

3.1 ツキノワグマの個体識別における斑紋パターンの有用性

三浦 慎悟（早稲田大学）・青井 俊樹（岩手大学）・東出 大志（新潟大学）

1. はじめに

野生動物の保全や管理にとって正確な個体数の把握は欠かせない。そして、正確な個体数を把握するためには、標識再捕獲法などによる個体識別を伴った推定を行う必要がある。この個体識別における手法は、侵襲的手法と非侵襲的手法の大きく2つに区別されている。近年では、捕獲などによる動物個体への影響を伴わない非侵襲的な標識が広く用いられており、その代表的なものとして、DNA標識（Genetic tag）と生体標識（Natural marking）がある。現在、クマ類の個体数推定においては、ヘア・トラップによるサンプル採取とDNA標識による個体識別を組み合わせたヘア・トラップ法が広く用いられているが（Woods et al. 1999, Mowat and Strobeck 2000）、精度やコストにおいての課題も指摘されている（佐藤・湯浅 2008, 湯浅・佐藤 2008）。そこで本研究では、ツキノワグマの個体数推定に向けた個体数推定手法の開発を目的として、もうひとつの非侵襲的標識である生体標識を用いた手法に着目した。

生体標識とは、動物個体が持つ天然の標識であり、体表の模様などがこれにあたる。このような生体標識は多くの哺乳類種において利用されている（トラ: Karanth 1995, オセロット: Trolle and Kery 2003, キツネ: Sarmento et al. 2009, シマウマ: Peterson 1972, ライオン: Miththapala et al. 1989, ゴンドウクジラ: Whitehead 2007 など）。一方でツキノワグマをはじめ、マレーグマ、メガネグマおよびナマケグマの胸部には白い斑紋が存在することが一般的に知られている。近年この胸部斑紋を個体識別に用いて密度推定を行った事例も報告されているが（Ngoprasert et al. 2010, Ríos-Uzeda et al. 2007）、その生体標識としての有用性については検証されていない。人間の生体認証分野において、個人認証に用いる形態的特徴は、普遍性（誰もが持っている特徴であること）、唯一性（本人以外は同じ特徴を持たないこと）、永続性（時間の経過と伴に変化しないこと）を備える事が理想とされている（Jain et al. 2000）。生体標識を用いた動物の個体識別に際しても、同様の検討を行う必要があると考えられる。そこで本研究では、ツキノワグマの斑紋パターンについて普遍性・永続性・唯一性の検討を行うこととした。また斑紋を用いた個体識別の汎用性の検証として、目視による簡便な識別について精度の検証も行った。

2. 材料と方法

2-1. サンプル

秋田県の阿仁熊牧場と岐阜県の奥飛騨クマ牧場で飼育されている個体を対象に、胸部斑紋パターンの撮影を行った。牧場では乾燥飼料やドライフルーツなどがクマの餌として販売されており、ビジターがこれをクマに与える事が習慣化している。そのため飼育個体の多くはビジターから餌をもらうために立ち上がりアピールする習性を持つ。この習性を利用して、正面から全身が収まるように一眼デジタルカメラ（Nikon D5000 10.0-megapixel, lens:55-200）を用いて斑紋の撮影を行った。阿仁では2009年8月6日、9月16日、2010年5月23日および8月8日の4回、奥飛騨では2009年11月23日および2010年9月17日の2回撮影を実施し、1013枚98個体（阿仁:62個体、奥飛騨:36個体）の写真を得た。

得られた写真から、各検討に用いるサンプルの選択を行った。普遍性の検討に際しては、両牧場で撮影された 98 個体を対象に、それぞれ最も撮影条件の良い写真を用いた。この検討に際しては、斑紋の有無が重要な要素であるため、個体の体勢変化による斑紋の歪み、撮影時の角度やブレのある写真も含んでいる。唯一性の検討には、阿仁で撮影された 62 個体のうち、ほぼ正面から正確に斑紋が記録できた 52 個体を対象とした。各個体最低 1 枚の写真を選択、同一日に撮影条件の良い複数枚の写真がある 48 個体については 2 枚を選択し、サンプルとした。永続性の検討には、阿仁で撮影された 62 個体のうち、2009 年の夏（8 月または 9 月）と 2010 年の春、夏の計 3 回にわたり継続的に撮影を行うことができた 18 個体を対象とした。各シーズン 1 枚の写真を個体ごとに選択してサンプルとした。汎用性の検討（プラインドテスト）には、阿仁の 3 回目までと奥飛騨の 1 回目の撮影によって得られた 72 個体から、様々な撮影条件の 240 枚の写真を選択して用いた。

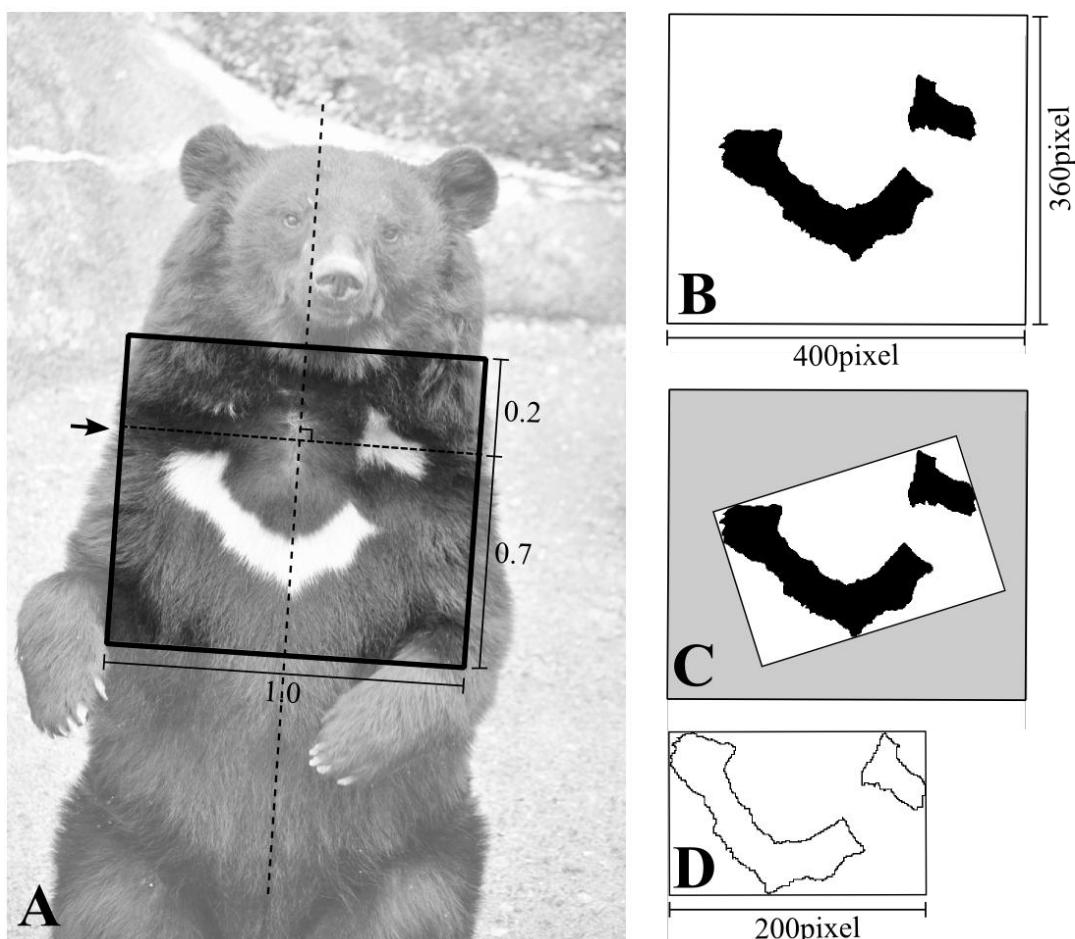


図 1 比較用画像の抽出

A) 正規化画像の抽出においては、まず毛流の方向などを参考に体の中心軸を決定する。次に頸部における輪郭のくぼみ（矢印）から中心軸に対して垂直な横軸を作成し、その幅を 1.0 とする。最後に横軸から下部へ 0.7、上部へ 0.2 の範囲を切り出し正規化画像とする。 B) 正規化画像から 2 値化処理などを経て作成した斑紋抽出画像。幅 200 ピクセル×高さ 360 ピクセルとし、これを比較画像 1 とする。 C) 比較画像 1 から月の輪の弦に相当する線を上辺として、斑紋の囲う最少方形区を切り出す。 D) C において切り出した画像の斑紋の領域から輪郭のみを抽出し、幅を 200 ピクセルに設定これを比較画像 2 とする。

2-2. 正規化と画像処理

唯一性と永続性の画像解析による検討を行うため、用いる写真サンプルについて正規化と画像処理によって比較画像の作成を行った（図1）。写真から毛流や頸部の輪郭を参考に一定の領域を切り出すことで、正規化画像を得た（図1A）。この正規化画像を対象に2値化処理などによって斑紋を抽出し比較画像1を得た（図1B）。さらに比較画像1から、斑紋の輪郭のみを抽出した比較画像2を得た（図1C・1D）。なお正規化と画像処理には、パブリックドメインの画像解析ソフトImage J（NIH, Bethesda, MD）を用いた。

2-3. 画像解析

比較画像1から斑紋領域の面積、重心および傾きの3つの特徴量を算出した。面積は比較画像1において黒で示された領域のピクセル数である。重心は画像の中心を原点とした場合のXY座標である。傾きは斑紋領域を囲む最適楕円形を作成し、その角度を用いた。また形状の比較を行うため、比較画像2において輪郭線を構成する各ピクセルのXY座標を算出した。これらの画像解析にはImage Jを用いた。形状の比較は、それぞれの斑紋の輪郭を構成する各ピクセルにおいて2画像間での最少距離を測定し、その平均値を求めた。このズレの平均値を2画像間の形状の相違を示す指標として用いた。

2-4. 画像の比較

画像解析によって算出した面積、重心、傾きおよび形状の4項目について、画像間の差を検出することで唯一性と永続性の検討を行った。唯一性の検討に際しては、52個体の画像のすべての組み合わせ（ $52C_2 = 1326$ 通り）における差（DB: different bear）、同一写真から異なる2回の画像処理によって得られた画像間（52通り）における差（SP: same picture）および同一日に撮影された同一個体の画像間（48通り）における差（DP: different picture）を算出し比較を行った。永続性の検討に際しては、18個体において、同一日の異なる画像間の差（DP: different picture）、2010年春と2010年夏の画像間の差（SYDS: same year different season）、2009年夏と2010年春の画像間の差（DYDS: different year different season）および2009年夏と2010年夏の画像間の差（DYSS: different year same season）を算出し比較を行った。

2-5. ブラインドテスト

新潟大学の学生と教員20名、国内のクマ研究者14名の計34名を対象としてブラインドテストを行った。テストは60の設問で構成されており、各設問は左右2枚の斑紋画像を見て、同一個体か別個体かを判断するものである。設問に用いた画像は背景情報などによる影響を考慮し、写真から胸部のみを切り出したものを使用した。

3. 結果

3-1. 普遍性

両牧場にて撮影を行ったツキノワグマ98個体のうち、94個体で胸部斑紋の発現が認められた。4個体では斑紋の発現が認められなかったものの、胸部斑紋は非常に高い確率（96%）で発現する特徴である事がわかった。

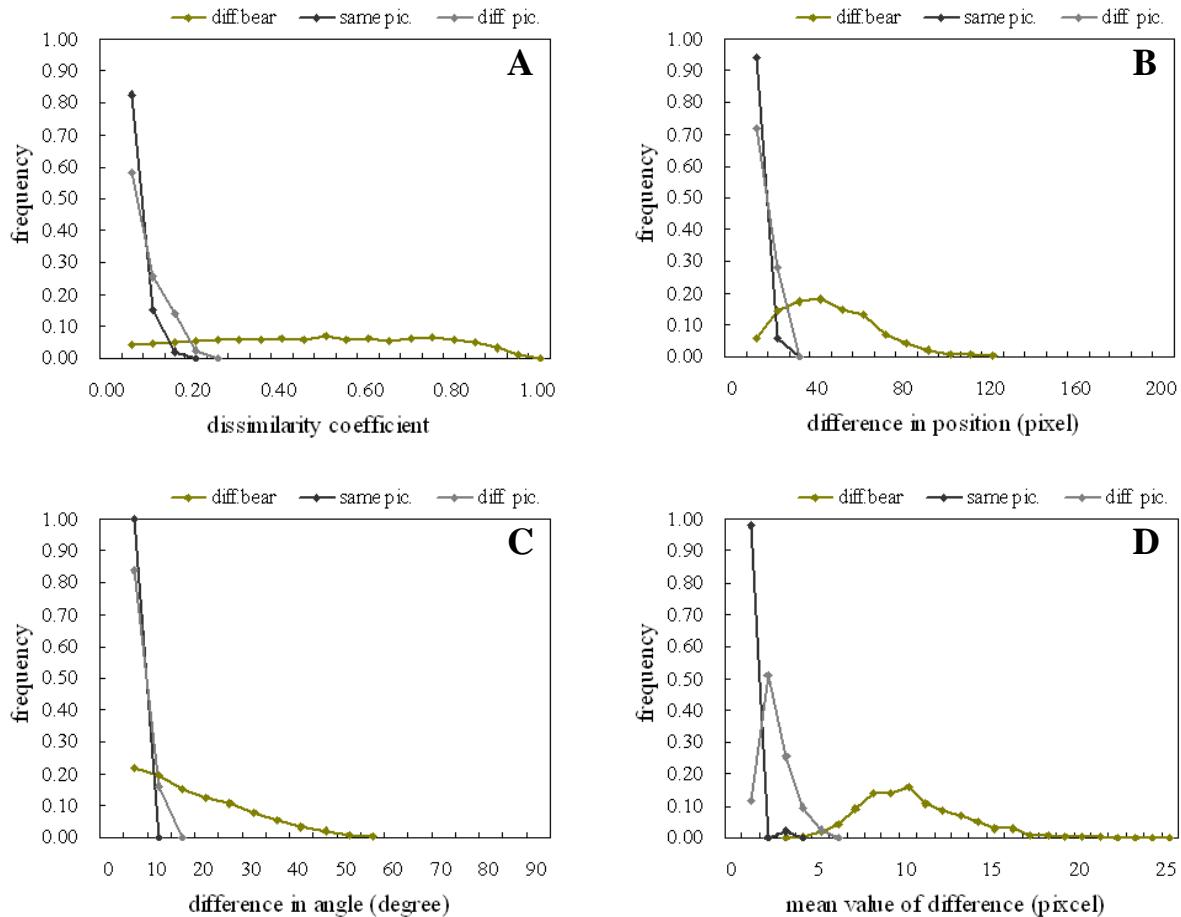


図 2 各画像間における差の頻度分布

A) 面積の相違度 B) 重心位置の差 C) 角度の差 D) 輪郭線の差の平均

diff. bear: 異なる個体の画像比較, same pic.: 同一の写真から抽出した2画像の比較, diff. pic.: 同一日に撮影された同一個体の画像比較

3-2. 唯一性

個体間において斑紋の面積、位置、角度および形状の差を算出し比較を行った結果、これらの特徴はいずれも個体間で大きく異なっていた(図2)。面積の相違度は一様に分布(range: 0.00-0.94)しており、個体間における斑紋面積の変異は大きいことがわかる(図2A)。重心の差もばらつきがあり(range: 1.8-135.9)、個体間の斑紋発現位置に変異が認められるが、分布は40ピクセルを中心とした山型であり、僅かながら差が小さい側に偏っている(図2B)。角度の差も同様に値はばらついており(range: 0.0-57.3)、個体間の斑紋角度に変異が認められるが、その分布は5°をピークに右肩下がりの傾向を示す(図2C)。また輪郭線のズレの平均値もばらついており(range: 12.7-66.1)、その分布は10ピクセルを中心とした一山型である(図2D)。

一方、同一個体の画像間の比較においては、同じ写真を用いた場合にも僅かな差が検出された(図2)。同一写真における斑紋の形状は同じであるため、この画像間の差は、写真から比較画像を生成する際の正規化および斑紋抽出仮定によって生じる人為的誤差と捉える事ができる。また、同様に同一日に撮影された同一個体の画像比較でも差が検出され、同一写真における差よりも大きな値を示した。これは上記誤差に加え、撮影時の微妙なアングルやピントの違いや、個体の姿

勢変化が生じた影響である。そこで唯一性検討のため、同一個体の比較における誤差の最大値を基準として、個体間の変異との重複度を算出した（表1）。同一写真の最大誤差を基準とした場合の重複度はいずれの特徴においても低く、特に形状においては重複が見られなかった。同一日異写真の最大誤差を基準とした場合、角度の重複度において高い値を示したが、その他3つの特徴においては多少増加するものの低い値を示しており、特に形状では0.003と非常に低い重複度であった。

表1 個体間の差と誤差の重複度

trait	same picture		different picture	
	maximum ^a	duplication ^b	maximum	duplication
area	0.11	0.098	0.19	0.176
position	15.06	0.125	19.80	0.202
angle	2.33	0.100	9.82	0.405
shape	2.62	0.000	4.08	0.003

a: 各項目における誤差の最大値

b: 各項目における誤差と個体差の重複度

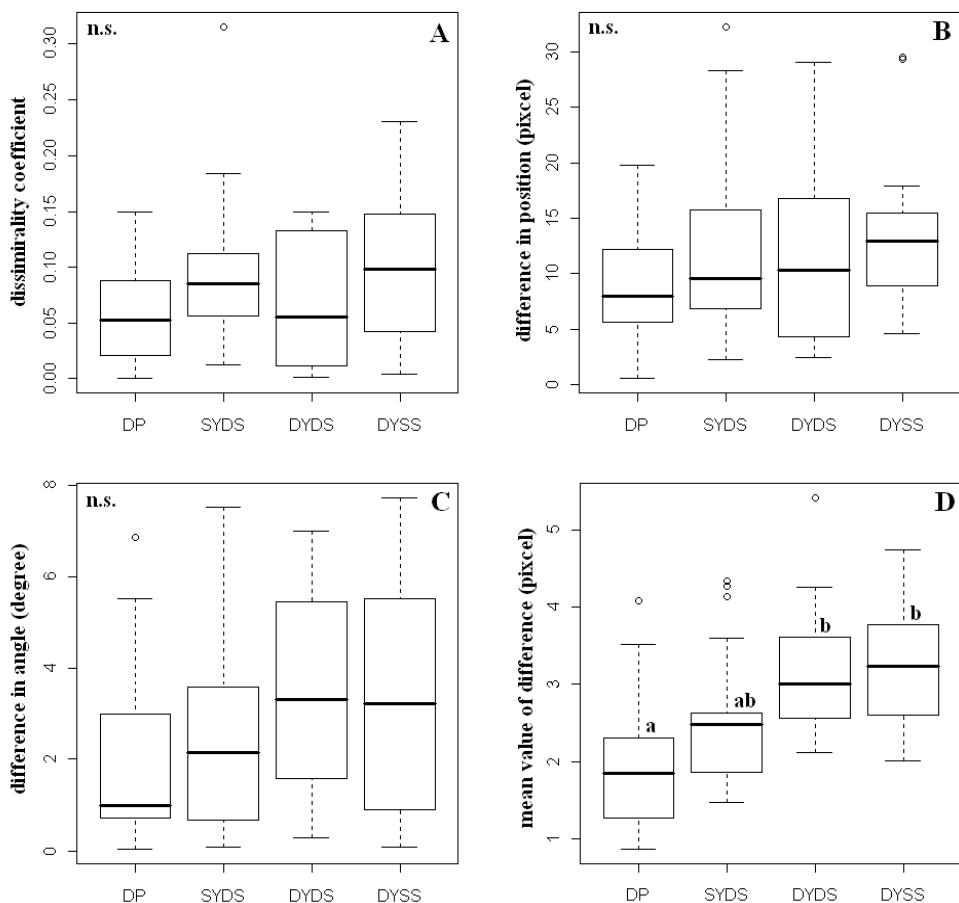


図3 撮影日の異なる同一個体の画像間における差の比較

A) 面積の相違度 B) 重心位置の差 C) 角度の差 D) 輪郭線の差の平均

DP: 同一日に撮影された同一個体の画像比較 SYDS: 2010年5月と8月の画像比較

DYDS: 2009年8,9月と2010年5月の画像比較 DYSS: 2009年8,9月と2010年8月の画像比較

異なるアルファベット（小文字）は多重比較により有意差が得られたことを示す（ $p < 0.01$ ）

3-3. 永続性

面積、重心および角度の3つの特徴量においては、季節や年次の違いによる変化はなく、各処理間において有意な差も認められなかった（図3A, B, C）。形状においては各処理間で有意な差（ $p<0.01$ ）が認められ、DPで画像間の差は小さく、DYDS・DYSSで差が大きい傾向にある事がわかった（図3D）。

3-4. 汎用性

ブラインドテストの結果、正面から正確に斑紋を捉えている画像を用いた場合の正答率は、観察者によって差が見られるものの、非常に高い値を示した（mean = 95%, median = 100%）。一方で撮影角度や個体の姿勢に変化のある画像の比較においては、正答率が低下しており、特に姿勢変化でその影響が大きい事がわかった（図4）。

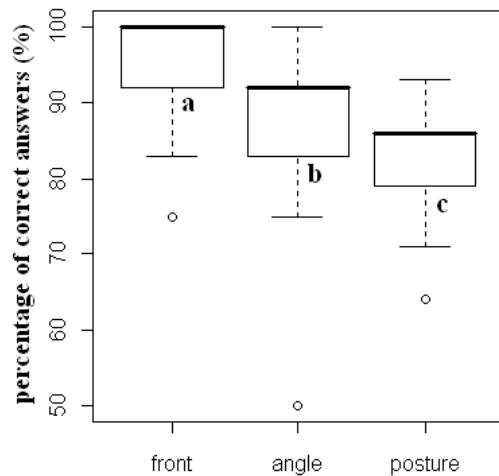


図4 ブラインドテストの正答率

front: 正面からの正確な斑紋画像間の識別 angle: 角度変化のある斑紋画像の識別

posture: 姿勢変化のある画像の識別

異なるアルファベットは多重比較により有意差が得られたことを示す（ $p<0.01$ ）

4. 考察

ツキノワグマ 98 個体の観察結果において、胸部斑紋は 96% とほとんどすべての個体において発現が確認されていることから、普遍的な特徴であると考えられる。

唯一性の比較において、本研究では面積、位置、傾き、および形状の4項目から検討を行った。異なる個体間で特徴の差を抽出した結果、いずれの特徴においても個体変異が確認できた。個体間の差と画像解析過程で生じる誤差の重複度の比較においては、角度における誤差が大きく、重複度も高い値を示したが、その他の特徴では重複度が低く、特に形状の重複度は 0.003 であった。この重複度は、今回用いた比較手法によって個体識別を行った場合、偶然 2 個体の特徴が一致する確率と捉えることができる。このような確率は、マイクロサテライト DNA を用いた個体識別を行う際にも検討されている事項であり、 P_{id} (Probability of identify) と表記されている。Waits et al.

(2001) では、個体識別を行う際に用いる標識において Pid の積算値が 0.001~0.0001 以下である事が望ましいとされている。斑紋の各特徴における重複度を Pid としてその積算値を算出したところ 0.00004 であった。したがってツキノワグマにおける斑紋パターンは、種特異的な特徴であると考えられ、唯一性を持つ有効な生体指標であると言える。さらに、今回の画像解析では形状の特徴をすべて抽出できてはいないため、実際の個体間の変異はより大きなものと考えられるだろう。また、形状の個体差が最も大きく、識別に際して有効な指標と考えられる。

永続性に関しては、面積・位置・傾きにおいて時間経過と伴に変化しないことが確認された。一方、形状では時間経過と伴に僅かながら変化する可能性が示唆された。実際に目視による画像の比較からも、一部の個体において僅かな形状の変化が認められた（図 5）。また撮影年の異なる画像間の比較（DYDS・DYSS）において差が増加していたことから、形状に変化が生じるのは冬季期間である可能性が高い。しかし、このような変化はすべての個体で見られるわけではなく、また大きな変化でもないため、1 年間という期間においては概ね永続性が認められると考えて差し支えないだろう。ただし、永続性については今後も長期間の検討が必要であり、現状では短期間の調査においてのみ利用することを推奨する。

ブラインドテストの結果、正確な斑紋画像を用いた場合の正答率は非常に高く、半数以上が 100% の確率で個体識別を行うことが可能であった。これは目視による簡便な識別における精度を保証する結果であり、同時に唯一性を支持する結果でもある。しかし、角度や姿勢に変化があると斑紋パターンを正確に把握する事が難しく、著しく正答率が低下するため、気をつけなくてはならない。野外において自動撮影カメラを用いて斑紋を撮影する場合には、この点に配慮する必要があるだろう。

本研究における検討から、ツキノワグマの胸部斑紋は生体標識として非常に有効な形態的特徴であり、容易に個体識別が可能である事が立証された。



図 5 斑紋形状の年変化事例

写真左: 2009 年 8 月撮影時の斑紋形状 写真右: 2010 年 5 月撮影時の斑紋形状
2009 年には確認された小さなスポット（矢印）が 2010 年には消失している

引用文献

- Karanth, K.U. 1995. Estimating tiger *panthera tigris* populations from camera-trap data using capture -recapture models. *Biological Conservation* 71:333-338.
- Jain, A., Hong, L. and Pankanti S. 2000. Biometric identification. *Communication of the ACM* 43(2):91-98.
- Miththapala, S., Seidensticker, J., Phillips, L.G., Fernando, S.B.U. and Smallwood, J.A. 1989. Identification of individual leopards (*panthera pardus kotiya*) using spot pattern variation. *Journal of Zoology* 218:527-536.
- Mowat, G. and Strobeck, C. 2000. Estimating population size of grizzly bears using hair capture, DNA profiling, and mark-recapture analysis. *Journal of Wildlife Management* 64(1):183-193
- Ngoprasert, D. Steinmetz, R. and Gale, G. A. 2010. The use of chest marks to distinguish Asiatic black bear and Sun bear individuals in Thailand. *International Bear News* 19(2):18-20.
- Peterson, J.C.B. 1972. An identification system for zebra (*Equus burchelli* Gray). *East African Wildlife Journal* 10:59-63.
- Ríos-Uzeda, B., Gómez, H. and Wallace R. B. 2007. A preliminary density estimate for Andean bear using camera-trapping methods. *Ursus* 18(1):124-128.
- Sarmento, P., Cruz, J., Eira, C. and Fonseca, C. 2009. Evaluation of Camera Trapping for Estimating Red Fox Abundance. *Journal of Wildlife Management* 73(7):1207-1212.
- 佐藤喜和・湯浅卓. 2008. ヘア・トラップを用いたクマ類の個体数推定法：概要と注意点. *哺乳類科学* 48(1):101-107.
- Trolle, M. and Kery, M. 2003. Estimation of Ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data. *Journal of Mammalogy* 84(2):607-614.
- Whitehead, H. 2007. The use of natural markings in studies of long-finned Pilot whales (*Globicephala melas*). *Marine mammal science* 23(1):77-93.
- Woods, J. G., Paetkau, D., Lewis, D., McLellan, B. N., Proctor, M. and Strobeck, C. 1999. Genetic tagging of free-ranging black and brown bears. *Wildlife Society Bulletin* 27(3):616-627.
- 湯浅卓・佐藤喜和. 2008. ヘア・トラップを用いたクマ類の個体数推定法における課題～国内外の事例の比較検討～. *哺乳類科学* 48(1):109-118.

3.2 カメラトラップによるツキノワグマ斑紋の安定的な撮影手法開発

三浦 慎悟（早稲田大学）・青井 俊樹（岩手大学）・東出 大志（新潟大学）

1. はじめに

近年、カメラトラップと標識再捕獲法を組み合わせた個体数推定手法が、特にネコ科哺乳類の調査において盛んに用いられている。標識再捕獲法を用いた個体数推定に際しては個体を識別する必要が生じる。本手法では毛皮模様に代表される natural-marking、つまり動物が持つ天然の標識（以下生体標識）を用いて、カメラトラップの撮影画像から個体識別が行われる。したがって、この生体標識をカメラトラップで正確に記録することは、個体識別に際しての重要な要素となる。

トラ *Panthera tigris*、オセロット *Leopardus pardalis* およびボブキャット *Lynx rufus* などネコ科哺乳類は、顔から尻尾まで全身の毛皮に特徴的な模様を有しており、またその撮影も比較的容易であることから個体数推定におけるカメラトラップの利用が進んでいる。撮影に際しては、獣道の両脇にセンサーカメラを設置し、対象種の両側面を同時に撮影する手法が用いられることが多い（Karanth and Nichols 1998, Trolle and Kery 2003, Heilbrun et al. 2006）。ネコ科以外の哺乳類の事例として、例えばシカの鹿の子模様を俯瞰から撮影する手法も報告されている（小金澤 2004）。

一方、ツキノワグマ *Ursus thibetanus* の個体識別に際して生体標識として用いた斑紋（月の輪紋様）は、胸部に発現するためこのような撮影手法で確認することは難しく、カメラトラップの設定には工夫が必要となる。Ngoprasert et al. (2010) ではツキノワグマとマレーグマ *Helarctos malayanus* を対象に胸部斑紋の撮影が試みられており、宙吊りにした牛肉で誘引して直立姿勢を誘導し、その瞬間にカメラ 3 台を用いて 3 方向から撮影するようなトラップ設定が用いられたが、斑紋の撮影率は低く安定的な手法の確立には至っていない。またセンサーカメラが低価格になったとはいえ、1 トラップに 3 台設置することは望ましくない。

そこで本研究においては、ツキノワグマ斑紋の安定的撮影手法の開発を目的として、2 つのカメラトラップ設定を提案する。また、それぞれの設定において撮影枚数や斑紋撮影率、撮影斑紋の質から手法の有用性を検討すると伴に、トラップ設置に際しての注意点と今後課題について整理を行った。

2. 材料と方法

2-1. 調査地

岩手県北上山地の御大堂山及び青松葉山の周辺地域 (N39°47', E141°28') を調査地とした。調査は約 10TN (トラップナイト) を 1 セッションとし、2010 年 6 月から 8 月にかけて連続的に 6 セッション実施した。本調査地は今年度実施した大規模ヘアトラップ調査地域の一部であり、複数のヘアトラップ設置点が設定されている。本調査では斑紋撮影手法の提案を目的とするため、これらヘアトラップ設置点の中から、地形や植生、前セッションでの確認などの情報に基づき、よりツキノワグマの利用が期待される設置点をセッション間で流動的に選択し、カメラトラップを設置した。表 1 に各調査セッションにおけるカメラトラップの設置地点数を示す。なお、表中のカメラトラップ設定については後述の通りである。

表1 各調査セッションにおけるカメラトラップ(CT) 設定別の設置地点数

CT設定	調査セッション						計
	1	2	3	4	5	6	
A1	10	10	5	5			30
A2					20	20	40
B1			8	7			15
B2					20	20	40

2-2. カメラトラップ設定

斑紋の撮影に用いたカメラトラップの設定はタイプAとタイプBの2種類である。タイプAは立木2本の間に150cmの高さでSPF材(2×4材:1820×89×38mm)を地面と平行に設置、材の片面中央部に誘引餌を取り付け、誘引餌設置面の反対側からトラップ全体が撮影できるようにセンサー1台を設置したトラップ設定である(図1-a)。この設定では、ツキノワグマを直立姿勢に誘導することで斑紋の撮影を試みた。一方タイプBではSPF材で作成したL字型の構造物を170cmの高さで立木に設置、L字の先端に誘引餌を、L字の基部に下向きにセンサー1台を設置した(図1-b)。この設定では、ツキノワグマを樹に登らせ、背筋を反ったような姿勢に誘導することで斑紋の撮影を試みた。なお、前半4セッションの撮影状況を受けて、後半の2セッションではそれぞれの設定に改良を加えたため、これらを区別し、改良前をA1およびB1、改良後の設定をA2およびB2とする。A2における改良点は、誘引餌のリンゴからハチミツへの変更と、誘引トラップとセンサー1台の設置距離を3m以上に設定した点である。B2ではL字型の構造物において、誘引餌の設置位置とカメラの設置角度に改良を加えた(図2)。

センサー1台は焦電型赤外線センサー内臓のBushnell[®] Trophy Cam(model:119435C)を使用した。センサー1台は動画撮影モード(サイズ640×480)で撮影時間は30秒または60秒、撮影後の休止時間を10秒に設定した。

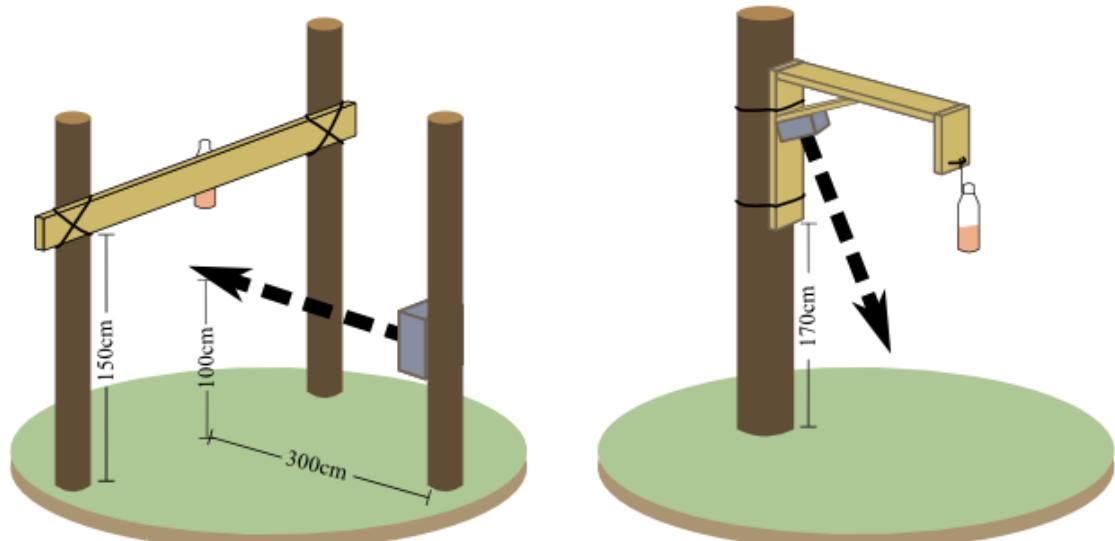


図1-a カメラトラップ(タイプA)

図1-b カメラトラップ(タイプB)

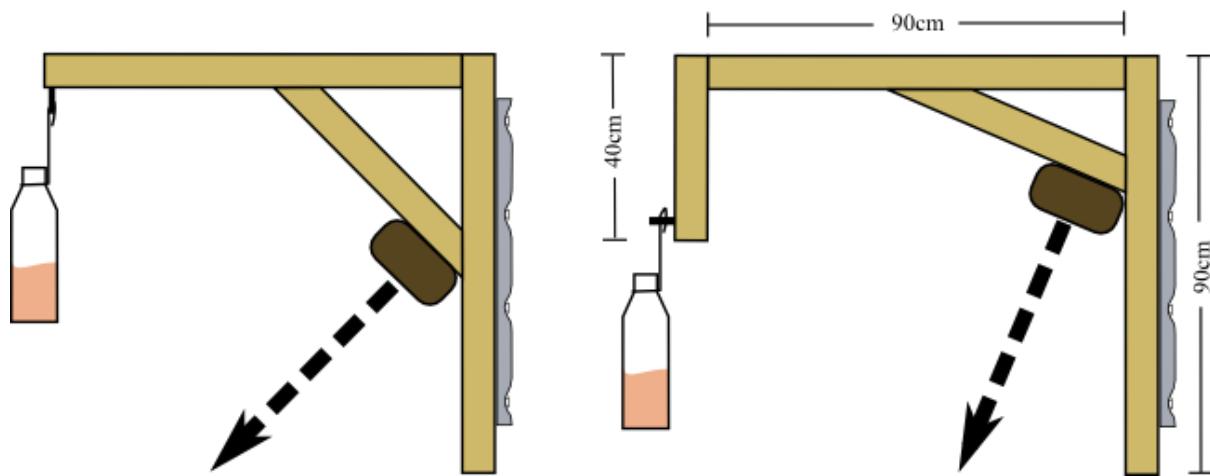


図 2 タイプ B における改良点

B1 (左) では誘引個体とカメラの距離が近く、撮影範囲に斑紋が含まれないケースも確認されたため、B2 (右) では餌の位置を下げることで個体とカメラの距離を確保し、カメラの設置角度も 45° から 60° に変更した

2-3. 解析方法

ツキノワグマがカメラトラップに誘引された時、連続して撮影された動画はおそらく同一個体である。つまり、連続して撮影された動画のうち 1 回でも斑紋が確認されていれば目的は達成できると考えられる。このような連続した撮影画像の取り扱いについて、撮影枚数を指標とした動物の相対密度の推定に際しては、同一個体の連続撮影による過大評価を防ぐために独立イベントを抽出することで比較が行われており、撮影間隔が 30 分以上である場合を独立イベントと判断している (O'Brien et al. 2003)。そこで便宜的に 30 分を閾値として撮影をイベントごとに整理し、その中で誘引餌が利用可能な状態であるイベント (有効イベント) を抽出した。この有効イベントを対象に各 CT 設定における撮影枚数や斑紋撮影率、撮影斑紋の質などについて比較を行った。なお、斑紋撮影率 = 斑紋撮影イベント数 / 有効イベント数である。撮影斑紋の質は 3 段階で評価し、体勢変化やブレがなく斑紋全体が明瞭に撮影されている場合を A、ブレや形の変化は見られるが全体が撮影できているものを B、一部しか撮影されなかった場合を C とした。

3. 結果

ツキノワグマが撮影された動画は全セッションを通して 361 であり、そのうち 179 の動画で斑紋の撮影に成功した。独立イベント数は 120、有効イベント数は 57 であった (表 2)。

表 2 各 CT 設定における撮影枚数とイベント数

CT 設定	クマ撮影枚数	斑紋撮影枚数	イベント数	有効イベント数
A1	39	27	13	12
A2	97	43	37	15
B1	50	20	13	10
B2	175	89	57	20
計	361	179	120	57

各有效イベントにおけるツキノワグマ撮影動画数の中央値は、タイプ A1 で 1.5、A2 で 3.0、タイプ B1 で 2.0、B2 で 4.0 であり（図 3）、いずれのタイプにおいても改良後の撮影枚数のほうが多い結果となった。Kruskal-Wallis の順位和検定により、各 CT 設計における撮影枚数に有意な差が認められたものの ($p < 0.05$)、多重比較の結果からは有意な差は認められなかった。

各トラップ設定における斑紋撮影率はタイプ A1 で 67%、A2 で 87%、タイプ B1 で 80%、B2 で 95% であり、タイプ B で撮影率が高い結果となった。各タイプとも改良後の撮影率は上昇している（図 4）。また、動画において斑紋が撮影されている時間は瞬間的であることのほうが多く、長時間にわたり撮影され続けることはまれであった。

撮影斑紋の質はタイプ A で高く、A1 (A:75% B:13% C:13%)、A2 (A:38% B:46% C:15%) であった。一方タイプ B の画像の質は低く、B1 (A:13% B:63% C:25%)、B2 (A:16% B:63% C:21%) である（図 5）。図 6 に撮影動画から切り出した画像を示す。タイプ A ではツキノワグマの全身が撮影されるのに対し、タイプ B は撮影距離が近いため撮影範囲は狭く、顔や胸部など一部分に限定される。一方タイプ B では近距離での撮影のため、斑紋の細かい形状を把握する事ができる。

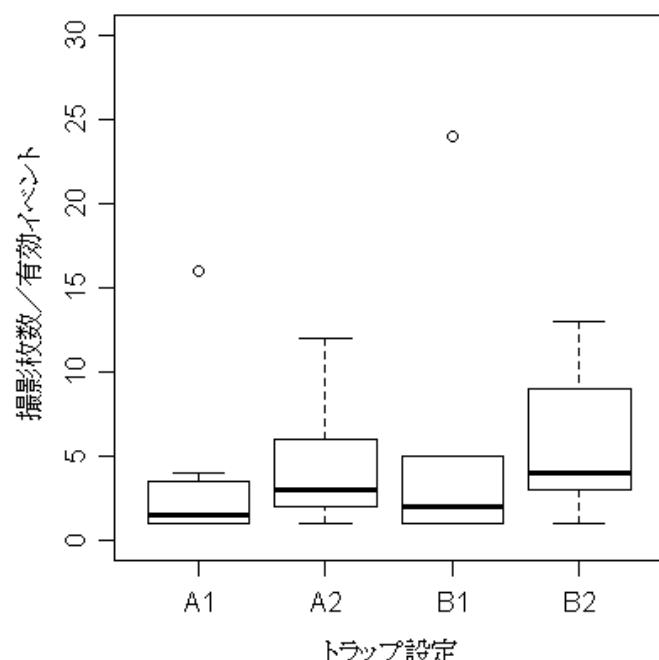


図 3 有効イベントあたり撮影枚数

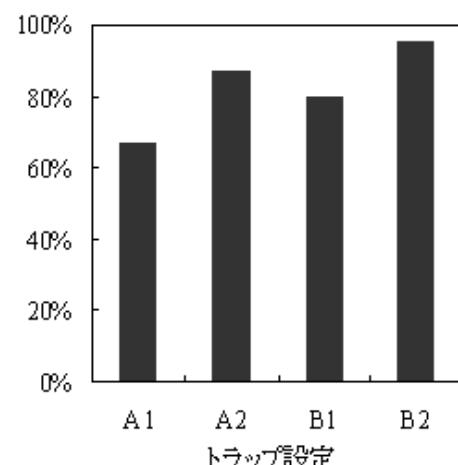


図 4 斑紋撮影イベント率

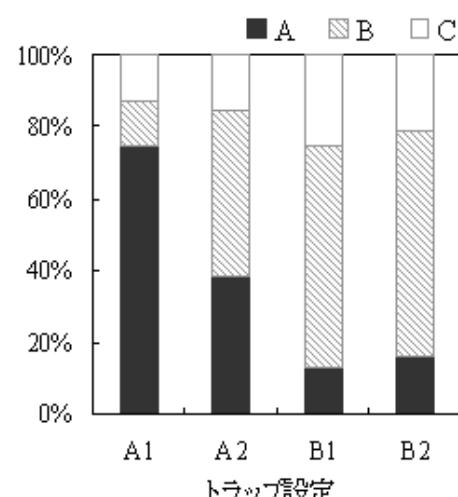


図 5 撮影斑紋の質



図 6-1 タイプ A の撮影画像①



図 6-4 タイプ B の撮影画像①



図 6-2 タイプ A の撮影画像②



図 6-5 タイプ B の撮影画像②



図 6-3 タイプ A の撮影画像③

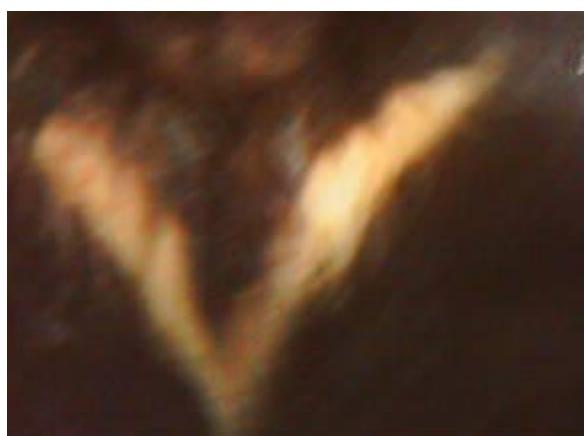


図 6-6 タイプ B の撮影画像③

4. 考察

ツキノワグマの斑紋は通常の姿勢において確認することは難しいため、本研究では直立姿勢などへの誘導を行うことで撮影を試みた。しかし、これらの姿勢を長時間維持するとは考えにくい。そこで通常用いられることの多い静止画の撮影ではなく、動画を用いることとした。今回の結果では、撮影動画における斑紋の確認時間は非常に短い時間であることが多く、静止画を用いての撮影は非常に困難であると考えられた。また、全ての動画において斑紋が撮影できたわけではないため、撮影の機会がより多いこと、つまり 1 度の有効イベントにおける撮影動画数が多いことが望ましい。実際にイベントあたりの撮影枚数が多いほうが斑紋撮影率も高いという結果となった。このイベントあたり撮影枚数および斑紋撮影率は、用いる餌の誘引効果と、餌の取りにくさに起因するものと考えられる。当然のことであるが、餌に誘引効果がなければトラップにとどまる事もなく、斑紋も撮影されない。唯一誘引餌にリンゴを用いた A1 の設定において、同様の構造である A2 よりも撮影枚数、斑紋撮影率とも低い結果となったことは、誘引効果の影響であると考えられる。また、同様の誘引餌を用いた B1 と B2 においても結果に差が見られたことから、B2 への改良段階で餌の設置位置を変更した事で餌が取りにくくなった可能性も考えられる。

撮影された斑紋の質については、タイプ B よりも A で高い結果となった。A1 の設定でより安定的に斑紋全体を撮影できた理由は不明であるが、斑紋全体を正確に捉えるという視点ではタイプ A のほうが優れていると考えられる。また、タイプ A においては全身の撮影が可能であり、体サイズや体形、性別などの情報が得られる利点もある。一方、タイプ A よりも個体に近い距離で撮影を行うタイプ B では斑紋以外の情報を得ることは難しいが、斑紋の特徴を細部まで捉える事ができるという利点がある。タイプ A においては撮影距離が長い場合、斑紋を正面から正確に捉える事ができても、細部の特徴を把握できず、個体識別が困難となる可能性もある。静止画撮影モードにすることでこの画質の問題は解決することもできるが、先に述べたように斑紋の撮影時間が短く、その瞬間を静止画で捉えることは難しいため、動画撮影を前提とした対策を講じる必要がある。

現状ではタイプ A、タイプ B どちらのカメラトラップ設定も一長一短であり、実用化に向けては更なる改良が必要と考えられた。しかし、誘引餌によってツキノワグマの姿勢を誘導することは可能であり、動画撮影により高確率で斑紋の撮影を行うことができている。今後は識別に向けて、より安定的で正確に斑紋を撮影するための改良を進める。

引用文献

- Heilbrun, R. D., Silvy, N. J., Peterson, M. J. and Tewes, M. E. 2006. Estimation Bobcat abundance using automatically triggered cameras. *Wildlife Society Bulletin* 34(1):69-73.
- Karanth, K. U. and Nichols, J. D. 1998. Estimation of Tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology* 79(8):2852-2862.
- 小金澤 正昭. 2004. 赤外線センサーカメラを用いた中大型哺乳類の個体数推定. 哺乳類科学 44(1):107-111.
- Ngoprasert, D. Steinmetz, R. and Gale, G. A. 2010. The use of chest marks to distinguish Asiatic black bear and Sun bear individuals in Thailand. *International Bear News* 19(2):18-20.

- 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* 6:131-139.
- Trolle, M. and Kery, M. 2003. Estimation of Ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data. *Journal of Mammalogy* 84(2):607-614.
-

3.3 カメラトラップによるツキノワグマ密度推定の試み

三浦 慎悟（早稲田大学）・青井 俊樹（岩手大学）・東出 大志（新潟大学）

1. はじめに

クマ類の生息数推定法にはヘア・トラップ法（遺伝的タッギング法）が広く用いられるようになってきた（Woods et al. 1999, Mowat and Strobeck 2000, Miura and Oka 2003, Viteri and Waits 2009）。しかしこの手法に関しては、サンプル（体毛）採取やDNA分析の過程において精度やコストなど様々な課題も指摘されている（佐藤・湯浅 2008, 湯浅・佐藤 2008）。そこで本研究では、クマ類の個体数推定に向けて、代替法・補完法としてカメラトラップを用いた手法の開発を進めている。

近年、カメラトラップと標識再捕獲法を組み合わせた個体数推定手法が、特にネコ科哺乳類の調査において盛んに用いられている（Karanth and Nichols 1998, Trolle and Kery 2003, Heilbrun et al. 2006）。この手法は毛皮の模様などに代表される個体特有の特徴（Natural-markings:生体標識）を自動撮影カメラの撮影画像から識別するものである。ヘア・トラップ同様、非侵襲的手法であると同時に、安価で簡便な手法として活用が期待される。一方で生体標識を持たない種や、カメラによる確認が困難な場合には適用が難しい。クマ類においてもこの手法を用いた生息数推定の試みが報告されているが、手法の確立には至っておらず、識別個体も少ないので現状である（Ngoprasert et al. 2010, Ríos-Uzeda et al. 2007）。そこで本稿においては、現在開発を進めているツキノワグマ斑紋撮影用のカメラトラップ設定を用いて、試験的に実施した密度推定の結果を示す。

2. 材料と方法

2-1. 使用データ

岩手県北上山地の御大堂山及び青松葉山の周辺地域を調査地とした撮影手法開発において、2010年6月から8月に実施した調査の後半2セッション（第5, 第6セッション）の撮影データを用いた。後半2セッションにおけるトラップ設置点は20地点であり、4km²メッシュを参考に面的な連続性を考慮して配置している。各設置点にはタイプAとBの2種類のカメラトラップを設置した。

2-2. 解析方法

撮影動画のうち、斑紋が撮影されているものを対象に静止画を切り出し、目視で個体識別を行った。セッションごとにどのトラップでどの個体が確認されたかを記録した。また幼獣・成獣の区別や、性判別が可能である場合には合わせて記録した。個体数推定にはLincoln-Petersen法を用いた。密度推定における調査範囲の決定にはMMDM（mean maximum distance moved）および1/2MMDMを用いた。MMDMはカメラトラップを用いた密度推定においては頻繁に利用されている手法であり、複数回確認個体の最大移動距離の平均値から算出される（O'Connell et al. 2010）。Arc GISを用いて、各トラップ設置点からMMDMおよび1/2MMDMを半径とするバッファを作製し、調査範囲の面積を算出した。

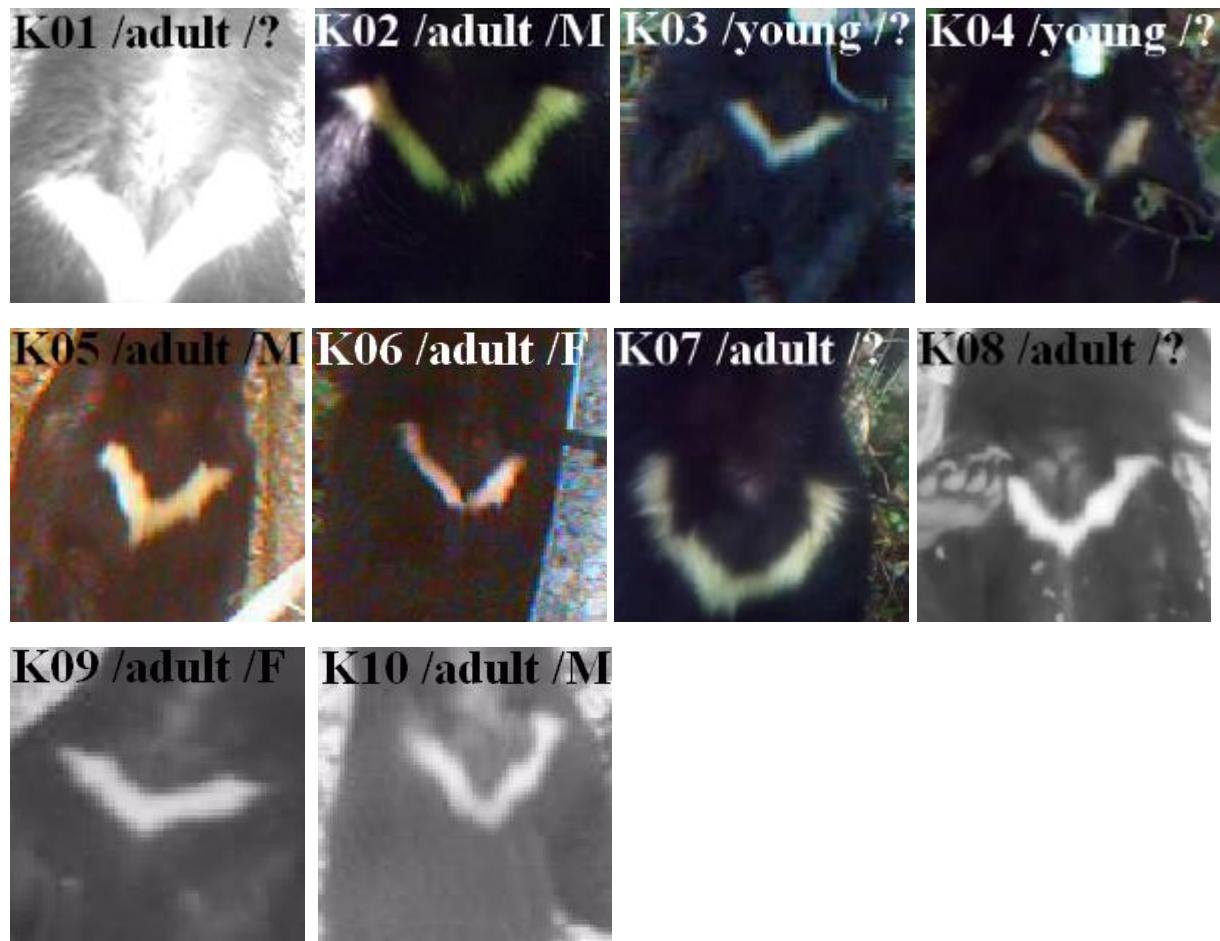


図 1 識別個体の斑紋パターン

3. 結果

第 5・第 6 セッション調査によって得られたツキノワグマの動画は 225 であり、そのうち 109 の動画で斑紋を確認することができた。これらの動画から斑紋の全体が撮影できているものを対象に個体識別を行った結果、10 個体が識別された（図 1）。成獣が 8 個体、幼獣が 2 個体であり、性判別は半数の 5 個体で可能であった（M:3, F:2）。1 回目（第 5 セッション）確認個体は 4 個体、2 回目（第 6 セッション）確認個体は 9 個体であり、内 3 個体が再捕獲個体であった。したがって推定生息数は 12 個体となる。複数回確認個体は 4 個体存在し、MMDM は約 2,731m であった（表 1）。これを基にした調査範囲の面積は MMDM で約 150 km²、1/2MMDM の場合は約 80 km²であり、推定生息密度はそれぞれ 0.08 頭/km²、0.15 頭/km²となった（図 2・表 2）。

表 1 複数回確認個体の最大移動距離と MMDM

個体ID	確認回数	最大移動距離
K01	2	0
K02	5	4972
K03	3	2393
K06	2	3561
average		2732m

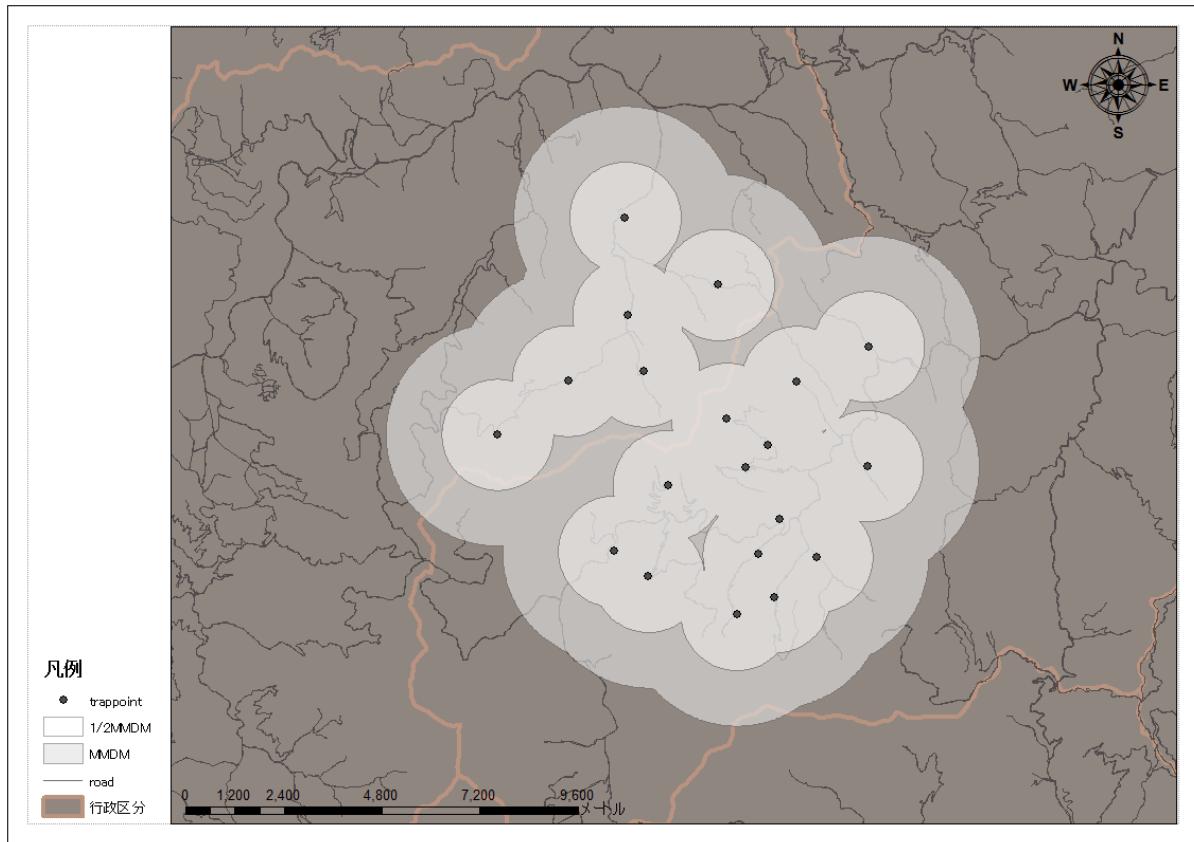


図 2 トランプ設置点と調査範囲

表 2 調査範囲と推定密度

調査範囲設定	radius (m)	area (km ²)	density (/km ²)
MMDM	2,732	150	0.08
1/2MMDM	1,366	80	0.15

4. 考察

センサーカメラによる撮影画像から、斑紋を用いて個体識別を行うことは概ね可能であると考えられた。しかし、撮影画像の質（安定性や解像度）の面では改良が必要である。また、タイプAの画像を用いた性判別は半数の個体でのみ可能であった。これは姿勢により下腹部が撮影できない場合があることに加えて、低解像度下で確認が難しいことも影響しており、これらの点においてもカメラトランプ設定を見直す必要性がある。本調査における推定生息数は12個体であるが、確認個体が10個体であることを考慮すると、この段階でかなり過小評価となっている可能性が示唆される。つまり調査範囲に生息する8割以上の個体が今回のカメラトランプ調査で確認されたと考えるのは現実的ではないということである。これは1回目の確認個体が4個体と少ないと、そしてそのうち3個体が最捕獲されていることによる。本調査が短期間・小規模であることが1つの要因である。もう1つの要因として考えられるのは、再捕獲個体としてトランプハッピーベル

体が存在する可能性である。この点は誘引餌を用いたトラップ設定において解決の難しい問題であるが、推定モデルによって改善できる可能性もあると考えられる。また、生息密度は MMDM で 0.08 頭／km² および 1/2MMDM で 0.15 頭／km² と推定された。以前北上山地において行われたヘア・トラップによる生息密度は 0.127-0.193 頭／km²（平均 0.159 頭／km²）であるため、多少過小評価になっていると考えられる。特に MMDM を用いた場合、調査範囲の評価が過大となるため、密度推定値はより過小になる。

今後はカメラトラップ設定の改良による撮影精度の向上を図ると併に、調査期間と規模を拡大した調査を試みる予定である。また、生息数推定に関しては、本プロジェクトの個体群モデル開発班において提案されている空間明示モデルの適用を含めて検討を進める。

引用文献

- Heilbrun, R. D., Silvy, N. J., Peterson, M. J. and Tewes, M. E. 2006. Estimation Bobcat abundance using automatically triggered cameras. *Wildlife Society Bulletin* 34(1):69-73.
- Karanth, K. U. and Nichols, J. D. 1998. Estimation of Tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology* 79(8):2852-2862.
- Miura, S., and Oka, T. 2003. Evaluation of apple bait hair-traps for genetic tagging of Asiatic black bears in the Kitakami Highland, northern Honshu, Japan. *Mammal Study* 28:149-152.
- Mowat, G. and Strobeck, C. 2000. Estimating population size of grizzly bears using hair capture, DNA profiling, and mark-recapture analysis. *Journal of Wildlife Management* 64(1):183-193
- Ngoprasert, D. Steinmetz, R. and Gale, G. A. 2010. The use of chest marks to distinguish Asiatic black bear and Sun bear individuals in Thailand. *International Bear News* 19(2):18-20.
- O'Connell, A. F., Nichols, J. D. and Karanth, K. U. 2011. Camera trap in animal ecology. Springer, 271pp.
- Ríos-Uzeda, B., Gómez, H. and Wallace R. B. 2007. A preliminary density estimate for Andean bear using camera-trapping methods. *Ursus*.18(1):124-128.
- 佐藤喜和・湯浅卓. 2008. ヘア・トラップを用いたクマ類の個体数推定法：概要と注意点. 哺乳類科学 48(1):101-107.
- Trolle, M. and Kery, M. 2003. Estimation of Ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data. *Journal of Mammalogy* 84(2):607-614.
- Viteri, M. P. and Waits, L. P. 2009. Identifying polymorphic microsatellite loci for Andean bear research. *Ursus* 20(2):101-108.
- Woods, J. G., Paetkau, D., Lewis, D., McLellan, B. N., Proctor, M. and Strobeck, C. 1999. Genetic tagging of free-ranging black and brown bears. *Wildlife Society Bulletin* 27(3):616-627.
- 湯浅卓・佐藤喜和. 2008. ヘア・トラップを用いたクマ類の個体数推定法における課題～国内外の事例の比較検討～. 哺乳類科学 48(1):109-118.