



応用統計学の地平

川崎 茂^{*1} · 椿 広計^{*2}

The Current Scope of Applied Statistics

Shigeru KAWASAKI^{*1} and Hiroe TSUBAKI^{*2}

Abstract— The authors review the historical and current perspectives of development, application and its supporting communities of statistics particularly in the field of official statistics, biometrics, psychometrics and technometrics to clarify their similarities and differences from the viewpoints of the roles in the society.

Keywords— official statistics, grammar of science, biometrics, psychometrics, statistical quality control, econometrics

1. はじめに

応用統計学会は1971年に、雑誌「応用統計学」発行のために応用統計学研究会として創設された。その後1981年に応用統計学会に改組され、今日に至っている。応用統計学会は(一社)日本統計学会(1931年設立、会長、国友直人東京大学大学院経済学研究科教授)、日本行動計量学会(1973年設立、理事長、岡太彬訓多摩大学経営情報学部教授)、日本計量生物学会(1953年国際計量生物学会日本支部として活動開始、1980年設立、会長、大橋靖雄東京大学大学院医学研究科教授)、日本分類学会(1983年設立、会長、今泉忠多摩大学経営学部教授)、日本計算機統計学会(1986年設立、会長、石橋雄一(株)スタットラボ代表取締役)と共に統計関連学会連合(2005年設立、理事長、鎌倉稔成中央大学理工学部教授)を形成している。

応用統計学会自体は、特定の計量実証科学を研究することをテーマとするよりは、広く統計科学全般に資する統計的方法の研究開発に軸足を置く活動をしてきた。本特集では、むしろ学会の性格とは異なるかもしれないが、事実に基づく科学生成を使命としてきた統計科学の個別領域での活動の過去と現在とを特に応用統計学会員が関与していることが多い、公的統計、計量生物学、計量心理学、品質管理などを例として順次紹介したい。

^{*1} 日本大学経済学部 東京都千代田区三崎町 1-3-2

^{*2} 統計数理研究所 東京都立川市緑町 10-3

^{*1} Nihon University College of Economics, 1-3-2 Misaki-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

^{*2} The Institute of Statistical Mathematics, 10-3 Midori-cho, Tachikawa-shi, Tokyo

Received: 9 March 2014, 18 March 2014

2. 「国勢学」を源流とする統計学

統計的方法を最も早く体系的に用いたのは、公的統計(Official Statistics)分野である。そもそも、Statisticsという英語はState、すなわち国家・状態と同源である。この意味での応用統計学は、ドイツを中心に「国勢学」として発展した。国家の人口・経済・社会状態の正確かつ明瞭に記述することを通じて、国家運営の指標としての「統計」を作成することを目途とした体系である。人口・世帯の国家による全数調査はCensusと呼ばれ、起源は古代に遡るが、近代的なセンサスは、18世紀に北欧で行われて以降、各国に広がった。わが国では1920年に第1回国勢調査が実施された。

このように、公的統計は国家制度の一部となっている。18世紀の半ばからヨーロッパの国々で政府統計を司る部局が設置され、国勢調査の実施など社会の測器としての役割を現実に果たしている。日本では、大隈重信の建議により、1881年に、統計局の前身である統計院が設置され、大隈自らが統計院長に就任する。国連においても、1946年、世界各国の統計の開発や比較可能性を向上するために国連経済社会理事会の下に国連統計委員会も設置され、現在日本を含む24か国の代表委員が参加している。また、その事務局として、国連統計部が1947年に設置され、今日に至っている。

統計に関する学会では、世界、日本ともに、初期の時代から人口・経済・社会情勢に関する公的統計の可能な限り正確な作成を目途とする実際研究が盛んであった。例えば、英国王立統計学会(1834年ロンドン統計学会として設立、Royal Statistical Society)、アメリカ統計学会(1839年設立、American Statistical Association)、国際

統計協会（1885年設立，International Statistical Institute）は、いずれも20世紀前半までは公的統計に関わる専門家組織としての性格が強かった。1985年に国際統計協会の下部組織として、国際公的統計協会（International Association for Official Statistics）も設立され、現在、筆者の川崎は会長を務めている。

わが国の公的統計については、学会以外にも（財）日本統計協会（1876年設立，会長，三浦由己駿河大学名誉教授）が「統計学雑誌」の編集（現在，雑誌「統計」），国勢調査実現のための統計の理論や技術の進歩に大きな貢献を果たしてきた。

公的統計における数理科学的側面の創始者はQuetelet（1796-1874）とされている。彼は、天文学者として当該分野の数理科学に造詣が深かったが、そこで用いられていた確率・統計を社会科学分野に取り込み、社会を対象とする数理科学としての社会物理学 [1] を構想した。集団の特性へのガウス分布の当てはめや、Gaussの最小二乗法により正当化される平均値への着目などは彼のアイデアとされている。その後、国際統計協会設立に尽力し、近代統計学の祖と呼ばれるようになる。ちなみに、我が国で肥満度の指数として使われるBMI（Body Mass Index）も彼の発案である。

その後、Neyman [2] らによる標本調査理論の確立を通じて、確率、数理統計学的方法による標本の設計、母集団の推測などの基礎理論が確立された。標本調査理論は、今日、公的統計分野はもとより民間による世論調査、社会調査、マーケティング調査などで広く活用されている。一方、個人情報保護に対する関心の高まりにより、調査による情報収集環境は悪化しており、回答拒否などを通じて欠測が生じ、純粋な無作為標本が得られない状況が多くなっている。現在、欠測値の補完技術やそれらに起因する偏りの補正方法などについての理論的研究も進んでいる [3, 4]。近年、事業所の産業分類の格付けなどこれまで、労働集約型で行ってきた作業を自動化する技術が公的統計分野で開発されているが、これは統計的パターン認識技術の進展による。

3. 計量生物学

Karl Pearson は、科学の文法 [5] 確立以降の、19世紀末から20世紀初頭にかけて、ヒストグラム、標準偏差などの単純な記述統計的方法から重回帰分析、クラスター分析（教師なし分類）など、科学の文法、すなわち基本的計量モデリングのプロセスに利用可能な方法論を提唱し、更にモデルと現象との適合の尺度、すなわちモデル評価方式としての相関係数、適合度検定なども創出した。Pearson自身は、近代統計科学を創生すると同時に、計量生物学（Biometrics）の創生者の一人ともなっ

た。回帰・相関概念の提唱者であり、ダーウィニズムの推進者のGaltonと共に1901年に創刊したBiometrika誌は、本格的統計理論誌である。

Pearsonの統計科学が、調査といった非介入的観測データに基づく記述的方法論であったのに対し、ロザムステッド農事試験場に務めていたR. A. Fisherは、数理統計学に尤度原理を確立し、統計科学的推論の確立に寄与した。Fisherは集団遺伝学にも大きな数理的貢献をしたが、彼の最大の貢献は、1930年代に実験、すなわち対象に何らかの介入を行って得られるデータの統計的収集と解析方法、すなわち実験計画法 [6] を確立したことである。これは、実際に環境に大きな影響をうける農業分野における、品種改良などに大きな役割を果たした。Fisherの実験計画法は、繰り返し、無作為化、ブロッキングの原則などから構成されている。繰り返しと無作為割り付けは、関心のある特性に影響を与える様々な系統誤差要因をあたかも偶然誤差として扱えるようにする工夫であり、実験データから確率モデルに基づく統計的推論あるいは予測を可能にする画期的なアイデアであった。多様な実験対象あるいは実験環境は、農事試験だけの問題ではなく、人を含む生物を対象とした実験に共通である。

これらの生物統計学的方法は医学分野、特に新医薬品の許認可のための臨床比較試験では、サリドマイド事件以降、開発企業が従わなければならない基本的方法論として定着し、従うべき統計的方法も1998年に国際合意されている [7]。日本では、1971年厚生省薬効問題懇談会答申で、無作為二重盲検比較試験結果を医薬品許認可のために提出する必要性が記載され、この分野では統計的仮説検定が許認可制度の中に組み込まれた [8]。現在、新医薬品の許認可に際しては、その実験計画、分析結果が政府関連部局、米国ではFDA（Food and Drug Administration）、わが国では医薬品医療機器総合機構の生物統計家（Biostatistician）と呼ばれる専門職によって厳格に審査されている。

医薬品開発のみならず、医学分野での主要な学術雑誌は、1980年代から学術論文に用いられている統計的方法の妥当性についての審査が厳格に行われるようになっており、生物統計家による臨床実験ないしは調査の計画と解析、統計的解釈は学術的にも必要となっている。この分野の特徴は、データ解析よりもデータ採取前の実験・調査の計画の科学性・倫理性が強く問われることである。実際、人を対象とした臨床研究に関する倫理規定を定めるヘルシンキ宣言 [9] は、データを取る前にその研究計画が独立倫理委員会で、科学的・倫理的観点で審査されなければならないことを要請している、また、研究が実施される前に、公衆がアクセス可能な場に登録されなければならないことになっている。2013年10月のヘルシンキ宣言大改訂により、更に結果がネガ

タイプなために論文公表できない研究結果についても、公衆がアクセス可能な公表が求められるようになった。これは、生物統計分野の長年の懸案であった出版バイアス (publication bias)、すなわち公表可能だった研究結果だけを参照することによって生じる統計分析のバイアスを排除する大きな試みである。

日本では、1947年に設立された国際計量生物学会 (The International Biometric Society) 日本支部である日本計量生物学会に、生物統計家の専門家集団として、医学・農学分野に専門性のある統計学者が集まっている。学会誌は、Biometrics である。最近では、アメリカ統計学会と共に生物・環境科学分野における統計科学を扱う、The Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics も 1996年から発行している。また、医学に特化した統計応用の雑誌としての Statistics in Medicine も重要な雑誌として 1982年から発行されている。

医薬品開発分野では、実験的方法論が主流であるが、公衆衛生分野では、疫学 (Epidemiology) が独自の発達をしている。疫学は、統計的調査研究を通じて、健康に影響を与える要因を探り、公衆衛生政策に役立たせる学術分野であり、日本疫学会も 1991年に設立された。疫学は、医薬品の有効性・安全性・経済性に特化し、その使用実態から推論する薬剤疫学分野にも分化し、1995年には日本薬剤疫学会も設立された。計量生物学分野は、Pearson, Fisher の時代は、数理統計学と殆ど同義であった。正規変量以外の離散応答変量などを予測する方式をデータから導き、変動に有意な影響を与える要因を明らかにする一般化線形モデル [10] (GLIM, Generalized Linear Model) もロザムステッド農事試験場の Nelder らによって 1970年代に提起された。一般化線形モデルを非正規多変量応答データや時系列データに拡張した一般化推定方程式 (GEE, Generalized Estimating Equation) [11] も、米国の生物統計家が大きな働きをした。健康科学分野では、臨床試験分野でも疫学分野でも人を長期追跡、経時的繰り返し測定データのモデリングも盛んである。

生存時間データ解析 [12] も提唱者の Cox は生物統計家とは呼べないが、その発展は計量生物学分野の大きなテーマとして同様の発展をした、Cox 回帰と呼ばれる方法は、わが国でも 1982年に発足した癌の生存時間研究会などで、Cox 回帰を平均余命算出の標準手段とし、医学研究で最も引用頻度の高い統計的方法の一つである。今日、公的統計同様、対象追跡が不完全な場合の統計的推論の問題は多くの研究者、実務家の関心事である。また、先端医療機器開発のための統計的方法、効果に人種差のある状況での臨床評価、希少疾患での臨床評価などを通じて、徐々にこれまでの仮説検定論的方法論から経済性なども含めたりスクとベネフィットに基づく最適意

思決定を行うためにベイズ的方法論への転換も規制当局により始まりつつある [13]。

4. 計量心理学, 行動計量学

計量心理学 (Psychometrics) の萌芽は、Pearson の科学の文法に直接影響を受けた 1904年の Spearman の研究 [14] である。彼は多数の試験項目の相関に着目し、一般知能因子という潜在概念を想起し、その水準を推測するための方法、今日でいう因子分析 (Factor Analysis) を提唱した。国際学会としての計量心理学会 (Psychometric Society) は、1935年に設立され、竹内 [15] によれば、わが国でも教育心理学分野で戦前から多くの研究があった。計量心理学分野では、無形ないしは主観的構成概念の調査実験データからの測定モデル同定や、質的概念の数量化に関する多くの横断的方法論の研究が行われてきた。特に、標本調査論における調査設計とは別な意味での調査項目の設計については、Cronbach α に代表されるように、計量心理学分野は調査項目の信頼性、妥当性評価方法として、人文社会科学全般に用いられる重要な古典的研究 [16] も多い。

計量心理学分野は、上記因子分析に端を発する潜在概念の測定モデルと計量心理学分野ではパス解析、計量経済学分野では、同時方程式モデルと呼ばれていた変数間の因果関係の連立方程式モデルを、Jöreskog が 1960年代後半から 1980年内にかけて線形潜在構造モデルとして統合した [17]。これ以来、心理学的因果仮説のグラフィカルな表現を行えば、実証が可能なソフトウェアの開発が急速に進んだ。今日、線形潜在構造モデルは、構造方程式モデル、共分散構造モデルなどと呼ばれるようになったが、心理学分野だけでなく、広く社会学、経営学分野に利用が進展している。BSC (Balanced Scorecard) の KPI (Key Performance Indicator) 間の関連性など経営実務の中で用いられることも増えている。計量心理学分野は、多くの対象に対する調査票情報を用いて対象の位置関係を記述し可視化する多重対応分析 (数量化 III 類) や、多次元尺度構成とよばれる、対象間の心理的類似度計測から対象の位置関係を可視化する体系も発展させる原動力となり、我が国も林知己夫を中心にその研究をけん引した [18]。

我が国では、計量心理学会は存在しないが、統計関連学会である日本行動計量学会が行動科学全般の統計的方法ないしはその応用についての研究を推進している。計量心理学分野では、人間の能力測定の中でもテスト技術に特化した日本テスト学会 (2003年設立) もある。計量心理学的方法を経営学分野に活用したのが、消費者行動心理学分野であり、1967年に設立された日本マーケティングサイエンス学会は、経営科学分野にあって、階

層ベイズモデル、潜在構造モデルなど比較的新しい統計モデルを実経営に活かすために積極的な役割を果たしている。その意味で、計量心理学分野は、公的統計や医学統計に比べると社会制度よりは、日常的な経営や教育の実務の中に組み込まれつつある応用統計分野ということができる。

5. 統計的品質管理

統計的品質管理は、産業革命以降、互換性のある標準化された部品が発生した段階で産業実務の中で行われていた。実際、Gosset はギネスビールで品質管理、品質改善の職務にあたり、それが彼自身 t 分布の発見者になる機縁となった。一方、Pearson の科学の文法に基づき生産工程を時系列観察することで科学としようとしたのが、米国の Shewhart である。一方、英国での統計的品質管理は、K. Pearson の息子である E. S. Pearson によって推進された。彼らは、製品仕様の決定 (Plan)、仕様に基づく製品の製造 (Do)、仕様が達成されているか否かの検査 (Check) という科学的プロセスを生産に実装することを統計的品質管理活動の中で行おうとした [19]。E. S. Pearson は、Check のための抜き取り検査の数理の開発ニーズを知った [20]。抜き取り検査には、仕様に適合しているロットを不合格とする生産者危険と、仕様に適合していないロットを合格とする消費者危険の概念があるが、これが、帰無仮説の棄却だけに統計的推論の機能を限定していた Fisher の有意性検定に代わる Neyman-Pearson の統計的仮説検定論 [21] としてまとまることとなる。その後、抜き取り検査では、検査個数を最小化する逐次抜き取り検査が Wald [22] により開発され、第 2 次大戦中は米国の機密事項として、逐次抜き取り検査も数理統計学における逐次推論分野 [23] を創生することとなる。

これに対して、Shewhart は検査ではなく、生産工程における品質特性の時系列的観測から、工程を管理し改善するための管理図法を提唱する。管理図法はむしろ Fisher の有意線検定の論理で工程を改善する。Shewhart は、管理状態にあると考えられていた特性値が平均 ± 3 標準偏差の外に出た場合には、管理者が気づいていない何らかの系統変動要因が存在する可能性が高く、その知られざる変動原因を突き止めるという活動を要請したのである。このような方法論で、製品の質や工程の質を改善するのが古典的品質管理活動であった。

更に、設計の質を改善するために、実験計画法や多変量解析を工業の分野で用いるという活動が第 2 次大戦後我が国で発生する [24]。今日、国際的にもタグチメソッドの名で知られる田口玄一によって開発・実践された技術開発のための実験体系の開発である。田口の方法

論は、誤差を確率的に扱う古典的統計の枠組みを超え、むしろ誤差をシミュレーションで生成し、誤差の変動に対して機能が安定する制御因子を探索し、その水準を最適化するというものである [25]。英米でも ICI (Imperial Chemical Industries) の統計家であった Box が化学産業界で実験計画法適用と開発の活動 [26] を行ったが、本格的には古典的統計の枠組みに留まっていた。

実際、1990 年代までの実験計画法、多変量データ解析の産業界への浸透は我が国の比ではなかったが、現在は技術開発のための実験の多くは実実験ではなく、数値実験となっている。各国数理統計学のこの分野での貢献は、顕著である。特に、田口 [24] が普及させた直交計画に代わる、Fung の数論を応用した一様計画 [27] は、米国自動車産業界に全面採用されている。これらもあり現在、我が国モノづくり産業の統計応用の先進性は殆ど主張できない状況となっている。

日本の品質管理活動については (財) 日本科学技術連盟 (1946 年設立、会長、坂根正弘 (株) 小松製作所相談役) (財) 日本規格協会 (1945 年設立、理事長、揖斐敏夫) が第 2 次大戦後多くの講習会・研究会活動を推進した。我が国の品質管理活動の立ち上げについては、標本調査論専門家として国連統計委員会の立ち上げにも寄与した Deming が、日本科学技術連盟の依頼により、1950 年に我が国産業界に対して行った歴史的講義が有名である。今日 Deming の PDCA サイクルは、統計的品質管理の原理を超えて、マネジメントのサイクルとして全世界に普及した。我が国では産業界の活動として出発した統計的品質管理であるが、1971 年には日本品質管理学会 (現会長、中條武志中央大学理工学部教授) が設立された。日本品質管理学会は、統計的品質管理だけを研究しているわけではないが、テクノメトリックス研究会などを配置し、グラフィカルモデリングなど、複雑な生産工程の諸特性間の因果分析に統計モデルを当てはめる試みとその支援ソフトウェア開発を通じて、我が国産業界に貢献するなど、今日に至るまで多くの応用統計学的活動が行われている [28]。統計的品質管理自体については、アメリカ統計学会とアメリカ品質学会 (American Society for Quality, 1946 年設立) が共同で出版している Technometrics 誌 (1959 年創刊) が主要な雑誌である。

品質管理活動の中でも、産業界の商取引根拠資料で用いる統計的品質技法は標準化の必要が強い。実際、国際標準化機構は、ISO TC69 「統計的方法の適用」(幹事国：米国) を 1959 年に設置し、ISO/IEC 規格全体が参照可能な統計。例えば、検定、推定、信頼区間、許容区間、外れ値処理など基本的な統計的推論の方法、抜き取り検査、管理図、工程能力評価、計測・分析結果から精度や検出限界を算出する方法などの基本規格を発行するとともに、鉄鋼、石炭、石油、食品など多くの ISO 委員

会から特定分野で標準化すべき統計的方法に関する諮問を受けている。我が国統計の品質管理関係者は、TC69の活動を統計的工程管理（SC4）と用語規格（SC1）を担当する米国と共に積極的に支えており、現在、精度管理（SC6、委員長、尾島善一東京理科大学教授）と技術開発関連技法（SC8、委員長、共著者の椿）の2つの小委員会の幹事国を務めている。

この種の統計的品質管理活動は、日本での普及は遅れているが、国際的には日本の改善活動に学びモトローラやGE（General Electrics）が世界に普及させたシックスシグマ活動が無視できないほど大きなものとなっており、現在シックスシグマ活動では、ブラックベルトといった専門家人材の認証も盛んである。中国が幹事国を務めるTC69/SC7はこのシックスシグマのための活動である。日本規格協会、日本科学技術連盟は、日本品質管理学会の認定のもと品質管理検定を2005年から実施し、産業界の要員力量を試験しており、2013年度は年間10万人を超える受検者があった。その出題の半数は統計的品質管理に充てられている。

6. おわりに

応用統計学会がそれほど交流をもっていない統計学の応用分野として、主要なものは計量経済学（Econometrics）である。別途専門家が解説するのが良いと考えるが、概要を紹介しておきたい。

計量経済学分野は、1930年に設立された計量経済学会を中心に独自の統計的方法を創生し、経済・金融分野の実証を推進してきた。特に、計量経済学は、多特性間の関係性を連立方程式で表現する同時方程式モデルや、経済指数の時系列モデル、特に多変量時系列モデルに大きな貢献を果たしている。代表的なジャーナルは、計量経済学会誌としてのEconometrica（1934年創刊）である。日本では、1950年に日本計量経済学会が創設され、1968年に理論経済学会と統合し、理論計量経済学会となり、1997年に名称を日本経済学会としている。

計量経済学分野で開発された統計的方法はノーベル経済学賞を受賞しているものが多い。Kleinによる同時方程式モデリング（1980年受賞）[29]を出発点として、現在マーケティング実務での購買選択行動の記述によく用いられるMcFaddenの質的選択モデル[30]（2000年受賞、計量生物分野で紹介したCox回帰と数理的には同等）、欠測の生じ得るデータのバイアス回避技法としてのHeckmanによる2段階推定[31]（2000年受賞）、特性の平均のみならず、分散にも系列相関がある場合のEngelのARCHモデル[32]（2003年受賞）、時系列データ間の因果推論を行ったGranger[33]（2003年受賞）などは、原著論文は横断的統計モデリングの方法論を示し

たものと考えられる。現在、計量経済学的方法は、理論経済学的方法と共に、先進諸国の中央銀行などの金融政策を支援する重要な方法となっている。

本稿で紹介した計量科学あるいは上記計量経済学以外にも、個別学術分野の統計実証科学を推進する統計科学としては、計量政治学、計量歴史学、計量言語学（文体統計学）、計量犯罪学など社会科学と社会との接点を形成する分野で、科学の文法生成以来多様に出現した。これまでの規範的科学（Normative Science）と両輪となる実証科学（Positive Science）を創生した。これらが、政策方針や企業方針にデータに基づく証拠を反映させ、結果として今世紀に入りRisk and Evidence Based Policy Makingの国際的潮流へとつなげたことは近代応用統計学の最大の貢献である。

一方、この動きは、計量生物学分野を起点として自然科学・物理科学分野にも逆伝搬し、バイオインフォマティクス、統計地震学など、データ中心科学（Data-centric Science）[34]といわれる動きも成立し、これがビッグデータブームと連携して加速しつつある。この流れの中で、応用統計学分野が科学の文法以来のビジョンやグランドデザインを改革すべきかせざるべきか否かは、現時点では明確ではない。いずれにせよ新たなビジョンの出現可能性については、多くの関係者が互いの価値観を認め合うことで柔軟に対処するのが現実的であろう。

参考文献

- [1] A. Quetelet: "Sur l'homme et le développement de ses facultés ou Essai de physique sociale," Bachelier, Imprimeur-Libraire, Paris, 1835, 平貞蔵, 山村喬訳: 人間に就いて(上, 下), 岩波書店, 1940.
- [2] J. Neyman: "On the two different aspects of the representative method: The method of stratified sampling and the method of purposive selection," J. of the Royal Statistical Society, Vol.97, No.4, pp. 557-625, 1934.
- [3] R. J. A. Little and D. B. Rubin: "Statistical Analysis with Missing Data," 2nd Ed., Wiley, 2002.
- [4] R. Rosenbaum: "Observational Studies," Springer, 2002.
- [5] K. Pearson: "The Grammar of Science," 2nd Ed., Adams and Charles Black, London, 1900.
- [6] R. A. Fisher: "The Design of Experiments," Oliver & Boyd, 1935, 遠藤健児, 鍋谷清治訳: 実験計画法, 森北書店, 1971.
- [7] The International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use, "Statistical Principles for Clinical Trials," ICH Harmonised Tripartite Guideline E9, 1998.
- [8] 椿広計, 佐藤俊哉, 藤田利治編著: これからの臨床試験 - 医薬品の科学的評価 - 原理と方法, 朝倉書店, 1999.
- [9] The World Medical Association: "WMA Declaration of Helsinki - Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects,"

- <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/>, 2013.
- [10] J. Nelder and R. Wedderburn: "Generalized Linear Models," J. of Royal Statistical Society, Ser. A, Vol.135, No.3, pp. 370-384, 1972.
- [11] K. Y. Liang and S. Zegar: "Longitudinal data analysis using generalized linear models," Biometrika, Vol.73, No.1, pp. 13-22, 1986.
- [12] D. R. Cox: "Regression Models and Life-Tables," J. of the Royal Statistical Society, Ser. B, Vol.34, No.2, pp. 187-220, 1972.
- [13] Food and Drug Administration: "Guidance for the Use of Bayesian Statistics in Medical Device Clinical Trials," <http://www.fda.gov/medicaldevices/deviceregulationandguidance/guidancedocuments/ucm071072.htm>, 2010.
- [14] C. Spearman: "General Intelligence, Objectively Determined and Measured.," The American J. of Psychology, Vol.15, No.2, pp. 201-292, 1904.
- [15] 竹内恵行: 統計学は日本にどのように移入されたか: 相関係数のケース, 応用統計学シンポジウム II 「グローバル時代の統計, 統計学」資料, 2013 .
- [16] L. J. Cronbach: "Coefficient alpha and the internal structure of tests," Psychometrika, Vol.16, No.3, pp. 297-334, 1951.
- [17] K. G. Jöreskog and D. Sörbom: "Advances in factor analysis and structural equation models," University Press of America, 1979.
- [18] 林知己夫: 数量化の方法, 東洋経済新報社, 1974 .
- [19] W. A. Shewhart, W. E. Deming, (Eds.): "Statistical method from the viewpoint of quality control," The Graduate School, the Department of Agriculture, 1939, 坂本平八訳: 品質管理の基礎概念 - 品質管理の観点からみた統計的方法, 岩波書店, 1960 .
- [20] E. S. Pearson: "A Survey of the Uses of Statistical Method in the Control and Standardization of the Quality of Manufactured Products," J. of the Royal Statistical Society, Vol.96, No.1, pp. 21-75, 1933.
- [21] J. Neyman and E. S. Perason: "On the Problem of the Most Efficient Tests of Statistical Hypotheses," Philosophical Trans. of the Royal Society of London., Ser. A, Vol.231, pp. 289-337, 1933.
- [22] A. Wald: "Sequential Method of Sampling for Deciding between Two Courses of Action," J. of the American Statistical Association, Vol.40, pp. 277-306, 1945.
- [23] A. Wald: "Sequential Analysis," Wiley, 1947.
- [24] 田口玄一: 実験計画法 (上, 下), 丸善, 1957 .
- [25] 計量管理協会: 新製品開発におけるパラメータ設計, 日本規格協会, 1984 .
- [26] G. E. P. Box: "Evolutionary Operation: A Method for Increasing Industrial Productivity," J. of the Royal Statistical Society., Ser. C, Vol.6, No.2, pp. 81-101, 1957.
- [27] K. T. Fang and D. K. J. Lin: "Uniform Design in Computer and Physical Experiments," H. Tsubaki, K. Nishina, and S. Yamada, (Eds.), The Grammar of Technology Development, pp. 105-125, Springer, 2008.
- [28] 日本品質管理学会テクノメトリックス研究会編: グラフィカルモデリングの実際, 日科技連出版, 1999 .
- [29] L. R. Klein: "The Use of Econometric Models as a Guide to Economic Policy," Econometrica, Vol.15, No.2, pp. 111-151, 1947.
- [30] D. McFadden: "Conditional logit analysis of qualitative choice behavior," P. Zarembka, (Ed.), Frontiers in Econometrics, pp. 105-142, Academic Press, 1974.
- [31] J. J. Heckman: "Sample Selection Bias as a Specification Error," Econometrica, Vol.47, No.19, pp. 153-161, 1979.
- [32] R. F. Engle: "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation," Econometrica, Vol.50, No.4, pp. 987-1007, 1982.
- [33] C. W. J. Granger: "Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods," Econometrica, Vol.37, No.3, pp. 424-438, 1969.
- [34] 田村義保: データ中心科学と統計数理, システム/制御/情報: システム制御情報学会誌, 第57巻, 第4号, pp. 135-140, 2013 .

川崎 茂



東京大学工学部計数工学科卒業, 総理府統計局に入省勤務, 国連統計部, 国土庁, 内閣府などを経て, 2007年より2011年まで, 総務省統計局長, 2012年より日本大学経済学部教授, 専門は経済統計学, 国際統計比較研究, 現在, 国際公的統計学会会長, 応用統計学会会長, 国際統計協会評議員, 統計関連学会連合理事, 内閣府統計委員会委員 .

椿 広計



東京大学大学院工学系研究科修士課程修了, 工学博士. 2007年より統計数理研究所, 総合研究大学院大学統計科学専攻教授. 2010年より統計数理研究所副所長, 2013年より筑波大学名誉教授 (ビジネスサイエンス), 名古屋大学医学部客員教授, 専門は応用統計学. 応用統計学会理事, 日本計量生物学会理事, 統計関連学会連合理事, 日本学術会議連携会員, 日本学術振興会グローバル学術情報研究センター分析研究員 .
