

## 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 24年 6月 11日現在

機関番号： 12601

研究種目： 若手研究（B）

研究期間： 2009～2011

課題番号： 21740284

研究課題名（和文） 生態系における普遍性の統計力学的研究

研究課題名（英文） Statistical Physics Approach to Universality in Ecosystems

研究代表者

島田 尚（SHIMADA Takashi）

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号： 90431791

研究成果の概要（和文）：

化石資料や生態系の観測データ、社会系、さらには理論モデルに普遍的に見られる特徴的パターンの由来の理解を目指し研究を行った。まず質的に異なる多種競争系の数理モデルの比較から特徴的な生物種寿命分布の統計性を左右する要件を明らかにした。またこの知見を元に系の記述を大幅に単純化したグラフモデルを提案し、この簡単なモデルにおいても観測事実に一致する分布が得られる事とその数理的機構を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Origin of the universal statistics those have been found in fossil data, ecosystems, and theoretical models are studied by statistical physics approach. We first examined different theoretical models and found features relevant for the resulting statistics, especially the distribution of species lifespan. Based on those results, we next introduced a simple graph model and analyzed the behaviors of the model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 物理学、数理物理・物性基礎

キーワード： 生態系、統計力学、普遍的統計則、多様性

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 時空間的に大きなスケールでの生態系の性質は、物理学も含む幅広い分野の注目を集めてきた対象である。実地や化石の研究からは過去の大絶滅や種数変動、食物連鎖網や系統樹の構造などにおける特徴的なパターンが報告される中で、それらの各々のパターンの由来や意味については独立に議論されることが多かった。統計力学的視点に立てば、

これらの異なった側面での普遍的パターンは多種が共存・相互作用しあう同一の系の特徴として理解されるべきであるが、多種共存系の好適なモデル構築の難しさもあり、データと比較可能な種間相互作用に基づく多種共存系の研究の進展は不十分であった。

(2) このような状況に対し我々は、簡単かつ新しいモデルを提案し、平常時のポピュレーションダイナミクスに加えてシンプルな絶

滅と変異のルールを導入した場合にモデル系が現実の生態系の記述に足るような豊かな種数と相互作用構造を持つ状態へと自己組織的に発展できること及びこのようにして生成された相互作用系が古生物資料の示す性質を良く再現することを示してきた。

## 2. 研究の目的

前項の結果は実際の生態系や化石資料に見られる特徴的パターンの由来についての簡潔な理解があり得ることを示唆するものであり、本研究ではこの理解を得ることを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、種間相互作用系として異なるモデルを用いて系統的に解析することにより実際の生態系や化石資料に見られる特徴的パターンの由来を吟味する方針を取った。

## 4. 研究成果

- (1) まず、我々が提案してきたスケール普遍的な種間相互作用に基づくポピュレーションダイナミクス系と、これとは大きく異なる個体ベースの相互作用モデル (tangled-nature model) の間で種の寿命分布に共通の統計性があることを明らかにした。また、この統計性を左右するのは新規侵入種が在来種と相関を持つかどうかという点であることも明確にした。これらの結果を論文②にまとめた。
- (2) この(1)の知見から、寿命分布の起源は更に簡単な機構に求められることが期待された。このため、相互作用を更に単純化したグラフダイナミクスのモデルを提案し、この簡単なモデルにおいても観測事実に一致する分布が得られる事とその数理的機構を一部明らかにした。この成果について出版した論文①はその重要性を高く評価され、掲載雑誌より当該年の優秀論文として選ばれた (New Journal of Physics Best of 2010)。また、国際/国内学会で発表を行い、成果の周知と関連する情報の収集・議論に努めた。
- (3) 新規グラフモデルが進化的時間スケールにおける生態系のミニマルモデルとして興味深い性質を示す事が知られたので、このモデルを用いて1970年代の R. May らの問題提起以来の積年の課題と言えるもっとも基本的な問題: 「多種共存系において種数が多様化の方向に向かうかどうかが決まる機構」について取り組んだ。その結果、
  - ① 相互作用を密度でなく種辺りの本数で指定する場合において唯一の

パラメーターである相互作用本数に対応した新規な種数発散/非発散転移が起こる事を発見した。

- ② 更に、シミュレーション結果の詳細な解析を元に理論的解析を進め、この新規な転移の起こる機構について明確な理解を与える理論を得た。現在、この新規な転移についての論文を投稿準備中である (Takashi Shimada, “Novel Diversifying Transition in a Simple Graph Model” )。
- (4) 本研究の視点からは、生態系に限らず多数の競争要素が共に進化する系には類似の普遍的側面があることが予想される。また、実データに基づく情報が本研究にとって不可欠であったことから、新しい実データの解析が新たな問題発見にもつながる可能性も期待される。この問題意識から、
  - ① 我々の持つインターネット動画サイトについてのデータと解析結果についての台湾の研究者との議論を契機として台湾での類似サイトの解析も含めた共同研究を行い、両者間の統計性の違いとその起源について一定の知見を得た (Takashi Shimada et al., 投稿準備中)
  - ② また、多自由度系のダイナミクスの特徴抽出の試みとして株価変動の相関構造の解析についてボストン大学にて共同研究を行い、論文にまとめた。投稿した (M. C. Muenix, T. Shimada, R. Shaeffer et al., “Identifying States of a Financial Market”, (査読中) <http://arxiv.org/abs/1202.1623>)。

## 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2件)

- ① Yohsuke Murase, Takashi Shimada, and Nobuyasu Ito, “A simple model for skewed species-lifetime distributions”, *New Journal of Physics*, vol. 12 (2010) 063021.
- ② Yohsuke Murase, Takashi Shimada, Nobuyasu Ito, and Per Arne Rikvold, “Random walk in genome space: a key ingredient of intermittent dynamics of community assembly”, *Journal of Theoretical Biology*, vol. 264 (2010) 663-672.

[学会発表] (計10件)

- ① 島田尚, "共進化生態系の簡単なグラフモデル", 日本物理学会第67回年次総会 (2012/3/24 関西学院大学)
- ② 島田尚, "共進化生態系の簡単なグラフモデルについて", ゲーム理論ワークショップ 2012 (2012/3/6 静岡大学(浜松)、招待講演)
- ③ Takashi Shimada, "Statistical Physics Approach to Understanding Universal Patterns in Ecosystem", Complex Systems 2011 (ISCS2011) (2011/12/1 東京大学)
- ④ Takashi Shimada, "Simple Graph Model of Ecosystem" TWELFTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM Frontiers of Fundamental Physics (2011/11/21 ウディネ (イタリア))
- ⑤ Takashi Shimada, "Relevant Feature for Reproducing Characteristic Statistics Found in Ecosystems StatPhys Taiwan-2010 (2010/6/24 中央研究院 (台湾), 招待講演)
- ⑥ Takashi Shimada, "Universal Aspects in Real and Model Ecosystems", Conference on Computational Physics 2010 (2010/6/4 トロンハイム (ノルウェー))
- ⑦ Takashi Shimada, "Skewed Life Time Distribution of Species and a Simple Graph Dynamics Model", Biocomplex Taiwan, (2009/12/15 中原大学 (台湾), 招待講演)
- ⑧ 島田尚、伊藤公法、伊藤伸泰, "ニコニコ動画コンテンツにおける特徴的分布則", 日本物理学会2009年 秋季大会 (2009/9/25 熊本大学)
- ⑨ Takashi Shimada, "Universalities in Ecosystems", NCTS workshop (2009/6/12 台湾大学 (台湾))
- ⑩ Takashi Shimada, "Characteristic Behavior in a Japanese Movie-Uploading Site", NCTS workshop (同上)

[図書] (計0件)

[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

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

島田 尚 (SHIMADA Takashi)  
 東京大学・大学院工学系研究科・助教  
 研究者番号：90431791

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：