

## 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6月10日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2012

課題番号：20510137

研究課題名（和文）高頻度価格データを例とした非定常時系列解析手法の検討

研究課題名（英文） Studying the methodology of analyzing non-stationary time series by taking high-frequency price data as an example

研究代表者

田中 美栄子（TANAKA MIEKO）

鳥取大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20257570

研究成果の概要（和文）：非定常時系列の解析手法の検討を、高頻度価格時系列を用いて行った。ランダム性と非定常性に対処するため、元データの平均をとらず非定常なまま、同時刻相関行列の固有値分布を、対応するランダム行列理論と比較する手法を用いた。この研究で主成分分析手法（RMT-PCA）の株式市場への応用を確立させ、更に新しい乱数度評価法（RMTテスト）を提案して、乱数生成器数種のランダムネスの数値化とその比較、hash関数の性能評価、株価の選定条件等に成功した。

研究成果の概要（英文）：

We examined the methods of analyzing non-stationary time series by using high frequency price time series. In order to treat the strong randomness and the time dependence, we avoided taking averages of the data but treated the original time series directly by solving the eigenvalue problem of the cross correlation matrix between pairs of price time series to compare its eigenvalue distribution to the corresponding RMT formula. In this study, we have successfully established the application of "RMT-PCA" on stock markets, and also invented a new tool to measure the randomness, that we call the "RMT-test", and proved its effectiveness by comparing the levels of randomness of various random generators, measuring the quality of hash functions, and also the choice of stocks to invest.

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
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
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：非定常時系列，経済物理，主成分分析，ランダム行列，乱数度評価，RMT-PCA

## 1. 研究開始当初の背景

複雑系科学の流れから経済現象の定量的解析に目が向けられてEconophysicsが注目を集めてより約10年が経過し、Fat-tailやStylized factsの考えが定着するとともに、これらの意味するものについての冷静な、広い視野に基づいた検

討へと進みつつあった。また、経済現象や社会・人間行動を対象とした定量的研究に不可欠の詳細でかつ大量のデータを入手、保管、必要とする研究者への提供が困難であるために研究成果の実証的裏付けが取りにくいなどの問題があった。

## 2. 研究の目的

以上の背景のもとで、本研究は、株価や為替などの高頻度価格変動データを例として、これらを特徴づける、非定常時系列としての性質を統計学および情報科学的見地から徹底的かつ詳細に見直すことを主眼として行った。具体的な研究対象としてはデータを大量に入手し、計算機による大規模な数値計算を行うことにより、このようなデータに代表される、ランダム性の非常に高い超高次元のデータから有意な情報を取り出す手法の探求とその扱いに関する技術を開発することと、これらの知見を元に非定常環境での意思決定法への応用の方法について考察すると共に、新分野としての経済物理学(物理学と情報科学の接点としての新たな金融・経済科学の枠組み)構築への一助とすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

非定常時系列解析の例として株価等、市場の自由競争で決まる高頻度価格時系列の性質を調べながら手法の検討を行った。単一の時系列の挙動から始めたが、強いランダム性や非定常性をどのように扱うかが最大の難問であった。平均値に変換して非定常性を隠してしまうのでは本質的な問題の解決に近づけないと思われた。そこで非定常な価格をそのまま扱い、大量の価格群の連動を調べることにした。対象とするのが価格であるから一次元で増減するパターンを認識すればよい。そこで*i*番目と*j*番目の時系列間の内積を(*i, j*)成分とする同時刻相関行列の挙動を調べると、連動して増減する時系列間の内積は正値を取り、非連動ならばゼロに近く、反連動ならば負値となる。全くのランダム列なら非連動であるからその固有値の分布はランダム行列理論で導かれる公式に一致するはずである。

先行研究として、株価の日次終値を7年分連結したものをデータとしてS&P500に対応する米国株価の主成分分析を行ったBoston大学のStanleyグループとフランスのBouchaud等による研究があり、これを参考にして米国株価のtickデータに応用してみた。日次終値に比較してtickデータは一年分でも十分手法の要求するデータ数が得られるため、米国市場と日本市場の両方で解析を行って、各年のシステム全体の特徴を抽出することに成功した。これがRMT-PCAによる株式市場の主成分分析であり、このテーマでは(1)日米市場の比較、(2)主成分分離条件の明確

化と対数収益データ変換による分離境界値への影響、(3)主成分の固有ベクトルの扱い方の検討に関する新たな知見を得た。

これと並行して2009年頃よりRMTを乱数度評価に応用する研究を始め、博士後期課程院生の楊欣と共に、手法の開発、アルゴリズムの決定、擬似乱数と物理乱数5種を用いての乱数判定条件の決定、応用としてHASH関数の性能評価、株価の信頼性評価などを行った。

研究の進行にあたっては、研究会発表を情報処理学会MPS研究会や日本物理学会年次大会や分科会における経済物理セッション、統計数理研究所の共同研究集会「経済物理学とその周辺」および共同研究「社会物理学の展望」京都大学基礎物理学研究所の「経済物理」研究会、また海外では毎年行われる欧州複雑系会議(ECCS)、知識工学国際会議(KES)、予測と意思決定国際会議(IDT)等に参加して専門家の意見を聞き、研究進行の糧とした。

## 4. 研究成果

得られた成果としては、(1)RMT-PCAによる主成分抽出アルゴリズムの検討と問題点の考察、(2)乱数度測定器としてのRNTテストの提案とアルゴリズムの確立、およびその応用である。

そしてこれらを総合して東証株式市場の株価データに適用することで主成分抽出と、注目株の抽出等を行った。

研究成果は、IIM(Intelligent Information Management(2013年1月中旬迄の1年余の期間に143771件ダウンロードされた)、Progress of Theoretical Physics Supplement、情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用、LNCS、欧州複雑系国際会議、知識工学国際会議(KES)、意思決定技術の国際会議 Intelligent Decision Technology (KES-IDT)、日本物理学会年会/分科会における「経済物理」分科会、統計数理研究所の共同研究集会「経済物理学とその周辺」、統計数理共同研究レポート「経済物理学とその周辺」(5),(6),(7),(8),(9)等に発表し、国内では新潟大学理学部の家富洋教授のグループと並んで、株価・気候を含む実データを対象にしたランダム行列理論を応用する主成分分析研究の中心として、日本物理学会、統計数理研究所、欧州複雑系研究会(ECCS)に於いて評価を得、知識工学国際会議(KES)と意思決定技術の国際会議(IDT)では各々招待セッションが作られている。2012年度と

2013年度には岡山大学における京コンピュータシンポジウム,2012年11月には第4回横幹連合総合シンポジウムに於いて,それぞれ招待講演の機会を与えられるなど,評価が浸透しつつある。

## 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40件)

- ① Predicting the security levels of stock investment by using the RMT-test; X.Yang, Y.Mikamori, Mieko Tanaka ; Procedia Computer Science (accepted) 2013 (査読有)
- ② Randomness Criteria of the RMT-test Compared to the NIST; Yuuta Mikamori, Xin Yang , Ryota Itoi, Mieko Tanaka; Procedia Computer Science (accepted) 2013 (査読有)
- ③ Randomness as the Security Levels of Investments; Mieko Tanaka, Xin Yang and Yuuta Mikamori: Frontiers of Artificial Intelligence and Applications (accepted) 2013(査読有)
- ④ Finding Good and Considerate Strategies in the Iterated Prisoners Dilemma; Mieko Tanaka and Ryota Itoi; Frontiers of Artificial Intelligence and Applications (accepted) 2013(査読有)
- ⑤ RMTテストの性能検証—NIST乱数検定との比較;三賀森悠大, 楊欣, 糸井良太, 田中美栄子; 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 Vol.6 No.1, pp.57-63, 2013.March 12(査読有)
- ⑥ ノイズ付き進化型繰返し囚人のジレンマにおける長寿戦略の探究;糸井良太, 田中美栄子; 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 Vol.6 No.1,pp. 31-37, 2013.March 12(査読有)
- ⑦ Extracting Quarterly Trends of Tokyo Stock Market by Means of RMT-PCA; Mieko Tanaka, Takemasa Kido, Atsushi Yamamoto; Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information& Engineering Systems; IOS Press,Based pp.2028-2036, September 2012, ( 査 読 有 ) (doi:10.3233/978-1-61499-1-05-2-2028)
- ⑧ Testing Randomness by Means of Random Matrix Theory ; X. Yang, R. Itoi, M. Tanaka; Progress of Theoretical Physics, Supplement, Vol.194, pp.73-83, June 2012 (査読有)
- ⑨ Moment Approach for Quantitative Evaluation of Randomness Based on RMT Formula;Xin Yang, Ryota Itoi, and Mieko Tanaka; Intelligent Decision Technologies, Intelligent Decision Technologies, SIST (Springer), Vol. 16, pp. 423-432, May 2012 (査読有)
- ⑩ RMT公式を用いた乱数度評価法の提案; 田中美栄子, 糸井良太, 楊欣; 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用, Vol. 5, No.1, pp.1-8, 2012(査読有)
- ⑪ RMT-PCA による株価データから見るトレンドとその変遷,木戸丈剛,楊欣,田中美栄子, 高石哲弥; 情報処理学会論文誌 (TOM31),Vol.4,pp.1-7, 2011(査読有)
- ⑫ Testing Randomness by Means of RMT Formula; Xin Yang, Ryota Itoi, and Mieko Tanaka; Intelligent Decision Technologies (SIST10, Springer), pp.589-596, 2011 (査読有)
- ⑬ Cross Correlation of Intra-day Stock Prices in Comparison to Random Matrix Theory; Mieko Tanaka; Intelligent Information Management (online journal), <http://www.scrp.org>), Vol.3-3, 65-70, 2011(査読有)
- ⑭ Trend-extraction of Stock Prices in the American Market by Means of RMT-PCA; Mieko Tanaka; Takemasa Kido, and Ryota Itoi; Intelligent Decision Technologies(SIST10, Springer), pp.637-646, 2011(査読有)
- ⑮ Extracting Principal Components from

Pseudo-random Data by Using Random Matrix Theory; Mieko Tanaka; Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol.6278, pp.602-611, 2010(査読有)

- ⑩ Short-Term Price Prediction and the Selection of Indicators; Mieko Tanaka, Seiji Tokuoka, Keita Awaji; Progress of Theoretical Physics, Supplement, Vol.179, pp.17-25, 2009(査読有)
- ⑪ Effect of Reputation on the Formation of Cooperative Network of Prisoners; Mieko Tanaka, Taku Murakami; New Advances in Intelligent Decision Technologies (SCI, Springer)Vol.199, pp.615-623, 2009(査読有)
- ⑫ Trend predictions of tick-wise stock prices by means of technical indicators selected by genetic algorithm ; Mieko Tanaka, S. Tokuoka; Artificial Life and Robotics(Springer, Japan), Vol.12, pp.180-183, 2008(査読有)
- ⑬ Dynamical Effect on Tick-wise Price Predictions; Mieko Tanaka, K. Awaji; Lecture Notes in Artificial Intelligence(Springer Verlag), Vol. 5178, pp.442-449, 2008(査読有)

[学会発表](計72件)

1. 進化型IPDの推奨戦略, 田中美栄子;日本物理学会第68回年次大会, 広島大学,3/25-29,2013
2. Tracing the Short-Term Trends Extracted from the Cross Correlations of Market Prices Between Stock Pairs by Means of RMT-PCA , Atsushi Yamamoto, Mieko Tanaka;進化経済学会(英語セッション), 中央大学,立川,3/16-17,2013
3. Application of the RMT-test on Real Data--Hash Function and Tick Data of Stock Prices, Xin Yang, Mieko Tanaka; 進化経済学会(英語セッション), 中央大学,立川,3/16-17,2013
4. Characteristic Features of the Sustainable Strategies in the Evolvable Iterated Prisoners' Dilemma, Mieko Tanaka; 進化経済学会(英語セッション) 中央大学,立川,3/16-17,2013
5. 進化型繰り返し囚人のジレンマにおける優良戦略の同定, 田中美栄子; 統計数理研究所・共同研究集会「経済物理学とその周辺」H24第2回研究会,統計数理研究所(立川), 3/14-15,2013
6. RMTテストによる乱数度測定と安全株判定, 楊欣, 田中美栄子; 統計数理研究所・共同研究集会「経済物理学とその周辺」H24第2回研究会,統計数理研究所(立川), 3/14-15,2013
7. しつぺ返しに勝つ戦略:どこまで先を読むべきか?,田中美栄子; 統計数理研究所・共同研究「社会物理学の展望」H24年度研究会,東京電機大学,3/13,2013
8. Measuring the randomness by means of the RMT-test, Mieko Tanaka; Frontiers in Computational Physics: Modeling the Earth, Boulder, USA, 12/16-20, 2012
9. 乱数度計RMTテストの実データへの応用--ハッシュ値とTick株価--,楊欣,三賀森悠太,糸井良太,田中美栄子; 情報処理学会「数理モデル化と解決」第88回研究会(ipsj-MPS91), 京都大学桂, 12/6-7,2012
10. 戦略の自動進化を取り入れた価格予測モデルの構築,田中美栄子; 第4回横幹連合総合シンポジウム(招待講演)日本大学・生産工学部(習志野),11/1-2,2012
11. Extracting Quarterly Trends of Tokyo Stock Market by Means of RMT-PCA, Mieko Tanaka; KES2012, San Sebastian, Spain,9/10-12,2012
12. Tracing the Short-Term Trends Extracted from the Cross Correlations of Market Prices Between Stock Pairs by Means of RMT-PCA, Mieko Tanaka; ECCS2012, Brussels, Belgium, 9/2-7,2012
13. RMTテストの性能検証--NIST乱数検定との比較--,三賀森悠太,楊欣,糸井良太,田中美栄子; 統計数理研究所・共同研究集会「経済物理学とその周辺」H24第1回研究会

- (キヤノングローバル戦略研究所, 東京)  
8/27-28,2012
14. RMT利用による東証4半期毎の主成分追跡;業種分類の再考で見えるもの, 田中美栄子; 統計数理研究所・共同研究集会「経済物理学とその周辺」H24第1回研究会(キヤノングローバル戦略研究所, 東京) 8/27-28,2012
  15. 乱数度器 RMT-テストの実データへの応用～ハッシュ値と先物 Tick 価格～, 楊欣, 田中美栄子; 統計数理研究所・共同研究集会「経済物理学とその周辺」H24 第 1 回研究会(キヤノングローバル戦略研究所, 東京) 8/27-28,2012
  16. 価格時系列相関の固有値分布を用いた株式市場の主要産業セクタ抽出, 田中美栄子; 2012 年並列/分散/協調処理に関する『鳥取』サマー・ワークショップ (SWoPP 鳥取 2012)とりぎん文化会館(鳥取),8/1-3,2012
  17. 価格変動の科学: 複雑系としての視点, 田中美栄子; 第 1 回スーパーコンピュータ「京」と生命科学シンポジウム(招待講演) 岡山大学,6/1,2012
  18. 株式市場の主成分追跡-RMT-PCA による四半期間の主要業種抽出, 山本敦史, 田中美栄子; 情報処理学会「数理モデル化と解決」第 88 回研究会(ipsj-MPS88), 名古屋大学,5/17,2012
  19. モーメント分析法によるランダム行列理論を用いた乱数度評価法の改良, 楊欣, 田中美栄子, 情報処理学会「数理モデル化と解決」第 88 回研究会(ipsj-MPS88), 名古屋大学,5/17,2012
  20. 進化型繰り返し囚人のジレンマにおける最適戦略の探究, 糸井良太, 田中美栄子; 情報処理学会「数理モデル化と解決」第 88 回研究会 (ipsj-MPS88), 名古屋大学, 5/17,2012
  21. Extracting Market Trends from the Cross Correlation between Stock Time Series, Mieko Tanaka, Takemasa Kido; Future Computing in Computation World, Rome, Italy, 9/25-30, 2011
  22. Trend-extraction of Stock Market by Means of RMT-PCA Applied on Daily and Intra-day Price Time Series, Mieko Tanaka, T. Kido; European Conference on Complex Systems (ECCS), Vienna, Austria, 9/12-16, 2011
  23. Trend-extraction of Stock Market by Means of RMT-PCA applied on Daily and Intra-day Price Time Series, Mieko Tanaka, T.Kido; European Conference on Complex Systems(ECCS), Vienna, Austria,9/12-16, 2011
  24. Extracting Principal Components from Pseudo-Random Data by Using Random Matrix Theory, Mieko Tanaka; Econophysics Colloquium 2010(Academia Sinica,Taipei,台湾,11/4-6, 2010
  25. ランダム行列との比較による株価日中変動の相関行列解析;田中美栄子, 木戸丈剛; FIT2010(第 9 回情報科学技術フォーラム), 九州大学伊都キャンパス, 9/7-9,2010
  26. ランダム行列の固有値分布との比較による米国株価日次変動のトレンド抽出;木戸丈剛, 田中美栄子;FIT2010(第 9 回情報科学技術フォーラム),九州大学伊都キャンパス,9/7-9,2010
  27. Applying Random Matrix Theory to Extract Principal Components of Intra-Day Stock Price Correlations;Mieko Tanaka;The 4th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science(NISS),慶州,韓国,5/11-13,2010
  28. Cross Correlation of Intra-day Stock Prices in Comparison to RMT mathematical and statistical application in finance ; Mieko Tanaka; Mathematical and statistical Application in Finance (MAF2010), Ravello, Italy,4/10-12,2010
  29. Application of Evolutional Computation on the Intra-day Financial Prices; Mieko

Tanaka; Econophysics Colloquium, Erice, Italy,10/25-31,2009

30. ランダム行列理論との比較による 2002 年 NYSE 株価1時間変動の解析(2); 田中美栄子,他 3 名,経済物理 2009,京都大学, 9/8-9,2009
31. ランダム行列との比較による1994年NYSE 株価1時間変動の相関行列解析(1); 田中美栄子, 他5名, 経済物理2009, 京都大学,9/8-9,2009
32. ランダム行列との比較による株価日中変動の相関行列解析; 田中美栄子,田中瑶子, 伊藤大哲;第15回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校2009」,富山,8/8-9,2009
33. 短期価格予測における連続値パターンの効用;田中美栄子;第25回ファジィシステムシンポジウム (FSS2009), 筑波大学,7/15,2009
34. 経済物理学における大容量デジタルデータの収集,保管,操作,および管理について; 佐藤彰洋,石川温,増川純一,田中美栄子; 情報処理学会第65回デジタルドキュメント研究会,東京,3/28,2008

[図書](計6件)

1. 田中美栄子, 他(編):統計数理研究所共同研究レポート292巻「経済物理学とその周辺(9)」統計数理研究所(東京都立川市緑町10-3)2013(154頁)
2. 田中美栄子, 他(編):統計数理研究所共同研究レポート271巻「経済物理学とその周辺(8)」統計数理研究所(東京都立川市緑町10-3)2012(114頁)
3. 田中美栄子, 他(編):統計数理研究所共同研究レポート259巻「経済物理学とその周辺(7)」統計数理研究所(東京都立川市緑町10-3)2011(97頁)
4. 田中美栄子, 他(編):統計数理研究所共同研究レポート241巻「経済物理学とその周辺(6)」統計数理研究所(東京都立川市緑町10-3)2010(96頁)

5. 田中美栄子, 他(編):統計数理研究所共同研究レポート226巻「経済物理学とその周辺(5)」統計数理研究所(東京都立川市緑町10-3)2009(138頁)

6. 田中美栄子(編):第21回自律分散システム・シンポジウム資料(SY0001/09/0000-0233, 2009SICE, 計測自動制御学会)2009(308頁)

[その他]

ホームページ

<http://irene.ike.tottori-u.ac.jp/mieko>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 美栄子(TANAKA MIEKO)

鳥取大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号:20257570