

世界の色票の統計的色分布調査

Statistical Color Distribution Analysis of Color Charts around the World



CD 研究所
増田 豊
Yutaka
Masuda

1. はじめに

国内では日本塗料工業会の「標準色見本帳（以下、JPMA）」が建築や工業用のカラーデザインツールとして使われてきた。しかし、国外ではJPMAを使用していない国々が多くある。そこで本報では、世界で使われている主要な色見本帳を集め、以下の2点について考察した。

- 1) 色分布を計量色彩的に調べ、色票の特徴をJPMAと比較する。
- 2) 塗料のカラーデザインの立場から建築用色彩、工業用色彩の使い勝手を調査する。

どの色票がどの地域でよく使われているかは科学史に基づいている。色彩的にはヨーロッパのオストワルド表色系を起源とするものと、米国のマンセル表色系を起源とするものがある。この2大系列を元に、各分野（工業用色彩、建築用色彩、印刷インキ用色彩）において使い勝手が良い色票が開発されてきた。1つの色票に含まれる色数も300～1700色と様々なものがある。ここでは、色数が500色以上の全色域をカバーしている代表的な色票7種類をサンプルとした。

2. 分析方法

色票の測色値を元にし、解析用の専用プログラムを作成して、計量的に分析を行った。

2.1 色相 - トーン スケールの測色

色は3属性（色相、明度、彩度）で分類、整理することができる。しかし、3次元で図表を作成すると人間にとって分析しがたいため、カラーデザインの世界ではしばしば、色相 (hue) とトーン (tone) の2属性で色を図示することがある。色相は赤、黄色、黄赤のような色名である。トーンはJIS Z8102の用語では色の修飾語であり、色名につける補助の言葉である。明度と彩度を掛け合わせた概念であり、“明るい”、“つよい”、“くすんだ”のように表す。

本研究では、JISの色名と修飾語を採用しないで、カラーデザインの世界でよく用いられている株式会社日本カラーデ

ザイン研究所(NCD)の「M*MC Color Scale II」の色相-トーンスケールを用いた。このスケールのラミネート版を45/0度タイプの分光光度計(米国 x-rite 社製)で測色し、10 nm 間隔の分光反射率から、JIS Z8701 と JIS Z8729 を用いて自然日光に相当するCIE標準のD65光源、10度視野の $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ を計算後、 $L^*a^*b^*$ 、 $L^*c^*h^*$ に変換した。M*MCは1093色(43色相×25トーン+18無彩色)である。トーンの記号は以下の通りである。記号と、その意味を列挙した。

V (Vivid、ビビッド、ごくあざやかな)、S (Strong、ストロング、つよい)、B (Bright、ブライト、あかるい)、P (Pale、ペール、うすい)、Vp (Very pale、ベリーペール、ごくうすい)、Lgr (Light grayish、ライトグレイッシュ、明るい灰みの)、L (Light、ライト、あかるい)、Gr (Grayish、グレイッシュ、灰みの)、Dl (Dull、ダル、くすんだ)、Dp (Deep、ディープ、こい)、Dk (Dark、ダーク、くらい)、Dgr (Dark grayish、ダークグレイッシュ、暗い灰みの)。

2.2 色票の測色

入手した7つの色票を写真1、表1に示した。表中の色票数(N)は実際に測色した数である。

多くの色票はフルグロス(Gs60=80以上)からセミグロス



写真1 調査した色票7種類

- ①JPMA-F:日本塗料工業会(JPMA)発行、2011年-F版
- ②Munsell:Munsell Book of Color、主に米国圏で使用
- ③NCS:NCS-Classic-Glossy、NCSはスウェーデン王立規格
- ④RAL-D2:ドイツのRALの中から一番色数が多いD2版
- ⑤PANTONE-COAT:印刷インキ見本からPANTONEコート紙
- ⑥CBCC:中国建築色標準カード(中国国家規格)
- ⑦BM:Benjamin-Moore、米国の建築用塗料色見本

表1 隣り合う色票の色差分布の統計値(色差式はCIEDE2000を採用)

	JPMA-F	Munsell	NCS	RAL-D2	PANTONE	CBCC	BM
色数(N)	632	1597	2009	1625	542	1031	1621
隣り合う色票の平均色差	3.2	2.3	2.6	2.1	3.7	2.7	1.8
色差1以下の数の割合(%)	3.3	4.1	9.5	5.3	3.3	11.7	31.6

(Gs60=60~80)であるが、CBCC(中国建築色票)、BM(ベンジャミン・ムーア)は建築塗料に特化した色票のためフルマット(Gs60<10)の色票である。しかしながら45/0度タイプの測色は色票の光沢の影響を受けにくいいため、色票のつや消しの程度やバインダーの材質の屈折率の違いで明度L*が極端に変わることはない。

2.3 全色票のCG

色票の測色値 $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ からsRGBに変換したJPEG画像を作成し市販ソフトでタイル状に並べ、スクリーンショットを得た。並び順は色票の収録順で、左上が1番目、その右横が2番、右下隅が最後の色であるため、この並び順は使い勝手の要因であるが、今回は検討項目には入れない。

2.4 色相-トーン マップの作成

それぞれの色票とM*MCのCIE(1976)L*a*b*色差を計算し、最小の色差を与える色相、トーン値を採用した。コンピュータグラフィック(CG)で再現したM*MCの上に●印でプロットし色相-トーンマップを作成した。

2.5 色相-トーン値の頻度分布

色相、トーンの頻度分布(それぞれの色票数が100%)を計算し、棒グラフを作成した。

2.6 最小色差頻度分布

色票の中の各々の色がどれくらいの色差で離れているかを計算した。例えば、ある色と全色票との色差を計算し、最小の色差を“その色の隣り合う色票の色差”とする。このように全ての色票の隣り合う色差を計算し“最小色差頻度分布図”を作成した。一般に色差範囲が0~0.5の場合是一般の人がわからない微妙な差、0.5~1.0は塗料の出荷管理レベル、2~3が良く管理された印刷の色差許容範囲である。このことから最小色差が1以下の色はデザイン的には同色であり、色票としては意味がない。但し、無彩色のオフホワイトとカラードブラックはその工業製品のマーケットニーズから微妙な色の差に意匠価値がある。

表1には“最小色差頻度分布”の平均値を“隣り合う色票の平均色差”として示し、本文中の“平均色差”は、この色差を示す。

最小色差頻度分布図を作成する前に、使用する色差式を検討した。Munsell Book of Color(以下、Munsell)を例にして、図1に示した。JIS Z8730には複数の色差式がある。

古くから使用しているCIE(1976)L*a*b*色差(CIEDE1976、記号 ΔE^*ab)と、目視の一致性を改良したCIEDE2000色差式(CIEDE2000、記号 ΔE_{00})である。

ΔE^*ab は高彩度の赤~オレンジ領域で目視よりもかなり大きな色差を出すことが知られている。この色差の偏りを改良したのが ΔE_{00} である。図1を見ると、 ΔE^*ab は色差分布が広く ΔE_{00} は狭い。Munsellの色票間の距離は目視で同じになっているので、分布が狭い方が目視と合っているといえる。この理由により、“最小色差頻度分布”で使う色差式はCIEDE2000(メトリック明度、彩度、色相の補正係数は $k_L:k_C:k_H=1:1:1$)とした。

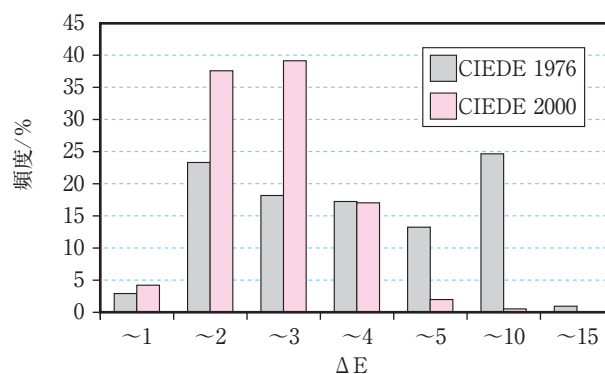


図1 Munsell Book of Colorの最小色差頻度分布を2つの色差式で比較する

3. 結果

3.1 JPMA-Fの色分布(632色)

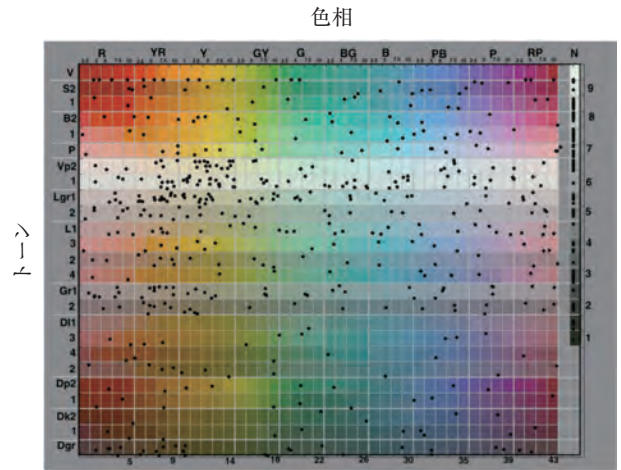
日本塗料工業会の色見本帳は1954年に156色からスタートした。F版(2011年)の結果を図2に示した。JPMAは2年に一度、中身の見直しをする。色の廃止、追加があるため発行年度ごとに収録の色と色数が異なる。F版は632色あり、全ての色を収録順にCGで表すと図2(a)になる。

3.1.1 色相-トーン マップ

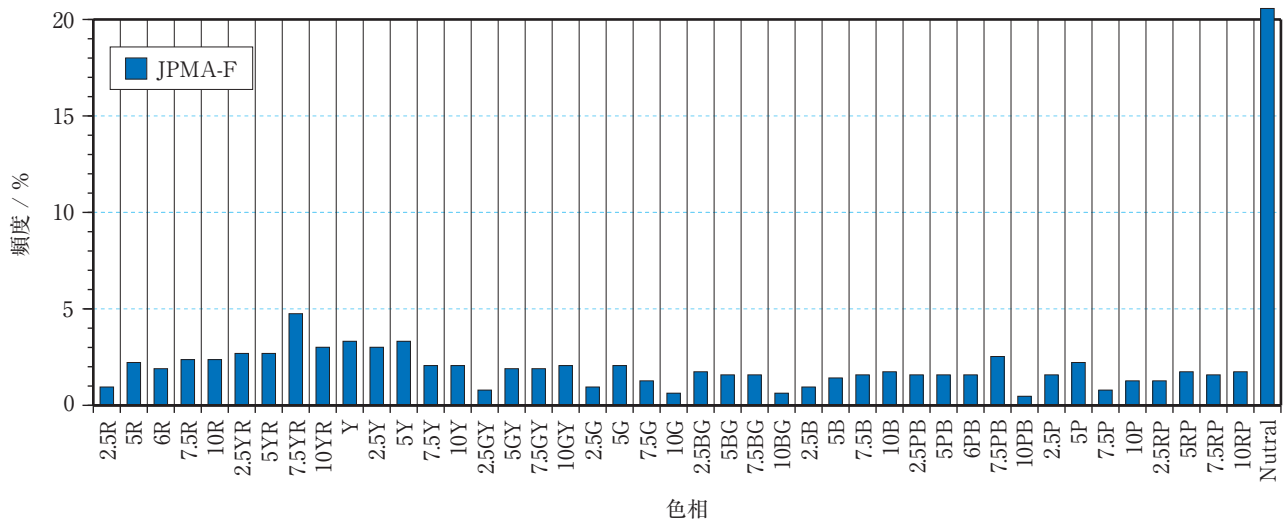
図2(b)に色相-トーンマップを、図2(c)、(d)に頻度図を示した。有彩色の色相の最頻度は7.5YRであり、次に10YR、Y、2.5Y、5Yが続く。トーンではVp2~Lgr2が多く、淡彩の中でも薄い色が多い。次にGr1であり、くすんだ色(落ち着いた色)が多い。



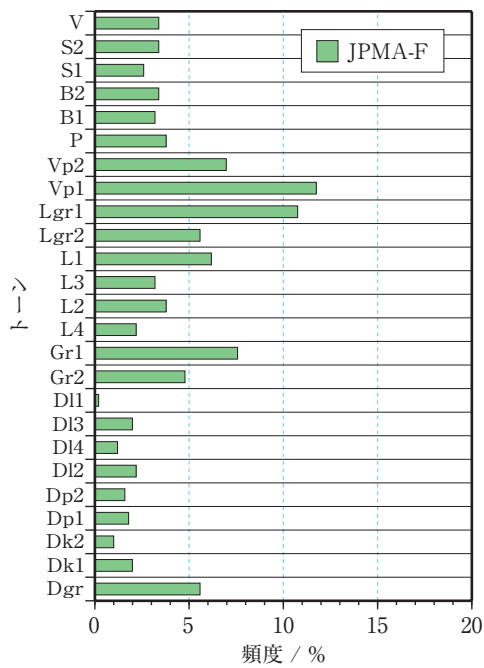
(a) 色票CG



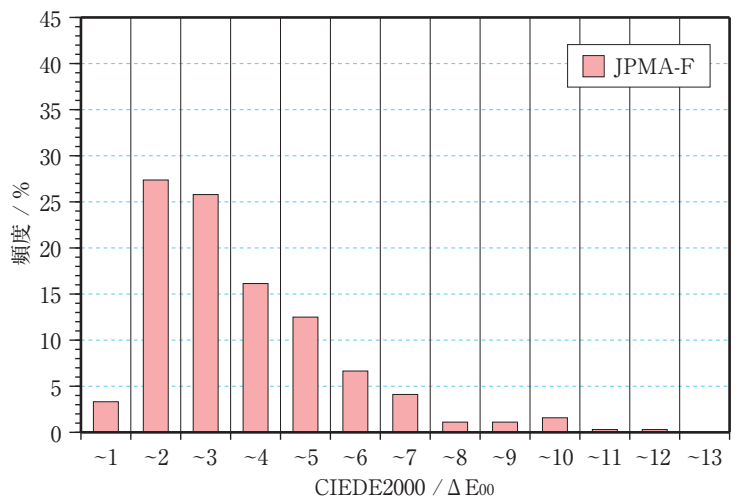
(b) 色相-トーン マップ



(c) 色相頻度分布



(d) トーン頻度分布



(e) 最小色差頻度分布

図2 日塗工 JPM-A-F(632色)

3.1.2 最小色差頻度分布

図2(e)に最小色差頻度分布を示した。この図2(b)の色相-トーン マップの上の●記号の密度分布を定量的に表している。ペーヅの色域(YR ~ Y; Lgr1)は色差が1~2離れて密である。一方、BG ~ Bの色域は色差が4以上離れている疎の領域である。平均色差は3.2で、色差1以下の割合は3.3%と少ない。色差1以下の割合は、目視的に同じに見える色票の割合であり、5%以下は重なった色が少ない印象で、10%以上は同じ色が多い印象を与える。

表1に最小色差分布の統計値を示した。

JPMAは国内の建築色彩でよく使われるように進化したため、日本の建築色に多いペーヅ系の色が豊富にある。反対に家電のアクセントカラーに使う彩度が高い色は少ない。色数が632と少ないが、主なマーケット(建築塗料)を押さえたバランスの良い配置である。

色数が少ない利点を活かして、ポケット版は携帯性に優れる。ワイド版はミシン目で短冊の色チップが切り取りが可能で、色彩提案ではこの色チップを原稿に貼って提出できる。

3.2 Munsellの色分布(1597色)

Munsell Book of Color(光沢版と艶消し版)が2冊のアルバム大の大きさの本としてある。携帯性がなく、デザインの現場では使いにくい。しかし、国内ではさまざまな色の規格(安全色票、景観ガイドライン等)がマンセル値で規定されている。今回、光沢版を測色し、結果を図3に示した。

3.2.1 色相-トーン マップ

その開発履歴や目的を反映して、広範囲に均等に分布している。頻度分布も平坦である。

3.2.2 最小色差頻度分布

平均色差が2.3、色差1以下が4.1%である。淡彩色(Vp)でやや色間隔が広いが全体的には色差分布が狭く、均等に色が分布している。

3.3 NCSの色分布(2009色)

ヨーロッパ圏で採用されているスウェーデン王立規格である。グロス版とマット版がある。オフホワイトとカラーブラックが充実しているため、家電の色見本帳として利用価値がある。このオフホワイトの色票に近いものとして日本では社団法人日本インダストリアルデザイナー協会(JIDA: Japan Industrial Designer's Association)が発売している“白の塗装見本帳”がある。グロス版の結果について報告する(図4)。

3.3.1 色相-トーン マップ

偏りがなく分布しているがMunsellに比べて10R~7.5YR、トーンではP~Lgr1が多いのが特徴。プロットもこの周辺に集中している。ここの充実が建築内装で良く使う色である。

3.3.2 最小色差頻度分布

色差1以下が9.5%とやや大きい、理由はオフホワイトとカラーブラックが多いためである。平均色差は2.6であり、Munsellの2.3と同等であるが、分布は色差1~2が少なく、5~10のように離れている色が数多くある。これは色の間隔がマンセルほど均等ではなく、高彩度色では色票間の差が大きいことを意味している。ここから、学問的に色空間を均等に配置したのではなく、利用価値が高いペーヅ領域にやや色数が多くなっていることがわかる。

3.4 RAL-D2の色分布(1625色)

RALにはさまざまな商品がある。一番有名なものはRAL-Classic(最新はRAL-K7、213色)である。このオリジナルは1925年3月のベルリン万国博覧会の時に展示商品の色分類をするために商品の色を集めたものである。その後、第1、2次世界大戦で、ドイツ軍の色番号にも使われ、その慣習はNATO軍にも受け継がれている。このようにRAL-Classicは商品の色を集めたもので、色空間を網羅的にマップ化した“色票体系”ではない。

ヨーロッパで色票体系と言えば、ドイツのオストワルドの流れをくむDIN表色系(ドイツ工業規格)やNCSである。RAL-D2はそれに対抗すべく、1997年ドイツのRAL社で開発したもので、計量学的に色を満遍なく作成した極めて数学的に作成した色票である。結果を図5に示す。

3.4.1 色相-トーン マップ

分布は一様に広がっているが、マンセルに比べてR~Y系のDp2以下の濃彩色が少ない。淡彩が多い建築から工業用までカバーできている。

3.4.2 最小色差頻度分布

色差1以下は5.3%と少なく、平均が2.1であり、色が偏りなく分布している。色数が多い割に、密集している色が少なく、少ない色で広い色域を均等にカバーしている。全7色票中、最も色空間が均等な色票である。

3.5 PANTONE-COATの色分布(542色)

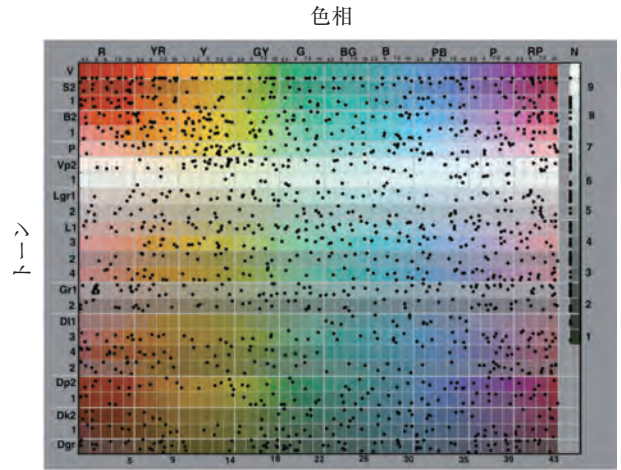
PANTONEはそれ自体でインクの販売はしておらず、それゆえ、印刷の標準色票として世界に広まった。色数はJPMAよりも少ない。しかし、商品形態がプラスチック、布、紙と多岐に渡り、そのファッション性ブランドとの相乗効果で、世界の中で地位を確立している。印刷インキCMYKの色見本帳であるから、インキの混色比率がわかる目的で作っており、色彩学的な色の分布の価値はない。JPMAのように色紙を切り取れるSwatch版があるので重宝する。結果を図6に示す。

3.5.1 色相-トーン マップ

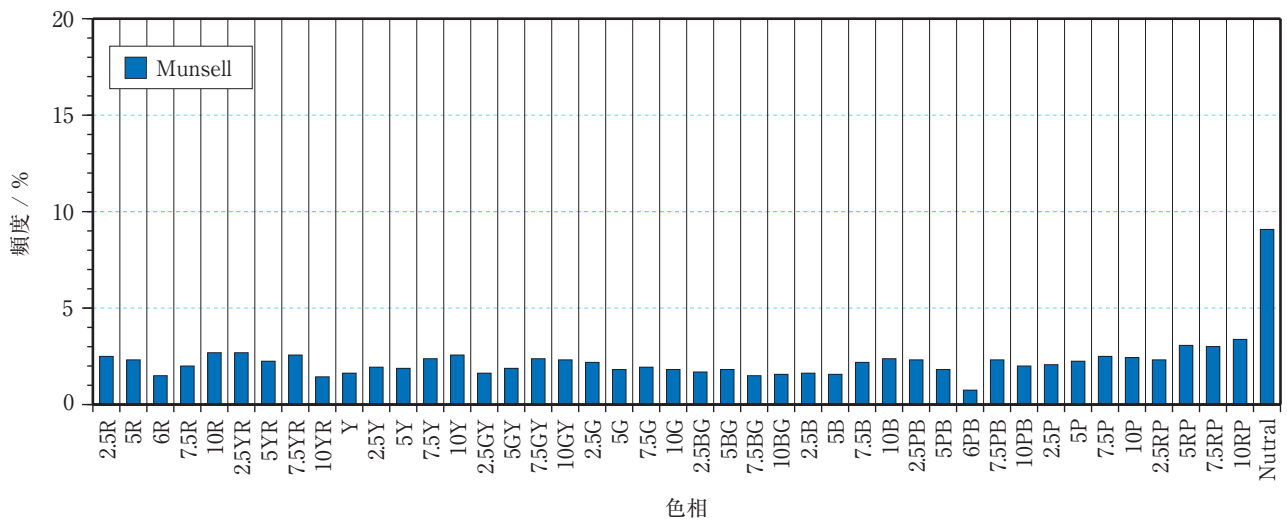
インキの中で一番着色力が無い黄色インクを使った黄色系5Y~2.5GYがやや多く、Vの鮮明度が高い色が多い。



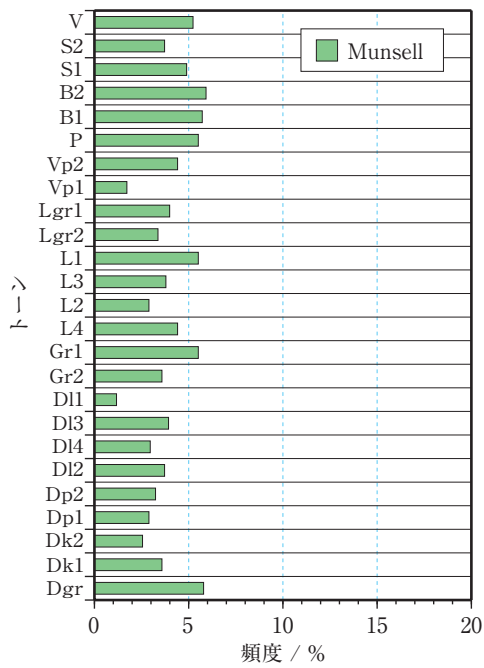
(a) 色票CG



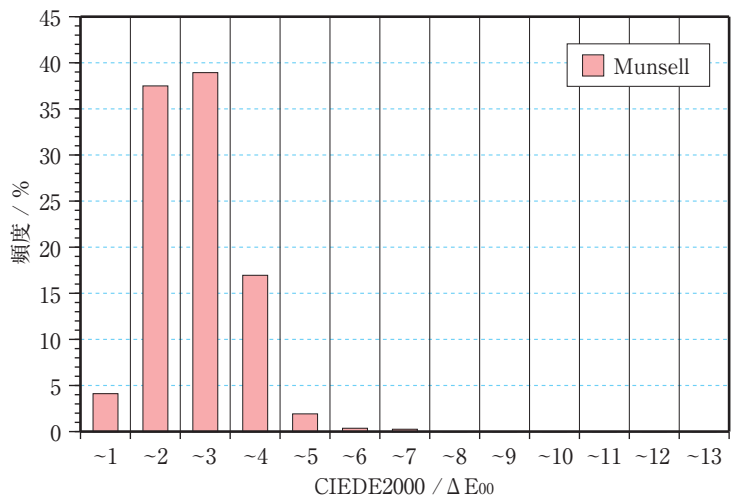
(b) 色相-トーン マップ



(c) 色相頻度分布



(d) トーン頻度分布

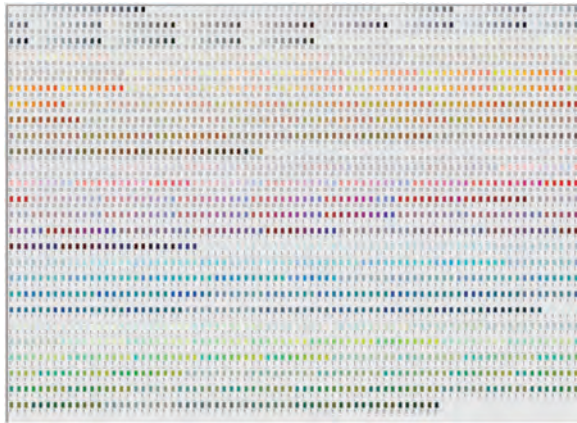


(e) 最小色差頻度分布

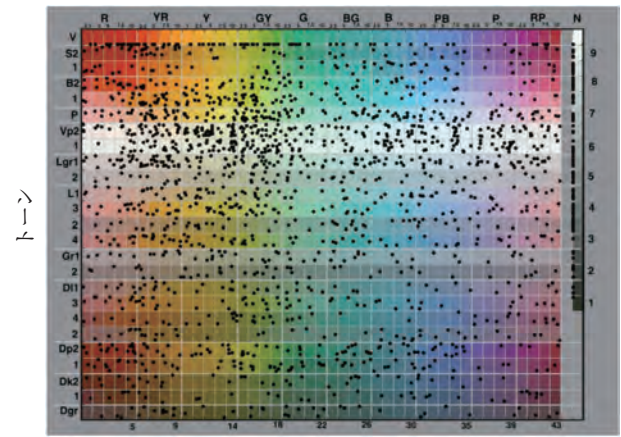
図3 Munsell Book of Color (1597色)

色
彩

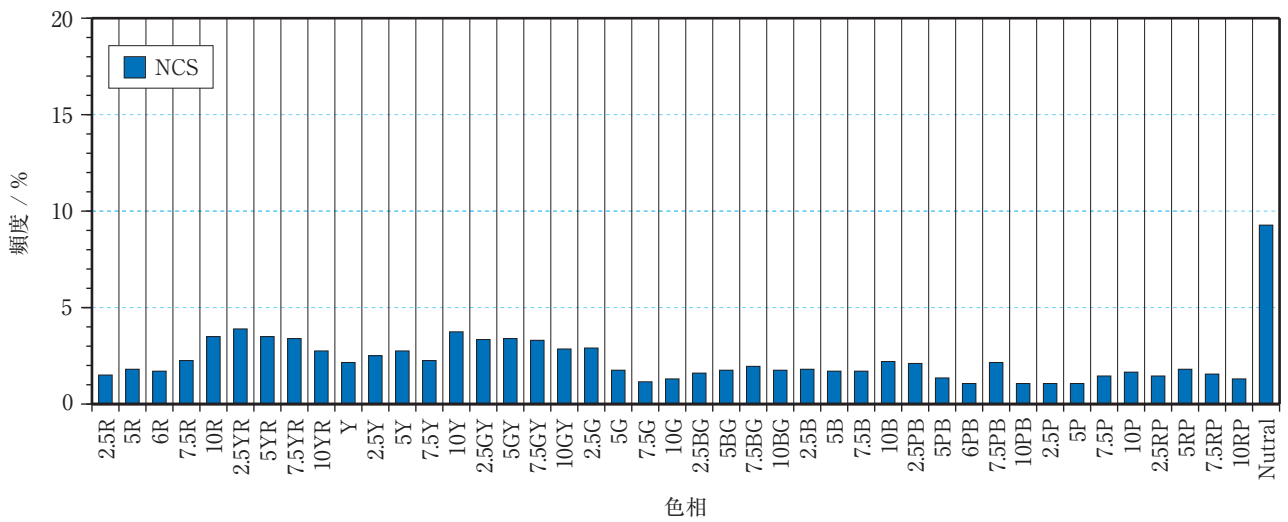
色相



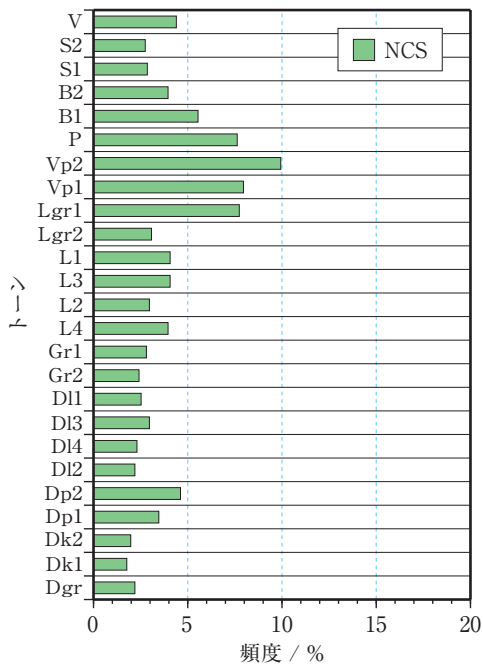
(a) 色票CG



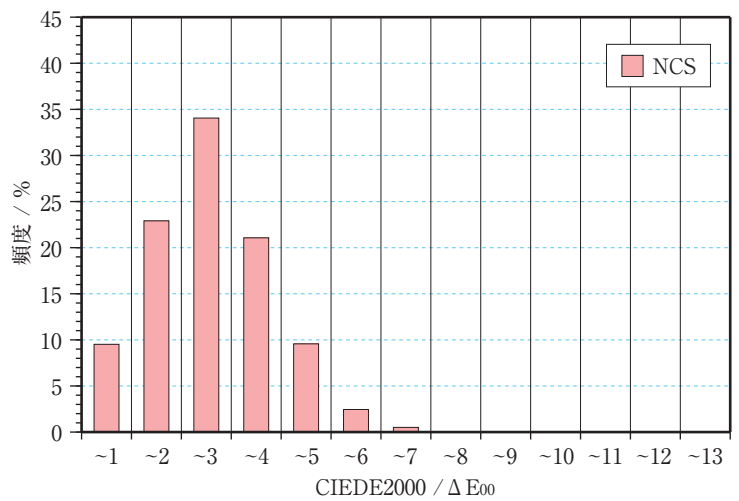
(b) 色相-トーン マップ



(c) 色相頻度分布

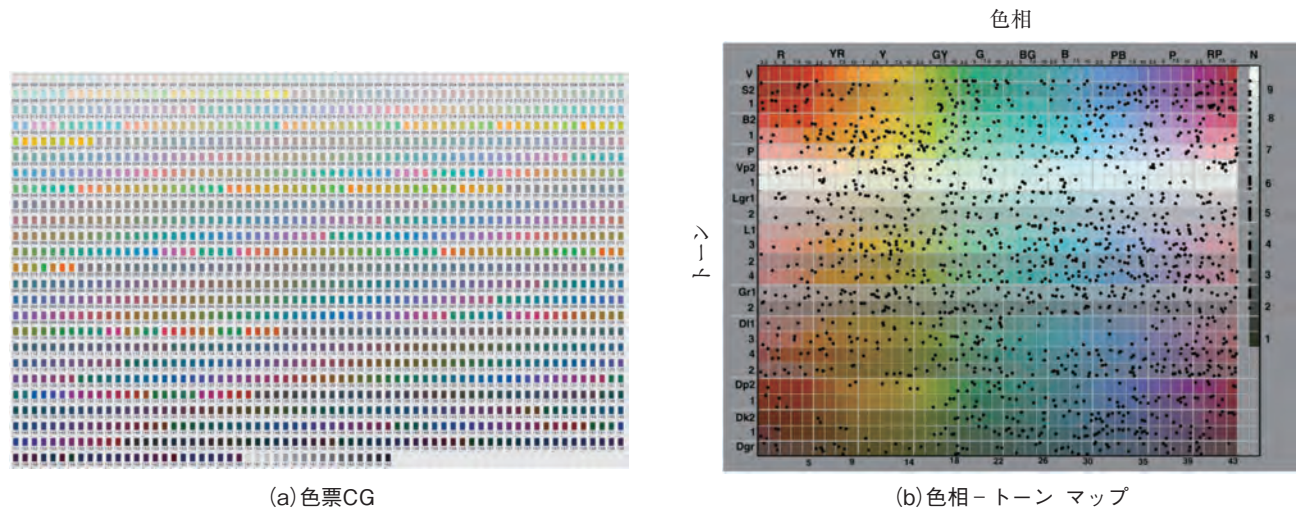


(d) トーン頻度分布



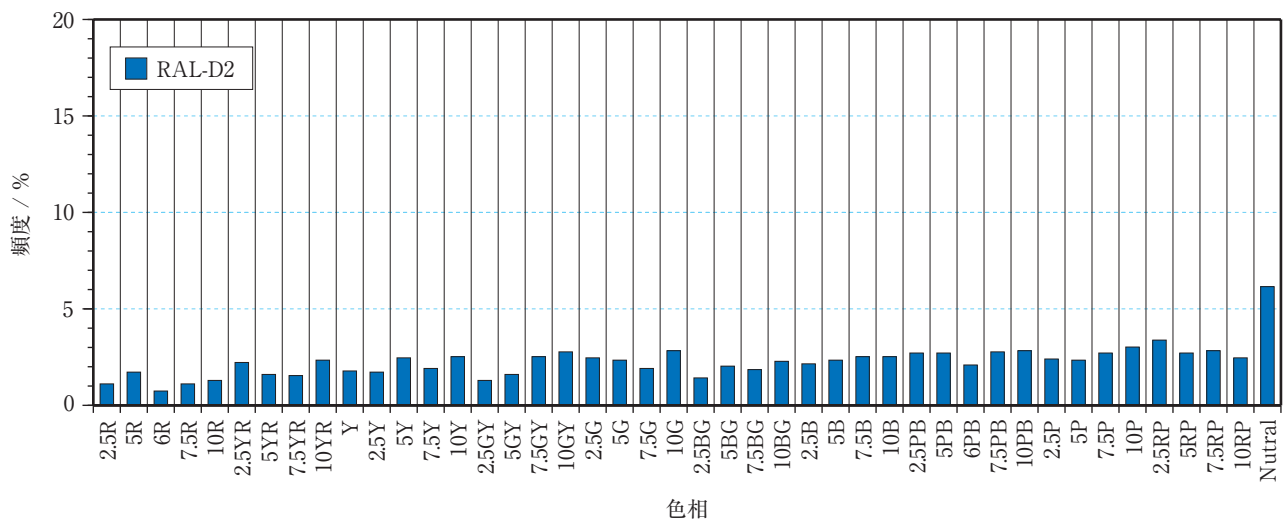
(e) 最小色差頻度分布

図4 NCS-Classic1950(2009色)

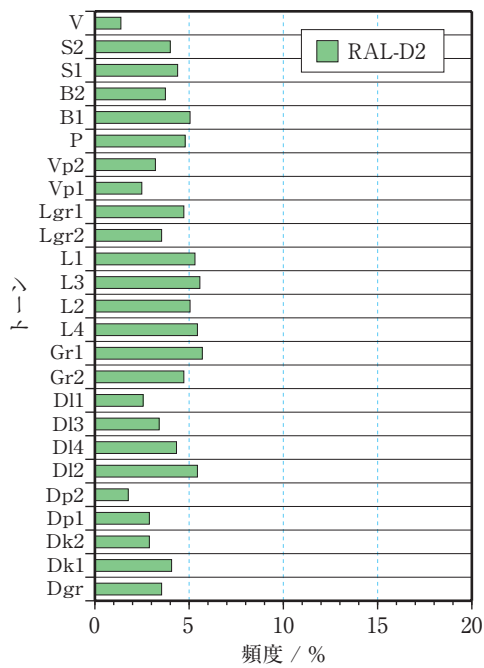


(a) 色票CG

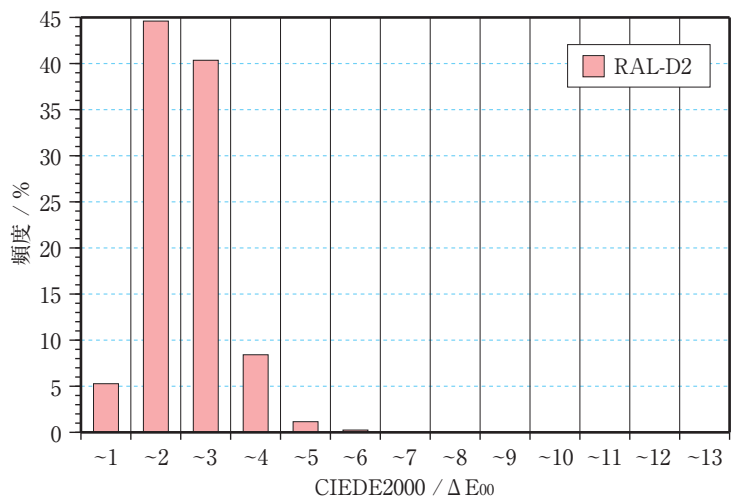
(b) 色相-トーン マップ



(c) 色相頻度分布



(d) トーン頻度分布

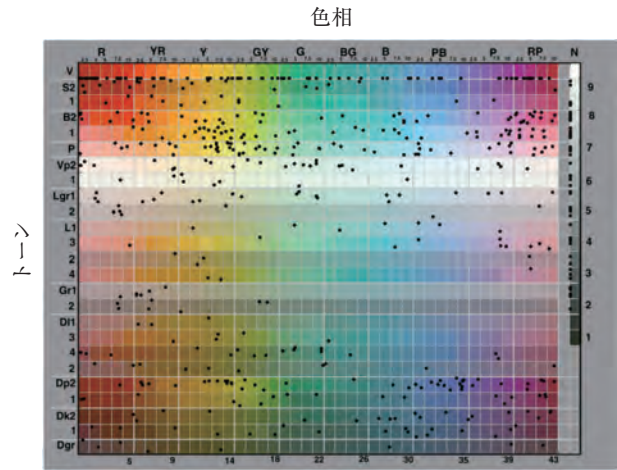


(e) 最小色差頻度分布

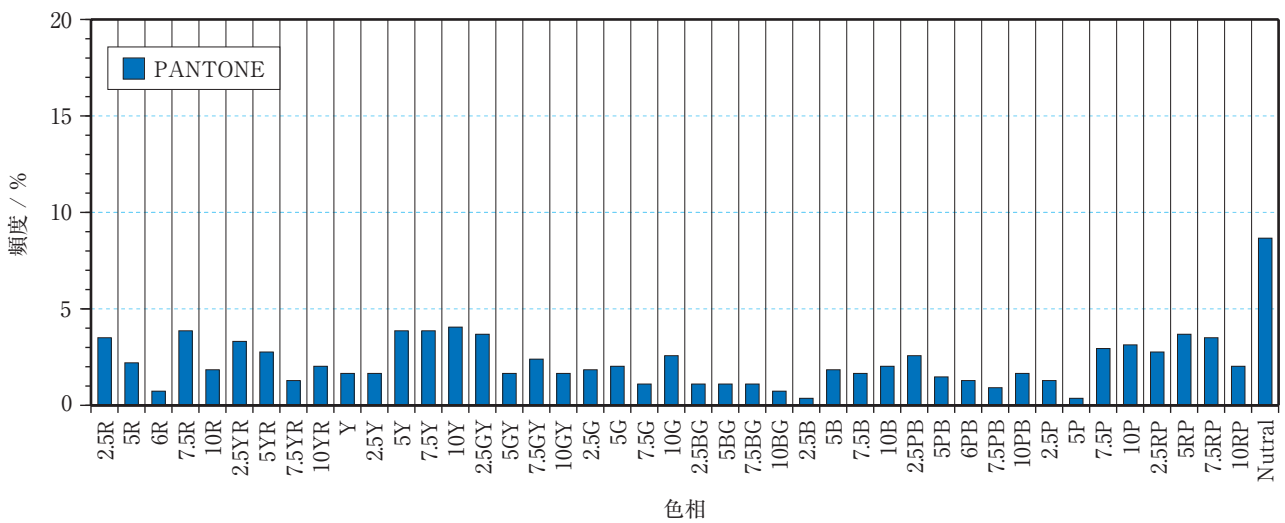
図5 RAL-D2(1625色)



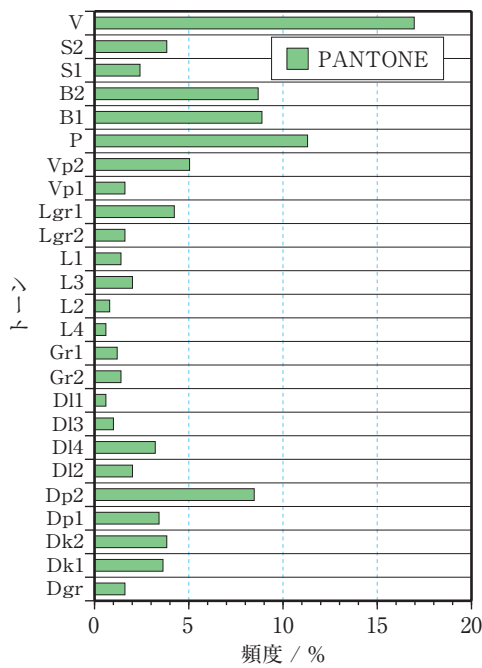
(a) 色票CG



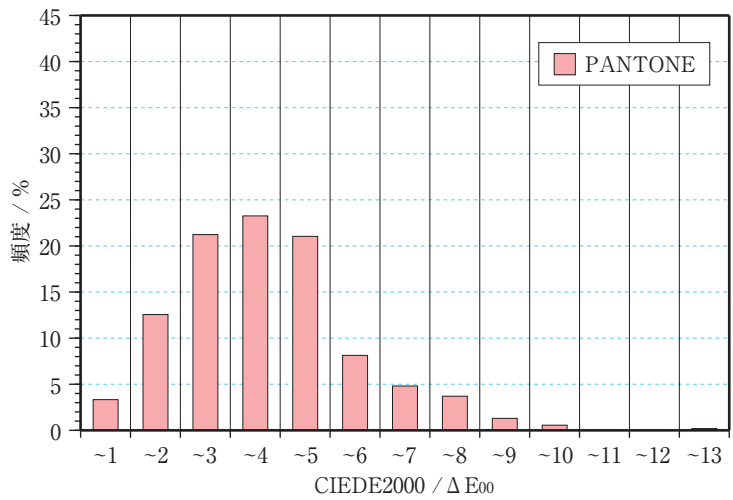
(b) 色相-トーン マップ



(c) 色相頻度分布



(d) トーン頻度分布



(e) 最小色差頻度分布

図6 PANTONE-COAT (542色)

色
彩

黄色 (Y) とマゼンタ (M) を中心とした混色が多い。印刷インキは一般に白地の紙の上のインキの透過色を見る。濃度 (tone) は網点面積で表現できる。それゆえ中間色は少なく、V と Dp の色が多い。一般に、印刷インキの色見本 (白紙の上の非隠蔽色) は塗料の色見本 (下地隠蔽色) に比べて、鮮明度が高い。高彩度の色の出現分布は後述する。

3.5.2 最小色差頻度分布

高彩度の色が多い (色域が広い) にもかかわらず、色数が少ないため、5~10に多く分布している。平均色差が3.7であり、JPMA に次いで大きい。

3.6 CBCC の色分布 (1026 色)

1998年に中国標準局で制定した色票で国家規格 GBS 16-1517-2002 (1026) に準じる。China Building Color Chart の略で、マンセル体系を元としている。建築用と書いてあるように淡彩色が充実している。収録数が1026と多いので、この中から用途に応じて選択して300色ぐらいのサブセット版を出しているところがある。結果を図7に示した。

3.6.1 色相 - トーン マップ

白淡彩系が多いので、無彩色の N が多い。色相は偏りなくあるが、5Y 周辺と、2.5PB がやや多い。建築で寒色系の B ~ PB が多い色票は珍しい。トーンは P ~ Lgr1 が多く、建築の内装に使いやすいようになっている。

3.6.2 最小色差頻度分布

色差1以下が11.7%とやや多く Vp 領域で同じ色が沢山ある印象がある。その代わり隣り合う色差の間隔は5~10が多く、彩度が高い色の間隔は大きい。

3.7 Benjamin-Moore の色分布 (1621 色)

店頭調色が発達している米国の塗料会社の建築内装用塗料の見本帳である。建築色だけに特化した色域を提供する。(図8)

3.7.1 色相 - トーン マップ

7.5R ~ 5Y までの暖色系が多い。その次に 5B の青色、7.5RP の紫が多い。トーンは Vp2 と Vp1 が特に多く、かなり白淡彩系、パステル調が充実している。V と Dp が無いので工業用、家電の意匠開発には使えない。

3.7.2 最小色差頻度分布

色差1以下が31.6%と多く、全色票の中で最大である。目視で同じ色が沢山ある印象であった。平均色差が1.8であり全7つの色票の中で最も小さく、同系色が多いことを示している。

3.8 彩度分布

CIE1976ab 色相角(hab) に対する CIE1976ab 彩度(C*ab) の分布図 (hab-C*ab) を図9に示した。各色相で彩度が高い色を混ぜれば色再現が可能になり、この分布の面積が色再現域となる。暖色系と寒色系に分けて評価する。なお、CBCC と BM は建築塗料専用で作られており、高彩度色は無いため彩度分布の考察から除外した。参考までに CBCC の図のみ掲載した。

3.8.1 暖色系：高彩度オレンジ領域 (YR、hab=45 ~ 90 度範囲)

彩度順が高い順に PANTONE > Munsell > NCS > JPMA > RAL-D2 であった。

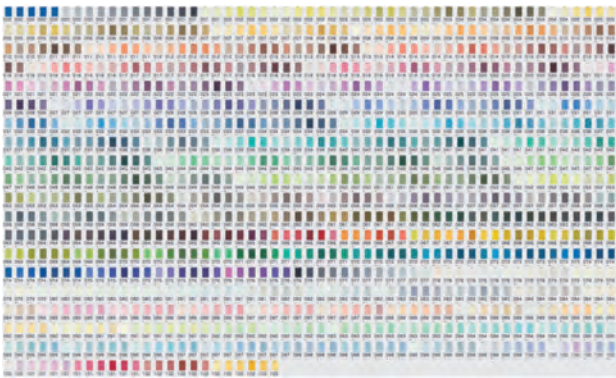
PANTONE の R ~ Y、特に YR は彩度が100を超える色があり、最高値である。Munsell と NCS はほぼ同じである。次に JPMA が続き、最も低彩度が RAL-D2 である。Munsell、RAL-D2 はプロットが規則的に並んでいる。特に RAL-D2 は L*a*b* の値に規則性があり、計量色彩の技術で作成したことを物語っている。

3.8.2 寒色系：青領域 (B、hab=270)

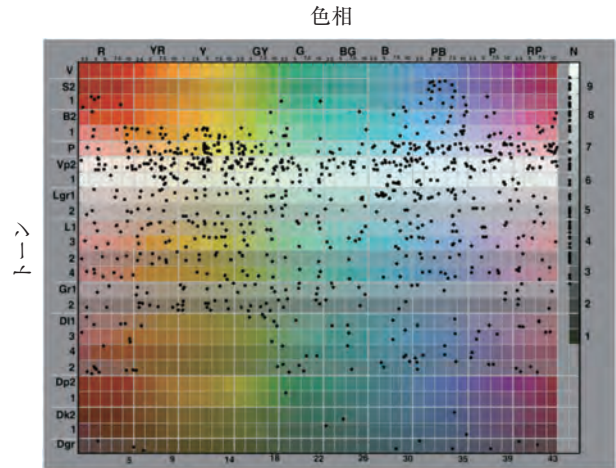
彩度は PANTONE の 60 が最高、次に Munsell、NCS が 50、一番彩度が低い色が JPMA と RAL-D2 の 40 前後である。寒色系顔料は有機のフタロシアニン顔料であり、白と混色してもスカイブルーとなり彩度は40程度である。印刷では白の上の青インキが透けた状態であり、まるで LED の青のような色純度が高い発色が得られる。印刷の透け色と塗料の隠蔽色の模式図を図10に示した。

印刷は白い紙の上に透明性のインキが透けている。目に見えている色は白の紙の反射光で照らされた光 A とインキの表面で反射した光 B の合計 C=A+B が目に入る。インキは透けているので、A の方が大きい。一方、塗料は下地を隠蔽する必要があるため、A は塗膜外へ出ることはなく、塗膜の中を進む光の往復の間で顔料に吸収され熱となる。目に見える色票の色は塗膜表面の顔料からの反射光 B だけである。結果として、低彩度の塗料の色だけの発色となる。

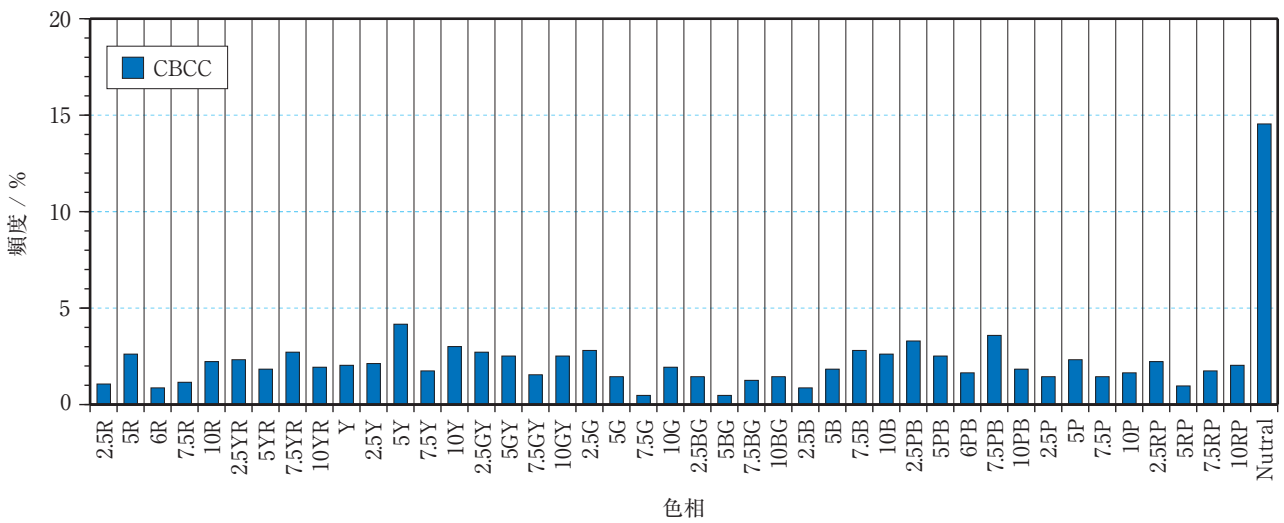
以上のことから、印刷用 PANTONE の高彩度は塗料では再現できない高彩度であり、JPMA、RAL-D2 はかなり工業製品の実際の色範囲に近く、Munsell と NCS はその中間であった。



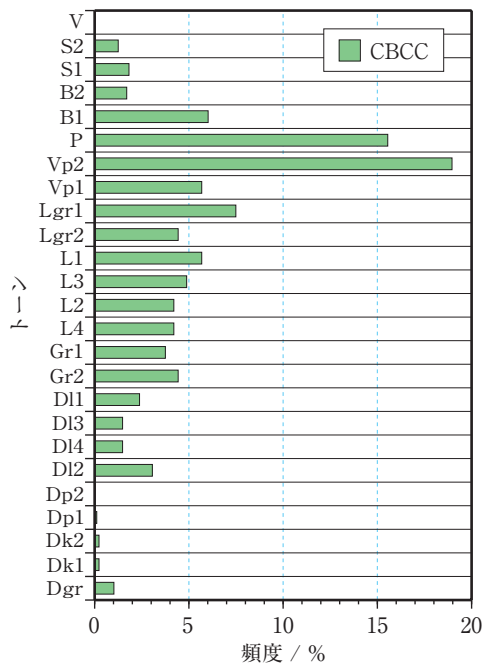
(a) 色票CG



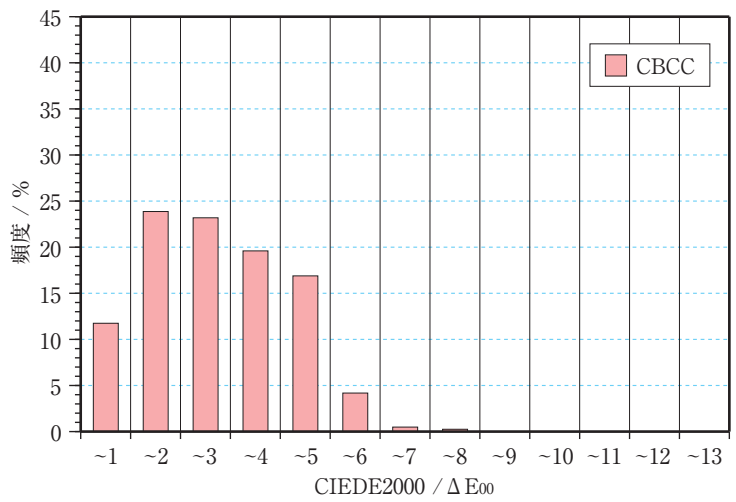
(b) 色相-トーン マップ



(c) 色相頻度分布



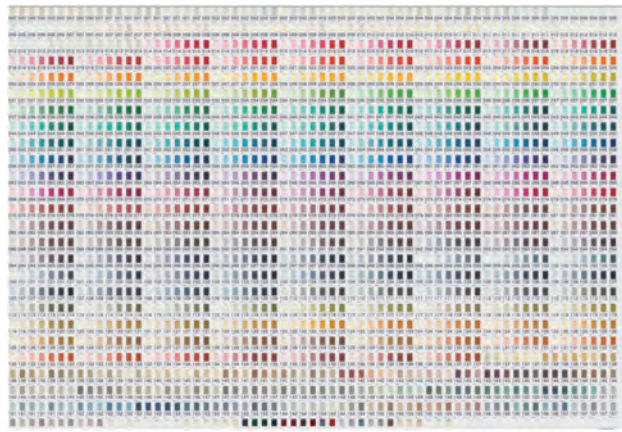
(d) トーン頻度分布



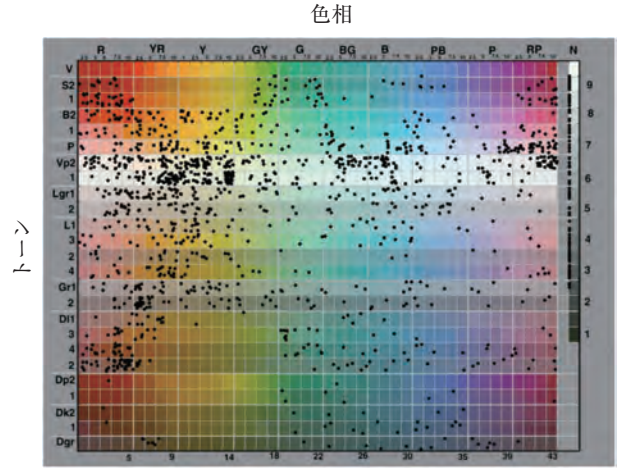
(e) 最小色差頻度分布

図7 中国建築色標準カードCBCC(1026色)

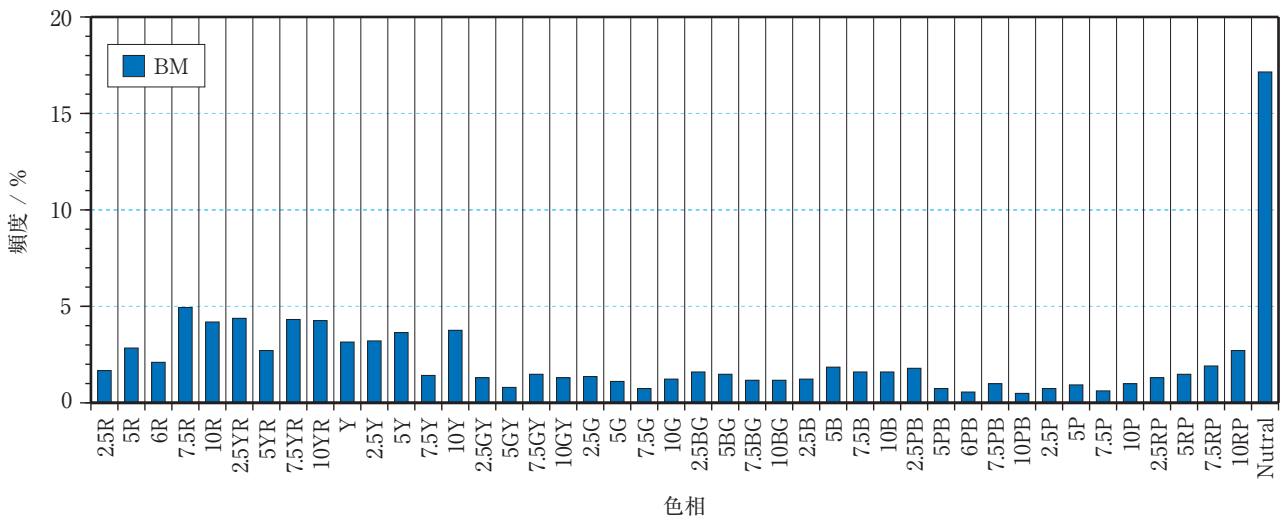
色
彩



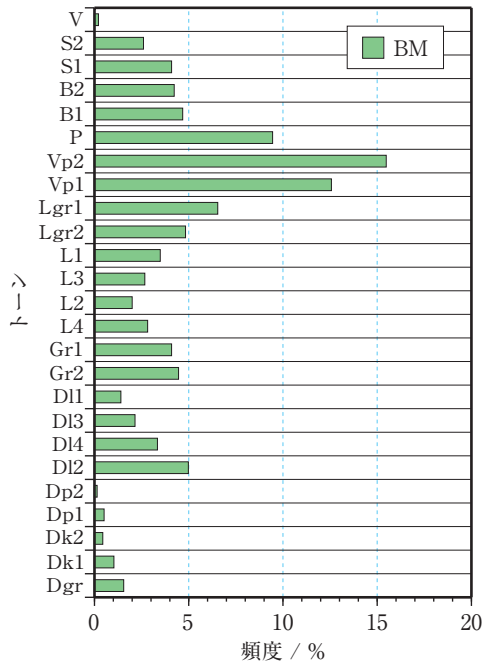
(a) 色票CG



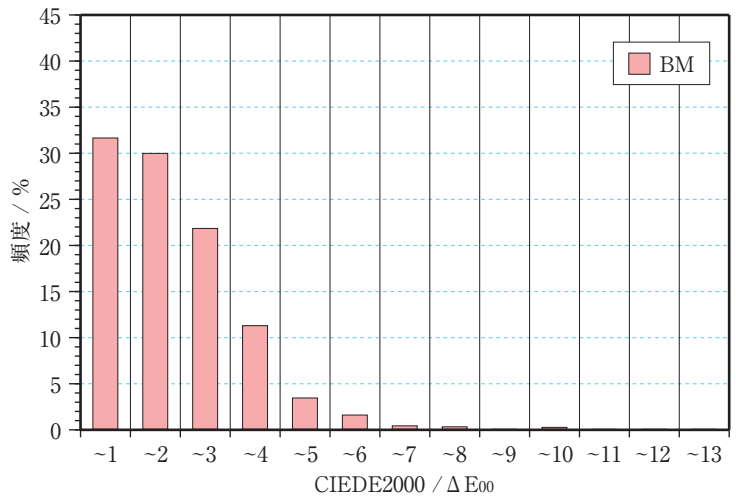
(b) 色相-トーン マップ



(c) 色相頻度分布



(d) トーン頻度分布



(e) 最小色差頻度分布

図8 Benjamin-Moore (1621色)

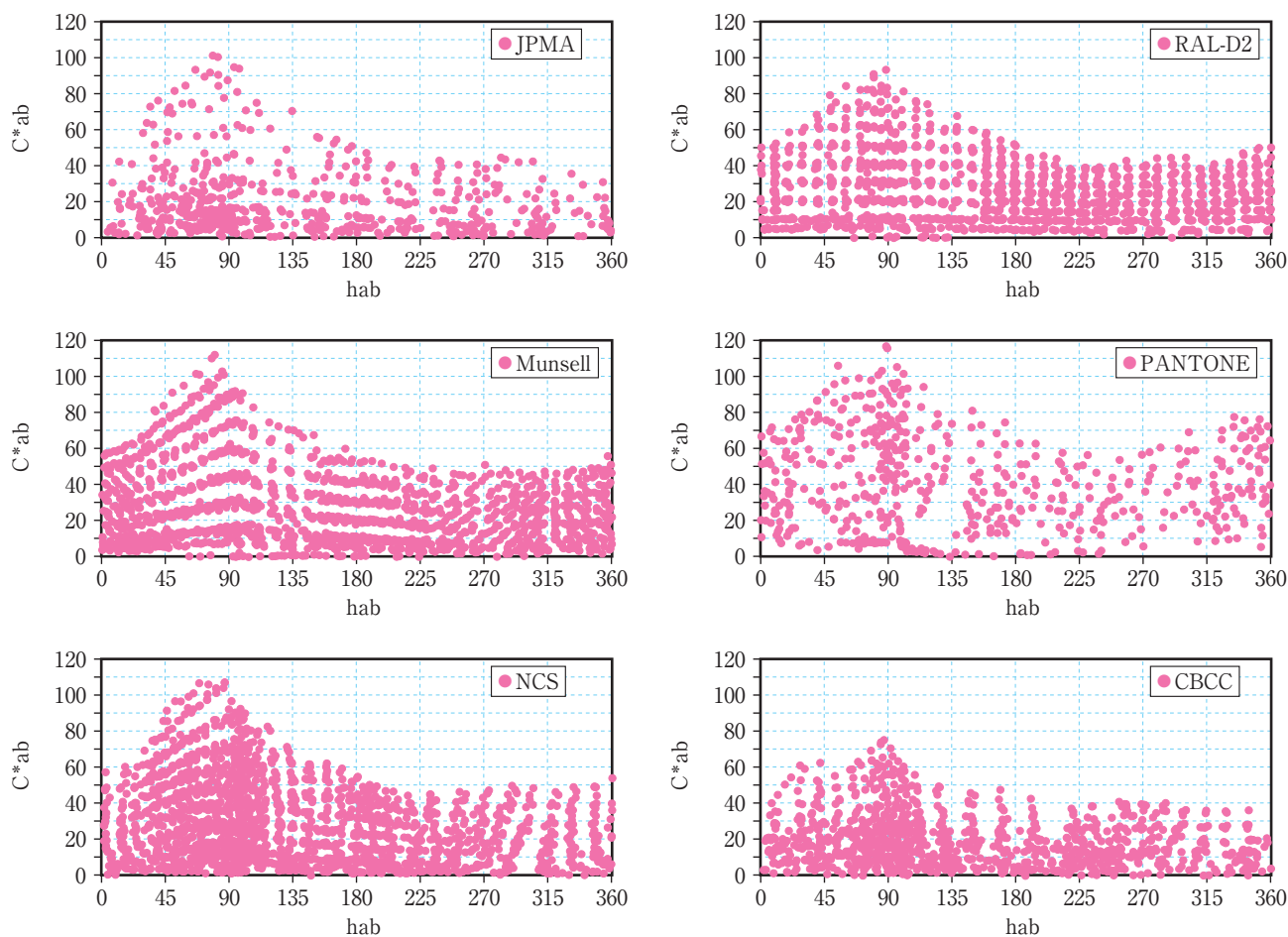


図9 色相角度(hab)と彩度(C*ab)の関係

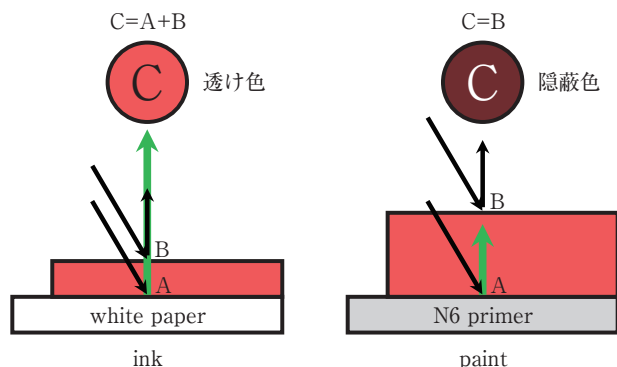


図10 印刷インキと塗料の発色の違い

実際にカラーデザインの現場で色票を使うためには、これらの統計的色分析の他に、使い勝手の項目(大きさ、収録の順番、切り取れる色チップの有無、デジタル情報、測色計との連動等々)のサービス力も比較する必要がある。

改めて、国内で使っている JPMA の色票の効率よい色域や、使い勝手(携帯性にすぐれるポケット版と色票が切り取れるワイド版があること)等の長所を確認できた。広くアジア諸国で使って欲しいと願う。

4. まとめ

世界で流通している色票の統計的な色分析を行い、色票の特徴を俯瞰した。その分布図からそれぞれの色票の得意とする分野(例えば工業用、建築用)を理解した。また、色域の調査から、塗料での色再現が容易か否かを予測できた。

我々が熟知している JPMA-F 版と似ているのは RAL-D2 であり、塗料で色が再現できる範囲である。反対に最も塗料での色再現が難しいのが PANTONE であった。

参考文献

- 1) NCS、RAL、PANTONE の情報
株式会社ユナイテッド・カラー・システムズホームページ、<http://www.u-c-s.co.jp/>(参照 2012/6/15)
- 2) Munsell の情報
x-rite 社ホームページ、<http://www.xrite.com/>
(参照 2012/6/15)
- 3) 表色系の歴史と資料
特集 表色系さまざまな“色の定規”とその仕組み、彩、[30]、2-11、(2012)