

統計数理

第66巻第1号

(通巻127号)

PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE OF STATISTICAL MATHEMATICS

目次

特集「統計教育の新展開」

「特集 統計教育の新展開」について

田村 義保・中西 寛子・渡辺 美智子 1
 小学校・中学校における算数・数学教育の中に如何にして統計的考え方を導入すべきか？
 [総合報告]

椿 広計 3
 統計的探究プロセスとその評価 [総合報告]

深澤 弘美・櫻井 尚子・和泉 志津恵 15
 中高一貫校における統計教材開発 [総合報告]

須藤 昭義 37
 臨床統計家育成の諸問題 [総合報告]

田中 司朗・相田 麗・今井 匠・廣田 誠子・森田 智視・濱崎 俊光・佐藤 俊哉 .. 49
 データサイエンス教育の滋賀大学モデル [総合報告]

竹村 彰通・和泉 志津恵・齋藤 邦彦・姫野 哲人・松井 秀俊・伊達 平和 63
 大規模授業支援テストシステムとそのラーニングアナリティクス [総合報告]

廣瀬 英雄 79
 統計的問題解決を取り入れた授業実践の在り方に関する一考察—既存のデータを活用した
 問題解決活動におけるプロセスの相違に着目して— [研究ノート]

青山 和裕 97
 データサイエンス教育に関する調査結果からみる統計基礎教育の現状 [研究ノート]

竹内 光悦・末永 勝征 107
 高校数学における統計教育の教材開発とその実践 [研究ノート]

及川 久遠・井出 和希・細野 智之・芥川 麻衣子・川崎 洋平・渡辺 美智子 121
 高等学校における「データの分析」その後の統計教育実践の一事例—データを活用する力
 の育成の観点から— [研究ノート]

酒井 淳平・稲葉 芳成 135
 大学学部における統計教育の実践報告—演繹と帰納をつなぐアクティブラーニング—
 [研究ノート]

石綿 元 153
 中心極限定理のクリッカーによる教室実験が効果的であるために必要なクラスサイズの評価
 [研究ノート]

樋口 三郎 167
 統計教育連携ネットワーク (JINSE) の展開 [研究ノート]

美添 泰人 177

2018年6月

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所

〒190-8562 東京都立川市緑町10-3 電話 050-5533-8500(代)

本号の内容はすべて <http://www.ism.ac.jp/editsec/toukei/> からダウンロードできます

ISSN 0912-6112

統計数理

PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE OF STATISTICAL MATHEMATICS

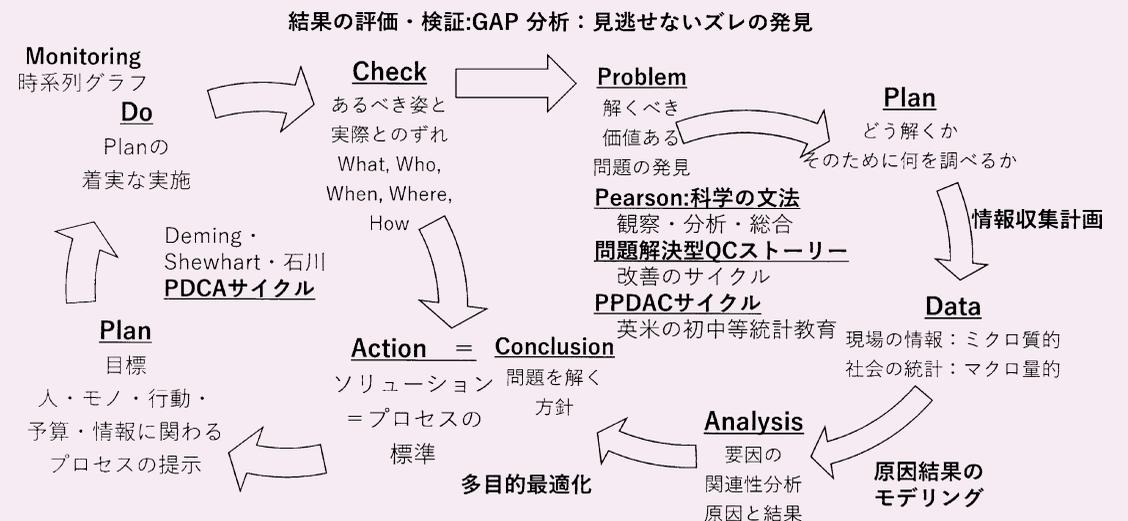
第66巻 第1号

2018

統計数理

Vol. 66, No. 1

PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE OF STATISTICAL MATHEMATICS



統計数理研究所

統計数理

(年2回発行)

編集委員長 小山 慎介
編集委員 田中 未来
中野 慎也
朴 堯星
間野 修平
南 和宏
特集担当編集委員 田村 義保
中西 寛子 (成蹊大学)

編集室

池田 広樹 長嶋 昭子 脇地 直子

「統計数理」は、統計数理研究所における研究成果を掲載する統計数理研究所「彙報」として1953年に歴史を始め、1985年に誌名を変更し今の形となりました。現在は、統計数理研究所の研究活動に限らず、広く統計科学に関する投稿論文を掲載し、統計科学の深化と発展、そして統計科学を通じた社会への貢献を目指しています。

投稿を受け付けるのは、次の6種です。

- a. 原著論文
- b. 総合報告
- c. 研究ノート
- d. 研究詳解
- e. 統計ソフトウェア
- f. 研究資料

投稿された原稿は、編集委員会が選定・依頼した査読者の審査を経て、掲載の可否を決定します。投稿規程、執筆要項は、本誌最終頁をご参照ください。

また、上記以外にも統計科学に関して編集委員会が重要と認める内容について、編集委員会が原稿作成を依頼することがあります。

その他、「統計数理」に関するお問い合わせは、各編集委員にお願いします。

All communications relating to this publication should be addressed to associate editors of the Proceedings.

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構
統計数理研究所

〒190-8562 東京都立川市緑町10-3 電話 050-5533-8500(代)

<http://www.ism.ac.jp/>

© The Institute of Statistical Mathematics 2018

印刷：笹氣出版印刷株式会社

PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE OF STATISTICAL MATHEMATICS

Vol. 66, No. 1

Contents

Special Topic : New Development on Statistics Education

On the Special Topic “New Development on Statistics Education” Yoshiyasu TAMURA, Hiroko NAKANISHI and Michiko WATANABE	1
How to Teach Statistical Thinking in Mathematics Education in Elementary or Secondary School Hiroe TSUBAKI	3
Statistical Inquiry Process and Assessment Hiromi FUKASAWA, Naoko SAKURAI and Shizue IZUMI	15
Development of Statistics Teaching Materials Presented in Textbook Format at a Private Combined Junior and Senior High School Akiyoshi SUDO	37
Cultivation of Clinical Biostatisticians Shiro TANAKA, Rei AIDA, Takumi IMAI, Seiko HIROTA, Satoshi MORITA, Toshimitsu HAMASAKI and Tosiya SATO	49
Shiga University Model of Data Science Education Akimichi TAKEMURA, Shizue IZUMI, Kunihiko SAITO, Tetsuto HIMENO, Hidetoshi MATSUI and Heiwa DATE	63
A Large-scale Testing System for Learning Assistance and Its Learning Analytics Hideo HIROSE	79
Consideration of Realization of Lessons with Statistical Problem Solving — Focusing on the Differences between Processes Using Existing Data — Kazuhiro AOYAMA	97
Status of Basic Statistics Education from Survey Results on Data Science Education Akinobu TAKEUCHI and Katsuyuki SUENAGA	107
Development of Teaching Materials for Statistical Education: Practice in a High School Mathematics Class Hisao OIKAWA, Kazuki IDE, Tomoyuki HOSONO, Maiko AKUTAGAWA, Youhei KAWASAKI and Michiko WATANABE	121
A High School Case Study of Statistical Education Practice after Completion of a Unit on “Data Analysis” — From the Viewpoint of Fostering the Ability to Utilize Data — Junpei SAKAI and Yoshinari INABA	135
A Practical Report on Statistical Education for Undergraduates — Active Learning Connecting Deduction and Induction — Gen ISHIWATA	153
An Estimation of Minimum Class Size for an Effective Classroom Experiment on the Central Limit Theorem Using Clickers Saburo HIGUCHI	167
Prospects for Statistics Education through JINSE Yasuto YOSHIZOE	177

June, 2018

Research Organization of Information and Systems

The Institute of Statistical Mathematics

10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8562, JAPAN

表紙の図は本誌5ページを参照

「特集 統計教育の新展開」について

田村 義保¹・中西 寛子²・渡辺 美智子³ (オーガナイザー)

はじめに、特集内容の説明のため、論文募集時の趣旨を再度述べる。「統計教育大学間連携ネットワーク」事業、統計教育ワークショップの開催、統計検定での CBT 方式試験開始、JMOC 開講など、統計教育に関する諸事業が展開されている。ビッグデータ時代を迎え、統計学が社会から多大なる注目を集め、データサイエンティスト育成事業も始まっている。このように、日本における統計教育、データサイエンス教育は、ますます重要性を増している。初中等教育、高等教育、社会人向けのコース、e-learning はいかにあるべきかをまとめた論文や研究解説を統計コミュニティだけでなく広く社会に向けて発信していくべきと考え、本特集を企画した。

この趣旨を書いた2016年9月から、この巻頭言を書いている2018年4月の間に、統計教育をとりまく状況は激変していると言ってよい。高等教育においては、滋賀大学と横浜市立大学にデータサイエンス学部が新設され、多くの志願者を集めている。統計学だけではなく、データサイエンスを教育するための課程として社会の注目を集め、産学官からその成果が期待されている。初等中等教育においても、次期学習指導要領が公表されている。現課程よりもさらに中身が濃く、体系的な整理がなされていると聞いている。総務省政策統括官(統計基準担当)による、中学生以上を対象にした「生徒のための統計活用～基礎編～」に引き続き、大学でのデータサイエンス習得につなげるために、「高校からの統計・データサイエンス活用～上級編～」も刊行されている。文科省に関係した教育機関だけでなく、日本の統計行政の中心である総務省が、このようなテキストを刊行し、統計研究研修所等でも、指導者講習会等を通して、統計学・データサイエンスの教育を行っていることは、心強い限りである。

小中高の現学習指導要領では、「統計」、「資料」に関する教育が強化された。データ、資料を見て統計的な思考ができるように教育していくための課程が整えられたと考えている。次期学習指導要領はより良いものになっていると思うが、PDCA サイクルを正しく回して行って欲しい。また、指導内容を良くしていこうとすることは良いことであるが、指導する教育者の技量も同時に良くしていく必要がある。統計数理研究所は、日本統計学会や全国統計教育協議会と協働で、初中等教員向けの研修の機会を多く持っている。また、公開講座により、社会に向けた統計知識の普及・発信を行っている。昨年度からは、大学院生や若手研究者向けの高度な講座も実施している。

日本における統計思考力向上の教育、取り組みは、始まったばかりである。しかし、最近の報道等を見聞きする限り、日本人は、データを見て適切に判断する姿勢を本質的に持っていないように思える。統計教育の充実、質の向上・保証を50年以上は続けないと、統計的思考ができる“大衆”、“一般庶民”は現れて来ないように危惧する。

少し話しは変わるが、データ中心科学の成果の一つに、ルネ・デカルトやエドモンド・ハ

¹ 統計数理研究所：〒190-8562 東京都立川市緑町 10-3

² 成蹊大学 名誉教授：〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1

³ 慶應義塾大学大学院 健康マネジメント研究科：〒252-0883 神奈川県藤沢市遠藤 4411

レーによる、赤道付近の風系図作成がある。風向をつかむことは、帆船での航行のためには必須であり、集められたデータから風系図を作成することは、データ中心科学の実践だったと考える。今は、毎日、テレビや新聞で、天気図を見ている。最初の天気図は1820年の初め頃に描かれたそうである。天気図を描いて初めて、低気圧ということが分かったのである。おそらく、朝と夕方風向きが変わる理由は理解されていたのであろうが、なぜ、強風が吹くことがあるのか、また、強風の場所が移動していくのであるかについては、それまでは、分からなかった。天気図という形での可視化があって初めて、風の仕組みが分かった。データを可視化して、それから事実を見出していくということは、統計的思考の中心をなすものである。統計教育を行っても、デカルトやハレーのようになれる者が多く現れるとは思わないが、天気図を見て、天候の変化がある程度読み取れる者を育てる必要はある。毎月発表される内閣支持率には誤差があることを知ることや、総務省等が公表する、世帯当たりの平均貯蓄額が、なぜ、あのように高額なのか、データの散らばり方(分布)をつかむことができる力が身につけば、理解できるはずである。数値的な集約である平均などの統計量を求めるよりも前に、データの分布や時空間変化を知るための描画、作図は重要である。

本特集には、初等中等教育や高等教育に関する現状分析や教材開発に関係したものだけでなく、臨床統計家育成に関する報告、統計教育連携ネットワーク(JINSE)の活動報告、データサイエンス教育の滋賀大学モデルの報告、ラーニングアナリティクスの報告等も含まれている。総合報告が6稿、研究ノート7稿の構成となっており、原著論文はないが、読み応えのある、優れた報告、ノートである。統数研では統計教育ワークショップ開催時に共同研究レポート「統計教育実践研究」を発行している。2018年3月に発行したものが第10巻であった。また、和文誌「統計数理」の第65巻第2号、2017で特集「スポーツ統計科学の新たな挑戦」を展開している。これは、スポーツデータ解析を通じたデータサイエンス教育のために、毎年実施しているスポーツデータコンペの成果をまとめたものであり、統計教育の成果であるとも考える。統計教育ワークショップと同様に共同研究レポート「スポーツデータ解析における理論と事例に関する研究集会」をコンペ優秀賞発表会に合わせて発行している。2018年3月に発行したものは第5巻であった。これも統計教育の成果の一つとして読んでいただければ幸いである。

スポーツを含むあらゆるビジネス領域におけるデータサイエンティストの必要性和その不足を受け、2016年12月に文部科学省は「数理及びデータサイエンスに係る教育強化」の拠点校として、北海道大学、東京大学、滋賀大学、京都大学、大阪大学、九州大学の6校を選定した。現在、大学教養教育のための教科書を作成中と聞いている。大学での統計教育は中等等と比べて若干の遅れがあると感じているが、本事業で、一気に状況改善を期待する。また、本特集が高等教育機関における統計教育に貢献できれば幸いである。

最後に、この特集「統計教育の新展開」の査読者の方々、並びに編集担当の方々、この場をお借りして感謝を申し上げたい。

小学校・中学校における算数・数学教育の中に 如何にして統計的考え方を導入すべきか？

椿 広計[†]

(受付 2017 年 7 月 9 日；改訂 10 月 27 日；採択 12 月 28 日)

要 旨

この総合報告は、日本の初中等教育に導入すべき一般の問題解決を支援する統計的思考の役割とあり方を明確にすると共に、数学的知識と統計的ものの見方を融合したより有効なアクティブ・ラーニングのあるべき姿について論じる。

キーワード：PPDAC サイクル，QC ストーリー。

1. はじめに

1.1 本報告の目的

本報告は、小学校、中学校の算数・数学の教育の中にどのように不確かさや統計に関わる視点を投入するかについての意見を述べたものである。筆者の初中等統計教育におけるモデリング教育についての考え方については、別途椿(2016a)も参照されたい。元々、本報告は、椿(2016b)が、指導要領改訂の考え方を議論していた文部科学省中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会算数数学ワーキンググループに、メンバーとして提出した意見書を基にしている。この意見書は現行指導要領に対するものであるが、意見書提出後公示された小学校・中学校の次期指導要領(文部科学省, 2017a, 2017b)を参照し、当時の意見に加筆し、再整理したものである。

筆者は、2017年3月に公示された小学校・中学校の新学習指導要領の算数並びに数学が、ICTを活用した、数理的課題解決のプロセスに即した教育となる方向を目指していることを高く評価する。特に学習指導要領解説(文部科学省, 2017c)にPPDAC(Problem, Plan, Data, Analysis Conclusion)に類似した数学的・数理的問題解決プロセスが明確に示され、単なる知識ではなく思考力・判断力・表現力の育成に大きく舵を切ったことの意義は大きい。

一方、現実社会の数理科学的問題は、正解が一意に定まらない多目的最適化問題であることが多い。従って、指導要領が求める「深い学習」を支えるアクティブ・ラーニングといった、自律的・協働的問題解決プロセス体験学習が、十全に効果を発揮するような、適切な教材案を提示しなければならない。このため、新たな初中等算数・数学教育では、限られた学習時間の中で計算方法の習得や筆算などに時間をかけることなく、必要な可視化、計算はコンピュータ等の支援の下、生徒たちが主体的かつ協力的に数学的活動を行える環境整備が必要なことも重要である。

一方、統計的ものの見方は、日本学術会議数理科学委員会数理科学分野の参照基準検討分科

[†] 独立行政法人統計センター：〒162-8668 東京都新宿区若松町 19-1

表 1. 問題解決型 QC ストーリーの各フェーズと統計・数理的方法の役割.

段階	数理科学的操作の役割
テーマの選定	
計画の立案	プロジェクト・マネジメント
現状の把握と目標の設定	問題の抽出と限定, 目標の定量化
要因の解析	仮説の設定 調査・実験データからの原因の明確化と その影響の定量化
対策の立案と設定	突き止められた原因に対処する 対策の最適化
効果の確認	対策効果の定量化・対策前との比較
歯止めと標準化	オペレーションズ・マネジメント

会 (2013)でも示されたように「科学の文法 (Pearson, 1892)」として, あらゆる分野の問題解決プロセスに寄与するものである. 渡辺・椿 (2012)で強調された PPDAC サイクルのような科学的問題解決の標準プロセスモデルを生徒に示し, 数理的方法論を問題解決プロセスの適所に意図的に配置し, その機能を発揮させることを主目的としなければならない. 従って, 算数・数学における「データの活用」などの統計的方法と密接に関連する授業項目のみならず, 問題解決プロセスの標準モデルを算数・数学全般の全項目と有機的に連携させること, あるいは社会・理科・情報など様々な科目における問題解決教材での問題解決プロセスに展開することを議論する必要がある.

本報告は, 1.2 節で科学的問題解決の標準プロセスモデルについて触れ, 2 章では, 統計教育で教員が数理的問題解決の実践的学習を設計する際に, 意識しておかなければならない統計的ものの見方を列挙する. 更に, 3 章, 4 章で, 小学校・中学校の算数・数学教育で統計教育以外の分野でも統計的ものの見方を涵養すべきであることを提言する.

1.2 科学的問題解決の標準プロセスモデル

現実問題の解決を数理科学ないしは統計科学的に行うためのサイクルとして, 第 2 次大戦後わが国品質管理のパイオニアである石川馨ら産業界が, 統計家 Deming と共に 1950 年代から 1960 年代にかけて構築し, 世界に広めた, 日常管理の PDCA サイクルとチェックに起因して改善を実現する標準シナリオである「問題解決型 QC ストーリー」(品質管理検定センター, 2015; 杉浦・山田, 1991)は, PPDAC サイクル以上にデータの役割が明確になっている. 通常の問題解決型 QC ストーリーにデータに関わる操作を記入したのが表 1 である.

QC ストーリーには 1980 年代以降開発された「課題達成型 QC ストーリー (狩野 編, 1994)」も存在し, 演繹の原理に基づいて考案された方策を比較対照実験する統計的アプローチとは親和性が高いが, ここでは省略する.

この種の標準問題解決プロセスを椿 (2015)で提起した Deming-Ishikawa の PDCA サイクルの解釈を統計教育で有名な PPDAC サイクルと関係させたいうで示したのが図 1 である.

算数・数学教育の中で, どのような統計的知識を提供するかは, 図 1 に示したような問題解決のプロセスの中に, 必要な数理的方法・統計的方法を配置するという観点から整理されなければならない. 問題解決のどのステージで統計的方法を使っているのかといったことを教員も生徒も明確に意識できる教育方法が導入されるべきなのである.

一方, 問題解決型 QC ストーリーでは, PPDAC サイクルの D(要因解析系データ)のみならず, 表 1 に示したように, Problem 段階でも「現状の悪さ加減の把握」のために, Conclusion 段

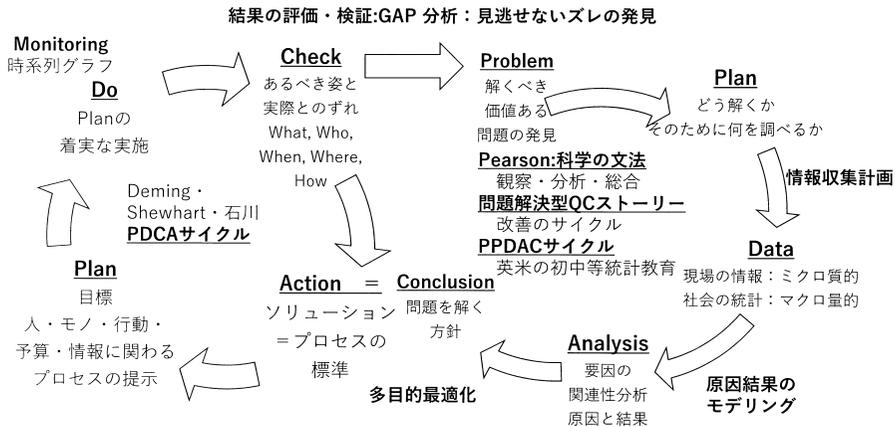


図 1. Check に基づく問題発見をトリガーとする問題解決のサイクル(椿, 2015 を教育用に改訂).

階でも「対策効果の確認」のために適切なデータを必要に応じて取得することが常識となっている。これら社会的問題解決のサイクルあるいは KAIZEN 活動の常識を PDAC に翻案すれば次のような統計的活動をアクティブ・ラーニングのなかで明確に意識し、必要に応じて実装することが必要であろう。

- 1) 問題を発見するためのデータ収集・分類整理活動
例：パレート図などによって問題の悪さ加減による順位づけを行う。
- 2) 原因候補と結果との関係性を明らかにするためのデータ収集・分類整理活動
例：原因を持っているか否かを表側に、結果が生じたかどうかを表頭にして度数を数え上げ、クロス表を作成する。
- 3) 対策の効果を検証するためのデータ収集・分類整理活動
例：対策を行った前後での問題事象の程度や件数を折れ線グラフで示す。

2. 数理的課題に対峙する際に基本となる統計的考え方の導入

2.1 数理的課題の評価・発見のための誤差概念

問題や課題を数理的に定式化し、「数理的課題」とするためには、「問題の重篤性」は「あるべき姿と現状の姿との差ないしは比で定量的には評価される」という考え方が明確に導入されなければならない。関連して、統計学ないしは計測科学の基本理念である「誤り」や「誤差」あるいは「不確かさ」や「バラツキ」を評価する行為に関わる数理的方法論が、生徒の発達に応じて、

- 1) 視覚的表現(グラフによる可視化)
- 2) 数値的表現(記述統計量等による数値的要約)
- 3) 誤りや誤差を含む数理モデルを利用した事象の表現(誤差を持つ事象の定式化)

として、適切な時点で導入されなければならない。筆者は、不確かさに対する感覚的理解は小学校、数値的理解は中学校、自らモデル化を行い始めることを高校の目標とするのが明解と考えている。勿論、グラフによる可視化には、「箱ひげ図」のように統計量に依拠するものもあり、それらは中学校の項目とせざるを得ない。次期指導要領で、これまで高校数 I にあった箱ひげ

図など記述統計的項目が、中学2学年で指導されることになったのは、この目標設定の明確化からすると大きな前進である。

一方、散布図のような方法が高校数Iになってはじめて導入されるのは好ましくない。小学校中学校でも名前はともかく、データのグラフとして2変量の視覚的表示は体得されていなければならない。

2.2 原因と結果との分析

誤差概念の導入と同時に、特に数量の関係性に関わる重要な統計項目として、「原因の候補」と「結果」の関係性の分析という問題解決行為がある。数学的な関係性、特に関数関係は原因と結果との関係を表現することに利用される。そしてその関係性には不確かさが存在する、厳密な数え上げや厳密な関数関係ということは現実の観測では殆ど見られないということを明確に意識づけなければならない。

しかし、現行の初等中等教育は、小学校教育における数え上げにしても、中高における関数概念にしても、あるべき姿としての「理想型」のみが提示されることが多い。従って、統計教育は、それが事実(データ)とは乖離するということを、理想型に関わる教育終了後、可能な限り早期に、それを補完する算数・数学的活動として提示されるべきである。

2.3 選択された行動の評価と最適化

数理的問題解決の結果、あるいは日常的課題解決の結果導かれる対策がどの程度の効果を持つか、従ってどの対策ないしは行動を選択すべきかについての数理的評価方法には様々なものがある。

- 1) 実際に対策を試行してその結果を観察して評価する：実測評価
- 2) 対策の結果を数理的に予測し評価する：予測評価
- 3) 対策のどれが好ましいか感覚的に評価する：主観評価

主観評価は、多数決原理のようなもので対策を評価する行為であり、初等中等教育の学級活動としてのコンセンサス形成でよく用いられている。もちろん、個人の判断の背後には、個人ごとに表出化されていない予測評価がある可能性は否定できない。しかし、小学校教育におけるアクティブ・ラーニングでは、主観評価を少なくとも予測評価にすべく、各生徒の思考を如何に全員が分かるように表現するかといった活動が必要となろう。一方、実測評価行為は数学的活動を超える場合もあるが、客観的確認実験、確認観察の必要性は数学的問題解決活動の中で強調されるべきものである。

更に、高校終了時までには、この種の行動とそれに伴う結果について、事象に不確かさがあるとの前提での統計的推論・確率的意思決定の基礎を習得する必要があると考える。例えば、高校の確率教育の判断力形成の目標を不確かな事象に対する行動の損失の期待値を計算し、期待損失を最小化する行動を選択するといった行為ができる力量の獲得といったものに明確化することが望ましい。

3. 小学校算数教育に必要な統計的活動

3.1 誤り・誤差の考え方と近似の利用の明確化

2.2節でも述べたように、数え上げや計算は正確であるべきという教育が基本であることを認めたくうえで、ただ、正解・不正解として評価するだけではなく、そこには誤りや誤差があるということをより明確に意識させることが、科学的問題解決に横断的に資する統計的ものの見

方である。また、厳密性を過度に追究せず、ある水準の誤差を許容した行動、数理的近似に基づく行動が、便利であり必要であるということについても、学年進行に応じて理解させる必要がある。

3.1.1 数え上げ、引き算と割り算における統計的問題評価活動

指導要領小1算数の「数と計算」には、「ものもとのとを対応させることによって個数を比べること、個数や順番を正しく数えたり、表したりすること」という項目がある。この項目は、小1の「データの活用」における「ものの個数について、簡単な絵や図などに表したり、それを読み取ったりすること」と一体化した教育とする必要がある。一方、その学習の中で、統計的品質管理教育の基本教材である「の」の字テスト(吉澤, 1992)が狙っているように数え上げにおいて、正しく数えられないで誤りが発生すること、ものもとのとを正しく対応させられないことが生じること、これが日常的に起きる「問題」とであるという意識づけがなされなければならない。また、意図せずに「誤り」を起こすことは、本人の資質や道徳上の問題として非難する必要はなく、個人や集団が自律的に改善すべき問題発見のよい機会であると位置づけ、隠すことなく科学的(数理的)に問題を解決すべき対象とすべきという教育がなされるべきである。

小学1, 2では、「数と計算」の減法の学習においても「問題評価」活動が可能である。卑近な例では、「つり銭」の計算を通じて、「支払うべき金額と実際に支払う額との差」を示し、60円のものを買うのに100円と1万円を持っていたら、100円を出す方が「問題」が少ないということを議論することが挙げられる。工作などで無駄に材料を使わないという活動自体が、算数的活動であることを意識づける必要がある。

小3以上ともなれば、割り算における「問題評価」活動も可能となる。例えば、5分を5分10秒とする砂時計と4分55秒とする砂時計の問題を誤差や誤差率で評価するなどの算数活動が統計・確率の扱うべき「問題」の有用な導入となりえる。残念ながら小学校の算数活動では、負の数(中1)を扱うことができないが、時計が進むとか遅れるという概念の中で負の誤差を通じて負の数の必要性に気づかせてもよい。

3.1.2 分類と問題の数理的発見：パレート図の導入

小2「数と計算」には、「同じ大きさの集まりにまとめて数えたり、分類して数えたりすること」という項目がある。この「分類」を通じた数え上げでも、全く同じ大きさの集まりをまとめる分類の理想形だけでなく、ある範囲の大きさのものをあたかも同じ大きさと見なして分類するという統計的活動を通じて、「ある値とその値に許容される差」の範囲で、事象をひとくくりにする算数的活動を経験することが可能でありかつ肝要である。この活動は、まさに正解が一意に定まらない活動であり、アクティブ・ラーニングの対象となる。すなわち、各生徒の考え方の共通性と相違とを確認し、より近似誤差の小さい適切な分類を求めて、合意形成を行うプロセスをアクティブ・ラーニングの中に組み込むのである。

特に、問題事象、すなわち「あるべき姿と乖離している事象」を定性的に定義・分類し、それが日常的にどの程度起きているかを数え上げ、その度数が本来0とならなければならないという観点から問題の悪さ加減を定義するといった算数的問題発見活動がなされなければならない。

この活動の中で、小2「データの活用」に示された「身の回りにある数量の分類整理、簡単な表やグラフを用いて表したり読み取ったりすること」、小3「棒グラフの特徴やその用い方を理解すること」等が実践的に取り上げられる必要がある。特に、問題事象の度数を、その度数の大きさの順に並べた棒グラフとして「品質管理7つ道具(例えば、細谷, 2006)」に含められている「パレート図」を描かせ、問題の悪さ加減を評価し、数理的に順序付けるといった数学的活動が有効である。

3.1.3 近似誤差の評価

小4「数と計算」では、「概数に関わる数学的活動を通じて、概数が用いられる場合について知ること、四捨五入について知ること、目的に応じて四則計算の結果の見積りをする事」が記されている。また、これを「目的に合った数の処理の仕方を考えるとともに、それを日常に生かすこと」とも書かれている。概数は、明示的に統計的近似を扱う項目である。四捨五入という概数概念は、分類や近似という統計的操作と密接な関連があることを意識させなければならない。特に、小3「測定」の項目である「長さや重さについて、適切な単位で表したり、およその見当を付け計器を適切に選んで測定したりすること」が、四捨五入同様の近似誤差を許容した上で、計器が選択されるということに気付く機会を教室で与えるべきである。

この概数の四則計算の結果生じる誤差は、小学校では貴重な数値的誤差評価の活動となる。従って、最悪の場合どの程度誤差を生じるかを評価することが望ましい。これを「計算結果の最大値・最小値」、「計算結果の範囲：最大値-最小値」として区間で示させることが、統計における「最大値-最小値」のような概念を計測データの母集団で体験させるという少し高度な数学的経験になるのである。

3.1.4 近似分布の評価と最低限の要約統計量の導入

小5「変化と関係」では、「異種の二つの量の割合としてとらえられる数量に関わる数学的活動」がとりあげられ、「速さなどの単位量当たりの大きさの意味」という数学的活動が導入されている。当然、「密度」も2つの量の割合となる。小5「データの活用」では、「測定した結果を平均する方法」が導入されるが、密度や平均といった概念には数理的類似性が高いことに気付かせるような教育ができないであろうか。

測定値の平均を報告した際に、個々の測定値とは差が生じている、バラツキがあることを数理的課題ととらえるというのが統計的問題発見の基本である。実際、密度などでも平均に近い集団もあればそうでない集団もあることを体得できれば、中学以降の統計教育の前駆的活動とすることができる。例えば、人口密度も東京都23区のそれぞれの人口密度と23区全体の人口密度とを比較し、密度のばらつきを体験させることが可能なのである。

これを中1「データの活用」の「ヒストグラムや相対度数などの必要性」といった項目と密接な関係性を持たせて教育すれば、数学教育としても統計教育としても有効であろう。勿論、階級幅が等しければ、密度は棒グラフと同様の表示となるが、連続量の確率分布が、確率密度関数で表現される。確率密度関数の近似として重要なヒストグラム概念を密度概念の学習と共に学ぶことは、密度概念を効果的に説明する手段としても有用である。

また、中学の「データの活用」で中1の「ヒストグラム」ないしは中2の箱ひげ図の背後にある要約統計量としての、平均値、最大値、最小値、範囲といった位置とバラつきを示す統計量を小5の「変化と関係」の割合や小4「数と計算」の概数について求めるといった小学校の数学的活動を中学で統計的活動に発展させることも有効と考える。

3.2 原因と結果との関係性の分析

3.2.1 時間的順序とクロス集計の明示的導入による因果関係の議論と分析

小1の「測定」に関わる項目の中で、「長さ、広さ、かさなどの量を、具体的な操作で直接比べたり、他のものを用いて比べたりすること、身の周りがあるものの大きさを単位として、そのいくつ分かで大きさを比べること」あるいは、「時刻と日常生活を関連づけること」が示されている。すなわち、量や時刻の順序関係を比較する操作を実践的に習得させる数学的活動がなされる。これらの数学的活動の中でも、小学校低学年の活動で統計的に重要なのは、事象を時刻の順番に整理することを通じて、事象には原因となる事象とその結果となる事象が存在するこ

とを意識づけることである。特に、時刻の先に起きる事象は後に起きる事象の見かけ上の原因となる場合があるという数学活動を体験する必要がある。

この定性的時系列分析に基づく因果関係の分析の発展として、小4の「変化と関係」における「伴って変わる二つの数量に関わる活動」特に、「変化の様子を表や式、折れ線グラフを用いて表したり、変化の特徴を読み取ったりすること」といった数学的活動の中に、時系列間の先行性や遅行性といった因果関係の同定に繋がる活動が、明確に位置づけられるべきである。小4の「データの活用」にも、折れ線グラフに関する項目と共に、思考力・判断力等の育成を目指し、「目的に応じてデータを集めて分類整理し、データの特徴や傾向に着目し、問題を解決するために適切なグラフを選択して判断し、その結論について考察すること」、「表や折れ線グラフを用いた表現と特徴を調べることについて指導」とが挙げられており、「変化と関係」と「データの活用」とが一体となったアクティブ・ラーニングのデザインが期待される。

また、小5「変化と関係」も「伴って変わる2つの数量を見出して、それらの関係に着目し、表や式を用いて変化や対応の特徴を考察すること」がその目標に掲げられている。また、「百分率を用いた表し方の理解」も掲げられている。これら「変化と関係」に関する数学的活動と小学5年の「データの活用」で挙げられている項目、「円グラフや帯グラフの特徴とそれらの用い方を理解すること」、「問題を解決するために適切なグラフを選択して判断し、その結論について多面的にとらえ考察すること」といった項目とも連携して活動を行うべきである。

今回の指導要領の改訂で「相対度数」という概念は、小学校からは形式的になくなり、中1の項目となった。しかし、小5で学習する円グラフなどに、やはり小5「変化と関係」で学習する「百分率」を書き込ませ、実質的には相対度数を可能な限り小学校で繰り返し教育することが重要である。更に、中学・高校の項目における相対度数は、頻度論的「客観確率」の推定値としての位置づけを今以上に強調することが、確率教育の実効化にもつながる。

特に、単純集計以外の小4のクロス集計を小5で発展させ、総数に対する百分率のみならず、原因のある水準に固定した条件の下で、結果の相対度数がどのようになるかという、高校での条件付確率の考え方の導入に繋がる、「条件付百分率」の表示とその条件間の比較といった数学的活動も積極的に導入し、原因が変わったときに結果がどう変わるかといった条件付百分率の比較を通じた分析活動を加速すべきである。

これらの比較に基づく要因分析活動を支える事前準備として、ある問題を生じさせている原因候補については、どのようなものが考えられるかについての定性的仮説網羅は、典型的な正解の無い問題であり、アクティブ・ラーニングにおけるブレインストーミングのよい課題となる。時系列順序の観察や個人の常識、理科・社会の知識を活用して因果仮説を網羅する議論は、算数はもちろん、全科目で試行される必要がある。欧米では、初等中等教育・高等教育・一般研究における定性的因果関係の洗い出しの議論のために、石川馨が提案し、パレート図同様「品質管理7つ道具」の一つとして知られている「特性要因図(Fish Bone Chart, Cause and Effect Diagram)」が活用されており、わが国でも小学校高学年からアクティブ・ラーニングのツールとして算数のみならず、様々な科目に導入することが望ましい。総務省政策統括官(統計基準担当)(2017)では、椿(2016a)で紹介した、世界各都市の平均気温に何が影響を与えるかといった教材で特性要因図を書かせる数学的活動を課している。

3.2.2 誤差のある数量関係の意識：散布図の小学校への実質的導入を

小5「変化と関係」では、「簡単な場合についての比例の関係があることを知ること」、更に、小6「変化と関係」では、「比例の関係の意味や性質を理解すること、比例の関係をを用いた問題解決の方法について知ること」が記載されるとともに、「伴って変わる二つの数量を見出して、それらの関係に着目し、目的に応じて表や式、グラフを用いてそれらの関係を表現して、変化や

対応の特徴を見出すとともに、それらを日常生活に生かすこと」と記されている。残念ながら小6「データの活用」では、比例関係をグラフで調べるために実際の観測結果と重ね合わせる、すなわち散布図と数量関係(関数関係)とを同時に可視化し、比較する算数的活動は統計的問題解決活動を積極的に導入しているとは読み取れない。筆者は、むしろ「変化と関係」の教育の中で現行指導要領数I「資料の活用」に配置されている「散布図」を2変量の分布の可視化ツールとして、小6でも「グラフ」として体験させる数学的活動を強く望みたい。

小4「データの活用」で、もし2変量の時系列的折れ線グラフとして調べた事象も散布図上の点を時系列的に繋ぎ、全体の関係性を議論すると共に、散布図上の点が時間的にどのように動いているかなどを観察し、その特徴を議論させるなどの数学的活動も有用である。実際、この種のグラフを描く活動は初中等地理教育でクライモグラフやハイサーグラフとして用いられていると認識しているが、数学的活動としては小学校高学年で体得できるものである。

いずれにせよ散布図という可視化手段の早期導入は、数学的關係性が近似的に成立していることの確認、数学的關係の近似がよいかどうかの直観的判断と共に、その關係性から外れている事象の抽出を通じた問題の抽出・発見など、アクティブ・ラーニングを用いた数学的課題解決のサイクルを小学校でも一通り経験させることを可能にするという意味でも最も重要である。なお、誤差のある比例関係については、椿(2016a)で紹介したGilchrist(1984)の中に統計モデル教育プロセスの在り方として紹介されているランダムな20地点の直線距離と道なり距離との関係図(図2)などの例題を学校から自宅までの距離などで置き換えることによって、わが国でも全国の小中学校で自らデータを収集する活動を行い、分析可能な秀逸なアクティブ・ラーニング教材を作成することができる。

4. 中学数学教育に必要な統計的活動

4.1 現状の問題を評価する統計的活動

4.1.1 正負の誤差と偏り

中1「数と式」で、負の数が導入されることと連携して、誤差に正負があること、誤差の平均と実際のあるべき値(目標値)との差である「偏り(bias)」の概念を導入することが可能となる。ここでも正の偏りと負の偏りが存在することを日常的事象で明確にすることが望ましい。また、日常課題の数学化の典型として「偏りが大きいこと」を上げることが必要である。ただし、小学校、中学校のデータの活用教育では、問題発見と密接な関係にある「外れ値(Outlier)」の概念があまり扱われていない。箱ひげ図も初中等教育では「離れ値(Far out)」を抽出する分析ツールとしての教育は困難と考えられており、ひげを最大値や最小値にするというおおよそ統計学の日常応用では考えられない方法が教育されている。

いずれにせよ、誤差や偏りといったネガティブな概念を連想しかねないが重要な概念が初中等の数学・数理科学教育の素材として提供されていないことについては、用語の言い換えも含めて今後も検討が必要であろう。

4.1.2 不確かさの記述モデルとしての近似確率分布と問題点抽出支援ツール

中2「データの活用」で導入される「確率」については、不確定な事象として、サイコロなど偶然変動が主要な事象だけでなく、一定の関数で系統的変動が支配されている現象に含まれる誤差変動の記述のためにも用いられることを明確にし、その種の数学的活動の学習機会を意図的に設けなければならない。

特に、場合の数や組み合わせから導かれる「論理確率(数学的確率)」的例題に加えて、確率的気象予測のような「将来事象に関わる確率(統計的確率)」とその現象が生じたときの損失や利得に基づく、期待利得、期待損失計算などのリスク評価に関わる「期待値の評価」といった項目を

中2時に導入すべきである。特に、検査を行って、陰性となった場合や陽性となった場合とで、実際に病気である確率が変わるなど、現行指導要領では高校の数学Aの項目となっている「条件付確率」も中2の項目とできないのならば、その種の公式な用語を導入しなくても、条件によって確率が異なることを比較するといった数学的活動を中2から行うことを考えるべきである。

高校で統計的活動としても確率分布を連続分布に拡張するために、比例関係の散布図などでの予測値と実測値との差である「残差」概念を導入するか、あるいは体験させ、残差の度数分布やヒストグラムが、偶然変動を表現する確率分布の近似となっていることも積極的に体験させるべきである。これを通じて、残差がある区間に入る相対頻度など、それがどの程度大きいのか、少ないのかといった、高校で導入される可能性のある統計的推論の前駆となる数学的活動も可能となる。

また、これら残差のヒストグラムの中にも、「外れ値」に代表されるような未知の系統変動成分が含まれており、それを突き止め、何らかの手を打つことが数理的課題解決のサイクルを回すことそのものであるという実践的学習を配置することが望ましい。

そのために中1, 2の「データの活用」における統計ソフトウェアを活用した教育を教員の自主的判断で積極的に推し進め、データや度数分布からその中央値、最頻値、四分位点などを求めるとともに、ヒストグラムによる分布形の特徴抽出や「外れ値」かどうかを判断する議論をクラスで体験させておくことが望ましい。

中3「数と式」で平方根計算が可能となる段階で、本来、分布のバラつきの尺度として中2の「データの活用」に導入された四分位範囲に加えて、「標準偏差」も導入されるのが望ましい。これまでのヒストグラムや箱ひげ図などによる分布のばらつきの視覚化と標準偏差というバラつきの数値的要約の間にもどのような関係があるかについては、幾つかのデータの例を示す必要がある。また、日常的課題を数学的に定式化する方法として、偏りが大きいこと以外にバラつきが大きいこともあげられることを中学2年時に教育することが必要である。

4.2 原因と結果とを分析する統計的近似活動と残差の検討

中2「関数」では、「一次関数として捉えられる二つの数量について、変化や対応の特徴を見出し、表、式、グラフを相互に関連付けて考察し表現すること」、中3「関数」では、更に二次関数について同様のことを要請している。一次関数、二次関数は数学的概念であり理想形を示したものである。しかし、現実には、関係性のある限られた領域で一次関数近似する、その近似が十分でなければ二次関数近似で近似度を上げるという数学的活動が本来期待されている。

従って、厳密な意味で関数関係が成立していなくても、近似的に一次関数や二次関数で表される事象に着目し、その関数のグラフと共に、「散布図」として示すような数学的活動が極めて重要である。椿(2016a)、総務省政策統括官(2017)で例示したように世界の都市の緯度(北緯をプラス、南緯をマイナスとした)を横軸に、各都市の月別平均気温の最大値と最小値との平均値(ミッドレンジ)を縦軸にとった散布図を描けば、近似的に二次関数(より現象を説明するのは余弦関数)に見える関係性が浮き彫りになる。この種の体験を積むことで、知識としての数学教育が、指導要領でいう「生きる力」に変換されるのである。

このような散布図を用いて、近似的関数関係からの「外れ値」となっていることを「数学的課題」として抽出すれば、残差分布の外れ値となるアディスアババやメキシコシティが何故外れているかということに対する考察の端緒となり、新たなPPDACサイクルが始動するのである。

4.3 統計的推論、確率的意思決定に関わる項目

指導要領の中3「データの活用」には「標本調査の必要性和意味を理解すること、簡単な場合に

ついて標本調査を行い、母集団の傾向を推定し判断すること」が記載されている。中学段階では標本調査に基づき抽出されるデータは確率変数と見なせるということ、あるいは標本誤差を議論することはないだろう。しかし、この考え方が、中2で習得する確率あるいは現行指導要領数学Aで扱う確率などと高校に至っても関係性を持ちにくくなってしまえば問題である。データという数値が書かれたおみくじを計算機に支援された乱数実験を多数回繰り返すことを通じて、平均値のような統計量自体にもヒストグラムが書けるといった統計的推論に繋がる体験は、次期指導要領においても中3のデータの活用において比較的实现可能なものではないかと考える。

「乱数実験」については、標本の確率的抽出に限らず、将来の不確かな状況に対して、適当な確率を付与した乱数実験が、事象のシミュレーション(近似)として有用であるという体験は、アクティブ・ラーニングなどの「ゲーム設計活動」あるいは関連する意思決定の最適化活動として、中学それが無理ならばせめて高校生活の中で一度は実践されれば、数学、特に確率の社会的意義を生徒が納得するであろう。

5. おわりに

新しい指導要領は数学・統計学による問題解決教育にこれまでより大きく踏み込んでいる。しかし、算数・数学の指導要領の中で統計的方法を独立した項目にとらえ、他の項目とは独立した教育を行っている限り、統計教育の実効性は上がらないと危惧する。数え上げの数理、関係の数理などと連携した、あるいは理科、社会科、情報科等と連携したアクティブ・ラーニング教材を教育の現場と創生することで、限られた時間の中での教育効果を最大限に発揮することができる。一方この種の実践的問題解決教材を教育現場だけでなく、産業界で統計的KAIZEN活動を実践してきた方々と協働して開発できないかというのが、一般社団法人日本品質管理学会 TQE 特別委員会活動である。これらの活動の成果として、山下 他(2015)は、緑茶官能データの分析を事例とした教材を開発し、日本教材学会で表彰された。

謝 辞

本報告は、科研費基盤研究 B「学校教育における設計科学的視座に基づく数理科学教育の構築に関する総合的研究(研究代表者 西村圭一、課題番号 16H03054)」の支援を受けた。また、原稿に貴重なコメントを頂戴した査読者に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- Gilchrist, W. (1984). *Statistical Modelling*, Wiley, Chichester.
- 品質管理検定センター (2015). 品質管理検定(QC 検定)4 級の手引き, ver. 3.0, http://www.jsa.or.jp/kentei/content/uploads/grade4text_ver3.0.pdf, 日本規格協会.
- 細谷克也 (2006). 『QC7 つ道具(やさしい QC 手法演習)新 JIS 完全対応版』, 日科技連出版社, 東京.
- 狩野紀昭(編) 監修, 八丹正義, 国分正義, 市川亨司 (1994). 『課題達成型 QC ストーリー活用事例集—QC サークルの新しい調整』, 日科技連出版, 東京.
- 文部科学省 (2017a). 小学校学習指導要領, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2017/05/12/1384661_4_2.pdf.
- 文部科学省 (2017b). 中学校学習指導要領, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2017/06/21/1384661_5.pdf.
- 文部科学省 (2017c). 中学校学習指導要領解説数学編, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/

education/micro_detail/___icsFiles/afldfile/2017/07/04/1387018_4_2.pdf.

日本学術会議数理科学委員会数理科学分野の参照基準検討分科会 (2013). 大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準数値科学分野, 日本学術会議, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-h130918.pdf>.

Pearson, K. (1892). *The Grammar of Science*, Walter Scott, London.

杉浦忠, 山田佳明 (1991). 『QC サークルのための QC ストーリー入門—問題解決と報告・発表に強くなる』, 日科技連出版, 東京.

総務省政策統括官(統計基準担当)監修 (2017). 高校からの統計・データサイエンス活用～上級編～, 日本統計協会, 東京.

椿 広計 (2015). SQC の世界観とビッグデータの世界観, 日本品質管理学会第 152 回シンポジウム「未来の品質管理に光をもたらすのは—徹底討論 SQC vs ビッグデータ」基調講演アブストラクト, http://www.jsqc.org/q/news/events/152_1.pdf.

椿 広計 (2016a). モデリングとその教育について, 日本科学教育学会誌, **40**(2), 119–126.

椿 広計 (2016b). 小中高算数・数学における統計的方法教育の実効化と教育すべき項目に関する意見, 文部科学省中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会算数数学ワーキンググループ資料, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/073/siryo/___icsFiles/afldfile/2016/05/16/1370395_8.pdf.

山下雅代, 新井健使, 西村圭一, 鈴木和幸 (2015). データに基づく問題解決プロセスとその教材開発—緑茶の官能データ分析を例に—, 日本教材学会教材学研究, **26**, 23–32.

吉澤 正 (1992). 『統計処理』, 情報処理入門コース 8, 岩波書店, 東京.

渡辺美智子, 椿広計 編著 (2012). 『問題解決学としての統計学—すべての人に統計リテラシーを』, 日科技連出版社, 東京.

How to Teach Statistical Thinking in Mathematics Education in Elementary or Secondary School

Hiroe Tsubaki

National Statistics Center

The report will clarify the standardized roles of statistical thinking for general problem solving that should be introduced into elementary and mathematics secondary education in Japan, with the goal of developing more effective active learning by utilizing both pure mathematical knowledge and statistical thinking.

統計的探究プロセスとその評価

深澤 弘美¹・櫻井 尚子²・和泉 志津恵³

(受付 2017年6月30日; 改訂 9月19日; 採択 9月20日)

要 旨

Cyber-Physical System(CPS)によるデータ駆動型社会では、あらゆる業種や領域においてビッグデータをはじめとするデータ活用による意思決定プロセスが必須となる。インターネットの普及やモバイル社会、IoT、AIの進化により、データの蓄積は爆発的に増殖を続け、従来、勘や経験に頼っていたあらゆる人々の選択や判断は、データの分析結果を根拠に行われる。このような時代に生きる必要条件として、統計を用いて問題を探究し、科学的に判断する力の重要性はますます高まっている。本稿では、科学的探究力・科学的判断力の育成を目指した統計教育の在り方、具体的な授業のデザイン、評価の方法について、イギリス、アメリカ、ニュージーランド等の海外の事例を含めて調査・研究した結果をまとめる。科学的探究や判断を実験させる授業デザインとしては、統計的探究プロセスに沿って問題解決を行うプロジェクト型の授業を提案する。評価については、統計的探究プロセスの各フェーズにおける生徒や学生の理解や能力を評価する基準として「統計的問題解決評価ルーブリック SPART」を提案する。

キーワード：統計教育，統計的問題解決，PPDACサイクル，探究力，アセスメント。

1. はじめに

Cyber-Physical System(CPS)によるデータ駆動型社会の到来(図1)を受けて、ビジネス界のみならず、医療や環境、行政などあらゆる分野でビッグデータをはじめとするデータ活用による意思決定プロセスが重要視されている。CPSとは、蓄積された実世界のデータを分析・解析し、その結果を再び実世界にフィードバックするサイクリックなシステムを指す(経済産業省, 2017a, 2017b)。インターネットの普及やモバイル社会の到来で、知らぬ間に情報は収集され、自動的にデータベースとして日々刻々蓄積されている。さらなるIoTやAIの進化により、データの蓄積は爆発的に増殖を続け、従来、勘や経験に頼っていたあらゆる人々の選択や判断は、データの分析結果を根拠に行われる新たな時代が到来している。CPSにより変革を余儀なくされるデータ駆動型社会では、様々な分野で従来存在しなかった価値を創造する手段を提供している(図2)。これが進んだ先の社会は、全ての産業間でデータを核としたビジネスモデルの革新を招き、それがいずれ産業構造の大変革を引き起こすことが予想される。この状況を踏まえて経済産業省では、国際競争に遅れない企業のチャレンジ促進環境の整備を大きな課題としてとらえている。その中でコアテクノロジーの進展とともに掲げられているのが、人材育成の強化であり、その一端を担うのがデータサイエンティストである。ITを駆使して大量の

¹ 東京医療保健大学 医療保健学部：〒154-8568 東京都世田谷区世田谷 3-11-3

² 東京情報大学 総合情報学部：〒265-8501 千葉県千葉市若葉区御成台 4-1

³ 滋賀大学 データサイエンス学部：〒522-8522 滋賀県彦根市馬場 1-1-1

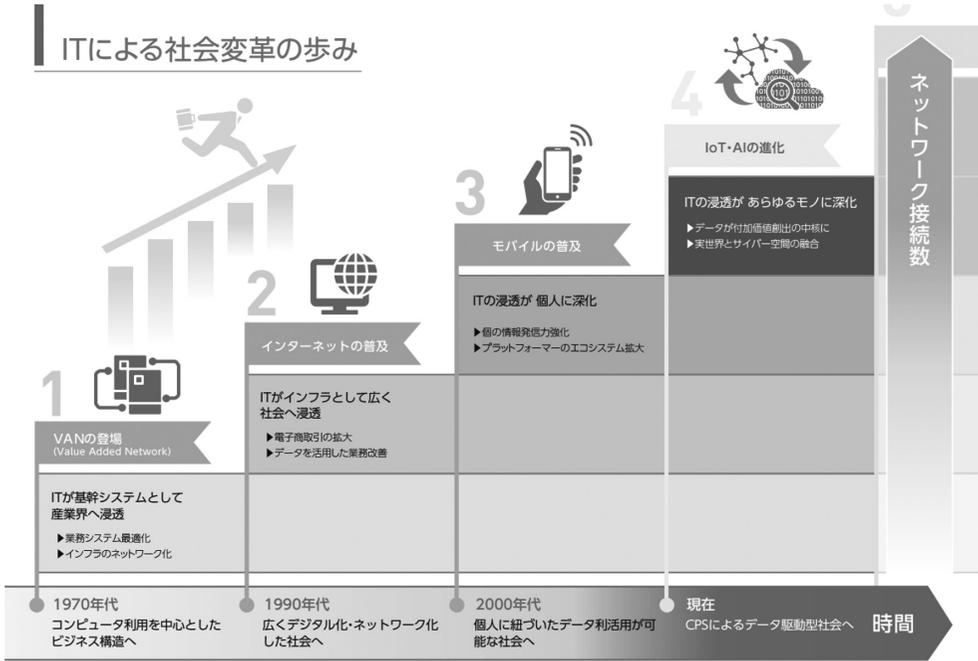


図 1. IT による社会変革の歩み (経済産業省, 2017a).

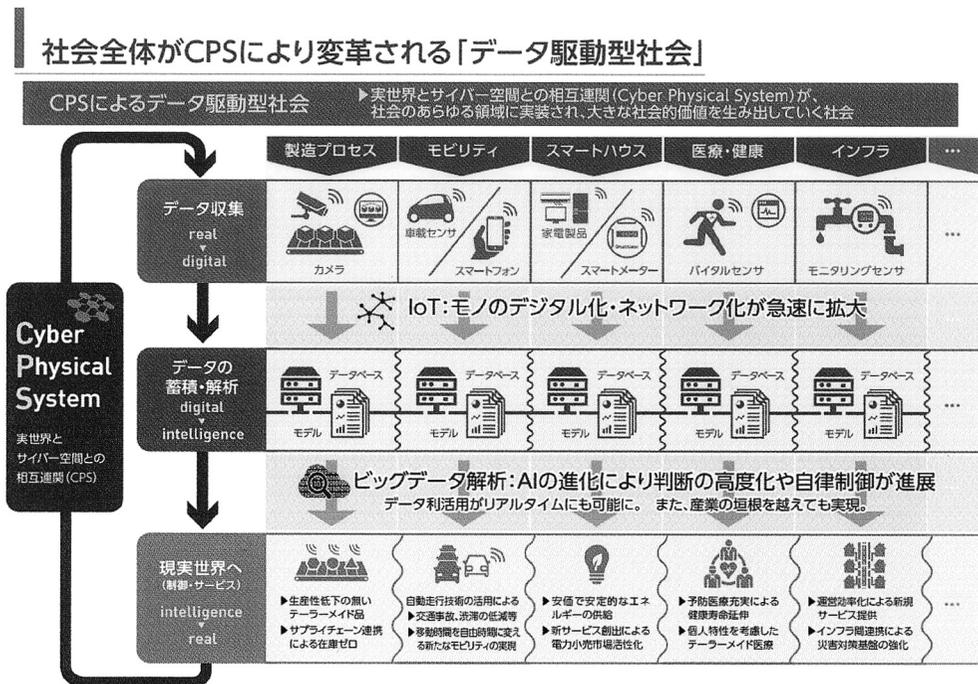


図 2. 社会全体が CPS により変革されるデータ駆動社会 (経済産業省, 2017b).

データから必要な情報を取捨選択し、統計学を用いて問題を解決する作業は、各種アプリケーションプログラムや人工知能とともにチームワークとしての作業量を要求される。各領域のデータサイエンティストに求められる素養は深く、広域にわたることが想定される。専門家の育成が急務であると同時に、学校教育においても情報教育と並行して統計教育の充実を図り、ビッグデータ時代に生きる市民の力を育成していかななくてはならない。

本研究では、諸外国の統計教育およびその評価の事例等を参考に、統計的探究プロセスを体験し、実際にデータを用いて問題解決を行うプロジェクト形式の授業のデザインとその評価方法を提案する。まず2節で統計教育の現状と課題をレビューする。続いて3節では、統計的探究プロセスについて述べる。4節では、3節で述べた統計的探究プロセスの授業デザインについて提案する。5節では統計的探究力の評価をレビューする。6節では、プロジェクト型統計的問題解決学習の評価基準を提案し、最後に7節でまとめを行う。

2. 統計教育の現状と課題

わが国では2020年に向けて新センター試験、次期学習指導要領の検討等が進められ、あらゆる科目においてデータ重視の変革が行われる。イギリスの「Scientific Inquiry」、アメリカの「Scientific Investigation」、ドイツの「Nature of Science」のような数学という科目の枠を超えた統計教育の充実という世界的動向をうけて、日本でも新科目「数理探究(仮称)」の新設が検討されている。統計関連学会連合は「高度情報化・データサイエンス社会における国民の科学的判断力・探究力強化に向けた新科目『数理探究(仮称)』内容への要望書」を文部科学省に提出し、“国際的な共通基準とすべき通用性に照らして内容を充実し、具体的には推測統計を含む科学の手法としての統計的仮説の構築、実験・調査のデザイン、データ処理、モデリング、結果の解釈に至るまでの統計学的体系の学習内容を充実すること”を要望した。具体的な問題に対して客観的なデータを集め、適切な統計の手法を活用して分析し、得られたエビデンスに基づいて判断して問題の解決策を提案するという、統計的探究のプロセスが重要であり、このプロセスをプロジェクトベースで体験させることを繰り返し授業に取り入れることが科学的思考力や問題解決力の育成につながる。入試を含めて初等教育、中等教育、高等教育の統計教育は変革の時であり、教材等授業の充実に向けた研究はますます重要となる。そしてこれらの教育を充実させるためには、その評価方法や評価基準を確立することも喫緊の課題である。そこで本研究では、諸外国の統計教育およびその評価の事例等を参考に、統計的探究プロセスを体験し、実際にデータを用いて問題解決を行うプロジェクト形式の授業のデザインとその評価方法を提案する。

本稿で提案する授業デザインは、平成24年8月の中央教育審議会答申「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～」に記されている、学士課程教育の質的転換の内容(中央教育審議会, 2012)ならびに、平成29年3月の新学習指導要領改訂のポイントに示された“必要なデータを収集・分析し、その傾向を踏まえて課題を解決するための統計教育の充実”に準じている。すなわち、受動的教育が主流だった従来型授業の枠を取り外し、教員と学生が意思疎通を図りつつ、一緒になって切磋琢磨し、相互に刺激を与えながら知的に成長する場を創り、学生が主体的に問題を発見し解を見出していく能動的学修(アクティブラーニング)を踏まえた統計教育を早急に拡充しなければならない。ビッグデータ時代においてグローバルに活躍する人材を育成するためには、統計で問題を解決するためのプロジェクト型授業を初等教育の早い段階から大学まで継続的に深めていく学びが必須と考える。

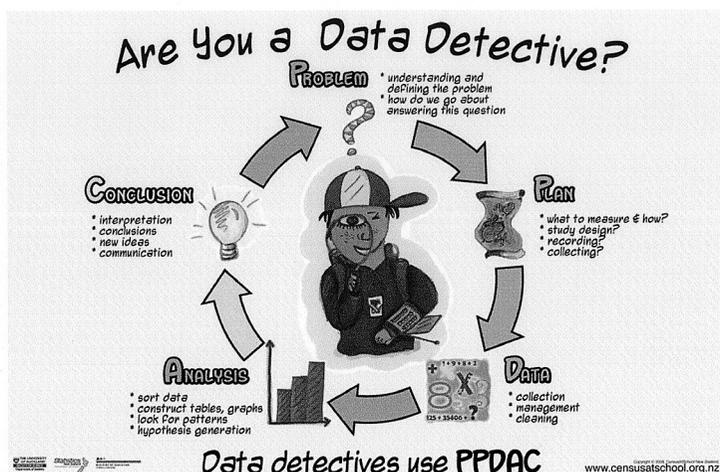


図 3. PPDAC サイクルのポスター(ニュージーランド).

3. 統計的探求プロセス

統計を使って問題を解決するために、問題を捉え、データを分析して結論を導き出す一連のプロセスを統計的探究プロセスという。論理的なプロセスで科学的かつ協働的に問題を解決する力は、21世紀を生きる若者に必須の力であり、世界共通で必要な力としてその教育が世界中で重要視されている。業種を問わずあらゆるビジネスや生活の場面で必要な力である。統計的探究プロセスには、国際的な枠組みとして PPDAC サイクルがある。Problem(問題をとらえる)、Plan(計画を立てる)、Data(データを集める)、Analysis(分析する)、Conclusion(結果を読み取る)の5つのフェーズを繰り返しながら問題を解決するステップを定義したものである。各フェーズの頭文字をとって PPDAC サイクルと呼ばれている。図3はニュージーランドで作成された統計の重要性を子供たちに示すポスターである。ニュージーランドでは、初等教育の初期段階から身近な問題や身の回りの現象に関する疑問や課題を PPDAC サイクルに沿って解決する授業が繰り返し行われている (Education in New Zealand, 2017; Te Kete Ipurangi (TKI), 2017)。

4. 統計的探究プロセスと授業デザイン

Gal and Garfield (1997)は、統計教育の目標を以下の2点であると主張している。

- 不確実性、ばらつきについて理解し、身の回りにある統計情報に正しく対処することによって情報満載の現代社会に効率よく参加できる市民の育成
- 各自が直面するより専門的な課題に関連して、データの提示・説明・伝達に貢献および参加できる市民の育成

我が国の学校教育においても、さまざまな統計的問題解決のプロセスおよびその概念の基礎となる数学的なアイデアや理屈を理解して活用し、分析した結果を説明し伝える力を養うための授業作りが重要となる。統計教育を行う教員は複合的な目標に向けて、概念的に異なる幅広い視点で指導を行う必要がある。生徒及び学生が判断・まとめ・記述・予測等を行うことに慣れるための手助けをする授業デザインが重要であろう。

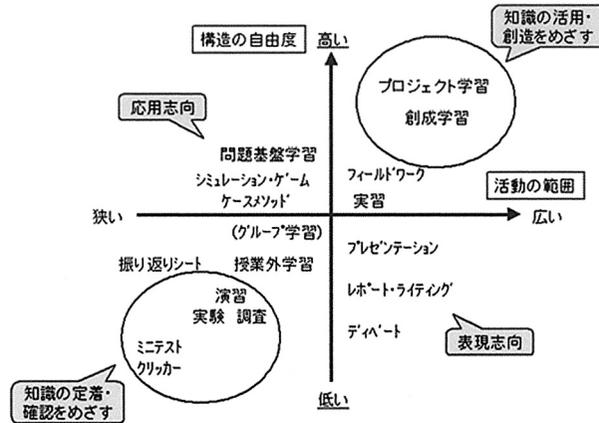


図 4. アクティブ・ラーニングの多様な形態 (山地, 2014).

知識理解だけを目的とするのではなく、習得した知識を使って主体的かつ協働的に問題を解決する力を身に付けるためには、アクティブラーニングの導入や MOOC (Massive Open Online Courses) や JMOOC (Japan Massive Open Online Courses) を用いた授業外での学習、反転学習など新たな試みも必要となる。

4.1 アクティブラーニング

アクティブラーニングは、教員と学生間での相互刺激による知識の醸成と問題発掘・解決力の育成を目指す学習・指導方法である。この方法が通常授業の中でデザイン出来得る最適な時間、クラスの大きさ、方法の難易度などを考慮して、学生の学びに合った適正な学習指導方法を選択する必要がある。統計教育においてもアクティブラーニングを取り入れ、探求のプロセスを実体験することはとても重要である。アクティブラーニングを実質化するにあたり、キーになる 7 つの原則が米国で発表され、世界中で参照基準とされている (山地, 2014)。そのイメージを図 4 に示す。人数や教室の形、授業内容や専門性等、様々な制限は存在するが、図 4 における活動範囲を広げることで知識の定着や興味・思考の弾力強化を図ることが可能であり、一方向だけの伝達型授業よりアクティブな内容を盛り込める。専門性の高さによって、図 4 の各象限内の実施を検討する必要がある。そこで、クラス編成のタイプや学年、専攻等を考慮したパイロットスタディモデルを企画した。内容は 4.3 節以降に示す通りである。

4.2 MOOC と JMOOC

オープンオンライン教育のプラットフォームである MOOC は、2012 年前半の実質的なサービスが開始から急速な発展を続け、特に統計学やデータサイエンス関連は社会の需要にあわせて多種多様なコースが開講されている。情報分野に特化した UDACITY やあらゆる領域をカバーしている Coursera、および MIT とハーバード大学によって設立された edX はいずれも米国の代表的な MOOC である。特に、2017 年 6 月現在で 2,500 万の受講者を持つ Coursera は、149 のパートナー教育機関と連携し、2,000 を超す授業を提供している。このうち 4 つのコースでは、学位の取得が可能である。上記の米国発の MOOC の他にもヨーロッパやアジアで独自の MOOC が誕生しており、言語の壁を乗り越えて特色を生かした統計教育コンテンツが用意されている。MOOC では特に、データサイエンスを冠した講義・演習が多く、オンライン講座

の特性を生かして企業と結び付いた実践的課題演習内容を課しており、アクティブラーニング型授業スタイルを通して実質的なデータサイエンティストの養成を手がけている。MOOCでは、オンラインで公開された無料の講座を受講し、修了条件を満たすと修了証が取得できる。ただし、修了証(Verified Certificate)には、Courseraのように有料なオプションとして提供されているものもある。

CourseraのData Scienceというカテゴリーはさらに、Data Analysis, Machine Learning, Probability and Statisticsの3カテゴリーに分類され、細分化された授業が用意されている。Data Analysisでは100の授業が開講されており、Introduction to Data Science in PythonやApplied Machine Learning in Python等Pythonの教育が一角を占めている。Big Dataもキーワードである。

MOOCでは言語の壁が問題であったが、2013年にJMOOCが設立され、2014年4月からgaccoの運用が本格化している。JMOOCが公認した配信プラットフォームには、ドコモgacco社が提供するgacco、ネットラーニング社が提供するOpenLearning, Japan、放送大学が提供するOUJ MOOCがある。gaccoにおいて統計関係では、「統計学Ⅰ：データ分析の基礎(日本統計学会)」「統計学Ⅱ：推測統計の方法(日本統計学会, 日本計量生物学会)」「社会人のためのデータサイエンス入門(総務省統計局)」「社会人のためのデータサイエンス演習(総務省統計局)」が開講されている(政府統計の総合窓口, 2017; 竹村 他, 2015)。また、2017年6月に初開講された「統計学Ⅲ：多変量データ解析法(日本統計学会, 日本行動計量学会)」が加わり、学修の幅が拡大している。MOOCやJMOOCによるオンライン授業においては、対面学習やオンラインディスカッションによりアクティブ性を保持している。

4.3 中等教育(高等学校)における授業のデザイン(90分*1コマ)

滋賀大学において高校生を対象に2016年10月に実施した高大接続授業の取り組みを紹介する。受講者は高校1年生から3年生の36名、担当者は教員1名と学生アシスタント6名である。授業名は「お茶の間にやってきたデータサイエンス」といい、90分1コマで、統計的探究プロセス(PPDACサイクル)を体験し、実際にデータを用いて問題解決を体験するプロジェクト型の授業である。授業の目標は、データサイエンスにおける身近な事例を用いて「PPDACサイクル」の活用の仕方を習得することであり、課題を解決する流れ「問題の発見(Problem)→調査の計画(Plan)→データ収集(Data)→分析(Analysis)→結論(Conclusion)」を学ぶ。授業の流れを次に示す。

- (1) イントロダクション
- (2) PPDACサイクルとは
- (3) 事例紹介

例題：育児休業、資料：内閣府男女共同参画白書

- (4) グループワーク

課題：エネルギー消費、資料：資源エネルギー庁エネルギー白書

- (5) まとめ

グループワークでは、受講者を6名ずつのグループに分け、各グループに学生アシスタント1名をつける。グループごとに、与えられた課題についてPPDACサイクルを組み立てA1サイズのポスターにまとめる。学生アシスタントは、グループでの議論を見守り、活動を補助する。なお、学生アシスタントは、この授業内容について事前学習をし、例題と課題に取り組んでいる。各テーブルには、インターネット接続が可能なノートPCとiPadを用意する。

例題と課題に取り上げたテーマは、身近な事例とし、統計グラフ全国コンクールの入賞作品

を参考とする。たとえば、例題では、第 63 回(2015 年)の「増やそうイクメン！日本のパパの働き方」、課題では、第 60 回(2012 年)の「あかりをかえて節電へ」のポスターを選ぶ。グループごとに、エネルギー消費に関する問題を見つけ、その問題を解決するために、PPDAC サイクルをまわす。データのフェーズでは、内閣府男女共同参画白書や資源エネルギー庁エネルギー白書などの公開データも用いる。分析のフェーズでは、適切な統計グラフを選んで、データをどのように視覚化するかも議論する。ポスター発表では、PPDAC の各フェーズが適切にまとめられサイクルが回ったかを、他のグループが確認する。

中学校や高等学校での 50 分*2 コマの授業に適用する場合、①イントロダクション、②PPDAC サイクルとは、③事例紹介を 1 コマ、④グループワーク、⑤発表・まとめを 1 コマとしてこの授業デザインを調整することが可能である。

4.4 高等教育(大学)における授業のデザイン(90 分*15 コマ)

東京情報大学で平成 29 年 6 月現在実施中の授業の取り組みを紹介する。授業概要は以下のとおりである。

対象：学部 3 年生(総合情報学部・総合情報学科，社会情報系データを扱う研究室の中で専攻の異なる 2 ゼミの合同)計 18 名

授業名：プロジェクト研究

授業時間：週 1 回 90 分 2 コマ(連続)

教員：2 名

取組内容：地元千葉市との共同研究プロジェクトを続ける中で、自治体からの課題を受け、それをデータ分析によって解決する、というサイクルを試行している。学生たちと同世代による課題解決の糸口発見という自治体の希望により、授業の中で下記のプランを立てて実行中である。課題の対象は、自治体が運営する大学近くの直売場と連結したレストランであり、知名度向上と売上の上昇、および、新たな層の開拓である。これらを元に、提供された売上データを自ら整理・集計・解析して知見を発見する作業を継続中である。

授業計画：

- (1) イントロダクション：共同研究による課題解決の意義を説明
- (2) PPDAC サイクルの解説と事例紹介
- (3) データの提示とその説明
- (4) 試食とその評価データの解析
- (5) 個人およびグループによるデータ解析(自治体提供の売上データ)
- (6) 上記(4)(5)の解析結果の発表
- (7) グループワークによる相互評価とディスカッション
- (8) 問題の所在確認と提示およびディスカッションと発表のサイクルを繰り返す
- (9) 相互評価のまとめ
- (10) 解析結果の最終提示
- (11) 発表資料の作成と発表
- (12) まとめと反省

経過と評価体制：

売上データについて変数整備後、視点を変えて探索的データ解析の実施を繰り返し、そのたびに相互評価を取り入れ、解析の方向性を議論している。そのプロセスを辿ることで、解析結果に対する自分とは異なる考え方に触れ、その理由を議論しながら別の解析手法や変数の入替等に考えが及び、知識の醸成を促す効果が生じる。同時に、データ解析のためのコンピュータ操作技術が向上し、データサイエンス実施過程では結果の視覚化や中途データのストック技

術、およびチーム間でのデータ共有の方法等、たくさんの関連する知識と技術の必要性に気付くことができる。学生に対する評価としては、毎回の提出物の精査に加えて相互評価を重要視し、ディスカッションとともに評価表を点数化して分析し、その結果を再びPPDCAサイクルにのせる試みを実行している。本授業は継続中であるが、この教育結果については機会をみて発表する予定である。

5. 統計的探究力の評価

統計教育における生徒や学生の理解度を評価することは、成績管理のみならず教育の改善においても大変重要である。また、前述の授業デザインでも示したような、実際にPPDACサイクルに沿って問題を解決する学びの成果として統計的探究力を評価するには、一般的な知識理解とは異なる「思考」「判断」「批判」「提案」などを評価する新しい基準が必要となる。海外ではすでに統計的探究力の評価についての研究や実施の実績があり、イギリス義務教育修了試験(GCSE試験)、アメリカAP試験、国際バカロレア試験などの試験問題でも、思考力等を問う出題が工夫されている。諸外国のペーパー試験では記述式問題も多く出題され、その有用性が広く認識されている。さらには、アクティブラーニング型の教育にも対応し、統計的探究プロセスに沿った新たな評価基準も取り入れられている。

Davies と Marriott は統計教育の評価には以下7つの視点が含まれていなくてはならないと指摘している (Davies and Marriott, 2010)。

- (1) 統計的問題解決のプロセスの理解
- (2) 統計の技術的視点など授業内容の理解
- (3) 分析についての理解(パラメータの推測など)
- (4) 統計ソフトなどの活用力
- (5) 応用可能な力
- (6) 現実な視点で批判的にみる力
- (7) 結果を伝える力

これらの能力の評価においては、単純な複数選択問題や短い答えを求める質問はむかない。

イギリス・アメリカ・ニュージーランドなど、20年以上前から国を挙げて統計教育に注力してきた諸外国のカリキュラムでは、Davies と Marriott の指摘する7つの視点が盛り込まれた評価がすでに実施され、ペーパー試験とレポートの提出の両方を要件とする科目が多くある。国際バカロレア試験では、プロジェクトと呼ばれるレポート課題の提出が必須である (Bedding et al., 2007)。AP試験の後半問題では、与えられた課題に対し、解決に至るプロセス全てについて、その論拠を示しながら解答者に記述させる (Legacy, 2008)。海外での事例からもわかるように、統計的探究プロセスを用いた統計教育の成果を評価するためには、プロセスとその実行結果をまとめたレポートを含めた演習課題とペーパー試験の両面から評価することが必須といえる。次節にイギリス、ニュージーランド、アメリカの事例をまとめる。

5.1 イギリス中等教育における統計教育の評価

5.1.1 科目「数学」のコースワークの評価

イギリスでは、16歳の時(日本の高1に相当)にGCSE試験を全高校生が受験する。その後の学習や進路を決める大切な試験である。GCSE試験では、ペーパー試験に加えてコースワーク(Coursework)と呼ばれるレポート形式の課題が課す科目も多く、数学も例外ではない。コースワークの採点は公表された明確な評価基準をもとに各学校で行われる。コースワークの配点

表 1. 数学のコースワークの評価シート(イギリス).

数学の内容	コア科目	応用科目
数学的な根拠がほとんどない。 文あるいは図での説明は多い。	0	0
概念や手法を表面的あるいは反復的に使っただけである。	1	0
基本的な概念や手法は使われている。 発展的試みがなされているが不適切、もしくは不成功である。	2	1
通常使われる関連概念と手法が活用でき、それらの適性を示せた。	3	2
コアシラバス内の広範な数学的内容を適切に使用し、さらにそれらを超えたいくつかの数学も使用した。数学的に話題を発展させた。数学的な説明は簡潔である。	4	3
応用科目のレベル以上の概念や方法を活用し、相当量の仕事をこなした。 通常の方法を超えた別の概念や手法も試している。数学的に獨創性がある。	4	4

表 2. 演習課題の評価シート「仮説と戦略」(イギリス).

仮説と戦略	点数
仮説も戦略も述べられていない	0
仮説が述べられているが、戦略はほとんどない。 正確な用語、表現が部分的には使われている	1
仮説が戦略とともに述べられている。作業の進め方や手法の採用について詳細に記述している。正確な用語、表現を常用できた。	2

は数学科目全体の 20%、ペーパー試験は 80% である。コースワークに関しては、各学校で 10 から 20 時間の問題解決型の授業が行われ、生徒は各自テーマを設定して問題を解決し、レポートを作成する。数学のコースワークは、1)問題を解決する力、2)数学を活用する力、3)自主的に学ぶ力、4)カリキュラムを横断して数学を活用する力、以上 4 つの能力を「計画と戦略」、「数学の内容」、「正確性」、「議論とプレゼンテーションの内容」、「個人の理解度」の 5 項目各 5~6 段階で採点する。数学を正しく活用することはもちろんのこと、問題解決の計画や戦略、議論や発表の明快さも評価の対象となる。例えば「数学の内容」の採点は表 1 の評価シートをもとに行われる。科目のレベル(コア科目と応用科目)により配点は異なる。また、個人の理解度については個別に口頭試問を行い判断する(University of Cambridge International Examinations, 2009)。

5.1.2 科目「統計」の演習課題の評価

イギリスでは、2014 年からは統計単独の科目も開講され、ペーパー試験と演習課題(Statistics in Practice)での評価がはじまった(AQA, 2012)。演習課題の配点は 25% で、採点は公表された評価基準をもとに各学校で行っている。演習課題は、表 2 から表 5 に示す「仮説と戦略」、「データの選択と収集」、「統計グラフの活用」、「統計指標の活用」の 4 項目で評価される。

また、イギリスでは継続してカリキュラムの見直しが行われている。2017 年度からは GCSE 試験の新科目として「問題解決(数学的推論、意思決定、数学的コミュニケーション)」という名前の新試験がはじまり、GCE-A 試験(17 歳)では「統計」が必修となった。さらには、GCSE 試

表 3. 演習課題の評価シート「データの選択と収集」(イギリス).

データの選択と収集	点数
適切なデータが収集できなかった	0
適切なデータ収集についてそのおおもとから丁寧に述べられたサンプリングについても若干の言及があった用語, 表現の使用は完全ではない	1-2
データを選択した理由とおおもとについて正確な記述があり, 適切なデータが収集された. サンプリング手法は適切であり, 再現可能な形で細かい記述がなされた. 適切なサンプルサイズを設定できた. 正確な用語, 表現を常に使うことができた.	3-4

表 4. 演習課題の評価シート「統計グラフの活用」(イギリス).

統計グラフの活用	点数
グラフや図を活用することができなかった	0
簡単ではあるが適切なグラフと図を活用できたグラフや図表を活用したり, グラフや図に基づいてコメントを作成したりすることがほとんど, もしくは少ししかできなかった	1-2
高い精度で適切な種類のグラフと図が作成できたグラフと図に基づく適切なコメントを作成した結論を引き出すために正しくグラフと図を活用できた	3-4
データをまとめるために正しいグラフや図を選択し, 正確に作成できた. より高度なグラフや図を作成した仮説の妥当性に関する意思決定のために推論を行い, 結論を導き出すためにグラフや図を最新の方法で活用した結論は継続しており, 最終的な要約へつながっている	5-7

表 5. 演習課題の評価シート「統計指標の活用」(イギリス).

統計指標の活用	点数
指標を求めている	0
簡単ではあるが適切な指標を計算できた計算結果を活用したり, 計算結果に基づいてコメントを作成したりすることがほとんど, もしくは少ししかできなかった	1-2
高い精度で適切な指標の計算が作成できた計算結果に基づく適切なコメントを作成した結論を引き出すために正しく計算結果を活用できた	3-4
データをまとめるために正しい指標を選択し, 正確に計算できた. より高度な指標も計算した. 仮説の妥当性に関する意思決定のために推論を行い, 結論を導き出すためにグラフや図を最新の方法で活用した. 結論は継続しており, 最終的な要約へつながっている.	5-7

験の学習内容と, 進路に合わせてより専門的に学習する GCE-A レベル試験の学習内容の差が見直され, その中間に位置する科目として理系に進学しない人向けの統計重視の数学科目が新設されるなど, 統計教育の充実が加速している (西村, 2016). 科学でも統計を活用した問題解決サイクルを実行する「科学的探究」の授業がカリキュラムに組み込まれている (イギリス教育省, 2015).

表 6. ニュージーランドの演習課題の評価基準(レベル1).

普通	高い	非常に高い
<p>生徒は統計的探究サイクルを使用して多変量データを探究した</p> <p>生徒は</p> <ul style="list-style-type: none"> 統計的探究サイクルを使用して、多変量データセットを調査した 対象となるデータを選定・収集できた 与えられた多変量データセットを使用して適切な比較の問い(仮説)を提示した 適切な規算表現を選択して実行した 5 数要約(最小値, 最大値, 中央値, 四分位数)などの統計指標を示した 分布の特徴(形状, 中心, 偏り, 重なり, 広がりなど)を比較し, 通常でない興味深い現象について言及した。 簡単な推論や裏付けの証拠をもとに結論をまとめた <p>例えば</p> <p>Problem(問題)</p> <p>母集団や標本, 変数を明確に特徴づける比較の問い(仮説)を設定した。「傾向がある」「一般的に」などの表現を用いて比較の問いを設定した。</p> <p>Analysis(分析)</p> <p>ドットプロット, 箱ひげ図を作成した。要約統計量を求めた。少なくとも 2 つ以上の分布の特徴を比較する議論ができた。</p> <p>Conclusion(結論)</p> <p>母集団や, 標本, 変数, 推論の質を含めて, 簡単な推論などの結果が述べられた。推論は箱ひげ図に示された中央値の位置と一致した。</p>	<p>生徒は理由で探究した</p> <p>生徒は</p> <ul style="list-style-type: none"> 統計的探究サイクルの構成要素を文脈や母集団に関連付ける根拠を示す答えを導き出し, 統計量, データの値, またはグラフや図の特徴などの根拠も参照した。 調査で得られたデータを探究した 与えられた多変量データを使って適切な比較の問い(仮説)を提示した 適切な規算表現を選択して実行した 5 数要約(最小値, 最大値, 中央値, 四分位数)などの統計指標を示した 分布の特徴(形状, 中心, 偏り, 重なり, 広がりなど)を比較し, 通常でない興味深い現象について言及した。 簡単な推論や裏付けの証拠をもとに結論をまとめた <p>例えば</p> <p>Problem(問題)</p> <p>母集団や標本, 変数を明確に特徴づける比較の問い(仮説)を設定した。「傾向がある」「一般的に」などの表現を用いて比較の問いを設定した。</p> <p>Analysis(分析)</p> <p>ドットプロット, 箱ひげ図を作成した。要約統計量を求めた。少なくとも 2 つ以上の分布の特徴を比較する議論ができた。議論はグラフや要約統計量などの根拠を参照して正当化された。</p> <p>Conclusion(結論)</p> <p>母集団や, 標本, 変数, 推論の質を含めて, 簡単な推論などの結果が述べられた。推論は箱ひげ図に示された中央値の位置を参照して正当化された。</p>	<p>生徒は, 統計的探究サイクルを使用して多変量データを統計的な洞察をもとに探究した</p> <p>生徒は</p> <ul style="list-style-type: none"> 統計的探究サイクルを通して統計の知識と調査対象に関する知識を統合した根拠を示す答えを導き出し, プロセスを振り返り, 結果に関する他の解釈についても考えたりすることができた。 調査で得られたデータを探究した 与えられた多変量データを使って適切な比較の問い(仮説)を提示した 適切な規算表現を選択して活用した 5 数要約(最小値, 最大値, 中央値, 四分位数)などの統計指標を適用した 分布の特徴(形状, 中心, 偏り, 重なり, 広がりなど)を比較し, 通常でない興味深い現象について言及した。 簡単な推論や裏付けの証拠をもとに結論をまとめた <p>例えば</p> <p>Problem(問題)</p> <p>母集団や標本, 変数を明確に特徴づける比較の問い(仮説)を設定した。「傾向がある」「一般的に」などの表現を用いて比較の問いを設定した。</p> <p>Analysis(分析)</p> <p>ドットプロット, 箱ひげ図を作成した。要約統計量を求めた。少なくとも 2 つ以上の分布の特徴を比較する議論ができた。議論はグラフや要約統計量などの根拠を参照して正当化された。議論は適切な対象の背景知識ともどもにまとめられた。</p> <p>Conclusion(結論)</p> <p>母集団や, 標本, 変数, 推論の質を含めて, 簡単な推論などの結果が述べられた。推論は箱ひげ図に示された中央値の位置を参照して正当化された。結論は調査対象に関する知識を統合してまとめられた。結論について他の解釈を検討する余地があるかもしれない。</p>

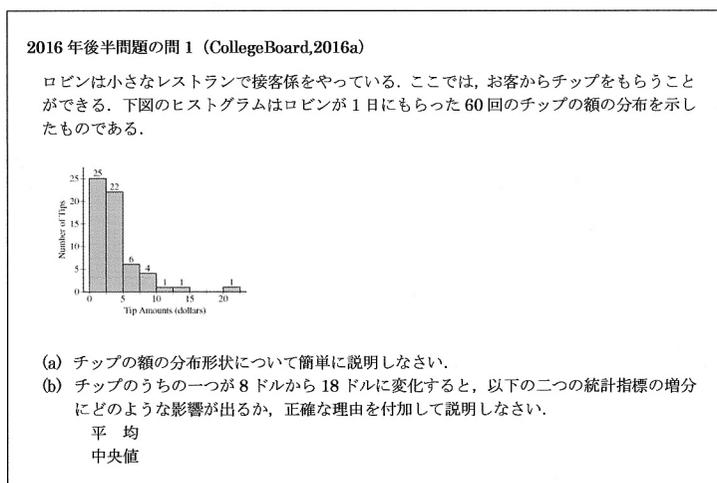


図 5. AP Statistics 2016 後半問題.

5.2 ニュージーランド中等教育における統計教育の評価

ニュージーランドの初等教育はほぼ 5 歳から始まり、初年度から「数学と統計：Mathematics and Statistics」という名称の科目の中で充実した統計教育が行われている。第 9 学年から中等教育がはじまり、第 11 学年(日本の高 1 に相当)で義務教育が修了する。第 11 学年から第 13 学年で全国共通学力試験 NCEA (National Certificate of Educational Achievement) のレベル 1～3 を受験し、これらの成績を大学入試の出願時に提出する。「数学と統計：Mathematics and Statistics」の試験は、ペーパー試験(外部評価)と演習課題(内部評価)で採点される。例えば 2017 年のレベル 1(第 11 学年)の演習課題では「センサス@スクールの 13 人分のデータを使って、11 年生全体に関する仮説をたて、92 人分のデータでその仮説を検証しなさい。少なくとも 2 つのグラフを作成し、グラフ、統計指標をもとに分布を比較して結果をまとめなさい。」という統計的探究力を問う課題が出題された (NCEA, 2017)。PPDAC サイクルを用いて、多変量データセットを調査・分析し、統計的な洞察を得る力が問われる。全体的な評価のみならず PPDAC の各フェーズについて、評価のポイントが示された評価基準も公開されている(表 6)。

5.3 アメリカ中等教育における統計教育の評価

アメリカでの統計教育評価事例として、AP Statistics と PLTW を取り上げる。AP は Advanced Placement の略であり、非営利団体 College Board が運営する、高校で学べる大学 1-2 年生用プログラムである。高校教員が行う授業と年度末一斉試験により評価が決まり、その評価内容は大学への進学を判定する要素の一部となっている。AP Statistics の認定試験は前半の択一解答方式と後半の自由記述方式で構成されている。自由記述式問題は、前半後半合計 6 問が出題され、前半の 5 問は計 65 分が解答に充てられている。6 問目は総合問題としてさまざまな知識を統合して論述する解答内容が要求され、25 分の解答時間が割り当てられている。これら後半問題の記述式の採点に関しては、出題の趣旨が明確に示され、一問ずつ詳細な採点ガイドラインが公表されている (AP Statistics 2016 Scoring Guidelines: College Board, 2016b)。一例として 2016 年後半問題の問 1(図 5)とその採点ガイドライン(図 6)を示す。

また、工学予備軍として PLTW(Project Lead The Way)という中学・高校を対象とした STEM(Science・Technology・Engineering・Mathematics)教育プログラムが実効性を発揮して

AP Statistics 2016 の採点ガイドライン (CollegeBoard, 2016b)

Part(a): ロビンのチップ額の分布は左に集中が偏り右に長く裾を引く形状である。最大額と二番目の額の差は大きく、最大額は外れ値に相当する。中央値は、2.5 ドル～5 ドルの間にある。チップの額は 0～2.5 ドルから 20～22.5 ドルと幅広い範囲の値をとるが、78%は 0～5 ドルに間にある。

Part(b): 8 ドルが 18 ドルになった場合、平均は、増分の 10 ドルを総計 60 で割った値ずつ増加する。(1/6 ドルずつ、または、17 セントずつ)。一方、中央値は、変化しない。中央値は、2.5 ドル～5 ドルの間にあるので、それより大きい値の変化に影響されない。

スコアリング (採点)

Part(a)も Part(b)も、正解(E)、部分的に正解(P)、不正解(I) で採点される。

Part(a)の採点根拠は以下のとおりである。

正解(E)は、解答内容が以下の 5 つの要素を含んでいることが必要である。

1. 分布の形状 (右に裾を引く偏った形状)
2. 外れ値の指摘、または、上位額間のギャップへの言及
3. 中心化傾向 (平均, 中央値) の説明
4. ちらばり具合への言及について、特に最大から最小までの範囲の広さや 0～5 にほとんどが集中していること、あるいは分散について近い値で具体的な数値を提示していること、等が挙げられる。
5. チップ額の状況や前後関係を説明できる

部分的に正解(P)は、上記のうち、3～4 の要素を含んでいることが必要である。

Part(b)の採点根拠は以下のとおりである。

正解(E)は、解答内容が以下の 4 つの要素を含んでいることが必要である。

1. 平均は増加すること
2. 何故、平均が増加するのかについて説明できること
3. 中央値は変化しないこと
4. 何故、中央値が変化しなのかについて説明できること

部分的に正解(P)は、上記のうち、2～3 の要素を含んでいることが必要である。

不正解(I)は、上記のうち、少なくとも 1 つの要素を含んでいることが必要である。

まとめると、採点は以下のようなになる。

- | | |
|--------------|-------------------------------|
| 4 点: 正解 | Part(a)も Part(b)も正解 |
| 3 点: ほぼ正解 | どちらかの答えがやや正確性に欠ける |
| 2 点: ある程度正解 | 片方は正解だが一方が不正解、または、両方とも部分的には正解 |
| 1 点: 最小限度の正解 | 片方が部分的に正解だが、他方は不正解 |

図 6. AP Statistics 2016 の採点ガイドライン。

いる。PLTW は、コンピュータサイエンスの知識・技術の修得に力を入れており、その実践力を用いて工学的な問題解決力を磨く点に特徴がある。AP+PLTW のプログラムは、1) College (AP Courses), 2) Career (PLTW Courses) の 2 つのフィールドの組合せで構成され、1) は大学の単位認定につながるコースであり、2) はキャリアアップを認定するコースである。現在 AP Statistics は、1) の領域に入っている。1) で AP Statistics および AP Computer Science 関連科目、2) でコンピュータを使った問題解決関連科目 (例: Computer Integrated Manufacturing) を履修すればデータサイエンス教育の強力なツールになる。AP+PLTW の評価に関しては、AP のみ、PLTW のみ、に加えて、AP または PLTW の選択があり得る。AP または PLTW のコースでは、AP 試験の評価 3 以上および PLTW の期末評価における Proficient 以上を取ることで対応できる (College Board, 2017)。

6. プロジェクト型統計的問題解決学習の評価基準

これまで本研究グループでは Statistical Literacy, Statistical Reasoning, Statistical Thinking の 3 つの視点に対応した試験問題やワークシート課題の調査研究を通して、統計教育の評価について検討を行ってきた。海外では、プロジェクト型の授業も多く行われ、その評価においては、基準を明確にして記述式問題にも対応している。わが国でも現行の学習指導要領のもとで

表 7. 統計的問題解決評価ルーブリック SPART (高校版).

	1	2	3	4	5
P(問題)	問題を理解することができなかつた	提示された問題を解くことはできた	提示された問題を自らの問題として扱うことができた	自らテーマを設定し、そこでの課題を考へ、具体的な統計の問題として捉えることができた	自らテーマを設定し、そこでの課題を考へ、具体的な統計の問題として捉えることができた
P(計画)	必要な計画を理解できなかつた	プロジェクトの計画を立てることができた	計画の概略を作ることができた データの収集、クリーニングに関する計画を立てた	適切で根拠のある計画を立てた	適切で根拠のある計画を立てた 分析の見通しを立てることができた
D(データ)	必要なデータを理解できなかつた	問題に合ったデータを収集できなかった	データが収集できない、不適切なデータの取り分けがなかった	問題解決につながるデータを集めることができた	問題解決につながるデータを集めることができた データの欠損や欠損、次への課題についても体系的に考へることができた
	クリーニングの必要性を理解できなかつた	問題に合ったデータのクリーニング実行できなかった	データのクリーニングが不適切なものであった 平均、中央値、範囲、四分位数、標準偏差、分散など、中心、分散など、中心、分散など、中心、分散などを計算し、データに合わせて使い分けられた	問題解決につながる適切なクリーニングを実行した	問題解決につながる適切なクリーニングを実行した データの欠損や欠損、次への課題について体系的に考へることができた
A(分析)	統計的指標	統計的内容を活用できなかつた	平均、中央値、範囲、四分位数、標準偏差、分散など、中心、分散などを計算し、データに合わせて使い分けられた	必要となる統計的観念と手法を考へ、広範囲にわたる統計の内容を適切に使った 統計的な説明は簡潔であった	広範囲な統計の内容が問題解決に活用され、それ以上の独自の活用が見られた オリジングラフィが見られた
	統計グラフ	統計グラフを用いてデータを得意に示すことができなかった	棒グラフ、ヒストグラムなど分布を示すグラフ、構成比率を示す円グラフなどを用いてデータを得意に示すことが試みられた グラフのタイトル、ラベルに不備、ヒストグラムと棒グラフの違いなどが区別できていなかった	分布を示すグラフ(ヒストグラム、バースト)と指標を適切に活用し、正しい解釈を示した	グラフと指標を正しく活用し、条件の違いやグループでの比較、対象の分類にも試みをした
C(まとめ)	2変量の関係	不適切な箇所もあり、うまく適用されたとはいえない	分析を試みたが背後にある問題と合っていない箇所が見られた	2変量の関係について検討し適切に分析した 回帰式、予測、標本からの推測に陥れ、など若干のバリエーションを考へた	適切に分析し、予測、問題解決に活用した 標本に基づいて全体を推測した
	結論に至らなかつた	結論に至らなかつた	結論を適切にまとめることができた	問題の要球を広く認識し、結論をもとに考へた	適切に分析し、予測、問題解決に活用した 標本に基づいて全体を推測した
プレゼンテーション	計画性がなく、発表や議論が継続できなかつた	十分な準備ができていなかった	発表の準備ができていなかった 重要な事柄に関する議論や発表がなかった	発表の準備ができていなかった 重要な事柄に関する議論や発表がなかった	発表の準備ができていなかった 重要な事柄に関する議論や発表がなかった
	十分な準備ができていなかった	十分な準備ができていなかった	発表の準備ができていなかった 重要な事柄に関する議論や発表がなかった	発表の準備ができていなかった 重要な事柄に関する議論や発表がなかった	発表の準備ができていなかった 重要な事柄に関する議論や発表がなかった
総合的達成度	学んだ理論や手法をほとんど使っていない	理論や手法を十分に理解できなかった	学んだ理論や手法を十分に理解できなかった	学んだ理論や手法を十分に理解できなかった	学んだ理論や手法を十分に理解できなかった

グループ評価・個人評価

実データを分析してまとめ、発表するなどの統計的探究のプロセス(PPDAC サイクル)に沿ったプロジェクト型学習も行われてきているが、その評価は教員個々の裁量に任されていることが多い。そこで、本研究グループでは、プロジェクト型授業の評価のための統計的探究力評価ルーブリックを開発した。

プロジェクト型統計的探究力の評価ルーブリック(SPART: Statistics Project-based Assessment Rubric Table, 以下 SPART という)は、PPDAC サイクルを使って行ったプロジェクト型学習を PPDAC のフェーズごとに評価するルーブリックである。表 7 に一例として高校版の SPART を示す。①P (Problem: 問題), ②P (Plan: 計画), ③D (Data: データ), ④A (Analysis: 分析), ⑤C (Conclusion: まとめ), ⑥プレゼンテーション, ⑦総合達成度の 7 項目 5 段階で評価する。高校版の SPART では③D (Data: データ)を「収集」と「クリーニング」, ④A (Analysis: 分析)を「統計指標」「統計グラフ」「2 変数の関係」に細分化し, ①～⑥はグループ評価及び個人評価, ⑦総合達成度評価は個人評価とした。SPART を用いることにより, 評価者は学習者の到達度を公平に評価できる。また, 学習者自身も本ルーブリックを使って自己評価したり, グループ間で相互評価したりすることが大変有効である。SPART を用いることで学習の到達目標が明確になり, 自らの学習を振り返ることもできる。各フェーズの採点ガイドライン(高等学校版)を次節(表 8～表 17)に示す。中学校版, 大学版についても, 合格ラインやカリキュラムの内容を変更することにより同じ枠組みが利用可能である。

6.1 Problem: 問題フェーズの評価

問題フェーズでは, 解決すべき問題を捉えることができたかが評価のポイントである。統計で解決可能な問題を捉えることができる力が求められる。対象を明確にして, その対象の課題を捉え, 課題を評価するための指標と要因から仮説をたてる力も必要となる。採点基準は表 8 の通りである。

授業では, 各グループで対象を明確にしたうえでその対象の課題を明らかにするための議論が必要となる。評価者は, これらの議論をファシリテートしながらグループまたは個人の評価を行うことが必要である。

6.2 Plan: 計画フェーズ

計画フェーズでは, 問題フェーズでの議論をもとに具体的な計画を立てる力を評価する。必要となるデータを明確にして, アンケートや実験の詳細を決定し, 如何にデータを入手しクリーニングするかなどの具体的な計画を立てる力, 分析の見通しをたてる力も求められる。採

表 8. 問題フェーズの採点基準。

達成度	点数
問題を理解することができなかった	1
提示された問題を使うことはできた	2
提示された問題を自らの問題として使うことができた	3
自らテーマを設定し, そこでの課題を考え, 具体的に問題を捉えることができた	4
自らテーマを設定し, そこでの課題を考え, 具体的に統計の問題として捉えることができた 仮説を立てることができた	5

表 9. 計画フェーズの採点基準.

達成度	点数
必要な計画を理解できなかった	1
プロジェクトの計画を立てることができなかった	2
計画の概略を作ることができた データの仕様に関して言及できた データの収集, クリーニングに関する計画を立てた	3
適切で根拠のある計画を立てた	4
適切で根拠のある計画を立てた 分析の見通しを立てることができた	5

表 10. データの収集フェーズの採点基準.

達成度	点数
必要なデータを理解できなかった	1
問題に合ったデータを収集できなかった	2
データが収集できない, 不適切などの理由により問題の解決につながらない不十分な部分があった	3
問題解決につながるデータを集めることができた	4
問題解決につながるデータを集めることができた, データの不備や欠損, 次への課題についても発展的に考えることができた	5

表 11. データのクリーニングフェーズの採点基準.

達成度	点数
クリーニングの必要性を理解できなかった	1
問題に合ったデータのクリーニング実行できなかった	2
データのクリーニングが不適切などの理由により問題の解決につながらない不十分な部分があった	3
問題解決につながる適切なクリーニングを実行した	4
問題解決につながる適切なクリーニングを実行し, データの不備や欠損, 次への課題についても発展的に考えることができた	5

点基準は表 9 の通りである.

6.3 Data : データの収集フェーズの評価

問題解決のために必要なデータを取捨選択し, 収集できることが求められる. データの不備や欠損にも対処でき, データが収集できない際は計画フェーズに戻るなどの検討も必要とな

表 12. 分析フェーズ(統計指標)の採点基準.

達成度	点数
統計的内容を活用できなかった 中心の位置(平均値, 中央値, 最頻値), ばらつきの程度(範囲, 四分位数, 標準偏差, 分散)などの記述的要約もできなかった	1
平均, 中央値, 範囲, 四分位数, 標準偏差, 分散など公式通り計算することはできたが, 表面的な理解にとどまり公式を反復的に使っただけだった	2
平均, 中央値, 範囲, 四分位数, 標準偏差, 分散など, 中心, 散らばりを示す指標を計算し, データに合わせて使い分けることができた	3
必要となる統計的概念と手法を考え, 広範囲にわたる統計の内容を適切に使った 統計的な説明は簡潔であった	4
広範囲な統計の内容が問題解決に活用され, それ以上のものも適用された 一般には適用されない手法をも試みた オリジナリティが見られた	5

表 13. 分析フェーズ(統計グラフ)の採点基準.

達成度	点数
雑で正しくない	1
棒グラフ, ヒストグラムなど分布を示すグラフ, 構成比率を示す円グラフなどを用いてデータを視覚化することが試みられた グラフのタイトル, ラベルに不備, ヒストグラムと棒グラフの違いなどが区別できていなかった	2
適切に分布を比較するためのグラフ(棒グラフ, ヒストグラム)を作成できた 箱ひげ図も活用できた	3
分布を示すグラフ(ヒストグラム, パレート図)と指標を適切に活用し, 正しい解釈を示した	4
グラフと指標を正しく活用し, 条件の違いやグループでの比較, 対象の分類をも試みた	5

る. 採点基準は表 10 の通りである.

6.4 Data : データのクリーニングフェーズの評価

データのクリーニングフェーズでは, アンケートや実験を実施し, データセットを整備する力が必要となる. 1 件 1 レコード(1 行)になるようにデータを整え, データの不備も判断できることが望ましい. 採点基準は表 11 の通りである.

6.5 Analysis : 分析フェーズ(統計指標・統計グラフ)の評価

分析フェーズでは, 統計指標やグラフを適切に活用する力を評価する. 統計指標は, 正しく計算し, その意味を理解して使い分ける力も求められる. 中心の位置やばらつきの程度を示す指標の値を正しく解釈して分布の特徴や違いを説明できることが大切である. また, グラフと指標を合わせて活用する力も必要である. 採点基準は統計指標(表 12), 統計グラフ(表 13)に

表 14. 分析フェーズ(2変量の関係)の採点基準.

達成度	点数
2変量の関係について分析できなかった	1
不適切な箇所もあり, うまく適用されたとは限らない	2
分析を試みたが背後にある問題とかみ合っていない点が見られた	3
2変量の関係について検討し適切に分析した 帰帰式, 予測, 標本からの推測に触れるなど若干のカリキュラムを超えた内容にも言及した	4
適切に分析し, 予測, 問題解決に活用した 標本に基づいて全体を推測した	5

表 15. まとめフェーズの採点基準.

達成度	点数
結論に至らなかった	1
不十分な点があるが結論をまとめることができた	2
結論を適切にまとめることができた	3
問題の意味を広く認識し, 結論をもとにさらにそれを広げようとした 結果を明確に説明できた	4
一般化することにより問題を解決した 仕事は完結し, 問題やデータの背景および自らの結論の意味, 影響についても説明した	5

各々に定義する.

6.6 Analysis : 分析フェーズ(2変量の関係)の評価

高等学校の科目「数学」のデータの分析領域では, 2変量の関係を正しく分析する力求められる. 本評価基準においても, 高校生に対しては問題解決につながる2変量の分析及びその解釈を評価する. 問題フェーズでたてた仮説の検証が行われなければならない. 採点基準は表 14 の通りである.

6.7 Conclusion : まとめフェーズの評価

まとめフェーズでは, 求めた指標, グラフ, 分析結果を的確に整理し, 単なるまとめにとどまらず, 問題解決のための提案や結果の一般化に言及することが求められる. 採点基準は表 15 の通りである.

6.8 プレゼンテーションの評価

プレゼンテーションに関しては, 統計指標やグラフを活用したわかりやすい説明が必要である. 作業したことを順に話すだけではなく, 論理的な構成が求められる. また, 一方的な報告

表 16. プレゼンテーションの採点基準.

達成度	点数
計画性がなく発表や議論が継続できない つながりのない短い議論や発表であった 結果がほとんどまとめられていないもしくはその試みすらない	1
十分に表現できなかった 論理的な展開が欠けていた 比較的重要ではない事柄に焦点が当てられ、重要な事柄に関する議論や発表がなかった 作業の順に発表するだけで、その順番を再度論理的に構築し直していない	2
努力を継続し、適切なプレゼンテーションだった 理にかなったまとめができたが、若干、明快でないところや強調すべき所を誤っている箇所があった	3
明快なまとめ、満足できるプレゼンテーションだった 論理的な順番で構成され、結果の一般化に対して十分に正当性がある	4
プレゼンテーションは、わかりやすく、図表、グラフが適切に活用された 結論とその一般化は、理にかなった文章で表現された まとめは、作業の主要部分で得た結果を反映した内容であった 異なる意見についても、まとめに盛り込まれていた	5

ではなく、議論の様子や内容を含めること、他者の意見を盛り込むことも重要である。採点基準は表 16 の通りである。

6.9 総合的達成度の評価

総合的達成度は、個人の知識理解の程度およびプロジェクトへの貢献度を評価する。採点基準は表 17 の通りである。

7. まとめ

本稿では、統計的探究プロセスを使った問題解決を実行する授業のデザインとその評価方法について論じた。統計教育の内容が質的に変化・拡大し、データをベースに問題解決へ導くプロセスが重要視される社会的な価値基準下では、生徒・学生の一人一人がデータを操作し、納得のいく分析結果を自ら手に入れる必要がある。それに不可欠なアクティブ型・プロジェクト型統計教育に対する評価は、従来の点数のみの評価体系では対応できない。本稿で展開した PPDAC サイクルに丁寧に対応した評価を行うことで、生徒・学生の理解度やデータサイエンス対応能力を測り、その結果が再び統計教育やデータサイエンス教育のカリキュラム構築に生かされるようなダイナミックな学びのサイクルが設計され始動することを目指したい。

本稿で提案した評価ルーブリック SPART を用いることにより、授業内で学生が自らを評価したり、グループ間で相互評価したりすることも可能となる。評価基準を学習者に明確に提示することは、学習者自身の目標の設定、理解度の確認、振り返りに効果的であり、教育の質向上、質保証に寄与するものと考えられる。今後の課題としては、PC 上で簡単に評価を入力でき、学習者間で共有できるアプリケーションの開発を進めたい。ルーブリックの内容をカスタマイズできる機能も盛り込み、ディスカッションを通して多様な場面、基準での評価を可能としていきたい。

表 17. 総合的達成度の採点基準.

達成度	点数
学んだ理論や手法をほとんど理解できていない 学んだことをほとんど使うことができない 多くの助けをかりた	1
理論や手法を十分には理解できなかった 基本的な方法を真似して使うことができるが、これを超越するためには助けが必要 先生やグループの仲間、お手本（書籍、ネット上の情報など）の助けを借りた ほとんど自分では作業をできなかったが、いくつか問題解決のために挑戦できた	2
当該のプロジェクトについて、そこで使われた手法について理解している プロジェクト全体を理解し学んだことを実行できる 先生や仲間から多少の助けをかりた 多少は自身の考えをもとに、形式的なやり方を実行できた	3
当該プロジェクトで使われた統計的手法を異なる状況への対応、応用、拡張はできない プロジェクトの全体を理解して実行でき、詳細な議論やまとめを作成できる 問題解決のサイクルをうまく実行できた 多少の助けをえながら、自ら実行し発展させた	4
当該プロジェクトで使われた統計的手法を異なる状況への対応、応用、拡張のアイデアを持ち、さらなる実行を試みた 当該のプロジェクトについて流暢に説明、文章化できた よく計画され問題解決のサイクルが（ときには複数回）うまく実行できた 自ら作業できた 参考書など資料を有効に活用できた	5

謝 辞

本研究は、統計数理研究所・共同研究利用・重点型研究(27-共研-4105, 27-共研-4108, 28-共研-2072, 28-共研 2073, 29-共研-4306, 29-共研-4308)および共同研究集会(27-共研-5016, 28-共研-5016)の助成を受けた。また、統計数理研究所の田村氏、中野氏から貴重なコメントを頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- AQA (2012). GCSE Specification Statistics 4310, <http://www.aqa.org.uk>.
- Bedding, S., Forrest, J., Coad, M., Paula Tokman, W. and Fussey, B. (2007). *Mathematical Studies: Course Companion*—IB Diploma Programme, Oxford University Press, Oxford, UK.
- 中央教育審議会 (2012). 新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～, 2012.8.28.
- College Board (2016a). AP Statistics 2016 Free-Response Questions, https://secure-media.collegeboard.org/digitalServices/pdf/ap/ap16_frq_statistics.pdf.
- College Board (2016b). AP Statistics 2016 Scoring Guidelines, https://secure-media.collegeboard.org/digitalServices/pdf/ap/ap16_statistics_sg.pdf.
- College Board (2017). AP + Project Lead the Way, <https://apstudent.collegeboard.org/exploreap/the-ap-experience/ap-project-lead-the-way>.
- Davies, N. and Marriott, J. (2010). Assessment and feedback in statistics, *Assessment Methods in Statistical Education: An International Perspective*, 1–19, Wiley, West Sussex.

- Education in New Zealand (2017). ニューージーランド教育省の Web サイト, <https://education.govt.nz/>.
- Gal, I. and Garfield, J.B. (1997). Curricular Goals and Assessment Challenges in Statistics Education, *The Assessment Challenge in Statistics Education*, 1–13, IOS Press, Amsterdam.
- イギリス教育省 (2015). National curriculum in England: Science programmes of study, <https://www.gov.uk>.
- 経済産業省 (2017a). 情報経済小委員会中間取りまとめ報告書について, http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shojo/johokeizai/report_001.html.
- 経済産業省 (2017b). 産業構造審議会商務流通情報分科会情報経済小委員会中間取りまとめ～CPS によるデータ駆動型社会の到来を見据えた変革～.
- Legacy, M. (2008). AP[®] Statistics Teacher's Guide, <https://apcentral.collegeboard.org>.
- NCEA (2017). Internal Assessment Resource Mathematics and Statistics 1.10A v4 for Achievement Standard 91035, <https://ncea.tki.org.nz>.
- 西村圭一 (2016). イギリスの後期中等教育段階の数学に関する改革について, *日本数学教育学会誌数学教育*, **98**(7), 20–23.
- 政府統計の総合窓口 (2017). e-Stat, 総務省統計局, 東京, <https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>.
- 竹村彰通, 椎名洋, 和泉志津恵, 松田安昌, 佐藤俊哉 (2015). 『gacco「統計学 II : 推測統計の方法」オフィシャルスタディノート』, 日本統計協会, 日本.
- Te Kete Ipurangi (TKI) (2017). ニューージーランドの教育用サイト, <https://www.tki.org.nz/>.
- University of Cambridge International Examinations (2009). Cambridge IGCSE Mathematics Syllabus code 0580 Cambridge IGCSE Mathematics (with coursework) Syllabus code 0581 For examination in June and November 2012, <http://www.cie.org.uk>.
- 山地弘起 (2014). アクティブラーニングとはなにか, *大学教育と情報*, 2014 年度 No.1 (通巻 146 号), 2–7.

Statistical Inquiry Process and Assessment

Hiromi Fukasawa¹, Naoko Sakurai² and Shizue Izumi³

¹Faculty of Healthcare, Tokyo Healthcare University

²Faculty of Informatics, Tokyo University of Information Sciences

³Faculty of Data Science, Shiga University

In the data-driven society using Cyber Physical System (CPS), decision-making processes using large data sets, including so-called ‘big data,’ are essential in all industrial and social endeavors. Due to the expansion of the Internet and the evolution of the mobile society, the Internet of things (IoT), and artificial intelligence (AI), the size of the available data continues to grow without limit. People who had traditionally relied on intuition or experience have shifted their decision-making to depend instead on the results of data analysis. Consequently, the importance of the ability to explore problems in a statistical manner, and to answer questions scientifically, has increased dramatically. In this paper, we surveyed and studied various methods of statistical education, with the goal of nurturing both scientific exploratory power and judgment ability. We also have summarized class design and performed evaluations including overseas cases, e.g., in the UK, USA, and NZ. As a class design that will foster empirical scientific abilities such as exploration, we propose a project-oriented practical lecture in which students can solve multiple kinds of problems by statistical inquiry and analysis. For evaluation, we propose “Statistics Project-based Assessment Rubric Tables: SPART” as a criterion for recognizing students’ abilities in each phase of the statistical inquiry process.

中高一貫校における統計教材開発

須藤 昭義†

(受付 2017 年 4 月 10 日；改訂 7 月 25 日；採択 8 月 28 日)

要 旨

2017 年 2 月，文部科学省から新学習指導要領(案)が公示された。それによると，小学校算数，中学校数学において統計分野の内容がこれまでと比べより充実したものになっている。閣議決定や日本学術会議数理科学委員会数学教育分科会の提言など世の中の風潮を考えると，高等学校の統計分野も同じように充実したものになるだろう。

ところが現在の教員の多くは，小学校，中学校，高等学校で統計をほとんど習っていない。中高の数学教員でさえ，大学での統計関連の習得単位は 2 単位ほどであることが多いのである。また，新しく出版される教科書も学習指導要領の充実した内容に対して記述量が十分でない可能性が大きい。

本論文では，現在の教育現場における統計教育の問題点をまとめ，この問題点が解決できる教材として提案した中高一貫校用のテキストの説明をする。さらに，このテキストによってどのような教育効果が期待できるかについて述べる。

キーワード：テキスト形式の統計教材，私立中高一貫校，中学校，高等学校。

1. はじめに

2017 年 2 月，小学校と中学校の新学習指導要領(案)が公示された。現行よりも小学校算数，中学校数学における統計教育の内容は充実したものになっており，その要点は以下の通りである。

各学年の内容において，小学校 1 年から 6 年，中学校 1 年から 3 年まで 9 年間を通して「D データの活用」が独立な項目として記述された。〔用語・記号〕では，現行中学校 1 年の「平均値，中央値，最頻値，階級」が小学校 6 年に，現行高等学校 1 年の「箱ひげ図」が中学校 2 年に下りた。「累積度数」が中学 1 年に，標本調査で「母集団の傾向を推定し判断する」ことが中学校 3 年に新たに追加された。指導計画の作成と内容の取扱いにおいては，「各領域の指導に当たっては，具体物进行操作して考えたり，データを収集して整理したりするなどの具体的な体験を伴う学習を充実すること」の記述が統計の内容として考えられる。与えられたデータを分析するだけでなく，データを収集するところから始めることも求められている。

新学習指導要領は，中学校は 2021 年度，高等学校では 2022 年度から開始されるが，多くの教育現場では十分に対応できていない状態である。本論文では，現在の教育現場における統計教育の問題点をまとめ，この問題点が解決できる教材として提案した中高一貫校用のテキストの説明をする。さらに，このテキストによってどのような教育効果が期待できるかについて述べる。

† 成蹊高等学校 数学科：〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-10-13

2. 統計教育に関する世の中の動き

次章からの本題に入る前に、統計教育の国の動きについてまとめておく。2015年6月19日の閣議決定「科学技術イノベーション総合戦略2015」（閣議決定, 2015）において、「我が国では欧米等と比較し、データ分析のスキルを有する人材や統計科学を専攻する人材が極めて少なく、我が国の多くの民間企業が情報通信分野の人材不足を感じており、危機的な状況にある」こと、また「情報通信及び数理科学等の基本的知識を持ちつつ課題の発見・解決ができる人材の強化にも合わせて取り組む」ことが示された。

2016年5月19日の日本学術会議数理科学委員会数学教育分科会の提言「初等中等教育における算数・数学教育の改善についての提言」（日本学術会議, 2016）において、第4章すべてを使って統計教育の問題点と今後の学習の提案が示されており、その実現に向けて具体的にかなり詳しく書かれている。

2016年12月21日の中央教育審議会（答申）「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について」（中央教育審議会, 2016）によると、〔数学科〕の中の記述に「統計に関する学習を充実させていくことが重要である」というはっきりとした記述がある。

2016年12月21日の文部科学省「大学の数理・データサイエンス教育強化方策について」（文部科学省, 2016）において「数理的思考力とデータ分析・活用能力を持つ人材の育成が必須となっており、社会に価値やサービスを生み出すという目的に合致した大学教育システムの構築が必要である」こと、また「数理・データサイエンス教育研究センター（仮称）が国立6大学に設置され、これらを中心に全国に数理・データサイエンス教育を強化する」（抜粋）との記述がある。このような方向性は、これからの日本が重視する人材と関係があるが、教育現場はこれらの動きについても理解が不十分である。また、統計教育の必要性についても現場と国との情報の共有が重要である。

3. 現状と問題点

3.1 2017年現在の各世代の教員が受けた高校時代の統計教育

50代の教員の高等学校時代の学習指導要領（文部省, 1970）は、1973年度から学年進行で改定されたもので「現代化カリキュラム」と呼ばれたかなり濃密なものであった。そのため、消化不良の生徒を多く出してしまったという。統計の内容もとても豊かで、平均、分散、標準偏差はもちろん確率分布（二項分布、正規分布）、統計的な推測（推定・検定）まであった。しかし、代表値は中央値と最頻値がなく、統計的推測は多くの大学入試で試験範囲から除かれた。

40代の教員の高等学校時代の学習指導要領（文部省, 1978）は、1982年度から学年進行で改定されたものである。理系の多くは、数I、基礎解析、代数・幾何、微分積分、確率・統計を履修した。この学習指導要領は、前回の反省を踏まえて内容を精選したもので「ゆとりカリキュラム」と呼ばれていた。現在の内容と比べるとまだまだ膨大であるが、統計の内容はほぼそのまま、大学入試も同じような状態であった。

30代の教員の高等学校時代の学習指導要領（文部省, 1989）は、1994年度から学年進行で改定されたもので「新学力観・個性をいかす教育」を目指し教科の学習内容を削減したものである。このときに統計分野は、ほとんどが選択となっしまい、多くの大学入試では外されてしまった。唯一残ったのが期待値である。

20代の教員の高等学校時代の学習指導要領（文部省, 1999）は、2003年度から学年進行で改定された「ゆとりカリキュラム」と呼ばれるもので、教科の学習内容をさらに削減したものである。2002年度から週5日制も始まったが、このような状態のため数学分野の複素数平面もカッ

トされてしまった。したがって、統計分野の内容が新たに入るはずもないが、期待値は残った。

3.2 問題点

40代、50代の教員は、中央値と最頻値は習っていないが、平均や分散の諸公式などの数理統計的なものはしっかり習っている。ということは、分布が左右どちらかに大きく歪んでいたりと、外れ値があったとしても平均値→分散→標準偏差と計算して、標準偏差の値だけで散らばりの大きさを判断してしまうような指導を行ってしまう可能性がある。また、この世代の大学入試では、確率の問題で分散と標準偏差を求めさせる問題がほとんどだったため、分散で散らばりの大小を考える経験自体がほとんどない。同様に、最近統計で重要視されているようなこと、例えば文章を読んだり、表やグラフからデータの分布の特徴を考えるような経験も少ない。従って、この世代が文部科学省検定の教科書だけを見て問題を作ってしまうと、統計的な要素を忘れてきわめて数学的なものだけになってしまうこともある。数学的には成立するのだが統計学的にはナンセンスな問題を作ってしまう可能性が少なくない。

20代、30代の教員は、ヒストグラムさえ習っていないところから指導を始めなければならないのだからかなり厳しい。散らばり度の指標である分散、標準偏差を習っていないのに四分位範囲、四分位偏差と出てきて、それぞれの扱いに困窮したと思われる。また、検定教科書に記述がほとんどないような、観測値全体に定数を加えたり、観測値全体を定数倍したりしたときの、データから計算される統計量の値の変化などの数理統計的な処理の経験がとても少ない。このような問題はセンター試験に頻出しているので、初年度などはかなり戸惑ったはずである。各世代間で特徴的な問題は以上の通りだが、共通した問題も抱えている。大学での統計教育は、すべての世代で数単位しか習得しておらず、内容的には抽象的な数理統計的なものに偏っていることが多い。つまり、現在の中学校、高等学校で求められているような具体的なデータを用いて考察した経験のある教員はとても少ない。

4. 解決策としての教材開発

現在の文部科学省の検定教科書では、数学の一分野として統計分野が扱われており、説明に十分なページ数がさけないのが現状である。そのため統計で使われる各種の量の定義、例題、計算方法を記しただけで終わらざるを得ない。ところが現在のセンター試験は教科書の記述より一歩先のことが問われており、ましてや今後の新しい大学入試に必要とされる統計リテラシーの基礎知識量と照らし合わせると、とても十分な量の記述とは言えない。そこで、ページ数にとらわれず、中学校と高等学校の内容を体系的にまとめた統計のテキストを作成した。その特徴を、以下の4.1節から4.4節までにおいて、それぞれ例を挙げながら説明する。

4.1 中高一貫校向けテキスト形式の教材

現行の中学・高等学校の指導要領(文部科学省, 2009)に準拠し、中高一貫校向けに一冊にまとめた。その目次を例4.1として与えると次のようになる。

例 4.1. 〈目次〉

§1 度数の分布	§2 代表値	§3 近似値・誤差・有効数字
§4 標本調査	§5 練習問題	§6 四分位数
§7 箱ひげ図	§8 練習問題	§9 分散と標準偏差
§10 度数分布表から分散と標準偏差を求める	§11 分散を求める公式	§12 データの変換
§13 散布図	§14 相関係数	§15 相関係数の注意

§16 練習問題

§17 統計学への誘い(回帰直線, 最小二乗法, 決定係数, 平均への回帰, 検定, 分散分析)

(全 113 ページ)

解説. 現行の配当学年は, 次のようになっている.

§1~§3: 中学校 1 年 §4~§5: 中学校 3 年 §6~§16: 高等学校 1 年

提案する配当可能学年は, 次のようにすることを考えている.

§1~§8: 中学校 1 年 §9~§16: 中学 3 年以降(無理数を学習後)

§17(検定と分散分析を除く)高校 1 年以降(2 次関数を学習後)

そこで, 学年の配当例として,

§1~§3: 中学校 1 年 §6~§8: 中学校 2 年 §4~§5: 中学校 3 年

§9~§16: 高等学校 1 年 §17(検定と分散分析を除く): 高校 2 年

とすれば, 5 年間通して統計に触れられる. こう扱えば, 新学習指導要領と同じ順番になる. ただし, 高校 1 年に §17 の内容の一部が下りてくる可能性があるのと, §4~§5 と §6~§8 の順番が逆になるので少し手直しが必要である. 現行は中学 2 年生で空白ができてしまってほぼ 2 年間空いてしまうので, 新課程ではそれが解消され, 教育効果の向上が見込まれる.

4.2 丁寧な導入

統計で使われる各種の量を定義するときに「なぜそのように定義するのか?」を丁寧に記したのはもちろん, 存在意義もよく分かるようにした.

例 4.2. 〈中央値の導入〉

日本では平均値を単独で多用するが, アメリカなどでは平均値以外にも併記して多用する代表値がある.

まずは 2 つの事例を見てみよう.

事例 1. 平均年収を見て会社を選んだのに, 年収が低かった. A 会社の平均年収は 800 万円, B 会社の平均年収は 700 万円である. 会社選びの基準として平均年収を重要視した X 君は, このデータから A 会社を選んだ. ところが就職後, X 君はその年収でとても後悔することになったという. なぜか.

事例 2. 平均点以上とったのに, クラスの上位半分に入れなかった. X 君は, 親と次のような約束をしていた. 「小テストでクラスの上位(半分より上)に入ったら, お小遣いを 500 円増額する」X 君のクラスの小テストの得点の平均値は 6.5 点で, X 君の得点は 7 点だったがお小遣いは増額されなかった. なぜか.

解説. 事例 1 では外れ値があるデータを用意してある. 平均値は外れ値に影響されてしまうことを説明する. そこで, 外れ値があってもそれに影響されないような, データの位置を表す代表値の必要性に迫られる. その流れで中央値の概念に導く. 中央値はデータを大きさの順に並べなければならないという手間がかかる欠点があるが, 外れ値に強い(ロバスト性がある)という利点がある.

事例 2 では, 左に裾をひいた分布のデータを用意してある. 平均値は, 正規分布のように左右対称の分布の場合は, 真ん中の値を表すと考えてよいが, 左右に歪んだ分布の場合, そうはならない. ここでは, 左に裾を引いた分布なので, 多くの場合(平均値) < (中央値)となることを説明する.

例 4.3. 〈中央値の練習問題〉

ある 35 人のクラスで, 文化祭のクラス展の展示に使う花をたくさん作るようになった. 仕

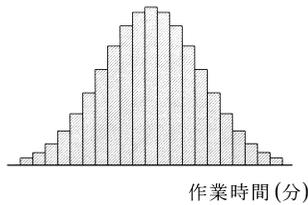


図 1. 1人あたりの作業時間の分布.

事の割り振りをするのに、1本の花を作るのにかかる1人あたりの作業時間(分)の平均値を知りたい。もちろんいっせいに始めて全員終わるまで作業し、各人のかかった作業時間を記録して計算すればよいのだが、もう少し簡単にわかる方法はないだろうか。ただし、1人あたりの作業時間の分布は、次の図1のような対称形になっているとする。

解説. この問題は、次の2点がポイントとなる。1点目は、観測値が小さい順に現れるので、データを並べ替えることなく中央値が求まること。2点目は、データが左右対称な分布になっているので、(平均値) \equiv (中央値)となることである。

よって、平均値を定義から計算する代わりに中央値で代用できるのである。多くの中学、高校生は中央値の定義はよく覚えているが、その性質までは答えられないことが多い。性質まで理解させ、使いこなせるようになるには、最低限この程度の記述が欲しいところである。

例 4.4. 〈標本調査の導入〉

あるクラスが、文化祭で味噌汁を売り出すことになった。次の会話は、練習で小さな鍋で作ったときと、本番の大きな鍋で作ったときのものである。

練習の日

桃子「ねえ桃太くん。味噌を入れたから味見して。」

桃太「はーい」(と言って、味見する)

「うーん、薄いなあ」

桃子「そんなはずないよー。ちゃんと量ったんだからあ。」

本番の日

桃子「ねえ桃太くん。味噌を入れたから味見して。」

桃太「はーい」(と言って、味見する)

「うーん、もうおなか一杯だよお。」

桃子「？」

それぞれ一体何が起こったのであろうか？

まずは、練習の日、桃太くんは、

〈よくかき混ぜないで味見してしまったのである〉

続きの会話を見てみよう。

桃子「よくかき混ぜた？」桃太「あっ、そのまま飲んじゃった。」(よくかき混ぜる)

「本当だ。ちょうどいいよ。」

めでたしである。

次に本番の日、桃太くんは、

〈大きい鍋だから、たくさんの量の味噌汁を飲んで味見したのである〉

続きの会話を見てみよう。

桃子「よくかき混ぜれば、鍋が大きくても一口でいいのよ」

X 組	7	8	10	6	9	9	8	7	10	6
Y 組	10	9	8	9	8	3	8	9	8	8

図 2. ある 2 クラスの代数の成績.

X 組	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	8
Y 組	3	8	8	8	8	8	9	9	9	10	8

図 3. ある 2 クラスの代数の成績をソートしたもの.

桃太「そうなんだー、初めに言ってよぉー」(感動する)

こちらも、めでたしである。

実はこれから学ぶ「標本調査」は、「味噌汁の味見」と同じなのである。次の 2 つのポイントに注意してこの先を読んでみよう。

〈ポイント 1〉よくかき混ぜる

〈ポイント 2〉鍋の大きさに関係なく、味見は一口でよい

解説. この問題における〈ポイント 1〉は無作為化の話であり、〈ポイント 2〉は母集団の大きさがある程度大きければ標本誤差は標本サイズに依存するのであって母集団のサイズに依存しないということである。鍋の味見で〈ポイント 2〉に言及した記述は新規性があると考えている。

例 4.5. 〈ロバスト性を意識した四分位数の導入〉

ある 2 クラスの代数の成績を出席番号順に並べると図 2 のようになった。

まずは、分布の中心を表す指標である代表値を順に見てみよう。

平均値(mean)は

$$\begin{aligned} \text{X 組} &: \frac{7+8+10+6+9+9+8+7+10+6}{10} = \frac{80}{10} = 8 \\ \text{Y 組} &: \frac{10+9+8+9+8+3+8+9+8+8}{10} = \frac{80}{10} = 8 \end{aligned}$$

であり、これでは差が出ない。

中央値(median)はデータを小さい順に並べかえて求める。

図 3 のように、これでも差が出ない。

最頻値(mode)は、Y 組は 8 であるが、X 組のような分布では最頻値を考えることは意味をなさない。ここで、データサイズが小さいときに最頻値を考えることには無理があるが、ここでは説明のために記した。中心の位置を示すこれらの代表値だけではデータ全体の様子は把握できない。重要なのは、中心の位置に加えて分布の広がり(分散)の大きさ、つまり散らばりの程度も調べることである。

X 組は 6 から 10 までの一様な分布なのに対し、Y 組は 8 と 9 に集中した狭い分布である。この 2 つのデータの散らばりの程度には明らかな違いが見られる。範囲(range)は散らばりの程度を簡単に表すわかりやすい指標であるが

$$X \text{ 組} : 10 - 6 = 4 \quad Y \text{ 組} : 10 - 3 = 7$$

のように、あたかも Y 組の方が大きく散らばっているかのように見えてしまう。これは Y 組の 3 という極端に中心から外れた値(これを外れ値(outlier)という)があるため、この値に引っぱられてしまったためである。そこでデータの散らばりの程度を表す別の指標が必要になる。

中央値を求めたときと同じようにデータを小さい順に並べ、下の図 4 のように 4 等分する。境界となる 3 つの値●を四分位数(quartile)という。四分位数は小さい方から第 1 四分位数、第 2 四分位数(中央値)、第 3 四分位数といい Q_1, Q_2, Q_3 で表す。

データサイズが十分大きいときは、 Q_1, Q_2, Q_3 はデータの小さい方からそれぞれ 25%、50%、75% に対応する値であり、 Q_1 から Q_3 までの間にデータの 50% が入っている。

Q_1 から Q_3 までのデータの範囲である $Q_3 - Q_1$ を四分位範囲(quartile range)という。これは、データの散らばりの程度を数値化した新たな指標となる。先ほどの X 組と Y 組の四分位範囲は

$$X \text{ 組} : 9 - 7 = 2 \quad Y \text{ 組} : 9 - 8 = 1$$

となり、分布の様子をちゃんと反映したものとなっている。

最大値と最小値は外れ値の影響を受けやすいが、四分位数はその影響を受けにくい。これをロバスト(頑健)性があるという。よって

(範囲) = (最大値) - (最小値) はロバスト性に欠けるが

(四分位範囲) = $Q_3 - Q_1$ にはロバスト性がある。

解説. データの分布は、中心の位置と散らばりの大きさを見ることが大切である。まず初めに中心の位置を見て差異が出なかったため、散らばりの大きさに話題を移す流れになっている。既習の散らばりの大きさを表す指標である範囲は外れ値に影響されてしまうことを説明する。そこで、外れ値があってもそれに影響されないような散らばりの大きさを表す数値の必要性に迫られる。その流れで四分位範囲の概念に導いている。

4.3 データを変換したときの統計量の変化の記述

データを変換したときに、統計量の値の変化の記述を 1 つのセクションに独立させて丁寧に記した。

例 4.6. 〈データを変換したときの相関係数の変化〉

ペアのデータの観測値の双方に一律に定数を加えても共分散は変わらない、一方を一律に定数倍すると共分散はその定数倍になる。

ペアのデータの観測値の双方に一律に定数を加えても、双方を一律に正の定数倍しても相関係数は変わらない。

解説. 教科書にはこの部分の記述がほとんどない。教科書だけやってセンター試験に臨んだ生徒は大変だったであろう。本テキストでは、平均値、分散や標準偏差なども具体例で数値計算をさせ、数式はもちろん文章でも丁寧に記述してある。

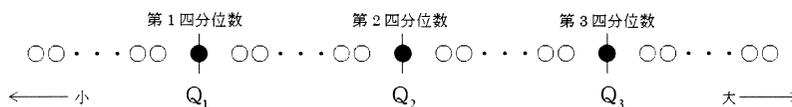


図 4. 四分位数の説明図。

観測値 x	度数 f	x^2	$x^2 f$	$x f$
1	1	1	1	1
2	3	4	12	6
3	2	9	18	6
4	2	16	32	8
5	2	25	50	10
計	10		113	31

$$\bar{x} = \frac{31}{10} = 3.1$$

$$s_x^2 = \frac{113}{10} - 3.1^2$$

$$= 11.3 - 9.61$$

$$= 1.69$$

$$s_x = 1.3$$

図 5. 標準偏差の計算.

4.4 データの数値

手計算でできるよう、図 5 のように与えたデータの数値を工夫した。

例 4.7. 〈標準偏差の計算〉

手計算でできるよう、例 4.7 の図 5 のようにデータの数値を工夫した。

解説. 上手く観測値を決めないと、分散の平方根である標準偏差は有限小数で求まらない。電卓を使用する方法もあるが、意識が電卓の方に行ってしまう中学生は少なくない。本テキストでは、標準偏差はもちろん、相関係数、決定係数に至るまで電卓は不要になるように作成した。

5. 教員が誤解しやすい内容

教科書には統計で使われる各種の量の求め方は書いてあるが、その不適切な使用法についてはほとんど触れられていない。ここでは、ありがちな 3 つのケースを述べておく。

5.1 散らばりの比較

分布が大きく異なるデータ同士でも、標準偏差で散らばりの大小を比較してしまうことは、一番ありがちなケースである。左あるいは右に大きく歪んだ分布の場合、もはや平均値はデータの中心となる値としての意味をなさなくなってしまう。その平均値を用いて、分散、標準偏差を計算し、それらを比較するのは意味のない場合が多い。

5.2 箱ひげ図とデータ

箱ひげ図からもとのデータの詳細を復元しようとしてしまうことには、注意が必要である。

例 5.1. 〈観測値の個数の評価〉

38 人クラスの生徒のあるテストの結果を図 6 のような箱ひげ図で表した。60 点以下の生徒の考えられる人数の最大値、最小値を求めよ。

解説. 箱ひげ図は本来、データサイズが十分大きい複数のデータの分布を、視覚的に簡単に比較できるようにと考えられたものである。つまり、箱ひげ図はデータの詳細な部分を省いて端的にデータの特徴を表したものである。箱ひげ図からデータがどのように散らばっているかを考えることは重要であるが、この流れに逆らって箱ひげ図からデータの詳細(観測値の個数)

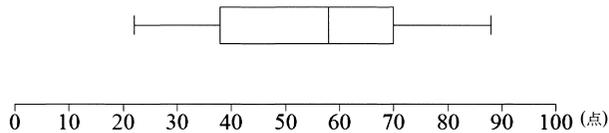


図 6. 箱ひげ図からの観測値の個数の評価.

を再現しようとするのは不適切である.

また、四分位数の定義は国によって様々である. この問題の答は、その定義に影響されてしまうので不適切である.

5.3 相関と因果

相関関係と因果関係を混同しないよう、注意が必要である.

例 5.2. 〈2 変数の相関関係, 因果関係, 関係〉

(正誤問題) 2 つの変量間の相関係数の値が高い場合には、これらの 2 つの変量には因果関係があるといえる.

解説. 2013 年に大学入試センターから出されたセンター試験の試作問題である. これを初めて見た現場の教員は迷った. 教科書に相関, 因果関係の違いが明記されていないことが多いからだ. 本テキストではこの 3 つについても丁寧に記してある.

なお、変量という語句は学習指導要領に従って変数とすべきだろう.

6. おわりに

高校数学科で統計を全員必修にしたカリキュラムが始まって数年が経過した.

まだまだ、統計を数学のように思い通りに指導できる教員は多くはない. その大きな原因、すなわち中高時代に自分が習っておらず、大学時代にも今の時代に求められている統計教育を受けていないことはすでに述べた. 開発したテキストによれば生徒、教員ともに必要な基礎知識量を確保できると考えているが、このテキストによって何を解決し、何が解決できていないのかをまとめておく.

6.1 解決できたこと

平成 28 年度に使用している文部科学省検定済教科書として、秋山 他 (2011), 長谷川 他 (2012a), 長谷川 他 (2012b), 俣野 他 (2012a), 俣野 他 (2012b), 俣野 他 (2012c), 岡部 他 (2011), 岡本 他 (2012a), 岡本 他 (2012b), 岡本 他 (2012c), 大島 他 (2011), 大矢 他 (2011), 高橋 他 (2011a), 高橋 他 (2011b), 高橋 他 (2011c), 山本 他 (2011) の 16 冊と、本テキストの記述を観点別に比較した. 本テキストは観点 A から J の項目において、すべて○である.

A: 観測値とデータとの区別をしてあるか

○: してある (6 冊) ×: してない (10 冊)

B: 範囲のロバスト性のなさ, ある 1 日の平均気温などのように平均値の意味を見出しにくいときの範囲の存在意義

○: 記述あり (0 冊) △: どちらか一方の記述 (5 冊)

×: とともに記述なし (11 冊)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	×	○	○
B	△	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	△	×	△	△
C	△	×	×	○	×	△	△	×	×	×	△	△	△	×	△	×
D	○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	○	○	○	×	○	×
E	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	○	○	×	○	○
F	○	○	△	△	×	×	△	△	△	×	○	○	×	×	×	×
G	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×	×	△	×	×
H	△	×	×	○	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	○	×
I	○	×	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
J	×	×	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×

図7. 観点ごとの記述の状態.

C：平均値のロバスト性のなさ，左右に歪んだ分布のときの平均の注意

○：記述あり(1冊) △：どちらか一方の記述(7冊)

×：ともに記述なし(8冊)

D：中央値のロバスト性

○：記述あり(7冊) ×：記述なし(9冊)

E：四分位数のロバスト性

○：記述あり(6冊) ×：記述なし(10冊)

F：3個以上の箱ひげ図を用いた分布の比較

○：複数あり(4冊) △：単数の記述あり(5冊)

×：記述なし(7冊)

G：標準偏差のロバスト性のなさ，範囲や四分位範囲との比較

○：記述あり(0冊) △：どれか一つの記述(2冊)

×：記述なし(14冊)

H：データを変換したときの各種の量(平均値，分散(標準偏差)，相関係数)の変化についての記述

○：すべて記述あり(5冊) △：記述あり(1冊)

×：記述なし(10冊)

I：相関係数のロバスト性のなさ

○：記述あり(4冊) ×：記述なし(12冊)

J：因果関係と相関関係の違い

○：記述あり(3冊) ×：記述なし(13冊)

これらの観点ごとの記述の状態を表にしたものが図7である。

6.2 これからの課題

現代の統計教育の求められていることを考えると，このテキストだけではまだまだ記述は十分とは言えない。これからの課題としては，次のものが考えられる。

①身のまわりにある現象から統計的な問題をどう抽出させるか

- ②適切なデータの取り方
- ③コンピュータを使用した計算の指導法
- ④IT 機器による表現方法

③, ④に関しては, 情報科との役割分担をどのようにするかも大きな課題である。

テキストは, より良くするために下記の場所で公開しています。

テキストダウンロード場所 <http://yahoo.jp/box/nTMum6>

ファイル名: 公開用テキスト ver*.pdf

随時バージョンアップします。2017年5月20日現在では ver. 5 です。ご自由にお使いいただけますが, 使用の際には連絡を下さい。

謝 辞

本研究は, 学校法人成蹊学園「成蹊学園規則集 III. 就業関係規則 30300. 成蹊中学・高等学校及び成蹊小学校の在外研修に関する規則・第9条」の助成を受け一般社団法人統計質保証推進協会の「研究員」制度の研修によるものです。

本研究にあたり, 終始多大なご指導を賜りました成蹊大学名誉教授の中西寛子先生に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 秋山仁他 (2011). 『新高校の数学 I』, 124–145, 数研出版, 東京.
- 中央教育審議会 (2016). 幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について, 東京(答申) (中教審第 197 号).
- 長谷川考志他 (2012a). 『高等学校数学 I』, 154–185, 第一学習社, 広島.
- 長谷川考志他 (2012b). 『高等学校新編数学 I』, 136–153, 第一学習社, 広島.
- 閣議決定 (2015). 科学技術イノベーション総合戦略 2015.
- 侯野博他 (2012a). 『数学 I』, 156–178, 東京書籍, 東京.
- 侯野博他 (2012b). 『新編数学 I』, 138–158, 東京書籍, 東京.
- 侯野博他 (2012c). 『新数学 I』, 122–137, 東京書籍, 東京.
- 文部科学省 (2009). 高等学校学習指導要領, 第 2 章第 4 節, 国立教育政策研究所, 東京.
- 文部科学省 (2016). 大学の数理・データサイエンス教育強化方策について, 東京.
- 文部省 (1970). 高等学校学習指導要領, 第 2 章第 3 節, 国立教育政策研究所, 東京.
- 文部省 (1978). 高等学校学習指導要領, 第 2 章第 3 節, 国立教育政策研究所, 東京.
- 文部省 (1989). 高等学校学習指導要領, 第 2 章第 4 節, 国立教育政策研究所, 東京.
- 文部省 (1999). 高等学校学習指導要領, 第 2 章第 4 節, 国立教育政策研究所, 東京.
- 日本学術会議 (2016). 初等中等教育における算数・数学教育の改善についての提言, 東京.
- 岡部恒治他 (2011). 『高等学校数学 I』, 160–185, 数研出版, 東京.
- 岡本和夫他 (2012a). 『数学 I』, 160–196, 実教出版, 東京.
- 岡本和夫他 (2012b). 『新版数学 I』, 174–194, 実教出版, 東京.
- 岡本和夫他 (2012c). 『高校数学 I』, 134–156, 実教出版, 東京.
- 大島利雄他 (2011). 『数学 I』, 160–185, 数研出版, 東京.
- 大矢雅則他 (2011). 『新編数学 I』, 156–185, 数研出版, 東京.
- 高橋陽一郎他 (2011a). 『詳説数学 I』, 180–222, 啓林館, 大阪.
- 高橋陽一郎他 (2011b). 『数学 I』, 162–200, 啓林館, 大阪.
- 高橋陽一郎他 (2011c). 『新編数学 I』, 168–208, 啓林館, 大阪.
- 山本慎他 (2011). 『最新数学 I』, 134–155, 数研出版, 東京.

Development of Statistics Teaching Materials Presented in Textbook Format at a Private Combined Junior and Senior High School

Akiyoshi Sudo

Department of Mathematics, Seikei Junior and Senior High School

According to the new curriculum guidelines announced by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology in February 2017, the field of statistics has become more important than ever in elementary school arithmetic and junior high school mathematics classes. Considering current worldwide trends, the importance of statistics will also increase at the high school level.

However, most current teachers did not learn statistics in primary school, junior high, or senior high, and even most mathematics teachers barely studied statistics in college. It is also very likely that the new national statistics textbooks authorized by the government are not sufficiently descriptive in terms of content.

Accordingly, this paper describes the contents of an originally developed statistics textbook that was formulated to address this issue. In addition, we summarize the type of educational effects that can be expected from this textbook.

臨床統計家育成の諸問題

田中 司朗¹・相田 麗¹・今井 匠¹・廣田 誠子¹・
森田 智視²・濱崎 俊光³・佐藤 俊哉⁴

(受付 2017 年 7 月 3 日；採択 8 月 16 日)

要 旨

臨床試験の実務を行う統計の専門職(臨床統計家)の人材育成が社会から強く要請されている。2016年には日本医療研究開発機構生物統計家育成支援事業が公募され、京都大学大学院と東京大学大学院が選定された。また、2017年には日本計量生物学会が試験統計家認定制度を開始した。このような国・学会の動きの中で、どのように臨床統計家を育成すればよいか。本論文では関連する国内外の取り組みを概観し、公衆衛生大学院における教育モデルとして京都大学臨床統計家育成コースを取り上げ、臨床統計家育成の諸問題について論じる。公衆衛生大学院における教育モデルの特長として、(1)医学系科目が充実していること、(2)医学研究の経験、研究倫理、コミュニケーション能力など座学では身につけにくい能力を涵養することができること、(3)医療統計学以外の学生・教員への波及的な教育効果が見込まれることがある。その一方で、課題として挙げられるのは、(1)日本の公衆衛生大学院において医療統計学の教員は数人程度に過ぎないこと、(2)既存の学部からの分野を越えた学生募集が海外に比べ難しいこと、(3)長期的視点に立ったときの教育の在り方である。

キーワード：臨床統計家、臨床試験、医療統計学教育、公衆衛生大学院、日本医療研究開発機構(AMED)。

1. 背景

1.1 なぜ医学で専門職としての統計家育成が求められているのか

医学では多岐にわたる領域で統計学が用いられているが、専門職としての統計家の人材育成が社会から強く要請されているのが、医薬品などの有効性・安全性評価のため行われる臨床試験である。臨床試験は人を対象として行われることから倫理的な配慮が必要であり、その一部は医薬品開発などのビジネスの一環として行われるため、関連する法律・ガイドライン・制度による規制が設けられている。2013年には、日本で行われた複数の降圧薬臨床試験(たとえば Mochizuki et al., 2007; Sawada et al., 2009)において、データの人為的操作が認められ、論文が撤回された。医薬品の有効性・安全性に関する解析結果は、患者の命にかかわる問題につながる可能性がある。したがって、よい医療のためには、臨床試験を計画し、実施し、統計解析

¹ 京都大学大学院 医学研究科臨床統計学：〒606-8501 京都府京都市左京区吉田近衛町

² 京都大学大学院 医学研究科医学統計生物情報学：〒606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町 54

³ 国立循環器病研究センター データサイエンス部：〒565-8565 大阪府吹田市藤白台 5-7-1

⁴ 京都大学大学院 医学研究科社会健康医学系専攻医療統計学：〒606-8501 京都府京都市左京区吉田近衛町

を行い、結果を報告するというすべてのプロセスが、科学的・倫理的観点から適切になされなければならない。統計学だけではなく臨床試験の方法論や統計家の行動基準を身に着けたプロフェッショナルが求められる。

もう一つ指摘しておくべきなのは日本の科学技術政策からの要請である。2014年に閣議決定され2017年に一部変更がなされた健康・医療戦略(健康・医療戦略推進本部, 2017)では、日本発の優れた医薬品・医療機器等を開発し、事業化することが具体的施策として掲げられている。これまで日本の大学・病院で医師主導治験が行われ、新薬承認や適応拡大がなされた医薬品として、フェンタニルクエン酸塩、ベバシズマブ(Burger et al., 2011)、メトレレプチン(伊藤 他, 2014)、リツキシマブ(Iijima et al., 2014)などがある。これらが特に成功した事例であることはいうまでもないが、それでもなお健康・医療戦略に掲げられた目標とはギャップがある。まず、これらの医薬品を製造販売する製薬企業にとっては、いずれも比較的希少な疾患がマーケットであるため、経済的利益が大きいとはいえない。さらに、健康・医療戦略の目指すところは日本の経済成長であるが、国内で承認取得に至ったとしても、医薬品・医療機器の国内消費は医療保険制度において公費償還が主であるため、日本の経済にプラスにはならない。すなわち、医薬品・医療機器等の開発を輸出産業にする(現実的には現在2兆円を超える貿易収支の赤字を減らす)ことが、経済成長のためには目標になる。科学技術政策上の理想と臨床試験の現実とのギャップを埋めることは容易ではないが、このような背景を理解しなければ、政策目標の実現に近づくことはできない。したがって、現実を理想に近づけるためには、基礎・臨床医学、医薬品開発、知財、医療政策、医療経済について基本的な知識を身に付け、臨床試験が医薬品・医療機器等の開発戦略の中で行われていることを理解している人材を育てる必要がある。

臨床試験の実務を行う統計の専門職を、臨床統計家(clinical biostatistician)、生物統計家(biostatistician)、試験統計家(trials taticician)と呼ぶ。2015年施行の改正医療法では、国際水準の臨床研究等の中心的役割を担う病院を臨床研究中核病院と定めており、専従の臨床統計家を2人以上有することが承認要件の一部となっている。2017年3月時点で臨床研究中核病院として承認されているのは11施設だが、臨床試験を実施している施設は当然これだけではない。日本の臨床統計家のほとんどは日本計量生物学会の会員となっているが、2015年6月の調査によると、医学部のある80の大学において臨床研究支援を行っている日本計量生物学会員数は80人であり、学会員が1人以上いる大学は39大学と約半数である(手良向, 2017)。実際、大学や病院が臨床統計家を公募しても、候補者が見つからずポストが埋まらないことが多い。このような背景から、2016年には国と日本製薬工業協会からの資金による日本医療研究開発機構(AMED)生物統計家育成支援事業が公募され、京都大学大学院と東京大学大学院が選定された。また、2017年には日本計量生物学会が試験統計家認定制度を開始した(日本計量生物学会, 2017)。

このような国や学会の動きの中で、どのように臨床統計家を育成すればよいのだろうか。本論文では関連する国内外の取り組みを概観し、公衆衛生大学院(School of Public Health; SPH)における教育モデルとしてAMED生物統計家育成支援事業として平成30年度に開講する京都大学臨床統計家育成コースを取り上げ、臨床統計家育成の諸問題について論じる。

1.2 歴史的背景

科学が社会制度に組み込まれ一定のパターンで行われるようになることを、科学の制度化という(廣重, 2002)。計量経済学者である佐和(1982)は、科学の制度化の四条件として、(1)教科書化されていること、(2)査読付き専門誌があること、(3)当該科学を修めたものが就く専門職が存在すること、(4)当該科学の「有用性」が社会的に認知され、国がその研究を支援してい

ること、を挙げた。計量経済学は統計学が制度化された例であり、統計学の起源となった官庁統計は明らかに行政制度の一部であるが、医学における統計学ではどのような段階にあるのだろうか。現時点で、教科書、査読付き専門誌、有用性の社会認知という三つの条件は満たされていると考えられる。医療統計学の専門職やその教育について述べる前に、これまで医学において統計学がどのように制度に組み込まれてきたのかを振り返る。

表1は、(医療)統計学にかかわる教育制度の変化、臨床試験の規制強化、そしてその契機となった不祥事の一部をまとめたもので、いわば医療統計制度化年表である。論文が撤回された降圧薬臨床試験 (Mochizuki et al., 2007) のような不祥事は日本固有の問題ではない。1990年には、アメリカの多施設乳癌臨床試験グループ National Surgical Adjuvant Breast and Bowel Project においてデータねつ造が発覚し (Fisher et al., 1994), National Surgical Adjuvant Breast and Bowel Project や Southwest Oncology Group などの欧米のがん臨床試験の統計センターに、データの品質管理・保証という考え方を導入する契機の一つとなった。データの品質管理・保証の考え方は、臨床試験の国際的な基準である医薬品規制調和国際会議 (ICH) ガイドラインにも盛り込まれている (医薬品規制調和国際会議, 1998a, 1998b)。日本でも、ICH ガイドラインは、製薬企業または医師が医薬品の承認申請目的で行う臨床試験(治験)の質を向上させた (Burger et al. 2011; 伊藤 他, 2014; Iijima et al., 2014 は医師主導治験の例である)。一方、先述の降圧薬臨床試験のような大学や病院で研究者が行っていた臨床試験の多くは、ICH ガイドラインの適用範囲ではなかった。行政が積極的に研究者主導臨床試験にも臨床統計家の参画を求めるようになったのは、2013年以降の「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」、「臨床研究法」、「医療法」などの整備や改正による。いずれも1990年代のICHガイドラインを臨床試験の基準とみなし、日本の実情に合わせて臨床試験の法規制が整備されてきたと見てよい。

このように臨床試験の規制強化はアメリカが先行したが、統計教育についてはどうであろうか。生物統計家の育成について歴史を紐解くと、欧米に統計学や公衆衛生の高等教育機関が設置されたのは1920年代以前のことだが(表1)、東京大学に疫学・生物統計学教室ができたのは1992年、京都大学に日本初のSPHが設置されたのは2000年であり、70年以上の開きがある。その後のSPHの設置状況をみると、2001年に九州大学大学院医学系学府医療経営・管理学専攻、2007年に東京大学大学院医学系研究科公共健康医学専攻、2011年に帝京大学大学院公衆衛生学研究科、そして2017年に聖路加国際大学大学院公衆衛生学研究科が、いずれも専門職大学院として創設されている。これらの専門職大学院としてのSPH以外に、既存の医学研究科修士課程に公衆衛生コースを設置することでSPHへのニーズに対応している大学もある。

1.3 試験統計家の認定要件

医療制度や薬事制度に統計学が組み込まれてくると議論になるのが、どのような要件を満たすものを臨床統計家として認めるかということである。日本計量生物学会 (2017) の試験統計家認定制度では、「臨床研究の統計的デザインと解析・統計家の行動基準に関し深い知識を有し、実践している者」を試験統計家と定義している。また、実務を行うことができる実務試験統計家と科学的・倫理的側面の責任を負うことができる責任試験統計家の二段階に分けて認定が行われる。実務試験統計家の要件は、(1)大学院修士クラス以上の統計の専門教育を受けるか、統計検定2級相当以上の能力を有すること、(2)数試験程度の臨床試験の実務経験(解析、データマネジメント等)を有すること、(3)ICH E9 ガイドライン「臨床試験のための統計的原則(医薬品規制調和国際会議, 1998b)」および「統計家の行動基準(日本計量生物学会, 2013)」に関する十分な理解があること、(4)学会の正会員歴が1年以上あることである。また、責任試験統計家の要件は、この四つに加え、(5)10試験程度以上の臨床試験の実務経験(試験計画作成、解析、報告書・論文作成、データモニタリング委員会委員等)を有すること、(6)学会の正会員

表 1. 医療統計制度化年表.

～1920年	London School of Hygiene and tropical Medicine 設置 (1899年), University College London Department of Applied Statistics 設置 (1911年), Johns Hopkins University に School of Hygiene and Public Health 設置 (1916年), Department of Biometry and Vital Statistics 設置 (1918年)
1982年	アメリカ統計学会「Ethical Guidelines for Statistical Practice」
1984年	Fred Hutchinson がん研究センターに Southwest Oncology Group 統計センター設置
1990年	担当の統計家が National Surgical Adjuvant Breast and Bowel Project の臨床試験データねつ造を発見
1991年	国立がん研究センターに科学技術庁の省際基礎研究費により Japan Clinical Oncology Group 統計センター設置
1992年	東京大学に疫学・生物統計学教室設置 (名称変更)
1993年	ソリブジンによる副作用被害と承認審査・治験・安全性対策の見直し
1998年	医薬品規制調和国際会議 (ICH) 「E8 ガイドライン臨床試験の一般指針」・「E9 ガイドライン臨床試験のための統計的原則」
2000年	京都大学に日本初の公衆衛生大学院 (社会健康医学系専攻) 設置
2002年	旧高校学習指導要領施行 (統計関連の内容を削減), 降圧薬臨床試験 Jikei Heart Study 登録開始
2003年	薬事法改正 (医師主導治験の実施が可能に), 厚生労働省「臨床研究に関する倫理指針」
2004年	医薬品医療機器総合機構設置
2007年	Lancet 誌に Jikei Heart Study 論文公表, 医師主導治験によるフェンタニルクエン酸塩の小児適応拡大
2010年	統計教育推進委員会「統計学分野の教育課程編成上の参照基準」
2011年	統計検定発足
2012年	現行高校学習指導要領施行 (統計関連の内容を追加), 医師主導治験によるベバシズマブの卵巣癌適応拡大
2013年	Lancet 誌の Jikei Heart Study 論文撤回, 日本計量生物学会「統計家の行動基準」, 医師主導治験によるメトレプレチンの新規医薬品承認
2014年	文科省・厚労省「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」, 医師主導治験によるリツキシマブの小児難治性ネフローゼ症候群適応拡大
2015年	臨床研究中核病院の承認要件について (専従の生物統計家2人以上)
2016年	日本医療研究開発機構 (AMED) 生物統計家育成支援事業に京都大学大学院・東京大学大学院を選定
2017年	臨床研究法成立, 日本計量生物学会試験統計家認定制度開始

歴が3年以上あること, (7)統計の方法論, 臨床試験に関わる学会・論文発表を有し研究業績があること, (8)日本計量生物学会正会員, および参加した臨床試験の責任者など実務経験をよく知る者からの推薦があることである。

統計専門職の認定は, アメリカ統計学会の Accredited Professional Statistician をはじめ各国にあり, 要件や審査方法はまちまちである。学生を教育し, 社会に送り出す立場からは, 大学

院入学から実務試験統計家の認定を受けられるまでにどのくらいの年数がかかるのかが気になる場所である。修士課程や専門職学位課程に加え実務経験を積むなら3~5年程度であろう。仮に実務経験と正会員歴という条件がなければ最短で修士課程・専門職学位課程の1~2年になり、博士レベルの統計の専門教育を求めるなら6~8年程度が必要になる。

2. 統計教育

2.1 医学部における統計教育の問題

このような社会からの要請に対応するために必要な統計教育とはどのようなものだろうか。統計教育は、初等教育(小学校)、中等教育(中学校~高等学校)、高等教育(大学~大学院)など様々な段階で行われている。2010年以降には、初等~中等教育では学習指導要領(文部科学省, 2015)に統計関連の内容が追加され、高等教育では統計学の各分野における教育課程編成上の参照基準(統計教育推進委員会, 2014)が定められた。これ以外にも、統計検定が発足するなど、ここ数年統計教育全体を見直す動きがある。まずは医学部における統計教育について、次に大学院で生物統計学の専門教育を行うにあたって、いくつかの問題点を指摘する。

統計学の各分野における教育課程編成上の参照基準では、学部1~2年生向けの大学基礎科目や、人文科学分野から医歯薬学分野まで11分野において、到達目標や教育内容・評価方法の例が示されている(統計教育推進委員会, 2014)。医歯薬学分野においては、(1)医学論文や研究計画書の記載事項を読み取る能力、(2)エビデンスに基づき適切な治療や対処法が選択できる能力、(3)統計ソフトウェアの利用や出力結果の解釈ができる能力、(4)統計家とのコミュニケーションを図る能力が、到達目標とされている。これらは医療従事者に求められる統計学の実務技能といえる。その一方で、医学部で統計教育を行うにあたり二つの制約がある。第一に、医師国家試験出題基準などに基づいてカリキュラムを組まなければならないことである。医師国家試験出題基準では、「人口統計と保健統計」、「疫学とその応用」という大項目に統計関連の内容が含まれているが、出題割合でいうと「医学総論」という1科目の2~3%に過ぎない。第二に、参照基準で示されているような教育を行うことができる教員を確保することは、現実には難しい。1980年代から2014年にかけて、折笠(1988, 1995)、三宅他(1993)、田中他(2005)、日本学術会議 数理科学委員会数理統計学分科会(2008)、三上(2011)、谷岡他(2014)、松村他(2016)により、統計教育の実態調査がいくつか報告され、論じられてきた。田中他(2005)、谷岡他(2014)、松村他(2016)の調査によると、医学部・薬学部で統計学の入門講義を担当しているのは、統計学を専門としない数学・情報学系の教員が約半数を占めていた。このような背景から、先に述べた(1)~(4)の実務技能にかかわる内容が授業で扱われづらいというのが実情である。そのため、これらの実務技能習得に意欲的な医歯薬学出身者は、後で詳しく述べるSPHなどの高等教育機関に学びの場を求めることになる。

2.2 大学院における統計教育の問題

日本の大学院教育全体を概観すると、文部科学省(2016)による平成28年度学校基本調査では、大学院への入学者数は、修士課程72380人(男子50785人, 女子21595人)、博士課程14972人(男子10333人, 女子4639人)、専門職学位課程6867人(男子4703人, 女子2164人)という状況であり、ここ数年で大学院の入学者数に大きな増減はない。教育体制については、アメリカ、イギリス、中国、韓国、日本の理工系大学院を比較した調査によると、教員当たりの大学院数は1.9~4.4人(教員当たりの博士課程学生0.5~1.6人)であり、国内外で顕著な違いはない(科学技術政策研究所, 2009)。仮に修士学生20人を指導するのであれば、教員数は5~10人が適当な規模といえる。ただし、医学部教育と同じく、医療統計学に限ってこれだけの教員数を

確保することは簡単ではない。

大学院での臨床統計家育成に関連して、二つの異なる提言が日本学術会議により公表されている。一つは数理統計学分会からのもので、統計科学専攻の大学院を新設しそこで統計家やデータサイエンティストの専門教育を行うべきであるという提案である(日本学術会議, 2014)。統計科学専攻の大学院の例として総合研究大学院大学がある。もう一つはパブリックヘルス科学分化会からのもので、2000年以降に設置されてきた公衆衛生大学院(SPH)において、医療統計学(biostatistics)を含む公衆衛生の専門家を育成するという方向性である(日本学術会議, 2011)。大学院レベルの統計教育は、国によっても大学によっても様々な形で行われている。統計科学専攻の大学院とSPHの二つが、生物統計家育成の場として有力なモデルといえる。SPHとは、Biostatistics(医療統計学)、Epidemiology(疫学)、Environmental Health Sciences(環境保健学)、Social and Behavioral Sciences(社会科学・行動科学的方法論)、Health Service Administration(保健医療管理学)などの学問(これらはCouncil on Education for Public Health(2016)の大学院認証基準でコア科目とされる)を通じて、「個人ではなく社会の中の人間」という視点から医療・健康問題に取り組む人材を育成する大学院である。SPHは、欧米を中心に各国に設置されており、1~2年の専門教育を修めたことを示す国際的に認められた学位として、Master of Public Health(MPH)などの学位を授与している。

統計学のような学部を持たない分野で重要なのは、分野変更・教育機関間の移動である。これについては、2008年に行われた2年生以上の理工系修士学生(回答数2531件、国内12大学院)を対象としたインターネットアンケート調査があり、学部・学科から修士課程への進学時に指導教員を変更した学生は32.0%、高等教育機関間を移動した学生は19.8%(工学系14.7%~複合系35.4%)と報告されている(科学技術政策研究所, 2010)。これは、他大学出身者(特に留学生)が半数以上を占める欧米の大学院に比べ低く、学生募集が日本の統計専門教育における課題であることを示唆している。なぜなら、統計科学専攻の大学院やSPHを新設するときには、理学、工学、経済学、心理学、医学、生命科学など既存の学部から入学希望者を募ることになるからである。

既存の学部からの学生募集にあたって、臨床統計家を育成する大学院にはアピールポイントがある。それはポストが豊富にあるということである。日本の大学院では、修了後の就職難(いわゆるポストク問題)が問題視されている。ポストク問題は、科学技術政策研究所(2014)や日本物理学会(2007)などで国の科学技術政策や大学教員定員増減の文脈で論じられてきたが、臨床統計家やデータサイエンティスト(日本学術会議, 2014)の人材育成が社会から求められている現状を鑑みると、就職市場における需要と供給のミスマッチという側面もありそうである。大学783校、研究開発法人37機関、国立試験研究機関25機関、公設試験研究機関672箇所を対象とした調査によると、2012年度のポストドクター等は16170人(そのうち理学35.5%、工学23.4%、保健14.7%、農学9.2%)と推定されている(科学技術政策研究所, 2014)。上位三施設は東京大学、理化学研究所、京都大学であり、東京大学・京都大学では教員の約30%に相当する1000人以上のポストドクター等が雇用されている。大学院を新設する際には、学生のキャリアパスや、学生数・就職市場の量的バランスについて考える必要があるし、学生募集では豊富な求職という臨床統計家の魅力を伝えることが大切である。

3. 京都大学臨床統計家育成コース

3.1 コース概要

平成30年度に開講する臨床統計家育成コースは、京都大学大学院医学研究科社会健康医学系専攻に設置された2年制の専門職学位課程である(図1)。社会健康医学系専攻は、18分野(専

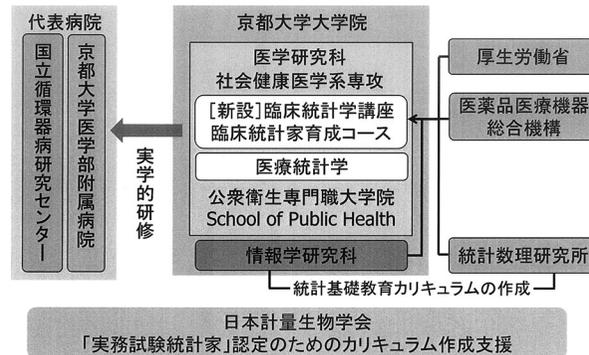


図 1. 京都大学における生物統計家育成支援事業の概要。

任教員 24 人，協力分野教員・特定教員多数)，専門職学位課程・博士後期課程，4 特別コース（1 年制 MPH コース，臨床研究者養成コース，遺伝カウンセラーコース，臨床統計家育成コース）を有する大学院である。臨床統計家育成コースでは，医療統計学分野（教員 2 人）と AMED 生物統計家育成事業で設置された臨床統計学講座（教員 2 人）が講義や課題研究の指導を行い，京都大学医学附属病院，国立循環器病研究センターと連携して実地研修を実施する（事業内容の詳細は，補遺を参照のこと）。

3.2 カリキュラム案について

専門職学位課程のカリキュラムでは，「社会における人間」の健康に関わる問題を探知・評価・分析・解決するために必要な知識，技術，態度を備えた，保健・医療・福祉分野における専門職につく多様な人材を養成することを目的として，基礎，応用，実践からなる系統的な教育を行っている。具体的には，「基礎教育」では，Council on Education for Public Health（2016）が設定したコア 5 領域（医療統計学，疫学，環境保健学，社会科学・行動科学的方法論，保健医療管理学）の大学院認証基準の教育を行い，これに加えて，非医療系出身者には医学の基本知識を補うため基礎医学，臨床医学の概論的教育を行う。これらの基礎教育以外に，「応用教育」として，先端医科学から人文社会科学にわたる多様な選択科目を用意している。「実践教育」では，課題研究を全員に課し，研究の企画・倫理審査・実施・発表を経験する中で，知識を統合的に理解させるとともに，公衆衛生の専門家に必要な企画力，プレゼンテーション能力，倫理性を涵養する。専門職学位課程に 2 年以上在学し，30 単位以上を修得し，本専攻が定める教育課程を修了することが社会健康医学修士（専門職）取得の要件である。

臨床統計家育成コースでは，「応用教育」として医療統計学，統計的推測の基礎，生存時間解析，統計モデルとその応用，臨床試験の統計的方法，統計家の行動基準を，コース必修科目として提供する予定である。平成 29 年度の既開講科目のうち，コースに特に関連するものとして，医療統計学実習，解析計画実習，交絡調整の方法，観察研究の統計的方法，臨床試験，EBM 研究概論，臨床研究データ管理学，疫学 I・II，医薬品の開発と評価，医薬政策・行政，保健・医療の経済評価などがある。平成 30 年度にはこれ以外にもいくつかの新規開講科目が予定されている。また，ICH ガイドライン（医薬品規制調和国際会議，1998a，1998b）で求められるレベルの実務技能習得を目標に，京都大学医学部附属病院・国立循環器病研究センターでの on the job training による臨床研究に関する実地研修を行う。

3.3 コース学生募集について

京都大学では、高大連携を重視していること、社会健康医学系専攻は学部を持たないことなどから、これまで高校生、京都大学学部生、他分野の学生・研究者への生物統計学の啓蒙活動に力を入れてきた。高校生を対象とした活動として、2013～2016年に行った京都光華女子高校主催の独立行政法人科学技術振興機構サイエンス・パートナーシップ・プログラム「今を生き抜くためのサイエンス～放射線の影響を疫学・統計学的に理解する～」や京都大学高大連携事業サマースクールがある。学部生に向けては、2013～2016年には、全学共通科目「医学、医薬ビジネスや政策のための統計学」を行った。また、2013～2017年に日本物理学会京都支部、NPO法人あいんしゅたいん、大阪大学核物理研究センターと共催で、キャリア支援のための交流会「物理学と疫学・統計学の出会い」を行い(2017年は大阪大学核物理研究センターコロキウム「物理学と臨床統計学の出会い」)、物理学の学生・研究者に臨床統計学という学問分野を紹介した。それに加えて、2017年には京都大学の保険数学教室、計量経済学教室を訪問した。

臨床統計家育成コースでは、数理系出身者、医療関係者、製薬企業社員を中心に、学外にも学生募集広告を行っている。表2に2016年10月から2017年5月までに実施した広告媒体または広報手段を示す。社会健康医学系専攻全体のオープンキャンパスや上記のイベントを開催するほか、ポスター掲示、新聞・雑誌の紙面広告、ウェブ広告(リスティング広告、ディスプレイ広告、Twitter広告)、ウェブ情報配信(京都大学オープンコースウェアによる講義動画配信(京都大学, 2017)、Twitter、Facebook)を行った。

表3は、臨床統計家育成コースホームページにどのような経路でアクセスしたのかについて、アクセス解析した結果をまとめたものである。有料広告であるリスティング広告・ディスプレイ広告・Twitter広告によって臨床統計家育成コースホームページにアクセスしたものが、アクセス数ベースで90%以上であった。

オープンキャンパスまたはコース説明会は2017年3月から2017年5月にかけて京都、東京、京都、博多にて4回開催しており、参加者の人数は1回目から順に26人、25人、27人、7人であった。2～4回目の説明会で記入された参加個票によると、参加者の内訳は学生23人(学部2年生や3年生も含まれていた)、民間企業社員17人、医療従事者が15人、その他1人、未記入3人であった。学生の所属は、理工学部、経済学部、理学部、生命科学部から文系まで多岐にわたり、最も多かったのは経済学部の4人で、その他は1～2人ずつであった。民間企業社員17人のうち、製薬企業等の臨床試験に関連する企業に勤務する者は4人であった。医療従事者15人のうち、医師は9人であった。本コースを知ったきっかけについて情報が得られたのは29人で、Twitter・Facebook(10人)、知人や大学教員からの紹介(9人)が多かった。『宇宙怪人しまりす医療統計を学ぶ(佐藤, 2005)』などの統計関連の書籍を読んだという声も多く聞かれた。

平成30年度入試では、21人からの出願があり、社会人13人(医療従事者1人)、修士学生1人、学部生7人であった。学生の所属は理学部・工学部・経済学部など様々で、最も多かったのは経済学部の3人であった。

4. 考察と結論

本論文では、試験統計家認定制度や専門職としての統計家育成のための大学院が求められている背景(統計学の制度化)、統計教育一般を概観した後に、SPHにおける教育モデル(京都大学臨床統計家育成コースのカリキュラムと学生募集状況)を紹介し、臨床統計家育成の諸問題について述べた。

SPHにおける教育モデルの特長として、医学系科目が充実していること、医学研究者と身近

表 2. 臨床統計家育成コースが利用した広告媒体または広報手段(2016年10月～2017年5月).

広告媒体/広報手段	詳細
2016年度	
イベント開催	キックオフシンポジウム・コース説明会(京都), 学会ブース出展(日本臨床試験学会第8回学術集会総会), 高校生対象の統計学の講義(2回)
就職活動冊子への記事掲載	就職活動冊子UNI-PLATZに記事を掲載し, 就活セミナー等で配布・郵送
学生募集ポスター掲示	全国38の大学の最寄り駅, 関西中心の大学・病院, 製菓企業, 就活ラウンジへのポスター掲示・パンフレット配布
ホームページ開設	臨床統計家育成コースのホームページ開設
リスティング広告	GoogleとYahoo! JAPAN 検索結果ページでの広告表示
ディスプレイ広告	キーワードによるターゲット選定とアクセス履歴の類似ターゲットへのディスプレイ広告(Market One®広告)
Twitter 広告	プロモーションツイートをタイムラインに掲示
情報配信	Twitter, Facebook, 社会健康医学系専攻メールアドレスでの情報配信
2017年度	
イベント開催	オープンキャンパス(京都1回, 東京1回), コース説明会(福岡1回), 他分野との交流会(物理学1回, 保険数学1回, 計量経済学1回)
新聞紙面広告	毎日新聞朝刊(大阪2回・京都1回), 産経新聞朝刊(大阪1回・東京1回)
学生募集ポスター掲示	九州中心の大学・病院
雑誌広告	実験医学(誌面およびウェブ)への広告掲載
大学院進学・就活サイト広告	大学&大学院.net, 大学院へ行こう!, 楽天みんなの就職活動日記
リスティング広告	GoogleとYahoo! JAPAN 検索結果ページへのウェブ広告表示
ディスプレイ広告	キーワードによるターゲット選定とアクセス履歴の類似ターゲットへのウェブ広告表示(Market One®)
Twitter 広告	プロモーションツイートをタイムラインに表示
情報配信	Twitter, Facebook, 社会健康医学系専攻メールアドレスでの情報配信
ウェブによる講義の配信	京都大学オープンコースウェアを通じた「エレベーターのザブザブは鳴るか—大学生のための統計学入門—」の動画配信

表 3. 臨床統計家育成コースホームページにどのような訪問元からアクセスしたのか(Google アナリティクスによる 2017 年 2 月 1 日~5 月 31 日のアクセス解析).

訪問元	アクセス数	割合
リスティング・ディスプレイ広告	27194	64.3%
Twitter 広告または直接参照	12416	29.4%
検索エンジン (Yahoo または Google)	1726	4.1%
Facebook による情報発信からの参照	579	1.4%
Twitter による情報発信からの参照	346	0.8%

に接することで、医学研究の経験、研究倫理、コミュニケーション能力など座学では身につけにくい能力を涵養することができることが挙げられる。別の側面では、医療統計学を専攻する学生・教員や統計関連科目が増えることによって、SPH 内の他の学生・教員への波及的な教育効果も見込まれる。

一方で課題として挙げられるのは、第一に教員数が限られていることで、解決策として有力なのは教育リソースの共有である。たとえば、数理系の他の大学院や学部(統計科学, データサイエンス, 情報学, 数学など)と連携して、臨床統計専門科目以外の統計教育は他大学院(学部)に受け持ってもらい、他大学院(学部)の学生に臨床統計専門科目を提供する形が考えられる。このために利用できる制度として、単位互換制度、非常勤講師制度、クロスアポイントメント制度などがある。

第二の課題は、大学院生をいかに募集するかという大学・大学院接続の問題である。京都大学の募集経験で効果的だったものをキャッチフレーズにすると「つぶやこう、講義しよう、本を書こう」となる。統計学の学問としての魅力や臨床統計家というキャリアパスがあるということを、学部生に直接伝える手段は限られているが、統計学の学部講義はその貴重な機会である。正規の講義以外に、自主的な講義やイベントもまた貴重な機会になりうる。大学や他分野の学会には、ポスドク問題などの就職問題に対応するため、キャリア支援部門が設けられていることがあり、協力してもらえることが多い。最近ではインターネット上の講義という手段もある。gacco (株式会社ドコモ gacco, 2014)では、統計学やデータサイエンスに関する Massive Open Online Course(MOOC)が開講されており、京都大学からは遺伝統計学(山田, 2016)や統計学入門(田中, 2017)などのインターネット講義が配信されている。講義やイベント以外に、古くは『数に語らせる(増山, 1980)』、『統計学とは何か—偶然を生かす(Rao, 2010)』、最近では『統計学が最強の学問である(西内, 2013)』、『宇宙怪人しまりす医療統計を学ぶ(佐藤, 2005)』などの出版がなされてきたが、大学院における統計教育コースや統計専門職の認知を高めるためにも有効のようである。また、もっとも広い範囲に広報できる手段は、やはり Twitter・Facebook を通じたウェブ情報配信や有料のウェブ広告のようである。ただし、臨床統計家育成コースのオープンキャンパス・コース説明会では、民間企業社員・医療従事者などに比べて学生の参加者が少なく、他学部の学生への広報が十分だったとはいえない。

最後の課題として、長期的視点に立ったときの教育の在り方について考えておく必要がある。日本で臨床統計家の育成が特に取り上げられるようになったのは、降圧薬臨床試験の不祥事があった 2010 年代前半のことだが、医療統計学の教育は 1990 年代から行われてきた。教育内容は、臨床試験だけでなく、疫学研究、診断研究、ゲノム研究、系統的レビュー、医療経済評価などが含まれており、医学の進歩とともに研究方法論は変化してきた。2010 年代にはビッグデータ時代における統計科学教育・研究が注目され(日本学術会議, 2014)、医学に限っても

レセプトデータ、ゲノムデータ、画像データ、自然言語データなどの利活用のため、新規統計手法の研究開発が進められている。このように時代とともに変化する問題を解決し、キャリアパスを柔軟に形成できる人材が求められる。京都大学社会健康医学系専攻では、基礎、応用、実践からなる系統的な教育を行っているとした。問題解決力を養うために効果的なのは、この三つのうち「実践教育」といわれている。すなわち、数十年後を見据えたときにどのように臨床統計家を育成すればよいかはすぐ答えが出る問題ではないが、課題研究や学位論文のメンタリングを重視することが、一つの方針といえるのではないだろうか。

謝 辞

本研究の一部は、国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) の臨床研究・治験推進研究事業 (17lk0201061t0002) の支援によって行われた。

補遺. 京都大学における生物統計家育成支援事業の内容

生物統計家育成支援事業は、AMED 臨床研究・治験基盤事業部による公募研究開発課題の一つである。配分される資金が研究開発費と助成金からなることが大きな特徴であり、教育カリキュラムの開発等は研究開発費から、講座の設置費・運営費は助成金から拠出することになる。

図 1 は京都大学が提案した生物統計家育成支援事業の全体構想である。統計学基礎・生物統計学教育については京都大学の医療統計学分野(教員 2 人)と本事業で設置された臨床統計学講座(教員 2 人)に加え、京都大学大学院情報学研究科、統計数理研究所が連携して教育カリキュラムを作成する。臨床統計家として必須である医学、疫学、研究倫理、プロフェッショナルリズムなどの教育カリキュラムは社会健康医学系専攻の既存の科目をベースに作成する。臨床研究に関する実地研修カリキュラムは、京都大学医学部附属病院、国立循環器病研究センターと連携して作成する。京都大学医学部附属病院では主に先進的な臨床試験に関わる実地研修カリキュラムを、国立循環器病研究センターでは循環器疾患の臨床試験に関する実地研修カリキュラムを、ICH ガイドラインで求められるレベルの実務技能習得を目標に作成する。

臨床統計家育成コースの入試は、社会健康医学系専攻の他のコースとは別枠で実施し、専門職学位課程全体の定員 34 人のうち臨床統計家育成コース定員を 10 人とする。入学者選抜方法は、学力検査・口頭試問の成績、外部試験の成績スコア (TOEFL-iBT, TOEFL-PBT, TOEIC 公開テストを利用)、志望理由書及び成績証明書等を資料とし、総合して判定する。筆記試験として行われる学力検査では、「社会健康医学(6 題出題)」から 2 問選択して解答させるほか、統計検定 2 級レベルの学力を審査するための臨床統計家育成コース専用問題を課すことが特徴となっている。

参 考 文 献

- Burger, R.A., Brady, M.F., Bookman, M.A., Fleming, G.F., Monk, B.J., Huang, H., Mannel, R.S., Homesley, H.D., Fowler, J., Greer, B.E., Boente, M., Birrer, M.J. and Liang, S.X. (2011). Incorporation of bevacizumab in the primary treatment of ovarian cancer, *The New England Journal of Medicine*, **365**(26), 2473–2483.
- Council on Education for Public Health (2016). 2016 Accreditation Criteria, <https://ceph.org/assets/2016.Criteria.pdf>.
- Fisher, B. and Redmond, C.K. (1994). Fraud in breast-cancer trials, *The New England Journal of Medicine*, **330**(20), 1458–1460.

- 廣重徹 (2002). 『科学の社会史(上)戦争と科学』, 岩波書店, 東京.
- Iijima, K., Sako, M., Nozu, K., Mori, R., Tsuchida, N., Kamei, K., Miura, K., Aya, K., Nakanishi, K., Ohtomo, Y., Takahashi, S., Tanaka, R., Kaito, H., Nakamura, H., Ishikura, K., Ito, S. and Ohashi, Y. (2014). Rituximab for childhood-onset, complicated, frequently relapsing nephrotic syndrome or steroid-dependent nephrotic syndrome: A multicentre, double-blind, randomised, placebo-controlled trial, *The Lancet*, **384**(9950), 1273–1281.
- 伊藤達也, 多田春江, 田中司朗, 三浦和美, 村山敏典, 新美三由紀, 海老原健, 日下部徹, 阿部恵, 岩木一巳, 陀安麻理子, 高瀬英樹, 入江潤一郎, 伊藤裕, 竹之下博正, 田邊真紀人, 柳瀬敏彦, 手良向聡, 横出正之, 樋口修司, 福島雅典, 細田公則, 中尾一和, 清水章 (2014). 橋渡し研究支援組織における希少難病医薬品メトレプレチンの臨床開発, 臨床評価, **42**(1), 107–117.
- 医薬品規制調和国際会議 (1998a). 臨床試験の一般指針, <https://www.pmda.go.jp/int-activities/int-harmony/ich/0030.html>.
- 医薬品規制調和国際会議 (1998b). 臨床試験のための統計的原則, <https://www.pmda.go.jp/int-activities/int-harmony/ich/0031.html>.
- 株式会社ドコモ gacco (2014). gacco, <http://gacco.org>.
- 科学技術政策研究所 (2009). 理工系大学院の教育に関する国際比較調査, <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/659/1/NISTEP-NR125-FullJ.pdf>.
- 科学技術政策研究所 (2010). 大学院進学時における高等教育機関間の学生移動—大規模研究型大学で学ぶ理工系修士学生の移動機会と課題—, <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/881/1/NISTEP-RM174-FullJ.pdf>.
- 科学技術政策研究所 (2014). ポストドクター等の雇用・進路に関する調査—大学・公的研究機関への全数調査(2012年度実績)—, <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2997/5/NISTEP-RM232-FullJ.pdf>.
- 健康・医療戦略推進本部 (2017). 健康・医療戦略, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryou/senryaku>.
- 京都大学 (2017). エレベータのブザーは鳴るか—大学生のための統計学入門—, <https://ocw.kyoto-u.ac.jp/ja/graduate-school-of-medicine-jp/10>.
- 増山元三郎 (1980). 『数に語らせる 第2版』, 岩波書店, 東京.
- 松村美奈, 中山拓人, 寒水孝司 (2016). 日本の薬学部における統計学の入門講義の実態調査, 薬学雑誌, **136**(11), 1563–1571.
- 三上俊介 (2011). 医系学部における数学・統計学教育の現状調査と一提言, 福井大学医学部研究雑誌, **12**, 35–44.
- 三宅章彦, 村上征勝, 飯田博和 (1993). 医学部における統計教育の実態調査, 第61回日本統計学会講演報告集, 81–84.
- Mochizuki, S., Dahlöf, B., Shimizu, M., Ikewaki, K., Yoshikawa, M., Taniguchi, I., Ohta, M., Yamada, T., Ogawa, K., Kanae, K., Kawai, M., Seki, S., Okazaki, F., Taniguchi, M., Yoshida, S. and Tajima, N. (2007). Valsartan in a Japanese population with hypertension and other cardiovascular disease (Jikei Heart Study): A randomised, open-label, blinded endpoint morbidity-mortality study, *The Lancet*, **369**(9571), 1431–1439.
- 文部科学省 (2015). 学習指導要領, http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/youryou/main4_a2.htm.
- 文部科学省 (2016). 平成28年度学校基本調査, http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa01/kihon/1267995.htm.
- 日本物理学会 ポスドク問題検討準備委員会 (2007). 物理人材の危機—若い知的人材を科学技術の豊かな発展のために—, 日本物理学会誌, **62**(1), 48–52.
- 日本学術会議基礎医学委員会・健康・生活科学委員会合同パブリックヘルス科学分科会 (2011). 提言, わが国の公衆衛生向上に向けた公衆衛生大学院の活用と機能強化. <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t133-8.pdf>.

- 日本学術会議 数理科学委員会数理統計学学科会 (2008). 報告, 数理科学分野における統計科学教育・研究の今日的役割とその推進の必要性, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-h62-3.pdf>.
- 日本学術会議 数理科学委員会, 数理統計学学科会 (2014). 提言, ビッグデータ時代における統計科学教育・研究の推進について, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t197-1.pdf>.
- 日本計量生物学会 (2013). 統計家の行動基準, http://www.biometrics.gr.jp/news/all/standard_20150310.pdf.
- 日本計量生物学会 (2017). 試験統計家認定制度規則, http://www.biometrics.gr.jp/recognition/doc/regulations_20170401.pdf.
- 西内啓 (2013). 『統計学が最強の学問である』, ダイアモンド社, 東京.
- 折笠秀樹 (1988). 日本における医学統計学者の教育, 応用統計学, **17**, 139–155.
- 折笠秀樹 (1995). 医学部の統計教育における目標：カリキュラムと内容, 第 63 回日本統計学会講演報告集, 141–143.
- Rao, C.R. (2010). 『統計学とは何か—偶然を生かす』, 筑摩書房, 東京.
- 佐藤俊哉 (2005). 『宇宙怪人しまりす医療統計を学ぶ』, 岩波書店, 東京.
- 佐和隆光 (1982). 『経済学とは何だろうか』, 岩波書店, 東京.
- Sawada, T., Yamada, H., Dahlöf, B. and Matsubara, H. (2009). Effects of valsartan on morbidity and mortality in uncontrolled hypertensive patients with high cardiovascular risks: KYOTO HEART Study, *European Heart Journal*, **30**, 2461–2469.
- 田中司朗 (2017). エレベータのブザーは鳴るか—大学生のための統計学入門—, <https://ocw.kyoto-u.ac.jp/ja/graduate-school-of-medicine-jp/10>.
- 田中司朗, 山口拓洋, 大橋靖雄 (2005). 看護系教育課程を持つ大学における疫学・生物統計学教育の実態調査, 日本公衛雑誌, **52**, 66–75.
- 谷岡健資, 上阪彩香, 山下陽司, 大森崇, 寒水孝司 (2014). 日本の医学部医学科における統計学の入門講義の実態調査, 計量生物学, **35**(2), 95–105.
- 手良向聡 (2017). AMED 生物統計家育成支援事業京都大学キックオフシンポジウム, 日本計量生物学会試験統計課認定制度の概要, http://www.cbc.med.kyoto-u.ac.jp/pdf/kickoff_05.pdf.
- 統計教育推進委員会 (2014). 統計学の各分野における教育課程編成上の参照基準, <http://www.jfssa.jp/statedu/shitsu.html>.
- 山田亮 (2016). Introduction to statistical methods for gene mapping, <https://www.edx.org/course/introduction-statistical-methods-gene-kyotoux-005x-1>.

Cultivation of Clinical Biostatisticians

Shiro Tanaka¹, Rei Aida¹, Takumi Imai¹, Seiko Hirota¹,
Satoshi Morita², Toshimitsu Hamasaki³ and Tosiya Sato⁴

¹Department of Clinical Biostatistics, Graduate School of Medicine, Kyoto University

²Department of Biomedical Statistics and Bioinformatics, Graduate School of Medicine,
Kyoto University

³Department of Data Science, National Cerebral and Cardiovascular Center

⁴Department of Biostatistics, School of Public Health, Graduate School of Medicine, Kyoto University

The Japanese society demands cultivation of clinical biostatisticians. In 2016, graduate schools at Kyoto University and University of Tokyo launched education projects funded by the Japan Agency for Medical Research and Development (AMED). In 2017, the Biometric Society of Japan also started certification of trial statisticians. This paper describes recent activities and issues related to cultivation of clinical biostatisticians, introducing Clinical Biostatistics Course at Kyoto University as a model course for schools of public health (SPH). Educating clinical biostatisticians at a SPH is advantageous in following aspects: (1) a variety of classes on medicine, (2) cultivation of abilities which are difficult through classroom lectures, such as experience in medical research, ethics and communication skills, and (3) spillover effects on students and teachers other than the biostatistics course. On the other hand, concerns over education at a SPH are: (1) a limited number of teachers of biostatistics, (2) difficulties of student-recruitment from other fields, and (3) ideal education from a long-term perspective.

データサイエンス教育の滋賀大学モデル

竹村 彰通[†]・和泉 志津恵^{†*}・齋藤 邦彦[†]・
姫野 哲人[†]・松井 秀俊[†]・伊達 平和[†]

(受付 2017 年 6 月 28 日; 改訂 9 月 25 日; 採択 10 月 4 日)

要 旨

ビッグデータから価値を引き出すための方法がデータサイエンスである。データサイエンスの技術的基礎をなすのは、データエンジニアリング(情報学)とデータアナリシス(統計学)である。理系のスキルを持つとともに文系的なマインドも持つデータサイエンティストを育成するため、滋賀大学データサイエンス学部が2017年4月に誕生した。本論文では、滋賀大学のデータサイエンス教育の内容を解説する。まず滋賀大学モデルの概要をまとめる。続いて、データサイエンスの情報系と統計系のカリキュラムについて、それぞれ述べる。そして、これらのカリキュラムをサポートする学習環境について述べる。さらに、課題解決型(Project-Based Learning, PBL)演習のための国内の組織との連携の実例を幾つか紹介する。国内の多くの大学が、滋賀大学モデルを参考にして、データサイエンス分野の教育を強化することを期待したい。

キーワード：ビッグデータ、課題解決型学習、アクティブラーニング、MOOC。

1. はじめに

スマートフォンが現れてから10年、情報の流れがすっかり変わってしまった。今では例えば電車の中でもほとんどの人がスマートフォンを操作しており、新聞や本を読む人は激減してしまった。人々はスマートフォンを使って常時ネットにつながっている。そして人々の行動履歴はネットに蓄積される。まさにビッグデータの時代である。このビッグデータを活かす者が競争的優位に立つ時代であり、ビッグデータから価値を引き出すための方法がデータサイエンスである。

滋賀大学は、2017年4月(平成29年)に日本初のデータサイエンス学部を開設し、新入生110名(男81, 女29)を迎え入れた。それに1年先立ち、データサイエンス教育研究センターを設置し、新学部の準備を行うとともに、データサイエンスに関する価値創造プロジェクト研究などの活動を推進してきた。このセンターは新学部設置後も存続し社会連携や研究活動を進めて行く。

さらに、滋賀大学は、2016(平成28)年12月21日に、文部科学省の数理及びデータサイエンス教育の強化に関する懇談会において、東京大学などを含め、データサイエンス教育の拠点校6つの内の1つに選定された(数理及びデータサイエンス教育の強化に関する懇談会, 2016)。この拠点校の選定は、2012(平成24)年から5年間実施された統計教育大学間連携ネットワーク

[†] 滋賀大学 データサイエンス学部：〒522-8522 滋賀県彦根市馬場一丁目1番1号

* corresponding author: shizue-izumi@biwako.shiga-u.ac.jp

(Japanese Inter-university Network for Statistical Education, JINSE)での活動の成果と関連がある(統計教育大学間連携ネットワーク, 2013, 2014, 2015). 滋賀大学は, 2016年度からJINSEに加入し, 2017年以降は統計教育連携ネットワーク(Japanese Inter-organizational Network for Statistics Education, 拡大版JINSE)の中で中心的な役割を担う.

データサイエンスの技術的基礎をなすのは, データを処理するためのデータエンジニアリング(情報学)とデータを分析するためのデータアナリシス(統計学)である. これらは工学部でも学べる理系的な手法である. ただし, これらのスキルを身につけるだけでは不十分であり, 人々の行動履歴や購買履歴などのデータに基づきビジネスや政策などの(主に文系的な)領域の課題を読み取り, 様々な分析結果を現場の意思決定に生かすために, 文系的な発想やセンスも求められる. その意味でデータサイエンスは優れて文理融合的である. ゆえに, 滋賀大学データサイエンス学部が育成したい人材は, 理系のスキルを持つとともに文系的なマインドも持つデータサイエンティストであり, これが滋賀大学の教育モデルである.

日本では, いままで統計学部や統計学科が存在しなかったこともあり, データサイエンティストの人材不足は深刻である. このことは最近の政府の文書(日本経済再生本部, 2016, 2017等)でも強く指摘されており, 実際多くの企業がデータサイエンティストを採用したい, あるいは従業員を再教育したいというニーズをもっている. 滋賀大学データサイエンス学部は, 日本初の学部であり, 今後も日本でこの分野のトップランナーとして, 多くの有能なデータサイエンティストを輩出していく.

データサイエンス教育の中で, 一番困難な部分はデータからの価値創造である. データサイエンスにおける価値創造とは, データエンジニアリングとデータアナリシスのスキルを身につけるだけでなく, 様々な領域の課題を読み取り, 分析結果を現場の意思決定に活かして課題の解決を目指すことを意味する(Maruyama et al., 2015). たとえば, マーケティングの場合, これまでに蓄積された販売データから新たな解釈を導き出し, 顧客に新たなサービスを提案することにより, 市場の拡大を図る. このようなデータサイエンスにおける価値創造は講師から学生への一方向型の講義形式で教えることはできず, 実際のデータを使ったPBL(Project-Based Learning)演習によって学生自身が成功体験を積んで行くしかない. データは企業や自治体が扱っている実際のデータであることが望ましい. しかしながら, 個人情報や企業秘密の問題があり, 実際のデータの教育利用は一筋縄では行かない. 事実, 学部に先立ち設置したデータサイエンス教育研究センターの主な活動は, 企業や自治体との連携を具体化することにあった. PBL演習の準備は現在進行中であり, カリキュラムの年次進行に沿って生のビッグデータに近いデータからの価値創造のプロセスが経験できるように演習のコンテンツを整備していく. PBL演習では, 課題を解決するために, Problem-Plan-Data-Analysis-Conclusion(PPDAC)サイクルのフェーズごとのプロセスを踏んで, 実際のデータの分析結果から, ビジネスや生活に活かすところまでの経験を積む(深澤 他, 2013).

本論文では, 滋賀大学のデータサイエンス教育の内容を概説し, 全国の大学へデータサイエンス教育のノウハウを提供する. まず2節で滋賀大学モデルの概要をまとめる. 続いて3節では, データサイエンス学部の情報系と統計系のカリキュラムについて, それぞれ述べる. 4節では, 3節で述べるカリキュラムをサポートする学習環境について述べる. 5節ではPBL演習のための国内の組織との連携の実例を幾つか紹介し, 最後に6節でまとめを行う.

2. 滋賀大学モデルの概要

2.1 データサイエンス教育研究拠点の形成

日本初のデータサイエンス教育研究拠点として, データサイエンス教育研究センターは2016

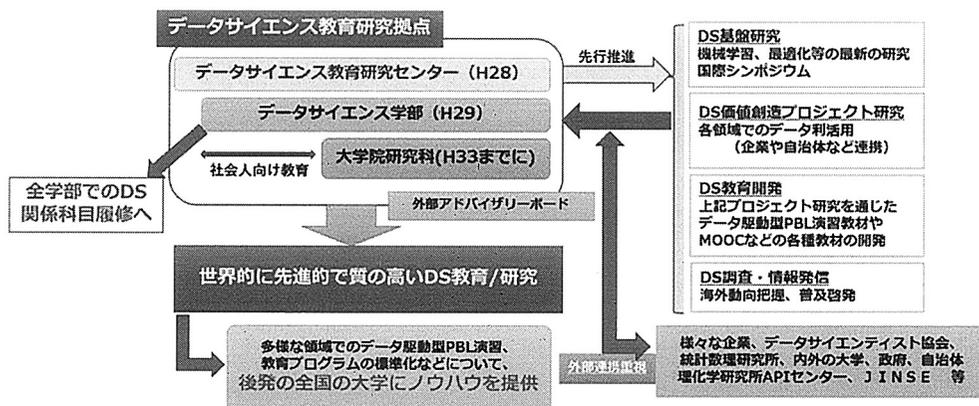


図 1. データサイエンス教育研究拠点の機能の概略。

(平成 28)年 4 月に、それに続いて、データサイエンス学部は 2017(平成 29)年 4 月に設立された。この拠点では、膨大なデータから有用な知見を引き出し、新たな価値を創造するデータサイエンスに関する先端的な教育研究活動を行うとともに、企業や自治体との連携、多様な大学間連携を通じて、様々な分野における新たな価値創造、社会貢献、教育開発を行う(滋賀大学, 2017a)。専任人員は、情報系教員 8 名、統計系教員 10 名、社会調査系教員 1 名からなる。学内の教育学部や経済学部からの協力に加えて、非常勤の特別招聘教員やクロスアポイントメントの教員 9 名が活動を支援する。

この拠点は、大きく分けて次の 4 つの機能を有する(図 1)。ここでは、データサイエンスを DS と略記する。

(1) DS 基盤研究

データサイエンスの基盤となる機械学習、最適化、人工知能などの最先端の学術的な活動を進める。2016(平成 28)年度には、教員 4 名が学術団体や社会団体の賞を受賞した。

(2) DS 価値創造プロジェクト研究

企業や自治体との連携活動により、各領域でのデータに基づく課題解決を通して価値創造を図る。2017(平成 29)年 6 月時点では、20 の団体との連携を締結した。

(3) DS 教育開発

日本初のデータサイエンス教育プログラムを開発するとともに、データ駆動型 PBL 演習教材の開発や、インターネットを使用する教育サービスである大規模公開オンライン講座(Massive Open Online Courses, MOOC)などの開発を行う。2016(平成 28)年度に開発した MOOC のオンライン講座「高校生のためのデータサイエンス入門」を 2017(平成 29)年 8 月に開講した(滋賀大学, 2017c)。この講座は、基本的なデータ分析に触れる機会を高校生に与えることを目的としている。講座では、インターネット上で容易に閲覧、取得できる公的データを使って、代表値の計算やグラフの作成、また二変量データや時系列データを分析するための方法を説明する。この教材は、AO 入試においても活用する。

そして、データサイエンス研究科の早期設置を目指して、大学院経済研究科博士前期課程のプロフェッショナル・コースに「データサイエンスモデル」を 2017(平成 29)年度に開設した。データサイエンス学部の教員が担当する科目より 4 科目の履修単位が揃うと、このデータサイエンスモデルの修了が認定される。初年度には、大学院生 11 名がデータサイエンスモデルの

科目を履修した。データサイエンス研究科では、データサイエンス学部のカリキュラムをさらに体系化し、データ構造の奥深くへと潜りこみ、そこにあるデータの価値を探究するデータサイエンティストを育成していく(和泉・Gould, 2010)。

(4) DS 調査・情報発信

データサイエンスに関する海外動向や人材育成法の調査、また学問としてのデータサイエンスの動向を調査し、調査結果を発信する。2016(平成28)年度には、アメリカの統計教育やシンガポールのデータサイエンス教育について調査を行った。加えて、滋賀大学国際シンポジウム「Workshop on Undergraduate Education of Data Science」での議論を通して、DS教育研究の国際的ネットワークを形成した。2017(平成29)年度には、滋賀大学データサイエンス学部開設記念ワークショップを統計数理研究所と共同開催し、高等教育におけるデータサイエンス教育の新たな展開について議論し、PBL演習事例を紹介した。さらに、総務省統計研究研修所との連携活動の一環として、2016(平成28)年度から自治体の職員を対象にした「データサイエンスセミナー」を、2017(平成29)年度から教育関係者向けセミナーを共催する。

上記の機能のもと、データサイエンス専門の学部や大学院等で教育実践し、洗練された日本初の本格的なデータサイエンス教育を推進していく。

2.2 カリキュラムの概要

データサイエンティスト育成に焦点を合わせたカリキュラムを整えた(図2)。まず、学生は、入学後の2年間で、データエンジニアリング系科目(情報科学概論、計算機利用基礎など)やデータアナリシス系科目(基礎データ分析、線形代数など)を通して基礎知識を学習する。また、データ解析科目(基礎情報活用演習A及びB)で、統計的データ分析を行うための様々なツールの使い方を学習する。加えて、価値創造基礎科目(データサイエンス実践論A及びB、実践データ概論A及びBなど)を通して、様々な領域の専門知識に触れながら、それぞれの分野特有のデータ、解析手法、解釈の方法の特徴を理解し、多種多様なデータに対する姿勢を身につけ、データサイエンスの具体的な活用方法や価値創造のノウハウを学ぶ。それらの基礎を身につけた後に、3、4年次では、DS専門科目(バイズ理論、品質管理など)や価値創造応用科目(ファイナンス論、ファイナンス演習など)を通して、データサイエンスの分析方法を適用する実践的訓練の場において、様々な応用手法、技術とともに様々な領域の知識を身につける。さらに、学生は、1年次からデータ駆動型PBL演習(課題解決型学習)での経験を段階的に積み上げ、問題解決の様々な側面に触れる。そして、連携先の企業から提供を受けた実際のデータを用いた課題に取り組む。このような演習を4年間積み上げることにより、分析のための専門知識(文字TやIIの横棒に相当)だけではなく、領域の幅広い知識(文字TやIIの縦棒に相当)も身につけ、それらを課題解決に活かすための実践経験を積んだ「逆T型人材」あるいは「逆II型人材」を育成する。

加えて、情報技術者試験(基本情報技術者試験、応用技術者試験)、統計検定(準1級、2級)、品質管理検定(2級)の合格を目指したカリキュラムを提供している。そして、所定の単位を習得することにより、社会調査士の資格を取得できる。

2.3 初年次教育

学生は、入学後の2年間においてデータサイエンス基礎科目を履修する。たとえば、1年次前期のプレゼンテーション論では、Microsoft OfficeやBI(ビジネスインテリジェンス)ツールを使った効果的なプレゼンテーションについて理解し、各々が分かりやすいプレゼンテーションを行えるようになることを目標とする。授業では、解説に加えて、学生自身が持参したノー

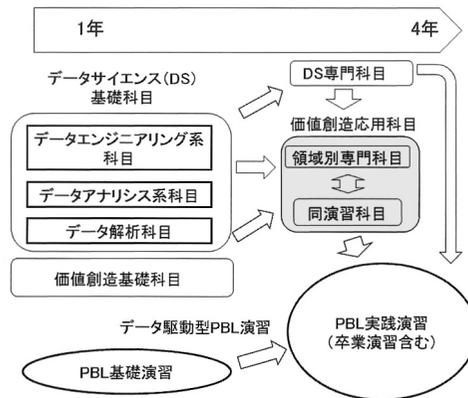


図 2. データサイエンス学部カリキュラムの模式図。

ト PC を用いて、添え状、レジュメ、統計グラフ、スライドを作成する演習を行う。一方、前期の基礎データ分析では、記述統計で使われる手法を理解し、自ら使えるようになることを目標とする。この授業では、フリップ式のアクティブラーニングを取り入れ、日本統計学会の協力のもとに作成された MOOC のオンライン大学講座「統計学 I：データ分析の基礎」を視聴して授業の予習を行い(竹村 他, 2016)、教室での授業に備える。これに続き、後期の統計学要論では、データの特性値から、そのデータの背後にある母集団の性質を統計的に推測しようとする推測統計学の基礎を理解し、自ら使えるようになることを目標とする。この授業でも、日本統計学会と日本計量生物学会の協力のもとに作成された MOOC のオンライン大学講座「統計学 II：推測統計の方法」を視聴して授業の予習を行い(竹村 他, 2015; 櫻井 他, 2015)、教室での授業に備える。加えて、教室内では実際のデータに基づく課題にグループで取り組み、課題解決のプロセスを体験する(和泉, 2017)。欧米のハイブリッド(ブレンディッド)式のアクティブラーニングを通して、統計的なコンセプトを自身の言葉で表現できるようになる(和泉 他, 2016; 深澤 他, 2017)。データサイエンス基礎科目の詳細については、3 節にて触れる。

2.4 入学者選抜の方法

入学者選抜においては、文・理両面の総合的な基礎学力を大学入試センター試験の結果によって確認しつつ、次の 3 つのタイプの選抜方法により、それぞれが重視する学力項目を評価して選抜する。

(1) 一般選抜・前期日程

英語と数学の基礎的な知識・技能を重視する教科型とする。数学の範囲は、数学 I、数学 A [全範囲]、数学 II、数学 B[(数列)と(ベクトル)]までの知識で受験可能なものとする。したがって、共通問題は、数学 I、数学 A[全範囲]、数学 II、数学 B[(数列)と(ベクトル)]の範囲とする。一方、選択問題は、①共通問題と同じ出題範囲、②数学 B[(確率分布と統計的な推測)]、③数学 III の 3 つの範囲から出題する。

(2) 一般選抜・後期日程

英語と、課題解決に向けた思考力・表現力を重視する総合・合科目型とする。総合問題では、社会や日常生活での課題をとりあげた図や表を含む文章を素材に、表やグラフを読み取り、それらを用いてデータを分析し、分かったことをまとめ、その解釈について議論する能力を問う(櫻井 他, 2011; 和泉 他, 2012; 深澤 他, 2015)。総合問題については、数学 I[(データの分析)]

を中心に幅広く出題する。

(3) アドミッション・オフィス(AO)入試

課題発見・解決力, その基礎となる思考力・判断力・表現力, 学ぶ意欲, そして価値創造への主体的姿勢等を含めた「実践的な学力」の総合評価を重視する。AO入試の場合, 3段階の選考を行う。

2017(平成29)年度入学者選抜試験は次の形式を用いた。第1次選考では, 出願書類(調査書, 志望理由書, データ分析レポート)と小論文の結果を併せて, 総合的に選考した。後期日程の総合問題と同じく, 小論文ではデータや図表を含む資料を読み, 設問に対する論述を行った。資料や設問には, 英文や数式を含むことがある。第2次選考では, データ分析レポートの内容に関するプレゼンテーションを含む個人面接により選考した。最終選考では, 大学入試センター試験で受験を要する教科・科目(5教科7科目又は6教科7科目)の合計得点により最終合格者を決めた。

2018(平成30)年度入学者選抜試験からは, 【AO入試I】データサイエンス講座受講型, 【AO入試II】オンライン講座受講型, 【AO入試III】実績評価型の3タイプに分かれる。【AO入試I】では, 滋賀大学彦根キャンパスで開講するデータサイエンス講座の受講を必須とし, 講座を受講後, 講義内容に関する課題レポートを提出する。【AO入試II】は, 滋賀大学データサイエンス教育研究センターが開発したMOOCのオンライン講座「高校生のためのデータサイエンス入門」の視聴を必須とし, 出願時に, 教材内容に関する課題レポートを提出する。【AO入試III】は, 全国規模で開催されるデータ分析やプログラミングに関するコンペティション等への参加経験者を対象とし, 出願時に, コンペティション等での実績報告レポートを提出する。どのタイプにおいても, 統計質保証推進協会主催 統計検定(3級以上), 日本規格協会主催 品質管理検定(3級以上), 情報処理推進機構主催情報処理技術者試験(各種), 全国商業高等学校協会主催 情報処理検定試験(各部門第1級)の取得資格を第1次選考の評価に含める。2017(平成29)年度入学者選抜試験と同様に, 最終選考では, 大学入試センター試験の教科・科目の合計得点により最終合格者を決める。なお, 詳細は, 2018(平成30)年度入学者選抜要綱や大学ウェブページにて公表する。

2017(平成29)年度入学者選抜試験の結果, 前期日程では志願者数202名の内91名が合格, 後期日程では志願者数186名の内27名が合格, AO入試では志願者数17名の内3名が合格であった。

2.5 インターンシップ, 卒業後の進路

現在, 多数のデータサイエンティストが必要とされているため, データサイエンス学部の卒業後は, 次のような業種への進路が期待される。

- 情報通信, 情報技術開発
- 官公庁, 地方自治体
- メーカーでの統計分析, 情報解析部門
- 銀行, 証券会社, 保険会社等の金融機関
- 製薬, 医療機関, 臨床検査機関
- 経営コンサルティング, アクチュアリー
- 大学院進学(データサイエンス, その他の諸分野)

企業, 自治体等と連携協定を結び, 学生のインターンシップや卒業後の受け入れ口の開拓を進めている。

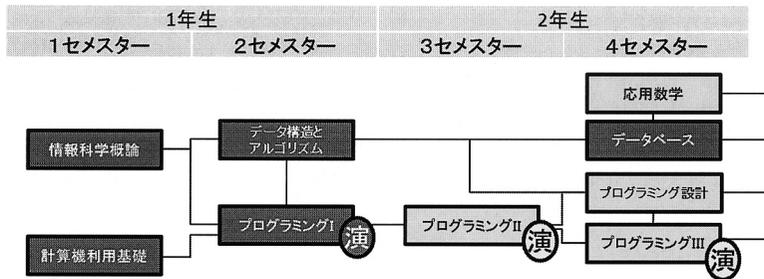


図 3. データエンジニアリング系科目のカリキュラムツリー 1, 2 年次.

3. データサイエンス学部のカリキュラム

カリキュラム・ポリシーにしたがって(滋賀大学, 2017b), データサイエンティストを育成していく。4年間で統計学と情報学の専門的知識を習得し, データサイエンティストとしての基礎的な能力であるデータ利活用力やコミュニケーション力を養成する。

中高生が思い描く将来についての意識調査 2017(ソニー生命保険株式会社, 2017)では, IT エンジニア・プログラマーが男子中高生の考える理想の職業とされる。その背景には AI(Artificial Intelligence)や IoT(Internet of Things)に代表される次世代の技術, 人型ロボット, AR(Augmented Reality, 拡張現実)といった夢のある技術への注目と期待がある。データサイエンティストは, AI をはじめとして IoT, ネットワークセキュリティといった最先端技術に対応するスキルを持つ職業であると考えられることができる。AI 技術を活用するためには最新の統計的知識, AI を適用するドメインの知識とビッグデータの処理能力も求められる。そして機械学習, ニューラルネットワーク, ディープラーニングといった AI 技術を使いこなす能力も必要である。

データエンジニアリング系では, 畳み込み・バックプロパゲーション・高速な勾配法といった AI の要素技術を使いこなすために, ベクトルや行列, テンソルといったデータ構造, 条件分岐や繰り返しといったアルゴリズムを学ぶ。また AI ツールのひとつである IBM Watson (IBM, 2017)を利用したハンズオン教育など AI ツールに触れる機会を提供する。一方, データアナリシス系では, 基本的な統計知識を学び, 3, 4 年次で「分類アルゴリズム」, 「異常検知」や「因果探索」といった AI で用いられる手法を学ぶ。

3.1 データエンジニアリング系のカリキュラム

データサイエンティストとしてデータ分析を行うために必要な情報技術, ニューラルネットワークや機械学習といった人工知能, 機械学習などの発展的科目までを学ぶ。導入教育として, 1 年次に, 計算機の基本的な操作法, プログラミングなど情報学の基礎を学ぶ。全ての学生が自分専用のノートパソコンを持ち, 講義や演習に活用することで, より実践的な教育を実現する。図 3 に, 1, 2 年次のデータエンジニアリング系科目のカリキュラムツリーを示す。背景が黒の科目は必修科目を, 灰の科目は選択科目を表す。また, 「演」のマークがついている科目は演習科目も付属することを示す。

3.1.1 1 年次のカリキュラム

1 年次では, 計算機の基本的な操作法, プログラミングなど情報学の基礎を学ぶ。プログラミングの講義と演習を合わせて行い, 知識の定着を図る。プログラミング言語は主に Python を用いる。

「情報科学概論」では情報科学の基礎概念について網羅的に学ぶとともに、システム設計やアルゴリズム、プログラミングの導入教育を行う。基礎概念としてコンピュータの歴史、ハードウェアとソフトウェアの基礎、ネットワークとセキュリティ、人工知能、ニューラルネットワークといった第4次産業革命を担う技術を学ぶ。

「計算機利用基礎」では計算機システムやネットワークを安全に利用するための基礎的な概念・知識を学び、情報リテラシー能力を修得する。学習・研究における書類作成、文献調査のために Microsoft Office を用いて基礎的な資料作成方法を学ぶ。また、プログラミング言語と環境の基礎を学ぶ。

「プログラミング I」では Python の学習を通してプログラミングの基礎を身につける。コンピュータ上での情報の取り扱われ方や、動作の仕組み、プログラミング言語とは何か、どのように利用するのかなどに関する基礎をまず学ぶ。その後、プログラミング言語の具体的な文法や、変数や関数といった基礎的な知識を学ぶ。また、制御構文などを用いて、解決すべき問題に対するプログラムの作成方法を、演習を通して身につける。

「データ構造とアルゴリズム」ではいくつかの基本的なアルゴリズムとデータ構造、計算の量を客観的に評価する方法を学ぶ。スタックやキューなどのデータ構造に加えて、行列やベクトル、パーセプトロンや勾配法といった機械学習で必要となるアルゴリズムを理解するための基礎力を養う。

3.1.2 2年次のカリキュラム

2年次では、プログラミングの基礎をふまえ、応用的なプログラミング技術を学ぶ。また、新たにプログラミング言語 Java を学ぶ。さらに、データベースやプログラムの設計技術、情報学に必要な数学を学ぶ。

「プログラミング設計」では基礎的なプログラム設計の原理・技法を学ぶことができる。データ構造に関する基本概念を含め、プログラム設計表現の中で良く使われる構造図やフローチャートなどの知識をベースに、具体的な設計の表現・仕組みの基本的な知識を学ぶ。その上で、初歩的なアルゴリズム分析の意味や役割を理解し、プログラムの基本要素を組み合わせ、プログラムを組み立てて行く方法を身につける。

「プログラミング II」ではプログラミングの基礎をふまえ、応用的なプログラミング技術を学ぶことができる。主にプログラミング言語は Java を用いる。「プログラミング III」では、Java や Python を利用してシミュレーション技法やデータ解析のためのデータモデリング手法を学ぶことができる。例題として乱数アルゴリズムやモンテカルロシミュレーション、パーセプトロン、SVM(Support Vector Machine, サポートベクトルマシン)分類器といったプログラムを作成する。

「データベース」ではデータベースの知識とプログラミングを融合して情報処理システムを開発するスキルを会得する。情報処理システムの開発を通してスキルの獲得のみならず論理的な分析、設計法を学び、論理的思考力を涵養する。また AI ツールである IBM Watson (IBM, 2017) を利用した課題解決型の講義を行う。各自がシステム化すべき問題を見だし、分析手法を選択し、データ分析を行う。

3.1.3 3, 4年次の主な講義と演習

3, 4年次では、情報学の発展的な内容を学ぶことができる(図4)。コンピュータ・ネットワークシステムの制御やセキュリティ、人工知能やモバイルアプリの開発など、最先端の情報科学・技術に関連する科目が開講される。

データサイエンス教育研究センターに設置された高性能の計算サーバを利用して実習を行う。実習で用いるデータも用意され、機械学習のアプリケーションに適用することができる。

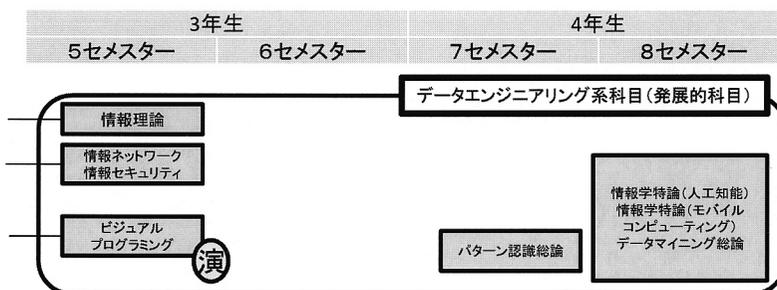


図 4. データエンジニアリング系科目のカリキュラムツリー 3, 4 年次.

畳み込みやバックプロパゲーションなど近年のディープラーニング手法、ライブラリの利用法、大量のデータの処理方法である並列・GPU プログラミングも学ぶことができる。

「情報学特論(人工知能)」では人工知能及び関連領域の多岐にわたる諸分野を概観し、後半は最近のプレイクスルーをもたらした論文を取り上げ、理論と技術を根本から学ぶことができる。基本的なアルゴリズムと統計・機械学習の初歩を学び、プログラムによる可視化方法も取り入れる。

「情報セキュリティ」では情報化社会において、適切に行動するためには、どういった使い方が危険で、どのようにすれば情報や身を守り安全に利用できるかということ学ぶことができる。ネットワークの仕組みをある程度知った上で正確な知識を身につけるために、ネットワークの基礎からセキュリティの基本的な事項までが学習内容に含まれる。

3.2 データアナリシス系科目のカリキュラム

データアナリシス系科目では、多様な構造をもつデータを、様々な分析目的に応じて分析するための、幅広い統計的分析手法に関する講義がある。これらの講義を通して、統計手法の理論だけでなく、これらをどの場面で、どのように適用すればよいか理解することを目的とする。そこで、多くのデータアナリシス系科目は、例えば「多変量解析入門」と「多変量解析」というように、本編の科目に対して入門編の科目が付属する。入門編では、各統計手法がどのような目的で使われているか、また、そこから得られる結果の意味を理解し、どのように解釈すべきかを学ぶ。つまり、数理的な内容に先立ち、手法の概要について学ぶのである。一方、本編では、各統計手法の理論的背景、導出を学び、統計スキルの向上を図る。また、講義は、座学だけでなく、計算機を用いて実際にデータ分析を行うものもある。近年ではデータ分析のためのツールやソフトウェアが数多く開発されているが、演習科目では特に Microsoft Excel, R, SAS, SPSS, JMP などのツールの使い方を学び、データ分析の経験やスキルを積む。

加えて、「標本調査法」や「社会調査法 I 及び II」といった社会調査系の専門科目がある。この知識を前提として 1 年間の社会調査実習を「社会調査実践演習」で行う。この社会調査に関する専門科目と、統計系科目のいくつかの単位を取得することで、社会調査士の資格を得ることができる。

3.2.1 1 年次のカリキュラム

1 年次のデータアナリシス系科目は、「基礎データ分析」と「統計学要論」で、データの扱い方や統計的思考の基礎を学ぶ(図 5)。まず、「基礎データ分析」では、離散データや連続データといったデータの種類やグラフの見方について学ぶ。また、クロス集計の方法や、平均値や相関係数といった記述統計量についても学習する。さらに、回帰分析や時系列データについても簡

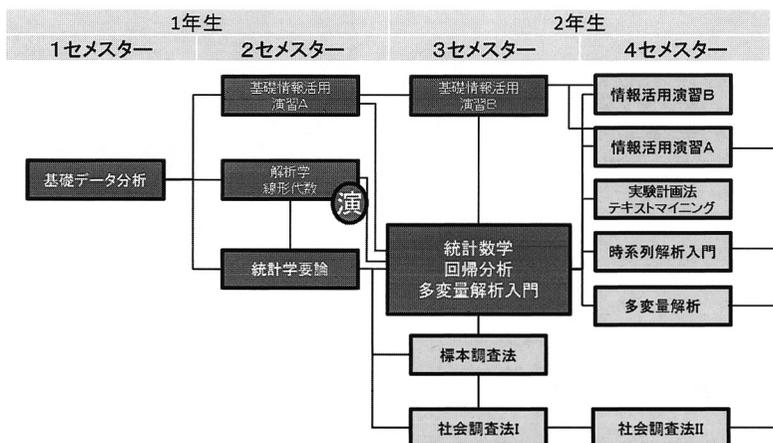


図 5. データアナリシス系科目のカリキュラムツリー 1, 2 年次.

単に触れる。

次に、「統計学要論」では、統計的思考の鍵となる母集団と標本の考え方について学ぶ。また、確率変数や確率分布の概念を学び、統計的推定や検定を理解するための下地を学習する。統計的推定や検定については、点推定や区間推定、母平均の差の検定や分割表の比率の検定など、基本的な設定における方法について学ぶ。

さらに、データ解析科目の「基礎情報活用演習 A」を通じて、Microsoft Excel を使ったデータ分析の経験も積む。Excel に用意されている統計的データ分析を行うためのツールや関数の使い方について学び、早い段階からデータ分析を行う。実際の操作としては、平均値など記述統計量の計算から始まり、統計的推定や検定、回帰分析や分散分析などを Excel 上で行い、これらの手法の理解を深める。

統計理論の理解に必要な数学的知識を「解析学」や「線形代数」で学ぶ。特にこれらの科目は、前期、後期で時間をかけて教育し、文系の学生でも身につけることができるカリキュラムになっている。「解析学」では、確率論で必須となる極限やテイラー展開、数値計算の一種であるニュートン法など、統計学に関わる内容について積極的に学ぶ。微分や積分についても、統計的推測を行う上で必要となる 2 変数関数に対する偏微分、重積分まで学ぶ。「線形代数」では、回帰分析における推定量の導出や、多変量解析に基づくデータ分析において必要となる行列演算や固有値の計算、またベクトル空間などの概念などについて学習する。

3.2.2 2 年次のカリキュラム

2 年次では、1 年次に学んだ内容の理論的背景について学ぶほか、統計的データ分析手法について学ぶ。さらに、より多様なツールやプログラミングを用いて、データ分析の経験を積む。

「統計数学」では、1 年次に学習した数学的知識を使って、離散型確率変数と連続型確率変数に関する理論についてより詳しく学ぶ。さらに、統計的理論で最も重要な要素の一つである中心極限定理や大数の法則についても学ぶ。統計的推定や検定についても、数学的背景について学習する。

「多変量解析入門」では、多変量データを分析するための手法である回帰分析や判別分析、主成分分析や因子分析、クラスタリングなどの手法の基礎を学び、それぞれの手法の役割や、得られた結果が意味するものについて学習する。これらの手法の数学的な詳細については、続く

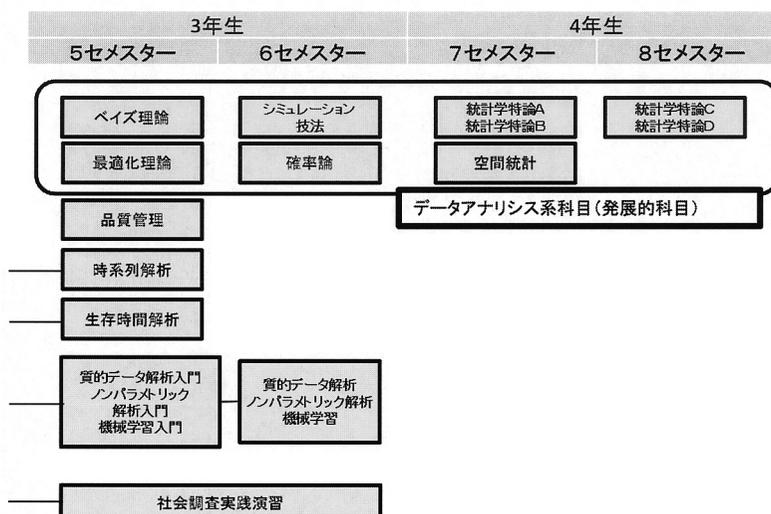


図 6. データアナリシス系科目のカリキュラムツリー 3, 4 年次.

「多変量解析」で学習することができる。また、「時系列解析入門」では、時系列データを分析するための手法である移動平均や平滑化、自己相関係数や自己回帰モデルなどの考え方について学ぶことができる。この科目についても、数学的なより詳細な内容については、3年次の「時系列解析」で学ぶことができる。

また、統計分析のツールとして開発されたソフトウェア R の利用法を「基礎情報活用演習 B」で学習し、簡単なデータ分析が R で行えるようにする。さらに、統計的データ分析のためのツールやソフトウェアとして、JMP や SPSS の利用法を「情報活用演習 A」で、SAS の利用法を「情報活用演習 B」で学ぶことができる。いずれの講義も、計算機を用いて実際に操作しながらデータ分析の方法について理解を深める。

3.2.3 3, 4 年次のカリキュラム

3年次では、より進んだ統計的思考能力や分析手法を身につけるための多様な科目が開講される(図 6)。具体的には、近年の機械学習で重要な役割を担っている「ベイズ理論」、製造業において必要不可欠な「品質管理」、医学データなどの解析で用いられる「生存時間解析」や「質的データ解析」、母集団に特定の分布を仮定せずに解析を行う「ノンパラメトリック解析」、近年の人工知能技術において中心的な要素である「機械学習」などの統計手法を学ぶことができる。また、統計学における理論的な詳細をより深く学ぶ「確率論」や、統計的推測を行う上で必要となる「最適化理論」についても学ぶことができる。これらの科目で学んだ手法や考え方を、3年次から本格的に始まる PBL 演習に活かす。

そして4年次では、さらに進んだ統計理論を「統計学特論 A, B, C, D」で学ぶことができる。内容としては、統計的推論、項目反応理論、情報量規準、計算機に基づく統計的推測の理論、空間統計などが含まれる。4年次の科目は隔年開講の予定である。

4. データサイエンス教育をサポートする学習環境

これまでに解説してきたカリキュラムをサポートするために、DS ラーニング・コモンズと教育学習支援室を用意している。まず、DS ラーニング・コモンズはデータサイエンス学部の教

育支援の中核であり、自習のための学びの場を提供している。プロジェクターやホワイトボードが2箇所設置され、ミーティングや自主ゼミに活用することが出来る。その他にも、データサイエンス関連書籍の閲覧、パソコンなど備品の貸出、そして学生生活をサポートするチューターが待機している(2017年前期では週に1回90分)。さらにDSラーニング・コモنزの管理室内には人型ロボット「Pepper」(ソフトバンクロボティクス(株))も常駐しており、プログラミング教育に活用されている。

次に、学習教育支援室は滋賀大学彦根キャンパスの施設であり、経済学部と共有している。この施設は、学生に対する学習支援、教員に対する教育支援を実施している。学生に対して、学習に必要な物品の貸し出しの他、学習スペース内のミーティングやゼミ用のブースの予約、外国語学習教材や図書の貸し出しなどを行っている。教員に対して、授業資料印刷の補助、マークシート式試験の読み取り、FD活動の支援などを行っている。

以上のような学習環境と学習教育支援体制のもとで、データサイエンス教育を行っている。将来的には、TAやSAの活用も検討しており、学生数が増えるに従って、教育支援をさらに手厚く行う予定である。

(1) 資格取得者と学業成績優秀者の表彰

資格取得者や学業成績優秀者を表彰することによって、学習のモチベーションを高める工夫を行っている。例えば、資格については、統計検定、品質管理検定、データベーススペシャリスト試験、TOEIC、税理士試験、公認会計士試験、日商簿記検定試験、証券アナリスト試験などに対して、一定の基準を満たしたものに対して報奨が与えられる。また成績については、4年間の成績が優秀な約5名を「学業成績優秀者」として卒業時に氏名を公表するとともに、成績原簿・成績証明書の特記事項欄に「成績優秀者表彰」と記入する。

(2) パソコンの環境

多種多様なビッグデータを扱うにあたり、幾つかのソフトウェアを学部単位及び全学でライセンス契約をしている。データサイエンス学部では、全学生にノートパソコンの利用を推奨しており、安全にノートパソコンを利用するためのセキュリティソフトや、様々な資料作成のためのMicrosoft Officeを提供している。また、データ分析前におけるデータの概要の把握を容易にするBIツールであるTableauやQlikSenseを利用できる環境を提供している。そして、データ分析ソフトとしては、フリーソフトであるRのみならず、JMP、SPSS、SASの利用環境を整えている。さらなる高度な分析のため、ArcGISやクラウド環境の提供も行っている。

(3) JINSE 及び拡大版 JINSE との関わり

JINSEは、2012(平成24)年度大学間連携共同教育推進事業「データに基づく課題解決型人材育成に資する統計教育質保証」に基づいて作成されたネットワークである。ネットワーク完成当初は、東京大学、大阪大学、総合研究大学院大学、青山学院大学、多摩大学、立教大学、早稲田大学、同志社大学の8大学により構成されていたが、2016年度より滋賀大学も加わった。2016年度は運営委員、カリキュラム策定委員、質保証委員として参加し、本ネットワークの策定したカリキュラムに基づくテキストの執筆にも関わった(岩崎・姫野, 2017; 統計教育大学間連携ネットワーク, 2017)。

2017年から本ネットワークは、統計教育連携ネットワーク(Japanese Inter-organizational Network for Statistics Education)と名前を変えている(統計教育連携ネットワーク, 2017)。滋賀大学は引き続きこのネットワークに参加することで、拡大版JINSEの提供する教材の利用及び、統計検定を利用した統計の学習達成度評価の分析を行っていく(田中 他, 2015)。

5. PBL 演習

データ駆動型 PBL 演習科目を 1 年次から 4 年次まで毎年実施する。これらの演習では実際のデータを利用し、様々な課題を読み取り、課題解決案を検討する。1, 2 年次(データサイエンス入門演習, データサイエンスフィールドワーク演習)では、扱いやすい課題に限定し、初歩的な分析を行い、価値創造の経験を積み重ねる。3, 4 年次のデータサイエンス実践価値創造演習 I 及び II, データサイエンス上級実践価値創造卒業演習 I 及び II はゼミ形式で実施される。情報系教員が担当するゼミでは、機械学習やディープラーニング, ネットワーク, Web プログラミング演習が行われる。統計系教員が担当するゼミでは、スパース推定, 因果推論, 漸近理論などの統計手法を駆使しつつ, データ分析演習が行われる。

データサイエンスでは, データエンジニアリング, データアナリシスに加え, 価値創造の経験を積み重ねることが重要となる。これらの演習では, 単にデータ解析の経験を積み重ねるだけではなく, 以下の段階を踏むことで, データサイエンスに関する興味, 意欲を高め, データの背景情報の重要性を知り, そのうえで価値創造の経験を重ねていく。

- 様々な分野におけるデータサイエンスの事例を聞くことで, データサイエンスへの興味・関心を高める。
- 実際の現場において, データがどのような形で収集され, どのような課題のために利用されているかを知り, 現場ごとのデータの特性を知る。
- 実際のデータを用いた分析を行い, 価値創造の経験を積む。

学内の環境だけではこれらを全て実施することはできないため, 様々な企業, 機関, 大学等の協力が不可欠である。そのため, データサイエンス学部ではこれまでにのべ 100 社以上の企業等とのコンタクトを取り, 協力を依頼してきた。そのうち, 実際に連携に至ったものは 1~2 割程度である。継続的に十分な教育環境を整えるためには, 企業と密接な連携を続けていくことが重要となるが, 特に実績が見えてくるまでにはかなりの時間と労力を要する。以下では, その成果の一部を紹介する。

(1) データサイエンスの活用事例

データサイエンスは, 環境, 生物, 防災, 医学, 品質管理, 交通等, 様々な分野で活用されている。これらの分野の専門家を滋賀県立大学, 長浜バイオ大学, 京都大学, 滋賀医科大学, 積水化学工業株式会社, 名古屋大学から招聘教員またはクロスアポイントメントという形で招き, 各分野での事例紹介を授業内で行っている。また, 企業でのデータサイエンスの事例については, 日本アイ・ビー・エム株式会社, 株式会社野村総合研究所, データサイエンティスト協会, NPO 法人ビュー・コミュニケーションズ, 第一生命ホールディング株式会社の方々をゲストスピーカーとして招き, 実践的, 先進的なデータサイエンスの事例紹介, ハンズオンなどを行っている。

(2) 工場見学

データの背景の重要性を知るため, 1 年次に工場見学を実施している。毎年, 4~5 企業の工場を 20~40 人ずつの学生が見学し, データ活用に関する事例を学ぶ。2017 年度は地元企業 4 社による協力のもと工場見学を実施した。

(3) 実際のデータを利用した PBL 演習

実際のデータを教育用として使用するには様々なハードルがある。教育用としてのデータ提供となると, 企業側のメリットが少なく, データ提供の際, 個人情報保護のための匿名化処理や秘密保持契約の締結などの手続きも必要なため, 企業から協力が得られるのはまれである。このような中, 株式会社オプト, 株式会社アイディーズから教育システムの開発・提供を受け,

NPO 法人ビュー・コミュニケーションズからは複数のデータを提供されている。

株式会社オプトは、データ解析コンテスト DeepAnalytics を教育利用できるように、新たに DeepAnalytics for Education を開発した。このシステムを利用すると、トレーニングデータに基づき、テストデータの予測を行い、その予測結果をこのシステムに投稿することで、即座に予測精度を評価し、予測スコア及び投稿者のランキングが表示される。学生間でスコアを競いながら予測精度向上を目指すことで、様々な工夫を行い、実践的なデータ分析が行われる。このシステムでは、様々なデータサンプルが用意されており、数多くのデータ予測コンテストを実施することが可能である。

株式会社アイディーズからは生鮮食品を含む食品購買ビッグデータ i-code の提供を受け、様々な演習へ活用していく。ここでの i-code は生鮮食品・惣菜も網羅した我が国初の「商品標準化コード」であり、商品が購入された年月日、時間帯だけでなく、同時に何が購入されているのかも知ることができ、様々な価値創造を行うことが期待される。

6. 終わりに

冒頭にも述べたように、日本におけるデータサイエンティストの人材不足は深刻である、このことは最近の政府の文書でも強く指摘されており、例えば『日本再興戦略2016』のIV.3.(2)項では「高等教育での数理情報教育を強化するため、トップレベルデータサイエンティストなどを育成する学部・大学院の整備促進するとともに、全学的な数学教育の強化(標準カリキュラム策定)等を実施する」としている。滋賀大学のデータサイエンス学部の設立はこのような方針に沿ったものである。また滋賀大学がデータサイエンス教育の6拠点校に選定されたのは、以上で説明してきたデータサイエンス学部の体系的なデータサイエンス教育の内容が評価されたためである。データサイエンス分野の日本での遅れを取り戻すべく、多くの大学が滋賀大学を一つのモデルとしてデータサイエンス分野の教育を強化することを期待したい。

謝 辞

本論文で紹介したデータサイエンス教育に関して様々なご支援・ご教示を頂きました統計数理研究所の田村義保先生に深く感謝申し上げます。なお、本論文の一部は、国立大学改革強化推進補助金(総合支援型)事業推進費、統計数理研究所・共同研究利用(重点型研究)課題番号29-共研-4306の補助を受けた。

参 考 文 献

- 深澤弘美, 櫻井尚子, 和泉志津恵 (2013). 学校教育における問題解決型統計教育とその評価, 「統計教育実践研究 第5巻」, 統計数理研究所共同研究レポート, No.293, 62-65.
- 深澤弘美, 櫻井尚子, 和泉志津恵 (2015). 大学入試センター試験と海外の出題傾向, 「統計教育実践研究 第7巻」, 統計数理研究所共同研究レポート, No.335, 69-72.
- 深澤弘美, 和泉志津恵, 櫻井尚子 (2017). 統計教育における評価指標の作成と試行—高校, 大学の教養レベル—, 「統計教育実践研究 第9巻」, 統計数理研究所共同研究レポート, No.379, 9-14.
- IBM (2017). IBM Watson, <https://www.ibm.com/watson/jp-ja/>.
- 岩崎学, 姫野哲人 (2017). 『スタンダード 統計学基礎』, 培風館, 東京.
- 和泉志津恵 (2017). 公的ビッグデータを用いた課題解決型学習(PBL)演習の試行, 「統計教育実践研究 第9巻」, 統計数理研究所共同研究レポート, No.379, 97-102.
- 和泉志津恵, Gould, Robert (2010). 大学・大学院における統計教育の国際比較, 「統計教育実践研究 第

- 2 巻], 統計数理研究所共同研究レポート, No.243, 43-46.
- 和泉志津恵, 深澤弘美, 櫻井尚子 (2012). 高等学校での数学 I「データ分析」に関するアセスメントの提案, 「統計教育実践研究 第 4 巻」, 統計数理研究所共同研究レポート, No.272, 30-33.
- 和泉志津恵, 櫻井尚子, 深澤弘美 (2016). 大学の統計教育でのインタラクティブな授業のデザインとその評価方法, 「統計教育実践研究 第 8 巻」, 統計数理研究所共同研究レポート, No.362, 5-10.
- Maruyama, H., Kamiya, N., Higuchi, T. and Takemura, A. (2015). Developing data analytics skills in Japan: Status and challenge, *Journal of Japan Industrial Management Association*, **65**, 334-339.
- 日本経済再生本部 (2016). 日本再興戦略 2016—第 4 次産業革命に向けて—, 2016 年 6 月 2 日閣議決定, http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/2016_zentaihombun.pdf.
- 日本経済再生本部 (2017). 未来投資戦略 2017—Society 5.0 の実現に向けた改革, 2017 年 6 月 9 日閣議決定, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/>.
- 櫻井尚子, 和泉志津恵, 深澤弘美 (2011). 国内外で実施された統計学に関する各種試験問題の考察, 「統計教育実践研究 第 3 巻」, 統計数理研究所共同研究レポート, No.260, 59-64.
- 櫻井尚子, 和泉志津恵, 深澤弘美 (2015). MOOC での certification 問題について, 「統計教育実践研究 第 7 巻」, 統計数理研究所共同研究レポート, No.335, 73-78.
- 滋賀大学 (2017a). Data Science View, Shiga University, Vol.1, 国立大学法人滋賀大学データサイエンス教育研究センター, 滋賀.
- 滋賀大学 (2017b). 滋賀大学データサイエンス学部カリキュラム・ポリシー, http://www.shiga-u.ac.jp/information/info_public-info/public-education/public-education_hikone/.
- 滋賀大学 (2017c). オンライン講座「高校生のためのデータサイエンス入門」, 国立大学法人滋賀大学データサイエンス教育研究センター, 滋賀, https://lms.gacco.org/courses/course-v1:gacco+pt010+2017_08/about.
- ソニー生命保険株式会社 (2017). 中高生が思い描く将来についての意識調査 2017, http://www.sonylife.co.jp/company/news/29/nr_170425.html.
- 数理及びデータサイエンス教育の強化に関する懇談会 (2016). 「数理及びデータサイエンスに係る教育強化」の拠点校の選定について, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/080/gaiyou/1380792.htm.
- 竹村彰通, 椎名洋, 和泉志津恵, 松田安昌, 佐藤俊哉 (2015). 『統計学 II : 推測統計の方法 オフィシャルスタディノート』, 日本統計協会, 東京.
- 竹村彰通, 酒折文武, 中山厚穂, 下川敏雄 (2016). 『統計学 I : データ分析の基礎 オフィシャルスタディノート 改訂版』, 日本統計協会, 東京.
- 田中豊, 中西寛子, 姫野哲人, 酒折文武, 山本義郎 (2015). 『改訂版日本統計学会公式認定統計検定 2 級対応統計学基礎』, 東京図書, 東京.
- 統計教育大学間連携ネットワーク (2013). 平成 24 年度(2012)総合報告書, <http://jinse.jp/pdf/24souhou.pdf>.
- 統計教育大学間連携ネットワーク (2014). 統計学の各分野における教育課程編成上の参照基準, <http://jinse.jp/pdf/Sansyou20140515.pdf>.
- 統計教育大学間連携ネットワーク (2015). 平成 25 年度(2013)活動報告書, <http://jinse.jp/pdf/25rep.pdf>.
- 統計教育大学間連携ネットワーク (監修)(2017). 『現代統計学』, 美添泰人, 竹村彰通, 宿久洋(編集), 日本評論社, 東京.
- 統計教育連携ネットワーク (2017). 統計教育連携ネットワーク規約, http://www.qajss.org/jinse_kiyaku_20170808.pdf.

Shiga University Model of Data Science Education

Akimichi Takemura, Shizue Izumi, Kunihiko Saito,
Tetsuto Himeno, Hidetoshi Matsui and Heiwa Date

Faculty of Data Science, Shiga University

One method for extracting value from big data is data science. The technical foundations of data science are data engineering (information science) and data analysis (statistics). Shiga University established a faculty of data science in April 2017, in order to cultivate data scientists with liberal arts educations along with skill in the physical sciences. In this article, we explain the content of data science education at Shiga University. First, we summarize the Shiga University Model. Then, we describe the curriculum for information science and the statistics of data science, respectively, and we describe a learning environment to support these curricula. Furthermore, we introduce examples of cooperation with domestic organizations for Project-Based Learning (PBL) practices. We anticipate that many universities in Japan will strengthen education in the field of data science using the Shiga University model as a reference.

大規模授業支援テストシステムと そのラーニングアナリティクス

廣瀬 英雄[†]

(受付 2017 年 6 月 19 日 ; 改訂 2018 年 4 月 14 日 ; 採択 4 月 18 日)

要 旨

多様な学生を受け入れながら最終的には大学のディプロマポリシーに沿う学生にまで育成させる使命を負う大学が抱えている重要な課題の一つは、早期にドロップアウトリスクを持つ学生を発見し適切な手当を施し可能な限りそのリスクを低減させることである。このため、広島工業大学では新しく開始した基礎教育のフォローアッププログラムに、項目反応理論(IRT)を用いた評価法を取り入れたオンラインテストシステムを組み込み、2016年4月から運用することで対応してきた。対象学生は1年生全員で対象科目は数学(解析基礎と線形代数)である。開始から2年が経過した現在、システムは順調に動き、ラーニングアナリティクスが実施できるようなデータもそろいつつある。そこで本稿では、これを、大規模なテストシステムによって学習データを周到に蓄積するシステムの事例として紹介し、そこから得られた大量のデータを統計的に分析することにより、ドロップアウトリスクのある学生を早期に特定する可能性について述べる。これまで漠然と感じてきたリスク要因が、データを統計的に分析することで明確に示されるようになった意義は大きい。ここで調査した科目は数学であるが、他の基礎科目(例えば、統計や統計教育、あるいはSTEM教育のような、科学・技術・工学・数学の教育分野)にも容易に適用可能である。

キーワード：ラーニングアナリティクス、ドロップアウト、フォローアッププログラム、項目反応理論、習熟度確認テスト、アダプティブテスト。

1. はじめに

現在、日本の多くの大学では、多様な習熟度の学生を受け入れながら一定の水準にまで教育効果を上げるための新たな工夫が強く求められている。これは、大学のアドミッションポリシーに沿った学生を受け入れ、ディプロマポリシーに達するようなカリキュラム策定とその適切な運用が一層求められているからである(中央教育審議会, 2016)。そのような工夫がなければ、学生の多様性が増すにつれてドロップアウトする学生は増えると思われ、ドロップアウトの可能性を持つ学生を早期に発見し、適切な手当を施し、可能な限りドロップアウトのリスクを低減させることが一層重要になってくる(Waddington et al., 2016)。

これまで、このリスク低減のために、1) 習熟度別クラス編成による教育体制、2) クラスでの適切な学生数、3) 演習時間の確保、4) 学習支援室の整備などの様々な対策がとられてきた。そして、それらの対策が効果的であったかどうかについて多く報告されている。しかし、効果を測

[†] 広島工業大学 環境学部：〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1

るデータについては、いろいろな制限もあって、入学時と期末試験時、あるいは学年進行時などと時間間隔が長い事例や、クラス単位など限られた状況での特殊な場合の報告も多く、十分な質と量が確保されていなかった可能性もある。入学直後からのリスク早期発見のためには、データ収集の時間間隔をもっと短くして詳細な大規模データを周到に蓄積し、得られた大量のデータから内容の本質を統計的に分析する必要があると思われるし、また最近ではそのことが可能な時代に入ってきている。

そこで、本稿では、これまで行われてきたドロップアウトリスク低減策にあらたにセイフティーネット(ここではフォローアッププログラム(FP)と呼び、後述する)を加えるというだけでなく、本質的に質の異なる教育方法論への展開の可能性について述べる。それは、統計に限らず、数学、物理、英語など多くの科目での教育に、大規模なラーニングアナリティクスを実践することによって授業の教育効果を測り、またその結果を用いることで教育方法を改善する方法論を提案するという位置づけになる。大規模なデータを周到に蓄積するには組織的な理解や運用の仕組みも必要でありこれまで大学全体での取り組みの実例は少なかったように思われる。ここではその事例についても述べる。

次節では、ドロップアウトを減少させる仕組みの設計思想を述べ、それを実現させる具体的な方法論として毎授業時でのオンラインテストシステムによるデータ蓄積法の一例について述べる。続く3節では蓄積データを統計的に分析した結果の一例について述べ、これが早期のリスク発見につながる可能性があることを示し、最後に4節でまとめる。

2. フォローアッププログラムとオンラインテストシステム

2.1 フォローアッププログラムの基本姿勢

例えば、習熟度別クラス編成を行なうために入学直前/直後にプレースメントテストを行い、その結果を用いてリメディアルが必要と思われるクラスには特別なケアを施すということが行なわれている。クラス分けのしきい値には普通1回のテスト結果での得点が用いられる。多くの人に理解される方法であるが、テスト結果に確率的なゆらぎがあることにあまり配慮が届いていないようにも思われる。問題なのは、いったん特別なクラスに入ると、そのセメスターあるいはクォーターではクラスの入れ替えを行わず固定されたメンバーのままそのクラスでの授業を受けることになることである。

ところが、たまたま下位クラスに配置された学生でも上位クラスでの受講が十分可能なこともある。例えば、期末にすべてのクラスで同じ問題のテストを受けると、下位クラスの一部の学生の成績が上がったという報告を受けることがある。しかし、均質なクラスを成績によって上位と下位の2つに分けてもう一度クラス毎にテストすると下位クラスの平均点は一般に上昇することを考えると、下位クラスでの努力の結果そうなったのか単に確率の変動でそうなったのかはわからない。

そこで、上位クラスは設けても下位クラスは基本的に作らずに均質な集団のまま授業を進ませながら、全クラスで毎回の授業での理解度の確認テストを行い、テストの結果理解度が不十分と考えられる学生については1週間以内に補習を行うことを繰り返すことで学生のドロップアウトのリスクを軽減させることを考えた。これがFPへの基本的な姿勢である。

2.2 オンラインテストシステム導入の動機

例えば数学系の授業では、丁寧な板書と演習との組み合わせによって理解度を深めることが伝統的に行われてきたが、インターネットやスマートフォンを駆使できる現代の若者には、黒板を書き写しながらの理解だけでなく、コンピュータを用いながらわかりやすい可視化画像や

ゲーム感覚のテストなどを組み込んだ授業の方が興味を惹きやすい。例えば、10分でできる5問程度の数学の問題をアダプティブに解いてもらうオンラインシステムを高校生に対して試したところ熱心に取り組んでいた(桑幡 他, 2012)。そればかりではない。高校生の両親や高校の教員にも興味を持って受け入れられたことがある。このことをヒントに、大学の数学系の教科書の付録に Web アシスト演習を組み込んだシリーズが出され(廣瀬・藤野, 2015, 桂 他, 2015, 2017), それを使いながらの授業も進められている(Hirose, 2016b)。スマートフォンの操作に慣れた学生にはオンラインでのテストへの抵抗感もない。

オンラインテストの魅力は、入力されたデータ解析が迅速にできることに加え、データが蓄積されることにある。規模の大きいデータベースからは、経時変化の様相や分類されたグループ間での相違など、教員が単独にクラス単位で行っていたときのデータによるよりもはるかに多くの情報が得られる。定期的なオンラインテストの結果はラーニングアナリティクスへの重要な情報源になる。

そこで、これまで限られて利用されていたオンラインシステムを、全学的にさらに大規模に発展させたものを大学での教育に本格的に組み込むことができれば、詳細な教育データが大量に蓄積され、多様性に富む学生の教育改善に貢献できるのではないかと考えて、全学で取り組むオンラインテストシステムを構築した。これは、多様性が増加するときの学生の習熟度に合わせられる指導法を担保するため、1) 毎時間こまめに学生の理解度を確認し、2) 授業への補足が必要であればそれを促し、3) 補足授業を実施し、またその理解度の確認も行い、さらに、4) 授業の事前事後学習への体制を作っていくという学習支援プログラムである FP に対応させるための要となっている。ここでは、大学の初年次生すべてに適用されている必修の数学、物理、英語教育のうち、特に数学科目(解析基礎と線形代数)について、新しく構築した FP システムの概要を紹介する。

2.3 フォローアッププログラムシステムの構成

図 1 に、大学の初年次対象に全学で取り組んでいる FP システムの全体像を示す。図には、大きく、授業の理解度を確認する LCT (learning check testing)、オンライン演習を主な目的とした CWT (collaborative work testing)、補足授業の理解度を確認する FPT (follow-up program testing) によって運用されていることが示されている。このように、FP システムは主に 3 つのオンラインテストによって構成されている(Hirose, 2016a)。補足授業のクラスは LCT で理解度が不十分とみなされた学生に対して毎週クラスのメンバーが変わる動的なクラスになっており、これを FP クラス (FPC) と呼ぶ。

LCT は、授業の内容の理解度を確認するために 10 分程度で行なうオンライン小テストである。全員に同じ問題が出題されるが出題順はランダムである。採点は全学生からのテスト回答が大多数出揃った時点で一斉に行なわれる。問題と解答例は非公開としている。

CWT の問題は、演習の効果が上がるように、学生の習熟度に応じた問題が多量の問題プールの中から自動的に選ばれるアダプティブシステム(桑幡 他, 2012)によって出題される。採点と評価は回答直後に行われ、成績と解答例をその場で確認することができる。CWT の性格から、CWT は FP クラスを離れた事前事後学習にも使うことができる。

FPT は、当該学生の学習履歴(LCT や CWT によって得られた習熟度)に応じた問題が適切に選ばれるアダプティブシステムによって出題される。FP クラスにはさまざまな習熟度の学生が集まってくるため、FPT の成績評価は当該学生の習熟度が向上したかどうかで判定される。問題と解答例は非公開としている。

学生は自分のパソコンを大学に持参し正規の授業中や補足授業中に WiFi を介してオンラインテストに臨むことができるが、それだけでなく、CWT では休み時間など自由な時間帯でも、

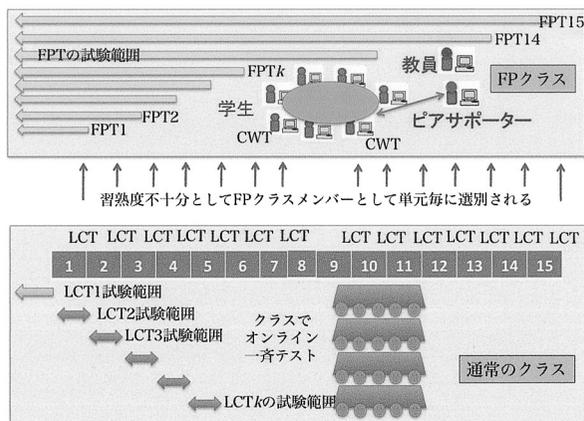


図 1. FP システムの全体像. LCT(learning check testing), CWT(collaborative work testing), FPT(follow-up program testing).

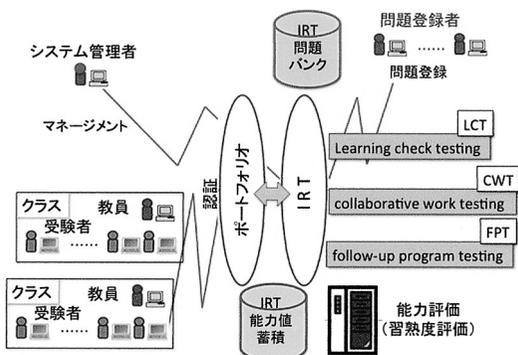


図 2. FP システムのシステム構成.

また自宅や通学途中でも自由にテストシステムにアクセスできる体制になっている。

図中に示されている, LCT, CWT, FPT, あるいはピアサポーターなどの詳細については付録で説明する。

また, FP システムのシステム構成を図 2 に示す. このシステムは学内のポートフォリオシステムと一体になっているので, LCT, CWT, FPT の評価結果は, 学生本人のみならず, 授業を担当している科目の教員, 学科で学生の支援を一括して執り行う学生支援アドバイザー(学科単位), 学科内で割り振られた学生の支援を行うチューター(学科内教員), 大学全体での学生の教育支援を行う学習支援センター(科目あたり数名の専門教員)に迅速に知らされるようになっているため, FP システムは科目の教員だけでなく学習支援に関係している人すべてに連携がはかられるような構造になっている。

FP で根幹になっているのは, LCT, CWT, FPT のテストシステムであるが, その他にも, テストに使う問題の登録システムや全体を運用するマネージメントシステムが付与されている. e-learning は作ってしまったらその後使われなくなるという評判をよく聞く. その一因はシステムの柔軟性の欠如にあると考える. 問題や解答の修正, 追加登録, 学生のレベルに

あった問題をきめ細かく選定することで、システムが生きてくる。そこで、システムには、問題作成担当教員なら誰でも自由に時間と場所の制限を受けずに問題登録を行うことができる機能が備えられている。この問題の登録システムの詳細については付録で説明する。また、問題の難易度が受験生とマッチするように問題の入れ替えを行なうなどのマネジメント機能も充実させている。問題の難易度分析や受験生の習熟度評価には、単元単位(授業単位毎と等しい)で項目反応理論(IRT)を採用している。

3. ラーニングアナリティクス

授業設計はクラスを担当する教員に委ねられていることが多いが、そこには自由度の大きい設計ができるというメリットがある。ところが、大人数を抱える学科になると一人の教員だけである科目の授業を行うことには教育効果の面で疑問があるため、複数の教員によるクラス設計が行われることがある。この場合、公平性を保つため、授業内容や評価方法についてある程度の共通化を図らなければならない。毎回のクラスにおける小テストなどの評価法についてもある程度の共通性があることが好ましいが、従来のような紙を使った方法では、その手間を考えると実現性に乏しい。一方、学生の普段の習熟度把握については指導上きめ細かい情報が得られることが好ましい。

そこで、これまでの各クラスの教員独自の方法に委ねてはなかなか得られなかったきめ細かい情報も得られるように、小テスト結果や補助的な指導結果についてもコンピュータを用いて着実に蓄積することで、教員の負担を軽減しながらも学生指導の適切な判断ができるようなラーニングシステムを構築することとした。本論文では上で説明したFPの中で実現できるようなオンラインテストを中心としたFPシステムを提案している。このようなシステムを使えば、きめ細かい情報が得られるため、それを統計的に分析することによって効果的で効率的な教育方法を探ることができる可能性がある。

3.1 LCT アナリティクス

LCTは1年生の必修基礎科目を対象にしたオンラインテストで、数学の科目については、解析基礎と線形代数の2科目が対象になっている。少しの変則性はあるが、基本的には毎週の授業や演習時間を使って5問から10問を10分程度で解答させる。LCTの詳細については付録に示しているのでもちらを参照されたい。ここでは、LCTから得られた結果について一つの分析を行なう。

図3に、一例として2016年度での解析基礎A(前期)の応答マトリクスを示す。図の右端に説明しているように行を学生idに列を問題idにとっており、正答と誤答を赤と緑で区別している。空欄は未回答か未受験を表している。全学生で1000人以上と学生数が多いので、ここでは約250人ずつに分けて4つのマトリクスで表している。授業が進むにつれてLCTの正答率は低くなっていることがわかる。

ここでは、この応答マトリクスを基礎データとして、期末試験で合格する学生と不合格となる学生を区別することができるかどうかを議論する。

まず、期末試験に合格した学生と不合格になった学生とを比較した応答マトリクスの一部を図4に示した。期末試験不合格の学生は合格学生よりもLCTの正答率が全体的に低いことが一目でわかる。更によく見ると、期末試験不合格の学生は授業が進むにつれてLCTの不合格の割合が大きくなっていくようにも見える。

もう少し詳しく、期末試験に成功した学生と失敗した学生との間でLCTの成績のトレンドにどのような違いがあるか調べてみた。図5は、期末試験に成功した学生 i_s のLCTの回数

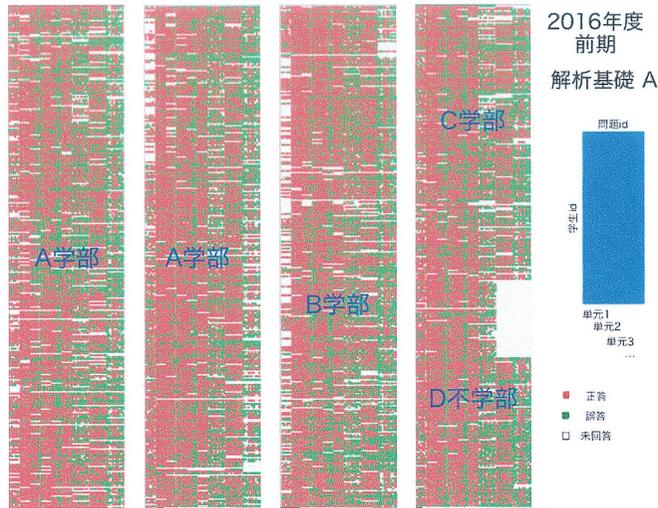


図 3. 解析基礎 A (2016 年度前期) の応答マトリクス.

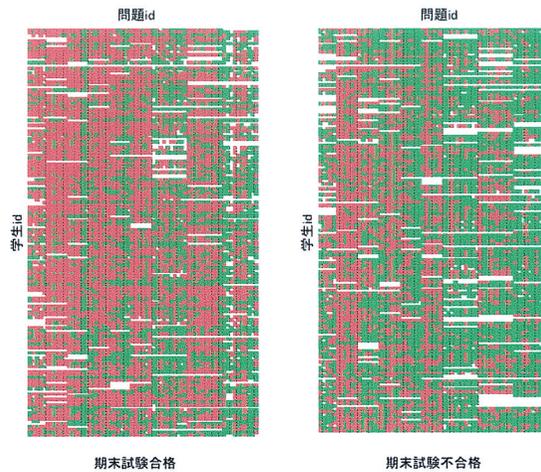


図 4. 期末試験合格学生と不合格学生の応答マトリクスの比較(一部分).

k ごとでの正答率 $r_{i_s,k}$ の平均 $r_{s,k} = (\sum_{i_s=1}^{n_s} r_{i_s,k})/n_s$ と失敗した学生 i_f のそれ $r_{i_f,k}$ の平均 $r_{f,k} = (\sum_{i_f=1}^{n_f} r_{i_f,k})/n_f$ を比較したものである. 2016 年度前期と 2017 年度前期の解析基礎 A のものを示している. どちらの年度でも, 授業が進むにつれて, LCT の正答率の平均は期末試験合格グループと不合格グループともに低くなっていることがわかる. また, LCT の成績の両者の間には開きがあることもわかる. しかし, 両者のトレンドの間にどのような違いがあるかどうかはこれだけではわかりにくい.

そこで, 期末試験に成功した学生の正答率の平均 $r_{s,k}$ に対する失敗した学生の正答率の平均 $r_{f,k}$ の比 $r_k = r_{f,k}/r_{s,k}$ (Hirose, et al., 2017) を, 2016 年度前期と 2017 年度前期の解析基礎 A の各回の LCT について調べてみた. これを示す図 6 から, 比はどちらの年度でも下降傾向を示しているように見える. 2016 年度前期での回帰直線の傾きを求めるとその値は -0.0277 で

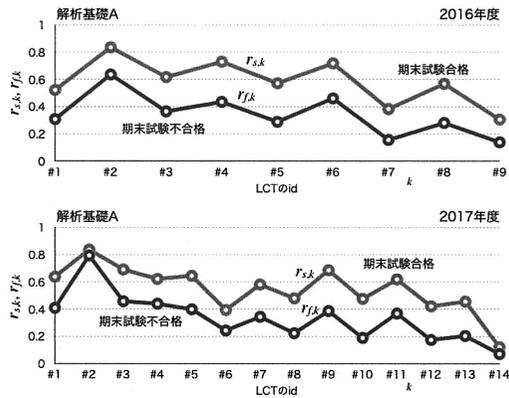


図 5. 期末試験合格学生の正答率の平均 $r_{s,k}$ と不合格学生の正答率の平均 $r_{f,k}$ の比較.

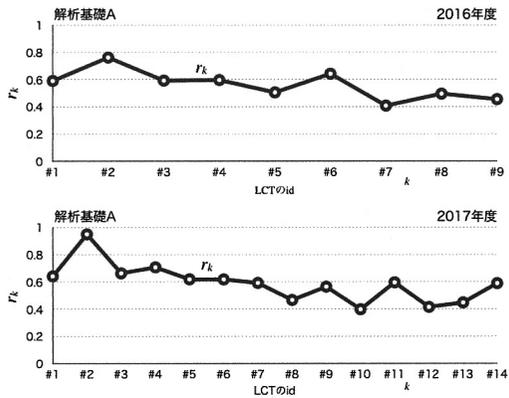


図 6. 合格学生の正答率の平均に対する不合格学生の正答率の平均の比 $r_k = r_{f,k}/r_{s,k}$.

表 1. 正答率の平均の比 r_k の回帰直線の傾きの推定値と標準偏差.

	推定値	標準偏差	推定値 + 2 × 標準偏差
解析基礎 A (2016 年度前期)	-0.0277	0.0010	-0.0257 < 0
線形代数 A (2016 年度前期)	-0.0062	0.0012	-0.0038 < 0
解析基礎 B (2016 年度後期)	-0.0273	0.0010	-0.0253 < 0
線形代数 B (2016 年度後期)	-0.0061	0.0013	-0.0035 < 0
解析基礎 A (2017 年度前期)	-0.0233	0.0007	-0.0219 < 0
線形代数 A (2017 年度前期)	-0.0152	0.0008	-0.0136 < 0

あった。また、ブートストラップ法によってその標準偏差を求めると 0.0010 であり、下降傾向があることが示された。つまり、授業が進むにつれて、期末試験に失敗した学生はそうでない学生よりも習熟度(能力値)の下降程度が大きくなっていることがわかる。

他のケースについても同様な傾向があるかどうかを計算した結果が表 1 である。すべての場合で、期末試験に失敗した学生はそうでない学生よりも習熟度(能力値)の下降程度が授業が進むにつれて大きくなっていることが確認できる。

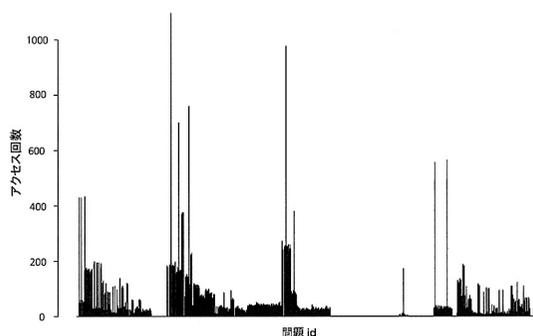


図 7. CWT の各問題へのアクセス回数の棒グラフ(問題総数は 2016 年 9 月時点で 3727 問である)。

表 2. 各問題へのアクセス回数の最大値, 最小値, 中央値, 平均値, および第 1, 3 四分位数。

最大値	最小値	中央値	平均値	第 1 四分位数	第 3 四分位数
1096	0	19	38.16	0	38

このことから, できるだけ早期に期末試験に失敗する可能性のある学生を抽出し特別な手当を受けさせることには意味があることが再確認できる. この傾向は定性的にはよく知られているが, 実際到大規模なデータを収集して統計的に分析した例は少ないように思われる. このようにラーニングアナリティクスには大規模データそのものだけでなく, データを収集する方法まで考えることが重要であることがわかる.

3.2 CWT アナリティクス

FP クラスには LCT の成績によって習熟度不十分と判断された学生が毎週選別されるので, FP クラスの対象者は毎週変わる変則的なクラス構成になっている. そこでは共通問題でのテストを行っても相対的な評価結果は得られにくい. そこで, 個々の問題に注目した分析と, 個々の学生に注目した分析を行うこととした. FP システムに登録された問題数は, LCT, FPT, CWT あわせると 2016 年 9 月時点で 3727 問になる. LCT 用の問題数は 200 問以下であり FPT のそれも同じような数であるから, 多くの登録問題は CWT に使われていることになる. そこでは, 全くアクセスされない問題もある一方で多数回アクセスされる問題も出てくるし, 学生によっても CWT アクセスの頻度が異なってくる.

一例として, 2016 年度の 4 月初めから 7 月末までの CWT へのアクセス結果を見てみる. その期間, 問題への全アクセス数は約 50000 回であった. 1 回の CWT には 5 問が 1 セットとして出題されることから CWT へのアクセス回数は約 10000 回であり, 1 年生の数をおおよそ 1000 人と考えると, 一人あたりの CWT へのチャレンジ回数は 10 回となる. 実際には全く受験していない学生も 400 人以上いるので, チャレンジした学生の場合のアクセス回数はさらに増えこの 2 倍程度になると思われる.

図 7 に, 各問題にアクセスされた回数の棒グラフを示す. 横軸は問題の id を, 縦軸はアクセス回数を表す. 図にはすべての FP システムの登録問題へのアクセス回数を示しているが, LCT と FPT 問題は CWT には出題されないのので, LCT 問題をはじめとして CWT には全くアクセスされない問題も含まれている. 各問題へのアクセス回数の最大値, 最小値, 中央値, 平均値, および第 1, 3 四分位数の値を表 2 に示す. アクセス回数が 200 を超える問題もときに

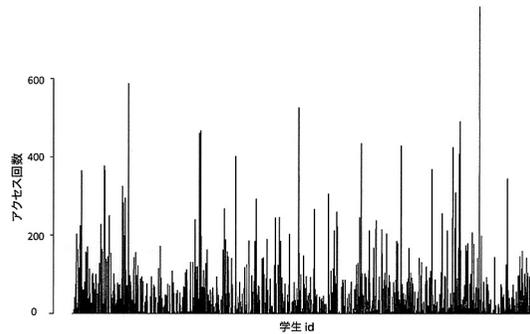


図 8. 各学生が CWT にアクセスした回数の棒グラフ (学生総数は 1160 である)。

表 3. 学生が問題にアクセスした回数の最大値, 最小値, 中央値, 平均値, および第 1, 3 四分位数.

最大値	最小値	中央値	平均値	第 1 四分位数	第 3 四分位数
784	0	20	45.82	0	65

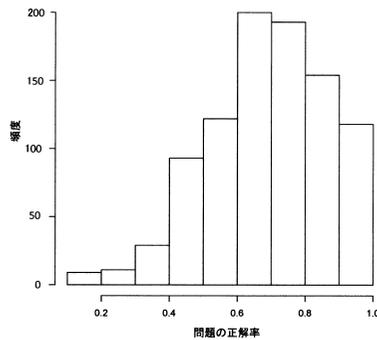


図 9. 正解率のヒストグラム.

あり半数以上の問題には 20 回以上のアクセスがあるので, CWT の問題アクセス頻度としてはそれほど不適切ではない。

次に, 各学生がどの程度問題を解こうとしているのかということについて述べる。図 8 は, 横軸は学生の id を, 縦軸はアクセス回数を表す。多くの学生がアクセスしているように見えるが, 何人かは一度もアクセスしていない。学生が問題にアクセスした回数の最大値, 最小値, 中央値, 平均値, および第 1, 3 四分位数の値を表 3 に示す。800 問近く解こうとしている学生や 500 回以上の挑戦者も 10 人以上いて, 自主的に問題を解いて力をつけたいという学生の姿が読み取れる。一方, アクセス回数が 40 問以下の学生も多く, 熱心な学生とそうでない学生の差は大きいように思われる。

CWT の問題のレベルと学生の能力がマッチしているときに能力推定のための情報を最大に引き出せるので, 問題のレベルはそうように設定されていることが好ましい。そこで, 学生が取り組んだ問題数に対して正答した問題数の比(ここでは正解率と呼ぶ)を調べた。図 9 に, 正解率のヒストグラムを示す。正解率の最大値, 最小値, 中央値, 平均値, および第 1, 3 四分位

表 4. 正解率の最大値, 最小値, 中央値, 平均値, および第 1, 3 四分位数.

最大値	最小値	中央値	平均値	第 1 四分位数	第 3 四分位数
1	0.11	0.70	0.70	0.58	0.83

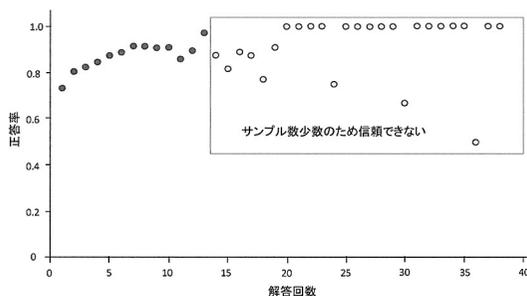


図 10. 解答回数と正答率の関係.

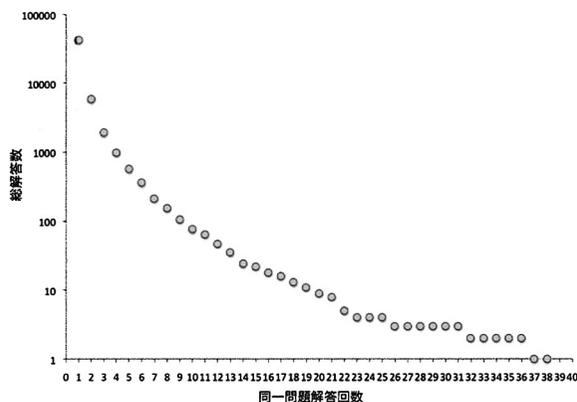


図 11. 同一問題解答回数と総解答の関係.

数の値を表 4 に示す. CWT の問題は受験生にとってやや易しい方に設定されていることがわかる.

同じ学生が同じ問題を真面目に複数回解いたとき, 問題に正解する割合は高くなると考えられる. 図 10 は, 横軸に何回目の解答にあたるかを示し, 縦軸は正答率を示す. 例えば, 1 回目に挑戦した場合の正答率は 0.73 である. このとき, 1 問挑戦した解答総数を調べておく必要があるため, それを図 11 に示した. 1 回の回答ケースは(1 回解答だけでなく 2 回以上解答した場合の学生も含む), 約 40000 ケースある(約 50000 件のうち大半がこれにあたる). このときの正答率が 0.73 であることは, 全体としても同様な正答率になっていることを示している.

図 10 を見ると, 同じ問題への解答を重ねるごとに正答率が上がっていることが分かる. 最初 0.73 だったものが 5 回目で 0.87 に, 10 回目で 0.91 に上がっている. この結果は, 習熟度が上がったのか解答を暗記してただけなのかは分からないが, 習熟度向上の可能性は否定はできない.

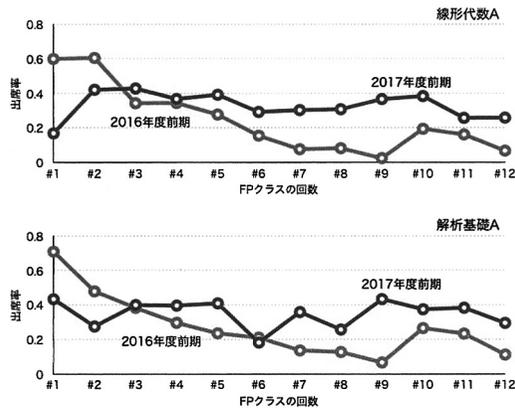


図 12. FP クラスへの参加率(2016 年度前期, 2017 年度前期)。

3.3 FPC アナリティクス

FP クラスでは FPT を行っているが、問題の困難度を個々の能力値に合わせるようなアダプティブな問題設定にしているため、個々の学生に対して全く異なった試験問題が設定される。それらを同じ土俵で取り扱うことはできない。そこで、ここでは FP クラスの参加率についてのみ述べる。

一例として図 12 に、2016 年度前期および 2017 年度前期での FP クラスへの参加率を示す。2016 年度は回を重ねるごとに参加率は段々小さくなる傾向にある。この原因は、FP クラスが 5 限目(16 時 45 分-18 時 15 分)と遅いため、学生の夕方の予定とぶつかること、FP クラスへの参加は単位取得とは無関係なのでただのサービスと受け止めて自分のものにする動機付けが薄いこと、まわりが行かないなら自分もという大衆心理などが働いていたものと思われる。2017 年度はこの取り組みを丁寧に説明して参加者が減らないように工夫した。その効果があって、2017 年度は参加率の下降傾向は治まっている。しかしながら、強いインセンティブがないためか全体的に参加率は低い。参加率が低いということは、FP クラスからのアナリティクス情報の信頼度が低くなると考えられるため、教育効果を統計的に正確に見るためにもある程度の出席率が確保されていることが好ましいと思われる。

3.4 ドロップアウト対象の特定

これまで、FP システムを支えている LCT, CWT, FPT それぞれのアナリティクスについて述べ、ドロップアウトの可能性のある学生は早くから LCT の成績が落ちていることを述べた。しかし、その対象を明確に個々に特定できるまでには至ってない。ここでは、更に別な情報も加味してドロップアウトの可能性のある学生を早期に特定できるかどうかについて議論する。加える情報とは、入学時のクラス分けのためのプレースメントテストの結果、毎授業の出席状況、FP クラスへの出席状況などである。

図 13 に、一例として 2017 年度前期での線形代数 A の LCT の各回での能力値の平均とプレースメントの成績との関係を示す。図には、期末試験の合格者(60 点以上)、D 不合格者(40 点未満)、E 不合格者(40 点以上 60 点未満)の 3 つの集団を色分けして示した。LCT アナリティクスでは、単元毎の能力値のトレンドからドロップアウトの兆候は示唆されることは示されたが、図を見ると、LCT の各回での能力値の平均をとると期末試験の合格者と不合格者の区別はつけにくくなっている。また、プレースメントテスト成績からも期末試験の合否を識別できる

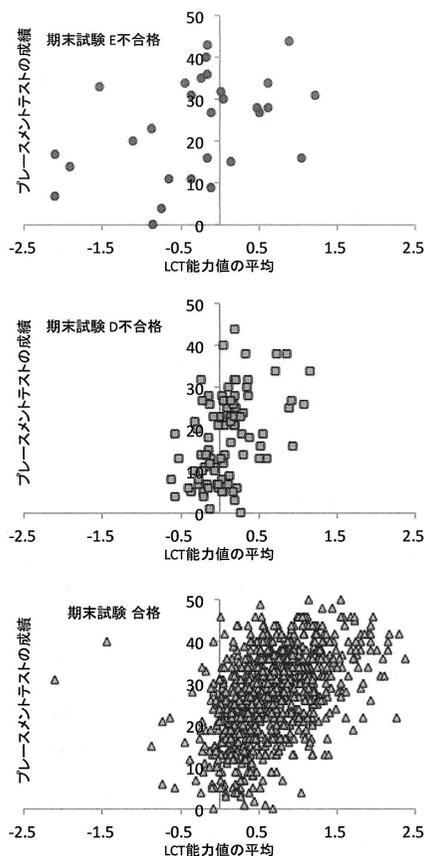


図 13. LCT 能力値の平均とプレースメントの成績との関係。

しきい値は見つけにくい。

図 14 には、授業への出席状況と LCT の受験状況を、期末試験の合格者(青枠で囲んだ)、D 不合格者(ピンク枠で囲んだ)、E 不合格者(赤枠で囲んだ)の 3 つの集団で区別して示してみた。これは、線形代数 A の 2017 年度前期の前半部分を一例として取り出したものである。出席状況は、電子カードによる情報で、1:出席, 2:遅刻, 3:在室(大幅遅刻), 4:届け出あり(出席とみなす), 5:欠席, 6:未判定(欠席扱い), 受験状況は、1:合格, 2:不合格(受験して), 3:不合格(受験していない), 4:免除(合格扱い), 5:未受講(合格扱い)である。この 2 つの数値から 1 桁目に出席状況を 2 桁目に LCT 状況とした(10 進数の)2 桁の数値を作り色分けしている。この図から、期末試験 E 対象者には授業を欠席している学生が多いことがわかる。また、D 対象者では LCT 不合格者数が多いことがわかる。ドロップアウト対象を特定するには授業への出席状況をまず見るということとはよく聞くことであるが、データによって明快に示されている。

プレースメントテストの結果、LCT の成績、毎授業の出席状況に加え、LCT の合否、FP クラスへの出席要請、FP クラスへの出席などのデータを説明変数に、期末試験での合否を目的変数にしたときの回帰分析を行なってみた。目的変数には、合格で 0、D 評価に 1、E 評価に 2 を与えている。その結果、FP クラスへの出席は不要(LCT 合格と同じ意味)という情報が有意

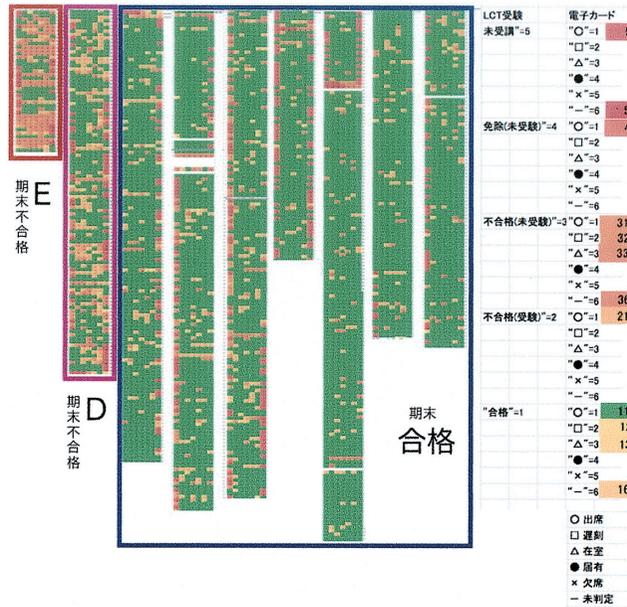


図 14. 授業への出席状況と LCT の受験状況。

であることが分かった。つまり、LCT に合格している回数が多い学生には目的変数の値 0 がよく対応し、そうでない学生には目的変数の値 1 以上がよく対応しているということである。

電子カードを用いた出席情報による出席数は実際に出席している学生数と合わないことがあり、極端な場合にはそれらの差は履修者数の数 10% にまでなることがあるが、LCT の受験履歴は着席している学生数と同じであるため正確な出席状況が把握できる。LCT を課す授業の場合、電子カードを用いた出席情報を FP を始める前と比較してみると出席状況が 90% から 95% へとよくなっていることが分かった。LCT 受験へのインセンティブによるものと思われる。なお、授業欠席者は期末試験 E 対象者が大半である。

以上の考察から、ドロップアウト対象者を早期に特定するには、まず授業への出席情報を正確に把握し、次に LCT の合否状況を把握することが重要であることがわかった。

4. おわりに

多様な学生の中から早期にドロップアウトリスクを持つ学生を発見し、適切な手当てを施し可能な限りリスクを低減させるために新しく構築したテストシステムについて述べ、そのシステムから得られた大規模なデータからラーニングアナリティクスを試みた結果について述べた。その結果、期末試験に失敗する学生は期末試験に成功する学生よりも毎週の習熟度確認のテストでの正答率が授業が進むにつれて低くなっていること、また、授業への出席状況が悪いことが示された。

大学 1 年生の数学科目に適用したこのシステム(ここではフォローアッププログラムシステムと呼んだ)は、ラーニングシステムに搭載されるコンテンツを、物理、英語などの他の科目に変更することが容易であるため適用性や汎用性に富むものである。教育指針を統計的に与えることができる新しいシステムとして活用できるものとする。

大規模なオンラインテストによって得られたラーニングデータは今後も着実に蓄積されていく。そのデータを分析することによって得られるラーニングアナリティクスは、これまで見えなかった教育への新しい方法論を与えてくれる可能性があり、少なくともこれまで漠然と感じてはいても強く主張できなかった事柄をデータをもとにして統計的に主張できるものとする。ラーニングアナリティクス研究はこれからである。

今後は、テストシステムを演習に限定せず中間試験などの評価試験に適用できるようにオンラインシステムの信頼性を確保すること、一大学だけでなく大学間コンソーシアムなどによる協力体制を敷きながらテストに使用される良問を充実させることで問題データベースの利用度を更に高めることなどが課題である。

広島工業大学の数学グループには、問題登録、LCT実施など多大な協力をいただいた。謝意を表す。なお、本研究の一部はJSPS科研費17H01842の助成を受けたものである。

付 録

ここでは、LCT(Learning Check Testing)、CWT(collaborative work testing)、FPT(follow-up program testing)それぞれの設計の考え方と運用法について簡単に述べる。LCT、CWT、FPTでは、すべて多肢選択方式のテスト形式としている。ただし、1問につき複数の回答欄を設けすべてに合致した場合を正答とするようにしているため、ランダム選択による見かけ上の正答率は小さく抑えられるようになっている。従って、評価法に用いるIRTでのロジスティック分布関数には識別力と困難度の2パラメータを持つ分布関数を用いた。

付録 A. LCT(Learning Check Testing)

LCTは、通常授業の内容の理解度を確認するために10分程度で行なう問題数5問から10問のオンライン小テストである。直前に受けた授業の内容を確認する意味で当該の単元内容から出題される。従って、全クラスで同じ単元内容の授業を展開するスケジュールが学期の始めに与えられ、授業の進度もスケジュールどおりに進められることになる。もちろん、教員の都合等により多少のずれは容認できるようになっている。クラス数は、1000人程度の学生数に約20人程度の教員で対応するため50-60人程度のクラスが20クラス程度できることになる。

LCTでは、理解度確認の意味から全学生に同一問題を与えている。ただし、隣の解答を見ることを攪乱する意味から出題順は学生によって異なる(ランダム出題)。1問1問順に解答するようになっているが、解答が困難な場合にはスキップして後で戻ることができる。1問解答するごとに応答はシステムのデータベースに格納されていき途中のシステム不具合を回避しながら、また書き直しなどにより変更があれば最新のものが蓄えられていくようになっている。テストを始めるときには教員が始まりの指示を出し、その後学生が個別にテストに臨むようにして、テストの始まりから終わりまでの時間が全員同じになるように設定されている。

LCTの問題は、後に示す問題登録法(登録システム)によって、事前に適切な問題を各教員が寄せ合い、会議を経て選別するようにしている。問題の選定には正答率が50%程度になるように設定することが評価精度の面からは好ましいが、多様な学生に対応できるようにするため、すべて同一水準の問題にはせず、易しい問題から難しい問題を均等に配置する方法をとっている(Hirose and Sakumura, 2010)。こうすることで、正答できる問題数が学生の習熟度によって異なっても習熟度の評価の精度はあまり落ちないようにしている。LCTの問題や解答は公開されていない。

学生や教員に伝える能力評価には、全体の問題数に対して学生が解いた問題数の割合から計算する正答率ではなく、各問題の困難度も評価結果に加えることができるIRTを用いている。

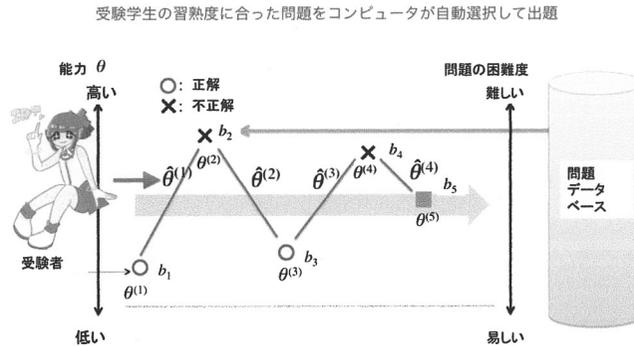


図 15. アダプティブシステムにおける自動問題選定. $\theta^{(i)}$ はシステム側で設定した値を, $\hat{\theta}^{(i)}$ は i 番目の問題を解いた後で推定された値を示している. 従って $\hat{\theta}^{(i)}$ は $\theta^{(i-1)}$ と同じものである.

このように少ない問題でも評価精度ができるだけ高くなるようにしている.

LCTで成績が一定水準に達しない学生には、習熟度を補うための補習クラス(FPクラス)に出席するよう、FPクラス開講前にメールで連絡し、毎授業で着実に授業をフォローできるようにしている。対象者の選別は本来は絶対評価が好ましいが、FPクラスで収容できる物理的な学生数の制限およびFPの担当教員が指導できる学生数を考えて、相対的に全学生の10%以内を目指すようにしている。IRTの計算には全学生のLCT結果が揃っていることが望ましいので、LCTの採点は各週の一定時期を決めて全学生対象に一斉に行っている。

付録 B. CWT(collaborative work testing)

CWTは、FPクラスで行なうオンライン演習を主な目的としているが、それに限らず、自宅や通学途中でも自由にシステムにアクセスすることによって通常授業の事前事後学習に備えられるようにしている。CWTの問題は、演習の効果が上がるように、学生の習熟度に応じた問題が問題プールの中から自動的に選ばれるようなアダプティブシステムとしている。このため、CWTにもアダプティブシステムを適用しやすいIRTを用いることにした。あらかじめデータベースに格納されている学生の習熟度に合わせて問題が最初に出され、その解答の成否によって次の問題が選定されながら、合計5問の問題が提示される(Hirose, 2016a)。全問回答後に、あるいは1問1問解答しながらの途中でも、解答の内容と正答および解説が確認できる。CWTはアダプティブシステムであるため、LCTや普通の答案用紙を使ったテストのように、見直したり前後に行き来したりすることは許されていない。

付録図 15 に今回採用しているアダプティブシステムにおける自動問題選定法を示す。図では、受験者の習熟度がデータベースに記録されていれば最初にそのレベルの問題を、なければランダムに問題を選び、解答が正解であれば正解によって得られた情報と事前に得られている情報から受験者の習熟度をベイズ推定し、そのレベルの問題(回答した問題より難しくなる)を次に与え、正解でなければ逆により易しい問題を提示する、というようなアルゴリズムによって問題が出題される。図で $\hat{\theta}^{(i)}$ は推定過程の受験者の習熟度の推定値を表している。能力値の推定精度を保つには出題数は10問以上が好ましいが(Sakumura and Hirose, 2017, Tokusada and Hirose, 2016)、10分という時間制約があれば5問から7問が現実的な出題数と考えられる。

FPクラスでは、FPC受講の学生5人に対し1人の上級生(サポーター)を配置するピアサ

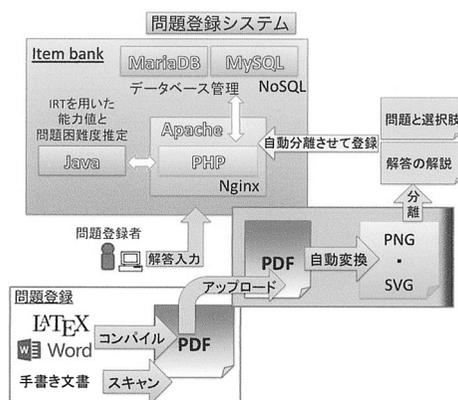


図 16. 問題登録の仕組み.

ポーターの制度を設けている。100 人が一堂に集まる会場で、5-6 人が一つのテーブルに集まって議論しながら演習を進められるような机の配置を作り、学生はパソコンに向かいながらコンピュータが与えてくれる自分に最適な問題を解いていくというシステムの形としている。FP クラスの担当教員は全体としてはこのピアサポーターを監督しながらクラスを進行させている。このシステムは、ピアサポーター自身の成長を促すシステムにもなっている。このように、学生、上級生、教員が協同で作業を行なうという意味で、CWT(collaborative work testing) という名称をつけている。

付録 C. FPT(follow-up program testing)

FP クラスにはさまざまな習熟度の学生が集まってくるため、同じ問題を一齐に課しても学生の能力評価を確認するには正確さに欠けると思われる。そこで、基本的には当該学生の学習履歴(LCT や CWT による IRT 評価での能力値(習熟度))に応じた問題が適切に出されるように、CWT と同様にアダプティブなテストとしている。出題は、過去に LCT を受験した全単元の内容からシステムが個別的な出題を適切に選ぶようにしている。したがって、評価結果は他の学生との相対的な位置づけにはなっておらず、あくまで学生個人が FP クラス受講によって伸びたかどうかを見ている。

付録 D. FP システムへの問題登録法

本論文で提案しているシステムではテストングが主体ではあるが、問題登録(Hirose, et al., 2016)も、問題データベースが柔軟性を持つという意味で、システムを支える大きな柱となっている。問題登録は、システムに精通した専任の担当者に委ねられるのではなく、すべての教員が自ら簡単に登録、修正、削除ができるようになっている。これは、システムへのアップロードファイルの形式を PDF ファイルとしたことで可能になっている。システムは、PDF ファイルを受け付けたのち、それを画像データに変換して蓄積するので、もはや問題作成の手段に制限はほとんど受けない。付録図 16 に問題登録の仕組みを示す。

提案するシステムによって実際に登録作業を行う際には、初期画面から登録画面に案内されると、まず登録する単元を選び、次に単元内での個別の問題登録を行う。このシステムでは多肢選択では記号や数値も選べるようにしている。

問題文の下にデリミッターとしての直線を1本入れ、その下に解答および解説部分がかかれた登録用のPDFファイルをアップロードすると、デリミッターを解読して問題文の部分が出題画面に、解答と解説部分が解答を終わった後で示される解説画面に表示される。登録時には、ファイルアップロード時に同時に正答を入力しており、アップロードファイルと関連づけられている。この登録システムでは、問題の登録だけでなく、修正、追加、削除も容易に行なうことが可能である。

参 考 文 献

- Hirose, H. (2016a). Meticulous learning follow-up systems for undergraduate students using the online item response theory, 5th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments, 427–432.
- Hirose, H. (2016b). Learning analytics to adaptive online IRT testing systems “Ai Arutte” harmonized with university textbooks, 5th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments, 439–444.
- 廣瀬英雄, 藤野友和 (2015). 『確率と統計—Web アシスト演習付』, 培風館, 東京.
- Hirose, H. and Sakumura, T. (2010). Test evaluation system via the web using the item response theory, The Thirteenth IASTED International Conference on Computers and Advanced Technology in Education, 152–158.
- Hirose, H., Takatou, M., Yamauchi, Y., Taniguchi, T., Honda, T., Kubo, F., Imaoka, M. and Koyama, T. (2016). Questions and answers database construction for adaptive online IRT testing systems: analysis course and linear algebra course, 5th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments, 433–438.
- Hirose, H., Takatou, M., Yamauchi, Y., Taniguchi, T., Kubo, F., Imaoka, M. and Koyama, T. (2017). Rediscovery of initial habituation importance learned from analytics of learning check testing in mathematics for undergraduate students, 6th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments, 482–486.
- 桂利行, 池田敏春, 佐藤好久, 廣瀬英雄 (2015). 『理工系学生のための線形代数—Web アシスト演習付』, 培風館, 東京.
- 桂利行, 岡崎悦明, 岡山友昭, 齋藤夏雄, 佐藤好久, 田上真, 廣門正行, 廣瀬英雄 (2017). 『理工系学生のための微分積分—Web アシスト演習付』, 培風館, 東京.
- 桑幡隆行, 作村建紀, 廣瀬英雄 (2012). adaptive online IRT system について, 情報処理学会火の国シンポジウム, A-1-4.
- 文部科学省中央教育審議会大学分科会大学教育部会 (2016). 「卒業認定・学位授与の方針」(ディプロマ・ポリシー), 「教育課程編成・実施の方針」(カリキュラム・ポリシー)及び「入学者受入れの方針」(アドミッション・ポリシー)の策定及び運用に関するガイドライン.
- Sakumura, T. and Hirose, H. (2017). A bias reduction of abilities for adaptive online IRT testing systems, *International Journal of Smart Computing and Artificial Intelligence*, **1**, 59–72.
- Tokusada, Y. and Hirose, H. (2016). Evaluation of abilities by grouping for small IRT testing systems, 5th International Conference on Learning Technologies and Learning Environments, 445–449.
- Waddington, R. J., Nam, S., Lonn, S. and Teasley, S. D. (2016). Improving early warning systems with categorized course resource usage, *Journal of Learning Analytics*, **3**, 263–290.

A Large-scale Testing System for Learning Assistance and Its Learning Analytics

Hideo Hirose

Faculty of Environmental Studies, Hiroshima Institute of Technology

One of the most crucial issues in universities, where a variety of enrolled students are educated to the level of universities' diploma policies, is to identify students at risk for failing courses and/or dropping out early, to take care of these students, and to reduce their risk. For this purpose, in April 2016, Hiroshima Institute of Technology implemented a newly developed online testing system to evaluate students' abilities into the follow-up program for fundamental undergraduate education; the system is based on item response theory. Since then, the system has been operating well. The subjects are basic analysis (calculus) and linear algebra. The accumulated learning data are sufficient for assessment of primary learning analytics. In this paper, we describe our case as a large-scale testing system for steadily accumulating learning data, and then explore whether we can identify students at risk by analyzing such data in the early stages. It is worth mentioning that risk factors that were originally ambiguous have revealed by statistical analysis of the data. Although the academic subject examined in this study was mathematics, this kind of system could easily be applied to other subjects, including statistics, statistics education, and STEM (science, technology, engineering, and mathematics).

統計的問題解決を取り入れた授業実践の 在り方に関する一考察

—既存のデータを活用した問題解決活動におけるプロセスの相違に着目して—

青山 和裕[†]

(受付 2017 年 6 月 30 日；改訂 11 月 21 日；採択 11 月 27 日)

要 旨

新学習指導要領において小・中学校における統計教育は充実化され、特に、統計的な問題解決・意思決定活動が行われることとなった。学習指導要領解説には、統計的な問題解決プロセスとして PPDAC サイクルが提示されているが、「P：問題」「P：計画」「D：データ」を実際に行うのは時数的に、また授業運営の面からも負担が大きく容易ではない。それに比べて既存のデータを活用する実践は負担が軽減されるが、データ収集のプロセスがないため、PPDAC サイクルとしては本来の定義と異なっている。そこで本稿では、統計的問題解決に取り組んだ実践事例等を概観し、既存のデータを利用する際の PPDAC サイクルのプロセスの相違について分析し、今後の授業実践の在り方について示唆を導出することを目的とする。

キーワード：統計教育，データの活用領域，統計的探究，PPDAC サイクル。

1. はじめに

2017 年 3 月に新学習指導要領が公示され、小学校に「データの活用」領域が新設されるなど統計に関する指導内容は充実化された。今期の改訂に先立って中央教育審議会教育課程部会算数・数学ワーキンググループ(2016)により提案された事項の 1 つには、統計的な問題解決・意思決定活動の充実が提案されており、新学習指導要領での統計教育の充実はそれに応えた形となっている。

統計的な問題解決のプロセスとしては、日本の全国統計教育研究協議会が長年の取り組みで培ってきた「とらえる-あつめる-まとめる-よみとる-いかす」(全国統計教育研究協議会, 1999)や、ニュージーランドで用いられている「問題(Problem)-計画(Plan)-データ(Data)-分析(Analysis)-結論(Conclusion)」からなる PPDAC サイクルなどが代表的である。小・中・高等学校での今後の実践では、これらのプロセスを意識した授業が求められ、具体化に取り組んでいくことが必要となる。

一方で、統計的な問題解決を実際に行うことは、児童・生徒自身、あるいは教師にとっても難しく、また時間も要することが報告されている(青山・小野, 2016)。今後統計教育が現場に普及していくことが予想されるが、統計的な問題解決を授業化することの難しさや子どもの活動支援の難しさから授業が思うように機能しないこと、またその経験から全く手を付けなく

[†] 愛知教育大学 数学教育講座：〒448-8542 愛知県刈谷市井ヶ谷町広沢 1

表 1. PPDAC サイクルの各プロセス.

問題 (Problem)	・問題の把握 ・問題設定
計画 (Plan)	・データの想定 ・収集計画
データ (Data)	・データ収集 ・表への整理
分析 (Analysis)	・グラフの作成 ・特徴や傾向の把握
結論 (Conclusion)	・結論付け ・振り返り

なってしまう、従前通りの指導から脱却できなくなる事態も予想される。

今日のビッグデータ時代では、自らデータを収集するのではなく、システムを通じて集積されたデータなど既存のデータから価値ある情報を見出す力も必要とされている。既存のデータの利用は教員や時数に対する負担が少なく無理なく問題解決を実現できるという利点もある。既存のデータを用いる活動と児童・生徒らにデータ収集を行わせる活動とでは、学習においてどのような相違が生じるのかについての比較・検討や、それらの結果を踏まえての統計的な問題解決の授業の在り方について検討しておく必要がある。

そこで本稿では、PPDAC サイクルの全てのプロセスに対応した授業実践や既存のデータを活用する授業についてそれぞれ事例を通じて概観し、各授業における PPDAC サイクルの相違について分析する。またその分析を通じて、統計的な問題解決の授業実践の在り方について検討する。

2. 統計的探究プロセスについて

統計的探究プロセスについては、学習指導要領解説(文部科学省, 2017)においては、ニュージーランド流の PPDAC サイクルが取り上げられている(表 1)。

問題、計画、データについては次のように解説されている。

元々の問題意識や解決すべき事柄に対して、統計的に解決可能な問題を設定し、設定した問題に対して集めるべきデータと集め方を考え、その計画に従って実際にデータを集め、表などに整理した上で、…。(文部科学省, 2017, p.68)

現行の教科書ベースの統計指導においては、問題設定やデータ収集などのプロセスは省略され、提示されたデータを目的も不明確に分析せざるを得ない状況となっている。そのような現状から統計的な問題解決活動へと進める上で、これらプロセスは重要となるが、上記解説文を厳密に受け止め授業を展開すると、問題設定から調査計画、データ収集についても取り入れざるを得なくなる。多くの教員はこれまでに統計的な問題解決の経験もなければ、統計学の指導すらほとんど受けたことがない。また、統計に関する指導時数の増加がそれほど見込めない状況において、一連のプロセスを授業化するのは大変困難である。

3. 日本の実践事例及びニュージーランド教材からの考察

ここでは、統計的探究プロセスについて取り組んだ実践例を2つ、ニュージーランドの既存のデータを用いる教材例を1つ取り上げ、それらにおける統計的探究プロセスの相違について検討する。

3.1 丹波市立鴨庄小学校：松田亜矢先生の実践

2017年1月～2月にかけて、第4学年の算数科「調べ方と整理のしかた」単元と国語科「報告します みんなの生活」単元をつないで延べ18時間で行われた実践である。

単元タイトルは「調べて発見！わたしたちの生活」である。学級の児童16人を4つのグループに分け、各グループで調べたいテーマを設定し、それについてアンケート調査を実施し、結果を報告している。

各グループが設定したテーマとアンケートの質問項目は次の通りである。

1班：「生活について」

- ・ゲームを一日どれくらいするか
- ・お菓子、ジュースをよく食べるか
- ・忘れ物をよくするかしないか
- ・一番楽しいと感じるときはいつか

2班：「学習について」

- ・家庭学習の時間
- ・何の学習に時間をかけているか
- ・お手伝いをよくするかしないか
- ・何のために勉強しているか

3班：「食生活について」

- ・嫌いな食べ物の数
- ・食事で気をつけていること
- ・生活の中でいやなことを努力するか
- ・友だちと仲良くするために気をつけていること

4班：「将来について」

- ・将来の夢(やりたい仕事)
- ・習い事は何をしているか
- ・今、がんばっていること
- ・どんな大人になりたいか

図1は1班と2班の発表内容の一部である。

1班は毎日ゲームをする時間の長さとお忘れ物をするかどうかという項目に注目して分析をし、ゲームを長くする人の方が忘れ物が多い傾向にあることを発表していた。2班は毎日の勉強時間とお手伝いをどの程度しているかについて注目し、「勉強時間が長い人は毎日ほとんど手伝いをしていない」「勉強を長い時間するのはいいけどお手伝いができず、お母さんのためにならないので気をつけたいです」とまとめた。

ゲームの時間と 忘れ物の関係						
忘れ物	ゲーム	持っている けどしない	1時間以内	1～2時間	2時間以上	合計
よくする		1	1	0	1	3
時々する		1	2	2	0	5
ほとんどしない		0	4	3	0	7
合計		2	7	5	1	15

学習時間とお手伝い					
学習時間	手伝い	毎日する	時々する	ほとんどしない	合計
30分以内	3	3	2	8	
30～40分以内	1	1	0	2	
40～50分以内	1	0	1	2	
1時間以上	0	2	1	3	
合計	2	6	4	15	

図1. 1班と2班の発表の一部.

この実践では、児童なりに自分たちの生活について考え、テーマとアンケート調査で調べる項目について考えている。テーマを設定する活動が「問題」、アンケート調査で調べる項目を考える活動が「計画」にあたる。アンケート調査を行うことが「データ」にあたり、集めたデータを「分析」して「結論」までをまとめている。以上のように統計的探究プロセスについて児童自身に取り組ませたよい事例である。

合科にするという指導上の工夫も経て、18時間もの時数を確保しているが、これは容易なことではない。また、児童はとてもよい分析結果を報告しているが、実際には1回目の調査では全く意味ある結果を見出すことができず、その反省を踏まえて再度調査を実施している。1回目の調査では各自の思い付きや興味でアンケートをしてみたが、分析に向けた見通しを持っておらず、どのように整理しても特に特徴となることを見出すことができなかった。そのようなアンケート調査や分析の難しさを1回目で体験し、2回目では質問項目を考える段階である程度仮説を立てて取り組むことや、分析の仕方に関する見通しを持つことについても学んでいる。「問題」や「計画」を児童が行うことの難しさや時間を要するということがよくわかる。

3.2 横浜国立大学教育人間科学部附属横浜中学校：藤原大樹先生の実践

藤原(2013)は第1学年を対象に、「単純作業を能率的に行うにはどのようにすればいいか」というテーマで実践を行っている。単純作業の能率を捉える指標として「のの字テスト」を導入している。授業における取り組みとしては、能率に影響を与えると思われる要因や仮説を立て、実際に実験しデータ収集をして効果を分析している。

図2はアップテンポな曲を流しながら作業をしたら能率が上がるのではないかとという仮説に取り組んだ1年A組と運動直後であれば能率が上がるのではという仮説に取り組んだ1年B組の例である。

この実践では、「単純作業を能率的に行うにはどのようにすればいいか」というテーマから、「のの字テスト」の結果に影響を及ぼす方法を明らかにするということで問題を置き換えており、これが「問題」にあたる。この部分は教師が主導的に導入している。その上で「のの字テスト」に影響を及ぼすことについて要因や仮説、実験の仕方を考える活動が「計画」にあたる。実際に実験をして「データ」を収集し、「分析」を経て「結論」をまとめている。

この実践での「問題」「計画」は松田実践のものとは異なっている。「単純作業の能率」というテーマから始まっているものの、「のの字テスト」の結果に問題を置き換えることで、必然的に向き合うデータが固定されている。「計画」においても、「のの字テスト」という結果変数に対する原因変数として何が考えられるかを考えている点で負担が軽減されている。

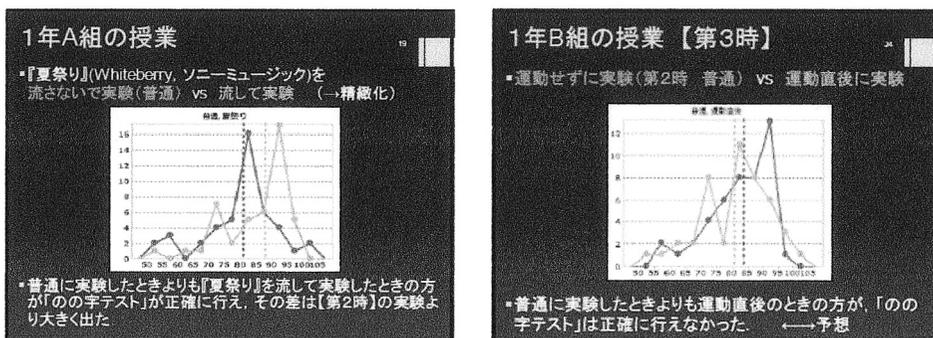


図2. 実験結果の分析例。

3.3 ニュージーランドで用いられていた教材

統計教育先進国といわれるニュージーランドへの視察調査を数度行ったが(青山・裕元, 2016), 観察した多くの授業で既存のデータを配布する形の授業が展開されていた。配布されたデータを用いての分析活動に対しても PPDAC サイクルというラベルが当てられ、生徒たちのレポートは各プロセスに対応する形でまとめられていた。

実際に生徒がデータ収集を行う授業もいくつかあったが、紙飛行機を題材に、飛距離を調べるか滞空時間を調べるかを選択するなどであった。生徒自らの問題意識から始まり、その問題意識を「統計的に取り組む問題」として設定する活動や、収集するデータについて想定したり集め方を考えるなどの「計画」を立てる授業は見ることができなかった。

現地では CensusAtSchool New Zealand (2017) という統計教育に関するプロジェクトのデータが教科書にも掲載されているなどよく使われており、これはすでに集められたデータを扱う代表的な教材である。CensusAtSchool New Zealand では、教育利用という目的のもとでデータが集められているが、生徒が「問題」を設定し、「計画」を立てて収集しているデータではない。

CensusAtSchool New Zealand では、性別、年齢、身長、睡眠時間、クリック時間(反射神経)、神経衰弱をクリアするまでの時間、足のサイズ、床からへそまでの高さ、環境問題に対する意識など多様なデータが集められている。生徒はこれらのデータを概観し、「性別により反射神経に違いはあるか」、「年齢と睡眠時間は関係しているか」、「へそまでの高さと身長との関係と男女差」など自分なりの問題を設定して分析を進めるなどしている。図 3 は CensusAtSchool New Zealand の 2017 年調査で用いられた質問紙の一部である。

CensusAtSchool New Zealand のデータを用いる場合の問題解決では、データの項目を見て関連付けることが「問題」にあたり、多様なデータの中から分析に用いるものを選択することが「計画」となる。PPDAC サイクルの各プロセスの定義と比べると、「問題」「計画」については大きく異なっている。

あらかじめ取り組むデータが決まっていることで、生徒が行う問題解決の範囲がある程度定

CensusAtSchool
NEW ZEALAND

Information from CensusAtSchool helps you understand and explore data on young people. CensusAtSchool is run in New Zealand and other countries around the world. The information you provide can be used by students for educational purposes. Thank you for your time and effort.

Questions about you

1. Are you:
 male
 female

2. What is your age in years?
 years

3. Which country were you born in?
 New Zealand
 Australia
 England
 China (People's Republic of)
 India
 South Africa
 Samoa
 Cook Islands
 Other: Please type the name of the country:

4. Which ethnic group or groups do you belong to? Mark the space or spaces which apply to you.
 New Zealand European
 Māori
 Samoan
 Cook Island Māori
 Tongan
 Niuean
 Chinese
 Indian

Other such as DUTCH, JAPANESE, TOKELAUAN: Please state:

5. In how many languages can you hold a conversation about a lot of everyday things?
 languages

6. Are you right-handed, left-handed or ambidextrous? (An ambidextrous person is able to use their right and left hands equally well.)
 Right-handed
 Left-handed
 Ambidextrous

7. What is your height, without shoes on? Answer to the nearest centimetre.
 cm

8. What is the length of your right foot, without a shoe? Answer to the nearest centimetre.
 cm

9. What is your arm span? Answer to the nearest centimetre. (Open arms wide, measure distance from tip of right hand middle finger to tip of left hand middle finger.)
 cm

10. What is the circumference of your left wrist? Answer to the nearest centimetre.
 cm

11. What is the circumference of your neck? Answer to the nearest centimetre.
 cm

図 3. CensusAtSchool の 2017 年調査の質問紙の一部。

まり、授業時間内で収めやすくなっている。

松田実践では、1 回目の調査では思うような結果が出ず、やり直したことを考えると、データを配布するニュージーランド流の授業は教員・生徒ともに負担が少なくなっている。

4. 取り上げた実践及び教材における PPDAC サイクルのプロセスにおける相違

松田実践、藤原実践においては PPDAC サイクルが授業に取り入れられていることが明確であるが、ニュージーランドの実践においては、「問題」「計画」「データ」に該当する活動について、定義とは異なり簡略化されている。ニュージーランド流の教材や授業は PPDAC とは異なるものであると狭く解釈するよりも、既存のデータから価値ある情報を見出す力の育成に通じるものがあることから、このような簡略化した PPDAC サイクルもあると受け止め、授業設計の幅を広げる方が現実的である。

ニュージーランドのような既存のデータを配布する実践における「問題」は、データの項目などを概観し、複数のデータ項目を関連付けて問題設定を行うことである。例えば、「性別」と「反射神経」の項目を関連付け「性別によって反射神経に違いはあるか」と問題設定するようにである。「計画」については、関連付けしたデータ項目を選択するのは当然のことであるが、他のデータ項目についても分析に用いるかなどを検討することも含まれる。「性別」「反射神経」だけでなく、「年齢」も交えて分析しようか検討するようにである。既存のデータの配布から授業が展開されることから図 4 のように PPDAC の「D：データ」を起点に問題解決を行っていることもできる。

児童・生徒が自分たちでデータ収集などを行わないため問題解決活動としては簡略化されている部分が多いが、それでも現行の統計指導よりも充実しており、また児童・生徒の作業の範囲も制限されるため、教員としては目が届きやすく、授業運営の負担が少なくなる。

藤原実践においては実質的には、「問題」は教師によって誘導され、結果変数として「のの字テスト」のデータは固定されている。「のの字テスト」の結果に影響を与え得る要因を考える「計画」の部分の方が強く顕在化されている。PPDAC の「P：計画」を起点とした実践と捉えることもできる(図 5)。

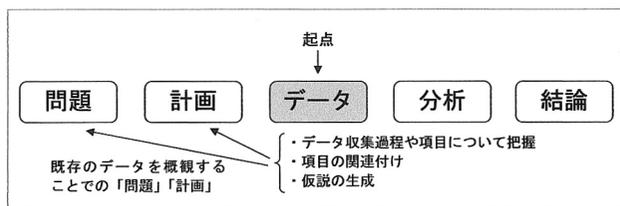


図 4. 既存のデータを利用した場合の PPDAC サイクル。



図 5. 結果変数を固定した場合の PPDAC サイクル。

児童・生徒が収集するデータを想定する活動や実際にデータ収集する活動があることで問題解決活動としては充実しているが、すでに結果変数が固定されていることで児童・生徒の発想や活動の範囲がある程度制限され、授業運営の負担が若干少なく済む。

松田実践はPPDACの「P：問題」を起点とした真正な問題解決と捉えることができる。

起点とするプロセスを前にするほど、問題解決活動の自由度や幅は広がり、それに応じて必要時数の管理や児童・生徒の活動の取りまとめなど教員の負担についても増すこととなる。

5. 今後の統計教育普及のための方策として

松田実践のように真正な問題解決に取り組み、児童・生徒に「問題」や「計画」を行わせるとなると、各自の活動の方向性や集めるデータなど収集が付かなくなってしまうリスクや、授業時間内では処理しきれなくなってしまう懸念が生じる。そのようなリスクを回避し、児童・生徒の意見を生かしつつうまく舵取りをして作業を行わせるには、教員側に統計に対する深い理解や相当の配慮を要求することとなる。ごく一般の教員が通常の授業の範疇で行うことを考慮すると、それほど難しくない統計的問題解決の授業化の仕方について選択肢が必要である。

その点で、藤原実践やニュージーランド教材は示唆に富んでいる。藤原実践のように問題解決の起点を「計画」にシフトし、結果変数を固定してしまえば、始めから統計の舞台に載せられた上での活動が展開されるし、データ収集の活動についても経験・学習させることが可能となる。データ収集や集計・整理の仕方によっては時数もある程度必要になるかもしれないが、真正な問題解決よりも想定範囲に収めやすいという利点がある。

ニュージーランド教材のように起点を「データ」にシフトし、既存のデータを配布する場合にはさらにリスクが軽減されることとなる。データ収集や集計・整理に時間がかかることもなく、また分析に失敗し再度データを集め直すなどのリスクを負わなくてよくなる。自分たちで集めていないデータであることや、問題意識がない中でデータに向き合うことから、主体性に関しては懸念があるが、現地での実践の様子からは十分に意欲的に取り組んでいることが感じられた。現状の教科書教材では、ハンドボール投げなど特定のデータについて2グループを比較するだけというようなものが多く、項目がごく少ないために分析の広げようもない状況である。項目が多岐に渡っていればそれらの組み合わせにより仮説を立てることもできるため、現状よりも大きく前進できることとなる。

一方で藤原実践やニュージーランド教材のような既存のデータを用いた実践では、統計的な問題設定やデータ収集など大事なプロセスに関する指導が浅くなってしまうことも懸念される。真正な問題解決を通じてしか学べないことについても注意を払い、適宜実践に取り入れていく必要もあるだろう。

教員の力量や各学校の事情も異なることから、授業に取り組む教員が児童・生徒の実態や年間の指導計画等の実情に応じて、上記3種類の授業展開を選択できることが重要である。学習指導要領解説と紹介されている事例は、真正な問題解決に近いものや、保健室のケガの記録など既存のデータを扱う事例など混在しているが、授業化する際の使い分けに関することまでは読み取りにくいので、教員研修の機会などを通じて伝達していくことも必要であろう。

6. まとめ

本稿においては、統計的問題解決に関する実践例や教材を元に、PPDACサイクルの質的相違について分類し、起点のシフトという観点で分析した。起点を「計画」や「データ」など後ろにシフトすることで、児童・生徒及び教員、授業時数等への負担を減らせることが明らかとなった。

新学習指導要領に基づく今後の統計教育は問題解決重視で展開されるものの、現実的にPPDACサイクルの全てを日々の授業において展開することは容易ではない。現状ほとんどの教員が統計的問題解決について知らず、また経験も持たないため、即座に授業化することには無理がある。

本稿における統計的問題解決の分類を生かし、教員に対して選択の幅を提供し、無理のない範囲で授業実践に取り組んでもらうことが可能となる。今後の課題としては、統計的問題解決に取り組む際の教員及び児童・生徒の困難点などについて追究を進めることが挙げられる。

付記

本研究は、JSPS 科研費 17K00969 の助成を受けて行われた。

参 考 文 献

- 青山和裕, 小野浩紀 (2016). 多変数を扱う小学校算数での統計授業について, 日本数学教育学会誌, **98**(8), 3-10.
- 青山和裕, 裕元新一郎 (2016). ニュージーランドの教科「数学と統計」について III, 愛知教育大学数学教育学会誌イブシロン, 第 58 号, 35-44.
- CensusAtSchool New Zealand (2017). *CensusAtSchool New Zealand*, Retrieved from <http://new.censusatschool.org.nz/>.
- 中央教育審議会教育課程部会算数・数学ワーキンググループ (2016). 算数・数学ワーキンググループにおける審議の取りまとめについて(報告).
- 藤原大樹 (2013). 中 1「資料の散らばりと代表値」における生徒の探究的な姿を引き出す授業, 第 9 回統計教育の方法論ワークショップ.
- 文部科学省 (2017). 小学校学習指導要領解説算数編, 文部科学省.
- 全国統計教育研究協議会 (1999). 『統計情報教育の理論と授業実践の展開』, 筑波出版会, 筑波.

Consideration of Realization of Lessons with Statistical Problem Solving —Focusing on the Differences between Processes Using Existing Data—

Kazuhiro Aoyama

Department of Mathematics Education, Aichi University of Education

Statistical education has been fulfilled in next national course of study for elementary and junior high schools, especially focused on statistical problem solving. Although in the guidebook of course of study “PPDAC Cycle” has been presented, it is very difficult for teachers to realize that in their lessons. On the other hand, it is easier for them to do lessons with existing data. But it is different with PPDAC process between lessons using existing data and not using those, because there is not the process of gathering data with lessons using existing data. The aim of this article is to analyze the differences of PPDAC Cycle through lesson examples, and derive suggestions for realization of statistical lessons with problem solving.

データサイエンス教育に関する調査結果からみる 統計基礎教育の現状

竹内 光悦¹・末永 勝征²

(受付 2017 年 8 月 29 日；改訂 11 月 23 日；採択 11 月 27 日)

要 旨

2010 年ごろからメディア等でも統計学やデータサイエンスが取り上げられ、初等中等教育でも統計に関する内容が拡充された。高等教育である大学でもデータサイエンス学部が開設、企業でも関連の勉強会やセミナーが実施され、統計に関連する知識や技能の修得を目指す動きが活発化してきている。しかしながら関連の学会・研究会等で発表される調査研究では、教員や児童・生徒・学生に十分にその有意性が伝わっているとは言い難い。そこで著者らはすべての人が最低限の統計を学ぶことの必要性を意識する環境づくりを主目的としたデータサイエンス教育の導入を検討している。著者らは現在の就業状況下での統計に関連する知識や技能の必要性、学習意欲等の現状把握に関する調査を実施し、その概要を報告した。本論文では著者らのこれまでに行った報告の内容を展開し、統計教育導入の基礎資料となるよう、この調査資料を検証した。この結果、統計・データ分析に関する能力の自己評価は低く、必要性はおおむね認知されているが、達成度は低いと思われる。また内容については基礎的な内容を求める傾向があり、演習や社会調査・実験などと絡めた授業が望まれていた。

キーワード：アクティブ・ラーニング，高等教育，授業法，データサイエンス教育，データリテラシー。

1. はじめに

2010 年を過ぎたころからビジネス書やメディア等でも統計学やデータサイエンスに関するものが取り上げられはじめた。このことはビジネス社会に限らず、学校教育でも同様の動きがあり、2012 年 4 月入学生から学年進行で導入されている学習指導要領においても小学校・中学校・高等学校で、統計学やデータサイエンスに関する内容が含まれている。これらの動きは 2017 年の現在において、より多様化し、AI(人工知能)や IoT(モノのインターネット)などのキーワードとともにさらに注目されている。しかし大学や短期大学に目を向けても、産学連携については積極的な動きを見せているが、実学志向が強い統計学を学ぶ専門的な学部は 2016 年まで一部の大学院を除き、開設されておらず、海外では統計関連の学部が広く設置されている事実を踏まえると問題といえよう。このように日本において関連の学部はなかったが、2017 年 4 月には滋賀大学でデータサイエンス学部が開設され(滋賀大学, 2017)、横浜市立大学などを含め、同様の動きが公表されている。また 2017 年 2 月に公表された小学校と中学校の次期

¹ 実践女子大学 人間社会学部：〒150-8538 東京都渋谷区東 1-1-49

² 鹿児島純心女子短期大学：〒890-8525 鹿児島県鹿児島市唐湊 4-22-1

学習指導要領では、統計教育の充実が書かれ、「データの活用」と題して、小学校1年生から体系的に学ぶことが明示されている。企業活動に目を向けても関連の団体や企業で統計学やデータサイエンスに関する社内外での勉強会やセミナーを実施し、これらの知識を高める動きもみられるようになった。

このように学校教育でも社会的活動においても、統計学やデータサイエンス教育が重要視されていると考えられるものは多々あるが、関連の学会・研究会等で発表される調査研究では、初等中等教育の教員や児童・生徒・学生に十分にその有意性が伝わっているとは言い難い(中西 他, 2010; 日本統計学会統計教育分科会, 2017)。このような状況下、著者らは、統計学を学びたいとする学習者の統計に関する能力を高めることを主目的とせず、文系・理系問わずすべての人が最低限の統計を学ぶことの必要性を意識する環境づくりを主目的とした、いわゆる裾野を広げる体系的な統計・データサイエンス教育の導入を検討している。竹内・末永(2016)では社会人が持っている統計に関するニーズや問題の把握を目的として、現在の就業状況下での統計学、データサイエンスの必要性や学習意欲等の把握を行うために、2016年2月末に全国的女性就業者を対象としてウェブ調査を行い、その概要を述べた。

本論文では、竹内・末永(2016)の内容を展開し、どのような特性を持つ社会的な層に対して、どのようなデータサイエンス教育が現在不足しており、今後どのように展開すればよいかなどを含め、今後の統計やデータサイエンス教育の基礎資料となるよう、調査資料をまとめる。

2. 女性就業者を対象とした「データサイエンス教育に関するアンケート」

本章では2016年2月に実施した調査の概要について述べる。なお本研究では将来的に具体的に著者らが所属するような女子大学・女子短期大学でのデータサイエンス教育の導入を視野にいたし、実態把握の基礎資料の作成を目的として調査を実施したことから、女性に対してのみの調査になっていることに注意されたい。また本調査の調査項目については中西 他(2010)で実施した調査項目を参考にした。本調査の概要は以下の通りである。

調査対象：全国の就業(正規・非正規を問わず、学生を除く)している大学卒女性(23歳～65歳)

調査期間：2016年2月25日～2月26日

調査方法：ネット調査機関を利用したウェブ調査

回答者数：618票

主な調査項目：「データサイエンス教育の経験について」、「仕事でのデータ分析スキルの実態について」、「期待されるデータサイエンス教育について」、および回答者属性。

本調査では、使用したネット調査会社(株式会社マクロミルを利用)の登録モニターのうち、対象者条件(女性でかつ23歳～65歳、働いている女性(パートを含み、学生は除く))を満たす登録モニターに規定人数(600人)に達するまで回答を依頼して行われた。なお対象者条件を満たすか否かを確認するため、事前にスクリーニング調査を行い、該当しない回答者は除外している。回答者の地域および年齢分布については、表1、表2を参照されたい。また回答者に関する基本情報として、既婚率48.2%、子供がいる人の割合は33.2%であった。また個人年収や職業(複数該当する人は主なもの)については、それぞれ表3、表4を参照されたい。

3. 調査結果

3.1 高等教育における統計・データサイエンス教育について

高等教育(大学や大学院)での回答者の統計やデータサイエンスに関する教育の受講経験や受

表 1. 回答者の地域.

地域	N	%
北海道地方	12	1.9
東北地方	30	4.9
関東地方	254	41.1
中部地方	109	17.6
近畿地方	127	20.6
中国地方	31	5.0
四国地方	14	2.3
九州地方	41	6.6
合計	618	100.0

表 2. 回答者の年齢.

年齢	N	%
20歳～29歳	158	25.6
30歳～39歳	231	37.4
40歳～49歳	153	24.8
50歳～59歳	64	10.4
60歳以上	12	1.9
合計	618	100.0

表 3. 回答者の個人年収.

個人年収	N	%
200万未満	174	28.2
200～400万未満	212	34.3
400～600万未満	63	10.2
600～800万未満	23	3.7
800～1000万未満	4	0.6
1000～1200万未満	4	0.6
1200～1500万未満	0	0.0
1500～2000万未満	1	0.2
2000万円以上	0	0.0
わからない	34	5.5
無回答	103	16.7
合計	618	100.0

表 4. 回答者の職業(複数該当する人は主なもの).

職業	N	%
公務員	39	6.3
経営者・役員	6	1.0
会社員(事務系)	235	38.0
会社員(技術系)	47	7.6
会社員(その他)	73	11.8
自営業	29	4.7
自由業	18	2.9
専業主婦(主夫)	0	0.0
パート・アルバイト	171	27.7
学生	0	0.0
その他	0	0.0
無職	0	0.0
合計	618	100.0

講希望等について尋ねた。大学・大学院で統計・データ分析(データ処理を含む)に関することを学んだ否かについては、半数以上の人が「学んでいない」(57.1%)であり、「専門的に学んだ」と回答した人は6.5%にとどまった。また大学・大学院で統計・データ分析(データ処理を含む)

表5. 大学時代の統計・データ分析に関することの学びと学習意欲.

		大学・大学院で統計・データ分析（データ処理を含む）に関することを学びたかったですか			合計
		専門的に学びたかった	基礎的な内容ぐらいは学びたかった	学びたいとは思っていませんでした	
大学・大学院で統計・データ分析（データ処理を含む）に関することを学びましたか	専門的に学んだ	2.9%	2.9%	0.6%	6.5%
	基礎的な内容のみ学んだ	6.1%	19.9%	10.4%	36.4%
	学んでいない	1.5%	23.5%	32.2%	57.1%
	合計	10.5%	46.3%	43.2%	100.0%

表6. 大学卒業後の統計・データ分析に関することの学びと学習意欲.

		現在、あなたは統計・データ分析（データ処理を含む）に関することを学びたいですか			合計
		専門的に学びたい	基礎的な内容ぐらいは学びたい	学びたいとは思わない	
あなたは大学・大学院卒業後に会社やセミナー等で統計・データ分析（データ処理を含む）に関することを学びましたか	専門的に学んだ	2.1%	0.3%	0.2%	2.6%
	基礎的な内容のみ学んだ	3.1%	12.9%	3.6%	19.6%
	学んでいない	3.9%	38.3%	35.6%	77.8%
	合計	9.1%	51.6%	39.3%	100.0%

に関することを学びたかったか否かについては「学びたいとは思っていませんでした」が43.2%と高いが、「専門的に学びたかった」(10.5%)、「基礎的な内容ぐらいは学びたかった」(46.3%)と学ぶ意識の方がやや高かった。この二つの質問項目のクロス集計を行ったところ、「学ばなかったが基礎的な内容ぐらいは学びたかった」と考える人が全体として23.5%、「基礎的な内容のみ学んだ人が専門的に学びたかった」と考える人が6.1%いた(表5)。

大学や大学院を卒業後、会社やセミナー等で統計・データ分析(データ処理を含む)に関することを学んだか否かについては、77.8%の人が「学んでいない」と回答し、「専門的に学んだ」と回答したのは2.6%だった。また現在、これらのことを学びたいかについて質問したところ、「専門的に学びたい」(9.1%)、「基礎的な内容ぐらいは学びたい」(51.6%)とあわせて6割の人が少なくとも統計・データ分析に関する内容を学びたいと考えていた。また上述の卒業後の学びと現在の学ぶ意欲に関するクロス集計をしたところ、「卒業後学んでいないが、現在基礎的な内容ぐらいは学びたい」と考えている人は全体として38.3%いた(表6)。なお現在、「専門的に学びたい」または「基礎的な内容ぐらいは学びたい」と回答した人にその理由を自由回答形式で尋ねたところ、「仕事で必要/役立ちそう」との回答が多く、「今後転職等を行うことがあった場合に強みにできると思ったから」や「会社で使っており、分析やプレゼン資料で必要」「転

表 7. 回答者の職場での業務における統計・データ分析に関する能力の必要性(N=618).

質問文	項目	多くの人が必要 (%)	一部の人のみ必要 (%)	あまり必要ではない (%)	何とも言いえない (%)
あなたの勤め先の業務において、以下の統計・データ分析(データ処理を含む)に関する能力について、どの程度必要とお考えでしょうか	データ・資料を収集する能力	32.8	41.9	17.0	8.3
	グラフや表の数値を読み取る能力	32.2	40.6	18.9	8.3
	問題・課題を数量的に認識する能力	30.1	40.9	20.2	8.7
	データ収集のための実験や調査などの企画立案の能力	15.0	51.0	25.4	8.6
	パソコンの表計算ソフト等を使い、簡単なデータ集計や分析をする能力	34.8	42.6	16.3	6.3
	要因分析や予測などのデータ分析を行う能力	14.1	52.1	24.9	8.9
	分析結果から問題・課題解決の情報を抽出する能力	18.8	49.7	23.1	8.4
	分析結果を人に伝える(コミュニケーション・プレゼンテーション)能力	30.1	44.7	18.1	7.1

職で役に立ちそう」などの意見もあった。保有する統計やデータに関連する資格や検定についても複数回答で尋ねたが、ITパスポートや基本情報技術者、MOS(マイクロソフトオフィススペシャリスト)など情報系の資格が多く、統計検定や社会調査士(専門社会調査士を含む)などの回答者はわずかだった。

3.2 回答者の職場での統計・データ分析に関する能力の必要性と教育の達成度について

回答者の勤め先の業務において、統計・データ分析(データ処理を含む)に関する能力について、どの程度必要か否かについて尋ねた結果が表7である。「データ・資料を収集する能力」、「グラフや表の数値を読み取る能力」、「問題・課題を数量的に認識する能力」、「パソコンの表計算ソフト等を使い、簡単なデータ集計や分析をする能力」、「分析結果を人に伝える(コミュニケーション・プレゼンテーション)能力」については3割が「多くの人が必要」と回答があった。これらの項目は「一部の人のみ必要」と合わせると7割の人が選択していた。逆に残りの「データ収集のための実験や調査などの企画立案の能力」、「要因分析や予測などのデータ分析を行う能力」、「分析結果から問題・課題解決の情報を抽出する能力」については、「多くの人が必要」と答えた人は2割に届かず、「一部の人のみ必要」まで加えても6割程度の選択率だった。

またこれらの能力について、回答者自身や回答者の現在の職場の新入社員等を見て、現在の大学教育の達成度について尋ねた結果が表8である。すべての項目の中で「十分」と回答したものは「パソコンの表計算ソフト等を使い、簡単なデータ集計や分析をする能力」が一番高かった

表 8. 回答者の職場でみる大学教育での統計・データ分析に関する能力の達成度(N=618).

質問文	項目	十分 (%)	まあ十分 (%)	やや不十分 (%)	全く不十分 (%)
表 7 の 能 力 に つ い て、 あ な た ご 自 身、 ま た あ な た の 現 在 の 職 場 の 新 入 社 員 等 を み て、 現 在 の 大 学 教 育 の 成 熟 度 は ど の 程 度 だ と お 考 え じ ゃ う か	データ・資料を収集する能力	1.8	37.7	42.6	18.0
	グラフや表の数値を読み取る能力	2.4	33.5	46.0	18.1
	問題・課題を数量的に認識する能力	1.3	29.1	48.5	21.0
	データ収集のための実験や調査などの企画立案の能力	1.6	22.0	49.7	26.7
	パソコンの表計算ソフト等を使い、簡単なデータ集計や分析をする能力	5.8	32.8	39.8	21.5
	要因分析や予測などのデータ分析を行う能力	1.5	21.0	51.3	26.2
	分析結果から問題・課題解決の情報を抽出する能力	1.1	21.0	50.6	27.2
分析結果を人に伝える(コミュニケーション・プレゼンテーション)能力	1.9	23.0	48.5	26.5	

が、それでも 5.8% と低く、それ以外の項目については「まあ十分」と合わせても 4 割を超えた項目はなかった。特に「データ収集のための実験や調査などの企画立案の能力」、「要因分析や予測などのデータ分析を行う能力」、「分析結果から問題・課題解決の情報を抽出する能力」、「分析結果を人に伝える(コミュニケーション・プレゼンテーション)能力」については「十分」と「まあ十分」を合わせても選択率が 25% 未満と低かった。

大学・大学院で統計・データ分析(データ処理を含む)に関することを学ぶ必要性をどのように考えているかについては、「専門的な内容も含め、きちんと学ぶべきである」と回答したのは 7.6% にとどまったが、「基礎的な統計・データ分析(データ処理を含む)はきちんと学ぶべきである」(47.1%)と基礎的な内容については必要と考えられていた。なお「一般教養として学ぶ程度でよい」も 36.6% と少なくとも教養としては学んでもよいと考えられており、「高校までに習う内容で十分で、大学での教育は必要ない」(1.6%)や「会社に就職してから、業務に携わりながら学べばよく、大学での教育は必要ない」(7.1%)など、必要性がないとする項目については選択率が低かった。

回答者の職場で普段使っているデータ処理、データ分析、統計ソフトウェアについて、複数回答で尋ねた結果が表 9 である。選択率で見ると、最も利用されているのは Excel(69.4%)であり、続いて Access(14.9%)、SPSS(2.3%)であった。他の R や SAS、Tableau などのソフトウェアは 1% 未満であり、特に使っていないが 3 割弱であった。

回答者の職場でのデータ分析力の向上や統計知識の習得のために、どのような従業員教育が行われているかについて複数回答で尋ねた結果が表 10 であり、特に教育を実施していない

表 9. 回答者の職場で使用している統計ソフトウェア.

質問文	項目	N	%
あなたの現在のお仕事で、普段使っているデータ処理、データ分析、統計ソフトウェアは以下のうちではどれですか	Microsoft Excel	429	69.4
	Microsoft Access	92	14.9
	SPSS	14	2.3
	SAS	5	0.8
	JMP	0	0.0
	R	0	0.0
	Tableau	1	0.2
	Minitab	2	0.3
	Stata	1	0.2
	その他【 】	2	0.3
	特に使っていない	184	29.8
合計	618	100.0	

※その他は「SQL Server」, 「自社用開発ソフト」.

表 10. 回答者の職場での統計・データ分析の能力を育成する従業員教育.

質問文	項目	N	%
現在、あなたのお仕事の職場でのデータ分析力の向上や統計知識の習得のために、どのような従業員教育が行われていますか	集合研修	81	13.1
	外部のセミナーへの派遣	59	9.5
	大学・大学院や研究機関への派遣	8	1.3
	通信教育（e-learningを含む）の受講	36	5.8
	OJT（On the Job Training 現場での指導）	58	9.4
	自発的な学習の奨励	63	10.2
	その他【 】	0	0.0
	特に実施している教育はない	433	70.1
合計	618	100.0	

が7割程度になった。比較的选择率の高い項目では「集合研修」(13.1%)、「自発的な学習の奨励」(10.2%)、「外部のセミナーへの派遣」(9.5%)、「OJT(On the Job Training 現場での指導)」(9.4%)となった。

3.3 大学における統計教育について

統計・データ分析(データ処理を含む)に関する能力を育成する大学での授業の形として選択肢の中で最も望ましいと思う形を尋ねたところ、表11のようになった。これまでの教員からの一方的な知識の伝達となる授業形式は8.1%にとどまる中、演習を含む授業は26.5%、社会調査や実験など決められた手続きに基づく実習形式が38.8%と選択率が高かった。また近年大学でも導入されている「正解のない現実の課題や問題を企業や団体から提案してもらい、それらに取り組む過程で学ぶ形式」(15.4%)や「データを提供する企業が実施するコンペティション等に参加し、それらに取り組む過程で学ぶ形式」(11.2%)は高くはなかったが、1割強の選択が

表 11. 大学での望ましい統計・データ分析の能力を育成する授業形式.

質問文	項目	N	%
あなたは以下の統計・データ分析(データ処理を含む)に関する能力を育成する大学での授業の形として選択肢の中で最も望ましいと思う形はどれでしょうか	専門的知識を講義形式で受けるこれまでの大学での授業形式	50	8.1
	基礎的な知識や情報機器の扱いを主とするこれまでの大学での演習を含む授業形式	164	26.5
	基礎的な知識を学び, 社会調査や実験のように決められた手続きに基づく実習形式	240	38.8
	正解のない現実の課題や問題を企業や団体から提案してもらい, それらに取り組む過程で学ぶ形式	95	15.4
	データを提供する企業が実施するコンペティション等に参加し, それらに取り組む過程で学ぶ形式	69	11.2
	合計	618	100.0

表 12. 大学で育成する統計・データ分析の能力をもつ学生.

質問文	項目	N	%
あなたは今後の大学でだれもが学ぶ基礎教育として, どのような統計・データ分析(データ処理を含む)に関する能力をもつ学生を育成すべきとお考えですか	だれもが専門知識を有するデータ分析の専門家	23	3.7
	だれもが基礎的な知識はもつデータ分析の利用者	394	63.8
	一部の人のみ専門知識をもち, それ以外の人は特に必要ない	77	12.5
	わからない	124	20.1
	合計	618	100.0

あった.

また今後の大学でだれもが学ぶ基礎教育として, どのような統計・データ分析(データ処理を含む)に関する能力をもつ学生を育成すべきかについては, 6割強の人が「だれもが基礎的な知識はもつデータ分析の利用者」としての学生の育成を期待しており, 逆に「一部の人のみ専門知識をもち, それ以外の人は特に必要ない」と答えた人は12.5%にとどまった(表12).

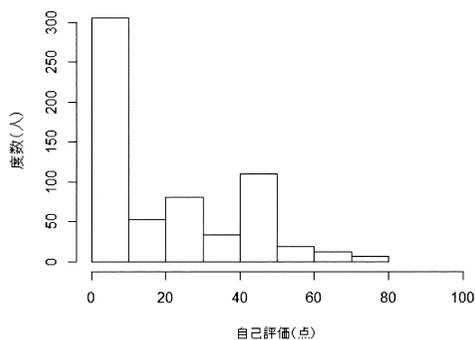


図 1. 統計・データ分析の能力の自己評価のヒストグラム.

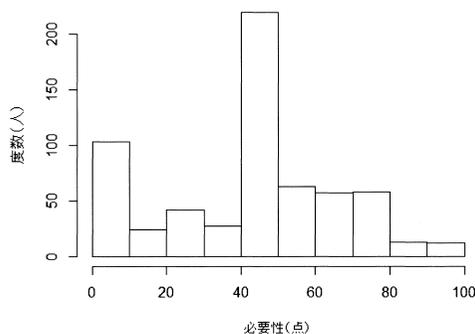


図 2. 統計・データ分析の能力の必要性のヒストグラム.

3.4 データ分析力の自己評価と今後の社会へのデータ分析力の必要性について

回答者のデータ分析力の自己評価を尋ねた。ここでは普通を 50 点、高度な分析もできることを 100 点、まったくできないことを 0 点として数値化している。なおデータ分析の経験がない人やわからない人は 0 点と付記したことに注意されたい。その結果が図 1 であり、今回の調査の結果では、平均が 21.2 点、中央値が 20.0 点、標準偏差が 22.0 点となった。多くの人が自己評価として自身のデータ分析力を低く付けていた。

また現在の職業に限らず、今後のことも含め、回答者自身が感じている統計・データ分析(データ処理を含む)に関することを学ぶ必要性について、普通を 50 点、最も強く必要性を感じていることを 100 点、まったく必要性を感じていないことを 0 点として、評価してもらった結果が図 2 である。この結果、平均が 46.4 点、中央値が 50.0 点、標準偏差が 25.3 点となった。必要性の分布を自己評価の分布と比べると、分布の中心が高評価の方に移動していた。

自己評価と必要性の相関関係を検証するため、散布図(図 3)および相関係数を求めた。図 3 からわかるように、自己評価が低い人でも必要性を高く点数付けした人もおり、特に自己評価が 50 点を超える人は必要性も高めに付けていた。ただし全体として相関係数は 0.366 であり、自己評価と必要性の間の相関関係はあまり見られなかった。

自己評価と必要性の点数について、年代別、地域別、職業別にそれぞれの点数を箱ひげ図で表現したのが図 4 である。年代別で自己評価および必要性をみたところ、必要性の方が自己評価よりも高いが、年代別内でのそれぞれの差は見られなかった。また地域別では中央値がほぼ変わらないなど、必要性にはあまり差がみられなかったが、自己評価はやや地域による違いが

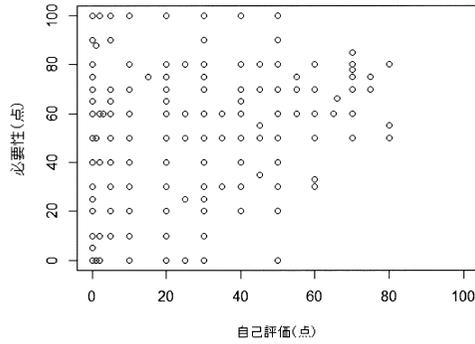


図3. 統計・データ分析の能力の自己評価と必要性の散布図.

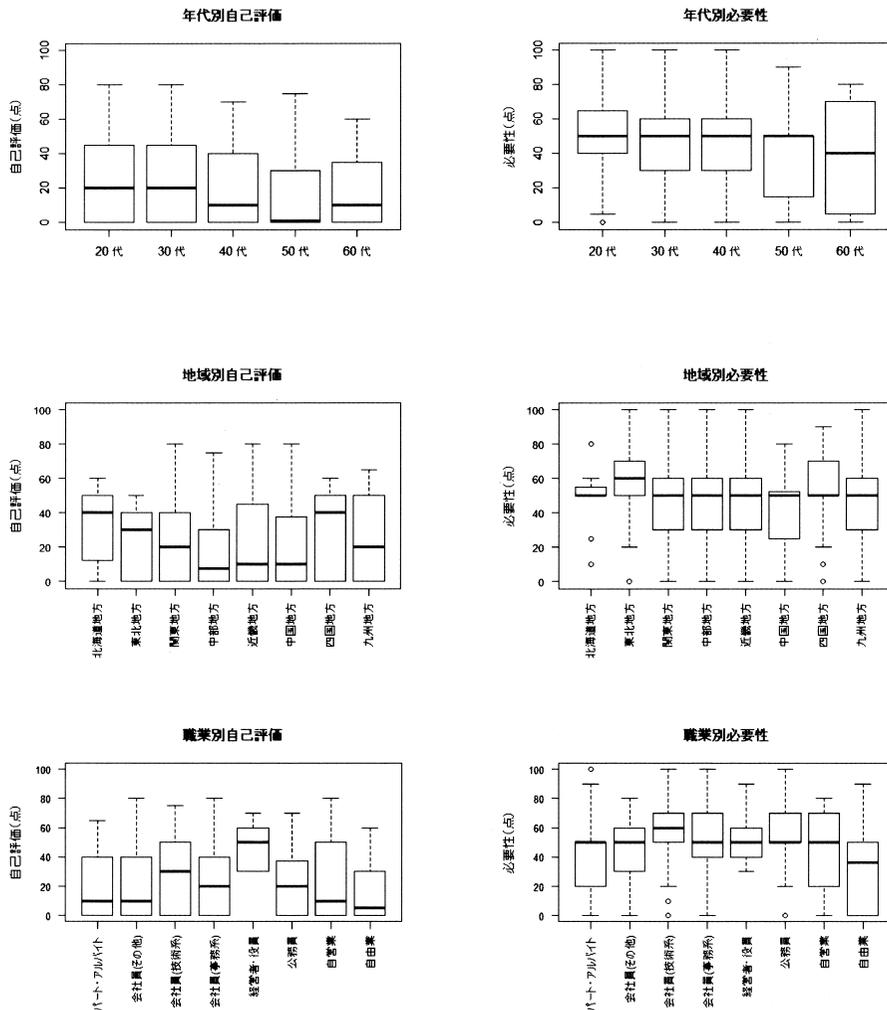


図4. 年代別・地域別・職業別統計・データ分析の能力の自己評価と必要性.

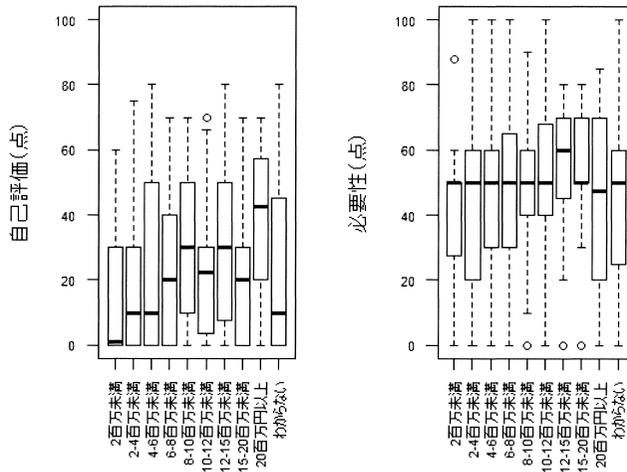


図 5. 世帯年収別統計・データ分析の能力の自己評価と必要性。

みられた。職業別で見たところ、必要性に関してはあまり差が見られなかったが、自己評価においては経営者・役員が比較的高得点で、次いで会社員(技術系)、会社員(事務系)、公務員が他と比べると高かった。逆にパート・アルバイト、会社員(その他)、自営業、自由業は低く自己評価点をつける傾向がみられた。

世帯年収と自己評価と必要性の点数について、検証した結果が図5である。なお無回答は除いていることに注意されたい。今回の調査結果では世帯年収が高くなるほど、自己評価がやや高い傾向がみられたが、必要性に関しては、12-15百万円未満でやや高くなるが、その他の項目ではばらつきの差がみられるが中央値はほぼ同じだった。

4. まとめ

本論文ではデータサイエンス教育の普及を目指し、現在の職場の状況を踏まえ、就業者の現状や大学生時代の状況、また今後の統計・データ分析の能力の必要性について調査を行い、その調査資料をまとめた。

今回の結果からは、まだ大学時代に統計・データ分析に関する授業を受けていなかった人が多いことや今後は学びたいと思う人が多いことがわかった。特にデータ・資料を収集する能力やグラフや表の数値を読み取る能力、問題・課題を数量的に認識する能力、パソコンの表計算ソフト等を使い、簡単なデータ集計や分析をする能力など、基礎的な能力については必要と思われる傾向があり、データ収集のための実験や調査などの企画立案の能力、要因分析や予測などのデータ分析を行う能力、分析結果から問題・課題解決の情報を抽出する能力などについては、まだ必要とは感じられておらず、現在の職場での利用を踏まえても、これらの能力の必要性を伝える教育が必要に感じられた。なおこれらの能力の大学での達成度をみると総じて低かった。これらは中西 他 (2010)をはじめとする過去の調査からみても同様の結果であった。これらのことは藤井・添田 (2007)が述べているように世界的な統計教育の流れからみても統計教育の課題であろう。長尾 (2013)で触れているように、データから傾向を把握し、データに基づいて意思決定ができる能力は初等・中等教育においても重要視されおり、基本的な統計的リテラシー能力だけでなく、統計的問題解決力の能力は、職場においても必要と思われる。高等

教育においても滋賀大学データサイエンス学部の学部紹介(滋賀大学, 2017)で触れてあるように、データから自ら知見を見つけだし、新たな価値を創造、またデータに基づく社会の最適な意思決定ができる人材を重要視している点をも、これらの能力が必要であることを伝える教育は必要である。

このような状況下、会社によっては集合研修などを行うところもあるが、自発的な学習に頼ったり、特に実施していなかったりが現状であるため、大学等での統計・データ分析に関する能力の育成は重要と思われる。このことに対して、大学教育で求められるのは、知識の伝達となる授業ではなく、演習を交え、社会調査や実験などした手続きが決まっている体験型授業が求められた。一方、昨今導入する傾向がみられる正解のない現実の課題や問題を企業や団体から提案してもらい、それらに取り組む過程で学ぶ形式やデータを提供する企業が実施するコンペティション等に参加し、それらに取り組む過程で学ぶ形式はあまり高くなかった。

自己評価や必要性に関しては、地域差や年代差はあまり見られなかったが、職業や世帯年収ではやや差がみられることから、働き方が変わる現在において、働き方の変化に対応して、地域差や年代差についても今後、差が表れることも十分に考えられる。

今回の結果を通して、会社での統計・データ分析の活用について、認知度が低い恐れも感じられた。特に統計解析ソフトウェアについては、Excelの利用が多く、Rなどの有用なフリーソフトの活用などがまだ普及していないことも感じられた。また今回の調査では調査項目に含めなかったが、gacco(ドコモ gacco, 2017)などのオンラインでも統計学やデータ分析に関する講義が学べる環境が作られていることもあり、e-learningの利用についても検証すべきであると思われる。ICTの発展により、より身近になるデータの活用は必須になるとも考えられるため、今回の結果を踏まえ、望ましいデータサイエンス教育の内容の充実を含め、体系的なカリキュラムの提案を今後の課題として取り組む予定である。

謝 辞

本稿を作成にするにあたり、査読者から有益なコメントをいただいた。ここに感謝いたします。本研究の一部はJSPS 科研費 23700342の支援により実施している。

参 考 文 献

- ドコモ gacco (2017). 無料で学べるオンライン大学講座「gacco」(ガッコ), <http://gacco.org/>(最終確認日: 2017/06/30).
- 藤井良宜, 添田佳伸 (2007). 統計教育の到達目標の設定と目標達成のためのアプローチ(〈特集2〉統計教育), 日本統計学会誌, シリーズ J, **36**(2), 251-262.
- 長尾篤志 (2013). 高等学校における統計的な内容の意義と指導, 統計調査ニュース, 平成 25 年(2013)7 月, No.320, 総務省統計局, <http://www.stat.go.jp/info/t-news/pdf/1307.pdf> (最終確認日: 2017 年 11 月 20 日).
- 中西寛子, 竹内光悦, 深澤弘美 (2010). 新しい学習指導要領が与えた統計教育への影響, 数学教育学会誌, **51**(1, 2), 51-60.
- 日本統計学会統計教育分科会 (2017). 第 13 回統計教育の方法論ワークショップ—学習指導要領の次期改訂に向けた統計教育の新展開〜アクティブラーニングで育成する科学的探究力・問題解決力・意思決定力〜, <http://estat.sci.kagoshima-u.ac.jp/SESJSS/edu2016.html> (最終確認日: 2017 年 11 月 20 日).
- 滋賀大学 (2017). データサイエンス学部 滋賀大学, <https://www.ds.shiga-u.ac.jp/>(最終確認日: 2017/06/30).

竹内光悦, 末永勝征 (2016). データサイエンス教育に関する調査結果から見る統計基礎教育, 日本計算機統計学会第 30 回シンポジウム, 169-170.

Status of Basic Statistics Education from Survey Results on Data Science Education

Akinobu Takeuchi¹ and Katsuyuki Suenaga²

¹Faculty of Humanities and Social Sciences, Jissen Women's University

²Kagoshima Immaculate Heart College

Since 2010, business journals, the media, and other entities have begun to focus to statistics and data science. In education as well, there is a similar movement in elementary school, junior high school, senior high school, as reflected by the courses of study presented in February 2017. Although statistics departments are widely established overseas, they are not commonplace in Japan. However, in April 2017, the Faculty of Data Science was established at Shiga University. In these cases, education in statistics and data science is important, but based on research studies published by related academic societies, it is difficult to say whether its significance has been sufficiently recognized by teachers and students. Under these circumstances, we aim to advise everyone of the importance of statistics literacy and basic data science. To this end, we conducted a web survey. Based on the results of this study, we found that many people have not studied statistics and data analysis at university, but many of those who have not still want to learn these subjects in the future. In particular, they wanted to learn how to collect data and materials, read numerical values of graphs and tables, quantitatively recognize problems, and analyze data using PCs and statistics software. However, many of these abilities (e.g., planning experiments and data collection, analysis of data to explore factors and prediction, and problem solving based on analytical results) are not realized at a high level at university. These findings are consistent with the results of past surveys. Some companies conduct collective training. However, many companies are expected on voluntary learning, or not being implemented. Therefore, students expect to learn statistics and data analysis at university. Over the course of this education, they require not only lessons that communicate knowledge, but also hands-on lessons such as exercises, social surveys, and experiments.

高校数学における統計教育の教材開発とその実践

及川 久遠¹・井出 和希²・細野 智之³・
芥川 麻衣子⁴・川崎 洋平⁵・渡辺 美智子⁶

(受付 2017 年 7 月 25 日；改訂 2018 年 3 月 22 日；採択 4 月 4 日)

要 旨

高等学校の数学教育において必修科目である数学 I の単元「データの分析」の指導が始まり 2018 年度で 7 年目を迎える。そこで本研究ノートでは「データの分析」の学習内容を復習するために作成した教材とそれを用いた 2 つの授業実践を紹介する。はじめに行った特別授業は、薬ができるまでの流れや臨床試験について専門家による講話を行い、その講話の中で統計の活用について触れ、続いて講話と関連した題材を用いて「データの分析」の復習を試みる内容になっている。次にこの特別授業を踏まえ、授業者である現場の数学教員が普段行っている授業に合うように教材をアレンジして行った通常授業の様子を紹介する。これら 2 つの授業後に実施した自由記述による生徒の感想から、いずれの授業においても生徒の統計学への興味・関心が増したことがわかった。また、この生徒の感想から創薬や臨床試験そのものにも高い関心があることがわかった。

キーワード：教材開発，授業改善，統計教育，数学教育。

1. はじめに

数学 I「データの分析」について学習指導要領解説(文部科学省, 2009)では「具体的な事象に基づいた扱いをすることが大切」としているが、ほとんどの教科書が代表値，分散，相関係数などを求める計算問題が中心に扱われている(橋本・及川, 2016)。統計は高校数学ではじめて必修化されたこともあり、現場の教員も教育経験がほとんどないので教科書を頼りにすることが多い。このような現状を打破するために実社会で統計が使われている場面を紹介し、同時に教科書で学習した内容を復習できる「まとめの教材」を作成したいと考えていた(高岡 他, 2015)。

なお、今回作成した教材はあくまで臨床試験を行う中で統計が使われていることを紹介し、その後代表値，分散，統計グラフなどこれまで学んだことを復習することが目的であり、臨床試験そのものを教えることが目的ではない。

¹ 西日本工業大学 工学部：〒800-0394 福岡県京都郡苅田町新津 1-11

² 京都大学 学際融合教育研究推進センター：〒606-8501 京都府京都市左京区吉田近衛町

³ 田園調布学園 高等部：〒158-8512 東京都世田谷区東玉川 2-21-8

⁴ 静岡県立大学大学院 薬食生命科学総合学府薬科学専攻：〒422-8526 静岡県静岡市駿河区谷田 52-1

⁵ 千葉大学 医学部附属病院：〒260-8677 千葉県千葉市中央区亥鼻 1-8-1

⁶ 慶応義塾大学大学院 健康マネジメント研究科：〒252-0883 神奈川県藤沢市遠藤 4411

2. 教材開発について

2.1 なぜ臨床試験なのか

本研究(高校における統計教育の教材開発)をスタートした 2015 年頃に臨床試験に関するニュースが薬事日報(2014, 2015)等で取り上げられており, 臨床試験が実生活に密接していることは高校生でもわかっていた. また, 薬学部の教員も薬学出身者の多様なキャリアパスについて知ってもらう機会があればよいと考えていた. しかし, 統計学と薬学の関連について教科書での扱いはほとんどないものの, 唯一扱いのあった教科書における記載は以下の通りであり(図 1, 高橋 他, 2016), 教材を作成することで多くの生徒に薬学について知ってもらうためのきっかけになると考えた.

臨床試験を紹介した後で教科書で学んだ統計的手法に触れられる演習ができる教材を作成し実践することを目指した. 特別授業では作成した教材を用いて次の手順で実践した.

- (1) 創薬の話と臨床試験についての簡単な解説を行う.
- (2) 二重盲検法をイメージできるような作業と得られたデータの分析を生徒に体験させる.

作成した教材が現場の教員が扱えないほど専門的になりすぎないように数学教育の立場から制限をかけた. そのため生じた問題については 5 章で述べ, 作成した教材の具体的な内容については次章において特別授業の展開とともに述べる.

2.2 教材作成に関する留意点について

「応用から基礎へ」という流れの中で統計が使われている事例を知り, 既習事項を活用することで統計の有用性を生徒に実感させるため, 今回の特別授業用の教材作成に際し次の 3 点に留意した(渡辺, 2006, 2013).

- 創薬の話題から始まり, 実生活に関わる場面で統計が使われていることを生徒が実感できる工夫をする.
- データをとる体験をさせる. ただし, あくまでも数学の授業であることを考慮して, 臨床試験に関する話が専門的にならない工夫をする.
- 得られたデータを整理・分析するにあたり, 最近の学校現場で推進されているアクティブ・ラーニングを取り入れる.

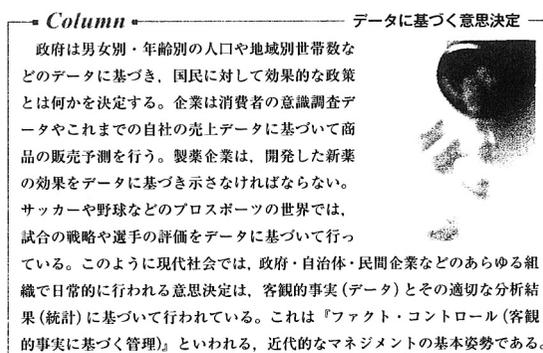


図 1. 教科書のコラム(一部).

3. 特別授業について

まずはじめに生徒が統計学の必要性を感じられるように創薬に関する講演と「データの分析」の復習ができる統計学の教材を用いた授業をセットとした授業プランを提案した(及川 他, 2015)。以下、各節において作成した教材の概要を授業展開の順に紹介する。

3.1 特別授業の概要

希望者を募っての特別授業という形での実施ではあったが、医歯薬系進学希望の生徒だけではなく、純粋に統計の勉強のために参加したという生徒も 27.3% いた。

実施校： 田園調布学園高等部(東京都)

実施日： 2015 年 11 月 14 日(土)

1 時間目 13 時～14 時

2 時間目 14 時 10 分～15 時 10 分

対 象： 高校 1, 2, 3 年生の希望者 22 名

授業者： 1 時間目 井出, 川崎

2 時間目 及川, 芥川

観察者： 1 時間目 及川, 芥川, 細野

2 時間目 井出, 川崎, 細野

授業に先立ち参加した主な動機を生徒に質問した。なお、回答は挙手で行った。1, 2 年生は主に統計の復習のためと答え、3 年生は主に進学のためと答えた。3 年生の中には翌日が薬学部の推薦入試という生徒もいた。そこで統計学に興味があるかを質問してみたところ「ある」と答えた生徒は 41.0% いた。

3.2 臨床試験の紹介(1 時間目)

薬学の専門家が担当し、次のような話からはじめた。

世間の多くの人々は「病院で処方された薬やドラッグストア等で薬剤師に相談して勧められた薬を飲めば病気や症状はよくなり、まったく効かないことはない」と思っている。しかし現実には効く人もいれば効かない人もいる。実際には薬の効果は人によるばらつきが非常に大きいことが知られている。そのような中で「この薬はこのような人に有効だろう」という判断をするためには統計の知識が必要である。

3.2.1 薬はどのようにつくられるか

はじめに、新薬ができるまでの流れを下のようなスライド(図 2)を使って紹介した。

導入時に行った薬の候補を見つける話では土の中やリンゴの樹皮といった身近なものに薬を創る手がかりがあること、最近ではスーパーコンピュータも利用されているなど、このような機会が無いと知ることができない貴重な話を聞くことにより時間とともに本授業に対する生徒の興味・関心が高まっていく様子が伺えた。特別授業後に感想を書いてもらったが、統計学だけでなく創薬に関する感想も 27.3% あった。

3.2.2 もし臨床試験をしなかったら？

次にニュース等では知っている程度の臨床試験について正しい理解を促すため、臨床試験をしなかったらどうなるかについての話をした(図 3)。

臨床試験をしなかったらヒトでの作用や安全性がわからない。したがって、予想できない副作用が生じる危険性があることを説明した。

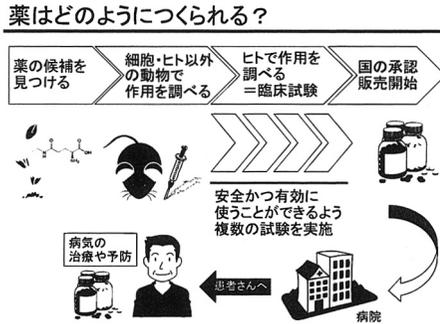


図 2. 説明スライド 1.

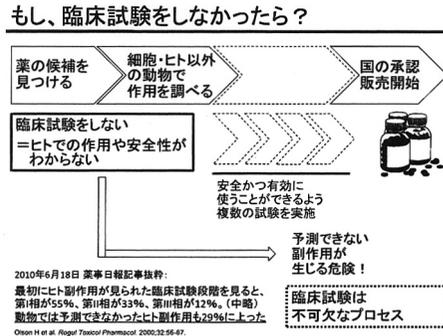


図 3. 説明スライド 2(Olson et al., 2000).

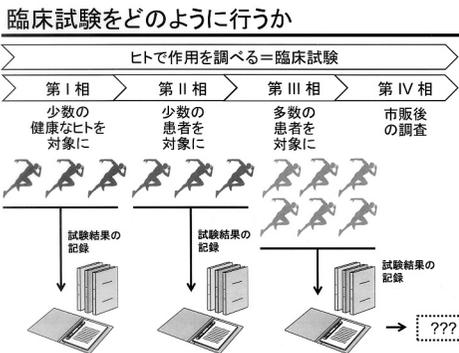


図 4. 説明スライド 3(Chow et al., 2017).

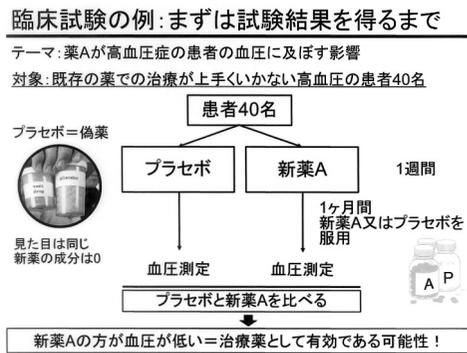


図 5. 説明スライド 4(Chow et al., 2017).

3.2.3 臨床試験をどのように行うか

ここでは二重盲検法や無作為化といった臨床試験の方法のみならず(亀井, 2016; 丹後, 2003), 臨床試験が何段階にも分かれていることや新薬販売後にも行われていることを教えた(図 4). 参加した全生徒が知らなかったもので説明に興味深く聞き入っていた.

3.2.4 もし、解析をしなかったら

薬を投与した人一人一人に効いたか効かなかったかを調べても個々の状態はわかるが薬の効果まではわからない(Beecher, 1955). そこで、データを集めて比較する必要があることを学ばせ、解析には数学の授業で学習してきた「データの分析」が役に立つことを実感させた(図 5).

このように 1 時間目は数学 I における統計の授業とは異なり、どのような場面で統計が必要になるかを、創業の話聞きながら生徒自身で感じ取ることができたことで、次の時間へのモチベーションになった.

3.3 擬似臨床試験の実施とそのデータの分析(2 時間目)

3.3.1 擬似臨床試験の方法

2 つの箱を用意してそれぞれ 20 人分のデータを書いたカードを入れておく. 生徒はどちらの箱が新薬を投与された患者のデータ(以下新薬という)か対照薬を投与された患者のデータ(以下プラセボという)かわからない状態でカードを引かせた. 実際の二重盲検法とは異なるが、

数学で確率を学習した際に「くじ引き = 公平，中身の見えない箱 = 公正」という感覚があるので，その生徒の感覚を利用して盲検化のイメージを伝えようと試みた．本授業ではその後の演習を円滑に進めるため2つの箱に名前をつけた．その際，本来はA群，B群と呼ぶのが正式であろうが，生徒が取り組みやすいようにA病院，B病院と呼ぶことにした．このように普段の授業でも実践できるようにできるだけ単純化をしたこともあり，授業後に生徒からは次のような質問があった．

薬を投与した後の血圧の数値だけで実薬の効果が判断できるのでしょうか．投与前の数値は関係ないのでしょうか．

この質問に対して，今回は投与前の血圧の条件が2つの群で揃っているという前提で行ったことを説明した．加えて，実際の試験では投与前の値も測定し，影響を最小限に抑えることのできる比較方法を設定することも説明した．

なお，本授業では減塩食療法 (dietary sodium reduction) が血圧に及ぼす影響についての論文 (Pimenta et al., 2009) にあった報告をもとに2つの群の介入後の血圧の値 (平均値 ± 標準偏差の報告値を参照し発生させた擬似乱数) を新薬群，プラセボ群の血圧に見立ててカードを作成した．

3.3.2 データを取ろう

擬似臨床試験を行った後，まず一斉授業においてデータを集める際にデータが偏らないようにするためにはどのような注意が必要かを考えさせ，次の4つの注意点を生徒から導き出しながら「無作為抽出」について学習した．

- データを取るときには都合のよい結果を得るためや主観的な評価にならないように注意する．
- どんな症状が改善されれば効果があったといえるのかなどの評価項目をしっかりと決める．評価項目が客観的に判断できるようなものでないと評価に主観が入るため正確にデータが集まらない．
- 新薬を飲む群とプラセボを飲む群を無作為に決める．たとえば，新薬が効くといった都合のよい結果を得るためのグループ分けにならないようにするためである．
- 評価者の主観や被験者の思い込みが結果に作用しないように医者と患者両方にどちらを飲んだかがわからないようにする．

3.3.3 データを解析しよう

解析方法であるが，データを得たところで，まずは平均値や標準偏差を求める演習を一斉授業の形で行った．続いて，普段の授業でも利用してなじみのある度数，相対度数などを書き込める分布表，ヒストグラム (図6) と箱ひげ図を書き込めるグラフ用紙からなる授業用ワークシート (付録参照) を準備した．

まずは個人個人でワークシートに取り組ませた．最近の学校では「個人 → ペア → グループ → 全体」という流れで学習するスタイルを取ることが多い．ペア以降の学習形態は「学び合い」といわれる学習方法で，初等・中等教育の現場ではアクティブ・ラーニングに切り込んでいく一番の切り込み口であると考えられている (関根, 2016) ．

ここで，高校で教えている箱ひげ図は学習指導要領解説に掲載している箱ひげ図に準拠して横向きのものがほとんどであることに注意されたい．外れ値は発展事項として紹介している教科書はあるものの，原則的には指導しなくてよい項目であるため，生徒がかく箱ひげ図も外れ値を考えずに最大値・最小値を使ってひげの部分をかいている (図7) ．

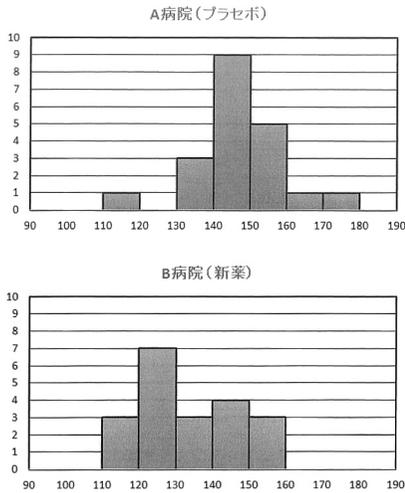


図 6. ヒストグラム.

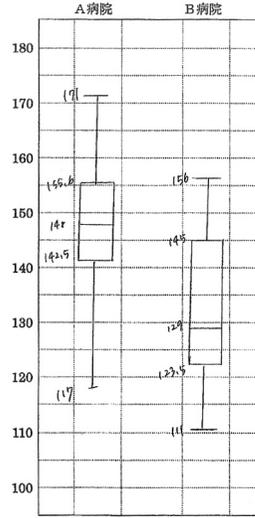


図 7. 生徒がかいた箱ひげ図.

データをまとめ、比較する 1

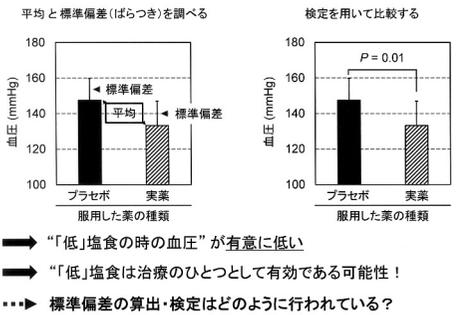


図 8. 説明シート 5.

データをまとめ、比較する 3

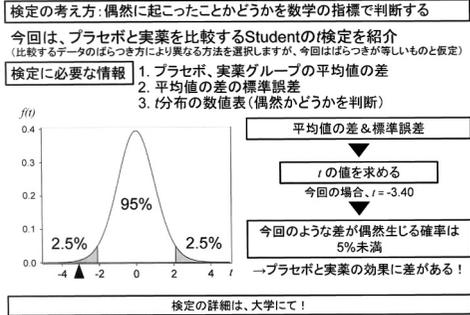


図 9. 説明シート 6.

次にグループに別れ、各自が作成したワークシートをもとに考えられることについて話し合わせ、その結果をもとに A 病院, B 病院のどちらで新薬が用いられどちらでプラセボが用いられたかを導かせた。今回は全員が新薬は B 病院であるとわかったが B 病院であると判断した理由として、平均値や中央値の高い低いをもとに判断しているグループと箱ひげ図の位置や散らばり具合で判断しているグループ、両者を用い総合的に判断したグループとがあった。

3.3.4 データをまとめ、比較する

グループ学習後に各グループの代表者がどちらが新薬であったかを理由とともに発表した。その後、次のようなスライド(図 8, 図 9)を使ってデータのまとめ方や比較の仕方などを話した。特別授業ということもあり高校の範囲外である検定についても触れた(Wasserstein and Nicole, 2016)。

3.3.5 2 時間目のまとめ

2 時間目の授業後に 1 時間目の授業前と同じ「統計学について興味がありますか?」と質問を

したところ、「興味がある」と答えた生徒が77.3%に増え好転が認められたことから今回作成した教材の効果が確認できた。

また、授業でついやりがちな「将来使うから勉強する」といった漠然とした理由ではなく、今回作成した教材のように具体的な事例とともに学ぶことで統計学そのものにも興味を示すようになった生徒が72.7%いた。

4. 通常授業における実践について

本章では前章で紹介した特別授業で用いた教材を授業者である数学教員が通常授業用にアレンジして実践した様子を紹介する。

4.1 本時の構成について

特別授業は田園調布学園高等部の高校生を対象とした2時間のプログラムであった。講座における生徒の取り組みを観察した結果から、次のような改変を行うことで1時間で実施できると判断した。

- ・新薬開発の応用的な部分の説明を削減(専門的なことは正しく説明できないから。)
- ・基本事項の復習を削減(特別授業は統計を学んでから時間が経っていたので行った。)
- ・データの記入方法の工夫(データは予め記入しておきチェックするだけにした。)

なお、田園調布学園では先取り学習を実施しており、データの分析は中等部3年生(中学校3年生)の1月から学習している。さらに、1時間の授業が65分であるので、65分で実施する指導案を作成している。多くの高校では1時間の授業が50分であるので、表1の時間配分を、20分、25分、5分にするとうい。

4.2 本時の指導案

本時の学習指導案は以下の通りである。なお、本時は数学科研究授業として、校内研修の特別授業を兼ねており、多くの数学教員が授業参観していた。

授業者：細野智之 教諭

日 時：2016年2月19日(金)4限(13:05～14:10)

対 象：田園調布学園中等部3年いろは組 α クラス(到達度別最上位クラス, 37名)

主 題：データの分析

本時の目標：・教科書で学んでいる内容が、社会に直接関わっていることを実感することで、数学への学習意欲を高めるとともに、医療分野等に興味を持っている生徒へのキャリア教育も狙いとする。

・データを分析する際に、表・グラフ・代表値からどれを用いるか考え、グループ活動を通して扱う資料をもとに説明をする力を伸ばす。

本時の計画：表1の通りである。

4.3 本時の展開

田園調布学園中等部・高等部では日頃から「生徒の思考力・表現力を伸ばす指導」を実践している。そこで、特別授業では誘導形式であったワークシート(付録参照)を自由記述の形式に変更し、さらにグループ活動後に予め決めておいたいくつかのグループが発表させることで、主体的・対話的で深い学びへと生徒を誘う授業展開を試みた。

表 1. 本時の展開.

時間配分	授業の流れ	思考力育成のための働きかけ・評価等
25分	3~4名でグループを作る。 「薬のつくられ方」を、パワーポイントを使って説明する。 説明の最後に、これから臨床試験の疑似体験を、くじ引きを使って実施する。どちらの病院（くじ）を選ぶかは生徒に選択させ、くじを引いたら数字（薬を服用後の血圧）を黒板に書いて席に戻る。	冒頭にジェネリック医薬品のCMを見せ、身近な話題だということを意識させる。
35分	ワークシートを配布し板書されたデータをグループごとに分析する。病院<赤>と<緑>のどちらが新薬のグループかプラセボのグループかを考えさせた。そのとき、今まで学習した表・グラフ・代表値など、どれを使ってもいいと伝え、何を使うかをグループごとに考えさせた。 当たりくじ（シールを貼った）を引いたグループは、何を使って分析し、結論を出したかを発表。使用したグラフなどはiPadで撮影したものを電子黒板に投影し、どの部分に注目したかを伝えさせた。 グループで1枚ワークシートを提出する。	平均値、中央値、ヒストグラム、箱ひげ図などをこちらから提示せずに、2つのデータを分析するには何を使えばいいかを、話し合いをさせながら考えさせた。 グループ数が11あるので、1コマで全グループが発表することは困難であるので、予めくじにより3グループを選び、スムーズにグループ発表ができるように工夫をした。また、全グループに意見をまとめたワークシートを1枚提出させることで、発表してないグループであっても対話的な学びが促されるような工夫をした。
5分	まとめとアンケートを所定の用紙に記入する。	

4.3.1 導入

まずはじめにジェネリック医薬品のCMを見せた後、今日の数学の時間は薬に関する話をすることを伝えた。特別授業で使ったスライドのうち何枚かを選び(主に前章で示したスライド)、新薬を開発する際に臨床試験という試験を行っていること、新薬とプラセボを使って薬の効果の確認を行っていることを紹介した。学校の授業では実際の臨床試験は再現できないことを断った上で、特別授業と同じ体験をさせながらこれまで学習した内容を復習することを生徒に提示した。

4.3.2 疑似臨床試験について

通常授業では赤と緑の2色の箱を用意した。2つの箱のいずれかからデータ(血圧)が書かれたカードを取り出す行為は同じであるが、作業中の生徒の様子は特別授業の時に比べて若干の違いが見られた。たとえば、カードを取った後「私は120だ」や「私は170だって、この数値を見ただけで新薬とプラセボかわかりそうじゃない?」と取り出したカードを友達同士で比べたり、「数値が高い=プラセボ」という先入観があるかのような発言をするなどの生徒が見受けられた。このように統計的な分析をすることなく数値だけをみて結論づけようとしていたので、データを整理して分析することを促した。

4.3.3 データの整理と分析について

全員がカードを取り終えた後、ワークシートを配布し1月から学習したデータの分析の学習

内容を活用して、グループで協力して〈赤〉病院と〈緑〉病院のどちらの病院が新薬かプラセボかを考えさせた。生徒の活動の様子を見ると、一人が「何を求める？とりあえず両方の箱の平均値をそれぞれ出そうよ。」と発言するともう一人が「じゃあ私は並び替えるから、それぞれの四分位数を出すね。」といい、とりあえずは既習の統計量を求めることから始めていた。その後「グラフはヒストグラムにする？それとも箱ひげ図？」とグラフへと活動は進んでいった。どのグループもほぼ同じ活動をしていた。

特別授業と違い通常授業の場合はグループ数が多くなることが予めわかっていたので、数値カードに「当たり」を仕込んでおき、当たりのカードを引いた人がいるグループが発表するようにした。さらに授業を円滑に進めるため発表グループのワークシートを iPad で写真を撮りスクリーンに投影した。ここではあるの 1 グループの発表を紹介する(図 10)。

私達は最小値・最大値・中央値・第 1 四分位数・第 3 四分位数を求め、箱ひげ図とヒストグラムをかきました。箱ひげ図からは〈赤〉は 4 分の 3 が 140 以上であるのに対し、〈緑〉は半分が 130 以下であることがわかります。またヒストグラムからは、〈赤〉は 130~150 に多く分布していて、〈緑〉は 120~130 に多く分布しています。なので、新薬が〈緑〉でプラセボが〈赤〉だと思います。

4.4 通常授業に対する授業者の感想

本実践においてグループが 11 グループあり、すべてのグループが〈赤〉と〈緑〉の箱ひげ図をかいた。11 グループ中、10 グループが「箱ひげ図の箱が緑に比べて赤の方が右側にある」が主な理由で、〈赤〉がプラセボ、〈緑〉が新薬と導いている。しかし、1 グループであったが中央値もみて比較したグループがあり、これまでに学習した内容を活用しようとする姿勢を見ることもできた。

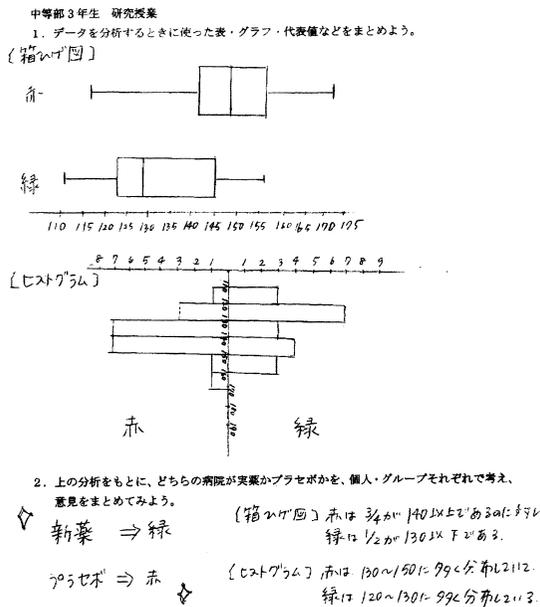


図 10. 生徒が提出したワークシート。

最後に数学教育という視点から本教材を用いた通常授業における実践を振り返る。

- 授業後の感想から生徒たちは数学と実生活との関わりを体験できたことが今後の数学の学習の刺激になったと感じていて、統計教育だけではなく数学教育全般にもよい効果が現れたと実感した。
- 生徒に数学の学習が“おもしろい”と感じてもらうためには難しい問題ができるようになったという成功体験だけでなく、今回のような身近なテーマを題材とした教材で“体験する授業”を実施することも大切だと再確認した。
- 今回の授業の導入で触れた創薬の話について薬学部への進学を考えている生徒からいくつかの薬学に関する質問が出た。本校中等部3年では「職業研究」という校外学習を実施していて、早い生徒であれば自分の進路についても考え始める時期であるので、教科指導においてキャリア教育ができたことはよかった(文部科学省, 2011)。なお、生徒の質問は取りまとめて本研究の薬学教育担当が後日文書にて答える形で対応した。

5. 成果と課題

特別授業、通常授業ともに授業前後における生徒の統計に対する意識はかなり変わったといえる。特に特別授業において「統計学に興味があるか」という質問に授業前後で22人中9人から17人へと変化したことから、本教材での授業に一定の効果があると思われる。しかし問題点も多くある。たとえば、導入において通常授業では専門家ではない数学教員が創薬や臨床試験についてどの程度正確に生徒に話ができるのか。また、「擬似臨床試験」というネーミングから二重盲検法のイメージを持ってもらうための操作が臨床試験の方法を忠実に再現したものであると誤解を生じないか心配していた。

また、授業後に生徒が書いた感想を、統計学に対して好意的な感想を書いた生徒、統計に関するコメントはないが薬学や臨床試験に対して好意的な感想を書いた生徒、やはり統計に関するコメントはないが授業方法に対して好意的な感想を書いた生徒、これら以外の感想を書いたの4つに分類してまとめた(表2)。

今回は高校の通常授業で使ってもらうことを優先し臨床試験そのものには深く踏み入れなかったが、表2の通り特別授業、通常授業における授業後の生徒の感想から臨床試験についてより詳細に扱った教材を開発し提供することの必要性を感じた。実際、「統計の利用に興味・関心あり」のうち「薬や臨床試験」というキーワードを含む回答数は特別授業で15、通常授業で8あり、「創薬や臨床試験そのものに興味・関心あり」の生徒と合わせると、特別授業で95.5%、通常授業41.2%いたことになる。幸いにも次期学習指導要領では小学校・中学校・高等学校のすべての校種で統計の学習内容が充実すること(文部科学省, 2014)、しかも小学校の学習指導要領解説(文部科学省, 2017)ではPPDACサイクルについて言及していることから、臨床試験に正面から向き合い生徒が主体的に統計的探求活動ができる教材開発に取り組んでいきたい。

表2. 授業後の生徒の感想。

感想	特別授業 (n = 22)	通常授業 (n = 34)
統計の利用に興味・関心あり	72.7%	52.9%
創薬や臨床試験そのものに興味・関心あり	27.3%	17.6%
アクティブ・ラーニングに効果を感じた	0.0%	20.6%
その他 (楽しかったなど)	0.0%	8.8%

謝 辞

本研究を進めるにあたり、田園調布学園高等部校長の西村弘子先生、数学科の先生方には大変お世話になりました。また、特別授業においてICTの利活用にあたり早稲田大学大学院生の池田祐貴さんの協力を得ました。ここに深謝いたします。

参 考 文 献

- Beecher, H.K. (1955). The powerful placebo, *Journal of the American Medical Association*, **159**, 1602–1606.
- Chow, C.K. et al. (2017). Quarter-dose quadruple combination therapy for initial treatment of hypertension: placebo-controlled, crossover, randomised trial and systematic review, *Lancet*, **389**, 1035–1042.
- 橋本和生, 及川久遠 (2016). 教科書改訂に伴う「データの分析」の記述について, 2016年度 数学教育学会例会予稿集, 80–82.
- 亀井淳三 (2016). 『治験薬学』, 南江堂, 東京.
- 文部科学省 (2017). 小学校学習指導要領解説 算数編.
- 文部科学省 (2014). 初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について(諮問).
- 文部科学省 (2011). 高等学校キャリア教育の手引き.
- 文部科学省 (2009). 『高等学校学習指導要領解説 数学編 理数編』, 実教出版株式会社, 東京.
- Nishijima, T., Kawasaki, Y., Tanaka, N., Mizushima, D., Aokia, T. et al. (2014). Long-term exposure to tenofovir continuously decrease renal function in HIV-1-infected patients with low body weight: Results from 10 years of follow-up, *AIDS*, **28**, 1903–1910.
- 及川久遠, 川崎洋平, 井出和希, 芥川麻衣子 他 (2015). 数学教育におけるキャリア教育の事例研究—模擬臨床試験を取り入れた「データの分析」の授業案について—, 数学教育学会誌, 臨時増刊号, 17–19.
- Olson et al. (2000). Concordance of the toxicity of pharmaceuticals in humans and in animals, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **32**(1), 56–67.
- Pimenta, E., Gaddam, K.K., Oparil, S., Aban, I., Husain, S., Dell'Italia, L.J. and Calhoun, D.A. (2009). Effects of dietary sodium reduction on blood pressure in subjects with resistant hypertension: Results from a randomized trial, *Hypertension*, **54**, 475–481.
- 関根廣志 (2016). 関根廣志の研修資料 4.「学び合い」の基本について, 日本協同教育学会, https://jasce.jp/docs/jasce_sekine_04.pdf (2017年6月確認).
- 高橋陽一郎 他 (2016). 『詳説数学 I』, 啓林館, 大阪.
- 高岡謙好, 川崎洋平, 及川久遠 (2015). 統計教育における模擬臨床試験を用いたアクティブラーニングの研究, 西日本工業大学紀要, **45**, 43–48.
- 丹後俊郎 (2003). 『無作為化比較試験—デザインと統計解析』, 朝倉書店, 東京.
- Wasserstein, R.L. and Nicole, L.A. (2016). The ASA's statement on p-values: context, process, and purpose, *The American Statistician*, **70**, 129–133.
- 渡辺美智子 (2006). 統計教育の新しい枠組み—新しい学習指導要領で求められているもの—, 数学教育学会誌, **48**(3・4), 39–51.
- 渡辺美智子 (2013). 知識基盤社会における統計教育の新しい枠組み—科学的探究・問題決・意思決定に至る統計思考力—, 日本統計学会誌, **42**(2), 253–271.
- 薬事日報 (2014). ノバルティス元社員を逮捕—誇大広告の薬事法違反で, 2014年6月13日
- 薬事日報 (2015). データ改ざん, 治験も総点検を, 2015年7月31日

Development of Teaching Materials for Statistical Education: Practice in a High School Mathematics Class

Hisao Oikawa¹, Kazuki Ide², Tomoyuki Hosono³,
Maiko Akutagawa⁴, Youhei Kawasaki⁵ and Michiko Watanabe⁶

¹Faculty of Engineering, Nishinippon Institute of Technology

²Center for the Promotion of Interdisciplinary Education and Research, Kyoto University

³Den-en Chofu Gakuen Senior High School

⁴Graduate School of Pharmaceutical Sciences, University of Shizuoka

⁵Clinical Research Center, Chiba University Hospital

⁶Graduate School of Health Management, Keio University

As of 2018, data analysis has been included in high school mathematics education for 7 years. In this research note, we explain how we introduced a class practice using teaching materials developed to promote the learning of data analysis. Following lectures by experts on drug development and clinical trials, we explained analysis to the students the relationship between these topics and data in a special lecture in which these materials were used. Students also participated in a workshop that enabled them to review the contents of the data analysis in the same class. We also introduced another class practice in which the materials were used without the experts. The class was taught by a conventional high school mathematics teacher. Depending on the impressions of the students after the class, our materials may be useful in mathematics education.

高等学校における「データの分析」その後の 統計教育実践の一事例

—データを活用する力の育成の観点から—

酒井 淳平[†]・稲葉 芳成[†]

(受付 2017 年 4 月 20 日；採択 6 月 5 日)

要 旨

「データの分析」が高等学校の「数学 I」の内容となり 2016 年現在で 5 年目を迎えた。その一方で推測統計の内容を持つ「数学 B」における「確率分布と統計的な推測」の分野の履修率は低いことが大学入試センター試験でのこの分野の選択状況からみて推測される。しかし、初等・中等教育における問題解決型の統計教育の更なる充実のためには一人一人の統計リテラシーの素養をさらに涵養することが不可欠であり、そのためには、初等・中等教育段階から現実のデータに日常的に接し、不確実性の概念について繰り返し訓練することが求められるものと考えた。本稿では、高等学校において実践した推測統計分野の教育実践について報告する。実践の当初では「データの分析」の定着の不十分さや実際にデータを活用することに不慣れな高校生の姿が見られたが、授業・演習・他者との協働を通じて受講した多くの高校生が課題学習としてデータを活用する姿を見た。

キーワード：データの分析，推測統計。

1. はじめに

1.1 中等教育に於ける統計教育

平成 25 年度施行(一部理数教科は 24 年度先行実施)の高等学校学習指導要領では、統計分野が「データの分析」として必修科目のひとつ「数学 I」の内容となった。「データの分析」は記述統計の基礎的な内容で、必修化されたことにより既に 2015 年度大学入試センター試験からはこの分野の出題が始まった。一方でこのテストでの「数学 II・数学 B」における「数学 B」の選択問題の選択状況に関して受験産業大手の「河合塾」の発行する情報誌(河合塾, 2015)の記事によると「確率分布と統計的な推測」の選択率は 3.5% とされている。

現行学習指導要領における高等学校数学科における統計教育の分野は「数学 I」の「データの分析」及び「数学 B」の「確率分布と統計的な推測」の 2 つであり、前者の内容は記述統計の基礎、後者は推測統計の基礎である。

「数学 B」では学習指導要領上、構成される「数列」「ベクトル」と並ぶ 3 項目のうちの 2 項目を履修するものでよく、大学入試のうち国公立大学の個別試験では「数学 B」を課す大学のうちの約 9 割が「数列」と「ベクトル」の 2 分野を出題項目として指定していることに伴い、教育の現場

[†]立命館宇治中学校・高等学校：〒611-0031 京都府宇治市広野町八軒屋谷 33-1

ではこの2項目の履修率が高く「確率分布と統計的な推測」の履修率が低いことが先のセンター試験における選択状況にも反映されている。

一方で現行学習指導要領下の2014年8月に発表された日本学術会議数理科学委員会数理統計学分科会の提言（日本学術会議数理科学委員会数理統計学分科会, 2014）の冒頭では「初等・中等教育における問題解決型の統計教育の更なる充実」として「我が国でも問題解決型の統計教育の更なる充実が必要である。」と指摘している。

これらを踏まえ、現行学習指導要領での教育課程で学ぶ生徒を対象に、記述統計のその後の統計教育として過去の学習指導要領で扱われていた仮説検定までの授業を実践し、データを自ら収集したり、与えられたデータを活用して統計的な根拠を基に何かを主張または提案する内容の課題学習に取り組ませた。

2. 実践研究の目的・方法

2.1 「数学Ⅲ」履修後の「統計学」

本報告の目的は、第1学年で「データの分析」を学習済みの生徒を対象とした仮説検定までの推測統計の授業実践と課題学習の取り組みの様子を記すこと、及びその実践に関して省察を加えることである。そのために、まず研究仮説に基づく授業実践の枠組みについて記した後に、受講した生徒の意識等に関する事前調査や中間調査の状況を報告する。さらに統計的推測の内容を含む課題学習の実践を記し、その上で学期末考査での状況や事後の意識調査での特徴的な点を記す。

筆者らの勤務校は私立大学の附属校であるために、一般的な大学受験を意識しない自由度の高い授業展開が可能である。そうした下で高校3年生理系クラスの一部の生徒を対象に「数学Ⅲ」の履修後に推測統計の基礎を取り扱った。具体的には高校3年の10月末までに「数学Ⅲ」の教科書の内容を終え、卒業までの残りの期間で、微積分の発展的な内容を扱う講座と、推測統計の基礎を扱う講座に展開した。そして2016年度は推測統計の基礎を43名が学習した。授業は11月から2月初めまで週あたり5時間で総コマ数(1コマは50分)は39コマであった。これは高等学校の年間標準授業週数を35として1単位分強に相当する。

2.2 実践研究の目的・方法

「データの分析」が高校で必修化されたが、これを履修した高校生が記述統計の基礎を利用してデータに基づく問題解決に取り組む場合には教科書の例題や練習問題を解くだけでは不十分である。それは、与えられるデータが数値の羅列であり、それらをどのように加工したり特徴を捉えたりすればよいかについては試行錯誤を体験することが必要で、経験的な知識が無ければ「実際の問題解決ではどのようにしたらよいかかわからない」などの戸惑いを生むことが避けられないことによる。2010年8月に発表された統計関連学会連合による「統計学分野の教育課程編成上の参照基準の策定」（統計関連学会連合, 2010）では初等・中等教育段階での統計リテラシーの涵養について「現代社会においては、…中略…一人一人が統計的な考え方（統計リテラシー）をもつことが不可欠である。このような素養を涵養するためには、初等・中等教育段階から現実のデータに日常的に接し、不確実性の概念について繰り返し訓練することによってはじめてその感覚が養えるものである。すなわち、実際のデータを素材に、教科横断的にそれを十分活用するような教育が行われる必要がある」と指摘している。筆者らは日頃の数学の授業をA「新しい概念・定理を学ぶ」、B「学んだことを演習する」、C「学んだことを活用する」という3つのフェーズで大別しているが、本実践ではCを意識した。

現在の高校生は大学受験に係わる問題の解決には問題集や参考書によって慣れる機会に恵ま

れるが、一方で先にも触れた統計分野の履修状況から考えて実際のデータを素材にそれを活用するような機会は少ないと考えた。実際に筆者の勤務校でも「数学Ⅰ」の「データの分析」の指導時間は10時間に満たず¹⁾、またその後の数学の授業でこれらに触れる機会はほぼ無い。そこで研究仮説を次のように考えた。

「データの分析」を授業で扱うだけでは例題など定型問題の解法理解にとどまるだろう。また高等学校数学の学習内容で他項目・分野との接点も殆ど無いことから知識の定着も弱いだろう。さらに実際のデータを活用したりデータから何が言えるのかといった主張をまとめることにも慣れていないだろう。しかし適当な振り返りを施しながらデータの活用の実験を体験させ、実生活に活かすことを体験させることで、データの活用のよさや統計学のよさを知ることができるだろう。

この仮説を検証するために教育実践を計画した。実践対象は先にも触れた通りの理系クラス在籍生徒のうちの43名で、進学先として文社系または生化学系の学部進学を決めている生徒であり、これらの生徒は教育課程上、数学は「数学Ⅰ」から「数学Ⅲ」までと「数学A」のすべての項目及び「数学B」の「ベクトル」「数列」を履修済みであった。

扱った主な内容は「数学B」の「確率分布と統計的な推測」の内容に仮説検定を加え、さらに課題学習とした。高校3年生の11月から実施したメリットとして以下の2つを考えた。①「数学B」の数列分野が履修済みであり、統計学の記述において総和記号が使えることや「数学Ⅲ」が履修済みであり、微積分の知識が使えるという数学の指導上のこと、②高大連携の観点から高校卒業に近い時期に文社系で必要となる推測統計の基礎を学習できること。

教材は「数学B」の教科書及び独自テキストを中心とした。指導上、大韓民国の高等学校用教科書、Kye Seung-Hyeok et al. (2009)と我が国で過去に仮説検定までが扱われていた時代の高等学校検定教科書のひとつ、黒田他(1984)を参考に用いた。韓国の教科書では微積分と統計の基本が「미적분과 통계기본(微積分と統計の基本)」や「적분과 통계(積分法と統計)」などのタイトルをもつ1冊にまとめられている。主な内容が「確率分布と統計的な推測」とよく似ており、母比率の推定までを含むものもある。記述においても総和記号や微積分を用いたものが見られ、それらのいくつかは授業で実際に用いられた。一例として、二項分布の期待値や分散の、微分法を用いた導出などであった。表1に授業のおおよその流れを示す。

課題学習は全39時間のうちの約1/3強を割いた。統計学の基礎を学ぶだけでなく活用することを意識した内容とした。「課題A」として、データの収集・データの読み取りから推定・検

表1. 授業のおおよその流れ。

主な内容	
ガイダンスと事前調査	11 母平均に対する信頼区間
1 離散的確率変数と確率分布	12 母比率に対する信頼区間
2 確率分布の計算	13 統計的検定の考え
3 反復試行と確率分布	14 母平均の検定
4 連続型確率分布と正規分布	15 母比率の検定
5 標準正規分布	16 課題学習提示・中間調査
6 二項分布	17 データの活用演習
7 二項分布と正規分布	18 課題学習テーマ発表(交流)
8 標本調査	19 課題解決・レポート作成
9 標本平均の分布	20 プレゼンテーション
10 標本比率の分布	まとめと事後調査
中間調査	期末考査

定などの統計的判断までを行わせるもの、及び「課題 B」として、与えられたデータから統計学的な考察を基にして何が言えるかを考えさせる 2 本であった。前者は統計的探究の国際的枠組み²⁾として統計学習で用いられる問題解決プロセスである P(Problem).P(Plan).D(Data).A(Analysis).C(Conclusion) サイクルを意識した。また一部でアクティブ・ラーニングの要素を取り入れ、テーマの相互交流やプレゼンテーションでの相互評価など協働の時間を確保した。

2.3 受講生徒の状況(事前調査結果より)

受講した生徒の状況を事前調査の結果に基づき報告する。事前調査は意識調査と「データの分析」の基礎的な内容に関するテストで構成された。意識調査として次の 1~5 までの 5 段階でいくつかの設問に回答させた。図 1 にその回答状況を示す。

- 1: まったく理解できなかった(できていない)
- 2: 言っていることは理解できたが実際に問題を解いたりすることはできない
- 3: 少しの復習をすればいろいろな問題を解くことができる
- 4: 授業で扱った範囲であれば、いまテストに出題されてもほぼ解くことができる
- 5: 何も見ずに周囲の人に説明して教えることができる

「データの分析」の内容の理解度について以下の問を設けた(設問 A 群)。

- (1) いくつかのデータが与えられたとき、電卓を用いて平均値を求めることができる
- (2) いくつかのデータが与えられたとき、中央値を求めることができる
- (3) いくつかのデータが与えられたとき、第 1 四分位数を求めることができる
- (4) いくつかのデータが与えられたとき、最頻値を求めることができる
- (5) いくつかのデータが与えられたとき、電卓を用いて標準偏差を求めることができる
- (6) いくつかのデータが与えられたとき、ヒストグラムを作成することができる
- (7) いくつかのデータの組が与えられたとき、散布図を作成することができる
- (8) 散布図があるとき相関の有る無しや相関の強さを感覚的に判断することができる
- (9) 標本調査の基本的な考え方が理解できている

この結果では「平均値を求める」という設問のみ回答の平均値が 4.0 を超えたが、他に設問 2, 4 を除き平均値は 3.0 を下回り自信の無さが目立つものであった(n=43)。そして、これに続く

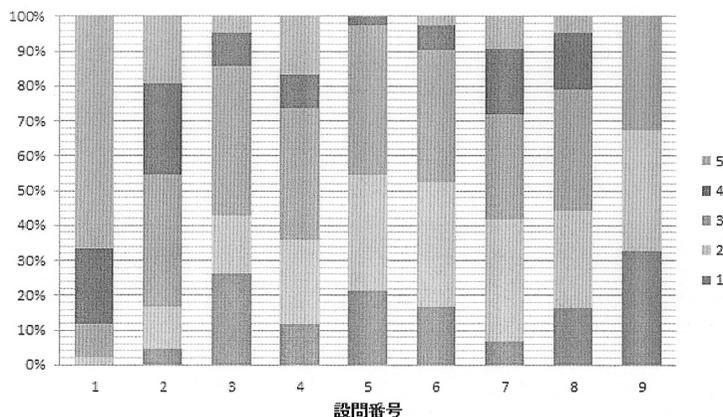


図 1. 事前調査での記述統計の理解度に係わる設問への回答状況。

表 2. 事前調査での記述統計に係わるテストの正答状況.

設問内容	平均値	中央値	第1四分位数	最頻値	標準偏差	散布図	標本調査の考え
正答率	79%	93%	28%	72%	2%	70%	72%

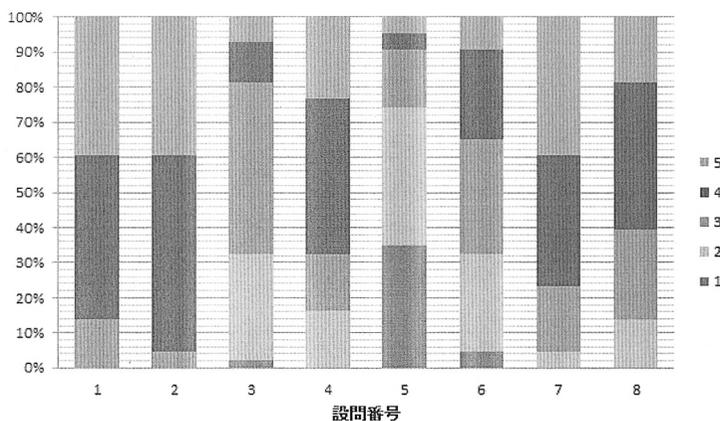


図 2. 事前調査におけるデータの分析・統計学の意識に係わる設問への回答状況.

テストの正答率は表 2 の通りであった。

これを見ると、中学校までに学習する項目については正答率が 70% を超えるが、「データの分析」で学んだ事柄である四分位数や標準偏差などの定着が悪かった。特に標準偏差の問題は 5 つの 1 桁の数値の標準偏差を求めるもので、計算上の困難は少ないものであり計算間違いよりも根本的な計算式の間違いや無解答が殆どであった。これらの結果は研究仮説での知識の定着の弱さを想定したことに関するひとつの資料となる。また四分位数と標準偏差に関しては先の意識調査としても苦手な様子が覗えテストの結果と一致する。

事前調査ではもうひとつ「データの分析」に関する問いも設け次の 1~5 までの 5 段階で回答させた。

- 1: まったくそう思わない
- 2: どちらかといえばそう思わない
- 3: どちらとも言えない
- 4: どちらかというと思う
- 5: 強く思う

「データの分析」や統計学に関する意識に関して以下の問を設けた(設問 B 群)。図 2 にその回答状況を示す。

- (1) 小学校で習ったグラフなど、いろいろなものを説明するときにとっても役に立つと思う
- (2) データを基にして、ものごとを判断することは大切だと思う
- (3) データの分析はとても難しいので専門の人に任せたほうがよいと思う
- (4) データの分析は手間がかかるので、コンピュータの得意な人が有利だと思う
- (5) データの分析は数学っぽくないのに数学の教科書にあって不思議に思う

- (6) データの分析を学習してから実際にそれらを使う場面があったと思う
- (7) データの分析や統計学は自分の将来に役立つ大切な内容を含んでいると思う
- (8) データの分析や統計学についてもっといろいろなことを学んでみたいと思う

この結果では設問の 1, 2, 7 の平均値が 4.0 を超え、概ね「データの分析」や統計学についての重要性を認識しているものと見える。そして設問 3 の回答はそうしたデータの分析や統計学の内容について専門家に委ねるべきか否かの意見が分かれた。また設問 8 に見られるように「データの分析や統計学についてもっといろいろなことを学んでみたい」と回答した生徒は 60% を超えた。

3. 実践授業の概要

3.1 確率分布と統計的判断

予定された 39 コマのうちの 20 コマ分は教科書の「確率分布と統計的な推測」の内容に仮説検定を加えた講義を実施した。「数学 A」での反復試行の確率など履修済みの内容を土台として離散分布のいくつかを紹介した後に連続分布の説明に移行した。正規分布の説明は確率密度関数から直接に確率が計算できない難しさがあるため、二項分布のヒストグラムやいくつかの誤差の分布の様子と結びつけ、視覚から直観的に理解させる説明とした。また離散確率分布、連続確率分布共に確率とグラフの面積との関係の共通性の理解を目指した。受講生徒は既に「数学 III」を履修済みのために離散・連続に係わらず確率と面積の関係は把握できるものと考えた。

また現行指導要領で扱われていない仮説検定については過去に仮説検定が扱われていた頃の高学校用教科書のひとつである黒田他 (1984) を参考にして、離散確率分布を基にして確率的判断を行う考え方を導入とした。これは先行研究のひとつとして成田 (1989) が「連続的である正規分布、離散的ではあるが無限であるポアソン分布ではなく、離散的で有限の 2 項分布を中心に指導すべき」と指摘したのものにも沿ったものである。事例として「ある商品 A の印象について、アンケート調査の結果、「良い」：「悪い」の数が 59:41 になった場合と 88:12 になった場合の違いを考えさせた。講座内で意見が分かれたが、このような場合を二項分布での起こりやすさと対比させて考えさせることにより「確率的に判断する」よさを理解させようとした。また仮説検定では「帰無仮説や対立仮説の考え方や仮説の立て方」や、標本平均や標本比率の分布に基づく「検定統計量の計算」「帰無仮説の棄却と検定の結論づけ」などにそれぞれ学習者がつまづく難しさを持っている。それらの難しさもあってか現在では仮説検定は指導要領上扱われていない。しかし一般的には数多くある検定の手法のうち正規分布に基づく母平均と母比率の検定に限れば過去の学習指導要領で扱われていた実績もあることから、指導上の工夫によって一定の理解を得ることができると考えた。実際の指導では p 値の計算でなく検定統計量の大きさが棄却域に入るかどうかで判断させた。検定統計量の計算式は母平均と標本平均の差を標本平均の分布の標準偏差で除した形をしているために、検定統計量が表す意味を理解し易く、その値が棄却域との境界である 1.96 (有意水準 5% の両側検定の場合) や 2.58 (有意水準 1% の両側検定の場合) といった数値との比較で判断できることも理解しやすいものと考えたためであった。

3.2 中間の意識調査での生徒の変化と実態

推測統計の基礎部分を終えた段階で事前調査でも行った意識を問う調査を質問紙により行った。設問 A 群とした記述統計の基礎の理解度を問う設問の回答を事前調査と中間調査で比較したものが図 3 である。確率分布から推測統計の基礎を学ぶことで記述統計の内容理解の意識が高くなっていることが読み取れる (n=43)。符号検定の結果は設問 1 を除き有意水準 5% で有意差が認められた。

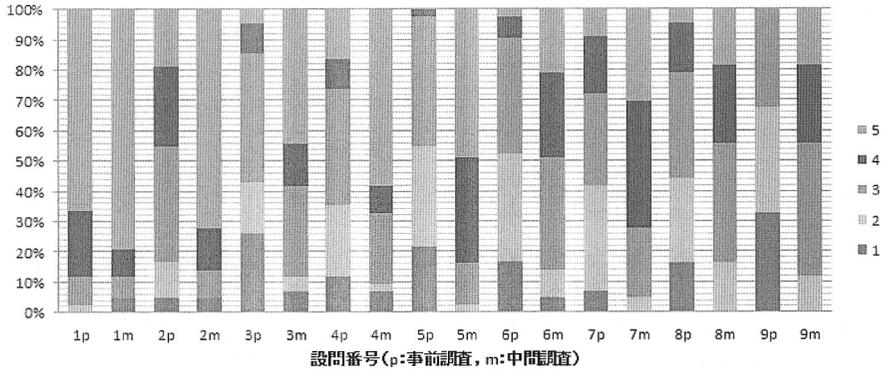


図 3. 事前調査と中間調査での設問毎の回答状況の比較。

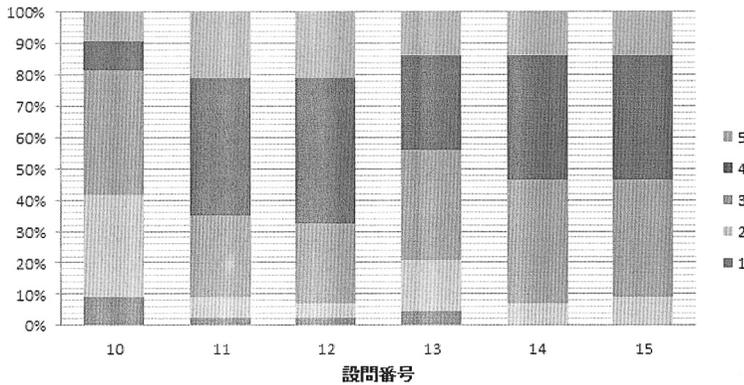


図 4. 推測統計に係わる設問への回答状況。

さらに推測統計の基礎に関する内容の理解度について以下の問を設けた。図 4 にその回答状況を示す。

- (10) 点推定と区間推定の区別を説明できる
- (11) 母平均の信頼区間を求めることができる
- (12) 母比率の信頼区間を求めることができる
- (13) 母平均の検定の帰無仮説がたてられる
- (14) 母平均の検定を行うことができる
- (15) 母比率の検定を行うことができる

これによると信頼区間を求めたり仮説検定を行うことに対する自信の無さや理解意識に課題があることがわかった。特に設問(10)の「点推定と区間推定の区別を説明できるか」設問(13)の「帰無仮説が立てられるか」についての理解意識が低いことから、練習問題などで実際に問題演習をするよりも推定や検定の考え方そのものの理解が不十分であることを示唆するものであろう。

3.3 データの活用演習と課題学習

仮説検定までの講義を終えた後、冬期休業期間を前に課題学習の内容説明とデータの活用に

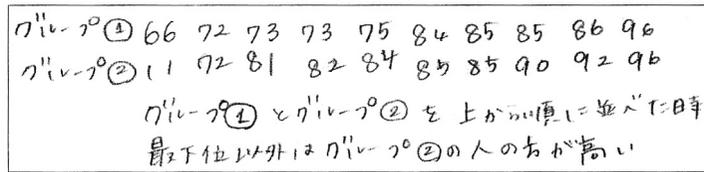


図5. 生徒の解答の一例.

関する演習講義を行った。5数要約に代表されるような統計量を計算したり、ヒストグラムや箱ひげ図などの視覚化の手法は既習であるが単元「データの分析」の内容の定着が不十分であることは事前調査の結果の通りである。また「データの分析」では実際の「データを見て何が言えるか」といった総合的な問題演習を扱う時間的な余裕が無く、教科書に沿った項目毎の問題演習に留まっているため実生活の中にデータの分析を活かす場面の経験が不足していると考えた。そこで、いくつかの事例を題材にした演習を試みた。演習の時間は1コマ半で43人を対面式の4つの大テーブルを用いて着席させ相談し易い環境で実施した。内容は聖学院の児浦良裕教諭の実践に倣い問いを3題与えた。次にそのうちのひとつを示す。

R 宇治高校3年生20人が2つのグループに分かれて、数学の試験に挑戦しました。それぞれのグループの点数は下記の通りです。

【グループ①】 73, 85, 86, 72, 84, 96, 75, 66, 73, 85

【グループ②】 82, 85, 81, 72, 84, 96, 90, 11, 85, 92

このとき「グループ①の方が平均点が高いから、グループ①の方が数学力がある」という主張に対する反論を考えなさい。

この問いに対して当初は何をして良いかわからずに手が止まる生徒が多かった。指導した教員が若干のヒントを与え、その後の観察では「度数分布を作成しようとする」、「ヒストグラムを作成しようとする」、「中央値を求めるために降順または昇順に並び替えようとする」、「分散や標準偏差を求めようとする」、「降順または昇順に並び替えて同順位での得点を比較する」、「箱ひげ図をかこうとする」など様々な行動が見られた。図5に生徒の解答の一例を示す。

この問いで当初に手が止まった理由として「何を求めたらよいかわかりません」と言う声に代表されるように「**を求めなさい」などの具体的な指示が無いために戸惑いが大きかったことがある。他に2問のデータを活用する演習を課した。そのうちの職業別と年齢別の層別のデータから顧客ターゲットを絞り込む問題では「社会人は金銭的に余裕がある」「大学生は金銭的余裕は無いが時間的余裕はある」など、データから読み取れる事柄以外の要素を自分勝手に考察に加えてしまうなど、与えられたデータからのみ考察することに慣れていない様子も見られた。

このようなデータ活用の場面を想定した演習に取り組ませることにより、オープンプロセスな問題に不慣れな様子や、数値の羅列のデータから自分なりにどのような特徴を抽出するか、を考えることに不慣れな様子が見られた。実際のデータを活かす能力を育成するために、データ活用の具体的な演習が教科書の例題や練習問題の他にも必要であることを感じた。

この授業の生徒の感想のいくつかを次に記す。

- データだけ与えられて「ここから言えることは何か」を問われても、そのデータをどうやって利用して良いか自分なりに応用しなければいけないのでなかなかアイデアが出てこなくてとても難しかった。将来(大学以降)こういう分析が増えるとなると自分の力が発揮できるか不安になった。

・データを見ていろいろな観点から見る事が出来ました。そしてデータを見ての考えの説明方法は表にしたりグラフにしたり、多くの方法で考えられることに気付くことができ良かったです。

- ・データを読み取ることによって改善策がわかるので大切だと思った。
- ・データを表やグラフにすることによって相関や注目すべき点が明確に分かるようになるということを実感しました。
- ・見た感じではわからなかったことが分析してみるとよくわかることがあった。
- ・考えながらいろいろ計算するのではなく、まず手当たり次第に必要そうな計算をしてしまうほうが結果的に考える時短につながると思った。
- ・いつも感覚で考えていたけれど、グラフにして考えてみると自分が思っていることが間違っていたりするので、数字を根拠にして考えていく大切さに気がついた。
- ・すごくタメになりました。統計から得られるデータを用いて生活や物事に対して有効なプロセスの構成を行うことができ、行動のデザインを行う上でかかせないモノだと感じました。データから判断する力を身に付けたいです。
- ・データを分析することは難しいと感じました。
- ・同じデータを基にしても分析の仕方によって結論が変わることがあるということが分かった。

3.4 課題学習とレポート作成

課題学習では実際のデータ収集の作業を含むため冬期休業期間が利用できるよう休業前に課題を提示した。課題学習には授業コマの後半の大部を使用しテーマの相互発表からレポート作成及びプレゼンテーションまで約15コマ分となった。課題の内容は次の通りであった。

課題 A：データ収集と推定と検定

概要：各自でデータを40個以上計測、観測または収集する。集めるデータのジャンルは①植物、②動物、③食物、④飲料、⑤自然現象、⑥機械部品、⑦交通輸送から各自で決める。Webページなどで既に公表されているデータを用いてはいけない。集めたデータが正規分布に従うものとして、そのデータから母平均または母比率を信頼度95%で推定する。母平均や母比率が既知である場合、または公表値が知れる場合には、標本から得られた値について有意差があるかどうか有意水準5%で検定する。

課題 B：データ分析から自分だけの知見を発見する

概要：各自で与えられたデータを分析。または100人以上を対象にアンケート調査を実施し、結果をエクセルで集計してそのデータを分析。データ分析のテーマは各自で設定してよいが、テーマに対してデータ分析を行い、何かしらの結論を導く。なおその際、同じものを2つ以上の集団で比較し、その相関も調べる。

使用する Web ページ：<http://www.stat.go.jp/naruhodo/c1s1.htm>

(エクセルデータがダウンロードできるので、必要なところはダウンロードする)

課題 A では PPDAC サイクルがどのようなものか説明し、デザインシートを作成するように指示した。このデザインシートは「テーマ案」「収集すべきデータ」「データの収集方法」「結果の予想」を事前にさせるものであった。

課題の評価は事前に表3,4に示すように、評価規準・基準をそれぞれの課題 A, B 毎に3項目3段階のマトリクスで示した。

最終的なテーマの決定に際して相互のテーマ交流の時間を1時間設けた上で行った。これは

表 3. 課題 A の評価規準・基準.

基準	分析の設計	データ	分析
A	動機や目的, 収集するデータが明確である	データ収集の方法, データ数が適正である. データ収集の方法に独自性が見られる	推定・検定が適切に行われ, 結論が明確に述べられている
B	動機や目的, 収集するデータに明確でないところがある	データ収集の方法, データ数が適正である	推定・検定の過程, または結論に許容できる程度の不備が一部見られる
C	動機や目的, 収集するデータが明確でないところが多い	データ収集の方法やデータ数に不備が見られる	推定・検定の過程, 結論に重大な不備が見られる

表 4. 課題 B の評価規準・基準.

基準	テーマの設定	データ分析	結論
A	テーマの設定が適切で, 興味をひく内容である	考察において, 単純集計および相関係数を効果的に使用している	データ分析をもとに, 結論が明確に述べられている
B	テーマの設定が適切で, データから検証可能	データを適切に収集・集計できており, 単純集計および相関係数を用いて考察できている	データ分析をもとに結論を述べているが, 許容できる程度の不備が一部見られる
C	テーマが適正でないまたはテーマが設定されていない	データの収集または集計が不十分. 単純集計のみ, または相関係数のみ	データ分析の過程, 結論に重大な不備が見られる

特定のテーマに偏ることを避けたり, 自らのテーマをブラッシュアップさせることが目的であった. また, 明らかにテーマ設定に無理がある場合にはその場で教員が指摘することができた. 図 6 は生徒が課題テーマと交流する様子である.

レポート発表は冬期休業後に 1 名あたり 7 分の時間で行った. 授業時間の関係上課題 A, B のいずれかを選んで発表させた. 講評は教員が行い, 評価については相互評価と教員の評価を総合した. この発表では, 課題に対する考察が誤っていたり, 明らかにデータに不備があるも

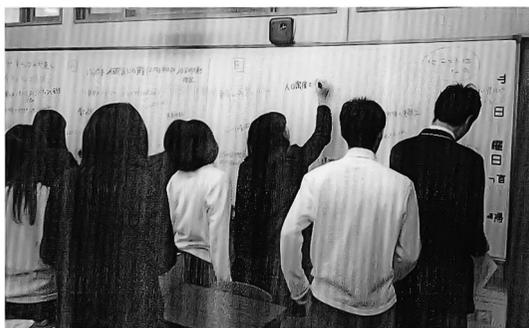


図 6. 課題テーマ交流の様子.

のも見られた。また生徒の相互評価について、理解の浅い生徒にとって他人の発表を理解し評価することが難しかったようであった。結果として教員の評価と生徒の相互評価では9点満点で、生徒評価のほうが平均点として2点程度甘くなっていた。理解が十分でない生徒を含む相互評価に課題を感じた。

最終的に提出されたレポートでは評価規準・基準に基づいた評価で、高い評価となったものがあつた一方で、いくつかの不備や誤りが見られた。高い評価となったレポートテーマと、主な不備や誤りについて次に記す。

高い評価となったテーマの一部

- ・チョコチップクッキーの標本重量に関する仮説検定
- ・スーパーで販売されているシラスの大きさに関する仮説検定
- ・テニス選手の利き手の割合に関する仮説検定
- ・ファストフードのポテトの重量に関する仮説検定
- ・ABO式血液型のA型の割合に関する仮説検定
- ・月齢と交通事故の比率に関する仮説検定
- ・TVCMの時間の長さの区間推定
- ・芯1本を繰り出すシャープペンシルのノック数の区間推定
- ・ラムネ菓자에描かれた模様のある粒の割合の区間推定
- ・在校生女子のリボンネクタイの着用比率の区間推定
- ・「それいけアンパンマン」で一話の間にアンパンマンがパンチを繰り出すまでの時間の区間推定
- ・日本の原油輸入量と各国の原油埋蔵量
- ・人口とごみの排出量との相関
- ・長生きすることと幸せの相関～幸福度と平均寿命の視点から～
- ・住宅地の値段と人口の関係について

誤りの一部

- ・仮説検定で帰無仮説と対立仮説が逆になっている
- ・仮説検定で有意差が無い場合の解釈の誤りをしている
- ・データ数わずか6個でデータの相関に言及している
- ・データの相関に関して、明らかに全体と部分集合の相関を考えている
- ・表計算ソフトに未習熟で散布図が誤っている
- ・データの相関に関して、ひとりあたり量などの単位あたり量を用いていない
- ・自分の問題意識と調べているデータにずれがあり、本来調べるべきことが調べられていない

3.5 課題学習のまとめ

課題学習に関し、生徒の理解が不十分なところも見えたが、テーマ設定・テーマ交流を経て生徒それぞれが自らの興味関心からデータ収集からはじまるデザインに取り組むことができた。また一部の生徒ではテーマの相互交流によって各自のテーマを改善することができた。テーマ設定時点では検定に取り組む生徒がほとんど居なかったが、最終的には2割程度が仮説検定にも取り組んだ。

仮説検定に取り組む難しいのには身近に仮説検定を体感できる例が未だ少ないことによるものか、仮説検定が高校生にとって扱いが難しいものであるため敬遠されたのかなど、理由は未調査のため不明である。

今回の課題では、レポートを読むことでその生徒の理解の状況が良く見えた。どのようなデータとどのようなデータの相関を見るべきなのか、仮説検定における帰無仮説はどのように立てるのか、など真に理解しているかよく判るものであった。

レポート課題についての生徒の感想として「難しく感じたこと」として「テーマ決め」が最も多く、続いて「データ集め」「表計算ソフトの使用法」であった。表計算ソフトウェアの扱いを授業では触れなかったが各個人の ICT スキルの差が現れた様子であった。

また「レポート課題で楽しいと感じたこと有意義と感じたこと」については概ね、課題に取り組む中で理解が深まったことが挙げられている。それらのいくつかを次に記す。

レポート課題に取り組んで難しく感じたこと

データを集計すること/推定があまりよくわかっていなかった/テーマを決めること/相関が無さそうなデータを探ること考えること/より相関を出すにはどうするか考えること/テーマ設定/データを探ること/グラフの作成/帰無仮説の立て方/グラフから何を言えるかの読み解き/教科書通りでなく工夫しないといけないこと/収集するデータが結論づけるために本当に必要なものか不安/データをどのように載せればわかりやすいか/散布図をつくるとき/結果を見て読み取ること/自分で1から必要なデータ、方法などを考えること/集めたデータをどのような方法で検証していくのかを考えること/相関がわかってなかったからテーマ設定難しかった/取ってきたデータから調べたいデータを抽出する作業

楽しいと感じたこと有意義と感じたこと

表計算ソフトの使い方/自分が気になっていたことを調べることができた/データを利用することや推定や検定ができるようになったこと/いろいろなデータを調べて見比べたこと/調べているうちに理解できること/データを集めたときの達成感/データから分析すること/散布図ができたとき/自分の好きな調査だったので楽しかった/しっかりとした数が出る感覚が良い/相関が無かったとしてもどういう意味なのかを考えるとどんなデータも意味があると思った/相関が無いと思っていたことに相関があったこと/有意差がわかったとき/データから相関が現れたこと/統計の学びを活かして調べてみるのができたこと/相関が無いと思っていたのにあったとき/相関があったらおもしろい。思わぬところで相関があるとびっくりするが、それがおもしろい/言葉以外のもの、数字で何かを語れるというのは楽しいし面白いと思った/実際に結果が出た後でなぜそうなるのかを考え、また違った予想がでるところ/結果がどうであれなぜこの結果になったのかをいろいろ考えること/データを整理して相関係数や推定・検定ができたとき

3.6 期末考査の状況

授業の理解の様子を見るため考査の結果について表5に記す。考査の内容は区間推定及び仮説検定であった。問題別にそれぞれ配点・得点の平均点・正答率%である。ただし、ここでの得点の平均点は部分点も含んだものである。

全体の平均点は62.5点であった。個別の正答状況を見た場合に概ね区間推定に関する問いの正答率がやや高く、母比率の検定に関する問いの正答率がやや低い結果となった。仮説検定の正答率が低い要因として、誤答を見たところ「有意差あり・なし」のそれぞれ場合での結論づけの誤り、帰無仮説の立て方の誤り、検定統計量の誤りなど様々であった。母比率の検定では検定統計量の誤りが多数見られた。また「検定における有意水準の5%の場合と1%の場合の違い」についての問いの正答率が低い結果となった。空欄補充の問題は区間推定に関するものであったが、この正答率が71%に対して、実際の母平均や母比率の信頼区間を求める問いの正答率は85%を超える結果となった。これは区間推定の理論的なところをよく理解せずに信

表 5. 期末考査の正答状況.

問題	配点	平均点	正答率%
空欄補充	12	8.5	71
標本平均の期待値・標準偏差	6	4.4	73
母平均の信頼区間の幅と標本の大きさ	6	5.1	85
母平均の信頼区間	6	5.8	97
母比率の信頼区間	6	5.1	85
16 個のデータからの母平均の信頼区間	6	3.8	63
検定における「有意差あり」の意味	2	1.7	85
検定における「有意差なし」の意味①	2	1.5	75
検定における「有意差なし」の意味②	2	1.7	85
母平均の信頼区間と有意差	2	1.5	75
有意水準の値の違い	2	0.9	45
母比率の検定（文章からの読み解き）	12	5.7	48
母平均の検定（両側 5%①）	6	5	83
母平均の検定（両側 5%②）	6	4.9	82
母比率の検定（両側 5%）	6	4.2	70
母比率の検定（片側 1%）	6	2.7	45
世論調査の標本数についての考え	6	1.2	20
男女の出生数データから何が言えるか	6	3.9	65
全体	100	62.5	62.5

頼区間を公式のように覚えて解答している生徒が少なからず居ることを示唆する。正答率の低かった問いとして、ダイエット効果を宣伝する広告を見る会話文を読み解き、母比率の検定によりそのダイエット広告が正しいかどうかを判断するという問いの正答率は 5 割を超えなかった。文章の読み解きを前提としているものの、実生活での応用を想定した問いであっただけに仮説検定の定着や実生活での利用の課題を感じさせる結果となった。正答率が最も低かった問いは「新聞の世論調査では通常 3000 個ほどのデータに基づいている。この数は標本調査として十分と考えられるか自分の考えとその理由を、統計学を根拠に述べなさい」というものであった。理由を母比率の信頼区間の幅に基づいて記述できた生徒は少数であり、理由が説明されていない誤答が殆どであった。これも信頼区間を求める式の持つ意味の理解が不十分であったと考えられる。

3.7 最終の意識調査と生徒の感想

プレゼンテーションを終えた段階で授業についての最終の意識調査を行った。そのうちで、統計的推測の考えに関する次の問い(1)～(7)を設け、以下の 1～5 までの 5 段階で回答させた。

- 1: まったくそう思わない
- 2: どちらかといえばそう思わない
- 3: どちらとも言えない

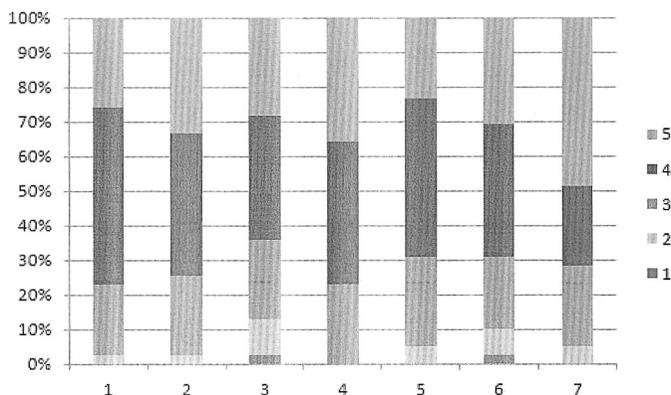


図 7. データの分析の考えや態度に係わる設問への回答状況.

4: どちらかというと思う

5: 強く思う

- (1) 推定や検定など、誤差の程度を確率的に考えて判断しようという考え方は合理的だと感じた
- (2) 検定を行うときにどのような仮説を立てたらよいか考えることは難しいと感じた
- (3) 実際のデータを分析することは、単に平均値や標準偏差を求めたりするよりも難しいと感じた
- (4) データが与えられたとき、どのように特徴をつかむか、どのように分析するかについていくつかの経験を積んで慣れることが必要だと感じた
- (5) データを根拠にして何かを言いたいときに、どんなデータを集めたら良いかを考えることは難しいと感じた
- (6) データを実際に正確に観測したり計測したりすることは難しいと感じた
- (7) データを分析することは総合的に言って、実際にやってみると思っていたよりも難しいことだと感じた

この結果は図 7 のようになった。

どの設問に対しても「どちらかというと思う」「強く思う」が多数となった。さらに自由記述で「統計の学習をして良かったこと」及び「統計の学習をしてつまらなかったこと」を問うたが、それぞれ出された感想は次のようなものであった。

統計の学習をして良かったこと

表計算ソフトを学べたこと/実際に使う機会が多いと思う/大学で学ぶ内容を高校で学べてよかった/相関とかの判断が少しできるようになった/検定で企業の公表値などを検証できるところがよい/データをいじって考えを伝えられる/データから何かを言いたいときの理論が学べた/推定や検定の考えを知れたこと/グラフの意味がわかった/統計用語を理解できた/いつもの数学と違い社会に役立っていると思った/実際にものごとが本当かどうか理解できること/世の中の標本調査が前よりも信頼できるようになった/今まで何も考えずに物を買っていたが、いろいろ考えながら買い物するようになった/統計の良さ悪さを知れたこと。エクセルの使い方が学べた/1年のときあいまいだった標準偏差などをもう一度きっちり学びわかった/グラフを見て分析すること/大学での学びにいかせそう。特に標本調査/データのまとめ方/将来役に立

つと思ひながら学習できた/こういうことが求められることということの実感がわいた/

相関以外にものごとの判断できた/実際に統計を取らないとわからないことがあるとわかったこと/授業で学んだことを実際にやってみることで理解が深まった

統計の学習をしてつまらなかったこと

ひたすら計算のときつまらなかった/公式に当てはめるだけになったこと/公式の出でくる理由の説明が不足していた/用語が難しい/難しかったりややこしかったりした/パターン化されすぎている/自分が調べたものでないデータは扱いにくい/信頼度の理解が浅かった/相関が無かったときつまらなかった/テキストではどうしてもただの数値代入計算になること/母平均や推定などいろいろあり頭が混乱する/データ集める際にイライラした/信頼度や有意差/信頼区間はこの先使うのか?/興味がないことへの分析/少しややこしかったものが多かった

4. まとめ

4.1 本教育実践のまとめ

実践を振り返り、当初の研究仮説についてこれまでのまとめを記す。授業計画の段階より「データの分析」の定着の悪さと、データを活用することに不慣れな生徒の姿を予想した。このことは事前調査や付随したテストの正答状況や、課題学習前のデータの活用の演習での生徒の様子や感想によって、受講生徒に関して裏付けるような結果を一部得たが、一度だけの調査でもあり信頼できるデータによって裏付けるには不十分であり、さらに規模を拡大した調査が望まれる。そしてもうひとつの仮説であった「適度な実践を施すことでデータの分析や統計学のよさを見いださせること」に成功したかについて、意識の変容を数値データとして残すには至らなかった。事前の意識調査や中間での調査、さらに最終の調査での比較として、例えば「データの分析や統計学は自分の将来に役立つ大切な内容を含んでいると思う」という問いに関して大きな変化は見られなかった。

一方で中間調査での意識の変容から、推測統計の基礎を学習することで記述統計の内容の復習となりうる可能性が示唆される。データの活用場面では、定型の演習問題を解くこととは違う、試行錯誤しながら問題解決の糸口を探り、様々な方法で自分なりの主張を裏付ける活動を多くの生徒が能動的、主体的に行う様子を見ることができた。従って当初の仮説をすべて示すには至らなかった。

実践の反省点として、事後の意識調査の中での「統計の学習をしてつまらなかったこと」の感想で「公式にあてはめるだけ」などに一部が集約されるように、統計学の理論的な説明が不足したことは確かである。また、レポート作成の時間には生徒による時間差が大きく、早く終えた生徒には冗長な時間となった。全体の時間配分については再検討の余地が十分にある。こうした反省を踏まえての新たな授業実践の改善が求められる。特に、統計学の理論的な説明が不足に係わり、教える側にとっての「生徒の理解の難しさを避ける配慮」が学ぶ側にとっての「理論的な理解を回避した公式的暗記」と映ってしまうことは大きな課題である。

翻って「数学Ⅰ」が必修科目であるために、ほとんどの高校生が「データの分析」を高校1年生で履修するが、「データの分析」は後に学ぶ「数学Ⅱ」や「数学Ⅲ」の内容との連関が薄く受験での必要性が無ければ、本実践での対象生徒の定着の状況と同様に多くの高校生が記述統計の知識の定着すら無いまま卒業していくものと思われる。

2010年8月の統計関連学会連合による前掲文書中の「統計学の様々な分野における参照基準の基礎となる“統計学の考え方・ポイント”」では、統計リテラシーの涵養について「初等・中等教育段階から現実のデータに日常的に接し、不確実性の概念について繰り返し訓練することによってはじめてその感覚が養えるものである。すなわち、実際のデータを素材に、教科横断的

にそれを十分活用するような教育が行われる必要がある」と指摘している。

短期間ではあるが、この授業実践を行う中で、統計分野の学習内容の定着や統計リテラシーの涵養について、この指摘にあるように数学という教科だけでなく、他教科との教科横断的な活用の場面が図られる必要があること、さらに「データの分析」の定着やデータの活用の機会の拡大という観点から多くの高校生が更なる統計分野の学習に取り組む機会に恵まれることが望ましい、という感想を持った。

また、今回の教育実践は私学の大学附属校という特殊な環境下で行われたが、実質的な内容は「数学 B」の「確率分布と統計的な推測」を中心としたものであり、課題学習を長期休業中のレポート課題にするなどの工夫により、これに係わる時間を除けば 20 時間程度で実践可能なものである。その意味で本実践と類似した取り組みが他校でも「数学」や「総合的な学習の時間」などで可能であろう。本実践が統計教育の充実のために教育現場の幾分かの参考となれば幸いである。

謝 辞

本実践にあたり「データの活用」の実践授業に関する資料の提供及び有益な助言をいただいた聖学院中学校・高等学校の児浦良裕教諭にこの場を借りて感謝申し上げます。

本稿は 2017 年 3 月に行われた第 13 回統計教育の方法論ワークショップでの報告「[高等学校における「データの分析」その後の統計教育実践の一事例]—データを活用する力の育成の観点から—(中間報告)」を基に加筆修正したものである。

注.

- 1) 教科書発行会社のひとつ東京書籍が Web で公開しているシラバス案によるこの単元の履修時間は 10 時間とされている。しかし日本統計学会統計グラフ教育研究部会が 2013 年 3 月に行った「高等学校における統計教育実態追跡調査」では調査をした約 7 割の学校での実施が 9 時間以内であったと報告されている。
- 2) 総務省政策統括官(統計規準担当)(2016)では PPDAC サイクルを「国際的枠組み」と表現している。

参 考 文 献

- 河合塾 (2015). 特集新課程入試研究レポート, *Guideline*, 7・8 月号, 7-43.
- 黒田孝郎他 (1984). 『文部科学省検定済教科書 高等学校数学科用「高等学校の確率・統計」』, 三省堂, 東京.
- Kye Seung-Hyeok et al. (2009). *High School Integration and Statistics*, Sungji Publisher, Seoul, Korea, http://www.sungjipub.com/ebook/high_book/integral_book/integral_book/EBook.htm.
- 成田雅博 (1989). 高等学校における統計の教育内容体系の考察, 教授学の探究, 7, 25-40.
- 日本学術会議数理科学委員会数理統計学分会 (2014). 提言 ビッグデータ時代における統計科学教育・研究の推進について, 東京.
- 総務省政策統括官(統計規準担当) (2016). 「生徒のための統計活用～基礎編～」, 東京.
- 統計関連学会連合 (2010). 統計学分野の教育課程編成上の参照基準の策定.

A High School Case Study of Statistical Education Practice after
Completion of a Unit on “Data Analysis”
—From the Viewpoint of Fostering the Ability to Utilize Data—

Junpei Sakai and Yoshinari Inaba

Ritsumeikan Uji Junior and Senior High School

2016 marked the fifth year since “Data Analysis” became a unit of study (i.e., part of the content) of “Mathematics I” in upper secondary schools. However, based on the analysis of the University Entrance Examination Center, few high school students enroll for the course on “Probability Distribution and Statistical Inference,” a statistics course in the “Mathematics B” program. However, to enhance problem-solving statistical education in elementary and secondary school, it is indispensable to further cultivate each student’s statistical literacy. Therefore, we considered it important that students routinely deal with actual data from the elementary/secondary stage of education and are trained in the concept of uncertainty. In this paper, we report on the practical teaching of inference statistics at a high school. At the beginning of the practice, there was insufficient establishment of the understanding of “data analysis,” and high school students were unfamiliar with actually using the data. However, by exposing the students to lessons, exercises, and cooperation with others, we were able to see how high school students utilized data as a learning task.

大学学部における統計教育の実践報告

—演繹と帰納をつなぐアクティブラーニング—

石綿 元^{1,2}

(受付 2017年6月19日; 改訂 9月23日; 採択 10月4日)

要 旨

本研究ノートは、一般的な理科系大学の学部統計教育におけるアクティブラーニングを導入した講義の実践報告である。アクティブラーニングの展開として導入した教育方法は、履修学生各個人の興味関心に応じたレポート作成を課すことである。その目的は、教室における丁寧な演繹的内容の解説と、レポート作成時の自主的な活動による帰納的思考を、自然な形で融合させ、演繹と帰納をつなげて思考する統計の考え方を、経験を通じて理解させることである。このことにより、履修者自らの能動的な活動を促し、各自にとって身近なデータを実際に解析させることで、より深い統計の理解が得られ、学生の満足度も高いことがわかった。

キーワード：大学学部統計教育，アクティブラーニング，演繹と帰納。

1. はじめに

統計学は、現実問題から得られたデータについて、各種確率分布等を利用し、数理的根拠のある形で、問題の本質に最も近いと考えられる結論を求め、問題の解決を目指そうとする方法である。したがって、確率論などの演繹的思考を中心として理解をすべき側面と、データの持つ特性に応じた帰納的思考を導入すべき側面をともに併せ持つ特徴があると言える。演繹的思考の部分は、他の数学系科目と同様に講義における解説で対応でき、学生各自の数理解の度合いに応じてその理解も求められるが、帰納的思考部分を一律に理解させることはなかなか難しい。なぜならば、帰納的思考には、対象となっている事象独自の背景の理解や、当該事象そのものの理解の深度によって、そのデータが持つ意味が変わってくる場合もあるからである。言い換えれば、当該対象事象に如何に興味を持っているかが影響してくる部分が含まれているのである。そこで、通常のレクチャーを中心とした講義を進めながら、各々の学生自らが独自に興味ある事柄について統計学を使って明らかにしたい課題を考えさせることにした。このことにより、演繹的取り扱いのみにとどまらない統計的思考の理解を求め、さらにはアクティブラーニングの実践をも目指した。本研究ノートは、大学学部統計学講義における一つの事例報告である。

2. 実践講義の概要

報告する実践講義は、一般的な4年制大学における2単位の理科系学部学科2年次配当の学

¹ 総合研究大学院大学 複合科学研究科統計科学専攻：〒190-8562 東京都立川市緑町 10-3

² 芝浦工業大学 工学部：〒136-0061 東京都江東区豊洲 3-7

表 1. 達成目標との対応・割合.

講義の達成目標	中間試験	レポート	期末試験	合計
1.		2%	3%	5%
2.	18%	6%	6%	30%
3.	2%	2%	1%	5%
4.		15%	15%	30%
5.		20%	10%	30%
合計	20%	45%	35%	100%

科専門科目として開講されているものである.

講義の達成目標は次の通りである.

- (1) 記述的尺度を用いたデータの要約や、データの視覚化ができる.
- (2) 事象の確率を計算でき、確率変数および確率分布の意味を理解できる.
- (3) 中心極限定理の概念を理解でき、無作為抽出との関係を理解できる.
- (4) 各種統計解析手法を目的に応じて適用でき、結論を導くことができる.
- (5) 現実の問題についてデータを取得し、統計的思考に基づく課題解決ができる.

次に、達成目標と各評価法との対応・割合を表 1 に示す.

この達成目標との対応・割合は、達成目標を実現するために履修学生各自が各評価を受けるにあたっての重点的に学習すべき項目比率を表したものである.

対応する講義計画を表 2 に示す.

第 1 回講義において講義概要と記述統計を中心とした導入的な講義の後、第 2 回から中間試験までの間は、主として確率論を扱い、中間試験以降は、推測統計(数理統計学)を毎回テーマごとに解説している構成となっている. この計画を編成するにあたっては、純粋に数学として理解できる確率論の部分と、その後でそれとは趣の多少異なる推測統計の部分とをできるだけ分けて解説できるように配した. ただし、扱う内容については、統計検定公式教科書等(日本統計学会 編, 2015; 東京大学教養学部統計教室 編, 1991; Hoel, 1963)を参考に、理科系学科の専門科目であることを考慮しつつ学部で扱うべき基礎統計を理解できるような内容(統計関連学会連合理事会/統計教育推進委員会, 2014)とした. 概ね一般的な講義計画であると考え.

成績評価の方法は、「達成目標との対応・割合」に関わらず、期末試験 50 点、中間試験 30 点、レポート 20 点、合計 100 点で採点し、総合得点 60 点以上を合格とするが、レポートの提出を必須としている. これは、各学生が独自に設定した課題について各自の能動的な活動により統計を用いた結論を求めるレポートを課し、レポート作成ができることを最高到達点と設定したためである. 成績評価方法に示すように成績におけるレポートの比率は 2 割であるが、講義目標達成におけるレポートの比率は高めに設定してある. これは、レポート作成を通じて講義で扱った統計の手法全体を俯瞰しつつ、その取り扱い方法を「経験」してもらうためである. 成績評価にレポートの提出を必須としたのはこのような理由からである.

表 2. 講義計画.

講義回	講義計画	講義テーマ	講義内容
1	記述統計 [データ解析]	データをみる・よむ	度数分布表, ヒストグラム, 記述的尺度ほか
2	確率論 1	事象と確率	事象と確率, 条件付き確率, ベイズの定理ほか
3	確率論 2	確率変数と確率分布 1	確率変数・離散型確率分布 2項分布, ポアソン分布, 超幾何分布ほか
4	確率論 3	確率変数と確率分布 2	確率変数・連続型確率分布 正規分布, χ^2 -分布, F -分布, t -分布ほか
5	確率論 4	中心極限定理	大数の法則, 中心極限定理ほか
6	中間試験 推測統計 [数理統計学] 1	小テストと解説 推測統計概論	確率に関する試験・解答解説 統計学の考え方, 母集団と標本分布ほか
7	推測統計 [数理統計学] 2	点推定と区間推定	点推定と区間推定, 平均の区間推定 (z), 分散の区間推定, 平均の区間推定 (t)
8	推測統計 [数理統計学] 3	仮説の検定	検定の過誤, z -検定, 比率の検定, t -検定, 分散の検定, F -検定ほか
9	推測統計 [数理統計学] 4	相関分析 回帰分析	標本相関係数, 無相関性の検定, 擬似相関ほか 線形回帰, 最小二乗法, 重回帰, 多重共線性
10	推測統計 [数理統計学] 5	分散分析 母数によらない方法 1	因子・水準, 二元配置, 主効果モデルほか 適合度検定
11	推測統計 [数理統計学] 6	母数によらない方法 2	順序統計量, 符号検定, 順位検定, 順位相関ほか
12	推測統計 [数理統計学] 7	品質管理	SQC, 管理限界, 抜取検査, 工程能力指数
13	推測統計 [数理統計学] 8	情報量規準	カルバック-ライブラー情報量, 最尤法, AIC
14	期末試験	試験と総評	統計に関する試験, 解答解説, 総評

3. アクティブラーニングと統計教育

3.1 レポート課題とその目的

物理学者アインシュタインは、1936年10月15日アメリカ高等教育300年祭の講演『On Education』で、「教育のもっとも重要な方法は、生徒に実際に物事をやってみようという気を起こさせる点にある。このことは、小学校の最初の筆記練習も、大学の学位論文の作業にも、数学の問題を解くことやスポーツの実技などすべてを通じて言えることだ。」と述べている (Einstein, 1972)。また、同時に、「すべてのあることを成就する背景には動機が存在し、動機は、その企てを達成することで強化され助長されるが、この場面は、好奇心に発するものであり、最大の多様性に充ちていて、学校の教育的価値にとって最も重要なのは、この多様性である。」とも述べている (Einstein, 1972)。

また、紀元前250年ごろの古代中国の思想家荀子の言葉として伝わっているものに、「聞いたものは忘れる。見たものは覚えている。経験したものは理解できる。」という言葉がある (Vaillancourt, 2009)。

統計学は、現実問題をデータを用いて理解する方法の体系であることから、学生個々の多様な興味関心に応じた対象を通じて、「経験」によって理解することが可能であると考えられる。そこで、履修者には、次の課題でレポートを課している。

課題. 「これまでの講義で扱った統計の手法をあなたの興味ある対象に適用し, 結論を導け.」

3.2 レポート作成を通じたアクティブラーニング

3.2.1 アクティブラーニングの展開

本講義では, 課題レポートを作成することを最高到達点に設定しているため, 講義時間を通じたレポート課題完成への支援を積極的に行うことを中心に講義を展開する. 各学生独自の興味関心に応じた内容をレポートに求めるため, 作成期間に最低1ヶ月以上の期間を与え, テーマを考えるとところから求めていく.

レポート作成に当たり, 教室での講義内容を十分に理解できないと, 取りかかること自体が難しいため, できるだけ早い段階の講義回で, 複数回レポートについての予告を与えておき, 講義への積極的な参加を促しておく. そのうえで, 毎回の講義では, 各回の講義内容に応じた簡単な演習問題を通じ, 講義時間内において演習を行い, 質問時間を設けることで十分な理解を求めるとともに質問しやすい雰囲気を作っておく.

推測統計の基本的な内容を一通り終えた段階で, レポート課題を提示し, 課題の作成開始を指示する. その際には, 過去のレポートの例を紹介し, データを取得する際の注意点や, インターネットを通じた政府統計などの公的統計データの引用等, レポート作成について有用と考えられる内容を中心に, 参考資料, 参考サイト等について解説を行う.

レポート課題提示後の各回の講義では, 演習の時間を通じてレポート課題についての質問の時間を与え, 適宜助言を行うことで, レポート作成に能動的に取り組めるよう講義時間を使ってサポートをしていく. 具体的には, 質問はおおむね次のような内容が多い.

- 課題の設定が決まらない.
- 課題は決まったが, データの取得方法が分からない.
- どのような解析方法を用いればよいか教えてほしい.

課題が設定できないという相談には, 日常的に疑問に思っていることなどをいくつか挙げさせ, その中からデータが得られそうなものを選択させたり, 過去のレポートを再度紹介し, 興味のあるようなテーマについて自ら考えさせる. データの取り方についての相談には, ランダムサンプリングが成立しているといえるようなデータの集め方を学生とともに考える. 解析方法についての質問では, 講義内容を復習させ, 何を確率変数に取れば, どのような確率分布をモデルとして利用できるかを考えさせる.

このようにして作成されたレポートは, 講義の最終日に提出させ, 期末試験日まで採点を行い各自へ返却する. 期末試験終了後に代表的なレポートを選び, 解説とコメントを与えて, 履修学生全員にフィードバックをしておく.

提出必須のこのレポート課題は, その作成のためのプロセスそのものが, 効果的なアクティブラーニングとなる. また, 統計解析の対象については, してはいけないこと以外すべて対象として構わないとしている.

3.2.2 統計学の身近さを感じさせる演出

レポート課題の提示に当たっては, おそらく最初の困難が伴うであろう課題の設定に対して, できるだけ身近な問題を扱うようにその時々話題等を提供したり, 昨年度までの同一講義における先輩のレポートを適宜紹介解説する. レポートに着手する前の早い段階において, 身近な題材が統計のレポートの題材として有効であることを理解させておく.

図1は, 2013年度から2016年度までの過去4年間に提出を受けたレポートのテーマの分析である.

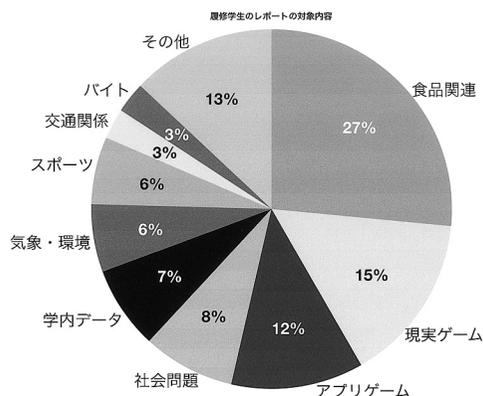


図 1. 学生のレポートテーマの分類.

図 1 に示す通り，この 4 年間に提出を受けたレポート対象テーマは，実に多岐にわたっており，各学生の興味関心の多様性が伺われる．一番多いのは，食品関連であるが，普段から友人と食べているお菓子を題材に複数人でチームを組んでデータを取得したものが多く，次に多いのは，現実ゲームであるが，これは，自作のダイスの試行結果や，トランプゲームなどからのデータを用いたものである．アプリゲームとは，パソコンやスマートフォンにおけるアプリケーションゲームのことで，これも学生にとって身近な存在であることが伺われ，現実ゲームと合わせると食品関連に匹敵する．社会問題とは，交通事故，犯罪の発生地域，所得配分や輸出入等の公的統計データを用いた解析である．学内データは，スクールバスや，部活動，サークル活動の中から得られるデータで，自己や自チームの成績を分析したものが多く，気象・環境では，気象庁のホームページで公表されているデータを利用した解析が多く，地球温暖化や地震のデータ解析などである．スポーツでは，野球やサッカーなどにおいて応援するチームや個人成績の解析などである．交通関係では，電車，車，バイク等の所要時間や燃費などに関する解析である．バイトとは，アルバイト先のデータを解析したもので，主なアルバイト先としては，飲食店，コンビニエンスストア，ゲームセンターなどである．その他では，このほかの分類に含まれない内容で，硬貨の流通調査や，巷の話題の検証など更に多岐にわたる．

この多様なレポートテーマが，示している通り，おおむね力作が多く，学生自らの身近な興味関心に応じたレポートを求めることで，積極的な活動を促したと考えられる．

3.2.3 具体的なレポートの内容の例の概要

提出されたレポートのうち，いくつかのレポートについてその概要を示しておく．

- 最寄駅から大学までのスクールバスの所要時間の調査(テーマの分類：学内データ)

目的：最寄り駅から大学までのスクールバスの所要時間が，大学が公式に公表している 5 分かどうかを明らかにする．

データの取得方法：6 人でデジタル腕時計を用いて扉が閉まってから扉が開くまでの時間を 30 日にわたって計測したデータを用いる．

解析方法：帰無仮説を，所要時間は 5 分と見なせるとして，平均の検定(t -検定)を有意水準 5% で，片側検定を行う．

結論：統計量は棄却域に含まれるため，所要時間は 5 分ではない．

- C 社と K 社のポテトチップスの原料ジャガイモの大きさは違うのか(テーマの分類：食品関連)

目的：人気のC社とK社のポテトチップスについて原料のジャガイモに大きさの違いはあるのか。

データの取得方法：通学定期券の区間(約74Km, 16駅)にある各駅で降車し、最寄りのスーパー・コンビニ等小売店で、C社とK社のポテトチップスを合計30袋購入し、それぞれの袋の中から大きい2枚を小数点第1位まで長さを測る。

解析方法：まず、分散比について検定を行い、等分散と見なせるため、帰無仮説を「大きさに差はない」として平均の差の検定の検定(t -分布)を有意水準5%として両側検定で行う。

結論：統計量は棄却できないため、この2社の使用するジャガイモの大きさに差があるとは言えない。

- 流通している1円硬貨の発行年度は、各年度の発行枚数と一致しているのか(テーマの分類：その他)

目的：流通している1円硬貨の発行年度は、造幣局が公表している各年度の発行枚数と一致しているのか。

データの取得方法：6人で東京、神奈川、埼玉の都市銀行、地方銀行、信用金庫をまわり、3000円分を1円硬貨に両替し、製造年号を調べる。一方、造幣局のホームページで公表されている各年度の発行枚数を調べる。

解析方法：「両替した各年度の割合」を観測度数、「造幣局の各年度の発行割合」を理論度数として帰無仮説を理論度数と観測度数は適合しているとして、適合度検定を行う。

結論：帰無仮説は棄却されるため、理論度数とは適合していない。古くなった硬貨は、回収されてしまうことがあることが原因だと考えられる。

- 焼肉店の暖かいスープなどの商品の売り上げと気温の回帰分析(テーマの分類：バイト)

目的：バイト先の焼肉店の特定商品の売り上げと気温との関係について回帰直線をもとめ、仕込みの無駄を省きたい。

データの取得方法：スープ等の特定メニューの売上数をバイト先の店舗において取得。気象庁のホームページから当該日の気温を入手する。

解析方法：平均気温や最高気温と売上数の関係についての回帰直線を求め、決定係数によってより関係性の深いものを選択し、回帰直線を確定していく。

結論：決定係数により、平均気温よりも最高気温を用いた回帰直線が選択され、気温に応じた仕込み数の見込みを立て易くなった。

3.2.4 アルバイト先データを用いたレポートの教育効果

レポート全体のテーマ割合では報告数は多くないが、アルバイト先のデータを用いることは、その他のデータを用いたレポートに比べ、特に意欲的なものが多く、課題の設定においてもデータ取得のアイデア等も良く工夫されているものが多い。さらに、結論についても職務上の経験が反映されることが見受けられ、学習効果が非常に高いと感じている。ただし、レポート課題提示時点において、企業秘密等の漏洩はしてはいけないことや、雇用契約上禁止事項等は行わないことを確認してある。

4. 演繹的講義内容の重要性

4.1 演繹的講義内容の重要性

推測統計学の講義として重要なことは、確率分布モデルを仮定することによって不確実性を有する現実のデータを数理的に扱うことができることを理解することである。したがって、確率分布の性質についての理解がないと、得られたデータとモデルとして扱う確率分布との間のつながりが理解できないため、統計を適切な場面で効果的に利用することができず、統計学を

理解したとは言えない。演繹的議論のみに閉じない内容を標榜し、身近な統計学という演出をしたとしても、確率論を中心とした関連する数学は重要であり必要不可欠である。

4.2 演繹的思考と帰納的思考のつながりを理解していない例

ここでも学生から提出を受けたレポート内容から、演繹的部分の講義内容を軽視するとどのような事態が起こるかを考察したい。

この例は、ある学生から提出されたレポートのテーマとその概要である。

- 目的：A 駅から B 駅までの標準時分についての検定
- データの取得法：時刻表の書籍から当該路線の所要時間をすべて得る。
- 解析方法：得られた全データから乱数表を用いてデータを 30 程度選ぶ。
- 結論：標準時分との差について平均の差の検定を行い判断する。

この学生は「鉄道」に興味があり、それに関するデータを取得しレポートとしたいと考えていたようである。

この学生のレポートでは、取得したデータは、時刻表のデータであって、予定として公表されている計画である。ここに不確かさがある訳ではなく、不確か性があるのは、現実に運用を行う上で、ホームの状況、踏切の状況、電車内での状況、気象状況等が日々変わって、電車の所用時分に影響を確率的に与える。このとき、所要時間とのずれが正規分布に従うと考えることにすれば、パラメトリックモデルとして推測統計としての結論を求めることが可能である。実際に電車に乗って、データを得てくれば、このテーマのレポートとしてふさわしいと思われるが、時刻表のデータでは、不確かさを持つデータではない。

この例では、おそらくデータに対してとにかく当てはめれば良いということしか理解しておらず、当てはめるモデルが確率分布で構成されていることと結びつけて理解していないことによって生じてしまったものと考えられる。

つまり、正確に推測統計の基礎となる確率論を理解していないと正しく統計を使用することができないのである。

4.3 様々な数理的能力背景をもつ学生への対応

数理の内容はどこまでを要求すべきかという問題も生じてくる。特に理系学部の場合、数理的表現は、最も身近な理解する上で欠くことのできない表現手段である。しかしながら、受講者全員が同様な数理的理解能力があるとは言えない場合もある。特に、能力別クラスでない場合は、一般的な大学では、その背景は様々である。

そこで、できるだけ噛み砕き、簡潔でない冗長なまでの表現で、式変形を行った形で、演繹的思考過程のほぼすべてをプリントして提示することになっている。履修者の動向をみて、それでも足りないと感じた場合には、板書で補うことも行う。

特に数学的な興味を持つ学生が多い場合は、できるだけ丁寧な数理解説を行う必要がある。例えば、 t -分布の ∞ の極限は標準正規分布になることについて「数表を用いて確認しなさい」でも統計で利用する分には十分であるとも考えられるが、納得しない学生もいるかもしれない。また、 t -分布が発見された経緯やその適用場面を理解するためにも理論的な納得は必要であるとも考える。そこで、この例において配布しているプリントの該当部分について付録に転載しておく。

受講学生の数理的背景が様々な場合は、数学的な側面は特に丁寧な解説が求められるが、学生自身がすべての場合にこれらの数式を導出をできなければならないかと言われれば、必ずしもそうではないと考える。多くの場合、学生各人が納得できればよく、確率分布をモデル化し

で使用していることを認識できる程度に理解していれば良いのではないだろうか。ただし、純粋に数学を理解する活動とは、一定の区別を行った上での統計学の講義という立場は明確にしておくべきであると考える。

ここまで数学の思考部分を演繹的思考と表現し、それ以外の部分を帰納的思考と表現してきたが、ここで、数学の思考について、アインシュタインの考え方を引用したい。1921年1月27日ベルリンプロシヤ科学アカデミーの講演「幾何学と経験」では、「数学の命題は、それらが現実と関連をもつかぎりにおいて確実ではないのであり、それらが確実であるかぎりにおいて現実との関連をもたないのである」と述べている (Einstein, 1972)。つまり、現実の問題についてのモデルとしての数理的方法の体系である統計学は、数学の応用ではあっても純粋に数学ととらえることは、そもそもできないのである。したがって、必然的に統計学は、統計学として理解しなければならないということになってくる。

5. レポートの評価方法

各学生独自の興味に応じた内容のレポートの作成を求めることは、統計学を身近に「経験」することができ、その有用性を理解できるという大きな利点がある。しかしその一方で評価を行い、採点を行う場合には、同一の課題によるレポートを課す場合に比べ、統一的で画一的基準を用いた評価を行うことは困難である。

そこで、本講義においては、あらかじめ採点基準を定めておき、各項目ごとにおおむね条件を満たしているかについて満点からの減点方式で採点を行っている。

レポートの採点基準

- 統計で明らかにしたい目的を明示しているか(課題の設定は適切か)5点
- データを適切に入手してきたか(ランダムサンプリングが適切にできているか、もしくは適切な調査データからの引用か、など目的を明らかにするために適切なデータを用いているか)10点
- 採用した統計の手法は妥当であるか(結論の主張に納得ができるか)5点

6. 学生の満足度について

本講義では、最終週に行う期末試験において大学が行う学生満足度調査を実施している。毎年講義ごとに実施しているものであるが、2013年度から2016年度までの4年間の合計390名の履修学生を対象とした調査結果のうち、「本講義は、この科目および関連科目の興味関心を高めましたか」および「本講義に満足していますか」の質問項目の解答について4年分を合算して図2に示す。なお、履修者は390名であるが回答者は347名で回答率は約89%であった。

学生の満足度はおおむね良好な状況と言え、履修者の中には自ら進んで統計検定2級を受験し、その合格を報告してくれた者までも出現している。

7. まとめ

本報告における大学学部統計教育では、履修者各自のアクティブラーニングの実践という観点からも各自において身近な問題を見つけ、統計を適用したレポートの作成を必須の課題とした。幅広い視点でレポートを作成させることで、統計的なものの見方について理解させられるように配慮した。この課題レポートによって、アクティブラーニングの実践を各学生個人に求めることが可能であるといえ、より深い統計的思考の理解が期待できる。

講義では、演繹と帰納のバランスに留意し、演繹的思考の内容については、冗長なほどの数

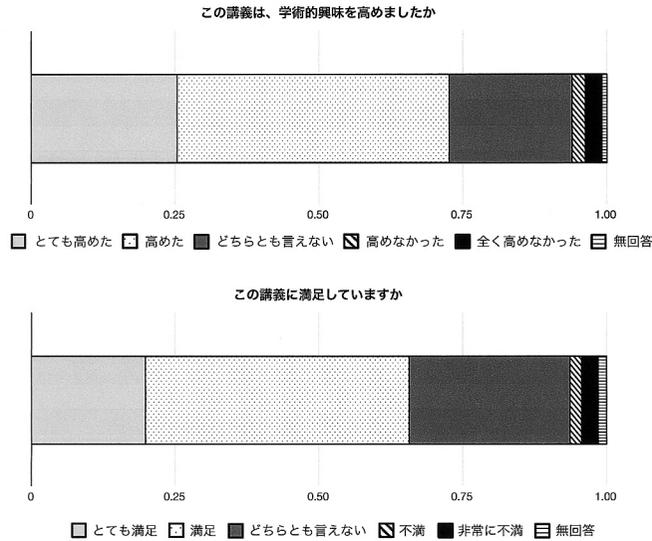


図 2. 学生の授業満足度調査結果.

理的解説を行うことで、様々な数理的能力を背景とする学生に配慮し、各種確率分布の性質などの複雑な数式展開の理解を支援することを目指した。帰納的思考の理解では、身近な話題の例や、過去の履修者が提出したレポート等を効果的に用い、数理解説とのつながりに気づけるよう留意した。このことによって、演繹的思考と帰納的思考をスムーズにつなぎ、データを中心とした統計科学の思考をより受け入れやすくなることが期待できる。

講義とレポートを総合すると、確率分布をモデルとして利用する統計の適切な理解が期待でき、アクティブラーニングの効果的な展開が可能であった。さらに、アクティブラーニングによって、講義で理解したばかりの内容を実際に生かすことができ、学生の満足度も高まったものと考えられる。

8. さいごに

統計学の講義を担当するようになって、5年程度であるが、はじめの頃は教科書選びもままならず、手探りで講義を組み立てていたが、ここ4年はほぼ同一の内容で講義を展開し、課題の提示、評価方法等も同一で行っている。折しも統計教育大学間連携ネットワークの活動が始まり、統計検定が開始されたことも重なり、公式教科書が示されたことで、学生に対しても講義内容の指標を設定しやすくなった。また、統計関連学会からは分野ごとの参照基準が示されたこと、さらには、大学間連携ネットワーク関連の各種シンポジウム等に参加することで統計教育において必要な講義内容についてを深く考える機会を得ることができた。これらのことなどを背景として、効果的な講義内容の展開が可能になり、本講義が受講学生の支持を高めた要因でもあると考えている。関係各方面の活躍に敬意を示すとともに大変感謝している。

なお、本講義は2014年度芝浦工業大学工学部機械工学科優秀教育推進賞を受賞していることを申し添えておきたい。

付録. 配布プリントの数理的内容の記載例: $t_\infty \rightarrow N(0, 1)$ についての理論的証明

スチューデントの t -分布の特徴を正規分布と比較すると対称な両端でより大きな値を取り、原点上の最大値がより小さい。スチューデントの t -分布の n が大きくなるに従って標準正規分布に近づいていく。

事前の準備事項

スターリングの公式(森口 他, 1956):

$$n! \approx \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n$$

スターリングの公式と Γ 関数: $\Gamma(n) = (n-1)!$ であるから,

$$\Gamma(n+1) = n! \approx \sqrt{2\pi n} \left(\frac{n}{e}\right)^n$$

標準正規分布の確率密度関数:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

t -分布の確率密度関数:

$$f(x) = \frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}} n^{\frac{1}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\frac{n}{x^2+n}\right)^{\frac{n+1}{2}} \Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)$$

上記準備をもとに t -分布の自由度 n が無限大のとき, 標準正規分布と一致することを理論的に確認しておく。

Proof.

$$\begin{aligned} & \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}} n^{\frac{1}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(\frac{n}{x^2+n}\right)^{\frac{n+1}{2}} \Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) \right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{x^2+n} \right)^{\frac{n+1}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n^{\frac{1}{2}} n^{\frac{n}{2}}}{(x^2+n)^{\frac{n+1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n^{\frac{1}{2}}}{n^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n^{\frac{n}{2}}}{(x^2+n)^{\frac{n+1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n^{\frac{n}{2}}}{(x^2+n)^{\frac{n}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{(x^2+n)^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{(x^2+n)^{\frac{n}{2}}} \right)^{\frac{n}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{(x^2+n)^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\left(\frac{x^2+n}{n}\right)^n} \right)^{\frac{1}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{(x^2+n)^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\left(1+\frac{x^2}{n}\right)^n} \right)^{\frac{1}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{(x^2+n)^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \\ &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}} \right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\left(1+\frac{x^2}{n}\right)^n} \right)^{\frac{1}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} (x^2+n)^{-\frac{1}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \end{aligned}$$

ここで、右辺第2項について

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^n} \right)^{\frac{1}{2}} = e^{-\frac{1}{2}x^2}.$$

また、右辺第4項は、 Γ 関数の性質 $\Gamma(\alpha + 1) = \alpha\Gamma(\alpha)$ を用いて、

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2} + 1\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2} + 1\right)} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\left(\frac{n+1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\left(\frac{n}{2}\right)\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(n+1)\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{(n)\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right) \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \end{aligned}$$

として、スターリングの公式の Γ 関数表記を用いると、

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2} + 1\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2} + 1\right)} \approx \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{2\pi \frac{n+1}{2}} \left(\frac{n+1}{2e}\right)^{\frac{n+1}{2}}}{\sqrt{2\pi \frac{n}{2}} \left(\frac{n}{2e}\right)^{\frac{n}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{n+1}}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\left(\frac{1}{2e}\right)^{\frac{n+1}{2}} (n+1)^{\frac{n+1}{2}}}{\left(\frac{1}{2e}\right)^{\frac{n}{2}} n^{\frac{n}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(n+1)^{\frac{1}{2}}}{n^{\frac{1}{2}}} \cdot \left(\frac{1}{2e}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{(n+1)^{\frac{n+1}{2}}}{n^{\frac{n}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2e}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{(n+1)^{\frac{n+2}{2}}}{n^{\frac{n+1}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2\left(1 + \frac{1}{n}\right)^n}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{(n+1)^{\frac{n}{2}}(n+1)}{n^{\frac{n+1}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^{-\frac{n}{2}} \frac{(n+1)^{\frac{n}{2}}(n+1)}{n^{\frac{n+1}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{n+1}{n}\right)^{-\frac{n}{2}} \frac{(n+1)^{\frac{n}{2}}(n+1)}{n^{\frac{n+1}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{(n+1)^{-\frac{n}{2}}(n+1)^{\frac{n}{2}}(n+1)}{n^{-\frac{n}{2}} \cdot n^{\frac{n+1}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{(n+1)}{n^{\frac{1}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{n^{\frac{1}{2}}(n+1)}{n^{\frac{1}{2}} \cdot n^{\frac{1}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{(n+1)}{n} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{1}{n}\right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

よって、これら第2項と第4項について元の式に戻すと、

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}}\right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^n}\right)^{\frac{1}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} (x^2 + n)^{-\frac{1}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\Gamma(\frac{n+1}{2})}{\Gamma(\frac{n}{2})}\right) \\
 &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}}\right) \left(e^{-\frac{1}{2}x^2}\right) \lim_{n \rightarrow \infty} (x^2 + n)^{-\frac{1}{2}} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}}\right) \left(e^{-\frac{1}{2}x^2}\right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ (x^2 + n)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{n^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{1}{2}}}\right) \right\} \\
 &= \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}}\right) \left(e^{-\frac{1}{2}x^2}\right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{x^2 + n}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{2^{\frac{1}{2}}}\right) \\
 &= \left(\frac{1}{2^{\frac{1}{2}}}\right) \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}}\right) \left(e^{-\frac{1}{2}x^2}\right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{x^2 + n}\right)^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left(\frac{1}{2^{\frac{1}{2}}}\right) \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}}\right) \left(e^{-\frac{1}{2}x^2}\right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\left(\frac{x^2+n}{n}\right)^{\frac{1}{2}}}\right)
 \end{aligned}$$

ここで、最終項の極限については

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\left(\frac{x^2+n}{n}\right)^{\frac{1}{2}}}\right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{1 + \frac{x^2}{n}}\right)^{\frac{1}{2}} = 1.$$

よって、元に戻すと、

$$\left(\frac{1}{2^{\frac{1}{2}}}\right) \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}}\right) \left(e^{-\frac{1}{2}x^2}\right) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\left(\frac{x^2+n}{n}\right)^{\frac{1}{2}}}\right) = \left(\frac{1}{2^{\frac{1}{2}}}\right) \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}}\right) \left(e^{-\frac{1}{2}x^2}\right) = \frac{1}{2^{\frac{1}{2}}\pi^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

つまり、

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\pi^{\frac{1}{2}}n^{\frac{1}{2}}\Gamma(\frac{n}{2})}\right) \left(\frac{n}{x^2 + n}\right)^{\frac{n+1}{2}} \Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}. \quad \square$$

このように理論的側面からも確認できるが、 t -分布数値表を用いて n が無限大の場合の値が、標準正規分布の該当値と一致していることで確認できる。

参 考 文 献

- Einstein, Albert (1972). 『アインシュタイン選集 3—アインシュタインとその思想—』(湯川秀樹 監修 中村誠太郎・井上健 訳編), 共立出版, 東京.
- Hoel, Paul Gerhard (1963). 『初等統計学』(浅井晃・村上正康 共訳), 培風館, 東京.
- 森口繁一, 宇田川銈久, 一松信 (1956). 『数学公式 I』, 岩波全書, 岩波書店, 東京.
- 日本統計学会 編 (2015). 『日本統計学会公式認定[統計検定 2 級対応]改訂版 統計学基礎』, 東京図書, 東京.
- 統計関連学会連合理事会/統計教育推進委員会 (2014). 統計学分野の教育課程編成上の参照基準.
- 東京大学教養学部統計教室 編 (1991). 『統計学入門』, 基礎統計学 I, 東京大学出版会, 東京.
- Vaillancourt, Regis (2009). I hear and I forget, I see and I remember, I do and I understand, *The Canadian Journal of Hospital Pharmacy*, **62**(4), 272–273.

A Practical Report on Statistical Education for Undergraduates —Active Learning Connecting Deduction and Induction—

Gen Ishiwata^{1,2}

¹Department of Statistical Science, School of Multidisciplinary Sciences, Graduate University for
Advanced Studies

²Faculty of Engineering, Shibaura Institute of Technology

This letter is a practical report about a lecture introducing active learning in undergraduate statistics education at a general science university. The education method introduced as the development of active learning is to impose a report preparation on each student according to their interests. The purpose of this method is for students to understand through experience the way of thinking of the statistics by connecting deduction and induction when they will integrate, without being conscious, a thorough explanation about deductive content in classroom and an inductive thorough by the voluntary activity at the time of making the report. This method promotes positive activity of students, enables them to obtain a deeper understanding of statistics by analyzing familiar data about themselves, and improves their satisfaction level.

中心極限定理のクリッカーによる教室実験が効果的であるために必要なクラスサイズの評価

樋口 三郎[†]

(受付 2017 年 6 月 30 日 ; 改訂 11 月 23 日 ; 採択 11 月 27 日)

要 旨

教室内の学習者が送信した情報を即時に収集、集約して表示する装置であるクリッカーを用いて、教室で学習者が自ら標本抽出を行って中心極限定理を実証する学習活動を提案する。この活動では、学習者が形成に関与したデータを用いて学習者の関心を喚起するが、活動が効果的であるかどうかは形成される標本のサイズに依存する。このサイズは単純な場合にはクラスサイズ(学習者数)と一致する。学習が効果的となるために必要なサイズを、質問紙調査を行い項目応答理論で分析して評価した。質問紙は、多数のヒストグラムを示し、正規分布と似ていると感じるかどうかを調べるものである。その結果、考慮した特定のタイプの教室実験については、80名のクラスにおいて、中心極限定理への信頼が高まる学習者の比率は1/2を越えない程度であることがわかった。これは十分に高い比率とは言えないので、実質的な標本サイズをクラスサイズより大きくする工夫が必要である。

キーワード：クリッカー、教室実験、中心極限定理、統計教育、項目応答理論。

1. はじめに

統計学の学習において、PPDAC すなわち Problem, Plan, Data, Analysis, Conclusion という現実の事象への統計的アプローチの手順に沿った授業内活動が重要とされている。渡辺(2013)は、扱うデータとしては、(1)学習者にとって関心のあるデータ、(2)自らデータ形成に関わったデータ、(3)意外な発見が隠されているデータ、のうちの1つ以上の要件を満たすデータを題材として採用することが望ましいとしている。

従来、学習者の関わるデータ形成に使われてきた方法のひとつとして、1回目の授業で学習者に対する質問紙調査でデータを生成し、教授者がデータを整理・取捨し2回目以降の授業で例として使用する方法がある。この方法で集める学習者の属性データは、渡辺(2013)の指針(1)、(2)に沿い、学習者が関心を持つことが期待できる。

クリッカーは教室内の学習者が送信した情報を即時に収集、集約して表示する装置である(鈴木, 2009)。クリッカーは即時の情報の送信と集約が可能であるため、統計学の学習に用いるデータの形成に用いれば、PPDACを1回の授業内で完結することができる。

確率、統計の法則は自然現象に内在するものであるため、授業内で学習者が自ら行うことができる実験が多く考案されている。Galton(1894)は中心極限定理を実証する力学的装置であるGalton Boardを考案した。何森(2008)は確率が場合の数を分母とする有理数にならない場

[†] 龍谷大学 理工学部：〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5

合を説明するための不等辺直方体のサイコロ「サイドタ」を用いた実践を報告している。

クリッカーを用いて、自然現象や確率モデルに基づいて生成されるデータを集約して、データを学習者が自ら生成することも可能である。そのような例として、学習者が協力して標本抽出を行い大数の法則を検証する Rogers (2003) の実践を Bruff (2009) が紹介している。また、Gunderson and McGowan (2011) は、グループ学習で PPDAC すべてのステップを実行し、Data の段階ではクリッカーでクラス全体から標本抽出を行う実践を報告している。樋口 (2014) は、クリッカーを用いて、母集団と標本、標本抽出、推定といった統計学の概念を説明する実践を報告している。

このノートでは、確率論の重要な定理である中心極限定理を実証するデータ形成を含む新しい学習活動を提案する。それが効果的であるために必要な学習者数(クラスサイズ)を、質問紙調査の結果を項目応答理論で分析することにより評価する。

2. 提案する学習活動

2.1 学習活動の対象と学習目標

この活動は、学習者がクリッカーで自ら形成したデータを用いて中心極限定理が成立する例を提示し、学習者が定理に納得し、その運用を直観的に理解することを意図してデザインされている。

独立同分布に従う確率変数 X_t ($t = 1, 2, \dots$) に対して、確率変数 Y_t を $Y_t = \sum_{s=1}^t X_s$ で定める。 Y_t を標準化した Z_t の分布が $t \rightarrow \infty$ の極限で標準正規分布に近づくというのが中心極限定理の主張である。

以下に述べる学習活動の学習目標は、独立同分布に従う確率変数の和の分布を中心極限定理を適用して予想できることである。対象は、確率変数の平均と分散を計算できるが、中心極限定理の主張を納得していないないために、上のような予想ができない学習者である。

2.2 クリッカーの機能の前提

ここでは、次の機能を持つクリッカーを考える。

- (1) n_{button} 個のボタンを備えており、学習者は、教授者の設定した時間帯に、選択肢 $0, 1, 2, \dots, n_{\text{button}} - 1$ の中から一つを選択してクリッカーで送信して投票することができる。
- (2) 教授者は、すべての学習者の送信の結果を、コントローラソフトウェアを用いて、投票の合計数と棒グラフとして学習者に提示することができる。

2.3 中心極限定理の実験

学習者がクラスでサイコロやコインを使ってデータを形成できる確率変数 X_t を考える。以下では、確率変数 X_t はベルヌーイ分布 $B(1, p)$ にしたがうものとする。教室には、 m 人の学習者がいるものとする。

あらゆるすべての Y_t の値をクリッカーで送信できるためには $0 \leq Y_t \leq n_{\text{button}} - 1$ である必要がある。そのため、確率変数 X_t の分布と Y_t の定義より $0 \leq Y_t \leq t$ が成立することに注意して、 $0 \leq t \leq n_{\text{button}} - 1$ の範囲に t を選んでおく。

- (1) 学習者が、 Y_t の従う分布を予想し、教授者の提示した選択肢から選んでクリッカーで投票する(図 1)。
- (2) 学習者が組 (X_1, X_2, \dots, X_t) を生成し、 Y_t を計算する。

実験

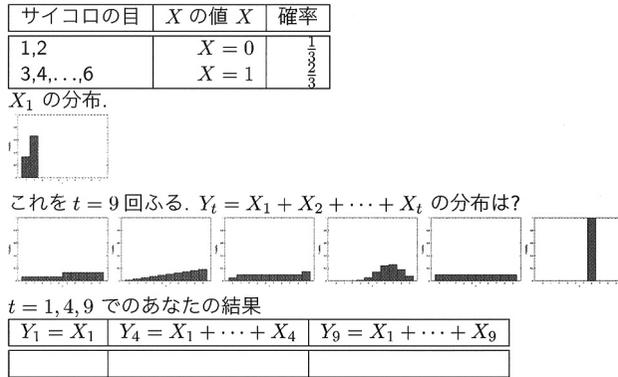


図 1. Y_t の分布を問う多肢選択問題. 正解 ($m \rightarrow \infty$ での収束先)は左から 4 番目.

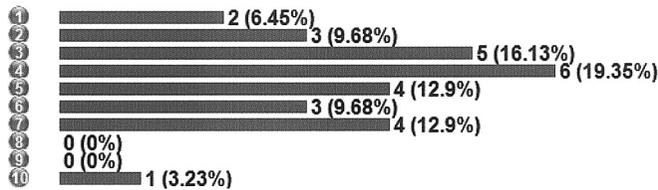


図 2. Y_9 の標本のヒストグラムのクリッカーコントロールソフトウェアによる表示. ただし選択肢 10 は $Y_9 = 0$ に対応する.

- (3) クラス内の学習者が Y_t をクリッカーで送信する.
これにより, Y_t の無限母集団からサイズ m の標本 $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_m)$ が抽出される.
このデータ \mathbf{y} のヒストグラムを学習者に提示する (図 2).
- (4) 学習者が, データ \mathbf{y} のヒストグラム $h(\mathbf{y})$ と, 標準化されていない正規分布 $N(tp, tp(1-p))$ の確率密度関数とが「似ている」ことを確認する.
- (5) いくつかの t についてこれを繰り返し, Y_t の平均と分散が一定の法則で変化することを確かめる.
- (6) 教授者が, これが中心極限定理の帰結であることを説明する.

中心極限定理の主張は極限 $t \rightarrow \infty$ についてのものであり, 有限の t , 有限のサイズ m の 1 個の標本のヒストグラム $h(\mathbf{y})$ について何かを言っているわけではない. また, 「似ている」ことの基準も学習者に任せている.

しかし, 統計学の教科書には, これと似た方法, すなわち Y_t を標準化した Z_t の標本を擬似乱数を用いて抽出し, そのヒストグラムが t とともにどのように変化するかを図で示すことにより, 中心極限定理の意味を説明しているものが多い. このような直観的な説明は統計教育において一定の支持を得ているものと考えられる.

3. 質問紙調査と分析

3.1 信頼が高まるとき

以下では, データを生成する人数, すなわちヒストグラム $h(\mathbf{y})$ を描く標本 \mathbf{y} のサイズ m と,

そのデータから描かれたヒストグラムを見て反応する被験者の数 N とが一般には異なるとして分析する。

この活動が効果的であるかどうかは、中心極限定理の理解や運用についての事前・事後テストで判定できる。しかし、効果的であるためには、学習者が、 \mathbf{y} のヒストグラムと正規分布が似ていると感じて、中心極限定理への信頼が高まることが必要条件となる。

同一のヒストグラムを与えられたときにも、中心極限定理への信頼が高まるかどうかは、環境のノイズや学習者の短期的な内的状態に依存し、確率的に定まると考えられる。また、その確率は学習者の個性や学習歴により異なると考えられる。このような被験者 i ($i = 1, \dots, N$) の状態を表す潜在変数を ϕ_i としたとき、ヒストグラム $h(\mathbf{y})$ を見ることによって被験者 i の中心極限定理への信頼が高まる確率を $f_{\text{response}}(1|h(\mathbf{y}), \phi_i)$ とする。

標本抽出で \mathbf{y} を得る確率を $f_{\text{sample}}(\mathbf{y})$ とすると、1 回の標本抽出後に、被験者 i の中心極限定理への信頼が高まる確率は、

$$f_{\text{success}}(\phi_i) = \sum_{\mathbf{y}} f_{\text{response}}(1|h(\mathbf{y}), \phi_i) \cdot f_{\text{sample}}(\mathbf{y})$$

となる。

確率 $f_{\text{sample}}(\mathbf{y})$ は、教科書に載せる図を擬似乱数により描くときは問題にならないが、教室実験の場合には問題となる。教科書に図を載せる場合には、生成した $h(\mathbf{y})$ がたまたま正規分布と大きく異なった場合(たとえば、標本 \mathbf{y} に $(t+1)$ 種類の値が同数含まれる、1 個だけ含まれる、などの極端な \mathbf{y} を得る確率 f_{sample} も 0 ではない)、そのデータを捨てて再度生成して作図すればよい。しかし、クラス内で実験を行ってデータを生成する場合には、再実験を多くの回数くりかえすことは時間の制約から困難であり、また、学習活動の効果を低下させる可能性がある。そこで、信頼が高まる被験者の比率をあらかじめ評価しておく必要がある。

大数の法則から、 Y_i の標本サイズすなわち \mathbf{y} のデータの個数が大きいほど 2 つのヒストグラムは実際近くなるので、 m が大きいときにこの和 $f_{\text{success}}(\phi_i)$ は大きいと予想できる。確率 $f_{\text{success}}(\phi_i)$ が標本サイズ m に対してどのくらいの大きさかを知ることが以下で扱う問題である。

3.2 信頼の高まる学習者の比率

確率 f_{response} は被験者の心理に関わる。確率 f_{response} の性質を知るために、大学生の被験者に対して次の質問紙調査を行った。以下の調査では、 $n_{\text{button}} = 10$, $t = 9$, $p = 2/3$ と固定した。

サイズ $m = 40, 60, 80, 100, 200$ の標本 \mathbf{y} を、 $p = 2/3$ の二項分布 $B(t, p)$ から擬似乱数を用いて各 $n_{\text{hist}} = 20$ 個生成し、それぞれヒストグラム $h(\mathbf{y}_j)$ を描いた ($j = 1, 2, \dots$)。質問紙(図 3)で、正規分布のヒストグラムと、ヒストグラム群 $h(\mathbf{y}_j)$ を示し、各 $h(\mathbf{y}_j)$ に対して次の質問(図 3)に、はい、いいえの 2 択で回答するように求めた。

ある人が、「この実験は確率的なものなので、毎回結果は変わるけど、理論 A によれば、実験の結果はだいたいこんな感じ(正規分布のヒストグラム)のようになるはず」と言いました。

実験を 1 回だけしたところ、下のような結果 ($h(\mathbf{y})$) になりました。

設問

この結果を見て、あなたの理論 A に対する信頼は増したでしょうか、増さなかったでしょうか。正解というものはありません。人間の感じ方についての調査です。

理論 A に対する信頼が増したときは、○をつけてください。

なお、比較対象となる正規分布のヒストグラムは、平均と分散の一致する確率密度関数を階

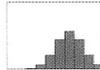
樋口三郎 2013-01-09
 使える統計!での授業方法改善のための調査にご協力お願いします。お名前を書きいただきますが、回答内容は成績には関係しません。

学籍番号	お名前
2012年末のサイコロを9回振って結果をクリックーで集める実験に参加しましたか(○つけてね)	したしなかった

状況設定

ある人が、「この実験は確率的なもので、毎回結果は変わるけど、理論 A によれば、実験の結果はだいたいこんな感じ(下の図)のようになるはず」と言いました。

理論



実験を1回だけしたところ、下のような結果になりました。

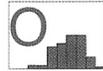
実験



設問

この結果を見て、あなたの理論 A に対する信頼は増したでしょうか、増さなかったでしょうか。正解というものはありません。人間の感じ方についての調査です。

理論 A に対する信頼が増したときは、o をこんな感じでつけてください。



理論 A に対する信頼が増さなかったときは、x をこんな感じでつけてください。



これを、裏の64個の結果すべてに対して行ってください。図は64個書いてありますが、これらと比較するのではなく、それぞれ1個だけ見た気持ちになって64回繰り返してください。

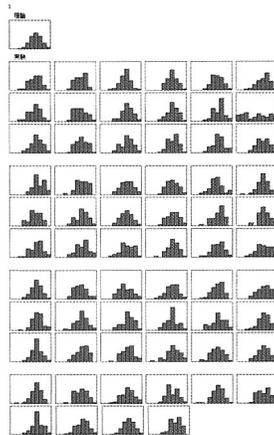


図 3. 質問紙。上(表)設問。下(裏)ヒストグラム群のランダムな配置を4ページ作成し、回答者にいずれか1ページをランダムに割り当てた。上の1個が「理論」、下の64個が「実験」。

級ごとに積分して描いた。

表1の3個の被験者集団(人数 N)に対し、それぞれ m の異なるデータセット A-E のうち複数個を選択して、それらに含まれるヒストグラムの集合をランダムな順序で1つの質問紙に表

表 1. 質問紙調査の対象と使用したデータセット.

被験者集団 (年度-学年)	被験者数 N	データセットと標本サイズ m					
		A	B	C1	C2	D	E
		40	60	80	80	100	200
1(2012-1)	65	○	○	○			
2(2013-1)	83	○	○		○		
3(2014-3)	52				○	○	○

示して回答を求めた. 選択したデータセットの個数を n_d とすると, 表示するヒストグラムの個数は $n_d \times n_{\text{hist}}$ である. 今回は $n_d = 3$ としたため, 2×60 個のヒストグラムとなる. さらに, 回答状況の確認のため, 一様分布のサンプルや, 正規分布のサンプルなどのヒストグラム 4 個を加えて 64 個とした(図 3).

3 個の被験者集団はいずれも 4 年制大学生からなるが, 学年や特徴が異なる. 集団 1 は 2012 年度, 2 は 2013 年度の, 理系文系学部両方からなる統計学科目の主に 1 年生の受講生からなる. 集団 3 は 2014 年度の理系学部の科学計算科目の主に 3 年生の受講生からなる. 一方, データセット C1, C2 はともに $m = 80$ だが, 異なるヒストグラム群である.

3.3 項目応答理論によるモデル化

各被験者集団に対する質問紙調査により, $N \times (n_d \times n_{\text{hist}})$ の 2 値の反応パターンが得られる. この反応を, テスト理論の項目応答理論(豊田, 2014)を用いてモデル化する. ヒストグラム h をアイテム(問題), 被験者をテスト受験者に対応させ, 信頼が高まったという回答を正解と考える. 2 パラメタロジスティックモデルを採用し, 学習者を記述する実パラメタ $\theta(\phi_i)$, ヒストグラムを記述する実パラメタ $a(h)$, $b(h)$ で確率 f_{response} が次のように書けることを仮定する.

$$(3.1) \quad f_{\text{response}}(1|h, \phi_i) = \frac{1}{1 + e^{-a(h)(\theta(\phi_i) - b(h))}}.$$

パラメタ θ は被験者がヒストグラムが正規分布に「似ている」と考える傾向を表す特徴量, b は正規分布との似ていなさを表すヒストグラム h の特徴量, a は被験者によって判断の分かれる程度を表すヒストグラムの特徴量と解釈できる.

3.4 パラメタの推定方法

被験者集団 1, 2, 3 の反応パターンに対して, 統計ソフトウェア R の `irt` や `ltm` パッケージを利用して分析を行った. それぞれ, 周辺尤度最大化によりパラメタ θ_i , $a(h_j)$, $b(h_j)$ を推定した ($i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n_d \times n_{\text{hist}}$). 被験者集団 1, 2 はデータセット A, B, 被験者集団 2, 3 はデータセット C2 を共通項目として持つため, 集団 2 を基準として等化を行い, 共通の尺度による θ_i , $a(h_j)$, $b(h_j)$ を与えた. 方法としては共通項目法の mean-sigma 法を用いた.

3.5 ブートストラップ法による信頼が高まる比率の推定

パラメタ θ_i が標準正規分布にしたがうと仮定される被験者集団 2 に, パラメタ $a(h)$, $b(h)$ を持つヒストグラム h を提示したとき, 信頼が高まる被験者の比率は積分

$$r(h) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\theta^2} \frac{1}{1 + e^{-a(h)(\theta - b(h))}} d\theta$$

で与えられる. データセットに属する n_{hist} 個のヒストグラム h の $r(h)$ を母集団とみなして,

ブートストラップ法により、この比率 r の信頼区間を求めた(標本サイズ $m = 80$ の2個のデータセット C1, C2 は併合して $n_{\text{hist}} = 40$ として扱った)。

3.6 結果

推定結果 $b(h_j)$ を、標本サイズ m ごとに $b(h_j)$ の大きさにソートして j を再付番し、プロットした結果を図4に示す。ただし、横軸は $\rho(j) = j/n_{\text{hist}}$ である。パラメタ $b(h)$ の大きさは、 $m = 60, 80, 100$ では差がほとんどないが、 $m = 40, m = 200$ まで見ると、 m が増加すると $b(h)$ が減少する傾向があることがわかる。

モデルの枠内では、 $b(h) = 0$ であるヒストグラムに対しては、等化の基準となる被験者集団2の中央値 $\theta = 0$ の被験者が確率 $1/2$ で「信頼が高まる」と答える。より小さい $b(h)$ ではこの比率はより大きくなる。この比率が $1/2$ 以上となるヒストグラムが得られる確率は、 $b(h) = 0$ となる $\rho(j)$ で与えられ、 $m = 40$ で 0.1 、 $m = 80$ で 0.4 、 $m = 200$ で 0.7 程度と読み取れる。

ブートストラップ法により求めた比率 r の m 依存性を図5に示す。ここでも m が増加すると比率が増加する傾向が観察できる。学習者が m 人のクラスで実際に活動を実行するかどうかは、比率の信頼区間の下限の値を許容するかどうか、という保守的な立場で行うことになる。

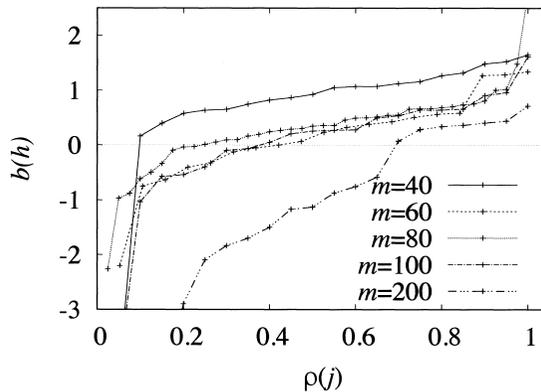


図4. 困難度母数 $b(h)$ の推定の結果.

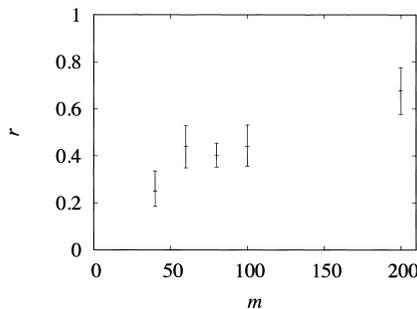


図5. ブートストラップ法で評価した、 N_{vote} ごとの、信頼が深まる学習者の比率. 信頼係数 0.95 の信頼区間.

4. 考察と結論

図4, 5より, m が大きくなるとともに, 中心極限定理への信頼が増す学習者の比率が高い傾向が読み取れる. これは, 第3.1節で述べたとおり, m が大きいと, 得るヒストグラムと正規分布からの標本のヒストグラムとが近くなるためと考えられる. 80人のクラスで1人1回標本抽出する $m = N$ の場合, 「信頼が高まる」学習者が半数を超えないことを示しており, 授業中の活動としては, 影響を与えられる学習者の比率が低い. 提案した活動が実用可能であるためには, m を大きくとる必要がある. 具体的な値は, 要求する「信頼が高まる」確率ごとに図4, 5から読み取れる.

小さなクラスでこの活動を効果的にする方法として, クラスの学習者数よりも m を大きくとるような活動の改良が考えられる. 具体的には, 1人の学習者が複数個のサンプルを形成し送信する, 他のクラスや過去の年度のクラスで形成されたデータと併合する, などの方法をとれば, 学習者自らが生成に関わったデータでありながらクラスの規模に制限されずに m を大きくすることができる. また, あらかじめ擬似乱数などで形成しておいたデータと併合することも考えられる.

一方, 図4, 5からは, $m = 60, 80, 100$ で信頼が増す学習者の比率が大きく変わらず, m に關する単調性があるかどうかは確かではない. この振る舞いの理由は明らかではないが, 第2.3節で述べた通り, ヒストグラムが「似ている」ことの基準を学習者に任せたことに起因するかもしれない. 学習者のヒストグラムの近さの基準は, 大数の法則の漸近性と対応する幾何学的意味での曲線の距離だけでなく, 形状の特徴, 例えば曲線が単峰か多峰か, サポートの個数は何個かなども影響されている可能性がある. このとき, m が小さく単純な形のヒストグラムがより「似ている」と感じる効果が想定できる. これが, 大数の法則による増加の効果を, 特定の m の範囲で打ち消しているのかもしれない. この振る舞いの理由を明らかにするには, より詳細な実験が必要と考えられる.

この学習活動では, 有限の m の標本を1つとり, そのヒストグラムと $m = \infty$ のヒストグラムとを目視で比較して, 法則に対する信頼を高めることを期待している. Galton Boardの使用でもこのような方法がとられるが, 統計学において標本の法則への適合を論ずる方法ではない. より進んだ学習者であれば, 与えられたヒストグラムに対してコルモゴロフ-スミルノフ検定やシャピロ-ウィルク検定を行い, データが法則に従うという帰無仮説を棄却するかどうか判断するだろう. より学習が進んだときには, このような見方で活動を振り返ることが望ましい.

ここで得た必要な m の具体的評価は, t, p , ヒストグラムの描き方などに依存する. これらを改善することで, 信頼が高まる比率を高めることができる可能性もある. 本ノートで述べた, 投票でなく擬似乱数を用いて提示する標本を生成し, 質問紙調査と項目応答理論で解析する方法は, 異なる t, p や, 他の設定での教室実験にも広く適用可能である.

ここでは効果的であるために必要な m の大きさを調べたが, 実際に学習目標を達成するのに効果的にはたらくことを示すには, 学習目標に関する学力の事前・事後テストで検証を行うことが必要であり, これが将来の課題である.

参 考 文 献

- Bruff, D. (2009). *Teaching with Classroom Response System*, Wiley, San Francisco.
- Galton, F. (1894). *Natural Inheritance*, Macmillan, London.
- Gunderson, B. K. and McGowan, H. M. (2011). Using clickers in a statistics classroom, *Teaching Mathematics with Classroom Voting with and without Clickers* (eds. K. Cline and H. Zullo), MAA Notes 79, 53–60, The Mathematical Association of America, Washington, DC.
- 樋口三郎 (2014). 統計教育でのクリッカー・教室応答システムの利用, 統計教育実践研究 第6巻, 統計数理研究所共同研究レポート, No.313, 17–18, 統計数理研究所.
- 何森 仁 (2008). サイドタ, ドタドタ! — デタラメの法則を知るために振って振って振りまくる!, 数学セミナー, 47(12), 51–55.
- Rogers, R. (2003). Using personal response system to engage students and enhance learning, *Making Statistics More Effective in Schools and Business Conference*, Georgetown University, Washington, DC.
- 鈴木久男 (2009). クイズで授業を楽しもう, 『学生と変える大学教育』(清水亮, 橋本勝, 松本美奈 編), 166–183, ナカニシヤ出版, 京都.
- 豊田秀樹 (2014). 『項目反応理論 [入門編]』, 朝倉書店, 東京.
- 渡辺美智子 (2013). 知識基盤社会における統計教育の新しい枠組み: 科学的探究・問題解決・意思決定に至る統計思考力, 日本統計学会誌, J42(2), 253–271.

An Estimation of Minimum Class Size for an Effective Classroom Experiment on the Central Limit Theorem Using Clickers

Saburo Higuchi

Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

We examined a classroom activity in which learners perform sampling and validate the central limit theorem using clickers or a classroom response system. In this activity, learners are motivated by a dataset that they generate themselves. The effectiveness of the activity, however, depends on the sample size, which is equal to the number of learners in the class. The required size is estimated from questionnaire data by making use of item response theory. It turns out that in classes that consist of 80 learners, no more than half could convince themselves that the theorem is reliable. Therefore, it is important to seek an activity design for which a larger sample is available.

統計教育連携ネットワーク(JINSE)の展開

美添 泰人[†]

(受付 2017年7月19日; 改訂 8月21日; 採択 8月28日)

要 旨

文部科学省の大学間連携共同教育推進事業として2012年に発足した統計教育大学間連携ネットワーク(JINSE)の5年間の活用を要約し、その後継組織として2017年に発足した統計教育連携ネットワーク(拡大版JINSE)について紹介する。

キーワード: 統計教育, 学習達成度評価.

1. JINSE の概要

統計教育大学間連携ネットワーク(JINSE, Japanese Inter-university Network for Statistical Education)は「データに基づく課題解決型人材育成に資する統計教育質保証」という課題名で採択された文部科学省の大学間連携共同教育推進事業によって2012年9月に発足したものである。発足時の連携大学は、東京大学・大阪大学・総合研究大学院大学・青山学院大学(代表校)・多摩大学・立教大学・早稲田大学・同志社大学の8校であり、最終年度に滋賀大学が加わって9大学となった。この事業は連携大学に加えて、連携学会(応用統計学会, 日本計算機統計学会, 日本計量生物学会, 日本行動計量学会, 日本統計学会, 日本分類学会)および連携団体(大学入試センター, 日本アクチュアリー会, 日本科学技術連盟, 日本銀行, 日本経済団体連合会, 日本製薬工業協会, 日本統計協会, 日本マーケティング・リサーチ協会)をステークホルダーとして密接な連携のもとに実施したものである。

図1は事業計画の際に作成したPDCAサイクル図を、その後の展開を反映して修正したものである。統計検定の制度変更および連携大学の追加に対応した若干の修正を加えたほかは、ほぼ忠実に当初の計画に従って順調に事業を展開できたことは、連携学会、連携団体をはじめとする関係者の強い支援の結果である。図1に示すように、「統計教育大学間連携ネットワーク運営委員会」は本事業を円滑に実施するための組織であり、連携校の取組担当者の他、外部評価委員会委員長、ステークホルダーである各学会から推薦された質保証委員会委員とカリキュラム策定委員会委員、各学会から推薦された学識経験者から構成されている。運営委員会は対面の他、電子メールによる審議として毎月1, 2回実施し、連携校における事業計画の進行状況を掌握するとともに、ホームページ, 研究集会, シンポジウムなどを通じて広報活動を充実させる役割を果たした。PDCA図の下の方から時計回りに、連携団体として社会が求める人材像を明確にしつつ各年度の活動状況を評価する「外部評価委員会」の意見を生かしながら、「質保証委員会」において統計教育の基本的な体系を作成・改訂し、「カリキュラム策定委員会」においてシラバスの具体化・教材開発を進めてきた。運営委員会およびこれらの3つが主要な委員会であり、その主な活動と成果は次のとおりである。

[†] 青山学院大学 経営学部: 〒150-8366 東京都渋谷区渋谷 4-4-25

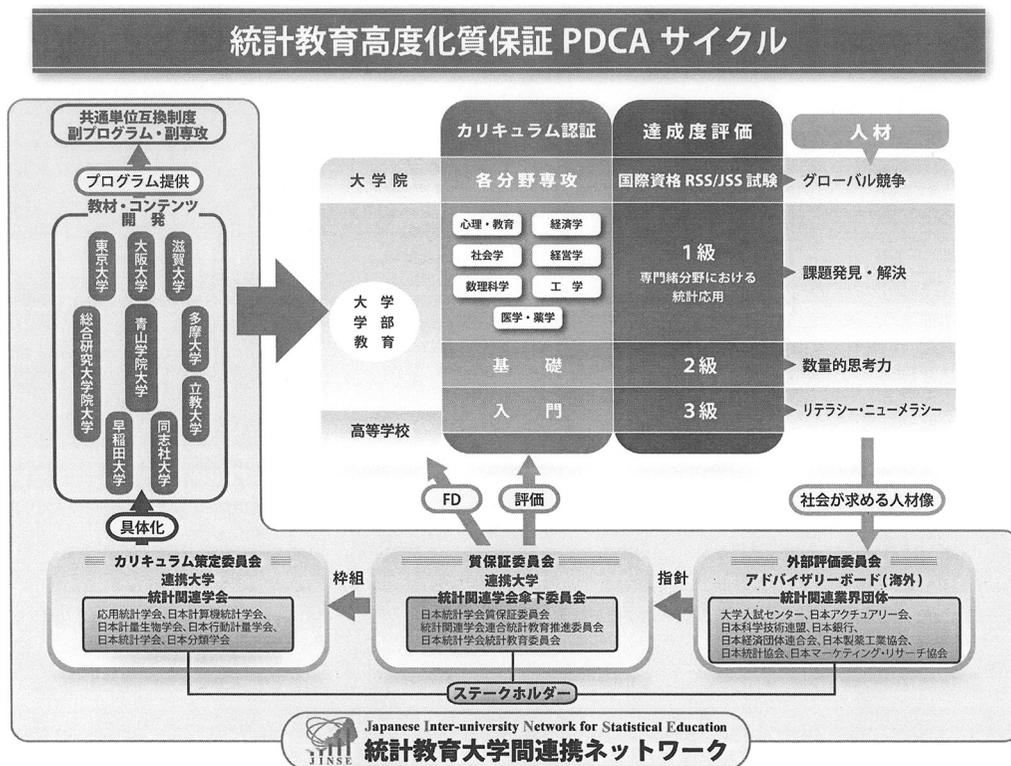


図 1. JINSE の PDCA サイクル。

- (1) 外部評価委員会は、社会が求める人材像を明確にするため、平成 24 年度から 25 年度にかけて月 1 回程度の頻度で開催された。海外アドバイザリーボードについては、その構成員を招聘してシンポジウムを開催して海外の事情を確認し、意見を交換するとともに、構成員の所属機関等を訪問して統計教育に関する実態調査を行い、教育用コンテンツの収集作業を実施した。
- (2) 質保証委員会では、外部評価委員会が提示した人材像を実現するために、統計学分野の教育課程編成上の参照基準(以下参照基準)の改訂を繰り返し、日本統計学会が主催する統計検定との連携を具体化した「統計教育達成度評価システム」の開発を進めた。
- (3) カリキュラム策定委員会は、参照基準案の検討と並行して定期的に開催され、参照基準に沿った標準カリキュラムの策定、統計教育教材・コンテンツの開発を継続してきた。カリキュラム策定委員会では、統計教育プログラムの具体的なモデルを作成し、毎年、外部評価委員会に提供して評価を受けてきた。その結果を反映して、統計教育プログラムの開発を行った。また発足直後の平成 24 年度には、全国で統計関連科目を担当している教員等を対象とするアンケート調査を実施して、単位互換等に対する需要状況および教育上の問題に関する調査を実施した。
- (4) 各連携大学は、日本統計学会の協力を得て、統計検定を応用した「統計教育達成度評価システム」を作成し、これを利用して統計学を受講する学生を対象とした学習達成度評価を実施するとともに、質保証委員会と協力して検定の結果を分析した。統計検定は平成 24 年度から 26 年度は 11 月のみ実施されたが、27 年度からは 6 月と 11 月の 2 回実施となっ

たため、学生に対する教育効果を高めることが可能となった。特に、事業開始以来収集された統計検定のデータに基づいて、教育効果の検討を行っている。さらに、連携大学の一部では次の取組を展開している。大阪大学と同志社大学の間で交換講義を開始、大阪大学大学院において高度副プログラムを開始、早稲田大学においてオンデマンド講義と統計検定を組み合わせた入門段階の統計教育を開始した。

以下、統計教育プログラムと統計検定、連携校における統計教育の進展、活動成果の波及、外部評価、および中間評価結果と対応について、節を分けて記述する。詳細は参考文献に掲げた平成24年度の報告書(JINSE 運営委員会 編, 2013a, b, c, d, e)、および平成25年度から28年度までの各年次活動報告書(JINSE 運営委員会 編, 2014, 2015, 2016, 2017)に記述されている。

1.1 統計教育プログラムと統計検定を利用した質保証システム

JINSEの目的として掲げた「大学間連携によって各大学の統計教育のリソースを有効活用し、データに基づく科学的な思考力を増進させ、我が国の今後のイノベーションを担う課題解決型人材を育成すること」は、PDCAサイクル図に沿った活動によって順調に展開した。教育プログラムに関しては、連携大学教員と連携学会推薦委員で構成する「カリキュラム策定委員会」において、発足直後から連携大学を含む全国の大学等の機関で統計教育に携わる人を対象とするアンケート調査を実施するなど、統計関係のカリキュラムを分析しながら、現代的なデータ分析を反映した統計教育のためのカリキュラム案を検討してきた。次項の参照基準が定める内容に沿って分野別のカリキュラム体系を整備しつつ、教材の開発を進めた。成果の一部はJINSEのe-Learningシステムを通じて、連携大学で利用しているほか、一般に公開しているものもある。

質保証システムの構築については、運営委員会の下部組織として設置した「質保証委員会」において、ステークホルダーである6学会(以下、連携学会)との共同作業として「統計学の各分野における教育課程編成上の参照基準」(以下、参照基準)を作成し、平成26年5月に公表した。教育方法の質評価の手段として「統計検定」を導入したことから、連携大学での統計関連科目の受講学生に統計検定受験を促す同時に、同検定の合格率向上に向けて、カリキュラム策定委員会での作業や議論等も踏まえつつ、統計科目のシラバスやカリキュラム、授業内容の修正・改訂を進めた。

JINSEの取組を開始する前は、どの連携大学においても、統計関連科目の学習達成度評価は、基本的には各科目を担当する教員の判断に委ねられていた。シラバスを明確に定めれば、誰が担当する科目であってもある程度は客観的な能力評価ができるとは言え、非常勤講師や、必ずしも現代的な統計教育に精通していない担当者が客観的な学習達成度を評価する点では限界があった。この状況を打破するために、本取組において計画した対策が、まず参照基準を作成し、日本統計学会等の協力の下に参照基準を「統計検定」の問題作成に反映させた上で、統計検定を客観的な指標とする枠組みであり、連携大学の中では成功を取めたものと総括できる。

統計教育の学習達成度を客観的に評価するために、連携大学向けの仕様とした「統計検定」を、JINSEの取組に参加することを承諾した学生を対象にして実施し、事業発足以来の連携大学の協力の下で、学習状況と理解度を分析する体制を構築した。学部・大学院および文系・理系など所属学部によって学習内容には幅があるが、これまでに確認できた範囲では、合格率が上昇する一方、講義課目担当者としても検定の正答率を意識した教育が行われるような改善に向けた変化が見られる。一つの例として、青山学院大学の1年生を対象とする少人数教育のクラスで平成25年度には伝統的な教育方法による合格者が0名だったのに比べて、平成26年度にはJINSEで提案された教育方法を適用した結果、全員が4級に合格し、約2割は3級にも

合格するという大きな違いが見られた。東京大学においては、学習意欲のある学生が統計検定を目標として学習するようになり、低学年から統計検定1級にも優秀な成績で合格するようになってきた。また、大学院生の中には統計検定1級の合格を契機に、研究者として博士課程に進学した者もあり、教育上の効果が大きい。

早稲田大学では、入門段階の科目である「統計学入門」を履修する学生の学力を客観的な基準で測定するために、平成27年度から統一試験として統計検定を採用した。客観的な学習達成度の測定によって把握された受講者の理解状況にもとづいて、講義内容の改善に役立てるほか、問題解説等を通じて受講者各自が統計力向上に必要な指針を得られるような制度を構築している。統計検定を通じた学習達成度評価を受ける学生の数を増加させるために、各連携大学においては統計検定受験の動機付けを強化するさまざまな方策を導入した。

1.2 連携校における統計教育の進展

JINSE 運営委員会の主導の下で、連携大学では以下の活動を実施した。

- (1) 質保証委員会が作成した「統計学分野の教育課程編成上の参照基準」と、カリキュラム策定委員会が作成した分野別の「標準カリキュラム」および教材を利用しながら教育内容の改善を進めた。
- (2) 参照基準は、真に社会が求める教育となっていることを、外部評価委員会の提示する体系と照合して作成し、統計関連学会の協力を得て改訂した内容について、外部評価委員による点検を得た。
- (3) 客観的な学習達成度の評価のために、学会の協力を得て連携大学向けに制度を用意した「統計検定」を実施し、その結果と対比することによって、教員が授業改善に役立てた。
- (4) 外部評価委員の各年度の実施状況の評価と助言・要望を通じて、教育コンテンツの開発を進めた。
- (5) 開発した教育コンテンツのうち、著作権等の問題が解決されたものは、全国の教育関係者が利用できるようなシステムを作成して公開した。

以下、いくつかの具体的な取組について紹介する。

滋賀大学は、平成29年度にデータサイエンス学部を新設した。そこでは本事業で蓄積された知見が活かされている。

大阪大学では高度副プログラムとして、平成25年度に大学院開講科目「データ科学特論Ⅰ(2単位)」を集中講義形式で開講し、統計学者のリソースを有効利用するため、他大学の大学院生を特別聴講学生として受け入れた。引き続き、平成26年度に新たに「データ科学特論Ⅱ(2単位)」の開講準備をした他、多数の受講生を派遣してきた連携校の同志社大学大学院文化情報学研究科と大阪府立大学大学院理学系研究科の両研究科のそれぞれと部局間協定を締結し単位互換制度を確立した。また「データ科学特論Ⅱ」を公開講義とすることによって、一般の大学院生や大学教員の受講を制度化した。平成26年度より開始した大学院等高度副プログラム「データ科学」は5つのコースからなり、各コースには選択必修科目と選択科目が設けられており、所定の単位を修得することで本プログラムを修了することができる。本プログラムのために新規開講した「データ科学特論Ⅰ,Ⅱ」は密度が高く高度な課題が課される。理論・情報技術・応用の理解のすべてが求められる、受講生自身が主体的に学修する環境(アクティブラーニング)を与えることに成功している。

立教大学の全学生向けに社会情報教育研究センターが提供している「社会調査入門」、「社会調査の技法」、「データ分析入門」、「データの科学」、「多変量解析入門」に関して、この事業で示された参照基準に沿うための変更と統計検定結果の分析に基づく教材の追加などを検討してい

る。これらの科目は、すべて e-Learning 科目として提供されている。また、この事業における成果に基づいて、データサイエンス副専攻を展開することが確定している。

早稲田大学では、オンライン講義である「統計学入門」において連携大学向け統計検定の利用を開始した。これによって、講義内容の全体を網羅した、より適切な成績評価が実現できた。

同志社大学では、2014 年度にヤフー株式会社と協力してデータ科学寄付講座を設置した。すべての講義にヤフー社のアナリストが講師として派遣されている。その後、ヤフー協力講義として毎年開講している。

1.3 活動成果の波及

以下に記す本取組の成果は JINSE のウェブサイトを通じて一般に公開しているほか、各年度の報告書に取りまとめており、連携学会や連携団体の会合等を通じて、統計教育に携わる人々に提供されている。

- (1) 質保証委員会によって改訂された「参照基準」は大学教育の現場で活用することを目標としているもので、連携大学以外の教育機関等からも自由に利用できる。
- (2) 日本学術会議の提言「ビッグデータ時代における統計科学教育・研究の推進について」において、多くのページを割いて JINSE の取組に言及している。収録された資料の一部は本取組で準備され、文部科学省からも引用許可の打診を受けるなど、本取組に対する関心は高い。
- (3) 日本経済団体連合会において、本取組の内容について議論する統計部会の会合が開催され、部会長および日本経済団体連合会に加盟する企業からの出席者に対して本取組の活動が紹介され、意見の聴取が行われた。
- (4) カリキュラム策定委員会では、連携大学以外にも公開する教材の開発を行っており、「統計学基礎(初年度教育)」などのカリキュラム試案をウェブで提供している。
- (5) JINSE e-Learning System では、各連携大学や委員会活動を通じて作成した様々なコンテンツを公開している。その中には、講義資料、スライド、講義動画を始め、JINSE の活動(講演会など)を記録した動画が含まれる。また、海外アドバイザーボードの協力を得て、海外の統計教育コンテンツの日本語化を行い公開している。
- (6) 雑誌『統計』、週刊『エコノミスト』などの特集記事で JINSE が取り上げられたほか、日本評論社『数学セミナー』の 2015 年度の企画として「統計教育大学間連携ネットワーク監修・現代統計学」が連載された。数学セミナーの連載に加筆修正したものが、参考文献の美添他(2017)である。
- (7) 本事業発足以来、毎年度、多数の参加者を集めたシンポジウムを連携大学(青山学院大学、早稲田大学、東京大学、統計数理研究所・総合研究大学院大学、大阪大学)において開催したほか、連携する 6 学会が共同で開催する統計関連学会連合大会においても、毎年、JINSE の企画セッションを開催して広く成果を提示してきた。また、日本統計学会春季集会のセッション、統計数理研究所の協力を得ている統計教育方法論ワークショップにおいては、高等学校教員を交えて統計教育における連携を図ってきた。
- (8) 滋賀大学にデータサイエンス学部が新設されたほか、横浜市立大学など、いくつかの大学において統計学を中心とする学部、学科を設立する動きが始まっている。多くの事例では本取組の運営にかかわった教員が協力していることも、成果といえる。

1.4 外部評価

本取組における外部評価委員会は、通常の外部評価委員会が担う事業の評価という作業に加

えて、「社会が求める人材像」を統計教育の視点から明確にするという任務を担った。そのため、外部評価委員としては、連携団体から選りすぐった人材が推薦された。その活動は以下に記すとおりである。

- (1)平成24年度には5回の外部評価委員会を開催し、そこでは各連携団体の関わる統計的理解に関してそれぞれの業界の要望を集約する形で意見を聴取し、全員による検討を実施した。大学教育の視点を提供するために、各大学の取組担当者である運営委員も、求めに応じて議論に参加した。毎回、白熱した議論が展開されたことは議事録からも読み取れる。
- (2)平成25年度には第6回から第10回まで計5回の委員会が開催された。初年度に収集した、各連携団体が関わる統計的实践に関する現状と要望を勘案しながら、連携大学の取組担当者を交えた検討を実施し、社会が求める人材像に関する報告書案を作成した。
- (3)平成26年度の第11回委員会において、社会が求める人材像の報告書案が確定され、PDCAサイクルにおける出発点である人材像の明確な提示がなされたことから、PDCAの次の段階に移ることになった。
- (4)平成27年度、28年度には、年度末に1回の事業評価委員会を開催して学長等からの実施報告と質疑応答を経て、外部評価委員会において各年度の事業進捗状況に対する評価を提示した。
- (5)以上の活動に加えて、平成22年度および23年度の活動を評価するための事業評価委員会が平成24年3月に実施された。書面および質疑応答による厳正な審議の結果、外部評価委員長からは「本取組は他分野に大きな影響を与えるものと期待している。教育コンテンツの作成・提供システムを事業開始後の短期間で準備し、試作品の運用を通してより完成を目指す段階にあることは非常に高く評価しうる。」との総括的な評価を得たが、以下の要請もあった。(a)連携以外の大学への告知方法を改善し、連携以外の大学から理解と協力を得る必要がある。(b)課題解決力を養成していく方法、実社会で評価される人材育成のための教育コンテンツと教育方法の開発は今後の検討課題である。このうち、(a)についてはホームページを充実させるとともに、連携各学会の広報手段を利用して、情報提供を拡大するように工夫した。また(b)については学会との連携をさらに強めることによって全国の大学における統計教育担当者に本取組の活動内容を周知させ、学会を通じて協力を要請した。また、各学会と連携大学の一層の協力を得て、分野別の教材開発を促進した。

1.5 中間評価結果と対応

2015(平成27)年4月に中間評価ヒアリングが実施され、その結果が2015年7月に公表された。JINSEの取組については、「S:計画を超えた取組であり、現行の努力を継続することによって本事業の目的を十分に達成することが期待できる。」という総括評価を受け、以下の具体的なコメントが提示された。

本取組は、データに基づく科学的な思考力を身につけ、我が国の今後のイノベーションを担う課題解決型人材を育成することを目的としている。日本学術会議の分野別参照基準をカリキュラムの体系化に活用する方策が各分野において模索されている中、統計関連学会と共同で学習到達度の参照基準を作成するなど、日本の大学教育の改善に資する画期的な取組である。

教育改革については、「統計検定」を通じた学習達成度評価・教育方法改善のプログラムを取り入れるなど、同検定を効果的に活用し、取組全体としての質を確保してい

る。産業界が期待するコンピテンスを定義してカリキュラムに反映し、具体的な教材を開発して、統計検定というアセスメントによって評価するシステムが構築されていることは高く評価できる。

ステークホルダーとの協働・評価については、統計関連学会や業界団体等の外部団体を加えた評価委員会による教育効果の評価体制を構築しており、統計教育の質保証制度の確立の視点からも高く評価できる。また、確固とした外部評価に基づいて、社会のニーズを反映しており、高く評価できる。

取組の実施体制・継続発展については、本取組の連携校8大学によるJINSE(統計教育大学間連携ネットワーク)の設立等、今後も確実に計画を継続できる体制を構築している。

このコメントへの対応として、高い評価を維持できるように、残された期間もこれまでの取組を継続する環境を整備した。

中間評価に続くフォローアップ調査においては、統計検定に関して、次のような課題が提示された。

- ・事業の継続には成果の確認が不可欠であり、統計検定における合格率とその推移等を指標とする評価の実施とフィードバックが求められる。
- ・支援期間終了後は、統計検定受験のための支出は受講生の負担となることが予想され、修学評価試験の外部化の費用を大学としてどのように取り扱うか検討が必要と思われる。
- ・支援期間最終年度には、統計検定受験者数のみならず級別の統計検定合格率等を指標として修学成果を評価する取組に着手し、各校の授業改善にフィードバックすることが期待される。
- ・早稲田大学での統計検定と教室内演習を組み合わせた学習達成度評価を他大学にも普及させ、各校の授業改善に生かすことが期待される。

これらは、JINSEとしても検討してきた課題であり、継続事業としての拡大版JINSEの仕組を適切に構築することによって解決されるものである。詳細は2節で記述する。

2. 拡大版JINSEの概要

2.1 拡大版JINSEの設立

支援期間終了後にJINSEの役割を拡大して継承するために、日本統計学会が設立した一般財団法人統計質保証推進協会を事務局として、連携校以外の大学の参加も認める会員制の組織として「拡大版JINSE」を設立した。

連携学会からは拡大版JINSEにおいてもカリキュラム策定委員会を通じて協力することの確約を得ている。JINSEの質保証委員会が担当した「参照基準」については、共同して本事業に取り組んできた連携学会内に基準委員会を設置し、必要に応じて改訂作業を実施する。参照基準は各大学だけでなく、拡大版JINSEにおいて活用する。

連携団体については、事業期間終了後も連携関係を継続することを要請し、日本経済団体連合会、日本アクチュアリー会をはじめとして正式な文書による協力の回答を得ている。これらの団体は拡大版JINSEに対して意見を提示することによって、JINSEの活動の成果を評価することになる。

拡大版JINSEでは、JINSEが開発してきた教材コンテンツを加盟大学に提供するとともに、標準カリキュラムに基づいた統計教育を具体化するために、大学の教員に対するファカルティ・ディベロップメントの機能を提供し、さらに、連携団体が提示した人材像を反映する参照基準

に基づいて、加盟大学が申請するカリキュラム認証の役割を果たすことも検討している。

JINSE の取組を通じて開発してきた教材と教育コンテンツが広く利用可能となるように提供されることから、単に連携大学における教育環境を改善するにとどまらず、全国の大学等で統計教育に携わる関係者にとっての資産となり、連携大学を超えて成果が拡大されることが可能となる。さらに、JINSE の成果の一部は、国の目指す学力三要素の一つである問題解決力の育成のために、高等学校においても活用できるものであり、拡大版 JINSE は大学入試改革や高大連携の充実にも貢献することができる。

統計関連科目の学習達成度を客観的に評価する手段については、統計検定を有効に活用する方法について一層の改善を進める。なお、早稲田大学においては、平成 27 年度から学生の評価のために統計検定を導入しており、これと同程度の利用方法が適当と判断している。

2.2 拡大版 JINSE の内容

拡大版 JINSE については、2017 年 3 月に統計関連学会などを通じて紹介した。詳細は (JINSE, 2017) 「統計教育連携ネットワーク規約」を参照のこと。

・拡大版 JINSE は、従来からの「統計教育大学間連携ネットワーク」の活動を継承するもので、名称については「統計教育連携ネットワーク(英語名 Japanese Inter-organizational Network for Statistics Education)」と変更する。なお略称の JINSE を継承することから、従来の活動と区別するときには「拡大版 JINSE」と呼ぶ。

拡大版 JINSE は、会員によって構成され、JINSE は統計関連学会連合の 6 学会と協力して、カリキュラムおよび教材の開発・改良を継続し、会員に提供する一方、統計教育達成度の客観的な評価のため、会員に「JINSE 版統計検定」の実施資格を与える。また、新たな取り組みとして、優れた教材開発に対する学会と連携した表彰制度の創設、統計検定に利用できる問題案の策定に対する対価の提供などを検討している。

・会員の種類には、初等・中等・高等教育機関またはこれに準ずる教育・研究機関に属する「個人会員」、高等教育機関の学部・学科またはこれに準ずる「準組織会員」、研究・教育機関の「組織会員」があり、会費、利用できるアカウント数、「JINSE 版統計検定」受験資格対象者に違いがある。

・統計教育連携ネットワーク (JINSE) の運営に関わる活動を支援するため、一般財団法人統計質保証推進協会に「統計教育連携センター」が設置され、事務を担当することになった。

・拡大版 JINSE では、JINSE 版統計検定の制度を導入し、この制度を利用する大学や学部等の会員に対しては、過去 5 年間の連携大学向け統計検定や、早稲田大学向け統計検定のよう、受験生に関する詳細な情報を提供することを可能としており、その結果を教育の改善に利用することができる。当然、教員は各問題の正答率と教育内容を比較することが可能である。なお、これらの情報は守秘義務に関する誓約書を提出した上で、会員に対してだけ提供される。そのため、他大学における合格率と比較することはできないが、今後、要望があり、かつ会員の了解が得られる場合には、ある程度の集計結果を公表することも検討する予定である。

統計検定受験の費用については、拡大版 JINSE の会員に対しては大幅な割引が提供されている。また、青山学院大学経済学部、同志社大学のように、大学が受験料を負担して、学生に目標を与える事例もある。

2.3 拡大版 JINSE の展望

今後の展開として、以下のような活動を想定している。

(1) 会員制度の拡大：2017 年 3 月時点では個人会員の他、学部・学科等の準組織会員、大学

等の組織会員としていたが、各方面からの要請を受けて、準組織会員に初等・中等教育機関を含むことを明示した他、退職者などを想定した準個人会員を設けた。

- (2) JINSE 版統計検定の充実：指導する学生・生徒等の学習達成度評価に利用しやすくするように、提供できる情報を整理している。たとえば、統計検定の設問のそれぞれについて受験者がどの回答を選択したのかわかることにより、今後の指導方法を検討することができる。
- (3) e-Learning 教材の充実：現在のコンテンツをさらに充実させていくことが望ましい。そのためには、会員からの要望を反映する仕組みが必要となる。

会員組織の拡大とともに、旧 JINSE において外部評価の役割を担った連携団体、および参照基準の作成・カリキュラムの開発・教材の作成を担った連携学会の支援を受けることができることから、統計教育の水準を高めるための組織として、拡大版 JINSE が果たすべき役割は大きい。

参 考 文 献

- JINSE (2017). 統計教育連携ネットワーク規約, http://www.qajss.org/jinse_kiyaku_20170204.pdf.
- JINSE 運営委員会 編 (2013a). 平成 24 年度総合報告書, 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- JINSE 運営委員会 編 (2013b). 平成 24 年度 カリキュラム策定委員会報告書 第 1 部 大学教員に対する統計教育実態調査報告書(速報版), 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- JINSE 運営委員会 編 (2013c). 平成 24 年度 カリキュラム策定委員会報告書 第 2 部 連携大学における統計学の学部授業実態調査, 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- JINSE 運営委員会 編 (2013d). 平成 24 年度 カリキュラム策定委員会報告書 第 3 部 国内外における統計教育カリキュラムとコンテンツの現状—標準カリキュラムの策定に向けて—, 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- JINSE 運営委員会 編 (2013e). アドバイザリー会議 平成 24 年度 (2012) 活動報告書, 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- JINSE 運営委員会 編 (2014). 平成 25 年度活動報告書, 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- JINSE 運営委員会 編 (2015). 平成 26 年度活動報告書, 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- JINSE 運営委員会 編 (2016). 平成 27 年度活動報告書, 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- JINSE 運営委員会 編 (2017). 平成 28 年度活動報告書, 大学間連携共同教育推進事業(代表校青山学院大学), 東京.
- 美添泰人・竹村彰通・宿久洋(編集), 統計教育大学間連携ネットワーク(監修)(2017). 『現代統計学』, 日本評論社, 東京.

Prospects for Statistics Education through JINSE

Yasuto Yoshizoe

School of Business, Aoyama Gakuin University, Tokyo

In this article, we describe the structure of the original JINSE (Japanese Inter-university Network for Statistical Education) founded in 2012, followed by an introduction to extended JINSE (Japanese Inter-organizational Network for Statistics Education), founded in 2017.