



Title	運動技術レベルと運動観察能力の関連
Author(s)	大島, 浩幸; 山田, 憲政
Citation	スポーツ心理学研究, 37(2), 65-74
Issue Date	2010
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/45077">http://hdl.handle.net/2115/45077</a>
Type	article (author version)
File Information	Oshima.pdf



[Instructions for use](#)

「スポーツ心理学研究」投稿論文

1) 論文種類：原著論文

2) 題 目 (和)：運動技術レベルと運動観察能力の関連

(英)：The relation between the skill level and the sensitivity involved in  
movement observation.

## Abstract

The purpose of this study was to investigate, in an experimental setting, the relation between the skill level and the sensitivity involved in movement observation. We selected a ball-throwing task since there is a significant difference in the required skill level for the movement involved in the task among individuals even though such a movement is ordinarily seen in various sports. In experiment 1, 40 participants attempted to throw a ball and were divided into 2 groups on the basis of the temporal phase difference between the elbow and wrist joints during the task of throwing the ball. Group A; skilled: An increase in the joint angular velocity for extension at the elbow is observed earlier than that in the wrist. Group B; unskilled: The relation of Group A is reversed. In experiment 2, a movie comprising 15 sets of stick pictures was created by systematic manipulation of the temporal phase difference on the basis of a skilled thrower's movement referred to as the model, and 20 participants in the 2 groups observed the stick picture movie starring the model and the created movie; the set number at which they detected the differences in their movements was recorded. As a result, Group A participants detected it significantly earlier than Group B participants ( $p < 0.001$ ). This result indicates that the sensitivity in the movement observation of high-skilled participants is significantly higher than that in low-skilled participants.

Key words: perception, biological motion, motor control, kinematic chain, coordination

## Abstract 和訳

本研究の目的は、運動技術レベルと運動観察能力の関連を実験的に検証することであった。実験は、様々なスポーツにおいて一般的な運動でありながら熟練度によって優劣の差がある投球動作を試技として用いた。まず、第一の実験として 40 人の実験参加者を投球課題中の肘関節と手関節の時間的位相差を指標に各 10 人の 2 群に分けた。A 群（上位群）：肘関節の伸展角速度の増加が手関節の伸展角速度の増加より先に来る。B 群（下位群）：A 群の関係が逆になる。次に第二の実験では、15 セットのスティックピクチャーで構成される映像を、モデルとした熟練投球動作を基に時間的位相差の段階的操作により作成し、2 群の各 10 人、計 20 人がモデルの実行した映像と作成した映像を観察した；それらの運動間の差異を検出したセット数を記録した。その結果、A 群は B 群よりも有意に早い段階で運動の差異を検出した ( $p < 0.001$ )。この結果は、運動技術レベルが高い実験参加者の運動観察における差異の検出精度は運動技術レベルが低い実験参加者の運動観察における差異の検出精度に比べ有意に高いことを示す。

**Key words** : 運動の認知, バイオロジカルモーション, 運動制御, 運動連鎖, 協調

## 序章

これまで運動学習の研究の多くは、いかにしたら学習が効率的に進むかに焦点が当てられ、練習方法や練習過程編成、学習過程における結果の知識 (knowledge of result : KR) の与え方が着目されてきた(工藤, 2004). つまり、実際に身体を動かしその誤差を修正するといった、試行錯誤学習を基本としている.

一方、実際に運動しなくても運動を観察するだけで運動学習の効果が現れることが明らかにされている. この運動観察による運動学習は観察運動学習と呼ばれる. 従来の観察運動学習研究の多くは Bandura (1969) が提唱した社会的学習理論に基づくと言える. この理論では、学習者は注意、把持、運動再生、動機づけの4つのプロセスを経て社会的行動のスキルを獲得していくとしている. しかし、従来から社会的スキルの獲得を本質とする Bandura の理論をそのまま運動学習に適用することが疑問視されている(ウィリアムズ・麓, 1995). さらに近年、異なる視点から観察運動学習が検討されている. Heyes and Forster (2002) はキーボードのタッピング順序において運動の時間の短縮, Badets et al. (2006) は指定された時間にスイッチを押す運動のタイミング, Breslin et al. (2005) は上肢による投球動作における関節運動の順序性に着目して運動技術の向上を報告しており、これらの研究が観察運動学習の原理として共通に取り上げる神経メカニズムがミラーニューロンの活動である. ミラーニューロンは運動を観察する際、模倣を目的とした場合にその動作を行なう身体部位に対応する運動野と感覚野のニューロンがより強く活動することが知られている (Iacoboni et al., 1999). これは、運動の観察には知覚系だけでなく運動系も関連している可能性を示唆しているといえる. そこで、この運動系が運動の観察に関与するのであれば、実際の運動経験の有無も運動観察時のニューロン活動に影響を及ぼすのではないかということを実証する研究が行われるようになってきた.

Calvo-Merino et al. (2005)は、クラシックバレエのダンサーとカポエイラのダンサーを用い、特定の運動に対して熟練した実験参加者がその特定の運動を観察する際にミラーニューロン領域の強い活動が認められたことを報告している。

Calvo-Merino et al. (2005)の研究は、運動経験の有無が運動の観察に関与する可能性をミラーニューロンの活動から検討したわけであるが、運動には出来る出来ないというレベルだけではなく、出来る人でもそれぞれ技術レベルは異なるわけであるから、この運動技術レベルの差により観察による運動の識別レベルも異なる可能性があると考えられる。そこで本研究は、運動技術レベルの差が運動の観察能力にも関連するという仮説を提起し、それを実験的に検証することを目的とする。

ここで、考慮しなければならない点が2つあると考える。一つはどのような運動を研究の対象とするか、そしてもう一つがどのように運動観察の識別レベルを判定するかである。これらの問いには、バイオメカニクス研究における運動学習前後の動きの変化の研究が参考になる。そこでは、さまざまなスポーツ種目において重要な身体動作として、身体末端部の速度を増加させるための多関節運動、いわゆるムチ運動の研究が従来から頻繁に行われてきている(Feltner and Dapena, 1986; Feltner and Dapena, 1989; Putnam, 1993)。そしてこのムチ運動は中枢部から末端部への運動連鎖(kinematic chain)により生じ、関連する関節が協調して可動しなければならない。Hirashima et al. (2003)は熟練者の投球動作を対象に、この運動連鎖、つまり近位関節から遠位関節への伸展角速度の位相を検討し、運動の熟練によって差があることを報告している。そこで、本研究でも投球動作における各関節の協調動作を研究対象とした。さらに、その運動の観察能力の判定であるが、前述のように技術レベルが高い人においてムチ的な動きが生じるために関節運動の位相差が生じることが明らかにされていることから、観察

において腕の肘関節と手関節の各関節運動の位相差がどのくらいで識別されるかという指標を設けて検討することにした。

## 実験 1

### 1. 目的

実験 1 では、実験参加者の投球動作の熟練度を、肘関節と手関節の伸展角速度の増加開始時の位相差を指標に分類する。

### 2. 方法

#### 1) 実験参加者

実験参加者は健康な一般の男子大学生および男子大学院生 40 名（平均年齢  $19 \pm 1.9$  歳）であった。すべての実験参加者は右投げであった。なお、事前に今回取り上げたオーバーハンドスローの技術に密接に関わる野球などのスポーツ経験のない事、運動観察の実験経験を持たない事を口頭で確認した。実験参加者には、事前に実験の目的や内容などを説明し、実験協力の同意を得た。また、本研究は北海道大学大学院教育学院倫理委員会の承認を得た。

#### 2) 実験試技

十分に準備体操を行わせた上で室内において 4m 先の壁に向かって投球を行わせた。実験室の制約上、矢状面上での腕の運動に限定した投球動作で行った。足が静止した状態で立位姿勢から体幹を使用せず投球させた。ボールはテニスボール (56.5g) を用いた。投球の条件は全力、

全力の5割の力、と指示を与えて投球させ、各条件で1球ずつ計2試技を実施した。この5割の力の試技は、全力条件でもリラックスして投げた場合でも同様な投球運動が生じることを確認するためのものである。つまり、全力条件と異なるということに意味があり、5割という努力感そのものを厳密に目標としたものではなく、実施者の意図通りの力感で運動を実行する試技として設定したものである。そのため、実験参加者には5割の力とだけ指示しており、正確性教示は行わずとも設定していない。

### 3) データ収集

高速ビデオカメラ（Sony社製HDR-FX7）1台を用いて120frames/secで投球動作の撮影を行い、身体に取り付けたマーカの2次元座標を取得した。実験参加者の右腕に取り付けた肩峰点、上腕骨外顆、尺骨茎状突起、第5中手指節間関節の体節基準点4点とボール1点の計5点の反射マーカの2次元座標を収集した。

### 4) データ処理

解析区間は運動開始からボールリリースまでとした。運動開始は肩関節の伸展角速度の最大値の10%を越えた時点とし、ボールリリースはボールに貼り付けたマーカにより判断した。また、各データはその区間を100%とし、スプライン補間を用いて正規化した。データは4次のButterworth型のローパスフィルターにより遮断周波数5Hzで平滑化した。身体係数はChandler（Chandler et al., 1975）により算出した。また、ボールの質量は手に含めた。

### 5) 算出項目



投球の習熟の指標となる肘関節と手関節の伸展角速度の位相差を比較するため、各実験参加者について各関節動作の相対角速度の時系列変化から位相差を算出した。各関節の伸展角速度の増加開始のタイミングは、角速度の増加率の最大値の10%を越えた時点とした。

### 3. 結果

全力条件と全力の5割条件の両投球試技において、肘の伸展角速度の増加始点が手首の伸展角速度の増加始点より前に存在する、つまり近位関節から遠位関節へ伸展角速度に位相差が存在する実験参加者を10名抽出し、A群（上位群）とした。また、同様の両投球試技において、肘の伸展角速度の増加始点が手首の伸展角速度の増加始点より後に存在する、つまり近位関節から遠位関節へ伸展角速度に位相差が存在しない実験参加者も10名抽出し、B群（下位群）とした。

各群の角速度データの代表例を図1に示す。また、全実験参加者の肘の伸展角速度増加開始時と手首の伸展角速度増加開始時の位相差の全運動時間に対する割合を各群ごとに表1に示す。

<図1挿入>

<表1挿入>

## 実験2

### 1. 目的

実験2では、実験1で分類した上位群と下位群の運動観察能力を、肘関節と手関節の各関節運動の位相差がどの程度で識別されるかという指標を設けて比較する。

## 2. 方法

### 1) 実験参加者

実験参加者は実験1より抽出した投球動作に熟練したA群とそうでないB群それぞれ10名ずつ計20名（平均年齢  $20 \pm 2.3$  歳）であった。実験参加者には、事前に実験の目的や内容などを説明し、実験協力の同意を得た。また、本研究は北海道大学大学院教育学院倫理委員会の承認を得た。

### 2) 観察映像

実験参加者とは別に、投球動作に熟練した男子大学院生1名（年齢25歳）をモデルとし、事前に実験1と同様の方法で運動学データを収集した。この事前に撮影した熟練者の投球動作を基に腕の部分のみのスティックピクチャーを作成した。この基準動作から尺骨茎状突起、第5中手指節間関節のデータ、つまり肘関節より遠位の各関節データを同時に肩峰点、尺骨茎状突起のデータから1コマ（ $1/120$  sec）ずつ遅らせた投球動作を15セット作成し、この15セットが小さな変化から大きな変化へと順次配列された一連の観察映像を作成した。この操作は肘の伸展のタイミングが遅くなることを意味する。また、作成した120 frames/secの投球動作をそのまま再生すると、本来の投球動作よりも1/4倍速のスローモーション動作になるため、通常の投球動作の速度に戻すため4倍速で保存した。観察映像は全体で約40秒である。構成は投球動作の開始前に3秒間のカウントダウンが表示され、作成した基準となる運動は44フレーム（約1.47秒）、セット間は前セットの影響を受けないように1秒間画面全体が黒く表示されるようになっている。なお、これら観察時間とセット数の設定は、運動観察を通じて動きの特徴の読み取りを集中して観察できる時間であることが予備実験において確認された事に基づいて

いる。また、予備実験の参加者は観察実験の制約上、本実験には参加していない。

### 3) 実験試技

観察にはフェイスマウントディスプレイ (Glasstron, SONY) を用いて、実験参加者の目の前で映像を映した (図 2)。フェイスマウントディスプレイを用いると観察映像以外は視界には入らず、そのため、運動の変化を事前に観察した基準動作以外の一切のものと比較できないようになる。

手順は、まず実験参加者に投球動作の通常映像を示し、その後に腕の部分のみのスティックピクチャーを示した (図 2)。次に基準動作を 2 度観察させた。その際、実験参加者に対しこれを基準動作として、この後これと同様の投球動作が連続して映し出されること、および基準動作とこの投球動作の運動の違いを検出してもらう実験であることを説明した。なお、肘の伸展のタイミングが遅くなるという具体的な変化の内容は伝えていない。そして、作成した一連の投球動作のスティックピクチャー映像を観察し、基準動作と作成した投球動作の違いを検出した時点でマウスの左ボタンを押してもらうよう求めた。そこで、映像がストップし、その時点のスティックピクチャーのセット数を記録した。なお、作成した 15 セット以内で運動の差異を観察できなかった場合は最大値の 15 セットとして扱った。

<図 2 挿入>

### 4) 統計処理

結果は平均値±標準偏差であらわす。統計的な差はスチューデントの t 検定(両側検定)によって確認した。 $p < 0.05$  を統計的に有意であると判断した。

### 3. 結果

実験 1 で抽出した A 群, B 群の各 10 名, 計 20 名を対象に実験 2 を行った. 結果を図 3 に示す. A 群は最小 1 セット目, 最大 4 セット目, 平均 2.7 ( $\pm 0.9$ ) セット目でモデルのスティックピクチャーと作成したスティックピクチャーの運動の差異を検出した. 一方, B 群は最小 5 セット目, 最大 15 セット目, 平均 10.6 ( $\pm 3.7$ ) セット目でモデルのスティックピクチャーと作成したスティックピクチャーの運動の差異を検出した. B 群は A 群よりも有意に高い値であった( $t(16)=6.41, p<0.001$ ). なお, A 群の平均 2.7 セット目と B 群の平均 10.6 セット目の違いを示すため図 4 に基準動作, および作成した観察映像の 3 セット目と 11 セット目の肘関節の時系列角度変化を示した.

<図 3 挿入>

<図 4 挿入>

### 考察

これまで, 自己の運動能力と運動の観察能力を着目した研究に, Calvo-Merino et al. (2005) があるが, この研究においては, 運動が出来る出来ないという判定が, 過去に運動経験があるか否かで行われている. また, 実験参加者が観察した運動映像も経験がある運動と無い運動である. つまり, 観察者の運動技術レベルが客観的に判別されていないことと, 二つの観察映像の動きによる定量的な分離根拠が明確に示されていないという問題がある. よって, この研究から自己の運動能力と運動の観察能力が関連することがうまく示されたものの, 運動技術と運動観察能力の関連を検討することは難しいと言える. そこで本研究は投球動作という誰でもで

きるが技術レベルが存在する動きを対象とし、観察映像に新たな方法を採用し以下のように研究を展開した。

#### 1. 多関節運動における運動連鎖：運動技術レベルの差異の抽出

Hirashima et al. (2003)は、熟練者の投球動作において、各関節に作用するトルクや関節角速度の分析を行い、各関節の角速度の立ち上がりに位相差が存在することを示した。この位相差は、近位関節と遠位関節がタイミングよく順次稼動する状態を意味するので、本研究においては、この位相差の出現が多関節運動における協調動作の指標になると考えた。実験 1 では、一般男子大学生および男子大学院生 40 名の投球動作を撮影し、肘関節と手関節の伸展角速度の増加開始時の位相差を分析した。その結果、図 1 と表 1 で示したように、肘関節と手関節の伸展角速度の増加開始時の位相差が明確に出現する 10 名を A 群、それが出現しないかあるいは逆の動きになる 10 名を B 群として抽出した。残りの 20 名は全力条件か全力の 5 割条件のどちらかのみ位相差が存在する者や全力条件と全力の 5 割条件ともに位相差が存在するものの非常に僅かな者 (5%以下) であった。A 群と B 群の位相差は、統計的にも有意に異なる値 ( $p<0.005$ ) であった。

#### 2. 運動の差異の検出方法

従来の運動の認知研究では、関節につけたマーカの軌道を観察し、動作内容の識別 (Mather et al., 1992; Williams, 1988, 1989) や、歩行動作から歩行者の性別の識別 (Kozlowski and Cutting, 1977; Mather and Murdoch, 1994)、リフト動作時の物の重さの識別 (Shim et al., 2004) などが行われてきた。つまり、身体運動の特徴点の運動観察から、身体運動が識別できることが実

証されてきている。本研究でも、ビデオ撮影された画像ではなく、身体の代表点である関節中心を結ぶスティックピクチャーを用いて運動観察実験を行った。しかし、本研究と先行研究との特筆すべき相違点は、以下のように運動の熟練度に相当する要因（本研究で対象とした投球動作においては関節の位相差）を抽出し、それを観察映像の運動に段階的な変化を設定したことである。まず、基準となる運動を撮影し、肩関節中心（肩峰）、肘関節中心（上腕骨外顆）、手関節中心（尺骨茎状突起）、指関節中心（第5中手指節間関節）を結ぶスティックピクチャーの連続画像を作成した。次に、肘関節中心と手関節中心の時系列データを1コマ（1/120 sec）ずつずらしていったスティックピクチャー映像を全15セット作成した。この2つの関節データをずらす操作は、肘関節と手関節の位相差が増大することを意味する。先にあげた先行研究に代表される運動の認知研究では、特定の運動を対象に課題を識別できるかどうかを検討している。それに対して、本研究では変化に段階を設定したことにより、どの段階で運動の差異を検出できるかということが検討可能になったと言える。なお、本研究で作成した一連のスティックピクチャー映像は投球動作の変化が小さい段階から大きい段階へ順次配列されている。本研究のような段階的な変化が設定されている観察実験を行う場合、段階的な変化を順次配列するかランダム配列するかという問題が存在する。どちらも行うことがより正確を期すことになるだろうが、観察運動学習の研究で1度運動を観察するだけで運動の学習が起こるということが実証されている。そのため、本研究は一人の実験参加者に一度きりという制約下で行われる必要がある。また、先に大きな運動の差異を観察し、どこに差異が存在するかを学習すると、後でより小さな運動の差異を観察した場合、学習により検出が可能になったのか、もともと検出可能であったのかが不明確になってしまう。よって、今回は徐々に変化量が増加していくどの段階で基準動作と作成した投球動作の差異が検出されるかという方法を採用した。

### 3. 運動技能と運動観察の検出精度の関係

上記2つの過程を経て、運動の位相差という指標による技術レベルの異なる2つの実験参加者群が、どの位の位相差の変化で動きの差異を検出できるかという、運動技術能力と運動観察能力の関係を検討できるようになったといえる。そこで、実験2では、2つの実験参加者群に、基のスティックピクチャー映像から1コマずつデータをずらして作成した映像を順次観察させ、基準となる運動と異なった運動であると識別した時点でのスティックピクチャー映像をボタンを押して回答させた。その結果、B群はA群に比べ統計的に有意に高い値を示した。つまり、A群の方がB群に比べ運動の差異が少ない段階で運動の差異を検出したことを意味する。これにより Calvo-Merino et al. (2005)以来、関連がありそうであるが明確に示されてこなかった、運動能力と観察能力の関連が初めて明確に示された。つまり、投球動作のような熟練した技術を要する運動の技能と運動を観察する能力は関連するという興味深い結果を導くことに成功したと言える。

### 4. 視覚的経験の運動観察の検出精度への影響

本研究の実験参加者は、運動経験の差を排除するため、オーバーハンドスローの技術に密接に関わる野球などのスポーツ経験のない一般の男子大学生と男子大学院生により構成されている。トップアスリートと全くの素人を実験参加者として対照実験を行っているわけではない。そのため、当該運動の視覚的経験においても極端に異なるとは考えられない。しかし、本研究結果の運動観察の検出精度に視覚的経験が全く影響がなかったかどうかは判断できない。視覚的経験と運動技術レベルを分離して実験的に検証することも今後の課題と考えられる。

## 結論

本研究は運動技術レベルと運動観察能力の関連を実験的に検証することを目的とした。試技課題は、スポーツにおいて一般的な運動でありながら熟練度によって優劣の差がある投球動作を用いた。まず、第一の実験において40人の実験参加者に投球動作を行わせ、肘関節と手関節の角速度の増加開始時の位相差を指標に各10人の2群（A群：肘関節の角速度の増加が先に来る。B群：手関節の増加が先に来る）に分けた。次に、第二の実験において、第一の実験で抽出した2群の各10人、計20人に対して、モデルの実際の運動を基に肘関節と手関節の位相差を段階的に変化させたスティックピクチャー映像を観察させ、どの段階でモデルのスティックピクチャーと作成したスティックピクチャーの運動の差異が検出されるかを検討した。その結果、A群がB群よりも有意に早い段階で運動の差異を検出した（ $p < 0.001$ ）。つまり、A群はB群よりも運動の変化が小さい段階で運動の差異を検出した。この結果から、運動技術レベルが高い実験参加者は運動技術レベルが低い実験参加者に比べ、運動の差異の検出精度が有意に高いということがいえる。本研究で用いた投球動作のような熟練した技術を要する運動の技術レベルと運動を観察する能力は関連することが明らかにされた。



## 文献

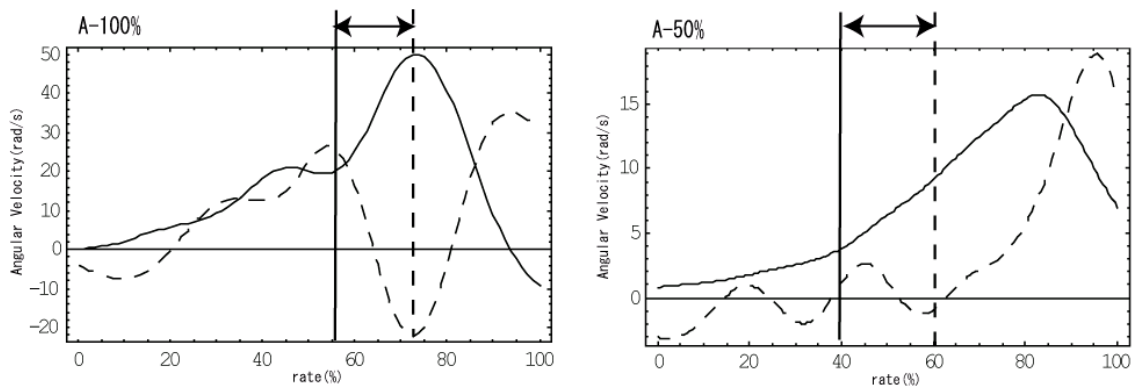
- Badets, A., Blandin, Y., and Shea, C.H. (2006) Intention in motor learning through observation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59:377-386.
- Bandura, A. (1969) *Principles of behavior modification*. Holt, Rinehart and Winston: New York
- Breslin, G., Hodges, N.J., Williams, A.M., Curran, W., and Kremer, J. (2005) Modelling relative motion to facilitate intra-limb coordination. *Human Movement Science*, 24:446-463.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D.E., Grezes, J., Passingham, R.E., and Haggard, P. (2005) Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, 15:1243-1249.
- Chandler, R.F., Clauser, C.E., McConville, J.T., Reynolds, H.M., and Young, J.W. (1975) Investigation of inertial properties of the human body. National Technical Information Service ADA016485:Pp.171.
- Feltner, M. and Dapena, J. (1986) Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2: 235-259.
- Feltner, M. and Dapena, J. (1989) Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part I: General model. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5:4: 403-419
- Heyes, C.M. and Foster, C.L. (2002) Motor learning by observation: Evidence from a serial reaction time task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A:593-607.
- Hirashima, M., Kudo, K., and Ohtsuki, T. (2003) Utilization and compensation of interaction torques during ball-throwing movements. *Journal of Neurophysiology*, 89:1784-1796.
- Iacoboni, M., Woods, R.P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J.C., and Rizzolatti, G. (1999) Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286:2526-2528.

- 工藤孝幾 (2004) 運動学習のパラドックスと学習者の意図. 日本スポーツ心理学会(編) 最新スポーツ心理学—その軌跡と展望. 大修館書店, 137-147
- Kozlowski, L. and Cutting, J.E. (1977) Recognizing the sex of a walker from a dynamic point-light display. *Perception & Psychophysics*, 21: 575-580.
- Mather, G. and Murdoch, L. (1994) Gender discrimination in biological motion displays based on dynamic cues. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 258:273-279.
- Mather, G., Radford, K., and West, S. (1992) Low-level visual processing of biological motion. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 249:149-155.
- Putnam, C.A. (1993) Sequential motions of body segments in striking and throwing skills : Descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics*, 26,Suppl.1,125-135.
- Shim, J., Carlton, L.G., and Kim, J. (2004) Estimation of lifted weight and produced effort through perception of point-light display. *Perception*, 33:277-291.
- Williams, J.G. (1988) Perception of a throwing action from point-light demonstrations. *Perceptual and Motor Skills*, 67:273-274.
- Williams, J.G. (1989) Throwing action from full-cue and motion-only video-models of an arm movement sequence. *Perceptual and Motor Skills*, 68:259-266.
- ウィリアムズ, J.G.・麓信義 (1995) モデリング理論に基づく運動学習研究の現状-1. 体育の科学, 45:405-408.

図表

- Figure 1. A群とB群の実験参加者代表1名の肘関節と手関節の伸展角速度の時系列データ
- Figure 2. 観察環境
- Figure 3. A群とB群の全実験参加者のモデルのスティックピクチャーと作成したスティックピクチャーの運動の差異の検出セット数
- Figure 4. 観察映像の角度の位相差
- Table1. A群とB群の全実験参加者の肘関節と手関節の伸展角速度の増加開始時の位相差 (%)

## A group



## B group

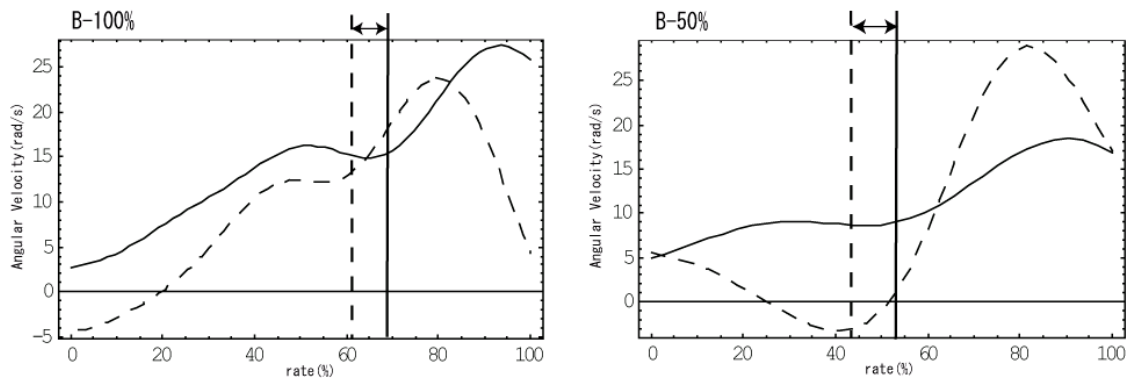


Figure 1. A 群と B 群の実験参加者代表 1 名の肘関節と手関節の伸展角速度の時系列データ。

実線は肘関節の角速度，破線は手関節の角速度である。プラス方向が伸展を示す。

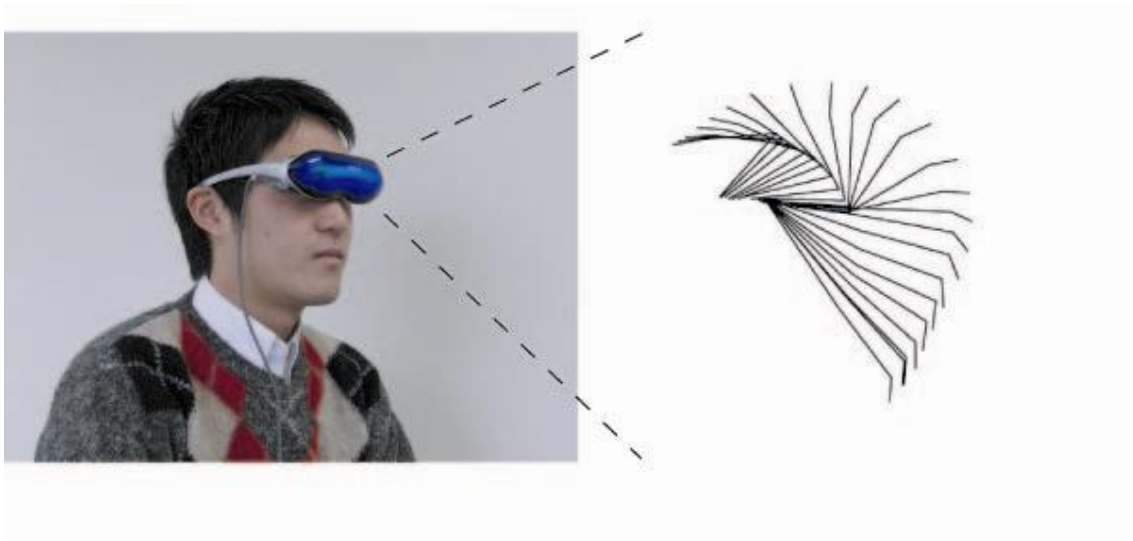
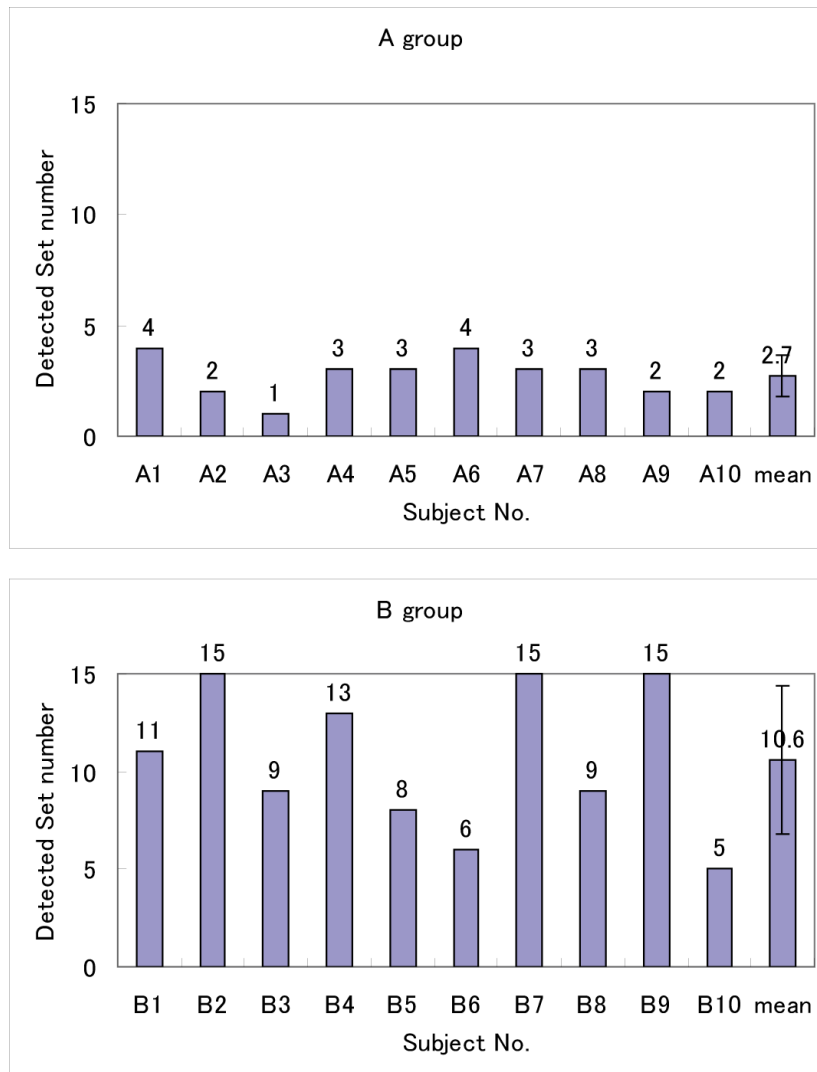


Figure 2. 観察環境. これは1つのコマに複数のスティックピクチャーを重ねて表示しているが、観察する際は過去の軌道は残らない.



**Figure 3.** A 群と B 群の全実験参加者のモデルのスティックピクチャーと作成したスティックピクチャーの運動の差異の検出セット数

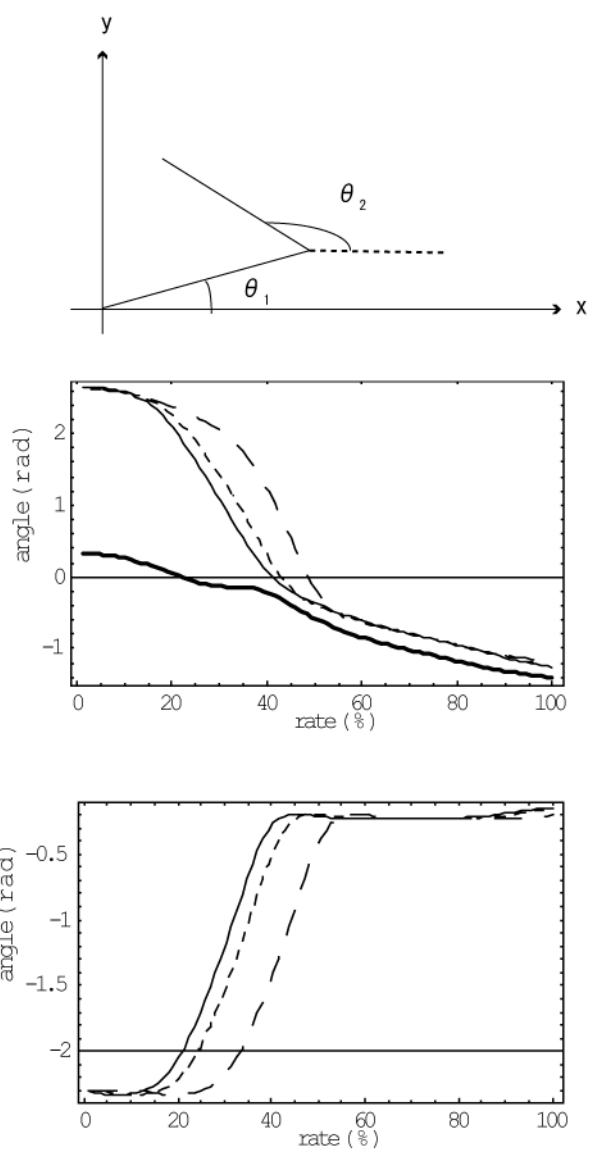


Figure 4. 観察映像の角度の位相差. 1 段目は角度の定義を示し,  $\theta_1$  が肩の絶対角度,  $\theta_2$  が肘の絶対角度である. 2 段目は作成したスティックピクチャーの角度変化を表し, 太線が  $\theta_1$ , 実線が基準動作における  $\theta_2$ , 短破線が 3 セット目における  $\theta_2$ , 長破線が 11 セット目における  $\theta_2$  を示す. 3 段目は  $\theta_1 - \theta_2$  を図示した.

Table 1. A 群と B 群の全実験参加者の肘関節と手関節の伸展角速度の増加開始時の位相差 (%)

A group			B group		
	100%	50%		100%	50%
A <sub>1</sub>	18.8	10.0	B <sub>1</sub>	-8.2	-6.1
A <sub>2</sub>	24.7	23.9	B <sub>2</sub>	-14.3	-6.3
A <sub>3</sub>	16.1	17.6	B <sub>3</sub>	-14.1	-6.7
A <sub>4</sub>	23.8	16.0	B <sub>4</sub>	-17.6	-18.3
A <sub>5</sub>	14.3	16.6	B <sub>5</sub>	-11.1	-1.0
A <sub>6</sub>	25.3	20.9	B <sub>6</sub>	-6.8	-5.3
A <sub>7</sub>	13.4	12.5	B <sub>7</sub>	-11.1	-4.6
A <sub>8</sub>	25.7	24.8	B <sub>8</sub>	-10.1	-28.2
A <sub>9</sub>	16.3	20.0	B <sub>9</sub>	-31.0	-8.4
A <sub>10</sub>	22.6	24.3	B <sub>10</sub>	-30.6	-26.8
mean	20.1	18.7	mean	-15.5	-11.2