

原 著

エゾシカ (*Cervus nippon yesoensis*) における角の伸長と骨代謝の関係

亀山 祐一・國井 彰子・伊藤 雅夫・石島 芳郎

東京農業大学生物産業学部, 網走市 099-2493

Relationship between antler growth and bone metabolism in male Hokkaido sika deer (*Cervus nippon yesoensis*).

Yuichi KAMEYAMA, Akiko KUNII, Masao ITO and Yoshiro ISHIJIMA

Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture,
Abashiri-shi 099-2493

キーワード: エゾシカ, 枝角, カルシウム, 骨代謝

Key words: Hokkaido sika deer, antler, calcium, bone metabolism

Abstract

To discuss the relationship between antler growth and bone metabolism in cervids, morphology of antler and biochemical markers of bone metabolism were observed in male matured Hokkaido sika deer for a year. Morphology of antler were assessed by timing of antler shedding, timing of velvet shedding, appearance of each tines, and sum of length of main beam and tines. Biochemical markers of bone metabolism were assessed by concentrations of total calcium, ionized calcium and $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, and activities of alkaline phosphatase (ALP) and bone ALP (BAP) in the serum. Antler casting and velvet shedding were seen in April and September, respectively. Peak growth of antler velvet occurred in June. Most of serum total calcium originated from ionized calcium and both of them has strong homeostasis. Activities of ALP and BAP, and concentrations of $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ in the serum increased during the antler growth period. These biochemical markers of bone metabolism probably have annual rhythms related to antler growth.

要 約

シカ類における角の伸長と骨代謝の関係を考察するため、エゾシカの成熟雄で角の形態および生化学的骨代謝マーカーを1年間にわたって観察した。角の形態は落角の時期、剥皮の時期、各枝角の出現時期、全体の長さ(メインビームの長さ各枝角の長さの合計)を観察した。生化学的骨代謝マーカーは血清中の総カルシウム、イオン化カルシウム、アルカリフォスファターゼ(ALP)、骨型アルカリフォスファターゼ(BAP)、 $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ (活性型ビタミンD)を測定した。落角は4月、袋角の剥皮は9月に観察された。袋角の伸長のピークは6月であった。血清総カルシウムのほぼすべてはイオン化カルシウムであり、両者は年間を通して高い恒常性を示した。血清ALP、BAPおよび活

性型ビタミンDは、角の伸長期に明瞭な上昇を示した。これらの生化学的骨代謝マーカーは、角の伸長と関連した周年変化を示すものと思われた。

緒 言

一般的なシカ類の雄には枝角があり、その枝角は毎年生え変わる。この現象はシカ類に特有であり、他の角がある偶蹄目ではみられない。枝角が発達する途中の柔らかい角は鹿茸と呼ばれ、中国の養鹿で生産された鹿茸は漢方薬の原料として高値で取引されている(横濱ら, 1991)。鹿茸の主な構成成分は、カルシウムとリンである(石田ら, 1995)。したがって、中・大型のシカ類の雄がその特徴である大きな枝角を形成するためには、大量のカルシウムが必要と思われる。しかし、シカ類は草食動物であり、角の伸長に必要なカルシウムはその時期における飼料摂取で補給しきれないことが考えられる。実際、角の伸長期にカルシウムの

摂取量が不足した場合は角が細くなり、体重も減少することが知られている(辻井・鄒, 1988)。一方、哺乳動物においてカルシウムは細胞間のシグナルとして機能し、血中濃度が上昇した場合に致命的な疾患を誘発する(CAPEN and ROSOL, 1991)。このため、哺乳動物におけるカルシウムの血中濃度は、骨を緩衝として低濃度かつ厳密に調節されている(木戸ら, 2001)。シカ類においても血中総カルシウムが年間を通してほとんど変動せず、角の伸長と連動した上昇のないことはオジロジカ(KLINGER *et al.*, 1986)、トナカイ(BAKSI and NEWBREY, 1988; BAKSI and NEWBREY, 1989)で報告されている。したがって、わずかず代謝された海綿骨および皮質骨が角の伸長に必要なカルシウムの主な供給源であった場合、角の伸長期における雄ジカは骨そしょう症のような状態になっていることが予想される。しかし、シカ類のカルシウム代謝に関する報告は少なく、骨代謝モデル動物としての有用性も明らかにされていない。また、角の形成時期における骨代謝を明らかにすれば、養鹿の生産品である鹿茸増産にも寄与する可能性がある。

そこで本研究はわが国における養鹿の対象種として有望視されているニホンジカの最大亜種エゾシカで角の形態と生化学的骨代謝マーカーを1年間にわたって観察し、角の伸長と骨代謝の関係について考察した。

材料と方法

供試動物はエゾシカ(*Cervus nippon yesoensis*)の成熟雄3頭とした。実験開始時の年齢はNo.1が9歳、No.2が8歳、No.3が5歳であった。これらの個体は東京農業大学生物産業学部の家畜繋養施設(北緯44度)にて、自然光の条件で飼育した。給餌は8-9時および15-16時の朝夕2回行った。粗飼料としては乾草を年間飽食量給与し、夏季には青刈りのイネ科お

びマメ科牧草、冬季にはクマイザサの給与も行った。濃厚飼料は豆腐粕、規格外小麦および圧片エンバクを用い、適量を通年給与した。飲水は自由摂取とした。

2001年4月から2002年3月の毎月下旬(20日から末日の間、午前中)にシカを不動化し、角の形態観察および採血を行った。不動化はセラクター2%注射液(バイエル)の2mlを吹き矢で1-3回投与して行った。

角の形態は落角の時期、剥皮の時期、各枝角の出現時期、枝角全体の長さ(両側のメインビームの長さとは各枝角の長さを合計して算出)を観察した。メインビームの長さは、角の付根から主幹の先端部までの内側を測定した。枝角は下から順に第1枝、第2枝、第3枝とし、それぞれの分岐部から先端部までの内側を測定した。

採血は生化学検査用の真空採血管(VP-ASO7660, テルモ)を用い、頸静脈から行った。採取した血液は常法により血清を分離し、血清中の総カルシウム、イオン化カルシウム、アルカリフォスファターゼ(ALP)、骨型アルカリフォスファターゼ(BAP)、1,25(OH)₂D₃(活性型ビタミンD)を測定した。これら生化学的骨代謝マーカーの測定は、道東臨床検査センターに依頼した。

結果および考察

供試した3個体は同じ角の成長パターンを示した(Fig. 1)。前年度の角は4月に落角し、同月に出現した新しいメインビームは8月までの4ヶ月間伸長した。第1枝は5月、第2枝は6月、第3枝は7月に出現し、各枝角は出現後1ヶ月以内に伸長を終えた。最終的にNo.1およびNo.3の両側、No.2の右側は3又4尖、No.2の左側は2又3尖の枝角を形成した。エゾシカの雄は3歳以上になると、ほぼすべての個体が3又4

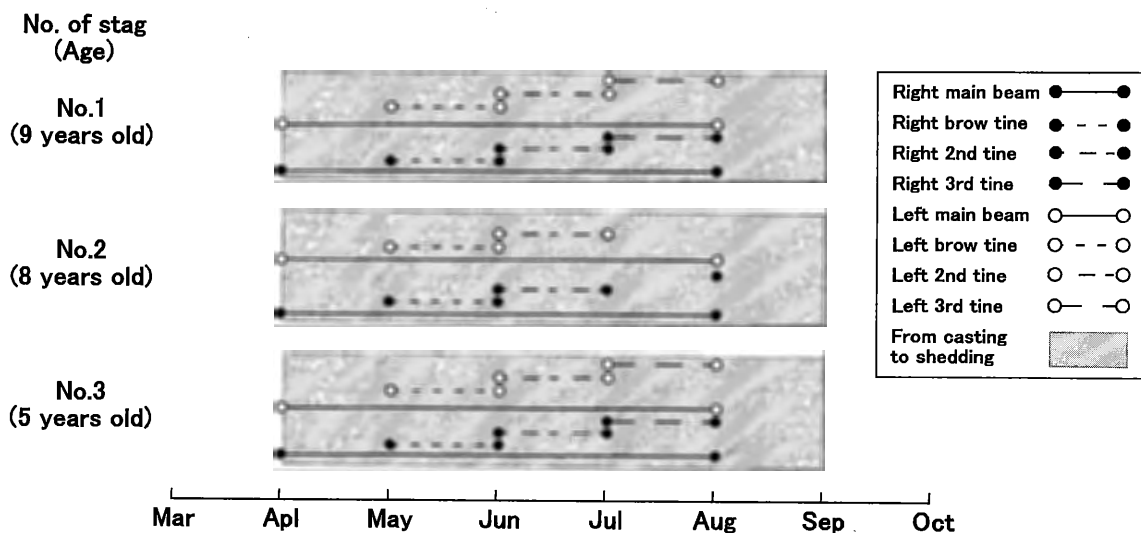


Fig. 1 Pattern of antler growth for three stags in 2001. Each line shows growth period for main beam or tines. Line means antler growth over 1 cm in a month.

尖の枝角を形成する (大泰司, 1986; 梶, 1988)。No. 2は4, 6および7歳時に右側3又4尖, 左側2又3尖, 5歳時に両側2又3尖の枝角を形成しており, 同個体の左側における第3枝の形成不全は先天的なものと思われた。袋角の剥皮は, メインビームと第3枝が伸長を終えた1ヶ月後の9月に観察された。本研究で観察された角の成長パターンは, 野生個体における報告 (大泰司, 1986; 梶, 1988) と一致していた。エゾシカにおける角の成長パターンは, 飼育個体と野生個体で差のないことが示された。

枝角全体の長さの平均値は8月に最大値 (182 cm) を記録し, 9月に剥皮によるわずかな減少を示した (Fig. 2)。また, 当月に記録した枝角全体の長さから前月に記録した枝角全体の長さの引き, 枝角全体で1ヶ月間に伸長した長さを算出した (Fig. 2)。その長さの平均値が最大値を記録したのは6月であり (72 cm), 次いで高値を記録したのは7月 (56 cm) であった。すなわち, エゾシカの枝角は, 5月から6月にかけてもっとも伸長することが明らかとなった。この時期はメインビーム, 最大の枝角である第1枝が伸長, 次いで長い枝角の第2枝が出現したため, 最大値を記録したと思われる。8月から9月にかけては袋角が剥皮したため, 枝角全体で6 cmの長さが減少した。

血清中の平均総カルシウム濃度と平均イオン化カルシウム濃度は, 年間を通してほとんど変動しなかった (Fig. 3上段)。また, 血清中における総カルシウムのほとんどは, イオン化カルシウムであった。遊離のイオン化カルシウムはホルモンなどの作用によって厳密な濃度調節を受け, 神経・筋肉の興奮性など細胞機能の維持に重要な役割を果たしている (木戸ら, 2001)。エゾシカの血中イオン化カルシウム濃度も他の哺乳動物と同様に厳密な調節を受けて非常に狭い範囲で維持されており, その結果として血中総カルシウムとイオン化カルシウムが高い恒常性を示すものと思われた。

血清中の平均ALP活性は5月から8月にかけて上昇し, 9月には急激に減少して, その後はほぼ一定値を示した (Fig. 3中段)。平均BAP活性はALPとほぼ同じ変動を示したが, 6月から8月にかけてはほぼ一定の高値を示した (Fig. 3中段)。本研究における血清

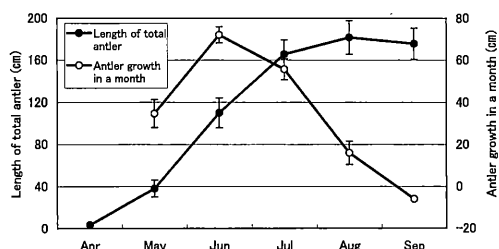


Fig. 2 Antler growth from April to September in 2001 in three stags (mean \pm S.E.). Length of total antler means the sum total of length of main beam and tines.

ALP活性の変動は, 7月または8月にピークを示した過去の観察結果 (竹岡ら, 2000) を裏付けるものであった。ALPは骨, 腎臓, 肝臓などに由来する非特異的なアイソザイムであるが, 成熟動物の血清ALPは肝臓性のものが主体を占めるとされている (KRAMER, 1991)。一方, BAPは骨由来のALPであり, 骨端が閉塞されていない成長期の動物では血清ALPの主体をなすことが知られている (KRAMER, 1991)。しかし, 本研究で供試した個体はすべて成体期であり, すでに成長を終えて骨端が閉塞していると思われる。また, 骨以外の歯根膜, 歯髄, 歯肉におけるALPも骨型であること (GOSEKI, *et al.*, 1999), アカシカでは袋角の伸長部で強いALP活性が検出されていること (PRICE, *et al.*, 1994) を考えると, 本研究で6月から8月にかけて高値を示した血清BAPは袋角の伸長部に由来したものであると思われる。BAPがこの期間にほぼ一定の高値を示した理由は, 各枝角がほぼ1ヶ月で伸長を終えるため, 急激な伸長を示す部位が絶えずメインビームの先端と枝角1本の先端に限定されたためと思われる。

血清中の平均活性型ビタミンD濃度は5月から7月にかけて上昇して最高値 60.3 pg/ml を記録し, 8月と9月に 40 pg/ml 程度を維持した後, 低下するパターンを示した (Fig. 3下段)。活性型ビタミンDはカルシウム代謝ホルモンの1つであり, 小腸におけるカルシウム吸収の促進, 腎臓におけるカルシウム再吸収の促進による間接的な骨形成促進, 骨芽細胞の刺激に

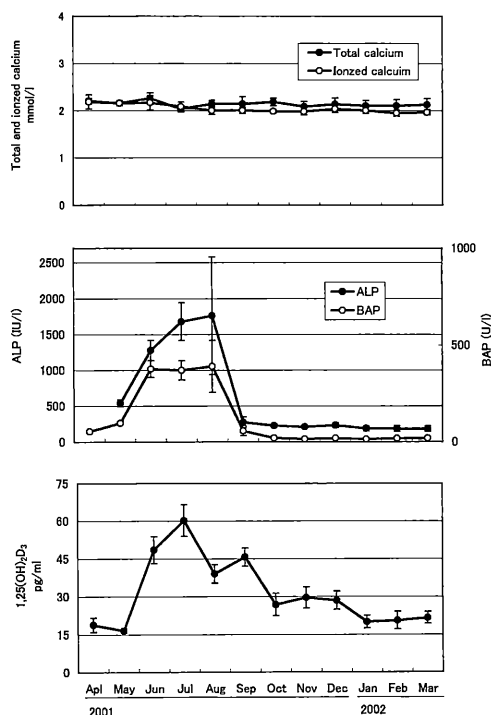


Fig. 3 Seasonal changes in serum ALP, BAP, total and ionized calcium and 1,25(OH)₂D₃ in three stags from April 2001 through March 2002 (mean \pm S.E.). ALP activity in April was not available.

よる直接的な骨形成促進, 破骨細胞の生成促進による直接的な骨吸収促進の作用があるとされている(西井, 2001; 宇田川, 2001). このように活性型ビタミンDの作用は, 生体がおかれている状況に依存して多面的に応答する特徴がある. 袋角が伸長している6月から8月における活性型ビタミンDの高値は, 角を形成するための小腸・腎臓におけるカルシウム吸収促進, 破骨細胞による骨塩動因を反映したものと思われる. また, 袋角が伸長を終えた9月における活性型ビタミンDの高値は, 骨塩動因を補償するための小腸・腎臓におけるカルシウム吸収促進, 骨芽細胞への作用を反映したものと思われる. したがって, 9月の雄エゾシカは骨塩動員により, 骨そしょう症のような状態になっている可能性がある. しかし, このことを証明するためには, 骨吸収マーカー, 骨密度, 骨のカルシウム含量, 骨の硬組織標本, カルシウム出納などの観察が必要と思われた.

以上より, エゾシカの雄においては生化学的骨代謝マーカーのALP, BAP, 活性型ビタミンDに周年変動があり, その変動は角の伸長に関係することが推測された.

文 献

- BAKSI, S. N. and NEWBREY, J. W. (1988) Plasma calcemic hormones in mature female reindeer (*Rangifer tarandus*). *Gen. Comp. Endocrinol.*, **69**: 262-266.
- BAKSI, S. N. and NEWBREY, J. W. (1989) Bone metabolism during antler growth in female reindeer. *Calcif. Tissue Int.*, **45**: 314-317.
- CAPEN, C. C. and ROSOL, T. J. (1991) 獣医臨床生化学〈第4版〉"カルシウム調節ホルモンおよび無機質(カルシウム, リン, マグネシウム)代謝異常疾患の項執筆"(久保周一郎・友田 勇 監訳). 682-754. 近代出版. 東京.
- GOSEKI-SONE, M., IIMURA, T., TAKEDA, K., NIFUJI, A., OGATA, Y., YANAGISHITA, M. and OIDA, S. (1999) Expression of mRNA encoding tissue-nonspecific alkaline phosphatase in human dental tissue. *Calcif. Tissue Int.*, **64**: 160-162.
- 石田光晴・目黒 淳・池田昭七・武田武雄 (1995) ニホンジカの肉, 乳および鹿茸の無機成分. *宮城農短大報*, **43**: 91-94.
- 梶 光一 (1988) 知床の動物"エゾシカの項執筆". (大泰司紀之・中川 元 編著). 155-180. 北海道大学図書刊行会. 札幌.
- 木戸慎介・井上大輔・松本俊夫 (2001) カルシウムと骨"骨内外のイオン移動とミネラルの恒常性の項執筆"(西井易穂・森井浩世・江澤郁子・小島 至 編集). 85-87. 朝倉書店. 東京.
- KLINGER, S. R., ROBEL, R. J., BROWN, B. A. and BRENT, B. E. (1986) Blood characteristics of white-tailed deer from northeastern Kansas. *J. Wildl. Dis.*, **22**(3): 385-388.
- KRAMER, J. W. (1991) 獣医臨床生化学〈第4版〉"臨床酵素学の項執筆"(久保周一郎・友田 勇 監訳). 341-365. 近代出版. 東京.
- 西井易穂 (2001) カルシウムと骨"カルシウム代謝調節ホルモンの概要の項執筆"(西井易穂・森井浩世・江澤郁子・小島 至 編集). 160-163. 朝倉書店. 東京.
- 大泰司紀之 (1986) ニホンジカにおける分類・分布・地理的変異の概要. *哺乳類科学*, **53**: 13-17.
- PRICE, J. S., OYAJOBİ, B. O., OREFFO, R. O. and RUSSELL, R. G. G. (1994) Cells cultured from the growing tip of red deer antler express alkaline phosphatase and proliferate in response to insulin-like growth factor-I. *J. Endocrinol.*, **143**(2): R9-16.
- 竹岡 亮・亀山祐一・石島芳郎 (2000) 飼育下におけるエゾシカ (*Cervus nippon yesoensis*) 雄の血液性状. *北畜会報*, **42**: 25-28.
- 辻井弘忠・鄒 俊毅 (1988) 台湾における鹿の飼養管理. *畜産の研究*, **42**: 1284-1288.
- 宇田川信之 (2001) カルシウムと骨"骨の項執筆"(西井易穂・森井浩世・江澤郁子・小島 至 編集). 198-200. 朝倉書店. 東京.
- 横濱道成・亀山祐一・増子孝義・小松輝行・橋詰良一・石島芳郎 (1991) エゾシカの資源的価値に関する調査. *東京農大農学集報*, **35**: 185-191.