

運動中の姿勢制御と重心移動の関係に関する考察

朴 沢 二 郎

Considerations on the relation between the postural control and the suitable body sway during movements

Jiro Hozawa, M.D.

The speed of lateral body sway during the movements was recorded by the gravicorder (NEC 1G06) from 12 subjects with normal equilibrium function, and the following results were obtained;

- 1) When the sway action was performed on the horizontal platform of the gravicorder, there was no directional preponderance in sway speed of all subjects.
- 2) When the platform was tilted to the right or left, all subjects swayed faster to the tilted side.
- 3) When the subjects stooped as to lower their gravity center, most subjects could sway faster to the both direction.
- 4) The speed of lateral sway was influenced by the head position. Namely, subjects swayed faster to the side whose head was tilted and slower to the opposit side. Lateral sway was easier when the head was tilted forward than when it was tilted backward. On the other hand, subjects felt most difficulty in swaying to the opposit direction when they twisted their head.
- 5) When the subject knew the direction of sway in advance, they could sway dominantly faster.

Key words : body sway, postural control, body movement

I. はじめに

—— スポーツにおける生体の重心移動の意義について

人間の姿勢は巧みな反射機構によって制御され、それによって地球上の人間は二本足で正しく起立することが出来る。そして或る位置から他の位置に移動する際は体の重心移動を利用して姿勢をくずすことなく合理的に目的の動作を行うことが出来る。このように人間の動作に、姿勢制御と重心移動とは切り離すことの出来ない密接な関係があり、両者が巧く噛み合った時に初めて円滑な行動を行うことが出来る。

例えば、人間が生まれてから歩行出来るようになる迄の過程を眺めてみると、幼児は最初先ず物につかまって起ち、次に物から手を離し、自

力で長く起立姿勢を維持しようと努力する。両足は現位置から離れることなく、体だけがバランスをとるのに懸命になっている姿は、まさに姿勢制御の始まりと言えよう。やがて体を維持する機能が身に付いた時、今度は初めて歩くことをおぼえようとする。始めはなかなか巧く行かずに直ぐ手をついてしまうが、その中、右足を左足の前へ運ぶと同時に、自らの姿勢制御を確かめるかのように一呼吸おいて今度は左足を前に出す、このようにして左右の足を交互に動かす間合いの中で、しだいに姿勢制御と重心移動とが噛み合う要領を会得するようになる。

逆の現象として“パーキンソン歩行”というのがある。神経性歩行障害の一種であるが、ちょうど金縛りにあったように、歩こうとしても最初の第一歩の足がなかなか踏み出せない。一旦

歩き出すとしばしば早足となるが、これなどは姿勢制御と重心移動の連携の悪さが目的動作を妨げている格好な例と言えよう。

あらゆる競技スポーツの中で、よく“タイミング”という言葉を目にするが、野球解説者はホームランを打った時のバッターのスイングを称してタイミングがドンピシャリだとか、重心の移動がスムーズだとか絶賛する。しかし、これはレトロスペクティブなものの見方であり、もし、バッターが解説者通りのスイングを前向きにコンスタントに出来るとしたら、1シーズンに40本以上の本塁打など軽いものである。それぐらいタイミングの取り方はスポーツにとって難問である。その解決のためには、経験的ではなく、確実に再現性があり、しかも誰にでも理解できる科学的な正しい理論が欲しいものである。

しかし“重心移動というキーワード”で文献を探して見ても該当する論文が極めて少ないのは一体どうしたことであろうか。

姿勢制御は生理学的反射機構であり、その解明はかなり進んでいるが、生体の重心移動に至っては、単なる物理現象として取り組めるような単純なものではなく、物体の特性に関わる本質的問題をも含め、人間工学的要素、動力学的要素、それにバイオメカニクスや意志運動・心理現象などが複雑にかみあって簡単に解決出来るものではない。その上に姿勢制御との深い関係において、両者のずれによって生ずる微妙なタイム・ラグの機序を詳細に究明しようとするれば事態はさらに一層複雑困難となる。

筆者は、これからの若い優れた研究者が、積極的にこの難問に情熱を燃やすための火種となることを願って本論文を起草した。今回は、生体の重心移動に影響を及ぼす極く基本的な二三の因子について具体的データを提供し、問題提起としたい。

II. 重心移動の測定法

図1のように、NEC三栄メディカルシステム製平衡機能計(NEC 1G06)の検出盤上に被検者を起立させ、次のような条件で重心移動速度を測定した。(図1)

1. 検査室

音、光など外部から検査に影響する因子が介入しないよう、静かで明るさが均等な部屋を使用した。

2. 被検者

平衡機能の正常な健康男子学生12名を対象とし、あらかじめ検査要領を説明した上で、二三測定練習を行い、成績にバラツキが少なくなった所で、検査を開始し、5回行った平均値を以てデータとした。

3. 検査要領

a) 足の位置

被検者の両足底の中心を結ぶ線の中心が平衡機能計の検出盤上の基準点に一致するよう足の位置を決め、両足の間隔は10cmとし、両足先が平行に真っ直ぐ前を向くように統一した。

b) 基本となる検査姿勢と重心移動動作

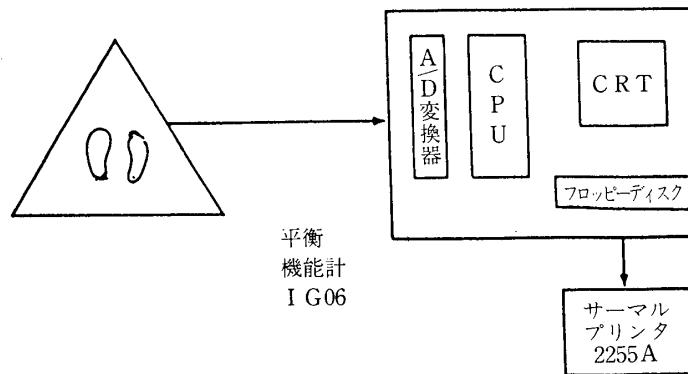
両上肢を軽く体の両側につけ、ゆったりとした自然の状態で直立させ、後述のように重心を移動させる時は、出来るだけ上半身を動かさないよう注意しながら体全体で体重を右足または左足に移すよう指示した。

c) 被検者の視点

前方正面の壁に、被検者の眼の高さの位置に、あらかじめ見やすい指標を設定しておいて、これを注視させながら検査を行うようにした。

d) 重心移動記録

被検者が静止し、平衡機能計に表示される重心の動きが安定したところで、重心移動動作を行わせると、その間の被検者の重心の動きが左右および前後成分に分けられて夫々、時間の経



左右方向の重心動揺軌跡図 (20秒間の記録)

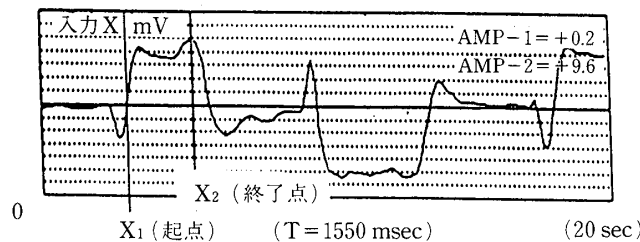


図1 平衡機能計および重心移動軌跡図

過とともに記録されるが、今回は左右方向の重心移動について検討を行ったので、右方向の移動は基線より上方へ、左方向の移動は下方に記録されるように設定し、その軌跡図を測定の対象とした。すなわち、被検者は検者の例えば“右”という声を合図に体重を中心から右足に移し、その後、検者の指示で重心を元に戻す。次に再び検者の方向指示に従って、その方向の足へ体重を移す。この際、検者の指示する方向はあらかじめ被検者に知らせることなく、全くアトランダムに行う。このような重心移動動作を一定の間隔を置いて1分間に5回行い、得られた重心移動軌跡から次の方法で移動速度を計測した。なお解析にあたっては、20秒毎に軌跡図を拡大表示して行った。

e) 重心移動速度の測定

図1に示すように、検者が重心移動軌跡から、その起点 X_1 と終了点 X_2 をマークすると、コンピュータが重心移動所要時間をデジタルで表示してくる。

移動所要時間が短い程、重心の移動が速やかに行われたと判定出来るが、測定誤差を少なく

するため、前述のように測定値は5回の平均で表わす事とした。

III. 水平面起立時における重心移動の左右差について

平衡機能計の検出盤を水平に保ち、その上に起立した被検者が左右どちらの方向に重心移動し易いかを検討した。

被検者の体重が左右の足に均等にかかった状態（以後、これを準備姿勢と呼ぶ）から右または左足へ体重を移動させるに要した時間（以後これを重心移動時間、略して T と呼ぶ）は次の通りであった。

右方向へ： $T = 640 + 80 \text{ msec}$ ($N = 12$)

左方向へ： $T = 690 + 110 \text{ msec}$ ($N = 12$)

t 検定の結果、両者に有意の差は認められず ($p < 0.05$)、従って左右への重心移動には方向優位性の無いことが判明した。なお、全被検者の成績を図2に示した。(図2)

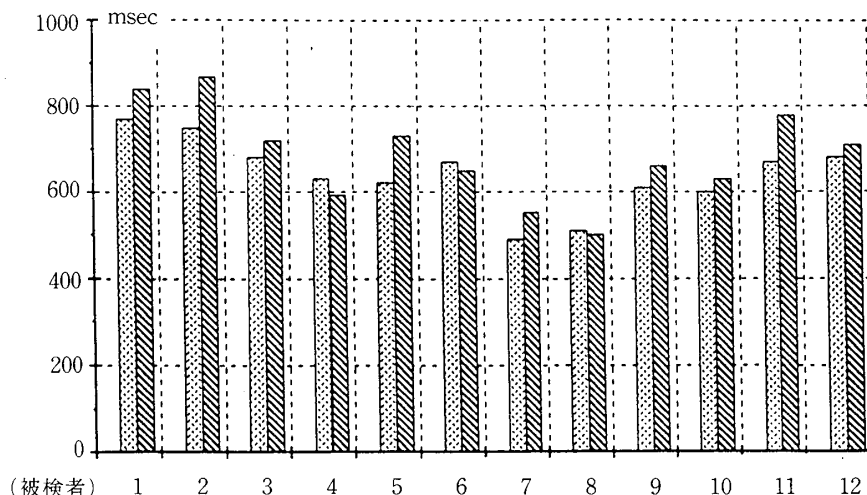


図2 左右方向への重心移動速度の比較

▨ 右方向への重心移動所要時間 (msec)
 ▩ 左方向への重心移動所要時間 (msec)

IV. 重心移動に及ぼす重力の影響

検出盤を左右どちらかへ15度傾け、重力方向への重心移動と反重力方向への重心移動とに差が現れるかどうかを検討した。その結果は、

重力方向へ: $T = 630 + 90 \text{ msec}$ ($N = 24$)

反重力方向へ: $T = 770 + 170 \text{ msec}$ ($N = 24$)

で、t検定の結果、両者に有意の差が見られ ($p < 0.05$)、図3に示すように全例に反重力方向よりも重力方向へ重心の移動し易いことが認められた。(図3)

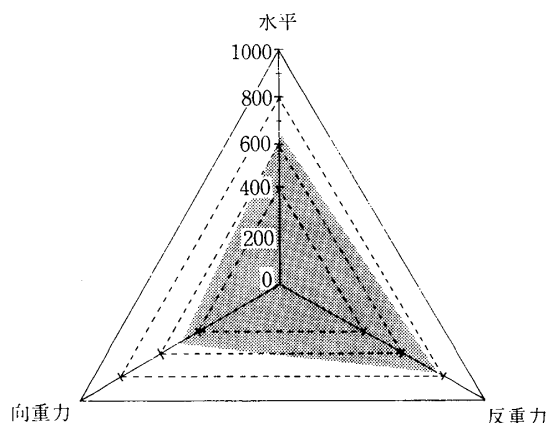


図3 重力方向の重心移動速度に及ぼす影響

向重力: 向重力方向への重心移動所要時間 (msec)
 反重力: 反重力方向への重心移動所要時間 (msec)
 水平: 水平方向への重心移動所要時間 (msec)

V. 重心移動速度に及ぼす重心の低い姿勢の影響

被検者に腰および膝を軽く曲げて前屈位をとらせ、両手を両膝にあてた姿勢で、体の重心位置を低くした場合と直立姿勢の場合とを比較し、体の重心の高さの違いによって重心移動に差が現れるかどうかを検討した。その結果、図4に示すように、24例中12例が明らかに重心を低くした姿勢で重心移動がし易くなり、他の例でも僅かながら同じような傾向を認め、重心を高くしたことによって重心移動が容易になった

例は1例も見られなかった。(図4)

VI. 重心移動速度に及ぼす頭位および頸捻転の影響

頭位を変えることによって、重心移動速度がどのように変化するかを観察した。

運動中の姿勢制御と重心移動の関係に関する考察

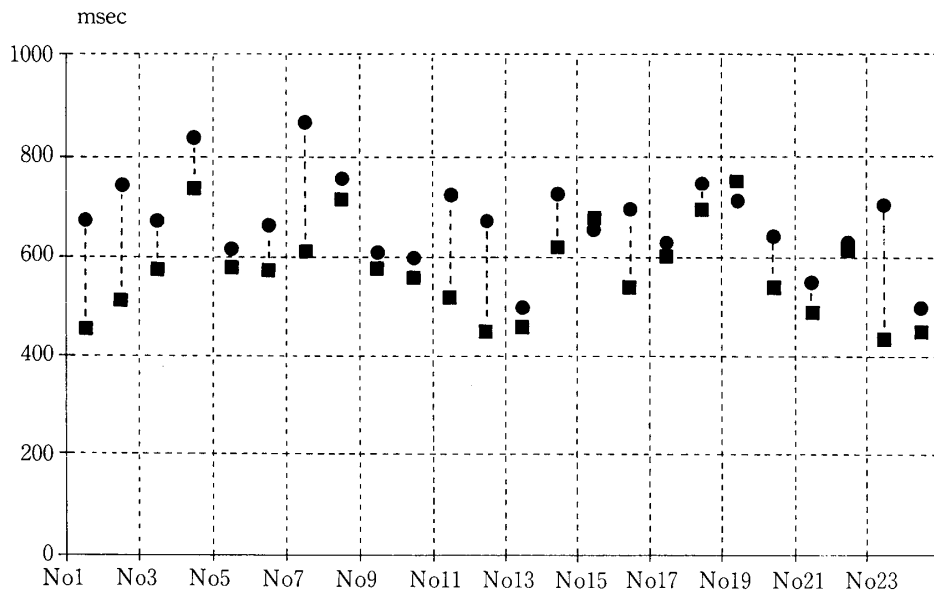


図4 体の重心を低くした姿勢の重心移動速度に及ぼす影響

- 直立姿勢での重心移動所要時間
- 低重心姿勢での重心移動所要時間

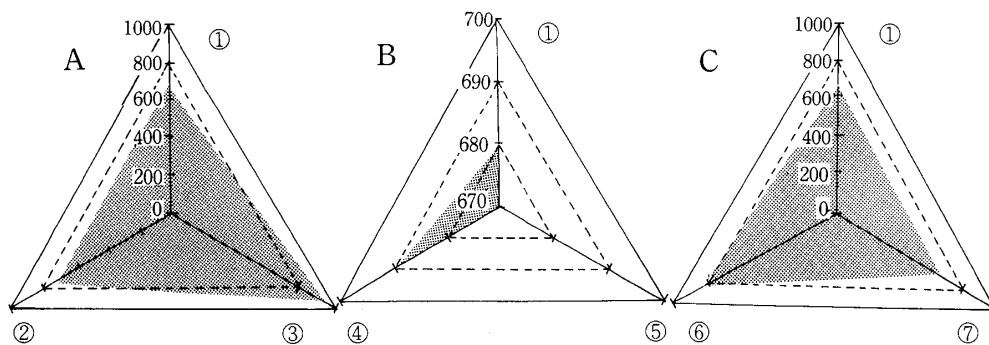
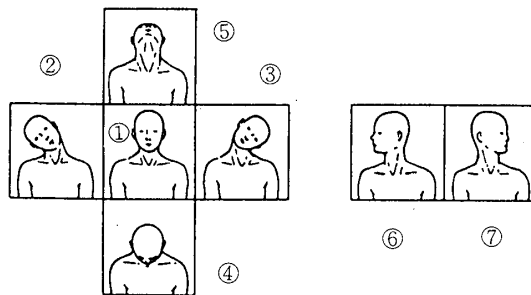


図5 頭位変化の重心移動速度に及ぼす影響

- A : 側方への屈曲頭位の影響
(正面等位, 重心移動側屈頭位, 反移動側屈頭位)
- B : 前後屈頭位の影響
- C : 側方への頸捻転頭位の影響
(丸囲みの数字は上図の頭部位置を示す)

1. 側屈頭位の影響

重心移動方向へ頭を曲げた場合と反対方向へ曲げた場合と直立頭位の場合の三者について、重心移動速度を比較した結果、図5Aに示すように、重心移動と反対の方へ頭を曲げた場合に極端に重心移動が起こり難く、逆に重心の移動する方向へ頭を曲げた場合に直立頭位よりも重心移動の起こり易い傾向が認められた。(図5A)

2. 前後屈頭位の影響

頭を前屈した場合と後屈した場合と直立頭位の場合の三者について、重心移動に及ぼす影響を比較した。その結果、図5Bに見られるように、後屈での重心移動が難しく、頭を前屈した場合に直立頭位の時よりも重心移動がスムーズに行われることが判明した。(図5B)

3. 頸捻転の影響

重心移動方向へ頭を回した場合と反対方向へ回した場合および正面直立頭位の場合の三者について重心移動速度を比較した。その結果、図5Cに見られるように、頭を重心移動と反対の方

向へ回した時に重心が移動し難くなるのが認められたが、頭を同方向へ回した時は直立頭位の場合との差が見られなかった。(図5C)

VII. 重心移動速度に及ぼす予測の影響について

これまでは検者が被検者にあらかじめ重心移動方向を知らせることなく、アトランダムに方向を指示しながら重心の移動を行わせたが、今度は初めから重心を移動すべき方向を指示しておいて、合図によって、その方向に重心移動を行わせた場合、これまでのアトランダム法による重心移動時間との間に、どのような差が現れるかを検討した。なお、測定は水平面起立の姿勢で行ったが、その結果、図6に示すように、全員があらかじめ移動方向を予知している時の方が速やかに重心を移動出来ることが分かった。(図6)

VIII. 重心移動速度に及ぼす予備動作の影響について

物体が“静”から“動”に移る際には、これを

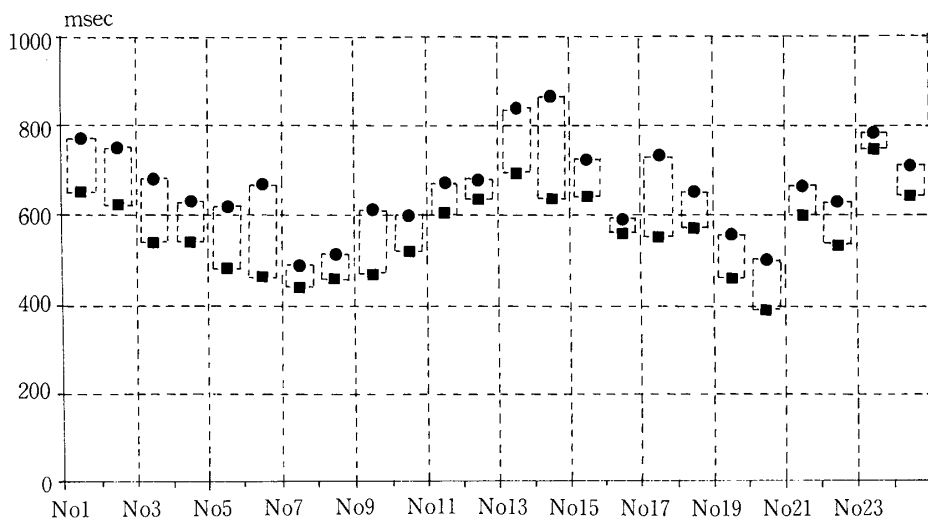


図6 重心移動方向を予知した場合の重心移動速度に及ぼす影響

- 移動方向を予知した場合の重心移動所要時間
- 移動方向を予知しない場合の重心移動所要時間

妨げる力、すなわち摩擦が働く。摩擦には静止している物体に働く静止摩擦と動いている物体に働く動摩擦とがあるが、静止摩擦の方が動摩擦より大きいことが知られている。従って、重心移動動作においても全く静止した状態から重心移動を行うよりも、動きのある中の方が重心移動を起こし易い筈である。経験上、或る方向へ重心を移動させようとする場合、その直前に反対方向へ多少重心を移した方が目的方向への重心移動を行い易い場合がある。これを仮に予備動作と呼ぶことにし、これが重心移動速度に及ぼす影響を検討した。その結果、図7に示すように、被検者の58.3%は予備動作を加えることによって重心移動が容易となったが、逆に重心移動時間の延長を認めた者が25%存在した。その差は被検者が予備動作を巧く重心移動に取り入れたかどうかの違いによるものと思われる。イチロー選手の振り子打法や王選手の一本足打法が全ての選手に取り入れられるとは限らず、また、プロゴルファーのアドレス時のフォワードプレスの仕方を見ても人それぞれ違いがあり、この辺にも重心移動に予備動作の取り入れ方の難しさと個体差のあることが窺える。(図7)

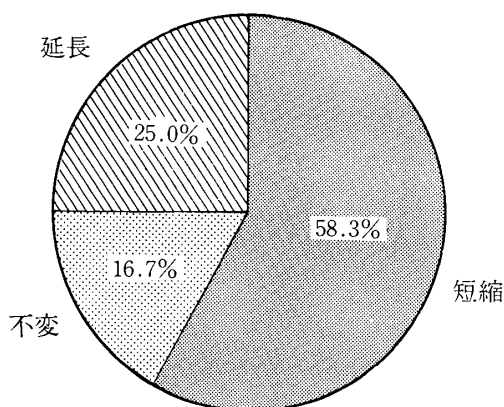


図7 予備運動の重心移動速度に及ぼす影響
 短縮：予備運動を加えることにより重心移動時間の短縮する例
 延長：予備運動を加えることにより重心移動時間の延長する例

IX. 考 察

体の姿勢は、視器・前庭迷路・深部および表在性受容器よりの平衡反射の協応によって制御されている。(時田¹⁾)

また、運動する時は体の重心の移動が必要で、これが姿勢の制御と巧く噛み合った時に初めてスムーズな運動が実現する。今回、運動の際に必要な重心の移動に影響する種々の因子について観察を行ったが、その結果をまとめながら考察すると、先ず水平面での重心移動では左右いずれの方向へも同じように移動が可能で、いわゆる方向優位性のないことが認められた。しかし、平衡機能計の検出盤を左右いずれかの方向へ傾けると、体の重心移動は重力方向の影響を受けて、傾けた方向、つまり重力方向へ重心移動が容易となり、逆に反重力方向への重心移動が難しくなる。一方、体の重心の高さも関係し、例えば、体を前方へかがめて体の重心の位置を低くすると、左右いずれの方向への重心移動もより速やかに行えるようになる。これは硬式テニスのサーブを受ける選手の姿勢によく現われ、重心を低く構えることによって、素早くボールの方向に体重を移動し、レシーブが可能になる。足の開きも重要で、両足幅をせまくすれば、体の支持面が小さくなって、その分だけ重心移動が速やかに出来るようになるが、体の重心と地球の重心を結ぶ重力線が体の支持面から外へ外れやすくなり、その結果、重心を元へ戻すことが出来ずに体が倒れてしまう。逆に開脚幅をひろげて、体の支持面を広くすれば体の安定が良くなる代わりに、重心移動が難しくなる。今回の実験では、全て開脚幅を10cmに統一して行ったが、重心移動に及ぼす種々の因子の影響を観察するには開脚幅を統一して行う必要がある。

頭位が重心移動速度に及ぼす影響には、前庭迷路性筋緊張が関与していると思われる。例えば、頭を前屈した時に反射的に迷路性筋緊張が緩和して、デリケートな体の動きがスムーズに

行われ、その結果、重心移動も容易となる。これに反して頭を後屈した時は逆に迷路性筋緊張が高まり、体が硬直して重心の移動動作も難しくなる(朴沢²⁾)

ゴルフのアドレスをはじめ、あらゆるスポーツの準備姿勢の共通点は軽く顎をひいて、頭を前屈していることであり、これはあらゆる方向へのスムーズな動きを可能にした合理的な姿勢と言える。逆に運動会で行われるパン喰い競争は頭の後屈姿勢で行われ、体が硬直して巧くパンを捕らえられない姿勢での競技である。

また、頭を側方に曲げた場合に、反対方向への重心移動が容易となるのは、頭の側屈によって、曲げた側に重力線が移動するためと思われる。一方、顎を捻った頭位で、反対の方向への重心移動が困難になるのは、重心移動に対して視機能が働かなることが強く影響していると思われる。このように姿勢制御に関係する視器、迷路、受容器は重心移動にも深く関与している。

X. ま と め

今回の実験では、全て左右への重心移動の変

化を観察の対象としたが、実際の運動では左右のみならず、前後、上下、斜めの重心移動が必然的に起こり、これと姿勢制御との関係をさらに詳細に究明しようとするれば、もっと高次元の実験系によって鋭い観察が必要になる。体操、陸上、球技、その他あらゆる競技スポーツの向上のためにも、さらにこの方面の精力的研究が必要となろう。

謝 辞

本実験に当たって、伊藤僚、倉嶋真光両君の協力に心から感謝する。

文 献

- 1) 時田 喬: 身体平衡維持における反射の統合
 松・渡辺編めまい・平衡失調, 127-139, 金原出版(東京) 1988年
- 2) 朴沢二郎: 平衡覚一 精神物理学および臨床応用
 新生理学大系 9, 感覚の生理学 463-470, 医学書院(東京) 1989年

(平成8年11月1日受付, 平成8年12月16日受理)