

## 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：27104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500262

研究課題名（和文）非定常時系列に対するパターン・エントロピー時系列による解析と応用

研究課題名（英文）Analysis and application of a nonstationary time series using a time-dependent pattern entropy

研究代表者

石崎 龍二 (ISHIZAKI RYUJI)

福岡県立大学・人間社会学部・准教授

研究者番号：90265017

研究成果の概要（和文）：本研究では、非定常時系列の変動の不安定性を定量化するための新しい解析法として、パターン・エントロピー時系列を使った分析を行った。主に外国為替レートの時系列分析に取り組んだ。外国為替レートは非定常時系列であり、平均や分散等の長時間平均で時系列を特徴づけることは困難である。そこで、外国為替レートの時系列の変動の局所的な不安定性を定量化するために、パターン・エントロピー時系列による分析を行った。米ドル/円為替レートの日次データを分析した結果、円安や円高のターニングポイントの前後の期間やリーマン・ショック後に、パターン・エントロピーが長期間高い値を示すことがわかった。

研究成果の概要（英文）：In this research, we attempted the quantification of instability of a nonstationary time series using a time-dependent pattern entropy (T-DPE) as a new analytical method. Characterizing the statistical properties of the daily data of the exchange rate by using the first and second moments is difficult. Therefore, in addition to analyzing the long-time average statistical properties of the time series of foreign exchange rates, we investigated how to characterize the local instability of the time series. We applied T-DPE to analyze the instability of daily variations in foreign exchange rates, in particular, the dollar-yen rate. The time-dependent pattern entropy of the dollar-yen rate was found to be high in the following periods: before and after the turning points of the yen from strong to weak or from weak to strong, and the period after the Lehman shock.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・統計科学

キーワード：非定常時系列、パターン・エントロピー、揺らぎ解析

### 1. 研究開始当初の背景

心電図、心拍変動、脳波、筋電図のような生体信号は、時間の経過とともに周波数特性が変化する定常性の成り立たない複雑な時系列である。脳のような複雑なシステムの解析においては、膨大な情報をいかに縮約し、有意義な情報を取り出すかが重要である。この膨大な情報を適切に縮約し、検査技師の経

験的直感に頼らなくても診断できる方法が求められている。

研究代表者は、多チャンネル脳波を解析するために井上、津田らにより開発されたパターン・エントロピー時系列による解析法の理論的考察とその応用に取り組み始めた。多チャンネル脳波解析用のパターン・エントロピー時系列解析法を1チャンネルでもデータ

解析できるように改良し、ラットの脳波 (EEG) から睡眠状態を解析した結果、ラットの EEG のパターン・エントロピー時系列の変動は、ラットの睡眠覚醒状態のレベルの推移と相関があることを示した。

脳波の複雑さの指標として Global Omega Complexity ( $\Omega$ ) が Wackermann により提案され、脳の意識レベルの違いや、香りの有無による微妙な違いを特徴付ける研究がなされている。この  $\Omega$  は各チャンネル間の相関を反映するグローバルな指数であるが、パターン・エントロピーは、 $\Omega$  の時間変動を時系列として観察する性質があり、脳波や他の複雑な時系列を解析する新しい手段となるものと期待できる。

ラットの脳波は非定常な時系列であり、パターン・エントロピー時系列による分析法は、生体信号の他の非定常時系列 (金融・経済データ等) に対しても有効であると期待できる。

## 2. 研究の目的

非定常な時系列に対する新しい時系列解析法として、パターン・エントロピー時系列による解析法を確立することが本研究の目的である。

株価、為替レートなどの金融・経済データは、非定常で複雑な時間変動を示す。経済時系列を予測、分析するのは一般に困難であるが、これまで為替レート、株価指数等の様々な経済時系列について、確率過程論やカオス理論等の立場から多くの興味深い研究がなされてきている。本研究では、統計力学的観点からのアプローチとして、生体信号や金融時系列にみられる非定常時系列の複雑さの定量化を行うための新しい解析法として、独自に考案した新しいエントロピーを使ったパターン・エントロピー時系列解析法の確立を目指した。

本研究では、株価、為替レートなどの金融時系列に対するパターン・エントロピー時系列解析により、有用な情報が得られるかどうかを検証した。

## 3. 研究の方法

新しい時系列解析法としてパターン・エントロピー時系列による解析法の有効性を理論的に検証し、実際のデータの解析を行いながら、その応用に取り組んだ。

パターン・エントロピー時系列法の理論的な基礎づけを行うために非線形力学系において発生するカオスの解析に取り組んだ。パターン・エントロピー時系列法の応用として金融時系列の解析を行った。

株価、為替レートなどの金融・経済データは、非定常で複雑な時間変動を示す。為替レートや株価変動の数理モデルには、しばしば

長時間相関がある異常拡散 (Levy 過程に基づく確率過程モデル) が取り入れられる。数理モデルのパターン・エントロピー時系列による解析と関係付けながらデータ解析を進めた。

時系列からパターン・エントロピー時系列へ変換するためには、複数のパラメータを定める必要がある。これらのパラメータの最適値を、データ分析から探究した。

## 4. 研究成果

本研究では、非定常時系列の変動の不安定性を定量化するための新しい解析法として、パターン・エントロピーによる時系列解析法を使った分析を行った。

[平成 22 年度]

為替レートや株価の 1 次元時系列データについて、パターン・エントロピー時系列法を応用することを試みた。具体的には、円ドル為替レートと日経平均株価の時系列データの期間別の時間変動の複雑さの定量化を試みた。円ドル為替レートや日経平均株価は、非定常時系列であり、時系列をそのまま扱うと、統計的な特徴を見いだすことは難しい。そのため、時系列の 1 次差分を取り、差分の時系列を大きな変動と小さな変動に分けて、時系列の 2 値化を行なった。この 2 値化記号列から、パターン・エントロピー時系列を算出した。期間別の円ドル為替レートや日経平均株価の変動とパターン・エントロピーの比較を行った結果、円ドル為替レートについては、先行研究で取り上げられたフラット相 (レートがほぼ平らに動く期間) に比べてバブル相 (バブルの発生と崩壊がみられる期間)の方が、パターン・エントロピー値が高く、その高い値が長く続く特徴がみられた。

[平成 23 年度]

円ドル為替レート変化率の変動を調べるために、ドル円為替レートの対数差分を分析した。ドル円為替レートの対数差分から得られたパターン・エントロピー時系列について、期間別のパターン・エントロピーの変動の比較を行った結果、フラット相に比べてバブル相の方が、明らかにパターン・エントロピー値が高く、その高い値が長く続く特徴がみられた。また、サブプライムローン問題やリーマン・ショックが起きた後に、長期に渡ってパターン・エントロピーが高い値が続く特徴があることがわかった。

また、1 次元の単峰写像から生成されるカオス時系列に対するパターン・エントロピーの性質を調べた。その結果、カオス時系列に対するパターン・エントロピーの生成速度は、リアプノフ指数の大きさと非常に強い相関があることがわかった。

[平成 24 年度]

グローバル市場全体での動きを見るためには、単一通貨だけではなく、複数通貨の動きを捉える必要がある。そこで、複数の外国為替レートの対数差分の時系列について分析を行った。

いずれの外国為替レートの時系列も、時系列の対数差分を取っても、ランダムな時系列とはならず、対数差分の分布は正規分布よりも中央が尖って裾野の長い Leptokurtic な分布となることがわかった。時系列変動の局所的な不安定性を定量化するために、パターン・エントロピーによる時系列法を試みた。

約 13 年 8 ヶ月間 (1998 年 12 月 15 日-2012 年 8 月 18 日) の 7 種類の外国為替レートの対数差分から得られたパターン・エントロピー時系列において、リーマン・ショック (2008 年 9 月) が起きた後、長期に渡ってパターン・エントロピーが高い値が続く特徴がみられた。これはリーマン・ショックという金融不安が、外国為替レートにグローバルな不安定化を起し、その不安定な変動が長期に渡ったことを表していると考えられる。また、7 つの為替レート間の相関行列においても、データ期間全体とリーマン・ショック以降の期間で質的な変化が見られた。

複数の外国為替レートの対数差分から得られるパターン・エントロピーは、チャンネル数を固定して計算できるメリットがあり、より実用性の高い方法を見出すことができた。

以上のように、本研究から、為替レート、株価などの金融・経済データの期間別の変動の不安定さを分析する新しい手法としてのパターン・エントロピー時系列法の構築を着実に進めることができた。

パターン・エントロピーの値は、チャンネル数、ウィンドウ幅、閾値のパラメータの 3 つのパラメータにより決定される。今後、他の非定常時系列へも、このパターン・エントロピーを応用するためには、分析対象のデータの性質を十分に考慮しながら、パラメータの選択をしなければならない。

#### 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 4 件)

- ① Ryuji Ishizaki, Masayoshi Inoue, Time-series analysis of foreign exchange rates using time-dependent pattern entropy, *Physica A*, 査読有, 392, 2013, pp.3344-3350. DOI: 10.1016/j.physa.2013.03.041.
- ② 石崎龍二、複数の為替レート時系列のパターン・エントロピーによる分析、統計数理研究所共同研究レポート「経済物理

とその周辺(9)」、査読無、第 292 巻、2013 年 3 月、pp.125-130.

- ③ 石崎龍二、外国為替レートにおける 1 次元時系列と複数時系列のパターン・エントロピーの比較、統計数理研究所共同研究レポート「経済物理とその周辺(8)」、査読無、第 271 巻、2012 年 3 月、pp.78-84.
- ④ 石崎龍二、株価・為替レート時系列のパターン・エントロピー時系列による特徴づけ、統計数理研究所共同研究レポート「経済物理とその周辺(7)」、査読無、第 259 巻、2011 年 3 月、pp.1-7.

[学会発表] (計 14 件)

- ① 石崎龍二、井上政義、複数為替レートの変動におけるパターン・エントロピーのパラメータ依存性、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月 29 日
- ② 石崎龍二、外国為替レートにおけるパターン・エントロピーのパラメータ依存性、統数研共同研究集会「経済物理学とその周辺」H24 年度第 2 回研究会、統計数理研究所立川キャンパス、2013 年 3 月 15 日
- ③ 石崎龍二、井上政義、複数為替レートの変動の統計的性質とパターン・エントロピー、日本物理学会 2012 年秋季大会 (横浜国立大学)、2012 年 9 月 20 日
- ④ 石崎龍二、複数の為替レートのパターン・エントロピーによる分析、統数研共同研究集会「経済物理学とその周辺」H24 年度第 1 回研究会 (キヤノングローバル戦略研究所)、2012 年 8 月 27 日
- ⑤ 石崎龍二、井上政義、複数為替レートの変動とパターン・エントロピー、日本物理学会第 67 回年次大会 (関西学院大学)、2012 年 3 月 25 日
- ⑥ 石崎龍二、外国為替レートの変動とパターン・エントロピー、統数研・共同研究集会「社会物理学の展望」(統計数理研究所立川キャンパス)、2012 年 1 月 7 日
- ⑦ 石崎龍二、井上政義、非定常時系列のパターン・エントロピーによる特徴づけ、第 117 回日本物理学会九州支部例会 (佐賀大学)、2011 年 12 月 3 日
- ⑧ 石崎龍二、井上政義、株価・為替レートにおける複数時系列のパターン・エントロピーの統計的性質、日本物理学会「2011 年秋季大会」(富山大学)、2011 年 9 月 22 日
- ⑨ 石崎龍二、株価・為替レートにおける 1 次元時系列と複数時系列のパターン・エントロピーの比較、統数研・共同研究集会「経済物理学とその周辺」H23 年度第 1 回研究集会 (統計数理研究所立川キャンパス)、2011 年 9 月 8 日

- ⑩ 石崎龍二、井上政義、株価・為替レート時系列の揺らぎとパターン・エントロピー、日本物理学会第 66 回年次大会（新潟大学）、2011 年 3 月 27 日
- ⑪ 石崎龍二、株価・為替レートにおける複数時系列のパターン・エントロピー、統数研・共同研究集会「経済物理学とその周辺」H22 年度第 2 回研究集会（金沢学院サテライト教室）、2011 年 3 月 24 日
- ⑫ 石崎龍二、井上政義、カオス時系列のパターン・エントロピーとリアプノフ指数、第 116 回日本物理学会九州支部例会（長崎大学）、2010 年 12 月 4 日
- ⑬ 石崎龍二、井上政義、株価・為替レート時系列のパターン・エントロピーによる特徴づけ、日本物理学会「2010 年秋季大会」（大阪府立大学）、2010 年 9 月 24 日
- ⑭ 石崎龍二、株価・為替レート時系列のパターン・エントロピー時系列による特徴づけ、統数研・共同研究集会「経済物理学とその周辺」H22 年度第 1 回研究集会（統計数理研究所立川キャンパス）、2010 年 9 月 3 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石崎 龍二 (ISHIZAKI RYUJI)  
福岡県立大学・人間社会学部・准教授  
研究者番号：90265017