

定量的データにもとづく アクションスポーツトレーニングの試み

Action Sports Training based on Quantitative Data

石田和成¹

Kazunari Ishida¹

¹ 広島工業大学

¹Hiroshima Institute of Technology

Abstract: An advice instructed by a professional trainer is one of the important roles for skill learning of a trainee. Video movie recording is also an effective tool to recognize skill level visually. However, the trainee might misunderstand the advice because of ambiguity of natural language. Moreover, it is quite difficult to recognize an extremely quick and small action with the video movie. As a practical solution to overcome these problems, this paper reports quantitative action data collection, data analysis, and an example of training.

1. はじめに

スポーツトレーニングにおけるトレーナーの助言はトレーナーのスキル向上において主要な役割を果たす。またビデオカメラを用いることにより、スキル習得の程度を視覚的に確認することができる。しかし、人間の言語は曖昧さや意味の多義性を持つため、トレーナーの助言をトレーニーが誤って解釈する可能性がある。また瞬間的な微小動作については、ビデオカメラによる動作特定は難しい。そのため、本研究ではウェアラブルセンサを用いた定量的データの計測、分析、およびトレーニング事例を報告する。本研究では、アクションスポーツのバランス動作を分析するために、複数の身体部位や用具に慣性センサを装着し、加速度、角速度を計測する。また、複数の身体部位において計測した動作の時系列データを、GPS タイムスタンプを用いて同期することにより、身体各部位の動作順序や動作タイミングを議論する。この定量的データにもとづき、バランス動作の類似性を定量的に考察し、動作の種類とその特徴を考察するとともに、アクションスポーツトレーニングの事例を示す。

身体の動作分析の手法として、近年、急速に普及したセンサ内蔵のスマートフォンを用いた行動センシングが試行されている 1)。植田ら(2013)は、スマートフォンのセンサを用いた行動センシングと行動推定を行った 2)。これに対し、ヘルスケアやスポーツにおけるセンシングには独自の機器が必要となる場

合が多い。森田(2010)らは、リハビリテーション効果定量化のために、3軸の加速度、角速度、地磁気センサデータを、Bluetoothで転送できるシステムを開発した 3)。アクションスポーツについて、Jasonら(2008)は、スノーボードのハーフパイプ競技におけるエアリアル動作について、小型の加速度、角速度センサを腰部に装着し計測を行い、分散分析にもとづく分類を行った 4)。石田は、ハーフパイプやビッグエアランプ滑走データにおける種目や技能レベル判定手法を開発した 6) 8)。また、アクションスポーツにおける漸進的トレーニングのための動作分析手法の開発を行い、スケートボードのターン、エア動作におけるステップアップのコツの特定を試みた 5) 7)。これらの研究ではジャンプトリックの分析が主であり、継続的なバランス維持を要するトリックを扱っていない。そのため、本研究に先立ち、BMXフラットランド競技におけるバランス動作の計測を行った 9)。BMXに関する研究について、Campilloら(2007)は、BMXのsprocketに測定装置を装着し、ペダリングの角速度や力を計測、分析を行っているが、バランス制御の動作分析は行っていない 10)。本研究では、バランス制御動作の分析に加え、ペダリングしない加速動作の考察を行う。

2. 動作計測システムと分析対象

フラットトリックは基本的に一輪接地で行い、(1)Scuffing, (2)Gliding, (3)Spinning, (4)Pumping, (5)Turbine に分類できる。(1)は靴底摩擦でのタイヤ

回転量調整をとまなう運動, (2)は慣性による直線運動, (3)は車体傾斜にとまなう重心移動による定常的回転運動, (4)は意図的にバランスの不安定化と安定化を繰り返す加速運動, (5)は(3)と(4)を組み合わせ旋回しながらバランスの切り替えを行う加速運動である。このうち, (1) Scuffing は車輪の駆動を靴底の摩擦により能動的に制御する。直接車輪の駆動を制御するため, 比較的容易なトリックに分類される。これはペダルで車輪の回転を制御する一輪車と等価である。一輪車ロボットの姿勢制御はロール方向制御のフライホイールアクチュエータと車輪の駆動モーターで行われるものが多い (11) (12)。ヨー角を直接駆動するアクチュエータを持たないため, 劣駆動アプローチを用いてヨー角を制御している (13)。セグウェイは駆動輪を2輪とした乗り物であるため, ロール角は一定, ヨー角, ピッチ角は2輪の駆動モーターで制御できる (14)。

それに対し, BMX フラットランドにおける (2)Gliding, (3)Spinning, (4)Pumping, (5)Turbine は車輪が自由に回転し無駆動であるため, 車輪の回転は身体や車体を用いた重心の移動により間接的に制御する必要がある。車輪の回転に合わせてバランスを維持するために, 自転車の車体と体の相対的位置関係を制御しロール, ピッチ, ヨー角の制御を行う。ただし, (2)Gliding, (3)Spinning はタイヤの接地面や空気抵抗による摩擦で進行速度は減速し, やがて停止する。それに対し, (4)Pumping, (5)Turbine は, 意図的にバランス, アンバランスを繰り返し加速する。今回は摩擦を伴う(1)を除いた動作について分析を行う。

今回は後輪接地で行う 10 種類のフラットトリックを扱う。ペグホイリー・グライド(Peg wheelie gride Pgw_gd)は, 後輪軸に支持脚を載せ, 両手でハンドルを引き上げるとともに振脚を後方に振り上げ, 前輪を上げバランスを維持しながら直線状に前進する。ペグホイリー・サークルグライド(Peg wheelie circle gride Pgw_c)は, Pgw_gd と同様の開始動作後, 円状に前進する。ペグホイリー・アップサイドダウン(Peg wheelie upside-down, Pgw_upsd)は, Pgw_c と同様の円状前進を, 車体を反転させた状態で行う。

タイムマシン(Time-machine, TMachine)は, Pgw_gd と同様に前輪を上げて前進を開始し, 内手を放し外側グリップを掴んだのち, 外手を放し前輪外軸を掴み円状前進を行い, 振脚を支持脚より前方に動かしバランスを維持することにより円状前進回転を行う。メガスピン(Mega-spin, Mgsin)は, Pgw_c と同様の動作で円状前進開始後, 円状後進に切り替えた後, 後輪を定期的に振脚で後進方向に回転させることにより円状後進を維持する。

ペグホイリー・パンピング(Peg wheelie pumping, Pgw_pump)は, Pgw_c と同様の動作で円状前進開始後, バランス, アンバランスを繰り返し加速する。ペグホイリー・アップサイドダウン・パンピング(Peg wheelie up-side-down pumping, Pgw_upsd_pump)は, Pgw_frev と同様の円状前進を行い, Pgw_pump と同様にバランス, アンバランスを繰り返し加速する。バックヤード・パンピング(Backyard pumping, Byrd_pump)は, 車体に背を向けて支持脚で後輪軸に立ち, 前輪を上げて外手で外グリップを掴み円状前進移動を行い, Pgw_pump と同様にバランス, アンバランスを繰り返し加速する。

ペグホイリー・タービン(Peg wheelie turbine, Pgw_turb)は, Pgw_c と同様の動作で円状前進開始後, バランスの安定化する時点で, 不安定化する方向を切り替え, 円状に前後進を繰り返す。ペグホイリー・タービン・インサイド(Peg wheelie turbine inside, Pgw_turb_in)は, Pgw_turn と同様の動作を, 逆側(内側)の後輪軸に支持脚を載せ行う。

ウェアラブルセンサ装着位置は, BMX はステム(ハンドルの付け根)とフレーム(ペダル軸付近)の2か所, ライダーは頭部, 腰部, 両足首, 両上腕の6か所である。

3. バランス維持動作の類似度

相互相関は動作を表す2つの時系列データの類似度を定量化する方法である。バランス維持動作は不安定化, 安定化を繰り返すがその周期は一定とは限らない。そのため, 類似動作であっても相互相関は低い傾向があり, 類似度を低く見積もる可能性がある。そのため, 本研究では, 以前開発した局所的相互相関を用いて類似性を定義する(9)。ただし, 今回の分析においては最も高い局所的相互相関の値を類似性として用いる。これは, 今回扱うバランス維持動作は, バランス, アンバランスの繰り返しとなるため, もっとも類似した局所時間での評価が適切と考えられるためである。

3.1 相互相関を用いた類似度

類似度指標のベースラインの結果を得るために, 時系列データ全域的な相互相関にもとづく類似度を用いて, トリック時系列間の類似度を計算し, 階層的クラスタリング(ウォード法)を行った(図1)。10種類のトリックが混在し正しく分類できていないことが分かる。

3.2 局所的相互相関を用いた類似度

独自に開発した局所的相互相関を用いて, トリック時系列間の類似度を計算し, 階層的クラスタリン

グ (ワード法) を行った (図 2). 10 種類のトリックが正しく分類できていることが分かる.

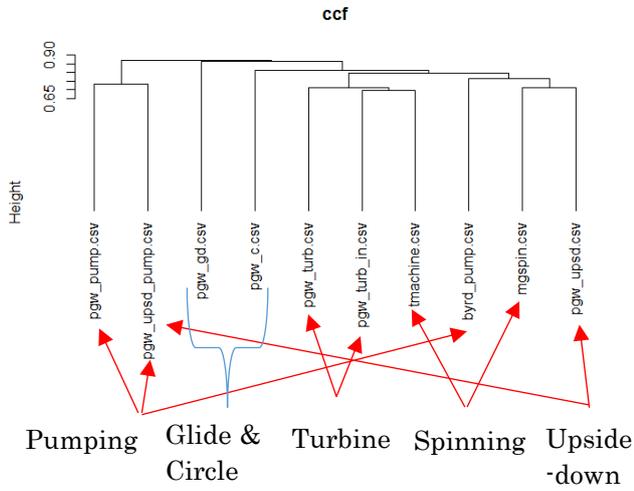


図 1 相互相関を類似度に用いたクラスタ

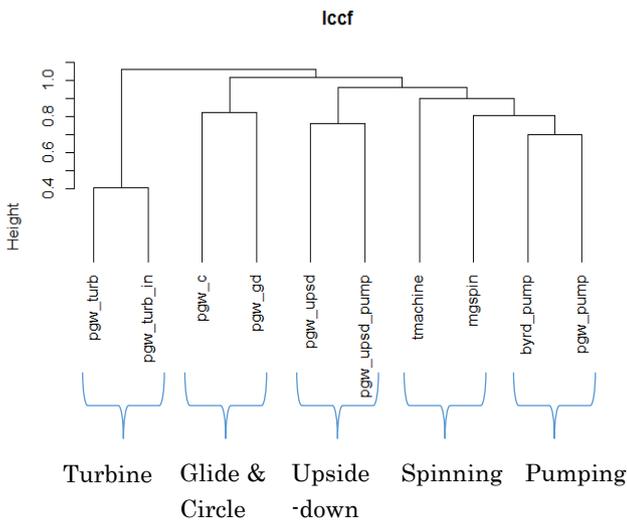


図 2 局所的相互相関にもとづくクラスタ

4. トリック時系列データの考察

各トリックの時系列データの特徴を考察し, 各トリックを成功させるためのコツの特定を試みる. 加速度, 角速度はそれぞれ記号 a, g , 3 軸は x, y, z , センサ装着位置は, ステム, フレーム, 頭部, 腰部, 右足首, 左足首, 右上腕, 左上腕をそれぞれ 0~7 の数字で表す.

4.1 Glide and Spin

Peg wheelie glide は後輪でバランスを取りながら前方前進するトリックであるため, 加速度, 角速度は小刻みな振動あるものの, とともに定常状態を維持する (図 3).



図 3 Peg wheelie



図 4 Peg wheelie circle



図 5 Time-machine

Peg wheelie circle glide は Peg wheelie glide とほぼ同様であるが, 内側への大きな旋回を伴うため, バランスを崩しやすく, バランス回復のため, 加速度, 角速度に大きな変化が生じやすい (図 4). Time-

machine は後輪でバランスを取りながらフレームを内側に傾け、前方に小半径、高速で定常旋回する(図5)。Mega-spin は後方に小半径で定常旋回する(図7)。旋回を維持するため、定期的に振脚でタイヤを後方に回転させる。



図7 Mega-spin

4.2 Pumping and Turbine

Peg wheelie pumping は Peg wheelie circle と同様に内側旋回を行う(図9)。相違点は意図的にバランス、アンバランスを繰り返し進行方向に加速する点である。Peg wheelie pumping の特徴は、腰部の荷重がほぼ無荷重($az3 \approx 0$)となる点である。ステム(stem, $gx0$)、フレーム(frame, $gx1$)が外側に最も直立したとき(正の傾きで X 軸と交点する点)で腰部の荷重($az3$)が無荷重となる(図10)。他方、ステム、フレームの内倒角速度最大時に腰部荷重($az3$)が極大となる。



図9 Peg wheelie pumping

Backyard pumping はフレームを背面に、両足をペグに配置し前方に進み、意図的にバランス、アンバランスを繰り返し加速する(図11)。

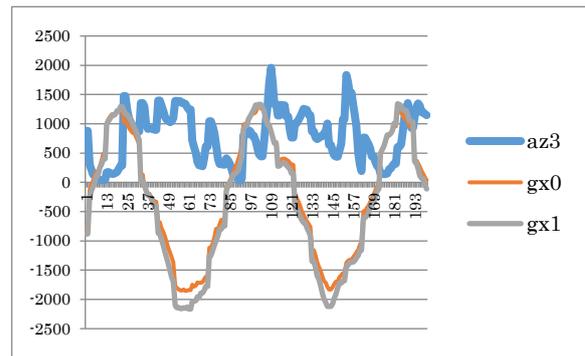


図10 Peg wheelie pumping X 軸角速度(stem, frame)



図11 Backyard pumping

Peg wheelie turbine は前進、後進を切り替えることにより、Peg wheelie circle と同様の内側旋回を維持、加速する(図12)。



図12 Peg wheelie turbine

トリックの特徴は頭部の鉛直荷重($az2$)に現れる。そのため、このセンサ値のグラフにおける、短い周期の山が後方旋回、長い周期の山が前方旋回を示す(図13,14)。この前後切り替えのきっかけに振脚を用いる。前方旋回中に振脚を後方に差し込み、後方旋回を開始し、降脚を後ろに振り上げ前方旋回に戻す。前方から後方旋回の切り替えは、内外腕を使ったハ

ンドルを内側に切る操作（内腕を下げ，外腕を上げる動作， $gy6$ 極大， $gy7$ 極小）から内腕を回転軸側に引き込みにより行う(図 13)．後方から前方旋回への切り替えは，両腕によるハンドルの大きな内側旋回($gz0$ ， $gz1$ 極小)により行う(図 14)．

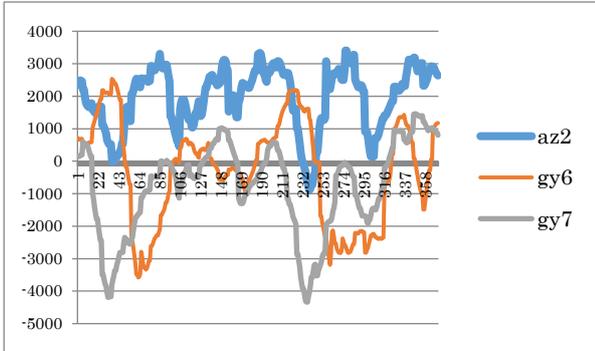


図 13 Peg wheelie turbine 内外腕 Y 軸角速度

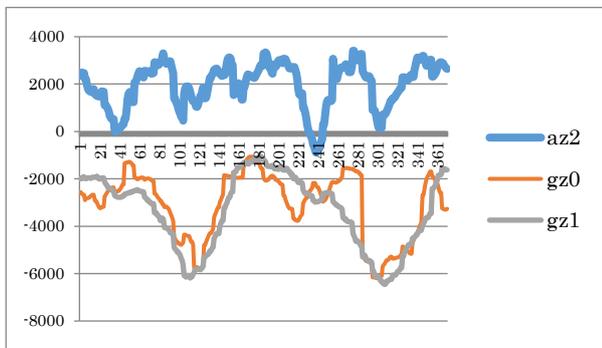


図 14 Peg wheelie turbine ステムフレーム Z 軸角速度

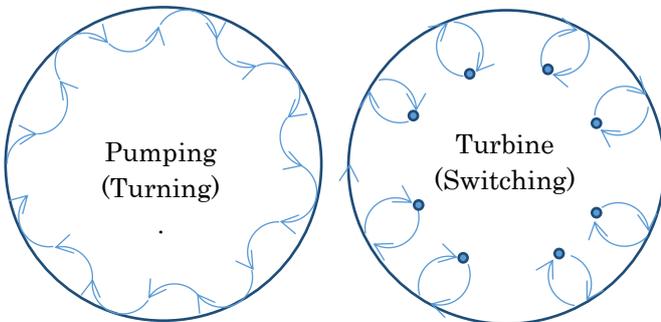


図 15 Pumping と Turbine における運動の違い

Pumping と Turbine は，身体と BMX 車体を使った重心制御により，ロール，ピッチ，ヨー角をそれぞれ能動的に変化させ加速する．Pumping と Turbine との違いは，Pumping がカービングにより加速するのに対し，Turbine は進行方向とカービング方向のスイッチングにより加速する(図 15)．いずれの場合も角速度保存の法則に従い，意図的にバランスを内側に崩し進行方向を内側に向け，回転半径を小さくして得られた角速度から，再度バランスを外側に戻し進行速度を得る．



図 16 Peg wheelie turbine

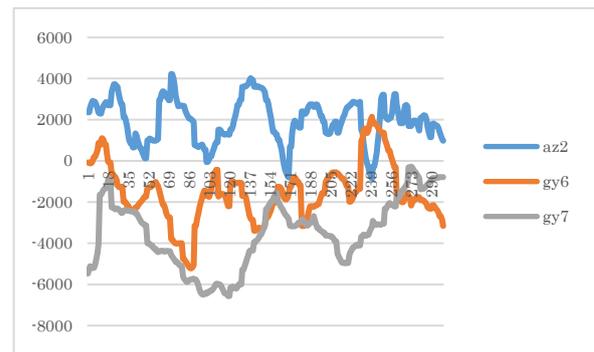


図 17 Peg wheelie turbine 内外腕 Y 軸角速度

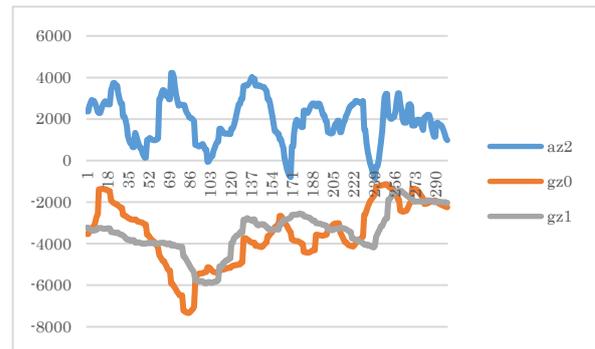


図 18 Peg wheelie turbine ステムフレーム Z 軸角速度

5. トレーニング事例

第 4 節で示したトレーナーのデータと助言にもとづき，Turbine トレーニング事例を示す．トレーナーは，トレーナーから，左右の腕の動かし方が重要で，前方から後方へ切り替えるときに内腕を引き，後方から前方に切り替えるときに外腕を引く，という助言を受ける．内外腕を引く動作は，図 13 の $gy6$ ， $gy7$ の山の部分に対応している．助言にもとづきトレーナーが Turbine を多数回試行したところ，前方から後方へ切り替えはできるが，後方から前方に切り替えができないことが分かった．そのためトレーナーのデータの検討にもとづき，後方から前方への切り替え時，両腕で車体を内側の旋回方向に旋回させる動作(図 14 における $gz0$ ， $gz1$ の谷部分)について，

トレーニーが意識的に行ったところ，最大 2 ラウンド行うことができる状態に改善した（後方から前方，前方から後方の切り替えしの組を 1 ラウンドとする）．ただし 3 ラウンド以降の旋回には至らず，原因を検討するためトレーニーの動作計測を行った（図 16）．内外腕については，内腕の引き動作不足が，図 17 の gy6 の小さい山で示されている．加えて，外腕の引き動作不足が，同図の水平軸の下側に gy7 の山があることで示されている．他方，車体の動きについては，図 18 の gz0, gz1 の谷に示されるように，1 ラウンド目の後方から前方への切り替え時の回転は，図 14 のトレーナー動作と同程度であるが，2 ラウンド目は回転が不十分であることが分かる．この回転不足は，内外腕の引き付けや，振脚の振り方やタイミングに問題があると考えられる．この問題に対する改善方法の提示は今後の検討課題である．

6 まとめ

本研究では，複数ウェアラブルセンサを用い，BMX フラットランド競技の動作分析を行い，車輪無駆動システムにおける加速の仕組みを考察した．また，難易度の高い加速動作 Turbine について，定量的データにもとづくトレーニング事例を示した．今後は，トレーナーとトレーニーの動作の違いを定量的に評価し，改善案の自動生成手法の検討を行う．

謝辞

実験および動作分析にご協力，助言をいただきました BMX 輸入代理店 Delirium distribution 代表，仏 Stmartin サポートライダー，西川佳宏氏（2006 年日本選手権「KOG」プロクラス優勝，仏開催世界選手権「FISE」準優勝，2007 年「REDBULL CIRCLE OF BLANCE」ベスト 16 ライダー選出）に感謝の意を表します．

参考文献

- [1] 西尾信彦，河口信夫：実世界に広がる装着型センサを用いた行動センシングとその応用，情報処理別冊，Vol. 54, No. 6, 562-563, (2013).
- [2] 植田 智明，杉村 博，松本 一教，一色 正男：センサデータからの人間の行動推定，情報処理学会研究報告，グループウェアとネットワークサービス，86(30), 1-5, (2013).
- [3] 森田祐也，岡本淳，川村和也，関雅俊，Salvatore SESSA, Massimiliano ZECCA, Zhuohua LIN, 石井裕之，高杉紳一郎，高西淳夫，藤江正克：加速度センサを用いた左右分離床反力推定方法の検討，生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会講演論文集，489-491, (2010).
- [4] Jason W. Harding, Colin G. Mackintosh, Allan G. Hahn, Daniel A. James: Classification of Aerial Acrobatics, Proceedings of 7th Snowboarding Using Inertial Sensors ISEA CONFERENCE 2008, Biarritz, June 2-6, (2008).
- [5] 石田 和成：アクションスポーツの動作計測とデータ解析，第 28 回 知識・技術・技能の伝承支援研究会(SIG-KST) (人工知能学会)，2016 年 7 月 28 日，産業技術総合研究所(東京都江東区)，(2016).
- [6] Kazunari Ishida, "Classification of Turn Maneuvers on Halfpipe with Multiple Sensors," International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol. 4, No. 5, 420-425, (2016).
- [7] 石田 和成：漸進的トレーニングのための動作分析システムの開発，第 37 回バイオメカニズム学術講演会，2016 年 11 月 12, 13 日，富山県立大学(富山県射水市)，(2016).
- [8] Kazunari Ishida, "Action Sports Analysis Based on Local Cross Correlation and Action Measurement Units with GPS timestamp", Third International Workshop on Skill Science, JSAI International Symposia on AI, Kanagawa, November 16, (2016).
- [9] 石田 和成：慣性センサを用いたアクションスポーツにおけるバランス動作の分析，知覚情報研究会(電気学会)，2017 年 2 月 23 日，広島市立大学(広島県広島市)，(2017).
- [10] Philippe Campillo, Timothee Doremus, Jean-Michel Hespel: Pedaling analysis in bmx by telemetric collection of mechanic variables, Brazilian Journal of Biomotricity, 1(2), 15 - 27, (2007).
- [11] 盛 再権，山藤 和男：一輪車の姿勢安定と運動制御に関する研究：第 2 報，一輪車ロボットの設計と実験結果，日本機械学会論文集，C 編 61(583), 1042-1049, (1995).
- [12] 井上 陽介，米谷 昭彦：一輪車のヨー角制御に関する考察，自動制御連合講演会講演論文集 52(0), 200-200, (2009).
- [13] 椎貝明広，眞島澄子，笠井崇史：劣駆動一輪車の正弦波入力を利用したヨー角制御法，日本機械学会論文集 (C 編)，75(759), (2009).
- [14] Segway: <http://www.segway.com/> , <http://www.segway-japan.net/>