

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650161

研究課題名(和文) ロービジョンと色弱の色認識特性に基づくカラーユニバーサルデザイン原理の研究

研究課題名(英文) Establishment of the general principle of color universal design based on the color recognition characteristics of colorblind and low-vision people

研究代表者

伊藤 啓 (Ito, Kei)

東京大学・分子細胞生物学研究所・准教授

研究者番号：00311192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：色弱(色覚障害)やロービジョン(弱視)の人は、さまざまな組み合わせの色が見分けにくくなる。色度図座標に従って色を均等に变化させた色票をコンピューターで作成し、色弱やロービジョンの人に見てもらって、見分けにくい組み合わせの法則性を従来より遥かに精密に解析した。これを応用して、さまざまな色覚の人が視認しやすい気象情報提供画面を策定した。また、ロービジョンの人に視認しやすく、かつ景観を刺激しない色あいの点字誘導ブロックを、明度や彩度を細かく調整したサンプルの実証実験によって開発した。さらに、車椅子が点字ブロックの段差を乗り越えやすく、傾斜のある路面でも楽に操作できるための新型車輪部品を開発した。

研究成果の概要(英文)：Colorblind people and low-vision people feel difficulty in distinguishing certain combinations of colors. We analyzed general rules behind this phenomena with much higher detail than before by systematically making a large set of color patches with incremental values of CIE color coordinates using a computer, and by asking colorblind and low-vision collaborators to report confusing ranges of these patches. Based on this knowledge, we developed color designs of meteorological information maps for the Japan Meteorological Agency. By laying real-world test samples in our university campus, we also developed a new color design of tactile paving blocks that satisfies both low-vision peoples' demand for clear visibility and architectural designers' preference for blending with the scenery. In addition, we developed a new design of wheelchair front wheels that facilitate easy crossing over tactile blocks and lighter manipulation on tilted roads.

研究分野：神経科学

科研費の分科・細目：神経生理学・神経科学一般

キーワード：色覚 色弱 ロービジョン ユニバーサルデザイン CIE xy色度図 バリアフリー 視覚障害者誘導用ブロック 車椅子

1. 研究開始当初の背景

我々がこれまで取り組んできた先天性色弱（日本に約300万人、世界で約2億人）に比べ、日本だけでも100万人近く存在するロービジョン（いわゆる弱視）の人は、色の見え方が一般の人と大きく異なるにもかかわらず、視力低下以外の色に関する配慮が見過ごされてきた。色弱の人に関しては、我々のこれまでの研究でどのように配慮すれば見分けやすさを確保できるかが分かってきたが、ロービジョン者に対してはまだほとんど知見がない状態である。

2. 研究の目的

一般の人、色弱の人、ロービジョンの人では、見分けやすい色と誤認を起ししやすい色の傾向が大きく異なる可能性がある。本研究では、まずその差異を系統的に調査し、結果を総合してどの色覚タイプの人にも見分けやすいカラーユニバーサルデザイン原理を構築する。

さらに、色を用いた情報伝達が行われている実社会の状況に対して、この原理を反映させて分かりやすいデザインを作成し、実用的な解決策を提示して社会のカラーユニバーサルデザイン環境の改善に寄与する。

3. 研究の方法

研究成果に応じて用いた方法が異なるので、次節でまとめて報告する。

4. 研究成果

以下の4つの成果を得た。

【1】物体色に対するさまざまな色覚の混同線の解析

色弱やロービジョンの人が混同する色の組み合わせは、従来は光るものの色（光源色）を使って研究されることが多かったが、実際の場面では印刷物など物体表面の色（物体色）の見分けやすさが問題になることが多い。この場合の混同の様式を詳細に解析するため、一般色覚の人が感じる物体の色の距離感をよく反映しているとされる CIE LAB 色度

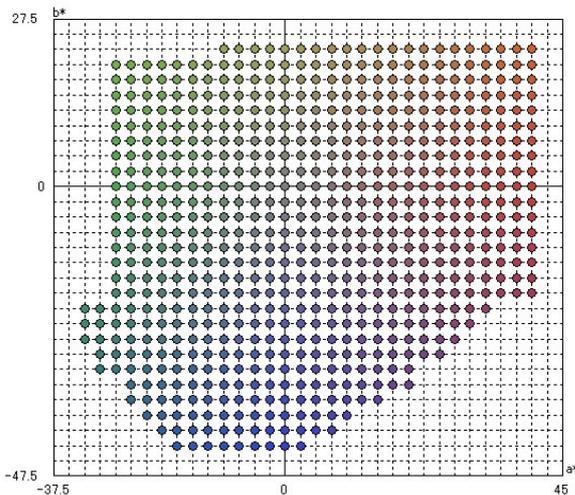


図1. LAB色度座標の上に配置した色票

座標の上で等間隔に並ぶように色調整した多数の色票を、高精度なカラープリンターで印刷して測色機で色度を検証し、それを色度座標に沿って並べた実験用サンプル（縦横約1.5m）を用意した（図1）。

これを用いて、まずL錐体を欠損したP型（1型）とM錐体を欠損したD型（2型）の色弱の人について、ある点の色と誤認しやすい色がどのように並ぶかを解析した。どの範囲を紛らわしいと感じるかは個人差が大きいため、結果は回答者によって差異があり、非常に狭い範囲の色のみを回答した場合もあれば、広い範囲の色を回答した場合もあった。そこで、大多数の回答者が一致して混同すると評価した部分を「高確率混同域」、一部の回答者のみが混同すると評価した部分を「混同可能域」と区別して扱った（図2）。

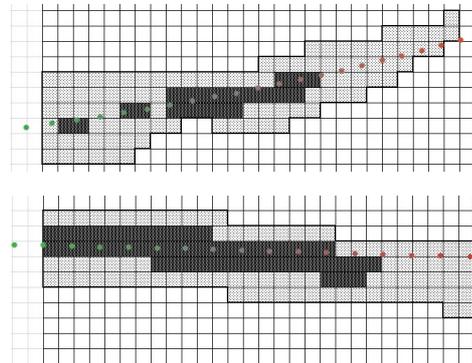


図2. 混同域の例。濃いグレー：高確率混同域、薄いグレー：混同可能域、赤点：混同線の理論値。上：P型、下：D型。

これらの混同域の方向は、CIE XY 色度図で従来から知られている混同線を CIE LAB 色度図上にプロットしたものとよく一致した。つまり光源色に対して作成された混同線の概念は、物体色でもよく適用できることが分かった。

ただし、従来の混同線の概念とは2つの点で差異も見られた。まず、混同線は LAB 色域の左端から右端まで全域を貫くのにに対し、高確率混同域は色域の一部分のみをカバーすることが多い。すなわち、混同線が示唆する領域のうちの一部の色は、人によっては実際には混同せずに区別できることがある。また、高確率混同域は混同線に沿って細長く広がったが、混同可能域はその上下に幅を持って広がった。つまり、厳密に1本の混同線上に並ばない色どうしであっても、人によっては混同すると感じることもある。

続いて、同様の実験をロービジョン者に対しても行った。色弱は遺伝子的に特定の種類の視細胞が特異的に欠損して起こるため、同じ視細胞を欠損しているP型どうし、D型どうしでは、色の混同のしかたに共通性がある。一方ロービジョン者では、視力低下の原因がさまざまであるため、色の混同のしかたに大きなばらつきがあった。しかし傾向はおおむね2つの方向性に分かれ、一般色覚の人と同

様に、左右に伸びる線方向でなく一定のかたまりの範囲内で混同が起きる場合と、S 錐体を欠損した T 型（3 型）色覚の混同線に近い方向に混同が起きる場合が見つかった。

## 【2】さまざまな色覚の人に混乱なく情報が伝わる気象情報画面の開発

本研究の過程で、気象情報の提供に用いている情報画面の配色を再検討して、さまざまな色覚の人に混乱なく情報が伝わるようにするための色の決め方の指針の作成を、気象庁と日本気象協会より委嘱された。気象庁では 43 種類の気象情報画面をインターネット上で提供しているが、その中には色覚によっては誤認しやすい色づかいのものが少なくなかった。特に、低雨量と高雨量など危険度のレベルが大きく違うものに誤認しやすい色が使われているケースがあり、状況が誤って理解される危険があった。また、震度情報では揺れが大きい方から紫→赤→黄の順になっているのが、雨量情報では雨量の多い方から赤→紫→黄の順になっているなど、大小の段階と色の順番とが画面ごとにまちまちで、直感的に理解しづらかった。

そこで、気象庁や国内外の各種気象情報提供機関が用いている情報画面を蒐集し、色づかいの傾向を比較した。この情報を踏まえ、代表的な気象画面について色調の異なる画面をそれぞれ十数種類作成し、色弱、ロービジョン、高齢者の人に見てもらって混同が生じる度合いを検証した。

気象情報では、危険情報を従来は「注意報」「警報」の二段階で提供していた。しかし津波に対してはさらに上の「大津波警報」が追加され、雨量に対しては「土砂災害警戒」が追加された。その他の気象現象にも「特別警報」の段階が追加され、危険情報が三段階になった。二段階の情報は黄色と赤で表すのが慣用化しているが、三段階の情報には慣用例がない。一部で用いられている黄・橙・赤の 3 色表示は、高齢者や D 型の色弱者に区別しづらいという問題があった。我々は以前の挑戦的萌芽研究で、津波情報について検討を行い、黄・赤・赤紫の 3 色の表示区分を定めて国内全放送局が用いる津波情報画面を改訂した。今回さらに検討を行い、①一般色覚を含む各種の色覚の人への視認性の調査、②色が持つイメージの感覚調査、を行い、不安感、警戒感を与える第 3 の色として赤紫が適切であることを再確認して、全ての危険情報画面に反映させた。

雨量、温度、震度、紫外線量などの情報は、7～14 段階の色のグラデーションで示される。これだけ多くの色を全ての色覚の人が誤りなく認識することは難しいので、①隣接する区分は、なるべく区別できるように配慮するが、一部混同する人が生じるのはやむを得ない、②一方大きく離れた区分の色では、混同が起こらないようにする、という方針で色を検討した。

また、これまでなかった情報提供の概念として、色に意味を持たせて、グラデーションの画面に危険情報をリンクさせるようにした。上記の 3 つの危険情報区分に従い、注意報レベルの雨量や震度を黄色の濃淡、警報レベルを赤の濃淡、土砂災害警戒／特別警報レベルを赤紫で表し、危険のないレベルを青の濃淡で表した。これによって、アメダス等の画面を見るだけで、自分の地域が避難を要求される危険度かどうかを直感的に判断できるようになった（図 3）。

また、背景となる地面や海の色についても検討を行い、上に載る情報の色と混同が起こりにくいようにした。

新しい配色指針は平成 24 年度末までに気象庁の全ての気象画面に反映された。

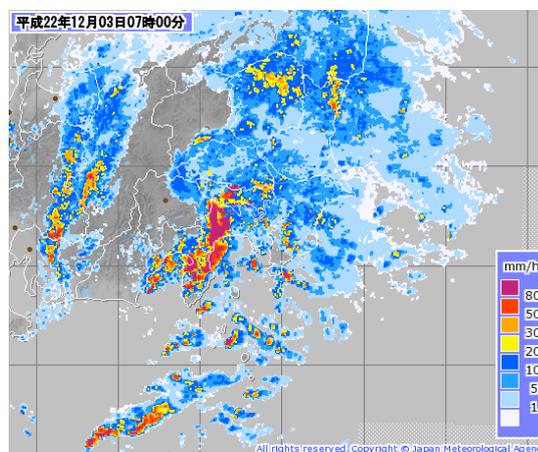
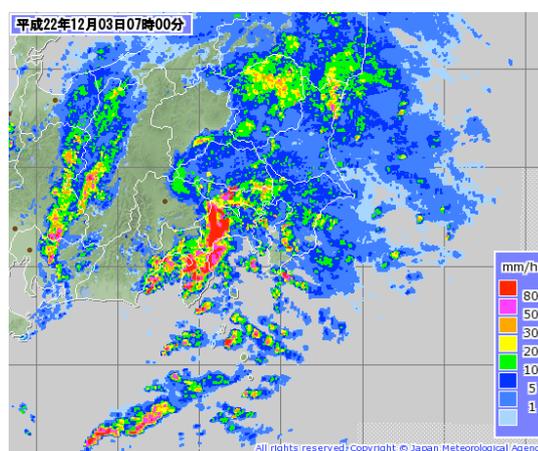


図 3. 雨量情報画面の例

上：従来の配色。中雨量の緑と黄や橙、小雨量の青と高雨量の紫が、人によって混同する。また黄色、紫、赤などの順番が雨量と震度の画面で異なる。下：新しい配色。低雨量と高雨量の混同が生じない。青、黄、赤、赤紫の色調が警報なし、注意報レベル、警報レベル、土砂災害警戒レベルに対応している。

## 【3】景観に調和しロービジョン者に見やすい視覚障害者誘導用ブロックの開発

視覚障害者誘導用ブロック（以下：誘導ブロックと略記）は、目が見えない人だけでなく視力が低い人にとっても、安全な歩行経路

を「色のついた明確な帯状のライン」として視覚で分かりやすく示すガイドとして機能している。このため、国土交通省のバリアフリーガイドラインやISOの誘導ブロック規格案では、分かりやすい黄色で、周囲の路面と明確なコントラストを確保して敷設するよう推奨している。しかし景観を構築する建築家やデザイナー、また一般の歩行者の中にも、景観の色彩環境を攪乱する刺激的な要素はなるべく避けたいという要望がある。

このため、安全が一義的に優先される鉄道駅構内などを除いた一般の市街地や私有地の構内では、周囲の路面と類似の色の誘導ブロックや、白や濃いグレーなど無彩色のブロック、突起だけをステンレスの鋳で敷設したブロックなどを使って、ブロックの存在をなるべく目立たせないようにデザインする傾向が強い。こうしたブロックは、コントラストが低く、路面の帯状の装飾模様とも紛らわしいため、ロービジョン者が誘導ブロックを視認する大きな妨げになっている。

そこで、ロービジョン者の色覚特性を考慮して、誘導ブロックのベース部や突起部にさまざまな候補色を作成し、実証試験を経て、景観に調和しつつ、ロービジョン者に視認しやすいデザインを開発した。

一般に誘導ブロックの色は「黄色か、黄色以外か」という不毛な議論に終始することが多いが、黄色にもさまざまな色調がある。例えばヨーロッパでは淡い黄色の外壁の建物が数多く存在し、美しい景観として認知されている。そこで、従来のブロックよりも彩度を抑えた淡く上品な黄色の色調を、色彩コンサルティング事業を行っているDICカラーデザイン社の協力を得て4種類選定した。ただし、このような淡い黄色だけのブロックは視認性が落ちる可能性があるため、突起部とベース部の色を変えてコントラストを確保する方法を考え、黒、明度の異なる3種類のグレー、暖色系のグレー、建物外壁や樹木の色と調和する3種類の茶色を選んで、組み合わせで比較することにした。

試験にあたっては、東京大学施設部環境課とバリアフリー支援室の協力を得て、実際に学内に試験的配色のブロックを敷設して、実証実験を行った。その候補色を絞るために、①アスファルトなど暗い色の路面、②石畳や疑石タイルなど明るい色の路面、のそれぞれに対して、試作サンプルを多数作成してロービジョン者による検証を行った。見過ごされがちな現象だが晴天時に比べて雨天時は路面が濡れて、ブロックと周囲の路面のコントラストが大きく変化するので、路面とブロックを乾燥状態だけでなく濡らした状態でも比較した。

この結果、景観を害しにくい色調のブロックとして従来用いられていた白と黒のタイルブロックに加え、淡い黄色の単色ブロック、グレーや茶色のベースに淡い黄色の突起をつけたブロック、淡い黄色のベースにグレー

や茶色の突起をつけたブロックを数種類選んで、実際にキャンパス内に敷設した(図4)。アスファルト舗装との対比

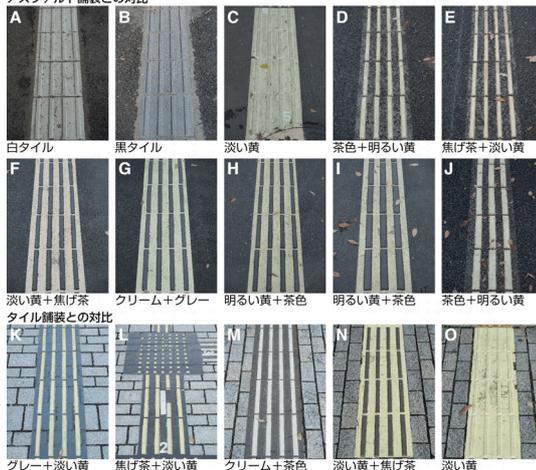


図4. 試験設置した誘導ブロック

施工後しばらくは色が急激に変化するため、施工直後と半年以上を経た状態で実証試験を行い、ロービジョン者の評価を集計した。その結果、明るい路面でも暗い路面でも、グレーや茶色のベースに淡い黄色の突起をつけたブロックは評価が低く、淡い黄色の単色か、淡い黄色の突起にグレーや茶色のベースをつけたブロックの評価が高かった。淡い黄色の単色は視認性が下がることが危惧されたが、実際には明るい色の路面でも従来の黄色ブロックと同等に近い視認性の評価が得られた。ベースと突起の色を変えた2色ブロックは製法が難しく、耐久性に劣る危険があることと、眼振症状のあるロービジョン者から細い線状の模様はチカチカして見づらいという意見があったことから、実用性の面から淡い黄色のブロックが最も有効であると結論づけられた。

また、誘導ブロックは車椅子や荷物運搬台車、ベビーカー、キャスター付きバッグ等の利用者にとっては段差が障害となり、利害が相対する面が指摘されている。そこで、これらの利用者の動線と誘導ブロックが交差する位置に、ブロックの突起を一部なくした平坦部を設けて、そこを通れるように工夫したブロックを設計した。平坦部が広すぎるとロービジョン者が足で突起を伝い歩く際に惑いやすく、狭すぎると車椅子等がうまく通れない。平坦部の幅を段階的に変えて検証を行い、市販のほとんどの車椅子や台車がスムーズに通過でき、ロービジョン者にも支障のないような平坦部の配置を確定した。また、車椅子が乗り越える際に衝撃が少なく、靴のヒール等が引っかかってつまづくことが少ないような突起の形状をデザインし、ロービジョン者が足で踏んだ際に従来の突起と同様に知覚できることを検証した。

【4】誘導ブロックや踏切等の段差に影響されにくく片流れの傾斜路面でも披露しにくい車椅子部品の開発

車椅子の支障になりにくい誘導ブロック

の開発過程で、車椅子利用者から2つの問題を指摘された。ひとつは、車椅子の前輪キャスターが誘導ブロックの段差や、特に踏切のレールの隙間などにはまりやすく、危険であること。もうひとつは、車椅子利用者にとっては誘導ブロックの段差以上に、路面が進行方向に対して直角の方向に傾斜している「片流れ」の状態が、走行の大きな障害になっていることである。これらの問題の解決は本研究の元来の趣旨とは少しずれる面があるが、前項で開発したロービジョン者に配慮した誘導ブロックを実際に敷設する際には、車椅子利用者の利便を同時に考えることが必須なので、併せて検討することにした。

実際に車椅子を用いてさまざまな路面を走行して調べたところ、片流れは雨水の排水や歩道と車道の段差を解消するためにやむを得ない構造で、片流れのない路面を広くに整備することは不可能だと分かった。一方、段差や隙間に前輪がはまる現象も、片流れで車椅子が低い方に流されて直進が困難になる現象も、前輪キャスターが自由に回転してしまうことが原因だと分かった。そこで、簡単なボタン操作で前輪キャスターを直進位置にロックでき、なおかつロックした状態でもバネによって前輪がわずかに首を振り、車椅子が緩やかに曲がることを可能にするような付属部品を設計し、試作した。実際に車椅子に取り付けたところ、大角度の片流れ斜面でも容易に直進でき、車椅子利用者の走行時の負荷が大きく軽減できること、また段差や隙間にはまる危険が解消できることを実証できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Natsuki Kojima; Yasuyo G. Ichihara; Tomohiro; Ikeda; Miyuki G. Kamachi; Kei Ito. Color universal design: analysis of color category dependency on color vision type (3). Color Imaging XVII: Displaying, Processing, Hardcopy, and Applications (2011) 8292: 752805-1-8, DOI 10.1117/12.907669
- ② Tomohiko Ikeda; Yasuyo G. Ichihara; Natsuki Kojima; Hisaya Tanaka; Kei Ito. Color universal design: analysis of color category dependency on color vision type (4). Color Imaging XVIII: Displaying, Processing, Hardcopy, and Applications (2012) 8652: 86520G-1-8, DOI 10.1117/12.2001582

[学会発表] (計3件)

- ① Natsuki Kojima; Yasuyo G. Ichihara; Tomohiro; Ikeda; Miyuki G. Kamachi; Kei Ito. Color universal design: analysis of color category dependency on color vision type (3). International Society for Optics and Photonics

(SPIE) Color Imaging XV (2012.1.24), Burlingame, US

- ② Tomohiko Ikeda; Yasuyo G. Ichihara; Natsuki Kojima; Hisaya Tanaka; Kei Ito. Color universal design: analysis of color category dependency on color vision type (4). International Society for Optics and Photonics (SPIE) Color Imaging XVIII (2013.2.4-6), Burlingame, US
- ③ 伊藤啓. ロービジョン者への視認性と景観との調和を両立させた点字誘導ブロックの開発. 福祉のまちづくり学会第16回大会 (2013.8.25-26) 東北福祉大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等  
気象庁ホームページにおける気象情報の色合いの統一について  
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1205/24a/120524hpcolor.html>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者  
伊藤啓 (ITO, Kei)  
東京大学分子細胞生物学研究所  
研究者番号: 00311192

(2)研究分担者

-

(3)連携研究者

-