

放射光イメージングを用いた加齢と共に変化する毛髪内構造評価

渡邊 紘介

株式会社ミルボン中央研究所 〒534-0015 大阪府大阪市都島区善源寺町 2-3-35

鈴木 和之

株式会社ミルボン中央研究所 〒534-0015 大阪府大阪市都島区善源寺町 2-3-35

高野 秀和

兵庫県立大学大学院物質理学研究科 〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1

(現所属：東北大学多元物質科学研究所 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1)

伊藤 廉

株式会社ミルボン中央研究所 〒534-0015 大阪府大阪市都島区善源寺町 2-3-35

要旨

高齢化が進む日本社会において、エイジングの研究進展が望まれる一方で、日本人女性の加齢に伴う毛髪変化に関する情報は、非常に少ないのが現状である。このような中、我々は加齢とともに起こる毛髪内密度低下を見出し、美容処理による毛髪タンパク質の流出量が加齢と共に多くなり、ダメージの受けやすい素材に変化してくることを確認した。更に放射光イメージングによる典型的な例として加齢に伴う空隙の増加傾向を観測した。

1. はじめに

総人口に占める60歳以上の割合は30%を越え¹⁾、高齢化が進む社会変化に対応するため、各化粧品メーカーでは高齢化、いわゆるエイジングをターゲットとした様々な基礎科学的アプローチが進められている。

頭髪用化粧品の分野における代表的な基礎学的アプローチとして、女性ホルモンの一種であるエストロジオールと血管内皮細胞増殖因子の一つである *VEGF-A* 遺伝子の発現量に関する報告²⁾や、エイジングから導かれる毛髪形状の変化とツヤの変化に着眼した研究³⁾、或いは、毛髪から抽出される脂質組成の変化に関する報告^{4,5)}など、エイジングに伴う頭皮或いは毛髪の変化を掴む研究が進められている。このような中、我々は加齢による毛髪内の密度変化に着目して研究を進めてきた。毛髪内の密度に関しては、1970年代に行われたパーマメントウェーブ処理やブリーチ処理による密度変化に関する研究^{6,7)}から、これらの美容処理では毛髪密度はほとんど変化しないと考えられてきた。しかし最近、伊藤によって精度良い毛髪内密度の測定法が見出されたこと^{8,9)}、毛髪内の密度変化に着眼した新たな加齢対応商品に向けた研究を進め¹⁰⁾、商品化にこぎつけている。本報告では、まず毛髪内密度と年齢との関係を明らかにし、その後、密度が減少している毛髪をSPring-8 兵庫県ビームライン X 線 CT 測定にて観察した結果を詳説する。

2. 加齢に伴う毛髪の感能的な変化と数値的な変化

加齢に伴って「髪が傷みやすくなった」と感じる日本人女性が増えてきている。そのような現状の中、日々多くの毛髪を触っている美容師に対しヘアリングを行うと、加齢に伴う毛髪変化に対する感覚として「フワフワ」や「内部がスカスカ」などのワードを抽出することができた。このような感覚を生み出す毛髪変化として、「毛髪内密度の低下」を予測し、これを確認するために毛髪内密度の測定を行った。実験は、相対湿度50%、25°Cにおいて1晩調湿された日本人女性(19-69歳、N=219)の根元部分(新生部分)と毛先部分(根元より約30 cm 部分)の毛髪内密度(単位体積当たりの質量: g/cm³)を測定した¹¹⁾。

Fig. 1 に各年代における根元部分(新生部分)と毛先部分の毛髪内密度を示した。毛髪の伸長は一日で約0.4 mm という報告¹²⁾から、根元より30 cm 先の毛先部分とは、約2年間(約0.4 mm × 約730日 = 約292 mm)になされた美容施術や生活習慣によって生じたダメージを蓄積したものと考えられ、その毛先部分は、どの年代においても根元部分より密度が低くなっていることが明らかになった。また、毛髪の部位に関わらず、30代以上において年齢と共に毛髪内密度が低下することも明らかになった。

Fig. 2 に各年代における根元部分と毛先部分の密度比を示した。各年代における密度比を比較すると、加齢と共に

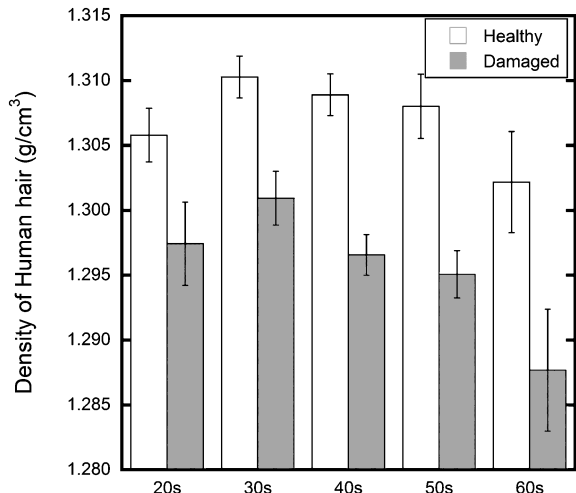


Fig. 1 Density of healthy and damaged hairs with age. Healthy, the proximal root part of hair; Damaged, at about 30 cm from the proximal root part of hair.

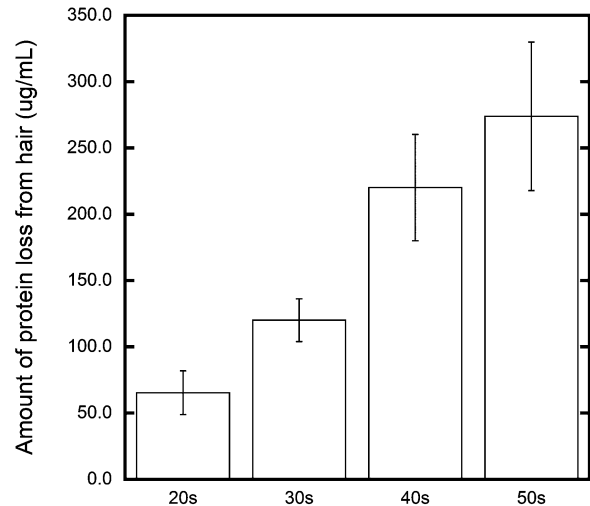


Fig. 3 Normalized effluence of hair protein with age.

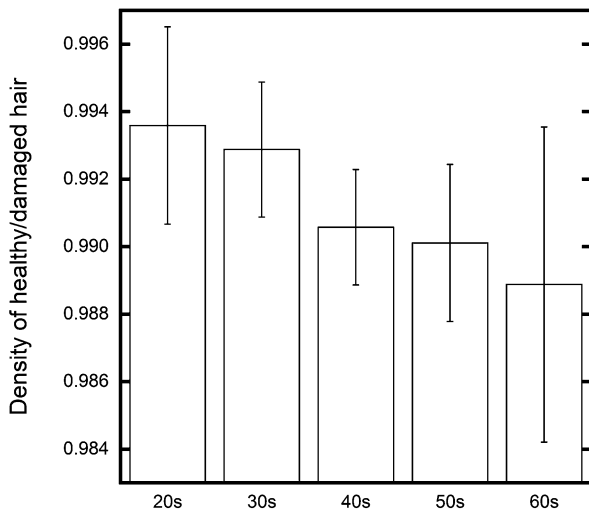


Fig. 2 Density of healthy/damaged hairs with age.

密度比が低下していることが分かった。これは、根元部分に対して毛先部分の密度が、年齢と共により大きく低下することを示している。この加齢に伴う過度な密度減少の要因を考察すべく以下の実験を行った。各年代の毛髪 (N=80) に対して同じ溶出条件 (8 M Urea, 50 mM 2-Mercaptoethanol, 50 mM Tris (pH 8.5), 50°C, 1 晩) にて流出するタンパク質の量を Pierce® 660 nm Protein Assay (Thermo SCIENTIFIC 社) を用いて測定した結果、加齢と共にタンパク質の流出量が増加することを確認した (Fig. 3)。毛髪の約80%を占めるタンパク質の過度な流出傾向が、毛髪内密度の減少を促しているものと考えている。このことは、日々のあらゆる美容習慣に対して、加齢とともに毛髪がダメージを受けやすい素材に変化していることを示唆した。現在タンパク質が加齢と共に流出しやすくなるという原因については鋭意検討中である。

3. 毛髪内部構造の評価

～X線CTを用いた検討 (SPring-8 BL24XU)～

加齢に伴う毛髪内密度変化が何に起因しているか考察するために、透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて毛髪の横断面切片の観察を行った。その結果、加齢と共に毛髪内部の空隙数が増加していることが判明した (data not shown)。しかし、横断面切片を作成する際のカッティング影響など、破壊操作時における損傷の可能性を拭い去ることができなかったため、非破壊法であるX線CT法を用い毛髪内部構造を観察した。毛髪内部構造を得るためには高い空間分解能を必要とするため、SPring-8 BL24XU (兵庫県 ID) で利用可能な放射光結像 X線CT装置を用いた。本CT装置は光学系にフレネルゾーンプレートによる拡大結像顕微鏡を採用しており、デフォーカス測定によりソフトマテリアル試料をサブミクロンの空間分解能で観察することができる。密度測定より有意に密度減少をとらえた毛髪を0.2 mmφのガラスキャピラリーに約4本入れ、室温、大気圧下で測定を行った。測定に用いたX線は7.0 keVの単色光であり、投影数2000の画像データよりCT再構成を行い、3次元構造を求めた。その結果、加齢に伴う空隙の増加傾向を観測した (Fig. 4)。現在のところ、損傷部位の同定には至っていないが、分解能を更に向上することで、損傷メカニズムを明らかにしていきたいと考えている。

我々は、加齢と共に起こる毛髪内密度低下現象のことを加齢に伴う“毛粗しょう”と呼んでおり、これらは以下のような原因で起こると考えている。1) 美容処理による毛髪タンパク質の流出量が増加すること、ダメージを受けやすい素材に変化すること、2) 加齢による美容習慣の変化、いわゆる白髪染めなどの美容処理の頻度が増加すること、このように素材の変化と美容習慣の変化により、

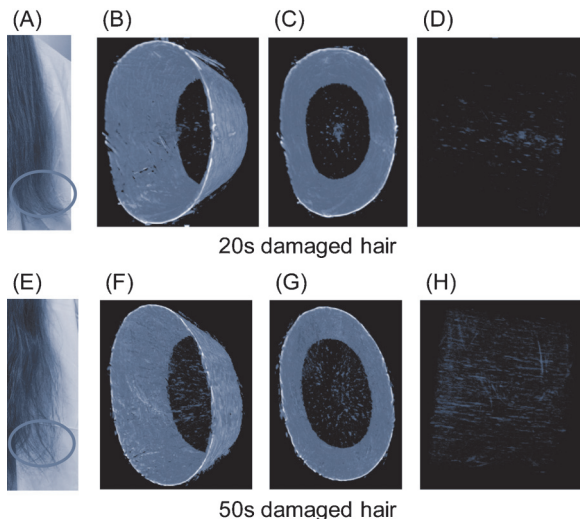


Fig. 4 (Color online) 3D images of human hair using X-ray CT method at SPring-8 (BL24XU)¹³. A–D, 20s damaged hair; E–H, 50s damaged hair. B and F, at 30 degrees angle to fiber axis including cuticles layer; C and G, at 0 degree angle to fiber axis including cuticles layer; D and H, at 90 degrees angle to fiber axis.

毛粗しょうが起これると考えている。

4. おわりに

本稿では、加齢に伴って「髪が傷みやすくなった」と感じる日本人女性の毛髪に対して、加齢による毛髪の変化とその要因を調べた結果を述べた。日本人女性は加齢に伴い毛髪内密度が低下しており、X線CT法を用いた毛髪の内

部構造を観察した結果、加齢に伴い空隙が増加していることが判明した。加齢と共に起こる毛髪内密度低下現象のことを加齢に伴う“毛粗しょう”と呼んでおり、この毛粗しょうは加齢に伴い毛髪内からタンパク質が過度に流出することによって引き起こされていると考えている。

今後、多様化した顧客のニーズに応えるべく、最先端の分析や計測技術を駆使することで新たな現象を解明し、製品の開発に応用していきたい。なお本研究により判明した毛髪内変化に着眼した新たな加齢対応商品の開発を進め、商品化にこぎつけている¹⁰。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人高輝度光科学研究センターの兵庫県ビームライン課題2014A3264で行われた成果である。

参考文献

- 1) 総務庁 統計局 統計表 2014年12月.
- 2) Y. Sakurai *et al.*: JSID 37th Annual Meeting (2012).
- 3) S. Nagase *et al.*: J. Cosmet. Sci. **60**, 637 (2009).
- 4) Y. Masukawa *et al.*: J. Cosmet. Sci. **56**, 1 (2005).
- 5) 西村桂一ら: 日本化粧品学会誌 **13**, 134 (1989).
- 6) N. Yin *et al.*: J. Soc. Cosmet. Chem. **28**, 132 (1977).
- 7) Robbins C.R.: “毛髪の科学” p. 482. (2006).
- 8) L. Ito *et al.*: J. Hair Sci. **115**, 3 (2015).
- 9) L. Ito *et al.*: Fragrance J. **41**, 18 (2013).
- 10) L. Ito *et al.*: SPring-8 Research Frontiers 2014, 94 (2015).
- 11) 特願2014-189502.
- 12) C. Saint Olive Baque *et al.*: Int. J. Cosmetic Sci. **34**, 111 (2012).
- 13) H. Takano *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys. **52**, 040204 (2013).

著者紹介



渡邊 紘介
株式会社ミルボン 中央研究所 基礎研究室 研究員
E-mail: kwatanabe@milbon.com
専門: 毛髪科学
【略歴】
2013年 東京大学大学院博士前期課程修了, 同年 ㈱ミルボンに入社。



高野 秀和
東北大学 多元物質科学研究所 特任准教授
E-mail: hidekazu.takano.c3@tohoku.ac.jp
専門: X線光学, 放射光イメージング
【略歴】
2000年筑波大学大学院博士課程修了 博士(工学), ㈱高輝度光科学研究センター, 日本大学, 兵庫県立大学を経て, 2015年より現職。



鈴田 和之
株式会社ミルボン 中央研究所 基礎研究室 主任研究員
E-mail: ksuzuta@milbon.com
専門: 毛髪科学
【略歴】
2001年 名古屋大学大学院博士前期課程修了, 同年 ㈱ミルボンに入社
2015年 信州大学大学院博士後期課程修了 博士(工学)。



伊藤 廉
株式会社ミルボン 中央研究所 基礎研究室 マネージャー
E-mail: lito@milbon.com
専門: 蛋白質科学, 結晶成長学, 毛髪科学
【略歴】
2008年関西学院大学大学院博士後期課程修了 博士(理学), 関西学院大学, ㈱高輝度光科学研究センター, 2011年㈱ミルボンに入社を経て現職。

3D images of human hair using X-ray CT method with age

Kosuke WATANABE Central Research Institute, MILBON Co., Ltd., Osaka, 534-0015, Japan
Kazuyuki SUZUTA Central Research Institute, MILBON Co., Ltd., Osaka, 534-0015, Japan
Hidekazu TAKANO Graduate School of Material Science, University of Hyogo, Hyogo 678-1297, Japan
(Current affiliation: IMRAM, Tohoku University, Miyagi 980-8577, Japan)
Len ITO Central Research Institute, MILBON Co., Ltd., Osaka, 534-0015, Japan

Abstract Recently interest of the aging effects has been increased in Japanese society but it is still not known much about what happens on the aged hairs. The hair-density measurement revealed that the density of human hair decreases with age, which caused by the flow-out of proteins and peptides from the hairs. According to the results of hair investigation between 20 and 50 years women, effluences of protein and peptide become increasing with the age and the degree of the cosmetic treatment. Further studies based on the X-ray CT show that quantity of voids in hair increases with age, which is thought as the origin of the density decrease.