

R. W. バイビーの 5E 指導モデルに関する検討

—R. カープラスの学習サイクルとの比較を通して—

大貫 守

はじめに

理科教育では、1960 年代を一つの契機として今日に至るまで探究を伴う授業づくりが推奨されている。理科の中心的なプロセスとして、児童が自然現象を探究し、経験を蓄積していくことは重要な要素である。しかし、児童がどんな探究活動をするのかだけでなく、そこで培った経験をどう概念化していくのかということも問われなければ、単なる活動主義に陥るだろう。

探究のような児童の外的な活動と概念変化のような内的な活動との両立は、米国の科学教育においても古くから課題となってきた。例えば、1950 年代のカリキュラム改革運動では、探究技能の獲得や児童による発見の過程を過度に重視した科学カリキュラムが開発された。一方で、心理学者のオースベル (D. P. Ausubel) は、そのような外的な活動に偏重したカリキュラムに対して、科学カリキュラムは組織された知識を体系だてて提示することで科学の原理を有意味かつ批判的に学ぶように組み立てられる必要があることを主張した¹。その上で、発見学習のような外的な活動ではなく、内的な活動の充実を図るため有意味受容学習を提唱した。そこでは、科学的概念を既存の認知構造に関係づけることで体系的に学習することを求めている。

米国の科学教育を中心に、この内的な活動と外的な活動を重視する立場を調停し、両者を接合する形で提案されてきた教授モデルが学習サイクル (learning cycle) である。学習サイクルとは、構成主義的学習観に立ち、学習者が自らで知識を構築できるように、自律的に探究を行う局面 (phase) や教師によって概念やスキルが説明される局面など、教育者がカリキュラムや単元を計画する際に必要となる学習活動の様相とその配列を示したものである。

この学習サイクルの理論は、1962 年に SCIS (Science Curriculum Improvement Study) を発足させたカリフォルニア大学バークレー校の量子物理学者であったカープラス (R. Karplus) を中心に提唱された。これは「探索 (exploration) — 発明 (invention) — 発見 (discovery)」の 3 つの学習活動からなる (表 1)。この学習サイクルは、1980 年代に BSCS (Biological Science Curriculum Study) の責任者を務めた教育心理学者のバイビー (R.W. Bybee) により引き継がれ、学習への動機づけや評価を位置づけることで 5E 指導モデル (instructional model) へと精緻化された (表 2)。この 5E 指導モデルは、現在でも BSCS の教授モデルとして用いられているほか、『次世代科学教育スタンダード (Next Generation Science Standards)』(2013 年) に準拠した授業やカリキュラムの設計方法や、学区のカリキュラムフレームワークなどに用いられている²。このように学習サイクル、中でも 5E 指導モデルは現在の米国の科学教育の中核に位置している。

表 1. カープラスの学習サイクルの 3 つの局面 (筆者作成) ³

局面	学習活動
探索	教師からの最低限の指示の下で、児童が自立的に現象や素材とふれあいながら調査する。
発明	児童が困惑した状態から脱するために、学習経験を基盤に新しい概念を教師が導入する。
発見	児童が導入された概念を、彼らにとって新しいものの概念と関係のある状況に応用する。

表 2. 学習サイクルとパイビーの指導モデルとの対応 (筆者作成)

学習サイクル	4 局面の学習サイクル	5E 指導モデル
探索	探索(Exploration)	関与(Engage)
		探索(Exploration)
発明	説明(Explanation)	説明(Explanation)
発見	拡張(Extension)	精緻化(Elaboration)
	評価(Evaluation)	評価(Evaluation)

この 5E 指導モデルは、日本にも既に紹介されている。高橋一将らは、BSCS で探究学習を促進する指導方略として 5E 指導モデルを取り上げている⁴。加えて『次世代科学教育スタンダード』を具現化し、深い理解をもたらす指導方略として 5E 指導モデルを挙げ、中学校での実践を紹介している⁵。また、熊野善介は、米国の科学のプロセスの歴史的な変遷を整理する中で、ヘルバルト (J.F. Herbart) の 4 段階教授法やデューイ (J. Dewey) の反省的思考と連続したものとして 5E 指導モデルを位置づけている⁶。

日本国内の先行研究の中でも、BSCS のカリキュラムの変遷を史的に整理した丹沢哲郎は、5E 指導モデルが、学習サイクルを基盤とし、子どもの既有知識を活用することや、能動的な学習者として子どもを認識すること、子どもの概念理解と応用の機会を与えることを特徴としていたとまとめている⁷。その上で、1990 年代までに提起された構成主義的学習観に基づく教授モデルや学習サイクルと 5E 指導モデルの特徴を分析した上で、両者の間には本質的な違いはないと述べている⁸。このように国内の先行研究では、5E 指導モデルと他のモデルとの概念形成の側面の連続性が強調される一方で、それ以外の側面に関する差異は十分に検討されてこなかった。その結果、学習サイクルの延長線上に 5E 指導モデルが位置づけられるのみで、その独自性が十分に検討されていない。しかし、パイビーが学習サイクルと 5E 指導モデルを見比べるとその差異に気がつく」と記しているように、両者の間には差異が存在していると思われる⁹。

そこで本稿では、パイビーが 5E 指導モデルを構想する際に拠り所としたカープラスの学習サイクルとの比較を通して、5E 指導モデルの独自性を明らかにする。まず、カープラスの学習サイクルの理論を概説し、それに基づく SCIS の小学校 2 年生の実践に焦点を合わせ検討する。次に、パイビーの 5E 指導モデルの理論について説明し、それに基づく BSCS の小学校 4 年生の実践を検討する。最後に、両者を比較することで 5E 指導モデルの意義について分析する。

1. カープラスの学習サイクルの成立とその背景

(1) 米国における学習サイクルの成立と展開

カープラスが、学習サイクルの理論を発表する以前から、米国には学習サイクルの考え方が存在した。学習サイクルの系譜について歴史的に整理したローソン (A.E. Lawson) によれば、学習サイクルとは「人が知識を自発的に構成する方法と一致した……一つの教授方法」¹⁰であり、学習者自身が効果的に知識を構成する手助けとなる教授の側面を明らかにするものである。これに従えば、学習サイクルに類似した発想は、ソクラテスの問答法にまで遡ることができる。特に、ローソンが米国の学習サイクルの起源としているものが、デューイの反省的思考である。

ハイスらによって1950年に米国で初めて提起された学習サイクルは、このデューイの反省的思考に立脚したものであった。具体的には、問題を把握・分析し（単元の探索）、証拠を収集・解釈した上で問いを解決し（経験の教授）、概念やスキルを学び（学習の組織）、新しい状況に応用すること（学習の応用）が企図されている。ここでは、デューイの提起した問題解決学習が過度に単純化されつつも、教師が展開する方法として学習サイクルが提起されていた¹¹。

一方で、ほぼ同時期にハイスとは異なる潮流として、学習サイクルの考え方を提起したのが、カープラスであった。1950年代後半に科学教育研究者となったカープラスは、児童に科学の中心的な概念を教えるために小学校の科学教育のカリキュラム開発に取り組んだ。そこで、行動主義の心理学が支配的であった当時の米国ではあまり注目されていなかったピアジェの発生心理学に学んだカープラスを中心に、学習サイクルが理論化され、SCISで実践された。

カープラスの学習サイクルの理論は、認知や情意など様々な角度から実証研究がなされ、効果が検証された¹²。加えて、学習サイクルの理論に根差した多様な教授モデルが開発された。例えば、1980年代の教育心理学者のレンナー（J.W. Renner）による「経験—解釈—練り上げ」のサイクル¹³やバイビーの5E指導モデルを筆頭に、2000年以降は学習科学の知見を取り入れ、学習内容の動機づけや転移を一層促した7Eモデル¹⁴やメタ認知的な要素を取り入れた4E×2指導モデル¹⁵といった教授モデルが創出された。また、構成主義的学習観に基づく教授モデルを構築したオズボーン（R. Osborne）らも、自身の提唱する生成的学習モデル（generative learning model）のひとつの潮流として学習サイクルを位置づけている¹⁶。このように心理学的な知見を軸に新たな要素を取り入れつつ、発展してきたのがカープラスらの学習サイクルの系譜である。

このように、ハイスとカープラスの学習サイクルは、学習者が自発的に概念を構成するために教師が用いる教授モデルという点では共通点をもちつつも、デューイの哲学的論考を基礎とする学習サイクルとピアジェの均衡化の理論を基盤とする学習サイクルという二つの理論的な系譜が存在する。この中でも、現在まで続く学習サイクルの基礎となっているものが、後者のカープラスの系譜である。そこで次に、カープラスの学習サイクルの理論について見てみよう。

（2）カープラスの学習サイクルの理論

カープラスの学習サイクルは、表1の3つの局面から構成される。原則的には、「探索」、「発明」、「発見」の順に学習活動が組まれる。この学習サイクルの原型の誕生は、1962年にアトキン（J. M. Atkin）と開発した「指導つきの発見（guided discovery）」まで遡る。当時、小学校で研究をしていたカープラスは、摩擦は必ず物体を遅くするなど児童がこれまでの経験から構成する科学的に素朴な見方や考え方である「非公式の科学（informal science）」を科学的に適切な考えへと変容させる教授方略を模索していた¹⁷。その中で、ピアジェやクーン（T. Kuhn）の理論を基盤に作成したものが「発明—発見」からなる「指導つきの発見」の理論であった。

カープラスらが『発見』は効果的なプログラムにおいて概念の説明を伴う導入と組み合わせられるべきである¹⁸と記しているように、「指導つきの発見」では「発見」に先立つものとして概念理解の局面（「発明」）があることを強調している。これを踏まえて、「指導つきの発見」は、観察したことをもとに必要に応じて教師が科学的概念を導入する局面（「発明」）と児童がそれを身の回りの事象に応用する局面（「発見」）という、表1の学習サイクルの後半にある2つの局面から構成されている。ここから、カープラスは「発見」を児童が科学的概念を発見する営

みとは捉えていないことが伺える。では、児童は科学的概念ではなく何を「発見」するのか。

これを考える上で参考になるものが、カープラスの「発明」の考え方である¹⁹。彼が色の名前や磁界などの概念を例に説明するように、これらは自然の規則性を発見した結果として人間が「発明」した産物であり、磁界などの概念自体を児童が発見できるものではない。そこで、観察結果を説明するために人間が概念（言語的なラベル）を「発明」する行為と、観察などから関係性や規則性を「発見」する行為を区別し、「発明」と「発見」という用語を区別している。

小学校2年生の相互作用の単元における「発見」の局面を例に見てみよう²⁰。物質間の相互作用をもたらす要因として磁界の概念を導入された児童は、「発見」の局面で紙や銅貨、クリップに磁石を近づけることで、磁石が作用するものとししないものがあることに気づく。この中で、磁石が相互作用する物質の規則性が「発見」され、磁界についての理解が精緻なものとなる。このように「発見」の局面では、教師により「発明」された概念を様々な事象に適用することで、観察したことや概念の間の関係性を「発見」し、その概念を拡張したり有用性や限界を理解したりするようになる。あくまでカープラスにとっては、概念の「発明」ではなく、「発明」の局面を通して導入された概念を深く理解し、創造的に思考することが目的なのである。

この「指導つきの発見」は、クーンのパラダイム論に依拠している。例えば、多くの児童は、運動している物体には力が働き続けるという「非公式の科学」をもつ。児童は、この非公式の科学に基づく見方（旧パラダイム）から現象を観察し、記述する（理論負荷性）。これに対して、ニュートンの運動法則に基づく見方（新パラダイム）が教師を介して児童に導入（「発明」）される。その後、児童が多様な現象に運動法則を適用し、概念と観察の間の関係性を「発見」し、理解を精緻化する。このように、クーンの理論転換の理論が個人の認識論へと転用されている。

この「指導つきの発見」では、対象への興味を育んだり、自らで問いを見出したりする機会が十分に保障されていなかった。そこで、「指導つきの発見」の前に教師の発問や指導がなく自由に探究する場として「探索」の局面を加えることで、学習サイクルが構成された。この「探索」は、ホーキンス（D. Hawkins）の「自由試行（messing about）」に学んでいる²¹。そこでは、児童が「非公式の科学」を基盤に自分のペースで素材に触れる。その中で、素材と親しみ、問いを見出したり、自らの見方を自覚したりする。また児童が概念に関わる共通の経験を得る。

この学習サイクルを貫く学習理論が、ピアジェの均衡化の理論である。「探索」の局面では、児童が「非公式の科学」をもち自発的に環境と相互作用する。その中で、外界の事象や現象を同化したり、内的な整合性がとれない現象について、考えを調節したりすることで能動的に整合性をとれるように働きかける（均衡化）。「発明」の局面では、教師から新しい概念が導入されることで、自らの不均衡を解決する方法が示唆される。最後に、「発見」の局面では、概念の自主的な適用を通して児童の中での完全な協応が確立し、新しい認知構造へと到達するようになる。一連の局面を経る中で、考えを自らで修正し、知識を構築していくことを企図している。

このようにカープラスの学習サイクルの理論は、具体的な活動を通して、子どもたちのもつ誤概念を自覚させる局面、それを概念化する局面、そして、その概念を身の回りの現象に拡張し、適用範囲を広げていくことで理解を深める局面という3つの局面を、「発明」や「発見」という用語を特有の解釈を用いて記述していた。カープラスは、この学習サイクルを児童が経る中で、自らの概念理解をより精緻で、応用可能なレベルまで高めていくことを企図していた。

（3）SCIS（Science Curriculum Improvement Study）における実践

前項の学習サイクルはどのような実践へと具体化されるのか。ここでは、カープラスが作成に関わった SCIS の教科書の中でも、唯一、カープラスが開発の最高責任者を務めていた教科書である『システムと相互作用』（小学校2年生）をもとに分析する²²。

この相互作用の概念は、科学的な現象を解釈するための概念である。この概念は、自然の変化は気まぐれや運命の産物ではなく、物体などが同様の条件下で再現可能な方法で相互作用することによって生じるという見方を児童にもたらし²³。それにより、児童が光や熱のように不可視の現象についても相互作用の視点から解釈することで、現象の原因などを特定できるようになる。この概念は、カープラスが SCIS 発足以前から小学校で教授を行い、研究を積み重ねてきた概念であり、この教科書にはカープラスの理論が最もよく反映されていると思われる。

単元では、この相互作用の理解に向けて、まず「探索」が行われる。そこでは、ペアごとにハサミや豆電球や磁石などの素材が配布される。これに児童の机や手元にあるものを加え、自由に実験を行い、後に相互作用の証拠として扱われる変化を個々人が自分の見方で記録する。

例えば、第2学年の児童は、磁石をハサミに近づけて相互作用させた場合に、「私はハサミを持ち上げた」と書いてしまう。そこでは、ハサミを持ち上げるのに使用された磁石の存在や、生じた変化、変化に必要な状況や要因は記述されていない。このように相互作用の概念を学ぶ以前の児童は、自己中心的に実験の事実を自分の行動と関係づけて記述する傾向がある。

SCIS の授業では、それを乗り越えるために、「発明」の局面で経験を概念化する。まず、一端が固定されたばねのついた物体を引いた時に生じる変化を児童に観察させ、その変化について児童の間で議論させる。次に教師が、「物体がお互いに影響を与えている時に相互作用をしている」と黒板に書き、復唱させることで既有経験を解釈するための概念を言葉の上で導入する。

ここで児童は、既存の枠組みとは異なる解釈の仕方を学び、「探索」の局面とは異なる形で変化を記述できるようになる。具体的には、「私が磁石とハサミを触れ合わせたとき、それらはくっついた」と記録できるようになる。つまり、相互作用の概念を適用することで、2つの物体の働き合いの結果として変化が生じるという形で現象を捉えることができるようになる。そして、この相互作用を説明するという目的でデータを収集し、解釈しようとするのである。

「発見」の局面では、児童がこの相互作用の見方を用いて観察する。例えば、水の入ったビーカーに塩化銅を入れると水の色が青く変化する現象を観察する。この変化について、相互作用している物体に着目して実験レポートに記述するなど、多様な現象が相互作用を軸に解釈される。この中で、自らの見方を科学的な見方へと橋渡しし、科学的概念の理解を実質が伴った精緻なものにする。またこの探索や発見の文脈で、記録や測定といった探究のプロセスを学ぶ。

この学習サイクルを通して、教師は児童の理解や知的発達の段階を把握する。滑車の仕組みを「探索」する活動を例にみてみよう。そこでは、直径の異なる滑車を2つ選び、輪ゴムで2つの滑車をつなぎ、歯車のように一方を回すと、他方も回転する装置（システム）を作る。教師は、滑車の種類を変えたときの変化を比較するように求める。その際に児童の行動を観察すると、大きさの違う滑車の回転率を比較するもの（具体的操作段階）、2つの異なる大きさの滑車の相対的な回転率を注意深く観察し、比例的推論を用いて未知の組み合わせでの結果を予測するもの（形式的操作段階）など知的発達の段階に応じて異なる児童がいることに気づく。教

師は、個々の児童の状態を見極め、対話や類推の機会を与えることで概念理解を深めたり、知的発達が進められたりするように適切にフィードバックしたり、指導の改善を行う²⁴。

このように実践では、概念を理解することに加えて、文脈の中で実験や観察、測定やレポートの執筆など個々のプロセスを体験する活動も一部で取り入れられていた。更に、行動や観察記録から児童の概念や発達段階の程度を評価することで指導に生かすことも企図されていた。

2. 5E 指導モデルの成立とその背景

(1) 5E 指導モデルの理論

1980 年中頃から、IBM 社と BSCS が共同で科学と健康に関する小学校のカリキュラム設計に向けたプロジェクトに着手した²⁵。1985 年に BSCS にカリキュラム開発者として加入したバイビーは、同プロジェクトの一環として小学校の科学の教科書である『生命と生活のための科学 (Science for Life and Living)』を開発した。この中で、カリキュラムや学習活動を組織する際の理論的基盤としてバイビーが提起したのが、5E 指導モデルであった。

1960 年代にノースコロラド大学を修了したバイビーは、同大学の実験学校に勤める。バイビーは、実験学校で聴覚障害のある幼児や知的障害のある児童に向けて学習サイクルに準拠した SCIS の教科書を用いて教授を行っていた。そのような障害児への授業の経験を通して、概念変化に向けて教授することの難しさを自覚するようになる。その中で、児童が現象について適切な考えをもてるような活動とその配列はどうすればよいのか、という問いをもち始める²⁶。

問いの解決に向け、バイビーはピアジェの均衡化の理論を基盤とした学習サイクルの改良に取り組んだ。1982 年にバイビーが記した『教育者のためのピアジェ (Piaget for Educators)』では、5E 指導モデルの原型となる「探索—説明—拡張—評価」からなる学習サイクルが提案された。ここで「説明」は「発明」の局面に、「拡張」は「発見」の局面に対応している (表 2)²⁷。

特に、「評価」は学習サイクルからの変化が見られる部分である。ここでの「評価」は、成績づけに用いられるものではなく、概念や知的発達の段階に関する生徒へのフィードバックと教育活動の成果の評価を企図したものである。これは教師がフォーマルな評価として「拡張」の段階で、小テストなどで概念の理解を把握することと、「探索」の局面などで発問や行動観察を通してインフォーマルに行われる評価することの両方を含んでいる。このように、「評価」は学習サイクルの全ての局面で作用しており、評価により個人が十分に概念を理解できていないとわかれれば、学習サイクルの必要な局面を繰り返すことで学力を保障するように教師は支援する。

この 4 局面に、「関与」の局面を加えたものが 5E 指導モデルである (表 3)。「関与」の局面は、学習サイクルの「探索」の局面に含まれていた動機づけの側面を一つの局面として分離するものである。そこでは素材と親しむだけでなく、予想と矛盾するような問題状況を示すことで、児童が問いをもち、精神的・肉体的に学習に関与するようになることが意図されている²⁸。

この「関与」の局面が加えられた背景には、1960 年代のカリキュラム改革運動の反省と 1970 年代に米国に流布してきた構成主義的学習観の影響がある。まず、1960 年代の学問中心のカリキュラムの多くは、過度に学問的な内容を重視した結果、一部の科学者を志望する子どもを対象としたエリート主義的な様相を呈していた。その結果、多くの子どもが学びから疎外されていた。1970 年代には科学教育の専門家を中心に米国の科学教育の現状や問題点を調査する「ブ

表 3. 5E 指導モデルの各局面で行われる活動の要約（〔 〕は引用者が加筆した）²⁹

局面	活動の要約
関与	「〔関与〕の局面で学習者に与えられる」教師の課題やカリキュラムの課題は、学習者の既有知識に接近し、既有知識を引き出し、好奇心を刺激する短い活動を利用することで学習者が新しい概念に関与するようになる手助けをする。そのような活動を通しては、過去と現在の学習経験を結び付け、既有の概念を明らかにし、現在の活動の学習成果に到達することに向けて児童の思考を組織する。
探索	「探索」の経験は、児童に現在の概念(すなわち誤概念)やプロセスやスキル〔の程度〕が特定され概念変化が促進される共通に基盤となる活動を提供する。学習者は新しい考えを生み出し、問いや可能性を探索し、主要な調査を設計・指揮するために既有知識を使用する手助けとなる実験室の活動(lab activities)を遂行するかもしれない。
説明	「説明」の局面は「関与」や「探索」の経験における特定の側面に児童の注意を向け、自らの概念的な理解やプロセススキルや行動を示す機会を提供する。この局面は、また教師が直接に概念やプロセスやスキルを導入する機会を提供する。学習者は概念に関する自らの理解を説明する。教師やカリキュラムから得られる〔概念やスキルに関する〕説明は彼らをより深い理解に向けて導く。
精緻化	教師は児童の概念的な理解やスキルに挑戦し、拡張する。〔拡張することで得られる〕新しい経験を通して、児童はより深く、より広い理解や多くの情報、充分なスキルを発達させる。児童は追加の活動を実施することによって自らの概念に関する理解を〔様々な現象や事象に〕応用する。
評価	評価の局面は児童が自らの理解や活動を評価(assess)することを奨励し、教師に教育目標の達成に向けた児童の進歩を評価する(evaluate)機会を提供する。

プロジェクト総合 (Project Synthesis)」により、進学準備だけではなく、職業教育や個人のニーズや社会問題を科学教育で扱う方向性が示された³⁰。1980 年前後には、これを受けて市民のための科学教育という理念の下で、科学的リテラシーの育成や「STS (Science, Technology & Society) アプローチ」による教育が一層強調されるようになる。この中で、全ての学習者を学習に動機づけることが喫緊の課題となってきた。この他、BSCS が発足以来、一般教育として科学教育を標榜し、1970 年代以降から全ての子どもを対象に STS アプローチによる教育を通して科学的リテラシーを育むことを理念に掲げてきたことも、この点と無縁ではないだろう。

また、1970 年代には心理学や科学哲学の研究が進展する中で、構成主義的学習観が米国に流布していく。例えば、オズボーンやドライバー (R.E. Driver) などのニュージーランドやイギリスなどの諸外国の認知心理学の研究に加えて、1980 年代には米国の認知心理学者であるシャンパーニュ (A.B. Champagne) やノバック (J.D. Novak) らの研究によって、子どもの誤概念を含む概念変化や認識論についての広く研究がなされた。加えて、児童の誤概念に挑戦するような学習活動を取り入れることで認知的な葛藤 (不均衡) を生み出し、均衡化に向け授業を組織することで、児童の好奇心を刺激し、概念を再構成する方略が広がった³¹。この中で、この方略を用いて、児童の誤概念を明らかにし、学習へと動機づける「関与」の局面が設定された³²。

他方で、バイビーは 1980 年代中頃から、ジョンソン兄弟 (R.T. Johnson & D.W. Johnson) の協同学習 (cooperative learning) の理論に着目し、5E 指導モデルに結合している。具体的には、「探索」と「精緻化」の局面に協同学習の要素が色濃く反映されている。例えば、「探索」の局面では、児童が建設的な環境において、活動について議論したり、論争したりすることで、児童がその時点で有する概念が揺さぶられる。それにより、自分の考えを再構成する際に、他の考えが確かなものであるとわかることに繋がるとバイビーは述べる³³。この他、学力保障や社会的スキルの育成、民族や性別を超えた学習への参加を保障することも企図されている³⁴。

この中でもバイビーは、協同学習を通じた児童同士や児童と教師の間の社会的な相互作用の側面を重視している。この社会的な相互作用とは、経験についての新しい説明を生み出したり、議論したりすることを指す。特に彼は、ジョンソンらの「論争 (controversy)」の理論に興味を

もち、自身が編者を務める年報に執筆を依頼している³⁵。ここで「論争」とは「ある人の考え、情報、仮説、結論、意見が他の人と相容れないような場合に、2人で一致点を探すために議論すること」³⁶を指す。この「論争」を通して児童同士が、お互いに筋が通った主張をぶつけ合い、議論し、全ての論点を反映し、両者の意見を包括できるような合意形成に至るプロセスを5E指導モデルに取り入れることで、概念を多面的に深く理解させることを彼は企図していた。

(2)『生命と生活のための科学』における実践

前項の5E指導モデルは、実践でどのように具体化されるのだろうか。ここでは、前節の(3)で扱った「相互作用とシステム」の単元と同じ概念を扱っている小学校4年生の教科書『生命と生活のための科学 (Science for Life and Living)』の「システムと分析」の単元をみてみよう³⁷。

この教科書は、市民性や批判的思考力などを含む科学的リテラシーの涵養に向けてSTSアプローチによる教育をベースに作成されている。教科書は、科学分野の学びを技術分野に応用し、健康分野ではそれを用いて意思決定するという形で構成されている。具体的には、科学分野でシステムや相互作用という概念を扱い、それをもとに技術分野ではホバークラフトづくりをしたり、健康領域では、薬物や煙草を使用することで身の回りに与える影響などについてシステムの概念を用いて分析したりする。この一連のプロセスを経て、概念を理解し、適用し、それをもとに分析し、市民として生活場面で意思決定できるだけの力を児童に育む。

この5E指導モデルの各局面に着目して教科書の内容を分析してみよう。「関与」の局面では、ベニヤ板の斜面で同じ大きさのビー玉と鉄球を転がして競争させる。その際に、教師は何がレースを公平に行うために必要か児童に話し合わせ、彼らが公平と思う条件を整えた上で、どちらが勝つか予想させる。その後、児童は鉄球が自分たちの予想と異なる動きをし、予想に反して負けるという事態に直面し、その理由を考え始める。そこで教師はレースの公平性や「なぜ予想をする前にシステムの全ての部分を知ることが重要なのか」ということをチーム内で議論させる中で、児童のシステムの概念の捉え方をインフォーマルに把握する。

「探索」の局面では、システムの概念を学ぶ上で土台となる共通の経験を作るために踊るポップ種（ポップコーンの原料）について観察する。まずチームで分担して、重曹の入った水にポップ種を入れて、そこに酢酸を入れる。すると二酸化炭素が発生して、種が動き出す。児童はそれを観察し、記録を残し、その原因についてチームで考えをまとめる。最後に、「踊るポップ種のシステムの構成要素は何か」、「これらの構成要素はポップ種を動かすためにどのように一緒に作用していたのか」ということをチームで議論し、児童なりに納得のいく結論を出す。

ここまで、児童にはシステムという用語について直接の教授はされていない。そのため、児童は生活などから形成されたシステムの概念を適用して議論をしてきた。「説明」の局面では、具体的な経験を例に挙げながら「システムとは相互作用している物体の集まりである」という定義が導入される。例えば、「関与」の局面で扱われたレースに戻り、板の後ろに磁石が設置されていたこと、それが鉄球と板のシステムに加わり、作用することで鉄球の運動に影響を与えていたことが告げられる。そこから公平なレースをしたり、予想をしたりする上では、それに関わるシステムを全て考慮に入れる必要があることを学ぶ。このように既有経験に立脚して、システムが自然現象を予測や説明に活用できるものであることを不十分ながらに理解する。

「精緻化」の局面では、ここで形成されたシステムや相互作用の概念を浮沈子の仕組みや病

気が伝染する仕組みを説明することに適用する。伝染の仕組みを説明する場面では、チームで分担して風邪を引いた3人の児童のデータを読み込み、共有し、議論をすることを通して、チームとして風邪が伝染していく仕組みについてシステムや相互作用の概念を用いて分析し、結論を出す。この活動を通して、概念の適用範囲を生活領域まで拡張して理解を深めていく。

それと同時に、チームや教室全体での議論や小テストなどで自らの理解を表現することで、教師が児童の理解の程度を把握する。他方で、議論では児童も教師や同級生から意見や質問を受けることで自らの理解を自己評価する。これをもとに、教師は「精緻化」の局面の充実や、「説明」の局面の振り返りなど、全ての児童に一定の理解を保障する手立てを講じる³⁸。

議論の際には「児童の説明や解決策は教師や仲間からの検討にどれほど耐えうるものであるか」ということが問われる³⁹。パイビーは、ここでなされる問いかけは科学者の共同体においてもなされるものであると述べており、実際の科学の営みを意識していることが窺える⁴⁰。

実際にパイビーは、5E指導モデルを現実の科学と結び付け、科学的探究のプロセスとの対応関係を示している。表4は5E指導モデルと科学的探究の様相をパイビーが併記したものである。表4のように、5E指導モデルを通して、児童が問いを見出し、調査し、問いに対して説明し、説明を一般化し、その適切さを評価するプロセスを経るものとして科学的探究のプロセスが想定されている。これにより児童は科学的概念に加え、科学的探究のプロセスも学ぶ。

この点と関連して、この教科書では、学年縦断的に科学領域を貫く統合的なテーマとして、「知る方法としての科学 (science as a way of knowing)」を掲げられている⁴¹。そして、これを科学領域の単元縦断的に貫くことで、「科学の本質 (nature of science)」を児童が身につけることを企図している。この科学の本質とは具体的に何を指すのか。教師用のテキストでは、歴史学などの他の認識の方法と区別して、科学の本質として表5の4点が挙げられている。

表5の内容は、シュワブ (J.J. Schwab) が BSCS 発足時から掲げてきた知識の暫時性 (②) や、科学の営みが証拠にもとづくものであり (①)、研究チームや共同体の中でそれを共有・批評したり、実験結果について議論したりする中で、結果が確かなものとなるといった科学の共同体的な性格や証拠の位置 (③④) について示されている。この内容は、同時期にパイビーが新科学哲学を援用して主張しているものと重複しており⁴²、また1980年代に、生物分野を始めとして、科学研究の分業化が顕著になってきたことを反映したものでもある⁴³。

これらを踏まえると、「探索」や「精緻化」の局面を中心に結合された協同学習も、一般的に協同学習で掲げられる学力保障や概念理解の深化、社会的スキルの育成とは異なる意味をもちうる。即ちこれは、BSCS が「探究としての科学」で実施してきた討論と同じ精神に貫かれたものであり、チーム内で証拠を共有し、批評したり、同級生や教員を含めて「論争」したりすることは、科学の営みがどのようになされるのかという科学の本質の理解に繋がるものとなる。

表 4. 5E 指導モデルの局面と科学的探究の様相⁴⁴

5E 指導モデルの局面	科学的探究の様相
関与	児童は自然界についての問いをもつ。
探索	児童は問いに応えるために科学的な探究（適切な問いを述べること、観察すること、調査をすること、データを収集・分析することなど）を利用する。
説明	児童は問いに対する答えを提案する。
精緻化	児童は説明を一般化するために新しい状況に提案された答えを応用する。
評価	児童と教師は説明の十分さを決定する。

表 5. 「知ることとしての科学」に示される「科学の本質」

- ①観察・実験で得られた証拠に科学的説明がもとづいている。
- ②科学的な知識は暫時的なものである（証拠や新しいデータに基づいて改訂される）。
- ③科学という営みは、元来、協同的なものである。
（科学の進歩は科学者チーム間の証拠の継続的な共有と批評から生じる）
- ④研究者は会議や研究雑誌で自分たちの成果を示し、他の研究者たちに結果について議論したり、繰り返し実験したりすることで結果を確かなものにしていこうとする。

急いで断っておくと、ここで科学の本質を扱うことは、単に専門教育として科学を教えることではない。むしろ、「[科学の本質のように] 児童が自分たちの世界について説明する方法を知った時に、自分たちが世界を改善できると感じ始める」のであり、それを通して科学や技術に深く根ざした社会において市民として主体的な役割を演じられるように、一般教育として児童をエンパワメントすることをこの教科書は企図している⁴⁵。そのために、教科書では、生活における科学と技術の役割や社会に関連した問題（issue）、個人的な健康や幸福に関する内容を扱い、5E モデルで示される「論争」などを通して科学の営みやその意義と限界を学ぶことで、情報に基づく意思決定ができる市民を育成することを目指している⁴⁶。

つまり 5E 指導モデルに加えられた改良は、単に概念理解の側面を強固なものとするだけでなく、現実の科学的探究のプロセスや意思決定の場面に近づけることを意図していたものであった。それにより、児童が 5E 指導モデルを通して科学の本質で示される科学の営みを学ぶ中で、科学的探究や社会参画に向けた意思決定の方策を理解することが志向されていた。

おわりに

本稿では、パイプの 5E 指導モデルについて、その理論の背景にあるカープラスの学習サイクルと対比する形で論じてきた。学習サイクルと 5E 指導モデルの局面を比較すると、5E 指導モデルにある「関与」と「評価」の局面は、一見すると学習サイクルにはない局面を加えたように思われる。しかし、SCIS の実践で自由試行や自律的な探索を通して学習へと動機づけていたり、概念理解や知的発達の段階の評価と児童に向けたフィードバックが行われていたりしたように、必ずしも「関与」と「評価」の局面で扱われる要素が欠落していた訳ではない。むしろ 5E 指導モデルの意義は、新たな局面を提起したというよりも、従来の学習サイクルに内包されていた「関与」や「評価」の要素を一つの重要な局面として取り出し、それらを強調し、更に学習サイクルに含まれていた「発明」や「発見」の意図を現場の教員にわかりやすい用語に変換し伝えることで、児童に概念の深い理解を保障するよう改良してきたことにある⁴⁷。

では、両者の間には本質的な違いはないのだろうか。ここでは、学習サイクルと 5E 指導モデルの目標に着目して考えてみたい。学習サイクルは、ピアジェの均衡化の理論やクーンの理論転換の理論を転用することで、個々の児童が科学的知識を理解する様相を詳らかにしていた。そこでは、個々の児童が自発的に概念を理解することを促進するように学習活動を組織していた。また同時に、測定や観察などが探索や「発見」の局面で行われ、科学的探究のプロセスを児童が理解することも視野に入れていた。しかし、あくまで学習サイクルは、科学的探究のプロセスや探究そのものを理解するというよりも科学的概念の十全な理解に重きが置かれていた。

他方、5E 指導モデルでは、「知る方法としての科学」という考え方を背景として学習サイクルと科学的探究のプロセスを重ね合わせ、また協同学習の要素を取り入れることで、科学の学

習過程を実際の科学者の探究や市民による意思決定の場面に近づけていた。特に、探索や精緻化の局面を中心にチームでの分業や「論争」、相互検討といった活動が設定され、その中で科学的探究の方策や科学的概念を深く理解するように学習活動が組織されていた。加えて、児童が探究のプロセスを経る中で、現実の科学の営みやその限界を理解することが企図されていた。

このように5E指導モデルは、科学的概念の理解を第1に構成されていた学習サイクルに、現代の科学の様相を反映させることで科学的探究のプロセスや科学の本質の理解をも射程にいれたものとなっていた。それにより、科学者や市民として現実の場面で探究し、意思決定していく力を育むような教授モデルを提案した点に学習サイクルにはない、5E指導モデルの意義があったといえるだろう。特に、5E指導モデルの枠組みは、主体的で対話的で深い学びが叫ばれる今日の教育において、概念の深い学びに向けて手段と捉えられがちな探究活動や対話といった学習プロセスそのものに、科学の方法論や認識論を学ぶという意味を付与し、それらを結びつけた形で教授を展開していく方策を明らかにしたという点で示唆を与えるものだろう。

ただし、本稿で明らかにした協同学習と5E指導モデルの結合に関して、その中心にある論争や分業といった要素は、長期的な育成が望まれるものである。このような協同に必要なスキルの習得と科学的概念の理解が、カリキュラムレベルでどのように構想されていたのか、というバイビーのカリキュラム論に本稿では言及していない。これについては今後の課題としたい。

(注)

¹ Ausubel, D.P. & Robinson, F.G., *School Learning to Educational Psychology*, NY: Holt, Rinehart & Winston, Inc., 1969 (邦訳：オースベル, D.P. & ロビンソン, F. G. (吉田章宏他訳)『教室学習の心理学』黎明書房、1984年)を参照。

² Bybee, R.W., “BSCS at 50 Years”, *The American Biology Teacher*, 2007, 69(2), p.72. Bybee, R.W., *Translating the NGSS for Classroom Instruction*, VA: NSTA press, 2016、及び平野俊英・高橋一将「アメリカの教育課程と理科の学習活動の特色」『理科の教育』2017年、65(771)、pp.5-10を参照。

³ SCIS, *Interaction and Systems Teacher's Guide*, LI: Rand McNally & Company, 1970, pp.16-17を参考に筆者が作成。

⁴ 高橋一将「BSCSにおける科学の本質の学習の特色」『北海道教育大学紀要（人文科学・社会科学編）』2016年、66(2)、pp.89-98を参照。

⁵ 平野俊英・高橋一将、前掲書を参照。

⁶ Kumano, Y. & Goto, M., “Issues Concerning Scientific Processes in Science Lessons Involving Outdoor and Indoor Activities”, *Bulletin of Faculty of Education, Shizuoka University. Kyoka kyoiku series*, 2016, vol.47, pp. 93-103を参照。

⁷ 丹沢哲郎「アメリカのBSCSカリキュラムの変遷過程の研究—STSカリキュラムにおける科学的リテラシー概念を基礎にして—」筑波大学大学院教育学研究科、博士論文、1994年を参照。

⁸ 同上論文、p.71を参照。

⁹ Bybee, R.W., *Achieving Scientific Literacy*, London: Heinemann, 1997, p.176を参照。

¹⁰ Lawson, A.E., *Science Teaching and the Development of Thinking*, CA: Wadsworth Publishing Company, 1995, p.155.

¹¹ Heiss, E.D., Obourn, E.S. & Hoffman, C.W., *Modern Science Teaching*, NY: Macmillan, 1950を参照。

¹² Lawson, A.E., Abraham, M.R. & Renner, J.W., *A Theory of Instruction*, OH: NARST Monograph, 1989, pp.59-76を参照。

¹³ Renner, J.W. & Edmund, A.M., *The Learning Cycle and Elementary School Science Teaching*, London: Heinemann, 1988を参照。

¹⁴ Eisenkraft, A., “Expanding the 5E model”, *The Science Teacher*, 2003, 70(6), pp.56-59を参照。

¹⁵ Marshall, J.C., Horton, B. & Smart, J., “4E×2 Instructional model”, *Journal of Science Teacher*

Education, 2009, 20(6), pp.501-516 を参照。

¹⁶ Cosgrove, M. & Osborne, R. “Lesson Framework for Changing Children’s Idea”, Osborne, R. & Freyberg, P. (Eds.), *Learning in Science*, London: Heinemann, 1985, pp.101-111 (邦訳: コスグローブ, M. & オズボーン, R. (森本信也他訳)「子ども達の考え方を考えるための授業の枠組み」 同他編『子どもたちはいかに科学理論を構成するか』東洋館出版、1988 年、pp.150-164 を参照)。

¹⁷ Karplus, R. “Beginning a Study in Elementary School Science”, *American Journal of Physics*, 1962, 30(1), p.2 を参照。

¹⁸ Atkin, J.M. & Karplus, R., “Discovery or Invention?”, *The Science Teacher*, 1962, 29(5), p.45.

¹⁹ Karplus, R. & Thier, H.D., *A New Look at Elementary School Science Curriculum Improvement Study*, IL: Rand McNally & Company, 1967, p.41 を参照。

²⁰ Atkin & Karplus, op. cit., pp.49-50.

²¹ Hawkins, D., “Messing About in Science”, *Science and Children*, 1965, 2(5), pp.6-9 を参照。

²² SCIS, op. cit., 1970 を参照。

²³ *Ibid.*, p.8 を参照。

²⁴ SCIS, “Approaches to Teaching”, J.R. Eakin & R. Karplus (eds.), *Final Report*, The Regents of the University of California, 1976, p.59 を参照。

²⁵ 研究は、BSCS, *New Designs: Science and Health*, CO: BSCS, 1989 にまとめられている。

²⁶ Bybee, R.W., *The Teaching of Science*, VI: NSTA press, 2010, pp.53-54 を参照。

²⁷ Bybee, R.W. & Sund, R.B., *Piaget for Educators*, OH: Columbus, 1982, pp.206-209 を参照。

²⁸ Bybee, op. cit., 1997, p.177 を参照。

²⁹ Bybee, R.W. et al., *The BSCS 5E instructional model*, CO: BSCS, 2006, p.2 を筆者が訳出。

³⁰ 当時の米国の科学教育の動向については、栗田一良「アメリカにおける理科教育の現状と動向(1)」『日本理科教育学会研究紀要』1982 年、23(2)、pp.47-56 などを参照。

³¹ 例えば、長洲南海男「STS (Science/Technology/Society)における新しい指導方法」『筑波大学教育学系論集』1995 年、19(2)、pp.111-130 などを参照。

³² Bybee, R.W. & Landes, N.M., “Science for Life & Living”, *The American Biology Teacher*, 1990, 52(2), pp.92-93 や Bybee, R.W., “The BSCS 5E Instructional Model”, *Science and Children*, 2014, 51(8), pp.10-13 も参照。

³³ Bybee, op. cit., 1997, p.180 を参照。

³⁴ Bybee & Landes, op. cit., 1997, p.93 を参照。

³⁵ Bybee, R.W. (Ed.), *Science Technology Society*, Washington D.C.: NSTA, 1986 を参照。

³⁶ ジョンソン, D.W., ジョンソン, R.T., & ホルベック, E.J. (石田裕久他訳)『学習の輪 (改訂新版)』二瓶社、2010 年、p.170。

³⁷ BSCS, *Science for Life and Living: system and analysis*, CO: BSCS, 1992 を参照。

³⁸ Bybee & Sund, op. cit., p.209 を参照。

³⁹ Bybee, op. cit., 1997, p.181.

⁴⁰ *Ibid.*を参照。

⁴¹ 「知る方法としての科学」という用語自体は、パイパーが述べているように新規性があるものではなく、同時期にアイケンヘッド (Aikenhead, G) などによって提案されている。

⁴² Bybee, R.W., et al., “Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Curriculum”, *Science Education*, 1991, 75(1), pp.143-155 を参照。

⁴³ AAAS, *Science for all Americans*, NY: Oxford University Press, 1989, p.148 や Hurd, P.D., “Biology in Transition”, BSCS(Ed.) *Developing Biological Literacy*, CO: BSCS, 1993, pp.2-4 を参照。

⁴⁴ Bybee, R.W., op. cit., 1997, pp.182-183 を筆者が一部訳出。

⁴⁵ BSCS, *Science for Life and Living: Implementation Guide*, CO: BSCS, 1992, pp.2.20-2.21 を参照。

⁴⁶ Bybee & Landes, op. cit., 1997, p.97 を参照。

⁴⁷ Bybee, R.W. *The BSCS 5E Instructional Model*, VI: NSTA press, 2015, p.20 も参照。

(日本学術振興会特別研究員 教育方法学講座 博士後期課程 3 年生)

(受稿 2017 年 8 月 31 日、改稿 2017 年 11 月 20 日、受理 2017 年 12 月 20 日)

R.W.バイビーの 5E 指導モデルに関する検討

—R. カープラスの学習サイクルとの比較を通して—

大貫 守

本稿では、科学教育研究者であるバイビーの開発した 5E 指導モデルについて、その理論の背景にあるカープラスの学習サイクルと比較することで、その意義について検討を行った。カープラスの学習サイクルは「探索—発明—発見」の 3 つの局面から、5E 指導モデルは「関与—探索—説明—精緻化—評価」の 5 つの局面から、それぞれ構成される学習活動の設計理論である。これらの内実を検討した結果、5E 指導モデルは次の 2 点に意義があることが明らかになった。

(1) 学習サイクルに内包されていた児童の関与や評価といった要素を、従来のように他の局面に含みこむのではなく、1 つの局面として取り出すことで、概念理解に向けて必要な要素を一層明確にしていた。(2) 協同学習の要素を探索や精緻化の局面に接合し、評価の局面を位置づけることで、学習サイクルを現実の科学的探究のプロセスと重ね合わせ、概念を深く学ぶだけでなく、科学的探究の方策や科学の本質を学ぶ単元設計の在り方を明らかにしていた。

Examination of R. W. Bybee's 5E Instructional Model: Comparison with R. Karplus' Learning Cycle model

ONUKE Mamoru

This paper examines the 5E instructional model advocated by R.W. Bybee, who conducted scientific educational research in the USA, by comparing it with learning cycle model advocated by R. Karplus. The Learning cycle model plays a role in helping educators and teachers design learning activities in unit or curriculum development. Karplus' Learning cycle consists of three phases, exploration, invention and discovery. In comparison, the 5E instructional model is consist of five phases, engagement, exploration, explanation, elaboration and evaluation. Comparisons show that the 5E instructional model has the following two new meanings: (1) The 5E instructional model regards engagement and evaluation, which are included as indiscrete phases in the original learning cycle, as one phase. The 5E instructional model formulated phases that are important for students to master in order to understand scientific concepts more clearly. (2) The 5E instructional model incorporates the theory of cooperative learning into exploration phase and elaboration phase, and adds an evaluation phase. Thereby, Bybee brings the 5E instructional model closer to the actual process of scientific inquiry. The 5E instructional model suggests a way to design units in which students learn not only scientific concepts but also about the process of scientific inquiry itself and the nature of science.

キーワード： 科学教育、学習サイクル、5E 指導モデル

Keywords: Science education, Learning cycle, 5E instructional model