

〈研究論文〉

「科学の本質」教授における自然科学と他の知識領域との関係

——国際バカロレアの「知の理論」を中心に——

小 林 優 子

「科学の本質」教授における自然科学と他の知識領域との関係

——国際バカロレアの「知の理論」を中心に——

小林 優子

1. はじめに

科学と社会が密接に結びついた現代社会において、市民には安全な食品の選択といった日常的な判断から、原子力発電所の是非といった政治的な判断に至るまで、科学に関連する多様で複雑な問題に対する意思決定が求められる。さらには生殖医療や再生医療のように、科学をどこまで利用して、どのような科学研究を推進するのかについて国民全体で判断する必要性も生じている。

このような問題に対して意思決定するために、科学の内容理解だけではなく「科学について」理解することは、将来の市民の育成を担う学校教育において重要な課題である。この「科学について」の理解とは、「科学とは何か」「科学とはどのような営みか」といった科学の本質的な理解を意味し、その内容は「科学の本質」(Nature of Science: 以下NOSとする)と呼ばれている。NOSを理解することは科学に関連した社会問題への意思決定を助けると考えられてきた。そのため、1960年代以降に欧米を中心とした諸外国においてその重要性が注目され始め、現在では多くの国の理科カリキュラムに導入されている。

しかし近年、NOSの理解と意思決定の関連について実証的な検証が行われてこなかったことを批判的に捉えたBell & Lederman (2002)は、NOSの理解度と意思決定の過程を調査した。調査では、NOSの理解度が高い群と低い群それぞれに対して、胎児組織移植のために中絶を認めるかどうか¹⁾や、地球温暖化の原因と

されている温室効果ガスの排出を抑えるための増税に対して賛成の立場をとるか反対の立場をとるかといった意思決定場面が提示され、判断が求められた。その結果、両群間に有意な差は見られず、意思決定においてはNOSの理解度よりも個人の倫理的な価値観が強く影響することを示唆する結果が得られた。

NOSを理解していても実際の意思決定における価値判断にはNOSが効果的に活用されないことに対しては、他の科学教育学者も問題視している。例えばMatthew (2012)は、従来の理科カリキュラムでは、NOSの内容が自然科学に偏っていることを指摘した。そこで彼は、NOSを自然科学の枠内で規定するのではなく、自然科学外の領域として数学やテクノロジー、社会科学、宗教などに関連づけて捉えたFOS (Feature of Science: 科学の特徴)を提案した。しかし、FOSを取り入れた具体的な教授方法については論じていない。

またClough (2007)は、NOSが覚えるためだけの項目として教えられており、NOSに対する深い理解が得られていないと指摘した。彼は、NOSを単なる項目として教えるのではなく、掘り下げた説明をして深い理解を促したり、議論を通じてNOSを学ぶことを促すことが、生活の中でNOSを活用できることに繋がる²⁾と述べている。

このように従来の教授法の不十分さが指摘される一方で、理科の教授においてNOSの内容をどのように教授するのかについては、十分な検討がなされていない。例えば、NOSを自然科学外の領域に拡大した教授法として、Dagher & Erduran (2016)は、社会と科学の

相互作用や、科学における政治的な力の働き方などを踏まえてNOSを教授するための科学教育の枠組みを提案しているが、具体的なカリキュラムの開発には至っていない。

またEastwood et.al. (2012) は、高校生を対象に科学に関連する社会問題を扱い議論することで生徒のNOS理解を高めることを目指した実践を行った。そして、その効果を検証し社会問題を扱うことの有効性を指摘しているが、この実践はある一つの高校で行われた試験的な試みであり、限定的な事例である。このように、NOSの解釈を自然科学外の領域にまで拡大したり、社会問題に対する議論を取り入れた理科の実践は見られるものの、いずれも限定的で体系化にまでは至っておらず、教授法に対する十分な示唆が得られにくい。

この点について、国際バカロレア (International Baccalaureate : 以下IBとする) における「知の理論」 (Theory of Knowledge : 以下TOKとする) は示唆的である。TOKは「知ることとは何か」について探究することによって、批判的思考の育成を目指すカリキュラムである (International Baccalaureate Organization, 2013)。TOKでは「知識の領域」として、自然科学、数学、ヒューマンサイエンス²⁾、歴史、倫理、宗教的知識の体系、土着の知識の体系³⁾、芸術の8つの領域を設定している。これらの「知識の領域」は、個別に教えられるのではなく、各領域同士のつながりが重視される。TOKでは、生徒がこれらのつながりを自分なりの物の見方に結びつけながら理解し、他人との違いを自覚できるようになることが目指されている。

TOKと各教科との関係として、TOKは各教科の学習と無関係ではなく、教科学習を支えるとともに、教科学習に支えられるものであるとされており、各教科で学んだ領域の特徴を互いに比較することで知識全体について理解を深めることが目指されている (International Baccalaureate Organization, 2013)。特に理科との関連においては、理科の中で学んだ科学の方法論について、他の領域の方法論とどのよう

に異なるのかを考察する機会などによって、TOKと理科が互に関連づけられる。具体的には、理科において「科学と疑似科学をどのように見分けるのか」「科学的知識はどのように発展するか」といった問いを生徒に投げかけることで、生徒がTOKと理科のつながりを見いだすことを助けるとされている。

このように、TOKでは自然科学を含む幅広い領域が扱われており、NOSを学ぶ際もその他の領域と関連づけながら学ぶようなカリキュラムの設計になっている。また、そこで学んだNOSをもとに、社会問題に対して議論することも促される。さらに、TOKは世界の3000校以上で実施されており、体系化された教科書も複数存在している。以上を鑑みると、TOKにおいてNOSがどのように教えられているのかを参照することで、これまでのNOS教授の問題点を克服するための示唆が得られると考えられる。

TOKは、領域特定の理科教育とは異なり、領域横断的な内容構成になっている。しかし、近年の理科教育においては、自然科学以外の領域の存在も視野に入れられている。例えば、アメリカのNGSS (Next Generations Science Standards: 次世代科学スタンダード) では、「科学は知るための方法の一つである」ことが述べられており、自然科学以外の知るための方法があることが強調されている。また、中学校理科の学習指導要領においても、自然環境の保全や科学技術の利用の在り方について、多面的かつ総合的に捉えることとされている (文部科学省, 2008)。以上を鑑みると、領域特定の理科教育においても、その他の領域との関連性について扱う必要性があり、その際に領域横断的なTOKを参照することは一定の意義があると考えられる。さらに、IBにおける教科としての理科においても、理科で扱うNOSの内容がTOKの自然科学の内容と重なっており、NOSを介して教科としての理科とTOKが関連し合うことは望ましく、理科教育と矛盾するものではない (International Baccalaureate Organization, 2014)。

小林（2017）は、TOKにおいてNOSを宗教や少数民族固有の知識といった自然科学以外の領域と関連づけながら議論を促すことで、知識や主張そのものを批判的に捉える視点が育成されることを指摘した。ここでは自然科学以外の領域と関連づけられるNOSの内容として、自然科学の目的や自然科学の方法論が挙げられているが、その他のNOSの内容が自然科学以外の領域とどのように関連づけられるかは明らかになっていない。また、関連づけ方においても、特徴を比較する場合が示されているが、比較以外の関連づけ方は不明である。しかし、NOSとその他の領域を関連づける際には、自然科学の目的や方法論以外のNOSも関連づけられることが予想される。また、比較する以外の関連づけ方も考えられる。さらに、それぞれの関連づけ方の違いにより、どのような思考や理解が促されるのかも異なると考えられる。そのため、NOSを自然科学以外の領域と関連づけて教える方法を検討するには、NOSが自然科学以外の領域と関連づけられる場面について、そこで扱われるNOSの内容と、関連づけ方を網羅的に取り上げ、より詳細に分析する必要がある。

2. 研究の目的と方法

本研究の目的は、NOSを自然科学以外の領域と関連づけて教授する方法を考察することである。そのため、NOSが他の領域と積極的に関連づけられており、かつ生徒に対して議論や考察を促すことの多いTOKの教科書を分析する⁴⁾。

具体的には、研究課題を以下のように設定する。第一に、自然科学以外の領域と関連づけられるNOSの内容を明らかにする。従来の理科カリキュラムにおいてNOSは、他の領域と関連づけられず、自然科学の枠内で扱われてきた。そのため、NOSが他の領域と関連づけられる場合、従来の理科カリキュラムで扱われてきたNOSの内容とは異なることが考えられる。そこで、TOKにおいて自然科学と他の領域が関連づけられる場合に扱われるNOSの内容について、その特徴を明らかにする。

第二に、NOSを自然科学以外の領域と関連づける際に、どのような教授が可能になるのかを明らかにする。そのために、TOKにおいてNOSが他の領域と関連づけられる場面では、どのような教授が意図されているのかを検討する。具体的には、NOSが自然科学以外の領域と関連づけられる際に、どのような役割を果たしているのかについて明らかにする。

上記の二つの課題に対して、本研究では、TOKの教科書としてPearson社の“Theory of Knowledge 2ndEdition: Supporting Every Learner Across the IB Continuum”と、Cambridge大学出版局の“Theory of Knowledge for the IB Diploma: Second Edition”を扱う。これらはいずれもIB機構（International Baccalaureate Organization）によって認定されている代表的な教科書である。分析方法としては、TOKの教科書に書かれてあるテキストに対して、能智（2011）によるカテゴリー分析の手法を適用し、以下の手順で行う。

(1) 分析対象箇所を選定する。

まず、TOKの教科書から、自然科学とそれ以外の領域が関連づけられている箇所をすべて抜き出す。該当箇所は、Pearson社の教科書から52箇所、Cambridge大学出版局の教科書から66箇所の、計118箇所であった。次に、抽出した118箇所のうち、自然科学に関連する記述であっても、科学の性質に関わる記述ではなく、自然科学の特定の領域における成果についての記述を除外する⁵⁾。このようにしてPearson社から19箇所、Cambridge大学出版局から19箇所を除外し、最終的に分析対象を80箇所とした。

(2) 分析対象とした80箇所それぞれに対し、ページ数、該当する章と節、自然科学と関連づけられている領域、記載内容の和訳を記入する。

(3) (2)で行った記載内容の和訳を要約する。

(4) (3)の要約をもとに、そこで扱われているNOSの内容とその役割について、それぞれ「見出し」を付与する。

(5) 80箇所全てに「見出し」を付与したのちに、NOSの内容と役割それぞれの「見出し」に

ついて、内容的な類似性や関連性に基づきカテゴリーを構成する。

このようにして、教科書内の全ての事例を内容と役割に即したカテゴリーに分けることにより、TOKの教科書において自然科学が他の領域と関連づけられる際に扱われるNOSの内容とその役割を明らかにする。

3. 他の領域と関連づけられる NOS の内容

従来の理科カリキュラムで扱われてきたNOSの内容として、代表的なものにMcComas et. al. (1998) が挙げた14項目がある。ここでは、西欧諸国の科学教育スタンダードから抽出したNOSが表1のように示されている。

これに対して、TOKの教科書において他の領域と関連づけられているNOSの内容は、カテゴリー分析の結果、表2に示す13項目となった⁶⁾。この13項目のうち9つの項目は、従来の理科カリキュラムで扱われてきたNOSの内容と大きく重なっていた。以下、この9項目の内容について具体的に検討する。

「1自然科学的知識の暫定性」は、ある時点で正しいと信じられていた科学的知識が、パラダイムの転換や新しい実験結果などによって覆されうるといふ、自然科学の性質を意味する。例えば、惑星として分類されていた冥王星が準惑星として再分類されたという具体例 (Pearson社教科書, pp. 110-111.) は、ある時点で正しいとされてきた科学的知識が再編成されたことを意味しており、このカテゴリーに該当する。ここでは、伝統的な考え方を引き継いだり、時には壊したりすることが芸術における知識と類似すると説明されており、「芸術」の領域との比較が促される。このようなTOKにおけるNOSは、表1の「A 科学的知識は暫定的なものである」や「L 科学の中の変化は徐々に生じる」というNOSと重なっている。

「2自然科学における経験の役割」は、自然科学における知識は経験に基づいているものであるというNOSを意味する。例えば「現在使われている薬の多くは、土着の民族による伝統的なハーブ療法に基づいている。(マラリアの

表1 西欧諸国の科学教育スタンダードから抽出したNOS

A	科学的知識は暫定的なものである
B	科学は経験に基づいている
C	観察は、理論に依存している
D	普遍的な科学の方法というものは存在しない
E	科学において法則と理論は異なる役割を果たす
F	科学者は再現可能性と真実の報告を求める
G	科学は自然現象の説明を試みる営みである
H	科学者は創造力がある
I	科学は社会的な伝統の一部である
J	科学は技術において重要な役割を果たす
K	科学的な着想は社会的・歴史的な環境に影響を受ける
L	科学の中の変化は徐々に生じる
M	科学は世界規模の密接な関係をもつ
N	新たな知識は明確に、そして公に報告されなければならない

McComas et. al. (1998) をもとに筆者作成

治療に用いられる) キニーネは、キナの木から天然に見つかったもので、ペルーやボリビアのクチュア族が、古くからマラリアの治療に使っていた (括弧内は筆者)」(Cambridge大学出版局教科書, pp. 551-552.) という例は、「自然科学」と「土着の知識の体系」が関連づけられている。そこからは、現在自然科学において認められているマラリアの治療薬についての知識が、クチュア族の経験に基づいていることがわかる。これは、表1の「B 科学は経験に基づいている」と重なる。

「3自然科学における個人的・集団的な信念や前提の影響」は、できる限りの客観性を目指す自然科学においても、個人的・集団的な見方や前提を完全に排除することはできず、むしろそうした信念が自然科学を支えているとするNOSを意味する。個人的・集団的な信念が知識に影響を与えるという特徴は、「宗教的知識の体系」と類似しており、この領域と関連づけられている。事例として、「19世紀、一部の科学者は、Valcanと名付けられたまだ発見されていない惑星が太陽と水星の間に存在すると推測した。この信念に従って、何人かの天文学者は望遠鏡でこの星が見えると主張した。しかし、このような星は存在しなかった」(Cambridge大学出版局教科書, p. 129.) という部分が該当する。このように、惑星があるに違いないという科学者の信念が、ある時代の自然科学の知識に影響を与えていた。また、ここで「信念」と

表2 他の領域と関連づけられるNOSの内容

カテゴリー	定義	表1のNOS
1 自然科学的知識の暫定性	(a) 科学的知識の暫定性に言及しているもの。	A, L
	(b) 科学的知識の暫定性を表す具体例が示されているもの。	
	(c) パラダイムの転換や科学革命に言及しているもの。	
2 自然科学における経験の役割	(d) 自然科学が経験に基づくものであるという性質に関係するもの。	B
自然科学における個人的・集団的な信念や前提の影響	(e) 個人的な信念や前提が自然科学に影響を与えるということに言及しているもの。	C
	(f) 科学者コミュニティの集団的な信念や前提が自然科学に影響を与えているということに言及しているもの。	
	(g) 自然科学における理論負荷性に言及しているもの。	
4 自然科学の方法論	(h) 自然科学の具体的な方法論について述べているわけではないが、「方法」「方法論」という用語を用いて説明されているもの。	D, N
	(i) 自然科学における再現可能性や客観性を担保するシステムに言及しているもの。	
	(j) 自然科学の具体的な方法論として、実験や観察、モデリングなどに言及しているもの。	
	(k) 自然科学における言語や説明に言及しているもの。	
5 自然科学における科学者コミュニティの特徴	(l) 自然科学における科学者コミュニティの特徴に言及しているもの。	M
	(m) 自然科学における専門分化に言及しているもの。	
6 自然科学の範囲と目的	(n) 自然科学の目的や対象に言及しているもの。	F, G
7 自然科学における創造性や想像力の役割	(o) 自然科学の範囲や限界に言及しているもの。	H
	(p) 自然科学における創造性・想像力・直感の役割に言及しているもの。	
8 自然科学と社会の相互作用的関係	(q) 自然科学の応用とそれに伴う問題に言及しているもの。	I, J, K
	(r) 自然科学が社会的あるいは歴史的な影響を受けることに言及しているもの。	
9 自然科学と数学の関係	(s) 自然科学における言語としての数学に言及しているもの。	なし
	(t) 数学の応用としての自然科学に言及しているもの。	
10 自然科学と神の存在の関係	(u) 神の存在についての議論で、自然科学との関係が扱われているもの。	なし
11 自然科学による成功	(v) 自然科学による正確な予測や、自然科学的な知識の恒久性に言及しているもの。	A
12 自然科学における科学史の役割	(w) 自然科学における科学史の役割に言及しているもの。	なし
13 自然科学の性質全般	(x) 自然科学の特定の性質ではなく、広く自然科学の性質に関係するもの。	なし

呼ばれているものは、自然科学において正しいと考えられている「理論」を意味する場合もある。つまり、自然科学において観察とは、必ずしもありのままを見るのではなく、依拠する理論によって時に存在しないもの（この場合は惑星）を見ることになる。このような意味において、このカテゴリーは表1の「C 観察は、理論に依拠している」と重なる。

「4 自然科学の方法論」は、実験や観察といった自然科学の方法論に関するNOSである。これは、自然科学の「方法」や「方法論」といった用語で説明されているものに加え、自然科学において妥当性や再現可能性を担保するための仕組みや、実験や観察などに言及しているものも該当する。このカテゴリーは、表1の「D 普遍的な科学の方法」というものは存在しない」というNOSを内包している。

また、「共有された知識は、常に再見直される。このことは、自然科学において当てはまるが、

同様に芸術においても当てはまる。私たちは、特定の実験チームの結果をピアレビューするという考えに慣れている」(Pearson社教科書, p. 356.) という説明は、自然科学の方法論の一つであるピアレビューに言及しており、さらに「芸術」の領域との類似点を示している。この点について、表1の「N 新たな知識は明確に、そして公に報告されなければいけない」というNOSもこのカテゴリーに内包される。

「5 自然科学における科学者コミュニティ」は、自然科学における科学者同士の関係についてのNOSである。自然科学における科学者コミュニティは国境を超えて密接に関係していることや、その一方で専門分化が進んでおり、細分化した領域間での情報は交換されにくいことについての説明がこれに該当する。これは、表1の「M 科学は世界規模の密接な関係を持つ」と同様の意味を持つ。

「6 自然科学の範囲と目的」は、自然科学の

目的に関係するNOSである。これには、自然界の理解を目指して法則や一般化を求めるという自然科学の目的や対象、および自然科学が扱う範囲とその限界に関連する内容が該当する。例えば、「ヒューマンサイエンス」と関連して「自然科学」の目的が説明されている箇所では、以下のような問いかけや説明が見られる（Pearson社教科書，pp.139-140.）。「自然科学において自然の法則を探すと同様に、（ヒューマンサイエンスにおいても）人間の行動の絶対的な法則を探しているのだろうか？」「自然科学もヒューマンサイエンスも、一般化や法則を見出そうとしている。しかし、少し深く見て見ると、そこでいう法則とは異なる性質のものである。」このような箇所は、自然科学の目的に言及されており、同様の内容は、表1の「F 科学者は再現可能性と真実の報告を求める」と「G 科学は自然現象の説明を試みる営みである」にも見られる。

「7 自然科学における創造性や想像力の役割」は、自然科学における知識の創出には科学者の創造性や想像力が重要な役割を果たすというNOSを意味する。例えば「想像と芸術の関係性は明確だが、想像力は科学においても重要な役割を果たす」（Cambridge 大学出版局教科書，pp. 228-229.）という記述は、「芸術」の領域と関連づけながら自然科学においては想像力が重要な役割を果たすことに言及している。これは、表1の「H 科学者は創造力がある」と重なる内容である。

「8 自然科学と社会の相互作用的な関係」は、自然科学が社会に影響を与える一方で、社会状況もまた自然科学の研究に影響するというNOSを意味する。例えば、核爆弾の開発を目指したマンハッタン計画のように、社会的な影響を受けて科学が発展した例や、それに関連する倫理的な問題について説明している箇所が、これに該当する。表1の「I 科学は社会的な伝統の一部である」、「J 科学は技術において重要な役割を果たす」、「K 科学的な着想は社会的・歴史的な環境に影響を受ける」は、科学と社会の関係を意味しているため、このカテゴ

リーに内包される。

「9 自然科学と数学の関係」は、数学が自然科学の言語として用いられることや、自然科学は数学に実践的な価値づけをする働きがあることに言及する。例えば楢円の幾何学は、紀元前3年から数学における純粋な学問的興味によって探究されたが、その実践的な価値は不明であった。しかし、自然科学の発展とともに、楢円の幾何学が天文学の分野に大きく寄与することが示された（Cambridge 大学出版局教科書，pp. 336-337.）。これは、自然科学が数学に実践的な価値を付与した例として、自然科学と数学の関係に言及する。

「10 自然科学と神の存在の関係」は、自然科学が神の存在についての議論に影響を与えることを意味するNOSである。例えば、自然界が秩序に則っていることを根拠に、宇宙には秩序を生み出した創造者（神）がいるとする主張がある。しかし、これはダーウィンの進化論によって反証された。これに対して、宇宙が人間に理解できるような秩序に則っていることに、神の存在を見出そうとする主張が生じた（Cambridge 大学出版局教科書，pp. 520-524.）。これは、「宗教」の領域と結びつきながら展開される。すなわち、一見自然科学とは対極にあるようにみえる神の存在についての議論は、自然科学の存在を絶えず意識して発展してきたという歴史がある。

「11 自然科学による成功」は、自然科学が予測に優れていることや、自然科学的な知識は高い妥当性を有していることを表すNOSである。例えば「ヒューマンサイエンス」の領域との関連において、「科学によって生み出される知識の地図は、極めて成功している。この成功は、私たちを取り巻く世界を理解し、将来起こることを予測し、その予測を変えるような技術を提供してくれる」（Pearson社教科書，p. 96.）という箇所は、自然科学の成功に言及している。これは、「1 自然科学的知識の暫定性」と一見矛盾するようでもあるが、自然科学の特徴の一つであるとして、従来の理科カリキュラムでは「A 科学的知識は暫定的なものである」と関連

して教えられてきた内容である。

「12自然科学における科学史の役割」は、自然科学において科学史がどのような役割を果たすのかについてのNOSである。例えば、「なぜ科学史について知ることは、科学者にとって重要なのか？」(Cambridge大学出版局教科書, p. 361.)という問いは、「歴史」の領域と関連づけながら、自然科学における科学史の役割を生徒に対して問うており、これに該当する。

「13自然科学の性質全般」は、上述したような特定のNOSではなく「科学について」全般を扱う内容が該当する。例えば、「人類学は科学か？」といった問いをもとに、「ヒューマンサイエンス」の領域と対比させることで「科学とは何か」といった科学の性質全般について考察を促している (Pearson社教科書, pp. 141-142.)。

なお、表2の「9自然科学と数学の関係」と「10自然科学と神の存在の関係」、「12自然科学における科学史の役割」は、表1で示されている従来の理科カリキュラムにおけるNOSに重なるものがなく、TOKに特有のNOSであると言える。これらはそれぞれ、自然科学と「数学」「宗教的知識の体系」「歴史」といった他の領域と関連している。つまり、本研究で分析したTOKの教科書においては、自然科学と他の領域との関係そのものが、自然科学の特徴であるNOSとして扱われている。従来の理科カリキュラムでは、NOSが自然科学の枠内で規定されていたのに対して、TOKの教科書に見られる、自然科学と他の領域との関係までをNOSに含む考え方は、Matthew (2012) が提案したFOSに近いと言える。

以上の検討から、TOKにおいて他の領域と関連づけられていたNOSの内容は、従来の理科カリキュラムにおいて扱われてきたNOSと異なるものではなく、むしろそれらを内包するものである。そのため、従来の理科教育において扱われていたNOSの内容を大きく変更することなく、自然科学以外の領域と関連づけることが可能である。しかし、従来の理科教育におけるNOSと、TOKで扱われるNOSは、内容

においては重なりがみられるものの、その扱われ方に違いがある。従来の理科教育においてNOSは、仮説を立てて実験を行い結果を考察するという科学的な探究の過程や、単元の内容に関連した科学史といった、自然科学のトピックを扱う中で教授されてきた。一方でTOKにおいては、他の領域との関連の中でNOSが学ばれるため、自然科学以外のトピックを扱う中でもNOSが教授される。そのような中では、従来の理科カリキュラムにおけるNOSの内容に加えて、自然科学と他の領域の関係そのものがNOSとして扱われる。理科において従来のように自然科学のトピックを発端としてNOSを扱う中では、そのNOSが他の領域とどのように関連しているのかを考え、指導に組み込む必要がある。

4 TOKにおけるNOSの役割

表2に示されたNOSの内容が自然科学以外の領域と関連づけられる際に、NOSはどのような役割を担っているのだろうか。換言すれば、NOSと自然科学以外の領域をどのように関連づけることで、どのような教授が意図されているのだろうか。この問いに答えるために、抽出した80箇所それぞれにおいてNOSが自然科学以外の領域と関連づけられる場合、どのような役割を担っているかという視点から見出しを付与し、それらをもとにカテゴリーを作成した。その結果を表3に示す。

表3のように、他の領域と関連づけられた場合のNOSの役割は4つに大別された。第一に、他の「知識の領域」との比較対象としての役割である。これは、NOSを他の「知識の領域」と比較して相違点を示したり、そのような違いが生じる背景について考察を促したりすることで、特定の「知識の領域」についての理解を促進させようとする狙いや、逆に意外性のある類似点を示すことで、異なる「知識の領域」に対する先入観を排除しようとする狙いがある。例えば、表3の(a)では、自然科学における実験の特徴とヒューマンサイエンスにおける実験の特徴とが比較される。そこでは、自然科学に

表3 他の領域と関連づけられる際のNOSの役割

カテゴリー	定義	具体例
1 他の「知識の領域」との比較対象	(a) 「自然科学」と他の「知識の領域」を比較してNOSとの違いを示したり、考察を促したりすることによって、その領域の特徴を目立たせる。	「『科学』という言葉は典型的に、白衣を着て実験室で実験する人を連想させる。理想的には、ヒューマンサイエンスにおいても自然科学のように実験が行われる。しかし実際はそのようなケースはほとんどない。それには、以下の3つの理由がある。」として、ヒューマンサイエンスの特徴を説明している。
	(b) 「自然科学」と他の「知識の領域」を比較してNOSとの類似点を示すことによって、特定の「知識の領域」の特徴をわかりやすく説明する。	「自然科学において、純粋科学が技術的あるいは工学的な応用に用いられるように、数学においても純粋数学の抽象的で重箱の隅をつつくような課題が、数学の外の世界で直接的に應用される非常に有用な技術を生み出す」として、NOSとの類似点を示しながら数学について説明している。
	(c) 「自然科学」と他の「知識の領域」との一般的な相違点を示したのちに、NOSを用いて両者の意外な共通点を示すことで、「知識の領域」についての先入観や固定観念を問い直す。	「科学は理性に基づいていて宗教は信仰に基づいていると考えることは自然なことである。しかしその一方で、科学は宗教と同じように信仰に深く基づいていると主張する人もいる」と述べ、科学における信仰について説明したのちに、「科学的な信仰は宗教的な信仰とどの程度似ていてどの程度異なるか」と問いかけている。
	(d) 「自然科学」と他の「知識の領域」とを比較してNOSとの相違点を示すことで、その違いが生じる背景について考察を促す。	「自然科学もヒューマンサイエンスも、一般化や法則を見出そうとしている。しかし、深く見てみると、そこでいう法則とは異なる性質のものである。このような違いがどこから生じるのかというのは、より深めるべき知識に関する問いである。」として、違いが生じる背景について考察を促す。
2 説明における具体例	(e) 複数の「知識の領域」に共通する概念について説明したり考察を促したりするための一例としてNOSを用いる。	「信じることが見方に影響を与えることについて、異なる領域の3つの例を示す」として「19世紀、一部の科学者はまだ発見されていない惑星(Vulcan)が太陽と水星の間に存在すると推測した。この信念に従って、何人かの天文学者は、望遠鏡でこの星が観測できたと主張した。しかし、このような星は存在しなかった」というNOSの例を一例として挙げている。
3 「自然科学」と他の「知識の領域」との関係の考察	(f) 「自然科学」と他の「知識の領域」の範囲について考察を促す。	「信仰と理性の対立を解決する一つよく知られた方法は、それぞれが異なる探究の領域であり、どちらもが現実を理解するための役割を担っていると考えることである。(中略)この考え方に基づけば、両者の対立は、一方がもう一方の領域に踏み込む時にだけ生じる。例えば、科学が価値について尊大に論じたり、宗教が自然界について発言したり。」として、「自然科学」と「宗教的知識の体系」の範囲に言及している。
	(g) 特定の「知識の領域」が自然科学に与える影響について考察を促す。	「以下に示す知識の領域において、個人の宗教的信念が影響を与える場合について考えなさい」という問いかけのもと、科学、歴史、芸術、倫理について宗教的信念が影響を与える場面に関する考察が促されている。この問いに答えるために、自然科学における個人の信念についてのNOSが用いられる。
	(h) 自然科学における倫理的な問題について考察を促す。	核爆弾の開発プロジェクトに携わったファインマンの手記をもとに、「実験の結果は、手段を正当化できるか」「どのような倫理的原則が、実験を制限すべきか」「方法が倫理的でないという理由によって、問いが解決されないままになるのか」といった問いが示されている。
	(i) 「自然科学」と他の「知識の領域」との関係性について複数の立場を示して考察を促す。	「自然科学」と「ヒューマンサイエンス」の関係について、「ヒューマンサイエンス」における知識は最終的に原子や分子の法則に帰結できるという「還元主義」や、それと対立する「社会的なルールは原子や分子には帰結しない」とする「理解社会学的立場」などを示し、考察を促す。
4 分析や考察の視点	(j) ある「知識の領域」について考察するための視点としてNOSが用いられる。	「ドイツの社会学者であるマックス・ウェーバーは、特定の宗教のシステムの影響が、どのようにして評価されるのかについて考察した。」として、「宗教は、自然界についての理解を構築するか?」という評価に用いる質問が示されている。これは、「宗教的知識の体系」をNOSの視点から分析することを促す。
	(k) 異なる「知識の領域」に共通する問いについて考察するための視点としてNOSが用いられる。	「ヒューマンサイエンスと自然科学において、納得させるような理論とはどのようなものか?」という問いは、「理論」について分析する際の視点としてNOSを用いることを促す。

※括弧内は筆者

における実験は実験室で行われること、条件が統制されていること、再現可能性を求めることといった、自然科学の方法論に関するNOSがヒューマンサイエンスにおける実験との比較対象として扱われる。このように、両者の相違点を示すことで、ヒューマンサイエンスにおける実験の特徴を目立たせて説明している。また(c)の例では、個人の信仰が自然科学における知識に影響を与える場合があるというNOSを示すことで、一般的に全く異なる領域として認識されている「自然科学」と「宗教的知識の体系」との類似点を指摘している。これによって、生徒が持っている知識に対する先入観や固定観念の見直しが迫られる。

第二に、説明における具体例としての役割がある。この場合、自然科学の特徴を例示する際にNOSが挙げられ、それによって複数の「知識の領域」に共通する概念の理解を促すことが意図される。例えば、(e)では、信念が物事の見方に影響を与え、時には事実を歪めてしまうという具体例の一つとして、惑星の存在に対する議論に科学者の信念が影響を与えた例を示している。これは、個人の信念が自然科学に影響を与えるというNOSに関する例である。それによって、複数の「知識の領域」に共通する性質を一般化して説明することを助けている。

第三に、自然科学と他の領域の関係性について理解を促す役割がある。例えば(f)で挙げられている、自然科学と宗教のように、それぞれの領域が重なり合ったり対立したりする場合、どこからどこまでが自然科学が対象とする範囲、あるいは宗教が対象とする範囲なのかといったように、それぞれの範囲や限界について考察することが促される。この場合には、自然科学の範囲や限界に関連するNOSが用いられる。このように、自然科学と他の領域とが対立する場面や、自然科学に他の領域の考え方が影響を与えている場面などについて考察することで、自然科学に関連した様々な問題に対して複合的な視点から考察することが目指されている。

第四に、分析や考察の視点を提供するという役割がある。(j)の例では、「宗教は自然界に

ついての理解を構築するか」といった視点から「宗教的知識の体系」を評価することが試みられている。この場合、自然界の法則を探究するという自然科学の目的に関するNOSを用いて、宗教的な知識について考察することが促される。このように、TOKでは、自然科学そのものについて考察する際にNOSを用いるのではなく、自然科学以外の「知識の領域」について考察する際の視点としてNOSが扱われることも意図されている。

従来の理科カリキュラムでは、自然科学の特徴を理解させることを目的として、NOSが項目として教授されていた。しかしTOKでは、NOSが扱われる場面は必ずしも自然科学についての理解を深めることだけを目的としてはいない。そうではなく、NOSを自然科学以外の領域と関連づけることによって、知識全般に対する生徒の見方を問い直したり、知識や主張を分析的に検討したりすることが目指されている。そしてそのためには、NOSとその他の領域の特徴を比較して類似点や相違点を考察したり、複数の領域に共通する概念について説明する際に、その他の領域の具体例と並列してNOSを説明したり、自然科学とその他の領域が互いに影響しあっていることを確認したり、NOSを基準にその他の領域の特徴を分析したりと、多様な関連づけ方が可能であることが明らかになった。

5 自然科学とヒューマンサイエンスにおける「理論」の性質

ここでは、表3に示した(d)の具体例を取り上げ、TOKにおいてNOSが活用される場面を例示する。(d)に示した具体例は、Pearson社の教科書における「ヒューマンサイエンス」の章の、理論について説明されている箇所にあたる⁷⁾。

そこでは、「観察と理論の関係を示す好例として、経済学者であるアルバン・ウィリアム・フィリップスの仕事を取り上げ」、彼が失業率とインフレーションの関係を示した「フィリップス曲線」を例に挙げている。フィリップスは、

失業率が下がるとインフレーション率は高くなり、失業率が上がるとインフレーション率は低下すると予想した。この理論は、彼が収集したデータによって裏付けられた。しかし、ミルトン・フリードマンとエドモンド・フェルプスは、インフレーション率と失業率の関係について、別の理論を提唱した。より長期的なデータからは、フィリップスの理論は誤っていることが示された。そこで、フリードマンは、フィリップス曲線に「期待」という概念を導入してフィリップスの理論を修正した。

教科書では、この理論の修正過程について、「二つの異なる理論が異なる予測を生み、それらが経験的証拠によって試験される」という「経済学の方法論は、自然科学の方法論とそんなに違いがあるようには見えない。(中略)このことは、自然科学においても度々生じる」とした上で、「大きな違いは、証拠を比較した後に、理論に何が起きるかである。自然科学の場合、成功しなかった理論は一般的に、物語から排除される。経済学の場合、理論は修正されて復帰する。」としている。そして、「経済学者がフィリップスのもとの考えを排除しようとしなかった理由として、政治的な理由がある」と述べ、考察の一例を挙げている。

ここで述べられている「政治的な理由」とは、以下のように説明されている。つまり、フィリップスの理論は、経済状況が芳しくない場合、政府は経済の要求を高めるべきだという主張を生むため、政治的左派の多くに支持されていた。一方で、フリードマンの理論は、インフレーションを高めるためだけに賃金を上昇させるという考えで、これは政治的右派の人に支持されていた。

このように、ヒューマンサイエンスにおける理論の変遷には、政治的な視点に関連する場合がある。教科書ではこれについて、「練習問題」として以下の3つの問いが示されている。

- ・政治的な視点が入り込む余地がある経済学的手法は、長所なのか？それとも短所か？
- ・自然科学が政治的な影響を受ける実社会の状況を思い浮かべることができるか？

・なぜ、自然科学においてはヒューマンサイエンスよりも政治的な影響が小さいのか？

このようにTOKの教科書では、ヒューマンサイエンスにおける理論の変遷について説明するだけでなく、自然科学の性質であるNOSと対比して違いを示し、さらに違いが生じる理由を分析することにより、知識についてのより深い問いに到達している。つまり、この例においてNOSは、比較対象として用いられることによってより深い考察を導く働きをしている。

ここで主として扱われているNOSは、自然科学における理論の変遷を扱う「自然科学的知識の暫定性」である(表2-1)。また、理論が生じる過程に注目するならば「自然科学の方法論」(表2-4)に着目することも必要だろう。さらに、ヒューマンサイエンスにおける政治的な影響について、自然科学と比較する際には「自然科学と社会の相互作用的關係」(表2-8)も用いられる。

このように、TOKでは各「知識の領域」が単独で説明されるのではなく、常に他の「知識の領域」との関係を意識しながら説明される。このような過程で、類似点や相違点が示される場合には、どちらかが絶対的に正しいものとして示されるのではなく、それぞれが主張の一つとして示される。それによって、各領域について多様な視点から解釈するとともに、様々な主張を批判的に検討したり、より発展的な考察を生むことが可能になる。そこにおいてNOSは、表3に示した4つの役割を担い、批判的思考を促す働きをしている。

6 おわりに

本研究は、これまで理科カリキュラムにおいて扱われてきたNOSの内容を、自然科学以外の領域とも関連づけて教授するというNOSの可能性を示すと同時に、NOSを自然科学以外の領域と関連づけて教授する際の具体的な場面をカテゴリーに分けて提示した。これにより、本研究の課題に即して、以下の二点を指摘できる。

第一に、自然科学以外の「知識の領域」と関

連づけられるNOSの内容は、従来の理科カリキュラムにおいて扱われてきたNOSの内容を内包するとともに、自然科学と他の知識領域の関係そのものがNOSとして扱われている。つまり、従来の理科カリキュラムにおいて扱われてきたNOSの内容は、その教え方や教材を工夫することで多様な領域と関連づけることが可能になると言える。さらに、NOSと他の知識領域との関係性そのものもNOSに含めることにより、他の領域との多様な関連づけが可能になることも示唆された。

第二に、TOKにおいてNOSは、自然科学以外の知識領域と関連づけることで、様々な教授を可能にしていることが明らかになった。TOKにおいてNOSは、自然科学だけでなくそれ以外の「知識の領域」の特徴を理解する際に比較対象として扱われたり、異なる二つの「知識の領域」における考え方が対立する場合に、その対立を批判的に考察する際の分析の視点として用いられていた。つまり、NOSを他の知識領域の比較対象として用いたり、複数の知識領域に共通する性質を説明する際の実例として用いたり、自然科学と他の知識領域の関係性を考察する際に用いたり、NOSを自然科学以外の領域と多様な方法で関連づけて教授することが効果的であることが示唆された。

理科における具体的なNOS教授の在り方として、その一例を示すならば、環境問題や遺伝子組み換え作物、遺伝子診断、あるいは原子力発電の安全性といった、科学に関連する社会問題を扱う際に、NOSを他の領域と関連づけながら教授することが可能になると考えられる。例えば、このような問題に対して、自然科学者の主張と市民の主張といった異なる視点からの意見を生徒に示す。生徒は、理科で学んだ知識を活用しながら意思決定を試みるが、それだけでは判断しきれないことに気づく。その際に、自然科学の知識はどういった場合に活用が可能なのか、自然科学の推論はどのような問題を解決するのに適しているのかといった問いを投げかけることで、自然科学の特徴であるNOSを学ぶ機会を提供することができる。さらに、こ

のような自然科学の特徴を、例えば社会科学の特徴と比較しながら、それらも併せて学ぶことで、住民の不安や経済への影響などについて社会科学的な視点から考察しつつ、証拠に基づいた意思決定を行うことができる。これは、政治経済や倫理といった社会科の学習内容とも関連づけることができ、教科の関連性も理解しながら学ぶことが可能になる。

TOKは、扱う知識の領域が多く、その内容が極めて抽象的であり、日本の学校教育にそのまま導入するには教師や生徒の負担が大きいことが予想される。しかし、NOSと他の領域を関連づける方法としてTOKの知見を生かし、それを従来の理科教育に取り入れることで、実社会の問題に対してNOSを活用する能力を育成することが可能になるのではないだろうか。

本研究で示唆された上記のようなNOSの教授は、日本の学校教育においては、新学習指導要領の「理科の見方・考え方」と関連して、自然科学の見方・考え方を、他の領域と比較しながらメタ的に捉えることを可能にすると考えられる。これを踏まえて今後の課題としては、「理科の見方・考え方」とNOSの関連を明らかにするとともに、他の知識領域と関連づけたNOS教授を日本の学校教育に適用するためのカリキュラムや単元を開発することが挙げられる。

註

- (1) 胎児組織移植は、中絶あるいは流産した胎児の組織を別の人間に移植するものである。ここでは、予期せぬ妊娠をした女性がパーキンソン病を患った父親のために中絶を考えるとというシナリオが提示され、このような場合に中絶が認められるかどうかが問われている。
- (2) IB機構は‘Human Science’と示している。日本語版の『「知の理論」(TOK) 指導の手引き』では「ヒューマンサイエンス (人間科学)」として訳されているため、本稿では「ヒューマンサイエンス」と記す。ヒューマンサイエンスが包含する学問領域は、人類学、経済学、心理学、社会学などである。

- (3) 「土着の知識の体系」の原語は “Indigenous knowledge systems” である。これは、少数民族固有の知識を扱う領域である。
- (4) 本稿において、「領域」とはTOKが定める8つの「知識の領域」を意味する。また、「他の領域」とは「知識の領域」のうち「自然科学」以外の7つの領域を意味する。
- (5) 例えば、宗教的体験について説明されている箇所、側頭葉を刺激することによって人工的に宗教的経験を誘導することができるという主張が紹介されている。これは自然科学と宗教的知識の体系が関連づけられている箇所ではあるが、神経科学という特定の領域の成果に触れるのみで、科学それ自体の性質についての記述ではないため除外した。
- (6) 表2に示したカテゴリーは、『「知の理論」(TOK) 指導の手引き』(国際バカロレア機構, 2013)における「知識の枠組み」の内容及び「自然科学」の内容を参考にした。TOKでは、各「知識の領域」はそれぞれ「知識の枠組み」の内容に沿って構成されている。「知識の枠組み」は、「範囲・応用」「概念・言語」「方法論」「発展の歴史」「個人的な知識のつながり」の5つが設定されている。TOKではこの5つの枠組みに沿って「自然科学」が特徴付けられている。本研究では、このようにして特徴付けられる「自然科学」の特徴としてどのようなものが挙げられているのかを、カテゴリー分析を通じて明らかにした。
- (7) Pearson社の教科書において、各「知識の領域」は独立した章として説明される。

引用参考文献

- Allchin, D. (2011). Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. *Science Studies and Science Education*, 95 (3), pp. 518–542.
- Bastian, S., Kitching, J., and Sims, R. (2014). *Theory of Knowledge 2nd Edition: Supporting Every Learner Across the IB Continuum*. Pearson.
- Bell, R. and Lederman, N. (2002). Understandings of the Nature of Science and Decision Making on Science and Technology Based Issues. *Science Education*, 87(3), pp. 352–377.
- Clough, M. (2007). Teaching the Nature of Science to Secondary and Post-Secondary Students: Questions Rather Than Tenets. *California Journal of Science Education*, 8(2), pp. 31–40.
- Dagher, Z., and Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education; Why Does it Matter?. *Science & Education*, 25, pp. 147–164.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., and Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Open University Press.
- Eastwood, J., Sadler, T., Zeidler, D., Lewis, A., Amiri, L. and Applebaum, S. (2012). Contextualizing Nature of Science Instruction in Socioscientific Issues. *International Journal of Science Education*, 34(15), pp. 2289–2315.
- International Baccalaureate Organization. (2013). *Theory of Knowledge Guide*. (国際バカロレア機構 (2015). 『「知の理論」(TOK) 指導の手引き』.)
- International Baccalaureate Organization. (2014). *Biology Teacher Support Material*. (国際バカロレア機構 (2016). 『「生物」教師用参考資料』.)
- Lagemaat, R. (2015). *Theory of Knowledge for the IB Diploma: Second Edition*. Cambridge University Press.
- Matthew, M. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science to Features of Science. In Khine, M. (Ed), *Advances in Nature of Science Research*, pp. 3–26. Dordrecht: The Netherlands: Springer.
- McComas, W. & Olson, J. (1998). The Nature of Science in International Education Standards Documents. In McComas, W. (Ed), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, pp.53-70. Dordrecht: Kluwer.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards*, Washington, D.C., The National Academies Press.
- 教育課程部会 理科ワーキンググループ (2018). 「理科ワーキンググループによる審議の取りまとめ」.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/060/sonota/_icsFiles/afiedfile/2016/

09/12/1376994.pdf (2018年10月31日閲覧)

小林優子 (2017). 「国際バカロレアの『知の理論 (TOK)』におけるNOS教授の特質—自然科学の枠組みに留まらないNOS教授への示唆—」. 『国際バカロレア教育研究』, pp. 39-46.

能智正博 (2011). 『質的研究法』. 東京大学出版会.

文部科学省 (2008). 『中学校学習指導要領解説 理科編』. 大日本図書.

Connections between Natural Sciences and other Areas of Knowledge in the Teaching of “Nature of Science.”: Focusing on the “Theory of Knowledge” in the Curriculum of International Baccalaureate.

Yuko KOBAYASHI

The purpose of this paper is to offer alternative ways in the instruction of the Nature of Science (NOS), while making connections with areas of knowledge outside the natural sciences. It focuses on the teaching of NOS in the Theory of Knowledge (TOK) course of the International Baccalaureate Organization, which is a curriculum that connects NOS with other areas of knowledges. To fulfil the purpose of this research, I analyzed two TOK course textbooks from two points of view. The first of these points refers to the question of what are the tenets of NOS that relate to other areas of knowledge. The second one explores the role of NOS in those cases in which natural sciences connect with other areas of knowledge. After pondering these two questions, I extracted an example from educational materials, and analyzed in detail the role of NOS.

“Natural sciences,” which is one of the “areas of knowledge” in the TOK course, includes content of NOS. Considering this point, I identified what tenets of NOS relate to other areas of knowledge in the TOK course. For this task I used the method of “category analysis.” As a result, 13 tenets were identified, 9 of which coincide with typical NOS tenets that are commonly used in the teaching of NOS. This shows that connecting NOS with other areas of knowledge proves not so difficult, since it is not necessary to include new tenets of NOS in the instruction process.

The category analysis also reveals four roles played by NOS. The first of these roles is to allow the comparison of NOS with some features of other areas of knowledge. By comparing NOS with some features of other areas of knowledge, students are able to gain a deeper understanding of the features in each of the areas. The second role is to provide examples of the common features of different areas of knowledge. The third role is to provide indicators that can be used in the inquiry of similarities and differences between natural sciences and other areas of knowledge. The fourth role is to provide a point of view that can be used by students to make inquiries about knowledge. Based on these findings, we can say that there are several ways to connect NOS with other areas of knowledge, and that there are also several ways to engage in the teaching of NOS.