

平成 21 年 5 月 13 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18540134

研究課題名（和文） 確率離散力学系の対称性とその応用

研究課題名（英文） Symmetry on stochastic discrete dynamical systems
and the related topics

研究代表者

三澤 哲也（MISAWA TETSUYA）

名古屋市立大学・大学院経済学研究科・教授

研究者番号： 10190620

研究成果の概要：不確実性を内包する現象やそれに由来するデータは我々の身の回りに無数に存在する。それを離散的に記述する系を確率離散力学系とよぶ。本研究ではこのような系の応用解析により、オプションやプロジェクトのリスク価値評価、経済時系列分析、遺伝モデルの統計解析等の各分野において成果を挙げた。その中で効用無差別価格によるリスク価値評価が力学理論の重要概念である対称性を通じて捉えうることを見出し、当テーマのさらなる展開可能性につなげた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	510,000	3,410,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：数学・数学一般（含確率論・統計数学）

キーワード：確率力学系、対称性、効用無差別価格、リスク評価、遺伝子系図、structured coalescent、Generalized Ewens' sampling formula、偶数階非線形楕円型方程式

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、確率微分方程式は、物理学、工学、生物学等の自然科学の分野はもとより、ファイナンス理論、経済モデル等の社会科学の分野においても何らかの不確実性を内包する現象を記述する道具として頻りに用いられている。研究代表者は、このような確率微分方程式で記述される力学系を「確率力学系」と呼び、系の力学構造と深く関わる重要概念である「対称性・保存量概念」の確率力学系における拡張定式化とその応用研究を行ってきた。

(2) ところで、最近の高性能計算機の汎用化に伴い、確率力学系の数値近似法やマルコフ連鎖をベースにした確率アルゴリズムの応用など、離散化された確率系の研究に注目が集まっている。また不確実性を内包する現象に由来するデータは時系列モデルとして記述されることが多いが、これも離散的な確率系として捉えることができる。ここではそれらを一括して「確率離散力学系」と呼ぶが、これにかかわる対称性、特にその有用性に焦点を置いた研究は、代表者が知る限りでは、あまり見られなかったようである。

2. 研究の目的

(1) 1. で述べた背景に基づき、本研究では、確率離散力学系を経済、ファイナンス、統計学、遺伝学等の分野における個別課題への応用解析手段として用いて、その解決と今後の展開を探るとともに、その中で上記の対称性や保存量概念が有効に働く可能性があるような事例を調査研究することにある。

(2) 具体的に扱った対象分野は以下のとおりである。代表者・三澤哲也は、電力システムや計量ファイナンス分野における確率シミュレーション、リスク評価問題、時系列モデル分析を担当した。あわせて、以下の各研究分担者・連携研究者の成果を取りまとめる中で、対称性概念が有用となりうる事例の調査検討を行った。研究分担者(18,19年度)・連携研究者(20年度)・宮原孝夫は、数理ファイナンスに関連して、金融オプション、リアル・オプションの理論研究ならびにプロジェクトのリスク評価研究を担当した。研究分担者(18,19年度)・連携研究者(20年度)・能登原盛弘・清水昭信はともに遺伝子モデルに確率系の統計数理について担当した。研究分担者(18,19年度)・連携研究者(20年度)・橋本佳明は、確率研究とも関連が深い関数方程式分野において、偶数階非線形楕円型方程式の解の正則性の問題に取り組んだ。

3. 研究の方法

研究代表者、研究分担者、連携研究者は確率系に関わるそれぞれの個別課題に取り組むと共に、年度末に成果を代表者に集約、その中で、代表者が対称性・保存量概念が有効に働きうる事例について検証を行った。この間、各研究者は、国内外の学会・研究会等への出席、関連研究者の招聘等で研究情報収集を実施した。特に三澤哲也は「ファイナンス現象と統計解析セミナー」を、宮原孝夫は「数理ファイナンスセミナー」や「リスク ワークショップ」などの研究会を主催し、関連する分野の研究者との交流を深めた。研究に関連する計算機類、ソフトや図書等の購入も適宜行った。

得られた成果は、5. で述べる雑誌への論文発表、学会等での口頭発表、HPへの情報掲載等の形で逐次公表を行った。

4. 研究成果

以下、2. の(2)で述べた代表者、研究分担者、連携研究者の担当に沿って成果を報告する。

(1) 代表者・三澤哲也は、確率離散力学系の具体的な応用対象として、電力ファイナンス

や計量ファイナンス分野の研究に従事し、以下のような主たる関連成果を挙げた。1つ目は、離散マルコフ連鎖系による時系列データの最適 Wavelet 平滑化法を定式化し、日本の10地域の経済成長時系列データを題材にその変動パターン分析に有用であることを確認した。2つ目は、国内外の電力卸取引市場価格の時系列データを宮内らとともに作成した回帰モデルにより分析し、各市場の価格特性を見出した。3つ目は、気温変動による収益リスクをヘッジする気温オプションの価値評価を効用無差別価格理論と確率数値シミュレーションにより行い、あわせて価格のリスク感度分析を行った。4つ目は、下の(3)で述べられている研究分担者・連携研究者である宮原孝夫の成果を利用し、効用無差別価格理論と確率数値シミュレーションにもとづくリスクを考慮した発電設備プロジェクトの価値評価分析を行った。

(2) 代表者・三澤哲也は、以上のような応用研究を行うなかで、研究課題にある確率系の対称性概念に関連する成果として、以下の事実を見出した。すなわち、上述のプロジェクト計画や気温オプションなど、市場を通じては十分には価値評価できない「リスク=不確実性」を内包する系については、それを「効用無差別価格理論」によって評価することが有効な手段として現在考えられているが、実はその評価法が、いわゆる確率力学系(離散系の場合だけでなく連続系の場合でも同様)の“期待値不変量(保存量)=期待値を通じた対称性”の枠組みで捉えうるのである。

この成果は、本研究課題の主テーマ - 確率離散力学系の対称性研究 - の今後の展開にとって重要なものであると考える。実際、当該テーマが、単に数理的・力学的な面で意味を持つだけでなく、ファイナンス分野における様々な「リスク評価」という実用面でも意味のある概念になる可能性が見出せたからである。今後は、この観点からの研究展開を試みていきたい。

(3) 研究分担者(18,19年度)・連携研究者(20年度)・宮原孝夫は、確率系の応用の一環として、金融オプション及びリアルオプションの理論とその応用・適用を目指したリスク及びプロジェクトの価値評価法を研究した。具体的には、現在の企業ファイナンスで標準的な評価法である正味現在価値法(NPV)による評価を、より有用な評価法にすることを目的にして研究した。

研究を進めるに当たっては、「数理ファイナンスセミナー」や「リスク ワークショップ」を開催し、関連する分野の研究者と情報の交換やディスカッションを行った。その研究の成果として、効用無差別価格の理論とリ

アルオプシオン・アプローチを組み合わせた評価法の有効性が分かってきた。

今後この評価法を動学的な形に発展させることにより、理論的にも実践的にも優れた評価法にすることの見通しがついた。

(4) Kingman および田嶋によって 1980 年代初めに導入された Coalescent モデルは集団遺伝学において遺伝子系図を表現するモデルとして理論、実験の両面から広範に研究されている。当該確率モデルに地理的「構造」を内包させた Structured coalescent モデルを提唱し、それが国内外で応用され高い評価を得ている研究分担者(18,19年度)・連携研究者(20年度)・能登原盛弘は、さらに集団構造を考慮に入れた拡張モデルにおいて、その重要指標である Coalescence time の分布を計算機実験によって求め、移住率が非常に大きな場合及び小さな場合の解析的な近似解と比較した(2006)。その結果、移住率が大きな場合には全集団は単一の任意交配集団の様に振舞うが、その有効個体数は集団構造によって決定されることがわかった。

ところで Coalescence time の分布は Feynman-Kac の式を用いて表現されるが、これにマルコフ連鎖の大数の法則、中心極限定理を適用し移住率が大きな場合の集団構造の影響をより詳細に表現する指標を得た(2009, J. Math. Bio 掲載予定)。

Structured coalescent モデルは遺伝子系図の解析において、生物集団の遺伝的多様性を解析する理論として系統地理学など多方面へ応用できると考えている。

(5) 研究分担者(18,19年度)・連携研究者(20年度)・清水昭信は、遺伝モデルに関連した確率系研究に従事し、以下の2つの成果を上げた。1つめは、対称性に関連して、比較的最近の半田賢司の遺伝モデルを記述する測度値確率過程に関する論文 “Sampling formulae for symmetric selection”, Electron. Comm. Probab., 10 (2005) の内容と 1970 年代の G.A. Watterson の仕事の関係を明らかにした。特に、サイズ n の遺伝子サンプルに含まれる対立遺伝子の平均個数は、(symmetric selection を考慮しても) n が大きいとき、 $2v \log n$ (v は突然変異のパラメータ)であることを明らかにした。また、頻度がある正数より大きい対立遺伝子数の平均については、Watterson の結果の拡張となる結果が得られることを示した。

以上の成果は、異なるアプローチによる過去の結果の相互関係を明らかにしており、今後の発展の基礎を築くものである。

2つめは、1次元加法過程の特別なクラスである従属加法過程から自然に導かれるランダム離散確率分布に関する一つの問題を

研究した。この分布に従う集団から、 n 個の点を抽出するとき構成されるヤング図形上の確率分布についての 2002 年の研究と J. Bertoin の最近の仕事(2006)との関係を明らかにした。

(6) 研究分担者(18,19年度)・連携研究者(20年度)・橋本佳明は、確率系の解析とも関連が深い関数方程式分野において、2階非線形楕円型方程式の解の正則性の問題に取り組み、それを加藤の方法で示した。この方法はその見通しのよさから、さらに高階の非線形楕円型方程式に対しても拡張することが期待でき、この観点からこれまでに得られていた 2 階の方程式についての結果を 2 m 階のケースに拡張する研究に引き続き取り組んでいる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 19 件)

- 1 江本麗行、三澤哲也、「限界効用による気温オプション価格付けとリスク感度分析」、リアルオプション研究、第 1 巻、pp.47-67、(2008)、査読有
- 2 宮内肇、今村総司朗、三代純也、三澤哲也、「撤退オプションを考慮した UNPV 法による発電事業価値評価」、電力技術、電力系統技術合同研究会資料、PE-08-108、PSE08-117、pp.51-56、(2008)、査読なし
- 3 森脇成彦、宮原孝夫、「MEMM に基づいた幾何安定過程オプション価格の実証分析」、MTEC ジャーナル、第 20 号、pp.71-88、(2008)、査読なし
- 4 Yoshio Miyahara、“Value Measures for Project Evaluation”, Discussion Papers in Economics, Nagoya City University、第 496 号、pp.1-15、(2009)、査読なし
- 5 Morihiro Notohara、“An application of the central limit theorem to coalescence times in the structured coalescent model with strong migration”, Journal of Mathematical Biology (掲載決定済)、査読有
- 6 清水昭信、「ランダム離散分布にもとづく抽出公式についての一つの注意」、統計数理研究所共同研究レポート「無限分解可能過程に関連する諸問題(13)」、第 225 巻、pp.56-59、(2009)、査読なし
- 7 Toshihiro Ito, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa、“Regression Analysis of Electric Power Market with New

- Meteorological Explanatory Variable ”, Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering 2007、ICEE-157、pp.1-4、(2007)、査読有
- 8 Yoshiyuki Emoto and Tetsuya Misawa、 “ Marginal value approach to pricing Temperature options and its empirical example of daily temperatures in Nagoya ”、オイコノミカ、第 44 巻、pp.1-14、(2007)、査読なし
- 9 H. Miyauchi, K. Miyahara, T. Misawa and K. Okada、 “ Risk assessment for generation investment based on utility indifference pricing ”、Proceedings of CIGRE Symposium Osaka Japan 2007、 “ System Development and Asset Management under Restructuring ”、Paper No.405、pp.1-6、(2007) 査読有
- 10 M. Jeanblanc, S. Kloeppel and Y. Miyahara、 “ Minimal f-q martingale measures for exponential Levy processes ”、Annals of Applied Probability、Vol.17、pp.1615-1638、(2007)、査読有
- 11 A. Shimizu、 “ Some remarks on the Watterson-Handa model incorporating symmetric selection ”、統計数理研究所共同研究レポート 195、 「無限分解可能過程に関連する諸問題 (11)」、統計数理研究所、pp.99-111、(2007) 査読なし
- 12 Takakazu Mori and Tetsuya Misawa、 “ Similarity Analysis of Time Series Data by WISAM ”、Journal of the Japanese Society of Computational Statistics、Vol.19、pp.15-26、(2006)、査読有
- 13 Tomoya Uno, Tomohiro Morikawa, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa、 “ Investigation on Seasonal Transition of the Power Price in Day-ahead Electric Power Market by Chow Test ”、Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering 2006、PS2-PR2-21 006-000172、pp.1-4、(2006) 査読有
- 14 Hajime Miyauchi Toshihiro Ito and Tetsuya Misawa、 “ Regression Analysis of Electric Power Price Using Meteorological Information ”、Proceedings of 2006 International Conference on Power System Technology、PS3-18、pp.1-6、(2006) 査読有
- 15 Y. Miyahara、 “ The [GLP & MEMM] Pricing Model and Related Problems ”、Proceedings of the 5th Ritsumeikan International Symposium “ Stochastic Processes and Applications to Mathematical Finance ”、pp.125-156、(2006)、査読有
- 16 M. Jeanblanc and Y. Miyahara、 “ Variance minimal martingale measures for geometric Levy processes ”、Discussion Papers in Economics, Nagoya City University、No444、pp.1-22、(2006) 査読なし
- 17 宮原孝夫、 「期待効用理論に基づくプロジェクトの価値評価法」、Discussion Papers in Economics, Nagoya City University、No.446、pp.1-21、(2006)、査読なし
- 18 Notohara, M. and Umeda, T.、 “ The coalescence time of sampled genes in the structured coalescent model ”、Theoretical Population Biology、Vol.70、pp.289-299、(2006) 査読有
- 19 Hashimoto, Y.、 “ A remark on the analyticity of the solutions of the non-linear elliptic partial differential equations ”、Tokyo Journal of Mathematics、Vol.29、pp.271-281、(2006) 査読有
- 〔学会発表〕(計 31 件)
- 1 宮内肇、今村総司朗、三代純也、三澤哲也、 「撤退オプションを考慮した UNPV 法による発電事業価値評価」、平成 20 年・電力技術、電力系統技術合同研究会、熊本大学黒髪南地区、2008 年 8 月 6 日
- 2 宮内肇、伊東利紘、三澤哲也、 「気温関数を説明変数とする電力市場価格の回帰分析」、平成 20 年・電気学会電力・エネルギー部門大会、広島大学、2008 年 9 月 25 日
- 3 三澤哲也、 「UNPV 法の簡約化から導かれるプロジェクト評価回帰モデル」、Risk Workshop 2009 「リスクと価値の評価法」、名古屋市立大学大学院経済学研究科、2009 年 2 月 7 日
- 4 西山信行、宮内肇、三澤哲也、 「New England 電力市場価格における回帰分析」、平成 21 年電気学会全国大会、北海道大学高等教育機能開発総合センター、2009 年 3 月 17 日
- 5 宮原孝夫、 「Geometric Levy Process Models in Finance」、OR 学会・研究部会 「ファイナンスと意思決定」、東京、2008 年 6 月 18 日
- 6 Yoshio Miyahara、 “ Calibration of Option Pricing Models Based on the Geometric Stable Processes and the Minimal Entropy Martingale Measures ”、5-th World Congress of Bachelier Finance Society、London、2008 年 7 月 16 日
- 7 宮原孝夫、 「期待効用理論に基づくプロジェクトの価値評価法」、日本リアルオプション学会 「企業金融工学フォーラム」、東京、2008 年 7 月 31 日

- 8 Yoshio Miyahara, "Option Pricing based on the Geometric Stable Processes and the Minimal Entropy Martingale Measures", 2008 Daiwa International Workshop on Financial Engineering, 東京、2008年8月4日
- 9 宮原孝夫, 「プロジェクト評価のためのリスク尺度と価値尺度」, 日本リアルオプション学会、東京、2008年11月9日
- 10 清水昭信, 「ランダム離散分布にもとづく抽出公式についての一つの注意」, 統計数理研究所共同研究集会「無限分解可能過程に関連する諸問題」, 統計数理研究所、2008年11月7日
- 11 Toshihiro Ito, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, "Regression Analysis of Electric Power Market with New Meteorological Explanatory Variable", International Conference on Electrical Engineering 2007, Hotel Nikko Hongkong, Hongkong, 2007年7月10日
- 12 宮内肇, 森川智博, 伊東利紘, 三澤哲也, 「原油市場価格と電力市場価格の関連性について」, 平成19年電気学会電力・エネルギー部門大会、八戸工業大学、2007年9月14日
- 13 H. Miyauchi, K. Miyahara, T. Misawa and K. Okada, "Risk Assessment for Generation Investment based on Utility Indifference Pricing", CIGRE, Osaka 2007, "System Development and Asset Management under Restructuring", Rihga Royal Hotel, Osaka Japan, 2007年11月3日
- 14 三代純也, 宮内肇, 三澤哲也, 「UNPV法による火力発電事業の事業価値評価」, 平成20年電気学会全国大会、福岡工業大学、2008年3月21日
- 15 伊東利紘, 宮内肇, 三澤哲也, 「New England 電力市場価格の回帰分析の再検定」, 平成20年電気学会全国大会、福岡工業大学、2008年3月21日
- 16 Yoshio Miyahara, "Option Pricing Based on the Geometric Stable Processes and the Minimal Entropy Martingale Measures", Workshop on Advanced Mathematical Methods for Finance, ウィーン工科大学、ウィーン、オーストリア、2007年9月18日
- 17 能登原盛弘, 「合祖時間の分布と分集団構造を表現する1指標」, 日本遺伝学会、岡山大学理学部、2007年9月20日
- 18 Tomoya Uno, Tomohiro Morikawa, Hajime Miyauchi and Tetsuya Misawa, "Investigation on Seasonal Transition of the Power Price", the International Conference on Electrical Engineering 2006, YongPyong Resort, Korea from July 9 to 13, 2006.
- 19 Toichiro Asada, Toshio Inaba and Tetsuya Misawa, "Price Flexibility and Instability in a Macrodynamical Model with a Debt Effect", 2006 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Royal Hotel Carlton, Bologna, Italy, September 11 - 14, 2006.
- 20 伊東利紘, 森川智博, 宮内肇, 三澤哲也, 「気温を考慮した電力市場価格の回帰分析」, 平成18年電気学会電力・エネルギー部門大会、琉球大学、2006年9月15日
- 21 宮内肇, 森川智博, 三澤哲也, 「電力前日市場価格と原油先物価格の関連について」, 平成18年電気学会電力・エネルギー部門大会、琉球大学、2006年9月15日
- 22 Hajime Miyauchi, Toshihiro Ito and Tetsuya Misawa, "Regression Analysis of Electric Power Price Using Meteorological Information", the International Conference on Power System Technology 2006, Chongqing, China from October 22 to 26, 2006.
- 23 宮原和彦, 三代純也, 宮内肇, 三澤哲也, 「効用無差別価格に基づく発電設備投資に対するリスク評価」, 平成19年電気学会全国大会、富山大学、2007年3月17日
- 24 Yoshio Miyahara, "Minimal variance martingale measures for geometric Levy processes", BFS2006 International Congress, 東京、2006年8月19日
- 25 Yoshio Miyahara, "Minimal distance martingale measures for geometric Levy processes", Workshop on Mathematical Finance and Stochastic Control (大阪大学)、ホリディイン京都、2006年8月25日
- 26 宮原孝夫, 「期待効用理論に基づくプロジェクトの価値評価法」, 日本リアルオプション学会、早稲田大学、2006年11月11日
- 27 宮原孝夫, 「期待効用理論に基づくプロジェクトの価値評価法」, ファイナンス・ワークショップ(南山大学)、2006年12月3日
- 28 宮原孝夫, 「期待効用理論に基づくプロジェクトの価値評価法」, 滋賀大リスクセンター、2006年12月8日
- 29 宮原孝夫, 「期待効用理論に基づくプロジェクトの価値評価法」, Risk Workshop(名古屋市大)、2007年2月3日
- 30 Morihiro Notohara, "Genealogy of a Unique Event Polymorphism", Japanese-Korean Joint Meeting for Mathematical Biology, 九州大学、2006

年 9 月 16 日
31 能登原盛弘、「ユニーク事象としての突然
変異の系図とアレルの年齢」、日本遺伝学
会第 7 8 回大会、つくば国際会議場、2006
年 9 月 26 日

〔その他〕

大学データベース・個人ホームページ等

<http://reswww.cc.nagoya-cu.ac.jp/rd/search/researcher/10190620/index-j.html> (大
学・研究者データベース・研究代表者・三澤
哲也分)

<http://www.econ.nagoya-cu.ac.jp/~misawa/>
(研究代表者・三澤哲也個人 HP)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三澤 哲也 (MISAWA TETSUYA)
名古屋市立大学・大学院経済学研究科
・教授
研究者番号：10190620

(2) 研究分担者 (以下全員平成 18、19 年度のみ)

宮原 孝夫 (MIYAHARA YOSHIO)
名古屋市立大学・大学院経済学研究科
・教授
研究者番号：20106256
能登原 盛弘 (NOTOHARA MORIHIRO)
名古屋市立大学・大学院システム自然科学
研究科・教授
研究者番号：30347421
清水 昭信 (SHIMIZU AKINOBU)
名古屋市立大学・大学院システム自然科学
研究科・客員教授
研究者番号：10015547
橋本 佳明 (HASHIMOTO YOSHIAKI)
名古屋市立大学・大学院システム自然科学
研究科・教授
研究者番号：50106259

(3) 連携研究者 (以下全員平成 20 年度のみ)

宮原 孝夫 (MIYAHARA YOSHIO)
名古屋市立大学・大学院経済学研究科
・教授
研究者番号：20106256
能登原 盛弘 (NOTOHARA MORIHIRO)
名古屋市立大学・大学院システム自然科学
研究科・教授
研究者番号：30347421
清水 昭信 (SHIMIZU AKINOBU)
名古屋市立大学・大学院システム自然科学
研究科・客員教授

研究者番号：10015547
橋本 佳明 (HASHIMOTO YOSHIAKI)
名古屋市立大学・大学院システム自然科学
研究科・教授
研究者番号：50106259