

## 統合反復運動を学習支援するための装着型システム

### A Wearable System for Learning Support on Integrative and Repetitive Exercise

吉川 健彦<sup>\*1</sup>, 菅原 宏太<sup>\*1</sup>, 松浦 健二<sup>\*1</sup>, カルンガル ステファン<sup>\*1</sup>, 後藤田 中<sup>\*2</sup>  
Takehiko YOSHIKAWA<sup>\*1</sup>, Kohta SUGAWARA<sup>\*1</sup>, Kenji MATSUURA<sup>\*1</sup>, Stephen KARUNGARU<sup>\*1</sup>,  
Naka GOTODA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>徳島大学

<sup>\*1</sup>Tokushima University

<sup>\*2</sup>香川大学

<sup>\*2</sup>Kagawa University

Email: ma2@tokushima-u.ac.jp

**あらまし**：複数の身体部位による統合運動においては、それらの協調的な動作が必要である。統合反復運動の中でも、本研究は前二重跳びを取り上げ、その学習支援環境の設計を行う。本研究では、複数身体動作の統合に求められる要素の一つであるタイミングに着目する。複数の身体部位計測のための装着型システムを提案し、動的に支援内容を決定する機構を設計する。

**キーワード**：運動スキル, 統合反復運動, 学習支援, 装着型システム

#### 1. はじめに

本研究は、適切な身体制御によって達成される運動スキルに着目する。運動は、その特性によって、遂行するために必要なスキルが異なる。縄跳びやフラフープのような開始と終了が明確でない運動には、連続スキル<sup>(1)</sup>が必要である。その中で、時間によって区切られた同様の運動パターンを繰り返す運動に必要なスキルを、反復スキルと呼ぶ。このスキルが必要な運動として、本研究では、前二重跳びに焦点を当てる。前二重跳びは、大きく分けて、手の回旋と跳躍の複数動作からなる統合運動でもある。

統合運動において、運動を構成する動作の開始タイミングが異なることがある。前二重跳びには、手の回旋と跳躍の動作タイミングには差が存在する。この差は、前二重跳びスキルが熟達するにつれて、毎回の体現におけるばらつきが縮小すると想定する。その結果、前二重飛びは安定する。そのため、本研究では、このタイミング差のばらつきに注目する。そして、安定化の支援をすることで、前二重飛びの熟達を図るシステムを提案する。

#### 2. 学習支援要件

運動学習において、まず学習者は運動の固定化を行い、運動パターンの自由度を狭める<sup>(1)</sup>。これは、前二重跳びでは、タイミング差のばらつきを減少させることに他ならない。しかし、熟達するにつれて、その自由度は解放される。本研究における対象としては、自由度の固定化を行う段階の学習者である。

反復運動には特に運動のリズムが生じる。前二重飛びのリズムは、一跳躍二回旋の運動パターンによるものである。複数の身体部位運動の統合化がなされた前二重跳びは、安定的、つまり運動がリズムカルに行われることが重要である。そのため、学習者

は、タイミング差がバラつかないように、体現する必要がある。

本提案では、学習者の体現と同期的に支援を行う。前二重跳びは、オープンスキル<sup>(1)</sup>が必要な運動である側面が強いが、それは動作が縄の動きに依存するからである。同期的支援において、学習者の体現を予測することは必要である。前二重跳びは、反復運動であるが、運動制御は動的に調整しながら行われることから、運動軌跡やその制御のためのフォームは毎回多少異なるものになる。そのため、予測は動的に行うことが望まれる。観察された現在や過去のデータから、提案システムは動的に予測する。

タイミング差を観察するには、複数の動作を計測することが必要となる。本研究では、前二重飛びを二つの動作に分けているため、二つの身体部位を計測する。タイミング差は、一方の基準となるタイミングと他方の相対的なタイミングとの時間間隔である。本研究において、基準は跳躍タイミングである。ここで、手の回旋タイミングを、腕を振り下ろして足の下に縄を通す動作の開始点と定義する。これは前二重跳びにおいて、その時点の縄の速度が速いためである<sup>(2)</sup>。二つの動作はセンサによって計測される。跳躍運動は加速度によって現象を観測するのに対し、手の回旋運動は筋電位によって筋活動を観察する。これは、動作開始タイミングの同定において、運動を観察するよりも、より人間の内部状態に近いからである。

センサで計測する場合、システムは装着型となるが、計測データの処理や蓄積を考え、汎用コンピュータとの通信を行う。その際、有線による通信では、使用者の運動への影響が少なからず存在するため、無線通信が望ましい。また、装着型デバイスにおいて、サイズや重さも考慮しなければならない。かつ、

システムは学習者に対して教示するための機能を有する必要がある。以上の要件より、システムフローを図1に示す。これらのサイクルは、学習者の体現と同時に進行される。

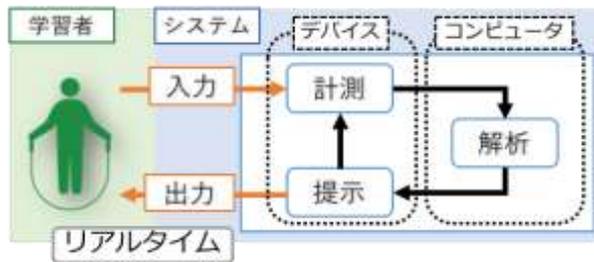


図1 システムフロー

### 3. システム設計

#### 3.1 計測システム

本研究では、跳躍を観察するために加速度を、手の回旋を観察するために筋電位を計測する。手の回旋は手首の屈曲によってなされる運動である。そのため、前腕にある筋肉を筋電センサで計測することでタイミングの同定を行う。また、無線通信とフィードバックの機能を有する必要がある。マイコンと複数センサを組み合わせて構成すると単体でも動作可能なシステムとなるため、一次評価を実施している。一方で、汎用コンピュータを導入して、異なる機能実現や、データ処理を実現することも可能である。後者の実装では、筋電センサ・アクチュエータを統合利用可能な、Myo と汎用コンピュータで試行している。Myo は、Bluetooth で8チャンネルの筋電情報を伝達できる他、触覚へのフィードバックであるバイブレーション機能を有し、本提案の要件を満たすデバイスである。

跳躍に対しては、センサによる加速度を計測する。その際、無線通信を実現するために、XBee とそれらを制御するための小型マイコンを採用する。また、フィードバックのために、小型スピーカを付け加える。これを足の甲もしくは足首に固定することで計測を行う。

#### 3.2 動的周期予測

支援のために、基準である跳躍の加速度データにおける周期を予測する。予測を含めた解析を行うのはデータが送られた汎用コンピュータである。動的予測の実現として、まず内部モデルを保有しなければならない。ここで、本研究では回帰分析を提案する。比較的単純なモデルとして、自己回帰モデルがあるが、正確性によっては、このモデルを発展させたものを作成し、動的予測に利用する。

このモデルは、学習者が体現し、データが蓄積されるごとに更新される。それによって、より正確な予測が可能となるモデルへと書き換えられる。この更新は、学習者の体現が終了し、正しくデータが蓄積された際に行われる。

#### 3.3 フィードバック

データが送られた汎用コンピュータはモデルによって次の動作を予測するが、支援タイミングも同様である。加速度データから予測された次の跳躍タイミングよりタイミング差の分ずれたタイミングが支援タイミングである。ここでの予測は、固定値で静的予測を行う。この固定値は適切な間隔でなければならない。これは、支援がタイミング差のばらつきを減少させることを目的としているからである。

手の回旋タイミングを支援の対象としているが、前二重跳びのリズムを考慮すると、提示するタイミングは運動パターンにつき複数回である。これには手の回旋のみならず、跳躍のタイミングの教示も含まれる。前二重跳びには、特徴的な風切り音があり、その直接的なイメージに近づけるためでもある。これらは音によって教示される。一般的なフィードバック方法として、視覚もしくは聴覚への刺激が考えられるが、認識時間は聴覚の方が早い<sup>(3)</sup>。同期的支援において、教示から反応までの時間差は短い方が好ましいため、KP (Knowledge of Performance) として音による教示を行う。

また、音に対して正確なタイミングで体現できたかを、KR (Knowledge of Result) としてフィードバックする必要がある。これは KP を提示しない側のデバイスによって行われる。Myo においては、バイブレーションによる触覚への刺激によって実現する。認識時間は視覚もよりも早く、聴覚ともさほどわからない<sup>(3)</sup>。これにより、学習者は、より自然に自身の体現の正確性を振り返ることができると考える。

### 4. まとめ

本研究では、統合反復運動として、前二重跳びに着目し、その支援システムの設計を行った。システムは複数の身体部位運動を計測するデバイスと計測データを解析する計算機によって構成される。また、計測デバイスはセンシングとアクチュエータの機能も合わせ持つ。

今後は、本システム実装を試行評価する予定である。動的予測や支援のためのパラメータを求めるために、さらなるデータの計測を行う必要がある。加えて、計測デバイスの装着部位は、より運動に影響を与えないように考察を行っていく。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K01072 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- (1) 古川康一編: “スキルサイエンス入門 - 身体知の解明へのアプローチ”, オーム社, 東京 (2009)
- (2) Karungaru, S.G., Matuura, K. and Gotoda, N.: “Feature Tracking using Particle Filter in Rope Skipping for Gross Motor Skill Development”, Proceedings of 2nd ICKE2016 (2016)
- (3) 調枝孝治: “タイミングの心理”, 不昧堂出版, 東京 (1972)