

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700228

研究課題名(和文) 格子確率モデルを用いた生息地破壊・復元におけるヒステリシスの研究

研究課題名(英文) Hysteresis in habitat destruction and restoration using a probabilistic lattice model

研究代表者

中桐 斉之(Nakagiri, Nariyuki)

兵庫県立大学・環境人間学部・准教授

研究者番号：30378244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、モデリングとシミュレーションにより生息地破壊におけるヒステリシスを解析した。解析には、格子確率モデルという確率セルオートマトンの手法を用い、とくに生息地の破壊動態のモデルを構築して、生息地破壊における履歴効果やその条件などを解析し、生息地分断化や空間パターンが生物の個体群動態へ影響していること、また、間接効果があることが分かった。その際、生息地分断化の影響を解析するため、格子に生息地破壊の最新の破壊手法：ボンド破壊・2層サイト破壊・連続サイト破壊を適用した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we analyzed the hysteresis in habitat destruction by modeling and simulation. We were using the method of probability cellular automata of lattice probability model. Particularly, we were analyzed the habitat destruction to build the models of habitat destruction. We found that habitat fragmentation and spatial pattern have affected to population dynamics and species extinction. In order to analyze the effects of habitat fragmentation, we used the most recent destruction method of habitat destruction: it was applied to the bond destruction, the two-layer site destruction and the continuous site destruction models.

研究分野：環境情報科学

キーワード：モンテカルロシミュレーション 生息地分断化 生息地破壊 格子確率モデル 空間パターン パターン形成

## 1. 研究開始当初の背景

これまで申請者は様々な生物の個体群動態を空間分布の特性に注目し格子モデルによって解析してきた。個体間関係をゲーム理論的に設定し、その空間分布を最も単純な格子上の関係に置き換え、その原理的背景を探る。これら多体問題を生物の群集構造に置き換えた結果を生物の生態系などの問題へと幅広く応用してきた。生物系は時間反転非対称性という特徴を持つため複雑系の特徴が顕著にあらわれる分野であり、じゃんけん問題といった簡単なモデルでも興味深い現象が見られる未開拓分野である。申請者は、その中でも、環境破壊の問題とくに生息地破壊に注目し、生息地の破壊・分断化による生物の絶滅について研究してきた。開発などの人間活動によって起こる生息地破壊は、地球環境の保全にとって重要な課題である。しかし、今後ますます地球環境全体で生息地破壊が進行するに伴って、残った生息地を保全することに加え、生息地の復元と生態系を構成する生物種の回復がより重要な課題となってくる。ところが、環境を復元しても、しばしば目的の生物種の回復には至らないことがある。これは、破壊プロセスと復元プロセスが異なることを示唆している。

一方、自然界においては行きと帰りの経路が違う物理学的現象がよく知られており、ヒステリシスまたは履歴効果と呼ばれている。例えば、水が氷に変化する凝固点と氷が水に変化する融点異なることである。最近、申請者は共同研究者らと、アユの縄張りが周囲の個体数密度に依存して形成と崩壊を起こす際、履歴効果が生じることについて解析を行った。このように、生物系の分野でも植物群落の分布パターンの変化や動物の群れの形成などで履歴効果が知られている。

生物保全における生息地の破壊・復元プロ

セスで履歴効果が存在するかという問題は、環境復元という観点からも最重要な課題である。しかしながら、申請者の最近の共同研究から、生息地破壊を含まない生態系の格子モデルにおいて生物の死亡率が増加し絶滅する過程において、複数のプロセスが存在することを確認している。したがって、生息地破壊の格子モデルにおいても同様に複数のプロセスが存在すると考える。ゆえに、生息地破壊においても破壊と復元の経路が異なるヒステリシス（履歴効果）が存在することが予想できるため、今回の研究課題の着想に至った次第である。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、生息地の破壊・復元過程が生態系および生物種に及ぼす影響を解析するため、次の2点に絞って検討する。

(1)生息地破壊と復元のプロセスを比較し、生息地の破壊とその復元の過程が生物・生態系に与える影響について明らかにする。とくに、生息地の破壊・復元過程において、どのような条件で、どのようなヒステリシス（履歴効果）が起こるかを解析する。

(2)申請者らが開発したボンド破壊とサイト破壊を比較し、生息地面積の減少と生息地分断化の破壊・復元過程の違いが生物個体群にどのような影響を及ぼすか、間接効果という観点から解析する。

## 3. 研究の方法

本研究では、格子確率モデルという確率セルオートマトンの手法を用い、モデリングとシミュレーションにより生息地破壊における履歴効果を解析する。初年度は生息地の破壊・復元動態のモデルを構築し、次年度以降では、構築したモデルを用いて生息地破壊における履歴効果やその条件などを解析する。

生息地破壊の方法としては、生息地分断化の影響を解析するため、格子に生息地破壊の最新の破壊手法：ボンド破壊・2層サイト破壊・連続サイト破壊を適用する。その際、これら3つの生息地破壊をダイナミックに変化させることによって、生息地の破壊・復元過程を生息地分断化と生息地面積減少、また、間接効果という観点から解析するモデルを構築していく。構築したモデルは、計算機シミュレーションによる解析と近似計算による数理解析を行い、破壊過程と復元過程の比較を行って履歴効果が起こる条件や絶滅を引き起こす条件など、生息地破壊・復元の影響を解明していく。

#### 4. 研究成果

(1) 生物が生息している環境は、都市開発などによって常に変化しており、生物種の絶滅を引き起こす要因の一つに生息地破壊がある。この生息地破壊の研究については、二次元格子モデルを使用し、空間の影響や相互作用を含めた個体群動態を解析したものがあつた。しかし、これらの研究では、生物の移動を考慮したものがあまりなかった。そこで本研究では、移動を考慮した生息地破壊が個体群動態に与える影響について、生息地の空間パターンに影響に焦点をあて、2種の生物の存在する格子モデルを用いて解析を行った。モデル生態系として、2次元格子上に2種の生物と、生物の進入することの出来ない破壊地をランダムに配置し、シミュレーションを行い生息地破壊の影響を解析した。また、生物の移動・移住が考慮されていなかったが、移動を考慮した生息地破壊が個体群動態に与える影響も解析を行った。その結果、移動を考慮しない場合より生き残り易い場合と生き残り難い場合があることがわかつた。

(2) 生息地が破壊されたときの影響について、生息地面積と生息地の分断化に焦点を

当てて、2種の生物の存在するモデル生態系を用いて解析を行った。その結果、生息地破壊によって、生息地が分断化し個々の生息地の大きさが変化すると、個体数密度が急激に減少し、絶滅に至ることがわかつた。また、被食者の移動があるとき、分断化が起こると、さらに絶滅しやすくなることがわかつた。

(3) 生息地が破壊されたときの影響についてモデル生態系として、2次元格子上に2種の生物を配置し、それぞれ、増殖、捕食、死亡のプロセスを繰り返させる。この際、格子間に生物の増殖や捕食を抑制する壁をランダムに挿入する計算機実験を行った。その結果、この壁によって増殖と捕食のプロセスを制限すると、壁による個体群への影響は、壁の密度による影響だけでなく、壁が同じ密度でも、壁の長さを増加させると、捕食者が絶滅しやすくなることがわかつた。

(4) バクテリアは栄養を与えた培地の上で成育する際、栄養と培地で寒天の濃度を変化させると、コロニーのパターンが変化する。枯草菌では、樹枝状のパターン、高度に枝分かれする円盤状に近いパターン、円盤状パターン等が形成される。このパターン形成において、生息地破壊として、培地に障害物を設置する実験を行い、枯草菌の一種納豆菌のパターン形成について解析を行った。納豆菌は、ポリグルタミン酸を産生するため、パターンの形成条件が異なると予想されたが、実験の結果、納豆菌と枯草菌ではパターン形成の条件が異なる部分と一致する部分があることがわかつた。また、培地に障害物を置くと、パターンが変化することがあることがわかつた。

また、二次元格子を用いたモデルの構築より、解析を行った結果、栄養濃度と寒天濃度の条件が同じでも現れるパターンが異なる条件があることがわかつた。

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 5 件)

中桐 齊之, 向坂幸雄, 生息地破壊による絶滅の格子モデリング: 空間パターンと生物移動の影響, 第 76 回情報処理学会講演論文集, 査読無, 3B-5, 1-2. (2014).

Nariyuki Nakagiri, Yukio Sakisaka, Kei-ichi Tainaka, The Species Extinction on Model Ecosystems Caused by Habitat Destruction and Fragmentation, Book of Abstracts isem2013, 査読無, 207. (2013).

中桐 齊之, 環境の変化がバクテリアのパターン形成へ及ぼす影響: 格子モデルによるシミュレーション, 第 74 回情報処理学会講演論文集, 査読無, 1, 281-282, (2012).

榎原周平, 三輪佳奈美, 中桐 齊之, 環境条件の違いによる微生物の増殖過程とパターン形成, 第 74 回情報処理学会講演論文集, 査読無, 1, 283-284, (2012).

中桐 齊之, 向坂 幸雄, 泰中 啓一, 最小持続可能個体数と絶滅の空間パターンによる影響: 格子モデルによる解析, 京都大学数理解析研究所講究録査読無, 1796, 167-171, (2012).

[学会発表](計 8 件)

中桐 齊之, 向坂幸雄, 生息地破壊による絶滅の格子モデリング: 空間パターンと生物移動の影響, 第 76 回情報処理学会全国大会, 東京電機大学(東京都・千代田区), 2014 年 3 月 13 日

Nariyuki Nakagiri, Yukio Sakisaka, Kei-ichi Tainaka, The Species Extinction on Model Ecosystems Caused by Habitat

Destruction and Fragmentation, The 19th biennial ISEM Conference - Ecological Modelling for Ecosystem Sustainability in the context of Global Change -, Meteo France (Toulouse, France), 30, Oct. 2013.

中桐 齊之, 破壊地の格子モデルとパターン形成, パターン形成の数理生物学シンポジウム, 招待講演, 第 23 回日本数理生物学会大会, 静岡大学(静岡県・浜松市), 2013 年 9 月 13 日  
福田千奏, 中桐 齊之, 榎原周平, 納豆菌コロニーのパターン形成に関する研究, 日本生態学会第 60 回大会, 静岡県コンベンションアーツセンター(静岡県・静岡市), 2013 年 3 月 7 日

中桐 齊之, モデル生態系における生息地破壊による絶滅: 分断化と移動による影響, 日本生態学会第 60 回大会, 静岡県コンベンションアーツセンター(静岡県・静岡市), 2013 年 3 月 7 日

中桐 齊之, 向坂幸雄, 泰中啓一, 二次元格子モデルにおける生物の絶滅と生息地の空間構造: 生息地破壊による分断化, 第 9 回生物数学の理論とその応用, 京都大学数理解析研究所(京都府・京都市), 2012 年 11 月 16 日

中桐 齊之, 生息地の空間構造が生物の個体群動態に与える影響: 格子モデルを用いた解析, 個体群生態学会第 28 回大会, 東邦大学習志野キャンパス(千葉県・習志野市), 2012 年 10 月 20 日  
中桐 齊之, 生息地破壊と分断化の関係: 移動と絶滅, 第 22 回日本数理生物学会大会, 岡山大学津島キャンパス(岡山県・岡山市), 2012 年 9 月 11 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：  
出願年月日：  
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

中桐 斉之 (NAKAGIRI, Nariyuki)  
兵庫県立大学・環境人間学部・准教授  
研究者番号： 30378244

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：