前田哲夫 岡田正紀 渡辺 博 原 烈

Measurements of Hair Luster by Color Image Analysis

Tetsuo Maeda, Masanori Okada,
Hiroshi Watanabe and Tadashi Hara

Accurate measurements of hair luster on the head (HLH) in situ is not an easy task and no satisfactory method is available at this time.

A new instrumental analysis method called "Color Image Analysis" was developed in this study to overcome the problem. In this method, a ratio of mean brightness in the highlight and adjoining dark portion of the hair image is computed from blue and red color signals. The result was much improved correlation with visual observation, compared with formerly used goniophotometry, since our HLH data included elements of micro-surface condition, macro-state as well as color.

Using this method, effects of changes in the state of hair and usefulness of hair-care products were investigated. We obtained interesting results on the effects of hair-luster preparations and hair coloring. It was clear that our method could be used to accurately determine the difference in hair luster.

1. 緒 言

頭髮つや (HLH) は、ユーザーがヘアケア製品に望む大きなニーズの一つであり、ヘア研究者が製品の効果や有用性を評価していく上での重要な髪特性とされている。日本人女性 119 名で行った我々の調査でも、自分そして他人の頭髮の健康さを判断する時には、HLH を最も重視しているという結果が示された。このように HLH は、ヘア研究者にとって重要な髪特性であるが、それを正確に測定することは容易ではない。

物質のつやの測定法には、鏡面光沢、対比光沢、鮮明度光沢を測定する等のいくつかの方法がある¹⁾。このうち頭髮のつや測定には、頭髮から採取した単繊維毛の正反射強度と拡散反射強度の対比值をゴニオフォトメーターで求める方法²⁾ (以下ゴニオフォトメーター法) が一般的に利用されてきた。

ところが、頭髮は曲面を有する多数の繊維の集合体であるため、単繊維毛の測定結果は必ずしも頭髮の真のつやの状態を反映はしない。また視覚による物質つやの観察は、highlight 部とその周辺の dark 部の比較で評価されると考えられている³⁾ が、ゴニオフォトメーターでこのような測定はなし得ない。そのためゴニオフォトメーターと視覚評価結果との不一致がしばしば発生する。しかしながら、ゴニオフォトメーター法に代替し得る視覚と一致性の高い HLH 測定法は未だ見られないのが現状である。

他方、視覚に代替する種々の特性の測定方法として、ビデオカメラと画像処理装置を用い入力画像を解析する測定法の開発が近年種々の分野で進められている。この画像処理法は、現在主に物体や生体組織の形状あるいはパターン評価に広く利用されようとしている手法である。しかし HLH 測定への応用は未だみられない。

そこで今回、視覚と一致性の高い HLH の機器測定法確立を目的として、カラー画像処理法の開発を試みた。さらに、本法を用いて HLH に影響する頭髮状態の変化やヘアケア製品の有用性についても検討したので報告す

ポーラ化成工業(株)横浜研究所: 横浜市神奈川区高島台 27-1

POLA Yokohama Laboratories: 27-1 Takashima-dai Kanagawaku, Yokohama, Japan

る。

2. 方 法

2.1 Hair Sample

毛束, model wig およびパネラー頭髮を用いた。毛束は黒髪 40g, 30cm を一束として用いた。パネラーは、つやの悩みが多い年代である20歳代の健康日本女性33名を用いた。今回は straight hair 者を中心に選び、irregular あるいは permanent waved hair 者は除外した。

2.2 視覚的つやの評価

熟練した専門評価者5名で実施した。あらかじめ順位配列法⁹⁾にて5段階の異なったつやのモデル毛束を準備し、これとの比較で試料のつやを評価した。毛束はmodel wig の頭髮に固定して測定した。判定は、25°C, 50%湿度下の暗室にて、試料の30°上方から True Light (20W DURO-TEST) の照明下で行なった。光源の位置は、試料表面の照度が 250Lux となるようセットした。

2.3 ゴニオフォトメーターによる物理的つやの測定

視覚的つやを測定した試料の一部から単繊維毛を10～15本採取し、ゴニオフォトメーター(村上色彩研究所)を用いて、光源入射角30°の条件でそれらの正反射値(s)と拡散反射値(d) (reflection angle=0°)を測定した。そして s/d をゴニオフォトメーター値とした。

2.4 カラー画像処理法による物理的つやの測定

視覚的つやの測定後、試料を、その30°上方からの Standard A Luminant (100V 150W Kenko) 照明下にてビデオカメラ (Victor KY-1900) を用いて撮影した。光源の位置は、試料表面の照度が 1500Lux となるようセットした。またビデオカメラは、試料の後方 160cm の位置にセットした。

撮影した頭髮映像は、カラー画像処理装置 (Nexus 6400) を用いて解析した。

Fig.-1 に画像解析システムの概略図を示す。

Fig.-1 Image Analysis System.

カラー画像処理装置により red, green, blue の3原色信号(以下 RGB 信号)に分解された画像情報を種々の方法で検討した。

3. 結果および考察

カラー画像処理装置により red, green, blue の3原色信号に分解された画像情報の解析法にはいくつかの方法がある^{4)~6)}。我々は、頭髮画像の解析法として、(1) Y軸方向の輝度変化を解析する方法、(2)頭髮画像全体の画素濃度ヒストグラムを解析する方法、(3)測定領域をカラーモニター画面上で設定しその領域の平均輝度を求める方法等、いくつかの方法について検討した。その結果、測定領域をカラーモニター画面上で設定しその領域の情報を解析する(3)の方法が種々の複雑な頭髮状態を一定方法で最も簡便に評価でき、かつ視覚評価により類似した HLH 評価が可能であることがわかった。

そこで、頭髮画面上でいくつかの測定領域を設定し、それらの RGB 信号各々の平均輝度値を測定し、これらを R,G,B value として以下の検討に用いた。

3.1 頭髮表面の光反射特性観察および測定領域の決定

予備実験の結果から、視覚とより一致性の高い測定を行なうためには、highlight 部と dark 部とを比較することであると考えられた。本研究ではその部位、さらには視覚がそれらをどのようにとらえているかを決定することが必要であった。

他方、カラーモニター画面上に映し出される頭髮画像では、異なった反射を示す幾つかの部位が観察された。そこで、まずこれらの部位の反射光の特徴を非接触型色彩計 (Minolta CS-100) および ゴニオフォトメーターを用いて明らかにした。

Fig.-2 は、model wig 頭髮の Y 軸方向の明度と色の变化を、 $L^*a^*b^*$ 表色系で示したものである。画面上で観察される highlight 部 (H 部) は、明度が高値を示すが色の影響は最も低い。しかし dark 部 (D 部) はこれ

Fig.-2 Model schema of range of measurement. H, M and D shows highlight portion, medium color. portion and dark portion, respectively.

と逆の結果を示した。一方、画面上で highlight 部に隣接して観察されたやや明るい領域 (M部) は、両者の中間の性質を示した。

他方ゴニオフォトメーター測定により作成した頭髮の反射分布曲線から、highlight 部に正反射光、その上部に内部反射光、さらにその外部に拡散反射による表面反射光の生ずることが示された。

これらの結果から、頭髮からの光反射は以下の3種に分類されることがわかった。

highlight 部 (H部) ; 正反射部。表面光沢色を発生している。

中間色調部 (M部) ; H部とD部の中間に出現する。
髪の色の特徴が正反射光の影響で相殺されている。

dark 部 (D部) ; 拡散反射部。正反射光の影響は小さく、髪の色の影響が支配的である。

dark 部は、Y軸方向の位置によって若干異なった性質を示した。そこで dark 部は、M部に隣接した部位とそこから約80画素離れた部位とに分類した。予備実験の結果から、dark 部のY軸方向の長さは40画素に固定した。highlight 部はカラーモニター画面上で設定した。また dark 部とM部の境界は、Y軸方向の輝度変化や曲線を測定し、そのピークカーブの延長線とベースラインの交点と定めた。

以上の如くして、測定部位として頭髮画像のH部、M部そしてD部をカラーモニター画面上で設定し、各々の領域の平均 R,G,B value (以下 R,G,B value) を求めた。そして、これらの測定値間の差および対比值等を計算し、これらと視覚的つや値との相関を検索した。

3.2 測定パラメーターの特定

3.2.1 明度を用いる方法の検索

つやには、色の要素のうち明度が大きく関与していると考えられている。そこで R,G,B value から、次式を用いて CIE-(x・y・Y) 表色系の明度Yを計算した¹⁾。

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

このようにして求められた明度は、物質の真の明度変化と高い相関を示すことがわかった。そこで、測定パラメーターとして明度Yを用いる方法でパネラー頭髮の HLH 評価を試みた。結果を Table-1 に示した。

その結果、highlight 部単独よりも、highlight 部と dark 部との明度の差、あるいはその対比值が視覚的つや値と高い相関を示した。

最も高い相関を示したのは、highlight 部とM部直下

Table-1 Correlation coefficients between the value of visual luster and calculated value from Lightness.

Calculated value	Coefficient
Part H	0.42
Part H/Part M	0.65
Part H/Part D1	0.77
Part H/Part D2	0.55
Part H-Part D2	0.66

Part D1 : Immediately below Part M.

Part D2 : 80 pixels below Part D1.

の dark 部との対比值を求めた時であり、その相関係数は 0.77 であった。この方法で HLH の測定が可能であると考えられた。

3.2.2 R,G,B value を用いる方法の検討

髪をつや感には髪色が少なからず影響することが知られている¹⁾。従って、上述の方法に髪の色の影響を強調して測定することにより、より視覚と一致性の高い HLH 評価が可能と考えられた。

そこで測定パラメーターとして、髪の色情報を含む¹⁾ R,G,B value を用いる方法についてさらに検討を加えた。

Table-2 に highlight 部とM部直下の dark 部の、R,G,B value 間の対比值と、視覚的つやとの相関関係を求めた結果の一例を示す。

今回の検討で視覚評価と最も高い相関を示したのは、highlight 部に B value、そしてM部直下の dark 部に R value を選び、その対比值、(Bh/Rd) を求めた時であり、その相関係数は 0.93 であった。

以上の検討結果から、HLH の測定パラメーターとしては明度Yを用いる方法より、R,G,B value を用いる方法が有用と考えた。

そして我々は、本法から求められる物理的つや値 (以下 Lph) を以下のごとく定めた。

$$Lph = Bh/Rd$$

この Lph を測定する客観的方法は、HLH の主観的な視覚評価に代替し得る方法であると考えられる。

Fig-3 に、blue および red color 画像と、各々の測定領域の例を示した。

3.3 カラー画像解析法について

つやを評価するとき、「経験のある観測者は、highlight 部を周辺の暗い部分に対比しながらつやを観察す

Table-2 Correlation coefficients between the value of visual luster and the contrast value of Part H/Part D1.

		Part H		
		R value	G value	B value(Bh)
Part D1	R value(Rd)	0.84	0.82	0.93
	G value	0.68	0.74	0.82
	B value	0.36	0.38	0.48

Part H : Highlight portion

Part D1 : Dark portion immediately below Part M

Fig.-3 Blue and Red color images and each measuring range of the scalp hair on color monitor screen.

る」と考えられている¹⁾。今回の検討結果では、highlight部とM部直下のdark部の対比値が視覚的つやと最も良い相関を示した。このことは、HLHが同じ様な方法で観察されていること、そしてこれらの部位を比較する我々の方法が妥当な方法であることを示している。また対比値を用いる今回の方法は、光源や測定カメラの波長特性の差や変化が相殺される結果、分光補正を必要としない⁸⁾、という大きなメリットがある。

今回定めた物理的つやすなわちLphを測定することにより、従来のゴニオフォトメーター法に比し、視覚と一致性の高いHLH測定が可能であった。

その理由を明らかにする目的で、Lphおよびゴニオフォトメーター値がパネラーの頭髮特性9項目(太さ、なめらかさ、明るさ、髪量、白髪、枝毛、パサツキ感、繊維の並びの良し悪し、ヘアフライ)および機器測定項

目(表面形態、水分量、静電気量、測色値、くせっ毛の出現頻度)とどのような関係を有するか調べた。そして、各つや値が髪のような変化をとらえているかを主因子分析、さらに重回帰分析により解析した。その結果、Fig.-4に示すごとく視覚的つや値は、キューティクルの状態が関与するマイクロな表面変化因子、色変化因子そして髪の配列状態が関与するマクロな状態変化因子がその説明因子の上位を占めており、この3因子が視覚的つや値に大きく寄与していることがわかった。

一方、ゴニオフォトメーター値は頭髮状態のマイクロな表面変化因子と色変化因子の2因子のみをとらえ、視覚的つや値の22%しか説明していないのに対し、Lphは視覚的つや値と同様、マイクロ表面変化因子、色変化そしてマクロな状態変化の3因子をとらえており、かつ視覚的つや値の86%を説明していることがわかった。

Fig.-4 The relationship between three values of measurement on hair characteristics. Explanatory factors (variables) of each value of measurement were determined by using factor analysis. The size of each factor represents the degree of contribution calculated by using multi-regression analysis. The number (%) represents explanatory degree to the value of visual luster.

さらに、これら3要素を表面研磨、髪配列攪乱そして脱色などで変化させた毛束を用いたモデル実験でも、これらの3要素の変化にともなってLphは大きく変化すること、そしてLphと視覚測定結果の間には良い一致性の観察されることが示された。

またこのモデル実験において、測定パラメーターBhは、毛束の表面研磨、配列攪乱とともに大きく低下したことからミクロな表面変化とマクロ状態変化が関係しているパラメーターであり、一方Rdは、毛束の脱色とともに大きく上昇したことから色調変化が関係しているパラメーターであると考えられた。これらの結果は、従来のゴニオフォトメーター法に比べ、今回の方法を用いることによりHLHに関係するより多くの頭髮情報が得られることを示している。

他方、highlight部とdark部の測定パラメーターには、明度を選ぶより、各々にB valueとR valueを選んだ時、視覚的つや値とより高い相関が示された。このことは、HLHに髪色が少なからず影響していることを示唆している。日本人の頭髮色はほとんどがマンセル表色系の色相YR領域、すなわち黒色から黄赤色の色分布を示す。この色分布がB valueおよびR valueの選ばれた事実と何らかの関係を有すると推察された。

この点をさらに検討する目的で、つやのあるYR色相のマンセル色票を、明度と彩度を変えて7枚用意し、これらの色票画像のR,G,B valueを測定した。その結果

Fig.-5に示すごとく、黒色から黄赤色への色変化を最も大きな差としてとらえているのはR valueであり、B valueはこの色変化をほとんどとらえていないことがわかった。このことは、色の影響が支配的である頭髮画像のdark部においても、その色変化を最も鋭敏にとらえるのがR valueであることを示している。

一方、highlight部には、頭髮からの正反射部分のみならず一部に拡散反射部分も混在しているが、視覚評価ではこの正反射部分のみが強く知覚される。カラー画像処理法ではこれら2つの反射部分が測定される。このことは、highlight部のR,G,B valueの比がパネラー間

Fig.-5 R,G,B value of Munsell color tips in Munsell Hue 10 YR (yellowish red).

で異なっており, highlight 部にも色の影響が出ていた⁴⁾ ことから明らかであった。B value はこの highlight 部に漏出する黄赤色の影響, そしておそらく光源色の影響も消去して, より視覚に近い測定データを提供していると思われる。

以上のごとく, Bh そして Rd は HLH に対する髪色の影響を最も正確にとらえていると考えられる。

3.4 ヘアケア製品の有用性検索への利用

今回開発したカラー画像処理法は, ヘアケア製品の影響や効果測定にも利用可能であった。以下, その実施例のいくつかを示す。

3.4.1 染毛の影響

HLH に対する頭髪着色の効果を明らかにする目的で, ブリーチで脱色した毛束を市販染毛剤を用いて4色に染毛した。Fig-6 はその時の Lph の変化を示す。

Fig-6 Effect of bleaching on hair luster and effect of dying and oil spraying on the luster of bleached hair (20 min.). Specimens; hair bundles (n=3).

観察した4色のなかでは特に青と緑染色が高いLph上昇効果を示した。これは黄、赤染色に比し, 青, 緑染色のほうが髪の色度をより強く低下するためと考えられる。またブリーチ脱色毛には, つや出し油剤をスプレーするよりも着色するほうがLph上昇効果は大きいことがわかった。

他方, ブリーチ前の黒毛に青染色を行った結果, 青緑染色の程度が強まる程Lphも高くなる傾向を示し, 最大で染色前の1.26倍の上昇が観察された。ゴニオフォトメーター法ではこの上昇は観察されなかった。この観察結果は, いままで一部の人によって「黒髪を青染色すると髪のはつやは増加してみえる」と経験的に感じられてきた

ことが, 事実であることを裏付けている。

3.4.2 つや出し剤の効果

Fig-7 は, 当社ヘアケア製品4品とそれらに用いられている油剤の効果を, 毛束を用いて観察した結果である。

Fig-7 Effect of lustering preparations and oils on hair luster. The value under the abscissa indicates the ratio of after-versus before-treatment. Silicon oil; Methyl-phenyl-polysiloxane. Specimens; hair bundle (n=3).

ラストースプレーとスタイリングジェルには, 高いつや出し効果が観察された。これは, シリコン油が highlight 部の正反射を増加する効果, および髪繊維内部に浸透し dark 部の拡散反射を低下する効果により説明される。

一方これらに比し, ヘアグルームやボマードのつや出し効果は低かった。特にボマード塗布により, ゴニオフォトメーター値は約5倍の上昇を示したが, Lphは変化を示さなかった。視覚観察結果は, Lph測定結果を支持していた。このボマードのつや出し効果の欠如は, 用いられた油剤, 即ち castor oil が dark 部の拡散反射を増加したことにより説明される。

他方パネラーを用いた検討で, ラスターズプレーを頭髪に塗布してもLph上昇効果の観察されないパネラーが存在した。これらのパネラーは, 特にくせ毛の多いことが特徴であった。dark 部の拡散反射を増大させる油剤

がつや出し効果を持たないこと、くせ毛の多い頭髮にはシリコン油などのつや出し油剤の効果が出にくいことがわかった。

3.4.3 コンディショナーの効果

Fig.-8 は、洗浄前後における頭髮つやの変化を model wig を用いて測定した結果である。

Fig.-8 Effect of shampoo and conditioner on hair luster. “After 6 hrs.” in<Shampoo +Conditioner> shows the change after wiping with towel and drying with a drier of same way as<Shampoo only>. Specimens; Model wig.

シャンプー後の濡れた髪では、highlight 部の強い正反射と dark 部の明度低下が視覚的に観察される。しかし髪が乾燥するに従い highlight 部の正反射は低下し、dark 部の明度や髪の配列もシャンプー前の状態に戻る。Lph そして Bh,Rd の変化は、このような頭髮の状態変化を良く再現していた。

またシャンプー単独の時に比べ、コンディショナーの併用は、highlight 部の正反射増加と dark 部の拡散反射低下作用により Lph の上昇をもたらした。コンディショナーの Lph 上昇効果はパネラーを用いた検討でも認められ、Fig.-9 に示すように、特に髪の配列の悪いパネラーで顕著な効果を示すことがわかった。

Fig.-9 Effect of conditioner following shampoo on the luster of different conditions of panel head hair (All: n=15). The value of under the abscissa indicates the ratio of after-(the use of shampoo + conditioner) versus after-(the use of shampoo only).

このようなコンディショナーのつや出し効果は、髪の柔軟化によるマクロ状態改善効果によるものと考えられる。従って、くせ毛等の問題を有する人達のつやの悩み改善には、コンディショナーによるマクロ状態改善のアドバースがなされるべきであると考えられる。

4. 総 括

頭髮つやの主観的な視覚評価に代替しうる機器測定法として、カラー画像解析法を開発した。本法を用いることにより、従来のゴニオフォトメーター法に比し、正確な頭髮つやの測定が可能である。

本法を用いて、頭髮製品のつや出し効果を検索した。また、今まで視覚的あるいは従来法では困難であったいくつかの測定が、我々の方法を用いることにより可能であることを示した。

頭髮つやには、頭髮状態に関する多くの要素が関係している。従って、今回開発した方法は、頭髮の健康状態や頭髮製品の有効性について更に多くの情報を得るために使用できると考えられる。

謝辞 本研究に有益な御助言を頂いた元熊本大学相田貞蔵教授に深謝します。

文 献

- 1) 色彩科学協会編, “色彩科学ハンドブック” p. 391 (1962)
- 2) R.S.Hunter, Res. Nat. Strand., 18 (1937)
- 3) 蓮沼 宏, “光沢” p. 81 (1960) コロナ社
- 4) S.Serikawa, T.Aida, Trans. IECE Japan, E69, 589 (1986)
- 5) 芹川聖一, 相田貞蔵, 熊本大学工学部研究報告, 38, 263 (1989)
- 6) 舟久保登, 電学論D, 68, 949 (1985)
- 7) 佐藤 元, 都築泰広, 宮坂祥夫, 吉野峰生, 三宅文太郎, 瀬田季茂, 科警研報告, 40, 187 (1987)
- 8) 相田貞蔵, 嶋田豊秋, 小鉢光夫, 芹川聖一, 釘澤秀夫, 内村圭一, 電学論C, 109, 67 (1989)
(1991年3月29日受理)