

フィンランドの数学教育 ～統計基礎教育を中心に～

玉川大学・経営学部 二宮智子

1 はじめに

今日の高度に情報化された社会において、たとえば、米国の数理科学の国際評価に関する上級評価委員会報告（1999年3月）（通称、オドムレポート）において、「科学技術の様々な領域、特に生物学、通信、コンピュータにおいて、根源的な変化（fundamental changes）が生じており、これらは新しい数学なしには解決できない重要な問題を伴っている」と報告されている¹⁾ように、将来必要とされる新しい数学の発展と応用、そしてそのための教育が求められるようになった。米国では、2000年に全米数学教師協議会による初等・中等数学教育についての新しいカリキュラムのガイドライン・スタンダード 2000 が発表された。米国以外の多くのいわゆる先進諸国も同様に、時代の変化に対応した新しい数学教育カリキュラムを提案し、改革を行ってきている。そこでは、従来の数学教育の枠組みとしての代数・幾何・解析以外に、数理的応用を重視した「統計と確率」が重要な一つの柱となっている。

一方我が国において、藤田（2007）は、中等教育の数学のあるべき内容について、「数学の応用が、コンピュータ利用を一般的な前提として深化・多様化している。そうして、生徒たちが参入する専門分野あるいは生活の場における数学の役割は各種のコンピュータ利用を前提とした情報化時代のそれである。」として、数学者・河田敬義が提唱した数学教育の三原則：ユークリッド幾何、微積分法、公理的現代数学 に数理科学を追加することを提案している²⁾。諸外国と比較して我が国の数学教育の新しい展開はかなり立ち遅れている。2007年度発表された新学習指導要領のもとで、統計を含む新しい数学教育は2009年度から前倒しでスタートしたが、そのための教科書や教師教育についてはこれからである。時代に即した新しい統計教育の実際について、今まさに各方面で議論が開始されたところである。

本論文において、フィンランドの競争力を概観した後、教育の歴史と現状、初等・中等の数学教育、特に、新しい枠組みとしての統計教育に焦点を当て、質の高いフィンランドの教育について考察する。

2 フィンランドの競争力

世界最大の携帯電話ノキアとフィンランド人のリーヌス・トーヴァルスが開発したオープンソフトウェア・リナックスで代表されるように、人口約520万の小国フィンランドはグローバルな情報社会において科学技術が国の経済を支えている。一方で、福祉国家として、社会的不平等を現す指標のひとつである最富裕層20%の最貧層20%に対する所得比率3.6（米国9.0、先進諸国（日本を含む）5.8）が示すように、国の不平等指数は低い³⁾。科学技術に支えられた経済発展と福祉国家が両立しているフィンランドの教育は、全ての国民に無償で平等に提供されている。そしてその教育の質は世界的にも高く評価されている。本章では、世界競争力の指標を用い、我が国との比較において教育とビジネスの両面からフィンランドの特徴を捉える。

2.1 PISA (Program for International Student Assessment) の結果

「21世紀に求められる知識を子供たちが身近に感じ、興味を持って楽しく学ぶことができるようにする」という理念のもとで始まった OECD による学習到達度試験 PISA において、フィンランドは目覚ましい教育成果をあげ、その教育システムや教育内容は我が国の多くの教育関係者から注目されている。PISA2006年調査の結果が2007年12月に公表された。57の国・地域(OECD加盟30カ国、非加盟4カ国)が参加し、義務教育修了段階の15歳児が持っている知識や技能を、実生活のさまざまな場面で直面する課題にどの程度活用できるかを、読解力、数学リテラシー、科学リテラシーの3分野で調査が行われた。我が国の高校1年生約6000人(約120万人と定義し、層化2段階抽出法で無作為に抽出)を含む世界の約40万人の生徒が受験した。フィンランドと我が国の結果を表1にまとめる^[4]。2000年度に数学リテラシーと科学リテラシーで1位と2位であった我が国の順位は下降し、一方フィンランドは全ての領域でトップクラスを維持している。フィンランドの平等をモットーとした少人数クラスの教育成果は、PISAの下位レベル(レベル1未満とレベル1)の生徒の割合がいずれの部門においても非常に少ない点に表れている。科学リテラシーで1桁の国はフィンランドだけである。数学リテラシーにおいて、1位の台湾の下位レベルの割合(11.9%(3.6%))、読解力において、1位の韓国の下位レベルの割合(5.7%(1.4%))と比較しても非常に少ない。また、教育の平等は上位層に対する教育が考慮されないと批判されがちであるが、PISAの結果からはその批判は否定される。上位レベルの生徒の割合は我が国と比較してどの分野でも多い。

表1. PISA2006の結果

PISA	平均得点の順位			下位レベル (レベル1未満+レベル1)			上位レベル (レベル6)		
	数学リテラシー	読解力	科学的リテラシー	数学リテラシー	読解力	科学的リテラシー	数学リテラシー	読解力	科学的リテラシー
フィンランド	2	2	1	5.9% (1.1)	4.8% (0.8)	4.1% (0.5)	6.3%	16.7%	3.9%
日本	10	15	6	13% (3.9)	18.4% (6.7)	12.1% (3.2)	4.8%	9.4%	2.6%

注) ()内の数字はレベル1未満の生徒の割合を示す)

2.2 IMD (International Institute for Management Development) 国際競争力^{[5],[6],[7]}

IMDは、グローバル企業が国際競争力を維持するためのビジネス環境がどれだけ整っているかをはかり、世界競争力ランキングとして毎年公表している。競争力は4分野(経済のパフォーマンス(80項目)、政府の効率性(73項目)、ビジネスの効率性(70項目)、インフラ(108項目、うち19項目が教育)の331項目の指標にもとづいて作成される。各指標は、国際機関などの統計データをコアに世界の経営者、研究者への意見聴取を付加して求められる。フィンランドの国際競争力ランキングは2003年の3位から2008年は15位と下降しているが、我が国(2008年22位)と比較すると高い競争力を維持している。特にフィンランドの教育評価は高く、例え

ば、各国のビジネスマンに対する自国の大学教育についてのアンケート(6段階評価)結果を順位化した「大学教育」のランキング(2005年度)では、全60か国・地域中、フィンランドは1位、日本は56位であった。

ビジネスの国際競争力については、WEF(世界経済フォーラム)が毎年公表している世界の研究者や経営者による経済競争力を評価した総合競争力ランキング(教育の評価を含む)^[8]も注目されている。そこでもフィンランド(6位)は日本(8位→9位)より高い競争力を示している(2007-2008年度版)。個別の評価指標として、IT競争力においてフィンランド(6位)は日本(19位)を大きく引き離している。また教育の質を表す教育システム、基礎教育、高等教育そして数学・科学教育のいずれもフィンランドは1位と高く評価されている(日本はそれぞれ31位、27位、23位、33位)。ここで特筆しておきたい指標に「男女平等指数」がある。対象128か国中、フィンランドは3位(1位スウェーデン、2位ノルウェー、日本91位、2007年度)であり、女性の高い社会参加が教育・経済の発展に貢献していると考えられる。

3 教育の歴史と現状

3.1 大戦後の教育

1972年に6・3制を開始したフィンランドの教育について、今日に至るまでの経緯を文献^[9]より抜粋してまとめる。6・3制で始まった教育は、グループ学習、少人数教育、個別指導、公民教育、環境教育の徹底であった。それらの特色ある教育は現在も受け継がれている。1979年に就学前教育の充実が図られた。1990年初頭のソ連の崩壊に伴い、フィンランドは輸出全体の27%を占める最大の市場を失い、西欧が不況の只中であつたことと重なり、深刻な経済危機に陥り、失業率は20%に達した。政府は経済の安定成長のための長期的な経済政策をとった。教育や研究開発への投資を増やしたことはその政策の一つであった。教育や研究開発への投資は、結果として、現在の高い教育水準と最高レベルの技術を作り出したと言えよう。2004年度のOECDがまとめた各国の研究開発、ソフトウェア、高等教育の3つの対GDP比率において、フィンランドの比率は世界でスウェーデン、米国に続いて3位である。我が国の3分野の投資比率は低く、特に高等教育に対する投資比率はOECDの平均以下と際立って低い^[10]。

1990年代に入りEU加盟準備としての国際化促進の観点を踏まえた基礎3年からの英語教育の必須化(1990年)、学校管理についての国から地方自治体への権利委譲(1991年)、教科書検定の全廃と学校長への権限の委譲(1993年)、学習指導要領の改定(従来の10分の1の量)による現場教師の裁量の拡大(1994年)、など様々な改革が行われた。2004年告示の新学習指導要領下で、2006年に基礎教育を6・3制から9年制へと完全移行した。

3.2 現教育システムとその特徴

(1) 教育システム

9年制へと移行した現フィンランドの教育システムは、基礎教育、後期中等教育と高等教育の3つのレベルで構成されている。学校または保育園で1年間の就学前教育を受けた後、7歳

に達する年の8月に基礎教育をスタートする。基礎教育は9年間（場合によっては10年間）の義務教育である。前半の6年間はクラス担任が、後半の3年間は教科担当が担当する。義務教育を終了した生徒は、高等学校か職業訓練学校を選択して後期中等教育(3年間が目安。2-4年の範囲)へと進学する。進学率は、高等学校へ54.5%、職業訓練学校へ38.5%と合わせて93%に達している(2005年度)。高等学校の終わりに全国統一の大学入学資格試験を受けて大学へと進学する。職業訓練学校に進んだ生徒は、自身の学習計画に基づいて会社での実務経験などの必須と、さまざまな分野のプログラムからの自由選択科目を選んで3年間を目安として単位を取得する。単位取得後に資格認定証書が授与される。高等教育は大学とポリテクニクがあり、大学は研究を基礎とする教育に焦点を当て、学術的な研究と指導を強調し、ポリテクニクは労働市場が必要とする仕事に関連した教育、すなわち実用を目指した教育に焦点を当てている。2者の教育は明確に区別されている。大学は学士と修士の学位を持ち、それぞれ3年と5-6年で修了できる。ポリテクニクの学位は3-5年で取得できる。いずれも大学院が用意されている^[11]。

(2) 特徴

①**教育機会の平等（公平）と教育の無償提供** 教育は年令、居住地、経済状態、性別、母語などに関わらず平等（公平）に無償で提供されている。基礎教育は学力や経済状態の異なる生徒が同じ教室で同じ教育を受ける。さまざまな能力を持つ生徒を一緒に教育することを可能としている要因は、少人数クラス、グループ学習や学力の低い生徒への個別指導などの導入、そして教師の質の高さである。中学3年の始めに統一試験が実施されるが、それは高校への入学試験ではない。生徒は自身の能力を評価し、高校や職業訓練学校を選択して進学する。

②**中心となる地方自治体** 学校の殆どは国と地方自治によって所有されている。国の教育は、教育省が全体の責任を負い、フィンランド国家教育委員会が国家カリキュラムの作成と教育支援を行い、6つに分けた地方自治体が中心的役割を担う^[11]。学校の運営は、校長、教師以外にPTA、カウンセラー、地域の人で構成される学校委員会によって行われ、教師の採用にも関わる。父兄や地域の人が学校教育において重要な役割を果たしている。

③**9年間（場合により10年間）の基礎教育（義務教育）の一元化** 9年制への完全移行により一貫した教育が可能となった。また、落ちこぼれを防ぐ手立てとして基礎教育の10学年が設定されている。生徒は10年生になることに対してマイナスイメージを持っていない^[9]。

④**学習指導要領のスリム化に伴う現場教師の裁量の拡大** 国の基準として書かれている内容は最小限のものであり、カリキュラムは現場教師が作成し、地域の教育委員会と前述の学校委員会が評価をする。教科書の選定も教師が行う。教師に与えられている責任は教師への信頼によるものであり、結果として教師のモチベーションを高めている。

⑤**少人数教育・グループ学習・個別指導の導入** クラスは20人前後の少人数クラスで編成されている。少人数クラスにより学習に遅れた生徒に素早く対応できる。そのような生徒には、

別の部屋で、あるいは放課後に優れた教師による補習(2-3人が対象)が行われる。このおちこぼれを作らないシステムが、PISAの結果に表れている。またグループ学習の導入は、優れた生徒の積極的な理解の出来ない生徒へのサポートを生み、結果として、優れた生徒を育てている。

⑥教師の質 1-6年のクラス担任とそれ以降の教科担当は修士を取得し、就学前教育の指導者は大学またはポリテクニクの学位を取得している。教科担当は専門科目とサブ科目の2科目の資格を持っている。高校卒業時に高い才能を持っている生徒が教師になるための学部、すなわち教育学部(現行動科学部)に入り、修士を取得し、高度な教育実習(7週間の基礎実習と5週間の高度な教育実習。高度な教育実習では、1週間で約20レッスンをを行う)を経て教師になり、自立した責任ある立場により、自己評価を通して改善を行い、原則として生涯同じ学校でその責任を果たす、といったシステムが教師の質を保証している。

4. 数学教育における統計教育の学習内容

国(フィンランド教育委員会)が定める基礎教育のカリキュラム基準^{[12] [13]}は、学年毎ではなく、3段階に区切られて示されている。学年を超えた学習期間の柔軟性により、教師や学校は地域や学校の生徒の実情に合わせたカリキュラムの作成が可能である。米国(PreK-2, 3-5, 6-8, 9-12の4段階)、イギリス(キーステージ1~4(必須)とレベル1~9(6まで必須))、オーストラリア(バウンド1~4とレベル1~6, 6+(必須))、ニュージーランド(レベル1~8(6まで必須))、中国(1~3年, 4~6年, 7~9年)なども同様に学習期間の柔軟性を取り入れている。後期中等の数学教育は、大学への準備教育として位置づけられている。ここでは、単元学習が取り入れられており、生徒は必須と選択に分かれている各コースの数学を選んで卒業までに必要な単位を取得する。カリキュラムの基準は非常に簡単なものであり、実際の学習内容は、教科書の選定を含め教師が決定・実施する。本章では特に、基礎と後期中等の数学における統計教育に焦点をあて、国が示すコアカリキュラムの概要と教科書の学習内容を概観し、その特徴について考察する。学習内容は日本の新指導要領の内容との比較表にまとめる(表3・4)。

4.1 コアカリキュラム

基礎教育のコアカリキュラムは5つの領域(「数と計算」, 「代数」, 「幾何」, 1-5年「測定」または6-9年の「関数」, 「統計と確率」)毎に基準が示されている。「統計と確率」は段階ごとに異なる名称を用い、1-2年「データ処理と統計」, 3-5年「データ処理, 統計と確率」6-9年「確率と統計」と記述されている。

後期中等教育のコアカリキュラムは、いわゆる理工系に進学する生徒のためのロングコースの数学、理工系以外の学部に進学する生徒のためのショートコースの数学が用意されている。

表2. 後期中等の数学コース

	ロングコースの数学	ショートコースの数学
必須	1 関数と方程式	1 式と方程式
	2 多項式関数	2 幾何
	3 幾何	3 数学モデルI
	4 解析幾何	4 数学的解析
	5 ベクトル	5 統計と確率
	6 確率と統計	6 数学的モデルII
	7 微分	
	8 無理関数と対数関数	
	9 三角関数と数列	
	10 積分	
選択	11 数論と論理	7 商業数学
	12 数と代数的方法	8 数学的モデルIII
	13 発展的な微分・積分	

ロングコースの数学には、10コースの必須と3コースの選択がある。ショートコースの数学には、6コースの必須と2コースの選択がある(表2)。いずれのコースにおいても「統計と確率」は必須である。1年5学期(1学期:2ヶ月)の中で、各学期の時間割を見て自分で選択して単位をとる。なお、ロングコースからショートコースに変更する場合の単位認定科目についても記述されている。各コース全体の指導目標と学習内容が箇条書きで示されているが、特にショートコースの目標として、「日常生活や社会的な活動において数学を利用できる」、「経験的、探求的、発見的な学習」、「将来の学習のための基盤を作る数学的な技能、知識や能力の獲得」、「道具としての数学」などのキーワードや「数学的な表現でメディアによって提供された情報を受容し、分析し、その信憑性を評価する習慣を身につける」、「文化の発展において数学の重要性を実感する」^[16]などが記述され、将来の学習と実生活で役立つ数学という点が強調されている。

4.2 教科書の学習内容

基礎教育1-6年の教科書^[14]は各学年A/Bの2冊(全12冊)で構成されている。「統計と確率」が独立した単元(「データ処理と統計」として扱われるのは5年後半の教科書(5B)(全168p中30p)だけで、そこでは現実データを用いた様々な統計グラフを用いて領域「数と計算」の学習や、データの中心を表す指標と広がり指標について学習すると同時に、ベン図を使った集合、樹形図を使った場合分け、可能、不可能、確実の概念の理解と簡単な確率の計算といった確率の導入が行われている。それ以外の各学年の教科書では、「数と計算」や「測定」の学習単元の中で合計約120のグラフ・図が活用されている。基礎教育7-9年の教科書^[15]は、Laskutaito 7(図と数学・平面幾何・数列と方程式)、Laskutaito 8(百分率とべき乗・代数・3角形と円)、Laskutaito 9(立体幾何・関数・連立方程式)とLaskutaito X(統計処理と解釈・統計量・確率)の4冊で構成されている(注:全てCD-ROM付)(表3参照)。

後期中等教育のショートコース用の教科書の学習内容を表4にまとめる。ロングコースは、これらの内容を含み、さらに確率分布の期待値や確率の計算について詳細に学習する。

4.3 数学教育の特徴・統計基礎教育の特徴

(1) 数学教育の特徴

① 基礎教育における徹底したスパイラル教育の導入 各タームの第1週は復習に割り当てられ、徹底したスパイラル教育が導入されている(1年:5ターム, 1ターム:7週)。複数の教師の下で繰り返し学習することの効果期待できる。

② 数学教育における「統計と確率」の位置づけ 国が定める基準において、基礎教育の数学カリキュラムは「統計と確率」を学習領域の1つとして位置づけている。また後期中等教育においても、いわゆる文系と理系のいずれのコースの数学においても必須であり、したがって、大学へ進む全ての生徒は、大学進学前に「統計と確率」の基礎学習が終っていることになる。

③ 後期中等教育(高校2・3年生に相当)における数学の重視 全ての高校生が、ロングコースの数学(理工系に進学する生徒対象)とショートコースの数学のいずれかを学習する。ショ

ートコースでは、6コースの数学を異なる教科書で学ぶ。たとえば、「統計と確率」の教科書は17199ページからなる。いわゆる文系へ進む生徒のための数学は我が国より充実している。

表3 基礎教育の学習内容

国	年齢								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
初等教育						中等教育前半			
フィンランド	棒	層別棒	帯棒(作成)	積上げ棒 折れ線 (作成)	円(作成) 2軸上の棒と折れ線 人口ピラミッド タリーチャート(作成) 混合棒グラフ				
					平均、中央値、最頻値 最小値、最大値、範囲	平均と散らばり PCの活用			
					可能・不可能・確実 樹形図 簡単な確率計算	ランダム実験と事象 古典的確率、統計的確率 分数表現、P()の使用			
日本(新)	絵	表、○の グラフ	棒(目盛)	折れ線	円 帯	表(階級) ヒストグラム	ヒストグラム		
			最小値 最大値			平均	平均 中央値 最頻値		母集団と標本 インターネット から情報収集 コンピュータ活 用
						場合の数		基本的な確 率 樹形図	

④ 特に優れている生徒は高校3年で大学の数学科目の履修が可能 高等学校によっては数学スペシアルクラスが設置されている。そこでは入学試験により選抜された生徒が入る。特に優れた生徒は高校3年で大学の数学を履修でき、入学後の単位となる。

(2) 統計基礎教育の特徴

① 基礎教育1-6年の学習法 基礎教育1-6年の「統計と確率」の学習法において、他の数学の学習の中で統計グラフを活用する学習法はフィンランドの統計教育の特徴である。「統計と確率」は、数を変換して説明するため、あるいは他の数学の理解のための道具として、また、現実社会を投影するもの、すなわち数学が現実社会と結びついていることを生徒に体験させるための有効な手段として扱われている。一方、統計教育の側面としては、初期の段階でグラフに慣れ、次の段階でグラフ表現の意味や統計のパラメータの表す意味について学習し、同時に古典的確率と統計的確率を体験する、という学習の流れとなっている。

② 統計と確率の学習時期 基礎1年から後期中等まで全ての生徒が「統計と確率」の学習を行う。但し「確率」については、基礎5年で始めて習う。以降の教育では、統計と確率が一緒に扱われている。この点において我が国の学習法とは明らかに異なる。

③ グラフ電卓の使用

コンピュータの利用とは別に、簡単なグラフ電卓が日常的に使用されている。グラフ電卓は統計

の学習に有効であるだけでなく、入学試験での有効利用も考えられる。

5. まとめ

福祉国家フィンランドは、国の教育政策に支えられて生み出された教師の質の高さが教育の質を支え、その結果がビジネスの成功に繋がっているという因果関係を捉えることができた。フィンランドの数学教育の中で「統計と確率」が確実に位置づけられ、グラフ活用の特徴ある教育法など、さまざまな数学教育と数学の中の統計教育の特徴を見ることが出来た。詳細な教師教育については紙面の都合で省略した。

【参考文献】

[1] 伊藤裕子, 「統計科学研究推進の重要性」, 日本統計学会 75 周年記念事業・第 2 回研究集会資料, (2006)

[2] 藤田宏, 「統計教育の提言: そのスピリットとアプローチ - 数学教育の視点から -」, 日本統計学会学会誌, (2008)

[3] マニユエル・カステル他, 高橋睦子訳「情報社会と福祉国家」, ミネルバ書房, (2005)

[4] 文部科学省ウェブサイト, 「OECD 生徒の学習到達度調査(PISA)2006 年調査国際結果の要約」

[5] IMD World Competitive Cente Web サイト <http://www.imd.ch/research/centers/wcc/index.cfm>

[6] ジェトロビジネスライブラリ, IMD 世界競争力年鑑 (World Competitive Yearbook)

[7] 文部科学省ウェブサイト, 「中央教育審議会配布資料 IMD による国際ランキング」

[8] WEF(World Economic Forum)ウェブサイト <http://www.weforum.org/>

[9] 中嶋博, 「OECD/PISA, 教育大国フィンランドと日本の課題」, OECD 東京センター新春講演会, (2005)

[10] 文部科学省科学技術政策研究所, 「科学技術指標 - 日本の科学技術の体系的分析 -」, (2004)

[11] フィンランド国家教育委員会, 「フィンランドの教育」, (2006)

[12] FINNISH NATIONAL BOARD OF EDUCATION, 「NATIONAL CORE CURRICULUM FOR BASIC EDUCATION 2004」, Vammalan Kirjapai Oy, (2004)

[13] FINNISH NATIONAL BOARD OF EDUCATION, 「NATIONAL CORE CURRICULUM FOR UPPER SECONDARY SCHOOLS」,

[14] Marjatta Koivisto et al., 「Laskutaito 1A-6B」, WSOY, (2006)

[15] Teuvo Laurinolli et al., 「Laskutaito 7-X」, WSOY, (2007)

[16] 熊倉啓之他「続・フィンランドの数学教育」, 日本数学教育学会誌 第 89 巻 第 11 号, PP.40-51, (2007)

[17] Katarina Hemmo et al., 「SIGMA5 Tilastot ja Lodenäköisyys」, TAMMI, (2007)

[18] ヘルシンキ大学ウェブサイト http://www.pisa2006.helsinki.fi/finnish_school/educational_system/

表 4 後期中等教育の学習内容 (影つきは必修)

	15	16	17
	中等教育後半		
フィンランド	(ショートコースの内容) ヒストグラム 散布図(近い直線) 平均値、中央値、最値 範囲、標準偏差、四分位数 正規分布の相対 相関係数 古典的確率と幾何学的確率 確率の計算の規則 (余事象・排反事象、樹形図、ベン図) 2項分布と正規分布(正規分布の確率表) (ロングコースのみ) 離散と連続の確率分布 離散分布の期待値		
日本(新)	数学I データの分析 散布図 箱ひげ図	数学活用. データの分析 2つのデータ間の関係を調べる (散布図や相関、関数近似) 時系列データの変化の考察 (移動平均)	
	四分位数・四分位範囲・四分位偏差 分散、標準偏差 相関係数		
	数学A. 場合の数と確率 確率の基本的ルール 排反事象・余事象 独立な試行と確率 条件付確率	数学B. 確率分布と統計的な推測 2項分布 正規分布(標準正規分布) 期待値 母集団と標本 確率理論を統計に応用・母平均の推定	