統計的データ解析の過程

後 藤 昌 司*

PROCESS OF STATISTICAL DATA ANALYSIS

Masashi Goto

Statistical Data Analysis (SDA) is considered to be a process which extracts some "productive" findings from data through certain filter of thoughts or statistical viewpoints. The substantial SDA has provided heartwarming stories based on the data. However, it seems to us that recent drastic progress of computer, including desktop computer, promotes having made the SDA into instant and tasteless process. In order to cope with these tendencies, we at first appeal the inherent attractions of the SDA, considering it as unified process.

The SDA consists of three elements, namely, data, methodology and analyst including statistician. In practice of the SDA, these three elements get intertwined, and can not be treated independently. Thus, it is important that implication of the SDA be flexible and adaptive. Consequently, the second purpose is to introduce the principles and procedures of data investigation, and data-adaptive methods that can flexibly take into account some diagnoses in each stage of the SDA process.

It goes without saying that skills of the analyst, or in other words, technical aspects play important roles in the SDA. Finally, we pigeonhole remarks or rules of thumb that are required in applying statistical methods to each stage of the SDA, and consider qualification of appropriate analyst.

1. 序

統計的データ解析 (SDA: Statistical Data Analysis) とはデータをあるフィルター (思想・観点) に通して「生産的」知見を生み出す一つの過程である。生産的であるとは、原データをそのまま眺めたのでは把握できない曖昧な像 (潜在構造) を明瞭に浮き彫りするか、あるいは新しく発見することを意味する。一般にデータは冷たい数字の集まりからなる。したがって、SDA の過程とはこの冷たいデータに血の通った「物語」を与える道程ともいえる直すことができる。

コンピュータとその関連技術の発展とともに、無数のデータが至る所に散布・集積されている。その最終的な有効利用をはかるには SDA の援用をまたねばならないことは明らかである。統計 (学) は情報概念の本質と直接に関係し、その研究は「哲学にはじまり、極

めて日常的なデータ処理に至るまで人間の知的活動の全分野と深く関わる」といわれている (赤池 [1982])。しかし、最近の急激なコンピュータ (パソコンを含む) の普及・発展は SDA の即席化 (インスタント化) と形骸化を生み、本来の SDA がもつ暖かい物語を提供しない傾向を助長しつつある。本報告の第 1 の狙いはこのような形骸化に対処するため、SDA を過程として眺め、その本来の魅力を訴えることである。

SDA はデータ、方法論、解析者 (統計家・適用者) の三つの要素からなる。これら三つの要素が互いに絡みあい、独立にとり扱えないために種々の難点が提起される。そこで洞察をよくするために、SDA を料理の過程に譬えることが多く、その機構の柔軟性と適応性が重視される。そして、その過程は材料の点検と精選、途中での味見と修正をくり返ししながら進行されるために、解析者にハードな試行錯誤の反復作業を強いる。この反復作業で大きな重みを占めるのが種々の観点にたつデータの省察と診断 (DI: Data Investigation) である。本報告での第 2 の狙いは SDA における DI の考え

* 塩野義解析センター: 吹田市泉町 1 丁目 22-41 (SHIONOGI KAISEKI CENTER: 22-41, 1-Chome, Izumicho, Suita City, 564, Osaka, Japan)

表 1. 統計的データ解析における留意点

1. 解析目的の統計的観点からの咀嚼
 - ・目的を満たす観測特性が観察されているか。
 - ・解析目的を十分に理解できているか（依頼者の意図を十分に汲んでいるか）。
 - ・データの出所（5W1H）は確認できているか。
 - ・現象の実質科学的意味を把握しているか。
2. 要因連関図の作成
 - ・病態要因，制御要因，治療要因，予後要因の区別はできているか。
 - ・経時観察項目の時間経過は考慮されているか。
3. データ解析過程の構想と流れ図の作成
 - ・一貫した解析筋道が描かれているか（解析目標の設定に誤りがないか）。
 - ・各解析過程での目的と適用手法とは整合しているか。
 - ・適用手法の特徴，長所，短所は理解できているか。
 - ・解析（評価）対象例と除外例の区別はついているか。
4. 観測値の分布の点検
 - ・適用手法（モデル）の前提条件（例えば，正規性，等分散性）は満たされているか。
 - ・外れ値などの異常な観測値がデータの中に含まれていないか。
5. 解析結果の吟味・解釈
 - ・解析目的に適う結果が得られているか。
 - ・「生産的な」知見（結果）が表出されているか。
 - ・結果の解釈をグラフィカル表現で行っているか。
 - ・データ解析過程あるいは適用手法に問題はなかったか。
 - ・結果を保証する意味で数値検証を行う必要はないか。

や観察研究では結果(応答)に基づいて要因の探索に向かっていることが多い。後向きの結果を「今後に手の打てる」情報にどのように還元するかは相当に難しい問題である。しかし、論理に忠実なあまり生産的知見を産出しないことがあってはならない。SDAが大胆な知見を産出できなくては魅力がない。

3. 統計的診断の過程

SDAの過程では種々の診断の場面が考えられ、それぞれに固有の目的をもっている。図1はSDAの過程で考えられる一つの診断機構を示している。データ診断は既与の「汚ない」データの点検を指し、後続の対処を示唆する。Finney [1974] は「汚ない」データを(i) 目的意識なしに偶々収集されたり、自発的に提供されたデータ、(ii) 収集ないしは記録の際の注意が足りないか、あるいは不実がなされた疑いのあるデータ、(iii) データ構造で規定された個々の数値に欠測が多数あるか、あるいは欠測値となった理由が偏りを大きくする意味での「歯抜け」データと定義している。したがって、この診断には mis-writing, mis-input, missing values, extraordinary values などの点検が含まれる。仮定診断はデータの分布型、データの層別あるいは併合、データの消去あるいは追加などを示唆する点検からなる。統計的方法を実地に適用する際には、あらかじめデータの特性を種々の角度から眺め、適用諸法の仮定の充足を点検することが解析過程の一貫性および論理の整合性を保つのに必要である。そのこと自体が適用諸法の認識の程度を深くすることに寄与する。結果の診断では、その解釈や適用諸法の性能の評価、さらには適用諸法の感度の吟味が行われる。これにより見落されていた構造や結果の信憑性が把握される。解釈の段階では、解析の進め方の論理性や結果の客観性と生産性が現実との対決のもとに吟味される。これらの診断機能がDIであり、SDA過程の妥当性を保証するものとして、統計プログラムパッケージNISANの構成に際して提唱された概念である(Asano et al. [1978], Goto et al. [1978], 後藤他[1979])。

これらの各局面における診断手法は明瞭性、融通性および着想あるいは閃きに役立つ有用性を兼ね備えていることが必要である。これらの性質を軽便に満たす方法は現在のところグラフィカル表現の方法しかない。Finney[1974]も触れているように、「歯抜け」データの扱いでは手の込んだ解析を行うよりもグラフによ

る精査と話し合いがより適切である。

最近では数多くのグラフィカル表現の方法が提示され、また埋もれていた古い表現法も新たに発掘されるなど相当数の方法が利用者の手の届く範囲にある。けれども、これらの方法の中には用途、特徴、性能、経験則などが不明瞭なものもあり、視覚化が可能という理由だけで利用の仕方などをすべて利用者に委ねている方法も見られる。グラフィカル表現の方法が多大な成果をおさめている基本はそれらの簡明さと透明さにあるが、実地で用いるときの成功の鍵は表現法のもつ特徴を十分に認識し、その特徴の上で表現法と適用の場に釣り合いをもたせることであろう(脇本他[1979], Gnanadesikan [1977], Everitt [1978], Goto [1981])。

4. データの省察と診断

SDAが単純なデータ処理過程(Data processing system)と相違をなす一つの要素はDIにあると考えられる。DIでは安定な解析結果および適用諸法の感度など、できるだけ多くの情報をデータから汲みとることを意図して、段階的な探索方式を用意することができる。NISANシステムでの構成枠に倣うと、データの正規性点検、外れ値の検出ととり扱い、データの変換、学習用(シミュレーションを含む)乱数の生成と適用などが考えられる。

正規性の点検: 正規性の仮定は多くの統計的方法の基本であるが、現実のデータがこの仮定を近似的にせよ満たすとは限らない。SDAに先だち、正規性の点検を行うことは、後続の統計解析に対する援用情報、すなわち ① データ変換の必要性和その形式、② モデルと推測法の修正・変更、③ 解析結果の実地の背景に対する演繹の程度などに関する情報を提供する。ただし、正規性の崩れが検出され、確認されても後続の解析の中断を指示してはならない。それはあくまで「警報」の意に解釈すべきである。とくに、仮定の検定と目的とする仮説の検定とは一様に扱わないほうがよい。前者の場合には有意でない結果(有意確率など)でも、後続の解析結果の解釈に役立つことが多い(Goto et al. [1978], 上坂・後藤 [1979])¹⁾。

1) 正規性を前提におく解析では、統計家は非正規性が結論を乱すのではないかと懸念しがちである。実地では、どのようなモデルを用いてもデータが数学的に正確に規定されることはない。すなわち、パラメトリック構造に過度の仮定が設けられる

外れ値の検出：外れ値の検出や吟味はデータ解析で古くて新しい問題である。外れ値のとり扱いはデータ解析の目的によって異なり、一つの目的に対する外れ値が必ずしも別の目的の外れ値でないこともある。通常、外れ値の生じる原因としては次の場合が考えられる：① 観測値は一つの母集団からの標本と考えられるが、仮説の分布型(通常は正規分布)と異なる。② 層別が不十分であったり、データに異質なものが紛れ込む不適切なサンプリングによる。③ 測定、記録、入力への誤りによる。④ データの構造のモデル化が不適切である。これに応じて、検出法も“Omnibus”的でなく、“Tailor”的なものを選択することが推奨されている。

外れ値の統計的検出法として有意性検定に代表される定型的方法、および確率プロットや Box-Whisker 法などの視覚的方法あるいは赤池の情報量基準(AIC)による方法がある。前者は Smirnov-Grubbs 検定を初めとする古典的手法であり、Barnett & Lewis [1978] には母集団を正規分布に仮定したものだけでも 44 種類の方法が紹介されている。これらの古典的方法の特徴(難点)は次の通りである：(1) 事前に検出対象個数を規定しなければならない。(2) 複数個の外れ値を検出する場合に、1 個の外れ値の検出方式を連続的に用いると、ある観測値が外れ値であっても、他の外れ値が既に除かれていた上で再度適用されるため、外れ値と見做されないことが起こる(マスク効果)。(3) 複数個の外れ値を同時に検出する方式を用いると、大きく飛び離れた観測値がある場合に、外れ値でない観測値も外れ値と見做されることが起こる。(4) 外れ値と見做すための有意水準を規定しなければならない。所謂、多重検定の問題が生じる。

グラフィカル表示による視覚的方法や AIC 基準を用いる方法(Kitagawa [1979])は検定に依らず、上記の難点を殆んど含まない。Tukey [1962] はこれらの方法とは異なる FUNOP (Full Normal Plot) や FUNOR-FUNOM (Full Normal Rejection-Full Normal Modification) と呼ばれる方法を提案している。いま、 $x_{(1)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ は平均 μ 、分散 σ^2 の正規母集団から抽出した標本とすると、 $x_{(i)}$ の期待値は $E(x_{(i)})$

$= \mu + \sigma a_{i|n}^*$ となる。ここに $a_{i|n}^*$ は標準正規分布から抽出した n 個の標本の第 i 番目の順序統計量の期待値である。このとき、FUNOP での外れ値の検出は次の手順で行われる：① $a_{i|n}$ を標準正規分布から抽出したサイズ n の標本における第 i 順序統計量 $z_{(i)}$ の代表値とする。 $a_{i|n}$ として $\Phi^{-1}((i-0.5)/n)$ や $\Phi^{-1}(i/(n+1))$ などが考えられるが、Tukey は $\Phi^{-1}((3i-1)/(3n+1))$ を推奨している。ここに、 $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布の累積分布関数である。② $\{x_{(i)}\}$, $i=1, \dots, n$ の中央値を x_M とする。③ $z_i = (x_{(i)} - x_M)/a_{i|n}$ を $i \leq n/3$ または $i > 2n/3$ について計算する。④ $\{z_i\}$ の中央値を z_M とする。⑤ 既与の A, B に対して、次の不等式

$$\begin{cases} |x_{(i)} - x_M| \geq A z_M \\ z_i \geq B z_M \end{cases}$$

の両方を満たす $x_{(i)}$ を外れ値とする。ここに

$$E(z_{(i)}) = E((x_{(i)} - x_M)/a_{i|n}) = \sigma(a_{i|n}^*/a_{i|n}) \approx \sigma$$

である。したがって、近似的に

$$|x_{(i)} - x_M| \geq A\sigma, z_i \geq B\sigma$$

となる。 $A=B=2.0$ を選定すると、 $|x_{(i)} - x_M|$ と z_i が 2σ を超えるものが外れ値として検出される。この方法によれば、上記の古典的方法で特定できない外れ値が検出されることがある²⁾。

データの変換：既知の分布型に従うデータの正規化変換と分布型未知のデータの正規化変換が考えられる。前者は従来から分散分析法などの関連で展開されてきた分散安定化変換などを含む。データの未知の分布を変換を通して既知の分布(特に正規分布)に結びつける後者の立場にベキ正規変換がある。この変換機能を先の正規性の検定と結びつけることにより、データの分布形状および後続の解析過程に対する新たな情報が得られる。なお、ベキ正規変換の有用性は解析的に、あるいは適用事例から既に確かめられている(例えば、Gnanadesikan[1977])。とくに、次の 5 点が注目できる：(a) 変換尺度上での線形モデルの誤差分布

- 2) 増山 [1979] は外れ値の検出で統計的検定は疑う一つの根拠を与えているに過ぎないとし、「あるルールで計測値に限界を設けたとき、その限界を出た値をその事実だけで棄てないで、その値に対応する個体が本当に異常であったかどうかを実質科学的に検討し、もし異常原因が発見できれば棄てるか、発見できないなら新たに限界を引き直すとき、この値も含めて計算する」と注意している。

か、あるいは定量的に表現できない情報が無視される。モデルの不適切さを考慮して、データに適切な結論を下すには定型的推測を修正するか、あるいは融通性の高いものにせねばならない (Finney [1974])。

の歪度が小さいとき、最尤法によるベキ変換パラメータの推定値は一致推定値になる。(b) 有構造データの場合に、ベキ正規変換によって残差の正規性が達成されなくとも、変換前の原残差に比して癖のない残差をもたらす。(c) 無構造データの場合に、変換データが正規性を達成しなくとも、その分布は対称に近くなる。(d) 変換パラメータの推定精度は変換データの変動係数に強く依存する。(e) 多変量データの同時ベキ正規変換は変量間の相関効果により、より安定した変換パラメータの推定値を与える。

5. データに適応的な方法

SDAの過程が料理の過程に譬えられることは序に述べた通りである。料理が「料のことわり」、すなわち原材料のあり方を活かして食物をととのえることである点に注意すると、SDAの方法が材料と周囲の状況に応じて自ずから導出されることは明らかである。いいかえれば、SDAの方法は材料に関係なく一様に適用できる「絶対的」方法ではない。とくに、観察研究では頼りとするのがデータであるだけにデータに依拠する方法論のニーズが高い³⁾。

5.1 ベキ正規分布とその応用

医学・生物学の研究では、興味ある特性や応答とともに、多くの個体属性や他の特性が付随的に観測される。このとき、これら付随変数の変動に伴う応答あるいは特性変数の変動様相の記述の望まれることが多く、通常は正規理論に基づく線形モデルあるいは分散分析などが用いられる。しかし、医学・生物学においては、観測値の分布は大きな歪みを示すことが多い。

歪んだ分布における線形モデルの適用に際しては対数変換や平方根変換などの適用が試みられるのが普通である。しかし、ときには分布形の確定にのみ興味をもたれ、要因変動を無視して部分母集団ごとに種々の分布形のあてはめが試みられることもある。

正規線形理論の適用を可能にする変数変換の展開において、Box & Cox [1964] はデータから最適な正規化変換をベキ変換族の中に求める有力な方法を提案した。しかし、正值変数 X に対する Box & Cox 変換

$$Z_{\lambda} = Z_{\lambda}(X) = \begin{cases} \frac{X^{\lambda} - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0 \\ \log X, & \lambda = 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

では、 $\lambda = 0$ を除き Z_{λ} の分布が正の密度をもつ領域は $\lambda > 0$ または $\lambda < 0$ に従い、それぞれ下側または上側に有限となり、完全正規分布とはなり得ない。したがって、 Z_{λ} 尺度上での期待値に対する線形モデルは厳密には完全正規分布における平均に関するものではない。この点に注目すると、真の分布を含まない分布族に基づく記述と推測の妥当性を論ずるだけでなく、 Z_{λ} 尺度上の線形モデルの意味を明確にすることが必要である。このような観点から、原観測変数 (X) 尺度上の分布としてベキ正規分布が定義されている (Goto et al. [1983])。ベキ正規分布上で展開される各種のモデルや解析、例えば回帰分析、生存時間データの解析、多標本の比較(従来、変換の方法では扱えなかった)、生物検定、分散分析、多変量解析は相当に良好な性能を発揮している (松原・後藤 [1980], Uesaka & Goto [1980], 上坂・後藤 [1980], Goto & Inoue [1980], Uesaka & Goto [1982], Goto & Inoue [1984])。ベキ正規分布はベキ変換パラメータを含み、きわめて多様な分布によく適合する。このような包括的なモデルについて考慮すべき事柄として、① 解析全体の流れにおける論理の整合性、② モデルの柔軟さ、③ 適合性とモデル不適合の影響の評価のしやすさ、④ 計算の容易さが考えられる。

5.2 回帰分析における調整過程

回帰分析の狙いには大きく二つの立場がある。第1は対象となるシステムに主たる変化がない場合の将来の予測に有用なデータのあてはめ、および第2は状況が全く異なる場に対する予測のための回帰関係の評価、解釈を与えることである。前者は応答変数の挙動、および後者は応答変数に及ぼす説明変数の影響の程度を評価することに主たる関心がある。

回帰モデルの設定では、組み入れる説明変数とその個数が一つの難点を提起する。余分な説明変数を組み入れると、予測平均平方誤差が増加する。他方、誤差項に未知の潜在変数による線形表示項が隠されているか、あるいは妥当な説明変数が落されていると偏りが

3) 料理の過程は天性を知ること、調味を知ること、洗い方を知ること、味つけを知ること、取り合わせを知ることの5段階からなる。これらの各段階はSDAの過程でも対応する。例えば、野菜にも繊維があり、歯切れの良い特徴を活かすにはこれを切ってはならず、「おひたし」などでは繊維を切らねばならない。また、野菜のあく抜きには煮たった湯に火のついた薪を同時に入れるなどの灰の効用を活かした知恵がある。これらのことはSDAにおけるデータに適応的な方法のニーズと術的側面の重要性を類推させるに十分である。

図2. 回帰分析での調整

生じる。また説明変数の個数が大きくなると、必然的に説明変数間に準特異的な関係が生じる。

これ以外にも、 n と p が大きくなることは、人的あるいは物理的な制約により、回帰分析の実施を難しくする。説明変数の種類も回帰分析をいよいよ難しいものにする。例えば、性、年代などの分類変数の扱いもその一つであり、これらを定量的な通常の説明変数と一緒に組み入れるには分類変数と他の説明変数との交互作用のないことが必要である。

観察研究の場において回帰分析で起こる重大な問題の一つに、回帰式に含まれる説明変数間の多重共線性の問題がある。多重共線性の原因、その存在の有無あるいは程度の検出、そしてこのような状況の対処の仕方は従来から多くの研究が重ねられ、偏推定量の利用が代表的なものとして推奨されている。

多重共線性(病的状態とも呼ばれる)が起これと、回帰係数の最小二乗推定量は膨張して不安定となり、実地の解釈が不自然となる。最小二乗推定法での残差平方和最小化基準は、データの状態に関係なく理想状態下のあてはめを狙うため、当面のデータに過度の適合を与え、データの崩れに過敏な推定量を与える。実際場面では現データに「話し半分」の適合でも、将来のデータにある程度の適合の良さが保証できる「安定な」回帰の得られることが望ましい。

このような際に、偏推定量を主として用いる調整過程の概要を図2に与える。とくに、リッジ回帰方式と主成分回帰方式は現在では理論的な検討と実践事例に

表2. 回帰分析の本質的要素

- ・問題の背景の理解
- ・モデル構成を支援する探索プロット
- ・本質的でない共線性を除去するための中心化
- ・共線性効果を査定する VIF の評価
- ・偏推定量を用いた共線性問題のとり扱い
- ・モデルの適切性を査定する残差プロットと回帰診断
- ・データ分割手法によるモデルの短期的妥当性確認
- ・結果を伝達するための係数、交互作用、モデル予測(値)のグラフィカル表示
- ・結果の合理性を保証するためのモデルの利用者との討論
- ・結果を報告(書式で)するための要約報告書
- ・モデルの性能の長期的監視
- ・適当な時点でのモデルの更新

表3. 望ましい回帰診断：診断の5原則

- ① 診断方式の挙動が想定モデルの下で、またある特定の前提条件を変更したモデルの下で少なくとも近似的に把握できること。
- ② 前提条件をパラメータ表現し、それにより問題を少なくとも近似的にパラメータの推測の問題に帰着することによって有用な診断が得られること。
- ③ 診断方法の計算は簡単であること。評点検定族はこの目的に適った豊富な診断方式といえ、他の方法と比較する上での標準となる。
- ④ 診断はグラフィカルに、もしくは準グラフィカルに行えること。
- ⑤ 診断方式から対処の仕方が得られること。

よる検証を経て、その有用性を確立したようである(Goto & Matsubara [1979], Goto [1979], 松原・後藤 [1977], 後藤 [1976])⁴⁾。

なお、回帰分析の過程で本質的な要素を Snee[1983]から引用して表2に与える。この中でも、モデルの妥当性確認とグラフィカル表現は注目値する(Goto [1981])。

5.3 妥当性確認の方法

Box [1979]の言葉を借りると、「すべてのモデルは間違っているが、幾つかは有用である」。確かに、モデルの真の所在を知ることはできないために、モデルはいつでも間違っているといえる。そのため、当面の問題はモデルが有用かどうかということで代替される。

- 4) リッジ回帰方式は当面のデータに適応した適度のあてはめを与える。この方式の一つの特徴は病的状態が生じるとき、回帰パラメータの点推定値の広い範囲がその最小二乗推定値の活きた別推定値となり得ることを利用者に認識させることである。

SDAの実践者と方法論の開発者は彼らの解析結果と統計的成果を評価するのに、一様にこの観点を心に留めておかねばならない。

モデルの妥当性確認はモデルが解析の目的を満たしていることを保証するための診断作業であるが、実地では軽視されていることが多い。例えば、回帰モデルの予測正確性を点検するのに、独立なデータ集合を用いることは、それがモデルの形式とその選択および仮定、データ、推定方式などの全体の構成過程に関する点検を与えるために、有用な診断方式となる。モデルの予測正確性はまた適用データを推定集合と予測集合に分割し、交互確認方式を用いることでも点検される。経験予測あるいは理論予測の独立な確認は良い科学の基本原則である (Snee [1983])。すなわち、確認とか点検は最悪の事態を招来しないための「安全弁」である。Weisberg [1983] は回帰分析での望ましい診断として表3の原則を挙げている。

ジャックナイフ方式と交互確認方式：ジャックナイフとは、文字通り折りたたみ式一枚刃からなる厚い双刃で柄の太い頑丈なナイフのことである。これはボーイスカウト必携の工具として多目的な用途をこなし、重宝がられている。ジャックナイフ方式は、このジャックナイフの便宜性に着目した Tukey [1958] の呼称によるが、その起源は Quenouille [1949] にある。彼は時系列解析で当時主要な話題であった系列相関係数の推定にジャックナイフ方式の考え方を提案し、それによる偏り削減の効果を示唆した。その後、多くの展開がなされたが、それらは大きく2通りの方向に分けて見ることができる。一つは Quenouille [1949] の考え方をそのまま引き継ぎ、推測に伴う偏り削減の立場から諸種の統計量のジャックナイフ化をはかる流れである。他の一つは Tukey [1958] の考え方に源をおき、ロバスト推測を最終目標とする展開である。最近では後者の方向に沿った展開がより一段と活発である。

いま、 $X_1, X_2, \dots, X_n$ を独立に同一分布する確率変数の単一標本とする。当面の目的を一つのパラメータ θ の推定におき、サイズ n のこの標本に基づく θ の推定量を $\hat{\theta}$ とおく。ここで、この標本をサイズ h の g 個のグループに分割する。すなわち、 $n=gh$ である。サイズ h の i 番目のグループを削除したとき、サイズ $(g-1)h$ の標本に基づく $\hat{\theta}$ と同様の推定量を $\hat{\theta}_{-i}$ と書くと、 θ のジャックナイフ推定量は

$$\tilde{\theta} = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g \hat{\theta}_i = g\hat{\theta} - \frac{g-1}{g} \sum_{i=1}^g \hat{\theta}_{-i}$$

で定義される。ここに

$$\hat{\theta}_i = g\hat{\theta} - (g-1)\hat{\theta}_{-i}, i=1, 2, \dots, g$$

は θ の擬似値と呼ばれる。例えば、5個の数値 3, 5, 7, 10, 15 の中央値は 7 であるが、これは

$$7 = 5 \left(\frac{3+5+7+10+15}{5} \right) - 4 \left(\frac{3+5+10+15}{4} \right)$$

と書き表され、上記のジャックナイフ統計量の着想が直観的に把握できる。けれども、ジャックナイフ統計量が威力を発揮するのはこのような簡単な状況ではない。それは当面、何の手段も思いつかないような複雑な状況での第1選定手段を与える。この粗くて手軽な統計量の定義は Tukey [1958] による。

従来、ジャックナイフ推測の方法では $h=1 (g=n)$ の場合が中心に扱われている。それは一つには、グループの構成に含まれる恣意的な要素が $h=1$ とおくことで排除されるからであり、それにより適用の容易さが増すことに依る。また、 $h=1$ の最適性は比推定の問題で Durbin [1959] によって示唆され、その補助変数が正規分布に従うとき同様の事実が Rao [1965] によって示されている。この事実は補助変数がガンマ分布に従うときにも成りたつことを Rao & Webster [1966] が示している。彼らはその数値検証も与えている。さらに、Sharot [1976] は一般化ジャックナイフ統計量の偏りと分散の大きさを評価することから、最適グループサイズが $h=1$ であることを示している。さらに $h=1$ の選定は Tukey [1958] のいう1例消去方式としてジャックナイフ方式と交互確認方式との接点の役割を果たしている。

ジャックナイフ方式は特定の問題に対しては間に合わないことは往々に存在する。したがって、複雑な問題に対してその接近法が皆目わからないとき、この方式はその第1手段として適している。それは野に出て料理を作るのにジャックナイフが包丁の代役を果たすが、家庭料理をつくるには包丁でないと駄目なことと同様である。交互確認方式は Quenouille [1949] とほぼ同じ時点で心理学分野から、モデルの確認と評価の手段として提案された方式である。推測の段階で標本を何らかの方式で2個に分割し、一方を指示標本、他方を検証標本として仮説の探索、検証を行うのは今日でも往々にして見られるやり方である。それを効率的に指示標本と検証標本の役目を既与の標本で省略的に行うことを意図したのが、この交互確認方式である。し

たがって、交互確認方式はあるモデルの性能を評価することに主眼をおくが、ジャックナイフ方式はモデルのパラメータの推定量の安定性そのものを対象にする。例えば、回帰の問題では、前者は回帰モデルでの残差の挙動を評価するが、後者は回帰パラメータの推定量の安定性を問題にする。これら両方式の接点となっている1例消去方式は擬似値の利用も含めてその適用場面は広範である（後藤・田崎 [1977]）。

ブーツストラップ方式：ブーツストラップ（Bootstrap）とは「編み上げ靴のつまみ」であるが、これが転じて「自前でやる（自分で自分の長靴を引っ掛けて泥沼から抜け出す、あるいは1段階ずつ仕上げてゆく）」の意で用いられている。所謂、統計的「自力更生」法である。ブーツストラップ方式は統計的誤差を評価する汎用手段として提案されたもので、観測標本自体の標本分布を基準にするノンパラメトリック推測方式である。これは先述のジャックナイフ方式と交互確認方式の考え方を母体になっている。単一標本問題でのブーツストラップは次のように定義される。① 各観測点 $X_i (i=1, \dots, n)$ に質量 $1/n$ をもつ経験確率分布を $\hat{F}$ とする。② $\hat{F}$ からサイズ n のランダム標本 $X_1^*, \dots, X_n^*$ をサンプリングする。これをブーツストラップ標本と呼ぶ。③ 統計量 $\theta(X_1, \dots, X_n, \hat{F})$ の分布を $\theta^* = \theta(X_1^*, \dots, X_n^*; \hat{F})$ の分布によって近似する。 θ^* の個々の実現値をブーツストラップ擬似値と呼ぶ。この擬似値を用いて種々の方式の推測と評価が行われる。

この方式は最近のコンピュータの発展と共役的に適用範囲を拡大しつつある（Efron [1979], Efron & Gong [1983], Efron & Tibshirani [1985], 田崎・後藤 [1982]）⁵⁾。

6. 統計家の役割・留意点：SDA の術的側面

SDA の過程は解析の意図とデータの性格から実験研究と観察研究の二つの側面に分類される。前者は仮説の検証・確認、後者は仮説の探索・発見を目的とす

る。

実験研究では統計的方法論の過程を満たすように予め計画され、管理されたデータがとられるため、仮説の設定が不十分なときを除けば、解析上の難点は比較的軽減される。この際には「実地の場」が「統計的な考え方」に合わせる姿勢になっている。このとき、Finney [1974] への謝辞で J. Harold Wilson 卿が触れているように、統計家は適切な実験計画ないしは調査計画の重要性（の認識）を強く要求するあまり、自分の立てた理想的な計画通りに事が運ばないと、その結果を高慢に軽蔑を込めて扱う印象を時に醸し出すとの指摘は統計家の自戒として注意することが必要である。また、統計家が召使でなく、協力者として研究計画の多くの局面に広く深く参画するための（主として医学的側面からの）実践訓が Mainland [1954, 1963], Finney [1982], Brown & Hollander [1977] に与えられている。

観察研究はデータの収集に何の規定も設けないために、全くの「宝さがし」の場を提供する。それだけに、この場面での「探索的」データ解析は解析者に難度の高い労力的作業を強いる。Gnanadesikan [1977] はこの作業の要素として要約と摘出を挙げている。前者はモデルでデータを説明するための所作であり、データの選定から分布の規定などに至る情報の縮約を含んでいる。後者は幼年時に馴れ親しんだ「あぶり絵」のように、意味のないところをきり捨て濃淡を明確にし、絵の輪郭を浮き出すための所作からなる。したがって、観察研究の SDA では統計家の方から「実地の場に合わせる方法」を提示することが必要である（後藤・惣田 [1982]）⁶⁾。

Tukey が SDA の展開で解析者の役割を探偵の仕事で比喩したことはよく知られている。名探偵といわれる Sherlock Holmes は「理想的な探偵とは観察力、推理力、知識（情報）の三つを兼ね備えておかねばなら

5) ブーツストラップ法とジャックナイフ法の根本的な相違点は前者では基礎標本を復元抽出することから無限個の擬似標本が構成できるのに対し、後者では非復元抽出のため有限個の擬似標本しか構成できないことである。とくに相関係数、標準偏差、回帰係数などの推定で、外れ値などの挙動に対するロバスト性は前者の方が優れているようである。これらの検証は Efron を中心とするグループで徹底的に検討されている。

6) 探索的データ解析の提唱者は Tukey [1962] であるが、彼は次の3点を強調している：① SDA はその根底として単に形式的、数理的に導出できるというだけではなく、科学的、経験的に正当といえなければならない。② SDA は特定の適用分野における経験を基にした判断をとり入れることが必要である。③ 解析者は、たとえ公式的に正当とされた統計手法が主要問題に適用できないと考えられたとしても、それに答えなくてはならない（「正しい疑問に対する近似解の方が誤った疑問に対する正確な解よりもはるかにましである」）。

表4. 統計家の役割・留意点

- (1) 解析結果は直接に依頼者の目的に答えるものでなければならない。すなわち、解析結果を表示し、推定値および実務上の話題に関する結論におき換えることは解析の一部であり、後に行われる何らかの未定義の過程ではない。
- (2) 結果は簡明でわかりやすくなければならない。すなわち、当座の依頼者は長たらしい形式で提示された技術上の解析からえり分ける労を厭わないことも、また厭うこともあるだろうが、いずれにしてもついに重要な結果が労を厭う者に提示されることになる。
- (3) 結果はまた十分に防禦を考えたものでなければならない。結果はしばしば重大な決定に影響を及ぼすことになる。したがって、誤解を生むような解析からはとにかえしのつかない結果が惹き起こされることがある。
- (4) 解析の重要な費用は暦で計算した期間と依頼者が消費する期間である。
- (5) 特別の事情（すなわち主題に関する知識）は重要である。これらを取り入れられていなければ適切な解析が行われる機会は殆んどないといってよい。
- (6) 例えば、想定したモデルが誤っているかもしれないといった指示のような、重要な予期しえなかった根拠が検出されたと考えられる場合には、事前の関心により警告旗をあげる解析の必要性は弱められることなくむしろ強くなる。

ない」と述べている。この台詞はまさに解析者（統計家）の役割を直截的に表現している。さらに、統計家がこのような SDA の進行過程で留意せねばならない要点を Chambers [1983] から引用して表4に掲げる。「SDA の成功が問題に費した時間の量の関数である」ことは先にも触れた通りである。この役割上の留意点に注目すると、SDA の適格者の条件が浮かびあがる。以下にこれを列記する（これらの条件は筆者の主観的な印象であることもお断りしておく）：① 感受性が高いこと（生産的知見は人を感動させることに注意したい）。② 好奇心が強く、専門外のことについても広範囲の知識をもっていること。③ あまり真面目過ぎないこと（品行よりも品格（位）が大切なことはすべて

の道で共通といえる）。④ 連想力と直感力にすぐれていること。⑤ 目的に対して執念をもっていて、凝り性であること⁷⁾。

筆者自身は統計家（それも医学・生物学分野に限る）を自認しているが、立場上 SDA での仲間、同僚、依頼者を見ていて、SDA の得手・不得手あるいはセンスの良・悪に気付くことが多い。とくに、SDA では解析者の経験よりも感覚が解析の「切れ味」を左右するように思う。そして、SDA センスの良悪、あるいは SDA での開眼の有無は次の点の認識で分かれるようである。すなわち、SDA に開眼した解析者はできるだけ（統計的）手法を用いなくて済むように、データや手法の背後にある理論や現象を徹底して検討することに努めている。他方、センスの悪い解析者の場合には、手法を適用することが目的に化け、そのために手法や理論の勉強に走り、演習として知識の流用のみに落ちつきがちである。やはり解析者としては前者の立場を標榜したい。「プロは駒を足らず足らずに指す。これは最短距離で最善の手を打つということである」（升田幸三語録）の名台詞もこの点を突いていると考える。

7. 結びにかえて

本報告では SDA を一つの過程として見ることを強調し、その展開で SDA の魅力を訴えることを試みた。ものごとを「過程」として把握することには二三の利点が考えられる。すなわち、それはものが生成される全体像の理解に役立つこと、過程を通すことで誤りが見つけやすいこと、過程が時間（順序）に沿って動くことから、歴史的な理解あるいは発展方向をつかみやすいこと（「歴史は基本を尊ぶ」ことに注意）、生産的な知見を見つけやすいことなどである。

SDA の基本がデータであることに疑問の余地はない。データの質が問題にされることがあるが、良いデータとは必ずしも完全無欠のデータを指していない。「汚

に、新しいプレイを絶えず加え続けている。しかし、チームはそのメンバーが新しいプレイを広範に実践して、そのプレイを十分に練習し、そのプレイが活用できると納得できるまで、ゲームで新しいプレイを採用しない。

また、利用者と方法論の有意な交互作用が、とくに利用者がある所与方法論の開発者であるときに、考えられる。二三の利用者にうまく働く方式が他の利用者に対して全く働かない場合がある。異なった攻撃手段と防禦手段などを用い（等しく）うまく成功を治めている多くのフットボールチームがある」。

7) このような点について Snee [1983] の言葉をそのままの形式で引用したい：「鍵となるもう一つの因子はあなたが用いている方法論の強さと弱さを認識できる理解力である。あなたが理解していないツール（決して輻輳したツールではないが）を用いるよりも、あなたが馴染んでいる周知のツールを用いるほうがはるかに良いといえる。ただし、このツールを演習として用いてはならない。実際に、そうすることは新しい統計手法を学んだり用いたりすることに連続しないからである。譬えを引くと、フットボールチームはより良い仕事をなすために、また新しい挑戦で勝利をおさめるため

ない」データでもニーズさえ秘めておれば、知見を開拓することで「良好な」データとして“authorize”される。Finney [1974] が述べているように、どんなに採取法や記録がお粗末であっても、データを最大限に活用するのが統計家の役割であり、これは統計的・確率的側面だけに限定されない。SDA の過程では、少なくとも「切り捨て御免」の姿勢から本来の生産的知見が得られないことは確かである。

SDA で「データに学ぶ」姿勢は最も重要なことであるが、筆者が学窓をでて間もない頃、SDA で失敗するたびに北川敏男先生（現在、国際情報社会科学研究会会長）から「データを見ていない」、「木を見て森を見ない」などの厳しい注意をうけた。当時はどのようにすれば「データが見えるのか」皆目わからなかった。最近になって、SDA では（とくに医学・生物学分野では）「木を見て森も見て」でなければならないことに気付いた。経験が増すにつれ、指摘を受けた点の数々を懐しく、かつ有難く思う。

実践からの体験は何ものにも代えがたいように思う。SDA でも体験に裏打ちされた知識ほど確かなものはない。情報が氾濫している最近の状況に注意すると、机上で文献例やシミュレーションだけで方法論の開発や解析を行う研究者も増えてくると考えられる。しかし、文献例やシミュレーションに臨場感はない。やはり、実践で SDA の魅力を味わうことを推奨したい。

謝 辞

本稿は 1984 年 7 月 17 日に大阪で開かれた日本品質管理学会第 13 回公開大学講座での講演資料を基にしている。この講演の機会を与えて頂いた納谷嘉信先生（大阪電気通信大学教授）には日科技連関西多変量解析部会での日頃のご指導と併せて深甚の謝意を捧げたい。また、行動計量学会会報（1985, No. 36）の巻頭言への寄稿を機に、総説として本誌への投稿を奨めて頂いた柳井晴夫編集幹事長と高根芳雄博士に深謝申しあげる。審査員の方々からは第 1 稿の段階で「厳しい」ご指摘・ご要望を頂いた。それらの内容に筆者のできる限りの努力で対処を試みたが、完璧を期すことはできなかった。とくに「SDA について幅広い内容を」との注文には時宜もあって、残念ながら満足のかく答案を書けなかった。筆者自身の拙ないデータ解析論としてご寛容頂けると幸いである。なお、SDA にこれから挑戦する人達には Cox & Snell [1981], Miller *et al.* [1981], 広津 [1983], 渡部他 [1985] の成書が参考になると思われる。

末筆になったが、上記の審査員の方々に丁寧な査読に対して心よりお礼を申しあげたい。さらに第 1 稿に目を通し、ご指導・ご激励頂いた永井武昭先生（大阪大学教授）および文中でも引用したが、筆者に SDA の魅力と哲理をご教示頂いた恩師北川敏男先生に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- Asano, C., Wakimoto, K., Shohoji, T., Komazawa, T., Jyojima, K., Goto, M., Tanaka, Y., Tarumi, T. & Ohsumi, N. (1978) The statistical principle and methodology in NISAN system; An introduction to NISAN system. *Res. Rep. NO. 88*, Res. Instit. Fund. Infor. Sc., Kyusyu University.
- Barnett, V. & Lewis, T. (1978) *Outliers in Statistical Data*. John Wiley & Sons.
- Box, G.E.P. (1979) Robustness in the strategy of scientific model building. Robustness in Statistics, eds. Launer, R.L. & Wilkinson, G.N., *Academic Press*, 201-236.
- Box, G.E.P. & Cox, D.R. (1964) An analysis of transformations. *J.R. Statist. Soc.*, **B26**, 211-243.
- Brown, B. Wm. Jr. & Hollander, M. (1977) *Statistics: A Biomedical Introduction*. John Wiley & Sons (医学統計研究会訳 (1984). 医学統計解析入門. MPC).
- Chambers, J.M. (1983) The new future of data analysis. *Proceedings of the 44th ISI at Madrid*, 12-22, September, 1983, 97-103.
- Cox, D.R. & Snell, E.J. (1981) *Applied Statistics; Principles and Examples*. Chapman & Hall (医学統計研究会訳 (1985). 応用統計実践教本. MPC).
- Durbin, J. (1959) A note on the application of Quenouille's method of bias reduction to the estimation of ratios. *Biometrika*, **46**, 477-480.
- Efron, B. (1970) Bootstrap methods: another look at the jackknife. *Ann. Statist.*, **7**, 1-26.
- Efron, B. & Gong, G. (1983) A leisurely look at the bootstrap, jackknife and cross-validation. *The American Statistician*, **37**, 36-48.
- Efron, B. & Tibshirani, R. (1985) The bootstrap method for assessing statistical accuracy. *Behaviormetrika*, **17**, 1-36.
- Everitt, B. (1978) *Graphical Techniques for Multivariate Data*. Heinemann Educational Books LTD (医学統計研究会訳 (1982). 多変量グラフィカル表現法. MPC).
- Finney, D.J. (1974) Problem, data and inference. *J. Roy. Statist. Soc.*, **A137**, 1-22.
- Finney, D.J. (1982) The questioning statistician. *Statistics in Medicine*, **1**, 5-13.

- Goto, M. (1979) Choice of shrinkage factors in the generalized ridge regression. *Math. Japonica*, **24**(2), 153-173.
- Goto, M. (1981) Some devices in graphical data analyses. Invited paper at the 43rd Session of the International Statistical Institute, Buenos Aires-Argentina.
- Goto, M. & Inoue, T. (1980) Some properties of power-normal distribution. *Bulletin of the Biometric Society of Japan*, **1**, 28-54.
- Goto, M. & Inoue, T. (1984) On estimation of parameters in power-normal distribution. *Bull. Inform. Cybernetics*, **21**(1-2), 41-53.
- Goto, M. & Matsubara, Y. (1979) Evaluation of ordinary ridge regression. *Bull. Math. Statist.*, **19**(1-2), 1-35.
- Goto, M., Matsubara, Y., Nakazato, H. & Asano, C. (1977) Statistical evaluation of influencing factors on prognosis of gastric cancer patients. *Behaviormetrika*, **4**(13), 13-27.
- Goto, M., Matsubara, Y., Nakazato, H., Kato, K. & Asano, C. (1979) Statistical evaluation gastric cancer patients: prediction of prognosis on patient clusters. *Environmental Health Perspectives*, **32**, 103-112.
- Goto, M., Matsubara, Y. & Tsuchiya, Y. (1983) Power-normal distribution and its applications. *Rep. Stat. Appl. Res., JUSE*, **30**(3), 8-28.
- Goto, M., Uesaka, H. & Asano, C. (1978) Methodology of data investigation in NISAN system; Multivariate normality tests. *Res. Rep. NO. 90*, Res. Instit. Fund. Infor. Sc., Kyusyu University.
- Gnanadesikan, R. (1977) *Method for Statistical Data Analysis of Multivariate Observations*. John Wiley & Sons. (丘本正・磯貝恭史訳 (1979). 統計的多変量データ解析. 日科技連出版社).
- Kitagawa, G. (1979) On the use of AIC for the detection of outliers. *Technometrics*, **21**, 193-199.
- Mainland, D. (1954) Statistics in Medical Research. *The Year Book Publishers* (柏木力・高橋暁正訳 (1962). 医学における統計的推理. 東京大学出版会).
- Mainland, D. (1963) *Elementary Medical Statistics*. W.B. Saunders Company (柏木力訳 (1971). 医学統計の基礎. 岩波書店).
- Matsubara, Y., Goto, M., Tsuchiya, Y. & Nakajima, T. (1982) Statistical evaluation of adaptive conditions for adjuvant chemotherapies. Seattle, Washington USA, Sep. 8, 8-15.
- Matsubara, Y., Nakazato, H., Urugari, Y., Yamamoto, M., Goto, M. & Imanaga, H. (1984) A randomized clinical trial of adjuvant chemotherapy in curatively resected patients with stomach cancer. *Clinical Therapeutics*, **6**(5), 689-692.
- Miller, R.G.Jr., Efron, B., Brown, B.Wm.Jr. & Moses, L.E. (1981) *Biostatistics Casebook*. John Wiley & Sons (医学統計研究会訳 (1982). 医学統計実践事例集. MPC).
- Noda, S. (1980) Histopathology of endomyocardial biopsies from patients with idiopathic cardiomyopathy; quantitative evaluation based on multivariate statistical analysis. *Japanese Circulation Journal*, **44**(2), 95-116.
- Quenouille, M.H. (1949) Approximate tests of correlation in time series. *J. Roy. Statist. Soc.*, **B11**, 68-84.
- Rao, J.N.K. (1965) A note on the estimation by Quenouille's method. *Biometrika*, **52**, 647-649.
- Rao, J.N.K. & Webster, J. (1966) On two methods of bias reduction in the estimation of ratios. *Biometrika*, **53**, 571-577.
- Sharot, T. (1976) The generalized jackknife; finite samples and subsamples sizes. *J. Amer. Statist. Assoc.*, **71**, 451-454.
- Snee, R.D. (1983) Discussion on the paper by Professor Hocking. *Technometrics*, **25**(3), 230-237.
- Tukey, J.W. (1958) Bias and confidence in not quite large samples (Abstract). *Ann. Math. Statist.*, **29**, 614.
- Tukey, J.W. (1962) The future of data analysis. *Ann. Math. Statist.*, **33**, 1-67.
- Uesaka, H. & Goto, M. (1980) Statistical analysis of clinical chemistry data based on power normal distribution. MEDINFO 80, *Proceedings of the Third World Conference on Medical Informations*. eds, Lindberg and Kaihara, September 29 October 4, 1980, Tokyo. 1014-1018, North-Holland.
- Uesaka, H. & Goto, M. (1982) Some properties of Box-Cox estimates of transforming parameters in power-normal distribution. *Bulletin of the Biometric Society of Japan*, **3**, 1-22.
- Weisberg, S. (1983) Discussion of the paper by Professor Hocking. *Technometrics*, **25**(3), 240-244.
- 赤池弘次 (1982) 統計とエントロピー. 数学セミナー, **121**(12), 2-12.
- 上坂浩之・後藤昌司 (1979) 多次元正規性の検定について. 京都大学数理解析研究所講究録, **345**, 64-71.
- 上坂浩之・後藤昌司 (1980) ベキ変換に基づく臨床検査データの解析. 応用統計学, **9**(1), 23-33.
- 大西啓隆・後藤昌司 (1968) リウマチ治療症例の統計的考察. FACOM EDP 論文集, **1**, 384-400.
- 折茂 肇・井藤英喜・白木正孝・大山俊郎・中野忠澄・後藤一紀・林 純子・勘場 貢・後藤昌司 (1978) 老年者における耐糖能異常と動脈硬化性血管障害との関係について(第1報). 糖尿病, **21**(2), 137-142.

- 加地正郎・後藤昌司・松原義弘・佐藤尚志（1975）感冒剤の治療効果判定に関する研究；薬効の図的表現とその方法，最新医学，30(2)，299-305.
- 北戸裕秀・宮崎正夫・金世 栄・恩地 裕・美馬 昂・田村栄稔・太城力良・岡本寅司・吉田信吾・田内隼人・後藤昌司・児玉寛典（1976）経口麻酔前投薬の他設共同研究；薬効評価のための重要調査項目の選定について，麻酔，25(3)，268-275.
- 後藤昌司・牡丹義弘・坂本晴名・伊藤昌男・関 増爾・池田昌男・藤井 潤・村田和彦・寺沢富士夫（1968）老年者血圧値変動の統計的分析と臨床的評価，浴風園調査研究紀要，47，1-30.
- 後藤昌司・牡丹義弘・坂本晴名（1968）血圧変動の評価（第2報），FACOM EDP 論文集，1，434-447.
- 後藤昌司・井上俊昭・児玉寛典・坂本晴名（1970）リウマチ治療症例の統計的考察；3相因子分析法の応用，FACOM EDP 論文集，3，345-366.
- 後藤昌司・牡丹義弘（1973）多変量データの2，3の捉え方，FUJITSU，24(7)，297-307.
- 後藤昌司（1976）回帰係数の推定と調整；リッジ推定量に対する考察，日本統計学会誌，6(2)，39-61.
- 後藤昌司・田崎武信（1977）ジャックナイフ推測の方法，品質，8(2)，56-65.
- 後藤昌司・松原義弘・中里博昭・加藤王千・今永 一・山本幹男・浅野長一郎（1978）胃癌治療手術症例の予後要因の探索（第4報），最新医学，33(6)，1202-1210.
- 後藤昌司・上坂浩之・浅野長一郎（1979）NISAN システムにおける Data investigation. 文部省科学研究費特定研究，A-4 班「統計プログラム・パッケージの研究」情報システムの形成過程と学術情報の組織化」（研究代表者：丘本 正），101-110.
- 後藤昌司・惣田隆生（1982）統計的データ解析における経験則，癌生時研誌，1，4-6.
- 後藤昌司・土屋佳英・勘場 貢・浦狩保則・渡辺 彰・大泉耕太郎・平賀洋明・武部和夫・長浜文雄・松本慶蔵・斉藤 玲・今野 淳（1984）呼吸器感染症における抗生剤の特徴評価；臨床試験データの事後の検討，最新医学，39(5)，1033-1048.
- 坂田利家・小川暢也・大里栄子・後藤昌司・寺西孝司・浅野長一郎（1977）境界線高血圧症にみられる血圧変動特性，医学と生物学，94(2)，111-115.
- 宋 義朗・後藤昌司・寺西孝司（1979）S-8220 クリームおよびゲルによる足部白癬の治療，基礎と臨床，13(4)，1496-1514.
- 田崎武信・後藤昌司（1982）ブーッストラップ法とはずれ値，第50回日本統計学会予稿集，63-64.
- 津田弘純・中里博昭・今永 一・浦狩保則・松原義弘・後藤昌司（1984）Endoxan による胃癌術後補助化学療法の評価，日本癌治療学会誌，20(1)，114-121.
- 中里博昭・加藤王千・紀藤 毅・山田栄吉・今永 一・後藤昌司・松原義弘・隈本秀樹・山本幹男（1976）胃癌治療手術症例の予後要因の探索（第3報），最新医学，31(1)，146-152.
- 増山元三郎（1979）いわゆる規範囲を定める Hoffman 方式について，応用統計学，8，31-33.
- 松原義弘・後藤昌司（1977）リッジ回帰の方法，品質管理，28(11)，105-110.
- 松原義弘・後藤昌司（1980）ベキ正規分布に基づく生存時間データの回帰分析，応用統計学，9(1)，43-51.
- 協本和昌・後藤昌司・松原義弘（1979）多変量グラフ解析法，朝倉書店.
- 渡部 洋・鈴木規夫・山田文康・大塚雄作（1985）探索的データ解析入門，朝倉書店.
- 広津千尋（1983）統計的データ解析，日本規格協会.

補遺 1. 主 要 な 実 践 事 例

問 題 (目 的)	概 要: ① 適用手法と ② 知見
1. 胃癌治療手術症例の予後要因の探索 中里博昭 他(1976) 後藤昌司 他(1978) Goto <i>et al.</i> (1977) Goto <i>et al.</i> (1979)	① カテゴリカル主成分分析, 回帰分析, 正準判別分析. ② 手術時判明の 9 要因から胃癌の病態を最もよく表す予後因子が抽出され, その予後因子で病態の重篤度の軽・重の識別点が術後生存期間の約 5 年半に反映・還元されることが推定されている. ・術後 5 年未満死亡例と 5 年以上生存例, さらに化学療法の有無で分けた 4 群において, その識別に漿膜面浸潤度, 術後合併症, リンパ節転移の 4 項目が主に寄与している事実が確認されている.
2. 血圧値変動の解析 後藤昌司 他(1968) 後藤昌司 他(1968)	① 血圧槽門, マルコフ過程のあてはめ, 正準判別分析. ② 1 次マルコフ過程の適合は H 群 (脳出血 3 年以内死亡 8 例), D 群 (10 年以上生存 30 例), T 群 (脳軟化症 3 年以内死亡 16 例), L 群 (D 群の 10 年後 30 例) の順に良いと考えられる. ・T 群, H 群, L 群はすべて振動過程となり, D 群の非振動過程と区別される. ・最高血圧と最低血圧の重み (正準変数) は T 群と L 群, D 群と H 群がある程度類似していることを示唆している.
3. リウマチ治療症例の統計的考察 大西啓隆 他(1968) 後藤昌司 他(1970)	① 線形判別分析, 回帰分析, 時系列解析, 3 相因子分析. ② RA (慢性関節リウマチ) 患者の内服ステロイド療法において, その投与量の推定に関し, とくに RA 活動性を抑制しつつステロイド内服剤を減量・中止に導びく至適・用量の推定方式を与えている.
4. 足部白癬に対する外用剤の統計的評価 宋 義朗 他(1979)	① カテゴリカル正準判別分析. ② 治療群 (15 例) と有効群 (24 例) の識別に比較的高く関与していた項目 (背景要因と外用前自他覚所見の 10 項目中) は, 性 (男性, 女性), 菌検査 (T. mentaglyphytes, T. rubrum), 鱗屑 (軽症, 重症) の 3 項目である. とくに女性, T. mentaglyphytes 検出例, 鱗屑軽症例が治療しやすい傾向にある.
5. 老年者における耐糖能異常と動脈硬化性血管障害との関係について 折茂 肇 他(1978)	① カテゴリカル主成分分析, 正準判別分析. ② 老年者糖尿病型群の中には脳梗塞を合併する型 (DM ₂) と合併しない型 (DM ₁) の 2 型があり, これらの型が二つの異なった entity として区別されること, さらに脳梗塞を合併しない型では大腿動脈石灰沈着を高率に合併しやすい事実は老年者糖尿病型の病態が一様でないことを示唆している.
6. 感冒剤の治療効果判定に関する研究 後藤昌司・牡丹義弘(1973) 加地正郎 他(1975)	① 変動分解型正準判別分析 (薬剤群間, 患者間, 時間間, 薬剤と時間の交互作用変動), バイプロット表現, Charnoff の Face 法. ② 薬剤群間変動における判別係数と判別評点の分布から, 感冒剤とプラセボの効果が「鼻汁」に現れることを示している. また薬剤×時間の交互作用変動の正準判別評点の分布から, 時間経過 (治療開始日, 1 日後, 2 日後) に伴う症状の消退が感冒剤とプラセボでは異なった推移の仕方を見せている. この推移には「鼻汁」「咽頭痛」「頭痛」が主として寄与している.
7. 境界線高血圧症にみられる血圧変動特性 坂田利家 他(1977)	① プロフィール分析. ② 夏期と冬期における鏡映描写試験 (12 刺激条件) 下のプロフィールは最高血圧および最低血圧ともに平行性を示している. また最低血圧ではそのプロフィールが夏期より冬期に有意に上昇し, 最高血圧では季節の変化が認められていない.
8. 背景要因に基づく胃癌患者の予後の予測と治療効果判定への応用 Matsubara <i>et al.</i> (1982)	① カテゴリカル正準判別分析, カテゴリカル判別分析, カテゴリカル回帰分析, Kaplan-Meier の推定生存率. ② 過去に胃癌非治療手術症例で化学療法を施行しなかった 918 例の背景要因と術後生存期間との関係の評価している. その結果, 背景要因をもとに平均的生存期間を予測することが可能となり, 化学療法効果が評価できることが示唆されている.
9. 特発性心筋症における左右心室内膜心筋生検の組織像 Noda (1980)	① カテゴリカル主成分分析, 分散分析. ② 特発性心筋症の左右心室内膜心筋生検を用い, その組織変化を半定量化し, 統計的に検討している. 全症例を組織が軽度 (肥大のみが主なる変化) 群と, 組織変化が高度な (肥大に加え変性所見を認める) 群に大別でき, 前者は殆んど肥大型であり, 後者は肥大型とうっ血型が相半ばしている. うっ血型では肥大型に比較して, 核の変化が高頻度に認められている.
10. 呼吸器感染症における抗生剤の特徴評価; 臨床試験データの事後検討 後藤昌司 他(1984)	① 正準判別分析, 主成分分析, ロジスティック回帰分析. ② 適応の悪い患者 (無効) 群と適応の良い患者 (有効以上) の識別には胸部レ線, 胸部ラ音, チアノーゼ, 喀痰量, 喀痰の性状がとくに影響が強い. 適応の良い群でも体温, 咳嗽, 赤沈, 白血球によっては著明な効果の予測される患者と並の効果しか予測されない患者が識別される. ・適応領域上に各薬剤の効果判定の結果を布置することにより, 同じ有効以上でも適応の悪い領域に位置する薬剤のあることがわかる. とくに薬剤の適応の程度から予測される効果と現実の効果を対比すると, 抗生剤の本来の有効性に対する示唆が得られている.
11. 経口麻酔前投薬の多施設共同研究 北戸裕秀 他(1976)	① 前投薬評価と鎮静効果のカテゴリカル正準連関分析. ② 前投薬評価にあたっては鎮静効果との関連のもとに, 最初に (優, 良), (可, 不可) の 2 段階で判定が下される. 次に「不可」と「その他」といった区分で判定される. それでも判定が不十分なときは「優」と「その他」の区分で判断するといった主観的評価の思考過程がうかがえる.
12. 胃癌術後補助化学療法の評価 Matsubara <i>et al.</i> (1984) 津田弘純 他(1984)	① 比例ハザードモデル, Kaplan-Meier の推定生存率, GSK モデル. ② SC 術後化学療法共同研究班の約 3 割を占める香川県立中央病院の集積データについて, 予後との絡みで化学療法 (EX) の効果を評価し, その上で EX の有効な患者のプロフィールについての検討を行っている. その結果, 漿膜面浸潤度とリンパ節転移の 2 要因が有意に予後に関与することが確認されている. また, EX 投与が手術単独の場合よりも死亡に対するリスクを軽減し, とくに s(+)n(+)でその効果が顕著であることが示唆されている.

後藤論文へのコメント ——その1——

水 野 欽 司（統計数理研究所）

まず最初に、SDA に関する示唆に富む内容を平易な表現で適確に述べておられる著者に敬意を表したい。医学、生物学関連の分野で、多年、実際の SDA に従事された著者の見解には、改めて教えられる点が多い。だが、人文・社会科学分野の側に立つと、なおここで加えておきたい事柄が残されているように思う。

それは、この分野では、収集データの解析のあり方を問う以前に、目標の現象を“どうデータ化するか”の部分、実は最も重要で、かつ困難であるということだ。特に、人間の心理、行動に直接関わる現象は、これをどう計るかの工夫をあれこれ考えるだけで、たちまちにして多くの日数を費やしてしまう。仮に着手できたとしても、測定に介入する当面不要の雑音や偏りに悩まされ、時には基本的人権の侵害にも細心の注意を払って苦闘することになる。だからこそ、当初の工夫の段階で既に、結果のデータに対する DI や DAM が目指すことを、頭の中であれやこれやと反すうしているといえよう。にもかかわらず、他の分野からみれば、“汚なく頼りない”測定結果しか得られないのが現実で、事後の SDA においても画期的な大発見は望めない。よくいって事前に予想した内容が、ある程度浮んできたという程度に終る場合が少くない。

こうした事情から、自然科学の場合が“事実”の発見・立証を旨としているのに対し、人文・社会科学の分野は認識主体としての研究者の事象に関する概念構築にとどまらざるを得ないのが通常である。したがって、数量化の意味や統計的モデル化の功罪が繰返し論じられることになり、深入りすればするほど、懐疑的になり悲観的にもなる。それでもなお、この方面の研究者は期待を統計的方法にかけているのである。

このように、人文・社会科学分野では、SDA のあり方、もっと具体的にいえば、解析者のあり方が改めて問われなければならない。最近では、多種多様の、しかも高度(?)の統計的解析技法が広く普及した。研究のスタイルも、これに影響されがちである。したがって、従来も存在したデータ収集者(実質科学の研究者)プラス解析者(統計家)という提携関係が進んでいるし、本来は実質科学の出身でありながら解析法に打込む研究者も少くない。だが、“コンピュータべったり”

の楽天的解析者は不要である。なぜならば、いたずらに人間社会に害毒を流すことが多いからである。

この分野では、取り扱う現象自体に加えて、研究の目的意図がしばしば重要となる。そして、どのようにデータ化して分析を進めるかの構想が、なによりも優先する。それには、関与する側の資質として大局的視野からの鋭い洞察力、人間社会に対する愛着と常識、緻密で広汎な注意力、等々が重視される。そして、なによりも曖昧模糊とした現象に根気よく付合えることが必須の要件であろう。こうした資質と優れた解析技術をもつ研究者が輩出するのが望ましいが、実態は、“曖昧さへの耐性”が乏しい研究者ほど解析の数理に魅せられて、そちらに走る傾向がみられる。

未開拓の領域が大きい人文・社会科学の研究では、当該分野の解析者と限らず、まずは解析以前の“データ化”の段階の修業を積んで貰いたいと思う。なぜなら、大局的視野からの洞察力だのといっても、現実には偏見や独断と裏腹の事柄である。だが、その才能を育てる教科書は存在しない。あるとすれば、実地の体験を豊かにすることである。体験で、なにを得るのか、その中味は予見できない。しかし、得るものは確実に存在するのである。

昔、統計家は“用心棒”にたとえられた。依頼者の背後に居て、攻撃者から依頼者を守る役割を指している。時代劇に登場する用心棒は、もっぱら“刀”の手入れに気を配り、あとは昼酒を飲んでいればよかった。現代の用心棒は、そうはいかない。人文・社会科学の場合は、SDA の担当者は、研究の発端から終りまで、主研究者に密着して共に歩むことが不可欠であり、地道に一つ一つ、小さな成果を集積する心がけが望まれる。派手な結論を出したがる“目立ちたがり屋”は、解析者としては失格である。また、チャーノフの“顔”をありがたがる単純な手合いも、この分野は望んでいない。課題や問題意識は、人間社会の深くて微妙な内容にあり、繊細で注意深く、共に悩んでくれる解析者が求められている。統計的方法の粗雑な適用に対する批判も強い現状では、心すべき事柄であると思う。

人文・社会科学の分野では、今もなお、SDA の意図・筋道にじっくりなじめない面が残されている。無理をして SDA に忠実であろうとすれば、大事な内容が漏れ落ちてしまう。いかに名探偵シャーロック・ホームズ氏といえども、手を焼くことであろう。いささか神秘的といえる研究者の資質と SDA——バランスのとれた両刀使いで現象に迫らざるを得ないのが、この分

野である。だからこそ、知的探究の魅力あふれる宝庫であるといえるのかも知れない。

後藤論文へのコメント ——その2——

大 橋 靖 雄 (東大病院中央医療情報部)

SDA の実践および理論的研究において長く我国の第一線にある後藤博士ならではの示唆に富む論文であり、啓発されることが多かったことをまず述べておきたい。

後藤博士が述べられているように、SDA には術的側面も強く、それに対する考え方も解析者個人の経歴・経験と切り離せないところが多いように思われる。後藤博士は主に「統計解析を受託する」立場から SDA に係わってこられたと思われるが、筆者は、同じ医学系データを扱うものの、日々データが産出される（またしばしば「統計解析を依頼する」側である）病院に所属する統計家として、幾つか主観的なコメントを述べてみたい。

後藤博士は、SDA の要素としてデータ、方法論、解析者の三つを挙げておられるが、筆者はこれにデータ処理（入力・蓄積と管理そして解析）のための環境を重要な要素として付け加えたい。

東大病院の計算センターでは、統計ソフトウェアは SAS, SPSS をはじめ幾つか揃え、ドクター自身がカラーグラフィックスを利用できる程度までに物理的環境を整え、またコンサルタント（つまり筆者）も常駐の体制をとっている。また、解析だけではなく、各臨床科の要望に合わせて臨床研究用のデータベースを構築する支援を行うことが重要な仕事であると、筆者は考えている。

アメリカの Duke 病院の Dr. Frank Harrell と知りあいになり、彼が所属する Division of Cardiology (Dr. Harrell と Dr. K.L. Lee という二人の専任の統計家を抱えている) の研究の進め方を知ったことは、筆者にとって、データ管理の重要性を認識する良い契機となった。そこでは毎年 2000~3000 人が研究用のデータベースに追加され、そのために 5 人の入力オペレータが雇われ、エントリーされた患者の状態を定期的に電話で調査するデータマネージャが研究仲間から最大の尊敬を集めている。ロジスティック回帰分析、生存時間分析を主な道具とする Dr. Harrell らのレポートの持つ臨床上の意義は極めて大きい。データの規模が

大きい（千から万のオーダー）こと、質が高いことがその最大の理由である。

ひるがえって我国の現状はどうであろう？ いろいろお話を伺ってみると、一流の研究機関でも、データ処理の環境はお粗末なところが多いように思われる。データ管理のシステムは研究室ごとばらばらで、パソコンを導入していたとしても、データの可搬性やその後の SDA に対する考慮は希薄なように思われる。（もちろん、解析の面倒をみてくれるような組織があるような機関は稀であり、解析の依頼は、いきおい、優秀な統計家を揃えた製薬会社に舞い込むことが多くなるのである。）

筆者は解析の重要性を否定するものではない、むしろ SDA の威力と限界をわきまえた解析者が、貴重なデータの管理にまで係わっていくことが、研究ひいては医療の質の向上に役立つと思うのである。そしてそのためには、研究組織、ハードウェアを含めた環境の整備が必要である。

次に、後藤博士も触れられている知識の整理の問題に触れたい。

SDA に関する現在の課題の一つは、SDA を必要としている実務家に対して教育できる専門家が少ないということである。実務を通じた徒弟的な教育が理想であろうが、世の需要はこの方式で供給できるレベルを既に超えているようにも思う。そして効率的な教育の前提は専門家の知識の整理である（かならずしも体系化する必要はないし、ましてや統一原理など絶対にできるはずはない）。

いろいろな整理の仕方が考えられる。後藤博士の試みられていのように論文をまとめ注をつけていく、本にする、……。最近熱病のごとく流行している知識工学的アプローチは可能であろうか？

専門家自身の知識が経験によって改変を余儀無くされること、集積した知識が既教育システム化できるという点から、知識ベースとエキスパートシステムの構築は学問上もまた実用上も興味深いテーマである。実現はまだまだ先であろうが、このようなアプローチが、SDA の形骸化・統計パッケージの誤用の問題に対する一つの解答を与えるように筆者は考えている。

最後に技術的な点について二、三コメントしたい。

・筆者はリッジ回帰は「好きになれない」。事前知識（文献情報や他の研究結果）を明示したベイズ流の解析の方に共感を覚える。

・ベキ正規変換は外れ値の影響を極めて強く受ける。

しかし、現実にはこの外れ値が異常であるか否かの判断は極めて難しい。(実務家は統計的に決まらないかと言い、統計家は固有知識で決めてくれと主張する。)筆

者は、外れ値を accomodate するノンパラメリックなアプローチに魅力を感じている。