

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

藤井良宜*, 添田佳伸*

Setting goals for students and an approach for achieving the goals in statistical education

Yoshinori Fujii* and Yoshinobu Soeda*

高度情報化社会の中での統計教育に関する関心の高まりや情報機器やソフトウェアの充実によって、統計教育の目標や内容が大きく変わろうとしている。世界的な統計教育改革の中で強調されているのは、統計的思考力の育成であり、そのベースとして統計的リテラシーや統計的推理力の育成も重要視されている。本論文では、先駆的に改革に取り組んできた米国での統計教育改革の動きを特に取り上げ、それを参考にしながら、日本の大学における統計入門コースの到達目標について議論する。また、統計的推理力を育成する際に生じる問題点とそれを解決するための方策について、これまでの数学教育の研究成果も取り入れながら議論する。

The purpose and contents of statistical education have changed because of the increasing interest in the statistical education and the related technologies and software in the advanced information oriented society. In the movement of world wide improvement of statistical education, it is emphasized to foster the statistical thinking and also it is important to develop the statistical literacy and reasoning for the basis. We describe the recent world wide movements of statistical education, especially that in the United States, and discuss the goal of the introduction course in Japan. We also consider some difficulties to foster the statistical reasoning in the practical situations. Some approaches for overcoming the difficulties are presented and some issues to improve the instruction of statistical education are discussed.

1 はじめに

現在、コンピュータの発達やインターネットの普及によって、私たちの生活の中にはさまざまな情報が溢れている。高度情報化社会においては、氾濫する情報の海の中から、情報を取捨選択し、必要な情報をうまく取り出し活用する能力が重要視されてきている。統計はそのような能力の基礎として位置づけられ、統計教育に対する関心も高まっている。東京証券取引所第一部、第二部上場の企業を対象とした算数・数学のカリキュラムの調査（瀬沼, 2004）においても、特に企業が求めている数学内容として、「数と計算」や「論理的考え」とともに、「データに基づく予測」や「統計」の内容が上位に入ってきている。また、研究者や教師・保護者を対象に行われた調査（長崎, 2005）においても、「整数とその計算」、「グラフや表」、「データの傾向」の3項目だけが、さまざまな学校種や研究領域で分類した14グループすべてにおいて、80%以上の人が重要であると考えている、という結果が示されている。

一方、近年の情報機器やソフトウェアの充実、統計教育の内容や方法にさまざまな形で影

* 宮崎大学教育文化学部, 〒889-2192, 宮崎県宮崎市学園木花台西1-1

響を及ぼしている。コンピュータは身近なものとなり、誰もがコンピュータを利用できる環境が整ってきた。そのおかげで、データの電子化や集計作業は容易になってきている。統計ソフトウェアも充実してきており、統計解析を行う際に、複雑な計算式をしっかりと理解してプログラムを作成することは、必ずしも必要ではなくなっている。さらに、ユーザーインターフェイスのビジュアル化やソフトウェアの解説本の出版等によって、ソフトウェアの利用における壁は低くなってきており、これからの統計教育を考えた場合、コンピュータの利用が前提となることは間違いない。また、統計的手法についても大きな変化が見られる。実験データを中心とした統計的推測ばかりでなく、大量に蓄積されたデータを利用した探索的なデータ解析手法や乱数や数値積分などコンピュータを駆使した解析手法も数多く開発され、それらを適切に活用する能力も求められるようになってきている。

このような統計教育に対する期待の高まりと情報機器等の充実による環境の変化の中で、私たちはどのような統計教育を実施していけばよいのだろうか。本論文では、統計的な思考力の育成をめざした世界的な統計教育の改善の動きや、早くから危機感をもって統計教育の改善に取り組んでいるアメリカ合衆国（以下、米国と表す）の取り組みを紹介し、今後の統計教育の到達目標について考察する。さらに、今後の統計教育の課題として、統計的推理力の育成の難しさについて考察し、この難しさを克服するためのアプローチについても考えていくこととする。

もちろん、統計教育の到達目標を考える際には、対象者の設定が重要になってくる。統計の専門家を育成することを目標にするのであれば、数理的な基盤は不可欠であり、さまざまな統計手法やその背景にある理論をしっかりとマスターすることも必要であろう。また、統計以外の分野の専門教育においては、その分野独特のデータのタイプや統計手法があり、それらに合わせた統計教育の到達目標が設定されるべきであり、専門分野によってさまざまな違いが生じるであろう。本論文では、そのような専門家を育てる際に必要な統計教育ではなく、もっと一般的な社会人として必要とされる統計教育の到達目標に絞って述べていくことにする。

2 統計教育改善に向けた世界的な動き

統計教育における国際的な機関として、IASE (the International Association for Statistical Education) がある。IASE は ISI (International Statistical Institute) の 1 つのセクションであり、小学生から専門家に渡るあらゆるレベルでの統計教育の改善と世界的なレベルでの統計教育の意義の理解を進めることを目的とした機関である。IASE がスタートした 1949 年には、IASE は ISI が実施する国際的な統計家のトレーニングや発展途上国の政府統計の専門家を対象とした教育を実施するための委員会であった。その後、1970 年代半ばごろから、学校教育（高等学校までの教育）における統計教育にも注意が向けられるようになった。それは、ちょうど、この時期に欧米の先進国では学校教育での数学のカリキュラムの中に、統計と確率が位置づけられるようになり、統計教育を行う際に数学教師が直面する教育方法の課題に統計家に関心を示し始めたことが影響したものと考えられている。その後、IASE はテーマ別のプロジェクトチームを発足させ、雑誌「Teaching Statistics」の発刊や国際会議 ICOTS (the International Conference on Teaching Statistics) の開催などに取り組んだ。IASE は 1993 年に ISI の 1 つのセクションとして独立するが、その後も、活発な活動が続けられている。

テーマ別プロジェクトの成果として開催された ICOTS は、現在では IASE が開催する主要な国際会議となっている。第 1 回目の ICOTS-1 は、1982 年にイギリスのシェフィールドで開催された。その後も、4 年に一度のペースで行われ、2006 年 7 月にはブラジルのサルバドールで ICOTS-7 が開催された。この会議では、世界中の統計の教育者や研究者が統計教育のア

アイデアや経験を情報交換することや、統計教育分野の最新の研究成果を報告し、普及させることを目的として、さまざまな議論が行われている。しかし、残念ながらこれまでの ICOTS においては日本からの参加者はそれほど多くないのが現状である。

IASE や ICOTS などの世界的な取り組みの中で、統計的手法やその計算法を中心に行われてきた従来の統計教育では、統計的な思考力を持った学生が育たないのではないかと、もっと統計的なリテラシーや思考力を育成するような統計教育の方法が必要である、といった議論があがってきた。また、1998年にシンガポールで開催された ICOTS-5 においては、統計的思考力の育成を目指した議論の中で用いられる用語の捉え方が問題になった。そこでは、統計的なリテラシーと思考力に加えて、統計的な推理力という3つの用語が用いられていたが、この3つの用語の使い方が人によって異なっていたためである。これを契機にして、SRTL (Statistical Reasoning, Thinking and Literacy) に関するフォーラムが発足した。このフォーラムは、統計教育を専門とする研究者を中心とした小さなフォーラムで、1999年にイスラエルで第1回のフォーラム SRTL-1 が開催され、それ以後も、2年に一度のペースで開催されている。最初の2回のフォーラムでは、上に挙げた3つの用語の違いが集中的に議論され、3つの用語の内容が次のようにまとめられている (Ben-Zvi-Garfield, 2004)。

統計的リテラシー (Statistical literacy)

統計的な情報や統計的な研究の結果を理解する際に用いられる、基本的で重要なスキル。データの取り扱い方、表やグラフの作成などのいわゆるスキルだけでなく、基本的な用語や記号に関する知識、確率や分布といった基本的な概念の理解も含んでいる。

統計的推理力 (Statistical reasoning)

データのばらつきや偏りなどの統計的アイデアを用いて、統計情報を十分理解し、その意味を説明できること。生のデータを用いる場合だけでなく、統計的な指標に基づいて解釈できることも含んでいる。また、基本的な概念の間の関係を理解し、統計的なプロセスを説明できることや統計解析の結果を解釈できることも含んでいる。

統計的思考力 (Statistical thinking)

問題の概要をつかみ、それに基づいて自分自身で調査を計画し、データの収集から解析までの全体のプロセスを理解し、解決された問題の結果を批判的な視点から評価できること。

この3つの用語は、リテラシーをベースとして、その上に推理力、思考力が積み重なる構造を持っており、3つの用語の範囲を明確に分けることは難しい。特に、統計的推理力と統計的思考力にはオーバーラップする部分も多く、内容的な違いよりも、用いられる状況の違いによって区別する方が容易であるといわれている (delMas, 2004)。統計的推理力は、統計的な分析結果がどのように得られたのか、その結論がどのように導かれたのか、を説明できることであり、結果に対する分析力と考えることができる。これに対して、統計的思考力は、統計的知識や手法をどのように適用していくのかを知り、実際に、調査のデザインから統計解析、解析結果から結論をまとめることまでを自分自身でできることであり、実際の適用能力あるいは課題解決力と考えることができる。

統計的思考力には、統計的なプロセスを理解するだけでなく、実践的に活用する上で必要なさまざまな要素が含まれている。Wild-Pfannkuch (1999) は、統計的思考力の重要な要素を特定するために、過去の文献での統計的な思考力の記述と彼らが行った統計を専攻している学生や実践的な統計家へのインタビューの結果を用いて、統計的思考力の4次元の枠組みを提案している。この4次元の枠組みの中には、調査サイクルを計画する力や変動の取り扱い方ばかり

でなく、懐疑的で忍耐力がある、などの性格的な要素まで含まれている。

もちろん、統計教育の最終的な目標は、統計的思考力の育成であると考えられるが、統計的思考力にはあまりにもさまざまな要素が含まれるため、直接統計的思考力を評価の対象とすることは容易ではない。そのため、統計的思考力のベースとして、統計的リテラシーと統計的推理力をしっかり育成することが重要視されている。実際に、ICOTS-6 では、統計的リテラシーが主要な課題として取り上げられ議論されており、SRTL フォーラムにおいても第3回以降は、変動に関する推理力や分布に関する推理力など、フォーラムごとに変動や分布といった統計的なアイデアに関する推理力を主要なテーマとして設定し、議論が進められている。

このように、世界的には統計的な思考力の育成が統計教育の目標として設定され、その目標を達成するためのベースとして、統計的リテラシーや統計的推理力をどう育成していくのか、という点に焦点が当てられている。

3 米国における統計教育改善への取り組み

ここでは、米国の統計教育の改善への取り組みについて概説する。米国においては、早くから理数教育に対する問題意識があり、理数教育を推進していく上での方策が議論されている。米国が理数教育に危機感を持ったのは、1957年にソビエト連邦が世界初の人工衛星の打ち上げに成功したことによる、いわゆる「スプートニクショック」がきっかけとなっているといわれているが、1983年に出された政府報告書「危機に立つ国家 (A Nation at Risk)」の中で、米国の子供たちの数学や理科の学力が世界的に劣っていることが報告されて、大きな問題として取り上げられていることから、その危機感の強さが感じられる。

この問題を米国政府は重要視しており、1991年に出された大統領教書「2000年のアメリカ (AMERICA 2000: An Educational Strategy)」では、2000年までにやり遂げなければならない国家的教育目標6項目を挙げているが、その中のひとつとして「数学と理科の成績を2000年までに世界一にする」とうたっている。その後も「21世紀のための数学・理科教育国家委員会」を設け、2000年9月に「手遅れになる前に (Before it's too late)」という報告書を出し、数学教育と理科教育の改善のための方策を示すなどの取り組みを続けている。

一方、科学者を中心とする米国科学振興協会も、1985年に米国全体の科学的リテラシーの向上を支援する目的で、長期的で多段階にわたる活動を行うための「プロジェクト2061」を発足させた。このプロジェクトは、偶然にもハレー彗星が地球に接近した1985年に発足したため、次にハレー彗星が地球に接近する2061年をプロジェクトの名称に入れ、現在教育を受けている子供たちがハレー彗星に出会うまでに、子供たちにどういう教育を行っていくのかを考える長期的なプロジェクトとして位置づけている。現在、その活動の最初のステップとして、「子どもたちのための科学、数学、技術における学習目標を設定すること」に重点を置き、1989年に高等学校卒業までに科学、数学、技術に関して習得すべきことをまとめた「すべてのアメリカ人のための科学」(Rutherford-Ahlgren, 1991)を出版したのをスタートとして、カリキュラム、教授法、評価法の改善に向けた努力が行われている。

米国の理数教育改善の動きの中で、大学における統計教育の改善に関する報告書が1992年に出された。この報告書は、米国数学会が組織したカリキュラム改善の委員会内に設置された、統計教育に関する集中議論グループによるもので、グループメンバーで行われた電子メールでの議論の結果をまとめたものである。その議長のCobb教授の名前を用いて、Cobbレポート (Cobb, 1992)と呼ばれることもある。Cobbレポートでは、統計教育の改善の方向として、次の3つの推奨事項を取り上げている。

1. 統計的思考力を強調すること

2. データや概念を強調し、理論的な部分を中心に全体の内容を減らすこと
3. 活動的な学習を推進すること

1 では、社会生活の中でのデータの必要性やデータの収集方法、その中で生じる変動のさまざまな原因、変動を量的に評価し説明することの重要性などを授業の中に取り入れることを推奨している。また、統計的な概念は現実的なデータについて考えることによって学習することが望ましく、2 においては細かなメカニズムにこだわることなく、コンピュータを利用して、実際のデータの数値的な分析やグラフ表現を行うことを勧めている。さらに、確率や統計の基本的な概念を身につけることは教師が思っているよりも難しく、誤った理解がなされることが多いことを考慮して、焦点を絞って内容を厳選することを推奨している。3 においては、講義形式の授業だけでなく、グループ討議や実験、クラス内でのデータの収集などを実践すること求めている。

Cobb レポートの与えたインパクトは大きく、1998 年 8 月に行われた米国統計学会の会長挨拶 (Moore, 1998) をはじめとして、さまざまな文献で上の 3 つの推奨事項は引用され、さまざまな統計教育の改革が行われた。1998 年に行われた大学教員を対象とした統計入門コースに関する調査 (Garfield, 2000) をみると、約 60% の教員が学生に対して Minitab や SPSS などのソフトウェアを利用させており、それ以外にもグラフ計算機や表計算ソフトを利用している人もおり、情報機器の活用が進んでいることがわかる。また、授業形態についても、講義を中心とした従来の方法を用いている教員は 1/5 程度に過ぎず、グループプロジェクトや授業内でのグループ活動を取り入れている教員も多くいた。これらの改善を行った理由としては、多くの人がこれまでの教育方法に対する不満やコンピュータやソフトウェアの利用が可能になったことを挙げている。さらに、改善に取り組んだきっかけとしては、数学科の教員の 40% 以上が統計教育論文や口頭発表での改革へ向けた推奨事項を参考にしたことを挙げており、統計学科の教員の約 40% が同僚の影響を挙げている。このことから統計教育の改革の動きが実際の教育にまでだんだんと浸透していることがわかる。しかし、一方で、60% 以上の教員が授業の準備に費やす時間が多くなった、と答えており、授業に対する負担感が高まっている。また、学生の学習成果としては、ある程度の変化は現れているが、まだ十分ではなく、今後もワークショップ等の教員支援策が必要であるとまとめられている。

米国統計学会では、その後も統計教育の指針を出し、さらに 2003 年に統計教育での評価や教育方法のガイドラインを作成するために、GAISE (the Guidelines for Assessment and Instruction in Statistical Education) プロジェクトを発足させるなどの取り組みを続けている。この GAISE プロジェクトでは、高校生以下の教育を考えるグループと大学での統計入門コースを考えるグループに分かれて詳しく議論をし、2005 年にそれぞれ報告書を提出している。GAISE college report (2005) では、大学における統計入門コースの目標として、統計的リテラシーを持ち、統計的思考力を持った統計的に教育された学生を育成することを挙げ、学生が最終的に身に着けるべきこととして、次の 3 つを挙げている。

- 統計的な分析結果を、実際の調査や実験の状況に沿って解釈できること
- 統計情報を含んだニュースや論文を批判的に分析できること
- どのような場合に、統計の専門家に相談すればよいかを判断できること

この報告書では、統計的推理力という用語は用いられていないが、内容を見る限り、統計的推理力と思考力を分けずに、そのすべてを統計的思考力という言葉で表しているようである。さらに、統計教育を改善するための推奨事項として、Cobb レポートの 3 つの推奨事項をより具体化して、次のような 6 つの推奨事項としている。

- 1) 統計的なリテラシーを強調して、統計的思考力を育成せよ。

- 2) 実際のデータを利用せよ.
- 3) 単なる手法の知識ではなく, 概念的な理解を強調せよ.
- 4) 授業において, 活動的な学習を推進せよ.
- 5) 概念の育成やデータの解析においては, 情報機器を活用せよ.
- 6) 生徒の学習を改善するためや評価するためにさまざまな評価方法を活用せよ.

GAISE college report (2005) では, さらに, 推奨事項毎に教師に向けた提案が述べられている. たとえば, 2) に関しては, 実際のデータを利用して解決するような具体的な課題を用いるよう提案しているが, すべての学生が興味を持つような課題を用いることは難しいため, 1つの状況だけでなく, さまざまな状況のデータを活用することを勧めている. また, 生のデータを入力する経験を持たせることを提案しているが, 実際に学生に入力させるデータについては, 小規模のデータを用いるか, 大規模なデータの場合には, その一部のみを入力させるだけにとどめ, 全データはあらかじめ準備して配布するよう指摘し, データを入力する経験を持たせることが重要であると述べている. これらの提案は実際に教育を実践する教員にとっては非常によいアドバイスとなるであろう. さらに, レポートには付録がついており, そこには, 具体的な事例を挙げながら, 授業の改善の方向性について詳しく述べている.

4 日本における大学入門コースの目標

これまで, 海外の統計教育の改革について述べてきた. これを参考に, 日本における大学での統計入門コースについて考えていくことにする. その前に, 日本の学校教育での統計教育について見ていく必要がある. 日本の学校教育は文部科学省が作成する学習指導要領に基づいて行われている. 学習指導要領はおよそ10年の間隔で改訂されているが, 現行の学習指導要領では, 学校5日制を実現するために, それまでの学習指導要領に比べ各教科の内容や時数が大幅に削減された. この学習指導要領に基づいた教育を受けてきた学生が2006年から大学に入学することが, 大学においては大きな話題になった. この時の学習指導要領の改訂において, 残念ながら統計的な内容については大幅に削減され, たとえば, それまで小学校の6年生の算数で学習していた度数分布表の作成が, 大学に進学をして来る学生が受ける典型的なカリキュラムの中から姿を消している. また, 分散や相関係数についても高等学校「数学B」の「統計とコンピュータ」という単元で取り扱われてはいるが, 「数学B」は4つの内容の中から2つの内容を選択して履修する科目であるため, 「統計とコンピュータ」は履修していない学生が多いのが現状である.

このような現状は, 上に挙げた米国の統計教育の現状とは大きく異なっている. 米国では, 各学区でカリキュラムを作成することになっているため, 国全体での基準は持っていない. そのため, 数学については米国数学教師協会が作成しているカリキュラム編成の基準(以下, 「スタンダード」と呼ぶ)を参考にして数学のカリキュラムを作成している学区が多い. この「スタンダード」では, 数学の内容の1つとして, 「データ解析と確率」を設定し, 高等学校卒業までのこの分野の目標として, 次の3つを挙げている.

- 1) 疑問に思ったことを, データを用いて調べることができる問いとして定式化し, それらに答えるために, 関連するデータを収集し, 整理し, 表示することができる.
- 2) データを分析するために, 適切な統計的方法を選択し, 使うことができる.
- 3) データに基づく推測や予測を立て, 評価することができる.

さらに, この目標を達成するために, 幼稚園入学以前から高校卒業までの間を大きく4つに分けて, それぞれで行う内容を詳しく述べている. たとえば, 小学校3年から5年の間に, 調査の計画とデータの収集方法のデザインを行うことや, 実際にデータを集めて, 棒グラフや線

グラフなどを用いて表現すること、また、同じデータに対して異なる表現方法を行い、それらを比較して、どれがどのような側面を示すものなのかを評価することなどを求めている。次の中学2年生までの間では、母集団を意識して、母集団に対する推測を行う必要性などの意識づけを行っている。たとえば、具体的な例として「紙飛行機」という題材を取り上げ、紙飛行機がより遠くに飛ぶための条件を、実験を通して見つけ出すことで、バラツキやバラツキのあるデータから判断することを学習することを推奨している。もちろん、米国の場合、すべての学校が、この「スタンダード」に沿ったカリキュラムで教育が行われているわけではなく、各学校区においてカリキュラムが編成されているわけであるから、現実とは多少異なっていることも考えられる。しかし、統計的な内容を一市民として必要不可欠なものと位置づけ、それを重要視している点が日本との大きな違いである。

このような現実を考えると、高校生までに身につけている内容に大きな違いがあり、米国の統計入門コースの内容をそのまま日本に適用することは難しいであろう。それでは日本の統計入門コースの目標はどうすればよいのだろうか。大学の場合、大学間で大きな違いがあり、入門コースの内容を、特定の内容に限定することは難しいと思われるが、統計入門コースが多くの人にとって統計を学習する最後の機会であることを考えると、社会人として、あるいは、一市民として最低限必要なもの（たとえば、Utts, 2003 参照）を学生がここで身につけていくことが大切である。また、現在の社会からの要望を考えた場合、実践的な場面において統計を活用することが求められており、そのためには最終的な目標としては統計的な思考力の育成を考えることが必要であろう。しかし、現在の日本の現状を見る限り、時間的な制約もあるため、米国と同様なカリキュラムを実現することは難しい。そこで、多くの内容を詰め込むのではなく、内容的に限定的なものであっても、その中で統計的なリテラシーや統計的な推理力をしっかり育成していく必要がある。内容を厳選する際のひとつのヒントとして、Garfield-Ben-Zvi (2004) で挙げられている8つのビックアイデア（表1）が参考になる。

このビックアイデアは、統計学がもつ独特の概念であり、データの重要性やデータのばらつき、データの収集方法などが含まれている。もちろん、それぞれのアイデアの中には、比較的容易に理解できるものからある程度の準備を必要とするものまでさまざまな内容が含まれている。どの程度の内容まで教育するか、という点は学生の状況に合わせて選択する必要があるが、カリキュラムを構成する際のチェックポイントとして活用できるであろう。特に、日本の場合最もベースとなるデータの必要性やバラツキに対する対応が高等学校までの内容でほとんど扱われていないこともあり、この部分をしっかり取り扱うことが大事である。この8つのビックアイデアを参考にしながら、今後日本においても、統計入門コースの目標やその内容について活発に議論していき、日本の社会にあった教育方法を模索していく必要がある。

5 統計的推理力を育成するためのアプローチ

5.1 統計的推理力を育成する際の難しさ

統計的思考力を育成するには、そのベースとして統計的リテラシーや推理力を育成する必要がある。しかし、統計的推理力の育成においては、リテラシーの育成とは異なり、さまざまな難しさが生じる。delMas (2004) は、統計的推理力の難しさとして、抽象的な概念の理解の難しさ、論理的推論の難しさ、統計的状況がもたらす難しさ、の3つを挙げている。

統計的内容は具体的な事例をイメージしやすく、数学に比べると容易に概念を形成することができると思われるが、統計的な概念の中にもさまざまな抽象的な概念が含まれている。これまでも確率概念の把握の難しさや確率に対する誤った理解についてはいろいろ調べられている（たとえば、Tversky-Kahneman, 1982）が、その他にも母集団をイメージすることの難しさや

データ

データの必要性. データが現実世界の特性や価値をどう表しているのか. どのようにデータを収集するのか. 数値, 文字などのデータのタイプの違い

分布

量的データに対して, バラツキの形や中心, 広がりだけでなく, 隔たり, 集積性, 外れ値などのユニークな特徴を調べ, 描写する方法

トレンド

興味ある傾向やパターン. 1 標本での平均, 2 標本を比較する際の平均の差, 2 変量データでの回帰直線, 時系列データでの時間的なパターンなど

変動

データセットでの測定誤差などの信号 (signal) の周りの変動やノイズ. 成人男性の頭のサイズのような測定した場合の変動のように, データセットを描写し, 説明する場合の手助けとなる.

モデル

データを理解したり, 説明したり, データから予測をする場合に有用なアイデアである. モデルがデータとよく当てはまっていると, 有用である. モデルの例として, 正規曲線, 回帰直線, 成功確率 0.5 の二項確率変数などがある.

関連

2 つの変数の間のある種の関係である. ひとつの変数の情報が別の変数を理解したり, 説明したり, 値を予測するのに役に立つ. 関連には, 量的変数やカテゴリカル変数の間で観測される. 相関と因果関係を区別できることも含まれる.

標本とサンプリング

標本を収集する過程や標本と母集団との比較. サンプリングの過程は, 代表性を持つ標本を得るために重要である. 中心極限定理を示すために標本分布をシミュレートするような場合のように, 理論を生成するために標本が用いられる.

推測

標本に基づいて母集団について推定し, 結論を述べる方法である. Utts (2003) は, 効果がないことを見つけることと, 有意な効果がないことを見つけることの違いを知ることのように, 実用的な差と統計的な有意差の区別が出来ることも必要である.

表1 Garfield and Ben-Zvi (2004) の統計の8つのビックアイデア

モデルを用いた推理の難しさなども含まれる. 調査や実験を行う際には, 私たちは1つの結果としてデータを得る. これに対して, データのバラツキを考える場合には, その背景としての母集団をイメージする必要がある. しかし, この母集団は実際に観測されるわけではなく, 頭の中で抽象的なイメージを構成しなければならない. もちろん, コンピュータシミュレーションを通して, 擬似的に繰り返し測定を経験させることも考えられるが, それでもこの部分の抽象化に難しさを感じる学生も少なくない. たとえば, 標本平均はイメージできる学生が, 標本平均の分布や分布の平均になるとうまくイメージできず, 標本平均と母集団分布の平均とを混同する場合も多い. また, モデルを用いた推理についても, 現実のデータと背景にある確率モデルの違いを明確に区別できない学生がいることも, 確率モデルという概念を形成できていないことによるものと思われる.

2つ目の難しさは、論理的推論の難しさである。これは、統計的検定の講義をしたことのある人ならば必ず経験していると思われるが、統計的検定の論理を把握することは容易ではない。統計的検定では、「後件否定」という形式論理を用いている。「後件否定」は「 $P \Rightarrow Q$ 」という命題に基づいて、「 Q ではない」という結果を使って「 P でない」という結論を導く論理である。たとえば、2群の比較を考えた場合には、本来母集団として2群に違いがなければ実験結果にも大きな違いが生じないはずである。しかし、実際に実験結果には大きな違いが生じているため、2群の母集団についても違いがあるはずである、というように論理を進めることである。この「後件否定」の論理は、「 P である」ことを示して、「 Q である」ことを導く「前件肯定」の論理に比べて、一般に難しさを感じるといわれている。また、この論理は、統計的検定だけでなく信頼区間の構成においても用いられているため、信頼区間の理解においても同じような難しさが生じることになる。

最後の3つめの難しさは、統計的状況がもたらす難しさである。調査や実験を行う際には、その背景としての状況をしっかり把握する必要がある。状況の把握は、調査や実験のデザインや統計解析を行う際のモデルに影響を与える。調査結果を得て、モデルを仮定してしまえば、抽象化した世界で分析を行うことができるが、そこまでに至るまでにさまざまな難しさが生じることになる。また、解析結果を解釈する際にも、もう一度おかれている状況を頭の中に描いた上で、その状況に合わせた解釈をする必要がある。たとえば、統計的な検定の論理は理解できたとしても、その結果を状況に合わせて説明することに難しさを感じる学生は多い。その上、標本のバイアスなど実際のデータの状況と仮定したモデルの間のずれの話をする、混乱してしまう学生もいる。また、確率変数の独立性や2つの独立な確率変数の分布についても、理論的には理解していても、具体的な問題において、2つの独立な量の和の平均や分散を求めさせると、うまく利用できない学生もいる。このように、抽象化した世界で理解していることであっても、実際の状況にあわせて用いようとする場合には、そこに1つの壁が生じるようである。

5.2 数学教育的手法の援用

上で述べた統計的推理力を育成する上での3つの難しさのうち、抽象的な概念の理解の難しさについては、数学教育における課題と共通する部分も多い。そこで、抽象的な概念を理解する上で、数学教育で用いられている3つのアプローチについて紹介する。

(1) アナロジーに基づくアプローチ

アナロジーは、構造が類似している2つの集合において、一方の集合において成り立つルールが他方においても成り立つと判断することである。たとえば、縦が3 cm で横が4 cm の長方形の面積が 3×4 で求められることから、縦が2.5 cm 横が3.6 cm の長方形の面積も同じように 2.5×3.6 で求められると考えることである。縦、横の長さが整数のときに公式化されている長方形の求積公式を、縦と横の長さが小数や分数の場合に拡張する際には、その公式が小数や分数においても使えるかどうかは吟味する必要があるが、面積の性質を理解するうえでは有効なアプローチと考えられる。統計的な内容においても、連続的な分布の性質を把握する際に、離散的な分布の性質を把握した上で、そのアナロジーとして連続的な分布を見ることも考えられるであろう。

(2) メタファーに基づくアプローチ

メタファーとは、 x という対象を x と類似性を持った y を用いて表現することである。数学教育における代表的な例としては、「方程式は天秤のようなものである。」がしばしば挙げられる。方程式というのは左辺と右辺の値が等しいということで、丁度等号を支点として左右が釣り合っている状況と似ている。したがって、方程式を天秤に喩えて理解する場合などは、メタ

ファーに基づく推理の例であると言える。統計的内容においても、「平均をとるというのは、凹凸をならして更地にするようなものだ。」や「標本抽出は料理の味見をするようなものである」という表現もメタファーに基づく理解と考えることもできる。

ただ、メタファーというのはいろいろな性質の中である特定のものだけに視点を当てて取り上げているので、その点は注意しておくことが大切である。

(3) イメージに基づくアプローチ

抽象的な概念の理解や問題解決においてイメージを働かせることはよくある。長方形について考えるとき、我々はよく長方形の図をかくが、その場合我々の頭の中にある典型的な長方形をかく場合が多い。これまでの個人的な経験からすると、横長の長方形をかく人の方が縦長の長方形をかく人より多いという印象を持っている。座りの悪い斜めにかく人はまずいない。平行四辺形の図に至っては、ほとんど100%の人が右に傾いた横長の図をかく。これは、頭の中にある典型的な図がそうになっているからである。頭の中にあるこのような典型的な図のイメージを用いて問題解決などにおいて図をかくことになる。このように、抽象的な概念をある典型的なイメージを用いて把握し、それに基づいて推理を進めていくことも統計的な推理力を育成する上でひとつの手段となるであろう。統計的な検定を理解するうえでも、たとえば、データのバラツキを考える場合に、典型的な正規分布をイメージして、推理を進めていくことも考えられる。

学生が、抽象的な概念を形成していく際には、上に挙げたようなさまざまな方法を用いて支援していく必要がある。しかし、教師は支援をするだけで、概念そのものは学生自身が自らの力で獲得するものと考えられている。このような立場は構成主義と呼ばれている。統計的な推理力を育成するためには、構成主義の立場に立った研究が今後進められる必要があるであろう。

5.3 学生の認知過程の研究の必要性

統計的な推理力を育成していく上での難しさのうち、統計的な状況が持つ難しさについては、できるだけ現実的なデータを用いることによって、数値としてだけではなく現実的な状況を考えながら、学習を進めることが1つの解決方法として挙げられる。しかし、現実的な状況にはさまざまな要因が含まれるため、その中から必要な部分だけを抜き出し、考えていくこと自体にも難しさがあり、その点をどう対応していくのかという問題がある。また、もう1つの統計的な推論の難しさについては、現在のところよい方策は見あたらない。仮説検定や信頼区間などのような理論的な推論を進める前段階の経験を積ませることも重要であろう。米国の学校教育でのカリキュラムでは、この点が重要視されている。また、この2つの難しさについては、まだ研究がスタートしたばかりであり、今後もこの点については、学生がどのように理解を進めているのかを今後研究していくことが重要である。そのためには、心理学や教科教育学などの研究者との連携を図っていくことも大切であろう。

6 今後の課題

本論文では、海外の事例を参考にしながら、大学での統計入門コースの目標について考えてきた。これまで、統計の専門家の教育やある種の専門職における統計教育に関する議論は行われてきたが、統計入門コースについては、それほど活発には議論されてこなかった。しかし、多くの人にとって、統計入門コースが統計を学習する最後の機会であることを考慮すると、統計入門コースの内容が今後の社会の中の統計学の位置づけを決定するといってもよいであろう。その点を考えても、私たちは、統計入門コースの改善に努めていく必要があり、今後教育内容

だけでなく、その教育方法や学生の認知過程も含めて研究を進め、多くの人たちに統計学を少しでも理解してもらうよう努力することが大切である。

学校教育においては、前にも述べたように学習内容の削減の中で統計的な内容が減らされている。その一方で、「生きる力」の育成を目指して総合的な学習の時間が設定され、知識だけではなく、それらを生かすことが出来る教育へと変わろうとしている。統計学は、「生きる力」の例としてよく取り上げられ、総合的な学習の時間が設置された当初は統計教育を推進しているという意気込みが見られた。しかし、現状では、少し下火になっている。それは、総合的な学習の時間には具体的な教育目標がなく、多くの学校において、比較的簡単に取り組むことができる体験学習や国際交流に力点が移されてきたためである。その原因としては、調査活動を行うことの困難さや教師自身の統計的な調査の経験の少なさ、生徒を支援する際の方法がよくわからないこと、などが考えられる。今後、統計学をもっと社会の中に位置づけるためには、学校教育の中での統計教育の充実が必要であり、統計的な専門知識や解析経験を持つものが、総合的な学習の時間を実施する際の支援や教師の教育に取り組んでいくことが必要であろう。また、大学においても、必ずしも解析経験の豊富な教員による統計教育が行われてはいない傾向が見られる（村上, 1995; 田中他, 2005）。この点についても今後取り組んでいく必要がある。

最後に GAISE college report (2005) では、教授方法の改善だけではなく、評価の方法についても詳しく議論されている。講義中心の教育から、プロジェクトやグループ活動を取り入れた教育へと移行する際には、従来のペーパーテストによる評価だけでなく、プロジェクト活動の評価や解析結果の発表の評価などさまざまな形の評価方法の工夫も必要となる。また、ペーパーテストにおいても、統計的な推理力を身につけているかを判断するには、単に知識として持っているだけでなく、その意味の理解がどの程度まで進んでいるか、をチェックできるような問題を考えていく必要がある。評価方法は、学生が学習する際に大きく影響する要因であるため、統計教育改革のひとつの項目として、常に頭においておかなければならない。

このように、今後取り組むべき課題は山積しているが、少しずつでもできることから取り組んでいくことが重要である。

謝辞

査読者の方には、論文を丁寧にチェックしていただき、さまざまな貴重な意見をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- Ben-Zvi, D. and Garfield, J. (2004). Statistical literacy, reasoning, and thinking: Goals, definitions, and challenges, *The challenge of developing statistical literacy, reasoning and thinking* (Ben-Zvi, D. and Garfield, J. ed.), Springer, 2-15.
- Cobb, G. (1992). Teaching statistics, *Heeding the call for change: Suggestions for curricular action* (Steen L. A. ed.), The mathematical association of America, 3-43.
- delMas, R. (2004). A comparison of mathematical and statistical reasoning, *The challenge of developing statistical literacy, reasoning and thinking* (Ben-Zvi, D. and Garfield, J. ed.), Springer, 79-95.
- GAISE college report (2005). <http://www.amstat.org/education/gaise/>
- Garfield, J. (2000). Evaluating the statistics education reform. Final report to the National Science Foundation. <http://education.umn.edu/EdPsych/Projects/Impact.html>
- Garfield, J. and Ben-Zvi, D. (2004). Research on statistical literacy, reasoning, and thinking: Issues, challenges, and Implications. *The challenge of developing statistical literacy, reasoning and thinking* (Ben-Zvi, D. and Garfield, J. ed.), Springer, 397-409.

- Tversky, A. and Kahneman, D. (1982). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases, Judgment under uncertainty: Heuristics and biases (Kahneman, D., Slovic, m P. and Tversky, A. ed.) Cambridge University Press, 3-20.
- Moore, D. (1998). Statistics among the liberal arts. *Journal of the American Statistical Association*, 93, 1253-1259.
- 村上征勝 (1995). 大学における統計学の教育・研究環境とその問題点, 統計数理, **43**, 367-375.
- 長崎栄三 (2005). 算数・数学では何をいつ教えるのか—算数・数学教育の内容とその配列に関する調査報告書—国立教育政策研究所.
- Rutherford, F. J. and Ahlgren A. (1991). *Science for all Americans*. Oxford University Press, INC.
- 瀬沼花子 (2004). 企業の算数・数学教育への期待—データに基づく予測の強調と指導法の改善—, 科学教育研究, **28**, 34-42.
- 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, 日本公衆衛生学会誌, **52**, 66-75.
- Utts, J. (2003). What educated citizens should know about statistics and probability. *The American Statistician*, **57**, 74-79.
- Wild, C. and Pfannkuch, M. (1999). Statistical thinking in empirical enquiry (with discussion). *International Statistical Review*, **67**, 223-265.