

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01072

研究課題名(和文) 反復運動スキルを対象とした熟達化支援

研究課題名(英文) Support of improving proficiency in repetitive motor-skills

研究代表者

松浦 健二 (Matsuura, Kenji)

徳島大学・情報センター・教授

研究者番号：10363136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：人間の統合運動の一環として、反復運動を取り上げ、それを支援する情報システム技術の研究を行った。具体的な対象は、縄跳び運動とフラフープ運動である。これらは、運動の方向性が異なる単調な運動であるが、その運動要素には、運動タイミングの位相差があり、学習に際しては段階的な習熟化が必要である。そこで、本研究では映像解析やセンサを用いた観測と、視覚、聴覚的フィードバックによる学習支援環境を構築し評価を行った。

研究成果の概要(英文)：As for the human integrated motor-skills, this study focuses on repetitive movements and we have studied an environment with information system technology to support it. Concrete target skills can be applied for jump rope and hula-hoop playing. They are monotonous movements with different directionality of exercise, but there are phase differences of motion timing in the movement elements. Therefore, step-by-step learning is required for mastering the skills. In this study, we designed and developed learning support environments with image processing techniques and multiple types of sensors for observation. Visual and auditory feedback are implemented to support learning. Through experiments, several issues were resolved.

研究分野：学習支援システム

キーワード：学習支援 反復運動 身体スキル メディアの活用 認知科学 情報システム

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内のスポーツ熱は、2020年東京オリンピックや数年来のマラソンブームなど、高まっている。研究としても、情報技術支援による人間の動作分析が進みつつあるが、情報技術を用いた個々の運動者に対する学習に寄与するという観点は今後のスポーツ振興や健康増進に関する国策としても益々重要になる。

学術研究としては、これまで様々なプリミティブ運動要素を身体部位ごとに細分化して分析的にアプローチすることが多数見られる。しかし、全身運動としての反復運動は、統合運動としての側面を持ち、その部分的な解析やその時系列予測だけでは、十分な学習支援に繋がりにくい。すなわち、個々の身体運動に注視し、それぞれの支援をしながら、その統合化も支援するという考え方に基づいている。さらに、それらの学習という側面に鑑みると、学習者が学習曲線を考慮した時に、どの段階を対象としているかによって、フィードバックする内容・手段を適切に選択する必要もある。

そこで、それぞれの関係性に着目した工学的な手法での支援設計、システム開発およびその適用・検証が待たれることになる。本研究では、特に縄跳びやフラフープといった全身統合運動を実際の研究対象とする。これらは特に、平面的な移動が限定的な反復運動であり、本研究は、その技術的な学習支援環境の設計に着目する。

2. 研究の目的

(1) 反復運動を対象として、運動スキル開発の新しい支援手法の提案を行う。本研究では、人間の運動スキル習熟過程に関して、(a)初期の認知・計画・創造、(b)中間期に行われる繰り返し訓練、(c)最終的に自動化がなされるという従来のスキル獲得プロセス[引用文献(1)]に基づき、個人差の評価と類型化からの支援を含む。

(2) 一方、支援システムの技術的側面からは、反復運動のモニタリングによる運動軌跡の動作モデル作成(コード化)、当該モデル分析や想定モデルとの比較分析、フィードバックの戦略設計・実装、これらに関する情報システムデザイン指向の研究課題と捉えている。本研究では、従来の認知科学的アプローチよりも、むしろ学習工学的な熟達化支援モデルを提案するものである。

3. 研究の方法

(1) 研究を進めるには、研究組織の研究者間で、定期的に議論する必要があることから、計画に従って、キックオフミーティングや代表者・分担者相互に行き来する形で研究打ち合わせを実施した。また、学会等での発表を通じて、研究組織外の研究者との意見交換・資料収集に努めた。結果、学術論文や学会発表に繋げることができた。その際の旅費や、研究を進めるための物品購入などは、本研究補助金を充てて実現している。

研究期間は3年間であり、調査・基本設計期、試行・実験期、および統合・実践期として位置付け、それぞれのフェーズに応じた研究を展開するよう計画した。

初年時は特に、学習者の熟達化のプロセスをモデル化し、身体スキルを分類することで、複数のパターンを作成した。特に、連続運動のセグメント化手法、単位運動計測、運動同定技術の開発を中心に技術開発を行い、人間の側の習熟プロセスに対する支援シナリオの設計、フィードバックの同期・非同期選択方針、分析要素・伝達メディア設計・検討を実施した。

2年目は、検討したモデルに基づくプロトタイプ実装を中心課題に置いた。特に、パターン認識・映像解析技術の導入と、次の統合化を前提に、認知実験や評価実験を行なった。少人数ではあるが、パラメータ中二ングやフィードバック系に加えて、フィードフォワード系の考察も行なっている。

最終年度は、個々のサブ課題は進めつつも、統合化の研究も展開している。特に、縄跳び運動を対象とした段階的な訓練ステージの導入を行い、従来のステージ進行に対して、独自のステージ定義を行うことで、習熟化に生じる困難を軽減することを試みている。

以下の(2)以降の項目は、個々の研究課題を進める方法論の概要である。

(2) 反復運動を適応的に支援する際には、支援対象のスキルを属性に応じて類型化する。例えば、身体位置の移動に関する有無、運動による操作対象の有無、反復の運動面の軸方向といった典型的な軸により、前述の縄跳びとフラフープ運動はこれらの分類軸の中で位置付けられる。例えば、縄跳びとフラフープは、同じように操作対象を有する移動性の少ない運動であるが、反復運動方向は水平と鉛直という軸によって特徴付けられる。情報システムによる技術的支援として、ある程度抽象度を高めた方法論という意味において、同じ分類の運動への適用は可能と考えられる。一方、異なる分類に対しては、システム実装的には異なる実装でのアプローチとなる。そこで、個々のシステム開発に際して、その支援対象の身体運動観測には、モニタリング機器の適性をそれぞれの運動特性に鑑みて選択・実装を行っている。

(3) 例えば、二重跳びを対象運動とした場合には、運動そのものに影響を抑えるためには、映像撮影とその映像解析という選択になる[雑誌論文(5)]。論文(5)では、映像解析時に、パーティクルフィルタを応用して縄のトラッキングを行い、解析結果を一般化して論じている。一方、人間の運動軌跡については、カラーマーカの複数箇所追跡により、運動タイミングや身体部位間の位相のずれを調査している[雑誌論文(6)]。

(4) また、影響が無視できるほど小さい場合には、ウェアラブルセンサを応用した装置を独自開発するという選択もできる[雑誌論文(2)(4)]。論文(2)では、部位ごとの運動特徴を捉え、コ

ード化・モデル化することにより、その運動波形の位相差に着目した解析と支援手法の提案を行っている。

(5) さらに、縄跳びやフラフープのように、水平面内の移動距離が小さい場合には、モニタリング用の専用空間を設計し、三次元動作観測によるさらに詳細なデータ解析も可能になる。その観測用機器には、例えば、光学式のモーションキャプチャシステムがある。光学式モーションキャプチャの典型的な実装では、複数カメラによる同時撮影を行い、身体に付着させたマーカを同時に同期して読み取らせることで三次元運動のモデル化ができる[雑誌論文(1)(7)]。

(6) 運動スキルの習熟においては、上記のような個々の局面での技術支援を統合・運動させたシステムによる段階的な訓練を要する。そこで、本研究では、縄跳びを具体的な対象に、段階的訓練のステージ毎に細かな支援を行える環境を設計・開発することとした[雑誌論文(3)(6)]。

4. 研究成果

(1) 縄跳び運動における身体部位間の運動タイミング差の習熟

縄跳びの運動では、ジャンプによる上下方向の全身運動と、手の回旋運動の大きく二つの運動要素がある。そこで、これらの運動を観測すべく、まず前二重跳びを対象に、運動者の側面からの映像解析を行った。解析においては、縄運動を対地座標ではなく、楕円の中心に基づく座標系で観測したところ、1st ジャンプに対して 2nd ジャンプにはスピード、角度に違いがあることが明らかになっている[雑誌論文(5)]。これが安定化させることができるように、システムからのフィードバック方針を立てることが求められる。

前二重跳びの上下方向の運動を、加速度センサ機能によってベルト付与型のデバイスを独自開発し、さらに、手の回旋運動に対しては、筋電センサを用いて同じデバイス上に二つの異なるセンサデータを集める実装を行った。また、タイミング差の安定化のための同期的なフィードバック支援を観測点からの固定値で発動する音により実現した。これを用いて、被験者による実験的な評価を行い、前二重跳びの事前試行と最終試行の間の変化に、観測されたパフォーマンス値としては違いが見られ、それでも認識の差としては有意に差が生じている訳ではなかった[雑誌論文(2)]。

(2) フラフープ運動における運動発動のガイドによる学習支援

フラフープ運動は、縄跳びと同様に、運動による道具の制御を必要とする、平面移動の少ない運動である。一方で、運動の反復方向としては水平面であるという相違点を有する。縄跳びは運動が上下方向であり、フィードバックに応じた加力は単純であるが故に知覚から認知、体現までのプロセスのモデル化とその実装は相対的にシンプルに実現できた。一方

で、フラフープに関しては、運動のモデルを単純化しても、力を加えるポイントが 2 点に増えている。また、落ちそうになるには一定の傾向が見られることも観測されている。そこで、学習支援のためのフィードバック戦略としては、視覚と聴覚の 2 チャンネルでの実装とすることで、与える情報量を増加させることとした[雑誌論文(7)]。

具体的には、フラフープ中に大型ディスプレイでのモニタリング運動の観測データとフィードバック情報を同時視聴させ、また音による情報提供も同時に実施して、評価実験を行った。実験は、フラフープ運動している学習者をモニタリングしながら適応的にフィードバックを与えるシステム、固定的なタイミングで実装したシステム、観測のみのシステムの三つでの比較を行った。被験者は少人数ではあったが、パフォーマンスの改善としては、提案のシステムとフィードバックをしないシステムの間で有意に差のある傾向が見られた。また、認識誤差についても、主観評価を実施したが、それについては統計的な意味において、改善量の平均的な差異に有意な差は見られなかった[雑誌論文(1)]。

(3) 縄跳びを対象とした統合運動の段階的支援環境

反復運動は、セグメント化された単位運動を続けるという単純なモデルとも捉えられるが、実際は、初動から始まって、単位運動を繋げる部分は、一回の単位の終了と二回目の開始への準備が同時に発生させる必要があり、それは過去の運動結果によるものである。したがって、複雑な連続運動であり、それ故に学習に困難がある場合には、段階的なプロセスを設ける必要がある。

既にそのような学習プロセスの提案はいくつかなされているが、特に縄跳びに関しては、それぞれの国内外での競技会組織などがそのガイドライン等を示している。本研究では、豪州の縄跳び連盟による提示手法を基に、その技術的な支援環境実装を試みた。具体的には、4 段階による統合プロセスが示されており、腕の回旋運動、跳躍運動、その統合運動、統合運動に制御対象の縄を組み合わせるということになる。すなわち、最初は縄無しで身体の運動の仕方を学ばせ、統合させ、最後の過程で縄と統合運動を組み合わせるというものである。

縄を持たない段階では、身体運動が縄跳びに対して適切なものであるかを、複数の確認項目によって観測している。例えば、手の回旋では、その径の大きさや早さなどを評価する必要があり、それには身体運動の観測を技術的にはビデオ録画等で行うことが考えられる。これは、雑誌論文(5)と同様で、映像解析を非同期的に行うことで、フィードバックもまた非同期的に実施するという実装方法になる。

一方で、その観測の粒度を下げた細かな解析を通じて、縄を最終的に持つ段階に、困難さが相対的に高いことが判明した。すなわち、

ステージ 3 での基準をクリアしても縄を持った状態で同じステージ 3 の基準をクリアできないという学習者の例である。そこで、このような学習者に対しては、3 と 4 の間に位置付けられる中間ステージを用意して、困難さを軽減する提案を行った[雑誌論文(3)(6)]。提案においては、ステージ 4 の状態に応じて、縄を制御しようとするが、縄の有無による成否が影響しないように、制御する縄が足に引っかからないようにしている。また、それによって、観測・フィードバックするシステムも判断基準などの調整を行うよう実装を工夫した。

(4) 関連課題としての運動学習者へのガイドの抽象化支援

以上の(1)から(3)が本研究課題の主要な研究成果(学会での口頭発表については[学会発表(6)~(7), (10)~(13), (19)~(20),(22)~(25)など]である。

これに関連して、反復運動の応用研究も展開しており、その成果発表も行っている[学会発表(1)~(5), (8)~(9), (14)~(18), (21)]。熟達者の動きを理解し、模倣し、自らの身体・技能特徴に応じてその調整を図ろうとする過程において、言語やその装飾といった抽象化およびその印象操作によって、伝達内容を豊かにしようとする試みがある。これらは、学会発表のみであるが、擬態語の効能や、ソーシャルネットワークの活用、メタ認知といった支援方略は、今後の研究展開も待たれるところである。

(5) 今後の展開・展望

以上を総括すると、反復運動スキルを対象とした学習支援環境の開発においては、リアルタイム支援と非同期的な支援の二つのストリームによって、縄跳び、フラフープそれぞれの支援を行う情報システム環境の設計・開発と評価を実施できた。

個々のサブ課題に応じた個別システムや、統合運動のための統合システムの開発は行えたものの、その多人数対応や、大規模評価までは至っていない。これは今後の実践的な適用に任せることとし、研究の展開としては、精度を高める方向での新しい技術開発や、(4)に記載のような関連課題への応用を期待したい。また、反復運動のような単調な全身運動から、ボールを用いた競技や、集団スポーツへも展開すべく計画したい。これらは、新たな研究課題として継続研究を計画する。

<引用文献>

- (1) Fitts P.M. and Posner M.I., Human Performance. Basic concepts in psychology series. Brooks/Cole Publishing Company, 1967.

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)

(雑誌論文)(計 7 件)

- (1) Kenji Matsuura, Hiroshi Toyooka, Stephen Githinji Karungaru and Naka Gotoda, Design of a Guide System for Motor Skill Development Targeting a Repetitive Movement Task, Information and Systems in Education, 査読有、Vol.17, No.1, 2018, 27-35, DOI:10.12937/ejsise.17.27
- (2) 吉川 健彦、松浦 健二、菅原 宏太、カルンガル ギディンシ ステファン、後藤田 中、二重跳びにおける身体部位間の運動タイミング差の安定化支援、日本教育工学会論文誌、査読有、Vol.41, No.増刊、2017, 229-232 DOI:10.15077/jjet.S41118
- (3) Kohta Sugawara, Takehiko Yoshikawa, Kenji Matsuura, Stephen Githinji Karungaru and Naka Gotoda, A Learning Support System for Integrated Motor Skill by Organized Training Stages, Proceedings of 25Th ICCE, 査読有、2017, 451-456
- (4) Takehiko Yoshikawa, Kohta Sugawara, Kenji Matsuura, Stephen Githinji Karungaru and Naka Gotoda, Observing the Degree of Distortion in Coordinated Motor Actions, Proceedings of 25Th ICCE, 査読有、2017, 415-420
- (5) Stephen Githinji Karungaru, Kenji Matsuura and Naka Gotoda, Analysis of Rope Skipping Features for Gross Motor Skill Development, International Research Symposium on Engineering and Technology, 査読有、2017, 97-102
- (6) Kohta Sugawara, Hiroshi Toyooka, Kenji Matsuura, Stephen Githinji Karungaru and Naka Gotoda, Development of a Gross Motor Skill by Combining Primitive Motions in Repetitive Exercise, Proceedings of IEEE 5th GCCE, 査読有、2016, 488-492
- (7) Hiroshi Toyooka, Kenji Matsuura and Naka Gotoda, A Learning Support System Regarding Motion Trigger for Repetitive Motion Having an Operating Instrument, Proceedings of 13th IADIS International Conference of CELDA, 査読有、2016, 33-40

(学会発表)(計 25 件)

- (1) 中原 輝、蓮井 宏輔、石岡 匠也、後藤田 中、國枝 孝之、松浦 健二、カルンガル ギディンシ ステファン、米谷 雄介、林 敏浩、八重樫 理人、学習者に対し熟達者の動きの認識を目標に 共有された試技動画およびセンサを活用した学習環境、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、Vol.117, No.469, 2018, 71-76
- (2) 蓮井 宏輔、中原 輝、石岡 匠也、後藤田 中、國枝 孝之、松浦 健二、カルンガル

- ル ギディング シ ステファン、米谷 雄介、林 敏浩、八重樫 理人、スポーツオノマトペの直感的な意図を表現するコミックフォントを用いた運動学習支援システム、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、Vol.117, No.469, 2018, 77-82
- (3) 蓮井 宏輔、後藤田 中、國枝 孝之、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、林 敏浩、八重樫 理人、スポーツオノマトペと視覚フィードバックを用いた運動学習システムの提案、電気関係学会四国支部連合大会講演論文集、査読無、2017, 209
- (4) 中原 輝、後藤田 中、國枝 孝之、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、林 敏浩、八重樫 理人、運動スキルの細分化による運動学習支援システムの提案、電気関係学会四国支部連合大会講演論文集、査読無、2017, 208
- (5) 石岡 匠也、後藤田 中、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、小林 雄志、林 敏浩、八重樫 理人、藤本 憲市、ウェアラブルデバイスを活用したスポーツオノマトペ学習支援環境、教育システム情報学会第 42 回全国大会講演論文集、査読無、2017, 1-2
- (6) 吉川 健彦、菅原 宏太、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、後藤田 中、統合反復運動を学習支援するための装着型システム、教育システム情報学会第 42 回全国大会講演論文集、査読無、2017, 243-244
- (7) 菅原 宏太、吉川 健彦、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、後藤田 中、訓練複合戦略に基づく統合運動スキル学習支援、教育システム情報学会第 42 回全国大会講演論文集、査読無、2017, 187-188
- (8) 蓮井 宏輔、後藤田 中、國枝 孝之、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、林 敏浩、八重樫 理人、スポーツオノマトペのコミックフォント表現システムを活用した運動学習の提案、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、Vol.117, No.296, 2017, 61-64
- (9) 中原 輝、石岡 匠也、後藤田 中、國枝 孝之、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、林 敏浩、八重樫 理人、スポーツオノマトペの理解を支援するウェアラブルシステムの提案、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、Vol.117, No.296, 2017, 57-60
- (10) Kenji Matsuura, Stephen Githinji Karungaru and Naka Gotoda, Physical Learning Support using a Smartphone with Image Processing Technologies, Proceedings of ACM IMCOM2017, 査読有、2017
- (11) Stephen Githinji Karungaru, Kenji Matsuura and Naka Gotoda, Feature Tracking using Particle Filter in Rope Skipping for Gross Motor Skill Development, International Journal of Computer Applications proceedings of 2nd ICCKE2016, 査読有、Vol.1, No.1, 2016, 25-29
- (12) 豊岡 寛旨、菅原 宏太、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、後藤田 中、操作機器を有する反復運動における身体制御の学習支援システム、教育システム情報学会第 41 回全国大会講演論文集、査読無、2016, 119-120
- (13) 菅原 宏太、豊岡 寛旨、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、後藤田 中、反復運動を対象とした基本運動の統合化学習支援、教育システム情報学会第 41 回全国大会講演論文集、査読無、2016, 117-118
- (14) 石岡 匠也、後藤田 中、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、八重樫 理人、林 敏浩、運動スキル学習のための好みの知覚に基づくフィードバックを用いたトレーニング環境の提案、教育システム情報学会第 41 回全国大会講演論文集、査読無、2016, 281-282
- (15) 山本 貴裕、後藤田 中、石岡 匠也、國枝 孝之、村田 淳、神代 大輔、小林 雄志、設楽 佳世、松浦 健二、八重樫 理人、林 敏浩、研修チェック項目を多視点動画収集・同期再生環境に連携させた振り返り支援システム、教育システム情報学会第 41 回全国大会講演論文集、査読無、2016, 229-230
- (16) 山本 貴裕、後藤田 中、石岡 匠也、國枝 孝之、村田 淳、神代 大輔、小林 雄志、設楽 佳世、松浦 健二、八重樫 理人、林 敏浩、藤本 憲市、村井 礼、テスト結果に基づき多視点映像再生の注目視点の切り替えを動的に構成するフレームワークの提案、電気関係学会四国支部連合大会講演論文集、査読無、2016, 225
- (17) 山本 貴裕、後藤田 中、石岡 匠也、國枝 貴之、村田 淳、神代 大輔、小林 雄志、設楽 佳世、松浦 健二、八重樫 理人、林 敏浩、藤本 憲市、村井 礼、多視点動画教材の視聴視点切替え提案による技能研修支援システム、教育システム情報学会研究報告、査読無、Vol.31, No.3, 2016, 15-18
- (18) 石岡 匠也、後藤田 中、松浦 健二、カルンガル ギディング シ ステファン、八重樫 理人、林 敏浩、藤本 憲市、村井 礼、選択的フィードバックによる個人の運動学習支援、教育システム情報学会研究報告、査読無、2016
- (19) Yoshikawa Takehiko, Kenji Matsuura, Stephen Githinji Karungaru and Naka Gotoda, Skill Learning Support System Focusing on Rhythm Fitting, Journal of Shikoku-Section Joint Convention of the

- Institutes of Electrical and Related Engineers, 査読無、2016、267
- (20) 豊岡 寛旨、松浦 健二、後藤田 中、反復運動における運動継続のための動作タイミングに関する一考察、教育システム情報学会研究報告、査読無、Vol.30、No.5、2016、27-32
- (21) 山本 貴裕、後藤田 中、小林 雄志、松浦 健二、八重樫 理人、林 敏浩、フィットネス測定スキルの養成を支援するCMSの提案、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、Vol.115、No.492、2016、211-214
- (22) Shinya Yoshioka, Kenji Matsuura and Naka Gotoda, Hand-motion analysis for development of double-unders skill, 19th International Conference in Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, 査読有、2015、775-783
- (23) Hiroshi Toyooka and Kenji Matsuura, Development of a system to imply well-timed action in a drill practice of motor actions, Proceedings of 11th International Conference on Knowledge Management, 査読有、2015、321-328
- (24) 豊岡 寛旨、松浦 健二、後藤田 中、フープにおけるスタンスと運動方向の一考察、教育システム情報学会第40回全国大会講演論文集、査読無、2015、183-184
- (25) 吉岡 真也、松浦 健二、後藤田 中、カルンガル ギディンシ ステファン、前一重トビから前二重トビへのスキルアップ支援の試み、教育システム情報学会第40回全国大会講演論文集、査読無、2015、125-126

(図書)(計 0 件)

(産業財産権)

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

(その他)

ホームページ等

<https://ma2lab.ait.tokushima-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 健二 (MATSUURA, Kenji)

徳島大学・情報センター・教授

研究者番号:10363136

(2) 研究分担者

カルンガル ステファン (KARUNGARU, Stephen)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部

理工学域・講師

研究者番号:70380110

後藤田 中 (GOTODA, Naka)

香川大学・総合情報センター・助教

研究者番号:40633095