

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月24日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22530789

研究課題名（和文） 異眼間競合時の知覚に関する他覚的・瞳孔計測的研究

研究課題名（英文） Objective and pupillometric investigation of visual perception during interocular competition

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

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、異眼間競合時の知覚と瞳孔反応の対応関係の検討し、視知覚を他覚的に検討する指標としての瞳孔反応の有用性を探ることであった。本研究の成果は以下の通りである。

(1) 異眼間競合を利用して、物理的に同一の刺激変化により異なる知覚変化を生じさせたとき、明るさの増加、減少、色の変化に関しては、知覚の変化に対応した瞳孔反応の変動が確認された。(2) 知覚反応と瞳孔反応に関して、異眼間抑制が及ぼす効果を検討したところ、刺激の検出閾と瞳孔反応閾、反応時間と瞳孔反応の潜時などにきわめて類似した特性が確認された。以上の結果は、異眼間競合時の知覚処理の他覚的指標として、瞳孔反応がきわめて有用であることを強く支持するものである。

研究成果の概要（英文）：

The objectives of this study were to investigate whether the pupillary response exhibits changes correlated with visual perception during interocular competition and to explore usefulness of the pupillometry as an objective method to assess interocular interaction. The findings can be summarized as follows. (1) By taking advantage of interocular competition, different perceptual changes can be produced with a physically identical stimulus sequence. This study demonstrated that when different brightness changes (brightness increment and decrement) and color changes were produced using this technique, the pupillary response exhibited percept-related changes. (2) Effects of interocular suppression were comparable when assessed with perceptual and pupillometric measures. Both threshold elevation and response delay caused by interocular suppression were very similar between the two measures. These findings strongly suggest that the pupillary response can be a useful noninvasive objective measure for investigating interocular interaction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：瞳孔反応、両眼視、異眼間競合、視野闘争、瞳孔計測、心理物理学

1. 研究開始当初の背景

異眼間競合は、大きく異なる刺激を左右それぞれの眼の対応部に提示することにより生じる知覚的葛藤状態を指し、その代表例が視野闘争である。視野闘争時には、競合の結果、各眼の刺激が交互に入れ替わって知覚されるなど、単独であればはっきりと知覚される単眼刺激が完全に抑制され知覚されなくなるといった強力な抑制現象が生じる。こうした異眼間競合の検討は、両眼間での情報統合がどのようになされるのかを理解する上で重要であるとともに、異眼間競合時には刺激自体は不変であっても対応する見えが時間的に変動しうることから、刺激と知覚内容との対応関係を理解する上でも重要な現象である。

これまで我々は異眼間競合の研究を進めてきたが、その研究の特色は、異眼間競合を検討する上で心理物理実験だけでなく瞳孔計測実験を行うことにある。瞳孔反応に関しては、輝度変化に対する応答がよく知られているが、色、空間パターン、運動など、さまざまな視覚属性の変化に対しても瞳孔は応答する。異なる視覚属性の変化に対する瞳孔反応は、多様な視覚経路の寄与を受けていることが明らかにされており、さらに、瞳孔反応の基礎となる視覚過程は、視知覚を媒介する過程と類似・共通した特性をもつことを示す数多くの証拠が提供されている。このため、不随意的生理反応である瞳孔反応は、視覚研究における他覚的・非侵襲的指標として活用できるだけでなく、瞳孔反応を媒介する視覚経路に関する知見を援用することで、さまざまな視覚現象に寄与する視覚経路を特定するためにも利用できると考えられる。我々はこうした考えのもとで研究を進めており、すでに、瞳孔反応においても異眼間競合による抑制効果が認められ、抑制時には瞳孔反応の振幅が減少すること、また、この抑制効果は、皮質の視覚過程だけでなく皮質下にも及ぶことを示唆する結果を得てきた。

さらに最近の我々の研究により、視野闘争を利用して同一の刺激系列によって異なる知覚を生じさせた場合に、瞳孔反応が知覚変化に対応した変動を示すことが明らかとなってきた。例えば、左右の眼の対応部にそれぞれ白円と黒円を提示すると、視野闘争が生じ、ある時には白円が、別の時には黒円が知覚される。そこで、白円のみが知覚された時にボタンを押すよう観察者に教示し、それに応じて、ブランクをはさんで左右眼に白円を提示すると、知覚される変化は白→白となる。しかし、視野闘争時に黒円が知覚されたらボタンを押すよう教示し、同じ刺激変化を生じさせることで、知覚される変化を黒→白とす

ることができる。このように物理的に同一の刺激系列により異なる知覚的变化を生じさせる条件下で瞳孔反応を測定したところ、その振幅は、知覚される明るさの変化が大きい黒→白条件においてより大きくなった。ここで重要なのは、測定したのが輝度変化に対する瞳孔反応であるという点である。先行研究により、輝度変化に対する瞳孔反応は皮質下の視覚経路により媒介されていると考えられていることから、我々の研究結果は、刺激変化によらない知覚内容の変化に対応する神経活動の影響が皮質下にまで及び、不随意反射である瞳孔反応に反映されることを示唆している。この結果はまた、瞳孔反応を用いて、知覚内容の変化を他覚的に検討できる可能性を示唆している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、異眼間競合時の知覚と瞳孔反応の対応関係の検討を通じて異眼間競合の基礎メカニズムを解明するとともに、視知覚を他覚的に検討する指標としての瞳孔反応の有用性と限界を探ることにある。具体的な検討課題は、以下の3つである。

(1) 異眼間競合時の知覚変化と瞳孔反応の変化との対応関係の多角的検討

明るさの増大に関して示された知覚と瞳孔反応の変化の対応関係を、明るさの減少、そして、色度、空間パターンなどといった他の視覚属性の変化を用いてさらに検討する。これにより、不随意反応である瞳孔反応が主観的経験である見えと対応する形で変化するのは、どのような視覚属性を変化させた場合なのかという問題を明らかにする。輝度変化に対する瞳孔反応は皮質下の視覚過程により媒介されているが、色度などの変化に対する瞳孔反応には皮質の視覚過程が関与していることが示されているため、この課題の検討は、皮質と皮質下の視覚過程がそれぞれ関与する際に、知覚内容と瞳孔反応の対応にどのような違いが見られるのかを明らかにすることにもつながる。

さらに、明るさの実験に関しては、観察者の数を増やしてこれまでの知見の一般性を検討するとともに、知覚と瞳孔反応の対応に見られる個人差についても検討を加える。

(2) 眼間競合と刺激間競合の瞳孔反応への寄与の検討

現在の視野闘争のモデルは階層的処理を仮定しており、提示眼に基づいて知覚的競合を解決する処理レベルと、刺激属性に基づいて解決する処理レベルの両方を想定している。そして、前者は視覚処理の初期段階であ

る単眼処理レベルに、後者はより高次の処理レベルに対応づけられている。こうした階層的競合処理の検討は、両眼間での情報統合メカニズムを理解する上できわめて本質的な問題である。これを踏まえて本研究では、明るさ操作実験において、眼間競合と刺激間競合を分離しうる刺激条件を用いて検討を進め、瞳孔反応に反映されるのはどのレベルの競合なのかを明らかにする。

(3) 知覚の抑制と瞳孔反応の抑制との対応の多角的検討

これまでの多くの実験において、知覚反応と瞳孔反応の間に密接な対応関係が認められてきているが、本研究では、この対応関係がどの範囲まで成立するかを網羅的に検討する。具体的には、異眼間抑制により生じる知覚の抑制と瞳孔反応の抑制に関して、両者の対応がどこまで認められるのかを、多様なコントラスト範囲（検出閾近傍から閾上のコントラスト）、反応強度に関わる測度（閾値と反応振幅）、反応潜時に関わる測度（反応時間と瞳孔の反応潜時）などに関して多角的に検討する。こうした検討を通じて、異眼間抑制に関する他覚的指標としての瞳孔反応の有用性と限界を探る。

3. 研究の方法

(1) 異眼間競合時の知覚変化と瞳孔反応の変化との対応関係の多角的検討

① 明るさの増大および減少に関する検討

刺激系列が物理的に同一であっても、見かけの明るさの減少が大きい場合に大きな散瞳が生じるか否かを検討するため、刺激系列を変更し検討を行った。先行研究においては、先行する闘争刺激（第1刺激）と後続する第2刺激の間にブランク刺激を挿入していたため、刺激の切り替えの際に常に輝度の増加が生じていた。本研究では、ブランク刺激を挟まずに第1刺激と第2刺激を直接切り替えることにより輝度の減少の生じる条件も設定し、見かけの明るさの変化と瞳孔反応の変化の対応関係を検討した。

② 色、パターン刺激を用いた検討

輝度刺激の場合と同様の手続きを用いて、色刺激やパターン刺激に関しても、異眼間競合時の知覚と瞳孔反応の変化との対応関係を検討した。例えば、色刺激の場合には、一方の眼に赤刺激、他方の眼に緑刺激を第1刺激として提示して視野闘争を生じさせ、一方が優勢となった後に両眼に赤刺激（もしくは緑刺激）を第2刺激として提示した。このように同一の刺激系列で異なる知覚変化を生じさせた状況下で、瞳孔反応を計測した。パターン刺激についても同様の検討を行った。

(2) 眼間競合と刺激間競合の瞳孔反応への寄与の検討

この課題では、視野闘争時の知覚が眼間競合と刺激間競合のいずれに基づくかを特定できる条件を設定し、その条件の下で知覚変化と瞳孔反応の変化との対応を検討した。このため、第2刺激も闘争刺激とした刺激条件において、刺激の提示眼を入れ替える条件と入れ替えない条件を設けた（第1刺激が左眼に白刺激、右眼に黒刺激である場合、入れ替え条件では左眼に黒刺激、右眼に白刺激を提示した）。ここで、もし第1刺激に対する知覚が眼間競合により決まっているならば、第2刺激を提示した際にも優勢眼の刺激が知覚されるはずである（最初に白刺激が優勢であれば、入替条件では黒刺激、非入替条件では白刺激が優勢となる）。これに対して、刺激間競合が生じている場合には、優勢な属性をもつ刺激が知覚されるはずである（最初に白刺激が優勢であれば、入替条件でも非入替条件でも白刺激が知覚される）。

(3) 知覚の抑制と瞳孔反応の抑制との対応の多角的検討

この課題では、持続的フラッシュ抑制と同様の刺激事態において知覚反応に異眼間抑制効果が認められる際に、瞳孔反応にも同様の抑制が認められるかを検討した。持続的フラッシュ抑制とは、一方の眼にダイナミック・ランダムノイズを提示している間に他方の眼に検査刺激を提示すると、その検査刺激が持続的に抑制される現象を指す。本研究では、ダイナミック・ランダムノイズの代わりに高コントラスト（0.5）の縞刺激を5Hzで位相を反転させフリッカー提示することにより異眼間抑制を生じさせ、知覚反応の抑制と瞳孔反応の抑制との対応関係を、輝度刺激と色刺激に関して、閾下から閾上の広いコントラスト範囲において、知覚反応としては検査刺激の検出閾と検出反応時間を測定し、検討した。なお、瞳孔計測実験を行う前に心理物理実験を行って、抑制効果の空間特性選択性に関する定量的解析も行った。

4. 研究成果

(1) 異眼間競合時の知覚変化と瞳孔反応の変化との対応関係の多角的検討

① 明るさの増大および減少に関する検討

白刺激と黒刺激を用いて行った明るさ操作実験により、刺激の明るさ増加に対する縮瞳反応だけでなく、明るさ減少に対する散瞳反応においても、見かけの明るさ変化に対応した瞳孔反応の振幅の変動が確認された。すなわち、物理的な刺激系列が同一であっても、刺激の見かけが白→白と変化する場合よりも、白→黒と変化する場合に、より大きな散瞳反応が生じた。ここで、先行研究によれば、

光強度変化に対する瞳孔の収縮と散大は、異なる中脳神経核により制御されている。そのいずれもが知覚に対応した変動を示すという本研究の結果は、皮質での異眼間抑制処理が複数の皮質下神経核に対して広範な影響を及ぼしていることを示唆している。ただし、瞳孔反応は見かけの明るさによって完全に制御されているわけではなく、知覚が白→白あるいは黒→黒と大きくは変化しない場合であっても、刺激の物理的強度が増加した場合には縮瞳が、減少した場合には散瞳が生じた。この結果は、知覚処理の基盤となる皮質での神経活動が直接的に瞳孔反応を駆動しているというよりも、瞳孔反応の駆動自体は皮質下経路によりなされ、それを皮質での異眼間抑制処理が変調しているという解釈と一貫するものである。

さらに、明るさ操作実験に関しては、観察者の数を増やし、知覚に対応した瞳孔反応の変化の一般性を検討した。その結果、明るさの減少に対応した散瞳の変化は、調べた観察者全員で見られたのに対して、明るさ増大に対応した縮瞳の変化に関しては、あまり顕著ではない観察者が数名認められた。このような異眼間抑制の影響の表れ方の個人差は、縮瞳と散瞳において反応制御過程が異なることを反映していると考えられる。この結果は、また、異眼間抑制の客観的指標として利用する場合、散瞳反応の方が縮瞳反応よりも適していることを示唆している。

②色、パターン刺激を用いた検討

色やパターン刺激を用いた研究においては、刺激により誘発される縮瞳反応の振幅が光強度変化に対する反応と比較して小さく、実験条件に対応した反応の変化が検出しにくいという問題があった。このため、条件間で瞳孔反応に違いが認められない場合に、そもそも知覚の変化と瞳孔反応の変化に対応関係がないのか、反応の変化が小さすぎて検出できないのかを区別することが著しく困難であった。このため、刺激条件をさまざまに変えて探索的に実験を行ったが、色刺激を用いた研究に関しては、最終的に、等輝度で彩度の高い刺激を用いることで、色の知覚変化に対応した瞳孔反応の変化を確認することができた。しかしながら、瞳孔反応の変化は、物理的な刺激系列が同じであっても、見かけの色が赤（緑）→緑（赤）と変化する場合の方が、赤（緑）→赤（緑）と推移する場合よりも小さくなるという結果が得られた。これは、見かけの色コントラスト変化が大きい場合により大きな縮瞳反応が誘発されるであろうという実験前の予測とは逆の結果であった。見かけの色の変化に対応した瞳孔反応の変調メカニズムに関しては未だ明らかではないが、明るさと色とでは、瞳孔反応

に対する異眼間抑制の効果が大きく異なることを示す興味深い知見である。この色刺激を用いた研究に関しては、今後もさらに検討を進める予定である。

(2) 眼間競合と刺激間競合の瞳孔反応への寄与の検討

眼間競合と刺激間競合が闘争刺激の知覚にどのように寄与しているかに関して、明るさ操作実験において検討したところ、大きな個人差があることが明らかとなった。白-黒刺激を用いて、提示眼入替条件と非入替条件を設けて検討した結果、第2刺激に対して報告された知覚は、観察者間で一貫しなかった。また、どちらの刺激が知覚されるかだけでなく、知覚の試行間一貫性にも個人差があり、ほぼ一貫してどちらか一方の刺激を報告する観察者もいれば、試行によって報告する刺激が大きく変動する観察者もいた。こうした眼間競合と刺激間競合の相対寄与の個人差にもかかわらず、見かけの明るさの増大が大きい場合には、より大きな縮瞳が観察された。これらの結果から、瞳孔反応は眼間競合と刺激間競合のいずれをも反映し、知覚と同様の相対寄与を示すと考えられる。こうした特徴は、異眼間抑制の他覚的指標としての瞳孔反応の有用性を強く示唆するものである。

(3) 知覚の抑制と瞳孔反応の抑制との対応の多角的検討

この課題では、瞳孔計測実験を行う前に、心理物理実験によって持続的フラッシュ抑制の基礎メカニズムに関して検討を加えた。その結果、持続的フラッシュ抑制は、空間周波数および方位に選択的な異眼間抑制を基礎としており、抑制刺激として使われるノイズパターン（通常はモンドリアンパターン）が多様な空間周波数成分および方位成分を含んでいることにより、強力な抑制が生じることを示唆する結果を得た。この結果に基づき、瞳孔計測実験においては、抑制刺激としてフリッカー提示した縮瞳刺激を用いた。

異眼間抑制の効果に関しては、輝度刺激と色刺激を用いて検討を行ったが、知覚と瞳孔反応の対応はきわめて密接であった。刺激の検出閾は縮瞳反応の振幅を用いて測定された瞳孔反応閾とほぼ等しく、閾上刺激に関しても、反応時間に基づいて定量化された抑制効果と縮瞳反応の振幅に基づく抑制効果は同様の傾向を示した。さらに、閾上刺激であっても刺激の知覚的検出に要する時間は異眼間抑制条件で遅くなったが、こうした反応時間と瞳孔反応潜時との間にも対応関係が認められ、同様の反応遅れが認められた。異眼間抑制による抑制効果は、知覚反応と瞳孔反応のどちらにおいても、また、輝度刺激と色刺激のいずれにおいても同様に、0.2~0.3

log 程度であった。知覚反応と瞳孔反応におけるこうした密接な対応関係は常に認められるわけではなく、実際に、縞刺激を用いた我々の先行研究においては、縮瞳反応における異眼間抑制の空間周波数選択性が、検出閾による測定結果とは異なることも確認されている。知覚反応と瞳孔反応の抑制がどこまで対応するのは、今後さらに検討を加えて明らかにしていく必要があるが、これまでの研究に基づくと、対応が認められる場合の方が一般的であり、こうした知見は、異眼間抑制の他覚的指標としての瞳孔反応の有用性を強く支持するものである。

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3件)

- ① 木村英司 (2012) 「瞳孔計測による視覚処理の検討 ー色処理と異眼間抑制ー」日本色彩学会視覚情報基礎研究会第14回研究発表会論文集, 査読無, 3-8 (CSA-FVI-2012-21)
- ② Abe, S., Kimura, E., & Goryo, K. (2011) Eye- and feature-based modulation of onset rivalry caused by the preceding stimulus. *Journal of Vision*, 査読有 11(13): 6, 1-18, doi: 10.1167/11.13.6.
- ③ Kimura, E. & Young, R. S. L. (2010) Sustained pupillary constrictions mediated by an L- and M- cone opponent process. *Vision Research*, 査読有, 50, 489-496.

[学会発表] (計7件)

- ① Kimura, E., Hidaka, A. & Goryo, K. Spatial configuration of faces and Japanese characters differently affects perceptual dominance in binocular rivalry, 35th European Conference on Visual Perception, Alghero, Italy, September 3, 2012.
- ② Kimura, E., Sawayama, M. & Goryo, K. Spatial-frequency selectivity of interocular suppression caused by dynamic stimuli, 12th Annual Meeting of Vision Sciences Society, Naples, Florida, U.S.A., May 12, 2012.
- ③ 御領謙・日高啓子・木村英司・阿部悟 「顔の正立・倒立像を刺激とする Flash Binocular Rivalry における先行提示顔

の効果」日本基礎心理学会第30回大会, 2011年12月4日, 慶應義塾大学日吉キャンパス.

- ④ Kimura, E., Abe, S. & Goryo, K. Perceptual misbinding of color and motion induced by modulative effects of preceding stimuli on binocular rivalry, 11th Annual Meeting of Vision Sciences Society, Naples, Florida, U.S.A., May 7, 2011.
- ⑤ 阿部悟・木村英司・御領謙 「単眼提示された要素運動と異眼間で合成されたパターン運動が色と運動の誤結合に及ぼす影響」日本基礎心理学会第29回大会, 2010年11月27日, 関西学院大学.
- ⑥ Abe, S., Kimura, E. & Goryo, K. Effects of the combination of color and orientation on resolution of binocular rivalry, 10th Annual Meeting of Vision Sciences Society, Naples, Florida, U.S.A., May 8, 2010.
- ⑦ Kimura, E., Abe, S. & Goryo, K. (2010) Percept-related changes found in the pupillary constrictions to physically-identical, dichoptic luminance changes, 10th Annual Meeting of Vision Sciences Society, Naples, Florida, U.S.A., May 8, 2010.

[その他]

ホームページ等

<http://www.psy1.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: