

データ駆動型社会が導く初中等教育における 新しい統計教育ソフトウェア

New Statistical Education Software in Elementary and Secondary Education Guided by the Data-Driven Society

青木 浩幸 AOKI, Hiroyuki

● 国際基督教大学
International Christian University

Keywords 統計教育, ビジネスインテリジェンス, ビジュアル思考, Notebook インターフェース, コンポーネントベース開発
statistical education, business intelligence, visual thinking, notebook interface, component-based development

ABSTRACT

データ駆動型社会は私たちの気づかないうちに日常に浸透し、様々なところで影響を与えている。GIGA スクール構想によって学校教育で1人1台の情報端末が使えるハードウェア的環境は整えられた一方で、データ分析の方法やそれを支援するソフトウェア的環境は時代の変化に追従できているとは言い難い。本研究はデータ駆動型社会が世の中に及ぼした影響や統計ツールの進化が統計教育的にどのような意義があるかを抽出し、新しい統計教育ソフトウェアの開発に役立てることを検討した。また、新しい教育用統計ソフトウェアに求められる機能の実現にあたっての課題を抽出し、それを解決する方策を検討した。

The data-driven society has penetrated our daily lives without our noticing, and it is affecting us in various areas. While the GIGA School Initiative has created a hardware environment in which each student can use an information terminal in school education, the methods of data analysis and the software environment that supports them have not kept up with the changing times. This study extracted the impact of the data-driven society on the world and the significance of the evolution of statistical tools in terms of statistical education and examined what could be useful for the development of new statistical education software. It also extracted issues in realizing the functions required for new statistical software for education and examined ways to solve them.

1. はじめに

世界で最も有力な7人のデータサイエンティストに選ばれたペントランドは、データ駆動型社会の説明として、社会的相互作用の詳細を深く考慮し、ビッグデータというツールを用いた新しい時代の思考により21世紀特有の問題が解決されるとしている（Pentland, 2013）。文部科学省でも国民に広く必要とされる能力を検討し、初等中等教育を通じたデータ・サイエンスや統計教育の充実を方針として掲げている（Society5.0に向けた人材育成に係る大臣懇談会, 2018, p.19）。そのような教育を実現する環境整備も進んだ。義務教育段階の児童・生徒に1人1台の情報端末を行き渡らせる文部科学省のGIGAスクール構想は、新型コロナウイルス感染症流行の影響で前倒しされ、2021年3月に96.1%の整備率を達成した（文部科学省, 2021a, 令和3年3月末時点確定値）。高等学校でも2022年度中に全ての都道府県において、1年生の1人1台環境整備が完了予定である。急速な整備は休校時のオンライン教育対策がきっかけだったが、平常時での端末の持ち帰り学習も義務教育段階の26.1%で実施され、51.8%が準備中とされている（令和3年7月末時点確定値）。学校をはじめ家庭においても情報端末を用いた学習が現実になってきている（文部科学省, 2021b）。

学習指導要領において算数・数学の統計の学習におけるコンピュータの利用が期待され、多くのデータを扱う場合や、直観的な理解のための利用が想定されている。OECD/PISAが提示する7つの数学的能力には、コミュニケーション、数理化、表現、推論と論証、問題解決のための方略の考案、記号的・形式的・専門的な表現や操作の使用と並んで「数学的ツールの使用」が挙げられており（岩崎・溝口, 2019, p.65）、コンピュータの利用も数学的能力の一つと見做されている。従来コンピュータの利用は教師による演示やPC教室における限定された時間の利用が主だったが、これからの主体的・対話的で深い学びが求められる時代においては、学習者自身が主体的に学習者用端末を用いた学びが促進されるだろう。

数学的活動におけるコンピュータの用途を整理する。中学校学習指導要領解説数学編では以下の3つの数学的活動が挙げられている（文部科学省, 2017, pp.59-61）。

- ① 日常の事象や社会の事象から問題を見出し解決する活動
- ② 数学の事象から問題を見出し解決する活動
- ③ 数学的な表現を用いて筋道立てて説明し伝え合う活動

コンピュータを使うことで、日常における調査集計、インターネットからの情報入手によって①の活動を支援できる。可視化や計算は②の活動の支援である。プレゼンテーションやコミュニケーションによって③の活動を支援できる。高等学校数学科の授業は、小学校や中学校と比べると、これまで数学的活動があまり行われてこなかったことが指摘されているが（岩崎・溝口, 2019, p.84）、昨今の高校生はデジタル機器の扱いが巧みであることを踏まえると、コンピュータの導入による数学的活動の効率的な促進が期待できる。さらに岩崎と溝口は数学的活動が行われてこなかった結果として「数学の定理・公式は覚えていても、その意味を理解していない、活用できない」ことを指摘している。表現技術はあっても、表現の選択の意味を考える、そこから何かを読み取ろうとする意志が不足しているという。2014年度全国学力・学習状況調査において、「指定した主張に使えるグラフ表現」を選択する4択問題が35%の正答率でOECD国家中でも低い順位であったことからこの状況を見ることができる（田中, 2021, p.266）。

このような問題の解決にコンピュータを役立てたい。日本の教育では電卓を使用する機会は少ないことに対し、アメリカの教育では幼い頃から電卓を導入し、試験も電卓持参で臨むことが知られている。これは計算力を重視する日本に対して、アメリカでは計算して得られた結果をどう生かすかという、計算の次の段階に重点が置かれているからとされる（舞田, 2019）。この考え方は統計においても適用でき、グラフ描画にコンピュータ

を使うことによって、グラフを描く技術から、どのグラフを使うか、どう使って何を求めるかに学びの重点を移すことができる。

コンピュータを使用して統計を学ぶには統計ツールが必要である。表計算ソフトウェアも利用することもできるが、初心者にとって中身が理解できないブラックボックスになりかねず、結果を得るだけの操作習得の活動では弊害を生じる。そのためやさしく使え、仕組みを理解させる教育的配慮を加味したデジタル教材コンテンツや統計教育ソフトウェアが開発されてきた。

筆者は2007年から科研費プロジェクト（研究代表：静岡大学 裕元新一郎）の研究協力者として統計教育ソフトウェアを開発してきた。15年が経ち、世の中はディープラーニングによるAIブームやデータ駆動型社会・デジタルトランスフォーメーションの語が流行するようになった。世の中のデータを取り巻く環境は確実に進化している一方で、統計教育ソフトウェアについては大きな変化が見られていない。そこで世の中で何が進化したのかを捉えることで、統計教育もより進化するきっかけが得られるのではないかと考えた。

このような問題意識と必要性から、本研究では統計教育ソフトウェアの現代化のために、現代の統計ツールの効果的な機能や考え方を抽出すること、今のソフトウェア開発が抱える困難を解決するために必要な開発技術について検討することを目的とする。

2. 研究の目的と方法

データ駆動型社会を支える子どもたちのための新しい統計教育ソフトウェアに必要な要件と開発課題を明らかにするために、以下の2つの内容について研究に取り組んだ。

- ① データ駆動型社会が世の中に及ぼした影響や統計ツールの進化から統計教育的な意義を抽出し、新しい統計教育ソフトウェアの開発に役立てられるものは何かを検討する

- ② 新しい統計教育ソフトウェアに求められる機能の実現にあたって生じる課題を抽出し、それらを解決する方策を検討する

3章では①の内容について注目に値するトピックについて文献調査により歴史的経緯から意義の抽出を行い、4章では②の内容について統計教育ソフトウェアの論文等資料と開発経験をもとに課題の抽出を行う。5章ではそれらの結果について議論する中で新しい統計教育ソフトウェア開発への提案を導き、6章では研究をまとめ振り返る。

3. データ駆動型社会における新しい動向

3.1 ビジネスインテリジェンスの台頭

ビジネスインテリジェンス（BI）は2020年代の企業におけるデータ分析のトレンドであり、データ駆動型社会を実現する手法の一つである。ガートナーの2019年の都市圏を対象とした調査では回答者の74%の企業がBIを支援するソフトウェア、BIツールを導入していた（Gartner, 2019）。BIツールの有名なものにはTableau（岩橋他, 2019）やMicrosoft Power BIがある。

ハワード・ドレスナーはBIの定義について「企業で働くあらゆる人が情報を分析し、分析結果を業務に生かすこと」と述べている（島田, 2004）。BIという用語自体は昔から存在していたが、米ガートナーのアナリストだったドレスナーが1989年に現代的な意味でBIを定義した。この「インテリジェンス」とは「判断・行動のために必要な知識」を意味し、さまざまに考えられる仮説（シナリオ）からもっとも妥当なものを絞り込むことによって判断・行動を可能にする（北岡, 2009）。仮説を立てられるのは意思決定の当事者であるため、IT専門家ではなく当事者自身がデータを分析することが理想とされる。しかしながら、かつて情報やデータ処理を行う端末は機器リソースや技術的な制限からIT専門家に独占されていた。IT部署の社員が現場の要求を聞いてデータ分析を行い、フィードバックを受けて改善するというサイクルが繰り返されたが、現場の需要を逐次

伝え、結果を待つのは非効率だった。それが情報端末やネットワークの普及、インターフェースの進化により当事者自身で情報を扱えるようになった。

高度なビジュアライゼーション機能とインタラクティブな操作によって試行錯誤を通して大規模なデータを多角的な角度から分析できるのがBIの特徴である。わかりやすい操作もあらゆる人による分析を可能にする要件である。データ項目をグラフの上にドラッグドロップするマウス操作でデータを可視化し、比較や傾向の読み取りができる。一度分析処理を作っておくとデータ更新のたびに自動的に値が流し込まれ、随時最新の状況を見て意思決定ができるようになる。このようなリアルタイムに変動する分析結果を見られる表示機能をダッシュボードという。このダッシュボードはコミュニティの中で共有することができ、チームの意思決定に役立つ材料になるとともに、表計算で起こりがちな作成した当人しか理解できない分析の属人化を防ぐと考えられている。

BIの統計教育における意義は、データ分析が専門家による独占から、意思決定を行う各人のものに広がったこと、結果だけでなく分析処理自体がグループで共有される習慣の広がりによる統計的スキルの普遍化である。このことにより、与えられた数値をグラフに表現するような技能習得ではなく、意思決定のために問題の文脈を理解してデータ分析に当たる学習展開が求められる。ガートナーの調査では74%の企業がBIツールを導入していたが、その回答者の中でも能動的に利用できている比率は35%、他者の要望により受動的に利用している比率は24%、利用していない比率は41%と、個人的観点からは使い切れていない状況にある。学校教育で統計分析に慣れさせ、将来の社会におけるBIの活用促進につなげていく必要がある。

3.2 ビジュアライゼーションとインタラクションの普及

データが支配する世界においてビジュアライゼーションはその共通言語となっている（ベリ

ナート, 2022, p.8)。ベリナートはその例として、カーナビの地図やフィットネスアプリの画面のような日常生活に浸透したデータビジュアライゼーションが、まるで耳に入ってくる言語のように意識されずに利用されていることを挙げている。さらに、そのような環境では人々はきれいにデザインされた表現に慣れ、表計算ソフトで自作したグラフは見劣りして感じられる事態になっていると指摘している。

ベリナート (2022, pp.23-39) はビジュアライゼーションの歴史を振り返り、どのようなグラフが良いとされるかは従来に比べ柔軟化していることを示している。「グラフィックで進歩を遂げようとするならば、科学の他分野と同じように、より優れた手法が開発された時には古い手法を排除する用意をしなければならない」(p.28)とした20世紀終盤のクリーブランドとマグギルの主張のように古い手法が排除されたこともあった。しかし21世紀初頭にインフォビズが爆発的に広がり、コミュニティによって価値が多様化し、「データビジュアライゼーションはどんなもので、また、どう『あるべきか』という理論はもはや誰にも支配されていない」(p.30)時代では、絶対的な正解と言える「正しいグラフ」は存在しないと示唆している。「チャートジャンク」として過剰な装飾が批判された3D棒グラフや、読み取りの正確さを古くから指摘された円グラフも状況によって有効であるとして評価する研究も出てきている(pp.30-31)。ベリナートは「正しさ」のルールを超え、置かれた状況・聞き手にとって最も役に立つ「良いグラフ」を目指し、理論的な根拠に基づいた思考を学ぶべきだとし、そして「良いグラフ」を学ぶ最善の方法は、人々がどのようにチャートを見るかを知ることだとしている (p.35)。

2019年に始まった新型コロナウイルス感染症の流行は、これまで専らBIが活躍の場であったビジュアライゼーションを一般市民に親しみのあるものとした。MITビジネスレビューの記事 (Patel, 2020) では、2020年当時注目されたコロナ関連のサイトを批評しているが、そのビジュアライゼーションにはインタラクティブ操作やアニ

メーション効果が溢れている。インタラクティブ性の高まりによって、グラフは作り手が完成させるのではなく、利用者が操作を加えて見たい結果を選べるようになる (Patel, 2020, 2章 ネクストストレインの例; ベリナート, 2022, p.233)。ユーザーインターフェースをインタラクティブにすることによって学習の達成度や知識の長期保持に関連し、より速く学ぶこと、学ぶ姿勢が良くなることが報告されている (Najjar, 1998)。

マッキンレーはデータを符号化する7つの視覚変数 (位置, 大きさ, 形, 色, 濃淡, 方向, きめ) に「モーショ」を追加し、アニメーションがデータの伝達に大きな効果を発揮することを見出した (ベリナート, 2020, p.28)。アニメーションは観る側に時系列の変化を追わせられる他 (Patel, 2020, 7章 ヘルスマップ), 同じグラフでも伝えたい内容を見せる順序によって制御でき、聞き手の印象に残したり、結果に期待感を持たせたりする演出の効果がある (井上, 2019)。

これらのビジュアライゼーションとインタラクティブの普及がもたらす統計教育的意義は、グラフ表現の自由化と判断力育成の要求である。ベリナート (2022, p.10) は近い将来に「ビジュアル思考」を持たない人は雇用されなくなると予想し、状況や受け取り手に適応した「良いチャート」(グラフ) の作成は必要不可欠なスキルであるとしている。

3.3 Notebookインターフェース

Notebookインターフェースとは人間が読む文章とコンピュータが処理する演算命令、図表表現を含む演算結果が一体となった文書表現である。これはドナルド・クヌースが1984年に提唱した文芸的プログラミングの影響を受けている (Standage, 2015)。通常コンピュータに解釈させるプログラムと人間が読むドキュメントは別に存在するため、プログラムは修正されてもドキュメントは古いままで止まり、内容が乖離していくことが起こりがちである。文芸的プログラミングではコンピュータの命令に従ってプログラムを書くのではなく、人間の思考の流れに沿って人間の言

葉で論理を記述する中にコンピュータの命令を埋め込むと、自動的にコンピュータがプログラムとして解釈するプログラミングパラダイムである。従来のプログラムがコンピュータの命令の間に人間が理解できるコメントを挿入するのを反転して、人間が理解できる文章の中にコンピュータの命令と結果を埋め込むようにしたと捉えることもできる。

このアイデアはMathcadとMathematicaにより、それぞれ1987年と1988年に導入された。Mathematicaでは見出しをはじめとしたワープロ機能を備え、レポートの作成も行うことができる。2007年のMathematica 6以降ではインタラクティブインターフェースが追加された。これによりNotebook上にスライダーを配置し、これを操作してパラメータによる結果の変化をみられるようになった。これは従来のグラフの比較では数枚の比較に留まっていたところ、十数枚のグラフの切り替えをあたかも連続的な変化のように、時間軸が加わった3次元的なイメージとして捉えることができる。インタラクティブな操作はこれまでの統計ソフトウェアでもあったが、Notebookインターフェイスはその試行錯誤の行程を活動記録の一部として残すことを可能にする。

Notebookインターフェイスは近年人気の統計プログラミング環境であるR言語やPythonの処理系 (R Studio・Jupyter Notebook) にも採用され、探索的データ解析の面倒な作業を変革するものとして注目を浴びている (Standage, 2015)。探索的データ解析においては、データ探索の記録を文章で取っていても、試行錯誤によって過去のデータやプログラムが失われ、同じ計算を再現できないという問題が発生していた。Notebookインターフェイスでは人間の思考とプログラム、実行結果が時系列に蓄積されていくので、元データを読み込むところから始めればプログラムを順次実行していくことで過去の処理結果を再現できる。Osipov (2016) は組織がデータ駆動型になるためには、最終報告書だけではなく、すべてのクエリ、仮定、数式、モデルにアクセスし、データにまつわる会話や計算の再現を可能にすることが重要と

していて、Notebook インターフェースはそれを実現することができる。

Notebook インタフェースの統計教育的意義は、分析の過程の記録と活用の促進である。これにより初心者にも探索的データ分析を追跡可能な形で行うことを可能にし、自身の学習の振り返りへの利用、結果だけでなく過程の共有や評価が促される。

4. 統計教育ソフトウェア開発における課題と技術的展望

4.1 プラットフォームの差異

ソフトウェアはオペレーティングシステム (OS) やアプリケーションフレームワークといったプラットフォームに依存して開発される。特定のプラットフォーム向けに作られたソフトウェアは他のプラットフォームでは動作できず、その差異によって生じる問題がある。ここでは統計教育ソフトウェアをプラットフォームの観点から振り返る。

返る。

宮崎大学の藤井 (2009) が開発した SimpleHist は Borland の Delphi で開発された Windows アプリケーションである。動作する OS に合わせて開発されたネイティブアプリでは PC の最大限の機能が発揮できる一方で、異なる動作環境 (Windows 以外の MacOS や Linux コンピュータや iPad, Android 端末, Chromebook) では使用できず、OS のメジャーバージョンアップによって使えなくなる可能性があった。プラットフォーム毎にソフトウェアを開発すればこの問題を解決できるが、プラットフォーム毎に開発コストがかかる。マサチューセッツ大学アーマスト校で開発された TinkerPlots は Windows, MacOS 両方のソフトウェアが提供されているが、企業の Learn Troop 社の製品だから可能なことである。

別のアプローチはミドルウェアによってプラットフォームの差異を埋めることである。図1に示す科研費プロジェクト (研究代表: 静岡大学 枡元新一郎) で開発された stathist は Adobe Flex で開

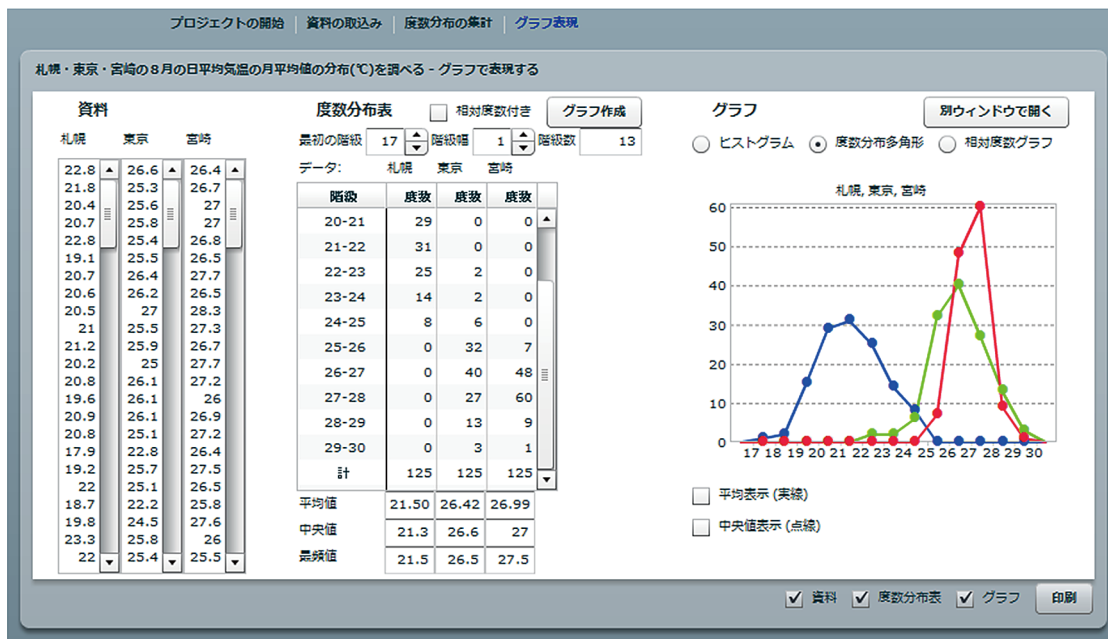


図1 stathistの画面 [元データ・度数分布表・度数分布多角形] (枡元・青木, 2011)

発されており、任意のWebブラウザにFlashプレイヤーというミドルウェアのプラグインを追加することでインストール不要で利用できた(裕元・青木, 2011)。ネットワークが接続されていない環境のためには、プロジェクトファイルというFlashプレイヤーを同梱したWindows/Macアプリケーションを作成して使用できた。このOSやブラウザ、ネットワーク環境の違いを超えて利用できる利点は大きかった。しかしながらこのFlash技術はモバイルデバイスの登場に追従することができず、2011年に開発を中止、2020年にサポートが終了し、セキュリティが確保できなくなったため使用できなくなった。一企業が展開するプロプライエタリの技術はその盛衰に左右される危険がある。

このようなプラットフォームの問題は、企業間の囲い込み競争や、終わりのない機能の進化のために起こる。この問題は2014年に勧告されたHTML5で一旦解決を見る。HTML5は関係者の協議によって最新の技術を取り込むオープンな規格である。多くのWebブラウザがこの規格に準拠して開発されているので、HTML5に従ったソフトウェアは広く長い期間使えることが期待される。またWebブラウザ上で動作するHTML5のソフトウェア(Webアプリケーションという)はインストールを要しないため、セキュリティに厳しい学校現場での使用に適していた。このHTML5で開発されたのは愛知教育大学の飯島(2013)が開発した3-Histogramやstathistの後続プロジェクトであるstatLook(裕元・青木, 2017)である。正進社が開発する統計ソフトウェアSGRAPA(<https://sgrapa.com>)もHTML5で提供されている。ネイティブアプリ製品が存在するBIのTableauや統計プログラミング環境であるR Studioでも、門戸を広げるためにHTML5によるクラウド版サービスが提供されている。

HTML5によってプラットフォーム問題は一旦解決し、一度開発されたアプリは継続して使えることがほぼ保障されるようになったが、反対に後方互換性の縛り問題が発生した。WebブラウザやHTML5は進化を続けるが、古いWebブラウザの

利用者を閉め出さないように新しい機能を取り込むことができず、技術の成長が止まってしまう問題である。これは世の中に登場する新しいWebアプリが新機能を活用して動きがある表現で使いやすくなる一方で、旧態依然としたソフトウェアとして取り残され、魅力の相対的低下につながる。

4.2 端末の多様化(画面の大きさ)

学校の授業では従来コンピュータ教室が用いられていたが、現在は普通教室にプロジェクタや電子黒板が設置され、学習者用端末としてタブレット端末も導入されるようになった。多様化する操作の問題もあるが(キーボードとマウスからマルチタッチやペン)、ここでは統計ツール特有の画面の大きさに関する問題に注目して、その対応について論じる。

統計ツールでは2つ以上の内容を比較したい需要が多い(飯島, 2013)。表の数値とグラフ表現、度数分布表とヒストグラム、四分位表と箱ひげ図のように「元となるデータとその結果の比較」、また階級幅を変えた複数ヒストグラム、ヒストグラムと箱ひげ図の長所短所といった「結果同士の比較」である。様々な画面の広さに対して、理想は広さに応じて情報を多く掲載できるようにすることだが、そのような柔軟なレイアウトの実現は、作る側には高度な設計と技術を要する。

SimpleHistでは内容をウィンドウに切り出して複数の内容を併置できるが、ウィンドウは上下関係が変わりやすく自由な分、扱いの難しさがある(飯島, 2013)。飯島はこの対処として開発した3-Histogramsにおいて名前の通り3つのヒストグラムを並べて比較できるようにした。度数分布表や3つのヒストグラム、ヒストグラムの合成など幾つもの内容を縦方向に並べており、Webコンテンツのズーム表示やスクロールの性質を生かし、どのような画面の大きさでも利用できるよになっている。

statLookは図2のように左右2つの内容を比較できることが特徴である(裕元・青木, 2017)。デジタル教科書の掲載を想定して、コンテンツ上への書き込みに便利のように固定レイアウトで作

◆ 度数分布

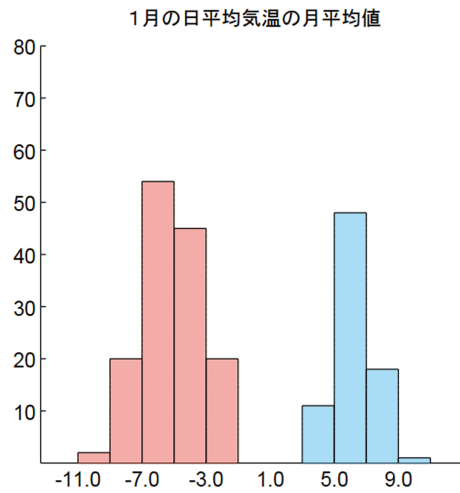
範囲 ~ 階級幅 階級数

1月の日平均気温の月平均値の度数分布表

階級 (以上~未満)	静岡			札幌			広島		
	度数	累積 度数	相対 度数	累積 度数	相対 度数	累積 度数	累積 度数	相対 度数	
-11.0~-9.0	0	0	0	2	2.0	0.014	0	0	
-9.0~-7.0	0	0	0	20	22.0	0.142	0	0	
-7.0~-5.0	0	0	0	54	76.0	0.383	0	0	
-5.0~-3.0	0	0	0	45	121.0	0.319	0	0	
-3.0~-1.0	0	0	0	20	141.0	0.142	1	0	
-1.0~-1.0	0	0	0	0	141	0	1	0	
1.0~3.0	0	0	0	0	141	0	24	24.0	
3.0~5.0	11	11.0	0.14	0	141	0	1	71	
5.0~7.0	48	59.0	0.62	0	141	0	1	43	
7.0~9.0	18	77.0	0.23	0	141	0	1	1139	
9.0~11.0	1	78.0	0.01	1	0	0	1	0	
計	78		1	141		1	139	1	

ヒストグラムを作る

◆ ヒストグラム



表示: 静岡 札幌 広島 複数

図2 statLookの画面 [度数分布表・ヒストグラム] (裕元・青木, 2017)

られている。これはブラウザの画面サイズが変わって文字組が変わるリフローレイアウトでは書き込みがコンテンツに追従しなくなることへの配慮である。この左右に表示されるスペースをペインと呼んでいるが、これは設計ではスマートフォンのような狭い画面では1ペインで、タブレット端末では左右の2ペインで、デスクトップPCの大画面では3ペインを並べて画面の広さを有効に使えることを想定しているが、未実装である。なお、2つのペインの比較が必要ない時は1ペインだけを広げて表示し、1つの内容に集中できるようになっている。ウィンドウと違い、ペインはタイルのように敷き詰められるもので、好きな位置に重ねて配置するような自由度がない代わりに迷子になることがなく、無駄なスペースができないため画面の広さを有効に使える。BIのダッシュボードでも各種グラフや数値をタイル形式に並べるようになってきている。

教育的利用においては、画面上で強調したい部分をハイライトしたり、気づいたことを記入した

りするなど自由に書き込みできる機能の意義が大きい(中橋他, 2016)。レイアウトの多様さと書き込みの両立が課題である。解決策のアイデアとしては、書き込みは図や表などのペイン単位で行うようにできれば、書き込みをペインに付随して移動させることでレイアウトの変更にも強い書き込み機能が実現できる。

4.3 プログラムの複雑化

統計教育ソフトウェアはその機能進化によって複雑化の一途を辿っている。例としてstatLookのプログラム(バージョン1.22.0201)は10ファイルの合計で4591行あり、197関数から成り立っている(表1)。プログラマーが頭の中に浮かべられるソフトウェアの規模は5000行くらいという言葉(sessamian, 2007)があるが、開発者の感覚としても効率的に開発できる規模の限界に近づいているように感じている。これはソフトウェア開発において「デグレード」という、機能追加によってこれまで正しく動作していた部分を壊してしま

表1 統計教育ソフトウェアstatLookの規模

ファイル名	役割	関数の数*1	行数
statlook.xhtml	静的な画面構造	0	575
data.js	系列データのデータ構造	15	112
stat.js	統計計算関数	18	168
statui.js	UI関係の機能	31	547
step-data.js	データテーブル	23	789
step-bar.js	棒グラフ	33	878
step-table.js	各種集計表	44	788
step-hist.js	ヒストグラム	19	431
step-boxp.js	箱ひげ図	11	238
x.js	状態永続化のためストレージ接続	3	65
計		197	4591

*1 シェルスクリプト `grep "function \w" -c *.js *.html` で計数。無名関数は含まない

う現象として知られており、その修正のために成長が滞るようになる。デグレードは主にソフトウェアの複雑度の上昇による見通しの悪さに起因する。これはインタラクティブ性を高めるための「データバインディング」という機能（表計算で見られる、セルの値を変更すると自動的にそのセルを参照するセルの値が更新される機能）や、アプリの状態をどの段階でも保存し復元できる永続化機能を自前で実装していたことによる。これらの機能は近年のアプリのインタラクティブ機能には欠かせない機能である。

この複雑性を解決するための技術が2010年代中盤から注目を浴びるようになった。有名なものに、React, Angular, Vueというアプリケーションフレームワーク（またはUIフレームワーク）がある。これはコンポーネントベース開発という、従来のオブジェクト指向開発を発展させたプログラムの部品化と構造化を促進するしくみであり、また複雑化しがちだった手続き的プログラムを宣言的に記述できることで、ロジックが単純化する効果が期待される。統計教育ソフトウェアの事例ではSGRAPAにVueのフレームワークが使われている。

一つの数学教材コンテンツを試行的にReactを使って作り直して見たところ、記述量が約3分の

2（メインのjavascript部分94行→62行）になっただけでなく、構成要素間の結合の分離が進み、見通しの良いプログラムになった。また、これらのフレームワークの利点は「トランスパイラ」という変換ツールが新旧ブラウザの互換性を保った記述に変換してくれることで、古いブラウザへの対応を気にせずに最新のプログラムの書き方ができることである。このため、後方互換性のために非効率な書き方をしなくて済むと共に、新しいことを気兼ねなく取り入れられる自由度は、成長を望む開発者にとって精神的にも健康であると言える。

5. 議論

2章で示した2つの研究内容によって求められた統計教育的な意義と開発における課題から、新しい教育統計ソフトウェアの今後の展開と対策について議論する。

5.1 新しい統計教育的意義から統計教育ソフトウェアの開発に役立てられること

3章のデータ駆動型社会における動向から抽出された新しい統計教育的な意義をもとに、今後の統計教育ソフトウェアに期待される進化を提案する。

複数人によって協調してデータ分析する時代において、統計教育ソフトウェアはもっと試行錯誤しやすくなる必要がある。グラフ表現において試行錯誤を促進するのは、ドラッグ操作のような直感的な操作性と共に、元のデータを壊さずにいつでも元の状態に戻れる安心感である。分析過程の各時点の履歴が残り任意の状態への復元ができるようにする。

また、協働学習においてネットワークで分析過程を逐次共有することができれば、これまでの分析の最終結果だけの共有よりも学習者間のコミュニケーションは活性化する。学習者は発想が湧いた時点で自分の端末で操作すると、その結果がすぐにグループメンバーの端末でも再現され、学習者同士の試行錯誤を通して話し合わせることができる。交流の促進のためには表やグラフ表現に指摘の箇所を示す矢印や囲み線、文章によるコメントのようなアノテーションを加えて共有できることが役に立つ。

統計教育ソフトウェアが提供するグラフ表現で留意すべきことは、よくできたソフトが自動的に理想的なグラフを生成してしまえば、ベリナートがこれから必要になるとする「ビジュアル思考」は育成できないということである。人が頭を使わなければ思考は育たない。「悪いグラフ」も作れる自由度の中で、良い選択を積み重ねて文脈に応じた「良いグラフ」の作り方が学べる。ただしそれはツールが何も支援しない訳では無く、適切な色使いや文字の大きさを提案するといった、デザイナーなら理論に基づいて導出できる部分を側方支援することによって、学ばせたい本質に集中させることができる。

統計教育ソフトウェアはこれまでもインタラクティブ性に力を入れてきたが、今後は世の中に広がるアニメーション表現にも注目したい。動きによって関心を引くだけでなく、要素を順次見せるアニメーションをプレゼンテーションに導入することによって、聴衆に伝えたいポイントが明確にできる。プレゼンテーションソフトのMicrosoft PowerPointにあるアニメーショングラフの機能は表計算の同Excelにはないように、これまで分析

ツールとプレゼンテーションツールは分離されていた。これからの統計教育ソフトウェアはプレゼンテーションツールとしての役割も考慮すべきである。

同様にレポート作成ツールの役割も期待できる。Notebook インタフェースはレポート作成というわかりやすい目的意識を示すことにより、分析結果のグラフと学習者による文章記述を両立させることができた。裕元 (2019, p.34) は統計ソフトを使うと簡単に成果物が形になるが、終了させればすぐに失われ簡単に振り返ることができない問題を指摘している。Notebook インターフェースはこの問題を解決し、過程が記録された成果物は後から学習過程を振り返れるとともに、途中で別の展開に発展させることもできる。

5.2 新しい統計教育ソフトウェアの機能実現にあたっての課題

4章では統計教育ソフトウェアの開発の経緯から認められた課題とその解決策について取り上げた。それぞれの課題に対して新しいアイデアによって解決が図られるとともに、技術の発達によって克服される様子を見ることができた。

効率を重視する企業と異なり、研究者の間では新しい技術に追随することが必ずしも盛んではない。そしてオンラインでソフトウェアが世界に広がる今日では、単独でのソフトウェア開発は継続性の面で問題を抱えている。そのためオープンソースの文化によって、関心と技術のある人々が協力してソフトウェアを作り上げていくコミュニティが必要である。そのために新しいフレームワークはプロジェクトの見通しを良くする働きを担ってくれる。そして必ずしも協力者みんながソフトウェアの全体を理解する高度な技術を持つ必要はなく、パッケージマネージャ (例: npm) の仕組みを使って開発された機能を組み合わせる小学生向け、中学生向け、高校生向け、やさしいバージョン、高機能バージョンなどツールの様々なバリエーションを作ってくれる開発者がいても良く、さまざまなレベルで協力しあえるコミュニティに成長することが理想である。そしてこのこ

とをオンラインを通じて実現する道具は揃っている。

理想とする新しいツールが今後登場したとしても、機能や自由度が高まることは、反面授業者や学習者が扱い切れるかという懸念も生じる。すべての機能を見せるのではなく、機能を隠して単純化して見せるカスタマイズや、マニュアルを見なくても使い方がわかるようにガイドする仕組みが必要になるだろう。例えばNotebookのインターフェースを使って活動の枠組みをあらかじめ作っておけば、学習者は穴埋め式に活動を行わせることができる。そのようなNotebookが将来「教材」とみなされるようになり、教員の間で共有され授業のアイデアが伝達されるようになる可能性がある。

6. まとめ

本研究は、時代の進化に合わせた統計教育のために、新しい統計教育ソフトウェアに必要な要件と開発課題について検討してきた。データ駆動型社会の新しい動向としてビジネスインテリジェンス、ビジュアライゼーションとインタラクションの普及、Notebookインタフェースを取り上げ、統計教育的な意義とその影響を考察した。

その結果、新しい時代の統計教育的な意義として、データ分析は意思決定を行う当事者自らが協調しながら行うものに普遍化すること、多様なグラフ表現の中から目的に合わせてよいグラフを判断することができること、データ分析の過程を残し再現することによる学びや探索的データ解析の広がりが見出せることを見出すことができた。新しい統計教育ソフトウェアはこれらの統計教育の変化を支援できるように進化することが期待された。その中で、試行錯誤を促進するためには直感的な操作と復元性、コミュニケーションの活性化のためには分析過程の逐次共有、ビジュアル思考を育てるためにはグラフ表現の幅、成果物作成のデザイン側面からの支援を提案した。また個々の活動単位の機能の提供の視点から、学習全体のサイクルを視野に入れた活動設計の視点が必要と

なるだろう。

統計教育ソフトウェア開発において技術の発展に伴って生じた問題とその克服の状況について振り返った。その結果、開発の課題として分離し進化し続けるプラットフォームへの追随と、端末とインターフェースの進化の側面としての画面レイアウトの多様性、ソフトウェアの複雑化と高度化について検討した。課題の解決方策としてHTML5のようなオープンなプラットフォームに準拠すること、ReactやVueといったコンポーネントベース開発手法に基づいたアプリケーションフレームワークの採用を提案した。端末画面の大きさや習熟度の違いについては、授業者のようなユーザー自身がカスタマイズできるNotebookインターフェースの延長によって、それぞれの教育現場に適した画面を構成し、工夫や成果をユーザーコミュニティで共有していくことで解決することが期待された。様々なスキルの立場で参加できる開発者とユーザーのコミュニティが形成されていくことを期待する。

ソフトウェア開発の道のりは決して真っ直ぐではなく、紆余曲折があった。様々な試行が成され、中には消えていくものもある。当時としては混乱だったとしても、後からみれば歴史から学びを見出すことができる。今後の開発者にはこれまでの経緯について学ぶことが、同じ混乱を繰り返さないためにも有効と考える。社会的なテクノロジーの使用動向や技術動向を時系列にまとめる本研究のような取り組みが継続的に行われることを期待したい。

引用文献

- ベリナート スコット (2022). ハーバード・ビジネス・レビュー流 データビジュアライゼーション, ダイヤモンド社.
- 藤井 良宜 (2009). 資料の活用での分布の見方 (初等・中等教育における統計教育の改善に関する実践研究と今後の展開へ向けて, 自主企画課題, 次世代の科学力を育てる), 日本科学教育学会年會論文集, 33, 157-158. https://doi.org/10.14935/jssep.33.0_157
- Gartner (2019, May 15). ガートナー, 企業におけるBIツールの導入状況に関する調査結果を発表, プレス

- リリース. <https://www.gartner.co.jp/ja/newsroom/press-releases/pr-20190515>
- 飯島 康之 (2013). 3-histogramsの開発—PCでもiPadでも使えるヒストグラム作成ソフト—, イブシロン: 愛知教育大学数学教育学会誌, 55, 7-22. <http://hdl.handle.net/10424/5755>
- 井上 香緒里 (2019, June 24). パワポの演出向上法 (3) グラフにアニメーションを設定する, 日経パソコン. <https://xtrend.nikkei.com/atcl/contents/18/00508/00006/>
- 岩橋 智宏・今西 航平・増田 啓志 (2019). Tableauで始めるデータサイエンス, 秀和システム.
- 岩崎 秀樹・溝口 達也 (2019). 新しい数学教育の理論と実践, ミネルヴァ書房.
- 北岡 元 (2009). ビジネス・インテリジェンス: 未来を予想するシナリオ分析の技法, 東洋経済新報.
- 舞田 敏彦 (2019, December 5). 中学以降も電卓を使わせない日本の遅れた数学教育, ニュースウィーク日本版. <https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2019/12/post-13545.php>
- 松元 新一郎・青木 浩幸 (2011). 統計的思考力を育成する統計ソフトの開発に関する研究—初等・中等教育における学校数学の立場から—, 日本数学教育学会数学教育論文発表会論文集, 44, 849-854.
- 松元 新一郎・青木 浩幸 (2017). 統計的思考力を育成する統計ソフトの開発に関する研究 (2) —時代の要請に応じた新ソフトウェアの開発—, 日本数学教育学会秋期研究大会発表集録, 50, 353-356.
- 松元 新一郎 (2019). 小学校算数・中学校数学「データの活用」の授業作り, 明治図書.
- 文部科学省 (2017). 中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 数学編.
- 文部科学省 (2021a). GIGAスクール構想の実現に向けた整備・利活用等に関する状況について. https://www.mext.go.jp/a_menu/other/mext_00921.html (参照2022年8月29日)
- 文部科学省 (2021b). 高等学校における1人1台端末の環境整備について, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/mext_01773.html (参照2022年8月29日)
- Najjar, L. J. (1998). Principles of educational multimedia user interface design, *Human Factors*, 40(2), 311-323. http://www.lawrence-najjar.com/papers/Principles_of_educational_multimedia_user_interface_design.html (参照2022年9月7日)
- 中橋 雄・中川 一史・佐藤 幸江・青山 由紀 (2016). 国語科学習者用デジタル教科書のマーカー機能と授業支援システムの画像転送機能を活用して言葉を検討させる授業における指導方略, 日本教育工学会論文誌, 40(Suppl.), 105-108. <https://doi.org/10.15077/jjet.S40062>
- Osipov, M. (2016, May 4). The rise of data science notebooks. *Datanami*. Tabor Communications. <https://www.datanami.com/2016/05/04/rise-data-science-notebooks/>
- Patel, N.V. (2020). 新型コロナ, 世界の最新データが見られるサイト10選, MIT Technology Review (KADOKAWA & ASCII). <https://www.technologyreview.jp/s/191263/the-best-and-the-worst-of-the-coronavirus-dashboards/> (参照2022年9月6日)
- Pentland, A. (2013). The data-driven society, *Scientific American*, 309(4), 78-83. <https://www.jstor.org/stable/26018109>
- 島田 優子 (2004, May 28). 「BIの本質を間違えていないか?」BI生みの親が警鐘, 日経クロステック. <https://xtech.nikkei.com/it/free/NC/NEWS/20040528/145071/>
- sessamian (2007). ソフトウェアシステムの分割法, ある組み込みソフトエンジニアの日記. <https://sessamian.hatenadiary.org/entry/20070924> (2022年9月7日閲覧)
- Society5.0に向けた人材育成に係る大臣懇談会 (2018). Society5.0に向けた人材育成～社会が変わる, 学びが変わる～ (本文), 文部科学省. https://www.mext.go.jp/a_menu/society/ (参照2022年9月7日)
- Standage, D. (2015, March 13). Literate programming, RStudio, and IPython Notebook. *BioWize*. <https://biowize.wordpress.com/2015/03/13/literate-programming-rstudio-and-ipython-notebook/>
- 田中 義隆 (2021). 21世紀型スキルを伸ばす算数教育: 日本・アメリカ・オーストラリアの教科書を比較する, 明石書店.