

〔報告〕 モノクローム写真の明暗から直接彩色情報を取得する可能性の検討

吉田 直人・鷹野 佳世子*

1. はじめに

我々は、災害や戦乱などによって失われた彩色文化財の復元や研究に資する目的で、残されたモノクローム（以下、モノクロ）の資料写真に写されている被写体の明暗から、オリジナルの配色や色材を求める方法の検討を進めており、これまでに、予め関連資料や有職故実、美術史的見地から作成した複数の配色サンプルを、モノクロ資料写真と同じ条件のもとで撮影し、両写真の明暗を比較することにより一つに絞り込む方法を提案した¹⁾。そして、この方法によって、第二次世界大戦中に所在不明となった琉球王朝第二尚氏18代国王・尚育王の肖像画（尚育王御後絵）復元に際して、配色と色材決定のための有用な情報を得た¹⁻³⁾。

これはいわば、モノクロ資料写真と復元作品のモノクロ写真が同一になるような彩色を見出すものであり、今後も他の資料を対象とした応用を進める予定である。しかし一方、この方法は、感光材料のタイプや光源といった撮影条件が判明している、または高い確度での推定が可能なものに対象が限定される。同一被写体であっても、モノクロ写真の明暗はこれらの撮影条件に依存するからである。従って、撮影条件に関わる情報が得られない資料には、他の方法を見出す必要がある。

そのため我々は、そのような資料への応用を想定した、モノクロ資料写真の明暗情報から直接、配色や色材を推定する方法の検討に着手した。このようなことが可能である条件として、まずは表現色の客観的パラメータとモノクロ写真の明暗との間に相関があることが前提と考えた。そこで今回は、この点に関する検証のために、複数の色材によって作成した彩色カードのモノクロ撮影を行い、写真の相対的な明暗と CIE Lab 色空間（以下、Lab 色空間）における L^* 、 a^* 、 b^* それぞれの値との間の関係を考察した。

2. 検証方法

2-1. 彩色カードと L^* 、 a^* 、 b^* 測定

3 cm×5 cm 角の和紙に、それぞれ6種類の色調が異なる青色、緑色、5種類の黄色、9種類の赤色で彩色した計26種類のカードを作成した（表1）。使用した色材はすべて得應軒より入手したものである。そして、各彩色カード中心部（直径約8ミリ領域）の L^* 、 a^* 、 b^* 各値をデジタル測色計（Time社製 TCR200）によって求めた（光源 D65、視野角 8°）。各彩色カードの L^* 、 a^* 、 b^* 値を表1に併せて示す。

*日本学術振興会特別研究員（PD）

表1 彩色カードに使用した色材とそれぞれのL*, a*, b*値の一覧

No	青系色	L*	a*	b*	No	黄系色	L*	a*	b*
1	コバルトブルー	52.6	6.5	-45.1	13	ガンボージ	78.0	8.3	64.5
2	白群	58.3	-9.3	-27.5	14	黄土(黄口)	65.0	9.6	48.4
3	群青13番	52.7	-5.4	-37.8	15	黄土(特製)	70.0	10.4	26.7
4	群青9番	32.8	4.6	-43.0	16	上汁黄土	76.0	5.4	20.5
5	プルシャンブルー	23.2	4.9	-23.2	17	カドミウムイエロー	77.3	12.8	80.8
6	藍	25.5	-1.3	-8.2					

No	青系色	L*	a*	b*	No	黄系色	L*	a*	b*
7	ガンボージ+藍	47.8	-7.1	16.8	18	丹	62.7	46.6	36.8
8	白緑	78.0	-20.4	2.9	19	代赭(黄口)	50.1	22.9	21.3
9	松葉緑青13番	70.5	-24.2	3.9	20	代赭(赤口)	39.1	29.0	13.5
10	松葉緑青9番	51.1	-24.4	4.8	21	辰砂13番	48.1	48.9	8.5
11	クロームグリーン	44.2	-11.8	21.2	22	本朱(黄口)	51.6	63.9	21.5
12	ビリジアングリーン	35.7	-15.6	-3.3	23	本朱(赤口)	50.4	63.3	17.7
					24	コチニール	41.9	58.8	11.1
					25	本洋紅	44.9	54.7	11.6
					26	臙脂(濃口)	48.8	50.4	7.1

2-2. 彩色カードのモノクロ撮影, および写真の明暗測定

これらの彩色カードを銀塩カメラ (Nikon F-801s+Ai AF NIKKOR50mm f/1.8) を用い、感光特性の異なるオルソ, およびパングロタイプフィルム (Rollei ORTHO25, および PAN25) によって、撮影用電球 (岩崎電気製アイランプ5,900K) を光源とし、被写体全体が600±5lx になるよう調整した上で、適正露出での撮影を行った。オルソとパングロタイプの感光材料は、カラー写真以前の彩色文化財撮影に広く用いられており⁴⁾、今回使用したフィルムも、我々が尚育王御後絵の彩色分析にあたって採用したものである^{1,2)}。ORTHO25の感光波長域は380~610nm, PAN25は400~650nmである。撮影後現像したネガをフィルムスキャナー (Nikon Super CoolScan5000ED) によってデジタル化し、前述の表現色測定と同箇所の相対的な明暗値 (256階調) を画像解析ソフトウェア ImageJ (National Institute of Health, USA) によって求めた。

そして、各彩色カードのL*, a*, b*各値と、同箇所のモノクロ写真の明暗値との関係をプロットすることにより、両者間での相関性の有無等を検証した。

3. 結果

PAN25, および ORTHO25両フィルムによって撮影した各彩色カードのモノクロ写真を図1に示す。

本研究の目標は、このような色情報を持たない写真から表現色に関する情報を直接引き出す方法を見出すことであるが、我々はそのプロセスとして、まず色系毎に、被写体の明るさ (輝度) と写真の明暗との間に相関があるとの仮定のもとで、明度のパラメータであるL*値を求め、その上で色度を表すa*, b*両値を割り出すことを想定した。この想定に沿って、今回撮影した彩色カードのL*, a*, b*各値とモノクロ写真の明暗値 (以下、明暗値と記す) との関係を色系

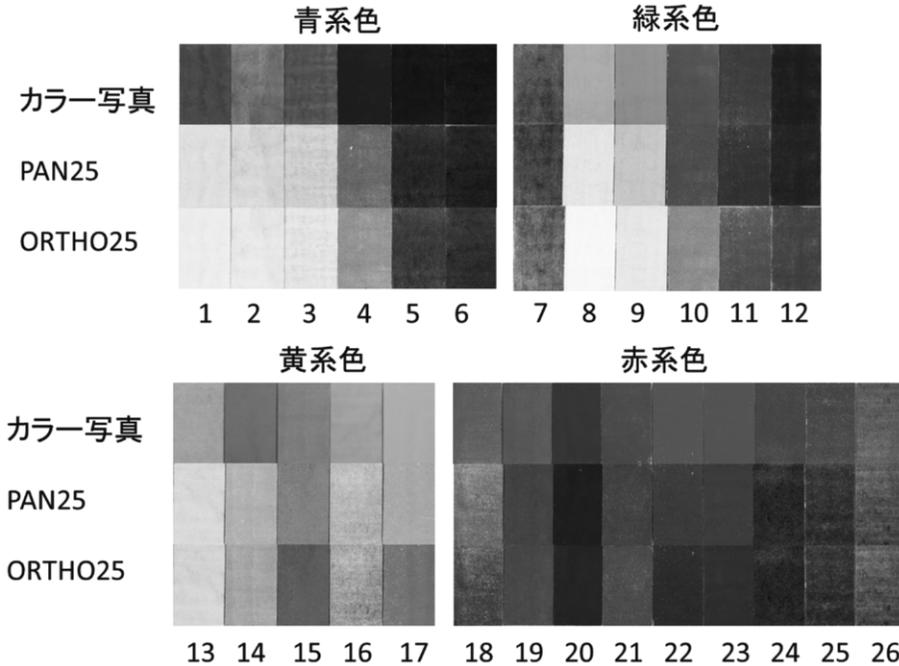


図1 各彩色カードのカラー写真(デジタル撮影), および PAN25と ORTHO25により撮影したモノクロ写真

毎に調べた。その結果は下記のとおりである。

- (1) L^* と明暗値との関係を調べたところ(図2), PAN25では全ての色で正の相関が認められた。ただし, 相関の完全性は青系色と緑系色では比較的高く, 黄系色と赤系色ではやや低い。ORTHO25でも同様であったが, 黄系色と赤系色での相関性はPAN25の結果と比べてさらに低いものであった。
- (2) 続いて, a^* , b^* と明暗値の関係を調べた。単純に a^* , b^* をそれぞれ横軸に, 明暗値を縦軸にプロットした場合は, どの色系とも両者間の相関は認められなかった。明暗値には L^* が強く影響しているためである。そこで, この影響を排除するために, 明暗値を L^* で割った値(以下, 明暗値/ L^* と記す)との関係をプロットした(図3, 4)。その結果, a^*

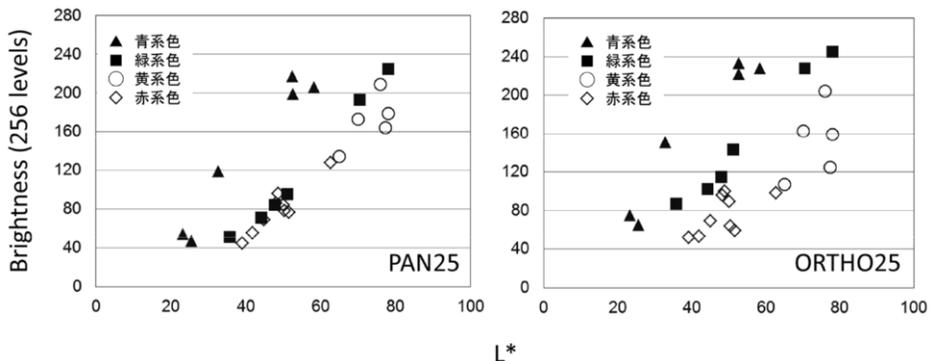


図2 彩色カードの L^* 値とモノクロ写真の明暗値との関係

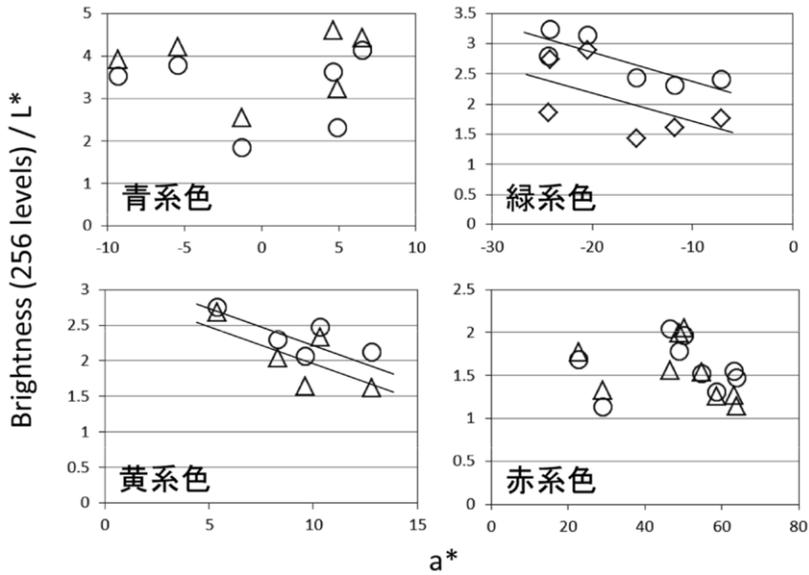


図3 : a*と明暗値/L*との関係
○ : PAN25 △ : ORTHO25

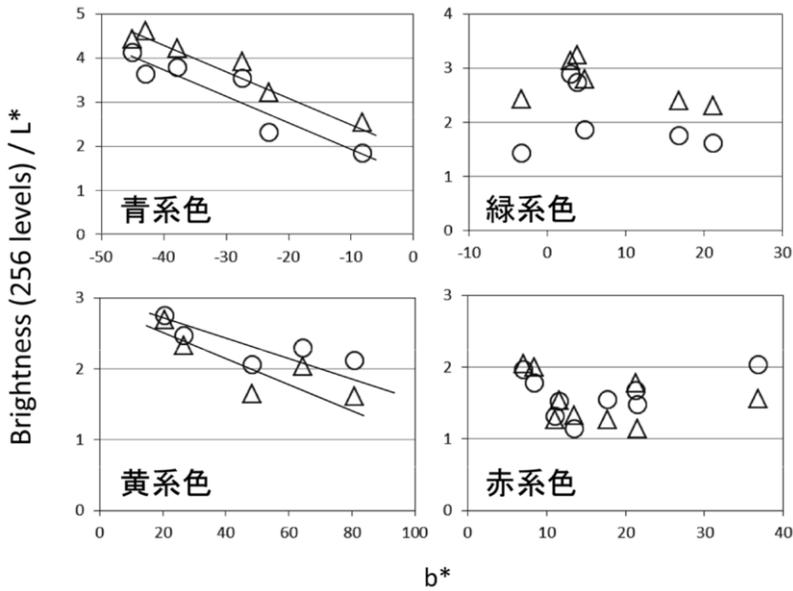


図4 : b*と明暗値/L*との関係
○ : PAN25 △ : ORTHO25

との間では緑系色と黄系色で、それぞれ完全性は高くはないものの負の相関の存在を示唆する結果を得た。他の2色では相関性は認められなかった。また b*との間では青系色と黄系色でそれぞれ負の相関の存在が示唆する結果を得た。他の2色では相関性は認められなかった。

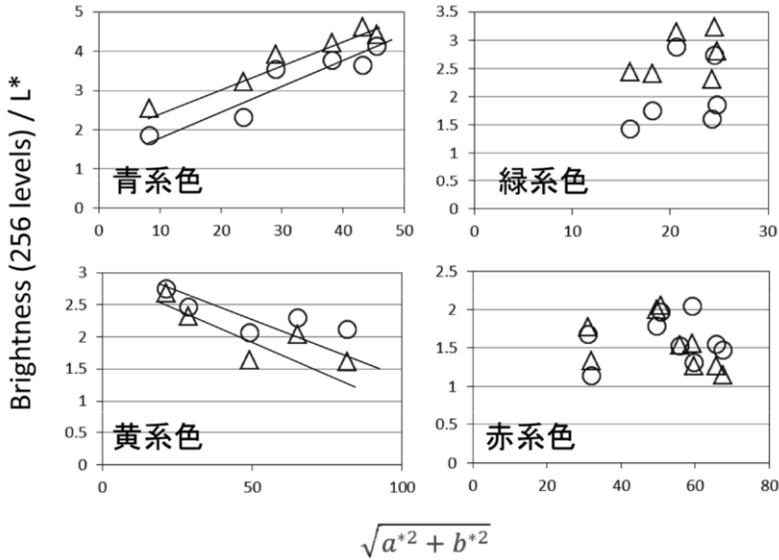


図5： $\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ と明暗値/L*との関係

○：PAN25 △：ORTHO25

- (3) 加えて、Lab色空間における原点と表現色を示す座標との距離について、明暗値との関連を調べた。まず、原点(0, 0, 0)と座標(0, a*, b*)間の距離、すなわちと明暗値/L*との間では、青系色では正の相関、黄系色では負の相関が認められた(図5)。他の2色では相関がみられなかった。

4. 考察

4-1. L*値とモノクロ写真の明暗値との関係について

先に想定したプロセスに沿って、写真の明暗からLab色空間に基づいた表現色をより正確に求めるには、まずL*との間に高い相関が存在することが理想である。今回の撮影実験を通じた結果では、どの色にも正の相関が見られたが、図2が示すように、その完全性には色ごと、またフィルム(感光波長域)ごとに相違があった。これは、L*が可視光の波長域全体での反射特性に依存するのに対し、撮影に使用したフィルムの感光域が特定波長域に限定されていることによるものと推定した。これを裏付けるために、PAN25で撮影した彩色カードの明暗値とファイバー送受光型分光光度計・大塚電子製MCPD-7000によって測定した可視反射スペクトルの380~780nm(すなわち、可視光のほぼ全域)、およびPAN25の感光域である400~650nmの範囲における面積(それぞれ、 $A_{380-780}$ 、 $A_{400-650}$ と表記する)との関係をプロットした(図6)。その結果、 $A_{380-780}$ と明暗値との間の相関性はかなり低いものであった。

その理由は、特に黄系色と赤系色では、すべての彩色カードで全波長域でのスペクトル面積に対するPAN25の感光波長域での面積の割合($100 \times (A_{400-650}/A_{380-780})$)が60%を下回っており、言い換えれば被写体からの反射光総量の40%以上がフィルムに感光せず、明暗値に寄与しないためである。一方で、すべての色で $A_{400-650}$ との間には高い正の相関がみられたことは、明暗値がこの波長域の被写体からの反射光の総量に比例していることを示すものである。青系色と緑系色でも他の2色と同じく $A_{380-780}$ との相関性は $A_{400-650}$ と比べると低いものであったが、($100 \times (A_{400-650}/A_{380-780})$)が60%を下回るもの(青系色：コバルトブルー、プルシャンプルー、

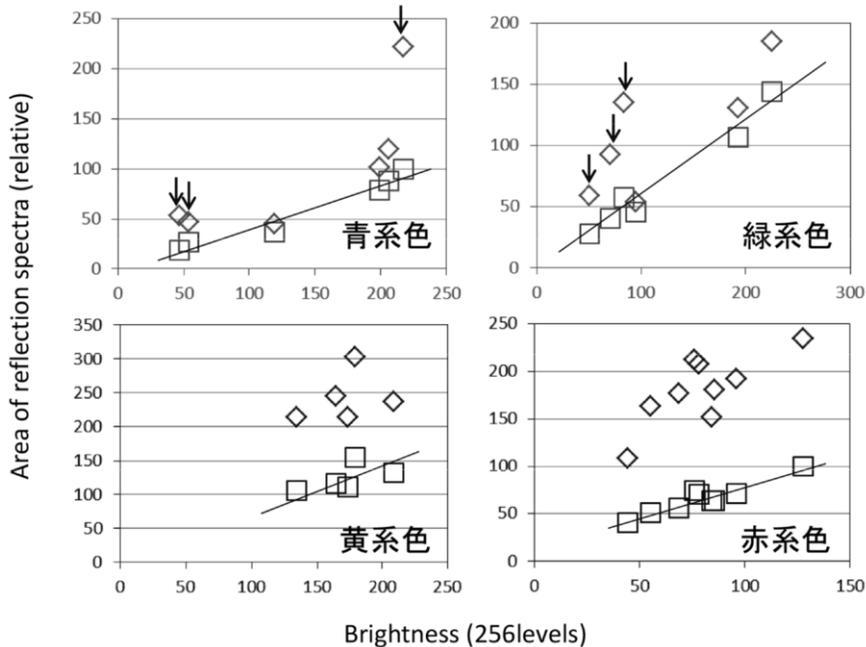


図6：ORTHO25での明暗値と可視反射スペクトルの面積との関係

◇： $A_{380-780}$ □： $A_{400-650}$

藍 緑系色：ガンボーシ+藍，クロームグリーン，ビリジアングリーン 図6中に矢印で示す)を除けば，両者の関係は $A_{380-780}$ とのそれとほぼ一致していたことも，上記推定を裏付けるものである。

4-2. a^* , b^* とモノクロ写真の明暗値との関係について

色度に関わる指標 a^* , b^* と明暗値/ L^* との関係は，図3および図4で示したように， a^* 値については緑系色と黄系色， b^* は青系色と黄系色で相関性の存在が示唆されるものであった。また，図5で示したように，青系色と黄系色では $\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$ と明暗値/ L^* の間にも相関性が認められた。これらの結果は，青系色と黄系色については， L^* 値が正確に求められれば， a^* , b^* 両値も得られる可能性があることを示すものであるが，相関性の低さは否めず，検討すべき点である。

a^* , b^* は彩度と色相がそれぞれ影響する色度のパラメータであるため，両値は可視光の反射波長範囲や波長ごとの反射率，すなわちスペクトルの形状，さらに人間の比視感度に依存する。そのため，明暗値/ L^* との相関性の高低について，その要因を考察することは困難であるが， L^* 値の場合と同様に，表現色を求める波長域とフィルムの感光波長域の違いが大きく影響していると我々は推測している。この詳細な解明については今後の課題としたい。

5. まとめ

一連の検証実験から，少なくとも青系色と黄系色については，被写体の明暗から L^* , a^* , b^* をそれぞれ求めることが可能であることを示唆する結果を得ることが出来た。特に青系色は反射波長帯の大部分が600nm以下にある色材が多いため，ORTHO25，およびPAN25それぞれの

明暗値と L^* との相関性が高く、またその理由は明らかではないが、明暗度/ L^* と b^* および $\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$ との間の相関性も確保されていることから、高い確度で表現色を直接求めることが期待できる。ただし、今回は相対値での検討であり、絶対値を求めるには、表現色が既知、または高い確度で推定できる被写体の明暗度との比較が必要になる。この具体的な手法については今後の課題である。

黄系色については、明暗度と L^* 値の間に比較的高い相関が認められたが、 $\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$ と a^* 、 b^* 各値との相関性はその存在を示唆する程度であり、高いとはいえない。 $\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$ との相関性も勘案しながら、より高確度で表現色を求めるための方法を探っていきたい。緑系色と赤系色については、今回の結果からは、明暗値から直接表現色を得る可能性は低いと判断せざるを得ない。感光波長範囲のみから求めた L^* 、 a^* 、 b^* であれば、明暗度との相関が確保できる可能性もあるが、これをもとにして得た表現色は真のものとは大きく異なるものになることは言うまでもなく、本研究の目的から考えて、この方法は取るべきではない。

今回は、特定の撮影条件でのモノクロ写真の相対的な明暗と Lab 色空間に基づいた表現色パラメータとの関係に絞って検証実験を行い、その結果に沿って考察を行った。撮影光源の特性など、条件が違えば、今回示した各値間の相関には変化が生じることも十分予想されることから、今後はその点に関しても実験的な検証を通じて、本研究を深化させたい。また、マンセル表色系や RGB 色空間などとの関係も検証し、今回期待された結果の得られなかった緑色系、赤色系はもとより、すべての色系について写真の明暗から表現色を求めうる方法を見出したいと我々は考えている。

参考文献

- 1) 吉田直人, 鷹野佳世子, 平論一郎, 石井恭子: モノクローム資料写真をもとにしたオリジナルの彩色推定に関する基礎的検討, 保存科学, **42**, 119-128 (2013)
- 2) 吉田直人: 尚育王御後絵復元のためのモノクロ撮影実験について, 首里城研究, **15**, 20-23 (2013)
- 3) 鷹野佳世子: 尚育王御後絵の復元模写製作を終えて, 首里城研究, **15**, 6-19 (2013)
- 4) 光村利藻: 『繪畫寫真複寫法』(アルス寫真大講座第一卷) (1929) アルス社

キーワード: モノクローム写真 (monochrome photograph); 表現色分析 (color analysis); Lab 色空間 (Lab color space)

Possibility of Direct Analysis of Coloring from Monochrome Photographs

Naoto YOSHIDA and Kayoko KARINO*

The purpose of this study is to investigate the possibility of analyzing apparent color from monochrome photographs directly. For this, the relationship between B/W levels of photographs of colored plates painted with various coloring materials and the values of L^* , a^* and b^* of CIE Lab color space was investigated. As a result, for all colors, correlation between B/W levels and the values of L^* was observed. Then, for blue and yellow, correlation between B/W levels and a^* and/or b^* and $\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$ was observed. These results mean that direct analysis is possible for blue and yellow.

*Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science (PD)