

## 獣害軽減に向けたシカ出現予測技術の高度化

江口則和<sup>1</sup>（北海道大学大学院農学研究院）  
石田 朗・釜田淳志<sup>2</sup>（愛知県森林・林業技術センター）  
黒宮健佑・加藤 顕（千葉大学大学院園芸学研究所）

獣害対策のため、シカの追跡情報等を基にシカ出現予測モデルを開発した。しかしながら、利用している環境情報は1998年時点のGISデータと古いことが課題だった。さらにモデルは250mメッシュを単位としているため、より細かい予測の要望もあった。そこでこれらに対応できる手法の検討を目的とした。250mメッシュモデル更新のため空中写真を用いた新モデルと既存モデルとを比較したところ、モデル係数に違いが生じた。立地環境を地上レーザースキャンにより詳細に解析したところ、植生量の多い場所でシカの利用頻度が高かった。以上から、シカの出現予測には環境情報の更新を検討するとともに、植生量の多い場所に注目すべきであると考えられた。

キーワード：ニホンジカ、GPS 首輪、UAV、地上レーザー

### I はじめに

ニホンジカ (*Cervus nippon*, 以下、シカ) による獣害が各地で深刻な状況となっている (Takatsuki 2009)。被害対策としては捕獲駆除が有効であるが (Simard et al. 2013)、効率的な捕獲駆除を実現するため、筆者らはシカの存在しやすい箇所を推定できるモデルを構築し (以下、シカ出現予測モデル) (江口ら 2016)、この予測を地図上に表示できる無料アプリ「やるシカない!」として一般公開した (江口 2016)。しかしながら、モデルで利用している立地環境情報は1998年時点のGISデータであるため、現状と異なる可能性が課題であった。さらにモデルは250×250mメッシュ (以下、250mメッシュ) を最小単位としているため、より解像度の高い出現予測図の必要性も考えられた。

そこで、近年森林・林業分野で急速に発展し利用拡大している無人航空機 (Unmanned aerial vehicle, 以下、UAV) (Anderson and Gaston 2013; Olsoy et al. 2018, Kato et al., 2015) 及び地上レーザースキャナ (Bauwens et al. 2016; 加藤ら 2014ab, 千葉 2017) に着目した。UAVによる空中写真を活用すれば、既存モデルで利用している1998年時の立地環境情報を、最新のものに更新できる。また、地上レーザースキャナを用いれば、林内環境を詳細に把握できる。

そこで本研究では、UAVと地上レーザースキャナを用いたシカ出現予測技術の高精度化を検討することを目的とした。

### II 材料と方法

#### 1. 対象地とデータ収集

対象地はシカ被害が深刻化している愛知県新城市

内の里山地域 (スギヒノキ人工林, 広葉樹林, 農地を含む2km<sup>2</sup>, 34.99°N, 137.50°E) とした。

シカの行動特性の把握するため、GPS首輪を利用した行動調査を行った。対象地近辺において、2013年下旬から2019年月上旬にかけて、全方位解放型のオリ付囲いワナで推定1-2歳のシカ8頭を捕獲した。GPS首輪 (Tellus1D, Followit, AB, Sweden) を1個体に、GPS-アルゴス首輪 (TGW-4583-3 GPS/ARGOS, Tellonics, USA) を3個体に、GPS-イリジウム首輪 (GPS Iridium TrackM, Lotek, USA) を4個体に装着させ、放獣後に測位間隔2時間でGPSデータを取得した。このうち2個体の行動圏を調べたところ、0.575~0.786km<sup>2</sup>であった (釜田ら投稿中)。GPS追跡調査期間は少なくとも1ヶ月以上とした。

2017年2月及び6月に、上述の新城市内里山地域でUAV (Phantom2 および Phantom4Pro, DJI, China) を用いた空中写真撮影を行った。得られた写真を Structure from Motion (SfM) 技術によって3次元画像化し、目視で人工林, 広葉樹林, 農地, その他 (宅地や草地等) に区分して「国土数値情報・標高傾斜度5次メッシュ」(250mメッシュ) に重ねた。250mメッシュ単位で人工林率, 広葉樹林率, 農地率を算出した。データ処理方法は田村ら (2015) に従った。一方、「自然環境情報GIS提供システム・植生調査 (1/50,000)」のGISデータ (<http://www.biodic.go.jp/trialSystem/shpddl.html>, 2017/8/1アクセス) と「QGIS ver 3.4 (QGIS Development Team 2019)」を用いて、UAVと同区域で同様に人工林率, 広葉樹林率, 農地率を算出した。

また、2016年11月に捕獲したシカ2頭に着目し、約半年間のGPSデータから測位数の多い箇所と少な

EGUCHI Norikazu\*, ISHIDA Akira, KAMATA Atsushi, KUROMIYA Kensuke, KATO Akira

Upgrading the prediction of sika deer appearance for reducing deer damage.

eguchi717@gmail.com

<sup>1</sup>現所属：人間環境大学人間環境学部, <sup>2</sup>現所属：愛知県新城市農林水産事務所

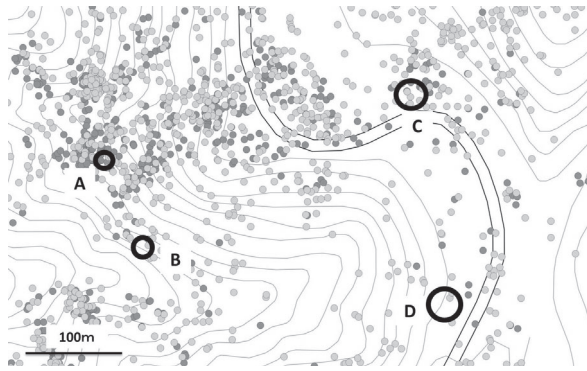


図-1. 地上レーザースキャナ調査位置

丸印はシカの測位地点であり、色の違いは個体の違いを示す。A, B, C, D の枠は調査範囲を示す。

表-1. 地上レーザースキャナ調査場所の概要

調査場所	面積 (m <sup>2</sup> )	シカの利用	シカ測位数 (点/100m <sup>2</sup> )	上層木の種類	林冠高 (m)	平均胸高直径(cm)
A	60.9	高	14.8	広葉樹	10	-
B	83.7	低	1.2	広葉樹	10	-
C	163.9	高	5.5	人工林	21	27.1
D	292.5	低	0.7	人工林	24	28.8

い箇所 (図-1) で地上レーザースキャナ (LMS511, SICK, 東京) による環境計測を行った。測位数の多い箇所は2頭の測位数合計が4点/100m<sup>2</sup>以上の箇所、低い箇所は2頭の測位数合計が0.1点/100m<sup>2</sup>以上2点/100m<sup>2</sup>未満の箇所と定義した。レーザーの届く範囲を調査範囲とし、シイ・カシを中心とした広葉樹林 A, B と、スギヒノキ人工林 C, D で調査した。A, B, C, D の場所と特徴はそれぞれ図-1、表-1 のとおりである。計測は調査範囲の中心を囲むように3地点で行った。得られたレーザーデータから、調査範囲内の3次元空間上にレーザー反射点が1点でもある場合、1辺15cmの3次元グリッドを派生させ、1辺15cmのボクセルをプロット単位で生成した。植生が多い場所ほど生成するボクセル数が多くなることから、このボクセル数を植生量の指標 (以下、植生量) とした。測定及びデータ処理方法は (加藤ら 2014a) を参考にした。

## 2. 統計解析

### (1) 新旧モデルの比較

「国土数値情報・標高傾斜度5次メッシュ」を基に調査地域を250m×250mで区切り、この250mメッシュを基本単位としたシカの出現しやすさの推定モデルを構築した。モデルの構築には一般化線形混合モデル (GLMM) を利用した。応答変数は各メッシュのシカの利用確率とし、「 $GPSCCount[s,i] / TotalGPSCCount[s]$ 」と定義した。ここで、 $GPSCCount[s,i]$ はシカ個体  $s$  のメッシュ  $i$  内での測位数、 $TotalGPSCCount[s]$ は調査期間内のシカ個体  $s$  の全測位数を示す。ただし、測位情報がなかったメッシュは評価が難しいため解析から除いた。応答変数は二項分布を仮定し、リンク関数は logit とし

表-2. GIS と UAV を用いて測定した 250×250m メッシュ内の立地環境

	GIS	UAV
平均人工林率 (%)	67.38	26.65
平均広葉樹林率 (%)	16.36	6.52
平均農地率 (%)	8.24	3.20

表-3. 最適 GIS モデルと最適 UAV モデルの係数

時間帯	説明変数	GISモデル		UAVモデル	
		係数	P値	係数	P値
日中	切片	4.688		-1.682	
	人工林率	-0.056	<0.001	0.015	<0.001
	広葉樹林率	-0.074	<0.001	-0.010	<0.001
	農地率	-0.155	<0.001	-0.134	<0.001
夜間	切片	-6.521		-2.945	
	人工林率	0.048	<0.001	0.011	<0.001
	広葉樹林率	0.041	<0.001	0.044	<0.001
	農地率	0.057	<0.001	-	0.074

-は最適モデルに含まれないことを示す。

表-4. 地上レーザースキャナ調査結果

調査場所	上層木の種類	シカの利用	シカ測位数 (点/100m <sup>2</sup> )	植生量 (15cmボクセル数 m <sup>2</sup> )
A	広葉樹	高	14.8	330
B	広葉樹	低	1.2	175
C	人工林	高	5.5	143
D	人工林	低	0.7	107

た。説明変数は各メッシュの人工林率、広葉樹林率、農地率とし、既存モデルでは GIS データから、新モデルでは UAV データから算出した (以下、それぞれ GIS モデル、UAV モデル)。ランダム変数は両モデルともシカの個体番号とした。本地域のシカの行動パターンは時間帯で異なる可能性があることから (江口ら 2016)、日中 (7:00-19:00) と夜間 (19:00-7:00) で別々に解析を行った。赤池情報量基準 (AIC) によって GIS モデル、UAV モデルともに最適モデルを決定するとともに、Wald 検定によって最適モデルとして選ばれた説明変数の有意性を評価した。さらに、最適な GIS モデルと UAV モデルとでどちらが適切なモデルか AIC を比較するとともに、両者の説明変数の係数を比較した。解析には統計ソフト「R (R Development Core Team 2019)」及び lme4 パッケージを用いた。

### (2) 地上レーザースキャナデータの解析

調査範囲内におけるシカ2頭の測位数合計を応答変数とした GLMM を構築した。応答変数はポアソン分布を仮定し、リンク関数は log とした。説明変数には植生量を、ランダム変数には上層木の種類 (人工林か広葉樹林) を、オフセット項として log (調査範囲の面積) を用いた。説明変数の効果は Wald 検定によって評価した。解析には統計ソフト「R (R Development Core Team 2019)」及び lme4 パッケージを用いた。

### III 結果

250m メッシュ内の立地環境を比較したところ、GIS で算出した値（率）のほうが、UAV で算出した値よりも全般的に高い結果となった（表-2）。最適 GIS モデルと最適 UAV モデルとで説明変数が異なるもの、さらにモデルの係数に違いのあるものがあつた。具体的には、日中では人工林率係数の正負が異なり、夜間では農地率選択の有無が異なつた（表-3）。最適モデルの AIC について、日中では GIS モデルで 2010、UAV モデル 1467 であり、夜間では GIS モデルで 4627、UAV モデル 3337 であつた。すなわち、UAV モデルのほうが GIS モデルよりも適切ということが示された。

地上レーザースキャナを用いた解析について、植生量にシカの測点数に対する正の効果が認められた（係数は 0.01,  $P < 0.001$ ）。すなわち、シカの利用の高いところは植生量が多いことが示された（表-4）。

### IV 考察

UAV による調査結果を基にシカ出現予測をしたところ、UAV モデルと既存の GIS モデルの係数間に、正負やモデル選択有無など大きな違いが認められた（表-3）。この地域では、伐採などが頻繁に行われているため、GIS データを作成した時点から現在にかけて植生や土地利用の状況が変わっている区域もある。このため、最適 UAV モデルのほうが最適 GIS モデルよりも適切であつたと考えられる。

UAV による空中写真で解析したところ、GIS による環境情報に比べて、全般的に人工林率・広葉樹林率・農地率が大きく減少していた（表-2）。このことがモデル係数に影響したと考えられる。この面積率の減少について、現地状況から考えると、ササ群落・（植栽地を含めた）皆伐後の低木群落・（放棄地を含めた）草地・空地等が GIS 作成時に比べて面的に拡大していることを示していると考えられた。一方で、このような大きな減少は、UAV による空中写真では植生の判読が難しく、正しく面積計測できなかった箇所があるためとも考えられる。例えば、実際には農地のところ、空中写真から草地と判断してしまい、モデルの面積率に含めなかった可能性もある。本来であれば現地調査が必要なのだが、山中を広域にわたって調査することも難しい。しかしながら、将来期待される UAV 技術の普及や発展（Chrétien et al. 2016; Hodgson et al. 2016; 丹羽 2017; Olsoy et al. 2018; Terauds & Koh 2018）を考えると、今後 UAV データは高精度になり、判読不能の箇所も少なくなることが予想される。今後は UAV の利用方法を考えて効果的に活用し、環境情報の更新を検討していくことが重要と考えられた。

地上レーザースキャナによる結果から、シカは植生量が多い場所を利用する傾向にある、ということが認

められた（表-4）。関連する先行研究として、林内の下層植生はシカが好んで食べるという報告がある（例えば、Takatsuki 2009; 横田 2011）。これらの結果から、シカの利用しやすい箇所を特定するには、上層の植生の種類だけでなく、森林内部での植生把握も重要ということが考えられた。シカ出現予測をより高度化するためには、森林内部から環境調査できる技術が必要になると考えられる。この調査に地上レーザースキャナは効果的なのだが（加藤ら 2014ab）、低コストに簡便に調べるといふ意味では利用が難しい。近年では UAV を用いた森林内部の調査も検討されていることから

（山本ら 2017）、今後は UAV による低コスト高効率な森林内部の状況把握技術も重要になってくるだろう。

まとめとして、本研究により、既存のシカ出現予測技術を高精度化する方法を検討できた。シカ出現の予測技術を高めるためには、環境情報の更新を検討するとともに、人工林内、広葉樹林内で植生量の多い場所に着目すべきであると考えられた。本成果は、今後の効率的なシカ害対策に貢献できると考えられる。

### 謝辞

本研究は、平成 28 年度農林水産省委託プロジェクト研究・農林水産分野における気候変動対応のための研究開発、2016 年度住友財団環境研究助成、平成 29 年度戦略的情報通信研究開発事業（SCOPE）地域 ICT 振興型研究開発、第 28 期プロ・ナトゥーラ・ファンド助成の支援を受けて実施しました。

### 引用文献

- (1) Anderson K, Gaston KJ (2013) Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Front Ecol Environ* 11:138–146.
- (2) Bauwens S, Bartholomeus H, Calders K, Lejeune P (2016) Forest inventory with terrestrial LiDAR: A comparison of static and hand-held mobile laser scanning. *Forests* 7:127.
- (3) 千葉幸弘 (2017) 地上レーザースキャナによる森林調査のこれから. *森林科学* 80:32–35
- (4) Chrétien LP, Théau J, Ménard P (2016) Visible and thermal infrared remote sensing for the detection of white-tailed deer using an unmanned aerial system. *Wildl Soc Bull* 40:181–191.
- (5) 江口則和 (2016) シカ出現予測マップの開発 : シカ害対策支援アプリ「やるシカない!」. *森林技術* 894: 8–10
- (6) 江口則和, 石田朗, 山下昇, 高橋啓, 鈴木千秋, 岡田良平, 佐藤亮介 (2016) GPS-アルゴス首輪を用いたニホンジカの行動特性の評価. *中林研* 64: 25–28
- (7) Hodgson JC, Baylis SM, Mott R, Herrod A, Clarke

- RH, (2016) Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Sci Rep* 6:22574
- (8) Terauds A, Koh LP (2018) Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods Ecol Evol*.5: 1160-1167
- (9) 加藤顕, 安藤祐樹, 吉田俊也, 梶原康司, 本多嘉明, 小林達明 (2014a) 簡易型地上レーザーを用いた毎木調査法, *日本緑化工学会誌* 40:136-141
- (10) 加藤顕, 石井弘明, 榎木勉, 大澤晃, 小林達明, 梅木清, 佐々木剛, 松英恵吾 (2014b) レーザーリモートセンシングの森林生態系への応用. *日林誌* 96:168-181
- (11) Kato A, Obanawa H, Hayakawa Y, Watanabe M., Yamaguchi Y, Enoki T, (2015) Fusion Between UAV-SfM and Terrestrial Laser Scanner for Field Validation of Satellite Remote Sensing, *IGARSS IEEE International 2015*, 2642-2645
- (12) 丹羽英之 (2017) UAVを用いた深泥池湿原におけるニホンジカ生息痕の時系列変化の分析. *保全生態学研究* 22:213-217
- (13) Olsoy PJ, Shipley LA, Rachlow JL, Forbey JS, Glenn NF, Burgess MA, Thornton DH (2018) Unmanned aerial systems measure structural habitat features for wildlife across multiple scales. *Methods Ecol Evol*. 9: 594-604
- (14) QGIS Development Team (2019) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Found. Proj.
- (15) R Development Core Team R (2019) R: A Language and Environment for Statistical Computing
- (16) Simard MA, Dussault C, Huot J, Côté SD (2013) Is hunting an effective tool to control overabundant deer? A test using an experimental approach. *J Wildl Mgmt* 77:254-269
- (17) Takatsuki S (2009) Effects of sika deer on vegetation in Japan: A review. *Biol Conserv* 142:1922-1929.
- (18) 田村太壱, 加藤顕, 小花和宏之, 吉田俊也 (2015) 小型UAVによる空撮とSfMを用いた樹高計測. *日緑工誌* 41:163-168
- (19) 山本一清, 山下翔之, 中武修一, 三谷綾香, 島田博匡 (2017) 森林内調査におけるUAVの有効性の検討. *日本森林学会大会発表データベース* 128:462
- (20) 横田岳人 (2011) ニホンジカが森林生態系に与える負の影響—吉野熊野国立公園大台ヶ原の事例から—. *森林科学* 61:4-10