

〈資料〉

文字色と背景色の組み合わせに対する視認性の分析

——大規模データ収集の一時報告——

佐部利 真 吾*

最尤非対称多次元尺度構成法を用いた先行研究によって、文字色と背景色の組み合わせに対する視認性の対称性は、その大部分が次元ごとに伸縮された YUV 色空間上の配置に基づき、またその歪対称性については比較的小さいことが示されている。ただし、これらの知見は基本的な 8 色に対するデータに基づいており、より多くの色数に対するデータの検討が必要である。そこで本研究では、大規模データ収集の一時報告として、先行研究とは異なる 6 色間の部分的な組み合わせに対するデータを収集し、最尤対称多次元尺度構成法により分析して、その結果を先行研究の知見の点から検討した。

キーワード：color scheme, color space, maximum likelihood multidimensional scaling, visibility

I 問題

Web や広告物などの様々なデザインにおいて、文字色と背景色の組み合わせは視認性を確保する上で重要な要素である。Web デザインの分野では、World Wide Web Consortium (W3C) (2000) が視認性の測定として文字色と背景色の“明度差”と“色差”の測定方式の試案を示している。また文字色と背景色の視認性について心理学的実験により検討した研究としては、鎧沢・井上 (1983)、吉田・長谷川・安田・福田・長田 (1986)、楨・田中・留目 (2005) 等がある。これらの研究では、概ね文字色と背景色の輝度差が視認性を高めることを示している。また Notomi, Hiramatsu, Saito, & Saito (2003) と納富・平松・斎藤 (2004) は、一対比較法による視認性の測定を行い、自己組織化マップを用いて未知の文字色と背景色の組み合わせに対する判断の予測を試みている。

これらの研究は各種多変量解析を用いて配色と視認性についての基礎的な資料を提供するものの、視認性の現象の記述に留まっている。そこで佐部利 (2008) は、多次元尺度構成法 (Multidimensional Scaling: MDS) を用いて、視認性の潜在的な構造を探った。ここで MDS とは、対象間の距離が観測された (非) 類似度に何らか

の形で反映されていると仮定して、対象を多次元空間内に埋め込む手法の総称である。佐部利は、赤 (standard RGB (sRGB) = 255, 0, 0)、黄色 (255, 255, 0)、緑 (0, 255, 0)、シアン (0, 255, 255)、青 (0, 0, 255)、マゼンタ (255, 0, 255)、白 (255, 255, 255)、黒 (0, 0, 0) の 8 色の中から文字と背景が配色された文字列を被験者に提示し、その見やすさを 5 段階で評定させた。そして、このデータに対し、データの非対称性を許す“非対称” MDS の一つである ASYMMAXSCAL (Saburi & Chino, 2008) を適用した。この方法は Takane (1981) による対称 MDS に対する最尤的方法である MAXSCAL を非対称 MDS に拡張したものである。この適用の結果、データの対称性は概ね棄却され、AIC (Akaike, 1973) の比較により Okada & Imaizumi (1987) によるモデル (OI モデル) の 4 次元モデルが最適モデルとなった。ここで、背景が色 i で文字が色 j の組み合わせに対する見やすさを OI モデルでは

$$g_{ij} = d_{ij} - r_i + r_j, \quad (1)$$

と表現した。ここで d_{ij} は色 i と色 j 間のユークリッド距離、 r_i は色 i に付随する円 (または球、超球) の半径である。佐部利はこの 4 次元 OI モデルの配置といずれも 3 次元の各種色空間上の配置をプロクラステス

* 愛知学院大学心身科学部心理学科
(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池 12 E-mail: saburi@dpc.agu.ac.jp

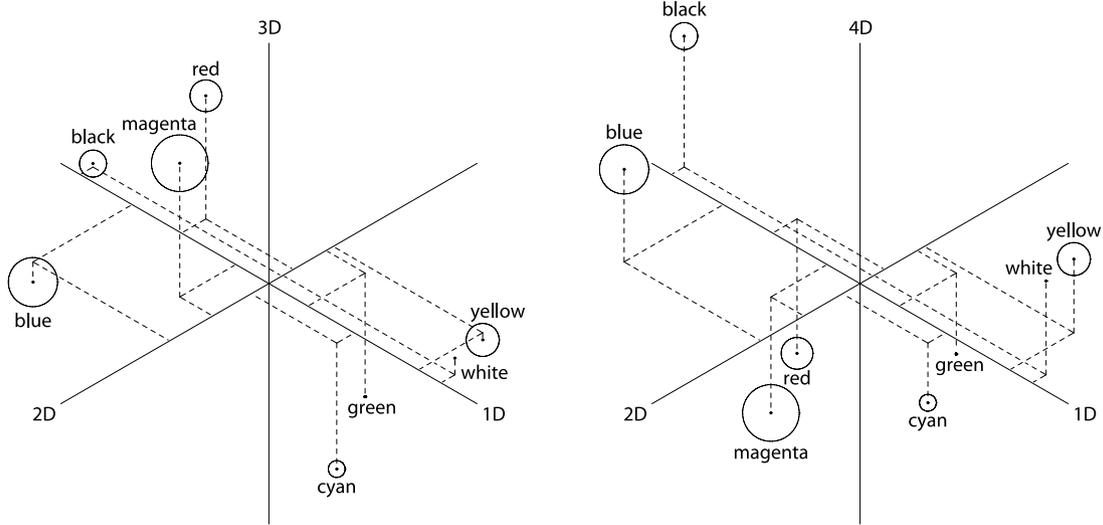


図1：先行研究で得られた最適モデルの布置（左：1-2-3次元布置，右：1-2-4次元布置）と付随する超球（佐部利，2008，p. 199，図3）。1-2-3次元布置が図2に示した次元別に伸縮されたYUV色空間上の布置に近づくよう直交回転されている。図中の“green”はsRGB表色系の（R=0，G=255，B=0）の色を示す。

回転により比較した。この際、Mooijaart & Commandeur (1990) による重み付プロクラステス問題の解法を利用した交互最小二乗法により、色空間の各次元の自由な伸縮を許す回転を施した。その結果、4次元の最適モデル中の3次元布置は $Y : U : V = 1.744 : 0.452 : 0.804$ の比で伸縮されたYUV色空間上の布置に最も適合した。図1に最適モデルの布置を、図2に伸縮されたYUV色空間上の布置を、それぞれ示す。ここで、YUV色空間は、カラーテレビの映像信号に用いられる他、画像データの圧縮技術にも利用されている色空間で、そのY軸は輝度信号を表しており、RGB表色系からY値を得るには次の変換式を用いる：

$$Y_i = 0.299R_i + 0.587G_i + 0.114B_i. \quad (2)$$

ここで R_i , G_i , B_i はそれぞれ、色 i のRGB表色系におけるR値、G値、B値を示す。(2)式は、W3C (2000) が提案した明度の算出式と同じである。したがって、佐部利の結果はW3Cの試案の妥当性を一部確認しているといえる。また、YUV色空間のU軸、V軸はそれぞれ、輝度信号と青成分との差分信号、輝度信号と赤成分との差分信号を表す。佐部利は、この結果とヒトの色覚情報処理との関連を指摘している。また残りの次元では、赤、マゼンタ、緑、シアンがその他の色と対峙しており、これらの色群間の相性の良さを示した。歪対称性については全体として小さいものの、その中でマゼンタと青の半径が他の色よりも大きく、これらの色が背景色よりも文字色に適していることを示

した。

佐部利 (2008) は、しかし、基本的な8色を扱っており、十分な色数とはいえない。佐部利の結果が汎用的なものであるかを確認するには色数を増やす必要があるが、ASYMMAXSCALを適用する都合上、色数を増やすと膨大な被験者数を要する。これは、ASYMMAXSCALが各評定判断の独立性を仮定しているために、各被験者はただ一つの組み合わせのみ判断するという単一判断サンプリング (single-judgment sampling) (Bock & Jones, 1968) によりデータを収集するためである。そのため、長期計画によりデータを収集する必要がある。本研究は、この大規模データ収集の一時報告として、今回追加収集したデータを分析し、その結果を佐部利の知見の点から検討する。

II 方法

1 刺激材料

本研究では、maroon (sRGB=128, 0, 0), purple (128, 0, 128), green (0, 128, 0), olive (128, 128, 0), navy (0, 0, 128), teal (0, 128, 128) の6色を取り上げた。ここで、本研究におけるgreen (0, 128, 0) と図1、図2中のgreen (0, 255, 0) とは異なることに注意する。混乱を避けるため、これ以降はsRGBが(0, 255, 0)の色を“lime”と呼ぶことにする。 $Y : U : V = 1.744 : 0.452 : 0.804$ の比で伸縮されたYUV色空間内における、本研究で扱った6色と佐部利 (2008) が扱った8色との位置関係

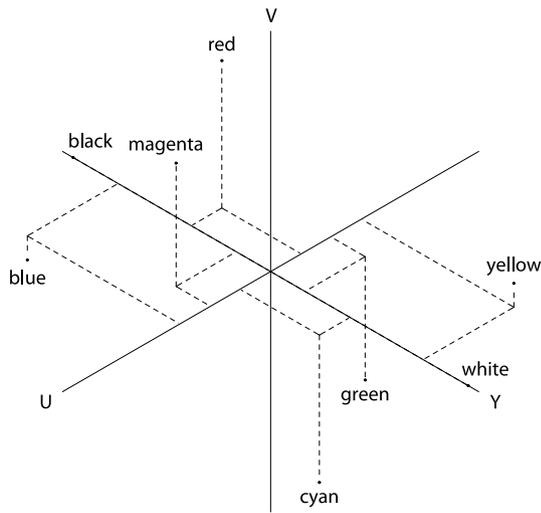


図2 : $Y:U:V = 1.744:0.452:0.804$ の比で伸縮された YUV 色空間上の布置(佐部利, 2008, p. 199, 図2). 図中の“green”は sRGB 表色系の ($R=0, G=255, B=0$) の色を示す.

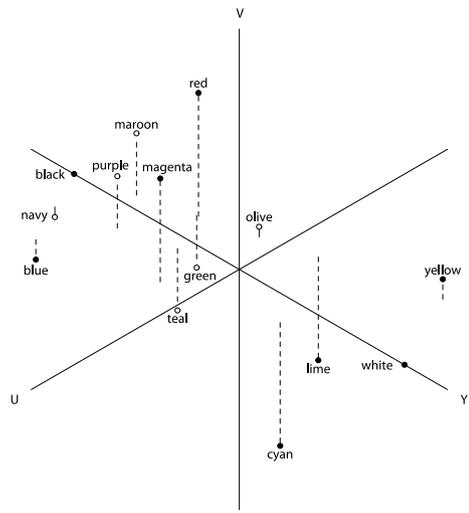


図3 : $Y:U:V = 1.744:0.452:0.804$ の比で伸縮された YUV 色空間内での, 本研究で扱った 6 色 (白丸) と佐部利 (2008) が扱った 8 色 (黒丸) の位置関係. 本図中, “lime” は, sRGB 表色系の ($R=0, G=255, B=0$) の色で, 図1, 図2 中における“green”と同じ色である. なお, 本図中の“green”は sRGB 表色系の ($R=0, G=128, B=0$) の色を示す.

表1 : 本研究で扱った刺激における配色の組み合わせ

		文字色					
		maroon (128, 0, 0)	purple (128, 0, 128)	green (0, 128, 0)	olive (128, 128, 0)	navy (0, 0, 128)	teal (0, 128, 128)
背景色	maroon	—	—	—	—	—	—
	purple	○	—	—	—	—	—
	green	○	○	—	—	—	—
	olive	○	○	○	—	—	—
	navy	○	○	○	○	—	—
	teal	○	○	○	○	○	—

注) カッコ内の数字は, それぞれ sRGB 表色系の R 値, G 値, B 値を示す.

を図3に示す. これより, 本研究で扱った6色は佐部利が扱った8色と比較すると, 伸縮された YUV 色空間内で全体として Y 値が低い領域に集中していることがわかる. つまり, これらの6色は全体的に暗い色であることがわかる. これら6色の中から文字と背景が配色された文字列「この文字は見やすいですか」による刺激をパーソナルコンピュータで作成し, プラズマディスプレイ (SONY PFM-42X1) 上に提示した. 本研究における配色の組み合わせは表1に示した通りである. 本研究では被験者数の制約より, 特に対称部の分析に重点を置き, 表1の上三角部分の組み合わせについては扱わなかった. そのため, 本研究では表1の上

三角部分の組み合わせに対する視認性判断が下三角部分のそれと同じであると仮定し, 対称 MDS を適用する. 刺激はディスプレイの画面を6分割して同時に6種類提示し, 画面を一定の間隔で切り替えることで全て提示した.

2 手続き

実験は, 同一機種種のディスプレイが複数台備わっている部屋を利用して集団で実施した. 被験者は大学生191名で, 各被験者は無作為に一つの刺激が割り当てられ, 順次切り替わる画面の中の該当する刺激の見やすさを「見やすい」「まあまあ見やすい」「どちらとも

表 2 : 各候補モデルの適合度

候補モデル	次元数	順序尺度			間隔尺度		
		AIC	ln L	ν	AIC	ln L	ν
ユークリッド距離モデル	1	26.51	-229.25	9	45.59	-240.79	7
	2	7.85	-215.93	13	35.37	-231.68	11
	3	5.68	-211.84	16	33.42	-227.71	14
	4	7.01	-210.50	18	33.34	-225.67	16
	5	9.03	-210.51	19	35.34	-225.67	17
(対称) SR モデル	—	7.01	-210.50	18	33.34	-225.67	16
(対称) 飽和モデル	—	AIC		ln L		ν	
		61.54		-195.77		60	

注 1) ln L は対数尤度, ν はモデルの有効パラメータ数を示す.

注 2) AIC はあらかじめ 450 を引いてある.

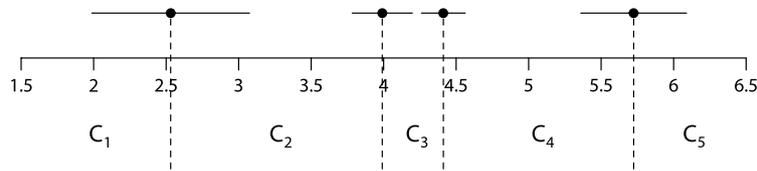


図 4 : 最適モデルにおいて推定されたカテゴリー境界値と 95% 信頼区間. C1~C5 はそれぞれ, 評定カテゴリーの「見にくい」「まあまあ見にくい」「どちらともいえない」「まあまあ見やすい」「見やすい」を示す.

いえない」「まあまあ見にくい」「見にくい」の 5 段階で評定した. その結果, 一つの刺激につき 11~14 名が評定を行った.

III 結 果

本研究で収集したデータに対して, Takane (1981) による MAXSCAL を適用した. ここで, 表現モデルとしてはユークリッド距離モデル $g_{ij} = d_{ij}$ に加え, 対称制約 $g_{ij} = g_{ji}$ の下で g_{ij} を自由に推定する (対称) SR (Saturated Representation) モデルを用いた. なお, ここでは g_{ij} を, 色 i と色 j の組み合わせに対する視認性の程度と定義した. つまり, 空間内の該当する 2 色間のユークリッド距離が大きい組み合わせほど視認性が高いと解釈することになる. さらに, 候補モデルとして, 多項分布のパラメータを直接扱う (対称) 飽和モデルも検討した. また, 誤差モデルとしては加算誤差モデルを用いた.

表 2 に各候補モデルの適合度を示す. AIC の値より, 順序尺度仮定の 3 次元ユークリッド距離モデルが最適モデルとなった. この最適モデルにおいて推定されたカテゴリー境界値と 95% 信頼区間を図 4 に示す. このカテゴリー境界値 b_m ($m = 1, \dots, 4; b_0 = -\infty, b_5 = \infty$) によ

り, 色 i と色 j の組み合わせに対する視認性の程度がカテゴリー C_m に落ちると判断される確率が

$$p_{ijm} = \int_{b_{m-1}}^{b_m} f(\tau_{ij}) d\tau_{ij}, \quad (3)$$

と定義される. ここで, τ_{ij} は g_{ij} に正規誤差が付加されたもので, f は正規分布の密度関数である. 図 4 より, 評定カテゴリー「どちらともいえない」の幅が狭く, このカテゴリーに落ちる確率が比較的小さいことがわかる. これと同様の傾向は, 佐部利 (2008) でも確認された. また, 最適モデルの布置を, $Y : U : V = 1.744 : 0.452 : 0.804$ の比で伸縮された YUV 色空間上の布置と比較するために, 前者を後者にできるだけ近づけるように Schönemann & Carroll (1970) によるプロクラステス問題の解法を適用した. これにより変換された最適モデルの布置と次元別に伸縮された YUV 色空間上の布置を図 5 に示した. 図 5 より, 今回得られたデータに基づく布置は, 次元別に伸縮された YUV 色空間上の布置と大きく異なっていることがわかる. その中で特に, 視認性に対する影響力が強い輝度を表す Y 軸に対応する第 1 次元について見ると, olive, teal, green の布置はだいたい Y 軸上のそれに近いものの, purple, maroon, navy はほぼ同じ位置にあることがわかる.

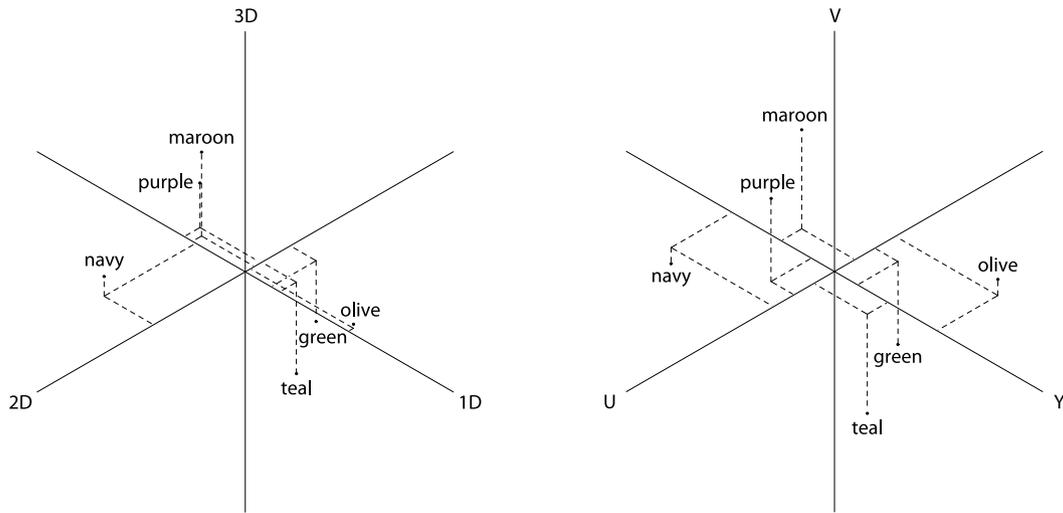


図5：最適モデルの布置（左）と $Y:U:V = 1.744:0.452:0.804$ の比で伸縮された YUV 色空間上の布置（右）。左の布置は右の布置にできるだけ近づくよう変換されている。

IV 考 察

本研究は、佐部利（2008）で扱った8色とは異なる6色で作成された刺激に対する視認性を測定し、最尤対称MDSにより分析した。佐部利で最も適合した $Y:U:V = 1.744:0.452:0.804$ の比で伸縮された YUV 色空間上の布置と、本研究で得られた布置をプロクラステス回転により比較した結果、両者は大きく異なることが示された。特に、Y軸に対応する第1次元上において purple, maroon, navy の3色はほぼ同じ位置にあった。これらはY値が相対的に小さい色であり、したがってある程度暗い色は視認性判断においてその輝度の違いが現れにくいのかもかもしれない。一方でこの結果には、一つには得られた布置が本研究で扱った6色のみに基づくものであり、布置を描くための情報が不足していた可能性が考えられる。加えて、本研究で扱った6色が、次元別に伸縮された YUV 色空間上で、輝度を表すY値が小さい領域に固まっていたことも影響している可能性がある。本研究は長期的な大規模データ収集の一時報告であり、今後未測定の色組み合わせに対するデータを収集し、さらに検討する必要があるだろう。

謝 辞

本研究におけるデータ収集に際しては、愛知学院大学の学生の皆様にご協力いただいた。ここに謝意を表わす。また、本研究は愛知学院大学心身科学研究所より助成を受けた。

引用文献

- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In B.N. Petrov & F. Csaki (Eds.), *The second international symposium on information theory* (pp. 267–281). Budapest: Akadémiai Kiado.
- Bock, R.D., & Jones, L.V. (1968). *The measurement and prediction of judgment and choice*. San Francisco: Holden-Day.
- 榎 究・田中 奈苗・留目 真由香 (2005). 読みやすさと配色の良さの両立—文字色と背景色の組み合わせの評価—。日本色彩学会誌, **29**, 2–13.
- Mooijart, A., & Commandeur, J.J.F. (1990). A general solution of the weighted orthonormal Procrustes problem. *Psychometrika*, **55**, 657–663.
- 納富 一宏・平松 明希子・斎藤 恵一 (2004). Web 利用時の視認性を考慮した自己組織化マップによるカラーセット予測方式の提案。バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, **6**, 57–62.
- Notomi, K., Hiramatsu, A., Saito, K., & Saito, M. (2003). A fundamental study on visibility of background and character colors at the web browsing. *Biomedical Soft Computing and Human Sciences*, **9**, 17–25.
- Okada, A., & Imaizumi, T. (1987). Nonmetric multidimensional scaling of asymmetric proximities. *Behaviormetrika*, **21**, 81–96.
- 佐部利 真吾 (2008). 背景色と文字色の組み合わせに対する視認性の構造—最尤非対称多次元尺度構成法による分析—。行動計量学, **35**, 193–201.
- Saburi, S., & Chino, N. (2008). A maximum likelihood method for an asymmetric MDS model. *Computational Statistics and Data Analysis*, **52**, 4673–4684.
- Schönemann, P.H., & Carroll, R.M. (1970). Fitting one matrix to

- another under choice of a central dilation and a rigid motion. *Psychometrika*, **35**, 245–255.
- Takane, Y. (1981). Multidimensional successive categories scaling: A maximum likelihood method. *Psychometrika*, **46**, 9–28.
- World Wide Web Consortium (2000). *Techniques for accessibility evaluation and repair tools*. (<http://www.w3.org/TR/2000/WD-AERT-20000426>)
- 鎧沢勇・井上正之 (1983). 文字画像における配色と見易さの関係. *テレビジョン学会技術報告*, **7**, VVI59–5, 25–30.
- 吉田辰夫・長谷川敬・安田稔・福田忠彦・長田昌次郎 (1986). 文字放送画像の好ましい配色. *テレビジョン学会誌*, **40**, 758–765.

最終版平成20年12月26日受理

Notes

Analysis of Visibility for the Combination of Character and Background Colors
—A Preparatory Report for the Large Data Collection—

Shingo SABURI

Abstract

It has been shown that the symmetric part of the visibility for the combination of character and background colors is almost based on the configuration in the dimensionally shrunk or expanded YUV color space and that its skew-symmetric part is relatively small by a preceding study using a maximum likelihood (ML) asymmetric multidimensional scaling (MDS). But these findings were based on the data consisted of only eight basic colors. Therefore the examination of the data with larger number of colors is needed. As a preparatory report for the large data collection, we collected the data composed of partial combinations of the six different colors from those in the preceding study, and analyzed them by an ML symmetric MDS, and examined the result in light of the preceding study.

Keywords: color scheme, color space, maximum likelihood multidimensional scaling, visibility