

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月5日現在

機関番号：32629

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300313

研究課題名（和文） 実技データの解析によるスキル評価と学習支援法

研究課題名（英文） Skill Assessment and Learning Advisory by Analyzing Performance Data

研究代表者

小方 博之（OGATA HIROYUKI）

成蹊大学・理工学部・教授

研究者番号：20349161

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、ものづくりやスポーツにおける人間のスキルの本質を究明し、スキル評価可能なコンピュータ・ベースド・テスト（CBT）システムを実現することにある。加速度センサおよび筋電位センサを様々なスキルレベルの受験者の身体に装着して課題遂行中のデータを取得し、抽出した特徴から各レベルの受験者を高い割合で識別できた。また、別の受験者らに対してその識別法を適用し、高い割合でスキルレベルを推定できたことから、本手法によりスキル評価可能なCBTシステムを構築可能なことを示せた。

研究成果の概要（英文）：The goal of our study is to investigate the human skills for manufacturing or sports to develop a computer based testing (CBT) system for assessing them. To address this problem, we corrected behavior data when executing tasks from subjects using acceleration sensor and electromyogram. By extracting some features from the data, we could distinguish the levels of each subject. Applying the machine learning technique, we verified that it is possible to develop a CBT system for assessing skill using the proposed method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	7,000,000	2,100,000	9,100,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、教育工学

キーワード：eラーニング、コンピュータ・ベースド・テスト、スキル評価、学習支援、実技試験自動化

## 1. 研究開始当初の背景

コンピュータ・ベースド・テスト（CBT）の広まりとともに、テストの実施形態が柔軟になり、またテスト理論に基づいたより合理的な能力評価の研究も盛んに行われている。しかし、運動選手や熟練工などのスキル（感覚運動系能力）を評価する実技試験

のCBT化や、それを支える理論的研究は、未踏領域として残されている。

## 2. 研究の目的

筆者らは先行研究において心肺蘇生法を課題例とし、受験者の解答順序を記録した画像列からスキルを評価する方法の研究を行

った。続いて、ゴルフスイングのような連続的な動作から要所の姿勢データを抽出してスキルを評価する方法、姿勢データの時系列から直接評価する方法を考案し、成果を得た。

これらは、主としてモーションキャプチャ装置等から得られる姿勢データを利用し、受験者のフォームに着目したスキル評価方法であったが、

- 1) 動作の加速度成分や筋肉の使い方など、フォーム以外の要因がスキルの一翼を担っている可能性があり、未解明なこと
- 2) モーションキャプチャ装置は高価であり、本手法を実用化し普及させる際には代替手段を考える必要があること

などの課題が残されていた。

そこで、本研究では、これらの課題に取り組む、ものづくりやスポーツにおけるスキルを評価するC B Tシステムを実現することを目的とする。

### 3. 研究の方法

上述の目的をふまえて、本研究では(A)モーションキャプチャ装置の代替手段として安価な加速度センサを利用した場合の効果の検証、(B)筋肉の使い方などに着目して評価を行うC B Tシステムの構築の2つのテーマに取り組んだ。

テーマ(A)、(B)とも以下の5)以外はほぼ共通の段取りで研究を進めた。

- 1) 評価対象課題の決定
- 2) センサ装着部位の決定
- 3) データの収集
- 4) スキル評価システムの構築および評価
- 5) 学習支援法の検討

1)は、テーマの目的に合った課題の選定を行うものである。テーマ(A)では加速度センサがモーションキャプチャ装置の代替手段たりえるかを確認するのが目的なので、先行研究と共通のゴルフパタースイングが自動的に評価対象課題となる。テーマ(B)については、様々なレベルの被験者を集めやすく、筋肉の使い方がカギとなる課題の候補を列挙し、筋電位センサで試験的にデータを取るなどして検討を進めた結果、鉄棒逆上がり運動を課題とすることに決定した。

2)は、本研究で用いる無線型の加速度センサおよび筋電位センサのどちらも、取り付け可能なセンサの数が限られているという制約から生じる課題である。予備実験を行い、スキル評価に有効なデータを取得可能なセンサ装着部位の検討を行った。

3)では、さまざまなレベルの被験者からデータを取得する。これには時間をかけて、多数の被験者の協力を得る必要がある。また、一般に各被験者の動作は一樣とは限らないので複数回課題の実演を依頼し、データを取得する。

4)では、収集したデータを分析し、各課題においてスキルレベルの分類を行い、各レベルの被験者の共通項を見出す。そして、各レベルへの分類器を構成することで、入力された動作データからその被験者のレベルを評価するシステムを作成する。また、システム自体の妥当性評価を行うため、分類器を構成した時とは別の複数被験者を用い、実際のスキルレベルに合致した評価をできるか検証する。

5)では各レベルのデータの差異を調査し、それを手がかりに学習支援法を考えると共に、その有効性を検討する。これは専らテーマ(B)で行った。

### 4. 研究成果

テーマ(A)では、ゴルフ上級者へのインタビューおよび予備実験を行い、7個のセンサを図1のように頭、左肩、左肘、左手首、腰、左膝、およびパター先端に装着することに決定した。



図1 加速度センサの装着例および位置



図2 データ取得の様子

さまざまなスキルレベルの被験者のデータをとるために、大学生の他にゴルフスクールおよび大学ゴルフ部の協力を得て、計51名分のパタースイングデータを取得した。また、同時に調査票の記入を依頼し、ゴルフスコアなどのプロフィールも得た。データの取得は大学内の実験室とゴルフスクールの屋内練習場で行ったが、データ取得条件を統一するために、同じパターマットと用具を使用し、マット上の同じ位置にボールを設置し、

同じカップに向けてスイングすることを課題とした。図2はゴルフスクールの屋内練習場におけるデータ取得の様子である。

スイングの様子やデータの観察の結果および被験者の実際の能力の分布を考慮して、スキルレベルを

- 1 : ゴルフ未経験者
- 2 : ゴルフ経験者で18ホールをスコア90以上でまわる者
- 3 : スコア90未満でまわる者

の3つに分類した。パタースイングは一般に図3のように構成、テイクバック、インパクト、フォローの4つの動作から構成されると言われる。図4にパター先端に装着したセンサから得られた典型的な加速度の時系列プロットを示す。

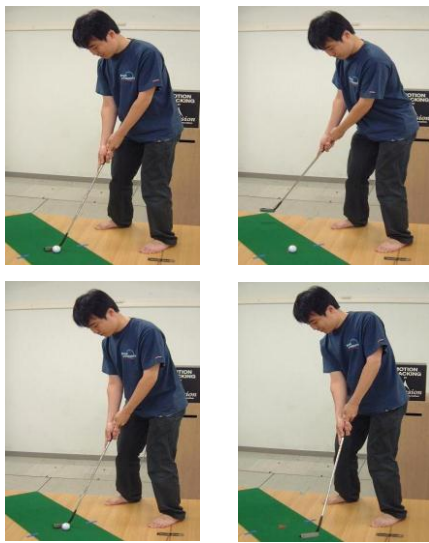


図3 パタースイング動作の構成 (左上：構え、右上：テイクバック、左下：インパクト、右下：フォロー)

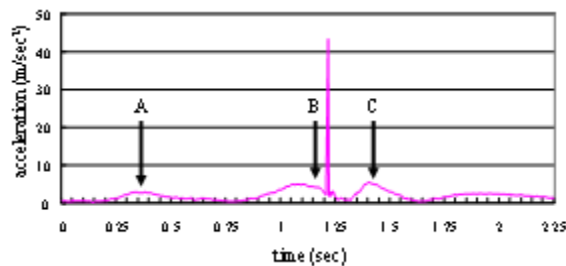


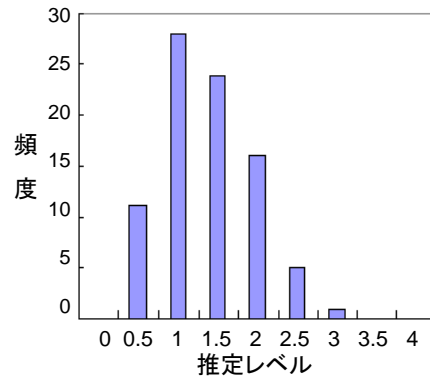
図4 パターから得られた加速度の例

試行錯誤の結果、スキルレベルに関してこのグラフの特徴を示す値として、

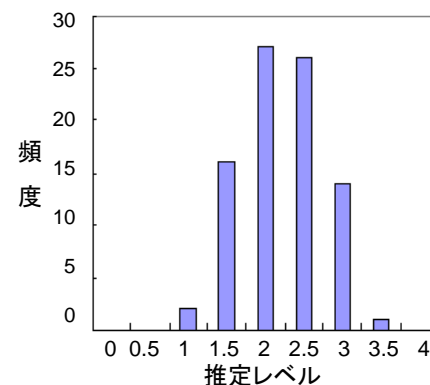
- (1) 山Aのピークの値
- (2) インパクトのピークの10msec 前の値B
- (3) 山Cのピークの値

の3つを抽出した。(2)でインパクトのピーク値を用いないのは、センサ値のサンプリングレートなどの影響で正確にピークの値が得られていない可能性が認められたため

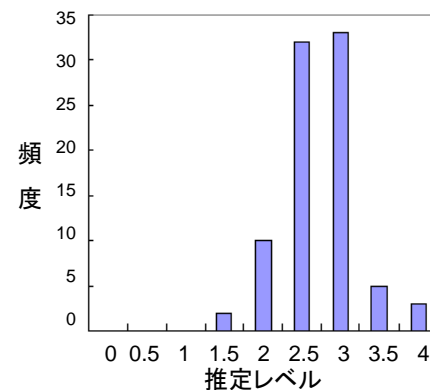
ある。他の6か所のセンサデータからも同様にそれぞれ3種類の特徴を抽出し、得られた21次元の特徴ベクトルから被験者のスキルレベルの分類器を構成した。具体的には重回帰分析により回帰式を作り、値が1.5未満のときにレベル1、2.5以上のときにレベル3、それ以外をレベル2とした。クロスバリデーション法で確認を行ったところ、図5のような推定結果が得られ、76%の被験者についてレベルを正しく推定できた。



(a) 実スキルレベル1の被験者



(b) 実スキルレベル2の被験者



(c) 実スキルレベル3の被験者

図5 分類器により推定されたレベル

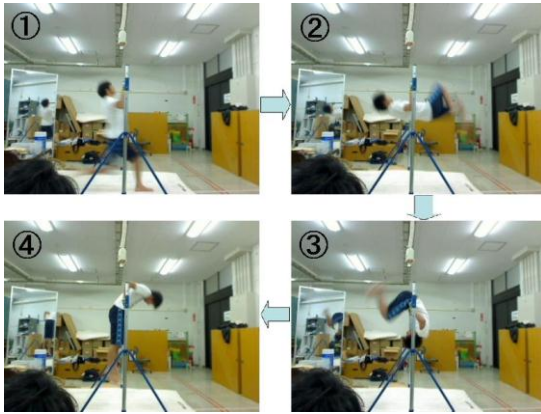


図6 被験者の逆上がりの実演の様子

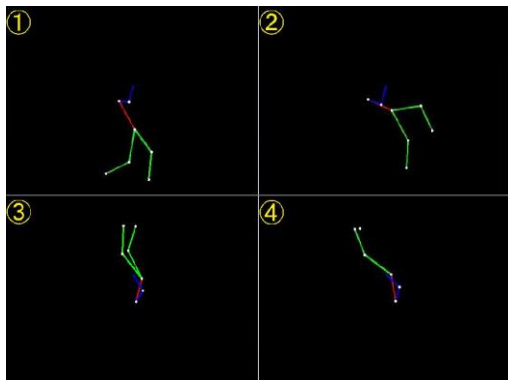


図7 逆上がり（パターン1）のモーション

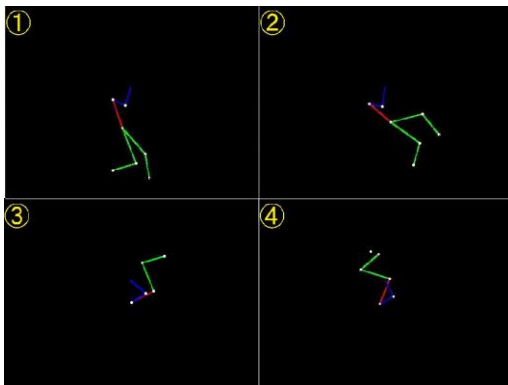


図8 逆上がり（パターン2）のモーション

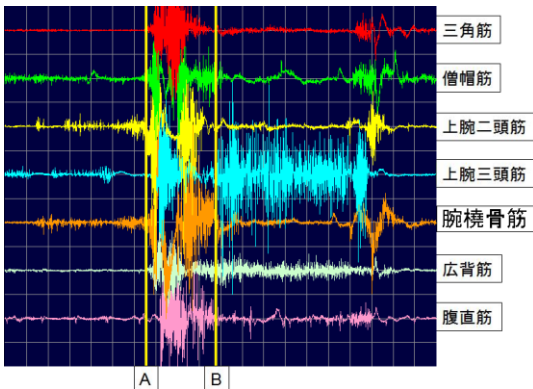


図9 逆上がり時の筋活動の様子

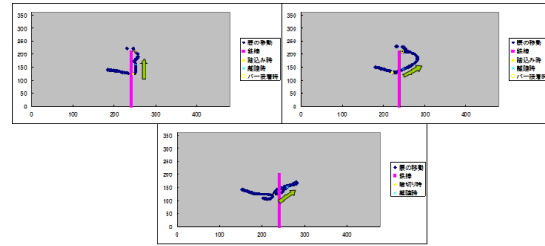


図10 逆上がり時の重心の移動の様子  
(左上：パターン1、右上：パターン2、  
下：パターン3)

以上のように、テーマ(A)では、パタースイニングの例題において、加速度センサを用いて被験者の動作からそのスキルレベルを評価できることが明らかとなり、安価な加速度センサを代替手段としてもコンピュータベースのテスト実施が可能なことを示すことができた。

テーマ(B)では、予備実験の結果、筋電位センサを上半身右側に集中して装着してもらうことにした。具体的には、三角筋、僧帽筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、腕橈骨筋、広背筋、腹直筋の7箇所に着用することに決定した。また、筋電位データだけでなくモーションデータも並行して取得することにした。20代の一般的な運動能力を有する男性を被験者とし、逆上がりができる者10名とできない者5名の計15名に実演をしてもらった。実演では図6のように、バーを握る形は順手とし、地面に降りず、バーの上に留まる形で動作を終えるように統一的な指示を出した。データの取得は計測者の合図の時点から開始し、被験者がバーの上で体を起こして静止したところで終了する。

データを観察したところ、逆上がりのできる被験者のデータが更に大きく2つに分類できることがわかった。図7と図8にその2種類の逆上りの典型的なモーションを、また図9にそのときの筋電位のパターンを示す。図9中のAは逆上りの踏み切り時点、Bは逆上がり後の鉄棒上での静止時点をそれぞれ表す。

パターン1は踏み切り、上体を後方に倒すこと、および腕による胴体の鉄棒への引き付けが協調して行われることが特徴である。これによって身体の重心が図10のように上方方向に移動し、腰が鉄棒に達した後は胴体がそこを中心に自然に回転する。

一方、パターン2では動作が2段階に分かれるのが特徴である。第一段階では踏み切りによって、一旦重心が前方に移動する。続く第二段階では、腕力によって重心が鉄棒の方に引き戻されることで回転が行われる。



逆上がりのできない被験者を別途パターン3として分類した。パターン3では踏み切りによって身体の重心が前方に流れる特徴がパターン2の第一段階と共通している。逆上がりの3つのパターンを比較することで、以下の学習支援方法を考えることができる。

- ・パターン3はパターン2の第二段階ができていない状態と捉えることができる。したがって、腕で身体を引き付けるタイミングを練習させたり、腕力をトレーニングで向上させるなどして第2段階の動作を行えるようにすれば、逆上がりのできない被験者もパターン2の動作を行えるようになると思われる。
- ・パターン1はパターン2に比べて踏み切り、上体を後方に倒す所作、腕力による胴体の鉄棒への引き付けが協調してできている状態である。また、協調することで、筋力を効率的に使用しているものと考えられる。これらの3つの所作を協調して行うことができれば、パターン2の被験者もパターン1の動作を実現できると考えられる。実際、計測を繰り返すと、当初はパターン2であったのにパターン1に変化した被験者がいたことから、パターン1はパターン2よりも習熟度の高い動作と考えられる。

筋力の向上が逆上がりの学習支援に寄与するのか、間接的に確認するために、12名の被験者に、懸垂、持久懸垂、上体起こし、上体反らし、腕立て伏せ、二重跳びの運動を行ってもらい、それらの繰り返し可能回数を計測した。回数に関して有意水準5%でウェルチ検定を行ったところ、表1のように懸垂、持久懸垂、二重跳びに関しては、逆上がりのできる被験者とできない被験者との間で有意差が見られた。一方、腕立て伏せや腹筋や背筋関係の運動に関しては有意差は見られなかった。これらより、腕力（特に引き付ける力）および敏捷性の能力が逆上がりに関連していると考えられる。したがって、腕力、敏捷性を向上させるような学習支援を行えば、逆上がりのできない被験者もできるようになることが予想される。

表1 ウェルチ検定の結果

	懸垂	持久懸垂	上体起こし	上体反らし	腕立て伏せ	二重跳び
p値	0.04	0.03	0.67	0.65	0.052	0.04

以上のように、テーマ(B)では、鉄棒逆上がり運動のような種目で筋電位センサなどで計測されたデータから被験者の特徴を抽出してタイプを分類することが可能であり、加速度センサの場合と同様に、種目に応じて適切なセンサを選ぶことによりコンピュータベースでスキルの定量的評価が可能であることを示すことができた。また、データを分析することで、学習支援方法を見出すことの可

能性を示すことができた。このように見出された学習支援が実際に有効であるかの確認は引き続き行っていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① 大久保 勇作、小方 博之、村松 大吾「鉄棒逆上がり運動のスキル評価」精密工学会 2012 年春季大会 学術講演会、2012. 3. 15、首都大学東京
- ② 大久保 勇作、小方 博之、村松 大吾「筋電計を用いた鉄棒逆上がり運動のスキル評価の試み」日本テスト学会第9回大会、2011. 9. 11、岡山大学
- ③ 大久保 勇作、小方 博之、村松 大吾「鉄棒逆上がり運動におけるスキル分析」日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'11、2011. 5. 28、岡山コンベンションセンター
- ④ 大久保 勇作、筋野 和也、小方 博之、村松 大吾「加速度センサを用いたパッティングのスキル評価」精密工学会 2010 年秋季大会学術講演会、2010. 9. 27、名古屋大学
- ⑤ 小方 博之、大久保 勇作、筋野 和也、村松 大吾「加速度センサを利用した実技評価システム」日本テスト学会第8回大会、2010. 8. 31、多摩大学

[その他]

学会発表②は、CBTのパースペクティブを広げるものとして評価され、日本テスト学会第9回大会「大会発表賞」を受賞した。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小方 博之 (OGATA HIROYUKI)  
成蹊大学 理工学部・教授  
研究者番号：20349161

### (2) 研究分担者

村松 大吾 (MURAMATSU DAIGO)  
成蹊大学 理工学部・助教(2009～2010 年度)  
研究者番号：00386624  
(2009～2010 年度)