

書 評

目 次

- Time Series Analysis Nonstationary and Noninvertible Distribution Theory
(1996) Wiley
Katsuto Tanaka 著 矢島美寛
- Time Series Analysis by Higher Order Crossings
(1994) IEEE Press
Benjamin Kedem 著 田中 稔
- Bootstrap Methods and their Applications
(1997) Cambridge University Press
A. C. Davison and D. V. Hinkley 著 福地純一郎
- The Analysis of Household Surveys
A Microeconomic Approach to Development Policy
(1997) The Johns Hopkins University Press
Angus Deaton 著 寺崎康博
- 『経済統計にみる企業情報化の構図』(1996年)富士通ブックス
溝口敏行・栗山規矩・寺崎康博編著 廣松 毅
- Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications
(1997) Springer-Verlag
Ingwer Borg and Patrick Groenen 著 足立浩平
- Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis
(1996) Chapman & Hall
Bradley P. Carlin and Thomas A. Louis 著 大津起夫
- Clinical Trials in Oncology (1997) Chapman & Hall
Green, S., Benedetti, J. and Growley, J. 著 柳本武美

**Time Series Analysis
Nonstationary and Noninvertible
Distribution Theory**

Katsuto Tanaka
Wiley 1996, x+623 頁

東京大学経済学部 矢島美寛

近年時系列解析は、諸学問分野との交流により新たな展開を見せている。計量経済学において発展を遂げてきた単位根モデル (unit root model) および単位根検定 (unit root test) も、1つの代表例と言えよう。

Box-Jenkins 流の定義に従えば、単位根モデルとは、AR 部分の特性方程式が単位円周上に根を持つ非定常 ARIMA モデルを意味する。したがって定常モデルとは異なり非エルゴード的であり、多くの場合、統計量の極限分布は正規分布にはならない。このため推定量、検定統計量の極限分布の導出には、

中心極限定理に代わる数学的理論およびテクニックを必要とする。

一方実証分析においては、ホワイト・ノイズを時系列データに加わる実物的ショック、貨幣的ショックなどの経済的ショックと見なせば、単位根モデルの下では、その影響が未来永劫残存することになる。逆に定常なモデルの下では、一時的な影響しか及ぼさない。したがって多くの経済時系列が単位根を持つか否かを検定する単位根検定は、経済理論、仮説の検証にも重要な含意を持っている。

つまり理論、応用両面において、大きなインパクトを与えたことが、ここ 20 数年に渡って、単位根モデルが計量経済学において大いに注目されてきた理由であろう。

このような状況を背景として、本書は、単位根モデルの推測理論とりわけ推定量、検定統計量の分布について網羅的、体系的に解説している。著者自身この分野の指導的立場にある。特に共同研究者の鍋谷清治氏とともに開発した極限分布の導出への Fredholm 積分方程式の応用は、高い評価を得てい

る。

当初は600ページを越す大部に、やや圧倒され気味であったが、本文の叙述は整然としてよどみがなく、また正確無比、誤りらしい誤りは皆無に近い内容のおかげで、爽快な気分で読み通すことができた。

本書から想像される著者が傾注したであろうエネルギーは膨大であり、それだけでも敬服に値するが、水準についても、最高峰に達していると言えよう。

以下内容について概説する。全12章から成り、最後の第12章は、それまでの章の定理の証明が、問題の解答という形式で掲載されている。独習にも便利である。

第1章では、回帰モデルにおける係数の constancy の検定、ランダム・ウォークから派生する統計量、共和分モデルから派生する統計量などを通して、単位根モデルの推測理論に対する動機付けが与えられている。

第2, 3章では後の章で必要となる、確率積分、伊藤の公式、汎関数極限定理などの基礎的事項が簡潔、明快に説明されている。評者も、復習に大変役に立った。

この分野に登場する統計量は、確率変数の2次形式あるいはその比で表現できる場合が多い。したがって極限分布の1つの表現方法は、無限次元の確率変数ベクトルの2次形式の分布として表す方法である。さらに第4, 5章ではこれに代わる方法として、連続パラメータ確率過程に対する Girsanov の定理を応用して極限分布のモーメント母関数を求める方法、あるいは前述の Fredholm の積分方程式を応用して特性関数を求める方法が解説されている。

私事で恐縮であるが、評者は10数年前初めて後者の方法を知る機会を得たが、一見無縁に見える古典的な積分方程式の理論と時系列解析の結合に、新鮮な興味を覚えた記憶がある。

第6章では、特性関数を反転させて、実際に分布関数、密度関数を数値積分により計算する方法が説明されている。また著者自身が作成した Fortran プログラムも掲載されている。非正規分布の形状を視覚的に捉えるには有用であり、類書に例を見ない本書の特長の1つになっている。

第7, 8章では、推定量の極限分布について説明されている。まず第7章では単位根モデルの推定量の極限分布が論じられている。ところで単位根モデルのように、原系列が非定常な場合、時系列を定常化する1つの方法は、原系列の差分をとることである。しかし原系列が実は定常な場合、誤って差分をとってしまうと、差分系列は MA 部分の特性方程式

が単位円周上に根を持つ反転不可能 (noninvertible) な定常時系列になってしまう。第8章では真のモデルが反転不可能な MA モデルに従う場合の、推定量の極限分布が論じられている。

第9, 10章では、第7, 8章の結果を利用して、単位根検定、反転不可能性の検定について説明されている。単位根検定というと、創始者達の名前をとった Dickey-Fuller 検定およびその一般化があまりにも有名であるが、著者はオーソドックスな LBI 検定、LBIU 検定についても論じ、各検定間の優劣にも言及している。Dickey-Fuller の功績は大きい、著者が示したように、LBI 検定、LBIU 検定の意義についてもより強調されるべきであろう。第11章では単位根モデルと並んで、目下のところ計量経済学において大きな地位を占めている共和分解析 (Statistical Analysis of Cointegration) について、簡潔な紹介がある。

以上が本書の簡単な説明であるが、2, 3細かな点で疑問が残った。1つは具体的な統計量が与えられたとき、3つの方法のどれを用いて極限分布を求めるのが最も簡便なのか? 「職人芸」に頼るしかないのか? あるいは一般的なガイドラインが存在するのか? この点について著者のコメントもあるが、多少腑に落ちない点があった。

第2に反転不可能な MA モデルについては、初期値に依存して非定常になる場合も論じられている。しかし評者の私見では、上述のように反転不可能なモデルは過剰差分 (overdifferencing) の場合に多く現れると考える。したがって非定常反転不可能 MA モデルの実際的意義が鮮明には伝わって来なかった。

しかしあくまでこれらの疑問点は「望蜀」であり、本書の価値を些かも減ずるものではない。「この分野の研究書、またスタンダードな教科書として、本書は確固たる地位を築いていく。」というのが、評者の偽りのない読後感である。

Time Series Analysis by Higher Order Crossings

Benjamin Kedem

IEEE Press (1994, xiv+318頁)

専修大学経営学部 田中 稔

本書は普通の時系列解析の本と比べて多少趣を異にしている。著者の前書; Binary Time Series (1980, Marcel Dekker, Inc., New York) では、原

データそのものを扱うのではなく、デジタル化 (0 と 1 の 2 値データに変換) して時系列分析する方法が紹介されていた。デジタル化データから平均 0 の原データの zero-crossings 数が簡単に求められる。この数から定常 Gauss 過程の 1 次の母自己相関係数の推定が可能であり、この方法による大標本の場合の推定誤差は、原データを直接使う通常の推定法と大差がない。ここでは、更にこれを発展させて、適当なフィルターを通した時系列をデジタル化して求めた HOC (Higher Order Crossings) の族を考える。この HOC は高次の母自己相関係数と関係がある。本書の目的は、これを時系列モデルの識別やスペクトル及び周波数の推定等に応用することである。この本は彼の論文；

Spectral Analysis and Discrimination by Zero-Crossings, Proceedings of the IEEE, Vol. 74, pp. 1477-1493, 1986

が基になっている (著者)。

本著書の構成及び概要は次の通り。

Contents

1. Introduction
2. Fundamentals of Probability Theory
3. Elements of Stationary Processes
4. Zero-Crossings and Autocorrelation
5. Higher Order Crossings and Correlations
6. Statistical Properties of HOC
7. Frequency Estimation by HOC
8. Signal Discrimination by HOC
9. Prediction of Level-Crossings

Appendix A. Some Data Sets

Index

第 1 章の Introduction は、本書の概要が応用例と共に紹介される。HOC を使って時系列データのもつ周波数 (周期) を見つける方法や、2 つの信号を如何にして識別するか等について詳しく述べられている。

第 2 章は確率論の基本的な概念の説明。特に、この本で重要な役割をする orthant probability の結果については、正規分布の場合だけでなくそれを含むより一般的な ellipsoidal (elliptically symmetric) 分布の場合についても述べられている。本書では積分を直接的に評価して ellipsoidal 分布の orthant probability を求める方法を紹介しているが、ellipsoidal 分布の orthant probability が正規分布のそれに等しいことは ellipsoidal 分布の一般論から導くことができる (K-T. Fang, S. Kotz and K-W. Ng, Symmetric Multivariate and Related Distributions,

Chapman and Hall, 1990)。

第 3 章は定常時系列の基本的な概念の説明。AR (p) モデル、定常過程のスペクトル表現、ARMA 過程、線形フィルター、伝達関数等が簡潔に述べられている。

第 4 章では、重要な結果の一つである平均 0 の定常時系列の zero-crossings 数 D の期待値 $E[D]$ と 1 次の母自己相関係数 $\rho(1)$ との関係、cosine formula；標本数 N のとき、

$$\rho(1) = \text{Cos}(\pi E[D]/(N-1))$$

が示される。これは Gauss 過程 (平均 0, 分散 1, 自己相関係数 $\rho(k)$) では良く知られた結果であるが、一般の ellipsoidal 過程でも成り立つことが示されている。またこれらは連続時間の時系列で level-crossings 数の場合に拡張され、Rice's formula の一般化も得られている。

第 5 章では、フィルターを通した時系列 $\{L_\sigma(\cdot)\}$ から求められる zero-crossings 数の族 $\text{HOC}\{D_\sigma\}$ を導入する。特に $L_\sigma = \nabla^k$ (k 回階差) のとき単純 HOC と呼ぶ。その性質として、

- (1) $E[D_k] \leq E[D_{k+1}]$
- (2) $\pi E[D_k]/(N-1) \rightarrow \omega^*$
(正の最大周波数, $k \rightarrow \infty$, 正規性を仮定)
- (3) $\text{Cos}(\pi E[D_{k+1}]/(N-1)) = \nabla^{2k} \rho(k-1) / \nabla^{2k} \rho(k)$
(long formula, 正規性を仮定)

等がある (Theorem 5.1, 5.2, 5.4)。性質(1)より HOC をグラフ化してモデルの識別に利用する。

第 6 章は単純 HOC の統計的 (漸近的) 性質を紹介している。定常 Gauss 過程の下で D_k が漸近正規性を持つこと、さらにその漸近分散の近似方法として、 m -dependent 過程の場合に詳しい説明がある。その応用例として、棄却域の限界を求めることにより Gaussian white noise の検定が扱われている。

第 7 章では、HOC の(2)の性質を使ってデータのもつ離散周波数を推定する方法が紹介される。適当な low-pass フィルターを通して得られた HOC 系列によるピリオドグラム解析法は、経験的に FFT (Fast Fourier Transform) 法よりも計算効率が良い。また、factorization equation を満たすフィルターを通して求めた HOC 系列を利用する CM 法 (Contraction Mapping Method) は、非線形最小自乗法やピリオドグラム法に比べて計算が簡単で、しかも初期値に依存せず同精度の推定ができる等。

第 8 章では、単純 HOC を使って 2 つの時系列の類似性を決定する方法として、2 次形式 ϕ^2 統計量を使った測度やグラフによる比較などが扱われる。ホ

ワトノイズの検定や、HOCの対(D_j , D_k)の散布図(scattergram)による識別方法も紹介される。

第9章は1期先の時系列の値が或るレベルより大か小かの予測を扱う。そのためにPL(Partial Likelihood)を導入し、logistic regressionモデルを使い、大標本におけるモデルのパラメータのMPLE(Maximum Partial Likelihood Estimator)の漸近正規性などの性質を導く。この結果をrain rateやrainfall-runoff dataに適用している。さらにprobitモデルによる結果も章末で紹介されている。

以上のように、本書は豊富な内容をコンパクトに紹介している。また章末の問題及び補足にも重要な結果が多数引用されている。

Bootstrap Methods and their Application

A. C. Davison and D. V. Hinkley
Cambridge University Press
(1997, viii+582)

広島大学経済学部 福地純一郎

Bradley Efronがブートストラップ法を提唱してから20年が経とうとしている。この方法は理論・応用を問わず多くの統計家を魅了し、この20年間に膨大な量の研究論文が書かれてきた。現在は、この方法の正しい使用が一般統計家の間に浸透しつつある段階とってよいだろう。本書はこの分野の研究における重要な貢献者2人によるブートストラップ法に関する教科書である。まず、本書の全体を通しての特徴について述べる。対象としては、すべての統計家および統計的方法のユーザーを含んでいるとってよい。部分的には理論的に高度な内容があるが、数理統計学の基本的な知識があれば、読み進むのに困難は感じられないであろう。数理統計的な詳細は最小限に抑えられている。本書の特徴の一つは、ブートストラップ法の各手法が解説されるのにほとんどの場合実際のデータを用いた例が付随している点である。このことによって、各種の方法の有効性と実用性が効果的に示されている。第2の特徴としては、パラメトリック・ブートストラップをノンパラメトリック・ブートストラップと同様の重さで説明していることである。理論的な説明にもパラメトリックモデルから始め、次にノンパラメトリックモデルに移行することにより、理解がしやすくなっている部分が多い。3番目の特徴はSplusを強力に利用していることである。本書では、ブートストラップ

や2段階ブートストラップから得られるリサンプルの情報プロットするなどの診断法あるいはデータ探索的な手法が多用されているが、このようなアプローチはS言語(Splus)のような対話型の環境を使用することによりはじめて可能になっている。各章にはPracticalsという節が設けられ、SplusとSplusの供給するデータセットを用いた課題が与えられている。ソースコードが与えられているので、Splusを使用することさえできれば、これらの課題を実行することにより、ブートストラップ法を使った実際のデータ解析の醍醐味が簡単に味わえる。各章のProblemsという節では理論的な問題が与えられている。これらの特徴のうちいくつかは、先に出版された先駆的な教科書、Efron and Tibshirani (1993)と共通している。本文中のトピックの選択は応用上有益なものに限られ、理論的な興味を目的として書かれている部分はほとんど無い。このような方式は広範な読者を得るのに大変成功していると思う。

以下では、本書の内容を紹介する。本書の構成は次のようになっている。

1. Introduction
2. The Basic Bootstraps
3. Further Ideas
4. Tests
5. Confidence Intervals
6. Linear Regression
7. Further Topics in Regression
8. Complex Dependence
9. Improved Calculation
10. Semiparametric Likelihood Inference
11. Computer Implementation

Appendix A. Cumulant Calculations

1章では本書で頻繁に使われるデータが説明される。

2章では、単一の無限母集団からの無作為標本という最も基本的な状況でのブートストラップ法が説明されている。経験分布関数、統計的汎関数といった基本的な概念からはじまり、ブートストラップ法の考え方が説明される。次に漸近枢軸量をブートストラップ信頼区間の構成に用いることが望ましいことのわかり易い説明がある。2.5節ではブートストラップ法を用いるときの誤差を統計的誤差とシミュレーション誤差とに区別し、分散安定化変換の有効性とブートストラップ標本の大きさの目安が述べられる。2.6節ではブートストラップ法による分布推定の一貫性と2次の正確性(正規近似よりも近似の程度が良いこと)が成り立つ条件などが述べられて

いる。また、ブートストラップ法が一致性を持たない例があげられている。母集団分布が格子点分布の場合、通常のブートストラップは2次の正確性を持たないことにも注意すべきである。これらの知識はブートストラップ法のユーザーにも必須のものである。2.7節では影響関数とノンパラメトリック・デルタ法、それによる分散推定量が標本平均、相関係数、標本パーセント点などの例とともに具体的に説明されている。ノンパラメトリック・デルタ法分散推定量は本書全体を通じて使用される。2.8節ではジャックナイフ法やある種のサブサンプリング法について簡潔な説明がある。

3章ではより複雑なデータが扱われている。具体的には、多標本問題、セミパラメトリックモデル、打ち切り (censored) データ、欠損値のあるデータ、有限母集団からの標本抽出、階層的データなどに対して、基本的なブートストラップ法がどのように修正されるかが説明される。有限母集団からの標本抽出 (標本調査) におけるブートストラップ信頼区間の構成に関しては、母集団ブートストラップ法と超母集団ブートストラップ法の成績が良いことが報告されている。また、この章では平滑化した経験分布からのリサンプリング、多段階ブートストラップ、ブートストラップ診断法 (Diagnostics) などの実用上有用な手法が紹介されている。ブートストラップ診断法としては、ジャックナイフ・アフタ・ブートストラップ法が紹介されている。この方法によって、個々の観測値がブートストラップ法に与える影響の大きさを見ることが出来る。

4章はブートストラップ仮説検定の解説である。ブートストラップを仮説検定に用いる場合、検定統計量の帰無分布を近似するために、帰無仮説のもとでのモデルからリサンプリングを行わなければならない。これが正しく理解されないとブートストラップ法が誤った結果を生むことになる。この章ではまず、仮説検定にかんする基本的な方法が解説されたあと、パラメトリック・リサンプリング検定、ノンパラメトリック並べ替え検定、ノンパラメトリック・ブートストラップ検定の方法が説明される。ノンパラメトリック・ブートストラップ検定は平均値の差の検定を例にとり、2つの母集団分布の形状が同じ場合、線形モデルなどのセミパラメトリックモデルが想定出来る場合、そして完全にノンパラメトリックな場合の順に、それぞれのリサンプリング方式が述べられる。母集団分布の形状が同じ場合には、2つの標本を混ぜ合わせたものの経験分布を用いることが推奨されているが、その理由はそれほど明確

ではなく、説明が欲しいところである。完全にノンパラメトリックな場合には2つの標本それぞれの指数傾斜 (exponential tilted) 経験分布からリサンプリングが行われる。このことは、標本 y_1, \dots, y_n を台にも持ち、帰無仮説を満たす分布の中で経験分布に最も近い分布からリサンプリングを行う、という考え方から導かれる。その他、スチューデント化検定、条件付き検定、多重検定にブートストラップ法を用いる方法が述べられている。4.5、4.6節ではそれぞれ2段階ブートストラップ法で α 値の偏りを調整する方法、検出力を推定する方法が述べられる。

5章はブートストラップ信頼区間についての解説である。パラメトリックモデルとノンパラメトリックモデルのもとでそれぞれ、正規近似、基本ブートストラップ、スチューデント化ブートストラップ信頼区間 (パーセントイル- t 、あるいはブートストラップ- t 区間とも呼ばれる) の定義が述べられる。ブートストラップ- t 区間は、統計量の分散の良い推定量が存在しないとき挙動が不安定になるという欠点を持っている。この点を克服するため、本書では近似的に分散安定化変換された統計量にブートストラップ- t 法を適用し、得られた区間をさらに逆変換する方法が推奨されている。ただし、分散安定化変換は2段階ブートストラップ法を用いた分散-パラメータプロットから推定されるか、あるいは統計家によって適切な変換が選択される。次に Efron によって提唱されたパーセントイル信頼区間とそれを改良した加速偏り修正パーセントイル信頼区間 (BC_a 区間) が説明されている。さらに BC_a 信頼限界を解析的に近似した ABC 信頼限界が紹介される。ABC 区間の特徴は、それを求めるのにシミュレーションを必要としないことである。本書の著者は、ブートストラップ信頼区間を構成する際に、分散-パラメータプロットなどによりデータを吟味することを重視しており、ブートストラップ法が自動的 (Automatic) であるべきという考え方には固執していない。このような考え方は Canty, Davison and Hinkley (1996) の中でも明確に述べられている。5.6節ではブートストラップカリブレーションによって被覆率を改善する方法が説明されている。その他、多次元パラメータの信頼領域、条件付き信頼領域、予測区間について、それぞれ1節が設けられている。

6章では線形回帰モデルに対するブートストラップ法の応用が解説される。まず、標準的な仮定をみたす線形回帰モデルに対するブートストラップ法として、残差をリサンプリングする方法とケースをリサンプリングする方法が紹介される。さらに不均一

分散のもとでのリサンプリングが述べられる。また、回帰係数の有意性検定、予測区間の構成への応用が解説される。6.4節では回帰モデルにおける集計平均2乗予測誤差の推定について述べられている。推定量としてクロス・バリデーション法、ブートストラップ法、そしてEfronの提唱する0.632推定量が説明されている。さらに、これらの推定量を用いた変数選択の方法が論じられている。最後にロバスト回帰への応用が述べられている。

7章では回帰分析の発展した話題が扱われている。この章では、一般化線形モデル、生存データ、ノンパラメトリック回帰モデルなどへの応用が扱われる。一般化線形モデルは線形回帰モデルを拡張したもので、ロジットモデル、対数線形モデル、生存データモデルなど数多くのモデルを含む。一般化線形モデルでは残差の定義が一意的ではない。ここでは標準化ピアソン残差、連結関数で変換されたスケール上の標準化ピアソン残差および逸脱度 (deviance) にもとづく残差が定義され、これら3種類の残差をリサンプリングする方法が解説されている。7.3節では生存時間がある変数の影響を受けるようなデータを扱っている。7.6節では、ノンパラメトリック回帰モデルの回帰関数をカーネル型推定量で推定し、ブートストラップ信頼区間を構成する方法が述べられている。線形回帰の場合と同様の残差からリサンプリングする方法はうまくいかないという重要な注意がされている。その他、一般化加法モデルなども扱われている。

8章は時系列データと点過程への応用である。時系列データのブートストラップ法として、モデルに依存した方法(残差のリサンプリング)、ブロックブートストラップ、周波数領域でのブートストラップ法が解説されている。ブロックブートストラップについての記述の中には用語の混乱が見られるので、このことに関して述べておく。Künsch (1989) が考案したブロックブートストラップ (Blockwise bootstrap) は、統計量が m -次元周辺経験分布関数の汎関数であるときに、隣り合う m 個の観測値からなるベクトルを考え、この $n-m+1$ 個 (n は標本の大きさ) のベクトルの中から、ブロックごと (l 個の隣り合うベクトルをまとめて) にリサンプリングする方法である。本書では $m=1$ の場合にこの方法を block resampling, $m>1$ の場合に blocks of blocks resampling と呼んでいるが、どちらもブロックブートストラップと呼ばれるべきものである。blocks of blocks bootstrap に関しては Politis and Romano (1992) を参照されたい。ブロックブートストラップ

を適用するときにもっとも重要なのはブロックの長さの選択であるが、Peter Hall のグループが考案した方法が紹介されている。ブロックブートストラップを用いて信頼区間を構成するにはスチューデント化統計量を用いる必要があるが、分散推定量は独立な場合ほど単純ではない。詳細は Götze and Künsch (1996) を参照されたい。次に、周波数領域のリサンプリング法として、Phase scrambling とピリオドグラム・リサンプリングが紹介されている。本書では解説されていないが、他の重要なリサンプリング法としては、サブサンプリング法 (たとえば Politis, Romano and Wolf, 1997) や自己回帰型のふるい (Sieve) ブートストラップ (Bühlmann, 1997) などがある。

9章では効率的リサンプリング法が紹介されている。つまり、標本から単純無作為抽出を反復するのではなく、目的に応じた工夫をすることにより、反復回数を減らすような方法である。このような方法として、釣合い型リサンプリング、制御法、重点的リサンプリング、ブートストラップ・リサイクリングなどが紹介されている。9.5節では、鞍点近似法を用いてブートストラップ分布を近似するいくつかの方法がくわしく述べられている。

10章では経験尤度法、経験指数型分布族尤度法、ブートストラップ尤度法、Implied 尤度法などが簡潔に説明されている。観測値上の多項分布を想定し、そのプロファイル尤度が経験尤度である。経験尤度比統計量にもとづくパラメータの信頼領域は、領域の形が自動的に適当なものに決まる、など多くの利点を持っている。本章では1標本問題しか扱っておらず、回帰モデル、密度関数の推定などへの応用は本書であげられている論文を参照するのがよいだろう。最後にベイジアン・ブートストラップの簡潔な説明がある。

11章では付属するディスクに含まれている Splus library の関数の使い方が、各章ごとに説明されている。

以上が各章の内容の要約である。本書はブートストラップ法とそれに関連した手法が幅広く、バランス良く解説されており、大変読みやすかった。理論、データ解析、グラフィックス、S関数が一体となった本書のスタイルは統計科学の教科書のあるべき姿の一つといえるのではないかと。また、本書はブートストラップ法あるいはコンピュータ集約的統計手法の理解を目的とした大学院レベルの統計学の講義の教科書として最適であると思う。記述の平易さと正確さ、そしてカバーする範囲の広さから考えて、本書

が今後、ブートストラップ法に関する標準的な教科書およびガイドブックとしての役割を果たすことは間違いないと思われる。

参 考 文 献

- Bühlmann, P. (1997). Sieve bootstrap for time series, *Bernoulli* 3(2), 123-148.
- Canty, A. J., Davison, A. C. and Hinkley, D. V. (1996). Comments on "Bootstrap confidence intervals" by DiCiccio, T. J. and Efron, B. (1996). *Statistical Science* 11, 189-228.
- Efron, B. and Tibshirani, R. J. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*. New York: Chapman and Hall.
- Götze, F. and Künsch, H. R. (1996). Second order correctness of the blockwise bootstrap for stationary observations. *Ann. Statist.* 24, 1914-1933.
- Politis and Romano (1992). A general resampling scheme for triangular arrays of α mixing random variables with application to the problem of spectral density estimation. *Ann. Statist.* 20, 1985-2007.
- Politis, Romano and Wolf (1997). Subsampling for heteroskedastic time series, *Journal of Econometrics* 81, 281-317.

The Analysis of Household Surveys A Microeconomic Approach to Development Policy

Angus Deaton

The Johns Hopkins University Press
(1997, viii + 479 頁)

東京理科大学経営学部 寺崎康博

本書は世帯調査に関するマイクロデータを計量経済学的な分析に使用する場合の方法論と分析例を紹介したものである。教科書のスタイルをとってはいないが、マイクロデータを使用する研究を行う上で配慮すべき事柄が数多く述べられている。また、分析例は著者が世界銀行でこれまでに実施してきたものから取材されており、特に開発政策に関心を持つものには親しみがあると思われる。著者が想定している読者も開発政策担当者、あるいはその研究者となっているが、本書はマイクロデータを使用して計量経済学的な実証分析を行う研究者一般にとっても有用な内容を含んでいる。

本書の構成は短い序章に続いて6つの章と統計ソ

フトウェア stata によるプログラム例からなっている。序章ではマイクロデータの使用が一般の研究者にとっても容易になった背景と想定される読者について著者の考え方が示され、簡単に本書の構成が説明される。6つの章のタイトルは以下に示すとおりである。

1. The design and content of household surveys
2. Econometric issues for survey data
3. Welfare, poverty, and distribution
4. Nutrition, children, and intrahousehold allocation
5. Looking at price and tax reform
6. Saving and consumption smoothing

第1章と第2章が方法論に関する説明であり、全体の3分の1ほどを占める。残りの第3章から第6章までは著者が手がけてきた開発政策のための分析を中心に、経済モデルあるいは測定論、推計法、事例をバランスよく記述しており、しかも各章に親切な読書案内をつけている。この部分は著者による30編以上の論文（共同論文も含む）と2編の著作から選ばれた題材であり、その分析内容も実に多岐にわたっている。限られた紙幅でその全容を紹介することはできないが、評者の目に留まった点を中心に本書の内容を簡単に紹介する。

第1章では、まず標本調査による世帯データの代表性を論じるために標本設計の問題が取り上げられる。どのような名簿を使用して標本抽出をするか、その名簿の更新頻度、抽出方法、対象外となる集団のチェック方法等への言及がなされる。特に、段階抽出、層別抽出あるいは集落抽出について詳しい説明がなされ、標準誤差（推定値の標準偏差）に関するいくつかの公式も紹介される。一般に、政府の実施する世帯調査では単純無作為抽出が行われることはほとんどないので、マイクロデータには母集団を復元するための「乗率」がついている。従って、マイクロデータを扱う場合には必須となる知識であり、標本調査法を学ぶ機会の少ない実証分析家はその重要性について理解を深めるためには良い案内となっている。また、複雑な標本設計によって集められたデータに関してはブートストラップ法によって標準誤差を求める方法も紹介される。stata によるコーディング例は役に立つ。

このほかには、世帯調査に関する標準的な問題、すなわち消費の測定、所得の測定、報告期間、世帯と個人の区別等々の問題点が概観される。近年作成される機会が増しているパネルデータについてもその有用性が検討されている。

第2章は推定論を扱っている。まず、標本設計に
 応じた回帰推定の問題が論じられる。特に、ウェー
 ト付きの回帰推定の標本特性、集落抽出されたデー
 タによる回帰推定の問題が扱われる。統計ソフトウ
 ェアを使用する場合にはオプション指定に関わる事
 項であるが、一読の価値がある。次に、不均一分散
 の問題が扱われ、教科書ではあまり見かけない分位
 回帰 (quantile regressions) の使用例が示される。
 また、トービット・モデルの場合も例示され実践的
 である。パネルデータに関してはGreen(1997)等
 の中級の教科書を参照する方がわかりやすいが、応用
 するにあたってどこに難しさがあるかを知るにはよ
 いかもしいない。本書ではコーホート・データ (個
 体の属性別にさらに細分化したデータは擬似パネル
 と呼ぶこともある) による分析も扱われるが、パネ
 ルデータと比較した特性が論じられている。コーホ
 ート・データによる分析方法として、誕生日、年齢、
 および時点という独立ではない3つの要素への要因
 分解があるが、著者たちの工夫が示されている。

第3章は所得格差および貧困の指標の計測論が中
 心の話である。所得に関してはAtkinson(1970)、
 貧困に関してはSen(1976)というこの分野ではも
 や古典ともいべき計測論が紹介され、その適用例
 が示される。これらは所得なり、消費なりの分布が
 問題であるので、背後にある密度関数をデータから
 直接推計する試みも紹介される。密度関数の推定に
 関してはノンパラメトリックな手法であるkernel
 推定量が取りあげられ、やはり例示される。政策の
 分布へ与える影響を評価する事例としてタイにおけ
 るコメの価格支持政策が検討され、理論の提示と推
 定のための工夫が紹介される。政策による損得が世
 帯属性別に明らかにされる。マイクロデータには十分
 な情報があるため、関数形を想定しない回帰推定で
 あるkernel回帰が適用される。

第4章は消費の中でも発展途上国では特に重要な
 食費と栄養摂取の問題を扱っている。エンゲル関数
 の推計は古典的な問題であるが、著者の工夫は(1)
 食費と栄養摂取量の関数に着目した点と(2)栄養
 摂取、教育等に関して同一世帯内での男女格差の計
 測を行っている点である。前者に関しては、2変数
 の密度関数の推定にkernel推定量を使用して等高
 線 (contour) プロットが示され、状況を把握しやす
 い。後者に関しては理論モデルを想定してから計測
 を行うという計量経済分析の標準的なスタイルを踏
 襲している。この章のもう一つの話は消費水準を
 世帯構造の違いによって調整する成人換算 (equiva
 lence scale) であり、その理論と推定論、さらには

インドへの適用例を紹介している。いわゆる「子供
 の費用」の推計問題であるが、エンゲルの方法や
 Rothbarthの方法がかなり詳しく説明されている。
 本学会誌でも駿河(1996)による計測例がある。

第5章は発展途上国における価格政策の評価に関
 する分析である。発展途上国では流通過程の未整備
 等により地域別に見た価格変動が大きいことに着目
 し、地域別の消費行動の特性が異なることを導き出
 し、適切な価格政策に対する示唆を得ようとするも
 のである。食料に関しては何らかの価格支持政策、
 あるいは補助金による低価格政策が取られているの
 が通常であるので、(物品)税の改革につながる分析
 となっている。消費行動を分析するための世帯調査
 からは価格そのものではなく、単価しか得られない
 ので、消費における品質の違いを配慮したやや複雑
 なモデルを使用しているが、インドとパキスタンへ
 の適用例が示される。

第6章はライフサイクル仮説を想定した貯蓄行動
 の分析を展開する。社会保障制度が整備されたとし
 ても、失業や退職に伴う所得変動を完全に補うこと
 は難しいので加齢に伴って消費分布は一般に不平等
 化することが考えられる。消費の保険仮説と呼ばれ
 るものであるが、そのことを検証するための理論モ
 デルの説明とコーホートに着目した分析が工夫され
 ており、さまざまな国のデータによって裏付けがと
 られている。この想定が正しいとすれば、高齢化が
 進展すると格差が拡大するので、わが国でも関心を
 呼んでおり、大竹・斉藤(1998)が日本のデータに
 ついて検証している。

最後に、1章から6章までの分析に使用された
 stataによるプログラムが38頁を費やして15本(う
 ち1本はGAUSS用のコードである)掲載されている。
 著者によればこのプログラムは分析の核心部分
 をテンプレートとして掲載したもので、SAS等の他
 の統計ソフトウェアに移植することも難しくないと
 している。最近では統計ソフトウェアが充実してきた
 ので、以前と比べるとプログラム自身が掲載される
 機会がほとんどなくなっているが、本書で展開され
 ているようなやや高度な分析を実行するにはプログ
 ラミングのセンスが要求される。この付録は幾分でも
 その負担を軽減するものと思われる。

最後に本書を通して得た感想を述べて筆を置き
 たい。まず、計量経済学の知識を持っている者でも
 1章と2章からは学ぶことは多いと思われる。新しい
 手法の応用について得るところは多い。3章から
 6章までは平易に解説されているとはいえ、高度な
 分析を含んでいるので興味のある章を読者案内に従

って読むことも考えられる。内容がほぼ独立しているもので、そのような読み方をしても困らないと思われる。

わが国では官庁統計のマイクロデータを使用することは非常に限られた状況でしか許可されないが、欧米では世帯に関する実証分析の多くはマイクロデータを使用するものになってきている。このギャップを埋めるために、文部省の科学研究費によるプロジェクト（特定領域研究「統計情報活用のフロンティアの拡大」(松田芳郎領域代表)）が進行中であり、マイクロデータの取り扱いに関して経験が蓄積されている。しかし、生のマイクロデータを扱う場合の留意事項には調査に関する専門的な知識も要求され、適当な教科書が望まれていた。冒頭に述べたように、本書は標準的な消費分析や就業行動に関する記述が欠けているので世帯行動の全般を扱っているわけではなく、教科書のようなスタイルでもないが、学術的な実証研究を志す者を対象にして書かれており、マイクロデータの取り扱いに関する類書がない現状では一読の価値が高いと思われる。

参 考 文 献

- Atkinson, A. B. (1970) "On the Measurement of Inequality," *Journal of Economic Theory*, vol. 2, pp. 244-263.
- Greene, W. H. (1997) *Econometric Analysis 3rd edition*, Prentice Hall.
- Sen, A. K. (1976) "Poverty: An Ordinal Approach to Measurement," *Econometrica*, vol. 46, pp. 437-446.
- 大竹文夫・斉藤 誠 (1998) 「人口高齢化と消費の不平等度」(八田達夫・八代尚宏編『社会保険改革』217-244頁所収) 日本経済新聞社。
- 駿河輝和 (1995) 「Equivalence Scale による子供の費用」『日本統計学会誌』第 25 巻第 3 号, 223-231 頁。

「経済統計にみる企業情報化の構図」

溝口敏行・栗山規矩・寺崎康博編著
富士通ブックス 1996年5月
278+viii ページ ¥2800

東京大学大学院総合文化研究科
教養学部 廣松 毅

本書は、カバーの書き出しに述べられているとおり「企業をめぐる情報化の動向を統計的分析手法を利用して分析し、あわせて将来展望を行った」ものである。情報化という現象は、多くの人々によってさまざまな形で喧伝されているにもかかわらず、そ

の実態はなかなかつかみにくい。サブ・タイトルにもあるように、まさに「見えざる」現実となっている。そのような中であって、本書の執筆者たちは経済統計、すなわち現実のデータを用いてそれを統計的に分析するという基本的な立場から、この「見えざる」現実に迫ろうとしており、その試みはある程度成功していると考えられる。以下、その内容の紹介とともに、私見を述べてみたい。

さて、情報化ということが言われ始めてほぼ30年が経つ。というのは、一般に、わが国におけるこの分野の嚆矢は梅棹忠夫氏の論文「情報産業論」(1962年)であり、情報化という言葉はその後60年代の後半に、主として通産省の産業構造審議会の答申やそれに基づく提言で用いられたのが最初と言われていたからである(産業構造審議会の中に情報産業部会が設置されたのは1967年11月であり、その年の10月に情報化週間、現在は情報化月間が始まっている)。ただし、梅棹氏は「情報産業論」の中で、今日でいう情報化の主たる動因であるコンピュータ化について言及はしているものの、氏の念頭にあったのは主としてテレビであったと考えられる(当時はテレビ受像器が急速に普及し始めた時期であった)。また、情報化という言葉の内容も80年代に入って、コンピュータ技術と通信技術との融合によって高度情報化と呼ばれるようになり、変わってきている。さらに、1990年代に入って情報化の動向に大きな変化が生じつつある。すなわち「ダウンサイジング」と呼ばれる動きに代表される情報化は、情報の個別処理とネットワーク化を柱にして、大きく変容を遂げつつある。

このような背景をもとに、本書は、主として1970~80年代の企業をめぐる情報化の動向を統計的な分析手法を用いて分析するとともに、情報化に関する統計整備の重要性を強調している。本書の内容は、主要なテーマ別に4部に分けられている。具体的に、第I部は「企業の情報管理」に関する4つの論文、第II部は「企業活動の情報化」を論じた4つの論文、第III部は「情報化の経済効果」を実証した2つの論文、そして最後の第IV部は「情報生産分析のための統計」の諸問題を論じた1章からなる。

紙数の都合上、それぞれの章および部について詳論することはできないが、要約すると、次のようになろう。まず第I部の第1章では、情報をヒト・モノ・カネとならば企業活動の資源と位置付けた上で、情報処理技術の適用対象が拡大・深化し、情報システムの目的にも変化がみられることを指摘している。第2章は、企業において戦略システムのコン

セプトは、情報化推進のための意識改革には貢献したものの、そのようなコンセプトに基づく情報システムが構築されるということは意外に少ないとしている。第3章では、これまでの情報システムの推移はその管理的運用から戦略的活用への変化ととらえられるものの、実際の活用にあたってはさまざまな障害が存在し、試行錯誤の段階にある企業が多いことが述べられている。そして第4章では、通産省「情報処理実態調査」を分析して、ソフトウェア業と狭義の情報処理サービス業との間には多くのコントラストが見いだされること、非情報サービス産業において情報処理作業の外注化が進んでいることを明らかにしている。

第II部の第5章では、通産省「特定サービス産業実態調査」の分析から、情報サービス産業の情報生産量は全産業のその5~10%にすぎないという推計結果から、情報産業に属さない企業において本社機能の一部として内部生産されている情報活動も併せて分析することの必要性を強調している。第6章は、「国勢調査」を利用して情報活動に従事している人の実態を分析している。その結果、情報活動従事者は特定の産業、すなわち日本標準産業分類の4桁(細)分類で見ると、情報サービス・調査・広告業、通信・電子機械製造業、機械器具製造業、銀行・信託業、その他の金融業の5産業に集中していることなどを明らかにしている。第7章では、情報サービス産業の発展を、成長会計の手法を用いて分析し、新規参入効果と規模拡大効果という量的な拡大効果が情報生産量増加の75%を占めることを指摘している。また、情報サービス産業の中で増加している作業の外注は生産性の向上にあまり貢献していないことも指摘している。そして第8章は、情報サービス産業の労働生産性を、GDEデフレータで実質化した実質売上高を従業員一人当たり直した値と定義し、この生産性が分析期間中は向上していたこと、資本金で見た企業規模間に生産性の格差が存在し、その格差は解消されていないことを明らかにしている。

第III部の第9章では、情報化がわが国経済の生産・消費・資本形成および輸出に与えた影響を計測して、もし(高度)情報化がなかった場合、1985年のGDPは16.4%程度低下していたはずであること、特に新技術による価格効果を通じて実質消費および輸出が1980年代に大きく増加したことなどの結果を得ている。第10章は、情報化による生産技術の革新は主に産業間の依存関係の変化、つまり投入係数の変化として現れると考えて、その変化が雇用

に与える影響を分析している。その結果として、1980年代に情報化による技術革新がなかったとすると、経済規模の拡大によって必要とされた雇用者の増加は全体で2510万人であったにもかかわらず、実際には640万人しか増えておらず、その差の1780万人の雇用が節約されたとしている。

最後の第IV部の第11章では、情報生産をめぐる現行の統計を詳細に検討して、1980年代後半からこの分野に関連する統計がかなり整備されるようになってきているとはいえ、技術革新への対応の点ではまだ多くの問題が残っていることが指摘されている。

なお、以上の本書の内容は、文部省平成3~6年度科学研究費補助金重点領域研究「情報化社会と人間」によって実施された共同研究が基礎になっている。

本書の各章で得られた知見や実証分析の結果は、それぞれ貴重であり、かつ大変興味深い。と同時に、今後より一層精緻な分析を必要とするものも多い。ここでは、そのうち一つの点についてのみコメントしておきたい。それは情報化投資の「生産性のパラドックス」の問題である。というのは、本書でも指摘されているように、企業をめぐる情報化に関するトピックスのうちもっとも注目すべきものは経営戦略とのかかわりであり、それは取りも直さず生産性の問題だからである。

かつて1980年代、アメリカ企業は情報化投資に積極的に取り組んでいたにもかかわらず、なかなか生産性の向上に結びつかなかったことから「生産性のパラドックス」がいわれ、論争が行われてきた。この論争に関しては、たとえば、廣松毅監訳『情報通信テクノロジー』(全4巻)富士通ブックス、1998年2月(原著:William H. Dutton ed., *Information and Communication Technologies-Visions and Realities*, Oxford University Press, 1996)の第1章および第7章のクリストファー・フリーマンの議論を参照せよ。しかし、その後1991年4月以降、アメリカ経済は景気拡大を続けており、97年のGDP成長率は3.8%と88年以来の高水準を記録した。また失業率は4~5%台、物価上昇率も3%以下であった。「インフレなき景気拡大」とも呼ばれている。このような実態を反映して、1980年代のアメリカ経済が産業の国際競争力の低下にともない低迷していたのに対して、90年代の景気拡大は循環的なものではなくて構造的な変化であるとする「ニューエコノミー」論が台頭してきた。この「ニューエコノミー」論の要点をごく簡単にまとめると、以下のようになる。第一に、経済のグローバル化によって海外から

安い原材料等が調達可能になり、コストが削減された。第二に、企業のリストラによって、製造業からサービス業への雇用のシフトが起きるとともに、パートタイム労働者が増加し雇用コストが削減された。そして第三に、情報通信技術を活用した情報化投資によって、グローバルな規模で在庫調整が進むと同時に、組織のダウンサイジングによってオフィスの効率化が急速に進んだ。これらの結果として、生産性の向上が物価上昇圧力を吸収しているために、景気拡大から物価の上昇という従来の景気循環のサイクルに移行せず、アメリカ経済は新たな経済成長パターンに入ったというのがその骨子である。このうち、特に第三の情報投資の生産性向上効果が強調されることが多い。このような「ニューエコノミー」論の台頭は、米連邦準備理事会 (FRB) のグリーンズパン議長が情報通信技術の革新が統計データ以上に生産性の向上に寄与していると示唆したことが、大きなきっかけとなったことがよく知られている。そして、情報化投資による生産性向上への認識が高まるとともに、現在アメリカでは、その計測の仕方に関して多くの観点から問題提起がなされるとともに、実証分析がなされるようになってきている。

本書は、日本におけるそのような試みの本格的な第一歩であり、高く評価したい。しかし現実には、日本のマクロ経済は混迷しており、そこから脱出する有力な手段であると考えられる情報化投資について、『情報サービス産業白書 1997』のアンケート調査によれば多くの企業 (調査企業の 55.2%) が、自社の情報化を阻害する要因として「その費用対効果がわからない」をあげている。このような現実からの要請に応えるためにも、この分野の実証研究の蓄積が必須であり、急務である。

評者も、そのような試みの一つとして、情報化投資の効果の計測の試みを行っている。その結果から、分析した多くの産業において、1990年代前半の情報化投資の貢献が1980年代と比べて低下していることが判明している。このことは、各企業における情報化投資の質的転換の必要性を示すものと解釈できよう。今後、多くの研究者によってこの分野が開拓されることを期待したい。さらには、産業・企業ではなくて、個人・家庭における情報化の計測は、現在ほとんど手つかずのままである。この分野のこれからの進展を念願する次第である。

最後に、本書の特徴をもう一つあげておきたい。本書巻末の参考文献は、この分野の基本的文献を網羅しており、便利である。また、索引を統計調査・

資料、事項、人名・組織別に分けて引きやすくしていること、図表を見やすくするとともに、注を該当箇所と同じページの下段に置いて読みやすくするなど、多くの工夫がなされており、大変親切である。さらに、この分野特有の英語の略語の一覧表や分析用語の解説も付けられており、専門外の人にとっても大いに役立つであろう。

定価も手頃であり、是非一読をお勧めしたい。

Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications (Springer Series in Statistics)

Ingwer Borg and Patrick Groenen
Springer-Verlag (1997, xvii+471 頁)

甲子園大学 足立浩平

多次元尺度法 (Multidimensional Scaling) は、対象間の非類似性データから、各対象を一つの点として位置づける空間布置を求める解析法であり、MDSと略称される。計 n 個の対象間の非類似性データ行列を n 次の正方行列 $P=(p_{ij})$ で表わし、各対象の点の座標値ベクトルを x_i (または x_j) と表せば、MDSの目的は、対象 i と対象 j に対応する二点間の距離 $d(x_i, x_j)$ と非類似性データ p_{ij} の間に、近似関係 $p_{ij} \approx d(x_i, x_j)$ あるいは $f(p_{ij}) \approx d(x_i, x_j)$ (f は何らかの関数) が成り立つようなパラメータ $x_i (i=1, \dots, n)$ を求めることと定式化できる。

MDSはそもそも、心理学データへの適用を目指して、計量心理学の領域で創案された。すなわち、知覚された対象間の非類似性 (例えば、二名の人物の顔が、どのくらい類似または非類似に見えるかの程度を被験者が回答したもの) は、知覚された距離 (心理的距離) とみなせるが、こうしたデータから、対象を位置づける空間布置を求め、類似性の判断を規定する知覚の構造を探りたいというモチベーションから生まれた。ただし勿論のこと、MDSの適用データは上記のような心理的非類似性に限られない。対象間の類似・非類似を表わすものであれば、MDSはどのようなデータにも適用可能で、対象間関係を縮約した少数次元の空間布置を求めるといったデータ構造の探索に利用できる。

本書は、こうした MDS の入門から始め、MDS の理論と応用をまとめたものである。471 頁に及ぶ大著であり、計 22 の章が、次の 5 部に分けられている。

Part I. Fundamentals of MDS.

II. MDS Models and Solving MDS Prob-

lems.

III. Unfolding.

IV. MDS Geometry as a Substantive Model.

V. MDS and Related Methods.

さらに、IV部の Appendices では、MDS の幾つかのコンピュータ・プログラムが紹介されている。なお、MDS の創案が心理学的ニーズによることを上述したが、本書ではこの事が強調され、しばしば心理学的な話題に触れられる。以下、I~Vの各部ごとに概要を紹介した後、本書の特徴をまとめる。

I部は6つの章から成り、MDSの研究に係わる読者よりも、むしろユーザーを念頭において、MDSの外観を示している。1章(The Four Purposes of Multidimensional Scaling)では、MDSの目的として、データ構造の探索、仮説の検討、被験者の知覚構造の探索、類似性判断のモデルの提供等を掲げている。2章(Constructing MDS Representations)では、誤差を伴う距離(データ)から地図(対象の空間布置)を作る作業としてMDSを捉え、誤差のない距離から定規とコンパスを使って地図を作る手続きの例示から始めて、MDSという手法のイメージを描いている。3章(MDS Models and Measures of Fit)では、MDSの基礎モデルを示し、解析法の骨子を、最小二乗基準、つまり、 $f(p_{ij})$ と $d(x_i, x_j)$ の誤差の二乗和(または二乗和の標準化指標)の最小化として定式化している。さらに、MDSの諸手法を鳥瞰した後、シミュレーションによる真の座標値の再現の計算例が紹介されている。4章(Three Applications of MDS)では、色、モールス信号および顔の表情の類似性データを掲げて、MDSによる解析結果を示し、空間布置の解釈法として、次元による解釈、領域による解釈、および、外部情報を利用した解釈を例示している。5章(MDS and Facet Theory)では、特に、領域分割による解釈の規範となるFacet Theoryを提案し、これを利用した解釈法を詳述している。6章(How to Obtain Proximities)では、種々の類似性データ収集法を列挙した後、実際場面ではしばしば起きるデータの欠損と解との関係を吟味している。

I部がMDSの「外観」なら、II部はMDSの「中身」と位置づけられ、7~13章から成る。7章(Matrix Algebra for MDS)は、行列の初学者も理解可能な線形代数の入門から始め、後続の章の基礎になる諸定理に至っている。8章(A Majorization Algorithm for Solving MDS)と9章(Metric and Nonmetric MDS)は、外枠の鳥瞰にとどまった3章

を深化させ、MDSのモデルと解法を詳述している。8章では、データ p_{ij} を距離 $d(x_i, x_j)$ に直接対応づけるMDSを取上げ、その解法を記述している。MDSの解は(一部の手法を除いて)解析的に得られず、反復解法が必要となるが、最も洗練されたアルゴリズムの一つであるMajorization法が紹介されている。 $f(p_{ij}) \approx d(x_i, x_j)$ の関係を仮定することがMDSの基礎であるが、9章では、関数 f の内容によってMDSを分類している。すなわち、 $f(p_{ij}) = ap_{ij} + c$ のように線形関係を仮定するMetric MDS、 p_{ij} と $f(p_{ij})$ の弱単調関係だけを仮定するNonmetric MDS、および、両者の中間とも言えるスプライン関数を利用したMDSなどが詳述されている。対象の空間布置に関する事前情報を制約としてモデルに組み込んだMDSが10章(Confirmatory MDS)の主題であり、事前情報を座標値 $x_i (i=1, \dots, n)$ の線形制約によって表す方法と、事前情報からの偏差をペナルティーとする方法が紹介されている。さて、MDSの解析で最小化される基準として、 $f(p_{ij})$ と $d(x_i, x_j)$ の誤差二乗和が挙げられるが、Nonmetric MDSではこれを標準化する必要が生じる。また、 $f(p_{ij})$ および $d(x_i, x_j)$ の二乗あるいは対数の誤差を考慮する手法もあり、11章(MDS Fit Measures, Their Relations, and Some Algorithms)では、こうした種々の目的関数が紹介されている。12章(Classical Scaling)では、歴史的にはここまでの章に先んじる古典的MDS(主座標分析)が取上げられる。13章(Special Solutions, Degeneracies, and Local Minima)では、全要素が等しいといった特殊なデータ行列に対する解や退化解および局所最小の問題が論じられる。特に、空間の次元数を1とする場合に局所最小が生じ易いものに対して、空間の次元数をfull(対象数-1)にした場合にはMajorization法によって常に大域解を見出せることが示され、また、局所最小を回避する方策として、著者の一人Groenenが研究を進めているTunneling(トンネル)法が平易に紹介されている。

III部は、14章(Unfolding)と15章(Special Unfolding Models)から成り、MDSの変形である展開法(Unfolding)に焦点を当てている。通常MDSが行と列に同一種の対象が並ぶ正方データ行列に適用されるのに対して、展開法は、行と列に異なる対象が並ぶ矩形データ行列に適用され、MDSの拡張と位置づけることもできる。この矩形データ行列 $P = (p_{ij})$ の行および列に対応する点の座標値ベクトルを、それぞれ、 y_i, x_j と表わせば、 $f(p_{ij}) \approx d(y_i, x_j)$ が成り立つような一連の座標値ベクトルを求めるこ

とが、展開法の目的となる。14章では、以上の定式化に加え、展開法の「泣き所」、すなわち、行と列の2セットのパラメータ (y_i, x_j) が未知であることに由来するパラメータの推定精度の悪さが例証されている。15章では、 y_i または x_j のいずれかが所与の場合の展開法、 y_i と x_j の内積を類似性データに対応づけるベクトル選好モデル、および、離散選択データのための展開法などが取上げられている。

IV部では、データの縮約表現法ではなく、各対象の属性と対象間の類似性を結び付けるモデルとしてMDSを捉えた場合の話題が取上げられる。特に、類似性データが人間の知覚判断に基づく場合、それにMDSを適用することは、「知覚された対象の属性ベクトル x_i から、いわば心の中で計算された距離 $d(x_i, x_j)$ に基づき、類似性の判断がなされる」と仮定することに他ならず、16章(MDS as a Psychological Model)では、こうした観点から、 $d(x_i, x_j)$ としてMinkowskiのパワー距離を取上げ、最適なべき乗数の決定や公理的基礎などがまとめられている。17章(Scalar Products and Euclidean Distances)では、類似性判断の基礎が、距離ではなく、 x_i と x_j の内積と仮定するモデルと解法が掲げられる。さて、上記の知覚類似性の場合に限らず、一般にMDSでは、非類似性 p_{ij} またはその関数 $f(p_{ij})$ が距離に基づくことを仮定しているが、18章(Euclidean Embeddings)では、 $d(x_i, x_j)$ をユークリッド距離として、例えば $f(p_{ij}) = p_{ij} + c$ とした場合に、誤差0の距離表現を得るために必要な次元数などを考察している。

V部は、19~22章からなり、MDSの拡張および関連手法が記される。複数ケースのもとで類似性データが観測される場合には、各ケースを $k (=1, \dots, K)$ と表わせば、データ行列は $P_k = (p_{ijk})$ と表わせるが、ケース数 K を2として、データ行列 P_1 と P_2 を別個に解析した場合の二つの解の比較法が19章(Procrustes Procedures)で扱われる。すなわち、ユークリッド距離に基づくMDSの解の配置には、回転および平行移動(さらに手法によってはスケール)の不定性があり、別個の分析で得られた二つの配置を比較する場合には、こうした不定性を考慮して、一方の配置を他方に近づけるためのプロクラステス法が利用されるが、この手法の概要が紹介される。さらに、20章(Three-Way Procrustean Models)では、 $K > 2$ つまり三つ以上の配置を対象とした一般化プロクラステス法が記される。さらに、ケース間の相違をモデル化して、モデル $f(P_{ijk}) \approx d(x_i, x_j; w_k)$ (ここで、 w_k はケース k に固有のパラメータ)

に基づいて、一連の x_i 並びに w_k を推定するMDSが21章(Three-Way MDS Models)の主題である。すなわち、ケース固有のウェイトを各次元に乗じて得られる距離を $d(x_i, x_j; w_k)$ とするモデルをはじめとして、いわゆる3元MDSがレビューされる。最後の22章(Methods Related to MDS)では、MDSと関連の深い主成分分析とコレスポンデンス分析、および、 $p_{ij} \neq p_{ji}$ ($i \neq j$) となる非対称データのMDSがまとめられている。

以上が、本書の各部・各章の概要である。多数の頁数のため、特色を手短かにまとめるのは難しいが、あえて言えば、1) 数理学の分野に馴染みの少ない読者やMDSのユーザーを考慮していること、2) 心理学的基盤を重視していること、および、3) 数値例や適用例が豊富であることなどが挙げられる。1)の特徴は、II部でMDSの骨子を記述する前に、I部全体を通してMDSの外観を読者に与えている点、および、II部の7章や8章で、線形代数や微分の入門から議論を始めている点から窺われる。また2)の特徴は、IV部やその他の随所で見られる。3)の特徴も随所で見られ、MDSの性質に関する議論も、式の展開からだけでなく、具体的な数値を図表で示して例証されている。

MDSの全般に渡る成書として、和書では、齋藤(1980)、高根(1980)が挙げられる。さらに、近年のものに限定すると、和書として、ユーザーも考慮した岡太・今泉(1994)、および、非対称データのMDSを扱った千野(1997)が挙げられ、洋書には、Cox & Cox(1994)がある。これらの著書と本書を大まかに比較すると、次のようなことが感じられる。まず、MDSの各種のモデルと解法をまとめた齋藤(1980)、高根(1980)およびCox & Cox(1994)に比べると、スプライン関数に基づく方法の記述などを除けば、モデルや解法で特に目新しいアプローチは記されていない。さらに、本書では最小二乗法に基づく解法が中心となり、高根(1980)で詳述される最尤法に基づくMDSに殆ど触れていない点は、不備であると感じられる。また、同様にユーザーを考慮しながら、tightにまとめられた岡太・今泉(1994)に比べ、本書は多頁であるがゆえに、素早くMDSの概要を把握したい読者は、通読するのに苦労するとの感も免れない。日本で盛んに研究される非対称データのMDSについては、本書がMDS全般を扱う点でやむを得ないが、専門書である千野(1997)に比べて話題が限定されている。

前段では不備と感じられる点を掲げたが、もちろん本書には多くの長所がある。上述したユーザーや

初学者を考慮した記述以外にも、大著ゆえに、他の著書では省かれた話題が掲載されるという長所がある。例えば、13章、17章および18章などは、他著では触れられないか、あるいは、比較的簡単に済まされている。これらの章の内容や、あるいはI部で扱われるMDSの外観は、研究者が個別的なモデルや理論の研究を深く進める内に、思慮の対象から外れてしまいがちな話題ともいえよう。こうした点で、本書は、MDSの初学者にとって入門書となると同時に、研究者にも有用な著書と考えられる。

参考文献

- 千野直仁(1997). 非対称多次元尺度構成法. 現代数学社.
 Cox, T. F., & Cox, M.A.A. (1994). *Multidimensional scaling* London: Chapman & Hall.
 岡太彬訓・今泉 忠 (1994). パソコン多次元尺度構成法. 共立出版.
 齋藤堯幸 (1980). 多次元尺度構成法. 朝倉書店.
 高根芳雄 (1980). 多次元尺度法. 東京大学出版会.

Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis

Bradley P. Carlin and Thomas A. Louis
 Chapman & Hall, 1996, xi+399 頁
 ISBN 0-412-05611-9

北海道大学文学部 大津起夫

本書は、ミネソタ大学生物統計分野の2人の研究者による、応用面に重点を置いたベイズ推定法の教科書である。表題の通り、ベイズ推定と経験的ベイズ推定について触れられており、特に実際の例においてこれらの手法を適用するとき、どのような利点があるかについて詳しく記述されている。内容を理解するためには、数理統計学の基礎的な知識が前提とされている。数理統計分野の修士程度のテキストとしての利用を意図しているが、ベイズ統計についての特別な知識を前提としてはいない。

厳密な意味でのベイズ推定においては、分析に用いる事前分布は分析者によってすべて特定されるが、経験的ベイズ (Empirical Bayes, EB) 推定においては事前分布の推定をデータに基づいて行う。本書の中心的なテーマの1つは、ベイズ推定法とEBが伝統的な推定論においても優れた特徴を持つことを示すことである。

Box & Tiao (1973) などの古典的なベイズ統計の教科書では、線形モデルにおける事後分布の解析的

な特徴と、それに基づく推定方法が主要な内容となっているが、本書では事後分布の解析的な導出法の細部には触れられておらず、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) によるシミュレーションが推定の中心的な役割を果たしている。また、事前分布の主観確率としての意義付けはほとんど言及されず、もっぱらベイズ推定をデータ解析手法としての望ましさの点から評価している。本文の記述は、手法の概念的な説明とそれらの評価に重点がおかれており、技術的な細部や定理の証明などについては原論文などにあたる必要がある。また、もう1冊の教科書 (Gelman et al. 1995, こちらのの方がより入門的な教科書である) ほど、各種のモデルについて網羅的であることを意図していない。巻末の参考文献は24ページにもわたるものであり、1990年代前半のベイズ推定法の進展を知ることができる。各章末には、豊富な演習問題が掲載されており、また付録にはこれらの演習問題の解答、および確率分布の解説付き一覧とベイズ推定に関連するソフトウェアガイド (22ページ) がある。

以下、本文の各章の内容を簡単に説明する。

第1章 (Procedures and their properties) はベイズ推定の基本概念についての導入部であり、リスク関数および手法の良さを評価するための各種の基準が導入される。

第2章 (The Bayes approach) では、まず事前分布の意義とその設定方法について説明があり、次いで具体的モデルへの適用例が示されている。仮説検定・区間推定およびモデル評価の方法が紹介され、最後にディリクレ過程を利用したノンパラメトリック推定法が簡単に紹介されている。

第3章 (The empirical Bayes approach) では、経験ベイズ推定について解説されている。最初にノンパラメトリックEBによる推定が紹介されているが、議論の中心はパラメトリックEBの方法である。正規モデルと2項分布モデルについて具体例が示されたあと、手法の性能とStein推定量との関係が説明される。さらに、EMアルゴリズムによる計算法、および区間推定法が示されている。超パラメータの推定誤差をどのように取り扱うかに焦点があてられている。

第4章 (Performance of Bayes procedures) の内容は、ベイズ推定および経験ベイズ推定の伝統的な推定論の立場に基づく評価である。特に階層的構造を持つ正規モデルと2項分布モデルについて、具体的な計算結果を例示している。計算結果の多くは図示されている。

第5章 (Bayesian computation) は、ベイズ推定を行うための具体的な計算方法、特に事後分布の計算法についての解説である。最初、漸近的近似法(正規近似とラプラス近似)について説明がある。次いで、モンテカルロ近似法(直接的な乱数生成、インポートランスサンプリングなど)が示され、さらにMCMCに基づく各種の方法が解説されている。データ拡大 (data augmentation)、ギブスサンプリング、メトロポリス-ヘイスティングス・アルゴリズムについて説明が与えられており、また乱数系列の定常性への収束判定法について詳しく解説されている。

第6章 (Model criticism and selection) では、分析結果の診断とモデル選択の方法が示される。事前分布の仮定についての感度分析の方法が解説されて、事前分布分割 (prior partitioning) と呼ばれる事前分布の特徴づけの方法が示されている。これは、事後分布において特定の特徴をもたらず事前分布の集合を、広い範囲の分布族を想定して求めるものである。また、ベイズ推定における残差診断の説明のあと、モデル比較のためのベイズ比計算法が示されている。特に、MCMCを用いた計算方法について詳しい。

第7章 (Special methods and models) は、第8章の準備として、そこで用いられている手法について個別の解説を加えている。最初に取り上げられている話題は、アンサンブル推定 (パラメータ集合の経験分布関数の推定) である。観測されたデータを直接使ったのではパラメータ集合の広がりか過大評価され、ベイズおよびEBを直接使ったのでは過小評価になる。これに対応するための方法が示されている。この他に、順序制約のもとでの推定、非線型モデル、経時データ、生存分析および時空間モデルの取り扱いが議論されている。

第8章では、第7章の記述を踏まえて、3つの分析例が詳細に紹介されている。最初の例は、AIDS治療にかかわる反復測定データの分析である。分析の目的はCD4と呼ばれるリンパ球数の病状指標としての検討であり、経時的分析とプロビット回帰が取り扱われている。MCMCを用いたパラメータ推定の実例が詳しい。2番目の例もAIDSに関わるものであり、臨床試験におけるトキソプラズマ脳炎の発病を対象としている。治療薬の効果について専門家の見解を事前情報とする分析が行われている。この例では専門家の予測が実験結果と一致せず、事前分布についての感度分析が詳細に行われている。3番目の例は、肺ガン発病率データの時空間モデルによる

分析である。オハイオ州の88の郡における性別・人種別の21年間にわたるデータを対象に、時空間連続性を考慮した複数のモデルの比較が行われている。

本書は、ベイズ推定とEBを現実のデータ解析に利用するための優れた指南書といえる。第8章のケーススタディは医学関係の問題を取り扱っているが、他分野の応用を試みる場合にも参考になる。本書で示されている方法の多くは大量の計算を必要とするが、これらの方法の特徴は理論的説明だけでは理解が難しい。参照されているソフトウェアなどを利用して、分析経験を積みながら読み進むことができれば最善であろう。

参 考 文 献

- Box, G. E. P. and Tiao, G. (1973). *Bayesian Inference in Statistical Analysis*. London: Addison-Wesley.
 Gelman, A., Carlin, J., Stern, H. and Rubin, D. B. (1995). *Bayesian Data Analysis*. New York: Chapman & Hall.

Clinical Trials in Oncology 腫瘍学における臨床試験

Green, S., Benedetti, J. and Growley, J.
Chapman & Hall, 1997, x+203 頁

統計数理研究所 柳本武美

今日では薬あるいは治療法の効果判定は統計的検定を中心とした統計解析は必須になっている。信頼のおける判定を下すためには、質の良いデータを収集しなければならない。その為には良く訓練された医師・研究者からなる試験チームが必要である。その一翼を生物統計学者が担い、統計センターを組織するのが普通である。著者の3名はSWOG (Southwest Oncology Group) の統計センターに所属する。このセンターは米国のシアトルにあり、我が国の研究者とも交流が密接である。

この本は統計センターで必要とされる事項を網羅的に書かれている。数式は極くわずかで、数字も多くは出てこない。しかし副題が Interdisciplinary Statistics とあるように統計学の書である。類書に例えば Pocock による "Clinical Trials" John Wiley があるが、この本の方がより実務者による具体的な内容となっている。

著者らの主張は極めて明解で実証主義的である。

7章3節4項の冒頭では「すべての適格患者について intent-to-treat 解析を、プロトコールに記載された主要指標を、プロトコールに記載された検定を用いて解析されたのでなければ、すべて2次的あるいはむしろ探索的解析である」と述べている。ここでは探索的な解析の結果が治療の効果を確認するには不十分だとしているのは言うまでもない。

各章は以下のものである：

1. 序。
2. 統計的な考え方。
3. 臨床試験の計画。
4. 多重多肢試験。
5. 中間解析とデータモニター委員会。
6. データ管理と品質管理。
7. 結果の報告。
8. 落とし穴。
9. 探索的解析。
10. まとめと結語。

他に文献と索引が添えられている。

この中でも3章、5章、6章が類書に比べて充実している。良いデータを得るためには周到な準備と試験の管理が必要なのが記述されている。各章は数節に分かれているが、各々が重要なキーワードの説明になっている。そうした意味では事項辞典の趣

がある。読者としては、腫瘍学の研究者と生物統計学を専攻する院生を想定している。しかしより広く薬あるいは治療の臨床評価に携わる研究者、あるいは臨床試験に少しでも関心のある統計学者が所属する機関の図書室においておくことも奨められる。通読しなくても事項辞典として役立ちそうだからである。

多施設の無作為化比較試験の原則に忠実で主張が明解であるだけに、比較試験の評価が面的である。また記述がやや生硬で読みづらい部分も多い。もっとも著者らが SWOG の節計センターの活動に誇りを持つ熱い思いが文章に盛りきれないのかも知れない。データ収集の現場で統計学がどのように用いられているのか、その原則と試験の実施上の問題を知ることができる。

Pocock の本のように読み物代わりには無理だけれど、関心のある部分を拾い読みするには良い本である。癌に限らず我が国でも臨床試験の質を向上させるための体制の整備と、試験の実施方法の改善が望まれている。この目的の実現のためには臨床統計家が質量共に充実することが必要である。その意味でも臨床試験の考え方と実務的な扱いについての知識の向上の一助となることが期待される。