

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18694

研究課題名（和文）色と温かさの対応の獲得過程の解明

研究課題名（英文）The study on the process of acquisition of correspondence between color and warmth

研究代表者

平松 千尋（Hiramatsu, Chihiro）

九州大学・芸術工学研究院・准教授

研究者番号：30723275

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：赤から黄にかけては暖色、青領域は寒色とカテゴライズするように、人には色と温かさの対応づける傾向がある。しかし、この対応がどのように生じるのか、また個人間の共通性と多様性については、未解明な部分が多い。そこで、この特性の共通性と多様性について、生理学的要因と文化的要因の両者から検討することを目的に、色覚と年齢層が様々な人々を対象に調査した。その結果、どの色覚でも発達に伴い多数派の色覚である3色覚を持つ成人の対応づけに近づく共通性が明らかとなった。ただし、個人の色覚特性が強い影響を与えている事例も見られ、文化社会的要因と生理学的要因の両者が貢献していると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

見るだけで物体の状態を把握することは、外界でうまく生きるために重要な心の働きである。色と見かけの温かさの対応はその一つと考えられるが、なぜこの対応が生じるかは未解明であった。本研究では、この対応関係の生理学的要因と文化社会的要因に着目し、様々な色覚および異なる年齢層の人々における対応を比較することにより、獲得過程を調査した。結果は、生理学的要因と文化社会的要因の両者の貢献を示唆するものであった。本研究を進展させることにより、古代より知られているがメカニズムが不明確な心の働きの解明が期待される。

研究成果の概要（英文）：People tend to have cross-modal correspondence between colors and temperature, as in the categorization of red to yellow as warm colors and blue regions as cold colors. However, how this correspondence arises and the commonality and diversity among individuals remain largely unexplored. Therefore, in order to examine the commonality and diversity of this characteristic in terms of both physiological and cultural factors, we conducted a survey of people of various color vision and age groups. There was a commonality that the correspondence approaches to that of adults with trichromatic vision, which is the majority in any color vision as they develop. However, there were also cases in which characteristics of minor color vision had a strong influence, suggesting that both cultural-social and physiological factors contributed.

研究分野：認知心理学

キーワード：色覚の多様性 見かけの温度 感覚間協応 発達 生理学的要因 文化社会的要因

1. 研究開始当初の背景

赤や黄は“温かく”、青は“冷たい”というように、人には色を見て温かさと結びつける感覚間協応という共感覚的な対応があることが一般的に知られている。また、色は暖色と寒色に大きくカテゴライズされる。見るだけで物体の状態を把握することは、外界でうまく生きるために重要な神経系の働きと考えられ、色と見かけの温かさの対応もその一つであるかもしれない。しかし、この対応がどのように生じるのかは未解明な部分が多い。また、また個人間の共通性と多様性についても詳細には調べられていなかった。

Kay & McDaniel (1978) による基本色彩語の研究では、“**light-warm**”と“**dark-cool**”の2つの根源的な基本色カテゴリから、網膜神経節細胞で取り出される明-暗、黄-青、赤-緑の反対色応答に対応するその他の基本色彩語が、各文化において言語進化の過程で派生するとしている。このことから、“**light-warm**”と“**dark-cool**”という根源的なカテゴリが、色と見かけの温かさととの対応を真に含むのであれば、白、黄、赤は温かく、黒、青、緑は冷たく感じられるはずである。このことは、色と見かけの温かさの対応付けには生理学的基盤があることを意味する。一方で、文化によって色と温かさの対応が異なる可能性も指摘されている。

2. 研究の目的

生理学的制約と文化の相互作用によって、色と見かけの温かさの対応が作られると予想し、生理学的制約の基で文化の影響を受けながら、どのように発達過程でこの対応が獲得されるかについて明らかにしていくことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 色覚が異なる人々における色と温かさの対応の発達過程

生理学的制約については、生得的な色覚の多様性に着目し、色覚の違いが、発達段階で対応付けにどのように影響を与えるかを調べることにした。発達に伴う対応付けの変化と、錐体細胞の種類という生理学的制約の影響を調べるために、2色覚(少数派の色覚)と3色覚(多数派の色覚)を持つ未成年(主に学童期)と成人を対象として調査を行った。赤、黄、緑、青、紫の5色相、**vivid, light, soft, dark**の4トーン(明度と彩度を含む概念)の組み合わせからなる**20**枚の色票のうち、同時に呈示された2つの色票から、見た目に温かいと感じる色票を選択した。3色覚成人**7**名、3色覚未成年**42**名、2色覚成人**4**名、2色覚未成年**6**名が実験に参加した。参加者が「温かい」と選択した色に**1**点を追加し最大値が**1**になるよう標準化し、**Warmth Index**として解析に用いた。

文化の影響については、“赤-冷たい”、“青-温かい”という多くの文化と異なる対応付けに言及したエッセイが発表されている南アフリカにおける調査の実施を計画していたが、**2019**年末からの新型コロナウイルスの感染拡大のため海外渡航が困難な状況となった。そこで研究計画を修正し、(2)として、色と温度の対応付けにも関連があると考えられる青-黄色軸の生態学的重要性について検証することにした。

(2) 時間帯推定課題における青-黄軸の重要性

赤から黄を暖色、青から緑を寒色とする対応付けは、赤-緑軸がなくとも、青-黄軸のみで成り立つ。青-黄色軸は多くの哺乳類で保存されている色軸で、大まかに日中の太陽光の色変化に対応する。この色軸の基本機能の一つとして日中の時間帯推定があると考えた。そこで、青-黄軸の時間帯推定における意義について、心理学や機械学習の手法を用いて検討した。

一年にわたり福岡市内の屋外の様々な箇所で、日照時間内の様々な時間帯にデジタルカメラで約**5**千枚の**RGB**画像を撮影した。クラウドサービスを利用して、各画像について3名の時間帯推定データを得た。深層学習に用いられる**1000**の物体カテゴリへの分類を事前学習した**AlexNet**²⁾の転移学習により、3つの時間帯(午前、昼、午後)への分類を試みた。同時に、**AlexNet**の中間層を省いて単純化した**Shallow Structure Network**(以下、**SSNet**)を用いて、3時間帯への分類を試みた。撮影時刻を正解ラベルとした場合とヒトによる時間帯推定を正解ラベルとした場合の2種類の学習を行った。そして学習前後の第一畳み込み層に含まれる各フィルタの**RGB**値の変化を**CIE L*a*b***空間の**a***軸、**b***軸の変化量として解析した。

4. 研究成果

(1) 2色覚と3色覚の**Warmth Index**の分布は、未成年において大きく異なったが成人では類似していた(図1)。3色覚成人の分布との相関は、年齢とともに高くなる傾向があり、**S**、**L**錐体を持つ2型2色覚では**10**歳以上の未成年と成人において高い相関を示した。一方で、**S**、**M**錐体を持つ1型2色覚と3色覚成人との相関は**0.5**前後であり異なる対応付けをしていることが示唆された(表1)。色票の色名呼称においては、色覚型に関わらず同様の色名を対応付けていたことから、色と温かさの対応付けには、コミュニティで共有される色カテゴリと、生理学的制約に基づく色知覚の両者が反映されていると考えられる。

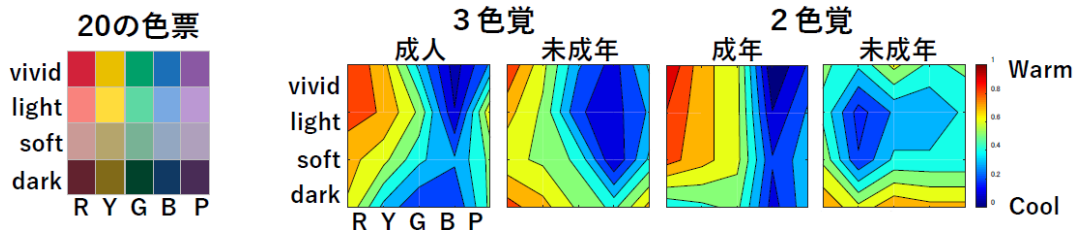


図1 . 20の各色票に対する Warmth Index の分布のグループごとの平均値の等高線図
Warmth Index が 1 に近いほど、より「温かい」と選択されたことを示している。

表1 . 3色覚成人の Warmth Index との相関

色覚型	3色覚		2型2色覚			1型2色覚	
錐体の種類	S, M, L		S, L			S, M	
年齢	< 10	10	< 10	10	成人	10	成人
相関係数	.816**	.945**	.056	.896**	.900**	0.473*	0.574**

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ (Spearman's rank correlation)

(2) 時間帯学習訓練後の各ネットワークの成績は 50%前後とチャンスレベル(33%)よりも高かったが、AlexNet と SSNet の成績に顕著な違いはなかった。このことは、事前の物体カテゴリの学習は時間帯推定には影響しないことを示唆する。また、第一畳み込み層 96 フィルタの RGB 値の変化を CIE L*a*b* における a* 軸と b* 軸として表示し(図2)、96 フィルタにおける分散の平均値をネットワーク間で比較した(表2)。ランダムな初期値からヒトによる正解ラベルの学習を開始した SSNet における変化量が a* 軸、b* 軸ともに大きく、特に b* 軸が最大の分散を示した。このことは、b* 軸(青-黄軸)の情報を抽出する方向にフィルタを変化させることが、時間推定課題の向上により大きく影響することを示唆する。また、SSNet のフィルタには複雑な空間構造が現れなかったことから、多くの哺乳類に備わっている空間解像度が低く青-黄色軸のみ持つ眼においても時間帯推定が可能であろうことと整合性がある。

図2 . 第一畳み込み層 96 フィルタ (11 × 11 pixels) の RGB 値の時間帯学習による変化量を CIE L*a*b* における a* 軸と b* 軸に変換して表示 (SSNet、正解ラベルがヒトの場合)

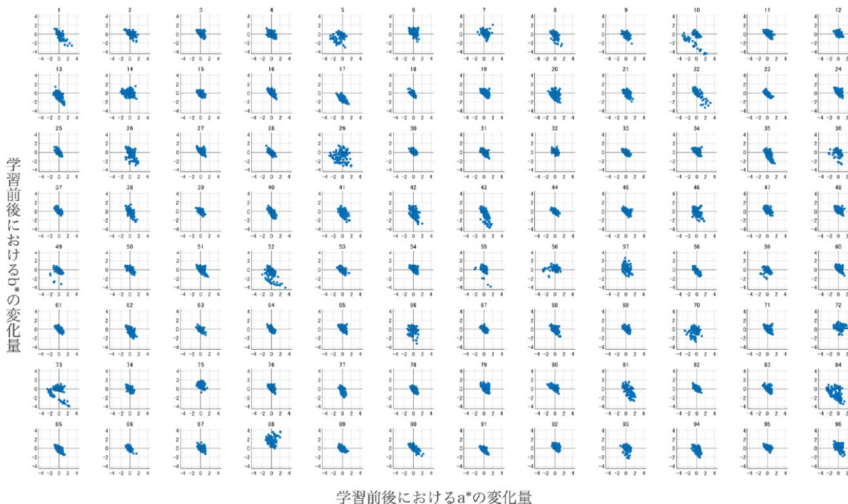


表2 . 各ネットワークにおける学習後の第一畳み込み層フィルタ a* 軸、b* 軸変化量の分散の平均

Network	正解ラベル	a* 変化の分散	b* 変化の分散
AlexNet	撮影時刻	0.01	0.03
	ヒト	0.05	0.07
SSNet	撮影時刻	0.13	0.21
	ヒト	0.29	0.37

本研究での2つのアプローチにより、(1) 色と見た目の温かさの対応付けの発達には先天的な色覚および社会的要因がかかわっている可能性と、(2) 哺乳類の祖先的色軸である青-黄軸は時間帯推定に有効であることを示した。当初目的とした、色と見た目の温かさの対応付けの要因は明確には解明されていないが、生理学的要因と文化的(社会的)要因の両者がかかわっていると考えられ、青-黄軸と赤-緑軸の貢献についても比較していくことで知見が深まると考える。

【文献】

- [1] Kay, P., & McDaniell, C. K. The linguistic significance of the meanings of basic color terms. *Language*, 54, 610-646, 1978
- [2] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25, 2012

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 平松千尋	4. 巻 43
2. 論文標題 哺乳類の色覚	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本色彩学会誌	6. 最初と最後の頁 227-230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mori Y, Hiramatsu C	4. 巻 1
2. 論文標題 Color-temperature association in children and adults with various color vision types	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The 5th Asia Color Association Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 313-316
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 2件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 尾田凌祐, 平松千尋
2. 発表標題 ヒトと人工ニューラルネットワークの時刻推定における視覚的特徴量の類似性と相違
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究 質感・色覚研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平松千尋
2. 発表標題 色覚多様性の諸相
3. 学会等名 玉川大学 脳科学研究所 社会神経科学共同研究拠点研究会「世界と社会における色と質感」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mori Y, Hiramatsu C
2. 発表標題 The effects of color vision diversity and age on color-temperature association
3. 学会等名 The 48th Perceptual Frontier Seminar
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiramatsu C
2. 発表標題 Polymorphic nature of color vision in primates: at the symposium for "Recent studies on the mechanisms of color vision and its role in the society"
3. 学会等名 15th Asia-Pacific Conference on Vision (ACPV2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mori Y, Hiramatsu C
2. 発表標題 Color-temperature association in children and adults with various color vision types
3. 学会等名 Asia Color Association 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mori Y., Hiramatsu C.
2. 発表標題 Development of color-temperature association in individuals with different color vision types
3. 学会等名 The 3rd International Five-Sense Symposium (5-SENSE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森優希, 平松千尋
2. 発表標題 見た目の色と温度の関連づけにおける色覚多様性の影響
3. 学会等名 第77回日本生理人類学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 尾田凌祐, 平松千尋
2. 発表標題 見た目の温かさにおける色と光沢の関係性
3. 学会等名 新学術領域 多元質感知 第7回領域班会議
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 尾家 宏昭 (著), しきかく学習カラーメイト (著), 平松 千尋 (監修), 金 孝源 (イラスト), 田代 しん たろう (その他)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 しきかく学習カラーメイト	5. 総ページ数 16
3. 書名 検査のまえによむ色覚の本	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------