

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：12702

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K12178

研究課題名（和文）科学的表象理論に基づく「データのモデル」の分析と科学的实在論論争への含意の検討

研究課題名（英文）Analysis of models of data from the perspectives of theories of scientific representation

研究代表者

大西 勇喜謙 (Onishi, Yukinori)

総合研究大学院大学・統合進化科学研究センター・講師

研究者番号：50793155

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、データと世界との界面に位置する「データのモデル」と呼ばれるものについて、科学的表象や科学的实在論論争の観点から分析を行った。研究を進める中で当初の計画を変更し、主にデータ同化の分析、および深層学習技術の科学的实在論論争への含意の分析を行った。データ同化については、ウィンタースクールへの参加やシンポジウムの開催を通じ、基礎的な知識や研究実践に関する情報収集を行うとともに、今後の検討の指針となる知見を得た。深層学習については、従来の实在論と反实在論との論争構造への影響はあまりないものの、科学的理解と实在論との関連について興味深い事例を提供するという知見を得、論文としてまとめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

データ同化に関する科学哲学的分析は、海外では徐々に行われてきているが、国内の科学哲学者のあいだではあまり知られておらず、また深層学習技術と实在論との関係も、一部の例外を除いて国内外でほとんど議論が行われていない。これら新興技術の哲学的分析は、非常に時宜を得たものであるといえる。

研究成果の概要（英文）：In this study, I focused on so-called models of data, which are located at the interface between data and the world, and analyzed them from the perspectives of scientific representation and the scientific realism debate. In the course of research, however, I switched my attention to peculiar modes of creating data models with emerging technologies, i.e., data assimilation and deep learning. Regarding data assimilation, through participation in the Winter School at RIKEN and holding a symposium with data assimilation researchers, I collected basic knowledge and information on research practices with data assimilation, and obtained insights for future studies. For the analysis of deep learning (DL), I concluded that, while it has little impact on the structure of the traditional realist-anti-realist debate, various interpretation methods used in DL studies could provide interesting insights for the relationship between scientific understanding and realism.

研究分野：科学哲学

キーワード：データのモデル 科学的表象 科学的实在論論争 データ同化 深層学習 科学的理解

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

科学では、具体的な模型から抽象的な数学モデルまで、実に様々なモデルが用いられる。こうしたモデルの概念や、科学活動におけるその役割、理論との関係、それらと世界との対応関係などについては、科学哲学でも盛んに論じられてきた。その中で指摘されてきたことの一つが、モデルの階層性である。これは例えば、その最も高階に抽象的な方程式などがあり、そのパラメータを設定したり、適切な初期条件や境界条件を定めたり、適切な理想化や抽象化、補正項の追加等を行うことで、対象とする特定の系により適合したモデルへと至る、一連の系列のことを指す（主に物理科学が念頭におかれている）。他方、これと照合される「データ」も、観測された生データそのものではなく、ノイズの除去やカーブフィッティングなどを典型とする、適切な処理を施したものである。後者の整形されたデータは、しばしば「データのモデル」と呼ばれる。こうした理論と世界との間に位置するモデルの役割は、従来の科学哲学で考えられていた、理論と予測・説明との関係を演繹的な導出関係とする単純な描像では捉えられないものとして、前世紀の終わりにかけて盛んに分析が行われてきた。

他方で、90年代から2000年代にかけては、これらの議論と並行しながら、モデルを含む科学的表象に関する議論も盛んに行われた。ここでは、何がどうなればあるものがあるものを表象しているといえるのか、表象物はどのようにして被表象物に関する情報を有しているのか、両者の関係はどのように捉えられるのか、といったことが論じられてきた。その中で、両者の類似性に着目した説や、その類似度をより定量的に捉える試み、より形式的に、準同型という概念を用いた説など、様々な説が提唱されてきた。ところが、そこで用いられるのは、振り子などの簡単な力学モデルや、地図などの日常的な表象が多く、特にデータのモデルと生データや世界との関係についての分析は行われていなかった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、モデルと世界との界面に位置するデータのモデルについて、表象理論の観点から分析し、その科学的実在論論争（後述）への含意についても分析することを目的とした。当初の研究計画では、より具体的に、以下の3つの課題を設定した。

i) データのモデルの表象理論に基づく分析

とりわけカーブフィッティングの例などを念頭に、データのモデルと生データとの関係の分析を行うことを想定した。

ii) 表象理論の観点からのデータ同化技術の分析

データ同化とは、シミュレーションに際して、観測データとモデルを融合させることで、より良い初期値やパラメータ値を得たり、観測を補完したりする技術のことで、海洋学や気象学などで盛んに用いられてきており、近年科学哲学でも注目が集まっている。こうした理論やモデルが介在するデータのモデルの形成について、表象理論の観点から分析を行うことを考えた。

iii) 科学的事実論争への含意の分析

科学的事実論争とは、科学理論と世界との対応関係をめぐり、科学哲学で古くから行われてきた論争である。とりわけ焦点となるのが、電子や場など、肉眼では確認できないような理論的対象をどう捉えるか、という問題である。これは科学理論の解釈や、ひいては科学という営みが何を目的とするものか、ということともかかわる問題であり、実在論者が（十分確証されている）理論を概ね正しい（近似的に真だ）と主張するのに対し、反実在論者はそれらを、単にデータを説明したり予測したりするための、いわば概念的な道具立てとして捉える。こうした懐疑的姿勢、あるいは慎重さの背景としては、理論的対象の振る舞いがしばしば日常的理解を超えたものであることや、経験的知識を得る際に用いられる推論にまつわる原理的な問題、過去の（その時点では成功していた）理論の失敗例、ひいては、知識の形成において直接経験を重視する哲学的立場などがある。事実論争は科学が描く描像と世界との対応関係を問題にするものであるため、モデルや表象の分析と密接な関係があることから、上記の分析の含意についても考察を行う価値があると思われた。

3. 研究の方法

文献調査、および科学における事例調査を基本とした。

4. 研究成果

COVID19 による研究の遅れや、研究を進める中で得た知見をもとに、大きく計画が変化した部分もあるが、以下では上記の各課題ごとに、活動内容や得られた知見についてまとめる。

i) データのモデルの表象理論に基づく分析

当初予定していたカーブフィッティングの事例については、準同型説や類似説などから分析を行い、おそらくいずれの立場でも解釈が可能であるという感触を得たものの、それらの差別化には至らないことから、この方向での論文化は難しいと判断した。計画を通じて、他の分析対象として、電気泳動に関する理論や、X線結晶構造解析に関する理論についても調査を行ったが、こちらでも差別化に至るほどの知見は得られていない。難しさの原因の一つは、準同型説が、対象の諸要素間の関係を保つ写像の存在を重視するのに対して、類似説も、それら相互の関係が似ている、とすることで簡単に説明できてしまうことである。各事例は、準同型説からは非常に興味深い分析ができるように思われるが、類似説もそれに便乗することができるため、差別化に至る事例としては難しいという感触を得た（ただし、これらの分析についても、対立図式を整理することで、今後何らかの形で発表できないか検討したい）。

こうした難点が判明する一方で、近年目覚ましい発展を遂げている深層学習技術が、本研究に関連する分析対象として興味深いことに気がついた。深層学習では、ノードと呼ばれる演算ポイントの層が入出力関係で繋がっており、あらかじめ設定された大まかな学習モデル（入出力関係の接続構造や各ポイントで行われる処理、重みの調整法など）のもとで、訓練データをもとに各ノードの計算における重みを調節し、予測や判別など、様々な課題を学習する。こうした学習過程は、いわばデータのモデルと、より上位のモデルの構築を同時的・自動的にやっていると見ることもできることから、本研究課題との関連でも非常に興味深い対象と思われる。そこで 2019 年度以降は、深層学習技術に着目し、とりわけ後述する事実論争への含意の観点から分析を行った。こうした方向転換は、むしろ当初の計画をより発展させるものと考え

えた。

ii) データ同化技術の分析

本課題については、基礎知識の習得や研究実践に関する情報収集、および関連する哲学文献の調査にとどまった。基礎知識については、定番の教科書をさらうとともに、理研のデータ同化研究チームが主催する国際ウィンタースクールに参加し、実践面や応用事例について理解を深めた。研究実践については、科学基礎論学会でシンポジウムを開催し、上記ウィンタースクールで知己を得たデータ同化研究者を含む、データ同化を研究に活用されている様々な分野の研究者に、ご自身の研究での使用例や基礎理論、研究者の目線からの問題意識等について講演をいただいた。哲学文献については、データ同化を含む、コンピュータ・シミュレーションに関する先行研究について調査を行った。

本課題については具体的な知見を得るまでには至っていないが、今後の研究の方向性についての着想も得た。シミュレーションに関する科学哲学研究の中では、その全体論的な性格（ある部分の非現実的な単純化等を補正するために、別のところでバランスをとり、全体として「うまくいく」ようにする様々な工夫・調整の必要性）や、その中で非現実的な要素の役割が指摘されている。ここから示唆されるのは、観測データも含めた、全体的な「バランス調整技術」としてのデータ同化の捉え方である。他方で、データ同化を用いた予測精度の向上の要因としては、しばしば初期値の正確さ向上への寄与が挙げられ、また科学哲学においても、データ同化技術をある種の測定技術と位置付ける見解が存在する。これらはいわば、より正確な表象の生成技術としてのデータ同化の捉え方である。こうした見解と全体論的な見解との関係は、データ同化が用いられる様々な文脈の分析と合わせ、今後、さらなる検討に値すると思われる。

iii) 実在論論争への含意

こうした着想も実在論論争と関連するものだが、本課題では、課題 i) における方向転換に伴い、主に深層学習技術の実在論論争への含意について考察した。とりわけ興味深いのが、深層学習モデルが持つブラックボックス性である。例えば画像認識モデルの場合、対象の判別に関わる何かしらの表象がノードの重みによってモデル内で形成されているはずであるが、そうした重みは、それ自体では何を表象しているのかが不明である。そのため、画像のどの部分が判定に効いているかや、中間処理結果を参照することで、間接的に深層学習モデルの振る舞いを理解する、様々な解釈手法が開発されてきた。

こうしたブラックボックス性を持つ深層学習モデルの科学における使用や解釈の試みは、科学の目的論争という、実在論論争の一つの争点に対して興味深い含意を持つように思われた。科学の目的論争とは、科学が何を目的とする営みであり、それに照らしてどのような理論が適切か（あるいは理論をどのようなものとして解釈すべきか）ということをめぐる論争であり、19世紀末から20世紀初頭にかけての、科学の大変革期における科学者自身の問題意識にその一端がある。1980年代以降は科学実在論論争との関連で、科学活動の解釈の問題（〇〇を目的とした活動として理解できるかという問題）として、世界を正確に描写する理論の獲得を目的とする実在論的な見解と、単に経験的に十全な（観察とよく合致する）理論の構築を目的とする反実在論的な見解との間で論争が行われていた。しかしながら、従来の論争では、多くの科学活動が最終的に観察データとの照合を行うことから、比較的容易に反実在論の立場からも解釈が可能となり、両者を差別化することは難しかった。これに対し、深層学習モデルを用い

た科学研究の場合には、その自律的性質とブラックボックス性から、科学者はまず対象とする現象について経験的に十全なモデルを得たのちに、加えてその解釈を試みるため、科学が何を目的としているかがより如実に現れると思われた。このような発想から考察を行ったものの、反實在論側が用意している様々な議論の道具立てを踏まえると、モデル構築後の解釈行為も、十分に反實在論の立場から理解が可能であるという結論に至った。

一方で、近年では、機械学習研究で求められている解釈可能性 (interpretability) の多義性や、科学的理解との関係などについて、計算機科学者や科学哲学者などが分析を行っている。科学的理解は、近年科学哲学で分析が進んでいるトピックであり、これを科学の目的とする論者もいるが、理解と真理性との関係については、論者の間でも見解に差が見られる。現在提案されている様々な解釈手法の中には、人間にとってのわかり易さを優先し、必ずしも深層学習モデルの振る舞いを忠実に表現しないものもあることから、深層学習技術や種々の解釈手法を用いた科学実践は、従来の実在論と反實在論との対立よりもむしろ、科学的理解と実在論との関係についての分析に対して興味深い事例を提供するのではないかと、という示唆が得られた。以上の分析を論文としてまとめ、現在投稿中である。

総じて、研究計画の段階でやや詰め込みすぎた感があり、特にデータ同化についてはこれ自体でひとつのプロジェクトになりえる性質のものであることから、十分な分析までには至らなかった。他方で、シンポジウムで得た知見や人のつながりなど、今後の研究へ活かせる部分も大きい。本研究課題で具体的な成果にまで至らなかった部分についても、得られた知見をもとに、今後も継続して検討を行いたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Onishi Yukinori, Serpico Davide	4. 巻 -
2. 論文標題 Homeostatic Property Cluster Theory without Homeostatic Mechanisms: Two Recent Attempts and their Costs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal for General Philosophy of Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10838-020-09527-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 大西勇喜謙
2. 発表標題 GAN による認識能力拡張は 新帰納法への有効な応答を与えるか
3. 学会等名 日本科学哲学会年次大会 ワークショップ「科学的实在論論争の過去・現在・未来」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukinori Onishi
2. 発表標題 Deep Neural networks and the aim-of-science dispute.
3. 学会等名 CLMPST 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukinori Onishi
2. 発表標題 Neural networks and the aim-of-science dispute
3. 学会等名 科学基礎論学会 秋の研究例会. 日本大学.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukinori Onishi (with Davide Serpico)
2. 発表標題 Is everything fine if natural kinds are nodes in causal networks?
3. 学会等名 GWP 2019. Cologne, Germany. (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
イタリア	University of Genoa		