

## 第2章 研究内容

### 2. 1 実験内容

#### 1) 被験者

被験者は、健康な成人男性9名（本学大学院生4名を含む）と女性3が参加した。被験者は身体の運動機能に障害がなく、腰痛や膝痛などの愁訴症状はなかった。

本研究は、本学の「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認（承認番号：第2018077号）を受け、委員会の倫理指針に準じて行った。被験者には実験前に口頭と文章を用いて本実験の目的・方法及びその安全性の説明を行い、書面にて同意を得た。

#### 2) 実験条件

バッグは、株式会社クロンテック社が開発した「FIXTOTE」という名称のバッグをサイズの異なる2種類を使用した。2種類のバッグ（Bag S, Bag M）の外観とサイズを図1に示す。Bag Mの容積はBag Sより20%大きい、重さは9%の違い、肩ベルトの長さの違いは4cmである。バッグに4kgの鉄アレイを入れ、被験者がバッグを日常的にかける肩にかけた状態で実験を行った。図1の写真に写っているバッグ下方の黒い物体は、バッグの位置を計測するための反射マーカセットである。

FIXTOTEは、通常の肩掛けバッグ（トートバッグ）として使用するものであるが、ストラップを使用して肩ベルトとバッグ底面を胸の前で斜めに連結することで、バッグを背中に背負うような形で固定できる機能を有している。この機能は、歩行中のバッグが揺れる現象を抑制し、荷物を含めたバッグの重さを密着させた背中に分散できることによる肩にかかる荷重の軽減効果が期待されている。

本実験では、2種類のバッグについて通常の肩掛けバッグとして使用する条件（ストラップを不使用という意味で、without条件と略）とストラップを使用してバッグを背中に固定する条件（ストラップを使用という意味で、with条件と略）とした。without条件とwith条件の様子を図2に示す。また、バッグを使用しない状態をコントロール条件とした。

すなわち、実験条件は次の5種類になり、各条件で静止立位と歩行を行った。

- ・ コントロール条件：通常の状態，No Bagと略。
- ・ Bag Sのwithout条件：Bag Sをストラップ不使用，S withoutと略。
- ・ Bag Sのwith条件：Bag Sをストラップ使用，S withと略。
- ・ Bag Mのwithout条件：Bag Mをストラップ不使用，M withoutと略。
- ・ Bag Mのwith条件：Bag Mをストラップ使用，M withと略。

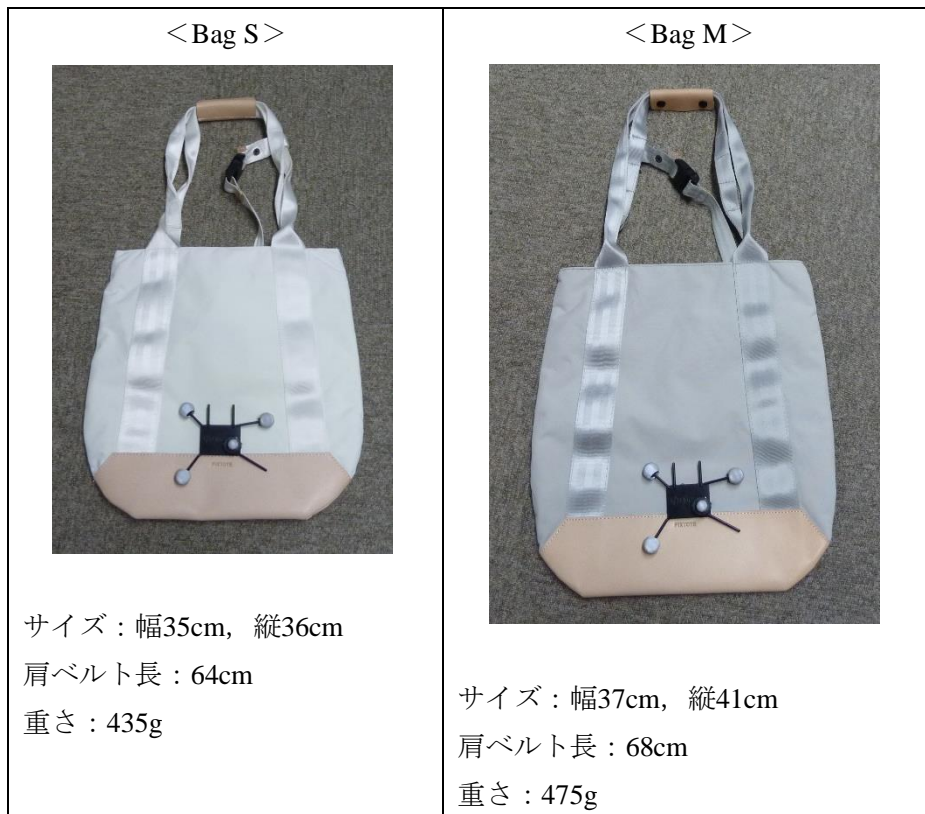


図1 2種類のバッグの外観とサイズ

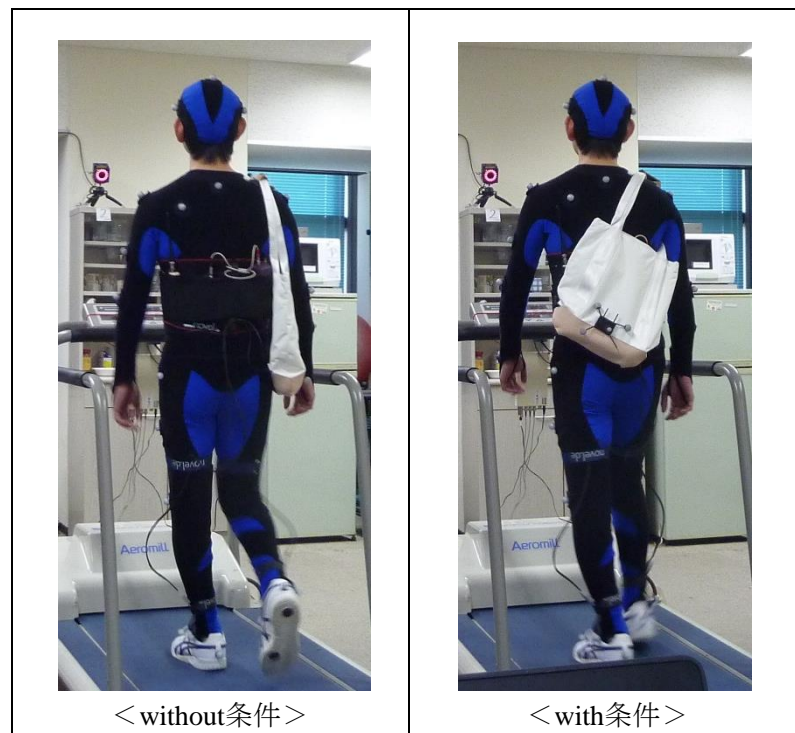


図2 without条件とwith条件の実験の様子

### 3) 実験手順

本実験は次の手順で測定を行った。

被験者にモーションキャプチャスーツを着用させ、実験用シューズ（バスケットボールシューズ）を履かせた。シューズにはインソール型足底圧センサーを装着しその計測装置 Pedar-X を被験者の背中に背負わせた。その状態で10m歩行テストを実施し、普段の歩行速度を計測し、トレッドミル上の歩行速度を設定した。10m歩行テストは、実験室室内に歩行路を設定し、光電管タイム計測システムを用いて歩行タイムを3回計測した。被験者には普段の歩行速度で歩くように指示し、3回の歩行タイムのうち、真ん中の値をトレッドミル上の歩行速度を設定するために使用した。その結果、12名の被験者の歩行速度は、時速3.8kmから6.5kmの範囲であった。

歩行テスト終了後にモーションキャプチャスーツの上からマーカを取り付け、トレッドミル上での試技を始めた。最初に被験者本人の意思で実験を中断できるように、被験者にトレッドミルの操作方法を教授し、自身でトレッドミルを操作できるようにした。また、被験者にトレッドミル上での歩行を慣れさせるために、違和感のない歩行ができるまで歩行を行った。

その後、①No Bag条件→②M without条件→③M with条件→④S without条件→⑤S with条件の順番で静止立位と歩行の測定を行った。各試技間には十分な休憩を取って実施した。

### 4) 立位の測定

各条件において立位時のデータの測定を行った。トレッドミル上で10秒間程度の測定を1回行い、全データの平均値を導出することで各測定データとした。

### 5) 歩行の測定

各条件において歩行のデータを測定した。トレッドミル上で被験者ごとの設定速度で2分間程度の歩行を1回行わせた。そのうちの30秒間程度のデータを取得し、その平均値を導出することで各測定データとした。

## 2. 2 測定データ

身体にフィットする機能をもつ肩掛けバッグの性能を評価するため、①バッグと身体の動作、②肩にかかる荷重、③足底圧の3種類のデータを測定した。本報告では、①バッグと身体の動作と②肩にかかる荷重について報告する。

### 1) バッグと身体の動作

モーションキャプチャを利用して、三次元座標の時間変位を測定した。身体とバッグに直径14mmの反射マーカを図3のように貼付し、赤外線カメラを用いてマーカの座標の時間変化から動作データを取得した。データのサンプリング周波数は100Hzとした。動作解析用赤外線カメラは、Motion Analysis社製のMAC3D systemカメラ8台を用いた。バッグにはそれぞれ図4のような4つのマーカからなるマーカセットを付け、身体には合計30点のマーカを貼付した。取得したデータにおいて、各マーカを線でつないだリンクセグメントモデルを図5に示す。このデータを用いることで、バッグと身体の動作を解析することが可能となる。



図3 身体のマーカ貼付位置

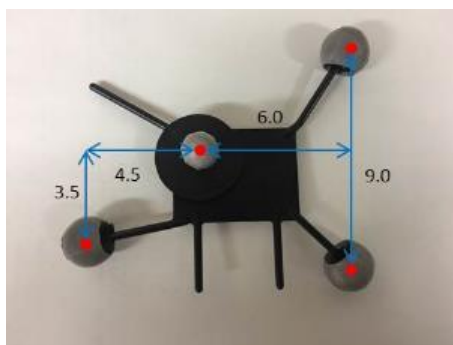


図4 バッグ貼付のマーカセット

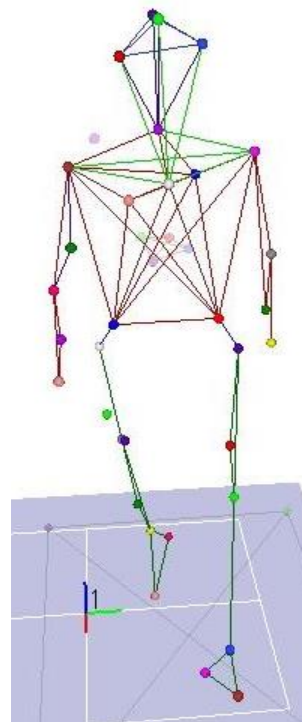


図5 リンクセグメントモデル

## 2) 肩にかかる荷重

力覚センサーを用いて肩にかかる荷重を三軸方向の作用力として測定した。テック技販社製の小型三軸力覚センサーをプラスチック板に固定したものを肩に装着し三軸方向の作用力を計測した。測定器の外観と力成分方向を図6に示す。本機器は、鉛直方向の力を200 N, 前後左右方向の力を $\pm 100$  Nまで測定できる。データのサンプリング周波数は、100Hzとした。



図6(1) 測定機器の外観

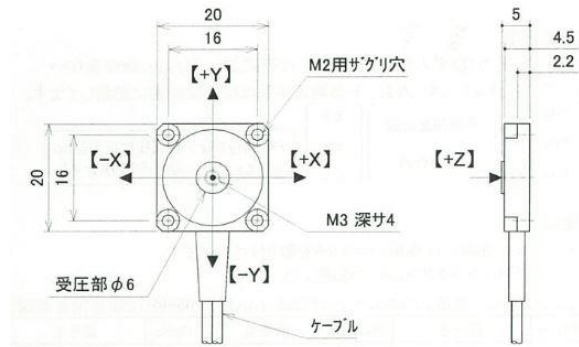


図6(2) 小型三軸力覚センサーの仕様

## 2. 3 分析データ

測定データから①肩にかかる荷重の合成力、②バッグの揺れ、③歩幅の3種類のデータを導出した。

### 1) 肩にかかる荷重の合成力

肩にかかる荷重データの三軸方向の力の合成力を算出し、立位と歩行中の荷重の平均値を導出し、各条件を比較した。

### 2) バッグの揺れ

バッグと身体の動作データから身体中心を基点として、バッグの揺れを評価した。身体中心は、身体に貼付したマーカーの内から上体の4点（左肩、右肩、胸骨上縁、第七頸椎突起）の幾何学的中心と定義した。その身体中心を基点として、バッグに付けた4点のマーカーセットの幾何学的中心位置の座標の変動を用いてバッグの揺れを評価した。図7にバッグの揺れを評価する概念図を示す。黄色の丸が身体中心としてそこからの赤色矢印の矢先の三次元座標の変動を評価する。モーションキャプチャにおける三次元座標（図7の

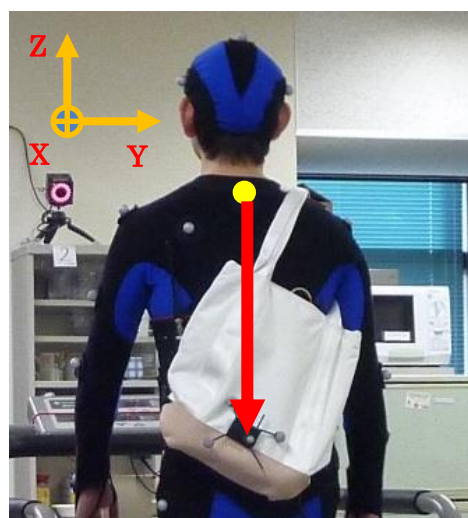


図7 バッグの揺れの評価概念図

方向、Y軸は左側から右側の方向、Z軸が鉛直上向きを正の方向とする座標と定義した。各方向の座標について歩行中のデータ取得時間の全データから標準偏差を求めた。すなわち、各方向の標準偏差は、X軸は前後方向、Y軸は左右横方向、Z軸は上下方向のバッグの揺れ幅を評価できるものと考えた。また、3方向のバッグの揺れを正弦交流のような周期波形とみなし、その実効値を半径とした球の体積を求めた。歩行中の全データについて各軸の標準偏差と実効値体積の平均値を求め、各条件を比較した。

実効値体積の算出方法は以下の式となる。

$$V = \frac{4}{3} \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{(X_i - X_{\text{mean}})^2 + (Y_i - Y_{\text{mean}})^2 + (Z_i - Z_{\text{mean}})^2\}} \right)^3 \times \pi$$

n : 計測データ数  
X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub> : 座標値  
X<sub>mean</sub>, Y<sub>mean</sub>, Z<sub>mean</sub> : 座標値の平均

### 3) 歩幅

身体の動作データから左右足部の中心を算出し、歩行中の一步ずつの歩幅を算出した。左右足部の中心は、足部に貼付したマーカ-の2点（つま先、踵部）の幾何学的中心と定義し、歩行一步におけるX軸方向座標の最大値から最小値を減算することで歩幅を求めた。歩行中の全データについて歩幅の平均値を求め、各条件を比較した。

## 2. 4 統計分析

SPSS を用いて、分析データに対してバッグ条件による反復測定の一元配置分散分析を行い、有意確率を5% 未満と定めた。分散分析の結果、有意差が認められた場合は、事後多重比較を行い、どの条件に対応があるかを明らかにした。

### 第3章 実験結果, 考察

#### 3.1 肩にかかる荷重の合成力

各条件における肩にかかる荷重の合成力の平均値について立位を図8に、歩行を図9に示した。

反復測定の一元配置分散分析の結果、立位では条件による有意差 ( $F(3,33) = 30.511$ ,  $p < 0.001$ ) が認められた。事後多重比較の結果は次のようになった。

- ・ M with条件は、M without条件、S with条件、S without条件に対して有意に小さい。
- ・ S with条件は、M without条件とS without条件に対して有意に小さい。
- ・ M without条件は、S without条件に対して有意に小さい。

歩行でも条件による有意差 ( $F(3,33) = 19.700$ ,  $p < 0.001$ ) が認められた。事後多重比較の結果は次のようになった。

- ・ M with条件は、M without条件、S with条件、S without条件に対して有意に小さい。
- ・ S with条件は、M without条件とS without条件に対して有意に小さい。
- ・ M without条件は、S without条件に対して有意に小さい。

以上より、立位および歩行中の肩にかかる荷重の合成力は、肩掛けバッグのストラップを使用して背中に固定することにより軽減することが明らかになった。立位における軽減効果割合は、Bag Mは41.1%、Bag Sは35.0%で、歩行における軽減効果割合は、Bag Mは25.5%、Bag Sは26.1%であった。歩行では、身体の上下運動が起こり、それに伴いバッグも揺れるため、肩にかかる荷重も変動する。そのことにより肩にかかる荷重も立位より大きくなる結果となった。

また、バッグのサイズによる影響も見られ、ストラップを使用しないで肩掛けバッグとして使用する条件の肩にかかる荷重の合成力を比べると、立位ではBag SはBag Mより18%大きく、歩行では19%大きかった。Bag Mの容積はBag Sより20%大きいですが、この大きさの違いが肩周りや脇腹にバッグが接触する面積の違いになり、その結果、肩にかかる荷重の合成力に影響が出たことが考えられる。



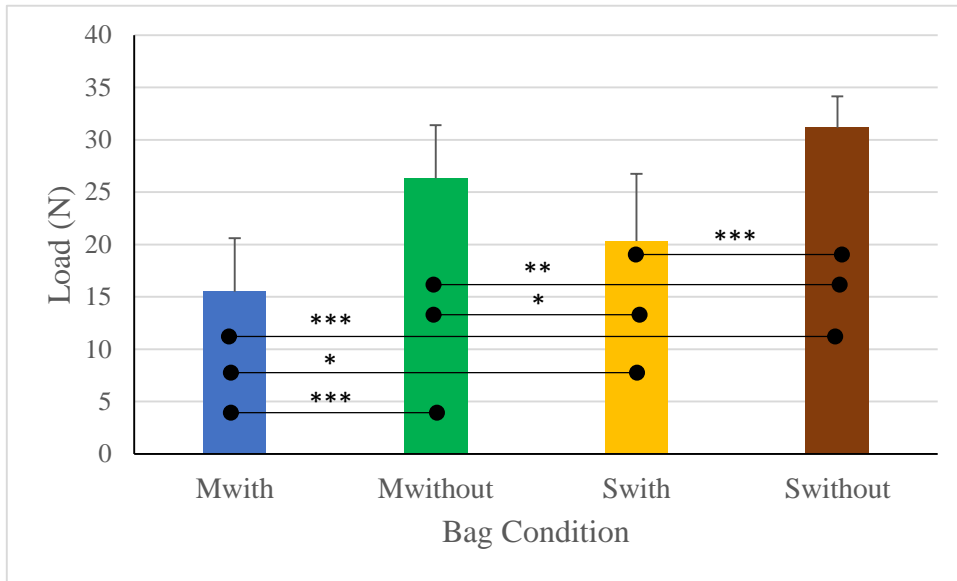


図8 立位の合成力の平均値 (\* : p<0.05, \*\* : p<0.01, \*\*\* : p<0.001)

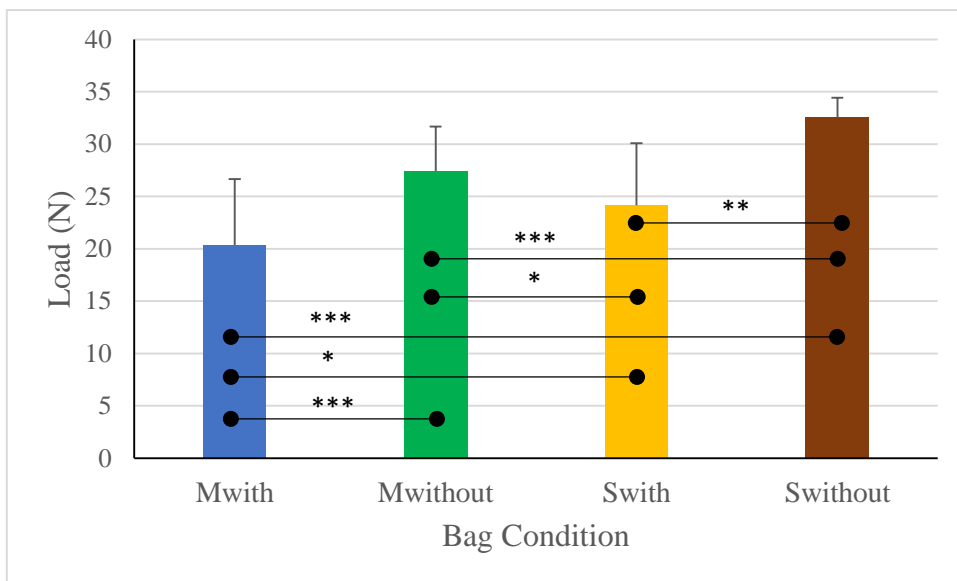


図9 歩行の合成力の平均値 (\* : p<0.05, \*\* : p<0.01, \*\*\* : p<0.001)

### 3. 2 バッグの揺れ

各条件における歩行時のバッグの揺れについて、実効値体積の平均値を図10に、X軸方向標準偏差の平均値を図11に、Y軸方向標準偏差の平均値を図12に、Z軸方向標準偏差の平均値を図13に示した。

反復測定の一元配置分散分析の結果、実効値体積では条件による有意差 ( $F(3,33) = 10.343$ ,  $p < 0.001$ ) が認められた。事後多重比較の結果は次のようになった。

- ・ M with条件は、M without条件とS without条件に対して有意に小さい。
- ・ S with条件は、M without条件とS without条件に対して有意に小さい。

X軸方向標準偏差では条件による有意差 ( $F(3,33) = 36.118$ ,  $p < 0.001$ ) が認められた。事後多重比較の結果は次のようになった。

- ・ M with条件は、M without条件とS without条件に対して有意に小さい。
- ・ S with条件は、M without条件とS without条件に対して有意に小さい。

Y軸方向標準偏差では条件による有意差 ( $F(3,33) = 5.248$ ,  $p < 0.05$ ) が認められた。事後多重比較の結果は次のようになった。

- ・ M with条件は、M without条件とS without条件に対して有意に小さい。
- ・ S with条件は、M without条件とS without条件に対して有意に小さい。

Z軸方向標準偏差では条件による有意差は認められなかった。

以上より、歩行時のバッグの揺れは、肩掛けバッグのストラップを使用して背中に固定することにより抑制されることが明らかになった。バッグの揺れの抑制効果割合は、実効値体積ではBag Mは69.5%、Bag Sは61.9%であった。なお、実効値体積のうちX軸方向（前後方向）とY軸方向（左右方向）の揺れの影響が大きかった。

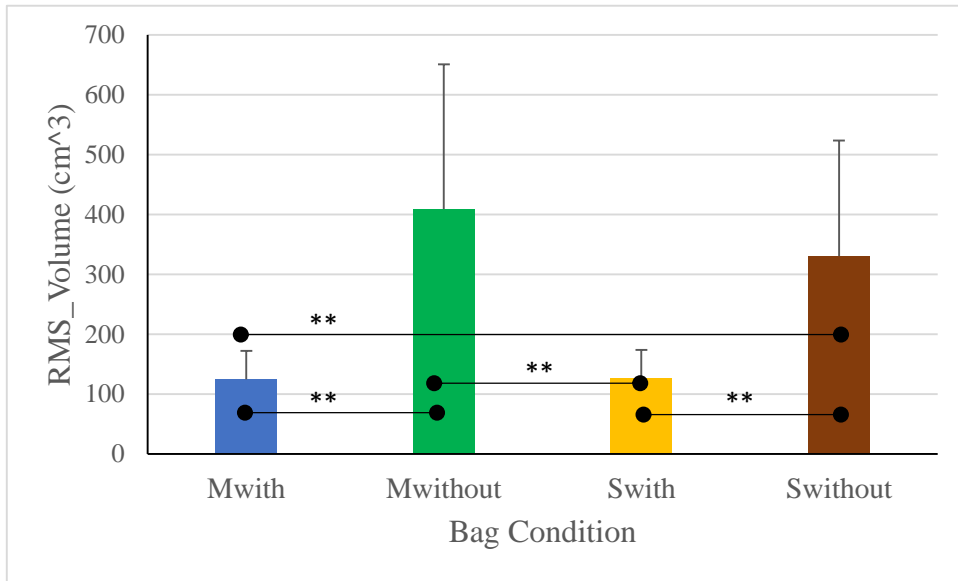


図 1 0 歩行中の実効値体積の平均値 (\*\* : p<0.01)

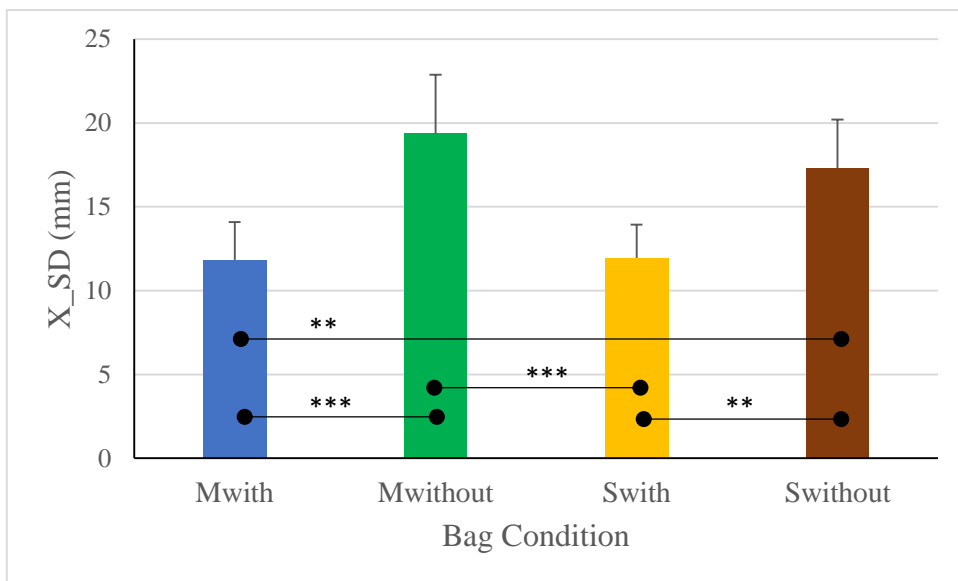


図 1 1 歩行中のX軸方向標準偏差の平均値 (\*\* : p<0.01, \*\*\* : p<0.001)

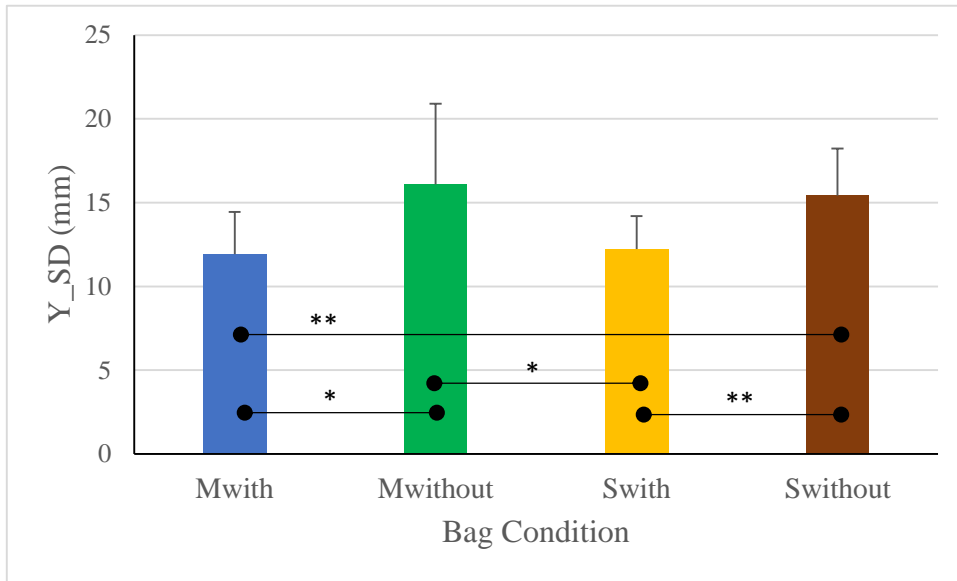


図 1 2 歩行中のY軸方向標準偏差の平均値 (\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$ )

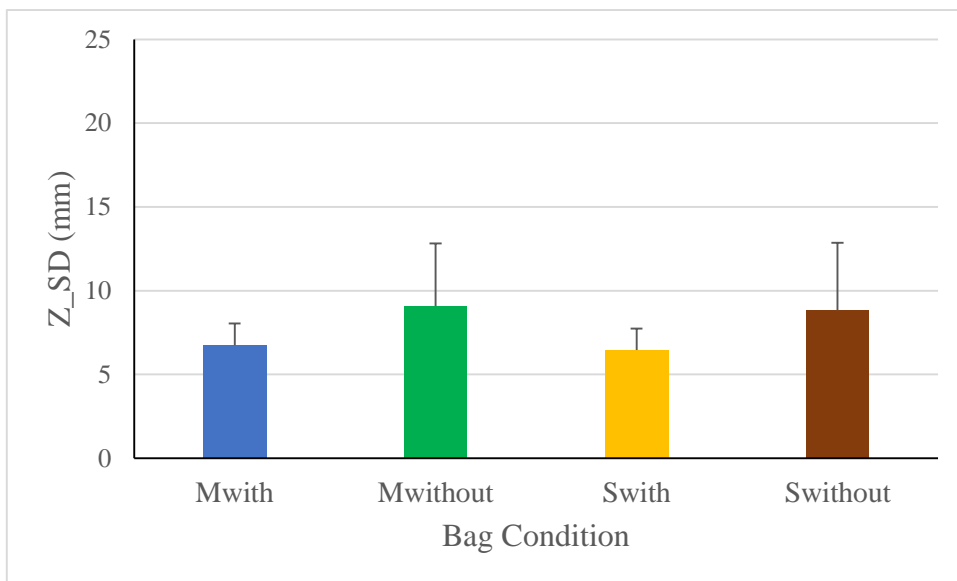


図 1 3 歩行中のZ軸方向標準偏差の平均値

### 3. 3 歩幅

各条件における歩行時の左右足の歩幅について、左足の平均値を図14に、右足の平均値を図15に示した。

反復測定の一元配置分散分析の結果、左足では条件による有意差 ( $F(4,44) = 10.828$ ,  $p < 0.001$ ) が認められた。事後多重比較の結果は次のようになった。

- ・ M without条件は、M with条件、S with条件、S without条件、No Bag条件に対して有意に小さい。

- ・ S without条件は、M with条件、S with条件、No Bag条件に対して有意に小さい。

右足では条件による有意差 ( $F(4,44) = 3.060$ ,  $p < 0.05$ ) が認められた。事後多重比較の結果は次のようになった。

- ・ M without条件は、M with条件とNo Bag条件に対して有意に小さい。

- ・ S without条件は、M with条件とNo Bag条件に対して有意に小さい。

以上より、ストラップを使用しないで肩掛けバッグとして使用する条件において、バッグを背負わない通常歩行よりも左右足の歩幅が狭くなることが明らかになった。肩掛けバッグのストラップを使用して背中に固定することにより通常歩行と同じような歩幅で歩くことができることがわかった。

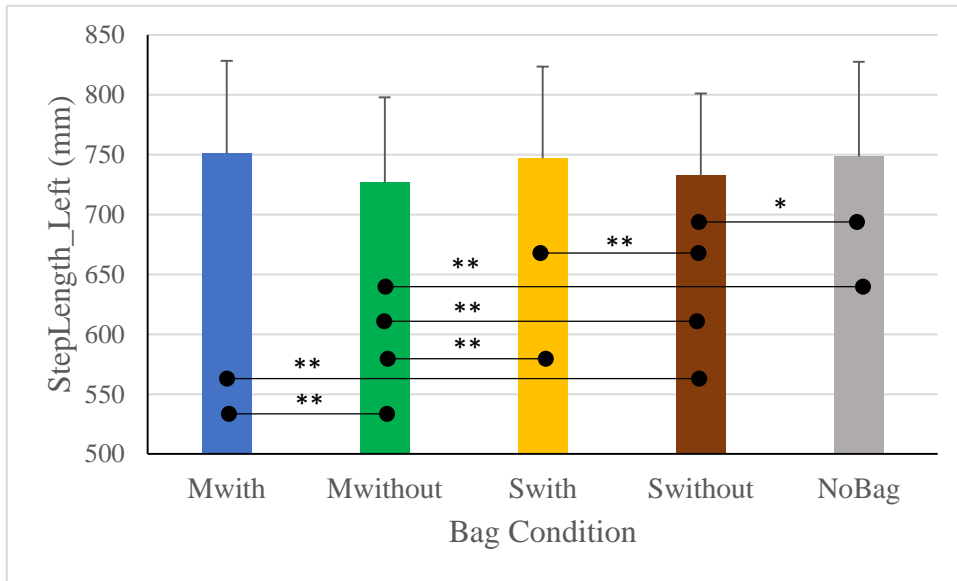


図 1 4 左足の歩幅の平均値 (\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$ )

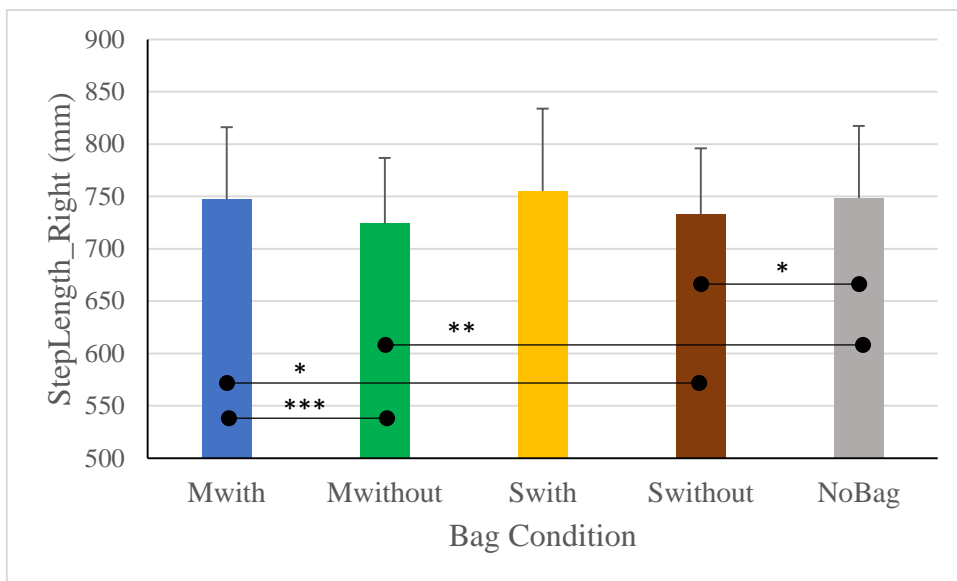


図 1 5 右足の歩幅の平均値 (\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$ , \*\*\* :  $p < 0.001$ )

## 第4章 まとめ

本研究は、身体にフィットする機能をもつ肩掛けバッグの性能を評価するため、立位および歩行において、小型3軸力覚センサーを用いて肩にかかる荷重を計測し、動作解析装置を用いて身体の動作とバッグの揺れを評価する。これにより、肩部に掛かる荷重の分散効果、歩行時のバッグの揺れの抑制効果とそれに伴う歩行動作への影響を明らかにするために実施した。

測定結果について、全被験者の平均値を表1にまとめた。また、バッグのストラップを使用しない条件およびバッグなし条件を100%とした相対値を表2にまとめた。

表1 評価項目における全被験者の平均値

サイズ	ストラップ 使用有無	肩にかかる荷重(N)		バッグの揺れ (実効値体積:cm <sup>3</sup> )	歩幅(cm)	
		立位	歩行		左足	右足
M	不使用	26.3	27.4	408.9	726	723
	使用	15.5	20.4	124.6	750	747
S	不使用	31.2	32.6	330.6	732	733
	使用	20.3	24.1	126.1	747	755
バッグなし		—	—	—	748	748

表2 バッグのストラップを使用しない条件（荷重、揺れ）およびバッグなし条件（歩幅）に対する相対値

サイズ	ストラップ 使用有無	肩にかかる荷重(%)		バッグの揺れ (実効値体積:%)	歩幅(%)	
		立位	歩行		左足	右足
M	不使用	100	100	100	97.1	96.7
	使用	58.9	74.5	30.5	100.3	99.9
S	不使用	100	100	100	98.1	98.0
	使用	65.0	73.9	38.1	99.9	100.9
バッグなし		—	—	—	100	100

### 1) 肩にかかる荷重

立位および歩行中の肩にかかる荷重の合成力は、肩掛けバッグのストラップを使用して背中に固定することにより軽減することが明らかになった。立位における軽減効果割合は、Bag Mは41.1%、Bag Sは35.0%で、歩行における軽減効果割合は、Bag Mは25.5%、Bag Sは26.1%であった。

### 2) バッグの揺れ

歩行時のバッグの揺れは、肩掛けバッグのストラップを使用して背中に固定することに

より抑制されることが明らかになった。バッグの揺れの抑制効果割合は、実効値体積では Bag Mは69.5%、Bag Sは61.9%であった。

### 3) 歩幅

ストラップを使用しないで肩掛けバッグとして使用する条件において、バッグを背負わない通常歩行よりも左右足の歩幅が狭くなることが明らかになった。肩掛けバッグのストラップを使用して背中に固定することにより通常歩行と同じような歩幅で歩くことができたことがわかった。

以上の結果から、肩掛けバッグのストラップを使用して背中に固定しての歩行の方が、ストラップを使用しないで肩掛けバッグとして使用する条件に比べ、バッグの重量による肩にかかる荷重が分散され、歩行中のバッグの揺れが抑制された効果により、より自然な歩行状態に近く、身体各箇所に発生する余計なストレスが激減すると言えよう。