

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01098

研究課題名（和文）マルチモーダルセンシングと機械学習による身体スキル検出手法に関する研究

研究課題名（英文）A Study on Physical Skill Detection Methods Using Multimodal Sensing and Machine Learning

研究代表者

越智 洋司（OCHI, YOUJI）

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：80314847

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：近年の画像解析技術やセンサーデバイス技術の発展により、身体行動をセンシングする技術的精度は向上している。これは、教育/学習支援システムの適用範囲を拡張する可能性を秘めている。本研究課題は、モーションセンサーやカメラセンサーから得られる身体の動作データを機械学習の技術を活用して解析し、教育・学習に利用可能な教育/学習スキルデータのとして変換するための要素技術の開発と、その技術を様々な教育/学習支援システムへ応用実装することで、その有用性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

身体スキルの検出に機械学習を利用する本研究の成果は、センサーの身体動作情報から教育・学習情報を抽出するノウハウを明らかにするものであり、教育・学習支援システムの範疇を広げ、教育工学（学習支援システム）研究分野全体の進展に大いに貢献するものである。特に、教育工学の研究者が機械学習の技術を適用するというアプローチは、教育に軸足にした機械学習の応用研究であり、他の教育・学習領域への応用可能性を見据えた技術基盤を確立することに繋がり、学術的にも社会的にも大いに意義がある。

研究成果の概要（英文）：In recent years, the technical accuracy of sensing physical behavior has been improved by developing image analysis technology and sensor device technology. This trend indicates the possibility of extending the scope of application of education/learning support systems. This research project will develop software that analyzes body movement data obtained from motion sensors and camera sensors by utilizing machine learning techniques. The goal is to convert the data as education/learning skill data that can be used for education and learning. For this purpose, we developed elemental technologies and implemented them in various education/learning support systems to verify their usefulness.

研究分野：教育情報工学

キーワード：スキルセンシング 機械学習 モーションセンサー 身体動作解析

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 身体情報を利用した教育システムの新たな可能性

近年の画像解析技術やセンサーデバイス技術の発展により、身体行動におけるセンシング技術に関する技術的精度は向上している。現在、Kinect のような安価なモーションセンサーデバイスも市販化されており、それらを利用して身体情報を対象とした教育・学習支援システムの研究も行われている。研究代表者はカメラをセンサーと捉えて、身体行動からの情報抽出の研究を行ってきた。今後、各種センサーの小型化が進むことで、PC 端末やモバイル端末を前提とした研究から離れ、身体知を含めた教育・学習支援へと研究対象が広がることは明らかである。

#### (2) マルチモーダルセンシングとスキルモデリングの技術開発の必要性

現在、画像認識や機械学習分野では多くのデータセットが公開されており、精度向上に向けて活用がなされている。しかし、身体スキルを対象とした学習支援では、センシングデータだけでは学習者のスキル検出とその評価を行うことが困難であり、スキル検出のための教育・学習情報への変換が重要な位置づけとなる。また、学習者のモーションやサウンド(音声、音楽)といった信号やポイントクラウド(座標の点群)など、従来の教育システムの研究者が扱ってこなかったマルチモーダルなデータを教育・学習行動として解析、モデル化し、評価する技術が必要となってくる。

#### (3) 着想に至った経緯

研究代表者は、「動画像解析による学習・教育情報の検出技術に関する研究(基板研究(C) H23~H25)」においてカメラの RGB 情報だけでなく、赤外線センサーを利用したデプスカメラによる 3 次元座標情報が、身体行動の認識・解析に有効である知見を得た。しかし、光学的センサーだけでは認識範囲が限定され、教育・学習において応用できる範囲が狭いことを実感し、モーションセンサーデバイスを組み合わせた研究を進めている。また、モーションデータは単なる空間的な情報であり、そのままの形式では学習支援に適用できないため、その利活用が困難である。本研究課題は、近年、進展が著しい機械学習技術に着目し、特に深層学習のアプローチは、従来、モデル化が難しかった支援領域において、一定の成果が得る可能性を秘めている。教育・学習行動について対象を限定し、教育システム研究における身体スキル検出のための機械学習の技術適用の知見を取得し、今後の進展に貢献できると考えた。

### 2. 研究の目的

以下の項目を実現し、その有用性を明らかにすることを研究目的とした。

#### (1) 身体装着型モーションセンサーと動画像解析を統合したセンシング技術の開発

身体行動を伴った教育・学習支援を対象とするためには、

- ・ モーション計測の際に利用する場所や利用の制約を少なくする
- ・ その場でデータを抽出し、教育学習支援のフィードバックを与える

といったことを考慮しなければならない。カメラを利用した動画像解析は有効な手段であるが、検出範囲や条件に制約がある。そこで、カメラを利用したセンシングが困難な状況にも対応できるように本研究では「身体装着型モーションセンサー」を活用する。特にリアルタイムな学習フィードバックが可能となるよう、

- ・ 加速度・角速度センサー、筋電センサー
- ・ ブルートゥース等の無線によるリアルタイムデータ授受
- ・ 手首・足首といった四肢への装着

をハードウェア要件とするため、市販の製品を利用して基礎データを取りつつ、要求仕様に応じたデバイスの独自開発も視野に入れる。

#### (2) 機械学習技術を適用したスキルモデリング手法の提案

(1)で述べた「身体装着型モーションセンサー」から得られる情報と、デプスカメラや RGB カメラからの映像データをもとに、機械学習の技術を適用し、データ解析とスキルモデル化手法を検討する。スキルモデルについては、

- ・ 時系列により変化するマルチモーダルな身体情報の利用
- ・ 比較可能なスキルモデル

といった仕様に対応し、各種センサーから得られる情報の中で、対象領域に合わせてスキルを検出可能とする汎用性を考慮したモデルを目指す。機械学習の手法については、サポートベクターマシンのような従来高い精度を得ていた手法だけでなく、最近実用性が著しく高まっているニューラルネットワークも積極的に取り入れた。

### (3) スキル学習支援システムへの実装と検証

(1)(2)の成果を利用して、実際に教育・学習支援システムのプロトタイプを実装し、その枠組みの有効性と応用可能性を検証する。具体的には次の2つのアプローチから開発を行う。

#### スポーツ運動を対象にした教育・学習支援システムの試作

研究代表者は、現在までに「スクワット」「縄跳び」などを対象にした研究を行っているが、これらを更に発展させてスキルのモデル化を行い、また新たな応用分野を検討する。

#### 楽器演奏スキルを対象とした教育・学習支援システムの試作

研究代表者は、現在、学内にてドラム演奏支援とギター演奏支援に関する研究を行っている。楽器演奏はマルチモーダルなセンシング技術の利活用にもっとも適した対象であり、また時系列により変化するスキルであることから、スキルモデリングの有効性の検証対象として期待できる。

## 3. 研究の方法

### (1) モーションセンサー技術と機械学習に関する調査

モーションセンサーや利用する機械学習の手法を検討するために、先行研究調査や関連学会、技術講習会・セミナー等へ積極的に参加した。現存する機械学習のライブラリ(Tensorflow, Chainer, Keras, Pytorch)を積極的に試行し、その特性を探った。

2019年度下半期からは、ドイツ、リューベック大学のメディカルインフォマティック研究所に、所属大学(近畿大学)の在外研究制度を利用して1年間滞在した。滞在先研究グループのMarcin教授の元で、モーションセンサーと機械学習を利用した行動認識の研究を学んだ。

### (2) センサーデータと機械学習によるスキルセンシングソフトウェアの開発

身体装着型モーションセンサーが発信するデータを取得するソフトウェアを独自開発し、センサーノウハウを蓄積した。モーションセンサー解析ソフトウェアの汎用性や機能の向上を検討するために、モーションセンサーから得られた3次元データから、教育・学習用の身体動作解析へとマッチングするために、ドメインに対応したスキルモデルを考案し、モーションセンサーからのデータをスキルモデルに当てはめ、機械学習のフレームワークへ実装する機構を開発した。モーションセンサーのデータについては、公開されているGPSデータも活用し、研究の対象とした。機械学習の手法としては、ディープニューラルネットワークやサポートベクターマシンといった代表的な手法を適用し、その有用性を検証した。機械学習の処理については、フルスクラッチで実装するのではなく、既存の機械学習ライブラリを利用した。機械学習の稼働には、GPU搭載機械学習専用PCを利用した。

### (3) 教育・学習支援システムの開発と評価

従来研究からの成果を踏まえて実装と技術検証可能なドメイン(対象領域)を再検討し、選定したドメイン対象に支援システムを設計し、センサーデータと機械学習によるスキルセンシングソフトウェアを適用した教育システムを実装した。評価については、小規模のゼミなどを対象とした試験的な環境によりその精度評価を検証するとともに、オープンキャンパスなどの大学のリソースを利用して、不特定多数のユーザによる試用の場も設けた。

なお、(1)に記述したように研究期間の最終年度に在外研究でドイツに滞在することになり、研究の継続が困難となったため、1年の期間延長をした。

## 4. 研究成果

下記のドメイン(対象領域)の教育・学習支援システムの開発と評価を行った。

### (1) 書き方スキルへの適用

ペンデバイスのセンサー情報を利用した「書き方スキル」の取得については、タブレットPC(Surface ProとiPad Pro)を購入し、筆跡情報と描画情報をもとに、画像認識と特徴量抽出の手法とを組み合わせ、文字列を対象とした書き方スキルの検出手法の実装を進めた。本システムを用いて実際に評価実験を行った結果、文字列評価項目に関する支援では、文字サイズ及び文字間隔に関する意識付け効果は見られた。また文字ごとに関しては文字結果確認、非確認のそれぞれの点数差でt検定を行った結果、有意な差があると示された。全体を通して得点は上昇傾向にあり、本システムの支援により学習者のペン習字が上達したといえる(図1)。また、本手法を応用して、書画カメラを利用した紙媒体への塗り絵行動の認識の研究も並行して行った。書画カメラを用いて塗り絵の動作を撮影することで塗り絵動作検出および検出内容の表示による塗り方や色使いの学習支援を行うシステムを実現した。本システムを用いることで塗り絵の動作検出を自動で行いすべてを記録するので、振り返りによる学習が容易になる。(図2)。これらの研究成果は、国際会議ならびに国内学会にて発表した。

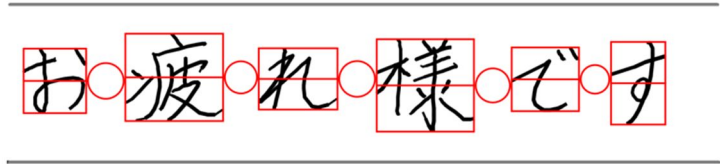


図1 タブレット PC を用いた書き方スキル

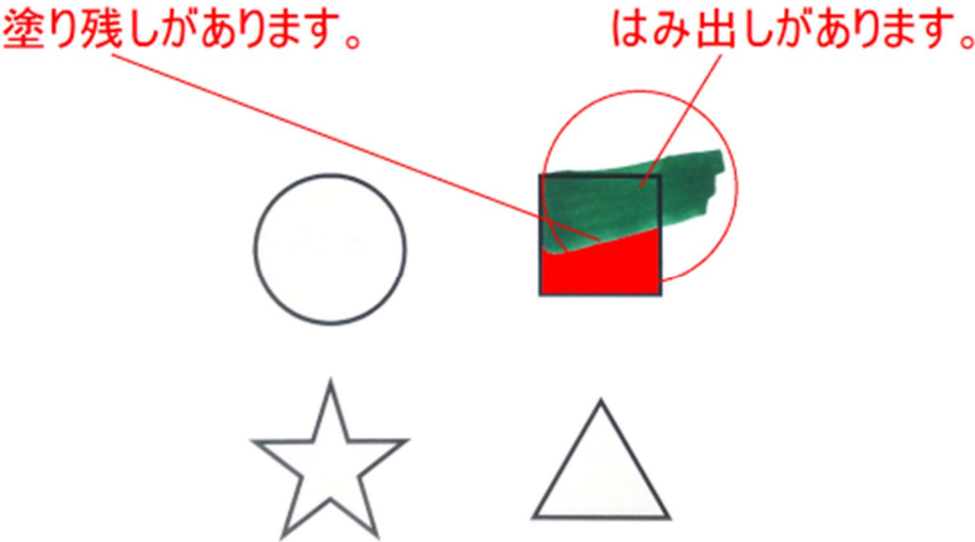


図2 塗り絵行動検出

(2) 楽器演奏スキルへの適用

ドラム演奏の支援を対象としたシステム開発を進め、ドラム演奏時の奏法の違いや左右の動きの識別などの検出精度を高める手法を実装した。MIDI データと Kinect を利用することで演奏結果と演奏動作を同時測定して、叩打間隔とその間の関節角度の大きさを判定する機能を実現した。動作検証の結果から、肩の動きが大きいときに叩打間隔がぶれやすくなる傾向を検出できた。そして相関係数から演奏の誤りに対してどの身体箇所が関連するかを提示可能とした(図3)。本研究の経過は、国内会議ならびに国際会議で発表した。

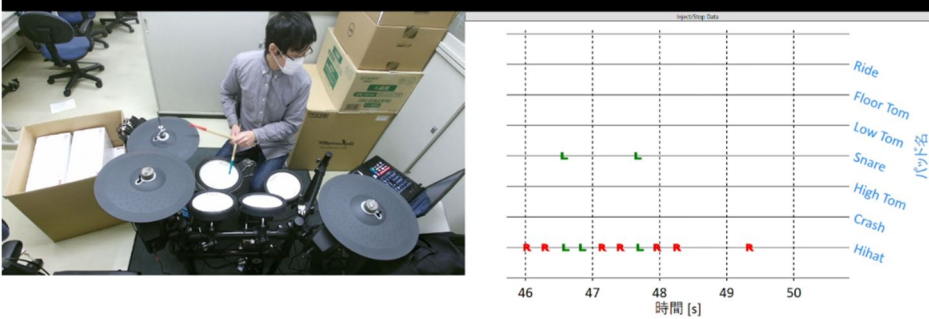


図3 ドラム演奏動作識別

### (3) 体操スキルへの適用

本研究では、模倣学習における身体動作の理解を容易化させることを目的に、見本動作と学習者動作との違いの理解を支援する方法、及び、学習者が上達できているかという学習状態を定量的に確認する方法として、当初、Kinect を利用して取得した動作データからリカレントニューラルネットワークを用いてによる動作識別を行ってきた。しかし、最終的には MD-DTW によって波形類似度を求め、その結果を利用して誤り関節の特定、関節誤りタイミングの特定、上達の判定の 3 つの方法を提案し、実装・検証を行った。その結果、誤り関節の特定と関節誤りタイミングの特定では、1 度の検出では正確性に問題があるが、動作の練習を重ねてデータを増やし、検出を繰り返すことで誤り関節・誤りタイミングを推定しやすくなることが確認できた。また、上達の判定は困難であるが、動作の改善前後における上達の度合として定量的に表すことに成功した(図4)。本研究の経過は、国内会議ならびに国際会議で発表している。

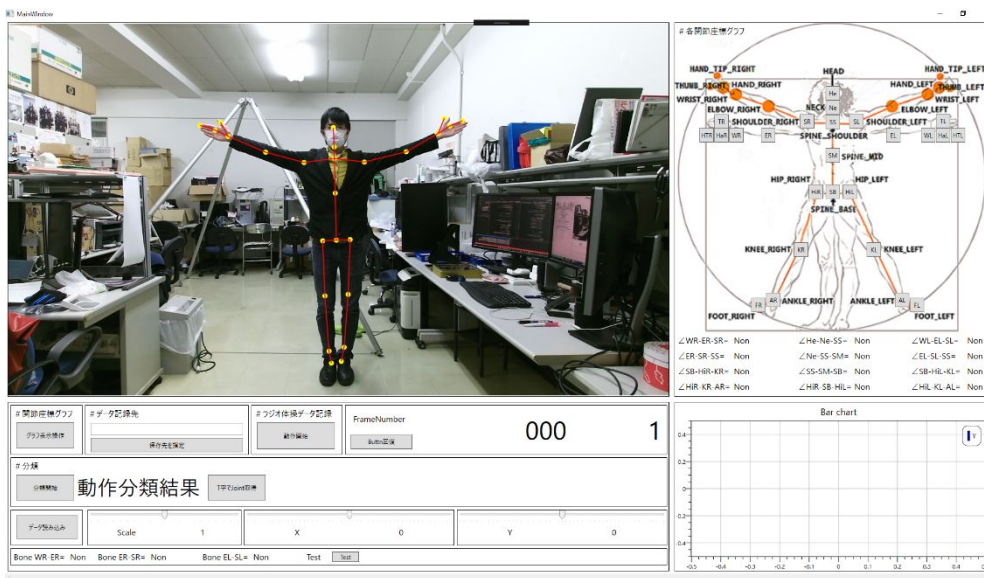


図4 体操スキル検出システム

### (4) 操作スキルへの適用

「ハンググライダー操作スキル」については、ハンググライダーの操作技術向上支援を研究対象とし、ハンググライダー飛行時の GPS データを用いて、そのスキルを分析するためのツールと、機械学習における分類器の研究を進めた。特に、ハンググライダーの操縦において旋回行動は非常に重要であると捉え、ハンググライダー競技において主に時間計測を目的に利用されている GPS ログデータに着目し、GPS ログデータを解析し、ハンググライダーの操縦技術の評価につながる情報を抽出、その情報を学習者に提示することで技術評価を支援するアプローチを提案している。そして、これを実現するために旋回行動のスキルを分類し、GPS データにおける有益なパラメータ間の関係性を実験的に検証するとともに、学習支援システムへの適用を行った。本研究では SVM (サポートベクターマシン) を応用して旋回パターンの分類を行うことで客観的な評価を可能としており、その結果、飛行軌跡の進入角度を利用したルールベースによる実装と比べると、旋回検出について前研究の主観的な検出精度とほぼ同等の精度を再現することを実験的に確認している。また、評価実験では、旋回分類のための有益なパラメータ間の関係性を工学的に検証し、その有用性を示唆するとともに、学習支援システムへの適用モデルについても確認できた。これらの成果の一部は、国際会議と国内会議で発表し、それぞれで優秀発表賞を受賞した。

### (5) 松葉杖操作スキルのためのデータ取得

ドイツのリューベック大学への研究調査出張では、同大の研究グループの施設を利用して、「松葉杖スキル」のスキル検出のために、身体装着型の加速度センサーを用いた動作検出についての研究を進めており、リューベック大学の実験施設を利用して装着型センサーを用いて「松葉杖スキル検出」のための基礎的データ取得に取り組んだ。しかし、新型コロナ禍の影響で中断する状況となり、センサーからデータを取得するのみの結果となった。今後も、同大の研究グループと情報交換を行い、以後関連プロジェクトについての情報交換を続けていくこととなった。

### (6) 試作システムの公開

(1)(2)(3)の成果については、これらの研究の成果は所属大学(近畿大学)のイベントにおいてデモ展示や試用などの形式で公開をしており、一般参加者に対する評価を得ており、各システムの有用性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 越智 洋司	4. 巻 J101-D
2. 論文標題 Kinectによる指示棒を利用したプレゼンテーション動作の検出と可視化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D 情報・システム	6. 最初と最後の頁 994 ~ 997
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14923/transinfj.2017LEL0007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 塚崎圭一, 越智洋司, 井口信和
2. 発表標題 GPSログを用いたハンググライダーの旋回解析システム
3. 学会等名 2019年度 情報処理学会関西支部 支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiichi Tsukasaki, Youji Ochi, Nobukazu Iguchi
2. 発表標題 Turning Recognition System Using GPS Data for Hang-Gliding Training
3. 学会等名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今田 泰広, 越智 洋司, 井口 信和
2. 発表標題 身体動作と演奏情報を用いたドラム演奏評価手法
3. 学会等名 電子情報通信学会教育工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長井孔明, 越智洋司
2. 発表標題 文字バランスを考慮したタブレット型ペン習字学習支援システムの開発
3. 学会等名 映像情報メディア学会冬季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門松輝, 越智洋司
2. 発表標題 画像処理によるぬり絵描画診断システム
3. 学会等名 平成30年電気関連学会関西連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Imada, Youji Ochi
2. 発表標題 Hitting Arm Detection for Drum Performance Learning System Using Kinect
3. 学会等名 Proc. of The Seventh International Conference on Informatics and Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Sakai, Youji Ochi
2. 発表標題 Radio Calisthenics Motion Detection and Diagnosis Using Recurrent Neural Network
3. 学会等名 Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越智洋司
2. 発表標題 情報・計測技術の発展と教育・学習支援システムの研究動向
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshitaka Kashiwagi, Youji Ochi
2. 発表標題 A Study of Left Fingering Detection using CNN for Guitar Learning
3. 学会等名 Proc. of International Conference on Intelligent Autonomous Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越智洋司
2. 発表標題 教育・学習支援システムの研究動向
3. 学会等名 平成29年電気関連学会関西支部連合大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今田泰広、越智洋司
2. 発表標題 Kinectを用いたドラム学習支援のための叩打腕識別手法の検討
3. 学会等名 平成29年度教育システム情報学会学生研究発表会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 酒井正人、越智洋司
2. 発表標題 Kinectと機械学習を利用したラジオ体操動作識別
3. 学会等名 平成29年度教育システム情報学会学生研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長井孔明、越智洋司
2. 発表標題 ペンタブレットの運筆情報を利用したペン習字学習支援システム
3. 学会等名 平成29年度教育システム情報学会学生研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柏木喜貴，越智洋司
2. 発表標題 Kinectを利用したギターの演奏動作認識システムの開発
3. 学会等名 教育システム情報学会第5回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越智 洋司
2. 発表標題 松葉杖訓練支援のための動作推定システムの開発
3. 学会等名 第42回教育システム情報学会全国大会講演論文集
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------