

## スマートフォンを用いたスケーティングの分析と支援 Analysis for Skating Using Smart Phone

尾崎 惇史<sup>†</sup> 藤田 悟<sup>‡</sup>  
Atsushi Ozaki Satoru Fujita

### 1. はじめに

人間の動作を機械によって計測する技術にモーションキャプチャがある。従来の計測は、動画からの映像分析[3][5]や、磁界の変化の分析[6]等の大規模なシステムにより実現されてきた。一方、近年 MEMS 技術の発達により、小型で安価な加速度や傾きセンサによるモーションキャプチャが可能になった[4]。そして、これらのセンサは多機能携帯電話スマートフォンや腕時計等のモバイル機器にも搭載されるようになった。このような携帯できるセンサを用い、環境や自分自身を自ら計測するヒューマンプロブ(人間による計測)という分野が注目を集めている[1][2]。

本研究では、スマートフォンの GPS・方位センサ・傾きセンサを用い、インラインスケートによるスピードスケート競技のモーションキャプチャを行った。そして人物・状態・技術レベルによるデータの傾向分析を行った。さらに分析したデータを基に、被験者の人物・状態・技術レベルの判定を試みた。また、収集した上級者のデータを基に、音声による技術アドバイスをを行うことで、技術向上の支援をするシステムを構築し、その有用性を検証した。

### 2. 予備実験とパラメータの規定

本節では、スマートフォン端末を使った、スケーティングの運動データの取得と、取得したデータについて述べる。

#### 2.1 予備実験

予備実験として、どのようなデータが取れるのかのテスト計測を行った。計測機器として Android OS 搭載のスマートフォン端末 HT-03A を用いた。計測の為に、GPS と傾きセンサからの情報を取得し記録するアプリケーションを構築した。アプリケーションは GPS の情報は 1 秒間に 1 回、傾きセンサの情報は 1 秒間に 10 回程度取得し記録を行う。実験では、センサの測定に並行して、動画の撮影も行い、比較情報として利用した。

実験の当初はスピードスケート用スキンスーツの背中ポケットに端末を入れて計測を行ったが、滑走中に端末がポケット内でずれてしまい正確な情報が得られないことが分かった。そこで、固定器具を作成し、背中上部に端末を固定して情報を取得した(図 1 参照)。取得したデータは、端末の方位・回転角が一定の周期で同期しながら変動していく特徴を持ったものであることが確認できた。また、データを取得する人物・技術レベル・状態によっても特徴が変わってくることも分かった。本研究では、これらの特徴を基に人物・技術レベル・状態の判別を可能にすることと、それを応用し、技術向上の支援を行うシステムを構築することを考えた。



図 1 端末装着状態

#### 2.2 取得できるパラメータ

予備実験により、センサから以下のパラメータが取得できることが分かった。なお、(5)~(7)は、計測データを 2 次加工して得られる間接パラメータである。

##### (1)滑走速度

GPS により現在の位置を取得することができる。そして、その変位から現在の滑走速度の情報を取得する。

##### (2)上体の前後傾斜角

端末の傾斜角から、上体の前後傾斜角状態の情報を取得することができる(図 2(1) 参照)。

##### (3)上体の左右傾斜角

端末の回転角から、上体の左右傾斜角の情報を取得することができる(図 2(2) 参照)。

##### (4)上体の向き

端末の方位から、上体の向きの情報を取得することができる(図 2(3) 参照)。しかし、スケーティングで移動していく方位は固定ではない。そこで、進行方向によらず体の動きだけを取得するには、キャリブレーションをとる必要がある。進行方向を取得する方法に GPS の移動経路から割り出す方法が考えられるが、デバイスの GPS の精度の問題からそこまで正確なものは得られなかった。そこで本研究では、1 ストローク内に取得した方位情報の平均値を仮に進行方向とし、キャリブレーションをとっている。この方式で実際の方角と比較した結果、7 人の計測者全員の方角が誤差 10 度以内であることが分かった。

##### (5)ストロークの長さ

取得したデータから、回転角と方位のデータの波形が、ほぼ同じ波長で変化することが分かった。そして動画で検証したところ、波の数がストロークの回数と一致した。このことから回転角と方位のデータが作る波形の周期を、1 ストロークの長さとして抽出した。

<sup>†</sup> 法政大学情報科学研究科 Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University.

<sup>‡</sup> 法政大学情報科学部 Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University.

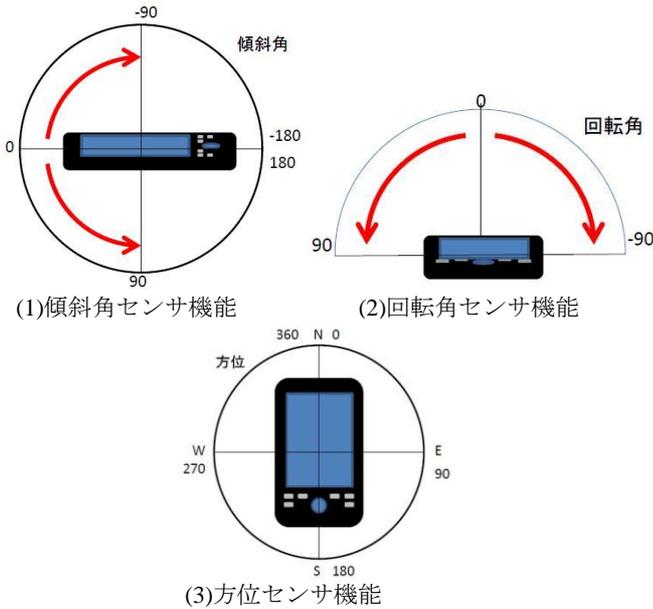


図2 スマートフォンセンサ機能

(6)動作の切り替えのタイミングのずれ

動画を検証して上体と下肢の動きが一致している人ほど、1 ストローク毎のキャリブレーションをとった回転角と方位のデータの波形の波長と 0 点通過のタイミングが近くなることが分かった。このことから、2 つの波形の 0 点通過の時間のずれを、動作の切り替えのタイミングのずれとして取得した。

(7)ストロークごとの動きの大きさ

1 ストローク内の上体の前後傾斜角・左右傾斜角・向きの最大値と最小値の差を計算することで、各動きの大きさを取得した。

3. データ収集

本節では、下記の条件の下に収集したデータについて述べる。

3.1 データ収集条件

データ収集はほぼ直線の工業用道路で行い、ストレート滑走のフォームを想定した。距離は 1250m を 2 往復し 5000m 滑走した。また、速度はおおよそ時速 30km 平均での滑走とした。これは、上級者でも多少の疲れがでる速度であり、一般スケーターが出せる最高速度である。被検対象として、インラインスケート・スピード競技の初級者から上級者 7 人に滑走してもらいデータ収集を行った。

3.2 収集した波形データの特徴

上記条件で収集したデータを波形データとし、分析・比較することで、以下のことが示された。

- ・人物、技術レベルの差の判別が可能

上級者のデータ(図 3 参照)と一般スケーターのデータ(図 4 参照)には、いくつかの特徴的な違いがある。上級者は、向きのデータが大きく変化した、一般スケーターはそれ

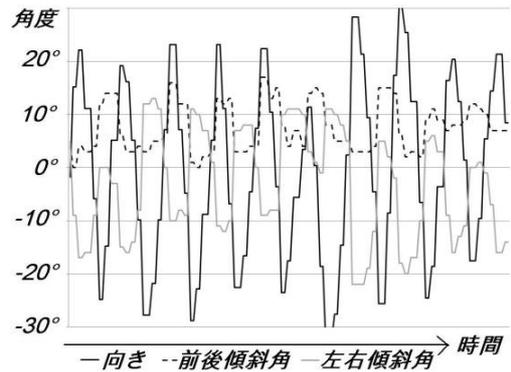


図3 上級者のデータ

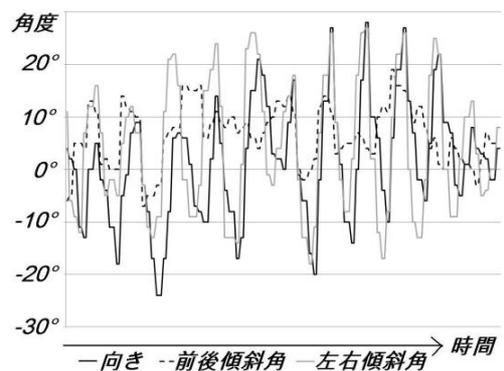


図4 一般スケーターのデータ

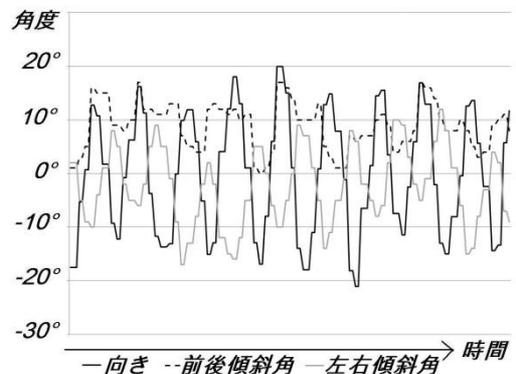


図5 上級者の疲れたデータ

より少ない値となった。これは、上級者は左右に大きく重心移動しているからだと考えられる。また、上級者は向きのデータと前後傾斜角のデータの波形の位相が、およそ 180° ずれたものになっているが、一般スケーターのものはそのようにはならず、同調に近くなっている。他の中上級者も、この上級者のデータと同様になっており、技術レベルが高いほど、位相のずれが 180° に近くなってくる。これは、上級者ほど上体の向きの動きと前後傾斜角の動きが連動していくからだと考えられる。このように、波形から技術レベルによる特徴が確認できた。

また、技術レベルによらず、各データの波形の振幅、形、位相のずれ等には、人物ごとの特徴が確認できた。

・疲労状態の判別が可能

上級者の疲労していない滑り始めのデータ(図3参照)と、疲労している滑り終わり前のデータ(図5参照)を比較することで、いくつかの特徴的違いがある。疲労する前は向きのデータが大きく変化したが、疲労した後は少ない値となった。これは、疲労によって重心移動が疎かになってしまっているからだと考えられる。また、疲労前は前後傾斜角のデータが一定の周期を持っていたが、疲労後は周期がばらついた。これは、疲労によって一定の動きを保てず、動きに乱れが出た為だと考えられる。このように疲労によるデータの特徴的な変化が確認できた。

4. 統計的分析・評価

本節では、前節で得られたデータの詳細な分析と評価を行う。

4.1 分析手法

本節では、各パラメータに対し、スケーター・技術レベル・疲労の判定をするための分析を行った。分析するパラメータには2節に示される、ストロークの長さ・動作の切り替えのタイミングのずれ・上体の向きの動きの大きさ・上体の前後傾斜角の動きの大きさ・上体の前後傾斜角の動きの大きさの5軸を用いた。そして、各パラメータの平均と分散を求めそれぞれ比較することでその判定を行った。

4.2 分析結果

本節ではスケーター・技術レベル・疲労について各パラメータを分析し、判定した結果について述べる。

(1)スケーターによるパラメータの分布の違い

スケーターによるパラメータの分布の違いを得ることができた。図6では、ストロークの長さ・動作の切り替えのタイミングのずれの2軸のパラメータに対する、4名のスケーターの分布例を示す。図6からも、各スケーターがそれぞれ異なった平均と分散を持つことが分かる。

(2)技術レベルによるパラメータの分布の違い

技術レベルによるパラメータの分布の違いを得ることができた。図7では、上体の向きと動作の切り替えのタイミングのずれの2軸のパラメータに対する、技術レベルごとの分布例を示す。この2軸においては、図7に示されるように技術レベルに応じて分布に左上がりの相関がとれた。しかし相関係数が低く、技術レベルによらず分布するパラメータも見られた。後者は、スケーターによる個性と考えられる。

(3)疲れによるパラメータの違い

疲れによるパラメータの違いと変化の特徴を取得しようとしたが、相関や分布の偏りを得ることはできなかった。滑走者によらず、疲れに応じてパラメータの特徴は変化していく。しかし、滑走者によって変化するパラメータや変化の仕方に差が出た。これは、疲れてきた時のフォームの崩れ方は、人によって異なるからだだと推測する。

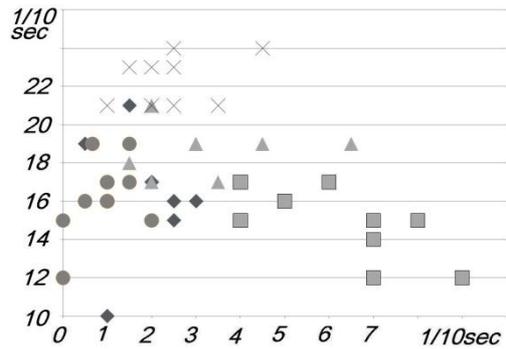


図6 スケーターによる、ストロークの長さ・動作の切り替えのタイミングのずれの分布の違い

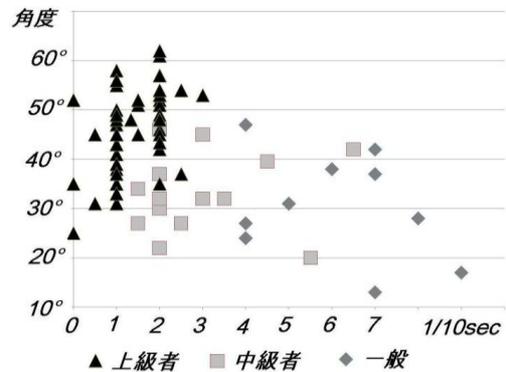


図7 技術レベルによる、向きと動作の切り替えのタイミングのずれの分布の違い

5. 支援システムの提案

本章では、スケートフォームのトレーニング補助を行う為に構築した支援システムの機能・構成とその評価について述べる。

5.1 システム機能

本システムは、センサから取得したデータの保存・加工・分析をする。そして、上級者のスケートと違う動きをした際の音声通知や、上級者の動作タイミングの音声ガイドを行い、スケートフォームのトレーニングを支援する機能を持つ。

(1)センサデータの保存

センサから取得したデータをテキストファイルとして記録し、SDカードに出力する。

(2)センサデータの加工

センサデータを、2節に記述したパラメータ(1)(5)(6)(7)に加工する。

(3)センサデータの分析

4節に記述した分析方法で、1ストロークごとに加工されたパラメータを分析する。3節で収集した上級者のパラメータから外れたパラメータを抽出する。抽出する項目は、重心移動量不足・前後傾斜角の不安定な動きである。

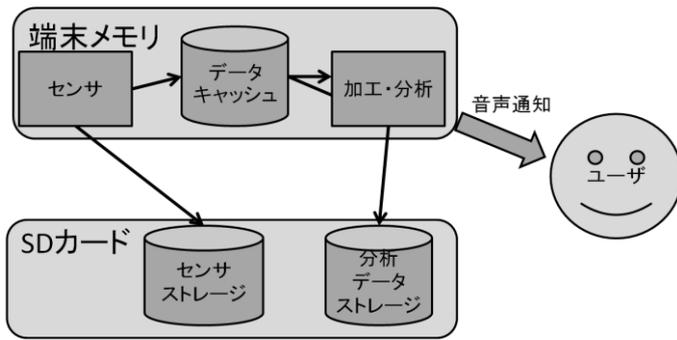


図9 システム構成図

## (4)加工データの保存

(2)で加工したデータを、テキストファイルとして記録し、SDカードに出力する。

## (5)音声通知

(3)で重心移動量不足や前後傾斜角の不安定と分析された際、アラートを通知する。また、実験と分析により分かった上級者のデータの特徴を基に、上級者の向きの切り替えのタイミングに音声を流すことで、動作の切り替えのタイミングをガイドする。

## 5.2 システム構成

本研究では android アプリケーションでシステムの開発を行った。android アプリケーションは java での開発となるため、メモリ領域が枯渇するとガベージコレクションが行われる。本システムはリアルタイムな情報収集・分析を目的とするため、ガベージコレクションによる遅延は避けなければならない。そこで、現在分析に必要となるデータ以外は、外部ストレージに保存する方式を採用した。具体的には、1ストローク分のセンサデータが集まった時点で、そのデータの加工・分析を行う。そして、センサデータと加工後のデータをストレージに保存し、センサデータのキャッシュを破棄する。また、分析の結果はリアルタイムな音声通知に用いた。このようにすることで、端末の使用メモリ量を一定にし、遅延を避けた。本システムの構成図を図9に示す。

## 5.3 システム評価

本システムを、動画との比較検証による客観的評価・ユーザの体感による主観的評価・使用可能時間の機能評価の3つの評価を行った。

## (1)動画との比較検証

計測時に撮影した動画と照らし合わせることで、正確な計測・分析が行えているのか検証した。

## ・認識ストローク回数の検証

システムでは、1ストロークごとにデータの分析を行う。そこで、システムが認識するストロークの回数と、動画で確認した実際のストローク回数と比較した。その結果、次に述べるアクシデントの場合を除いて、正確にストローク回数を認識していた。

## ・アクシデント認識の検証

動画で確認されたアクシデント（人を避ける、バランスを崩す等）が、正確にシステムで記録されているかの確認を行った。動画で確認できた、人を避ける・バランスを崩す・腰の痛みに耐えかね上体を起こす等のアクシデントがデータ上に正確に記録されていた。

## (2)ユーザ評価

分析結果の通知は、自分の癖や弱点が分かり、有用であると評価を得られた。

タイミングのガイド機能は、通知のタイミングに合わせるのに困難であると、一般スケーターにはあまり好評ではなかった。上級者には、タイミングの再確認の効果があると一定の評価を得られた。

## 6. おわりに

本論文ではスマートフォンのセンサを用いた運動の分析方法と、それを利用したトレーニング支援方法について述べた。実験の結果、特徴点による分析で人物・疲労状態でデータの傾向を分類できることが分かった。そのことから、上級者のデータの傾向をつかむことができた。

また、上級者の滑りに近づけるようなトレーニング支援ツールを開発し、一定の評価を得られた。

今後は、データを特徴点分析だけでなく、HMM等を用いてデータの流れも分析していきたい。また、それらを利用したトレーニング支援システムの構築を行いたい。さらに、歩行等に置き換えれば、障害者のトレーニング等にも利用可能なのではないかと考えられる。そこで、他の運動データも取得し、様々な応用分野を考えていきたい。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、インラインスケートチーム aQua の皆様にデータ収集の協力をして頂きました。貴重な練習時間を割いて研究に協力して下さいましたチーム aQua の皆様に、心から感謝の気持ちと御礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 藤田 悟, “市民ランナーのトレーニング記録からの情報抽出”, 電子情報通信学会, 2009-07-13.
- [2] Kazumasa Oshima, Yasuyuki Ishida, Shin'ichi Konomi, Niwat Thepvilajanapong and Yoshito Tobe, Integrating Pressure Sensors and Accelerometers in Footwear-Based Human Probes, pp. 17-20, Proc. on Asian Workshop on Sensing and Visualization of City-Human Interaction, August 27, 2009.
- [3] 荒木 裕, 有田 大作, 谷口 倫一郎, “実時間ビジョンベースモーションキャプチャシステムのパラメータ自動推定と精度評価”, 情報処理学会, 2006.
- [4] 小柳 玲乃, 仰木 裕嗣, “三軸加速度計を用いたフライングディスクの運動学変数推定”, ジョイント・シンポジウム 2008, 197-200, 2008-11-06.
- [5] 結城 匡啓, “スピードスケート滑走動作のバイオメカニクスの研究”, 博士学位論文, 筑波大学大学院, 1996.
- [6] 山口 崇, 加嶋 良年, 笹田 一郎, “2組の正方形コイル対を磁界源とする磁気式モーションキャプチャにおける高速位置推定法”, 電気学会研究会資料. IM, 計測研究会 2007(29), 51-56, 2007-11-08.