

アクションスポーツの動作計測とデータ解析

Action Sensing and Data Analysis for Action Sports

石田和成¹

Kazunari Ishida¹

¹ 広島工業大学

¹Hiroshima Institute of Technology

Abstract: This paper reports four cases of action sensing and data analysis concerning action sports, i.e. skateboard, inline skate, and bicycle motocross (BMX). All cases employ inertial sensors with GPS to synchronize time series data collected from the independent multiple sensors on parts of athlete's body. All the cases also define similarity to classify running data and to identify important factors for successful maneuver. The first case is related to identification of types of sports and skill levels on halfpipe. The second case is also related to identification problem on big air ramp. The third case analyzed aerial maneuvers of skateboard on halfpipe in detail. The fourth case identified important factors of incremental training to make successful aerial maneuvers.

1. はじめに

本稿ではアクションスポーツの動作計測とデータ解析事例について報告する。動作計測にはアスリートに簡単に装着できる慣性センサを用いる。また複数部位の動作のタイミングを正確に把握するため、各センサに GPS を組み込み、独立した複数センサデータの同期を行う。さらに時系列データの解析のために、自己相関や相互相関にもとづく類似性指標を定義し、階層的クラスタリングにより滑走データの分類および主要動作の評価を行う。

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]。本稿では、アクションスポーツの種別・スキルレベルの判定手法や、段階的なトレーニングにおける主要動作の特定方法を議論する。

2. 動作計測システムと分析対象

本稿の目的はアクションスポーツの種目・スキルレベル判別、初級・中級者のスキル向上であるため、複数部位のデータを計測し、身体各部位の動作の連動性を定量化する必要がある。そのため小型軽量のセンサと複数センサデータを統合するソフトウェアで構成される、独自に開発した動作計測システムを開発した。

ハードウェアである動作計測装置は、マイコン(Arduino)、3軸加速度、3軸角速度センサ(MPU6050)、3軸地磁気センサ(HMC5883L)、GPS(MTK3339)を組み合わせて開発した。データの記録にはSDカードを用いた。センサのサンプリング周波数は100Hz程度である。SDカードに記録されるデータは、GPSの時刻と位置、または加速度角速度方位の9軸センサデータが、1レコードに記録される。データ前処理のソフトウェアは、収集したデータを、(1)タイムスタンプの変換、(2)タイムスタンプの調整、(3)データの同期化、(4)タイムスタンプの均等化、(5)アクションの検出、という5つのステップで行う。

2. 周期的動作の分析

周期的動作の事例として、ハーフパイプ滑走の計測と分析を行った[5][6]。3種目、2段階の滑走スキルレベルの滑走データの差異を定量的に評価し、自動分類を試みた。

2.1 自己相関にもとづく類似度定義

ハーフパイプ滑走の周期性に着目し、異種目の滑走を区別できる手法を紹介する。計測装置は(1)頭部、(2)腹部、(3)右足首、(4)左足首に装着した。9軸センサを4つ用いるため、最大36次元の滑走データが得られる。滑走データの各次元について自己相関を求め、滑走データ間の差の2乗和にもとづき、滑走データ間の距離を定義した。異なる種目間では、体の各部位の動きは異なるため、データの周期性に違いが生じ、動作の分類を行うことができる。

2.2 滑走データと種目・技能レベル分類

13フィートハーフパイプを用い実験を行った。競技として、スケートボード、インラインスケート、BMXを選定した。滑走は被験者の得意な方向でターンを繰り返す。ターンの方向は、右回転(RIGHT)と左回転(LEFT)の2種類である。また、被験者の滑走技術を初級(BEGINNER)、中級(INTERMEDIATE)、上級(ADVANCED)の3段階に区分した。初級は垂直面下のトランジション部分でのターンである。中級は垂直面でのターンである。上級は垂直面上部のコーピングの上で行うエアターンである。被験者の延べ人数は18人、1滑走でハーフパイプを6~8往復、3~4セットを複数回行い、失敗した滑走を除いた57の滑走データを得た。

各センサ値の平均、標準偏差を用いたベースライン手法で階層的クラスタリングを行ったところ、分類できていない項目が見られた。例えば、インラインスケートについては、ターンの方向、レベルの違いが区別できない。またスケートボードの左回転について、右回転のクラスタと大きな隔たりが生じる。

それに対し、自己相関にもとづく距離による階層的クラスタリング(ウォード法)では、同一種目、同一レベル毎にクラスタが形成される(図1)。図の左側から、BMX、スケートボード(BOARD)、インライン(INLINE)のクラスタで構成されている。BMXクラスタはBEGINNER、INTERMEDIATEで構成される。BOARDクラスタは、BOARD(LEFT)、BOARD(RIGHT)で、BOARD(LEFT)クラスタは、INTERMEDIATEとBEGINNERで、BOARD(RIGHT)も、BEGINNERとINTERMEDIATEで構成される。INLINEクラスタもBOARDクラスタと同様の構成が得られた。

3. 非周期的動作の分析

非周期的動作の事例として、ビッグエアランプにおける滑走の計測と分析を行った[7][8]。ビッグエアランプはキッカーランプとバーティカルランプで構成される。また、ジャンプやエアに必要な滑走速度を得るためのスロープがある。ビッグエアランプには様々なサイズがあるが、本研究では13フィートバ

ーティカルランプで構成されるビッグエアランプを用いた。

3.1 局所的相互相関にもとづく類似度定義

2節と同様に9軸センサを、(1)頭部、(2)腹部、(3)右足首、(4)左足首に装着し、36次元の滑走データを得た。種目の違いにより生じるジャンプ・エア動作の相違について、滑走データ間の相互相関にもとづき定量的に評価する。ただし、同一種目の場合であっても、技能レベルが異なる場合、滑走速度やジャンプ・エア動作のタイミングが異なる。そのため、単純に相互相関を用いるだけでは、同一種目であっても、技能レベルの異なる滑走について類似性を正しく評価できない。この問題を解消するため、時間窓にもとづく局所的相互相関を求め、高い値を示す複数の動作区間の平均値を用いた類似性を定義する。滑走データの各次元について局所的相互相関を求め、滑走データ間の類似度として用いた。

3.2 滑走データと種目・技能レベル分類

13フィートビッグエアランプにおける、スケートボード、インラインスケート、BMXの滑走を計測した。バーティカルランプでの滑走は被験者の得意な方向でターン、またはエアを行うものとした。ターン、エアの方向は、右回転(RIGHT)と左回転(LEFT)の2種類である。また、被験者の滑走技術を初級(BEGINNER)、中級(INTERMEDIATE)、上級(ADVANCED)の3段階に区分した。初級者はストレートジャンプランプをジャンプせず滑走する。中級者はストレートジャンプを行うが、バーティカルランプはコーピング下でのターンを行う。上級者はストレートジャンプおよびバーティカルランプでのコーピングを越えたエアを行う。被験者の延べ人数は10人、滑走は3~5セットを行い、43の滑走データを得た。

通常の相互相関を用いる手法を用いた場合の結果では、滑走技能のレベルについて、上級とそれ以外(中級、初級)で大まかな分類されるため、種目の分類ができない。

それに対し、局所的相互相関にもとづく類似度にもとづく階層的クラスタリングでは、同一種目、同一技能レベル毎にクラスタが形成されることを確認した(図2)。図の左側から、BMX、インライン(INLINE)、スケートボード(BOARD)のクラスタで構成されている。各クラスタは、BEGINNER、INTERMEDIATE、ADVANCEで構成される。BOARDクラスタは、BOARD(RIGHT、ADVANCED)に加えてBOARD(LEFT、ADVANCED)も含まれる。全43データのうち、2つの滑走データについて、BMX(RIGHT、ADVANCED)がBMX(RIGHT、INTERMEDIATE)に、BOARD(RIGHT、

BEGINNER)が BOARD(RIGHT, INTERMEDIATE)にそれぞれ分類され、滑走技能レベルの分類に若干誤りが見られたが、その他の41データについては、種目別、技能別で明確なクラスが形成されている。

4. エアリアル動作の分析

ハーフパイプにおける上級者によるエアリアル動作の時系列データベースを構築するために、スケートボード一種目について、エアリアル動作のバリエーションについて分析を行った[9]。ターンやエアはバックサイド、フロントサイドの2つに分けられる。ボード上で左足を前方、右足を後方に配置するレギュラースタンスの場合、バックサイドターンは時計方向(閉方向)、フロントサイドターンは反時計方向(開方向)に半回転する動作である。バックサイドはターンやエアにおいて回転方向や着地地点の視界を確保し易い。そのため基礎的なエアリアル動作としてバックサイドエアを分析対象とした。

4.1 エアリアル動作の分類

ここでは、5つの基本的なエアとして、ノーズグラブ(Nose)、メロングラブ(Melon)、ミュートグラブ(Mute)、オーリー(Ollie)、インディグラブ(Indy)、3つの発展的なエアとして、メソッド(Method)、トゥィーク(Tweak)、ワンフット(One-foot)を分析対象とする。模範的なエアのデータベースを構築するため、プロスケートボーダーの動作を計測した。滑走開始時、ハーフパイプ上部のプラットホームからスタートし、対面の垂直面(パーティカル)上端に設置されたコーピングを飛び出しエアを行い、着地後スタートしたプラットホームに戻る一連の動作を行う。各エアの特徴を調べるために、それぞれ5回行うものとした。センサは頭部、腰部、左右足首の4か所に配置し動作計測を行った。レギュラースタンスにおいて左手足が前方、右手足が後方となる。また、ボードの右側と左側は、足の爪先側と踵側にそれぞれ対応する。以下で動作を説明する。

- (1)ノーズグラブ:飛び出し後、ボードのノーズ(先端)を前方の手で掴み、着地前に放す。
- (2)メロングラブ:飛び出し後、ボードの踵側ルール(側面)を前方の手で掴み、着地前に放す。
- (3)ミュートグラブ:飛び出し後、ボードの爪先側ルール(側面)を前方の手で掴み、着地前に放す。
- (4)オーリー:飛び出し後、ボードを掴まず両足の摩擦力でボードを制御する。
- (5)インディグラブ:飛び出し後、ボードの爪先側ルール(側面)を後方の手で掴み、着地前に放す。
- (6)メソッド:飛び出し後、ボードの踵側ルール

(側面)を前方の手で掴み背面に反り、反りを戻した後、着地前に放す。

(7)トゥィーク:飛び出し後、ボードのノーズ(先端)を前方の手で掴み体を捻り、捻りを戻した後、着地前に放す。

(8)ワンフット:飛び出し後、ボードのノーズ(先端)を前方の手で掴み、前足をボードから離し蹴り出しボード上に戻した後、着地前に放す。

4.2 相互相関にもとづく分類

実験で得られた40回の滑走データについて相互相関を用いてクラスタリングを行った結果を図3に示す。データは2つのクラスで形成される。一方のクラスAは5つの基本的なエアであるNose, Melon, Mute, Ollie, Indy, 他方のクラスBは3つの発展的なエアであるMethod, Tweak, One-footで構成される。クラスAは2つのクラスで構成される。クラスAは2つのサブクラスを含み、一方のクラスA1はNose, Melon, Mute, 他方のクラスA2はOllie, Indyで構成される。またクラスA1は2つのサブクラスで形成され、一方のクラスA1aはNose, Melon, 他方のクラスA1bはMuteで形成される。クラスA1aにおいてNose, Melonは混在する状態である。クラスBは2つのクラスで構成される。一方のクラスB1はMethod, Tweak, 他方のクラスB2はOne-footで構成される。このクラスの構成について、滑走したプロスケートボーダーに確認したところ、主観的なエア間の関連性と一致しており、データベースの適切さが示された。

5. ターンとエアリアル動作の分析

スポーツスキルは、簡単な動作から複雑な動作へ段階的に体得する。具体的な事例として、ハーフパイプにおけるスケートボードのバックサイドターンとバックサイドエアの分析事例を紹介する[10]。

5.1 ターンとエアの関係

専門家によると、ターンとエアとの関係は5段階に分類できる。この5段階は、(1)ターン、(2)グラブターン、(3)エアボーン、(4)スモールエア、(5)エアである。第1段階のターンは、トランジションからバート滑走時にボードの前方を上げ後2輪で走行しながら半回転したのち、ボード前方を下げ全輪接地で滑走する。第2段階のグラブターンは、ターンと同様の動作であるが、ボード前方を上げた後、ボード先端を前側の手でつかみ半回転したのち、手を離し全輪接地で滑走する。第3段階のエアボーンは、グラブターンと類似した動作であるが、ボード前方を

上げ、ボード先端をつかんだ後、ハーフパイプ上端から上方へ飛び出し半回転したのち、ボードを離し滑走面に全輪車輪を接地し滑走する。第4段階のスマールエアは、エアボーンと類似した動作であるが、ハーフパイプ上端を飛び出す前後にボード先端をつかむ。第5段階のエアは、スマールエアと比較し、ボードをつかむ動作を遅らせて、より高く飛ぶ動作である。

ターンからエアへ段階的、効率的にステップアップするために、隣接する2つの段階間の動作の差異を特定する手法を紹介する。類似動作における差異検出手順は、(1)難易度レベルの定義と隣接レベルの比較、(2)各滑走データペア相互相関、(3)相互相関順位にもとづくセンサ有効性指標、(4)センサ有効性指標にもとづくクラスタリング、(5)クラスタ適合率と主要センサの動作差異、の5ステップで行う。

5.2 滑走データの分析・考察

動作間の差異に関する特徴の普遍性を高めるため、滑走実験を2名のスケートボーダーの協力を得て実施した。1回の滑走は、ハーフパイプ上のプラットフォームからスタートし、(1)ターン、(2)グラブターン、(3)エアボーン、(4)スマールエア、(5)エアを行った後、スタートしたプラットフォーム上に戻り終了する。この滑走を3回行った。ハーフパイプ往復にかかる時間はおよそ5秒であり、各レベルの動作はおよそ2.5秒、1回の滑走はおよそ12.5秒である。

全レベルにおける共通動作を把握するため、全滑走データ間の相互相関和にもとづき、主要センサを選定する。各滑走間の相互相関をセンサ毎に求め、全組み合わせの平均値の平均以上、標準偏差の平均以下、そして、各レベル間の差異を記述するセンサとして選定されていないセンサを、共通動作の主要センサとした(図4)。頭部開閉回転(GZ1)はバックサイドターンやエアの180度閉回転を開始継続する基本動作である。腰部上下回転(GY2)はトランジション走行時の腰部回転動作である。後腕、ボード上下移動(AZ6,AZ5)はトランジションにおける遠心力によるものである。

また各レベル間で特定した差異記述センサを図5, 6, 7, 8に示す。レベル1, 2における差異は、頭部上下回転(GY1)、前脚上下、開閉回転(GY4,GZ4)、腹背移動(AY4)、ボード上下回転(GY5)で観察される(図5)。グラブターン(レベル2)はターン(レベル1)と比べボードの先端をつかむ動作が大きく異なる。

レベル2, 3における差異(図6)は、腰部腹背、

開閉回転(GX2, GZ2)、後脚前後、腹背、上下移動(AX3, AY3, AZ2)、前脚腹背回転(GX4)、後腕腹背移動(AY6)、前腕上下移動(AZ7)で観察される。エアボーン(レベル3)はグラブターン(レベル2)と比べボードのテールを接地面から離す動作が大きく異なる。

レベル3, 4における差異(図7)は、後脚上下回転(GY3)、後腕前後、腹背移動(AX6, AY6)、前腕腹背、開閉回転(GX7, GZ7)で観察される。スマールエア(レベル4)はエアボーン(レベル3)と比べ、ボードをグラブするタイミングを遅らせてエアを行う点が大きく異なる。

レベル4, 5における差異(図8)は、腰部前後移動、開閉回転(AX2, GZ2)、後脚腹背、上下回転(GX3, GY3)、前腕腹背移動、腹背回転、開閉回転(AY7, GX7, GZ7)、ボード前後移動(AX5)、後腕前後移動(AX6)で観察される。エア(レベル5)はスマールエアと比べ、脚の踏込動作や腕の振り上げ動作でより高く飛ぶ点が大きく異なる。

6 まとめ

本稿ではアクションスポーツの動作計測とデータ解析事例について報告した。動作計測にはアスリートに簡単に装着できる慣性センサを用い、GPSによるタイムスタンプを用いて複数部位の動作のタイミングを正確に把握する。計測した時系列データの解析のために、自己相関や相互相関にもとづく類似性指標を定義し、階層的クラスタリングにより滑走データの分類結果および主要動作の評価結果を紹介した。今後は、計測した上級者の滑走データにもとづき、初級中級者のデータを分析し、効果的トレーニングの方法を提案できる手法およびシステムの開発を目指す。

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: 9軸センサとGPSによる動作計測システムの開発とアクションスポーツの動作解析, 第35回バイオメカニズム学術講演会, 2014-11-9, (2014)
- [6] 石田 和成: 複数ウェアラブルセンサを用いたアクションスポーツの種目・技能レベルの分類, 電気学会研究会資料. CT 2015(45-52), 11-14, 2015-03-28, (2015)
- [7] 石田 和成: GPSを用いた複数センサデータの同期と局所的相互相関にもとづく動作分類, 第47回ユビキタスコンピューティングシステム・第2回高齢社会デザイン合同研究発表会, 2015-7-27,28, (2015)
- [8] 石田 和成: 局所的相互相関にもとづく時系列データ類似度を用いた動作分類, 電気学会 C 部門大会講演, 2015-08-26,27,28, (2015)
- [9] 石田 和成: ハーフパイプにおけるエアリアル動作の定量的分析, 電気学会研究会資料, 2016-03-4, (2016)
- [10] 石田 和成: 類似動作における差異抽出手法の開発, 電気学会 C 部門大会講演, 2016-08-31,9-1,2,3, (2016)

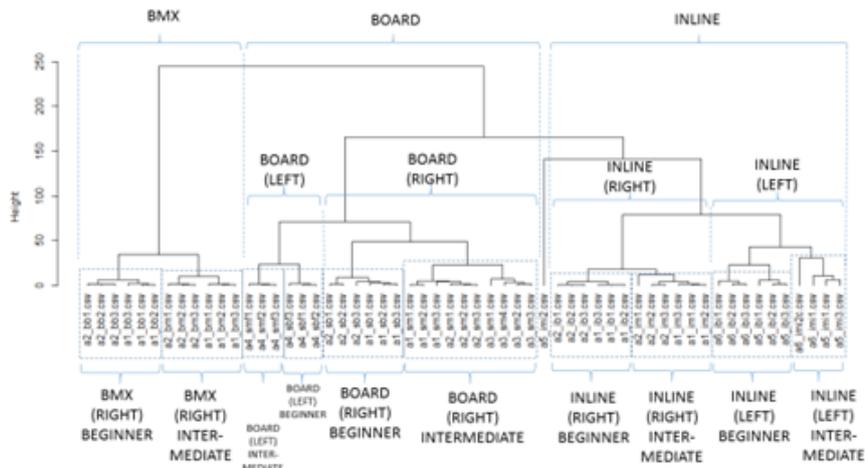


図1 ハーフパイプ滑走の分類

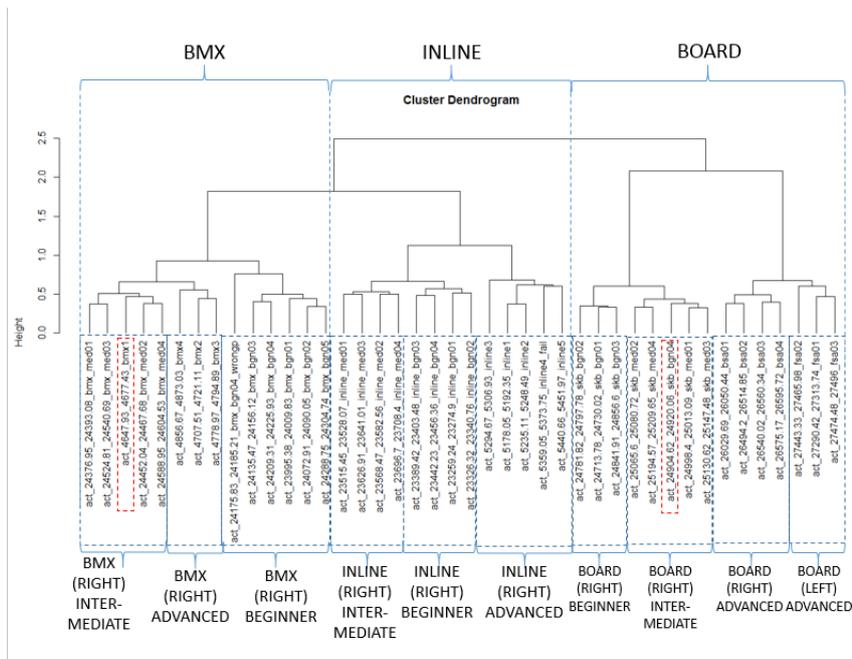


図2 ビッグエアランブ滑走の分類

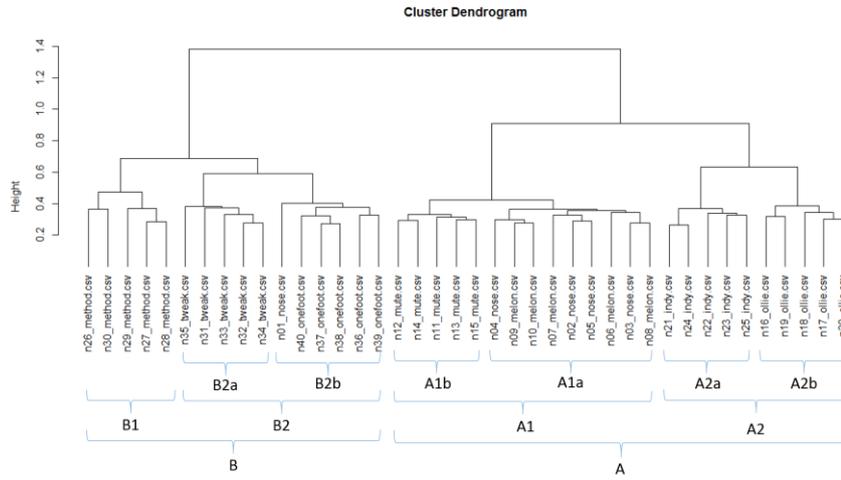


図3 エアリアル動作の分類

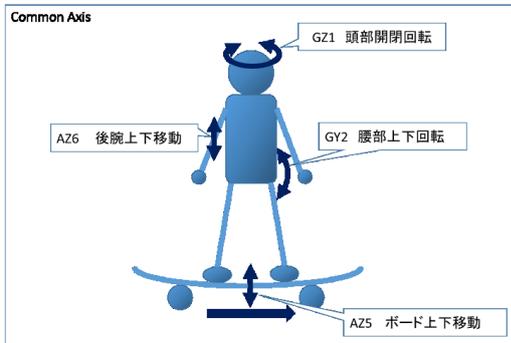


図4 全レベル共通の動作

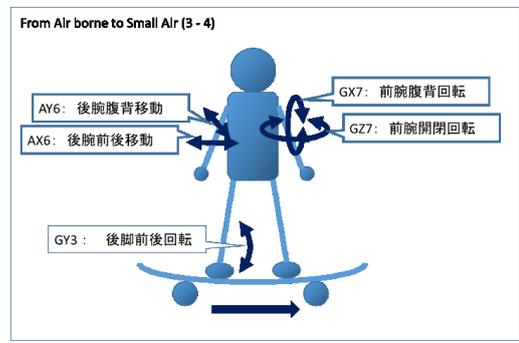


図7 レベル3, 4の動作差異

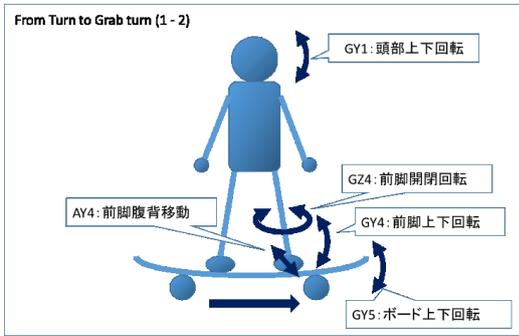


図5 レベル1, 2の動作差異

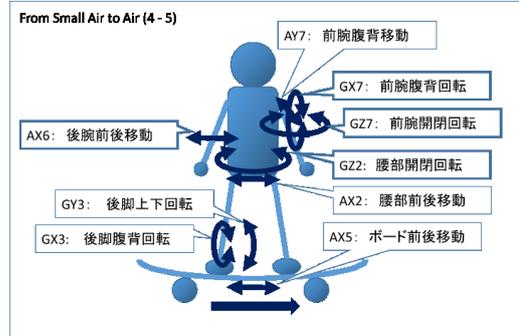


図8 レベル4, 5の動作差異

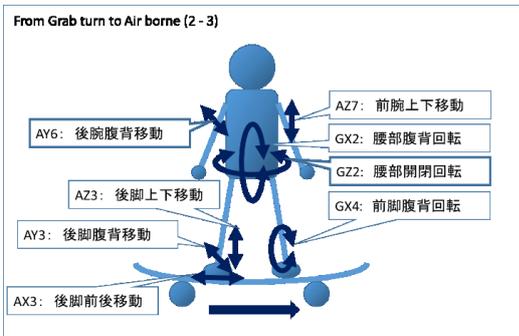


図6 レベル2, 3の動作差異