

回転ベクションと周辺視野での視覚誘導運動の関係

溝渕 久男・高瀬 正典*・岡嶋 克典

防衛大学校応用物理学教室 〒239 横須賀市走水 1-10-20

The Relation of Circular Vection and Induced Motion in the Peripheral Visual Field

Hisao MIZOBUCHI, Masanori TAKASE and Katsunori OKAJIMA

Department of Applied Physics, National Defense Academy, 1-10-20, Hashirimizu, Yokosuka 239

Circular vection (CV) is experienced in the rotating optokinetic drum with inducing stimuli. When a small stationary stimulus is presented in the rotating drum, induced motion (IM) is observed and CV is experienced simultaneously. We investigated the relation of CV and IM using three sizes and nine viewing eccentricities of the stationary stimulus. We found that the estimated CV and IM did not change so largely with the stimulus size, but they changed with the eccentricity of the stationary stimulus and the sum of them was almost constant. In our another experiment performed with the condition of two stationary stimuli, we found that CV was affected only by a stimulus nearer to the central visual field, and the sum of CV and IM (nearer) was also almost constant. We concluded that IM is one of the factors that affects CV.

1. はじめに

自己の運動を知る情報には、耳前庭系の三半規管等からの情報、身体感覚系からの筋肉や関節等の動きの情報、オプティカルフローによる視覚系からの情報などが考えられる。日常の生活ではこれらの異なる感覚系からの情報は、つじつまが合っているが、ある特別な条件下では、それぞれの情報のつじつまが合わない場合でも自己の運動を感じる場合がある。視覚誘導自己運動感覚(vection, ベクション)がそれである。

ベクションのうち鉛直線を回転軸とする運動感覚は回転ベクション(circular vection, 以下CV)と呼ばれ、Weizsäckerらゲシュタルト心理学の時代から「回転めまい」(Drehschwindel)¹⁾として指摘され、近年Dichgans²⁾らによって系統的に研究された。

ベクションは視覚誘導運動(induced motion, 以下IM)の一種と考えることもできる。ベクションでは自分自身が誘導された結果自己の運動感覚が生起する。一方、視覚誘導運動では静止物体が誘導され、その運動が知覚される。つまり、静止しているはずの“自己”と

“静止物体”が運動するように知覚されるという点で同じである。Rock³⁾によれば静止点とそれを囲うフレームの運動により知覚される静止点の視覚誘導運動は、静止点にフレームの運動知覚量が分配されたため生じるとしており、ベクションについてもこの分配仮説(apportionment hypothesis)が成立するとしている。

ところで、ベクション生起中でも静止刺激を呈示することによってベクションと視覚誘導運動は同時に連結して知覚される⁴⁾。Fig. 1のように物理的に運動する背景(視野の大半を占めるシーン)、静止している物体および観察者自身が配置されるとき、背景の運動方向と反対方向に物体の運動(視覚誘導運動)と自己の運動(ベクション)が同時に知覚される。このようにベクションと視覚誘導運動は関連して生起するにもかかわらず、それらの関係はよくわかっていない。

そこで、両知覚が同時に生起するときのベクションの主観的大きさ(速度感)の変化について種々観察したところ、ベクションの評価が静止刺激の呈示視野位置に依存して変化することがみられた。この特性は視野位置に関するMスケール(V1の皮質拡大因子)によって変化する可能性がある。Mスケールとは、網膜の中心か

*E-mail: takasem@cc.nda.ac.jp

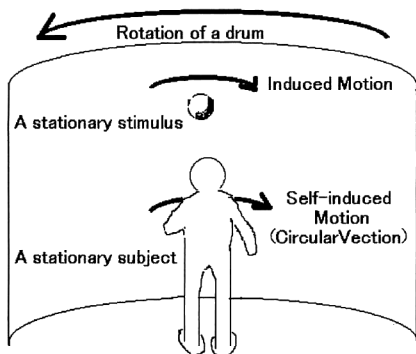


Fig. 1. Self-induced motion and induced motion of a stationary stimulus.

ら周辺部にいくほど網膜に対応する視覚1次野の面積が小さくなることを示すものであり、網膜の中心に近いほど多くのニューロンによって情報が処理されているといえる。つまり、静止刺激の呈示位置によるベクションの変化がMスケールに依存するものであれば、静止刺激の面積を周辺部にいくほどMスケールにあわせて大きくすれば、ベクションの変化が生じないことが予想される。よって本研究では回転ベクション(CV)と視覚誘導運動(IM)を同時に生起させたときの両知覚について、実験1では視覚誘導運動を誘発する静止刺激のサイズ、呈示位置(水平方位の離心角)を変化させることによってCVおよび静止刺激のIMの呈示位置依存性とMスケール依存性について調べ、実験2では呈示する静止刺激を2個呈示することにより両者の加法性に基づく相互関係を調べることにする。

2. 実験 1

2.1 実験条件

CVを生起させるための装置として直径150 cm、高さ2 mの鉛直線を軸として回転するドラムを用いる。一定角速度で回転するドラムの内壁にグレーティングなどのテクスチャーをつけることにより被験者はCVを感じることができる⁹⁾が、本実験では、ドラム内壁と被験者の間の中空に静止刺激を配置することにし、呈示する静止刺激とテクスチャーが重複しないようFig. 2に示す視角10°のサイズの黒い円をドラム内壁に回転刺激として配置した。ドラム内壁の黒い円の他の部分は白のマット面で、白熱灯で照明し、輝度は80 cd/m²とした。ドラムの回転角速度は、反時計方向に50 deg/sで一定とした。これらの条件で十分なCVが生起することはあ

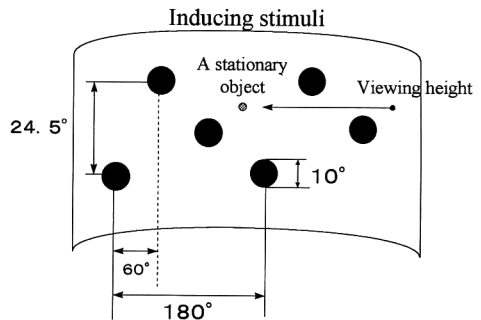


Fig. 2. Inducing stimuli and a stationary object.

らかじめ確認した。静止刺激は、Fig. 2のとおり被験者の視線の高さに中空に呈示する。被験者からの静止刺激までの距離は60 cmとし、被験者からドラム内壁(回転刺激)までを75 cmとした。静止刺激は、0.5, 1.3, 5.3°のサイズでN5の灰色に一樣に塗装した球で、呈示する離心角は、右側水平視野0~80°まで10°おきとした。静止刺激は、ごく細いテグス糸(ほとんど見えない)で吊るし、その糸のみを呈示してもIMが生起しないことを確認した。

また、座標系という考え方をすると、この静止刺激は観察者の座標系上のものではなく、また外界(ドラム内壁の誘導刺激)の座標系上にもなく第3の座標系上にあるが、観察者の座標系とは相対運動がないというあいまいな状態に配置されていることになる。

被験者は、ドラム内の中央の丸イスに座り地面に足のつかない状態とした。これは、地面に足をつけないほうがCVの速度感が強く感じられるためである。頭部は特に固定せずリラックスした状態で両眼で正面を正視して測定した。本実験に参加した被験者はHM, SMの20歳代の男女2名でいずれも視機能、身体機能正常である。HMは筆者の一人であり、SMは実験目的や原理については教示されていない。

2.2 実験手順

CVとIMの主観的大きさ(速度感)の評価は、Dichgans²⁾らがCVの実験に用いたマグニチュード評価法(magnitude estimation法)により行った。CVの評価については、Graaf^{ら⁶⁾}が用いた回転ドラムの外側の仮想上の固視点の方向を被験者が示すという方法のほうが客観的にCVの速度感を評価できるが、IMについてはその方法は適当でないので両知覚共に測定できるマグニチュード評価法を採用することにした。

CVとIMのマグニチュード評価は、CVについては

静止刺激を呈示しないときのCVの大きさを10, IMについては中間のサイズ(1.3°)の静止刺激を視野中心(離心角0°)に呈示したときのIMの大きさを10とした。測定はトライアルごとに基準の刺激を呈示した後, テスト刺激を呈示した。呈示する水平方位9部位の離心角はランダムな順序とし, その離心角でのCVとIMの大きさを評価する。これを1セッションとし, 静止刺激の各サイズについて10セッションずつ測定を行い, その平均をCV, IMの評価の値として得た。

CVとIMの値は評価の基準が異なるため直接比較できない。そこで, IMの値を正規化してCVと直接比較する。静止刺激の呈示位置を視野周辺に移動させると, ある離心角でCVとIMの大きさの優劣の切り換わる(静止刺激と自己はドラムと反対方向に運動しており, どちらのほうが速く運動しているかは判断できる)ことから, その切り換わりの離心角を調整法で求め, その角度でのIMの評価がCVの評価と等しいものとしてIMを正規化した。

2.3 実験結果

CVの実験結果をFig. 3に示す。横軸は呈示した静止刺激の離心角, 縦軸は評価したCVの大きさを示す。ここでCVの大きさ10は静止刺激を呈示しないときの評

価であるから, まず静止刺激を呈示したことにより, CVの大きさが減少したことが明らかである。CVの減少は中心付近で大きく, 視野周辺になるにつれCVは静止刺激のないときの値に回復していく。次に静止刺激のサイズ効果を見ると, サイズ5.3°で最も値が小さいが, データのばらつきと大小関係を考慮すると, これらのサイズ間に差があるとはいえない。したがって, ここで用いたサイズの範囲では静止刺激のサイズ効果はないといえる。

IMについての結果をFig. 4(IMは正規化していない)に示す。Fig. 3と同じく横軸は静止刺激の呈示離心角, 縦軸は評価したIMの大きさである。CVの傾向とは異なり, 静止刺激の離心角が大きくなるほどIMの評価が下がる。ここで視野の中心(0°)に静止刺激を呈示した場合と10°周辺視野に呈示した場合で, IMが大きく変化している。これは, 被験者の焦点位置が周辺ではドラム上にあるのに対し, 0°では静止刺激上にあるために生じたものと推察される。静止刺激のサイズの効果については, 視野の中心において差があるようにも見受けられるが, やはりばらつきが大きいことに加えてサイズの大小とIMの値の大小の順序が, CVと同様一致していない。したがってIMについてもサイズの効果はな

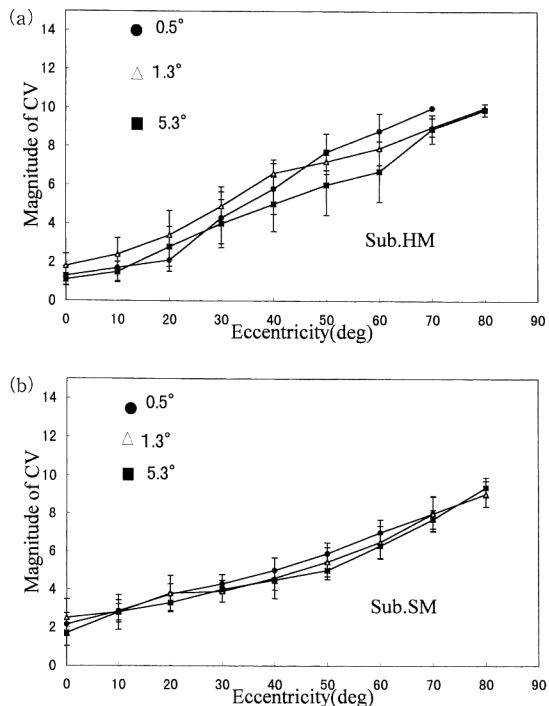


Fig. 3. Magnitude estimation of CV.

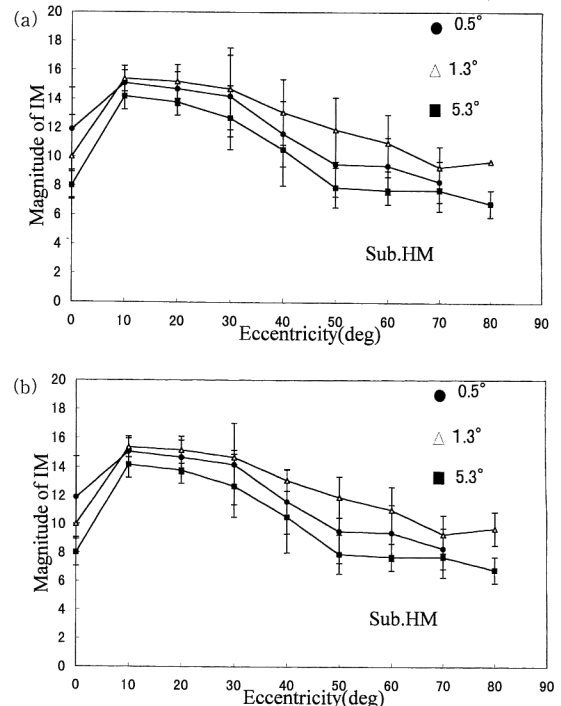


Fig. 4. Magnitude estimation of IM.

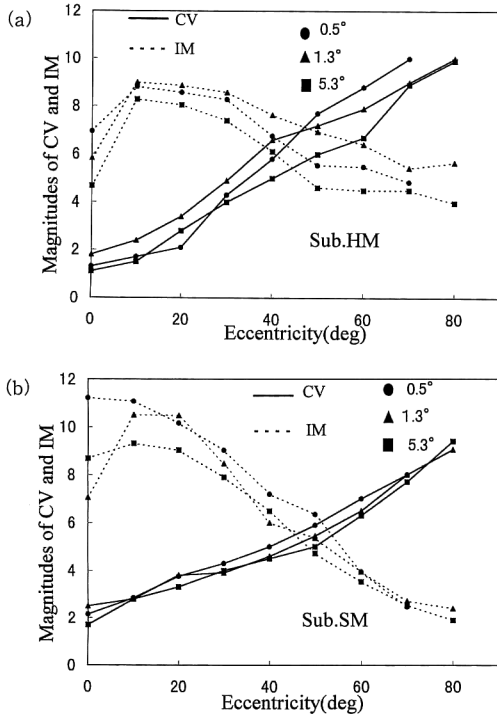


Fig. 5. Magnitude estimations of CV and IM (normalized).

いといえる。また、IM とよく似た知覚で運動方向が逆(背景と同じ運動方向)である motion capture⁷⁾が、密度の高いランダムドットを背景とすると大きい離心角で生起するという報告⁸⁾があるが、本実験条件では全く生起しなかった。

Fig. 5 は IM を正規化して CV と比較したものである。視野周辺にいくほど CV は大きく、IM は小さくなる。この CV と IM の静止刺激の呈示離心角に対する変化は、静止刺激の呈示位置を変化させることにより両知覚を制御できることを示唆しており、かつ何らかの相関関係があることを予想させる。以上の結果は 2 名の被験者について共通している。

2.4 考 察

まず、静止刺激の呈示離心角によって CV と IM が変化する原因について、M スケール (V1 の皮質拡大因子) の効果を考えたが、実験結果から静止刺激サイズの CV と IM への効果がほとんどないことが明らかとなった。このことから、M スケールが原因となって大きな離心角での静止刺激による IM の減少および CV の抑制の減少が生じているのではないことがわかる。したがって、周辺視野での視力低下による静止刺激の視覚像のボ

ケの効果も考えなくてよいことになる。また、静止刺激の視野サイズ全体に占める割合は非常に小さいので Dichgans²⁾ らが比較的大きい誘導視野の遮蔽効果についてその面積が大きいほど CV が小さくなると報告した特性は現れなかったものと考えられる。したがって、CV と IM が変化する原因は実験 1 の結果からは明らかでない。

一方、Fig. 5 における CV と IM の変化は、互いに補償する関係、すなわち CV と IM を単純に加えると離心角に対して知覚量が一定になるともみることができる。つまり、背景であるドラム内壁の誘導刺激の運動知覚が静止刺激の IM と自己の CV に分配され、その分配率が離心角で異なるのだと考えることもできるということである。この考えが正しければ、Rock らの分配仮説を裏付けることになる。CV と IM へ何らかの形で知覚量の分配が行われていれば、静止刺激が複数あっても全知覚量は一定となるはずである。つまり加法則が成り立つはずである。そこで実験 2 では静止刺激を 2 個呈示して CV と IM の大きさを測定し、両知覚に分配が起きているのかどうか調べ、さらに CV と IM の関係を明らかにする。

3. 実 験 2

3.1 実験条件と手順

実験方法については以下の点を除き実験 1 と同じである。静止刺激は 2 つ呈示し、サイズは中間の 1.3° とする。静止刺激の一方を離心角 40° に固定し、もう一方を 0~80° まで 10° ごとに離心角を変えて呈示する。両刺激は同じく被験者の視線の高さに配置する (Fig. 6)。ただし、呈示位置を変えるほうの静止刺激が離心角 40° のときは、固定した静止刺激の横に接触させて呈示する。

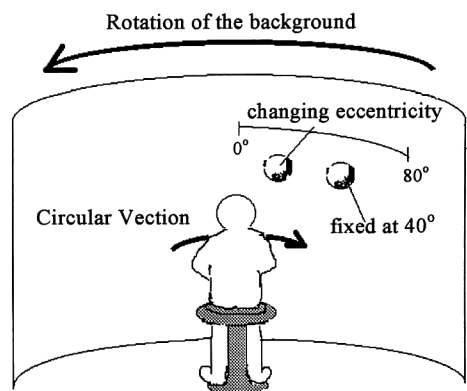


Fig. 6. Arrangement of two stationary objects.

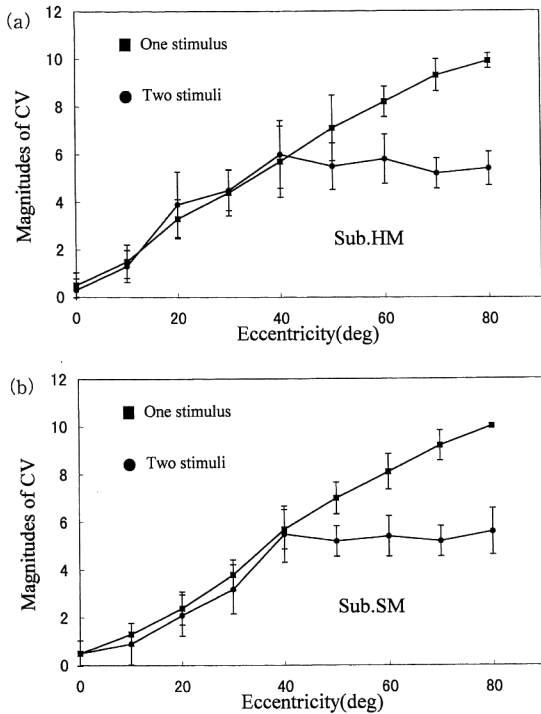


Fig. 7. Magnitude estimation of CV (two objects).

離心角を変える静止刺激のIMの評価 (IM_1 とする)に加え、その都度 40° に固定した静止刺激についてもIM (IM_2 とする)を評価する。

3.2 実験結果

CVの結果について Fig. 7 に示す。静止刺激が2個の場合、離心角 0° から 40° までは刺激が1個のときとほぼ同じ変化を示し、 40° 以降はCVの値が一定となる。これは、より視野の中心に近く(離心角が小さい)に配置された刺激でCVが決まるということの意味している。つまり、2個の静止刺激のうち離心角 0° から 40° では離心角を変化させている刺激がより視野の中心に近く、 40° を越えると 40° に固定したほうの刺激がより中心に近い配置となり、CVの値も一定となったと考えられる。

次にIMの結果を Fig. 8 に示す。静止刺激が1個の場合と2個の場合で、IMは大きく変化していない。また、呈示離心角を変化させた刺激のIM (IM_1)は、静止刺激が1個の結果とほぼ同じである。 40° 固定の静止刺激のIM (IM_2)について、まず被験者HMでは静止刺激が1個のときのIMおよび IM_1 とほぼ同じ傾向である。次に被験者SMについては、 IM_2 はほぼ一定の評価になっており、被験者HMとは傾向を異にする。両

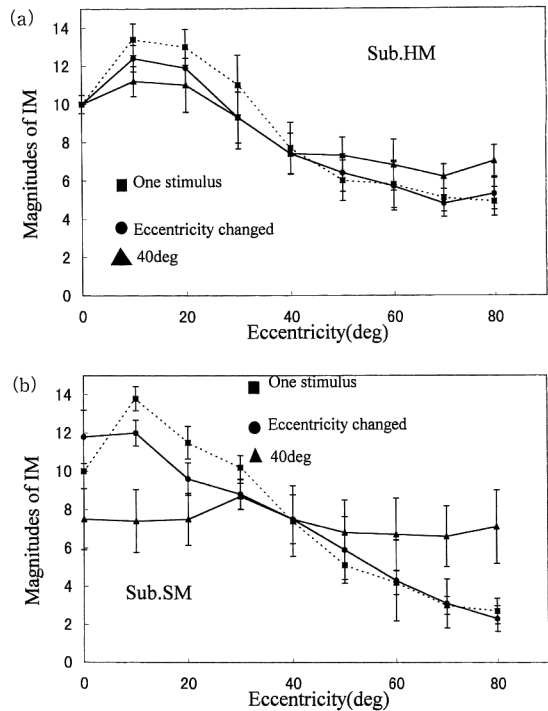


Fig. 8. Magnitude estimation of IM (two objects).

被験者の共通点は、各離心角で IM_1 と IM_2 のうち、より大きいIMの静止刺激は2個のうち離心角の小さい(中心に近い)刺激であり (Fig. 8), 離心角 0° から 40° で評価が変化し、 40° 以降で一定の評価を示すCVの変化に定性的に対応している。

3.3 考察

静止刺激が2個の場合、CVは視野の中心に近いほうの静止刺激で決まり、IMのうち評価の大きい(視野の中心に近い、ただし中心を除く)ほうの変化がCVの変化に対応していることから、両知覚の関係は、

$$CV = CV\{\max(IM_1, IM_2)\}$$

と表現可能である。しかしながら、固定した静止刺激の離心角が他の位置でも同様の結果が得られるとは限らない。そこで静止刺激を視野の中心 (0°) に固定した場合について観察を行ったところ、被験者2名とももうひとつの静止刺激を周辺に移動させてもCVの評価は小さく一定であった。すなわち、上式の関係が成立していた。

次に、CVと正規化したIMの単純な和が一定になるか、つまりRockらのIMにおける分配仮説が成立するかどうかを検討してみる。静止刺激が2個の場合、上式の関係に基づいてより評価の大きいIMをCVに加えて計算した (Fig. 9)。この Fig. 9を見ると、CVとIM

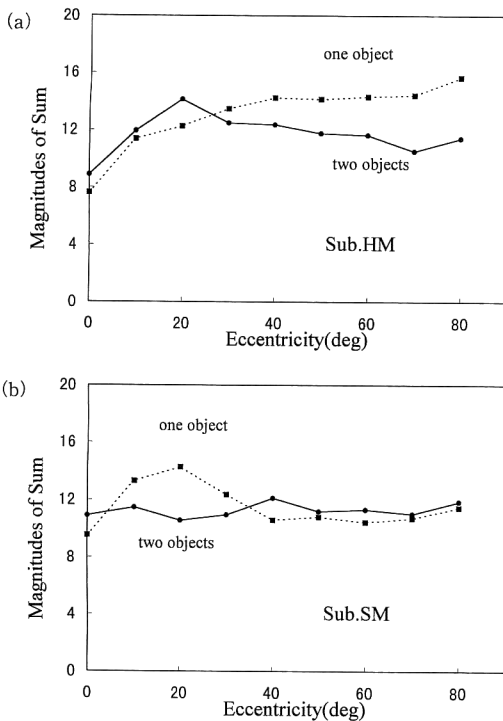


Fig. 9. Sum of CV and IM.

の全知覚量の和は静止刺激が1個でも2個でも強いていえばほぼ一定とみることができ、Rockらの分配仮説を支持しているともいえる。しかし、 IM_1 と IM_2 は静止刺激1個の場合に比べ評価が各々半分になるなど静止刺激の個数による加法性はなく、CVについても静止刺激の個数で評価が変わらないことから、単純に加法則が成立しないことも明らかである。これらの考察から、複数の静止刺激を呈示した場合には、そのうち最も視野中心に近い（より速く見える）静止刺激のIMのみがCVと補償関係をもつことが予想される。つまり、視野内で運動して見える静止刺激のうちで最も速く見えるものだけが自己の運動感覚に影響を与えると考えられる。このことは、分配仮説だけでは説明が難しく、むしろ静止刺激の呈示によるCVの評価の減少が、視野中心に近いまたは最も速く感じる静止刺激のIMの変化を原因として起こったということが示唆される。

4. 総合考察

本研究では、同時に生起するCVとIMの関係について調べたところ、呈示する静止刺激のサイズの効果がなく、呈示する離心角で両知覚が変化することがわかった。また、静止刺激を2個呈示することによってCVの

評価を減少させる要因、つまり回転ベクション抑制の原因のひとつとして視覚誘導運動の見えが挙げられることがわかった。

本実験条件で物理的に運動したのは背景の誘導刺激だけであって、その運動が視覚系において自己のベクションと静止刺激の誘導運動の源泉となっている。一方、背景の誘導刺激が水平方向に運動する時視運動性眼振（OKN）が生起するが、加えて周辺視野に静止刺激を呈示すると、その離心角によってOKNが変化することが報告されている⁹⁾。したがって、視覚的網膜像はOKNによってその位置を変化させられることから、ベクションと静止刺激の誘導運動には共通してOKNが関与している可能性がある。

CVとIMの和がほぼ一定に見えることは、CVをIMが抑制するという見方と背景の誘導刺激による運動知覚量がCVとIMに分配されるという見方が可能であるが、2個の静止刺激のうち視野中心に近い方に運動知覚量が選択的に分配されることは考えにくいので後者の見方はないように思われる。

静止刺激が中心視野にあるとき、もし誘導刺激が背景と認識されなくなるとすると、CVは抑制されることになり、結果を説明できる。しかし、ドラム内壁より手前約15cmに静止物体を置き両眼視していることから、および誘導刺激と静止刺激が重なって見え手前と背景が明らかな場合も同様の結果と内観が得られたことから、誘導刺激が背景と知覚されなくなる可能性はなかった。

回転ベクションを抑制または変化させる他の要因として視覚的注意が考えられる。すなわち、静止刺激と誘導刺激の見方によってCVとIMは変化する可能性がある。さらに静止刺激の条件設定によってもCVとIMの知覚が変化することが考えられる。本実験条件は静止刺激が観察者の座標系上にない場合であり、静止刺激が観察者の座標系上にある場合（観察者と連結した状態）の静止刺激のIMは知覚されないことが観察実験で見いだされた。また、静止刺激の個数についても、ここでは静止刺激の個数が少なかったために別の座標上の静止点として認識されIMが生起したのであって、個数を増やして、静止刺激の群れが背景の手前にある面として認識されるようになると、近江⁹⁾が報告しているようにIMは生起せず背景であるドラム内壁の誘導刺激のみからCVが生起するという事も考えられる。このようにベクションに関与する要因として、低次でのOKNおよび高次での注意と認識が考えられ、今後これらの関与についての研究が重要と思われる。

5. 結 論

回転ベクションと静止刺激の視覚誘導運動の関係を静止刺激の呈示離心角とサイズについて調べた結果、サイズの効果がなく離心角で両知覚が変化することがわかった。また静止刺激を2個呈示したところ、視野の中心に近いまたは最も速く感じる静止刺激によってCVが決まり、IMがそれに対応することがわかった。以上からCVの抑制にIMが関与する可能性が示唆された。

文 献

- 1) ヴァイツゼッカー (木村 敏, 浜中淑彦訳): ゲシュタルトクライス (みすず書房, 1975) pp. 31-41.
- 2) J. Dichgans and T. Brandt: "Visual-vestibular Interaction: Effects on selfmotion perception and postural control," *Handbook of Sensory Physiology*, 8, ed. R. Held, H. W. Leibowitz and H. L. Teuber (Springer-Verlag, Berlin, 1978) pp. 755-804.
- 3) I. Rock, M. Auster, M. Schiffman and D. Wheeler: "Induced movement based on subtraction of motion from the inducing object," *J. Exp. Psychol.: Human Percept. Perform.*, 6 (1980) 391-403.
- 4) 近江政雄: "多層の座標系構造に基づく空間知覚, 視覚誘導運動を例として", *Vision*, 3 (1991) 185-193.
- 5) 狩野千鶴: "自己運動知覚と視覚系運動情報", *心理学評論*, 34 (1991) 240-256.
- 6) B. Graaf, A. Wertheim, W. Bles and J. Kreners: "Angular velocity, not temporal frequency determines circular vection," *Vision Res.*, 30 (1990) 637-646.
- 7) V. S. Ramachandran and P. Cavanagh: "Motion capture anisotropy," *Vision Res.*, 27 (1987) 97-106.
- 8) I. Murakami and S. Shimojo: "Motion capture changes to induced motion at higher luminance contrasts, smaller eccentricities, and larger inducer sizes," *Vision Res.*, 33 (1993) 2091-2107.
- 9) C. Murasugi, I. Howard and M. Ohmi: "Human optokinetic nystagmus: Competition between stationary and moving displays," *Percept. Psychophys.*, 45 (1989) 137-144.