

令和 2 年 5 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13966

研究課題名(和文)心理実験とMRSによる視覚的不快感に関する研究

研究課題名(英文)A study of visual discomfort using psychological experiments and MRS

研究代表者

吉本 早苗 (Yoshimoto, Sanae)

広島大学・総合科学研究科・助教

研究者番号：80773407

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視覚情報に基づく不快感(視覚的不快感)をもたらす刺激要因を特定し、その生成機序を明らかにすることを目的とした。輝度変調フリッカ刺激の時間周波数成分を操作し、刺激に対する不快感を測定した。その結果、時間次元における不快感は振幅スペクトルだけでなく位相スペクトルに依存することがわかった。また、初期視覚野における神経伝達物質濃度と不快感との関連は見られなかったものの、不快感が高い刺激に対して脳賦活量が増加する傾向が見られた。以上の実験結果から、不快感の生成には、視覚の初期過程における過剰な神経応答だけでなく、位相構造の抽出に関わるより高次の過程が関与することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究から、不快感を喚起する視覚刺激の要因の一端を明らかにした。健常者が不快に感じる視覚刺激は、光過敏性発作を誘発するリスクがあることが知られている。そのため、本研究結果は、不快感と視覚特性との繋がりに関する理解を深めるだけでなく、映像の安全性を高める上で役立つと期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to determine the factors related to visual discomfort and its underlying mechanisms. To achieve this purpose, the discomfort of flickering stimuli with different amplitude and phase spectra was measured. We found that the discomfort in the temporal domain is dependent not only on the amplitude spectrum but also the phase spectrum. While there was no correlation between the concentration of any neurotransmitter in the primary visual cortex and discomfort, the blood oxygen level-dependent (BOLD) responses for the stimuli that can induce strong discomfort tended to increase. These findings suggest that visual discomfort can be associated with a higher process that is sensitive to the specific profile of the phase structure of the stimuli as well as the overstimulation or increased neural activity in the early visual system.

研究分野：実験心理学

キーワード：視覚 情動 感性 フリッカ 不快感 順応 画像統計量 MRS

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) ダイナミックで迫力のある映像はエンターテインメントとして魅力的である反面、時に不快感を喚起し、頭痛やめまい、さらには痙攣や意識障害を伴う光過敏性発作を誘発しうる。平成9年12月16日にアニメ番組「ポケットモンスター」が放映された折には、約700名もの視聴者が光過敏性発作と思しき症状を訴え病院に搬送された。これは「ポケモンショック」と呼ばれ、海外でも驚きをもって報道された。この事件を端緒に映像の生体安全性に関する研究が多数行われてきたが、光過敏性発作の診断や治療に主眼が置かれ、発作の兆候として生じる不快感やその個人差に関して生体の感覚・知覚のメカニズム解明を目指す知覚心理学的観点からアプローチした研究は少なく未だ十分とは言えない。昨今の映像メディア技術の革新的な発展に伴い、映像利用の機会が増加の一途を辿る現状に鑑みると、視覚情報に基づく不快感、すなわち視覚的不快感 (visual discomfort) をもたらす原因を究明することは、視覚メカニズムを理解し映像の生体安全性を実現する上で必須となる。

知覚心理学において、静止画像を用いた研究から視覚的不快感に関わる視覚の空間特性については知見が蓄積されている。自然情景をフーリエ変換すると、その振幅スペクトルは時間・空間周波数の逆数に比例するが ($1/f$)、不快感をもたらす画像の空間周波数スペクトルはそのような特徴を持たないため、画像の不快感生成には自然情景統計量が関与すると考えられている (Juricevic, Land, Wilkins, & Webster, 2010)。特に視覚系の感度が最も高い中域の空間周波数帯域 (約 3c°) の振幅スペクトルが $1/f$ を超過している画像は強い不快感を喚起しうる (Fernandez & Wilkins, 2008)。視覚の時間特性についても同様に中域の時間周波数帯域 (約 15 Hz) で不快感との関連が示唆されているが (Lin, Hsieh, Chang, & Chen, 2014)、体系的な研究は行われていない。不快感を喚起する刺激要因を明らかにし、その生成機序の解明を目指すためには、不快感に関与する視覚の空間特性だけでなく、時間特性の理解が必須となる。

(2) 視覚的不快感には個人差がある。健常者間であっても、同一の視覚刺激に対する不快の程度は人によって異なる。個人差の原因は定かではないが、視覚的不快感の神経基盤として第一次視覚野 (V1) における抑制系の神経活動の関与が指摘されている (Penacchio, Otazu, Wilkins, & Harris, 2015)。一方で、興奮性神経伝達物質であるグルタミン酸と抑制性神経伝達物質である γ -アミノ酸 (GABA) の濃度比により推定される抑制作用が人によって大きく異なることがわかっている (Takeuchi, Yoshimoto, Shimada, Kochiyama, & Kondo, 2017)。そのため、V1 の興奮性・抑制性神経伝達物質濃度と視覚的不快感の個人差に関係があると考えられるが、そのような実験的検証は行われておらず、未解明の問題である。

2. 研究の目的

(1) 不快感に関与する視覚の空間特性だけでなく時間特性に着目し、視覚的不快感をもたらす要因およびその生成機序を明らかにすることを目的とする。時間次元で振幅・位相スペクトルを操作することにより、不快感の説明として自然情景統計量や視覚の周波数特性は最適なモデルか検討する。

(2) 心理実験において不快感の個人差が見られるか調べるとともに脳内神経伝達物質濃度を測定し、不快感の個人差に関わる神経基盤の解明を目指す。視覚系は自然情景の処理に最適化されているため、そのような時空間的特徴 ($1/f$) を持たないか、あるいは感度の高い周波数帯域を過度に刺激する視覚情報に対して強い神経応答が生じ、それが不快感を誘発するというのが有力な説である (Fernandez & Wilkins, 2008; Juricevic et al., 2010)。神経応答を増強する原因としては、V1 の抑制系の働きが不十分であることが示唆されている (Penacchio et al., 2015)。V1 において興奮性神経伝達物質濃度であるグルタミン酸と抑制性神経伝達物質濃度である GABA の濃度を測定し視覚的不快感との相関を調べることにより、不快感の個人差は V1 における抑制作用の違いが原因で生じるのかを検討する。

3. 研究の方法

(1) 時間的に変化する視覚刺激によって喚起される不快感に自然情景統計量や視覚の周波数特性が関与するか検討するため、輝度変調フリッカ刺激を用いて不快感を測定した。図 1A にフリッカ刺激の模式図を示す。自然情景統計量 ($1/f$) は、周波数 (frequency, f) と振幅を対数軸上でプロットすると、傾きが -1 となる。フリッカ刺激の振幅スペクトルの傾きを操作した (図 1B 上段)。傾きが -1 ($1/f$) より小さい条件 (<-1) では低時間周波数成分が増加し、大きい条件 (>-1) では高時間周波数成分が増加した。また、フリッカ刺激の位相スペクトルを操作し、各周波数の位相を 0° に固定した矩形波に基づいて輝度が変調するか (図 1B 中段)、各周波数の位相がランダムに変化するランダム波に基づいて輝度が変調するものとした (図 1B 下段)。

空間次元において、振幅スペクトルが自然情景統計量 ($1/f$) から逸脱した画像に対して不快感が上昇することが報告されている (Juricevic et al., 2010)。これは、視覚系が自然情景を少量の神経活動で効率的に処理するため (Field, 1987)、自然情景と同様の空間構造を持たない画像の処理に負荷がかかり、それが不快感に結びつくと説明されている。本研究では、この説明の妥当性を時間次元で検証するため、フリッカ刺激の振幅・位相スペクトルの操作に加え、順応パラダイムを利用した。ある刺激を見続けることにより順応すると、その刺激に対する視覚的な感度は低下

する。感度低下は神経応答の低下に繋がるため、自然情景統計量から逸脱した刺激に順応することで、順応した刺激に対する不快感は減少し、自然情景統計量に近似する刺激への不快感は上昇すると考えられる。一方で、視覚の周波数特性は、環境光への順応によっても大きく異なる。視覚の時間周波数特性は、明所視下では帯域通過型（バンドパス型）であり、暗所視下では低域通過型（ローパス型）となる（Kelly, 1971）。低環境光レベル下においてフリッカ刺激の不快感を測定することによって、フリッカ刺激に基づく不快感が視覚の時間周波数特性から説明できるか検討できる。

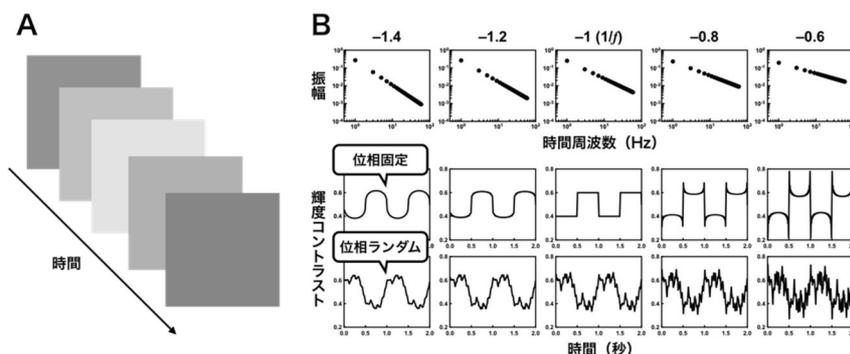


図1 (A) フリッカ刺激の模式図、(B) 振幅スペクトルと波形

(2) 上述の心理実験で不快感にどの程度の個人差が見られるかを調べ、その個人差の神経基盤を検討するため磁気共鳴分光法（magnetic resonance spectroscopy, MRS）を用いて視覚的不快感と脳内神経伝達物質濃度の相関を調べた。脳の関心体積（voxel of interest, VOI）はV1を含む初期視覚野とした。V1は、視覚的不快感の喚起に繋がる抑制系神経の働きが見られると想定されている（Penacchio et al., 2015）。MRSにより濃度測定を行う神経伝達物質としては、代表的な抑制性神経伝達物質であるGABAと代表的な興奮性神経伝達物質であるグルタミン酸を選定した。また、フリッカ刺激を観察している間の全脳の賦活量を調べるため、機能的磁気共鳴画像法（functional magnetic resonance imaging, fMRI）を併用した。

4. 研究成果

(1) フリッカ刺激の振幅・位相スペクトルを操作した実験結果を図2に示す。横軸は振幅スペクトルの傾きを示し、縦軸は不快感を7件法で測定した結果の平均を示す。フリッカ刺激を構成する各周波数の位相を 0° に固定した条件、すなわち矩形波に基づいて輝度変調する条件（図1B中段）では、順応しない場合、振幅スペクトルが $-1(1/f)$ の時に不快感が最も低下し、 -1 からの乖離が大きくなるにつれ不快感は上昇した（図2A）。一方で、フリッカ刺激を構成する各周波数の位相がランダムに変化する条件（図1B下段）では、順応しない場合、自然情景統計量に近似する刺激への不快感低下は見られず、振幅スペクトルの傾きが小さくなるにつれ不快感は上昇した（図2B）。以上の結果は、時間次元における不快感は振幅スペクトルだけでなく位相スペクトルによる影響を受けることを示す。

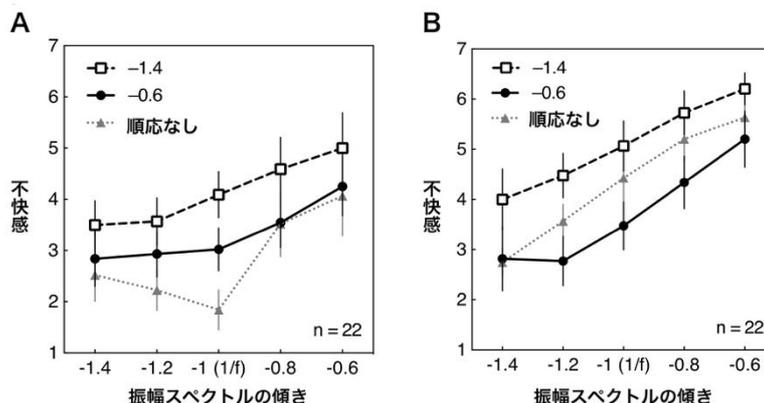


図2 (A) 矩形波条件、(B) ランダム波条件

矩形波に基づくフリッカ刺激においては（図2A）、順応するフリッカ刺激の振幅の傾きに依存せず、順応後は $-1(1/f)$ に対する不快感が上昇した。これは、順応により視覚の時間周波数感度

が変化すると、自然情景統計量に近似する刺激の処理が効率的に行われなくなることを示唆する。一方で、ランダム波に基づくフリッカ刺激においては(図 2B) 低時間周波数強調刺激(-1.4)に順応後は不快感が全体的に上昇し、高時間周波数強調刺激(-0.8)に順応後は不快感が全体的に低下した。このことは、ランダム波に基づくフリッカ刺激に対する不快感は、高時間周波数成分の強さに依存することがわかった。

また、環境光レベルを操作したところ、矩形波に基づくフリッカ刺激における $-1(1/f)$ の特異性は明所視下でのみ見られ、暗所視下では見られなくなった。ランダム波に基づくフリッカ刺激は環境光レベルに依存せず振幅の効果が見られる傾向にあった。以上の結果は、環境光レベルの低下に伴う視覚の時間周波数特性の変化では予測できない結果であり、時間次元における視覚的不快感は自然情景統計量や視覚の時間周波数特性だけでは説明できないことがわかった。位相スペクトル(矩形波とランダム波)に依存して不快感が変化したことから、位相構造の抽出に関わるより高次の視覚情報処理過程の関与が示唆される。

(2) 振幅スペクトルが自然情景統計量($1/f$)に近似する時に視覚的不快感が低下したことを受け、矩形波に基づくフリッカ刺激への不快感の個人差に着目し、MRSにより初期視野における興奮性神経伝達物質(グルタミン酸)と抑制性神経伝達物質(GABA)の濃度比を測定し、不快感との相関を調べた。その結果、不快感とグルタミン酸・GABA濃度比に相関は見られなかった。一方で、fMRIによる脳賦活量は、フリッカ刺激の振幅スペクトルが $1/f$ の時に最も低下し、 $1/f$ から乖離すると増加する傾向にあった(図 3)。これは、空間次元と同様、自然情景統計量に近似する刺激が少ない脳活動で効率的に処理されていることと合致する。つまり、視覚情報に基づく不快感は、時間・空間次元とも、視野における脳賦活量から予測されうることを示唆している。視覚的不快感の位相依存性や脳活動との関連性については、今後さらなる検討が必要である。

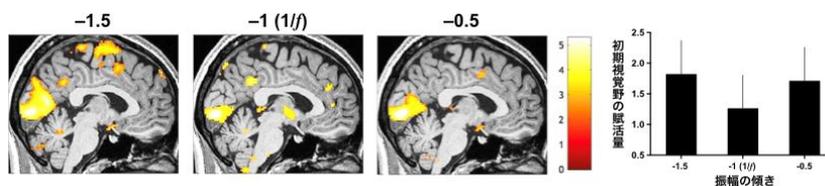


図 3 矩形波に基づくフリッカ刺激観察時の脳活動

<引用文献>

- Fernandez, D., & Wilkins, A. J. (2008). Uncomfortable images in art and nature. *Perception*, 37(7), 1098–1113. <https://doi.org/10.1068/p5814>
- Field, D. J. (1987). Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells. *Journal of the Optical Society of America A*, 4(12), 2379–2394. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.4.002379>
- Juricevic, I., Land, L., Wilkins, A., & Webster, M. A. (2010). Visual discomfort and natural image statistics. *Perception*, 39(7), 884–899. <https://doi.org/10.1068/p6656>
- Kelly, D. H. (1971). Theory of flicker and transient responses. II. Counterphase gratings. *Journal of the Optical Society of America*, 61(5), 632–640. <https://doi.org/10.1364/JOSA.61.000632>
- Lin, M.-W., Hsieh, P.-H., Chang, E. C., & Chen, Y.-C. (2014). Flicker-glare and visual-comfort assessments of light emitting diode billboards. *Applied Optics*, 53(22), E61–E68. <https://doi.org/10.1364/AO.53.000E61>
- Penacchio, O., Otazu, X., Wilkins, A. J., & Harris, J. (2015). Uncomfortable images prevent lateral interactions in the cortex from providing a sparse code. *Perception*, 44, 67–68 (ECPV Supplement).
- Takeuchi, T., Yoshimoto, S., Shimada, Y., Kochiyama, T., & Kondo, H. M. (2017). Individual differences in visual motion perception and neurotransmitter concentrations in the human brain.

Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 372(1714), 20160111.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0111>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yoshimoto, S., Jiang, F., Takeuchi, T., Wilkins, J., Webster, M. A.	4. 巻 160
2. 論文標題 Adaptation and visual discomfort from flicker	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 99-107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.04.010	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 Yoshimoto, S., Takeuchi, T.	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of spatial attention on spatiotopic visual motion perception	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Vision	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1167/19.4.4	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 Yoshimoto, S., Garcia, J., Fang, J., Wilkins, A., Takeuchi, T., Webster, M. A.	4. 巻 138
2. 論文標題 Visual discomfort and flicker	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Vision Research	6. 最初と最後の頁 18-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.visres.2017.05.015	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 吉本 早苗	4. 巻 36
2. 論文標題 不快感に関する視覚の時間特性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 基礎心理学研究	6. 最初と最後の頁 75-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14947/psychono.36.1	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 吉本 早苗, 竹内 龍人, Jiang Fang, Wilkins Arnold, Webster Michael
2. 発表標題 環境光への順応がフリッカによる不快感に及ぼす影響
3. 学会等名 日本心理学会第83回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimoto, S., Takeuchi, T.
2. 発表標題 Motion priming reveals visual instability under sudden change in ambient light level
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉本 早苗, 竹内 龍人, Jiang Fang, Wilkins Arnold, Webster Michael
2. 発表標題 フリッカへの順応が視覚的不快感に及ぼす影響
3. 学会等名 日本基礎心理学会第37回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimoto, S., Takeuchi, T., Jiang, F., Wilkins, A. J., Webster, M. A.
2. 発表標題 Adaptation and visual discomfort from flicker
3. 学会等名 OSA Fall Vision Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉本 早苗
2. 発表標題 環境光と視知覚 ~ 順応による運動知覚の変容 ~
3. 学会等名 玉川大学脳科学研究社会神経科学共同研究拠点研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉本 早苗, 竹内 龍人, Garcia Jesel, Jiang Fang, Wilkins Arnold, Webster Michael
2. 発表標題 視覚的不快感の時間特性
3. 学会等名 日本基礎心理学会第36回大会若手オーラルセッション (招待講演)
4. 発表年 2017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