

# マイクロビーム SAXS による毛髪の微細構造解析とヘアケア製品開発への応用

伊藤隆司 花王株式会社メイクアップビューティ研究所 〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3  
 梶浦嘉夫 花王株式会社メイクアップビューティ研究所 〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3  
 長瀬 忍 花王株式会社メイクアップビューティ研究所 〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3

**要旨** くせ毛の構造、及び加齢による毛髪の構造変化について、放射光 X 線マイクロビーム小角散乱法を用いて得られた結果について紹介する。人によって毛髪の形状は様々であるが、いずれも曲がった毛髪のカーブ内側と外側では異なった内部構造を有しており、カーブの強さは毛髪内部を構成する細胞分布の偏りの大きさだけで表されること、そしてその関係が人種によらず成り立つことを見出した。さらに、年齢とともにうねった形の毛髪が増加し、それが髪全体のツヤが低下する原因となっている事を見出したが、そのうねりの内部構造もくせ毛と同様の内部偏差で説明できることがわかった。以上の現象の発見を元に新ヘアケアブランドを開発した。

## 1. はじめに

「髪」は人、特に女性にとってはいくつになっても大きな関心事のひとつである。魅力的な容姿には美しい髪が重要な要素であることは疑いない。美しい髪をつくるために、まず毛髪・頭皮を清潔に保ち、思い通りの色・形をつくるヘアケア・ヘアメイク行動が行われている。そこでは数多くの頭髪用製品が用いられている。洗浄にはシャンプーが、ダメージからの予防や補修にはコンディショナーやトリートメントが用いられる。白髪を隠したり、髪色を変えたりするためにヘアカラーがあり、形を整え・保つためにヘアスタイリング剤や、永久的な形付けのためにパーマメントウェーブ剤がある。これらヘアケア製品関連市場は、日本だけで約4800億円、世界では約530億ドルと概算される巨大な産業である。

これらの対象である毛髪はケラチン繊維の一種で、Fig. 1のような複雑な階層構造を有している<sup>1)</sup>。Fig. 1中に描かれた最小単位の間径フィラメント (Intermediate Filament; IF) は、 $\alpha$ ヘリックス2本からなる2量体 (部分的にコイルドコイルを形成) が16本集まった複雑な高次構造体であることが示されている<sup>2)</sup>が、その詳細については未だよく分かっていない。同じケラチン繊維の仲間に羊毛があるが、羊毛は産業的重要性のため古くからその構造・物性が色々と研究されてきた。それに対し、人毛に対する研究は、羊毛と比べてその歴史は浅い。また、スキンケア・化粧品が対象とし医学の領域でもある皮膚科学と比較しても、研究者の数は少ない。このような状況のもとでヘアケア製品は研究・開発されているわけであるが、真に有効

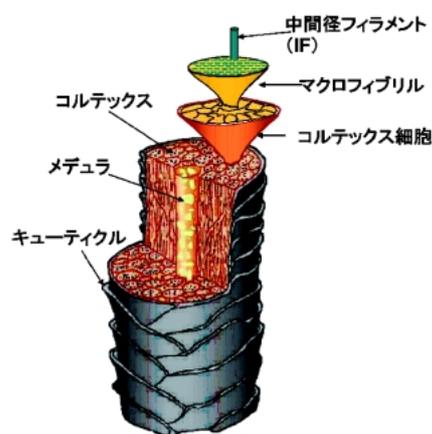


Fig. 1 Hierarchical structure of human hair

な技術を開発するには対象となる毛髪の構造と物性についてさらに詳細に知る必要がある。

人毛の研究を難しくしている理由のひとつは個体差が大きいことであろう。単純な特性をみても、髪が太い人と細い人、本数の多い人・少ない人、黒髪・白髪など、様々である。また、同じ人の毛髪であっても、1本1本同じではない。このように、毛髪は研究対象とするには複雑で、他とは異なる特別な注意が必要であるとともに、研究すべきことはたくさん残されている対象である。

ケラチン繊維の X 線小角散乱 (SAXS) は古くは Fraser ら<sup>3)</sup>によって行われ、IF の構造解析などが行われている。毛髪からの散乱は微弱なので、汎用 X 線装置で十分な精度のデータを取得するには、長時間の照射が必要であ

った。しかし最近、放射光 X 線を用いた実験ができるようになり、毛髪研究においても測定時間の飛躍的な短縮と高い精度の測定ができるようになってきた<sup>4,5)</sup>。さらに、放射光 X 線のような非常に強い X 線を用いることで毛髪 1 本 1 本の研究も可能となる。先に述べたように毛髪は個体差が大きいため、1 本で測定できる意義は大きい。さらにビーム直径  $5\ \mu\text{m}$  程度のマイクロビーム X 線が利用可能となり、毛髪のそれぞれの部位に狙いを定めてその構造を調べることができるようになった。放射光を用いた毛髪研究例としては、キューティクルとコルテックスなど毛髪各部位の構造比較<sup>6)</sup>、キューティクルの解析<sup>7-11)</sup>などが紹介されており、また、ヘアケア剤による変化についても最近では報告されるようになってきた<sup>9,10)</sup>。

我々は、くせ毛に着目して研究を進めてきた<sup>12-15)</sup>。日本人女性の毛髪は一般に黒くて比較的まっすぐである。一方くせ毛の場合には、髪がまとまらない・広がる、などのヘアスタイルに対する不満につながる事が多い。くせ毛をまっすぐに伸ばすためにストレートパーマ剤、縮毛矯正剤などが使用され、その市場は大きなものとなっているが、毛髪に与えるダメージも大きい。そこで、傷まなくくせ毛矯正技術の開発が望まれるが、そのためにはまずくせ毛の内部構造など対象の詳細を知ることが重要である。また、毛髪形状は人種によっても大きく異なる。そこで我々は、人種の違いも含めた様々な毛髪についてその形状と内部構造の関係を調べてきた<sup>14,15)</sup>。

くせ毛の研究と並行して、毛髪のエイジング研究も行ってきた。各年代の毛髪の特徴を調べていったところ、年齢が高くなるに従って毛髪の形状にくせ毛のようにうねった毛髪が多くなることを見出した<sup>16)</sup>。そこでくせ毛の構造解析の研究対象をエイジング毛にも広げて行った。その結果、くせ毛で得られた傾向と同様の結果が得られ、エイジングによる毛髪特性変化を内部構造の視点から説明することができた。これらの結果により、エイジング毛を対象とした新しいヘアケア製品が解決すべき課題を明確化でき、その対応技術の開発にも役立てられた。

本トピックスではくせ毛研究とエイジング毛研究の一連の成果について報告する。

## 2. マイクロビーム X 線による毛髪構造解析

マイクロビーム X 線小角散乱測定は、Photon Factory (PF) のビームライン BL-4A<sup>17)</sup> および SPring-8 の BL-40XU<sup>18)</sup> にて行った。Fig. 2 に SPring-8 での実験装置の概略図を示す。1 本の毛髪繊維に、繊維軸と垂直な方向から直径約  $5\ \mu\text{m}$  のマイクロビーム X 線を照射し、2 次元小角散乱像を得た。散乱像の記録はイメージインテンシファイヤ + CCD X 線検出器<sup>19)</sup> で行なった。試料 - 検出器間距離及び露光時間はそれぞれ、PF では約 860 mm、60 秒、SPring-8 では約 1470 mm、1.2 秒とした<sup>12-15)</sup>。

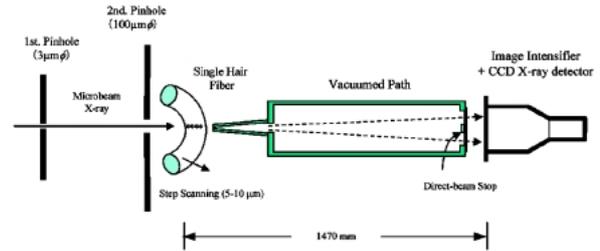


Fig. 2 Measurement of small angle X-ray scattering (SAXS) pattern from a human hair single fiber at BL40XU in SPring-8.

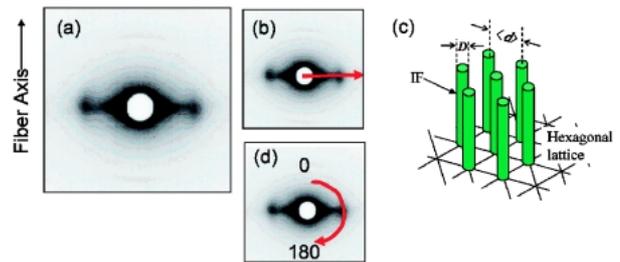


Fig. 3 (a) Typical SAXS pattern from hair cortex. (b) Direction of an equatorial profile (c) Model of the IF arrangement (d) Direction of an azimuthal profile

Fig. 3a に、典型的な小角散乱像を示す。毛髪軸に対して垂直な方向、すなわち赤道方向に強い散乱ピークが認められる。これが IF の配列によるものである<sup>3)</sup>。このような散乱像について、次の 2 つの方向でそのプロファイルを得、さらなる解析を行なった。ひとつは、赤道方向のプロファイル (Fig. 3b) で、IF を無限円筒と仮定し、最密充填モデルを用いてパラメータフィッティングにより IF 直径  $D$  と IF 間隔  $\langle d \rangle$  を求めた (Fig. 3c)<sup>12,14)</sup>。さらに、Fig. 3d の矢印のような方位角方向の分布からは、IF 配列の傾きに相当する量が得られる。このピークの半値幅を  $FWHM$  とすると、 $FWHM$  値から IF の傾きの平均を推定することができる。

## 3. くせ毛の内部構造研究

くせ毛の形は人により様々である。日本人などアジア人は直毛が多いが、完全に真直ぐな毛髪は少なく、むしろなんらかの曲率を持っている毛髪が大部分を占める。(中には非常に強くくせを持つ方もおり、髪の悩みにつながっている。) 一方、世界をみると、さらに色々な毛髪形状がある。最も高い曲率をもつのはアフリカ系の人で、カール半径が 1 mm 以下の場合もある。非常にからまりやすく扱いにくい為、ヘアリラクサー (高アルカリ処理) で扱い易くするなどの方法がとられることが多く、断毛など髪のダメージの原因となっている。一般にブロードなどコーカシアン毛はウェーブ形状をしている印象があるが、実際には

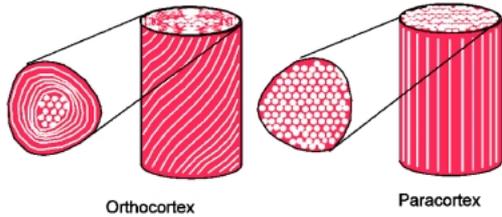


Fig. 4 Scheme of orthocortex and paracortex. White dots and lines mean intermediate filaments. In the cross section of the orthocortex, the pattern looks like a whorl.

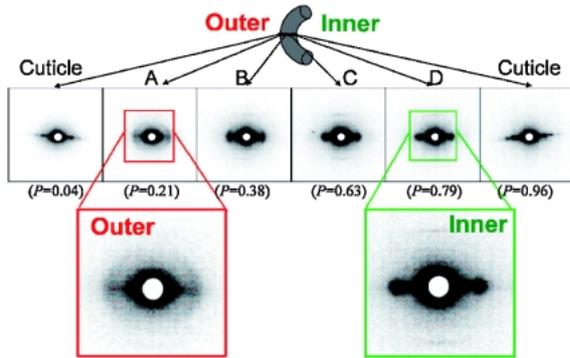


Fig. 5 Typical SAXS patterns of a single curly African hair fiber, measured from the convex side to the concave side. The right most and left most photos are from cuticle. Middle four photos, A to D, are from cortex part.  $P$  value; see the text.

ほぼ直毛から強いウェーブまで様々である。これら個人による差・人種による差の原因が何であるかを、毛髪内部構造の観点から調べた<sup>14,15)</sup>。

羊毛の内部構造はよく調べられており、羊毛内部にはコルテックス細胞が詰まっているがそれは単一な種類ではなく、複数の種類が存在することがわかっている<sup>20,21)</sup>。その中で、IF が平行に配列しているものをパラコルテックス、IF がらせん状に配列しているものをオルトコルテックスと呼ぶ。その配列構造を模式的に示すと Fig. 4 のようになる。さらにメゾコルテックスと呼ばれる種類も存在する。人毛についても同様に、パラコルテックスやオルトコルテックスが存在することが毛髪断面の電子顕微鏡観察により分かっているが、それらの分布については明確ではなかった<sup>22,23)</sup>。

今回の X 線解析の結果により、くせの外側と内側では内部構造に違いがあることがわかった。一例を Fig. 5 に示す。毛髪軸に対して垂直方向に毛髪位置を 5-10  $\mu\text{m}$  移動させ、カールの外側から内側までの各位置で測定を繰り返した中の代表的な散乱像である。くせの最も外側と最も内側のパターンはキューティクルからの散乱像である。内側 4 枚の写真はコルテックスからの散乱像で、外側から内側に行くに従い (A→D) 散乱パターンが大きく変化する様子がわかる。A と D の拡大図を比べると、くせ内側からの散乱像 (D) には強い IF 由来のピークが認められるの

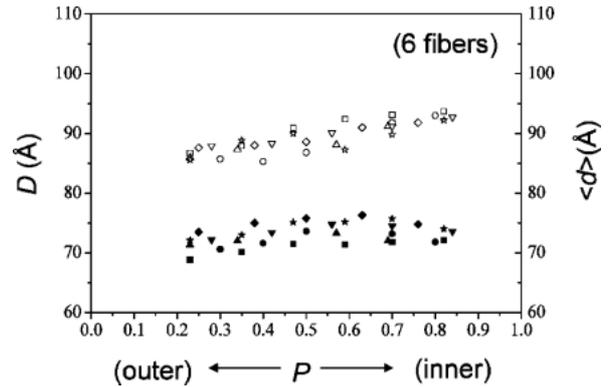


Fig. 6 IF-IF distance,  $\langle d \rangle$  (unfilled symbols), and IF diameter,  $D$  (filled symbols), for curly African hair fibers.

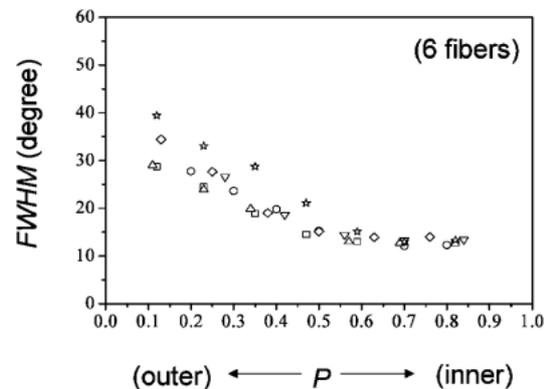


Fig. 7 IF orientation for the same fibers as those in Fig. 5.

に対し、くせ外側からの散乱像 (A) では IF 由来ピークがブロードになっていることから、IF の配列が異なることが示唆された。

それぞれの位置からの散乱像を前節で述べた方法で解析した。その結果の例としてアフリカン毛の結果を Fig. 6 及び 7 に示す。ここで横軸  $P$  は、毛髪の直径方向の相対位置 (最も外側表面を 0, 内側表面を 1) を表す。いずれの毛髪でも IF 直径はほぼ一定で約 7 nm であるのに対し、くせの強い毛髪の場合、くせの内側から外側にかけて IF-IF 間隔は小さくなり (Fig. 6), IF の傾きは大きくなる傾向 (Fig. 7) を示した。それらの傾向から、くせの外側にはオルトコルテックス様の細胞が多く、くせの内側にはパラコルテックス様の細胞が多いことが示唆された。

IF-IF 間距離の変化は 10% に満たない程度である。一方、IF 傾きに関する FWHM 値の変化はくせの強い場合には約 3 倍弱に及ぶことから、内部偏差の程度の解析には IF 傾きの結果を用いた。  $P$  が 0.2 より小さいか 0.8 より大きい領域ではキューティクルからの散乱が混ざっている可能性がある。また、中心部分はメデュラと呼ばれる別組織 (アモルファスな蛋白質でできているが、脂質も含まれており、毛髪中心部からの散乱にはリング状の脂質ピークが現れることがある) にあたっている可能性が高い。そこ

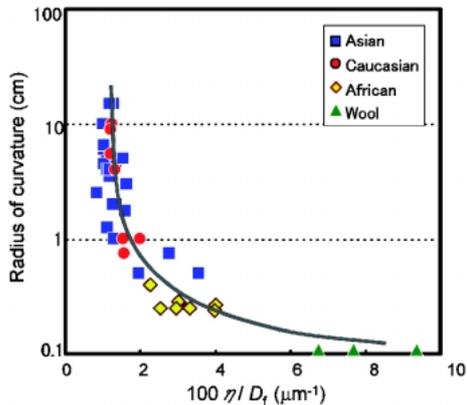


Fig. 8 Relationship between radius of curvature and inhomogeneity of the internal structure for human hair and Merino wool.

で、くせの外側として $0.2 < P < 0.4$ 、くせの内側として $0.6 < P < 0.8$ の範囲にあるデータ点の平均のFWHMをそれぞれ求めた。両者の比を $\eta$ とすると、それはくせ毛内部の偏差を表すパラメータである。ただし、同じ $\eta$ 値でも、毛髪径 $D_i$ が大きい場合と小さい場合には内部の偏りの勾配には違いがあるので、それを換算するために $\eta/D_i$ を内部偏差の指標とした。

Fig. 8は最終結果で(Ref. 15のFig. 12を再掲)、X線測定部分のカール半径(マクロな形状)と内部偏差の関係を示す。図中、青四角は日本人毛の結果で、カール半径約10 cmのほぼ直毛から5 mmの強いくせ毛まで様々な形状の毛髪をサンプルとしている。同様に、コーカシアン毛、アフリカン毛、さらに羊毛について得られた結果も載せている。図からわかるように、カール半径と内部偏差の関係はほぼひとつのスムーズな曲線に従う。これは、毛髪の曲がりの強さが毛髪内部の細胞分布の偏りの大きさだけで表されること、そしてその関係が人種によらず羊毛ケラチン繊維まで含めて成り立つことを意味している。

以上のように、くせ毛を支配している内部構造の要因が判明した。本質的なくせ毛矯正技術開発のためには、コレックスに作用し、毛髪内部偏差に着目した研究が必要であると思われる。

#### 4. 加齢による毛髪変化

年齢とともに、老化現象はいたるところに現れる。体力の衰えなど身体的要因のみならず、皮膚にもそれが顕著に現れ、スキンケア・化粧品の世界では、アンチエイジングを目指して多くの研究がなされている。一方、毛髪はどうか。一般に良く知られている毛髪の加齢現象は、本数が減ることと白髪である。また、「髪にボリュームがでない」「ハリコシがなくなる」とも時々言われる。これは本数減少のほか、主に毛髪径が細くなる<sup>24)</sup>ことと関係している。特に男性は思春期を境に急激に毛髪径が減少す

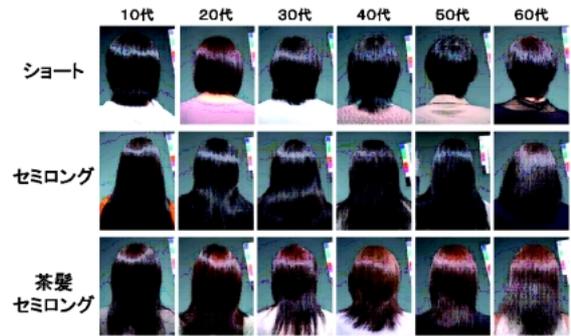


Fig. 9 Appearance of hair luster of Japanese women in their teens to sixties (typical examples).

ることがわかっている。これらの毛髪エイジング現象に対する対処法としては、白髪に対してはヘアカラーが普及している。薄毛に関しても、フサフサになるようなものはないものの、育毛剤がすでに色々発売されている。

髪のエイジングを対象とした新しいヘアケア製品を開発するにあたり、新しい切り口のコンセプトが必要であった。上記の現象以外に、たとえば髪質に関する加齢現象はないのであろうか？さらに消費者が何を望んでいるのか？このような疑問から本研究はスタートした。

まず、毛髪の加齢現象についての実態調査を実施した。対象は10歳から70歳までの首都圏在住の女性で、最近6ヶ月間はパーマをかけていない人達をランダムに集めた。5歳刻みで各年代約20名ずつ、合計230名に対し調査を行った。美容室にて美容師に洗髪をしてもらい、自然乾燥に近くなるようにドライヤー乾燥をおこなった。乾燥後の外観について写真撮影、官能評価、及び毛髪のサンプリングを行なった。3名の専門評価者が外観調査した結果、年齢が上がるにつれて髪にツヤのある人の割合が減っていくことがわかった<sup>16)</sup>。本人達に対する意識調査においても、年齢が高い層ほど「ハリコシがない」という髪の悩みのほかにも、「ツヤがない」という髪の悩みは増加しており、ツヤの低下は認知されていた。Fig. 9に代表例の後ろ姿を示す。それぞれ、ショートヘア、黒髪のセミロング、茶髪セミロングヘアスタイルの人たちの比較である。となり同士はあまり差がないようにも思われるが、全体を眺めると、加齢とともにツヤ、とくに頭頂部のハイライト部分が、若い人ではくっきりしているのに対し、年齢の高い人ではそれが乱れたツヤに見えることがわかる。

よく観察すると、年配者の毛髪は真直ぐではなく、ランダムにうねった形状をしているものが多いことが認められた。そこで、230名のパネリストからのサンプリング毛髪から、その毛髪形状の定量化を試みた。それには、毛髪形状をスキャナで取り込み、その2次元像に対して1 mm間隔で曲率半径を測定し、それぞれの毛髪の根元から15 cm(ただしパーマ履歴のある人はパーマがかかっていない部分のみ)までの平均値を求めた。各人に対してランダ

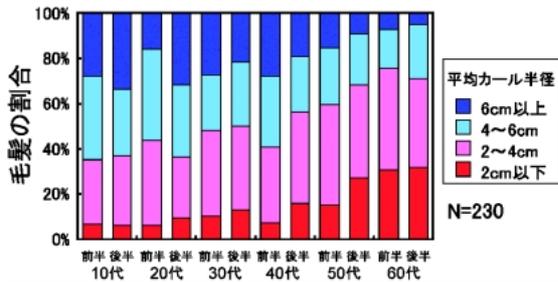


Fig. 10 Effect of age on the ratio of curly/straight hair

ムに選び出したそれぞれ10本の毛髪について測定し、年代ごとに形状の異なる毛髪の割合を比較した結果を Fig. 10 に示す<sup>16)</sup>。カール半径が6 cm 以上のほぼ直毛を青、2 cm 以下の曲がりの大きい毛髪を赤で示しており、年齢とともにほぼ直毛の割合が減少し、逆に曲がった毛髪の割合が増加する傾向がはっきりと認められる。また、別途定量化したツヤ評価値と比較しても、ツヤが低下するに従いカール半径が小さくなる傾向が得られ、以上のことから、加齢による毛髪形状のうねりの増加が、ツヤの低下の大きな要因であることが確認された。

くせ毛の研究においては、年齢について考慮していなかった。そこで今回、年代別に毛髪内部構造を比較した。230名ものパネリストからサンプリングされた毛髪をすべて SAXS 測定することは現実的に不可能であった為、代表的な毛髪を選択することにした。本研究では、それらのパネリストの中から、ランダムに82人を選び出し、さらに各人より2~3本の毛髪を無作為に選び、その最も根元に近い部分を測定に供した。

測定は SPring-8 BL-40XU にて行った。毛髪を穴のあいたアクリル板にきれいに並べて固定し、実験室ハッチ内にセットした後は、自動測定にて測定を行なった。これにより、大量のサンプルを効率よく測定することができた。合計187本の測定を行った。

くせ毛の場合と同様に解析し、 $\eta/D_i$  と測定部分のマクロな形状（カール半径）を求めた。得られた  $\eta/D_i$  を年代ごとにまとめた結果を Fig. 11 に示す。 $\eta/D_i$  の値は30代後半以降、年齢と共に緩やかに増大し、10代、20代と60代との違いは統計的にも有意差が得られた。この結果から、加齢に伴って毛髪横方向の不均一性が増加していることがわかった。

カール半径と  $\eta/D_i$  の関係を Fig. 8 に重ねてプロットしたものを Fig. 12 に白丸で示す。それぞれは各年代の平均値である。加齢により発生したうねりは平均的にはそんなに強いものではない為、データ点は図の左上にかたまっており、曲がりの強い場合でもアフリカン毛や日本人の強いくせ毛よりもはるかにカール半径は大きい、そのプロットはくせ毛および様々な人種毛のプロットで得られたなめらかな曲線に全く重なっており、同じ関係が成り立ってい

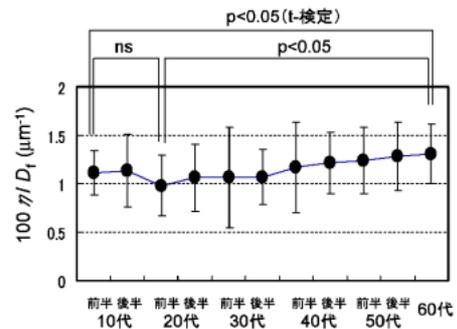


Fig. 11 Change in inhomogeneity of internal human hair with age.

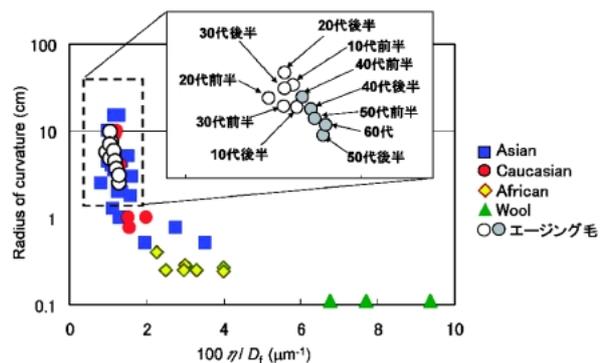


Fig. 12 Relationship between radius of curvature and inhomogeneity of the internal structure for Japanese women's hair of various age.

ることを示している。また、挿入図は今回の結果を拡大したものである。それぞれのプロットの横には、そのデータ点の年代が書かれている。これによると、特に40代以降から右下がりの傾向を示すことがわかる。すなわち、40歳以降では、今回の毛髪サンプル群においても年齢とともにカール半径が小さくなる傾向を示しているが、それに伴って内部構造の偏差も大きい。以上から、加齢によって増加してくるうねり毛もその内部構造はくせ毛と本質的に同じであることが示唆された。ただし、誤解のないように付け加えるが、なぜ内部偏差が生じるかについては、若い人のくせ毛と加齢により発生するものとは異なる可能性は高い。これは毛髪の製造工場である毛根の問題であると考えられる。

以上の結果から、毛髪のエイジングにより、髪にうねりが生じ、それが原因で髪ツヤが失われることを見出した。また、うねりの原因は毛髪内部構造の偏差であることもわかった。内部構造偏差に関しては、その偏差のばらつきは大きく、少量のサンプル測定では得られない結論であった。今回、SPring-8 にて短時間に大量の測定ができてはじめて可能となったといえる。また、たとえば毛髪断面の透過型顕微鏡写真によってもオルトコルテクス・パラコルテクス細胞の判別は可能であるが、1本1本を測定するには非常に時間がかかるし、エイジング毛のようにあ



Fig. 13 New hair care brand “Segreta” aiming for glossy hair for mature women.

まり偏差が大きくない場合には、定量化が非常に困難であると思われる。その点、X線解析ではX線が通過した部分の平均値が得られるため、定量的な解析が簡単に行えるという利点がある。

以上のエイジング毛の研究成果を技術コンセプトとして、大人の艶髪をつくる新ヘアケア剤「セグレタ」が開発された (Fig. 13)。

## 5. おわりに

放射光 X 線小角散乱が利用できるようになって、毛髪 1 本の各部分での解析が短時間でできるようになり、毛髪構造解析の精度は飛躍的に向上した。本トピックスではそれを活用することで、毛髪エイジング現象を形状変化というマクロな視点と毛髪内部構造変化というミクロな視点の両面にとらえ、製品開発へ応用した事例をご紹介した。

消費者のニーズにマッチした製品開発のためには、対象となる毛髪を広く観察することは必須であるが、マクロな現象の把握とそれを改善する剤のスクリーニング実験があれば、製品を設計・開発することは一応可能であると思われる。しかし、今回のように毛髪を構成するナノ分子の構造にまで踏み込んだ解析により、より深くエイジング現象を理解でき、納得性の高い情報と技術開発が可能となったと信じている。

今後も毛髪基盤研究を深く推進することで、一層の効果の高い技術・製品を作っていきたいと考えている。

## 謝辞

本稿に示された研究は SPring-8 の一般研究課題、戦略活用プログラム、重点産業利用課題、及び Photon Factory の放射光共同利用研究課題の成果である。共同研究者である東京大学大学院新領域創成科学研究科の雨宮慶幸教授、篠原佑也先生、及び実験をサポートして下さった

KEK の飯田厚夫教授、JASRI の八木直人博士、井上勝晶博士、太田昇博士に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) クラーレンス・R・ロビンス：毛髪の科学 第4版 (山口真主訳, フレグランスジャーナル社, 2006年), 第1章.
- 2) D. A. D. Parry and P. M. Steinert: *Quarterly Rev. Biophysics* **32**, 99-187 (1999).
- 3) R. D. B. Fraser, T. P. MacRae and A. Miller: *J. Mol. Biol.* **10**, 147-156 (1964).
- 4) K. E. Wilk, V. J. James and Y. Amemiya: *Biochim. Biophys. Acta* **1245**, 392-396 (1995).
- 5) F. Briki, B. Busson and J. Doucet: *Biochim. Biophys. Acta* **1429**, 57-68 (1998).
- 6) B. Busson, P. Engstrom and J. Doucet: *J. Synchrotron Rad.* **6**, 1021-1030 (1999).
- 7) L. Kreplak, C. Merigoux, F. Briki, D. Flot and J. Doucet: *Biochim. Biophys. Acta* **1547**, 268-274 (2001).
- 8) N. Ohta, T. Oka, K. Inoue, N. Yagi, S. Kato and I. Hatta: *J. Appl. Cryst.* **38**, 274-279 (2005).
- 9) 井上敬文, 岩本佳倫, 太田 昇, 井上勝晶, 八木直人: 第57回 SCCJ 研究討論会講演要旨集, 5-8 (2005).
- 10) T. Inoue, Y. Iwamoto, N. Ohta, K. Inoue and N. Yagi: Abstract of SAS2006 Kyoto, LA-P02c (2006).
- 11) 太田 昇, 八木直人, 八田一郎: 放射光 **19**, 364-370 (2006).
- 12) Y. Kajiura, S. Watanabe, T. Itou, A. Iida, Y. Shinohara and Y. Amemiya: *J. Appl. Cryst.* **38**, 420-425 (2005).
- 13) 梶浦嘉夫, 伊藤隆司, 篠原佑也, 雨宮慶幸: 高分子加工 **58**, 339-343 (2005).
- 14) Y. Kajiura, S. Watanabe, T. Itou, K. Nakamura, A. Iida, K. Inoue, N. Yagi, Y. Shinohara and Y. Amemiya: *J. Struct. Biol.* **155**, 438-444 (2006).
- 15) 梶浦嘉夫, 伊藤隆司, 篠原佑也, 雨宮慶幸: 放射光 **19**, 371-377 (2006).
- 16) S. Nagase, A. Mamada, Y. Kajiura, Y. Ezawa and T. Itou, Y. Shinohara and Y. Amemiya: *Proc. Asian Soc. Cosmet. Scientists-8th Conference* **33**, 86-BBC-A0132 (2007).
- 17) A. Iida and T. Noma: *Nucl. Inst. Methods* **B82**, 129-138 (1993).
- 18) K. Inoue, T. Oka, T. Suzuki, N. Yagi, T. Takeshita, S. Goto and T. Ishikawa: *Nucl. Inst. Methods* **A467-468**, 674-677 (2001).
- 19) Y. Amemiya, K. Ito, N. Yagi, Y. Asano, K. Wakabayashi, T. Ueki and T. Endo: *Rev. Sci. Instrum.* **66**, 2290-2294 (1995).
- 20) M. Horio and T. Kondo: *Text. Res. J.* **23**, 373-386 (1953).
- 21) G. E. Rogers: *J. Ultrastructure Res.* **2**, 309-330 (1959).
- 22) J. A. Swift: *Formation and Structure of Human Hair* (Birkhäuser Verlag: Berlin, 1997) 149-176.
- 23) クラーレンス・R・ロビンス：毛髪の科学 第4版 (山口真主訳, フレグランスジャーナル社, 2006年), p. 52-54.
- 24) 大塚英之, 根本利之: 香粧会誌 **12**, 192-197 (1988).

● 著者紹介 ●



**伊藤隆司**

花王株式会社メイクアップビューティ研究所・副主席研究員

E-mail: itou.takashi1@kao.co.jp

専門：高分子物性，毛髪科学

**【略歴】**

1987年3月，大阪大学大学院理学研究科高分子学専攻博士課程修了，理学博士，同年4月に花王㈱入社。1989年12月よりヘアケア関連の業務に従事。



**長瀬 忍**

花王株式会社メイクアップビューティ研究所・主任研究員

E-mail: nagase.shinobu@kao.co.jp

専門：毛髪科学，分析化学

**【略歴】**

1991年北海道大学大学院理学研究科化学専攻修士課程修了，同年4月に花王㈱入社。入社当初よりヘアケア関連の業務に従事。



**梶浦嘉夫**

花王株式会社メイクアップビューティ研究所・研究員

E-mail: kajiura.yoshio@kao.co.jp

専門：毛髪科学

**【略歴】**

1994年3月，日本大学大学院量子理工学専攻修士課程修了，同年4月に花王㈱入社。1999年11月よりヘアケア関連の業務に従事。

## Structural analysis of human hair fibers by micro-beam SAXS and application to the development of hair care products

**Takashi ITOU**

Global R&D-Beauty Cosmetics, Kao Corporation,  
2-1-3 Bunka, Sumida-ku, Tokyo 131-8501

**Yoshio KAJIURA**

Global R&D-Beauty Cosmetics, Kao Corporation,  
2-1-3 Bunka, Sumida-ku, Tokyo 131-8501

**Shinobu NAGASE**

Global R&D-Beauty Cosmetics, Kao Corporation,  
2-1-3 Bunka, Sumida-ku, Tokyo 131-8501

**Abstract** This paper introduces the results of synchrotron micro-beam SAXS (Small Angle X-ray Scattering) on the structure of curly hair and the structural changes with age. Hair shape varies for races and individuals, however, for all of them, hair fibers with curly shape have different internal structures from the concave part to the convex part of the curl. It has been found that the curliness depends on the degree of inhomogeneous cell distribution and this relationship holds regardless of race. We have found that the ratio of the hairs having a meandering shape increases with age and it is a cause of the hair luster reduction. The internal structure of meandering hairs generated by aging also has a similar inhomogeneity to curly hairs. We have developed a new hair care brand on the basis of these new findings.