

体重移動動作の基本的特性と学習過程

小堀 聡*, 多田 大輔*

要旨

体重移動動作において、床反力作用点データ、身体各部の位置データ、視線データの3つを同時に測定できるシステムを構築し、実験を行った。実験は、ディスプレイ上を動くターゲットを、床反力作用点を示すカーソルで追従する動作を行わせるというものである。評価値として、立ち上がり時間と制御誤差、体重移動時間と体重移動距離、視線移動時間を算出した。そして、応答波形の特徴、移動の向きによる差異、個人差、学習過程という観点から解析を行った。その結果から、床反力作用点データと位置データの関係、制御誤差と体重移動時間の関係、頭部の動きと視線の時間的關係、学習に伴う移動動作の方略の変化などについて明らかにした。

1. はじめに

人間は日常生活の中で、様々な運動・動作を行っており、健康な者であれば、それらの動作を何の支障もなく行うことができるし、全く新しい動作に対しても、練習・訓練することにより、ほとんどの場合学習することができる。一方、高齢者や事故・病気などにより障害を持った者は、健常者なら当たり前のように簡単に行える動作ができなかったり、できたとしても非常に時間がかかったりする。このことは、たとえ日常的で一見単純に見える動作であっても、実は様々な知覚系からの情報が統合され、運動系での調整がなされた結果として動作が遂行されているということを示している¹⁾。そこで、もし様々な運動・動作の基本的な特性や学習過程を明らかにすることができれば、高齢者や障害者の自立や機能回復の訓練などへの応用の第一歩となると考えられる^{2,3)}。

本研究では、歩行などにおいて基礎となる随意的な体重移動を伴う動作を解析の対象とする。具体的には、床反力計の上に直立させた被験者に、目標に対する体重移動の動作を行わせる。

直立姿勢において体重移動のトラッキング動作を行わせたものとしては、古くは大西らの研究^{4,5)}があるが、筆者らも同様の動作を対象として、正常例と疾患例の動作特性、学習過程、加齢の影響などを解析した⁶⁾。また、重回帰分析法による動作のモデルを提案し、モデルの各係数に動作の特徴が現れることを明らかにした⁷⁾。

しかしながら、それらの研究で用いられているのは、主に床反力作用点のデータだけであり、また、学習過程などについても詳細な分析はなされていない。そこで、本研究では、被験者に体重移動の動作を行わせ、床反力作用点データだけでなく、身体各部の位置データと視線データの3つを同時に測定し、それらの関係について解析を行う。そして、特に学習過程においてどのような動作の変化が見られるかに着目することにした。

研究としては、まず上記の3つのデータを同時に測定するためのシステムを構築し、実験により健常者についての基礎的なデータを収集する。また、評価値として、床反力作用点データから立ち上がり時間と制御誤差、位置データから体重移動時間と体重移動距離、視線データから視線移動時間を算出し、体重移動動作の基本的特性や学習過程に関して検討を行う。

2. 実験方法

2.1 実験システム

実験システムは、図1に示したように、床反力測定システム、ビデオ運動解析システム、眼球運動測定システムの3つから構成される。

床反力測定システムは、床反力計(竹井機器工業: T.K.K.1292b)とパーソナルコンピュータを中心に構成され、

2003年9月24日受付 2004年4月20日受理

* 龍谷大学理工学部電子情報学科

〒520-2194 大津市瀬田大江町横谷1-5

Tel: 077-543-5111 Fax: 077-543-7428

E-mail: kobori@rins.st.ryukoku.ac.jp

キーワード: 体重移動動作, 床反力作用点, 座標データ, 視線データ, 学習過程

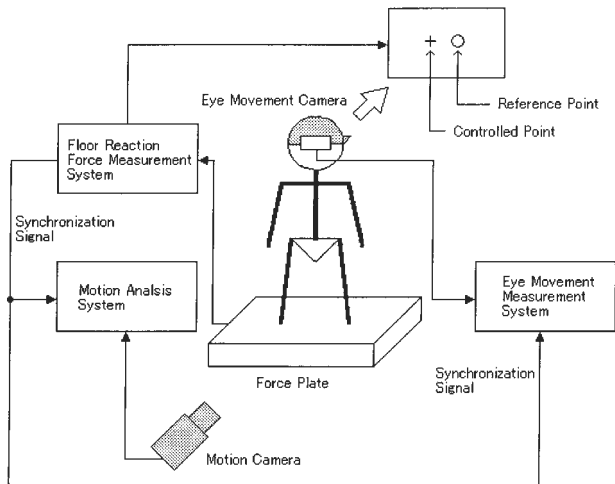


図1 実験システムの構成
Fig.1 Experimental apparatus

独自に開発したソフトウェアによって体重移動のターゲットを表示するとともに、床反力作用点データが測定、表示される。

ビデオ運動解析システム（新大阪商会：Dynas3D/G）は、運動撮影カメラとパーソナルコンピュータを中心に構成され、運動解析ソフトウェアによって、マーカを取り付けた測定ポイントの座標データが算出される。

眼球運動測定システム（ナックイメージテクノロジー：EMR8）は、眼球撮影用の帽子型ユニットとパーソナルコンピュータを中心に構成され、眼球運動解析ソフトウェアによって、帽子型ユニットを着用した被験者の視線の角度データが算出される。

なお、床反力データのA/D変換に用いるアナログ入力ボード（コンテック：AD12-16(PCI)）の出力機能を用いて、トリガー信号をビデオ運動解析システムと眼球運動測定システムに出力して、同期を取るように工夫した。それぞれのシステムにおいては30Hzのサンプリング周波数でデータの測定が行われる。

2.2 実験課題

ディスプレイ上を動くターゲットを、床反力作用点を示すカーソルで追従する動作を行わせる実験である。

目標値を示すターゲットは直径50画素、線幅4画素の円で、制御値（床反力作用点）を示すカーソルは一辺30画素、線幅4画素の十字で表示される。ターゲットは、中央から右または左、右または左から中央、中央から左または右、左または右から中央へと規則的にステップ移動するが、その時間間隔と移動距離はランダムに設定される。一方、カーソルは、体重を移動させることで制御される。

被験者には「体重を移動させ、十字のカーソルをできるだけ早く正確に、円形のターゲットに合わせるようにしなさい」という指示を与えた。

2.3 被験者

19歳から23歳までの健康な男子大学生10名（身長：166cm～183cm、体重：59kg～74kg）を被験者とした。

2.4 測定ポイント

本実験では、文献8)や9)などを参考にして、頭頂、頸部、腰部（中央）、左肩、左肘、左手首、右肩、右肘、右手首、左腰、左膝、左足首、右腰、右膝、右足首の15箇所を測定ポイントとした。ただし、今回はこのうちの頭頂、頸部、腰部（中央）（以下、単に腰部とする）の測定ポイントのデータについて解析を行うことにした。

2.5 実験手順

まず、被験者に実験内容について記した説明書を読ませ、実験の手順などを理解させた。次に、実験の同意書と調査書に記入させた。調査書の項目は、年齢、身長、視力、利き手・利き足、スポーツの経験に関するものである。被験者に半袖のTシャツ、ハーフパンツに着替させた後、帽子型ユニットを着用させた。測定に先立ち、各測定機器の調整を行い、上記の測定ポイントに従いマーカを付けた。以上の準備の後、実験課題の説明を行い、実験を開始する。

2.6 測定条件

被験者には、床反力計のプレート上に示された幅20cmの縦線に足の内側が添うように足を広げて直立させる。今回の実験においては、被験者の頭部から被験者用ディスプレイまでの距離は約1.3mとした。

1回の測定時間は70secとした。ターゲットの移動の時間間隔と移動距離は、それぞれ6.5secから9.5secまでと、6.0cmから8.0cmまでの間でランダムに変化するようにした。ターゲットの移動が右と左のいずれから始まるかは被験者によって定め、右と左が5名ずつになるようにした。どの向きから始まるかは事前に被験者に伝え、測定は10回連続して行った。

3. 解析方法

3.1 評価値の算出

測定したデータから以下のような評価値を算出することにした。なお、ここでの評価値の算出にはx軸方向（体に対して左右方向）のみのデータを用いた。

3.1.1 床反力作用点データ

(1) 立ち上がり時間（RT, 単位はsec）

目標が移動してから床反力作用点が移動し始めて、目標の移動距離の90%に達するまでの時間を立ち上がり時間として目標値と制御値のデータから算出する。90%に達しなかった場合、以下の評価値も含め算出しない。

(2) 制御誤差1（ER1, 単位はmm）

立ち上がり時間となった時点から1.5sec間の目標と床反力作用点の距離の平均値を制御誤差1として目標値と制御

値のデータから算出する。1.5sec のデータが得られない場合は、以下の評価値を含め算出しない。

(3) 制御誤差 2 (ER2, 単位は mm)

制御誤差 1 の区間に続く 1.5sec 間の目標と床反力作用点の距離の平均値を制御誤差 2 として目標値と制御値のデータから算出する。1.5sec 間のデータが得られない場合は算出しない。

3.1.2 位置データ

(1) 体重移動時間 (sec) と体重移動距離 (mm)

位置データの微分値 (移動速度) が目標の移動から 3.3sec の間で負の値に変わるまでを 1 つの単位 (これを 1 回の動作とする) ととらえ、体重移動の時間と距離を算出する。

位置データ (mm) とは、ビデオ運動解析システムの較正棒の左下を原点とし、体重移動を行う左右方向 (右向きに正) の 1 次元座標データに対して移動平均処理により平滑化したものである。また、位置データの微分値データについても移動平均処理により平滑化している。まず、目標が移動を開始した時刻を基準時刻とし、基準時刻からその 0.5sec 前までの位置データの平均値を基準位置とする。次に、基準時刻からその 3.3sec 後までの時間において、移動速度が負の値に変わる時刻を算出し、その時刻での位置データと基準位置の差の絶対値の 90% の値となる時刻を体重移動時刻とする。そして、体重移動時刻と基準時刻の差の絶対値を体重移動時間 (sec) とし、体重移動時刻での位置データと基準位置の差の絶対値を体重移動距離 (mm) とする。

3.1.3 視線データ

(1) 視線移動時間 (sec)

視線データが目標の移動から 0.5sec の間で最大値となるまでの眼球運動を 1 つの単位と考え、視線移動の時間を算出する。

視線データ (deg) とは、視野の中心を原点とした、視線移動の左右方向 (右向きに正) の 1 次元角度データである。まず、目標が移動を開始した時刻を基準時刻とし、基準時刻からその 0.1sec 前までの視線データの平均値を基準位置とする。次に、基準時刻からその 0.5sec 後までの時間において、視線データが最大値になる時刻を算出し、その時刻での視線データと基準位置の差の絶対値の 90% の値となる時刻を視線移動時刻とする。そして、視線移動時刻と基準時刻の差の絶対値を視線移動時間 (sec) とする。

3.2 解析の観点

本研究では、応答波形、移動の向きによる差異、個人差、学習過程の観点から先に述べた評価値を用いて、以下の解析を行った。

3.2.1 応答波形

床反力作用点データ、位置データ (頭頂、頸部、腰部)、視線データについて、波形に見られる特徴について検討した。

3.2.2 移動の向きによる差異

体重移動の向き (中央から右, 右から中央, 中央から左,

左から中央) ごとに、各評価値の平均値と標準偏差を算出し、有意差検定により比較を行った。

3.2.3 個人差

被験者ごとに各評価値の平均値と標準偏差を算出し、有意差検定により比較を行った。

3.2.4 学習過程

試行回数ごとに各評価値の平均値と標準偏差を算出し、学習に伴う変化を調べた。また有意差検定も行った。

3.3 解析結果

3.3.1 応答波形

以下の図ではすべて、縦軸は、被験者が床反力計上で体重移動を行う左右方向 (右向きに正) を示し、横軸は 1 回の試行の時間 (sec) とする。また、特に断らない限り、ある被験者の 6 回目の試行 (動作が安定していると判断されるもの) のデータを用いている。

(1) 床反力作用点と頭頂の位置データ

図 2 は、目標の移動とそれに対する床反力作用点の変化と頭頂の位置データの変化を示している。目標値と床反力作用点については、床反力計の中央を原点とする左右方向の位置 (mm) が縦軸となり、位置データについては、左右方向の位置 (mm) が縦軸となり、床反力計の中央を原点とするように変換して表示している。

このグラフより次のことがいえる。

- 床反力作用点には、体重移動の向きとは逆向きに必ず一度移動するという逆応答現象が見られる。
- 床反力作用点には、目標の移動の向きに対して目標を越えるオーバーシュートという現象が見られる。
- 床反力作用点には、体重移動後の目標との誤差を修正するために小さな振動を繰り返し、目標に徐々に近づいて行く傾向が見られる。
- 頭頂の移動には、逆応答現象、オーバーシュート、小さな振動は見られない。
- 逆応答現象は、頭頂の移動と同時に始まっている。

(2) 頭頂の位置データと視線データ

図 3 は、目標の移動とそれに対する頭頂の位置データと視線データの変化を示している。視線データは、頭部に対しての眼球運動 (回転角) として測定される。視線データについては、視野の中央を原点とする左右方向の角度 (deg) が縦軸となり、位置データとの関係は相対的に表示している。

このグラフより次のことがいえる。

- 視線データは、頭頂の位置データの変化に先立ち、目標の移動と同じ向きに変化し、その後、頭頂の位置データの変化に伴い、目標の移動とは逆向きに大きく変化している。
- 頭頂の位置データに揺れがあると、視線データにも揺れが見られる。

(3) 身体各部の位置データ

図 4 は、目標の移動とそれに対する身体各部 (頭頂、頸部、腰部) の位置データの変化を示している。

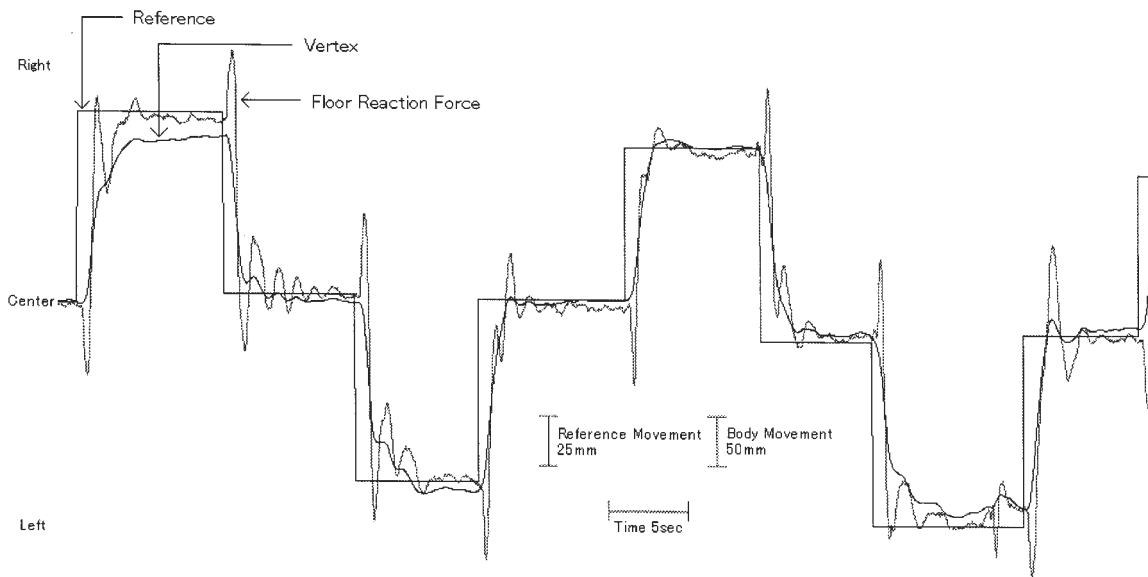


図2 床反力作用点と頭頂の位置データの波形
Fig.2 Waveforms of floor reaction force and vertex position data

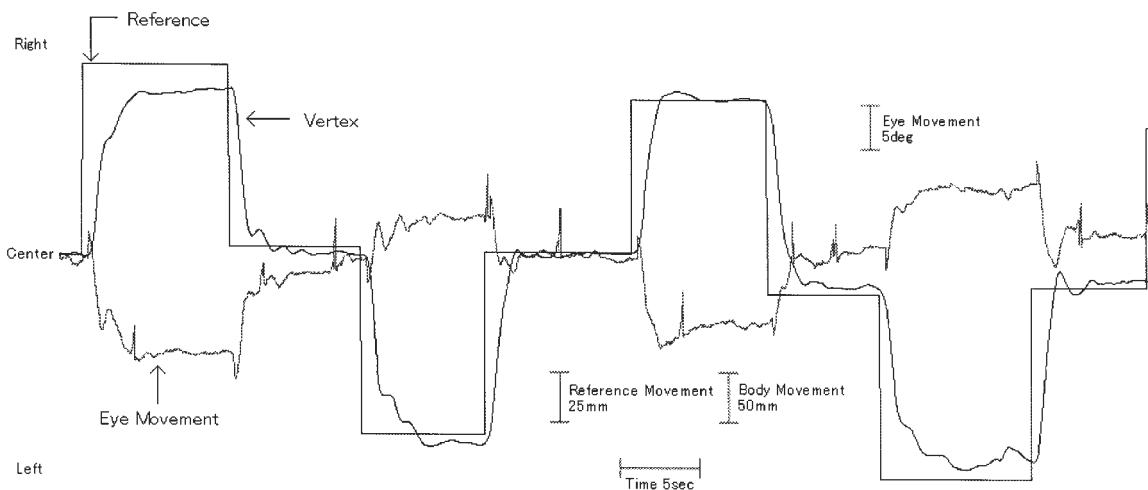


図3 頭頂の位置データと視線データの波形
Fig.3 Waveforms of vertex position data and eye movement data

このグラフより次のことがいえる。

- 中央から右もしくは左に移動したとき、数回の動作で移動している場合がある。
- 右もしくは左から中央へ移動したときには、スムーズな動きとなっている。

また、身体各部の位置データについては、学習に伴う変化についても、興味深い特徴を示す。図5は、図4と同じ被験者の1回目の試行のデータである。

図4と図5のグラフを比較して、次のことがいえる。

- 1回目の試行の動作は滑らかではなく、1回の動作での動きが小さい。

3.3.2 移動の向きによる差異

ここでは、体重移動の向きについて、中央から右、右から中央、中央から左、左から中央、の4つに分類区別し、各評価値の平均値と標準偏差を算出して比較を行った。

(1) 床反力作用点データ

表1は、体重移動の向きごとに床反力作用点データについての評価値 RT, ER1, ER2 の平均値と標準偏差を算出した結果を示している。

移動の向きによる差異を調べるために、中央から左右への移動と左右から中央への移動との間について、有意水準5%で有意差検定を行った。

これらの結果から分かったことは以下の通りである。

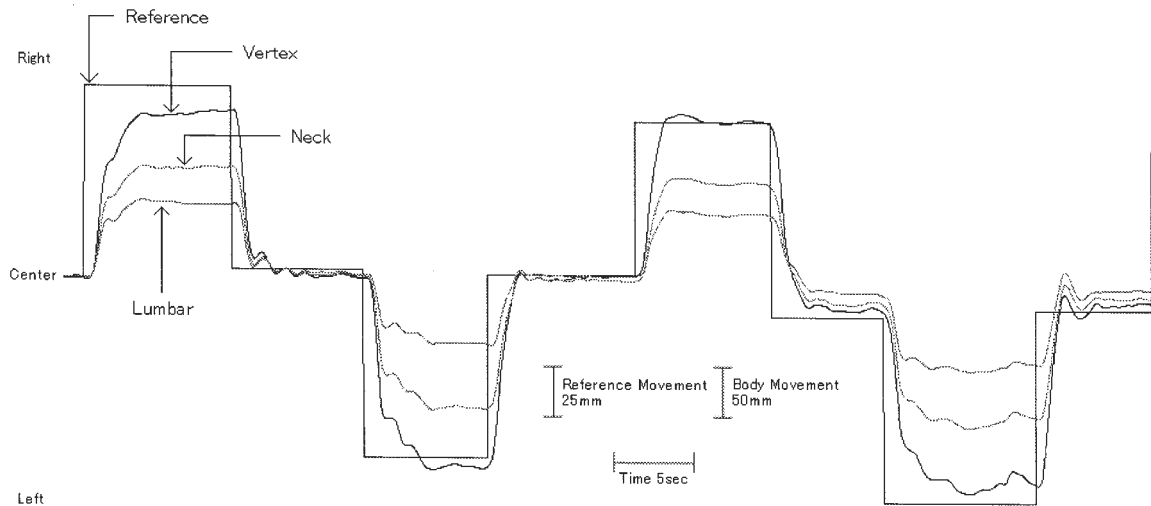


図4 身体各部の位置データの波形 6th
Fig.4 Waveforms of position data of each body part on 6th trial

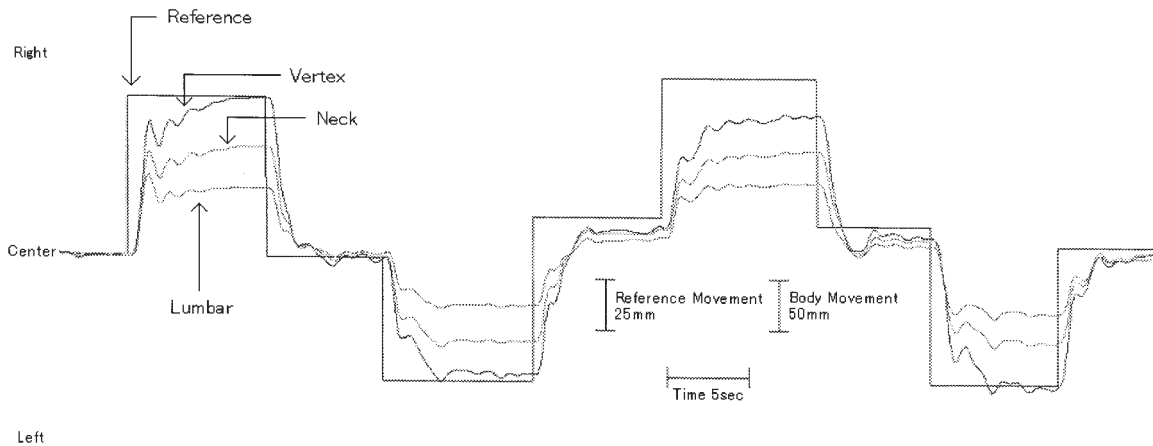


図5 身体各部の位置データの波形 (試行1回目)
Fig.5 Waveforms of position data of each body part on 1st trial

- ・中央から右もしくは左へ移動する場合と右もしくは左から中央へ移動する場合は、中央から右もしくは左へ移動する場合の方が、すべてにおいて評価値が有意に大きい。

(2) 体重移動時間

体重移動の向きごとに頭頂、頸部、腰部の体重移動時間の平均値と標準偏差を算出し、移動の向きごとに算出した。

表1 移動の向きごとの床反力作用点についての評価値
Table 1 Evaluation parameter for floor reaction force on each direction of shifting.

Evaluation Parameter	Center → Right	Right → Center	Center → Left	Left → Center
RT (sec)	1.42 ±0.56	1.25 ±0.14	1.36 ±0.52	1.23 ±0.40
ERI (mm)	13.59 ±7.79	10.00 ±4.54	13.53 ±7.35	10.12 ±4.32
ER2 (mm)	5.89 ±3.70	4.43 ±2.28	5.77 ±3.78	4.43 ±2.41

中央から左右への移動と左右から中央への移動との間について、有意水準5%で有意差検定を行った結果から分かったことは以下の通りである。

- ・中央から右へ移動する場合に、右から中央への移動に比べて、すべての部位において評価値が有意に大きい。
- ・中央から左へ移動する場合には、左から中央への移動に比べて有意差は見られなかった。

(3) 体重移動距離

表2は、体重移動の向きごとに頭頂、頸部、腰部の体重移動距離の平均値と標準偏差を算出した結果を示している。

中央から左右への移動と左右から中央への移動との間について、有意水準5%で有意差検定を行った結果から分かったことは以下の通りである。

- ・頭頂については、中央から右もしくは左へ移動する場合には、右もしくは左から中央へ移動した場合に比べて、評価値は有意に小さい。

表2 移動の向きごとの体重移動距離
Table 2 Shifting distance on each direction of shifting

Shifting Distance (mm)	Center → Right	Right → Center	Center → Left	Left → Center
Vertex	79.52 ±25.41	91.12 ±30.89	80.02 ±28.82	88.09 ±29.48
Neck	64.19 ±14.58	67.56 ±14.64	63.85 ±16.37	66.37 ±14.18
Lumbar	49.19 ±14.12	48.67 ±12.18	48.33 ±12.03	48.95 ±12.68

- ・頸部については、頭頂と同様の結果である。
- ・腰部については、有意差は見られない。

(4) 視線移動時間

体重移動の向きごとに左目と右目の視線移動時間の平均値と標準偏差を算出した。

中央から左右への移動と左右から中央への移動との間について有意水準5%で有意差検定を行った結果、すべての場合について有意差は見られないことが分かった。

3.3.3 個人差

(1) 床反力作用点データ

図6と図7はそれぞれ、被験者ごとの制御誤差1と立ち上がり時間の平均値と標準偏差を示している。図6では、評価値の小さい順に被験者を順序づけて横軸に示し、図7も同様の順序で横軸に被験者を示している。

この2つの図から以下のような特徴を見ることができる。

- ・制御誤差1と立ち上がり時間は、ともに個人差が見られ、特に制御誤差1においてはそれが大きい。
- ・制御誤差1が小さい被験者は、立ち上がり時間も大きいという傾向が見られるが、数名の例外もある。

(2) 体重移動時間

図8は、被験者ごとの頭頂の体重移動時間の平均値と標準偏差を示すが、図6と同様の順序で横軸に被験者を示している。

この図から以下のような特徴を見ることができる。

- ・体重移動時間には、個人差が見られる。
- ・制御誤差1が小さい被験者は、体重移動時間も大きいという傾向が見られるが、数名の例外もある。

(3) 体重移動距離

図9は、被験者ごとの身体各部の体重移動距離の平均値と標準偏差を示すが、図6と同様の順序で横軸に被験者を示している。

この図から以下のような特徴を見ることができる。

- ・身体各部とも体重移動距離の個人差は大きい。
- ・制御誤差1と体重移動距離の間には明確な関係は見出せない。
- ・頭頂を大きく動かす者がいるなど、被験者の動作の特徴が示されている。

(4) 視線移動時間

被験者ごとの視線移動時間の平均値と標準偏差について

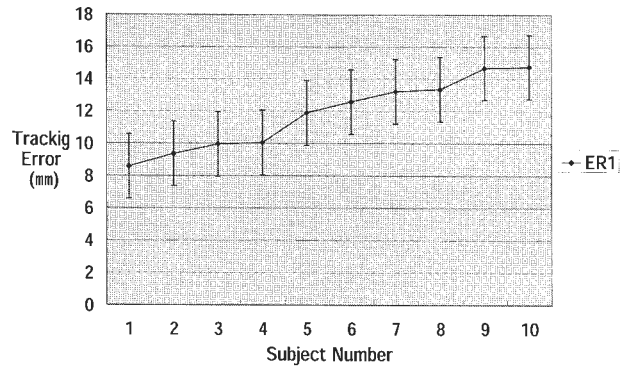


図6 被験者ごとの制御誤差1
Fig.6 Tracking error1 on each subject

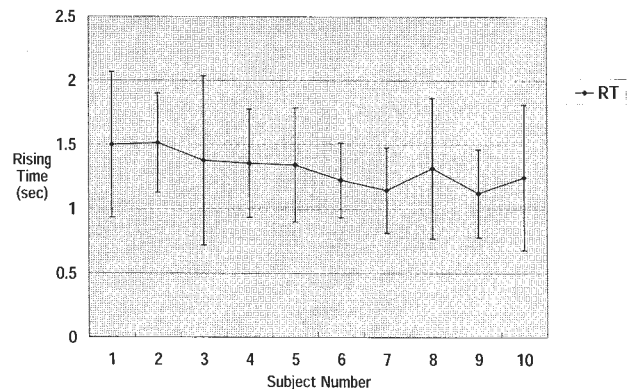


図7 被験者ごとの立ち上がり時間
Fig.7 Rising time on each subject

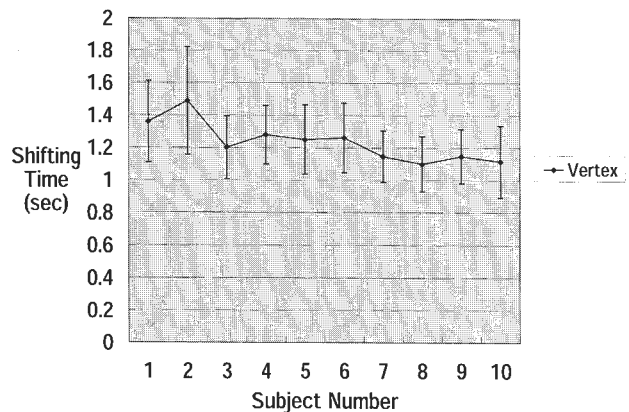


図8 被験者ごとの頭頂の体重移動時間
Fig.8 Shifting time of vertex on each subject

も、図6と同様の順序で横軸に被験者を示してグラフ化した結果、以下のような特徴を見ることができる。

- ・制御誤差1と視線移動時間の間には明確な関係は見出せない。
- ・視線移動時間については個人差が見られるが、明確な特徴は見出せない。

3.3.4 学習過程

(1) 床反力作用点データ

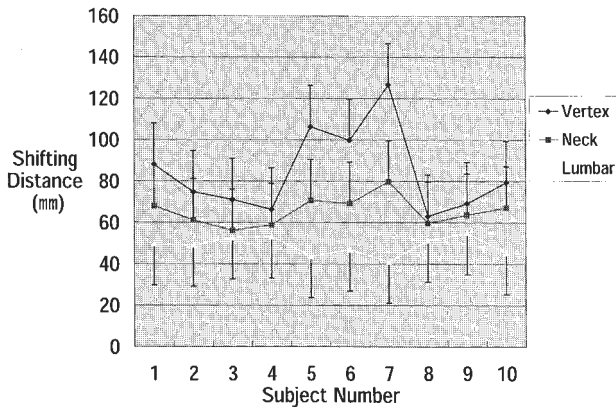


図9 被験者ごとの身体各部の体重移動距離
Fig.9 Shifting time of each body part on each subject

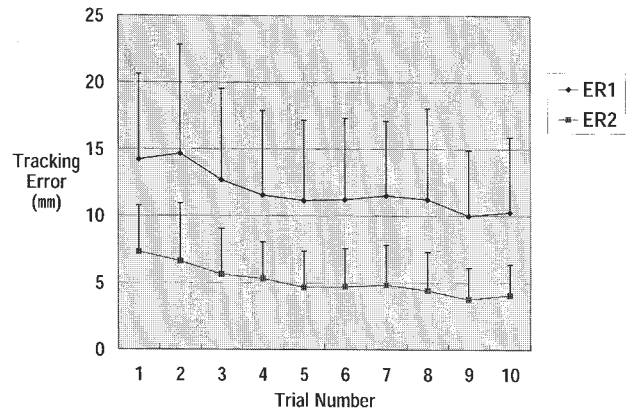


図11 制御誤差の学習曲線
Fig.11 Learning curve of tracking error

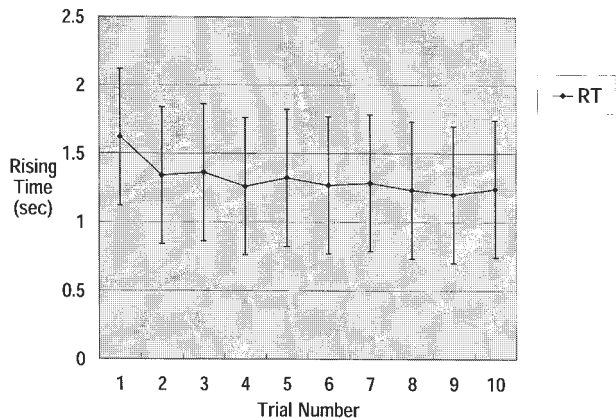


図10 立ち上がり時間の学習曲線
Fig.10 Learning curve of rising time

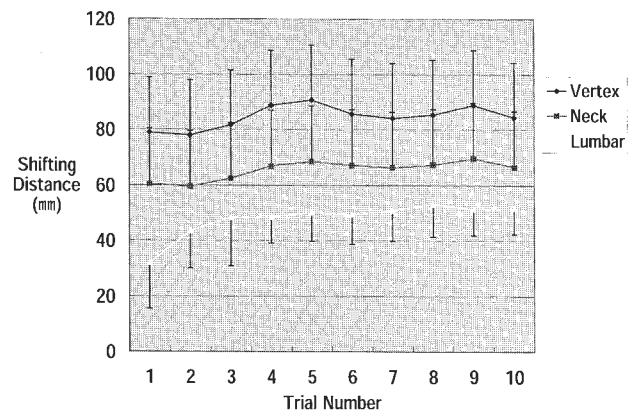


図12 身体各部の体重移動距離の学習曲線
Fig.12 Learning curve of shifting distance on each body part

図10と図11はそれぞれ、立ち上がり時間と制御誤差1と2の平均値と標準偏差の試行回数に伴う変化を示している。

この図より以下のことが分かる。

- いずれの評価値も試行回数に伴って値が小さくなるという傾向が認められる。
- いずれの評価値も3回目の試行ぐらいまでの学習が顕著である。
- 立ち上がり時間は5回目の試行ぐらいで安定するが、制御誤差はその後さらに小さくなる傾向がある。

(2) 体重移動時間

身体各部の体重移動時間の平均値と標準偏差の試行回数に伴う変化をグラフ化した結果より以下のことが分かる。

- 2回目から4回目までは増加傾向にあり、5回目以降は減少傾向にあるが、全体として大きな変化は見られない。また、部位による違いも見られない。

(3) 体重移動距離

図12は、身体各部の体重移動距離の平均値と標準偏差の試行回数に伴う変化を示している。

この図より以下のことが分かる。

- 5回目までは各部とも増加傾向にあるが、6回目以降に頭頂には減少傾向が見られる。
- 腰部では3回目までに大きく増加しており、減少傾向は見られない。

(4) 視線移動時間

左目と右目の視線移動時間の平均値と標準偏差の試行回数に伴う変化をグラフ化した結果より以下のことが分かる。

- 試行回数に伴って少し減少する傾向が認められるが、顕著ではない。

4. 考察

4.1 応答波形

まず、床反力作用点では、逆応答現象、オーバーシュート、小さな振動が見られるのに対して、頭頂など身体各部の移動には、それが見られないことは大変興味深く、床反力作用点と身体各部の移動を同時に測定したことの意義を示すことができた。特に、逆応答現象では実際に身体が逆向きに動いているのではなく、床反力作用点の軌跡において生じるものであることが示せたことは重要である。

このことは、大西ら⁵⁾が立位時トラッキング動作の数学

モデルを提案し、制御工学的な観点から逆応答現象を考察し、この現象は反動づけのための動作によるものではないという説明を支持する。

次に、視線データが頭頂などの位置データの変化に先立ち、目標の移動と同じ向きに変化していることから、身体の移動よりも先に眼球を動かし、目標に視線を移動させようとしていることが分かる。また、この方法は動作の学習に伴っては変化しないことも分かった。

その後の視線データが頭頂の位置データの変化に伴い、目標の移動とは逆向きに大きく変化していることは、頭部を移動させながら、視線を目標に一致させようとしていることを示しており、逆向きの変化するのは、頭部の動きの方が視線の移動よりも大きいからである。

なお、このような現象が観察されるのは、現在の測定方法では、視線データは頭部に対しての眼球運動（回転角）として測定されるためであるが、頭部の動きも同時に測定されているので、その分を補正すればディスプレイ上の座標値を算出することができる。

4.2 移動の向きによる差異

中央から右もしくは左へ移動する場合と右もしくは左から中央へ移動する場合では、中央から右もしくは左へ移動する場合の方が、すべてにおいて床反力作用点データによる評価値が有意に大きいことは、中央から右もしくは左へ移動する場合よりも右もしくは左から中央へ移動する場合の方が、動作として行いやすいということを端的に示している。このことは、応答波形の観察において、中央から右もしくは左に移動したときには、数回の動作で移動している場合があり、逆に右もしくは左から中央へ移動したときには、滑らかな動きとなっている、ということからも裏付けられる。

また、頭頂と頸部の位置データによる評価値においても、ほぼ同様の傾向が見られ、移動の向きによる差異を示している。一方、腰部において有意な差が認められなかったのは、腰部の動きが小さいためであると考えられる。

4.3 個人差

制御誤差 1 が小さい被験者は、立ち上がり時間や頭部の体重移動時間も大きいという傾向が見られるのは、いわゆる「正確さと速度のトレードオフ」と呼ばれる現象を端的に表していると考えられる。しかし、数名の例外もあるということは、体重移動動作自体に優劣があることを示している。

制御誤差 1 と体重移動距離の間には明確な関係は見出せず、頭頂を大きく動かす者がいるということは、体重移動動作に対しての方略が異なる者がいることを示している。

このような個人差は、各人の運動能力や動作の方略の差異を示していると考えられ、今回の実験のような身体各部の移動の測定が体重移動を伴う運動の評価に応用できる可

能性を示している。

4.4 学習過程

いずれの床反力作用点による評価値も試行回数に伴って値が小さくなるという傾向が認められることは、これまでの実験結果⁶⁾と同じであり、被験者がこの動作を繰り返すことにより学習したことを示している。

一方、体重移動時間が 2 回目から 5 回目までは増加傾向にあることは、立ち上がり時間が減少する傾向と矛盾するように思えるが、体重移動時間が 1 回の動作での体重移動に要した時間を示していることから考えると、学習に伴って 1 回の動作での体重移動の距離が大きくなり、その分時間も増大したと考えられる。逆に 5 回目以降に減少傾向が見られるのは、そのような 1 回の動作自体が素早く行えるように学習したことを示しているといえる。

このことは、体重移動距離においても、5 回目までは各部とも増加傾向にあるが、6 回目以降に頭頂に減少傾向が見られることから裏付けられる。

また、腰部の体重移動距離が 3 回目までに大きく増加しており、減少傾向が見られないということは、学習に伴って相対的に下半身の動きが大きくなったことを示している。応答波形の特徴も合わせて考察すると、体重移動動作の学習においては、このような下半身の動きの習得が重要であり、下半身を大きく動かして滑らかで安定した体重移動が可能となるように動作を学習すると考えられる。

5. まとめ

本研究は、体重移動動作の基本的特性と学習過程について総合的に解析することを目的とした。このため、床反力測定システム、ビデオ運動解析システム、眼球運動測定システムを用い、床反力作用点データ、身体各部の位置データ、視線データの 3 つを同時に測定できるシステムを構築し、実験を行った。

実験は、ディスプレイ上を動くターゲットを、床反力作用点を示すカーソルで追従する動作を行わせるというものである。円形のターゲットは左右へ規則的にステップ移動するが、時間間隔と移動距離はランダムに設定される。被験者は 10 名の男子学生であり、1 回 70 秒の試行を 10 回連続して測定した。評価値として、床反力作用点データから立ち上がり時間と制御誤差、位置データから体重移動時間と体重移動距離、視線データから視線移動時間を算出した。そして、応答波形の特徴、移動の向きによる差異、個人差、学習過程という観点から解析を行った。

その結果、次のようなことが分かった。

- (1) 床反力作用点では逆応答、オーバーシュートなどが見られるのに対して、頭頂など身体の一部の移動には、それらが見られない。
- (2) 視線データは頭頂などの位置データの変化に先立ち、目標の移動と同じ向きに変化している。

- (3) 体重移動の向き（中央から左右か，左右から中央か）により，立ち上がり時間や体重移動時間などに差異が見られる。
- (4) 立ち上がり時間と制御誤差の関係において，典型的な「正確さと速度のトレードオフ」が見られるが，個人差も認められる。
- (5) 学習に伴って，1回の動作での体重移動の距離が大きくなり，その分，体重移動の時間も増大する傾向が見られるが，6回目以降は逆に移動時間が減少する傾向が見られる。
- (6) 学習過程の前半では，上半身を大きく動かす動作が見られるが，学習に伴って相対的に下半身の動きも大きくなるのが学習における大きな特徴である。

以上の結果から，構築した実験システムや評価方法により，体重移動動作の基本的特性と学習過程についての総合的な解析が行えることが示された。

今後，本研究の実験システムや評価方法を臨床の場において用いることを考えた場合，性別や年齢，運動能力などが今回とは異なる被験者群に対する測定が必要となる。また，他の部位の測定ポイントのデータ解析や体重移動動作と眼球運動との関係についても，さらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 乾 敏郎 (編): 認知心理学 1 知覚と運動, 1-13, 東京大学出版会, (1995).
- 2) 赤澤堅造: 生体情報工学, 1-14, 東京電機大学出版局, (2001).
- 3) 杉江 昇, 大西 昇: 生体情報処理, 1-11, 昭晃堂, (2001).
- 4) 大西 昇, 土屋和夫, 伊藤宏司, 伊藤正美: 立位時トラッキング動作の解析と評価, バイオメカニズム 5, 168-178, (1980).
- 5) 大西 昇, 土屋和夫, 伊藤宏司, 伊藤正美: 体重移動時の逆応答現象の解析, 計測自動制御学科論文集, 18(5), 520-526, (1983).
- 6) 小堀 聡, 米田稔彦, 廣島和夫, 小野啓郎: 床反力作用点のトラッキング動作から見た動的平衡機能の評価, バイオメカニズム 9, 187-195, (1988).
- 7) Kobori, S. and Yoneda, T.: Analysis of Tracking Motion in Standing Posture Using Multiple Regression Analysis Method, The Transaction of the IEICE, E73(11), 1824-1826, (1990).
- 8) 江原義弘, 別府政敏, 野村 進, 國見ゆみ子, 神谷成仁, 土屋辰夫, 藤縄光留, 星 昌博: 投球時における肩の負担の力学的分析, バイオメカニズム 14, 39-48, (1998).
- 9) 中村真里, 中村康雄, 林 豊彦, 福田 登, 駒井正彦, 橋本 淳, 信原克哉, Chao, E.Y.: 投球動作解析システムによる TOP ポジションの運動学的解析, バイオメカニズム 16, 13-25, (2002).



小堀 聡 (こぼり さとし)

1987年大阪大学大学院医学研究科修士課程修了。博士（工学）。現在，龍谷大学理工学部電子情報学科助教授。1998年ロンドン大学認知神経科学研究所客員研究員。生体情報処理と認知科学の立場から，知覚と運動，記憶と学習，問題解決などに関する研究に従事。電子情報通信学会，情報処理学会，日本認知科学会，日本エム・イー学会，日本人間工学会等各会員。（バイオメカニズム学会正会員）

多田 大輔 (ただ だいすけ)

2004年龍谷大学大学院理工学研究科修士課程修了。現在，株式会社V S Nに勤務。

Fundamental characteristics and learning process of body weight shifting motion

Satoshi KOBORI*, Daisuke TADA

Department of Informatics and Electronics,
Faculty of Science and Technology,
Ryukoku University
1-5, Yokoya, Oe-cho, Seta, Otsu-shi, Shiga 520-2194

Abstract

We have studied about the tracking motion of the point of application of floor reaction force. We have developed a measurement system with a force plate, a video camera, and an eye movement camera, and performed an experiment. The experiment is that the subject on the force plate shifts his body weight according to the reference point on the computer display. We have analyzed these data from the viewpoints of the response waveform, the difference depending on the directions of weight shifting, the difference among subjects, and the learning process. We conclude that this measurement system is effective for the comprehensive analysis of body weight shifting motion.

Key words : Body weight shifting motion, Floor reaction force data, Displacement data, Eye movement data,
Learning process