

米国の科学教育における科学的実践に関する検討

——J.F.オズボーンの所論に焦点を合わせて——

大貫 守

1. はじめに

本稿では、米国の科学教育において 2000 年代以降登場してきた「実践としての科学 (science as practice)」の考え方に焦点を合わせて検討を行う。とりわけ、米国の科学的実践の考え方に影響を与えた科学教育者のオズボーン (J.F. Osborne) の論を中心にその内実について明らかにすることを目的とする。

米国の科学教育では、カリキュラム改革運動を一つの契機として、探究を通して科学の観念を学ぶことが追求されてきた。例えばガニエ (R. M. Gagné) の理論を基盤に作成されたアメリカ科学振興協会 (American Association for the Advancement of Science) の「科学—プロセス・アプローチ (Science—A Process Approach)」では、科学者の行動分析に立脚し、領域固有の知識に依拠しないプロセス・スキルが特定された。ここでは、論理実証主義的な科学観を背景に、事実の観察と記録を軸とした帰納的な過程として探究が描かれた。

このアプローチは、探究の方法を明確化する点において意義があった。しかしながら、知識とスキルが切り離されることで、単なる個々のスキル学習に陥ってしまう傾向があるという課題も残されていた。

1980 年代のスタンダードに基づく教育改革においても、探究を通して科学を教授するという方針は貫かれていた。特に、『全米科学教育スタンダード (National Science Education Standards: NSES)』(1996 年) では、目標として「探究としての科学」という項目が設定され、内容面では「科学の概念の理解と探究の能力の発達」や「探究の価値の理解」が強調されていた¹。

同スタンダードでは、先のプロセス・スキルに学びつつも²、「観察、推論、実験といったスキルを児童・生徒が学習するような『一つのプロセスとしての科学』を超えたステップ」として探究を描いている³。そこで

は、プロセス・アプローチのように科学の方法として段階を定式化することや、スキル同士の関連性や全体像を明確化するというよりも、領域固有の知識や文脈に依拠して複数の知識やプロセスを組み合わせることで進行するものとして科学的探究が想定されていた。

このスタンダードの科学観を巡っては、2 つの異なる立場の対立が見られた。スタンダードの草稿では、科学的観察の客観性と科学的知識の真実性を唱える論理実証主義に基づく科学観に対して、それに異議を唱えるポストモダニズムの立場に立つことが記されていた⁴。この観念論的な立場からの記述は、科学者や論理実証主義の立場からの反論によって削除された。しかしながら、公表されたスタンダードでは「科学者は、世界を見渡す社会的、文化的、個人的な信念と方法に影響を受けている……科学は社会の一部である」⁵という形で社会構成主義的な色合いを一部残していた。

このように科学的探究を目標や指導の対象として記述する上では、①どのような科学観を想定するのか、②知識と探究の関係をどのように考えるのか、③科学の方法のように 1 つの決まった方法として定式化されるものなのかということが論点となった。

この中で従来の科学的探究を拡張するものとして、米■では実践としての科学という考え方が提案された。これは、2013 年に発表された『次世代科学教育スタンダード (Next Generation Science Standards : NGSS)』の中心要素として取り上げられている。これについては、既に日本でも研究がなされている。熊野善介は、この実践を科学者や工学者の慣習的な営みとして位置づけ、「科学・技術・工学・数学 (Science, Technology, Engineering, & Mathematics : STEM)」との関連から設計の方法について論じている⁶。また ■数哲久は、科学的実践を 8 つの段階として定式化し、紹介している⁷。

しかしながら、これらの研究では、科学的な実践を慣習的な行動として位置づけているものの、その背景にある科学観や知識との結びつきなど先の論点に照らしてその内実を明らかにしてはいない。そのため科学的実践が、プロセス・スキルの延長線上に置かれ、単なるスキル論として捉えられてしまう可能性を孕んでいる。そこで本稿では、この科学的実践のもつ科学観や内実について成立背景に即して明らかにする。

2. 科学的実践論の台頭

(1) 科学論の登場と科学的実践論の提起

実践としての科学を捉える発想は、クーン (T. Kuhn) がパラダイム論やパラダイム間での共約不可能性を論じた『科学革命の構造 (The Structure of Scientific Revolutions)』(1962 年) の出版まで遡る。同書においてクーンは、独自の価値体系と規範的な規準に準拠して研究を行う科学者の共同体によって科学が行われることを記した。同書は、広く参照され、その後の科学論 (science studies) の展開に影響を与えた。

1970 年代に入ると社会学的に科学を研究してきた「科学社会学 (Sociology of Science)」の在り方に影響を与えた。そこでは、科学社会学が科学者を分析対象としてきたのに対して、科学的知識までも社会学的分析の対象とする「科学知識の社会学 (sociology of scientific knowledge)」の立場が内部で現れたのである。特に、エディンバラ学派のストロング・プログラムでは、科学の発見をその発見の社会的文脈の中に位置づけるとともに、科学的知識の内容決定において合理的方法論だけで決定できない内容については、社会的要
■が決定するという社会構成主義的な立場がとられた。

1970 年代後半には、この科学的発見と社会の関係を明らかにするために「実験室研究 (laboratory studies)」と呼ばれる研究が登場する。特に、科学人類学者のラトゥール (B. Latour) とウールガー (S. Woolgar) は、人類学的手法を科学者の実験室へと持ち込むことで科学者の営みの分析を行った。彼らは、1975 年から神経ホルモンの研究を行っていたグループの参与観察を行うことで、科学の営みを科学者が装置や道具、組織や制度などとの相互的な働きかけを含む社会的実践として描き出した。加えて、研究者が論文や私的な議論を行う際の言明を分析することで、科学的事実が社会的

に構成されていることを明らかにした。

この「実験室研究」には、1980 年代後半から批判がなされる。そこでは、ラトゥールが用いた言明分析の過程が、その後の研究で過剰に用いられる一方で、彼らが明らかにしたもう一つの側面として科学的営みに内包される物質性や行為遂行性を無視しているということが糾弾されるようになる。この中で、この科学の物質性と行為遂行性に関する認識の回復を目指す動きとして提起されたのが、科学的実践論であった。

科学社会学者であるピッカリング (A. Pickering) の科学的実践論は、実践の結果として与えられる文化を物質的なものからの抵抗とそれに対する適応を繰り返しながら拡張していく運動として捉える⁸。そこでは、理論をもつ人間が装置や対象、組織や社会関係に働きかけ、その対象が期待通りの結果を出さない (=抵抗する) 場合に、理論形成や方法の吟味などが行われて相互に安定化していく抵抗と適応の弁証法のプロセスとして科学的実践が描かれる。それは、デカルトから今世紀の科学哲学に至る表象主義の立場が捨象した、世界と精神の間にある実験室の装置や科学者の行為などの具体的媒介に関する認識を取り戻すものだった。

(2) 科学教育における科学的実践論の提案

米国では、1990 年を前後して「すべてのものに科学を求める運動 (science for all movement)」が生じた。そこでは、世界市場における経済的・民主的な議論に参加できる科学的リテラシーをもった市民の育成が叫ばれた。一方で 2000 年代に入ると、この経済的・民主的な必要性に加え「科学・技術・工学・数学」の知識や実践を国家や社会の基礎構造に織り込むことが科学教育の文化的な責務であるという考え方も登場する。このような社会的背景に加えて、2000 年代以降には、全米研究評議会を中心に学習科学の研究成果が広くレビューされ、教育や政策へと援用された。

この中でも、科学的実践を科学教育の文脈に広く定着させる契機となった研究報告書が、全米研究評議会による『学校に科学を (Taking Science to School)』(2007 年) である。ここでは、学習科学や科学論、科学教育などの研究成果が概観され、既存の授業や政策の方向を見直したり、新たなスタンダードを策定したりすることに向けて学術的な提言がなされた。

『学校に科学を』では、NSES 設定後の科学教育の問題点の解決が企図されている。まず同書では「[米国のカリキュラムは] マイルより広く、インチほどの深さしかない」という網羅主義や概念と結びつきのあまりない活動志向のアプローチが蔓延していることが問題視されている⁹⁾。

そこで、同書は生徒が科学に習熟したことを示す学習ゴールとして次の 4 観点を設定している¹⁰⁾。(1) 自然界の科学的説明を知る、使う、解釈すること、(2) 科学的証拠と説明を生み出し、評価すること、(3) 科学的知識の本質と創出を理解すること、そして (4) 科学的実践や対話に生産的に参加することである。

『学校に科学を』は、これらすべての学習ゴールを強調することで「内容としての科学とプロセスとしての科学という指導の単純な二項対立を乗り越える」¹¹⁾ことを志向している。つまり、科学的な内容は科学的実践の文脈でこそ最もよく理解されることを前提に、科学的実践に参加する機会を子どもに提供することで、主題を深く学習し、それを有意味な文脈で使用するような内容と活動が接合した学習が企図されている。

この実践として科学を取り入れる発想は、人類学や民族誌学、社会心理学や状況的認知を研究している認知・発達心理学などの中から生まれてきた¹²⁾。例えば、ラトゥールやピッカリングなどの実験室研究や科学的実践論などの知見や文化的実践や実践共同体という概念を提起してきたレイヴ (J. Lave) や ■ゴフ (B. Rogoff) などの研究も反映されている。

ここで用いられている科学的実践への参加は、従来の探究を通して科学を教えるということをより精緻化するものとして位置づけられる。それは「長年教えられてきた古典的な科学の方法は、科学者の営みの一般的な類似品を提供するのみである」¹³⁾という記述からも窺える。そこでは、科学の営みの内実を明らかにし、そこへと科学教育を近づけることを重視している。

この科学の実践の内実を明らかに方策するとして、同書では、先の人類学や社会心理学の立場以外に、2 つの立場を挙げている。1 つは、ブルーナー (J.S. Bruner) やクラール (D. Klahr) など概念形成や問題解決の過程を追求する認知心理学を中心とした立場である。もう 1 つは、クーンや発達心理学者のキャリー (S. Carey) など理論変化の過程として科学を捉える立場で

ある。同書では、先の人類学の立場も含めてこれら 3 つの立場からの研究をレビューしている。

このように複数の立場から科学を捉えることは、より正確に科学の営みを把握することに繋がる。例えば、思考過程の言語化を通じた実験室での問題解決過程の解明に見られる純粋な認知的アプローチは、被験者の思考過程の内実を明らかにする。一方で、そのようなアプローチでは、心理学の実験室という中で行われ、社会的要因などを考慮に入れないことで、個々の科学者や科学者集団が、定期的にコミュニケーションし、彼らの知識やスキルや資源、動機や態度を形成する科学の内と外にある広い社会的な環境の一部にあるという物質性や行為遂行性を見過ごす可能性がある¹⁴⁾。

『学校に科学を』では、これらの研究に立脚して科学的実践を描くことが提案されたものの、その内実には十分に描かれていない。それに対し、一連の研究成果に学びながら科学教育における科学的実践の具体を詳らかにしてきた人物が、先のオズボーンであった。

オズボーンは、主として科学哲学・認知心理学の知見に学びながら ■ 1 の科学的実践のモデルを構築した。このモデルは、全米研究評議会が近年の科学教育研究

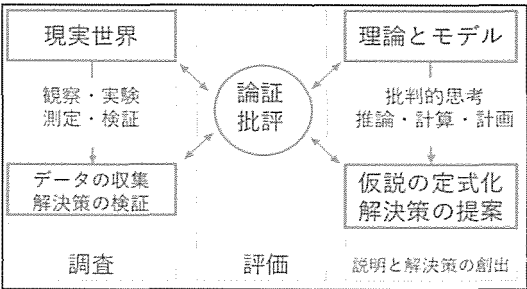


図 1. オズボーンによる科学的実践のモデル¹⁵⁾

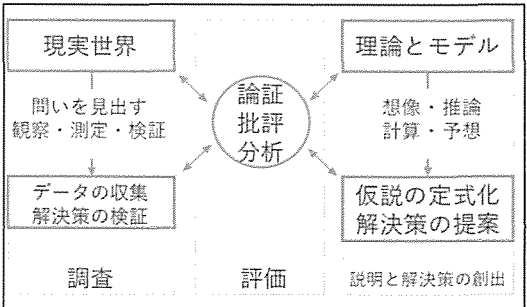


図 2. Frameworkにおける科学的実践のモデル¹⁶⁾

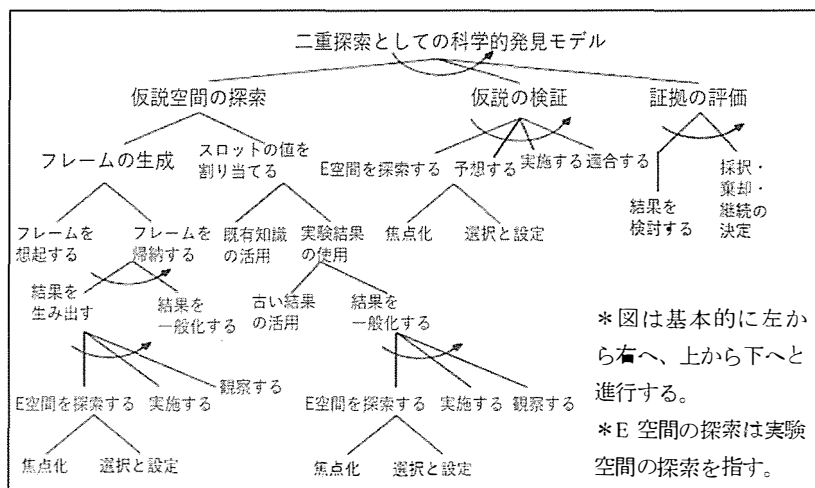


図 3. 二重探索としての科学的発見モデル¹⁷

を踏まえて NGSS の理論的基盤として作成した報告書『幼稚園から第 12 学年の科学教育のための枠組み (A Framework for K-12 Science Education : Framework)』(2011 年)の科学的実践のモデル(図 2)と類似していることから窺えるように、米国の科学教育における科学的実践の考え方に影響を与えている。

Framework では、NSES と異なり、科学的実践の中身が学年共通の形で定義されている。加えて、科学的実践同士の関連性や全体像を明確化が行われている(図 2)。Framework では、このように複数の要素を同じレベルで強調することや各々の過程で論証や批評の過程を踏むことで、直線的で唯一の(固定的な)科学的な手続きがあるという間違った見方を避けることを企図していると説明されている¹⁸。

加えて Framework では、科学的実践は目的を達成するために知識やスキルを使いこなすことを求めると記されている。しかし、図 1・図 2 では、知識がどのような役割を果たすのかということは、明示的には読み取れない。また、背景とする科学観についても言及されていない。そこで、次にオズボーンのモデルの基盤にある理論に着目し、これらについて考えてみよう。

3. オズボーンの科学的実践論の成立と展開

図 1 のモデルは、「実証的心理学と科学者の行動の規範的哲学の研究」¹⁹を参照し作成された。具体的には、の「二重探索としての科学的発見モデル(model of

scientific discovery as dual search : SDDS)」ならびにギャリー(R.N. Giere)の科学的推論の枠組みである。

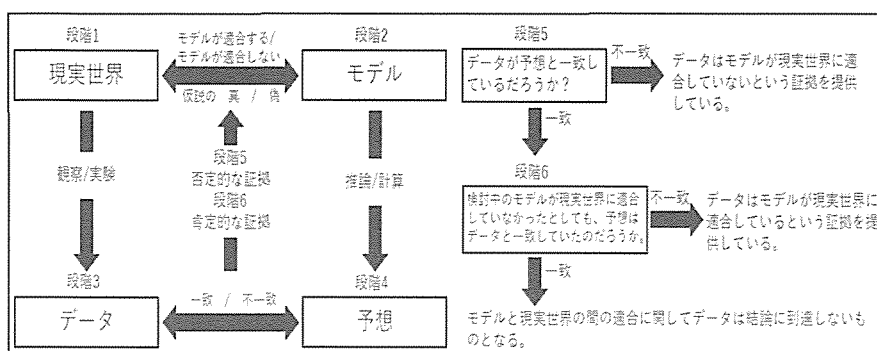
(1) 認知心理学における問題解決研究の展開

認知心理学者であるクラークは、科学的発見の過程における人間の思考過程に焦点を合わせて研究してきた。具体的には、発見の過程において領域固有の、または汎用的な知識や方法が作用する方法に焦点を合わせて実験室での問題解決過程

に関する実証研究をしてきた。一連の研究の成果として作成された科学的発見のモデルが SDDS(図 3)である。ここには、2 つの理論的な系譜が統合されている²⁰。一つが、人工知能を研究してきたサイモン(H. Simon)が探索の過程として科学的な推論を捉えた系譜である。サイモンは、問題空間(problem space)の中で初期状態とゴールをつなぐ道筋を探索していく過程として問題解決を捉える。その上で、彼は科学的推論を問題解決過程と類似の構造をもつものとし、最初の段階と目標状態を定めてその間を埋める過程とする。彼は、内的な思考過程としての「ルール空間」と、外界に物理的な実験を行う「事例空間」との相互作用として問題解決を捉えている²¹。

もう一つが、ブルナーに代表される概念形成として科学的推論を捉える系譜である。そこでは、『思考の研究(A Study of Thinking)』(1956 年)にあるように被験者が問題状況から仮説を設定し、それを検証する方法を考え、検証の結果から新しい仮説を生成する中で科学的推論の過程について研究がなされる。

クラークの SDDS モデルは、ブルナーの推論過程と同じく仮説の設定、検証、評価という形で進行する。まず仮説の設定では、認知心理学者のミンスキー(M. Minsky)のフレーム理論を援用して仮説の心的表象を描く。そこでは領域固有の知識を用いて似た状況を想起したり、フレームを導く実験を計画・実施・観察して(E 空間(実験空間)の探索)、結果を一般化したり



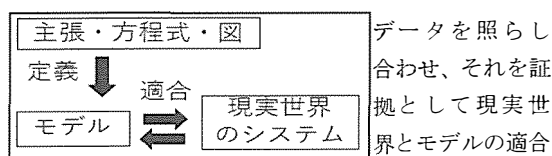


図 5. ギャリーのモデルの捉え方²⁴ の有無を吟味する (⑤⑥)。

この枠組みは、①から④の段階と残りの段階 (⑤⑥) で区別される。①から④の段階は事例の理解の基盤となり、残りはモデルの評価を構成するものとなる。この①から④の段階は直線的ではなく、評価の前にすべてが特定されれば、どこから始めても問題がない²⁵。

枠組みの後半にモデルの評価が位置付けられていることが示すように、この枠組みではモデルが中心的な役割を担う。ギャリーは、「重要な関係性はモデルと世界の間の適合の度合い」²⁶と述べ、現実世界の特定の側面についてモデルが一致することを重視する。つまり、そのような一致は、観察不可能な対象について、特定の点で予測や操作に成功したモデルを研究者は確かに有しているということを示すものであると考えられる。そこには、意味論的な捉え方から実在を捉える構成的実在論の立場に立つ彼の科学観が表れている。

加えて、モデルの評価の段階では、クラーと同様の分岐が見られる。つまりモデルの重要な要素がデータと一致しなければ、モデルは棄却され、モデルの生成へと戻る必要がある。またモデルがデータと一致しても、データについて同じ予想を与える全く異なったもっともらしいモデルの存在の有無が検討され、採択と保留が決定される。つまりギャリーの枠組みは、モデルの構成・検証・評価という3要素から成る点で、クラーのSDDSと類似の構造を有していた。

(3) オズボーンの科学的実践のモデルの構成

オズボーンは、これらの研究に立脚して図1の科学的実践のモデルを提起する。実践の過程は、主題や状況に応じて異なり、定式化されうるものではないが、一例を挙げれば、現実世界から問いを見出し、それに対応した理論やモデルを作り、仮説を定式化し、実験し、データを収集し、論証する過程が考えられる。

彼は科学教育でこの科学的実践への参加を促すことで、次の3種類の知識の習得を導くと述べる。すなわち、①科学の内容に関する知識、②手続きの知識、

そして③認識に関する知識の3種類である。

オズボーンは、ライル (G. Ryle) が提起した内容的な知識と手続きの知識は、知識とプロセスを分離するプロセス・スキルの発想に対案を提出するものと評価する一方で、その二分立に疑問を投げかける²⁷。つまり、科学的推論に含まれるすべての知識が①か②へ分けられると、なぜその手続きが必要なのか、なぜ生成された知識が信頼性のある知識 (reliable knowledge) となるのかという知識に目が向けられないと批判する。

オズボーンは、この認識に関する知識の習得を重要視する。それは1990年に物理教育の問題点として「学校で教えらるる物理は、物理学者の信念や実践を理解しがたく……子どもたちに納得のいく認識論を提示し損なっている」と彼が述べていることから窺える²⁸。

ではなぜ認識に関する知識を重視するのか。彼は、「構成主義を超えて (beyond constructivism)」(1996年)と題した論文で、過度に構成主義の立場を重視することによって、科学的実践が相対主義的で観念論的なものとして与えられることに警鐘を鳴らしている²⁹。例えば、急進的 (radical) 構成主義の立場では、客観的な世界を想定せず、ある理論が経験に適合し、実行可能性 (viability) をもつことが妥当な理論とされる。しかしそれは、地動説と天動説といった競合する理論の優劣を判断するための科学者の判断基準を反映したものではない。また社会的構成主義の立場では、「科学の知識社会学」のように理論の判断基準が社会的要■や説得力などに解消される可能性がある。

しかし、対象実在論に立つハッキング (I. Hacking) などに依拠しながらオズボーンが記すように、科学的な理論は自然に介入した証拠によって確証され、それにより理論について正確な概形や記述が徐々に生み出される。科学者共同体では、この証拠について論証や議論が生じるのであり、知的な主張は、現実在即して確認される。故に、科学が相対主義的で観念論的なものとならず信頼性のある知識を生み出すことができる。それは、科学の実在論を擁護することにもつながる。

オズボーンは、この認識に関する知識の内実とそれを指導する方法の研究を行った。まず、前者の研究を通して科学に関する知識として表2の項目が提起された。加えて、これらの知識が内容に関する知識と手続きの知識と関連していることや、NSESの「科学の本

表 2. オズボーンによる科学についての知識³⁰

関連知識	科学についての知識
内容的知識	科学と必然性
	科学的知識の歴史的発達
手続的知識	データの分析と解釈
	科学的な方法と批判的な検証
	仮説と予想
	創造性 / 科学と問いを見出すこと
	科学的な知識の創出における協同と協働
	科学と技術
	科学的思考の多様性

質 (nature of science)」と類似していることを見出した。

同時にオズボーンは、探究に基づくアプローチが、これらの知識を扱う可能性をもっているものの、教師が明示的な方法論に焦点を合わせることで、科学の本質が周辺に置かれ、科学についての正確な像を与え損なっていることを批判する³¹。そこで、彼は指導方法として科学的実践への参加を提起する。

しかしその目的は、個々の科学的実践の能力を構築することではない。そのような目的は、実践をスキルへと矮小化するものであるとする³²。むしろ目的は科学的実践がどのように知る方法に貢献し、信頼できる知識を構築するのかという認識に関する知識の理解を育むことにありと彼は述べる³³。つまり、科学的実践への参加を通して科学に文化化されることを志向する。

もちろんこれは、認識に関する知識以外を軽視するものではない。例えば、問いを見出すことは、科学に固有のものではないが、領域固有の知識や方法を用いて科学的でない問いと科学的な問いを区別し、科学的な問いを見出すがゆえに科学に特有のものとなる。加えて、クラーのモデルにあるように仮説の生成など、実践へ参加することには、必然的に領域固有の知識を伴う。また論証の能力と流暢さのレベルは、領域固有の知識に依存すると述べる。「実践の知見は……学問と領域固有の活動を強調する」³⁴と述べるオズボーンは、内容や手続きに関する知識の重要性をも認識し、それに立脚して科学的実践を構想している。

オズボーンが科学的実践の中心に位置づけたものが、図 1 の中核にある論証 (argument) である。彼は、論証は科学について学習する機会を提供するものであり³⁵、適切な教授方略と活動を用いた論証の教授は認識論的なゴールへの到達を促進すると述べる。

とりわけ、オズボーンは論証を通じた知識の生成と

省察の過程が認識に関する知識の理解において果たす役割を強調する。彼は、科学的推論が「最善の説明への推論」によるものであることを前提とし、科学的な知識が構成と批評の弁証法によって生成されるとみなす。そこでは、信頼性のある知識は単一の信念を基礎に形成されるものではなく、競合している理論と自らの理論の証拠の強さを共同体において比較することで形成される。ここでは、証拠に立脚して弁証法的に知識を生成することで、正しい理論がなぜ正しいのかということだけでなく、誤った考えがなぜ誤ったものであるのかということを学ぶ。これにより、結論としての科学を啓蒙的に教え、学ぶことを防ぐものとなる。

他方で、省察の場面では、自分の使用しているモデルは何か、どの証拠を用いるのか、どのような標準が最も良い説明を決定するために使用されるのかという点について明示的な省察を行う。その際には、データの誤差について知識 (手続的知識) などを用いる。これらにより、どのように科学が作用するのかという認識に関する知識を身につけることを企図している。

このようにオズボーンにとって実践への参加は、単純な実験と観察という実験室の仕事ではなく、科学のすべての側面に横断的に広がる科学者の営みへの参加を意味する。そこには、子どもが装置や対象や級友に働きかけ、弁証法的な過程を経て理論形成や方法の吟味を行う中で、科学の認識に関する明示的・暗黙的な知識を身につける複雑な過程への参加が含まれていた。

4. おわりに

本稿では、米国の科学教育における科学的実践論の内実についてオズボーンの所論に焦点を合わせて検討を行った。彼の科学的実践論は、クーン以後の科学論の展開や認知心理学・学習科学の研究を背景に成立している。彼のモデルでは、實在論を強調する立場と行き過ぎた社会的構成主義や相対主義の立場の両者を補完的に統合することを企図しつつ、あくまで科学的實在論を擁護する立場に立つものであった。

オズボーンの科学的実践論は、クラーやギャリーの枠組みを参照し、個々の実践の関係を明示したモデルを提示していた。それは、仮説の生成・検証・評価の三つの様相から成り、対象や状況の抵抗に応じて判断したり、証拠を評価することで新たな仮説を生成した

り、検証方法を見直したりするものであり、定式化されたものではなかった。その実践の背後には、クラーのモデルのように内容に関する知識や手続き的知識が位置付けられ、実践に参加することで、これらの知識や認識に関する知識を獲得することが目指されていた。

もちろん、NSES でも科学の本質という形で認識に関する知識が位置づけられていた。しかし、オズボーンの科学的実践論は、その内実を精査し、内容に関する知識や手続き的知識と結びつけ、その獲得を中心に据えた形で科学的実践を構築することで、NSES ではちぐはぐな状態であった社会的構成主義者と实在論者を巡る対立を止揚する全体的なモデルを構築した点で大きな意義をもっていたと言えるだろう。

オズボーンの科学的実践は、個々の実践を定式化したものではなく、それらと知識を結びつけた全体的で臨機応変な営みである。しかし、スタンダード開発や実践でこれが意識されず、論証や説明の構成など個別の実践が教授され、知識との結びつきが顧みられなければ、実践論がプロセス・アプローチへと矮小化される危険性があることも指摘しておく必要があるだろう。

本研究は JSPS 科研費 15J08845 の助成を受けた成果の一部である。

注

¹ NRC., *National Science Education Standards*, 1995, National Academy Press; Washington, D.C., p.113-114.

² NRC., *Inquiry and the National Science Education Standards*, 2000, National Academy Press; Washington, D.C., p.134.

³ NRC., *op. cit.*, 1995, p.105.

⁴ G. Holton, "Science Education and the Sense of Self", P. G. Gross et. al.(Eds.) *The Flight from Science and Reason*, New York Academy of Science, 1997, pp.551-560を参照。ここでポストモダンとは、科学を個々人によって構成された表象であるとする立場であると記されている。

⁵ NRC., *op. cit.*, 1995, p.201.

⁶ Yoshisuke K. et. al., "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.

⁷ 白鰐哲久『児童の科学的概念の構造と構成』2017年、福村出版、pp.87-88などを参照。

⁸ 平川秀幸「実験室の人類学」金森修(編著)『科学論の現在』2002年、勁草書房、p.53を参照。

⁹ NRC., *Taking Science to School*, The National Academy Press; Washington, D.C., 2007, p.253.

¹⁰ *Ibid.*, p.37.

¹¹ *Ibid.*, p.38.

¹² *Ibid.*, p.29を参照。

¹³ *Ibid.*, p.27.

¹⁴ *Ibid.*, p.29を参照。

¹⁵ J.F. Osborne, "Science teaching methods", *School Science Review*, vol.93, 2011, p.95を筆者が訳出。

¹⁶ NRC., *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academy Press; Washington, D.C., 2011 p.45を筆者が訳出。

¹⁷ D. Klahr, *Exploring Science*, 2000, A Bradford Book, p.37の■を筆者が訳出。

¹⁸ NRC., *op. cit.*, 2011, pp.43-44を参照。

¹⁹ J.F. Osborne, "Teaching Scientific Practices", *Journal of Science Teacher Education*, vol.25, 2014a, p.180.

²⁰ D. Klahr, *op. cit.*, 2000, p.28を参照。

²¹ H.A. Simon & G. Lea, "Problem solving and rule induction", L. Gregg(ed.), *Knowledge and Cognition*, Lawrence Erlbaum Association, 1974, pp.105-128を参照。

²² R.N. Giere, *Understanding Scientific Reasoning* (3rd ed), Holt, Rinehart & Winston. Fort Worth, 1991, p.39を訳出。

²³ *Ibid.*を参照。

²⁴ R.N. Giere, "A New Framework for Teaching Scientific Reasoning", *Argumentation*, 2001, vol.15, p.24.

²⁵ R.N. Giere, *op. cit.*, 1991, p.38を参照。

²⁶ R.N. Giere, *op. cit.*, 2001, p.24.

²⁷ J.F. Osborne, "Scientific Practices and Inquiry in the Science Classroom" N. Lederman(Ed.), *Handbook of Research on Science Education*, 2014b, Lawrence Erlbaum; Mahwah, NJ., p.593を参照。

²⁸ J.F. Osborne, "Sacred cows in physics", *Physics Education*, 1990, vol.25(4), p.193.

²⁹ J.F. Osborne, "Beyond Constructivism", *Science Education*, 1996, vol.80(1)を参照。

³⁰ J.F. Osborne et. al., "What 'Ideas-about-Science' Should Be Taught in School Science?", *Journal of Research in Science Education*, 2003, vol.40, p.713をもとに筆者が作成。

³¹ *Ibid.*, p.716を参照。

³² J.F. Osborne, *op. cit.*, 2014b, p.592を参照。

³³ *Ibid.*を参照。

³⁴ J. Osborne, *op. cit.*, 2011, p.102.

³⁵ J. Osborne, "Science Education for the Twenty First Century", *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2007, vol.3(3), p.178.

(日本学術振興会特別研究員・博士後期課程)