

東京都写真美術館
紀要 No.3

東京都写真美術館
紀要No.3

目次

カラー写真の暗所保存寿命の予測方法 荒井宏子	5
新興写真研究会についての試論 金子隆一	13
〈現代日本写真展〉をめぐる旅 中村浩美	29

カラー写真の暗所保存寿命の予測方法
荒井宏子

カラー写真の暗所保存寿命の予測方法

Prediction on Dark Storage Life of Photographic Color Prints.

荒井宏子
Hiroko ARAI

Abstract: Arrhenius plots of color differences vs. incubation periods with regard to the principal subject colors in photographic color print were employed to predict dark storage life of the print.

The plots were obtained by incubation periods and temperature conditions based on the color difference (ΔE_{ab}^*) which subjectively acceptable without unnaturalness. The predicted lives obtained by the color difference method show considerably shorter than those obtained by the current method which based on the cyan, magenta and yellow densities shift. The results coincide with empirical feelings. It is concluded that the color difference of the principal color is a useful index to predict the dark storage life of color photographic print.

1 はじめに

美術館等に於ける写真の蒐集は主に黑白作品に限られカラー作品の蒐集は僅かである。ピグメント・カラーおよびスクリーン・プレート方式など古典技法に属するカラー作品は蒐集されているが、発色現像方式の近代カラー作品は除外される傾向にある。その主な理由は、これらのカラー作品の変退色が収蔵に適さないことにある。同時に、作家達が作品の保存性を考えカラー写真の制作に消極的で、作品数が少ないことも上述の傾向を助長するものであろう。とは言え、発色現像方式の近代カラー・フィルムである Kodachrome (1935年)および Agfacolor Neu (1936年)が出現して以来、可成りのカラー作品が制作されるようになり、それらの一部は収蔵されている。それらの保存には特別な考慮が払われているが変退色により作品本来の姿から遠いものが多い。

一方、20世紀末にはカラー写真感光材料の性能は著しい進歩を示し、それらによる作品の保存性は飛躍的に向上して長期の保存に耐えられるものとなった。ここに、カラー作品の収蔵を積極的に企画する時機が到来したといえよう。現在のカラー写真画像がどの程度の期間に亘り初期の状態を保ちながら保存に耐えられるかの予測を正確に行うことが求められる。このような保存寿命の予測は、収蔵作品の長期保存のための反復複製期間の決定に対しても重要な情報となる。

この観点から、筆者はカラー写真印画(以下、カラープリント)の変退色による画質劣化が、主観評価と良い一致を示す暗所

保存寿命の予測を目的として、写真の主要な被写体色に関する色差を指標とする新しい方法を試みた¹⁾。

現在、保存寿命の予測に関する規格では、カラープリントを構成する減法混色の3原色(cyan, magenta, yellow)の色濃度変化を指標とするアレニウス・プロット(Arrhenius Plot)が適用されている²⁾。この方法は、カラープリントのベースの色およびその濃度変化を計算過程で消去し、原色単独の濃度変化を指標としている。

しかし、カラープリントの観察ではベースを含めた画像色が主観評価の対象となる。したがって、カラープリントの画質劣化が主観的許容域にあるか否かの評価には、ベースの変化が加わった主要被写体色に関する変退色を対象とすることが必要である。

筆者の方法では、カラープリントの暗所における強制劣化前後の変退色を、CIE 1976 L*a*b*均等色差空間(以下CIELAB色空間と表記)の色差(ΔE_{ab}^*)³⁾として計算し、主観的に許容されるカラープリントの変退色に関する閾値を($\Delta E_{ab}^*=5$)と考え、強制劣化時間と温度条件に対するアレニウス・プロットを求めた。この予測方法では、色差を指標とするアレニウス・プロットの可能性と合理性が問題とされるが、既にISO 10977の方法では光学濃度変化を物質変化の間接的指標として色素の耐久性予測を行っている。ここでは、色差は物質変化の間接的指標として光学濃度と同様に扱えると考えた。知覚される色の違いを定量的に表す色差はカラープリントの色変化に対する主観評価と対応し、同時に色素の物質的変

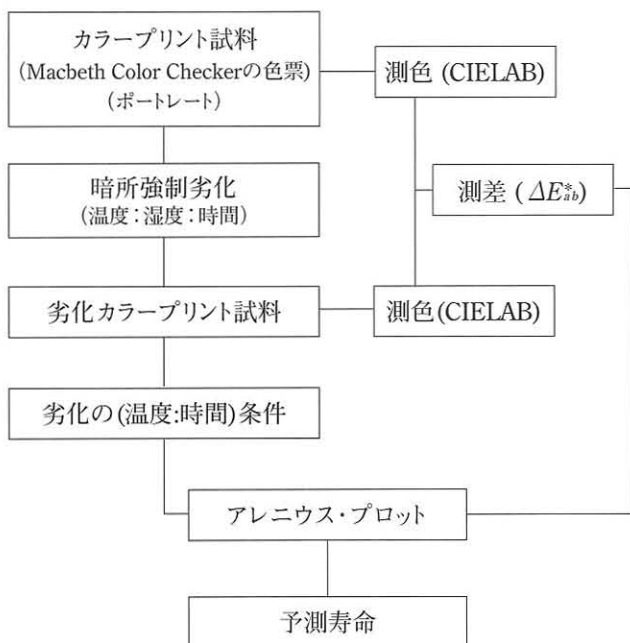
化に伴う変退色の指標としても有効である。また、カラープリントにおける色評価の対象となる被写体色は約10色程度の主要色に限定されることから、これら主要色にはマクベス・カラーチェッカー(Macbeth Color Checker)⁴⁾の色票を用い、主観評価のための参照として肖像を含む一般シーンを用意した。

以上述べたように、この方法はカラープリントの保存に関する寿命予測を、現行方法に対してより主観評価と一致する結果を求めることを目的とするものである。

2 予測方法の概要

2-1 手順

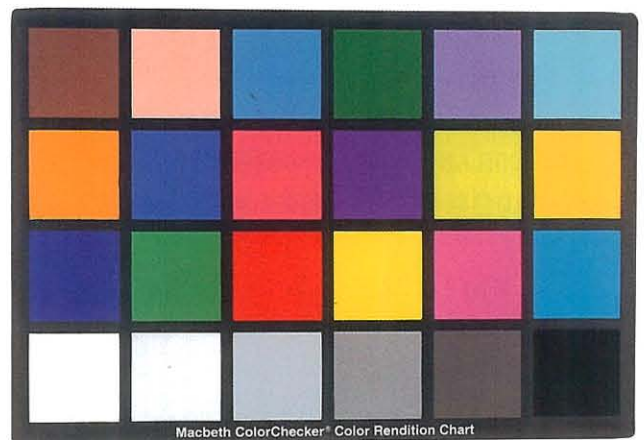
ここに述べる保存寿命予測は、以下の手順で実施される。



2-2 カラープリント試料について

マクベス・カラーチェッカーに配列された色票のうち、加法および減法の3原色を除く12色を選びカラープリントの主要被写体色とした。カラー・ネガ・ポジ方式の感光材料でこれらの色票を撮影し、カラープリント試料(16.5x12cm)を作成した。また、変退色の主観的許容域を判定するために参照する写真として

人物像を含む風景写真を併せて作成し、色票を写したカラープリント試料と同時に強制劣化を行った。カラープリント試料および主観評価のための参照写真を写真1に示す。



カラープリント試料
(上;マクベス・カラーチェッカーのカラープリント複製、下;婦人像を含む風景)

2-3 測色および色差の表示

カラープリント試料に再現された色票に関するCIELAB色空間における色度を表1に示す。測色装置にはGRETAG SPM/50を使用した。

測色には まづ CIE3刺激値 X,Y,Zを次式により求める。

$$X = k \int_{\text{vis}} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot x(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int_{\text{vis}} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot y(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int_{\text{vis}} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot z(\lambda) d\lambda$$

ここに、k:定数、 \int_{vis} : 可視波長域(380-780)の積分、 λ :光の

波長、R(λ):色票の分光反射、P:照明の分光分布、x(λ), y(λ), z(λ): CIE等色関数、等である。計算は、照明をCIE D50とし、CIE 1931等色関数によった。

CIE3刺激値とCIELAB色空間の変換は、

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

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

$$b^* = 200 \{ (X/X_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \}$$

によった。CIELAB色空間の2つの測色値(L*, a*, b*), (L2*, a2*, b2*),つまり色票の強制劣化前後の測色値から色差(ΔE*ab)を、

$$(\Delta E_{ab}^*) = \{ (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \}^{1/2}$$

ここに、 $\Delta L^* = L_1^* - L_2^*$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_2^*$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$$

として計算した。

2-4 試料の強制劣化

各色票を再現したカラープリント試料は、相対湿度60%RHにおいて、それぞれ60℃, 70℃, 80℃, 85℃の温度条件下で強制劣化を行った。強制劣化は、各試料色(カラープリント試料に再現された色票の色)が、表1の初期値に対して色差(ΔE*ab=5)および(ΔE*ab=10)を示すに至る時間が求められる範囲で行い、さらに必要に応じて(ΔE*ab=15)となる時間も求めた。図1に各試料色に関する強制劣化時間と変退色の色度軌跡を示した。

* **	dark skin	light skin	blue sky	foliage	blue flower	bluish green
L*	37.30	69.88	49.03	42.54	58.45	68.69
a*	17.24	12.33	-14.66	-23.88	1.82	-22.60
b*	10.35	7.70	-33.22	18.33	-28.21	-13.46

* **	orange	purpleish blue	moderate red	purple	yellow green	orange yellow
L*	64.96	37.81	49.01	28.64	71.30	74.00
a*	23.40	-0.50	50.11	21.58	-6.72	10.76
b*	62.63	-45.98	2.63	-40.79	59.08	65.37

表1
カラープリントに複製されたマクベス・カラーチェッカー色票の測色値。カラー写真の主要被写体色として12色の色票を選択した。
※ 試料の色、※※CIELAB明度および色度

強制劣化により同じ色差値を示すに要する時間は各試料色ごとに異なるものとなった。これは、この実験で対象とした主要被写体色ごとに、特定の色差を閾値とする暗所保存寿命が異なることを示唆するものである。

強制劣化の各温度条件(60℃, 70℃, 80℃, 85℃)に於いて、試料色が色差(ΔE*ab=5)、(ΔE*ab=10)に到達に要する時間を基にアレニウス・プロットを行った。

アレニウス・プロットは、速度定数kの温度変化を表すアレニウスの式、

$$k = Ae^{-E/RT}$$

この式の常用対数をとれば、

$$\log k = \log A - (E/2.303) \cdot (1/T)$$

となり、縦軸に変化の速度(強制劣化の時間)log kを、横軸に絶対温度の逆数(1/T)をとって得られる。

図2に試料色の内、OrangeおよびBluish greenを例として示す。これらの2色は、Yellowを共通成分として、前者はmagenta、後者はcyanが主たる成分として形成される色である。図から両者の見かけの活性化エネルギーはほぼ等しく、おもにcyanおよびmagenta色素に関する頻度因子の相異が示される。この相違は後に示す表3のcyanおよびmagentaに関する推定寿命の相異とも矛盾しない。

2-5 主観的に許容されるカラープリントの色差の決定

カラープリント試料の各試料色に関する色差は個々に数値として計算されるが、カラープリント画像について色の変化を総合的に定量化することは困難である。

したがって、この実験では各試料色の変退色に関する平均色差が、同じ時間の強制劣化を与えたカラープリント画像の平均色差(3-2項に詳述)と等価であると仮定した。これはマクベス・カラーチェッカーの各色票が写真の主要被写体色を代表するものとして選択されていることから、各色票の変退色はカラープリント画像のそれらと対応するものと考えたことによる。これにより、人像を含むカラープリント画像(写真1・下)の主観評価と試料色(写真1・上)が示す色差との数値を対応させることとした。すなわち、マクベス・カラーチェッカーの18色の色票のうち原色(red, green, blue, cyan, magenta, yellow)を除く12色をカラープリントに再現した試料色について色差平均(ΔE*ab=x)となるに要した強制劣化時間を求め、カラープリント

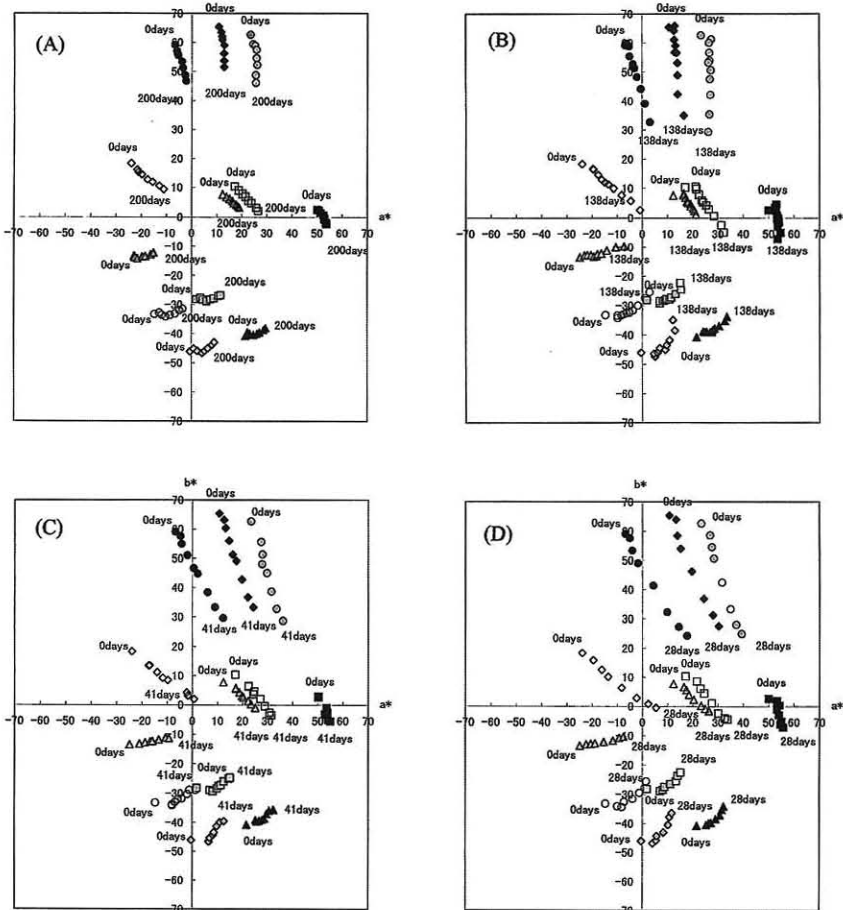


図1
強制劣化期間に対する試料変化の軌跡

(A) : (60°C/60%RH), (B) : (70°C/60%RH), (C) : (80°C/60%RH), (D) : (85°C/60%RH)

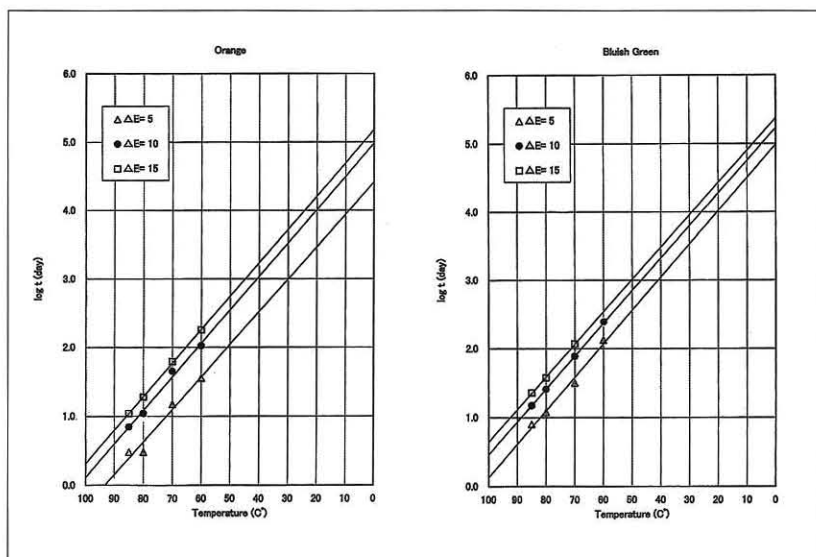


図2
試料色(a) オレンジ(Orange)、(b) 青みの緑(bluish green) に対するアレニウス・プロケット

画像について同じ時間の劣化処理をした場合、初期値からの色差は ($\Delta E_{ab}^* = x$) と等価であるとして扱った。

この場合、原色を除いたのは、一般被写体色には原色など高彩度のものは少なく、高彩度色は一般にカラープリント画像のシーンにおいて微細な変退色を主観的に評価する対象として適切でないと考えたことによる。

主観評価により許容される画像の変退色と色差との対応は、カラー写真の画質評価に熟達した5人のパネルの一対比較法による主観評価により求めた。その結果、色の変化が主観的に不自然さを意識しない領域にあるカラープリント画像が選択され、この画像の強制劣化時間と同じ時間の強制劣化を与えたカラープリント試料が特定された。この試料の各試料色に関する平均色差を求め、($\Delta E_{ab}^* = 5$) をカラープリントの変退色について主観的に問題なく許容される閾値とした。この値は、画像などの色配列のある対象において識別できる色差は ($\Delta E_{ab}^* = 3.25$) とする記述⁵⁾と、CIELAB空間とCIELUV空間の相違を考慮してもほぼ対応し矛盾しない。また、同様の方法で、変退色が主観的に辛うじて許容される限界の色差閾値を ($\Delta E_{ab}^* = 10$) とした。

3 予測結果

3-1 色差に対応する予測年数

各試料色に関するアレニウス・プロットから表2に示す結果が得られた。表は (25°C, /60%RH) において各試料色の色差が、それぞれ ($\Delta E_{ab}^* = 5, 10, 15$) に到達するために要する年数を見積ったものである。表から、試料色により同じ色差に到達

* **	dark skin	light skin	blue sky	foliage	blue flower	bluish green
($\Delta E_{ab}^* = 5$)	6.9	14.1	4.0	2.2	5.1	16.9
($\Delta E_{ab}^* = 10$)	15.4	31.0	14.7	14.1	20.8	30.1
($\Delta E_{ab}^* = 15$)	43.4	—	22.4	32.4	—	43.4

* **	orange	purplish blue	moderate red	purple	yellow green	orange yellow
($\Delta E_{ab}^* = 5$)	4.9	2.7	3.2	9.5	7.4	6.3
($\Delta E_{ab}^* = 10$)	17.3	16.9	7.7	19.4	30.0	21.3
($\Delta E_{ab}^* = 15$)	27.4	—	—	30.7	69.0	56.6

表2
各資料色の暗所保存寿命予測値(年)
※：試料色、※※：CIELAB色差

する年数が異なることが分かる。

それらの内、年数に相異の大きいものを示すと ($\Delta E_{ab}^* = 5$) に到達する年数では、FoliageとPurpleとの比は (2.2 yrs.:9.5 yrs.) であり約4倍に達する。 ($\Delta E_{ab}^* = 10$) では、Moderate redとLight skinとの比は (7.7 yrs. : 31.0 yrs.) であり、同様に約4倍である。さらに、 ($\Delta E_{ab}^* = 15$) では、試料色とベースとの双方の変退色が相殺して、強制劣化中ある期間を過ぎると色差に変化を生じない場合がある。Moderate red, Purple blue, Blue flower, Light skin, などがそれに属する。

3-2 平均色差によるアレニウス・プロット

前項に記述したように、各試料色ごとに予測年数が相異なることはカラープリント画像の暗所保存寿命の予測を困難とする。

この問題を解決するためには、最も単純な方法として各試料色の予測年数を平均し、各主要色を含むカラープリントの予測寿命とすることが考えられる。

この方法で計算すると、カラープリントを個々の主要色を含む画像として総合的に主観評価した場合、それぞれの色差の閾値に対して ($\Delta E_{ab}^* = 5$) では6.9yrs.、 ($\Delta E_{ab}^* = 10$) では19.9yrs. が得られる。

この方法では、強制劣化において一定の時間間隔ごとに12試料色が示す色差を求め、それらの平均をその強制劣化時間における平均色差と定義し、 ($\Delta E_{ab,av}^* = 5$) および ($\Delta E_{ab,av}^* = 10$) と表記した。これによるアレニウス・プロットの結果を図3に示した。図から (25°C/60%RH) における寿命予測年数は ($\Delta E_{ab,av}^* = 5$) について8.7 yrs.、 ($\Delta E_{ab}^* = 10$) について25.6 yrs. が得られた。

4 考察および論議

従来のカラープリントに対する暗所保存寿命の予測方法、例えばISO-10977においては Status A濃度により初期濃度を ($D = 1$) に調整したCyan, Magenta, Yellowの3色について強制劣化前後の濃度変化を求め、特定の濃度低下に対応する強制劣化時間によりアレニウス・プロットを行っている。この方法では、濃度変化値の算出に際してベース濃度の変化を除去しているため、ベースの濃度変化は評価に反映されない。した

がって、色素の耐久性評価としては有効であるが、カラープリント画像の寿命評価に適切とは言い難い。

一方、カラープリント画像の色は減法混色の3原色に関する複雑な混合比により表される。また、カラープリント材料の層構造により3色の退色挙動も複雑である。このようなカラープリントは、ベースの変化を含めて観察され主観評価される。また、上記の3色濃度の変化は等価中性色⁶⁾として測る場合を除いて視覚効果は均等でない。Status A濃度の場合、magentaの濃度変化は視覚に対して最も鋭敏であり、Yellowは鈍いことが知られている。したがって、Status A濃度の変化を基準とした評価では、画像の観察による主観評価とは必ずしも良い一致を示すものではないと考えられる。

以上の観点から、カラープリント画像の保存中に生じる変退色を評価するには測色系の色差を用いることが適切と考えられる。この目的に対して最も適切な色差の一つにCIELAB色空間の色差が考えられ、この方法はそれを用いた。

色差を用いたこの方法の問題点は、同一色差値に対して主要色個々に異なる年数が予測されることである。画像中の主要被写体色について、さらにそれらの重要度あるいは要求度による加重を考えればこの問題は解決されるかもしれない。

表2から肌色について検討すると、($\Delta E_{ab}^* = 5$)において Light skinは14 yrs.、Dark skinは6.9 yrs.である。ハイライトからミッド・トーンに相当する Light skinは人像プリントでは重要度が高い。しかし、人物を含む一般のシーンでは、例えば Foliage, Blue skyなども同様に重要度は高いであろう。

また、カラープリント画像が意図的に特定の色を重視して作成される場合もある。これらを考えると、暗所保存寿命予測という普遍的な立場からは、主要被写体色に対して加重することは適切でないと考えられる。ここに普遍的な立場から平均色差を用いることが妥当であると考えた。

したがって、この方法では前項で説明したように強制劣化時間の一定間隔ごとに平均色差を求め、ある定められた平均色差値、たとえば ($\Delta E_{ab,av}^* = 5$)、 ($\Delta E_{ab}^* = 10$) などに対する強制劣化時間を求めアレニウスプロットを試みた。

この結果を、従来の方法による結果と比較すると表3に示されるようになった。表中、1)は本方法、2)はcyan, magenta, yellow3色の強制劣化による変退色を色差で表示することを試みたもので筆者により報告された方法によるもの⁷⁾、3)は

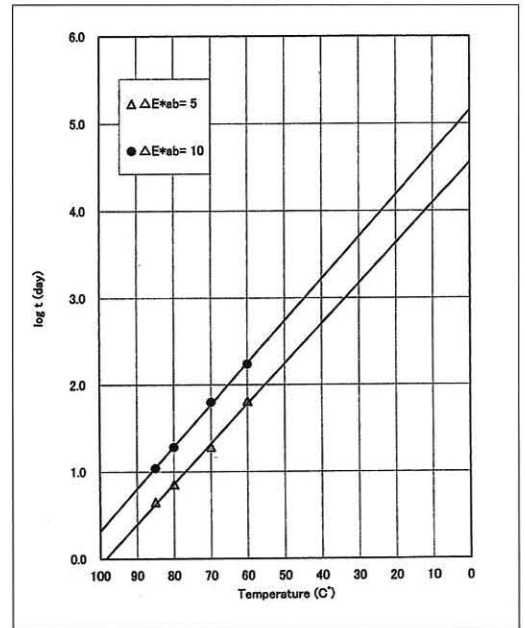


図3 試料色の平均色差 ($\Delta E_{ab,av}^* = 5$)、($\Delta E_{ab,av}^* = 10$)、に対するアレニウス・プロット

方式	表示	色	予測寿命
1) ΔE_{ab}^* 主要色の平均色差	$\Delta E_{ab,av}^* = 5$	total	8 yrs.
	$\Delta E_{ab,av}^* = 10$	total	27 yrs.
2) ΔE_{ab}^* c, m, y	$\Delta E_{ab}^* = 10$	cyan	135 yrs.
		magenta	45 yrs.
		yellow	36 yrs.
3) ΔD	$\Delta D = 0.30$ (ISO-10977) (initial density = 1.0)	cyan	220 yrs.
		magenta	105 yrs.
		yellow	80 yrs.

表3 カラープリントの予測寿命、1) 主要色の平均色差による場合、2) シアン、マゼンタ、イエローの3原色の色差による場合、3) シアン、マゼンタ、イエローの3原色の濃度変化による場合。

ISO-10977に基づくものである。

これらの予測結果は、上記の3種の方法では大きく相異し、この方法による予測は従来の結果と比較すると可成り短期間を示した。

カラープリント画像に再現された色はcyan, magenta, yellowの混色であり、その割合は被写体色ごとに異なる。また、カラープリント材料の重層構造により3色の重ね合わせ位置と量の関係から変退色の挙動は非常に複雑になるが、従来の方法は3色ごとに単独の測定を行うもので、実際の画像における変退色は含まれない。

また、色の変化に対する視覚的な知覚は、明度、彩度、色相の3要因の変化に関する総合として検知される。

一方、濃度変化を評価の対象とする場合、3色濃度比を考慮しなければ主に明度の変化のみが検知され、他の2要因は主たる対象とならない。したがって、色の変化の検知は上記の3要因を含んで計算される色差の方が鋭敏であると言える。

同時に、現在の、あるいは過去10年程度の、カラープリントに関する暗所保存の経験から、この方法で得られた予測寿命は妥当であると考えられる。暗所に7—8年程度保存されたカラープリントは、特に変退色を問題としないレベルにあることは写真分野の専門家の多くが認めるところである。しかし、現在既に25-30年の暗所保存を経たカラープリントでは、過去のカラープリント材料の色素耐久性の問題を含めて、それらの変退色は主観的に許容される最低のレベル、あるいはそれを越えている、と言えよう。

これらを総合して考えれば、この種の予測の指標としては色差を用いることの合理性は明らかである。

5 結論

カラープリントの変退色に関する評価では、色評価における基礎刺激(基準白色)となる白色ベースが経年変化により着色し被写体色と重なり合うので、保存中に生じたベースの着色を含む主要被写体色の变化を対象とすることが合理的である。

この方法では、主要被写体色の変退色に関する指標としてCIELAB均等色空間における色差 (ΔE_{*b})を用い、平均色差 ($\Delta E_{*b,av}$)を定義することにより各温度条件の強制劣化時間に対するアレニウス・プロットを行い、カラープリントの暗所保

存寿命の予測を試みた。その結果、経験的な知見と良く一致する結果が得られ、色差はこの種の予測に対して有用な指標であることが示された。

以上から、カラープリントの暗所保存寿命に関して、実用的で主観的な変退色の認知の程度と一致する年数を予測する方法として、色差を基準とする方法が合理的と考える。

参考文献

- 1) 荒井宏子: 主要色の色差に基づくカラー写真の暗所保存寿命の予測、日本写真学会誌 vol.63, No.6, pp.332-338. (2000)
- 2) ISO-10977” Method for Measuring Image Stability.” (1998)
- 3) Wyszecki, G. Stiles, W.S. “Color Science: Concept and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2nd ed.”, p.829. Wiley (1982)
- 4) McCamy, C.S., Marcus H. and Davidson, J.G.: A color rendition chart, J. Appl. Photo. Eng.,2,95-99 (1976)
- 5) 納谷嘉信「産業色彩学」p.104, 朝倉書店(1980)
- 6) James, T.H. (editor.) “The Theory of the Photographic Process, 4th edition.” p.524. Mcmillan (1977)
- 7) 荒井宏子「カラープリントの長期保存性評価の一方法(2)」日本写真学会 1999年度年次大会・講演要旨集pp. 141-142