

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号： 10101
 研究種目： 基盤研究(C)
 研究期間： 2010 ～ 2012
 課題番号： 22500195
 研究課題名（和文）実データ解析に基づく実証的視点からの情報統計力学の再構築
 研究課題名（英文）Reconstructing statistical mechanics of information from the view point of empirical data analysis
 研究代表者
 井上 純一（JUN-ICHI INOUE）
 北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授
 研究者番号： 30311658

研究成果の概要（和文）：実データ解析の知見に基づいて、情報統計力学の理論的基盤を整備した。特に、画像処理、群知能シミュレーション、社会システムのそれぞれの課題に対し、顕著な結果を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：We reconstructed statistical mechanics of information by making use of empirical data analysis. In particular, we could obtain remarkable results in the research fields of image processing, artificial flocks and social systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目：分科 情報学，細目 感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：情報統計力学，実データ解析，計算物理学，多体問題，経済物理学

1. 研究開始当初の背景

情報統計力学はその守備範囲を広げ、解析技術としても着実に数理的深化を遂げつつある。この大きな流れは日本を中心とし、欧州諸国を巻き込んだ広がりを見せている。しかし、事前分布の仮定 --- モデル選択 --- 等の実証的検討はなされていない。既存の確率モデル/数理モデルを実データ解析の観点から実証的に検証し、簡便さから採用されていた仮定を再検討すべき時期がきている。

2. 研究の目的

数理的取り扱い易さのため理想化/単純化さ

れていた情報処理の確率モデルを実データとの整合性を考慮することで実証的に検討・改良し、実データ解析の要請に耐える確率モデルを用いた情報処理の性能評価を遂行するため、情報統計力学の数理基盤を整備する。すなわち、本研究は、これら確率モデルに実データからの実証的視点を導入し、それともなって複雑化する確率モデルの解析を遂行するための各種方法論の改良・強化を行う。

3. 研究の方法

本研究は既存の確率/数理モデルの構築に実証的視点を導入する。

次の3層フェーズからなる。

- (1) データ収集
- (2) データ解析
- (3) 確率モデリングとその性能評価

上記の(1)-(3)を段階的、重層的に遂行する。

以下、結果のうちの幾つかを紹介する。

4. 研究成果

- (1) **画像:** 事後確率が正規分布でない場合のベイズ推定構成の第一歩として、ランジュバン方程式からの長時間サンプリングによるベイズ推定値の構成方法を検討した。この方法により、従来のボルツマン分布を事後確率とする推定値をMCMC法と同様に求めることができた。また、研究対象

- (2) **社会システム:** (2-A) 金融データ: ダブルオークション市場におけるBid-Askスプレッドの統計的性質が、相関関数や応答関数などの動的マクロ量の振る舞いに与える影響を調べ、既存の Madhavan-Richardson-Roomans 理論では説明できない変動型Bid-Askスプレッドを持つ市場の統計的性質を説明するマイクロモデルを構築し、実データをよりよく説明した。また、東日本震災前後の東証株式市場の振る舞いを特徴づけるため、銘柄間相互相関を「距離」とし、多変量解析法の一つである「多次元尺度構成法」を用い、銘柄間の関係を二次元平面内散布図として可視化する方法を提案 (図1参照)。

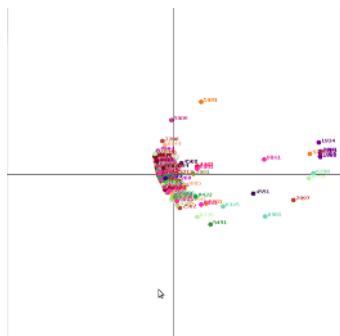


図1: 東日本大震災直後の市場に見られる協同現象。

また、散布図をクラスタリング、得られる<<クラスタ数の変化>>, および、混合正規分布で散布点を当てはめた際の<<赤池

情報量規準の大きさの変化>>で特徴づけることを試み、後者は震災前後で大きく減少することを明らかにした。さらに、銘柄間相関を「外場」とする平均場イジングモデルによって震災前後の複数銘柄価格を同時予測する方法を提案し、リーマンショック前後の為替実データに対し、有効性を数値的に検証した。これら得られた結果を論文としてまとめたところ、人工知能学会 ファイナンスにおける人工知能応用研究会 学生論文賞を受賞し、2012年12月米国・ワシントンで開催された採択率11.5%の国際会議で採択され、さらに同学会の論文誌への掲載されるに至った。

(2-B) 労働市場: 拡張された壺模型に基づく大卒労働市場の数理モデルに関し、昨今の社会問題である就職活動における企業-学生間ミスマッチを定量化するため、提案モデルに対し、就職率と定員未充足率のダイアグラムを描き、実データに基づき描画された対応ダイアグラムと比較した(図2)。

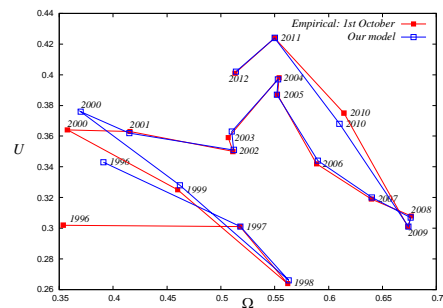


図2: 未就職率Uと定員未充足率 Ω の関係。

また、数理的側面として、労働市場の動的性質を計算機実験と解析的手法を併用することで明らかにした。さらに、企業の採用プロセスが学生スコアに基づき行われる場合を仮定し、その結果として創発される「内定数格差」をジニ係数によって特徴づけた。さらに、年間複数回の就職機会が与えられる我が国の大卒労働市場に関し、その就職機会依存性を調べるため、就職率、定員未充足率、求人倍率の就職機会依存性をモデル計算と実データ解析から詳細にわたって検討した。

- (3) **群れシミュレーション:** BOIDSにおける相互作用を変数にもつコストを異方性指標に選んだ最適化問題を考え、それを遺伝的アルゴリズムにより最適化することで、最適なBOIDSを構築する方法論を提案した。また、群れを構成する一団体が視野範囲の他団体と相互作用する場合、視野範

圏にはよらず一定個体数と相互作用する場合の両者を比較し、後者がより実測データを説明することを明らかにした。

これらは、SCIS & ISIS 2010 Best Presentation Paper Award, FAN2010 第20回インテリジェントシステムシンポジウム(20周年記念大会)最優秀論文賞, SSI2009 (計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会) 奨励賞を受賞した。

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 26 件)

- 1) H. Kyan, J. Inoue, Modeling television commercial advertisement markets: To zap or not to zap, that is the question for sponsors of TV programs, *Proceedings of IEEE/SICE Symposium SH2012*, 査読有, Vol. 2012, 2012, pp.816-823.
- 2) H. Iwayama, J. Inoue, Simultaneous prediction of temperature and demand for electric power by non-linear models with cross-correlations, *Proceedings of 2012 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, NOLTA2012*, 査読有, Vol.2012, 2012, pp. 320-323.
- 3) T. Ibuki, S. Suzuki, J. Inoue, Cluster analysis and Gaussian mixture estimation of correlated time-series by means of multi-dimensional scaling, *Econophysics of systemic risk and network dynamics*, F. Abergel, B.K. Chakrabarti, A. Chakrabarti and A. Ghosh (Eds), *New Economic Windows, Springer-Verlag (Italy, Milan)*, 査読有, Vol.2013, 2012, pp. 239-259.
- 4) H. Chen, J. Inoue, Statistical Mechanics of Labor Markets, *Econophysics of systemic risk and network dynamics*, F. Abergel, B.K. Chakrabarti, A. Chakrabarti and A. Ghosh (Eds), *New Economic Windows, Springer-Verlag (Italy, Milan)*, 査読有, Vol. 2013, 2012, pp.157-171.
- 5) H. Chen, J. Inoue, Dynamics of probabilistic labor markets: statistical physics perspective, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 査読有, Vol.662, 2012, pp.53-64.
- 6) J. Inoue, Analysis of quantum Monte Carlo dynamics in infinite-range Ising spin systems: theory and its possible applications, *Book series: Kinki University Series on Quantum Computing 7*, M. Nakahara and S. Tanaka (Eds.), "Interface between Quantum Information and Statistical Physics", *World Scientific publishing*, 査読有, Vol.7, 2012, pp.196-216.
- 7) G. Livan, J. Inoue, E. Scalas, On the non-stationarity of financial time series: impact on optimal portfolio selection, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 査読有, Vol.2012, 2012, P07025 (18pages).
- 8) Y. Saika, T. Kakimoto, J. Inoue, Selective quantum annealing using transverse XY-type interaction, *Advanced Materials Research*, 査読有, Vol. 452-453, 2012, pp. 1460-1464.
- 9) Y. Otsubo, J. Inoue, K. Nagata, M. Okada, Effect of quantum fluctuation in error-correcting codes, *Physical Review E*, 査読有, Vol.86, 2012, 051138 (10pages).
- 10) T. Ibuki, S. Higano, S. Suzuki, J. Inoue, Hierarchical information cascade: visualization and prediction of human collective behaviour at financial crisis by using stock-correlation, *ASE Human Journal*, 査読有, Vol. 1, 2012, pp. 74-87.
- 11) H. Chen T. Ibuki and J. Inoue, Statistical Mechanics of Labor Markets, *Proceedings of SICE Annual Conference 2011*, 査読有, Vol.1, 2011, pp. 2530-2539.
- 12) J. Inoue, Pattern-recalling processes in quantum Hopfield networks far from saturation, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, Vol. 297, 2011,012012 (10pages).
- 13) T. Ibuki and J. Inoue, Response of double-auction markets to instantaneous Selling-Buying signals with stochastic Bid-Ask spread, *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 査読有, Vol. 6,2011,pp. 93-120.
- 14) M. Makiguchi, J. Inoue, Numerical study on the emergence of anisotropy in artificial flocks: A BOIDS modeling and simulations of empirical findings, *Proceedings of Operational Research Society 5th Simulation Workshop (SW10)*, CD-ROM, 査読有, Vol. 5, 2010, pp. 96-102.

- 15) M. Kitagata, J. Inoue, A GIBBS DISTRIBUTION THAT LEARNS FROM GA DYNAMICS, *Proceedings of ICEC2 010 -- International Conference on Evolutionary Computation (CD-ROM)*, 査読有, Vol. 2, 2010, pp. 295-299.
- 16) J. Inoue, N. Sazuka, Queueing theoretical analysis of foreign currency exchange rates, *Quantitative Finance*, 査読有, Vol. 10, 2010, pp. 121-130.
- 17) Y. Saika, T. Kakimoto, J. Inoue, Quantum Annealing via Transverse Interaction with XY-Type Anisotropy, *Proceedings of SICE annual conference 2010 (CD-ROM)*, 査読有, Vol. 2010, 2010, pp. 1293-1297.
- 18) Y. Inagaki, J. Inoue, Simultaneous Bayesian inference of motion velocity fields and probabilistic models in successive video-frames described by spatio-temporal MRFs, *Proceedings of SICE annual conference 2010 (CD-ROM)*, 査読有, Vol. 2010, 2010, pp. 1472-1481.
- 19) J. Inoue, J. Ohkubo, Condensation phenomena and Pareto distribution in disordered urn models, *Econophysics & Economics of Games, Social Choices and Quantitative Techniques: New Economic Windows*, 査読有, Vol. 4, 2010, pp. 52-60.
- 20) J. Inoue, Y. Saika, M. Okada, Quantum-mechanical variant of the Thouless-Anderson-Palmer equation for error-correcting codes, *Quantum Quenching, Annealing and Computation, Lecture Notes in Physics (LNP)*, 査読有, Vol. 802, 2010, pp. 283-294.
- 21) A.K. Chandra, A. Das, J. Inoue, B.K. Chakrabarti, Exploring ground states of quantum spin glasses by quantum Monte Carlo method, *Quantum Quenching Annealing and Computation, Lecture Notes in Physics (LNP)*, 査読有, Vol. 802, 2010, pp. 235-248.
- 22) A. K. Chandra, J. Inoue, B.K. Chakrabarti, Quantum phase transition in a disordered long-range transverse Ising antiferromagnet, *Physical Review E*, 査読有, Vol. 81, 2010, 021101 (11pages).
- 23) J. Inoue, Deterministic flows of order parameters in stochastic processes of Quantum Monte Carlo method, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, Vol. 233, 2010, 012010 (14pages).
- 24) J. Inoue, N. Sazuka, E. Scalas, On-line trading as a renewal process: Waiting time and inspection paradox, *Science and Culture*, 査読有, Vol. 76, 2010, pp. 466-470.
- 25) 巻口 誉宗, 井上純一, 群知能シミュレーションにおける異方性の創発とその解析評価, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol. 46, 2010, pp. 666-675.
- 26) A. K. Chandra, J. Inoue, Similarity in transitions of two distinct number networks, *International Journal of Modern Physics C*, 査読有, Vol. 21, 2010, pp. 1489-1500.

[学会発表] (計 13 件)

- 1) J. Inoue, Y. Saika and M. Okada, **[招待講演]** Statistical mechanics of digital halftoning, International Conference on the Diverse Applications of Statistical Physics (Diversity & Complexity: Realm of today's Statistical Physics), 平成25年1月17日, サハ原子核物理学研究所, Kolkata, インド.
- 2) T. Ibuki, S. Higano, S. Suzuki, J. Inoue, **[招待講演]** Hierarchical information cascade: Visualization and prediction of human collective behaviour at financial crisis by using stock-correlation, Econophysics-Kolkata VII, 平成24年11月8日, サハ原子核物理学研究所, Kolkata, インド.
- 3) H. Kyan, J. Inoue, **[招待講演]** A probabilistic model of television commercial markets: Program ratings as time-series generated by viewers' decision making and zapping, One day meeting of Exploring an Interface Between Economics & Physics, 平成24年11月6日, デリー大学, インド.
- 4) J. Inoue, **[招待講演]** Visualization and prediction of financial crisis by cross-correlations in stocks, Seminar at Ecole Centrale Paris, Chair of Quantitative Finance, 平成24年6月20日,
- 5) 井上純一, **[招待講演]** 量子揺らぎの制御と確率的情報処理: その静的/動的性質, 2011室蘭工業大学 情報学セミナー, 平成23年11月28日, 室蘭工業大学.
- 6) J. Inoue, **[招待講演]** Analysis of quantum Monte Carlo dynamics in infinite-range Ising spin systems: theory and its possible applications, Symposium on Interface between Quantum Information and Statistical Physics, 平成23年11月12日, 近畿大学.

- 7) J. Inoue, [招待講演] Statistical Mechanics of Labor Markets, Econophysics-Kolkata VI, 平成23年10月21日, Saha Institute of Nuclear Physics, Kolkata, インド.
- 8) J. Inoue, [招待講演] Statistical Mechanics of Labor Markets, BCAM (Basque Center for Applied Mathematics) seminar, 平成23年10月7日, Basque Center for Applied Mathematics, Bilbao, スペイン.
- 9) 巻口誉宗, 井上純一, [招待講演] 群れにおける時空間パターンと個体間相互作用に関する数値実験, Sapporo NCS seminar, 平成23年5月20日, 北大電子科学研究所.
- 10) 井上純一, [招待講演] 量子ホップワールドモデルの想起過程, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング/非線形問題研究会, 平成23年1月24日, 北海道大学.
- 11) J. Inoue, [招待講演] Pattern recalling processes in quantum-mechanical Hopfield model, Statphys-Kolkata VII, 平成22年11月28日, サハ原子核物理学研究所, インド・コルカタ.
- 12) 井上純一, [招待講演] 局所的行動規範(研究者)が創る大域的システム(HUSCAP)の最適デザイン, 5周年記念HUSCAP講演会, 平成22年10月21日, 北海道大学.
- 13) 井上純一, [招待講演] 量子モンテカルロ法の確率過程に従うスピン系のマクロ変数の発展方程式, 東北大学 大学院情報科学研究科 情報数物研究会, 平成22年7月14日, 東北大学

[図書] (計3件)

- 1) S. Suzuki, J. Inoue, B.K. Chakrabarti, Springer, *Quantum Ising Phases and Transitions in Transverse Ising Models*, 2012, 403ページ.
- 2) J.K. Bhattacharjee, B.K. Chakrabarti, J. Inoue and P. Sen, IOP Publishing, *STATPHYS-Kolkata VII*, (JPCS Vol. 297) 2011, 230ページ.
- 3) J. Inoue, Y. Kabashima, K. Tanaka and T. Tanaka, IOP Publishing, *International Conference on Statistical-Mechanical Informatics 2010 (IW-SMI2010)*, (JPCS Vol. 233) 2010, 250ページ.

[産業財産権]
 ○出願状況 (計0件)
 名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年月日:
 国内外の別:

○取得状況 (計0件)
 名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

[その他]

ホームページ等
 論文/講演情報等は下記ページから得られません.
http://chaosweb.complex.ist.hokudai.ac.jp/~j_inoue/

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
 井上 純一 (JUN-ICHI INOUE)
 北海道大学・大学院情報科学研究科
 ・准教授 研究者番号: 3031165
- (2) 研究分担 ()
 研究者番号:
- (3) 連携研究者 ()
 研究者番号: