

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H06292・20K20313

研究課題名（和文）グレア知覚の他覚的計測 - 認知神経科学に基づく医療診断補助と視環境評価への展開

研究課題名（英文）Pupillometry of glare perception - a medical diagnostic aid based on cognitive neuroscience and its application to visual environment assessment

研究代表者

中内 茂樹（Nakauchi, Shigeki）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：00252320

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではグレア錯視に着目し、主観的な明るさと瞳孔反応の関係を通じて、様々な主観量の定量を試みてきた。これまで、1)グレア刺激とコントロール刺激に対する瞳孔反応の計測、2)色が異なる等輝度グレア刺激に対する瞳孔反応と主観的な明るさの計測、3)主観的な明るさと時間知覚、それに付随した瞳孔反応の関係について調査した。いずれの結果も、瞳孔は刺激の物理的な輝度よりもむしろ主観的な明るさ感を反映すること、逆に瞳孔反応を揃えるような物理刺激に対しては主観量も同程度となり、瞳孔反応は主観量を定量的に計測する有用な手がかりとなることを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

瞳孔系は明るさ知覚に限らず、様々な主観的知覚の程度や質を反映することが期待される。したがって、これまで自己申告やアンケートに依存していた主観量をより他覚的に把握する一方法として瞳孔計測は有用であり、光感受性障害など純粋に主観量にのみ症状が現れる場合の客観的判断の足掛かりとなるほか、視覚的デザインの効果や誘目性などの客観評価への展開も期待できる。

研究成果の概要（英文）：This study have focused on the glare illusion and have attempted to quantify various subjective quantities through the relationship between subjective brightness and pupillary responses. So far, we have investigated 1) the measurement of pupillary responses to glare and control stimuli, 2) the measurement of pupillary responses and subjective brightness to differently colored equal-intensity glare stimuli, and 3) the relationship between subjective brightness, time perception, and associated pupillary responses. The results indicate that pupils reflect the subjective brightness rather than the physical luminance of the stimuli, and that the pupil response is a useful cue to measure the subjective quantity quantitatively.

研究分野：視覚認知情報学

キーワード：グレア錯視 明るさ知覚 瞳孔反応 時間知覚

1. 研究開始当初の背景

20世紀初頭の電球、そして現代におけるLED照明の爆発的普及は光害という新たな問題を生み出している。特に「グレア(眩しさ)」は世界共通の社会問題であり、不快感を生じさせるだけではなく、眼への悪影響や交通事故にも繋がることから、世界各国でグレア防止のための法規が整備されている。法整備とも関連してグレアは主として照明技術の一環として研究されてきた歴史があり、光源の輝度や数、配置など、照明環境からヒトが感じるグレアの量を予測するためのさまざまな方法が提案されている。しかしながら、グレアは痛みや不快感と同様、観察者個人が「感じる」量であり、観察者の状態、特に視機能に大きく依存するため、照明という環境要因だけでグレア知覚量を予測することは困難である。現在、道路照明や室内照明におけるグレア防止基準に観察者要因が考慮されていない理由は、仮想的な標準観察者(様々な観察者の視覚特性の平均値を代表的な特性として設定した観察者モデル)を想定することで、照明環境さえ計測すれば、誰にでも容易にグレアを計算できるようにしたいという実用面での要請もあるが、最も本質的な問題は観察者が感じているグレアを計測すること自体が難しく、いわゆる主観評定法以外に確立されていない点にある。

また、グレア知覚量の個人差を無視し得ない状況については、例えば眼疾病によるグレア(あるいは羞明)を挙げることができる。ただし、この場合も知覚されるグレアの程度は患者からの主訴に頼らざるを得ないことが多い。特に医療現場では治療効果を確認するために、それぞれの患者ごとにグレア知覚量を知る必要があるが、当然のことながら、グレア知覚量は患者の状態に依存して変化するため、照明などの環境要因にその答えを見つけることはできない。患者が感じている「痛み」を定量することが未だ難しいことと本質的には同じ問題である。

これまで研究代表者は主に、認知科学的な観点から認知状態を反映する生体反応、特に瞳孔反応に焦点を当て研究を進めてきた。グレア知覚とは別の観点から、瞳孔の色覚特性計測への応用を試みたところ、色覚特性の変化に対して自覚的症狀が無い白内障・緑内障患者(多くは高齢者)についても、色覚特性の変化を瞳孔反応によって捉えることが可能であった。そのことが契機となり、グレアという主観量についても他覚的に捉えることが可能では無いか、と考えるようになった。すなわち、主観的経験であるグレアの定量に貢献できる可能性が高いこと、またグレアが錯視現象であることに着目し、視覚刺激の物理的要因ではなく、グレアによる知覚的あるいは認知的な影響がその他の知覚や認知に与える影響を調べる事が可能であると考えた。

2. 研究の目的

グレア刺激と平均輝度が同一であるコントロール刺激(図1)を用い、知覚的な明るさ増強効果が与える様々な影響を行動実験及び瞳孔計測により定量することを目的とする。主に1) グレア効果が明るさ知覚及び瞳孔反応に与える影響、2) グレア刺激の色の違いが明るさ知覚及び瞳孔反応に与える影響、3) グレア刺激による明るさ増強が時間知覚に与える影響、について調査することを目的とした。



図1: グレア刺激(左)とコントロール刺激(右)の例

3. 研究の方法

キャリアプレートされたディスプレイ上にグレア刺激あるいはコントロール刺激を提示し、実験参加者には例えば中央部の明るさに対する課題(マッチング課題、比較課題など)を課し、同時に瞳孔系を計測した。眼球運動および瞳孔系は eye-tracking system (EyeLink 1000, SR Research, Oakland, Canada)を利用した。

4. 研究成果

4-1) グレア刺激とコントロール刺激に対する瞳孔反応

まず、グレア刺激に対する瞳孔反応の基礎特性を明らかにするために、様々な輝度コントラストに対するグレア刺激及びコントロール刺激(図2)に対する瞳孔反応を計測した。その結果、輝度コントラストが大きくなるに伴って、瞳孔系は縮瞳したが、グレア刺激とコントロール刺激に対する瞳孔反応にさが見られたのは、最も輝度コントラストが大きな条件でのみであった(図3)。すなわち、グレア刺激による明るさ

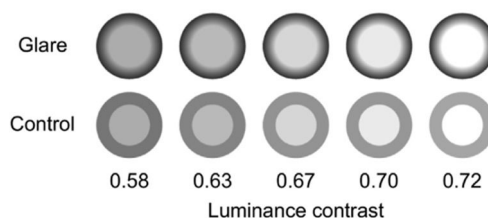


図2: 様々な輝度コントラストのグレア刺激とコントロール刺激の例

増強に加えて、眩しさを感じた際に瞳孔系にその影響が現れることが分かった。

4-2) 色が異なる等輝度グレア刺激に対する瞳孔反応と主観的な明るさの計測

次に、グレア及びコントロール刺激の色を操作した刺激(図4)に対する瞳孔反応を調べた。これらの刺激は全て同一輝度であったが、グレア刺激に対する反応がハロ刺激に対するそれよりも大きいことに加えて、青色グレアに対する反応が最も大きいことが分かった(図5)。反応のダイナミクスを考えると青色刺激が ipRGC を賦活することによる影響は小さく、むしろ認知的な要因、例えば青色とグレア状の輝度勾配から想像される太陽のような高輝度刺激に対する防衛反応として説明する方が妥当であろうと考えている。

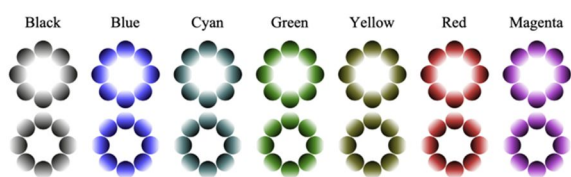


図4: 様々な色グレア

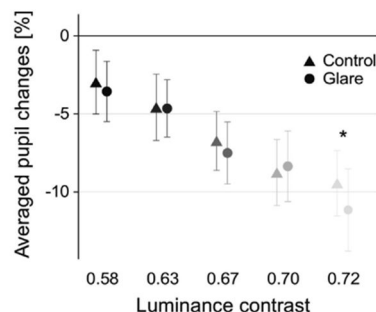


図3: 輝度コントラストと動向変化量

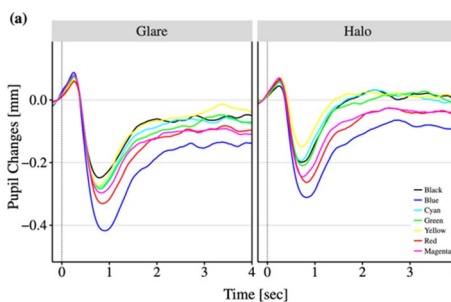


図5: 色グレアに対する瞳孔反応

4-3) 主観的な明るさと時間知覚、それに付随した瞳孔反応の関係

2種類のグレアあるいはコントロール刺激を続けて提示し、それらの提示時間の長い方を回答する手続きにより、刺激条件と時間知覚の関係を調べた(図6)。グレア刺激はより明るく知覚されるため、これまで古くから支持されているマグニチュードモデルによれば、グレア刺激をコントロール刺激より長い時間提示されたらと知覚すると予測された。しかしながら、実際の結果は逆にグレア刺激をより短い時間提示されたらと知覚された。同時に計測した瞳孔反応はグレア刺激に対するものがより大きな縮瞳を示しており、この結果から縮瞳によって網膜に到達する光強度が減少し、神経活動が弱まったことによるものと考察した。

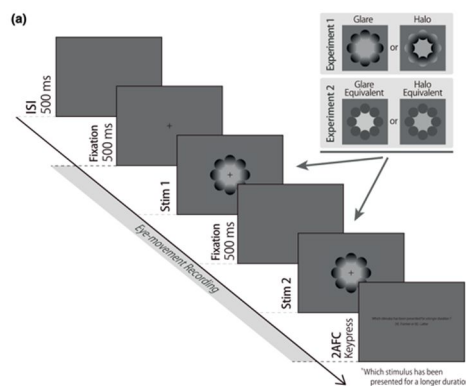


図6: グレア刺激を用いた時間知覚実験

いずれの結果も、瞳孔は刺激の物理的な輝度よりもむしろ主観的な明るさ感を反映すること、逆に瞳孔反応を揃えるような物理刺激に対しては主観量も同程度となり、瞳孔反応は主観量を定量的に計測する有用な手がかりとなることを示している。瞳孔系は明るさ知覚に限らず、様々な主観的知覚の程度や質を反映することが期待される。したがって、これまで自己申告やアンケートに依存していた主観量をより他覚的に把握する一方法として瞳孔計測は有用であり、光感受性障害など純粋に主観量にのみ症状が現れる場合の客観的判断の足掛かりとなるほか、視覚的デザインの効果や誘目性などの客観評価への展開も期待できる。

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 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Suzuki Yuta, Minami Tetsuto, Nakauchi Shigeki	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 Suzuki Yuta, Minami Tetsuto, Laeng Bruno, Nakauchi Shigeki	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 102882 ~ 102882
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 Suzuki Yuta, Minami Tetsuto, Nakauchi Shigeki	4. 巻 8
2. 論文標題 Association between pupil dilation and implicit processing prior to object recognition via insight	5. 発行年 2018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/s41598-018-25207-z	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 Kinzuka Yuya, Sato Fumiaki, Minami Tetsuto, Nakauchi Shigeki	4. 巻 1
2. 論文標題 Effect of glare illusion induced perceptual brightness on temporal perception	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Psychophysiology	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/psyp.13851	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Suzuki Y, Onodera K, Minami T, Nakauchi S
2. 発表標題 Evaluation of color-vision deficiency test based on pupil oscillations
3. 学会等名 42nd European Conference on Visual Perception (ECVP2019, Leuven, Belgium) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Suzuki, T. Minami, S. Nakauchi
2. 発表標題 The differential effect of glowing appearance in the glare illusion: evidence from pupillometry
3. 学会等名 Vision Sciences Society 2018 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Suzuki, Y., Minami, T., Nakauchi, S.
2. 発表標題 Pupil dilation reveals the implicit prior processing of the insight to the hidden image
3. 学会等名 Vision Sciences Society 17th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 グレア知覚検査装置及びグレア知覚検査方法	発明者 廣瀬 秀顕, 中内 茂樹, 田中 芳樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-027664	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	南 哲人 (Minami Tetsuto) (70415842)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (13904)	
研究分担者	東 広志 (Higashi Hiroshi) (70734474)	京都大学・情報学研究科・助教 (14301)	

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