

## 荷役運搬作業における筋電位と腰の圧力の評価

～ケースピッキング作業を対象として～

海運ロジスティクス専攻 0555016 田坂 晃一

指導教官 鶴田 三郎 黒川 久幸

### 1. はじめに

#### 1. 1 研究の背景

現在、日本の総人口の減少、少子高齢化の問題から、将来物流作業現場で労働力不足が懸念されている。そこで、女性や高齢者の労働力の増大や物流現場での効率性、安全性の向上が重要であり、そのため、物流における作業者の負荷を軽減する作業改善が必要となっている。

全日本物流改善事例大会で 1996 年から 2006 年の物流改善事例件数を調べたところ、物流機能の中で最も事例が多かったのは荷役であり、その中で最も事例が多かったのはピッキングであった<sup>(1)</sup>。よって、荷役運搬の中でもピッキング作業は非常に重要であるといえ、本研究では荷役運搬作業の中のピッキング作業を対象とする。

労働災害で最も多い疾病は腰痛で、これは生体力学の骨格系の負荷である。さらに、物流業界は労働集約型産業で筋系にかかる負荷が大きくなっている。よって、筋系と骨格系の同時に負荷がかかっていると考えることができ、筋系と骨格系にかかる負荷を同時にかつ定量的にあらわし、作業改善を行うための評価する方法が必要であるという仮説を立てることができる。

#### 1. 2 研究目的

本研究の目的は、まず第一に荷役運搬作業は複数の動作から成り立っており、作業者の筋系と骨格系の両方に負荷がかかっていると考えられ、筋系と骨格系の負荷を同時に評価する方法を提案する必要があるという仮説から実際の荷役運搬作業において筋系と骨格系の負荷を同時かつ定量的に評価する方法を提案することである。第二に、荷役運搬作業における筋系と骨格系の人体負荷を具体的に計測、算出し、数量的にあらわすことにより、筋系と骨格系の負荷を同時に評価する方法を提案する必要があるという仮説の検証を行うことである。第三に、本研究で提案した評価方法が有効であることを示すことである。

### 2. 本研究の人体負荷の作業評価方法

#### 2. 1 人体負荷の作業評価方法

筋系と骨格系の負荷を筋収縮による筋電位と腰の圧迫力で表し、筋電位と腰の圧力による負荷を作業の

限界のときの負荷の値との比率(負荷率)で表す。

実際に複数の作業場で複数回作業を行い、そのデータによる各作業、各人体部位ですべての負荷率を求め、統計上 95%の作業者に当てはまるように負荷率の 95%タイル値を求める。

作業者の人体にかかっている筋肉への負荷と腰の骨への負荷を評価する。

この評価方法により、負荷率 1 との大小関係による比較検討、作業同士の負荷率の比較検討、作業改善の効果を定量的に検討、人体部位同士(筋肉と筋肉、筋肉と骨等)の負荷率の比較検討を行うことができる。

#### 2. 2 人体負荷の限界について

本評価方法の作業の限界について米国国立労働衛生研究所(NIOSH)より、腰の圧力の限界値については 3400N とし、NIOSH の労働安全の限界値は荷物の重さが 23kg であったので、4名の被験者に 23kg の荷物を持ってもらい、その時の各人の筋電位を計測し、限界値として用いることとした<sup>(2)</sup>。

### 3. ピッキング作業アンケート

#### 3. 1 アンケート目的と概要

アンケートの目的は、どのようなピッキング作業で疲労を大きく感じているかとその作業においてどの人体部位に疲労を感じているかということを明らかにすることである。

アンケートはアパレル系の物流企業 1 社に依頼し、3つの物流センターで、作業終了後、当日の作業内容と疲労度についてアンケート用紙に記入してもらった。

アンケートにおいて、疲労度は人体の部位ごとに評価してもらった。評価の段階は数値が増えるとともに疲労度が高くなるように段階を設定した。

#### 3. 2 アンケート結果

アンケートの有効回答数は 121 件であった。

表 1 はアンケートを行った結果のケースピッキング作業とバラピッキング作業別に人体部位すべての疲労度の平均を算出し比較したものである。バラピッキングの疲労度はケースピッキングの約

表1 作業方法による平均疲労度の違い

	作業別平均疲労度
ケースピッキング	1.01
パラピッキング	0.61

0.60倍で、パラピッキング作業よりケースピッキング作業のほうが疲労を強く感じているといえる。そこで本研究ではケースピッキング作業を対象とすることとする。

図1は、ケースピッキング作業における人体部位別平均疲労度を示したものである。これより、疲労を感じている部位は1箇所ではなく人体の各部位に負荷がかかっており、作業における負荷を評価するためには、負荷のかかる部位については単独ではなく、複数の部位を同時に見なければならぬということがわかる。さらに、ピッキング作業において負荷を計測、算出しなければならない人体の部位は首、肩、上腕、前腕、手首、腰、大腿、下腿、足首であるということがわかった。

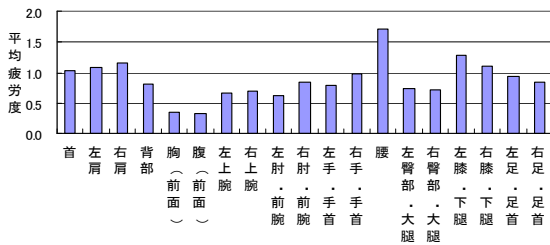


図1 ケースピッキング作業における疲労度

#### 4. ケースピッキング作業実験概要

##### 4.1 実験の目的

ケースピッキング作業は、腰のねじれない取り出し動作、腰のねじれのある取り出し動作、歩行して荷物を短距離運搬する動作の3つに分類することができ、今回は基本的である腰のねじれない取り出し動作を対象とした。

本研究では、ねじれない取り出し動作を棚の高さと荷物の重さにより分類し、動作における人体負荷を実験により計測・算出した。本研究では筋肉への負荷は、筋肉の筋電位を筋電計により計測し、腰の骨にかかる圧力(以下圧力)は動作解析を用いて算出する。

##### 4.2 実験概要

本研究でケースは一般によく使用されるサイズである幅40cm、高さ30cm、奥行き30cmのダンボールとした。重さは予備実験を行い5kg、10kg、15kgの3種類とした。棚の高さは被験者の身長によって棚の高さによる影響が変わるので身長165cmの人を基準とした比率として4cm、20cm、40cm、80cm、120cm、160cmと設定した<sup>(3)</sup>。よって実験で行う動作の種類は

6種類の棚から3種類の重さの荷物を取り出す計18種類となる。被験者は4人で、1人につき同じ条件の動作を4回行った。

動作解析を行うため、図2(左)のように被験者の真横からビデオ撮影を行った。負荷を計測・算出する人体の部位は、アンケート結果を基に、首は僧帽筋、肩は三角筋、上腕は上腕二頭筋、手首は橈側手根屈筋、大腿は大腿直筋、下腿と足首は腓腹筋の表面筋電位を計測した。腰についてはAPASという動作解析ソフトを用いて圧力を算出することとした。動作解析においては、図2(右)のように生体力学的に骨にかかる圧力を算出する。



図2 取り出し動作実験風景(左)動作解析(右)

#### 5. ケースピッキング作業実験結果

##### 5.1 筋電位と腰の圧力のデータについて

筋電位の解析については、波高を表現するために良く用いられ有義波高と呼ばれている1/3最大値を筋肉にかかる負荷で使用することとした。本研究では、筋電位における1/3最大値の平均値を最大筋電位と呼ぶこととする。

腰の圧力の解析については作業中の最大値を負荷として用いることとし、この値を本研究では最大圧力と呼ぶこととする。

##### 5.2 負荷のかかっている人体部位の決定

図3はねじれない取り出し動作の人体部位別、荷物の重さ別の最大筋電位結果とその平均値の算出結果である。これより、上腕と手首で荷物の重さ別の平均値に差があることがわかる。

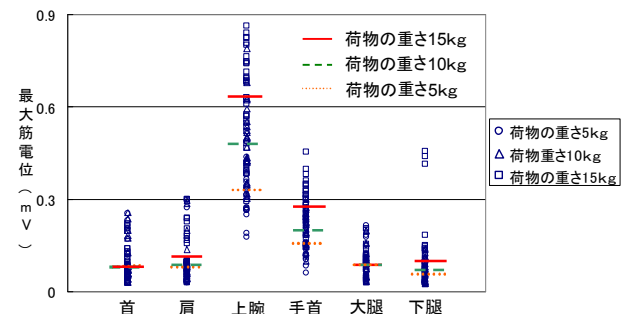


図3 取り出し動作の人体部位別最大筋電位

さらに、ここで実験によって人体負荷を調べた

部位すべてで分散分析による荷物の重さと棚の高さ別のそれぞれの平均値の有意差の検定を行った結果、上腕、手首、腰について有意水準1%で有意な差があるといえ、作業による負荷がかかっている人体部位を上腕、手首、腰とすることとした。

以上より、具体的にケースピッキング作業のねじれない取り出し動作において実際の人体負荷を数量的に計測、算出した結果、1つの動作であっても上腕、手首（筋系）と腰（骨格系）に作業による負荷がかかっているということがわかり、筋系と骨格系の負荷を同時に評価する方法を提案する必要があるという仮説が正しいことを示せた。

### 5.3 荷物の重さと棚の高さによる影響

今回の実験における筋電位と腰の圧力の両方で被験者ごとのデータは安定しており、一定の条件のもとで安定した計測ができたといえる。

図4は取り出し動作における荷物の重さと棚の高さ別の上腕の最大筋電位を表した図である。荷物の重さが重く、棚の高さが高いほど最大筋電位が大きくなっていることがわかる。手首の最大筋電位についてもほぼ同様の結果が得られ、腰の圧力は荷物の重さが重くなると圧力は大きくなるが上腕とは逆に棚の高さが高いほど圧力は小さくなっていることがわかった。

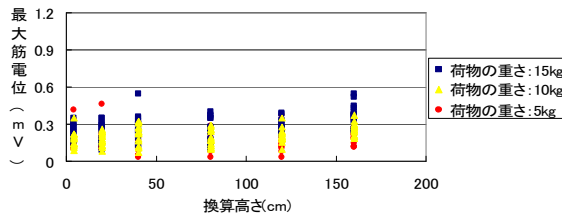


図4 取り出し動作の上腕の最大筋電位

## 6. 本評価方法の有効性

### 6.1 ケースピッキング作業評価による本評価方法の有効性

#### ①人体部位単独の評価

本研究で提案した評価方法に基づいて人体部位単独の評価を行った。図5は評価を行う例としてねじれない取り出し動作を行ったときの上腕の棚の高さと荷物の重さ別の作業の負荷率の平均値と95%タイル値を示した図である。重さ3種類別と棚の高さ6種類別の18種類の動作の負荷率の平均値と95%タイル値をそれぞれ荷物の重さごとに線をつないで表している。荷物の重さが15kgで棚の換算高さが120cm、160cmの時と荷物の重さが10kgで棚の換算高さが160cmの時に95%タイル値が1を越えており、上腕において作業者の限界を超えた作業であるといえる。同様に、手首と腰についても評価を行った。

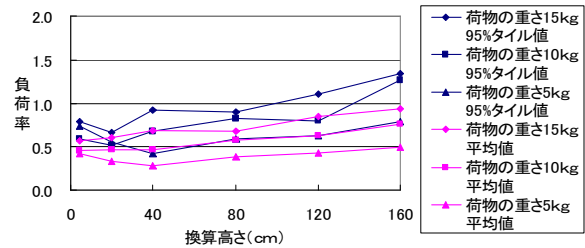
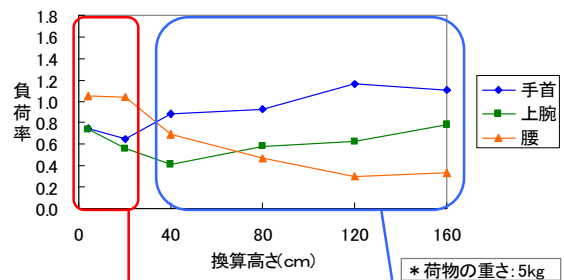


図5 取り出し動作の腰の圧力の評価

#### ②人体部位全体の評価

負荷率を用いて、取り出し動作において負荷がかかっている上腕、手首、腰を同時に評価した。図6は一例として荷物の重さ5kgの時の棚の高さ別の上腕、手首、腕の負荷を比較したものである。この負荷率は作業における各人体部位の95%タイル値である。棚の換算高さが4cmと20cmの時は腰にかかっている負荷が最も大きく、棚の換算高さが40cmから160cmの時は手首にかかっている負荷が最も大きくなっている。さらに、腰について棚の換算高さ4cmから20cmの時負荷率が1を超えており、手首について棚の換算高さ120cmから160cmの時負荷率が1を超えている。よって、荷物の重さが5kg棚の換算高さが40cmから80cmで作業者にとって安全な作業であるといえるが4cmから20cmと120cmから160cmでは作業者にとって危険な作業であるといえる。荷物の重さが10kgと15kgの時も評価した結果、荷物の重さが5kgの時とほぼ同様の結果となった。



腰の負荷が最も大きい 手首の負荷が最も大きい

図6 人体負荷同士の比較(荷物の重さ:5kg)

#### ③ケースピッキング作業評価による有効性

本評価方法を使用して作業ごとにすべての人体部位を同時に評価し、最も負荷の大きい人体部位の値を作業による負荷とし、作業者が安全に取り出し動作を行うことができる範囲を明確にした。その結果、ねじれない取り出し動作を作業者が安全に作業できる範囲は図7のように、荷物の重さが5kg以下の時棚の高さが40cm~80cm、荷物の重さ15kg以下の時棚の高さ80cmである。

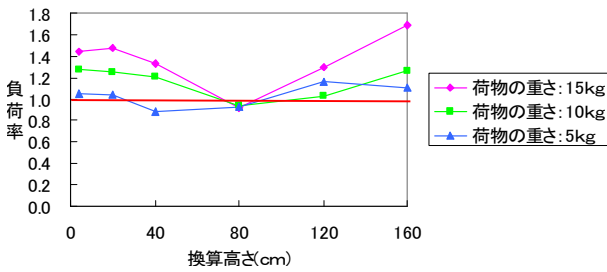


図7 ねじれない取り出し動作の安全な範囲

以上のようにケースピッキング作業のねじれない取り出し動作について評価した結果、複数の人体部位を同時に評価する本研究で提案した評価方法はある動作においてどの人体部位が限界を超えているかということが明確にわかり、全身の負荷を同時に評価することによって、作業において負荷の限界を超えているかどうかの判断もできるものであり、作業改善を行う際の評価が有効であるといえる。

## 6. 2 動作の違いによる本評価方法の有効性

荷物の重さが 15kg、棚の高さが 80cm の時のねじれない取り出し動作の違いから本評価方法の有効性について検討することとする。比較検討する動作は、図8に示した荷物を持ち上げて取り出す動作と、スライドさせて取り出す動作の2種類である。今回は4人の被験者に4回ずつ、それぞれの動作を行った。

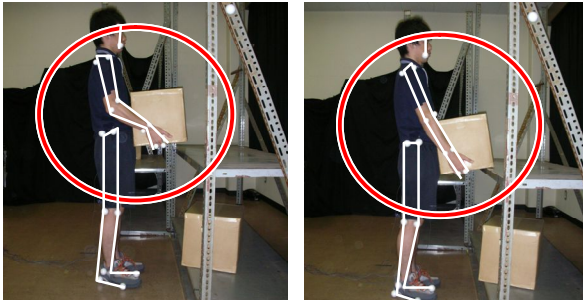


図8 持ち上げ (左)とスライド (右)動作

2種類の動作の負荷について上腕、手首、腰の負荷率とその95%タイル値を算出した結果、図9のようになった。腰については持ち上げ動作とスライド動作による負荷の違いがほとんどなく、負荷率が1を超えていないので安全な作業であるといえる。上腕についての負荷は持ち上げ動作とスライド動作を比較したところ、95%タイル値で持ち上げ動作は約 1.080、スライド動作は約 0.898 で持ち上げ動作のほうがスライド動作より上腕で 1.20 倍大きい差があり、持ち上げ動作では負荷率が1を超えておりスライド動作では負荷率が1を超えていない。さらに、手首についての負荷は持ち上げ動作とスライド動作を比較したところ、95%タイル値で持ち上げ動作は約 1.467、スライ

ド動作は約 0.922 で持ち上げ動作のほうがスライド動作より上腕で 1.59 倍大きい差があり、持ち上げ動作では負荷率が1を超えておりスライド動作では負荷率が1を超えていない。よって、上腕と手首について持ち上げ動作は危険な作業であるといえ、スライド動作は安全な作業であるといえる。

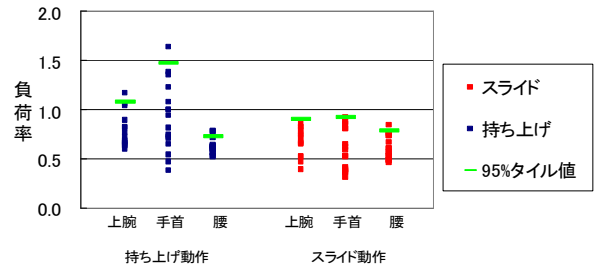


図9 動作の違いによる負荷の違い

以上より、小さな動作の違いによって本研究で提案した評価方法を使用して評価した結果、本研究の負荷の算出法を用いることにより動作を少し変えても負荷の差を定量的に表すことができ、数値的にどのくらい作業負荷を改善できるかがわかり、2種類の動作を各人体部位同士で比較することにより、どちらの動作の負荷が大きいのかということやどちらの動作で作業者の限界を超えているかどうかの判断も定量的に行うことができるものであり、作業改善で作業の比較を行う際、複数の人体部位の負荷を同時かつ定量的に評価する本評価方法が、作業の改善に有効であるということを示せた。

## 7. 結論

- ①筋系と骨格系の負荷を同時かつ定量的に評価する方法を提案した。
- ②筋系と骨格系の負荷を同時に評価する方法を提案する必要があるという仮説が正しいことを証明できた。
- ③本研究で提案した評価方法は有効に使用することができることを示せた。

## 参考文献

- (1) 鶴田三郎 物流改善事例のトレンドとポイント、全日本物流改善事例大会 2006、p1-p17、2006
- (2) Waters TR et al., Applications manual for the revised NIOSH lifting equation, U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 1994
- (3) 小原二郎編 デザイナーのための人体・動作寸法図集、彰国社、p111、1985