

〔資料〕 初期合成染料が用いられた着物地の光による変退色 —色彩画像解析を用いた評価法の検討—

片渕 奈美香・森 俊夫*・谷田貝 麻美子**

1. はじめに

本研究では、初期合成染料が用いられた明治期の着物地として古裂（こぎれ）を対象に露光試験を行い、光により生じた変退色について新規な手法である色彩画像解析を用いて評価した。

近年、博物館や美術館において、近代染織品の文化財としての重要性が高まりつつあるが、歴史的価値の高い近世以前の染織文化財と比べると、まだ保存修復についての優先順位は低い現状がある。しかし、こうした近代染織品に用いられている合成染料をはじめとする当時の新規な素材には、光や湿潤などの様々な外的要因に対して、非常に脆弱なものがあることは経験的に認識されており¹⁾、保存修復に関わる研究が求められている。CIE（国際照明委員会）では、収蔵品の素材によって、光に対する応答度を4つのカテゴリーに分類し、許容される年間限界露光量を定めている^{2,3)}。本研究で対象とする初期合成染料は、このカテゴリーにおいて、高応答度で分類されていることから、文化財に用いられている素材の中で、とくに光に対して不安定な素材であるといえる。染料の変退色は、文化財の劣化の中でも初期に発生するものであり、その外観に及ぼす影響も大きい。こうした点を踏まえて、本研究では、文化財の保存修復・展示に関わる外的要因の中でも、とくに重要と考えられる光の影響について調べた。

合成染料の歴史は、英国における Mauve の発明（1856）に端を発し、これを契機として、有機合成化学の発展に支えられ、欧州を中心に染料工業が発展した。合成染料は、日本では明治期に入ってから本格的に使用され始め、鮮明な色調が容易に得られること、伝統的な天然染料と比べると安価で安定的に供給できることなどから、短期間のうちにそれまでの天然染料に取って代わった。さらに天然染料の代替品としてだけでなく、写糊の技法（合成染料と糊を混合したもので捺染する方法、色糊と呼ばれることもある）による多彩で複雑な文様の型友禪⁴⁻⁸⁾も生み出された。合成染料特有の鮮明な色調や、写糊によって形作られる意匠の面白さを有する明治期の着物地は、現在では、美的価値の高いものとして捉えられている。

こうした着物地を長期的に保存するためには、外的要因に対する変退色の評価が欠かせない。本研究では、当時の着物地として現存する多色柄の古裂を試料とし、露光試験を行った。多色柄の試料布の変退色評価には、従来の測色計を用いる評価法が必ずしも適用できない。また、測色計を用いる測定では、試料布の状態（柄の大小、表面の凹凸、色むらなど）によって測定値が影響を受けるため、とくに測色可能な一定面積を単色で有しないものは、評価することが難しい。さらに、1枚の布の中に複数の色調が含まれる試料布全体の変退色を一度に評価することはできない。こうした理由から、本研究では、森ら⁹⁾による色彩画像解析の手法を用いた。ここで用いた色彩画像解析は、カラーキャナを用いて取り込んだ画像サイズを自由に変更することで、試料布全体でも特定の部分でも解析対象とすることが出来る。本研究では、この特徴を生かして、解析対象を試料布全体とし、色彩画像解析によって得られる色彩情報量の変化

*東京家政大学大学院人間生活学総合研究科、**千葉大学教育学部

を、異なる露光段階ごとに比較することで、光によって生じる古裂の変退色の詳細について調べた。

2. 実験

2-1. 試料布

2-1-1. 古裂試料布

露光試験に用いた古裂試料3点（A-C）を表1に示す。文様は、伝統的によく用いられる楓や菊花などで、技法は、写糊や暈しであった。織組織は、明治期に主流の縮緬であったとされる二越縮緬^{7,10)}で、二越縮緬とは緯糸に強撚糸の右撚りと左撚りを2本ずつ交互に織り込んだものである。露光試験に先立ち、これら古裂試料について予め材質分析（繊維の鑑別と染料分析）を行った。

【1】繊維の鑑別：古裂試料はいずれも縮緬であるため、絹のみから成るとされる。その確認のため、次の2つの方法を行った。①溶解法：35%塩酸（室温）および5%水酸化ナトリウム（煮沸）に溶解性の有無¹¹⁾の確認、②顕微鏡法：光学顕微鏡による繊維側面の観察を行った。

【2】染料部属の鑑別：染料分析では、染料を同定することが重要である。天然染料の場合、既知染料との比較により、染料の同定¹²⁾が行われているが、合成染料の場合は、同定の根拠となる既知染料の種類や構造が多岐に渡っており、同様の方法が容易に適用できない。そのため、染料部属の鑑別を行った。染料部属とは、繊維への染着性や染色法による分類であり、染料部属から染料の大まかな特性を把握することができる。

本研究では、古裂試料の構成色の中でも赤および紫色を対象に、異なる色調ごとに試験片（約10 mg、およそ1 cm角に相当する大きさ）を採取し、各試験片について、主にJIS L1065（1999および1963）「染色物の染料部属判定方法」に準ずる方法で染料部属を鑑別した。鑑別の原理は、各種溶媒（水、有機溶媒、酸、アルカリ）による染料抽出の有無、各種繊維に対する染着性の有無、液性や酸化還元による脱色・復色に基づくもので、方法の詳細は既報¹³⁾の通りである。予め行った材質分析の結果、古裂試料は、すべて絹から成り、古裂の構成色の中で、赤色部分は酸性染料、紫色部分は塩基性染料であった。

表1 露光試験に用いた古裂試料布

試料名	古裂 A	古裂 B	古裂 C
			
文様	楓	菊花、流水など	楓
技法等	写糊、暈し	写糊、暈し	写糊、暈し
織組織	二越縮緬	二越縮緬	二越縮緬

2-1-2. 無地染色布

測色計を用いて測定した色彩情報と、色彩画像解析により算出した色彩情報を比較するための試料布として、市販の単色綿布50種を用いた。

2-2. 露光試験

露光試験は、JIS L0843 (2006)「キセノンアーク灯に対する染色堅ろう度試験法」の第5露光法を参考に行った。積算露光量が、ブルースケール4級が標準退色する 3800 kJ/m^2 に達した時点で露光を終了したが、試験前後で照度計の校正を行い、画像を取り込んだ積算露光量は実際の値に換算した(図1)。

キセノンフェードメータ(X15F, スガ試験機)を用いて、積算露光量が 3344 kJ/m^2 に達するまで古裂試料を露光した。放射照度 $27 \pm 3 \text{ W/m}^2$ (300~400 nm), 用いたフィルタは、内側は石英, 外側はホウケイ酸ガラスである。試験片は、試験ホルダの窓の大きさ(41×51 mm)より一回り大きいサイズに裁断したものを中性厚紙(特殊東海製紙株式会社製)に固定し、試験片ホルダに取り付けた。露光中の槽内環境は、ブラックパネル温度 $63 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, 温度 $43 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, 相対湿度 $33 \pm 6 \text{ \% RH}$ であった。図1に示すように、露光前ならびに露光終了までの間、積算露光量が一定値に達するごとに試験片を取り出し、画像の取り込みを行った。

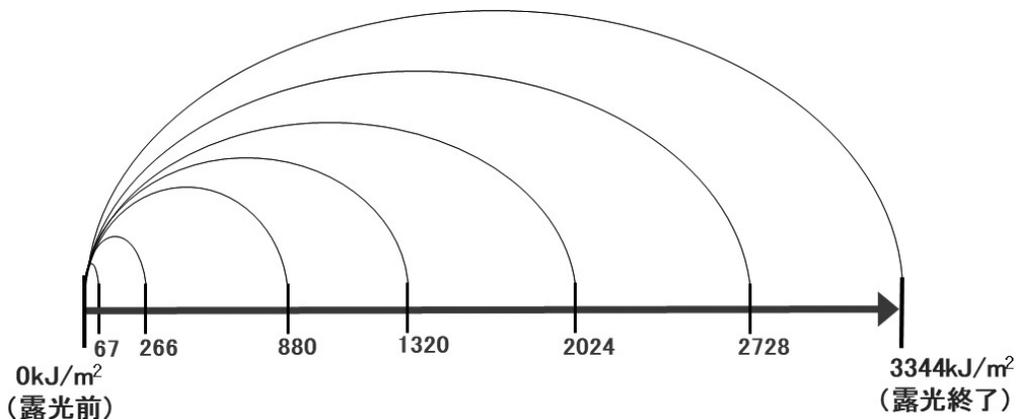


図1 試料画像の取り込みを行った時点の積算露光量

2-3. 色彩情報の取得と変退色評価

2-3-1. 測色

変退色の評価に先立ち、測色計を用いて取得した色彩情報 ($L^*a^*b^*$ 値) と、後述する色彩画像解析により算出した色彩情報 ($L^*a^*b^*$ 値) の対応を調べた。用いた値は、次のように測定した。分光測色計 (CM2002, Minolta) を用いて、 D_{65} 光源, 2° 視野の条件で無地染色布を測定し、 $L^*a^*b^*$ 値を得た。布は光を透過するため、測定値は布の重ね枚数や下敷きの影響を受ける。前述した露光試験では、古裂試料を中性厚紙に固定した状態で画像の取り込みを行った。条件を揃えるため、測定する染色布の下に同じ中性厚紙を敷いた状態で、3カ所測色し、平均値を得た。

2-3-2. 色彩画像解析

評価には、CIE $L^*a^*b^*$ 表色系における $L^*a^*b^*$ 値を尺度として用い、色彩画像解析によ

り各値を得た。色彩画像解析の手順を図2に示す。主な手順は、①カラーキャナによる画像の取り込みと保存、②取得した色彩情報 (sRGB) を $L^*a^*b^*$ 値へ変換、③各値の分布をヒストグラムで図示、である。

本研究では、市販のカラーキャナ (Canon 9000F Mark II) を用いて、異なる露光段階の試料画像を解像度300dpi、 440×570 pixels のサイズで取り込み、保存した。次に、保存した画像の持つ色彩情報 (sRGB) を画素ごとに $L^*a^*b^*$ 値の各値に変換した。さらに、画素ごとの $L^*a^*b^*$ 値の分布をヒストグラムで図示し、積算露光量の増加に伴う各値のヒストグラムの形状とピーク値の変化を比較した。

変換は、森ら⁹⁾の方法に従い、変換式は以下の通りである。

まず、試料画像の画素ごとの色彩情報 (sRGB) を下記の式により、XYZ に変換した。

$$R' = f(R/255)$$

$$G' = f(G/255) \quad X = 0.4124 R' + 0.3576 G' + 0.1805 B'$$

$$B' = f(B/255) \quad Y = 0.2126 R' + 0.7152 G' + 0.0722 B'$$

$$x \leq 0.04045 \text{ のとき} \quad Z = 0.0193 R' + 0.1192 G' + 0.9505 B'$$

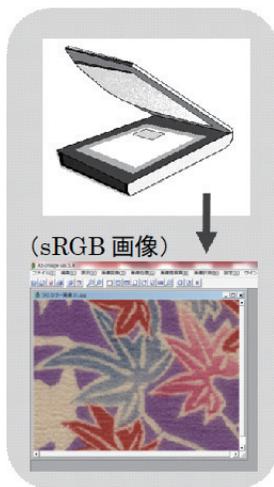
$$f(x) = (1/12.92)x$$

$$x \geq 0.04045 \text{ のとき}$$

$$f(x) = \{(x + 0.055)/1.055\}^{2.4}$$

次に、XYZ を下記の式により、 $L^*a^*b^*$ 値に変換した。

①スキャナによる試料
画像の取り込みと保存
(sRGB の取得)



②値ごとに変換
(sRGB → $L^*a^*b^*$ 値)



③ヒストグラムで図示
(値ごとにピクセルの数を集計)
*単色の場合は平均値を算出

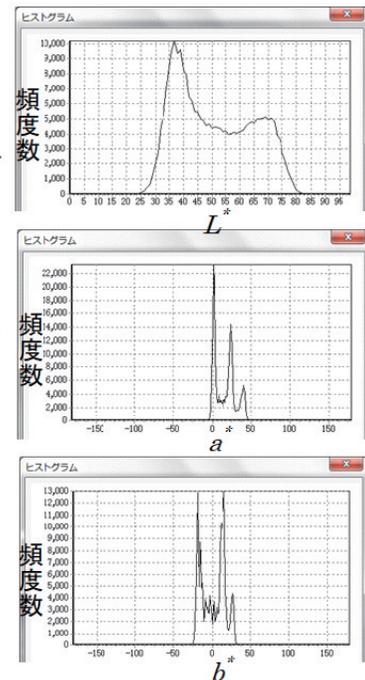


図2 色彩画像解析の手順

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

$$X_n = 95.045 \quad Y_n = 100 \quad Z_n = 108.892$$

3. 結果と考察

3-1. 測色計と色彩画像解析から得られる色彩情報 ($L^*a^*b^*$ 値) の対応

色彩画像解析では、カラスキャナを用いて試料画像を取り込み、変換した色彩情報を用いて評価を行う。得られた値 (sRGB) は、機器の特性、照明や受光条件、試料布の凹凸などの幾何学的特性に依存して、測定値が変化する可能性がある。そのため、まず単色布を用いて、評価に用いる $L^*a^*b^*$ 値の各値について、測色計を用いて得られた値と色彩画像解析から変換した値の対応を調べた。測色計による測定から得られた $L^*a^*b^*$ 値を横軸に、色彩画像解析から得た AVE- L^* 、AVE- a^* 、AVE- b^* 値 (ここでは、試料布が単色であることから、ヒストグラムで図示せず、平均値を算出した) を縦軸に、プロットしたものを図3に示す。図から明らかなように、両者の間には総じてよい直線関係が見られた。しかし、 b^* 値は、他の値と比較して相関係数が若干低くなった。 b^* 値のみ値がばらつきやすい理由としては、キャナの光源や試料布の特性などが考えられるが、原因は不明である。ただし、相関係数などから評価に影響を及ぼすほどの差異ではないと判断し、色彩画像解析から得られた色彩情報 ($L^*a^*b^*$ 値) を古裂試料の変退色評価に用いても問題ないことを確認した。

3-2. 露光による古裂試料の変退色

3-2-1. 古裂全体の変退色

露光による古裂試料の変化を表2に示す。表には、変化が分かりやすいように露光前、露光中 (積算露光量が880 kJ/m²時点)、露光を終了した3344 kJ/m²時点に取り込んだ画像を選択して示した。表2から分かるように、露光が進むに従って、赤色部分にはあまり変化がないが、紫色部分には顕著な変化が確認された。また、退色だけでなく変色も起こっていることが目視において観察された。事前に行った染料分析の結果、紫色部分に見出された塩基性染料は、絹に染めた際の染色堅牢性に乏しいとされる染料部属である。紫色が用いられる明治期の着物地は、とくに光に注意する必要があることが分かった。今回、露光に供した試験片は、およそ4×5 cmほどの面積であるが、このような小さい面積でも色の変化が明確に観察できたことから、例えば着物の状態など、さらに広い面積で色調の変化が起こった場合、人が感じる印象の変化はさらに大きくなることが推測される。

続いて、色彩画像解析によって得た色彩情報 ($L^*a^*b^*$ 値) について、画素ごとの各値の分布を表したヒストグラムを用いて変退色を評価した。露光に伴う、古裂試料の色彩情報量 ($L^*a^*b^*$ 値) の露光による変化を図4.1, 4.2, 4.3にそれぞれ示す。ヒストグラムの横軸は $L^*a^*b^*$ 値の各値を、縦軸は各値の頻度数 (ピクセルの分布) を示す。なお露光に伴うヒストグラムの変化が分かりやすいように、図には、露光前、露光中、露光後のものを選択して示した。

まず典型的な例として、図4.3に示す古裂Cのヒストグラムの変化について説明する。古裂Cの試験片は、構成色がほぼ赤色と紫色であることから、ヒストグラムにみられる色調ごとに分かれた2つのピークを用いて、露光による変化が容易に比較できる。図4.3に示すように、明度を表す L^* 値のヒストグラムでは、露光が進むと、 L^* 値が大きい画素が増加した。また部分的に高強度側にシフトし、ヒストグラムの形状が変化した。変退色が試料布の中で一様に生

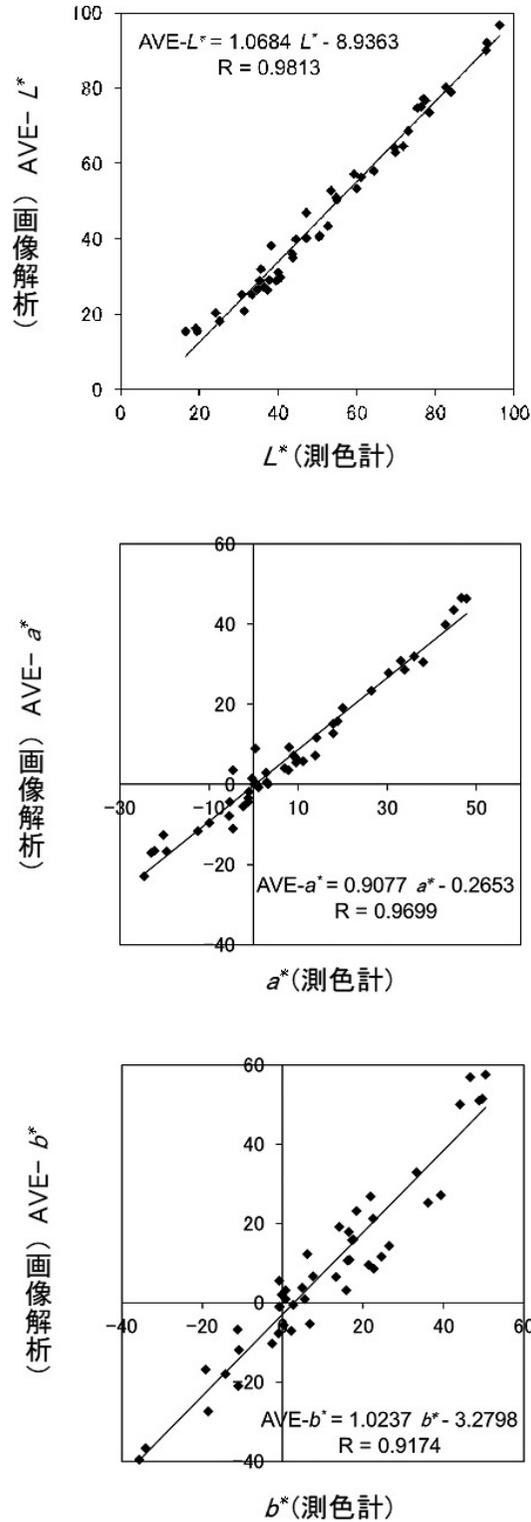
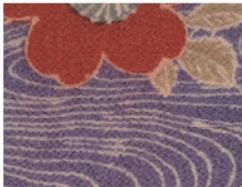


図3 色彩画像解析および分光測色計により得られた色彩情報 ($L^* a^* b^*$ 値) の対応

表2 露光による古裂試料の変化

	露光前 (0kJ/m ²)	露光中 (880kJ/m ²)	露光後 (3344kJ/m ²)
古裂 A			
古裂 B			
古裂 C			

じれば、ヒストグラムの形状は変化せずに高明度側にシフトする。このことから、露光により古裂試料に生じた変退色が一樣ではないことが読み取れる。さらに、色相と彩度を示す色度である a^* 値および b^* 値では、赤色部分（酸性染料）を示すピークがほとんど変化しないのに対し、紫色部分（塩基性染料）を示すピークが大きく変化した。

次に、古裂 A と古裂 B のヒストグラムの変化について説明する（図4.1, 4.2）。これら2つの古裂は、本研究で対象とした色調以外の色が含まれているため、赤色や紫色以外の色調に由来するピークが見られた。したがって、先に説明した古裂 C のヒストグラムより複雑な形状になった。図4.1および図4.2から分かるように、 L^* 値のヒストグラム、 a^* 値および b^* 値のヒストグラムの変化については、先に述べた古裂 C と同様の傾向が見られた。

このように、異なる染料が1枚の布の中に存在する多色柄の古裂試料では、色調ごとに生じる変退色が一樣ではないことから、露光が進むに連れて、古裂試料全体の外観が大きく変化する。このため、着物地の本来の意匠が大きく損なわれることが懸念される。近代染織品の色調を保持するためにも、今回用いた古裂試料のような、実物資料の変退色に関わる知見を蓄積する必要があると考える。また、人の目は、色調ごとに変退色を認識しているわけではなく、試料全体としてその変化をとらえている。色彩画像解析から得られるヒストグラムを用いることによって、着物地全体の変化を包括的に捉えることができた。

3-2-2. 色調ごとの変退色

次に、赤色および紫色の部分ごとに生じた変退色の詳細を見るために、 $L^*a^*b^*$ 値の中から、色相と彩度を示す色度である a^* 値と b^* 値の各値を用いて、露光に伴う色調変化の詳細を追っ

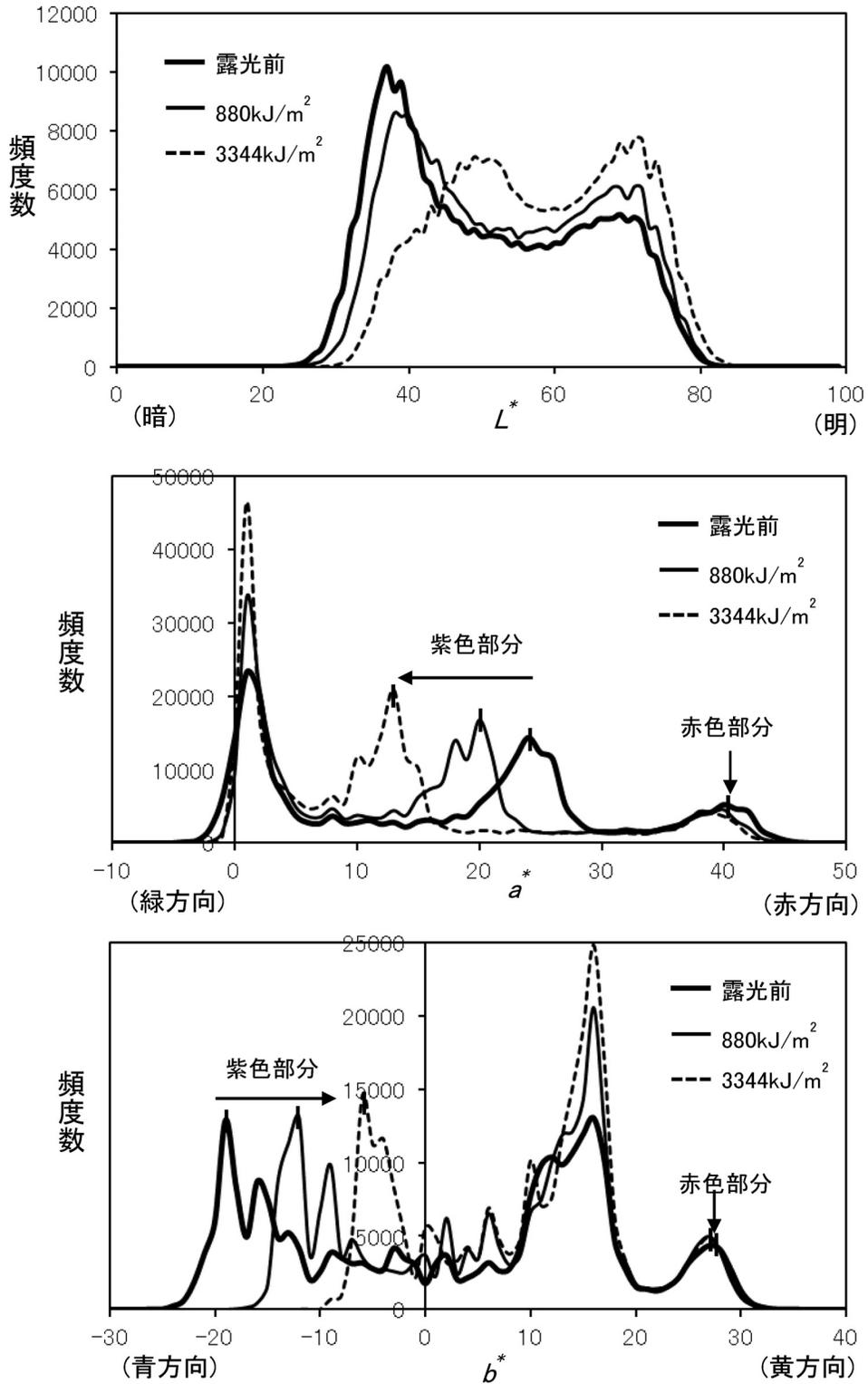


図4.1 古裂Aの露光による色彩情報量 ($L^*a^*b^*$ 値) の変化

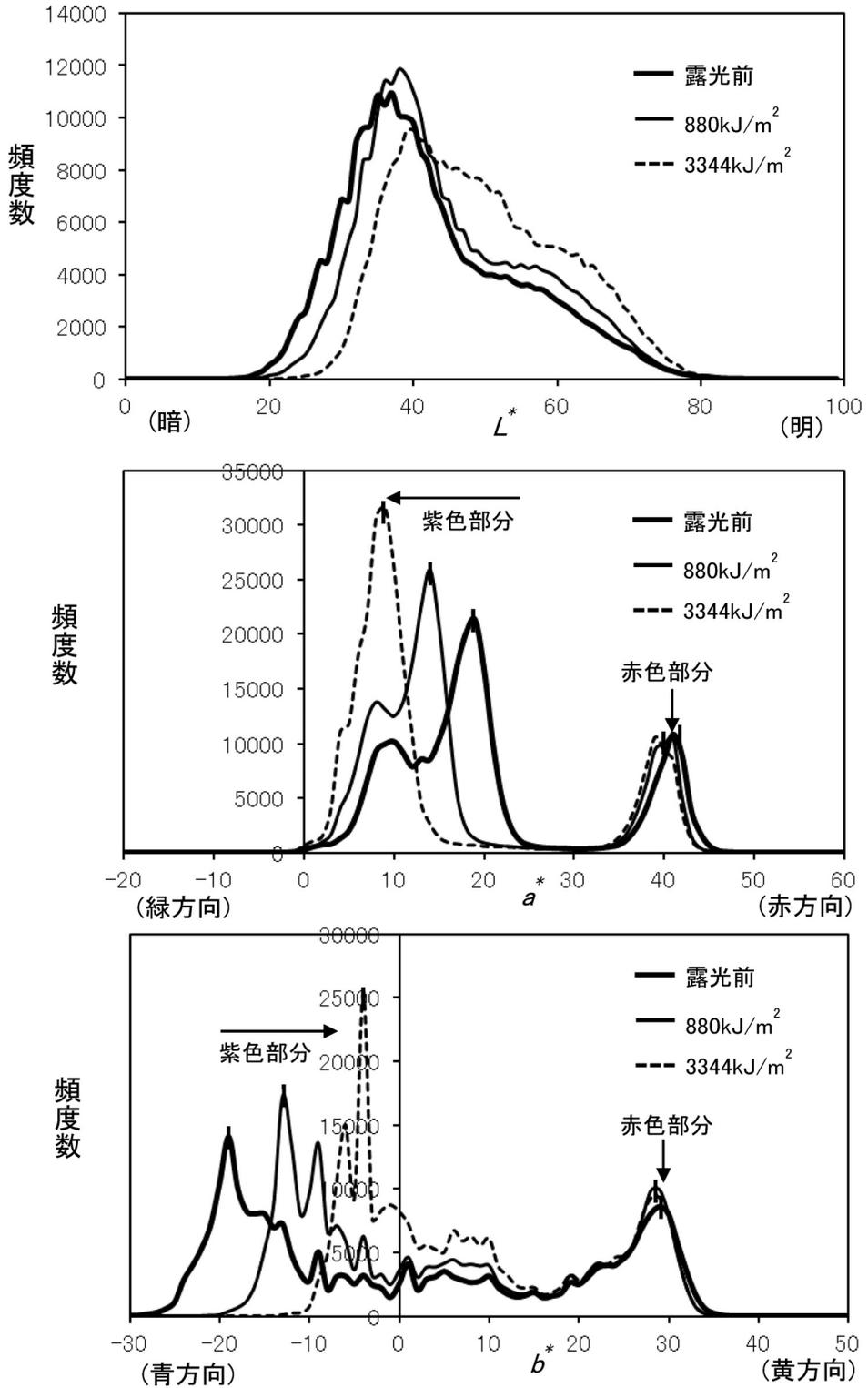


図4.2 古裂Bの露光による色彩情報量 ($L^*a^*b^*$ 値) の変化

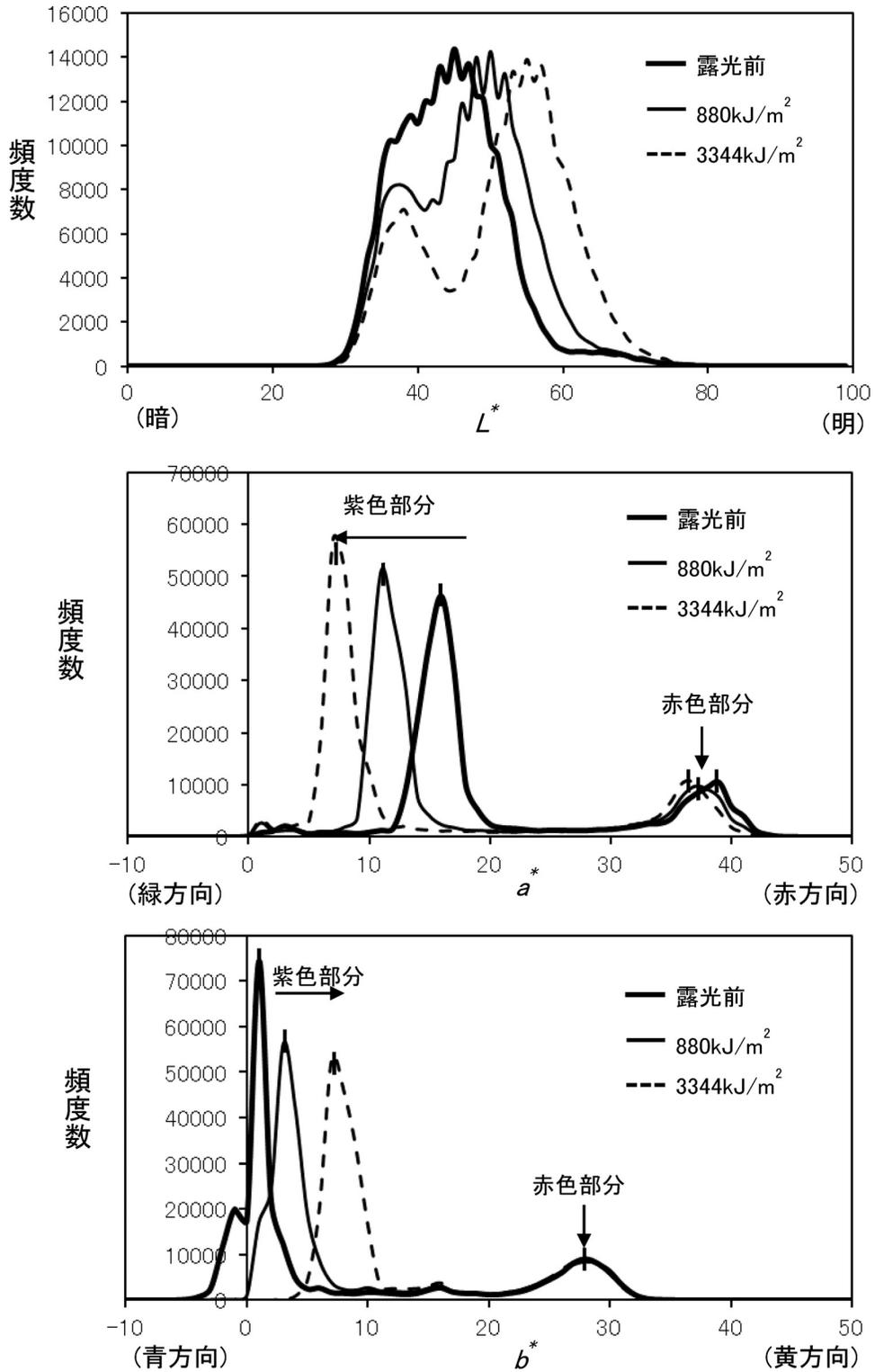
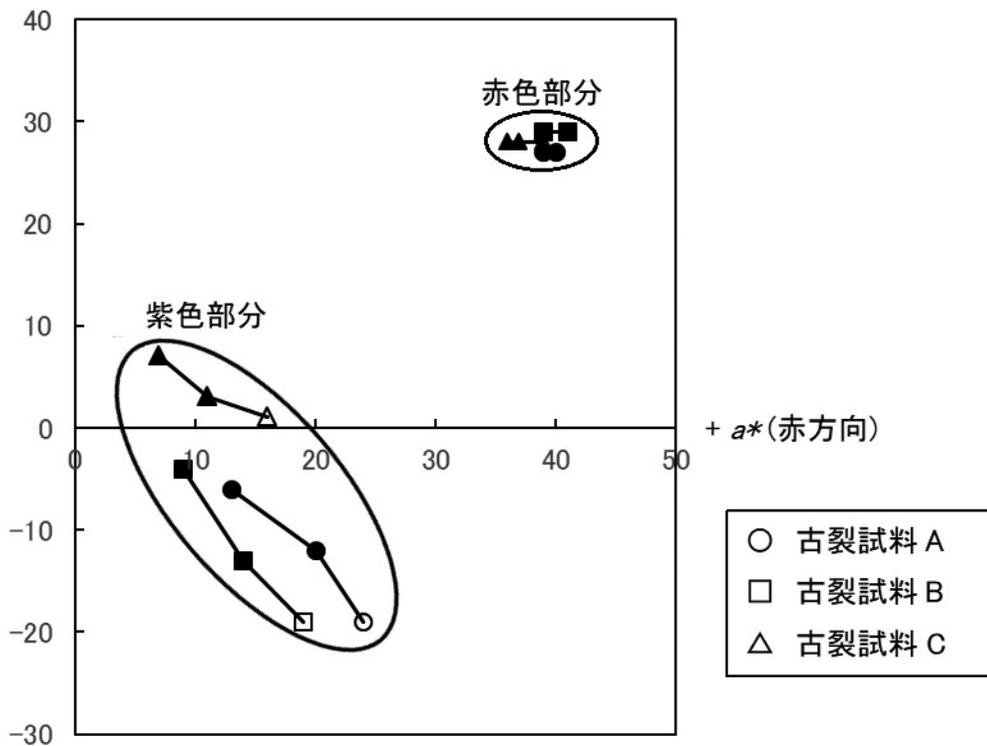


図4.3 古裂Cの露光による色彩情報量 ($L^*a^*b^*$ 値) の変化

+ b^* (黄方向)



*白抜きのマーカーは未露光布の値

- b^* (青方向)

図5 古裂の赤色部分(酸性染料)および紫色部分(塩基性染料)に生じた露光による色相と彩度(a^* , b^* 値)の変化

た。ヒストグラムにおいて色調ごとに分かれたピークから各値を読み取り、 a^* 値および b^* 値を色座標上にプロットしたものを図5に示す。縦軸は b^* 値でプラス側が黄方向、マイナス側が青方向を、横軸は a^* 値でプラス側が赤方向を示す。図中の白抜きのマーカーは露光前の値である。

図5からも分かるように、赤色部分と紫色部分に生じた変退色の程度には、顕著に違いが見られた。各色調について変退色の詳細をみると、赤色部分は a^* 値が若干減少し、 b^* 値はほぼ変化しないことから、赤味がわずかに減ったことが分かる。また紫色部分は、 a^* 値が減少し、 b^* 値が増加したことから、赤味と青味が減って、黄味が増加したことが読み取れた。このことから、古裂3点共に、赤色部分は、若干赤色が減り、紫色部分は黄色方向に変色したことが分かった。ヒストグラムにより、試料布全体の変化をとらえた上で、ピーク値の変化を追うことで色ごとに生じた変退色の詳細を個別に評価できた。

以上の結果をふまえて、本研究で用いた色彩画像解析を染織文化財の変退色評価へ適用する可能性について検討した。一般的に染料の変退色評価は、均一な単色のサンプル布を用いて行われることが多い。本研究では、現存する多色柄の着物地を評価する方法として色彩画像解析を用い、得られたヒストグラムやピークの値を用いて、光による変退色を評価した。染織文化財の変退色を評価する場合でも、1枚の布の中に存在する複数の染料、異なる複数の染色技法、

制作されてからの経年変化、汚れなどの多くの要因を考慮する必要がある。こうした不均一な試料布を目的に合わせて総合的に評価する方法として、色彩画像解析は有効であると考えられる。さらに、変退色のような一連の変化を追う場合、とくに不均一な試料においては、常に同じ位置を測定する必要がある。筆者は、試料画像の特定の部分を切り抜いて解析する場合の検討も行っており¹⁴⁾、小さな面積であっても、画像を切り取る場所を目視で可能な限り同じにすることで、精度よく変退色の評価が行えるという結果を得ている。画像を切り抜く操作は、画面上で行えるため、装置を毎回同じ位置に固定して測定するよりも正確性が高いと思われる。このことも色彩画像解析の利点の一つであると考えられる。

また、今回用いた着物地は平面の試料であるため、色彩情報 (sRGB) の取得にカラーキャナを用いた。sRGB は、現在、プリンタ、モニターなどの PC 周辺機器で多く採用されている汎用性の高い国際的な標準規格であり、デジタルカメラからも取得可能である。デジタルカメラを使用すれば、立体物やさらに大きな作品についても評価することが出来ると考えられるが、キャナを用いる場合よりも、測定値が撮影時の周辺環境の影響をさらに大きく受ける。デジタルカメラを使用する場合は、照明や温湿度が一定に保たれている展示室などで、展示作品の定期的なモニタリングやコンディションの確認などに用いられる可能性があるのではないかと考える。

4. まとめ

明治期の初期合成染料が用いられた着物地を対象に露光試験を行い、光により生じた変退色について、色彩画像解析を用いて評価した結果、次のような知見を得た。

①着物地の赤色部分 (酸性染料) と紫色部分 (塩基性染料) に光により生じた変退色を比較すると、紫色部分に生じた変退色が顕著に大きく、紫色が用いられている明治期の着物地は、とくに光に注意する必要があることが分かった。

②多色柄の着物地の光による変退色を、色彩画像解析を用いて評価した結果、ヒストグラムの変化を追うことで、着物地全体の変退色を一度に捉えることができた。

③色彩画像解析から得られたヒストグラムにおいて色調ごとに分かれたピークの値の変化を追うことで、色ごとの露光による変退色の詳細を個別に評価することができた。これらのことから、多色柄の着物地の変退色評価に色彩画像解析が有効であることが分かった。

本研究で行った露光試験は、東京学芸大学の生野晴美教授にご指導頂いた。ここに感謝の意を表す。また本研究は、東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科学位論文「初期合成染料が用いられた着物地の染料分析と染色堅牢性評価」(2016) (未公開) の内容を一部含み、日本衣服学会第66回年次大会において発表した。

引用文献・参考文献

- 1) Maria C. Thiry; protecting the textile past, AATCC Review, 4(9), 37-41 (2004)
- 2) 国際照明委員会技術報告書 (CIE-157-2004) Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation
- 3) 日本照明委員会: 博物館展示物の光照射による損傷の抑制 (CIE-157-2004: 日本語訳)
- 4) 神谷栄子; 明治の型友禅一千總の見本裂調査を主として一、MUSEUM、69、27-31 (1956)
- 5) 神谷栄子; 明治の型友禅一千總の見本裂調査を主として一、MUSEUM、71、27-31 (1957)

- 6) 長崎巖；“明治・大正・昭和の着物”、日本の美術、至文堂、71-80 (2002)
- 7) 長崎巖；別冊太陽 骨董をたのしむ7 縮緬古裂、高橋洋二編、平凡社、149-153 (1995)
- 8) 大谷みちこ；縮緬変化、京都書院、75-198 (1998)
- 9) 森俊夫、遠藤善道、小見山二郎；カラスキャナによる色柄布の測色とその洗浄性評価への応用、繊維製品消費科学、52 (5)、317-322 (2011) ほか
- 10) 竹内淳子；別冊太陽 骨董をたのしむ7 縮緬古裂、高橋洋二編、平凡社、154-155 (1995)
- 11) Timar-Balazsy, A. and Eastop, D.; Chemical Principles of Textile Conservation, Butterworth-Heinemann, Oxford, 381-405 (1998)
- 12) 石井美恵、長崎巖、伊藤紀之、齊藤昌子；天然黄色系染料の高速液体クロマトグラフィーによる分析と近世小袖裂の黄系、緑系染色布の染料同定、文化財保存修復学会誌、49、41-58 (2005) ほか
- 13) 谷田貝麻美子、片瀨奈美香；明治時代の縮緬に用いられた初期合成染料の鑑別、日本家政学会誌、59、847-855 (2008) ほか
- 14) 片瀨奈美香、生野晴美、森俊夫、谷田貝麻美子；画像解析を用いた幕末・明治時代の着物地の耐光堅牢性の評価、日本家政学会第66回大会研究発表要旨集、104 (2014)

キーワード：変退色 (discoloration and fading)；色彩画像解析 (color image analysis)；染料部属 (dye class)；塩基性染料 (basic dye)；酸性染料 (acid dye)

Light-induced Fading on Kimono Silk Fabrics Dyed with Early Synthetic Dyes: Evaluation of a Color Image Analysis Method

KATAFUCHI Namika, MORI Toshio* and YATAGAI Mamiko**

On kimono silk fabrics used in the Meiji era are found bright colors created by the use of new dyeing methods such as stencil printing, which was enabled by the invention of synthetic dyes. For a long-term conservation of such kimono fabrics, we need to evaluate discoloration and fading in response to external factors such as light. However, conventional evaluation methods using colorimeters are often unsuitable for evaluating color changes in the multi-colored patterns that are among the characteristics of kimono fabrics of the Meiji era. Therefore, in this study, we used a new color image analysis to evaluate these changes. Light exposure tests were conducted on Meiji-era kimono silks, whose dye classes had been identified for each color beforehand, and the discoloration and fading induced by light were evaluated.

Discoloration and fading in the violet section (basic dyes) of the kimono silk fabrics were found to be significantly greater than those in the red section (acid dyes). Basic dyes are said to have poor light fastness when applied to silk, and this was confirmed on the kimono fabrics used in this study. In addition, in the color image analysis we were able to freely change the analytical range by cropping the scanned image to include either the entire sample or sections of each color. In an evaluation of discoloration and fading of kimono fabrics with multi-colored patterns, we need to capture the changes comprehensively, not only in specific parts of the sample. This method, in which both types of samples can be selected according to the purpose, was effective for evaluating the discoloration and fading of kimono fabrics.

*Graduate School of Humanities and Life Sciences, Tokyo Kasei University

**Faculty of Education, Chiba University