

物理センサを用いたデッドリフトにおける危険姿勢の判定手法

竹谷 伸人[†] 武田 敦志[†]

加速度や角速度を計測できる小型の物理センサが開発されたことにより、これらの物理センサを用いて人の行動を記録することが可能となった。そのため、スポーツ活動において、物理センサを用いてフォームの改善や怪我の予防が可能になると考えられる。そこで、本稿では、小型の物理センサを用いることで、筋力トレーニングの1つであるデッドリフトにおける怪我を予防するシステムを提案する。提案システムでは、利用者の背中に2個の物理センサを取り付け、これらの物理センサの計測値から利用者の背筋の曲がり具合を計測する。また、このシステムを用いて実際のデッドリフトのトレーニングにおける利用者の背中の曲がり具合を計測し、これをビデオカメラで撮影した映像と比較することにより、危険と判定すべき背中の曲がり角度を得た。提案システムを利用することにより、自分の姿勢を確認できない場合でも安全にデッドリフトのトレーニングを行うことができると考えられる。

Wrong Posture Detection by using Physical Sensor for Deadlift Training

Nobuto Takeya[†] Atsushi Takeda[†]

Small physical sensors, which can measure acceleration and angular velocity, have been developed, so we can obtain our activation data by using the sensors. Therefore, we believe that sensor systems help us with improving postures and preventing injury at sports training. In this paper, we propose a physical sensor system that prevents injury at deadlift training. The propose system obtains data from sensors which are put on user's back, and derives an angle of the back muscles. We measured angles of the back muscles by using the proposed system, and we got a threshold angle for the alert. The proposed system is useful for personal deadlift training because users can recognize their posture by using the proposed system.

1. はじめに

加速度や角速度を計測できる小型の物理センサが開発されたことにより、これらの物理センサを用いて人の行動を記録することが可能となった。そのため、物理センサから得られるデータを解析し、人の行動を判定するシステムの研究が盛んに行われている[1][2]。また、物理センサのデータを活用してスポーツ活動の支援を行う研究も行われており、テニス[3]、野球[4]、スノーボード[5]などの種目のフォーム改善や指導支援のための仕組みが提案されている。スポーツ活動において、物理センサを用いて競技者の体の動きを計測する仕組みを活用することにより、フォームの改善や怪我の予防が可能になると考えられる。

そこで、本稿では、小型の物理センサを用いることで、筋力トレーニングの1つであるデッドリフトにおける怪我を予防するシステムを提案する。デッドリフトは、背をまっすぐに保ちながら重量物を持ち上げることで足腰の筋力を鍛えるトレーニングであり、パワーリフティングの競技種目であることや多くの筋肉を動員できることから筋力トレーニングとしての意義が高い[6]。一方、姿勢が複雑であることや大きい重量を扱うため、正しい姿勢でトレーニングを行わない場合には姿勢を崩し重大な怪我を引き起こす恐れがある。特に、背筋が曲がった状態でトレーニングを行った場合、腰に大きな負担がかかるため、腰痛などの怪我が発生する可能性が高い。そこで、提案システムでは、トレーニングを行う人（以降、利用者と呼ぶ）の背中に2個の物理センサを取り付け、これらの物理センサの計測値から利用者の背筋の曲がり具合を計測する。これにより、利用者はデッドリフトのトレーニングを正しい姿勢でできているかどうかを確認できる。また、このシステムを用いて実際のデッドリフトのトレーニングにおける利用者の背中の曲がり具合を計測し、これをビデオカメラで撮影した映像と比較し、危険と判定すべき背中の曲がり角度を得た。ここで得られた角度を閾値とすることにより、デッドリフトにおいて危険な姿勢となったときに警告を発するアプリケーションを実現できるため、自分の姿勢を確認できない場合でも安全にデッドリフトのトレーニングを行うことが可能となる。

2. 物理センサを用いたデッドリフトの危険姿勢の判定手法

筋力トレーニングの1つであるデッドリフトは、ワーリフティングの競技種目であることや多くの筋肉を動員できることから筋力トレーニングとしての意義が高い。図1にデッドリフトのトレーニングフォームを示す。デッドリフトでは、背筋を伸ばした状態で重量物を持ち上げることにより、足腰の筋力を向上させることができる。一方、デッドリフトは背筋を伸ばした状態で行うべきトレーニングであり、背が曲がっ

[†] 東北学院大学教養学部情報科学科
Department of Information Science, Tohoku Gakuin University

た状態で重量物を持ち上げた場合、重大な怪我を引き起こす可能性がある。図2にデッドリフトにおける危険な姿勢を示す。図2の左に示す姿勢は背筋が前側に曲がった状態でのトレーニング姿勢である。この姿勢でトレーニングを行うと腰に大きな負担がかかり、腰痛などの怪我を引き起こす可能性がある。また、図2の右に示す姿勢は背筋が後ろ側に曲がった状態でのトレーニング姿勢である。姿勢に対して十分に注意をしていてもトレーニングを続けていると発生する可能性がある姿勢であり、この場合も腰に大きな負担がかかる。そのため、デッドリフトでは姿勢を確認しながらトレーニングを行うことが重要となるが、個人でトレーニングを行っている場合、自分の姿勢を確認しながらトレーニングを実施することは簡単ではない。

そこで、本稿では、個人向けに物理センサを用いたデッドリフトの姿勢確認システムを提案する。提案システムでは、複数の物理センサを利用者の背中の中の数箇所に装着し、これらの物理センサから得られる加速度と角速度のデータを無線通信によるコンピュータに送信する。これらのデータを受信したコンピュータでは、受信したデータより装着した物理センサの相対角度を算出し、この相対角度からユーザの背筋の曲がり具合を判定する。また、システムには判定用の閾値が設定されており、装着した物理センサの相対角度が閾値を超過する場合に警告を発する。利用者はシステムからの警告を受けることで、背筋が曲がっていることを認識できる。



図1 デッドリフトのフォーム



図2 デッドリフトにおける危険な姿勢

3. 実際のデッドリフトにおける計測

3.1 計測方法

物理センサを用いてデッドリフトの姿勢を計測するため、伸縮性があらずれにくいベルトを利用して2個の物理センサを利用者の背中に装着した。物理センサの装着位置は腰の後ろ側と背筋の中央とした。前者は、ウエイトリフターが使うパワーベルトを意識した位置である。また、後者は、下側のベルトからある程度の距離を取りつつ、近傍の大きな筋肉からの影響を受けにくい位置である。また、物理センサは20ms毎に加速度と角速度を記録するATR-Promotions社のTSND121を用いた。以上の条件でデッドリフトのトレーニングを実施し、そのときの2個の物理センサの相対角度を計測した。また、このトレーニングの様子をビデオカメラで撮影し、このビデオカメラの映像より、トレーニング中の姿勢が正しい姿勢となっているかどうかを確認した。

3.2 計測結果

図3と図4に実際にデッドリフトのトレーニングを実施したときの2個のセンサの相対角度の計測結果を示す。図3は正しい姿勢でトレーニングを行った時の計測値であり、図4は危険姿勢でトレーニングを行った時の計測値である。ここで、相対角度における正の値は背中が前側に曲がった時の角度であり、負の値は背中が後ろ側に曲がったときの値である。また、図中の四角形でマークした箇所は相対角度のピーク値を計測した部分であり、円形でマークした箇所は顕著なノイズが発生した箇所である。

正しい姿勢の計測結果(図3)と危険姿勢の計測結果(図4)の両方ともに、トレーニング開始時より徐々に相対角度が大きくなり、ピーク値を計測した後は0度付近を推移している。これは、重量物を持ち上げている間は姿勢が安定しないため背中中の曲がり具合も安定しないが、重量物を持ち上げた後は直立するため背中中の角度も安定するためである。ここで、成功例と失敗例の背中中の曲がり具合の角度の最大値(ピーク値)は

それぞれ 26.5 度と 33.7 度であった。

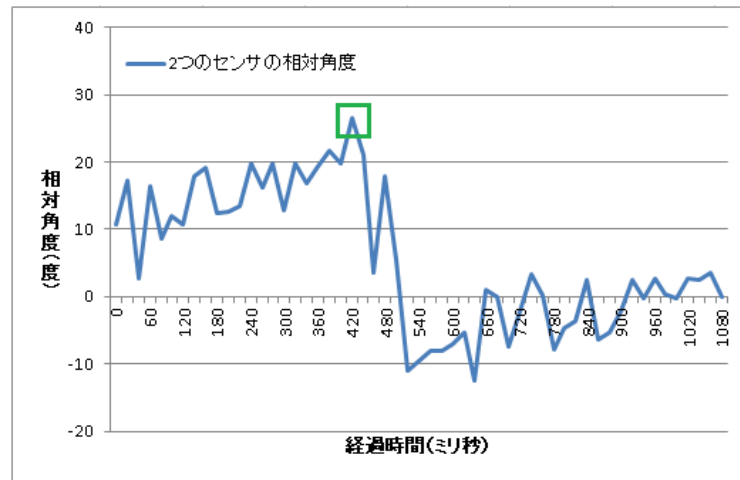


図 3 2 個の物理センサの相対角度の計測結果 (正しい姿勢)

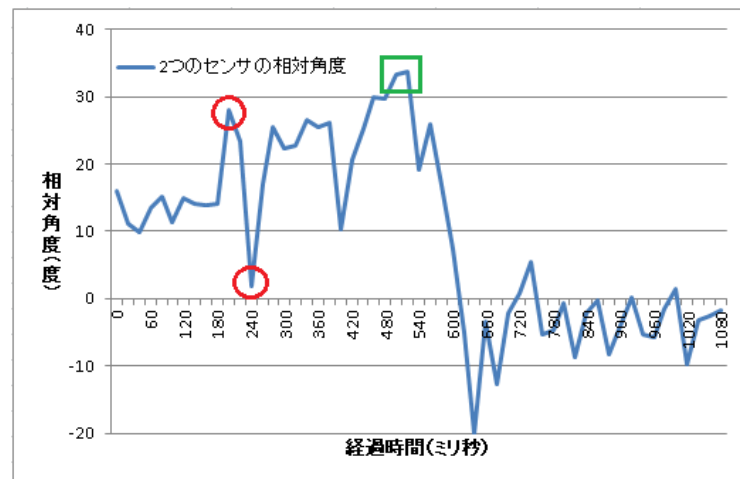


図 4 2 個の物理センサの相対角度の計測結果 (危険姿勢)

4. 危険姿勢の判定

4.1 移動平均フィルタの導入

物理センサを用いることでデッドリフトのトレーニングのときの背中の曲がりを計測することが可能である。しかし、物理センサから得られる値にはノイズが含まれているため、この計測値から危険姿勢を判定するためにはノイズを除く必要がある。そこで、提案システムでは、移動平均フィルタを用いることでノイズを除去する。平均値として取る範囲を n 、フィルタリングをかける値を m としたとき移動平均フィルタの式は以下の通りである。

$$f(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=m-(n-1)}^m x(i)$$

この式はある値 m から n の分だけ遡った平均値を出すことを意味する。このフィルタリングを両センサの角度および角度差に用いた。なお、本研究では実際の計測結果から実験的に n の値を求め、 $n=4$ のときに計測時のノイズを十分に減らせていることを確認した。先に失敗例に挙げた計測結果 (図 4) に対して $n=4$ の移動平均フィルタをかけた結果のグラフを図 5 に示す。失敗例の計測結果で確認できたノイズが、図 5 では十分に小さくなっていることが確認できる。

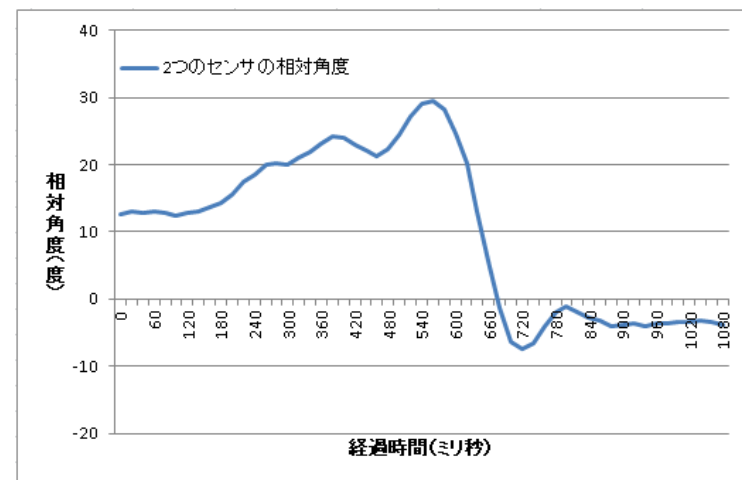


図 5 移動平均フィルタをかけた相対角度の計測結果

4.2 危険姿勢の判定

実際の動きに即した判定を下せるかを調べるために検知率を求める。この場における検知率とは、目視による判定と自動計算による判定の一致した割合である。基準は目視の判定にあり、検知率が高いほど見た目の動きに即した判定を下せていることを意味する。なお、TRUE, FALSE, ASN がそれぞれ安全姿勢、危険姿勢、全サンプル数を表す場合における式は以下の通りである。

$$VTMT = \text{目視} \cdot \text{TRUE} \wedge \text{自動計算} \cdot \text{TRUE}$$

$$VFMF = \text{目視} \cdot \text{FALSE} \wedge \text{自動計算} \cdot \text{FALSE}$$

$$\text{検知率}(\%) = \left(\frac{VTMT + VFMF}{ASN} \right) \times 100$$

続いて、閾値 S を設定する。相対角度が S 以上なら危険姿勢、S 未満なら安全姿勢とする。S は検知率が最も高くなる、小数点以下第一位までの値を設定する。S の値が一意に求まらない場合は、安全を意識して最も小さい値を採用する。結果として、本研究の全 90 サンプルにおいては S=24.8 を求められた。このときの検知率は 84.4% である。S=24.8 のときの全サンプルの集計結果を表 1 に示す。

表 1 S=24.8 における全 90 サンプルの集計結果

	目視・TRUE	目視・FALSE	合計
自動計算・TRUE	35	5	40
自動計算・FALSE	9	41	50
合計	44	46	90

4.3 準危険姿勢の判定

ここで、目視・FALSE \wedge 自動計算・TRUE の項目を VFMT とする。この項目は、目視の姿勢が危険であるにもかかわらず、システム側が検知できていないことを意味する。したがって、この項目に分類される事態は極力避けなくてはならない。しかし、2 値的な判定では分類が不完全である。そこで、準危険姿勢を設定する。VFMT に分類されるパターンを準危険姿勢に分類することで、2 値的な判定では検知できなかった危険姿勢を検知する。ここで、準危険姿勢の閾値を SS とすると、S>SS となる。すなわち、相対角度が S 未満 SS 以上の場合に準危険姿勢と判定し、SS 未満の場合に安全姿勢と判定する。なお、SS の値は VFMT が 0 になる最大の値とする。しかし、VFMT のうち 1 サンプルが計測の失敗と判断できるほど小さい値であった。そこで、今回は VFMT が 1 になる最大の値とする。結果、SS=22.3 が求まった。このときの集計結果を表 2 に示す。

表 2 SS=22.3 における全 90 サンプルの集計結果

	目視・TRUE	目視・FALSE	合計
自動計算・TRUE	26	1	27
自動計算・準危険姿勢	9	4	13
自動計算・FALSE	9	41	50
合計	44	46	90

5. まとめ

小型の物理センサを用いることにより、スポーツのフォームの確認や怪我の予防を行うことが可能となっている。そこで、本稿では、小型の物理センサを用いることで、筋力トレーニングの 1 つであるデッドリフトにおける怪我を予防するシステムを提案した。提案システムでは、利用者の背中に 2 個の物理センサを取り付け、これらの物理センサの計測値から利用者の背筋の曲がり具合を計測することにより、デッドリフトのトレーニングを正しい姿勢でできているかどうかを判定する。このシステムを利用することにより、自分の姿勢を確認できない場合でも安全にデッドリフトのトレーニングを行うことが可能となる。

参考文献

- 1) 星 尚志, 藤井 雅弘, 羽多野 裕之, 伊藤 篤, 渡辺 裕: スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニングのための進行方向推定に関する研究, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp.25-33 (2016).
- 2) 藤澤 将貴, 杉村 博, 高見澤 聖子, 松本 一教: データマイニング手法によるセンサーデータからの行動推定, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS) (情報処理学会), Vol. 2013-CDS-6, No.30, pp.1-5 (2013).
- 3) 増田 大輝, 湯 素華, 大岸 智彦, 小花 貞夫: ウェアラブルセンサを用いたテニス上達支援システムにおけるスウィングフォーム分析手法の改善と評価, 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL) (情報処理学会), Vol. 2015-MBL-77, No.14, pp.1-8 (2015).
- 4) 齋藤 健治, 井上 一彦, 渡辺 正和, 細谷 聡, 井上 伸一: 加速度センサを用いた速球とカーブ投球時の体幹と上肢の運動分析, 名古屋学院大学論集, Vol.3, No.1, pp.7-18 (2014).
- 5) 杉本 歩基, 安井 重哉, 竹川 佳成: スノーボードのためのセンサデータに基づく技の収集支援システムの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 (情報処理学会), pp.148-153 (2015).
- 6) フレデリック, ドラヴィエ, 白木 仁監(訳), 今井 純子(訳): 目でみる筋力トレーニングの解剖学, 大修館書 (2002).