

# 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～

渡辺 美智子\*

## A New Framework of Statistics Education in Knowledge-based Society —Statistical Thinking through Scientific Inquiry, Problem Solving and Decision Making—

Michiko Watanabe\*

知識基盤社会の中で統計思考力およびその育成は社会・科学教育における重要な課題となっている。本稿では、統計教育が必要とされる今日の背景を示し、国際的に推進されている新しい統計教育の枠組みを科学的探究と問題解決の視点で述べる。更に、日本における統計教育の現状と課題を概観する。

In meeting the knowledge-based society, much attention has been given to the role of statistical thinking and how to cultivate statistical thinking in the framework of science and social education. In this article, we show first the current background where statistics thinking is needed and secondly outline a new framework of statistics education in overseas countries for developing statistical thinking through scientific inquiry, problem solving. Finally we discuss the current situation and problems of statistics education in Japan.

キーワード: 統計教育, 科学的探究, 問題解決, 統計思考力.

### 1. 統計教育を取り巻く動向

本格的な知識基盤社会の到来とグローバル化の進展を受けて、先進各国では、新しいアイデア・知識・ビジネスプラン・情報・技術などへの創造力を有した人材の育成が経済発展と密接にかかわる重要課題として認識されている。そのため、既に1990年代より、21世紀型ワークフォースを見据えた教育改革が各国で活発に行われている。とくに欧米では、科学技術推進のエンジンとして科学教育と数学教育の改革に力を入れているが、そこでは、

---

\* 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 (E-mail: watanabe\_michiko@nifty.com).

生徒に体系的な知識を教える Input 型の教育から生徒自らが何かを考えだす Output 型の教育, いわゆる生徒の探究力育成を重視する教育へと軸足を移している。

なかでも, ICT 化の進展がもたらした計測技術の発展で, ゲノムデータや気象衛星データ, 金融時系列データ, センサーが組み込まれた家電や自動車などから得られる日常の行動履歴データなど大規模な電子化データが遍在する現在, データからの知識発見は科学技術推進と産業発展におけるイノベーションとも直結することから, データに基づく探究力と問題解決力, それを踏まえた意思決定力に至る統計思考力の育成は, 科学教育と数学教育の双方で重要な位置付けとなっている (渡辺 (2011))。

アメリカの科学教育スタンダード (BOSE (1996)) では, 物理, 地学, 生命科学, 科学技術の社会への応用等の領域に加えて, 科学的探究 (Scientific Inquiry) 領域が独立に設けられており, 1996 年版とそれ以前のスタンダードとの違いとして強調されたのは, 「既存の科学的知識の習得を薄くし, 科学の本性 (Nature of Science) の理解と探究能力の開発により重点を置くこと」である。科学的探究領域では, 身近な諸現象に対する科学的な接し方, 記述や説明などの科学的表現力, データや考えをまとめるための統計処理の概念や考え方とスキルを学校教育の早期より学年を追って体系的に教育する枠組みを具体的に明記している。イギリスでも, 同様の内容を扱う科学的探究の領域は, 科学のナショナルカリキュラムの中に設けられており, やはり小学校から高校までの毎学年でその教えるべき統計的内容を体系化している。

数学教育においても, イギリスの Mathematical Sciences Education Board (1990), アメリカの National Council of Teachers of Mathematics (1989, 2000), OECD の生徒の学習到達度調査 PISA (国立教育政策研究所 (2004)) などで, 統計と確率, 不確実性の数理の領域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勧告され, 今日の統計教育重視の教育体系に反映されている。

統計教育方法論に関する改革レポート (Cobb (1992)) が公表されて以降, 統計教育も, 単に統計や確率の知識を教えるだけではなく, 統計を実際の文脈に沿って活用する力, いわゆる統計思考力の育成に重点を置くことが世界の主流となっている。つまり, 数学における統計教育においても, 科学的探究の枠組みを意識させ自らの問題解決と意思決定に至る統計思考力の涵養を図ることを主目的としている。国際数学教育委員会 (ICMI) では, 国際統計教育協会 (IASE) との共同での調査研究を立ち上げ, 時代に即した数学教育・統計教育の理論と実践の課題を研究している (Joint ICMI/IASE Study (2007))。

一方, 日本でも平成 20 年・21 年告示の新学習指導要領の完全実施に向けて, 現在, 新しい学習指導要領が目指す教育の方向性が注目されている。とくに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, 前回の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 年ぶりに拡充の方向に向かったことで,

統計教育への関心は高まっている。新学習指導要領では、すべての教科で統計を活用する力の育成が示されているが、とくに算数・数学科においては、小学校1年から高校1年まで、毎学年で何等かの統計・確率の授業内容が組み込まれ、体系的・系統的な統計教育の必履修化が実現している。今後、高校入試・大学入試にもこの内容が反映されることになる。

本稿では統計教育の今日的意義を考察し、国際社会が進める科学的探究プロセスを組み込んだ統計的問題解決の枠組みと考え方を解説する。更に、問題解決型の統計教育推進の背景を示し、内容面での新学習指導要領との対応を論じる。

## 2. 統計教育が必要とされる背景と期待される人材像

いま何故統計教育なのか？ その背景をまとめると大きく二つ考えられる。一つは、高度情報社会の中にあつて、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、“賢い統計情報の消費者の育成”をキーワードに統計教育の社会的・現代的必要性を早くから指摘している。日本でもこの状況は何等変わることはなく、メディアに日常的に表出する食品、医療、保険、金融、消費、ビジネスなどの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、不確実性を伴う身の回りのリスクに対し、個人で責任あるリスク管理ができる市民の育成は重要課題であり、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月に新統計法が公布されているが、統計法改正の趣旨の中では、前回の制定から戦後60年の経過による統計の社会的役割の変化が示されており、政府が公開する統計資料に関して、「行政のための統計（国の政策決定の基礎資料）」であったものから、「社会の情報基盤としての統計（国民の共有財）」へと政府統計の位置付けが抜本的に変わったことが強調されている。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。

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教育において、統計教育の方法論に新しい枠組み“統計思考（Statistical Thinking）力の育成”が重視された主因と言える。1990年代より国際社会は知識基盤社会の到来を予見し、人材や技術など「知」をめぐる国際競争力の向上を目指し、持続的発展や産業競争における優位性を獲得するため科学技術・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」(細坪他(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」が設けられるなどの数学研究の推進が始まっている。産業技術数理研究センターは現在、発展的に解消しマス・フォア・インダストリ研究所となっている。

これらの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、その背景にはICTの急速な発展による自動計測技術の進歩から生じる大規模データの存在がある。前節でも述べたように、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、モバイル・マッピング・システムなどから得られるカープローブデータなどなど、枚挙できないほどの種類の超大規模データが企業や研究機関等に遍在し、まさに現代はビッグデータ時代なのである。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。

フィールズ賞受賞者のDavid Mumford博士は、1999年に“The Dawning of the Age of Stochasticity”, Mathematics Towards the Third Millenniumの中で、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。また、米国科学財団(NSF)は、2004年度の重点領域に数理科学(Mathematical Sciences)を採用、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。このことから、科学教育・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、いわゆる統計思考力を持った研究者や技術者の育成が強く意図されていることがわかる。

日本においても数学教育における統計教育への期待は大きく、学習指導要領の改訂の前に東証一部、二部の上場全企業を対象に国立教育政策研究所が行った『企業の算数・数学教育への期待』調査報告（瀬沼（2004））では、回答企業の9割以上が学校教育に期待する算数・数学内容として、「データに基づいて予測すること」を「特に大切」「特に大切な部課・部署がある」と回答している。また、対象を学校教師・保護者・大学等の研究者に拡大して行った2005年の『算数・数学教育の内容とその配列に関する調査』報告書（長崎（2005））でも、文系、理学・農学、医学、複合のそれぞれの領域の研究者にとって、「グラフや表の読み方」および「データの傾向・予測」は、学校教育の中で重要な算数・数学内容として上位1、2位を占めている。

国際的に統計教育の拡充が図られている中で日本においても、初等中等教育から大学教育・社会人教育を通じて体系的な統計教育の基盤を確立し、データに基づく問題解決型人材として具体的に以下のような人材の育成に努めなければならない（渡辺（2007））。

#### I. 賢い統計情報の消費者

食品・医療・保険・金融、消費、職業など、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

#### II. 統計に基づく政府行政施策を正しく理解し、責任ある政治参加ができる市民

#### III. ビジネスにおける合理的な意思決定をリードする企業人

ビジネスの基本である、現状を測ること・達成可能な将来目標を予測すること・目標に向かって所与の評価関数を制御することができる人材

#### IV. イノベーションの種を発見できる自然および社会科学に従事する研究者・技術者・実務家、不確実性の数理的モデリング、発見科学としての統計科学の文法を理解する実務家・専門家

### 3. 科学と科学的探究のプロセスを支える統計思考

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 (1892)), 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。

科学の創造とは一般に, 現象間の因果仮説の発見であったり, 検証であったりする場合が多い。ノーベル物理学賞湯川秀樹博士の言葉に, 「創造とは模倣である。ただし, それは結果の模倣ではなくプロセスの模倣である。」とあるが, 科学的探究の枠組みとは, 科学を創造するプロセスを, 科学の本性として共通理解することから始まる。そのため, 海外の科学教育および統計教育は, 科学的探究のプロセス自身を学校教育の早期より繰り返し理解させる方式を取っている。

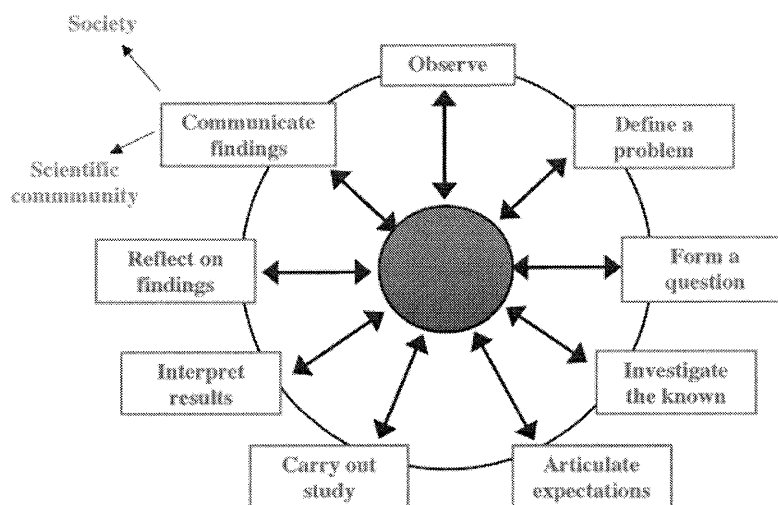


図1 科学的探究のプロセス. Reiff, R., Harwood, W. S., and Phillipson, T., A scientific method based upon research scientists' conceptions of scientific inquiry, *Proceedings of the 2002 Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science*.

図1は, 2002年の国際科学教育教師会議で示された科学的探究のプロセスの概念図である (Harwood and Phillipson (2002)). ここで, 科学的探究のプロセスは次のステップで示されている。

- (1) 身の回りの現象を注意深く観察する。
- (2) 現象に対する疑問や問題を見つけ, 明確にする。
- (3) 問題点を具体化する。
- (4) 関係する既存の知識を洗い出す。

- (5) 仮説を明確にする.
- (6) 仮説検証のための観察・調査・実験等の研究を行う.
- (7) 結果を解釈する.
- (8) 結果を研究成果に反映させる.
- (9) 成果を社会と組織に向けて公表し議論する.

このような科学探究プロセスの理解と探究する態度の育成は、学校教育における科学・理科教育の潮流の一つとなっており、海外の理科の教科書には独立してまとめて記述されている内容である。例えば、ドイツの Klett 社の教科書には、「自然科学的方法」という単元に、次のように探究プロセスが説明されている (国立教育政策研究所 (2009))。

- (1) 私たちは私たちの環境を観察し、現象の原因について疑問をもつ.
- (2) 私たちは現象の説明を探し求める.
- (3) 私たちは現象の間に特定の連関を予想する.
- (4) 私たちはその予想を実験で確かめる.
- (5) 実験が私たちの予想を立証しなければ、私たちは新たに観察し考えなければならない.
- (6) 実験が私たちの予想を立証すれば、私たちはその予想を法則性で見なすことができる.

国際科学教師会議における科学的探究のプロセスの中の (5) の「仮説」は、ドイツの教科書内での自然科学的方法における (3) 「現象の間に特定の連関を予想」とあるように、一般に現象間の相関や連関・因果に関する仮説と理解する必要がある。

科学とは、対象が科学的か否かではなく科学的に妥当なプロセスおよび方法によって得られる知識体系のことである (Pearson (1892), 椿 (2005))。そして、上記の科学的探究のプロセスにおいて、対象とする現象間の連関や因果仮説の検証に、データに基づく帰納的推論の方式を提供しているのが統計科学の領域である。したがって諸分野の知識創造を担う人材育成の観点から、海外では学校教育の早期より理科教育に、「科学的探究」領域を設け、毎学年段階を追って探究プロセスとデータ分析のスキルを習得させている。

例えば、イギリスのナショナルカリキュラムにおける科学的探究内容を Key Stage 2 (7 歳から 11 歳) と Key Stage 4 (14 歳から 16 歳) で見てみると (Qualifications and Curriculum Authority (2007))、現代的な統計教育の方策と係わる部分が非常に多いことがわかる。とくに、下線部<sup>1)</sup>は因果仮説の検証に関わる統計的に重要な視点である。

---

<sup>1)</sup> 筆者による。

**Key Stage 2 (科学的探究)****【科学での考え方と証拠】**

- 科学は 原因と結果のつながりを見出したりすること であることを理解する。
- いろいろな考えを、観察と測定から得られた証拠を用いて確かめる。

**【計画をたてる】**

- 科学的に調査できる疑問をもち、どうやって答えを見つけるかを決める。
- 他の要因を同じに保ったまま一つの要因を変えて効果を観察したり、測定したりして、公正な検証や比較を行う。

**【証拠の取得と提示】**

- 系統立てた観察や測定を行い、ICT を活用しデータを記録する。
- 繰り返しによって観察や測定をチェックする。
- ダイアグラムや図・表・棒グラフ・線グラフ・ICT を用い、データについて適切に他人に伝える。

**【証拠の考察と評価】**

- 自分たちの観察や測定によるデータやその他のデータから単純な パターンや関連性 を見出す。
- 結論を導くために、観察や測定データ、その他のデータを使う。
- 結論が想定した仮説と合致するか否か、または結論がさらなる仮説を生み出すか否かを判断する。
- 観察や測定データ、その他のデータに基づいて科学的に結論を説明する。
- 自分たちの研究結果と他人の研究結果を比較し、その意味と限界について論じる。

**Key Stage 4 (科学の創造)****【データ、証拠、理論および説明】**

- データを科学的に取得し分析する方法を知る。
- 仮説を検証し理論を構築するために、創造的思考でデータを解釈する方法を知る。
- 科学的な理論やモデル、考え方を使って、多くの現象が如何に解明されてきたかを知る。



- 科学が現時点で答えを用意できていない疑問もあること、また、なかには科学では解明できない可能性のあるものもあることを知る。

#### 【実践的な探究スキル】

- 科学的な仮説の検証し疑問に答え、問題を解決する方策を知る。
- ICT を活用し、1次資料、2次資料としてのデータを取得する。
- データの取得方法を評価し、証拠としての妥当性と信頼性を考察する。

#### 【コミュニケーションスキル】

- 量的アプローチと質的アプローチの双方を使って、科学的情報や考え方を想起し、分析・解釈を行い、疑問に答える。
- 科学技術および数学の用語や規則、記号および ICT を用いて、情報を提示し、議論を発展させ結論に結び付ける。

この科学的探究の内容を後述する数学教育における統計教育改革と連動性の視点からまとめると、以下の点が強調されていると考えられる。

- (1) 因果のルールの発見を探究の目標としている。
- (2) 因果仮説の創造のためのダイアグラム (cause and effect diagram) を早期より指導している。
- (3) 主張のための科学的証拠 (エビデンス) の重要性和証拠の作り方、吟味、批判力を指導している。そのため、データおよびその取得方法の重要性を強調している。
- (4) 因果仮説をデータから帰納的に検証し、モデル化する考え方と方法の必要性を指導し、どこが難しいのか実感を持たせて議論させている。
- (5) 公平な比較とは？ の問いで、条件制御が為されているのか、また、条件制御の難しさも体験させている。
- (6) 観察や実験におけるデータの取り方がデータのまとめ方以上に重要となることを意識させている。
- (7) 実験や観測の計測結果がばらつくこと、計測データの信頼性と精度を意識させている。
- (8) 因果と連関の違いの理解を促している。
- (9) 質的データと量的データの双方を対象としている。
- (10) データの記録と処理、情報収集に ICT を活用させている。

イギリスでは1999年告示のナショナルカリキュラムから科学的探究（創造）領域に重点が置かれ始めているが、アメリカではその少し以前の1996年に全米科学教育スタンダードが改訂されている。以前のスタンダードとの違いは、科学的探究（創造）プロセスが導入され、科学の具体的な文脈の下で統計活用力と連動する形でプロセスの重要性が強調されたことである。つまり、科学的探究のプロセスを遂行する上での統計の必要性、とくに、データの収集・処理・分析・解釈・発表と議論の統計的探究プロセスの全体像への理解とプロセス内の各ステップに対応した統計分析スキルの習得が強調されている。このように、科学教育において因果法則を検証する統計的探究のプロセスが重要視された背景には、次節で述べる1990年代より議論が活発化した21世紀型ワークフォースを見据えた教育改革の議論がある。

#### 4. アメリカ政府レポート（Scans レポート）にみる教育改革

国民への統計的問題解決力の育成を国家レベルの戦略的な教育改革の中に位置付け、それが国家の競争力と国民全体の生活の質改善に繋がることを明記した政府レポート（Scans レポート）“Leaning a Living: A Blueprint for High Performance”が、1992年に米国で公表されている（Scans (1992)）。その中では、来るべき21世紀を知識基盤社会と捉え、社会や職場で求められる能力（コンピテンシー）を明確化し、産学連携により学校教育の早い段階からそうした能力を育成する方策としてのPDCAサイクルが明示されている（図2）。また、そのための教育方策の質を恒常的に改善するためのCheck段階として、その達成度を全国統一試験で評価することが提言されている。同時にこのサイクルには、連邦政府、州議会、地方議会、学校、大学等の中等後教育機関、産業界とそのリーダー、再雇用教育機関、生涯教育機関、家庭など社会全体が参加し、国全体の競争力向上を図る必要があることが示されている。

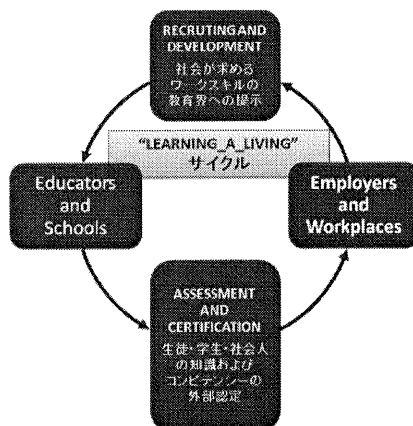


図2 Learning a Living サイクル. Scans (1992) により作成.

Scans レポートの第 3 章 “Toward a High-Performance Future” には、1980 年代後半の日本経済発展のミラクルを指導したデミング博士の名前と共に、日本企業における SQC (Statistical Quality Control) 教育、即ち統計的品質管理教育に倣い、同じ方法でアメリカの国際競争力復活が果たされなければならないと述べられている。日本の統計的品質管理は、小集団活動による課題発見と問題解決、結果（製品の品質）に至るまでの原因（プロセス）の標準化と管理の技法であり、問題解決の成否は原因分析の成否に依るところが大きい。データに基づいて真因・誘因・遠因の適切な理解の下に原因分析を行うことは、統計分析の視点からもそれほど容易なことではない。

1992 年に Scans レポートが策定された背景には、1980 年頃から顕在化したアメリカの国際競争力の低下がある。一方で当時の日本は、製造業を中心とした輸出産業の急激な進展によって戦後僅か 30 年で先進国と並ぶまでの経済成長を示し、日本のミラクルとして世界に衝撃を与えている。1980 年、全米ネットワーク NBC が放送した特集番組『If Japan can... Why can't we? (日本にできて、なぜ我々にできないのか?)』の中で、Japan as No. 1 と称される高品質な日本製品は、戦後、統計使節団の一員として来日した統計学者デミング博士の指導による統計的品質管理 (Statistical Quality Control) の実践から生み出されていることが紹介され、全米で大きな反響を呼んでいる。その後、膨大な数のデミング講座が米国内外で展開され、統計的品質管理はデミングサイクルと呼ばれる PDCA サイクルと共に、データに基づく問題解決の技法として広く米国内外に広まっている。

Scans レポートによって、米国では、国民への統計的問題解決力 (Data-based Problem Solving) 育成は国家戦略の一つとして位置付けられ、その有用性を先ず国民全体が認識し、その思考法や行動特性に係る力の育成を学校教育の早い段階から体系的・系統的に繰り返して培っていく教育改革に繋げている。

それまでの学校教育では、専門分野に繋がる知識や技術（ハードスキル）を教師が生徒・学生に教授する、所謂、“教え” に重点を置くスタイルが取られていたが、Scans レポート以降、日本企業の問題解決のための小集団活動（QC サークル）に倣い、課題の発見から問題の解決や新しい提案に至るまで、チームで“学び合う”思考法や行動特性（ソフトスキル）を身近な問題解決活動を通して育成するスタイルへと転換している。冒頭で述べた Input 型から Output 型への転換でもある。

教育におけるハードスキルからソフトスキル重視への転換、“教え” から“学び合い”への転換は国際的に広がっており、同様な教育改革を謳ったレポートが、1992 年にオーストラリアで “Achieving Quality” として、また、1997 年にイギリスではデアリングレポートとして公開されている。

Scans レポートの中で Scans 型スキルとして提唱されたワークスキルは、現在、マイクロソフトやインテル、米通信機器大手のシスコシステムズと世界の教育学者や教育政策決

定者から構成される ATC21s (Assessment and Teaching of 21st Century Skills) プロジェクトによって、21 世紀型スキル (グローバル社会を生き抜くために必要とされる能力) として再構築され、欧米や韓国、中国、インドなど世界の各国政府が ICT 企業などと連携し、その能力育成を重要視している。21 世紀型スキルは、OECD の PISA (生徒の学習到達度調査) や PIAAC (成人版学力調査) などの国際学力調査内容に影響を与えており、2015 年以降 PISA では 21 世紀型スキルの測定を導入する方向にあるため、21 世紀型スキルは今後、世界共通の力になると言われている。

21 世紀型スキルの 4 カテゴリーは、(1) 思考の方法 (創造性と革新性、批判的思考・問題解決・意思決定、学習能力等) (2) 仕事の方法 (コミュニケーション、コラボレーション (チームワーク)) (3) 学習ツール (情報リテラシー、情報コミュニケーション技術 (ICT)) (4) 社会生活 (社会的責任と多様な文化的差異の認識および受容能力) であるが、その中核は、集団での学習力 (学び合う力)、課題発見力、問題解決力である。そしてその育成は、先述の通り、小集団での問題解決型プロジェクト学習の経験を積むことで、培われるとされている。米国大学の統計学科のカリキュラムには、実に多くの統計理論や手法のコースが開講されているが、その中に、チームで協力して問題を解決するために必要なツールや技法を習得するコース: Statistical Communication and Consulting が入っているのは、Scans レポート以降、統計教育と品質管理教育および問題解決力育成が相互に関係しているためである。

日本においても、学習指導要領で学力の定義が従来の狭い意味での知識の集積から、より広い意味で、習得した知識を活用し問題解決に活かす力も含まれるように変わってきたり、経済産業省による職場や地域社会で多様な人々と仕事をしていくために必要な基礎力 (ソフトスキル) が『社会人基礎力』として明示されたり、中央教育審議会による『学士力 (汎用的スキル)』に、コミュニケーション・スキル、数量的スキル、情報リテラシー、論理的思考力、問題解決力が挙げられるなど、国際的な 21 世紀型スキルの議論の影響を大きく受けているが、21 世紀型スキルは日本における問題解決型の品質管理教育に端を発していることを考えると、上記は統計教育とは密接な関係があると言える。

## 5. 問題解決力向上のための統計教育改革

Scans レポートにおいて、日本型の統計的品質管理の考え方や技法の有用性が示された 1992 年、同時にアメリカ数学会のカリキュラムアクションプロジェクトは、問題解決力育成に向けた統計教育の改革の必要性を示す Cobb レポートを公表している (Cobb (1992))。Cobb レポート以降、初等中等教育から大学初年次の統計基礎教育まで一貫して、科学的探究力・問題解決力向上を意図した統計教育改革が国際的に展開されることになる。Cobb レポートにおける推奨事項は、次の 3 点でまとめられる。

- 活用を意識した統計思考力（統計的問題解決力）を重視する（Emphasize Statistical Thinking）.
- 理論や公式，計算方法と計算練習は控えめにして，データそのものや統計的な考え方を重視する（More Data and Concepts, Less Theory and Fewer Recipes）.
- 問題解決の活動学習を行う（Foster active learning）.

その後 1996 年には，米国統計学会（ASA）と全米数学協議会（MAA）の共同カリキュラム委員会が以下で与えられる具体的な共同指針を発表している。

(1) 統計思考力の要素として以下を強調する：

- a. データで考えることの必要性
- b. データの生成（取得）過程の重要性
- c. データのばらつきの遍在性
- d. ばらつきの測定とモデル化

(2) グラフや統計量の作成方法や計算方法および数理的導出の説明を最小限に留め，ソフトウェアを活用し，データの背景の説明や統計的な意味を解説する．とくに，

- a. 現実に似せたデータではなく，実際の生データを使う．
- b. 因果関係と連関（相関）との違い，実験データと観察データの違い，時系列データとクロスセクションデータの違いなどの統計的概念を強調する．
- c. 計算の仕方を教えるよりもコンピュータを使う．
- d. 数式，公式の導出はあまり重要ではない．

(3) 教師は知識を教授する教育よりも，生徒自身の経験的な活動学習を支援する．

- a. 問題解決型のグループ演習とグループでの討論を行う．
- b. 実験・調査演習を行う．
- c. クラス内で取られた背景のわかるデータに基づく論証を行う．
- d. レポートやプレゼンテーションを行う．
- e. グループや個人でのプロジェクト学習を行う．

現在，アメリカ統計学会は，GAISE (the Guidelines for Assessment and Instruction in Statistics Education) レポートとしてこれらの推奨事項を受け継ぎ，初等中等教育から大学基礎教育に至るまで系統的に統計思考力を育成するための具体的なガイドラインと授業運営方法，教材，評価の枠組みをまとめて公表している．これらは主に，学校教育では数

学教育の中で、大学教育では統計学科で開講される統計学基礎コース (STAT101) で参照されている。

## 6. 問題解決力のサイクル

これまでの統計教育は、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、統計思考力自身を科学技術推進の第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) として位置付けられており、学校教育の早期より、児童・生徒に、身の回りの問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ことで思考力を育成する方式を取っている。一般に、不確実性を伴う現実の問題をデータのばらつき (分布) で表現し確率モデルに基づいて推論 (予測) する統計的な概念は、大学生や大人にとっても理論だけで学ぶことは困難である。したがって、学校教育の早い段階から、身の回りのデータに親しみ、目的に沿ったデータの収集と分析、結果の解釈・議論という一連のプロセスを繰り返し経験させ、日常のアクションに統計リテラシーの素養を結び付ける教育カリキュラムとなっている。

近年の統計教育研究でも、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問題解決のためのサイクル:

- (ア) 課題の明確化
- (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、いわゆる問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 (Snee (1999), Wild and Pfannkuch (1999)), 実際, アメリカ, イギリス, ニューージーランド, 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. 深澤 (2007)).

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

上記の問題解決のためのサイクルは、デミングサイクルと言われる次のPDCAサイクルをモデルに考案されている。

Plan (課題設定と計画, 評価指標の定義と要因の洗い出し, 仮説の確認)

Do (実践, 評価指標に関するデータ収集)

Check (データ分析による効果の確認)

Act (結果に基づくアクションと次の課題への更新)

PDCAサイクルは、カイゼンの用語とともに科学的なマネジメントの技法として国際的に広まり、同時に米国モトローラ社によるPDCAを再構成した“シックスシグマ”も米国にとどまらず欧州・中国を始め広く世界に展開されている。シックスシグマは、次のDMAICのプロセスで定義している。

Define the problem (課題をデータに基づく問題にする)

Measure the process (評価指標とそのプロセス要因の測定)

Analysis the process (評価指標と要因との関連性の分析)

Improve the process (プロセスの改善)

Control the process (プロセスの管理)

現在、海外の統計教育・数学教育・科学教育において問題解決のサイクルを教育することが標準化しているのは、このDMAICに基づいている。

#### 例1 ニュージーランドの学校教育

図3は、ニュージーランドのナショナルカリキュラム「統計的探究 (Statistical Investigation)」の中で、データに基づく問題解決のサイクルを分かり易くPPDAC: Problem → Plan → Data → Analysis → Conclusionとして示したものである。

全国の小中学校、高等学校には、“データ探偵”という生徒にとって親しみ易いキャラクターにおいて、教材ポスターを配布し、統計的な問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できるようにしている。

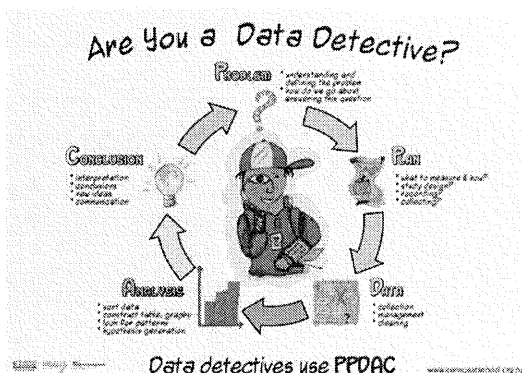
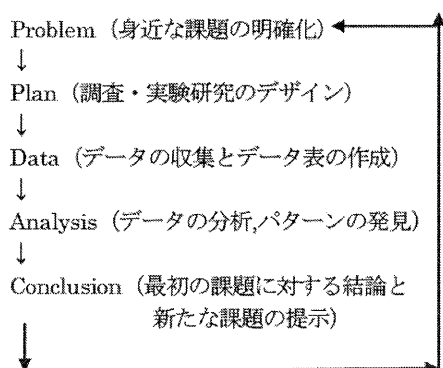


図3 統計的問題解決のサイクル図。

ナショナルカリキュラムの中では、毎学年、数学の学習時間の1/3が統計教育に割り当てられ、「統計的問題解決（探求）」、「統計リテラシー」、「確率」の3項目が教えられているが、その中で、つねに、“using the statistical inquiry cycle”として上記のサイクルの使用を明示して、科学的に問題解決する力を態度として定着させる仕組みを取っている。

取り扱う題材は、PC画面の表示画像に応じたマウスの反応時間に対する男子と女子の差や睡眠時間と携帯メールの使用頻度との関係など、児童生徒にとって身近な問題としているが、問題解決の各ステップ内で取り扱う統計概念は、学年は進むに従って次第に精緻化され、高校卒業時には、仮説検定や回帰分析、シミュレーションなどが適用場面を理解した上で使用できるように計画されている。

## 例2 イギリスの学校教育

イギリスのナショナルカリキュラムで採用されている統計的問題解決のアプローチ (Statistical Problem Solving Approach: PSA) は、次の4つのプロセスで構成されている。

- (1) 問題と計画の明確化 (specify the problem and plan)
- (2) データの収集 (collect data)
- (3) データの処理と記述 (process and represent the data)
- (4) 結果の解釈と議論 (interpret and discuss the results)

このプロセスは、分析結果に応じて、新しい課題の創出と繋がることから、やはりサイクルとして機能することも示されている(図4)。

PSAのフレーム自身は、Chatfield(1995)で提唱され、2000年にイギリスの学校教育の正式なカリキュラムに採用されている。イギリスの王立統計学会統計教育センターは、イギリス職業資格・カリキュラム開発機構と共同で、実際の課題に対して現実のデータを使用しPSAのサイクルで問題解決をWeb上でオンラインで進めていく教材や問題解決力の



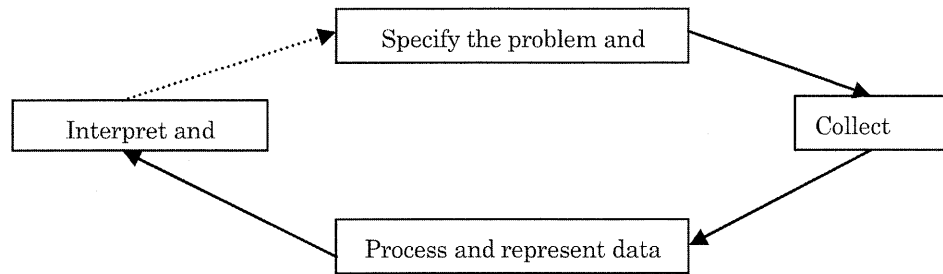
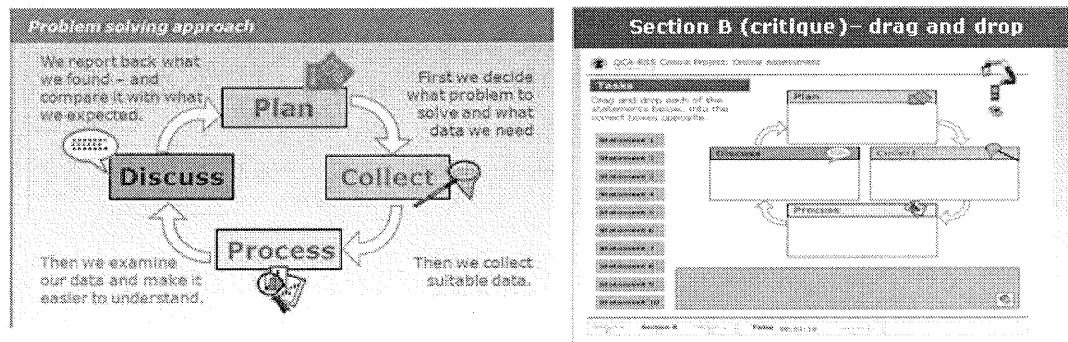


図4 問題解決のサイクル (イギリス).



(マウスに合わせて、各ステップの解説が表示)

(問題に対する10個の具体的な文脈と各ステップとの対応付け作業)

図5 PSAサイクルの学習教材 (Neville (2009)).

評価システムを開発している。図5は、11歳になり両親から自分で携帯電話使用料を支払うよう言い渡された子供が、自分の毎日の使用パターン（メールの文字数や接続時間）のデータに基づいて最適な支払い方法を考察するプロセスをPSAサイクルと対応付けながら構築させる教材の一部である (Neville (2009))。

## 7. 日本における新学習指導要領と統計教育必修化

日本の初等中等教育および大学における統計教育は、20年前から問題解決力を意識した統計教育改革と拡充を実践してきた海外と比べると、内容の量と質の両面で立ち後れている。ゆとり教育が導入された平成10年、11年に告示された前学習指導要領では、義務教育の段階での統計内容の明示的な記述は小学6年算数での平均値の計算のみであった。その平均も、1単位あたりの数量としての計算の仕方だけを教えるに留め、データのばらつきと代表値としての平均は取り扱わないという制限が公表当時は付けられていた。中学校では全く統計は教えられず、高校では数学IIBの選択領域（採択率は数パーセントにも満たない）であったため、平均の計算のみでデータや度数分布表、ヒストグラムなどの分布を表すグラフ、標本誤差などの教育をまったく受けずに大学に入学する教育がこれまで10年続いたことになる。

大学等高等教育においても、統計を専門とする統計学部・学科数は、韓国で約 60、アメリカで 300 を超え、中国でも 160 を超える学科と 300 を超える統計専門学校がある中で、日本の大学には統計学部・学科は 1 つもない。そのため、統計の理論と活用の双方を適切に習得し問題解決力を十分に身に付けた卒業生を社会の需要に応じた規模で排出することは不可能な状況にある。

このような状況の中で 2005 年に、初等中等教育に関しては、日本統計学会、日本計量生物学会、日本品質管理学会、日本金融・証券計量・工学学会等の 8 学会および情報サービス産業協会、日本マーケティングリサーチ協会等の 9 産業協会の併せて 17 の関連学協会が、会長名で「21 世紀の知識創造社会に向けた統計教育推進への要望書」を文科省に提出した。その後、2008 年告示の新学習指導要領において、統計内容の大幅な拡充と必修化が実現している。

小中学校の主な改訂点は、小学校算数科で、図・表・グラフが取り扱われている「数量関係」領域が 1 年生から位置付けられたこと、中学校数学科で「資料の活用」の名称で統計・確率のための新しい領域が設置され、各学年で学習時間が確保されたことである。さらに、高等学校の数 I が必修修化され、その中に、「データの分析」という単元が設けられたことで、小学校から中学校、高校 1 年生まで、日本全国のすべての児童生徒が、グラフの作成とその読み取りや（問題に対する 10 個の具体的な文脈と各ステップとの対応付け作業（マウスに合わせて、各ステップの解説が表示）データの分析などの基礎的な統計教育を受ける系統的な枠組みが用意されたことになる。とくに、統計教育が領域として独立したことで学校教員の授業研究が義務付けられたことやセンター入試および一般の大学でも「データの分析」が入試問題の対象となったことで、統計に関する教員研修の要望は大きくなっている。

新しい学習指導要領では、公式を暗記して計算練習する旧来の統計教育ではなく、データに基づく科学的な問題解決力をコンピテンシーとして定着させる、新しい枠組みの下での統計教育を指向している。しかし、一般に、データ分析の経験がなく、抽象化された演繹的思考法を主に教授してきた学校の数学教員にとって、どのようにこの授業を展開していけばいいのか、現場の戸惑いの声は大きい。また、学際的な広がりをもつ統計の活用力の育成を目指すためには、数学科だけではなく理科・社会・情報・保健体育など他の科目での系統性とクロスカリキュラムの整合性を図る必要があり、改訂されたとは言え、日本の学習指導要領における統計教育の課題は未だ大きく残っている。

社会や産業界の人材育成の負託に応えるためには、初等中等教育と大学教育・企業教育・社会人教育を繋げなければならない。統計教育で先行する欧米諸国においては、関連学協会がその分野の教育の質保証の観点から、ガイドラインの提示、教材や授業モデルの開発、アセスメントのための問題開発の検討や教員研修の実施、認証や資格制度の導入などに熱

心に取り組んでいる。日本においても同様に、統計関連学協会と連携し、長期的視野に基づいた人材育成の取り組みが期待されている。

### 参 考 文 献

- Board on Science Education (1996). *National Science Education Standards*, National Academy press.
- Chatfield, C. (1995). *Problem Solving. A Statistician's Guide*, 2nd edition, Chapman and Hall, London.
- Cobb, G. W. (1992). Teaching statistics, in *Heeding the Call for Change: Suggestions for Curricular Action (MAA Notes No. 22)*, edited by Lynn A. Steen, 3-43.
- 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』89(7).
- Harwood, R. and Phillipson, T. (2002). A Scientific method based upon research scientists' conceptions of scientific inquiry, *Proceedings of the Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science SE066-340*, 1-25.
- 細坪護拳, 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.
- Joint ICMI/IASE Study (2007). *Statistics Education in School Mathematics: Discussion Paper*.
- 国立教育政策研究所 (2004). 生きるための知識と技能, OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA), 2003 年調査国際結果報告書, ぎょうせい.
- 国立教育政策研究所 (2009). 第3期科学技術基本計画のフォローアップ「理数教育部分」に係る調査研究 [理数教科書に関する国際比較調査結果報告], 1-327.
- Mathematical Sciences Education Board (1990). *Reshaping School Mathematics: A philosophy and Framework of Curriculum*, National Academy Press.
- Munford, D. (1999). The dawning of the age of stochasticity, *Mathematics Towards the Third Millennium*, the Accademia Nazionale dei Lincei.
- 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.
- 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.
- 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).
- Neville, D. (2009). Developments for assessing statistical problem solving, 教育テスト研究センター CRET シンポジウム報告書.
- Pearson, K. (1892). *The Grammar of Science*, Adam & Charles Black.
- Qualifications and Curriculum Authority (2007). *Science, Programme of study for key stage 2*, 4.
- 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と論理的思考力の強調と指導法の改善—」『科学教育研究』28, 1.
- Scans (1992). "Learning a Living: A Blueprint for High Performance—a SCANS Report for America." <http://wdr.doleta.gov/SCANS/>.
- Snee, R. (1999). Discussion: development and use of statistical thinking: a new era, *Int. Stat. Rev.*, 67, 255-258.
- 椿広計 (2005). 「夏目金之助と Karl Pearson」『統計』56(10), 46-50.
- 渡辺美智子 (2007). 「知識創造社会を支える統計的思考力の育成—アクションに繋がる統計教育への転換 (寄稿)」『日本数学教育学会学会誌』89(7), 29-38.
- 渡辺美智子 (2011). 「科学的探究・問題解決・意思決定のプロセスを通して育成する統計的思考力 (招待)」『科学教育研究』35(2), 1-13.
- Wild, C. J. and Pfannkuch, M. (1999). Statistical thinking in empirical enquiry, *Int. Stat. Rev.*, 67, 221-248.