

# NOS の構成要素に関する議論の展開

## — コンセンサス・ビューと Family Resemblance Approach に着目して —

小林 優子

### 1 はじめに

近年、日本の理科教育・科学教育において、科学の認識論的な理解の重要性が注目され始めている。この科学の認識論的な理解は Nature of Science (以下、NOS とする) と呼ばれており、「科学の本質」や「科学の性質」と訳される。アメリカやイギリスを中心とした欧米諸国においては、NOS を科学教育カリキュラムに取り入れることが目指され、盛んに研究や実践が行われてきた (Lederman, 2007)。そのような中で、NOS のどの側面を教えるべきかについて、多くの提案がなされてきた (McComas, 2020a)。こうした議論において、NOS の構成要素はどのように定義されてきたのだろうか。

Irzik and Nola (2014) は、NOS を定義するアプローチとして、'Nature' の意味に着目して 3 つの考えを示している。第一に、科学を科学たらしめる特徴として NOS を定義するアプローチである。つまり、その特徴がない限り科学では在り得ないというような性質を NOS として掲げる方法である。第二に、NOS を科学であるための必要十分条件として定義するというアプローチである。科学のすべての分野に共通し、かつ、科学のみが持つ特徴を NOS とする考え方である。このようにして科学を定義しようとするアプローチは、Popper の反証可能性など、科学哲学においても試みられてきた歴史がある。第三のアプローチは、科学たらしめる特徴や科学の必要十分条件を示そうとするのではなく、科学に共通するいくつかの特徴を列挙する方法である。

実際に NOS が定義されている方法を見ると、第三のアプローチが主流であり、これによって示される NOS は、「コンセンサス・ビュー」と呼ばれている (例えば、McComas et al., 1998; Lederman et al., 2002; Abd-El-Khalick, 2012)。コンセンサス・ビューとは、NOS の要素について論者によって異なる見解が示されている中、一定の合意が得られている要素として示された NOS のことを指す。しかし、コンセンサス・ビューを批判する声も上がっており、そうした批判からは異なるアプローチが提案されている。こうしたアプローチの具体例としては、「Whole Science」(Allchin, 2011)、「Features of Science (FOS)」(Matthews, 2012)、「Family Resemblance Approach (FRA)」(Irzik and Nola, 2011; 2014; Erduran and Dagher, 2014a; Erduran, Dagher, & McDonald, 2019)、「メタ・カテゴリー」(Maltrana and Duarte, 2022) などを挙げることができる。

McComas (2020a) は、NOS の要素のうち何を学習目標とすべきかについての議論が続いているため NOS を科学の授業に取り入れることが遅れていると指摘している。つまり、NOS の指導法について検討するためには、NOS の構成要素に関する議論の展開を整理した上で、NOS の構成要素を定めることが必要である。そこで本稿では、NOS の要素についてこれまで諸外国で行われてきた議論を整理し、コンセンサス・ビューとそれに対する批判、コンセンサス・ビューの代替案として示された NOS についてその特徴を明らかにする。そのために本研究では、以下の課題を設定する。第一に、コンセンサス・

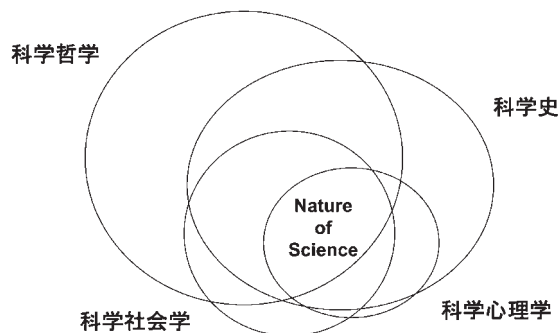
ビューについて、その構成要素とそれが導出された方法を明らかにする。第二に、コンセンサス・ビューへの批判を参照することで、コンセンサス・ビューが持つ課題を明らかにする。第三に、コンセンサス・ビューに代わってNOSの内容を捉える視点として、近年注目されているFamily Resemblance Approach（以下FRAとする）に着目し、その特徴を明らかにする。その上で、NOSの構成要素をめぐる議論について考察する。これらを整理することは、日本の学校教育においてNOSの指導を充実させていくにあたり、NOSのどの要素の理解を求めらるかを議論する上での基礎的な視点になりうる。

## 2 コンセンサス・ビューにおける NOS の内容

コンセンサス・ビューとは、学校教育で扱うべきNOSの要素について、複数ある科学の分野に共通する要素を取り上げ、一定の合意が得られた要素の集合として示されたものの総称である。コンセンサス・ビューの提案には複数の研究者が取り組んでおり、研究者ごとに方法論には違いがあるものの、概ね共通したNOSの要素が挙げられている点に特徴がある。本項では、コンセンサス・ビューとして示されているNOSがどのような整理のもとに提案されてきたのかについて、その目的や導出方法に着目しながら整理する。

### 2-1 科学教育スタンダードに共通する NOS

NOSに関する主要な論者の一人であるMcComasは、各国の科学教育スタンダードに重複するNOSをもとにコンセンサス・ビューを提示している。McComas, Clough and Almazroa (1998)は、アメリカ、オーストラリア、イギリス、ニュージーランド、カナダで用いられている8つの科学教育スタンダードを分析し、30の要素を抽出した。これらの要素は、哲学的側面、社会的側面、心理学的側面、歴史的側面の4つの側面に分類されている。McComas, Clough and Almazroa (1998)は、こうした分析を踏まえて3つの結論を導き出している。第一は、科学教育に反映させるべきNOSには明確なコンセンサスがあることである。各国の科学教育スタンダードには共通するNOSの要素があり、そのことはコンセンサスの存在を意味していると結論づけられている。第二は、科学哲学において盛んに議論されている、科学の規範的・推測的な側面 (prescriptive and/or speculative aspects) は科学教育スタンダードには記載されていないことである。こうした要素は科学哲学においては議論が続いており合意に至っていないものの、科学の営みを理解するために重要であるとは考えられていないと指摘されている。第三は、NOSは科学哲学、科学史、科学社会学、科学心理学の4つの学問領域から示唆を得ているという点である。その関係は、図1のように整理されており、4つの領域が重なった範囲がNOSであると



McComas, Clough and Almazroa (1998) をもとに筆者作成

図1 NOSを特徴づける4つの学問領域とNOSの位置付け

論じられている。

McComas and Olson (1998) は、McComas, Clough and Almazroa (1998) が示した 30 の要素のうち各国の科学教育スタンダードに共通している要素として 14 の要素を抽出した。それは、(1) 科学的な知識は耐久性がある一方で、暫定的な性格を有している、(2) 科学的知識は、観察、実験的証拠、合理的な議論、そして懐疑に大きく依存しているが、完全ではない、(3) 科学を行う方法は一つではない（したがって、普遍的なステップバイステップの科学的方法は存在しない）、(4) 科学は自然現象を説明する試みである、(5) 法則と理論は科学において異なる役割を果たしており、理論は証拠を追加しても法則にはならないことに注意する必要がある、(6) あらゆる文化の人々が科学に貢献する、(7) 新しい知識は明確かつ率直に報告されなければならない、(8) 科学者は、正確な記録を残し、査読を受け、再現性があることを必要とする、(9) 観察は理論に基づいて行われる、(10) 科学者は創造的である、(11) 科学の歴史には、進化と革命の両方の特徴がある、(12) 科学は社会的・文化的伝統の一部である、(13) 科学と技術はお互いに影響しあう、(14) 科学的なアイデアはその社会的・歴史的環境の影響を受ける、の 14 要素である。

また、近年では McComas (2020a) は学校教育に取り入れるべき NOS の側面を 9 つに再整理し、それらを「科学のツール、プロセス、成果」、「科学の人間の要素」、「科学の範囲とその限界」という 3 つの領域に分類している (図 2)。

「科学のツール、プロセス、成果」には、証拠の重要性、法則と理論の区別、科学的方法の性質が含まれている。証拠については、科学において科学研究を行うきっかけとなる証拠と結論を裏付ける証拠の両方が存在することや、証拠は理論を証明するために重要な役割を果たすこと、直接的な証拠だけでなく推論的な証拠にも価値があることなどが説明されている。法則と理論については、法則は自然界の一般化、原理、パターンであり、理論はそれらの一般化を説明するものであること、証拠が蓄積されても一方がもう一方になることはないことが説明されている。科学的方法については、演繹法、帰納法、推論といった論理的なツールから、倫理的な規範まで、個々の科学の分野を超えて共有されている方法が多く存在することが説明されている。加えて、学校教育において科学的方法は、問を立て、先行研究を検討し、仮説を生成し、実験や観察を行うことで仮説を検証し、結論を導き出すという流れが示され

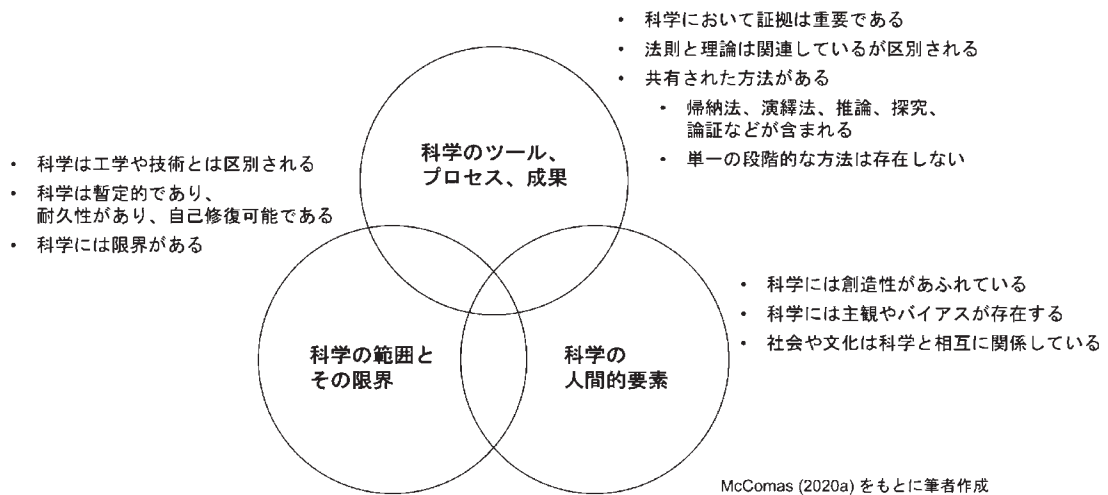


図 2 McComas (2020) による NOS の整理

ることが多いが、そうした単一の段階的な方法は存在しないことも強調されている。

「科学の人間の要素」には、創造性、主観性、社会や文化との関係が含まれる。創造性については、科学において創造性や想像力が法則の発見や理論の発明を可能にすることや、研究上の問いの設定から結果の解釈に至るまで、全てに創造的な要素が含まれていることが説明されている。主観性については、科学者の既有知識や概念が観察に影響を与えることや、バイアスなく事実を収集し解釈することは不可能であることが説明されている。加えて、パラダイムにより、革新的なアイデアが否定される場合もあることが述べられている。社会や文化との関係については、科学は人間による営みの一つであるため、社会や文化の影響を受けることが説明されている。具体的には、外部資金の獲得が例に挙げられている。また、学会の構造や査読システムなど、科学内部における社会性についての説明もこれに含まれている。

「科学の範囲とその限界」では、技術や工学との区別、科学における限界、科学的知識の暫定性と耐久性についての説明が含まれる。技術と工学との区別については、科学、技術、工学は相互に関連しているが、それぞれに独自の哲学的基盤と社会における役割があることが説明されている。例えば、科学の目的は知識の追求であり、工学の目的は利益獲得のための製品の生産であることなどが例示されている。科学における限界については、二つの側面から科学の限界が述べられている。第一は、科学において全ての事象を観察することは不可能であるという限界である。これは「帰納法の問題」とも表現されており、理論や法則を裏付ける証拠がいくら蓄積されても、反例がある可能性を完全には否定できないという意味での限界である。第二は、科学において探究できない分野があるという限界である。例えば、宗教や信仰の領域や、倫理的な意思決定などは、科学の範疇を超えた領域であることが説明されている。科学的知識の暫定性と耐久性とは、科学的方法は人類が自然界を探究し、時代を超えて耐久性のある知識を生み出すための裁量の方法である一方で、導き出された知識は、新たな手法や技術の進展、解釈の変化によって変わることがあるということを意味している。

McComas (2020a) は、これらの要素を NOS に関する学習目標として提示しており、暗記すべきリストとして提示しているわけではないことを強調している。つまり、上記のような NOS の説明をそのまま生徒に理解させることを目指すのではなく、授業においてどの要素のどの部分を扱うか、どのような方法で教えるかについては柔軟に決める必要があるだろう。

## 2-2 科学教育のステークホルダーによる合意

NOS の要素に関する主要な論者である N.G. Lederman と彼を中心とした研究グループは、科学哲学者や科学史学者など、科学教育に携わる専門家の間での合意を重視したコンセンサス・ビューを提案している。Lederman et al. (2002) は、NOS を「科学の認識論や社会学、知るための方法としての科学、あるいは科学的知識やその発展に固有の価値観や信念を指す」と定義しており、この定義によると Lederman et al. (2002) が示すコンセンサス・ビューは科学や科学的知識に固有の性質を意味していると言える。

Lederman et al. (2002) は NOS の要素について、哲学者や歴史学者、社会学者、教育学者の間では議論が続いており完全な合意には達していないものの、一般的なレベルでは NOS のいくつかの重要な側面は議論の余地がないとして、7つの要素を挙げている。(1) 科学的知識の経験的性質、(2) 科学理論と法則、(3) 科学的知識の創造的・想像的な性質、(4) 科学的知識の理論負荷性、(5) 科学的知識の社会的・文化的性質、(6) 科学的方法の神話、(7) 科学的知識の暫定性の7つである。

科学的知識の経験的性質とは、科学における自然現象の観察に関する性質を意味する。ここでは、科学は経験的な営みであるが、ほとんどの場合、科学者は直接的に自然現象を観察することはできない

ことや、科学における観察は、機器や視覚、理論的枠組みを通して間接的に行われることが説明されている。また、この要素には観察と推論の区別も含まれている。ここで説明されている観察とは、機器や視覚を用いてそれそのものを見ることができ、観察者同士が比較的容易に合意に達することができる自然現象についての記述である。一方で推論とは、それそのものを見ることができない現象についての記述である。例えば、重力は、それそのものを見ることができないが、その現れ方や影響によってのみ測定できるという点で推論的であると述べられている。

科学理論と法則とは、科学理論と法則は異なる性質の知識であることを意味する。両者の区別は、観察と推論の区別と密接な関係にある。法則とは自然現象の観察結果に基づいて、現象間の関係を記述したものであり、一方で科学理論とは、自然現象やその規則性を推論によって説明するものであることが述べられている。また、どちらか一方が証拠の蓄積等によりもう一方になることはないことも強調されている。

科学的知識の創造的・想像的性質とは、科学における人間の創造力と想像力の重要性を説明する性質を意味する。科学は完全に合理的な活動ではなく、科学者による創造性や想像力が重要になることが説明されている。

科学的知識の理論的・経験的性質とは、科学者が何を観察対象とし、観察結果をどのように解釈するかは科学者が有する知識、経験、依拠する理論などに影響を受けるという科学の性質である。ここでは、科学において完全に中立な観察は成り立たず、観察は常に特定の理論的視点によって行われることが説明されている。

科学的知識の社会的・文化的性質とは、人間の営みとしての科学は社会や文化と相互に影響し合うという性質を意味する。具体的には、社会構造、権力構造、政治、経済、哲学、宗教などが科学に影響を与え、科学から影響を受けうることが説明されている。

科学的方法の神話とは、有効な解決策や真理へと確実に導くような単一の科学的方法は存在しないということの意味する。科学者は、観察、比較、推論、仮設の導出など、さまざまな手法を用いて理論や説明を構築するが、全ての科学者が科学を行う際に従うべき段階的な手順があるわけではないことが説明されている。

科学的知識の暫定的な性質とは、科学的知識は信頼性や耐久性が高い知識であるが、決して絶対的ではなく、変わりうる可能性があるという性質を意味する。例えば、科学的な主張は、新しいアイデアやテクノロジーの発展によって得られた新たな証拠の出現等により、再解釈されたり変化したりする可能性があることが説明されている。

Lederman et al. (2002) は、上記の7つの要素を元にしてNOSの理解度を測定する質問紙であるViews of Nature of Science (VNOS)を開発した。この質問紙はNOSの理解度を測定するために数多くの研究で使用されている。このように、N.G. Ledermanらが示すNOSのコンセンサス・ビューは非常に大きな影響力を持っており、上記に示した7つの要素は「レダーマン・セブン (Lederman Seven)」と呼ばれることもある (Matthews, 2012)。

Lederman et al. (2002) に示されている7つの要素は、哲学者や歴史学者、社会学者、教育学者の間である程度の合意が得られていると主張されているものの、その根拠は明確に示されていない。これに対して、Osborne et al. (2003) の研究は、Lederman et al. (2002) が示すNOSの要素に実証的な根拠を与えた。Osborne et al. (2003) は、科学教育学者、科学者、科学史家、科学哲学者、科学社会学者、科学教師など科学教育に携わる専門家23名に対して複数回の質問紙調査と統計的な分析を組み合わせたデルファイ調査を用いて分析した結果として、NOSに対する共通の認識として9つの要素を

示した。(1) 科学における確からしさ、(2) データの分析と解釈、(3) 科学的方法と批判的検証、(4) 仮説と推論、(5) 創造性・科学と問い、(6) 科学的知識の発展における共同と協働、(7) 科学と技術、(8) 科学的知識の歴史的な発展、(9) 科学的思考の多様性の9つである。これらの要素は上述した Lederman et al. (2002) の7項目と多くの点で重なっている。また、Osborne et al. (2003) は、これらの要素を McComas and Olson (1998) の要素と比較し、多くの共通点があることを指摘している。

さらに、NOSの指導に関する重要な指摘として Osborne et al. (2003) は、ここで挙げた要素は独立しているわけではなく、相互に関連し合っていることを指摘している。そのため、NOSを要素ごとに個別に教える方法は望ましくなく、NOSについて議論する中でその指導を行うことや、歴史的あるいは現代的なケーススタディを扱う中でNOSの指導を行うことが最善であると述べている。

以上より、コンセンサス・ビューの導出方法には、大きく二つの方法が採用されていることが分かる。第一に、複数の科学教育スタンダードに共通するNOSを導き出す方法である。第二に、科学教育のステークホルダーによる合意に焦点を当てた方法である。両者は、導出方法が異なるものの、McComas, Clough and Almazroa (1998) が示した図1では、科学に関連する複数の専門分野の主張が交差する部分をNOSと示しており、こうした考え方はLederman et al. (2002) やOsborne et al. (2003) のものと類似していることがわかる。つまり、コンセンサス・ビューにおけるNOSとは、科学に関わる複数の専門分野が導き出した科学の性質の共通部分であると言える。

また、それぞれの論者が示すコンセンサス・ビューの要素を見ると、共通する要素が多いことがわかる。異なる方法で導き出された要素であるにもかかわらず共通する要素が多いことは、コンセンサス・ビューの支持者が主張する、学校教育において教えるべきNOSの内容について一定の合意が得られていることを裏付けていると言えるだろう。

### 3 コンセンサス・ビューへの批判

コンセンサス・ビューは、論者によってNOSの整理の仕方に違いがあるものの、各論者が示す内容に大きな違いはなく一定の合意が得られていることは間違いない。しかし、こうしたコンセンサス・ビューにはいくつかの批判が生じている。McComas (2020b) はその批判を、4つに大別している。第一に、コンセンサスビューは科学の中に存在する多様な分野の特徴を反映していないという批判である。第二に、コンセンサス・ビューは科学の特徴を定義しようとするものではなく単なる合意に過ぎないという批判である。第三に、コンセンサス・ビューが示す性質はいくつかの重要な要素の不足があり科学の性質として不完全であるという批判である。そして第四に、コンセンサスの基盤を疑問視しNOSの要素を拡張すべきとする批判である。これについて、それぞれの主張を見ていく。

#### 3-1 分野による特徴が考慮されていない

第一の批判は、科学の性質は分野ごとに異なるが、コンセンサス・ビューは分野間の違いが考慮されていないとする主張である。例えば van Dijk (2012) は、科学コミュニケーションにおいて活用が望まれるNOSの要素について考察する中で、科学教育の中で定義されているコンセンサス・ビューは、複数の分野の共通点を示しているために科学についての多くの性質を排除することにつながっており、そのために実際の科学がどのように機能しているのかが理解しにくくなっていると述べている。具体的には、Lederman et al. (2002) が示す科学的知識の暫定性について、科学的知識がすべて暫定的であると考えられることには語弊があると指摘している。具体的には、地球が球体であることのようにほとんど疑う余地のない知識から、恐竜の絶滅の原因のように複数の説が生じている知識まで、分野や領域に

よって幅があることが考慮されていないとしている。また、Osborne et al. (2003) によるコンセンサス・ビューは、Lederman et al. (2002) に比べて確実性と暫定性のレベルの違いなどが丁寧に定義されているものの、すべての科学が実験を行うかのような説明になっていることを批判している。このように、コンセンサス・ビューは Lederman et al. (2002) が示すように広すぎるか、Osborne et al. (2003) が示すように狭すぎると指摘されている。

Irzik and Nola (2011) もまた、コンセンサス・ビューは科学の分野間の違いが反映されていないことを指摘している。彼らはその例として、化学の分野では実験が行われるが、天文学や宇宙理論の分野では実験は行われなことを示している。また、こうした説明をせずにコンセンサス・ビューを示すことは、NOS が固定的で普遍的であるかのような印象を与えると危惧している。

### 3-2 コンセンサス・ビューは単なる合意に過ぎない

第二の批判は、科学にはコンセンサス・ビュー以外の特徴があるにもかかわらず、コンセンサス・ビューは広く受け入れられている限定的な特徴にしか焦点を当てていないというものである。Irzik and Nola (2011) は、科学には多様な方法や分野が存在するため、こうした複雑さを表現するための必要十分条件を特徴づけることは困難であると述べている。これに対してコンセンサス・ビューはこうした複雑さを表現する必要十分条件を特徴づけようとするのではなく、専門家コミュニティの間でのコンセンサスを示しているに過ぎないと批判している。そもそもすべての科学者に共通し、科学者だけが共有しうる科学の特徴というものは存在しないにもかかわらず、コンセンサス・ビューはそうした問題を考慮していないという批判である。

### 3-3 コンセンサス・ビューには不足がある

第三の批判は、コンセンサス・ビューが示す NOS の要素には不足や誤りがあるとする主張である。特に、コンセンサス・ビューは科学的知識の性質を中心的に扱っている一方で、科学的探究の性質については扱っていないとする批判がある。例えば Irzik and Nola (2011) は、コンセンサス・ビューは科学の狭いイメージを描いているに過ぎないこと、コンセンサス・ビューに含まれる要素間の関係性が示されていないことを指摘している。例えば前者の批判について、データの収集、分類、分析、実験、推論といった科学的探究は科学の一部であり NOS に含まれるべきであるが、コンセンサス・ビューにおいては科学を行なうための唯一の方法はないと述べるのみで科学的探究について説明されていないとしている。同様に Duschl and Grandy (2013) は、コンセンサス・ビューの支持者は NOS と科学的実践を切り離して論じていることを批判している。

また、後者の批判である要素間の関係性が示されていないことについて Irzik and Nola (2011) は以下のような具体例を示している。コンセンサス・ビューでは科学的知識の理論負荷性や主観性が示されているが科学の客観性との関係はどのように説明できるのか、また、科学が社会的・文化的な文脈に組み込まれているとする主張は、科学では文化や社会を超えて有効な知識を生み出すことをどう説明するのかといった、相対する性質についての説明が不足している具体例が挙げられている。

さらに Hodson and Wong (2014) は、コンセンサス・ビューは科学の認識論的な側面である科学の知識の特徴に限定されており、科学的探究の性質についての考察が除外されていると指摘している。その意味でコンセンサス・ビューは限定的であると批判し、科学的探究の特徴や科学的探究によって生み出される科学的知識の役割、科学理論の構築に伴うモデル化、科学内部の社会的な働きなどを包括する定義の必要性を主張している。

### 3-4 コンセンサス・ビューは拡張されるべきである

上記のような内容の不足に対する批判に加え、コンセンサス・ビューがNOSの要素の一覧として示されることに対する批判もある。Hodson and Wong (2014)は、NOSをコンセンサス・ビューのような項目の羅列として定義し教えることは、「試験のための教育」になりかねないと警鐘を鳴らしている。こうした項目が多忙な教師によって過度に単純化して授業に取り入れられ、上述のように狭義の定義が科学の性質として広まることで、科学教育に大きな悪影響を与えることが懸念されている。

また、こうした懸念を踏まえて、NOSの要素についての考えを発展させるべきだとする主張がある。Matthews (2012)もHodson and Wong (2014)と同様に、コンセンサス・ビューは「NOSの宣言的な知識」であり、教師や生徒にNOSの短絡的な理解を促してしまうことを危惧している。そもそも、科学の認識論的特徴を記述しようとしてきた科学哲学においてもそうした試みは成功しておらず、コンセンサス・ビューは科学哲学的な思慮に欠けていると述べている。そのため、NOSの要素は科学哲学やその歴史を踏まえてより洗練され、発展させる必要があるとMatthewsは指摘している。

Allchin (2011)もまた、コンセンサス・ビューには科学研究における資金の役割や、科学研究への同期、査読や不正といった科学内部の社会性など、科学的探究に関する多くの項目が含まれていないことを指摘している。その上で、NOSの特徴はコンセンサス・ビューのような項目の一覧ではなく、科学における実験から社会的なものまで、科学において信頼性を形成する複数の側面を含んだ、科学全体の特徴に再構築することが必要であると述べている。

## 4 科学における分野間の部分的な類似性を表す FRA

コンセンサス・ビューへの批判として4つの立場を紹介した。第四の批判では、コンセンサス・ビューに代わるNOSの再構築が提案されていた。このNOSの再構築について、現在最も有力な考え方がFRAである。FRAにおいて用いられている家族的類似性の考え方は、ウィトゲンシュタインによって提案されたものであり、Irzik and Nola (2011)はそれをコンセンサス・ビューに代わる選択肢として科学の性質を説明するために利用した。現在FRAは、Dagher and Erduran (2014)をはじめとする論者によって、科学教育への応用について議論が進められている。本節ではFRAの基本的な考え方とFRAによって描き出されるNOSの要素について述べる。

### 4-1 FRAの基本的な考え方

FRAはウィトゲンシュタインが提唱した家族的類似性の考え方を科学の性質に当てはめたものである。FRAは科学の必要十分条件を定義しようとするのではなく、科学という概念は関連する概念の集合によって成り立っていると考える。例えば、「三角形」は「3つの直線的な辺を持つ閉じた平面図形」と定義することができ、これは三角形の必要十分条件である。さらにいうと、三角形という言葉の意味を決定する、三角形の本質とも言える (Irzik and Nola, 2011; 2014)。

しかし、全てがこのように必要十分条件によって本質を説明できるわけではない。Wittgenstein (1958)は「ゲーム」を例として示している。ゲームにはボールを用いたゲーム、カードゲーム、あるいは鬼ごっこやかくれんぼなど、さまざまな種類がある。そのため、ゲームを説明する必要十分条件は示すことができない。このような場合に、家族的類似性の考え方が適用される。家族的類似性の基本的な考え方は、家族の構成員はある点ではお互いに似ているが、別の点では似ていないという事実に基づいている。

科学の場合には、コンセンサス・ビューが示そうとしているようにすべての科学に共通する特徴が挙



げられる場合があるが、それは科学以外にもあてはまる可能性があり、科学を定義する必要十分条件とはいえない。同様に、科学に含まれる多様な分野が共通して有する特徴によって科学を定義することも不可能である。これに対して Irzik and Nola (2011) は、FRA では多岐の分野にわたる科学すべてに共通する特徴を議論するのではなく、それぞれの分野がどのように類似していて、どのように類似していないのかを整理することで、科学の特徴を再構築することを目指している。つまり、FRA を用いて科学の性質を特徴づけることは、科学の中に存在する多様な分野が有する多様な特徴に対して、一連の広範なカテゴリーで対応することが可能になる (Erduran and Dagher, 2014)。

Irzik and Nola (2011) は、FRA はコンセンサス・ビューよりも包括的で科学における分野間の違いを正しく評価し、科学の固定的なイメージではなくダイナミックでオープンエンドな性質を捉えているとしている。その理由として、第一に科学の経験的性質について検証可能性や実験や観察といった特徴と関連づけながら説明できること、第二に科学の暫定性だけでなく科学内部の社会性による自己修正機能などを踏まえた上で科学は批判的探究であることが特徴づけられていること、第三に科学における信頼性と客観性についてコンセンサス・ビューよりも明確な説明が可能であること、第四にデータ、方法論、理論の関係性から科学における創造性が理解可能なことの4点を挙げている。このように、FRA によって描き出される NOS は、コンセンサス・ビューで述べられている要素を網羅しており、さらにコンセンサス・ビューにおいて不足している要素を含んでいることが主張されている。

#### 4-2 FRA によって示される NOS の要素

それでは、FRA によって NOS はどのように描き出されるのだろうか。Irzik and Nola (2011) は、NOS を説明するカテゴリーとして表1のようなカテゴリーを示した。

活動とは、実験や観察といった科学的な活動を意味する。観察は科学におけるすべての分野に共通する活動であるが、その方法は分野によって異なる。例えば、望遠鏡を用いた観察から化石の識別など多種多様な観察があり、それらは全く異なる方法を用いている。このように、ある分野には当てはまるが他の分野には当てはまらない活動があり、それらは家族的な類似性によってまとめることができると Irzik and Nola (2011) は主張する。

目的と価値とは、科学の実践が何を目指しているのかを意味する。例えば、一貫性を明らかにすること、より単純化して示すこと、より広い範囲を説明することなどがある。また、観察可能なレベルでの真実を明らかにするという構成主義的経験論者の考えや、観察不可能なレベルでも科学によって世界の真理を明らかにすることができるという科学的事実論者の考えなど、哲学的な立場の違いも含めて家族のように類似していると捉えられている。

表1 Irzik and Nola (2011) による NOS のカテゴリー

科学	
1	活動
2	目的・価値観
3	方法と方法論的規則
4	産物

Irzik and Nola(2011)をもとに筆者作成

方法と方法論的規則は科学的方法に焦点を当てた性質である。方法には、演繹的推論、帰納的推論、抽象的推論などあらゆる科学的方法の基礎を含む。また、方法論的規則としては例えば、検証可能性の高い理論やモデルを構築することや、より単純な理論を受け入れること、未知の状況を予測できる理論を選択することなどが挙げられている。

最後に産物について、これは科学の営みによって生み出される仮説、法則、理論、モデル、データなどを意味する。生物学の系統分類図や、化学の周期表などもこれに含まれる。Irzik and Nola(2011)は、この4つのカテゴリーに含まれる性質の部分集合としてある科学分野の性質を描き出すことができると考えている。

以上の説明からわかるように、FRAは科学哲学における異なる解釈や立場も含めた上でNOSをまとめている点でコンセンサス・ビューと大きく異なる。コンセンサス・ビューは、特にトマス・クーン以降の「新しい科学観」と呼ばれる科学観を反映した性質となっているが、FRAではそれと対立する科学観も含んだ上で類似性を整理しようとしている。

表1に示したNOSは、Irzik and Nola(2014)によって表2のように発展させられている。ここでは、表1とは異なりNOSは「認知的・認識的システムとしての科学」と「社会的・組織的システムとしての科学」に大別されている。表1で示されている内容は、部分的に表現が異なるものの「認知的・認識的システムとしての科学」に対応していると捉えることができる。つまり、Irzik and Nola(2014)では、Irzik and Nola(2011)と比較して「社会的・組織的システムとしての科学」の視点が新たに導入されていることがわかる。

「社会的・組織的システムとしての科学」に含まれる専門的活動とは、科学者が行う行為のうち、科学的な研究以外の行為を意味する。例えば、学会に参加して研究成果を発表したり論文を執筆したり、助成金の申請書を作成したりすることなどが含まれる。

科学的倫理観とは、科学独自の社会的、倫理的な規範のことを意味する。つまり、科学者が科学を行なう際にどのように行動するのか、また、どのように行動すべきかといった規範であり、科学者がそれに違反した場合、制裁を受ける場合もある。知的誠実さや環境を尊重すること、自由で批判的な議論に対してオープンであることなどがこれに含まれる。

科学的知識の社会的認証と普及とは、査読制度を意味する。研究結果は論文として公開される必要があり、そのためには査読を受けることが必要である。また、論文が公表されると、研究結果は専門家コミュニティによって批判的に検討される。こうした科学者コミュニティによる社会的な営みによって、科学的知識は認められ普及されていく。

表2 Irzik and Nola(2014)によるNOSのカテゴリー

科学	
認知的・認識的システムとしての科学	社会的・組織的システムとしての科学
1 探究のプロセス	5 専門的活動
2 目的と価値観	6 科学的倫理観
3 方法と方法に関する規則	7 科学的知識の社会的承認と普及
4 科学的知識	8 社会的価値観

Irzik and Nola(2014)をもとに筆者作成

そして社会的価値とは、単に新たな知識を生み出すという学問的な価値だけでなく、科学が有する社会への恩恵を意味する。例えば、生活の質の向上、経済発展への貢献、環境の保護などがある。Irzik and Nola (2014) は、「認知的・認識的システムとしての科学」はかなり網羅的である一方で、「社会システムとしての科学」に関しては改善の余地があると考えている。

Erduran and Dagher (2014) は Irzik and Nola (2014) をさらに拡張させた枠組みとして表3のような枠組みを示している。Erduran and Dagher (2014) が修正した点は以下の3点である。第一に、Irzik and Nola(2011) では「活動 (Activities)」、Irzik and Nola(2014) では「探究のプロセス (Processes of Inquiry)」として示されていた要素を「科学的実践 (Scientific Practice)」とした。「実践 (Practice)」という用語は認識論的な実践という意味合いが強く、NGSSにおいても重要概念として位置づけられている用語であることがその理由として挙げられている。

第二に、Irzik and Nola (2014) が示している「認知・認識システムとしての科学」に内包される4つのカテゴリーの順序を変更した。Irzik and Nola (2014) は探究のプロセスに言及することから科学の特徴の説明を試みているが、Erduran and Dagher (2014) では科学の目的と価値に着目してFRAの枠組みを拡張することを目指している。

第三に、Irzik and Nola(2014) によって示された「社会的システムとしての科学」に3つのカテゴリーを追加した。Erduran and Dagher (2014) は Irzik and Nola (2014) によって示された表4の枠組みについて、科学の政治的な側面についての言及がないことを例示し、科学の社会的・制度的側面が限定的であるとしている。そのため、Erduran and Dagher (2014) では Irzik and Nola (2014) による「社会的・組織的システムの科学」に「社会組織と相互作用」、「政治的権力構造」、「財政システム」の3つのカテゴリーを加えている。

社会組織と相互作用とは、大学、研究所、企業など、科学者が働く社会的に組織化された機関や、各機関の中で行われている研究チームの構成、科学者同士の相互作用などを意味する。組織間やチーム間、個人間のコミュニケーションには分野によって微妙な違いがあり、それぞれの特徴がここに含められる。

政治的権力構造とは、科学と政治の相互作用に焦点を当てたカテゴリーである。例えば、ヒトラーに

表3 Erduran and Dagher (2014) による NOS のカテゴリー

科学	
認知的・認識的システムとしての科学	社会的・組織的システムとしての科学
1 科学の目的と価値	5 専門的活動
2 科学的実践	6 科学的倫理観
3 方法と方法論的規則	7 社会的承認と普及
4 科学的知識	8 科学の社会的価値観
	9 社会組織と相互作用
	10 政治的権力構造
	11 財政システム

Erduran and Dagher(2014)をもとに筆者作成

よる科学プロジェクトや、原子爆弾の開発と科学研究の発展などが挙げられる。また、人種やジェンダーと科学の関係についても含まれる。つまり、科学が植民地支配の手段としてどのように機能したかや、科学の世界において女性が排除されてきた歴史などである。

財政システムとは、科学者の行動や科学研究の進展に影響を与える、経済的な力による資源の分配を意味する。科学研究を行うには資金が必要であり、その資金を得るためには国や財団が求める計画を提出する必要があることなどが含まれる。

Erduran and Dagher (2014) は FRA を科学教育に適用する目的は、生徒に個々の性質を教えることではなく、科学に対する全体的で文脈的な理解を促進することであると述べている。つまり、コンセンサス・ビューに示されるような個々の性質を教えることは意図しておらず、科学の性質を考える際の視点を提供することを目指していると言える。

## 5 コンセンサス・ビューへの批判の妥当性と NOS の選択

NOS の構成要素をどのように描くのかについて、コンセンサス・ビューとそれに対する批判、そして FRA について見てきた。コンセンサス・ビューは科学に関連する複数の領域の専門家による合意を意味していた。しかし、ここではコンセンサス・ビューに共通するもう一つの考え方に焦点を当てたい。それは、コンセンサス・ビューは K-12 の科学教育の文脈において扱うべき科学の性質を示したものであるという点である。McComas (2020a) は、NOS は複雑で多くの要素を含んでいるため、それらの要素のうちどれを学校の科学カリキュラムに取り入れるかについては何らかの選択が必要であると述べている。そこで、コンセンサス・ビューがあくまでも学校での科学教育における実用性を踏まえてまとめられた NOS の要素であることを強調している。このことは、コンセンサス・ビューについて「提言の目的が誤解されるのを避けるために、『科学の指導と学習に向けた NOS の実用的なコンセンサス・ビュー』と表現しても良いと思う」と述べていることにも表れている (McComas, 2020a)。また Lederman et al. (2002) は、科学哲学者、科学歴史学者、科学社会学者の間でも NOS について意見の相違があることを認めており、科学的知識と同様に NOS の概念も暫定的かつ動的なものであるとしている。しかし、その上で、こうした意見の相違の多くは K-12 の教育とは無関係であるとしており、一般的なレベルでは完全な合意ではないにしろ一定の合意が得られていると主張している。つまり、コンセンサス・ビューにおいて NOS とは、科学についての完全な共通見解や、普遍的な性質を意味するのではなく、科学に関連する複数の分野の専門家間で一定の合意が得られている科学の性質のうち、特に学校教育で扱うことを想定した上で重要だと考えられる要素を意味していると言える。こうした点を踏まえると、本稿で取り上げたコンセンサス・ビューにおける批判のいくつかは妥当な批判とは言えない可能性がある。コンセンサス・ビューを支持する論者は、コンセンサス・ビューが科学の必要十分条件を示すものではないことを前提としており、また、そこには不足があることを承知している。その上で、学校教育で扱うべき要素についての共通見解を示しているのであり、コンセンサス・ビューに対する第二の批判や第三の批判はその点を考慮していないと言える。

しかし、このことはコンセンサス・ビューを批判する形で提案された FRA の有用性の否定にはならない。コンセンサス・ビューの論者が重視する学校教育での取り扱いという観点から FRA を見ると、コンセンサス・ビューとは異なる強みが見えてくる。コンセンサス・ビューは複数の分野に共通する科学の性質を挙げているのに対し、FRA は科学の多様な分野の特徴を網羅している。また、コンセンサス・ビューは NOS の要素を項目として示しているのに対し、FRA では科学の性質を捉えるために必要な視点をカテゴリーとして示している。このことから、FRA の視点を導入することで科学の異なる分野間

の比較が可能になると考えられる。これは、物理、化学、生物学、地学というように科学を分野ごとに分けて学ぶ日本の高等学校の理科教育において、それぞれの分野を繋ぐ役割を果たすだろう。分野間の比較をすることで、類似点や相違点が浮かび上がり、それぞれの分野や科学全体についての理解がより深まることが期待される。さらには、そうした捉え方は自然科学とそれ以外の学問分野を比較する際にも役立つ可能性がある。また、コンセンサス・ビューは、学校教育で扱うべき内容の到達目標という側面が強い一方で、FRA は学校教育において扱うべき内容として示されたものではなく、科学教育カリキュラムを構成するための視点として示されている。そのため、授業の設計というよりは、より広い科学教育カリキュラムの設計において活用することのできるアプローチであると言える。

例えば、学習者の理解度や NOS を扱う場面を踏まえて、科学の複雑さよりも共通点を強調したい場合や、特定の性質を取り上げたい場合は、コンセンサス・ビューが参考になるだろう。一方で、複数の分野を比較するような活動や、科学の性質について議論を行う場合には、FRA が参考になるかもしれない。また、授業を構成する際にはコンセンサス・ビューを参照することが理解の助けになるかもしれないが、カリキュラムの構成には FRA が有用である可能性がある。

以上を踏まえると、それぞれのアプローチは、NOS の構成要素を提案しているという点では共通しているものの、その目的や学校教育において果たす役割は異なることがわかる。つまり、学校教育においてどのアプローチから導き出された NOS の要素を参照するかについては、NOS の要素を参照する目的とそれぞれのアプローチの特徴を照らし合わせて選択していくことが求められるだろう。

## 6 おわりに

本稿では、コンセンサス・ビューとそれに対する批判、そして FRA についてそれぞれの基本的な考え方や NOS の整理の仕方を明らかにした。FRA はコンセンサス・ビューを批判しその代替案として登場した背景があるものの、コンセンサス・ビューと FRA は相対するものではなく、目的や導出の仕方、整理の仕方が異なるものとして理解するのが妥当であるだろう。

今後、日本においても NOS に関する研究がますます展開され、学校教育で扱うべき NOS の構成要素についての議論が進むことが予想されるが、その際には特定の理論を無批判に参照するのではなく、それぞれの目的や導出の仕方、整理の仕方を踏まえ、教育目標や教育方法との関係を考慮しながら選択的に参照していくことが求められる。また、すでに示されている NOS の要素を絶対的なものとはせず、修正可能であるものとして捉え、ときには日本の文脈に合わせて修正していくことも必要になるだろう。科学の性質が人種や文化の影響を受けることを考えると、欧米諸国とは異なる科学の発展を経験してきた日本においては、日本独自の科学の性質が浮き彫りになる可能性もある。こうしたことを踏まえると、日本における NOS 研究では欧米諸国で示されてきた NOS の整理をそのまま引き受けるのではなく、新たに検討する余地があるだろう。

## 引用・参考文献

- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., and Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- Achieve, Inc. (2013). *Next generation science standards*. Retrieved from Next Generation Science Standards: <http://nextgenscience.org/>
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1989). *Project 2061: Science for all Americans*.

- Washington: Author.
- Duschl, R. A., and Grandy, R. (2012). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science and Education*, 22, 2109-2139.
- Erduran, S., and Dagher, Z. R. (Ed.) (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education* (pp.1-18). Springer, Dordrecht.
- Erduran, S., Dagher, Z. R., & McDonald, C. V. (2019). Contributions of the family resemblance approach to nature of science in science education. *Science & Education*, 28(3), 311-328.
- 福田成穂, 中村泰輔 (2016) 「高校生が有する Nature of Scientific Inquiry の理解の実態—VASI アンケートを用いた調査から—」『日本科学教育学会研究会研究報告』第 30 卷, 第 6 号, 55-60.
- 長谷一弘, 古屋光一 (2022) 「学習者の『科学の本質』に関する調査問題の開発—中学生と大学生の実態把握—」『日本科学教育学会研究会研究報告』第 36 卷, 第 3 号, 53-56.
- Hodson, D., and Wong, S. L. (2014). From the Horse's Mouth: Why scientists' views are crucial to nature of science understanding. *International Journal of Science Education*, 36(16), 2639-2665.
- Irzik, G., and Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science and Education*, 20(7), 591-607.
- Irzik, G., and Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. In M. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 999-1021). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- 十文字秀行, 宮本直樹 (2022) 「高等学校生物における DNA モデルを導入した NOS の理解」『日本科学教育学会研究会研究報告』第 36 卷, 第 5 号, 37-40.
- 角屋重樹 (1991) 「中学生は科学の暫定性という特質をどのようにとらえているか」『日本教科教育学会誌』第 15 卷, 第 1 号, 17-22.
- 小林優子 (2021) 「高校生における NOS 理解の変化—自然科学と人文社会科学の探究活動に着目して—」『理科教育学研究』第 62 卷, 第 1 号, 95-108.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell and N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp.831-879) . Routledge.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., and Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire (VNOS): Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (6), 497-521.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In M. S. Khine (Ed.), *Advances in nature of science research: Concepts and methodologies* (pp. 3-26). Dordrecht: Springer.
- McComas, W. F. (2020a). Principal elements of nature of science: Informing science teaching while dispelling the myths. In *Nature of science in science instruction* (pp.35-65). Springer, Cham.
- McComas, W. F. (2020b). Considering a consensus view of nature of science content for school science purposes. In *Nature of science in science instruction* (pp.23-34). Springer, Cham.
- McComas, W. F., Clough, M. P., and Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In McComas, W. F. (ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic. 3-39.
- 岡本紗知 (2016) 「日本の大学生は『科学の本質』を適切に理解しているか」『日本科学教育学会研究会研究報告』第 31 卷, 第 4 号, 67-72.
- 岡本紗知, 青井謙輝 (2019) 「教科書に『科学の本質』は記述されるか—日本とカナダの高等学校・生物 (分子生物

- 学分野)の比較研究一」『科学教育研究』第43巻, 第2号, 187-204.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., and Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of research in science teaching*, 40(7), 692-720.
- Romero-Maltrana, D., & Duarte, S. (2022). A new way to explore the nature of science: Meta-categories rather than lists. *Research in Science Education*, 52(1), 239-257.
- 志田正訓, 野添生, 磯崎哲夫 (2019) 「『科学の本質』(Nature of Science)を取り入れた小学校理科カリキュラムに関する研究—イギリスのナショナル・カリキュラム科学の事例を通して—」『理科教育学研究』第60巻, 第1号, 133-142.
- 鈴木宏昭 (2014) 「米国の次世代科学スタンダードにおける“Nature of Science”の内容構成—科学的・工学的な実践および領域横断的な概念との関連に着目して—」『日本科学教育学会研究会研究報告』第29巻, 第2号, 53-56.
- 鈴木宏昭 (2015) 「理科教育の“Nature of Science”教授における社会的アプローチの特質—英国のSATIS16-19を事例として—」『教育学研究』第26巻, 41-48.
- 鈴木宏昭 (2019) 「米国の幼児教育における Nature of Science の内容構成」『日本科学教育学会研究会研究報告』第34巻, 第1号, 27-30.
- 都築章子, 中西一雄, 藤田喜久, 今宮則子, 平井和也, 小川貴之, 平賀伸夫 (2013) 「科学の本質に関する学習プログラムの実践にみられる教員養成課程の大学生の科学観」『科学教育研究』第37巻, 第2号, 158-167.
- Wittgenstein, L. (1958). *Philosophical investigations*. Blackwell: Oxford.
- van. Dijk, E. M. (2011). Portraying real science in science communication. *Science Education*, 95(6), 1086-1100.