

平成 11 年度研究報告会要旨

と き：2000 年 3 月 14 日 午前 10 時～午後 4 時 45 分
15 日 午前 10 時～午後 5 時 30 分
ところ：統計数理研究所 講堂

プログラム

3 月 14 日 (火)

午前 (10 時～12 時)

あいさつ

所長 清水 良一

【調査実験解析研究系】

「日本人の国民性調査」の半世紀
近年 5 回の国民性調査の標本設計と標本精度
インターネットの利用調査
数理ファイナンスと統計的推測
質問項目のコウホート分析
生物の初期進化のデータ解析における方法論上の問題点
青少年を対象としたいくつかの調査結果から
インターネット調査の特性とその適用可能性

坂元 慶行
前田 忠彦
丸山 直昌
内田 雅之
中村 隆
橋本 哲男
土屋 隆裕
大隅 昇

午後 (13 時～16 時 45 分)

ベイズ的方法によるデータ解析
対人ネットワークパターンとコミュニケーション行動 (客員, 横浜市立大学)

柏木 宣久
川浦 康至

【統計基礎研究系】

確率生成母関数の活用
修正情報量規準による中心極限定理
多変量分布の逆関係
Near-parametric Inference for Building Model-robust Tubes
特異点を持つモデルにおける最尤推定量の漸近的挙動
正則変動する裾をもつ分布の分解
不等式制約の下での正準相関分析
——分布理論と 2 元順序分割表解析への応用——

平野 勝臣
松縄 規
南 美穂子
江口 真透
福水 健次
志村 隆彰
栗木 哲

【統計科学情報センター】

統計的形狀解析の一つの試み
統計科学情報の有機的な活用

種村 正美
馬場 康維

健康危機関連情報の統計処理	金藤 浩司
一般化 Fokker-Planck 方程式を巡る諸公式	岡崎 卓
社債格付データの解析と利用	山下 智志
用量増加実験における非線型効果の検討	
	(客員, Georgia Inst. of Technology) A. J. Hayter

3月15日(水)

午前(10時~12時)

【統計計算開発センター】

物理乱数を使おう!!	田村 義保
時空間 ETAS モデルと時空間残差解析用モデル	尾形 良彦
行列計算向け CPU の開発	泰地真弘人
TIMSAC72 for Workstation について	荒畑恵美子
統計パッケージ Jasp の基本設計	中野 純司
動的システムの最適化	伊藤 聡

【領域統計研究系】

臨床試験の基盤強化のための統計的側面	柳本 武美
傾向スコア	佐藤 俊哉

午後(13時~17時30分)

Trajectory Estimators	汪 金芳
スピンを持つ粒子の一次元ランダムパッキング	伊藤 栄明
文化計量のための基礎研究	村上 征勝
米国西海岸及びハワイ日系人比較調査について	吉野 諒三
AVHRR データからみた中国県レベルの土地利用実態	鄭 躍軍

【予測制御研究系】

自己組織型の時系列モデル	北川源四郎
外為市場でのニュース効果の統計解析	川崎 能典
脊椎動物の系統進化	長谷川政美
波動現象観測開始時刻の精密推定	樋口 知之
不完全情報下における制御系設計に関する研究	宮里 義彦
モンテカルロフィルターを使ったマルチ・ファクターモデルの推定	佐藤 整尚
シャンシュン語について	上田 澄江
ノンパラメトリック検定とJ言語	鈴木義一郎
グラフィカルモデルと推定最適化(II)	土谷 隆
ベイズ統計と統計物理——これまでとこれから——	伊庭 幸人
弱電気魚の神経と行動	
——アイゲンマニアの交流電場と混信回避行動——	瀧澤 由美
マルチメディア トラフィック問題	(客員, 東京電機大学) 町原 文明
Conditional Moment の近似計算	(客員, 筑波大学) 庄司 功

調査実験解析研究系

「日本人の国民性調査」の半世紀

坂元慶行

今年度の研究活動の中心は、1998（平成 10）年秋に実施した「第 10 次 日本人の国民性調査」の結果の分析と発表であった。

日本人の国民性の統計的研究には、日本人の意識動向の解明、調査法の研究、解析法の研究の 3 つの目的がある。これらに関する、国民性調査委員会委員による総合的な報告として、『統計数理』（48 巻 1 号）で特集「統計的日本人研究の半世紀」を企画、執筆した。

筆者個人としては、第 1 の目的に関連して、国民性調査の結果を中心に 20 世紀後半期の意識動向を総括することを試みた。その結果を、一般向けに、マスコミを通じて発表するとともに、研究者向けに、統計数理研究所公開講演会や、上記の『統計数理』で発表した。

また、第 2 の目的の調査法の研究に関連して、特に、調査方式が調査結果に与える影響について、以下のような検討を行った。回収率低下等の対策として、前回 1993（平成 5）年全国調査から調査員の調達・管理を専門調査機関に委託することとした。しかし、安易に調査を委託すれば、従来の統計数理研究所の調査結果の数値と専門調査機関の調査結果の数値との間には格差が生じる傾向があるため、時系列分析上致命的な断層が生じる懸念があった。そこで、前回の 1993（平成 5）年調査では、調査員の調達・管理以外の点では、可能な限り、従来の「日本人の国民性調査」の調査方法を堅持するよう努めた結果、実用に耐えないほどの時系列的な不連続性は回避することができた。今回も実査に当たって前回以上の努力を払った結果、前回に優る連続性を確保できたことが判明した。

近年 5 回の国民性調査の標本設計と標本精度

前田忠彦

本報告では、「日本人の国民性調査」の標本設計を 1998 年第 10 次全国調査を例にとりて解説した後、同調査の近年 5 回の調査の標本精度を、回答比率の推定量の分散に基づいて比較した結果について検討する。

近年 5 回（第 6 次～第 10 次）の同調査では、標本設計として層化二段無作為抽出法を採用している点は共通であるが、層別方式は第 6・7 次と第 8～10 次でやや大きく違っている。第 8 次以降では以前と比べて層別を細かく行わないが、その代わりに層内での地点（第 1 次抽出単位）の並べ方を工夫したりリストに対して系統抽出法を適用することによって、層別を細かくした場合と同様の効果を期待できる地点抽出方式を用いた。個人（第 2 次抽出単位）の抽出には各回共通に系統抽出法（等間隔抽出法）を利用した。

以上の標本抽出方法は層化確率比例復元二段無作為抽出法（STPPR-SI）を模したものに過ぎないが、調査精度の評価のために、仮に STPPR-SI であると見なして、以下の計算を行った。即ち各調査項目の選択肢に対する回答比率の推定量について、推定量の分散（その平方根としての標準誤差）を計算し、第 6 次～第 10 次の調査間で結果を比較した。

比較の結果得られた知見は、次の通りである。1) 第 10 次調査は標本サイズの小ささのために、相対的には他の年次に比べて標準誤差の値が大きくなっている。2) 誤差の倍率（STPPR-SI を仮定した標準誤差が、単純無作為抽出を仮定した場合の誤差の何倍になって

いるかを意味する)を検討すると、各回とも、多くの項目で1.3倍程度までに収まっている場合が多い。3)細かく見れば、誤差の倍率が{第6・7次} < {第10次} < {第8・9次}の順に大きくなっている。しかし、各回の標本サイズの影響を取り除くと、第10次と第8・9次の間は差は取るに足らない値である。

以上のように第6・7次と第8～10次の間には、標準誤差の数値に関する違いが見られ、単純無作為抽出との比較の観点からは第8次～第10次の場合に誤差が大きくなった可能性を示唆する結果が得られた。この差が層別方式の変更に伴う見かけ上の差だけであるのか、それとも本質的に標本精度の低下をもたらす要因があったのかという点については、更なる検討が必要である。

インターネットの利用調査

丸山直昌

インターネットは、近年は商用的にも広く利用されるようになり、このためその利用状況についての各種統計の社会的重要度が最近増してきた。また最近ではアメリカを中心としてデジタル格差(digital divide)の問題が注目されるようになり、格差の実情を知る意味でも、このような統計は重要であると言える。しかし、インターネットの利用者数のような基礎的な数値ですら、どの程度信頼性が置ける数値なのか、明確ではない。また、接続コンピュータ数については、ファイアウォールの普及などの要因によって、以前使われていた推定方法が役に立たなくなってくる、などの問題も生じている。このような状況を考慮した上で、これらの統計の取り方の問題点を展望し、調査方法の改善について言及した。

数理ファイナンスと統計的推測

内田雅之

数理ファイナンスは確率解析の主要な応用分野として、近年盛んに研究されている。しかしながら、過去の金融データを使って、あるオプションの価格を予測するという統計的な立場から見ても、この分野は非常に興味深い。本年度の研究は、小さな拡散過程モデルにおけるヨーロッパン・コール・オプションの価格の推定を漸近論の立場から行った。

参考文献

- Uchida, M. and Yoshida, N. (1999). Asymptotic expansion for small diffusions applied to option pricing, Research Memo., No. 739, The Institute of Statistical Mathematics, Tokyo.

質問項目のコウホート分析

中村隆

コウホート分析は、継続調査によって得られる年齢×調査時点別に集計されたデータ表

から年齢・時代・コウホート(世代)効果を分離することにより, 社会の変動についての知見を得るための方法である. 社会調査や世論調査で用いられる質問項目の回答形式としては, 2 つ以上の選択肢から 1 つを選んで回答してもらう方法(択一多項選択法)が多くを占める. これまでこのようなカテゴリカル・データをコウホート分析する際には, 選択肢ごとに 2 項分布に基づくベイズ型ロジット・コウホートモデルを適用してきた.

1 つの質問項目の選択肢を個別に分析したときの問題点は, 年齢×調査時点別の各集計セルについて, モデルによる推定確率の全選択肢にわたる合計が 1 になることが保証されないことである. このため選択肢ごとの分析結果を 1 つの質問項目として総合するときに矛盾した結論になることが起こりうる. このような問題点を解消するために, 1 つの質問項目の選択肢を個別に分析するのではなく, 同時に 1 つの質問項目として分析する多項分布に基づくベイズ型多項ロジット・コウホートモデルを開発した.

モデルは, 第 i 年齢階層, 第 j 調査年の第 r カテゴリの反応確率を π_{ijr} とするとき, その多項ロジット変換 η_{ijr} を

$$\eta_{ijr} \equiv \log \left[\frac{\pi_{ijr}^R}{\prod_{r=1}^R \pi_{ijr}} \right] = \beta_{0r} + \beta_{ir}^A + \beta_{jr}^P + \beta_{kr}^C,$$

$$i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R$$

のように分解する. ここで, $\beta_{0r}, \beta_{ir}^A, \beta_{jr}^P, \beta_{kr}^C$ はそれぞれ第 r カテゴリの総平均・年齢・時代・コウホート効果であり, 次のゼロ和制約を満たす.

$$\sum_{i=1}^I \beta_{ir}^A = \sum_{j=1}^J \beta_{jr}^P = \sum_{k=1}^K \beta_{kr}^C = 0,$$

$$\sum_{r=1}^R \beta_{0r} = \sum_{r=1}^R \beta_{ir}^A = \sum_{r=1}^R \beta_{jr}^P = \sum_{r=1}^R \beta_{kr}^C = 0.$$

コウホート分析における識別問題克服のため, 適当なパラメータの漸進的变化の条件を事前分布として取り込んだベイズ型モデルを構成し, 赤池のベイズ型情報量規準 ABIC 最小化法により最適モデルを選択する.

参 考 文 献

- 中村 隆 (2000). 質問項目のコウホート分析——多項ロジット・コウホートモデル——, 統計数理, 48(1), 93-119.

生物の初期進化のデータ解析における方法論上の問題点

橋 本 哲 男

生物の歴史の非常に古い時代に遡って, 分子系統樹を推定しようとする場合, さまざまな意味においてノイズの多いデータを扱わざるを得ないため, 方法論上の問題点から生ずる誤

りを犯してしまう危険性が高くなる。本発表では、そのような問題点のうちでも、とくに深刻であることが指摘されている Long Branch Attraction (LBA) アーテファクト (Felsenstein (1978); Philippe and Laurent (1998)) について議論した。

一般に、生物種の分岐後、時間が経過するにつれて置換が蓄積され、1つの枝で2回以上の置換(多重置換)が頻繁に起こるようになる。配列内に置換が起こりにくい座位と起こり易い座位が混在している場合、後者において多重置換が多く起きても、変化しうる部分が限られていることから、配列全体としての差異がそれに応じて増加するわけではない。したがって、座位間のこのような不均質性が極端な場合、それを無視して解析すると、多重置換を過小に評価し、進化(置換)速度の大きな系統(Long Branch)を遠くに離してしまう。これがLBAアーテファクトである。これを克服するために、最近、座位間の進化速度の不均質性をガンマ分布でモデル化して解析するという試みが、データ解析の現場でも実際に行なわれるようになってきた(Yang (1996))。

リボソームRNAやペプチド鎖伸長因子による従来の解析からは、Microsporidia(微孢子虫類)は、真核生物の進化の最も早い時期に分岐した生物であるとされていた。ところが、他の分子種のデータが蓄積されるにつれて、Microsporidiaは分岐の早い真核生物ではなく、むしろ高等な真核生物であるFungi(菌類)に近いのだとの可能性が示唆されるようになってきた。そこで、ペプチド鎖伸長因子について、ガンマ分布を導入した再解析を行なってみると、不均質性を考慮していない従来の解析では全く支持されなかった菌類近縁説を、必ずしも否定できないことが明らかとなった。さらに、本年度新たに遺伝子解析を行なったヴァリン-tRNA合成酵素については、不均質性を考慮しない解析でも菌類近縁説はある程度支持されるものの、ガンマ分布の導入によりその可能性がより強くなることが示された。これら両分子種ともに推定されたMicrosporidiaの枝は長く進化速度は大きかったが、とくにペプチド鎖伸長因子ではそれが極端であった。このことから、本分子種の従来の解析では、MicrosporidiaはLBAの効果のために誤って真核生物の最も早い分岐のところに位置づけられてしまっていたのだとの可能性が強く示唆された。

参 考 文 献

- Felsenstein, J. (1978). Cases in which parsimony or compatibility methods will be positively misleading, *Systematic Zoology*, **27**, 401-410.
- Philippe, H. and Laurent, J. (1998). How good are deep phylogenetic trees?, *Current Opinion in Genetics & Development*, **8**, 616-623.
- Yang, Z. (1996). Among-site rate variation and its impact on phylogenetic analyses, *Trends in Ecology & Evolution*, **11**, 367-372.

青少年を対象としたいくつかの調査結果から

土 屋 隆 裕

同じ調査項目を用いたデータセットが複数得られた場合に、それらの調査項目を数量化すると同時に、データセット間の構造の異同を表現する土屋(1995)の方法を改良し、欠損データや複数回答の項目が含まれている場合にも適用可能とした。この方法を、平成11年度に文部省と共同で実施した「子どもの体験活動等に関する国際比較調査」データに適用した。その結果、生活習慣に関しては、日本は英米独と似ているものの、自然体験や道徳

観・正義感に関する項目は、英米独とは異なり、韓国と似ているといった興味深い結果が得られた。

参 考 文 献

土屋隆裕 (1995) . 複数データセット間の構造の違いを探る等質性分析, 統計数理, 43, 121-140 .
子どもの体験活動研究会 編 (2000) . 子どもの体験活動等に関する国際比較調査 .

インターネット調査の特性とその適用可能性 実験調査を通じて

大 隅 昇

新しい調査法として急速に普及したインターネット調査に関連した研究を進めた。特に Web 調査の市場調査分野への普及・浸透は著しく、わずか数年の間に調査運用の技術的諸要素や調査技法のあり方が、大きく様変わりしている。しばらく前は、迅速、安価、実査の容易性、集計の速報性等の利点だけが強調されていたが、必ずしもこれが当てはまらず、品位の高い信頼に足る調査データの取得には、それなりの調査設計や投資を必要とする事が次第に見えてきた。

本年度は、昨年度までの研究成果やインターネット調査への社会的な要請等を考慮しながら、取得済み調査データの詳細な分析を進め、また新たな調査を計画し実施してきた。実査計画の特色は、①同一設問、類似設問による調査票の設計、②相異なる複数の Web サイトにおける同時的調査の実施、③同一設問による従来型調査 (オムニバス、オンラインの 2 種) と Web 調査との比較実験、④継続的かつ反復的に実査を行う、等にある。こうした従来からの調査設計上の基本を踏襲した新たな実査計画のもとに新たな調査を続けてきた。とくに、Web 調査における「回答者像」の的確な掌握に迫る必要があることから、以下の方針で調査研究を進めた。

具体的には、(1) 昨年度までの調査結果や実査における諸事象を分析検証し、Web 調査の特性や問題点をより明らかにすること、(2) 従来型の調査法 (質問紙による面接法、郵送法等) の結果と比較したとき、調査法としての特性の差異や類似を実証的に確かめること、(3) Web 調査に特有の事象とは何かを探ること、(4) 複数 Web サイト上で同時に取得したデータの総合的な解析から、回答者像の類似性や特徴を明らかにすること、(5) 従来型調査の実施結果との対比分析から明らかになってきた諸事象、特徴を整理して、Web 調査・従来型調査の客観的比較方法の検討、(6) 定性情報 (とくに自由回答設問法) の実験研究を行う、等を進めた。

さらに、Web 調査で必ず問題とされる、母集団の考え方、パネルやリソース (登録者集団) の構築とサンプリング操作、回答者の代表性と同定化、回収率の定義、回答者属性の偏りの問題、Web 調査特有の新たな非標本誤差と考えるべき諸事象 (例えば、閲覧接触のみ回答なし、重複回答、虚偽回答・なりすまし、代理回答・回答拒否) 等々、いずれも未解決の諸事象についての検証作業を続けた。

また従来の研究で未着手の課題のうち、①回答者の追跡調査の実施、②データ取得環境の物理的諸問題等の検証も進めた。前者は、実施済みの反復調査への回答者を対象として、実際に本人が回答したか、調査内容への意見、調査結果開示の認知度等の情報収集を行っ

た。後者は、実査環境を正確に知るための重要課題であるが実状は全く知られていない。調査管理を行うサーバ、その管理者や回答者の利用環境を巡るハード、ソフト環境の影響が大で、調査実務担当部門の協力を得て初めて検証できることである。ここで、個々の調査対象者のインターネット上でのアクセス状況の完全な追跡処理、その情報のロギングを行うことが必要となる。パネル登録者への回答依頼状の発信、調査票の発信と着信確認、未達確認、回答返信の授受確認(重複、中断等)、時間軸に沿った回答状況の追跡を含む全情報を回答者別に行う。このような公開されることのなかった調査現場の実態が実証的に明らかになってきた。

本研究の一部は、研究課題名「調査環境の変化に対応した新たな調査法の研究」として文部省科学研究費補助金特定領域研究(領域番号:114,領域略称名:マイクロ統計データ)による助成を受けたが、成果を本年度に報告書として要約し、国際会議、シンポジウム等で発表を行った。

対人ネットワークパターンとコミュニケーション行動

(客員)横浜市立大学 川 浦 康 至

対人ネットワークは通常、2種類の測度——規模(size)と質(density)——で計られる。対人ネットワークの質に注目すると、成員の諸特性が相対的に等質度の高い「同質集団」と、そうでない「異質集団」とに分けることができる。先行研究によると、一般にコミュニケーション行動において前者は対人コミュニケーション依存が、後者はマスコミュニケーション依存の-highいことが指摘されている。本報告では、インターネットユーザについても、そのことが当てはまるのか検証する。

まず以下のような設問で対人ネットワークの質指標を構成した。(a)まず家族以外の重要他者を3名あげてもらい、(b)その3名について相互の知己関係(未知か既知か)を答えてもらう。これらの回答から、3名全員が相互に知己の状態(高密度:密度4)から、相互に未知の状態(低密度:密度1)まで全部で4通りのパターンを構成した。調査は科研費の重点領域研究(代表研究者:大隅昇)のなかで実施され、対象者は大規模サイトの登録ユーザである(回答者は約1400名)。調査自体は1998年ウェブ上で、あいだ1か月において2度行い、2回の上記パターンが一致した者のみを分析対象とした(950名)。

その結果、各パターンに含まれる人数の割合は密度4から1まで順に、3割、1割、3割、3割となった。性別では男性の方が密度が高く(等質性が高い)、これまでの知見と一致する傾向が得られた。ついでコミュニケーション行動との関連を見たところ、まず対人コミュニケーション行動では、携帯電話の番号を教えた人の数が高密度の人ほど高いという結果が得られたものの、電子メールをやりとりする相手の数や私的会話時間ではパターン差が見られず、密度パターンとの関連は必ずしも明白ではなかった。つぎにマスコミュニケーション行動との関連を検討した。その結果、新聞と雑誌といった能動的なメディアとの接触時間には差が見られず、テレビ(受動的メディア)の接触時間のみ、低密度群で多かった。以上のことから、けっしてクリアではないものの、対人ネットワーク密度とコミュニケーション依存との間にゆるい関連が見出された。今後は、対人ネットワークの測定指標を検討するとともに、非インターネットユーザ、携帯電話ユーザについても調査してみたい。

統計基礎研究系

確率生成母関数の活用

平野 勝 臣

本年度の研究

1. 確率生成母関数の活用について, これまでの研究をまとめた(平野・安芸(1999)). また新しいタイプの問題に対する活用を考察した(Hirano and Aki(1999)).
2. 長さ k の成功連が起こるまでに長さ ℓ ($\ell < k$) の成功連 (overlapping count) の起こる回数の分布は, 台を 1 右にずらしたオーダー ($k - \ell$) の幾何分布に従う. これはオーダー間の関係として興味ある結果である. これに対応する性質をオーダー k の一般 2 項分布がもっていることがわかった (Aki and Hirano (2000)).

ここでは Aki and Hirano (2000) の結果について述べる .

a, k, n を任意の固定した正整数とする . $\{0, 1\}$ -値 iid 確率変数列 X_1, X_2, \dots で, $P(X_i = 1) = p = 1 - q$ とする . X_i を i 番目の試行とよぶ . スコア $s(i)$ を, i 番目の試行で長さ k の 1 の連を観測したとき値 a , そうでないとき 1 をとると定義する .

定義. スコアの和が n 以下であるとき, 長さ k の 1 の連 (non-overlapping) の数の分布をオーダー k の一般 2 項分布といい, $B_k(n, p, a)$ とかく ($a = 1$ のときオーダー k の 2 項分布) .

τ を X_1, X_2, \dots において n 番目の 1 が起こるまでの試行数, τ_ℓ を X_1, X_2, \dots において n 番目の長さ ℓ の 1 の連 (overlapping) が起こるまでの試行数とする . このとき

命題 1. τ までに長さ k の 1 の連 (non-overlapping) の起こる回数の分布は $B_{k-1}(n, p, 2)$ である .

定理 1. τ_ℓ までに長さ k の 1 の連 ($(\ell-1)$ -overlapping) の起こる回数の分布は $B_{k-\ell}(n, p, 2)$ である .

以上の考察は m 次マルコフ系列に拡張される . m, ℓ, k は $m \leq \ell < k$ をみたす正整数とする . $X_{-m+1}, X_{-m+2}, \dots, X_0, X_1, X_2, \dots$ を m 次マルコフ系列とする . ここで $p_{x_1, \dots, x_m} = P(X_i = 1 \mid X_{i-1} = x_m, X_{i-2} = x_{m-1}, \dots, X_{i-m} = x_1)$ で, $x_1, \dots, x_m = 0, 1; i = 1, 2, \dots$ である . τ_ℓ を m 次マルコフ系列 X_1, X_2, \dots において, n 番目の長さ ℓ の 1 の連 (overlapping) が起こるまでの試行数とする . このとき

定理 2. τ_ℓ までに長さ k の 1 の連 ($(\ell-1)$ -overlapping) の起こる回数の分布は $B_{k-\ell}(n, p_{1, \dots, 1}, 2)$ である .

参 考 文 献

- Aki, S. and Hirano, K. (2000). Numbers of success-runs of specified length until certain stopping time rules and generalized binomial distributions of order k , *Ann. Inst. Statist. Math.*, **52**, 767-777.

Hirano, K. and Aki, S. (1999). On k -match problems, Research Memo., No. 724, The Institute of Statistical Mathematics, Tokyo.

平野勝臣, 安芸重雄 (1999). 確率生成母関数の活用, 統計数理, 47, 105–118.

修正情報量規準による中心極限定理

松 縄 規

$\{X_{nj} : 1 \leq j \leq k_n; n = 1, 2, \dots; k_n \rightarrow \infty \text{ as } n \rightarrow \infty\}$ を各行が互いに独立な確率変数列からなる二重配列で, 各要素は一次元連続型分布, cdf. $F_{nj}(x)$, pdf. $f_{nj}(x)$, $(-\infty < x < \infty)$ に従っているものとし, 次の諸量の存在を仮定する:

$$\mu_{nj} = E[X_{nj}], \quad B_n^2 = \text{var} \left[\sum_{j=1}^{k_n} X_{nj} \right],$$

$$(1 - F_{nj}(\mu_{nm})) / f_{nj}(\mu_{nm}) =: M_{nm}, \quad \text{ここに } m = m(k_n) \text{ とする.}$$

また, Z を標準正規確率変数とする. この時, 標準和が $S_X^* = B_n^{-1} \sum_{j=1}^{k_n} (X_{nj} - \mu_{nj})$ が Z に全変動の意味で収束する中心極限定理について考察した. このことのために近似主領域

$$A_n := \{t : -k_n^{1/6-\alpha} < t < k_n^{1/6-\alpha}, 0 < \alpha < 1/6\}$$

で定義される修正 K-L 情報量を評価することにより, 本問題と密接に関連する標準確率変数 $S_V^* = (\sqrt{k_n})^{-1} \sum_{j=1}^{k_n} \{-\ln(1 - F_{nj}(X_{nj})) - k_n\}$ と Z の二つの密度関数間に $n \rightarrow \infty$ で

$$f_{S_V^*}(t) = \frac{k_n^{-1/2} e^{-k_n}}{\Gamma(k_n)} \left(1 + \frac{t}{\sqrt{k_n}}\right)^{k_n-1} e^{-\sqrt{k_n}t} \sim \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$$

となる極限同等性を示した. また, 不完全ガンマ関数に関する不等式を準備して, 上記近似主領域で $P^{S_V^*}(A_n) \rightarrow 1$ ($n \rightarrow \infty$) および $P^Z(A_n) \rightarrow 1$ ($n \rightarrow \infty$) を示した. これらの事実から次の主要結果を得た.

定理. 次の条件 (a)~(c) が成立と仮定する.

$$(a) \mu_{nm} \sim \mu_{nj} \quad (n \rightarrow \infty), \quad (b) \sqrt{k_n} M_{nm} \sim B_n \quad (n \rightarrow \infty),$$

$$(c) \sqrt{k_n} \{1 + \ln(1 - F_{nj}(\mu_{nm}))\} \rightarrow 0 \quad (n \rightarrow \infty).$$

この時, 次の意味での中心極限定理が成立する.

$$\sup_{E \in B} |P^{S_X^*}(E) - P^Z(E)| \rightarrow 0 \quad (n \rightarrow \infty)$$

ここに, B は一次元実空間の部分集合からなるボレル集合体を表す.

多変量分布の逆関係

南 美穂子

2つの単変量分布のキユムラント母関数が定数倍を除いて互いに逆関数になっているとき、これらの分布は逆関係にあるという。ランダムウォークの単位時間あたりの増分の分布と、ある一定の高さの壁に初めてあたる時間の分布には逆関係があることが知られている。正規分布と逆正規分布、ポアソン分布とガンマ分布などがその例である。

ラグランジュ分布は、窓口が一つのカウンターでサービスを開始してから初めて誰も客がいなくなるまでの間にサービスを受けた客の数の分布として特徴付けられる分布の総称で、サービス開始時にいる客の数の分布(初期分布)と、ある客をサービス中に来る客の数の分布(到着分布)に対応して様々な分布が得られる。たとえば、シフトした負の2項分布は初期分布を定数(デルタ分布)、到着分布をベルヌイ分布とした場合のラグランジュ分布である。ラグランジュ分布も視点を変えるとランダムウォークがある一定の高さの壁に初めてあたる時間の分布と考えられ、一人の客へのサービス前後の客の減少数の分布と開始時に客が一人の場合のラグランジュ分布は逆関係にある。

ラグランジュ分布は、客には複数のタイプがあるとし、タイプ別の客の数の分布を考えることで多変量の分布に自然に拡張できる。 k 個の k 変量分布の2つの集まりの間の逆関係も多変量ラグランジュ分布に関する考察をもとに定義することができる。さらに、 k 個の k 変量分布を1つの分布を用いて表現することによって、2つの多変量分布間の逆関係として捉えることができる。

このように定義した意味において、多変量正規分布と逆関係を持つ分布を導出した。この分布は多変量正規過程がある条件を満たしたときの位置の分布となっており、ある方向の周辺密度は逆正規分布でそれに対する条件付密度は多変量正規分布となっている。密度関数はパラメータの値によって偏ったものになったり、正規分布のように楕円を重ねたものになったりするという特徴がある。

Near-parametric Inference for Building Model-robust Tubes

江 口 真 透

データの分布にパラメトリックモデルを仮定し尤度推論を実行する方法を標準解析と呼ぼう。概パラメトリックモデルとは仮定されたパラメトリックモデルのチューブ近傍を指す。データが従うであろう分布がパラメトリックモデルからの無視出来ない逸脱をする場合この近傍を考慮する必要がある。観察集団の生存時間データの解析についてこのモデリングの実際を考察した。この研究は松浦正明(広島大・原医研)との共同研究の一部である。

よくデザインされたコホート解析では、観察集団の観察開始時間は生存時間に独立になるように組み立てられる。エントリータイムの遅れと生存時間が独立ならば標準解析が可能である。しかし観察研究では、この独立性の仮定の正当性について疑いがある状況がしばしば生じる。例えば、観察集団に登録することによって特別な医療制度を受けられる場合などエントリータイムと生存時間に何らかの相関を疑う必要があるだろう。

エントリータイムを与えた条件付きハザード関数にパラメトリック項に加法的にエント

リー・バイアス関数を与えた．この概パラメトリックモデルの下で標準解析の妥当性を検証するための方法について考察した．簡単なトイモデルからの数値実験についてエントリバイアスの推定の尤度解析の性能について確認出来た．広島原爆被災者の生存時間データについて被爆者手帳の取得時期と生存時間についての大規模な推測を行うための理論的準備を与えた．

特異点を持つモデルにおける最尤推定量の漸近的挙動

福水 健次

ニューラルネットやミクスチャモデルなど、階層的なパラメトライゼーションを持つ統計モデルでは、パラメータ空間内の特定の部分が識別不能となることが知られている．このような識別不能なパラメータ領域は、設定したモデルサイズ(ニューラルネットの中間素子数、ミクスチャモデルの要素数)よりも小さいサイズで実現できる関数を表現する際に生じる．真の関数(密度関数)が設定したモデルよりも小さいサイズの場合には、通常の漸近理論による解析は適用できず、モデルサイズの検定、モデル選択に際して大きな問題となる．

本報告では、識別不能なパラメータ領域を有する統計モデルにおける最尤推定量の漸近的挙動の解明を目標として、同一の密度関数を与えるパラメータを一点に同一視したパラメータ空間を考察した．このような点はパラメータ空間上の特異点となるので、識別不能なパラメータを考察することと特異点のあるパラメータ空間を持つモデルを考察することは同等である．

特異点を持つモデルによる最尤推定量の漸近的挙動の一般論は、今のところほとんどわかっていない．今回の報告では、今後取り組んでいきたい課題としてこのような問題を提起するとともに、以下に述べる最尤推定量のリスクが計算できる例を紹介した．

分散1の3次元正規分布の平均 $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3)^T$ を推定する際に、パラメータ空間に $\mu_1^2 + \mu_2^2 - \alpha^2 \mu_3^2 = 0$ という制約が課せられていたとする．この制約付きモデルは、原点のみに特異点を持つ．真のパラメータ μ_0 と最尤推定量とのKLダイバージェンスの期待値を R とするとき、 μ_0 が特異点(原点)以外の場合には、通常の漸近理論により $R \sim 1/(2n) \times (\text{パラメータ数}) = 2/(2n)$ となるが(n はサンプル数)、 μ_0 が原点(特異点)の場合には

$$R \sim 1/(2n) \times (2\alpha^2 + 2\alpha + 1)/(\alpha^2 + 1)$$

となることが簡単な計算により示される．パラメータ数に相当する部分は、 α が0から ∞ まで動くと、1から2までを動くが、単調ではなく途中で2より大きい極大値をとる．

この計算は、直交群の部分群の不変式で定義される制約に拡張可能であるが、さらに一般的な特異点における最尤推定の漸近的挙動の解明は今後の課題である．

正則変動する裾をもつ分布の分解

志村 隆彰

X と Y を独立な正値確率変数とする．これらの裾 $P(X > t)$ と $P(Y > t)$ が $t \rightarrow \infty$ のとき、ともに正則変動する、或いは、一方が正則変動し、片方がそれよりも小さいオー

ダーであるならば、 $P(XY > t)$ が正則変動することが知られている。逆に、ここでは、独立積 XY の分布の裾 $P(XY > t)$ の緩慢変動性 (指数 0 の正則変動性) を仮定したとき、 $P(X > t)$ と $P(Y > t)$ のうちの少なくともどちらかは緩慢変動するであろうかという問題について考える。 X と Y の分布をそれぞれ μ と ν とするとき、 XY の分布を $\mu \circ \nu$ で表し、 μ と ν との Mellin-Stieltjes 合成積とよぶ。裾 $\mu(x, \infty)$ が緩慢変動する分布全体からなる族を $D(0)$ で表す。これまでに、 $\mu \circ \nu$ の裾が緩慢変動し、 ν がある $\varepsilon (> 0)$ に対して有限なモーメントをもつならば、 μ の裾は緩慢変動するけれども、正則変動の指数が負の場合には、 μ と ν の裾がともに正則変動しなくても (片方の分布の台が有限集合であっても) $\mu \circ \nu$ の裾が正則変動することがあるという結果が得られている。このように緩慢変動する場合とそれ以外の場合には大きな違いがあるが、今回さらに次の結果が得られた。 $\mu \circ \nu \in D(0)$ かつ $\sup_{x>0} \mu \circ \nu(x, \infty) / \mu(x, \infty) < \infty$ ならば、 $\mu \in D(0)$ である。これは ν にモーメント条件を課した場合の拡張になっている。一方、裾が緩慢変動し、かつ $\lim_{x \rightarrow \infty} \mu(x^2, \infty) / \mu(x, \infty) = 1$ を満たす分布の族を $S(0)$ とすれば、 $\mu \circ \nu \in S(0)$ と $\mu(x, \infty) + \nu(x, \infty)$ が緩慢変動することは同値であることが示された。このことと非増加緩慢変動関数の分解の一般論 (任意の 0 に収束する非増加緩慢変動関数は緩慢変動しない正值非増加関数の和で書けることなど) から、 μ と ν のどちらも $D(0)$ に属さなくても $\mu \circ \nu$ が $D(0)$ に属しうることが導かれる。

不等式制約の下での正準相関分析 分布理論と 2 元順序分割表解析への応用

栗 木 哲

行列の形式で集計された 2 元カテゴリカルデータ $N = (n_{ij})$ の行と列の一方または両方が順序尺度である場合を考える。このような場合のモデリングとして従来より繰り返し提案されてきた方法の一つに、スコアに順序制約を仮定した下で対応分析型のモデルをあてはめるという方法がある。これは (i, j) セルの確率を

$$(1) \quad p_{ij} = p_{i \cdot} p_{\cdot j} (1 + \phi \mu_i \nu_j),$$

あるいは乗法型モデル (RC 連関モデル)

$$(2) \quad \log p_{ij} = \alpha_i + \beta_j + \phi \mu_i \nu_j$$

とモデル化し、さらに行と列のスコアに順序制約

$$(3) \quad \mu_1 \leq \dots \leq \mu_a, \quad \nu_1 \leq \dots \leq \nu_b$$

の一方あるいは両方を課するというものである。

スコアに関する順序制約 (3) は、何人もの著者により繰り返し提案されている方法である。しかしその研究のほとんどはモデルの当てはめに関する数値解法の研究であり、推測統計的な立場の研究はほとんど見あたらない。

本研究では、正規確率場の最大値分布に関する積分幾何的手法を用いることにより、順序制約 (3) の仮定の下での対応分析モデル (1) および RC 連関モデル (2) における独立性の仮説 $H: \phi = 0$ の検定のための尤度比検定統計量の漸近帰無分布を十分な精度を与える漸近展開の形で導出した。

参 考 文 献

- 栗木 哲 (1999). 不等式制約の下での正準相関分析——分布理論と2元順序分割表解析への応用——, 応用統計学会第21回シンポジウム講演予稿集 (特別講演), 69-80.

統計科学情報センター

統計的形狀解析の一つの試み

種 村 正 美

複雑な形状をもつ多数の図形からなる空間配置パターンが与えられたとき, それを統計的に解析することは一般的には困難であるが, 重要な課題である. われわれはそれを定量的に分析する一つの試みを行った.

与えられた一つの図形を多数の点の集まりで近似することができるが, 図形の集合をそのような点の集合で近似することとする. すると, これによって与えられた複雑な形状の図形の配置パターンは点配置パターンで表されることになる. この点配置パターンに対して Voronoi 多角形分割をほどこし, 元の図形に対応する Voronoi 多角形の辺を残すと, 個々の図形までの距離が等しい点の軌跡 (一般化 Voronoi 領域) が近似的に得られる. このやり方で, 任意の図形からなる空間配置パターンに対して一般化 Voronoi 領域による空間分割を求めることが事実上可能になる.

われわれは, 共同研究 (11-共研-2048) の一環として, 上記の方法をヒト皮膚における表皮内の神経線維分布に関するデータに適用する試みを行い, アトピー性皮膚炎患者と正常者の表皮内の神経線維分布の違いを定量的に明らかにした.

健康危機関連情報の統計処理

金 藤 浩 司

緊急時において国民・地方自治体等から, 迅速でかつ多面的な統計情報提供の要望がある. 本研究では, 腸管出血性大腸菌 O-157 (以下では O-157 と省略する) を原因とする集団食中毒の発生状況に関して, 厚生省が保有する情報を多面的に統計処理し, 国民・地方自治体等に迅速に伝達し, 状況を把握するための基礎となる統計システムの構築に向けた基礎的研究を目的とした.

そこで, O-157 データの処理に適した統計解析手法の開発に関する研究と, データそのものと統計処理された情報に関する可視化の検討を行い, 1) 集団における O-157 の最短発症日の推定, 2) 散在的集団発生の検出, 3) 食中毒の集団発生規模の推定, に関する統計解析手法を開発した. 同時に, システムについての基礎的実験を行い, その実用の可能性を探った.

一般化 Fokker-Planck 方程式を巡る諸公式

岡 崎 卓

1. はじめに

外乱を受けつつ発展する系の解析に際して通常使用される Fokker-Planck 方程式は、系の応答確率密度を定める方程式であるが、その外乱は白色ガウス過程に限定されている。これを拡張して、非ガウス外乱に対しても成立するようにしたものが一般化 Fokker-Planck (GFP) 方程式である。射影子法と指数演算子分解近似によって達成した GFP 方程式は、外乱の skewness や flatness と線形系の応答確率密度との関係を具体的に明らかにすることができる(非線形系の応答については目下研究を進めている)。

本報告では、GFP 方程式と外乱に対する線形系の応答を求める過程で開発した公式のうち、確率過程の研究一般にとって有用と思われるものを若干紹介する。

2. 有色ガウス外乱を受ける線形系に関して

Ornstein-Uhlenbeck 過程に従う有色ガウス外乱を受ける線形系は、当然 Ornstein-Uhlenbeck 過程に従い、その外乱と系変数の確率密度を定める公式は勿論既に知られているが、系変数の確率密度を外乱過程の特性値で直接に表わす式は公表されていない。GFP 方程式を用いれば、系確率密度の相関行列を定める方程式が簡明に導かれる。

3. 有色ガウス外乱の相似変換

有色ガウス外乱 W の発展作用素を iL_W (W の確率密度 $g(W, t)$ の発展を $\frac{d}{dt}g = -iL_W g$ とする) とし、 iL_W の随伴作用素 $i\hat{L}_W$ による相似変換を

$$W(t) = e^{ti\hat{L}_W} W e^{-ti\hat{L}_W}$$

とするとき、 $e^{xW(t)}$ (x はスカラー) の作用および任意関数 $X(W)$ に対する $\delta(V - A W(t))$ (V, A はベクター) の作用は $W(t)$ の相関関数により具体的に表わされる。

4. 正規過程に関する公式

非確率的発展方程式

$$\frac{d}{dt}U = M(U), \quad U(0) = U$$

に伴う正規過程 $U(t) = \exp[tM(U) \frac{\partial}{\partial U}] U \exp[-tM(U) \frac{\partial}{\partial U}]$ について

$$e^{t \frac{\partial}{\partial U} M(U)} \cdot 1 = \left| \frac{\partial U(t)}{\partial U} \right|$$

が成り立つ。

用量増加実験における非線型効果の検討

(客員) Georgia Inst. of Technology Anthony J. Hayter

多くの実験において、薬物などの水準を増加させたときの効果が比較される。その効果は、しばしば非線型であり、回帰分析は適切ではないかもしれない。このとき、水準を比

較するための方法はいくつか考えられる．一番目は，全ての水準の対比較を考えることである．二番目は，第 1 水準 (対照) と他の全ての水準を比較することである．三番目は，隣り合う水準どうしを比較することである．われわれは，これらの方法に関して，片側推論と両側推論の利点を組み合わせた方法に関して議論する．また，効率的に棄却点を計算するための再帰的なアルゴリズムを紹介する．

統計計算開発センター

物理乱数を使おう!!

田 村 義 保

理工学系の学問においては従来から，モンテカルロシミュレーションや高次元の数値積分のために乱数がいわれてきた．昨今は，金融工学等の隆盛のため，乱数利用の範囲はますます広がっている．

統計数理研究所においては 40 年以上前から，物理乱数発生器を開発して，利用してきた．平成 10 年度に統計科学スーパーコンピュータシステムを導入した際に，平成元年から長く使用してきた第 3 代目の物理乱数発生器をより高速の第 4 代目の物理乱数発生器に改めた．この新しい物理乱数発生器等について報告した．

平成 10 年度の計算機入れ替え時に新しい物理乱数発生器を導入するために，平成 9 年の資料招請時から，各社に新規の開発を要求した．PCI 規格のボードで発生速度としては 15MB/s 以上であることを要求した．平成 11 年度 1 月から統計科学スーパーコンピュータシステムの中核として稼働している日立製作所のスーパーコンピュータ SR8000 (20 ノード) には 1 枚当たりの発生速度が 15MB/s の物理乱数発生ボードが 6 枚接続されている．統計数理研究所としては第 4 代の物理乱数発生器になる．利用方法は第 3 代のもと同様にサブルーチンコールを行うだけで利用できる．SR8000 がスーパーコンピュータであることより NQS によるバッチ利用による必要はあるが，十分に使いやすくなっていると思う．

平成 9 年度に新規開発を各社に要求したと上述したが，東芝も PCI 規格の物理乱数発生ボードを開発した．ランダムマスターの名称で発売されているので，ご存じの方も多いと思う．パーソナルコンピュータ用は 2MB/s の発生速度であるが，ワークステーション用は 30MB/s の発生速度を有しており，現段階では世界最高速である．日立製も，東芝製も高速化のために，第 3 代までのような雑音をコンパレータで 0, 1 系列に直し，一定時間内の 1 の回数を数える方法ではなく，他の方法を用いている．

従来の物理乱数発生装置も含めて 3 種の発生装置を用いて発生させた 4 バイト実数 (10,240 個) の一様性を $[0,1]$ で確かめるために，256 等分した区間に入る個数を数えカイ二乗値を計算することを 100 回繰り返した．どの乱数発生装置も満足の行く結果になった．周期のない良質な乱数発生源として物理乱数発生装置をどんどん使って欲しい．

時空間 ETAS モデルと時空間残差解析用モデル

尾 形 良 彦

地域によって地震活動パターンが違うことを考慮して，時空間 ETAS モデル (Ogata (1998))

の特性パラメータ 7 つのうち主要な 5 つを位置 (経度, 緯度) の関数としてベイズ的時空間 ETAS モデルに拡張した. この関数を日本領域とその周辺部の地震発生位置を頂点とする 2 次元デロネ分割上の一次スプライン関数で表現し, 平滑化のためにこの 5 つの関数の傾き (微分) が全体的に小さくなるような事前正規分布を導入し, ABIC 法によって事後分布から最適推定パラメータ (posterior mode) を求めるアルゴリズムを実用化した.

気象庁震源データを用いて 3/4 世紀の地震活動 (マグニチュード 5 以上) の計測と以下のような点過程残差解析を行なった. ABIC 法で求めた最適なベイズ的時空間 ETAS モデルの条件付強度関数と, これによって予測される各地の地震活動度と実際の地震発生数を比べる比モデル発生率関数 (時空間上の関数) をかけ合わせた条件付強度関数で尤度を定義し, 大規模ベイズモデルによる平滑化問題を考え推定した. 比モデル発生率関数は地震の震源 (発生時刻を含む) を頂点とするような 3 次元デロネ分割上の一次スプライン関数で表現し, 平滑化の為此の傾き (微分) が全体的に小さくなるような事前分布を導入し ABIC 法によって事後分布から最適推定パラメータ (posterior mode) を求めた.

この様にして推定した比モデル地震発生率関数を 3 次元画像解析ソフト AVS によって可視化したところ, いくつかの巨大地震の震源域周辺で前兆現象であるとみられている相対的静穏化現象や地震空白域が見られた.

デロネ分割上のスプライン関数は, 第一に, 集中性の強い点配置上や次元の高い空間上の統計的モデルのパラメータ化に適していることが実証されただけでなく, 広く時空間モデル開発の実施に必要な一歩を記したものと考える.

参 考 文 献

- Ogata, Y. (1998). Space-time point-process models for earthquake occurrences, *Ann. Inst. Statist. Math.*, **50**, 379-402.

TIMSAC72 for Workstation について

荒 畑 恵美子

TIMSAC72 のプログラムを Fortran 77 を用いて Workstation で動くようにした. Dimension の大きさをパラメータで指定するようにした. データと結果の入出力関係をわかり易くした. 使用例もつけるようにした.

参 考 文 献

- 赤池弘次, 中川東一郎 (1972). *ダイナミックシステムの統計的解析と制御*, サイエンス社, 東京.
Akaike, H. and Nakagawa, T. (1988). *Statistical Analysis and Control of Dynamic Systems*, Mathematics and Its Applications (Japanese Series), KTK Scientific Publishers, Tokyo.

統計パッケージ Jasp の基本設計

中野 純 司

現在,すでに多くの統計パッケージが存在し,簡単に利用できるようになっている.それらは,すでに長い歴史を持ち信頼性も高く,また,GUIのような使い勝手についても洗練されたものが多い.それにもかかわらず,われわれはあえて新しい統計パッケージを作成することにした.

その理由の一つは自分たちが管理できるシステムがほしい,ということである.計算機を用いた統計学の研究においては,計算機の急速な発展の成果をとりいれなくてはならず,システムの内容を常に完全に把握しておく必要がある.さらに,最初の段階から最新技術を考慮にいれた設計を行ないたいということも理由の一つである.既存の統計パッケージでは,当初の設計の上に,必要に応じて新しい技術を導入してきたものが多い.最近の計算機技術の目覚ましい発達を利用するためには,統計パッケージも最初から設計しなおすことが必要であると思われる.

これらの理由からわれわれは Java 言語を用いて新しい統計解析パッケージ Jasp (Java based Statistical Processor)を開発することにした. Java 言語は最新の計算機技術を統一に取り入れた使いやすい言語である. Jasp の特徴としては, Java のための関数型スクリプト言語 Pnuts にオブジェクト指向の考え方を付け加えた柔軟な Jasp 言語,それと密接に結びついた使いやすいグラフィカルユーザインタフェース,さらにそれを通して簡単に操作できるインターネット上での分散処理機能,そして Fortran プログラムなどを Jasp から利用するための外部言語インタフェースなどがあげられる.

今年度はこれらの機能を実現するための基本的な設計を行ないながら,プロトタイプシステムを実現した.その結果,統計学の初心者から専門家までの幅広いユーザがそれぞれの目的に応じて使い,最新の計算機技術を統計解析のために容易に利用することができるようにする,という目的がこの方向で実現可能であることを確かめることができた.

動的システムの最適化 状態制約つき最適制御問題の数値解法

伊藤 聡

最適制御の数値解法として最も汎用的といえるのは非線形計画法に基づく解法であろう.連続時間の最適制御問題は制御入力を決定変数とし,常微分方程式や偏微分方程式で表現されるシステム方程式を介して,終端状態や過渡状態を評価する目的関数,また同様に終端状態や過渡状態に関する等式あるいは不等式制約条件を持つ無限計画問題であり,関数空間上の非線形計画問題として定式化される.制約条件がない場合や終端状態に関する等式あるいは不等式条件のように有限個の汎関数制約条件のみが存在する場合には,関数空間における準ニュートン法,双対逐次 2 次計画法がそれぞれ有効である.一方,過渡状態の軌道に関する不等式条件のように無限次元の制約条件が存在する場合は数値解を求めるのがより難しくなる.

このような状態不等式制約つき最適制御問題を解く一つの有力な方法は,時間関数である制御入力を何らかの方法でパラメトライズすることにより離散化し,有限個の決定変数

と無限個の制約条件を持つ問題, いわゆる半無限計画問題に変換して解くことである. 半無限計画問題は決定変数が有限次元であるため, 一般的な仮定のもとで双対変数 (ラグランジュ乗数) が離散的になる, すなわち無限個の制約条件のうち有限個 (たかだか決定変数の次元) だけを考慮すればよい, という性質があり, これに基づいて等価な有限次元の非線形計画問題に書き直すことができる (伊藤 (1999, 2000a), Ito et al. (2000) および Liu et al. (1999a, 1999b) を参照).

また, 同じ状態不等式制約つき最適制御問題に対する数値解法として, 切除平面法に基づく手法 (Ito (2000), 伊藤 (2000b)) を提案した. これは状態制約式を有限個に緩和して得られる一連の問題を双対逐次 2 次計画法で解いていく方法であり, 特に (制御入力に対する相対次数の意味で) 高次の状態制約の場合に有効であると考えられる. 制御入力が陽に含まれない場合すなわち 1 次以上の状態制約に対しては, 双対変数は必ずしも絶対連続とは限らず状態軌道と制約境界との接合点において跳躍が起こり得るが, 切除平面法による解法はこれを階段関数で逐次近似しながら推定していく方法とみなすことができる.

その他, 非線形システムに対する状態フィードバックあるいは出力フィードバック制御系の一構成法として, オンラインで勾配法を実行する手法についてごく簡単に説明した. 詳細は Shimizu et al. (1998, 2000) を参照されたい.

参 考 文 献

- 伊藤 聡 (1999). 半無限計画とその周辺, 第 11 回 RAMP シンポジウム論文集 (日本オペレーションズ・リサーチ学会数理計画法研究会 編), 107–118.
- 伊藤 聡 (2000a). 半無限計画法, 計測と制御, **39**, 141–146.
- 伊藤 聡 (2000b). 双対逐次 2 次計画および切除平面法による状態制約つき最適制御問題の解法, 統計数理研究所共同研究会「最適化: モデリングとアルゴリズム」.
- Ito, S. (2000). Cutting plane approach to state-constrained optimal control problems, The Workshop on Numerical Methods for Control and Optimization, Ehime University, Matsuyama.
- Ito, S., Liu, Y. and Teo, K. L. (2000). A dual parametrization method for convex semi-infinite programming, *Ann. Oper. Res.* (to appear).
- Liu, Y., Teo, K. L. and Ito, S. (1999a). A dual parametrization approach to linear-quadratic semi-infinite programming problems, *Optim. Methods Softw.*, **10**, 471–495.
- Liu, Y., Ito, S. and Teo, K. L. (1999b). A semi-infinite programming approach to continuously constrained LQ optimal control problems, *Proceedings of the 38th SICE Annual Conference*, International Session Papers Volume, 1149–1154.
- Shimizu, K., Ito, S. and Suzuki, S. (1998). Tracking control of general nonlinear systems by direct gradient descent method, *Proceedings of the IFAC Nonlinear Control Systems Design Symposium 1998* (eds. H. J. C. Huijberts, H. Nijmeijer, A. J. van der Schaft and J. M. A. Scherpen), Volume 1, 185–190.
- Shimizu, K., Ito, S. and Otsuka, K. (2000). Modified direct gradient descent control of nonlinear systems, *Optimization Methods and Applications* (eds. X. Q. Yang, K. L. Teo and L. Caccetta), Kluwer Academic Publishers (to appear).

領域統計研究系

臨床試験の基盤強化のための統計的側面

柳 本 武 美

生物統計学における方法論とその適用についての研究を行っている。方法論としては経験ベイズ法による多次元母数の同時推定の研究をしている。本年の1つの成果は経験ベイズ平滑化法の非ベイズ的解釈である。

一方表題のテーマについての研究を行った。平成11年度に北里大学に臨床統計コースが、12年度には京都大学に医療統計分野が設けられたように、臨床試験をめぐる環境は急激に変化している。科学的な根拠に基づいた治療が求められている。そこでは科学的に根拠があるとは、統計学に忠実に従って収集されたデータを統計解析して得られた知見である。この中で、イ) 北里大学臨床統計コースへの支援、ロ) 審査業務への協力、PMSデータの解析の見直しの提案、ハ) 9月より各月に「臨床試験における因果推論」及び輪読会を開催を行った。

1つのテーマとして、我が国の臨床試験の質を上げるクリティカル・ラインは中央登録ではないかについて考察を行った。試験は予め定められた疾患をもつ確かな患者の登録によって開始される。登録は臨床試験にとって重要であるにも拘わらず面白みのない単純作業とされる。その結果登録された患者の中に適格でない患者が入り込むのは当然とされていることが多い。試験の実施者自身がデータを信用していない事になる。十分な努力をしていない登録業務は臨床試験の予期しない大きなノイズとなってしまう。この現状を改善するためには、臨床試験の実施者・従事者の専門性を高めることが求められる。医療施設内の試験実施部門、試験実施を専門にする機関の充実、CRCなど専門職員の増員が求められる。その上で厳密なデータの取り扱いに対応した緻密な統計推論が必要である。

傾向スコア

佐 藤 俊 哉

疫学研究・臨床研究では、喫煙や高脂肪食摂取といった要因への曝露が、がんや心臓病などの疾病発生の原因になっているかどうか、また治療法が病気の予後の改善に効果があるかどうか、などの因果関係を調べることが重要である。新薬や治療法の候補の効果を調べるためのランダム化臨床試験のように、試験参加者に要因をランダムに割り付けて研究を実施できれば、因果的な効果を調べることができる。しかし、疫学研究で問題としているのは、健康に悪い影響を与える可能性のある要因であり、喫煙や高脂肪食摂取を研究参加者にランダムに割り付けることは倫理的に許されない。

このため疫学研究の多くは、一部の予防試験を除いて観察研究とならざるを得ない。観察研究から因果推論を実施する場合、交絡要因とよばれる曝露-疾病発生間、治療-予後間の因果関係を歪める要因が存在するため、交絡要因の影響を取り除いて効果を推定する必要がある。交絡要因は「疾病発生や予後を規定する原因」であり、かつ「曝露や治療とも関連がある」という性質があり、交絡要因を無視して単純に曝露と疾病発生、治療と予後の関係を調べると、誤った結論を下してしまう可能性がある。(たとえば、新治療を受けたグルー

ブで死亡率が低かったのは、軽症な人ばかりが新治療を受けてしまったため、といった)

交絡の調整には回帰モデルを用いる方法が一般的であるが、回帰モデルによる方法では治療効果に加えて交絡要因の効果をもモデル化する必要がある。本報告では、再発肝がんの生存時間データを用いて、傾向スコアを用いたモデルによらない交絡調整の方法により治療効果の推定を行い、回帰モデルにもとづく方法と比較を行った。傾向スコアは、治療を割り付けられる確率であり、交絡要因を用いて傾向スコアを推定し、傾向スコアの値でマッチをとったり、層別解析を行うことで因果効果を推定することができる。

Trajectory Estimators

汪 金 芳

パラメトリックモデル $p(y|\theta)$ に基づく θ に関する推論では尤度が中心的な役割を果たしている。しかし実際のデータ解析の場合、パラメトリックモデル $p(y|\theta)$ を指定できる場合が希である。推定関数 $g(y|\theta)$ に基づく推論は分布に関する仮定を緩和し、より頑健な統計的データ解析法として注目されている。生物統計などの分野では既に標準的なデータ解析法として確立されている。著者はこれまで推定関数 $g(y|\theta)$ に導かれる最適局所ポテンシャルに基づく擬似尤度推論を展開し (Wang (1999), 汪 (1999), Wang (2000)), 多重根問題 (Small et al. (2000)) やモデル選択 (Wang (2000)) などの問題について適用し、擬似尤度推論の有用性を示してきた。

本研究はこれらの結果の延長線上にあり、ベイズ推論のセミパラメトリックモデルの場合への拡張に関する試みである。いま、推定関数 $g(y|\theta)$ から誘導される力学推定系を次のように定義する

$$(1) \quad \frac{d}{dt}\theta(t) = g[y, \theta(t)].$$

初期状態 $\theta_0 \in \Theta$ と $T \in R^+$ が与えられる時、(i) $\theta(t)$ は (1) の orbit, (ii) $\theta(0) = \theta_0$, (iii) $\hat{\theta}(T) = \theta(T)$ を満たす $\hat{\theta}(T)$ を trajectory estimator と定義する。Trajectory estimator は線形ベイズ法 (Whittle (1958)) の拡張として考えられる。このことは、適当な正則条件の下で、trajectory estimator の近似表現

$$(2) \quad \begin{aligned} \theta(t) &= \hat{\theta} + \exp\{j(\hat{\theta})t\}(\theta_0 - \hat{\theta}) \\ &= \gamma(t)\theta_0 + [I - \gamma(t)]\hat{\theta} \end{aligned}$$

を用いて議論することが出来る。

参 考 文 献

- Small, C. G., Wang, J. and Yang, Z. (2000). Eliminating multiple root problems in estimation, *Statist. Sci.* (to appear).
- Wang, J. (1999). Nonconservative estimating functions and approximate quasilielihood, *Ann. Inst. Statist. Math.*, **51**(4), 603–619.
- 汪 金芳 (1999). 擬似尤度の構築と非線型回帰モデルへの応用, *統計数理*, **47**, 49–61.
- Wang, J. (2000). Quadratic local likelihood functions for estimating functions (submitted).
- Whittle, P. (1958). On the smoothing of probability density functions, *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B*, **20**, 334–343.

スピンを持つ粒子の一次元ランダムパッキング

伊藤 栄 明

粒子が上向きスピンを持つ確率が p , 下向きスピンを持つ確率が $1-p$ であるとし, 一次元ランダムパッキングを考える. 同じ向きのスピンを持つ粒子は互いに長さ 1 以上ちかよることができず, 異なるスピンを持つ粒子は互いに長さ a 以上ちかよることができないものとする. Flory (1939), Renyi (1958) により議論されてきた一次元ランダムパッキングについては遅れをもつ積分方程式をもちいて解析的にしらべることができる. 上向きスピンを持つ粒子がどれだけつめられるかという問題については, 両端に上向きスピンを持つ粒子がある場合, 両端に下向きスピンを持つ粒子がある場合, 両端に互いに異なるスピンを持つ粒子がある場合の個数の期待値について, 遅れをもつ積分方程式系が得られる. これについてのラプラス変換を考えると常微分方程式系が得られ, $p = q$ の場合には厳密解が得られる. それ以外の場合は厳密解は得られないが, 数値解析をおこなうことにより, よい値が得られる. このモデルはある意味で一次元以上である空間へのランダムパッキングであるが, シミュレーションによらず微分方程式をもちいて議論できる系である. a の値により, 確率 p を上げていった場合, つめられる上向きスピンの粒子数の割合は減少しはじめ, ある値でまた増加に転じるという場合がある. これについてはシミュレーションによっても確認した. スピンを考えることにより, ランダムパッキングはさらに興味ある数理的な問題になり, 符号理論等の関連で研究をすすめてゆきたい.

参 考 文 献

- Flory, P. J. (1939). Intramolecular reaction between neighboring substituents of vinyl polymers, *Journal of the American Chemical Society*, **61**, 1518–1521.
- Itoh, Y. and Shepp, L. (1999). Parking cars with spin but no length, *J. Statist. Phys.*, **97**, 209–231.
- Renyi, A. (1958). On a one-dimensional problem concerning space-filling, *Publ. Math. Inst. Hungar. Acad. Sci.*, **3**, 109–127.

米国西海岸及びハワイ日系人比較調査について

吉野 諒 三

本年度は, 科学研究費補助金・基盤研究 A (2) 「国民性に関する意識調査データに基づく文化の伝播変容のダイナミズムの統計科学的解析」の計画により, 昨年, 収集された調査データの細部確認を行った. 本プロジェクトは以下 a), b) に重点がある.

- a) 文明の伝搬のダイナミズム解明のための海外の各所の「日系人・非日系人と日本人」の意識国際比較に関する既存データの収集と整理, 及び未調査の「米国西海岸日系人・非日系人の標本調査」
- b) データを世界へ公開するための「意識の国際比較調査データ・ベースの作成・整備と実践的検討」

本年度は, 昨年度に上記 a) に関して遂行された「米国西海岸日系人」意識調査のデータ

の整理と最終確認，及び単純集計表，性・年齢層別等のクロス集計表をとりまとめ，調査プロジェクトとしての第一次報告を「統計数理研究所研究レポート No. 84」として発刊する作業を進めた．これには，関連する国際比較調査データとの比較データの集計を含む．

面接調査のためのサンプリングは，今日の日系人社会が地理的にはアメリカ社会に溶け込んでいるために，従来の全国調査とはかなり異なる手続きとなり，選挙人登録名簿と日系人の姓名のデータ・ベースをマッチングさせ，現地日系人の母集団リストを作成し，そこから単純サンプリングを行って，面接調査を遂行したのであるが，この手続きの潜在的問題を検討した．また，データの集計作業の中で特に問題となったのは，日系人の「世代」の定義，及び「所属団体」の分類であった．現在の 3 世以上は，人種間結婚が 50% 以上と推定され，人種や世代の分類が単純ではなくなっている．所属団体が日系人中心であるか否かの判断も簡単ではなかったが，最終的に回答データをコード化するために，「日系人の世代」の定義，「所属団体」の分類等を確定した．

参 考 文 献

- 山岡和枝，吉野諒三 (2000)．日本人・日系人・米国人の比較：日系人調査結果のデータ解析，第 16 回日本分類学会研究報告会 研究報告予稿集．
- 吉野諒三，山岡和枝，林 文，鈴木達三，林知己夫 (2000)．日本人と日系人の比較：米国西海岸日系人の意識調査，*よろん*，85, 7-11.
- 吉野諒三，林知己夫，鈴木達三，林 文，山岡和枝，村上征勝，馬場康維，佐々木正道 (2000)．国民性に関する意識調査データに基づく文化の伝播変容のダイナミズムの統計科学的解析，統計数理研究所研究レポート，No. 84．

AVHRR データからみた中国レベルの土地利用実態

鄭 躍 軍

中国では地域によって地形や気候が異なるため，土地利用の形態が多種多様である．これまで全国レベルまたは省レベルにおける土地利用の変動に関する研究が多く行われてきた．しかし，土地利用実態の空間的特徴を明らかにするために，県レベルの土地利用データに基づく統計的分析は不可欠である．今年度は改良型超分解能放射計 (AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer) データから抽出した土地被覆データに基づき，県レベルの土地利用実態を分析する結果の概要を報告した．本研究の目的としては (1) AVHRR データによる土地被覆変化把握の可能性の解明と (2) AVHRR データの解析法の研究が挙げられる．

1 キロメッシュごとの各種土地被覆面積は月間の AVHRR の 1 キロ分解能 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 合成データに基づき，季節性土地被覆領域分類 (SLCR: Seasonal Land Cover Regions) と IGBP(International Geosphere-Biosphere Programme) の地球土地被覆分類体系によって計算した．なお，県レベルの各種土地被覆型面積はグリッド化した 100 万分の 1 の省・県行政境界図と SLCR とを重ね合わせることで計算した．センサス・データとしては人口統計データ，農業統計および森林資源統計などのデータを利用した．

まずセンサス・データと SLCR から導出した 30 省の総土地面積を分析した結果は両者がほぼ全相関 ($r^2 = 0.999$) を呈していることがわかった．次に県レベルの 18 種類の土地被覆面積データに対して正準判別分析によって六つの地域の土地被覆分布特徴を四つのパター

ンに区分できることを明らかにした．以上の分析により，全国的に農地と林地の空間的分布が極めて不均一かつ稀少であることを示している．

一方で農地および林地面積を分析した結果は県レベルのSLCR各種土地被覆面積とセンサス・データとの間には大きな違いがあることを発見した．今後の課題としてはSLCR分類とセンサス・データの信頼性を分析し，AVHRRデータの統計的な補正方法を理論的に研究することを示唆した．

予測制御研究系

自己組織型の時系列モデル

北川 源四郎

時系列 y_n を表現する非線形状態空間モデル

$$(1) \quad x_n = f(x_{n-1}, v_n), \quad y_n = h(x_n, w_n)$$

には通常，未知のパラメータ θ が含まれており，その値によってシステムの特性が規定されている．このパラメータの値を推定するために最もよく利用される最尤法では，パラメータ θ に関する尤度

$$(2) \quad L(\theta) = \prod_{n=1}^N p(y_n | y_1, \dots, y_{n-1})$$

を最大化することによってその推定値を求める．

しかしながら，尤度が数値的誤差を含む場合など，最尤推定値を求めることが現実的でない場合には，状態ベクトルを拡大し

$$(3) \quad z_n = \begin{bmatrix} x_n \\ \theta \end{bmatrix}$$

に関する非線形状態空間モデルの非線形平滑化を行うことによって状態ベクトルと同時に，未知パラメータ θ の推定を行うことができる (Kitagawa (1998))．この方法によってモデルの係数パラメータばかりでなく，パラメトリックに表現されたノイズ分布の分散パラメータや形状パラメータを自動的に推定することができる．

この方法をさらに拡張し，時系列のオンラインモデリングの過程における予測誤差系列を利用して，ノイズの分布のパラメトリックな形を仮定することなく自動的に同定する方法を考案した．時系列 y_n の予測分布が m 個の粒子 $p_n^{(j)}$ で近似されているものとし，対応する予測誤差を $\varepsilon_n^{(j)}$ とするとき，時刻 n におけるノイズ分布を

$$(4) \quad q_n(v) = (1 - \alpha)q_{n-1}(v) + \alpha \sum_{j=1}^K s(v - \varepsilon_{n-1}^{(j)})$$

によって更新することができる．ただし， $s(v)$ は任意の確率密度関数， $0 < \alpha < 1$ とする．この更新式と従来のモンテカルロフィルタを統合することによってノイズ分布をも自動的に構成する自己組織型のフィルタができる．

例として、太陽黒点数、Canadian Lynx の捕獲数、気温データのような擬似周期系列の基本周期関数、時変振幅、位相の推定の問題を示した。

参 考 文 献

Kitagawa, G. (1998). Self-organizing state space model, *J. Amer. Statist. Assoc.*, **93**, 1203–1215.

外為市場でのニュース効果の統計解析

川 崎 能 典

観測単位が日次より短い金融データを用いた実証分析が近年注目を集めており、これに伴って新たな統計モデリングの提案も盛んになっている。これらのデータはファイナンスにおける高頻度データ、あるいは高周波データ (High Frequent Data in Finance) と呼ばれる。こうした細かな取引データが注目されるのは、さまざまな情報の影響がどのように市場に反映されているかという点に関して、従来よりも一歩踏み込んだ分析が可能となるからである。情報の種類は、顧客からのオーダーフローのような、特定の市場関係者にしか知り得ない非公開情報と、政策当局が公表する経済指標のような公開情報とに大別される。マクロ経済学的に、後者の経済指標の開示が市場にどれだけのインパクトを与えるかという論点は高頻度データが利用可能になる以前から実証分析の対象として分析されてきた。

本報告では、金融データとして円・ドルの為替レート (1993 年 1 月～9 月) の高頻度データを、市場に影響を及ぼす情報セットとしては米国政策当局が公表する経済指標を取り上げ、特に失業率、住宅着工、国内総生産、消費者物価、生産者物価、貿易収支、耐久財受注の 7 つの指標に注目してその開示効果を統計的に分析した結果を報告した。従来の分析法が、収益率やそのボラティリティに対して開示時点から数期間のダミー変数の有意性を測定するものであるのに対し、本報告では円・ドルレートのボラティリティとクォートの生起間隔の同時分布に着目し、指標開示のある日とない日とで分布に有意な違いがあるかどうかを検定する方式を取った。具体的には、上記 7 経済指標が米国東部標準時で午前 8 時 30 分に公表されるデータであることに着目し、データセット内の全日を開示のある日とない日に分類した上で、8 時 30 分以降特定の数のクォートが達成されるまでを一つの標本として扱うことで、各々の母集団を特徴づける母数の差の検定に帰着させることができる。この結果、クォート・ボラティリティの意味で全ての指標に開示効果があること、従来開示効果がないかあるいは殆ど認められないとされてきた物価指標については、ボラティリティだけから見ると従来の説が支持されるものの、クォートの生起間隔の分布は明らかに通常日と指標開示日で異なることなどが観察された。(なおこの研究は、一橋大学・桑名陽一氏、長崎大学・須齋正幸氏との共同研究である)

波動現象観測開始時刻の精密推定

樋 口 知 之

急激な増加/減少などの不連続性をもつ非定常時系列データに含まれる、微少な振幅値の

準周期的な波動成分の観測開始時刻 Onset time と呼ばれる の精密同定の研究を行った。応用対象は、複数の地上観測点で得た磁場変動データ中の、ある周波数帯 (6.7–25 [mHz], 周期で 40–150 秒) で連続スペクトル成分をもつ波動的な様相を呈する信号 Pi 2 型地磁気脈動。簡単に Pi 2 と呼ばれている である。Pi 2 は磁気圏サブストームと呼ばれる、地球と太陽風の相互作用現象の結果蓄積された太陽風エネルギーの、その開放プロセスに密接に関連していることが分かっている。Pi 2 の Onset は、サブストームの Onset time の同定に最も有効な手段の一つであると理解されている。

この信号の波形は多様であり、そもそも客観的にかつ自動的に同定すること自体が難しい問題であった。従来の Onset time の推定方法は、異なる性質の線形フィルタを連続的に適用し、最終的に、従来の知見で得られた Pi 2 の周波数帯の信号に注目するものである。このアプローチだと、1) トレンドの不連続点近傍に含まれる、Pi 2 と同じ周波数帯成分を、誤って Pi 2 だと判断してしまう、2) 同じフィルタを大域的に適用しているため、Onset time の精密推定が不可能である、等の問題が生じる。2) の問題を避けるために、wavelet 解析をもとにした局所的にフィルタの性質をかえるような、いわば Locally Data Adaptive フィルタの採用も考えられるが、wavelet の擬似周期 (スケール) の程度の推定誤差はまぬがれない。本研究では、推定の性能を格段に向上させるため、Onset time の前後で時系列モデルを変えるアプローチを採用した。

時系列全体の区間では定常ではないが、適当な小区間に分割すると、各小区間では定常とみなせる信号は局所定常時系列と呼ばれる。本研究では、不連続性をもあわせもった非定常時系列を取り扱わねばならないため、局所定常のモデルを非定常モデルにまで拡張した。つまり、Pi 2 を観測していない区間では、不連続性をもつトレンド + 滑らかなトレンド + 観測ノイズの 3 成分に分離する。一方、Pi 2 を観測している区間では、さらに準周期的成分および AR モデルで表現できる定常成分の全部で 5 成分に分離するモデルを採用した。Onset time の同定は、時系列データ全体の AIC を最小にするような最適な分割点の探索によって達成された。

不完全情報下における制御系設計に関する研究

宮 里 義 彦

制御のためのモデルの設定と同定から制御手法までを総括的に含む統合化制御系設計理論の構築を考えている。その一環として、モデリングと制御の接点を扱う適応制御の基礎理論の研究や、実用化のための様々な制約を取り除いた適応制御系の設計法、及び関連する非線形制御の研究を行っている。

この数年間は外乱や非線形成分、次数や相対次数に依存しない適応制御系の構成法の研究に関わってきた。その中でこれまでに、可変構造制御系、ハイゲインフィードバックやバックステッピング法などにより、外乱・非線形成分・次数、そして部分的に相対次数についても従来の制約を緩和した適応制御手法を導出することができた。今年度はさらに相対次数に 3 次の幅の不確実性がある場合や、対象の高調波利得の符号に不確実性がある場合でも対処できる適応制御系の構成法、具体的にはモデル規範形適応制御系、適応サーボ系、次数が未知の場合に近似的なモデルマッチングを達成する非線形モデル規範形適応制御系の構成手法についてこれまでの研究をまとめて、宮里 (1999a), Miyasato (1999a, 2000a, 2000b) にあげるような結果を得た。

これらと平行して、バックステッピング法に代わる適応系の安定化手法についても考察を進めた。ハイゲインオブザーバを用いた構造の簡単な適応制御系の構成手法を求め、そのロバスト特性について解析を行い、研究成果をまとめて宮里 (2000b) にあげるような結果を得た。

また従来の適応制御理論が漸近安定性に主眼を置くのに対して、制御性能をもより定量的に考慮する観点から、適応制御の過程を $\mathcal{H}_2/\mathcal{H}_\infty$ 最適制御問題としても定式化することを試みた。モデル規範形適応制御を含む一般的な形式の適応制御問題について、安定解析に用いるリアプノフ関数の一部と Hamilton-Jacobi (Isaacs) 方程式の解を同一視することで、特定の評価関数に対して最適 (または準最適) な 3 つの型の適応制御系の構成法を導出した。さらにシステムに含まれる未知のパラメータを \mathcal{H}_∞ 制御問題における未知外乱と見なすことにより、パラメータの任意の変動に対して安定な非線形適応 \mathcal{H}_∞ 制御系を構成する手法を求めた。それらについても宮里 (1999b, 2000a), Miyasato (1999b, 2000c, 2000d) にあげるような結果を得た。

参 考 文 献

- 宮里義彦 (1999a). 次数と相対次数に依存しない適応サーボ系の一構成法, 計測自動制御学会論文集, **35**(3), 450–452.
- 宮里義彦 (1999b). CLF (Control Lyapunov Function), 計測と制御, **38**(11), p. 731.
- Miyasato, Y. (1999a). Model reference adaptive control for a class of nonlinear systems with unknown degrees and uncertain relative degrees, *Proceedings of 1999 American Control Conference*, Vol. 1, 571–575.
- Miyasato, Y. (1999b). Redesign of adaptive control systems based on the notion of optimality, *Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control*, Vol. 4, 3315–3320.
- 宮里義彦 (2000a). 逆最適性に基づく非線形 H_∞ 制御, 計測と制御, **39**(2), 112–118.
- 宮里義彦 (2000b). 構造の簡単な適応制御系の設計法とそのロバスト性, 計測自動制御学会論文集, **36**(5), 424–430.
- Miyasato, Y. (2000a). A model reference adaptive controller for systems with uncertain relative degrees r , $r + 1$ or $r + 2$ and unknown signs of high-frequency gains, *Automatica*, **36**(6), 889–896.
- Miyasato, Y. (2000b). A design method of universal adaptive stabilizer, *IEEE Trans. Automat. Control* (to appear).
- Miyasato, Y. (2000c). General forms of adaptive nonlinear \mathcal{H}_∞ control for processes with bounded variations of parameters, *IFAC Symposium on System Identification (SYSID2000)* (preprint).
- Miyasato, Y. (2000d). Adaptive nonlinear \mathcal{H}_∞ control for processes with bounded variations of parameters, *Proceedings of 2000 American Control Conference*.

モンテカルロフィルターを使ったマルチ・ファクター モデルの推定

佐藤 整 尚

金利の期間構造の実証分析に対し、理論モデルとして動学的一般均衡理論に基づくマルチ・ファクターモデルを考え、これに対する推定方法として一般化状態空間モデルの枠組みに基づくモンテカルロフィルターによる推定方法を開発した。具体的分析として、円 LIBOR (London InterBank Offered Rate) 及び円金利スワップ市場の時系列データに対しモンテカ

ルロフィルターを適用し, 金利モデル及び推定方法の有効性を確認した. なお, 本研究は当研究所の並列計算機がなければ, できなかったであろうと思われる. あらためて, 並列機の有効性を強く示したものとしよう.

弱電気魚の神経と行動 アイゲンマニアの交流電場と混信回避行動

瀧澤 由美

近年, 脳神経科学の分野に多くの研究者の関心が向けられつつある. 人間の高度な脳のしくみを知るために, 逆に単純化したものとして脊椎動物としては最も下位にある魚の脳に着目し, その神経と行動を繋ぐ信号処理の研究を行った.

弱電気魚は尾部から交流電場を発生して, それを体表面の電気受容器で受け, 水中にある物体のロケーションや個体間のコミュニケーションをおこなう. 近くに似通った周波数の他個体がいると, 電場の混信を回避するため, 自身の周波数を遠ざけるように制御する混信回避行動 (Jamming Avoidance Response: JAR) が知られている. これは混信によって変調された電気刺激を電気受容器で受け, 脳の電気感覚側線葉 (ELL) におけるニューロンの並列階層処理を介して, 周波数差を識別し, 自身の放電器官の周波数を制御する, [センサ-脳-行動] システムである. 電気受容器に人工的な刺激を与え, 周波数制御の様子を測定することにより, 脳 (ELL) の機能を知る事ができる. このような弱電気魚の神経行動学を通じて, 信号・情報をどのように扱うかを生物から学び, 新しい方法の創出を試みる. 本研究は米国バージニア大学生物学部において行った.

参 考 文 献

- Takizawa, Y., Rose, G. and Kawasaki, M. (1998). Resolution of competing theories of the jamming avoidance response in Eigenmannia, *5th International Congress of Neuroethology*, p. 334.
- Takizawa, Y., Rose, G. and Kawasaki, M. (1999). Resolving competing theories for control of the jamming avoidance response: The role of amplitude modulations in electric organ discharge decelerations, *The Journal of Experimental Biology*, **202**, 1377-1386.

マルチメディア トラフィック問題

(客員) 東京電機大学 町 原文 明

ATM ネットワークにおいて異なるサービス品質を要求するサービスを総合化するマルチメディアシステムを考える. 一つは, 音声サービスのように遅れに対して厳しくセルロスには緩やかな品質を要求するものである. もう一つは, データサービスのようにセルロスに対して厳しく遅れには緩やかな品質を要求するものである. この両者の異なるサービス品質要求をみたすため, 音声セル割り込み方式を提案する. 音声セルはデータセルの処理中に割り込みをかけるが, 音声セル自身のバッファ容量は小さい. 一方, データセルは音声セルの割り込みにより遅れが大きくなるが, 十分なバッファ容量をもち, セルロスは

生じないという方式である。ここで、もう一つ注目すべきは、音声サービスが狭帯域サービス (64kbit/s 以下) で非常に多くの端末からのセルを多重化することが可能であるということである。個々の端末からのセルの発生過程がバースト性をもっているとしても、十分に多くの端末からのセルの発生を重畳させると、その重畳過程はポアソンとなることが理論的に証明される。この結果を利用すると、音声サービスの品質評価は勿論のこと、広帯域サービスと目されるデータサービスの品質評価が簡略化される。ここで提案されているモデルと解析結果は、ATM マルティメディアネットワーク設計の実用化に寄与するものである。