

## サブテーマ7：リスク評価のための帰納推論と機能的統計解析のデザイン

### 研究代表者

[統計数理研究所 / 筑波大学] 椿 広計

### 共同研究者

[統計数理研究所] 川崎 能典, 金藤 浩司, 柏木 宣久, 志村 隆彰, 柳本 武美,  
佐藤 整尚, 山下 智志

[統計数理研究所 / 東京大学] 国友 直人

[統計数理研究所 / 岡山大学] 小野 芳朗

[新領域融合研究センター] 公文 雅之, 田野倉 葉子, 友定 充弘, 河合 研一

### 1. 研究目標

リスクの定量的評価は、合理的な判断や政策決定の支援に重要な役割を果たすものである。一方、リスクの科学的評価のための統計的推論は、現代におけるデータ取得環境に照らすと、両極端のニーズへの対応を迫られている。IT技術の進歩等により大規模データの取得が容易な分野では、大量データからの知識発見を促す半自動的な帰納的推論が重要である。これに対して環境アセスメントや新薬の効果判定など、調査・実験のコストが軽視できない領域では、情報取得の機能的デザインも含めた、総合的推論技術の開発が求められている。当サブテーマでは、医薬品・食品、環境、金融・保険の3領域にわたり、上記研究ニーズに関する個別研究の発展による分野横断型理論の進展と適用を主たる活動目標とし、これら組織的研究活動を通じて、プロジェクト型研究を担う人材の育成と情報共有のためのリスク研究ネットワークの構築の実現も目指すものとする。

### 2. 年次研究計画

H17年度に設立したリスク研究ネットワークを利用し、リスク推論様式の情報共有に基づく学際的帰納推論の定式化を推進する。リスク解析の分野横断的な側面を強調し、俯瞰的にプロジェクト型研究を担える特に統計科学での人材養成を目指し、融合プロジェクト研究員や若手研究者を中心に、プロジェクト研究を継続的に推進する。統計的モデリング、時系列解析、統計的予測に基づく制御と管理、極値分布論等の要素技術を、分野横断的に実際問題に即応する形で発展させ、リスク評価に関する情報化時代の新たな科学的推論の形を提案する。

生存時間解析、極値分布論、確率過程論、空間時系列解析等の最新の要素技術と、個別科学におけるリスク解析の現状とのギャップをはかるため、各分野で比較的小規模のワークショップを複数開催し、分野間連携の準備を行う。医薬品・食品安全性研究では、薬剤疫学的手法に必要な安全性データベースの機能的設計と、そこからの安全性情報の帰納的抽出に関する研究を行う。特に、新しい調査デザイン技法の研究は、日本製薬工業会医薬品評価委員会と共同で、薬局、病院、保険診療報酬記録、副作用自発報告の4情報のデータベースの概念設計と情報融合の可能性検

討行。金融保険リスク研究グループは、大学院生・若手研究者を中心としたセミナーを開催し、金融と保険の統合的リスク管理の立場から国際的リスク規制の背後にある数理的側面を、極値理論・確率過程論との接点を中心的に研究する。環境リスク研究グループは、シンポジウム等を開催し、研究成果の普及や交流を図ると共に、引き続き環境リスク評価に関する統計的方法論の研究を推進する。

### 3．平成17年度の研究進捗

医薬品・食品リスク研究においては、薬剤疫学的手法に必要な安全性データベースの機能的設計に向けた新しい調査計画技法の多角的検討(12月7日～8日に日本製薬工業協会との共催でシンポジウム開催)、モンテカルロシミュレーションに必要な乱数の国際標準化(1月アトランタでISO原案提出)等の実践的研究を行った。環境リスク研究においては、ISMシンポジウム「環境科学と統計科学の新たな融合」(9月22日開催)、国際ワークショップ(10月20日開催)等の研究活動を通じて環境リスク研究コンソーシアムを形成し、環境分野への統計的情報基盤の構築を行った。また、環境問題への直接的な貢献窓口として、NPO「環境統計統合機構」を設立した(12月9日)。金融・保険リスク研究では3名のPD研究員を雇用し、主に帰納的推論の立場からクレジット・デフォルト・スワップのリスク解析、非完備市場のモデル化と応用、数理ファイナンスへのゲーム論的接近等に関する研究を進めた。また、国際ワークショップ「リスク管理における統計的技術」を開催(5月24日)、10月から12月は一般向け講演として「統計科学と保険の接点」と題したセミナーを月例開催した。一方、融合プロジェクト研究員として採用した4名の研究員は、各々以下4．に印すような成果を挙げた。

### 4．平成17年度研究成果

#### (1) 知見・成果物・知的財産権等

以下、各プロジェクト研究員の研究成果から得られた知見を記す。成果物としての学術論文は参考文献欄に記す。

#### 「新しい金融ストラクチャードプロダクトに関する総合的リスク解析の研究」

本研究は、最近日本で急速に拡大成長している、信用リスクをヘッジする派生商品 Credit Default Swaps (CDS) 市場の実用的な分析方法の開発を目的とする。CDSは、株式のように上場されて価格情報が公開されているのではなく店頭取引であるため、市場を主導する取引業者による価格情報は複数存在し、その入手は容易ではない。さらに、新しい商品のため信頼できるデータベースは存在していない。従って、研究はデータベースの構築から着手した。取引業者の価格情報を唯一入手しているデータベンダーと契約し、いくつかの価格情報提供社と情報のアクセス承認を交渉するなどデータをめぐる準備に時間がかかったが、ほぼ目処がついたところである。今年度は、分析の第1段階としてCDS市場構造の把握を目指した。研究対象を現在アクティブに取引されている107銘柄に絞り、業種でグルーピングして業種別CDS指数を作成した。一般化パワー寄与率 (Tanokura and Kitagawa (2004)) を適用して業種間の

価格変動の動的な関係の検出を試みた。その結果、特定の銘柄の信用不安による大幅な価格上昇の影響が市場全体に波及していたことが確認でき、また業種の変動特性を新たに検出できた。

#### 「温室効果気体観測技術衛星 GOSAT による気体濃度導出精度の評価」

地球温暖化リスクの主因である二酸化炭素とメタンの地表から大気上端までの濃度を積算した累積濃度(カラム濃度)を観測する衛星 GOSAT(Greenhouse gases Observing SATellite)が、2008 年に打ち上げ予定である。GOSAT から導出された二酸化炭素やメタンのカラム濃度には、大気モデルやセンサに起因する不確かさ、GOSAT で得られた信号(インターフェログラム)から輝度スペクトルへ変換する際に生じる不確かさが含まれる。そこで、本研究では、これらの誤差要因による二酸化炭素とメタンの導出精度の劣化リスクを、統計技術により評価した。特に、各誤差要因については機能的モデル化を行い、これらの誤差要因による GOSAT で観測されるスペクトルの変化をシミュレーションにより帰納的に検討した。

#### 「ゲーム論的確率およびファイナンスの最適戦略的研究」

ゲーム論的確率論では、測度論を使うことなしに大数の法則、中心極限定理、数理ファイナンスにおける価格付けの公式等が、市場のゲーム機能をベースに再定式化できる。平成 17 年度は「ゲーム論的確率論とカルバック情報量」というテーマで研究を行い、新たな金融リスク評価の枠組みの基礎を構築した。具体的には「賭けをする人」を表す Skeptic と「自然」あるいは「現実」を表わす Reality との間の交互手順・逐次完全情報ゲームを定式化し、特にコイン投げゲームを含めた「結果当てゲーム」において Skeptic の資金を限りなく増やすためのベイズ的最適戦略を研究した。例えばコイン投げゲームにおいては Reality の行動系列、即ち各コイン投げの結果に対してベータ二項事前分布を想定することにより、この事前分布に関する Skeptic の最適戦略および最適資金過程を機能的に記述できる。さらにこの資金過程を漸近評価することによって、最適資金過程が Reality の行動平均とリスク中立確率との間のカルバック情報量に支配されていること、そしてコイン投げに対するゲーム論的大数の強法則が収束率、収束因子を含めた精度のよい形で求められることがわかった。

#### 「ジャンプ拡散モデル：日本株式市場への応用」

オプションの価格評価モデルとして最も有名な Black - Scholes モデルの枠組みにおいては、株価過程は幾何ブラウン運動に従うと仮定され、対数収益は正規分布に従うことになる。しかしながら、実際に観察される収益率の分布は正規分布よりも裾が厚く、非対称な分布となることがよく知られている。このような収益率の分布に見られる特徴を考慮したモデルとして、本研究では Kou (2002) の提唱するジャンプ拡散モデルを用いてオプションの評価を行い、Black-Scholes モデルから得られる結果との比較・検討を行った。

分析手順として、まず株価過程に幾何ブラウン運動を仮定することが適切であるかどうかを、つまり、対数収益に対して裾の厚い分布によるモデリングが適当であるかどうかを、株価過程におけるジャンプの有無の検定という形で検証し、ジャンプ拡散モデルを利用することの妥当性を確認した。次いで Black-Scholes モデル と Kou モデルの価格付けパフォーマンス

ンスを比べるために，両モデルからそれぞれ計算される理論価格が，市場で観察されるオプション価格をどの程度説明できるかを数量的に計測しその比較を行った．その結果，原資産の挙動をより正確に表現できる Kou モデルの方が Black-Scholes モデルに比べ，優れたパフォーマンスを示すことが明らかとなった．

## ( 2 ) 成果発表及び著書執筆等

### 〔 論文発表 〕

Tanokura, Y. and G. Kitagawa (2004), Modeling influential correlated noise sources in multivariate dynamic systems, in: M. H. Hamza (ed.), *The 15th IASTED International Conference on Modelling and Simulation*, ACTA Press, Marina del Rey, CA, USA, 19-24.

Kumon, M. and Takemura, A. On a simple strategy weakly forcing the strong law of large numbers in the bounded forecasting game, ISM Research Memorandum No.951.(学術誌に投稿中)

Kumon, M. Studies of information quantities and information geometry of higher order cumulant spaces, ISM Research Memorandum No.961. (学術誌に投稿中)

Kumon, M., Takemura, A. and Takeuchi, K. Capital process and optimality properties of Bayesian Skeptic in the fair and biased coin games, ISM Research Memorandum No.963. (学術誌に投稿中)

Kumon, M., Takemura, A. and Takeuchi, K. Game-theoretic versions of strong law of large numbers for unbounded variables, ISM Research Memorandum No.984. (学術誌に投稿中)

S. Lee, S. Park, K. Maekawa and K. Kawai, Test for Parameter Change in ARIMA Models, To appear in *Communications in Statistics: Simulation and Computation*, Vol. 35, 2, 2006.

Maekawa, K., S. Lee, T. Morimoto and K. Kawai, Jump Diffusion Model: An Application to the Japanese Stock Market, In Zerger, A. and Argent, R.M. (eds) MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp. 893-899, ISBN: 0-9758400-2-9.

Morimoto, T. and Kawasaki, Y. (2005) An Empirical Comparison of CARCH Models Based on Intraday Value at Risk, *Advances in Computational Methods in Sciences and Engineering 2005*, Simos, T. and Maroulis, G.(eds.), Brill Academic Publishers, Leiden, The Netherlands, Vol. 4, 1299-1302.

Kawasaki, Y. and Ando, T. (2005) Estimation term structure using nonlinear splines: a penalized likelihood approach, *MODSIM05 International Congress on Modeling and*

*Simulation, Advances in Applications for Management and Decision Making*, Eds. Zerger, A. and Argent, R. M., Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc., Melbourne, 864-870

伊藤賀 操, 加藤 由佳梨, 出口 博則, 小野 芳朗, 榊原 均 (2005) 日本産 *Reboulia hemisphaerica* の遺伝的多様性, 性表現, 分枝様式の実態と種の認識, *Hikobia*, 14, 251-261.

伊藤賀 操, 加藤 由佳梨, 山口 勇, 小野 芳朗, 榊原 均 (2005) コケ植物を用いたファイトレメディエーション, 1 - ホンモンジゴケのCu蓄積特性と燃焼飛灰由来のPb浄化の試み -, *Hikobia*, 14, 263-271.

加藤 謙一, 中村 朋之, 菱沼 早樹子, 鈴木 滋, 斎藤 善則, 橋本 俊次, 柏木 宣久 (2005) ダイオキシン類の発生源推定に関する研究 - 県内ダイオキシン類分布の解析, 全国環境研会誌, 30, 215-221.

Koga, T., Kanefuji, K. and Nakama, K. (2005) Individual reference intervals of hematological and serum biochemical parameters in cynomolgus monkey, *International Journal of Toxicology*, 24, 377-385.

國友 直人, 高岡 慎 (2005) 経済季節性と季節転換時系列モデル, 日本統計学会誌, 35, 1-26.

國友 直人, 一場 知之 (2006) 多期間リスク管理法と変額年金保険, 日本統計学会(和文)誌, 35 (2).

Shimura, T. and Watanabe, T. (2005) Infinite divisibility and generalized subexponentiality, *Bernoulli*, 11(3), 445-469.

椿 広計 (2006) 実学としての統計科学, 三田評論, 1087, 22-30.

椿 広計, 平山 佳伸, 熊川 寿郎, 飯塚 悦功, 桑嶋 健一, 小宮山 靖他 (2005) 臨床評価 Vol.32 No.2-3, 特集「医薬品のリスクマネジメント: プロダクトと開発プロジェクト」 pp.345-374.

山下 智志 (2005) デフォルト確率推計モデルの相互比較と寛厳正の評価, FSA リサーチ・レビュー.

柳本 武美 (2005) 医療を支える科学的証拠の収集と評価, 科学, 75(5), 598-603.

柳本 武美 (2005) リスクの計量評価 考え方と技法, ファルマシア, 41(5), 422-426.

大西 俊郎, 柳本 武美 (2005) Dual structure in the conjugate analysis of curved exponential families, 京都大学数理解析研究所講究録, 1439, 202-220.

### 〔口頭発表〕

田野倉葉子、業種別株価変動の国際的波及の検出、2005 年度統計関連学会連合大会、広島プリンスホテル、2005 年 9 月 14 日

友定充洋、椿広計、横田達也(国立環境研究所)、次期環境観測衛星 GOSAT から二酸化炭素濃度の推定について、ISM シンポジウム

公文雅之、キュムラント情報量に基づく統計的推測、2005 年度 統計関連学会 連合大会 9 月 13 日 広島プリンスホテル .

公文雅之、ゲーム確率論的大数法則の弱強制戦略について、2005 年度 統計関連学会 連合大会 9 月 15 日 広島プリンスホテル .

公文雅之、Kullback information in game theoretic probability、Tutorial workshop on game-theoretic probability and related topics、3 月 18 日 東京大学本郷キャンパス工学部 6 号館 セミナー室 A .

前川 功一、SangYeol Lee, 森本 孝之、河合 研一\*、Jump Diffusion Model: An Application to the Japanese Stock Market, 2005 年度 統計関連学会連合大会 2005 年 9 月 14 日、広島プリンスホテル.

Maekawa, K., S. Lee, T. Morimoto\* and K. Kawai, Jump Diffusion Model: An Application to the Japanese Stock Market, MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 13, 2005, Melbourne Australia.

Maekawa, K., S. Lee, T. Morimoto and K. Kawai\*, Jump Diffusion Model: An Application to the Japanese Stock Market, Waseda Workshop 2006, January 23, 2006, Tokyo Japan.

Xinhong Lu\*, Koichi Maekawa, Ken-ichi Kawai, Estimating Bivariate GARCH-Jump Model Based on High Frequency Data: the case of revaluation of Chinese Yuan, 平成 17 年度 (第 13 回) 関西計量経済学研究会, 2006 年 2 月 19 日, 神戸大学.

Morimoto, T. and Kawasaki, Y. An Empirical Comparison of CARCH Models Based on Intraday Value at Risk, International Conference on Computational Methods in Sciences and Engineering 2005, Loutraki, Greece, October 22, 2005.

## 5 . その他

本課題の実行母体であるリスク解析戦略研究センターは、産業界からも注目を浴びており、以下のようなメディアにも取り上げられている。

- 新聞記事「市販後調査の重要性を強調～製薬協・統計数理研、産学協同PJで統計的研究」、  
日刊薬業(2005年12月7日)
- 新聞記事「リスク分析の知恵結集」日本経済新聞(2006年1月5日)
- 椿広計(寄稿)「統計家の考えるマネジメント」旬刊経理情報(2006.2.20号)

また、以下のような研究集会を開催した。

- リスク解析戦略研究センター開所記念講演会の開催(11月2日)
- 国際シンポジウム「医薬品の安全性情報を考える」の開催(12月5日～6日、日本製薬工業会と共催)
- イベント確率評価、イベント発生時間評価に関する公開講座(12月20-21日、1月30-31日)
- ISMシンポジウム「環境科学と統計科学の新たな融合」開催(9月22日)
- ISMオープンフォーラム「統計科学と環境科学」(9月22日)
- リスク解析戦略研究センターワークショップ「Environmental Correctives and Measures for Sustaining Ecological Conditions」(10月20日)
- セミナー「リスク管理における統計的技術」開催(5月22日)
- 研究集会「極値理論の工学への応用」開催(9月8-9日)
- ISMオープンフォーラム「統計科学と保険の接点」開催(10月～12月)