榜されている。

ここでは、科学的リテラシーや科学の大衆理解、科学的実践力に関する詳細な分析は省くけれども、このような目的が主張されることは、従前的な科学の学習内容や方法 (とりわけ「科学の方法」と称されるもの) への再吟味・再検討を促すことをも意味している、と解釈しなければならない。

III 教科の内容論—何を教えるのか—

19世紀に確立された教科は、基本的にはその背景にある学問体系に従って教科の内容が構成される場合が多い。しかしながら、先に示したように、教科の背景にある学問体系そのものに対する考え方や定義が変容してきている。それでは、どのような規準を用いて内容を構成すればよいのであろうか。

1. 内容構成論の原理

まず、イギリスの下院報告書を見てみよう。そこでは、「市民が膨大な量の科学的な事実を記憶したり再生させたりすることが重要なのではない。科学がどのように機能し (how science works), 科学がどのようにして証拠の分析や解釈に基づいているか、を理解することが重要なのである。」³⁵⁾ と論じられている。そのため、14歳から16歳まで (以下、KS4とする) の科学カリキュラムは科学的リテラシーと関連するより明確なスキルと知識を定義する必要がある、と勧告された。また、EUの報告書では、「科学が関連する社会的な諸問題 (socio-scientific issues) に大衆が関心を持つためには、単に科学の知的体系に関する知識だけではなく、『科学がどのように機能するか』についての知識も必要とされる。」³⁶⁾ と論じている。

つまり、将来の科学者を含む市民を対象とした学校での科学カリキュラムは、科学の内容と科学がどのように機能するかといった内容から構成されることになる。なお、前者は科学の知的体系に関する知識であり、後者は科学についての知識、あるいは科学的知識の本質などである。

では、具体的にはどのような規準により内容が選択されるのであろうか。この点についてミラーは、科学的知識の消費者である市民のためのカリキュラムでは、科学が説明できること (science explanations) についての幅広く、質的な把握が必要であり、多くの生徒が嫌悪感を覚える科学の詳細

な内容はほとんど必要がない、と考えている。そして、内容選択の新たなドライバーが求められるとし、それをメディアととらえている³⁷⁾。また、この点について、“Beyond 2000”では、科学的知識は、「科学が説明できる物語 (explanatory stories)」として提供されるべきであり、生徒は「科学についての考え (idea-about-science)」について理解すべきであるとされている。前者に関しては、科学的知識は、社会的、文化的文脈において個人 (科学者など) による絶え間ない探究の産物であり、与えられた知識ではなく、それを人類が営々として築いてきた作品 (narrative form) として教えられることを意味している。後者に関しては、自然界の振る舞いについての確かな説明をする研究として科学を見なすことが重要であると考えられている。これは、すなわち、科学的知識の本質や探究の方法、リスクやリスク・アセスメント、科学者コミュニティの役割などに関する内容であり、科学がどのように機能するか、といった内容でもある。

つまり、21世紀における科学教育の内容構成の原理には、目的論が変容していること、教科の背景にある学問体系の考え方や定義が変容していること、加えて、子どもや学校を取り巻く環境が変容していること、など、多様な動因により従前とは違った規準が必要となることを意味している。

2. 科学教育における技術のプロセスとニューメラシー (numeracy) の活用

科学教育において、技術科における技術のプロセスや算数・数学教育におけるニューメラシーを活用することも可能である。このようなことは、従前の授業においても取り入れられていたし、先に示した新しいカリキュラム構成の原理に基づく授業においてもより積極的に取り入れることが可能である。そこで、ここでは、技術のプロセス及びニューメラシーと科学教育との関連について検討してみよう。

まず、技術のプロセスと科学のプロセスの相違について検討してみよう。表1は、シリング (Schilling, M.D.) の考え方をレイトンが転載し、筆者がさらに一部削除した³⁸⁾。

表1 プロセスについての考え方

科学のプロセス	技術/デザインプロセス
自然現象について考える。	ニーズを決定する。
問題を記述する。	ニーズを記述する。
仮説を提案する。	仮説を組み立てる。
仮説を選択する。	一つの考えを選択する。
実験する。	製品をつくる。
結果が仮説に合っているか?	製品をテストする。

レイトンは、「科学を实践すること (doing science)」のプロセスを習得することは、「技術を实践すること (doing technology)」のプロセスにとって有効であり、それは、系統的で経験的な探究が直接利用できる証拠を提供するという理由だけではなく、そもそも両者のプロセスは極めて似通っているからである、と指摘している。もちろん、両者のプロセスにおいて用いられる用語なども共通しているけれども、表1にもあるように、両者のプロセスには根本的な違いもある。

森山らは、わが国の技術科におけるこの技術デザインプロセスを用いた学習について検討している³⁹⁾。彼らによると、題材による問題解決場面は、(1) 探究のプロセス、(2) 設計のプロセス、(3) トラブルシューティング、(4) プログラムマネージメントの四つから構成される。このうち、探究のプロセスは、表1にある科学的プロセスと共通しており、(2) 設計のプロセスから (4) プロジェク

トマネージメントまでが、技術的問題解決アプローチに固有であろう。

科学あるいは理科の授業では、科学的探究活動として実験を行うことが多い。この際、表1にあるような科学のプロセスを用いるのが通例であるけれども、学習者に実験のための装置を開発させ、その装置を用いて探究活動を行うことで、技術のプロセスを用いることが可能となるであろう。

次に、ニューメラシーについて考えてみよう。イギリスのニューメラシーに関する國宗の詳細な研究⁴⁰⁾によれば、コッククロフト報告では、ニューメラシーには二つの能力があるとされている。まず、数に関して慣れていること、及び毎日の生活において数学的スキルを使う能力であり、もう一方は、数学的用語で表現された情報を正しく評価し理解する能力、である。

科学や理科の授業では、自分で得た実験データやデータブックによる各種のデータを扱うことが多い。また、新しい内容構成の原理に基づく授業では、日常生活における科学の文脈が重視されるため、用いられる各種データの持つ意味を理解しておかなければ、意思決定などが行えない場合がある。そのことから、新しい内容構成原理に基づく授業においては、ニューメラシーはとりわけ重要な役割を果たすことが可能となるであろう。

おわりに

教科にはそれぞれ固有の存在意義と価値がある。それを無視した連携は考えられないけれども、人間形成を担う学校カリキュラム全体の構成の視座から連携については検討されるべきである。

ところで、21世紀を展望し、グローバルレベルでの科学教育改革の必要性を唱えたブラック (Black, P.) は、その要因を四つ指摘している。すなわち、①科学と技術そのものの変化、②教育 (学) そのもの変化、③社会変容 (変革) に伴う学校 (教育) への期待の変化、④子ども自身や子どもを取り巻く環境の変化、である。また、彼は、科学教育の目的をどのように設定するかは、本質的には政治的闘争であると分析している⁴¹⁾。ブラックの指摘を待つまでもなく、19世紀後半から20世紀初頭にかけて成立した今日の教科 (いくつかは除くけれども) の存在意義と価値、そしてその背景となった学問体系は、少なくとも当時のままではない。21世紀におけるそれぞれの教科の存在意義と価値を再定義しなければならない。このことは、各教科の目的論の再考を意味する。そして、その目的論に従って、どのような内容でカリキュラムを構成するかが鍵となるプロセスである。その具体的事例としてイギリスの科学教育を取り上げ分析した。ここから導出されるカリキュラム編成原理は以下のように指摘できるであろう。

【目的論】

- ・誰を対象にし (将来の科学者や技術者か科学や技術に関して教養ある市民かなど)、子どもをどのように捉えるか (たとえば、科学的知識の消費者) を十分検討し、教科の学術的背景 (科学観、数学観、技術観といった見方や定義) を勘案して、科学技術社会における教科固有の存在意義と価値について明確化する。
- ・学習者が理解できるように、教科を学ぶ意義を明確化する。

【内容論】

- ・従前に多かった学術の大系を基盤とする内容構成の利点と限界を認識し、科学 (数学も含む) と技術と社会の関係を考慮した学習内容を創出する。
- ・上記の点に関係して、学習者が日々科学や技術に遭遇する場面を考慮し、日常生活の文脈を基盤とした学習内容の選択規準も考えられる。

以上の目的論、内容論に基づいて、三つの教科に関係するトピックを選択し、それぞれの教科固有のスキルやプロセスを取り入れて単元あるいは教材開発を行うことが肝要である。これは、教科の固有の存在意義と価値を明確化する上でも、効果的な連携をとる上でも重要である。

そこで、第4章の理科の具体例の一つは、学習指導要領に準拠しながら、新しい目的論及び内容構成論を参考にし、科学的リテラシーの育成を主目的にし、科学的な意思決定能力を育成することを目標とし、日常生活の文脈における科学を基盤とした総合単元を開発した。そして、この単元において、技術のプロセスに基づく自作の簡易実験装置の開発とそれを利用した実験、ニューメラシーを必要とする各種データの解釈の場面を取り入れた。

参考・引用文献

- 1) Huxley, T. H., *Collected Essays: Vol.III*, pp.411-412, 1893.
- 2) Danvenport-Hill, R., *Technical Education in Board Schools, The Contemporary Review*, Vol.LIII, p.672, 1888.
- 3) Millis, C.T., *Technical Education: Its Development and Aims*, Edward Arnold, p.2, 1925.
- 4) Cotgrove, S. F., *Technical Education and Social Change*, George Allen and Unwin, p.35, 1965
- 5) Musgrave, P. W., *Constant Factors in the Demand for Technical Education: 1860-1960, British Journal of Educational Studies*, Vol.14, p.179, 1966.
- 6) Royal Commission on Secondary Education, *Vol.I: Report of the Commissioners*, Her Majesty's Stationery Office (HMSO), pp.135-156, 1895.
- 7) Argles, M., *South Kensington to Robins: An Account of English Technical and Scientific Education since 1851*, Longman, preface, 1964.
- 8) Layton, D., *Technology's Challenge to Science Education*, Open University, p.14, 1993.
- 9) Department of Education and Science, Welsh office, *Science for ages 5 to 16*, HMSO, p.74, 1988.
- 10) Black, P. & Harrison, G., *Technological Capability*, in Banks, F., ed., *Teaching Technology*, Open University Press, p.14, 1994.
- 11) op. cit., 9) .
- 12) Layton, D., *Science for the People*, George Allen & Unwin, pp.159-160, 1973
- 13) Musgrave, P. W., *The Labor Force*, in Roderick, G., & Stephens, M., eds., *Where Did We Go Wrong? Industry Education & Economy of Victorian Britain*, The Falmer Press, p.151, 1981.
- 14) Brown, J. et al. eds., *Science in Schools*, OUP, ch.11, 1986.
- 15) op.cit., 8), Ch.6.
- 16) Association for Science Education (ASE), *ASE Policy: Present and Future*, ASE, 1992.
- 17) Millar, R. et al., *Improving Science Education*, OUP, ch.12, 2000.
- 18) Brown, L., et al. eds., *Science in Schools*, OUP, pp.59-70, 1986.
- 19) Gregory, J & Miller, S, *Science in Public*, Perseus Publishing, pp.45-51, 1998.
- 20) Ziman, J., *Real Science*, Cambridge University Press, p.4, 2000.
- 21) op.cit., 16) .
- 22) Millar, R., *Towards a science curriculum for public understanding, School Science Review (SSR)*, 77, pp.7-18, 1997.
- 23) Leach, J., *Teachers' views on the future of the secondary science curriculum, SSR*, 83, pp.43-50, 2002.

- 24) たとえば, Levinson, J. & Thomas, J. eds., *Science Today*, Routledge, ch.10, 1997.
- 25) Gregory, J. & Miller, S, *Science in Public*, ch.4, Perseus Press, 1998.
- 26) op.cit., 8) , Hodson, R, *Teaching and Learning Science*, OUP, 1998.
- 27) Monk, M. & Osborne, J., eds., *Good practice in science teaching*, Open University Press (OUP), ch.14, 2000.
- 28) Baker, K., Science and the National Curriculum in England Wales, *Physics Education*, 24, pp.117-118, 1989.
- 29) 磯崎哲夫, 「19世紀のイギリスにおける科学教育の論議」, 『理科教育学研究』, 40(2), 13-26頁, 1999.
- 30) Millar, R. & Osborne, J., eds. *Beyond 2000*, King's College London, 1998.
- 31) Jenkins, E., Scientific literacy and school science, *SSR*, 71, 1990, pp.43-51.
- 32) Driver, R. et al., *Young People's Image of Science*, OUP, ch.2, 1996.
- 33) Solomon, J., Teaching for scientific literacy, *SSR*, 82, pp.93-96, 2001.
- 34) たとえば, Bishop, K. & Denley, P., *Effective Learning in Science*, Network Educational Press, 1997.
- 35) House of Commons Science and Technology Committee, *Science Education From 14 to 19*, The Stationery Office, p.36, 2002. (<http://www.publications.parliament.uk/pa/cm200102/cmselect/cmsctech/1204/1204.pdf>)
- 36) Osborn, J. & Dillon, J. eds., *Science Education in Europe: Critical reflections*, The Nuffield Foundation, p.8, 2008.
- 37) Millar, R., *Twenty First Century Science: Insights from the Design and Implementation of Scientific literacy Approach in School Science*, *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499-1521, 2008.
- 38) op.cit., 8) .
- 39) 技術教育分科会「技術科教育総論」編集委員会, 『技術科教育総論』 日本産業技術教育学会, 2005.
- 40) 長崎栄三代表編著, 『平成 17 年度科学技術振興調整費 我が国の科学技術政策の展開に関する調査「科学技術リテラシー構築のための調査研究」 サブテーマ 1 : 科学技術リテラシーに関する基礎文献・先行研究に関する調査』, 国立教育政策研究所, 215-228 頁, 2007.
- 41) Hull, R., ed., *Science Teacher's Handbook*, ASE, ch.1, 1993.

附記

本論文は, 研究会議での議論を基盤に, 磯崎哲夫, 「科学教育の目的論の再考」, 『日本科学教育学科年会論文集』, 第 27 巻, 83-86 頁, 2004. 磯崎哲夫, 「新しい科学カリキュラム構築のための諸問題」, 『日本科学教育学科年会論文集』, 第 29 巻, 57-60 頁, 2006. 磯崎哲夫, 「技術的問題解決プロセスに理科を位畳づける」, 『日本科学教育学科年会論文集』, 第 31 巻, 165-166 頁, 2008. 磯崎哲夫, 「イギリスにおける科学教育と技術教育のインターフェイス」, 丹沢哲郎研究代表, 『科学教育と技術教育のインターフェイス-英米独の比較教育史研究』(課題番号 10680191), 1-13 頁, 2002. の一部を, 教科の関連性, 教科の目的・目標論, 内容構成論の視点から, 再編・修正し新しく加筆した。

第3章 数学・理科・技術の統合カリキュラムの事例検討

森山 潤(兵庫教育大学大学院)

1. はじめに

本章では、数学・理科・技術の統合カリキュラムに関する先行事例として、1991～2005年頃に米国イリノイ州立大学(Illinois State University:以下、ISU)のCeMaST(Center for Mathematics, Science and Technology)で取り組まれた数学・理科・技術の統合学習カリキュラムIMaST(Integrated Mathematics, Science and Technology)を紹介する。IMaSTプロジェクトは米国科学財団(National Science Foundation)の援助を受け、1991年より開始されたプロジェクトである。IMaSTについてはこれまでも、宮川(1995)¹⁾、角ら(1998)²⁾、森山・角(1999)³⁾、角・森山(1999)⁴⁾、角・布田(2000)⁵⁾によって、その都度、プロジェクトの動向が紹介されてきているが、本稿では、これらの先行研究の整理と筆者の収集した資料や教材リソースに基づいて、プロジェクトで検討された数学・理科・技術の統合カリキュラムのモデル、学習サイクル等を概観すると共に、学習モジュールの事例として「食料生産」を紹介する。

2. IMaSTプロジェクトにおける統合学習カリキュラムの概念的枠組み

2.1 カリキュラム統合の考え方

カリキュラム統合という考え方は、決して目新しいものではない。Vars(1991)は、今世紀初頭にDeweyやKilpatrickによってそれが支持されていたことを指摘している⁶⁾。「統合」(integrate)という概念は、学習者の知識構造と教科の背景にある様々な学問体系とを統一化させることを意味している。一方、カリキュラムは、一定のスタンダードに基づきながらも、現実的で学際的な問題解決に有益なものでなければならない。「学際的」(interdisciplinary)とは、あるテーマやトピック、問題に対して、1つ以上の学問体系から概念や方法論を適用することである(Jacobs 1989)⁷⁾。すなわち、カリキュラム統合とは、学際的なテーマやトピック、問題を対象に、複数の教科の学習内容を共通の枠組みの中で取り扱おうとする試みであるといえる。

統合学習カリキュラムの最も有力な理論的根拠は、構成主義に基づく学習理論である。カリキュラム統合によって、学習者が問題解決への挑戦を通して自分自身の知識構造を自ら構成していくことが期待されている。Wolfら(1998)によると、現実的で学際的な問題解決を促進する最も有効な方法の一つは、いくつかの学問体系を結び付けうる豊かな学習環境の設定である⁸⁾。また、Kain(1993)は、統合学習カリキュラムによって到達目標の達成のみならず、学習者の好奇心の高まり、学習に対する態度の改善、問題解決のスキル獲得等の効果があることを示唆している⁹⁾。これは、Barabら(1997)のいう有意味で価値ある問題解決が学習者の動機付けと学習の向上に寄与するという指摘と一致している¹⁰⁾。この立場からは、従来の各教科における系統的なカリキュラムが、この点において不十分であると考えられている。すなわち、統合学習カリキュラムは、複数の学問体系から知識やスキルを現実世界の学際的な問題解決に適用しうる能力の形成にその根拠がおかれているのと考えられる。

アメリカ科学振興協会AAAS(1993)は、21世紀の科学リテラシーとして理科、数学、社会、技術などの様々な科目を横断するテーマに向けて知識を構成する統合学習カリキュラムの開発を要請している¹¹⁾。実際、理科教育スタンダード(NSES)や数学教育スタンダード(NCTM)はその中で統合学習カリキュラムの推進を示唆している¹²⁾¹³⁾。また、技術教育スタンダード(STL)にも同様に「技術

との関わり」(Technology Connections)を創出する主要な単元が含まれている¹⁴⁾。すなわち、統合学習カリキュラムの背景には、従来の教科セクトによるカリキュラム構成を改善し、教科相互の関連付けを創出する適切な機会を提供したいという思惑があるといえる。

2.2. 統合学習カリキュラムのモデル検討

これまでも、様々なカリキュラム統合のモデルが展開されている。それは、高校や大学よりも8学年生(K 8)以下の小・中学校段階において取り上げられてきている場合が多かった。しかし、最近の傾向では、高校・大学が現実的な問題を中心にカリキュラム統合を図っているのに対し、小・中学校では学際的なテーマを中心に統合学習を展開しつつある。Loepp(1998)は、これまでのカリキュラム統合の典型的なモデルとして、次の3つのタイプがあることを指摘している¹⁵⁾。

(1) 学際的な統合モデル

学際的な統合モデル(The Interdisciplinary Model)の構造を図1に示す。これは、従来の伝統的な教科をいくつかのブロックごとに分け、多くの学習者に複数の教員チームを割り当て、学際的で統合化されたカリキュラムを提供するモデルである。このモデルは主として中学校において頻繁に取り上げられている。その利点は、複数教科の教員が共同作業を行えること、一人の教員が受け持つ学習者数が限定されていること、各教科が学習スケジュールの柔軟性をチームティーチングに提供している間は、伝統的な教科の学習が確保されているという点である。しかし、このモデルの欠点は、教員チームが意識しない限り、従来の教科学習カリキュラムをそのままこのモデルの中でも実施できてしまうことである。換言すれば、このモデルは、教師が自分たち独自の学際的な統合カリキュラムを開発しなければならないという必要性を強く感じるさせるには不十分であるといえる。

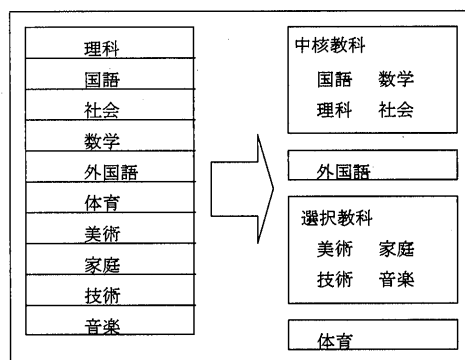


図1 学際的な統合モデル

(2) 問題に基づく統合モデル

問題に基づく統合モデル(The Problem-based Model)の構造を図2に示す。これは、統合学習カリキュラムの中心に技術科教育を置くモデルである。我々の社会が、先人の努力によって作り上げられた高度な技術社会(Technological Society)であることが、このモデルを自然なものにしている。また、カリキュラムの中心に据えられた技術的な問題は、様々な教科の知識やスキルを活用することで解決することができる。このモデルは、J.LaPorte & M.Sander(1996)によるTSMプロジェクトに採用されている。TSMでは、学習者が興味を持つ現実的で技術的な問題を取り上げ、その解決の中で意欲的に数学や理科の概念を獲得する17の「関連づけ活動」(Connection Activities)を展開している。ここでは、数学と理科、技術科の教師が互いにコミュニケーションを強化し、「関連づけ活動」を通して問題解決に対する科学的概念の活用能力を形成すること、そして技術の果たす役割と効果を追求す

ることが目標とされている。このモデルの利点は、学習者が高い意欲を持って取り組み得る問題を提供できること、その問題に関わる種々の科学的概念間の関連性を確認できることである。他方、このモデルの欠点は、国家レベルの教育に関するフレームワークや、各学年について基準化されたスタンダードの内容を十分に保証しえないことである。

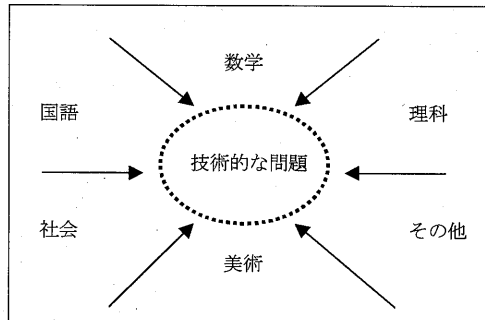


図2 問題に基づく統合モデル

(3) テーマに基づく統合モデル

テーマに基づく統合モデル(The Theme-based Model)の構造を図3に示す。これは、少なくとも3つ以上の教科がそれぞれのスタンダードやフレームワークによって規定される教育目的に基づいて、3～5つのキーコンセプトを選択し、それらを含む学際的なテーマを設定し、カリキュラムを構成するモデルである。また、このモデルでは、問題解決のスキルを新しい問題状況に適用させる体験的な機会を提供するために、教科間を貫く学習サイクルが設定される。このモデルの利点は、各教科の教師がカリキュラムとの一体感を持つことができること、国家の教育に関するフレームワークや各教科のスタンダードとの関連性を維持しやすいこと、そして学習者が様々な教科の教育目的や学習内容同士を容易に関連付けることができることである。これはいわば、「問題に基づく統合モデル」の利点を維持しつつ、その欠点を解消するアプローチであるといえる。IMaSTには、このモデルが採用されている。

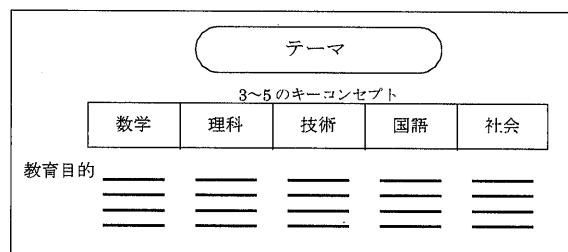


図3 テーマに基づく統合モデル

2.3. IMaSTのカリキュラム構造

IMaSTは、中学校の7～8年生を対象に、数学・理科・技術科を「テーマに基づく統合モデル」によって統合化した2年間の統合学習カリキュラムである。"IMaST at a glance"によると、その学習プログラムは、3教科の教育目的とキーコンセプトを含む10の学習モジュールで構成されている¹⁶⁾。学習プログラムは、年間を通じて1日約120分の授業時間を3教科の教師がそれぞれ担当している。

(1) 学習モジュールのコンポーネント

IMaSTでは、第6～8学年用に「健康」(Wellness)、「食料生産」(Food Production)、「消費と経営」(Waste Management)、「エネルギー変換」(Energy Transformations)、「製造」(Manufacturing)、「予測」(Forecasting)は第7学年に、「動物のすみか」(Animal Habitats)、「人間の住まい」(Human Settlements)、「システム」(Systems)、「通信のあり方」(Communication Pathways)などの学習モジュールが設定された。これらの学習モジュールは、基本的な枠組みに基づいて作成されている。それは、学際的なテーマが反映された「モジュール・タイトル」のもと、①「統合的な導入学習」(An integrated introductory activity)、②「スタンダードに基づくキーコンセプトの学習」(Standards-based activities focusing on the key concept)、③「文脈の中の概念」(Concept in Context)、そして④「モジュール評価」(End-of-Module Assessment)の4つのコンポーネントで構成されている。

(2) 学習サイクルの構成

上記コンポーネントのうち、②「スタンダードに基づくキーコンセプトの学習」では、教科を貫く学習サイクルが採用されている。それは、「探求」(Exploring)、「着想」(Getting the Idea)、「応用」(Applying the Idea)、「発展」(Expanding the Idea)の各段階で構成されている。学習サイクルの各段階で行われる問題解決的な学習活動では、予測、仮説、計画、変数の制御、分析、解釈、評価等の強力な思考スキルの形成が標榜されている。

(3) 問題解決のステージ・モデル

本来、各教科には、それぞれ独自の問題解決のアプローチがあると共に、それらは密接に関係しあっている。これらのアプローチをそのまま統合学習カリキュラムに導入することは学習者の混乱を招く可能性がある。そこで、IMaSTでは教科の壁を越えて、各モジュールに利用しうる「DAPIC」と呼ばれる標準的な問題解決のステージ・モデルを設定している。そのステージは、問題把握のための「明確化する」(Define)ステージ、問題状況の吟味とアプローチを策定する「検討する」(Assess)ステージ、最適な解決方法を選択し、プロセスを具体化する「計画する」(Plan)ステージ、設定した計画に基づく「実行する」(Implement)ステージ、得られた結果を交流する「意見交換する」(Communicate)ステージである。このモデルは、単線形のプロセスではなく、問題解決の出発点は定義されていない。各ステージ間を柔軟に行き来することで、問題解決を支援する枠組みとして位置付けられる。

以上のカリキュラム構造と学習コンポーネントとの関連性を図4に整理した。

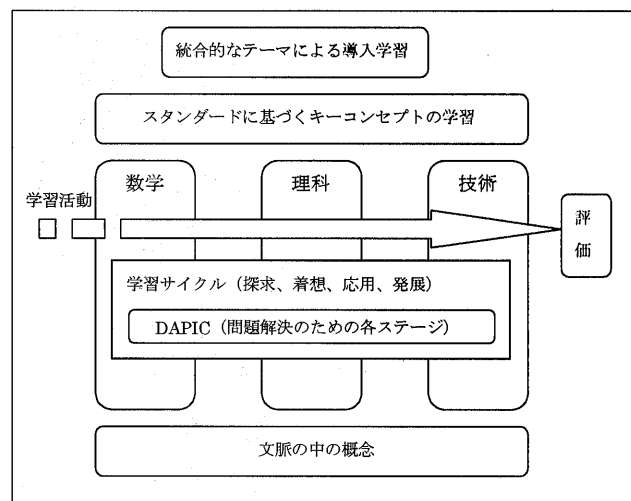


図4 IMaSTのカリキュラム構造

3. 学習モジュールの事例～「食料生産」～

3.1 目標と鍵概念

「食料生産」は、IMaSTにおける第7学年用の学習モジュールであり、1単位時間45分の授業で60-70単位時間を用いて学習される¹⁷⁾。「IMaST at a glance」によると、「食料生産」の目標は「材料の適切な使い方及び食料を生産するための技術に関する知識に基づいた意思決定のための問題解決過程の実行」とされ、鍵概念に「選択、準備、育成、繁殖、収穫」が挙げられている¹²⁾。「食料生産」の教科書の目次¹³⁾を表1に示す。学習は、表1中の単元M1→S1→T1→…と水平方向に教科書を横断しながら展開される。授業はそれぞれの教科の担当者が、順番に入れ替わりながら実施する。

3.2 教育内容及び教科書の構成

本学習モジュールは、「世界では大量の食料が生産されているのにも関わらず、飢餓によって多くの人々が死に瀕しています。飢餓は世界の矛盾の一つなのです。この学習モジュールであなたは食料生産について学びます。その中であなたは多くの矛盾を見出すでしょう。あなたの挑戦は、これらの矛盾を調査し、解決方法を検討することなのです(中略)」という導入の文章によって、テーマとの出会い、学習の方向付けがなされる。その後、数学では、世界の総人口や食料生産量の推移といったデータを用いて、データの収集、解釈、分析や計算の手法等を学習する。理科では、ナタネの栽培や観察、土壌の分析等の活動を通して、実験計画の手法や、植物の生理について学習する。技術では、図5に示す題材「水耕栽培システム」の設計・製作・評価を中心に、設計・製図、電気回路、材料の加工方法、栽培等について学習する。これらの学習活動から教科間の関連づけに着目すると、科学と技術科は題材に対する内容知の関連付けがなされているのに対し、数学は方法知の応用を図る関連づけがなされている。

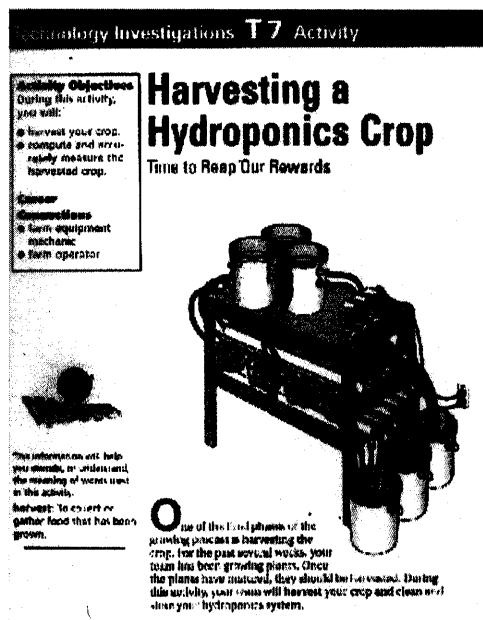


図5 題材「水耕栽培システム」

また、各学習活動に共通して認められる特徴としては、1) 各活動において、議論やブレインストーミング、チームでの活動など、生徒同士が協力して学習が展開するように配慮されていること、2)

安全指導事項を除いて、原理や法則を教え込むのではなく、実験や調査を通して生徒が知識を発見・獲得するように学習過程が編成されていること、3) 地域の素材や身近にある具体的な事例を通して学際的な話題を取り上げていること、4) ほとんどの活動で、学習事項と関連する職業の名称が挙げられていること、5) 先行した活動において学習した事項を参照し、比較するなど、教科を超えて各活動間の関連づけがなされていること、等が見出される。

「まとめ」では、これまでの学習事項を現実の世界と関連づけることが奨励され、「人口増加」、「政策」、「食料生産の方法」という3つのキーワードから世界の食料問題について考察する。教科書は、「あなたはこの学習モジュールを通して食料を生産する一つの方法を学びました。同時に、あなたはこの方法が複雑な問題を解決する唯一の方法ではないことも知りました。あなたは、あなたが食料問題を解決する主体者の一人であることを忘れないで下さい」という文章で締めくくられる。

これらの教育内容の構成から、本学習モジュールにおいては、生徒を「知識を能動的に構成する主体」として捉える構成主義的な学習が強く意識されていること、「食料生産」という学習テーマを人口問題や政策等、社会的な側面から広く捉えていることに特徴が見出される。

表1 「食料生産」(Food Production) の教科書の目次

数 学		理 科		技 術	
概観	食物生産の挑戦				12
M1	データ収集方法： 本当だよ、お母さん 数学との結びつき： たくさんの食物	S1 対照付きの実験： 制御装置下でのナタネの栽培 科学との結びつき： 失敗から得る多くのもの 科学的な過程の理解： 成長するためのもの選択	53 59 61	T1 技術的なシステム： 電気と流体を利用した栽培システムの構想 技術との結びつき： 生産から市場へ 技術的な過程の理解： 生産計画を作るための情報入力	100 107 110
M2	グラフ化したデータの解釈： 表現手段としてのグラフ 数学との結びつき： 高齢患者の生命の反応 数学との結びつき： 食物生産と世界飢餓： 複雑な問題	S2 土壌の特徴のテスト： 植物が必要な本当の「土」 科学的な過程の理解： 維持できる食物生産	63 74	T2 材料の種類調査： 力を加えることができる構想か？	111
M3	小数と整数： 農場の収支決算	S3 種と発芽： 成長、結実、また成長！	78	T3 作業図の読み取り： 百聞は一見にしかず 技術的な過程の理解： 栽培環境の明確化と検討	115 120
M4	定規を用いた製図： 農場の設計	S4 葉緑素 / 植物の食品： 緑色の機械 科学的な過程を理解： 成長物質が与える促進	82 89	T4 システム設計： 栽培環境の準備	127
M5	データの分析と統計： 市場へ行こう 数学が与える影響の発見： 食品の価格に与えている影響は何？	S5 植物の繁殖： 花の働き 科学的な過程の理解： 成長物質の遺伝 科学が与える影響の発見： 生物の多様性	92 96 98	T5 水耕栽培のシステムをテストする： すべてのシステムを稼働させよう！	138
				T6 水耕栽培の研究と報告： 思考の材料 技術が与える影響の発見： 水耕栽培： 世界的な見地	143 146
				T7 水耕栽培で栽培した作物の収穫： 成長した作物を刈り入れる時 技術の過程の理解： 農作物の収穫	148 151
まとめ	飢餓の世界に食料を供給する				154

※表中の数字は、当該教科書¹³⁾内のページを示している。

4. まとめと今後の課題

以上、本章では数学・理科・技術の統合カリキュラムに関する先行事例として、米国イリノイ州立大学 CeMaST で取り組まれた IMaST プロジェクトについて紹介した。IMaST プロジェクトで検討された統合カリキュラムのモデルや学習モジュールの構成などは、今後我が国における統合カリキュラムを検討する上で参考となろう。ただし、日米では、文化や社会状況、教育システムなどが大きく異なっているため、IMaST の事例をそのまま日本で実践することは好ましくない。IMaST プロジェクトで得られた成果を参考としつつ、日本の状況やシステムに合致した統合カリキュラムのモデル化が今後の重要な課題であると考えられる。

謝 辞

関連資料の収集や解釈に際し、懇切なるご指導を賜りました元イリノイ州立大学応用科学部教授 Franzie Loepf 先生（元 CeMaST プロジェクトディレクター）、元 CeMaST プロジェクトコーディネータ Richard Satchwell 先生、並びに佐賀大学文化教育学部附属教育実践総合センター教授 角和博先生に心より厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 宮川秀俊：国際化と木材教育，日本木材加工技術協会誌第 50 巻第 12 号，pp.587-593 (1995)
- 2) 角 和博・丹野到・草場聡宏：アメリカ合衆国における IMaS プロジェクトの統合学習カリキュラムについて，日本科学教育学会研究会研究報告第 13 巻第 3 号，pp.69-72 (1998)
- 3) 森山 潤・角 和博：アメリカ合衆国における数学・理科・技術科の統合学習:IMaST のカリキュラム構造，日本教科教育学会全国大会論文集 pp.154-157 (1999)
- 4) 角 和博・森山 潤：アメリカ合衆国における数学・理科・技術科の統合学習:IMaST の教育目標と内容，日本教科教育学会全国大会論文集 pp.158-161 (1999)
- 5) 角 和博・布田哲也：IMaST 教科書による数学・理科・技術科を統合した学習内容，日本産業技術教育学会第 43 回全国大会講演要旨集，p.59 (2000)
- 6) Vars, G.F.: Integrated curriculum in historical perspective, *Educational Leadership*, 49 (2), pp.14-15 (1991)
- 7) Jacobs, H.H. (Ed.): *Interdisciplinary curriculum: Design and Implementation*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development (1989)
- 8) Wolf, P., & Brandt, R.: What do we know from brain research? *Educational Leadership*, 56 (3), pp.8-13 (1998)
- 9) Kain (1993), D.L.: Cabbages and King: Research directions in integrated/interdisciplinary curriculum, *The Journal of Educational Thought*, 27 (3), pp.312-331
- 10) Barab, S.A. & Landa, A.: Designing effective interdisciplinary anchors, *Educational Leadership*, 54 (6), pp.52-58 (1997)
- 11) American Association for the Advancement of Science.: Project 2061 : Benchmarks for science literacy. New York: Oxford University Press. (1993)
- 12) National Academy Press : *National Science Education Standards*, Fifth Printing, pp.22-24 (1998)
- 13) National Council of Teachers of Mathematics: *Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics*. (1989)

- 14) International Technology Education Association : *Standards for Technological Literacy*, pp.6-9 (2000)
- 15) Loepp, F.L. : Models of Curriculum Integration, *The Journal of Technology Studies*, Volume X X V, Number 2, Summer /Fall.pp.21-25 (1999)
- 16) Center for Mathematics, Science and Technology: *IMaST at a glance*. Illinois State University.p.1 (1998-1999)
- 17) CeMaST, IMaST Project : Food Production, pp.6-7, Glencoe, McGraw-Hill, Peoria, IL(1998)