

オープンループ条件下において視対象の 大きさ変化がバーゼンスに与える影響

小澤 良^{*,**}・氏家弘裕^{*}・斎田真也^{*}

^{*}産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門 感覚知覚グループ

〒305-8566 つくば市東 1-1-1 中央第 6

^{**}中京大学大学院 心理学研究科

〒466-8666 名古屋市昭和区八事本町 101-2

1. はじめに

視対象の網膜上での位置変化はバーゼンスの主要な要因とされているが (Westheimer & Mitchell, 1956¹⁾; Rashbass & Westheimer, 1961²⁾; Stark, Kenyon, Krishnan & Ciuffreda, 1980³⁾), 網膜像の大きさの変化もバーゼンスに影響を及ぼす (Erkelens & Regan, 1986⁴⁾). さらに, 小澤, 氏家, 斎田 (2001)⁵⁾ は視対象の網膜上での大きさ変化と水平方向への位置変化とが同じ奥行方向である場合, 両者が互いに逆の奥行方向となる場合に比べてバーゼンスの速度が大きいことを報告した. しかし, 網膜像の位置が変化せず, 大きさのみが変化した場合, バーゼンスの生起はほとんど認められなかった. これは大きさ変化によりバーゼンスが生起しても, 網膜像が中心窩よりスリップしてしまうため, 反対方向へのバーゼンスが同時に起こっているためと考えられる.

そこで本研究では, まず刺激の水平方向の位置に対する視覚的フィードバックをオープンとした条件下で, 刺激の拡大, 縮小がバーゼンスを生起するかどうかを検討した. 次に, 拡大, 縮小情報を同時に与えることで輻輳運動にどのような影響を与えるかを検討した.

2. 実験

2.1 方法

2.1.1 刺激

刺激にはマルタ十字 (2.8 × 2.8 deg) を用い, 暗黒中に両眼提示した. 刺激の融合を助けるためノニアス (0.96 × 0.96 deg) が刺激上に重ねて提示された. 刺激はランプ状に 500 ms の間, その大きさを 3.22 × 3.22 deg まで拡大, もしくは 1.55 × 1.55 deg まで縮小した.

2.1.2 実験装置

刺激は CRT (Sony FD Trinitron GMD-F400) 上に提示され, 観察者は鏡を用いてそれらを融合した. 刺激の制御にはコンピュータ (Power Macintosh 9000/300) を用いた. 観察者の眼球運動は赤外線反射光法 (高精度両眼眼球・瞳孔運動計測装置, 浜松ホトニクス; 精度 0.2 度, サンプル周波数 360 Hz) によりモニターされ, アナログ・レコーダー (Sony KS-616) により記録された. 観察者の頭部は歯形台により固定された.

刺激と両眼の水平位置を結合させるため, モニターされた両眼の位置は電圧値として出力され (± 4 V), 低周波帯域通過型フィルター (NF Circuit Design Block. FV-625A; カットオフ周波数 30 Hz) を通してコンピュータに入力された.

2.1.3 手続き

オープンループ条件下で両眼が刺激の変化ではなく, その安静位に影響を受けることを避けるため, 試行開始時に刺激は観察者の両眼の安静位に提示された. 安静位を求めるため, 観察者

ごとにオープンループ条件下で刺激を30秒間固視させ、その間の眼球位置を測定し、これを10回くり返した。Krishman & Stark (1983)⁶⁾は視対象が無い場合16秒で両眼位置は安静位に達するとしているため、その後半14秒の平均値を観察者ごとに刺激提示時の眼球の安静位とした。

眼球位置測定のカリブレーションの後、刺激は安静位に提示され、30秒後に拡大、もしくは縮小した。刺激は変化終了後も30秒間提示された。被験者の課題は刺激上のノニウスを参照として刺激を融合し続けることであった。以上を刺激の拡大、縮小をランダムにそれぞれ10試行おこなった。

2.1.4 眼球運動データの解析

記録された眼球運動データはMacLab/8s (ADInstruments)によりサンプリング周波数200 HzでA/D変換されコンピュータ(Power Macintosh 9000/300)に蓄積され、非線形データ解析ソフト(Igor Pro Version 3.12, Wave Metrics)を用いて解析された。輻輳角の変化は両眼それぞれの値の差を計算することでもとめられた。

2.1.5 観察者

正常な視力を持つ成人2名(NO, RK)が参加した。

2.2 結果と考察

図1に刺激が拡大した場合、図2に縮小した場合の輻輳角の変化を表す。2名の被験者の眼球運動は同様の傾向を示したため、ここではRKの結果のみを示している。

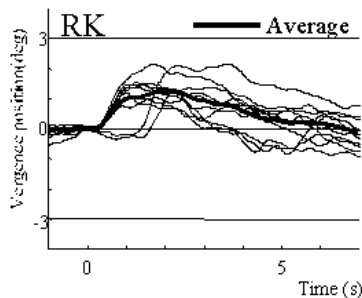


図1 拡大刺激に対する輻輳角の変化。縦軸は輻輳角の位置、横軸は時間である。縦軸の上方に向かっては輻輳運動、下方に向かっては開散運動を表す。

刺激が拡大した場合(図1)、刺激の変化直後に輻輳運動が生起し、その振幅値は約1~2秒後にピーク(約1~2 deg)に達した。しかし、約3秒後には収束を始め、4~6秒後には刺激変化前の安静位まで戻っている。このことは刺激の拡大によりパーゼンスは生起するが、それは過渡的なものであることを示唆している。

刺激が縮小した場合にも刺激変化の直後に輻輳眼球運動が生起した(図2)。この場合、刺激の大きさ変化から与えられる奥行に関する情報は後退方向であるにもかかわらず、輻輳方向への変化を示している。このことは眼球運動系がパーゼンスの駆動に視対象の網膜像の大きさ変化を用いているが、その際奥行方向に関する情報を用いていないことを示唆する。しかし、小澤、氏家、斎田(2001)⁵⁾の結果では、刺激の大きさ変化から得られる奥行方向の情報と位置変化のそれとが等しい場合にパーゼンスの速度が上昇しており、両者が完全に無関係であることは考えにくい。従って、眼球運動系はパーゼンスの生起に大きさ変化を用いているが、その際に奥行方向の情報を用いている経路と用いていない経路とがあることが考えられる。実験2では大きさ変化が特定の奥行情報を持たない場合にも眼球運動が促進されるかどうかを検討した。

3. 実験2

拡大、縮小両方の情報を与える刺激を用い、そこから得られる奥行情報が不特定の条件下での眼球運動を測定することで、大きさ変化がパー

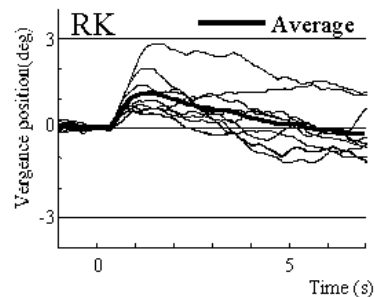
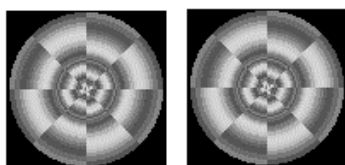


図2 縮小刺激に対する輻輳角の変化。縦軸、横軸は図1と同じ。

ゼンスに与える影響を検討した。

3.1.1 方法

輻輳刺激として2種類の刺激が用いられた。水平位置を変化させながら拡大、縮小情報を同時に供給する刺激として円(4.54 × 4.54 deg)を用い(図3)、暗黒中に両眼提示した。刺激は八分割された領域内のグレーティングが拡大、もしくは縮小方向に移動し、隣り合う領域どうしは反対方向に移動した(拡大-縮小条件, 以下E/C条件)。位置変化情報のみを与える刺激として、グレーティングの拡大縮小変化の無いE/C条件と同じパタンの刺激が用いられた(位置変化条件, 以下P条件)。両刺激とも位置は交差、非交差に1.5 deg変化した。大きさ変化、位置変化ともサイン波状に変調され、0.5 Hzで1.5周期だけ提示された。被験者の位置変化に対する予測を防ぐため、最初に交差方向に変化する条件と非交差方向に変化する条件とがランダムに用いられた。



左 右

図3 E/C条件での刺激。左右眼それぞれに提示され、隣あった領域のグレーティングがそれぞれ逆方向に動くことで、拡大、縮小の情報を同時に与えた。

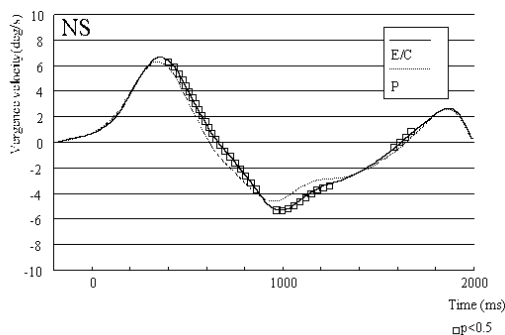


図4 観察者NSの結果(20試行の平均)。縦軸は輻輳運動の速度、横軸は時間である。縦軸の0より上は輻輳運動、下は開散運動を表す。□は2つの条件間に有意に差がある箇所を示す。

3.1.2 実験装置

刺激の提示、眼球運動の測定方法ともに実験1と同じであったが、ここでは刺激の位置と眼球の位置はオープンループとしていない。

3.1.3 手続きおよび眼球運動データの解析

刺激の提示後、被験者の合図から1~3秒後に刺激の変化が開始された。被験者の課題は刺激の中心を固視することだった。4条件がランダム(2[大きさ変化あり, なし] × 2[先に交差方向, 非交差方向])にそれぞれ20試行づつくりかえされた。

眼球運動データの解析方法は実験1と同じであった。また、刺激変化の最初の1サイクルのみを解析の対象とした。

3.1.4 観察者

正常な視力を持つ成人2名(NO, NS)が参加した。この内1名(NO)は実験1にも参加していた。

3.2 結果と考察

観察者NSのE/C条件、P条件それぞれにおける速度の推移を図4に示した。また表1に条件ごとのE/C条件の速度がP条件に比べ有意に大きい値、または小さい値を示した割合を被験者ごとに示した。先に交差方向に変化した場合と、非交差方向に変化した場合とで同じ傾向を示したため、両条件は合わせて検討された。

刺激変化開始後2秒間でE/C条件での速度がP条件におけるそれよりも大きな値($t < 0.01$)を示す割合は、E/C条件の速度がP条件よりも有意に小さい値を示す($t < 0.01$)割合よりも全ての観察者で有意に高い値を示した($z < 0.001$)。このことは拡大、縮小両方の情報を与えることで、そこから得られる奥行情報が不特定な場合でも、

表1 E/C条件における輻輳運動速度がP条件よりも速い、もしくは遅い割合。

	E/C>P	E/C<P
NO	11.8%	0% *
NS	37.5%	10% *

* $z < .001$

バーゼンスは刺激の大きさが変化することで、その速度が速まることを表している。

小澤，氏家，斎田（2001）⁵⁾ は刺激の大きさ変化がその位置の変化と同じ奥行情報を与えることで，追従するバーゼンスの速度が速まることを示した。しかし，本実験では大きさ変化から得られる奥行方向にかかわらずバーゼンスの速度は速まった。したがって，バーゼンスには大きさ変化を利用しているが，そこからの奥行情報を得ている経路と，そうでない経路があると考えられる。本実験の条件では大きさ変化による2種類の奥行情報が同時に提示されるため，奥行に対する反応はキャンセレーションされ，大きさが変化したことのみが反応に影響を与えていると考えられる。

4. まとめ

本実験の結果とこれまでの報告とにより，バーゼンス制御には大きさ変化から奥行情報を得ている経路と，大きさが変化したことのみを情報として得ている経路があることが示唆される。後者の経路では，大きさ変化に対する反応は刺激の拡大，縮小とは関係なく観察者それぞれが固有に持つ特徴により両眼の輻輳，開散が決定されている可能性もある。また，これがどち

らか一方へではあるが，バーゼンスの速度に対する一助となっているとも考えられる。

文 献

- 1) G. Westheimer and D. E. Mitchell: Eye movement responses to convergent stimuli. *Archives of Ophthalmology*, **55**, 843-856, 1956.
- 2) C. Rashbass and G. Westheimer: Disjunctive eye movements. *Journal of Physiology*, **159**, 339-360, 1961.
- 3) L. Stark, R. V. Kenyon, V. V. Krishnan and K. Ciuffreda: Disparity vergence eye movements. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, **57**, 606-609, 1980.
- 4) C. J. Erkelens and D. Regan: Human ocular vergence movements induced by changing size and disparity. *Journal of Physiology*, **379**, 145-169, 1986.
- 5) 小澤 良，氏家弘裕，斎田真也: 刺激の網膜像の位置・大きさ変化が追従するバーゼンスに及ぼす影響. *Vision*, **13**, 199, 2001.
- 6) V. V. Krishnan and L. Stark: Model of the disparity vergence system. *C. M. Schor and K. J. Ciuffreda (eds): Vergence eye movements: Basic and Clinical Aspects*. Butterworths, Boston, 349-371, 1983.