

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 17 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26440252

研究課題名(和文)人間社会系と自然生態系の相互作用における空間スケールパラメータの評価

研究課題名(英文)Evaluation of spatial scale parameters in interaction of humansociety and natural ecosystem

研究代表者

山村 則男(YAMAMURA, NORIO)

同志社大学・文化情報学部・教授

研究者番号：70124815

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：空間を考慮した、人間社会系と自然生態系の相互作用についていくつかの具体的な数理モデルを開発した。例として、遊牧における協力関係や家畜種の選択の問題、野生絶滅鳥類の復帰プログラム、農業害獣の最適管理を扱った。空間スケールとその重層性に関して一般的にモデルの分類を行い、それぞれのモデル型に関して、空間スケールに関する重要なパラメータ群のリストアップを行った。

研究成果の概要(英文)：I explored several actual special models on interaction of human society and natural ecosystem, of which examples include corporation and animal species selection in nomadism, revival program of locally extinct bird species, and optimal management of pest animals for agriculture. I made general classification of such models on spatial scales and their stratification, and listed up important spatial parameters in individual model types.

研究分野：数理生態学

キーワード：人間社会系 自然生態系 数理モデル 最適解

### 1. 研究開始当初の背景

人間社会と生態系の相互作用の研究の重要性が指摘されているものの、それを理論モデル化するための枠組みは十分ではなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、まず人間生態相互作用系の空間モデルのいくつかの具体例を構築し、その相互作用を表現する重要なパラメータを抽出する。最も重要なのは、人間の移動や情報入手、および、自然環境や生物分布の空間スケールを表現するパラメータである。種々の空間スケールの組み合わせにより、ダイナミクスの特徴がある程度規定されると考えられる。次に他の例も加えて、この理論的枠組みを人間社会-生態系相互作用の一般論として提案する。この成果は新しいモデルを構築するときのチェックリストとして応用できる。

### 3. 研究の方法

人間行動と生態系の相互作用を格子点で設定するとともに、空間移動や空間変動のスケールに関するパラメータをモデルに取り込み、空間モデルを構築する。解析的に解ける部分を先行して研究し、コンピュータシミュレーションの枠組みや試行範囲の設定の参考とする。他の具体例も追加して、種々の空間スケールがモデルに及ぼす、一般的な結果を分析し整理してまとめる。この枠組みを、新しいモデルの構築にあたってのチェックリストとする。

### 4. 研究成果

空間を考慮した、人間社会系と自然生態系の相互作用についていくつかの具体的な数理モデルを開発した。例として、遊牧における協力関係や家畜種の選択の問題、野生絶滅鳥類の復帰プログラム、農業害獣の最適管理を扱った。空間スケールとその重層性に関してモデルの一般的分類を行い、それぞれのモデル型に関して、空間スケールに関する重要なパラメータ群のリストアップを行った。以下に具体例モデルの結果を詳しく述べる。

(1) モンゴルでは、少なくとも2000年間変動が大きい寒冷乾燥気候のもとで遊牧を続け、他人に寛容な伝統的文化を作り上げてきた。その寛容性とは少雨のため隣人の牧草地の生育が悪い時には自分の土地を利用することを許すというものである。遊牧民における寛容性の進化は降雨の変動性に依存するという仮説のもとに、各格子点に個人の牧草地が存在するという格子モデルによってシミュレーションを行った。毎年家畜のバイオマスは降水量に比例した牧草の生産量に依存して増加し、遊牧民は季節の終わりに家畜バイオマスの一定割合を売却するとした。降水量の年次変動パターンはモンゴルの実際のデータを用いた。牧草の生育が悪い遊牧民は隣人に土地の共同利用を嘆願することができる。嘆願を受諾するのが寛容戦略であり、拒否するのが厳格戦

略である。売却量を効用として30年間の平均効用が自分よりも隣人の誰かが大きいとき、次の年から戦略を効用が大きいものに変えるとした。2000年間のシミュレーションにおいて寛容戦略は進化できなかったが、一度裏切られた相手には寛容性を示さないという条件付き寛容性を導入するとこれは進化できた。降水量の変動が小さい場合には、いずれの寛容戦略も進化できなかったため、モンゴルの遊牧民の寛容性は大きな環境変動が進化させたという結論に達した。

(2) 地球環境が劣化する中、植生環境を衰退させることなく人々の生活を豊かにすることが急務の課題である。モンゴルでは遊牧と草原環境との関係が問題とされている。このために食うものと食われるものの関係を表すロトカ・ヴォルテラ式を用いて、草本バイオマス、かん木バイオマス、ヒツジのバイオマス、および、ヤギのバイオマスの4変数によるダイナミカルモデルを構築した。草本とかん木はロジスティク式で成長し、人間がヒツジとヤギをそのバイオマスに比例して売却するとした。ヒツジは草本をより好み、ヤギはかん木をより好むという事実があり、この条件をパラメータに設定すると、2つの売却率の大きさに応じて以下の6種類の平衡点のうち1つのみが大域安定になることが分かった。ヒツジの売却率を高めるとヒツジが減り、直接効果として草本は増えるはずであるが、この場合かん木が増えヤギが増えるという間接効果が勝って、草本が減ることが分かった。これらの安定平衡点を用いて、最適化モデルを構築し最適売却率を求めた。環境最適化モデルでは草本とかん木のバイオマスの加重和を最大にしたので、売却率を高め家畜がいない状態が最適となった。経済最適化モデルではヒツジとヤギの売却高を最大にしたので、ヒツジとヤギの単位バイオマスあたりの価格が大きく異なる場合には、4種共存させることが最適となった。環境と経済双方の最適化モデルでは売却高と植物のバイオマスの価値の和を最大にしたので、経済最大化モデルよりも売却率が高く家畜が少ない状態が最適となった。最後に、環境意識の変化、経済の動向、および、気候変動に対して最適解がどのように変化するかを調べた。

(3) トキは日本において野生絶滅しており、現在新潟県佐渡島に生息しているトキは中国から贈呈・供与された個体を繁殖・放鳥して野生下に再導入した個体群である。この個体群の存続可能性について、永田・山岸(2011)は中国の個体群パラメータを用いて存続可能性分析を行った。中国のパラメータ値を達成できれば放鳥をやめても存続可能であること、巣立ち率と1歳までの生存率が存続に大きな影響を与えることを示した。佐渡島では2012年から3年間連続して野生繁殖が成功したので、これらのパラメータを用いて新たに分析を行った。モデルは誕生・死

亡確率過程であり、雌雄および1歳の若鶏と2歳以上の成鳥を区別した。巣場所の制限を考慮して繁殖ペア数の上限を環境容量  $K$  とした。確率変動は (1) 人口学的変動 (2) 1歳までの生存率の環境変動を考慮し、50年後の絶滅確率を1000回のシミュレーションによって求めた。(2)については、3年間の生存率の実現値を等確率にしたものと平均値がそれと一致する線形連続確率密度を用いた。3年間の繁殖成功率(繁殖ペアのうちヒナを羽化させたペアの割合)の平均は  $f=0.30$  であり、この値を用いると、放鳥をやめた場合の絶滅確率は80%以上となった。絶滅確率を5%以下にするには、人口学的変動のみを考慮したとき、実現値環境変動を加えたとき、連続値環境変動を加えたときそれぞれにおいて、 $f$  を0.4, 0.45, 0.47まで向上させる必要があることが分かった。これらの値は、 $K=40$ 以上では影響を受けないが、 $K=10, 20$ の値では、中国のパラメータ値  $f=0.64$  が達成されたとしても5%以上の絶滅確率になることが分かった。放鳥をやめても個体群を存続させるためには、今後、繁殖成功率を高めることと少なくとも40以上の繁殖ペアを確保できる環境条件の維持が必要である。

(4) 近年、シカ・イノシシ・アライグマなどによる農業被害が増加している。その対策として、狩猟やワナによる捕獲と、耕作地を囲う柵による防護がなされている。しかし、捕獲や防護にはコストが伴うので最適な投資を決定するための数理モデルを提唱した。モデルは、増殖(ロジスティック式)と捕獲投資額に比例する捕獲率(密度が低いと捕獲率が低下するという密度効果を含む)から決まる害獣の密度の平衡点を計算し、耕作地への害獣侵入率は防護投資額の減少関数とした。そこで、単位耕作面積あたりの捕獲投資額と防護投資額および被害額の和を最小とする最適投資を求めた。モデルに含まれるパラメータの値によって、(捕獲投資、防護投資)の最適解は、(0,0), (0,+), (+,0), (+,+)のいずれかとなり、+の場合はその最適額を計算することができる。パラメータの変化に対して最適解は単純でない変化を示した。例えば、動物の増殖率の増加に対して最適捕獲投資額は極大値を持つものに対して、最適防護投資額は単調増加となる。シカ・イノシシ・アライグマについての個体群パラメータおよび、各種に対するワナと防護柵の価格データから検討すると、概ね、最適な対策費の総額は、イノシシ、アライグマ、シカの順となった。また、イノシシは防護に重点を置き、アライグマは捕獲に重点を置くべきことがわかった。実際に行われている対策が、モデルで予測されるものと一致しているのかどうかの検討も行った。

## 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 1件)

- ① Reiichiro ISHII, Shoko SAKAI, Noboru FUJITA, Takao ITIOKA and Norio YAMAMURA (2014) Collapse and restoration of ecosystem networks with human activity. (査読あり) Global Environmental Research 18: 133-143

[学会発表] (計 7件)

- ① 山村則男、幸田良介. 農業害獣の最適管理-シカ・イノシシ・アライグマの比較-. 日本生態学会 2017年3月16日「早稲田大学(東京)」
- ② 山村則男. 農業害獣の管理-捕獲と防御のバランス-. 個体群生態学会 2016年11月3日「ホテル鹿の湯(北海道・札幌)」
- ③ 山村則男. Population dynamics and optimal management of 4 species (grass, shrub, sheep and goat) in nomadism. 日本数理生物学会 2016年9月8日「九州大学(福岡・福岡)」
- ④ 山村則男. 遊牧における4種(草本・灌木・ヒツジ・ヤギ)関係の動態と最適管理. 日本生態学会 2016年3月24日「仙台国際センター(仙台・宮城)」
- ⑤ 山村則男、二股栄莉、前川勇貴、永田尚志. トキの再導入個体群の存続可能性分析. 日本生態学会 2015年3月21日「鹿児島大学(鹿児島・鹿児島)」
- ⑥ Norio YAMAMURA, Shoko SAKAI and Reiichiro ISHII. Collapse and restoration of ecosystem networks with human activity. Asia GLP Conference 2014, Sep. 25. Taipei (Taiwan)
- ⑦ Eriko SATO and Norio YAMAMURA. Utility and evolution of generous strategy in nomadism. JSMB & SMB 2014, Jul. 29. 「大阪国際会議場(大阪・大阪)」

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 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 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

山村 則男 (YAMAMURA, Norio)  
同志社大学・文化情報学部・教授  
研究者番号：70124815

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

川崎 広吉 (KAWASAKI, Kokichi )  
同志社大学・文化情報学部・教授  
研究者番号： 10150799

### (4) 研究協力者

( )