

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月10日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22330204

研究課題名（和文）運動，奥行，形体知覚における色情報の役割とその機序についての解明

研究課題名（英文）Role of chromatic information contributing to the perception of motion, depth and form, and its mechanism

研究代表者

吉澤 達也（TATSUYA YOSHIZAWA）

金沢工業大学・バイオ・化学部・教授

研究者番号：90267724

研究成果の概要（和文）：

人の初期視覚情報処理過程における輝度情報と色情報は生理的，機能的，解剖学的に異なる経路を経由して後段の皮質過程へと伝達されていることが報告されている。しかし，これらの知見では心理物理学の結果と電気生理学の結果に矛盾する部分があり，未だその齟齬は解決されていないため，色情報が運動知覚や奥行知覚機序，形状，空間構造知覚機序にどのように寄与しているのか明らかではない。

そこで，本研究課題では，色情報と輝度情報の時空間特性に関する心理物理学の結果と脳機能画像解析の結果を比較検討したところ，心理物理学実験結果と脳機能画像解析結果は定性的には一致した傾向を示していた。これは，これらの結果が population coding の結果として得られるのに対して，電気生理学的知見が基本的に single cell の活動の統計的結果に起因するために，上記問題が発生していた可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：

It has been known that there are two different pathways, which have different physiological and anatomical functions, independently conveying respective color and luminance informations to the latter stages of the visual cortex. As to previous studies of these two pathways, there has been the controversy between psychophysical and physiological results.

To challenge to solve this issue, we investigated spatiotemporal properties of these pathways with the psychophysical and brain functional imaging approaches. We found no qualitative difference between results of these two approaches.

This indicates that a difference between the results of the population coding in the psychophysics, and the results of statistic analysis based on responses from many single cells in the physiology may have caused the controversy.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2010年度 | 4,700,000  | 1,410,000 | 6,110,000  |
| 2011年度 | 5,000,000  | 1,500,000 | 6,500,000  |
| 2012年度 | 5,000,000  | 1,500,000 | 6,500,000  |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 総計     | 14,700,000 | 4,410,000 | 19,110,000 |

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：色情報，輝度情報，時空間特性，脳機能画像，運動知覚，奥行知覚，形態知覚

### 1. 研究開始当初の背景

人の初期視覚情報処理過程は図1に示すように大細胞系経路（M系経路）と小細胞系経路（P系経路）に大別され、前者は輝度情報を、後者は色度情報をそれぞれ後段の皮質過程へと伝達していることが多くの解剖学的、生理学的の先行知見により報告されている（Livingstone & Hubel, 1987）。これらの経路は心理物理学的には輝度チャンネルと色チャンネル（または、反対色チャンネル）と呼ばれるメカニズムに対応していると考えられている

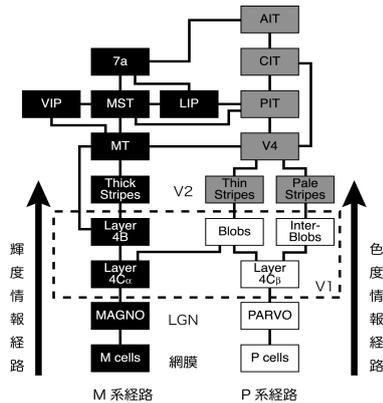


図1. 初期視覚経路における信号の流れ (Merigan & Maunsell, 1993より)

が、それぞれの空間周波数特性に関する結果は心理物理学的知見（例えば、Mullen, 1985）と生理学的知見（例えば、Kremers & Weiss, 1997）では必ずしも対応していない。例えば、表1に示すように色チャンネルの空間周波数特性は低空間分解能で、低域通過型であるのに対して、P系経路は高空間分解能で、帯域通過型である。

一方、このような問題が解決されていないにも関わらず、色チャンネル由来の情報は運動知覚や奥行知覚

には、ほとんど寄与していないと報告されてきた。これに対して、近年これらの知覚機序に対して色情報が寄与していることを示す知見が報告（レビューとして Yoshizawa et al., 2008）されており、これらの矛盾点為何に起因するのかが明確ではなかった。

そこで、本研究課題では以下の2つの見地から、これらの問題の解明を試みた。

- (1): 時空間特性における心理物理学的知見と電気生理学的知見の齟齬
- (2): 運動知覚、奥行知覚、および形体、空間構造知覚機序における色情報と輝度情報の寄与、および、各視覚モダリティを生起する皮質部位（背側系、腹側系）の解明

| 色チャンネル  | P系経路  |
|---------|-------|
| 低域通過型   | 帯域通過型 |
| 低分解能    | 高分解能  |
| 輝度チャンネル | M系経路  |
| 帯域通過型   | 帯域通過型 |
| 高分解能    | 低分解能  |

### 2. 研究の目的

本研究課題では色情報と輝度情報処理経路に関する心理物理学的知見と電気生理学的知見の齟齬について検討するために、各経路の時空間特性を心理物理学的手法と脳機能画像解析的手法により計測した。

電気生理学実験ではサル（など）の単一または、少数の神経細胞の活動記録を基に、心理物理学実験ではヒト（人）の心理的応答、すなわち神経細胞の集団としての応答を基にして結論を導いているため、結果の齟齬は種の違いによるものなのか、単一の神経活動と集団としての応答の違いなのかは不明であり、両者を直接比較することはできない。しかし、ヒトの単一の神経活動を侵襲計測してサルのそれと比較することは困難である。

そこで、脳機能画像解析の技術を用いて人の初期視覚過程における神経細胞の活動状態を集団として非侵襲的に計測することにより、生理学的応答の集団化された活動状態の結果として、心理物理学的知見と比較することにより、両知見の齟齬が何に起因するのかを解明を試みた。

### 3. 研究の方法

上記の解明のための具体的探求方法は、色度変調刺激、または輝度変調刺激に対する時空間周波数特性を心理物理学的、脳機能画像解析的に求め、その結果から、上記の矛盾点について考察した。

### 4. 研究成果

#### (1) 心理物理学のアプローチの結果

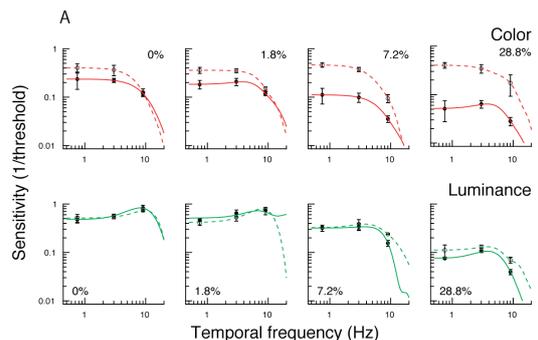


図2：心理物理学実験より得られた輝度および等輝度グレーティングに対する感度の時間周波数関数。実線は刺激の弁別閾の逆数、破線は刺激の検出閾の逆数である。上段は等輝度刺激、下段は輝度刺激の結果。

図2は、輝度グレーティングと等輝度グレーティングに対する検出感度を様々な時間周波数の関数として測定したものである。各パネルは刺激に重畳された動的ノイズのコントラストが0（ノイズなし）、または、1.8～28.8%の場合の結果である。

これらの結果は心理物理学の先行知見と

定性的には一致しており、等輝度刺激に対しては低域通過型、輝度刺激については帯域通過型の特性を示していた。

一方、fMRI を用いた脳機能画像解析の結果からは、BA17, 18 (Brodmann17, 18 野) において心理物理学的結果と同様な定性的特性は得られなかった。また、他の領野においても周波数に対して系統的な特性を示す結果は得られなかった。ただし、今回挑戦した脳機能画像解析はその手法自体も心理物理学的アプローチとの比較のために開発したため、データ解析自体に解決する必要がある問題が発見された。これらを解決するとより詳細な結果や示唆が今後得られるであろう。

一方で、脳機能画像解析の結果が低域通過型、または帯域通過型の関数とはならなかった理由については以下のことが考えられる。

- ① 輝度情報経路、色情情報経路における周波数チャンネルは皮質において局在しておらず、皮質上の神経細胞のポピュレーション結果として得られる脳機能画像解析による皮質活動の強度変化は周波数チャンネルを捉えることが現在の手法では困難である。
- ② fMRI の時空間分解能では、計測できない。今回の実験結果を総合的に考えると、心理物理学的知見と生理学的知見における齟齬は、心理物理学実験の結果が、被験者自身による周波数チャンネルの選択によるポピュレーション・コーディングの結果として得られるのに対して、電気生理学実験の結果は単一神経細胞の結果を周波数チャンネル毎にまとめて統計的に処理することに起因していると考えられる。この仮説検証については今後の課題である。

また、今回系統的に検討できなかった以下の問題についても今後の課題である。

運動知覚、奥行知覚、および形体、空間構造知覚は視覚系の色情報または輝度情報に対する時空間特性を基本的に反映した結果であり、その点に注目して各視覚モダリティの生起機序に関連する皮質部位また様態を明らかにする。

特に、運動知覚機序は、その時間特性に注目し、運動検出信号の振る舞いと信号源について脳磁計などを用いて脳機能画像解析による解明を目指す。

これに対して、奥行知覚機序はその空間特性に注目し、両眼視差検出信号の振る舞いと、その信号源を機能的核磁気共鳴画像を用いた脳機能画像解析によって解明する。そして、最後に形体、空間構造知覚機序に関しては、運動からの空間構造復元が生じる Structure From Motion (SFM) と呼ばれる知覚現象について、その知覚機序の時空間特性に注目し、面検出信号と構造決定信号の振る舞い、および、その信号源を fMRI と MEG を用いた脳機

能画像解析にて解明を行う。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

1. 吉澤達也, 田上瞬八郎, 河原哲夫 (2012) Gabor パターンの大きさ知覚におけるコントラストの影響, 視覚の科学, 査読有, 33, 1, 14-22.
2. Kojima H. & Kawabata Y. (2012) Perceived duration of chromatic and achromatic light. Vision Research. 査読有, 53 (1), 21-29.
3. 小島治幸, 三浦宏子 (2012) 照明光の色彩が認知作業に及ぼす効果の検討. 照明学会誌, 査読有, 96 (2), 95-99.
4. 山内泰樹, 河原勇美, 内川恵二 (2012) 条件等色に対する周辺刺激の影響. VISION, 査読有, 24, 45-56.
5. Remijn G., Kikuchi M., Yoshimura Y., Shitamichi K., Ueno S., Nagao K., Munesue T., Kojima H. & Minabe Y. (2011) Hemodynamic responses to visual stimuli in cortex of adults and 3- to 4-year-old children. Brain Research, 査読有, 1383, 242-251.
6. 川端康弘, 川端美穂, 笠井有利子 (2011) 色と認知科学 —高次視覚認知における色彩の効果—, 日本画像学会誌, 査読有, 50 (6), 522-528.
7. Karim A. K. M. R. & Kojima H. (2010) Configurational asymmetry in vernier offset detection. Advances in Cognitive Psychology, 査読有, 6, 66-78.
8. Karim A. K. M. R. & Kojima H. (2010) The "what" and "why" of perceptual asymmetries in the visual domain. Advances in Cognitive Psychology, 査読有, 6, 103-115.
9. Karim A. K. M. R. & Kojima H. (2010) Perceptual asymmetry in vernier offset discrimination: a similar trend between the cardinal and oblique orientations. Japanese Journal of Psychonomic Science, 査読有, 29 (1), 1-16.
10. Sasaoka T., Asakura N. & Kawahara T. (2010) Effect of active exploration of 3-D object views on the view matching process in object recognition. Perception, 査読有, 39 (3), 289-308.

[学会発表] (計 23 件)

1. Yoshizawa T., Yoshiga A. & Nakagawa H. (2012) Chromatic and spatial information in visual estimation of freshness of vegetables, Optical

- Society of America Fall Vision Meeting, Rochester, USA, Sep.14- Sep. 16, 2012.
2. Yoshizawa T., Takahashi K. & Kawahara K. (2012) Shape (ratio of height to width) of an object affects visual weight estimation, European Conference of Visual Perception, 35th European Conference on Visual Perception, Alghero, Italy. Sep.1-Sep.6, 2012.
  3. Kamata Y., Yata N., Uchikawa K. & Manabe Y. (2012) An effective training of neural networks for categorical color perception. Vision Science Society Annual Meeting, Naples, USA, May 14-May 16, 2012.
  4. Fukuda K. & Uchikawa K. (2012) Influence of bright surrounding colors appearing in the illuminant-mode on color constancy. Vision Science Society Annual Meeting, Naples, USA, May 14-May 16, 2012.
  5. Kojima H. (2012) Red color enhances memory performance. 35th European Conference on Visual Perception, Alghero, Italy. Sep.1-Sep.6, 2012.
  6. 吉澤達也, 高橋和顕, 河原哲夫 (2012) 物体形状が視覚的重さ推定に及ぼす影響, 日本眼光学学会, 第48回日本眼光学学会総会, 東京, 2012.9.1-2.
  7. 沼田藍, 福田一帆, 内川恵二 (2012) 表面色モードの限界輝度における周辺色の輝度色度分布と照明光の色温度の影響. 映像情報メディア学会技術報告 (ITE Technical Report, HI2012-86), 36, 52, 35-38. (映像情報メディア学会, 那覇, 2012.12.2)
  8. 小島治幸 (2012) NIRS による視覚野の活動計測. 視覚科学技術コンソーシアム (Vision Science & Technology Consortium), 金沢, 2012.11.22.
  9. 西田浩聡, 福田一帆, 内川恵二, 吉澤達也, 小島治幸 (2012) 刺激呈示条件の制限に伴う2色覚者の色カテゴリ分類の明度への依存傾向の増加. 日本視覚学会2012年夏季大会, 米沢, 2012.8.8.
  10. Yoshizawa T., Uruno Y. & Kawahara T. (2011) Effects Of Physical Acceleration In The Perception Of Induced Self-Motion By A Real World Display, Vision Science Society Annual Meeting, Florida, USA, May 6-May 11, 2011.
  11. Yoshizawa T., Uruno Y. & Kawahara T. (2011) Influence of physical acceleration in the perception of induced self-motion by a real world display, 34th European Conference on Visual Perception, Toulouse, France, Aug.28-Sep.1, 2011.
  12. Kojima H. & Miwa A. (2011) Hemispheric activation difference in occipital lobe depending on visual object properties. 34th European Conference on Visual Perception, Toulouse, France, Aug.28-Sep.1, 2011.
  13. 吉澤達也, 宇留野靖昌, 河原哲夫 (2011) 実写映像により生起される自己誘導運動感覚における加速度の効果, 第47回日本眼光学学会総会, 東京, 2011.9.3-4.
  14. 小島治幸 (2011) 視覚対象処理における大脳半球活動差: 近赤外分光法による測定. 映像情報メディア学会技術報告 (ITE Technical Report, HI2011-82), 35 (51), 33-36. (映像情報メディア学会, 那覇, 2011.12.9)
  15. 西田浩聡, 福田一帆, 内川恵二, 吉澤達也, 小島治幸 (2011) 2色覚者と3色覚者のカラーネーミング時の脳活動. 映像情報メディア学会技術報告 (ITE Technical Report, HI2011-82), 35 (51), 29-32. (映像情報メディア学会, 那覇, 2011.12.9)
  16. Yoshizawa T., Tagami S., Kawahara T. & Tanaka Y. (2010) Effect of contrast on the size perception of Gabor patterns. 33rd European Conference on Visual Perception, Lausanne, Switzerland, Aug.22-Aug.26, 2010.
  17. Yoshizawa T., Tagami S., Tanaka Y., Kawahara T. & Kojima H. (2010) Asymmetric effect of contrast on the size perception of Gabor patterns, Optical Society of America Fall Vision Meeting, Rochester, USA, Oct.22-Oct.24, 2010.
  18. Uchikawa K., Kitazawa Y., MacLeod D. I. A. & Fukuda K. (2010) Degree of color constancy obtained by luminance balance of color samples, Optical Society of America Fall Vision Meeting, Rochester, USA, Oct.22-Oct.24, 2010.
  19. 小島治幸, 金子理沙 (2010) 画像観察時における興味の有無が前頭前野の脳血流変化に与える影響. 認知神経科学12(2), 121. (認知神経科学会第15回大会, 島根, 2010.7.17-18)
- [図書] (計2件)
1. 小島治幸 (2012) 感覚. 田山忠行・須藤昇 (編) 基礎心理学, 培風館, 15-36.
  2. 川端康弘 (2012) 知覚. 田山忠行・須藤昇 (編) 基礎心理学, 培風館, 37-52.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.his.kanazawa-it.ac.jp/~tyoshi/grant.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉澤 達也 (TATSUYA YOSHIZAWA)

金沢工業大学・バイオ・化学部・教授

研究者番号：90267724

### (2) 研究分担者

小島 治幸 (HARUYUKI KOJIMA)

金沢大学・人間科学系・教授

研究者番号：40334742

内川 恵二 (KEIJI UCHIKAWA)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号：00158776

川端 康弘 (YASUHIRO KAWABATA)

北海道大学・文学研究科・教授

研究者番号：30260392

河原 哲夫 (TETSUO KAWAHARA)

金沢工業大学・バイオ・化学部・教授

研究者番号：40112776