

アメリカ合衆国における科学教育カリキュラムに関する研究

— 科学的探究から科学的実践への展開に着目して —

【論文要旨】

本研究は、アメリカ合衆国（以下、アメリカと略称）における 1950 年代のカリキュラム改革運動以後の科学教育の展開について、科学的探究を中核に据えて考案されてきたカリキュラムおよび指導方法に焦点を合わせて考察するものである。アメリカでは、カリキュラム改革運動を一つの契機として、今日に至るまで科学的探究を重視した科学教育が中心的な研究テーマとして掲げられている。特に、同時期にアメリカ科学振興協会が提唱したプロセス・アプローチの考え方は、現在まで引き継がれ、学校現場に影響力をもっている。

プロセス・アプローチでは、科学的探究について、観察や分類の仕方など、探究を構成する個々のスキルに分解し、それらを軸にカリキュラムを編成し、系統的に教授することで、後に科学的知識を独力で獲得できる力を育むことを目指した。また帰納主義の立場に立ち、観察を通してデータを収集し、帰納的に推論するという定式化された科学的探究の段階を踏む形で指導がなされた。

しかし、このように科学的知識の獲得と探究の手続きの習得を切り離すプロセス・アプローチを巡っては、次の点が論争点として挙げられてきた。まず、①科学的探究は、プロセス・アプローチのように段階化され、定式化されうるものであるのか、次に②科学的知識と科学的探究の手続きの習得は切り離すことができるものであるのか、最後に③科学的知識と科学的探究の手続きの系統はどちらか一方で良いのか、両者の系統を踏まえて、どのようにカリキュラムを編成したらよいのか、ということが問われてきた。

本研究では、アメリカの科学的探究を中核とした科学教育の展開過程を辿る中で、このプロセス・アプローチへの対抗軸を模索する。具体的には、プロセス・アプローチと同時期にシュワブ（Schwab, J.J.）が提起した「探究としての科学の教授」の理論の成立から、科学的探究に代わって科学的実践の理論が台頭する 2010 年代まで、プロセス・アプローチとは異なる形で科学的探究にアプローチをしてきた理論や実践に着目し、その史的変遷を追うことによって、その到達点と課題について論究する。

アメリカの科学的探究の指導とカリキュラムに関する日本の先行研究では、

カリキュラム改革運動の取り組みやスタンダード運動の動向に即して言及されることが多い。しかし、近年の動向については、科学的探究を強調する流れから科学的実践を重視する流れへという方向性が示されるのみで、その変化の根底にある科学教育における探究的な学習のパラダイムの転換を十分に明らかにするものではない。したがって、一連の研究はプロセス・アプローチに見られるスキル学習と科学的実践を強調した指導の間の差異が明示されず、それゆえ画一化され、固定化された科学的探究の手続きと段階があるという、いわば従来のスキル論の延長線上に先の科学的実践等の考え方が位置づけられてきた。

他方で、アメリカにおける先行研究では、高等学校における実験室の活動を科学的探究を中核とした学習の1つの起源とし、カリキュラム改革運動の時期、そしてスタンダード運動の時期を科学的探究が強調された時期として挙げながら、科学教育における科学的探究の取り扱いについて歴史的に概観している。特に、クロフォード (Crawford, B.A.) は、次の探究的な学習のあり方について歴史的な検討を加えている。まず(1) シュワブの科学的探究の教授や(2) 5E 指導モデルを提起したバイビー (Bybee, R.W.) の理論、(3) 全米科学教育スタンダード等における科学的探究の考え方や(4) 次世代科学教育スタンダードにおける科学的実践の枠組み、そして(5) スタンダードで示された科学的実践を具現化したクレイチェック (Krajcik, J.S.) のプロジェクトに基づく科学教育までを幅広く取り上げている。

しかし、これまでの研究は、原理的考察や実態把握において不十分さを残していた。具体的には、科学的探究の指導に用いられる手順や要素の紹介に留まり、上記の(1) から(5) の理論の背後にある科学に関する認識、そこで生み出された実践や指導方法の具体的様相や、それらを包括したカリキュラムの実際を示すものではなかった。

本研究では、探究的な学習を検討するにあたり、次の2点を研究の分析視角として設定している。まず、カリキュラム論と授業論とは相互に規定し合うという関係にあるという前提に立ち、カリキュラム論とセットで探究的な学習を捉え、教育の全体計画における探究的な学習の位置づけも意識しつつ、分析を行う。更に、科学的探究がどのような営みとして捉えられ、語られてきたのか、また各々の探究的な学習の背後にはどのような学習論が想定されているのかが

カリキュラム編成や指導に影響を与えるという前提にたち、これらについても検討を加える。

第1章では、アメリカにおける科学的探究を中核に据えた科学教育の成立過程について歴史的に検討した。アメリカでは、帰納的推論など思考法の獲得を企図して実験室における実験が取り入れられてきた。デューイ (Dewey, J.) は、この思考法の体得という理念は継承しつつ、生活との連続性を意識した探究論を提起してきた。このデューイの考え方に学び、科学教育において独自の科学的探究の指導理論を構築してきたのがシュワブであった。

シュワブの探究論は、科学に固有の探究の在り方や指導の方法を模索してきた点にデューイとの違いがあった。加えて、科学の営みを思考の方法という論理的な側面からだけでなく、科学者が実際に行っている実践の側面から捉え、その分析に基づいて自身の探究論を提起してきた。シュワブは、科学者共同体が共有している学問固有の枠組み（名辞的構造）に基づいて探究が進行するものと捉え、科学者共同体が共有している方法やデータの決定や解釈を司る探究の原理の存在に迫ることで、解釈学的に科学者の実践にアプローチしていた。

第2章では、シュワブとほぼ同時期に、解釈主義の科学観に立ちながら科学的探究の理論を構築してきたカープラス (Karplus, R.) の理論と実践について、SCIS (Science Curriculum Improvement Study) の取り組みに着目して検討した。カープラスは、子どもたちが現象を知覚するために必要な概念として、①対象を捉える概念、②説明的概念、③解釈的概念という3つの概念を挙げ、ピアジェの理論に則り、発達段階に合わせてカリキュラムへと翻案し、これらの習得を通して探究力を育む科学教育カリキュラムを構築してきた。

この抽象的な概念を児童が身につけられるように、カープラスが提唱したものが学習サイクルと呼ばれる教授やカリキュラム開発のモデルであった。このモデルでは、児童が実験から発見できるものと、教師が教える必要のあるものを腑分けし、教師が直接教授する局面と児童が自律的に探究する場面を設定する。これにより、必要に応じて教師に手引きされながら徐々に自律的に探究していくことのできる力を児童に育むことを企図していた。

第3章では、このカープラスの取り組みを継承・発展させたカリキュラムと教授モデルを構築してきたバイビーの取り組みを検討した。バイビーは、工学

や健康などの領域まで適用可能な概念を精選してカリキュラムを再構成するとともに、児童の動機づけや評価を学習サイクルに位置づけた 5E 指導モデルと呼ばれる教授モデルを構築してきた。

更に、カリキュラムでは、科学の本質に関する内容が科学領域において単元縦断的に貫かれて設定されている。具体的には、「知る方法としての科学」という統合的なテーマが掲げられ、知識の暫時性や、科学の共同体性といった内容が扱われている。

この科学の共同体性などは先の 5E 指導モデルにも反映されている。同モデルでは、協同学習の理論を内包することで、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、両者の意見を包括するといった、科学者や市民が合意形成に至るようなプロセスを 5E 指導モデルに具現化していた。これにより、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ていけるカリキュラムと教授モデルを提案していた。

第 4 章では、プロジェクトにもとづく科学を推進してきたクレイチェックの 1990 年代の理論と実践を検討した。氏は子どもたちが科学的な現象を説明できるような科学的概念の深く統合された理解を獲得できるよう、状況的認知の考え方を取り入れて、子どもたちの生活に根ざした問い（駆動問題）を解決するプロジェクトを軸として単元を構築してきた。

駆動問題の解決に向けた指導過程のモデルとして、クレイチェックが提起したものが調査ウェブであった。調査ウェブでは、プロセス・アプローチとは異なり、科学的な調査に用いられる手続き同士が乱雑に絡み合う形で探究のプロセスが描かれている。ここには、科学とは各局面でフィードバックを得ながら非線形的に進行するものであるという考え方が反映されていた。

プロジェクトでは、この乱雑なプロセスを通して問題を解決する中で、子どもたちが科学者の習慣的な営みを追体験する。それにより、科学の内容についての知識だけでなく、手続きや科学の営みに関する知識（認識的知識）をも身につけさせることを企図していた。特に、子どもたちが科学者の世界の文化や規範を体得していく中で、どうやって科学的知識が生成されるのかという、いわば科学の本質に類似した知識を子どもたちが身につけ、科学的に調査を自律的にすることができるようになることを意図していた。

第5章では、全米科学教育スタンダードから、その改訂版である次世代科学教育スタンダードまでの科学的探究論の展開を中心に検討した。両スタンダードでは、探究的な学習を取り入れることが中心的なテーマとして掲げられている。しかし、前者が科学的探究を推進する一方で、後者はそれに代わるものとして科学的実践を提起するなど、両者の掲げる探究的な学習の内実には差異がある。そこで、その差異を詳らかにするために、改訂版スタンダードの科学的実践の考え方を提案したオズボーン(Osborne, J.)の理論に主に着目した。

オズボーンの科学的実践は、クレイチェックと同様に、科学者共同体が共有している慣習化された行動を取り入れることで認識に関する知識を子どもたちが習得することを意図していた。しかし、クレイチェックとは異なる点として、現実世界での操作と仮説の形成といった観念的な世界を媒介するものとして論証を中核に位置づけている。このように科学者共同体での論証を通じた知識の構成という社会的側面に光を当てることで、実際の科学では理論が競合し、理論空間と実験空間を往還しながらお互いの論理を正当化し合う中で科学が進んでいくという、進行中の科学のもつ力動性を科学教育に取り入れることを企図していた。

第6章では、次世代科学教育スタンダードの理念にもとづく実践を明らかにするために、クレイチェックが実施したIQWSTに焦点を合わせて検討した。IQWSTは第4章のプロジェクトに基づく科学教育をカリキュラムのレベルに高めたものである。同プロジェクトは、ラーニング・プログレッションズ(LPs)や学習パフォーマンスといった概念発達や目標設定に関する研究知見を取り入れている。

IQWSTのカリキュラムは、プロセス・アプローチとは異なり、科学的実践に参加することを科学的概念の習得することとは異なる学習の1つの次元として位置づけてきた。それを通して、科学的概念の理解か、探究的な技能の獲得かという二項対立に陥ることがなく、両者を結合した形で目標を記述し、子どもたちが科学的実践を通して内容を学ぶことを企図してきた。また、これによりカリキュラム上の全ての単元において探究的な学びを実現してきた。

他方で、IQWSTでは一貫性のあるカリキュラムの設計を意図してきた。ここでは、単元内・単元間を通じて徐々に子どもたちの認知的なパフォーマンス

を洗練していくとともに、概念や実践についての理解が個別科学の枠を超えて統合されていくように目標を組織してきた。これを通して、科学という学問が単に個別科学の集まりというのではなく、それらが文脈に応じて交わりながら現実世界の現象が解釈されるという、いわば一枚絵としての科学という科学観を子どもたちが獲得できるようになることを企図していた。

これらの点を踏まえ、本研究の成果について、次の3点を指摘することができる。1点目として、アメリカでは、科学者の文化的実践の内実を子どもたちが把握できるように指導を組み立ててきた。そこでは、プロセス・アプローチに見られた直線的で定式化された探究の指導から、科学的実践論等の研究知見に学び、進行中の科学に生じる適応と抵抗のプロセスを取り入れ、批評の機会を通して、自身の探究を省察し、適切な局面へと戻って手続きを洗練するといった、現実世界での手続きと観念上での手続きの間で往還のある形で指導を再構成してきた。これにより、従来の儀式化され、スキルの獲得に終止していた科学的探究の指導を乗り越え、科学者の思考法を支える認識的知識や科学の本質といった教育内容の習得をも掲げてきた点に革新性があった。

2点目として、アメリカでは新科学哲学以降の科学論や学習科学などの成果を基盤に、科学的探究の指導に向けて、パフォーマンス型で目標を叙述してきた。特に、プロセス・アプローチに見られたように行動を細分化して目標化するのではなく、また内容か手続きかという二項対立に陥ることもなく、領域固有の科学的概念や領域横断的概念と科学的探究の手続きを同レベルで組み合わせる形で目標を記述する形が提案されてきた。これにより、科学的探究で知識が果たす役割が目標や指導のレベルで意識されてきた。

最後に3点目として、アメリカでは、LPs等をカリキュラム設計の資料とし、教育内容を知的発達に適切な形へと翻案して様々な文脈で活用する機会を提供することで、知識や実践についての深い理解をもたらすカリキュラムを構想してきた。具体的には、生活上の問題の解決に向けて、様々な領域の知識が適切な発達段階で交差する形で単元が展開できるようにカリキュラム全体が構成されてきた。そこでは、従来の1時間単位のレッスンベースの単元から、生活の問題を科学的に捉え、様々な領域の知識を組み合わせ、問題を解決し、生活に戻す中で、子どもたちの生活経験と科学的知識を結合していく長期にわたるプロジェクト型の単元へと移行してきた。加えて、科学的知識や実践の理解が質的に深化していくように螺旋形に教育内容を組織し、領域を問わず、様々な文脈で活用していくことで、それらがもつ意味を子どもたちが把握していけるようにカリキュラムを編成してきた点にはプロセス・スキルもしくは学問固有の領域に閉じたカリキュラムとは異なる考えを提案するものであった。