

第 13 章

東中国及び北近畿個体群のツキノワグマに 認められた骨異常の出現頻度

横山真弓・齋田栄里奈・中村幸子・森光由樹

要 点

- ・兵庫県で捕獲されたツキノワグマ成獣 47 頭の脊椎及び骨盤、四肢長骨について、過形成、粗鬆様、癒合などの骨の異常の有無と出現頻度を検索した。
- ・39 頭のツキノワグマに骨の異常を認めた。部位別では、胸椎と腰椎、脛骨関節部に、過形成、粗鬆様が多く検出された。
- ・人為的な要因で死亡した個体から、骨異常が少なくとも 1 か所以上認められた割合は、東中国個体群で 82% となり、北近畿個体群 (70%) に比べ高かった。
- ・今回検索した骨の異常部では、脊椎と関節部の軟骨組織周辺における炎症—摩耗—増生が繰り返され、溶解した軟骨を補う形で運動負荷の高い脊椎や関節部の変形が起こったと推定される。
- ・症状が進行している個体は、高齢個体が多かった。
- ・繁殖への悪影響はないと考えられたが、東中国個体群で頻度が高いことから、今後は発生要因を把握する必要がある。

key words: 過形成 菲薄化 遺伝的劣化 脊椎関節症 癒合

1. はじめに

東中国地域及び北近畿地域に生息するツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) 地域個体群は、円山川をはさんで、遺伝的な組成が異なっており (Saitoh *et al.* 2001; 森光ほか 2011)、それぞれ極めて孤立した個体群として保全の対象となっている (環境省 2002)。これらの生息地は人の生活圏とも重複し、分断されている環境にあり、1990 年代までに個体数は減少していた (兵庫県 2009)。個体数が著しく減少した野生動物個体群では、遺伝的な多様性が低下し、繁殖や免疫機能に問題を生じることが報告されている (牧・増田 1994; Ralls *et al.* 1988; Wildt *et al.* 1987)。もし、これらの地域に生息するツキノワグマにこのような遺伝的な劣化が起こっていれば、個体群の保全に影響が及ぶ可能性がある。兵庫県では、2002 年以降、個体群の健全性を診断するために死亡個体 (有害捕獲・事故死・自然死亡) のモニタリングを行っている (横山ほか 2008; 横山 2009)。2004 年、人家に侵入し動けない状態になっている、1 頭のツキノワグマが発見された。この個体は著しい衰弱状態にあり、放獣されたものの 4 日後に死亡が確認された。回収された死亡個体を解剖したところ、肩甲骨と上腕骨関節部に著しい骨の異常が発見された。その後も死亡個体の全身の骨を検索する過程で、複数の

個体で骨の異常が発見された（横山ほか 2008）。特に自然死亡した個体で病態が著しく、これまで東中国個体群で 6 例、北近畿個体群で 1 例発見されている。しかし、継続的なモニタリングの結果、これらの現象は自然死亡個体にとどまらず、有害捕獲や事故死の個体にも同様の異常が認められることが確認されている。

そこで本研究では、ツキノワグマの骨異常の実態を、骨の外部観察から判定される異常のタイプとその出現部位、出現頻度などから明らかにすることを目的とした。また、これらの異常が発生する要因について考察し、今後の対応を検討した。

2. 方法

標本は、4 歳以上の成獣 47 個体を用いた。東中国個体群 34 個体、北近畿個体群 13 個体である。年齢は、第一小臼歯と第四小臼歯の歯根部にあるセメント質に形成される層板（年輪）を数えることにより査定した（八谷・大泰司 1994）。検索部位は、①脊椎の三部位（頸椎、胸椎、腰椎）、②骨盤（寛骨、仙椎）、③肩甲骨と前肢長骨（上腕骨、橈骨・尺骨）④後肢（大腿骨、脛骨・腓骨）とした（図 1、図 2）。異常の種類については、過形成、粗鬆様、菲薄化、癒合、その他の奇形を検索した。粗鬆様とは、骨粗鬆症のような病態に見える異常だが、形態のみから骨粗鬆症と判定することは困難であるために、「粗鬆様」と判定した。検索は、「過形成」、「粗鬆様」、「菲薄化」については、異常が見られた部位別に 4 段階のレベルに分けて行った。レベル 0 を異常なしとし、レベル 1 を軽微な変異（加齢や成長過程の変化の可能性もあるものを含む）、レベル 2 を明らかな異常、レベル 3 を著しい異常とした（図 3、4、5）。このうち、レベル 2 もしくは 3 を「異常」と判定した。また「癒合」と「奇形」については、有りを 1、無しを 0 とし得点化した（図 6、7）。

今回の検索では、ツキノワグマの正常な骨に関する情報がほとんど得られなかったため、異常の様態は、一部加齢性の変化も含まれている可能性がある。しかしながら、現時点では、加齢性のものであるか、加齢とは関係のない異常な病態であるか、加齢に伴い深刻化する病態であるのか、などを分離することは困難であった。そのため、全身の異常の出現と年齢との関係性をみるために、検索部位ごとに判定したレベルを得点として累積した「骨異常評価ポイント」を算出した。具体的には、判定した部位ごとに、過形成、粗鬆様、菲薄化については、0～3 点を、癒合とその他の奇形については 0～1 点をあたえ、検索したのべ 20 か所について累計したものを「骨異常評価ポイント」とし、そのポイントと年齢との関係を検討した。

なお、検索には、基本的に全身の骨がある標本を使用した。が、交通事故や自然死亡による標本には破損や欠損があるものもあったため、部位により標本数が異なる場合がある。

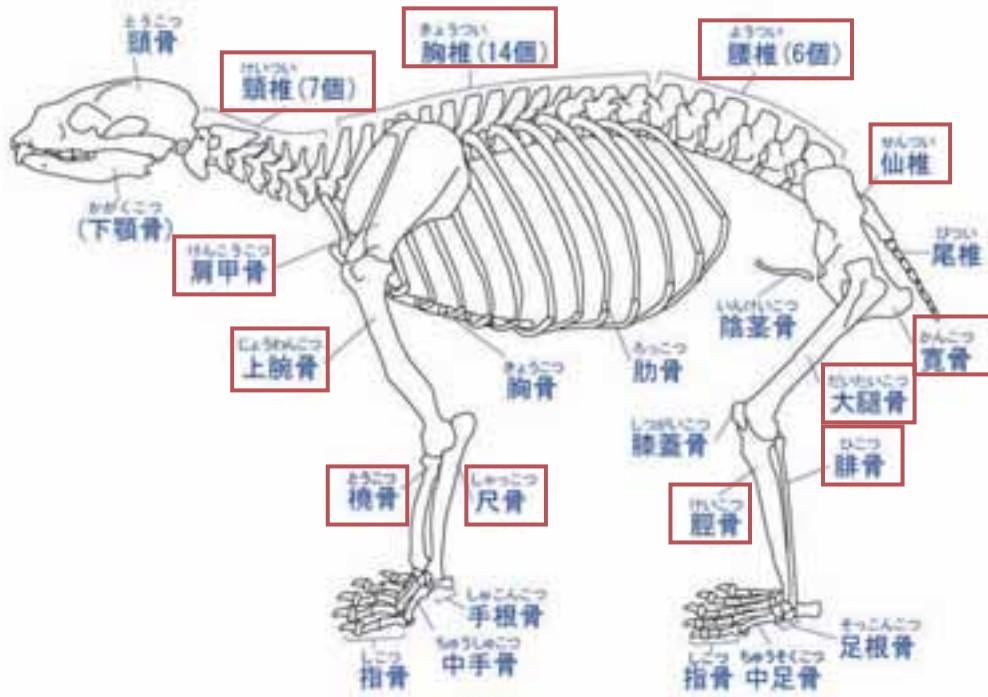


図1 ツキノワグマの骨格 □で示した部位の骨について検索した。

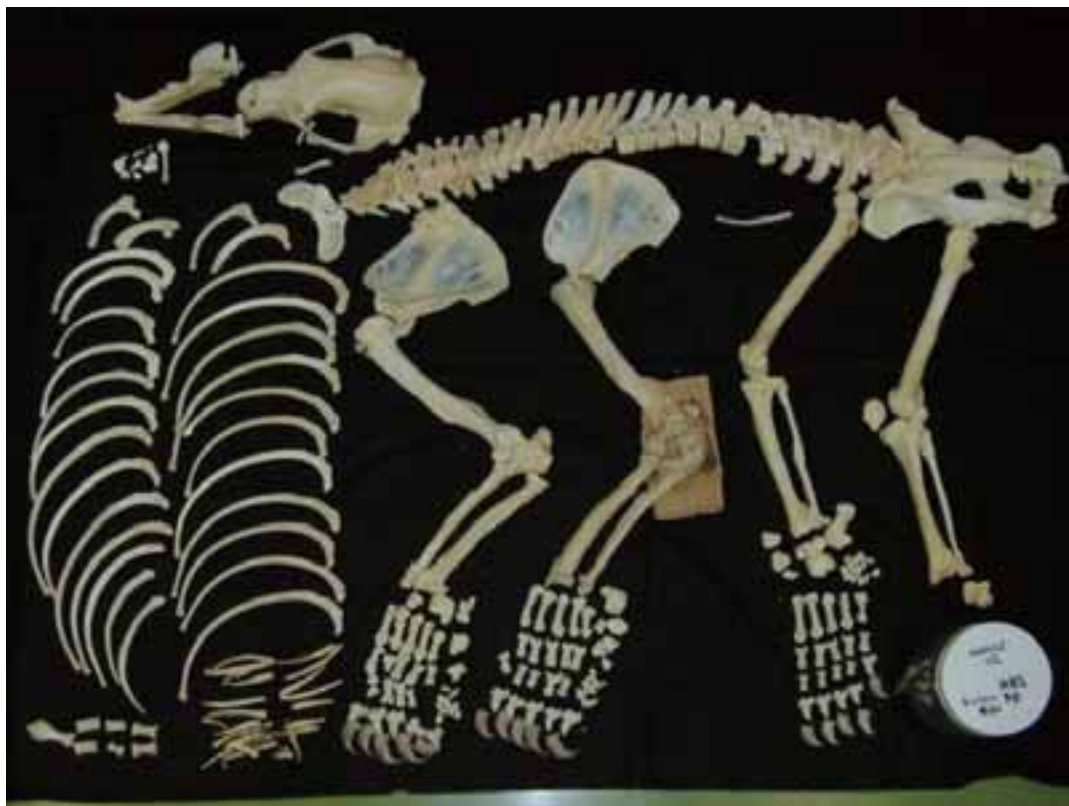
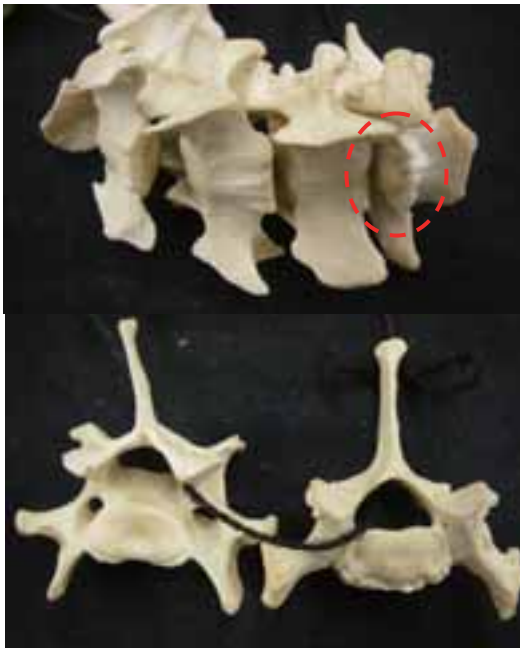
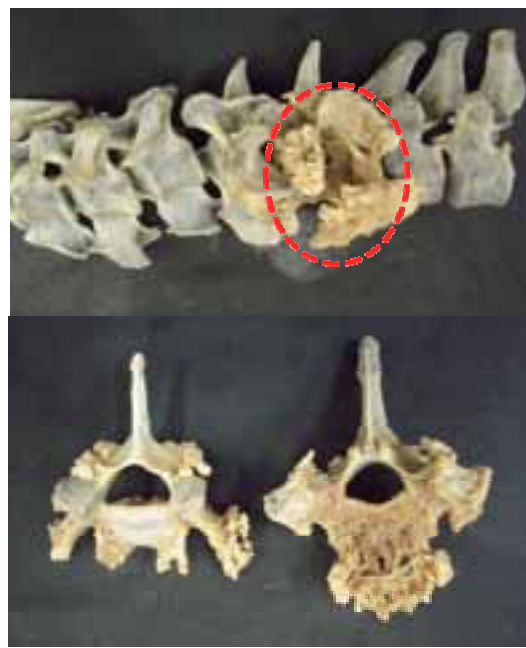


図2 標本化したツキノワグマの全身の骨

(a) 頸椎レベル1



(b) 頸椎レベル2



(c) 上腕—橈骨・尺骨レベル0



(d) 上腕—橈骨・尺骨 レベル1



(e) 上腕—橈骨・尺骨レベル2



(f) 上腕—橈骨・尺骨レベル3



図3 過形成のレベル判定基準

レベル0を正常な骨とし、レベル1を軽微な変化（加齢や成長過程などと判断されるもの）レベル2を明らかな異常、レベル3を著しい異常とし、上記のレベル2、3を基準の骨とし、「異常な過形成」とした。

(a) 胸椎 レベル1



(b) 胸椎レベル2



(c) 胸椎レベル3



図4 粗鬆様のレベル判定基準

レベル0を正常な骨とし、レベル1を軽微な変化（加齢や成長過程などと判断されるもの）レベル2を明らかな異常、レベル3を著しい異常とし、上記のレベル2、3を基準の骨とし、「異常な粗鬆様」とした。写真は、胸椎を示している。

(a) レベル1



(b) レベル2



(c) レベル3



図5 肩甲骨菲薄化のレベル判定基準

レベル0を正常な骨とし、レベル1を軽微な変化（加齢や成長過程などと判断されるもの）レベル2を明らかな異常、レベル3を著しい異常とし、上記のレベル2、3を基準の骨とし、「異常な菲薄化」とした。

(a) 癒合なし

(b) 癒合あり

(c) 癒合と過形成を併発



図6 骨盤-腰椎部分の癒合のレベル判定基準

(a) 癒合のない正常な骨、(b) 寛骨と仙椎が縫合した部分に腰椎が変形癒合していたもの、(c) 寛骨、腰椎の癒合にさらに過形成を伴っていた例。



図7 脛骨-腓骨部分の癒合の例

写真は過形成を伴った例。

表1 検索部位と検索病態

部位	検索病態				
	過形成	粗鬆様	菲薄化	癒合	備考
脊椎	頸椎	○	○		
	胸椎	○	○		
	腰椎	○	○		
骨盤	仙椎	○	○	○*	*腰椎との癒合の有無
	寛骨	○	○	○*	
前肢	肩甲骨	○			○
	上腕骨	○			○
	橈骨・尺骨	○			
後肢	大腿骨	○			
	脛骨・腓骨	○			○

3. 結果

骨に見られた病変として、過形成、粗鬆様、菲薄化、癒合が確認された。部位により出現内容に差があり、最終的に判定した項目を部位別に表1に示した。先天性のものと考えられる左右非対称の形態(図14)も確認されたが、今回の検索では、1検体のみであったため、出現割合の分析は行わなかった。

年齢

標本の平均年齢を個体群別、死亡要因別に表2に示した。北近畿個体群においては、自然死亡個体は得られなかった。そのため、東中国個体群の人為的死亡と自然死亡、北近畿個体群の人為的死亡の3群について、比較したところ、有意な差は認められなかった(Kruskal-Wallis test, $\chi^2=3.7$, $P=0.16$)。

表2 骨異常の分析を行った47頭のツキノワグマの年齢
(平均値と標準偏差)

		個体群	
		東中国	北近畿
死亡要因	人為	10.6±3.4	10.3±3.2
	自然	15.4±4.9	—
合計		11.8	9.6

脊椎と骨盤

脊椎と骨盤に見られた過形成の出現頻度について、図8に示した。仙椎と寛骨については、成獣の場合縫合している場合が多かったため、骨盤としてまとめた。

過形成について異常が最も多く検出された部位は胸椎であり、東中国個体群の人為的死亡のうち33.3%を占めた(図8a)。標本数は少ないが、東中国個体群の自然死亡では、骨盤の標本が得られた5頭中4頭で異常が検出された(図8b)。また、自然死亡個体では複数の部位において異常が認められ、胸椎とともに頸椎、骨盤での異常の検出が多かった。北近畿個体群では、異常の発生頻度は低かった。

粗鬆様は、過形成の頻度が高かった部位(頸椎、胸椎、腰椎)で多く検出された(図9)。北近畿個体群では、過形成の出現頻度は低かったが、粗鬆様については、東中国個体群と同様の出現割合であった。

また、腰椎と仙椎の癒合、もしくは腰椎と寛骨の癒合という2部位の癒合が両地域個体群で認められたほか、これら3部位の癒合も全部で10例認められた。癒合は、特に東中国個体群で高い頻度で検出され、自然死亡では、5頭中4頭に認められた。また、癒合と過形成の両方の症状が重複してみられる深刻な事例も自然死亡個体で認められた(図6c)。

前肢

前肢については、肩甲骨の菲薄化が、東中国個体群の人為的死亡、自然死亡ともに高い頻度で認められた(図11)。過形成は、橈骨・尺骨の関節部周辺に多く出現した(図11)。橈骨・尺骨の過形成の割合は、東中国個体群で38.5%と高く、北近畿個体群においても25.0%を示した。また、橈骨-尺骨間の癒合については、東中国個体群では認められず、北近畿個体群で1例(7.6%)のみ認められた。

後肢

後肢については、過形成が脛骨・腓骨の関節部に多く認められ、とくに東中国個体群の人為的死亡個体では、34.6%で異常を認めた（図12）。脛骨と腓骨との癒合（図7）は、東中国個体群の人為的死亡で3例（10.7%）認められた。

年齢別評価累積ポイント

加齢による影響を判断するために、それぞれの部位において判定したレベル（0～3）を得点として個体ごとに累積した「骨異常評価ポイント」と、年齢との関係を図13に示した。骨異常評価ポイントは、加齢とともに直線的に増加する傾向が認められた。

骨異常の出現頻度

1か所以上の部位に骨異常（レベル2，3）が検出された個体の割合を表3に示した。

何らかの異常が検出された個体は、人為的死亡では両個体群とも60%を超えており、自然死亡ではすべての個体に何らかの異常があった。

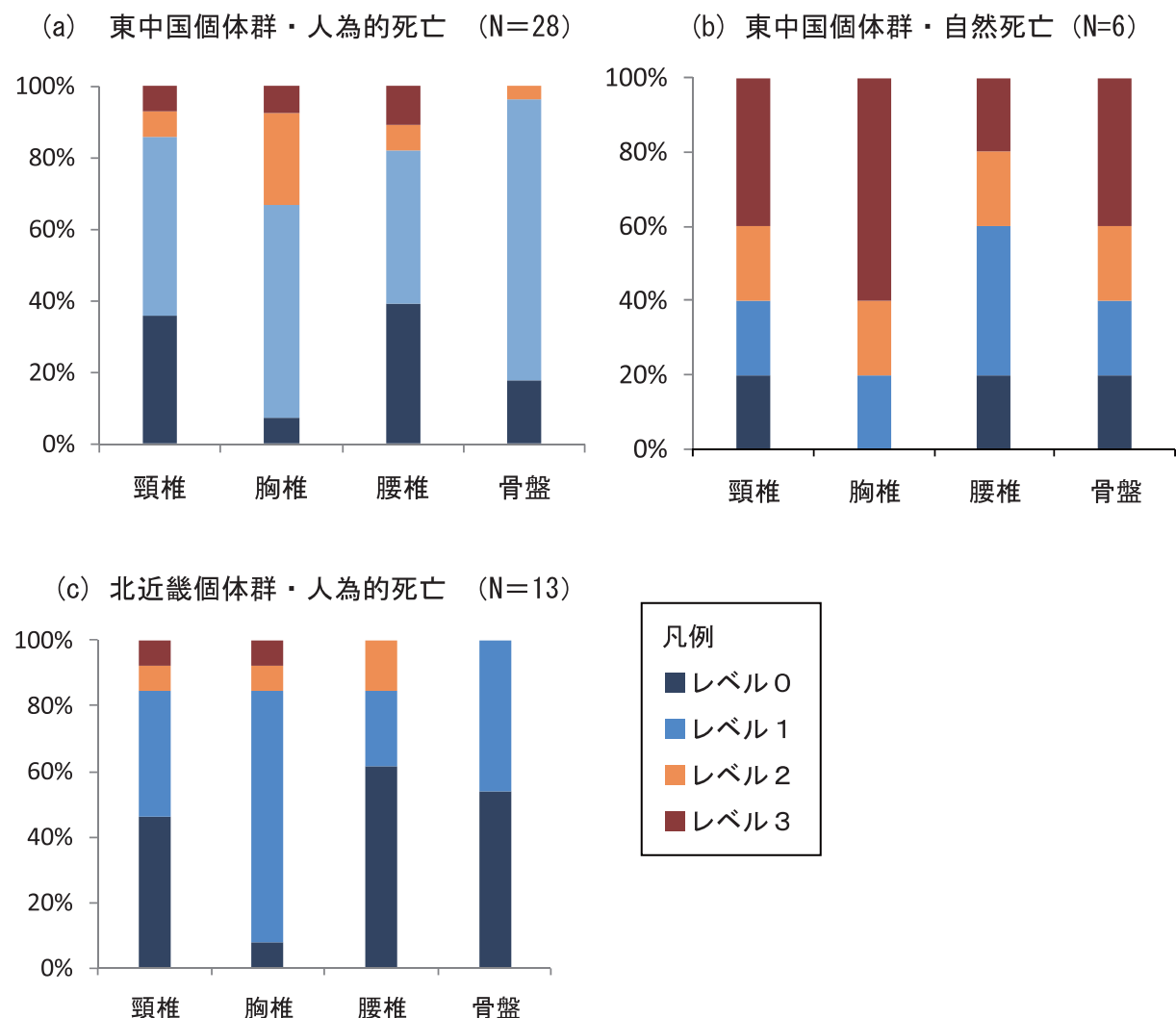


図8 脊椎の3部位と骨盤における過形成の出現頻度。

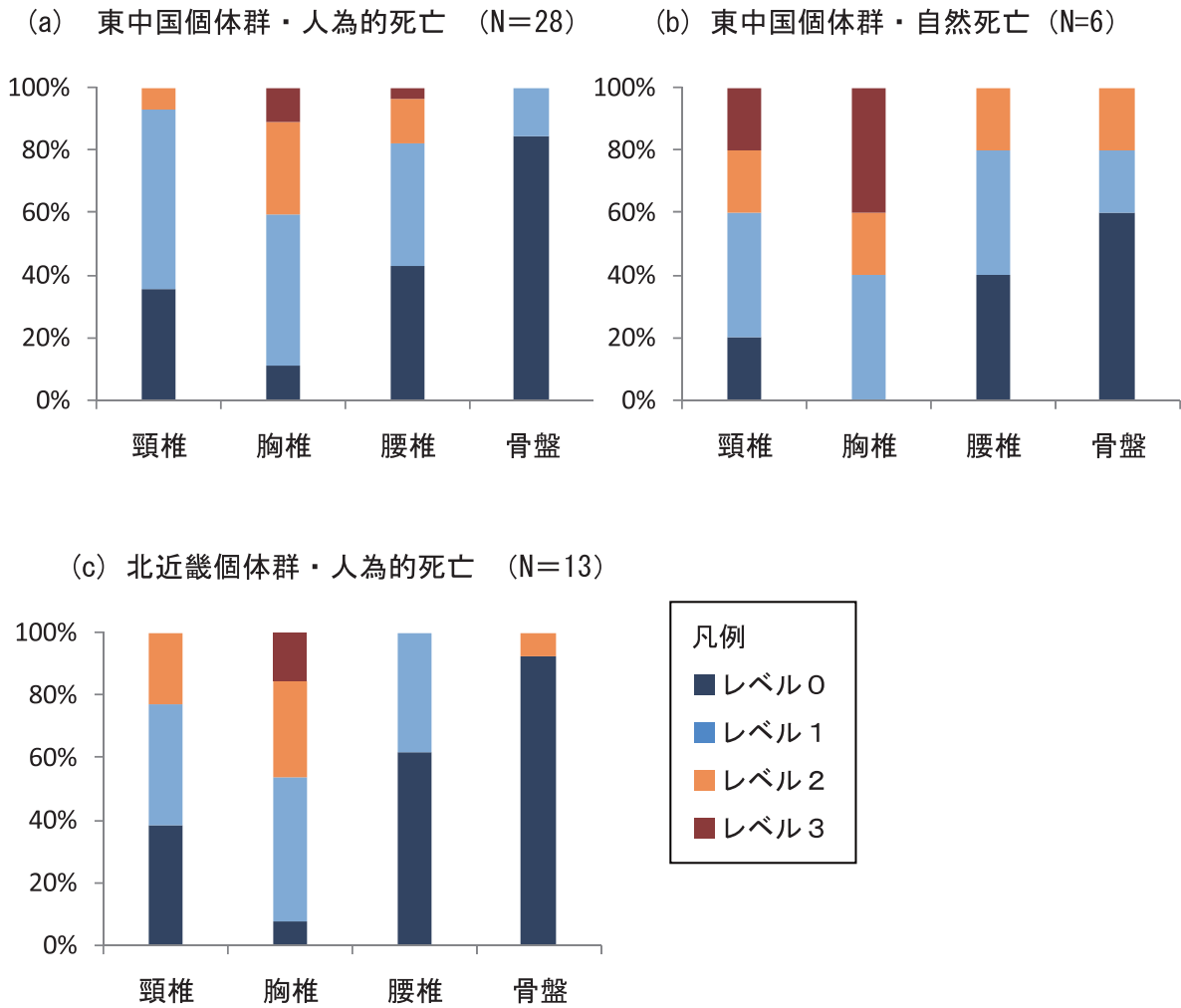


図9 脊椎と骨盤における粗鬆様の出現頻度

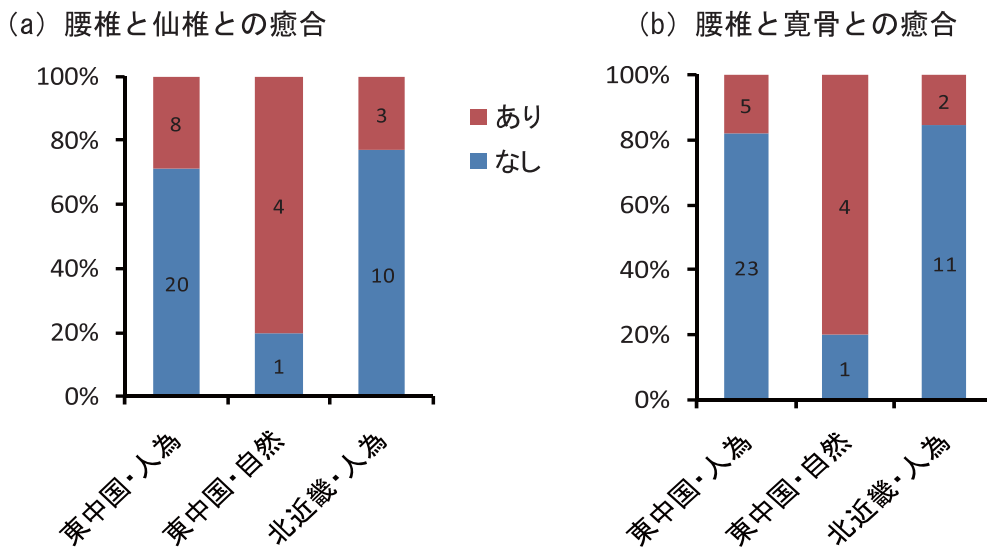


図10 腰椎と仙椎および腰椎と寛骨との癒合出現頻度
数字は標本数。

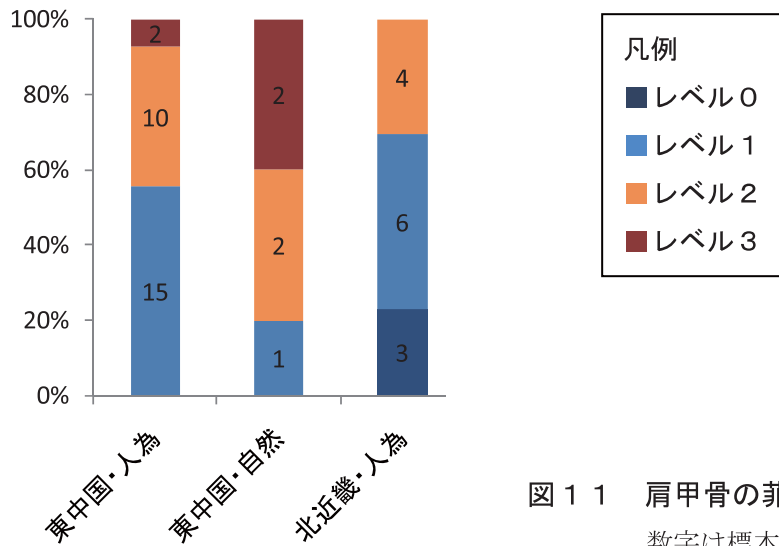
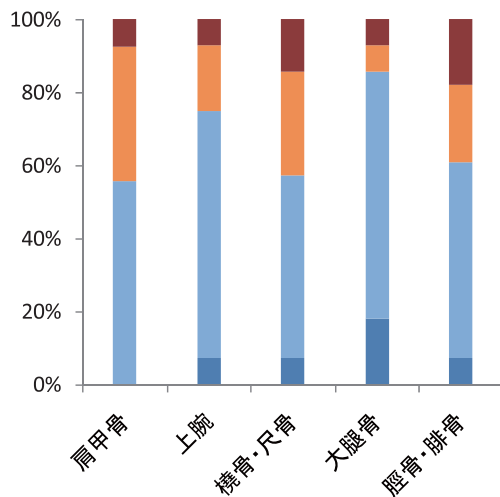
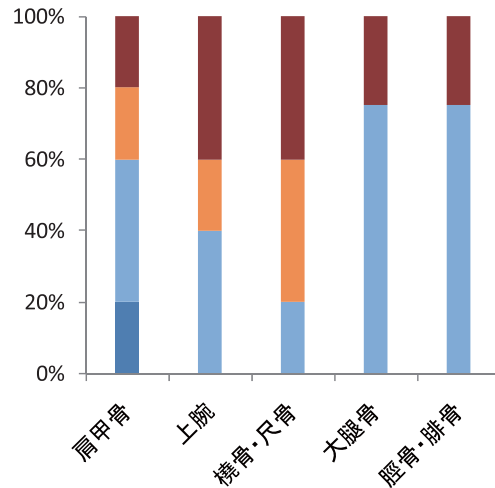


図 1 1 肩甲骨の菲薄化の出現頻度
数字は標本数。

(a) 東中国人為的死亡群 (N=28)



(b) 東中国自然死亡群 (N=6)



(c) 北近畿人為的死亡群 (N=13)

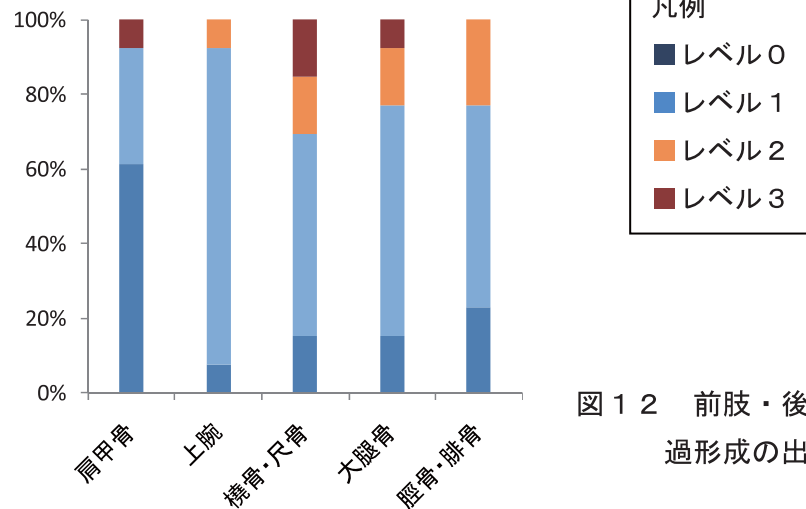


図 1 2 前肢・後肢の長骨における
過形成の出現頻度

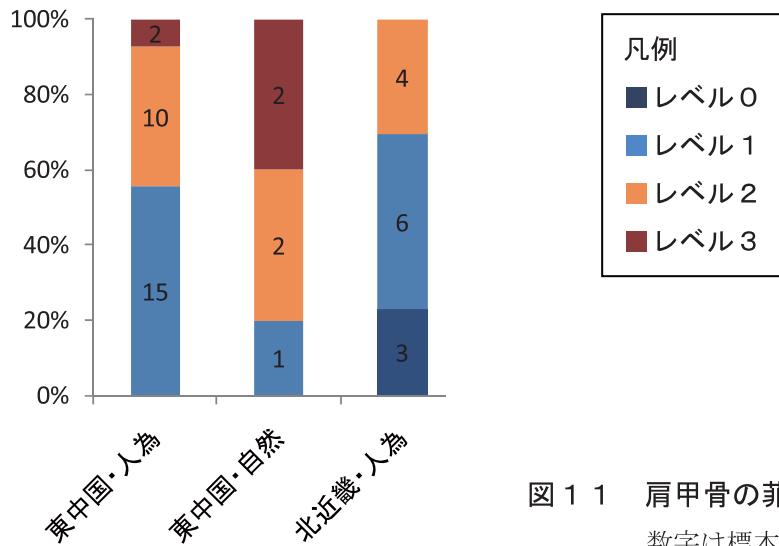
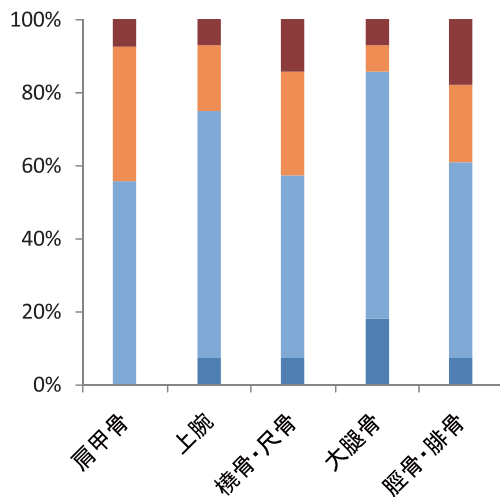
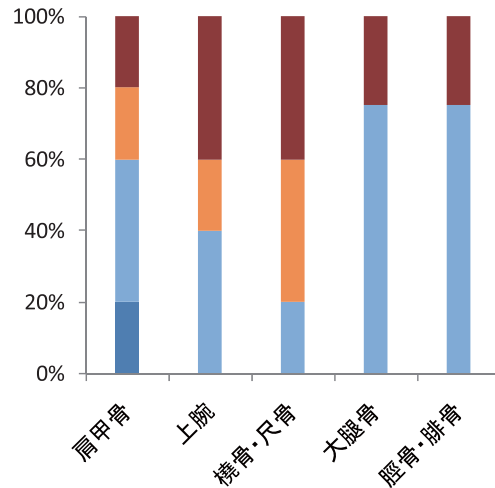


図 1 1 肩甲骨の菲薄化の出現頻度
数字は標本数。

(a) 東中国人為的死亡群 (N=28)



(b) 東中国自然死亡群 (N=6)



(c) 北近畿人為的死亡群 (N=13)

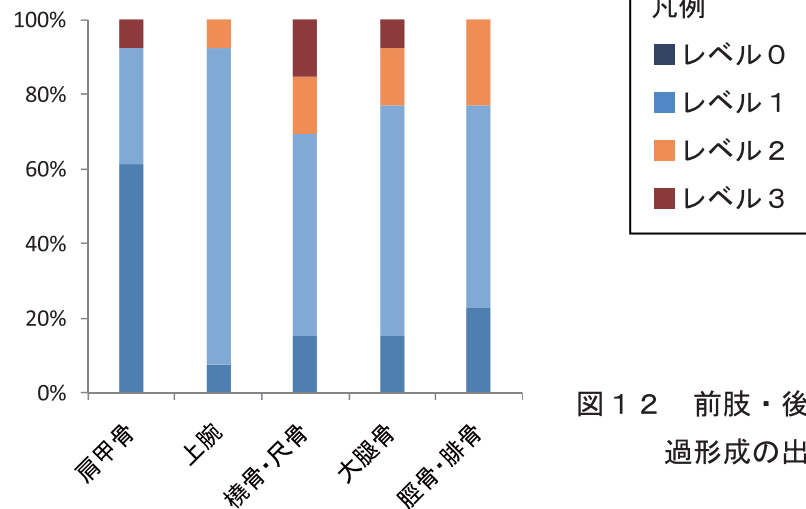


図 1 2 前肢・後肢の長骨における
過形成の出現頻度

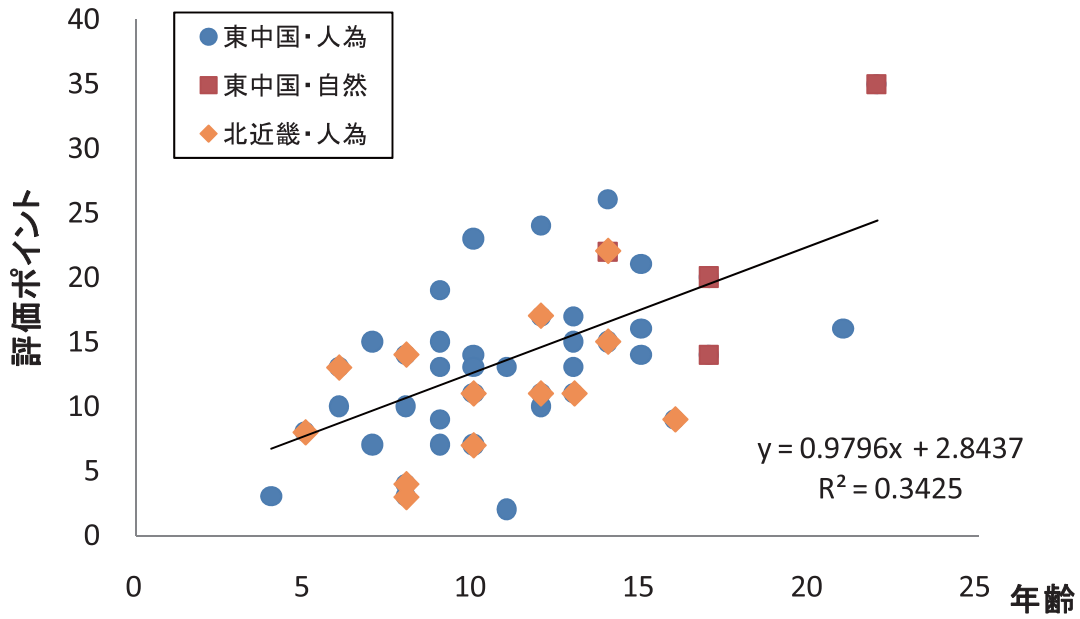


図 1 3 年齢と骨異常評価ポイントの関係

それぞれの部位において判定したレベル (0~3) を得点として、個体ごとに累積したものを、骨異常評価ポイントとした。

表 3 ツキノワグマの骨にレベル 2 以上の骨異常が 1 か所以上認められた個体の割合 (%)

個体群	死亡要因	粗鬆様	過形成	癒合	全症状
		レベル2以上の頻度		有	
東中国	人為	35.7	57.1	35.7	82.1
	自然	66.7	83.3	66.7	100.0
北近畿	人為	46.2	46.2	23.1	69.2



図 1 4 腰椎に見られた奇形 (北近畿)



図 1 5 体幹部全体に影響している過形成

(a) 正常（関節部に間隙がある）



(b) 関節の間隙に発達した過形成



図 1 6 上腕骨と尺骨との関節部。正常標本と過形成が発達している標本

4. 考察

骨異常の出現頻度

過形成や粗鬆様、菲薄化などの骨異常は、東中国個体群で多く検出された。これに比べ、北近畿個体群は比較的正常的な状態にあると考えられる骨が多かった。ただし、北近畿個体群では、これらとは異なる形態の奇形が見られる事例があった（図 1 4）。今回は北近畿個体群の標本数が少なかったため、標本数が増えた段階で再判定が必要である。

両個体群は、隣接してはいるものの円山川を境に相互に遺伝的交流が著しく減少していると判断されており（Saitoh *et al.* 2001; 森光ほか 2011）、今回発見された骨の異常については、遺伝的な要因も疑う必要がある。

本研究では、骨異常の内容と出現頻度について全体像を把握し、個体の生存への影響を検討することを目的としたため、判定は体幹部と長骨のみで行った。これらは、体を支えるという機能をもつ運動負荷のかかる部位である。今回の分析では、胸部や腰部、長骨の関節部で著しい異常を認めており、全身を支える機能に深刻な影響を与えていたと考えられるものも複数認められた（図 1 5）。特に東中国個体群においては、1 か所以上に骨異常が認められた個体が全体の 82%を超えており、骨の異常が個体の生存や行動等にも影響を与えている可能性がある。

一方、今回分析した成獣の平均年齢は、野生個体群としては高く、人為的死亡の平均年齢は約 10 歳であり、自然死亡 6 頭の平均年齢は 15 歳と高齢であった。兵庫県における繁殖年齢の上限は 15 歳前後と推定されるため（中村ほか 2011）、今回の自然死亡は、ほぼ野生下での寿命に達したものであると考えられた。そのため、今回発見されたような骨の異常があれば、死亡年齢が極端に低くなるという可能性は低いと考えられるため、直ちに個体群動態に著しい悪影響を与えているとは判断できない。また、個体数も順調に増加していることから（坂田ほか 2011）、骨異常が個体群の増加に与える影響は少ないと考えられる。加齢により症状が深刻化していることを考えると、保護管理計画による殺処分の回避や環境要因の改善によって、ツキノワグマ個体群の高年齢化が進んだために、これらの症状が顕在化した可能性もある。

ただし、これらを考慮しても、今回発見された個体の骨異常の出現頻度は、人為的死亡、自然死亡ともに高く、症状が深刻なものも複数認められている。一部の個体では、集落周辺で徘徊する等の行動に至ったケースがあるため、被害対策の上でも対応を考慮しておく必要がある。特に腰椎から骨盤にかけての異常が深刻であった個体は、腰が立たず、前肢のみを使って移動している姿が目撃された後、衰弱状況となっていた。同様の事例は複数あるため、骨異常が深刻化した個体が、集落周辺の徘徊や人家の倉庫侵入などの問題を起こし、人との危険な遭遇を引き起こす可能性もある。そのため、衰弱と骨異常の関係と、その要因を解明し、人の生活圏へ侵入した場合には、回復不可能な状況であるかどうかを適切に判断するなど該当個体に対する処置方法を検討しておく必要がある。

骨異常の要因

今回の報告と類似する骨の異常については、遺跡から出土した食肉類、霊長類の骨（脊椎）で報告がある（Lyman 2008; Nunn *et al.* 2007）。これらの症状については、脊椎関節症として記載されている。Nunn *et al.* (2007) は、出土した骨から 34 種の霊長類と 100 種の食肉類について脊椎関節症を検索しており、霊長類の 5.6%、食肉類の 3.6%の種で認められたと報告している。また、そのうち、大型類人猿の 22%、クマ類の 27%で脊椎関節症を認めており、体重が重い種や運動能力の高い種などで見られたことを報告している。

本研究においても、脊椎や関節部などに著しい過形成があり、脊椎関節症や変形性関節症等が疑われた。たとえば脊椎部では、椎間板が消失し、椎帯が薄くなる、あるいは椎帯同士が密着し、その周辺の脊椎は溶解し、代わりに過形成が形成されているとみられるものが多かった（図 1 5）。関節部については、軟骨が消失し、関節部の間隙を埋めるような形態で骨が造成されている例が多かった（図 1 6）。したがって、何らかの原因で関節部に炎症がおり、軟骨組織の摩耗と増生を繰り返し、溶解された軟骨を補う形で運動負荷の高い脊椎や関節部の変形が起こったと推察される。治療が行われない野生動物であるツキノワグマでは、「炎症－摩耗－増生」の一連の生理的反応が長期間繰り返され、変形が深刻化したと考えられた。しかしながら、なぜ炎症が発生したのか、その炎症がこれほどの過形成を生じるほど活発化したのかなどは、骨標本のみの検索からは判断できない。

今後は、死亡直後の死体標本のレントゲン撮影などによる軟骨の形態の把握、CT による骨密度の測定、骨病変部位の組織学的特徴の検索、内分泌系要因の検索、遺伝的要因の検索、類似する人の遺伝病の症状との比較などを行い、本疾病に関する情報を蓄積することが必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、山口大学前田健教授、榎塩野義製薬前田朋子博士にご助言をいただきました。また、森林動物研究センター協力研究員の米澤里美さんには、ツキノワグマの骨格図の作成と全身骨格標本撮影のご協力をいただきました。厚く御礼申し上げます。

なお、この研究で利用したデータの一部は、平成 17 年～19 年度科学研究費補助金（若手研究 A17688014）絶滅危惧種ツキノワグマは、なぜ人里へ出没するのか？－生理学的なアプローチからの出没要因の解明－の助成を受けました。

引用文献

- 八谷昇・大泰司紀之 1994 骨格標本作製法. 北海道大学図書刊行会, 129pp.
- 兵庫県 2009 第2期ツキノワグマ保護管理計画. 兵庫県, 30pp.
- 環境省(編) 2002 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生動物—レッドデータブック—I 哺乳類. 自然環境研究センター, 177pp.
- Lyman RL 2008 Spondyloarthropathy in cervical vertebrae of late prehistoric black bear from northwestern Oregon, USA. *Ursus* 19:194-197.
- 牧雅之・増田理子 1994 生物集団の遺伝的多様性の減少. *科学* 64:641-648.
- 森光由樹・中村幸子・横山真弓 2011 兵庫県に生息するツキノワグマの遺伝子解析. 「兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 3号, pp.117-124. 兵庫県森林動物研究センター.
- 中村幸子・横山真弓・森光由樹 2011 兵庫県におけるツキノワグマの繁殖状況. 「兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 3号, pp.107-116. 兵庫県森林動物研究センター.
- Nunn CL, Rothschild B, Gittleman JL 2007 Why are some species more commonly afflicted by arthritis than others? A comparative study of spondyloarthropathy in primates and carnivores. *Journal of Evolutionary Biology* 20:460-470.
- Ralls K, Ballou JD, Templeton A 1988 Estimates of lethal equivalents and the cost of inbreeding in mammals. *Conservation Biology* 2:185-193.
- Saitoh T, Ishibashi Y, Kanamori H, Kitahara E 2001 Genetic status of fragmented populations of the Asian black bear *Ursus thibetanus* in western Japan. *Population Ecology* 43: 221-227.
- 坂田宏志・岸本康誉・関香菜子. 2011. ツキノワグマの生息動向と個体数の推定. 「兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ 3号, pp.26-38. 兵庫県森林動物研究センター.
- Wildt DE, Bush M., Goodrowe KL, Packer C, Pusey AE, Brown JL, Joslin P, O'Brien SJ 1987 Reproductive and genetic consequences of founding isolated lion populations. *Nature* 329:328-331.
- 横山真弓・坂田宏志・森光由樹・藤木大介・室山泰之 2008 兵庫県におけるツキノワグマの保護管理計画およびモニタリングの現状と課題. *哺乳類科学* 48:65-71.
- 横山真弓 2009 ツキノワグマ—絶滅の危機からの脱却—. 「動物たちの反乱」, 河合雅雄・林良博編, pp.129-158. PHPサイエンス・ワールド新書.