

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—

A new framework of statistics education

- What the new curriculum guidelines imply in Mathematics-

渡辺 美智子*1

Abstract:

According to the new curriculum guidelines issued in March 2008, a strand for statistics and probability has been newly established in mathematics for a junior high school course. Then school mathematics educators draw their attentions what the new curriculum guidelines imply for statistics education in the mathematics classes.

In this article, I show first the current background where statistics education is needed in knowledge-based society and secondly give an explanation on a modernized framework of statistics education with a concrete curriculum example to be promoted internationally, where it is paid more attention for students to develop the “statistical thinking” habit to explore and to solve their daily problems with data than what is statistics and/or how to do statistics. Finally I introduce an international projects of CensusAtschools to support such a new style of statistics education.

Keywords: statistics education, new curriculum guideline, statistical thinking

概要：

学習指導要領の改訂が告示され、とくに中学校数学科の中で、現行指導要領に無かった確率と統計内容を扱う新しい領域が設けられたことで、数学教育の中での統計教育の位置付けに注目が集まっている。本稿では、統計教育が必要とされる今日の背景を整理し、データに基づく課題発見力及び課題解決力の育成という、国際的に推進されている新しい統計教育の枠組みを、具体的なカリキュラム事例に沿って解説する。また、データに基づく統計授業を支援する国際的な取り組みを紹介する。

検索語：統計教育，新学習指導要領，統計的思考力

*1 (Watanabe Michiko) 東洋大学経済学部

1. 統計教育を取り巻く動向

学習指導要領が改訂され、現在、新しい指導要領が目指す方向性に注目が集まっている。教育内容の主な改善事項の一つに、理数教育の充実が取り上げられており、算数・数学科では時間数も増加しているが、内容に関しても、現行指導要領ではほとんど取り上げられていなかった統計に関する学習内容が約 30 年ぶりに充実の方向に向かったことで、統計教育への関心が高まっている。

具体的には、小学校算数で、図・表・グラフが取り扱われている「数量関係」領域が、現行では 3 年生から設けられていたものが 1 年生から位置付けられ、また「スパイラル」という新しい考え方の中で、各学年の内容がそこで閉じるのではなく、定着を図る意味で学年を渡って繰り返し学習することが明記されている。また、中学校数学では、現行の領域構成にはなかった「資料の活用」領域が新たに設置され、各学年で統計と確率の学習時間が確保されたことは、統計教育の充実に向けて大きな改善と言える。

しかし一方で、数学教育のカリキュラムを国際的に見ると、情報社会、知識基盤社会における新しい枠組みの下での統計教育の推進は、既に 90 年代前後より活発化しており、大学等高等教育機関での教育との接続性が意図された初等中等カリキュラムの構造化や ICT を利用した新しい教材と教授法および評価方法の研究、授業モデルの蓄積と共有化が進んでいる。学校カリキュラムの中で、「統計と確率、不確実性の数理は、従来に比べ相当重要な位置を与えられるべきである」との具体的な勧告は、イギリスでは **Committee of Inquiry into Teaching of Mathematics in Schools (Cockcroft, 1982)**、アメリカは、**Mathematical Sciences Education Board (1990)**、**National Council of Teachers of Mathematics (1989,2000)**、OECD は生徒の学習到達度調査(PISA, 2003) の中で見ることができる。また、国際数学教育委員会 (ICMI) でも、時代に即した数学教育の理論と実践の課題を取り上げる中で、学校教育に

おける統計教育の重要性に鑑み、国際統計教育協会 (IASE) との共同での調査研究(**Joint ICMI/IASE Study,2007**)を立ち上げ、その成果は、2008 年 ICME-11 での円卓会議でまとめられる予定となっている。

2. 統計教育を必要とする背景 (その 1)

それでは、いま何故統計教育なのか? その背景は大きく二つ考えられる。一つは、高度情報社会にあつて、身近に溢れる統計情報を正しく受け止め、自身の意思決定に活用できる市民の育成という視点である。全米数学教師協議会の学校数学のためのガイドラインの中では、早くから、“賢い統計情報の消費者の育成”をキーワードとして、統計教育の社会的・現代的必要性を指摘している。

日本でもこの状況は何等変わることはなく、食品、医療、保険、金融、消費、ビジネスなど、メディアに日常的に表出する統計情報を適切に読み取り、情報力のある判断ができる市民、かつ、より豊かで健康な暮らしを実現するため、身の回りの不確実性を伴うリスクに対し、個人で責任あるリスク管理ができる市民の育成とそのための教育基盤整備は、国家の教育行政に課せられた責務である。

また、2007 年 5 月に、新統計法が交付されているが、これは前回の制定から戦後 60 年の経過によって変化した統計の社会的役割を反映させたもので、ここでは、政府が公開する統計資料に関して、これまでの「行政のための統計 (国の政策決定の基礎資料)」から「社会が必要とする情報基盤としての統計 (国民の共有財)」へとその位置付けが抜本的に変わったことが強調されている (統計法, 2007)。このことは、政府の統計資料はより多くの国民に利用される開かれたものになったことを意味するが、逆に言えば、国民は、統計に基づく政府行政施策を正しく理解し、責任ある政治参加をしなければならないということであり、そのための国民への統計リテラシーを涵養する教育行政の推進は、やはり国の責務なのである。

3. 統計教育を必要とする背景（その2）

二つ目の背景は、国家的に推進される科学技術振興政策である。実はこれが諸外国の学校数学教育の中で、統計教育の方法論に対して新しい枠組み“Statistical Thinkingの育成”という柱をもたらした主因といえる。

先進各国はいま、人材や技術など「知」をめぐる国際大競争時代に突入し、世界全体での持続的発展や自国の産業競争力の国際的優位性の獲得を目指して、科学技術・学術研究の戦略的な推進政策を推し進めている。とくに、1998年、全米研究会議が通称オドム・レポートを取りまとめ(NSF,1998)、数学と他分野および産業との連携の重要性を指摘して以降、米国科学財団(NSF)の数理科学予算は年平均10%と大幅に増加し、2005年には、エネルギー省(DOE)が、マルチスケール数学に関する国家プロジェクト(約24億円)を立ち上げるなど、諸科学の共通言語として機能する数学および統計を含む広義の数理科学研究の推進が図られている。他の先進諸国も同様に、フランスでは総研究費の約1.6%、約190億円が数学研究に当てられ、ドイツでも「産業及びサービスのイノベーションのための数学」プログラム(約13億円)が施行されたり、新しくブラウンホーファー産業数学研究所が設立されるなどしている。

日本でも、2006年5月に、日本数学会と日本学術会議共催による「礎の学問：数学」が開催され、関連して科学技術政策研究所による調査報告書「忘れられた科学—数学」(細坪,2006)が出て以降、九州大学に産業技術数理研究センター、北海道大学に数学連携研究センターが設置され、また科学技術振興機構の研究領域に、「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」が設けられるなど、ヒト、モノ、カネの両面での数学研究の推進が始まっている。

これら日本も含めた先進諸外国の数学研究の振興の特徴は、数学研究の成果の社会への応用の加速化にある。高度に複雑化し不確実性が増す現代社会にあつて、情報とシステムの両面で科学技術の革新と産業の変革を図る

ためには、統計科学、応用数学を含めた広義の数学研究、数理科学研究の推進が不可欠なのである。

その中にあつてとくに統計科学研究への期待は大きく、その背景は、ICTの急速な発展による自動計測技術の進歩から生じる。ゲノム解析におけるマイクロアレイデータ、経済・金融市場から発生する高頻度高次元大規模データ、人工衛星から観測される大量の気象データ、POSレジシステム・カード決済による顧客の購買履歴データ、インターネット上のテキストデータなど、枚挙できないほどの種類の超大規模データが、社会や研究の場で遍在し、まさに現代は、情報爆発・データ爆発時代なのである。これら大規模データの統計的可視化は科学的な発見や社会におけるイノベーションと直結することから、現在、科学技術の分野で大きく注目されている。

実際、フィールズ賞受賞者のDavid Munford博士は、“The Dawning of the Age of Stochasticity”, *Mathematics Towards the Third Millennium*(1999)を発表し、第3千年紀の数学研究は、不確実性を中心とする内容に向かうと指摘しているし、また米国科学財団(NSF)は、2004年度の重点領域に数理科学(Mathematical Science)を採用しているが、その中での重要テーマとして、“巨大データに関する数学的・統計的挑戦”、“不確実性の管理とモデリング”、“複雑な非線形システムのモデリング”を挙げている。

このような数学・数理科学研究の振興政策には必ず、それを支える人材の育成が明記されている。先のNSFが重点領域に数理科学を採用した時点でも、具体的な目標として、

- ① 数学および統計学の基盤研究の推進
- ② 他の自然科学・工学との協働研究の推進
- ③ 学校教育における数理科学教育の推進

が掲げられている。③における数理科学教育が、学校教育における数学科の中に反映されるわけであるが、①と②との連動性から、数学教育の中で統計教育の比重が増しているこ

とや、統計教育も単純に統計リテラシーを有しているというだけではなく、数学以外の他の学問領域、また産業技術の諸種の場における科学化（諸対象を科学的に探求するプロセス）を促進できる人材、いわゆる統計マインド（統計的課題解決型の思考力：**Statistical Thinking**）を持った研究者や技術者の育成をも強く意図されていることがわかるであろう。

4. 統計教育の新しい枠組み

—Statistical Thinking の育成—

統計はもともと、「科学の文法 (Grammar of Science)」として体系化された方法論で (Pearson(1982)), 自然, 社会, 経済, 人間行動のあらゆる研究課題に対して, データに基づく科学的探究のプロセスを提供し, 計量経済学, 計量生物学, 計量心理学, 計量ファイナンス, 計量文献学, 計量政治学, 環境計量学, 宇宙計量学など, 今日の“計量”を冠する多くの研究領域の基本ツールとなってきた。

旧来の統計教育は、既に訓練された研究者や技術者、もしくは研究を始める大学生等に、統計の用語と統計的方法の適用の仕方（計算方法と手順）を教えることが主であったが、新しい枠組みでの統計教育は、統計的思考力 (Statistical Thinking) 自身を科学・産業の発展の第3の腕(the third arm: 無くとも生きる上で困らないが、あると飛躍的に効率があがる手段)として位置付け、学校教育の早期より、児童・生徒に、身の回りの課題の解決に統計を結びつけて思考させ、解釈させ、更に新しい仮説の創造に至る大きな流れを、繰り返し経験させる方式を取っている。

近年の統計教育研究の多くは、統計的思考力の涵養は、実証分析を行う研究者や技術者が日常行っている課題解決のための知のサイクル:

- (ア) 課題の設定
- (イ) 統計的なデータの問題への帰着 (何を測定すべきか?)
- (ウ) データの収集
- (エ) データの記述と分析
- (オ) 結果の統計的解釈

- (カ) 統計的に解釈された結果を元の課題のコンテキストと結びつけて考察し、他人に伝えること
- (キ) 結果に基づくアクション（予測、標準化、管理など）が想定できること、もしくは、あらたな検証すべき仮説や課題を見出すこと

を学年や生徒個人の統計リテラシーやスキルのレベルに応じて、何度も繰り返し経験させる、いわゆる課題解決型のプロジェクト学習によって達成されるとしており、実際、アメリカ、イギリス、ニュージーランド、オーストラリア、カナダなど各学年のカリキュラムやガイドラインではこのプロセスが明記され実践的な指導が行われている(表1)。

表 1 カリキュラムで明示されている
統計的課題解決のながれ(深澤, 2007)

アメリカ(GAISE)	アメリカ(NTCM)	イギリス	ニュージーランド	オーストラリア(NT)	オーストラリア(Q)
Prek-12 Statistics Education	Data analysis and Probability	Handling Data	Statistics	Chance and Data	Chance and Data
Formulate Questions	Formulate Questions that can be addressed with data and collect, organize, and display relevant data to answer them	Specifying the problem and planning	Statistical Investigations	Posing questions and collecting data	Collecting and handling data
Collect Data		Collecting data		Experiments involving chance	
Analyze Data	Select and use appropriate statistical method to analyze data	Processing and representing data	Interpreting Statistical Reports	Presenting and Summarizing Data	Exploring and presenting data
Interpret Results	Develop and evaluate inferences and prediction that are based on data	Interpret and discussing Results		Interpreting Data	Identifying and interpreting variation

上記の課題解決のためのサイクルは、もともと日本の製造業を中心とする産業界で品質管理の手法として始まったもので、戦後の日本の経済成長を牽引した所謂“カイゼン”のための知の技法である。日本における品質管理(Quality Control, QC)は、戦後GHQとともに来日した統計学者デミング博士の指導に基づき、製品の品質を測定値(データ)で捉え、その変動を分布の標準偏差(シグマ)で管理する方式が定着しており、日本型QCはとくに統計的QC(Statistical Quality Control, SQC)と言われている。産業界におけるQC活動は、当初こそ製造品(モノ)の管理から始まったが、現在は、ヒト、サービス、カネ、マネジメントのすべての管理技法とし

で使用されている。最近は、大学や学校教育の場でも教育の質の保証が求められているが、ここでもFD活動などでQC的管理が要求されている。

QCにおける統計的課題解決の方法は、科学的課題解決法とも言われており、それは一般に、社内管理の土台の上で以下のPDCAサイクルを回し続け、カイゼンを恒常的に続けていくサイクルを言う。

Plan（課題設定と計画、評価指標の絞込み）

Do（実践、評価指標に関するデータ収集）

Check（データ分析）

Action（結果に基づくアクションと次の課題への更新）

このPDCAサイクルは、カイゼンの用語とともに国際的に広まり、諸外国の企業活動、行政活動のマネジメント技法として採用されている。アメリカ大手の自動車会社モトローラは、この技法に基づく課題解決と管理技法を、“シックスシグマ”として定着・普及させているが、そこでの知のサイクルは、PDCAを再構成して、次のDMAICで定義している。

Define the problem（課題の明確化）

Measure the process（測定指標の決定）

Analysis the process（データの分析）

Improve the process（最適解の決定）

Control the process（分析結果に基づく管理）

シックスシグマによる企業の課題解決のプロセスは、現在、アメリカにとどまらず欧州を始め国際的に広がっており、統計教育における課題解決型の学習のサイクルが国際標準化している発端は、このDMAICに拠っている。

5. 統計的課題探求のプロセス

～課題に科学的に対処する態度の育成～

図2は、ニュージーランドの小中学校に配布されている教材ポスターで、統計的な課題解決のプロジェクト学習を生徒が実行する際に、つねにその流れを確認するために使用されているものである。“データ探偵”という生徒にとって親しみやすいキャラクターを置いて、課題解決までのプロセスを分かり易く

PPDAC : **Problem**→**Plan**→**Data**→**Analysis**→**Conclusion**として示している。ナショナルカリキュラムの中では、どのレベルにおいても（レベルは学年とゆるく連動させて設定されている）、統計内容の中で、「統計的課題解決（探求）」、「統計リテラシー」、「確率」の3つ項目がこの順で明記されており、その中の「統計的課題解決（探求）」の項目において、つねに、“using the statistical inquiry cycle”とこのプロセスの使用を明示して、科学する力を態度として定着させる仕組みを取っている。

以下、このサイクルを例に、データを使用した課題解決のプロセスを説明する。



図1 統計的課題解決のプロセス(生徒用)

Problem（身近な課題の明確化）

例えば、女子は男子より勘が鋭いかどうか？などの身近な課題を設定する。この最初の段階の課題は、まだ洗練されておらず、定義があいまいでデータに結び付けられていない。これを勘が鋭いとは、何を具体的に意味し、何を測ればデータとして客観的に計測できるのか？（これは一つには決まらない）、また対象の女子、男子はどの範囲を指すのか？などを個人やグループでブレインストーミングさせるのである。

Plan（調査・実験研究のデザイン）

この段階では、何をデータとして測定するのかを決め、そのための実験や調査の手段や対象を考え、実際にデータを収集する。データ収集の方法は統計的な技法として、最も重

要な部分である。そのため、学年とゆるく連動しているレベルに応じて²、ナショナルカリキュラムの中で、どこまで方法として精緻化させるべきか、目標が明記されている。

例えば、小学校高学年から、データの数（サンプルサイズ）やデータの取り方（サンプリング）に関するの妥当性を意識させ、中学、高校くらいのレベルでは、ランダムサンプリングの方法を使用した調査計画を立てることや高校のレベルでは、実験計画法による実験のデザインを組むことも明記されている。

Data（データ表の作成）

収集したデータをデータ行列の形式（図3）に整理する段階で、統計グラフの作成や分析は、すべてこの形式のデータ表に基づくので、集めた個々の対象のデータをこの形式にできると言うことが最初の一步と言って良い。教科書の中で、いつもこの形式で最初から整理されたデータから分析の練習をしていると、実はいろいろな形式の素資料をこの形式のデータ表にするということが意外とできないので、実際に何度か経験させておくということは実践力を培う意味では大切なステップである。

また、もう一つの大事な点は、例えば、‘身長’をデータ（変量1）として記録し分析する場合でも、身長以外の観測対象の属性（男女や学年など）をデータとして意識させる指導を最初のProblem, Planの段階で行い、実際に変量2、変量3のデータとして記録させることである。なぜなら、統計分析とは、対象変量の分布の構造を探索し記述する技法であるが、それは、例えば、男女の違いや学年の違いなど他の要因で説明のつく変動と説明のつかない同質な集団のなかでの変動（自然変動、偶然変動）の違いに気付くことから、分布の記述への探索始まり、これが予測精度の向上や因果推論の基礎ともなるからである。

² レベルに応じて、達成目標や教育内容が進んでいく。レベルと学年次の対応は、深澤(2007)を参照。

また、例えば、‘身長’の母平均を推定するためにランダムサンプリングの結果、得られたデータだとしても、身長以外の対象者の属性（性別、学年など）が同時に偏って選択されていないかどうかなど、チェックさせることがランダムサンプリングを理解する上で、非常に大事なキーポイントとなる。

そのため、後の分析で使うか使わないかは別にしても、データ表はできるだけ複数の変量（多変量）の形式で記録させ、目的としている変量以外にも、いろいろな属性が背景に付いていて、それが目的とする変量の分布にどう影響を与えるのか、または影響を与えないと言えるのか、この疑問に自発的に気付く用意をさせておくこと肝要であり、またそれに気が付いて、データによって検証を試みだすことが、データに基づく科学的な思考の始まりで、同時に、データを分析する面白さもここにある。

対象 (例:生徒)	変量 1	変量 2	変量 3	変量 4
生徒1				
生徒2				
:	:	:	:	:

図2 行列形式のデータ表のイメージ

Analysis（データの分析）

データを実際に分析する段階であるが、ここで取り扱われるデータの種類と統計的な内容とを含めて、レベル（学年とゆるく連動）に応じて次第に精緻化される。この構造的戦略性に関しては、後節で詳述するが、統計的思考力の育成の観点から、推奨されている留意点をいくつか紹介する。

- ✓ 定型的なグラフ作成のスキルを教えるのではなく、枠にはめずに、生徒自身の分析ストーリーに沿ったグラフを多様な視点で独自に作成させ、グラフの表題や軸の意味を

説明させることが、分布の理解に繋がる。

- ✓ グラフで表現された分布の形を客観的に表現する‘ことば’を覚えておくと同時に、対応する意味も理解させておく。実は、これが後で基礎統計量（分布の形状を記述する指標）の概念の本質的な理解に繋がる。

例えば、1変量の分布でいえば、

- 最も大きな値と小さな値は？
- データの集中（ピーク）は、1つか2つか？（多峰性）
- データの集中位置とその範囲は？
- データを半分に分ける点は？
- データの中心半分の範囲は？
- 広がり（分散）の程度は？
- データの集中する位置を基準に対称か、歪んでいるのか？
- 外れた値は？

などである。

- ✓ データを考察すると同時に、データの背景についても関連する考察をするように習慣付ける。

Conclusion(最初の課題に対する結論)

最初に設定した疑問や課題に対する答えを分析結果に基づいて、理由を述べながら説明する。ここで重要なことは、分析から客観的にわかったことと、そこからデータの背景に戻って推論したことをはっきりことばで区別して表現させ、伝えさせることである。

また、必ず、今回の分析で不足した点や新たに生じた検証すべき疑問や課題など、次のPPDAC : Problem→Plan→Data→Analysis→Conclusionの出発点を示させることは、引き続きその作業をやる、やらないに係わらず、研究の継続性や知の創出のサイクルを意識させるためのキーポイントとなる。

統計学は、不確実性の数理とも言われている。これは一般に、答えのはっきりしない（不確定な）課題に対して、しかもその課題は、例えば前節の**Problem**の例では、ある女子より勘の鋭い男子もいれば、そうでもない男子もいる、というように、個々の観察で、100%

そうだという答えが出ない不確実性を含んだ課題である。社会・自然・経済・人間の行動等、およそ世の中の現象に関する課題は、この種の不確実性を含んでいる。

現象を統計的にモデリングするとは、その不確実性をデータのばらつきで捉え直し、分布という概念で記述し、それを確率（分布）モデルで当てはめ、数理的に解を導くプロセスを言う。また、導かれたモデルによる解は、また元の現象に即して語られなければならない。

国際的にみると、統計教育の方法は、昔の確率モデルを教えることから、現象の統計的モデリングの有用性を理解させ、その概念を理解させることに、その重点を移している。これを、前節の課題探求のプロセスの中に組み込んで、繰り返し体験させることで達成させようとしている。

初等教育・中等教育前期までは、データの分布の記述に重点を置き、中等教育後期くらいから、確率分布モデルに基づく推測の数理的な枠組み（そのための調査や実験データの正しい取り方、ランダムネスの意味、推定や検定の誤差の評価）をカリキュラムに組み込んでいる。これが、高等教育に進んだときに、どの学部に入っても、ある程度の実証的な研究ができる、もしくは、少なくともその道具の存在と意味がわかる素地になっている。

6. 統計の概念的な理解を図るためのカリキュラムの戦略性

統計の学習過程で重要なことは、データのばらつき（変動）への理解である。データのばらつきには、以下の3種類がある：

- a. **自然変動** : 社会現象や自然現象、もしくは良く管理された実験データでさえ、計測を繰り返せば、データの値は微妙に変動する。同じ条件にあると考えられる集団の観察値もやはりばらつくとも考える方が自然である。

この説明のつかない同質集団のデータのばらつきを自然変動といい、計量データの場合、

正規分布などがそのモデル化に使用されている。実験データの誤差の分布も、これに対応する。

b. 外的要因によって説明のつく変動

実験データの場合、データの背景にある実験条件の違いは結果として得られるデータの値に差異をもたらす。また調査データの場合は、対象の属性（性別や家族構成など）の違いが目的とする観測値にやはり差異をもたらす。

このような自然変動以外の要因によって生じるデータの値のばらつきを外的要因によるばらつきといい、要因の違いをグループと考え、これがグループの違いによる変動（グループ間変動）であり、aの自然変動は、グループ内変動となる。

2つのグループの分布の比較を通じて、グループ間変動とグループ内変動の感覚と記述の仕方を学習していく。

c. 標本変動

実験や標本調査によって得られたデータ（標本）から計算される平均や比率のような統計量は、同じ条件で同じ方法で再度データ（標本）を取りなおして計算すると、また別の値となる。この標本抽出を繰り返したときに得られる統計量のばらつきを標本変動という。

上記3種類の変動を現実のデータで実感をもって理解させなければならぬが、a, b, cの順で難しくなる。とくに標本変動という仮想的な分布を納得して理解することは、大学生でも社会人にとっても難しいが、この理解がないと現象を科学的に推測することはできない。つまり、科学的な課題探求の方法論が理解できないことになる。

しかし、aとbの変動の記述を学校教育の中で、いろいろな現象と併せて何度も何度も繰り返すことで、分布への理解が深まり、最終的にcの標本変動への理解を助けるのである。

また、データのばらつきを分布として記述する作業は、データの種類が質的データから量的データになるほど、また、量的データも

計数データから計量データになるほど複雑になる。また、複数の変量の同時分布を記述的に扱う場合でも、質的データ×質的データ、質的データ×量的データ、量的データ×量的データの順が理解し易い。

以下は、ニュージーランドのカリキュラムで、レベルに応じて取り扱われる統計的な内容の深化を概説したものである（The New Zealand Curriculum, 2007）。つねに一つ前のレベルが伏線になって、次第に、積み上げられていく体系的な構造になっていることが分かる。

レベル1（小学1,2年）³

質的データと呼ばれるカテゴリーデータ（好みの色や好きな食べ物など）の数え上げとその結果を度数の大きな順に並べ替えることや表やグラフで、分布を記述する。

レベル2（小学3,4年）

質的データに加えて、計数データ（家族の人数や何かに要した回数など、データの値そのもので数え上げができるデータ）に対しても、数え上げて、度数表やグラフで分布を記述する。

レベル3（小学5,6年）

質的データと計数データを一緒にした多変量データに対して、質的データの値に応じたグループ毎に（層別し）、計数データの分布を記述し、分布のパターンを比較する。

単一系列の時系列データをグラフにし、パターンやトレンドを読み取る。

レベル4（中学1,2年）

計量データ（階級を作成しないと数え上げができないデータ）も含めて、質的データ、計数データと一緒にした多変量データおよび時系列データを対象として、分布のパターン、広がり、関連性、トレンドを読み取り、分布を視覚的に比較する。

レベル5（中学2,3年）

多変量データを対象として、分析する点は

³（ ）内は、主な対象を日本で読み替えたときの学年を示している。

レベル4と同じであるが、新たに、**データ変換**（計数・計量データのコード化やカテゴリーデータの再コード化など）が加えられている。また、母平均や母分散、母比率などの標本統計量の**標本分布の特性を視覚的に見比べることがこの段階で加わっている。**

レベル6（高校1,2年）

標本サイズを含めて、**統計的な標本調査を設計する。**つまり、この段階で、**標本誤差はコントロールできることを身に付け、標本統計量により、母集団特性値を推測する‘推測統計’の枠組みを学び始めるわけである。**

レベル7（高校2年）

統計的標本調査の設計に加えて、**ランダム割付けによる統計的な実験計画をデザインし、その結果、得られたデータから、母集団特性値に関する点推定や仮説検定を行う。**

この段階で、統計的に妥当な手順に基づいて得られた調査結果や実験結果によってのみ、誤差や誤判断の確率を数理的にコントロールした上で、現象に関する推定や仮説の検証が行えることを実感する。

また、予測モデルに関して、簡単な外挿や内挿をする。

レベル8（高校3年）

レベル7の内容に加えて、**関連性や予測のためのモデリング技法として、単回帰モデルや時系列データの加法モデルを使い、適切なモデル選択をすることが含まれる。**また、推測統計に関しては、**中心極限定理を理解した上で、母平均や母平均の差および母比率の区間推定**をすること、**統計量の信頼性をランダム化サンプリング法によって評価することが取り扱われている。**

このような統計内容を実践的な課題探求のサイクルの中で体系的に指導する場合、指導する教師サイドは、統計学を系統的に理解した上で、そのレベルの内容が先の学習で何に繋がるのか、その見通しをもって生徒に学習させることが望まれる。王立統計協会統計教育センターは、中等教育において統計を教え

る教師のための統計学とデータハンドリングの遠隔授業を提供しているが、そのコースシラバスは、新しい統計教育を実践する上で、教師がどの程度の知識と技能レベルを持つ必要があるのかを知る上で参考になる（RSSCSE,2007）。

7. 統計教育におけるデータの重要性

Real Data, Real learning

記述的な統計分析の様々なツール（表、グラフ、統計量）を生徒に教える際に、例に使用するデータの選択は、非常に重要である。生徒が感心を持って主体的にデータの分析処理に係わるために、備える条件として、

- ① 生徒にとって感心のあるデータ
- 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

が考えられる。どれか一つは満たされていることが好ましい。

用意された意味のない数値だけのデータで計算の練習をする統計教育から離れて、計算はコンピュータに任せ、むしろ現実の様々なデータに実際に触れさせ、何がしかの発見を経験させることを重視する新しい統計教育に既に移行している海外では、上記の条件を満たすデータの作成方法やデータ自身の共有化の仕組み作りを組織的に行っている。

例えば、イギリス王立統計学会（RSS）の統計教育センターは統計局と協力して、1999年に、各学校のクラス内でデータを生成し学校間で共有するアットスクール（AtSchool）プロジェクトを立ち上げている。このプロジェクトは、2000年にはカナダ、オーストラリア、ニュージーランド、南アフリカ等が加盟した国際プロジェクトとなり、各国の統計局の協力の下に、国際間で、共通の枠組みの下に生徒自ら参加型のデータ収集とデータの共有化が行われている。このプロジェクトは、**Real Data, Real Learning**をキーコンセプトに、実データによる統計教育の必要性を謳い、実際に各国の小中高の学校で取られたデータをデータベース化して共有し、各クラスでの授業に役立てられている。

プロジェクトは、国勢調査の学校版である **CensusAtSchool**(図3)、クラスですぐにデータが収集できる実験が生徒用シートと教師用ガイドを付けて紹介された **ExperimentAt-School**、任意の調査が企画できる **SurveyAt-School** などで構成されている。



図3 **CensusAtSchool** のHP

実際に自分が調査対象となることで、全体のデータに対して、どのような集計結果となるのか、またそれらの国際間での比較など自然に興味をわくであろうし、それが分析の技術の学習への意欲に繋がる。また、自身が調査対象となっていることで、やはり自然に、個々のデータの質が集計結果の信頼性に影響することも感覚的にわかるので、メディアに出てくるアンケート結果への批判的な見方もできるようになり、かつ政府調査に対する調査協力の重要性にも気付くことが期待できよう。さらに、規模の大きな意味のある調査結果のデータを利用できるため、前節で示した課題探究のプロセスを授業の中で実行できるのである。

もう一つ、統計教育の文献でよく紹介されている、いわゆる発見が隠されている代表的なデータを紹介する **Azzalini and Bowman (1990)**。これは、アメリカのイエローストーン国立公園にある間欠泉の噴出間隔時間のデータである(表1)。データは全部で **222** 回分記録されており、観察を開始してからの経過日数と噴出している時間(分)、噴出から次の噴出までの時間(分)のデータがある。噴出直後に到着したとして、次の噴出までに待つ時間を予測するという目的で、度数分布表、

ヒストグラム(ドットプロット、幹葉図、箱ひげ図)、平均値・中央値・最頻値、分散・標準偏差などを教えた生徒に、このデータを与え、だいたいどれくらいの待ち時間かを予測させるのである。

多くの生徒は平均値を計算して答えようとするが、実は噴出間隔のデータは **2** 峰性を示すので(図4)、平均値はあまり意味をなさない。箱ひげ図は多峰性を検出できないので、箱ひげ図を描いただけの生徒はやはりうまくいかない。適切な分布のわかる図で、多峰性に気付き、それぞれの山の中心あたりで予測することになるが、更にこのデータの面白い点は、データが時系列的に記録されており、時間軸上でデータをプロットすると、時間の短い方の山と長い方の山の意味が推察できる仕組みになっている。これも分布のグラフだけ意識しては、わからない知見である。

表2 間欠泉のデータ(一部)

観察日	噴出時間(分)	噴出間隔(分)
1	4.4	78
1	3.9	74
1	4	68
1	4	76
1	3.5	80
1	4.1	84
1	2.3	50
1	4.7	93
1	1.7	55
1	4.9	76
1	1.7	58
1	4.6	74
1	3.4	75
2	4.3	80
2	1.7	56
2	3.9	80
2	3.7	69

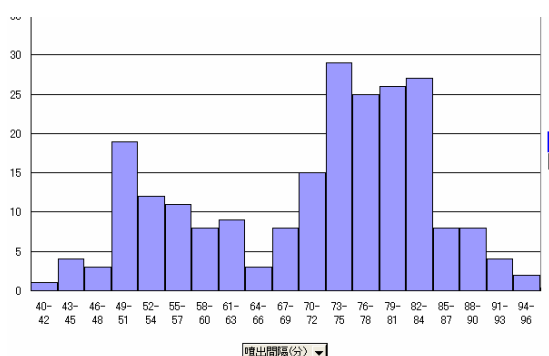


図4 噴出間隔データのヒストグラム

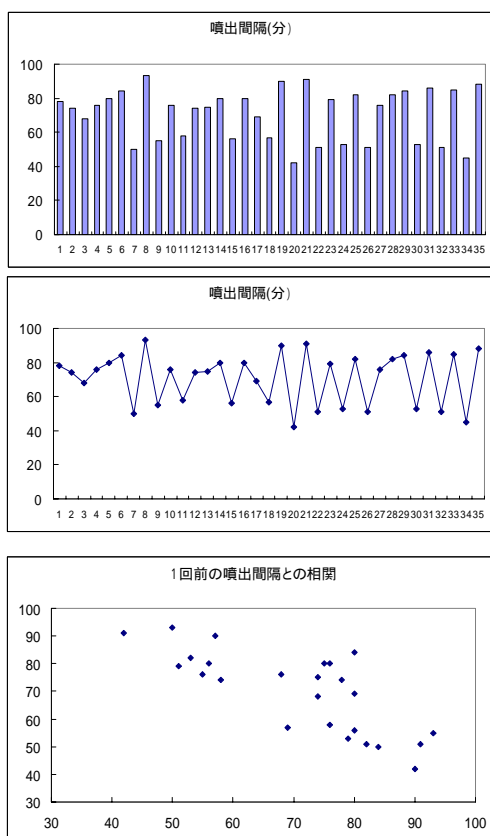


図5 データから作成される種々のグラフ

さらにこれに加えて、噴出時間のデータなども吟味すると、前回の噴出量と次の噴出間隔などの関連性も見えてくる。Shaughnessy and Pfannkuch(2002)では、できるだけ最初は生徒に自由な発想でデータからグラフや表、計算をさせた後、グループ発表による相互の討議で、互いのグラフや統計量の欠点と利点に気付かせることが、**Statistical Thinking**を育成する上で重要としている。

8. 新しい統計教育を成功させるためには

数学教育と統計教育には、生徒の創造的、批判的、戦略的、論理的思考力と分析力を育成するという共通の目標がある。このため、数学教育の場合は、決定論的(**deterministic**)な考え方や方法、モデルの指導を行い、統計教育の場合は、統計的・確率論的(**stochastic**)な考え方や手法・モデルの指導を行い、児童・生徒の

- ・現象へのモデリングと評価指標（アウトカム）に関する結果の予測力
- ・傾向の発見とその一般化への推論力・説明力・実証力
- ・日常の生活および仕事や自然科学・社会科学・科学技術・健康科学など他の学問領域への応用力

を段階を追って高めていかなければならないが、具体的に考えると、仮定や前提を所与としてそこから論理的な展開を行い一つの答えを導く数学の教育方法と、先ず具体的な仮定や前提を疑い、データを所与として多様な答えを検証するプロセスの論理的な妥当性のみを対象とする統計の教育方法は異なる部分も多い。

とくに、今回の学習指導要領で設けられた「資料の活用」には、統計を学習し、実際に活用して課題探究の力を身に着けることが期待されており、そのためには、指導する教師には統計の知識に加えて、データ解析という、おそらくあまり馴染みの無い技術も要求されてくる。自動車のエンジンのうんちくだけではなく、実際に運転して、その便利さと面白さ、そして危険性も教えないといけないのである。しかも新しい統計教育の実践で先行する海外においてさえも、まだ10年前後の実績しかない。

しかし、社会を取り巻く情報環境のめまぐるしい変化は、この統計教育の改革に‘まったなし’を要求している。数学教育を担う学会、統計関連学会は、責任を持って、このための教育指針を示し、教師の先生方と学校現場を照らさなければならない。

参考文献

Azzalini, A., and Bowman, A. W. (1990) A Look at Some Data on the Old Faithful Geysers, *Applied Statistics*, 39.

Cockcroft, Dr W.H. *Mathematics Counts: Report of the Committee of Inquiry into the Teaching of Mathematics in Schools under the Chairmanship of Dr. W. H. Cockcroft*, University of London Library, Senate House.

- David Munford(1999) The Dawning of the Age of Stochasticity, Mathematics Towards the Third Millennium, the Accademia Nazionale dei Lincei.
- Joint ICMI/IASE Study(2007) Statistics Education in School Mathematics: Discussion Paper.
- Mathematical Science Education Board (1990) Reshaping School Mathematics: A philosophy and Framework of Curriculum, National Academy Press.
- National Council of Teachers of Mathematics(1989) Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics, NCTM.
- National Council of Teachers of Mathematics(2000) Principles and Standards for Mathematics, NCTM.
- NSF(National Science Foundation)(1998). Report of the senior assessment panel of the international assessment of the U. S. mathematical sciences (Report 98-95, the Odom Report).
- Pearson, K. (1892). The Grammar of Science, Adam & Charles Black.
- RSSCSE(2007) Certificate in Teaching Statistics at Secondary Level, Continuing Professional Development for School Teachers and College Lectures, Royal Statistical Society, Center for Statistical Education.
- Shaughnessy, J. M. and Pfannkuch, M. (2002) How Faithful is Old Faithful? Statistical Thinking: A Story of Variation and Prediction, Mathematics Teacher, Vol.95 No.4.
- The New Zealand Curriculum(2008) : http://nzcurriculum.tki.org.nz/the_new_zealand_curriculum.
- 国立教育政策研究所(2004) PISA 2003年調査 評価の枠組み, OECD 生徒の学習到達度調査, ぎょうせい.
- 統計法(平成19年法律第53号)(2007) 総務省統計局 HP <http://www.stat.go.jp/index/seido/1-1n.htm>
- 深澤弘美(2007) 初等・中等統計教育カリキュラムの国際比較研究, 日本数学教育学会誌, 第89巻第7号.
- 細坪護挙, 伊藤裕子, 桑原輝隆(2006) 『忘れられた科学—数学』Policy Study, No.12. (文部科学省科学技術政策研究所).