

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450217

研究課題名(和文) 獣害と管理放棄リスク軽減に向けた時空間的シミュレーションモデルの構築

研究課題名(英文) For mitigating the risk of wildlife damages and agricultural abandonment-spatial dynamic simulation modeling

研究代表者

木島 真志 (KONOSHIMA, MASASHI)

琉球大学・農学部・准教授

研究者番号：10466542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、獣害の拡大に対して、その要因の1つである、管理放棄の発生と、空間的な獣害発生予測に関する基礎的な研究を行った。前者に関して、現存資源量の把握とその成長予測の方法について、写真測量による3次元モデルの精度・有効性について検討し、成長予測に基づく、最適管理計画の探索を可能にする最適化モデルを構築した。後者については、害獣の採餌行動をもとに、獣害発生を描写できる時空間的モデルを構築し、獣害軽減のための効率的・効果的な緩衝帯の空間配置についてシミュレーション分析を行った。この分析結果は、緩衝帯の最適空間構造が被害軽減に対する管理費用と被害額の効率的なバランスに依存することを示唆した。

研究成果の概要(英文)：We conducted a series of studies to explore efficient mitigation measures against crop damages caused by wild ungulates, such as boars and deers. A recent increase in agricultural abandonment has contributed to the increase in crop damages by wildlife. To provide a foundation for projecting the spatial distribution of the under-use of agricultural lands, we evaluated the accuracy and examined the usefulness of photogrammetry for estimating current forest resources and developed a growth projection model. Then, we developed a spatially explicit optimization model to search for the optimal forest resource management plan. We also developed an agent-based model to explore efficient habitat management strategies for mitigating crop damage by boars. Our model allows us to simulate the behavior of boars that search for food. Our simulation results revealed that the optimal width of the buffer zone depends on an efficient balance between the loss from crop damage and management cost.

研究分野：森林資源経済学

キーワード：獣害 シミュレーションモデル 数理モデル

1. 研究開始当初の背景

近年、中山間地域において野生動物による被害が増加している。例えば、林地ではシカによる幼齢木の食害や樹皮剥ぎが木材の質・量を低下させ、農作地では、周辺の林地に生息するクマ、イノシシ、サル等が出没し、作物を食い荒らすだけでなく、「餌」を求めて住居に侵入するなど、全国的に人間と野生動物の衝突が激しさを増している。このような被害増大の要因の1つは土地所有者による管理放棄である。管理放棄は社会環境の変化、中山間地域の高齢化・過疎化、生産物価格の変動による管理意欲の低下などが原因となり発生するが、その結果、土地が害獣の生息しやすい植生状態に改変され、害獣が進入し、近隣の農林地に被害を加えることで所有者の管理意欲を減退させ、新たな管理放棄を引き起こす。今後もこのような「負の連鎖」が続き、更に被害が拡大するのであれば、農・林家における持続的生産が困難になるだけでなく、人身被害の発生・増加、森林機能の低下や国産材の安定的供給に支障をきたす可能性が出てくる。

2. 研究の目的

管理放棄による土地の荒廃を効果的に防ぐ対策を実施するためには、管理放棄の発生を予測する必要がある。そのためには、管理費用と便益の関係を評価・予測しなければならない。これらは、資源量の把握・予測と、それに基づく最適管理計画の探索により可能となる。そこで、本研究では、まず、現存する資源量の効果的・効率的な推定方法を開発する。さらに、森林資源の成長予測と効率的な時空間管理の探索を可能にする最適化モデルの構築を行う。

獣害発生に関しては、近年、「柵の取り付け」などの費用増加に加えて、狩猟者の減少により、従来の狩猟や捕獲といった個体数管理や獣害防除策を長期的に適用し続けることは中山間地域社会の経済的負担になっている。獣害はそもそも所有者が管理する土地、および周辺の土地の状態に対応して発生するもので、害獣は自らの生存のために「餌」となるものを確保しているだけであり、管理を邪魔しようとする行動しているものではない。従って、害獣の生息地適性や行動様式を把握し、植生特質と獣害リスクの関係をもとに、土地の状況に応じて、植生状態を時空間的に制御することができれば、効率的な管理に繋がると考えられる。獣害は本質的には、空間的な被害拡大のメカニズムとして捉える事ができ、獣害リスクの空間的な分布は、管理の空間配置の結果として創り出される植生状態の空間構造の影響を受けると考えられる。そこで、本研究では、害獣の採餌行動をもとに、獣害被害発生メカニズムを描写できる時空間的モデルを構築し、効率的・効果的な生息地管理の空間配置を探索するためのシミュレーション分析を行う。

3. 研究の方法

(1) 森林資源量の推定方法の検討

本研究では、周辺環境を改変することなく複雑な樹形を再現し、比較的容易かつ正確に材積量を算出する方法として、写真測量による3次元モデリング技術(図1)の有効性を評価し、課題を明らかにすることを目的とした。写真測量では、樹木から1~2mの距離で多方向から各写真が60%程度オーバーラップするように撮影した。本研究では、樹木の重複写真画像から3次元モデルを作成するために写真測量ソフトウェア(AgisoftPhotoScan©)を用いた。そして、写真測量の精度等を評価するために、既に導入が進んでいる3次元位置測定装置を用いて幹材積を算出し、この結果と写真測量による幹材積の推定値を比較した。

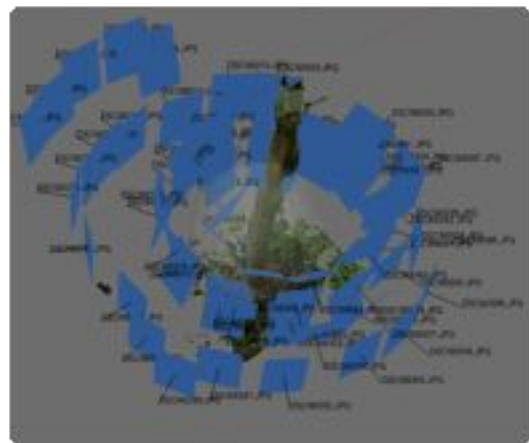


図1. 写真測量による3次元モデリング

3次元位置測定装置については、Polhemus FASTRAK®を用いた。この装置は半径2.5mの磁場を発生させ、その範囲内でペン型の受信機的位置を記録することができる(図2)。受信機から得た3Dのポイントデータに対して、Fastrak Digitizer v.1.0 (<http://www.formath.jp/products/>)を用いて、樹木の3次元モデルを構築し、材積量を算出した。

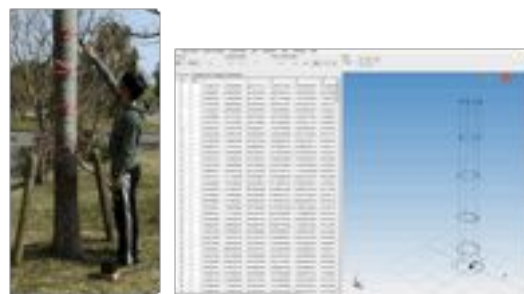


図2. 3次元位置測定装置によるモデリング

写真測量の精度は、二乗平均平方根誤差(RMSE)を用いて評価した。また、課題を評価するため、樹木1本あたりの測量時間を記録した。

(2) 森林伐採地の時空間的最適化

我が国特有の小規模分散的な所有形態や路網整備の遅れ等は、森林資源の有効利用の妨げとなっており、持続的な森林資源の管理・利用に向けて、管理の効率化が重要課題の1つである。そのため近年、管理の効率化を念頭に、小規模な森林を取りまとめて管理する集約化施策が推進され、地域全体を考慮した路網整備が求められている。ここでは栃木県北部（図3）にある森林を対象に、地理情報システム(GIS)を用いて、林地の傾斜に基づき集約候補地を生成した（図4）。収穫量の予想は、収穫表をもとに、樹種ごとに行った。



図3. 研究対象地

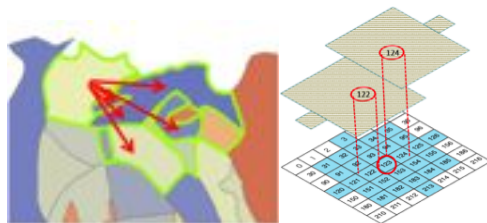


図4. 集約候補地の生成

そして、近接の林道への搬出を想定し、0-1 整数計画法を用いて計画期間内の収穫量を最大化する伐採配置パターンを探索した。最適化モデルは下記のように定式化できる。

$$\text{目的関数: } Z = \max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{i,j} \cdot X_{i,j}$$

制約式：

$$x_{i,j} + x_{k,j} \leq 1, j = 1, \dots, n, \forall k \in OL_i$$

$$V_j = c_{i,1} \cdot x_{i,1} + c_{i,2} \cdot x_{i,2} + \dots + c_{i,j} \cdot x_{i,j}$$

$$(1-a)V_j \leq V_j \leq (1+a)V_j$$

$$i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{If the } i^{\text{th}} \text{ HU is cut in period } j \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$C_{i,j}$: The volume of the i^{th} HU in period j

OL_i : The set of overlapped HUs for the i^{th} HU

V_j : The total harvest volume in period j

「既存の林道配置を考慮するか・しないか」の制約条件を考慮した計3つのシナリオを用意し、それぞれのシナリオにおける最適パターンを探索した。（シナリオ1は、既存の林道配置を考慮しない。シナリオ2,3は既存の林道配置を考慮する。）

なお、各シナリオにおける最適解の探索には、商用ソルバー Gurobi Optimizer 6.0(<http://www.gurobi.com>)を用いた。

(3) 獣害発生の時空間シミュレーションモデルの開発

ここでは、野生鳥獣の採餌行動をシミュレーションし、様々な管理の空間配置パターンが被害拡散へ及ぼす影響を評価した。具体的には、近年農作物に多大な被害を及ぼしている、イノシシを対象に、その採餌行動について、文献調査を行い、様々な国・地域で、これまで実施された研究成果を取りまとめた。そして、それらもとに、動きのルールやモデルのパラメータを設定し、基本的な採餌行動を再現できるエージェントベースモデルを構築した（図5）。モデルはCプログラミング言語を用いて構築した。

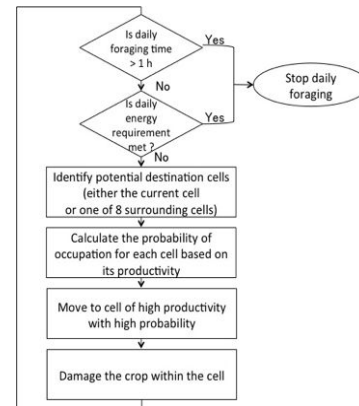


図5. エージェントベースモデルにおける採餌行動のフローチャート

そして、林地・耕作地の境界領域を仮想的なランドスケープを用いて表現し、耕作地に隣接する林地から夜間に餌を求めて動き回るイノシシの様子を時空間的な獣害拡散過程として捉え、様々な緩衝帯の空間配置パターンが農作物被害軽減に効果的・効率的かどうかをシミュレーション分析した。ここでは、特に、耕作地の所有者が獣害に対する予防策として、所有地内に緩衝帯を設置する場合を想定し、緩衝帯の幅と農地面積のトレードオフ、すなわち、被害リスク軽減と農作物の生産量のトレードオフを評価した。緩衝帯の幅及び長さの異なる計15パターン（表1）の緩衝帯の空間配置を用意し、7日間及び28日間のシミュレーションを行った。さらに、イノシシが対象とする耕作地内に同時に複数侵入する場合と、1頭のみ侵入する場合も比

較した(表2)。また、不確実な仮定やパラメータ(「摂取カロリー」、「資源量」、「嗅覚レンジ」、「1日の採食時間」など)について感度分析を行い、モデルの特性を評価した。

表1. 緩衝帯の空間配置パターン

		Gap		
		0	5	10
Width	1	P-1	P-6	P-11
	3	P-2	P-7	P-12
	5	P-3	P-8	P-13
	7	P-4	P-9	P-14
	9	P-5	P-10	P-15

表2. シナリオ

シナリオ ID	シミュレーション日数	イノシシの数
7-M	7	multiple
7-S	7	single
28-M	28	multiple
28-S	28	single

4. 研究成果

(1) 森林資源量の効果的な推定方法

琉球大学千原キャンパス内の樹木について、前述の2つの三次元測量方法を用いて、幹材積を算出し、その結果を比較した(図6)。推定値の差は小さく、二乗平均平方根誤差(RMSE)は0.0053m³(相対RMSE: 4.2%)であった(表3)。その結果をもとに、琉球大学と那フィールドの77林班と石垣島石垣市の84林班(白保地区)、85林班(平得大俣地区)において、写真測量を行い、17本の樹木について、3次元モデルを作成し、幹材積を推定することが出来た。



図6. 写真測量と3次元位置測定装置による3Dモデルの比較

表3. 写真測量の精度評価

	RMSE	Relative RMSE (%)	SD
Volume (m ³)	0.0053	4.2	0.0327
Surface (m ²)	0.0714	3.5	0.2734

写真測量の課題は、枝・葉の部分の3次元化が上手くいかない場合があることである。

(2) 森林伐採地の時空間的最適配置の探索

本研究で構築した最適化モデルは、想定したシナリオごとに計画期間を通して制約条件を満たす最適集約配置パターンを明らかにした(図7)。また、既存林道からの搬出を考慮することで、伐採箇所が限定され、収穫

量が約20%減少する可能性を示唆した。

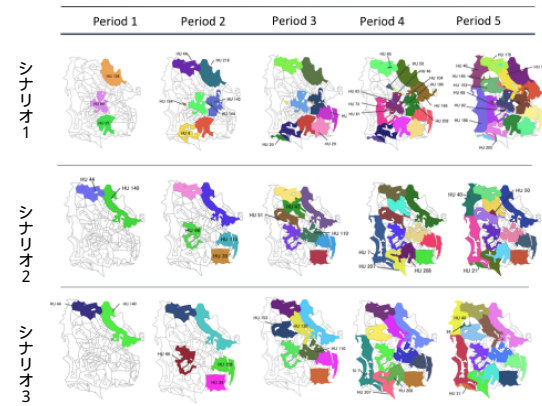


図7. 各シナリオ下の最適集約化パターン

(3) 獣害発生の時空間シミュレーション

緩衝帯の空間配置パターン P1, P2, P6, P7, P11, P12 における獣害パターンを図8に示す。我々の分析結果は、緩衝帯に「抜け道」が存在すると緩衝帯の効果が著しく損なわれる可能性があることを示唆した。

また、我々の分析結果は、緩衝帯の最適空間構造が被害軽減に対する管理費用(所有地内に緩衝帯を設置することで、耕作地面積が減ることによる生産量の減少分)と被害額の効率的なバランスに依存することを示唆した(図9-1,9-2,9-3,9-4)。

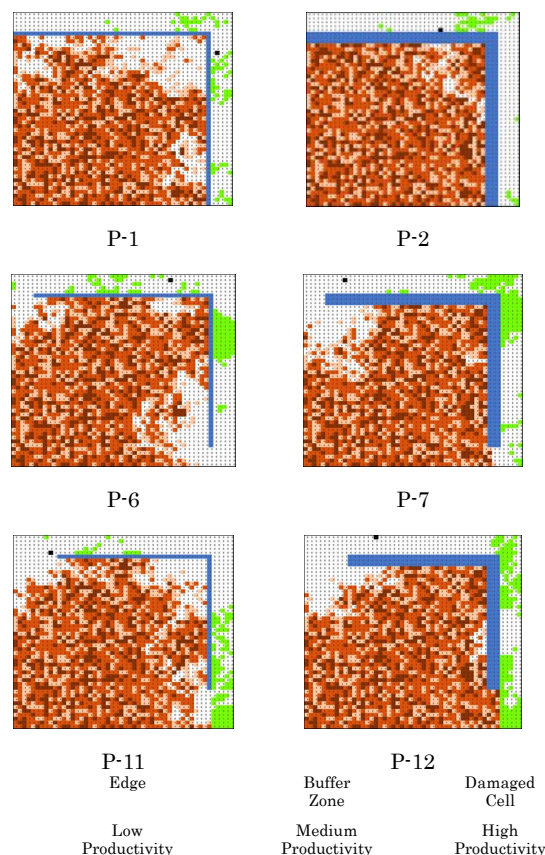


図8. 各シナリオ下の獣害の空間パターン

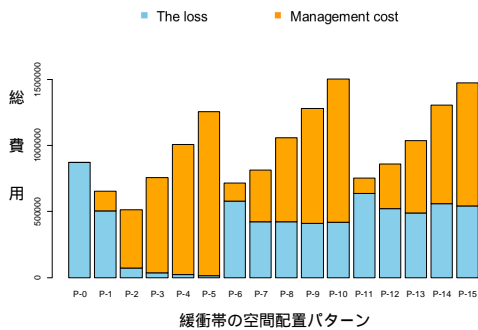


図 9-1. 獣害費用の比較 (7-M)

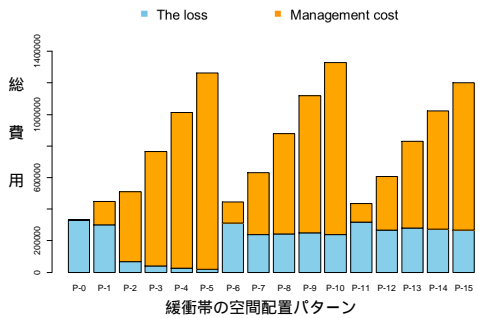


図 9-2. 獣害費用の比較 (7-S)

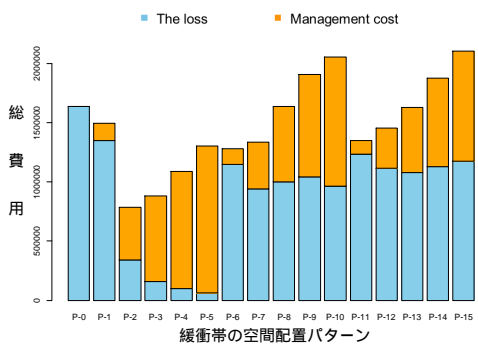


図 9-3. 獣害費用の比較 (28-M)

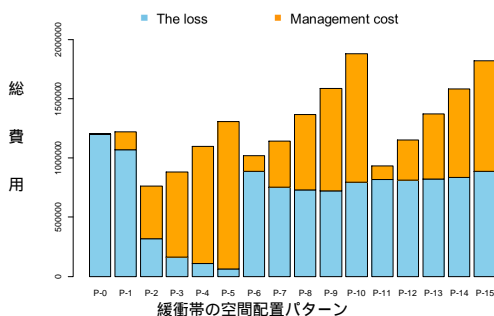


図 9-4 獣害費用の比較 (28-S)

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 2 件)

Yoshimoto, A. Konoshima, M.(2016) Spatially constrained harvest scheduling for multiple harvests by exact formulation

with common matrix algebra, *Journal of Forest Research*, 21(1): 15-22 査読有

Nishimori, Y. and Konoshima, M.(2016) Exploring Efficient Buffer Placement for Mitigating Crop Damage by Wild Boars with an Agent-based Spatial Modeling of Foraging Behavior, *Journal of Environmental Information Science*, 44(5): 51-62 査読有

[学会発表](計 5 件)

Tamaki, Y., Surový, P., Konoshima, M., Yoshimoto, A. An Application of Photogrammetry for Estimating Stem Volume in Subtropical Forest Tree species, FORMATH Shiga 2016, 3月16日, Shiga, Japan

Hosaka, K., Konoshima, M., Uemura, R., Aruga, K., Yoshimoto, A., Exploring the optimal aggregation patterns for thinning activities - A case study in Nasushiobara, Tochigi prefecture, Japan -, FORMATH Shiga 2016, 3月16日, Shiga, Japan

Nishimori, Y., Konoshima, M., Multi-Agent Model for Controlling Wildlife Damages on Agricultural Crops, The 2015 International Symposium on Sustainable Forest Ecosystem Management in Rapidly Changing World, SFEM 2015, 9月1日, Chiayi City, Taiwan

Hosaka, K., Konoshima, M., Uemura, R., Aruga, K., Yoshimoto, A., Optimizing Aggregation Patterns for Thinning Activities - A Case Study in Shioyamachi, Tochigi Prefecture, Japan -, FORMATH Roppongi 2015, 3月7日, Roppongi, Japan

Tamaki, Y., Surový, P., Konoshima, M., Yoshimoto, A., Estimating Tree Volume in Subtropical Forest Using 3D Modeling Approach, FORMATH Roppongi 2015, 3月7日, Roppongi, Japan

[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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木島 真志 (KONOSHIMA Masashi)
琉球大学・農学部 准教授
研究者番号：10466542

(2) 研究分担者

ラザフィンラベ バム (RAZAFINDRABE Bam)
琉球大学・農学部 准教授
研究者番号：20621527