

アメリカのカリフォルニア州における 科学カリキュラムの現代的動向

— 直接教授と探究活動とのバランスを重視した科学カリキュラム —

柴 一 実

(2006年10月5日受理)

Current Trend of Science Curriculum in California of the United States of America:
Focusing on Science Curriculum Balanced Direct Teaching with Investigative Activity

Kazumi Shiba

The purpose of this paper was to make clear the characteristics of the current trend of science curriculum in California of the United States of America. Through the documentary records, the following results were reached: (1) Though the science curriculum is emphasized to be a child-based or inquiry-based one in the *Science Framework for California Public Schools, Kindergarten Through Grade Twelve* (1990), it is considered to balance direct teaching with investigative activity and to raise a scholastic ability in the *Science Framework for California Public Schools, Kindergarten Through Grade Twelve* (2003). (2) Therefore hands-on activities are decreased from 40 percent to 20-25 percent of the science instructional time in the *Science Framework* (2003). (3) While the puzzles, games and demonstrations, etc are introduced into direct teaching, investigative activity is looked upon as learning the problem solving skills broadly without setting limits to acquire science process skills. (4) In the *Science Framework* (2003), the science contents are more rich and of a higher standard as compared with the elementary school contents of the course of study in Japan.

Key words : Science Framework, Direct Teaching, Investigative Activity

キーワード : 科学フレームワーク, 直接教授, 探究活動

はじめに

2005(平成17)年10月,中央教育審議会は「新しい時代の義務教育を創造する(答申)」を発表した。同答申において,今後学習指導要領の見直しに当たっては,『『読み・書き・計算』などの基礎・基本を確実に定着させ,教えて考えさせる教育を基本として,自ら学び自ら考え行動する力を育成すること』¹⁾を重視することが謳われている。こうした中央教育審議会答申を受けて,現在,新学習指導要領の作成が行われている。周知のごとく,1998(平成10)年12月に現行学習指

導要領の改訂が行われたが,同指導要領改訂に伴い,学力低下が危惧され,2003(平成15)年12月には,学習指導要領の一部改正が行われた。ところで,日本の学習指導要領の改訂とほぼ同時期,すなわち1990年代において,アメリカも学力低下に直面し,学力向上のためのさまざまな施策が実施された。それではアメリカでは,どのような施策が行われたのか。

アメリカ・カリフォルニア州を例にとると,同州教育局は,1996年,「全米研究審議会(National Research Council;略称NRC)」による『全米科学教育スタンダード(National Science Education Standards;略

称 NSES)』の出版を受けて、1998年にカリフォルニア州『科学内容スタンダード (Science Content Standards for California Public Schools, Kindergarten Through Grade Twelve)』を公にした。この結果、『科学内容スタンダード』(1998)に基づいて、1990年版カリフォルニア州科学カリキュラムは改訂され、2003年に最新版カリフォルニア州科学カリキュラムが公刊されるに至った。それでは、最新版である2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムはどのような内容で、どのように学習することによって、学力向上を図ろうとしているのか。

本稿の目的は、1990年版カリフォルニア州科学カリキュラムの概要を明示した後、日本の小学校理科学習指導要領と比較しながら、最新版である2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムにおける「知と学びの構造」を明確にすることによって、アメリカのカリフォルニア州における科学カリキュラムの現代的動向を把握することにある。

I. 1990年版カリフォルニア州科学カリキュラムの特徴

刈谷(2002)は、過去の失敗を克服して学力向上を第一義とした教育改革に取り組んでいるケーススタディーとして、アメリカ・カリフォルニア州を取り上げている。1980年代末から90年代初頭にかけて、カリフォルニア州教育省は数学(算数)と英語に関する抜本的改革を行った。ここにおいて、教える内容ではなく、教えるべき方法を重視した、カリキュラムの根本的な変更が実施された。しかしこの改革の結果、カリフォルニア州は公立小学校第4学年の児童を対象とした算数の学力調査(1996)において、全米で底辺に位置するような惨憺たる結果になった。このようなショッキングな結果を踏まえて、州教育省はカリキュラムを改訂し、1997年版新カリキュラムでは、「よりバランスの取れた」教授法が「子ども中心主義」の教授法に取って替えられた、というのである²⁾。それでは科学教育の場合はどうであったのか。

先ほどの子どもの学力低下を招いた数学(算数)と英語のカリキュラムが作成され実施に移されていた頃、1990年版科学カリキュラムが登場した。このカリキュラムにおいて、教師には次の役割を果たすことが要求されていた³⁾。

- (1) 授業を始める前にトピックスについて、子どもがどのような考えを持っているか、確かめる問いを提示する。
- (2) 科学に関する子どもの概念に対して敏感になり、

これを利用する。

- (3) 子どもが概念理解に達するのを支援するために、さまざまな教授技術を用いる。
- (4) すべての子どもを討論や協同学習の場に立ち合わせる。

こうした教師の役割と関連して、実際の小学校科学授業では、子どもに科学を学ぶ楽しさを実感させ、動機づけを行うために、科学の学習時間の40%を活動に割り当てることが奨励されていた。

この1990年版科学カリキュラムは、「フォードハム・レポート」(1998)のような一部の評価機関から高い評価を受けていたが、1996年に『全米科学教育スタンダード (NSES)』が公表されたため、改訂を余儀なくされたのである。

II. 2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムの特徴

1. 「直接教授 (Direct Teaching)」と「探究 (Investigation, Inquiry)」のバランス

- (1) 2003年版科学カリキュラムの強調点

2003年版カリフォルニア州科学カリキュラム、正式名称“Science Framework for California Public Schools, Kindergarten Through Grade Twelve” (2003) では、第1章“Introduction to the Framework”において、新科学カリキュラムの特色として、次の7点が強調されている⁴⁾。

- 1) 長期計画を準備すること
- 2) 他のコア内容領域のカリキュラム要求に応ずること
- 3) 明確な教育目標を設定すること
- 4) 科学的態度のモデルを示すこと
- 5) バランスの取れた教授を提供すること
- 6) 教育活動における安全を保証すること
- 7) 教育活動とスタンダードを調和させること

- (2) 「バランスの取れた教授」の提唱

2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムにおいて、先の第5点目の「バランスの取れた教授を提供すること」は、次のように解説されている⁵⁾。

- 1) 科学に関するいくつかの知識 (knowledge) はテーマについて、児童生徒が講読したり、教師が読み聞かせることによって、首尾よく学ばれている。その他の知識は実験室や野外での学習によって、うまく学ばれている。「直接教授 (Direct Teaching)」と「探究活動 (Investigative Activity)」は相互補完的であり、相乗作用的であることが必要である。

2) 「直接教授」と「探究 (Investigation)」との賢明なバランス、科学的原理の演示への焦点づけは最良の科学授業を提供する。

このように最新版カリフォルニア州科学カリキュラムにおいては、「直接教授」と「探究」とのバランスを図ることが強く謳われていた。ところで、同科学カリキュラムが強調する「直接教授」や「探究」はどのような内容を意味するのか。次にこの点を明らかにしたい。

2. 「直接教授 (Direct Teaching)」の特徴

小学校教師向けの科学教授書である、A. A. カリン (Arthur A. Carin) 著『発見による科学教授 (Teaching Science Through Discovery)』(1993) によれば、「直接教授」は、次の特徴を持つ教授法であると記されている⁶⁾。

- 1) 「直接教授」は、行動主義 (Behaviorism) と観念連合説 (Associationism) に基づいた教授方法論である。これらの研究成果によれば、同教授法はあるタイプの学習、例えば科学に関する事実や簡単な概念の学習、特別な手続きの習得に最も有効である。「直接教授」は、児童生徒によって学ばれるプロセスよりも、学習成果を強調する。
- 2) 教師が児童生徒に学習するよう期待していることを正確に説明したり、課題を行うのに必要なステップを明確に示すと、児童生徒はより効果的に学ぶことができる。こうした行為は、全ての児童生徒が必ずしも、独りで学習の仕方を知るわけではないという前提に基づいている。「直接教授」は特定の学習ステップを通して、児童生徒が各ステップの目的と結果の両者を理解するよう援助することによって、彼らを系統的に導くのである。それ故、理想的には児童生徒は授業内容ばかりでなく、他の内容学習に応用可能な内容に関する学習方法も学ぶのである。
- 3) 「直接教授」は、次のような場面で学ばれるとき最も有効である。①「他の形では利用できない情報を児童生徒に広めるとき」、②「児童生徒の興味関心を惹いたり、動機づけを行うとき」、③「後の学習で必要とされる事実、法則、手続きを習得することを学ぶとき」、④「間接的な学習活動を導入するとき」、⑤「効率やコントロールが不可欠であるとき」、⑥「短期に記憶するとき」。
- 4) 科学において事実や簡単な概念を教授する際の「直接教授」の方略は、次の通りである。①「語りかけること」、②「科学器具を用いて演示すること」、③「討論を行わせること」、④「子どもに講読させること」、⑤「映画、スライド、TV な

どを上映すること」、⑥「人を参加させること」

このように「直接教授」では児童自らが観察実験を行い、仮説を検証するのではなく、教師による演示実験や視聴覚教材の視聴、教科書等の講読などに主眼が置かれている。

3. 「探究 (Investigation, Inquiry)」の特徴

アメリカにおいて、探究を重視した小学校科学カリキュラムとしては、1960年代のESS (1960) やSCIS (1962)、SAPA (1963) などがよく知られているが、2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムにおいても、「探究」は重要な学習方法として提唱されている。R. J. レズバ (Rezba, Richard J.) やC. スプラーク (Sprague, Constance)、R. L. フィール (Fiel, Ronald L.) による、小学校及びミドルスクール教師向けの科学教授書『学習と評価、科学的プロセス・スキル (Process Skill)』(2003) では、探究の持つ教育的意義が次の4点にわたって強調されている⁷⁾。

- 1) 科学的プロセス・スキルとは何か。それは科学者が研究したり、探究したりする時に行うものである。観察したり、測定したり、推論したり、実験したりすることは科学を実践するとき、科学者や教師、児童生徒によって用いられる思考スキルの一つである。科学を学習したり、教授することの多くの楽しさは、科学を経験することである。
- 2) 科学教育の目標は「知識体 (body of knowledge)」と同様、思考及び探究の方法を強調する。
- 3) 科学における思考の方法は、プロセス・スキルと呼ばれている。科学者や児童生徒が科学を実践するとき、彼らは推論する、分類する、仮説を立てる、実験するという思考スキルを用いている。
- 4) 科学の教授学習はいつも、科学の本質を反映しているわけではない。児童生徒は活動的に科学を実践することを犠牲にして、事実や専門用語の学習に苦しめられている。多くの研究によって、児童生徒はハンズ・オン活動やマインズ・オン活動に没頭しているとき、身体的にも精神的にも最も良く学ぶと考えられている。教師と教育政策者の間で、“less is more” が提唱されている。“less is more” とは、抽象的で大量の内容をカバーするよりも、より少ない概念やスキルに注意力を集中することの方が児童生徒にとって、遥かに有益であることを示すことばである。

ところで、R. J. レズバ (Rezba, R. J.) らによれば、科学的プロセス・スキルは、主に下学年で習得される基礎的スキル (Basic Science Process Skill) と上学年で習得される統合的スキル (Integrated Science

Process Skill) に二分されている。彼らによれば、基礎的スキルとして、①観察すること (Observing)、②伝達すること (Communicating)、③分類すること (Classifying)、④測定すること (Measuring Metrically)、⑤推論すること (Inferring)、⑥予測すること (Predicting)、が挙げられている。また、統合的スキルとして、⑦変数を確認すること (Identifying Variables)、⑧表を作成すること (Constructing a Table of Data)、⑨グラフを作成すること (Constructing a Graph)、⑩変数間の関係を説明すること (Describing Relationships between Variables)、⑪データを獲得し、処理すること (Acquiring & Processing Your Own Data)、⑫実験を分析すること (Analyzing Experiments)、⑬仮説を立てること (Constructing Hypotheses)、⑭変数を操作的に定義すること (Defining Variables Operationally)、⑮探究をデザインすること (Designing Investigations)、⑯実験すること (Experimenting)、が挙げられている⁸⁾。

R. J. レズバ (Rezba, R. J.) らは、基礎的スキルとして6のスキルを、統合的スキルとして10のスキルを指摘していた。

それではカリフォルニア州教育局は、同州科学カリキュラムの内容を改訂するに当たって、どのように構想したのか。次に、この点を明らかにしたい。

Ⅲ. 2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムの内容

カリフォルニア州教育局は、2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムの性格を次のように捉えていた。

「この章は『科学内容スタンダード』(1998)を具体化している。科学内容スタンダードは科学カリキュラム・スタンダードの基礎をなす科学について説明したり、科学カリキュラム・スタンダードの目標と一致する活動について概説している。この章に含まれる活動は、科学カリキュラム・スタンダードでアプローチされるかも知れない方法の例である。「できる (can)」、 「かも知れない (may)」、 「すべきである (should)」 という助動詞を用いて説明されているが、これらの例は科学の教室や教材に対する要求として解釈されるべきではない。

科学スタンダードは、児童生徒が何を知るべきなのかを示している。それ故に、児童生徒が実際に、特定の事実、スキル、概念、原理、理論を学んだとき、個々のスタンダードの習得は達成されるのである。だが習得は単に児童生徒が特定の説明を受けたり、特定の活動に参加するだけで生じるわけではない。

小学校科学プログラムは、ミドルスクールやハイスクールで必要とされる基礎的スキルと知識を提供する。児童は物理科学、生命科学及び地球科学という見出しの下に構成された事実、概念、原理、理論を導入される。彼らは、ハイスクールまで継続して展開される本質的探究及び実験スキルを学習する。小学校児童は適切に構造化された活動や解説的な読み物教材に積極的に反応する。これらの活動や教材が、児童の身の回りの世界を科学的 content と結びつけるのである。児童は質問し、好奇心を燃やし、分析的になることを学ぶ。彼らは考えや観察結果を、自由に且つ率直に表現するよう促される。彼らは他の子どもの考えや観察結果を聞いたり、検討することを学ぶのである。教師と児童は両者で、科学冒険を楽しむことが必要である。』⁹⁾

以上のように、カリフォルニア州科学カリキュラムでは、科学教育の目標とそれを達成するための活動が示されることになっているが、カリキュラムの例示は実践を拘束するものではないことが明記されている。授業では計画された活動や読み物教材などが導入され、児童は身の回りの世界と科学的 content とを結びつけるよう求められている。

それでは、最新版カリフォルニア州科学カリキュラムはどのような内容構成になっているのか。2003年版同州科学カリキュラムの内容は次の通りである¹⁰⁾。

第1学年

物質は固体、液体、気体のような異なる形態 (状態) に変わる。この概念を理解する基礎として、児童は、a. 固体、液体、気体は異なる特性を持つことを知る (know)、b. 物質は混ぜたり、冷やしたり、加熱すると、その特性が変化することを知る。

第2学年

物体の運動は観察され、測定され得る。この概念を理解する基礎として、児童は、a. 物体の位置が他の物体や背景との位置関係によって記述されることを知る、b. 物体の運動は時間ごとの物体の位置変化の記録によって記述されることを知る、c. 物の運動を変化させる方法が押ししたり、引いたりすることであることを知る、変化の規模は押ししたり、引いたりする際の強さ、力の総和に関係する、d. 道具や機械は物を動かすために押ししたり、引いたりすることを応用して利用されていることを知る、e. 物体は支えられないと、地面に落下することを知る、f. 磁石は接触することなしに、物を動かすために用いられることを知る、g. 音は物体を振動させることによって発生し、高さや大きさによって記述されることを知る。

第3学年

エネルギーと物質は多様な形態を有しており、ある形態から別の形態へと変化し得る。この概念を理解する基礎として、児童は、a. エネルギーが光の形態で太陽から地球へ達することを知る、b. 蓄積されたエネルギー源は食物や燃料、電池のような多くの形態を取ることを知る、c. 機械や生物は蓄積されたエネルギーを運動や熱に変えることを知る、d. エネルギーは水波や音波のような波、電流、運動体によって、ある場所から別の場所へ運ばれることを知る、e. 物質が固体、液体、気体の三態をとることを知る、f. 蒸発と融解は物が加熱されるときに生ずる変化であることを知る、g. 二種類以上の物質が化合すると、元の物質とは異なる性質を持つ新しい物質が生成されることを知る、h. すべての物質はあまりにも小さいので、肉眼では見ることができない原子と呼ばれる小さな粒子から構成されていることを知る、i. かつて人々は土、風、火、水が物質を構成する基本要素であるを考えていた。科学実験は100以上の異なる原子が存在することを示し、それらは元素の周期表に示されていることを知る。

光には光源があり、ある方向に進む。この概念を理解する基礎として、児童は、a. 日光が遮られると影ができることを知る、b. 光は鏡や他の表面で反射されることを知る、c. 物体に広がる光の色が物の見え方に作用することを知る、d. 物体から進んできた光が目に入るとき、物体が見えることを知る。

第4学年

電気と磁気は相互に関係しており、日常生活で多く有効利用されている。この概念を理解する基礎として、児童は、a. 導線や電池、電球のような部品を用いて、どのようにして直列及び並列回路を計画し、組み立てるのかを知る、b. 簡単なコンパスの作り方や、地磁気も含めて磁気の効果を検出するためのコンパスの使い方を知る、c. 電流が磁場を作ることを知り、簡単な電磁石の作り方を知る、d. 電気モーター、発電機、ドアベル及びイヤホンのような簡単な装置に使われている電磁石の役割を知る、e. 帯電した物体は互いに引き合ったり、反発することを知る、f. 磁石には二つの極(NとS)があり、同極同士は反発し、異極同士は引き合うことを知る、g. 電氣的エネルギーは熱や光、運動に変化することを知る。

第5学年

元素とその化合物が、世界中の多様な種類の物質すべての原因である。この概念を理解する基礎として、児童は、a. 化学反応が起こると、反応物中の原子は異

なる特性を持つ生成物を作るために転位することを知る、b. すべての物質は原子から構成され、これらは結合して分子を構成することを知る、c. 金属は高い電気伝導度及び熱伝導度のような共通の特性を持つことを知る。アルミニウム (Al)、鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、銀 (Ag)、金 (Au) のような金属は純粋な元素である。鋼や真鍮のような金属は金属元素が組み合わさったものから構成されている。d. 一種類の元素は一種類の原子から構成されており、元素はその特性によって周期表に配列されていることを知る、e. 科学者が原子及び分子の姿を視覚化する機械を開発したことを知る。その姿は原子及び分子がきちんと配列していることを示す。f. 物質の化学的及び物理的特性の違いが、混合物を分離したり、化合物を同定するのに利用されることを知る、g. 砂糖 ($C_6H_{12}O_6$)、水 (H_2O)、ヘリウム (He)、酸素 (O_2)、窒素 (N_2)、二酸化炭素 (CO_2) のような固体、液体、気体の物質の特性を知る、h. 生物やほとんどの物質が2、3の元素から構成されていることを知る、i. 塩化ナトリウム (NaCl) のような塩の共通の特性を知る。

第6学年

熱はすべての物体が同温になるまで、高い方から低い方へ「予想可能な流れ (a predictable flow)」として移動する。この概念を理解する基礎として、児童は、a. エネルギーは熱の移動、水波、光波及び音波のような波、物体の移動によって、ある場所から別の場所へ運ばれることを知る、b. 燃料が消費されるとき、放出されるエネルギーのほとんどが熱エネルギーに変わることを知る、c. 熱は固体中(物質の移動がない)を伝導によって、液体中(物質の移動がある)を伝導や対流によって移動することを知る、d. エネルギーは放射(放射は空間を伝わる)によって物体間を移動することを知る。

2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムは1998年版同州科学内容スタンダードを受けて作成されたものであり、90年版科学カリキュラムと比べて教育内容がより高度になっている。2003年版カリキュラムにおいて、学習成果は行動目標で表現され、アンダーラインが示すように、「知る (know)」という動詞が多用されている。児童が知ることを含めて、行動を変容させ、科学的理解に至るまで、教師は責任があることが示されている。加えて2003年版カリキュラムでは、実験を中心とした児童の活動を授業時間の20～25%に収めるように改められている。すなわち単純に見て、2003年版カリキュラムは1990年版に比べると、探究活

動の時間がおおよそ半分になったのである。こうして最新版のカリフォルニア州の科学カリキュラムはそれ以前のものと比べて、知を重視して学び方の比重を軽くした、という大きな特徴を持っている。

IV. アメリカ・カリフォルニア州の科学カリキュラムにおける知の構造

表1より、アメリカ・カリフォルニア州科学カリキュラムの第1学年から第6学年までの内容を分類すると、「磁気」、「物質」、「エネルギー」及び「原子・分子」のグループ(1)と、「力と運動」、「光」及び「電気」のグループ(2)に分けることができる。

例えば、グループ(1)の「磁気」では、児童が第2学年で「磁石の斥力と引力」、第4学年で「磁石の極」、「磁石の斥力と引力」、「方位磁石」及び「電磁石の性質」を学習するように、内容が配列されている。教育内容の構成が繰り返し学習されるスパイラル構造になっている。このように、グループ(1)はスパイラル構造を示す内容である。

「物質」では、第1学年で「物質の三態」及び「水の状態変化」、第3学年で「物質の三態」、「水以外の物質の蒸発と融解」及び「純物質と混合物」が児童によって学ばれる。「エネルギー」では、第3学年で「太陽エネルギー」、「エネルギー源」、「エネルギーの運動や熱への変換」及び「エネルギーの移動」、第4学年で「電気エネルギーの熱や光、音などへの変換」、第6学年で「エネルギーの移動」、「熱エネルギー」、「固体及び液体中での伝導と対流」及び「放射」が児童によって学ばれる。日本では第5学年で「振り子」と「衝突」が学習されるが、エネルギー概念は導入されていない。「原子・分子」では、第3学年で「原子」、「元素」及び「元素周期表」、第5学年で「化学反応と生成物」、「分子」、「金属元素」、「元素周期表」、「原子及び分子の像」、「化合物と混合物」、「分子の特性」、「生命体の構成元素」及び「塩類」が児童によって学ばれる。この内容は、日本では全く学習されていない。

次にグループ(2)は、スパイラル構造を取らない内容である。「力と運動」は第2学年で、光は第3学年で、第6学年で一部、「光波」が児童によって学習される。「電気」は第4学年で学ばれる。

一方、日本では、グループ(1)に属する内容は、「磁気」と「物質」と「電気」である。「磁気」は、第3学年で「磁石につくものとつかないもの」、「磁石の斥力と引力」、第6学年で「電磁石」を学ぶ。「物質」では、第3学年で「加圧による空気と水の体積変化」、第5学年で「飽和水溶液」、「再結晶」及び「質量保存」、

第6学年で「水溶液の性質」と「燃焼」を学習する。「電気」では、第3学年で「電気回路」と「電気を通すものと通さないもの」、第4学年で「乾電池の数やつなぎ方による豆電球の明るさやモーターの回転の違い」、「光電池」が学ばれる。

同様に、日本においてグループ(2)に属する内容として、「力と運動」では、第5学年で「てこ」が児童によって学習される。「エネルギー」は、第4学年で「加熱と冷却による金属、水、空気の体積変化」と「金属、水、空気による熱の伝わり方」が学ばれる。「光」は第3学年で、児童によって学習される。

先に述べたように、カリフォルニア州科学カリキュラムでは、「エネルギー」と「原子・分子」は各学年で、繰り返し取り扱われているのに対して、日本では全く取り扱われていない。もちろん第5学年の「振り子」や「衝突」において、エネルギーの変換を導入することは可能であるが、小学校学習指導要領解説(理科編)や小学校理科教科書では取り扱うよう求められていない。エネルギー概念は本来、抽象的であり、小学校段階ではまず、具体的な自然の事物現象の理解が先決であり、その後に自然現象を理解する概念枠としてエネルギー概念を導入するという教授方略もあるかも知れない。しかし、アメリカ・カリフォルニア州科学カリキュラムのように、さまざまな教授方略を駆使しながら、第3学年からエネルギー概念を導入し、自然現象と関連づけて学習を進めるというやり方もある。

「電気」については、日本はスパイラル構造を取っているが、反対にカリフォルニアは第4学年で学習するのみである。しかし、日本と比べると、その内容は豊富である。例えば、「静電気」や「電荷による斥力と引力」は、日本では中学校理科1分野(上)で取り扱われている。カリフォルニア州科学カリキュラムでは第1学年から科学が導入されており、日本と比較しても、学ぶ内容が多く、しかもその内容が高度である。カリフォルニア州では第2学年、「力と運動」では「重力」や「波としての音の性質」などが学ばれており、低学年から高度な内容が学習されている。

先に述べたように、カリフォルニア州科学カリキュラムにおいては、児童が習得すべき知識や技能などが行動目標の形で表現され、とりわけ「知る(know)」という動詞が多用されている。このことは、児童が知ることを含めて、行動を変容させ、科学的理解に至るまで、教師には責任があることを示しているのである。

アメリカのカリフォルニア州における科学カリキュラムの現代的動向
 —直接教授と探究活動とのバランスを重視した科学カリキュラム—

表1 2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムと平成10年版小学校理科学習指導要領の物理科学内容の比較

学年	磁気	物質	力と運動	エネルギー	原子・分子	光	電気
第1学年		物質の三態； 水の状態変化					
第2学年	磁石の斥力と引力		物の位置；物の運動の記録；運動と力；機械と力；重力；音の性質				
第3学年		物質の三態；蒸発と融解；純物質と混合物		太陽エネルギー；エネルギー源；エネルギーの運動や熱への変換；エネルギーの移動	原子；元素；元素周期表	日なたと日陰；光の反射；光の色；光と視覚	
	磁石につくもの、つかないもの；磁石の斥力と引力	加圧による空気と水の体積変化				日なたと日陰；光の直進、反射及び屈折；光の性質	電気を通すつなぎ方と通さないつなぎ方；電気を通すものと通さないもの
第4学年	磁石の極；磁石の斥力と引力；方位磁石；電磁石の性質			電気エネルギーの熱や光、音などへの変換			直列回路と並列回路；電磁石；電磁石の役割；静電気；電荷の斥力と引力
				加熱と冷却による金属、水及び空気の体積変化；金属、水及び空気による熱の伝わり方；（光電池）			豆電球の数やつなぎ方による豆電球の明るさやモーターの回転の違い；光電池
第5学年					化学反応と生成物；分子；金属元素；元素周期表；原子及び分子の像；化合物と混合物；分子の特性；生命体の構成元素；塩類		
		飽和水溶液；再結晶；質量保存	てこ；振り子；衝突				
第6学年				エネルギーの移動；熱エネルギー；固体及び液体中での伝導と対流；放射			
	電磁石；電磁石の強さ	水溶液の性質；燃焼					

(ただし上段がカリフォルニア州科学カリキュラム、下段が小学校理科学習指導要領の内容である。)

表2 グループ(1)・(2)に属する科学内容の日米比較

	グループ(1)		グループ(2)	
	カリフォルニア州	日本	カリフォルニア州	日本
内容	磁気	磁気	力と運動	力と運動
	物質	物質	光	光
	エネルギー		電気	
	原子・分子			
		電気		

V. アメリカ・カリフォルニア州の科学カリキュラムにおける学びの構造

2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムでは、各学年の目標と内容が生命科学領域、物理科学領域及び地球科学領域の三領域にわたって明示されるとともに、三領域全体を通して児童が習得すべき「探究(Investigation)及び実験(Experimentation)」の能力・技能が明記されている。各学年ごとの能力・技能を先のR.J. レズバ(Rezba, R.J.)らによるプロセス・スキルの分類基準に従って整理したのが、表3である。

表3 カリフォルニア州科学カリキュラムにおける各学年ごとのプロセス・スキル

学年	基礎的プロセス・スキル	統合的プロセス・スキル
幼稚園	①, ② ③	
第1学年	①, ②	
第2学年	①, ② ③, ④, ⑥	⑨
第3学年	⑥	⑫
第4学年	⑤, ⑥	⑨, ⑯
第5学年	③, ⑤ ⑥	⑦, ⑧ ⑨ ⑮
第6学年	②	⑨, ⑩, ⑬

表3より、幼稚園及び第1学年では基礎的プロセス・スキルが、第2学年から基礎的プロセス・スキルと統合的プロセス・スキルの両方の習得が主張されており、その割合は学年が上がるに従って、統合的プロセス・スキルの全体に占める割合が大きくなっていることが分かる。

2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムにおいて、「探究(Investigation)及び実験(Experimentation)」について記述された箇所では、プロセス・スキルに限定しない広義の問題解決に伴う知識や能力、技能も明示されている。表4のように、一部の能力の習得は複数学年で繰り返し求められている。

日本の小学校理科学習指導要領におけるプロセス・スキル及び主な問題解決能力は、表5の通りである。

表4 「探究及び実験」の問題解決に伴う知識・能力・技能

学年	問題解決に伴う知識・能力・技能
第1学年	基準に対して、ものの相対的な位置を知る。
第2学年	教師の指示に従って、探究を行う。
第2・5・6学年	科学授業で用いる器具・器械の操作に習熟する。
第3学年	実験上の誤差について知る。
第3学年	予測と結果を比較する。
第4学年	観察事実と解釈及び推論との違いを知る。
第4学年	実験書の指示に従って、探究を行う。
第5学年	児童自ら、検証可能な問題を作成する。

表5 小学校理科学習指導要領におけるプロセス・スキル及び主な問題解決能力

学年	プロセス・スキル	主な問題解決能力
第3学年	鏡や磁石などを使う；昆虫や植物を採集する；調べる；分類する	事象を比べる
第4学年	身近な動植物を採集する；実験する；月や星などを観察する	変化と関係する要因を見出すこと
第5学年	植物を育てる；調べる；資料を活用する；実験する；天気を観測する；川の様子を観察する	計画的に観察、実験を行うこと
第6学年	人や動物を観察する；資料を活用する；動植物の生活や土地などを観察する；調べる；実験する	多面的に考察する

表4, 5より、次の諸点を指摘することができる。

第一に、日本では各学年を通して、プロセス・スキルとして「動植物を採集すること」、「動植物を育てること」、「実験すること」、「調べること」及び「観察すること」などが繰り返し強調されている。

第二に、プロセス・スキル以外の問題解決能力としては、第3学年の「事象を比べること」から第6学年の「多面的に考察すること」まで、学年が上がるに従って、より高次な精神活動が求められている。

第三に、問題解決能力に目を向けると、2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムでは、第1・2学年で、物差しや温度計、虫眼鏡、顕微鏡などの実験器具・

器械の操作を行ったり、教師の指示に従って探究するよう要求されている。

第四に、カリフォルニア州科学カリキュラムでは、第3学年から実験上の誤差について取り扱うよう求められているが、日本では第5学年の「振り子」の学習で取り扱うことが可能である。カリフォルニア州の方が早い学年段階から導入されている。

第五に、問題解決能力の一つである「予測と結果を比較すること」についても、カリフォルニア州では第3学年から導入されているが、日本では、第4学年の「水と空気を押す力とこれらの体積変化との関係」において取り扱われている。この点もカリフォルニア州の方が1学年早く、導入されている。

第六に、日米双方において、学び方としてプロセス・スキル以外に、問題解決能力が求められているが、そのレベルはカリフォルニア州の方が高い。

VI. アメリカ・カリフォルニア州の科学カリキュラムにおける知と学びの構造

2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムでは学び方を、「プロセス・スキル (Process Skill)」と「問題解決能力 (Problem Solving Skill)」に区別せず、「探究 (Investigation, Inquiry)」という言葉で、まとめて表現している。一方、1998 (平成10) 年版小学校理科学習指導要領では、「プロセス・スキル」という言葉は用いられていないが、同スキルを含む「問題解決能力」という言葉が用いられている。日米科学カリキュラムでは、学び方を表す用語の使い方に相違はあるが、両国ともプロセス・スキルに限定しない、より広範且つ多様な探究活動を含む学びの方法が志向されていると言えよう。その意味では、1960、70年代の科学教育現代化運動において批判された、プロセス・スキルの習得を強調した悪しき方法主義は克服されているように思われる。

しかしその一方、2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムでは、「直接教授 (Direct Teaching)」による知の獲得が強く主張されている。この「直接教授」重視による探究活動 (ハンズ・オン活動) の時間的短縮については、「カリフォルニア州科学教師協会 (California Science Teachers Association)」らの批判がある。2004年3月4日、「全米科学アカデミー会長 (The President of the National Academy of Science)」である B. アルバーツ (Alberts, Bruce) と「全米科学教師協会常任理事 (The Executive Director of the National Science Teachers Association)」であ

る G. ウェーラー (Wheeler, Gerald) は、カリフォルニア州教育局に要望書を提出している。その中で、彼らは、

(1) カリフォルニア州科学スタンダードがハンズ・オン活動を授業時間の20~25%に制限したのは、「アメリカ科学振興協会 (American Association for the Advancement of Science; 略称 AAAS)」による『すべてのアメリカ人のための科学 (Science for All Americans)』(1994) や「全米研究審議会 (National Research Council; 略称 NRC)」による『全米科学教育スタンダード (National Science Education Standards)』(1996) の精神に反し、適切ではないこと。

(2) 教材としてカリフォルニア州の評価基準に応じたものを採用することは、これらの教材を用いてハンズ・オン活動を行うと、本来あるべき多様な活動が制限されることになるので、この教材基準を設けることは適切ではないこと。

を主張している¹¹⁾。

知と学びのあり方について、アメリカ・カリフォルニア州教育局は学力低下の打開策として、「直接教授」と「探究」とのバランスの取れた科学カリキュラムを作成したが、科学教育関係学会等から、そのあり方が批判されているのも事実である。しかし、知と学びの創造には、文化伝承としての知が不可欠である。2003年版カリフォルニア州科学カリキュラムの場合、「パズル解き」や「ゲーム」、演示実験などの多彩な教授方略を用いた「直接教授」とプロセス・スキルの習得に限定されない広範且つ多様な方法を用いた「探究」とのバランスの取れた学びの中で、子どもの認知体系の変容を図ろうとしている¹²⁾¹³⁾。

おわりに

カリフォルニア州の新しい試みがわが国に与える示唆は、教育内容厳選のキャッチフレーズの下で、学習困難と思われる内容を単純に削減したり、上の学年に押し上げたりするのではなく、子どもの認知形成に資すると考えられる基本的な内容であれば、例えば「原子」や「分子」、「周期表」、「エネルギー」などにおいても、さまざまな多様且つ多彩な教授方略をもって低い学年の子どもにも理解させることができるという考えのもとで、周到に内容と方法を準備すること、これこそが学力低下の混迷を打破するかも知れないということである。

【引用・参考文献】

- 1) 中央教育審議会『新しい時代の義務教育を創造する(答申)』2005, p.15.
- 2) 刈谷剛彦『教育改革の幻想』東京：筑摩書房, 2002, pp.153-172.
- 3) California Department of Education (以下, CDEと略す), *Science Framework for California Public Schools, Kindergarten Through Grade Twelve*, CDE, 1990, p.3.
- 4) CDE, *Science Framework for California Public Schools, Kindergarten Through Grade Twelve*, CDE, 2003, pp.4-8.
- 5) *Ibid.*, pp.6f.
- 6) Arthur A. Carin, *Teaching Science Through Discovery*, New York: Macmillan Publishing Company, 1993, pp.82-84.
- 7) Richard J. Rezba, Constance Sprague, Ronald Fiel, *Learning and Assessing, Science Process Skills*, Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 1993, pp.82-84.
- 8) Richard J. Rezba et al., *op. cit.*, pp.1-2, 129-130.
- 9) CDE, *op. cit.*, 2003, p.24.
- 10) *Ibid.*, pp.31-94.
- 11) <http://science.nsta.org/nstaexpress/lettertocaliffromgerry.html>
- 12) Marjorie Slavick Frank et al., *Harcourt Science*, Orlando: Harcourt School Publishers, 2005.
- 13) *Harcourt Science Workbook*, Orlando: Harcourt School Publishers, 2005.