Legibility Evaluation with Oculomotor Analysis

—Relationship Between Contrast and Legibility—

Daisuke Saito Member (Tokyo Denki University, daisuke@rcat.dendai.ac.jp)

Keiichi Saito Member (Tokyo Denki University)

Masao Saito Member (Tokyo Denki University)

Keywords : oculomotor, legibility, reading time, contrast, positive coloration, negative coloration

Web page legibility is important because of WWW dissemination and color combinations between a foreground and a background are the crucial factors to provide sufficient legibility. In our previous studies, the visibilities of several web-safe color combinations were examined using a psychological method. In those studies, simple stimuli were used because of experimental restriction. In this study, legibility of sentences on Web sites was examined using a psychophysiological method, oculomotor measurement was detected by oculomotor and the effect of the achromatic color combinations, that is contrast, was examined with calculated reading time.

Ten people with normal color sensations ranging from ages 21 to 29 were recruited. The presentation stimuli were positive coloration whose font color luminance is lower than background color luminance, and the negative coloration whose font color luminance is higher than background color luminance. And the number of characters per line in each page was arranged in the same number, and the four achromatic colors that is, the contrast between the background color and font color are 92.5, 75.0, 50.0 and 25.0 percent, were examined. Table 1 shows the color actually used. These color contrast (C) was calculated by the next expression.

$$C = \frac{|Y_F - Y_B|}{Y_F + Y_B} \times 100 \quad [\%] \quad \dots\dots\dots (1)$$

Y_F : Font color luminance, Y_B : Background color luminance
The presentation sequence of the letter colors is shown in Table 2. The presentation sequence of No.1-4 is randomized, so the influence of the presentation sequence of the letter colors could be excluded. The text of 30 character and 13 line is displayed on the full screen, and the point-of-regard movement of the subject when he is made to do silent reading is measured. When setting the value of the display center at 0 deg, the value of the left side of the display will be negative, while the value of the right side will be positive. Every time a line is read, the value along the ordinate axis changes from negative to positive, and when the reading is finished, the value is returned to the negative. For one image, this is repeated 13 times. Next, the silent reading time of one line is calculated from the frame times (1frame 1/30 sec) needed for reading one line. The division of time by characters per line (30 characters) is defined as the silent reading time per character. During silent reading, when eye blinking is discovered, the information is input through visual perception. Because the time needed for blinking of the same subject does not change with differences in letter color, the frame time is excluded from the calculation of the silent reading time. Regarding the calculation of the mean of the silent reading time per character, the first and last line of each page on which the vision is unstable must be excluded.

Table 1. Font colors and Background colors

Background colors	Font colors	Luminance Y_F [cd/m ²]	Contrast C [%]
#FFFFFF ($Y_B=73.0$ cd/m ²)	#CBCBCB	43.80	25.0
	#6A6A6A	24.30	50.0
	#636363	10.42	75.0
	#000000	2.86	92.5
#000000 ($Y_B=2.86$ cd/m ²)	#343434	4.77	25.0
	#555555	8.58	50.0
	#939393	20.02	75.0
	#FFFFFF	73.00	92.5

Table 2. Presentation orders of stimuli

Subject No.	Presentation order of character colors
1	25.0 % → 50.0 % → 75.0 % → 92.5 %
2	92.5 % → 75.0 % → 50.0 % → 25.0 %
3	75.0 % → 92.5 % → 25.0 % → 50.0 %
4	50.0 % → 25.0 % → 92.5 % → 75.0 %

Fig. 1. Ratio to 92.5 % of each contrast at the reading time

The mean of the silent reading time per character is determined from the remaining 11 lines. This mean of the silent reading time is determined according to different letter colors.

As the results, it was shown that reading time of became long when the contrast. When applying Tukey's multiple comparative test to the results of the normalized mean of the silent reading time, in the positive coloration, When applying Tukey's multiple comparative test to the results of the normalized mean of the silent reading time, the significance level of 50.0 and 25.0 percent in contrast to 92.5 percent was 1 % respectively. However, in the negative coloration, there was no significant difference. Therefore, considering web accessibility, the legibility is found to be useful for using a positive coloration.

眼球運動の解析による可読性評価

——コントラストと可読性の関係——

正員 齋藤 大輔* 正員 齋藤 恵一*
正員 齋藤 正男*

Legibility Evaluation with Oculomotor Analysis ——Relationship Between Contrast and Legibility——

Daisuke Saito*, Member, Keiichi Saito*, Member, Masao Saito*, Member

Web page legibility is important because of WWW dissemination and color combinations between a foreground and a background are the crucial factors to provide sufficient legibility. In our previous studies, the visibilities of several web-safe color combinations were examined using a psychological method. In those studies, simple stimuli were used because of experimental restriction. In this study, legibility of sentences on Web sites was examined using a psychophysiological method by oculomotor and the effect of the achromatic color combinations, that is contrast, was examined with calculated reading time. The presentation stimuli were positive coloration whose font color luminance is lower than background color, and negative coloration whose font color luminance is higher than background color. And the number of characters per line in each page was arranged in the same number, and the four achromatic colors that is, the contrast between the background color and font color are 92.5, 75.0, 50.0 and 25.0 percent, were examined. As the results, it was shown that reading time of became long when the contrast. However, in the negative coloration, there were great differences between individuals. Therefore, considering web accessibility, the legibility is found to be useful for using a positive coloration.

キーワード：眼球運動，可読性，黙読時間，コントラスト，ポジティブ配色，ネガティブ配色

Keywords：oculomotor, legibility, reading time, contrast, positive coloration, negative coloration

1. はじめに

現在の高度情報社会では，日常生活の中に Web サイトを使った情報のやりとりが急増しており，国民の 6 割以上が日常的にインターネットを利用している。また，65 歳以上の高齢者数も増加し，人口に対する割合が 2010 年で 22.5%，2015 年で 26.0 % となるといわれている。高齢化が進むことにより，高齢者のインターネット利用率も上昇していくと考えられる。また，近年では障害者のインターネット利用率も向上している。平成 15 年に行われた総務省情報通信政策研究所の調査報告によると，視覚障害者の 69.7 %，聴覚障害者の 81.1 %，肢体不自由者の 43.6 %，知的障害者の 19.8 % がインターネットを利用している。障害者にとってインターネットは有効なコミュニケーション手法であり，今後障害者のインターネット利用は増加するものと考えられ

る。従って，今後は若年者だけでなく高齢者や障害者を含めた誰もが Web サイトを利用して情報の取得を行う必要性が生じる。障害者においては様々なインターフェイスが開発され，障害のない代替器官を用いることで情報取得が行えるようになってきているのに対し，高齢者は Web サイト側に配慮がないと情報取得が困難であるといわれている。Web サイトにおける情報提供は，視覚情報が多くの割合を占めているが，水晶体は加齢により白濁が進行するため視覚特性に変化が生じることがわかっている⁽¹⁾⁽²⁾。そのため，視覚特性が配慮されていない Web サイトを高齢者が閲覧した場合には，非常に見づらく重要な情報を見落とす可能性が生じる。視覚情報の中でも，文字情報は重要な役割を果たしており，特に背景色と文字色の組合せには注意が必要である。実際の Web サイトでの情報呈示において，若年者には視認性が高い背景色と文字色の組合せであっても，高齢者にとっては視認性が低くなる組合せも存在しており，コンテンツ側に配慮がないと情報取得が困難であるとの指摘もされている⁽³⁾。Web サイトの情報を誰にでも正確かつ迅

* 東京電機大学 先端工学研究所
〒270-1382 千葉県印西市武西学園台 2-1200
Research Center for Advanced Technologies, Tokyo Denki University
2-1200 Muzai-Gakuendai, Inzai-shi, Chiba 270-1382

速に伝えるためには、Web サイトの作成者が閲覧者の視覚特性を考慮し、Web アクセシビリティの向上に努める必要がある。

現在では、『Web アクセシビリティ』という言葉も普及しはじめ、Web サイト作成時に Web アクセシビリティを考慮したサイトも増えてきている。W3C (World Wide Web Consortium) や JIS 規格などにより Web アクセシビリティガイドラインも定められている。これらのガイドラインでは、前景色と背景色の組合せに関しては、十分なコントラストを付け、見やすい組合せを用いること⁽⁴⁾⁽⁵⁾と示されている。W3C/WAI (Web Accessibility Initiative) のワーキンググループや幾つかの電気機器メーカーでは、上記のガイドラインを参考に色のコントラスト比が十分かどうかを判定するアルゴリズムを提案している。しかし、提案されているツールどうして結果が一致しないなどまだ検討の余地が残されている。

我々はこれまでに、Web セーフカラーの視認性の検討を行ってきた。心理指標を用いた検討では、サーストンの一対比較法を用いて Web セーフカラーの視認性評価を行い、コントラストの上昇により視認性が高くなること、コントラストが同程度の場合にはコントラストに加え色度が視認性に影響すること、コントラストが大きすぎると眼精疲労を蓄積させる可能性があることを報告した⁽⁶⁾⁽⁷⁾。また、生理・行動指標として認知判断に関係するといわれている事象関連脳電位とボタン押し反応時間を用いた視覚弁別 oddball 課題による検討を行い、刺激のコントラストを下げていくと、標的刺激の認知判断が遅れることを報告した⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

これらの実験では、刺激として単純な記号または短い文字列を用いていたが、次段階の検討として Web サイトの閲覧により近い状況での視認性に関する指標を取り出すために、ある程度の長さがある文章を読んでいるときの注視点移動を計測解析した。その結果、1 文字あたりの平均黙読時間を指標とすることで可読性を定量的に評価できることがわかった⁽¹⁰⁾。そこで本論文では、この方法を利用して、背景色と文字色のコントラストと、1 文字あたりの平均黙読時間との関係を検討したので報告する。

2. 眼球運動による平均黙読時間算出原理

〈2・1〉 眼球運動の計測原理 眼球運動計測には、被験者を拘束することなく、眼球運動を測定することができる非接触型注視点計測装置 (Free View 竹井機器工業製, T.K.K.2920b, Fig. 1) を用いた。この装置は、視対象をディスプレイに限定した装置である。検出装置を被験者に装着する必要がないので、被験者を拘束せずに計測を行えることから、被験者への負担も小さくセッティングも容易である。Fig. 1 の○で囲んだ部分にある赤外線 LED より眼球に照射される微弱な近赤外光 (波長 850 nm) の反射量は、瞳孔とブルキンエ像で異なる。この性質を利用して、瞳孔の中心を算出し、瞳孔の中心とブルキンエ像の位置を近赤外線カメラによりとらえ眼球運動の測定ができる。ディスプ

図 1 Free View の外観

Fig. 1. External view of Free View

レイ上に校正点を 9 点描出し、この時の瞳孔の中心とブルキンエ像の位置を撮影し、コンピュータに記憶させることでテンプレートおよび補正係数を作成する。この記憶させたテンプレートを用いた正規化相関法によるパターンマッチングにより、ディスプレイ上の注視点の位置座標を装置が算出しその値を出力する。さらに、測定を連続して行うことで眼球運動を追従する⁽¹¹⁾。

測定は 1/30 sec 間隔で行われ、フレームごとに注視点座標 [deg] (x (水平方向), y (鉛直方向)), 瞳孔径[dot] (l, m), 移動速度[deg/sec], 注視時間[ms], 瞬きの有無がデータとして得られる。本研究では、これらの情報のうち、注視点座標を利用して文字色の違いが文章の黙読時に与える影響を検討した。

〈2・2〉 平均黙読時間算出法 Fig. 2 に示すような 30 文字×13 行の文章を、ディスプレイにフルスクリーンで表示し、被験者に黙読させときの眼球運動を測定し、得られた注視点座標により、表示した文章のどこを読んでいたかを判別した。文章を 1 行読む際には、眼球は水平方向 (x 軸方向) に移動し、鉛直方向 (y 軸方向) には殆ど変化がみられない。注視点の水平方向の変化は、ディスプレイの画面中央を 0 deg として、画面中央より左側が負値、右側が正值として得られる。文章を 1 行読むごとに x 座標が負から正へと変化し、1 行読み終わると負へ戻る。これが 1 画面で 13 回繰り返される。次に、1 行を黙読するのに要したフレーム数 (1 フレーム 1/30 sec) から、1 行あたりの黙読時間を算出し、1 行の文字数 (30 文字) で除した時間を 1 文字あたりの黙読時間とした。黙読中に瞬きが検出された場合には、視覚を通して情報が入力されていないこと、さらに同一被験者では文字色が異なっても瞬きに要した時間に変化がみられなかったことから、そのフレームを黙読時間の計算から除外した。さらに、1 文字あたりの平均黙読時間は、視線が安定しない各ページの最初と文字数が 30 文字に足りない最後の 1 行を除いた、残りの 11 行からそれぞれ得られた 1 行あたりの黙読時間を文字数で除すことにより算出した。この 1 文字あたりの平均黙読時間を各文字色についてそれぞれ求めた。

3. 眼球運動による可読性評価

〈3・1〉 実験条件および方法 被験者 (10 名, 平均年

年齢 22.9±2.23 歳、色覚健常者）には、ディスプレイを OFF にした状態で計測した画面上の照度を 100 lx、および被験者の目の高さにおける照度を 150 lx に設定した部屋で、CRT 画面（EIZO Flex Scan T566, 17 インチ, sRGB モード）に 30 文字×13 行の文章を呈示し、文章の内容を理解しながら黙読するように教示した。呈示した文章は、これまでの検討により文章を黙読する際の視線が漢字で書かれた部分に注視している傾向がみられたことから、1 行あたりの漢字出現頻度 20～30 % に統一した。文章呈示の一例を Fig. 2 示す。実際に呈示した文章は船井幸雄 氏の著書（「今すぐ人生をひらこう」、「世の中、大激変 今一番知ってほしい大切なこと」）から一部を引用した。同一筆者による文章であり、被験者に同一のコントラストで書かれた文章を呈示することで、難易度・内容による擾乱を排除した。呈示文章は、背景色より文字色の輝度が低いポジティブ配色（Fig. 2(a)）および背景色より文字色の輝度が高いネガティブ配色（Fig. 2(b)）とした。被験者と画面の距離は 110 cm とし、視認性に影響がないとされる視角 25 分以上⁽¹²⁾となるように文字サイズを 24 pt、字体を多くのサイトで一般的に用いられている MS P ゴシックとした。背景色と文字色は、Table 1 に示すような背景色にコントラストが 25.0 %, 50.0 %, 75.0 %, 92.5 % となる 4 段階の無彩色を文字色として実験を行った。これらの色の輝度値は、ディスプレイにフルスクリーンで各色を呈示したときの輝度を色彩輝度計により実測した値を用いた。本研究でのコントラスト C は、Table 1 の値をもとに次式によって算出したものである。

$$C = \frac{|Y_F - Y_B|}{Y_F + Y_B} \times 100 [\%] \quad \dots\dots\dots (1)$$

Y_F : 前景色の輝度, Y_B : 背景色の輝度

さらに、前景色の出現順による黙読時間への影響をなくすため、Table 2 に示すような課題呈示の組合せを無作為の順で呈示し、呈示順による影響を排除した。黙読終了後に簡単な内容確認を 3 択形式のテストにより行った。

測定には、非接触型眼球運動測定装置を用い、CRT 画面の中心の視角を 0 deg としたときの CRT 画面上の水平方向および垂直方向の視角 (x, y) を 1/30 s 間隔で測定し、注視点移動を追従した。

得られた追従結果の水平方向の注視点移動から、1 行あたりの黙読時間を算出し、これを 1 行の文字数で除した 1 文字あたりの平均黙読時間を算出した。このとき、読み始めの 1 行目は視線が安定していないこと、読み終わりの 13 行目は文字数が 30 文字ないことから、検討対象から除外した。

〈3・2〉 実験結果 前述の手法を用い各被験者の注視点移動データから算出した 1 文字あたりの平均黙読時間を Table 3 にまとめた。Table 3 の平均値 (Ave.) をみると、コントラストが小さくなるにつれて 1 文字あたりの平均黙読時間が長くなる傾向がみられる。一方、同一コントラストにおける 1 文字あたりの平均黙読時間を被験者間で比較するとばらつきがみられ、予想通り文章を読む速度に個人差が

学生にそのことを聞くと、「感動していることを友達に見られるのが恥ずかしいから、隠すのです」と言うのだそうです。友達連中から「お前、何、感動してるの」と馬鹿にされるそうです。そういう自分も、友達が感動しそうになっているときはそう言って冷やかすのだそうです。実に愚かなことです。なぜ、もっと自分に素直になれないのか、素直な自分を出す勇気を持たないのか。もし、読者もそういう性向が自分にあると思われるのなら、そういった自己否定のスタンス、心をクローズドにする姿勢はなくされたほうがいいでしょう。感動なくして何が人生か、と思います。この感動に関して、村上和雄さんは面白い話をされています。「最近涙を流す機会が減っているように思います。昔の映画の宣伝文句には「三倍泣けます」とか「ハンカチを二枚用意してください」などとありましたが、今はそういうことを強調する宣伝文句は見当たりません。

(a) Positive coloration

すべて自分から行動を起こさなかったことを棚に上げて、相手を攻めるわけです。なぜ、その人が自分から行動を起こさなかったのかを考えてみると、それらの人たちは皆、リスクと責任を持たずにいこうとするから、例えば情報というものは自分から取りに行くべきなのに待っている、といった姿勢なのです。しかも一回やってダメならそれであきらめるという姿勢なのです。そんな姿勢では、決して道は開けないのは子供でもわかることなのに、精神が赤ん坊のまま成長し、大人になっていないのです。いわば母親からのお乳を今でも待ち続けているわけです。残念なこと、サラリーマンやOLには、この種の逃げ腰族やくれない族の人がかなり多いように思います。自分の人生を上司や会社に預けきって一向に自分で切り拓こうとしないからです。委ねてしまっただけで自分自身に気がついてください。気付いているなら文句は出ないはずですよ。

(b) Negative coloration

図 2 刺激呈示例

Fig. 2. An example of stimulus

表 1 文字色および背景色

Table 1. Font colors and Background colors

Background colors	Font colors	Luminance Y_F [cd/m ²]	Contrast C [%]
#FFFFFF ($Y_B=73.0$ cd/m ²)	#CBCBCB	43.80	25.0
	#6A6A6A	24.30	50.0
	#636363	10.42	75.0
	#000000	2.86	92.5
#000000 ($Y_B=2.86$ cd/m ²)	#343434	4.77	25.0
	#555555	8.58	50.0
	#939393	20.02	75.0
	#FFFFFF	73.00	92.5

表 2 刺激呈示順序

Table 2. Presentation orders of stimuli

Subject No.	Presentation order of character colors
1	25.0 % → 50.0 % → 75.0 % → 92.5 %
2	92.5 % → 75.0 % → 50.0 % → 25.0 %
3	75.0 % → 92.5 % → 25.0 % → 50.0 %
4	50.0 % → 25.0 % → 92.5 % → 75.0 %

表 3 1 文字あたりの平均黙読時間

Table 3. Average time of reading a character silently

Subject	92.5 % [ms]		75.0 % [ms]		50.0 % [ms]		25.0 % [ms]	
	Popsitive	Negative	Popsitive	Negative	Popsitive	Negative	Popsitive	Negative
A	70.7	78.3	78.0	82.0	79.3	82.7	78.7	86.3
B	73.3	73.3	75.7	58.3	82.0	76.0	74.3	84.0
C	97.7	93.3	105.0	106.7	102.3	100.7	107.7	116.0
D	50.7	64.3	51.0	61.0	58.3	55.7	55.7	54.7
E	64.7	73.3	63.3	83.0	74.0	97.3	74.0	97.7
F	74.7	82.3	76.0	86.7	87.7	80.3	85.7	83.0
G	63.0	73.7	67.7	71.7	81.7	78.7	75.7	76.7
H	61.3	65.7	67.7	71.7	73.0	74.3	69.7	72.3
I	69.3	82.3	74.0	80.7	84.7	81.3	89.7	123.0
J	84.7	73.7	92.0	98.3	89.7	118.7	90.7	150.3
Ave.	71.0	76.0	75.0	80.0	81.3	84.6	80.2	94.4
SD	13.0	8.51	15.0	15.2	11.6	17.2	14.1	28.1

図 3 92.5 %を基準にした平均黙読時間の比

Fig. 3. Ratio to 92.5 % of each contrast at the reading time

あることが確認された。そこで、個人差を考慮せずにそのまま 1 文字あたりの平均黙読時間を比較することはできないので、通常文字色として利用されているコントラストが最も大きい 92.5 %で呈示された文章の、1 文字あたりの平均黙読時間を基準として、各コントラストにおける 1 文字あたりの平均黙読時間を標準化した。さらに、全被験者の標準化した値を使って、コントラストごとの平均値を求めた。その結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 の縦軸は、標準化した値（以下では、1 文字あたりの平均黙読時間比とする。）を示し、値が大きいほど黙読の際に要した時間が長いことを示す。横軸は、比較したコントラスト値を示す。エラーバーは 1 文字あたりの平均黙読時間比のばらつきを標準偏差で示した。

Fig. 3 によると、ポジティブ配色では、コントラストが最も大きい 92.5 %で呈示した文章が最も 1 文字あたりの平均黙読時間が短くなり、コントラストが 50.0 %までは、1 文字あたりの平均黙読時間比が増加していく傾向がみられた。一方コントラスト 25.0 %では 50.0 %に比べ顕著な違いはみられなかった。Tukey の多重比較検定を行い、有意差を検討し

たところ、ポジティブ配色でコントラストが 92.5 %に対して、コントラストが 50.0 %と 25.0 %で有意水準 1 %の差が確認された。以上のことから、ポジティブ配色では、コントラストが低下することで可読性が低下することが確認された。

ネガティブ配色では、コントラストが 92.5 %で 1 文字あたりの黙読時間が最も短く、Tukey の多重比較検定では有意な差は確認されなかったが、コントラストが減少するにつれて 1 文字あたりの平均黙読時間が長くなる傾向がみられた。1 文字あたりの平均黙読時間比の標準偏差はコントラストの低下とともに顕著に増大しており、ネガティブ配色ではコントラストの低下による可読性変化に、被験者ごとのばらつきが大きくなると考えられる。

さらに、ポジティブ配色とネガティブ配色に対する平均黙読時間の全被験者の平均値を比較すると、いずれのコントラストにおいても、ネガティブ配色の方がポジティブ配色よりも黙読時間が長くなることがわかる。

4. 考 察

文章黙読時の眼球運動を計測することにより、文章の可読性を 1 文字あたりの平均黙読時間比を算出することで評価を行った。その結果、ポジティブ配色とネガティブ配色に共通して通常文字色として用いられる文字色と背景色のコントラストが 92.5 %の組合せに比べて 1 文字あたりの平均黙読時間が長くなる傾向がみられた。さらに、ポジティブ配色ではコントラストが 50.0 %と 25.0 %の文字色と背景色の組合せで有意な差が確認され、ネガティブ配色ではばらつきが大きく個人差が大きくなる傾向が得られた。しかし、傾向としては文字色と背景色のコントラストが低下することで、可読性は低下する傾向が確認された。さらに、被験者間でのばらつきをみると、ポジティブ配色よりもネガティブ配色の方が大きくなることが示された。以上のこ

とから、ポジティブ配色は被験者間でのばらつきが小さく、コントラストが低下することで有意に可読性の低下することがわかった。一方、ネガティブ配色では、コントラストの低下に伴って可読性も低下する傾向がみられるが、低下の割合には個人差があり、有意な差として現れないことがわかった。

ポジティブ配色で有意な差が得られ、ネガティブ配色で有意な差が現れなかった要因としては、背景色の輝度の違いが考えられる。ポジティブ配色では背景色が白色(#FFFFFF)であり背景の輝度が73.0 cd/m²、ネガティブ配色では背景色が黒色(#000000)であり背景の輝度が2.86 cd/m²である。つまり、ポジティブ配色ではディスプレイ全体の輝度が高く、ネガティブ配色はディスプレイ全体の輝度が低くなる。この輝度の違いにより、ポジティブ配色では瞳孔径が小さくなり可読性が向上し、ネガティブ配色では瞳孔径が大きくなり可読性が低下したものと考える。実際のタスクと同輝度の文字列を並べて肉眼で確認すると、タスク呈示してすぐはポジティブ配色ではネガティブ配色に比べコントラストが低下しても文字が明瞭に見えるが、時間が経つとポジティブ配色よりネガティブ配色の方が、文字の視認性が高いように感じた。これは、背景色が白色であるポジティブ配色は背景色の輝度が高いために、時間が経つにつれてまぶしさを感じるためではないかと考える。また、計測後の聞き取り調査によると、今回の被験者の多くが、普段ディスプレイを使用する際にはポジティブ配色を用いていたことから、慣れないネガティブ配色による呈示が被験者間で黙読時間にばらつきが生じた要因のひとつであると考えられる。

今回の結果から、Web アクセシビリティを考慮して背景色を選択すると、可読性の個人差が小さい方が誰にでも同じように知覚できることから、可読性に対する個人差が小さいポジティブ配色が有効であり、白色背景に文字色としてコントラストの大きな色を使用するポジティブ配色が情報弱者を生まないための要素のひとつであると考えられる。また、これまでにコントラストを大きくし過ぎることは、視認性の低下につながることを報告している⁽⁶⁾⁽⁷⁾ことから、可読性を高くするためには、コントラストを最大とするのではなく、若干背景色と文字色の輝度を落とすことが有効ではないかと考える。今回の結果からは、背景色と文字色のコントラストが75.0 %と92.5 %の間に有意な差が確認されなかったことから、背景色と文字色の間のコントラストが75.0 %以上でコントラストが大きくなり過ぎない範囲の輝度の文字色を用いることが有効であると考えられる。

先行研究において、コントラスト変化に対して注視時間と黙読時間は同程度の割合で変化し注視と移動の割合が一定となること⁽¹⁰⁾、文章の難易度によりサッカードは変化し難解な場合にはサッカードが短くなること⁽¹³⁾が報告されている。今回の実験では、同一の本から文章を採用しているため、文章の難易度は同じであると仮定しており、サッカードの変化は可読性の違いとして現れると考えている。知

覚・認知の観点から考えると、文章を読む際には注視と移動を繰り返し、注視している間に知覚・認知を行うものと考えられる。したがって、注視点移動からコントラストごとに1回の注視に要した時間および移動としてサッカードを検討することで、コントラストの違いによる可読性を知覚・認知の観点から検討できるものと考えられる。今後は、注視時間およびサッカードに関する評価手法を検討し、知覚・認知の観点から可読性評価を行う予定である。さらに、被験者数を増やすとともに高齢者における実験を行い、加齢変化についての検討を行う予定である。

5. おわりに

注視点計測装置により眼球運動移動を計測し、1文字あたりの平均黙読時間を算出することにより可読性評価を定量的に行った。その結果、ポジティブ配色およびネガティブ配色の両群でコントラストの低下に伴って可読性が低下する傾向が確認された。しかし、多重比較検定を行った結果、ポジティブ配色で有意な差が確認されたが、ネガティブ配色では有意な差が確認されなかった。このことから、Web アクセシビリティを考慮すると若年健常者における無彩色配色の情報提供においてはポジティブ配色を用いることが有効であることが示された。また、背景色のコントラストは92.5 %と75.0 %で有意な差が確認されなかったことから、75.0 %以上のコントラストとすることが有効であることが示された。したがって、今回の検討で用いた背景色においては、白色背景を用いる方が、可読性が高くなり、背景色と文字色のコントラストが75.0 %以上とすることが有効であると示された。

今後、より詳細に検討を行うために、眼球運動移動から1回あたりの注視時間およびサッカードを算出する手法を検討し、知覚・認知の観点から可読性評価を行い、視覚特性を考慮した前景色と背景色の組合せを提案するとともに、高齢者での実験を行い、加齢変化についても検討していく予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、眼球運動計測実験にご協力いただいた東京電機大学 未来科学部 川澄正史教授に感謝いたします。また、本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B) 課題番号 19700206)により行われた。(平成19年10月26日受付, 平成20年2月29日再受付)

文 献

- (1) 近江源太郎:「カラーコーディネーターのための 色彩心理入門」, 日本色研事業(株) (2003)
- (2) M. Ikeda, A. Kusumi, T. Obama, and H. Shinoda: "Color appearance of color charts observed with a cataract experiencing goggle", J. CSA Japan, Vol.27, No.2, pp.113-124 (2003) (in Japanese)
池田光男・久住亜津沙・小浜朋子・篠田博之:「白内障疑似体験ゴーグルによる色票の見えの変化」, 日本色彩学会誌, 27, 2, pp.113-124 (2003)
- (3) アライド・ブレインズ:「Web アクセシビリティ JIS 規格完全ガイド」,

- 日経 BP 社 (2004)
- (4) M. G. Paciello : "Web Accessibility for People with Disabilities", CMP Books, Kansas (2000)
- (5) JIS X 8341-3: "Guidelines for order persons and persons with disabilities – Information and communications equipment, software and services – Part 3: Web content", JIS (2004) (in Japanese)
JIS X 8341-3 高齢者・障害者等配慮設計指針 -情報通信における機械, ソフトウェア及びサービス- 第3部: ウェブコンテンツ (2004)
- (6) D. Saito, K. Saito, K. Notomi, and M. Saito : "Aging Effect of Web-safe Color Visibility on a White Background", JSMBE, Vol.43, No.1, pp.68-75 (2005) (in Japanese)
齋藤大輔・斎藤恵一・納富一宏・斎藤正男: 「白色背景における Web セーフカラーに対する視認性の加齢変化」, 日本エム・イー学会 生体医工学, **43**, 1, pp.68-75 (2005)
- (7) D. Saito, K. Saito, K. Notomi, and M. Saito : "A Study on Visibility Rating of Several Representative Web-safe Colors", *Trans. IEEJ*, Vol.125, No.6, pp.892-897 (2005-6) (in Japanese)
齋藤大輔・斎藤恵一・納富一宏・斎藤正男: 「Web セーフカラーの視認性順序付けに関する検討」, 電学論, **125**, 6, pp.892-897 (2005-6)
- (8) S. Hira, I. Furumitsu, K. Saito, and J. J. Furedy : Psychophysiological (P300 latency and amplitude) and performance (reaction-time) indicators in a laboratory model of cataract-induced, perceptually-related deficits in cognitive functioning of the aged., *Psychophysiology*, 39-Supplement 1, S42 (2002)
- (9) I. Furumitsu, S. Hira, K. Saito, and J. J. Furedy : Adding a localization psychophysiological measure (fMRI) to a cataract-like preparation suggests a visual component in perceptually-related deficits in aged cognitive performance, *Psychophysiology*, 40-Supplement 1, S42 (2003)
- (10) D. Saito, K. Saito, and M. Saito : "Legibility evaluation with oculomotor analysis", *Electrical Engineering in Japan*, Vol.162, No.4, pp.35-42 (2008)
- (11) 福田忠彦: 「人間工学ガイド 感性を科学する方法」, サイエンティスト社 (2004)
- (12) Y. Kataoka, M. Hososhima, and M. Ayama : "Lagability of Text Presented on Visual Display Terminal", *Proc. IEEJ*, MC3-1, pp.659-661 (2004) (in Japanese)
片岡之子・細島美智子・阿山みよし: 「VDT 上の文章表示の視認性」, 平 16 電学電子・情報・システム部大, pp.659-661 (2004)

- (13) 山本三吾: 「読書と眼球運動に就いての一実験」, 心理学研究, **10**, pp.773-787 (1935)

齋藤大輔

(正員) 1998 年東京電機大学工学部卒業。2003 年同大学大学院博士課程修了。同年 4 月より同大学先端工学研究所助手。博士 (工学) (東京電機大学)。生活支援工学, 医用生体工学, 生体磁場に関する研究に従事。IEEE, 情報処理学会, 生体医工学会, 日本生活支援工学会, 計測自動制御学会等に所属。

齋藤恵一

(正員) 1983 年早稲田大学理工学部卒業。1985 年同大学大学院理工学研究科修了。早稲田大学人間総合研究センター助手などを経て, 現在東京電機大学先端工学研究所准教授。認知科学, 生活支援工学, 医用生体工学の研究に従事。博士 (工学) (早稲田大学)。日本生活支援工学会等に所属。バイオメディカル・ファジィ・システム学会副会長。

齋藤正男

(正員) 1962 年東京大学大学院博士課程修了。東京大学名誉教授, 東京電機大学名誉教授, 2004 年より東京電機大学大学先端工学研究所顧問。工学博士 (東京大学)。回路システム理論, 医用生体工学の基礎に従事。国際 ME 学会会長, 日本エム・イー学会会長, 日本生活支援工学会会長などを歴任。IEEE フェロー。