

新型コロナウイルスの事例を通して「科学の本質」を学ぶ

—市民が情報発信を担う時代に—

岡 本 紗 知

大阪大学国際教育交流センター

Learning about the Nature of Science from COVID-19 Cases: In an Age when the General Public Becomes Part of Information Transfer

Sachi OKAMOTO

Center for International Education and Exchange, Osaka University

The nature of science (NOS) refers to the various aspects of scientific knowledge that are associated with how scientific knowledge is generated. It is considered to be an essential part of scientific knowledge itself, and has been introduced in many national curricula. However, it has yet to be introduced into the science curriculum in Japan. Indeed, the lack of Japanese students' understanding of NOS has been known for over two decades. In this research, COVID-19 was chosen as a theme to examine its potential to illustrate NOS in a familiar manner. Lederman's NOS aspects were used as a framework for analysis. The results demonstrated that a variety of COVID-19 related topics, such as aerosol infection, vaccine development, and mathematical modelling, serve as excellent sources to demonstrate various aspects of NOS, including its empirical nature, the difference between observation and inference, the social and cultural embeddedness of science, and the involvement of creativity and imagination.

Key words: nature of science, COVID-19, science literacy, media literacy

1. はじめに

2019年末以降、新型コロナウイルスという「人類共通の敵」に対して世界が一丸となって闘う必要性が生じた。新型コロナウイルスとその感染症関連の研究や開発は凄まじい勢いで進められ、かつてない速さで知見が生み出された。そしてその情報は、瞬時に世界中で共有されることとなった。

この一連の流れは、現時点では約2年という比較的短期間に全世界で起こったため、その中で個人がどう振る舞うか、また地域社会や各国がどのように対応するかという差異がより強調される結果となった。デマや擬似科学に流される人も少なくなく、ワクチンやマスク着用などをめぐる深刻な対立が地域社会で生まれた (e.g. Lang et al., 2021)。また新型コロナウイルスやワクチンが政府による陰謀論だと信じる者もいる (e.g. 高野ら, 2022)。そうでなくとも、自分の命を守ると

いう重要なミッションのもと、溢れかえる情報の取捨選択に困惑するという状況を誰もが経験したのではないだろうか。

このような状況下において、教育学分野ではメディアリテラシーの重要性が改めて問われることとなった (e.g. Austin et al., 2021)。メディアリテラシーとは、放送番組やインターネット等各種メディアを主体的に読み解く能力や、メディアの特性を理解する能力、新たに普及する ICT 機器にアクセスし活用する能力、メディアを通じコミュニケーションを創造する能力等だと定義されている (総務省, 2015)。

後藤 (2004) によると、国によりメディアリテラシーの歴史はやや異なり、マスメディア批判など批判的思考能力に重きを置いた欧米に比較すると、日本では当初 (~80年代)、直感的に理解できる映像の利点をいかに教育に活かすかという視点が注目を集めた。

しかしその後、90年代になると、報道情報への不信などが相次ぎ、メディアリテラシーの批判的思考能力に重点が移ることとなった(後藤, 2004)。そして、遺伝子組み換え食品や原子力発電など日常生活におけるリスク認知やリスク判断の側面からも議論されるようになった(e.g. 楠見・平山, 2013; 田中, 2014)。また近年になると、フェイクニュースに騙されないという、批判的思考の観点に加えて、オンライン時代特有の問題意識を背景とした議論も活発に行われている(e.g. 耳塚, 2020; 坂本, 2020)。このようにさまざまな切り口から議論が進められてきたメディアリテラシーだが、一般市民を対象とする場合、いずれも個人の意思決定に深く関与する点は共通しているように思われる。

このメディアリテラシーにおける意思決定だが、まずそのためには、どのような知識が信頼に値するかを個人が理解していなければならないだろう。そして、個人が意思決定をするにあたり、情報を取捨選択する必要もあるだろう。その際、情報がそもそもどのような性質のものかを十分に理解していれば、判断がより容易になることが予想される。このことから、情報が科学に関するものである場合、科学の本質(Nature of Science, NOS)と呼ばれる概念を理解することが、個人の意思決定に寄与するのではないかと考えられる。

NOSとは、科学知識に特有の性質のことであり、科学知識が生み出されるプロセスや、科学的な営みに関わる人の知覚の限界、さらには科学知識の社会的側面などの理解を指す(e.g. Lederman et al., 2002)。そしてNOSは、生徒が科学概念を理解し、科学的根拠に基づいて個人や社会の問題について十分な情報を得た上で判断できるようになるための、科学リテラシーの重要な要素だと考えられている(National Science Teacher Association, 2000)。NOSは科学知識そのものと切り離すことのできない知識であることから、アメリカやイギリスをはじめオーストラリアやカナダ、ニュージーランドなど多くの国ですでに科学教育のカリキュラムに取り込まれている(McComas et al., 1998)。さらにコロナ禍の中で、科学教育におけるNOSが改めて注目を集めることになった。

例えばGarcia-Carmona (2021)は、スペインのデジタルニュース記事4本を取り上げ、学校の教室内で社会科学的な問題の文脈においてNOSを取り扱うこと

を目指した。そのため、さまざまなNOSアスペクトの中でも、科学の発展におけるディベートの役割、科学研究における誤りの役割、科学知識の暫定的性質、科学研究におけるモデルの重要性に焦点化された。一方、Maiaら(2021)も同様に教室内での実践を目指したが、注目したのは科学知識の生産と伝達である。具体的には、ウイルスの特性解明や感染症の治療法とワクチン開発において知識がいかにか生産されてきたかをテーマとして取り上げ、社会学や経済学などさまざまな学問領域との関連を通して、科学に対するより広範な見方を実現しようとした。さらに、生産された知識の伝達にも注目し、コロナ禍において科学出版業がいかにか社会的・政治的な影響を与えたかを論じた。後にも述べるが、NOSアスペクトは現在も進化しつつある概念であることから、このような先行研究を通して、研究者らがその目的に応じて異なるNOSアスペクトに注目することが窺える。

NOSとメディアリテラシーを結びつける議論はあまり多くないが、久保田ら(2021)は、市民が意思決定をするためには、科学的主張の信頼性を評価できるようになる必要があるとし、そのために科学メディアリテラシーを「科学的主張の生産」「メディアによる伝達」「市民による消費」に分類して教材開発を目指したが、この議論においてNOSは「科学的主張の生産」を理解するために不可欠な概念として位置付けられている。

新型コロナウイルスの感染拡大によりその重要性が増すことになったNOSだが、背景には、近年、サイエンスコミュニケーションの構造が大きく変化したという事実がある。従来、サイエンスコミュニケーションの主な担い手は専門家やジャーナリズムであり、ピアレビューや複数の独立した情報源などにより、それぞれの信頼性が担保されてきた(Höttecke & Allchin, 2020)。しかし、ソーシャルメディアの普及により、これまで情報を消費する立場であった一般市民が、新たな情報の発信者として参入することになった。その結果、これまでに確立していた信頼性を確保するためのコンセンサスが崩れることとなった。例えば、新型コロナウイルスは次世代通信規格(5G)電磁波により広められたと信じた人々が、ヨーロッパ各地の5G電波塔を破壊した事例などがあったことから、科学者たちのコンセンサスと、一般市民が正当な科学として受け入れるものの間には大きな溝があることが改めて

示されている (Allchin, 2021). またこの事例から分かる通り、一般市民は、科学情報の消費者として情報の取捨選択を行うだけでなく、情報発信者としての責任も負うようになったといえる。このような状況のもと、Höttecke と Allchin (2020) は、SNS によるコミュニケーションパターンを分析し、科学知識がどのように伝達され、その際にどのように利用者によって操作されるかを理解することが重要だと考え、この新たな側面を NOS に取り入れることを提案した。しかし、このような議論は、すでに NOS が学校教育に普及していることを前提としている点に注意しなければならない。当然ではあるが、NOS が普及した土壌においてのみ、NOS のさらなる発展を検討することが可能になるのである。

日本では初等中等教育における学習指導要領に NOS の学習が明示されていないものの、その重要性はこれまでに論じられてきた。いくつかの先行研究をあげると、角屋と松浦は、NOS の中でも特に理論や法則など科学知識の生産プロセスに注目し、新しい科学論に立つ科学教育課程のあり方を論じ (角屋・松浦, 2001)、齊藤 (2000) は NOS を適切に教えることのできる指導者育成の重要性を述べた。志田らは、イギリスの小学校カリキュラムを精査することで国内の理科教育への NOS 導入の足掛かりを提案し (志田ら, 2019)、小林は探究活動を行うことで高校生の NOS 理解が深まることを示した (小林, 2021)。

筆者らは以前、高校生物の教科書を研究対象として取り上げ、各教科書が NOS について十分に記述しているかどうかを、日本とカナダで比較検討した (岡本・青井, 2019)。その結果、NOS の中でも科学知識の「実証的性質」や「観察と推論の違い」は十分な言及が見られるものの、「暫定的性質」や「理論負荷性と主観性」などに関しては、カナダと比較して日本の教科書ではほとんど扱われていないことが明らかになった。

実際、日本の生徒が NOS を十分に理解していないことは、国内外の調査研究によりすでに知られている (e.g. 国立教育政策研究所, 2001; 鈴木, 2011)。むしろ学習指導要領に明示されない現状を踏まえると、理解が不十分なのは当然なのかもしれない。しかし、科学知識をその生成のプロセスから切り離して十分に理解することが可能なのか、また科学知識の前提や限界が十分に認識されないままの知識にどのような価値が

あるのかは疑問が残るところでもある。NOS は、単に科学を学ばば身につくものではなく、明示的に教える必要があることがすでに知られていることから (Clough, 2011)、本格的なカリキュラムへの導入が望まれる。

本稿が最終的に目指すのは、一般の人々が、科学知識とは何かを適切に理解できるようになることである。より具体的には、人々が情報と接するとき、そもそもそれらが科学知識と呼べるものなのかを判断したり、科学が万能だと過度な期待をしたりせず、状況に応じた適切な対応ができるようになることである。そのため、科学知識とはどのように生まれるのか、またどのような限界があるのかを十分に理解しなければならない。すなわち NOS の理解が不可欠となる。そこで本稿では、新型コロナウイルスとその感染症の事例を取り上げ、それらと NOS との関連を示すことを試みる。さらに各事例において、NOS の理解が不十分だったために生じた問題点も指摘する。これにより、NOS を学ぶ意義を再確認し、NOS を学校教育に導入する必要性を改めて議論する。

II. 手法

1. 概念枠組み

本研究では、一般市民が科学情報の発信者となることを前提とし、個人が情報を取捨選択して適切な情報を得るという観点で NOS を適用することにした。具体的には、(1) 科学知識がどのように生まれるかを理解する、(2) 科学知識の限界を理解する、の 2 点を分析の視点とした。分析のための概念枠組みとしては、2015年の PISA 評価枠組みで言及された Lederman らによる NOS アスペクトを用いた (Lederman, 1992; Lederman et al., 2002)。分析に先立ち、(1) 科学知識がどのように生まれるかについては、Lederman らによる A. 実証的性質、B. 理論負荷性と主観性、C. 創造力と想像力の関与、D. 科学的手法の神話の 4 アスペクトが該当するものとした。一方、(2) 科学知識の限界については、E. 暫定的性質、F. 観察と推論の違い、G. 社会や文化への埋め込みの 3 アスペクトが該当するものとして位置付けた。これらアスペクトは、先の研究に詳細が記載されている (岡本・青井, 2019)¹⁾。

なお Lederman らによる枠組みには、「科学理論と法則」と呼ばれるアスペクトも存在する。しかし、こ

のアスペクトは本研究における (1) 科学知識がどのように生まれるかを理解する, (2) 科学知識の限界を理解する, のいずれにも該当しないことから, 本研究では取り扱わないものとした。

2. 対象と分析

分析の対象としては, 新型コロナウイルスとその感染症に関する国や企業の報告書, 国外の報道記事を事例として取り上げた。具体的な分析の対象は下記のとおりである。

(1) 政府指針や感染動向, 研究状況を把握するために WHO や日本に加え, 英語圏の各国政府関連のウェブサイトに掲載されるニュースやプレスリリース (e.g. 厚生労働省, NIH, CDC, NHS, NIHR, MRFF, NSERC) (2) ワクチンや治療薬の開発状況を把握するために企業ウェブサイトのプレスリリース (e.g. ファイザー, ピオンテック, モデルナ, アストラゼネカ, ジョンソンアンドジョンソン, アンジェス, 塩野義) (3) 国内外における新型コロナウイルスとその感染症関連の報道内容を把握するために報道機関によるニュース記事 (e.g. ロイター, BBC, CNN, NHK, 日本経済新聞)。また対象の時期は, 2020年2月から2021年9月とした。上記の調査において NOS アスペクトに関連する可能性が示唆された場合, 引用される原著論文等を精査した。そして, NOS 概念枠組みに基づき, 上述ウェブサイトもしくは原著論文等の各アスペクトに該当する箇所を同定した。なお本研究では, 新型コロナウイルスに関わるすべての事例を網羅的に紹介するわけではない。仮に本研究の目的が, 新型コロナウイルスの感染拡大期における市民の NOS 理解の国際比較といったように, 包括的かつ定量的解析を要するものだった場合, 考えるすべてのケースを洗い出す必要があることが予想される。しかし本研究が試みるのは, 多岐にわたる新型コロナウイルスとその感染症に関する事例を取り上げ, NOS を理解することで, それら事例の解釈がいかにより変わるかを示すことである。つまり, 新たな視点を提供する試みである。そのため, 体系的な量的研究ではなく, 限られたトピックを取り上げるものとした。その点において, 本研究における手法は還元主義的アプローチであるといえる。

III. 結果と考察

調査の結果, NOS と密接に関連する次の5トピック, 「エアロゾル感染」「銅によるウイルス不活化」「ワクチン開発」「感染拡大モデル」「新型コロナウイルス関連の研究促進」が見つかった。それぞれのトピックは1~2個の NOS アスペクトを含んでいた。なお「D. 科学的手法の神話」については, この NOS アスペクトを含むトピックを新型コロナウイルスに関わる事例の中から見つけることができなかった。

1. エアロゾル感染・銅によるウイルス不活化

次の論文 (van Doremalen et al., 2020) は, 2020年4月に The New England Journal of Medicine 誌に掲載され, その直後から世界中で大きな注目を集めた (オンライン速報版は3月)。その影響は, 2022年4月現在, 3,300を超える論文で引用されたことから明らかである。本稿では, この研究の主要論点であるエアロゾル感染と銅表面におけるウイルス不活化に注目した。そして, 国際的な感染対策をめぐる動向の中におけるこの研究の位置づけ明確にすることで, 前者を科学知識の暫定的性質と実証的性質の観点から, 後者を理論負荷性と主観性の観点から分析した。

論文概要²⁾

van Doremalen ら (2020) (The New England Journal of Medicine)

この研究では, 実験室内において, 新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) と SARS コロナウイルス* (SARS-CoV-1) のエアロゾル及びさまざまな物質表面における安定性の比較分析が行われた。実験では, エアロゾル状態 (5 μm 未満) に加え, プラスチック, ステンレス, 銅, 段ボールの4種類の物質が用いられた。エアロゾル状態において, SARS-CoV-2 と SARS-CoV-1 は, 実験を行った3時間ともに生存可能であった。またこの場合の半減期は, SARS-CoV-2 と SARS-CoV-1 ともに1.1~1.2時間だった。一方, 物質表面においては, SARS-CoV-2 はプラスチックやステンレス表面で72時間後も生存した。しかし, 銅の表面では SARS-CoV-2 は4時間以上, SARS-CoV-1 は8時間以上生存することができなかった。さらに段ボール表面では, SARS-CoV-2 は24時間以上, SARS-CoV-1 は8時間以上生存することはできなかった。安定した生存が見られた物質についてだが,

SARS-CoV-2の半減期は、ステンレスで約5.6時間、プラスチックで約6.8時間であると見積もられた。この論文の中で筆者らは、SARS-CoV-2とSARS-CoV-1が同様の安定性を示すとともに、エアロゾルや物質を解したSARS-CoV-2感染の可能性を示唆するものだと結論づけた。

*SARS コロナウイルスは、SARSを引き起こしたヒトコロナウイルスの一つであり、新型コロナウイルスとのゲノム相同性は約80%である。

a. エアロゾル感染 (A. 実証的性質, E. 暫定的性質)

van Doremalen らの論文の発表される直前、WHOは新型コロナウイルスの感染経路に関するガイドラインを公表した (WHO, 2020a)。そこでは主要な感染形態は濃厚接触時の呼吸器飛沫であり、そのリスクは感染者との距離が1メートル以内の時に生じることからソーシャルディスタンスが励行された。

その後、2020年7月になるとWHOは新たな報告書を公表した (WHO, 2020b)。この報告書では、一般的なウイルスのエアロゾルや空気感染についての記述が見られたものの、上述の van Doremalen らの研究結果については、エアロゾルが強力なジェット噴霧器により作られたものであり、実生活 (ヒトの咳やくしゃみなど) を反映したものとは言えないとした。他にもいくつかのエアロゾル関連の研究が取り上げられたが、いずれも新型コロナウイルスがエアロゾル状態で感染する根拠を直接示しておらず、更なる研究が必要だと結論づけられた。そのため推奨される感染対策も2020年4月時点から変更されなかった。

WHOのこの見解に対して警鐘を鳴らした研究者は少なくない。なぜならエアロゾル状態で感染することは、いわゆる空気感染が感染経路としてあり得るということになり、1メートルのソーシャルディスタンスでは感染対策として不十分だということになるからである。2020年11月には、オーストラリアの大気質・健康国際研究所のMorawska 所長らが、新型コロナウイルスが換気の悪い屋内において1~2メートルを超えて滞留することが多くの研究者らによって「合理的疑いの余地なく」示されていることから、エアロゾルによる感染を認める必要性があると訴えた (Morawska & Milton, 2020)。その根拠として示されたのは、前述の van Doremalen らの研究に加え、中国の

レストランにおける感染をシミュレートすることでエアロゾル感染を示唆した研究や (Li et al., 2020)、武漢の病院における新型コロナウイルスの空気力学を分析することでエアロゾル感染の可能性を示唆した研究 (Liu et al., 2020)、さらに病棟患者の周囲の空気サンプルからウイルス生菌を検出した研究 (Lednicky et al., 2020; Santarpia et al., 2020) など、エアロゾル感染の根拠となる数多くの研究結果であった。この見解は、Clinical Infectious Diseases 誌に招待コメントリーとして掲載されたが、200名を超える研究者が賛同者として名を連ねた点でも注目を集めた。このような流れの中、2021年4月末になると、WHOは一転して新型コロナウイルスの感染経路の一つとしてエアロゾルを認めるに至った (WHO, 2021)。

この一連の動きの中、新型コロナウイルスがエアロゾル状態では感染しないとされた当初の見解はおよそ一年後に覆されることになった。これは科学知識の「暫定的性質」を示す好例である。またその根拠となったのは、エアロゾル状態でウイルスが生存可能であるというデータをはじめとする、さまざまな実証的研究成果によるものであり、これは科学知識の「実証的性質」を示すと考えられる。

b. 銅によるウイルス不活化 (B. 理論負荷性と主観性)

van Doremalen の研究が発表されると、銅がにわか注目を集めた。そして、銅繊維マスクや銅フィルター付き空気清浄機が市場でもてはやされるようになった。

この研究では、表面安定性を調べるためにプラスチック、ステンレス、銅、段ボールの4種の物質が選ばれた。ここで注目すべきは、そもそもなぜ対象として銅を選んだかという点である。実験をデザインする立場からすると、対象は身の回りの物質であるとともに、物質間で実験結果にある程度の「差」が見られるものが好ましい。

銅だが、その抗菌性は以前から広く知られていた。銅元素は、酸化還元能により細菌の細胞壁や細胞膜を破壊しDNA損傷を引き起こすことで細菌を死滅させる (e.g. 石田, 2017)。同様の効果はウイルスでも見られ、銅イオンがウイルスの脂質膜を損傷させると考えられる (Ishida, 2018)。

van Doremalen らの研究だが、The New England Journal of Medicine 誌の correspondence と呼ばれるごく短い報

告という形で発表されたこともあり、物質の選定や銅によるウイルス不活化についての考察はない。そのためあくまで推測の域を出ないが、この研究で銅が選ばれたのは、先に述べた通り新型コロナウイルスを不活化させる可能性があったためと考えるのが妥当である。この点を考慮すると、この事例はNOSにおける「理論負荷性と主観性」に焦点化する好例だと言える。

2. ワクチン開発 (G. 社会や文化への埋め込み)

新型コロナウイルスの世界的な感染拡大を受け、ワクチン開発が各国で精力的に進められた。2021年6月現在、ファイザー社、モデルナ社、ジョンソン & ジョンソン社、アストラゼネカ社による4種のワクチンが多くの国で承認され、ワクチン接種が急速に進んでいる。

新型コロナウイルスに対するワクチンだが、いくつかの異なるタイプに分かれる。2020年12月11日、世界に先駆けてアメリカで承認されたファイザー社およびバイオンテック社のワクチンはmRNAタイプであり、その一週間後、同じくアメリカで承認されたモデルナ社もmRNAタイプであった。一方、イギリスで2020年末に承認されたアストラゼネカ社のワクチンはウイルスベクターを利用したもので、2021年2月にアメリカで承認されたジョンソン & ジョンソン社(J&J)も同様にウイルスベクター技術に基づくものであった。そのほかには、国内でアンジェスや塩野義がワクチン開発を進めていたが、前者はDNAプラスミド技術を、後者は組み替えタンパク技術を用いる。

ワクチン接種の目的は、感染症に対する免疫の獲得であり、抗生物質の効かないウイルスに対して特に有効だと考えられている。メカニズムとしては、「抗原」を人為的に投与し、その抗原に対する「抗体」を体内で生産させることにより免疫獲得に至る。

前述の通り、ワクチンのタイプは生ワクチンから不活化ワクチン、mRNAワクチン、DNAワクチン、ウイルスベクターワクチン、組み替えタンパクワクチンなど多岐にわたる。これはワクチン接種の目的が体内にウイルスの一部を取り込むことであり、そのための手段が異なるためである。前述の「抗原」だが、これは一般にウイルス由来のタンパク質である。生ワクチンや不活化ワクチンは、病原体そのものを原料とする抗原タンパク質を体内に導入する。組み替えタンパク型のワクチンはこのメカニズムに似ているが、ウイル

ス自体を原料とはせず、人工的に合成したウイルスタンパク質をワクチンとして接種する。一方、mRNAワクチンでは、ウイルスの塩基配列をもとに合成されたmRNAを接種し、体内で抗原タンパク質を合成させる。DNA型ワクチンはこのタイプにやや近く、合成したウイルスDNAを体内に取り込ませ、DNAからmRNAの生合成という転写プロセスを人の体内で経た後、ウイルスの抗原タンパク質が合成される。組み替えタンパク型かmRNA型か、はたまたウイルスベクター型かそれともプラスミドDNA型かでその後の体内におけるプロセスには違いがあり、そのため細胞のどの部分に導入すべきかも異なる(mRNAは細胞質、DNAは細胞核内)。しかし、最終的な目的がウイルスタンパクの一部を人の体内に導入するという点では一致している。

これら種々のワクチンだが、すでに実用化されたものから治験段階にあるものなどさまざまである。組み替えタンパク型については、すでにインフルエンザやB型肝炎ワクチンが開発、実用化されている(NIH, 2019)。ウイルスベクターだが、エボラウイルスに対するワクチンがすでに実用化されており、HIVやインフルエンザに対するワクチンも臨床試験の段階にある。(Sebastian & Lambe, 2018) 一方、mRNAワクチンについては、2020年初めの段階で実用化には至っていなかったものの、狂犬病ワクチンなどで臨床試験が行われていた(CDC, 2021)。

このようにワクチンには複数のタイプがある中、それぞれの製薬会社が特定のワクチン開発に臨んだのはなぜだろうか。前述のエボラワクチンだが、現在使用が認められている数少ないワクチンの一つを開発したのはJ&Jであり、これはウイルスベクター型である。このエボラワクチンは、治験が開始されてから6年後の2020年7月に承認されたばかりであり、大きな期待が寄せられている(Lézar, 2020)。このような背景の中、J&Jが新型コロナウイルス向けワクチンとして再びウイルスベクターを選んだのは当然とも言える。

一方、モデルナは2010年に創業した比較的新しい製薬会社であり、社名モデルナ(Moderna)がmodified RNAからの造語であることから明らかなように、mRNA治療薬を強みとする(Garde & Saltzman, 2020)。モデルナは一貫してmRNA技術に基づくワクチン開発に精力的に取り組んでおり、新型コロナウイルスワクチン以前に実用化に至ったワクチンはなかったもの

の、2020年3月にはモデルナのサイトメガロウイルス (CMV) ワクチンが、mRNA ワクチンとして初めて第2相試験に進むことが認められた (Moderna, 2020)。言い換えると、モデルナの場合、新型コロナウイルスのワクチン開発において、mRNA 型以外の選択肢はなかったのである。

国内では、実用化にはたどり着かなかったものの、アンジェスによるワクチンが2020年6月に第1/2相試験を、2020年11月には第2/3相試験を開始していた (Angeles, 2021a)。アンジェスは大学発のバイオベンチャーであり、1999年の設立以来、遺伝子医薬に力を入れている。コラテジェンの名で知られる遺伝子治療薬は、国内における第2相試験や条件付き承認を経て、現在、本承認に向けての調査が実施されている (Angeles, 2021b)。これは血管を新生することで虚血性疾患に効果のある治療薬であり、世界初のDNA プラスミド技術による。他にもアンジェスの進めるプロジェクトとしてはNF- κ B デコイオリゴDNAがある。これはアトピーや免疫疾患の治療薬であり、2020年7月には第1相試験が実施されたが、これは人工DNAによるものである。このような背景を踏まえると、アンジェスが新型コロナワクチン開発としてDNA技術を採用したことがいかに当然の選択肢であったかがうかがえる。

これらのケースを通して、ワクチンを作成する際、mRNA ベースにするか、ウイルスベクターベースにするか、はたまたDNA ベースにするかという選択肢が、すべての研究者らの眼前に公平に並べられていたわけではないことがわかる。ワクチン開発には当然ながらスピードが求められることから、出来るだけ効率的に仕上げられそうな見通しが不可欠である。そのためには設備が整っていなければならない。また新たな手法を学ぶ時間的な余裕があるとも考えにくい。その結果、実際にワクチン開発に参入することができたのは、これまでに何らかのワクチン開発に関わった経験のある一部の研究者のみであり、さらにその研究者がどの企業や研究室に所属しているかで、どのタイプのワクチン開発に関わるかが左右された可能性が高い。

この例からわかるのは、研究者らが完全に独立した存在ではないということである。研究者が企業や研究室という社会に属する限り、その場で手に入るリソースをもとに研究活動を実践することが求められる。つまり、ワクチン開発を企業レベルで考えた時、そこか

ら見えてくるのは、企業という社会構造の中で、成功体験や縛りなど様々な影響を受けつつ、その場にあるリソースを活かしながら意思決定する研究者の姿である。これは、一般に想定されがちな、自由な発想をめぐる研究者のイメージとは大きく異なるのではないだろうか。この事例から、研究活動は決して密閉された空間ではなく、ある特定の場、例えば企業や研究室という場において実践され、否応なくその影響を受けることがわかる。これは、人間活動としての科学はより大きな文化の文脈で実践され、その実践者はその文化の産物だとする「社会や文化への埋め込み」と合致する。

3. 感染拡大モデル (C. 創造力と想像力の関与, F. 観察と推論の違い)

新型コロナウイルスが脅威なのは、その姿が見えないためである。もし浮遊する姿が見えれば避けることができるし、感染した人を即座に見分けられれば距離をとることもできる。それができないがために、自分が感染してからあるいは人に感染させてしまってから新型コロナウイルスに接触したことに気づくことになる。

新型コロナウイルスの感染拡大の中、とりわけ注目を集めたのが感染数理モデルである。数理モデルとは、現実の対象を簡略化し、物理法則にしたがって諸量の関係を数学的に表したものだが、疫学分野では、感染症の動向を把握し、将来的な傾向を予測するために広く用いられる。やや小難しい印象を与えるため、以前は専門家を中心に語られていた数理モデルだが、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、その有用性や「実行再生産数」などの専門用語が多くのメディアで取り上げられ、一般にも馴染みのあるものとなった。

具体的には、ワクチン接種の効果を年齢とその致死率や感染拡大の観点から精査した研究があり (Bubar et al., 2021)、これはワクチンが限られている場合の戦略として高い価値がある。またPCRや抗体検査の対象とその効果を体系的に検証した結果、医療関係者やソーシャルワーカーなどハイリスクグループの重点的なスクリーニングが予防の観点から効果的であることを証明した研究もある (Grassly et al., 2020)。他にも、結核罹患者と新型コロナウイルス感染の重症化の関係を示した研究や (Marimuthu et al., 2020)、感染ピークを遅らせるための手立てとしてのソーシャルディスタ

ンシングの効果を検証した研究 (Pinto Neto et al., 2021) など、数理モデルを用いたさまざまな研究が世界各地で数多く実施されている。

このように、近年は数理モデルを観察データに適合する研究手法がより一般的になり、リアルタイムでデータを分析し、感染症の流行状況の定量化や予測、介入効果の評価を行うことが可能となっている (鈴木・西浦, 2020)。つまり数理モデルが存在することで、これまで曖昧であるがために不安を煽っていたものの動向を掴むことができ、さらにさまざまな介入 (e.g. ロックダウン, ソーシャルディスタンス, マスク着用) の効果を評価することができるようになった。これにより、対策が「やりっぱなし」ではなく、どの程度効果があったのかを検証することや、新型コロナウイルスとその感染症のように長期化する場合には、その評価に基づく新たな対策を導入するなど、いわゆる PDCA サイクルに乗せることもできるようになったのである。

目に見えないものを可視化するというアプローチの根底には、NOS における「観察と推論の違い」が存在する。これは、観察が「感覚により直接アクセス可能な自然現象についての (中略) 陳述」である一方、推論は「感覚に直接アクセスできない現象についての陳述」 (Lederman et al., 2002) であり、この「決定的な違いを理解することは、科学の世界における推論的および理論的実体や多くの用語を理解することにつながる」とされている。さらに、この定義に見られる「推論的および理論的実体」だが、これは当然ながら科学におけるモデルを含むため、NOS の「創造力と想像力の関与」につながる。なぜなら、この「創造力と想像力の関与」では、「科学は説明と理論的実体の発明を含み、そこには科学者の多くの創造性が必要とされる」と定義されるからである (Lederman et al., 2002)。

科学においてモデルは絶大な威力を発揮する。数理モデルに限らず、分子モデルや天体モデル、電流モデルなどさまざまなモデルが存在するが、モデルの役割は、感覚により直接アクセスできない対象や現象を具体的にイメージし、注目しようとする点を浮かびあがらせることで理解に結びつけることである。つまり科学教育において、モデルは理解を促すのに不可欠な存在であるとともに、科学者らが創造力や想像力を駆使して生み出した産物なのである。

繰り返しになるが、モデルの実態は推論により可視

化された産物である。そのため、実際に観察可能な対象とは区別して理解しなければならない。なぜならモデルとは、その実態を包括的に示すものではなく、あくまでも注目しようとする点を強調したものである。例えばタンパク質を分子レベルで理解するとき、その目的により球棒モデルや骨格モデル、空間充填モデルやリボンモデルなどのさまざまなモデルを使い分けるが、これはタンパク質分子内のアミノ酸の結合様式や表面電荷の分布、さらには原子間距離など、タンパク質分子の異なる側面を把握しようとするためである。つまり、モデルではあくまで焦点化を試みた側面のみが可視化されるため、強調されなかった側面や前提条件があることも同時に理解しなければならないのであり、この理解が欠如する場合、「科学知識の限界」を見落とすことが予想される。

新型コロナウイルスの感染拡大によって国内でも広く知られることになった数理モデルだが、必ずしも肯定的に受け止められたわけではない。特に感染伝達を示した数理モデルなどは、緊急事態宣言などのガイドラインや行動規制につながったが、政府機関の内部から発信されたこともあり、情報の透明性が疑われ、政治批判から数理モデルへの批判につながるようになった (稲葉, 2020a)。行動自粛が経済自粛に直結し、負の経済的効果とその背後にあるのも想像に難くない。なお SIR モデルの場合、人の行動の変容、例えば感染を回避するような行為を反映することはないため、結果的に過大な予測につながったと考えられる (稲葉, 2020b)。これにより、SIR モデルは現実の予測には使えないという批判につながったが、これは単にこの特定の数理モデルの特徴にすぎず、このモデルに新たな社会構造を取り込むことで有効性が上がるとも考えられている (前田, 2020)。つまり、モデルの前提条件を理解し、その限界を知ること、新たな対策や方針が生まれるのである。

科学的な活動において、人は己の感覚の限界を理解し、その上で対象や現象を理解することに努めなければならない。そのための創意工夫は、これまでの科学分野の発展に多大に寄与しており、今後も強く求められることだろう。新型コロナウイルスの感染拡大におけるモデルの活用は、科学教育の観点において、目に見えない対象を可視化し、影響を予測し、その対策を練るといって、一連の科学的行為に触れる貴重な機会を提供するといえる。

4. 新型コロナウイルス関連の研究促進 (G. 社会や文化への埋め込み)

新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、関連する研究成果の報告が相次いだ。検索エンジンである Pubmed を用いて「COVID-19」のワードで検索すると、2022年3月時点でおおよそ20万件の関連記事がヒットする。このことから、新型コロナウイルス関連の研究が実に活発に行われていることが窺える。しかし、研究者がみな、これまで携わってきた研究をすべて投げ出し、自発的に新型コロナウイルスとその感染症に取り組んだとは考えにくい。世界中の研究者たちの方向性をこの新規ウイルスに向かわせるには、その背後に何らかの大掛かりな仕組みが必要だったと考えるのが妥当である。

国家レベルで研究の方向性を統制するのに最も効果的なのは研究助成金の支給である。実際、国内では令和2年春の時点において、文部科学省及び厚生労働省の健康・医療戦略室により日本医療研究開発機構 (AMED) へ4.6億円が配分され、診断法や治療法、ワクチンの開発に充てられることとなった (健康・医療戦略室, 2020)。その後、AMED は、この助成金をもって国内の大学や企業を対象とした研究公募を実施し、新型コロナウイルスとその感染対策のための基礎研究から臨床試験、さらには疫学調査まで、幅広い研究が奨励された。この流れは、2022年現在も継続している。国による研究助成は、アメリカの NIH やイギリスの NIHR をはじめ、カナダの NSERC やオーストラリアの MRFF など世界各地で見られる。またその助成対象は、治療薬やワクチン開発からインフラ整備やネットワーク構築まで多岐にわたる。

この例は、新型コロナウイルスに関わる研究への着手が、国家レベルでいかに促進されたかをわかりやすく示す。しかし研究は、観察や実験を行うだけでは決して終わらない。研究結果を公表するまでが研究者としての責任であるとともに、「Publish or perish」というフレーズからわかる通り、研究結果を論文という形で公開することは、研究者生命にも関わる大切な行為である。では、この研究成果の公開という視点に立って眺めた時、科学界では一体何が起こっていたのだろうか。

研究成果は、その多くが学会発表や論文の形式で公表される。論文の場合、学術雑誌では、基本的にピアレビューのプロセスを経て公開に至るが、このプロセ

スは時間がかかることで知られる。その期間は分野により異なるが、生命科学分野では、論文の投稿から採録決定までにおおよそ半年かかると言われる (Björk & Solomon, 2013)。

ピアレビュー制度は、論文の信頼性のために必要なプロセスではあるが、そのためにかかる時間は大きなデメリットである。せっかくの貴重な研究結果が必要とする人たちになかなか届かないのは本末転倒であるとともに、今回の新型コロナウイルスのケースのように結果の公表が一刻を争う場合、深刻な影響をもたらし得る。さらに研究者らが成果にこだわるあまり、ピアレビューのプロセスで研究のアイデアが盗用されたり、あえてレビューに時間をかけることで競争者を出し抜いたりする事例も少なくない。

このような状況の改善に考案されたのがプレプリントと呼ばれる仕組みである。これは学術雑誌に掲載される前、すなわちピアレビューの前段階で成果をオンライン公開することであり、プレプリント用のサーバーも存在する。このプレプリント制度により、研究の発案者かだれかが明白となる。また誰でもアクセスできることから、内容の正当性も担保されやすいと考えられている。

プレプリント制度だが、初めに考案されたのは arXiv と呼ばれる物理学分野のものであり、1991年にロスアラモス研究所が導入した (Ginsparg, 2011)。このレポジトリは、現在、コーネル大学が管理しているが、導入後30年間にわたって物理学を始めコンピュータサイエンスや数学の分野で広く用いられてきた。一方、生物学分野でも NIH が同様の制度の導入を試みたものの (Marshall, 1999)、伝統的な出版社の反対などがあったため、当時、実現に至らなかった。その後、生物学分野の研究が急速に進められ、よりオープンで透明性の高いシステムが求められるようになったことから、2013年、bioRxiv と呼ばれる生物学分野のプレプリントレポジトリが、コールドスプリングハーバー研究所により導入されることになった (Callaway, 2013)。そして新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、プレプリントの利用は爆発的に増加するとともに、新型コロナウイルスに関するプレプリントは、他の研究に比べてアクセス数や引用数が高いことが明らかにされた (Fraser et al., 2021)。これはプレプリント形式での研究成果の公開が、さらなる研究の促進につながっている可能性を示唆する。またこのような状況から、生物

学分野の研究者たちがよりプレプリント制度に馴染み、成果公開の選択肢の一つとして受け入れるようになったと推察することもできる。つまり、従来、速度の点で足枷となっていた出版という研究成果の公開プロセスに、新たにプレプリント制度が導入され、かつ研究者コミュニティに受け入れられるようになったことで、成果が効率的に共有され、研究が促進されるという、研究活動の観点からは非常に好ましい循環が生まれたことが分かる。

上記の状況は、まず新型コロナウイルスの感染拡大という、より広義の社会的要請が存在し、その実現のために研究助成金やプレプリント制度が利用可能であった点において、新型コロナウイルスに関する研究活動を特定の状況のもとで行われた一連の人間活動だと捉えることができる。そしてその場合、この事例が、「人間活動としての科学は、より大きな文化の文脈の中で実践されており、その実践者はその文化の産物である。つまり科学は、科学自体が埋め込まれている文化のさまざまな要素や知的空間に影響を及ぼし、かつそれらの影響を受ける」とするNOSのアスペクトに該当することは明らかである。この事例を通して、新型コロナウイルスに関わる研究の実践と公開を、その背景と共に理解しようとすることで、研究という行為が社会的な要請を起点とすること、そして狭義ではあるものの、研究者にとっての社会的な構造の影響を受け、かつその構造に新たな影響を及ぼすということが理解できるだろう。

5. 既存のNOSアスペクトには分類されない事例

なお本稿では、LedermanによるNOSアスペクトを概念枠組みとして位置付け、「科学知識がどのように生まれるかを理解すること」と「科学知識の限界を理解すること」に焦点化して分析を進めた。これにより、他に考える側面が除外された可能性は否めない。

その一つとして考えられるのがマスク着用の義務化を巡るトラブルである。日本国内では感染拡大の当初からマスク着用が奨励されていたため、やや想像しがたいかもしれないが、米国ではマスク着用の義務化が政治レベルで大きな衝突を生んだ。特に共和党支持者の多い南部の教育現場では、地方自治体が学内でのマスク着用を一律に義務化することを禁じる法律を制定したことで、これを不服とする州知事との間で最高裁を巻き込む訴訟にまで発展した。この政治的な衝突だ

が、その背景には政治的志向による情報源の選定が一因として存在した可能性がある。一般に人はリスクの高さを認識することで予防的な対策をとる傾向にあるが、このリスク認識は社会的に構築され、政治的志向の影響を受けること、また個人による情報源の選定が影響を与えることが知られている (Leiserowitz, 2006)。米国において、民主党の支持層はCNNを、共和党の支持層はFox Newsを好むことが知られているとともに (Iyengar & Hahn, 2009)、世論調査により、Fox Newsの視聴者はCNNの視聴者ほどCOVID-19を不安に思っていなかったことや、共和党の支持者は感染予防対策としてマスク着用を重視しない傾向にあったことが明らかとなっている (de Bruin et al., 2020)。このことから、それぞれのメディアにおける新型コロナウイルス感染症とその予防措置への姿勢が大きく異なった可能性があることがわかる。

なお新型コロナウイルスの議論からは逸れるが、米国では進化論や気候温暖化についても支持政党による分断が知られている。実際、共和党の支持層は、民主党と比較すると、進化論や気候温暖化を信じない人が多い (Funk, 2014; Leiserowitz et al., 2020)。特に共和党の元トランプ大統領に対しては、危機感を抱いたNature誌が「いかにトランプが科学にダメージを与えたか」という記事を掲載し、新型コロナウイルス対策を軽視したため被害が拡大しただけでなく、彼の「反科学主義的」な考えが科学専門家を貶め、一般市民の科学に対する信頼性を失わせることになったと論じた (Tollefson, 2020)。彼のこのような「反科学主義的」な考え方が、メディアを通して彼の支持層に広まり、人々の科学に対する態度に影響を及ぼしたことは想像に難くない。

このような事例が示すのは、科学知識が消費者に届くまでのプロセスやその影響であり、そこには思想や政治的な権力構造、メディアなど情報源のバイアスが存在することがわかる。Ledermanによる枠組みには「社会や文化の埋め込み」というアスペクトがあるが、これは、科学が「社会構造、権力構造、政治(後略)」などの要素に影響を及ぼし、かつこれら要素から影響を受けると定義される。上記のマスク着用の義務化をめぐる対立だが、この場合、米国における既存の「共和党 vs 民主党」という権力構造にマスク着用効果が何らかの影響を与えたわけではなく、またマスク着用の科学的効果が、この権力構造の影響を受けて減じた

というわけでもない。むしろ、一旦、専門からのお墨付きを得たと思われた科学知識が、伝達のプロセスで歪められ、一般市民に伝えられたと解釈できる。このような事態は、従来のNOSの枠組みでは想定されてはいなかった可能性が高い。

IV. まとめ

本稿では、個人が情報を取捨選択して適切な情報を得るという観点でNOSに着目した。具体的には、(1) 科学知識がどのように生まれるかを理解する、(2) 科学知識の限界を理解する、の2点を分析の視点とした。そして、馴染みのある新型コロナウイルスに関するトピックを題材として取り上げることで「科学知識は絶対ではなく、覆される可能性がある」「研究には社会のニーズが反映される」など、ともすると見過ごされがちな科学知識自体の特徴を示した。これらは、それぞれNOSにおける「暫定的性質」や「社会や文化の埋め込み」の理解に直結する。

以前、筆者らは高校生物の教科書を対象とし、NOSが十分に記述されているかどうかには焦点化した日加比較の研究を行った(岡本・青井, 2019)。その結果、日本の教科書では「実証的性質」や「観察と推論の違い」は十分に上げられていたものの、「理論負荷性と主観性」および「暫定的性質」の取り扱いが限定的であり、「創造力と想像力の関与」および「社会や文化の埋め込み」については、対象とした分野において皆無であった。今回の事例研究により、新型コロナウイルスを教材として取り上げた場合、欠如や不足が見られた「理論負荷性と主観性」、「創造力と想像力の関与」、「暫定的性質」、「社会や文化の埋め込み」のいずれをもカバーしうることが明らかとなった。すなわち、新型コロナウイルスを題材とすることで、より広範のNOSアスペクトに触れる機会が提供される可能性がある。これを機に、新型コロナウイルスの事例を通して、日本の教科書でもNOSが十分に上げられることを期待したい。

多岐にわたる新型コロナウイルスの事例とNOSとの密接な関連が明らかになったことで、NOSを適切に理解することの意義がより明白になった可能性がある。例えば、本稿で取り上げた科学知識の「実証的性質」だが、適切に理解しているなら、メタノールや次亜塩素酸ナトリウムを飲むことで新型コロナウイルス感染に効果があるというような擬似科学(Delirrad &

Mohammadi, 2020; Cook & Brooke, 2021)を信じにくくなることだろう。また「暫定的性質」を十分に理解できているのであれば、情報があくまで現時点のものであることを理解できているはずなので、国による方針や対策が変わることに対して過度に不安になったり不満に感じたりすることは避けられる。つまり、NOSを理解することで、今回のような深刻な状況下においても、個人がより冷静に情報の取り扱いを判断することができるようになる可能性があると言えるのではないだろうか。この効果は、とりわけ一般市民が科学情報の消費者であるとともに発信者であるという状況下において、非常に意義のあることである。

本稿の冒頭でも述べたが、ソーシャルメディアの台頭により、科学知識の伝達過程に一般市民が加わったことで、これまでに確立されてきた科学の信頼性を担保するメカニズムが機能不全とも言える状況に陥っている。時代が変われば、従来のメカニズムが通用しなくなることは決して珍しくない。また実際、社会の要請に応じてNOSの枠組みを対応させようとする試みが現在も続いているのは心強い限りである(e.g. Höttecke & Allchin, 2020)。このような状況の中、日本の科学教育の現場でもそれら知見を反映させることで、個人が情報とどのように向かい合うべきかを考えていく必要があるのではないだろうか。

最終的には個人が何を信じてどう生きるのかという問題になるのだが、その際、不安に駆られて感情的な議論に走る前に、情報とは一旦距離を置いてその性質を見極めるという態度を取ることができれば、より安定した生活にもつながるのではないだろうか。またそのような安定した個人生活こそが、より円熟した社会の実現につながるのではないだろうか。そのため日本の科学教育が今後果たす役割に期待したい。

注

- 1) この論文では、「科学的手法の神話(myth of the scientific method)」についての詳細が記載されていないため、ここで補足する。Ledermanら(2002)によると、「科学的手法の神話」とは、「科学の実践において、レシピのような科学者がみな従うべき段階的な手順が存在するという神話が存在するが、これは誤解であり、确实あるいは真の知識につながる唯一の科学的手法というものは存在しないという理解」を指す。
- 2) 論文概要は、筆者による要約である。

文献

- Allchin, D. (2021): Who Speaks for Science? *Science & Education*, 1–18.
- Anges. (2021a): News. <https://www.anges.co.jp/news/> (参照日 2021.9.13).
- Anges. (2021b): 開発パイプラインの状況. <https://www.anges.co.jp/pipeline> (参照日 2021.9.13).
- Austin, E. W., Austin, B. W., Willoughby, J. F., Amram, O., & Domgaard, S. (2021): How media literacy and science media literacy predicted the adoption of protective behaviors amidst the COVID-19 PANDEMIC. *Journal of Health Communication*, 4, 1–14.
- Björk, B. C., & Solomon, D. (2013): The publishing delay in scholarly peer-reviewed journals. *Journal of informetrics*, 7, 4, 914–923.
- Bubar, K. M., Reinholt, K., Kissler, S. M., et al. (2021): Model-informed COVID-19 vaccine prioritization strategies by age and serostatus. *Science*, 371, 6532, 916–921.
- Callaway, E. (2013): Preprints come to life. *Nature*, 503, 180.
- CDC. (2021): Understanding mRNA COVID-19 Vaccines, <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/vaccines/different-vaccines/mrna.html> (参照日 2021.9.13).
- Clough, M. P. (2011): Teaching and assessing the nature of science. *The Science Teacher*, 78, 6, 56–60.
- Cook, M. A., & Brooke, N. (2021): Event-based surveillance of poisonings and potentially hazardous exposures over 12 months of the COVID-19 pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 21, 11133.
- de Bruin, W. B., Saw, H. W., & Goldman, D. P. (2020): Political polarization in US residents' COVID-19 risk perceptions, policy preferences, and protective behaviors. *Journal of Risk and Uncertainty*, 61, 2, 177–194.
- Delirrad, M., & Mohammadi, A. B. (2020): New methanol poisoning outbreaks in Iran following COVID-19 pandemic. *Alcohol and Alcoholism*, 55, 4, 347–348.
- Fraser, N., Brierley, L., Dey, G., Polka, J. K., Pálffy, M., Nanni, F., & Coates, J. A. (2021): The evolving role of preprints in the dissemination of COVID-19 research and their impact on the science communication landscape. *PLoS Biology*, 19, 4, e3000959.
- Funk, C. (2014): Republicans' views on evolution. Pew Research Center. <https://www.pewresearch.org/fact-tank/2014/01/03/republican-views-on-evolution-tracking-how-its-changed> (参照日 2022.10.24)
- García-Carmona, A. (2021): Learning about the nature of science through the critical and reflective reading of news on the COVID-19 pandemic. *Cultural Studies of Science Education*, 16, 4, 1015–1028.
- Garde, D., & Saltzman, J. (2020): The story of mRNA: How a once-dismissed idea became a leading technology in the Covid vaccine race. <https://www.statnews.com/2020/11/10/the-story-of-mrna-how-a-once-dismissed-idea-became-a-leading-technology-in-the-covid-vaccine-race/> (参照日 2021.9.13).
- Ginsparg, P. (2011): It was twenty years ago today arXiv, 1108, 2700
- 後藤康志 (2004) : 日本におけるメディア・リテラシー研究の系譜と課題, 現代社会文化研究, 29, 1–18.
- Grassly, N. C., Pons-Salort, M., Parker, E. aP. K., White, P. J., Ferguson, N. M.; Imperial College COVID-19 Response Team. (2020): Comparison of molecular testing strategies for COVID-19 control: a mathematical modelling study. *Lancet Infectious Disease*, 20, 12, 1381–1389.
- Höttecke, D., & Allchin, D. (2020): Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, 104, 4, 641–666.
- 稲葉寿 (2020a) : 感染症数理モデル私史, 科学, 90, 10, 909–914.
- 稲葉寿 (2020b) : 感染症数理モデルと COVID-19. <https://www.covid19-jma-medical-expert-meeting.jp/topic/3925> (参照日 2022.4.3)
- 石田恒雄 (2017) : 銅 (II) イオン溶液によるバクテリアの溶菌・殺菌過程と DNA 塩基対損傷, *Biomedical Research on Trace Elements*, 27, 4, 151–161.
- Ishida, T. (2018): Antiviral activities of Cu²⁺ ions in viral prevention, replication, RNA degradation, and for antiviral efficacies of lytic virus, ROS-mediated virus, copper chelation. *World Scientific News*, 99, 148–168.
- Iyengar, S., & Hahn, K. S. (2009): Red media, blue media: Evidence of ideological selectivity in media use. *Journal of Communication*, 59, 1, 19–39.
- 角屋重樹・松浦拓也 (2001) : 新しい科学論に立つ科学教育課程のあり方, 科学教育研究, 25, 5, 356–362.
- 久保田善彦・舟生日出男・鈴木栄幸 (2021) : 現代社会における科学的主張を読み解く科学メディアリテラシーの検討 科学的主張の生産・伝達・消費を俯瞰するチェックリストの開発, 日本科学教育学会年会論, 45, 449–452.
- 楠見孝・平山るみ (2013) : 食品リスク認知を支えるリスクリテラシーの構造 - 批判的思考と科学リテラシーに基づく検討, 日本リスク研究学会誌, 23, 3, 165–172.
- 健康・医療戦略室 (2020) : 新型コロナウイルス (COVID-19) の研究開発について. <https://www.amed.go.jp/content/000058931.pdf> (参照日 2022.4.3)
- 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, 62, 1, 95–108.
- 国立教育政策研究所 (2001) : 『数学教育・理科教育の国際比較—第3回国際数学・理科教育調査の第2段階調査報告書』, ぎょうせい, 112.
- Lang, J., Erickson, W. W., & Jing-Schmidt, Z. (2021): # MaskOn!

- MaskOff! Digital polarization of mask-wearing in the United States during COVID-19. *PLoS one*, 16, 4, e0250817.
- Lederman, N. G. (1992): Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 4, 331–359.
- 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.
- Lednický, J. A., Lauzardo, M., Fan, Z. H., Jutla, A., Tilly, T. B., et al. (2020): Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. *International Journal of Infectious Diseases*, 100, 476–482.
- Leiserowitz, A. (2006): Climate change risk perception and policy preferences: The role of affect, imagery, and values. *Climatic Change*, 77, 1, 45–72.
- Leiserowitz, A., Maibach, E., Rosenthal, S., Kotcher, J., Ballew, M. T., Bergquist, P., & Wang, X. (2020): Politics and global warming.
- Lézard, L. (2020): Johnson & Johnson Announces European Commission Approval for Janssen's Preventive Ebola Vaccine. <https://www.lezard.com/en/news-19319754.html> (参照日 2022, 8, 18)
- Li, Y., Qian, H., Hang, J., Chen, X., Hong, L., Liang, P., ... & Kang, M. (2020): Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *MedRxiv*.
- Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y. et al. (2020): Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature*, 582, 557–560.
- 前田裕之 (2020) : 感染予測の数理モデル 応用に広がり経済影響も算出, 日経新聞. <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO67341850V11C20A2EAC001/> (参照日 2022.4.13)
- Maia, P., Justi, R., & Santos, M. (2021): Aspects about science in the context of production and communication of knowledge of COVID-19. *Science & Education*, 30, 5, 1075–1098.
- Marimuthu, Y., Nagappa, B., Sharma, N., Basu, S., & Chopra, K. K. (2020): COVID-19 and tuberculosis: A mathematical model based forecasting in Delhi, India. *Indian Journal of Tuberculosis*, 67, 2, 177–181.
- Marshall, E. (1999): Varmus Circulates Proposal for NIH-Backed Online Venture. *Science*, 284, 718.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (1998): The nature of science in international science education standards documents. The nature of science in science education. Springer, Dordrecht, 41–52.
- 耳塚佳代 (2020) : 「フェイクニュース」時代におけるメディアリテラシー教育のあり方, 社会情報学, 8, 3, 29–45.
- Moderna. (2020): Moderna Completes Enrollment of Cytomegalovirus (CMV) Vaccine (mRNA-1647) Phase 2 Study. <https://investors.modernatx.com/news-releases/news-release-details/moderna-completes-enrollment-cytomegalovirus-cmv-vaccine-mrna> (参照日 2021.9.13) .
- Morawska, L., & Milton, D. K. (2020): It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Clinical Infectious Diseases*, 71, 9, 1, 2311–2313.
- National Science Teachers Association. (2000): The nature of science: NSTA Position Statement. Arlington, VA.
- NIH. (2019): Vaccine Types, <https://www.niaid.nih.gov/research/vaccine-types> (参照日 2021.9.13) .
- 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, 43, 2, 187–204.
- Pinto Neto, O., Kennedy, D. M., Reis, J. C., Wang, Y., Brizzi, A., Zambrano, G. J., de Souza, J. M., Pedrosa, W., de Mello Pedreiro, R. C., de Matos Brizzi, B., Abinader, E. O., & Zângaro, R. A. (2021): Mathematical model of COVID-19 intervention scenarios for São Paulo-Brazil. *Nature Communications*, 12, 1, 418.
- 斉藤昭 (2000) : 環境教育における科学教育の視点の役割, 科学教育研究, 24, 1, 67–70.
- 坂本旬 (2020) : メディア・リテラシーにおける批判的思考とは何か, *Bulletin of the Faculty of Lifelong Learning and Career Studies*, 17, 31–52.
- Santarpia, J. L., Rivera, D. N., Herrera, V. L., Morwitzer, M. J., Creager, H. M., et al. (2020): Aerosol and surface contamination of SARS-CoV-2 observed in quarantine and isolation care. *Scientific Reports*, 10, 12732.
- Sebastian, S., & Lambe, T. (2018): Clinical advances in viral-vectored influenza vaccines. *Vaccines*, 6, 2, 29.
- 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—, 理科教育研究, 60, 1, 133–142.
- 鈴木絢子・西浦博 (2020) : 感染症の数理モデルと対策(特集 COVID-19), 日本内科学会雑誌, 109, 11, 2276–2280.
- 鈴木宏昭 (2011) : 中学生の“Nature of Science”に関する認識の特徴—探究スキルに関する認識に着目して—, 日本理科教育学会第61回全国大会発表論文集, 75.
- 総務省 (2015) : 平成27年版 情報通信白書 インターネットの普及状況 第2部 基本データと製作動向 第6節 ICTリテラシーの推進. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd266350.html> (参照日2022.4.21)
- 高野雅典・高史明・小川祐樹・森下壮一郎 (2022) : メディア利用が新型コロナウイルスのアクターへの認知に与える影響, 人工知能学会全国大会論文集, 1–3.
- 田中豊 (2014) : 一般市民の教養としてのリスクリテラシー, 日本リスク研究学会誌, 24, 1, 31–39.
- Tollefson, J. (2020): How Trump damaged science—and why it could take decades to recover. *Nature*, 586, 7828, 190–194.

van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020): Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine*, 382, 16, 1564–1567.

WHO (2020a): Critical preparedness, readiness and response actions for COVID-19: interim guidance, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331422> (参照日 2021.9.13) .

WHO (2020b): Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions, <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions> (参照日

2021.9.13) .

WHO (2021): Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted? <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted> (参照日 2021.10.6) .

(受付日2022年 8月30日；受理日2022年11月30日)

〔問い合わせ先〕

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘1-1

大阪大学 国際教育交流センター

岡本紗知

e-mail: okamoto@ciece.osaka-u.ac.jp
