回転刺激後の動眼回転性錯視と 正中面偏位の経時的变化¹

神戸大学 末次晃・古曳牧人²・松嶋隆二

The time course of the oculogyral illusion and displacement of the subjective midline after self-rotation

Akira Suetsugu, Makito Kobiki and Takaji Matsushima (Department of Psychology, Faculty of Letters, Kobe University, Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe 657-8501)

We examined the time course of the apparent motion and displacement of the oculogyral illusion (OGI) after cessation of constant rotation (72 deg/s) as a vestibular stimulation. Subjects scaled the apparent motion of a target presented on the objective midline for 120 s after vestibular stimulation (Experiment 1) and the apparent displacement of the same target from the subjective midline (Experiment 2). The magnitude of apparent motion simply decreased from the maximum value as a function of time. In contrast, the magnitude of displacement was nearly zero, or localized near the subjective midline, immediately after the vestibular stimulation. Then, it increased rapidly in the direction of the acceleration, and decreased gradually moreover after 20 to 30 s. These findings suggest that the apparent motion and displacement in OGI could be controlled by different mechanisms, which have different response characteristics to the same vestibular stimulation.

Key words: oculogyral illusion, displacement, subjective midline, vestibular stimulation, proprioception.

暗室中で椅子に座った観察者を回転させると、観察者の目の前で静止している視対象が回転方向へ動いて知覚され、同時に視対象が実際の位置より回転方向へ偏位 (displacement) して定位される。こうした前庭器への刺激によって起きる静止視対象の見かけの動きや定位の誤りは、動眼回転性錯視 (oculogyral illusion, 以下 OGI とする) と呼ばれる (Graybiel & Hupp, 1946)。

OGI は、内耳への注水により前庭器を刺激する温度刺激 (caloric stimuli, Arroyo & Hinchcliffe, 1977) や視運動刺激 (optokinetic stimuli, Post & Leibowitz, 1985) でも起きる。視運動刺激は半規管からの 1 次求心性線維が投射する前庭核を興奮させることが知られており、視覚性の OGI には前庭核が関与していると考えられる (Post & Leibowitz, 1985)。

左半側空間無視患者に温度刺激や視運動刺激を与えると、右方向 (無視半側の反対側) にかたよっていた主観的正中面が一時的に物理的正中面付近にもどるといふ (Karnath, 1994, 1996)。主観的正中面は視覚的
定位における準拠枠の属性の一つと考えられることか

ら、この結果は自己を中心とした視覚的世界の定位では自己受容器系の信号が重要であることを示している (Roll, Roll, & Velay, 1991)。

Evanoff & Lackner (1987) は、OGI における見かけの動きと偏位は二つの異なる要素 (two dissociable components) とみなせるとし、見かけの動きは外部世界に関連づけられた対象の見え (apparent motion of the target in relation to external space) であり、偏位は観察者の正中面に関連づけられた対象の偏位 (apparent displacement in relation to the observer's midline) であろうと述べている。空間定位の問題でいえば、後者は egocentric orientation ということになる。生体自身の動きや体位を感知する自己受容器系の信号には、動きの感覚と関連するフェイジック (phasic) な要素と、体位や平衡の感知に関係する緊張性 (tonic) の要素があるが、視覚世界を自己の身体と関連づける対象-自己間関係的な把握では、当然、緊張性の自己受容感覚信号が重要になってくる。

ところで、標準的平衡機能検査の一つである遮眼書字法を等速回転停止後に行うと、回転方向に応じた書字方向の偏位 (以下、偏書とする) がみられるという (Fukuda, 1959; 福田, 1981)。

福田によると時計回りに等速で 20 秒 10 回転し、停止直後より遮眼した状態で繰り返し書字を行わせると、正中面から右方向へ偏書し、時間とともに偏書角

¹ 本研究の一部は、松嶋に与えられた文部省科学研究費 C (課題番号 10610073) の助成を受けた。本研究のデータの一部は、電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 (1997 年 11 月) で発表したものである。

² 現在の所属：東京少年鑑別所。

度が減少する（第1相）。さらに、遮眼書字を継続すると客観的正中面を越えて左方向へ偏書角度が逆転する（第2相）。刺激から約2分経過後、通常どおり真っ直ぐに書き下せるようになるという。10秒2回転という比較的弱い回転刺激では、第2相と同じ左方向へ偏位する。通常、前庭刺激では眼振やロンベルク反応などの前庭反射が起きるが、これらの反射が消失した第2相の時点でも偏書は持続することから、偏書は単に前庭反射に付随する現象ではないかと考えられている。

OGIの偏位に視対象を自己の正中面に関連づける、すなわち視対象を自己を中心とした基準系に関連づける過程が関与しているならば（Evanoff & Lackner, 1987）、正中面を基準にして文字を書くという運動課題である偏書と同様な経時的变化を示すと考えられる。なぜなら、自己の身体基準系が前庭器を含めた自己受容器系の緊張性の信号から構成されており、それが前庭刺激によって系統的にゆがめられたとすると（Karnath, 1994, 1996; Karnath, Christ & Hartje, 1993）、主観的正中面を準拠枠とする課題では、運動課題と視覚課題の違いにかかわらず同様に前庭刺激の影響を受けると予想されるからである。ここでは福田（Fukuda, 1959; 福田, 1981）と同じく10秒2回転（72 deg/s）程度の弱い回転刺激が、視対象の空間定位へ与える効果について検討する。

これまでの回転刺激を用いたOGI研究は、主に加速回転を前庭刺激としており（Clark & Stewart, 1968; Parsons, 1970）、等速回転停止後のOGIの経時的推移は明らかにされていない。まず実験1で等速回転停止後の視対象の見かけの動きを時系列的に計測し、その経時的变化パターンを明らかにする。次に実験2で、自己の正面からの視対象の偏位量の変化を調べ、両者の相違を明らかにする。

ところで、等速回転停止を前庭刺激とした場合、当然のことながら回転開始時には停止時と逆向きの加速が加わる。Adrian (1943) は、ネコの前庭神経の発火頻度を記録し、刺激受容後の前庭神経の興奮は約20秒間持続することを報告している。10秒2回転条件での偏書は回転停止時の前庭刺激に加えて、回転開始時の逆向きの加速が影響している可能性が高い。このため、回転回数の違いが及ぼす影響についても検討を加えた。

見かけの動きの測定は、それをキャンセルする方向に視対象を動かし、静止して知覚された速度を指標とする方法が最も適当であろう。Cawthorne, Dix, Hallpike, & Hood (1956) は、こうしたキャンセルション法は安定した測定値を得るまでに時間がかかりすぎる上、回転刺激を多数回反復呈示するとresponse declineと呼ばれる一種の馴化が生じ応答特性が変化すると指摘した。本実験は前庭刺激後のOGIの経時

的变化パターンに関心があるため、response declineが起こる可能性が高いキャンセルション法はなじまない。Parsons (1970) は、マグニチュード推定法を用いて動きの大きさの経時的变化パターンの特徴を明らかにしていることから、本実験ではこの方法を採用した。

データの分析には、時系列データの分析に用いられる自己回帰モデル（autoregressive model, 以下ARモデルとする）を用いた。ARモデルは、現在の値を過去の値の重み付けられた線形和とみなす（日野, 1977; 和田, 1997）。また、ARモデルは外乱に対する制御システムの時間的応答特性を明らかにし、制御システムの同定にも利用される統計的手法の一つである。生理学の分野では生体内フィードバック系の解析に有効であることが確認されている（和田, 1997）。本実験のデータにARモデルをあてはめることにより、瞬間的に加えられた外乱に対するOGIの応答特性を明らかにできると考えられる。

実験 1

実験1では、等速回転停止直後から3秒ごとに1秒間呈示した光点の見かけの動きの大きさをマグニチュード推定法により時系列的に計測した。

方法

被験者 大学生および大学院生8名（女5名、男3名）であった。

装置 新大阪商会製電動式回転椅子を用いた。本装置で等速回転（72 deg/s）に達するまでの時間は約1.8秒、回転角度でいえば135 degであった。緑色LEDを発光させ視対象とし、光点の呈示時間および呈示タイミングはコンピュータ（EPSON社製PC-486）で制御した。

手続き 実験条件は、5種の回転回数（2, 4, 6, 8, 10回転）とし、被験者内要因であった。

暗室で電動式回転椅子に被験者を座らせ、水平半規管のみを刺激するために頭部を30°前傾させ、光点呈示位置が物理的正中面と一致するよう頭部の向きを調節し、ヘッドバンドで固定した。視対象までの距離は約1 mとした。実験状況の概略をFigure 1に示す。

被験者を固定した状態で、5秒1回転（72 deg/s）で時計回りに所定の回数だけ椅子を回転させ、急停止させると同時に椅子を固定した。停止位置は、光点が常に被験者の物理的正中面上に呈示されるよう、回転開始前と同じとした。回転中、被験者は閉眼し、回転停止直後、実験者の合図で眼を開け課題を行った。

回転停止直後から3秒ごとに1秒間光点を呈示し、次の光点の呈示までの3秒間の間に見かけの動きの大きさを判断し、報告させた。これを1試行として計30試行を行った。これは前庭刺激後（等速回転停止）

から 120 秒までの期間にあたる。

課題は、光点が水平方向に運動して見えた場合に、動きの方向（右向きか左向きか）と動きの大きさ（水平方向のみ）を口頭で報告することであった。動きの大きさの判断にはマグニチュード推定法を用い、視角 5° の線分の長さを“10”としたものを、動きの見えの大きさの判断の基準とした。静止して見える場合は“静止”と報告させた。報告する数値は整数のみとした。被験者が自由に視線方向を変えるのを防ぐため、光点が呈示されていないときは、視線を自分の正面と感じる方向に向けておくように教示した。

実験は各回転条件を 5 分間の休憩をはさんで 1 回ずつ行い、これを 1 セッションとした。日を代えてもう 1 セッション行い、各回転条件について 2 回計測した。回転回数の呈示順は被験者間でランダムイズし

Figure 1. Schematic representation of the rotating chair used to provide vestibular stimulation. In all experiments, we used the cessation of constant rotation (72 deg/s) as a vestibular stimulation.

Figure 2. Magnitude estimates of the apparent motion in each rotational condition as a function of time. Magnitude estimates in the direction of acceleration (leftward) are arbitrarily assigned negative values.

た。

練習試行は、回転なし条件で 5 試行、10 回転条件で 30 試行を 4 回行った。第 2 セッションの練習試行は、10 回転条件で 30 試行を 2 回行った。練習試行での休憩時間は 2 分間とした。練習試行終了後、5 分間の休憩をはさんで本試行を行った。

結果と考察

静止を“0”，左方向（加速が加わった方向）を正の値、右方向を負の値として、被験者ごとに各回転条件における各測定時点の平均推定値を求めた。次に全被験者の平均推定値を求め、横軸に経過時間を取り回転条件ごとにプロットしたものを Figure 2 に示す。すべての回転条件で加速方向（左方向）への対象の動きが観察された。どの回転条件でも対象の動きは回転停止直後に最大になり、時間の経過とともに単調に減衰していき、約 30 から 40 秒後にはほとんど動きは報告されなくなった。また、動きの方向の逆転がわずかにみられた。

このような経時的変化パターンは、9 秒以内の短時間等加速回転後、等速回転へ移行する条件下で OGI を測定した Parsons (1970) と一致しており、典型的な OGI の時間的推移を示したといえる。ただし、Parsons では、6 秒間 9 deg/s^2 で加速後、等速回転 (54 deg/s) へ移行した条件でも明らかに方向が逆転しており、かつそれが約 45 秒持続していた点では異なっている。

各回転条件の停止直後の平均推定値は、2 から 10 回転でそれぞれ 4.81, 7.00, 8.19, 7.94, 7.44 であった。これについて 1 要因の分散分析を行ったところ有意差があり ($F(4, 28) = 4.94, p < .01$)、下位検定の結果、2 回転条件と他の回転条件とに有意差があり、2 回転は他の回転条件より最大推定値が小さかった。“1”未満の推定値が最初に報告された時間は、2 から 10 回転でそれぞれ、20.00, 27.63, 35.50, 33.00, 31.50 秒であった。1 要因の分散分析を行ったところ、有意差があり ($F(4, 28) = 4.71, p < .01$)、下位検定の結果、2 回転条件と 6, 8, 10 回転条件とにそれぞれ有意差があった。2 回転と 4 回転条件に有意差はなかった。この結果、6, 8, 10 回転条件では 2 回転条件より動きが知覚される時間が長いことが明らかになった。

AR モデルのあてはめと予測 回転条件ごとに AR モデルのあてはめと 240 秒までの予測を行った。AR モデルの係数の決定法はいくつか提案されているが、ここでは短いデータ系列からでも安定したモデルを求めることができる Burg 法を用いた (日野, 1977; 和田, 1997)。AR モデルの最適次数の決定基準として、AIC (Akaike's information criterion) を用いた (日野, 1977; 和田, 1997)。

Table 1
Order and AR coefficients of each rotational condition in Experiment 1 and Experiment 2

	Rotational condition	order	AR coefficients				
			1	2	3	4	5
Experiment 1	2	1	0.832				
	4	1	0.892				
	6	1	0.932				
	8	1	0.951				
	10	1	0.955				
Experiment 2	2	5	0.676	0.663	-0.161	0.072	-0.303
	4	4	0.862	0.498	-0.068	-0.354	
	6	4	0.672	0.782	-0.054	-0.503	
	8	5	0.918	0.379	-0.257	0.134	-0.276
	10	4	1.203	-0.205	0.228	-0.290	

Table 1に各回転回数ごとに最適次数および係数を示した。どの回転回数でも、係数は異なるが最適次数は1次であり、いずれの係数も1未満であった。各条件のARモデルに第1試行から最適次数までの実測値（ここでは、最適次数が1であったため、第1試行の値のみ）を代入し、240秒までの予測を行った結果をFigure 3に示す。すべての条件で単純減衰過程となり、見かけの動きを引き起こす過程の応答特性は回転回数にかかわらず、非常に単純であることが明らかとなった。

こうした経時的变化パターンは、Adrian (1943) が報告している等速回転停止後のネコの前庭神経の発火頻度のそれと同じであり、見かけの動きは、加速に対する前庭器の応答特性と一致していた。また、回転回数は減衰の早さに違いをもたらしたが、これは回転

開始時の加速の効果によると考えられる。回転開始と停止の時間間隔が10秒と短かった2回転条件では、開始時の加速が抑制的な効果をもたらしたと考えられる。

実験 2

実験1と同じ回転条件で、自己の主観的正中面からの光点の空間的偏位を測定する。光点は常に被験者の正中面上に呈示されるため、光点の偏位方向と逆方向への正中面の偏位を測定しているとみなせる。

これまで偏位を検討したOGI研究では、常時、視対象を呈示していた (Evanoff & Lackner, 1987, 1988; Post & Heckmann, 1986)。この呈示方法では、対象の動きも同時に知覚されるため、動きの影響を排除できない。そこで、我々は偏位の判断時に動きがみられない程度に呈示時間を短くする方法を採用した。これによって、動きによる位置判断の曖昧さを排除できると考えた。また、前庭器刺激からの計測時点を実験1とそろえるために、光点の呈示と判断のタイミングを実験1と同期させた。また、計測時間も実験1と同じとした。

方法

被験者 実験1に参加した8名であった。

手続き 光点の呈示時間と被験者が行う課題を除き、実験1と同じであった。

光点の呈示時間は0.1秒で、次の光点が呈示されるまでの時間は3.9秒であった。課題は、主観的な正中面に対する光点の位置（右か左か）と、主観的正中面からの見えの距離（水平方向のみ）を報告することであった。距離の判断には実験1と同じくマグニチュード推定法を用い、標準刺激も実験1と同じとした。

Figure 3. Magnitude estimates of the apparent motion in each rotational condition predicted by autoregressive model as a function of time. Magnitude estimates in the direction of acceleration (leftward) are arbitrarily assigned negative values.

結果と考察

実験後の内観報告によれば、被験者によっては、最初の1, 2試行のみ動きを知覚した被験者もいた。

実験1と同様、左方向を正の値、右方向を負の値として回転条件ごとに被験者の平均推定値を求めた。ついで全被験者の推定値の平均を求め、横軸に時間を取りプロットしたものをFigure 4に示す。すべての回転条件で、加速の加わった方向への視対象の偏位がみられた。光点の呈示位置は物理的正中面であり、かつ自己の正中面からの光点のずれを報告する課題であったことから、主観的正中面が視対象の偏位方向とは逆に偏位したと考えることができる。

回転停止直後は、正中面近くに光点が定位され、そこから急激に左方向（加速方向）への偏位が増加し、その後、徐々に正中面方向に戻ってきた。また2回転以外では、正中面を越えて偏位方向の逆転を示した。

各回転条件について、最大値および最大値をとった時間についてそれぞれ1要因の分散分析を行ったが、いずれも有意差はなかった（それぞれ $F(4, 28) = .55$, $F(4, 28) = .74$ ）。また、最大値以降での最も小さい値およびその時間について1要因の分散分析を行ったが、有意差はなかった（それぞれ $F(4, 28) = 2.18$, $F(4, 28) = .10$ ）。

ARモデルのあてはめと予測 実験1と同様、ARモデルをあてはめ各回転条件ごとにAICとAR係数を求めた。10回転では最適次数が1次（AIC = 23.914）となったが、1次のARモデルは単純減衰、または、増加関数となり実際のデータの特徴を反映したものとはいえない。次いで適切な4次のモデル（AIC = 24.057）のAICとの間にはほとんど差がなかったことから、4次を最適次数とした。Table 1に回

転数ごとの最適次数とAICおよび係数を示した。回転条件によっては次数が異なるが、4次から5次のモデルが最適となった。

これは数単位前の時点の偏位量が、現在の偏位量を規定しているということを意味しており、偏位生成過程はより複雑な構造をもっているといえよう。実験1と同じ方法で、240秒までの予測値を計算し、それをプロットしたものをFigure 5に示す。Figure 4と比較すると2および10回転条件では120秒付近のあてはまりがよくないが、減衰振動するパターンの特徴はとらえている。

予測結果をみると、2, 4, 10回転では減衰が比較的緩やかで、逆方向への偏位の振幅も大きくはない。一方、6, 8回転では相対的に減衰率が大きく、逆方向への偏位も大きい。さらに、偏位方向の再逆転を示した。

全体的考察

本研究では、等速回転停止を前庭刺激としてOGIの時間的推移パターンを検討した。見かけの動きの大きさは、前庭刺激直後に最大値を取り、その後単純に減衰するパターンを示した。正中面からの偏位は、回転停止直後、まず増大し、その後、減少し、偏位方向が逆転した。これまで、等速回転停止後の偏位の経時的変化の様相を検討した研究は見あたらず、我々の結果はOGIに関する新しい知見をもたらしたといえる。

動きと偏位の時間的推移パターンの比較 見かけの動きと偏位は、明らかに異なる特徴を示した。特に、見かけの動きが知覚されなくなった時点でも、依然として偏位が持続していたことは、両者の時間的応答特性の違いを示すものといえる。ARモデルの最適次数は、見かけの動きが1次であるのに対し、偏位では4から5次となった。これは、両者を制御する系の複雑

Figure 4. Magnitude estimates of the apparent displacement from the subjective midline in each rotational condition as a function of time. Magnitude estimates in the direction of acceleration (leftward) are arbitrarily assigned negative values.

Figure 5. Magnitude estimates of the apparent displacement from the subjective midline in each rotational condition predicted by autoregressive model as a function of time. Magnitude estimates in the direction of acceleration (leftward) are arbitrarily assigned negative values.

さが異なる可能性を示唆している。

Adrian (1943) は、ネコの前庭神経の活動を記録し、等速回転停止後の発火頻度は、回転停止直後に最大となり、単純に減少していくことを確かめた。このパターンは、見かけの動きのそれと非常に類似しており、見かけの動きは前庭器の応答特性を直接反映している可能性が高い。一方、偏位では、前庭器の応答特性がそのまま反映されるのではなく、より複雑な処理機構の関与が示唆される。

眼振抑制説 OGIの代表的説明理論として眼振抑制説 (nystagmus suppression theory) が挙げられる (Post & Leibowitz, 1985; Whiteside, Graybiel, & Niven, 1965)。通常、前庭を刺激すると前庭反射である眼振が起こる。対象を注視するためには眼振を随意的に抑制する必要があるが、この眼球運動命令の遠心性コピーが中枢に送られ、眼球は動いていないにもかかわらず眼球運動が起きていると解釈された結果、眼振を抑制する方向への視対象の動きが知覚されると説明している。偏位も、視線方向を決定する機構への遠心性コピーの影響と説明される (Post & Heckmann, 1986)。

眼振と OGI の閾値が異なること (Lackner, 1976)、今回用いた回転刺激 (72 deg/s) では眼振は起きないとされること (福田, 1981) など、眼振抑制説にはいくつか疑問がある。今回は眼球運動を記録していないため眼振との関係は不明であるが、偏位が回転停止から2分間持続していたことから、少なくとも正中面の偏位機構に関しては眼振との関連のみで説明することには無理があると考えられる。

正中面の偏位機構 視対象への正確な働きかけを実現するには、自己を中心とする身体座標において視覚的情報を位置づける機構の必要性が、運動制御の分野から指摘されてきた (樋口・山崎・笠井, 1989)。

樋口他 (1989) は、暗室で光点への開ループのポインティング課題を用いて、暗室にいる時間が長くなるにつれてポインティングの誤差が増大すること、ポインティング開始直前に1.4秒だけポインティングに用いる指先を見せると精度が向上することを報告している。この結果は、視覚的な座標系と身体座標系が独立していること、暗室に長時間放置することで両者の対応関係にずれが生じること、手指を短時間視覚的に確認させることによって、身体座標系での手指の位置情報に加え、視覚的な座標系でも手指の位置情報が得られたことで、両座標系の再対応づけやずれの較正ができたためと解釈できる。

こうした観点から我々の結果も解釈できると思われる。つまり、最初に呈示された光点が、前庭刺激によって崩れた視覚座標と身体座標を対応づける手がかりとして機能し、両座標系の対応づけが行われたとするならば、前庭刺激直後の正中面付近からの特徴的な偏

位の増加を解釈できよう。

最初の光点が視覚的な座標系と身体座標系との対応づけの手がかりとして機能するとの解釈は、さらに検討する必要がある。この解釈が妥当ならば、回転停止から最初の視対象呈示までの時間間隔を延長しても、今回の結果と同様、偏位の増加・減少というパターンが得られると予測される。

Karnath (1994) は、温度刺激と頸筋への振動刺激が主観的正中面の偏位に加算的な効果をもつことを示した一方で、温度刺激と頸筋への振動刺激が矛盾する条件では、両者の効果が相殺されることも見いだした。この結果は、頭部の回転を検出する前庭器と頸筋の自己受容器からの信号を統一的に解釈する (調節) する機構がある可能性を示唆している。前庭器官への刺激は、トニックな姿勢反射を引き起こし (福田, 1981)、その結果は筋紡錘や腱器官などからフィードバックされ、身体座標系に影響を与えるはずである。自己の正面を基準にして外界の対象位置を判断するときには、当然、反射によって引き起こされたフィードバック情報が時間遅れをとまって位置判断に関係してくるため、ARモデルの最適次数が高くなったと解釈できる。

回転回数の効果 Parsons (1970) は、短時間の加速回転後、等速に移行する回転刺激を用いて、等速回転の角速度が同じならば、OGIにおける見かけの動きがほぼ等しくなることを見いだした。本実験では等速回転停止を前庭刺激としたことから、回転回数に関係なく物理量としては等しい刺激であった。今回の刺激状況では、回転回数によって回転持続時間、つまり、回転開始から回転停止までの時間間隔も異なっていた。回転開始時にも加速が加わるため、回転回数の違いは開始時の加速と停止時の相反する向きの加速がかかるまでの時間間隔の違いといえる。このため回転開始時に生じる加速の効果が一定時間持続するならば (Adrian, 1943)、停止時の加速の効果を相殺した可能性が考えられる。したがって、回転時間が短い2回転では見かけの動きが小さかったと解釈できる。しかし、偏位に関しては、左方向への偏位は2回転条件で最も大きく、10回転で最も小さく見かけの動きとは矛盾した結果となった。逆に右方向の偏位は、10回転で最も大きかった。こうしたことから、回転開始時の加速が停止時の加速と反対の効果をもつとは一概にいいがたい。この点については今後の検討が望まれる。

引用文献

- Adrian, E. D. 1943 Discharges from vestibular receptors in the cat. *Journal of Physiology*, **101**, 389-407.
Arroyo, J. A., & Hinchcliffe, R. 1977 Caloric test

- with oculogyral illusion as response. *Journal of Laryngology and Otology*, **91**, 309-321.
- Cawthorne, T., Dix, M. R., Hallpike, C. S., & Hood, J. D. 1956 The investigation of vestibular function. *British Medical Bulletin*, **12**, 131-142.
- Clark, B., & Stewart, J. D. 1968 Comparison of sensitivity for the perception of bodily rotation and the oculogyral illusion. *Perception and Psychophysics*, **3**, 253-256.
- Evanoff, J. N., & Lackner, J. R. 1987 Influence of maintained ocular deviation on the spatial displacement component of the oculogyral illusion. *Perception and Psychophysics*, **42**, 25-28.
- Evanoff, J. N., & Lackner, J. R. 1988 Some proprioceptive influences on the spatial displacement component of the oculogyral illusion. *Perception and Psychophysics*, **43**, 526-530.
- Fukuda, T. 1959 Vertical writing with eyes covered: A new test of vestibulo-spinal reaction. *Acta Otolaryngologica*, **50**, 26-36.
- 福田 精 1981 遮眼書字法——運動と平衡の反射生理——改訂2版 医学書院 Pp. 128-138.
- Graybiel, A., & Hupp, D. 1946 The oculogyral illusion: A form of apparent motion which may be observed following stimulation of the semicircular canals. *Journal of Aviation Medicine*, **17**, 1-12.
- 樋口正浩・山崎興八州・笠井 健 1989 視覚系と運動系の3次元位置の対応づけ（キャリブレーション）機構 電子情報通信学会技術研究報告, **MBE86-82**, 33-39.
- 日野幹雄 1977 スペクトル解析 朝倉書店
- Karnath, H. O. 1994 Subjective body orientation in neglect and the interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation. *Brain*, **117**, 1001-1012.
- Karnath, H. O. 1996 Optokinetic stimulation influences the disturbed perception of body orientation in spatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, **60**, 217-220.
- Karnath, H. O., Christ, K., & Hartje, W. 1993 Decrease of contralateral neglect by neck muscle vibration and spatial orientation of trunk midline. *Brain*, **116**, 383-396.
- Lackner, J. R. 1976 Influence of abnormal postural and sensory conditions on human sensorimotor localization. *Environmental Biology and Medicine*, **2**, 139-177.
- Parsons, R. D. 1970 Magnitude estimates of the oculogyral illusion during and following angular acceleration. *Journal of Experimental Psychology*, **84**, 230-238.
- Post, R. B., & Heckmann, T. 1986 Induced motion and apparent straight ahead during prolonged stimulation. *Perception and Psychophysics*, **40**, 263-270.
- Post, R. B., & Leibowitz, H. W. 1985 A revised analysis of the role of efference in motion perception. *Perception*, **14**, 631-643.
- Roll, J. P., Roll, R., & Velay, J. L. 1991 Proprioception as a link between body space and extra-personal space. In J. Paillard (Ed.), *Brain and space*. Oxford: Oxford University Press. Pp. 112-132.
- Whiteside, T. C. D., Graybiel, A., & Niven, J. I. 1965 Visual illusions of movement. *Brain*, **88**, 193-219.
- 和田孝雄 1997 生体のゆらぎとリズム——コンピュータ解析入門—— 赤池弘次（監修）講談社
- 1998. 6. 3 受稿, 1999. 5. 1 受理——