

マルチエージェントモデルを用いた

オオカミ再導入によるニホンジカの植生影響緩和効果の分析

An analysis of mitigation effect on vegetation impact from deer by means of reintroduction of wolves using multi agent model

古林知哉^{*1}
FURUBAYASHI Tomoya

松井孝典^{*1}
MATSUI Takanori

宮内達也^{*1}
MIYAUCHI Tatsuya

町村尚^{*1}
MACHIMURA Takashi

^{*1} 大阪大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Osaka University

In Japan, the vegetation influence by Sika deer (*Cervus nippon*) has been increasing for more 20 years. The agriculture and forestry damage by Sika deer amounts to 470 million yen in Hyogo in 2010 business year. We should improve the management plan and it needs to estimate the vegetation influence by the number of Sika deer. On the other hand, reintroduction of wolf (*Canis lupus*) was considered as an option to control population of deer. In this background this study aimed to build a spatio-temporal multi-agent model in order to simulate behavior of wolf and deer population dynamics and estimated the decrease of vegetation impact by using multi-agent model and process-based ecosystem model.

1. 背景と目的

日本においてシカの食害による種々の被害は深刻な問題となっている。シカは葉や芽、樹皮、果実などを採食するため、生息数が増大すると生態系の構造を変化させるほどの影響をもたらす。[松井 2013]では、シカとオオカミの個体群動態を理解することを目的として、従来の空間無次元でのシカとオオカミの個体群動態モデルをマルチエージェントモデルによって拡張し、オオカミ個体群の競争や分散等の行動を組み込んだ空間明示的なシカとオオカミの個体群動態モデルを構築した。このモデルにより、シカ個体数制御のためのオオカミ再導入戦略について基本的なモデル応答を分析し、オオカミ再導入の有効性やリスク評価を行うための基礎を与えた。そこで今回は、オオカミの導入によるシカの減少が植生の回復に与える影響も含めたモデルに拡張すべく、生態系プロセスモデルと、シカとオオカミのマルチエージェントモデルを結合し、シカの被食下での植生現存量の変化を分析することを目的とする。

2. シカ・オオカミ空間明示型個体群動態モデルと生態系プロセスモデルの結合

2.1 シカ・オオカミ空間明示型個体群動態モデルの基本アルゴリズム

シカとオオカミのマルチエージェントモデルでは、実測データを基に構築された空間無次元での [Milner 2004] によるシカ、[Nilsen 2006] によるオオカミのそれぞれの個体群動態モデルを統合して、シカとオオカミの捕食・被食の関係をモデル化する。次にオオカミの一般的な死因である種内競争やディスパーザルをモデル化した [Roth 2008] を参考に、マルチエージェントモデルによってオオカミ個体群の競争や分散行動のサブモデルを組み込み、個体群動態モデルを空間明示的なモデルに拡張す

る手続きをとる。

空間明示型個体群動態モデルのメインアルゴリズムは、タイムステップは 1 年とし、オオカミ個体群のタイムステップごとのイベントとしては、シカの捕食、繁殖及び死亡、パック間衝突 (種内競争)、ディスパーザル (若いオオカミの長距離分散行動)、成熟を設定し、シカ個体群のイベントとしては被食、繁殖および死亡に関するモデル、シカとオオカミ間については個体群の密度に応答する被食捕食モデルを実装した。詳細なアルゴリズムは [松井 2013] に記載されている。今回の分析では、兵庫県の土地状況を想定した空間に、1 - 8 歳の各年齢級のオスとメスが 2 頭ずつから構成されるオオカミパックを 1 パック導入するシナリオを設定して、50 年間のシミュレーションを行った。また初期状態の各セルのシカ個体数は 56 [頭] とした。

2.2 生態系プロセスモデル Biome-BGC によるシカの植生影響の表現

2.1 のマルチエージェントシミュレーションにより、オオカミの捕食を経た毎年のシカの個体数が算出されるが、このときのシカの採食による植生への影響を表現するために、生態系プロセスモデル Biome-BGC を用いて被食下の植生現存量変化を推定した。シカが草本植物を嗜好するため、植生タイプは C3grass とした。植生現存量は炭素密度に換算した。前節の個体群動態モデルで得られた毎年のシカの個体数から日ごとの採食強度を算出し、植生の成長と採食の差分によって各セルの植生現存量の変動を予測した。このときシカの日採食強度は [増子 1997] を参考に乾重量で体重の 2 % とし、c3grass の炭素含有率は [IPCC 2003] で設定されている 50 % を採用した。シカの体重は性別、年齢別に定まっており、[高槻 2006] に記載されている東北地方の五葉山のシカの性別、年齢別の体重をもとに兵庫県のシカの体重を推定した値を採用した。気象データは兵庫県豊岡市の 1980 ~ 1999 年までの 20 年分を繰り返し使い、Biome-BGC のスピンアップシミュレーションを実行したのち、50 年間でシミュレーションした。これによって、オオカミの再導入を行った際のシカの個体数の変動と、それに伴って回復が期待される植生現存量の動態が分析可能となる。

連絡先: 古林知哉, 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻, 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1, +81668797407, tomoya.furubayashi@see.eng.osaka-u.ac.jp

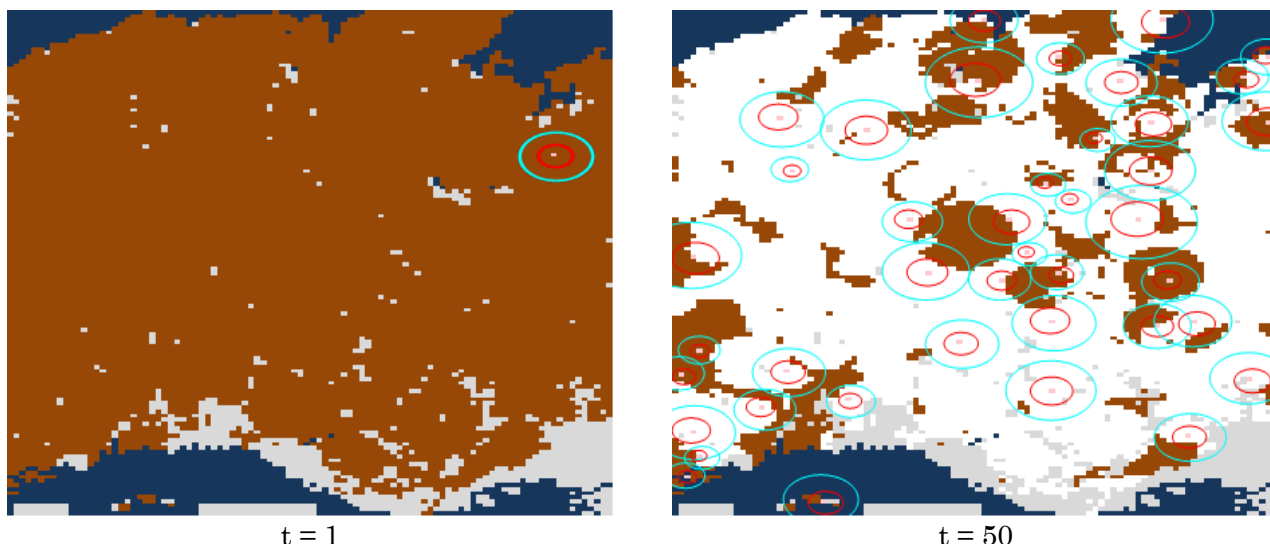


図 1 マルチエージェントモデルによるシカとオオカミの空間分布
(茶色：シカ在セル，白色：シカ絶滅セル，円：オオカミパック)

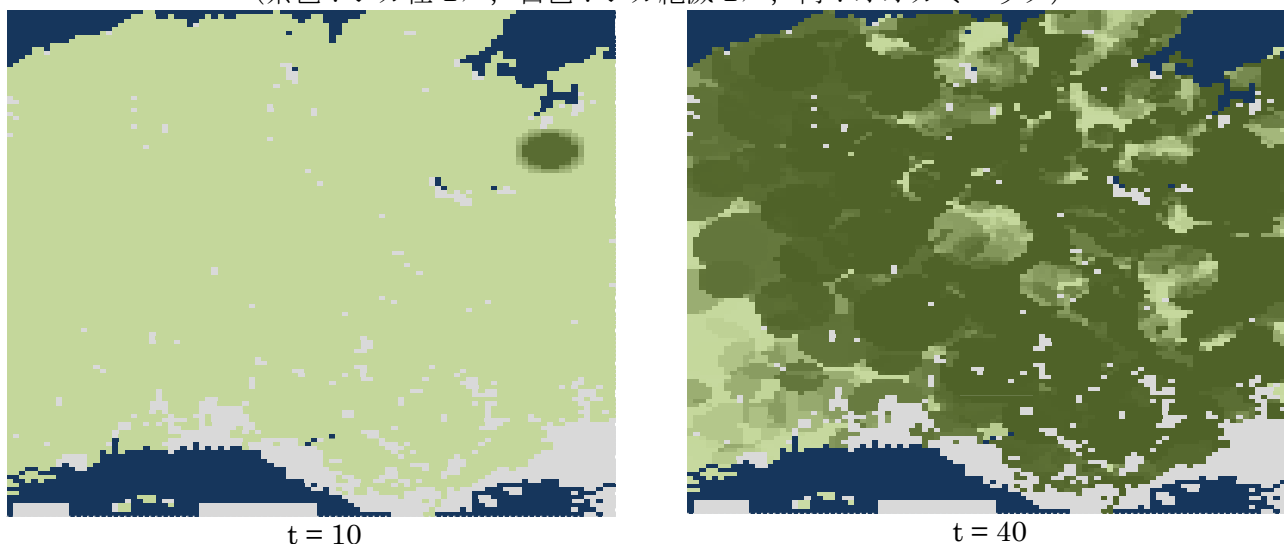


図 2 植生現存量の最小値と最大値の空間分布 (濃：植生現存量高，薄：植生現存量低)

3. 分析結果

3.1 拡散による空間分布

図 1 にはオオカミの導入から 1 年後および 50 年後のオオカミの分布図とシカの生息域の分布を示す。図 1 左に示す導入の初期は空間北東部に 32 [頭] から構成される 1 パックのみが導入されたケースとなっている。図 1 右の $t = 50$ の段階ではディスプレイザルや種内競争を通じて全域に拡散し、パック数は 37 にまで分散している。このとき、オオカミの個体数は $t = 1$ の 32 [頭] であったものが、53 [頭] まで増加した。この間の 50 年間、全域で継続的にシカは複数のパックから同時にオオカミからの捕食圧を受け続け、シミュレーション領域内で 9906 セルに生息していたシカは最終的には 2159 セルにまで減少し、総個体数は 554,736 [頭] から 11,220 [頭] にまで減少した。

約 78 % の森林メッシュでシカが捕食し尽されており、オオカミの導入がシカの生息密度に影響を与えていることがわかる。オオカミの平均パックサイズは導入時の 32 [頭] から 1.43 [頭] まで減少しており、単独行動に移行することが示唆される。

3.2 植生現存量の変動

図 2 にオオカミの捕食を考慮したシカの個体数に基づいて算出された各セルの植生現存量を示す。シミュレーションの初期状態ではシカの個体数が各セルで 56 [頭] であり、飽和状態にある。従って、初期状態はシカからの強い採食圧を受けた状態であり、植生現存量は低いものとなっている。図 2 左に示した $t = 10$ において領域内の総植生現存量は最小値 119,900 [tC] をとった。これは初期段階ではオオカミのパック数が少ないため、北東部以外ではシカ個体数が減少せず、植生現存量が減少し続けたためである。一方、図 2 左に示した $t = 40$ において最大値 177,900 [tC] となったが、これは全域においてオオカミのパックが拡散し、シカの捕食が行われることで採食圧よりも植物成長が上回ったためであるといえる。

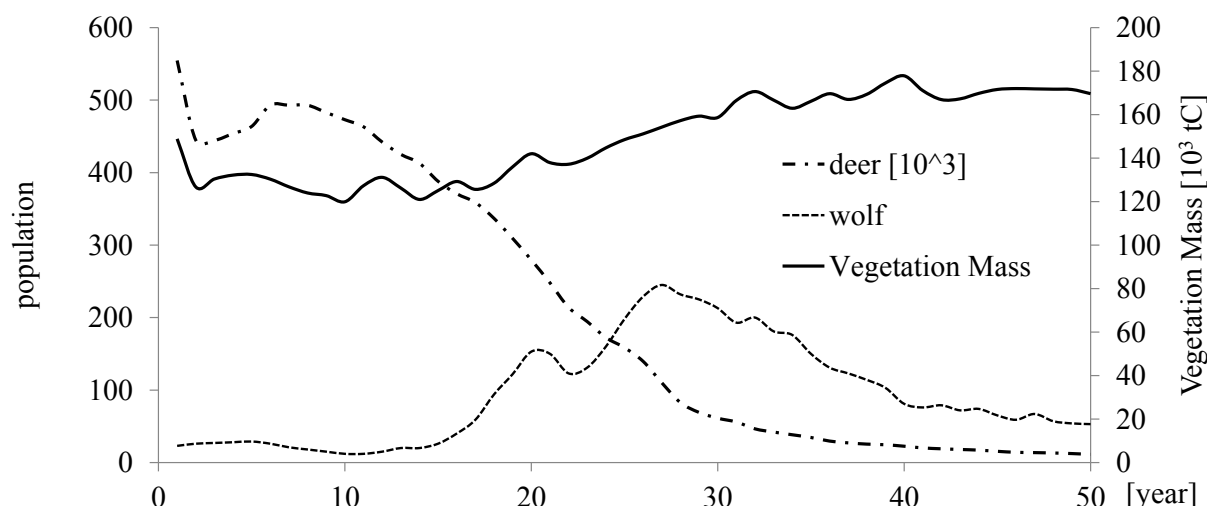


図3 シカ・オオカミ個体群動態および総植生現存量

3.3 シカ・オオカミ個体群動態と植生への影響

図1, 図2に示されるシカとオオカミの分布や植生現存量の変動を明らかにするために, 計算領域内のオオカミ個体数[頭], シカ個体数[10^3 頭]および総植生現存量[tC]を図3に示した。オオカミ導入後10年くらいからシカ密度の減少速度, オオカミの増加速度が加速しているが, 30年経過時点からシカの減少速度が鈍化して低い密度で定常水準に入り, 同時に餌資源の不足に伴ってオオカミの繁殖率が低下し, 種内での資源獲得競争が激化してオオカミの個体数が減少傾向に向かっている。その後, シカ, オオカミともに小さい個体数で定常状態に入ることが予想される。このとき, 植生現存量は10年目で最小値をとったのちに, シカ個体数の減少に伴って回復基調に入り, 40年目で最大値をとる結果となった。この付近ではすでにシカ個体数が小さいため, この後の植生現存量はシカからの採食圧よりも気候条件が支配的になると予想される。

4. まとめと今後の課題

本稿ではオオカミとシカの個体群動態について, マルチエージェントモデルを応用して空間明示型の個体群動態モデルに拡張し, オオカミ再導入時のシカとオオカミの動態を分析し, その際の植生現存量を生態系プロセスモデルにより表現した。

今後の生態的な課題としては, 本モデルでは植生現存量の低下に対してシカの繁殖率などのパラメータが固定的であるため, 今後, 植生現存量の変動によるシカへのフィードバックを表現したモデルを実装する。また計算科学的な課題としては, 今回はシカが各メッシュに固定されているモデルとなっているが, 実際にはオオカミの捕食圧が高まった際には, シカがオオカミのテリトリー外へ移動するなどが予想される。よってシカもマルチエージェント化したモデルへと拡張する必要がある。

参考文献

- [松井 2013] 松井孝典, 土屋翔平, 町村尚:シカとオオカミ - マルチエージェントシミュレーションによる個体群動態モデリング-, 2013年人工知能学会全国大会論文集, 3K3-OS-08b-2, 2013.
- [Milner 2004] Milner-Gulland. E. J., Coulson, T. and Clutton-Brock, T. H. : Sex differences and data quality as determinants of income from hunting red deer *Cervus elaphus*. *Wildlife Biology*, 10-3, pp167-181, 2004.
- [Nilsen 2007] Erlend B. Nilsen, E. J. Milner-Gulland, Lee Schofield, Atle Myrseth, Nils Chr. Stenseth and Tim Coulson,: Wolf reintroduction to Scotland: public attitudes and consequences for red deer management. *Proc. R. Soc. B*, pp.1-8, 2007.
- [Roth 2008] James D. Roth, Dennis L. Murray, Tod D. Steury, Spatial dynamics of sympatric canids: Modeling the impact of coyotes on red wolf recovery, *ecological modelling*, 214, 391-403, 2008.
- [増子 1997] 増子孝義, 相馬幸作, 熊谷弘美, 高崎興平, 亀山祐一, 石島芳郎:エゾシカ (*Cervus Nippon yesoensis*) における乾草, ヘイキューブおよびサイレージの消化率と窒素出納, *Grassland Science*, 43:32-36, 2008.
- [IPCC 2003] IPCC: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Chapter 3, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html>(2013.12.8参照), 2003.
- [高槻 2006] 高槻成紀:シカの生態誌, 東京大学出版会, pp.480, 2006.