研究論文: 論文

ヒト生体物質を利用したバイオメモリアル製品の作製

ーヒト毛髪タンパク質による写真類へのコーティングー

杉浦 宏輔、山口 和彦、小林 俊一、藤井 敏弘

信州大学繊維学部

DEVELOPMENT OF BIO-MEMORIAL PRODUCTS FROM HUMAN MATERIALS COATING TO PHOTOGRAPHS WITH HUMAN HAIR PROTEINS

Kousuke SUGIURA, Kazuhiko YAMAGUCHI, Shunichi KOBAYASHI and Toshihiro FUJII

Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, 3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano, 386-8567, Japan

Abstract: Recent advances in visual technology have resulted in a depreciation of the relative value of the photograph. A new type of photograph with some sort of psychological quality may be developed, however, by coating human materials onto a photograph, producing what we call a bio-memorial commodity. Among the various bio-substances that are regularly discarded, human hairs are especially suitable as starting material in this project, because they are peculiar to each individual and easily collected. Both Post-cast and soft Post-cast methods, developed in our laboratory, were utilized to convert human hair protein solution into protein films. We opted to use Print Club photographs as protein-coated samples, since they are available in large quantities and are of consistent quality. In consequence, the coating of human hair proteins on the photographs proved to be excellent in adherence and uniformity. While the protein-coated film prepared by the Post-cast method exhibited a whitish tinge, the film prepared by the soft Post-cast method produced great transparency. Proteins coated on the films remained decomposed, indicating the probability of long preservation. These results suggest the possibility of developing bio-memorial commodities which may offer important business opportunities.

Keywords: human hair protein, protein film, bio-memorial products

1. はじめに

カメラ、レンズ付きフィルム、プリントクラブ写真、デジタルカメラ、カメラ付き携帯電話、ビデオ、プリンターなどの普及と、それらの画像・映像を保存する技術の急速な発展にともない、一枚の写真がもつ価値は相対的に低下してきている。しかし、写真やプリントクラブ写真などの画像に、被写体や関係者の生体物質に由来する成分を追加することができれば、思い出、記念、憧憬、慕情、記憶、懐かしさといった要素が強化されたものになると思われる。既存の画像に、上記の要素を加えた商品を開発できれば、写真のもつ価値を引き上げる一助ともなることが期待される。

製品化に向けたコンセプトとして、以下の項目を想定した。

- ① 元の画像への影響が小さい
- ② 希少な作品となる
- ③ 親密感や一体感がえられる
- ④ 安定で長期間の保存ができる
- ⑤ 個人のみならずグループ単位での作製もできる
- ⑥ 生体物質の採取負担が少ない
- ⑦ 歌手、俳優、スポーツ選手などのオリジナル商品に新しい価値を追加できる
- ⑧ ペットなどへの適用もできる

これらのコンセプトを実現させるために使用する生体物質として、ヒトや動物の毛髪や爪があげられる。この物質は、多くの場合ゴミとして廃棄される生体物質である上に、個人

単位での採取が容易であるという特徴をもつ。中でも、ヒトの毛髪は爪に比べ 10 倍以上の量が生合成されているため採取量が豊富で原材料に適している。毛髪の約 80% はタンパク質であり、その 50% 以上は硬ケラチンが占めている [1-3]。

私たちの研究室では、毛髪から効率の高いタンパク質抽出方法として信大法を確立している [1-3]。この方法により高濃度タンパク質溶液の調製が可能となった。それを受けてフィルム、ファイバーといった加工品の製造に信大法を利用する新規方法を開発してきた [3-5]。その内の、ポストキャスト法によって形成したタンパク質フィルムの多くは、白色から薄茶色で柔軟性に乏しい性質を示すのに対し、ソフトポストキャスト法で作製したフィルムは透明性と柔軟性において優れていた [5]。これは、毛髪タンパク質フィルムがプリントクラブ写真、写真などの画像に付加できれば、新たな価値を備えた製品となることを示唆している。

本研究では、信大法による毛髪からのタンパク質抽出とこれを用いたタンパク質フィルム形成技術を基盤とした。対象として面積が小さく、複数の画像が得やすいプリントクラブ写真を用い、ヒト由来の毛髪タンパク質によるコーティングを行い、良好な結果が得られた。そこで、私たちは、特定の個人、グループ、あるいはペット類由来の生体物質を原料とし、心理・精神的要素を組み入れた加工品を「バイオメモリアル製品」と命名することとした。

古来からの遺髪（の遺髪）の風習に加え、新生児の毛髪を採取し書道の筆を作ったり、不特定な人の毛髪を糸とみなして、刺繍などの工芸品として販売することは知られている。しかし、毛髪をタンパク質のレベルで使用することは少なく、さらに、画像、紙類へコーティングして記憶に残る記念品とする事例は知られていない。つまり、毛髪自体を使用した製品や工芸品ではなく、毛髪に含まれているタンパク質を利用した記念品は、はじめての試みといえる。

2. 実験方法

2.1. 毛髪からのタンパク質の抽出

ヒト毛髪を 99.5%エタノールで洗浄および脱脂処理後、毛髪 80 mg 当たり 1 ml の信大法溶液（2.6 M チオ尿素、5 M 尿素、5% 2-メルカプトエタノール、25 mM Tris-HCl、pH 8.5）を加え、50℃で 3 日間インキュベーションし、タンパク質の抽出を行った [3]。この溶液をろ過し、ろ液を毛髪タンパク質溶液として使用した。

2.2. フィルムの作製

ポストキャスト法とソフト-ポストキャスト法の 2 つの方法を用いてフィルムを作製した [4, 5]。シャーレにプリントクラブ写真を貼り、ポストキャスト法は 100 mM 酢酸緩衝液（pH 4）、ソフト-ポストキャスト法は 40 mM 塩化マグネシウムをそれぞれ展開溶媒としてシャーレに入れ、その中に回収した毛髪タンパク質溶液をキャストし 2 時間静置した後、水道水で 24 時間洗浄した。その後、自然乾燥させフィルムを作製した。

2.3. 分析

タンパク質コーティングを施したプリントクラブ写真の一部を切り出し、信大法溶液を用いてタンパク質の再抽出を行った。再抽出溶液のタンパク質量から、結合したタンパク質量を計算した。タンパク質量の測定には、Bradford 法を用いた [6]。回収したフィルム再抽出溶液 10 μ l に Bradford 溶液 200 μ l を加え、600 nm の波長で吸光度を測定した。フィルムの均一性は、コーティングしたプリントクラブ写真全体に直接 Bradford 溶液を加えタンパク質を染色して調べた。

フィルム構成タンパク質を SDS-ポリアクリルアミド（SDS-PAGE）ゲル電気泳動を用いて調べた。フィルム再抽出溶液を sample buffer で処理し、各レーンに 20 μ l アプライして分析した。ゲル内のタンパク質染色は、クマシー・ブリリアントブルー R-250 により行った [7]。また、コーティングしたプリントクラブ写真を台紙に貼り付け、フィルム厚の測定を行った。3 箇所以上測定し、その平均値を厚みとした。測定には、DIGIMATIC MICROMETER（Mitutoyo Corporation）を使用した。

3. 結果・考察

3.1. 毛髪タンパク質フィルムの画像に与える影響

市販されているプリントクラブ写真上に毛髪タンパク質によるコーティングフィルムを作製し（b, c, e, f）、これとコーティングしていないコントロール（a, d）とを比較した（図 1）。

この作製方法として酢酸緩衝液（pH 4）を用いたポストキャスト法（図 1A）と、塩化マグネシウムを用いたソフト-ポストキャスト法（図 1B）とを使用した。前者の（c）と後者の（e）のフィルム厚はほぼ同じであるにもかかわらず、ポストキャスト法でコーティングした画像（b, c）はコントロール（a）と比べ画像の鮮明さが失われていた。つまり、フィルムの透明性が損なわれていた。しかしながら、白色を帯びているため、コーティングがなされていること自体は明らかであった。ソフト-ポストキャスト法でコーティングした画像（e, f）においては未処理の（d）と比べ、肉眼レベルでは区別がつかず、透明性が保たれていた。つまり元の画像への影響が小さいといえる。

図 1：ヒト毛髪タンパク質でコーティングされたブリクラ画像

a and d, コントロール ; b, 0.1 mg/cm² ; c, 0.2 mg/cm²
e, 0.2 mg/cm² ; f, 0.3 mg/cm²

3.2. フィルム中のタンパク質の分布と結合量

タンパク質を構成しているアミノ酸のアミノ基と結合して青色を呈する Bradford 試薬を用い、コーティングフィルムの染色を行った（図 2）。コントロール（a, d）においては発色が見られないのに対し、毛髪タンパク質でコーティングしたフィルム（b, c, e, f）は青色に染色された。

図 2：図 1 をタンパク質染色した画像

肉眼レベルの試験では、染色の不均一性は観察されないので、毛髪タンパク質はプリントクラブ写真表面を均一に覆っているといえる。なお、肉眼レベルでの評価は著者ら以外 10 名においてなされ、全ての被験者から同一の回答を得た。

次に、透明性に優れたソフト-ポストキャスト法を使用し、キャストタンパク質量を変化させ、コーティングによる結合タンパク質量とフィルム厚との関係を調べた (図 3)。添加タンパク質量の増加に伴い、結合タンパク質と厚みは直線的に増加し、また、x 軸との交点はゼロを通らないことから、タンパク質溶液のフィルムへの状態変化の特性には、臨界濃度 ($0.1 \sim 0.15 \text{ mg/cm}^2$) があることが示された。

ヒトの毛髪の中で頭髮は一日当たり 200~300 mg 頭部で生合成されることから、図 1 と図 2 (c, e) で示した条件においては、その量で 500 cm^2 ほどの面積のコーティングが可能と計算される。これは通常のプリントクラブ写真 100 枚分あるいはサービス版の写真 5 枚分に相当することから、コーティングフィルムを製造するための毛髪の提供負担は非常に少ないものと思われる。これは、生体物質の採取負担が少ないというコンセプトの実現につながっている。

図 3: キャストタンパク量とフィルム厚、再抽出量の相関グラフ

○, フィルムの厚み(mm); ●, 抽出されたタンパク質量(mg/cm²)

3. 3. 構成タンパク質の分析と安定性

一般に、タンパク質の欠点のひとつとして安定性に乏しいことがあげられる。コラーゲンやゼラチンといったタンパク

質を利用し、フィルム化する方法は知られており [8]、これらは再生医療、医用高分子での基材としての利用を期待して研究がなされている。だが、多くのタンパク質フィルムは配向性やキューティクルをもたないため、毛髪と比べて強度、柔軟性ともに低いという欠点がある。このためコーティング後にタンパク質の分解が生じ、フィルムが崩壊する可能性がある。一方、人の毛髪は氷点下から 40℃以上の条件下でも長期間安定に保存される。毛髪はケラチン繊維が規則正しく配向しており、フィブリル構造をとり、キューティクルという鎧に守られているため、安定で機械的強度や柔軟性に優れているといった特性がある。1991 年にオーストリアの雪山で 5000 年前のものとするミイラが発見され [9]、そのミイラには毛髪が残っていたことからそれが裏付けられる。

そこで、ソフト-ポストキャスト法で作製したフィルムを室温で保存し、信大法で再抽出してその構成成分を SDS-PAGE で分析した (図 4)。この結果、1 ヶ月間のみならず 6 ヶ月間にわたり保存したフィルムにおいても 1 日後のフィルムと同様に主成分であるケラチンの目立った分解は見られなかった。

一般にタンパク質は腐敗し分解されやすい欠点を持つため、長期間の保存には向かない。しかしながら、毛髪タンパク質フィルムにおいては安定で長期間保存できる可能性が示唆された。これは、毛髪がもつ安定な性質がコーティングフィルムにおいても保持されていることを示したといえる。

3. 4. タンパク質コーティング技術を利用した用途パターンビジネスモデル

上述したように一日に生合成される量の頭髮から 500 cm^2 程度のフィルム作製が可能で、これに必要な試薬代は、研究室レベルで 5 円 程度と安価である。また、毛髪の採取と利用は、個人、グループのみならずペットなどの動物を対象としても行うことができる。古くは、頭髮は戦地などの危険な場所に赴く武士や兵士の形見がわりに残される場合があったり、また、遺髪として受け継がれる風習が失われていなかったりするため、暗い印象をとまうことがある。これは日本だけではなく、西洋においても頭髮に対する同様のとらえ方があった [10]。

図 4: SDS-PAGE によるフィルム中に含まれるタンパク質構成成分分析

a: 0.29 mg/cm^2 b: 0.43 mg/cm^2 c: 0.58 mg/cm^2 d: 0.72 mg/cm^2 e: 0.87 mg/cm^2

しかしながら、写真もしくはプリントクラブ写真などに、毛髪抽出成分を加工して取り入れることができれば、頭髮につきまとうネガティブなイメージは払拭できるものと考えられる。さらに、毛髪に対する感性が変化してきている現代においては、むしろ「思い出、記念、憧れ、記憶、懐かしさ」といったポジティブな心理的価値を付加することが可能と考えられる。

既存のモデルである、新生児の毛髪から筆を作製するビジネスや中国における毛髪刺繍などでは、毛髪を直接使用しているのに対して、本研究のように毛髪抽出成分を利用する場合は、毛髪の形状、特性にとらわれずに素材としての応用範囲が広がり、様々な用途への適用が可能となる。例えば、新生児の毛髪を用いたケースで毛髪由来のタンパク質を加工する場合には、新生児の毛髪タンパク質でコーティングしたカレンダーの作製、アルバム表紙へのコーティング、ハガキへのコーティング、などの製品が考えられる。その際、授与者は必ずしも家族ではなく、親戚、他者への贈り物としての使用例も想定される。

図 5 に、「個人、グループ、ペット由来の毛髪」、「対象画像」、「授与者、購入者」の諸項目と、想定される用途パターン例を示した。自身の毛髪を使用してコーティングした自分の写真をみずからの記念としたり、家族にとつての思い出の品としたりする用途が例示されている。ペット関連においては現在様々なメモリアル製品が存在するが、ペットの毛によるコーティングは、思い出をより強く想起させる製品も期待できる。また、歌手、俳優などの著名人やスポーツ選手などが、ファンやサポーターへの贈り物とする使い方も考えられる。オリジナル商品や記念品として販売する場合には、新たなビジネスモデルとして展開していく可能性もある。それらは同時に、他の画像よりも付加価値のある、コンセプト中にあるような希少な、新しい価値を備えた製品となることが期待される。写真は観賞用として実用的であり、写真、紙類への毛髪タンパク質コーティングでは、身近に在りながら、毛髪という生体物質を共有することで深い絆、憧れ、記念を感じさせてくれる製品を作製できる可能性がある。

図 5: 用途パターン図

4. まとめ

ヒトの毛髪タンパク質によるプリントクラブ写真表面へのコーティングは、密着性や均一性において優れていることが明らかとなった。ポストキャスト法によるコーティングではプリントクラブ写真画像が白色を帯びているが、ソフト-ポストキャスト法により作製されたフィルムは高い透明性を示した。フィルム中には毛髪タンパク質が分解されない状態で存在しており、長期保存の可能性も示された。

現段階においてコンセプトとして挙げた、①から⑧までの中で、③以外を満たすことができるものと思われる。③の「親密感や一体感が得られる」ことを示すためには実物を使った客観的評価が必要であり、この点は今後マーケティングをも視野に入れたアンケート調査などを展開していく予定である。

本研究によって、世界で初めて、ヒト由来のタンパク質によってコーティングされたプリントクラブ写真、写真、紙類の作製への新たな技術とビジネスモデルへの道を拓いた。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（COE 形成基礎研究費；10CE2003、基盤研究 B；14350495 および 16350123）の助成を受けて行われた。ここに深く感謝する。

参考文献

- 1) Clarence R. R. : Chemical and Physical Behavior of Human Hair, Fourth Edition, pp.1~483, Springer, 2002
- 2) Nakamura A, Arimoto M, Takeuchi K, and Fujii T : A Rapid Extraction Procedure of Human Hair Proteins and Identification of Phosphorylated Species, Biol. Pharm. Bull., 25(5), 569-572, 2002
- 3) 藤井敏弘 : セルフメディケーションに向けたヒト毛髪蛋白質フィルムの創製と販売, バイオインダストリー, 19(12), 22-27, 2002
- 4) Fujii, T., Ogiwara, D. and Arimoto, M. : Conventional Procedures for Human Hair Protein Films and Properties of Alkaline Phosphatase Incorporated in the Film. Biol. Pharm. Bull., 27(1), 89-94, 2004
- 5) Fujii, T. and Ide Y.: Preparation of Translucent and Flexible Human Hair Protein Films and Their Properties. Biol. Pharm. Bull., 27(9), 1433-1436 2004
- 6) Laemmli U.K. : Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4, Nature, 227(259), 680-685, 1970
- 7) Bradford M.M. : A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-dye Binding, Anal. Biochem., 72, 248-254, 1976
- 8) 宮本武明, 赤池敏宏, 西成勝好 : 天然・生体高分子材料の新展開, 1-413, 2003
- 9) 朝日新聞 1991 年 9 月 26 日掲載
- 10) ラッセル・マーチン : ベートーヴェンの遺髪, 12-13, 2001