

論文

紙の白さの認識と再生紙の色彩許容度予測の可能性

The cognition of white paper and the possibility of the prediction of the color tolerance of recycled paper

鄭 孝眞 Hyojin Jung

京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科
Graduate School of Science and Technology,
Kyoto Institute of Technology

北口 紗織 Saori Kitaguchi

京都工芸繊維大学 繊維科学センター
Center for Fiber and Textile Science,
Kyoto Institute of Technology

佐藤 哲也 Tetsuya Sato

京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科
Graduate School of Science and Technology,
Kyoto Institute of Technology

Abstract

A series of visual assessments was carried out to investigate cognitive level of white paper (C_w) and the color tolerance level of recycled copier paper (T_{re}) and their interrelated influences, and also to evaluate a prediction equation of the color tolerance of recycled paper which was proposed in the previous study. In the assessments, forty-nine subjects assessed ninety-one near-white color samples in terms of C_w and T_{re} . Predictably, the level of T_{re} increased along with the increase of the level of C_w . However, it was found that the high levels of T_{re} were obtained even from the samples which had the low levels of C_w . It means that subjects tend to accept tinted colors of recycled copier paper even though they do not consider them as white paper. The C_w and T_{re} found to be influenced by lightness and chroma of the samples. But, the degrees of these influences were different depending on their hue. Specifically, the yellowish samples had the higher levels of C_w and T_{re} than the bluish samples. Although the degrees of the hue influence were slightly disagreed between T_{re} and the predictions using the previously proposed equation for predicting the color tolerance of recycled paper, the result of T_{re} obtained in this study proved the performance of the prediction equation.

Keywords: Recycled paper, Color tolerance, Cognition of white paper, Prediction equation

要 旨

本研究では消費者の白紙としての認識と、印刷用の再生紙の色に対する使用許容の程度を知ることを目的として視感評価実験を行った。さらに本研究で得られた色彩許容度の結果を用いて、先行研究で提案した再生紙に対する色彩許容度の予測式の整合性についての検討も行った。視感評価実験では、白近傍の色91色の紙をサンプルとし被験者49人が、白紙の認識度 C_w 、印刷用再生紙の色彩許容度 T_{re} 、2つの項目に対して評価を行った。白紙の認識度が高くなるにつれ、印刷用再生紙の色彩許容度も高くなることは予測されていたが、実験結果より白紙としての認識度が低い色に対しても、印刷用再生紙としての色彩許容度が高い色があり、被験者は、色みがついた紙と認識したとしても印刷用再生紙として使用可能と考えていることがわかった。さらに白紙の認識度や色彩許容度は明度や彩度によって影響されるが、その影響の程度は色相によって異なり、黄色系は青色系よりも白紙認識度、色彩許容度がともに高いことがわかった。また、本研究の結果と先行研究で提案した色彩許容度式から導き出された予測値とを比較したところ、色相の寄与の大きさに差異が見られたものの予測値と高い相関が見られ、色彩許容度式の整合性が確認された。

キーワード: 再生紙, 色彩許容度, 白さの認識, 色彩許容度の予測式

1. はじめに

再生紙(Recycled paper or Recycled content paper)は古紙パルプが含まれている紙のことで、化学パルプから作られた紙に比べ、相対的に低品質、低白色度の紙が一般的に多い¹⁾。環境問題や資源再利用などの社会的な要求の高まりから、このような物性的弱点の改善と共に、今後、再生紙の使用拡大が予想される^{2,3)}。紙の製造工程で、漂白工程は環境負荷をかける大きな要因であるが、漂白の度合いは紙の品質を左右する白さと関連するものである⁴⁾。そのため、製紙産業では漂白、青味付け、蛍光増白など、紙をより増白する技術が発展した。それに従って、色彩研究分野でも、紙の視覚的白さと白色度の研究は多数行われてきた⁵⁻⁷⁾。現在、紙の白さの評価方法としてはCIE白色度(CIE Whiteness)があるが⁸⁾、色味をもつ色に対しては視感評価との相関が低いことや適用範囲が狭いことが指摘されている⁹⁾。

再生紙の場合、製品が持つ環境的メリットの観点からみると、環境負荷がかかる漂白処理の際に過度な脱墨・漂白や紙を増白することは避ける傾向にあるが、製品として消費者が使用可能な品質にするためには必要な工程である。ここで問題になるのは、どの程度、紙に色味が付いていても使用されるのかということである。そこで、筆者らは、紙の再生処理に必要な環境への負荷を軽減しながら消費者を満足させるというバランスの取れた製品づくりに貢献できるのではないかと考え、使用可能な紙の色についての研究を行っている。先行研究¹⁰⁾では、印刷用紙と印刷用再生紙としてのどの程度の色味を帯びていても使用可能か(以下色彩許容度と略す)を調べる色彩許容度の視感評価実験を行い、得られた結果に基づき、測色値から消費者の印刷用紙、または印刷用再生紙に対する色の許容を予測する色彩許容度式を提案した。また、実験結果から、印刷用紙に比べて、再生紙の許容度が高いということがわかった。さらに、色彩許容度は色相によって異なり、特に黄味の色に対してより高く許容される傾向がみられた。そして、CIE白色度で規定されている白さの領域外の色であっても、色彩許容度が高い、つまり再生紙として十分使用可能であることも確認された。しかし、先行研究においては、それらの色が白色と認識された上で許容されているのか、そうではないのかについては明らかにされていない。一般的な印刷用紙は白であるというのが通常であるので、たとえ使用可能な印刷用再生紙であっても、それがどの程度白色と

して使用可能とされているものなのか、もしくは色みを帯びているが使用可能であるという認識なのかの違いは、一般印刷用紙としての使用を考える場合には重要な概念である。

そこで、本研究では、これら白色に対する認識を明らかにするために、印刷用再生紙の色彩許容度と白紙としての認識の評価を同時に行った。また、先行研究では、印刷用再生紙に対する色彩許容は、特に黄味の色に対してより高く許容される傾向がみられたが、評価対象の色サンプルに色相の偏りがあった。

そこで本研究では、色サンプルの色相の偏りを補正し、また評価方法を改善したうえで色彩許容度を測定し、色相の影響の再検討を行った。また、得られた色彩許容度評価結果を用いて、先行研究で提案した色彩許容度予測式の整合性の確認を行った。

2. 実験

視感評価実験は暗室に設置された標準光源装置ジャッジⅡ(X-Rite社製、H=56.0cm×W=68.7cm×D=57.0cm)内、標準イルミナントD₆₅に準拠した常用光源蛍光ランプD₆₅(Gretagmacbeth社製、6500K)光源下で行った。標準光源装置内の背景色には、 $L^*=50.6$, $a^*=0.1$, $b^*=0.3$ の灰色を採用した。

本実験で使用した色サンプルは、市販の印刷用紙にインクジェットプリンター(PX-9500, Epson社)を用いて着色をした90色と白色の印刷用紙そのもの、計91色である。使用した市販の印刷用紙は、一枚では薄いため、用紙を4枚重ねることで、背景色の影響がでないようにした。先行研究の結果より、ある程度の白さであると再生紙の色彩許容度が100%になることが確認出来ていることから、本実験では、高白色度の紙や蛍光剤また増白処理された紙はサンプルとして用いなかった。また、先行研究の結果を踏まえ、全く許容されない極端に濃い色は、本実験では用いず、ある程度限定した色空間の中でサンプリングを行った。

色サンプル91色は視感評価実験の環境と同じ条件、つまり入射角0度、受光角45度において、分光放射輝度計(CS-1000, Konica Minolta社)を用いて、一カ所3回、測色を行った。図1、図2に、測色結果より算出されたサンプル91色のCIELAB値の分布を示す。図2からもわかるように、本実験での色サンプルは、図3に示す、先行研究で用いた色サンプルの色相の偏りを補正するために a^*-b^* 空間上で出来るだけ均等に分布するようにサンプリングを行った。

また、本実験と先行実験の違いは、色のサンプリングだけではなく、本実験では被験者がサイズが10.0cm×12.0cmの各色サンプルに対して評価を行ったのに対し、先行研究では、2.4cm×2.4cmの色サンプルを複数含む色パレットを用いて評価を行った。

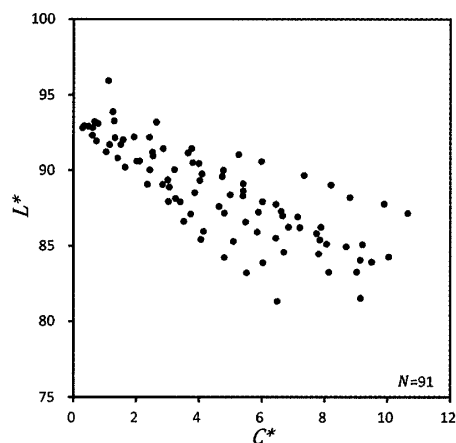


図1 色サンプル91色の L^* 値と C^* 値

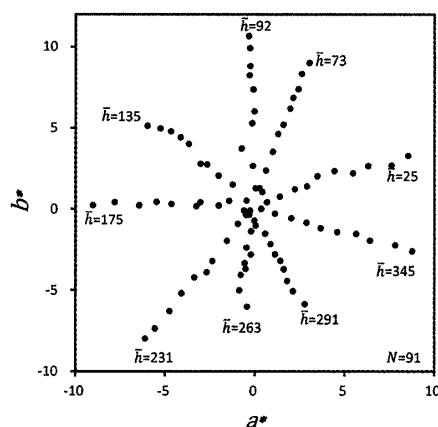


図2 色サンプル91色の a^* 値と b^* 値, $\bar{h}$ 値は各色相系列の平均色相角 h 値

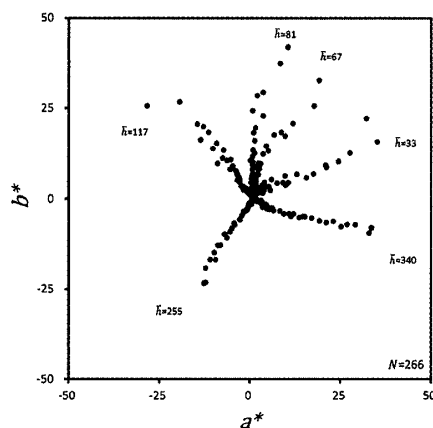


図3 先行研究で用いた色サンプル266色 a^* 値と b^* 値, $\bar{h}$ 値は各色相系列の平均色相角 h 値

視感評価実験は、京都工芸繊維大学の「ヒトを対象とする研究」倫理審査委員会運営細則第2条の規定に基づいて、石原色覚検査¹¹⁾を行い、正常色覚者である大学生49名(平均年齢20.0歳, 男:24名, 女:25名)を対象に行った。

白紙の認識と印刷用再生紙に対する色彩許容度を測定するために、被験者は各色サンプルに対して、表1に示すように、印刷用再生紙と仮定した場合、サンプルの色は使用可能か、使用不可であるか、さらに、サンプルの色は白紙か、或いは白紙ではないかを評価した。サンプル91色の提示順はランダムである。

視感評価実験に用いた91色サンプルの測色値と評価値は本論文の文末の付表Aに示す。

表1 視感評価実験における質問内容

評価	質問	回答	省略表記
印刷用再生紙の 色彩許容度	再生紙であると仮定した上、	はい／	T_{re}
	印刷用紙の色として	いいえ	
	使用可能ですか。		
白紙の 認識度	白紙ですか。	はい／	C_w
		いいえ	

本論文では再生紙と仮定した印刷用紙の色彩許容度を T_{re} (Tolerance of Recycled copier paper), 白紙としての認識度は C_w (Cognition as a White paper)と省略して表記した。

3. 結果

本研究での印刷用再生紙の色彩許容度(T_{re})とは、何%の被験者がそのサンプルを使用可能な色として許容するかを表すものである。また、白紙の認識度(C_w)はそのサンプルの色が白紙と答えた人の割合である。例えば、印刷用再生紙の色として使用可能と回答した被験者の割合0～100%をその色が持つ色彩許容度とし、すべての被験者がその色を使っても良いと回答した場合に色彩許容度が100%となる。

まず、被験者49人の91色サンプルに対する評価が全体として同じ回答傾向であるかを確認するために信頼性分析を行い、その結果、Cronbachの α 係数¹²⁾が0.97を得たことから49人の回答が各サンプルに対して、同様に評価する傾向を持つことを確認した。

3.1. 色彩許容度と白色に対する認識

評価質問による全体の被験者49人の白紙の認識度と

印刷用再生紙の色彩許容度の変化について調べた。

被験者が印刷用再生紙の使用可能な色と評価する際、その色サンプルに対して白紙と認識した上で許容したかどうかを知るために、印刷用再生紙の色彩許容度(T_{re})と白紙の認識度(C_w)を比較した。

まず、2つの評価項目の結果に差があるかをみるために t 検定を行った。検定の結果($t_{180}=7.44, p<.05$)、印刷用再生紙の色彩許容度と白紙の認識度の評価は5%有意で平均に差があることがわかった。すなわち、被験者はこの2つの質問に対して、それぞれ違った基準で評価を行ったことがわかる。また、色彩許容度(T_{re})と白紙の認識度(C_w)を比較した図4からもわかるように、明らかに C_w の値が上昇するにつれて T_{re} 値も高くなるという相関が見られた。さらに、 C_w が50%以下のときのサンプル数は72色であり、また、 C_w が50%以上のときのサンプルは19色あった。その19色サンプルの平均 T_{re} は97.3% ($N=19, \sigma=3.0$)であった。 C_w が0%のとき、つまり被験者全員が白紙ではないと答えた色であっても、印刷用の再生紙としての色彩許容度 T_{re} が約50%にもなる色があり、印刷用再生紙に対しては、必ずしも白紙ではなくても使用可能な色領域が存在するということがわかった。

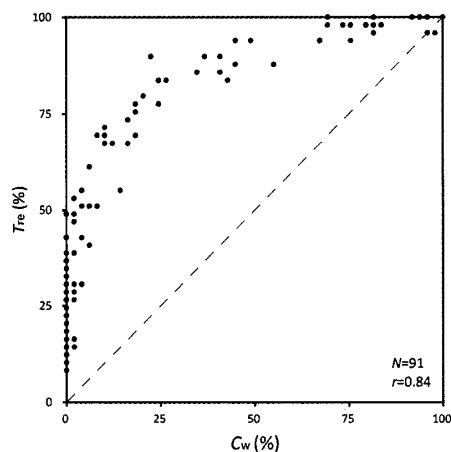


図4 色サンプル91色の白紙の認識度 C_w と印刷用再生紙の色彩許容度 T_{re} の比較

印刷用再生紙の色彩許容度と白紙の認識度との相関がある程度見られたことから、それらと、現在紙の白さの評価で使われているCIE白色度との関係を検討するために、図5にCIE白色度と T_{re} 、 C_w の比較を行った。CIE白色度値($D_{65}/10^\circ$) W は次の式(1)から求めた。

$$W = Y_{10} + 800(x_{n,10} - x_{10}) + 1700(y_{n,10} - y_{10}) \quad (1)$$

$$T_{w,10} = 900(x_{n,10} - x_{10}) - 650(y_{n,10} - y_{10}) \quad (2)$$

Y_{10} は色サンプルの三刺激値の Y_{10} 、 x_{10} と y_{10} は色サンプルの色度座標、 $x_{n,10}$ と $y_{n,10}$ は完全拡散反射面の色度座標($x_{n,10} = 0.3138, y_{n,10} = 0.3310$)である。CIE白色度式には適用制限、 $40 < W < 5Y_{10} - 280$ 、と式(2)により $-4 < T_{w,10} < 2$ で定められて、そのときの $T_{w,10}$ は色味指数Tintである⁸⁾。CIE白色度の適用範囲を考慮すると、色サンプル91色の内、30色がCIE白色度の適用範囲内の色で、それ以外61色は範囲外の色であった。したがって図5に比較する色サンプルは、適用範囲の30色である。

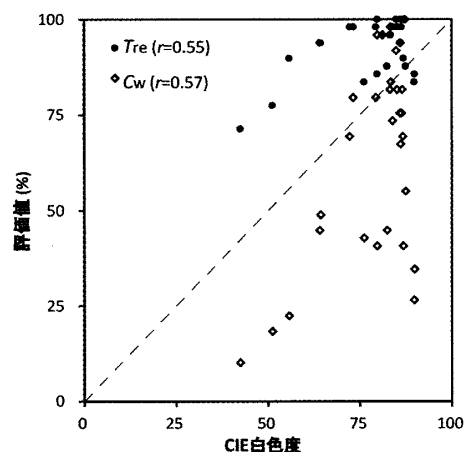


図5 評価値 T_{re} 、 C_w とCIE白色度の適用範囲内のサンプル($N=30$)のCIE白色度値の相関係数 r

結果、図5からもわかるように、 T_{re} 、 C_w とCIE白色度との相関はいずれも低かった。その理由の一つとしては、CIE白色度の値が異なる色サンプルであっても、色彩許容度が100%になるもの(被験者全員が許容すると答えた色)が多数あったということである。つまり、色彩許容度が100%の場合、その差を付けることができないということが、CIE白色度との相関が低い原因である。また、色彩許容度は100%以下の色サンプルで、CIE白色度と正比例の関係にあるサンプルも少数見受けられたが、CIE白色度は白さの差を評価するためのものであり、極めて白に近い色を対象としているので、色彩許容度が50%以上であってもCIE白色度適用範囲外の色サンプルも多く、被験者は一般的に白と見なされない色紙であっても、印刷用再生紙として使用可能であると判断したと考えられる。

CIE白色度と白紙の認識度の間からも、明確な関連は見られなかった。CIE白色度適用範囲内にも、白紙の認識度が50%以下と低いものもあったが、適用範囲外の61色のサンプル中で白紙の認識度が最も高いサンプルは37%と低かった。つまり、CIE白色度適用範囲

外で、明らかに白紙と認識される色サンプルはなく、適用範囲の妥当性が確認された。

3.2. 視感評価における色相の影響

視感評価の色彩許容、白紙認識にかかわる評価がどのような色特性を持っているかを調べるため、実験から得られた評価値 T_{re} , C_w と色サンプル91色のCIELAB値 L^* , a^* , b^* , C^* , h との相関係数を算出した。

表2 視感評価実験の評価値 T_{re} , C_w と各色サンプル ($N=91$) のCIELAB値との相関係数 r

評価項目	L^*	a^*	b^*	C^*	h
T_{re}	0.90	0.05	0.07	-0.86	-0.07
C_w	0.80	0.04	-0.04	-0.78	-0.01

表2に示しているように、色彩許容度と白紙の認識度はいずれも明度(L^*)に対して正の相関、彩度(C^*)に対して負の相関があった。つまり、被験者は明度が高くて、彩度が低い色、すなわち白に近くなればなるほど印刷用紙の使用可能な色と判断する割合が高くなる傾向にあることから、白さは色彩許容度の評価に直接かかわる因子であることが示唆された。

さらに、色相の色彩許容度への影響を見るために、色相系列別に色彩許容度が一定のとき(本文では一例として評価が半分に分かれる：評価値50%)の a^* 値と b^* 値を直線補間法で求めた。

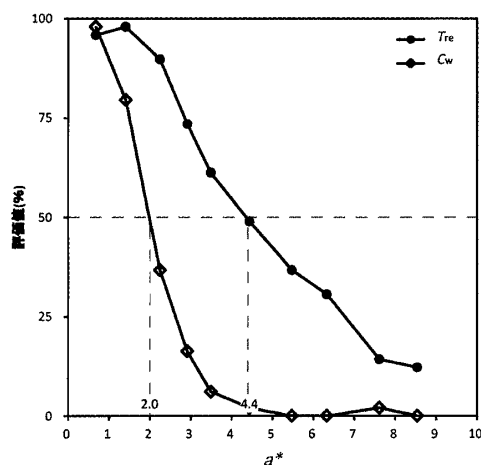


図6 赤系列のサンプルに対して、色彩許容度が50%のときの a^* 値

図6は一例として、2つの評価値 T_{re} , C_w がそれぞれ50%のときの、赤系列 ($N=10$, 平均色相角 $\bar{h}=25$, 標準

偏差 $\sigma=4.0$) の a^* 値を表している。図7は同様にすべての色相系列(9色相系列)において、色彩許容度が50%のときの a^* 値と b^* 値を求め、それらを曲線で結んだものである。同様にすべての色相系列において50%のときの L^* 値と C^* を求めたものを図8に示し、色相9列のCIELAB値を表3に示す。

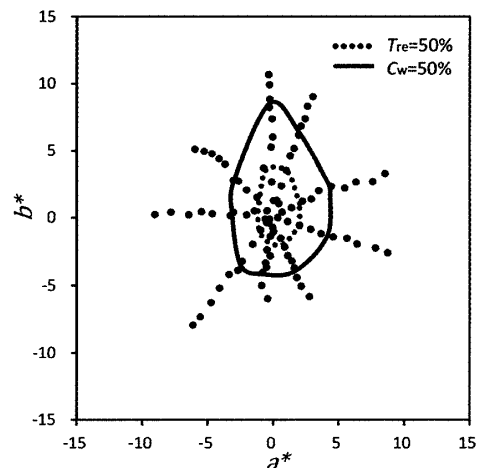


図7 評価値 T_{re} , C_w が50%のときの a^* - b^* 値

図7の50%の評価値 T_{re} , C_w の a^* 値と b^* 値から、いずれも相対的に黄色系列で彩度が高く、青と緑系列で彩度が低くなっている。つまり、同じ50%の色彩許容度でも色相によって許容できる色の彩度が違うことが言える。また、全色相において、白紙の認識度50%と印刷用再生紙の色彩許容度50%のライン円の形が類似し、黄みの紙の方が白紙の認識される範囲が広く、そして黄みが多少濃くなっても印刷用再生紙の色として許容できるということが分かった。

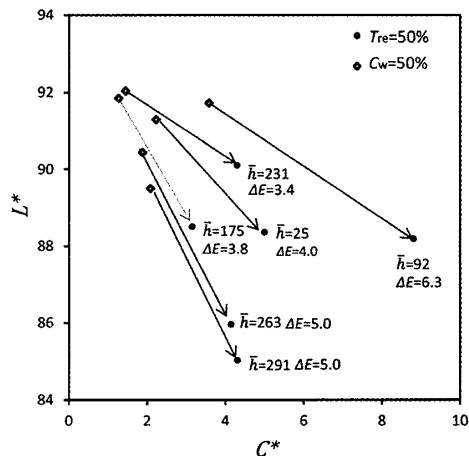


図8 評価値 T_{re} , C_w が50%のときの L^* - C^* , 矢印ラインは、例として平均色相 $\bar{h}$ 値が92, 175, 231, 291の色相系列での評価値 T_{re} と C_w の色差 (ΔE) を示す。

さらに2種の評価値 T_{re} , C_w が50%のときに9色相系列別で、明度 L^* と彩度 C^* や両評価値の色差 (ΔE) を用いて、色相別に特徴を見たところ、図8に示すように、色相によって評価値が50%と同じであっても、明度と彩度に差異があった。黄色系列 ($\bar{h}=92$) は、他の色相より彩度が高く、また、紫色系列 ($\bar{h}=291$) は他の色相より明度が低いことがみられた。また、両評価値の色差 (ΔE) は黄色が6.3で一番大きく、青色系列 ($\bar{h}=231$) が3.4で一番小さかった。両評価値の色差が大きいということは、白紙でなくても、再生紙として使用可能な色彩許容範囲が広いということであり、結果、黄色系列の色に対しては多少の色味が付いていても許容できるが、青色系列では、白紙と認識するものから少し色味がついた時点で、許容外という結果になるということを示しており、白紙の認識度と許容度の関係は色相によって異なるということが明らかになった。

図8に示す、 T_{re} , C_w が50%のときのすべての色相系列の平均明度 $\bar{L}^*$ と平均彩度 $\bar{C}^*$ を求め、平均値とその標準偏差を示すものを図9に表す。また、図9には、大半とも言える被験者の90%が許容する色、つまり $T_{re}=90\%$ のときと90%が白紙と認識する $C_w=90\%$ のときの平均明度 $\bar{L}^*$ と平均彩度 $\bar{C}^*$ も同時に示している。

表3と図9から白紙としての認識度50% ($C_w=50\%$) の明度と彩度をもつ色の印刷用再生紙としての色彩許容度90% ($T_{re}=90\%$) 程度に値することが見受けられる。つまり消費者は白紙と言い切れない色(白紙であるか

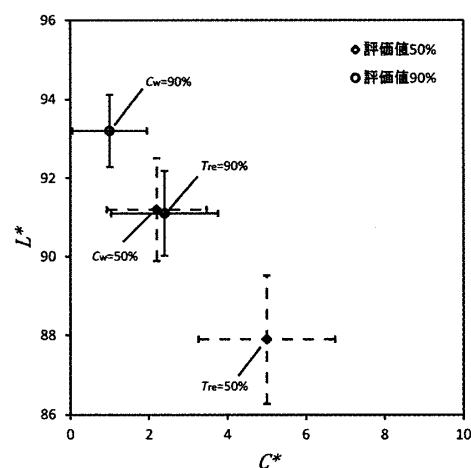


図9 色彩許容度と白紙の認識度が50%と90%のときの色相9列の平均明度 $\bar{L}^*$ と平均彩度 $\bar{C}^*$ とそれらのSD

色紙であるかの判断が分かれる色)に対しても、再生紙であれば使用可であると判断することが示唆された。

3.3. 色彩許容度の予測式の整合性

先行研究⁹⁾では、消費者が使用可能な再生紙の色がどの程度であるかを知ること、消費者の認識を考慮し、適当なレベルで漂白処理を行うことで、環境への負荷軽減に貢献できると考え、再生紙の色彩許容度について調査を行った。その調査結果に基づき、再生紙の色彩許容度を推測するための予測式を提案した。

印刷用再生紙の色彩許容度 T_{re} の予測値は式(3)によ

表3 評価値 T_{re} , C_w が50%と90%のときの色相9列のCIELAB値

評価値		各色相系列の平均色相角 $\bar{h}$ 値									平均	標準 誤差
		25	73	92	135	175	231	263	291	340		
T_{re} 50%	L^*	88.4	87.5	88.6	89.8	88.5	90.1	85.9	85.0	87.8	88.0	1.7
	a^*	4.36	2.01	-0.28	-3.00	-3.14	-2.49	-0.79	1.68	4.13	-	-
	b^*	2.29	6.31	8.51	2.77	0.27	-3.52	-4.19	-3.96	-1.33	-	-
	C^*	4.9	6.6	8.5	4.1	3.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.9	1.6
T_{re} 90%	L^*	91.0	90.8	91.1	92.7	91.9	92.3	90.3	89.1	90.8	91.1	1.1
	a^*	2.22	1.09	-0.18	-0.83	-1.14	-0.84	-0.36	0.87	1.83	-	-
	b^*	1.19	3.81	5.19	0.98	0.28	-0.81	-2.01	-2.15	-0.52	-	-
	C^*	2.5	4.0	5.2	1.3	1.2	1.2	2.0	2.3	1.9	2.4	1.4
C_w 50%	L^*	91.3	91.2	91.7	92.4	91.9	92.0	90.4	89.5	90.7	91.2	0.9
	a^*	1.98	0.99	-0.64	-1.08	-1.19	-1.02	-0.32	0.78	1.91	-	-
	b^*	1.06	3.46	3.54	1.31	0.32	-1.08	-1.85	-1.96	-0.54	-	-
	C^*	2.2	3.6	3.6	1.7	1.3	1.5	1.9	2.1	2.0	2.2	0.8
C_w 90%	L^*	92.6	93.0	93.6	94.4	94.5	94.6	94.3	94.2	92.7	93.8	0.8
	a^*	0.99	0.35	-0.01	-0.06	0.04	0.06	0.03	0.05	0.52	-	-
	b^*	0.55	1.51	1.76	0.74	0.60	0.46	0.27	0.40	-0.07	-	-
	C^*	1.1	1.6	1.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.5	1.0	0.4

り求められる。

$$T_{re} = -(0.008\Delta h_{80} + 4)\Delta E_{ab}^* + 0.01\Delta h_{80} + 125 \quad (3)$$

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

$$\Delta h_{80} = \text{Min}(|h_{ab} - 80|, |440 - h_{ab}|) \quad (5)$$

$$(0 \leq \Delta h_{80} \leq 180)$$

$$h_{ab} = \arctan(b^*/a^*) \quad (6)$$

ただし、予測式から得られた色彩許容度が100を超える場合は色彩許容度100とみなす。色彩許容度は白さと色相が重要な変数になることから、白さは式(4)により、色相の寄与の変数は式(5)から求めた。なお式(6)は色相角を求める式である。

本研究で得られた視感評価実験の結果を用いて、その印刷用再生紙の色彩許容度(T_{re})予測式(3)の整合性について検討を行った。

色彩許容度が30%未満の色は印刷用紙の色として、使用の可能性が低いと考え、視感評価実験から得られた再生紙の色彩許容度 T_{re} が30%以上の色サンプルの色彩許容度と式(3)により求めた色彩許容度の予測値を比較したものを図10に示す。図10に表すように、評価値と予測値の間の相関は $r=0.82$ と高いことが確認された。また、今回の実験でも許容度が一定ならば黄色系で彩度が高く、青と緑系で彩度が低くなるという、先行研究同様の色相の影響が見られた。したがって、今回の実験結果からも、予測式(3)から、再生紙の色彩許容をある程度予測可能であるということが証明された。しかしながら、図10から、予測値と視感評価実験の評価値から、二分化された誤差が見られ、つまり、色相によって予測値が評価値より高いグループと低いグループに二分化される傾向が見られた。

視感評価実験の評価値と予測式(3)により求めた予測値の誤差を色相系列別にみると、平均色相角 $\bar{h}=263$ と $\bar{h}=291$ の色相系列のサンプルは、予測値が評価値より小さいことや、評価値が大きくなるにつれ、その誤差も大きくなることが分かった。一方、平均色相角 $\bar{h}=263$ と $\bar{h}=291$ 以外の色相系列の誤差は、評価値の値によって変わるが、評価値が30%~80%の場合の誤差は予測値が評価値を上回るが、評価値が80%以上の場合には下回る傾向がみられ、誤差は色相グループによって、二分化されることがわかった。

この誤差と色相の関連をさらに詳しく分析するために、図11に示すように、各色相系列において評価値が70%と80%のときの L^* 値の差を求めた。つまり、各色相系列で、視感評価実験より得られた評価値から直線補間法により求めた色彩許容度70%と80%に対応する

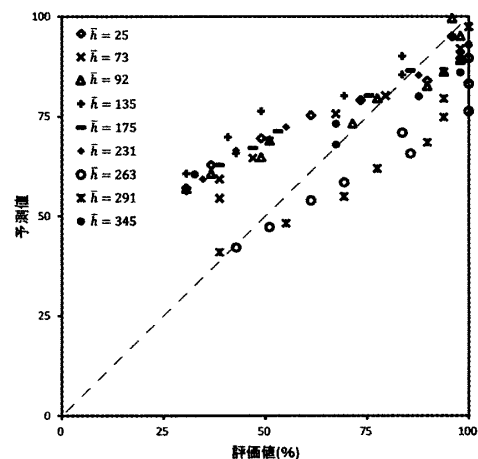


図10 色相系列別、再生紙の色彩許容度 T_{re} の評価値と予測式(3)より求めた予測値の比較($N=72$, 相関係数 $r=0.82$)

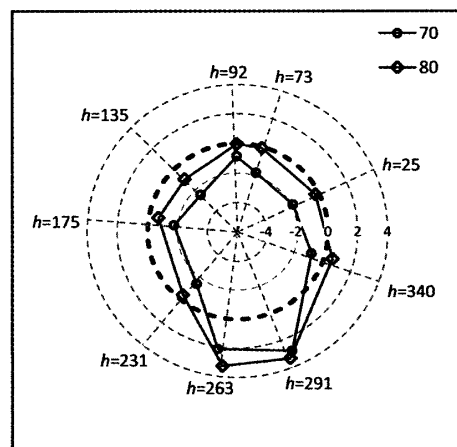


図11 色彩許容度70%, 80%場合の各色相系列での明度の差: 予測 L^* -評価 L^* (太い点線: 明度の差が0)

L^* , a^* , b^* 値のうち、許容度と a^* , b^* 値を予測式(3)に代入して求めた予測 L^* 値を求め、そして、その予測 L^* 値と実験の評価値 L^* 値の差(予測 L^* -評価 L^*)を求めた。図11からわかるように、 $\bar{h}=263$ と $\bar{h}=291$ の色相系列のサンプルに対しては、予測 L^* 値と評価 L^* 値の差が大きい、その2つを除いた他の色相においては予測 L^* 値と評価 L^* 値の差は、評価値が70%の場合、平均1.6 ($\sigma=0.57$)と、また、評価値が80%の場合、平均0.3 ($\sigma=0.49$)と小さかった。

これら本実験結果より得られた印刷用再生紙の色彩許容度(T_{re})と予測値の間に生じた誤差の原因としては、提案した色彩許容度の予測式(3)の色相角 Δh_{80} による色相補正が、今回の実験の評価値と一致しないことが考えられる。予測式の構造から、色相の違いだけ考えると、色相補正の基準である h_{80} から Δh_{80} (式(5))

が一番大きくなる色相角 h_{260} の色が一番低い許容度を算出するようになっている。しかし、今回の実験結果と先行実験では、その h_{80} と h_{260} 付近の間の差の大きさにずれが見られた。また、予測式を導いた先行実験では色サンプル色相系列に偏りがあり、 h_{291} 付近の色サンプルが含まれていなかったことなども青系列に対して、大きな差が生じた原因として考えられる。また、本実験結果と予測値の差の原因は、サンプルサイズの違いや提示方法にも起因するのではないかと考えられる。

4. 結論

本研究では、白紙の認識と印刷用再生紙の色彩許容に関して視感評価実験を行い、その結果に基づき大きく3つ、(1)白紙に対する認識と印刷用再生紙の色彩許容の関連性、(2)白紙認識度と許容度への色相の影響、(3)先行研究で提案した色彩許容度予測式の整合性について検討を行った。その結果、以下の結論が導かれた。

(1) 白紙の認識度(C_w)と印刷用再生紙の色彩許容度(T_{re})の評価を比較すると、ほぼ全サンプルにおいて C_w より T_{re} が大きく、また、 C_w が上昇するにつれて T_{re} も高くなった。しかし、白紙の認識度が50%程度の色であっても印刷用再生紙の色彩許容度は90%程度もあり、印刷用再生紙に対しての消費者の意識は、白紙の認識度が低い色、つまり、多少明度が低いものや、多少色味があるものであっても使用可能であるということが明らかになった。

また、印刷用再生紙の色彩許容度(T_{re})とCIE白色度値の相関分析を行った結果、相関係数 r は0.55で低く、色彩許容度とCIE白色度は評価の性質が異なることが明確になった。すなわち、CIE白色度式は白さの評価をする式であり、特に白い色を対象として、白さを評価するのには有効であるが、本研究で対象とした、どの程度まで着色していても使用可能かという許容の程度の評価には適用できないことが明らかになった。

(2) 印刷用再生紙の色彩許容度と白紙の認識度に対する、明度と彩度の影響の大きさは、色相によって異なることがわかった。つまり、他の色相の色に比べて、黄色がかかった紙に対しては、彩度が大きくても相対的に認識度、許容が高くなる傾向、そして、紫色がかかった紙に対しては明度が低いものであっても相対的に認識度、許容度が高い傾向にあるということがわかった。また、青色がかかった紙に対しては他の色相

より許容程度が厳しいことも分かった。

(3) 先行研究で提案した印刷用再生紙の色彩許容度予測式(3)の整合性について検討を行うため、今回の視感評価実験により得られた色彩許容度と色サンプルの測色値から予測式を用いて求めた予測値との相関を分析した。結果、先行研究と本研究では実験方法やサンプルの使用色、サンプルサイズが異なるなどの原因から、色彩許容度の評価値と予測値の間に誤差がみられたが、得られた相関係数は $r=0.82$ と高く、予測式が妥当であることが確認できた。

謝辞

本研究に有益なアドバイスをいただいたKAISTのDr. Hyeon-Jeong Sukならびに、視感評価実験に協力していただいた被験者の方々に深謝いたします。

なお、本研究は、科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究(No.20650115, No.23650445)の援助を受けて行った研究である。

参考文献

- 1) 紙パルプ技術協会：古紙パルプ；紙パルプ製造シリーズ4, 紙パルプ技術協会 (2005) 265-269
- 2) 江前敏晴：紙の特性と評価方法及び規格の動向, 日本画像学会誌 43 (2004) 276-284
- 3) 古紙再生促進センター：リサイクル対応型印刷物制作のための印刷資材調査及び普及促進に関する調査報告書 (2011) 31-37
- 4) 林信一：ドイツ発 最新ヨーロッパ環境事情 ヨーロッパの再生紙事情：日本の再生紙偽装問題に際して想うこと, プラスチックス 59 (2008) 115-117
- 5) 内田洋子：白さの評価, 日本色彩学会誌 23 (1999) 176-183
- 6) 小松原仁, 鈴木恒男, 大田登：知覚的な白さの判断基準の解析, 日本色彩学会誌 28 (2004) 36-43
- 7) 鈴木恒男：知覚的な白さの許容度に基づく白色度式：カラーペーパーへの適用, 日本色彩学会誌 14 (1990) 114-121
- 8) CIE technical report : Colorimetry, 3rd Ed. (2004)
- 9) Katayama, I., Fairchild, M.D.: Quantitative evaluation of perceived whiteness based on a color vision model, Color Research and Application 35 (2010) 410-418
- 10) Jung, H., Suk, H.-J., Kitaguchi, S., Sato, T., Kajiwar K.: Color tolerance prediction for

鄭ほか：紙の白さの認識と再生紙の色彩許容度予測の可能性

recycled paper based on consumers' awareness,
Color Research and Application (2011) doi:
10.1002/col.20676

- 11) 石原忍: 石原色覚検査表 (国際版38表), 半田屋商店 (2008)
- 12) Cronbach, L.J.: Coefficient alpha and the internal structure of tests, Psychometrika 16 (1951) 297-334

(投稿受付日: 2011年11月24日)

(掲載決定日: 2012年2月7日)

著者紹介



じょん ひょじん
鄭 孝眞

2009年 京都工芸繊維大学大学院
工芸科学研究科 デザイン経営工
学専攻 博士前期課程修了

現在、京都工芸繊維大学大学院 工
芸科学研究科 設計工学専攻 博

士後期課程在学中



きたぐち さおり
北口 紗織

2003年 Colour & Imaging
Institute, University of Derby 修士
課程修了

2008年 Department of Colour
Science, University of Leeds 博士

課程修了 Ph.D

現在、京都工芸繊維大学 繊維科学センター 研究員
所属学会: 繊維学会, 日本繊維機械学会, 日本繊維製
品消費科学会



さとう てつや
佐藤 哲也

1982年 京都工芸繊維大学大学院
色染工芸学専攻 修士課程修了

博士(学術), 現在、京都工芸繊維
大学大学院 工芸科学研究科 デザ
イン経営工学専攻 教授, 同大学

繊維科学センター 繊維デザイン戦略室 室長

所属学会: 日本色彩学会, 繊維学会, 日本繊維機械学
会, 日本繊維製品消費科学会, 日本家政学会, 日本感
性工学会, The Society of Dyers and Colourists

付表A 91色サンプルの測色値と評価値

サンプル	L*	a*	b*	C*	h	T _{re} (%)	C _w (%)
1	93.1	0.68	0.40	0.8	31	96	98
2	92.0	1.41	0.74	1.6	28	98	80
3	90.9	2.24	1.20	2.5	28	90	37
4	90.0	2.92	1.38	3.2	25	73	16
5	89.3	3.49	2.00	4.0	30	61	6
6	88.4	4.44	2.31	5.0	28	49	2
7	87.2	5.47	2.18	5.9	22	37	0
8	86.2	6.33	2.63	6.9	23	31	0
9	85.1	7.61	2.66	8.1	19	14	2
10	84.0	8.54	3.27	9.1	21	12	0
11	93.3	0.27	1.27	1.3	78	100	96
12	92.2	0.63	2.35	2.4	75	98	69
13	91.1	1.01	3.51	3.7	74	94	49
14	90.0	1.31	4.60	4.8	74	80	20
15	89.1	1.59	5.17	5.4	73	67	16
16	87.7	1.97	6.15	6.5	72	51	6
17	86.9	2.14	6.82	7.1	73	47	2
18	85.8	2.43	7.36	7.8	72	39	2
19	84.9	2.62	8.29	8.7	72	39	2
20	83.9	3.04	9.00	9.5	71	27	0
21	93.8	0.04	1.26	1.3	88	96	96
22	93.2	-0.11	2.65	2.6	92	98	80
23	91.4	-0.73	3.70	3.8	101	94	45
24	91.0	-0.15	5.26	5.3	92	90	22
25	90.6	-0.03	5.99	6.0	90	78	18
26	89.6	-0.08	7.35	7.4	91	71	10
27	89.0	-0.30	8.20	8.2	92	51	4
28	88.2	-0.25	8.81	8.8	92	49	0
29	87.8	-0.27	9.90	9.9	92	37	0
30	87.2	-0.33	10.65	10.7	92	31	4
31	93.2	-0.46	0.49	0.7	133	96	82
32	92.2	-1.22	1.50	1.9	129	84	43
33	91.4	-2.02	2.04	2.9	135	84	24
34	90.5	-2.65	2.72	3.8	134	69	10
35	89.7	-3.02	2.77	4.1	137	49	0
36	88.6	-3.67	3.98	5.4	133	41	6
37	87.9	-4.13	4.38	6.0	133	43	0
38	87.0	-4.66	4.76	6.7	134	31	2
39	86.2	-5.26	4.94	7.2	137	31	0
40	85.4	-5.97	5.10	7.9	139	20	0
41	92.3	-0.60	-0.11	0.6	191	98	73
42	91.7	-1.43	0.49	1.5	161	86	41
43	90.6	-2.01	0.20	2.0	174	76	18
44	88.9	-3.03	0.39	3.1	173	53	2
45	88.1	-3.25	0.16	3.3	177	47	2
46	87.6	-4.64	0.29	4.6	176	39	0
47	86.6	-5.47	0.42	5.5	176	27	0
48	85.5	-6.44	0.20	6.4	178	16	2
49	84.5	-7.81	0.40	7.8	177	16	0
50	83.3	-9.02	0.22	9.0	179	10	0
51	92.8	-0.48	-0.38	0.6	218	98	76
52	92.1	-0.94	-0.94	1.3	225	88	55
53	91.2	-1.55	-1.99	2.5	232	73	16
54	90.4	-2.36	-3.23	4.0	234	55	4
55	89.6	-2.68	-3.92	4.7	236	43	0
56	88.3	-3.36	-4.23	5.4	232	35	0
57	87.3	-4.08	-5.22	6.6	232	24	0
58	86.2	-4.74	-6.30	7.9	233	14	0
59	85.1	-5.55	-7.35	9.2	233	14	0
60	84.3	-6.11	-7.98	10.0	233	10	0
61	92.9	-0.31	-0.36	0.5	230	100	82
62	91.9	-0.02	-0.73	0.7	268	100	94
63	90.8	-0.20	-1.40	1.4	262	100	69
64	90.0	-0.46	-2.40	2.4	259	84	27
65	89.0	-0.22	-2.83	2.8	266	86	35
66	87.9	-0.56	-3.36	3.4	261	69	8
67	87.1	-0.51	-3.71	3.7	262	61	6
68	86.0	-0.78	-4.07	4.1	259	51	8
69	85.3	-0.86	-5.03	5.1	260	43	4
70	83.9	-0.42	-6.03	6.0	266	29	0
71	92.8	-0.26	-0.12	0.3	205	98	82
72	91.2	0.04	-1.05	1.0	272	94	76
73	90.2	0.58	-1.55	1.7	291	94	67
74	89.1	0.89	-2.18	2.4	292	90	41
75	87.9	1.13	-2.81	3.0	292	78	24
76	86.6	1.43	-3.22	3.5	294	69	18
77	85.4	1.61	-3.73	4.1	293	55	14
78	84.2	1.81	-4.46	4.8	292	39	2
79	83.2	2.14	-5.08	5.5	293	27	2
80	81.3	2.79	-5.87	6.5	295	22	0
81	92.9	0.35	0.00	0.4	359	100	92
82	91.7	1.12	-0.30	1.2	345	98	84
83	90.6	2.03	-0.58	2.1	344	88	45
84	89.4	2.88	-0.87	3.0	343	67	12
85	88.5	3.68	-1.21	3.9	342	67	10
86	87.2	4.59	-1.44	4.8	343	33	0
87	85.9	5.65	-1.55	5.9	345	29	2
88	84.6	6.41	-1.97	6.7	343	18	0
89	83.2	7.82	-2.26	8.1	344	10	0
90	81.5	8.77	-2.62	9.1	343	8	0
91	95.9	0.43	1.04	1.1	67	100	100