

複合的な美容施術を受けたダメージ毛髪タンパク質二次構造解析 The Effect of Protein Structure in Hair During the Heat Treatment Using Infrared Microspectroscopy.

馬場 淳史, 菅原 達郎, 鈴木 和之, 小林 和樹, 藤原 暢之, 渡邊 紘介, 伊藤 廉
Atsushi Baba, Tatsuro Sugawara, Kazuyuki Suzuta, Kazuki Kobayashi, Nobuyuki Fujiwara,
Kosuke Watanabe, Len Ito

(株)ミルボン
Milbon Co. Ltd.

毛髪は美しい外観を保つため、パーマやヘアカラーなどの化学反応を伴う美容施術や、ヘアアイロンやドライヤーなどの熱を用いた美容施術が行われており、このような施術を通じて、毛髪がダメージを受けることが知られている。本研究では、これらのダメージ要因を複合的に受けた毛髪に生じた繊維の局所的な変形について、顕微 IR マッピング測定によって変形箇所の内部で生じている化学組成の変化を調べた。その結果、部分的なタンパク質密度の低下によって毛髪繊維の局所的な変形が生じることが示唆された。

キーワード： 毛髪、赤外分光法

背景と研究目的：

毛髪を美しく保ちたいという欲求は、世界共通で存在している。しかし、パーマやヘアカラーなどの美容施術の際に引き起こされる還元剤、酸化剤、アルカリによる化学反応や、紫外線などの光やヘアアイロンまたはドライヤーなどの熱を通じて、毛髪がダメージを受けることが知られている。このようなダメージによって毛髪的美しさが損なわれているという実感を消費者は持っているため、毛髪ダメージを改善し、髪的美しさを保つ消費者ニーズに対応することは重要な課題である。このような観点から、様々な科学的手法を用いた毛髪研究や製品開発が進められている。

美容施術を繰り返し楽しむ人の髪の多くは、ヘアカラー、パーマ、紫外線、熱などによる様々なダメージを受けた状態にあるが、これまでの毛髪ダメージに関する研究では、単一のダメージ要因に着目した報告がほとんどであった。我々は、これらのダメージ要因を複合的に受けた毛髪状態に関する研究を継続的に行ってきたり、そのような研究の中で、毛髪外観に関わる現象として毛髪繊維の局所的な変形を見出してきた(Fig. 1)。毛髪繊維の形状の研究としてはこれまで主に先天性に発生するくせ毛に着目したものが多く[1-3]、毛髪ダメージという後天的な要因による繊維形状変化についての報告は、これまでほとんどなかった。

そこで本研究では、毛髪の大部分を占めるコルテックス内タンパク質の化学情報を非破壊的に検出することのできる顕微赤外分光法（顕微 IR）に着目した。我々は以前に、毛髪内部においてタンパク質の集積度合いの差を可視化する実験手法を確立してきており(2014A1563, 2014B1591)、年齢に伴う毛髪内タンパク質の集積構造の変化を明らかにしてきた[4]。本研究では、複合的にダメージが蓄積することで局所的に変形した毛髪繊維について、内部のタンパク質における化学組成を明らかにすることを目的とした。

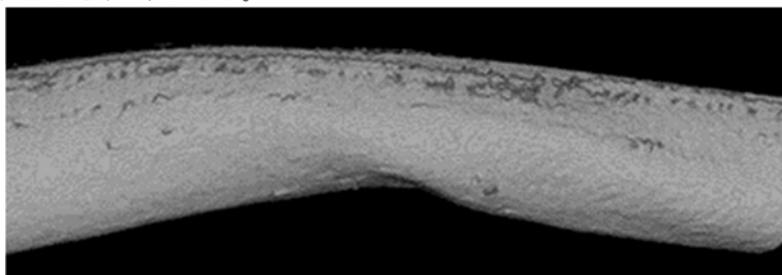


Fig.1 局所的な変形が発生した毛髪の X 線 CT の画像

実験：

事前に局所的な変形が生じている毛髪を選定し、本実験に供した。まず、1本の毛髪の中で局所的に変形した部位とそうでない部位について、マイクロトームで $3\ \mu\text{m}$ の厚さで切片化した。その後、毛髪切片を三次元顕微鏡で観察し、十分な平滑性を確認できた切片について、 $5\times 5\ \mu\text{m}^2$ のアパーチャーサイズで顕微 IR マッピング測定を行った。得られたスペクトルに対してベースライン補正を行った後、毛髪タンパク質由来のアミド I バンド(アミド結合中の C=O の伸縮振動)の吸収ピーク $1650\ \text{cm}^{-1}$ の吸光度を求め、イメージング画像を作成した。また、文献[5]に従い、 $1700\text{--}1600\ \text{cm}^{-1}$ に含まれる複数のアミド I 振動をカーブフィッティング解析にてピーク分離することでタンパク質の二次構造情報を解析した。分離ピークの中で α -ヘリックス構造に由来するピークの面積をアミド I バンド($1700\text{--}1600\ \text{cm}^{-1}$)の総面積に対する相対値として求め、タンパク質二次構造のイメージング画像を作成した(Fig. 2)。

結果および考察：

Fig.2 から局所的な変形が生じている毛髪断面では、部分的にアミド I バンド($1650\ \text{cm}^{-1}$)の吸光度が減少しており、不均一性が確認された。一方で α -ヘリックス相対面積の分布については、一部不均一性をもつ毛髪は存在したものの、不均一性の傾向の確認には至っていない。このことから、タンパク質密度の部分的な低下によって毛髪繊維の局所的な変形が生じることが示唆された一方で、 α -ヘリックスなどの二次構造への関連性は確認できなかった。

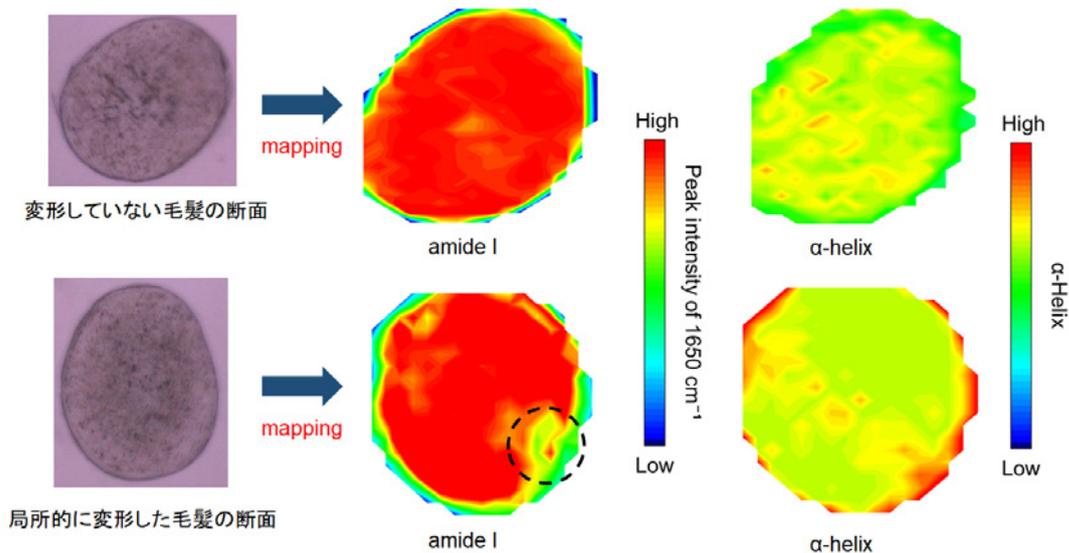


Fig.2 アミド I バンドの吸収ピーク($1650\ \text{cm}^{-1}$)における吸光度とアミド I バンド($1700\text{--}1600\ \text{cm}^{-1}$)の総面積に対する α -ヘリックス構造に由来する分離ピークの面積の相対値 (α -ヘリックスの割合) についてのイメージング画像。

今後の課題

本研究では複合的なダメージによって局所的な変形が生じた毛髪内部の化学組成の変化を調べた。その結果、局所変形した部位でアミド I バンドの吸収ピーク($1650\ \text{cm}^{-1}$)における吸光度の減少が確認されたことから、タンパク質密度の部分的な低下によって毛髪繊維の局所的な変形が生じることが示唆された。これを効果的に改善する手法について、今後さらに検討を進めていく予定である。

参考文献：

- [1] K. Watanabe et al., The 4th Asia-Pacific Conference on Life Science and Engineering (2017).
- [2] K. Watanabe et al., The 24th Conference of the International Federation of Societies of Cosmetic Chemists (2017).
- [3] Y. Kajiura et al., *J. Struct. Biol.*, **155**, 438-444 (2006).
- [4] K. Watanabe et al., *PEPTIDE SCIENCE 2020*, 163-166 (2021).
- [5] H. Yang, et al., *Nat. Protoc.*, **10**, 382-396 (2015)