

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25590201

研究課題名(和文) 瞳孔反応を指標とした注意機能の客観的測定

研究課題名(英文) Objective investigation of attention using pupillometry

研究代表者

木村 英司 (Kimura, Eiji)

千葉大学・文学部・教授

研究者番号：80214865

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、注意課題として損失-利得課題を用い、先行手がかりにより空間的注意を操作し、ターゲット刺激に対する瞳孔反応を検討した。その結果、輝度増分刺激に対する縮瞳と、輝度減分刺激に対する散瞳のそれぞれにおいて、瞳孔反応の振幅が注意によって明確に変調されることが明らかとなった。この結果は、瞳孔反応が空間的注意をする上で有効な客観的指標となりうることを強く示唆している。

研究成果の概要(英文)：This study investigated whether the pupillary response can be modulated by spatial attention when the location of a visual target was precued in an attentional cuing paradigm. Results clearly showed that stimulus-driven attentional shifts can modulate both pupillary constrictions to luminance increments and pupillary dilations to luminance decrements. These findings strongly suggest that the pupillary response can be a useful objective index of spatial attention.

研究分野：実験心理学

キーワード：瞳孔反応 注意 心理物理学 瞳孔計測

### 1. 研究開始当初の背景

人間の心の動きを科学的な手法を用いて外部から読み取るうとする試みは、古くから研究者の関心を引きつけてきた。最近では、脳機能イメージングで得られる脳活動信号を、神経デコーディング技術を用いて解析する研究も進められている。しかしこうした手法は、高価で、大型の装置を必要とし、特殊な実験室環境に限定されており、日常場面への応用は未だ現実的ではない。

これに対して、心理状態を反映する別の生理学的指標として、瞳孔反応(瞳孔径の変化)が挙げられる。瞳孔が光の強度だけではなく、認知的活動によっても影響を受けることは、先行研究により確立されている(Just & Carpenter, 1993)。さらに瞳孔反応は、ビデオ撮影により非侵襲かつ非接触のまま容易に計測が可能である。こうした特徴を考慮すると、目的を限定するのであれば、瞳孔反応を指標として、日常場面での人間の認知活動を客観的に読み取ることが可能であると考えられる。本研究では、特に注意に焦点を当てて研究を進める。人間の注意の動きを、研究協力者に負荷をかけずに、容易に測定できる手法が開発できた場合に、それが基礎研究および応用研究にもたらすメリットは多大なものがある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、心理状態を反映する生理学的指標として瞳孔反応に注目し、視覚課題遂行時の観察者の注意機能の変化を、瞳孔反応を用いて客観的に計測できることを示すことにある。

瞳孔反応を指標として認知活動を計測しようとする際に問題となるのが、瞳孔計測におけるS/N比の低さである。瞳孔の大きさは、刺激の変化(特に輝度の変化)、覚醒水準や疲労、感情の動きなどさまざまな要因によって変動する。このため、信頼性の高いデータを得るには、数十から数百試行に及ぶ多数回の反復測定を行い、加算平均などによりS/N比を改善する必要がある。本研究の当初の目的は、時系列解析の手法を用いて、こうした問題点を解決し、さらには個人差の大きさをも克服して、リアルタイムで注意の変化を計測する手法を確立することにあった。

しかしながら、初年度に行った探索的な予備実験により、注意による瞳孔反応の変調効果は、刺激駆動により生じる反応と比較してかなり小さく、20~30試行の計測をオフラインで平均化することによってはじめて安定して検出できるような大きさであることが明らかとなった。また、通常の注意課題で用いられるような、小さく、提示時間の短いターゲット刺激では十分な大きさの瞳孔反応が得られにくいという問題点も明らかとなった。

このため、瞳孔反応計測用に刺激調整の行いやすい損失-利得課題を用いて、課題遂行

時の注意の変化を瞳孔計測によりオフラインでモニターできることを確立するとともに、瞳孔反応を指標とした注意計測における留意点をあぶり出すことへと研究の焦点を切り替え、検討を行った。

### 3. 研究の方法

瞳孔径・眼球運動計測装置として、Arrington Research社製MCU400を導入し、専用のソフトウェアを開発することにより、観察者が視覚課題を遂行している間に、リアルタイムで眼球運動と瞳孔径の変化を同時に計測できるシステムを設置した。本研究では、瞳孔径だけでなく眼球運動も同時に計測し、課題遂行中に観察者が凝視点を適切に注視していることを確認した。眼球運動および瞳孔径のサンプリングレートは90 Hzとした。試行中に、注視位置が凝視点から水平もしくは垂直方向に1.5°以上離れた試行は分析から除外した。

注意課題としては、前述の通り、損失-利得課題を用いた(図1)。この課題では、観察者にターゲット刺激の検出を課すが、そのターゲット刺激に先行して手がかり刺激を提示することによって、観察者の空間的注意を操作した。刺激条件としては、注意の変化の効果が大きく表れるようさまざまな設定を検討したが、代表的な刺激条件は以下の通りである。

ターゲット刺激の大きさは、十分な大きさの瞳孔反応が誘発されるよう直径6°とし、画面中央の凝視点から左もしくは右に7°離れた位置に提示した。先行手がかり刺激としては、ターゲット刺激の上および下にあたる位置に黒い長方形を50 msec提示した。刺激条件としては、以下の4種類を設けた。

- 1) 一致条件: ターゲット刺激が提示される側に先行手がかり刺激も提示される(図1)。
- 2) 不一致条件: ターゲット刺激とは逆側に先行手がかり刺激が提示される。
- 3) 中心条件: ターゲット刺激の提示位置とは無関係に凝視点の上下(画面の水平中心)に提示される。
- 4) 手がかりなし条件: 先行手がかり刺激は提示されずにターゲット刺激のみが提示される。

一致条件では、先行刺激によって注意が引きつけられた側にターゲット刺激が提示されるため、ターゲット刺激は効率よく処理され、素早く検出されることが予測される(利得)。その一方で不一致条件では、注意が向けられたとは逆側にターゲット刺激が提示されるため、ターゲットの検出が遅れることが予測される(損失)。本研究では、空間的注意の移動によるこのような損失と利得の効果を、通常の反応時間測定によって確認するとともに、それが同時に計測した瞳孔径の変化としても表れるのかを検討した。

ターゲット刺激としては、白刺激(60 cd/m<sup>2</sup>)と黒刺激(<0.1 cd/m<sup>2</sup>)を用い(背景

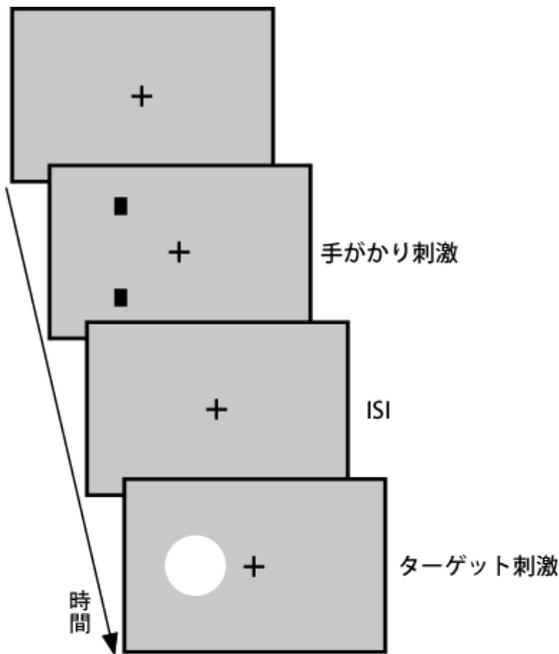


図 1：損失 - 利得課題の刺激系列  
(一致条件)

輝度は  $15 \text{ cd/m}^2$ 、空間的注意の操作が、輝度増分に対する縮瞳反応と、輝度減分に対する散瞳反応のそれぞれに及ぼす影響を検討した。ターゲット刺激の提示時間は  $500 \text{ msec}$  であった。先行手がかり刺激とターゲット刺激の SOA は、 $50, 100, 200, 400 \text{ msec}$  の 4 段階であった。

後述するように、損失 - 利得課題のようにできるだけ早く正確に反応するよう求められる状況においては、課題誘発性の瞳孔反応（試行開始とともに生じ、キー押し反応を行うまで徐々に大きくなっていく散瞳反応）が生じる。この影響を検討するため、通常通りにターゲット刺激に対する反応を求める条件と、刺激系列自体は同じであるが、ただ刺激を観察するのみで反応は行わない条件を設けて実験を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 反応時間

反応時間に関しては、基本的に、損失 - 利得課題を用いたこれまでの空間的注意に関する知見を確認することができた。刺激駆動型注意の影響は SOA が  $100 \text{ msec}$  もしくは  $200 \text{ msec}$  の時に最も強く表れた。一般的に、中心条件と比較して、一致条件では反応時間が短くなり（利得）、不一致条件は逆に長くなること（損失）が確認された。先行刺激なし条件に関しては、個人差が認められ、中心条件と同様に一致条件と不一致条件の間の値を取る場合と、不一致条件よりも反応が遅れる場合とが認められた。先行手がかり刺激の働きとして、ターゲット刺激の提示位置の手がかりとなりうることに加えて、ターゲット刺激の出現を予告する働きがあり、先行刺激な

し条件では後者が与えられないことになるため、以下では、中心条件を、一致条件、不一致条件に対する統制条件とみなす。

##### (2) 瞳孔反応

前述の通り、異なる課題も含めて、さまざまな刺激条件での探索的検討を試みたが、リアルタイムで注意をモニタリングするのに十分な大きさの注意による瞳孔反応の変調効果が認められなかったため、同じ刺激条件を 30 試行程度繰り返した結果をオフラインで平均した瞳孔反応を用い、注意による変調効果を詳細に検討した。

得られた結果は以下の通りである。まず、瞳孔反応においても、統制条件と比較して、一致条件においてはターゲット刺激に対する反応の増幅、不一致条件では反応の減少が確認された（図 2 上）。瞳孔反応の変調は、輝度増分刺激に対する縮瞳と、輝度減分刺激に対する散瞳のそれぞれで認められた。ここで留意すべきなのは、先行手がかり刺激の提示条件にかかわらず、ターゲット刺激は物理的に同一であるということである。物理的に同一な刺激に対する瞳孔反応の大きさが、先行手がかり刺激をどこに提示するかによって変化しており、空間的注意による変調効果であると考えられる。さらに、こうした空間的注意による瞳孔反応の変調効果は、反応時間の結果と一貫しており、反応時間に対する変調効果が大きく生じる SOA 条件で大きく（図 2 上）、逆に反応時間の変調効果が認められない SOA 条件では、瞳孔反応の変調も認められなかった（図 2 下）。空間的注意の操作により、瞳孔反応の反応潜時（ターゲット

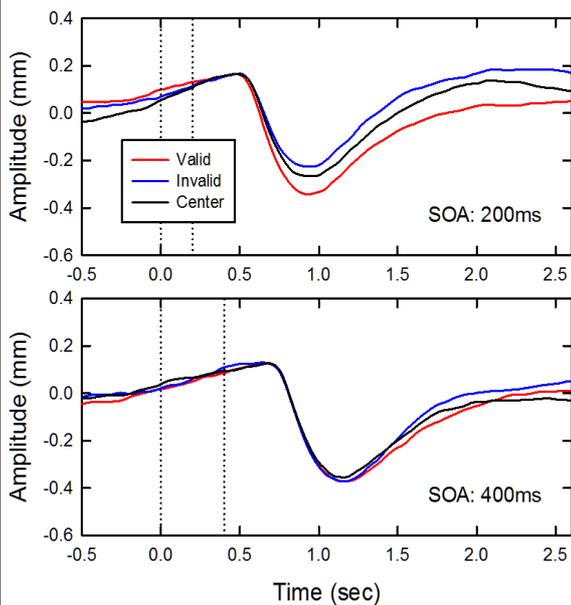


図 2：白色刺激に対する縮瞳反応。SOA が  $200 \text{ msec}$  の時、一致 (valid) 条件で振幅が大きく、不一致 (invalid) 条件で小さくなったが、SOA が  $400 \text{ msec}$  の時には条件間の差はほぼなくなった。

刺激提示から瞳孔反応が生じ始めるまでの時間)の変化も生じるのではないかと予想していたが、少なくとも本研究で用いたサンプリングレート(90 Hz)では、反応潜時における明確な変調効果は確認できなかった。

さらに本研究により、空間的注意による瞳孔反応の変調効果を検討する上で、課題誘発性瞳孔反応の介入が厄介な問題となることが明らかとなった。課題誘発性瞳孔反応は、一般的には散瞳方向のベースラインの変動として特徴づけることができ、振幅がそれほど大きくない場合には、その影響を容易に取り除くことができる。しかしながら、損失-利得課題においては、観察者によってはひじょうに大きく生じることが明らかとなった。ターゲットとして輝度増分刺激を用いた場合、そのコントラストがそれほど大きくないときには、刺激により駆動されるはずの縮瞳反応が、課題駆動性の散瞳反応に埋もれてしまい認められなくなることもあった。また、ターゲット刺激として輝度減分刺激を用いた場合には、刺激駆動性と課題誘発性の散瞳反応が重なってしまい、両者の分離がきわめて困難であった。

こうした課題誘発性瞳孔反応の介入の影響を詳しく検討するため、標的刺激の検出をせずに単に刺激を観察するよう求めたところ、この操作により、課題誘発性瞳孔反応はかなり抑えられることが確認された。ターゲット刺激の検出反応を行う場合と行わない場合で比較したところ、輝度増分刺激に対する反応を求めた条件では、十分にコントラストが高く、刺激誘発性の縮瞳が明確に確認できる場合であっても、課題誘発性の散瞳反応により縮瞳が抑えられていたことが明らかとなった。また、ターゲット刺激に対する反応を求めない条件下では、特に輝度減分刺激に対する瞳孔反応において、注意による瞳孔反応の変調がより明確に現れることが観察された。

以上から、課題誘発性の瞳孔反応の介入は、ターゲット刺激に対する観察者の直接的反応を求めないことにより、かなり抑えることができ、空間的注意による変調効果もより明確に検討できることが示唆された。このように、単に刺激を観察することを観察者に求めるだけの状況であっても注意の効果を検討できることは、不随意的反応である瞳孔反応の注意研究における有効性を強く支持するものだと言える。今回おもに検討したのは、刺激駆動型の空間的注意の影響であるが、今後は能動的に注意を特定の場所に向けたときの瞳孔反応の変化なども検討していく必要がある。

全体として、本研究の結果は、瞳孔反応が注意機能を計測する上で有用な生理学的指標となりうることを強く示唆している。ただし、本研究が当初目指していたオンラインでの注意機能のモニタリングのためには、今後さらなる方法論上での改善が必要であろう。

## 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 1件)

Kimura, E., Abe, S., & Goryo, K. (2014). Attenuation of the pupillary response to luminance and color changes during interocular suppression. *Journal of Vision*, 14(5):14, 1-15, doi: 10.1167/14.5.14. (査読有)

[学会発表](計 1件)

Kimura, E. (2013) Pupillometric investigation of interocular suppression, 9th Asia-Pacific Conference on Vision, Suzhou (China), July 7, 2013.

[図書](計 0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.psy.l.chiba-u.ac.jp/labo/vision1/index.html>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

木村 英司 (KIMURA EIJI)

千葉大学・文学部・教授

研究者番号：80214865

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

( )

研究者番号：