

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22243044

研究課題名(和文) 新しい錯視群の多面的研究 実験心理学・脳機能画像・数理解析の手法を用いて

研究課題名(英文) The study of new visual illusions: Approaches from experimental psychology, brain function imaging and mathematical analyses

研究代表者

北岡 明佳 (Kitaoka, Akiyoshi)

立命館大学・文学部・教授

研究者番号：70234234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,000,000円、(間接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：錯視を総合的に研究した。脳機能画像法研究においては、fMRI順応法を用いて「蛇の回転」錯視の神経基盤を検討した。その結果、これまではMT野のみであった錯視運動への応答を、V1野においても明らかにした。数理解析研究においては、歪同心円錯視を単純かざぐるまフレームレットを用いて解析し、その錯視の構造を明らかにした。実験心理学的研究としては、新しい錯視を数多く報告した。中でも、色に依存した静止画が動いて見える錯視は、刺激の明るさに依存して錯視の方向が変わることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Visual illusion was investigated from multiple viewpoints. A variety of new illusions was reported. In particular, it was revealed and discussed that the color-dependent motion illusion in a stationary image shows an illusory motion in a constant direction in a bright condition whereas it displays motion illusion in the reverse direction in a dark condition. The distorted concentric circle illusion, a kind of spiral illusion, was analyzed mathematically. The adaptation method using the fMRI technique revealed that not only hMT+ but V1 responds to the "Rotating snakes" illusion.

研究分野：心理学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：錯視 運動視 色 静止画が動いて見える錯視 fMRI フレームレット 色の錯視 顔の錯視

1. 研究開始当初の背景

19 世紀後半に始まった錯視の科学的研究 (実験心理学的研究) は、20 世紀前半には錯視図形の大半が出揃い、その後はそれらを分析的に研究していくという時代が続いた。ところが、20 世紀末に起こった IT 革命によるパソコンの普及とプリンタの高性能化によって、錯視研究は劇的な変化を遂げた。従来は線画を研究してきたが、ペンと定規では容易ではなかった正確な塗りつぶしやグラデーションの描画が簡単にできるようになってみると、そのような図形に新しい錯視が次々と発見されるようになったのである。

新しい錯視が増えるということは、視覚そのもののメカニズムに迫る手がかりが増えるということでもある。ある錯視においては、図を動かすと特定の部位が動いて見える。その錯視の原因は、「輝度コントラストの低い領域は高い領域に比べて脳内処理時間が長い (知覚上の反応時間が長い)」ことであることがわかってきた (Kitaoka and Ashida, 2006)。関連して、我々はマカクザルの神経生理学的研究によって、V1 野と MT 野において輝度コントラストの違いによるニューロン応答の時間差を見出した (Conway et al., 2005)。

もう一つの錯視図形「蛇の回転」 (<http://www.ritsumeai.ac.jp/~akitaoka/>) は、パターンの形状によって動きの方向が決まっている錯視である。この錯視は我々が最適化型フレイザー・ウィルコックス錯視 (Kitaoka, 2008) と呼んでいるものである。この錯視は、刺激配置という視点からは 2 つの基本錯視からなっており、それぞれ「薄い灰色 黒 濃い灰色」の方向の錯視と「濃い灰色 白 薄い灰色」の方向に動いて見える錯視である。この系統の錯視がどうして発生するのかというメカニズムの解明を研究開始当初までに我々はある程度進めており、一定の成果を得た (Hisakata and Murakami, 2008; Murakami et al., 2006)。

さらに、我々は静止画が動いて見える錯視の実験心理学的研究を主軸に、その脳機能画像研究 (fMRI 研究) および数理モデル化に着手した。これは国内、国外を通じてユニークな研究活動であり、世界にさきがけ、静止画が動いて見える錯視を刺激として、錯視に反応する脳活動を初めて捉えることに成功した (Kuriki et al., 2008)。

2. 研究の目的

以上のように発展期にある錯視研究の流れを背景として、本研究では、(1) 錯視を脳機能画像法的、(2) 数理解析的、(3) 実験心理学的側面から総合的に深めていくことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 脳機能画像研究

我々は静止画が動いて見える錯視の脳活動の証拠を fMRI によってつかったが、活動の証拠が得られたのは hMT+ (ヒトの運動視の領野と考えられる場所) のみであった (Kuriki et al., 2008)。理論的には V1 の運動応答ニューロンの活動や他の領野の活動も予想されており、S/N 比を上げるため 3T の MRI 装置に移行して、理論的予測の確認を行なった。

(2) 数理解析研究

本研究では、錯視の解析に、従来のフーリエ解析モデルに加えて、ウェーブレットを適用する。ウェーブレット解析モデルはいくつかの幾何学的錯視、明るさの錯視、色の錯視には有効であることが示されている (Arai, 2007; 新井, 2008)。各種の錯視にウェーブレット解析モデルを適用し、ウェーブレットで錯視の多くが説明できるかどうかを調べた。

(3) 実験心理学的研究

引き続き本研究でも静止画が動いて見える錯視を中心に研究を進めるとともに、形、色、空間、補完、顔などの属性の錯視も広く明らかにした。特に、傾き錯視の図の中に混入することが多い静止画が動いて見える錯視との関係を明らかにする。モデルとして、four-stroke motion の考え方の応用を検討した。

4. 研究成果

(1) 脳機能画像研究

相対運動処理の結果生じる誘導運動錯視の神経基盤を調べる fMRI 実験を行い、MT 野において物理的速度ではなく知覚速度に対応する応答を得た (Takemura et al., 2012)。

「蛇の回転」錯視 (図 1) の強さが刺激サイズおよび網膜偏心度の関数として変わる様子を心理物理学的に測定し、錯視量の見かけ上の網膜偏心度依存性が、脳内の刺激表現のサイズへの依存性で記述できる可能性を見出した (Hisakata and Murakami, 2011)。

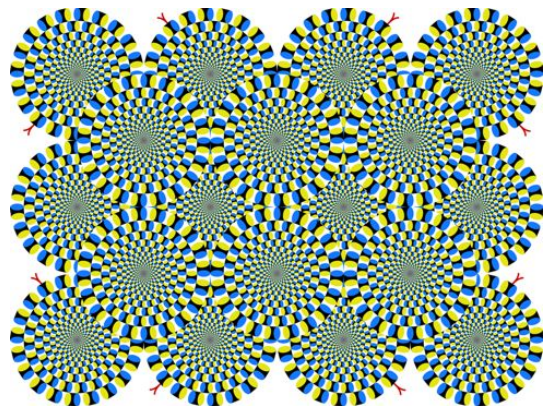


図 1

fMRI 順応法を用いて「蛇の回転」錯視の神経基盤を検討した。以前の研究 (Kuriki et al., 2008) を発展させ、新たに V1 野における錯視運動への応答を明らかにした。また、構造方程式モデルによって V1 から MT+, V4, V3A へ至る独立した順応の経路が示唆された (Ashida et al., 2012)。

騙し絵として異なる意味が隠された絵画作品に対する大脳側頭視覚領野の応答を fMRI で測定した。絵の隠された意味がわかった時点(アハ体験)で側頭葉海馬傍回などに特徴的な応答が生じることがわかった。また、単純な局所・グローバルな形の判断課題ではそのような応答は明確に出なかった。騙し絵の鑑賞における楽しみにい脳内の報酬系ネットワークの活動が関与することが示唆される (Stevanov et al., 2012 ECVF; ECVF2014 で発表予定)。

脳内における色と運動、色と形、色運動と輝度運動信号の相互作用について、心理物理実験と脳活動計測の対照による研究を行った。色と運動および色と形状の信号の結合について脳活動信号の分類解析を用いて行った研究では、初期視覚野を含む広い範囲で結合信号の存在を確認した。また、色運動と輝度運動の相互作用を運動残効の転移を用いて調べた研究では、色による運動信号と輝度による運動信号の相互作用が初期視覚野ですでに始まっている事を確認した。一方で、色運動は高次視覚野で顕著な残効を示し、腹側経路において主に処理されている事を示唆する結果を得た (Kuriki et al., 2011)。

(2) 数理解析研究

歪同心円錯視 (新井・新井, 2010) を、単純かざぐるまフレームレット (新井・新井, 2009) を用いて解析し、その錯視の構造を明らかにした。これは同心円が歪みかつ交差して見える錯視であるが、その「歪んで見える」錯視成分と「交差して見える」錯視成分とを分離し、解析することに成功した。この方法によりオオウチ錯視も解析し、オオウチ錯視にはいくつかのタイプの錯視成分があることを明らかにした (新井・新井, 2012)。そのほか、明暗に関連した錯視の研究を行った (Arai, 2013; 新井, 2014)。

消失錯視を規定する視野の偏心度と経過時間の関係を微分方程式を用いつつ明確化した (Araragi and Kitaoka, 2011)。

一方向への輝度勾配を持つ図形要素を並べて動かすと背景の明るさが違って見える錯視に関する心理物理実験を行い、静止画が動いて見える錯視の生起要因と合わせて議論した (Ashida and Scott-Samuel, 2014)。

(3) 実験心理学的研究

静止画が動いて見える錯視の一種であるフレーザー・ウィルコックス錯視群の中に、色に依存したタイプがあることがわかった。

さらにこの色依存型の錯視 (図 2) は、明るい照明下で観察する場合と暗い照明下で観察する場合とで、錯視の方向が正反対であることがわかった (Kitaoka, 2012; Kitaoka and Yanaka, 2013)。

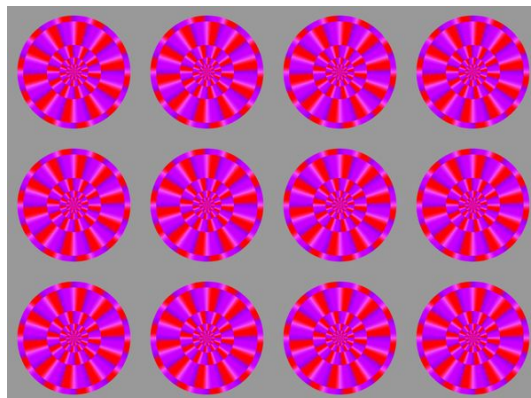


図 2

「顔の錯視」という分野を創り出した。新しく報告した錯視として、顔ガクガク錯視 (Ueda et al., 2011)、正立顔の過小視の発見 (Araragi et al., 2012)、アイシャドーによる視線方向の錯視 (北岡, 2013) (図 3) などがある。

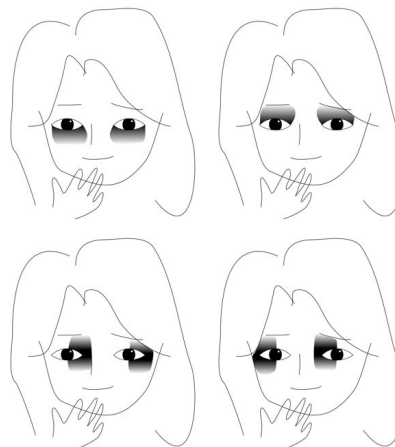


図 3

他者の上下方向の視線の知覚は上限反転した顔図形で著しく阻害され、いつもこちらを向いているように見えることがわかった。また、日本人はドイツ人以上に視線知覚の正面バイアスが強い可能性が示唆された (Stevanov et al., 2013 ECVF)。

ヘルムホルツ錯視に関連して縦縞と横縞の服ではどちらが太って見えるのか、という議論がある。CG 画像を用いた心理物理実験の結果、もとの体型の影響や個人差など多数の要因によって効果が逆になり得ることがわかった (Ashida et al., 2013)。

色の錯視に関しては、色の恒常性に関連した強力な色対比錯視を発見した (北岡, 2011) (図 4)。他の強力な色対比錯視は図地分離現象であることを報告した (北岡, 2012)。

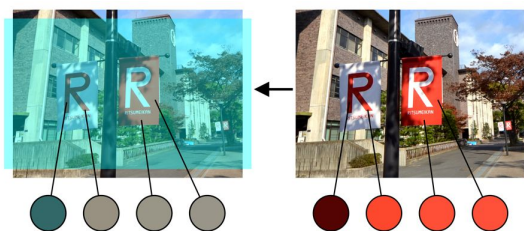


図 4

(4) その他

心理学評論誌において、「錯視特集号：多様化する錯視研究」というタイトルで、北岡と蘆田が特集号を編集した（北岡・蘆田，2012）。

傾きの錯視やポンゾ錯視の歴史について調査を行い、新しい事実を明らかにした（新井・新井，2013）。浮遊錯視の作品を作成し、アート展等に出品した（新井・新井，2014）。未発表の「シマシマガク錯視」のデザイン（図 5）が世界的に著名な歌手の CD の内部デザインに採用された（北岡，2014）。

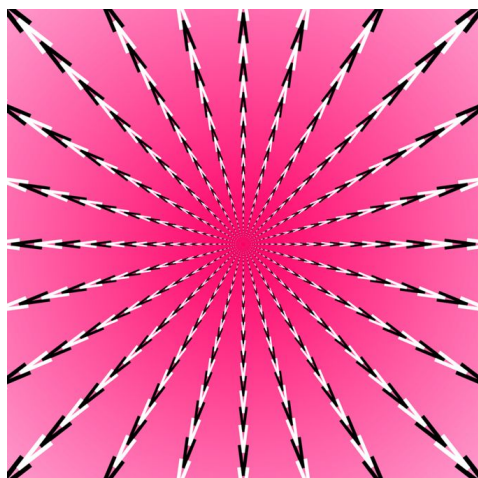


図 5

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 25 件)

1. 北岡明佳 (2014). 色の錯視いろいろ (11) 「錯視のデザインに及ぼす色の効果」日本色彩学会誌, 38(1), 26-27. (査読無)
2. 新井仁之 (2014). 数学を使った視覚・錯視の研究の応用 - 数理視覚科学への誘い[4], 数学文化 21 号, 80-86. (査読無)
3. Arai, H. (2013). Mathematical models of visual information processing in the human brain and applications to image processing. Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis, MI Lecture Note Vol. 50, pp. 84-89. (査読無)
4. Ashida, H., Kuraguchi, K., and Miyoshi, K. (2013) Helmholtz illusion makes you look fit only when you are already fit, but

- not for everyone. *i-Perception* 4(5) 347-351. Doi: 10.1068/i0595rep (査読有)
5. Seno, T., Kitaoka, A., and Palmisano, S. (2013). Vection induced by illusory motion in a stationary image. *Perception*, 42, 1001-1005. Doi: 10.1068/p7511 (査読有)
6. Kanazawa, S., Kitaoka, A., and Yamaguchi, M. K. (2013). Infants see illusory motion in static figures. *Perception*, 42, 828-834. Doi: 10.1068/p7460 (査読有)
7. 新井仁之・新井しのぶ (2013). テンプル・ウォール錯視からカフェ・ウォール錯視へ カフェ・ウォール・タイプの錯視は 1893 年に発見されていた 視覚数学 e 研究室報告, No. 4, 2013 年, 1-8. (査読無)
8. Stevanov, J., Spehar, B., Ashida, H., and Kitaoka, A. (2012). Anomalous Motion Illusion Contributes to Visual Preference. *Frontiers in Perception Science*, 3, Article 528, 1-11. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00528 (査読有)
9. Takemura, H., Ashida, H., Amano, K., Kitaoka, A., and Murakami, I. (2012). Neural correlates of induced motion perception in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 32(41), 14344-14354. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0570-12.2012 (査読有)
10. Araragi, Y., Aotani, T., and Kitaoka, A. (2012). Evidence for a size underestimation of upright faces. *Perception*, 41, 840-853. doi:10.1068/v120199 (査読有)
11. Ashida, H., Kuriki, I., Murakami, I., Hisakata, R. and Kitaoka, A. (2012). Direction-specific fMRI adaptation reveals the visual cortical network underlying the "Rotating Snakes" illusion. *NeuroImage*, 61, 1143-1152. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.033 (査読有)
12. Stevanov, J., Marković, S., and Kitaoka, A. (2012). Aesthetic valence of visual illusions. *i-Perception*, 3(2), 112-140. 10.1068/i0455aap (査読有)
13. 新井仁之・新井しのぶ (2012). 視覚の数理モデルと錯視図形の構造解析 心理学評論, 55, 309-333. (査読有)
14. 北岡明佳 (2012). 顔の錯視のレビュー - BRAIN and NERVE 神経研究の進歩, 64 (7) (増大特集 顔認知の脳内機構), 779-791. (査読無)
15. 北岡明佳・蘆田宏 (2012). 近年の錯視研究の展開 巻頭言に代えて 心理学評論, 55(3), 289-295. (錯視特集号：多様化する錯視研究 編集：北岡明佳・蘆田宏)

(査読無)

16. 北岡明佳 (2012). 色の錯視いろいろ (6) 「図地分離による錯視」 日本色彩学会誌, 36(3), 237-238. (査読無)
17. Kuriki, I., Nakamura, S., Sun, P., Matsumiya, K., Ueno, K., Tanaka, K., Shioiri, S., and Cheng, K. (2011). Decoding Color Responses in Human Visual Cortex. IEICE, E94-A, 2, 473-479. (査読有)
18. Ueda, S., Kitaoka, A., and Suga, T. (2011). Wobbling appearance of a face induced by doubled parts. Perception, 40, 751-756. oi: 10.1068/p7000 (査読有)
19. Araragi, Y. and Kitaoka, A. (2011). Increment of the extinction illusion by long stimulation. Perception 40, 604-620. doi:10.1068/p6757 (査読有)
20. 北岡明佳 (2011). 色の錯視いろいろ (2) 色の恒常性と2つの色フィルタ 日本色彩学会誌, 35(3), 234-236. (査読無)
21. Fukiage, T. and Murakami, I. (2010). The tilt aftereffect occurs independently of the flash-lag effect. Vision Research, 50, 1949-1956. doi: 10.1016/j.visres.2010.07.002 (査読有)
22. Watanabe, E., Matsunaga, W., and Kitaoka, A. (2010). Motion signals deflect relative positions of moving objects. Vision Research, 50, 2381-2390. doi: 10.1016/j.visres.2010.09.021 (査読有)
23. Fermüller, C., Ji, H., and Kitaoka, A. (2010). Illusory motion due to causal time filtering. Vision Research, 50, 315-329. doi: 10.1016/j.visres.2009.11.021 (査読有)
24. Kitaoka, A. (2010). A brief classification of colour illusions. Colour: Design & Creativity, 5 (3), 1-9. (査読有)
25. Arai, H. and Arai, S. (2010). Framelet analysis of some geometrical illusions. Japan J. Indust. Appl. Math., 27, 23-46. (査読有)

[学会発表](計 17 件)

1. 新井仁之・新井しのぶ (2014) 花が動いて見える錯視 - 数学が生み出す錯視アート - 第8回科学技術の「美」パネル展(科学技術団体連合)に出品(展示期間 2013年度). 優秀賞受賞(2014年4月14日~25日).
2. Kitaoka, A. and Yanaka, H. (2013). Reversal of the color-dependent Fraser-Wilcox illusion under a dark condition. Perception 42 (36th) ECVP (Bremen) Abstract Supplement, page 97 (Poster August 27, 2013).

3. Ashida, H., Kuraguchi, K., and Miyoshi, K. (2013) Helmholtz illusion on clothing revisited. Poster presented at ECVP 2013, Bremen, Germany. (Perception, 42 Supplement, 96-97.)2013.8.27
4. Kuriki, K., Xie, H., Tokunaga, R., Matsumiya, K., and Shioiri, S. (2013). Mechanisms for color-defined and luminance-defined motions in human visual system studied by psychophysical and functional brain-imaging techniques. Society for Neuroscience, 2013/11/11, San Diego, CA, USA.
5. Stevanov, J., Uesaki, M., Kitaoka, A., Ashida, H., and Hecht, H. (2013) 'Face inversion effect' on perception of the vertical gaze direction. Poster presented at ECVP 2013, 2013/8/28, Bremen, Germany. (Perception, 42 Supplement, 199.)
6. Kitaoka, A. (2012). The Fraser-Wilcox illusion and its extension. Perception 41 ECVP Abstract Supplement, page 91 (Poster September 3, 2012).Alghero,Italy
7. Ashida, H. and Scott-Samuel, N. E. (2012). Lightness contrast at the leading edge of motion. Paper presented at ECVP 2012, 2012/9/5, Alghero, Italy. (Perception 41 supplement, 46.)
8. Takemura, H., Ashida, H., Amano, K., Kitaoka, A., and Murakami, I. (2012). Neural correlates of induced motion revealed by fMRI. Poster presented at VSS 2012, 2012/5/11-16, Naples, FL, USA, Journal of Vision, 12(9), 755.
9. Stevanov, J., Uesaki, M., Ashida, H., Carlson, T., Cupchik, G., and Kitaoka, A. (2012). Neural correlates of perceptual pleasure and "Aha" experiences triggered by perceptual flips in ambiguous images. Paper presented at ECVP 2012, 2012/9/6, Alghero, Italy. (Perception 41 supplement, 61.)
10. Ashida, H. (2011). Separate processing of expanding and rotating motion in human MT+. Perception, 40 ECVP Abstract Supplement, 132. Poeter presented at ECVP 2011, Aug 30, 2011, Toulouse, France.
11. Stevanov, J., Kitaoka, A., and Jankovic, D. (2011). "Rotating snakes" illusion: Changes in pattern layout affect perceived strength of illusory motion. Perception, 40, ECVP Abstract Supplement, page 200 (poster September 1, 2011).
12. Takemura, H., Ashida, H., Amano, K., Kitaoka, A., and Murakami, I. (2011).

Neural correlates of induced motion perception in the human visual cortex. Society for Neuroscience Annual Meeting, Washington DC, USA, Nov. 15, 2011.

13. 新井仁之 (2011). 視覚と錯視の数理解析 - 数理科学と知覚心理学の融合を目指して- 日本心理学会第75回大会(2011年9月15日、日本大学)
14. Ashida, H. (2010). Searching for cortical areas for a motion discrimination task. Poster presented at ECVP 2010, Aug 22-26, Lausanne, Switzerland. (Perception 39 ECVP Abstract Supplement, page 139)
15. Ashida, H. and Kitaoka, A. (2010). Asymmetric Temporal Filtering Underlying the 'Rotating Snakes' Illusion. Vision 22(Supplement), 67-68. (The 6th Asia-Pacific Conference on Vision, July 23-26, 2010, Taipei, Taiwan)
16. Hisakata, R. and Murakami, I. (2010). Spatial scaling for the Rotating Snakes illusion. Vision Sciences Society Annual Meeting, Naples, USA, 2010.5.8, Journal of Vision, 12, 10(7):828.
17. Ashida, H., Kuriki, I., Murakami, I., and Kitaoka, A. (2010) fMRI adaptation to anomalous motion in the "Rotating Snakes" patterns. Journal of Vision, August 2, 2010 10(7): 827; (VSS 2010, May 7-12, Naples, USA).

[図書](計 7 件)

1. 北岡明佳 (2013). 錯視大解析 脳がだまされるサイエンス心理学の世界 カンゼン (総ページ数: 144 ページ)
2. 北岡明佳 (監修) (2013). Newton 別冊目の錯覚はなぜおきるのか? 錯視と錯覚の科学 ニュートンプレス (総ページ数: 160 ページ)
3. 新井仁之 (2013). 錯視のひみつにせまる本 第3巻「錯視と科学」 ミネルヴァ書房 (同第1巻「錯視の歴史」と第2巻「錯視の技」は監修)(総ページ数: 32 ページ (3巻とも))
4. 北岡明佳編著 (2011). 知覚心理学 ミネルヴァ書房(2011.4.20 刊行) (北岡明佳は1章「恒常性」(pp. 1-19)と2章「錯視」(pp. 20-37)を執筆、栗木一郎は3章「色覚」を執筆 (pp.38-54) 蘆田宏は5章「運動視」(pp.75-94)を執筆、村上郁也は8章「眼球運動」を執筆 (pp.131-144))(総ページ数: 297 ページ)
5. 蘆田宏 (2011). 3章 感覚・知覚 Overview 京都大学心理学連合編「心理学概論」 ナカニシヤ出版 pp.48-49 (蘆田宏), 65-69 (蘆田宏・須佐見憲史), 69-71 (蘆田宏)

(2011.4.7 刊行) (総ページ数: 377 ページ)

6. 栗木一郎 (2011). 新編 色彩科学ハンドブック第3版, (分担執筆) 東京大学出版会.1774 項
7. 村上郁也 (2011)「第1章 感覚・知覚心理学の研究史」「第3章 心理物理学の測定法」「第5章 視覚」 村上郁也 編 大山正 監修 「心理学研究法1 感覚・知覚」pp. 2-12, pp.42-69, pp.100-140 誠信書房 2011 (2011.9.15 刊行)286 項

6 . 研究組織

(1)研究代表者

北岡 明佳 (Kitaoka, Akiyoshi)
立命館大学・文学部・教授
研究者番号: 70234234

(2)研究分担者

新井 仁之 (Arai, Hotoshi)
東京大学・数理科学研究科・教授
研究者番号: 10175953

栗木 一郎 (Kuriki, Ichiro)
東北大学・電気通信研究所・准教授
研究者番号: 80282838

蘆田 宏 (Ashida, Hiroshi)
京都大学・文学研究科・准教授
研究者番号: 20293847

村上 郁也 (Murakami, Ikuya) (平成22年度のみ研究分担者)
東京大学・人文社会系研究科・准教授
研究者番号: 60396166

(3)連携研究者

村上 郁也 (Murakami, Ikuya)
東京大学・人文社会系研究科・准教授
研究者番号: 60396166
(平成23年から平成25年度連携研究者)