

毛髪内部構造の評価手法と修復技術の開発

富樫 孝幸*1

1. はじめに

毛髪がダメージを受けることで、手触りの悪化や、枝毛、切れ毛などの不具合が生じやすくなるのが一般によく知られている。これらの毛髪物性や質感の変化は、ヘアカラーやパーマネントウェーブ（パーマ）といった化学的処理だけでなく、日常の美容行為であるブラッシング、ヘアドライヤーやヘアアイロンなど熱を用いた処理、日光への曝露など、様々な要因で生じることが知られている。

毛髪は大まかに、その表面からキューティクル（毛小皮）、コルテックス（毛皮質）、メデュラ（毛髄質）からなる階層構造から出来ており¹⁾、前述のダメージ要因からの各構造への影響に関して様々な評価が行われている。

後述するように、毛髪は複雑な階層構造を持つため、1つの手法で毛髪構造全体の変化を理解することは困難である。複数の手法を組み合わせることでより詳細な評価が試みられているが、各手法によって得られる情報や限界について明らかになっていない点も多く残っており、ブリーチやパーマ処理による構造変化の解明においても、網羅的な結論を出すことは未だ道半ばであるといえる。

本稿では、引張り試験、高圧示差走査熱量測定及び小角X線散乱測定による、毛髪内部コルテッ

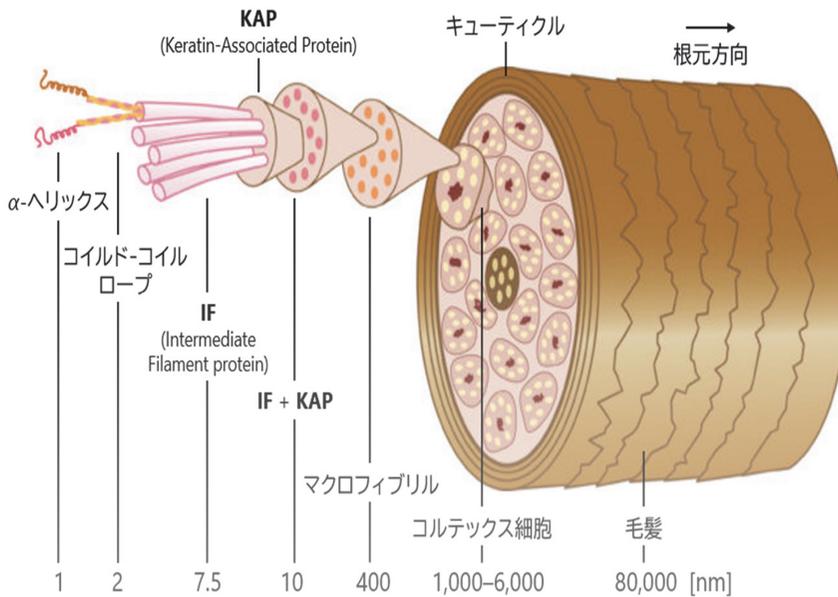
クスの構造変化に関する評価方法を解説しつつ、パーマ処理によって構造変化が生じた毛髪の結晶構造を、元の状態に近づけるための修復処理方法の開発に適用した例を紹介する。

2. 毛髪の階層構造

図1に示すように、毛髪内部構造であるコルテックスは、細胞膜複合体（CMC）に囲まれたコルテックス細胞の集合体であり、毛髪全体の80～85%を占める¹⁾。CMCは根元から毛先まで連続しており、物質輸送のルートと考えられている²⁾。また、コルテックスは板状のキューティクル細胞によって覆われており、毛髪は複雑な階層構造により支えられている。

毛髪のようなケラチン繊維は、硫黄原子を含む様々なタンパク質から出来ている。タンパク質には大きく分けてシスチン含量の低いタンパク質と、シスチン含量の高いタンパク質の2種類があり³⁾、前者はマイクロフィブリルタンパク質、及びその構造から中間径フィラメントタンパク質 Intermediate Filament protein (IF) と呼ばれる⁴⁾。後者はマイクロフィブリルを包埋しているマトリックス物質の構成成分であり、マトリックスタンパク質およびケラチン結合タンパク質 Keratin Associated Protein (KAP) と呼ばれている。

IFを構成するタンパク質は多くの部分、らせん



■図1 様々な倍率で観察される毛髪の構造成分

形状 (α -ヘリックス) を持つ分子量約50,000の分子である。この分子2本が互いに巻いてコイルド-コイルロープ、すなわちIF分子を形成し、さらに一対のロープが集まって4量体となる。この集合体が単位となって、円筒状に8単位が集合し、計32分子でIFを構成しているといわれている⁵⁾⁶⁾。

一方、KAPを構成するタンパク質は、分子量約10,000~22,000で、たたみ合わされて全体がほとんど球形をした非晶性の球状タンパク質であるといわれており⁷⁾、これらが集合してマトリックスを形成し、IFフィラメントを取り囲み、微結晶

グリシンベタイン (GB) による水溶液中タンパク質の構造安定化機構⁸⁾⁹⁾に着目し、毛髪に応用することで、ブリーチやパーマ処理により変性した結晶構造の回復が示唆される構造修復方法を報告した¹⁰⁾。その中で、高濃度のGBでブリーチ処理またはパーマ処理した毛髪を処理する方法を検討した。この方法により、変性したIFタンパク質周囲の水を奪い、エントロピー的に不安定化することで、IFタンパク質が水を吐き出すようにコンパクトで安定な構造へ変化し、その結果として毛髪本来の結晶構造が取り戻される、という修復機

これ以降の閲覧を希望の場合は、本誌をご購読ください。