

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500200

研究課題名（和文）ネスティッドアトラクタによる自己相似理論モデル  
の構築と長期記憶経済時系列への展開研究課題名（英文）Selfsimilar theory based on nested attractors and  
its application to long-memory economical time series

研究代表者

松葉 育雄 (Matsuba Ikuo)

千葉大学・大学院融合科学研究科・教授

研究者番号：30251177

研究成果の概要（和文）：複雑系のスケーリング特性を導くメカニズムに着目して、一般的なモデルを構築することで、複雑系を対象にした方法論の指針を与える。モデル手法になり得るよう、従来の方法も包含した非線形工学の特徴ある手法として、かつ、実際の道具として提供しうるモデル構築法として確立すべく推進した。その結果アトラクタが入れ子構造となったネスティッドアトラクタが、スケーリング特性を生むメカニズムの候補として有望であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：It is a common feature of complex systems consisting of a large number of coupled systems that a cascade of energy flow from large to small scales generates a scaling behavior, namely power-law behavior of some observable. A typical example is seismicity that is characterized by an energy transfer through a hierarchy structure of attractors. In this study, we proposed the general framework of scaling based on hierarchy of attractors and its application to long-memory economical time series.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	1,900,000	570,000	2,470,000
21年度	800,000	240,000	1,040,000
22年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：自己相似性，長期記憶，経済時系列，アトラクター，非線形工学

## 1. 研究開始当初の背景

複雑系の関する問題が提起されて以来、理論、実験の両面から急速に発展してきた。たとえば、経済データのレヴィ分布と長期記憶特性、記憶想起機構や脳波の  $1/f$  スペクトル特性、地震のマグニチュードとその頻度分布の関係を表すグーテンベルグリヒター則と地震動のスペクトルなど、マクロな物理量にスケーリング則（べき則）が現れるのが共通する特徴である。このようなスケーリング特

性をもつ現象は、フラクタル手法を一般化した自己相似変換群に対する不変性を用いて説明できる。実際、一種の臨界点における自己組織化の結果として現れる自己組織化臨界現象として現象論的に説明されてきたが、その基本となる数理的構造は自己相似変換群に対する不変性である。株価、為替など経済データは、秒単位から年単位に至る広い範囲において、自己相似則つまりスケーリング特性を示すことが、非整数自己回帰モデルの

根拠を与えている。しかし、このようなモデルは線形性のため、少数変数ではスケーリング特性を説明できなく、非線形挙動に立脚した新たな説明原理が不可欠である。著書「長期記憶過程の統計」で明らかにしたように、実データに当てはめると、モデルは定常性を満たす限界に移動することになるが、このことはスケーリング特性が非線形システム固有の特徴として捉えなければならないことを示す。経済分野では特に、動的過程を支配する原理が必ずしも明確でないが、脳波やナイル川の水位など他のデータ同様に、高(低)レベルに長期間滞在する定常な不規則な変動が、結果的にスケーリング特性を導き、メカニズムの解明に導く可能性が期待される。経済分野で有用な自己相似変換群を与えるメカニズムを探求することは、複雑系分野の多様で複雑な諸現象を呈する非線形システムに共通するモデルの構築へと発展し、そのようなシステムを統一的に説明できるモデルの存在を解明することが期待される。

## 2. 研究の目的

複雑系を現象論的立場で解明した以上の研究経過を踏まえると、次の段階の課題はスケーリング特性を与えるメカニズムの究明である。経済に目を向けると、構造的な変化に伴う経済特有の現象を説明する指導原理が求められるが、たとえば外的ショックによって構造的に異なる状態に変化することを異なる構造を持ったアトラクタへの吸引と捉えることで、経済データの示す長期記憶性あるいはスケーリング特性の説明が可能である。さらに、そのような変化をもたらす環境に依存するマクロな挙動と、経済理論に立脚したミクロな立場から、このような特性を理解するための未踏な研究を行う。経済の持つ多様な特徴を複雑系理論の一つの応用分野で考えるだけでなく、様々な分野に共通するスケーリング特性を説明できる基本的な理論を展開することで、経済の詳細な原理に依存しないモデルの構築ができ、それによって始めて一般的な複雑系の本質を理解できることになる。以上が本研究の目標である。

## 3. 研究の方法

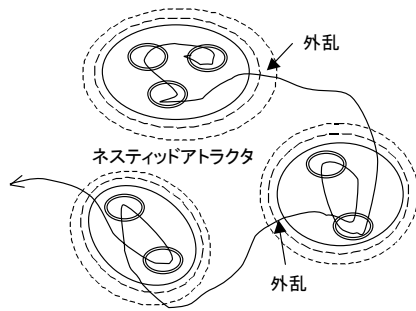
従来、物理系はもちろん社会現象のように明確な法則が知られていない場合にも、マクロな物理量が自己相似変換に対して不変で、スケーリング則が現れることが明らかにされてきた。本研究の目的は、ミクロな法則が異なるにもかかわらず、なぜマクロな状態で自己相似現象が現れるのかその理由を明らかにし、モデルを構築することである。問題は、スケーリング則がミクロなレベルでどのようなメカニズムで生じるかを説明できる基本原理を導くことである。平成20年度は

主に、計算機環境の整備、理論的研究の準備段階として、主たる対象として経済をとり上げ、そのスケーリング特性を顕著に示す長期記憶性を、購入予定のワークステーション上で大規模シミュレーションを実行することで徹底的に調べる。データの挙動のみに着目するのではなく、経済理論の視点に立ったメカニズムとの関連を明らかにする。平成21年度以降は以上の取り組みを発展させ、他のシステムを考察の対象とすることで、一般的な理論構築へフィードバックさせる。最終年度までには、スケーリング特性を与える一般的なメカニズムを与えるモデルとしての要件を抽出し、シミュレーション結果と合わせて個別の現象を取り上げて再検討する。さらに、大規模シミュレーションの結果を理論構築へフィードバックさせることでより確実なモデル手法になり得るよう、従来の方法も包含した非線形工学の特徴ある手法として、かつ、実際の道具として提供しうるモデル構築法として確立すべく推進する。研究の締めくくりとして、研究成果を国際会議等で発表し、さらには論文として纏めるだけでなく、書籍などにまとめた。

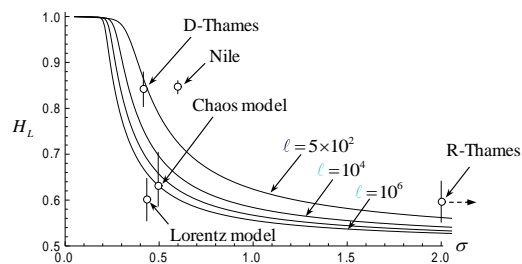
## 4. 研究成果

スケーリング特性を与える一般的なメカニズムを与えるモデルとしての要件を抽出し、シミュレーション結果と合わせて個別の現象を取り上げて再検討した。さらに、大規模シミュレーションの結果を理論構築へフィードバックさせることでより確実なモデル手法になり得るよう、従来の方法も包含した非線形工学の特徴ある手法として、かつ、実際の道具として提供しうるモデル構築法として確立すべく推進した。その結果アトラクタが入れ子構造となったネステッドアトラクタが、スケーリング特性を生むメカニズムの候補として有望となることを明らかにした。研究成果は論文として纏めるだけでなく、書籍などを通じて、研究者あるいは技術者に提供できるようにする。複雑現象を扱うフラクタル手法あるいは自己相似変換群は、複雑に見える現象からある種の不変な挙動を取り出す方法である。非線形で複雑な様相を呈する問題ではどのようにモデル化し、さらにどのようなアプローチで解を見つけるかは、問題の複雑さにも関係するが、統一的に確立された方法は未だ存在しない。本研究の目標は従来の現象論的な立場からの研究を進めて、複雑さの重要な指標としてのスケーリング特性を導くメカニズムに着目して、一般的なモデルを構築することで、複雑系を対象にした方法論の指針を与えることである。本研究のように、具体的に複雑な現象の特性を引き出すメカニズムあるいはモデル構築の従来の研究は見当たらず。実際に役立つ

つ手法として体系化できれば、経済のみならず非線形工学の発展に貢献しうるものと確信している。



具体的なモデルとして、 $x_n = \xi_n + \text{sign}(x_{n-1})$ ,  $\xi_n \sim N(0, \sigma^2)$  を考えると、 $\sigma$  の大きさによって長期記憶性を表すハースト数  $H$  が 0.5 より大きくなるのが理論的に示すことができる。下図は  $H$  を  $\sigma$  の関数として表したグラフであるが、 $\sigma$  が小さいほど長期記憶性が顕著になる。同図には、いろいろな実データに対して、推定した  $\sigma$  と  $H$  を載せた。D-Thames はテムズ川の日々の水位、Nile はナイル川の水位などを示す。いずれのデータからも簡単なモデルで長期記憶性の由来がアトラクタの存在によってある程度定量的に説明がつく。



## 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 松葉育雄, Singular Perturbation Approach to Maximum Principle Formulation of Viscous Incompressible Fluid Flow, Inter. J. of Applied Mechanics, Vol.2, No.3, 2010, pp. 557-568.
- ② 星雄樹, 森康久仁, 松葉育雄, 辰巳憲一, 日次株価データの Epps 効果とそのメカニズム, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-A, No.6, 2010, pp. 440-443.
- ③ 小谷潤一郎, 森康久仁, 松葉育雄, 複数の生成規則が混在する時系列の構造抽出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-A, No.7, 2010, pp. 507-512.

- ④ 今野良彦, 森康久仁, 松葉育雄, ブートストラップ法による少数データのリアプノフ指数精度向上法と経済時系列への応用, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-A, No.7, 2008, pp. 744-749.

[学会発表] (計 9 件)

- ① 陳浩洋, 森康久仁, 松葉育雄, ゲーム確率モデルを用いた確率増殖プログラム進化と協調共進化による対戦ゲームの設計方法, 第 73 回情報処理学会全国大会, 2011 年 3 月 2 日, 東京工業大学.
- ② 米山亨, 森康久仁, 松葉育雄, V1 野における眼優位性コラムの構造安定性, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2010 年 9 月 15 日, 大阪府立大学.
- ③ 松下右京, 森康久仁, 松葉育雄, Hodgkin-Huxley 型神経回路網におけるカオス連想の基礎現象, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2010 年 9 月 15 日, 大阪府立大学.
- ④ 石田崇仁, 森康久仁, 松葉育雄, 陳浩洋, 超平面最適化の応用による結合定数の導出, 電子情報通信学会ソサイエティ大会 2010 年 9 月 15 日, 大阪府立大学.
- ⑤ 関本信太郎, 森康久仁, 松葉育雄, Granger 理論による経済データの長期記憶性の分析, 電子情報通信学会技術研究報告, 2010 年 7 月 13 日, 石川県文教会館.
- ⑥ 関本信太郎, 森康久仁, 松葉育雄, 経済データの長期記憶性に関する Granger 理論の実証的研究, 第 8 回情報科学技術フォーラム (FIT2009), 2009 年 8 月 20 日, 東北工業大学.
- ⑦ 小田原平, 森康久仁, 松葉育雄, 相互情報量フィルタリングを用いた遺伝的アルゴリズムによる特徴選択, 第 7 回情報科学技術フォーラム (FIT2008), 2008 年 9 月 4 日, 慶應義塾大学.
- ⑧ 桑原俊, 森康久仁, 松葉育雄, 分割最適化クラスターリングの階層的可視化, 第 7 回情報科学技術フォーラム (FIT2008), 2008 年 9 月 4 日, 慶應義塾大学.
- ⑨ 小谷潤一郎, 森康久仁, 松葉育雄, 複数の生成規則が混在する時系列の構造抽出, 電子情報通信学会非線形問題研究会, 2008 年 11 月 6 日, 名古屋工業大学.

[図書] (計 2 件)

- ① 松葉育雄, 森北出版, 力学系カオス, 2011, 500.
- ② 松葉育雄, 丘維礼, 増井裕也, 共立出版, 微分方程式, 2008, 240.

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.geocities.jp/complex\\_lab2005/](http://www.geocities.jp/complex_lab2005/)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松葉 育雄 (MATSUBA IKUO)

千葉大学・大学院融合科学研究科・教授

研究者番号：30251177

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

森 康久仁 (MORI YASUKUNI)

千葉大学・大学院融合科学研究科・教授

研究者番号：40361414

辰巳 憲一 (TATSUMI KENICHI)

学習院大学・経済学部・教授

研究者番号：70104106