

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400388

研究課題名(和文) リスク分散から見た複雑ネットワーク

研究課題名(英文) Complex networks viewed from risk distribution

研究代表者

守田 智 (Morita, Satoru)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：20296750

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：生育地がネットワーク状につながっているような害虫を考え変動環境下でどのようにすれば駆除できるかという問題を考えた。分散が環境に依存する場合、短期的に分散を拡大する方策が却って分散を抑制する可能性があることを明らかにした。また環境変動の時空間相関を考え、一般的に時間相関が強いと非一様性が高まり、空間相関が強いと非一様性が弱まることを確かめた。各居住地の個体数が冪分布になっており、非一様性は冪分布の指数で測ることができる。時空間相関を同時に導入したモデルでは、空間相関の原因が個々の場所にある場合と全体の環境にある場合とで結果が異なることが示された。

研究成果の概要(英文)：Consider pests living in many habitats and a network of these habitats. How do we control the pests in fluctuated environments? We found that the best strategy to enlarge the proliferation in the short term may be not effective in long term, in the case that the dispersion of the pest depends on the environment. In addition, considering the spatiotemporal correlation of the environmental variation, nonuniformity increases when the time correlation is strong, and non-uniformity weakens if the spatial correlation is strong. The number of pests in each habitat is a power distribution, and non-uniformity can be measured by the exponent of the power distribution. In this model introducing spatiotemporal correlation at the same time, it was shown that the results are different between two cases: the cause of spatial correlation exists in habitats and in the whole environment.

研究分野：非線形科学

キーワード：リスク分散 複雑ネットワーク 確率モデル

1. 研究開始当初の背景

複雑ネットワークという概念が物理学・生物学から社会科学に至る幅広い分野で注目されてきた。複雑ネットワークの考え方では、複雑なシステムをその構成要素間の2対関係として抽象化することでシステムの特性を鮮明化することを目指している。自然界や社会で見られる現実のネットワークには、従来の数理モデルで用いられたランダムグラフや格子と全く異なる様々な特徴を持っていることが広く知られるようになってきている。このようなネットワーク構造とシステムの機能の関係を解明していくことが重要課題となっている。

一方、リスク分散は、進化生態学では両賭け戦略、金融・経済システムでは分散投資として知られ学際的に重要な概念である。研究代表者らは、リスク分散の簡単なモデルとして1つの生物種に対して居住地が2箇所ありその環境がランダムに与えられているモデルを用いた解析を行ってきた。このようなモデルは、1種の生物が2通りの表現型を取ることができるケースや2通りのプロジェクトに投資を行う資産家のケースにも応用できる。上記のリスク分散モデルの居住地の数をもっと多く複雑に連結している場合はどうなるであろうか。本研究ではこのように状況について考える。

2. 研究の目的

本研究ではリスク分散モデルを用いたネットワーク形成モデルを構成し、リスク分散を最適に行うネットワークがどのような形態を持つかを明らかにすることを目的とする。リスクの伝播に対して頑健な構造を持つネットワークを生成する方法について考える。ネットワーク上を分散していくリスクに注目することでネットワークを捉え直す。

既存研究の多くでは、複雑ネットワークの構造を特徴付けするのに次数分布、平均ノード間距離、クラスタリング係数などの定常的な指標が用いられているが、これらの指標は、ダイナミクスへの影響を知りたい場合にネットワークの構造特性を記述する適切な量といえるかどうかについて疑問がある。リスク分散という力学的なモデルを用いてネットワークを構成することにより、ダイナミカルな視点からネットワーク構造を捉え直すことができる。さらに、リスクの移動分散の量をリンクの重みと解釈することで重み付きネットワークへと拡張できる。安定で持続可能なネットワークが持つリンクの重みの特性についても明らかにしていくことを目指した。

3. 研究の方法

本研究では、リスク分散モデルを用いて安定かつ持続可能なネットワークがどのような特性を持つかを調べる。具体的には、個体の移動拡散を考慮したメタ個体群動態モデ

ルを用いる。このモデルでは、全体の成長率が最大となるような移動率の最適値が存在する。すなわち、移動拡散によってリスク分散が実現する。このときに居住地間に実際に生じた移動をネットワークとみなし、ネットワーク特性を明らかにする。さらにア priori にネットワークを与えた場合も考え、その上に生じた最適移動のネットワークがどのようになるかも調べる。既存研究で頑健と言われているネットワークと比較することにより、ネットワークの安定性について系統的な知見を得る。

4. 研究成果

主な研究成果は以下のとおりであり、いずれも数値計算のみでなく理論計算により確認された知見である。文献番号は「5. 主な発表論文等」の「雑誌論文」に割り振った番号である。

まず、シンプルな抽象モデルとして生育場所がネットワーク状につながっているような害虫を考え変動環境下でどのようにすれば駆除できるかという問題を考えた。このモデルは、その他のリスク分散にも広く応用できる。研究課題採択前の研究を拡張し、分散が環境に依存するモデルを解析し、短期的に分散を拡大する方策が却って分散を抑制する可能性があることを明らかにした。理論部分は文献10に公表した。

また環境変動の時空間相関を考え、一般的に時間相関が強いと非一様性が高まり、空間相関が強いと非一様性が弱まることを確かめた。各居住地の個体数が冪分布になっており、非一様性は冪分布の指数で測ることができる。時空間相関を同時に導入したモデルでは、空間相関の原因が個々の場所にある場合と全体の環境にある場合とで結果が異なることが示された。すなわち、全体の環境から来る時間相関は非一様性に影響を及ぼさないという意外な結果が得られた。この成果を文献2にまとめた。

さらにネットワーク上の感染症モデルを一般化し、従来のモデルとの相違について平均場理論を用いて調べた。ネットワーク上の感染症モデルは既に広く応用されているが、感染過程の詳細に依存して異なる振る舞いをするを明らかにし、モデル使用者にその注意を喚起できたと思う(文献3)。

ネットワーク上でのゲームが行われるモデルについての解析も行い、クラスタリング係数が結果に及ぼす影響を明らかにした。2つの戦略が共存する場合、クラスタリング係数が大きくなると多数はがより多数になることを示した。格子のように規則正しいネットワークでも同様の結果が得られることを数値計算で確かめた。この成果をまとめたのが文献1である。

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 10 件)

1) Satoru Morita, "Evolutionary game on networks with high clustering coefficient" *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE 7, (2016) 110-112 [査読有]

doi:10.1587/nolta.7.110

2) Satoru Morita, "Power law in random multiplicative processes with spatio-temporal correlated Multipliers" *Europhysics Letters*, 113, (2016) 40007 [査読有] doi: 10.1209/0295-5075/113/40007

3) Satoru Morita, "Six Susceptible-Infected-Susceptible Models on Scale-free Networks" *Scientific Reports* 6, (2016) 22506 [査読有] doi:10.1038/srep22506

4) Jomar F. Rabajante, Jerrold M. Tubay, Hiromu Ito, Takashi Uehara, Satoshi Kakishima, Satoru Morita, Jin Yoshimura and Dieter Ebert, "Host-parasite Red Queen dynamics with phase-locked rare genotypes" *Science Advances* 2, (2016) e1501548 [査読有]

doi:10.1126/sciadv.1501548

5) Takashi Uehara, Kazunori Sato, Satoru Morita, Yasunobu Maeda, Jin Yoshimura, and Kei-ichi Tainaka, "A simple model for factory distribution: Historical effect in an industry city" *Physica A* 444, (2016) 213-219 [査読有]

doi: 10.1016/j.physa.2015.10.001

6) Jerrold M. Tubay, Keisuke Suzuki, Takashi Uehara, Satoshi Kakishima, Hiromu Ito, Atsushi Ishida, Katsuhiko Yoshida, Shigeta Mori, Jomar F. Rabajante, Satoru Morita, Masayuki Yokozawa, and Jin Yoshimura, "Microhabitat locality allows multi-species coexistence in terrestrial plant communities" *Scientific Reports* 5, (2015) 15376 [査読有]

doi: 10.1038/srep15376

7) Satoshi Kakishima, Satoru Morita, Katsuhiko Yoshida, Atsushi Ishida, Saki Hayashi, Takahiro, Asami, Hiromu Ito, Donald G. Miller, Takashi Uehara, Shigeta Mori, Eisuke Hasegawa, Kenji Matsuura, Eiiti Kasuya, and Jin Yoshimura, "The contribution of seed dispersers to tree species diversity in tropical rainforests" *Royal Society Open Science*, 2, (2015) 150330 [査読有] doi:10.1098/rsos.150330

8) Kazunori Sato, Takehisa Hasegawa, Satoru Morita, Jin Yoshimura, and Kei-ichi Tainaka, "Advantage or disadvantage of migration in a prey-predator system" *Far East Journal of Applied Mathematics*, 93, (2015) 109-212 [査読有り]

doi: 10.17654/FJAMNov2015_109_121

9) Jomar F. Rabajante, Jerrold M. Tubay,

Takashi Uehara, Satoru Morita, Dieter Ebert and Jin Yoshimura, "Red Queen dynamics in multi-host and multi-parasite interaction system" *Scientific Reports* 5, (2015) 10004 [査読有]

doi:10.1038/srep10004

10) Satoru Morita and Jin Yoshimura, "Disadvantages of preferential dispersals in fluctuating environments" *Journal of the Physical Society of Japan* 84, 034801, (2015) 1-4 [査読有]

doi: 10.7566/JPSJ.84.034801

〔学会発表〕(計 5 件)

1) Satoru Morita, "Degree based Mean-Field Approximation of Six SIS Models on Scale-Free Networks" *International School and Conference on Network Science*, Seoul, South Korea, 2016 年 6 月 2 日.

2) Satoru Morita, "Comparison among several types SIS epidemic models on networks" the 2016 annual meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology 福岡市, 2016 年 9 月 7 日.

3) 守田 智, 「時空間相関のある係数を持つランダム乗算過程」日本物理学会 第 71 回 年次大会, 東北学院大学, 宮城県仙台市, 2016 年 3 月 19 日.

4) 守田 智, 「環境変動と居住地移動のある 2 種競争系モデルの共存条件」生物数学の理論とその応用, 数理解析研究所, 京都府京都市, 2015 年 11 月 26 日.

5) 守田 智, 「連立確率ベバートンホルトモデルにおける共存解」日本物理学会 2015 年度秋季大会, 大阪大学, 大阪府吹田市, 2015 年 9 月 16 日.

〔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

<http://www.msys.eng.shizuoka.ac.jp/~morita/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

守田 智 (Satoru, Morita)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：20296750

(2)研究分担者

吉村 仁 (Jin, Yoshimura)

静岡大学・創造科学技術大学院・教授

研究者番号：10291957

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()