視覚起因性めまい感における周辺視野の効果

お茶の水女子大学 品田妙子・石口彰

Effects of the peripheral vision on visually induced vertigo

Taeko Shinada and Akira Ishiguchi (Department of Psychology, Faculty of Letters and Education, Ochanomizu University, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112)

Visually induced vertigo, or motion sickness, is thought to be mainly influenced by motion perception, not by shape perception. We examined this point by comparing the effect of the foveal vision on the visually induced vertigo with that of the peripheral vision. We set up three kinds of display conditions: Foveal vision (F), peripheral vision (P), and foveal+peripheral vision (F+P). Videotaped motion was presented on the display. The results showed that a drifting eye movement was larger after the experiment than before the experiment in the (P) and the (F+P) conditions, but not in the (F) condition. In addition, the mirror drawing was improved only in the (F) condition. Subjective ratings for the vertigo were higher in both the (P) and the (F+P) conditions than in the (F) condition. These results indicate that some visual units concerning low spatial frequencies participate in the visually induced vertigo.

Key words: vertigo, foveal vision, peripheral vision, eye movement, mirror drawing.

めまいとは、回転感や動揺感、視性運動感などを特徴とした平衡機能障害のことである。この現象は前庭系の障害によって起きることが多いが、広義には、立ちくらみなどの感覚を含むこともある。

平衡覚の情報は次のように伝達されると考えられている(内野, 1989)。平衡覚は最初、三半規管と耳石器で感知され、その信号は前庭神経を経て、延髄の前庭神経核で2次ニューロンとなり、更に上行して、下記のように脊髄反射系、眼反射系、自律神経系、小脳系、皮質系へと投射される。このシステムのどこかに障害があっても、平衡障害、めまいが知覚される。

三半規管・耳石器で回転や直線加速度が加わった頭部の偏位が検知されると、その情報は脊髄へ送られて身体の平衡が維持される(脊髄反射系)。また、眼球運動が頭の回転とは逆向きに生じ、視野の安定の制御の一役を担っている(眼反射系)。一方、めまいがあると前庭眼反射に異常をきたし、眼球が自発的に動く。これを自発眼振という。逆に、視運動刺激を与えただけでも、視運動眼振が生じてめまいが生じる場合がある。そして前庭刺激が延髄の嘔吐中枢に達し、吐き気が生じる(自律神経系)。更に小脳への投射により、微細な障害でも運動失調が生じ(小脳系)、大脳皮質の知覚中枢に投射されてめまいが知覚される(皮質系)。

上記のような平衡覚の情報経路に関連し、めまいの

測定法には、次のようなものが挙げられる。①身体の平衡障害は、直立時の重心動揺を測る直立起立検査、立ち直り反射を調べる斜面台検査、足を何回ついたかを見る片足起立検査、身体の偏りを見る足踏み検査、字の偏りを見る書字検査などによって測定される。②眼球運動の障害を測定する方法としては、フレンツェル眼鏡をかけさせて自発眼振を拡大して観察する方法、また暗所や閉眼でも測定可能な電気眼振計による方法もある。更に、外耳道に冷水または温水を注入したときの眼振の強さを調べるカロリックテストという方法もある。③自律神経系に関しては、吐き気などの症状が調べられる。④身体上、何の障害も考えられないときには、Cornell Medical Index-Health Questionnaire (CMI 検査)によって検査する。CMI 検査は心身両面にわたる自覚症状の全貌を、比較的短時間のうちに明らかにすることを目的として考案された調査票であり、これによって心因性かどうかを検討する。

ところで、めまいとは視野全体あるいは自己の身体に関して、実際に運動していないのに運動していると錯覚する知覚現象(坂田, 1985)の一種である。このような運動現象の錯覚は正常人でも日常的に経験している。例えば、駅で止まっている電車に乗って窓の外の動いている電車を見ると、まるで自分の電車が動いているような錯覚を起こす。また逆に、自分の電車が動いているときに窓の外の静止している電車を見る

と、自分が静止しているかのような錯覚を起こすこともある。このようなとき、誤った重心移動反応が生じる。これは視覚と平衡覚が関与した錯覚である。このような錯覚は“視覚情報入力と体性感覚情報入力との不整合”によって生じる (Simmons, 1984)。

めまい感と密接に関連する病的症状として、動揺病が挙げられる。動揺病 (motion sickness), すなわち乗り物酔いとは、乗り物の動揺による前庭迷路への加速度刺激の反復により生じる自律神経系症状を主体とする病的状態のことである (後藤, 1988)。実際には前庭迷路への刺激のみならず、視覚・深部覚なども関係し、各情報の不整合が動揺病を引き起こしやすい。環境因子や心理因子なども関係する。

動揺病の原因としては、内臓動揺説、前庭過剰刺激説などが唱えられてきたが、視運動刺激で生じる映画酔いや、長い航海の後に生じる下船病を説明できない。あらかじめ日常生活から得られ、中枢神経内に蓄積された前庭・視覚・体性感覚からの感覚パターンが、実際の感覚情報パターンと異なるために混乱が生じ、その適応過程が形成されるまで動揺病が起る、と考えられる。宇宙酔もこの不整合が原因だという仮説 (Igarashi, 1983) もある。

回転刺激と回転感覚の持続時間との関係を調べた研究 (朴沢, 1989) によると、統制群に比べてバレリーナの回転感持続時間は短く、乗り物酔いの患者では延長することが知られている。このように、動揺病は学習によって適応的に低減していく、と考えられているが、一般にめまい感が学習によって低減するかどうかは明らかではない。

視覚情報がめまい感やその病的症状としての動揺病の誘引として強くかかわっていることは、閉眼時に比べ開眼時の方が動揺病を生じやすいこと (Graybiel, 1970)、また、身体の回転と同一方向に視野を回転させると動揺病が生じやすいこと (Oosterveld, Graybiel, & Cramer, 1972) からもうかがえる。また、映画酔い、という事実からも、視覚情報入力だけでめまいが生じることがわかる。

動揺病については、耳鼻医学や航空医学の領域で研究されている (Igarashi, 1983; Straube, Paulus, & Brandt, 1990) が、視覚そのものの効果を扱った研究はほとんどない。視覚心理学の領域では、逆転視の研究の副次的な現象として、めまい感が扱われている (Stratton, 1896)。例えばこの種の実験では、上下左右が逆転して知覚される逆転眼鏡を使い、あらかじめ中枢神経系内に蓄えられた視覚・前庭感覚情報の相互作用を混乱させる。その結果、順応するまでは、位置や方向の恒常性が失われ、めまいと同様な症状が生じる。つまり、既に獲得されている知覚体制を混乱させることによって一時的にめまいを起こすことが可能である。本研究では、視覚情報と体性感覚情報との不整

合により、動揺病と類似の症状を引き起こす。そしてこの症状を視覚起因性めまい感と呼ぶ。

このような視覚起因性めまい感は、視覚情報と体性感覚情報の不整合、すなわち、“体性感覚は自己が静止しているという情報を送り、一方、視運動刺激により視覚は自己が運動しているという情報を送る”ことによって生じる。そこでは“見ている対象が何であるか”の形態知覚よりも、“対象がどのように動いているか”の運動知覚が重要な役割を果たしていると思われる。

この運動知覚は、周辺視で顕著な機能とされている。周辺視は中心視に対する視機能の総称であり、前者は周辺視野、後者は中心視野における情報処理機能を指している (芋阪, 1994)。視野を大まかに分類すると次のようになる。中心窩は半径視角 2.5 度、傍中心窩は同 5 度まで、遠中心窩は同 9 度まで、近周辺は同 15 度まで、中周辺は同 25 度まで、遠周辺は視野縁まで、とされている。

大脳の視覚皮質 (VI, VII) の神経の空間周波数に対する感度と、その神経の受容野の網膜上での離心率とを検討した研究 (Robson & Graham, 1981) によれば、大脳皮質では、異なるピーク周波数をもつ複数の空間周波数チャンネルが存在する。そして網膜中心窩付近からの入力に対しては、高空間周波数チャンネルの方が比較的感度が高く、周辺付近からの入力に対しては低空間周波数に感度が高いチャンネルが応答している。また、形態知覚には主に空間周波数成分の高低両成分が関与するが、運動知覚には主に低空間周波数が関与している、と考えられている。従って、おそらく視覚起因性めまい感に関与しているのは、主として形態知覚に関与する網膜中心窩付近よりも、運動知覚に関与する網膜周辺部であろう、という点を検討するのが本研究の目的である。

動揺病を起こす刺激として有効な時間周波数は、正弦波状の上下単振動の場合 0.2—0.33 Hz である (O'Hanlon & McCauley, 1974; Potvin, Sadoff, & Billingham, 1977)。従って本研究では、この範囲の速さの運動画像を用いる。運動画像を視野中心部に提示した場合 (中心視条件, F 条件) と、大きな視野に提示した場合 (F+P 条件) とを比較する。しかしこの両条件の比較でめまい感が異なっていたとしても、それは視野面積の違いに起因することが考えられる。そこで周辺視野の重要性を検討するために、中心視野を除去した条件 (周辺視条件, P 条件) を設ける。F+P 条件も P 条件も、同程度のめまい感が生じるなら、中心視野から主として抽出される情報、すなわち高空間周波数成分はめまい感に寄与する度合いが少ないだろう、と推測できる。

実 験

本実験では、視覚起因性めまい感に及ぼす、周辺視の効果を検討する。

方 法

被験者 お茶の水女子大学の学生 13 名が実験に参加した。実験の目的は被験者には知らされていない。被験者は、正常あるいは矯正による健常な視力を有する。但し、1 名はコンタクトレンズを装着していたため、アイカメラによる測定が十分にできず、従って眼球運動のデータからは除外した。

提示刺激 四つの室内の風景を 8 mm ビデオでそれぞれ約 1 分 30 秒間撮影した映像を提示刺激とした。撮影した室内風景は、大学内の教室で、いずれも、机、いす、テーブルなどが室内に設置されている。撮影は、ビデオカメラを上下・左右・前後にそれぞれ 8 回ランダム順に動かしながら行った。このビデオカメラの移動は、タイマーに合わせて、振幅約 30 cm、振動数約 0.25 Hz の正弦波状に行った。

実験装置 刺激は、F 条件では、3 インチ液晶カラーディスプレイ (TV-M710 CASIO 製 3.5×5.5 deg) 上に、また P 条件および F+P 条件では、19 インチカラーディスプレイ (KV-19GV1 SONY 製、 25.2×32.1 deg) 上に提示した。但し、P 条件では、19 インチディスプレイの中央に 3 インチディスプレイと同じ大きさの黒い紙を貼った。ディスプレイの周囲は黒い紙で覆い、ディスプレイの枠が見えないようにした (Figure 1 参照)。被験者は、暗室の中におかれた。刺激観察中は、顎台で顔面を固定され、観察距離 57.5 cm の条件のもと実験を行った。

めまい感測定装置 本実験では、以下の理由から、3 種の指標で、視覚起因性めまい感の反応を測定した。

第 1 はマクロな、すなわち視点の移動としての眼球運動の測定である。健常な場合、前庭神経核から前庭

眼反射系への投射によって、眼球の位置の制御が行われている。前述のように、めまいが生じると前庭眼反射に異常が生じ、眼球が自発的に動く (自発眼振)。この自発眼振は視覚刺激によるめまいでも生じる。たとえ 1 点を注視しようと思っても、自発的に眼球運動が生じてしまい、注視が困難になる。この測定には、アイカメラ (EMR-V, NAC 製) を用いた。被験者の視点の動きが、アイマークレコーダによって測定され、画面中央の注視点からの移動距離が算出される。実験刺激提示前後に眼球運動を測定するため、被験者は実験中もこのアイカメラを装着している。

第 2 は、鏡映描写遂行時の遂行時間、および逸脱数の測定である。被験者は、鏡映像を手がかりに、星形の図形の上をなぞる。前庭神経核からは、運動制御をつかさどる小脳への投射がなされている。前述のように、めまい感が生じると前庭-小脳系の働きによって運動失調が起きる。従って、正確な運動制御を必要とする鏡映描写は、めまい感のもとでは遂行が困難になり、それが遂行に及ぼす時間や逸脱回数に反映されると考えられる。

第 3 には、質問紙によってめまい感の主観的状态を 7 段階で評定する。前庭-脊髄反射系の制御異常ではバランス異常が生じ、前庭-自律神経系の異常では吐き気が生じる。また、前庭-皮質系への投射によって、大脳知覚中枢でめまいが知覚される。以上をもとに、この質問紙では、CMI 検査で述べたようなめまい感に付随する症状に関する次の 10 項目への回答が求められた。

- ①食欲がない
- ②椅子から立つのが辛い
- ③目が疲れる
- ④意識がぼんやりしている
- ⑤冷や汗が出る
- ⑥声を出すのが億劫だ
- ⑦頭痛がする
- ⑧吐き気がする
- ⑨体がふらーっとする感じがする
- ⑩体がクルクル回っている感じがする

被験者は、これらの質問項目に対し、(1) 全く当てはまらない、から、(7) とてもよく当てはまる、の 7 段階の評定を行う。質問紙への回答は、1 条件につき実験前、実験中 3 回、実験後の計 5 回行う。結果の集計は、7 段階尺度値の粗点を正規化した T 尺度値 (岩原, 1965) に変換し、10 の質問に対する評定値の平均を求めた。

実験手続き 被験者はまず、1 回目の質問紙に回答を記入する。続いて、アイカメラで、30 秒間眼球運動を測定する。注視点はモニターの中央に提示される。続いて、鏡映描写の測定を行う。まず練習を 9 回行った後、10 回目に達成時間と逸脱回数の測定を行

(A) (B) (C)

Figure 1. Three display conditions. Videotaped motion is presented in the white area. The display sizes are (A) 5.5×3.5 deg (foveal vision), (B) 32.1×25.2 deg (peripheral vision) of which the center area (5.5×3.5 deg) is covered with a black paper, and (C) 32.1×25.2 deg (foveal+peripheral vision). The surrounding area of each display is covered with black paper.

った。以上が、前テストセッションである。この後、4種のビデオがそれぞれ1分30秒間提示される。ビデオ提示中は、モニターの中央部分を注視するよう指示される。一つのビデオが提示されるたびに、先と同様な質問紙に回答する。最後の質問紙回答の後、前テストセッションと同様に30秒間眼球運動が測定される。更に、その後、鏡映描写の測定が行われる。このときには、練習は行わない。

実験条件は、F条件、P条件、F+P条件の三つで、これらは被験者ごとにバランスがとられた。各条件は最小5日間の間隔を置いて行われた。

結果

1点注視という条件において、眼球運動が実験前後でどの程度変化したか（実験後－実験前）を示したのがFigure 2である。

分散分析の結果、各条件間に有意差が見られ（ $F(2, 22)=4.395, p<.05$ ）、多重比較を行ったところ、F条件とP条件の間（ $p<.05$ ）、およびF条件とF+P条件との間（ $p<.01$ ）にはそれぞれ有意差があったが、P条件とF+P条件との間に有意な差は見られなかった。

また、各条件ごとに、実験前と実験後の眼球運動の変化量を分析したところ、眼球運動は、F条件では有意差はなく、P条件（ $t(11)=2.57, p<.05$ ）およびF+P条件（ $t(11)=2.66, p<.01$ ）では有意に増加していることがわかった。

次に、実験前後における鏡映描写の遂行時間および逸脱回数の変化量（実験後－実験前）を示したのがFigure 3とFigure 4である。

いずれも予想に反して、実験前より後の方が遂行時間が早くなり、逸脱回数も減るといった結果が得られた。条件間での分散分析の結果では、遂行時間、逸脱回数ともに条件間に有意な差は見られなかった。

各条件ごとに、実験前と実験後の変化量を分析した

Figure 2. Difference of drifting eye movements between after and before the experiment.

ところ、F条件では遂行時間は有意に減少している（ $t(12)=2.33, p<.05$ ）し、逸脱回数も有意に減少している（ $t(12)=2.46, p<.05$ ）のに対し、他の条件では、遂行時間も逸脱回数も有意な変化は示さなかった。

Figure 3. Difference of tracing time in the mirror drawing between after and before the experiment.

Figure 4. Difference of tracing errors in the mirror drawing between after and before the experiment.

Figure 5. The mean ratings for the vertigo in T scaling. See text for details.

3番目の測定結果として、実験の各段階におけるめまい感に関する主観的評価値（T尺度値の平均値）の推移を示したのが、Figure 5である。

図からもわかるように、前テストセッションにおける評価値は、三つの実験条件間で差はない。そして、実験が進むにつれて、F+P条件、P条件におけるめまい感の評価値は急激に上昇していくのに対し、F条件では、なだらかな上昇しか得られない。

実験条件と実験経過の2要因分散分析を行ったところ、実験条件の主効果は傾向差は見られるものの5%水準では有意ではなかった（ $F(2, 96) = 2.907, p < .075$ ）。一方、実験経過（ $F(4, 96) = 26.46, p < .001$ ）および実験条件と実験経過との交互作用（ $F(8, 96) = 3.089, p < .005$ ）はともに有意であった。下位検定を行ったところ、3回目の刺激提示後以降では、実験条件間に有意差が見られ（ $p < .01$ ）、特にF条件と他の条件との間に1%水準の有意差が認められた。しかしながらどの経過時でも、P条件とF+P条件との間には有意な差は見られなかった。更に、めまい感の評価値がテスト前と比較して1%水準で有意に増加するのはF+P条件、P条件では、2回目の刺激提示後であるのに対し、F条件では、3回目以降であることが示された。

考 察

観察者は静止しているのに、視覚刺激が揺れ動くことによるめまい感とは、視覚起因性のめまい感と言われ、動揺病の大きな要因となっている。そこでは、視覚入力情報と体性感覚情報との不整合が生じ、それがめまい感を生じさせていると考えられる。

本研究では、3種類の指標を用いて、視覚起因性のめまい感に対する周辺視野の効果を検討した。3種類の指標とは、1点固視時の眼球運動、鏡映描写作业、および主観的なめまい感評価である。視覚刺激観察条件は、57.5 cmの観察距離から3インチのモニターを観察するF条件、同じ観察距離から19インチのモニターを観察するF+P条件、19インチのモニターの中央部3インチのモニター分の面積を遮蔽したP条件であった。

実験の結果、眼球運動の測定では、P条件、F+P条件ともに刺激観察の前後で、有意に眼球運動の量が増大した。一方、F条件では、有意な眼球運動の増大は見られなかった。めまい感と眼球運動との関係では、延髄の前庭神経核から前庭眼反射系への投射によって眼球の位置の制御が自動的に行われ、めまいが生じると前庭眼反射系に異常が生じ、自発眼振が生じると言われている。従って、眼球運動の増大が条件間によって異なったのは、めまい感に及ぼす視野の効果があったことを示唆する。

また、鏡映描写作业の結果では、F条件でのみ作業

促進の効果があった。めまい感と運動制御に関しては、めまいによる異常は延髄の前庭神経核から小脳に至る前庭小脳系の働きに反映され、運動失調が生じると言われている。従って、めまいが生じるならば、鏡映描写作业が低下すると考えられた。しかしながら、実際には、作業の低下は見られず、条件によっては、促進の効果が見られた。これは、鏡映描写の学習がまだ進行状態であったのかもしれない。だが、有意な促進効果が見られたのはF条件のみであることは、条件に応じてめまい感に差が出たことがうかがえる。

前2者の行動的指標に関して得られた結果は、めまい感に関する主観的評価の結果と一致する。すなわち、P条件、F+P条件では、ほぼ同程度の比較強いめまい感がほぼ同じ時間経過で得られたのに対し、F条件では、めまい感の程度は比較的弱く、なだらかな時間経過をとっている。

以上から、体性感覚情報と整合しない視覚運動刺激が、中心視野ではなく、周辺視野に与えられる方が、視覚起因性のめまい感に及ぼす効果が大きいことがわかる。このことは、本実験では、P条件とF+P条件との間で有意な差が見られなかったことからわかる。本実験でのF+P条件は、F条件とP条件の視野面積を加算したものであった。しかしながら、F+P条件のめまい感に及ぼす効果は、F条件とP条件の加算という形にはならなかったのである。本実験でのF条件では、水平方向5.5 deg、鉛直方向3.5 degであり、相当する網膜上では、錐体の分布量の90%を占める領域をカバーしており、形態認知に十分な領域であると言える。従って、視覚起因性のめまい感に關与する視覚神経系のメカニズムは、形態知覚に關与する高空間周波数に感度が高いユニットではなく、主として運動知覚に關与する低空間周波数に感度が高いユニットであることが強く示唆された。しかし一方、本研究で得られた結果は、視野全体の安定性を保持する位置や方向の恒常性が關与している可能性も残されている。

動揺病は、前庭機能の未発達な乳幼児や前庭機能に障害がある人には発病しない（加我，1988）ため、動揺病の発生には正常な内耳前庭機能が不可欠であることがわかる。これは視覚刺激のみで発生する場合にも同様であり、前庭機能に障害がある場合には動揺病は発生しない。動揺病の発生に關係する前庭入力と視覚入力の統合が、どのレベルで行われているかについてはまだわかっていない。

引用文献

- 後藤 稠（編） 1988 最新医学大辞典 医歯薬出版株式会社
Graybiel, A. 1970 Susceptibility to acute motion

- sickness in blind person. *Aerospace Medicine*, **41**, 650-653.
- 朴沢二郎 1989 平衡覚 III. 精神物理学および臨床応用. 新生理学体系 9 医学書院 Pp. 463-470.
- Igarashi, M. 1983 Vestibular-visual conflict sickness in the squirrel monkey. *Acta Otolaryngol*, **95**, 193-198.
- 岩原信九郎 1965 新訂版 教育と心理のための推計学 日本文化科学社
- 加我君孝 1988 耳鼻咽喉科・頭頸部外科 Mook No. 7 めまいの心理学——メニエール病とその周辺疾患—— 金原出版
- O'Hanlon, J. F., & McCauley, M. E. 1974 Motion sickness incidence as a function of the frequency and acceleration of vertical sinusoidal motion. *Aerospace Medicine*, **45**, 366-369.
- Oosterveld, W. J., Graybiel, A., & Cramer, D. B. 1972 Influence of vision on susceptibility to acute motion sickness studied under quantifiable stimulus-response condition. *Aerospace Medicine*, **43**, 1005-1007.
- 芋阪直行 1994 周辺視 大山 正・今井省吾・和気典二(編) 新編感覚知覚心理学ハンドブック 誠信書房 Pp. 923-930.
- Potvin, A. R., Sadoff, M., & Billingham, J. 1977 Motion sickness and otolith sensitivity: A pilot study of habituation to linear acceleration. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, **48**, 1068-1075.
- Robson, J. M., & Graham, N. 1981 Probability summation and regional variations in contrast sensitivity curves across the visual field. *Vision Research*, **21**, 408-418.
- 坂田英治 1985 平衡神経科学的検査とその臨床——めまい, 耳鳴り, 難聴の治療のために—— 新興医学出版
- Simmons, K. 1984 Hormon hypothesis joins factors under study in motion sickness. *Journal of American Medical Association*, **251**, 2313-2314.
- Stratton, G. M. 1896 Some preliminary experiments in vision without inversion of the retinal image. *Psychological Review*, **3**, 611-617.
- Straube, A., Paulus, W., & Brandt, T. 1990 Influence of visual blur on object-motion detection, self-motion detection and postural balance. *Behavioural Brain Research*, **40**, 1-6.
- 内野善生 1989 平衡覚 I. 中枢機構. 新生理学体系 9 医学書院 Pp. 449-458.

——1995. 2. 28 受稿, 1996. 1. 20 受理——