

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：27103

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18651

研究課題名（和文）内因性光感受性網膜神経節細胞の特性に着目した照明による静止画像錯視への作用

研究課題名（英文）Effect of flickering light on the perception of illusory motion based on the properties of the photoreceptors

研究代表者

小崎 智照（Kozaki, Tomoaki）

福岡女子大学・国際文理学部・准教授

研究者番号：80380715

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は発光ダイオードによる点滅光が印刷された錯視画像を視た際の運動錯視の感じ方へ与える影響について検討した。その結果、全ての視細胞が反応する白色光を用いた場合に、100Hzまでの点滅光は有彩色の錯視画像を視た際の運動錯視を強く感じさせた。しかし、内因性光感受性神経節細胞（ipRGC）を主に刺激する青色とipRGCを刺激しない赤色の点滅光では、無彩色の錯視画像に対する運動錯視の感じ方に影響を与えなかった。以上より、点滅光による運動錯視を強く感じさせる作用は、特定の視細胞だけを刺激する光条件下では得られにくいことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先行研究より瞬きや5Hzでコンピューター画面を点滅させることで錯視画像による運動錯視の感じ方が強くなることは知られていた。これらの周波数は光強度の変化を知覚できる臨界融合頻度（CFF）以下である。しかし、本研究では100HzというCFF以上の点滅光も同様に運動錯視の感じ方を強くすることを示唆するものであり、これはCFF以上の高速点滅光に対しても視細胞が応答し、それが運動錯視へ影響することを示唆した学術的に新規性の高い結果である。また、運動錯視などの視覚に影響する光の点滅条件を明らかにすることは、臨場感を高めるアトラクション空間などでのLED照明の新たな活用法につながる社会的意義のあるものである。

研究成果の概要（英文）：This study investigated effect of ambient flickering light up to 100Hz on the perception of illusory motion generated by printed static images. The flickering light up to 100 Hz could enhance the perception of the illusory motion generated by a polychromatic color image when the flickering light was emitted by a white colored LED, to which all photoreceptors can respond. However, the flickering light could not enhance the perception of illusory motion generated by a monochromatic color image when red or blue colored LED were used. The red light can stimulate L- and M-cones, whereas the blue light can stimulate S-cones and intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs). This finding suggests that it may be more difficult to obtain the enhancement effect of flickering light under light conditions that can only stimulate certain photoreceptors.

研究分野：人間工学

キーワード：静止画像 運動錯視 LED 点滅光

## 1. 研究開始当初の背景

平成 28 年に閣議決定された地球温暖化対策計画にて 2030 年までに日本国内の全ての照明を発光ダイオード(LED)化することが目標とされている。LED は蛍光灯など従来の光源とは異なり、強さ・色・点滅を自由に制御できる。研究代表者はこれまで異なる光条件によるメラトニン分泌抑制などの生理(非視覚)作用について検討し、健康的な光環境条件を明らかにしてきた。メラトニン分泌などの非視覚作用は眼の網膜上に存在する従来から知られている視細胞(桿体細胞・錐体細胞)ではなく、内因性光感受性網膜神経節細胞(以下、ipRGC)に起因することが明らかとなっている。これまで ipRGC が受けた光情報は主に非視覚機能に関係し、視覚機能には無関係であると考えられてきた。しかし、ipRGC は桿体・錐体細胞と脳を中継する場所に位置することから、それ自体が受けた光情報も視覚に関与する可能性が考えられる。実際、報告例は少ないが ipRGC は明るさ知覚への関与が示唆されている(1)。そこで、本研究では新たに視覚心理のひとつである錯視に着目した。錯視とは視覚対象の見え方がその物理特性と異なる場合を指す。例えば、実際の形とは異なる形に見える錯視(幾何学的錯視)や静止画が動いて見える錯視(運動視の錯視)などがある。錯視画像自体については研究協力者の妹尾武治准教授(九州大学)を含め多くの研究より、錯視を引き起こす構図や配色が明らかとなっている。

<参考文献>

(1) Yamakawa M., Tsujimura S., Okajima K. Contribution of ipRGC to the Brightness Perception. *i-Perception* 7, 41, 2016.

## 2. 研究の目的

これまでの錯視に関する研究ではその機序として視覚機能について考察されているが、桿体・錐体細胞と異なる特性を有する ipRGC との関係については全く議論されていない。また、錯視と照明条件との関係も全く着目されてこなかった。ヒトは対象物が反射した光を受けることでその対象物を見ている。つまり、その空間に存在する光(照明)自体が異なれば同じ対象物でも見え方が異なる。以上より、本研究では照明の影響を最も受けやすいと思われる印刷された画像に対する錯視の感じ方に異なる LED 照明条件が影響するの否かについて取り組み、ipRGC が錯視に寄与している可能性を検討した。

### (1) 異なる周波数の白色点滅光による有彩色運動錯視の感じ方(課題1:2022年度)

研究分担者の過去の研究より、コンピューター画面上に提示した錯視画像を 5Hz にて点滅させた場合は運動錯視を強く感じたことが報告されている。この周波数は光の点滅を知覚する臨界融合頻度(CFF)以下である。そこで、本課題では CFF 以上の周波数の点滅光でも運動錯視の感じ方に影響するのかが検討した。

### (2) 赤もしくは青の点滅光による無彩色画像に対する運動錯視の感じ方(課題2:2023年度)

前年度の課題より 100Hz までの点滅光が運動錯視を強く感じさせることが明らかとなった。しかし、この神経機序として、どの光受容器が関与しているのかが不明である。そこで、異なる光受容器を刺激する赤と青の点滅光による運動錯視への感じ方を検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 課題1(2022年度)方法

本実験の参加者は正常な視力を有す 26 名の成人女性であった(年齢 21~22 歳)。本研究は福岡女子大学疫学等研究倫理審査委員会の承認を得て行われた。

本研究の照明条件は被験者の頭上に設置された白色 LED により発光された。光条件はバイポーラ直流電源(PBZ40-10、菊水電子工業株式会社)にて制御された。照明の点滅周波数は 50Hz、75Hz、100Hz とし、デューティー比(点滅 1 周期における点灯と消灯の時間割合)は 50%とした。光強度は画像を設置した机上面にて 100lx とした。本実験は窓のない人工気候室にて行われた。実験参加者は実験室へ入室後、暗黒環境下で 10 分間、椅坐位にて過ごした。その後、非点滅光環境下で 20 秒間画像を注視し、その間、最後の 10 秒間で錯視の感じ方を調査用紙に記入した。調査用紙記入後に再び暗黒条件下で 30 秒間過ごし、点滅光環境下で 20 秒間画像を注視し、最後の 10 秒間で調査用紙へ記入した。他の点滅光条件下でも同様に測定した。また、全ての点滅光条件下での錯視の感じ方を測定した後、5 分間の暗黒条件下での安静の後に再び同じ測定を行った。

錯視の感じ方は 0 点(まったく変化はない)から 100 点(非常に変化(動いて)いる)までの Visual Analog Scale(VAS)を用いた。本研究データについて正規性検定(Shapiro-Wilk テスト)を行ったところ、正規性が認められなかった。よって、各条件間のスコアには Bonferroni-Holm 補正の Friedman 検定を行った。以上の検定は統計ソフトウェア(SPSS Ver.29)を用いた。

### (2) 課題2(2023年度)方法

本実験の被験者は正常な視力を有す 14 名の成人女性であった(年齢 21~22 歳)。本研究は福

岡女子大学疫学等研究倫理審査委員会の承認を得て行われた。本実験は窓のない人工気候室にて行われた。

実験参加者は実験室へ入室後、暗黒環境下で 10 分間、椅坐位にて過ごした。その後、各光条件下で 20 秒間画像を注視し、その間、最後の 10 秒間で運動錯視の感じ方を調査用紙に記入した。他の点滅光条件下でも同様に測定した。また、全ての点滅光条件下での運動錯視の感じ方を測定した後、5 分間の暗黒条件下での安静の後に再び同じ光条件下で測定を行った。運動錯視の感じ方は 0 点(まったく変化はない)から 100 点(非常に変化(動いて)いる)までの Visual Analog Scale (VAS) を用いた。

本研究の照明条件は被験者の頭上に設置された赤(ピーク波長 630nm)と青色(ピーク波長 470nm)の LED により発光された。各光条件はバイポーラ直流電源(PBZ40-10、菊水電子工業株式会社)にて制御された。照明の点滅周波数は 40Hz、100Hz とし、デューティ比(点滅 1 周期における点灯と消灯の時間割合)は 50%とした。光強度は画像を設置した机上面で照度計(CL-70F、コニカミノルタ株式会社)を用いて 100lx に統制した。

2 回測定した各光条件のスコアは平均化し、光条件間で Bonferroni-Holm 補正の t 検定を行った。以上の検定は表計算ソフトウェア(Excel2021, Microsoft)を用いた。危険率(p 値)が 0.05 未満を統計的有意とした。

## 4. 研究成果

### (1) 課題 1 (2022 年度) 成果

全ての点滅周波数において、点滅条件下のスコアは非点滅条件下のスコアよりも有意に高かった。また、非点滅条件に対する点滅条件のスコア増加量を各周波数で比較したところ、周波数 50Hz は周波数 100Hz よりも有意にスコアが高かった。本研究の結果、100Hz までの点滅光は静止画像による運動錯視を強くすることが示唆された。これは、ヒトの視細胞や第一視覚野が錯視画像の点滅を感知していることが関係すると考えられる。さらに、周波数 50Hz の点滅光は周波数 100Hz の点滅光よりも運動錯視をより強くすることが示唆された。ヒトの臨界融合周波数の上限は 80Hz 程度といわれていることから、周波数 50Hz の点滅光は観察者がその点滅を知覚していたと考えられる。よって、点滅光による運動錯視を強くする作用は、点滅を知覚できる周波数でより強くなることも示唆された。以上より、周波数 100Hz までの点滅光は静止画像による運動錯視を強く感じさせることが示唆された。しかし、一部の研究では周波数 500Hz の画像反転もヒトが知覚できたことを報告しており、周波数 100Hz 以上の点滅光でも運動錯視への効果が期待できる。よって、今後は異なる特性の点滅光による効果も検討する必要がある。

### (2) 課題 2 (2023 年度) 成果

青色光において全ての点滅条件間に有意差は得られなかった。しかし、赤色光において 40Hz 点滅光条件は非点滅光条件に対して有意に高いスコアを示した。また、各点滅条件下での青色光と赤色光の比較では、40Hz 点滅条件において赤色光が青色光に対して有意に高い値を示した。赤色光の 40Hz 点滅光は非点滅光よりも有意にスコアが高かった。これより、40Hz の点滅光条件下において被験者はフレーザー・ウィルコックス錯視画像による運動錯視を強く感じていたことが示唆された。点滅光が運動錯視を強く感じさせることは前年度の課題成果と一致する。この機序として、ヒトの視細胞や第一視覚野が錯視画像の点滅を感知していることが関係すると考えられる。その反面、前年度の成果とは異なり 100Hz 点滅光条件では、点滅光による運動錯視を強く感じる効果が得られなかった。前年度の課題では赤や紫など有彩色による最適化フレーザー・ウィルコックス錯視画像を用い、照明も一般の白色 LED であった。これは全ての視細胞が反応する条件といえる。それに対して、本年度の課題では無彩色のフレーザー・ウィルコックス錯視画像と赤色もしくは青色の照明を用いた。つまり、L 錐体や S 錐体など特定の視細胞だけを刺激する場合には照明の点滅による運動錯視を強くする作用が得られにくくなることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kozaki Tomoaki, Seno Takeharu, Kitaoka Akiyoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Illusory motion and vection induced by a printed static image under flickering ambient light at rates up to 100Hz	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 i-Perception	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/20416695231223444	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小崎智照、弘光春奈、妹尾武治、北岡明佳
2. 発表標題 点滅照明が静止画像に対する運動錯視の感じ方へ与える影響
3. 学会等名 第47回人間-生活環境系シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小崎智照、弘光春奈、妹尾武治、北岡明佳
2. 発表標題 100Hz までの点滅照明環境下における静止画像に対する運動錯視の感じ方
3. 学会等名 日本人間工学会関東支部第53回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小崎智照、銅木晴花、妹尾武治、北岡明佳
2. 発表標題 赤と青の点滅光によるフレーザー・ウィルコックス錯視への影響
3. 学会等名 日本人間工学会第65回大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tomoaki Kozaki, Takeharu Seno, Akiyoshi Kitaoka
2. 発表標題 Illusory motion induced by a printed static image under flickering light environment.
3. 学会等名 15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小崎智照、弘光春奈、妹尾武治、北岡明佳
2. 発表標題 点滅照明環境下における静止画像に対する錯視の感じ方
3. 学会等名 日本視覚学会2023年冬季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小崎智照、弘光春奈、妹尾武治、北岡明佳
2. 発表標題 異なる周波数の点滅照明下における静止画像に対する運動錯視の感じ方
3. 学会等名 第41回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2023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
研究 分担 者	妹尾 武治	九州大学・芸術工学研究院・准教授	
	(Seno Takeharu)		
	(40546181)	(17102)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	北岡 明佳  (Kitaoka Akiyoshi)  (70234234)	立命館大学・総合心理学部・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