



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	エゾシカの毛衣に関する形態学的研究
Author(s)	近藤, 敬治; 二宮, 嘉健; 市川, 秀雄 他
Citation	北大植物園研究紀要, 4, 55-63
Issue Date	2004-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/32828
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_p55-63.pdf



エゾシカの毛衣に関する形態学的研究

近藤 敬治ⁱ・二宮 嘉健ⁱⁱ・市川 秀雄ⁱⁱⁱ・福永 重治^{iv}

はじめに

ほとんどの野生哺乳類は気温変化に適応するために季節換毛するが、年に1回のもものと2回のもものがある。年1回春に換毛するものはキツネ *Vulpes vulpes* で最初に発表されているようにイヌ科で見られる (Bassett & Liwelly 1949)。イヌ科以外の多くの哺乳類ではイタチ科 *Mustelidae* (Bissonnette 1939) やネズミ科 *Muridae* (Khatieb & Johnson 1971) で発表されているように春と秋の年2回換毛する。毛衣は太い保護毛と細い下毛とから構成されているが、季節による毛衣の変化は下毛密度の違いを伴う。春の換毛では下毛密度を低下させることで空気の循環を図っている。その結果効率的な熱放散が達成され、夏期の高温に適応している。秋の換毛では下毛密度を高めることで動物体と外部環境との間により多くの循環しにくい空気層を形成する。この空気層が毛衣の断熱性を高め、野生動物の寒冷適応を可能にしている。

春と秋の年2回換毛するシカ科 *Cervidae* ではトナカイ *Rangifer tarandus* (Frerov 1952)、アカシカ *Cervus elephus* (Ryder & Kay 1973)、ノロジカ *Capreolus capreolus* (Johnson & Hornby 1975) の毛衣について発表されている。彼等は保護毛の形態に注目し、冬には毛が太くなりそれに応じて空気を取り込む毛髄質も大きくなり、これが冬期間の毛衣の断熱性に寄与していると述べている。北海道の森林に多数生息しているエゾシカ *Cervus nippon* の毛衣については毛色など外見上の大きな変化を除いてほとんど知られていない。本論文ではエゾシカの夏と冬の毛衣の相違を形態学的に比較検討した。

材料および方法

観察用試料

同じなめし工場((有)若松毛皮)において処理された冬毛皮および夏毛皮の尻斑上部から褐色毛と灰色毛を採取し、観察用試料とした。

光学顕微鏡による観察

光学顕微鏡観察はオリンパス生物顕微鏡 B202 型および実体顕微鏡 B061 型を用いて行った。なお、保護毛に占める毛髄質の比率は次式により算出した。

$$\text{毛髄質の比率 (\%)} = \text{毛髄質の直径} / \text{毛の直径} \times 100$$

走査電子顕微鏡 (SEM) による観察

毛小皮の観察は保護毛と下毛について行った。試料毛を両面テープで試料台に接着し、SEM 観察用試料とした。毛髄質の観察は既報 (Kondo, et al. 1985) に準じて行った。すなわち、夏および冬毛皮から採取した保護毛を両面テープで試料台に接着した後、実体顕微鏡下で観察しながらカミソリを用いて毛を繊維軸方向に切り開き SEM 観察用試料とした。調製した試料をイオンスパッタリング装置を用いて金で被覆した後、SEM (日本電子 (株) JSM-T220) を用いて加速電圧 15 Kv. の条件下で観察した。

また、毛とは別に毛皮縦断面の観察も行った。毛をハサミで刈り込んだ後、毛の生えている方向に対して垂直に毛皮をカミソリで薄く裁断し、これを試料台にカーボン両面テープを用いて接着し SEM 観察用試料とした。SEM による観察は毛の場合と同条件で行った。

ⁱ 毛衣多様性研究室、ⁱⁱ (有)二宮、ⁱⁱⁱ 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター植物園、^{iv} 北海道大学大学院農学研究科

結果

毛衣全体像の観察

夏と冬の毛衣を実体顕微鏡下で観察した結果は図1に示した通りである。夏の毛衣(図1-A)は毛皮上部から観察したものであるが、毛が疎らなため毛の間から毛衣内部の様子を観察できた。冬の毛衣の場合、毛皮上部からでは密生した毛に妨げられて毛衣内部の様子を観察できないため、毛皮側面から観察した(図1-B)。夏の毛衣(図1-A)に比べ冬の毛衣(図1-B)では多数の細い下毛が保護毛にまわり付きように存在しているのが観察された。

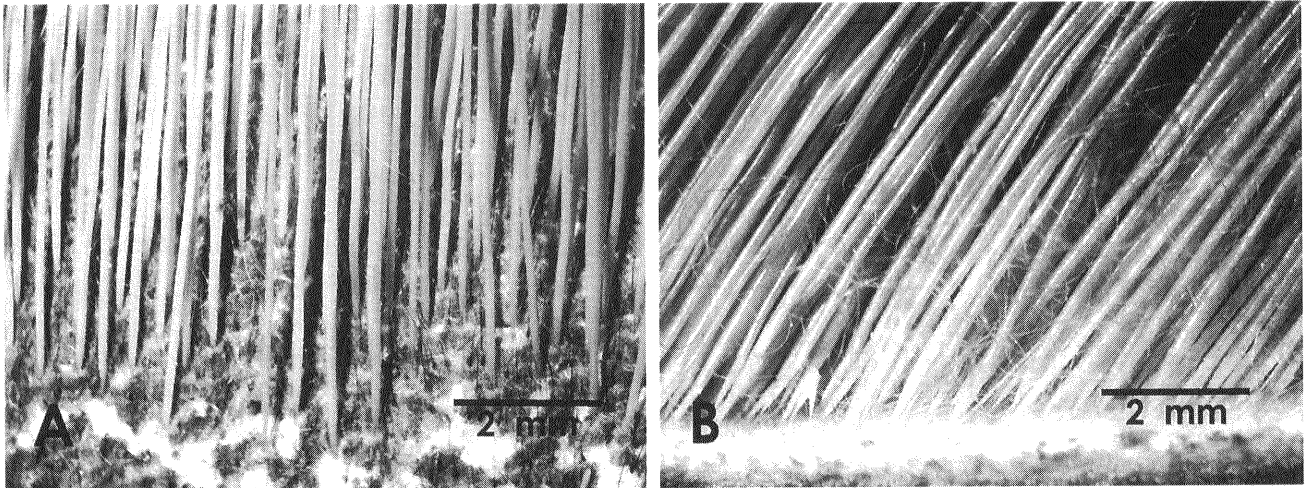


図1 毛衣の実体顕微鏡像

A: 毛衣上部から観察した夏の毛衣、B: 毛衣側面から観察した冬の毛衣

毛皮断面の観察

図2は冬毛皮を毛に対して垂直方向に縦断した際のSEM像である。保護毛G1、G2および白抜きの矢尻で示した下毛が観察される。G1、G2は保護毛の基本構成要素として知られている三つ組である。G1は中心一次毛包で形成される真直ぐで太い保護毛(Straight guard hair、以下中心保護毛と記述)であり、G2は側部一次毛包で形成される保護毛で中間毛(Intermediate guard hair、以下側部保護毛と記述)と呼ばれているものに相当する。一方、下毛は食肉類 Carnivora やげっ歯類 Rodentia に見られるような毛束を形成せず独立した皮膚開口部(毛穴)をもっていることが観察される。

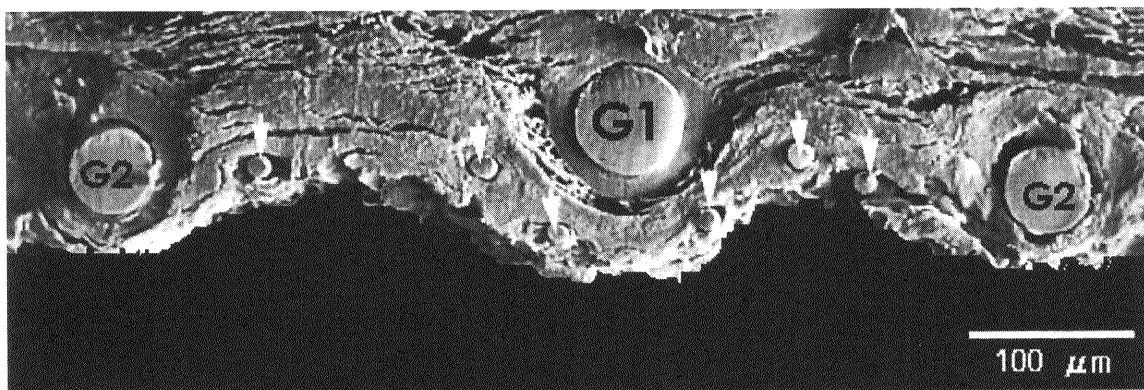


図2 毛衣断面のSEM像

G1: 中心保護毛、G2: 側部保護毛、白の矢尻は下毛を示す

保護毛先端部の形状には差異が認められたので、これを基準として中心保護毛と側部保護毛に分類(図3)し、それぞれの毛の長さを測定した。図3のAに示したような毛の先端部がほぼ真直ぐな中心保護毛は58 mm以上の長さを示

し、先端部が湾曲した側部保護毛の長さは 58 mm 以下であった。なお、保護毛を分類する過程でそれぞれの毛の本数を数えたところ、中心保護毛は 22 本、側部保護毛は 44 本、分類困難なものが 6 本であった。

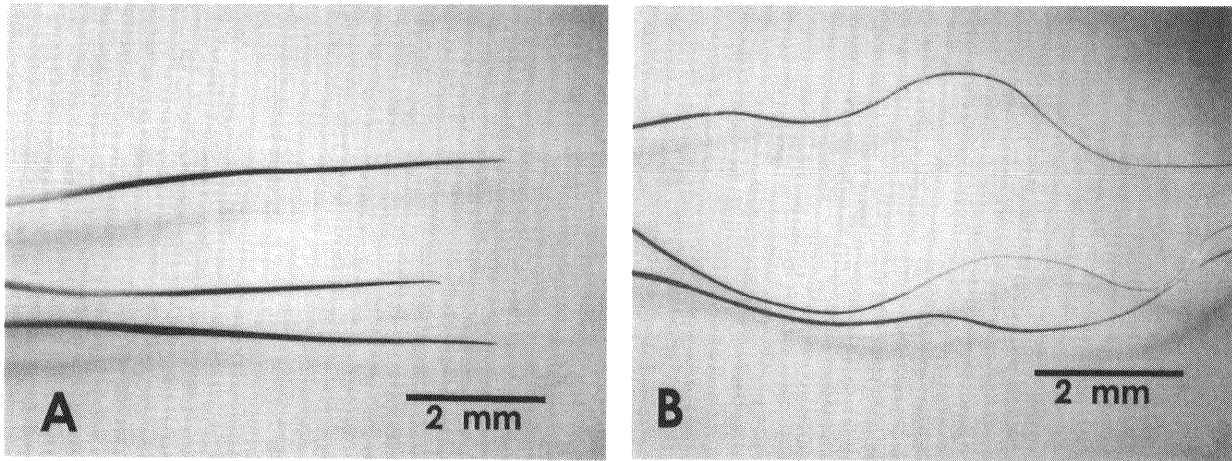


図3 保護毛先端の実体顕微鏡像

A：中心保護毛の真っ直ぐな先端部、B：側部保護毛の湾曲した先端部

毛小皮の観察

保護毛と下毛の SEM 像を図 4 と 5 に示した。保護毛先端は丸みを帯びた棒状を呈していた。その毛小皮には損傷が見られ、辺縁部の配列は不規則であった（図 4-A）。最も太い中間部の毛小皮には損傷が認められなかった。その辺縁部は丸みを帯びた曲線で、あたかも海岸に打ち寄せる小波のような形状を呈していた（図 4-B）。皮膚に近い部位（以下基部と記述）では削った鉛筆の先のように急激に細くなっており、毛小皮辺縁部は中間部と異なり直線的な形状を呈していた（図 4-C）。

下毛先端は保護毛のそれに比べ鋭角的であった。毛の太さとの相対比で見ると先端領域の毛小皮の形態は細長いと云える（図 5-A）。中間部では辺縁部の形状が規則的であった（図 5-B）。また、毛の太さとの相対比で見ると、下毛における毛小皮の厚さは保護毛のそれより厚く、強靱な印象を与えた。下毛基部（図 5-C）における毛小皮の形態は中間部のそれとの差異が認められなかった。下毛においても基部の太さは中間部より細くなるが、保護毛で観察されたような急激な太さの変化（図 4-C）は認められなかった。

生物顕微鏡を用いて毛の表面構造を観察したところ、図 6 の A、B に示したような一見人為的損傷と思われるような毛小皮の異常な形態が観察された。この異常な形態は全ての冬の保護毛中間部で観察され、夏の保護毛では全く観察されなかったものであり、人為的損傷ではなく、毛包内での保護毛形成過程で生じたものと考えられる。この点に関しては毛髄質の構造と関連させて考察の項で詳述する。

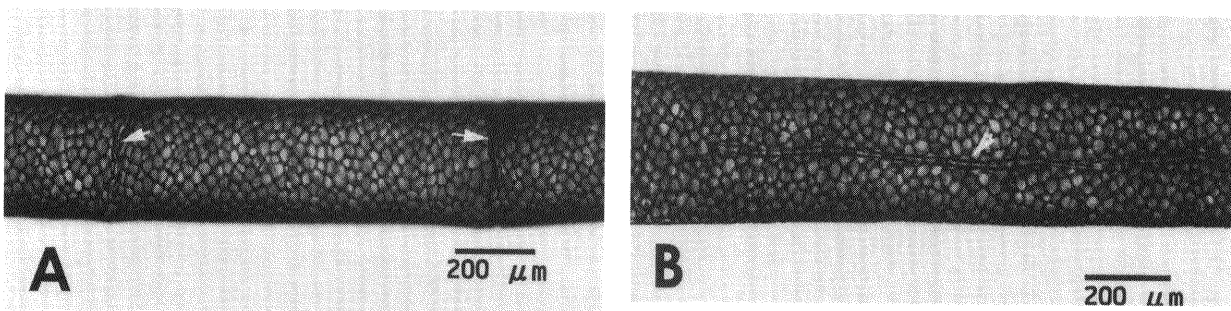


図6 毛小皮の形態異常を示す透過顕微鏡像

A：毛を横断している凹状構造、B：細長い凹状構造

毛髄質の観察

片刃カミソリを用いて繊維軸方向に縦断した保護毛の最も太い部分（中間部）の SEM 像を図 7 に示した。

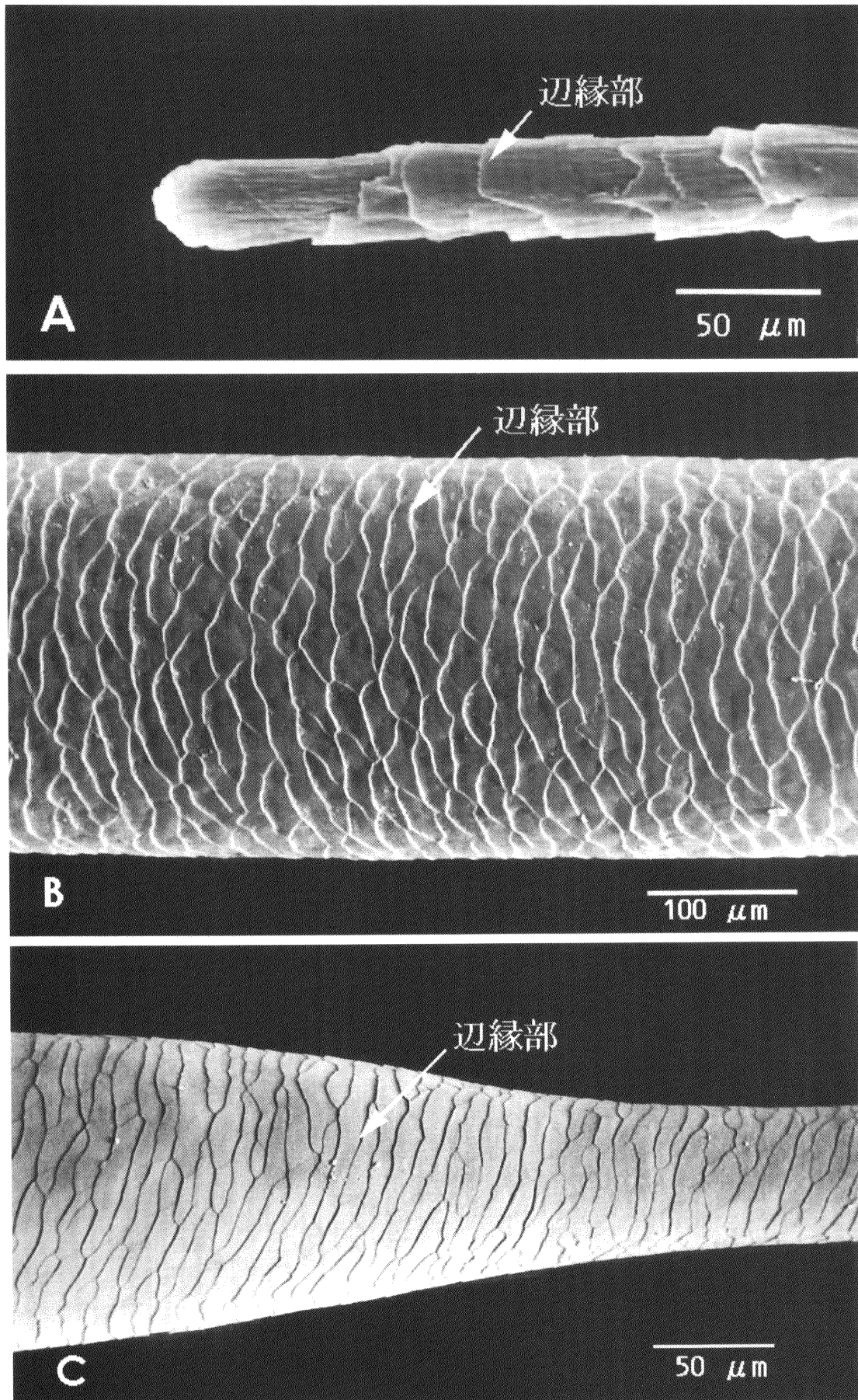


図4 冬の中心保護毛のSEM像
A: 先端部、B: 中間部、C: 基部

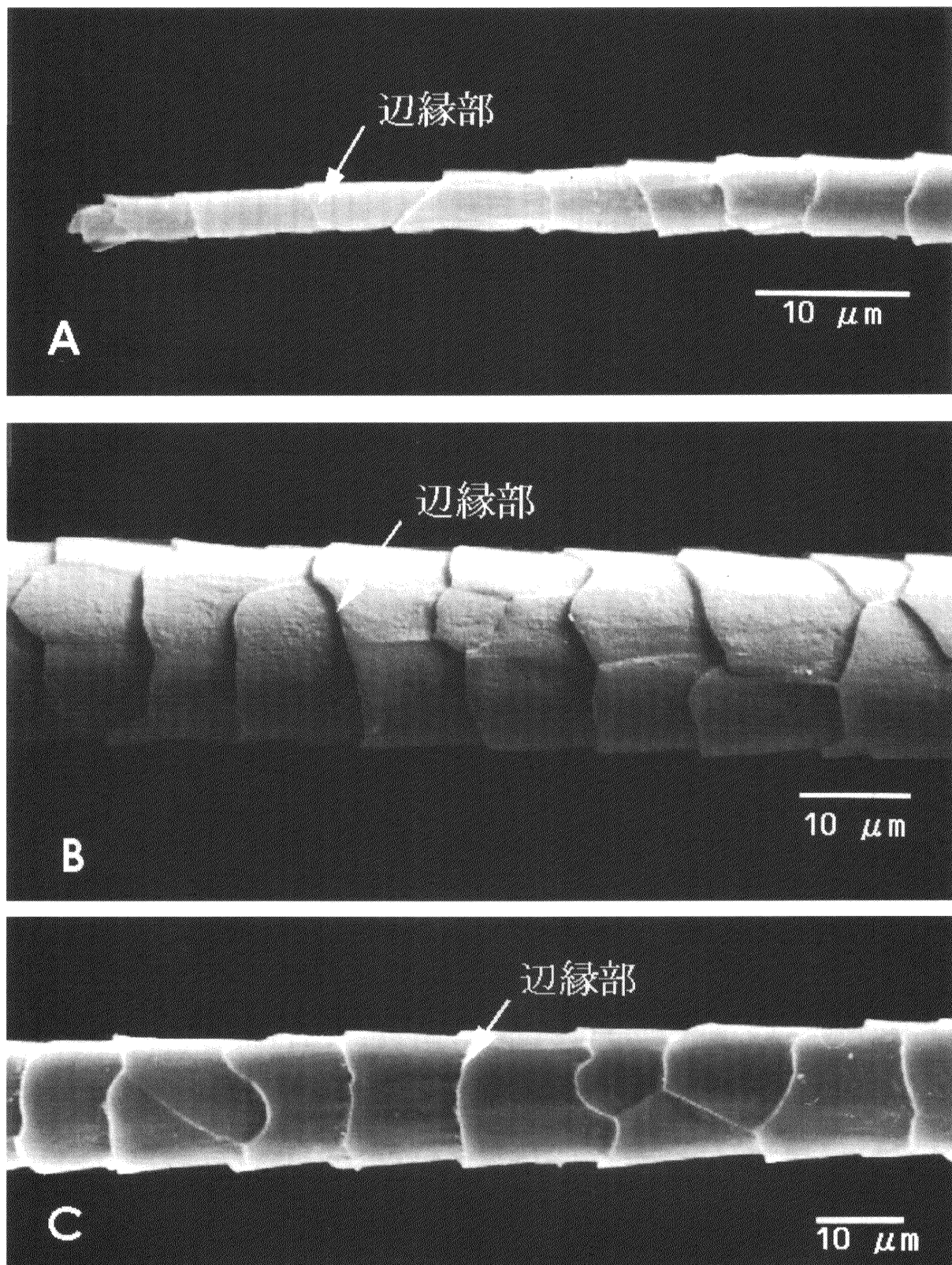


図5 冬の下毛のSEM像

A：先端部、B：中間部、C：基部

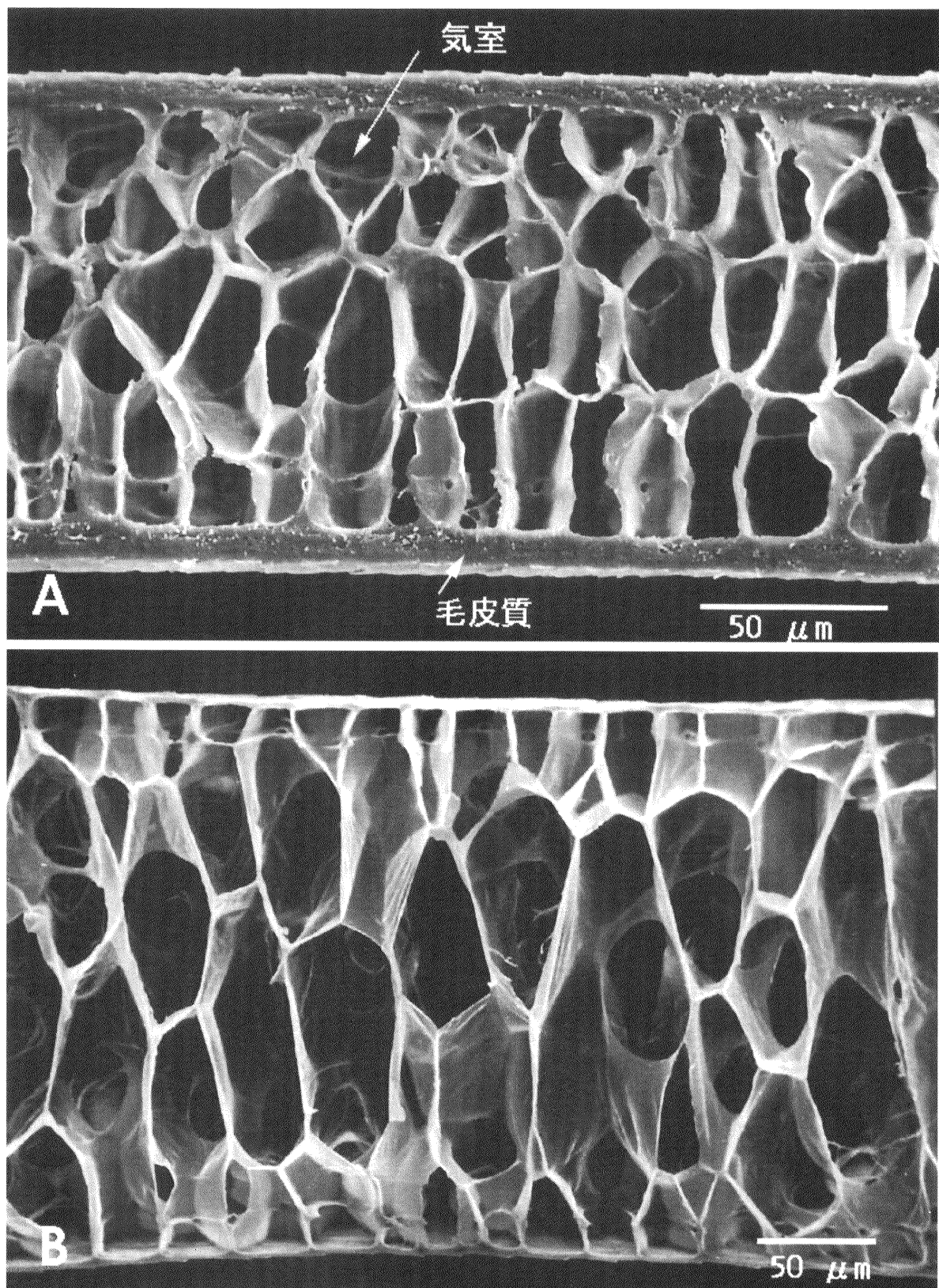


図7 毛髄質のSEM像

A: 夏の中心保護毛、B: 冬の中心保護毛

夏の保護毛では図 7 の A で見られるように冬の保護毛と異なり、毛皮質の存在が明確に観察された。冬の保護毛では毛皮質がほとんど観察されず、保護毛は毛小皮と毛髄質とからだけ構成されているように観察された（図 7-B）。

上記の形態は保護毛のほとんどを占める中間部におけるものであり、生物顕微鏡下で観察した毛の基部および先端部では毛皮質が観察された（図 8-A、B）。

生物顕微鏡下で下毛を観察したが、毛髄質の存在は確認できなかった。

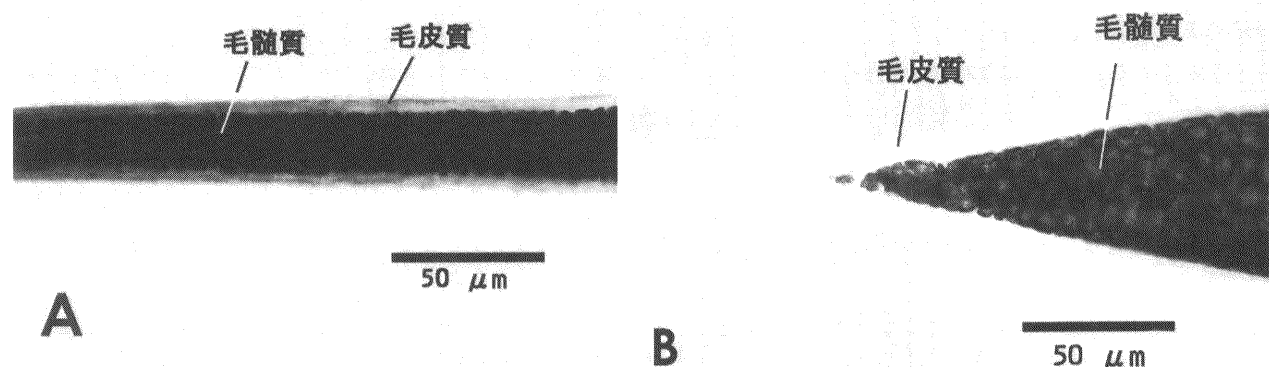


図 8 中心保護毛(冬)の先端部と基部の透過顕微鏡像

A：毛皮質の存在を示す先端部、B：毛皮質の存在を示す基部

中心保護毛の長さ、太さ、毛髄質の比率、重量

保護毛の夏と冬による性状の違いを明らかにするために中心保護毛 20 本について、長さ、中間部の太さ、中間部における毛髄質の比率、さらにその重量の測定を行い、それらの結果を表 1 に示した。

表 1. 夏毛と冬毛の比較

	長さ (mm)	太さ (μm)	毛髄比率 (%)	重量 (mg)
夏毛	48.3±3.1	121.3±14.2	71.2±5.1	0.26
冬毛	63.3±5.2	262.1±15.7	測定不能	0.265

注 1：長さ、太さ、毛髄比率は中心保護毛 20 本の測定結果の平均値と標準偏差で示した。

注 2：重量は 20 本を纏めて測定した後、1 本当りの重量に換算して示した。

表 1 から、冬の中心保護毛は夏のそれより長く、太さも倍以上の値を示したが、重量にはほとんど差が認められなかった。夏の中心保護毛の毛髄比率は平均で 71.2%を示したが、冬のそれでは図 7 の B でも観察されたように毛皮質がほとんど存在しないため、毛髄比率は測定不能であった。このことが冬の中心保護毛は長く、太いにも関わらず軽い要因であると思われる。

考察

ほとんどの動物の毛衣は保護毛と下毛で構成される二層構造をもっている。保護毛は三つ組を構成している中心一次毛包と側部一次毛包によって形成され、下毛は一次毛包の周囲の 2 次毛包によって形成される。そして、1 本の保護毛と複数の下毛とが毛束を形成し、共通の開口部(毛穴)から皮膚外に出現する(Kondo, et al. 2001; 近藤ら 2003)。中心一次毛包で形成される保護毛は真直ぐで太いが、側部一次毛包からのものは下部が下毛のように縮れている(Blomstedt 1989)。一次毛包によって形成される 2 種類の保護毛に対する英語表記はそれぞれ straight guard hair、intermediate guard hair である。一方、わが国では保護毛を一括して刺毛或いは上毛と表記することが多く、保護毛を分類する用語は見当たらない。著者らは前報(近藤敬治ら 2003)において英語表記を直訳して、直毛、中間毛と表

記した。しかし、前報で用いた直訳に基づく表記は必ずしも適切なものとは思われず、本論文では日本語表記として定着している毛包に対応した呼称を用いることとした。すなわち、中心一次毛包で形成される真直ぐな保護毛に対しては中心保護毛、側部一次毛包で形成される保護毛に対しては側部保護毛と名付けた。

本実験では、中心保護毛と側部保護毛をその先端部の形状を基準として分類した。この基準は毛の長さの測定結果や、毛の本数を数えて得られた中心保護毛と側部保護毛との比率がおおよそ1:2を示したことからも適切なものと考えられる。前述したように、食肉類を初め多くの動物毛において側部一次毛包からの保護毛には中間部から基部に向かって下毛のような縮れが見られる。しかし、エゾシカでは逆に先端部で縮れが見られた。毛の形状は毛包の構造に依存している。エゾシカの側部保護毛が何故他の動物毛と逆の形状を示すのかはその発生過程における毛包の微細構造の解明に待ちたい。

毛皮断面のSEM像(図2)ではエゾシカにおいても、より太い中心保護毛(G1)とそれより細い2本の側部保護毛(G2)からなる三つ組が観察された。一方、下毛は保護毛のより皮膚表面に近い部分に独立した開口部をもっており、保護毛と下毛が皮膚開口部を共有する毛束を形成していない。これまで調べられてきたトナカイ(Frerov 1952)、アカシカ(Ryder & Kay 1973)やノロシカ(Johnson & Hornby 1975)の毛衣に関する研究でこの点に触れたものはない。毛束を形成しない図2のような毛皮断面像がエゾシカに特有なものであるか、シカ類に共通したものであるかは今後の検討に待ちたい。

図6に示した毛小皮の異常は冬の保護毛の中間部に限られており、毛皮質の存在が確認された先端部や基部および夏の保護毛には観察されなかった。冬の保護毛中間部は毛皮質の存在を確認できないほど毛髄質がよく発達した部位(図7-B)である。一方、先端部や基部における毛髄質の発達程度は中間部に比べて低く(図8-A、B)、夏の保護毛のそれらと同程度であった。冬の保護毛中間部は空気を充満した壁の薄い円筒に例えられる。この壁の薄い円筒状の構造物は周囲の圧力を受けると簡単に凹みが出来やすい。夏毛から冬毛への換毛時に、毛包下部で形成された壁の薄い円筒状保護毛は夏の保護毛を押し出すようにして毛包内を上行する。夏の保護毛に比べ倍以上の太さをもつ冬の保護毛が毛包内に十分な空間を確保できない場合、毛包の壁を押し広げなければ皮膚外に出られない。冬の保護毛の中間部で観察された毛小皮の形態異常は毛包の壁と極度に薄い壁しかもたない冬の保護毛との力関係によって生じた可能性がある。換言すると冬の保護毛中間部は辛うじて形態を維持できる必要最小量のケラチンによって形成されていると考えられる。他方、様々な障害物に対してその最前線に立っている先端部は硬くて強い必要があるし、基部もまた長い保護毛を支えるために強固でなければならない。上記の機能を果たすために保護毛の先端部と基部では毛皮質の比率を高くしていると考えられる。

冬の保護毛の太さは夏のそれに比べて倍以上で、長さも30%以上長くなるにも関わらず、毛の重量は夏のそれとほぼ同じであった(表1)。このことは冬毛と夏毛のケラチン合成量が同じであることを示すものである。冬のエゾシカが同じケラチン量で太く、長い毛を形成できるのは夏の保護毛で観察された毛皮質(図7-A)の形成に利用していたケラチンを太さや長さへ転換したものと考えられる。エゾシカの毛衣は同じ物質で気象条件の大きく異なる夏と冬に適応できる仕組みをもっていると云える。冬期間のエゾシカは多量の空気を充満した断熱性の高い保護毛と、多数の下毛(図1-B)とによって毛衣の断熱性を高め、寒冷な気象条件に適応している。

本研究ではエゾシカの毛衣を総合的に捉える上で、毛の密度の測定や毛衣の断熱性に果たす下毛の寄与など多くの検討課題が残された。それら検討課題については他日を期したい。

謝辞

本研究の実施にあたり種々ご配慮頂いた北海道大学北方生物圏フィールド科学研究センター植物園の方々に感謝します。エゾシカの毛皮をご提供頂くと共にその毛皮資料に関する多くの情報を寄せられた(有)若松毛皮の皆様に感謝します。また、元北海道大学教授 阿部永博士 には本研究の進行過程で多くの助言と励ましを頂きました。記して謝意を表します。

最後になりましたが、本研究の核となったSEM観察の基本技術は昨年4月に逝去された元北海道大学大学院教授 大谷淳博士 のご教示によるものであります。感謝すると共に謹んでご冥福をお祈りいたします。

引用文献

- Bassett, C.F. and Liewellyn, L.M. 1949 : The moulting and fur growth pattern in the adult silver fox. *Am. Midl. Nat.* 39 : 597-601.
- Bissonnette, T.H. 1939 : Shortening daylight periods between May 15 and September 1 and the pelt cycle of the mink. *Science*. 89 : 418-419.
- Blomstedt, L. 1989 : Histological determination of different stages of pelage development. Fur growth of mink. *Acta. Agric. Scand.* 39 : 91-99.
- Flerov, K.K. 1952 : Fauna of USSR. Mammals Vol.1. Musk deer and Deer. National science foundation, Washington(Translation, 1960).
- Khateeb, A.A. and Johson, E. 1970 : Seasonal changes of pelage in the vole(*Microtus agrestis*) 1. The correlation with changes in the endocrine glands. *Gen. Comp. Endocr.*, 16 : 217-228.
- Kondo, K., Araki, E and Ohsugi, T. 1986 : An observation of the Morphology of the medulla in mammalian hairs using a scanning electron microscope. *J. Mamm. Soc. Japan*, 10 : 115-121.
- Kondo, K., Vanek, M., Rasmussen, P. V. and Blomstedt, L. 2001 : The beauty of mink pelage observed with SEM. *J. Fac. Agri. Hokkaido Univ.* 70: 1-8.
- 近藤敬治、二宮嘉健、市川秀雄、船渡康雄. 2003 : イタチ科 (*Mustelidae*) における毛の密度と毛髄質の形態。北大植物園研究紀要。第3号 : 35-42.
- Ryder, M.L. and Kay, R.N.B. 1973 : Structure and seasonal change in the coat of Red deer(*Cervus elephus*). *J. Zool. Lond.* 170 : 69-77.