

幼少期における絵本を活用した科学的探究の指導の方策に関する検討

——米国における Picture Perfect Science Lesson の取り組みに着目して——

大貫 守*

A Study of Strategies for Teaching Scientific Inquiry Using Picture Books in Early Childhood: Focusing on the Picture Perfect Science Lesson in the United States

ONUKI Mamoru

キーワード：科学教育，科学的探究，指導方法，科学絵本，PPSL

science education, scientific inquiry, teaching method, science picture-book, Picture-Perfect Science Lesson

1. はじめに

米国の科学教育の歴史を紐解けば，子どもたちが探究などの外的な活動に取り組み，内的な活動として自身の有する概念を変容していくことが1つの理念として掲げられてきた。実際，科学教育が成立する19世紀後半の後期中等教育では，科学教育に「実験室の方法 (laboratory method)」が取り入れられ，実験室で実験活動を行い，結果を帰納的に推論することで物理や化学，天文学の知識を学習させる教授方法が構想された (Dewing, 1908)。

一部の大学では，これに対応するものとして，入学要件の1つとして実験例のリストを提示し，受験生に実験ノートの提出を求めた (Rudolph, 2005)。だが，実際には大多数の学校で，このような実験活動が成立せず，教科書を読んだり，事実を復唱したりすることで科学を学ぶに留まり，実験室の方法は人口に膾炙するものとならなかった (Holton, 2010)。また実験活動に取り組む一方

で，その活動が知識の習得と結びつかないハンズオン・マインドオフの学習に終止することもあった。このように，科学教育において分離されがちな外的な活動と内的な活動を接合することは，1世紀以上にわたって1つの課題となってきた。

この内的な活動と外的な活動の両者を接合する教授モデルとして，米国で提案されてきたものが学習サイクル (learning cycle) である (大貫, 2018)。学習サイクルとは学習者自身が効果的に知識を構成する手助けとなる活動内容やその配列などを明らかにするものと定義される (Lawson, 1995)。これは1962年にカリフォルニア大学バークレー校の量子物理学者カープラス (Karplus, R.) によって提唱された。1980年代後半には，教育心理学者のバイビー (Bybee, R.) がこれを引き継ぎ，5E指導モデル (instructional model) として定式化し，現在に至るまで米国の科学教育において，カリキュラムや単元を構想する際の1つのモデルとして流布している (高橋, 2016; 平野・高橋, 2017)。

他方で，米国では1990年を前後して1時間の授業を積

* 愛知県立大学教育福祉学部

み上げ、基礎的・基本的な内容の習得を促すプログラム型の学びから、思考力や問題解決力といった高次の学力を育てるプロジェクト型の学びへと研究がシフトしていく(石井, 2011)。このようなプロジェクト型の学びでは、「どのように感染症が広がっていくのか?」といった子どもたちに切実な1つの現象や事象に関する問いを軸に単元が展開していくため、子どもたちは単元を貫く文脈やそこから生まれる物語を意識し、知識や手続きの意味を考え、学習に積極的に関与しながら学ぶようになる。加えて、プロジェクト型の学びでは一貫したストーリーに沿って指導が行われ、習得した内容を活用しながら長期的に物事を追求していく機会が子どもたちに提供されることで新しい知識と既存知識を関連付けて学ぶことができる(Nordine et. al., 2019)。これにより、単に内的な活動と外的な活動を接合するだけでなく、それをより深いレベルで実現していくことができる。

だが、行論で論じるように、学習サイクルや5E指導モデルを用いた学びは、プロジェクト型の学びと比べて、1-2時間で一つの活動が完結することが多く、必ずしも単元全体の活動と個々の活動の結びつきが保障されているわけではない¹⁾。その結果、個々の活動単位では子どもの活動への関与がなされ、子どもたちが単元で知識や手続きを着実に獲得することを手助けする一方で、学ぶ意味や文脈が子どもたちにとって必ずしも明確にならないままに授業が進行し、単元全体としては深まりがないようなモジュール型の授業に墮する危険性も孕んでいた。

この中で、5E指導モデルを用いて概念理解を促す新たな指導の方策として、米国で初等教育のカリキュラム開発に携わるモーガン(Morgan, E.)とアンズベリー(Ansberry, K.)が提唱する「絵に描いたように完璧な科学の授業(Picture-Perfect Science Lesson: 以下, PPSL)」あることが知られている。これは、主に幼稚園段階から小学校5年生の幼児・児童が絵本を主軸に科学的探究を行う中で子どもたちの探究力と読解力の伸長を目指す指導の方策である。

このPPSLの実践は米国においても衆目を集めている。例えば、PPSLに関する実践書は全米科学教師協会出版(National Science Teachers Association Press)から出版され、多くの姉妹書が刊行されるとともに、版を重ねている。加えて、2005年の教育出版社協会のDistinguished

Achievement Awardや2014年のメディア出版協会のGold Excel Awardを皮切りに各種の賞を受賞している。この他、現職教員の研修等も提供し、米国の小学校の科学的探究の指導の方策として普及してきている。

PPSLについては、その取り組みが理科教育の授業づくりに関する視点から日本でも紹介されている。具体的な研究に板橋(2018)と板橋(2019)がある。板橋はPPSLの実践書をもとに、主にエネルギー分野の実践を分析している。両研究では、PPSLが5E指導モデルに基づいて構築されていることや、エネルギーという抽象的な概念について、教師が発達段階に適した絵本を活用しながら、5E指導モデルの各局面に応じて提示されることで子どもたちにエネルギーに関する理解を育んでいることが報告されている。

だが、一連の研究では、5E指導モデルとPPSLとの指導方法の連続性が強調される一方で、指導における質的な差異については十分に吟味されていない。特に、PPSLは5E指導モデルと同じく科学的探究の指導を1つの指導の柱として掲げているものの、先の探究指導について5E指導モデルに内在している課題をどのように乗り越えているのかという点が検討されていない。その結果、PPSLの探究指導の側面に関する意義や新規性についても明らかにされているとは言い難い。

そこで、本稿では5E指導モデルを踏まえたPPSLの探究の指導の方策について、5E指導モデルとの比較をもとに、その意義と課題を明らかにする。まずモーガン氏がPPSLを提唱するに至った問題意識を詳らかにするために、氏がPPSLを提唱した当時の米国の科学教育をめぐる状況を概観する。次に、PPSLの背景にある理論、特に探究の指導の中核にある5E指導モデルとそれをめぐる論点を確認する。最後に、PPSLの具体的な単元における実践を検討し、論点に即してその意義について明らかにする。

2. 米国の教育の状況とモーガンの問題意識の形成

PPSLを提唱したモーガンとアンズベリーは同じ公立学校区で働く教職員であった。モーガンは科学の実験室の教員を、アンズベリーはカリキュラム・リーダー

をそれぞれ勤め、協働でPPSLの授業づくりに取り組んできた。特に、このPPSLは2001年にモーガンが提出した修士論文の研究を基礎に成立している (Ansberry & Morgan, 2010)。本章では、モーガンの問題意識を探るため、修士論文が執筆された当時の米国の教育をめぐる状況を確認し、モーガンがPPSLを提唱するに至る問題意識を詳らかにする。

① 1990年代の米国の教育をめぐる状況

米国では1980年代から学力向上に向けて教育改革の舵を切っていくことになる。具体的には、1983年に経済危機を危惧し、連邦政府が提出した『危機に立つ国家 (*A Nation at Risk*)』において、子どもの能力を最大限に伸ばすため、公正で質の高い教育の保障が1つの理念として掲げられた。理数教育についても、1994年に採択された「2000年の目標 (Goals 2000)」において、「2000年までに、米国の児童生徒は数学と理科の学力において世界で一番になる」ことが叙述されている。

学力向上に向けて、連邦政府や各教科団体は「スタンダードに基づく教育改革 (standards-based reform)」に着手することとなる。まず1989年の全米教育サミットで連邦レベルの共通教育目標であるスタンダードの開発とテストにもとづくアカウントビリティ制度の構築が提言された。これを推進するために、「アメリカ学校改善法 (Improving America's Schools Act)」(1994) が設定された。同法では全ての子どもたちを対象に統一的で明確なスタンダードを設定するとともに、教育の結果を問うアカウントビリティ制度を位置づけた。

だが、スタンダードが強固なアカウントビリティ制度とセットで論じられた結果、テストに対応した教科間の重み付けや網羅に向けた指導が学校に蔓延ることとなる。前者について、スタンダードに基づくテストが教員の入れ替えを含む学校の再編と結び付けられたハイ・ステイクスなものとなることで、テストが行われる言語科や数学科といった教科とそれ以外の教科の間で時間数などに軽重がつくことになる。実際、モーガンが「小学校教師が、全ての児童の基本的な読み書き能力を増加させようと苦心する際に、カリキュラムに科学の時間を包含する時間を見つけられなくなる。または、読み書き

能力の得点が下がった時に科学を教授することを思い留まらせる」と記していることはそれを端的に示している (Morgan, 2001, p. ix)。

また後者について、「逆向き設計論 (backward design)」を提唱するウィギンズ (Wiggins, G.) とマクタイ (McTighe, J.) は米国の教育における「双子の過ち」の1つとして網羅に向けた指導について論じている (Wiggins & McTighe, 2005=2012)。そこでは、外部機関のテストが義務づけられたことなどを背景に年度末に向けて教師が教科書を網羅しなければならないというプレッシャーの下で、教科書を早足の講義で進める教師の姿が描かれている。

特に、米国において教科書は永く教育内容を規定する擬似的なスタンダードとして機能してきた (Noddings, 2015; 澤田, 1997)。だが、現実には「アメリカの教科書……は、マイルより広く、インチほどの深さしかない」 (NRC, 2007, p. 253) と揶揄されたほど、現実の教科書は1つの概念について数多くの典型事例が表面的に網羅され、指導に適したものではなかった。そのような教科書を網羅することによって、広く浅い知識を表面的になぞる授業が行われてきた。

このようなスタンダードに基づく教育改革の中で、教科書を網羅する指導に代わり、ハイ・ステイクスなテストを乗り越える新たな指導方法が模索されていた。

②教科書批判と商業誌を利用した科学教育の提唱

(1) モーガンの問題意識の形成

モーガンは2001年に「児童文学を科学カリキュラムに統合することにおける生徒の科学的概念の理解に及ぼす影響の研究」と題する修士論文をデイトン大学に提出した。同論文において、モーガンはPPSLの骨組みとなる指導方法を提案し、小学校において実際にその指導方法の実証実験を行っている。

この研究の背景には、当時の小学校の科学教育に対して、モーガンが次の2つの点を批判したことがある。すなわち、①小学校教員の科学の指導に関わる専門性の問題と②教科書を用いた指導に内在する問題である。

①について、モーガンは小学校教員の科学とその方法に対する不十分な知識や、科学に対する関心の低さを批

判する。特に、彼女は教師教育の研究者であるティルグナー (Tilgner, P. J.) の研究に依拠して、小学校教員は教員養成課程で科学の内容に関する知識を学ぶことを忌避する傾向にあると指摘している。その結果、指導に必要とされる知識や方法を獲得できず、科学という科目に苦手意識を持ち、指導からも距離を置く傾向にあるという (Tilgner, 1990; Morgan, 2001)。

もちろん、前節で述べたスタンダードに基づく教育改革に伴って、多くの学校で教科に軽重をつけていることのその背景にある。つまり、子どもたちの読み書き能力の育成が教員自身の進退や学校の存続に関わることで、小学校の中で科学よりも時間数の多い言語科 (English Language Arts) の読み書きの指導に教員養成課程で多くの時間が割かれ、教員が言葉に関する指導の力量を育むことが個人的にも、社会的にも望まれているということも1つの要因となっている。

この中で、科学の指導に関して十分な専門性を養うことができず、科学の教授に自信をなくした小学校の教師は科学の指導を教科書に依拠して進めるようになるとモーガンは述べる。しかし、教科書に依拠した指導は小学校段階の子どもたちの学習に必ずしも寄与するものではないと彼女は指摘する (Morgan, 2001)。例えば、全米で一般的に採用されている科学の教科書の分析を行ったスタバー (Staver, J. R.) とベイ (Bay, M.) の研究を取り上げ、教科書で教育内容に設定されている科学的概念の習得に必要な推論能力が子どもたちの推論能力よりも高いレベルにあることを報告し (Staver & Bay, 1989)、その弊害についても言及している。

更に、モーガンらは教科書が子どもたちに親しみのない語彙を用いて、幅広いトピックを網羅する傾向にあり、読みに問題を抱える子どもたちを抑圧する傾向にあることも指摘している。このような教育内容と発達段階が不一致であることで学習に困難さをもたらしていることに加えて、子どもたちに興味のない幅広いトピックを網羅する指導となってしまっている点にモーガンは教科書による指導の問題点を見出す。これは前節の米国の抱える教育課題とも一部重なる点であろう。

つまり、モーガンにとって小学校教員が子どもたちの発達に適切で、精選された内容を含んだ興味深い教材を用いて、読み書きの指導と同様のレベルの関心や、十分

な専門性に裏付けられた自信をもって科学の指導に取り組むことができる指導のアプローチを開発することを問題意識として抱えていたといえる。

(2) 絵本を利用した科学の教授

前項で取り上げた問題を解決するために、モーガンは既存のカリキュラムと教授方法に代えて、次の方策を提案する。まず、カリキュラムについて社会的な関心が高い言語科を一部、科学と統合することで科学の時間数を十分に確保することである。次に、教授方法について教科書と文芸作品 (literature)、中でも絵本 (picture-book) を併用して科学的概念の教授を行うことである。

このような提案の背景には次の3つの理由がある。1つ目の理由として、先述の通り教科書で用いられる用語や推論の力が子どもの発達段階に即したのではなく、また子どもの興味を引き出すものではないため、教科書に代えて教師が入手しやすく、子どもに適した教材を求めたことがある。モーガンらが「フィクションとノンフィクションの絵本は [教科書と比べ] より少ないトピックに焦点を合わせ、より深い概念の網羅をもたらす傾向にある」と述べるように (Ansberry & Morgan, 2010, p. 2)、米国の教科書の欠点を補うものとして絵本を位置づけていることがわかる。

加えて、2つ目の理由として、小学校教員の多くは読み書きの指導に関する専門性を有し、科学そのものを教えるよりも絵本を通して教える方が、苦手意識を軽減できるのではないかというモーガンの考えもある (Morgan, 2001)。これらは、前項までで見てきたモーガンの問題意識を踏まえたものといえる。

最後に3つ目の理由として、科学と言語科を結合することで両者の学習に対して相乗効果を生み出すことを企図している。米国ではこれまでも科学教育に文芸作品を取り入れたプログラムが複数、提案されてきた (例えば、Anderson, et. al., 1997など)。その結果、子どもたちの興味を引き出すとともに (Morrow et. al., 1997)、科学的リテラシーと読解リテラシーの両者の向上に効果が得られたことも指摘されている (Glynn & Muth, 1994)。特に、モーガンはグリッ (Glynn, S.) の研究に触れ、科学の概念の意味を理解し、わかりやすい言葉で説明する力が科学の学習に不可欠なものであるとして、言語

の学習を科学の教授の中へと位置づけている (Morgan, 2001, pp. 6-7)。

では、具体的にどのような形で絵本を科学教育へと位置づけてきたのだろうか。モーガンの調査で第3学年の子どもたちに向けて行われた月の満ち欠けに関する指導を例に見てみたい。この単元は、修士論文執筆後に出版されたPPSLに関する実践書においても頻繁に言及され、単元例も詳細に紹介されるなどモーガンらにとって典型的な実践の1つである。

まず、単元の冒頭では子どもたちに向けてエリック・カール (Carle, E.) の『パパ、お月さまをとってきて (Papa, Please Get the Moon for Me)』(1991) を読み聞かせとそれに関する議論が行われる。これらの活動を通して、教師は月の満ち欠けに関する気づき (月の大きさや形など) を子どもたちから引き出す。ここで、フィクションの絵本が子どもたちの月の満ち欠けに関する興味や素朴概念を引き出す役割を担っている。

次に、教師は『月が変わるように見える (The Moon Seems to Change)』(1987) という絵本を子どもたちに示しながら、読み聞かせを通して引き出した疑問をこの本とともに解決していくことを伝える。その上で、部屋を暗くし、白いボールと鉛筆、ランプを図1のように配置し、絵本に描かれた月の満ち欠けのシミュレーション実験を行う。

ここでランプは太陽を、鉛筆に刺さったボールは月を、鉛筆を持つ子どもの頭は地球をそれぞれ表している。図の状況では、ボールの光った面が子どもからは見えないため、新月の状況を模した状態になる。ここから子どもたちは自らの身体やボールを回転させて動かすことで様々な月の満ち欠けを体験する。それを通して、現れる

月の形や順番を掴ませていく。ここで具体的な経験に根拠して科学的概念を導入していく。

最後に、子どもたちの理解を教師が把握するために「月は自分で光を作り出しているのか」などといった発問をする。この段階でも、絵本が活用される。例えば、教師は『パパ、お月さまをとってきて』を用いて「[絵本のように] 月は小さくなるのか」と尋ねたり、絵本の文章や挿絵を分析し、そこに含まれる誤り—具体的には挿絵として描かれる月の満ち欠けの順序に関する誤り—を正すことを求めたりする。それによって、子どもが単元で学んだことを応用する機会が生まれる。

この他にも、月の満ち欠けについて学区の遂行目標に準拠した標準テストが行われ、目標への到達の有無が判断される。例えば、モーガンの修士論文の調査はオハイオ州の郊外にある小学校で行われた。当時のオハイオ州の月の単元に関わる遂行目標は「学習者は月の満ち欠けを分析し、次の[月の]満ち欠けを予測する」というものであった。それに準拠して、4日おきに撮影された月の写真を示し、4日後の月の満ち欠けの様子を選択させるといった問題を出題する。それによって、今の月の満ち欠けを分析し、未来の月の満ち欠けを予測する力を問う。

このように絵本を通して科学的概念を子どもに定着させていくために、単元は大きく次の3つの局面を経ながら進行していく。まず、子どもの発達に適したフィクションの絵本によって子どもと学習対象を出会い、対象についての素朴概念や興味を引き出す局面がある。次に、ノンフィクションの絵本を用いて子どもたちが自由に対象と触れ合い、思考し、概念を獲得する局面が設けられる。最後に、フィクションの絵本を軸として、子どもの科学的概念の理解を問う局面が設定されている。どの局面でも、絵本がきっかけとなり子どもが物事を読み解いたり、解釈したりするための文脈が形成されているということが伺える。

(3) 絵本を利用した科学の教授からPPSLへ

前節で取り上げた絵本を利用した科学の教授を発展させて、モーガンとアンズベリーが提案した教授方法がPPSLである。PPSLは、前節で取り上げた指導と比べると科学的探究の指導の側面が全面に打ち出され、読み書きの指導に関しても読解理解方略 (Reading

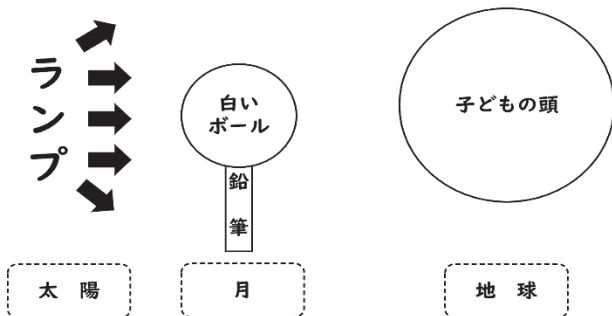


図1 シミュレーション実験の見取り図 (筆者作成)

Comprehensive Strategy) が組み込まれている。

修士論文の研究を経て、科学的探究と読解に関する指導がPPSLに組み込まれた背景は以下の通りである。まず科学的探究の指導について、『全米科学教育スタンダード(National Science Education Standards)』(1996)や『次世代科学教育スタンダード (Next Generation Science Standards)』(2013)といった全米規模の共通教育目標において、科学的概念の習得と並ぶものとして、一貫して科学的探究や、それより広い概念である科学的実践 (scientific practice: 科学者の慣習的な営み) が科学教育を構成する基本的な柱に位置づけられたことがある(大貫, 2018)。事実、モーガンらがPPSLの理論を構築する際に流布していた『全米科学教育スタンダード』では、単に知識を得るだけではなく、子ども自身で問いを発見し、調査や実験を設計・実施し、結果を伝えるという子ども主体の探究活動の実施が理想として掲げられていた。スタンダードに基づく教育改革が進行する中で、全米的な科学教育の指針として科学的に探究することを科学の授業に取り入れる方向性が示されたことは必ずしも無関係ではないだろう。

この点について、モーガンらもPPSLに探究を取り入れた理由として科学の事実を学ぶだけでなく、子どもたちに「科学する (do science)」こと、つまりその事実をどのようにして知り、事実をどのように使って問題を解決するのかということ学ぶことを企図していると述べている²⁾。これらに鑑みれば、モーガンは自身の考えに加え、当時の科学教育研究の動向も視野に入れ、科学的概念とそれを獲得する方法の両者をPPSLに位置づけたことが伺える。

また読解の指導が組み込まれた理由について、モーガンらは当初、PPSLに関する実践書を主に高学年向けと幼稚園を含む低学年向けに区切って出版している。モーガンらはこのように出版した理由として、高学年向けの本は、科学を快適に教えることができるものの、読解を同じように教えることができない教師を想定したものであり、低学年向けの本は、読解の指導ができ、絵本に詳しいが科学の授業が苦手な教師を対象としたものであるとインタビューで語っている³⁾。その上で、すべての教師が読解方略と科学の授業を結合できるように一連の実践書を記したという。つまり、絵本を用いて指導する教師が、

読解や科学の授業を苦手としていても、それを障壁として感じないように、探究や読解に関する具体的な指導方法をPPSLに位置づけたことが推察される。そして具体的な指導方法として、当時、米国で人口に膾炙していた読解指導方略や5E指導モデルが取り入れられていた。

3. Picture-Perfect Science Lessonの理論

モーガンらによるとPPSLは次の4つの柱から構成されている (Ansberry & Morgan, 2010)。まず①評価を伴ったすぐに使える授業、次に②読解理解方略、そして③スタンダードに基づく目標、最後に④探究としての科学である。これらの柱の中でも科学的探究の指導に関わる部分として④の探究としての科学がある。

前節で触れたように、この④の中核に位置しているものが5E指導モデルである。本章では、この5E指導モデルを中心にPPSLの理論について詳らかにする。

①5E指導モデルの形成と課題

バイビーの5E指導モデルは、先述の通り、カープラスが提唱した学習サイクルを基礎として成立している。カープラスの学習サイクルは「探索」・「発明」・「発見」という3つの局面から構成される (SCIS, 1976)。

「システム」という概念を学ぶ単元を例にみてみよう。単元の冒頭に置かれた「探索」の局面では、寄木パズルや磁石に引き寄せられた鉄のように全体が細かい部分(パーツ)によって構成された複数の物体に触れ、それらと自由に戯れる経験をする中で、対象に対する問いや関心を見出させ、学習へと動機づける。加えて、後の学習に向けて、科学的概念に関わる共通経験を獲得させたり、自らの既有知識を自覚させたりする。

次に、「発明」の局面では、経験したことを説明するための科学的概念を教師が子どもへと導入する。例えば、この単元では、寄木パズルのように、1つの単位として扱われる複数の物体の集合のことをシステムと呼ぶことが教師から伝えられる。

最後に、「発明」の局面では、獲得した科学的概念を用いて関係性や規則性を子どもが見出す。この単元では、

子どもがモザイク状のタイルなど身近な事物にシステムの概念を応用し、物体相互の関係性を発見する姿が見られる (Karplus & Thier, 1967)。このように学習サイクルは、一連の局面を通して、子どもが自らの考え方を具体的な事物・事象と対峙させ、抵抗と適応の過程を含みながら適切な科学的概念へと変容していく手助けする。

この学習サイクルは、発達心理学者のピアジェ (Piaget, J.) の「均衡化による学習」という考え方を基盤としている。「均衡化による学習」では、学習者を外界からの情報を受動的に受け止める存在ではなく、自らのスキーム (scheme) と外界の情報との内的整合性の欠如を解消すること (均衡化) に向けて、外界と相互作用し、同化や調節を行う主体的で能動的な活動を行う存在として捉える (ピアジェ, 1964=1979)。

このような学習の捉え方は、1980年を前後して台頭する構成主義的学習観へとつながるものである。実際、構成主義的学習観にもとづく教授モデル (生成的学習モデル) を構築したオズボーン (Osborne, R.) も自身の教授モデルの1つの潮流として学習サイクルを位置づけている (オズボーン, 1985=1988)。

この学習サイクルを基盤に、バイビーが子どもたちの概念変容に向け適切な指導経験と配列を構想できるようになることを企図して開発したものが5E指導モデルである。このモデルは、「関与」・「探索」・「説明」・「精緻化」・「評価」の5つの局面からなる (Bybee, 1997)。この5E指導モデルは、子どもの切実性を置き去りにしたこれまでの指導への反省から、学習サイクルの「探索」の局面に含まれていた動機づけをもたらす「関与」の局面や学習サイクル全体で作用していた子どもの理解を把握する「評価」の局面を1つの局面として取り出している (大貫, 2018) (表1も参照)。

表1 学習サイクルと5E指導モデルの対応

学習C	5E指導モデル	概要
探索	関与 (Engage)	学習の動機づけ
	探索 (Exploration)	自由な探求活動
発明	説明 (Explanation)	科学的概念の導入
発見	精緻化 (Elaboration)	科学的概念の活用
	評価 (Evaluation)	教員/自己評価

(筆者作成)

5E指導モデルも学習サイクルと同様に構成主義の立場を継承している。特に、新たに加えられた「関与」の局面は、構成主義的学習観や概念転換の研究に負う部分が多い。「関与」の局面では、児童の誤概念に挑戦する学習活動を取り入れ、認知的な葛藤 (不均衡) を生み出すことで学習へと動機づける。例えば、5E指導モデルを用いた「システムと分析」の単元の冒頭では、子どもたちに見えないように磁石を貼り付けたベニヤ板の斜面で同じ大きさのビー玉と鉄球を子どもたちが公平と思う状態にして、転がして競争させる。子どもたちは鉄球が早く転がるもしくは同じだと予想する。だが、実際にやってみるとビー玉のほうが早くゴールする。そのような予想との食い違いから子どもたちは興味をもつとともに、なぜ [磁石・ビー玉・鉄球・ベニヤ板からなる] システムのすべてを知っておかなくてはならないのかということを議論させる中で、児童のシステムという概念の捉え方を評価する。

モーガンらがPPSLの理論構築に向けて、複数の科学的探究の指導の方策から5E指導モデルの使用を選択した理由の1つとして5E指導モデルがこの構成主義的学習観に立脚していることも挙げている。モーガンは構成主義の立場から行われた学習研究のエビデンスに言及するとともに、構成主義の立場が自身の教授経験とも合致していたと述べる⁴⁾。PPSLでは構成主義の立場から子どもが共通の経験をし、自らでその経験に関する考えを表現したり、概念変容に向けて概念を絵本や現実世界の現象・事象に応用したり、修正したりする機会が設けられている (Ansberry & Morgan, 2010)。

一見すると、5E指導モデルは内的活動、つまり概念の形成に向けて最適化された教授モデルであり、科学的探究などの外的活動とは無関係のように思われるかもしれない。だが、バイビーは5E指導モデルを科学的概念の獲得のためだけに提起したわけではない。

実際、バイビーは科学の営みを意識して5E指導モデルを現実の科学と結び付け、表2のように科学的探究のプロセスとの対応関係を示している。そこでは、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という科学的探究のプロセスが想定されている。この科学的探究のプロセスを経ることで、子

表2 5E 指導モデルの局面と科学的探究の様相

5E 指導モデル	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。

(Bybee, 1997, pp. 182-183を筆者が一部訳出)

どもたちが科学的概念に加え、科学的探究の方法も学ぶことが期待されている。

だが、そこで想定されている科学的探究の姿やその指導の在り方については疑問が投げかけられていることも事実である。米国では1990年を前後して認知心理学者のブラウン（Brown, J. S.）らの状況的認知（situated cognition）を踏まえ、学校に真正の活動を取り入れるという提案がなされた（Brown, Collins, & Duguid, 1989）。この真正の活動、つまり科学者の現実の営みを学校教育に持ち込むという提案のもとで、①科学的探究を科学者の実際の活動へと近づけていくこと、そして②長期的なスパンで科学者のように科学する文脈を設定していくことが科学教育の文脈で提言されるようになる（大貫, 2016a）。

①について、米国のスタンダード等でも科学的探究を従来のように「問い—調査—結果—考察」といった形で科学者の活動を再構成した直線型のモデルとして捉えるのではなく、科学者が科学する営みへ寄せていく方向に移行してきている。具体的には、調査の手続きを理論に照らし合わせて吟味し、集団で話し合う中で手続きや問いそのものを修正したり、得られたデータを仮説と照らし合わせて検討し、仮説の棄却や実験方法の吟味を行ったりするなど実践的な営みを反映し、個々の手続きを目的の達成に向けて密接に絡ませながら行うものとして科学的探究を捉えている（NRC, 2011）。

②について、米国では近年、科学の指導が優れた物語のように展開し、子どもたちが新しい現象と出会い、新しい問いを見出したとき、適切な具合で子どもたちは困惑し、よりその現象について知りたいと考えるようにな

ることが指摘されている（Nordine et. al., 2019）。例えば、米国では「物質の匂いがどのように伝わるのか」という問いの下で、匂いが発生源から部屋中に伝わる現象について探究し、匂いの原因となる物質が熱運動を通して目に見えない粒子として拡散することで伝わることや、温度変化による気体の体積変化など粒子に共通の特徴として状態変化を学習する活動が行われている（大貫, 2016b）。このように子どもたちが現象を理解するための一貫した物語に沿って指導が行われることで、子どもたちの興味を持続させつつ、新しい知識と既有知識を関連付ける機会を提供することができるという。

ここで、①で示された探究の姿と5E指導モデルを比較すると、5E指導モデルは子どもが主体的に問いを設定し、探究を行うことを支援するモデルとして必ずしも機能するわけではない。むしろ、5E指導モデルは教師によって、探究の手順が示され、かつそれが関与から探索、そして説明へとといった形で進行するものとして過度に単純化され、直線的な形で定式化されている。それにより、科学者の行う科学的探究という営みが直線的で段階的なものであるという印象を子どもたちに与え、科学的探究の姿が歪められてしまうことが危惧されるだろう。

加えて、5E指導モデルでは「システム」などの1つの概念を習得させるために、様々な学習活動が組み込まれている。だが、それは②との関連でいえば科学者のように1つの現象・事象について掘り下げたり、物語性をもって追求したりするようなものではない。

先のシステムの単元を例にとれば、斜面を下る鉄球のシステムを探索した後に、風邪が伝染する仕組みをシステムという概念に基づいて説明するといった形で、前後の活動と結びつきのない活動が設定されている。特に、「関与」のような授業の冒頭での刺激的な演示実験は現象そのものへの驚きを喚起する一方で、一過性の活動にとどまり、継続的な探究活動を支援するような体験にはならないことも指摘されている（Nordine et. al., 2019）。その結果、5E指導モデルで示される授業は、科学的探究が時間の枠にはめ込まれた断片的な活動の集合となり、子どもの興味を引き出し、目的に応じて自らの手で獲得した知識やスキルを使いこなし、内容を深めていくような物語性のある学びを必ずしも提供できない危険性を孕んでいる。

つまり、5E指導モデルを通して科学的探究を指導するという場合に、科学的探究の複線的な性質をどのように提示することができるのか、そして、子どもたちが知識やスキルを使いこなし、内容を深めていくような探究の機会をどのように保障することができるのかという点が課題として残されている。モーガンらは「PPSLの授業は、5E〔指導〕モデルに従い、手引きされた探究(guided inquiry)として構造化されている」(Ansberry & Morgan, 2010, xii)と述べ、5E指導モデルには科学的探究が埋め込まれ、それをPPSLも継承していると主張する。では実際に、絵本の使用と5E指導モデルを組み合わせることで、どのような単元設計の枠組みを形成し、上記の課題をどのように扱ってきたのだろうか。次に見てみよう。

② PPSLの単元設計の理論

PPSLの単元の中核には絵本がある。そのため、単元で用いられる絵本の選択が単元設計の一つの鍵となる。モーガンらが絵本を選ぶ上で重視していることが絵本に含まれている科学的概念である。モーガンらが子どもに学習の動機づけを行うことを重視していたことを踏まえれば、彼女・彼らにとってお気に入りの絵本を選択するということがまず想定されるかもしれない。だが、お気に入りの絵本であっても、そこに含まれている科学的概念が明確で、子どもに理解できるものでなければ科学の学習に寄与するものとならないとモーガンらは指摘する(Ansberry & Morgan, 2010)。

この概念の選択を絡めて、PPSLでは第1章で見たように強固なアカウントビリティ制度を背景に、スタンダードに準拠した単元の設計を1つの柱として掲げている。これを具体化する方策として、PPSLでは各単元計画の冒頭で『次世代科学教育スタンダード』といった全米規模のスタンダードと結びつけた目標が記述され、そこで記された科学的概念に沿った絵本に光が当てられている。

例えば、貝殻を題材に生物の「構造と機能」に焦点を合わせた単元では、エリック・カールの『ヤドカ리의ための家 (A House for Hermit Crab)』(1988)とモーガンが記した『次に貝殻を見るときには (Next Time You

See a Seashell)』(2012)が単元で扱われる絵本として紹介されている。モーガンはPPSLを普及する上で、『次に〜を見るときには』などといったノンフィクションの絵本を自らで執筆し、教師が適切な概念を扱えるように、PPSLを実施する上で利用可能なリソースを提供している。このような形でPPSLでは概念理解を主軸に絵本の選択を行うことを重視している。

もちろん、モーガンらが学習への動機づけを軽視しているわけではない。例えば、ノンフィクションの絵本だけでは、知識を得られるものの、興味のある子どもたちに対象が限定されてしまう可能性がある。これを乗り越えるために、PPSLでは単元で扱われる絵本の組み合わせについても検討している。

修士論文の実践や上記の貝殻の単元に典型的なように、PPSLの単元ではフィクションとノンフィクションの絵本の組み合わせが用いられることが多い。物語のようなフィクションの絵本は主に子どもたちの興味を引き出すために用いられる。一方で、新聞や雑誌の記事を含むノンフィクションの絵本は子どもたちが科学的概念や実験方法などを学ぶことに主に寄与する。とりわけ、ノンフィクションの絵本を読み取り、情報を得る能力は単元の内容から派生した問いへの答えを見つけ出したり、社会生活を送ったりするためにも必要であり、読解方略と組み合わせることで、科学と読解の両面の力を育成することを企図している。

これらの絵本と5E指導モデルを結合させて単元が設計される。高学年向けの水の性質の単元を例に見てみよう(Ansberry & Morgan, 2008)。「関与」の局面では、食紅で色を付けた水が入っている透明なカップと空のカップ、濡れた50cmの紐を用意する。その後、カップを25cmほど離して、子どもにカップを近づけず、一方のカップからもう一方のカップに水を注ぐことを伝える。子どもは水の移動に驚き、特別な種類の水や紐を使ったのではないかと次々と考えを出し始める。ここで、子どもが水に興味をもつように仕掛けたり、水について既に知っていることを引き出したりする。

「探索」の局面では、まず教師はその謎を解き明かすために『水滴 (A Drop of Water)』(Wick, 1997)という絵本を子どもたちに紹介する。『水滴』の絵本に登場

する活動を一緒にやってみる。例えば、絵筆を3本用意し、1本はそのままに、もう1本は水の入った瓶に入れたままにし、最後の1本は瓶に入れてから出しておく。すると、最後の絵筆以外は先が開くが、最後の絵筆だけが閉じる様子を観察する（図2も参照）。

子どもたちが活動を終わったら、絵本を読み聞かせ、実際に活動で観察したことを説明するのに役立つ情報を探したり、聞いたりするように指示する。絵筆の活動であれば、子どもたちは水分子が仲間同士でくっつく性質があることが絵本に記述されていることを発見し、水の性質、特に水滴はお互いに引き合う性質があること（凝集：同種分子間の接着）を学ぶ。この他にも、水がペーパータオルやガラスなど、他のものに引き寄せられる性質があること（粘着：異種分子間の接着）に関する理解を組み立てていく。これが「説明」の局面になる。

「精緻化」の局面では、「説明」の局面で学んだ凝集や粘着といった水の性質を使って、「関与」の局面で見た実験を再現するように伝えられる。子どもはコップや乾いた紐などを用いて実験を再現するなかで学んだことを応用する。最後に、水が紐に流れ落ちる原因について「凝集」と「粘着」という言葉を使って説明させる。そこでは、「水が紐に付着するのは粘着しているからで、水同士が凝集しているからばらばらにならずに流れていくの

だ」という形で説明を構成するようになる。それを通して、子どもの水の性質に関する理解が評価される。

修士論文で提起された絵本を利用した教授方法と上記の実践を比べると、両者に含まれる活動は大筋で一致し、絵本を通して活動の文脈を形成しつつ、関与から「精緻化」までの各局面が埋め込まれているといえる。その際に、5E指導モデルと結びつけることで、修士論文の教授方法に内包されていた個々の活動の要素が一層明瞭な形でラベル付けされたことが伺える。

尚、今回の場合には選択された絵本が物語性をもったノンフィクションの絵本であったため、1冊しか登場しなかった。しかしながら、先に述べたように一冊であっても、この絵本が主に「関与」の局面で求められる活動への文脈や内容への興味を引き出す役割と、主に「説明」の局面で求められる情報テキストとしての役割の両者の役割を果たしている。

ここで、PPSLに組み込まれている5E指導モデルについて、前節で課題とされてきた科学的探究の複線的な性質を反映したり、子どもたち主導の探究を位置づけたりすることが十分に達成できていないと思われるかもしれない。確かに、上記のプロセスでは関与から最後の評価に至るまで指導のプロセスが直線的に描かれ、これまでの5E指導モデルと変わりが無い。だが、モーガンら(2010)が図3を挙げ、「[[図3の] 学習のサイクルとして5E指導モデルが使用されるとき、モデルは最も効果的である」(p. 29)と述べる。図3では、「探索」と「説明」、「説明」と「精緻化」の局面がそれぞれ双方向のものとして描かれ、評価の局面が精緻化を除く全ての局面と結びつくなど、5E指導モデルは非直線的なものとして想定されている。

では、非直線形の5E指導モデルを用いてどのように単元が構成されるのか。実際に、モーガンらがPPSLの典型的な実践として、そしてまた非直線の性質が反映された単元の例として挙げている生物の「構造と機能」の単元に焦点を合わせて、最後に検討してみよう。



図2 絵筆を用いた水の凝集実験
(Wick, 1997, p. 12)

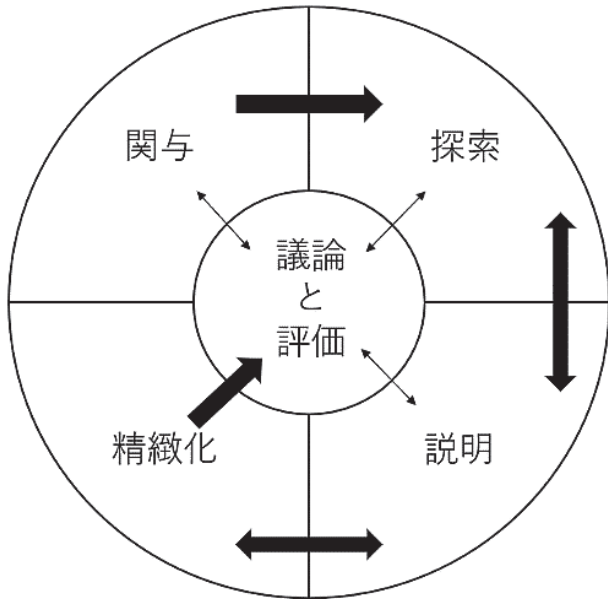


図3 モーガンらによる5E指導モデルの整理
(Morgan & Ansberry, 2010, p. 29を訳出)

4. Picture Perfect Science Lessonの実践

①単元目標と絵本の設定

「その貝に名前をつけてください (Name That Shell)」の単元は、第3学年から第5学年の児童を対象とした単元である。この単元で、子どもたちはまず貝殻について観察・推論し、問いを生成する。次に、貝殻の構造に着目し、貝殻を整理するためのカテゴリーを創造・使用するようになる。最終的には、殻頂 (hinge) などの特徴で貝殻と他の海の生物を特定するために適切に二分式検索表 (dichotomous key) を用いる力をつけることが求められる。

この単元は、先述の通り、スタンダードとの接続も視野に入れている。具体的には、単元の中核に「構造と機能」という概念を、探究の方法として「説明を構成する」ことを挙げている。ここで「構造と機能」の概念とは、哺乳類や鳥類の餌について、その歯をその嘴の構造を調べることによって推論できるように、ある構造をもつことが特定の行動や機能を可能にするということを指す (NGSS, 2013)。また、このような理解を育むために単元内ではエリック・カールのフィクションの絵本とモーガンが記したノンフィクションの絵本の2冊の絵本が用いられている。

②単元の展開

単元は『次に貝殻を見るときには』の一部分を教師が読み聞かせるところから始まる。絵本には、次に貝殻を見た時に、手にとって肌触り、形、色や模様のパターン、匂いなどといった要素を確かめることを求める記述がある (Morgan, 2012)。

読み聞かせを聞いた子どもたちに、1つの貝殻とOWL (観察—疑問—学習) シート、定規、巻き尺、ルーペが配布される。OWLシートに沿って、まず自分の貝殻を注意深く観察・描写し、貝殻について貝の大きさなど量的 (数) な記録や、溝の有無など質的 (言葉) な記録を残す。次に、貝殻に関する疑問点を列挙させる。最後に、すべての貝殻を回収し、OWLシートを用いて、未知の貝殻を分類する活動に取り組む。

このような活動を通して、単元全体を貫く問いを明確にする。例えば、自らの手元にある貝殻と他の貝殻を見分ける特徴はなにか、どのように区別ができるのかといった問いが子どもたちから出てくる。そこで教師はこれからの学習でこれらの貝殻に関する問いを解決していくことを伝える。これが単元全体への導入であり、「関与」の局面となる。

次に子どもたちはペアで、教師に配布された複数の貝殻の分類を行う。ここでは、グループA・Bという枠が描かれたワークシートを用いて、形や色や硬さや構造などといった側面から、子どもたちが自由に分類の規準を設定し、手元の貝殻をAとBに分けて観察する。加えて、他のペアと場所を交代し、元のペアがどんな特徴で貝殻を分類したのか推論する活動を行う。「探索」の局面では、このように子どもたちが自由に貝殻について調べ、何らかの特徴に基づいて分類することで、この後の局面で導入される二分式検索表を子どもたちが受け入れる素地を形成する。

「説明」の局面では、まず子どもが自身の貝殻の分類に用いた特徴とその理由を他の子どもに説明する。その後、子どもは「貝殻は動物によって作られている」など、読む前に予想をするページに記された正誤問題に答える。その上で、『次に貝殻を見るときには』の残りを読み、その正誤問題の答えを確かめ、教室でテキストを引用しながら議論をさせる。ここに予想をして絵本の内容の中

でも焦点化する部分を設定することで絵本で扱われている科学的概念について理解を高める方策(読解理解方略)も織り込まれている。

議論の後、教師は黒板に二枚貝と腹足類という言葉を書き板書する。その上で、科学者集団は軟体動物をいくつかの綱(class)に分類するが、その二大グループが牡蠣やアサリといった二枚貝とカタツムリやサザエなどの腹足類であることや、殻頂の有無などによって見分けられることが子どもに告げる。この二枚貝と腹足類という分類や見分け方は『次に貝殻を見るとときには』の中でも取り上げられている。ここまでの学習で得られた新しい情報も先のOWLシートへと記入させる。

この「説明」の局面を経た後、再び子どもたちは自由な「探索」の活動へと入るといふ。ここで、子どもたちには再び貝殻のセットとワークシート(図4)が与えられる。子どもたちは、ワークシートに描かれた二分式検索表を用いて、貝殻を特定する。

具体的には、二分式検索表にあるように、まず殻頂の有無で二枚貝と腹足類へと貝殻を分類する(段階1)。

次に、二枚貝に分類された貝殻については、殻頂の部分を跨ぐ形で帆立貝のように直線が入っているのか、ザルガイのように丸い山形の殻頂を有しているのかということによって弁別する(段階2)。他方で、腹足類と分類された貝については、貝殻がコブの有無で区別する(段階5)。教師は各段階で「殻頂のある貝ですか?」と子どもたちに尋ね、実際に殻頂があれば持ち上げさせるなどといった形で分類を支援し、貝殻を特定させるとともに、それぞれの貝殻を特定した際の思考プロセスを説明させることで、「探索」と「説明」の局面を往還しながら子どもたちを二分式検索表の枠組みに親しませる⁵⁾。

「精緻化」の局面では、『ヤドカリのための家』を朗読させ、問いかけを行う。問いは、「なぜヤドカリは貝を必要とするのか」という本文の理解を問うものから、「ヤドカリは自分の家を作るために二枚貝と腹足類とどちらを選択するのか、それはなぜか」といったものまで広く設定され、それらについて子どもに推論させる。ここで子どもたちは過去の知識を基盤に、絵本の行間を読んだり、解釈したりすることでテキストを推論しながら読み解く力を育てていく。

加えて、絵本に登場する他の海の生物に関する問いについて、教室で議論する。例えば、「ヤドカリが会おう動物はなにか」、「これらの動物を分類するために科学者が用いることができる特徴はなにか」、「どのように呼ばれているのか知らない動物を特定するために用いる道具はなにか」という問いについて二分式検索表を通して培った解釈をぶつけながら議論する。

最後に「評価」の局面では、子どもたちがこれまでの理解を発揮する場面が設定される。まず、子どもたちに資料として配布された二分式検索表を用いてワークシートに描かれた様々な海の生物(蛸・クラゲ・アンモナイト・イソギンチャク・ウニ・ナマコ)を特定する課題が与えられる。次に、子どもたちは軟体動物の成長と生き残りについて、様々な機能を果たす様々な構造に焦点を合わせたポスターを作成したり、『次に貝殻を見るとときには』のフォーマットに沿って新しい本を執筆したりする課題が与えられる。このような課題を通して、二分式検索法を用いたり、現実場面の文脈で知識を創造したりする場が子どもに与えられる。

単元末には「探究の場」が設けられる。まず、子ども

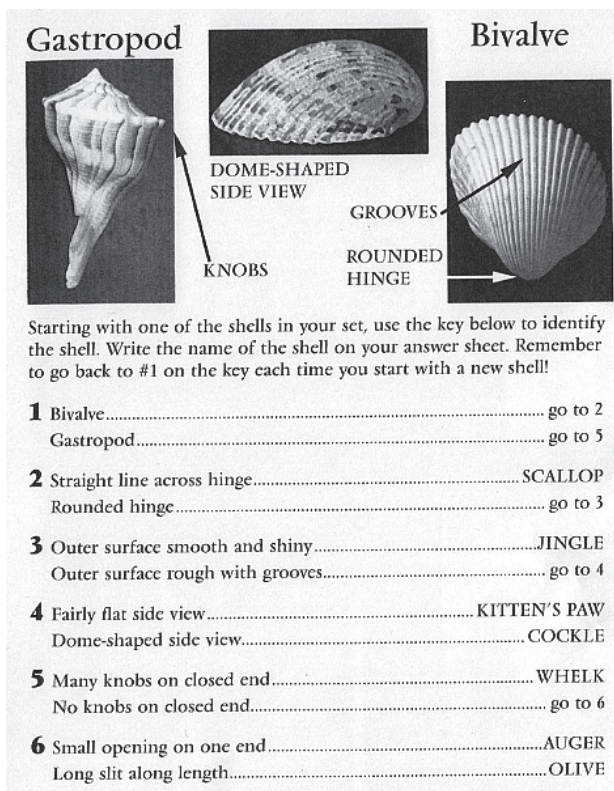


図4 二分式検索表を用いたワークシート (Morgan & Ansberry, 2010, p. 65)

たちに軟体動物の貝殻に関する問いをブレイン・ストーミングさせる。子どもたちからは、「どの種類の貝殻がその中に住む軟体動物のために最大のスペースを有しているのか」、「貝殻は何から構成されているのか」といった問いが生成される。これらの問いの1つをクラス全体、グループ、もしくは個人の問いとして選択し、調査を行う。その結果をポスターセッションで発表する。このような活動を通して、子どもたち自身が目的の達成に向けて単元で学んだ知識やスキルを駆使しながら、科学的探究を遂行していく。

ここで先の5E指導モデルとPPSLを比べると次のことがわかる。まずPPSLでは大筋において5E指導モデルを継承しつつも、それに準拠した探究学習の指導を行っている。ここで、大筋としたのは、次の2つの点で必ずしも両者が完全に連続したものではないからである。まず1点目として、PPSLでは5E指導モデルでは必ずしも明確に理論化されていなかった各局面との往還関係がモデルとして明示され、実践にも組み込まれるなど、5E指導モデルには必ずしも反映されていない科学的探究の複線的な性質も反映されていた。また2点目として、PPSLでは全ての単元の最後に探究の場が設けられる。そこでは、子どもたち自身の設定した問いに対する調査を行う。それにより、全米科学教育スタンダードなどの全米規模のスタンダードが理想として掲げてきた子ども主導の探究の指導を実現することを企図していた。これらの点で5E指導モデルにはない新規性があった。

おわりに

本稿では、モーガンらが米国で提唱するPPSLの探究指導の方策について、5E指導モデルとの比較を通して、その意義を明らかにすることを目的としてきた。モーガンらは、スタンダードに基づく教育改革が進行する米国で、限られた時間数で膨大な事実が記された教科書を網羅する科学の授業を批判した。その上で、小学校の教員が子どもたちの発達に適した教材を用いて簡便に科学の授業を行う方策として、子どもたちが少数の概念を深い部分まで追求できるような絵本を利用した科学の授業を提案してきた。

PPSLでは、科学的探究を一つの柱に位置付けた指導を構想してきた。そのためにモーガンらが着目したものが米国で科学的探究の指導方法として流布している5E指導モデルであった。PPSLでは、5E指導モデルを基調としつつも、絵本で設定された文脈に応じて、複数の局面を自由に往還しながら進行するものとして科学的探究の様相を描き、授業へと反映してきた。加えて、絵本から派生した問いについて自律的に探究する機会を設け、子ども主導の探究の指導を実現してきた。これにより、単元内の学習活動が有機的に関連付けられ、目的に応じて自らの手で獲得した知識やスキルを使いこなし、内容を深めていくような物語性や連続性のある学びを提供していた。

総括すると、PPSLでは5E指導モデルと異なり、実際の科学的探究の様相を反映した探究過程を単元づくりに反映していた。一連の探究過程を経て、子どもたちが教師の支援がなくても自律的に問いを見出し、調査を計画するといった子どもたち主導の探究を行えるように指導過程を組み立てていた。更に、「関与」における動機づけに依拠するのではなく、継続的な探究活動を支える仕組みとして、適切な絵本を学習の文脈を生成する素材として用いることで一貫して内的な活動と外的な活動を結びつけ、深い理解を達成する探究指導の文脈を形成するものであったといえよう。これらは5E指導モデルに内包していた科学的探究の指導に関する課題を乗り越える方途を示唆したものであり、その点にPPSLの意義を見出すことができるだろう。

付記

本研究は、JSPS科研費20K13847の助成を受けたものです。

引用・参考文献一覧

- Anderson, T. H., West, C. K., Beck D. P., MacDonell, E. S., & Frisbie, D. S. (1997) "Integrating reading and science education: On developing and evaluating WEE Science". *Journal of Curriculum Studies*, 29, pp. 711-733.
- Ansberry, K. & Morgan, E. (2008) "The Wonder of Water". *Science and Children*, 46 (4) , pp. 16-18.
- Ansberry, K. & Morgan, E. (2010) *Picture-Perfect Science Lessons (2nd ed)*, VA: NSTA press.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. "Situated cognition and the

- culture of learning”, in *Educational Researcher*, 1989, 18(1), pp. 32-42.
- Bybee, R. W. (1997) *Achieving scientific literacy: From purposes to practice*, NH: Heinmann.
- Dewing, A. S. (1908) “Science Teaching in Schools”, *School Science and Mathematics*, 8(9), pp. 740-744.
- Glynn, S. M., & Muth, K. D. (1994) “Reading and writing to learn science: Achieving scientific literacy”, *Journal of Research in Science Teaching*, 31, pp. 1057-1073.
- 平野俊英・高橋一将 (2017) 「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』65 (771), pp. 5-10.
- Holton, G. (1995) “Science Education and the Sense of Self”, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 775(1), pp. 551-560.
- 石井英真(2011)『現代アメリカにおける学力形成論の展開』東信堂。
- 板橋夏樹 (2018) 「米国の幼稚園・小学校段階におけるエネルギー教育についての研究—Picture-Perfect Scienceを事例として—」『日本科学教育学会研究会研究報告』33 (1), pp. 21-24.
- 板橋夏樹 (2019) 「科学絵本を活用した幼稚園：小学校段階のエネルギー教育に関する研究」『宮城学院女子大学発達科学研究』19, pp. 37-46.
- Karplus, R. & Thier, H. D. (1967) *A New Look at Elementary School Science Curriculum Improvement Study*, IL: Rand McNally & Company.
- Morgan, R. E. (2001) *A study of the effect of the integration of children’s literature into the science curriculum on student understanding of scientific concepts*, master’s thesis (University of Dayton).
- Morgan, R. E. (2012) *Next Time You See a Seashell*, VA: NSTA Kids.
- Morrow, L. M., Pressley, M., Smith, J. K., & Smith, M. (1997). “The effect of a literature-based program integrated into literacy and science instruction with children from diverse backgrounds”, *Reading Research Quarterly*, 32, pp. 54-76.
- NGSS Lead States (2013) *Next Generation Science Standards (Volume 1 & volume 2)*, Washington, D.C.: National Academy Press.
- Noddings, N. (2015) *A Richer, Brighter, Vision for American High School*, NY: Cambridge University Press.
- NRC (2007) *Taking Science to School*, Washington, D.C.: The National Academy Press.
- (2011) *A Framework for K-12 Science Education*, Washington, D.C.: The National Academy Press.
- Nordine, J., Krajcik, J., Fortus, D., & Neumann, K. (2019) “Using Storylines to Support Three-Dimensional Learning in Project-Based Science”, *Science Scope*, 42(6), pp. 86-92.
- Osborne, R. & Freyberg, P. (1985) *Learning in Science: The Implications of Children’s Science*, NJ: Heinemann Publisher.
- 尚, オズボーン, R. & フライバーグ, P. (森本信也・堀哲夫訳) 『子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論—』(東洋館出版, 1988年) も参照。
- 大貫守 (2016a) 「J. S. クレイチェックの科学教育論に関する検討—『プロジェクトにもとづく科学』に着目して—」『教育方法学研究』41, pp. 37-48.
- 大貫守 (2016b) 「ラーニング・プログレッションズを踏まえた科学教育の検討—IQWSTのカリキュラムに着目して—」『カリキュラム研究』25, pp. 41-54.
- 大貫守 (2018) 「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—」『京都大学大学院教育学研究科紀要』64, pp. 373-385.
- Piaget, J. (1964) “Cognitive development in children: Piaget development and learning”, *Journal of research in science teaching*, 2, pp. 176-186. 尚, ピアジェ, J. (明田芳久訳) 『発達と学習』『発達の条件と学習』(誠信書房, 1979年, pp. 57-87) も参照。
- Rudolph, J. L. (2005) “Epistemology for Masses”, *History of Education Quarterly*, 45 (3) , pp. 341-376.
- 澤田稔 (1999) 「アメリカ合衆国における教育方法改革の最前線—授業方法のパラダイム転換を求めて—」松浦義満・西川信廣編『教育のパラダイム転換—教育の制度と理念を問い直す—』福村出版, pp. 45-63.
- SCIS (1976) “Approaches to Teaching”, *Eakin, J. R. & Karplus, R. (eds.) Final Report*, CA: The Regents of the University of California, pp. 50-61.
- Staver, J. R., & Bay, M. (1989) “Analysis of the conceptual structure and reasoning demands of elementary science texts at the primary (K-3) level”, *Journal of Research in Science Teaching*, 26, pp. 329-349.
- 高橋一将 (2016) 「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)』66 (2), pp. 89-98.
- Tilgner, P. J. (1990) “Avoiding science in the elementary school”, *Science Education*, 74, pp. 421-431.
- Wick, W. (1997) *A Drop of Water*, NY: Scholastic Press.
- Wiggins, G. & McTighe, J. (2005) *Understanding by Design (2nd ed.)*, ASCD. なお, ウィギンズ, G. & マクタイ, J. (西岡加名恵訳) 『理解をもたらずカリキュラム設計』(日本標準, 2012年) も参照。

注

- 1) 筆者とミシガン州立大学でプロジェクト型の科学教育を推進するジョセフ・クレイチェック氏 (Krajcik, J. S.) とのインタビューによる (2016. 9. 9, ミシガン州立大学にて)。
- 2) 筆者とモーガン氏との私信にもとづく (2021.7.29)。
- 3) 全米科学教師協会 (National Science teaching Association) がモーガンらに行ったインタビュー (https://www.youtube.com/watch?v=_9Vm90RarI8 2021.9.11 確認) にもとづく。
- 4) 筆者とモーガン氏との私信にもとづく (2021.7.29)。
- 5) PPSLの実践書では, 本文で示したように, この活動を5E指導モデルの「探索」と「説明」の局面の往還するものとして捉えている。だが, 実際に行われている活動内容からは子どもたちが「説明」を通して得た理解を適用しながら理解を深める局面に該当するため, 5E指導モデルの「説明」と「精緻化」の局面の往還と捉えることもできるだろう。