

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：13904

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2020

課題番号：17KK0005

研究課題名（和文）自然光下における瞳孔計測技術に向けた時系列モデル

研究課題名（英文）A Time Series Model for Pupil Measurement Technology under Natural Light

研究代表者

南 哲人（Minami, Tetsuto）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：70415842

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,600,000円

渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：ヒトが明るさの錯視（グレア錯視）を見ているときの瞳孔（眼球にある、いわゆる黒目と呼ばれる部分）の大きさを計測した。瞳孔は、暗い場所では散大し（散瞳）、明るい場所では縮小して（縮瞳）、目に入る光を調節する働きを持つ。一方で、ヒトが錯覚で明るく感じたときにも同様に縮瞳することが知られている。本研究は、様々な色相のグレア錯視において、青色の錯視が最も明るく知覚され、さらに大きな瞳孔の縮小が知覚と関連して生じることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで主観的な明るさ知覚は本人にしかわからず、一人称視点での知覚報告に頼るしかなかったが、本研究で、明るさ知覚と瞳孔縮小との相関が見られたことで、客観的な明るさ知覚を評価する指標としての新たな展開が期待できる。瞳孔反応は非接触計測によって心的状態を探るための有力な手がかりとして注目されており、ヒト同士のコミュニケーション、ヒトとロボットのコミュニケーションを飛躍的に発展させるイノベティブな基盤技術として期待できる。

研究成果の概要（英文）：We measured the size of the pupil (the part of the eye called the black eye) while humans were watching the brightness illusion (glare illusion). The pupil adjusts the amount of light entering the eye by enlarging in dark areas and contracting in bright areas. On the other hand, it is also known that the pupil contracts when we perceive light as an illusion. In the present study, we found that in the glare illusion of various hues, the blue illusion is perceived as the brightest and a larger pupil contraction occurs in association with the perception.

研究分野：認知神経科学

キーワード：瞳孔 実験系心理学 認知科学 主観的知覚 グレア錯視

## 1. 研究開始当初の背景

人工知能の応用が進む中で、ヒトの意識研究が早急に求められてきている。ヒトの意識研究は、ヒトからの報告に頼ってきたが、このような報告行動自体が、意識に関する脳活動に影響を及ぼすため、被験者の報告を伴わないような意識の指標が求められている。そこで、本研究では、グレア錯視によるまぶしさ知覚、表情知覚の主観的知覚、さらに、隠し絵に対するひらめき現象、知覚闘争現象の主観的知覚の推移を対象に、瞳孔径を中心とした自律神経系計測、脳波を中心とした脳活動計測を行う。これにより、主観的知覚における脳活動、瞳孔、行動指標の3者の関係を明らかにし、認知神経科学的研究に新たなアプローチを追加することを目的として研究を行う計画である。

## 2. 研究の目的

現在、研究の主たるターゲットである眼の瞳孔の大きさの変化は、作業負荷や感情状態などヒトの状態を反映する指標として有効である。瞳孔は、眼の虹彩によって囲まれた孔であり、一般的に明所では縮瞳が生じ、瞳孔径は小さくなる一方、暗所では散瞳が生じ、瞳孔径は大きくなるがよく知られている。瞳孔径の変化に関しては、50年ほど前から研究が行われてきているが、近年は、高速ビデオカメラと画像解析技術の発展により、簡便かつ高精度な眼球運動計測手法が急速に普及したおかげで、さらに研究が進んできている。最近の研究により、瞳孔反応がこれまで考えられていたよりも、もっと広範囲の認知現象を反映しているという証拠が数多く提示されている(Laeng et al., 2012)。たとえば、Klingnerら(2011)は、3桁から8桁までの異なる数字列を記憶しているときの瞳孔径を調べ、記憶中の瞳孔径は、記憶している文字列の桁数が大きいほど散瞳する、つまり大きくなっていることを示した。これは、瞳孔径が、作業負荷量を定量的に示すバイオマーカーであることを示唆している。それ以外にも、痛み知覚、感情認知、性的魅力、主観的好みなど、環境とインタラクションするのに有効な指標を反映するとされている(Eckstein et al., in press)。しかしながら、瞳孔径は、眼球に入ってきた光の強度に敏感であり、視覚刺激の輝度や環境光を一定にした実験環境下での利用が主であった。そこで、本研究では、自然光下において安定的にヒトの状態を反映する瞳孔成分抽出を行うことを目指す。そのために、自然環境下における眼球運動計測により、ヒトの作業負荷程度を抽出する技術の開発を行う。これにより、多様な生活形態や能力、経時的変化に応じて自然に行動を支援する社会の実現を目指す。

## 3. 研究の方法

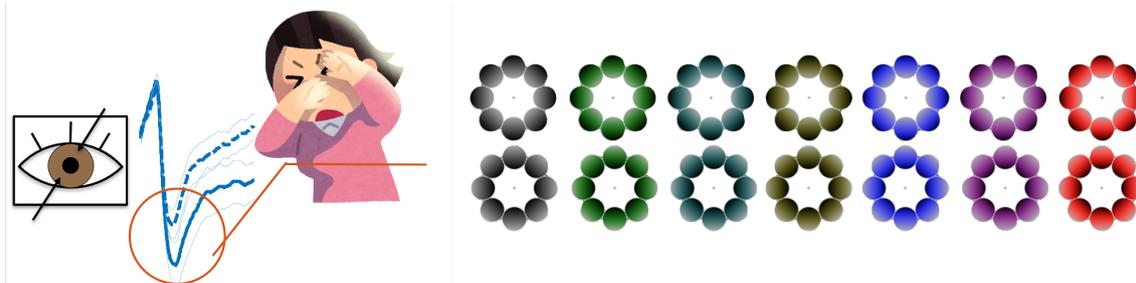
グレア錯視は、輝度勾配が中央の白い領域に収束することによって喚起される明るさの錯視の「光っている」例である。典型的なパターンは、発光している中心領域があるように知覚される。心理物理学の研究によると、グレア錯視によって、輝度が均一な対照刺激と比較して、知覚される明るさが最大20~40%向上するとされている。

そこで、黒、青、シアン、緑、マゼンタ、赤、黄の異なる色のグラデーションが中心の「グレア」領域に収束する同じパターンを被験者が見ている間、赤外線アイトラッカーで瞳孔の大きさをモニターした。また、同じグラデーションを180°回転させて、パターンの中心からグラデーションが発散するようにすることで、グレア効果が大幅に減少し、周辺ハローに限定される対照的な「ハロ」条件も作成した。

## 4. 研究成果

様々な色相のグレア錯視において、青色の錯視が最も明るく知覚され、さらに大きな瞳孔の縮小が知覚と関連して生じることを見出した。今回の結果は、先行研究で報告されている錯覚グレアによる瞳孔収縮効果を再現している。すなわち、ディスプレイが提示されると最初は瞳孔が収縮したが、その収縮のレベルは、「ハロ」条件と比較して、すべてのグレア刺激で大きくなり、持続した。また、予想通り、青色のパターンでは、他のどの色よりも平均および最大のピーク収縮が大きくなった。今回の結果から、青はさまざまなパターンにおいて、他のすべての色よりも知覚的な明るさが強調された強い知覚をもたらし、瞳孔の測定値はこの側面を効果的に捉えていることがわかった。この瞳孔縮小効果は、色のグラデーションが収束すると増強されるが、色のグラデーションが発散すると弱くなるため、ハローグレアの周辺効果は、知覚される明るさと瞳孔縮小の両方の観点から無視できるほど小さくなる。私たちは当初、「青」は主観的な明るさの感覚を高めるだけでなく、このような色に対する瞳孔の収縮は、太陽光がまぶしくて危険な状況に置かれたときの視覚系の適応反応ではないかと考えていた。今回の結果は、少なくとも生態学的な説明と一致している。つまり、自然な場面で支配的な色(例えば、「青い」空)は、他の色よりもグレア効果を高める効果があり、その結果、準備的、防御的な

瞳孔収縮が引き起こされるはずだということである。



<引用文献>

- Laeng, B., Sirois, S., & Gredebäck, G. (2012). Pupillometry. *Perspectives on Psychological Science*, 7(1), 18–27. <https://doi.org/10.1177/1745691611427305>
- Klingner, J., Tversky, B., & Hanrahan, P. (2010). Effects of visual and verbal presentation on cognitive load in vigilance, memory, and arithmetic tasks: Effect of task presentation mode on pupil dilation. *Psychophysiology*, 48(3), 323–332. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01069.x>
- Eckstein, M. K., Guerra-Carrillo, B., Singley, A. T. M., & Bunge, S. A. (2016). Beyond eye gaze: What else can eyetracking reveal about cognition and cognitive development? *Developmental Cognitive Neuroscience*, 25, 69–91. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.11.001>
- Suzuki, Y., Minami, T., Laeng, B., & Nakauchi, S. (2019). Colorful glares: Effects of colors on brightness illusions measured with pupillometry. *Acta Psychologica*, 198, 102882. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2019.102882>

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Kinzuka Yuya, Minami Tetsuto, Nakauchi Shigeki	4. 巻 10
2. 論文標題 Pupil dilation reflects English /l//r/ discrimination ability for Japanese learners of English: a pilot study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8052
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-65020-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Sato Fumiaki, Laeng Bruno, Nakauchi Shigeki, Minami Tetsuto	4. 巻 20
2. 論文標題 Cueing the Necker cube: Pupil dilation reflects the viewing-from-above constraint in bistable perception	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Vision	6. 最初と最後の頁 7~7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1167/jov.20.4.7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Nakakoga Satoshi, Higashi Hiroshi, Muramatsu Junya, Nakauchi Shigeki, Minami Tetsuto	4. 巻 15
2. 論文標題 Asymmetrical characteristics of emotional responses to pictures and sounds: Evidence from pupillometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0230775
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0230775	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 [Hiroshi Higashi, Tetsuto Minami, Shigeki Nakauchi]	4. 巻 9
2. 論文標題 Cooperative update of beliefs and state-transition functions in human reinforcement learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-53600-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 [Yuta Suzuki, Tetsuto Minami, Shigeki Nakauchi]	4. 巻 416
2. 論文標題 Pupil Constriction in the Glare Illusion Modulates the Steady-State Visual Evoked Potentials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neuroscience	6. 最初と最後の頁 221-228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroscience.2019.08.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 [Yuta Suzuki, Tetsuto Minami, B. Laeng, Shigeki Nakauchi]	4. 巻 198
2. 論文標題 Colorful glares: Effects of colors on brightness illusions measured with pupillometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Psychologica	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actpsy.2019.102882	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 [Tetsuto Minami, Takahiro Shinkai, Shigeki Nakauchi]	4. 巻 409
2. 論文標題 Hemifield Crossings during Multiple Object Tracking Affect Task Performance and Steady-State Visual Evoked Potentials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neuroscience	6. 最初と最後の頁 162-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroscience.2019.04.038	査読の有無 有
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 [NAKAKOGA Satoshi, NIHEI Yuji, NAKAUCHI Shigeki, MINAMI Tetsuto]	4. 巻 18
2. 論文標題 顔色が低解像度顔刺激における表情認知に及ぼす影響 -瞳孔反応による解析-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本感性工学会	6. 最初と最後の頁 79-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5057/jjske.TJSKE-D-18-00035	査読の有無 有
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13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 塩本凌也, 佐藤文昭, 南哲人, 中内茂樹
2. 発表標題 VR 空間における多義図形の知覚バイアスと姿勢の関係
3. 学会等名 第 43 回日本神経科学大会 (Neuro2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水健吾, 中古賀 理, 南 哲人, 中内茂樹
2. 発表標題 振動プローブ刺激に対する瞳孔反応を用いた情動推定
3. 学会等名 ヒューマン情報処理研究会 (HIP)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤隼平, 金塚裕也, 鈴木雄太, 南哲人, 中内茂樹
2. 発表標題 音楽聞き分け課題に対する瞳孔反応
3. 学会等名 第 43 回日本神経科学大会 (Neuro2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中古賀 理, 金塚裕也, 伊村知子, 白井 述, 中内茂樹, 南 哲人
2. 発表標題 表情認知における顔色効果 日本・マレーシア・ノルウェーにおける文化間・世代間比較
3. 学会等名 日本顔学会大会 (フォーラム顔学 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 [Kinzuka Y., Sato F., Minami T., Nakauchi S.]
2. 発表標題 Association between temporal perception and pupillary response in Red/Blue stimuli
3. 学会等名 Vision Sciences Society 19th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 [Kishigami S., Morimoto T., Linhares J., Minami T., Nakauchi S., Nascimento S.]
2. 発表標題 Chromatic properties of Japanese paintings are similar to that of European paintings
3. 学会等名 25th Symposium of the International Colour Vision Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 [Kishigami S., Taniyama Y., Nakauchi S., Minami T.]
2. 発表標題 Preference of facing/lighting direction for portraits paintings
3. 学会等名 Vision Sciences Society 19th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 [Taniyama Y., Nihei Y., Minami T., Nakauchi S.]
2. 発表標題 P3 asymmetry elicited by original-pseudo art paintings using an oddball paradigm
3. 学会等名 Vision Sciences Society 19th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 [Shimizu K., Nakakoga S., Muramatsu J., Kitagawa T., Minami T, Nakauchi S.]
2 . 発表標題 Pupillary response to beep sound reflects emotion: Emotion estimation method using probe stimulus
3 . 学会等名 European Conference on Visual Perception 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 [Suzuki Y. Onodera K. Minami T. and Nakauchi S.]
2 . 発表標題 Evaluation of color-vision deficiency test based on pupil oscillations
3 . 学会等名 European Conference on Visual Perception 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 [Satoshi Nakakoga, Yuji Nihei, Yuya Kinzuka, Chang Kah Haw, Wan Nazatul Shima Shahidan, Haslina Mohd Nor, Get Bee Yvonne-Tee, Zuraidah Binti Abdullah, Tomoko Imura, Nobu Shirai, Shigeki Nakauchi, Tetsuto Minami.]
2 . 発表標題 Facial color effect on recognition of facial expression: A comparison among Japanese and Malaysian adults and school children
3 . 学会等名 European Conference on Visual Perception 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 [金塚裕也, 佐藤 文昭, 南哲人, 中内 茂樹]
2 . 発表標題 知覚時間と赤/青刺激により誘発される瞳孔反応の関係
3 . 学会等名 第42回日本神経科学大会
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 [清水健吾, 中古賀理, 南哲人, 中内 茂樹]
2. 発表標題 音刺激に対する瞳孔反応を用いた情動推定
3. 学会等名 第42回日本神経科学大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ラン ブルーノ  (Laeng Bruno)	オスロ大学・心理学部・教授	

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		
ノルウェー	オスロ大学		