

色弱に配慮した鉄道路線図の色配列 —東京地下鉄路線図を中心に—

矢島 進之介¹・齋藤 潮²・笠原 知子³

¹非会員 修士 東京工業大学大学院社会理工学研究科社会工学専攻
(〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1, yajima.s.aa@m.titech.ac.jp)

²正会員 博士(工学) 東京工業大学大学院社会理工学研究科社会工学専攻 教授
(〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1, usaito@soc.titech.ac.jp)

³正会員 博士(工学) 東京工業大学大学院社会理工学研究科社会工学専攻 助教
(〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1, umaki@kt.rim.or.jp)

本研究は、多くの色彩を用いた鉄道路線図におけるカラーユニバーサルデザインの手法の一つとして、凡例並び替えによる類似色近接が色弱者の識別しやすさ向上につながる可能性を、色弱者に対する実験、および色覚シミュレート画像を用いた模擬実験により提示する事を試みている。結果として、シミュレート画像を用いた模擬実験は実際の色弱者の結果とは異なる危険性がある事を示したうえで、混同色が非常に判別しにくい凡例では、混同色整列による正答率の向上が見られる可能性がある事を示した。

キーワード: 鉄道路線図 カラーユニバーサルデザイン 色弱 色配列

1. 序章

(1)背景と目的

色弱と呼ばれる先天的な色覚特性を持つ人は、日本人男性の5%、女性の0.2%おり、合計すると全国320万人にも登る。しかし社会的な認知度はあまり高くなく、日常生活空間で不便を感じる場面が多い。近年では色弱者も含めたすべての人が使いやすいデザイン、カラーユニバーサルデザイン(CUD)が考えられているが、それらの普及率もまだあまり高くない。

本研究では、都市空間におけるCUDとして、色弱者が色の認識に不便を感じる代表格である鉄道路線図のデザインを取り上げる。日本における地下鉄の路線図は、路線を色で識別するようにデザインされているが、大都市では路線数が増加したための色数が多くなり、色の違いも微妙になっている。このことはCUDの観点から問題視され、改善策が模索され、提案されてきた。しかし、路線図の大幅なデザイン変更を伴うなど実施上の課題があり、普及していない。本研究は、従来の路線図の凡例の並び替えという簡易的な手法で路線図の識別しやすさを向上させる方法を検討する事を目的とする。

(2)研究の位置付け

鉄道路線図の色彩に関する伊東らの研究¹⁾では、営

団地下鉄(現、東京メトロ)と都営地下鉄の鉄道路線図におけるラインカラーが、色弱者と一般色覚者で認識にどの程度差があるのか、アンケートによって調査し考察している。人々がラインカラーを何色として認識するか、どの路線の色どうしが見分けにくいといった項目を集計し、現状の色の改善案を提案している。

その他、鉄道路線図のデザインに関する長尾らの研究²⁾³⁾⁴⁾や、色弱者の色の識別についての小島らの研究⁵⁾、その他サインに関する色彩やデザインについての研究⁶⁾⁷⁾なども見受けられるが、いずれも色の配列と識別しやすさの関係性を述べたものはない。本研究では路線図自体のデザインや色は従来そのままとし、ただ凡例の並び替えのみによる色の識別しやすさ向上に着眼している。この点において本研究は独自性があると言える。

2. 色弱の概要と研究対象

色弱とは先天的色覚特性をいい、網膜に存在する赤緑青の錐体細胞の機能低下・不全により、色の見え方が一般と異なる状態をいう。そのため、一般には異なって見える色が同系色に見えてしまうことがあるため、一般色覚に基準をおいた色デザインの中には色弱が判断しにくいものが存在する事が問題である。

色弱者のうち P 型と D 型は色覚が多数を占め、さらに相互の色覚特性が比較的似ている点と、T 型、A 型はそれ以外の色覚タイプとは色覚特性が大幅に異なるという点から、本研究では P 型・D 型色覚を想定した分析を行う。

表-1 各色覚タイプの概要

色覚タイプ	機能低下の錐体	主な色覚の特徴	全色弱中の割合	研究対象
P 型	赤錐体	赤近辺と緑近辺の識別が困難とされる	約 30%	○
D 型	緑錐体		約 70%	○
T 型	青錐体	青近辺の色の識別が困難とされる	約 0.001%	×
A 型	二つ以上の錐体	色を明暗のみでしか識別できない	約 0.001%	×

3. CUD からみた路線図のデザインと現状

(1) 日本における色弱に配慮した取り組み

色弱者に配慮した鉄道路線図について、日本ではすでに多くの取り組みがなされている。東京メトロでは、今まではそれぞれの路線アイコンを各テーマカラーで描かれた円のみで表現していたが、それらの色が色弱者には見分けにくいとして、その円の中に各路線に対応するアルファベットを入れることで、色以外の識別情報を付加している。(図-1)

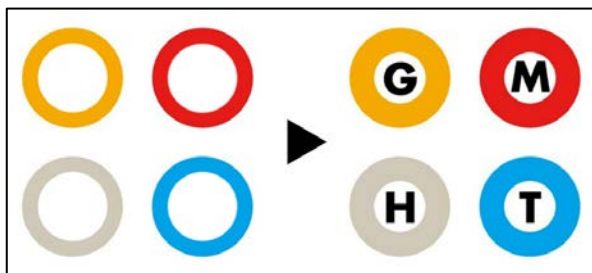


図-1 東京メトロの路線アイコン(左:変更前, 右:変更後)

正明堂印刷(株)が製作した「地下鉄マップ Tokyo」という鉄道路線図では、色弱者にも色情報が判断しやすい工夫がなされている。その路線図の具体的工夫は、「(1)各路線特有の色を保ちながら見分けやすい色相を選択する、(2)線は太くして色の面積を充分にとる、(3)路線が交差する箇所に境界線を設ける、(4)色弱者が見分けにくい線に、一般色覚者が気にならない程度のハッチングを加える、(5)線上の路線名や凡例の色名などの情報を追加」という五つの要素であり、これらの方法を用いることで、色弱者にも分かりやすい路線図をデザインすることに成功している。(図-2)



図-2 「地下鉄マップ Tokyo」(部分)

(出典:正明堂印刷(株) <http://www.shomeido.co.jp/>)

(2) CUD に配慮した路線図普及の課題

上述のような路線図の提案があるにもかかわらず、鉄道会社は、CUD に配慮した路線図のデザインをあくまでも「特別なデザインを施した路線図」として位置づけており、普及には消極的である。CUD に配慮した路線図が色弱に対して有効だとしても、これまで普及してきた路線図を大幅に変更すると、一般の利用に不便を招く恐れがあるからである。また、CUD に配慮した路線図を実用化させるためには色の指定などに専門的知識が必要になることも課題である。

(3) 仮説

ここで、本研究では根本的なデザイン変更を行わない範囲で、色弱者へ利便性向上が多少なりとも行える方法を考案し、その有効性を検討する。

一般には色味が近いことが識別を困難にするが、色弱者の場合は色味ではなく、明度や彩度の情報に依存する。

路線図のように複数の色が混在し、かつ混同されやすい色が多数ある環境においては、混同されやすい色相互の識別は、それらが離れているよりも、近接しているほうが容易であろう。この場合、レイアウト上の色相互の距離の問題は2つある。

ひとつは路線図の路線自体と凡例との距離である。路線図上で自分が選択する路線を確認したとしても、その名前を知る為には、それと同じ色を凡例上に見つけなければならない。それが正確に行われるためには、路線と凡例の当該色とが近接してレイアウトされるほうがよい。しかしこの問題は、実際的には解決しづらく、むしろ凡例を排除して路線に直接路線名を記載するほうが合理的である。ただし、複雑な路線図では路線名の記載が路線図全体を煩雑にする恐れがある。

他のひとつは、凡例(色彩の配列)における距離の問題

題である。混同されやすい色同士が互いに近接して配列されているほうが、相互に微妙な違いが識別しやすいだろうことは容易に想像できる。

本研究は、上述の問題の1つめは保留し、2つめに着目することとし、「(色弱者にとって)混同されやすい色相互が近接するように凡例を並べ替える(凡例における混同色近接)ことによって、色弱者の路線の識別性を向上できる」という仮説をたて、それを実験により検証することとする。

4. 実験

(1)実験の目的

ひとつの路線図において、色の配列順を変えた二つの凡例を用い、被験者の路線識別の正確性を比較することで、凡例における混同色近接の有効性を検証する。またこのとき、一般色覚者を模擬被験者としたシミュレート実験(実際の色彩を、色弱者の色覚に合わせて変色させる)も行ない、シミュレート実験の色弱者サンプルとしての有効性を検討する。

(2)実験の概要

被験者数:一般色覚者 52 人(P 型サンプル 25 人, D 型サンプル 27 人, 年齢 18 歳~61 歳の男女(年齢比, 男女比は均等でない)), 色弱者 18 人(P 型 6 人, D 型 12 人, NPO 法人カラーユニバーサルデザイン機構(CUDO)の実験会員の方々にご協力頂いた)

実験手法:紙面にて手順などを記載し、回答用紙とともに郵送、もしくは実験会場での配布によって回答。鉄道路線図は、東京メトロ路線図「メトロネットワーク」を実験用に変更し(後述)、使用した。(実験に際し、東京地下鉄株式会社に使用許可を頂いた)

実験内容:実験用に変更した路線図(後述)と、対応する二種類の凡例(後述)を用意し、設問として指定した5路線(後述)について、別紙の問題用紙にそれらについての設問を回答してもらった、二つの凡例でそれぞれ同様の問題を行い、回答の違いを相対的に評価する。

本来は色弱者の利便性向上のための実験であることから、色弱者のみへの実験を行う予定であったのだが、色弱者のサンプル数が十分に集まらないことから、一般色覚者へも「模擬被験者」として色弱者と同様の問題で実験を行うこととした。実験に際して、上記の色弱者に対しての実験で用いた路線図と凡例を、PCソフト「Adobe Photoshop CS5.1」内の CUD ソフトグループ機能を用いて画像処理を施し、色弱者の色の見え方を模擬的に体験できるようにした。

(3)実験の詳細

a)実験路線図の詳細

実験で使用する「メトロネットワーク」路線図は以下のように変更した。

1. 路線図中の路線名表記を削除
2. 表記されている全路線の線幅を統一
3. 路線図中から凡例を削除

本実験は、具体例として東京メトロの路線図を用いているが、東京メトロのみではなく一般的な路線図における色彩の判別について論ずるものであるという観点から、以上の変更を施し、ある程度純粋に色の評価のみが行える環境とした。(図-3)

b)実験凡例の詳細

東京メトロのラインカラーは、昭和45年に営団地下鉄(現・東京メトロ)と東京都のあいだで当時計画中の路線も含めて、明るく色別できる色を色彩とバランスを考えながらラインカラーの色を設定された。

各路線のラインカラーは色名で定められており、東京メトロの路線に関しては、その設定した色の色相・明度・彩度に厳密な規定はないとの事であったが、今回の実験では「メトロネットワーク」において使用されている色彩を忠実に用いることとした。下表は、「メトロネットワーク」において用いられている各路線の色彩をCMYK要素の数値で表したものである。今回はこの数値をもとに実験を行った。(表-2)

表-2 各路線のイメージカラーとその色要素

線名	色名※	色要素(C,M,Y,K)	凡例 X	凡例 Y
銀座線	オレンジ	(0, 50, 100, 0)	X1	Y5
丸ノ内線	赤	(0, 100, 100, 0)	X2	Y1
日比谷線	シルバー	(18, 0, 0, 38)	X3	Y11
東西線	ブルー	(90, 0, 10, 0)	X4	Y14
千代田線		(100, 0, 100, 0)	X5	Y3
有楽町線	ゴールド	(20, 20, 80, 0)	X6	Y4
半蔵門線	パープル	(45, 55, 0, 0)	X7	Y13
南北線	エメラルド	(80, 0, 40, 0)	X8	Y12
副都心線	ブラウン	(30, 70, 100, 0)	X9	Y2
浅草線	ピンク	(0, 80, 0, 0)	X10	Y10
三田線		(90, 40, 0, 0)	X11	Y15
新宿線		(60, 0, 80, 0)	X12	Y6
大江戸線		(30, 100, 10, 0)	X13	Y8
荒川線		(5, 20, 40, 15)	X14	Y7
日暮里・舎人ライナー		(18, 90, 0, 0)	X15	Y9

※色名は、東京メトロお客様センターにより回答頂いたもののみ

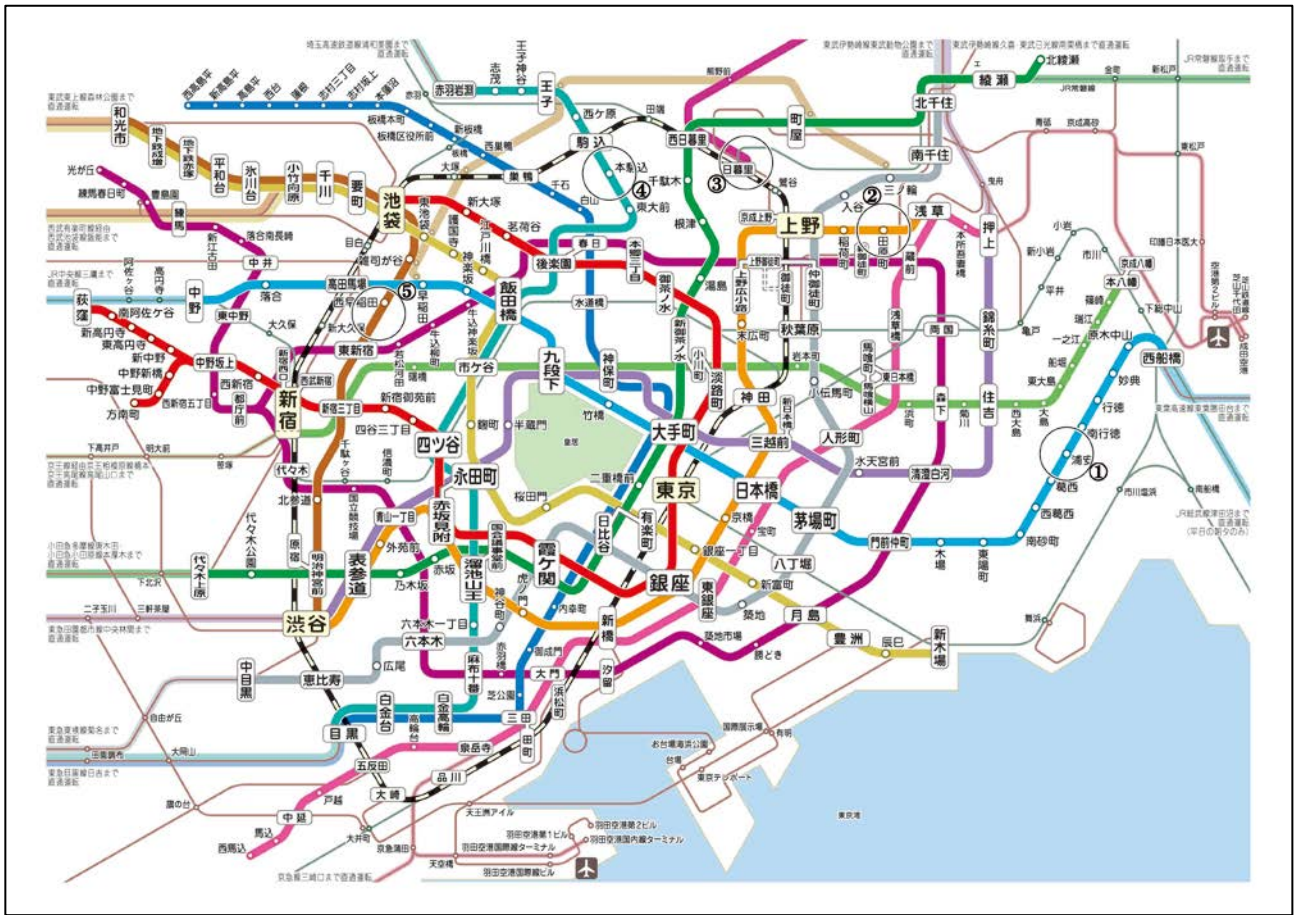


図-3 実験で使用しようするため変更を施した、東京メトロ鉄道路線図

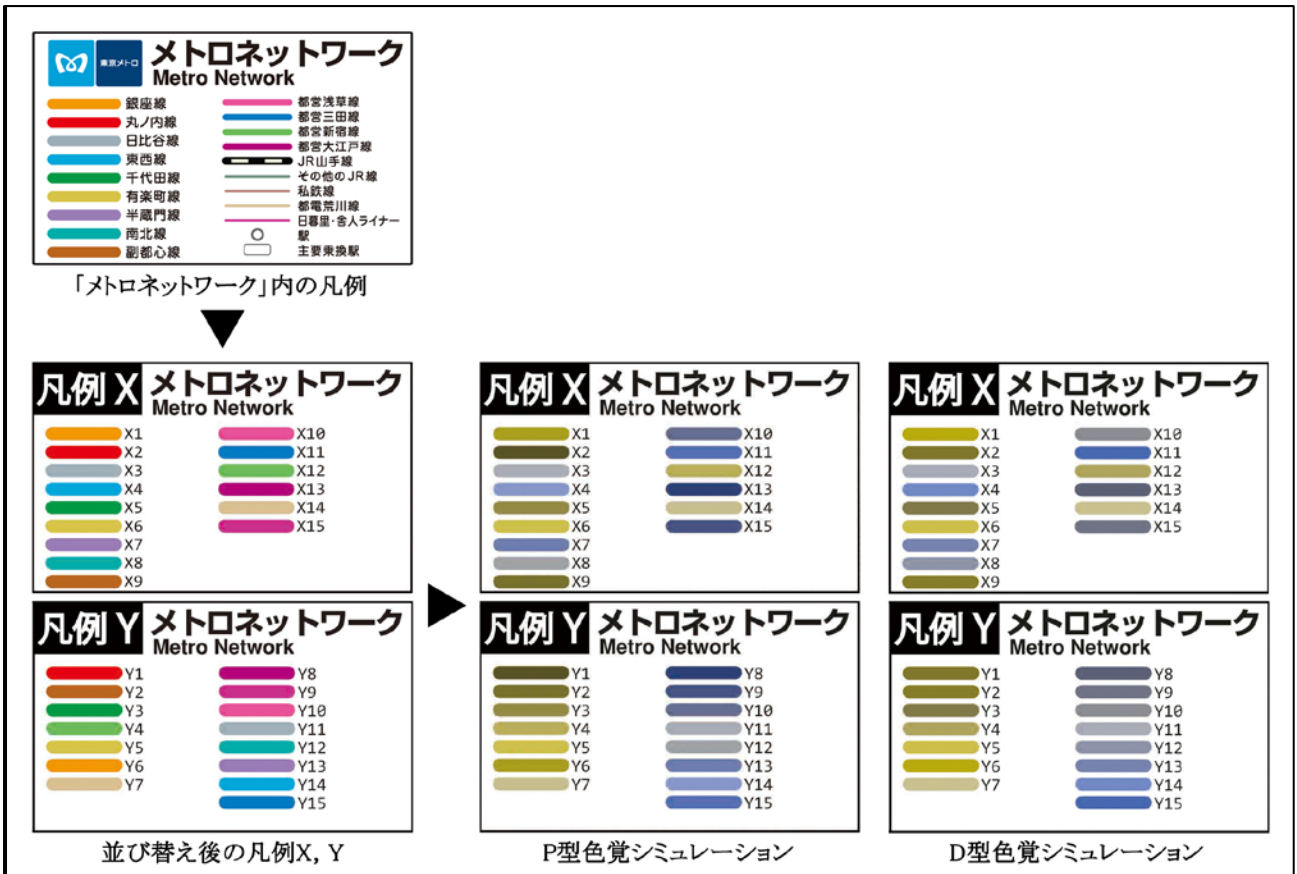


図-4 「メトロネットワーク」で用いられている凡例(左上)と、凡例 X,Y(左下)、色覚シミュレーションを施した画像(右下)

実験に際して、以下二つの凡例を用いた。(図-4)
 凡例 X: メトロネットワークで用いられている路線の並びを使用。それぞれを X1~X15 と名付け、色のみの対応を行えるように変更した。

凡例 Y: 色弱が判断しにくいとされる色を隣接させ、それぞれを Y1~Y15 とした。色弱者が判断に迷いやすい色同士を隣り合うように並び、完全には隣り合わない色同士もなるべく近くに配置する。具体的な色配列は、伊東らの研究、および CUDO[®]により記されている色の組み合わせを参考にした。

c) 設問項目

実験を行うに当たって、所要時間の関係から15の路線のうちから5路線を選択し、問題として用いた。具体的に選択した路線は、複数の路線と色の混同が発生しやすいと考えられる(凡例 Y において各混同色群の中間に位置する)、東西線(Y14)、銀座線(Y5)、南北線(Y12)、日暮里・舎人ライナー(Y9)、副都心線(Y2)の五つの路線である。これらそれぞれを路線[1],[2],[3],[4],[5]とし、各路線が通過する駅を提示して、各設問に回答してもらう、という方法を用いた。以上のように路線を設定したうえで、指定した[1]~[5]の路線について、凡例 X を用いて、

- (イ)「どの凡例と対応するか」
- (ロ)「どの凡例と混同したか(複数回答)」
- (ハ)「(ロ)の混同色から(イ)の回答を選択した理由」
- (ニ)「判断にどの程度迷ったか(4段階)」

をそれぞれ回答し、次に凡例 Y(X)においても同様の設問に回答してもらう。そして最後に、

- (ホ)「どちらの凡例がわかりやすかったか」

を回答してもらうという形式で行った。

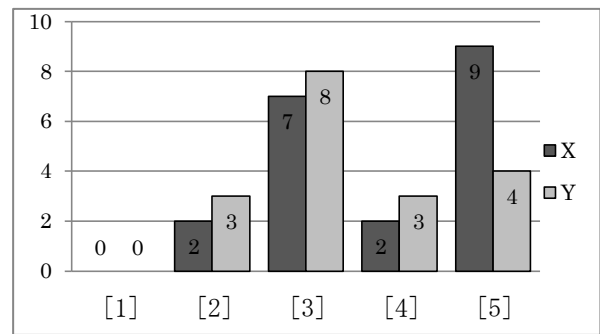
以上をもとに、二つの凡例それぞれを用いた場合における、回答の違いを相対的に評価した。なお、実験に対する慣れや、ストレスなどが回答に影響する場合は考慮し、凡例 X を先に行う被験者と、凡例 Y を先に行う被験者を半数に分けた。

5. 実験結果の考察

(1) 誤答数に関する考察

a) 色弱者の傾向

路線[5]において、凡例 X に比べ判例 Y で誤答数が半減した。誤答数に大きな変化が起きたのは D 型色覚のみで、D 型色覚における凡例 X ではほぼ明度が同じ「赤」「緑」「茶」がほとんど判断できなかったのに対し、判例 Y ではこれらが隣り合わせに表記されており、非常に微妙な差異が判断出来るようになったと考えられる。この例では凡例の



混同色近接が有効であったと言える可能性がある。

図-5 [色弱者]色覚タイプによる誤答数の比較

b) 模擬被験者の傾向

図-6 において、路線[4],[3]で図-5 の色弱者の結果とは大きく結果が異なっている事が分かる。路線[4]では色弱者にほとんど誤答が無いのに対し、模擬被験者では多数の誤答が見られる。これはシミュレートによる問題で、模擬被験者が色弱者と同様の明度知覚で色判断が行えていない事が考えられる。路線[3]では[4]と逆の結果を示していることから、シミュレート画像が色弱者の色知覚以下の近似度合いでしか再現出来ていないためだと思われる。このように、模擬被験者と色弱者で現れた結果が異なっている場合が複数見受けられる。

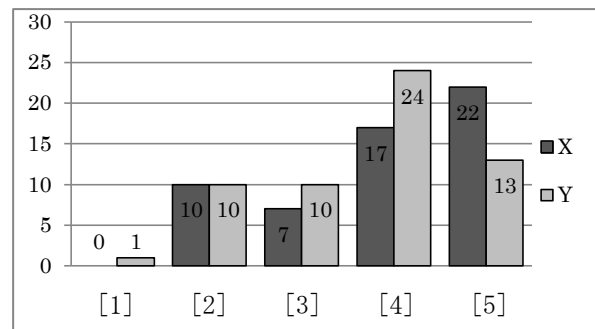


図-6 [模擬被験者]色覚タイプにおける誤答数の比較

(2) 類似色選択数に関する考察

a) 色弱者の傾向

「同系色が散らばっていると余計な類似色を選択してしまう」との推測より、判例 Y では類似色選択数は減少すると考えていたが、実際は増加した例もあった。

選択数が増加した路線[5]では D 型色覚に変化が見られ、正答の「茶」に対して凡例 X では無選択の「橙」「赤」が凡例 Y で選択された。これは推測とは逆に「同系色が整列すると、それ程近似していない色を類似色として選択してしまう」事が考えられる。誤答数に変化のなかった路線[2]では、正答「橙」に対し D 型色覚の凡例 X で多数選択がある「黄土」「黄緑」の数が凡例 Y で下がった。この結果が特に正答率に影響して

いないことから、ここでは推測通りの理由が当てはまる可能性も考えられる。

b) 模擬被験者の傾向

色弱者と正当率が大きく異なる路線[4],[3]の類似色選択をみると、主に選択されている路線自体が多数異なっている事がわかる。これより、実際の色弱者の色知覚をシミュレートでは正確に表せていないためと考えられる。

表-3 路線[4]の類似色選択内訳の比較(凡例 X のみ)

[4]	線名	P型		D型	
		色弱	模擬	色弱	模擬
凡例 X	浅草線	4	1	5	18
	日比谷線	3	22	3	14
	日暮里・舎人ライナー	0	0	4	2
	半蔵門線	0	0	8	0
	類似色なし	1	3	0	3

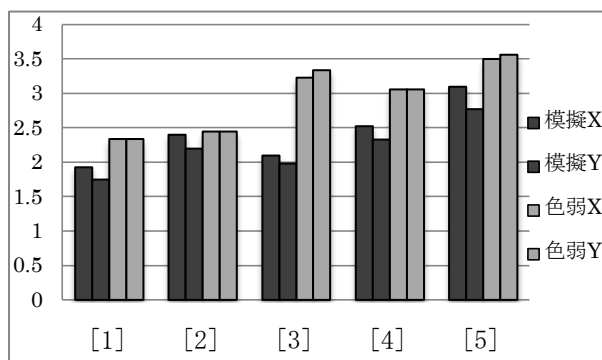
表-4 路線[3]の類似色選択内訳の比較(凡例 X のみ)

[3]	線名	P型		D型	
		色弱	模擬	色弱	模擬
凡例 X	大江戸線	5	17	7	21
	浅草線	3	0	0	3
	日比谷線	1	0	0	0
	南北線	1	0	6	5
	三田線	0	4	0	0
	副都心線	0	0	1	0
	千代田線	0	0	1	0
	半蔵門線	0	0	0	1
	類似色なし	0	0	0	3

(3) 判別しやすさに関する考察

図-7 問(二)の回答平均値の比較(高いほど判別しにくい)

判別しやすさについては、模擬被験者ではある程度傾向が見られたが、色弱者はX,Yがほぼ同数である。



一つの原因が選択項目の問題で、ひとつの選択肢の示す範囲が広すぎるため、細かな回答の差を検出

来なかったと思われる。また色弱者の回答の平均値が高い事も原因の一つで、「熟考した結果ようやく判別できた」という場合がほとんどで、凡例並び替えの影響が小さかったと推測される。

(4) 凡例の比較に関する考察

色弱者と模擬被験者では「どちらも同じ」の割合に差がみられるが、具体的理由はほぼ同様であった。

まず凡例 Y は、ほぼ全てが仮説の通りの「同系色の微妙な差が比較しやすい」であった。その他「似ている色がある事がわかり、より注意深く見る」という回答もあり、類似色選択数増加に関係しているとも考えられる。凡例 X では「色の濃淡・明暗がはっきりしている」「直感的に判断できる」が多かった。ここでは細かな色比較を対象としていないため、ほぼ差が無い色の判断は非常に困難だが、凡例がある程度離れていても区別がつく色では、比較対象の色以外の同系色が整列していると逆に判断しにくさやストレスに繋がる可能性もあると考えられる。「どちらも同じ」の理由は主に「どちらも変わらない」と「どちらも良い点・悪い点がある」という二つで、特に後者の回答が比較的多いことから、対象の混同色ごとの細かな分析が必要であるといえる。

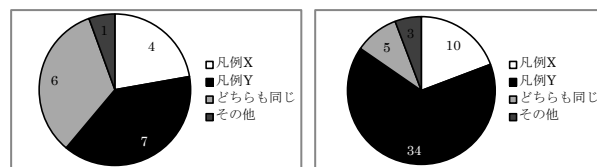


図-8 問(六)の回答比較(左:色弱, 右:模擬被験者)

(5) 考察

第一に、一般色覚者の模擬実験は色弱者の実験とは異なった結果になることが判明した。この原因一つ目は「色弱者と一般色覚者では明度に関する知覚の度合いが異なる」点である。普段明度で色判断を行わない一般色覚者は、色弱模擬画像に対しても、色弱者とは異なる色判断を行っている可能性が高い。二つ目は「シミュレーションの限界」である。実験結果にあまりにも大きな差異が見られるように、シミュレートでは表現できない点があることは否めない。以上の原因により、色識別実験において一般色覚者への模擬実験を、色弱者の結果と同等に扱うことは問題がある。

これより、主目的である凡例の並び替え効果については、色弱者のデータをもとに考察する。結果より推測出来る事は、「非常に判別が付きにくい混同色においては、凡例の並び替えによって多少判断の正確性が向上する可能性がある」という事である。その他の凡

例に関しては、明確な傾向は示されなかったためにこれ以上推測する事は出来ないが、凡例の並び替えによって多少であるが様々な変化が表れている事は読み取れるため、各色の組み合わせやその明度差等を細かく調整し実験を行うことによって、何らかの傾向を見出す事も可能であると考えられる。

6. 結論

本研究の結論は以下の通りである。

- ・シミュレート画像を用いた模擬実験は、実際の色弱者の結果とは異なる可能性がある。
- ・混同色が非常に判別しにくい凡例では、混同色配列による正答率の向上が見られる可能性がある。

本研究では、既存の東京メトロの路線図に対して、二つの凡例を用いた実験を行うに留まった。しかしながら考察で述べたように、混同色の組み合わせや、それらの色合いの微妙な差異によって結果様々に変化すると考えられる。そのため、様々な色配列に対して実験を行い、それぞれでどのような変化が見られるかを十分に検討する必要がある。

また、今回の実験では色弱者のサンプルが少なく、一般色覚者を模擬被験者という形で用いたが、そもそもの色判別の方法の違いから、そのデータは必ずしも色弱者と同一ではない。そのことから、より多くの実際の色弱者を被験者として実験を行う必要がある。

謝辞: 本研究の実験を行うにあたり、NPO 法人カラーユニバーサルデザイン機構の伊賀公一氏、田中陽介氏、ならびに実験会員の方々にご協力して頂いた。また、東京地下鉄株式会社東京メトロお客様センターには、質問に対する丁寧な回答と、路線図の実験使用許可を頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。

注:本稿はその性格上、モノクロではその趣旨を理解できないため、電子ファイルのカラー原稿を用いてお読みいただきたい。

参考文献

- 1) 伊東啓ら:色のバリアフリー化に向けた基礎研究その1 東京都交通局路線図と帝都高速度交通営団路線図を基に、日本展示学会、第22回研究大会、2003.
- 2) 長尾徹、芥田幸一ら:鉄道路線図の成り立ちと検索性に優れた位相図化について:鉄道路線図位相図化・デザイン方法の研究(1)、デザイン学研究、Vol.48、No.5、pp55-64、2002.
- 3) 鶴飼達彦、長尾徹ら:鉄道路線図における駅シンボル

表記に関する研究:鉄道路線図位相図化・デザイン方法の研究(2)、デザイン学研究、Vol.49、No.3、pp.111-120、2002.

- 4) 長尾徹、柴田吉隆:鉄道路線図の位相図化と憶えやすさの基礎的研究、地図、Vol.40、No.2、pp.1-11、2002.
- 5) 小島奈津紀、市原恭代ら:カラーユニバーサルデザインのための色カテゴリー(2)、日本色彩学会誌、Vol.34、pp.98-99、2010.
- 6) 山本早里:サインにおけるカラーユニバーサルデザイン—各国の指針と事例を通じて—、日本色彩学会誌、Vol.32、No.1、2008.
- 7) 豊嶋幸夫、北尾和信:ユニバーサルデザインと行政、大阪樟蔭女子大学学芸学部論集、Vol.42、pp.153-162、2005
- 8) NPO法人CUDO:CUD カラーユニバーサルデザイン、ハート出版、2009