

Web コンテンツの色覚バリアフリー化 Bookmarklet の開発 - 装飾スタイルによる影響の評価 -

田上 太一¹ 永田 和生^{1,a)}

概要: Web コンテンツでは、背景色を白、文字色を黒とし、重要な箇所の文字色を赤にすることで強調する機会が多い。しかし、このような配色では、色弱者は本文中に含まれる赤文字を見つけることが難しいとされる。本稿では、著者らは先行研究において実装した JavaScript Bookmarklet による赤文字装飾機構に複数種類の装飾スタイルを追加し、先行研究との比較検討を行っている。評価実験の結果、今回新たに追加した装飾である「背景色の付加」と「白抜き文字」の両方において、従来の装飾である「波線の付加」よりも誘目性向上の効果があることを明らかにした。また、この手法が最新の OS および主要 Web ブラウザで動作し、色弱者が文書中の赤文字部分を一般色覚者と遜色なく認識できるようにする効果があると結論づけている。

キーワード: 色覚特性, 色弱, Web, ユーザビリティ, Bookmarklet

Color Barrier-free Mechanism by Bookmarklet - Evaluation of the Effect of Decorative Style -

TANOUE TAICHI¹ NAGATA KAZUO^{1,a)}

Abstract: The important keywords or sentences on web pages are commonly colored to red. This typical highlighting is based on the “attractiveness” of red. However, color-weakness persons cannot locate red keywords on the page well. The authors developed a mechanism that adds decoration to red words by using JavaScript Bookmarklet. In this paper, they made two bookmarklets each with a different decorative style, and they evaluated the bookmarklet’s effectiveness in reducing the time it takes to find red word. As a result, the method worked on most of popular web browsers well. The authors concluded that color-weakness persons with protanope can find red words on the web page easily by using ‘outline’ or ‘background-color’ decorative.

Keywords: Colorblindness, Color-weakness, Web, Usability, Bookmarklet

1. はじめに

1.1 背景

一般的に紙を媒体とする文書では「強調したい情報」や「重要な情報」を赤色で着色することが多い。これは、赤色に「目立つ」印象を持たせる効果があることに由来している。このことは神作らによって定量的にも明らかにされて

おり、「誘目性」として述べられている [1]。しかし、赤色は色弱者にとっては識別が難しい色であり、必ずしも強い印象を与えないこともあり、むしろ他の色よりも目立たないような場合もある。

同様の問題は Web コンテンツにおいても発生する。HTML (HyperText Markup Language) 文書では CSS (Cascading Style Sheet) を用いることによって背景色/文字色を自由に選ぶことができるが、やはり白い背景に黒い文字という組み合わせが一般的である。つまり、重要な箇所に赤色の文字を用いた手法も一般的であり、その場合

¹ 熊本高等専門学校
National Institute of Technology (KOSEN), Kumamoto College.

a) nagatak@kumamoto-nct.ac.jp

色弱者は文書中に含まれる赤文字を見つけることが難しい [2][3].

ビジネス文書のような印刷物と異なり、Web コンテンツはサーバからクライアントにソースコードという形で届くため、技術的には Web ブラウザ上での表示に改変を加えることができる。我々はこの点に着目し、先行研究において一般的な白背景/黒文字/赤文字という配色の Web コンテンツに JavaScript Bookmarklet によって装飾を付加し、色弱者でも赤文字の箇所を短時間で発見できるようにするバリアフリー化機構を提案、実装し動作検証を行った [4]. 本稿では、前述の先行研究で課題としていた、付加する装飾のスタイルによる発見時間と印象への影響について評価実験を実施し、その結果について検証、考察する。

1.2 色覚特性

一般的に、可視光のすべての色を弁別できる色覚特性が「一般色覚」と呼ばれる。一方、遺伝によって一般色覚とは異なる色覚特性を持つ者を、本稿では「色弱者」と表記する。色覚特性は大きく 4 種類に分類され、それぞれ以下に示すような特徴を持ち、一定の割合で存在するとされる。

- C 型：一般色覚。出現頻度は約 95%。光の三原色を感知する錐体のすべてが機能している色覚特性。
- P 型：主に赤色光を感知する L 錐体の欠損あるいは機能不全を原因とする色覚特性。
- D 型：主に緑色光を感知する M 錐体の欠損あるいは機能不全を原因とする色覚特性。
- T 型, A 型：稀に存在するが出現頻度は極めて低く、それぞれ約 0.001%。

上記の型のうち P 型と D 型を合わせた出現頻度は、日本人の男性で約 5%、女性で 0.2% とされる [5]。本稿では特に赤色の感知特性に着目し、色弱者の中でも P 型を研究の対象とする。

2. Web コンテンツ変換機構

先行研究 [4] による Web コンテンツ変換機構は JavaScript 言語による Bookmarklet として実装している。その動作原理と動作の流れを以下の節に述べる。

2.1 動作原理

HTML 文書は、その中に含まれる画像、段落、領域などといった構成要素に細分化することができる。本変換機構では、以下の手順で赤色に着色された箇所を検出する。

- 入れ子構造になっているものも含め、すべての構成要素を再帰的に検出
- すべての構成要素について、`window.getComputedStyle()` メソッドにより、最終的に Web ブラウザで描画される際の色を数値で取得

- 取得した色を RGB 値から HSV 値に変換し、Hue の値が赤色を含む ($H \geq 300^\circ$ または $H \leq 60^\circ$) 構成要素を抽出
- 抽出した構成要素に対して、CSS を用いて文字列装飾 (`textDecoration`) を付加

2.2 動作の流れ

作成する変換機構 Bookmarklet は、以下の手順で動作させることができる。

- 利用者は、任意の Web ページを Web ブラウザで表示
- Web ブラウザのブックマークから登録済みの変換機構 Bookmarklet を選択し、起動
- ページ内に赤色の文字が含まれていた場合、その箇所に装飾が付加される

上記の動作の流れのうち、先行研究 [4] では赤色文字に付加する装飾のスタイルとして波線のみを使用していたが、本稿では異なる 2 種類のスタイルを付加する Bookmarklet を新たに作成し使用する。

3. 動作検証と評価

今回新たに作成した変換機構 Bookmarklet について、以下のような方法で動作検証と評価を行う。

3.1 各種 Web ブラウザでの動作確認

3.1.1 Bookmarklet の登録

PC (Windows, macOS) 向け Web ブラウザではいずれもウィンドウの上部に常時表示されている「お気に入りバー」に Bookmarklet を登録し、1 クリックで実行できるようにする。スマートフォン (iOS, Android) 向け Web ブラウザでは「お気に入りバー」に相当するものがない。今回の実験では、いずれの Web ブラウザについても本研究で作成した Bookmarklet を PC 上で「お気に入りバー」に登録し、それぞれの同期機能を介してスマートフォンに転送する。

3.1.2 動作確認

まず、図 1 のような HTML 文書を用意し、Web ブラウザからアクセス可能な HTTP サーバに設置する。この HTML 文書を各種 Web ブラウザで開き、その上で作成した変換機構 Bookmarklet を動作させる。動作検証を行うクライアント環境は、表 1,2 の通りである。なお、各 Web ブラウザは実験実施時点で最新のバージョンにアップデートしている。

3.2 付加する装飾のスタイルによる発見時間への影響

前節で動作確認を行なった Bookmarklet について、装飾スタイルの違いが赤色着色単語の発見時間に与える影響について評価する。実験環境は表 3 の通りである。実験の方



図 1 動作検証用 HTML 文書

表 1 動作検証の環境：OS と端末

OS	端末
Windows 10 (20H2)	Microsoft Surface Pro (第 4 世代)
macOS Big Sur 11.2	Apple MacBook Pro 15 インチ (2018)
iOS 14.4	Apple iPhone 12
Android 11	Google Pixel 5

表 2 動作検証の環境：Web ブラウザ

名称	利用可能な OS
Google Chrome	Windows, macOS, iOS, Android
Mozilla Firefox	Windows, macOS, iOS, Android
Microsoft Edge	Windows, iOS, Android
Apple Safari	macOS, iOS

法は以下に示す。

- 被験者が一般色覚者の場合、液晶モニタの色覚シミュレーション機能 [6] によって P 型色弱をシミュレーションした状態とする。被験者が P 型色弱者の場合はシミュレーション機能を無効にする。
- 被験者は、液晶モニタの表示ををおよそ 50cm 離れた位置から目視する。
- 図 2 のような HTML 文書を液晶モニタに表示する。この HTML 文書は、Web ブラウザで読み込む度に PHP によってランダムな文章が表示され、その中の 2ヶ所の単語が赤色で着色されて表示される。
- 被験者は、1つの Bookmarklet をマウスでクリックする。これによって赤色着色単語に装飾が付加される。
- 被験者は、発見した赤色着色単語を同様にマウスでクリックする。
- このとき、HTML 文書の表示から赤色着色単語のクリックまでに要した時間を PHP で測定する。
- 以上を 10 回繰り返す、平均時間を求める。
- 実験の最後に、主観的評価としてもっとも見やすく感じた装飾を 1つ選んでもらう。

一般色覚者をシミュレーションによって仮想的な P 型色弱者とするため、先行研究 [4] と異なり、タブレット PC ではなく PC と液晶モニタの組み合わせを用いる。装飾を付加しない場合についても同様に空の (何も起こらない) Bookmarklet をクリックさせることで、装飾を付加する場

表 3 評価環境

OS	Windows 10
hline Web ブラウザ	Google Chrome
ポインティングデバイス	レーザー式マウス (Logicool xxxx)
液晶モニタ	EIZO FlexScan SX2762W-HX

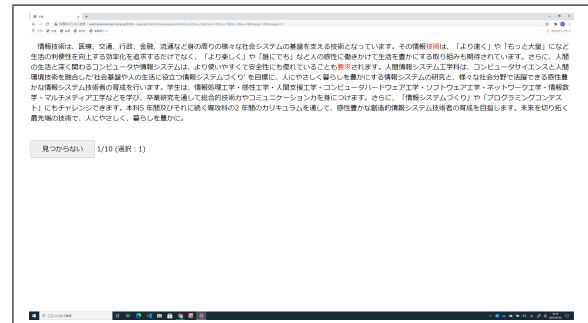


図 2 発見時間評価用 HTML 文書

合との差が生じないようにする。

この実験の被験者は、以下の通りである。すべての被験者において、事前に扶桑プレジジョン社製「パネル D-15 テスト (iPad 用)」[7] を用いて色覚特性の型を特定している。

- 一般色覚被験者 17 名
これまでに色弱と自覚したこと、および他者から指摘されたことがない一般色覚者。それぞれ PC の画面を見るのに支障のない程度の裸眼視力あるいは矯正視力である。
- P 型被験者 2019101
先天的に色弱を持つ P 型色弱者 1 名。日常生活には不自由を感じていないと云う。識別が難しい色は、赤と黒、紫と水色、茶色と緑、など。老眼と乱視を眼鏡で矯正している。本稿の最終著者本人。

4. 結果

本章では、前章に挙げた動作検証と評価の結果の詳細を述べる。

4.1 各種 Web ブラウザでの動作確認

PC (Windows, macOS) 向け Web ブラウザでは、図 3 の 1 段目、2 段目に示すようにいずれも問題なく動作した。iOS では Chrome, Safari で問題なく動作したが、Edge, Firefox では Bookmarklet 自体が動作しなかった。Android では Chrome, Edge で問題なく動作したが、Firefox では iOS と同様動作しなかった。

4.2 付加する装飾のスタイルによる発見時間への影響

表 4 に評価実験の結果を示す。装飾を付加しない場合に対して、波線、背景色および白抜きいずれの装飾を付加した場合でも赤色着色単語の発見時間が半分程度短縮され

	装飾	Google Chrome	Mozilla Firefox	Microsoft Edge	Apple Safari
Windows	背景色	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	N/A
	白抜き	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	N/A
macOS	背景色	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc
	白抜き	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc
iOS	背景色	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	動作せず	動作せず	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc
	白抜き	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	動作せず	動作せず	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc
Android	背景色	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	動作せず	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	N/A
	白抜き	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	動作せず	↓赤色の文字 (色指定: #ff0000) あいうえお ABC abc	N/A

図 3 各種 Web ブラウザでの動作確認結果

ている。さらに、波線と比較して背景色および白抜きの方が短縮率が7%ほど高くなっている。

装飾を付加しない場合に対してそれぞれの装飾の平均発見時間が統計的に有意かを確かめるために t 検定を行ったところ、波線では ($t = 11.2, df = 18, p < 0.05$)、背景色では ($t = 11.5, df = 18, p = 0.05$)、白抜きでは ($t = 11.1, df = 18, p = 0.05$) となった。これにより、いずれの装飾も装飾を付加しない場合に比べて有意に発見時間が短かかったと言える。また同様に波線の装飾に対して背景色および白抜きの装飾の平均発見時間が統計的に有意かを確かめるために t 検定を行ったところ、背景色では ($t = 4.92, df = 18, p < 0.05$)、白抜きでは ($t = 4.28, df = 18, p < 0.05$) となった。これにより、波線の装飾に比べて背景色および白抜きの装飾の方が有意に発見時間が短かかったと言える。なお、データの分析には Microsoft Excel for Mac version 16.45 を使用した。

主観評価の結果は、背景色ももっと多くの票を集めた。

装飾スタイル	被験者全体の 平均発見時間 [s]	短縮率 [%]	主観的評価 [票]
なし	4.14	100.0%	0
波線	2.20	46.9%	2
背景色	1.90	54.1%	14
白抜き	1.88	54.6%	1

5. 考察

各種 Web ブラウザでの動作検証では、iOS 向け Edge およびスマートフォン向け Firefox で所望の動作が得られなかった。このことについて追加検証をしたところ、アラートを出すだけの単純な Bookmarklet も動作しなかったため、現時点では Bookmarklet そのものがサポートされていないと考えられる。

それ以外の組み合わせでは期待通りの動作が得られた。特に、各 OS に標準アプリケーションとして搭載されている Web ブラウザ (Windows の Edge, macOS/iOS の Safari,

Android の Chrome) のすべてで問題なく動作していることから、Bookmarklet という実装形態はひきつづき十分な実用性があると考えられる。

ただし、Android 向け Chrome と Edge では、ブックマークメニューから Bookmarklet を選択する手順では動作せず、アドレスバーから Bookmarklet の名称を検索して選択するという手順を踏む必要がある。この手順は一般的ではなく、多くのユーザは誰かに教わらないと実行できないと考えられるため、Bookmarklet を一般公開する場合には操作手順を添える必要がある。この 2 つの Web ブラウザについては Bookmarklet への対応状況を今後も注視していきたい。

付加する装飾のスタイルによる発見時間への影響の評価では、今回新たに追加した背景色と白抜ききの 2 つの装飾スタイルが先行研究 [4] で提案した波線よりも発見時間を短縮させる効果が高いことがわかった。また、両者の発見時間短縮率に大きな差はないが、被験者による主観的評価は背景色の方に票が集中していることから、今後の研究においても主観的評価も含めて評価を行うことで最適な装飾スタイルを導出できるものと考えられる。

6. まとめと今後の課題

本稿では、先行研究 [4] の発展として、Bookmarklet によって付加する装飾のスタイルによる発見時間への影響の評価を試みた。動作検証と評価の結果、よく利用されている Web ブラウザの多くで動作することを確認し、P 型色弱者に対して一定の補助効果があることを確認した。

今後は、これまで未着手である D 型色弱についても同様の方法で Web コンテンツの色覚バリアフリー化 Bookmarklet の開発を進めたい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP18K11978 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 神作博：“色と視覚表示”，人間工学，Vol.4，No.1，pp.7-16，1968.
- [2] 永田和生，坂本奨馬：Web コンテンツにおける赤文字の誘目性に関する研究，信学技報，Vol.116，No.519，pp.87-90，2017.
- [3] 永田和生：Web コンテンツにおける赤文字の誘目性に関する研究-色覚特性の度合いが可変なエミュレーター，信学技報，Vol.117，No.502，pp.35-38，2018.
- [4] 永田和生：Web コンテンツの色覚バリアフリー化機構 - JavaScript Bookmarklet による実装 - ，研究報告アクセシビリティ (AAC)，Vol.2019-AAC-11，No.4，2019.
- [5] 日本眼科学会：「目の病気，先天色覚異常」，<http://www.nichigan.or.jp/public/disease/hoka.senten.jsp> (閲覧日：2019 年 2 月 5 日)
- [6] EIZO 株式会社：Unicolor Pro 製品ページ，<https://www.eizo.co.jp/products/ce/uc/>. (閲覧日：

- 2021 年 2 月 2 日)
[7] 扶桑プレジジョン：パネル D-15 テスト，<https://itunes.apple.com/jp/app/panerud-15tesuto/id406108475>. (閲覧日：2019 年 11 月 16 日)

正誤表

下記の箇所に誤りがございました。お詫びして訂正いたします。

訂正箇所	誤	正																																								
3 ページ 表 3	<p style="text-align: center;">表 3 評価環境</p> <table border="1"> <tr> <td>OS</td> <td>Windows 10</td> </tr> <tr> <td>hline Web ブラウザ</td> <td>Google Chrome</td> </tr> <tr> <td>ポインティングデバイス</td> <td>レーザー式マウス (Logicool xxx)</td> </tr> <tr> <td>液晶モニター</td> <td>EIZO FlexScan SX2762W-HX</td> </tr> </table>	OS	Windows 10	hline Web ブラウザ	Google Chrome	ポインティングデバイス	レーザー式マウス (Logicool xxx)	液晶モニター	EIZO FlexScan SX2762W-HX	<p style="text-align: center;">表 3 評価環境</p> <table border="1"> <tr> <td>OS</td> <td>Windows 10</td> </tr> <tr> <td>Web ブラウザ</td> <td>Google Chrome</td> </tr> <tr> <td>ポインティングデバイス</td> <td>光学式マウス (Logicool M590)</td> </tr> <tr> <td>液晶モニター</td> <td>EIZO FlexScan SX2762W-HX</td> </tr> </table>	OS	Windows 10	Web ブラウザ	Google Chrome	ポインティングデバイス	光学式マウス (Logicool M590)	液晶モニター	EIZO FlexScan SX2762W-HX																								
OS	Windows 10																																									
hline Web ブラウザ	Google Chrome																																									
ポインティングデバイス	レーザー式マウス (Logicool xxx)																																									
液晶モニター	EIZO FlexScan SX2762W-HX																																									
OS	Windows 10																																									
Web ブラウザ	Google Chrome																																									
ポインティングデバイス	光学式マウス (Logicool M590)																																									
液晶モニター	EIZO FlexScan SX2762W-HX																																									
4 ページ 13 行目	$(t = 4.28, df = 18, p < 0.05)$	$(t = 4.29, df = 18, p < 0.05)$																																								
4 ページ 表 4	<p style="text-align: center;">表 4 付加する装飾のスタイルによる発見時間への影響</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>装飾スタイル</th> <th>被験者全体の 平均発見時間 [s]</th> <th>短縮率 [%]</th> <th>主観的評価 [票]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>なし</td> <td>4.14</td> <td>100.0%</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>波線</td> <td>2.20</td> <td>46.9%</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>背景色</td> <td>1.90</td> <td>54.1%</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>白抜き</td> <td>1.88</td> <td>54.6%</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	装飾スタイル	被験者全体の 平均発見時間 [s]	短縮率 [%]	主観的評価 [票]	なし	4.14	100.0%	0	波線	2.20	46.9%	2	背景色	1.90	54.1%	14	白抜き	1.88	54.6%	1	<p style="text-align: center;">表 4 付加する装飾のスタイルによる発見時間への影響</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>装飾スタイル</th> <th>被験者全体の 平均発見時間 [s]</th> <th>短縮率 [%]</th> <th>主観的評価 [票]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>なし</td> <td>4.11</td> <td>0%</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>波線</td> <td>2.22</td> <td>45.9%</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>背景色</td> <td>1.91</td> <td>53.6%</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>白抜き</td> <td>1.87</td> <td>54.5%</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	装飾スタイル	被験者全体の 平均発見時間 [s]	短縮率 [%]	主観的評価 [票]	なし	4.11	0%	0	波線	2.22	45.9%	2	背景色	1.91	53.6%	15	白抜き	1.87	54.5%	1
装飾スタイル	被験者全体の 平均発見時間 [s]	短縮率 [%]	主観的評価 [票]																																							
なし	4.14	100.0%	0																																							
波線	2.20	46.9%	2																																							
背景色	1.90	54.1%	14																																							
白抜き	1.88	54.6%	1																																							
装飾スタイル	被験者全体の 平均発見時間 [s]	短縮率 [%]	主観的評価 [票]																																							
なし	4.11	0%	0																																							
波線	2.22	45.9%	2																																							
背景色	1.91	53.6%	15																																							
白抜き	1.87	54.5%	1																																							