

NOS の理解度向上のための科学史を利用した明示的指導

十文字 秀行*・宮本 直樹**

(2023 年 10 月 23 日受理)

Explicit Guidance Using the History of Science to Improve Understanding of NOS

Hideyuki JUMONJI and Naoki MIYAMOTO

キーワード：科学の本質（NOS）、科学的探究、SSH

本研究では、NOS の理解を促進するための指導法として、科学史を利用した明示的な指導と、グループでの対話を通じた振り返り活動を導入した指導を行い、その効果をSUSSIにより検証した。その結果、「科学の暫定性」、「科学者の主観性」、「創造性と想像力の役割」、「科学的モデルの限界」の4つのNOSの特徴について理解度が向上した。

はじめに

科学教育において、Nature of Science(以下、NOS)の理解の促進が近年、高まってきている。そのためNOSの効果的な指導法として、明示的な指導が推奨されている。さらに、Lederman *et al.*(2014)は、科学教育における主要な改革の取り組みの中で、NOSや科学的探究の機能的な理解は、明示的な指導や振り返りアプローチによって最も促進されると述べ、活動の最後に、NOSと科学的探究の側面を生徒に明示的に指摘する時間を与えることを推奨している。一方、Bell(2009)も、科学の本質を効果的に教えるためには、明示的な指導が中心であると述べている。

十文字・宮本(2022a)では、DNAモデルの研究史を解説することで、NOSの理解度に向上が見られるかを測定した。その結果、科学の暫定性には効果があったが、その他のNOSの各特徴について、理解度の向上は見られなかった。また、十文字・宮本(2022b)で、スーパーサイエンスハイスクール(以下、SSH)におけるNOSの理解度を調査した結果、すべてのNOSの特徴について生徒の理解度は低く、今後の指導でNOSの特徴を明示的に指導するように改善する必要性が明らかとなった。そこで、本稿では、NOSの理解改善のために一先ず、中学校3年生を対象に、科学史を利用したNOSの明示的な指導を行うことで、生徒の理解度が向上するかを検証することが必要となる。

*清真学園高等学校・中学校 **茨城大学大学院教育学研究科

研究の目的と方法

本研究では、中学校理科の授業において、遺伝子の研究についての科学史を取り挙げた NOS の明示的な指導と、対話による振り返りの考察を行い、生徒の NOS の理解度の向上を検証することを目的とする。

研究の方法としては、2022年10月中旬に、清真学園高等学校・中学校の中学3年生4クラスを対象に実践を行う。後述する開発した理科授業で、遺伝子の研究史についての説明を行い、その後、その内容と NOS の関連について考察させる。また、授業の前後に、NOS の理解度を測定する調査も実施する。

開発した授業

授業は2時間で構成し、1時間目は NOS の8つの特徴についての説明と、遺伝子の研究史について解説を行った。2時間目は4人でグループをつくり、課題を与え、対話による振り返りの考察を行った。具体的には、1時間目では、NOS の8つの特徴として、①科学の暫定性、②科学者の主観性、③創造性と想像力の役割、④理論と法則の違い、⑤科学の実証性、⑥観察と推論、⑦科学の方法、⑧科学的モデルの限界、について説明を行った(表1)。NOS の特徴をどのような項目に分類するかについては研究者間でも違いがあり、また同一の研究者でも時期により変遷がみられるものの、本研究では、Lederman *et al.*(2002), Lederman *et al.*(2014), Yalaki *et al.*(2019), McComas(2020)を参考に表1に示す8つの特徴を取り上げた。

表1 NOSの8つ特徴について

| NOS の特徴 | 内容 |
|------------|--|
| 科学の実証性 | 科学的知識は証拠に基づいている。科学は自然界の直接または間接的な観察に基づいている。科学は経験的証拠に基づくだけでなく、証拠に関連する論理的推論にも基づいている。科学的知識は実験データによって裏付けられるが、決して証明されるものではない。 |
| 科学の暫定性 | 科学的知識は永続的であるが、同時に暫定的でもある。科学的知識は安定しているが、決して確実でもなければ、明白に正しいわけでもない。科学的知識は進化的、革命的なプロセスを通じて変化する。科学的知識は、新しいデータや既存のデータの再評価によって変化する可能性がある。 |
| 創造性と想像力の役割 | 科学的な知識には、創造力と想像力が必要である。科学者は、科学的な仕事のあらゆる段階で創造力と想像力を駆使している。創造力と想像力は、科学者与其他の人を区別する重要な要素である。 |

| | |
|-----------|---|
| 観察と推論 | 観察と推論を混同してはならない。観察とは、感覚（あるいは感覚の延長線上）に「直接」アクセス可能な自然現象に関する記述である。これに対して、推論とは感覚に「直接」アクセスできない現象についての記述である。 |
| 科学者の主観性 | 科学的知識には主観が含まれる。科学者の予備知識、経験、価値観、信念、教育、期待は、彼らの研究および彼らが到達する結論に影響を与える。 |
| 理論と法則の違い | 理論は科学的説明であり、法則は自然現象の科学的記述である。両者は科学において異なる目的を果たすものであり、両者の間に上下関係はない。 |
| 科学の方法 | 全ての科学者が科学を行う際に従う、ある種の段階的な手順が存在すると信じられているが、この考え方は明確に否定されている。 |
| 科学的モデルの限界 | 科学的なモデルは、現実を正確に反映しているわけではない。科学的モデルは説明に必要な要素を抽出し、強調している。逆に、無視している部分もある。 |

遺伝子の研究史、とりわけ、遺伝学・分子生物学の分野に注目した理由は、第1にこの分野の研究史が比較的高等学校教科書（例えば、嶋田他、2016）によく取り挙げられていること、第2に本稿で取り挙げた NOS の 8 つの特徴を示すエピソードが、全て含まれていること、第3に DNA の二重らせん構造解明に至る研究については、豊富な資料（例えば、ワトソン、2015）が存在し、教科書に記述のないエピソードを得ることが容易であるためである。

一方、岡本・青井（2019）は、日本とカナダの高等学校で用いられる生物の教科書を対象とし、それぞれの国の教科書が、NOS の諸アスペクトを十分に記述しているかどうかを調査した。その結果、日本の教科書では、実証的性質と観察と推論の違いの 2 つの特徴に関してはすべての教科書で取り挙げられているが、暫定的性質や、理論負荷性と主観性、創造力と想像力の関与、の 3 つの特徴はほぼ無いか非常に少ないということを明らかにした。さらに、これら 3 つの特徴の認識の欠如は、科学の動的性質の理解の欠如につながる可能性を指摘している。この科学の動的性質の理解は、科学的探究活動と密接な関係を持つと考え、本稿の授業実践において特に重要視し、研究史のエピソードとして取り挙げた（ジャドソン、1982；石川、1988；松田、2011；ワトソン、2015；中屋敷、2022）。この中には、現在では間違った考えであったことが明らかな説、レヴィーアのテトラヌクレオチド仮説、ポーリングの三重らせんモデルのエピソードは「科学の暫定性」に関係の深いエピソードである。フランクリンは DNA の立体構造について、優れた X 線回折像を得たが、その解釈においてワトソンやクリックのらせんモデルを否定した。結晶学者であるフランクリンと、生物学者であるワトソンの持つバックボーンの違いが、データの解釈の違いとして現れた「科学者の主観性」の例である。シャルガフの解けなかった塩基の比が示す規則を、相補性というひらめきで解決したワトソンのエピソードは、まさに科学者の「創造性と想像力の役割」を示す例であるこれらを、遺伝子の研究の歴史として、メンデルの遺伝の法則の発見から、ワトソン・クリックの DNA 二重らせんモデルの解明までの研究史をスライドにより説明した。取り挙げた研究者とその研究内容、NOS との関係を表 2 に示す。

表2 取り挙げた研究者と研究内容・NOS との関連

| 研究者 (発表年) | 内容 | 関連する NOS の特徴 |
|----------------------------|-------------------------|--|
| メンデル (1865) | 遺伝の法則の発見 | 創造性と想像力の役割、観察と推論 理論と法則の違い、科学の方法 |
| ドフリース、コレンス、 チェルマク(1900) | 遺伝の法則の再発見 | 観察と推論、科学の方法 |
| サットン(1902) | 染色体説の提唱 | 観察と推論、理論と法則の違い |
| モーガン(1913) | 染色体説の実証・遺伝子地図の 作成 | 観察と推論、理論と法則の違い |
| レヴィーン(1935) | テトラヌクレオチド説 | 科学の実証性、科学の暫定性 |
| エイブリー(1944) | 遺伝子の本体がDNA であるこ との発見 | 科学の実証性、科学の暫定性 |
| シャルガフ(1950) | シャルガフの規則の発見 | 創造性と想像力の役割、観察と推論 理論と法則の違い、科学の方法 |
| ポーリング(1953) | DNA の三重らせんモデル提唱 | 科学の暫定性、科学の方法 |
| フランクリン(1953) | X線解析による DNA の構造 研究 | 科学の実証性、科学者の主観性 科学の方法 |
| ワトソンとクリック (1953) | DNA 二重らせんモデルの提唱 | 科学の実証性、科学の暫定性 創造性と想像力の役割、観察と推論 科学者の主観性、理論と法則の違い 科学の方法、科学的モデルの限界 |

表2 に示す研究の歴史の説明に併せて、NOS の特徴にあたる事例について解説を加えた。NOS と研究者の成果は1対1対応ではなく、複数の研究者が関連しているものもある。例えば、科学の暫定性のエピソードとしてとりあげた DNA 構造については、ワトソンとクリックの二重らせん構造以前に多くの研究者が独自のモデルを提案してきた。この授業では、特に印象的な例として以下のエピソードを取り挙げて説明した (表3)。

表3 NOS の特徴に関連するエピソード

| NOS の特徴 | 関連するエピソード |
|---------|--|
| 科学の実証性 | <ul style="list-style-type: none"> ・レヴィーンは実験で得られた DNA の分子量から、DNA は4つのヌクレオチドから成る小さな物質だと推測した。 ・エイブリーは形質転換の実験から、DNA が遺伝子の本体であることを発見した。 ・ワトソンとクリックは、得られていたデータを説明できる二重らせんモデルを提唱した。 |

| | |
|------------|--|
| 科学の暫定性 | <ul style="list-style-type: none"> ・遺伝子の本体はタンパク質だと考えられていたが、その後の研究により DNA であることが明らかとなった。 ・DNA の構造として、ポーリングの三重らせんモデルなど多くのモデルが提案されたが、その後新しいモデルに置き換わった。 |
| 創造性と想像力の役割 | <ul style="list-style-type: none"> ・メンデルの遺伝子は粒子であるという発想が、遺伝法則の解明につながった。 ・ワトソンの DNA の塩基が相補的に結合するというアイデアが、DNA の構造解明に大きな役割を果たした。 |
| 観察と推論 | <ul style="list-style-type: none"> ・メンデルは交配実験の結果より、遺伝子の存在を推論した。その後、染色体の観察により、遺伝子が染色体上に存在することが推論された。 ・DNA の化学分析により得られたデータは、アデニンとチミン、グアニンとシトシンの数に規則性があることを示し、DNA の構造解明のヒントになった。 ・DNA 結晶に照射した X 線の回折像から、立体構造の推測が可能である。 |
| 科学者の主観性 | <ul style="list-style-type: none"> ・DNA の構造について、ほぼ同じデータを得ていたにも関わらず、ワトソンとクリックはらせん構造を主張し、フランクリンは否定した。 |
| 理論と法則の違い | <ul style="list-style-type: none"> ・メンデルは遺伝の粒子説という理論に基づいて実験を行い、遺伝に法則性があることを明らかにした。 ・シャルガフは DNA の塩基の比について法則性があることを発見し、ワトソンはその原因が塩基の相補的結合にあるという理論を提唱した。 |
| 科学の方法 | <ul style="list-style-type: none"> ・DNA 構造解明の方法は1つではなく、化学分析、X 線解析、分子模型の構築など多様な方法がとられた。 |
| 科学的モデルの限界 | <ul style="list-style-type: none"> ・ワトソンとクリックが論文で示した DNA モデルは、二重らせん構造について示すことを目的としており、分子の形や種類については無視している。 |

2 時間目では、科学研究のエピソードを紹介し、その中から NOS の特徴を見出すことを意識するように指示してから説明を行った。その後、4 人でグループをつくり、図 1 に示す課題について対話による振り返りの考察を行った。課題(1)は、説明した研究史から抽出した例が、NOS のどの特徴と深く関連しているかを思考する問題、課題(2)は自分の理解している範囲で、NOS と関連する例を挙げるといった問題である。その後、生徒の解答はクラス全員で共有した。課題(1)については、正解を示した。課題(2)については、いくつかの班を指名し、なぜそう考えたか説明を求め、誤解がある場合は訂正した。

課題 グループで対話し、次の課題に取り組みなさい。

(1) 次にあげるエピソードは NOS のどの特徴を示したものでですか。下の NOS の特徴ア〜クから選びなさい。

- ① ワトソンが、塩基が相補的に結合しているというアイデアをひらめいたことが、二重らせんモデルの構築につながった。
- ② レヴィーンは、DNA を単純な物質であると考えていたが、その後の研究により、その考えは変化していった。
- ③ フランクリンのX線回折像を見たワトソンは、DNA が螺旋型であると考えたが、フランクリンはその考えを否定し、らせんの可能性はないと主張した。
- ④ DNA を表すモデルには、目的に応じていろいろな種類がある。
- ⑤ DNA 分子を直接見ることはできないが、実験データをもとに推論を行うことでその構造を推測できる。
- ⑥ フランクリンの X 線解析、シャルガフの化学分析に対し、ワトソンとクリックは、分子の模型を組み立てるという方法を利用して、DNA の構造解明に挑んだ。
- ⑦ DNA の構造は、様々な実験から得られたデータを満たしていなければならない。
- ⑧ シャルガフは DNA の塩基の比について法則性があることを発見し、ワトソンはその理由を解明した。

NOS の特徴

| | | |
|----------|-------------|--------------|
| ア：科学の実証性 | イ：科学の暫定性 | ウ：創造性と想像力の役割 |
| エ：観察と推論 | オ：科学者の主観性 | カ：理論と法則の違い |
| キ：科学の方法 | ク：科学的モデルの限界 | |

(2) 上の(1)に示すもの以外に、NOS の特徴と関連した科学の例を1つ以上書きなさい。

図1 NOS の特徴に関する問題

NOS 理解度を測定する評価問題

NOS 理解度を測定するために Liang *et al.*(2006)が開発した Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (以下、SUSSI) を主に使用し、後述する NOS の特徴を加え、質問紙を作成した。質問項目は、科学の暫定性、科学者の主観性、創造性と想像力の役割、理論と法則の違い、科学の実証性、観察と推論、科学の方法、科学的モデルの限界である。8 つの特徴それぞれについて説明した問題文があり、内容が正と誤の2種類、計16題で構成される簡易的なものである。また、質問紙は、「まったくそう思わない、どちらかといえばそう思わない、どちらともいえない、どちらかといえばそう思う、まったくそう思う」の5段階で回答し、それぞれ1点から5点を与えるが、質問内容が誤の場合は、点数を反転した。なお、合計は80点となる。SUSSIは、科学の暫定性、創造性と想像力の役割、観察と推論、理論と法則の違い、科学の方法、科学と社会との関係、の6つの特徴について、各4問から構成されている。今回のテストでは、Lederman & Khishfe(2002)の開発した VNOS-D、それをもとに Yalaki *et al.*(2019)が開発した ScienTest を参考に、科学の実証性、科学者

の主観性、科学的モデルの限界についての問いを加えた。また、科学と社会の関係については、科学的探究活動との関連性が少ないと判断し省いた。開発したテストは資料に示す。

課題の結果及び考察

授業の課題には4名のグループで取り組み、解答はロイロノートのカードにより回収した。概ね全てのグループで活発な話し合いが行われ、対話を通じて解答を作成していた。全グループの解答提出後、正答とその理由を伝え、間違っ了解釈をしていた場合は訂正するように伝えた。課題1の各問の正答率を表4に示す。

表4 NOSの特徴の理解（課題1の正答率）

| 問い | 正答 | 正答グループ数 | 正答率 (%) |
|----|--------------|---------|---------|
| ① | ウ：創造性と想像力の役割 | 35 | 100 |
| ② | イ：科学の暫定性 | 35 | 100 |
| ③ | オ：科学者の主観性 | 33 | 94.3 |
| ④ | ク：科学的モデルの限界 | 32 | 91.4 |
| ⑤ | エ：観察と推論 | 33 | 94.3 |
| ⑥ | キ：科学の方法 | 31 | 88.6 |
| ⑦ | ア：科学の実証性 | 32 | 91.4 |
| ⑧ | カ：理論と法則の違い | 33 | 94.3 |

結果より、課題1の正答率はほぼ9割を超えており、授業で紹介したエピソードと各NOSの特徴の関連性についての理解が得られていた。

課題2の回答の内容を表5に示す。挙げられたNOSの例は、複数回答を可としたため、全35班から合計で65の回答があったが、NOSの特徴との関連が記入していないなど不備のある解答を除き、有効な回答は59であった。地動説に関する回答が最も多くみられ、暫定性の例として挙げられている。

表5 NOSの特徴と関連した科学の例（課題2の回答内容）

| 内容 | 回答数 | 内容 | 回答数 |
|----------|-----|----------|-----|
| 地動説 | 11 | ブラックホール | 2 |
| 遺伝の法則 | 4 | 交流発電 | 2 |
| エイブリーの実験 | 3 | フレミングの法則 | 1 |
| 遺伝子の本体 | 3 | ペストマスク | 1 |
| 原子モデル | 3 | 形質転換 | 1 |
| 光速の測定 | 3 | クローン技術 | 1 |

| | | | |
|-------------------|---|--------|---|
| 染色体地図 | 2 | 核融合 | 1 |
| DNA のテトラヌクレオチドモデル | 2 | 恐竜の色 | 1 |
| DNA の三重らせんモデル | 2 | オゾン層破壊 | 1 |
| STAP 細胞 | 2 | 原爆開発 | 1 |
| 天気予報 | 2 | 真空 | 1 |
| 万有引力 | 2 | 自然発生説 | 1 |
| 運動法則 | 2 | 進化論 | 1 |
| 古生物の形 | 2 | 恐竜の羽毛 | 1 |

次に課題 2 の回答と NOS の特徴の関係分析した。これを表 6 に示す。科学の実証性、科学の暫定性、創造性と想像力の役割、科学者の主観性に関するエピソードを挙げた回答が多く見られた。

表 6 課題 2 の回答と NOS の特徴

| NOS の特徴 | 授業で扱ったエピソードの記述数 | 授業で扱っていないエピソードの記述数 | 計 |
|------------|-----------------|--------------------|----|
| 科学の実証性 | 5 | 8 | 13 |
| 科学の暫定性 | 5 | 13 | 18 |
| 創造性と想像力の役割 | 2 | 8 | 10 |
| 観察と推論 | 2 | 1 | 3 |
| 科学者の主観性 | 1 | 7 | 8 |
| 理論と法則の違い | 0 | 3 | 3 |
| 科学の方法 | 1 | 1 | 2 |
| 科学的モデルの限界 | 0 | 2 | 2 |
| 計 | 16 | 43 | 59 |

生徒の回答で、今回の授業で扱わなかったエピソードとして、地動説、光速の測定、万有引力、運動法則など物理学の範囲に属する例が多く見られた。これは、中学 2 年生時に行った、物理学分野の研究者についての調査レポートの学習によるものと考えられる。生徒は、過去に学んだ科学史のエピソードを想起し、本授業で取り上げた NOS の特徴に合致する例を見出すことができた。

プレとポストテストの結果及び考察

プレテストとポストテストで解答が得られた 114 名の得点を比較し、対応のある t 検定により p 値を求め、効果量 r を算定した(表 7)。有意差が確認できた特徴のうち、科学的モデルの限界では効果量大、科学の暫定性、科学者の主観性、創造性と想像力の役割では効果量中という結果であった。その他の特徴については有意差は確認できなかった。科学的モデルの限界については、授業の中で 4 つの DNA

表7 NOS 理解度テストの結果 (n=114)

| NOS特徴 | 問題No | プレ | | ポスト | | p 値 | r 値 | 効果量 |
|------------|------|------|------|------|------|---------|------|-----|
| | | 平均 | SD | 平均 | SD | | | |
| 科学の実証性 | 5,13 | 7.24 | 1.15 | 7.37 | 1.55 | 0.29 | 0.10 | 小 |
| 科学の暫定性 | 1,9 | 7.48 | 1.39 | 8.47 | 1.55 | 0.00 ** | 0.48 | 中 |
| 創造性と想像力の役割 | 3,11 | 6.96 | 1.48 | 7.89 | 1.65 | 0.00 ** | 0.46 | 中 |
| 観察と推論 | 6,14 | 6.81 | 1.47 | 6.89 | 1.75 | 0.55 | 0.06 | - |
| 科学者の主観性 | 2,10 | 7.98 | 1.43 | 8.72 | 1.54 | 0.00 ** | 0.41 | 中 |
| 理論と法則の違い | 4,12 | 6.01 | 1.05 | 6.46 | 1.61 | 0.01 * | 0.23 | 小 |
| 科学の方法 | 8,16 | 8.76 | 1.33 | 9.10 | 1.41 | 0.01 * | 0.23 | 小 |
| 科学的モデルの限界 | 7,15 | 6.96 | 1.57 | 8.07 | 1.87 | 0.00 ** | 0.56 | 大 |

* : P<0.05, ** : P<0.01

構造についてのモデル、レヴィーン、シャルガフ、ポーリング、ワトソンとクリックのものを扱った。多くのモデルについて知ることから、科学的モデルは現実を正確に反映しているわけではないという理解が得られたと考えられる。科学の暫定性、科学者の主観性、創造性と想像力の役割の3つの特徴については、授業で取り上げた研究者とそのエピソードがそれらの特徴について理解できたと考えられる。表6に示したように、この3つの特徴については、NOSの特徴をあらわすエピソードとして回答数が多かったことから、生徒の理解に影響を与えたことがわかる。岡本・青井(2019)で述べられているように、日本の高等学校で使用されている生物の教科書には、暫定的性質や、理論負荷性と主観性、創造力と想像力の関与に関する記述がほぼ見られない。現在正しいと考えられている研究だけが取り挙げられていることから、生徒は科学は正解に向けて直線的に進歩するという印象を持っている可能性がある。また、研究者の人物や発見に至る試行錯誤に触れることはないため、科学者についてのイメージは、主観的な見方をしたり、創造性を駆使する人物像からは離れたものになっている可能性がある。本稿における授業実践では、NOSの8つの特徴を説明するため、教科書で扱わない科学の暫定性、科学の主観性、創造性と想像力の役割に関するエピソードを紹介した。そのため、生徒がそれまで持っていたイメージに揺さぶりがかけられ、理解に至ったと考えられる。

おわりに

本研究では、中学校理科の授業において、遺伝子の研究についての科学史を取り上げたNOSの明示的な指導を行い、生徒のNOSの理解度の向上を検証することを目的とした。具体的には、明示的にNOSの8つの特徴を示し、科学史のエピソードを例にして説明を行った。また、4人のグループをつくり、科学史の中に見られるNOSの特徴について課題を与え、対話による振り返りの考察を行った。その結果、科学の暫定性、科学者の主観性、創造性と想像力の役割、科学的モデルの限界の4つの特徴についての理解度が向上した。十文字・宮本(2022a)ではDNAモデルの歴史を扱った点で類似した授業を行ったが、この研究実践と違いが2点あげられる。1点目は、意図的に明示的な指導を導入した点である。前回の授業では、NOSについて、科学的探究活動の暗黙的な理解促進の効果を測定していた。2点目は、振り返りとしてグループによる対話を通じた考察を行っ

た点である。プレとポストテストの比較から、こららのアプローチのほうが科学の暫定性、科学者の主観性、創造性と想像力の役割、科学的モデルの限界の NOS の 4 つの特徴の理解促進に効果的であったと考えられる。

本研究では、2 時間の授業で扱った、NOS の特徴が多かったため、効果が出なかった特徴については、浅い理解にとどまった感があった。今後の課題としては、1 つの授業内で多くの NOS の特徴を扱うのではなく、授業の内容に合致した 1 つの特徴を取り上げて説明すること、また、そのような授業を複数回も行うことにより、深い理解を目指すことにある。

附記

本稿は、日本理科教育学会第 61 回関東支部大会の発表資料を大幅に加筆、修正したものである。

引用文献

- Bell, R. L. 2009. "Teaching the Nature of Science: Three Critical Questions". *Best Practices in Science Education*, 22, 1-6.
- 石川統. 1988. 『DNA から遺伝子へー生命の鍵をにぎる巨大分子』(東京化学同人).
- ジャドソン・H.F. 1982. 『分子生物学の夜明け 上ー生命の秘密に挑んだ人たち』(東京化学同人).
- 十文字秀行・宮本直樹. 2022a. 「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』 36(5), 37-40.
- 十文字秀行・宮本直樹. 2022b. 「SSH の科学的探究活動における NOS の理解」『茨城大学教育実践研究』 41, 75-88.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. 2002. "Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science," *Journal of research in science teaching*, 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G., Antink, A., & Bartos, S. 2014. "Nature of Science, Scientific Inquiry, and Socio-Scientific Issues Arising from Genetics: A Pathway to Developing a Scientifically Literate Citizenry," *Science & Education*, 23(2), 285-302.
- Liang, L. L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O. N., Adams, A. D., Macklin, M., & Ebenezer, J. 2006. "Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (SUSSI): Revision and Further Validation of an Assessment Instrument," *In Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST)*, San Francisco, CA (April), 122, 1-38.
- 松田誠. 2011. 「核酸化学から分子生物学へーテトラヌクレオチド構造を中心にー」『慈恵医大誌』 126, 243-253.
- McComas W. F. 2020. "Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths," In :W. McComas (Ed), *Nature of Science in Science Instruction. Science: Philosophy, History*

and Education, Springer, 53-70.

中屋敷仁. 2002. 『遺伝子とは何か？現代生命科学の新たな謎』(講談社).

岡本紗知・青井議輝. 2019. 「教科書に『科学の本質』は記述されるか 一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—」『科学教育研究』, 43(2), 187-204.

嶋田正和他. 2016. 『改訂版生物基礎』(数研出版).

ワトソン・ジェームズ・D. 2015. 『二重螺旋 完全版』(新潮社).

Yalaki, Y., Doğan, N., Serhat, İ. R. E. Z., Doğan, N., Çakmakçı, G., & Kara, B. E. 2019. “Measuring Nature of Science Views of Middle School Students,” *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6(3), 461-475.

資料

| No | 問題 | 正誤 | NOS の特徴 |
|----|---|----|------------|
| 1 | 科学的理論は、継続的に検証され、修正されるものである。 | 正 | 科学の暫定性 |
| 2 | 科学者は客観的であるため、同じ出来事に対する科学者の観察は同じになる。 | 誤 | 科学者の主観性 |
| 3 | 科学者は、データを分析し、解釈するときに、想像力と創造力を発揮する。 | 正 | 創造性と想像力の役割 |
| 4 | 科学的法則は、証明された理論である。 | 誤 | 理論と法則の違い |
| 5 | 科学は、実験、観察、およびそれらに基づく論理的推論に基づいている。 | 正 | 科学の実証性 |
| 6 | 化石から得られる情報から、恐竜の体型を予測することはできるが、その本当の姿を確実に知ることはできない。 | 正 | 観察と推論 |
| 7 | 科学的モデルは、説明に必要な部分省略している。 | 正 | モデルの限界 |
| 8 | 科学者は問題を解決するために、さまざまな方法を用いる。 | 正 | 科学の方法 |
| 9 | 正確な実験に基づいた科学的な理論は、変わることはない。 | 誤 | 科学の暫定性 |
| 10 | 科学者は、同じ観察に基づいて異なる解釈をすることがある。 | 正 | 科学者の主観性 |
| 11 | 科学者が想像力や創造力を働かせないのは、それが客観性の妨げになることがあるからである。 | 誤 | 創造性と想像力の役割 |
| 12 | 理論は法則がなぜ成り立つかを説明するものである。 | 正 | 理論と法則の違い |
| 13 | 占星術は複雑な理論体系を持つため、科学の一分野と言える。 | 誤 | と想像力の役割実証性 |
| 14 | 原子は非常に小さいですが、実験を通じて原子の構造を正確に知ることができる。 | 誤 | 観察と推論 |
| 15 | 多くの実験に支えられた科学的モデルは、現実と完全に一致する。 | 誤 | モデルの限界 |
| 16 | すべての科学者は、決められた実験方法に従わなければならない。 | 誤 | 科学の方法 |