

アクションスポーツの 動作計測とデータ解析

石田 和成
広島工業大学

はじめに

- アクションスポーツの動作計測とデータ解析
- アスリートに簡単に装着できる慣性センサ
- GPSによる複数センサデータ同期
 - 複数部位の動作のタイミングを正確に把握
- 時系列データの解析
 - 自己相関や相互相関による類似性指標, 距離
 - 階層的クラスタリング
 - 種目・技能レベル分類, 主要動作特定

動作計測システム

- アクションスポーツは活動範囲が広い
 - モーションキャプチャでの記録が困難
- 慣性センサを身体に装着した計測
 - 活動範囲に制約無し
- アクションスポーツの動作計測
 - 小型で取り付けが容易, 壊れにくい機器
 - 複数部位の正確な動作タイミング
- GPSを用いた動作計測システムを開発

ハードウェア：動作計測装置

- 構成要素
 - 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)
 - データ記録：SDカードモジュール
 - サンプルング周波数：100Hz程度
- 記録データ
 - GPSの時刻と位置 (10Hz)
 - 加速度, 角速度, 磁気の9軸センサデータ (100Hz)




ソフトウェア：計測データの前処理

1. タイムスタンプの変換
2. タイムスタンプの調整
3. 複数動作計測装置のデータ同期
4. タイムスタンプの均等化
5. アクションの検出

発表内容

- はじめに
- 動作計測システム
- 事例1: 周期的動作の分析
- 事例2: 非周期的動作の分析
- 事例3: エアリアル動作の分析
- 事例4: ターンとエアリアル動作の分析
- まとめ

事例1：周期的動作の分析

- ハーフパイプ滑走の計測と分析[5][6].
 - 3種目, 2段階の滑走スキルレベルの滑走データの分類
- ハーフパイプ競技
 - スノーボード: 長野冬季オリンピック(1998)
 - スキー: ソチオリンピック(2014)
 - オフシーズンは車輪滑走のハーフパイプでトレーニング
- 車輪滑走のハーフパイプの基本動作(ターン)を計測・分析
 - 滑走面が一定 → データの計測, 分析, 比較が容易.
 - 種目: スケートボード  , インラインスケート  , BMX 

滑走データ間の距離定義

- 計測データの特徴量「周期性」: **自己相関関数**で定義
- ハーフパイプの**ターン動作の周期性**: 技能レベル, 種目により異なる
- 滑走 a, b 間の距離 (計測装置 i , センサ j , タイムラグ k)
 - 自己相関関数 $R_{i,j,k}$ にもとづく, 計測データ間の**差の2乗和**

$$dist(a, b, S, K) = \sum_{s \in S} \sum_{k=0}^K (R_{a,s,k} - R_{b,s,k})^2 \quad (\text{センサ集合 } S, \text{ タイムラグの最大値 } K)$$

- 複数部位に計測装置装着: (1)頭部, (2)腹部, (3)右足首, (4)左足首
 - 4つの9軸センサ, 36次元の計測データ

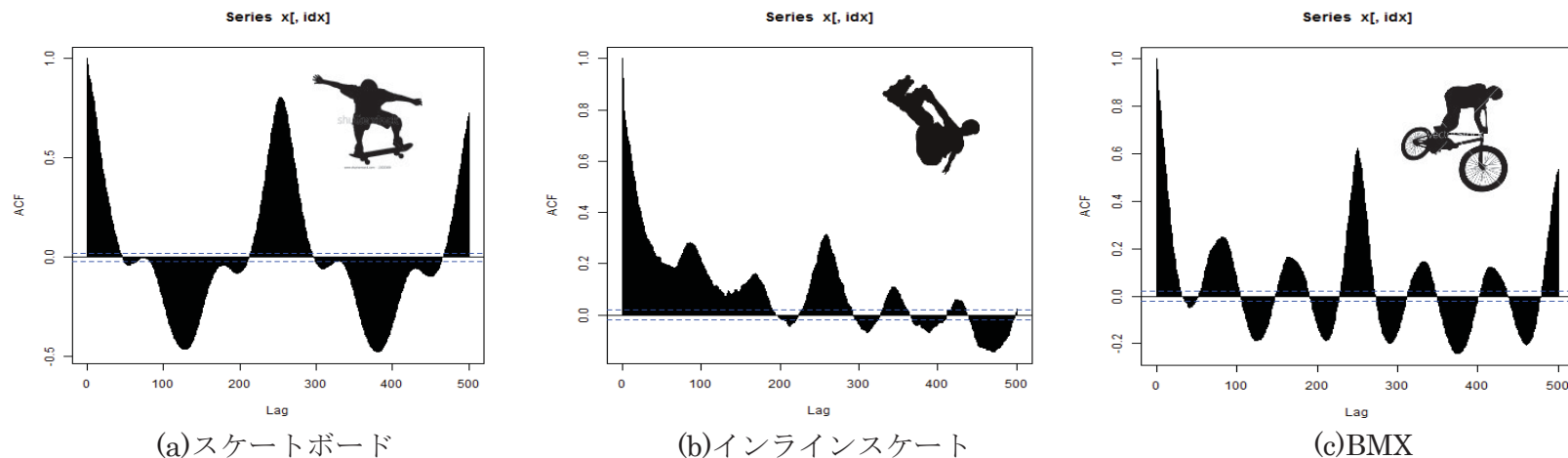





図 種目間の頭部X軸加速度の自己相関 (中級者)

滑走実験

- 13フィート(高さ約4m)ハーフパイプ使用.
- 種目: スケートボード , インラインスケート , BMX 
- 被験者の得意な方向でターンを繰り返す.
 - ターンの方法は, 右回転(RIGHT)と左回転(LEFT)の2種類.
- 初級者(BEGINNER): ハーフパイプの垂直面より下で行うターン
- 中級者(INTERMEDIATE): ハーフパイプの垂直面で行うターン
- 上級者(ADVANCED): (被験者の不足のため今回は除外)
 - ハーフパイプの最上部にあるコーピングを超えたエアターン
- 被験者
 - 延べ人数: 18人
 - 1滑走でハーフパイプを6~8往復
 - 3~4セット
- 滑走データ
 - 57の滑走データ

滑走データの分類： 従来手法

平均, 標準偏差にもとづく
滑走データ間の距離

- BMX: 同一レベル毎にクラスター形成
- インラインスケート: ターンの方角, レベルの違いが区別されていない
- スケートボード: 左ターンと右ターンのクラスターに大きな隔たり

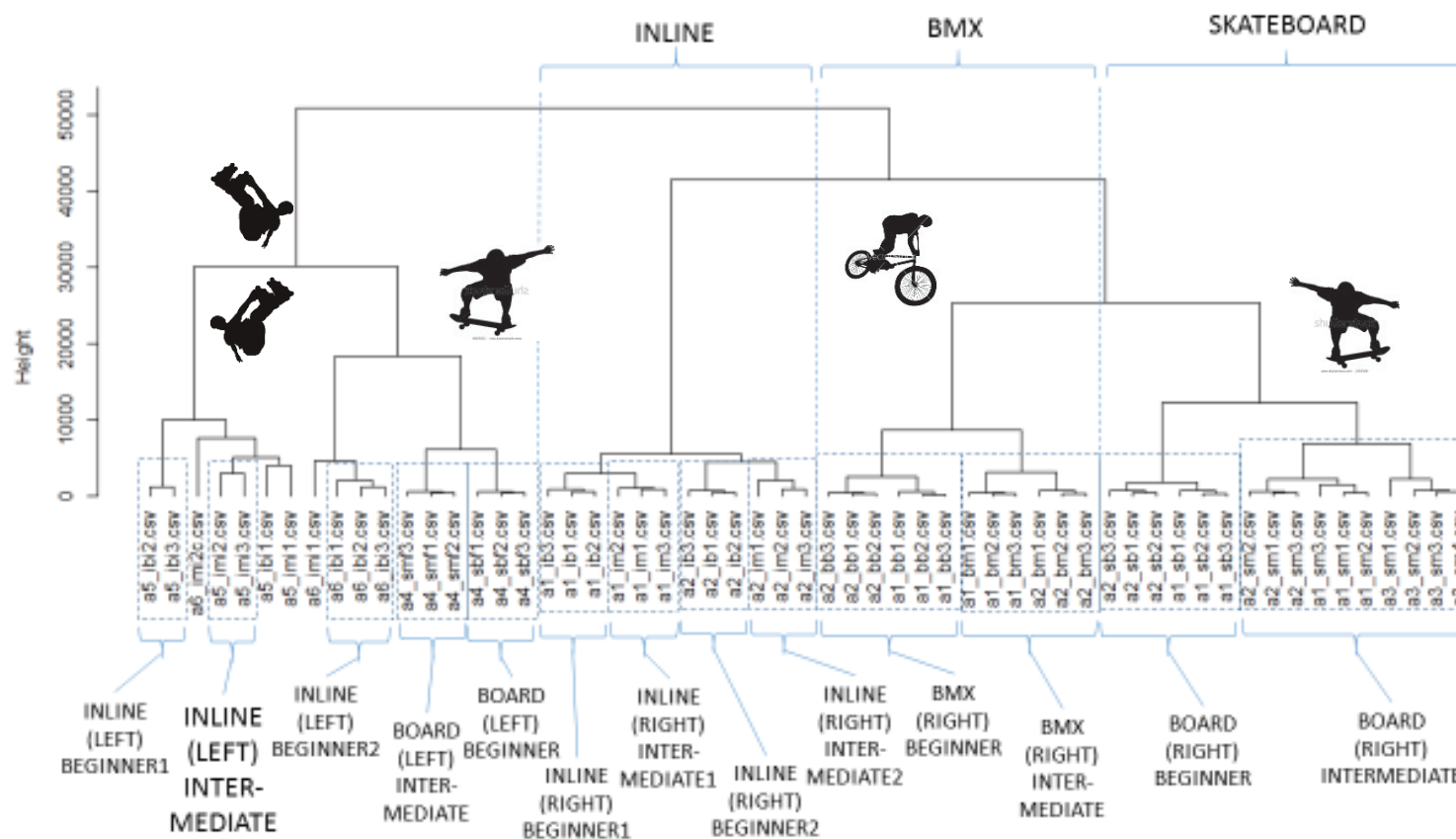


図 従来手法によるクラスター

(階層的クラスタリング, ウォード法)

滑走データの分類：提案手法

自己相関にもとづく
滑走データ間の距離

- 同一種目，同一レベル毎にクラスターが形成される

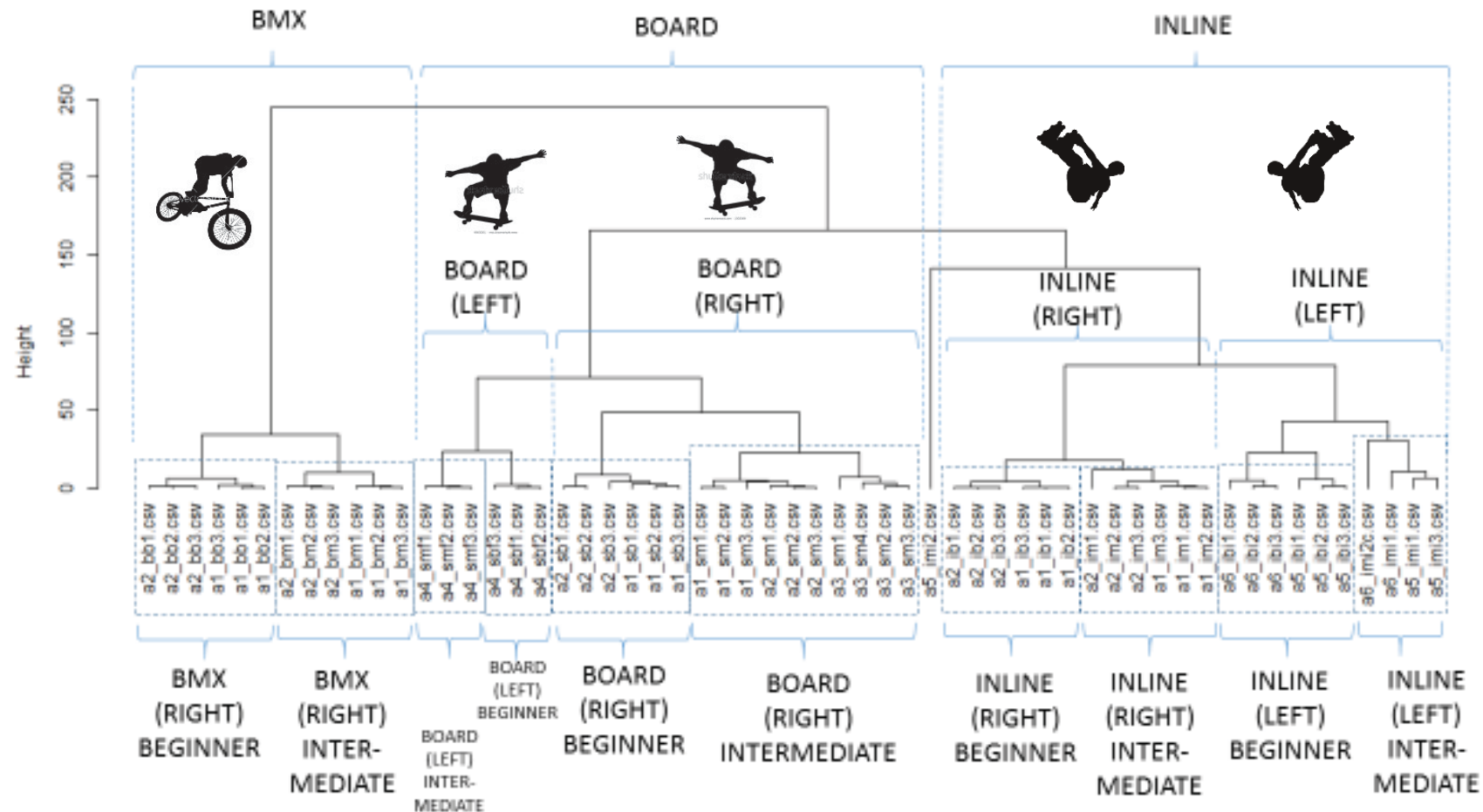


図 提案手法によるクラスター (階層的クラスタリング, ウォード法)

発表内容

- はじめに
- 動作計測システム
- 事例1: 周期的動作の分析
- 事例2: 非周期的動作の分析
- 事例3: エアリアル動作の分析
- 事例4: ターンとエアリアル動作の分析
- まとめ

事例2：非周期的動作の分析

- ビッグエアランプにおける滑走の計測と分析[7][8].
 - キッカーランプ, バーティカルランプ
 - 滑走速度を得るためのスロープ
- ビッグエア競技
 - X-games の競技種目, ケーブルテレビネットワークESPNが開催, アメリカを中心に世界各国で開催
 - 2018年ピョンチャン冬季オリンピックでスノーボード競技採用
 - エンターテイメントの一形態としても普及 (Nitro Circus)

実験で用いるビッグエアランプ

- 構成：キッカーランプ、バーティカルランプ、スロープ
 - 1滑走で2か所のアクションポイント(周期性無)
- 本研究で用いるランプ(全長40m, 13ftバーティカルランプ)
 - 比較的小型のランプ, 幅広い技能レベルの被験者が滑走可能
- 技能レベル
 - 初級者：ジャンプ無しの滑走, エアーの代わりにのターン
 - 中級者：中程度のジャンプ, エアーの代わりにのターン
 - 上級者：ジャンプ, エアー

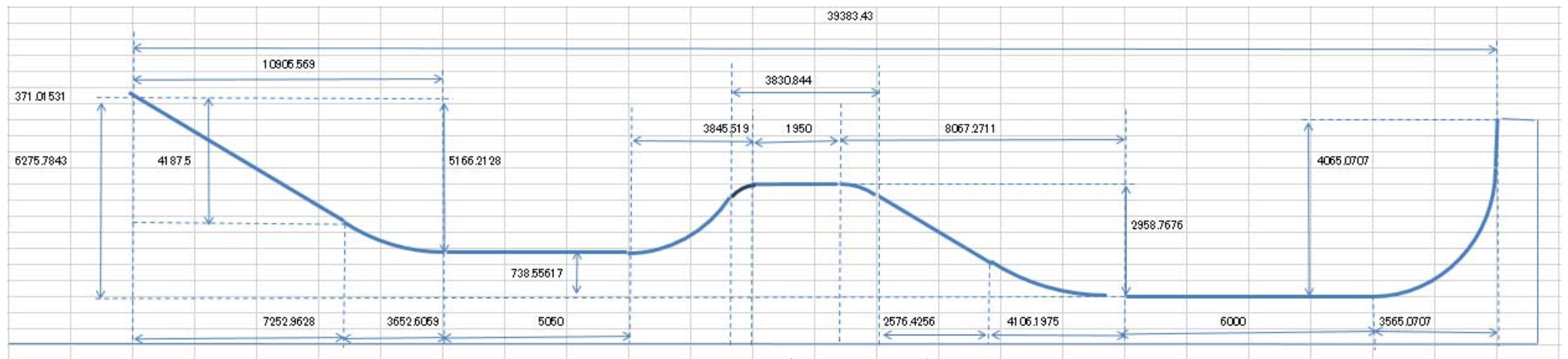


図 ビッグエアランプ

(図における単位はmm)

種目の違いと技能レベルの違い

- 3種目のアクションスポーツ



スケートボード



インラインスケート



BMX

- 種目の違い: ジャンプやエアにおける体の動きの違い
- 滑走データ間の**相互相関**: 滑走間の類似性を定量的に評価
- 異なる技能レベル: ジャンプやエアのタイミングの相違
 - 同一種目の異なる技能レベル間で類似性を正しく評価できない。
- 局所的な相互相関: 複数アクションの平均値で類似性を定義

局所的相互相関による類似度計算例

- 滑走データ: BMX
 - 初級者(Data1), 上級者(Data2)

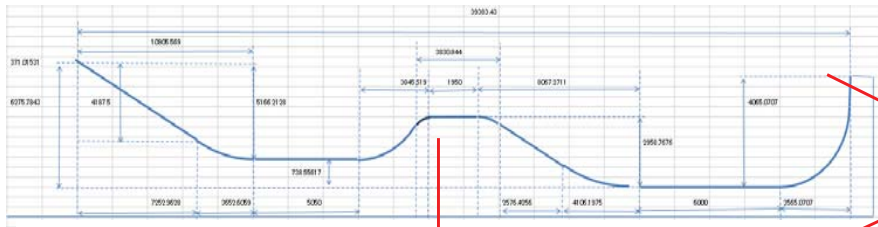


図 ビッグエアランプ

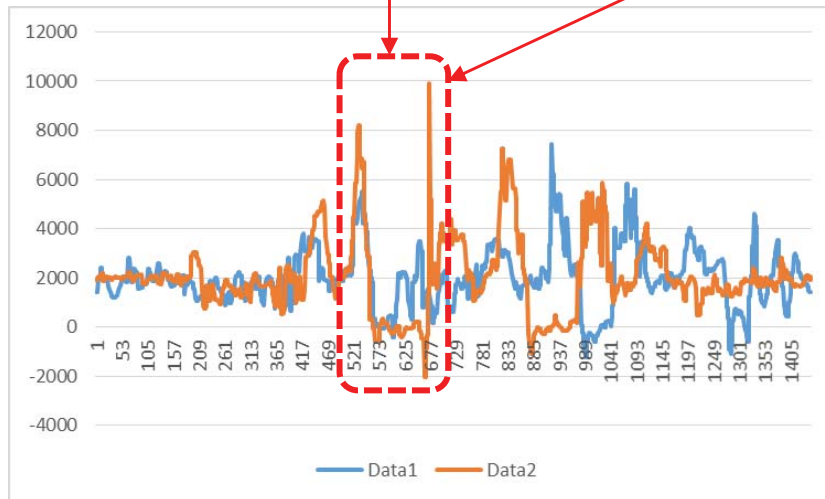


図 BMX初級者と上級者の腰部Z軸加速度
キッカーランプのタイミング

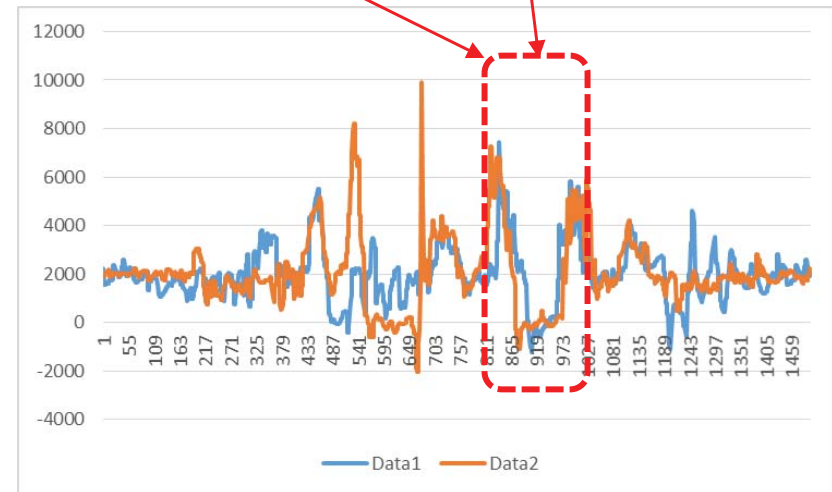
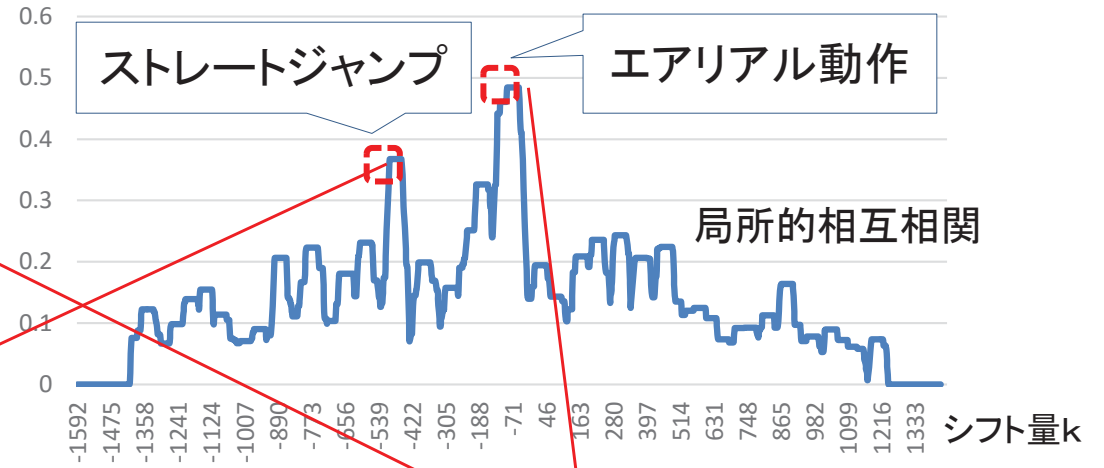


図 BMX初級者と上級者の腰部Z軸加速度
バーティカルランプのタイミング

- 技能レベルが異なるデータ間の類似度計算: 複数のアクションを考慮

滑走実験

- 13フィートビッグエアランプ： スケートボード，インラインスケート，BMX
- バーティカルランプ： 被験者の得意な方向でターン/エア
 - 右回転(RIGHT)，左回転(LEFT)
- 被験者の滑走技術
 - 初級(BEGINNER)，中級(INTERMEDIATE)，上級(ADVANCED)
- 初級者： キッカーランプを走行(ジャンプ無し)
- 中級者： ストレートジャンプを行う，バーティカルランプはターン
- 上級者： ストレートジャンプおよびバーティカルランプでエアを行う。
- 被験者延べ人数：10人， 滑走：3～5セット， 滑走データ数：43

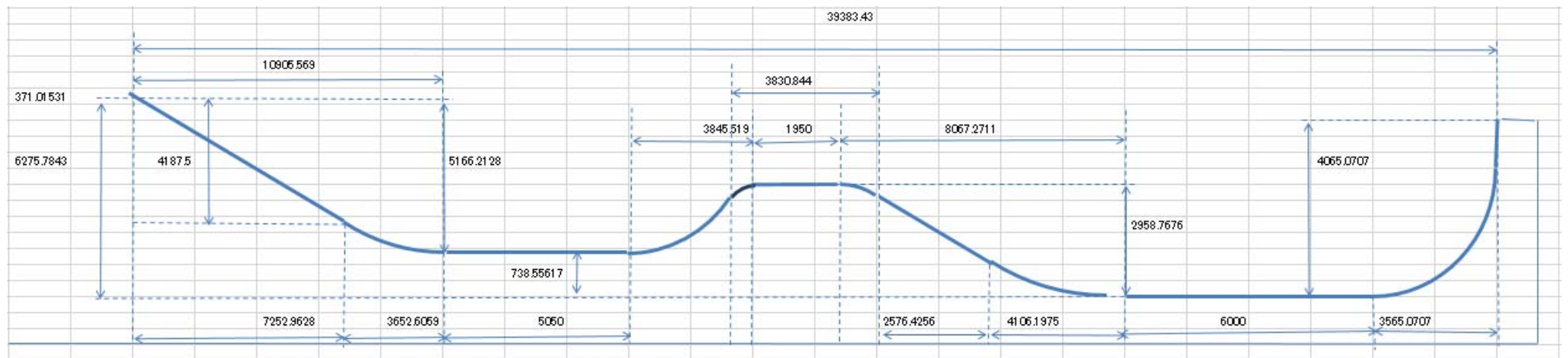
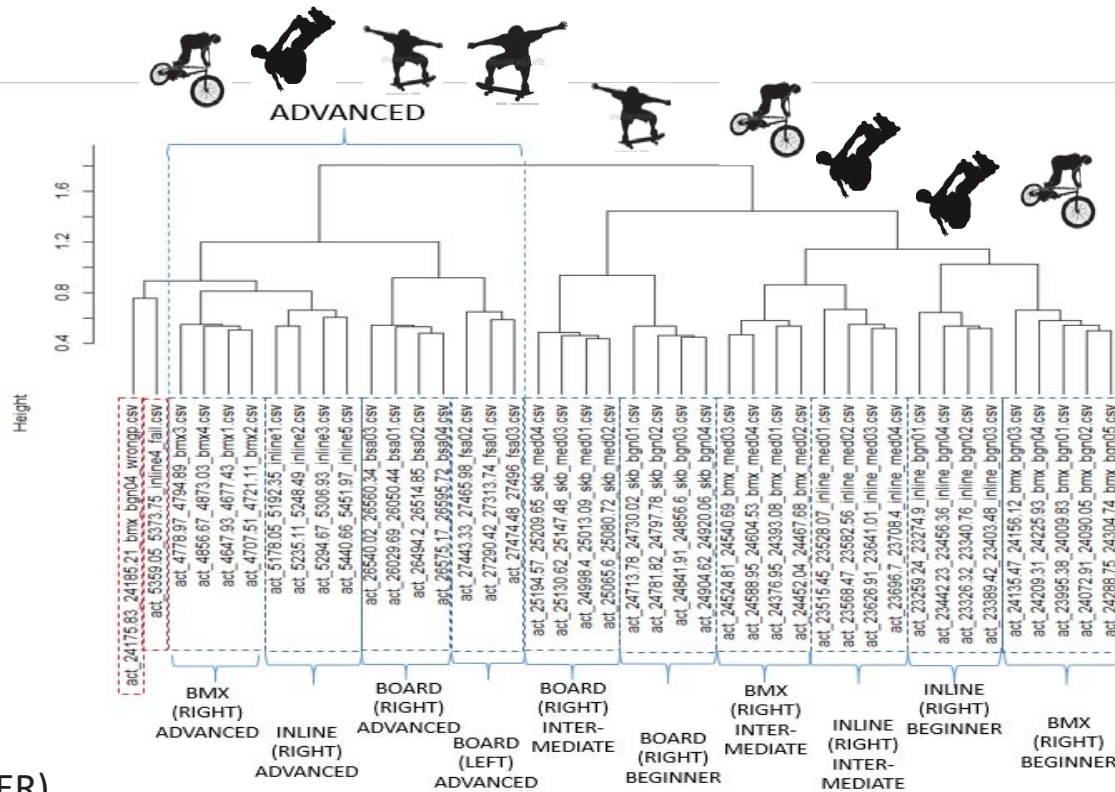


図 ビッグエアランプ

滑走データの分類(大域的相互相関)

- 滑走技能のレベル: 上級(ADVANCED)とそれ以外で大まかな分類
- 初級(BEGINNER)と中級(INTERMEDIATE)のクラスが混在
- 同一種目の滑走が離れたクラスタに分類される
- 正しく分類できていない

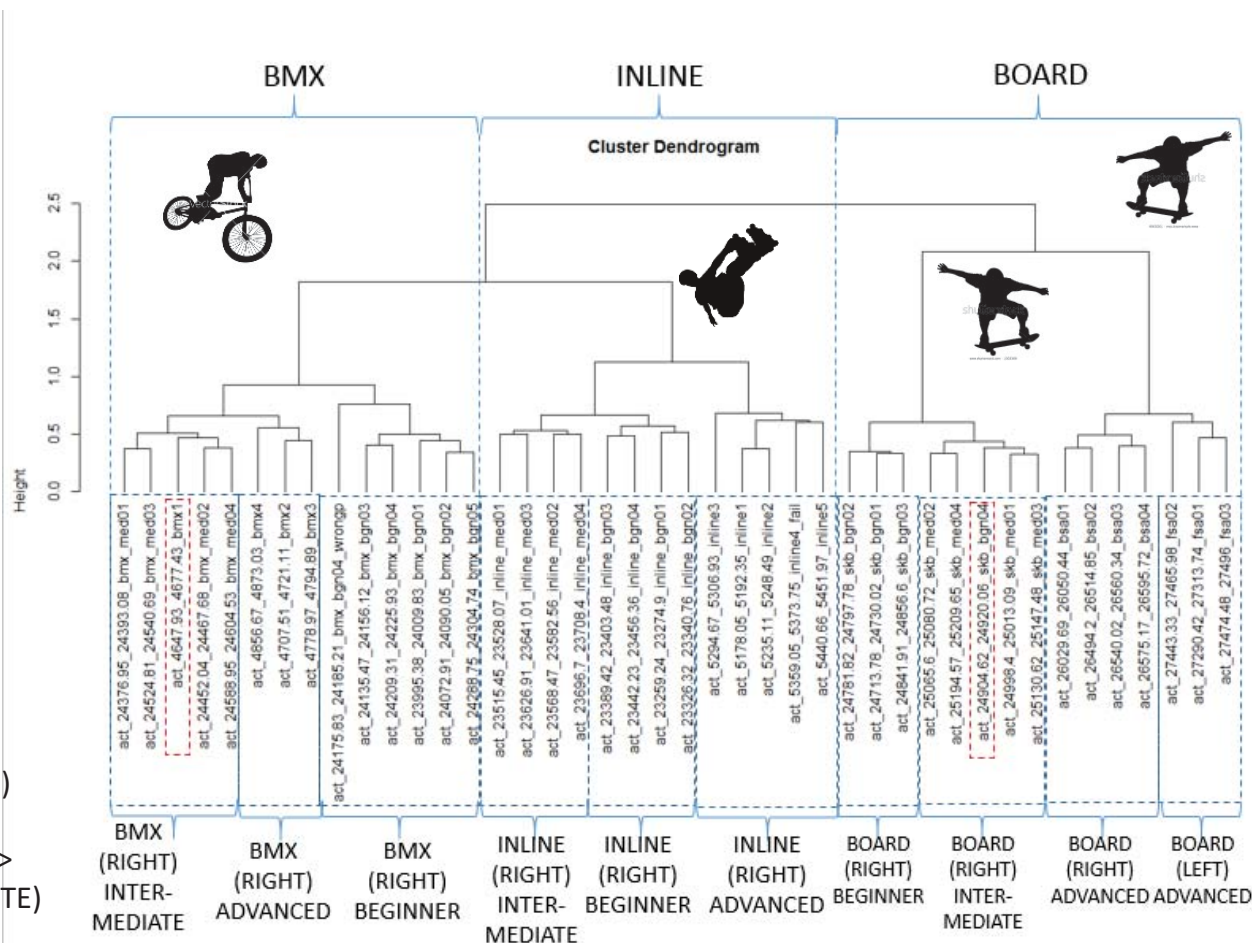


- データ分類の誤り
BMX(RIGHT,BEGINNER)
INLINE(RIGHT,ADVANCED)

図 従来手法によるクラスタ

滑走データの分類(局所的相互相関)

- 同一種目, 同一レベル毎にクラスタ形成



- データ分類の誤り

BMX(RIGHT, ADVANCED) ->
BMX(RIGHT, INTERMEDIATE)

BOARD(RIGHT, BEGINNER) ->
BOARD(RIGHT, INTERMEDIATE)

図 提案手法によるクラスタ

発表内容

- はじめに
- 動作計測システム
- 事例1: 周期的動作の分析
- 事例2: 非周期的動作の分析
- 事例3: エアリアル動作の分析
- 事例4: ターンとエアリアル動作の分析
- まとめ

事例3: エアリアル動作の分析

- ハーフパイプにおけるスケートボードのエアリアル動作
 - ウェアラブルセンサによる動作計測, データベース構築
 - 効率的なスポーツトレーニング・コーチング支援の基盤構築
- ハーフパイプ競技(スケートボード, BMX)
 - X-games の競技種目
 - 米国を中心に世界各国で開催(ESPN)
 - スノーボード: 長野冬季五輪(1998)
 - スキー: ソチオリンピック(2014)



選手層の充実



効果的トレーニング方法が必要

トレーニングにおける問題点

- トレーナー・トレーニー間の認識不一致
- トレーナーの助言(Q&A)
 - スキル向上に主要な役割
- 問題点
 - 言語の曖昧さや多義性
 - 助言の誤解釈
- 視覚的動作確認(ビデオ)
 - スキル習得の成否判定
- 問題点
 - 瞬間的微小動作は判別不能
- ウェアラブルセンサによる動作記録と分析
 - トレーナーによる模範動作とトレーニーの動作との差異
 - 動作の微調整 → 差異減少 → スポーツのスキル習得, 向上
- 模範的動作のデータベース構築を行う.

エアリアル動作

- ハーフパイプの垂直面から飛び出し半回転して着地滑走
 - 回転方向： バックサイド, フロントサイド
 - バックサイドエア：
 - 閉方向(レギュラースタンスの場合, 時計方向)に半回転
 - 回転方向や着地地点の視界確保が容易
 - 基礎的な動作
 - 多様な種類
 - 成否決定要因
 - 飛び出す直前の先行動作
 - 飛び出し後の動作
- 足の配置： レギュラースタンス, グーフィースタンス
 - レギュラースタンス： ボード上で左足を前方, 右足を後方に配置



実験

- 手順
 - ハーフパイプ上部のプラットフォームからスタート
 - 対面の垂直面上端から飛び出す
 - 半回転して着地
 - 着地後スタートしたプラットフォームに戻る
- 種類： 基本エア5種類, 発展エア3種類
- 回数： 各5回
- センサ装着部位：
 - 頭部, 腰部, 左右足首, ボードの5か所に配置



Nose Grab Air

- 先行動作(他のエアと共通):
 - 頭部Y軸下向, 頭部Z軸・腰部Z軸閉方向回転
- エア開始動作: 後足Z軸の急激な閉方向回転

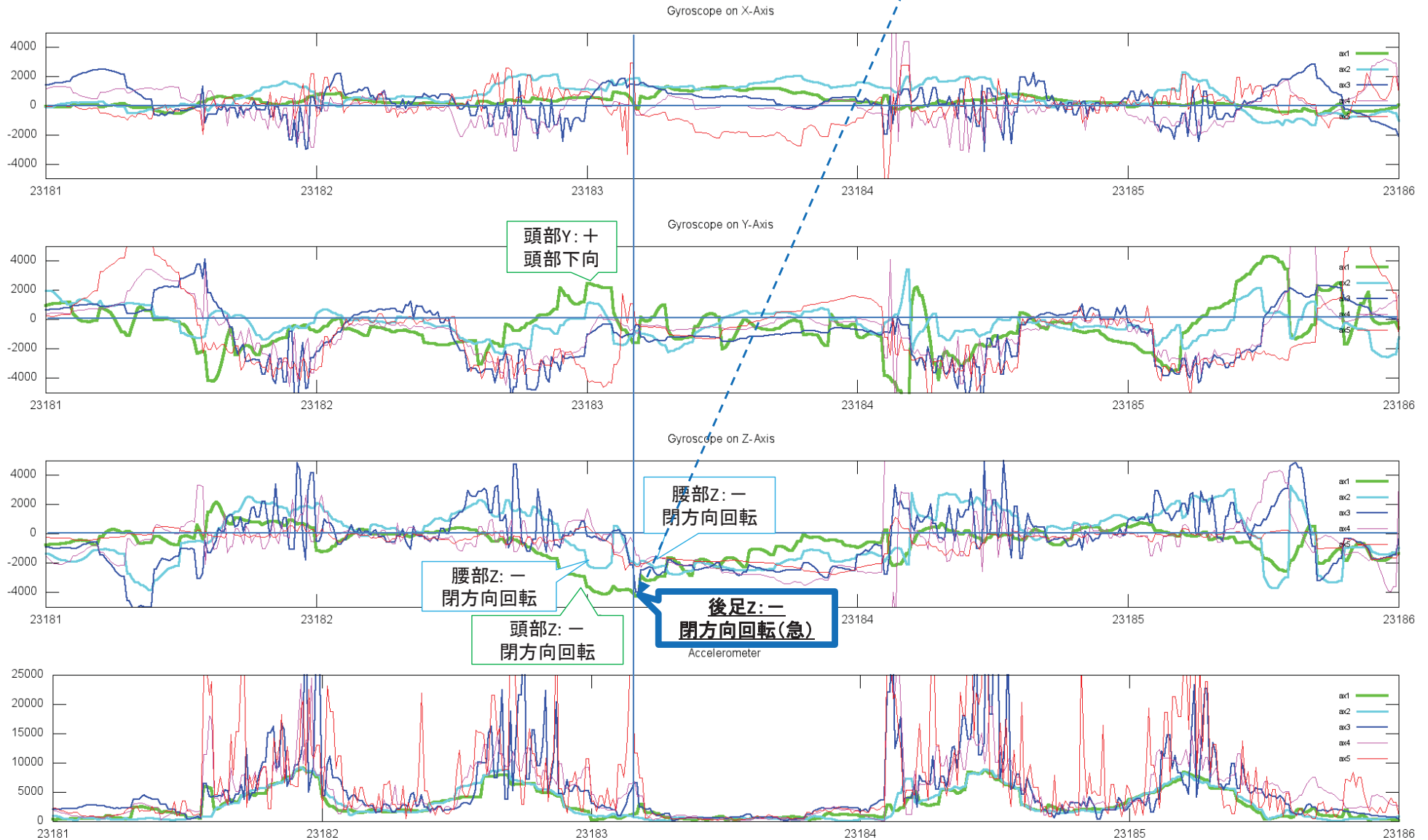


図 X,Y,Z軸角速度とZ軸角速度 (ノーズグラブエア)

バックサイドエアの種類

- ボードのグラブ動作の違い:

基本的エア5種類

1. ノーズグラブエア (Nose): **ノーズ**(先端)を前方の手で掴む
2. メロングラブエア (Melon): **踵側レール**(側面)を前方の手で掴む
3. ミュートグラブエア (Mute): **爪先側レール**を前方の手で掴む
4. オーリー (Ollie): **ボードを掴まず**両足の摩擦力でボードを制御する
5. インディグラブエア (Indy): **爪先側レール**を**後方**の手で掴む

発展的エア3種類

6. メソッドエア (Method): 踵側レールを前方の手で掴み**背面に反る**
7. トウィークエア (Tweak): ノーズを前方の手で掴み**体を捻る**
8. ワンフットエア (One-foot): ノーズを前方の手で掴み**前足を蹴り出す**

バックサイドエアの分類

- 相互相関を用いた分類(階層的クラスタリング, ウォード法)
- 滑走順序: Nose(1~5), Melon(6~10), Mute(11~15), Ollie(16~20), Indy(21~25), Method(26~30), Tweak(31~35), One-foot(36~40)

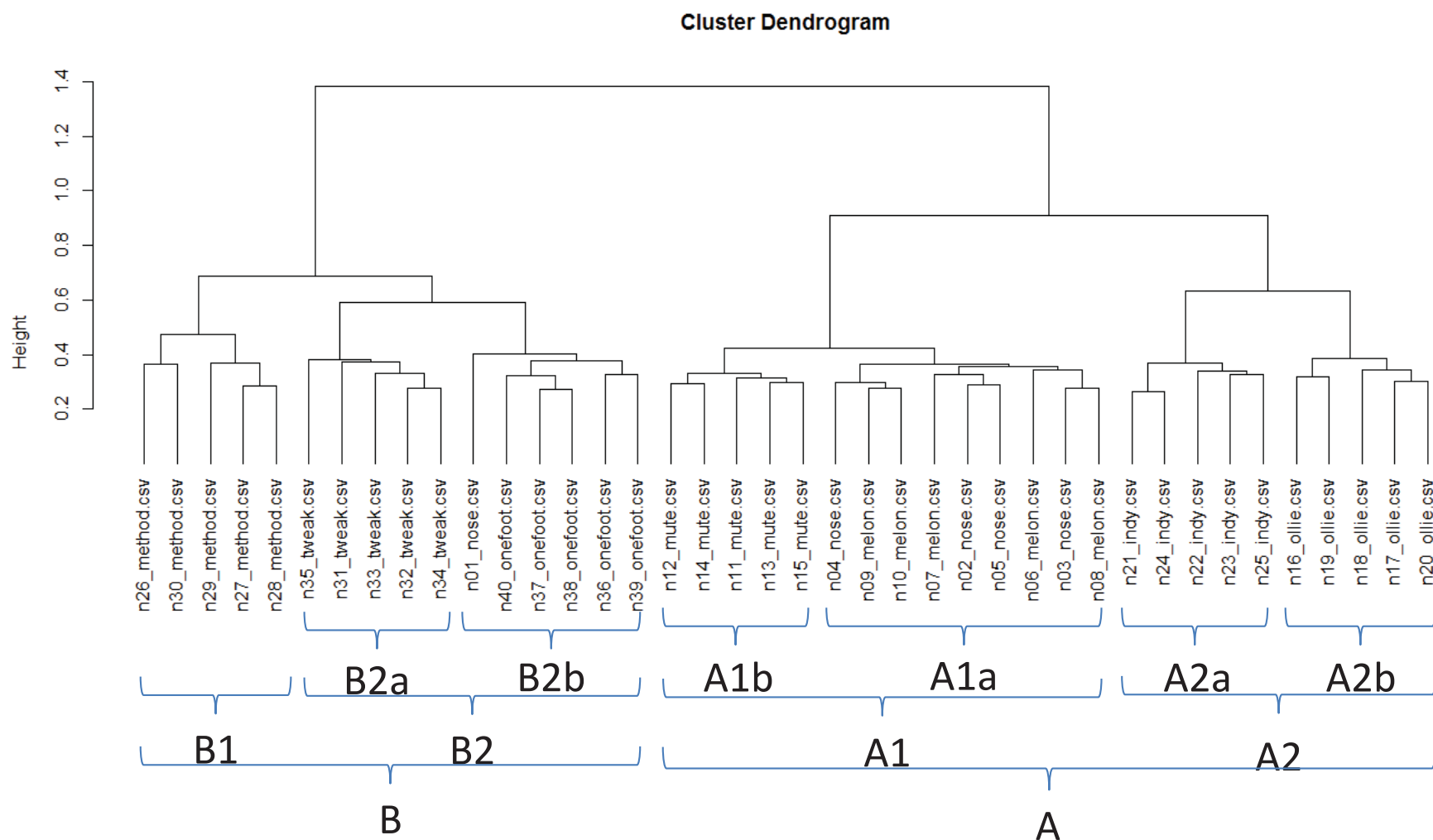


図 バックサイドエアの分類

(階層的クラスタリング, ウォード法)

基本的エアと発展的エア

- クラスタA(基本的エア5種類): Nose, Melon, Mute, Ollie, Indy
- クラスタB(発展的エア3種類): Method, Tweak, One-foot
 - 体を反らす, 体を捻る, 前足を蹴り出す(身体各部位動作の加速度, 角速度大)

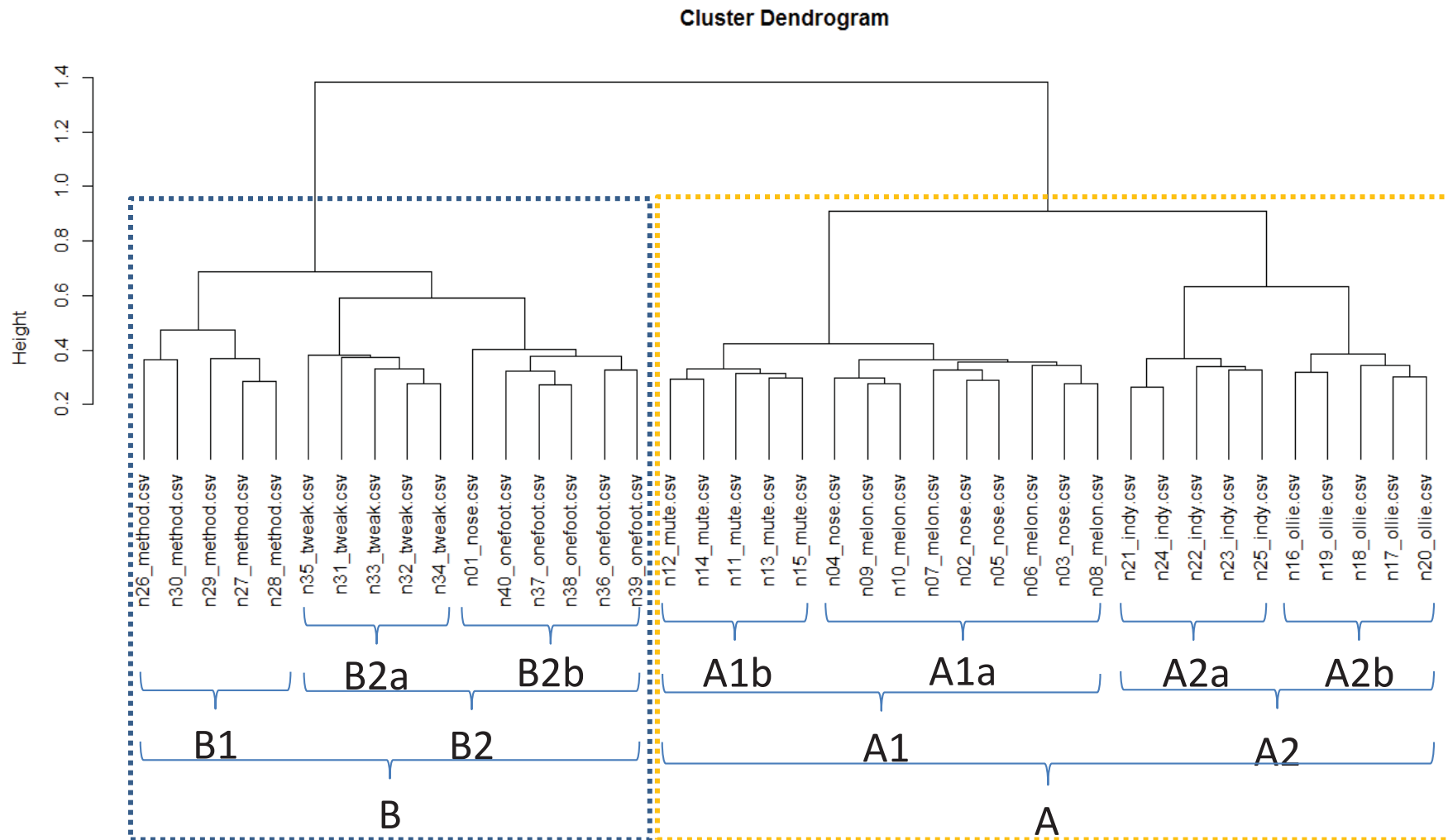


図 バックサイドエアの分類

(階層的クラスタリング, ウォード法)

基本的エアの分類

- クラスタA1: Nose(A1a), Melon(A1a), Mute(A1b)
 - ボードの先端または踵側レール(側面)を「前方の手」で掴む
- クラスタA2: Ollie(A2b), Indy(A2a)

Cluster Dendrogram

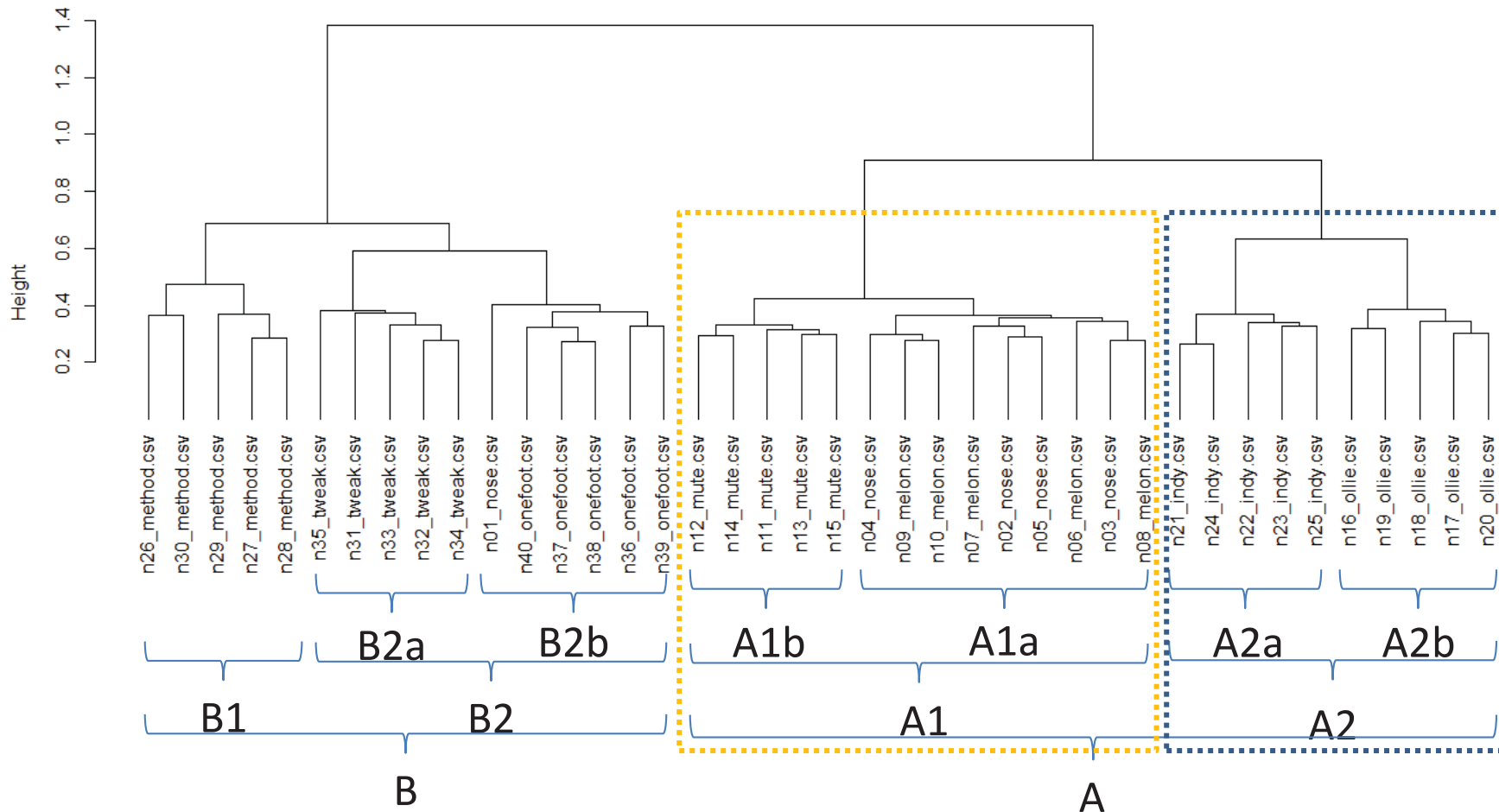


図 バックサイドエアの分類

(階層的クラスタリング, ウォード法)

発展的エアの分類

- クラスタB1: Method ボードの踵側レール(側面)を前方の手で掴む
- クラスタB2: Tweak, One-foot ボードのノーズ(先端)を前方の手で掴む

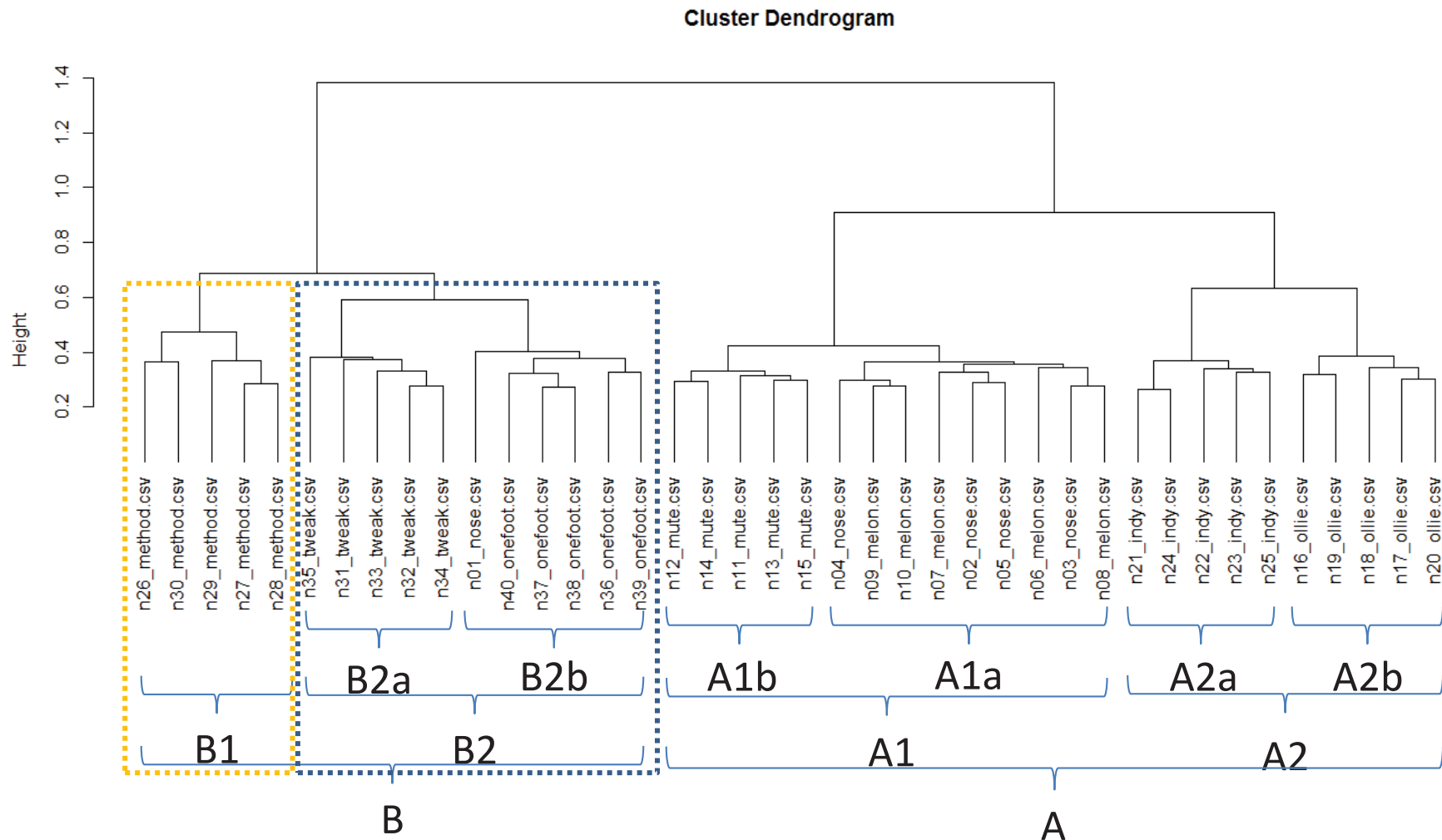


図 バックサイドエアの分類

(階層的クラスタリング, ウォード法)

発表内容

- はじめに
- 動作計測システム
- 事例1: 周期的動作の分析
- 事例2: 非周期的動作の分析
- 事例3: エアリアル動作の分析
- 事例4: ターンとエアリアル動作の分析
- まとめ

事例4: ターンとエアリアル動作の分析

- スポーツトレーニング
 - 簡単な動作から複雑な動作へ段階的に技能習得
- 具体的なトレーニング事例
 - スケートボードのターンとエア [10] (滑走または飛んで半回転)



- 専門家によるターン・エアの5段階分類
 - (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
- 段階的トレーニングによりエアリアル動作習得

ステップアップのキーポイント(主要な動作の差異)は？

- 類似動作における差異検出手順の5ステップ
 - (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)クラスタ適合率とセンサ選定

ターン・エアの5段階分類

- 第1段階: ターン
 - ボードの前方を上げ後2輪で走行, 半回転
- 第2段階: グラブターン
 - 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
- 第3段階: エアボーン
 - 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
- 第4段階: スモールエア
 - ハーフパイプを飛び出す前後にボード先端をつかむ
- 第5段階: エア
 - ボードをつかむ動作を遅らせ, より高く飛ぶ
- 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開発する.

類似動作間の差異検出手順

1. 難易度レベルの定義と隣接レベルの比較
 - 専門家による5段階分類, 隣接レベルの比較: 1-2, 2-3, 3-4, 4-5
2. 滑走データペアの相互相関
 - 滑走者2名, 各レベルの滑走回数3回 → 滑走ペア数144
3. センサ有効性指標(定義域[0,1])
 - 同一難易度レベルの滑走データの相互相関順位総和
4. クラスタリング
 - 有効性指標にもとづき選択されたセンサデータでクラスタリング
5. クラスタ適合率
 - 階層的クラスタリングにより分類された滑走データの適合率を定義
 - 滑走データを正しく分類できるセンサ有効性指標の範囲を調査

有効性指標にもとづくセンサ選定

- センサ有効性指標 S を定義域 $[0,1]$ を0.1ステップで区分
- 指標にもとづくセンサ選定
- クラスタ適合率 P を求める
- 中間的な指標値において分類可能(クラスタ適合率1).
 - レベル1, 2: 0.6~0.8
 - レベル2, 3, レベル3, 4, レベル4, 5: 0.5~0.8

- 有効性指標の下限値が低い場合, 多くのセンサが選定される
- クラスタ適合率 P が1で, 指標 S が一番小さい場合

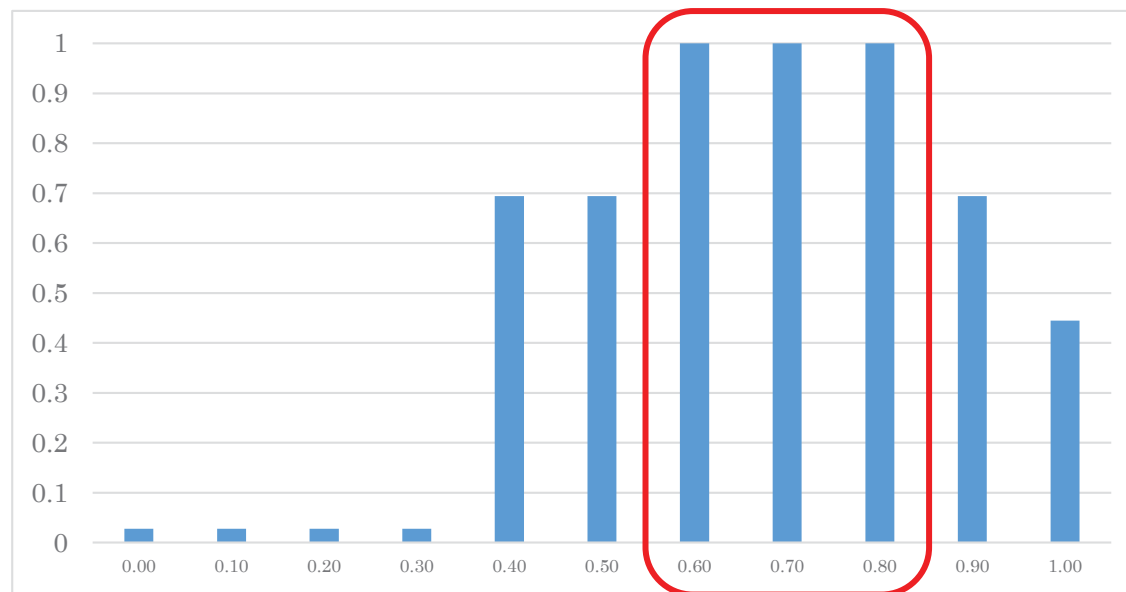


図 レベル1, 2におけるクラスタ適合率

滑走実験

- 2名のスケートボーダーの協力を得て実施
- 滑走手順
 - ハーフパイプ上のプラットホームからスタート
 - (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
 - スタートしたプラットホーム上に戻り終了
 - 上記滑走を3回実施
- 滑走データの特徴
 - ハーフパイプ一往復にかかる時間はおよそ5秒
 - 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

レベル1ー2:ターンとグラブターン

- 動作の差異
 - ボード先端をつかむ動作の有無
- ボード上下方向回転(GY5)
 - グラブターンにおけるボードノーズアップ動作

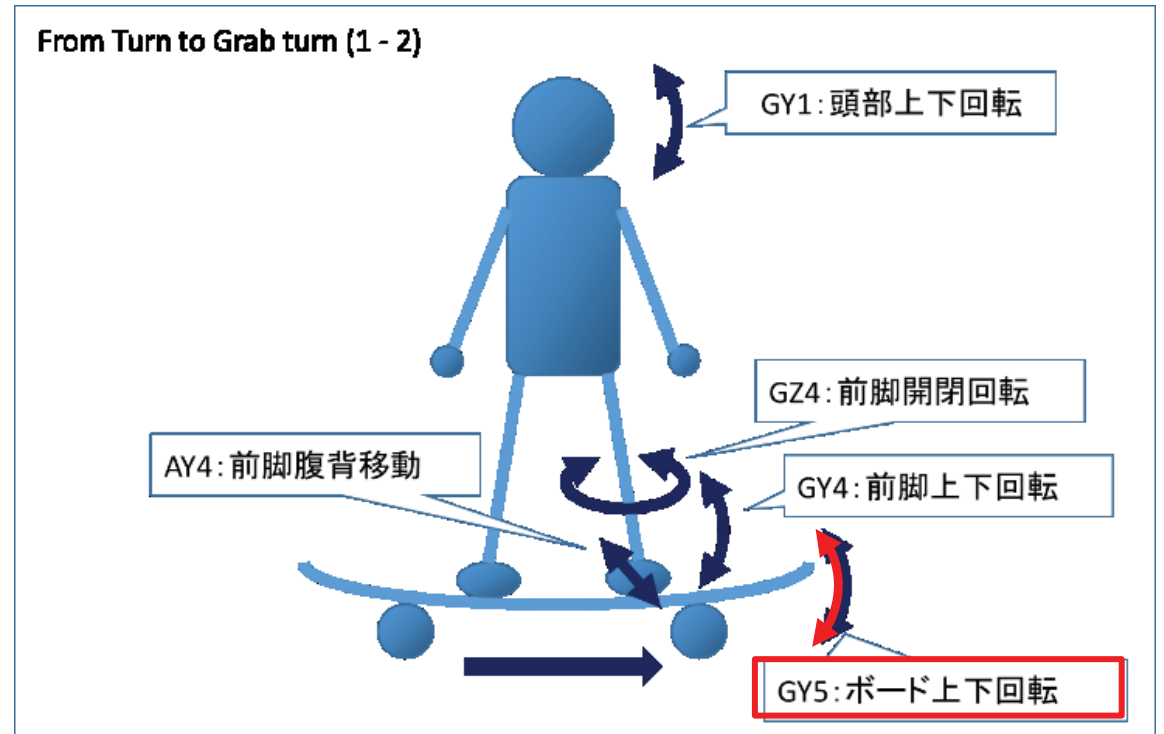


図 レベル1, 2における動作の差異

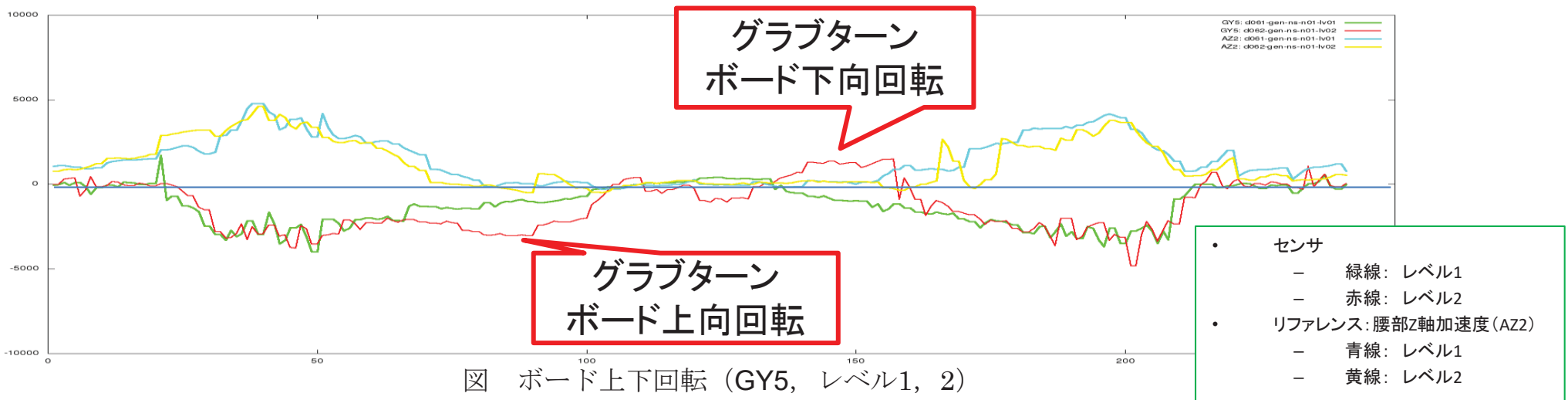


図 ボード上下回転 (GY5, レベル1, 2)

レベル2ー3：グラブターンとエアボーン

- 動作の差異
 - ボードを滑走面から離す動作
- 腰部開閉回転(GZ2)
 - 滑走面から離れる前に回転力を得る

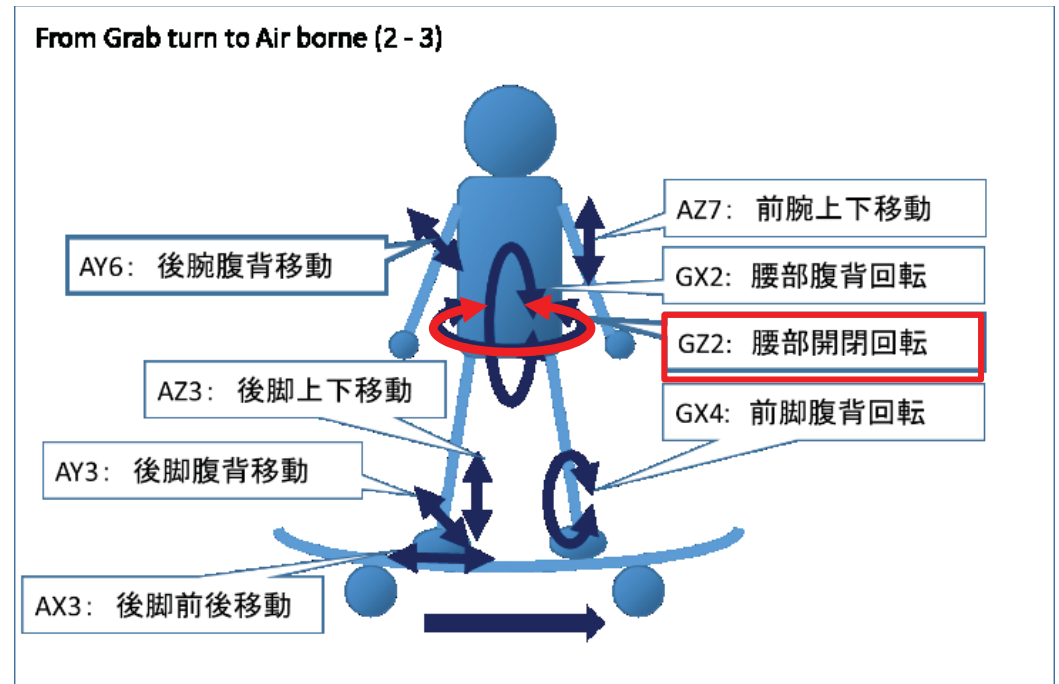


図 レベル2, 3における動作の差異

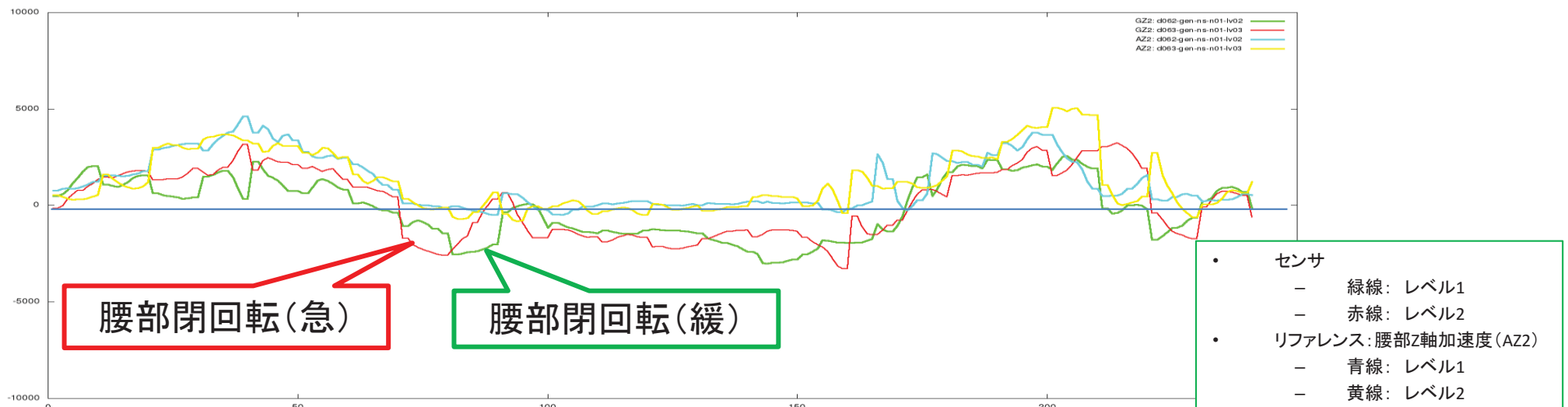


図 腰部開閉回転 (GZ2, レベル2, 3)

レベル3-4:エアボーンとスモールエア

- 動作の差異
 - ボードをグラブするタイミング
- 前腕開閉回転(GZ7)
 - 回転力生成のタイミング, 体勢維持動作の違い.

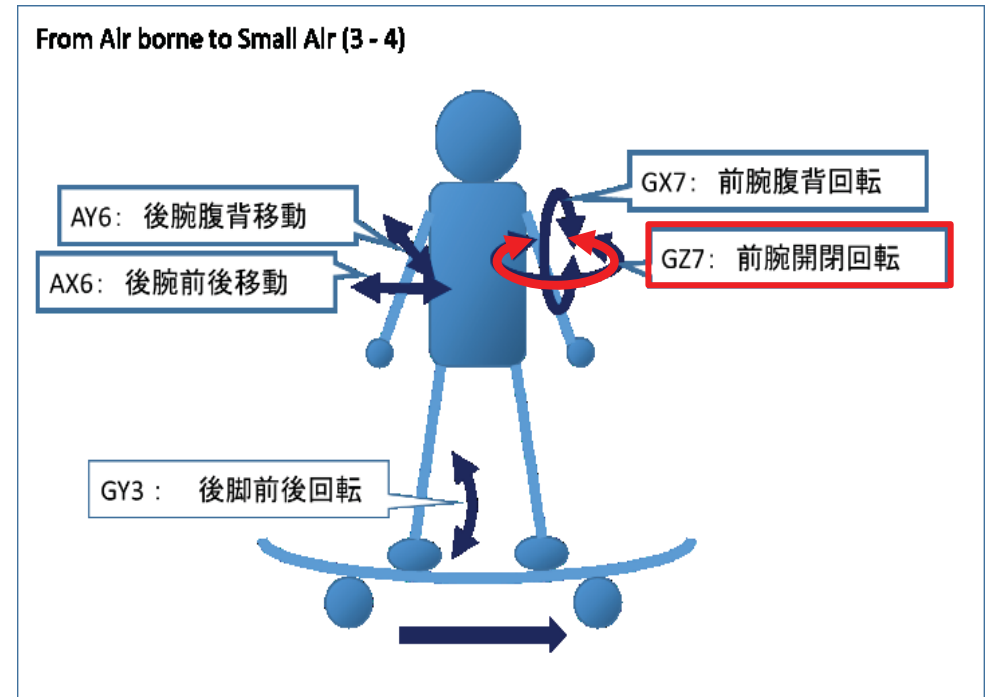


図 レベル3, 4における動作の差異

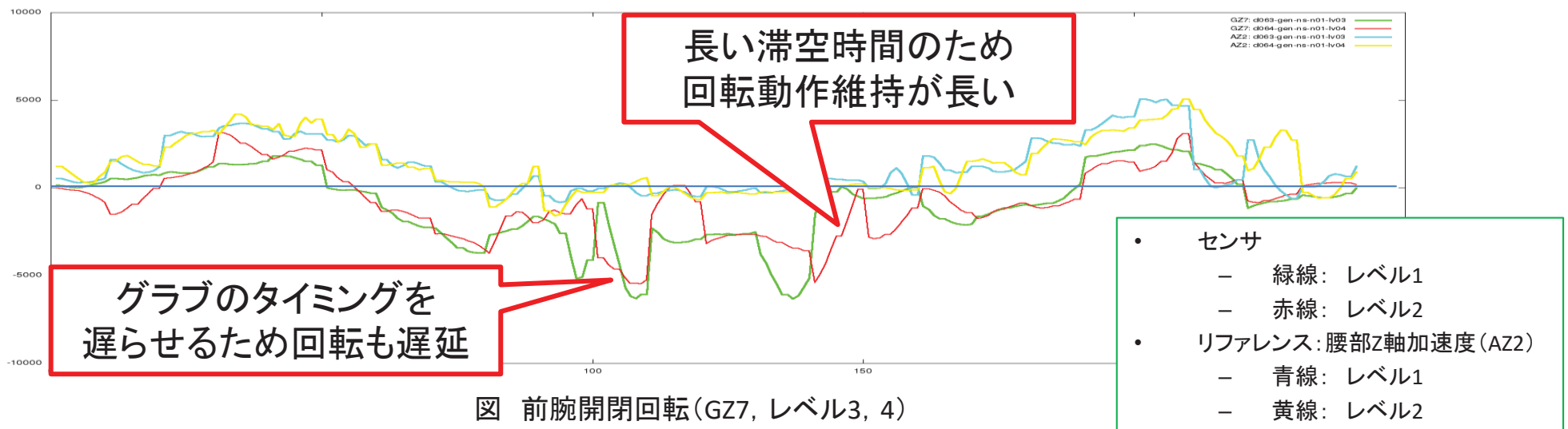


図 前腕開閉回転(GZ7, レベル3, 4)

レベル4-5: スモールエアとエア

- 動作の差異
 - 脚の踏込動作や腕の振り上げ動作でより高く飛ぶ
- 腰部開閉回転(GZ2)
 - 閉回転の遅延と短時間の逆方向の回転動作

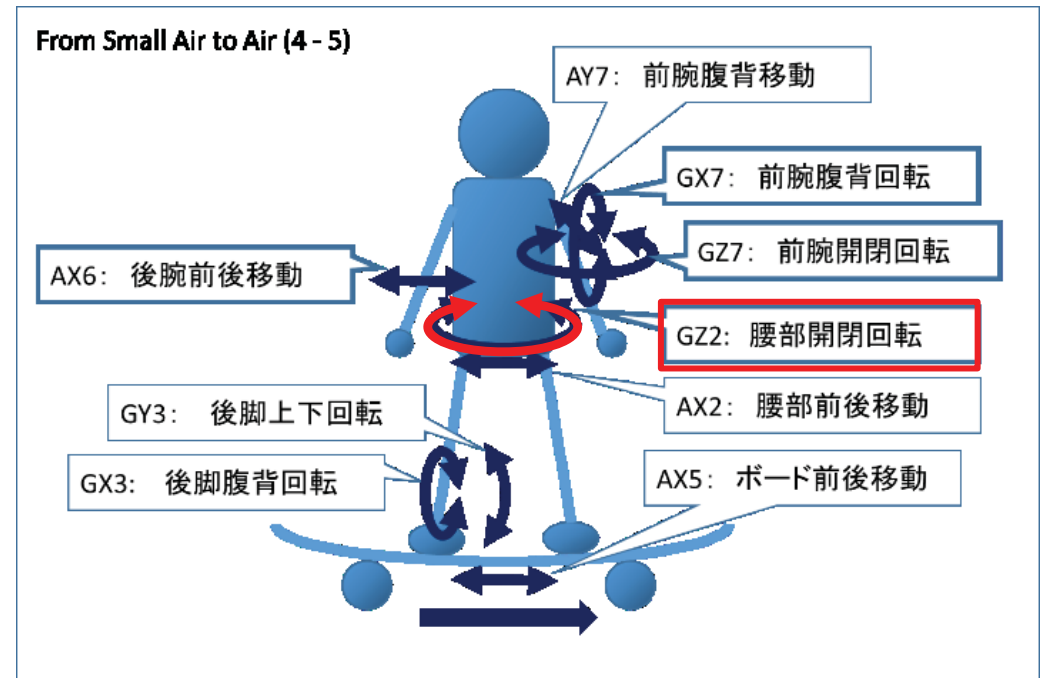


図 レベル4, 5における動作の差異

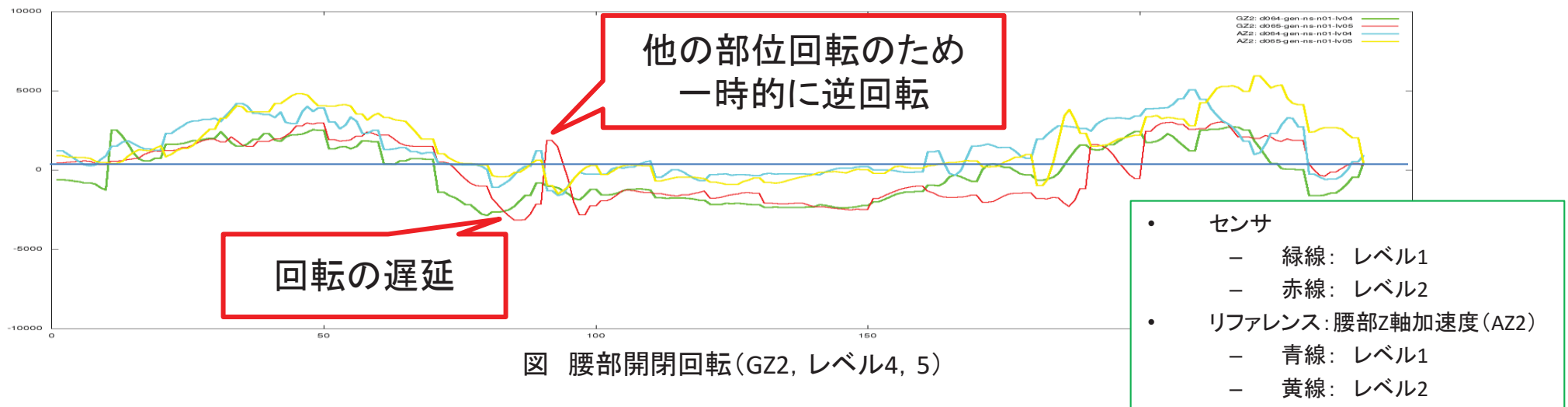


図 腰部開閉回転(GZ2, レベル4, 5)

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を示した.
- 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

- 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).
- 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).
- 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).
- 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).
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)