

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007 ～ 2009
 課題番号：19530650
 研究課題名（和文） 両眼情報の統合メカニズムに関する心理物理学的・瞳孔計測的研究
 研究課題名（英文） Psychophysical and pupillometric investigations of visual mechanisms underlying binocular integration
 研究代表者
 木村 英司（KIMURA EIJI）
 千葉大学・文学部・准教授
 研究者番号：80214865

研究成果の概要（和文）：

本研究では、視野闘争などの諸現象を取り上げて、両眼情報の統合メカニズムを検討するとともに、知覚内容の変化と瞳孔反応との対応関係について検討した。瞳孔計測実験においては、瞳孔反応が異眼間抑制を検討するための客観的指標として利用できることを示す証拠を提供するとともに、刺激変化だけでなく見かけの明るさの変化にも対応した変動を瞳孔反応が示すことを明らかにした。闘争刺激の見えの変調現象を利用した心理物理実験においては、刺激提示眼に基づく両眼情報の統合処理と刺激属性に基づく統合処理がなされる刺激条件を明らかにした。また実験結果から、刺激属性に基づく統合処理には、色や方位などの視覚属性を個別に処理する初期視覚過程だけでなく、視覚属性の組み合わせに対して選択的に応答する視覚過程など、複数の過程が関与することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

Using interocular suppression phenomena such as binocular rivalry, this study investigated visual mechanisms underlying binocular integration and correlations between perceptual changes and pupillary responses. In the pupillometric experiments, we provided converging evidence supporting the idea that the pupillary response can be used as an objective index for investigating interocular suppression. Moreover, we showed that the pupillary response exhibits amplitude modulation correlated with changes in percept (brightness) as well as in physical stimulation. In the psychophysical experiments investigating visibility modulation of rivalrous stimuli, we clarified stimulus conditions favoring binocular integration based on the stimulated eye and those favoring integration based on stimulus features. The present results also suggested that the feature-based binocular integration involves multiple visual processes, including the early processes encoding different aspects of visual stimuli separately as well as the processes selective to the combination of different features.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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、視野闘争、心理物理学

1. 研究開始当初の背景

(1) 両眼情報の統合メカニズム

ヒトは左右2つの眼をもち、各眼には異なった像が形成されている。このため、左右眼からの情報を統合して単一の視覚像を構築することは外界を認識する上で根本的な課題であり、こうした情報統合がどのように行われるのかを明らかにすることは、ヒトの視覚のメカニズムを理解する上できわめて重要である。日常場面においては、こうした両眼情報の統合処理の複雑性は必ずしも明らかではないが、視野闘争をはじめとする異眼間競合現象においてそれが顕著に現れる。視野闘争とは、左右眼の対応部に異なる像を提示することで生じる知覚的葛藤状態であり、視野闘争の際には、各眼に提示された刺激が交互に入れ替わったり、各眼の刺激が部分的に入り混じって知覚されたりする。視野闘争時の知覚は、一方の刺激像が意識から完全に取り除かれてしまったり、左右眼の刺激が複雑に組み合わせられたりすることを示しており、両眼情報の統合が複雑な視覚処理に基づいていることを明らかにしている。また、視野闘争の際には、刺激自体は不変であっても、それに対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。本研究では、視野闘争などの諸現象を取り上げて、両眼情報の統合メカニズムを検討するとともに、刺激変化と知覚内容との対応関係についても検討を加える。

(2) 闘争刺激の見えの変調現象を用いた心理物理学的研究

視野闘争時には刺激の競合が生じ、一方が抑制され他方が優勢となる。こうした優勢/抑制の決定に関しては、提示眼に基づく競合によるという説と刺激属性に基づく競合によるという説が提案されており、そのいずれを支持する証拠も報告されてきた。競合の解決処理が提示眼と刺激属性のどちらに基づくのかという問題は、両眼情報の統合が視覚処理の初期段階である単眼処理レベルで生

じるのか、それとも要素の群化処理などを経た高次のレベルで生じるのかといった問題に密接に関係しており、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。

こうした視野闘争における優勢と抑制の決定メカニズムを検討する格好の現象として、闘争刺激の見えの変調現象が挙げられる。見えの変調現象とは、闘争刺激の見えが、先行して提示された刺激の影響を受けて変わること指す。この現象においては、先行刺激と検査刺激の組み合わせを系統的に操作することで、検査刺激の見えが刺激提示眼に基づいて決まっているのか、刺激属性に基づいて決まっているのかを明確に特定することができ、両眼情報の統合様式を検討する上できわめて有用な現象ということが出来る。我々はこれまでに色刺激や輝度刺激を用いて見えの変調について検討を進め、先行刺激のオフセット直後の限られた時間に提示眼に基づく変調が見られるが、それ以外の時間条件では刺激に基づく変調が優勢となることなど、異なる種類の変調が条件に応じて切り替わることを明らかにしてきた。本研究では、これらの研究をさらに発展させる。

(3) 瞳孔反応を他覚的指標とした視覚研究

本研究の特色は、心理物理学実験だけでなく瞳孔計測実験も同時に実施し、瞳孔反応という不随意的な生理指標を用いた検討を進めることにある。瞳孔反応に関しては、(a)輝度変化だけでなく、色、空間パターン、運動など、様々な視覚属性の変化に対しても応答すること、(b)瞳孔反応は異なる視覚経路の寄与を受けており、輝度変化に対する瞳孔反応は、主として皮質下の経路によって、色、空間パターン、運動に対する応答は皮質の視覚過程によって媒介されていること、(c)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などを示す数多くの証拠が先行研究によって提供されていた。このため、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、様々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。こうした考えのもと、我々は、瞳孔反応を指標とした両眼間相互作用の実験的検討を行ってきた。得られた知見は限られていたものの、本研究を計画するにあたって、瞳孔反応においても両眼情報の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、さらに、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いた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、これまでの我々の研究をさらに発展させて、以下の課題に取り組むことであった。

(1) 異眼間抑制が瞳孔反応に及ぼす効果の検討

異眼間抑制が瞳孔反応に及ぼす効果をさらに検討するため、縞刺激を用いて、抑制効果の空間周波数依存性を瞳孔反応計測実験と心理物理学実験のそれぞれにおいて検討し比較する。異眼間抑制現象としては、永続的抑制現象（一方の眼に高コントラストの縞刺激を提示すると、その後他方の眼に提示された刺激が安定して抑制される現象）を利用する。

(2) 異眼間抑制による知覚の変化と瞳孔反応の変化との対応関係の検討

課題(2)では、知覚の変化と瞳孔反応の変化との対応関係を検討するとともに、異眼間抑制の効果を直接的に検討する。このため、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変化を生じさせ、その状況下での瞳孔反応が、刺激の物理的变化のみに依存して変化するのか、それとも、主観的経験である知覚の変化にも対応した変動を示すのかを検討する。

(3) 闘争刺激の見えの変調現象による両眼情報統合メカニズムの検討

色縞刺激を用いて見えの変調現象を検討し、刺激提示眼に基づいた両眼情報の統合処理と、刺激属性に基づいた統合処理のそれぞれがなされる刺激条件を特定する。そして、

その結果を、色や方位を単独で操作した条件の結果と比較し、特に刺激属性に基づいた統合処理において、色と方位に関する処理がそれぞれ独立になされるのか、それとも、色と方位の組み合わせに対して選択的に応答する視覚過程の関与が認められるのかを検討する。

3. 研究の方法

(1) 異眼間抑制が瞳孔反応に及ぼす効果の検討

永続的抑制の検討には正弦波縞刺激を用い、抑制刺激と検査刺激の空間周波数の組み合わせを系統的に操作し、抑制効果の変化を検討した。抑制刺激は 5 Hz で位相反転させ右眼に提示した。抑制刺激が優勢となっている間に同じ方位の検査刺激を左眼に提示し、瞳孔反応を測定した。また、心理物理学実験により検査刺激の検出閾と反応時間測定を行い、瞳孔反応の結果と比較した。

(2) 異眼間抑制による知覚の変化と瞳孔反応の変化との対応関係の検討

課題(2)では、白刺激と黒刺激の視野闘争を利用して、同一の刺激系列により異なる知覚変化を生じさせた。まず、灰色背景上に白刺激と黒刺激を離眼提示して視野闘争を生じさせ、一方の刺激が排他的優勢となった後に、第二刺激として、白刺激と黒刺激をさまざまな組み合わせで各眼に提示し、刺激変化に対する瞳孔反応を検討した。例えば、第二刺激として両眼に白刺激を提示した場合を考えると、視野闘争時に黒刺激が排他的優勢となっていた場合の見えの変化は黒→白であるのに対して、白刺激が優勢となっていた場合には同一の刺激変化が白→白の変化を生じさせることになる。この際、刺激の物理的变化は同一であっても、前者の黒→白の知覚変化の方が見かけ上の明るさの増加が大きいことになる。こうした見かけの明るさの変化によって瞳孔反応の生じ方が変わるのかどうかを検討した。

(3) 闘争刺激の見えの変調現象による両眼情報統合メカニズムの検討

課題(3)では、赤ないしは緑、右斜めないしは左斜めの組み合わせとして色縞刺激を定義し、先行刺激と検査刺激のそれぞれにおける色と方位の組み合わせ方を操作して、先

行刺激による見えの変調現象を検討した。色縞刺激は暗灰色背景上に提示した。縞は矩形波とし、空間周波数は2 c/degとした。検査刺激の提示時間は、短い場合(10 ms ないしは30 ms)と長い場合(200 ms)を設けた。輝度コントラストは等輝度から0.9まで数段階にわたって変化させた。

4. 研究成果

(1) 異眼間抑制が瞳孔反応に及ぼす効果の検討

永続的抑制条件下で縞刺激を検査刺激として空間周波数依存性を検討した結果、検出閾と反応時間を測定した心理物理学実験では空間周波数に選択的な抑制効果が得られた。すなわち、抑制刺激が低空間周波数の場合には、検査刺激が高空間周波数の場合よりも低空間周波数の場合に抑制が強く、検出閾は上昇し、反応時間は長くなった。抑制刺激が高空間周波数の場合にも、同様の一貫した結果が得られた。これに対して、瞳孔計測実験においては、瞳孔反応の振幅と潜時において異なる傾向の抑制効果が認められるという興味深い知見が得られた。すなわち、瞳孔反応の潜時を分析すると、心理物理学実験の結果と同様、空間周波数に選択的な抑制効果が認められたのに対して、瞳孔反応の振幅を分析すると、空間周波数選択性は顕著ではなく、抑制刺激の空間周波数が低い場合に、より大きな抑制効果が認められた。

瞳孔反応に対する抑制効果の生理学的メカニズムは未だ明らかではないが、本研究の結果から、永続的抑制による異眼間抑制のメカニズムは、視知覚系と瞳孔反応制御系とは少なくともその一部が異なっていること、そして、永続的抑制によって二種類の異なる異眼間抑制(刺激属性に選択的な抑制と非選択的な抑制)が生じていることが示唆される。さらには、こうした性質の異なる抑制が、瞳孔反応を媒介する異なる視覚経路で生じていることも考えられる。

(2) 異眼間抑制による知覚の変化と瞳孔反応の変化との対応関係の検討

白刺激と黒刺激を用いた視野闘争状況下において瞳孔反応を検討した実験により、刺激系列が物理的に同一であっても、見かけの明るさの増加が大きい場合の方が、縮瞳反応の振幅が大きくなること(瞳孔がより小さく

なること)、すなわち、瞳孔反応は見えの変化に対応した変化を示すことが明らかとなった。この結果は、白刺激と黒刺激の組み合わせによらず、見かけの明るさ変化が報告された場合には一貫して観察された。さらに、視野闘争時の定常的な瞳孔径についても検討したところ、物理的には同一の闘争刺激を観察していても、白を知覚している場合の方が瞳孔径は小さいことが明らかとなった。

本研究において、知覚的な変化に対応する変動が、色やパターンの変化に対する瞳孔反応ではなく、輝度変化に対する反応で観察されたという結果は重要である。これまでの研究により、輝度変化に対する瞳孔反応はもっぱら皮質下の視覚経路によって制御されていると考えられているため、本研究の結果は、異眼間抑制による知覚的变化に対応する神経活動が、皮質だけでなく皮質下経路における視覚処理に対しても影響を及ぼすことを示唆している。さらに、この研究の結果は、異眼間抑制に基づく知覚変化が瞳孔反応に影響を及ぼすことを明確に示しており、瞳孔反応を用いて異眼間抑制の程度を客観的に定量化するなど、瞳孔反応の客観的指標としての有用性を強く示すものだと言える。

(3) 闘争刺激の見えの変調現象による両眼情報統合メカニズムの検討

色縞刺激を用いて見えの変調現象を検討した結果、両眼間での情報統合は常に固定された様式で行われるわけではなく、縞の輝度コントラストや提示時間などの条件に依存して変わることが明らかとなった。

① 色縞刺激として等輝度縞を用いた実験

色縞刺激が等輝度の条件では、検査刺激の提示時間が短い場合には、先行刺激とは異なる眼に提示された刺激が排他的優勢となり、提示眼に基づく変調が認められたのに対して、検査刺激の提示時間が長い場合には、刺激属性に基づく変調が認められた。等輝度の色縞刺激における刺激属性に基づく変調は、色のみによる変調で説明可能であり、等輝度縞においては色と方位の結びつきはそれほど強くないことが示された。

さらに特筆すべき結果として、検査刺激の提示時間が短い場合に、誤結合の知覚(知覚された色縞における色と方位の組み合わせが、物理的に提示されている刺激のそれとは異なる現象)が頻繁に報告された。報告率は

20%以上にも及び、そのほとんどが先行刺激とは反側眼に提示された方位を有する赤-緑縞という知覚であった。このような誤結合は、色と方位が両眼間で個別に統合される可能性を示唆する興味深い現象である。

また、先行刺激の影響は、排他的優勢と誤結合では異なり、前者は上述の通り色のみによって影響を受けたのに対し、後者では誤結合が生起するか否かの決定に色と方位の組み合わせが重要な役割を果たしていた。ただし、誤結合が生じた場合、その刺激の見えは排他的優勢となる色縞に別の色に加わるといって記述することができた。以上の結果は、競合する両眼情報を統合する際に、どの刺激が優勢となるかを決定する過程と優勢となった刺激の見えを決定する過程が、密接に関係はしているものの異なっていることを示唆している。

② 輝度コントラストを有する色縞刺激を用いた実験

色と方位に関する統合処理がそれぞれ独立になされるのか否かという問題に関して、輝度コントラストを有する色縞刺激を用いてさらに検討した。先行刺激における色と方位の組み合わせ方と検査刺激における色と方位の組み合わせ方をそれぞれ系統的に操作し実験を行ったところ、一部の実験条件においては色と方位の組み合わせが影響することを示唆する結果が得られたが、別の実験条件では色と方位が個別に処理されることを支持する結果が得られた。このように一見すると矛盾した結果が得られたが、これらの結果は、先行刺激による優勢/抑制の変調効果においては色と方位が個別に影響するが、検査刺激においては色と方位が常に組み合わせられた形で処理されると仮定することで、一貫した形で説明することが可能であった。またこの仮説により、等輝度の色縞刺激における結果も説明することが可能であった。この仮説が正しいとするならば、刺激属性に基づく両眼情報の統合処理においては、色や方位などの視覚属性を個別に処理する初期視覚過程だけでなく、視覚属性の組み合わせに対して選択的に応答する視覚過程など、複数の過程が関与することになる。

また、輝度コントラストを有する色縞刺激を用いた場合にも、刺激提示眼に基づく変調効果が生じるのは、検査刺激の提示時間が短

い場合に限られたことから、刺激提示眼に基づいて両眼情報の統合を行う過程は一過性の特性を示すと考えられる。

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9件)

- ① Kimura, E. & Young, R. S. L. (2010) Sustained pupillary constrictions mediated by an L- and M- cone opponent process. *Vision Research*, 査読有, vol. 50, p. 489-496.
- ② Young, R. S. L. & Kimura, E. (2010) Statistical test of VEP waveform equality. *Documenta Ophthalmologica*, 査読有, vol.120, p. 121-135.
- ③ Kimura, E., Tanaka, K., Abe, S. & Goryo, K. (2010) Pupillary responses reflect perceptual changes in brightness during binocular rivalry. *Proceedings of the Third International Workshop on Kansei*, 査読無, p. 53-56.
- ④ Abe, S., Kimura, E. & Goryo, K. (2010) Perceptual misbinding of color and orientation in rivalrous chromatic gratings induced by modulative effects of preceding stimuli. *Proceedings of the Third International Workshop on Kansei*, 査読無, p. 57-60.
- ⑤ 木村英司 (2008) 「メラノプシンによる光受容と対光瞳孔反射」 *神経眼科*, 査読無, vol. 25, p. 233-240.
- ⑥ Young, R. S. L. & Kimura, E. (2008) Pupillary correlates of light-evoked melanopsin activity in humans. *Vision Research*, 査読有, vol. 48, p. 862-871.
- ⑦ Abe, S., Kimura, E. & Goryo, K. (2008) Integration of color and pattern in binocular rivalry varies with stimulus parameters -- Investigation with visibility modulation of rivalrous stimuli -- *The Japanese Journal of Psychonomic Science*, 査読無, vol. 27, p. 105-106.
- ⑧ 阿部悟・木村英司・御領謙 (2008) 「視野闘争刺激の見えの変調現象を用いた色と形の両眼統合の検討」 *Vision*, 査読無, vol. 20, p. 97-101.

- ⑨ Kimura, E. (2007) Stereoscopic modulation of da Vinci stereopsis. In Mori, S., Miyaoka, T. & Wong, W. (Eds.) Fechner Day 2007. Proceedings of the 23rd Annual Meeting of the International Society for Psychophysics, 査読無, p. 341-344.

[学会発表] (計 1 1 件)

- ① Kimura, E., Tanaka, K., Abe, S. & Goryo, K. Pupillary light responses correlated with changes in brightness rather than luminance during binocular rivalry. European Conference on Visual Perception, Regensburg, Germany, August 27, 2009.
- ② Goryo, K., Kimura, E. & Abe, S. Recognition of binocularly rival letters can be modulated by the prior presentation of one letter. European Conference on Visual Perception, Regensburg, Germany, August 27, 2009.
- ③ Kimura, E., Abe, S. & Goryo, K. Spatial-frequency dependence of permanent suppression investigated with pupillometric and psychophysical measures. Asia-Pacific Conference on Vision, Brisbane, Australia, July 20, 2008.
- ④ Abe, S., Kimura, E. & Goryo, K. Misbinding of color and orientation in rivalrous chromatic gratings induced by binocular and monocular preceding stimuli. Asia-Pacific Conference on Vision, Brisbane, Australia, July 20, 2008.
- ⑤ Kimura, E., Abe, S. & Goryo, K. Pupillary response to grating patterns during permanent suppression. 8th Annual Meeting of Vision Sciences Society, Naples, Florida, May 10, 2008.
- ⑥ Abe, S., Kimura, E. & Goryo, K. Integration of color and pattern investigated with visibility modulation of chromatic gratings. 8th Annual Meeting of Vision Sciences Society, Naples, Florida, May 10, 2008.
- ⑦ Kimura, E. & Young, R. S. L. Pupillary correlates of melanopsin photoreception in humans. The 27th Pupil Colloquium, Hamamatsu, Japan, October 4, 2007.

- ⑧ Abe, S., Kimura, E. & Goryo, K. Perceptual misbinding of pattern and color revealed by visibility modulation of rivalrous stimuli. European Conference on Visual Perception, Arezzo, Italy, August 29, 2007.
- ⑨ Kimura, E., Abe, S. & Goryo, K. Effects of interocular suppression on the pupillary response evoked by grating patterns. European Conference on Visual Perception, Arezzo, Italy, August 29, 2007.
- ⑩ Kimura, E., Abe, S. & Goryo, K. Attenuation of the pupillary response during interocular suppression. 7th Annual Meeting of Vision Sciences Society, Sarasota, Florida, May 11, 2007.
- ⑪ Abe, S., Kimura, E. & Goryo, K. Distinct binocular interactions for pattern and color revealed by visibility modulation of rivalrous stimuli. 7th Annual Meeting of Vision Sciences Society, Sarasota, Florida, May 13, 2007.

[図書] (計 1 件)

- ① 木村英司 (2007) 「色の知覚」 大山正・今井省吾・和氣典二・菊地正 (編) 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック 2 第II部 -1, pp. 173-193, 誠信書房

[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・准教授
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：