

令和 2 年 5 月 1 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07552

研究課題名(和文)テイラーの法則をもたらす個体数変動の性質：個体群の相互作用と同調性に着目して

研究課題名(英文) Interaction and synchrony of population dynamics determine the parameters of Taylor's laws

研究代表者

齊藤 隆 (TAKASHI, Saitoh)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授

研究者番号：00183814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：テイラー則は、個体群密度の分散と平均に関する経験則で、対数スケールにおいて、分散は平均によって直線的に回帰される。時間則と空間則がある。多くの動植物種で観察されているが、その形成メカニズムは未解明である。本課題は(1)持続的な個体群は両則を示す、(2)環境変動の影響を受けにくく、遅れの密度効果が弱い個体群の傾きは実測値に近い、(3)個体群に変動をもたらす動因は対数スケールでは均等に働くが、自然数スケールでは平均値よりも上の領域でより大きいために時間則が生じる、(4)密度効果の影響は時間則では顕著だが、空間則では弱い、(5)個体の移動が両則の傾きに大きく作用することなどを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

テイラー則は生態学において提起された密度の分散と平均に関する経験則で、数百に及ぶ動植物種で観察されてきた。密度は生物ばかりでなく、物質一般に観察されることから、工学、疫学、分子生物学においても適用されている。また、このように幅広い対象でテイラー則が成立することから分散と平均には未知の数学的な関係があるのではないかと考える数学者もいる。しかし、その形成メカニズムは不明で、それぞれの分野で研究が進められている。本研究は、時間遅れのない個体の再配置の重要性を明らかにしており、その成果は、ばらつき(分散)を抑える必要があるさまざまなシステムの制御にも応用できる。

研究成果の概要(英文)：Taylor's law (TL) is an empirical rule in ecology for variance and mean of population density: $\log_{10}(\text{variance}) \sim \log_{10}(a) + b \times \log_{10}(\text{mean})$. Population synchrony is another common feature. This study investigated the effects of environmental synchrony and density-dependent dispersal on the temporal (b_T) and spatial (b_S) slopes of TL, using an empirical dataset of 85 vole populations and simulated time-series. The empirical populations satisfied the temporal and spatial TLs with $b_T = 1.943$ and $b_S = 1.579$. The mean pairwise synchrony was 0.377. Most simulated populations satisfied the form of the TLs without the environmental synchrony and density-dependent dispersal, but those slopes were too steep. When including both effects, 92.7% of the simulated datasets provided realistic b_T , b_S , and population synchrony. Because the two slopes were more sensitive to density-dependent dispersal than environmental synchrony, density-dependent dispersal may be the key to understand b_T and b_S .

研究分野：生態学

キーワード：テイラー則 個体群 個体群動態 自己回帰モデル エゾヤチネズミ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

テイラー則は、個体群密度の分散 (v) は平均 (m) のべき乗関数 ($\log_{10}[v] = \log_{10}[a] + b \times \log_{10}[m]$) で表すことができるとする生態学の経験則で、多くの動植物種で観察され、時間的なテイラー則 (時間則) と空間的なテイラー則 (空間則) がある。この経験則は生態学上の古典的な課題といえるが、(1) なぜこれほど多くの種で観察されるのか、(2) なぜほとんどの観察例で傾き (b) が 1 と 2 の間に入るのか、(3) 本則の成立にはどんなメカニズムが働いているのか (時間則と空間則で違うのか)、について統一的な説明はない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、時間則と空間則を統一的にとらえ、エゾヤチネズミの観察データと以下の個体群動態モデルに基づいたシミュレーション分析によって、上の問いに答えることである。個体群の密度依存的な性質に基づく個体群動態モデル (2 次の自己回帰モデル)

$$x_t = (1 + a_1)x_{t-1} + a_2x_{t-2} + e_t \quad \text{Eq. 1}$$

x_t は t 年の個体群密度 (対数)、 a_1 、 a_2 は密度依存係数、 e_t は t 年の密度に依存しない効果。

3. 研究の方法

上の動態モデルがエゾヤチネズミの個体数変動をよく記述することが確かめられている。このモデルに持続的な個体群が持つ密度依存性係数を網羅的に与え、個体群動態の性質とテイラー則の存否、傾き (b) などを比較した。また、Eq. 1 に密度に依存しない環境要因の同調的な変化、密度依存的な個体の移動の効果を組み込み、2 つの要因がテイラー則にどのような効果を持つのかを分析した。

4. 研究成果

北海道北部において 31 年間継続的に個体数が調査されたエゾヤチネズミ 85 個体群のテイラー則を分析した。これら個体群は、時間則、空間則両方に対して、明瞭なテイラー則を示した (図 1)。これに加え、多くの個体群は同調して変動する特徴を持っていた。相関係数の平均は 0.377 で、半数以上の個体群間に有意な正の相関がみられた。

エゾヤチネズミの個体数変動をよく記述できる動態モデルを使ってシミュレーション分析を行った。このモデルに持続的な個体群が持つ密度依存係数を網羅的に与え、時系列データを発生させると、ほぼすべてシミュレーションデータがテイラー則を示した。しかし、これらの傾き (b) の多くは 2 を超えており、実際の個体群でよく観察される値に収まるためには必要な条件があることがわかった。その条件を探るために、密度依存性係数の組み合わせごとに、 $1 < b < 2$ となる確率を求めて、時間則と空間則で比較した。

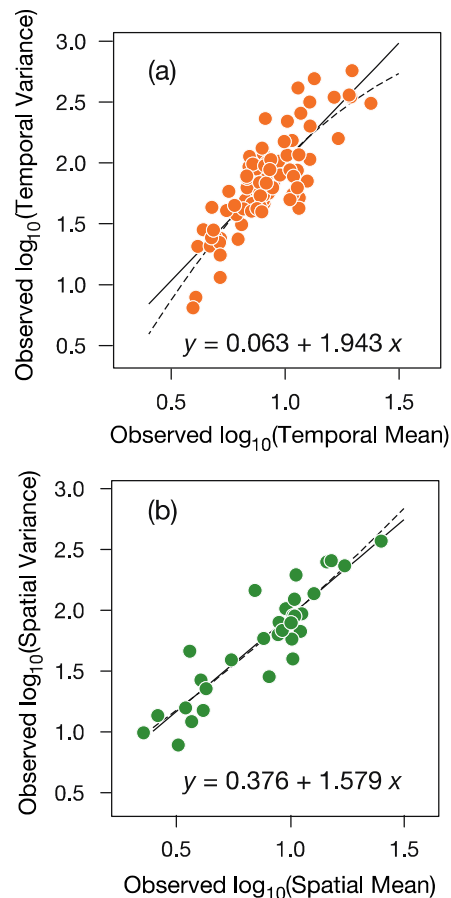


図1. エゾヤチネズミ個体群 (31年間継続観察された85個体群)のテイラー則. 上が時間的, 下が空間的なテイラー則.

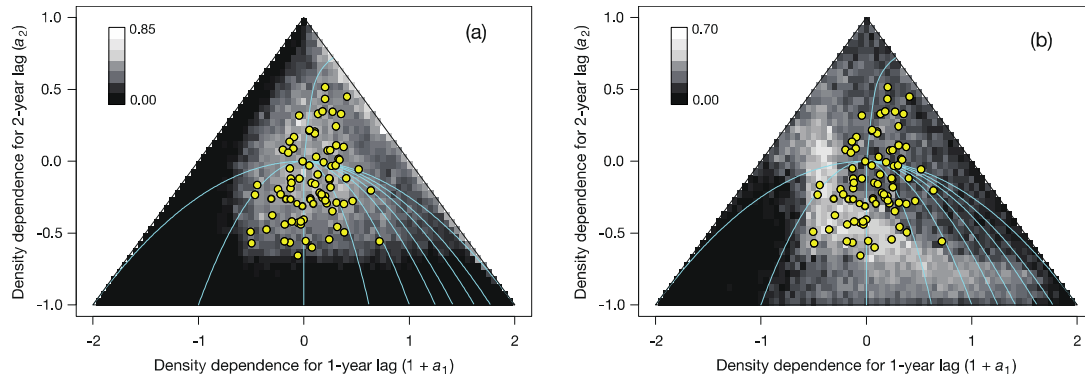


図2．テイラー則の傾き (b) に対する密度依存性係数の効果．1年遅れの密度依存性 (横軸)，2年遅れの密度依存性 (縦軸) の組み合わせごとに $1 < b < 2$ となる確率を求めた．明るいセルがその確率が高いことを示す．黄丸はエゾヤチネズミ 85 個体群の密度依存性係数．持続的な個体群の密度依存性係数の組み合わせは，三角形の中に収まる．左図は時間則，右図は空間則の結果を示す．

テイラー則の傾き (b) は密度依存性係数の組み合わせによって変異し， $1 < b < 2$ となる確率が高い組み合わせに特徴が見られた．時間則の場合，確率が高い組み合わせは中央から右上にかけて分布し，エゾヤチネズミの密度依存性係数の組み合わせとよく一致した (図2a)．つまり，時間則の傾きは密度依存性係数の組み合わせによってある程度予測できる．一方，空間則では， $1 < b < 2$ となる確率が高い組み合わせとエゾヤチネズミの密度依存性係数の組み合わせが一致しなかった．これは，時間則と空間則では関わっている要因が異なる，あるいは要因の関わりあい方が異なることを示している．

時間則，空間則の形成メカニズムの共通点と相違点を探るために，動態モデルに環境要因の同調性と生物個体の密度依存的な移動を組み込んだ．密度依存的な移動は両テイラー則の傾きに大きな効果があり，移動する個体が多いほど傾きは緩やかになった．しかし，個体群間の同調的な変動に対しては大きな効果はなく，密度依存的な移動だけでは現実の個体群の特徴を説明しきれなかった．環境要因の同調性と生物個体の密度依存的な移動の両方の効果を取り入れると高い確率で観察したエゾヤチネズミの個体群の特徴を再現できた．

また，個体群に変動をもたらす動因は，対数スケールでは平均値の上下で均等に働くが，自然数スケールでは平均値よりも上の領域でより大きな効果を持つためにテイラー則が発生することを明らかにした．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Saitoh Takashi, Cohen Joel E.	4. 巻 387
2. 論文標題 Environmental variability and density dependence in the temporal Taylor's law	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ecological Modelling	6. 最初と最後の頁 134 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.07.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamada Toshiya, Saitoh Takashi	4. 巻 63
2. 論文標題 Serial sampling bridges a gap between ecological and genetical definitions of immigrant: an empirical test in a grey-sided vole population	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mammal Research	6. 最初と最後の頁 141 ~ 150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1007/s13364-018-0351-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saitoh Takashi	4. 巻 62
2. 論文標題 Effects of environmental synchrony and densitydependent dispersal on temporal and spatial slopes of Taylor's law	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Population Ecology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1002/1438-390X.12051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takashi Saitoh
2. 発表標題 Can genetic distances explain population synchrony?
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Saitoh
2. 発表標題 Effects of environmental synchrony and density dependent dispersal on the temporal and the spatial slope of Taylor's law
3. 学会等名 第34回個体群生態学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齊藤 隆
2. 発表標題 哺乳類個体群の時間的，空間的変異の統合的な理解に向かって
3. 学会等名 日本哺乳類学会2018年度大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saitoh, Takashi
2. 発表標題 Dispersal and synchrony determine the slope of Taylor's law: Gompertz model analyses of Hokkaido vole populations
3. 学会等名 第12回国際哺乳類学会議 Perth, Australia (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齊藤 隆
2. 発表標題 テイラーの法則の動因とパラメーターの決定要因：エゾヤチネズミの個体群の分析から
3. 学会等名 日本哺乳類学会2017年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Saitoh, Takashi
2. 発表標題 Conditions of the prevailing slope ($1 < b < 2$) in the temporal Taylor's law
3. 学会等名 第33回個体群生態学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Saitoh, Takashi
2. 発表標題 Differences in home range allometry between herbivores and carnivores
3. 学会等名 第35回個体群生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Saitoh, Takashi
2. 発表標題 The herbivore carnivore interaction determines the exponents of home range-body size scaling in mammals
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----