Web 利用時の視認性を考慮した 自己組織化マップによる色補正手法の提案

非会員 平松 明希子* 非会員 納富 一宏*
正 員 斎藤 恵一**

A Proposal of Color Correction Method with Self-Organizing Maps for Personal User's Visibility on the Web Browsing

Akiko Hiramatsu*, Non-member, Kazuhiro Notomi*, Non-member, Keiichi Saito**, Member

In this article, we describe a Web browsing method with an automatic color correction (palette changing) for personal user's visibility. Especially we describe a paired comparison test and SOM (Self-Organizing Map) analysis for achromatic character colors and chromatic background colors. We are implementing and evaluating a web application system for this method as CGI (Common Gateway Interface) software on a HTTP server of the Internet. Since a user profiling is required beforehand for every user, we considered about this problem with SOM.

キーワード：視認性，一対比較実験，色補正，自己組織化マップ，インターネット

Keywords : Visibility, Paired Comparison Test, Color Correction, Self-Organizing Map, the Internet and WWW

1. はじめに

近年、コンピュータの普及に伴い、Web は子供から高齢者まで様々な年齢層が利用する便利な情報源の一つとなっている。個人が作成している趣味のページから、企業各種機関が運営する大規模な情報サイトまで、様々なものが存在しているが、Web ページの作成における、見易さの基準または指標となるものは存在せず、中には見づらい Web ページが存在している。

こうした現状から、我々は Web 閲覧時の視認性向上のための方式の提案が重要な課題であると考えている。

本研究の目的は、①Web 閲覧者（利用者）の「見やすさ」の基準を明らかにするための基礎データの収集・分析、②ある背景色と前景色の色の組み合わせに対して、個人ごとに見やすい色の組み合わせに補正する自動色補正方式の開発、の2点である。

Web ページの見やすさを評価するためのレイアウト的要素には、色、文字の大きさ、画像などがあげられるが、それらをまとめて評価するのは困難である。そこで本研究では、背景色と文字色の組み合わせに着目し、評価する対象を単純化した。

本稿では、Web 閲覧時の視認性向上を目的として、第2章では基礎データの収集として「コンテンツの前景（文字）色と背景色の組み合わせ（以下、これをカラーセットと呼ぶ）」に注目した一対比較実験について述べる。また、第3章では、ある背景色と前景色の組み合わせが見やすいかについて、自己組織化マップによる自動判定が可能かどうか、検討した。そして、第4章では利用者の個人差を考慮した自動色補正機能を有する Web 閲覧方式についての提案、および応用面について考察する。

2. 前背景色の一対比較実験

〈2・1〉 実験方法 被験者 10 名（20 歳代学生，男女比 7 : 3）に対し、同じ条件・環境下で実験を行った。実験に使用した装置およびソフトウェアを表 1 に示す。また、計測プログラムとしては、今回の実験のために我々が自身で開発したものをを用いた。

同一背景色上に、色の異なる文字列を縦書きで左右に表示し（図 1），被験者が見やすいと思った側のマウスのボタ

* 神奈川工科大学情報工学科
〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030
Department of Information and Computer Sciences,
Kanagawa Institute of Technology.,
1030, Simoogino, Atsugi-shi, Kanagawa, 243-0292

** 東京電機大学超電導応用研究所
〒270-1382 千葉県印西市武西学園台 2-1200
Applied Superconductivity Research Laboratory, Tokyo
Denki University.,
2-1200, Muzai-Gakuendai, Inzai-shi, Chiba, 270-1382

ンをクリックするように教示した。表示する2つの文字列は、左右で同一条件となるよう、縦書きで左右対称な無意味綴りとした。フォントの書体は MS ゴシック、サイズは 11 ポイントを使用した。ディスプレイとの距離約 50cm、画面表示待機時間 1 秒に設定した。また、被験者が選択に要する時間は制限しなかった。

実験に用いた色は、デファクト・スタンダードである Web Safe Color の中から選択した。前景色には無彩色 5 色 (“#000000”, “#666666”, “#999999”, “#CCCCCC”, “#FFFFFF”) を使用し、背景色には、前景色と同じ無彩色 5 色を使用したものと、有彩色の中で無彩色と輝度の近いイエロー系の 4 色 (“#666600”, “#999900”, “#CCCC00”, “#FFFF00”) を使用した。色の組み合わせ数は、前景・背景ともに無彩色の場合は、全 5 色の中から背景に 1 色、前景に 2 色の計 3 色を取り出すので ${}_5P_3$ となり、全部で 60 通りとなる。背景がイエロー系の場合は、イエロー系全 4 色の中から背景に 1 色、無彩色全 5 色の中から前景に 2 色取り出すので $4 \times {}_5P_2$ となり、全部で 80 通りとなる。それらを 1 セットとして、計測は一人当たり 3 セット行った。

〈2・2〉 実験結果 無彩色 5 色の実験結果を表 2 に、イエロー系 4 色の実験結果を表 3 にそれぞれ示す。縦軸が背景色、横軸が前景色を表している。表中の数値は、被験者全員の実験データを Thurstone の一対比較法⁽⁶⁾により得点化し、平均したものである。

a 個の評価物についての得点 Z は、次のように求められる。確率 $P_{ij} - 0.5$ に対する標準正規分布上の値を Z_{ij} とすると、このとき i 番目の評価物の得点 Z_i は次式で表せる。

$$Z_i = \sum_{j=1}^a Z_{ij} / (a-1) \dots\dots\dots (1)$$

表 1 実験装置およびソフトウェア

Table 1. Experiment Equipment and Software.

Appliance / Software	Manufacturer / Model
Personal Computer	SHARP PC-MM1-H1W
CRT Display	EIZO FlexScan T731
Operating System	Windows XP
Paired Comparison Test Program	TwinRing ver.1.0.7
Color luminosity meter	MINOLTA CS-100A

図 1 プレビュー画面

Fig. 1. Preview window.

値が高いものほどその背景色に対して視認性が高い（見やすい）前景色であることを意味している。同じ背景色に対して、前景色の得点の低いもの（見づらいもの）ほど表の網掛け（背景色）を濃くした。

ここで、表 2 および表 3 における組み合わせ数について補足する。実験で同時提示された前景 2 色（図 1 参照）は一対比較法により個々の色ごとに得点化される点に注意すれば、表 2 における同一背景色に対する前景色は 4 色となり、各被験者に提示された総画面数は、 ${}_4P_2$ （前景） $\times$ 5（背景）= 60 通り、同様に表 3 における総画面数は、 ${}_5P_2$ （前景） $\times$ 4（背景）= 80 通りとなること分かる。

〈2・3〉 考察 まず、背景色が無彩色の場合から考察する。表 2 より、背景色と文字色のコントラストが近いものほど見づらいことがわかる。これは予想通りの結果である。見やすい色に関しては、背景色が“#000000”、“#666666”の場合、“#FFFFFF”（白）が最も見やすく、背景色が“#999999”、“#CCCCCC”になると、反対に“#000000”が最も見やすいという結果が出ているが、背景色が

表 2 一対比較結果（無彩色）

Table 2. Result of paired comparison Test (Achromatic color).

		Foreground Color				
		#000000	#666666	#999999	#CCCCCC	#FFFFFF
Background Color	#000000		-1.25	-0.21	0.62	0.84
	#666666	-0.43		-1.00	0.39	1.04
	#999999	0.85	-0.74		-0.84	0.73
	#CCCCCC	0.99	0.49	-1.09		-0.39
	#FFFFFF	0.92	1.01	-0.17	-1.76	

表 3 一対比較結果（イエロー）

Table 3. Result of paired comparison test (Yellow).

		Foreground Color				
		#000000	#666666	#999999	#CCCCCC	#FFFFFF
Background Color	#666600	0.93	-5.00	0.12	1.67	2.28
	#999900	2.77	-0.63	-5.00	0.68	2.19
	#CCCC00	2.69	2.05	-2.50	-3.41	1.16
	#FFFF00	3.44	2.55	0.07	-2.69	-3.38

図 2 輝度の比較

Fig. 2. Difference in luminance.

“#FFFFFF”になると、“#000000”より“#666666”の方が見やすいという結果になった。この、原因としては、コントラストがあまり強すぎると、目に負担がかかり、逆に見づらいと思うようになることが考えられる。

次に背景色がイエロー系の場合について考察する。イエロー系も無彩色と同様に、コントラストに近いものほど見づらく、見やすい色に関しても無彩色と似た結果が出ており、見やすさには輝度が大きく関係していることがわかる。

また、今回使用した無彩色5色および有彩色のイエロー系4色の色彩輝度(Y_{xy})を色彩輝度計で計測した(図2)。

グラフから、カラーコードが上がるにつれて輝度値 Y は指数関数的に上昇しており、イエロー系と無彩色系とで輝度値 Y の変化が極めて類似していることが確認できる。

3. 自己組織化マップによる分析

〈3・1〉 一対比較実験とエンコーディング SOMへの入力として、背景色、左文字列前景色、右文字列前景色、および被験者の選択値(左、または右)を用いて、SOM学習用の属性ベクトル⁽¹⁾を作成した。色情報に関しては、sRGB モニタ (EIZO FlexScan T731) により全画面にソリッドカラーを表示し、色彩輝度計 (MINOLTA CS-100A) を用いて計測した輝度 Y 、色度座標 x , y の3パラメータにより表現した(例えば、黄色(#FFFF00)の場合、輝度 $Y=67[\text{cd}/\text{m}^2]$ 、色度座標 $x=0.405$, $y=0.493$)。選択値は便宜的に左を0、右を1とした。このことにより、属性ベクトルの要素数は10となる。これを図3に示す。

〈3・2〉 学習とクラスタリング 40×40 (ユニット数1,600) のマップを用い、学習回数 20,000 回、属性ベクトル数 120、ベクトル要素数 10 の SOM 出力層の例を図4に示す。

背景色に対応付けてノードの輝度を変えている。また、等高線状の模様(領域)は、マップ上の任意の点を原点として、荷重ベクトルの n 次元ユークリッド距離の絶対値に対し、ある閾値の範囲内が同一輝度となるよう表示した。これを等距離領域と定義する。図4の例では、属性ベクトルの要素数が10なので次元数 n は10となり、青いマスを実点として5階調となるように閾値を設定した。赤い点は、SOM 学習によってマップに配置された学習用属性ベクトルを表している。

クラスタリングされた各ノードは、原理的には属性の類似度によって配置されるが、マップの全体的な形状は SOM 学習の性質から毎回違ったものが出力される⁽⁸⁾。また、等距離領域の形状・サイズは、階調 (Depth) の違いにより変化

図3 属性ベクトルの構成

Fig. 3. Attribute vector for SOM training.

する。図4とは異なる学習例で、この様子を図5に示す。

〈3・3〉 カラーセット予測 クラスタリングされたデータは、一対比較時の色選択という情報が属性ベクトルに反映されているため、個人差が見られる。この個人差はプロフィール情報として重要であり、先に示したような一対比較実験をすべての色の組み合わせに対して行うことが理想であるが、現実的ではない。そこで、カラーセット予測が SOM を利用することで可能であるか評価するために、以下の分析を行った。

まず、一対比較実験で使用した色の組み合わせの中の、

図4 SOM 出力例 (Depth=5)

Fig. 4. Example of a SOM output layer.

図5 各階調の等距離領域の違い

Fig. 5. Equidistant domains with different depth.

両端の背景色であるデータを除外して属性ベクトルを用いて SOM 学習を行う。無彩色の場合、背景色は5種類あるので、両端2色を抜かした中間の3色で学習を行う。イエロー系の場合、背景色は4色なので中間の2色で学習を行うことになる(図6)。

次に、色選択属性値を s とした場合、 s は2値(左=0, 右=1)であることに着目して、最初に除外したデータの各々について、 s および NOT(s)を持つ2つの場合の属性ベクトルを用意し、これら2つの属性ベクトルを SOM アルゴリズムに従ってマップ上にプロットする。

これら2点が n 次元的に近い位置にあれば、 s の値に関係なく類似したデータであることがわかる。 s を原点とした等距離領域を求め、その同一領域内に NOT(s)がプロットされた場合、同じグループ、つまり、類似したデータと判断する。そして、同じグループ内の他のノード(属性ベクトル)のうち、ユーザの色選択属性(左=0, 右=1)の頻度を調べ、頻度の高い方が領域全体の色選択属性の代表値であると考え。すなわち、任意のカラーセットに対する色選択属性値(2値)を領域の多数決により予測する。NOT(s)が s

の領域にプロットされなかった場合は予測失敗とする。

領域判定と多数決による属性代表値の決定についての概要を図7に示す。

なお、ここでの等距離領域は n 次元距離を用いているので、2次元平面への写像が Current Point を中心とした円になることは非常にまれである。多くの場合、図4, 5に示したように等高線のような曲がりくねった歪んだ形になる。

〈3・4〉 分析結果 この手順に従って、決定された選択属性と評価データの色選択属性が一致するかどうかを調べた。

3 セットの試行において、正解した個数を N_T , 不正解した個数を N_F とした場合、正解率 Rc を次式で定義する。

$$Rc = \frac{N_T}{N_T + N_F} \dots\dots\dots (2)$$

また、 Y_{xy} の3パラメータで示される色 C において、背景色 C_B , 左文字列色 C_L , 右文字列色 C_R , ユーザ選択値 s (Left=0, Right=1), 等距離領域判定関数 $GetDomain$ で求められた領域 D , 領域内ノード頻度の条件付取得関数 $CountIf$ とした場合、選択予測値 s' , および確信度 Rr を次式で定義する。

$$C = [Y, x, y] \dots\dots\dots (3)$$

$$D = GetDomain(C_B, C_L, C_R, s) \dots\dots\dots (4)$$

$$m = CountIf(D, 0) \dots\dots\dots (5)$$

$$n = CountIf(D, 1) \dots\dots\dots (6)$$

$$s' = \begin{cases} 0 & (m > n) \\ 1 & (m \leq n) \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

$$Rr = \begin{cases} \frac{m}{m+n} & (s' = 0) \\ \frac{n}{m+n} & (s' = 1) \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

上で求めた確信度 Rr , ユーザ選択値 s (Left=0, Right=1), および選択予測値 s' を用いて、全試行回数 N における i 番目の試行の評価値 Pe_i , 評価値 Pe を次式で定義する。

$$Pe_i = \begin{cases} Rr_i & (s = s') \\ -Rr_i & (s \neq s') \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

$$Pe = \sum_{i=1}^N Pe_i \dots\dots\dots (10)$$

分析結果を表4に示す。表は、被験者ごとに求めた結果の平均である。

表4 カラーセット予測結果

Table 4. Result of color set prediction.

Background Color	Color Depth	Correct Answer Rate	Certainty Factor	2 Points Concordance Rate	Selection Concordance Rate	Sum of Evaluated Values
Achromatic Color	13.50	0.83	0.81	0.55	0.67	14.66
Yellow	13.80	0.78	0.92	0.35	0.91	21.19

図6 学習データと評価データの関係

Fig. 6. Relation of training data and evaluation data.

図7 領域判定と多数決による属性代表値の決定
Fig. 7. Domain judging and attribute determination by the majority decision.

ここで、表4に示した項目について補足する。階調とは最も評価値合計の高かったマップの階調数を、正解率とは、SOMによるカラーセットの多数決予測が実際に被験者の選択した値に一致する確率を、確信度とは、多数決に関わったノードの個数の比率を、2点一致率とは、選択値sが0もしくは1を与えた場合のそれぞれの属性ベクトルが同一セル上にプロットされる確率を、選択一致率とは3セット繰り返した同一条件での一対比較結果が一致する比率を、評価値とは、SOM予測が正解だった場合プラス、不正解だった場合マイナスの符号を確信度につけたものの合計をそれぞれ表している。なお、評価値合計はSOMの予測可能性を評価するために用いる。

無彩色およびイエロー系のSOMによる予測正解率を被験者ごとに示したグラフを図8、および図9にそれぞれ示す。正解率には個人差がある。正解率が低くなる原因としては、①選択一致率が低い、②前景色と背景色の輝度差(コントラスト)が大きい場合をあえて選択するなど独特の好みである、の2点が考えられる。

4. 自動色補正 Web 閲覧システムへの応用

〈4・1〉 従来方式の問題点 従来の研究では、実験デ

図8 カラーセットの予測正解率(無彩色)

Fig. 8. Correct answer rate of color set prediction (Achromatic color).

図9 カラーセットの予測正解率(イエロー)

Fig. 9. Correct answer rate of color set prediction (Yellow).

ータを統計処理することにより色補正式を求め、Proxyサーバとして実装するという方針の提案がある⁽⁶⁾。また、CSS (Cascade Style Sheet) をローカル側に用意しておき、表示の際にターゲットコンテンツに対して強制的にこれを適用する方式がある。これらは、①色選択基準は個人差が大きく、長期的スパンで見た場合の経時変化に動的に対応することが困難である、②Proxyサーバによる実装では、ユーザによる明示的な色補正要求が無い場合でも、ターゲットコンテンツの内容を変更してしまうため、オリジナルであるか否かの確認が困難となる、③CSSは自由度が高い点では有効な手段であるが、専門的な知識が要求されるため、ユーザが個人ごとに設定することが困難である、という問題点がある。

〈4・2〉 方式の提案とシステムの概要 上記①に関し

ては、SOMにより、部分的な実験結果から他のカラーセットを予測する。また、経時変化については、SOMの再学習により対応する。②に関しては、CGI型Webアプリケーションとしてのシステム実装により、2ペイン構成をとることで、色補正要求をクライアント側で確認できるようにする。このことは、また、視認性向上という観点から低コストで色補正機能を実現するためのひとつのアプローチとなる。③に関しては、コントロールパネル方式の直観的なインタフェースを提供することで、ユーザへの負担を軽減する。システム構成を図10に示す。

ユーザはインターネットを介してサーバにアクセスし、Web上で①一対比較実験を行い、②SOMエンジンを用いて個人のプロフィールデータを作成する。それら各ユーザのプロファイルデータはサーバのデータベースに登録され、管理される。以降、ログインすることによりユーザは③色補正されたWebページを見ることができる。

以上の点を特徴とし、フォームにターゲットURLを入力することでオリジナルのHTMLデータの色指定部分を

図10 色補正システム

Fig. 10. Architecture of color correction system.

SOM によるカラーセット予測を用いた個人プロフィール情報によりオーバーライド (override) する方式を採用し、CGI 型 Web アプリケーションとしてプロトタイプシステムを開発している^{(1)~(6)}。

5. まとめ

背景色に無彩色および有彩色 (イエロー系) を用いた選択実験による一対比較実験とそれを用いた自己組織化マップ (SOM) によるカラーセット予測手法を提案し、実験データによる評価を行った。一対比較実験により、無彩色および有彩色に関する見やすさの基準について検討を行った。また、SOM 分析により無彩色および有彩色 (イエロー系) の予測正解率はそれぞれ 0.83, 0.78 という結果を得た。このことにより、カラーセット予測において本提案手法の有効性が示唆されるものと考ええる。また、色補正型 Web 閲覧システムへの応用例について述べた。現在、システムの実装を完了し、運用レベルでの評価を進めている。今回は若齢者のみデータを用いたが、今後は、高齢者に対する色補正システムの開発および評価を行う予定である。

(平成 16 年 1 月 6 日受付, 平成 16 年 12 月 15 日再受付)

文 献

- (1) K. Notomi, A. Hiramatsu, et al.: "Proposal in Web Browsing Method with Automatic Color Correction for Personal User's Visibility -Paired Comparison Test and SOM Analysis for Character and Background Colors-", Proc. of the 15th Annual Meeting Of Biomedical Fuzzy Systems Association, pp.29-32 (2002) (in Japanese)
納富一宏・平松明希子・他:「視認性を考慮した自動色補正型 Web 閲覧方式の提案—前背景色の一対比較実験と自己組織化マップによる分析—」, BMFSA 第 15 回年次大会, pp.29-32 (2002)
- (2) A. Hiramatsu, K. Notomi, et al.: "A Fundamental Study on Visibility of Background and Character Colors at the Web Browsing - Case of Chromatic Background Colors -", Proc. of the 16th Annual Meeting Of Biomedical Fuzzy Systems Association, pp.79-82 (2003) (in Japanese)
平松明希子・納富一宏・他:「Web 閲覧時の背景色と文字色の視認性に関する基礎的検討—背景色が有彩色の場合—」, BMFSA 第 16 回年次大会, pp.79-82 (2003)
- (3) A. Hiramatsu, K. Notomi, et al.: "A Fundamental Study on Visibility of Background and Character Colors at the Web Browsing (1st report)", FIT2002, H-2 (2002) (in Japanese)
平松明希子・納富一宏・他:「Web 利用時の背景色と文字色の視認性に関する基礎的検討 (第一報) —無彩色の場合—」, FIT2002, H-2 (2002)
- (4) A. Hiramatsu, K. Notomi, et al.: "A Fundamental Study on Visibility of Background and Character Colors at the Web Browsing (2nd report)", FIT2003, H-018 (2003) (in Japanese)
平松明希子・納富一宏・他:「Web 利用時の背景色と文字色の視認

性に関する基礎的検討 (第二報) —有彩色の場合—」, FIT2003, H-018 (2003)

- (5) K. Notomi and A. Hiramatsu, et al.: "A Fundamental Study on Visibility of Background and Character Colors at the Web Browsing", *Biomedical Soft Computing and Human Sciences*, Vol.9, No.1, pp.17-25 (2003)
- (6) 心理学実験指導研究会編: 実験とテスト=心理学の基礎 (実習編), 培風館 (1985)
- (7) K. Nishijima, A. Yamasaki, et al.: Web Page Modification based on Color Vision Characteristics of Aged People, Proc. of the Human Interface Symposium 2001, 3431, pp.597-598 (2001) (in Japanese)
西島・山崎・他:「高齢者の色覚特性を考慮した Web ページの補正」; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001 一般発表 3431, pp.597-598 (2001)
- (8) T. Kohonen: Self-organizing Maps, Springer, Berlin, Heidelberg (1995)
- (9) T. Kohonen: "Self-organized formation of topologically correct feature maps", *Biological Cybernetics*, 43:59-69 (1982)
- (10) J. Vesanto and E. Alhoniemi: "Clustering of the Self-Organizing Map", *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol.11, No.3, pp.586-600 (2000)
- (11) S. Kaski, K. Lagus, T. Honkela, and T. Kohonen: "Statistical Aspects of the WEBSOM System in Organizing Document Collections", *Computing Science and Statistics*, Vol.29, pp.281-290 (1998)

平 松 明希子

(非会員) 2004 年 3 月神奈川工科大学情報学部情報工学科卒業。同 4 月同大学院情報工学専攻博士前期過程に進学。ニューラルネットおよび Web の視認性に関する研究に興味を持つ。

納 富 一 宏

(非会員) 87 年早稲田大学理工学部卒。同理工学研究科, 人間科学部人間健康科学科助手を経て神奈川工科大学情報工学科講師。03 年 3 月博士 (工学) 早稲田大学。ニューラルネットおよび自然言語処理に関する研究に従事。情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本心理学会, 各会員。

斎 藤 恵 一

(正員) 83 年早稲田大学理工学部卒。同理工学研究科, 人間総合研究センター助手, 東亜大学経営学部助教授などを経て東京電機大学超電導応用研究所助教授。生活支援工学, 医用生体工学の研究に従事。博士 (工学) (早大)。