

Vol. 51

## CONTENTS

- 【コラム】さりげない情報教育のさりげなさ… 伊藤 一成  
【解説】組込みシステムアーキテクト養成プログラム… 野口 靖浩  
【解説】情報教育と統計教育 No.3 統計と情報教育研究… 奥村 晴彦

## COLUMN



### さりげない情報教育のさりげなさ



こんなタイトルでコラムを書いてしまうこと自体「さりげなく」ないのであるが…。

今から30年前、小学5年生の時、近所にある個人経営のおもちゃ屋に、定価14,800円が1,980円の投げ売り状態で、天井近くの非常に目に着きにくい所に置かれている箱があった。外箱には、ボタンのようなものがたくさん付いている謎の物体が写っているが、それがなんだか皆目見当がつかない。「ファミリーベーシック」という名称で、その物体の色合いや名称から、どうもファミコンの仲間らしいことは分かった。店の人が外箱に付けたであろう「君もマリオが自由に動かせる！」という手書きPOPラベルが目にとまり、「そんなの普通にマリオのゲームやってれば自由に動かせるじゃん」と思いつつも日が経つにつれ、「自由に動かせる」とは何なのか気がなくなってしょうがない。それからというものたまにそのおもちゃ屋に出向き見上げるも、一向にその謎の箱は売れる気配がない。ついにお年玉をもらった際にそのよく分からないものを買った。

本会の会員の方々にとっては、この手の経験は年代の違いこそあるかもしれませんが、珍しいことではないと感じています。

世界最先端IT国家創造宣言が策定され、ますますプログラミング教育、デジタル教科書、タブレット教育、アクティブラーニング、教育ビッグデータ等々、教育関係のキーワードが乱舞し、騒がしくなっています。経済の先行きへの不透明性や、SNSの影響も相まって、なにが情報教育の「さりげなさ」が失われている気がします。今こそ本会のコミュニティが長年にわたり培ってきた「さりげなさ」を吹き込むのは、筋の良い、妥当な方策にみえます。

投げ売りされていなかったら、あの手書きPOPラベルが付与されていなかったら、正月まで売れ残っていなかったら、身の周りのあの「さりげない」環境がなかったら、得体のしれなかったその箱<sup>☆1</sup>で我を忘れて楽しむことはできなかった気がします。

それから30年が経過し、プログラミングのワークショップに参加する子どもたちや、実習を履修している大学生が、「このキャラクターをこういう風に動かしたいんです！」と声を発すると、「待ってました！」と心躍りつつも、「さりげなく」接する楽しさや大切さを感じています。

2015年度より、私を含め6名の会員が会誌教育WG(EWG)編集委員に新たに就任しました。ほとんどが30代から40代前半の比較的若手の委員です。「さりげない」視点でべた語義のコラムや解説記事を掲載していきたいと思っております。新任委員一同よろしくお祈りします。

伊藤一成(青山学院大学)

☆1 ファミリーベーシック…1980年代一世を風靡した家庭用ゲーム機ファミリーコンピュータの周辺機器の1つ。BASIC言語が組み込まれたROMカセットと、ボタンの様なものがたくさん付いているキーボードから構成される。マリオやピーチ姫などのスプライトキャラクターがあらかじめ定義されているので、小学生でもBASIC言語を使ってマリオを自由に動かせるのが特徴であった。

# 組込みシステムアーキテクト 養成プログラム

野口靖浩

静岡大学情報学部

## 組込みシステムアーキテクト養成プログラムとは

組込みシステムアーキテクト養成プログラムは、企業に所属してある程度の経験を積んだ技術者を対象に、“組込みシステムアーキテクト”を育成する教育プログラムである。

本プログラムは、浜松市と静岡大学とが中心となって文部科学省科学技術戦略推進費「地域再生人材創出拠点の形成」プログラム<sup>☆1</sup>に応募し、2008年度に採択された。その後、2012年度までの5年間、その支援を受けて推進した。2013年度以降は組込みソフトウェア技術コンソーシアム(HEPTコンソーシアム)<sup>☆2</sup>を設立し、浜松市、静岡大学を含む38の企業・団体の支援により本プログラムを継続している。その結果、2008年度から2014年度までの7年間に計12回実施し、延べ190名の技術者を修了生として送り出した。

本プログラムは2013年度に情報システム教育コンテスト(ISECON 2013)による評価の機会をいただき、審査委員の方々からの有益なコメントとともに、最優秀賞をいただいた。プログラムの設計や実践の成果、教育効果測定の手法等の詳細については、我々の論文<sup>1), 2)</sup>やWebページ<sup>☆2</sup>等を参照いただくとして、本稿では実施現場の様子や修了生の活躍の事例など、論文では述べきれなかったことや論文

☆1 (独) 科学技術振興機構：地域再生人材創出拠点の形成，<http://www.jst.go.jp/shincho/socialsystem/program/020000.html> (参照 2015-03-31)

☆2 組込みソフトウェア技術コンソーシアム：設立趣旨 - HEPTコンソーシアム，<http://architect.inf.shizuoka.ac.jp/hept/purpose> (参照 2015-03-31)

以降の事柄などを交えて、改めてプログラムを紹介したい。

## 組込みシステムアーキテクト

組込みシステムの複雑化および規模増大により、開発組織が技術領域ごとに分断されることが増え、技術領域を横断的に経験する機会が少なくなっている。その結果、技術領域を横断した設計案を案出し、プロジェクトを推し進めることのできる人材をOJT中心で育成することが難しくなっている。このような問題意識から、本プログラムの養成対象“組込みシステムアーキテクト”を、我々は以下のように定義し、プログラムの設計・実施に取り組んでいる。

- ソフトウェア工学、制御工学の基礎を理解し応用できる技術者
- 技術領域を横断的に俯瞰し統合を促進できる技術者
- 技術のリーダーとして、合理的な説明のもとに設計を案出・決断できる自立性、および対話を通じて設計をまとめあげる協調性を持った技術者

## 合宿形式によるリビング・グループの形成

宿舎を共にする仲間同士の「リビング・グループ」の形成を意図して、2泊3日×8回の合計24日間のプログラムとして設計した。本プログラムの中でできた「リビング・グループ」が、学習コミュニティとして機能することと、プログラムの修了後も続く

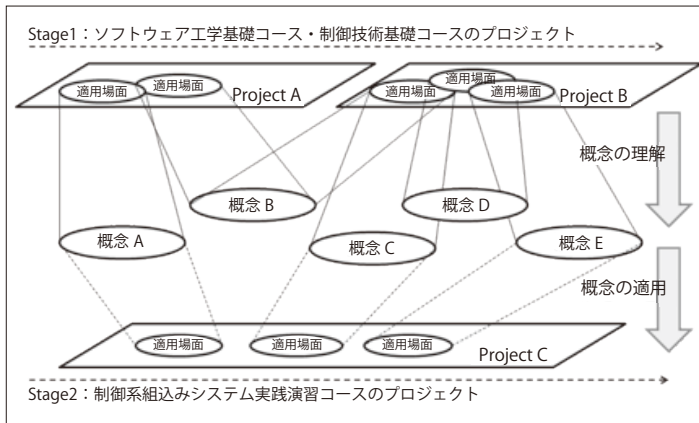


図-1 PBL モデル



図-2 プログラム中の議論の様子

友情を構築する一助となることを期待した。

プログラムの設計と実際の運営にあたって特に重視したのは“Team Building の促進”，“発言へのチャレンジ”，“メンバの多様性”の3点である。ナイトセッションの時間を設けて，ソフトウェアの設計に関するワークショップや正規のカリキュラムから少し離れた話題での自由な議論の場を企画することで，“Team Building”を促進したこともその1つである。

また，折にふれて「“唯一無二の正解がない”問題を取り扱っていること，“自分の頭で考え”，“仲間と議論する”中で案をまとめる必要があること，そのためには積極的な“発言へのチャレンジ”が求められ，“人と問題を分けた”建設的批判は歓迎されること」を意識的に伝えるようにし，実際に各コースに用意した各プロジェクトの中で互いの設計案を戦わせる機会を提供した。

同一企業の参加を各期最大2名，また同一期に同一の部署からの参加を避けていただくなどして，プロジェクトメンバの多様性の確保を図った。幸いにも，会社数は延べ40社，受講生の年齢層は入社直後の22歳から30年以上の業務経験を持つ50代の方まで幅広く参加いただいた（受講生の平均年齢は30歳）。各受講生の専門分野は，“制御設計”，“機械設計”，“電子回路設計”など幅広く，プログラム自体はソフトウェア設計を中心としたカリキュラムになっているが，そこに参加するメンバの多様性は“ソフトウェア”に偏らず，確保できたと思う。

## 概念の適用を促進する PBL

本プログラムはすでに企業に所属し，ある程度の経験を積んだ技術者を対象とすることから，受講生の開発経験に基づく実践的な知識は一定のレベルにあることが想定された。そこで，我々のPBLモデル（図-1）では，受講生らの実践的な知識を概念的な知識と結び付けることを主眼とし，最終的に受講生が企業の中でほかのエンジニアに対して論理的な説明ができるよう知識が体系化されることを目的とした。プログラムは「ソフトウェア工学基礎」「制御技術基礎」「制御系組込みシステム実践演習」の3コースから構成しており，受講生はすべてのコースを受講する。

最初の2つの基礎コースでは「概念の理解」を主目的とするため，受講生が学ぶ必要のある概念を含む形で設計した。ソフトウェア工学基礎に6プロジェクト，制御技術基礎に4プロジェクトを用意し，学んだ概念を次に続くプロジェクトの中で何度も繰り返し使う中で概念を習得する。講師は“なぜその概念をそのような形でプロジェクトに適用するべきなのか”を問いかけて，判断根拠のドキュメント化と説明／議論を求め，受講生の実践的知識と習得概念との結び付けを促進する（図-2）。

続く実践演習では「概念の適用」を主目的とする1プロジェクトを用意した。習得した概念を実践的な課題に対して自らの判断で適用する機会を提供する。概念を自らの判断で適用することを繰り返



す中で、習得した概念を実際に利用するために必要なスキルを育成する。

この方法は、ほかの人の多様な意見が聞け、同じ課題に対して異なる案が案出されることを体験する場となり、受講者が自身の設計案や思考様式を考えなおすきっかけとなったと評価されている。

## 教育成果

Kirkpatrick らの「レベル4フレームワーク」<sup>3)</sup>では、教育効果をレベル1～4の4段階で定義している。本プログラムでは、表-1のようにレベル1 (Reaction : 受講生の満足度) を受講生によるスキル自己診断(受講前と受講後)、レベル2 (Learning : 受講生の態度の変化, 知識技術の向上) をプログラム中の成果物やプレゼンテーション等で評価している。また、レベル3 (Behavior : 業務の現場における行動の変化) の効果測定としては、そのレベルに最も興味を持っているとされる<sup>4)</sup> 受講生の上司に対するアンケートを受講後半年経過時に行っている。これには山本らの勘案した評価モデル<sup>5)</sup>も参考にしている。

スキル自己診断にはETSS<sup>☆3</sup>を参考にした評価シートを利用している。プログラムの受講前と受講後に自己診断を実施してもらい、その間の差をとっている。受講時より受講後の方の自己評価が下がっていた事例が何人か見受けられるが、これはほかの技術者と交流する中で評価尺度が客観化されたことを示唆している。実際のプログラム修了時の受講者の声としては「ほかの技術者と比べて自分がどの程度なのか分かってきた気がする」、「うちの会社が結構すごいと感じるようになった」、「同僚の技術者の技術力が分かるようになった」、「逆にうちの会社はここができていない」といった意見が聞かれた。

受講生の上司に対するアンケートでは、プログラム修了後の受講生の行動変容や、派遣元企業のほかの技術者あるいは業務への影響の度合いを確認する

レベル	設定方法
レベル1 Reaction	受講生によるスキル自己診断
レベル2 Learning	プロジェクトへの参画の様子 プロジェクト成果物 プレゼンテーション 各コース終了時のレポート 個人インタビュー
レベル3 Behavior	受講後の上司へのアンケート調査

表-1 教育効果の測定方法

ことができた。また、プログラム内容と業務とのミスマッチ、企業の教育システムへの位置付け方や、コストパフォーマンスの評価などの情報を収集することができ、この結果がプログラムの改善につながるようになった。

レベル4 (Results) に関しては、現状では体系的な調査が行えていない。教育プログラムの効果は、そこに参加した技術者の個人的なスキル向上を始めとして、それが企業の業務に反映されることが求められる。具体的な事例に結び付くには相応の時間が必要となるし、事例に結び付いたとしてもどの程度の割合の貢献があったのかを計測することはきわめて難しい。継続的な調査と定量的な評価は今後の重要な課題だと考えているが、ここでは修了生が所属企業に戻った後の活躍について、いくつかの事例を紹介しておきたい。

例年実施している HEPT コンソーシアムフォーラムでは、修了生から本プログラムの成果を企業の現場にフィードバックして活用した事例が報告されている (図-3)。それ以外にも修了生およびその上司から、以下のような貢献が報告されている。

- 社内デザインレビューのプロセス改善
- 顧客～開発までの情報共有プロセスに UML を導入することで、誤解や抜けによる手戻りを抑制
- 社内での“組込みシステムアーキテクト”育成のため、技術領域の異なる部門間での人材交流のスキームを構築中
- 修了生が中心となって従来交流のなかった企業と定期的な研究会を継続的に開催中

☆3 組込みスキル標準, <http://sec.ipa.go.jp/ETSS/>



図-3 修了生による発表事例

- 技術者個人間で勉強会を継続的に開催中
- 各企業が得意領域を分担した製品の試作
- 大学と相互協力した研究・開発の促進

## 継続の状況と今後の展望

2013年度以降、HEPTコンソーシアムが主体となって継続するにあたって、受講コストの問題により2泊3日×8回(合宿形式)から2日×9回(日帰り形式)への変更を行った。また、プログラムの内容についても、プログラムの一部を制御技術基礎からモデルベース開発基礎へと中心テーマを変更したこと、実践演習をより上流の要求分析・要求仕様に注力できるように課題・開発環境を変更したことなど、いくつかの改変を行ってきた。このような変更は、修了生が所属企業に戻ってプログラムの内容を社内にフィードバックする流れと連動して、常に進めていくことになるだろう。

合宿形式から日帰りの形式へと変更したことによ

る影響として、課題への集中力の継続の違いと、課題外的话题を掘り下げる時間と雰囲気が減ったことが特に感じられる。改めて認識された合宿形式の良さを、日帰り形式において実現する新たな手法の考案が大きな課題である。

最後に、本プログラムをTAとして支援する学生に対する教育効果を挙げておきたい。本プログラムでは学部4年生～大学院生にTAとして支援してもらってきたが、彼らもまた企業の現役の技術者と交流する中で得るものが大きかった。特に現役の技術者に対して教える機会が“Learning by Teaching”の場として機能していた。企業の現役技術者と長時間に渡って交流できる貴重な機会でもあるので、学生側の教育の場としても機能する方向への発展を検討していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 野口靖浩, 松澤芳昭, 森 孝夫, 島 聡司, 塩見彰睦: 合宿とPBLによる組込みシステムアーキテクト養成プログラムの設計と評価, 日本教育工学会論文誌, Vol.36, No.1, pp.21-33 (2012).
- 2) 野口靖浩, 松澤芳昭, 島 聡司, 塩見彰睦: 組込み人材育成研修後の上司による「行動変容」評価の実践とSCATによる分析, 工学教育, Vol.60, No.3, pp.86-91 (2012).
- 3) Kirkpatrick, D. L. and Kirkpatrick, J. D.: Techniques for Evaluating Training Programs, in Evaluating Training Programs. Alexandria, VA (1975).
- 4) Phillips, J. and Ron, S.: How to Measure Training Results, McGraw-Hill (2002).
- 5) 山本雅基, 齋藤洋典: 組込みソフトウェア教育の受講者と上司による受講後の教育効果評価, 工学教育, Vol.55, No.4, pp.81-85 (2007).

(2015年5月28日受付)

野口靖浩 (正会員) [noguchi@inf.shizuoka.ac.jp](mailto:noguchi@inf.shizuoka.ac.jp)

博士(工学)。静岡大学情報学部特任助教。ソフトウェア技術者教育、知的教育システム、自然言語処理、対話システムなどの研究に従事。



# 統計と情報教育研究

奥村晴彦

三重大学教育学部

情報教育と統計教育を扱うシリーズ最終回として、(1) データで読む日本の情報教育環境、(2) 情報教育研究と統計的方法、(3) オープンデータ、オープンリサーチ、リプロデュースブルリサーチの話題を扱い、最後に全体をまとめる。

## データで読む日本の情報教育環境

2003年・2006年のPISA (Programme for International Student Assessment, 生徒の学習到達度調査)<sup>☆1</sup> (OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, 経済協力開発機構)<sup>☆2</sup> 生徒の学習到達度調査) で日本の成績が悪かったという「PISA ショック」は、ゆとり教育転換の一因となった。また、知識型の学力と異なる「PISA 型学力」、たとえば統計グラフから意味を読みとる問題などが注目され、これが中学数学の「資料の活用」の全学年での復活や、必修の高校「数学I」の「データの分析」につながったのかもしれない。2015年の大学入試センター試験の数学では「データの分析」の内容がしっかり出題されていた。一方で、統計分野をあまり勉強する機会がなかった先生方も多く、教育現場での戸惑いも見られる。

PISA にはアンケート調査もある。生徒の ICT (情報通信技術) 利用に関する項目も多い。PISA のサイト<sup>☆1</sup> には、回答の個票データと、それを読むための SAS・SPSS プログラムが公開されている。データは

固定フォーマットのテキストであるが、簡単に CSV 化できる。筆者の Web ページ<sup>☆3</sup> に CSV 化の Ruby スクリプトと、例として PISA2012 データを CSV 化したものがある。これは、高校 1 年相当 485,490 人(うち日本は 6,351 人) × 634 項目の巨大な個票データで、R 標準の read.csv() では時間がかかる。readr パッケージの read\_csv() なら数 10 秒で読めた。

いったんオンメモリに読み込めば、集計は瞬時にできる。たとえば図-1 は、学校外(自宅など)でコンピュータを利用して宿題を行うことが「まったくか、ほとんどない」と答えた生徒の割合である。ただし、データなし(N/A)・無効(Invalid)・無答(Missing) は分母から除いてある。

この図から分かるように、日本では宿題にコンピュータを使わない生徒(コンピュータを使う宿題を出さない先生)が圧倒的に多い。

学校外でのコンピュータを使った活動についての問いは、これを含めて 7 問あるが、「勉強についてほかの生徒とメールする」以外はすべて、「まったくか、ほとんどない」のトップは日本である。

また、図-2 から分かるように、勉強に限らず自宅でコンピュータ(デスクトップまたはノート)を使う割合では、日本は下位であるが、ネット接続できる携帯電話(スマホなど)の利用者は多い。

つまり、諸外国と比べて日本では、生徒は学校外で(携帯やスマホ以外の)コンピュータを使う機会が非常に少ない。学校で教材として使うことはあっても、

☆1 <http://www.oecd.org/pisa/>

☆2 <http://www.oecd.org/>

☆3 <http://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/stat/pisa.html>

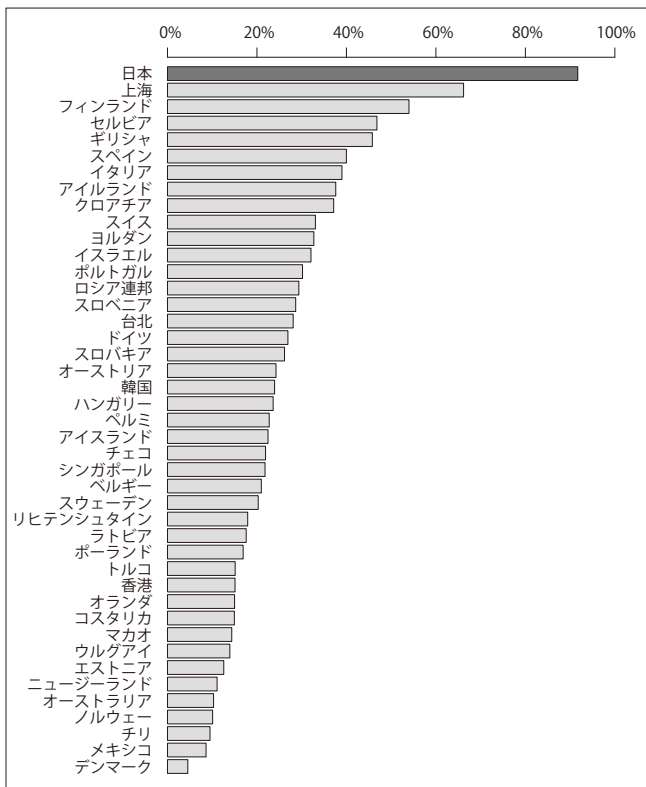


図-1 PISA2012 生徒アンケート “How often do you use a computer for the following activities outside of school? – Doing homework on the computer.” (IC09Q06) に “Never or hardly ever” と答えた生徒の割合

学校外で知的生産ツールとして使うことは少ない。このことは、日本の情報教育を考える上で重要なポイントになる。

ほかにも PISA のデータからはいろいろなことが読みとれる。また、PISA 以外にも、PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies, 国際成人力調査) <sup>☆4</sup>, TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study, 国際数学・理科教育調査) <sup>☆5</sup>, PIRLS (Progress in International Reading Literacy Study, 国際読書力調査) <sup>☆5</sup>, TALIS (Teaching and Learning International Survey, 国際教員指導環境調査) <sup>☆6</sup> など、いろいろなデータが公開されている。これらを集計し、そこから意味を読みとることは、学生の課題としても有意義であろう。

☆4 <http://www.oecd.org/site/piaac/>

☆5 <http://timssandpirls.bc.edu/>

☆6 <http://www.oecd.org/edu/school/talis.htm>

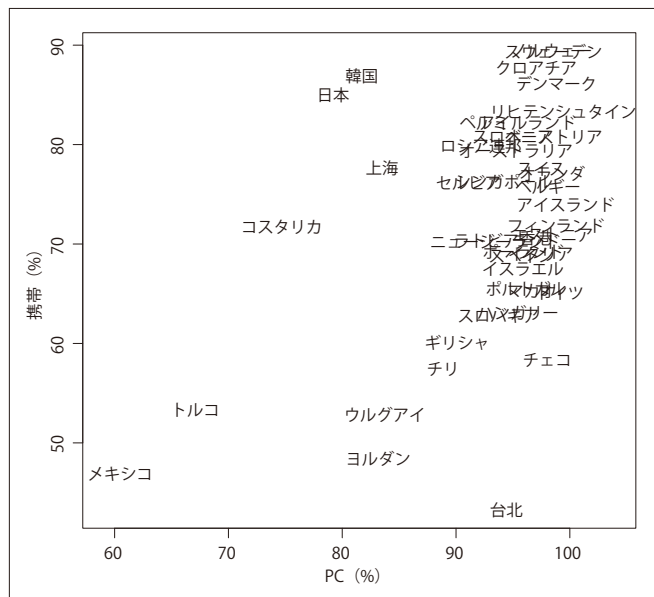


図-2 PISA2012 生徒アンケート “Are any of these devices available for you to use at home?” (IC01) で (a) Desktop computer または (b) Portable laptop, or notebook のどちらかまたは両方に “Yes, and I use it” と答えた割合を横軸、(g) <Cell phone> (with Internet access) に “Yes, and I use it” と答えた割合を縦軸にとった。自宅でのコンピュータについての問いは ST26Q04 にもある

ちなみに、PIAAC の結果では、16～29歳の「コンピュータ経験なし」「ICT コア不合格」「コンピュータ調査拒否」を合わせた割合は OECD 国中で日本がトップ(つまり最悪)である。

なお、図-2のように国ごとの平均値の散布図を描くと、いろいろな相関関係が見えるが、交絡 (confounding) によることが多く、安易に因果関係を推測することは禁物である。

## 情報教育研究と統計的方法

PISA などの大規模調査のデータであればほとんど問題にならないが、我々が研究で扱う大部分のデータは少数であり、標本誤差の問題を避けて通れない。そのため、統計的検定や区間推定といった統計的方法が用いられる。

情報教育論文でどのように統計的方法が用いられているかを調査したことがある<sup>1), 2)</sup>。その後、本会論文誌「教育とコンピュータ」(TCE)も発刊され、統計的方法の使われる機会も増えた。ここで改めて情報教育論文のための統計について問題提起しておく。あく



までも議論のためであり、異論は多々あることと思う。

本会のジャーナル類が完全電子化され、色が使えるようになったが、色だけに頼るグラフはなるべく避けるべきである。特に赤と緑は区別しにくい人が多い。そのほか、従前から言われていたこととして、3次元グラフは避ける。棒グラフは0から始める。順序のない項目(名義尺度)を横軸とする折れ線グラフは避ける。標本誤差が無視できない場合は、グラフにエラーバー(通常は95%信頼区間)を付ける。さらには、平均値や中央値だけでなく、個々の値をそのままプロットするほうがよいことが多い<sup>3)</sup>。また、論文に載せる図はビットマップではなくベクトル形式が望ましいことが多い。

以下では、架空の例を使って、統計的方法の適用の問題例を示したい。

**例** ある教育システムを開発した。その効果を客観的に示すため、当該システムを使った一連の授業の前後に同じテストを行い、対応のある場合の $t$ 検定により、 $p < 0.05$  で有意であることを示した。

何が「有意」なのか。「一連の授業の前後で平均点がまったく同じ」という(明らかに正しくない)帰無仮説が5%水準で棄却されたと言いたいのだろうが、ほとんど情報量がない。より情報量のあるのは、たとえば100点満点(標準偏差15点)のテストの得点が平均10点上昇した(95%信頼区間[8,12])といった書き方であろう。つまり、「有意」かどうかより、具体的な値とその信頼区間を書くほうがよい。もし仮に信頼区間が[-1,21]のように0をはさむなら、従来の言い方をすれば「有意な変化はなかった」。しかし、有意でなくても、信頼区間[-21,1]と[-1,21]とでは印象がずいぶん違う。さらに、この効果がほかのシステムと比べてどれくらい大きいかを示す必要がある。被験者を対照群と実験群に無作為に分けて比較するのが一般的であるが、システムがらみの教育実験なら、A/Bテストのようにランダムに対照教材・実験教材のどちらかを提示して比較する方法もある。

**例** システムAの効果とシステムBの効果比べたい。

まず分散が等しいか検定し、等しければ等分散を仮定した $t$ 検定、等しければ等分散を仮定しない $t$ 検定(Welchの検定)をする。

分散が等しいという帰無仮説が棄却できなくても、分散が等しいことが示されたわけではない。分散が等しいかどうか分からなければ、等分散を仮定しない $t$ 検定(Welchの検定)を最初から使うべきである。シミュレーションによる結果も後者だけのほうがよい。

**例** 「とても」「少し」「あまり」「全然」のような段階で答える回答を4:3:2:1のように点数化して平均を求めたところ、査読者に「等間隔ではない量の平均に意味はない」と言われた。

教育研究で頻出するいわゆるリッカート(Likert)尺度のデータであるが、査読者からノンパラメトリック検定をせよと言われた場合は、 $t$ 検定の代わりにWilcoxon-Mann-Whitney検定(両群の分布が同じと仮定できる場合)またはBrunner-Munzel検定(より一般の場合)を使えばよい。しかし、中心極限定理のおかげで、基の分布や等間隔かどうかにかかわらず、平均値の分布は正規分布で近似できるので、 $t$ 検定(や $t$ 分布に基づく信頼区間)を使っても、大した違いはない。それに、この場合も、有意かどうかよりも具体的な平均値(と信頼区間)のほうが情報量があり、分かりやすい。

**例** 複数の検定をしたところ、多重比較の補正をせよと査読者に言われた。

20個の検定をしたら、まったく効果がなくても、 $p < 0.05$ となるものが期待値として1個ある。これではまずいので補正せよという話になるのだが、補正の流儀はたくさんあり、たとえばBonferroni法とBenjamini-Hochberg法とではまったく意味が違う。むしろ単純に、いくつの変数を調べたか分かる書き方をした上で、無補正の $p$ 値(あるいは信頼区間)を示し、読者の判断にゆだねるといっているのでどうだろう。



**例** システムの効果が上位群と下位群とで違うように感じたが、有意にならないので、上位・中位・下位に分け、それぞれの人数を加減しているうちに、有意になった。

恣意的に群に分けるのではなく、たとえば成績  $x$  とシステムの効果  $y$  の間に線形の関係があることを示したいのであれば、 $y = bx + \varepsilon$  という回帰モデルをあてはめて、 $b$  が 0 でないかどうか検定する（さらには  $b$  の信頼区間を求める）。

## オープンデータ、オープンリサーチ、リプロデューシブルリサーチ

ソフトウェアで成功を収めたオープンソースの考え方を一般の著作物に拡張した Creative Commons は、MIT (Massachusetts Institute of Technology, マサチューセッツ工科大学)<sup>☆7</sup> などの Open CourseWare (OCW) や Wikipedia など多くの著作物で採用されている。オープン化の流れはデータの世界にも広がり、データを機械可読な形式・自由なライセンス (CC0, CC BY など) で公開する「オープンデータ」の考え方が定着してきた。上述の PISA のデータもオープンデータの一例である。

オープンデータは、オープンだけでなく、データとして再利用が容易でなければならない。PDF や「ネ申 Excel」では困る(前回参照)。

研究の根拠となるデータを論文とともに公開する動きも出てきた。一部の論文誌ではデータの開示が義務付けられるようになった。開示義務がなくても、figshareなどのサイトを使って自発的にデータを公開する研究者が増えた。figshare は無償で容量制限もなく、論文と同様な識別子 DOI (Digital Object Identifier) も付けられる。

さらに、データだけでなく、その解析コードも公開し、研究の流れ全体を再現可能(reproducible) にしようとする動きも出てきた。そのためのツール類も作られているが、Unix の「make」でもかまわない。データと

解析コードの入ったディレクトリで make と打ち込めば、Makefile に書かれた依存関係に従って(必要なら解析コードをビルドして) データを処理し、R や gnuplot でグラフを作成し、さらには LaTeX で論文をタイプセットする。データや解析コードに間違いが見つければ、修正してもう一度 make すると、影響を受ける部分だけ処理を自動実行できる。

これらの解析コード類や Makefile をまとめて公開すれば、読者はデータから論文までのすべてのステップを検証できる。データに疑問を持った読者は、データだけ自分のものに置き換えて make し直すことができる。

あるいは、専用のツール、たとえば Sweave や knitr を使えば、ちょうど Knuth の「文芸的プログラミング」のように、解析コードとドキュメントを1つのファイルにまとめたものから、解析結果(図表あるいはインラインの数値など)を埋め込んだ論文が生成できる。

## 3回の連載のしめくくり

基本データ型がベクトルな言語 R、それを用いたプログラミングとデータ解析、統計的方法、それらの情報教育および情報教育研究への応用、データ再利用の妨げとなるネ申 Excel 退治、オープンデータ、オープン&リプロデューシブルリサーチ——こういったものをまとめれば、教育のネタ、研究のネタになりそうだということで、ずっと考えてきたことをざっくばらんに3回に分けて披露した。ご意見をいただければ幸いです。

### 参考文献

- 1) 奥村晴彦：情報教育と統計，情報処理学会研究報告コンピュータと教育，2008-CE-97 (2008).
- 2) 奥村晴彦：情報教育研究における統計的方法の利用，情報処理学会情報教育シンポジウム SSS2011 論文集，pp.91-96 (2012).
- 3) Tracey, L. W., Natasa, M. M., Stacey, J. W. and Vesna, D. G. : Beyond Bar and Line Graphs : Time for a New Data Presentation Paradigm, PLOS Biology, doi:10.1371/journal.pbio.1002128 (2015).

(2015年6月1日受付)

奥村晴彦 (正会員) okumura@okumuralab.org

三重大学教育学部教授(情報教育)。LHA データ圧縮アルゴリズムの開発者、『LaTeX2e 美文書作成入門』(現在第6版)の著者。

☆7 <http://web.mit.edu/>

