

統計教育とデータの品質

後 藤 智 弘
美 添 泰 人

1 はじめに

本稿では、過去 10 年ほどの間に急速に流行してきた統計的手法およびデータサイエンスを素材として、その背後にある状況と、特に日本における統計教育および公的統計作成の最近の展開と今後の課題について記述する。

日本における統計教育が遅れていたことはしばらく前から指摘されていたが、その原因のひとつは文部科学省の学習指導要領における統計の扱いが国際水準に比較して大きく見劣りしていたことで、この点は日本統計学会などが 20 年以上も前から数回にわたって改善の要望を提出していた。解決の糸口が見えたのは、2008～2009（平成 20～21）年度にかけた改訂で「生きる力」の育成、基礎的・基本的な知識・技能の習得、思考力・判断力・表現力等の育成のバランスが図られ、特に「数学 I」において統計に関する内容が必修化されたことである。2 節に記すように、その頃、OECD の実施する学習到達度調査 PISA において、それまで「数学的リテラシー」および「科学的リテラシー」で最上位の結果を取っていた日本の順位が下がり始めた原因として、資料を読み解いて分析する能力を評価する形式となった出題形式に対応できていないことが指摘された。この段階で、データを読み解くための基礎が統計的な考え方であることが理解されたといえる。

大学における統計教育にも課題があった。アメリカの主要大学では大学院に統計学科が設置され、相当な数の卒業生を輩出しているのに対して、日本では 2016 年に滋賀大学にデータサイエンス学部ができるまでは、統計数理研究所

を基盤機関とする総合研究大学院大学に複合科学研究科統計科学専攻が設置されていただけで、学位取得者は毎年数名に過ぎなかった。これでは英米はもちろん、最近急激に博士課程の設置が進んでいる中国や韓国にも大きく後れをとるのは当然である。同じ頃、文部科学省から「大学教育の分野別質保証」への協力を求められた日本学術会議では、各分野の「教育課程編成上の参照基準」作成の動きがあった。3節に記す通り、この機会に統計関連学会連合は最も早い段階で参照基準を作成し、それが統計検定の創設につながった。さらに文部科学省の補助金を利用して連携8大学が「大学間連携ネットワーク（JINSE）」を設立し、統計学の習得状況の客観的な評価基準として統計検定を利用したことも、統計の重要性を啓発するにあたって効果的であった。JINSEは青山学院大学を代表校として活動し、その副次的な成果として滋賀大学にデータサイエンス（DS）学部を創設したことは、統計教育の歴史における画期的な出来事であった。滋賀大学の想定したDS教育と統計検定との関係については4節で取り上げる。

統計データ、特にマイクロデータの利用も最近の統計教育においては重要な話題であり、これは5節でやや詳しく触れる。最も重要なデータである公的統計については過去30年ほどの人的資源と予算の削減のため、従来の品質を確保することが困難となってきた。そのために、統計法を改正し、さらに内閣官房に統計改革推進会議を設置して、改善に努めることになった。その過程で厚生労働省の作成する統計で不適切な調査の事例が指摘され、さらなる改善が図られている。この問題については[28]で取り上げているが、本稿では6節において公的統計の品質に関する具体的な評価例を紹介する。最後の7節では、バイズ統計学に関して、筆者たちの[6]以降の比較的新しい展開についてごく一部を紹介する。

2 統計の流行と証拠に基づく議論

21世紀に入ってから、統計に対する注目が次第に高まってきた。2013年には「統計学が最強の学問である」という刺激的なタイトルの本が30万部も売

れたほか、統計に関する図書の発行件数は急増し、新聞、テレビなどのマスコミでも統計の話題を取り上げる機会が増えてきた。統計の重要性に関する認識が高まってきたことは、文部科学省が学習指導要領の改正に際して理数系教育の中で統計学を重視したことにも現れていたが、日本では2013年前後が大きな転機となったといえる。本節では、その背後にある要因のひとつと、統計データの利用について考えてみたい。

PISAの順位 統計的なものの見方が重要との指摘は、国際的な学習達成度評価において、単なる計算問題より資料に基づく判断を求める問題が出題される最近の傾向にもよるらしい。経済協力開発機構（OECD）による国際的な生徒の学習到達度調査であるPISA（Programme for International Student Assessment）は、義務教育修了段階の15歳児を対象として2000年から3年おきに実施されており、現時点ではPISA2018の結果までが公開されている [5]。

2000年調査は読解力中心、2003年調査は数学的リテラシー、2006年は科学的リテラシーを中心に読解力と数学的リテラシーについても調査された。2009年までの日本の成績の概要は表1に示すとおりである。2006年時点から過去3回の結果を概観すると、数学的リテラシーでは1位、4位、6位、科学的リテラシーでは2位、2位、3位とOECD加盟国中の順位が次第に下がっている。読解力は最初から順位が低いと指摘されたが、それも8位、12位、12位と低下傾向にあった。

PISA2006の結果を受けた当時、文部科学省では学習指導要領を改訂して理数教育や言語活動を充実し、その中で算数・数学の授業時数を小学校16%、中学校22%と増加させ、数量や図形の知識・技能を実際の場面で活用する時間を確保する取組を始めた。同様に理科の授業時数も増加し、観察・実験等を充実する時間を確保して意欲を高めることとした。その結果、PISA2009において若干の改善が見られたと言われている。

このような変化の傾向をどう読むべきだろうか。2009年調査には65か国・地域（OECD加盟34か国とそれ以外の31か国・地域）から約47万人の15歳

表 1 2000-2009 年の PISA における日本の順位

読解力

調査年	2009 年	2006 年	2003 年	2000 年
日本	520 点	498 点	498 点	522 点
OECD 平均	493 点	492 点	494 点	500 点
OECD 順位	5 位 /34	12 位 /30	12 位 /30	8 位 /28
全体順位	8 位 /65	15 位 /57	14 位 /41	8 位 /32

数学的リテラシー

調査年	2009 年	2006 年	2003 年	2000 年
日本	529 点	523 点	534 点	557 点
OECD 平均	496 点	498 点	500 点	500 点
OECD 順位	4 位 /34	6 位 /30	4 位 /30	1 位 /28
全体順位	9 位 /65	10 位 /57	6 位 /41	1 位 /32

科学的リテラシー

調査年	2009 年	2006 年	2003 年	2000 年
日本	539 点	531 点	548 点	550 点
OECD 平均	501 点	500 点	500 点	500 点
OECD 順位	2 位 /34	3 位 /30	2 位 /30	2 位 /28
全体順位	5 位 /65	6 位 /57	2 位 /41	2 位 /32

児が参加し、日本では対象者約 117 万人のうち、185 校、約 6000 人が調査に参加している。これは一種の標本調査だから、少なくとも標本誤差が存在する。実際、文部科学省でも誤差を評価しており、「平均得点には誤差が含まれるため、統計的に考えられる上位及び下位の順位を OECD 加盟国／参加国の中で示した」結果も 2003 年と 2006 年について提示している。それによると、数学的リテラシーは 2～7 位から 4～9 位に、科学的リテラシーは 1～3 位から 2～5 位に変化したことになる。標本誤差の範囲だけで考えると、実際の順位が変化していない可能性がある。生徒の抽出方法、協力状況など、非標本誤差の評価も必要だろう。とはいえ、結果として統計教育を充実させる方向が選択されたことは正解であった。

ポアンカレとパン屋の話 統計ブームの中で、以前から信憑性について疑問に思っていた話を取り上げられた。次が「ニュートン」の記事 [21] である。

(数学者の) ポアンカレが通うパン屋は「1 キログラムのパン」を販売していたが、1 年間の記録を付けたポアンカレは重さの分布が平均 950 グラムの正規分布となることを見出したため、警察に連絡し、パン屋の行いを改めるように通告した。さらに1 年間パンの重さを量り続けたポアンカレは、不正は続いていると警察に通告した。その記録では「再びベル型分布で最大値が 950 グラムとなっていた」

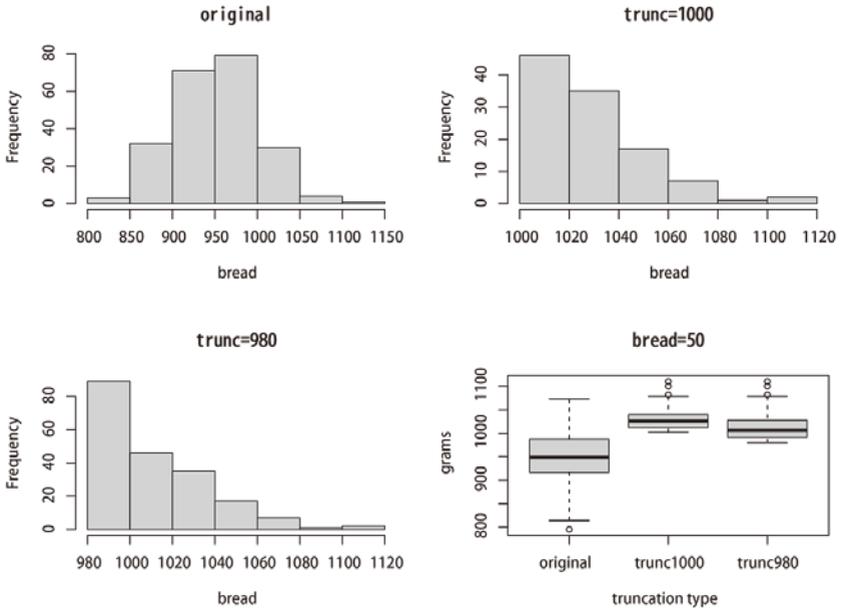
この話題について、ムロディナウ [26] では「平均 1000 グラム近くあったが軽いパンがほとんどない」と少し違う説明であり、出典には疑問が残る。なお、加納・浅子の教科書 [2] では駄菓子屋の菓子袋として類似の話題が記されているが、苦情を言った後の分布は 100 で切断された分布としている。

問題は比較的少数の標本から切断分布であることを確認できるかということである。そこで正規分布から大きさ 200 の標本を発生させて、切断した場合のヒストグラムと箱ヒゲ図を描いてみた。図 1 に平均 950、標準偏差 50 の例を示す。図の左上は発生された正規乱数そのもので、左右対称に見える。右上と左下は、それぞれ 1000 と 980 で切断された分布であり、右下はこれら 3 つのデータに関する箱ヒゲ図である。これらの分布は、行いを改めたパン屋が小さめのパンが出来ないように注意すれば、正規分布の想定は必ずしも適当ではないはずだから、十分ありそうな形状に見える。

なお Wikipedia (英語版) の Henri Poincaré の項目には、この話題は紹介されていない。また、ボストンの科学博物館には、ある時期にこの話が「出典は不明」として展示されていたが、現在ではウェブサイトからも記述が削除され、信憑性は確認できない。この例のように、統計の流行は歓迎するものの、統計的思考が定着し、証拠に基づいた議論が定着するまでには、出典を明記することも含めて、まだ時間がかかるように思われる。

標本サイズが大きいつきは、分布に存在する断層が明確に判別されることがある。経済産業省の工業統計調査は、現在では経済センサスと統合されて単独

図1 パンの重さ



の報告書も刊行されなくなったが、従業者規模ごとの事業所の分布をみると、30人を境界として、それよりやや少ない事業所が多く、30人をわずかに超える事業所が少ないという特異な傾向があった。考えられる理由のひとつは、調査票の違いであり、30人以上の事業所に用いられる調査票（甲表）の記入項目数より、30人未満の事業所に用いられる調査票（乙表）の記入項目数がかなり少ないことである。回答を求められる事業所としては、従業者数をわずかに少なく申告することで調査の負担を軽減させる動機がある。

別な例として、A. ケトレーがフランスで男子の身長分布から徴兵逃れがあることを指摘したとの記述がラオ [32] やウェブサイトなどにあるが、美添が所有している日本語訳 [3] には該当する記述は見当たらない。徴兵に関しては、[3] の下巻22ページに「栄養の良い地域では身長が高く徴兵免除はほとんどないが、栄養の悪い地域では身長が低く徴兵免除が多い。」とだけ記述されている。また、巻末には男女の年齢に対応した身長と体重のグラフがある

が、それは徴兵免除とは無関係である。原著に関連する記述があるのかどうかは未確認である。ウェブにはそれらしい図を掲載しているサイトもあるが、正確な出典はみつからない。

ポアンカレの例とともに、統計的証拠の重要性が認識される中で、通常の意味でも証拠である出典の確認も重要であることが、改めて認識される。

3 統計検定の発足から CBT 化まで

日本統計学会が実施している統計検定は、2011年に開始して、ほぼ10年となる。その発足に際して、美添および後藤が日本統計学会のもとで協力して制度を設計したことは貴重な経験であったし、日本における統計教育の充実、ひいては統計的な視点およびデータサイエンスの導入にも影響を与えた事業になったと考えている。本節では、統計検定の準備段階における著者たちの意図と、今後の発展に対する期待を記す。

統計検定の創設に至る過程 統計検定は日本統計学会、(財)統計研究会および(財)統計情報研究開発センターの共催事業として発足したものであり、出題にあたっては日本統計学会および後に解説する統計関連学会連合の会員の他、公的統計・民間統計調査に携わる専門家など、多数の協力によって運営されている。設立の背景としては次のような事情がある。

日本統計学会および統計関連学会連合では、従来から文部科学省、総務省や、中学校・高等学校の教員などと連携して、統計教育に関する研究および教材開発に力を注いできたところ、2010年頃には政府においても高等教育および初等・中等教育において統計教育を重視する傾向が明確になってきた。具体的には文部科学省および日本学術会議による「大学教育の分野別質保証」への取組みがあり、関連して日本学術会議における各分野の「教育課程編成上の参照基準」作成の動きがあった。ところで、日本学術会議には独立した「統計学」分野が存在せず、統計学研究者は数理学、情報学、経済学などに分散しているため、統計学を専門分野とする日本学術会議の数理統計学分科会が中心

となって、社会学、経済学、医学など諸分野の研究者と協力して「統計学分野の教育課程編成上の参照基準」を作成することになった。その原案の作成は、当時美添が理事長を務めていた統計関連学会連合に設置されている統計教育推進委員会が担当し、完成した参照基準 [11] は日本学術会議に報告するだけでなく、広く政府や統計関係機関に配布した。

統計関連学会連合と統計教育推進委員会 参照基準の作成に中心的な役割を果たした統計関連学会連合と、その下に設置されている統計教育推進委員会について簡単に紹介しておきたい。

統計関連学会連合 [12] は、統計学の発展・普及を目的として、統計関連の諸学会が連合して各種共同事業を推進するための団体で、次第に拡大して、現在では、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、日本分類学会の6学会が参加し、年1回の連合大会を開催して研究報告や講演会などの機会を設けている。各学会とも活動の対象には相違があるものの、統計学の発展を目指すという視点で合意が形成され、集結して活動することに意義を見出したものである。統計関連学会連合に参加している学会の多くが名簿管理を一元化し、相互の会員への情報提供が円滑に実現できたことが背景にあるが、名簿の一元化は美添が日本統計学会理事長のときに実現させたものであり、これだけでも理事長としての責務を果たせたと自負している。

統計関連学会連合における連携活動のひとつとして、広い意味の統計教育を推進するために統計教育推進委員会 [13] を発足させ、小学校から社会人に至る各段階での統計教育に積極的に関わっており、各段階での統計教育に対する考え方、実際に教育を実践するために必要なデータ集などを掲載している。

統計教育に関しては、日本統計学会単独の組織としても統計教育委員会が長い歴史を持ち、統計検定の入門段階において特に有用な教材であるだけでなく、大学生や社会人でも十分に楽しめる素材として Web サイト [19] には「資料の活用」・「データの分析」のための教材が用意されている。

学習指導要領の改訂 他方、初等・中等教育においては、統計学の教育を強化する方向で学習指導要領の改訂が実現した。小学校算数科では、棒グラフ、折れ線グラフ、円グラフおよび帯グラフを学習し、度数分布を表やグラフに表したり、資料の平均や散らばりを調べるなどの活動を通して、統計的に考察したり表現する課題があり、測定値の平均について学習した後で、その結果を統計的に考察し表現することが求められている。

中学校の数学では、「資料の活用」として、目的に応じた資料の収集、PCを用いた表やグラフの作成、平均値や中央値などの代表値や散らばりの尺度を用いて資料の傾向を読み取ること、さらに標本調査の考えまでが扱われている。確率に関しても、不確定な事象についての観察や実験などの活動を通して確率を理解し、確率の概念を用いて不確実な事象を捉える。

高等学校の数学では、「データの分析」として、統計の基本的な考えを理解するとともに、それを用いてデータを整理・分析し傾向を把握できることが求められている。たとえば四分位偏差、分散、標準偏差などの散らばりの尺度の意味と実際への適用、散布図や相関係数の理解と応用など、データの傾向を的確に把握する力が問われる。

統計教育として必要な内容が的確に表現されていることは歓迎される。一方で、このような内容を教える立場にある教員にとっては、新たな取組みが求められることも当然である。そのため、統計関連学会連合や日本統計学会統計教育委員会では、中学校、高等学校などの教員と連携して統計に関する教材を開発し、統計教育の効果的な方法を構築してきた。

日本統計学会の役割 大学における統計教育と中等教育課程における統計教育の双方を視野に入れて、統計学会の責務として設立したものが、統計教育の基準を作成し、この水準に関する教育の達成状況を客観的に評価する手段としての統計検定 [14] である。

日本統計学会においては、教育に関わる多くの会員から寄せられた要望を背景として2009年度から「統計の資格認定」に関する検討が行われていた。統

計学が実社会で役にたっていることは言うまでもないが、確立された「資格制度」が存在しないために、統計手法を使ってデータ解析を行う職に就いている人々の所属組織内での立場・待遇は、それほど良いとは言えない。高度な知識を持っているにもかかわらず、統計学の学位など、能力を証明する資格が明確でなければ、ふさわしい評価を得ることが難しい。統計的手法を用いたデータ分析・知見獲得・企画立案ができる能力や、有効な社会調査・市場調査を設計し結果を分析する能力に対して「社会が認める」資格を与えることは、日本統計学会に課された使命のひとつである。

一方で、上述のとおり、統計関連学会連合の統計教育推進委員会（委員長は田栗正章大学入試センター参与）が参照基準を策定した。これは、文部科学省や日本学術会議が唱えている「学士力」や「大学教育の分野別質の保証」に関係して、統計関連学会連合が中心となって、大学における統計学の基礎教育・専門教育における最小限の必要基準や発展推奨基準を定めたものであり、このような基準は、学生が修得した統計教育の質を保証するだけでなく、教育提供に関わる質を測定するためにも必要である。

参照基準の策定は資格制度とは独立して議論されが、参照基準に基づく統計教育の成果を測るためには試験等を通じた質保証が必要である。当時、日本統計学会が検討を進めていた統計教育に関する資格制度と連携することで、参照基準に基づいて統計検定の試験問題を作成し、検定試験によって認定された資格の有効性を参照基準が保証するという関係が明確になった。発足時の統計検定の内容は以下のとおりであった。

統計検定の名称と種別 試験の名称を統計検定（Japan Statistical Society Certificate, JSSC）とし、資格試験の種別と内容を次のように定めた。

- ・統計学検定 1 級：統計学（大学専門分野）
- ・統計学検定 2 級：統計学基礎（大学基礎科目）
- ・統計学検定 3 級：データの分析

- 統計学検定 4 級：資料の活用
- 統計調査士：統計調査実務に関連する基本的知識
- 専門統計調査士：統計調査全般に関わる高度な専門的知識
- RSS 試験：英国王立統計学会（Royal Statistical Society）の共同認定

学習指導要領の改訂時期との関係では、検定 3 級は大学入試センター試験において該当分野の出題がはじまる前の時点で開始した。これは、統計検定で想定している水準を高校教育に反映させるため、この時期に開始することが適当と判断したものである。「RSS 試験」は 2012 年 5 月に英国と同時期に実施し、日本統計学会と RSS の双方が認定する国際資格として設計した。

統計検定センター 日本統計学会の下に「統計検定センター」を設置して活動を開始した。その後、2011 年 6 月には、日本統計学会の一般的な学会活動から質保証に関わる事業を明確に分離するために、日本統計学会が設立者となって一般財団法人「統計質保証推進協会」を設立し、統計検定センターはその内部組織と位置付けられている。後藤は、この財団の研究員として初期の統計検定に関連する分析 [7, 30, 31] を実施している。

なお、財団の名称を統計質保証推進協会とした理由は次のとおりである。統計に関する品質の保証は、統計教育に限らず、統計調査、分析等の質にも関わる問題である。具体的には、民間の統計調査機関が実施する調査・集計に関しても、高品質のものから安価で低品質のものまで大きな相違がある。さらに、最近の傾向として公的統計に民間事業者が参入する機会が増加し、入札による価格競争の結果、非常識に安い価格で落札した業者が作成した統計の品質が劣悪となる事例も現れた。これは統計調査・集計結果の品質を適切に評価する仕組みが存在しないことが原因である。

さらに、SNA、物価指数、景気動向指標など、政府が作成・公表している加工統計の品質に関しても、その品質を保証する仕組みが必要である。実際、これらの統計に対してはこれまでも利害関係の対立する産業界、労働者団体か

らの批判，改善要求があった。統計に関わるさまざまな問題を対象として，統計教育の成果を評価する統計検定に限定することなく，作成された統計の品質や，統計作成過程の品質を学会として評価することを想定して提案された名称が，統計質保証推進協会である。なお，学会の社会的役割は研究活動に限定されるものではなく，教育の質保証も対象とすべきであることは，平成 18 年 3 月に決定された第 3 期科学技術基本計画においても「学協会活動の促進」として明示されているとおりであり，統計検定の計画もこの趣旨に沿っている。

企業が学生に期待する能力 ミクロ経済学の教科書で知られるカリフォルニア大学の Hal Varian は，2002 年から Google のチーフエコノミストとなっているが，2008 年のインタビューで“the sexy job in the next 10 years will be statisticians”（次の 10 年で最も魅力的な職業は統計家であろう）と発言した。この発言は，その表現の面白さから話題になったが，その後も RSS が発行する雑誌 [39] のインタビューに答えて，Varian 自身も広い意味では統計家であることなど，統計的手法の重要性をさまざまに語っている。この記事のひとつの小見出しは次のように記されて興味深い。

“Computer scientists use vast datasets and unstructured models. Statisticians have complex models and smaller datasets.”（コンピュータ科学者は大量のデータと構造のないモデルを用いるのに対して，統計家は複雑なモデルとより小さなデータを用いる。）Google では，大量のコンピュータ技術者を雇用しているが，同時に大勢の統計専門家を抱えてもいるようである。

産業界で統計的能力が広く求められていることは，日本も例外ではない。表 2 は少し古い資料であるが，日本統計学会の統計教育委員会のサイト [19] で紹介している「企業における“統計”の需要度調査」からの引用である。これは，東証上場全企業 1635 社を対象として，大学で学んできて欲しい分野を尋ねた調査の結果（武田和昭 (1995)「企業から見た数学教育の需要度」日本数学教育学会高専部会研究論文誌）である。

文系にだけ「何でも良い」という回答を選択した企業が少なくないことや

「数学史」に対する微妙な回答も面白いが、「統計学」が文系・理系を問わず第 1 位にあげられ、特に文系では圧倒的な期待を得ていることがわかる。

表 2 企業が期待する数学分野の比率 (%)

分野	文系	理系
統計学	72.2	77.8
プログラミング	49.4	77.2
何でも良い	32.3	0.0
微分積分	23.2	44.5
計画数学	22.1	36.2
線形代数	16.7	33.7
その他	4.6	2.6
数学史	0.4	0.0

海外の統計検定 米国では、大学入試のための試験である SAT (従来は Scholastic Aptitude Test または Scholastic Assessment Test と呼ばれていた) を実施している College Board [34] は、高校生を対象として、大学入学に向けた単位認定 (Advanced Placement) も行っている。その中に統計学の単位もあり、AP Statistics [19] という試験に合格するとさまざまな便宜が得られる。大学入学前に基本的な知識を習得することで大学における学習上有利になるのは当然として、大学入試においても AP Statistics に合格していることで差別化されるし、単位取得が免除されることにより授業料の軽減につながる可能性もある。

英国では、Royal Statistical Society [38] が実施する資格認定試験が、Ordinary Certificate, Higher Certificate および Graduate Diploma と呼ばれる 3 つの水準で実施されていた。最上位の Graduate Diploma は統計学の優等課程の学位 (Honours Degree in Statistics) に相当し、大学院への入学資格として広く受け入れられる程度の水準となっていたが、教育機関の認証を別な方法に切り替えて RSS 試験は終了した。

中国で実施されている統計資格試験では、学術的な知識・応用力に加えて、統計制度や統計法に関する知識を問う問題も含まれている。試験制度の詳細は、2010 年に青山学院大学で開催された日本統計学会春季集会における Yuan

Wei 氏（人民大学）の講演で紹介された。中国では4種類の資格試験があり、第1の“Statistical Qualification Exams”は公的な統計職に就くための資格、次の“Statistician Promotion Exams”は公的機関または民間企業で働く統計家のための資格、3番目の“Survey and Analysis Professional Exam”は調査会社および企業で統計分析に携わる者の資格である。最後の“Professional Degree of Master of Applied Statistics”は専門的な統計調査と分析のための修士号で、MBA にならって MAS と略称で呼ばれるとのことである。中国では統計担当の公務員にとっては、検定に合格することが上位の職種に就く資格となり、経済的にも有利になるという説明であった。

第1回統計検定の実施時期について 広く一般市民に対して公的統計の重要性を訴えることを目的として、国際連合が提唱した第1回世界統計の日（World Statistics Day, WSD）は2010年10月20日と定められ、世界から130以上の国・地域の統計作成機関や学会が賛同した。そのとき非公式に聞いた説明では20.10.10.20は左右対称というものがあつた。最初の統計検定は2011年11月20日に実施されたが、当時の国連周辺のウェブ情報では、第2回WSDは2011.11.20になるとされたため、その日を記念するという意図があつた。この日付も左右対称であり、記念日として覚えやすいと自慢したものであつた。実際には、いくつかの変遷を経て、第2回WSDは2015.10.20となつて、対称性という冗談は成立しなくなつてしまつた。

統計検定の展開 上記の通り、発足時には1級、2級、3級、4級という学校教育の段階に対応する水準、および公的統計に関する「統計調査士」、統計調査の企画設計に関する知識を問う「専門統計調査士」を設置した。発足当時は年に1回、11月に6つの種別（1級、2級、3級、4級、統計調査士、専門統計調査士）の試験を実施していたのに加えて、2014年からは要望の多かつた種別である2級、3級、4級について6月試験を追加し、さらに2015年からは6月試験に準1級を導入した。この他、2012年から2018年まで、英国王立統

計協会（RSS, Royal Statistical Society）との共同試験として国際資格 RSS/JSS 試験（Higher Certificate および Graduate Diploma）を実施していた。2016 年からは、紙媒体の試験（PBT）に加えて、全国の会場（約 240 か所）で随時受験できるコンピュータを利用した試験（CBT）の導入を開始して、現時点ではすでに準 1 級、2 級、3 級、4 級、統計調査士、専門統計調査士と後述するデータサイエンス系の CBT が実施されている。CBT の場合には、個々の問題をランダムにコンピュータで出題するために、多数の問題を準備する必要がある、問題セットでは難易度を平準化している。

統計検定の利用者数は順調に増加し、2019 年の申込者数は 6 月試験が 6,410 人、11 月試験が 9,519 人となっている。ただし 2020 年は新型コロナウイルスの影響で BPB は 6 月、11 月とも中止された。これらの情報は統計検定のウェブサイトで公開されているが、このほかに CBT を加えると、1 年間で 2 万人以上が統計検定を利用している。

2018 年に厚生労働省の統計作成過程が不適切と批判されたとき、政府の統計委員会の求めに応じて各府省から統計作成担当者の経験を要約する資料が提供され、その中に統計調査士および専門統計調査士の合格者数が記載された。また、政府における最近の一連の統計改革にあたって、統計改革推進会議に設置され、美添も委員を務めた統計行政新生部会の報告書には、統計職員の質保証の目的で「学会等が提供する資格試験」の利用が推奨されている [15]。各府省に対して統計業務資格保有者（統計データアナリスト・統計データアナリスト補）を育成すること、その際の能力の認定にあたっては、統計研究研修所の研修受講経験と並んで「学会等が認定する民間統計資格」の保有が条件とされている。このように、統計検定の果たすべき役割はますます重要になってきている。

4 統計検定とデータサイエンス

最近ではさまざまな分野で大量かつ多様なデータが得られる「データの時代」となり、統計学を含むより広い領域である「データサイエンス」が注目されて

いる。データサイエンスは統計学、情報学、さらにデータからの価値創造（領域知識）の3つの要素を持つとされることが多い。本節では、統計検定のうち、2021年から導入されたデータサイエンス（DS）関連試験の背景と数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアムについて、主に竹村 [10] に沿って説明する。

統計学のみならず、コンピュータを用いたデータ処理や、データ分析から有用な情報を引き出す能力を持ち、データに基づく課題解決のプロセス（課題の設定、データの取得、データの分析、分析結果の実装、実際の課題解決まで）について経験を有する人材がデータサイエンティストである。実際にはこれらすべてについて高い能力を備えることは困難であり、一部に特化する場合も多いが、それでも課題解決のプロセス全体を理解していることと、異なる分野の人たちと協力する能力が求められるため、狭い意味の統計学の評価のみではなく、統計学と他の領域にまたがる知識技能を評価する必要がある。

統計検定では2021年にCBTによる新たな試験として、「データサイエンス（DS）基礎」、「データサイエンス（DS）発展」を開始した。さらに2022年には「データサイエンス（DS）エキスパート」を導入する計画である。

このうち「DS基礎」は、具体的なデータセットをコンピュータ上に提示して、分析目的に応じて解析手法を選択し、表計算ソフト Excel によるデータの前処理から解析の実践、出力から必要な情報を適切に読み取り、当初の問題の解決のための解釈を行うという一連の能力を評価している。その水準は、新学習指導要領で共通必修化された数学科と情報科の両科目における「データの分析」・「データの活用」の単元を中心に大学入試までの内容レベルとしているが、社会人が業務上の課題を処理する内容レベルでもある。

これに対して、DS発展とDSエキスパートでは、数理・データサイエンス教育強化拠点コンソーシアムの作成する標準的なスキルセットおよび学修目標に準拠した試験を実施する。このコンソーシアムは、文部科学省が2016年度に学識経験者等の有識者で構成する「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、「大学の数理・データサイエンス教育強化方策につ

いて」をとりまとめて、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選定した国立6大学を拠点校としたもので、各大学内にセンターを設置して数理・データサイエンス教育の充実に努めるだけでなく、全国の大学に取組成果の波及を図るため、地域や分野における拠点として他大学の数理・データサイエンス教育の強化に貢献することが期待されている。その目標の中に全国的なモデルとなる標準カリキュラム・教材の作成がある。

文部科学省は、2018年度に協力校として国立大学20校を選定し、2019年度には協力校および特定分野協力校を追加して、数理・データサイエンス教育の全国展開を推進している。このような動きの背景として、2019年7月に政府が発表した「AI戦略2019」[16]がある。このAI戦略では、教育改革の主な取り組みとして、デジタル社会の「読み・書き・そろばん」である「数理・データサイエンス・AI」の基礎などの必要な力を全ての国民が育むとしており、特に大学・高専卒業生全員50万人/年に数理・データサイエンス・AIのリテラシー教育をおこなうとしている。このような政府の方針は、データサイエンス教育の重要性を認めたものであるが、同時に文部科学省の従前のキーワードであった「数理・データサイエンス」に新たに「AI」が加わったため、コンソーシアムのスキルセットも対応して修正された案が作成されている。統計検定2級が統計関連学会連合の参照基準に準拠しているのと同様に、DS発展とDSエキスパート試験はコンソーシアムの標準的なスキルセットに準拠することで客観的な基準を明確にしている。出題の構成は「DS発展」は数理、計算、統計、倫理に関する大学教養レベルの内容、「DSエキスパート」は計算、統計、モデリング、領域知識に関する大学専門レベルの内容としている。なお計算はプログラミングを含む情報学の内容を指し、数理はデータサイエンスの基礎となる数学で微積分や線形代数の基礎的な概念を含んでいる。

コンソーシアムのカリキュラム分科会で議論の基礎とされた資料のひとつは、米国の産業界、大学関係者が取りまとめた報告書[37]である。この報告書にはデータサイエンス力を学部教育において養うために重要とされる10分野が記されているが、詳細は省略する。

DS 試験が大学における教育を客観的に評価する検定として定着すれば、統計検定2級や準1級のように、多くの社会人が受験することが期待される。

5 統計学の発展と統計利用の進歩

本節では、主に経済分野の統計に関して、データの利用方法と分析手法の変遷について考えたい。第二次世界大戦後、日本には新しい統計分析と調査の手法が導入された。初期の頃に最も重要なものとして、理論と経験に基づく無作為標本の抽出方法と分析方法が挙げられるが、成功例のひとつに農業分野の調査設計と分析がある。当時は津村善郎、奥野忠一などの農林省を代表する若手研究者が作付面積調査、収量調査などの統計に標本調査法を活用して大きな成果を上げた。(美添が大学院生のときには、当時の農林技術研究所部長だった奥野先生に実験計画法の講義を受けているが、歴史的な経緯を伺うこともできた貴重な機会であった。奥野先生は、その直後に東京大学教授に就任したため美添は東大の0期生である。)

社会科学分野でも、戦争によってほとんど壊滅的な状態にあった政府統計の再構築にあたって、標本調査が積極的に導入された。総理府、厚生省、農林省などで世帯に関わる統計、通商産業省を中心として事業所に関わる統計が整備され、戦後の復興に際して政策の企画立案に有効に利用されたことはよく知られている。最も重要な国勢調査、工業統計、商業統計などは全数調査として実施されてきたが、家計、就業状況などは標本調査として設計され、貴重な情報を収集したといえる。

この時期の政府統計への標本調査の導入はアメリカが中心であった。有名な標本調査論の2巻本 [36] では、共著者3名のうち Hansen と Hurvitz の所属は Bureau of Census (商務省センサス局) であり、大学に所属しているのは Madow だけであることも、政府統計における標本調査の重要性が強く認識され、実践されていたことを示している。第二次大戦直後に、農林省が優れた標本調査を導入し、極めて短期間に世界的な水準に達したことは、関係者には良く知られている。

社会・経済分野における統計分析 1970年代までの計量経済学は、マクロ経済モデルの作成と分析が中心的な話題であり、重回帰分析、連立方程式モデル、時系列分析などが利用されていた。当時の雰囲気としては、大量の経済データを利用して精緻な推定手法を適用すれば経済予測の精度が高まるという認識があり、予測精度向上のための障壁はデータの不足と計算機能力の不足とされていた。ところが、1970年代の最後にはコンピュータの性能は飛躍的に向上して、それまで実行不可能とされてきたような推定手法が適用できるようになった。当時、世界最高速のコンピュータであったCray-1の性能はクロック80MHzでピーク性能160MFLOPSであった。単純な比較はできないが、最近のPCで採用されているIntelのCPUであるi7(8Core)は384000MFLOPSと言われているから、驚異的な進歩と当時のコンピュータの性能が想像できるであろう。

三段階最小二乗法や制限情報最尤法などが、当時、最も高度とされた手法の例である。不幸なことに、同じ時期に発生した石油危機によって、ようやく実現できた高度な分析手法によっても経済予測の精度は向上しないことが決定的に示された。その結果、従来の経済予測モデルは信頼を失い、同時に、計量経済学に対する批判も行われた。批判する側の代表的な例に経済理論とは無関係に時系列モデルを適用するという立場があった。今から振り返れば正当な批判も的外れな批判もあったが、ここでは立ち入らない。いずれにせよ、マクロ計量分析は計量経済学者の主要な関心とはならなくなった。

一方で、アメリカでは、労働経済学を中心として、マクロデータからミクロデータの分析に分野が変化する傾向が発生した。ひとつの理由はマクロ計量モデルの困難が認識されたことであるが、もっと本質的な理由として、アメリカでは研究目的でミクロデータが利用しやすい環境にあった点があげられる。

ここでアメリカを中心として利用されてきた計量経済分析の手法を概観しよう。以下は最近日本語訳が出版された「統計科学百科事典」[18]に収録された「計量経済学」という項目の概要であり、執筆者は、よく利用される教科書の著者P. Kennedyであり、この項目の和訳担当者は美添である。

計量経済学の主要な内容は線形回帰モデルであり、さまざまな非線形の方向に拡張されている。したがって、たとえば賃金を従属変数として教育年数や性別ダミー変数に回帰することによって、教育投資の収益に関しては教育年数の係数を測定し、労働市場における差別に関しては性別ダミーの係数を測定することができる。

Kennedy はノーベル経済学賞を受賞した研究者によるマイクロデータを利用した分析として、以下の例を挙げている。

例1 他の条件が等しければ、幼い子供のいる女性は幼い子供のいない女性よりも高い賃金を得る。その理由は、子供を持つ女性は、賃金が十分に大きい場合にのみ、家事をやめて労働市場に現れるからである。このことは、女性賃金労働者の標本は潜在的な女性労働者の無作為標本ではないことを意味する。他の条件が等しければ、低賃金労働者の出現率は低い。この自己選択現象は賃金方程式の推定量が偏りを持つ原因となり、男女間賃金の差別的格差が過小評価されるという重大な結果をもたらす。

例2 人々は目的関数を最大化するように選択を行う。通勤にはどのような交通手段を選択するかという問題に関して、経済理論によって、個人は最大の効用をもたらす選択をするという、確率的に変動する効用のモデルが提示された。この視点によって、多項ロジット/プロビット分析の開発が大幅に促進され、当時建設中であったサンフランシスコ湾岸高速輸送システムの乗客数の予測が大幅に改善された。

海外におけるこのような動向とは対照的に、日本においては研究目的で公的統計を利用する際の制約が強かった。一般的な集計データの質は高く、だれでも分析は可能だが、マイクロデータ分析に関しては、旧統計法の目的外利用という手段を利用することがほとんど唯一の機会であり、利用できたのは極めて少数の研究者であった。マイクロデータが利用できないために、集計データを利用して分析を行わざるを得なかった日本の研究者による論文が、海外の専門誌に

よって受理されないという状況は以前から指摘されていた。当然、研究者からはデータ利用に対して強い要請があった。

日本におけるマイクロデータの利用 1990年代は、政府の統計データを電子媒体として入手する手段はなかったことから、総務省が関連財団を通じて提供するデータは貴重であり、小地域統計は特に有用であった。一方で、マイクロデータの提供は法的な制約もあって、ほとんど考えられていなかった。

海外におけるマイクロデータの利用拡大に関しては、1990年代以降に国際的な潮流となった政府統計に関する認識の大転換があり、この時期に起こったさまざまな社会経済の変化を反映して、統計には社会の情報基盤としての新たな役割が与えられるようになったことに注意が必要である。政策決定過程の透明性を向上させる要求が政府の活動評価に関する情報公開に結びつくと、評価指標としての統計が必要とされることは自然な結果である。詳細な分析は研究と深く結びついている。すなわち、統計に求められる内容が、単に高い精度の統計を作成することから利用者の要求を満たす統計に変貌した。このような状況のもとで、新たな研究課題を求める海外の研究者たちが、労働経済学を中心としてマイクロデータの分析に取り組み始めたのは自然な流れであった。

一方、日本におけるマイクロデータの提供に関しては、報告者の個別情報を保護するために、統計を作成する目的以外への利用を認めないという（旧）統計法の制約があり、政府としても一般的な利用を認めない時代が続いていた。その中で、松田芳郎教授（一橋大学）が、マイクロデータ分析の重要性を証明することを目的として組織した文部省科学研究費重点領域研究（後に特定領域と名称が変更された）の採択は大きな転回点であった。美添も領域研究の副代表として協力したこの研究は、6年間のべ150人以上の研究者を結集して、主要な統計のマイクロデータ分析を通じてその有効性を検証するものであった。成果として刊行した『講座マイクロデータ分析』[22, 23, 24, 25]はその記念碑である。

さらに重要なことは、この成果に基づいて、マイクロデータを研究目的で利用できるように統計法を改正するという動きに結び付けたことであり、松田教授

の真の目的はこの点にあった。2007年に改正された統計法によってマイクロデータの公開が実現し、研究の飛躍的な進展が期待されているが、その背後には先人たちの努力があったことを忘れてはならない。

マイクロデータと統計的秘匿管理 マイクロデータの提供は無条件になされるわけではない。研究が目的であっても、世帯や個人の情報が漏洩することがあってはならず、そのために、さまざまな秘匿措置が講じられる。

世帯に関する統計に限らず、事業所の統計でも地域や業種を限定する詳細な統計表が提供されるようになると、個別対象が特定化される危険性が発生する。そのために、世帯や事業所に関する情報を秘匿する処理は従来から集計表の公開に際しても必要とされていた。古典的には集計表の一部の結果を表示しない(X表示)という手段がある。しかし、このような集計表では詳細な情報を求める利用者の要望は十分に満足されない。そこで、次の形態として求められるのがマイクロデータの提供であった。なお、2007年の統計法では注文に応じて再集計を行う「オーダーメイド集計」も導入された。これらの形態による提供方法は、さらに2018年に改正された統計法によって確立されている。

ところで、マイクロデータの提供やオーダーメイド集計の実施を可能にするためには、個別情報を秘匿しながら役に立つ情報の提供を可能にするという技術的な問題がある。マイクロデータ公開の際に秘匿すべき対象は特定の集団であり、通常は有限母集団を考えるが、理論的には現実の母集団を発生する「超母集団」を想定することもある。標本の中に含まれる世帯が標準的な性格のものであれば危険は少ないようでも、それに地域情報が付加されると、必ずしも安全とは言えなくなる。たとえば夫婦と子供2人の世帯で、父親が40歳の営業職会社員、母親が38歳のパートタイム勤務、長男が中学生、長女が小学生という世帯は珍しいとは言えないが、そこに、居住地が人口4万人の自治体であるという情報が加わると、世帯が特定される確率はかなり高くなる。特に、悪意を持ったデータの攻撃者が、ある世帯が調査の対象に含まれたことを知っている場合は危険である。年齢などの世帯を特定するために利用される情報それ

自体は危険ではない。しかし、マイクロデータに収録される情報には、世帯主の学歴、収入、資産・負債、世帯員の健康状態など、秘匿すべき情報が含まれている。したがって、このような世帯を含むマイクロデータを部外者に提供するためには適切な秘匿措置が必要となる。

統計的開示管理（Statistical Disclosure Control）とは、統計データを公開した場合に、重要な情報が漏洩しないように管理する手法を指す用語であり、各国で研究が進められている。日本でこのような秘匿技術に関する先駆的な研究が始まったのは、松田科研における渋谷政昭、竹村彰通、加納悟などの研究班の活動を通じてであり、初期の研究成果は〔22〕に収録されている。

現時点で、学術研究の発展や高等教育の発展に資することを目的として総務省統計局が提供している「匿名データ」は比較的容易に利用できるものであるが、それらは調査を通じて得られた情報を個体が識別されないような匿名化処理を行った上で提供されている。ただし、現時点における匿名化は非常に厳しい制約となっており、調査対象世帯の一部（再標本抽出）について、（多人数世帯、年齢の離れた夫婦など）出現頻度の低い世帯を削除し、さらに量的変数に関しては粗い階級値に縮約するなどの措置を講じている。そのため、このままでは詳細な分析には使えないという研究者からの指摘がある。総務省に設置された匿名データ有識者会議〔9〕などの委員会に、美添は発足時から参加しているが、このような指摘を踏まえて有効な対策を提案している。

総務省統計局のウェブサイト「匿名データの作成・提供及びオーダーメイド集計」を読むと、「国勢調査においては、地域情報は強力な識別情報となり得ることから、都道府県内において一部情報を他の地域の類似情報と入れ替えるスワッピングを行っています。」という記述がある。技術的な詳細には立ち入ることはできないが、ここに重要なヒントがある。極めて近い将来、研究者からの高度な分析への需要に応じて十分詳細な情報を収録しながら、同時に識別情報を秘匿して安全性を高めたマイクロデータを提供できるようになる、と筆者（美添）は確信して、それなりの準備を進めている。これが統計的開示管理技術のひとつの成果である。いずれにせよ、マイクロデータ等、公的統計の利用者

は、秘密保護手法の必要性と妥当性を正しく認識したうえで、分析を実施すべきである。

マイクロデータ分析の特徴 統計分析では相関関係と因果関係を明確に意識することが必要であるが、最近の計量分析では、改めて、この視点が強調されることが多い。それは大いに歓迎すべきことで、貴重な統計データを適切に分析できる人材の育成は、政府全体としても積極的に取り組むべき課題である。

ところで、比較的最近出版されたマイクロデータ分析の計量経済学を解説した末石 [8] の目次は次のようになっている。

第1章線形回帰と OLS

第2章操作変数法

第3章プログラム評価

第4章行列表記と漸近理論

第5章直交条件と GMM

第6章制限従属変数とサンプルセレクション

第7章分位点回帰

第8章ブートストラップ

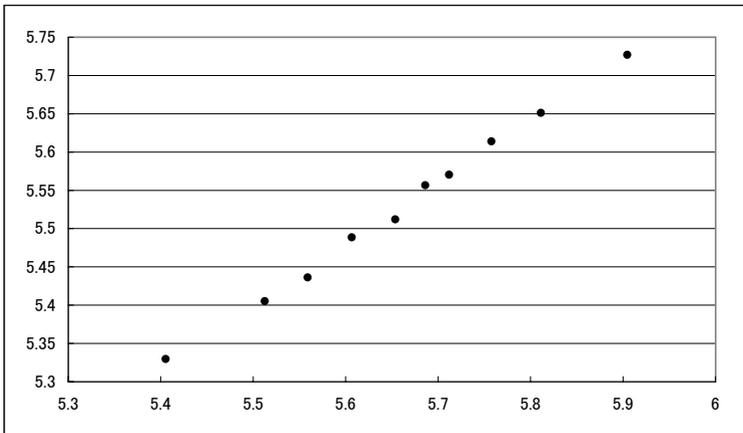
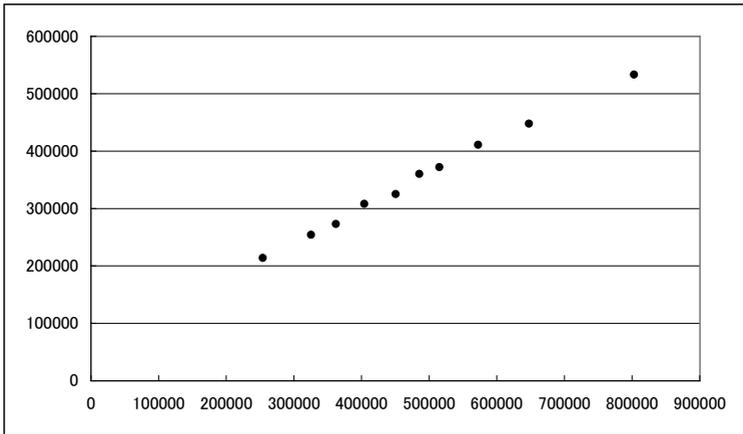
第9章ノンパラメトリック法

これらの手法を用いれば、ある程度のマイクロデータ分析が可能になると思われるが、その内容を習得することは容易ではない。筆者は、このような高度な手法を習得する以前に、基礎的なマイクロデータ分析の考え方を学習することが実際的だと考えている。以下、松田・美添・伴 [23] に沿ってマイクロデータ分析の特徴をいくつか紹介しよう。

まず、一般にデータのサイズが大きいと、地域や世帯属性、事業所の業種などを細かく分類してさまざまなクロス集計を行っても、それぞれのセルに多数の観測値が出現することが期待できる。したがって変数間の関係をあらかじめ線形に限って分析する必要はなく、非線形関係があってもそれを具体的に確認しながら分析を進めることが可能となる。また、集計量の分析とは大きく異

なり、関係の安定性、非線形性が明らかとなる。例として、収入と消費の関係を
見よう。家計調査で年間収入 10 分位による集計データで散布図を描くと、
図 2 のように原単位でも対数変換でも同じ程度の線形関係が見えるし、相関係
数で見てもほとんど変わらない結果となっている。どちらのモデルを利用して
も弾力性の評価に便利かどうかという程度の差しかない。

図 2 家計の可処分所得と消費の関係（10 分位データ）



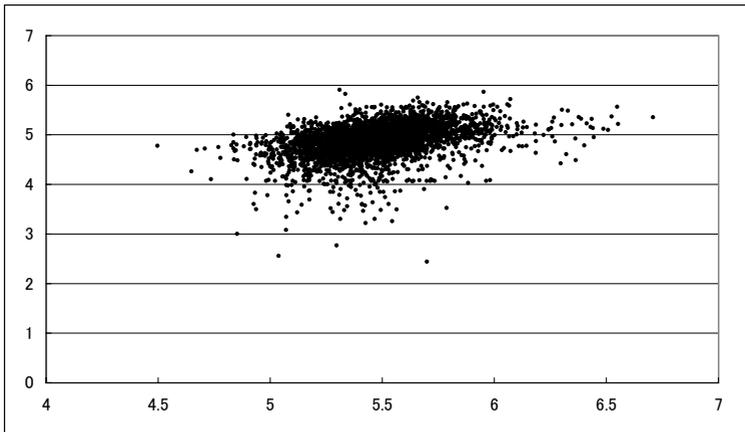
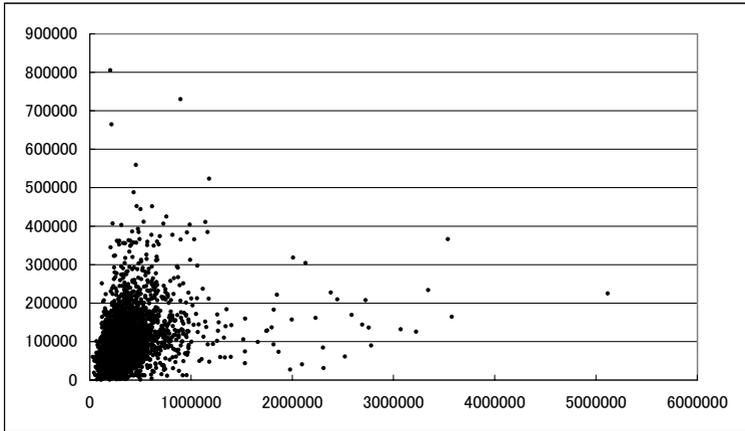
上段：原単位（単位：円）

相関係数 $r = 0.998339$

下段：常用対数

相関係数 $r = 0.998413$

図 3 家計調査による可処分所得と消費の関係 (マイクロデータ)



上段：原単位 (単位：円) 相関係数 $r = 0.332117$
 下段：常用対数 相関係数 $r = 0.402703$

ところが、同じ時期のマイクロデータで散布図を描くと、全く違う世界が見える。図 3 上段の原単位の散布図では、比較的小さな値の観測値が密集して関係が読みとりにくい一方で、右方や上方にいわゆる「外れ値」が少なからず現れている。このようなデータに対して無神経に線形回帰モデルをあてはめる人は多くないことを祈りたい。他方、対数変換した散布図では、教科書にある 2 変

量正規分布に近い結果が得られている。線形モデルを考えるにはこの程度の関係を確認することが必要であるが、マイクロデータを利用すれば、線形モデルと対数線形モデルのどちらが優れた定式化であるかを判断できる。

もうひとつの注意点として、外れ値が発生することは例外ではなく、ほとんど常に発生すると考えるべきである。そのために、仮に線形関係が適当であっても、通常の最小2乗法などの不安定な手法を用いることは危険であり、頑健な手法を利用する局面が多い。さらに、このような大量データで形式的な回帰分析を行うと、ほとんどのモデルにおいて回帰係数の t 値が有意になる一方で、モデルの関心事である係数の絶対値が $\hat{\beta} = 0.001$ などと小さくなり、実質的な意味としては仮説 $H_0: \beta = 0$ を棄却することは不適当なこともある。また、少数の極端な外れ値のために大きな決定係数を得ることや、逆に非線形性のために本質的な関係を見逃してしまうこともある。形式的な回帰分析適用の危険性は集計データの分析についても指摘されるべき問題であるが、マイクロデータ分析の場合に特に重要な問題である。

実際のマイクロデータ分析にあたっては、さらに上記の t 値に関する注意点を理論的に説明し、実際の統計データに基づいて例証した [29] も参考になるだろう。

新しい統計法には公的統計の二次利用が明記され、これまでよりも有用かつ安全な匿名化データの作成が計画されているが、最新の事例として、長い間、行政資料の提供に消極的だった国税庁が、研究目的に限定するとはいえ、2022年を目標として税務データの提供を開始する決断をしたことは高く評価したい。これは、国税庁が美添を座長とする非公開勉強会を通じてマイクロデータ分析における税務データの有用性を認識したことが契機となっているもので、マイクロデータを利用した今後の研究の発展を期待したい。

6 公的統計の品質

教育および研究に際して、いまでも公的機関が作成する統計は最も基本的なものであり、その品質が低下すれば、統計分析の有用性も大きく低下する。公

的統計の改善に関する最近の動向は美添 [28] に記述した。本節では、特に後藤および美添が作成および点検を経験した公的統計に即して、いくつかの論点を紹介する。

家計消費状況調査 総務省統計局が実施する家計調査を補完するものとして設計され、2001（平成13）年10月に開始したこの調査は、世帯を対象として、購入頻度が少ない高額商品・サービスの消費やICT関連消費の実態を把握するもので、調査結果は、個人消費動向の分析のための基礎資料であるとともに、景気動向を把握するためにも利用されている。

家計調査に関しては、現在でも多くの批判や要望があるが、2000年頃にもさまざまな批判があり、乗用車など高額な品目への消費が正確に捕らえられていないという批判もあった。このような批判に対して、2000（平成12）年2月の月例経済報告で小渕総理大臣が消費や投資の実態の早期かつ的確な把握につき改善を図るようにと指示したことを受けて、4月に経済企画庁と総務庁の共同研究会として「個人消費動向把握手法改善のための研究会」が発足した。この研究会では、座長を竹内啓東京大学教授（当時）として、美添他が委員となり、堺屋経済企画庁長官がほぼ毎回出席する形で、積極的な検討が行われた。

その議論を引き継いで総務省に設置され、美添が委員となった「個人消費動向把握手法改善のための研究会」が同年8月にとりまとめた中間報告に基づき、統計審議会の検討を経て導入された家計消費状況調査の設計では、毎月、約30,000世帯を調査する必要があるが、地方自治体を經由する調査では十分な調査員が確保できないことは明らかであった。幸い、全国規模で信頼できる調査を実施できる民間調査機関の存在が確認できたため、統計局が実施する調査としては、初めて民間の組織を利用するものとなった。

この調査を導入してからは、乗用車を含む冠婚葬祭などの高額な支出を補足するだけでなく、情報機器なども明示的に把握するようになり、消費の実態を反映する統計となっている。

不適切な調査の事例 家計消費状況調査は入札を経て委託されたが、委託された調査機関は、2005（平成17）年に調査員による不祥事のために、この調査を返上した時期があった。問題の発端は、その調査機関が担当していた日本銀行の調査で標本とされていない世帯が発見され、回答を得られない標本の世帯に代替する際、事前の許可を得なかった点が契約違反とされたものである。家計消費状況調査についても同じ調査員による同様な問題が発見されたため、別な調査機関に委託することになった。

問題の具体的な内容については、最近になって、厚生労働省の統計不正問題をきっかけとして日本統計学会が「公的統計に関する臨時委員会」を設置して報告書〔17〕を取りまとめた際に、各方面から徹底的に情報を収集した結果、詳細を知ることができた。その内容は、日本銀行および統計局の調査に関して、一部の調査員に不適切な調査があったものの、調査機関としては該当する調査員を処分する一方、信頼できる調査結果を利用した再集計を実施したのであり、他の調査機関と比較しても信頼できる対応であった。それにも関わらず、日本マーケットリサーチ協会においては当該の調査機関が処分されるという不可解な処置がなされたが、これは大きな不手際であった。

最近では、大きな事件がいくつか発生した。ひとつは、公的統計などのデータ入力を受注していた企業が、2018年に日本年金機構から500万人分の入力業務を請け負い、契約に反して中国の業者に個人情報入力を再委託して、高い割合で入力の誤りを発生させた例である。幸い、統計に関しては、総務省は同社の入力情報について検査を行って、品質が劣るものは再作業をさせていたため、集計結果には大きな影響は発生しなかった。

もうひとつ、あるテレビ局と新聞が毎月実施してきた世論調査において、20年6月に調査データの不正入力が発覚した。この例では、2社が世論調査を委託していたA社が正式な手続きを経ずに、調査の半分をB社に再委託し、コールセンターの責任者が電話をかけたと偽って、事実とは異なる調査データを入力していた。不正の発覚を避けるために、A社はB社に虚偽の架電リストを提出するなどの工作もしていたなど、かなり悪質な事例である。この件に

関して日本マーケットリサーチ協会がA社を処分したという記述は見当たらないが、改めて、民間調査機関への調査委託には慎重な姿勢が必要であることがわかる。

国の行政組織による不適切な事例は多くない。例外のひとつは2016年12月に発覚した経済産業省所管の繊維流通統計調査で、過去のデータを長期間そのまま使用し、これらの数値の一部について6年かけてゼロにする処理が行われた問題である。その後、この調査は不要として廃止されている。この問題を受けた総務省政策統括官（統計基準担当）室は2017年4月に「統計法遵守に係る各府省等所管の統計調査等一斉点検の結果について」という資料を取りまとめ、繊維流通統計調査のように公的統計の信頼を損なう例はなかったことを報告した。

もうひとつは2018年に問題が指摘された厚生労働省の複数の調査であるが、これについては日本統計学会報告書[17]に詳細を記しているので省略する。なお、この問題を反省した厚生労働省は、美添がオブザーバーとして参加する形で統計改革検討会[4]を発足させ、統計改革ビジョン2019を作成した後も、毎年進捗状況等を報告している。

経済センサス 後藤が実際に担当した調査のひとつである経済センサスは、従来の事業所・企業統計調査を発展させて、2009（平成21）年から統合したもので、事業所および企業の経済活動の状態および、包括的な産業構造を明らかにするとともに、事業所・企業を対象とする各種統計調査の実施のための母集団情報を整備するものである。基本的構造を捉える「経済センサス－基礎調査」と経済活動の状況を明らかにする「経済センサス－活動調査」のふたつからなるこの調査から作成される経済構造統計は、国勢統計、国民経済計算に準じて統計法に基づいた基幹統計に位置付けられている。

調査系統としては「経済センサス－基礎調査」は総務省が担当し、「経済センサス－活動調査」は総務省と経済産業省が共同で実施している。そのうちの経済産業省が担当する直轄調査では、民間事業者に委託して企業の本社宛に傘

下の事業所分を含めた調査票を郵送により配布し、郵送またはインターネットで調査票を回収するという方法を採用していて、実際、民間調査機関の立場から、後藤は「平成 28 年経済センサス-活動調査」に従事した。その際、報告者負担軽減、回収率の向上、データ精度の向上、作業の効率化・迅速化、費用低減、確実な実施を約束する計画と体制、堅固なセキュリティ管理体制の構築、および各工程における品質管理の観点を十分考慮して実施した。

セキュリティ管理体制の構築・運営にあたっては、契約締結から 2017（平成 29）年 3 月末までの期間、経済産業省の担当者と密接な連絡を取りながら、万全を期した。たとえば事業所・企業に係る情報を扱う電磁的記録の持出しは禁止し、事業完了後、中間ファイル等はすべて完全に消去された。統計法が定める守秘義務を遵守するため、回答状況や詳細はここには記述できないものの、この調査の信頼性は高いと判断してよい。

特定サービス産業実態調査 これは、後藤が実際に担当したもうひとつの調査である。統計局は 1998（平成元）年に「サービス業基本調査」を開始したが、それ以前の時期からサービス業の重要性を認識していた通商産業省では、所管の産業を対象として 1973（昭和 48）年に「特定サービス産業実態調査」を開始した。1979（昭和 54）年からは調査対象業種を拡大して名称を「通商産業省特定サービス産業実態調査」と変更し、その後、「経済産業省特定サービス産業実態調査」、「特定サービス産業実態調査」（略称は特サビ）と変わってきた。なお、2019（令和元）年に、特定サービス産業実態調査は新たに創設された「経済構造実態調査」に統合・再編された。

特サビの調査対象は事業所（一部業種は企業）であり、2008（平成 20 年）調査までは全数調査、その後は標本調査としている。調査は郵送調査方式と一括調査方式があるが、いずれも民間事業者が調査対象事業所（一部業種は企業）または、経済産業大臣が指定する一括調査対象企業に対して調査票等の関係用品を郵送し、回収は郵送とオンラインを併用している。

標本は、経済センサス-活動調査によって把握された事業所を母集団とし

て、業種別、事業従事者規模別、都道府県別に層化し、経済産業省が無作為に抽出している。ただし、いくつかの業種については、母集団が小規模なため全数調査としている。美添は特定サービス産業実態調査と統計局のサービス業基本調査とを総合的に分析し、調査方法の改善に協力した経験がある [27]。一方、後藤は競争入札を経て、民間調査機関の立場から「平成 27 年特定サービス産業実態調査」の実査を担当した。その内容は、調査票の印刷・配布、問い合わせ対応、督促・回収・審査・疑義照会、集計等の調査業務全体にわたる。改善すべき提案はあるが、守秘義務のため、記述を控えたい。

7 バイズ統計の手法に関する補足

消費者行動の分析として、後藤・後藤・美添 [6] は可変回帰係数モデルを用いて、バイズの方法を適用した。その際、基本的な考え方としてデータの構造を検討したうえでモデルを選択した。

ここでは t 年の第 i 分位階級 ($i = 1, \dots, 10$) について、説明変数 x_{it} を可処分所得とし、従属変数 y_{it} を消費支出とする消費関数について、定数項 α と回帰係数 β が時間 t とともに次第に変化する表現として、バイズの手法による可変係数の回帰モデルを次のように定式化した。

$$y_{it} = \alpha_t + \beta_t x_{it} + u_{it}, \quad \alpha_{t+1} = \alpha_t + \epsilon_{t+1}^\alpha, \quad \beta_{t+1} = \beta_t + \epsilon_{t+1}^\beta \quad (7.1)$$

$$\epsilon_t^\alpha \sim N(0, k_\alpha^2 \sigma^2), \quad \epsilon_t^\beta \sim N(0, k_\beta^2 \sigma^2), \quad (i.i.d.) \quad (k_\alpha > 0, k_\beta > 0) \quad (7.2)$$

このモデルの事前分布は、 α_t, β_t の 1 階の階差 $\Delta\alpha_t = \alpha_{t+1} - \alpha_t, \Delta\beta_t = \beta_{t+1} - \beta_t$ がゼロに近いことを表現している点が特長であり、具体的には、それぞれが独立に平均ゼロの正規分布に従うことを想定している。

階差がゼロに近いという制約条件の強さは、それぞれ k_α, k_β が表わしており、たとえば $k_\beta \rightarrow 0$ なら β_t は t によらず一定である。一方、 $k_\beta \rightarrow \infty$ なら β_t には何の制約もなく、上記のモデルでは β_t の事後分布の期待値は各年次のデータを用いた最尤推定値（最小二乗推定値）に一致する。

時間とともに緩やかに変化する可変係数をこのように表現する方法は、

Shiller (1973) が分布ラグの推定で導入して成功を取めた後、次第にその適用範囲を広げていて、1 階の階差に限らず 2 階の階差 $\Delta^2\beta_i = \beta_{i+2} - 2\beta_{i+1} + \beta_i$ がゼロに近いという表現も可能である。

美添が依拠する正統派のベイズ統計では β に関する制約条件は事前情報だから超母数 k も含めて主観的な判断として与えられる。[6] では k を固定して条件付き事前分布 $p(\beta, \sigma | k)$ を用いたベイズの手法を適用したが、超母数 k に関する事前分布を想定して、事後分布を用いて推論を行うという提案もある。

ところで、最近の流行では、モデル選択の一種である変数選択を自動化する傾向にある。そこで利用されるのが、Tibshirani [40] 以降、さまざまな変種が提案されている Bayesian lasso (least absolute shrinkage and selection operator) であり、上記の例でいえば、母数 α, β が滑らかに変化してそれらの差が小さくなるだけではなく、いくつかの推定値が厳密にゼロになるという性質を持つ。基本的な考え方として、このような手法を無条件に適用することには不安があるものの、場合によっては有効である。

$y_i = \beta_0 + x'_i\beta + \epsilon_i$ ($i = 1, \dots, n$) をモデル式とする Ridge 回帰のような単純な例で、定数項 β_0 以外の回帰係数 $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_p)$ がゼロに近いという情報を導入する場合は、事前分布を正規分布とすると、対数事後密度関数が

$$\sum_i (y_i - \beta_0 - x'_i\beta)^2 - \lambda \left(\sum_j \beta_j^2 \right)$$

という形になるのに対して、各 β_j の事前分布として Laplace 分布 (両側指数分布) $p(\beta_j) = (\lambda/2)e^{-\lambda|\beta_j|}$ を採用すると、対数事後密度関数は

$$\sum_i (y_i - \beta_0 - x'_i\beta)^2 - \lambda \sum_j |\beta_j|$$

に類似した形になる。これが、推定を安定化させると同時に、変数を選択する効果を生じる。

以上が Bayesian lasso の考え方であるが、[6] のように回帰係数の階差 $\Delta\beta_i = \beta_{i+1} - \beta_i$ がゼロに近いことを Laplace 分布で表現する方法は連結 lasso と呼ばれることがある。ここで誤差項の分散 σ^2 を含めて事後分散を計算する手段であ

る MCMC (Markov chain Monte-Carlo) を用いるためには、確率分布を発生させる必要がある。

複雑な事前分布を利用した推定で MCMC が適用可能となる便利な表現が、Andrews and Mallows [33] によって与えられている。具体的には、 Z を標準正規分布、 $V > 0$ を Z と独立な確率変数とすると、ある確率変数 X が Z/V として生成されるための必要十分条件を与えたものである。Laplace 分布の場合は、正規分布とガンマ分布の混合分布として表現されるから乱数の発生は容易になる。

複雑な事前分布を用いた例として、書川他 [1] では、Laplace 分布よりさらに原点に集中する性質を持つ馬蹄事前分布 (Horseshoe prior) と呼ばれる分布に対して、回帰係数の差を過剰に 0 に縮小する可能性があることを指摘し、従来の手法をさらに改善することを試みている。

Laplace 変換に関する補論 ここでは Andrews and Mallows [33] の一部の内容を解説し、そこで利用されている不定積分を明示的に導出する。 Z を標準正規分布にしたがう確率変数とし、 $V > 0$ を Z と独立な確率変数、 V の分布関数を G_v とする。このとき $X = Z/V$ の密度関数は

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty v \exp\left\{-\frac{v^2 x^2}{2}\right\} dG_v(v) \quad (7.3)$$

となる。また $E(V)$ が有限なら $f_X(0)$ が存在する。ここで、次の補題がなりたつ。

補題 $h(y) = f_X(\sqrt{y})$ とすると、これは次の H の Laplace 変換である。

$$H(t) = \int_0^t \sqrt{\frac{\pi}{u}} dG_v(\sqrt{2u})$$

この補題では H の Laplace 変換という表現に注意が必要である。古典的な意味では関数 $\phi(t)$ の Laplace 変換は Lebesgue 積分によって

$$f(s) = \int_0^\infty e^{-st} \phi(t) dt$$

と表される。一方で類似の性質を持つ Dirichlet 級数は

$$f(s) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-\lambda_n s}$$

と表されるが、これらをまとめて表現すれば、次の Stieltjes 積分となる。

$$f(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} d\alpha(t)$$

$\alpha(t)$ が絶対連続関数であれば、その導関数を $\alpha'(t)$ とすると、最後の $f(s)$ は古典的な意味では $\alpha'(t)$ の Laplace 変換であるが、[33] では、この Stieltjes 積分の形を「 $\alpha(t)$ の Laplace 変換」と呼んでいるので、古典的な定義だと考えると意味不明となる（実際、筆者も意味を理解するまで混乱した）。なお、Widder [41] にも Stieltjes 積分の表記はあるが、それを $\alpha(t)$ の Laplace 変換とは呼んでいない。

この点さえ理解すれば、 $G'_v = g_v$ と微分可能なときは、補題の $H(t)$ について

$$H'(t) = \sqrt{\frac{\pi}{t}} g_v(\sqrt{2t})$$

となり、ここで $v = \sqrt{2u}$ ($u = v^2/2$, $du = v dv$) とおけば

$$f_X(\sqrt{y}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-uy} g_v(\sqrt{2u}) du$$

だから、 $f_X(\sqrt{y})$ は ($H(t)$ の Laplace 変換ではなく) $H'(t)$ の Laplace 変換であり、補題の結論は容易に導かれる。

つづいて [33] は、

$$\int_0^{\infty} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(a^2 u^2 + \frac{b^2}{u^2}\right)\right\} du = \sqrt{\frac{\pi}{2a^2}} \quad (7.4)$$

という公式を用いれば、一般に関数 G の Laplace 変換は次の式で与えられると記している。

$$\int_0^{\infty} e^{-vt} dG(v) = 2 \int_0^{\infty} f_X(x) \exp\left\{-\frac{t^2}{2x^2}\right\} dx \quad (7.5)$$

この後に (7.5) 式を利用した必要十分条件の導出と例示が続き、それが MCMC

の広範な利用の基礎となっているが、その部分の理解には特段の困難はない。しかし美添は (7.4) 式はすぐには確認できず、川野秀一教授（電気通信大学）から教示を受けた。その導出過程が面白いため、若干の一般化を試みた。(7.4) 式は、次の命題の特別な場合である。

命題 $\phi(-x) = \phi(x)$, $a, b > 0$ のとき

$$\int_0^{\infty} \phi(ax - b/x) dx = \frac{1}{a} \int_0^{\infty} \phi(t) dt$$

証明 上辺の左辺を J とする。 $ax = b/y$ と変換すると $b/x = ay$, $dx/dy = -b/ay^2$ だから

$$J = \int_0^{\infty} \frac{b}{ay^2} \phi(b/y - ay) dy = \int_0^{\infty} \frac{b}{ay^2} \phi(ay - b/y) dy$$

となり、したがって

$$\begin{aligned} 2J &= \int_0^{\infty} \phi(ax - b/x) dx + \int_0^{\infty} \frac{b}{ax^2} \phi(ax - b/x) dx \\ &= \frac{1}{a} \int_0^{\infty} \left\{ a + \frac{b}{x^2} \right\} \phi(ax - b/x) dx \end{aligned}$$

となる。ここで $t = ax - b/x$ とおくと $dt = (a + b/x^2) dx$ であり、 $x \rightarrow 0$ のとき $t \rightarrow -\infty$, $x \rightarrow \infty$ のとき $t \rightarrow \infty$ だから

$$2J = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) dt = \frac{2}{a} \int_0^{\infty} \phi(t) dt$$

が得られる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18H00837 の助成を受けた。

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP18H00837.

参考文献

- [1] 書川侑子・嶋村海人・川野秀一「馬蹄事前分布に基づくベイジアン連結 lasso モデリング」2021 年度統計関連学会報告, オンライン, 2021 年 9 月
- [2] 加納悟・浅子和美『入門 経済のための統計学』日本評論社, 1998

- [3] A. ケトレー (平貞蔵・川村喬訳) 『人間に就いて (上・下)』 岩波書店, 1939
- [4] 厚生労働省「統計改革検討会」
https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/other-toukei_127023_00015.html
- [5] 国立教育政策研究所「OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA)」
<https://www.nier.go.jp/kokusai/pisa>
- [6] 後藤智弘・後藤文廣・美添泰人「可変回帰係数モデルを用いた消費者行動の分析」『青山経済論集』第 63 巻第 3 号, pp. 45–74, 2011
- [7] 後藤智弘・美添泰人「2011 年統計検定の試験結果概要と受験者の傾向」第 8 回統計教育の方法論ワークショップ (於一橋大学) 2012 年 3 月 2 日,
<https://estat.sci.kagoshima-u.ac.jp/SESJSS/edu2011.html>
- [8] 末石直也『計量経済学マイクロデータ分析へのいざない』日本評論社, 2015
- [9] 総務省統計研究研修所 匿名データ有識者会議
<https://www.stat.go.jp/training/meetings/anonymization>
- [10] 竹村彰通「統計検定の新しい動き」『統計』2020 年 3 月号, 日本統計協会, 2020
- [11] 統計関連学会連合「統計学分野の教育課程編成上の参照基準」(初版) 2010 年 8 月, <http://www.jfssa.jp/statedu/shitsu.html>
- [12] 統計関連学会連合 <http://www.jfssa.jp>
- [13] 統計関連学会連合統計教育推進委員会 <http://www.jfssa.jp/statedu>
- [14] 統計検定 <https://www.toukei-kentei.jp/>
- [15] 内閣官房 統計改革推進室報告書『統計行政の新生に向けて～将来にわたって高い品質の統計を提供するために～』(令和元年 12 月 24 日), 2019
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/toukeikaikaku/pdf/20191224_shinsei_honbun.pdf
- [16] 内閣府政策統括官「AI 戦略 2019 概要」
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/tizai/brand/attach/pdf/ai-15.pdf>
- [17] 日本統計学会「公的統計に関する臨時委員会報告書」第一部 2019 年 6 月, 第二部 2019 年 7 月, https://www.jss.gr.jp/act/committee_report/
- [18] 日本統計学会 (翻訳) 『統計科学百科事典 (全 5 巻)』丸善出版, 2018
- [19] 日本統計学会統計教育委員会 <http://stat.sci.kagoshima-u.ac.jp/~cse>
- [20] 日本統計研究所『日本統計制度再建史—統計委員会史稿記述篇—』(行政管理庁統計基準局委託研究), 1952
- [21] ニュートン「標準偏差と正規分布 (2)」2013 年 12 月号, ニュートンプレス, 2013
- [22] 松田芳郎・濱砂敬郎・森博美『統計調査制度とマイクロ統計の開示』, 講座マイクロ統計分析第 1 巻, 日本評論社, 2000
- [23] 松田芳郎・美添泰人・伴金美『マイクロ統計の集計解析と技法』, 講座マイクロ統計分析第 2 巻, 日本評論社, 2000
- [24] 松田芳郎・垂水共之・近藤健文『地域社会経済の構造技法』, 講座マイクロ統計分析第 3 巻, 日本評論社, 2000
- [25] 松田芳郎・清水雅彦・舟岡史雄『企業行動の変容』, 講座マイクロ統計分析第 4 巻, 日本評論社, 2003
- [26] L. ムロディナウ (田中三彦訳) 『たまたま 日常に潜む偶然を科学する』ダイヤモンド社, 2009
- [27] 美添泰人「複数の標本調査の同時実施について」『青山経済論集』第 49 巻第 4

- 号, pp. 33–65, 1997
- [28] 美添泰人「公的統計の課題と改革」『統計と日本社会：ビッグデータ時代の展開』所収, 国友直人・山本拓編, 東京大学出版会, 2018
- [29] 美添泰人「日本における公的統計の現状と課題」『青山経済論集』第73巻第3号, pp. 49–88, 2021
- [30] 美添泰人・川名部友乃「マイクロデータの統計解析における問題点—全国消費実態調査と貯蓄行動の分析—」『社会科学研究』第53巻第5号（経済統計特集号）, 東京大学社会科学研究所, pp. 33–66, 2002
- [31] 美添泰人・後藤智弘「2011年統計検定の試験結果概要と受験者の傾向」『エストレーラ』2012年6月号（特集2011年統計検定の結果と分析）, pp. 2–5, 統計情報研究開発センター, 2012
- [32] 美添泰人・後藤智弘「統計検定と国際資格（RSS/JSS試験）の結果について」『エストレーラ』2013年3月号（特集2012年統計検定の結果と分析）, pp. 17–22, 統計情報研究開発センター, 2013
- [33] C.R. ラオ（藤越康祝・柳井晴夫・田栗正章訳）「統計学とは何か—偶然を生かす—」, 丸善, 1993（改訂版はちくま学芸文庫, 2010, 美添による書評が「東京大学社会科学研究所」2012年に収録されている。）
- [34] Andrews, D. F. and C. L. Mallows, “Scale Mixtures of Normal Distributions,” *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, vol. 36, no. 1, pp. 99–102, 1974
- [35] College Board, <http://www.collegeboard.org>
- [36] Drew Conway Data Consulting データサイエンスのベン図
<http://drewconway.com/zia/2013/3/26/the-data-science-venn-diagram>
- [37] Hansen, M. H., W. N. Hurwitz, and W. G. Madow *Sample Survey Methods and Theory*, Volume I Methods and Applications, Volume II Theory, Wiley, 1953, (Wiley Classics Library, 1993)
- [38] The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, “Data Science for Undergraduates Opportunities and Options,”
<https://www.nap.edu/catalog/25104/data-science-for-undergraduatesopportunities-and-options>
- [39] Royal Statistical Society, <https://rss.org.uk/>
- [40] *Significance*, March 2011, Royal Statistical Society, 2011
- [41] Tibshirani, R., “Regression Shrinkage and Selection via the Lasso,” *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, vol. 58, no. 1, pp. 267–288, 1996
- [42] Widder, D.V., *The Laplace Transform*, Princeton U.P., 1941 (Dover edition, (2010))