

高齢者体操支援システムにおける 関節角度特徴量抽出と体操評価の検討

廣沢拓也[†] 山崎達也^{††}

概要: 高齢者人口の増加にともない福祉施設の数も増加している。一方で、福祉施設で働く高齢者へ適切な体操指導が行える機能訓練指導員が不足している。そのため、人の代わりに体操の適正さを判断し、高齢者に運動機能維持や改善のアドバイスを与えられる高齢者体操支援システムが必要となる。システムで体操を評価するために体操中の関節角度を時系列順で収集した時系列データを用いる。取得した時系列データを評価するために、正しく行われた体操の時系列データを模範データとして比較対象に用いる必要がある。しかし、体操時の時系列データにはノイズが多く含まれるため簡単に比較することができない。また、福祉施設には独自の体操が存在し、評価基準の作成には手間がかかってしまう。そこで本稿では、時系列データ中の凹凸を用い、模範データ中から体操の評価基準を作成する手法を提案する。実際に提案システムを通所介護施設で実施されている独自の体操に適用し、模範データから評価基準の作成を行い、高齢者の体操を客観的に評価する。また、客観的評価結果と介護職員による主観的評価結果の比較について述べる。

1. はじめに

近年、日本では高齢者人口の増加にともない介護の需要も増加している。そのため、福祉施設の数は年々増加している一方で、そこで働く介護職員の人手不足は深刻な課題となっている。厚生労働省による調査では、2025年には介護職員がおよそ38万人不足するといわれている[1]。

介護職員の仕事には体操指導があり、高齢者の健康寿命を延ばすための体操実施、及び指導が行われている[2]。体操の効果を上げるためには適切な指導が必要であるが、指導が行える介護職員である、理学療法士等の資格を持つ機能訓練指導員が特に不足している。そのため、人間の代わりに体操の適正さを判断し、高齢者に運動機能維持や改善のアドバイスを与えられるようにすることが必要となる。

介護用ロボットとして、産業技術総合研究所などにより開発された介護予防リハビリ体操補助ロボット「たいぞう」[3]や、FUJISOFT INCORPORATEDにより開発されたコミュニケーションロボット「PALRO」[4]がある。これらのロボットは高齢者の体操意欲向上などに利用され、福祉施設の現場サポートにも利用されている。本研究も介護分野における情報通信技術（ICT: Information and Communication Technology）の導入の一環として、体操支援システムの開発を目指している。

体操の適正さを判断するために、カメラデバイスを用いた非接触センシングにより体操を測定する手法がある。特にMicrosoftから発売されたカメラデバイスであるKinectは、人の動き情報の簡便な測定に適している。さらに、Kinectでは30fpsでリアルタイムに距離センサで取得したデータを用い、人間の20関節の三次元座標から構成される骨格情報を生成することができる。

適切に体操が行われているか評価するためには、各関節の三次元座標や角度を基に体操を評価する必要がある。黒田ら[5]は高齢者福祉施設でも行われているラジオ体操を対象に、体操を行う上で関節がとるべき相対的な位置関係を随時測定し、関節の相対位置を比較することで評価するシステムを提案している。また、大塚ら[6]は測定した各関節の位置と角度を基に足の上がり具合などを判定し、五つの椅子体操を評価する研究を行っている。以上の研究例のように体操を関節の位置や角度で評価するためには、あらかじめ定められた評価基準が必要となる。しかしながら、福祉施設には独自の体操(以下、独自体操とする)や新たに導入される体操が存在し、体操ごとに評価基準を設定することは手間がかかってしまう。

そこで本研究では、体操時における周期的運動に着目し介護職員の体操を測定したデータ(以下、模範データとする)から評価基準を抽出し、高齢者の体操評価に用いる。しかしながら、体操を測定したデータにはノイズが多く含まれており評価基準の抽出は困難である。そのため、模範データに対し平滑化処理を施し評価基準の抽出をする。さらに、高齢者の体操測定データに対しても平滑化処理を施すことで模範データとの比較を可能とし、高齢者の体操を客観的に評価するシステムを提案する。システムの検証のために、実際に通所介護施設で介護職員と高齢者の独自体操を測定し客観的に評価した結果を報告する。また、客観的評価結果と介護職員による主観的評価結果の比較について述べ、介護職員へのヒアリング調査から体操評価方法を検討した内容を報告する。

2. 提案システム

高齢者体操支援システムの主要な工程は、動作測定、動

[†] 新潟大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Niigata University.
^{††} 新潟大学工学部
Faculty of Engineering, Niigata University

作解析，フィードバックの三つから構成される．動作測定では，高齢者の体操を測定し，各関節の三次元座標を時系列順で取得する．動作解析では，動作測定で得られた三次元座標を関節の角度に変換し，関節角度の時系列データ(以下，体操データとする)を生成する．そして，模範データと比較することで体操を評価する．フィードバックの工程で高齢者へアドバイスすることを想定している．

筆者らはこれまでに，動作測定においてオクルージョン対策として，簡便な外部キャリブレーションを用いた動作測定手法を提案してきた[7]．そして現在は次の工程にあたる動作解析に関して研究開発を進めている．

2.1 動作解析手法

図1に体操時に実際に測定した体操データ例を示す．図1中の縦軸は関節の角度を表し，横軸は測定した時刻を示している．体操データ中の凹凸部分におけるピークは体操動作における「腕の振る向きの反転位置」や「最大の振り上げ角度」などにあたり，体操動作の特徴を捉えるために重要な役割を果たす．また凹凸は，一度の体操中に一定の回数だけ現れるため，体操データ中の比較すべき場所の目印となる．そこで本システムでは，体操データと模範データにおける凹凸部分を比較することで体操評価を実現する．

凹凸部分を比較するためには，各凹凸に対して一つのピークを求める必要がある．そのために，各凹凸に理想的には一つ存在する極値を利用し，体操データと模範データ間で凹凸の対応をとる．ここで極値とは，時系列順のある要素とその前後の要素とを比較した場合に前後要素が共に小さい場合を極大値，共に大きい場合を極小値としている．しかしながら，体操データには多くのノイズが含まれるため，各凹凸には複数の極値が検出されてしまう．図2に，図1で示した体操データから検出された複数の極値を示す．図2中の縦線は体操データ中の検出された極値の位置である．このように，生データの状態で体操データと模範データ間で比較する凹凸(以下，比較対とする)を一意に定めることは困難である．そこで，ノイズを除去し，各凹凸に対して極値を一つに定め，ピークを特定するために平滑化処理を施す必要がある．

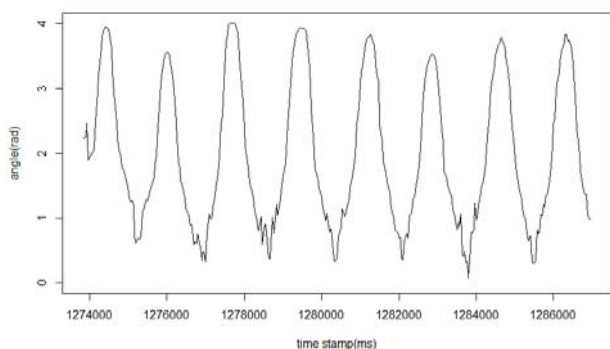


図1 体操データ

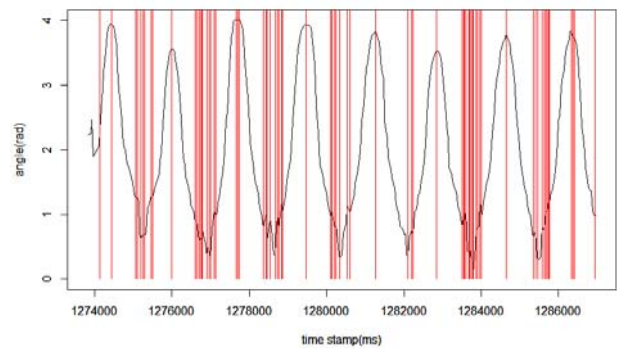


図2 体操データにおける極値

2.2 平滑化処理

極値を各凹凸に対し一つ導出し，体操データを適切に評価するために，ノイズ除去として移動平均平滑化を施す．移動平均平滑化は，時系列順の各要素に対して一定数の前後要素の平均値を取り各要素の値を平均値と入れ替えることで，時系列データ中のノイズを取り除く手法である．本提案では前後10個の要素を含めた21個で平均値を取る方法で実施する．図3に図1の体操データに平滑化を施し，各凹凸に対して極値を一つに定めた様子を示す．図3中の破線は平滑化後の角度を表し，極値はこの破線のグラフから求めている．

しかしながら，極値を一つに定めるために必要な移動平均平滑化の回数は，ノイズの大きさによりそれぞれの体操データで異なる．そのため，基準となる模範データに対して，移動平均平滑化を複数回施すことで，各凹凸に対して一つの極値を定める．そして，模範データの極値の個数を基に，体操データに対しても極値の個数が同数となるまで移動平均平滑化を複数回施す．これにより，模範データと体操データの極値の個数が揃うため比較対の決定が可能となる．

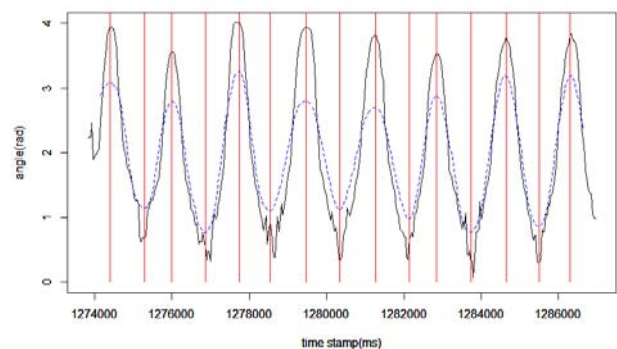


図3 体操データ平滑化後の極値

3. システム検証実験

3.1 実験内容

新潟市にある通所介護施設の協力を得て，独自体操をしている被験者の体操データの収集を実施した．被験者は施設

利用者 8 名，施設職員 1 名の合計 9 名である．このように実際に測定した体操データを利用してシステム評価を行う．独自体操は椅子に座った状態で 15 分程度行われており，その中から表 1 に示す上半身の動きが大きい 2 種類の体操における動作を解析する．表 1 中の「腕の突き上げ」は肩関節の角度を分析の対象とし，「胸開き」では胸を開く角度を分析の対象とした．ここで，右肩関節の角度は左肩，右肩，右肘からなる角度であり図 4 に矢印でその角度を示している．また，胸を開く角度は左肘，首，右肘からなる角度であり図 5 に矢印でその角度を示している．これらの対象とする角度は，介護職員にヒアリングを行い，最も重要視している関節として決定した．

表 1 独自体操 2 種類

体操名	動作内容
腕の突き上げ	左右の手を交互に突き上げる
胸開き	左右の肘をそれぞれ体の左右へ開き閉じる

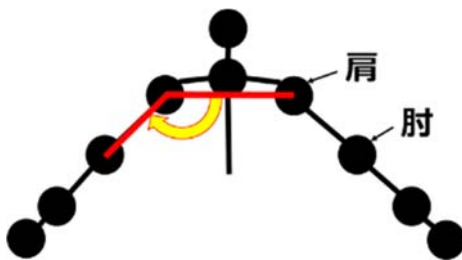


図 4 肩関節の角度(正面図)

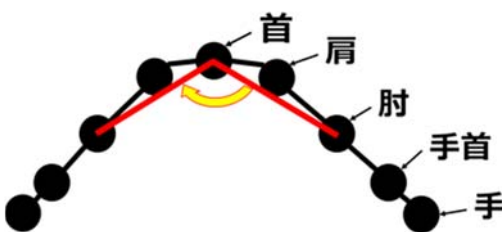


図 5 胸を開く角度(俯瞰図)

3.2 「腕の突き上げ」データの分析

「腕の突き上げ」では，腕の上がる角度が重要なため，腕の上げている部分にあたる極大値を比較対に設定し分析する．模範データとなる職員の右肩関節の体操データを図 6 に示す．図 6 より模範データには 4 か所の極大値が含まれていることが分かる．そこで，利用者 8 名の関節角度データに対しても移動平均平滑化を極大値が 4 か所となるまで施した．表 2 に各被験者の体操データの極大値が 4 か所となるまでに要した移動平均平滑化の回数を示す．表 2 よりノイズの大きさのばらつきにより平滑化回数に違いはあるが，4 か所の極大値が検出できていることが分かる．しかしながら，利用者 A と利用者 C の左肩に関しては三次元座標の測定が行えておらず，平滑化が行えなかった．

次に，4 か所の極大値における肩角度の値の平均を平均最大値として右肩を表 3，左肩を表 4 に示している．表 3，表 4 には職員と利用者の差も示している．表より右肩では腕の上がり，職員と比べると最大で利用者 F が 39.7 度低くなっていることが分かる．また左肩でも同様に利用者 F の腕の上がり 57.9 度低くなっている．ここで，利用者 F の時系列データを図 7 に示す．図 6，図 7 を比較すると，凸部分で角度の差があることが確認できる．以上のことから，提案システムにより客観的に介護職員と高齢者の体操を比較することが可能であるといえる．

最後に，2 名の介護職員が利用者の「腕の突き上げ」を 5 段階で評価した結果と，表 3，表 4 で示した職員との差を並べて表 5 に示す．表 5 より差の平均が 15.9 度以下の利用者に関しては評価が 5 か 4 と高くなっているのに対し，それ以上の差がある場合には評価が 3 以下となっている．また利用者 E のように左右の差が大きい場合に評価が大きく下がっていることが確認できる．

表 2 「腕の突き上げ」における平滑化回数

被験者	右肩平滑化回数	左肩平滑化回数
職員	6	7
利用者 A	5	
利用者 B	6	9
利用者 C	4	
利用者 D	15	10
利用者 E	5	5
利用者 F	10	9
利用者 G	7	14
利用者 H	8	10

表 3 腕の突き上げの平均最大値(右肩)

被験者	平均最大値(度)	職員との差(度)
職員	246.8	0.0
利用者 A	246.4	0.4
利用者 B	242.2	4.6
利用者 C	230.9	15.9
利用者 D	222.8	24.0
利用者 E	239.7	7.1
利用者 F	207.1	39.7
利用者 G	229.1	17.7
利用者 H	234.8	12.0

表4 腕の突き上げの平均最大値(左肩)

被験者	平均最大値(度)	職員との差(度)
職員	245.4	0.0
利用者A		
利用者B	241.6	3.8
利用者C		
利用者D	206.8	38.6
利用者E	213.7	31.7
利用者F	187.5	57.9
利用者G	234.8	10.6
利用者H	242.6	2.8

表5 介護職員による利用者の体操評価

被験者	右肩の差	左の差	評価	評価
利用者A	0.4		5	5
利用者B	4.6	3.8	5	5
利用者C	15.9		4	4
利用者D	24.0	38.6	3	3
利用者E	7.1	31.7	1	2
利用者F	39.7	57.9	2	3
利用者G	17.7	10.6	5	5
利用者H	12.0	2.8	4	4

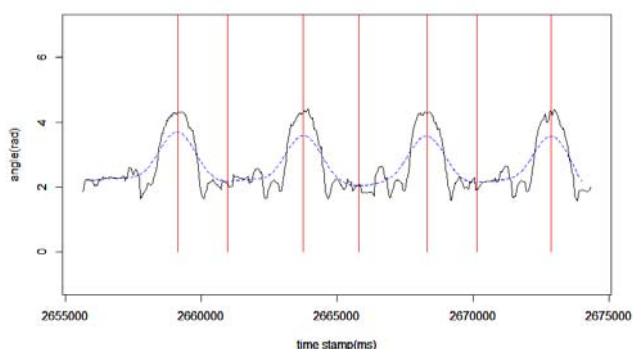


図6 職員の右肩関節の体操データ

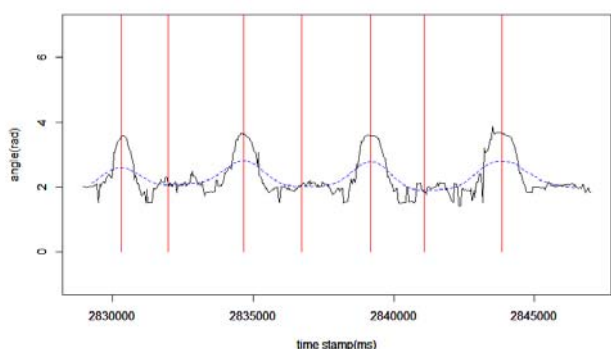


図7 利用者Fの右肩関節の体操データ

3.3 「胸開き」の分析

「胸開き」では、胸を開く角度が重要なため、胸を最大に開いている部分にあたる極大値を比較対に設定し、分析する。模範データとなる職員の体操データを図8に示す。図8より模範データには8か所の極大値が含まれていることが確認できる。ここで、「腕の突き上げ」と同様に各利用者の体操データに対して移動平均平滑化を施した回数を表6に示す。表6より「胸開き」はノイズが小さく、少ない回数で平滑化が終えられていることが分かる。しかし、利用者Eと利用者Fに関しては、本来行われるべき動作が行われていない部分があり、平滑化処理により極大値を8か所に絞ることが出来なかった。次に、8か所の極大値における平均最大値と職員との差を表7に示す。表7中の利用者Eと利用者Fは、グラフ中の凹凸に対して平滑化により極大値を一意に定めた後に、胸を最大に開く動作部分の凸を目視により確認し、平均最大値を算出している。表7より全ての利用者が「腕の突き上げ」の場合よりも職員との差が大きくなっていることが分かる。

「胸開き」に対しても同様に、2名の介護職員が評価した結果を表8に示す。表8より適切な体操が行えていない利用者Eと利用者Fや職員との差が46.8度となった利用者Dに対して、2名の職員が評価を3以下にしていることが確認できる。一方で評価が二つとも5となったのは利用者Gであるが、職員との差は42.9度と全体から見ても5番目であるため決していいとは言えない。また、模範データとなった介護職員からは、表7に示した結果に対して、普段利用者を見ているときに感じる差と結果にでた差がほぼ一致しているという意見があった。このことから、「胸開き」では胸の開き具合も大切になるが、介護職員が評価している別のポイントが存在すると思われる。そのため今後は、介護職員の評価と各関節の開きの関係性を調べる必要がある。

表6 「胸開き」における平滑化回数

被験者	平滑化回数
職員	1
利用者A	2
利用者B	1
利用者C	2
利用者D	3
利用者E	
利用者F	
利用者G	2
利用者H	2

表7 胸開きの平均最大値

被験者	平均最大値(度)	職員との差(度)
職員	228.3	0.0
利用者A	177.9	50.4
利用者B	189.0	39.3
利用者C	195.2	33.1
利用者D	181.5	46.8
利用者E	191.2	37.1
利用者F	165.7	62.6
利用者G	185.4	42.9
利用者H	199.9	28.4

表8 介護職員による利用者の体操評価

被験者	職員との差	評価	評価
利用者A	50.4	4	3
利用者B	39.3	4	3
利用者C	33.1	4	3
利用者D	46.8	3	2
利用者E	37.1	3	3
利用者F	62.6	3	2
利用者G	42.9	5	5
利用者H	28.4	5	4

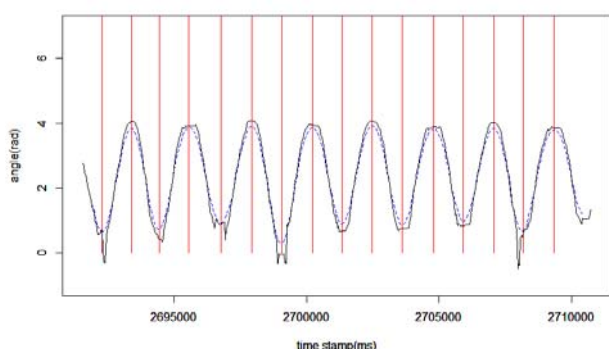


図8 職員の胸開きの体操データ

4. 体操評価の検討

体操をシステムにより評価し利用者へアドバイスするために、介護職員へのヒアリング調査を実施した。ヒアリングをした施設で、利用者と一対一で体操中に掛ける言葉について調査したところ3種類の声掛けが存在した。一つが「いいですね」のように褒めて体操意欲を向上させるもの、二つ目が「張り切っていきましょう」のように余裕のある方にもう少し大きく体操をすることを促す言葉、そして三つ目が「無理はしないでください」のように動かし過ぎないように掛ける言葉である。これら3種類を適切に選択し評価を実装するために、模範データを利用する他に利用者の以前の体操データも利用することで、動かし過ぎや、動きが小さくなっているといった判定を導入する。これによ

り、高齢者一人一人に合った運動機能維持や改善のアドバイスが実現可能となる。

5. おわりに

本稿では、介護職員の人手不足を解決することを目的とした高齢者体操支援システムの研究開発について報告した。本システムにより、人間の代わりに体操の適正さを判断し、高齢者に運動機能維持や改善のアドバイスを与えることを目指している。そのためシステムを、動作測定、動作解析、フィードバックの三つの主たる工程から構成されるように設計した。ここでは特に二つ目の動作解析において、動作測定時に生じたノイズを除去する移動平均平滑化を用いることを提案した。平滑化により体操データの各凹凸に対して極値を一つに定め、模範データと体操データの極値部分を比較することで体操の評価を行う。本システムの検証を行うために、実際に通所介護施設で介護職員と利用者の独自体操を測定し比較して客観的評価を行った。さらに、客観的評価結果を介護職員による主観的評価結果と比較し、「腕の突き上げ」に関して客観的評価結果と主観的評価結果に同様の傾向があることを確認した。

今後の課題としては、体操を複数の関節の角度から評価することで、介護職員の主観的な評価に近づけられるのかを検証し、体操の周期などの他の特徴量抽出の必要性を検討する。また、実際にヒアリング調査により得られた声掛けの内容を基にフィードバック時のアドバイス選択基準の実装が挙げられる。

参考文献

- [1] “2025年に向けた介護人材にかかる需給推計(確定値)について”. http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-12004000-Shakaiengokyoku-Shakai-Fukushikibanka/270624houdou.pdf_2.pdf, (参照 2018-10-30).
- [2] “介護職のお仕事内容-ヘルパーや介護福祉士の介護求人情報はナイス!介護”. <http://713515.net/manabi/whats.html>, (参照 2018-10-30).
- [3] “産総研：介護予防リハビリ体操補助ロボット「たいぞう」の開発”. https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2009/pr20090910/pr20090910.html, (参照 2018-10-30).
- [4] “介護施設で注目されている、介護予防ロボット「パルロ」”. <https://palro.jp/preventive-care/nursing-home.html>, (参照 2018-10-30).
- [5] 黒田修平, 放地宏佳, 吉見真聡, 吉永努, 入江英嗣. 相対座標を用いた運動指導システム. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, 2013, p. 1475-1482.
- [6] 大塚直洋, 渋沢進. 深度センサを用いた下肢の椅子体操支援システムの開発(高齢者支援). 電子情報通信学会技術研究報告, 2014, vol. 113, no. 481.
- [7] 廣沢拓也, 山崎達也. 高齢者体操支援システム開発に向けた簡便な外部キャリブレーションの実現, 情報処理学会アクセシビリティ研究会(IPSJ-AAC), 2018.