

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03050

研究課題名(和文)科学教育の一環としての統計学認識論に関する教育カリキュラム構築

研究課題名(英文)Construction of a curriculum on statistical epistemology as part of science education

研究代表者

松王 政浩(Matsuo, Masahiro)

北海道大学・理学研究院・教授

研究者番号：60333499

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,500,000円

研究成果の概要(和文)：まず統計学認識論の教育的実践として、様々な分野の学生および社会人が学ぶ北海道大学CoSTEPの受講生を対象とし、ベイズ統計学認識論の講義と演習を行った。これは、統計学認識論において今後核になると思われるベイズ統計学について、その基本思想と統計学における応用との関係を、受講生自身が様々な手がかりをもとに演習形式で考える授業である。この授業を通して、統計学認識論教育の基本的枠組みを作ることができた。また、プラハで開かれた科学哲学世界会議において、特別シンポジウムを開催し、とりわけベイズ統計認識論についての発表および討議を行い、頻度主義との関係等について今後の思想的課題を明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の統計学教育は、主に頻度主義統計(統計テスト)についてトップダウンに手法を教える形が中心だが、この研究により統計学の背景思想について教育に取り入れる道筋を示すことができた。単に座学(知識)として教えるのではなく、講義と学生どうしのディスカッションを通して背景思想のマッピングをさせることが、統計学認識論に眼を向けさせ、見方を定着させる上で非常に効果的なことが分かった。こうした成果は、新しい統計学教育の一つの手がかりになると思われる。

研究成果の概要(英文)：First of all, we planned a special lecture and exercise on the epistemology of Bayesian statistics, and gave it to students of CoSTEP in Hokkaido University, where students of various fields of science learn about science communication. In this special lesson, students learned about the relationship between the background of Bayesianism and its application, Bayesian statistics through a series of lectures and map-making of it by themselves. With this practice, we revealed an applicable framework of epistemology of statistics to education. Second, we organized and conducted a symposium on statistical epistemology in CLMPST, an international conference of philosophy of science, which was held in Prague in 2019. In this symposium, we discussed particularly Bayesian epistemology and explicated a roadmap toward settlement of philosophical conflicts between Bayesianism and frequentism.

研究分野：科学哲学

キーワード：統計哲学 科学哲学 統計学教育 科学教育

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

確率解釈の多様性(ベイジアン、頻度主義、尤度主義)と相まって、統計学の手法とその認識的基礎も多様である。しかし、現状の統計学教育においては、そのような各手法の特徴の違いに言及される機会はあまりなく、担当教員の考え方に従って一部の手法が天下りの的に教えられるのみである。特に、頻度主義的な手法(有意性検定や仮説検定などの、いわゆる「統計テスト」など)がいまだに統計教育の核となっており、ベイズ統計が初等統計学で触れられることは希である。こうした教育内容の偏りに加え、各統計学の背景をなす「思想」への言及がなされることもほとんどない。その結果、科学研究や実務において統計学が使われる場合にも、一定の方法や統計学「パッケージ」が無批判に用いられる事態を招いてしまっている。このことは、科学研究や社会活動に少なからぬ影響を与えていると考えられる。データ分析がますます重要と考えられる昨今、統計教育のあり方を見直す必要に迫られている。

2. 研究の目的

本研究は大きく二つの目的からなる。

- (1) 一つは、統計学を支える各思想(データの認識論)の違いと関係を整理することである。かつてベイズ主義と頻度主義の間で激しく行われた統計学論争について、近年、それを新たな尤度主義という立場も含めて捉え直し、そこから現代の私たちがデータと向き合う上での有効な示唆を得ようとする動きが出てきた。本研究においても、かつての論争、ならびに今日におけるこうした論争への評価をサーベイし、統計学に認識論的な枠組みを与えることが一つの目的である。
- (2) 二つ目の目的は、このようにして得られた統計学の認識論的枠組みを、統計教育の一部として組み込めるようなカリキュラムを構築することである。その際目指すのは、単に統計学の背景思想を噛み砕き、知識として教えることではない。統計学論争は必ずしも終結しておらず、一定の「正解」があるわけではない(統計学論争はすでに過去のものであるとの見解もあるが、近年、科学の現場でこれまで伝統的に採られてきた統計学的手法についての反省的な見直しが行われ、その方法も多岐に渡ることから、本研究では論争は依然として集結していないとの立場を採る)。あくまで目指すのは、学生が最終的に自分自身の研究の中で統計の解析方法に対して自覚的に向き合えるような「態度」を育むことである。この第二の目的はさらに二つの目的に分けることができる。
 - ① 様々な分野の学生に対し、自分自身の研究との関係を考えやすくする適切な素材を考案する。
 - ② 学生に統計学認識論への自主的な考察を促すための具体的な方法を考案する。

3. 研究の方法

研究方法は、大きく次の4つの方法からなる。

- (1) 一年に三回の研究会を開催し、研究代表者、研究分担者、研究協力者がそれぞれ統計学認識論に関わる個別テーマについて研究報告を行い、認識論的枠組みづくりの手がかりを探る。テーマは、思想的な部分と統計解析の実践的な部分ができるだけ接点を持てるように選択する。
- (2) 統計哲学に詳しい海外の研究協力者(ウィスコンシン大学のE. Sober, モンタナ大学のM. L. Taper, R. S. Lele, オーストラリア国立大学のA. Hajek)らの協力を得て、統計学認識論に関する教育的イベント(サイエンスカフェにならった、確率統計に関する「カフェ」)を企画し、実施する。この企画は講演を中心とするが、質問紙を使った質問の収集、ならびにフロアとの質疑応答を通じて、聴衆の捉え方およびどのような点が関心を引き、理解に資するかを調査する。これを具体的な授業設計の手がかりとする。
- (3) 北海道大学CoSTEP(科学技術コミュニケーション教育研究部門)の協力を得て、統計学認識論に関する授業のプロトタイプを作成し、CoSTEP受講生を対象として実際に授業を実施する。ここでは上記(1)、(2)で得られたことがらをヒントとしながら、二番目の目的における①、②を実施する。授業は座学だけでなく、演習的要素のある形にし、かつ受講者が自らの成果を明確に確認できるような方法を構築する。
- (4) 4年に一度開催される科学哲学世界大会(CLMPST)において、統計学認識論についてのシンポジウムを企画し、これまで本研究において得られた、特に思想的研究について成果を発表するとともに、参加する世界の科学哲学者らとともに統計学認識論の現在の立ち位置、また今後の課題について確認する。

4. 研究成果

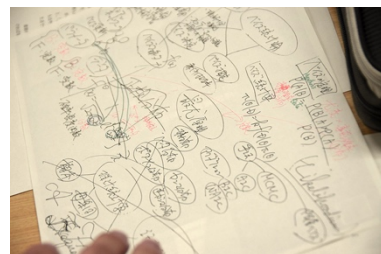
以下、本研究における3つの主な成果について述べる。

- (1) 主に研究方法(2)に関連する成果として、オーストラリア国立大学のA. Hajekを招聘し、CoSTEPの協力を得て、北海道大学博物館のカフェを借りて、確率カフェ「ありえないはありえない」を実施した(2017年9月)。聴衆は一般から40名を募集して行ったが、事前にカフェの内容を告知していたので、確率・統計に関心のある聴衆が集まった。カフェのテーマは、統計学の理解の前提となる「確率」について知ろうというもの、A. Hajekが得意とする「条件付き確率(尤度)」が主たるテーマであった(Hajekは条件付き確率の哲学に関する世

界的な権威である)。尤度はフィッシャーがはじめに統計学において注目したが、頻度主義のみならずベイズ主義においても不可欠な役割を果たし、これをいかに理解するかが統計学認識論において重要である。Hajek は尤度を「きわめて低い確率」評価に適用することの意義を中心に、理論的な面のみならず気候変動科学への応用なども交えて講演した（この講演内容については、本研究代表者、分担者とともに事前の協議で固めたものである）。尤度の原理的な部分については、たとえば極限としての確率ゼロを尤度をもとにどう捉えるかなど、かなり踏み込んだ質問が一部フロアから出たものの、多くの聴衆にとっては理解が難しいと思われた。しかし、尤度と確率は何が違うのか、尤度が統計学理解に欠かせないものであることは、科学における具体的な例（たとえば気候モデルの比較）を用いた説明から、かなりの理解が得られたことがアンケート結果から分かった。このことにより、統計学認識論に関する教育の中で、尤度を入り口とする方法への確かな手応えを得た。



- (2) 研究方法(3)に関連する成果として、CoSTEP 受講生 20 数名を対象とした演習「統計哲学視覚化演習」を実施した（2019 年 1 月に二回実施）。この演習の受講生はいずれも統計学を使った経験があるが、圧倒的にベイズ統計の経験者が少ない。このことを予想して、ベイズ主義およびベイズ統計をテーマとした。ベイズ主義的見方について、自分なりの理解を得て、これまで慣れ親しんできた伝統的（頻度主義的）統計学との関係性を考えさせることが演習の目的である。ベイズ主義は「尤度原理」と切っても切り離せない（尤度原理もまたフィッシャーに遡るが、ベイズ主義および尤度主義の根幹をなしてきた）。この演習では、尤度だけではなく尤度原理にまで踏み込んで、受講生に統計学認識論の視点を持たせることを試みた。前半は講義とし、「ベイズ主義と帰納推論」「ベイズ主義の流れと尤度原理」「ベイズ統計の現状」の 3 つのテーマで解説した。後半の演習では、協力者の CoSTEP 池田の助言で、グループディスカッションによる「ベイズ・マップ」づくりを行うこととした。これは講義の基礎知識をもとに、ベイズ推論とベイズ統計の関係、およびベイズ主義一般と頻度主義との関係を受講生に整理させ、それを「マップ」の形でまとめさせて最後に発表させるというものである。マップ作成時には、3 人の講義担当講師（本研究代表者、分担者）が随時質問に答えて受講生の理解を補う形をとったが、結果として、制作されたマップは、こちらで事前に想定した一つのモデルケースを超えるものが多く、講義の組み立て、ならびに演習の形態（グループディスカッションを介した視覚化作業）が奏功したと考えられる。受講者の事前事後のアンケートを見ても、概ね統計学認識論の必要性に関する理解、および自主的な視点構築の姿勢が得られたと考えられる。この演習を通じて、本研究において目指すカリキュラムの基礎を固めることができた。



- (3) 3 つめの成果は、研究方法(4)に関わる成果である。プラハで開催された科学哲学世界大会（CLMPST, 2019 年 8 月）でのシンポジウム企画が採択され、研究代表者の松王、分担者の島谷、協力者の大久保、高橋の 4 人が提題し、その後参加者とともにディスカッションを行った。全体のテーマは、「ベイズの哲学とベイズ統計の接続に向けて」というもので、統計学論争当時の問題意識と現在の統計学の使われ方の「乖離」を特にベイズ推論、ベイズ統計を焦点として考えようという趣旨であり、頻度主義統計との関係も中身に含んでいる。具体的な提題内容は、「ベイズ統計とカルナップの帰納推論」「ベイズ統計と頻度主義統計」「ベイズ推論、ベイズ統計と尤度原理」「ベイズ統計の実際と認識論との接点」である。それぞれの発表後に参加者と活発な議論が行われた。その中で特に、無条件の事前分布を前提としない近年のベイズ統計と頻度主義の融合の可能性、統計学認識論における「主観性」の位置づけ、Birnbaum 以来の歴史的な尤度原理に関する議論を再構築する可能性、誤り確率とミスリーディングな確率を区別することで統計学認識論を整理できる可能性など、今後の認識論形成にとって非常に有益な視座をシンポジウムを通して得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松王政浩	4. 巻 16
2. 論文標題 極めて低い確率をどう考えるか～科学哲学からの視点	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 極値理論の工学への応用	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森元良太・島谷健一郎	4. 巻 67
2. 論文標題 鳥類学における統計学：計算より概念 P 値を出す統計，モデルベースの統計	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本鳥学会誌	6. 最初と最後の頁 151-153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.3838/jjo.67.148	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松王政浩	4. 巻 50
2. 論文標題 人工知能と科学哲学 因果性をめぐって	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 科学哲学	6. 最初と最後の頁 71-84
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 5件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 松王政浩
2. 発表標題 極めて低い確率をどう考えるか～科学哲学からの視点
3. 学会等名 「極値理論への工学への応用」H30年度研究集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島谷健一郎
2. 発表標題 生物多様性における統計数理の役割を再考する
3. 学会等名 生物基礎論研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森元良太
2. 発表標題 科学哲学の視点からの統計学再入門
3. 学会等名 数理統計研究所公開講座（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島谷健一郎
2. 発表標題 なぜAICはぴったりパラメータ数を引くのか
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森元良太
2. 発表標題 統計学のコペルニクス的転回：集団的思考を禁じるものは何もない
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松王政浩
2. 発表標題 Fitelsonによる尤度主義とベイズ主義の「中間的」戦略
3. 学会等名 統計哲学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松王政浩
2. 発表標題 統計哲学教育の試み
3. 学会等名 統計教育研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松王政浩
2. 発表標題 確率統計をめぐる人工知能の哲学的問題と哲学者
3. 学会等名 日本科学哲学学会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鳥谷健一郎
2. 発表標題 Anderson, D.R., Model Based Inference in the Life Sciencesについて
3. 学会等名 統計哲学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森元良太
2. 発表標題 証拠についての誤り統計学の哲学
3. 学会等名 統計哲学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Matsuo, Kenichiro Shimatani, Yusaku Okubo, Kazutaka Takahashi
2. 発表標題 Toward the reconstruction of linkage between Bayesian philosophy and statistics
3. 学会等名 16th international congress on logic, methodology, and philosophy and technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松王政浩
2. 発表標題 統計の哲学を理解するために
3. 学会等名 統計数理研究所公開講座 (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>統計哲学視覚化演習を実施しました http://costep.open-ed.hokudai.ac.jp/costep/contents/article/1929/</p>
--

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
研究分担者	島谷 健一郎 (Shimatani Kenichiro) (70332129)	統計数理研究所・データ科学研究系・准教授 (62603)	
研究分担者	森元 良太 (Morimoto Ryota) (70648500)	北海道医療大学・リハビリテーション科学部・講師 (30110)	
研究分担者	川本 思心 (Kawamoto Shishin) (90593046)	北海道大学・理学研究院・准教授 (10101)	
研究協力者	大久保 祐作 (Okubo Yusaku)		
研究協力者	高橋 和孝 (Takahashi Kazutaka)		