

# 信州大学手良沢山演習林における REM 法を用いた ニホンジカ (*Cervus nippon*) の生息密度推定

田中竜太<sup>1</sup>・高島千尋<sup>2</sup>・瀧井暁子<sup>2</sup>・泉山茂之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>信州大学大学院総合理工学研究科

<sup>2</sup>信州大学山岳科学研究所

## 要 約

ニホンジカの生息密度の季節変動を明らかにするため、REM法(Random Encounter Model)を用い、信州大学農学部付属手良沢山演習林においてニホンジカの生息密度推定を行った。調査地は、標高950~1,450mに位置し、ヒノキを中心とした人工林が植生の95%以上を占める。生息密度の推定は、調査地に20台のセンサーカメラをランダムに設置し、ニホンジカの撮影頻度、群れサイズ、平均移動速度およびカメラの検出面積を用いて行った。2015年6月11日から2016年6月30日までの調査期間において、推定生息密度は月ごとに変化を示した(8.95~40.73頭/km<sup>2</sup>)。推定生息密度は、2016年1月(40.73頭/km<sup>2</sup>)、2015年6月(38.91頭/km<sup>2</sup>)および9月(36.82頭/km<sup>2</sup>)に比較的高い値を示した。6月と9月の生息密度の高さはニホンジカの撮影頻度と関係していた。6月はメスジカおよび当歳仔、9月はオスジカの撮影頻度が高く、それぞれニホンジカの出産期と交尾期に一致していた。一方、1月はニホンジカの撮影頻度が低かったにも関わらず生息密度が高かった。この理由としては一群れあたりの頭数が多かったことに加え、平均移動速度が低かったことが考えられた。これらのことから、ニホンジカの生息密度の季節変動には、繁殖期などの季節的な行動が関係していることが推察された。

キーワード：カメラトラップ、ニホンジカ、Random Encounter Model、生息密度推定

## はじめに

近年、日本各地でニホンジカ(*Cervus nippon*)の分布域が拡大している<sup>7,21,22</sup>。長野県においてもニホンジカの個体数増加と分布域の拡大が確認され、農林業被害が拡大している<sup>10</sup>。また、南アルプスおよび八ヶ岳では、ニホンジカが高密度に生息することによる採食圧や踏圧により、高山植物など自然植生の地域的消滅やササ群落の後退の他、カモシカ(*Capricornis crispus*)との局所的な種間競争など、生態系への影響が懸念されており、問題となっている<sup>9</sup>。

野生動物による農林業被害や、自然植生の改変を防ぐため、1999年に鳥獣保護法が改正され、都道府県知事が策定する任意計画として、個体数管理のための特定鳥獣保護管理計画制度が設けられた<sup>6</sup>。個体数管理においては、推定される野生鳥獣の生息状況等が不確実なものであることを踏まえて、状況に応じて方策を変える順応的管理を行う必要がある<sup>21</sup>。順応的管理は、対象動物の生息数が管理目標よりも

多い場合には捕獲圧を強め、少ない場合には捕獲圧を弱めるなど、生息状況により管理方法を変更する手法であり、対象動物の生息状況を定期的に把握する必要がある。

生息密度推定は、野生動物の生息状況のモニタリング方法の一つであり、近年、センサーカメラを用いたカメラトラップ調査から野生動物の生息密度の推定を行うREM(Random Encounter Model)法が開発された<sup>14</sup>。REM法では、カメラトラップ調査により得られた対象動物の写真から撮影頻度を算出し、対象動物の平均群れサイズ、平均移動速度、カメラの検出面積を生息密度の推定式に加えることで生息密度を推定する。カメラトラップ調査は、自動撮影を行うセンサーカメラを調査地に配置し、動物の生態を観察する調査手法であり、固定カメラを用いて赤外線センサーにより通過した動物を罠にかけるようなイメージで撮影を行う<sup>14</sup>。この方法の特徴として、通常ニホンジカの生息密度調査に用いられる区画法と異なり非侵襲的で動物への影響を最小限にとどめ<sup>3,15</sup>、地形条件と気候の変化の影響を受けにくいことがあげられる<sup>14</sup>。また、非常に観察が困難な種や、調査が困難な地形や環境で情報を得る

受付日 2017年1月4日

受理日 2017年1月31日

のに用いることが可能な点が他の調査法にない特徴である<sup>8,11,13,15</sup>。さらに、夜間に限定されたライトセンサス法と異なり、カメラトラップ調査は日中と夜間のデータを効率的に均等に収集することができ、対象種の分布と生息地利用<sup>3,15</sup>、個体群構造と行動に関する情報の収集も可能となる<sup>14,15,23</sup>。REM法による生息密度推定を行うことで、個体識別の労力をかけず、時期や時間帯を選ばずに連続した生息密度の推定を行うことができる。ニホンジカでは、生息密度の推定方法として主に区画法、糞粒法、糞塊法が用いられてきたが、主として秋～冬季に行われ、ニホンジカの生息密度の季節変動が確認できるような長期間連続した研究は非常に少ない。ニホンジカの生息密度は、食物資源や気候、繁殖行動などによって季節変動する可能性があり、REM法に用いる変数の季節変動を観察することで、推定生息密度の変動要因を推測することができると考えられる。

そこで、本研究では信州大学手良沢山演習林におけるニホンジカの生息密度の季節変動および、季節変動の要因を明らかにするためREM法を用いて生息密度推定を行った。



図1 手良沢山演習林におけるセンサーカメラ設置地点

## 調査地

調査地は、長野県伊那市に位置する信州大学農学部附属手良沢山演習林である(図1)。調査地ではニホンジカの生息が確認され<sup>1</sup>、近年ではヒノキ幼齢林においてニホンジカの食害が発生しており<sup>12</sup>、シカ除けネットの設置や忌避剤の散布などが行われている。

手良沢山演習林は面積229.43haの南北に長い三日月型をしており、標高950~1,450mに位置する。一部の急傾斜地を除き、斜度は概ね25°~35°となっており、主な斜面方位は南向きである<sup>1,13,17</sup>。年間降水量は、1,500mm前後であり、6、7月と9月に集中することが多い。最大積雪深は50cm前後、無霜期間は4.5ヵ月である<sup>13</sup>。

調査地の植生は95%以上が人工林であり、主な樹種とその植栽面積割合は、ヒノキ *Chamaecyparis obtusa* (49%)、カラマツ *Larix kaempferi* (29%)、アカマツ *Pinus densiflora* (17%) である。

## 調査方法

### 撮影頻度調査

REM法による生息密度の推定では、カメラトラップ調査をもとに算出する対象動物の撮影頻度(写真/カメラ台・日)が中心的なパラメーターとなっている。REM法では、センサーカメラを最低でも20台を設置すべきとされるため<sup>5,14</sup>、本研究では20台のセンサーカメラ(Bushnell Trophy cam HD, 米国)を用いた。このカメラは赤外線センサーにより検出域内で動く物体を検出し撮影を行い、検出面積は、距離18.3m、角度45°の扇型の面積である。夜間は、赤外線フラッシュを用いて撮影するため、カメラは24時間稼働させた。センサーカメラの配置は、対象動物の行動に対して独立したものにすることが必要であるため、GISソフトのエクステンションであるHawth's tools (Sampling Tools; Random Selection Within Subset)<sup>2</sup>)を用いて、20点のランダムな設置地点をGIS上で作成して決定した。センサーカメラは地上高80~100cmに設置し、データの回収は1ヵ月に1回行った。

調査期間は、2015年6月11日から2016年6月30日までとした。REM法で用いる撮影頻度を算出するための写真数は、それぞれの写真が独立して撮影されたものである必要がある。そのため、1個体がカメラの前に長時間滞在した場合や、群れがカメラの

前を通過した場合、撮影枚数が多くても1回の独立した撮影としてとらえ、写真数1枚として計算した。ニホンジカが連続して撮影された場合、撮影の間隔が10分以上離れていた場合には独立した撮影と判断した。

撮影頻度は月ごとに、ニホンジカ写真数をカメラ台・日数(センサーカメラ設置日数×設置台数)で割ることで算出し、ニホンジカ全体の撮影頻度のほかにオス、メス、当歳仔別にのべ撮影個体数を記録し、撮影頻度を算出した。オス、メスは角の有無で判別を行い、曖昧な場合には判別を行わなかった。

#### 平均群れサイズの推定

REM法では対象動物が群れを形成する場合、推定式に平均的な群れサイズ(頭/群れ)を組みこむ必要がある<sup>14)</sup>。ニホンジカは、一般的に単独か母親とその子供で構成される3頭程度のメスグループ、オスで構成されるオスグループで行動しているため<sup>22)</sup>、推定式に平均群れサイズを組み込む必要がある。本研究ではニホンジカの平均群れサイズをカメラトラップ調査により推定した。1回の独立した撮影で写ったニホンジカを1つの群れとして定義し、撮影されたのべ個体数を、のべ確認群れ数(写真数)で割ることで平均群れサイズを算出した。撮影頻度の推定と同様に、ニホンジカが連続して撮影された場合、撮影の間隔が10分以上離れていた場合には独立した撮影と判断した。

#### 平均移動速度の推定

REM法では対象動物の平均移動速度(km/日)を推定式に組み込む必要がある。REM法に用いる平均移動速度は、カメラトラップ調査と同じ調査地、同じ時期に得られたデータから算出することが望ましいが<sup>14)</sup>、本研究では手良沢山演習林内でニホンジカの平均移動速度調査は行っていない。このため、本研究では長野県内の他の2地域で、同一の手法により行われたGPS首輪による行動追跡調査から得られたニホンジカの位置情報をもとにして、各月ごとに平均移動速度を推定した。平均移動速度の推定には、北アルプス地域で2012年から2014年にかけて、16個体に対して行われた調査<sup>20)</sup>と、南アルプス地域で2008年から2011年にかけて、10個体に対して行われた調査<sup>19)</sup>から得られたニホンジカのGPS位置情報を用いた。また、分散分析を用いて、北アルプス地域と南アルプス地域における平均移動速度に有意差があるのか検定を行い、有意差がみられなかった場合は、2地域の全個体の平均移動速度の平均値を生息密度推定に用いることとした。

#### 生息密度推定

調査地域におけるニホンジカの生息密度は次式を用いて推定した。

$$D = \frac{gy}{t \cdot v r (2 + \theta)}$$

$D$ は対象動物の推定生息密度(頭/km<sup>2</sup>)、 $g$ は平均群れサイズ(頭/群れ)、 $y/t$ は撮影頻度(写真/カメラ台・日)、 $v$ は対象動物の平均移動速度(km/日)、 $r$ はセンサーカメラの撮影可能距離(km)、 $\theta$ は撮影可能角度(弧度)である<sup>14)</sup>。生息密度の推定は、月ごとに撮影頻度と平均群れサイズ、平均移動速度を用いて算出した。

## 結 果

#### 撮影頻度調査

カメラトラップ調査におけるのべ調査日数は386日、カメラ台・日数は7,720台・日となった。ニホンジカの撮影された写真の総数は3,685枚となり、観察のべ個体数は5,796頭であった。ニホンジカ全体の撮影頻度には、6月、10月を中心としたピークが存在した(図2)。

撮影された写真から、オス、メスおよび当歳仔の判別を行うことができた個体は、のべ4,875頭であり、オスのべ542頭、メスのべ2,737頭、当歳仔のべ670頭となった。メスの撮影頻度は、すべての月でオスおよび当歳仔の撮影頻度を上回っており、2015年6月に最大値を示した(0.62写真/カメラ台・日)(図2)。また、オスの撮影頻度は、2015年10月に最大値を示し(0.31写真/カメラ台・日)、当歳仔の撮影頻度は2015年6月に最大値を示した(0.17写真/カメラ台・日)(図2)。

#### 平均群れサイズ

図3に、調査地における平均群れサイズの月別の

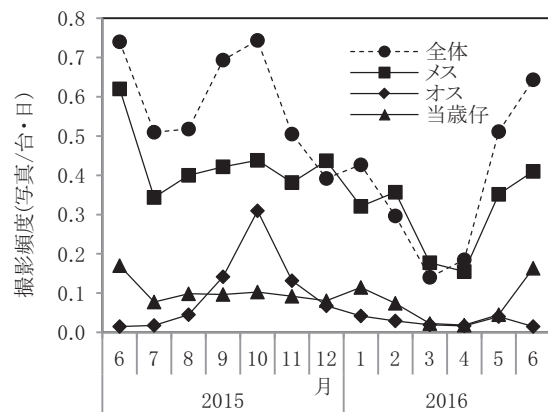


図2 撮影頻度の変化

(2015年6月～2016年6月)

変化を示した。平均群れサイズは、2015年7月に最も低く(1.28頭), 2016年2月に最も高かった(2.19頭)(図3)。平均群れサイズは、冬季にかけて上昇し、翌年の春期にかけて減少する傾向が観察された(図3)。

#### 平均移動速度

平均移動速度を南アルプスおよび北アルプス地域それぞれで算出し、2地域間の各月におけるニホンジカの平均移動速度を比較したところ、いずれの月においても有意差は確認されなかった(分散分析,  $p > 0.05$ )。そのため、本研究では北アルプス地域および南アルプス地域全個体の月ごとの移動速度の

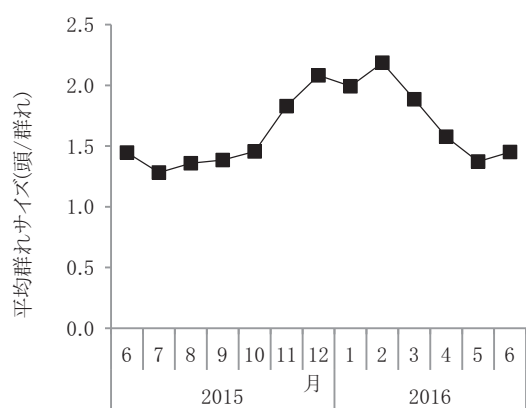


図3 平均群れサイズの変化

(2015年6月~2016年6月)

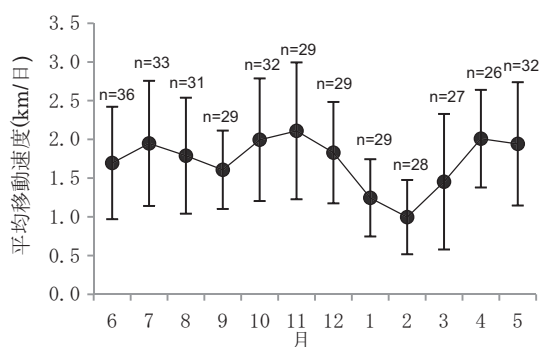


図4 2地域で平均したニホンジカ移動速度の変化

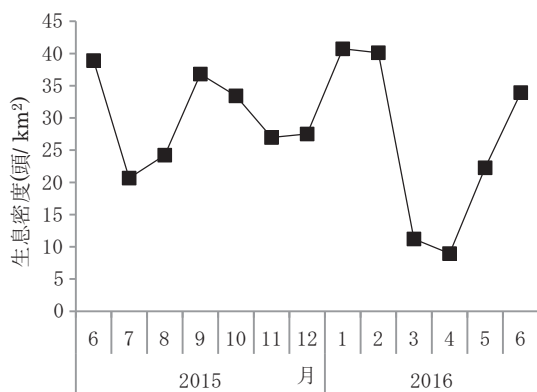


図5 推定生息密度の月別変化

平均値を生息密度推定に用いた(図4)。平均移動速度は12月から2月の冬季にかけて大きく減少する傾向が観察された(図4)。

#### 推定生息密度

図5に、調査地におけるニホンジカの推定生息密度の月別変化を示した。推定生息密度は6月、9月、1月をピークとした明確な季節変動を示し、2016年4月に最も低く(8.95頭/km<sup>2</sup>)、最大値は、2016年1月の40.73(頭/km<sup>2</sup>)となった(図5)。

#### 考 察

本研究から、調査地におけるニホンジカの推定生息密度の季節変動が明らかとなった。調査地において推定生息密度は、6月、9月および1月にピークを示した。

6月および9月の高い推定生息密度は、ニホンジカの撮影頻度と関係しており、6月はメスジカおよび当歳仔、10月はオスジカの撮影頻度がそれぞれ増加していた。この要因として、ニホンジカの繁殖時期が関連していると考えられた<sup>18)</sup>。また、調査地ではメスジカの撮影頻度がすべての月でオスジカと当歳仔の撮影頻度を上回っており、本調査地に生息するニホンジカの多くがメスであることが考えられた。

ニホンジカの出産期は6月にピークを迎えることが知られている<sup>18)</sup>。本調査地では、メスジカの撮影頻度は4月から6月にかけて急激な増加を示し、出産期のピークが過ぎた6月から7月にかけて急激に低下していた。北海道支笏湖畔においてREM法を用いて行われたエゾシカ *Cervus nippon yezoensis* の研究でも、メスジカの撮影頻度は出産期である6月に調査期間中もっとも高い値を示し、7月にかけて低下した<sup>4)</sup>。したがって、調査地において6月に推定生息密度が高いのは、メスジカが調査地を出産の場として選択し、移入したことが要因であると考えられた。

また、ニホンジカの出産期は10月にピークを迎えることが知られている<sup>18)</sup>。エゾシカの研究においても、オスジカの撮影頻度は10月に最も高い値を示し<sup>4)</sup>、その要因として交尾期を迎えたオスジカが調査地に移入したことが考えられた。交尾期である10月には、オスジカの行動に明らかな変化が生じ、それまで一緒に過ごしていたグループを離れ、十分に成熟した個体は一時的にナワバリを形成する<sup>18)</sup>。本研究においても、このような行動の変化により、10月にオスジカの撮影頻度が最も高い値を示した可能性が考えられた。オスジカの撮影頻度が上昇したこ

とにより、10月はニホンジカ全体の撮影頻度も増加しているが、推定生息密度は10月よりも9月の方が大きい値を示している。これは、REM法の推定式が撮影頻度を平均移動速度で除すためであり、9月の方が10月より平均移動速度が低いため、推定生息密度は10月よりも9月の方が高い値を示した。

一方、1月の推定生息密度は調査期間中で最も高い値を示したが、撮影頻度は比較的lowであった(0.43写真/台・日)。このことから、1月は平均移動速度の低下(1.24km/日)および平均群れサイズの増加(1.99頭/群)によって推定生息密度が高い値を示したと考えられる。ニホンジカは、冬季のほうが夏季よりも行動圏が小さく<sup>19)</sup>、代謝エネルギーを減少させる<sup>16)</sup>ために、平均移動速度が低下したと考えられる。したがって、手良沢山演習林においてニホンジカは1、2月にかけて群れサイズを大きくし、大きな移動を伴わないことで高密度であったと推測された。

推定生息密度は、2016年3月、4月に大きく低下した。これは撮影頻度の低下、平均移動速度の上昇、平均群れサイズの低下によるものである。エゾシカの研究においても、冬季は生息密度が低下し<sup>4)</sup>、要因として調査地からの移出が考えられた。また、平均群れサイズの低下は、冬季にかけて大きくなっていった群れが解消したためと考えられる。

本研究において10月から12月に平均群れサイズが上昇した理由として、冬季に落葉とともに林内の視認性が上昇することでニホンジカがより多くの個体で群れを構成するようになることが考えられた<sup>9,18,22)</sup>。一方で、センサーカメラを用いた調査では、平均群れサイズを過小評価している可能性があった。これは、センサーカメラの検出範囲内に群れの全ての個体が侵入し、撮影されたとは限らないためである(姜 未発表)。群れサイズが最大となる積雪期は、群れの一部しか撮影されていない可能性が十分にあり、今後は更に精度の高い平均群れサイズ推定法の検討が必要である。

また、本研究では調査地内に生息するニホンジカの平均移動速度は測定しておらず、算出した2地域平均の移動速度と同様の季節変動を示しているのかは不明である。平均移動速度を正確に把握するのは困難であるが、算出に用いる地域を増やすことや、位置情報の測位間隔の短いデータを用いるなど、偏りを生じない方法が求められる。

我々の研究により手良沢山演習林に生息するニホンジカの推定生息密度の季節変動が明らかとなった。また、REM法に用いる変数の季節変化を観察する

ことで、推定生息密度が季節変動する要因を推測することができ、繁殖行動がその要因である可能性が示された。長野県では、区画法と糞粒法によるニホンジカの生息密度推定を10月から12月にかけて行っている<sup>10)</sup>。しかし、本研究では1年間で8.95~40.73(頭/km<sup>2</sup>)と、最大5倍近い推定生息密度の差が確認されたため、区画法や糞粒法の結果を読み取る際には季節を考慮すべきであると考えられた。

## 引用文献

- 1) 荒瀬輝夫. 2014. 信州大学農学部附属 AFC 手良沢山演習林における最近10年間の鳥類相について. 信州大学農学部 AFC 報告, 第12号, pp.107-114.
- 2) Beyer, H. L. 2004. Hawth's analysis tools for ArcGIS. <http://www.spatialecology.com/htools/>
- 3) Henschel, P. and Ray, J. 2003. Leopards in African Rainforests: Survey and Monitoring Techniques. Wildlife Conservation Society, New York, NY.
- 4) Ikeda, T., Y. Matsuura, H. Takahashi, T. Yoshida, and K. Kaji. 2015. Estimating density of sika deer population from random encounter model using camera-trap survey. Vth International Wildlife Management Congress. pp. 81, Sapporo, Japan, July.
- 5) 姜兆文・山根正伸・今野建志郎・山田雄作. 2011. 個体識別の必要ないカメラトラップによるシカ生息密度評価法. 日本生態学会第58回全国大会, 札幌. p.493.
- 6) 環境省. 1999. 特定鳥獣保護管理計画. <https://www.env.go.jp/nature/choju/plan/plan3.html> 2016年12月3日閲覧
- 7) 環境省. 2013. ニホンジカの保護管理の現状. 特定鳥獣保護管理検討会, 資料1-1. [http://www.env.go.jp/nature/choju/conf/conf\\_wp/conf02-01/mat01\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/nature/choju/conf/conf_wp/conf02-01/mat01_1.pdf) 2016年12月3日閲覧
- 8) Karanth, K. U. and Nichols, J. D. 1998. Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, 79(8), pp.2852-2862.
- 9) 三浦慎悟. 1974. 丹沢山塊松洞丸におけるシカ個体群の生息域の季節的变化. 哺乳動物学雑誌: The Journal of the Mammalogical Society of Japan, 6(2), 51-66.
- 10) 長野県. 2016. 長野県第二種特定鳥獣管理計画. <http://www.pref.nagano.lg.jp/yasei/sangyo/ringyo/choju/hogo/shika-3ki.html> 2016年5月3日閲覧
- 11) O'Brien, T. G., Kinnaird, M. F. and Wibisono, H. T. 2003. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest

- landscape. *Animal Conservation*, 6(2), pp. 131-139.
- 12) 岡本拓也・荒瀬輝夫・小林 元・木下 渉・野溝幸雄. 2008. ヒノキ幼齢林における獣害の現状把握と補植苗数決定の試み. 信州大学農学部 AFC 報告 6 : pp.51-59.
- 13) 王賀新・佐々木賢治・魚住侑司・植木達人・加藤正人・関慶偉. 2003. カラマツ大径材生産を目的とした強度間伐の有効性. 信州大学農学部 AFC 報告 1 : pp.63-71.
- 14) Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S. T. and Carbone, C. 2008. Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology*, 45(4), pp.1228-1236.
- 15) Silveira, L., Jacomo, A. T. and Diniz-Filho, J. A. F. 2003. Camera trap, line transect census and track surveys: a comparative evaluation. *Biological Conservation*, 114(3), pp.351-355.
- 16) Silver, H., Colovos, N. F., Holter, J. B., and Hayes, H. H. 1969. Fasting metabolism of white-tailed deer. *The Journal of Wildlife Management*, pp.490-498.
- 17) 島崎洋路・塩川孝雄・馬場多久男・林博通. 1970. 手良沢山演習林樹木誌 信州大学農学部演習林報告 7 : pp.29-69.
- 18) 高槻成紀. 2006. シカの生態史. シカの生物学, pp.18-29. 東京大学出版会, 東京.
- 19) 瀧井暁子. 2013. 中部山岳地域におけるニホンジカの季節移動に関する研究. 信州大学大学院総合工学系研究科山岳地域環境科学専攻農学博士論文.
- 20) 田中 旭. 2012. 北アルプス北部におけるニホンジカの生息状況と環境利用. 信州大学農学部森林科学科卒業論文.
- 21) 湯本貴和, 松田裕之編. 2006. 自然公園におけるシカ問題. 世界遺産をシカが食う シカと森の生態学 (常田邦彦, 編), pp.20-37. 文一総合出版, 東京.
- 22) 依光良三編. 2011. シカと日本の森林. 築地書館, 東京. pp.1-174
- 23) Wegge, P., Pokheral, C. P. and Jnawali, S. R. 2004. Effects of trapping effort and trap shyness on estimates of tiger abundance from camera trap studies. *Animal Conservation*, 7(3), pp.251-256.

## Density estimation using REM for Sika Deer in Terasawayama Research Forest at Shinshu University

Ryuuta TANAKA<sup>1</sup>, Chihiro TAKAHATA<sup>2</sup>, Akiko TAKII<sup>2</sup> and Shigeyuki IZUMIYAMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

<sup>2</sup>Institute of Mountain Science, Shinshu University

### Summary

We estimated sika deer (*Cervus nippon*) density using REM (Random Encounter Model) to reveal seasonal variation of sika deer density in Terasawayama Research Forest. Elevation of the study area ranges from 950 m to 1,450 m, and 95 % of the area is artificial forest. Field investigation was conducted from June 2015 to June 2016, and we used 20 sensor camera that was randomly located in study area. Density estimation was conducted by using sika deer trapping rate, average group size, average day range and the dimensions of the sensor camera. Sika deer density showed monthly change (8.95-40.73 km<sup>-2</sup>). Estimated density was relatively high in January 2016 (40.73 km<sup>-2</sup>), June 2015 (38.91 km<sup>-2</sup>) and September 2015 (36.82 km<sup>-2</sup>). High estimated density in June and September was related to trapping rate: female and fawn trapping rate was highest in June, and male trapping rate was highest in September. June and September coincided with parturition period and rutting season, respectively. On the other hand, estimated density was highest in January: average group size of sika deer was relatively high, and speed of movement was low. From our study, seasonal change in estimated density of sika deer maybe related to breeding ecology of sika deer.

**Keywords** : camera trap, density estimation, Random Encounter Model, sika deer