

スマートウォッチを用いたロコモーショントレーニングゲーム

國分 三輝^{*1}

Development of Locomotion Training Game using Smartwatch

Mitsuteru Kokubun^{*1}

Abstract – Locomotion training including exercises such as squat and front lunge has been proposed in the area of orthopedics and rehabilitation in order to prevent the occurrence of locomotive syndrome, a state of reduced mobility due to disorders of locomotive organs and a higher risk state of requiring nursing care. In this report, some methods of detecting various exercises of locomotion training using a smartwatch that has become popular in recent years and a result of prototyping a game aiming at continuing training fun were introduced.

Keywords: Locomotive Syndrome, Locomotion Training, Smartwatch, Acceleration Sensor and Game

1. はじめに

超高齢化社会の進行にともない、ロコモティブシンドローム (Locomotive Syndrome; 運動器症候群, 略称「ロコモ」) が問題視されている^[1-3]。ロコモは、運動器 (身体運動に関わる骨、関節・軟骨、筋肉・腱、神経などの総称) の障害により運動機能が低下し、そのために要介護リスクが高い状態を表す。

ロコモの予防や改善のために、日本整形外科学会はロコモーショントレーニング (Locomotion Training, 略称「ロコトレ」) を提案している^[4]。主に、片脚立ちやスクワット、フロントランジ (片脚を大きく前方に踏み出す動作) 等による下肢の筋力やバランス能力の向上を目指したものである。ロコトレの実施は容易であるものの、継続的に実施することが推奨されており、動機づけの維持が重要である。

ロコトレを楽しく実施するために、家庭用ゲーム機 (簡易フォースプレートを用いた任天堂 Wii フィット) を用いた方法が提案されている^[5,6]。また、國分はモーションセンサ (Microsoft Kinect センサ) を用いたロコトレゲームを提案している^[7]。しかしながら、これらのシステムは専用のゲーム機や特殊なセンサ・デバイスが必要とし、日常的に手軽に実施することは容易ではない。

ここで近年、腕時計型の活動量計やスマートウォッチが普及しつつある。これらのデバイスには加速度センサ等が内蔵され、歩数等の身体活動量を記録・管理することができる。ユーザが常に身につけて生活するこれらのデバイスでロコトレを支援することができれば、より手軽にトレーニングを実施・継続できるだろう。

本研究では、ロコトレの実施・継続を支援することを狙った、スマートウォッチを用いたロコトレゲームを開発した。手首に装着したスマートウォッチによるロコ

トレ動作の検出方法と、ロコトレ動作を自然に誘発することができるゲームの開発について述べる。なお本報告では、実際のスマートウォッチでの実装に先立ち、腕時計型のマイクロコンピュータを用いたシステムの試作結果について報告する。

2. システムのデザイン

2.1 システム構成と利用イメージ

本研究で開発したシステムの構成を図1に示す。ロコトレを行うプレイヤーはスマートウォッチを手首に装着し、ロコトレを実施する。スマートウォッチは、内蔵された3軸加速度センサを用いてロコトレの各種動作を検出し、動作回数を記録する。この際、ロコトレの各種動作を加速度センサで検出しやすいように、ロコトレの種類に応じて特定の位置に手首を固定する。

スマートウォッチ単体でのロコトレの検出・記録に加え、パーソナルコンピュータやタブレット端末と連携したゲームを実施することができる。スマートウォッチから送信される加速度等のデータに基づき画面内のプレイヤーを操作し、ロコトレの各種動作を誘発する。これにより、自然に楽しくロコトレを実施・継続できる。

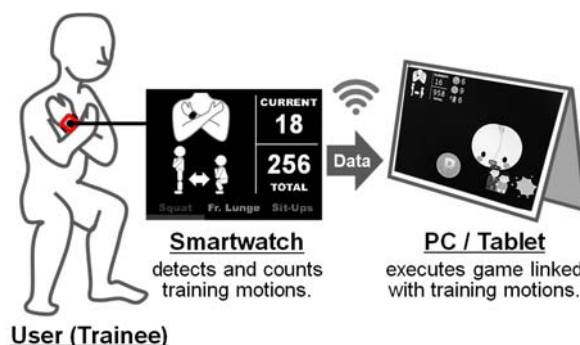


図1 ロコモーショントレーニングゲームの構成

Fig.1 Setup of Locomotion Training Game.

^{*1}: 愛知淑徳大学 人間情報学部

^{*1}: Faculty of Human Informatics, Aichi Shukutoku University

2.2 検出するロコトレの動作

システムで検出するロコトレの動作として、日本整形外科学会によるロコモパンフレット^[4]をもとに、下肢の筋力や柔軟性の向上に効果があるとされるスクワットとフロントランジを選択した。また、体幹の筋力向上により腰痛の予防や改善に効果があるとされる腹筋体操を選択した。これら3種類のロコトレにより、下肢と体幹の筋力向上を支援することを狙う。また、これらの動作は比較的大きな身体姿勢の変化・変位を伴うため、加速度センサによる動作の検出が比較的容易だと考えられる。

3. スマートウォッチ側の実装

3.1 スマートウォッチ模擬システム

本報告では実際のスマートウォッチでの実装に先立ち、腕時計型のマイクロコンピュータ（M5Stack 社製 M5Stack Gray、以下「本マイコン」と呼ぶ）を用いた。本マイコンには Espressif Systems 社製の ESP32 マイコンコントローラ、TDK InvenSense 社製の MPU-9250 慣性計測ユニット（加速度・ジャイロ・磁気センサ）、320×240 ピクセルのカラー液晶ディスプレイ、3 個のボタン、microSD メモリーカードスロット等が装備されている。本マイコンに M5Stack 社製の腕時計バンドおよび 850mAh リチウムイオンポリマーバッテリーを追加で装備し、スマートウォッチを模擬した（図 2）。



図 2 スマートウォッチ模擬システム

Fig.2 System Simulating Smartwatch.

3.2 ロコトレ動作の検出

本マイコンに内蔵された慣性計測ユニットによって計測された3軸加速度データを用いて、3種類のロコトレ（スクワット、フロントランジ、腹筋体操）の動作検出を試みた。各動作の際にスマートウォッチを装着した手首を固定する位置と、各動作の概要を図3に示す。なお本報告では、スマートウォッチを左手首に装着することを想定した。本マイコンの制御プログラムの開発には、Arduino IDE 1.8.5、Arduino core for the ESP32、および M5Stack Arduino Library 0.2.0 を用いた。

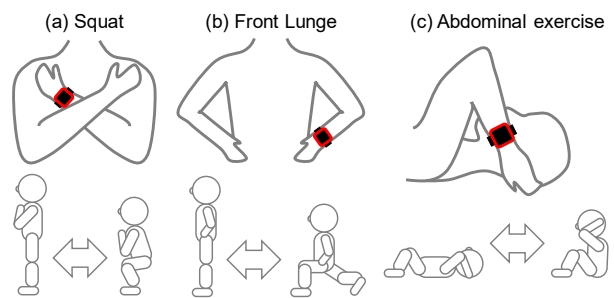


図 3 各ロコトレ動作の概要

Fig.3 Overview of Each Training Motion.

3.2.1 加速度データの加工

本研究で用いた慣性計測ユニットによって計測される生の加速度データは多くのノイズを含んでいる。また、重力加速度を含んだ値であるため、スマートウォッチの向きによる影響が大きく、身体動作の計測に適さない。そこで、各ロコトレ動作の検出には、各軸の計測値について以下のような加工を施したデータを用いた。

まず、(1)式によって計測値の時系列にローパスフィルタを適用し、重力相当分の加速度を算出した。

$$lpA_i = \alpha \cdot lpA_{i-1} + (1 - \alpha) A_i \quad (1)$$

ここで、 lpA_i は時系列 i の重力相当分の加速度、 A は加速度の計測値、 α はローパスフィルタの係数を表す。本報告では加速度を毎秒10回計測し、 $\alpha = 0.8$ とした。

次に、(2)式によって計測加速度から(1)式で求めた重力加速度を減じて、重力抜き加速度を求めた。

$$AwoG_i = A_i - lpA_i \quad (2)$$

ここで、 $AwoG$ は重力抜き加速度を表す。

さらに、(3)式によって重力抜き加速度の時系列にローパスフィルタを適用してノイズ除去を行った。

$$lpAwoG_i = \alpha \cdot lpAwoG_{i-1} + (1 - \alpha) AwoG_i \quad (3)$$

ここで、 $lpAwoG$ はノイズ除去後の重力抜き加速度を表す。また、(1)式と同様に $\alpha = 0.8$ とした。

3.2.2 スクワット動作の検出

両腕を胸の前で組んだ状態（図3(a)）でスクワットを行う仕様とした。スクワットによるしゃがみ込み動作の後半では、上体の下方への移動を止めるために、X軸方向には正の、Y軸方向には負の加速度が発生する。また、しゃがみ込み時には上体がやや前傾しているため、しゃがみ込み動作後半ではZ軸方向に負の加速度が発生する。そこで、(4)式により求めた値が一定値以下となった時点をしゃがみ込み動作として検出することとした。同様にこの値が一定値以上となった時点を立ち上がり動作として検出することとした。実際にスクワット動作を5回実施した際の各軸の加速度、(4)式で求めた動作検出用の値、本方法による検出結果の例を図4に示す。

$$sigSQ_i = -1 \cdot lpAwoG_{ix} + lpAwoG_{iy} + lpAwoG_{iz} \quad (4)$$

ここで、 $sigSQ$ はスクワット動作検出用の値、 $lpAwoG_{ix}$ は(3)式によって求められたX軸方向の加速度を表す。

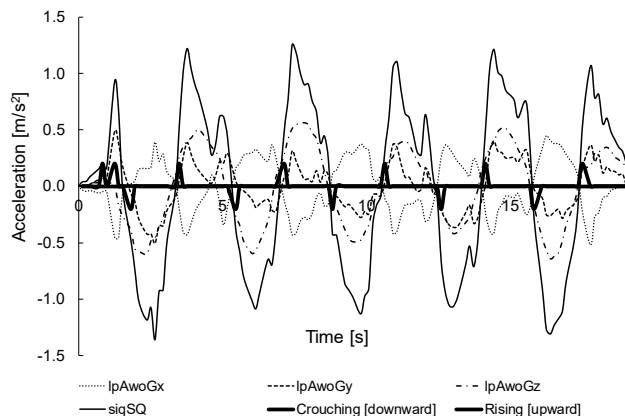


図 4 スクワット動作の検出結果例

Fig.4 Squat Motion Detection Example.

3.2.3 フロントランジ動作の検出

両手を腰に当てた状態 (図 3(b)) でフロントランジを行う仕様とした。フロントランジによる前方への踏み出し動作の後半では、上体の前方への移動を止めるために、Z 軸方向に負の加速度が発生する。また、上体の下方への移動を止めるために、X 軸方向にも負の加速度が発生する。そこで、(5)式により求めた値が一定値以下となった時点を踏み出し動作として検出することとした。なお、フロントランジからの立ち上がり動作は、踏み出した脚で反動をつけて戻したり、軸にした脚を引きついたりとな様々なパターンが考えられるため、フロントランジについては立ち上がり動作の検出は行わないこととした。実際にフロントランジ動作を 1 回実施した際の各軸の加速度、(5)式で求めた動作検出用の値、本方法による検出結果の例を図 5 に示す。

$$sigFL_i = lpAwoG_{ix} + lpAwoG_{iz} \quad (5)$$

ここで、 $sigFL$ はフロントランジ動作検出用の値を表す。

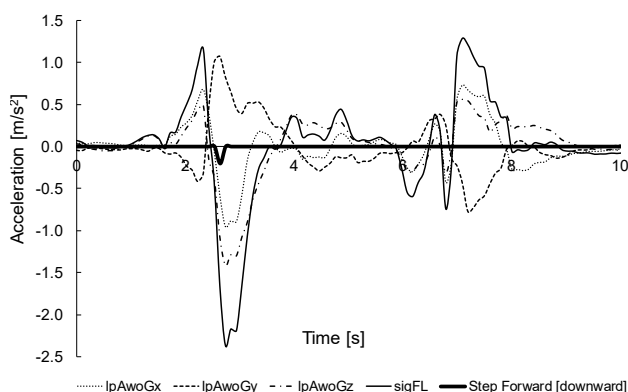


図 5 フロントランジ動作の検出結果例

Fig.5 Front Lunge Motion Detection Example.

3.2.4 腹筋体操動作の検出

両手を頭部の左右に添えた状態 (図 3(c)) で腹筋体操を行う仕様とした。この状態で腹筋体操の動作を行うと、

スマートウォッチは Z 軸周りに回転する。仰向けに寝そべった状態から起き上がるにつれ、X 軸方向の加速度 (重力加速度) は負から正に変化する。そこで、(1)式で求めた X 軸方向の重力加速度が一定値以上となった時点を腹筋体操の起き上がり動作として検出することとした。同様にこの値が一定値以下となった時点を腹筋体操の寝そべり動作として検出することとした。実際に腹筋体操の動作を 5 回実施した際の各軸の重力加速度と、本方法による検出結果の例を図 6 に示す。

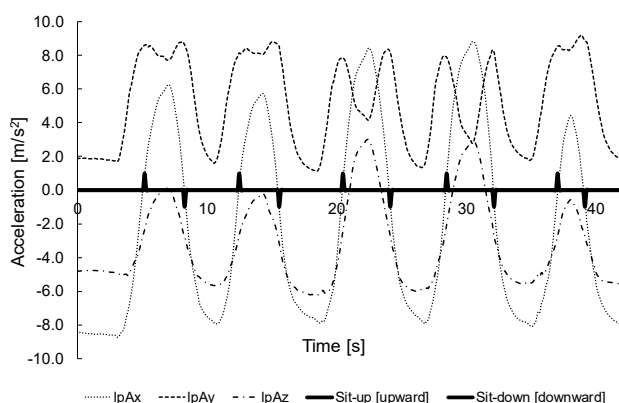


図 6 腹筋体操の動作の検出結果例

Fig.6 Abdominal Exercise Motion Detection Example.

3.3 ユーザインタフェースおよび動作回数の記録

スマートウォッチに実装したユーザインタフェースを図 7 に示す。ユーザは実施したい口コトレを 3 個のボタンにより選択する。選択されたトレーニングに応じて、スマートウォッチを装着した手首を固定する位置と、各動作の概要を表示した。これにより各動作の検出を確実にすることを狙った。また、現セッションの動作実施回数とこれまでの累積回数を表示することで、口コトレへの動機づけを高めることを狙った。累積回数は microSD カードにテキストデータとして格納する仕様とした。

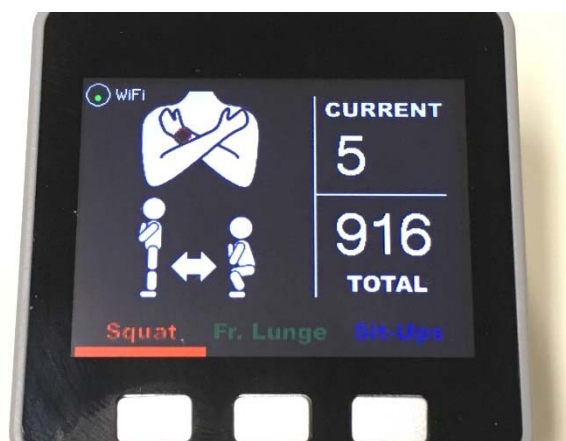


図 7 スマートウォッチのユーザインタフェース

Fig.7 User Interface of Smartwatch.

4. パーソナルコンピュータ連携ゲーム

4.1 ゲームの狙い

スマートウォッチによるロコトレ動作の検出と計数は、スマートウォッチを身に付けていれば時間や場所を問わず実施可能な手軽な方法である。しかしながら、ロコトレの動作は単調であり、動機づけを保つには十分とは言えない。そこで、ロコトレの各種動作を誘発し、スマートウォッチから送信される加速度等のデータに基づいて操作することで、楽しくロコトレができるゲームの開発を目指した。

4.2 スマートウォッチからのデータ送信

本研究で用いたマイコンには無線 LAN (Wi-Fi) および Bluetooth によるデータ通信機能が備えられていた。本報告では、マイコンにより計測された加速度等のデータを、無線 LAN を通じて UDP (User Datagram Protocol) でゲームを実行するパーソナルコンピュータに送信した。また、データは OSC (Open Sound Control) 形式のパケットとして送信した。OSC 形式でのデータ送信には、OSC for Arduino Library 1.3.5 を用いた。

4.3 パーソナルコンピュータ側の実装

ロコトレ動作を実施することで画面内のプレイヤーを操作し、アイテムを得たり、敵を避けたりして得点をかせぐアクションゲームとした。一例として、スクワット動作を誘発するゲームの実行画面を図 8 に示す。ユーザのスクワット動作と連動して画面上のプレイヤーが上下に移動する。アイテムが画面の左から右に向かって移動し、ユーザはタイミングよくスクワット動作を行うことでアイテムを獲得することができる。画面には、獲得したアイテムの数と、ゲームを通じて実施したスクワットの回数を表示した。

なお、ゲームは Microsoft Windows 10 が動作するパーソナルコンピュータ上で Processing 3.3.7 により実装した。OSC データの受信には OScP5 Library 0.9.9 を、効果音の再生には Minim Library 2.2.2 を用いた。

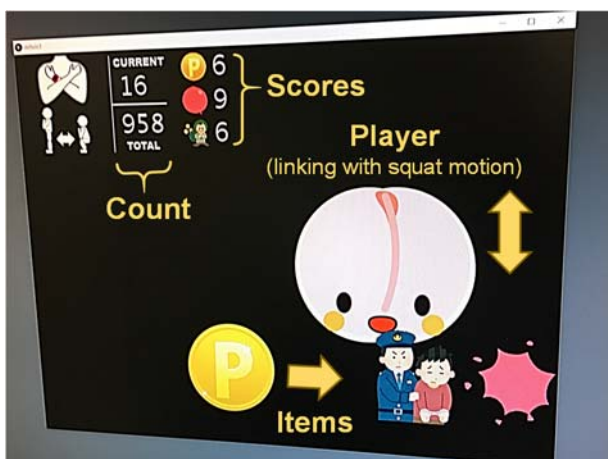


図 8 ロコトレゲームの例

Fig.8 Example of Locomotion Training Game.

5. まとめ

ロコモティブシンドロームの予防・改善のためのロコモーショントレーニングを手軽に楽しく実施・継続することを支援するために、近年普及が進むスマートウォッチによるロコトレ動作の検出法と、ロコトレ動作を誘発することができるゲームを開発した。スマートウォッチを模擬したマイクロコンピュータに内蔵された 3 軸加速度センサのデータを用いて、スクワット、フロントランジ、腹筋体操の動作を検出・記録することができた。これにより、手軽にトレーニング量を記録・管理することが可能となる。また、計測されたデータをパーソナルコンピュータに送信し、ロコトレの各動作によって画面内のプレイヤーを操作することで、自然にロコトレの各種動作を誘発するゲームを開発した。これにより、ロコトレを楽しく実施することが可能となるであろう。

今後は、本システムを多くのユーザに利用してもらいながら、ロコトレの各動作の検出精度の検証や改善、本システムによる筋力向上等の効果の検証、ゲームの楽しさやロコトレの動機づけを維持する効果などについて検討していきたい。また、実際に市販されているスマートウォッチによるシステムの実装を進めたい。

参考文献

- [1] Nakamura, K.: A “super-aged” society and the “locomotive syndrome”; *Journal of Orthopaedic Science*, Vol.13, No.1, pp.1-3, (2008).
- [2] Nakamura, K.: Locomotive syndrome: Disability-free life expectancy and locomotive organ health in a “super-aged” society; *Journal of Orthopaedic Science*, Vol.14, No.1, pp.1-2, (2009).
- [3] Nakamura, K.: The concept and treatment of locomotive syndrome: Its acceptance and spread in Japan; *Journal of Orthopaedic Science*, Vol.16, No.5, pp.489-491, (2011).
- [4] 公益社団法人日本整形外科学会・ロコモ チャレンジ！推進協議会: ロコモパンフレット 2015 年度版, https://www.joa.or.jp/public/locomo/locomo_pamphlet_2015.pdf (最終閲覧: 2018/7/17).
- [5] Fung, V., Ho, A., Shaffer, J., Chung, E. and Gomez, M.: Use of Nintendo Wii Fit™ in the rehabilitation of outpatients following total knee replacement: a preliminary randomised controlled trial; *Physiotherapy*, Vol.98, No.3, pp.183-188, (2012).
- [6] 宮地元彦: Wii の健康管理ゲームを活用した運動指導, 保健師ジャーナル, Vol.66, No.7, pp.630-634, (2010).
- [7] 國分三輝: モーションセンサを用いた子ども向けロコモーショントレーニングゲーム, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015, 1522D.