

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03269

研究課題名（和文）心理学研究における中級程度のベイズ統計学の教授法に関する研究

研究課題名（英文）Research on teaching methods for popularizing Bayesian statistics in psychological research

研究代表者

豊田 秀樹 (Toyoda, Hideki)

早稲田大学・文学大学院・教授

研究者番号：60217578

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：現在、心理学研究は再現性の問題に揺れている。厳しい査読を通ったはずの論文なのに追試しても再現されず、当該研究分野の知見として怪しい論文も多い。現時点に於けるその最大の原因は、論文採否の主たる判断基準として有意性検定におけるp値を自動的に利用していることにある。本研究では、その弊害を克服するために、ベイズ的アプローチによって心理統計法の教授学習系列を作る。領域は心理学研究に資する統計的手法の中級レベルをカバーする範囲であり、それは最初の2単位を終えた直後の2単位に相当する教授学習系列である。研究成果は成書として公刊した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

尤度を使って現象を考えるという心理学研究のパラダイムを構築した。これは有意性検定の手続きを暗記し、当てはめ、有意水準を超えたか否かを判定するという、現在主流の心理学研究のパラダイムを180度転換する思考法である。ベイズか頻度論かという選択とも違う。この興味深い現象は、どのように生成され、データとして自分の眼前に現れたのだろう」という疑問に尤度を使って答えることである。確率分布によってデータの生成過程をモデル化することを可能にした。

研究成果の概要（英文）：Currently, psychological research is shaken by the problem of reproducibility. Even though these papers have passed rigorous peer review, they have not been reproduced even after repeated attempts, and there are many papers whose knowledge in the relevant research field is dubious. The biggest reason for this at present is that p-values in significance tests are automatically used as the main criterion for acceptance or rejection of papers. In this study, in order to overcome these disadvantages, we will create a teaching and learning series of psychological statistical methods using a Bayesian approach. The area covers the intermediate level of statistical methods that contribute to psychological research, and it is a teaching-learning series that is equivalent to two credits immediately after completing the first two credits. The research results were published as a book.

研究分野：心理統計学

キーワード：ベイズモデリング 帰無仮説 統計的仮説検定 特異項目機能 項目反応理論 PHC

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

心理学研究は再現性の問題に揺れている。厳しい査読を通ったはずの論文なのに追試しても再現されず、当該研究分野の知見として怪しい論文も多い。現時点に於けるその最大の原因は、論文採否の主たる判断基準として有意性検定における p 値を自動的に利用していることにある。p 値(p-value)とは「帰無仮説が正しいと仮定したときに、手元のデータから計算した検定統計量が、今以上に甚だしい値をとる確率」である。p 値が有意水準より小さい場合に「帰無仮説が正しくかつ確率的に起きにくいことが起きたと考えるのではなく、帰無仮説は間違っていた」と判定する。これが帰無仮説の棄却である。有意水準としては一般的に 5% が用いられることが多い。

有意性検定は、手続きが客観的で、結果が白黒ははっきりつくので明快である。p 値が 5% を下回れば、統計的に有意な差があると認められ、その判定自体には異論がでない。しかし自動的に決着できるこの便利な性質は、再現性がなく、また公刊直後から全く影響を与えない論文を大量に生産し続ける最大の原因となる。何故ならば、検定による客観的な p 値による有意差と学術的に意味のある差にはズレが存在するためである。

心理学研究におけるデータ分析には、これまで有意性検定による手続き化された定石があった。心理学者にとってデータ分析法を学ぶことの多くは、これまで有意性検定の手続きを覚えることであったといっても過言でなかった。それに対して米国統計学会は 2016 年に統計的有意性と p 値に関する声明 (Wasserstein RL, Lazar NA. Editorial: The ASA's statement on p-values: Context, process, and purpose. The American Statistician 2016; 70: 129-133.) を発表した。そこでは「科学的な結論や決定は、p 値が有意水準を超えたかどうかのみに基づくべきではない。」と宣言されている。「『ポスト p<0.05 時代』へ向けて研究方法の舵を切らせることを意図している。」とまで言っているのである。しかし声明は、新しい時代の統計データ分析の必要性を示すのみで、残念ながらそれに代わる具体的な定石を示していない。

## 2. 研究の目的

本研究では、ベイズ的アプローチによる心理学に特化した教授学習系列を作成する。ベイズ的アプローチが心理学研究の一翼を担うためには、入門的教材と研究実践例をつなぐ教材が是非とも必要である。本研究では、それに相当する最初の 2 単位を終えた直後の 2 単位に相当する教授学習系列を作成する。

尤度を使って現象を考えるという心理学研究のパラダイムを展開する。これは有意性検定の手続きを暗記し、当てはめ、有意水準を超えたか否かを判定するという、現在主流の心理学研究のパラダイムを 180 度転換する思考法である。今年度は教授学習系列の前半を公刊した。このことは研究の半分が成功裏に完遂されたことを意味する。

## 3. 研究の方法

本研究は教授法の作成という性質上、試作し、実施し、学生の評価をフィードバック得て、改良する、というサイクルを繰り返すことが、主たる研究活動であった。

## 4. 研究成果

再現性問題の主たる原因の 1 つは、有意性検定によって

- (1) 研究では帰無仮説の棄却という学問発展のための必要条件を示せばよい。
- (2) 研究分野/文脈によらずに、その研究に価値があると自動的に判定できる統計指標 p 値が存在する。

という 2 つの誤った査読文化が定着してしまったことにある。

定着した文化を変えることは容易ならざることである。しかし論文の成果が再現されないと、学問の発展に大きな支障が生じる。そのために本研究では、初等統計教育の教程を変更することを下記書籍第 1 巻で提案した。具体的には、有意性検定を初等統計教育から割愛し、

1. 統計データ分析は、学問発展の十分条件を最初から目指す。
2. 研究の価値判断には、ドメイン知識で実感できる指標を用いる。

という 2 つの教育目標を掲げた。有意性検定を割愛した代わりに、「尤度によるデータ生成過程の表現」という教授学習パラダイムを展開した。

「尤度によるデータ生成過程の表現」という教授学習パラダイムには、有意性検定を扱った

従来の初等・中等教程と比較して、以下のような3つの長所がある。

### 1. 統計学の初等・中等教育がシームレスにつながる

大学における心理学教室での講義を通じて、これまで筆者は、毎年、統計教育にかかわってきた。高頻度で有意性検定が使用されている心理学研究の現状を踏まえ、最初の4単位の単元(第1巻の入門的学習内容)に関しては、長きに渡り、有意性検定を講義してきた。有意性検定の考え方を身に着けることは、学生にとっては容易ではない。

ところが、必死に身に着けた有意性検定の役割が、続く中級の4単位の単元(本書の中級的内容)では極めて軽くなる。たとえば本書第1章で解説する回帰分析では、回帰係数の検定が、ほとんど実用的には役に立たない。それに続く一般化線形モデルや、項目反応理論や、共分散構造分析では有意性検定の役割がさらに軽くなる。上級の内容になればなるほど、有意性検定の重要度は低くなり、「データの生成過程を尤度で表現する」重要度が高くなる。このため中級の内容の講義を始めるにあたって、木に竹を接ぐように、筆者は尤度によるモデル構成を一から教え直す必要があった。

発想を変え、入門段階で有意性検定を割愛し、入門から中級に(第1巻から第11巻に)かけての方針を「データの生成過程を尤度で表現する」に統一すれば、シームレスな授業展開が可能となる。学生は学習の負担が抑えられ、統一的な視点から統計学を理解できる。

### 2. ビッグデータの時代に即応する

R. A. フィッシャーが有意性検定を創始した1920年代は、データの収集コストがとても高い時代であった。農場試験を起源とする有意性検定は、当時、データが数十のオーダーで機能した。しかし数百、数千とデータが大きくなると、有効に機能しなくなっていった。万を超えるビッグデータを扱う際には、もう有意性検定はまったく役に立たない。現代社会において万単位のデータは極々小さなデータであるが、そこでは「統計的に有意」そのものが意味を持たないのである。

大学において統計学を学ぶほとんどの学生は、入門的な講義を受けるのみで、統計学者にも研究者にもならない。しかし、多くのビジネスシーンで統計分析が必要とされているから、統計学を専門としない学生も、卒業後にデータアナリストになるケースが少なくない。個人の能力に帰属する能力をポータブルスキルという。1つの職場だけで通用する能力ではなく、業種や職種が変わっても「持ち運び可能な能力」という意味である。終身雇用が無くなった現在、転職に強いポータブルスキルとして、データ分析力は今後益々重要視されるようになるだろう。統計学の入門的講義は、ポータブルスキルとして有用なデータ分析力を獲得する貴重な機会である。万単位のデータの分析に、何の役にも立たない有意性検定を、そこで講義して良いはずがない。「教育資源・教育機会の無駄使いである」と言わざるを得ない。

データ数が大きくなると、データの生成過程を尤度できめ細かく表現する能力が益々重要になる。「データの生成過程を尤度で表現する」という教授学習パラダイムは、卒業後の広範な進路に即応するポータブルスキルを獲得するために極めて重要である。

### 3. 自分自身で分析方法を工夫することが可能になる

有意性検定の入門的教育では、正規分布、t分布、F分布、カイ2乗分布に従う検定統計量が登場する。これらの検定統計量は大学レベルの解析学の知識がないと導出できない。このため文科系の学生には、検定統計量の使用場面を暗記させる必要が生じる。この避けることができない暗記作業は、他の有意性検定へ応用がまったく利かないという意味で機械的な暗記である。応用が利かないので、後に必要となったまだ習っていない検定は、本で調べてまた暗記しなくてはならない。暗記につぐ暗記は、結果として自律的な思考を妨げ、学習者の有能感を減じてしまう。これを心理学では学習性無力感という。統計は必要だから勉強するけど、退屈でツマラナイ手続きの集まりだ、との印象を持っている学生・研究者は、残念ながら少なくない。これは検定手続きの暗記教育の帰結である。

平均値の差の生成量を理解した学生は、習わなくても、必要に迫られれば肥満度BMIの分布も求められるようになる。それに対して肥満度BMIの有意性検定ができる学生はいない。特殊な研究にしか出てこない指標も定義式があれば分布を求められる。たとえば新型コロナウイルスのワクチンの有効率の検定方法は、一般的な統計学の教科書には書いてない。でもマスクのニュースで話題になり、興味が湧けば、学生は自分で事後分布を導けるようになるだろう。

生成量ばかりではない。少し勉強を続ければ、尤度モデル自体を創意工夫することだってできるようになる。たのしいベイズモデリングには、尤度モデリングの楽しい事例が多数掲載されている。「自分自身で分析方法を工夫することが可能である」という統制感・有能感を

獲得できる点が、「データの生成過程を尤度で表現する」という教授学習パラダイムの最大の教育的メリットである。

研究成果は、別紙に示す通り、査読付き論文や、学会発表を通じて公表してきた。ただし研究の中心的成果は以下の2冊の単著の公刊によって示した。

統計学入門 生成量による実感に即したデータ分析 朝倉書店  
A5判 / 224ページ 2022年04月05日 ISBN : 978-4-254-12266-4 C3041

統計学入門 II 尤度によるデータ生成過程の表現 朝倉書店  
A5判 / 224ページ 2022年08月30日 ISBN : 978-4-254-12272-5 C3041

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 豊田 秀樹・馬 景昊・大橋 洸太郎	4. 巻 70
2. 論文標題 非復元抽出形式での授業評価における学生が重要視する知見の寡占度・飽和度の計算	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 教育心理学研究	6. 最初と最後の頁 246-259
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5926/jjep.70.246	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 -

1. 著者名 豊田秀樹, 佐々木研一	4. 巻 19
2. 論文標題 項目反応カテゴリ特性曲線による一対比較型テストモデルの提案	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本テスト学会誌	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） なし	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 -

1. 著者名 豊田秀樹・馬景昊・大橋洸太郎	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 非復元抽出形式での授業評価における学生が重要視する知見の寡占度・飽和度の計算 ジップ分布を用いた分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 教育心理学研究	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 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 -

1. 著者名 Akiyama Takashi, Toyoda Hideki	4. 巻 68
2. 論文標題 Bayesian Modeling for a Uniform Differential Item Functioning Analysis Procedure in Item Response Theory:	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Japanese Journal of Educational Psychology	6. 最初と最後の頁 250 ~ 265
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5926/jjep.68.250	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 -

1. 著者名 豊田 秀樹, 中村 健太郎, 大橋 洸太郎, 秋山 隆	4. 巻 67
2. 論文標題 一問一答形式での授業評価において学生が最重要視する知見の寡占度の計算	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 教育心理学研	6. 最初と最後の頁 304-316
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 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 -

1. 著者名 秋山 隆, 豊田 秀樹	4. 巻 68
2. 論文標題 項目反応理論における均一DIF検討のためのベイズモデリング 群間で困難度が異なる確率と正答確率が異なる確率	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 教育心理学研究	6. 最初と最後の頁 in print
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 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 -

1. 著者名 豊田 秀樹, 佐々木 研一	4. 巻 19
2. 論文標題 項目反応カテゴリー特性曲線による一対比較型テストモデルの提案	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本テスト学会誌	6. 最初と最後の頁 1~22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24690/jart.19.1_1	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6件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 豊田 秀樹
2. 発表標題 20年後のデータサイエンスと応用物理
3. 学会等名 応用物理学会 第35回 上田記念講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊田 秀樹
2. 発表標題 ベイズ統計学の基礎 有意差検定から仮説が正しい確率へ
3. 学会等名 第50回日本放射線技術学会秋季学術大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊田秀樹・馬 景昊・堀田晃大
2. 発表標題 Shiny 入門心理統計の授業中にGUIのwebアプリを作って遊ぼう
3. 学会等名 日本心理学会 第85回大会 チュートリアル・ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jinghao Ma, Hideki Toyoda & Kotaro Ohashi
2. 発表標題 Proposal for calculating encounter rate in qualitative research
3. 学会等名 International Meeting of the Psychometric Society
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊田秀樹
2. 発表標題 これからの統計教育
3. 学会等名 日本心理学会第83 回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田秀樹・馬 景昊・佐々木研一
2. 発表標題 心理学者のための人工知能入門
3. 学会等名 日本心理学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計7件

1. 著者名 豊田 秀樹	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 224
3. 書名 統計学入門	

1. 著者名 豊田 秀樹	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 224
3. 書名 統計学入門 II	

1. 著者名 豊田秀樹	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 211
3. 書名 統計学入門 I 生成量による実感に即したデータ分析	



1. 著者名 豊田 秀樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 160
3. 書名 瀕死の統計学を救え！	

1. 著者名 豊田 秀樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 160
3. 書名 瀕死の統計学を救え！	

1. 著者名 豊田 秀樹、武藤 拓之、久保 沙織、岡 律子、秋山 隆、伊東 宏樹、伊藤 瑛志、松木 祐馬、坂本 次郎、山森 光陽、宋 財?、矢内 勇生、土田 尚弘、馬 景昊、永野 駿太、五島 光、松浦 拓也、小野 滋、登藤 直弥、梅垣 佑介、山根 高史、山田 剛史	4. 発行年 2019年
2. 出版社 北大路書房	5. 総ページ数 240
3. 書名 たのしいベイズモデリング2	

1. 著者名 豊田秀樹	4. 発行年 2023年
2. 出版社 東京図書	5. 総ページ数 311
3. 書名 人工知能入門	

〔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
---------	---------