

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330280

研究課題名(和文) 背景ダイナミクスを重視する非線形時系列解析と金融工学への応用

研究課題名(英文) Nonlinear time-series analysis focusing on the background dynamics and its application to financial engineering

研究代表者

鈴木 智也 (Suzuki, Tomoya)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：70408649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：自然現象を生み出す背景ダイナミクスをできるだけ破壊しないように時系列データを観測し、このデータよりダイナミクス(法則性)を学習することで予測力の高い時系列予測モデルの構築を目指した。しかし予測誤差を完全には排除できないため、これを予測リスクとみなし、事前の推定方法や緩和方法を検討した。このように将来予測およびリスク管理を両輪とするアプローチは金融工学に応用できるため、決定論的予測モデルに基づく新しい非線形金融工学を提案した。

研究成果の概要(英文)：This project had aimed to improve nonlinear time-series analysis and prediction by learning the background dynamics hidden in the observed time-series data as precisely as possible. For this purpose, the time-series data was carefully observed so as not to destroy the background dynamics. However, because it is impossible to completely eliminate prediction errors, we considered them as prediction risks, and proposed how to estimate them beforehand and reduce them effectively. Since this approach based on both the prediction and its risk management can be applied to financial engineering such as the portfolio theory, this project proposed a new framework named "nonlinear financial engineering" as an application of nonlinear dynamical theory.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：非線形時系列予測 集団型機械学習 ポートフォリオ理論 金融工学 テクニカル分析 複雑系 金融情報学

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災やリーマンショックなど、自然や経済システムは予期せぬ振舞いによって我々を翻弄させる。そこで、より安心な暮らしを実現するためには、既存の時系列解析・予測手法の根本的な見直しを行う必要がある。特にこれまで軽視されてきた要素として、現象を生み出す背景ダイナミクスの存在に着眼し、この諸特性（決定論性・非線形性・非定常性・構造変化）を破壊しないデータの観測手法から再検討する必要がある。

2. 研究の目的

決定論性や非線形性に基づく高次の予測モデルを用いて予測精度向上を目指すアプローチの他に、予測困難な部分はリスクとして譲歩しつつも、この予測リスクを事前に推定し、統計的技法を駆使してこの予測リスク自体を緩和させるアプローチも検討したい。この2つのアプローチを両輪として、信頼性に優れた時系列解析技法を確立すると共に、金融工学への応用事例として、新しい非線形金融工学を提唱する。

この様子を図1示す。主目的は以下の3種:

- (1)【観測】ジャンプ過程のサンプリング手法の再考
- (2)【解析】予測リスクをヘッジした「慎重な」非線形時系列解析・予測
- (3)【応用】予測リスクをヘッジする新しい「非線形金融工学」の提案

で構成され、相互に関連しながら1つの学術的体系を成している。

3. 研究の方法

(1)【観測】ジャンプ過程のサンプリング手法の再考

自然災害や経済危機は、ニューロンの発火のように突然起こる。地震や株価変動は、離散的に不等時間間隔で変動する自然現象であり、これをジャンプ過程と呼ぶ(図2)。しか

し闇雲に突然システムがジャンプするとは考えられず、ニューロンの活動電位のようにシステム内部に存在する背景活動に起因して現象が生み出されていると考えられる。同様に金融市場でも、価格変化は不等時間間隔でジャンプするものの、価格変化を生み出すディーラー達の思惑や国際情勢は絶えず連続的に変化している。このようなジャンプ過程の観測手法は、物理時間とティック時間による2通りのサンプリング方法が考えられる(図2の表)。背景活動の物理時間に従うには、ジャンプ過程 $x(t)$ を等時間間隔 S でサンプリングすれば良いが、欠損や重複の発生によってジャンプ波形が破壊されてしまう。これを防ぐために、ジャンプ生起時刻 t_n 毎でサンプリングすれば良いが、しかし背景活動の物理時間を完全に無視することになり、背景活動の力学的構造(ダイナミクス)は破壊されてしまう。さらに多変量解析では、各変量間の時刻が揃わないので根本的に解析不可能である。

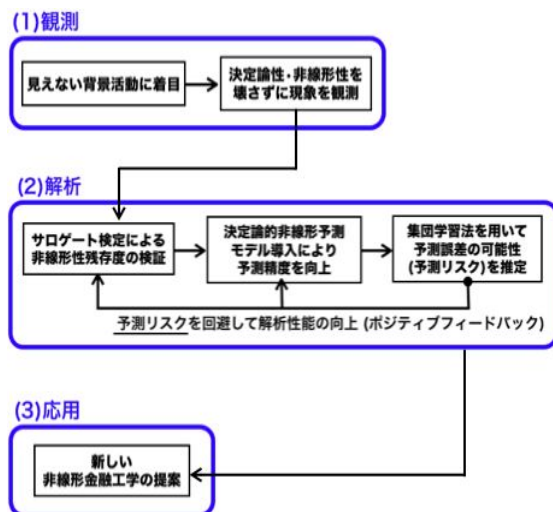


図1: 本研究課題は、(1)データの観測、(2)解析、(3)応用の3部門から構成され、新しい時系列解析技法の確立とその応用を目指す学術的体系を構成する。

そこで等時間間隔のサンプリングを導入し、図2の重複や欠損を最小化するようにサンブ

リング間隔 S を可変しつつアルゴリズムに観測タイミングを最適化した。

さらに現実のシステムを考慮すると、システムの構造が非定常的に変化している場合がある。もし(2)[解析]の工程において異質な学習データが混在すると、解析能力の低下を引き起こす。しかしあえてこれを逆手にとり、観測データ長に応じた解析結果の変化を調べることで構造変化の有無を検知し、(2)[解析]において最適なデータ長をアルゴリズムに決定する。

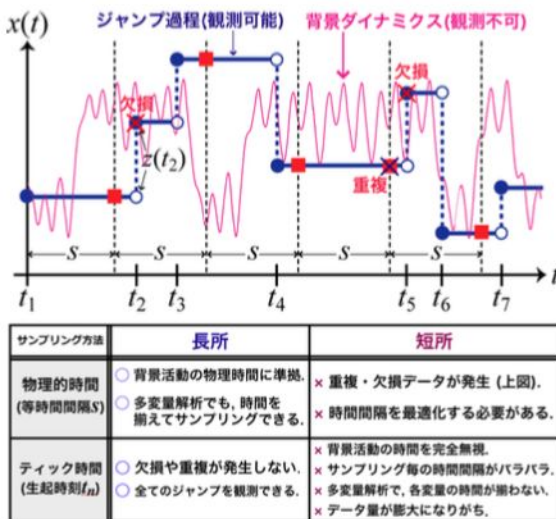


図 2: ジャンプ過程の状態値 $x(t)$ を等時間間隔 S で観測した様子。図中の \circ が観測されるデータであり、 S の大きさに応じて欠損や重複データが発生してしまう。一方、ティック時間 t_n で観測すると、背景ダイナミクスの時間構造を破壊してしまう。

(2)【解析】予測リスクをヘッジした「慎重な」非線形時系列解析・予測

フーリエ解析など線形的な時系列解析手法の多くは、データの定常性を前提としている。しかし、自然界のシステムの多くは動的に構造変化する非定常システムであるため、データ解析を行う際には短期の少数データを対象にせざるを得ない。データ数が少なければ、当然、解析性能も低下する。特に時系列予測

は、意思決定など実用志向が強いツールであるため、予測精度の低下は深刻な被害に直結する。そこで先行研究では、集団学習法の一つであるバギングを活用し、将来変動を確率分布で示す予測法を提案している。

しかし当然ながら、少数データという情報不足をカバーできるのには限界がある。そこで本研究では、バギングで推定した予測分布の標準偏差に着目し、これを予測誤差の危険性すなわちリスクと考える。この妥当性を検証すべく計算機実験によって、この標準偏差(リスク)と実際の予測誤差の関連性について経験的に分析した。さらにリスク推定の活用として、リスクが高い時は予測を避けるという選択が可能になる。これにより、少数データにおいても安全な時系列予測を実現した。

また、正しい予測を行えるということは、システムの構造をよりの確に捉えられることを意味する。よって、本提案手法を非線形時系列解析に応用することで、カオス性を判定するリアプノフ指数解析や、システム同定をするサロゲート検定法の推定能力を向上させた。

(3)【応用】予測リスクをヘッジする新しい「非線形金融工学」の提案

上記(2)[解析]において、高リスクの時には解析を慎むことでリスクを回避するが、共分散の性質を利用することで統計学的にリスクを緩和できることが知られている。その代表例として、金融工学におけるポートフォリオ理論や金融テクニカル分析のボリンジャーバンドがあり、上記(1)(2)の知見を工学的に応用できることを示す格好の題材である。

従来のポートフォリオ理論やボリンジャーバンドは、直近の株価変動の平均値や標準偏差によって、将来値やリスクを予測する極めて単純なモデルを基盤にしている。確かにリスク分散効果をシンプルに記述できるなど

学術的恩恵もあるが、しかし実務おける信頼性は乏しい。そこで本研究では、先述(1)(2)の研究成果を既存の金融工学に活用することを目標とした。しかし解決すべき問題として、従来と予測モデルが異なるため、リスクの定義を修正する必要が生じる。そこで本研究では、先述(2)の集団学習法(バギング)で得た将来値の予測分布に基づいて金融工学を再構築し、また先述(1)に基づいて、データのサンプリング方法の違いによる予測精度およびリスク分散効果も検証した。

4. 研究成果

5章に示すように、36編の査読付き論文(国際会議のプロシーディングを含む)および4件の研究発表を行った。さらに、これらより得られた知見を踏まえつつ、1冊の図書を執筆した。以上の研究成果は、3年間の研究期間を鑑みれば十分な実績であり、本研究課題の主要コンセプトである「新しい非線形金融工学」を国内外にアピールできたと考えられる。

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35件)

Tomoya Suzuki, Yushi Ohkura, Financial Technical Indicator Based on Chaotic Bagging Predictors for Adaptive Stock Selection in Japanese and American Markets, *Physica A*, Vol.442, pp.50-66, 査読有り, 2016. DOI:10.1016/j.physa.2015.08.042

Kazuki Yanagisawa, Tomoya Suzuki, Evidence of Enhancing Nonlinear Predictability of Stock Price Movements by the Principal

Component Analysis, *Proceedings of International Symposium on Nonlinear Circuits and Signal Processing*, pp.630-633, 査読有り, 2016.

Tokimaru Tsuruta, Hiroya Koizumi, Tomoya Suzuki, Technical Trading Strategy Using the Reaction to Price Jumps in American Stock Market, *Proceedings of International Symposium on Nonlinear Circuits and Signal Processing*, pp.656-659, 査読有り, 2016.

Hiroyuki Gotou, Tomoya Suzuki, Detection of Abnormal Stock Prices with Autoencoder, *Proceedings of International Symposium on Nonlinear Circuits and Signal Processing*, pp.25-28, 査読有り, 2016.

鈴木智也, 成松優, 突発的な裁定機会を利用した共和分ペアトレーディング, *Technical Analysts Journal*, Vol.2, pp.12-22, 査読有り, 2015.

小泉洋八, 鈴木智也, 金融市場のジャンプに対する反応を利用したテクニカル売買戦略, *Technical Analysts Journal*, Vol.2, pp.1-11, 査読有り, 2015.

Megumi Yokouchi, Tomoya Suzuki, Minimizing Prediction Risk for Adaptive Optimization of Embedding Parameters for Noisy and Short Data, *Journal of Signal Processing*, Vol.19, No.4, pp.123-126, 査読有り, 2015.

Kazuki Yanagisawa, Tomoya Suzuki, Enhancing Predictive Power and Risk-reduction Efficiency of the Portfolio Models Based on Principal Component Analysis, *Journal of Signal Processing*, Vol.19, No.4,

pp.119-122, 査読有り, 2015. DOI: 10.2299/jsp.19.119

Tomoya Suzuki, Hajime Onuma, Nonlinear Time-varying AR-ARCH Model Based on Chaos Prediction Model and its Statistical Significance Tests, Journal of Communication and Computer, Vol.12, pp.79-84, 査読有り, 2015.

DOI:10.17265/1548-7709/2015.02.006

Tomoya Suzuki, Kuniaki Ohkura, Masayuki Okazawa, Small-world Properties Evaluated by Exchanging Network topology, International Journal of Modern Physics C, Vol.26, No.11, 1550122/1-18, 査読有り, 2015.

DOI: 10.1142/S0129183115501223

鈴木智也, 林大賀, 決定論的非線形予測に基づいた時空間テクニカル分析, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J98-A, No.2, pp.237-246, 査読有り, 2015. http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-a_2_237

Inose Satoshi, Tomoya Suzuki, Nonlinear AR-DCC Portfolio Model Considering Liquidity of Imperfect Markets, Proceedings of International Symposium on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp.512-515, 査読有り, 2015.

Hajime Onuma, Tomoya Suzuki, Nonlinear Time-varying AR-ARCH Model Based on Chaos Prediction Model, Proceedings of International Symposium on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp.310-313, 査読有り, 2015.

Megumi Yokouchi, Tomoya Suzuki, Adaptive Optimization of Embedding Parameters by Minimizing Prediction

Risk, Proceedings of International Symposium on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp.110-113, 査読有り, 2015.

Hiroya Koizumi, Tomoya Suzuki, Technical Trading Strategy Using the Reaction to Financial Market Jumps, Proceedings of International Symposium on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp.579-582, 査読有り, 2015.

Kazuki Yanagisawa, Tomoya Suzuki, Improving Predictive Power and Risk Reduction of the Portfolio Models Based on Principal Component Analysis, Proceedings of International Symposium on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp.525-528, 査読有り, 2015.

Tomoya Suzuki, Kiyoharu Tanaka, Mean-Variance Portfolio Model Modified by Nonlinear Bagging Predictors, Journal of Signal Processing, Vol.18, No.6, pp.283-290, 査読有り, 2014.

DOI: 10.2299/jsp.18.283

山田雅章, 鈴木智也, Bipower Variation を用いた新しいテクニカル指標, テクニカルアナリストジャーナル, Vol.1, pp.1-9, 査読有り, 2014.

Kai Morimoto, Masahiro Saito, Satoshi Inose, Atsushi Kannari, Tomoya Suzuki, Application of the Principal Components Analysis to the Nonlinear Portfolio Model, Journal of Signal Processing, Vol.18, No.4, pp.177-180, 査読有り, 2014. DOI: 10.2299/jsp.18.177

Tomoya Suzuki, Kazuya Nakata, Risk

Reduction for Nonlinear Prediction and its Application to the Surrogate Data Test, Physica D, Vol.266, No.1, pp.1-12, 査読有り, 2014.

DOI:10.1016/j.physd.2013.08.003

- 21 Inose Satoshi, Tomoya Suzuki, Kazuo Yamanaka, Nonlinear Portfolio Model and its Rebalance Strategy, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol.4, No.4, pp.351-364, 査読有り, 2013. DOI: 10.1587/nolta.4.351
- 22 猪瀬悟史, 鈴木智也: ポートフォリオ構築問題における非線形時系列予測モデルの活用, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J96-A No.7 pp.410-422, 査読有り, 2013.
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j96-a_7_410&category=A&year=2013&lang=J&abst=
- 23 Tomoya Suzuki, Dynamical Combinatorial Optimization for Predicting Multivariate Complex Systems, Journal of Signal Processing, Vol.16, No.6, pp.537-546, 査読有り, 2012. DOI:10.2299/jsp.16.537

その他, 国際会議プロシーディングス(査読有り)(24)~(36)は, 紙面の都合上割愛する.

[学会発表](計4件)

Tomoya Suzuki, Ensemble Neural Networks for Identifying Market Patterns and their Confidence, The IFTA 2015 Annual Conference, Tokyo, 2015年10月3日.(招待講演)

猪瀬悟史, 鈴木智也, 山中一雄, DCCモデルを適用した非線形ポートフォリオモデルによるロングショート戦略, 電子情報通信学会技術研究報告,

NLP2014-01-14, Vol.113, No.383, pp.13-18, 北海道, 2014年1月14日.

和知宏武, Vu Tat Thanh, 猪瀬悟史, 神成敦, 鈴木智也, 非線形ポートフォリオモデルを用いた外国為替自動取引システムの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, NLP2014-01-14, Vol.113, No.383, pp.19-24, 北海道, 2014年1月14日.

Tomoya Suzuki, Spatiotemporal Technical Analyses based on Deterministic Prediction Theory, The IFTA 2013 Annual Conference, San Francisco, 2013年10月8日.(招待講演)

[図書](計1件)

鈴木智也, 日本テクニカルアナリスト協会, 『第2次通信教育講座テキスト第2分冊』, 2015, 全142頁.

[その他]

ホームページ

http://tsuzuki.ise.ibaraki.ac.jp/TS_lab/

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 智也 (SUZUKI TOMOYA)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号: 70408649

(2)研究分担者

無し

(3)連携研究者

無し

(4)研究協力者

無し