

Title	人体動作の連動性に関する実験的・解析的研究
Sub Title	Experimental and analytic research on associated motions of human body
Author	池田, 充寿(Ikeda, Mitsutoshi) 狼, 嘉彰(Okami, Yoshiaki)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2009
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2009年度システムデザイン・マネジメント学 第1号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002009-0001">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002009-0001</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2009 年度

人体動作の連動性に関する  
実験的・解析的研究

池田 充寿

(学籍番号：80833010)

指導教員 狼 嘉彰

2010 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科  
システムデザイン・マネジメント専攻

# 論 文 要 旨

学籍番号	80833010	氏名	池田 充寿
論文題目： 人体動作の連動性に関する実験的・解析的研究			
(内容の要旨)			
<p>本研究は、人体運動をシステムとして捉え、シンプルなモデルで表現された動きの仕組みについて、実験を通じてその検証を行うものである。</p> <p>数千人の整体診療を行ってきた嘉陽は、人体動作について連動性に注目し70種類の基本動作の組み合わせによって表現できることを見出した。ここでいう連動性とは、脳からの指示がなくても他の部位から影響を受けて動く動作のことである。これまでは、人体モデルに代表されるように複雑なモデルの組み合わせによる表現が主流であったが、嘉陽の連動性による人体動作表現はシンプルなものである。この表現は、スポーツ分野や人間工学設計の観点で優位性があり、負傷などによる人体の部分的故障や不具合を持つ人の支援することが可能となる。しかしながら、これは経験則によるものであり、客観性に乏しく、再現性に欠けるものであった。</p> <p>そこで本研究の目的は、嘉陽が提案するシンプルな人体動作表現について検証を行うことである。研究方法としては、最初に70の基本動作をISM解析により4グループに分類し、次にその各グループから抽出した1つの基本動作について筋電計を用いて実験を行った。</p> <p>実験は、筋肉の動きを計測する筋電計を人体の表面に設置し、人体の動きをビデオカメラで撮影する。外部からみた人体の動きと内部の筋肉の動きのデータを同時に記録し、解析を行った。本研究を通じて得られた新たな知見を以下に述べる。</p>			
<研究成果>			
(1) 嘉陽によるシンプルな人体運動の連動性表現については、今回実施した実験の範囲内においては、数値的なデータにより理論の妥当性が確認された。ただし、測定した基本動作の数・測定箇所・測定人数が少なく、規格化までは行えなかった。			
(2) 同じ部位が、主動作と連動動作で動く場合、連動動作の方が弱く動くことが示された。この結果を利用して、先行研究で行われていた基本動作のそれぞれ連動性についてISM解析の手法の見直しを行うことで、よりシンプルに基本動作の連動性を示すことが期待される。			

## SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	<b>80833010</b>	Name	<b>Mitsutoshi Ikeda</b>
<p>Title</p> <p style="text-align: center;">Experimental and Analytic Research on Associated Motions of Human Body</p>			
<p>Abstract</p> <p>Human body consists of many muscles and many bones. When we generate a simple motion, the complex motions of the muscles and bones occur. In this situation, there are many modeling methods of human body motion. The purposes of these methods are widely spread such as precise modeling, anatomic modeling, and reduced freedom modeling, heuristic modeling and so on. In this research, important coupled motions of human body are chosen from long time careful observation of human motions and are modeled on a computer.</p> <p>Then, the purpose of this study is to verify that for a simple representation of human behavior proposed by Kayo. Research method, 70 of the basic operation to fall into four groups analyzed by the ISM. And I did an experiment using the electromyography (EMG) for one basic operation extracted from each group. The experiment was set up in the body surface electromyography to measure the movement of muscles, I filmed body movements on video cameras. I recorded and analyzed data the internal movements of the muscles and body movement seen from the outside, at the same time. I describe below for the study results obtained in this study</p> <p>&lt; study results &gt;</p> <p>(1)The validity of the theory was confirmed about synchronized expression of a simple human body movement in the range of the experiment that had been executed this time by numeric data. However, the number, the measurement part, and the number of measurements of measured fundamental motions were little, therefore, it was not possible to standardize the experimental result.</p> <p>(2)It was shown that the ganged operation moved weakly when the same part moved by an active work and the Associated Motions (the synchronization of the fundamental motion). Associated Motions is expected to be shown simply by reviewing the technique of the ISM analysis of synchronization of the fundamental motion done by the previous work respectively by using this result.</p>			

## 目次

### 一章:緒言

- 1.1 はじめに・研究目的
- 1.2 研究背景
- 1.3 人体動作の連動性・研究範囲
- 1.4 先行研究

### 第二章:連動動作

- 2.1 連動性の基本的な性質の把握
- 2.2 人体の動作の基本パターン分けとその統合による全体動作表現
- 2.3 観察された人体連動性データの検証・結果
- 2.4 Vモデルに沿った研究の各段階の位置付け

### 第三章:実験方法 シェイドモデルと 筋電計による計測

- 3.1 シェイドモデルについて
- 3.2 筋電計のデータ取得について

### 第四章:実験結果

- 4.1 Case1 基本動作 No.02(左に向かって首を回す)
  - 4.1.1 動作の説明
  - 4.1.2 筋電計の測定結果
- 4.2 Case2 基本動作 No. 14(頭の上方向に左手を伸ばす)
  - 4.2.1 動作の説明
  - 4.2.2 筋電計の測定結果
- 4.3 Case3 基本動作 No. 09(右肩を浮かせながら上げる)
  - 4.3.1 動作の説明
  - 4.3.2 筋電計の測定結果
- 4.4 Case4 複合動作モデル No.02+No.14
  - 4.4.1 動作の説明
  - 4.4.2 筋電計の測定結果
- 4.5 直接的に主動作で動く場合と、間接的に連動動作で動く場合の比較
- 4.6 実験のまとめ

### 第五章:結言

### 第六章:参考文献

### 第七章:謝辞

## 第一章：緒言

Human body consists of many muscles and many bones. When we generate a simple motion, the complex motions of the muscles and bones occur. In this situation, there are many modeling methods of human body motion. The purposes of these methods are widely spread such as precise modeling, anatomic modeling, and reduced freedom modeling, heuristic modeling and so on. In this research, important coupled motions of human body are chosen from long time careful observation of human motions and are modeled on a computer.

**Key Words:** coupled motion of human body, muscle, bone, motion capture

### 1.1 はじめに・研究目的

これまでのスポーツ工学や設計工学は、部分的な最適化や限られた状況での解析に偏っていた。これまでのスポーツ工学や設計工学での人体モデルおよび人体運動生成モデルは、次のようなモデルの組み合わせにより表現されている。

- ・人体モデル＝ 多剛体モデル＋筋力モデル＋神経系モデル＋…
- ・人体運動生成モデル＝ 脳からの信号＋反射神経＋…

このように人体の一連の動作の全体は、きわめて複雑なモデルの組み合わせによって表現されている。したがって精度の高いシンプルモデルへの変形が困難であった。これに対し、本研究では、複雑な人体運動を人体モデルおよび人体運動生成モデルに関係する新しい「運動関連性モデル(以後、連動や連動性という語を用いる)」として表現する方法について考察し、人体動作の「連動性(基本的な複数動作の関係性)」の解明を目的とする。

本研究の独自性は、人体運動のモデルに、これまでに無い連動性の概念を取り入れることによって、よりシンプルな形での人体運動表現を行うことである。人体動作の連動性を用いた人体運動生成手順を、既存の人体モデル・人体運動生成モデル等に組み込むことによって、より簡素なモデルを作成することが可能になると考える。

### 研究背景

より安全で安心して快適な環境の構築や、使いやすいモノ作りなどのために、社会における人体運動モデル活用の必要性は高まっている。現状の人体運動モデルには様々な種類のものがある。特に、研究開発用のモデルは、非常に高価(数百万円～数億円)であり、また特定の使用条件下でのみ有効活用できるなどの制約がある。これまでのスポーツ工学や設計工学においても、人体のモデル化は行われてきた。これにより次の2点は活発に研究されてきている。(1)スポーツにおいて、全体的・効率的な人体の動き方を知る。(2)自動車への人間の乗り込みやすさなど、人間工学的設計支援を行う。

これらの研究分野では、特定の動きや動作検証に特化した人体モデルが作られた。この分野の人体モデルは複雑なモデルであるものが多く、別のケースへの転用が難しい。

社会要求として、様々な分野でより安全で安心して快適な環境の構築や、使いやすいモノ作りが必要とされており、それに際して人体運動モデルを用いた検証を行うことが望まれている。人体モデルの現状と理想像について表1のAS IS TO BEにまとめた。本研究における人体動作の連動性を、既存の人体運動モデルに組み込むことによって、よりシンプルなモデル構築を行い、使いやすいモデルを作ることができる考える。

嘉陽氏の経験によって得られた人体の連動性の知見は、人体の仕組みの解明やモデル化などを通じて様々な利用法が考えられる。しかし、現状では数値化やコンピュータで取り扱えるような定量的なデータが不足している為、連動性の活用を十分に行うことが出来ていない。これに対して、人間の運動を考える助けや人間工学となるように、本研究によって連動性の検証を行い、連動性の使用用途を増やしたいと考える。そこで表2に本研究での Goal Statement をまとめた。

Table 1. 本研究における AS IS TO BE

社会における、人体モデル利用	As Is 現状	To Be 理想
使い勝手	悪い。 利用に際する限定条件が多い。 モデルが複雑。	良い。 利用に際する限定条件が少ない。 シンプルなモデル。
値段	高い。 数百万円～(シミュレーション) 数千万円～(国立実験施設)	安い。 数十万円～(シミュレーション)
普及	狭い。 大規模な実験や専用施設に限定。 一部の分野。(スポーツ工学・設計工学等)	広い。 中小企業でも使用できる。 人間工学が適応される分野。

Table 2. 本研究での Goal Statement

Goal Statement	
To	より簡単な人体運動モデルを構築する手順を提供する (次の研究に繋げるため、連動性の利用法を増やす)
By	人体動作の連動性の性質を解明することによって
Using	人体連動性データ・筋電計データ・シェイド CG データを使って

次に本研究における、研究室と周囲との関係について示す。現在、人体動作の連動性の有用性についての社会的認知度が不足している為、本研究では連動性の情報を提供しているのみの状況である。今後は、連動性を用いた人体モデルの提供を行うことを目標としたい。

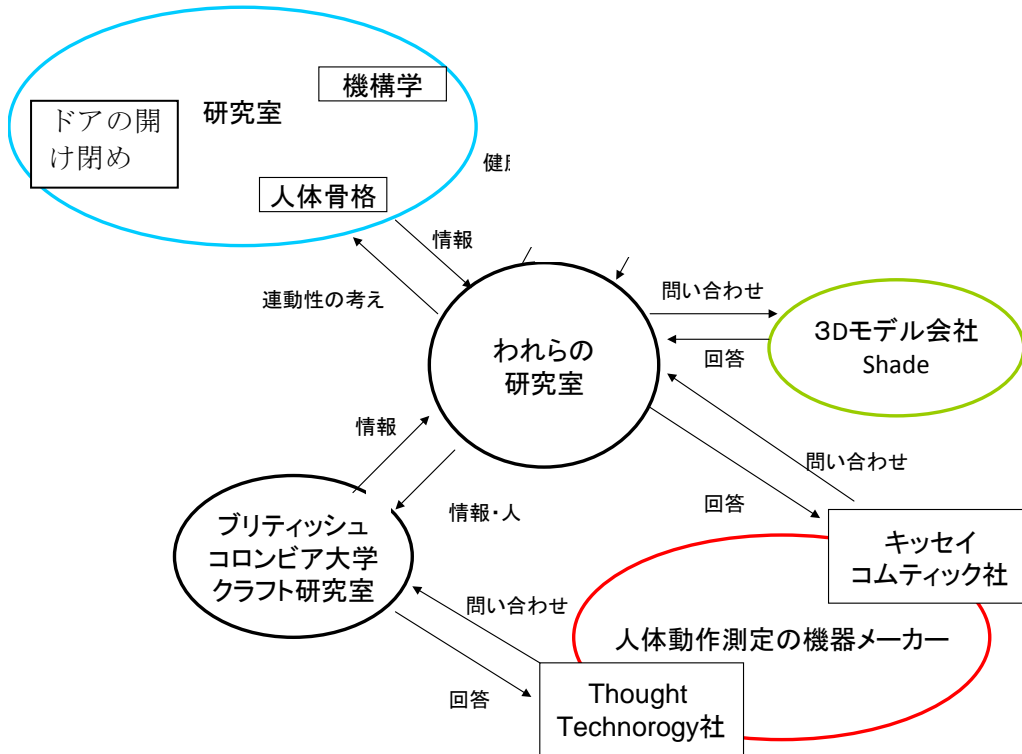


Figure 1. 本研究における関係図(連動性の人体モデル完成前)

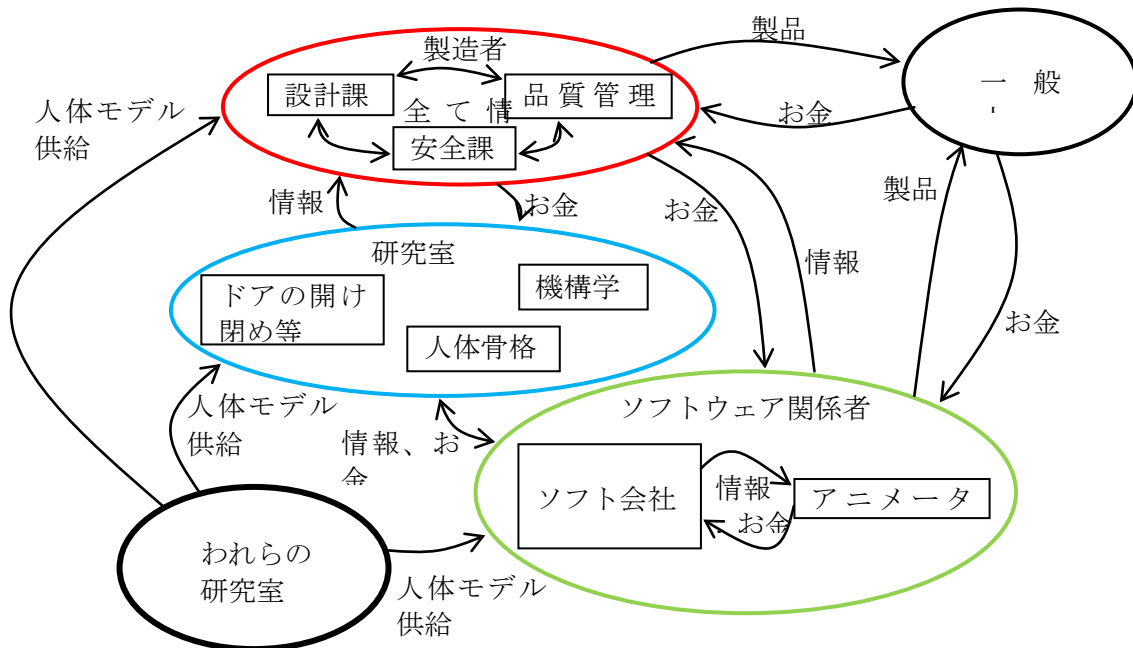


Figure 2. 本研究におけるCVCA(連動性の人体モデルモデル完成後)



### 1.3 人体動作の連動性・研究範囲

人体動作を次の2つに分類する。

人体各部に対して、脳から指示が送られることで発生する動作(主動作)

主に動いている部分に連動する各部の動作(連動動作)

本研究では、連動性に着目し、主要な関節を中心に、人体を15のパーツに分けた(表3 人体の15部分モデル)。それぞれのパーツの動きについて、筋電計を用いた筋肉の動きを計測する実験を行った。上記のことから取得されたデータの解析により連動性の関係について明らかにする。また、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科博士課程の嘉陽氏によって観察された3000件の人体連動性データを用いて解析を行う。実験による詳細なデータと、観察による幅広い年代・性別・障害者等の多様なデータを合わせることで、様々な状態の人間に対応する人体動作の連動性について解明し、モデル化を行う。人体運動は、70の基本動作の組み合わせによって表現する。ただし、基本動作の定義については、同研究科狼氏・嘉陽氏の方法に準拠する。

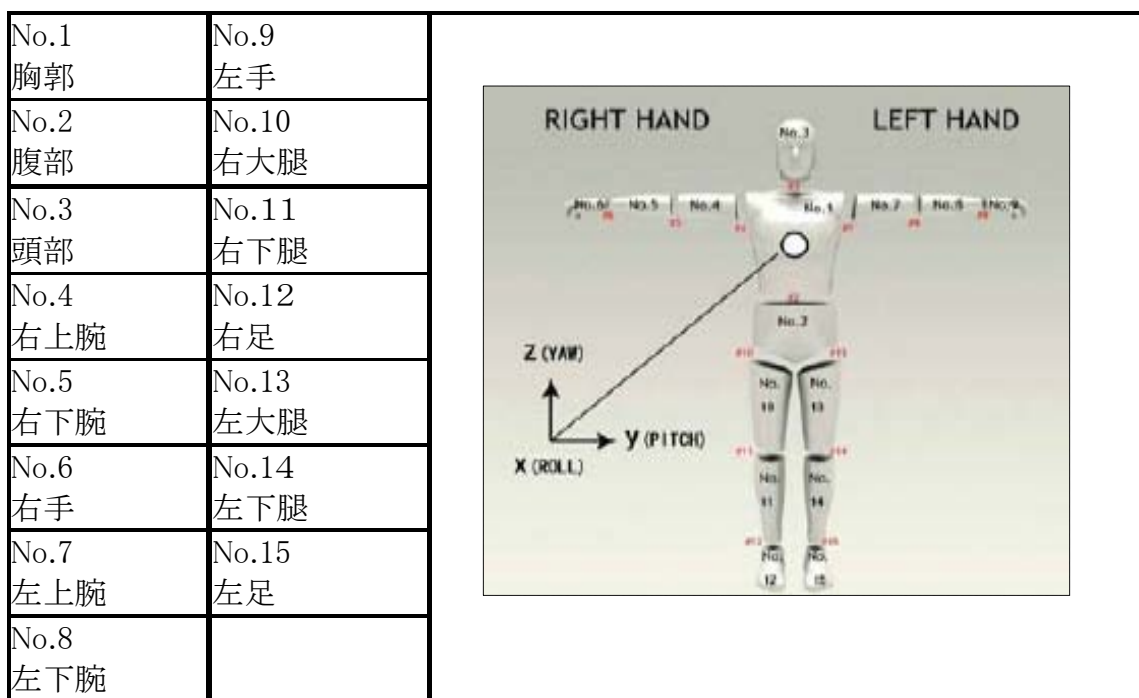


Figure 3. 人体の15部分モデル

## 1.4 先行研究

連動性の発見・定義づけについては、嘉陽氏により初めて行われた。したがって人体運動の連動性について直接関係する先行研究はない。そこで、ここでは、先行研究として一般の人体動作モデルについて述べる。

Table 3. 人体動作モデルに関する先行研究紹介

概要	研究レベル	内容
モーションキャプチャー(測定)	商用化	人体の動きをトレースし、コンピュータに入力する。
人体組織の力学特性測定	基礎研究	固体力学に基づき、人体組織の引張り挙動などを綿密に調べる。
人体の機構学および剛体力学的特性測定	基礎研究～ 応用研究	人体構造の力学特性を計測し、力学的に明らかにする。因子数が多い為、その絞込みや、統計的手法を用いた実験計画も重視される。
計算力学方法	基礎研究～ 応用研究	神経方程式に代表される現象説明用数理モデルもある。また、無重力人体マルチボディシミュレーション運動計算(狼氏)、投球モデル(姫野龍太郎氏) 人体と床の接触解析(浦郷氏)など

### ・モーションキャプチャー

人体に装着するマーカーと、その動きを検出するトラッカーを組み合わせ、動きをキャプチャーし、人体運動を表現する。マーカーの数とトラッカーの精度によって測定できるデータの精度・量が左右され、個々のモーション毎の測定が必要であるが、人間が可能な動きを測定するには適している。

### ・人体組織の力学的特性測定

人体動作時の、特定の部位の人体組織の挙動を測定して、人体運動の力学的特性を表現し、(動物の)組織試験片を取り出し引っ張り試験等を行う。人体動作の中での全体的な動きを表現は困難であるが、測定部位の詳細な情報は得られる。

### ・人体の機構学および剛体力学的特性測定

人体の構造を、関節・骨・腱などを基準にして、いくつかの特徴を持った部位(因子)に区分けして、その組み合わせによって人体運動を表現する。その際、各部位を剛体として取り扱い、人体運動時における人体の機構学的モデルの力学的特性を調べる。

因子数や構成要素数の定め方によって、人体運動モデルの精度は大きく変わってしまう。

・計算力学的方法

特定状況や動きにおける人体の動きの測定データを大量に集め、動きの条件等を定式化し、計算機を用いて力学的挙動のコンピュータシミュレーションを行う。条件の絞り込みやシミュレーション数によって、表せる人体モデルの幅が変化する。

また、人体動作に特化した製品としては、特定の状況の検証に特化した人体モデルや、部分的な動作を繋ぎ合わせた人体モデルが存在する。

衝突挙動解析プログラム      MADYMO（日本 SGI 社）

人体メカニズムモデリング      ANY BODY（サイバネットシステム社）

等。

学術的な研究としても、人体動作のモデリングに際しては、膨大な数値計算が前提になる為、特定の環境や特定の部位に限定して行われることが多い。これに対して、本研究のユニークさは、人体モデルの表現方法が独特(人体動作の連動性)であり、簡潔に人間の動きが表せるところにある。

## 第二章 連動動作

### 2.1 連動性の基本的な性質の把握

人体の動きは、手を上げるひとつの動作でも、手や腕以外の動きもそれに伴って動き(人体動作の連動)、よりスムーズで複雑な動きを生み出している。

人体動作の連動は、意識的な動きだけでなく、人体の骨格的なつながりによる(構造的な)連動や、生理的な反射行動・重心バランス・作用反作用といった無意識に動く連動等が複雑に絡み合って、生み出されていることが確認された。

高所にある物をとる時に、右手を高くあげると、左手・左足もその動作に連動する。首を正面から真横に向ける際に、一定以上の角度に首を回す場合には、両肩の向きも、その動作に連動する。

人体動作における連動の発生原因は上記のように様々であるが、日常生活での基本的な動きについては、第1章第3節で述べた主動作と連動動作が多くの人に同様に観察される。さらに、怪我などで部分的な機能が低下した際には、連動性の強さに変化が観察される。なお、特殊な細かい動きについても連動動作は確認されているが、万人がそのような特殊な動きを行うわけではない。

基本的な連動性は、人間の動きをよりスムーズに行う為に生まれたものであり、ある特定の動きに習熟する際にも大小の差があれども生まれるものであると推察している。ゆえに一般生活という曖昧な条件下においても、ある主動作に伴う連動動作の再現性は確保される。

よって個々の人間の動きを表現するモデルを作成する際にも、各種条件(人体骨格のつながり・筋肉収縮・関節稼動・心拍 etc) の様々なデータを組み込んで精度の高いモデル作りをするアプローチ以外にも、それらの結果である連動性の性質をモデルに組み込むことによってより簡素で精度の高いモデル作りをすることができると考える。

2.2 人体の動作の基本パターン区分けとその統合による全体動作表現、実験方法  
 人体の動き・運動性の確認を行うために、人体の動きを70の基本的な動作のパターンに区分けし(表4および図3)、その組み合わせによって全体の人体の動きを表現する。

Table 4. 人体の基本動作の区分け

N o.	基本動作	N o.	基本動作
01	右に向かって、首を回す	36	外側の左膝を、左に向かって回す
02	左に向かって、首を回す	37	内側の右膝を、左に向かって回す
03	右に向かって、首を傾げる	38	内側の左膝を、右に向かって回す
04	左に向かって、首を傾げる	39	外側へ右足を押し倒す (体の中心から外へ向かう運動)
05	右肩を頭に向けて、持ち上げる	40	外側へ左足を押し倒す (体の中心から外へ向かう運動)
06	左肩を頭に向けて、持ち上げる	41	内側へ右足を押し倒す (体の中心から外へ向かう運動)
07	右肩を頭から離すように下げる	42	内側へ左足を押し倒す (体の中心から外へ向かう運動)
08	左肩を頭から離すように下げる	43	頭に向けて右膝を上げる
09	右肩を浮かせながら上げる	44	頭に向けて左膝を上げる
10	左肩を浮かせながら上げる	45	右膝を曲げて、上方向に上げる。
11	地面に対して、右肩を押し下げる	46	左膝を曲げて、上方向に上げる
12	地面に対して、左肩を押し下げる	47	両方の下腿を、右に向かって回す
13	頭の上方向に、右手を伸ばす	48	両方の下腿を、左に向かって回す
14	頭の上方向に、左手を伸ばす	49	右下腿を外側に回す
15	垂直に右腕を突き上げる	50	左下腿を外側に回す
16	垂直に左腕を突き上げる	51	右下腿を内側に回す
17	体の中央に向かって、右腕を引く	52	左下腿を内側に回す
18	体の中央に向かって、左腕を引く	53	右腰骨を上方向に上げる
19	右腕を上方向へ回転させる	54	左腰骨を上方向に上げる
20	右腕を下方向へ回転させる	55	右膝を上げる
21	右腕を下方向へ回転させる	56	左膝を上げる
22	左腕を下方向へ回転させる	57	両足を右に捻る
23	左に向かって、両腕を捻る	58	両足を左に捻る
24	右に向かって、両腕を捻る	59	外方向に、右足を回転させる
25	右腕を上方向に引き寄せる	60	外方向に、左足を回転させる
26	左腕を上方向に引き寄せる	61	内方向に、右足を回転させる
27	頭に向けて、右腰骨を上げる(縮める)	62	内方向に、左足を回転させる
28	頭に向けて、左腰骨を上げる(縮める)	63	右踵を引き寄せる
29	右の腰骨を、浮かせながら上げる	64	左踵を引き寄せる
30	左の腰骨を、浮かせながら上げる	65	頭に向かって、右踵を上向きに縮める
31	地面に対して、右腰骨を押し倒す	66	頭に向かって、左踵を上方向に縮める
32	地面に対して、左腰骨を押し倒す	67	右腕と右踵の両方を伸ばす
33	右側に向かって、両膝を回す	68	左腕と左踵の両方を伸ばす
34	左側に向かって、両膝を回す	69	右足を地面から浮かせてあげる
35	外側の右膝を、右に向かって回す	70	左足を地面から浮かせてあげる

連動動作の確認の為に、筋肉の動きを計測する筋電計を、動いている人体に設置した。さらに、その動きをビデオカメラで撮影しながら、外部から見た人体の動きと内部の筋肉の動きのデータを同時に記録した。この記録されたデータを解析の為に実験データとする。筋電計で計測できるのは同時に8箇所までの筋肉の動きのみであり、また、表層の筋肉の動きのみであるなどの制約がある。しかし、観測できる筋肉の動き・強さを詳細に記録することが出来る為、別に観察された人体連動性データと連携させることで、基本動作の連動性検証を行う。

基本動作の組み合わせ(相互の連動性を用いて)によって、全体動作の記述を行う。

(例)基本動作 No.02 左に向かって首を回すについて、以下の13個の基本動作が同時に生じる。

- No. 08 左肩を頭から離すように下げる。
- No. 09 右肩を浮かせながら上げる。
- No. 12 地面に対して左肩を押し下げる。
- No. 16 垂直に左腕を広げる。
- No. 17 体の中央に向かって右腕を引く。
- No. 28 頭に向けて、左腰骨を上げる(縮める)。
- No. 30 左の腰骨を浮かせながら、上げる。
- No. 31 地面に対して、右腰骨を押しつける。
- No. 46 左膝を曲げて、上方向に上げる。
- No. 60 外方向に左足を回転させる。
- No. 61 内方向に右足を回転させる。
- No. 63 右踵を伸ばす。
- No. 66 頭に向かって、左踵を上方向に縮める。

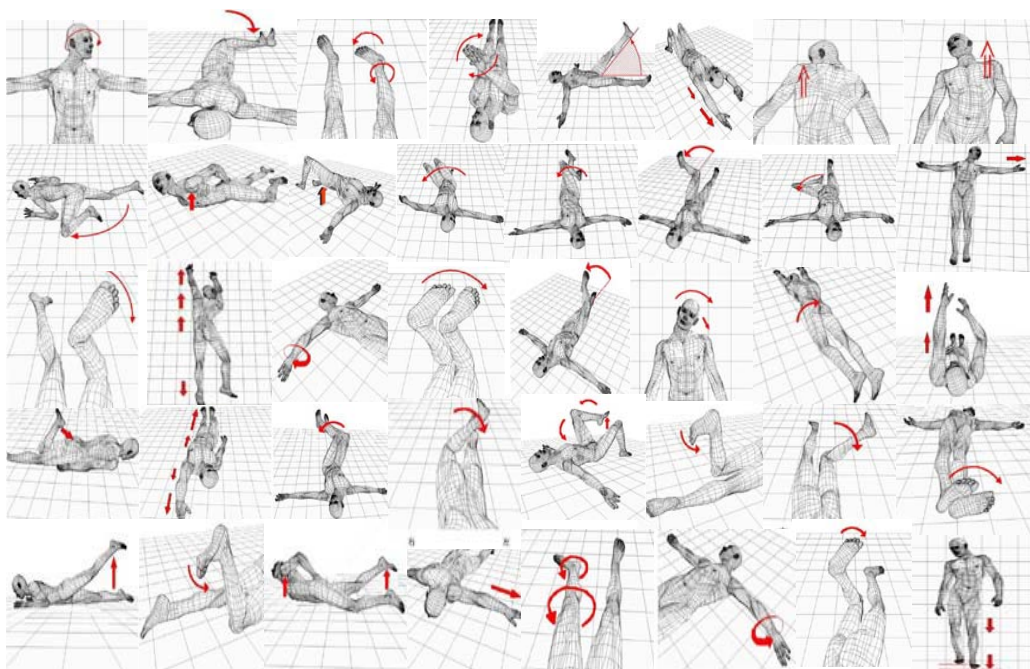


Figure 3. 基本動作の例

一方で、基本動作 No.02「左に向かって首を回す」は、次の 22 個の基本動作によって引き起こされる。

- No. 01 右に向かって、首を回す。
- No. 04 左に向かって、首を傾げる。
- No. 13 頭の上方向に、右手を伸ばす。
- No. 16 垂直に左腕を突き上げる。
- No. 20 右腕を下方向へ回転させる。
- No. 21 右腕を下方向へ回転させる。
- No. 23 左に向かって、両腕を捻る。
- No. 25 右腕を上方向に引き寄せる。
- No. 33 右側に向かって、両膝を回す。
- No. 35 外側の右膝を、右に向かって回す。
- No. 38 内側の左膝を、右に向かって回す。
- No. 48 両方の下腿を、左に向かって回す。
- No. 50 左下腿を外側に回す。
- No. 51 右下腿を内側に回す。
- No. 54 左腰骨を上方向に上げる。
- No. 58 両足を左に捻る。
- No. 56 左膝を上げる。
- No. 60 外方向に、左足を回転させる。
- No. 61 内方向に、右足を回転させる。
- No. 63 右踵を引き寄せる。
- No. 67 右腕と右踵の両方を伸ばす。
- No. 70 左足を地面から浮かせてあげる。

このように一つの基本動作は、他の基本動作への影響を与える主動作としても働き、また他の基本動作から影響を受ける連動動作としても働く。各基本動作の他の動作への影響数や他の動作からうける被影響数については、次節でまとめる。

### 2.3 観察された人体連動性データの検証・結果

観察された人体連動性データには、1つの基本的な動作パターンに対して、人体の各パーツが、その動作に含まれるか否か、また、連動して動いているか否かという情報が含まれる。1つの基本的な動作パターンについて、それぞれの被験者によって連動動作が確認されるケースと確認されないケースがあり、個人差や癖といった要素を調べる為に、どの程度の確からしさで連動動作が発生するのか、100程度の集団のデータに対して、統計的手法を用いて検証を行った。現在の検証では、明らかな連動性が見られる基本的な動作のパターンがみられる一方で、関連性があると考えられるが個人差の大きな動きがあり、連動性として認めてよいか深く調査が必要な基本動作パターンがあることを確認した。

基本動作には、その動作と影響される他の基本動作(その数を影響数Dとする)と、その動作に影響を与える動作(その数を被影響数R)が存在する。

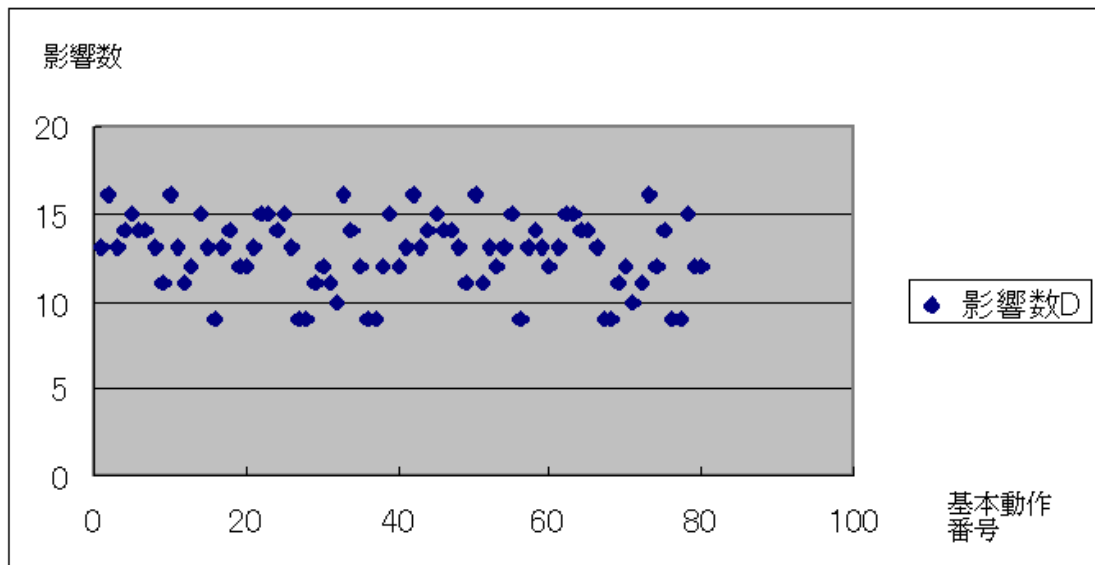


Figure 4. ある基本動作が、影響を与える他の基本動作の数

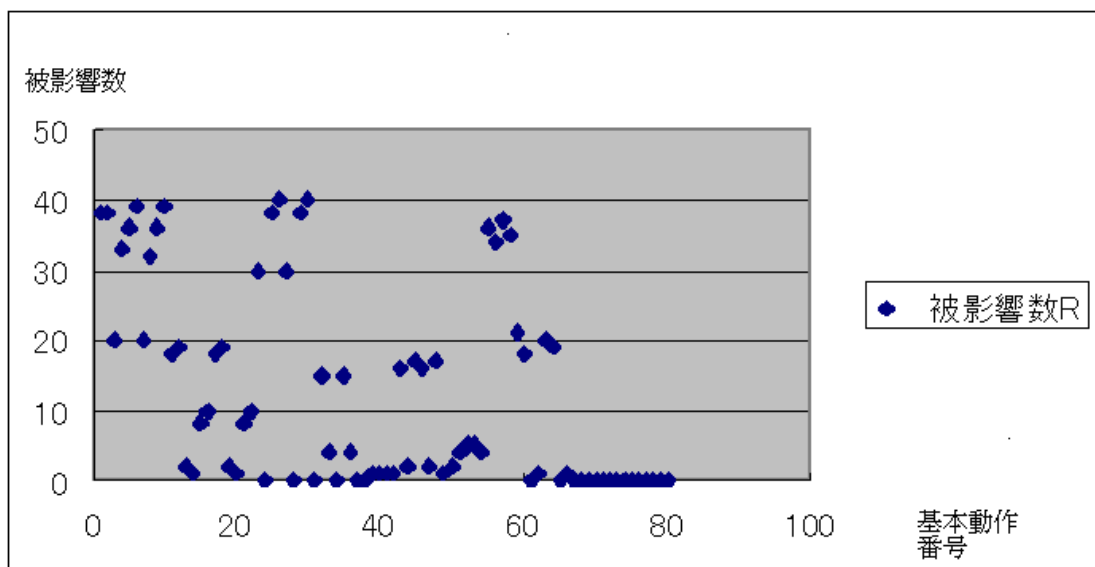


Figure 5. ある基本動作が、他の基本動作から影響を受ける数



これから、基本動作の他の基本動作への影響数  $D$  は、どれも 15 前後であるが、被影響数  $R$  については大きなばらつきがあることが読み取れる。

影響数  $D$  については、基本動作パターンの区分けの際に、様々の動作の中で、影響を与える連動動作で少ないものをまとめて、総数 70~80 程度に集約した為、ばらつきが少なくなっている。被影響数  $R$  については、3つの集団(30 以上・20 前後・10 以下)に分けて考えると、表 5 のようになる。この結果からは、体の中心部分の基本動作は、他の基本動作からの影響を受けやすく、体の中心から離れる基本動作は、他の動作からの影響を受けにくいということが読み取れる。

干渉数  $(R+D)$  と影響数  $(R-D)$  の関係を調べると、図 6 に示す 4 つの Group に大きく分かれる。 $(R+D)$  は、連動性の生じる箇所が多さ、基本動作の相互作用の度合を表す。 $(R-D)$  は、連動性の生じる箇所が少なさ、基本動作の相互作用の活発さの度合を表す。

それぞれの基本動作について、ひとつずつ基本動作について、様々な簡易な動き (Form1-80) を行った際の影響を調べ (図 7 参照)、さらに、ISM 解析を用いて (Interpretive Structure Modeling) 分類する。結果、図 8 のような 4 つの Group に分かれた。この Group は、図 6 で示した  $(R+D)$  と  $(R-D)$  の関係で現れた 4 つの Group とほぼ一致する。これは、図 6 と図 8 の対応する各 Group のもつ特性が一致することを示している。

Table 5. 影響数  $R$  で分類される 3 つの集団

被影響数 $R$	基本動作の特色
30 以上	頭や首や腰を主に動かす動作。
20 前後	手足を大きく伸縮させる動作。
10 以下	手足を回転させる・捻じる・体の外側や内側に動かす動作。

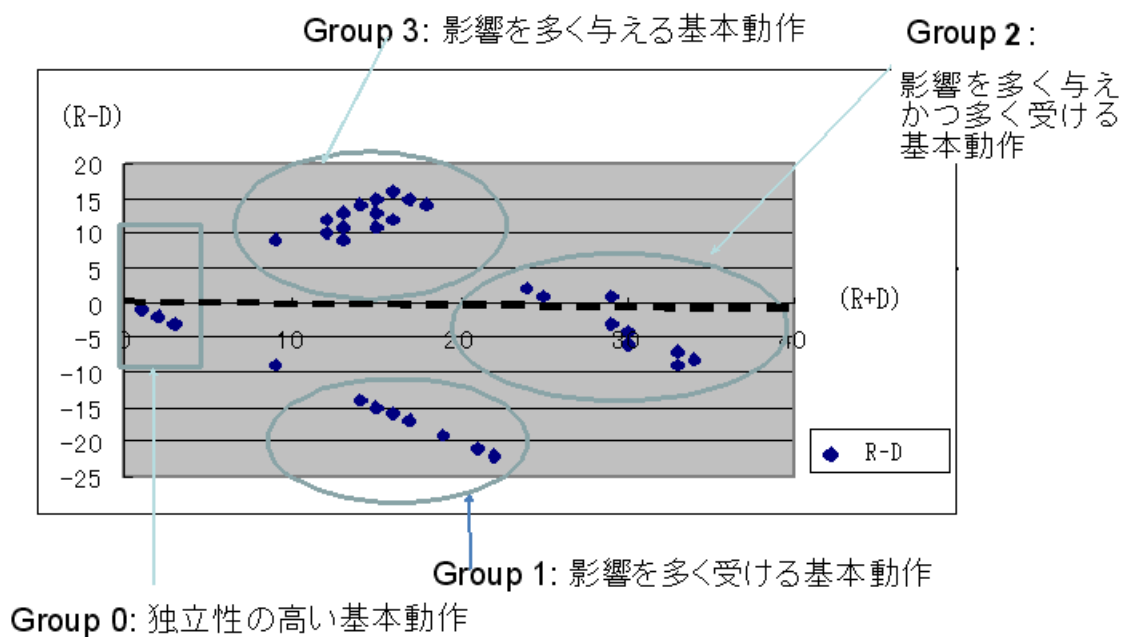


Figure 6. (R+D)と(R-D)の関係

	7	10	11	18	27	29	32	39	45	65	Group 2
From 3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6, 15, 59, 62, 64
From 6	x	x	x		x	x	x	x	x	x	1, 59, 62, 64
From 15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1, 59, 62, 64
From 59	x	x	x	x	x	x	x		x	x	1, 15, 62, 64
From 62		x	x	x	x	x	x		x	x	1, 15, 59, 64
From 64	x	x	x		x	x	x	x	x	x	1, 6, 59, 64

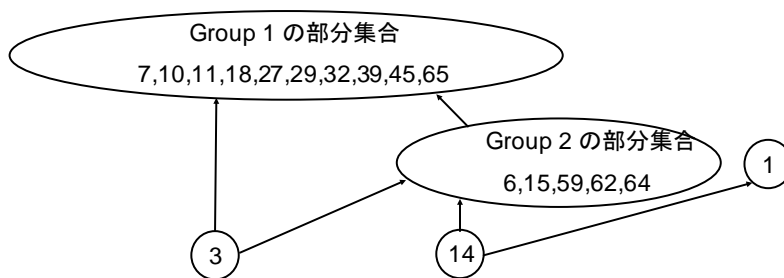


Figure7. 基本動作の Group 分けの手順の手順例

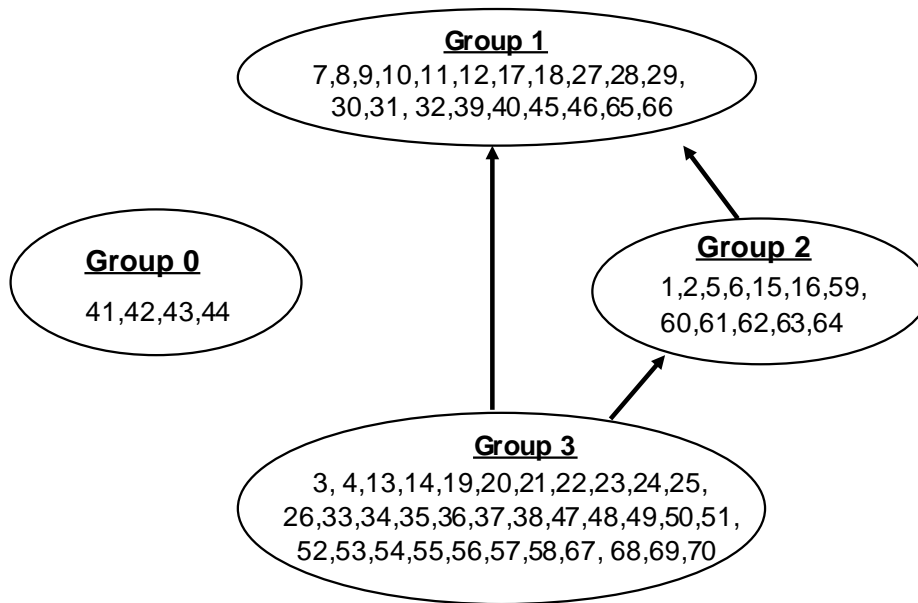


Figure8. 基本動作の Group 分け結果

同じ Group の中の基本動作は、相互に影響を与えまたは与えられるものである。また、矢印の方向は影響を与える方向を示す。

基本動作同士の連動性は、これまでは目視による観測データを用いて経験的に確認されていた。第4章の実験は次の2段階で進められる。ここで得られたグループや各基本動作の連動性についての定性的な情報を基にして実験箇所を選ぶ。そして、今回の筋電計を用いた計測によって、一部分ではあるが、定量的なデータによって、嘉陽氏の連動性の概念・仕組みの裏づけを行う。また、Shade を用いた CG モデルによって、連動性をより分かりやすい形で視覚的表現を行う。

先行研究と比較した場合、これまでの連動性の研究(嘉陽氏)では再現性の部分や詳細な数値部分において十分な説得力を持たせることができなかったが、今回の研究によってこの部分についての補強ができる。

Table6. 人体運動の基本動作のグループの性質

	基本動作のイメージ	基本動作の性質
Group0	体の中心から外へ足を動かす基本動作。	他の基本動作からの独立性の高い。
Group1	胸部・腹部・その傍の部位がつかれて動く基本動作。(例外有)	他の基本動作から影響を非常に受けやすい。
Group2	首や足を回転させる踵を伸ばす基本動作。	中心的な動きをなす基本動作(Group3)の中継ぎ的な役割を果たす。
Group3	胸部・腹部・その傍の部位を直接動かす基本動作。(例外有)	人が動く際に、中心的な動きをなす。

## 人体動作の連動性の研究についてのVモデル

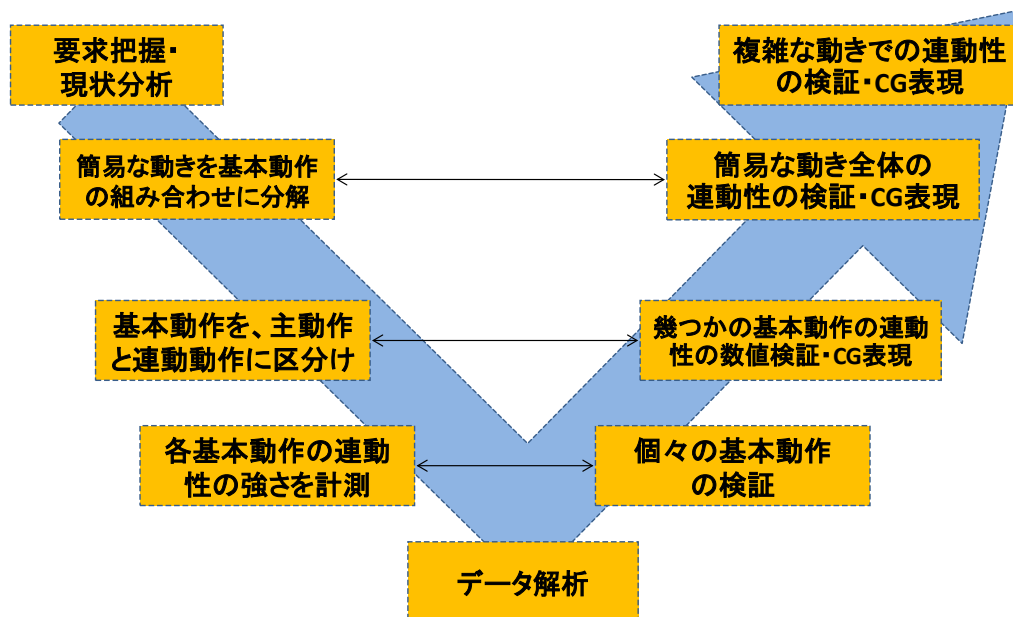


Figure9. 人体動作の連動性の研究についての V モデル

### 要求分析

より簡易な人体動作モデルが人体工学的設計に必要とされ、体の動きの仕組みの解明がスポーツ工学でも必要とされている。シンプルな動作モデルの作成を目標とする。シンプルとは、人体の動きを 70 の基本動作の組み合わせと考えた人体動作モデルを利用すること。CVCA や ASIS TOBE に基づく現状分析も行った。(第一～三章)

### 基本設計

手を上げる・首を捻る等の簡単な動きを、基本動作の組み合わせによって表現する。ただし、簡単な動きは、十～二十程度の基本動作の組み合わせとなる。

### 機能設計

簡単な動きに使用された基本動作を、主動作と連動動作に分ける。個々の連動性の強さを、筋電計を用いた実験によって計測する。(第四章)

### データ解析・整理

実験データ整理・解析。

### 単体検証

人体の簡単な動きを構成する幾つかの基本動作の連動性の強さの数値検証を行う。

### 統合検証1

簡単な動きにおける、基本動作の連動性の数値検証・CG 表現を行う。運動・連動性の検証。Shade による CG モデルによって、これまで分かりにくかった広範囲での連動性の動きについて、視覚化を試みた。

### 統合検証 2

複数の簡単な動きの組み合わせを複雑な動きとして、その動きを構成する幾つかの基本動作の連動性の数値検証・CG 表現を行い、運動・連動性の検証を試みた。

### 第三章 実験方法 シェイドによるCGモデルと筋電計による計測

#### 3.1 シェイドによるCG人体モデルについて

##### 3.3.1 モデルの内容

人体の15部分モデル(図3)を模した3Dの人体モデルを作成する。連動動作を考慮に入れた人体運動が確かに自然な人体運動を引き起こすことを観察する。

##### 3.3.2 使用目的

連動性の性質を視覚的に分かりやすい形に表現する。

また、筋電計からえられた観測データを、連動性を表すデータに置き換えて、Shadeに読み込ませることによって、自動的にコンピュータ内で人の動きを再現する研究を将来的に行う。

##### 3.3.3 検証の妥当性

CGモデルの精度については、モデルの映像を目視したとき、モデルがより自然に動いているとみなせるものを連動性がよく現れたモデルとする。本研究で取り上げている連動性が人体運動を表すために十分揃っていることを確認することができれば有意義である。そこで、連動性の生じない箇所に故意の連動性による動きを発生させ、目視による違和感を計測し、連動性の揃い具合を観察する。

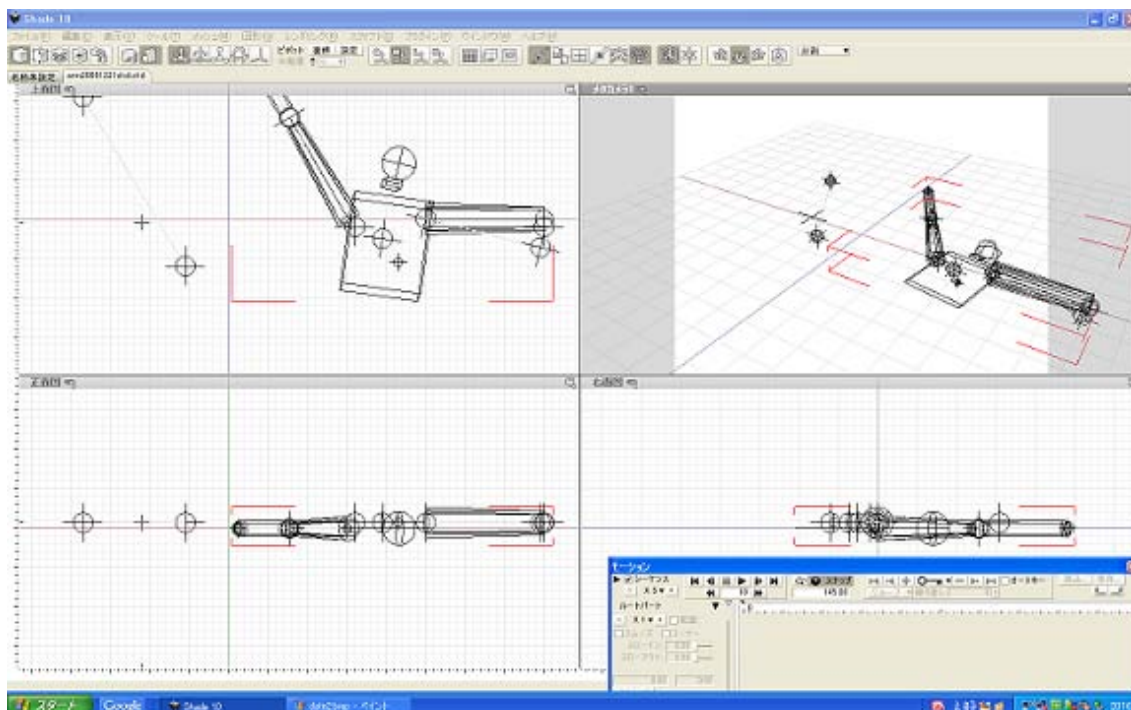


Figure10. シェイドによるCG人体モデル

## 3.2 筋電計のデータ取得について

### 3.2.1 使用目的

表面筋肉の動きの強さを計測することで、どのようなタイミングで、どの程度の強度で、連動性が発生するのかについてのデータを取得する。また、連動性が発生しない部位と連動性が発生する部位の比較を行う。

なお体を動かす際には、必ず動く部位の周辺の筋肉が動く為、その筋肉が動くことによって生じる電位差を計測することにより、連動性の発生の有無を計測することができる。嘉陽氏の経験や三章のデータで示したように、様々な人間に共通して現れる連動性の存在やパターンは示された為、本実験では連動性についてより詳細に調べる。

### 3.2.2 データ内容

表面筋肉の電位差の連続データ。

筋電計の計測時の被験者の動きの映像データ。

実験する基本動作は、基本動作の4つのグループから選んだ3つの動作(No.2 No.9 No.14)と、その中の二つの動作の組み合わせ(No.2+No14)による複合動作とした。

また、測定部位は、15剛体モデルを参考にして、首(胸鎖乳突筋)・肩(肩の部分の僧帽筋)・上腕(上腕三角筋) 下腕(腕橈骨筋)・腰(腰の部分の広背筋)・大腿(大腿四頭筋)・下腿(腓腹筋)の左右の筋肉を測定した。それぞれの測定箇所は10cm以上距離を置いて図っているため、他の測定箇所とは独立している。

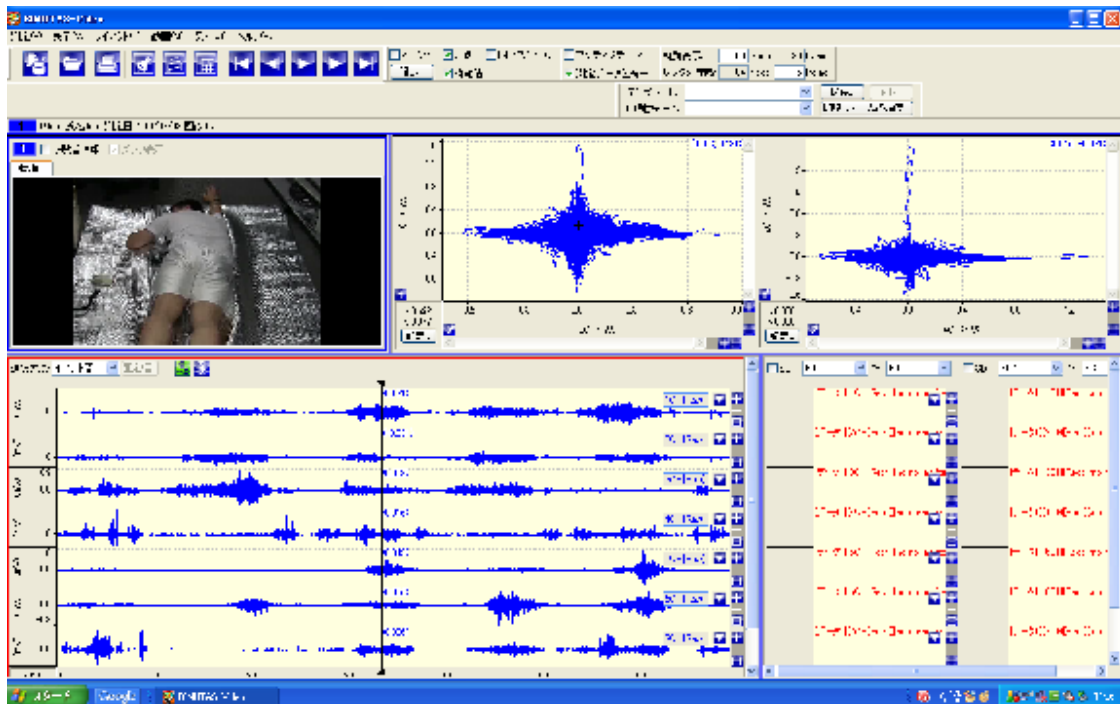


Figure11. 筋電計によるデータ取得画面

### 3.3.3 測定器具

MARQ16 (キッセイコムテック社製 筋電計)

BiMUTAS-Video (解析ソフト)

IVISH HV30 (Canon 社製品ビデオカメラ)

### 3.3.4 測定方法

被験者の体表面に筋電計の計測パッチ (最大8チャンネル同時取得可能・体表面下1-2cm 程度までの電位差を測定) を張り。表面電位差を測定することで、筋肉の動きを観測する。

#### 測定における注意

1: 測定部位の選択は、連動性が生じていると考えられる箇所を、人体の15部分モデル (図3) から選出する。ただし、比較対照の為に、連動性が生じているとは考えない箇所も計測する。

2: 筋電計の測定パッチの装着時には、測定部位の筋肉の中で最も大きく動く筋肉を選出する。測定方法は、「表面筋電図」に準じて行なった。

3: 計測においては、出来るだけノイズの少ないデータを取得する為、被験者は横たわった状態で、安静な状態で息を吐きながら全身を使って動いてもらう。床の表面には、摩擦の少ないシートを敷き、体の動きを妨げないように配慮する。

4: 測定中の被験者の動きは、日常的な動きよりもゆっくり大きく行う。これは、連動性が生じるのは一定以上の条件 (主動作部分の筋肉への負荷や、関節の角度等) を超えた場合であることもある為である。

5: ひとつの簡易な動きの計測は、同じ時間帯にて行う。これは、被験者の体調や外部条件によって、体表面の電位差が変わりやすい為、条件をなるべく揃える必要がある為である。



### 3.36 連動性の強さの判定

連動性の強さの出力測定は、筋電計の出力強度を用いる。ただし、一度の実験で同時に測定できるのは8箇所という制約がある為、一部は別の実験で測定した箇所との出力強度との比較は、相対的な値を使用する。なお、筋電計の出力強度(体表面の電位差)の物理的な単位は、 $\mu V$ (今回の実験の筋電計では、mVで取得)である。

例) 仰向けの状態で、「首を回す」簡易な動作についての測定。

この場合、上腕の動きが主動作となり、他の部位の動きは連動動作となる。

実験 1 首・腰・肩・大腿 (各箇所の左右で、合計最大 8 箇所まで測定。)

実験 2 首・腰・上腕・下腕

実験 3 首・腰・大腿・下腿

(上腕・肩)と(大腿・下腕)は同時計測していないが、実験 A と実験 B で共通して計測している、首と腰のデータと比較する形で出力強度を表現する。これは、ひとつの簡易な動きを行う際に、同じ動きをしても全く同じ筋電計の数値データが取ることが出来ない為である。(同じ測定部分の数値はなるべく、揃えるように実験時に留意する。)

実験 1 首:腰:肩:大腿 100:100:60:70 (最大値、数値は例。)

実験 2 首:腰:上腕:下腕 80:80:30:20

実験 3 首:腰:大腿:下腿 80:80:56:0

ならば、各箇所の筋肉の出力強度は

首:腰:肩:上腕:下腕:大腿:下腿: 100:100:60:36:25:70:0

と表現するとする。

また、それぞれの箇所を意識して動かしたとき(主動作)の出力と比較して、どの程度の出力になっているか調べる。例えば、主動作で動く場合に近い値であれば、その箇所の連動性は大きいとみなす。これは、元々の筋肉の出力・実験時の筋肉の状態・筋電計の検出力(測定端子の状態や、測定端子と筋肉との距離・状態)が一樣ではなく、測定条件を完全に揃えるのは困難であるからである。

この例の場合、肩の動きと首の動きは、強い連動性があり、腰にも連動性は観測されるが、腰から下の部分への連動性は弱く、最も離れた足には連動性は生じないことを示す。また、実験では連動性が発現するタイミングも計測されるため、連動性の性質もより詳しく調べることができる。

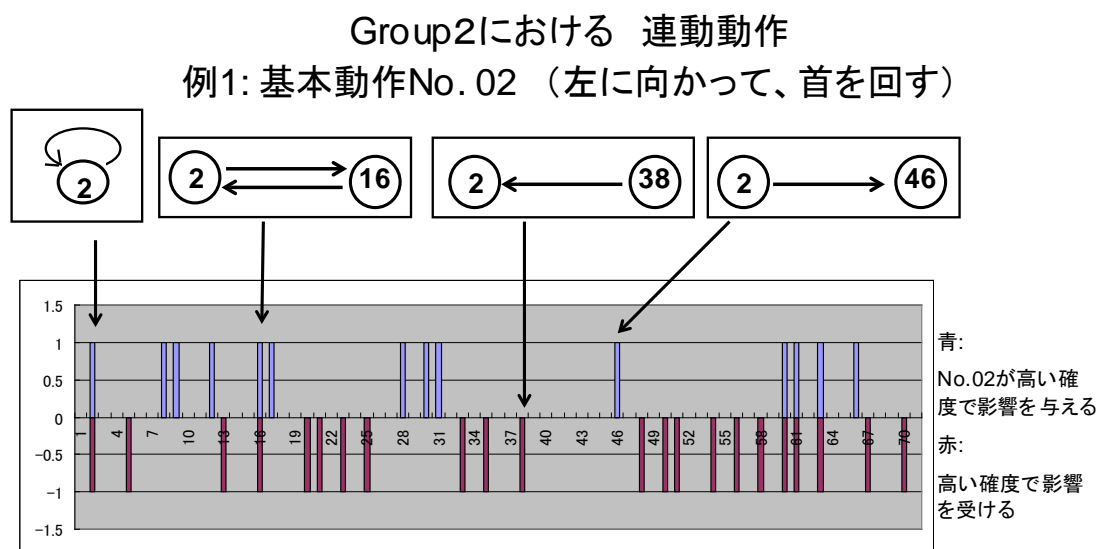
## 第四章:実験結果

### 4.1 Case1 基本動作 No.02 (左に向かって首を回す)

基本動作の Group2の例(中心的な動きをなす基本動作の中継ぎ的な役割を果たす Group)として、基本動作 No.02 について調べる。

#### 動作

顎を引き寄せ、つま先は顔の方向に引き上げた状態(背屈)に保つ。全身を使って頭を左へゆっくりと回し、限界点を超えるまで動ききってしまう。



青 : No.02を行ったときに生じる基本動作。14箇所と多い。

赤 : No.02を行うのに必要な基本動作。22箇所と多い。

→No.02は、様々な動作との結びつきが強い基本動作。(Group2の性質。) 9

Figure12. Group2 の基本動作 No.02 の連動動作

#### No.02 が影響を与える動作

No. 08 No. 09 No. 12 No. 16 No. 17 No. 28 No. 30 No. 31 No. 46 No. 60 No. 61 No. 63 No. 66

#### No.02 へ影響を与える動作

No. 01 No. 04 No. 13 No. 16 No. 20 No. 21 No. 23 No. 25 No. 33 No. 35 No. 38 No. 48 No. 50 No. 51 No. 54 No. 58 No. 56 No. 60 No. 61 No. 63 No. 67 No. 70

#### 4.1.1 動作の説明

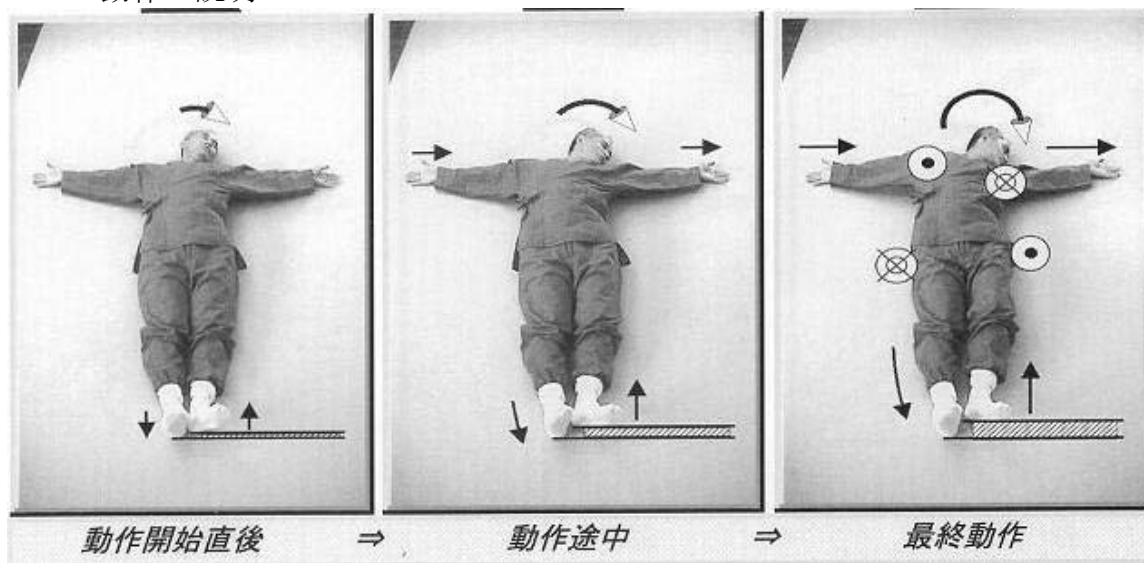


Figure13. 基本動作 No.02 の動き

##### 開始姿勢

動作を始める前に両足は伸ばし、つま先は頭上方向へ引き上げた状態(背屈)にする。そして両腕は十字架上に横伸ばしにして、指は伸ばした状態に保つ。身体を軽く緊張させる。

##### 動作開始直後

初期動作の時点ではあまり他の部位の連動性は近くされないが、左下肢が頭上方向へ縮み、反対に右踵が伸びていく。

##### 動作途中

首が正面より左に約 60 度向いたあたり、首が左肩に近く来ると、右肩が天井方向へ浮き上がり始める。右肩は体幹方向(求心方向)へ引き寄せられ、逆に左肩は左に伸びる。(この動作途中の段階では、右肩は頭上方向へ引き上げられてくる感じがする。)

##### 最終動作

首の回転がさらに進むと、左肩の床への押し付け、左手の横伸び、左脇の骨盤方向への縮みなどへとうんどうほうこうが転換していく。最終動作の写真で示すように、右踵はさらに下方(遠心性方向)へ伸び、逆に左踵は頭上方向へ縮み上がる。左首回しの最終動作時点においては、左膝は軽く浮き上がり、外横開き運動が見えてくる。左骨盤は浮き上がり、頭上方向への縮み上がり頭と逆方向へのねじれ運動になり、右骨盤は床へ押さえつけられ、それとともに右踵が伸びる動作となる。右つま先は、軽く内側方向へ、左つま先は外側へ倒れる。

## 実験 1-1 首回し(首・腰・肩・右大腿)

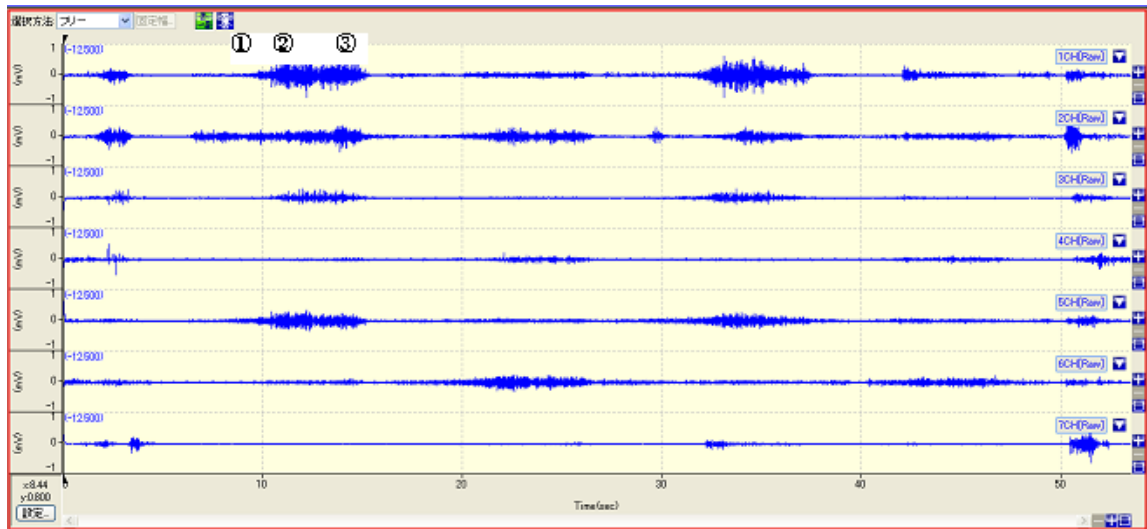


Figure14. 首回し(首・腰・肩・右大腿)

1ch:左首 2ch:右首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右肩 6ch:左肩 7ch:右大腿

(注)1chと2chが付け間違えの為、他のデータと逆になっている。

なお、本論文の筋電計のグラフは、横軸に時間、縦軸に電圧をとり、注意書きをしない限り縦軸においては、 $-1\sim 1\text{mV}(1000\mu\text{V})$ の値をとる。

動作は、カメラから向かって左側の動作を行い、次に右側の動作を行い、それらをもう一度繰り返す。(仰向けの場合は、体の右側の動作、うつ伏せの場合は体の左側の動作から行う。)

まず、筋電計の測定グラフから、連動動作に対称性の関係があることがわかる。

首(1ch 2ch)の筋電計出力の最大値は  $150\sim 300\mu\text{V}$  程度

首を曲げた側の首の筋肉は収縮しており、筋電計でもそれが観察された。ビデオ映像を確認すると、首の回転角度が浅いうちは筋肉には殆ど出力が見られないが、 $60$ 度を超えたあたりから大きな出力が見られ、 $90$ 度(真横)付近では一定の最大出力を維持するようになる。①首の回転角度が $60$ 度を超えて大きくなると、首の回転方向の肩が床に押し付けられ、また首の回転方向と逆の肩は床から浮き上がる様子が観察される。②首回しに大きな抵抗を感じてから、より強く首を回そうとする為、首は $90$ 度程度以上の回転をしないにも関わらず、鉛直方向と首のなす角は大きくなりやがて、それ以上首を回せなくなる。筋電計は、首の回転角度が $60$ 度を越えたあたりからこの時点まで、大きな出力を断続的に示す。

③首が回らなくなってから、首を正面戻す過程では、首の回転角度が先に $60$ 度を下回ってから、鉛直方向と体のなす角度が元に戻る。(首の過負荷がなくなってから、肩の変化が戻る。)首の回転角度が $60$ 度を下回ると、首が回転しているにも関わらず、筋電計の出力は殆どみられなくなる。

なお、左首の出力が不安定なのは、パッチの張り方のミスで、他の筋肉からのノイズをうけている。

①②③は、図14に示した筋電計の測定時刻の動きである。

ただし、首の回転角度は、体の正面となす角度とする。

腰(3ch 4ch)の筋肉の動きも、首の動きとの関連性が見られる。首の筋電計の出力あがるのに合わせて、首と逆側の腰の筋肉の出力があがることがわかる。ただし、首の出力よりも腰の出力はやや遅れて始まることが確認される。ビデオ映像を確認すると、腰の動きは、首や肩の動きよりやや遅れていることが観察された。この結果から、能動的な連動性が生じていることが分かる。

肩(5ch 6ch)の筋電計出力の最大値は  $300 \mu V$  程度である。右に首を回すときは、右肩の出力は上がるが、左肩の出力は上がらない。左に首を回すときは、右肩の出力があがるが、右肩の出力は上がらない。はっきりと首の動きとの関係性がわかる。また、肩の筋肉の出力が上がるタイミングは、首の回転角度が  $60$  度を越えたあたりとほぼ同時である。この結果から、能動的な連動性が生じていることがわかる。

右大腿(7ch)は、筋電計ではほとんど反応していない。左首回しのときに、わずかに出力がグラフから読み取れるため、詳細を確認すると首の筋電計の出力がある時間帯に、微弱ながら出力があることが確認された。なお、2回目の右首回しの時の出力は、腰の動きにつられて床シートとの足の摩擦具合が変わって一瞬足がピクッと動いたものである。ビデオ映像を確認すると、右首回しの時には、右足がズリ上がり、左足がズリ下がる動きが観察された。このことから、左首回しと右大腿の動きに受動的な連動性が生じているとわかる。

以上より、右に首を回す基本動作時には、右首~左腰~右肩、左に首を回す基本動作時には、左首~右腰~左肩~右大腿、が確認された。

なお、受動的な連動性とは、ある部位が、筋肉自体は動かなかつたり、主動作に遅れたりして、他の動きにつられて動く性質。能動的な連動性とは、ある部位が、主動作と同じタイミングで、筋肉自体が自ら動く性質。

4.1.2 No.02 の基本動作の実験結果  
 実験 1-2. 首回し(首・腰・上腕・右下腕)

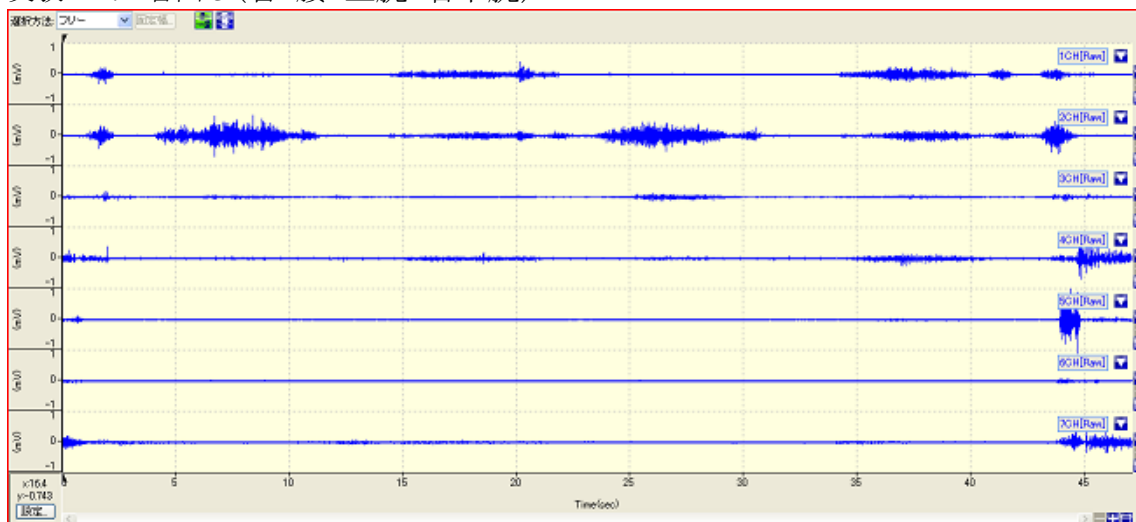


Figure15. A 首回し(首・腰・上腕・右下腕)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右上腕 6ch:左上腕 7ch:右下腕

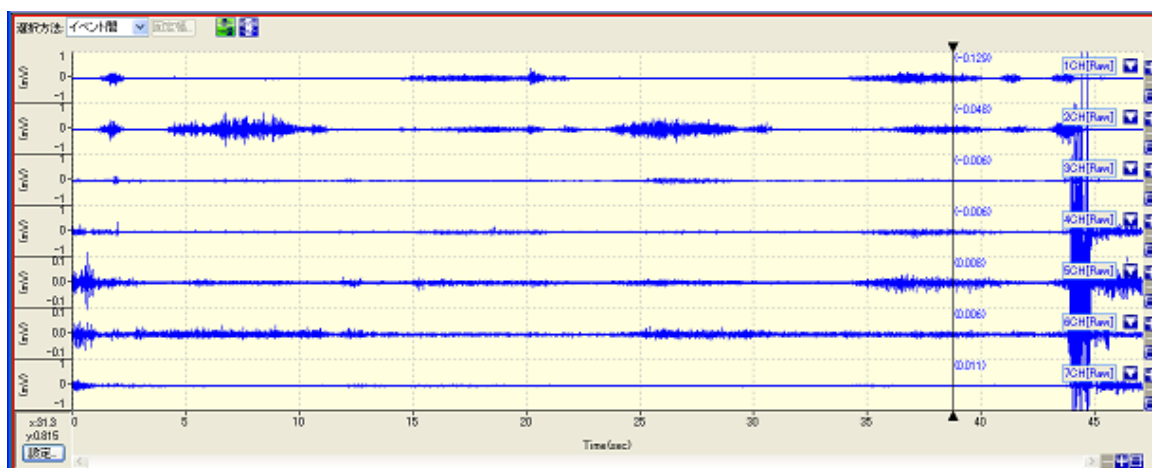


Figure15. B 首回し(首・腰・上腕・右下腕 上腕部分の縦軸を10倍に拡大)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右上腕 6ch:左上腕 7ch:右下腕

実験 1-1 と同様に調べると、右首～左腰と、左首～右腰に連動性があることが分かる。

上腕は、連動するはずであったが、体側に置かれ動きが制限されていたため図 15A ではほとんど出力されなかった。ただ、上腕・下腕は嘉陽氏の観察では、連動性が生じるとされた為、上腕 (5ch 6ch) の縦軸を 10 倍に拡大してみると図 15B のように、弱いながら継続的な出力が確認された。また、左に首を回したとき、左上腕の筋肉の出力が上がったことが分かる。

このことから、連動箇所は固定されると、その部位が動かないため見た目は、連動性が発現しないように見えるが、筋肉には大きくはないが連動性は生じている。ただし、実際に部位が動く場合に比べて、運動が妨げられている場合に

は筋肉の動きは弱くなることが発見された。

下腕には、上腕のような出力はみられなかった。

以上より、右に首を回す基本動作時には、右首（主）～左腰（能）～右上腕、左に首を回す基本動作時には、左首（主）～右腰（能）～左上腕が確認された。また、動きが制限される中でも、弱いながらも連動性が生じることが分かった。

#### 実験 1-3.

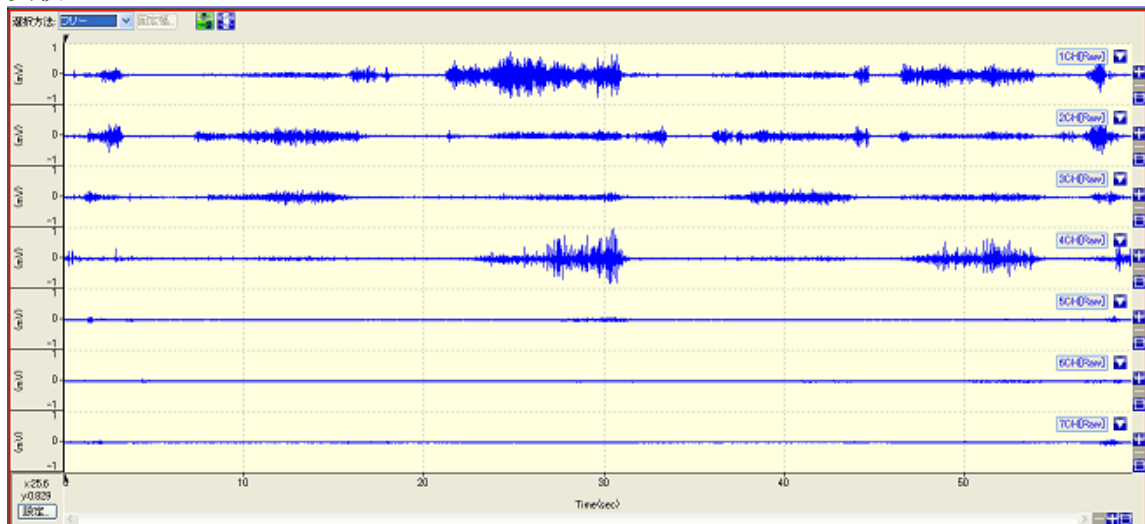


Figure16. 首回し（首・腰・大腿・右下腿）

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右大腿 6ch:左大腿 7ch:右下腿

実験 1-1 と同様して、右首～左腰 左首～右腰の連動性は確認されたが、大腿や下腿との連動性は確認されなかった。

ただし、ビデオによる確認では、右首回し時に、左足全体のズリ下がりと右足全体のズリ上がり確認された。よって、大腿・下腿では筋肉は自ら動かなかつたにも関わらず、動いたことになり、受動的な連動性であったことがわかる。この動きは、腰の動きにつられて、骨格的なつながりによって動いたと考えられる。

実験 1-1. 1-2. 1-3.の結果をまとめると、

(1) 首の左回し（右回しも対称性により同様）においては、左首～左肩～左腰に連動性が確認された。また、左首と左肩の連動はほぼ同時に起こるが、右腰の連動は、左首の動きにやや遅れて生じることが分かった。（能動的連動性）

(2) 連動性が生じた場合、予想される動きを妨げられた左上腕はわずかだが筋電計によって連動性が確認された。

(3) 実際には動いているが、筋連動計では連動性は見られない部位（大腿・下腿）がある。（受動的連動性）

(4) 筋電計によって連動性が生じたことによって発生したと思われる電位差が確認されるのは、動作開始直後ではなく、一定角度（60 度程度）超えて首を回そうとして、筋肉に力を入れて緊張させているときである。

(5) 部位の動きにみられた能動的連動性と受動的連動性は、Group 2 の、影響を与えかつ多くの影響を受ける基本動作の性質と関係性があると推測される。

4.2 Case2 基本動作:No. 14 (頭の上方向に左手を伸ばす)

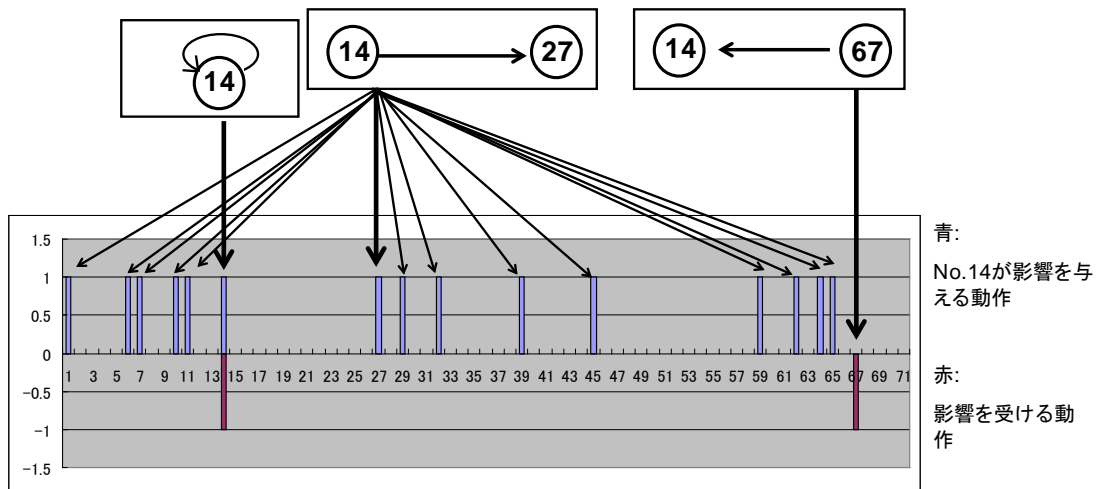
主動作 グループ3(人が動く際に、中心的な動きをなす Group の例)

動作

全身で左腕を伸ばしていくイメージで動く。限界点を超えるまで動き切っけてします。動作は吐く息で行うようにする。

Group3における連動動作

例2: 基本動作:No. 14 (頭の上方向に左手を伸ばす)



青: 16箇所の動作に影響を与える。

赤: No.14自身とNo.67のみから影響を受けない。

→No. 14は、他の動作に強い影響を与える動作である。(Group3の性質)

Figure17. Group3 の基本動作 No.14 の連動性

No. 14 が影響を与える動作

No.01 No.06 No.07 No.10 No.11 No.14 No.27 No.29 No.32 No.39 NO.45 No.59 No.62 No.64 No.65

No. 14 へ影響を与える動作

No.14 No.67



#### 4.2.1 動作の説明



Figure18. 基本動作 No14 の動き

##### 開始姿勢

両手はバンザイ状態で頭上方向に伸ばしたままにし、両下肢は伸ばしたままに保つ。身体を軽く緊張させる。顎を床に立てた状態にする。

##### 動作開始直後

左手を頭上方向に伸ばす初期動作において、右腕・右肩は骨盤方向へ押し下がっていき、骨盤は頭上方向へ縮み上がり、床から天井方向へ浮き上がっていく。

##### 動作途中

右踵は縮み上がり、膝が軽く曲げられ脇腹方向へ引き上げられる動作へと変わっていく。右肩は床から浮き上がり、逆に左肩は床に押し付けられ、同時に左骨盤も床に押し付けられていく。

##### 最終動作

左脚は踵方向に伸びていき、床へ押しつかられていく。右つま先は膝が脇腹方向に上がっていく動作と同時に外側に回転していき、左つま先は逆に内側に少し回ってくる。首は伸びた左手とは反対方向(右方向)へ回転が生じる。

実験 2-1.

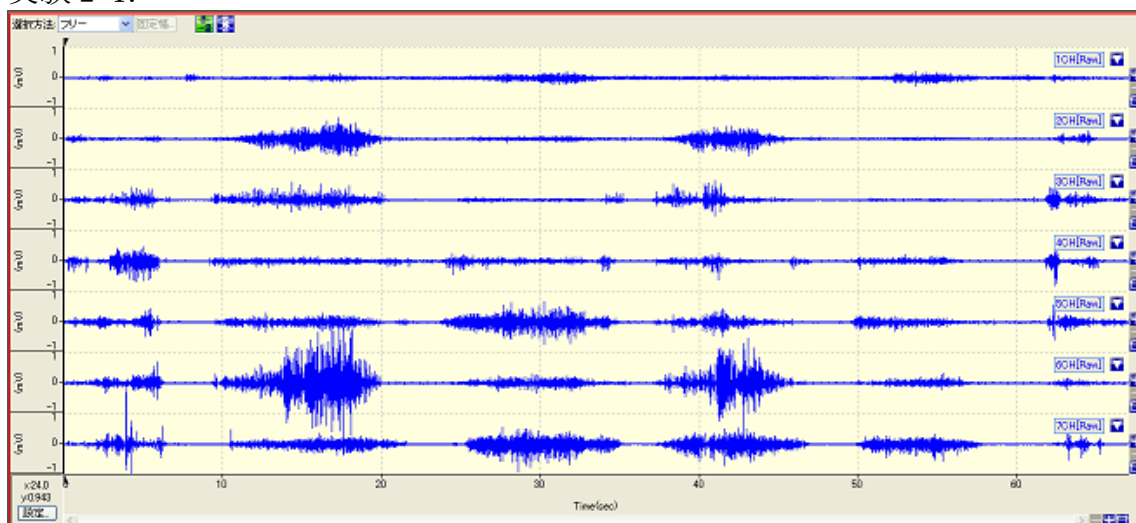


Figure19. 頭の上方向に、手を伸ばす(首・腰・肩・右大腿)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右肩 6ch:左肩 7ch:右大腿

右手を伸ばすとき、右首～左腰～右手に連動性が同じタイミングで確認される。一方、右大腿もやや遅れて連動性が確認された。左手も同様である。

実験 2-2.

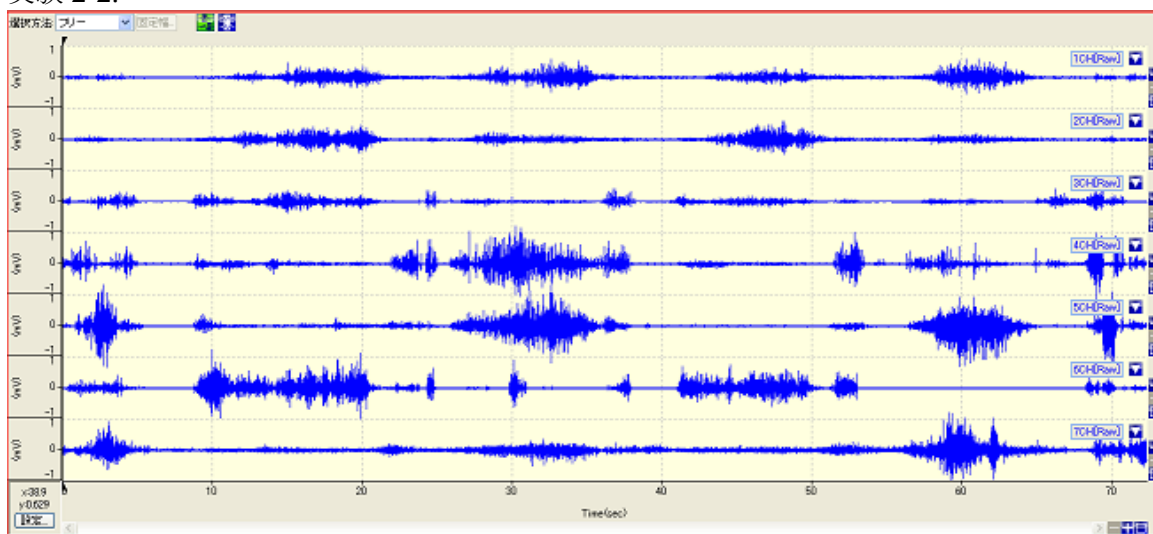


Figure20. 頭の上方向に、手を伸ばす(首・腰・上腕・右下腕)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左首 5ch:右上腕 6ch:左上腕 7ch:右下腕

左手を伸ばす時、右首～左腰～右上腕～右下腕に連動性が確認された。ただし、右首・左腰・右下腕は右上腕にやや遅れて連動している為、受動的な連動動作と考えられる。

### 実験 2-3.

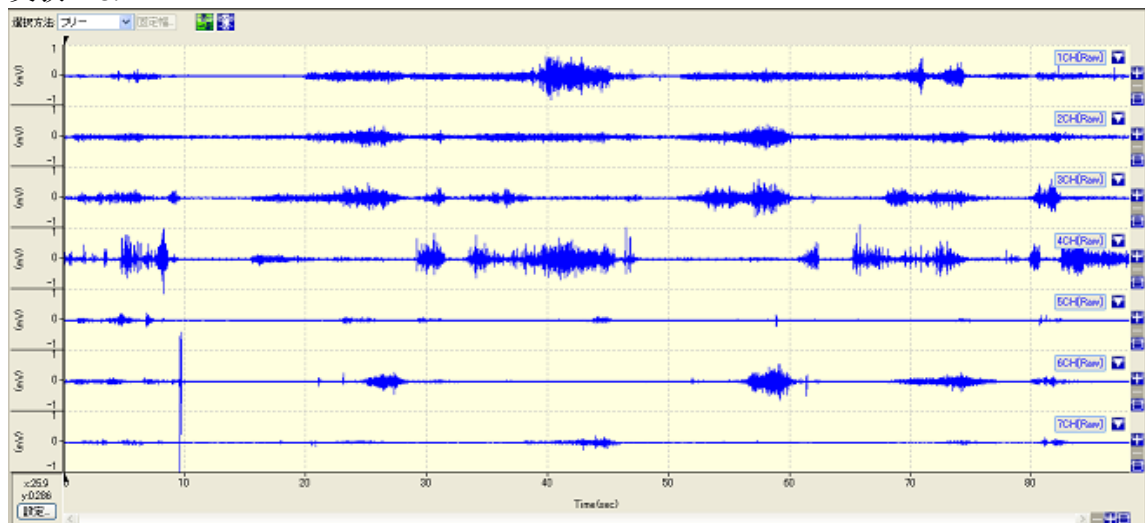


Figure21. 頭の上方向に、手を伸ばす(首・腰・大腿・右下腿)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右大腿 6ch:左大腿 7ch:右下腿

左手を伸ばす時、右首～左腰～右大腿～右大腿に同じタイミング連動性が確認された。ただし、ビデオカメラでの左手に動きに遅れて生じている為、受動的な連動動作と考えられる。右手についても同様である。

実験 2-1. 2-2. 2-3.の結果をまとめると、

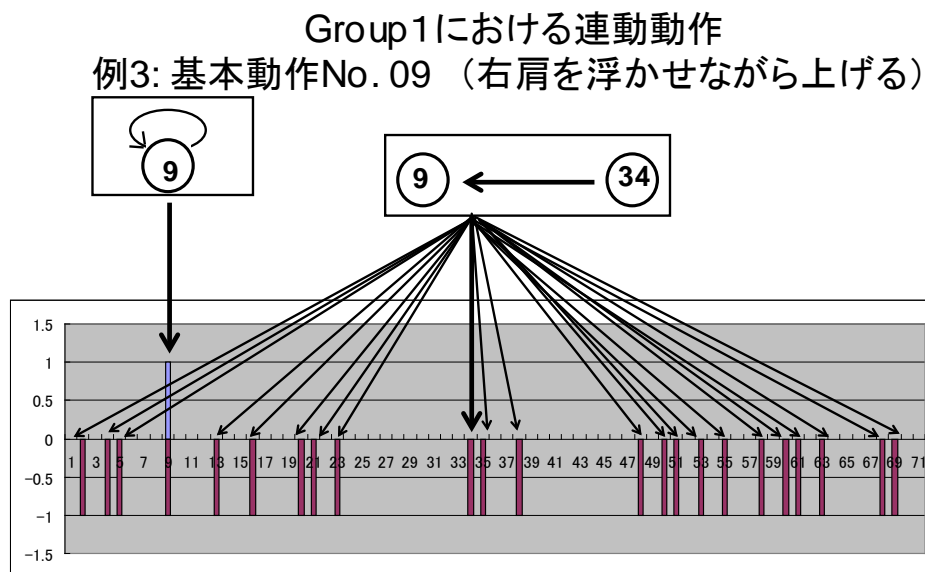
- (1) 右手の頭上方向上げ (左も対称性により同様) においては、右首～右肩～右手全体～左腰に連動性が確認された。(能動的連動性)
- (2) 実際には動いているが、筋連動計では筋肉の動きとしての連動性は見られない部位 (大腿・下腿) がある。(受動的連動性)
- (3) 筋電計によって連動性が生じたことによって発生したと思われる電位差が確認されるのは、動作開始直後ではなく、一定長さを超えて手を伸ばそうとして、筋肉に力を入れて緊張させているときである。
- (4) 部位の動きについてみられた能動的連動性と受動的連動性は、Group3の、他の動作に多くの影響を与える基本動作の性質と関係性があると推測される。

### 4.3 Case3 基本動作 No. 09 (右肩を浮かせながら上げる)

連動動作 Group1 の例 (他の基本動作から影響を非常に受けやすい Group)

動作

つま先を顔の方へ引き寄せたまま、右肩を頭上方向へゆっくり引き上げていく動作をする。限界点を超えるまでは全身を使って動ききってしまう。動作は吐く息で行うようにする。



青 : No.09の動作は自分自身にしか影響を与えない。

赤 : No.09は他の22の基本動作から影響を受ける。

→No.09は、多くの他の基本動作の連動を必要とする動作。(Group1の性質)

Figure22. Group1の基本動作 No.09 の連動動作

No.09 が影響を与える動作  
No.9

No.09 へ影響を与える動作

No.2 No.4 No.5 No.9 No.13 No.16 No.20 No.21 No.23 No.34 No.35 No.38 No.48  
No.50 No.51 No.58 No.60 No.61 No.63 No.68 No.69

#### 4.3.1 動作の説明



Figure23. 基本動作 No.09 の動き

##### 開始姿勢

仰向けになって、動作を始める前に両腕は身体側に添えて気をつけの姿勢をする。両足は伸ばし、つま先は顔の方向へ引き上げた状態にする。身体は軽く緊張させる。

##### 動作開始直後

仰向けになって右肩を頭上方向へ引き上げていく動作において、初期動作の段階から、首の左回転が始まる。右か肩は伸びていき、左踵は頭上方向へ縮み上がり、左膝は浮き上がってくる。

##### 動作途中

動作を進めていくと、右踵のお伸びと同時に、右骨盤は床へ押しつけられていく。左踵は縮み上げ利、左膝は床から天井方向へ浮き上がりをはじめ。

##### 最終動作

最終動作において、右肩は床から天井横行へ浮き上がり、逆に左肩は床へ押し付けられ、骨盤方向へ引き下がっていく。同時に左骨盤は頭上方向へ縮み上がり、天井方向へ捻りあがるように床から浮かび上がる。立てた右つま先は内まわり、左つま先は右側へ回る、左脚は外横開き(左方向)運動へ変化する。

### 実験 3-1.

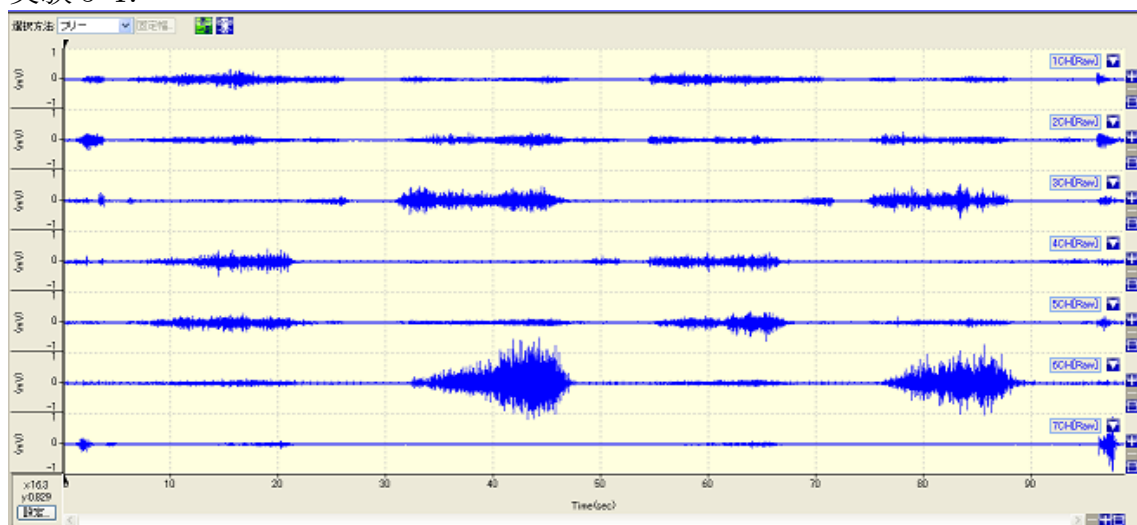


Figure23. 肩を浮かせながら上げる(首・腰・肩・右大腿)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右肩 6ch:左肩 7ch:右大腿

右肩を上げる時、右首～左腰～右肩に同じタイミング連動性が確認された。右大腿にも筋肉の動きは計測されているが、右肩に動きに遅れて生じている為、受動的な連動動作と考えられる。左肩についても同様である。

### 実験 3-2.

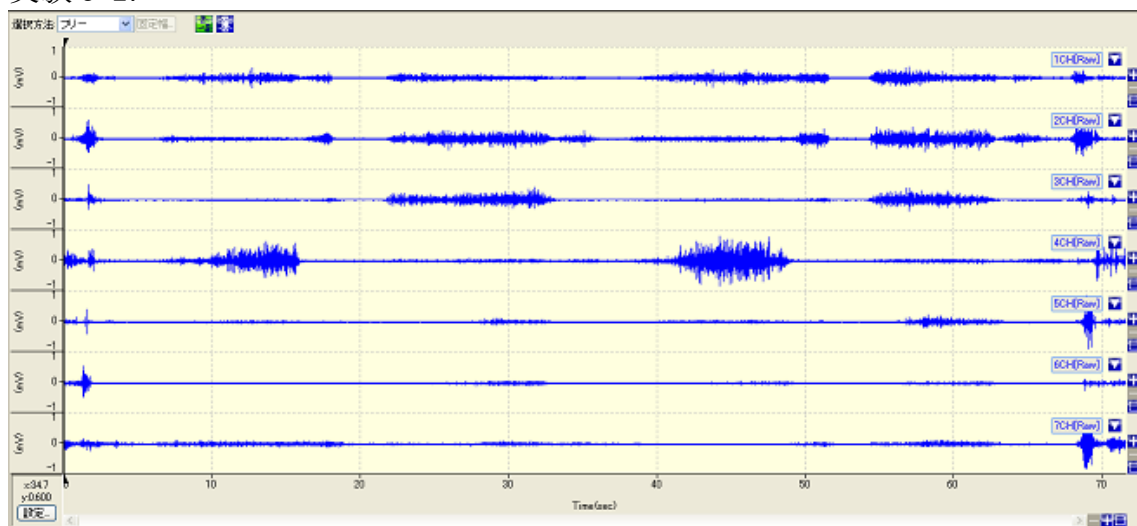


Figure24. 肩を浮かせながら上げる(首・腰・上腕・右下腕)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左首 5ch:右上腕 6ch:左上腕 7ch:右下腕

右肩を上げる時、右首～左腰は同じタイミング連動性が確認された。上腕・下腕にも筋肉の動きは計測されているが、どちらの動きでも観測され対称性が見られない為、受動的な連動動作と考えられる。ただし、右上腕と右下腕の動きは関係性がみられる。左肩についても同様である。

### 実験 3-3.

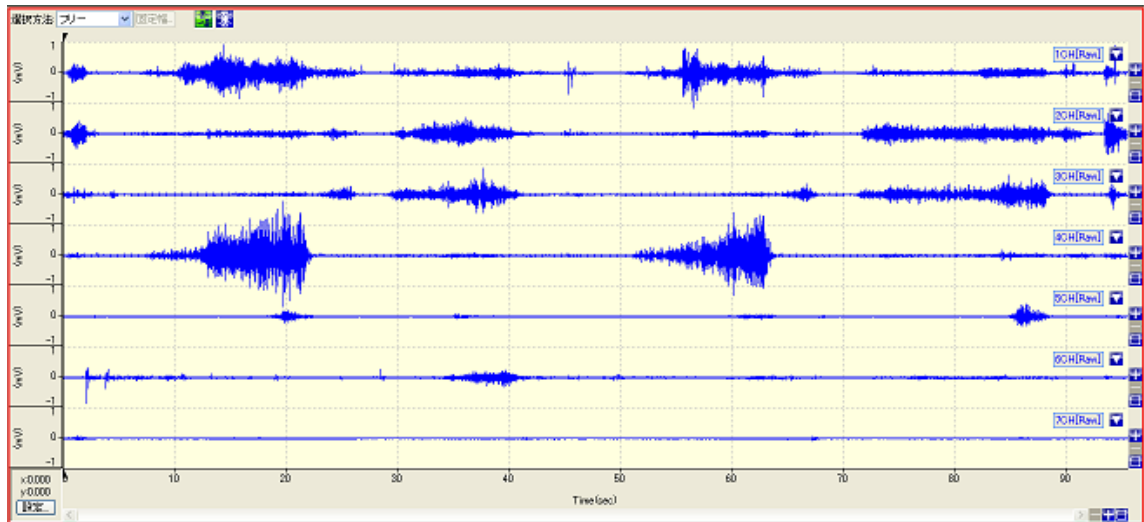


Figure25. 肩を浮かせながら上げる(首・腰・大腿・右下腿)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右大腿 6ch:左大腿 7ch:右下腿

右肩を上げる時、右首～左腰に同じタイミング連動性が確認された。右大腿にも筋肉の動きは計測されているが、右肩に動きに遅れて生じかつ短時間な動きである為、床シートとの摩擦抵抗が消えて足がビクッと動いた時の動きが計測されたと考えられ、足全体の動きは受動的な連動動作と考えられる。左肩についても同様である。

実験 3-1. 3-2. 3-3.の結果をまとめると、

(1) 右肩上げ(左も対称性により同様)においては、右首～右肩～右腰に連動性が確認された。(能動的連動性)

(2) 実際には動いているが、筋連動計では筋肉の動きとしての連動性は見られない部位(上腕・下腕・大腿・下腿)がある。(受動的連動性)

(3) 筋電計によって連動性が生じたことによって発生したと思われる電位差が確認されるのは、動作開始直後ではなく、首とのなす角度が約60度を超えて肩が上げようとして、筋肉に力を入れて緊張させているときである。

(4) 部位の動きについてみられた能動的連動性と受動的連動性は、Group 1の、他の動作から多くの影響を受ける基本動作の性質と関係性があると推測される。

#### 4.4 Case4 複合モデル No.03+No.14

##### 動作

No.03 首の右回しの動作(No.2 首の左回しの逆動作)と、No.14 頭の上方向に左手を伸ばす動作を同時に行う。うつ伏せの状態で行う。



Figure26. 首を回し、同時に反対側の手を頭の上方向に上げる

##### 4.4.1 動作の説明

###### 開始姿勢

動作を始める前に両足は伸ばし、つま先は床に立てた状態にする。両手はバンザイ状態で頭上方向に伸ばしたままにし、両下肢は伸ばしたままに保つ。身体を軽く緊張させる。顎を床に立てた状態にする。

###### 動作開始直後

初期動作の時点ではあまり他の部位の連動性は近くされないが、右下肢が頭上方向へ縮み、反対に右踵が伸びていく。右腕・右肩は骨盤方向へ押し下がっていき、骨盤は頭上方向へ縮み上がり、床から天井方向へ浮き上がっていく。

###### 動作途中

首が正面より左に約 60 度向いたあたり、首が左肩に近く来ると、右肩が天井方向浮き上がり始める。左踵は縮み上がり、膝が軽く曲げられ脇腹方向へ引き上げられる動作へと変わっていく。右肩は床から浮き上がり頭上方向に引き上げられ、逆に左肩は床に押し付けられ足方向に引きさがり、同時に左骨盤も床に押し付けられていく。

###### 最終動作

首の回転がさらに進むと、左肩の床への押し付け、左手の横伸び、左脇の骨盤方向への縮みなどへと運動方向が転換していく。最終動作の写真で示すように、右踵はさらに下方(遠心性方向)へ伸び、逆に左踵は頭上方向へ縮み上がる。左首回しの最終動作時点においては、左膝は軽く浮き上がり、外横開き運動が見えてくる。左骨盤は



浮き上がり、頭上方向への縮み上がり頭と逆方向へのねじれ運動になり、右骨盤は床へ押しえつけられ、それとともに右踵が伸びる動作となる。右つま先は、軽く内側方向へ、左つま先は外側へ倒れる。

#### 実験 4-1.

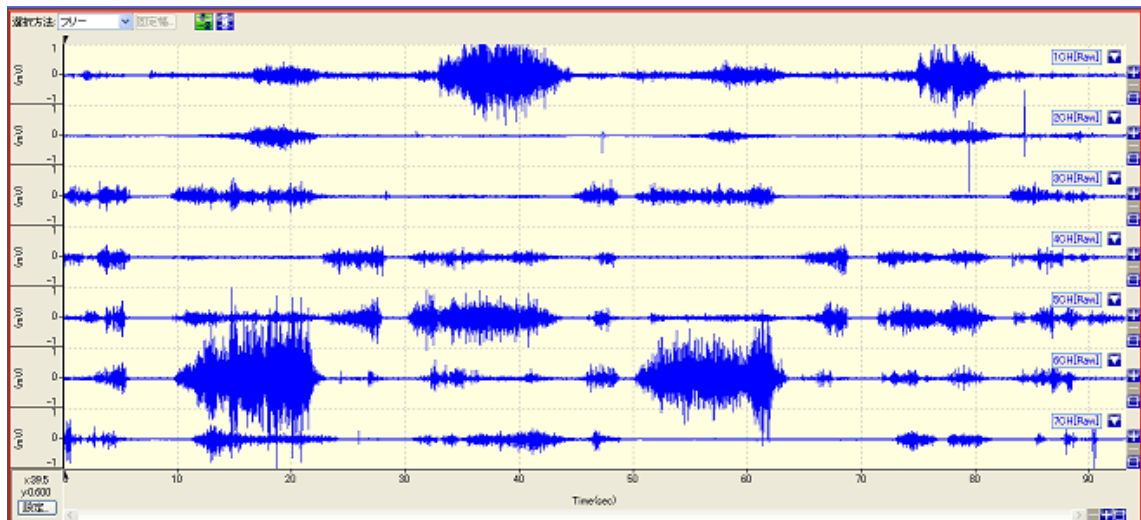


Figure27. 首回しと手上げ(首・腰・肩・右大腿)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左首 5ch:右肩 6ch:左肩 7ch:右大腿

首を右に回し左手を伸ばす時、右首～左腰～右大腿～左肩の動きに関係性が確認された。筋電計出力自体が大きくなり、単独の動きではほとんど計測されず受動的連動性とみなした右大腿にも、能動的な連動性が見られた。

#### 実験 4-2.

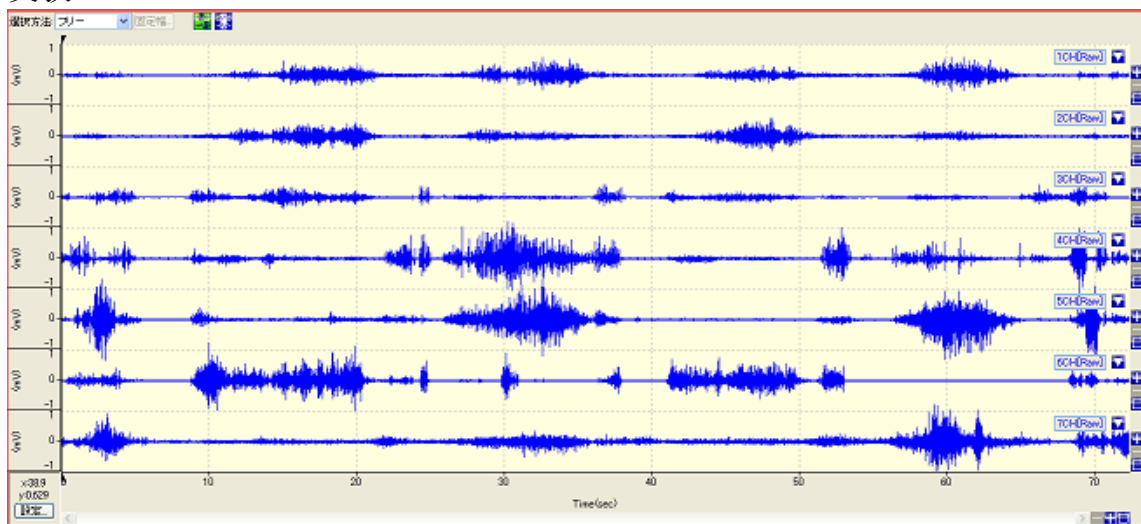


Figure28. 首回しと手上げ(首・腰・上腕・右下腕)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右上腕 6ch:左上腕 7ch:右下腕

首を右に回し左手を伸ばす時、右首～左腰～右上腕の動きに関係性が確認された。筋電計出力自体が大きくなった。単独の動きではほとんど計測されず受動的連動性とみなした右下腕にも、能動的な連動性が見られた。

### 実験 4-3.

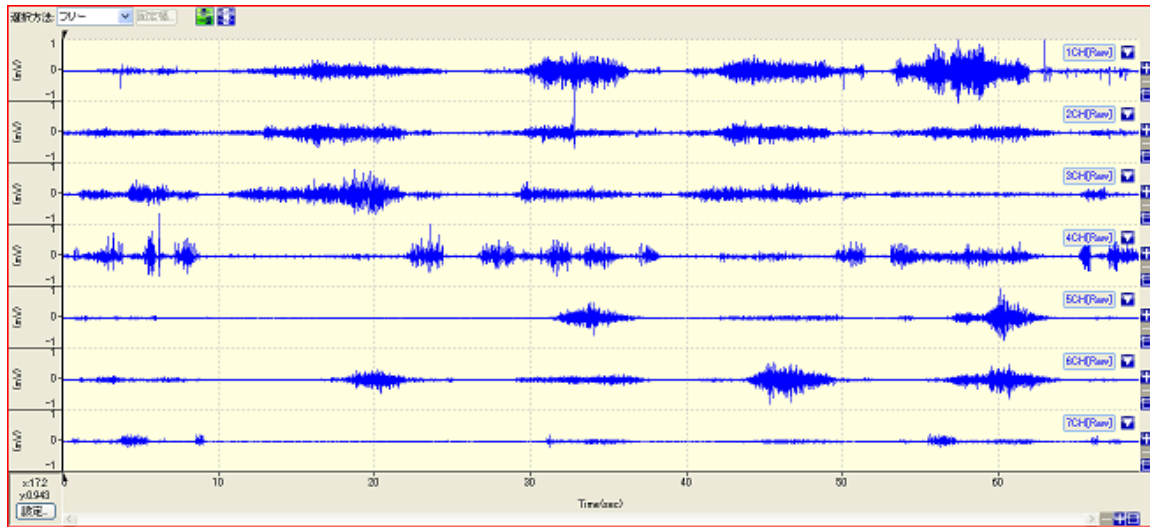


Figure29. 首回しと手上げ(首・腰・大腿・右下腿)

1ch:右首 2ch:左首 3ch:右腰 4ch:左腰 5ch:右大腿 6ch:左大腿 7ch:右下腿

注) 左手伸ばしと右首回し→右手伸ばし左首回しの順で行った。

首を右に回し左手を伸ばす時、右首～左腰の動きに関係性が確認された。筋電計出力自体が大きくなった。単独の動きではほとんど計測されず受動的連動性とみなした右大腿や右にも、タイミングは遅れたが能動的な連動性が見られた。

被験者側の動きの感想としても、単独の主動作で動かした場合に比べて、体全体が動くような印象をうけた。

実験 4-1. 4-2. 4-3.の結果をまとめると、

(1) 右手の頭上方向上げと左首回しにおいては、右首～右肩～右手全体～左腰に連動性が確認された。(主動作と同時の能動的連動性)

(2) 実際には動いており、筋連動計では筋肉の動きとしての連動性は見られたが、主動作にタイミングが遅れて動く部位(大腿・下腿)がある。(主動作に遅れた能動的連動性)

(3) 筋電計によって連動性が生じたことによって発生したと思われる電位差が確認されるのは、動作開始直後ではなく、一定角度を超えて首を回し、一定長さを超えて手を伸ばそうとして、筋肉に力を入れて緊張させているときである。

(4) それぞれ単独の動作で確認された能動的連動性は、複動動作でも確認された。さらに、単独の動作では受動的連動性を示していた、大腿・下腿については、複動動作ではより能動的な連動性を示していた。(受動的動作が能動的動作に変化したかは、主動作とのタイミングにずれがある為確定しない。)

(5) 以上より、無理のない動作の組み合わせによる複合動作のは、体全体の動きをスムーズにし、筋肉の出力も上ったことから連動性も生じやすくなることが分かった。

#### 4.5 直接的に主動作で動く場合と、間接的に連動動作で動く場合の比較

実験 1-1.(首回し) 実験 3-1.(肩上げ)について、  
右首回しが主動作の時右肩の動きは連動動作となり、  
右肩上げが主動作の時右首回しは連動動作として動く。  
肩と首の測定グラフに注目すると、それぞれ間接的に連動動作で動く場合は、主動作で動く場合に比べて出力が下がっていることが分かる。

実験 2-1. (手伸ばし) 実験 3-1. (肩上げ)について、  
右手伸ばしが主動作の時右肩の動きは連動動作となり、  
右肩上げが主動作の時右首回しは連動動作として動く。  
どちらの動作でも間接的に動かさる連動動作の首のグラフついてみると、実験 2-1. は実験 3-1. の 2 倍程度の出力である。肩の測定グラフについて首と肩の出力との比に注目する (スケールを揃える為) と、間接的に連動動作で動く場合には、主動作で動く場合に比べて出力が下がっていることが分かる。

これらから、連動動作で動く場合は主動作で動く場合よりも弱い動きになることが分かった。

#### 4.6 実験のまとめ

(1) 嘉陽氏の連動性仮説の数値的検証・裏付けができた。

(2) 部位の動きに、能動的連動性と受動的連動性がみられた。また、予想された基本動作の各Groupの性質は、部位の動きの能動的連動と受動的連動と関係が深いことが分かった。

(3) 同じ箇所について、主動作と連動動作の筋肉動き具合を比較すると、主動作に比べ、連動動作で動く筋肉の動きは弱いことが分かった。

(4) 主動作と連動動作の複合的動きを行う場合、筋肉が動きやすく、動きがスムーズになる。その結果、単独動作では受動的連動で動いていた部位も、複合動作ではあたかも能動的連動で動いているような挙動を示した。

(5) 実験ミスから得られた要素。

- ・疲労した場合、本来動かないはずの箇所が動く時があるが、その箇所から他の箇所には強い連動性は生じない。

- ・連動動作の動きを妨げた時、連動箇所は静止状態でも負荷がかかるが、連動性自体の影響は受ける。

## 第五章:結言

(1) 基本動作は、その連動性の影響関係を利用して 4 グループに分かれる。また、そのグループは連動性の相互作用の数と活発さによって分けられるグループに一致する。さらに、そのグループは、部位の動きについての能動的連動と受動的連動と関係が深いことが分かった。

(2) 連動性の目視観察結果と、筋電計等による部分的な連動性の実験データとの比較検証を行うことで、嘉陽氏の連動性の検証を定量化して行い、理論の補強が出来た。

(3) 同じ部位が、主動作と連動動作で動く場合、連動動作の方が弱く動く。この性質を用いて、先行研究で行われていた基本動作のそれぞれ連動性についてISM解析の手法の見直し(主動作の連動動作が、さらに主動作となって別の連動動作生じさせた場合、その別の連動動作も最初の主動作の連動動作として見做していたが、それを区別して直接連動する動作だけを取り出して、よりシンプルに連動性を示す)ことにつなげることができると考える。

今後の課題としては

(1) 筋電計のデータが整えば、ノイズ等を除去した加工データを読み込ませ、15 剛体の3D モデル(Shade10)に動きにつなげることが見込まれる。(今回は失敗)

(2) 筋電計実験の被験者が少ない為、より多くの人で試す必要があり、筋電計実験も容易な実施・規格化が必要である。

## 第六章:参考文献

Munehiro Michael Kayo A Method for Analyzing Fundamental Kinesiological Motions of Human Body by Applying Interpretive Structural Modeling (ISM) 2009

嘉陽宗弘 狼嘉彰 日本機械学会第 21 回計算力学講演会 No. 825  
ヒトの筋骨格系システムの連動動作に対するマルチボデイダイナミック解析  
2008

機械工学便覧 デザイン編 β 8 生体工学 2007

木塚 朝博, 木竜 徹, 増田 正, 佐渡山 亜兵, バイオメカニズム学会  
表面筋電図 東京電機大学出版局 2006

嘉陽春人 臨床家のためのダイアグラム操体方法  
エンタープライズ出版 2004

Sternburg, E. M., ‘ The Balance Within (The Science Connecting Health and Emotions) ’, H. W. Freeman and Company, New York, 2002

Floyd, R. T., et al, ‘ *Manual of Structural Kinesiology* ’, McGraw-Hill  
Higher Education, 1998

## 第七章：謝辞

本研究に際して、様々なご指導を頂きました狼嘉彰先生・浦郷正隆先生・共同研究者でSDM博士課程の嘉陽宗弘氏に、心より御礼申し上げます。実験の際に被験者を快く引き受けてくださり、そして多くのご指摘を下さいました狼・浦郷研究グループの皆様には感謝致します。

さらに、発表リハーサルに於いて、貴重なコメントを戴いた、日比谷先生・浦上さん・村田さんありがとうございます。論文執筆中においては、伊東さんには定期的に進捗をお互いに確認しあったり、励まして頂いたり、スケジュール調整でサポート戴き、富田さんには論文作成中に色々と気を使って頂きは助かりました。発表資料作りに於いて、忙しい中アドバイスを戴いた山本高士さんには、入学時よりいつも快く協力して大変感謝しております。

また、手嶋先生・保井先生、手嶋研究室の皆様には、ゼミを聴講や夜お話を聞かせて頂く中で、研究の進め方や様々なことを教えて頂き、SDMの皆様との交流が、修士論文研究の励みとなり、この論文は本当に多くの方々に支えられて出来上がったものであると改めて感じています。

最後に、長い間暖かい励ましを贈り続けてくれた家族に心から感謝します。

2010年2月5日 池田充寿