

修 士 論 文 の 和 文 要 旨

| | | | |
|---|---------------------------------|------|---------|
| 研究科・専攻 | 大学院 情報理工 学研究科 情報・通信工学 専攻 博士前期課程 | | |
| 氏 名 | 三井 貴之 | 学籍番号 | 1331101 |
| 論 文 題 目 | ウェアラブルセンサを用いたゴルフスイング向上支援システムの研究 | | |
| <p>要 旨</p> <p>近年、体に装着するウェアラブルセンサを使って体の状態、状況を監視し、それに基づいて人の安全で快適な活動を支援するサービスが注目されている。そこで本研究では、一般的に上達するのに時間がかかると言われているゴルフスイングを、ウェアラブルセンサを用いてコーチ(人)や設備投資無しで、いつでもどこでもゴルフスイングの評価(採点)・アドバイスを行う初級者向けのシステムを作成した。提案システムでは、プレイヤーは3軸の加速度と角速度が計測可能なセンサを左手甲、腰、頭に装着する。各センサはBluetoothを用いてスマートフォンと通信し、スマートフォンはリアルタイムでスイングデータを取得し解析を行い、適したアドバイスを画面に出力する。</p> <p>まず予備実験として上級者と初級者のセンサ値から両者の違いが判別可能であることを示した。次にリアルタイムに計算機処理でスイング解析し、アドバイスを出す手法を考案した。提案システムでは、初級者が上達するための最も基本的な方法として、上級者の真似をすることである、としている。手本の模倣はゴルフに限らず、弓道、書道、水墨画や文章の上達等様々な事柄に有効な手段である。今回教師データとしてティーチングプロのスイングデータを用意し、プレイヤーのスイングデータと比較する。比較する際は教師データとプレイヤーデータがどのくらい距離が離れているかを数値化したスイング類似距離を新たに提案し、それに基づきスイングの採点を行う。さらに、教師データとスイング類似距離が離れている動作を取り出し、362種類のパターンの中からその動作にマッチするものを選択する。それぞれのパターンに対応するアドバイス表を用いてアドバイスを提示する。</p> <p>10人のゴルフ初級者を対象として、アドバイス前後の提案システムによるスコアの変化を見る実験の結果、平均スコアが上昇したことを確認し、提案システムの有効性を検証した。</p> | | | |

ウェアラブルセンサを用いたゴルフス イング向上支援システムの研究

| | |
|-------|---------|
| 学籍番号 | 1331101 |
| 氏名 | 三井貴之 |
| 指導教員 | 小花貞夫 |
| 副指導教員 | 寺田実 |

電気通信大学 情報理工学研究科 情報・通信工学専攻
2015 年 3 月

ウェアラブルセンサを用いたゴルフスイング向上支援 システムの研究

三井 貴之

概要

近年、体に装着するウェアラブルセンサを使って体の状態、状況を監視し、それに基づいて人の安全で快適な活動を支援するサービスが注目されている。そこで本研究では、一般的に上達するのに時間がかかると言われているゴルフスイングを、ウェアラブルセンサを用いてコーチ(人)や設備投資無しで、いつでもどこでもゴルフスイングの評価(採点)・アドバイスを行う初級者向けのシステムを作成した。提案システムでは、プレイヤーは3軸の加速度と角速度が計測可能なセンサを左手甲、腰、頭に装着する。各センサは Bluetooth を用いてスマートフォンと通信し、スマートフォンはリアルタイムでスイングデータを取得し解析を行い、適したアドバイスを画面に出力する。

まず予備実験として上級者と初級者のセンサ値から両者の違いが判別可能であることを示した。次にリアルタイムに計算機処理でスイング解析し、アドバイスを出す手法を考案した。提案システムでは、初級者が上達するための最も基本的な方法として、上級者の真似をすることである、としている。手本の模倣はゴルフに限らず、弓道、書道、水墨画や文章の上達等様々な事柄に有効な手段である。今回教師データとしてティーチングプロのスイングデータを用意し、プレイヤーのスイングデータと比較する。比較する際は教師データとプレイヤーデータがどのくらい距離が離れているかを数値化したスイング類似距離を新たに提案し、それに基づきスイングの採点を行う。さらに、教師データとスイング類似距離が離れている動作を取り出し、362種類のパターンの中からその動作にマッチするものを選択する。それぞれのパターンに対応するアドバイス表を用いてアドバイスを提示する。

10人のゴルフ初級者を対象として、アドバイス前後の提案システムによるスコアの変化を見る実験の結果、平均スコアが上昇したことを確認し、提案システムの有効性を検証した。

目次

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | 序論..... | 1 |
| 2 | 研究の背景と目的..... | 2 |
| 3 | 本論文で用いるゴルフ用語..... | 3 |
| 4 | 既存・関連研究..... | 7 |
| 5 | 予備実験 [19] [20]..... | 11 |
| 5.1 | 4 スタンス理論..... | 11 |
| 5.2 | 実験構成..... | 12 |
| 5.3 | 実験結果..... | 13 |
| 6 | ゴルフスイング向上支援システムの提案..... | 17 |
| 6.1 | 上達方法..... | 17 |
| 6.2 | 予備実験時のセンサ取り付け位置と提案システムのセンサ取り付け位置が違う理由..... | 18 |
| 6.3 | センサ取り付け..... | 19 |
| 6.4 | 解析対象スイング動作..... | 20 |
| 6.5 | システムフレームワーク..... | 21 |
| 6.6 | 計測レイヤ..... | 21 |
| 6.7 | スイング候補検出レイヤ..... | 22 |
| 6.8 | スイング検出レイヤ..... | 22 |
| 6.8.1 | インパクトの検出..... | 22 |
| 6.8.2 | フィニッシュの検出..... | 23 |
| 6.8.3 | バックスイングの検出..... | 23 |
| 6.8.4 | ダウンスイングの検出..... | 23 |
| 6.9 | スイング正規化..... | 24 |
| 6.9.1 | 線形補間..... | 25 |
| 6.9.2 | 正規化の結果..... | 26 |
| 6.10 | 比較レイヤ..... | 27 |
| 6.10.1 | セクション(Section)..... | 27 |
| 6.10.2 | セグメント(Segment)..... | 29 |
| 6.10.3 | 比較..... | 30 |
| 6.11 | 採点..... | 32 |
| 6.12 | アドバイス..... | 33 |
| 6.12.1 | 点数の低かったセグメントに対するアドバイスの出し方..... | 34 |
| 6.13 | アプリ画面..... | 49 |
| 7 | 評価実験..... | 53 |
| 8 | 考察..... | 56 |

| | | |
|-------|------------------------|----|
| 8.1 | アドバイス前後のスコア変化について..... | 56 |
| 8.2 | 一度に出すアドバイスの個数 | 56 |
| 8.3 | 利用者のレベル | 57 |
| 8.4 | 複数の教師データの用意 | 57 |
| 8.5 | 複数センサを連携させてアドバイス | 57 |
| 8.6 | アドバイスの仕方 | 57 |
| 8.7 | センサ取り付け位置 | 58 |
| 8.7.1 | 重力加速度の除去 | 59 |
| 8.8 | 実験人数、実験期間 | 59 |
| 8.9 | ショット、クラブの種類 | 59 |
| 9 | 結論..... | 60 |
| | 参考文献..... | 61 |
| | 謝辞 | 63 |

1 序論

ゴルフは世界でメジャーなスポーツであり、プロを目指すのであれば、高齢になっても始めることが可能で、生涯スポーツとして男女問わず幅広い層の人々に楽しまれている。ゴルフは地面にあるボールをクラブという道具を使って打つ。打つ距離やボールがどんなところにあるかによって使うクラブや打ち方(スイング)は変わってくる。フルスイングと言われるボールを最初に打つときなどに行う、振り幅を最大にしてスイングする動作では、スイングは数秒間の内に高速で行われる。中でもドライバと呼ばれる一番長いクラブを用いてスイングする際はそのクラブスピードは成人男性で平均 40m/s を超え、人によっては 60m/s 以上になることもある。このようにスイングの際には早い動作が求められるが、正確さも同時に求められる。スイングの際には足、腰、腕、手、頭、肩と気をつけるポイントは多く、それらが調和をとれている必要があり、どれかがずれているとボールが意図しない方向に曲がったり、当たりが悪かったり、または、空振りといったミスショットに繋がる。

一方、最近体に装着するウェアラブルセンサが注目されている。加速度や角速度を計測する Inertial Measurement Unit センサや血圧や脈拍を計測するものなど様々な種類が存在し、人体の動作や状況を監視し、人々の安全で快適な活動を支援するサービスが注目されている。例えば医療の現場では医療を行うスタッフの体にウェアラブルセンサを装着し、何か間違った動作をしないか監視したり、患者にウェアラブルセンサを装着し、異常が無いかモニタリングされたりしている。昨今、ナイキが発売している FuelBand [1]は、手首にリストバンド型のデバイスを装着することで一日の活動量や頻度、負荷、消費カロリーなどを記録することができ、ダイエットやエクササイズをサポートなど様々な用途に使うことができる。本論文ではこのようなウェアラブルセンサのうち、加速度・角速度が計測可能なウェアラブルセンサを用いたゴルフスイング、主としてフルスイングの向上を支援するシステムを実現する手法を提案する。また、システムを実際に使ってもらい、システム利用前後での提案システムによる評価を持ってその有用性を示す。

以下、2章では本研究の背景と目的について述べ、3章では本論文中で用いるゴルフ用語の説明をする。4章では関連研究の紹介を行い、関連研究の特徴と本研究の特徴を比較した。5章ではゴルフ上級者と初級者の違いを、ウェアラブルセンサを用いて判断可能かについて論じ、6章では実際にゴルフスイング向上支援を行うシステムについて述べる。7章ではゴルフ初級者を対象とした本システムの検証実験について述べる。8章で7章の実験についての考察を行い、9章で結論を述べる。

2 研究の背景と目的

ゴルフスイングは一般的に難しいと言われている。それは前章でも述べたように短い時間の中でスピードと正確さが求められ、気をつける箇所も多いからである。ゴルフスイングを上達させるにはコーチに教わるのが一般的に良いとされている。しかし、コーチに教わるには、ゴルフスクールや個人レッスンを受けるとしても比較的多くの費用がかかり、レッスンを受けることができる時間や時間帯も限られ、レッスンを受けることができる場所に行く必要もある。複数のハイスピードカメラを利用したゴルフスイングアナライザ [2]等も登場している。ビデオの場合は視覚的に自分がどんなスイングをしているのかが分かり、他の人との比較も容易で身体のおおよその動きやスイング軌道などをチェックする際には有効である。一方、ビデオだとカメラで捉える場所の動きしか分からないという面もある。また、ある箇所で、どの方向にどのくらいの力が掛かっているか等を詳細に計測することは困難である。また、カメラを利用したゴルフスイングアナライザは一般的に設備投資に大きなコストが掛かってしまう。特に初級者であれば、上達するには多くの練習が必要となる。その練習の度にコーチに指導や、カメラを用いたゴルフスイングアナライザを使うとコストがかさんでしまう。

そこで主にゴルフ初級者が、コーチ(人)に指導を受けに行くこともなく、特別な設備投資をすることもなく、いつでもどこでも(ラウンドの最中や自宅でも)、何度でもアドバイスを得られるようなシステムがあると効率的かつ経済的であると考えられる。近年注目されているウェアラブルセンサを用いてスイングを計測し、急速に普及しているスマートフォンで解析することで、初期投資はセンサの購入のみで済む。さらに、最近は様々なウェアラブルセンサ(デバイス)が登場しており、例えばグーグルグラス [3]などのメガネ型デバイス、Galaxy Gear [4]などの腕時計型デバイス、Ring [5]などの指輪型デバイス、さらには衣服にセンサが編み込まれているもの [6] [7]も存在しており今後もさらに種類の増加が予想される。将来的にそれらのデバイスを日常的に身につけることがスタンダードになれば、特別な投資を全く必要ではなくなる。また、それらのデバイスを日常的に身に付けることがスタンダードになる為には、ウェアラブルデバイスを使ったアプリケーションの充実が重要であると考えられる。よって、ウェアラブルセンサを使ったゴルフスイング向上支援システムの実現はウェアラブルデバイスの普及にも寄与すると思われる。

本論文ではウェアラブルセンサを用いてスイングを計測、スマートフォン等でデータを解析しアドバイスを出すシステムの実現を目的とする。

3 本論文で用いるゴルフ用語

この章では本論文中で用いられるゴルフ用語を紹介する。表 3-1 にゴルフ用語とその説明を示す。

表 3-1: ゴルフ用語表

| 名称 | 説明 |
|------------------------------------|---|
| クラブ | ボールを打つ道具。 様々な種類が存在する。 |
| ドライバ (図 3-1) | 一番ウッド(1W)と言われるクラブ。 クラブの中で一番長い種類で、最も飛距離が出る。 |
| アドレス(Address) (図 3-2) | スイングをする前、クラブを地面につけた時の 構え |
| バックスイング(Backswing) (図 3-2) | ボール打つために、クラブを振り上げる動作 |
| トップ・オブ・スイング(トップ、 Top) (図 3-2) | バックスイングが完了し、腕を最高点まで上げた所 |
| ダウンスイング(Downswing) (図 3-2) | ボールを打つために、クラブを振り下ろす動作 |
| インパクト(Impact) (図 3-2) | クラブがボールに当たった瞬間の事を言う |
| フォロースルー(Follow-through) (図 3-2) | インパクトの後、クラブを最後まで振り切る動作 |
| フィニッシュ(Finish) (図 3-2) | スイングの終わり |
| 飛球線 | ボールを飛ばしたい方向 |
| フェース(図 3-3) | クラブのボールに当てる面のこと |

| | |
|--------------------------|--|
| スクエア | フェースが飛球線と垂直になっていること。 またその状態でボールに当たること |
| (フェース)ローテーション (図 3-4) | バックスイングの時に、フェースが飛球線と並行になり、ダウンスイングの時に飛球線と垂直になり、フォロースルーの時に飛球線と並行になるような動き |
| コック | バックスイングの際に、金槌を振り上げる時のような手首の動き |
| アンコック | ダウンスイングの際に、金槌を振り下ろす時のような手首の動き |



図 3-1: ドライバ

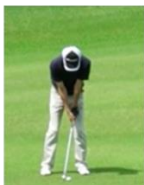
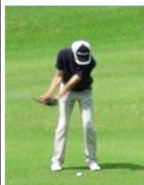





| Address | Backswing | Top of swing | Downswing | Impact | Follow-through | finish |
|---|---|---|---|--|---|---|
|  |  |  |  |  |  |  |

図 3-2: ゴルフスイングの流れと各動作の名前



図 3-3: フェース

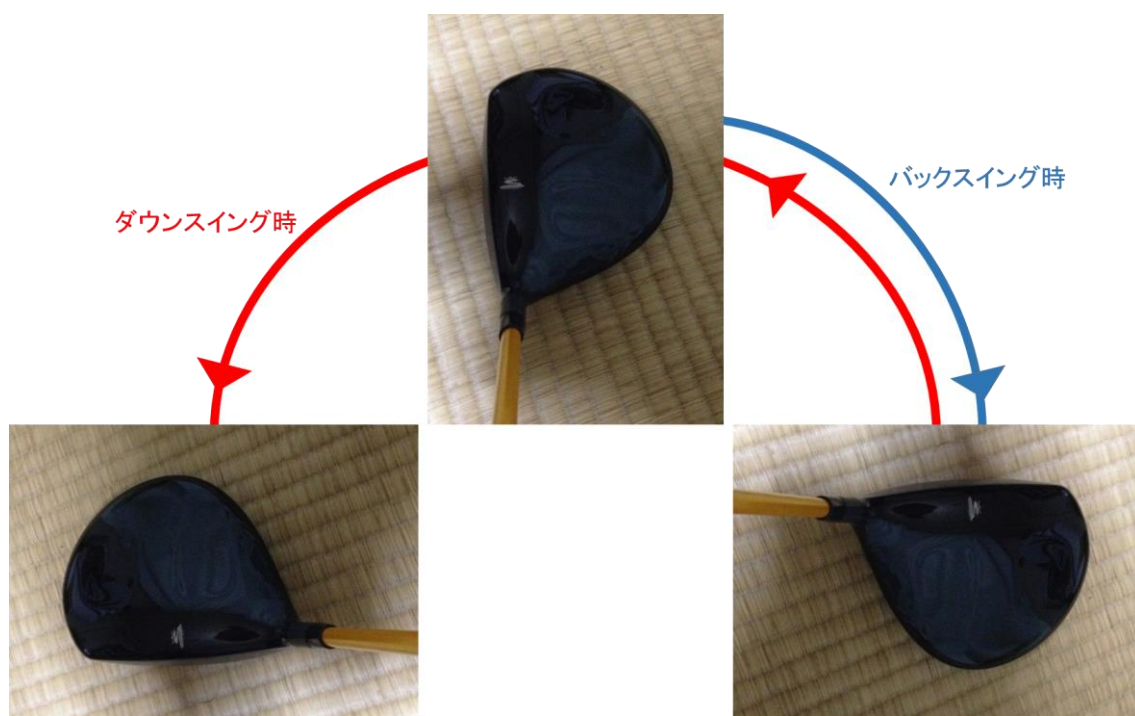


図 3-4: ローテーション

4 既存・関連研究

ゴルフスイングやスイング系のスポーツをカメラやセンサを使って解析する研究を表 4-1 にまとめる。

表 4-1: 関連研究一覧

| 論文名 | 概要 |
|--|--|
| Calculate Golf Swing Trajectories from IMU Sensing Data [8] | クラブのヘッドに装着したセンサから加速度・角速度を計測し、グローバル座標系に変換、軌跡を求めた。 |
| Measurement and analysis of golf swing using 3-D acceleration and gyro sensor [9] | 上級者と初級者では、腰の動きが違っていることを発見し、その良し悪しをフィードバックすることで効果があるか実験した。 |
| Measurement of Angular Motion in Golf Swing by a Local Sensor at the Grip End of a Golf Club [10] | グリップエンドの角速度、加速度を計測。グローバル座標系に変換。ハイスピードカメラで結果の評価を行った。 |
| Coordination Analysis of Human Movements With Body Sensor Networks: A Signal Processing Model to Evaluate Baseball Swings [11] | 腰、肩、右手首に装着したセンサを使った解析システムのモデルを提案。いくつかのチェック項目を用意し、それにクラスタリングされるか、ということを利用し、プレイヤーがどのような動作をしているか解析した。 |
| A Framework for Golf Training Using Low-Cost sensor [12] | 低コストセンサを使って、クラブの回転や位置を計算。 |
| Wireless MEMS inertial sensor system for golf swing dynamics [13] | グリップに埋め込む形のセンサを使ってクラブの回転、位置を計算。 |

| | |
|--|---|
| Measurement and Analysis of Golf Swing Using 3D Acceleration and Gyroscopic Sensors [14] | グリップエンドに装着したセンサで、スイングを計測。グローバル座標系に変換し、ハイスピードカメラで精度を評価した。 |
| Kinematical Analysis and Measurement of Sports Form [15] | センサを 12 個使い、スイングを計測。計測データをグローバル座標系に変換。中級者と初級者二人で実験し、二人の違いを求めた。 |
| ゴルフスイング自動診断システム [16] | カメラを使ってスイングを診断。診断結果からアドバイス表示。 条件として、専用上着着用、専用クラブが必要で、60fps 以上で撮影可能なカメラが 2 台、ボールの初期位置を計測する機器が必要。 |
| スポーツ動作分析の支援を目的とした人体センシング情報の可視化提示法 [17] | 筋電位情報や足圧情報などの運動機能情報を工夫して可視化した。 |
| スウィングのばらつきを考慮したゴルフクラブの最適設計 [18] | カメラを用いて上級者とそうではない人のスイングを様々なパターン認識手法で識別し、ゴルフスイングの判別に有効なパターン認識の手法を明らかにした。どの部分が似ていて、どの部分が似ていないか等の分析は今後の予定であった。 |

また、表 4-1 で紹介した関連研究が表 4-2 に示した特徴を満たすかどうかを表 4-3 に示す。表中には本論文の提案手法の場合も示す。○は、対応している、または、使用していることを示す。△は一部サポート、または、対応していることを示す。-は対応していない、または、使用していないことを示す。

表 4-2: 研究の特徴の種類

| 特徴 | 説明 |
|-------|--------------------------------------|
| 計測 | 何らかのデータを計測しているか |
| センサ | ウェアラブルセンサを使ってデータの計測を行っているか |
| カメラ | カメラを使ってデータの計測を行っているか |
| 解析 | 人の動作について解析しているか (例えば、初級者と上級者の違い等) |
| 自動 | 解析や採点、アドバイスを自動的にリアルタイムで行うか |
| 採点 | 解析結果からスイング等の評価・採点を行うか |
| アドバイス | 解析結果・採点結果からアドバイスを行うか |

表 4-3: 関連研究の特徴一覧

| 論文\特徴 | 計測 | センサ | カメラ | 解析 | 自動 | 採点 | アドバ イス |
|-------|----|-----|-----|----|----|----|-----------|
| [8] | ○ | ○ | - | - | - | - | - |
| [9] | ○ | ○ | - | ○ | ○ | △ | △ |
| [10] | ○ | ○ | - | - | - | - | - |
| [11] | ○ | ○ | - | ○ | ○ | △ | - |
| [12] | ○ | ○ | - | - | - | - | - |
| [13] | ○ | ○ | - | - | - | - | - |
| [14] | ○ | ○ | - | - | - | - | - |
| [15] | ○ | ○ | - | ○ | - | - | - |
| [16] | ○ | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| [17] | ○ | ○ | - | - | - | - | - |
| [18] | ○ | - | ○ | ○ | - | - | - |
| 本手法 | ○ | ○ | - | ○ | ○ | ○ | ○ |

5 予備実験 [19] [20]

ウェアラブルセンサをプレイヤに取り付け、加速度・角速度を計測するが、実際に上級者と初級者とは、スイング時に加速度や角速度に違いが表れるかを実験した。センサは3軸の加速度と角速度を計測する。以下、センサが計測した加速度や角速度のデータをセンサデータと呼ぶ。

5.1 4 スタンス理論

ゴルフスイングにはタイプが存在すると言われている [21]。無意識に重心のバランスをとる箇所によって下図 5-1 のように4つのタイプに分類できる。

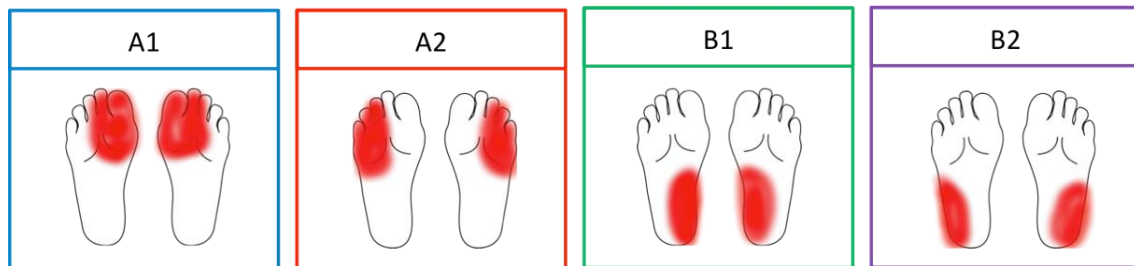


図 5-1: 4 スタンスタイプ分類図

つま先や指先内側でバランスをとるタイプを A1、つま先や指先外側でバランスをとるタイプを A2、踵や手の平内側でバランスをとるタイプを B1、踵や手の平外側でバランスをとるタイプを B2 と呼ぶ。それぞれタイプ毎に適したスイングのやり方が存在する。そのため、同タイプのプレイヤ同士で比較することで、タイプによるスイングデータの違いではなく、熟練度による違いを見出すことができる。

5.2 実験構成

A2 タイプの上級者と初級者のそれぞれ 1 名を対象とし、以下の構成で実験した。センサと PC を Bluetooth を用いて接続し、加速度と角速度を測定した。

表 5-1: 予備実験構成

| | |
|--------------|--|
| 対象 | A2 type（上級者/初級者） |
| 使用センサ | ATR-Promotions 小型無線多機能センサ「TSND121」 [20] |
| センサ計測項目 | 3 軸加速度(レンジ $\pm 8G$) 3 軸角速度(レンジ $\pm 500dps$) |
| サンプリングインターバル | 20msec |
| センサ取り付け位置 | 左手首、みぞおち、頭、右膝 |
| センサ通信方法 | Bluetooth2.0 |
| 使用クラブ | ドライバ |
| 解析対象スイング動作 | バックスイング、ダウンスイング、インパクト、フォロースルー |

センサは、4 スタンス理論 [21]の中で重要な身体部位と位置づけられている、左手首、みぞおち、頭、右膝に取り付けた。

5.3 実験結果

実験結果から、上級者の各スイング動作におけるセンサ取り付け部位は以下の動きをしていた。

表 5-2: A2 タイプ上級者スイング時のセンサ取り付け部位の主な動き

| スイング動作 | センサを付けた身体部位 | | | |
|---------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| | みぞおち | 左手 | 右膝 | 頭 |
| | アドレスの時と体の傾き | | | |
| バックスイング | 変わらない (図 5-2 の(1)) | ローテーションが できている | あまり動かない | あまり動かない |
| ダウンスイング | 無駄なく速く回転する | スムーズにインパクトに向かう(図 5-3 の(3)) | 踏み込む為右に一瞬加速度が掛かる (図 5-4 の(5)) | あまり動かない |
| インパクト | 左向きに最も大きな加速度が掛かる | スイングの反対向きに大きな加速度が一瞬掛かる | 左向きに最も大きな加速度が掛かる | あまり動かない (図 5-5 の(6)) |
| フォロースルー | 前に傾かないで回転 (図 5-2 の(2)) | ローテーションが できている (図 5-3 の(4)) | 左に回転 | 左に回転 |

図 5-2、図 5-3、図 5-4、図 5-5 に実際のデータの一例を示す。図 5-2 はみぞおちのセンサの Z 軸加速度の値を示す。この Z 軸加速度はみぞおちが前方に動けばマイナスの加速度が掛かる。図 5-2 の(1)で上級者は体の傾きがほぼ変わらずバックスイングしているのに対し、初級者は体が上下動しながらバックスイングしていることが分かる。図 5-2 の(2)では、上級者の体が傾かずフォローしているのに対し初級者は体が前に傾いたままフォローをしていることが分かる。

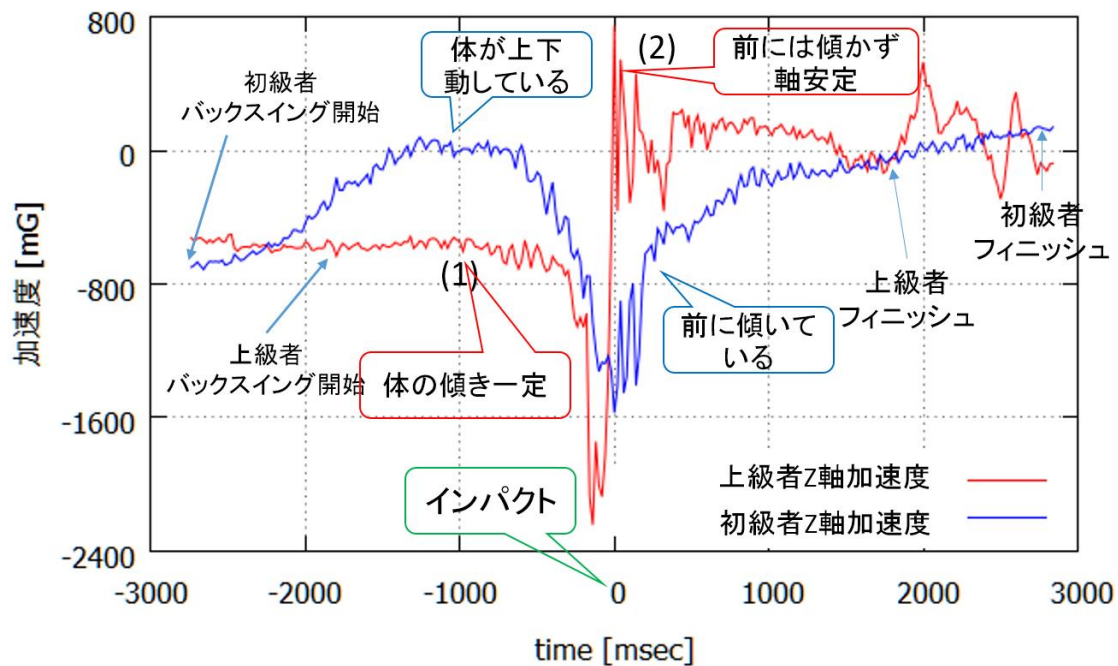


図 5-2; 上級者(経験者)と初級者のみぞおち Z 軸加速度の比較

図 5-3 に左手 Y 軸加速度の値を示す。左手を左に動かすとマイナスの加速度が掛かる。図 5-3 中(3)では上級者はバックスイングからダウンスイングへスムーズに移行しているのに対し、初級者はもたつきながらダウンスイングへ移行しており、図 5-3 中(4)では上級者はインパクトの際手首が返る(ローテーション)が、初級者は手首がうまく返っていないことが分かる。

図 5-4 に右膝 Y 軸加速度の値を示す。右膝が右に動くときプラスの加速度が掛かる。図 5-4 中(5)では上級者はインパクトの前に右足を踏み込むため右に加速度が掛かっているが、初級者は踏み込みがないため逆に左に動いていることが分かる。

図 5-5 に頭 Z 軸角速度の値を示す。頭が左に回転するとプラスの角速度が掛かる。図 5-5 中(6)では上級者はインパクトの直後にあまり頭が回転していないが、初級者は頭が回転してしまっていることが分かる。

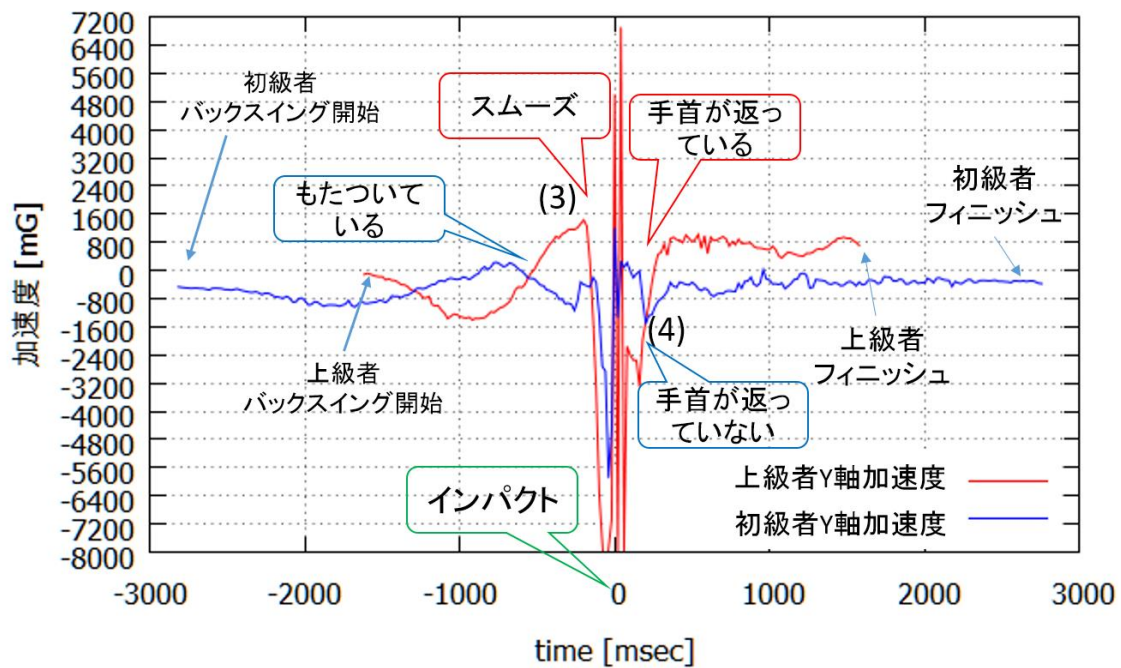


図 5-3: 上級者(経験者)と初級者の左手首 Y 軸加速度の比較

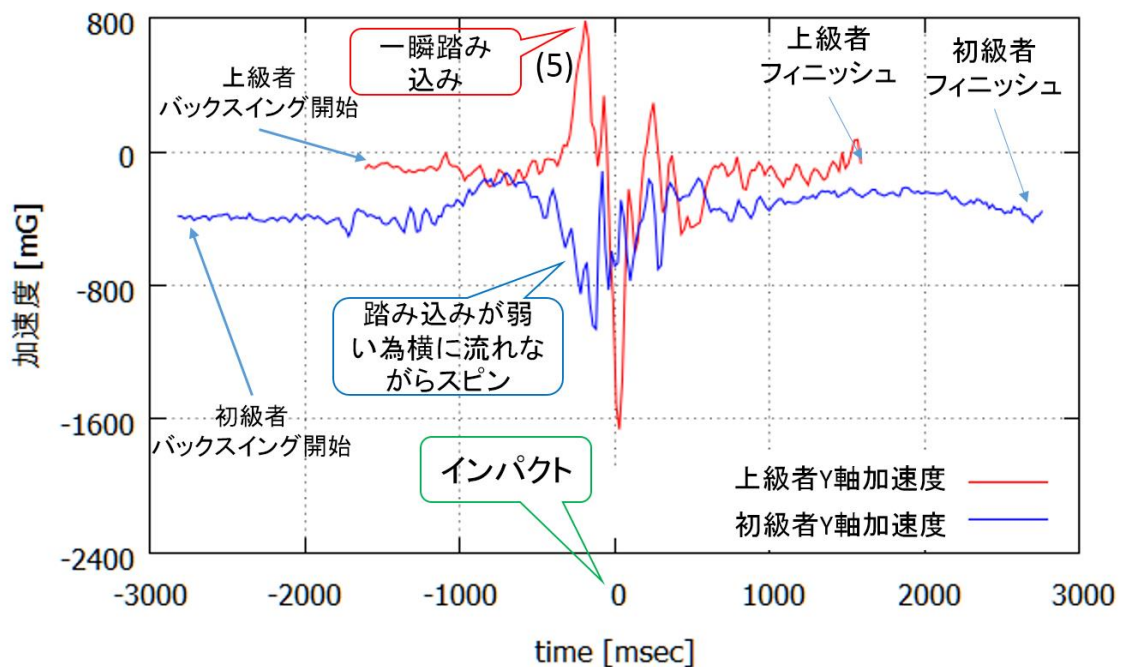


図 5-4: 上級者(経験者)と初級者の右膝 Y 軸加速度の比較

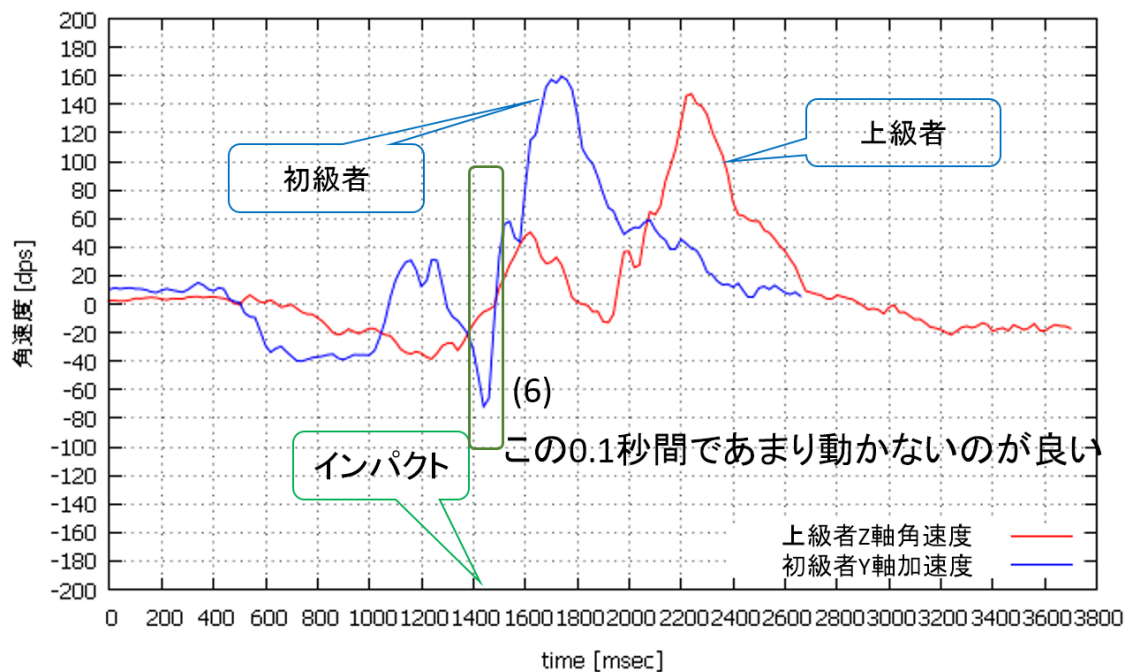


図 5-5: 上級者(経験者)と初級者の頭 Z 軸角速度の比較

以上の予備実験から、上級者と初級者のセンサデータからは違いが多数読み取れ、センサデータから上級者かそうではないか、こういった違いが出ているかということを判別可能であることが分かった。

6 ゴルフスイング向上支援システムの提案

予備実験では、上級者と初級者とではセンサデータに違いがでてくることを、データをグラフ化したものを目視で確認した。しかし、実際にシステムとして実装する場合には、一回一回を目視で違いを確認し、アドバイスを出すのではなく、自動的、機械的にスイングデータを解析し、アドバイスを出すシステムが必要となる。

本論文で提案するシステムでは、以下の図 6-1 のようにシステム利用者(以下プレイヤーと呼ぶ)の左手の甲、頭、腰(予備実験時と取り付け位置が変わった理由については 6.2 節で述べる)にウェアラブルセンサを取り付ける。各センサは 3 軸の加速度と角速度を計測し、Bluetooth を用いてスマートフォンと通信する。スマートフォンは受信したデータをリアルタイムに解析し点数やアドバイスを表示する。

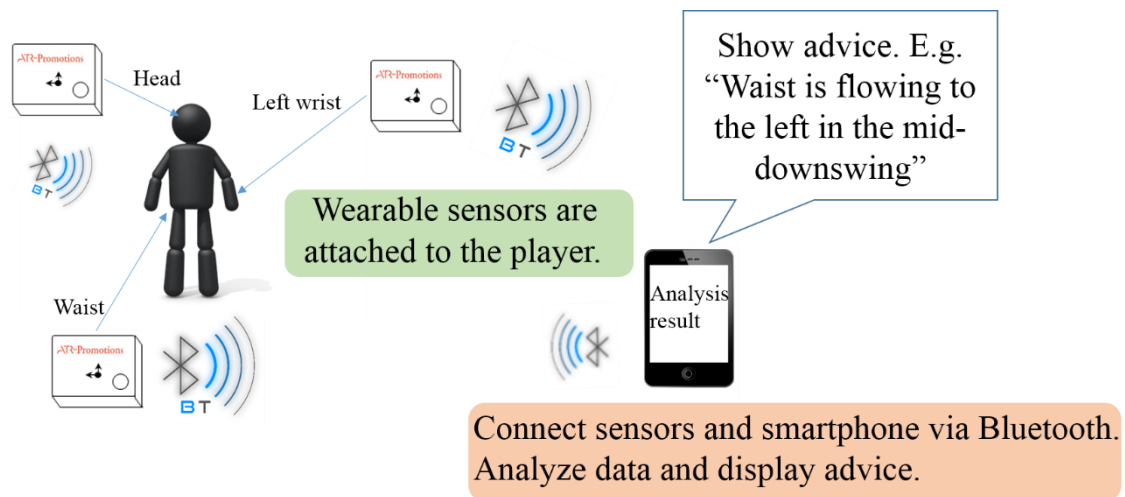


図 6-1: 提案システムの物理構成

6.1 上達方法

一般的に上級者の真似をすることはゴルフに限らず、様々な事柄の上達方法の 1 つである。ゴルフの中級者、上級者の場合は次第に自分の癖などを活かしたスイングをすることが多くなり、システムにより画一的なアドバイスを出すことは困難であるが、初級者の場合はまだスイングが定まっておらず、上級者のスイングを真似ることが上達への近道となると考えられる。そこで、本システムではゴルフ上級者のスイングとプレイヤーのスイングを比較し、上級者のスイングに近づけるようなアドバイスを出すこととした。また、どれだけ上級者のスイングと違うのかを示す、スイング類似距離という概念を導入し、点数としてスイング類似距離がどれだけ離れているかを示すこととした。本システムでは、予め計測したティーチングプロ 1 名のスイング時の左手甲、腰、頭の加速度・角速度を教師データとしてプレイヤーのデータと比較・解析を行う。教師データはティーチングプロのドライバ素振り時のス

イング 10 回を、後述する正規化を行い、平均したデータである。ここで、ドライバを対象としたのは、一番速く、一番大きくスイングを行い、飛距離も最も長く、一番ボールが曲がりやすいクラブなので、センサにも動きが出やすく、アドバイス等による影響が目に見えて分かるからである。

6.2 予備実験時のセンサ取り付け位置と提案システムのセンサ取り付け位置が違う理由

予備実験において、プレイヤーの左手首、みぞおち、頭、右膝にセンサを取り付けていた。これに対し提案システムでは、下記の理由により取り付け位置を左手甲、腰、頭に変更した。

1. 本システムではリアルタイムにデータ解析を行うため、各センサはオフライン計測ではなく、オンライン計測する必要がある。しかし、実験で使用したセンサの販売元である ATR-Promotions 社が動作確認しているアンドロイド端末では、センサの同時接続数は 3 が限界であった。実際に Nexus7(2012)、Lenovo A820 で動作確認実験を行ったところ、Nexus7 では最大同時接続数は 1、Lenovo A820 では 3 だった。その為センサの数は 3 とした。
2. 将来的にセンサは別に購入するのではなく、メガネ型デバイスやリストバンド型デバイス、指輪型デバイス、スマートフォン等で計測を行うことを予定しており、それらの装着位置に合わせた。将来的にはグーグルグラスなどのメガネ型デバイスで頭の動きを、Galaxy Gear や Ring などのリストバンド型や指輪型デバイスで左手の動きを、スマートフォンを後ろポケットに入れることで腰の動きを計測することを考えている。
3. コックなどのより詳細な動作を計測することで、より正確なアドバイスをすることが可能になる為、センサ取り付け位置を手首から手の甲にした。また、予備実験時にはなかった指輪型デバイスが登場したことで、手首から先の部分の動作計測が現実味を増してきた。
4. 頭を残した理由は、初級者は、インパクト後に打ったボールを追うために頭が動きながらスイングする傾向があり、そこを直せばスイング全体のバランスも格段と増すので、効率が良いアドバイスが可能だと考えられるからである。
5. 左手も非常に重要な動きをする上、インパクトの検出に使用可能なので必要だと思われる。
6. ゴルフスイングにおいて、下半身の動きは重要だと一般的に言われており、下半身の動きも計測するのが望ましい。そこである程度大きな動作をし、アドバイスされた時に修正しやすく、ヒップターンなどゴルフスイングにおいて重要な動きが検出可能な腰をセンサ取り付け位置とした。

6.3 センサ取り付け

本システムでは、ATR-Promotions 小型無線多機能センサ「TSND121」[22] を使用している。図 6-2 と図 6-3 にセンサが計測する加速度と角速度の向きを示す。図の矢印の方向に加速度が掛かるとマイナスの加速度が掛かり、矢印の方向に角速度が掛かるとプラスの角速度が掛かる。X、Y、Z をそれぞれ X 軸加速度、Y 軸加速度、Z 軸加速度とし、Roll、Pitch、Yaw をそれぞれ X 軸角速度、Y 軸角速度、Z 軸角速度とする。

図 6-4、図 6-5、図 6-6、図 6-7 に実際にセンサを取り付けている様子を示す。左手甲のセンサはゴルフ用手袋の甲の部分に取り付けた。頭のセンサは帽子のつばの部分に取り付ける。腰のセンサは、ズボンのおしりのポケットの部分に取り付ける。

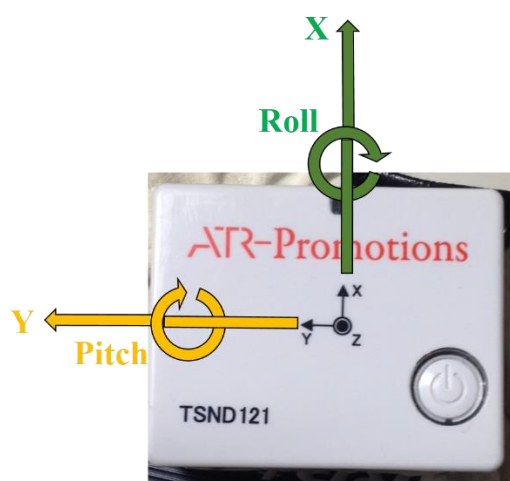


図 6-2: センサ XY 軸説明

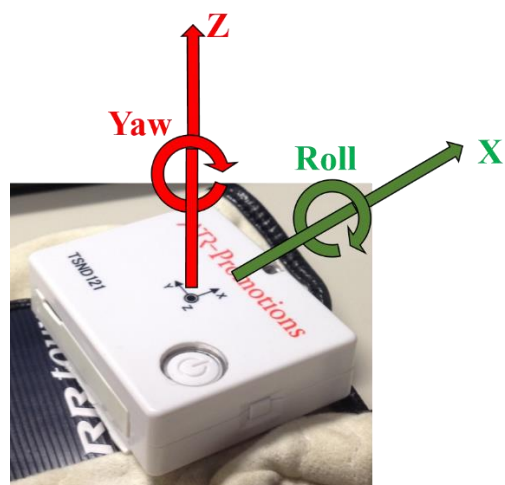


図 6-3: センサ XZ 軸説明



図 6-4: 左手甲センサ



図 6-5: 頭センサ



図 6-6: 腰(ヒップ)のセンサ



図 6-7: 腰のセンサ拡大

6.4 解析対象スイング動作

解析対象スイング動作を図 6-8 の赤枠で示す、アドレスからインパクトまでを解析対象スイング動作とする。インパクト以降を解析対象としていない理由は、インパクト以降はボールを打った衝撃で不規則な加速度・角速度がかかり、正確な解析ができないためである。実際にボールを打たなければ、フォロースルー、フィニッシュの解析も可能であるが、初級者の場合、素振り時のスイングと実際のボールを打つ時のスイングでは、力の入り方などが変わり、スイングも変わることが多い。その為、より正確のプレイヤーのスイングを得るためには、実際にボールを打つ時のデータを計測する必要がある。

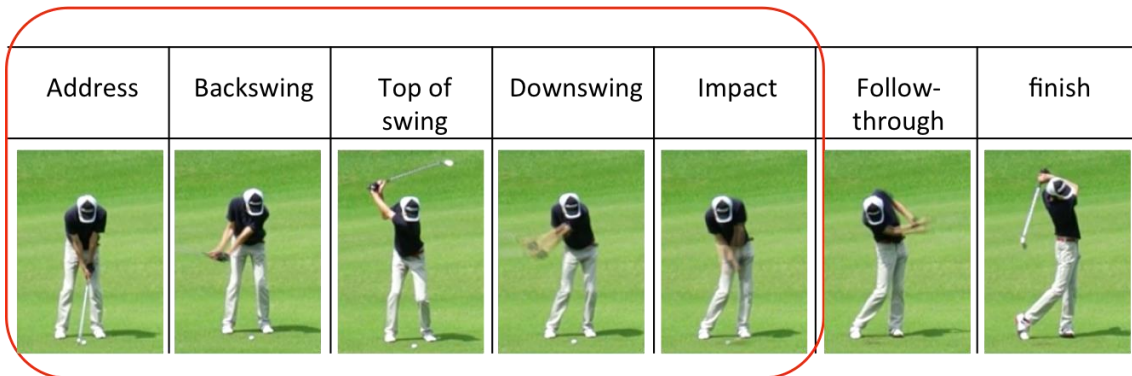


図 6-8: 解析対象スイング動作図

6.5 システムフレームワーク

図 6-9 に提案システムのフレームワーク図を示す。スマートフォン側に作成したシステムはレイヤ構造になっており、計測レイヤで取得したデータをそれぞれのレイヤで加工し、最終的にはアドバイスレイヤでアドバイスを出す。

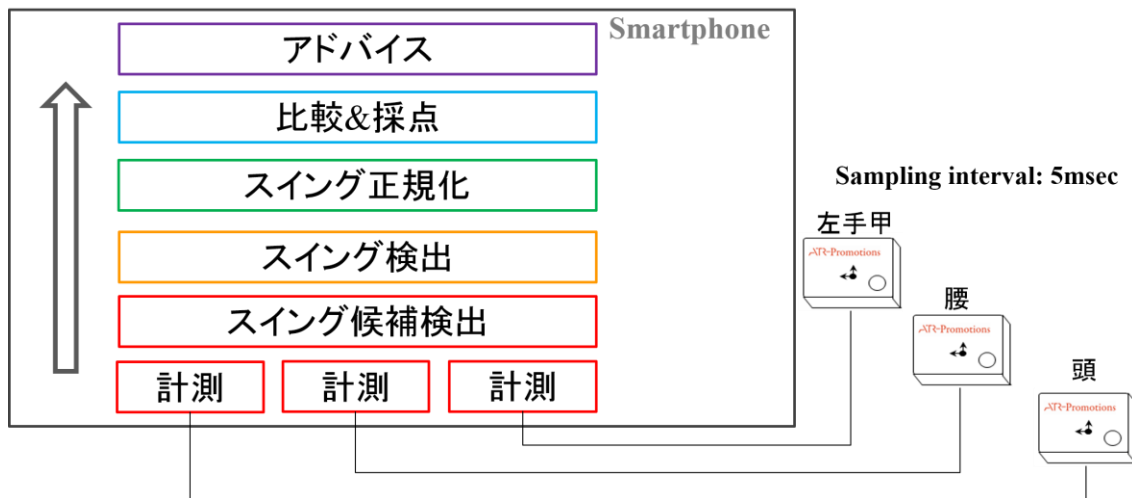


図 6-9: 提案システムフレームワーク

6.6 計測レイヤ

スマートフォン側アプリの一番下のレイヤとなる。センサデータを取得する部分である。センサの種類を変更する場合でも、このレイヤを修正することで、他のレイヤをそのまま使うことができる。実装としては、センサ毎にデータ受信スレッドを作成する。センサはサンプリングインターバルに計測した加速度・角速度を送信する。受信スレッドはセンサからのデータ送信イベントを受け取ると、全レイヤからアクセス可能な領域にあるバッファ(以下、データバッファと呼ぶ)にデータをためる。そのデータバッファは受信スレッドの数だけ用

意されており、5 秒分のセンサデータを保存する。溢れた場合は古いものから削除する。言い換えると、データバッファには、時刻 t から時刻 $t+999$ までのデータが格納される(t の単位はサンプリングインターバルである)。本論文では、データバッファにおいて一番古いデータを時刻 $t=0$ のデータと呼ぶ。

6.7 スイング候補検出レイヤ

データバッファを監視し、スイングと思われるデータを検出する。サンプリングインターバル-1msec 毎に検出プログラムを実行する。以下に検出方法のフローを示す。

1. 左手甲のデータバッファが更新されているかチェックする(各データバッファには、データが参照されると **False** になり、新しい値を格納すると **True** になるフラグがある)。更新されていなければ処理は終了する。
2. インパクト検出フラグが立っていないければ、左手甲のデータバッファの最新の値を取得。3 軸の加速度の二乗平均平方根(以下、**RMS** と呼ぶ)が 40,000[0.1mG]より大きく、かつ、3 軸の角速度の **RMS** が 60,000[0.01dps]より大きいかをチェック。条件を満たしていれば、左手甲のデータバッファの最新の一つ前の Z 軸角速度を取得。最新の Z 軸角速度より絶対値が大きいかをチェック(ピークの検出)。小さければ、インパクト検出フラグを立てる。
3. インパクト検出フラグが立っており、左手甲データバッファの最新の角速度の **RMS** が 3,000[0.01dps]より小さいか、インパクト検出フラグが経ってから 2 秒後をフィニッシュの時刻とする。
4. フィニッシュの時刻を検出していれば、そこでセンサデータのデータバッファへの格納をストップし、スイング検出レイヤへと移る。

6.8 スイング検出レイヤ

スイング候補検出レイヤで取得したおおよそのスイングデータから正確なスイングデータを取り出す。処理はインパクトの検出、フィニッシュの検出、バックスイングの検出、ダウンスイングの検出の順で行なう。それらの検出は左手甲のデータのみを利用して検出する。また、この節における時刻 t の加速度や角速度は、左手甲データバッファの時刻 t のデータを示す。

6.8.1 インパクトの検出

以下の[ピークの検出]、[手がアドレスの形に戻ったことの検出]の順に処理を行い、インパクトの時刻を求める。

[ピークの検出]

時刻 t における 3 軸の加速度の RMS が 40,000[0.1mG]より大きく、かつ、3 軸の角速度の RMS が 60,000[0.01dps]より大きいかをチェックする。条件を満たしており、かつ、時刻 $t+1$ の Z 軸角速度の絶対値が時刻 t の Z 軸角速度のものより小さく、時刻 $t+2$ の Z 軸角速度の絶対値が時刻 $t+1$ の Z 軸角速度のものより小さければ、時刻 t をピークの時刻とする。

[手がアドレスの形に戻ったことの検出]

ピークの時刻から 250msec、つまりピークを時刻 t とすると、時刻 $t+50$ の範囲内で、Z 軸角速度の符号が変化している時刻を探す。符号が変化する前と後で、絶対値が低い方の時刻をインパクトの時刻とする。これはスイングを行い、ボールに当たる時は、フェースがスクエアに戻ることを根拠にしている。フェースがスクエアに戻る時、左手の甲は地面と垂直になっており、丁度 Z 軸角速度の向きが入れ替わる時である。ボールにフェースがスクエアに当たらなかった場合は、インパクトの時刻が少し前後してしまうことが考えられるが、それは後のアドバイスの時にインパクト付近の挙動を見てフェースがどのように当たったかを判断し、場合によってはアドバイスをを行うので問題はないと考えられる。

6.8.2 フィニッシュの検出

インパクトの時刻+3 以降で、3 軸の角速度の RMS が 3,000[0.01dps]より小さい時刻があれば、それをフィニッシュの時刻とし、なければインパクトの 2 秒後をフィニッシュの時刻とする。本システムでは、インパクトまでが解析対象であり、フィニッシュの時刻を求める必要はないが、今後のために検出しておく。

6.8.3 バックスイングの検出

本システムでは、バックスイングの検出を行うために、プレイヤーにはバックスイングの前に 0.5 秒以上静止状態を維持することとした。時刻 $t=0$ から、インパクトの時刻までを見て、0.5 秒以上バックスイング前静止状態が続いた後に、バックスイング前静止状態ではなくなった、最後の時刻をバックスイング開始時刻とする。バックスイング前静止状態とは、時刻 t における 3 軸の加速度の RMS が 12,000[0.1mG]より小さく、3 軸の角速度の RMS が 1,500[0.01dps]より小さい状態を指す。また、今回は 0.5 秒以上のデータの中に、2 回までバックスイング前静止状態ではない時があっても、他がすべてバックスイング前静止状態であれば、バックスイング前静止状態が続いたと判断することとした。理由としては、バックスイング前のほんの少しの動きで 1、2 回バックスイング前静止状態ではなくなるケースが多々あり、バックスイング検出の失敗に繋がるため、少し遊び(余裕)をもたせる必要があるからである。

6.8.4 ダウンスイングの検出

バックスイング開始時刻+400msec から、インパクト時刻までの間で、Z 軸角速度の符号が反転している時点をダウンスイング開始時刻とする。これは、バックスイング後、トップ

で切り返してダウンスイングに入る時に、Z軸角速度が逆向きに掛かるので、逆向きにかかり始めた点である。バックスイング開始時刻+400msec から探す理由は、バックスイングし始めの頃にもZ角速度の符号が反転する場合があるためである。

6.9 スイング正規化

個々人やスイングによって、スイングに掛かる時間は様々であり、そのようなデータをそのまま比較することはできない。その為、検出したスイングデータを、比較対象である教師データのスケールと合わせる必要がある。具体的にはバックスイング開始からダウンスイング開始まで、ダウンスイング開始からインパクトまで、インパクトからフィニッシュまでそれぞれの時間を教師データと合わせることにした。また、時間をあわせる際、例えばプレイヤーのバックスイングの時間が、教師データのバックスイングの時間より長ければ、時間は縮小されることになるが、データの値は拡大する(図 6-10)。時間が短い場合は、時間を伸ばし、データの値は縮小する(図 6-11)。これは映像の早送り、スロー再生と同様である。これにより、プレイヤーが教師データと同じ時間でスイングした場合のセンサの値をえることができる。

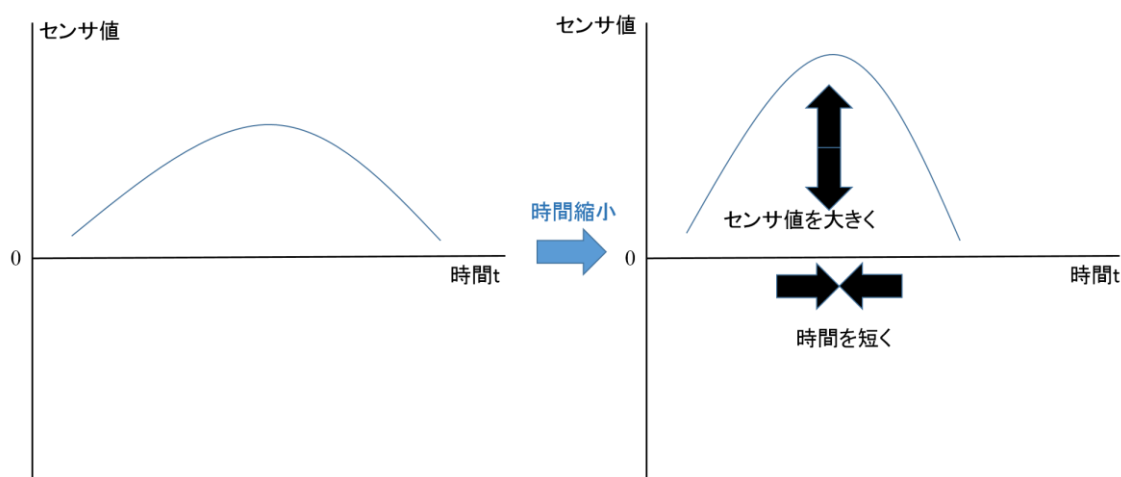


図 6-10: 時間縮小イメージ

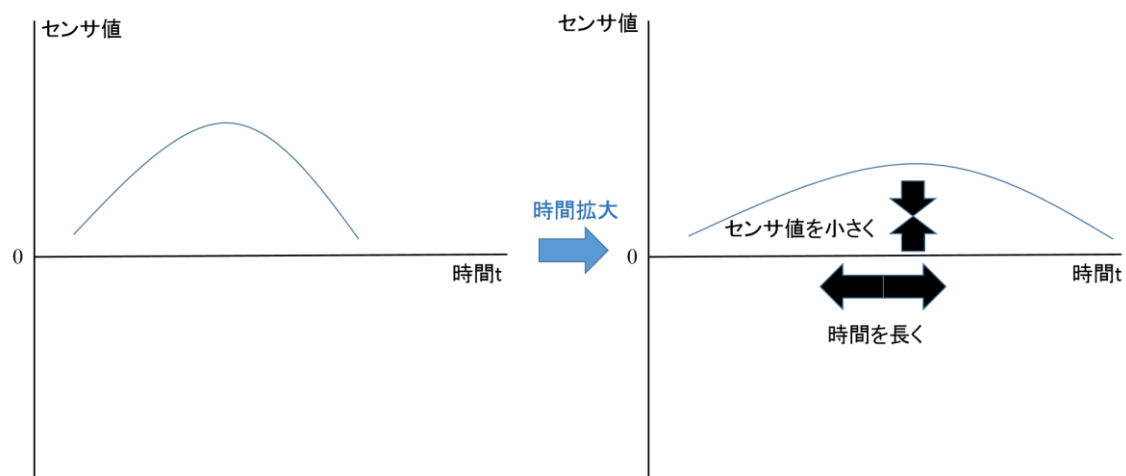


図 6-11: 時間拡大イメージ

6.9.1 線形補間

拡大縮小の際には線形補間を用いる。拡大時と縮小時では同じアルゴリズムを用いる。実際の処理の様子をバックスイングを例にとって説明する。まず拡大縮小率 $zoom$ を以下の式で求める。

$$zoom = \frac{\text{プレイヤーバックスイング長さ}}{\text{教師データバックスイング長さ}} \quad (1)$$

プレイヤーのバックスイングが $t=0$ から $t=300$ までで、教師データのバックスイングが $t=0$ から $t=214$ までだとすると、プレイヤーのバックスイングを $t=0$ から $t=214$ のデータに変換して出力する必要がある。出力データの時刻 t の値は、元のデータの時刻 $t * zoom$ である。 $t * zoom$ の結果が例えば 4.7 だとすると、その値は、

$$\text{元データの時刻 4 の値} * (1 - 0.7) + \text{元データの時刻 5 の値} * 0.7 \quad (2)$$

である(線形補間)。しかし、これだと 1 以下の値を何回も掛ける必要があり、場合によっては計算時間が遅くなるため、時刻 t と時刻 $t+1$ の間を 1,024 分割して線形補間を行う。バックスイングの場合だと、 $t=0$ から $t=214$ までで、以下の計算を行う。以下の式ではプレイヤーの元データの時刻 t の値を $v[t]$ と表記し、変換したデータの時刻 t の値を $n[t]$ と表記する。

$$pos = t * zoom * 1024 \quad (3)$$

$$d = (int)pos \% 1024 \quad (4)$$

$(t * zoom)$ の整数部分を T とする

$$n[t] = \frac{v[T] * (1023 - d)}{1024} + \frac{v[T + 1] * d}{1024} \quad (5)$$

$$n[t] = n[t] * zoom \quad (6)$$

6.9.2 正規化の結果

以上のような操作を、左手甲、腰、頭のバックスイング時、ダウンスイング時、フォロースルー時のスイングデータ(3 軸の加速度と角速度)にそれぞれ行う。調整を行った結果を図 6-12 と図 6-13 に示す。図 6-12 は調整前のデータで、左側がプレイヤーの左手甲の角速度、右側が教師データの左手甲の角速度を示す。図中の白い ○ がダウンスイング開始を、白い △ がインパクトを、白い □ がフィニッシュを、time が 0 の時がバックスイング開始を示している。図 6-12 を見ると、それぞれに掛かる時間が違っていることが分かる。

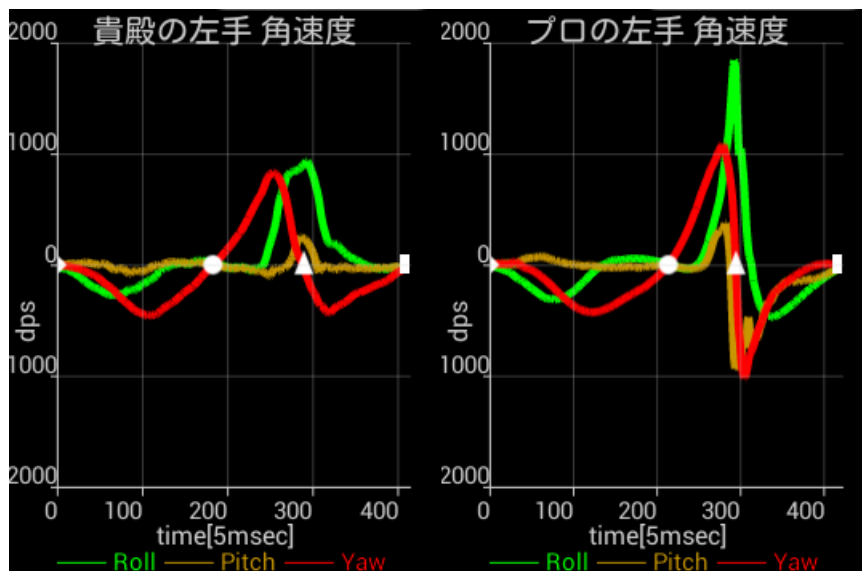


図 6-12: スケール調整前スイングデータ(角速度)

図 6-13 に、調整後のスイングデータを示す。左側が調整したデータで、右側は図 6-12 のものと同じである。バックスイング、ダウンスイング、フォロースルーに掛かる時間が教師データのものに揃えられ、それに合わせてセンサ値も変わっていることが分かる。

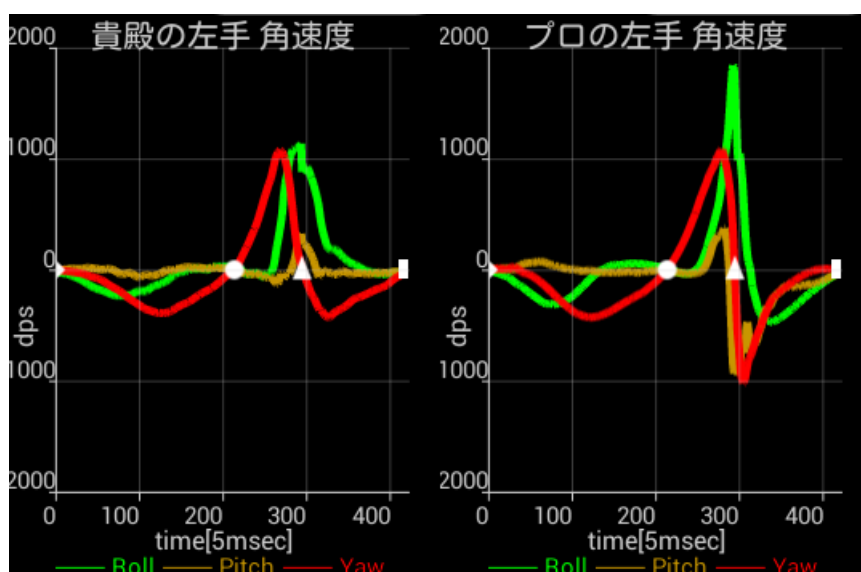


図 6-13: スケール調整後スイングデータ(角速度)

また、教師データのバックスイング開始時刻、ダウンスイング開始時刻、インパクト時刻、フィニッシュ時刻は表 6-1 に示す通りとなっていた。

表 6-1: 教師データのバックスイング、ダウンスイング、インパクト、フィニッシュの時刻

| 動作 | 時刻 t[5msec] |
|-----------|-------------|
| バックスイング開始 | 0 |
| ダウンスイング開始 | 214 |
| インパクト | 295 |
| フィニッシュ | 421 |

6.10 比較レイヤ

スイング正規化を通したデータと教師データを比較する。

6.10.1 セクション(Section)

以降の解析では、スイングデータを表 6-2 と図 6-14 に示すように、6つのセクションに分けて、セクション毎に行う。理由は、プレイヤーに「〇〇のところで、動きが…」といったアドバイスをする際に、プレイヤーが修正箇所をイメージしやすくする為である。センサを使う計測の利点として、細かな力の入れ方や動作が計測可能なことが挙げられる。その特性を活かすには、例えばバックスイング全体で、というよりもそれを幾つかに分割して細かく区間で分けて解析を行うのが望ましい。しかし、分けすぎても複雑になり、プレイヤーに分かり易く伝えることが困難になる可能性があるため、ここでは合計 6 つのセクションに分けることとした。また、なるべく教師データの波形をシンプルなものにすることで、アドバイス

の精度を高める目的もある。

表 6-2: セクション・教師データ時刻対応表

| セクション\項目 | 開始時刻 t[5msec] | 終了時刻 t[5msec] | 終了時の動き | アドバイス時の呼び方 |
|----------|------------------|------------------|--------------------------|------------|
| セクション① | 0 | 50 | 手が右足のところに来た | バックスイング前半 |
| セクション② | 51 | 135 | 腕が水平に近づいた (ハーフウェイバック) | バックスイング中盤 |
| セクション③ | 136 | 214 | トップまで | バックスイング後半 |
| セクション④ | 215 | 248 | 切り返して腰がアドレスの位置に戻った | ダウンスイング前半 |
| セクション⑤ | 249 | 270 | 左手が最下点 | ダウンスイング中盤 |
| セクション⑥ | 271 | 295 | 手がアドレスの形にもどり、ボールに当たった | ダウンスイング後半 |

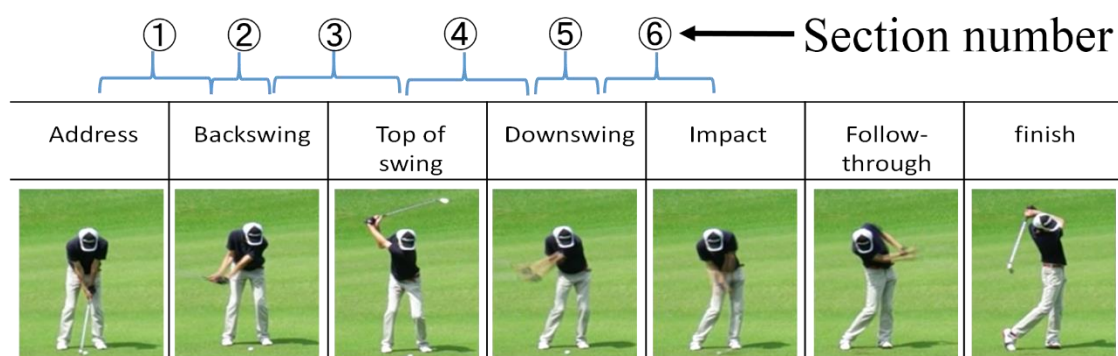


図 6-14: セクション分け図説

6.10.2 セグメント(Segment)

セクションと各センサの計測軸の組み合わせを以降でセグメント(Segment)と呼ぶ。セグメントのイメージを図 6-15 に示す。各部位のデータはセクションで分けられており、セクションの下には 3 軸の加速度と角速度が格納されているイメージである。センサ毎にセグメントは 36 個存在し、センサは 3 つあるので、合計 108 のセグメントが存在する。表 6-3 に本論文で用いるセグメント名の対応表を示す。

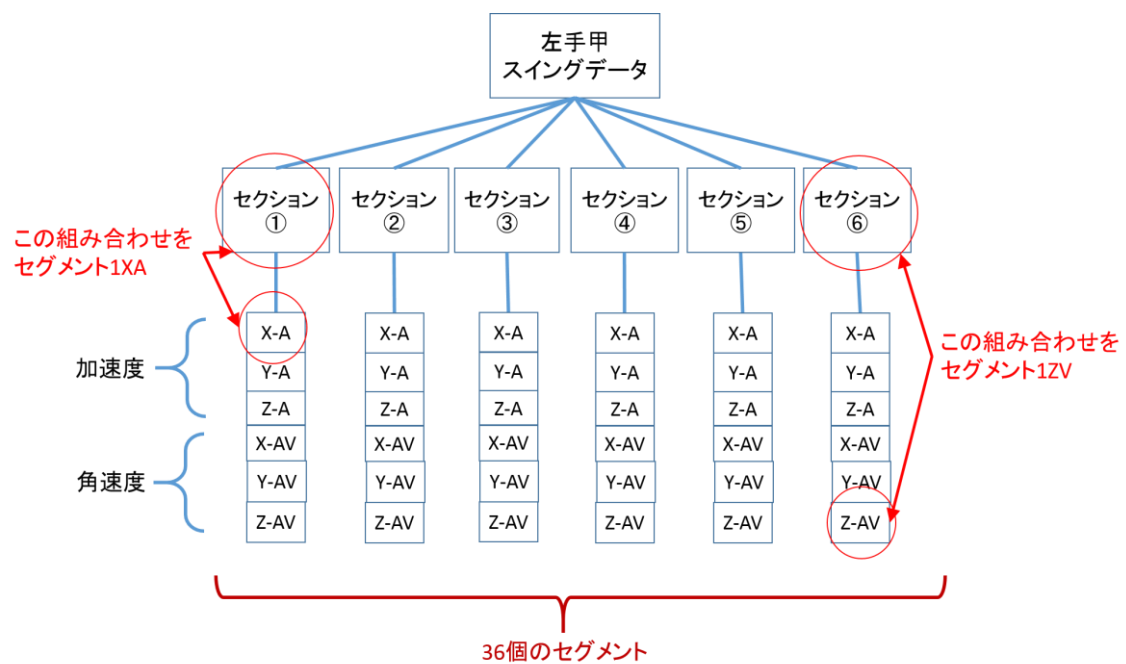


図 6-15: セグメントイメージ

表 6-3: セグメント名対応表

| | セクション ① | セクション ② | セクション ③ | セクション ④ | セクション ⑤ | セクション ⑥ |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| X 軸加速度 | セグメント 1XA | セグメント 2XA | セグメント 3XA | セグメント 4XA | セグメント 5XA | セグメント 6XA |
| Y 軸加速度 | セグメント 1YA | セグメント 2YA | セグメント 3YA | セグメント 4YA | セグメント 5YA | セグメント 6YA |
| Z 軸加速度 | セグメント 1ZA | セグメント 2ZA | セグメント 3ZA | セグメント 4ZA | セグメント 5ZA | セグメント 6ZA |
| X 軸角速度 | セグメント 1XV | セグメント 2XV | セグメント 3XV | セグメント 4XV | セグメント 5XV | セグメント 6XV |
| Y 軸角速度 | セグメント 1YV | セグメント 2YV | セグメント 3YV | セグメント 4YV | セグメント 5YV | セグメント 6YV |
| Z 軸角速度 | セグメント 1ZV | セグメント 2ZV | セグメント 3ZV | セグメント 4ZV | セグメント 5ZV | セグメント 6ZV |

6.10.3 比較

各セグメント内の各時刻 t で以下の $m(t), r(t), d(t)$ を求める。図 6-16 に示すように、 $Player(t)$ とは、時刻 t におけるプレイヤーのセンサ値であり、 $Expert(t)$ とは時刻 t における教師データのセンサ値である。

$$m(t) = \begin{cases} 0 & |(Player(t))| \leq threshold \\ 1 & |(Player(t))| > threshold \end{cases} \quad (7)$$

$$r(t) = \begin{cases} 0 & (same\ direction\ force \\ 1 & (reverse\ direction\ for \end{cases} \quad (8)$$

$$d(t) = \begin{cases} 3 * \left| \frac{Player(t) - Expert(t)}{Expert(t)} \right| + r(t) & |Expert(t)| > threshold \\ m(t) + r(t) & |Expert(t)| \leq threshold \end{cases} \quad (9)$$

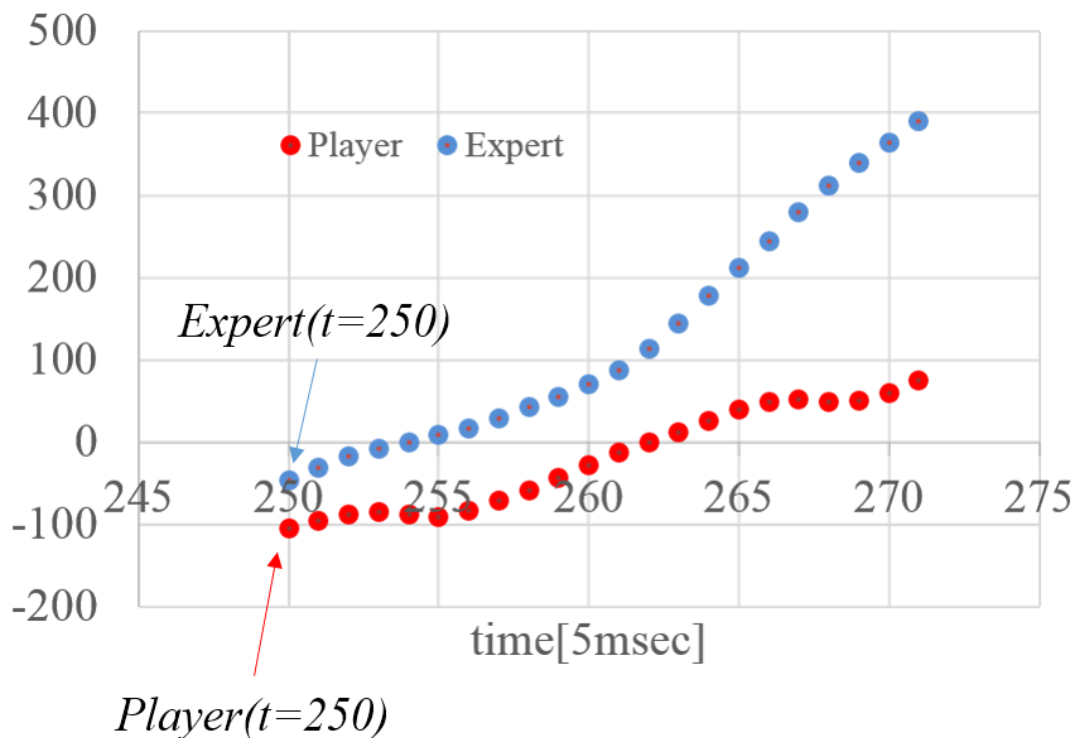


図 6-16: 左手甲セグメント 5YA(section⑤)の Y 軸加速度)での比較

6.10.3.1 閾値

$m(t)$ は、プレイヤーのセンサ値の絶対値が閾値 $threshold$ よりも大きいかどうかを示す値である。センサ値の絶対値が小さい場合は、誤差による影響が大きく正確性が減少するため、閾値よりも小さい場合は、その情報を持つこととする。また後述する $d(t)$ の計算式の問題対策のためでもある。 $threshold$ の値は $d(t)$ の時に使用されるものと同じであり、加速度の場合は 2,400[0.1mG]、角速度の場合は 2,000[0.01dps]である。

6.10.3.2 逆向きの力

$r(t)$ は力が逆向きに掛かったかどうかを示す値である。加速度や角速度が逆向きに掛かるということは、加速度や角速度が単に強い弱いものよりも、大きく異なる動きをする(例えば教師データでは飛球線方向に加速しているにもかかわらず、プレイヤーは減速している等)ことを示す。そのため逆向きに力が掛かったかどうかという情報を各時刻で保持する。角速

度の場合は単純に $Player(t)$ と $Expert(t)$ の符号が違う場合、逆向きと判断するが、加速度の場合は、重力加速度の影響もあり、単純に符号の不一致だけでは判断できない。そこで $Player(t)$ と $Expert(t)$ の差が 1G 以上あり、かつ符号が異なっている場合に逆向きに力が掛かったと判断する。

6.10.3.3 スイング類似距離 $d(t)$

$d(t)$ の値が主な比較の結果となり、どれくらい教師データとプレイヤーのスイングが違うのかを示す値である。これをスイング類似距離と呼ぶ。 $\frac{Player(t)-Expert(t)}{Expert(t)}$ は、 $Expert(t)$ の値に比べ、 $Player(t)$ と $Expert(t)$ がどのくらい離れているのかを表している。実際はこの式の結果が 1 以上になれば、値を 1、-1 以下になれば、値を -1 としている。 $\frac{Player(t)-Expert(t)}{Expert(t)}$ は $Expert(t)$ の値が小さい場合に式の値が大きくなる傾向があり、またその時は僅かな動作や誤差の影響で値が極端な値になる可能性がある。そこで、 $Expert(t)$ の絶対値が 6.10.3.1 節で述べた閾値よりも小さい場合は $m(t)$ と $r(t)$ の値を足した値を $d(t)$ の値とした。

また $\frac{Player(t)-Expert(t)}{Expert(t)}$ に 3 をかけている理由としては、 $\frac{Player(t)-Expert(t)}{Expert(t)}$ が 1 になるとき、 $Player(t)$ は $Expert(t)$ の 2 倍以上の値であるが、 $m(t)$ が 1 になる時は、閾値より大きいときである。 $m(t)$ が 1 の時でも、閾値に近い、離れている、かなり離れているというような状況が考えられ、そのままの値を扱うと正確さが欠けてしまう恐れが想定された為、今回は $\frac{Player(t)-Expert(t)}{Expert(t)}$ に 3 を掛けることで調整した。 $d(t)$ のとる値の範囲は 0 から 4 であり、0 に近づくほど教師データに似ており、4 に近づくほど教師データとは似ていないことを示す。

6.11 採点

スイングの採点を行うレイヤである。まずセグメント毎に各 $d(t)$ で以下の計算を行う。

$$s(t) = \frac{4 - d(t)}{4} \quad (10)$$

数字が大きいほど点数が良くなるようにする為と、正規化の為の処理である。図 6-16 のセグメントにおける $s(t)$ のグラフを図 6-17 に示す。全体の採点イメージを図 6-18 に示す。セグメントの点数をそのセグメント内の $s(t)$ の平均とする。各センサの点数はそのセンサのセグメントの合計点を用いる。細かい動きの違いも判断するために、最高点を 1,000 点とし、各セグメントの最高点は 1 なので、その合計点に 1,000/36 を掛けたものを各センサの点数とする。各部位の平均点を総合点とする。

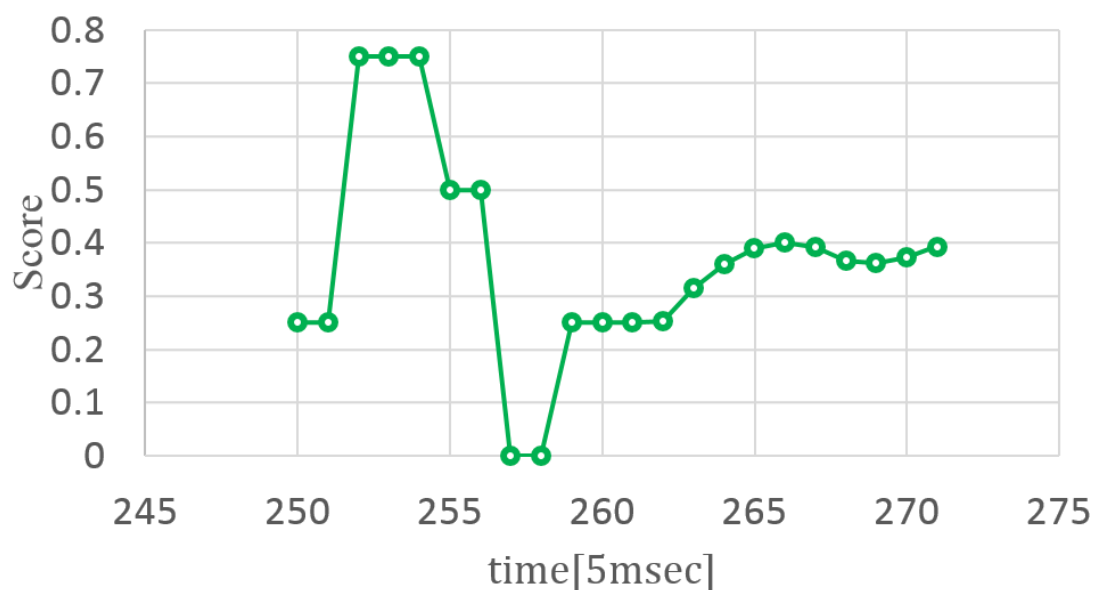


図 6-17: 図 6-16 の場合の $s(t)$ グラフ

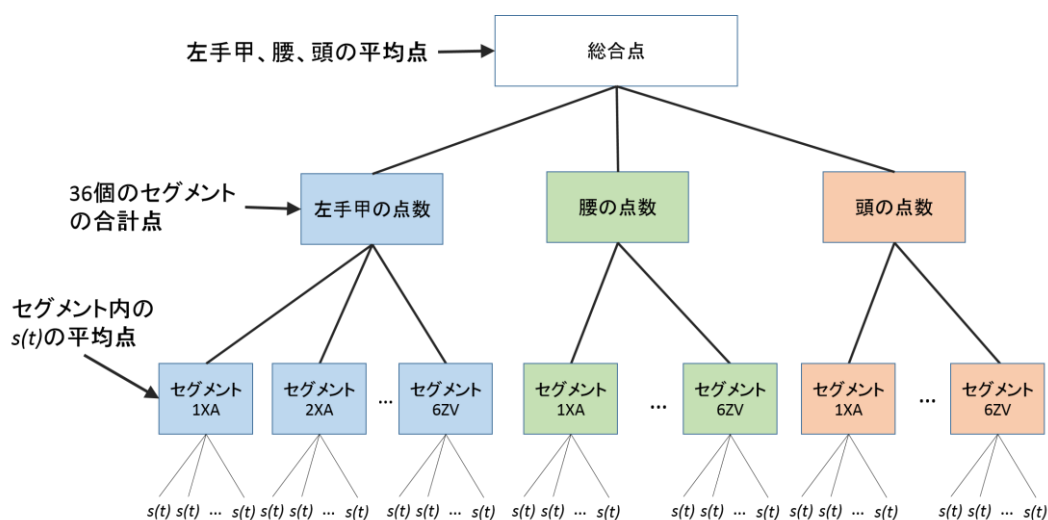


図 6-18: 採点イメージ

6.12 アドバイス

比較結果と採点結果からアドバイスを生成するレイヤである。アドバイスは点数の低かったセグメントに対して行う。点数が低いということは、それだけ大きく教師データと異なる動きをしていることを示しており、そのような箇所からアドバイスすることで点数が高い所よりも容易に動きを改善できる可能性が高いと思われる。ここでは、アドバイスを一度に複数出すことで、プレイヤーがどのアドバイスを実践するか選べるようにし、左手甲のセク

ション①、②、③の中で最も点数が低かったセグメント、左手甲のセクション④、⑤、⑥の中で最も点数が低かったセグメント、腰のセクション①、②、③の中で最も点数が低かったセグメント、腰のセクション④、⑤、⑥の中で最も点数が低かったセグメントに対してアドバイスを出すこととした。

また、頭に関してはダウンスイング時に動いていないかをチェックする。頭のセグメント 4YA、5YA、6YA の $m(t)$ の合計値が 40 を超えていれば頭が動いていると判断し、その旨のアドバイスを出す。

6.12.1 点数の低かったセグメントに対するアドバイスの出し方

選択したセグメントが以下のどのパターンに最もマッチするかを調べる。パターン 1 はプレイヤーの方が上級者よりも(絶対値が)大きい力が掛かっていた場合である。パターン 2 はプレイヤーの加速度・角速度が上級者よりも(絶対値が)小さかった場合である。パターン 3 はプレイヤーの加速度・角速度が上級者よりも大きい箇所と小さい箇所がどちらも多い場合である。プレイヤーと上級者でタイミングが違ふとこのパターンになる傾向がある。パターン 4 は、プレイヤーの加速度・角速度が上級者とは逆向きに掛かっている場合である。パターン 5 は上級者の加速度・角速度が 6.10.3.1 節での閾値より小さいが、プレイヤーの加速度・角速度は閾値よりも大きい場合である。パターン 6 は、パターン 5 に加え、逆向きに加速度・角速度が掛かっている場合である。

パターン 3 は、 $\frac{Player(t)-Expert(t)}{Expert(t)}$ (以下では $e(t)$ と呼ぶ)が 0.2 以上の回数と、 $e(t)$ が -0.2 以下の回数がそれぞれそのセグメントの 30% 以上(タイミングがずれているとそれぞれの回数が 30% 以上になることが多かった為)ある場合にマッチしていると見なす。0.2 を閾値にする理由は、教師データの提供者の別のデータと教師データを比較すると、 $e(t)$ はほとんどの箇所でも 0.2 以下の値となっているからである。

パターン 1 は $e(t)$ が 0.2 以上の数が、 $e(t)$ が -0.2 以下の数よりも多く、 $Expert(t) \leq threshold$ 時の $m(t)$ が 1 の回数よりも多い場合にマッチする。

パターン 2 は $e(t)$ が -0.2 以下の数が、 $e(t)$ が 0.2 以上の数よりも多く、 $Expert(t) \leq threshold$ 時の $m(t)$ が 1 の回数よりも多い場合にマッチする。

パターン 4 はパターン 3 に加え、 $r(t)$ が 1 の数が $\frac{e(t) \text{ が } -0.2 \text{ 以下の数}}{2}$ よりも多い時にマッチする。

パターン 5 は $Expert(t) \leq threshold$ 時の $m(t)$ が 1 の回数が、 $e(t)$ が -0.2 以下の回数よりも多く、 $e(t)$ が 0.2 以上の回数よりも多い場合にマッチする。

パターン 6 はパターン 5 に加え、 $r(t)$ が 1 の数が $\frac{Expert(t) \leq threshold \text{ 時の } m(t) \text{ が } 1 \text{ の回数}}{2}$ よりも多い時にマッチする。

それぞれのパターンの優先度は $3 > 1 > 4 > 2 > 6 > 5$ である。対応するパターンが決まれば、以下の表 6-4 から表 6-15 までを使ってアドバイスを表示する。表 6-4 から表 6-15 で

は、各セグメントに対応するアドバイスをまとめた表である。列の軸は、計測軸を表しており、X-A は X 軸加速度、Y-A は Y 軸加速度、Z-A は Z 軸加速度、X-AV は X 軸角速度、Y-AV は Y 軸角速度、Z-AV は Z 軸角速度を表す。アドバイスが「-」となっているところは教師データの数値からは、そのパターンが存在しないところである。

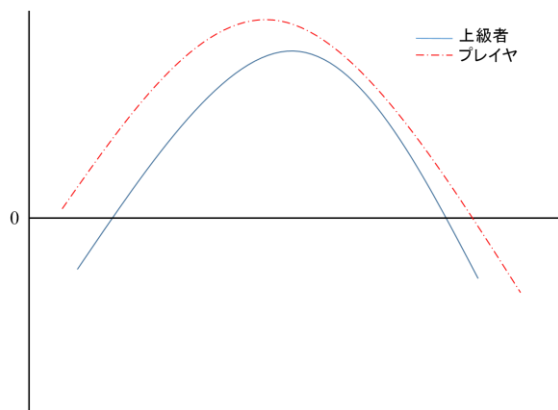


図 6-19: パターン 1

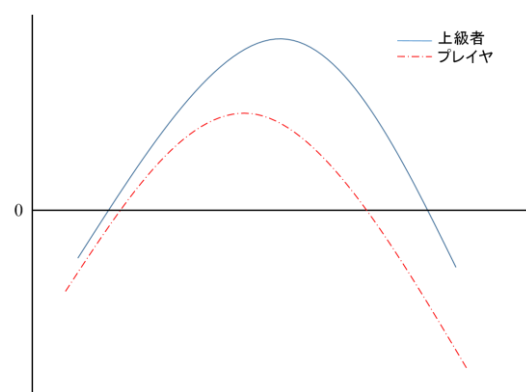


図 6-20: パターン 2

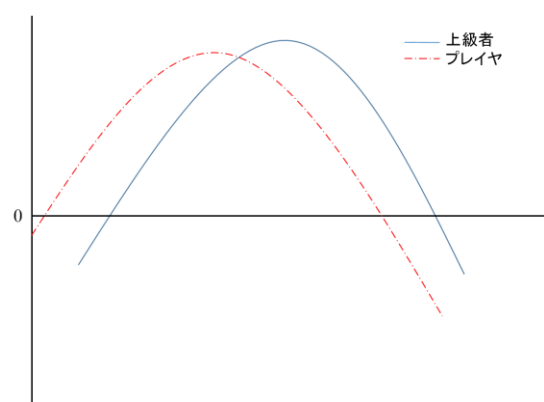


図 6-21: パターン 3

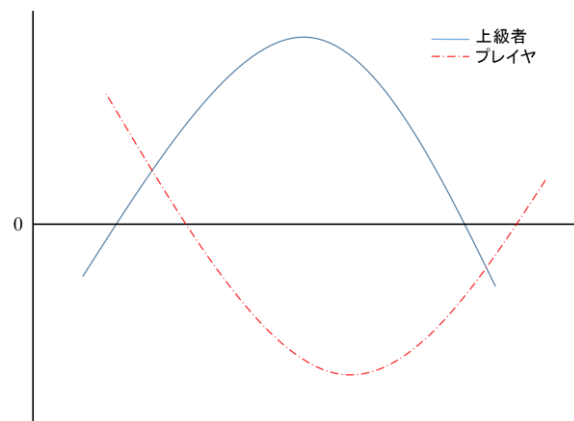


図 6-22: パターン 4

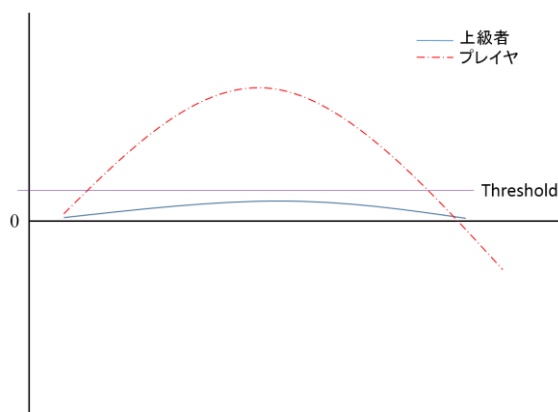


図 6-23: パターン 5

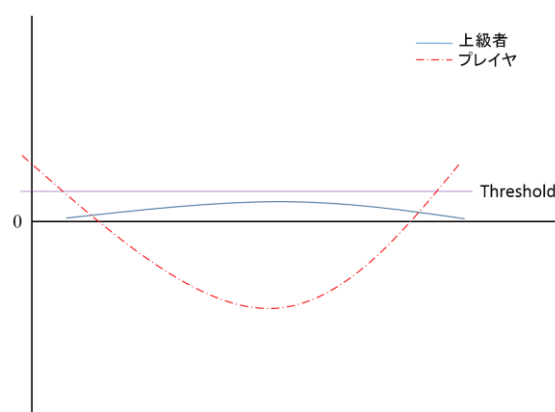


図 6-24: パターン 6

例えば左手甲のセグメント X-A-1 の点数が最も低く、パターン 2 にマッチしたと仮定すると、その時のアドバイスは、表 6-4 の列が 2、行が X-A の所の「コックが早い」が選ばれ、画面には「バックスイング前半、左手のコックが早い」を表示する。

表 6-4: アドバイス表 for 左手甲セクション①

| 軸\パターン ン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|----------------|
| X-A | 下に沈んでいます | コックが早い | 上下に動いている | - | クラブを真上に振り上げている |
| Y-A | - | - | - | 手首を前に曲げています | コックが早い |
| Z-A | 右に動かすのが速い | 右に動かすのが遅い | 右に動かす速度がまばら | 右に動かすのが速い | 左に動かしている |
| X-AV | ローテーションが速い | ローテーションが遅い | ローテーションのタイミングが違います。ゆっくり行って下さい。 | ローテーションが急 | 左に回している |
| Y-AV | 手の甲側に捻っている | 特に問題はない | 少し手の甲側に捻っている | 手の甲側に捻っている | 手のひら側に捻っている |
| Z-AV | クラブを上げるのが速い | クラブを上げるのが遅い | クラブを上げる速度がまばら | コックが早い | クラブを振り上げていない |

表 6-5: アドバイス表 for 左手甲セクション②

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|------------------|--------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| X-A | 体の右側に出す速度が速い | 体の右側に出す速度が遅い | 急に体の右側に出ている | - | クラブを左に引きながら振り上げている |
| Y-A | コックが早いか、左腕を曲げている | コックが遅い | コックのタイミングが早い | コックのタイミングが早い | クラブを寝かせすぎている |
| Z-A | 右に動かすのが速い | 右に動かすのが遅い | 右に動かす速度がまばら | 後ろに行き過ぎ | クラブを前に倒している |
| X-AV | ローテーションが速い | ローテーションが弱い | ローテーションのタイミングが違います | 特に問題なし | 左に回している |
| Y-AV | 手の甲側に捻っている | 特に問題はない | 少し手の甲側に捻っている | 手の甲か手のひら側に捻っている | 手のひら側に捻っている |
| Z-AV | コックが強い | コックが弱い | コックのタイミングが違う | - | センサをつける位置を間違っているかも |

表 6-6: アドバイス表 for 左手甲セクション③

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|---------------------------------------|--|--|------------|--------------------------------------|
| X-A | (前半) 体の右側に出す動きが強い (後半) 上げすぎ | (前半) 左腕が伸びていないかも (後半) 低い or コックが弱い | (前半) 腕を上げるタイミングが違う (後半) トップ付近で安定していない | 特に問題なし | (前半) 手前に引いてる (後半) ずっと上に上げている |
| Y-A | (前半) コックが弱い (後半) コックが強い か、動きが速い | (前半) 早く上に上げている (後半) コックが弱い か、3/4 スイングのようになっている | (前半) コックが弱い (後半) トップ付近で安定していない | 特に問題なし | (前半) クラブを寝かせすぎている (後半) バックスイングが短い |
| Z-A | 後ろ向きの動きが強い | 後ろ向きの動きが弱い | 振り上げる動きが安定していない | - | 手のひら側に手首が折れている |
| X-AV | 手首を左に回す動きが強い | 手首を左に回す動きが弱い | 手首の左右の回転が安定していない | 特に問題なし | 右側に捻り、クラブが寝がち |
| Y-AV | 手の平側に捻っている | 特に問題なし | 手の平か手の甲に捻る動きが安定していない | 手の平側に捻っている | 手の甲側に捻っている |

| | | | | | |
|------|-------------|-------------|-----------------|--------|-------------|
| Z-AV | クラブを上げるのが速い | クラブを上げるのが遅い | クラブを上げるタイミングが違う | 特に問題なし | 検出ミスかもしれません |
|------|-------------|-------------|-----------------|--------|-------------|

表 6-7: アドバイス表 for 左手甲セクション④

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|-----------------------|------------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| X-A | アンコックか手を動かし始めるのが早い | アンコックか手を動かし始めるのが遅い | スムーズに始動できていない | トップの位置にキープしすぎ | 検出ミスの可能性があります |
| Y-A | コックでタメを作りすぎ | トップでのシャフトのしなりを活かす動きが弱い | タメを作る動き（横）が不安定 | - | タメを作らず、すぐ振り下ろしている |
| Z-A | タメを作るときに、後ろに引きすぎ | 特に問題なし | タメを作る動き（後ろ）が不安定 | - | タメを作らず、すぐ振り下ろしている |
| X-AV | タメを作るときに、手首を右に回しすぎている | 特に問題なし | タメを作る動き（後ろ）が不安定 | 手首を右に回しすぎている | ローテーション開始が早い |
| Y-AV | 手首を手のひら側に捻っている | 特に問題なし | 手のひら側に捻っている | 手首を手のひら側に捻っている | 手首を手の甲側に捻っている |
| Z-AV | すぐに加速させすぎ | 加速が弱い | スムーズに加速できていない | - | 検出ミスの可能性があります |

表 6-8: アドバイス表 for 左手甲セクション⑤

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|---|--------------------------------------|--|--------------|--|
| X-A | 振り下ろす向きの加速が強い | 振り下ろす向きの加速が弱い | 振り下ろす向きの加速がスムーズではない | - | 検出ミスの可能性があります |
| Y-A | 左手を引く動きが強い | 左手を引く動きが弱い | 飛球線方向の加速がスムーズではない | 左手を引き始めるのが早い | 左手を引く動きが弱い |
| Z-A | ローテーションが早い | ローテーションが遅い。 | ローテーションがスムーズではない | ローテーションが早い | ローテーションが遅い |
| X-AV | ローテーションが強い | ローテーションが遅い | ローテーションの加速がスムーズではない | - | ローテーションが遅い |
| Y-AV | (~257)手首を手のひら側に捻っている (258~)手首を手の甲側に捻りすぎている | (~257)特に問題無し (258~)手首を手の甲側に捻るのが弱い | (~257)手首を手のひら側に捻っている (258~)手首を手の甲側に捻るのが弱い | 特に問題なし | (~257)手首を手の甲側に捻っている (258~)手首を手の平側に捻っている |
| Z-AV | スイングの加速が強い。 または、コック開放が | スイングの加速が弱い | スイングの加速がスムーズではない | - | 検出ミスの可能性があります |

| | | | | | |
|--|----|--|--|--|--|
| | 早い | | | | |
|--|----|--|--|--|--|

表 6-9: アドバイス表 for 左手甲セクション⑥

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|---------------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| X-A | 手を前にやり過ぎ | インサイドに引きすぎ | 最下点の位置がずれている | - | インサイドに引きすぎ |
| Y-A | 左手を引く動きが強い | 左手を引く動きが弱い | 飛球線方向の加速がスムーズではない | - | 左手を引く動きが弱い |
| Z-A | 手の甲が目標方向に向いている時間が長い | ローテーションが遅い | ローテーションがスムーズではない | - | ローテーションが早すぎる |
| X-AV | ローテーションが強い | ローテーションが弱い | ローテーションがスムーズではない | - | 検出ミスの可能性があります |
| Y-AV | 手首を手の甲側に捻りすぎている | 特に問題なし | 手首を手の甲側に捻る動きが不安定 | 手首を手の甲側に捻りすぎている | 手首を手の平側に捻りすぎている |
| Z-AV | 急にローテーションをしている | ローテーションが少し遅い | 急にローテーションをしている | - | 検出ミスの可能性があります |

表 6-10: アドバイス表 for 腰セクション①

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|----------|----------|-----------|-----------------|-----------------|
| X-A | 沈み込んでいる | 伸び上がっている | 上下動している | - | 勢いよく伸び上がっている |
| Y-A | - | - | - | 右に動いている | 左に動いている |
| Z-A | - | - | - | 後ろに動いている | 前に動いている |
| X-AV | 右への回転が早い | 右への回転が遅い | 右への回転が不安定 | 急に回転してる | 右への回転が遅い |
| Y-AV | - | - | - | 前傾姿勢のキープができていない | 前傾姿勢のキープができていない |
| Z-AV | - | - | - | 体が左右に傾いている | 体が左右に傾いている |

表 6-11: アドバイス表 for 腰セクション②

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| X-A | 沈み込んでいる | 伸び上がっている | 上下動している | - | 勢いよく伸び上がっている |
| Y-A | - | - | - | 右に動いている | 左に動いている |
| Z-A | - | - | - | 後ろに動いている | 前に動いている |
| X-AV | 右への回転が大きい | 右への回転が小さい | 右への回転がスムーズではない | - | 左に回転している |
| Y-AV | - | - | - | 前傾姿勢のキープができていない | 前傾姿勢のキープができていない |
| Z-AV | 右に伸び上がっている | 特に問題なし | 右に伸び上がっている | 右に伸び上がっている | 右に沈み込んでいる |

表 6-12: アドバイス表 for 腰セクション③

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|-----------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| X-A | 沈み込んでいる | 伸び上がっている | 上下動している | - | 勢いよく伸び上がっている |
| Y-A | - | - | - | 左に動いている | 右に動いている |
| Z-A | - | - | - | 後ろに動いている | 前に動いている |
| X-AV | 右への回転が大きい | 右への回転が少ない | 右への回転がスムーズではない | 右に回しすぎ | 左に回転している |
| Y-AV | - | - | - | 前傾姿勢のキープができていない | 前傾姿勢のキープができていない |
| Z-AV | - | - | - | 体が左右に傾いている | 体が左右に傾いている |

表 6-13: アドバイス表 for 腰セクション④

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|-------------|-------------|----------------|------------|--------------|
| X-A | 沈み込んでいる | 伸び上がっている | 上下動している | - | 勢い良く伸び上がっている |
| Y-A | 左に移動している | 左への移動が弱い | 左への移動がスムーズではない | - | 右に移動している |
| Z-A | 左に移動している | 左への移動が弱い | 左への移動がスムーズではない | - | 右に移動している |
| X-AV | 回転が早い | 回転が遅い | 回転がスムーズではない | - | 右に回転している |
| Y-AV | 伸び上がり気味 | 前傾が強い傾向 | 前傾キープが不安定 | 前傾キープが不安定 | 前傾が強い |
| Z-AV | 右足の踏み込みが大きい | 右足の踏み込みが小さい | 右足の踏み込みが不安定 | 右足の踏み込みが早い | 左に傾いている |

表 6-14: アドバイス表 for 腰セクション⑤

| 軸\パターン | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|--------|--------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| X-A | 沈み込んでいる | 伸び上がっている | 上下動している | - | 勢い良く伸び上がっている |
| Y-A | (前半) 左への移動が大きい (後半) 前に行っている | (前半) 左への移動が小さい (後半) 問題なし | 回転がスムーズではない | (前半) 左への移動が大きい (後半) 前に行っている | (前半) 右に移動している (後半) 後ろに行っている |
| Z-A | 右に動いている | 左に動いている | 左への移動がスムーズではない | - | 左に動きながら回転している |
| X-AV | 回転が早い | 回転が遅い | 回転のタイミングが違う | - | 右に回転している |
| Y-AV | 伸び上がり気味 | 前傾が強い傾向 | 前傾キープが不安定 | 前傾キープが不安定 | 前傾が強い |
| Z-AV | 右足の踏み込みが大きい | 右足の踏み込みが小さい | 右足の踏み込みが不安定 | 右足の踏み込みが早い | 左に傾いている |

表 6-15: アドバイス表 for 腰セクション⑥

| 軸\項目 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 or 6 |
|------|---------------|-----------|-------------|------------------|---------------|
| X-A | 沈み込んでいる | 伸び上がっている | 上下動している | - | 勢い良く伸び上がっている |
| Y-A | 前に行っている | 問題なし | 回転がスムーズではない | 前に動いている | 後ろに動いている |
| Z-A | 右に動きながら回転している | 問題なし | 回転がスムーズではない | インパクトの直前に腰が動いている | 左に動きながら回転している |
| X-AV | 回転が強い | 回転が遅い | 回転がスムーズではない | - | 右に回転している |
| Y-AV | 伸び上がり気味 | 前傾が強い傾向 | 前傾キープが不安定 | 前傾キープが不安定 | 前傾が強い |
| Z-AV | 右へ踏み込み過ぎ | 体が起き上がり気味 | 回転が不安定 | - | 左に体が流れている |

6.13 アプリ画面

本システムのスマートフォン側を Android アプリとして作成した。計測レイヤの部分は ATR-Promotions 小型無線多機能センサ「TSND121」[20]に合わせて作成した。その画面を図 6-25、図 6-26、図 6-27、図 6-28 に示した。アンドロイド端末とセンサを Bluetooth で接続した後、図 6-25 の左側の画面を表示させ、スイングが検出されるのを待つ。その状態でスイングをすると、リアルタイムでデータを解析し、結果を同一画面に表示する(図 6-25 の右側の画面)。表示させた後もそのままスイングを行うと、新しい解析結果が表示される。また、バックグラウンド処理として解析結果などを保存する。



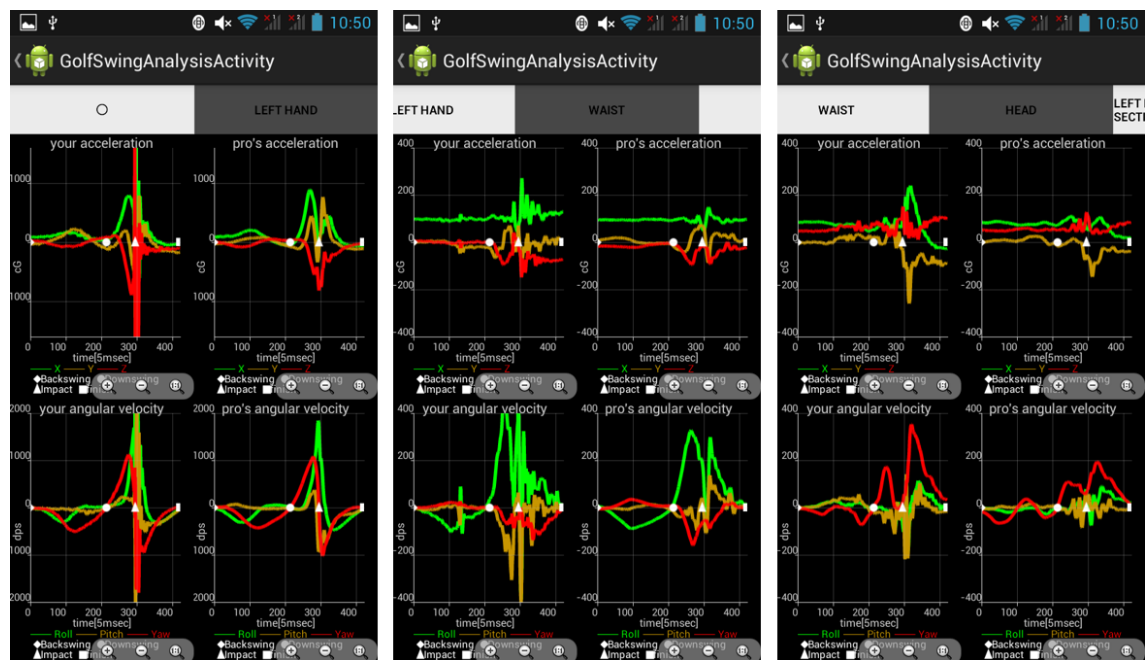
図 6-25: スイング検出中画面からスイング解析結果画面への遷移

図 6-26 はプレイヤーのスイングデータを 6.9 節でのスケール調整をした結果と上級者のセンサデータを表示する画面である。画面左側の your acceleration や your angular velocity と書いてあるほうがプレイヤーのスイングデータである。プレイヤーの方は実際にボールを打っている為、インパクト付近は反動の影響でデータが乱れている。上級者のほうは素振りのデータである。実際にどういった力が掛かっているかを見ることができる。

図 6-27 は各セグメントの点数を表示する画面である。セグメントの並び順は表 6-3 のものと同じである。この画面で点数が低かったセグメントに対してアドバイスを行う。

図 6-28 は各セグメントの 6.10.3 節で示した情報を確認可能な画面である。タブはセンサ数(左手甲、腰、頭)*センサ毎のセグメント数で 108 個あり、すべてのセグメントの情報を確認することができる。左上の項目は、 $e(t)$ の値で、どんなものが何個あったかということを示す。例えば 1 より大きいものが 11 個あれば、VERY BIG のところに 11 と表示される。SAME は $e(t)$ が-0.2 以上かつ 0.2 以下の時である。右上の項目は $e(t)$ の合計値を示しており、 $e(t)$ の合計が $\sum e(t) > 0$ のところに表示され、負の値の $e(t)$ の合計が $\sum e(t) > 0$ のところに

表示される。左下の項目は、そのセグメントの中でどれだけ逆向きに力が掛かった箇所があったかを示す。右下は、 $Expert(t)$ が閾値より小さいときに、 $Player(t)$ も閾値より小さかった数を示す。図 6-28 では、すべての箇所ですべてのプレイヤーは動いていることになる。

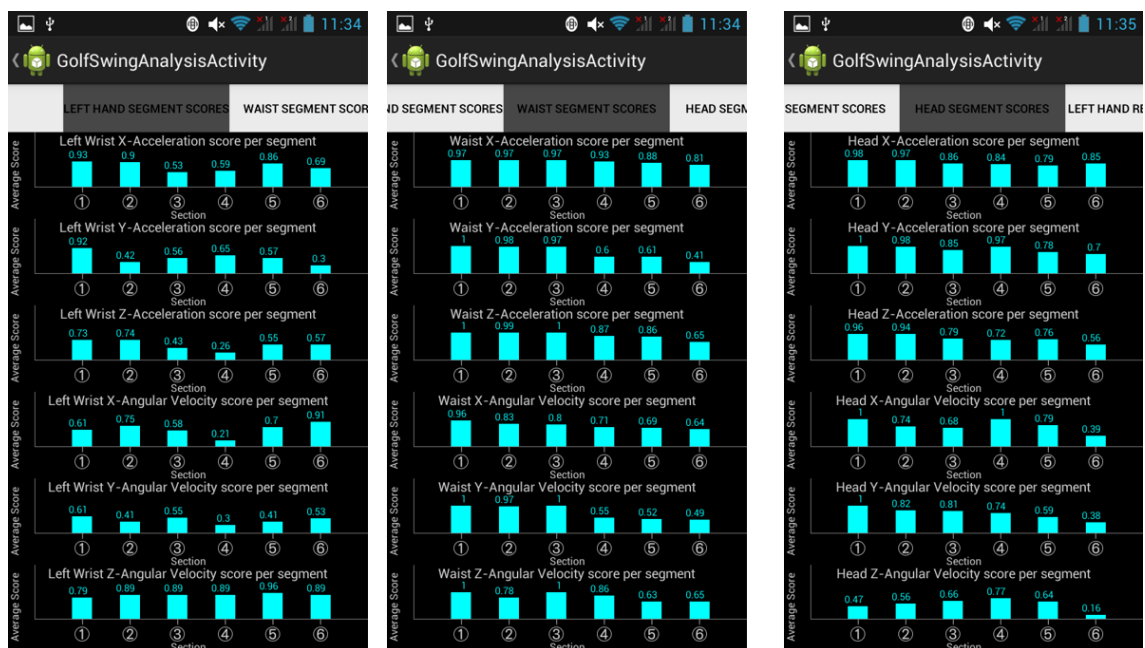


左手甲

腰

頭

図 6-26: 正規化したプレイヤーの左手甲、腰、頭の加速度と角速度と、教師データ



左手甲 腰 頭

図 6-27: 左手甲、腰、頭それぞれの全セグメントの点数画面

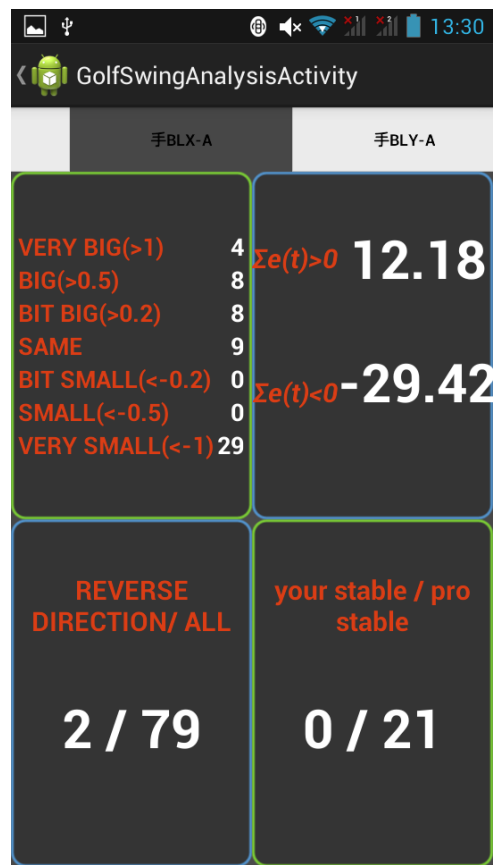


図 6-28: 各セグメントの比較情報画面(画面はセグメント X-A-3 のもの)

7 評価実験

10 人のゴルフ初級者を対象に、アドバイス前後でどのようにスコア等に変化が現れるかを実験により評価した。アドバイス前と後でそれぞれ 10 回スイングを行い、クラブはドライバを使用した。表 7-1 に実験とアプリの構成を、表 7-2 に総合点、左手甲の点数、腰の点数、頭の点数のアドバイスの平均点数とアドバイスの平均点数の差を示す。

総合点はアドバイス後、全体で上がっており一定の効果があると思われる。左手甲、腰、頭の全ての点数が一度に上がることは稀で、一度に意識して修正できるポイントは、通常一部位程度であると思われる。また、点数が下がっている人でもアドバイスされた箇所のスコアは上がっており、その修正の過程で他の動作が疎かになった結果、点数が下がっていると思われる。長期的に提案システムを使い、アドバイス箇所を 1 つずつ改善していくことで総合的な点数 UP が見込まれ、プロのスイングに似せることが可能であるものと思われる。

表 7-1: 実験・アプリ構成

| 対象 | ゴルフ初級者 10 人 |
|--------------|--|
| 使用センサ | ATR-Promotions 小型無線多機能センサ「TSND121」 [20] |
| センサ計測項目 | 3 軸加速度(レンジ $\pm 16G$) 3 軸角速度(レンジ $\pm 2000dps$) |
| サンプリングインターバル | 5msec |
| センサ取り付け位置 | 左手甲、腰、頭 |
| センサ通信方法 | Bluetooth2.0 |
| 使用スマートフォン | Lenovo A820 (Android4.12) |
| 使用クラブ | ドライバ |

表 7-2: アドバイス前後の平均点数の差

| | 総合点 | 左手甲点数 | 腰点数 | 頭点数 |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| player1 | 15.200 | 36.300 | 6.100 | 3.400 |
| player2 | 6.800 | -3.800 | 37.500 | -12.700 |
| player3 | -8.500 | 17.300 | -18.100 | -25.600 |
| player4 | 8.300 | 18.700 | 0.900 | 5.000 |
| player5 | -2.800 | -9.600 | -7.400 | 9.600 |
| player6 | -15.400 | -21.500 | -8.600 | -16.500 |
| player7 | -0.600 | 4.500 | -13.800 | 7.200 |

| | | | | |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| player8 | 17.500 | 37.300 | 14.700 | 1.200 |
| player9 | 15.400 | 18.400 | 18.000 | 9.900 |
| player10 | 7.200 | -5.700 | 12.000 | 14.900 |
| 平均 | 4.310 | 9.190 | 4.130 | -0.360 |
| 最高 | 17.500 | 37.300 | 37.500 | 14.900 |
| 最低 | -15.400 | -21.500 | -18.100 | -25.600 |

実際にアドバイス前後でどのようにスイングデータが変わったのかを以下でいくつか示す。図 7-1 には Player1 のアドバイス前の左手甲 Z 軸角速度である。Player 1 に対して、図中丸枠で囲ったセクション 2 についてアドバイスが生成された。それを受けた後の左手甲 Z 軸角速度が図 7-2 である。図 7-1 の時と比べると、教師データに近づいていることが分かる。さらに、このセクション②の動きを改善させた影響で、後半の動きも教師データに近づいていることが分かる。このようにアドバイスされた点だけでなく、他の箇所も連鎖的に動きが改善されたため左手甲の上昇点数が高い値となっている。

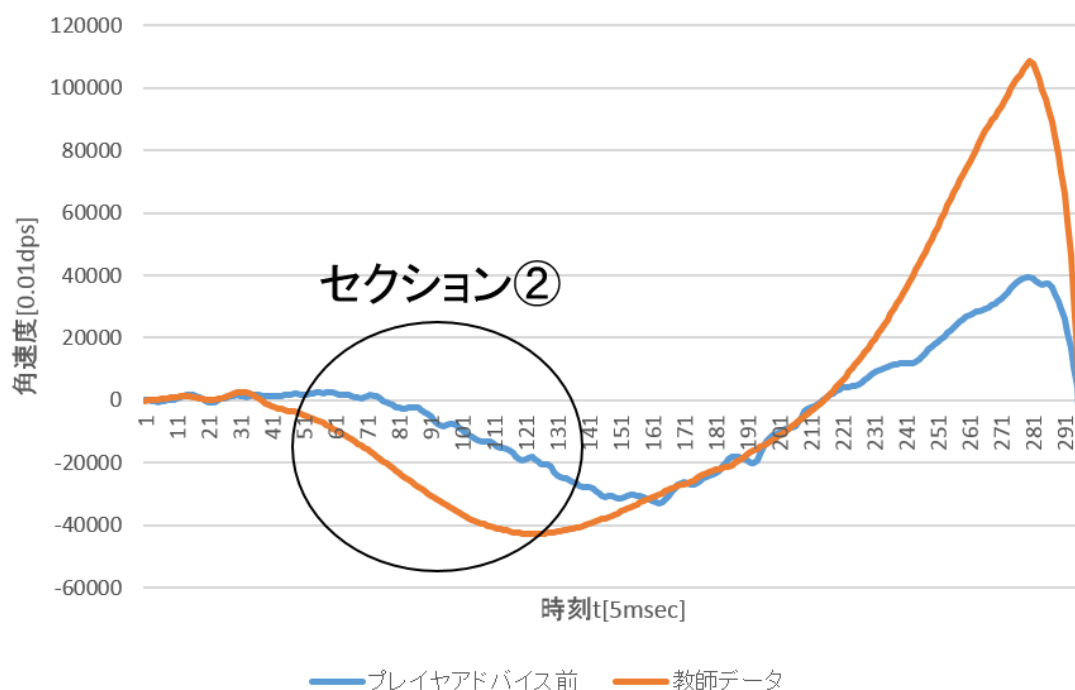


図 7-1: Player1 のアドバイス前 左手甲 Z 軸角速度

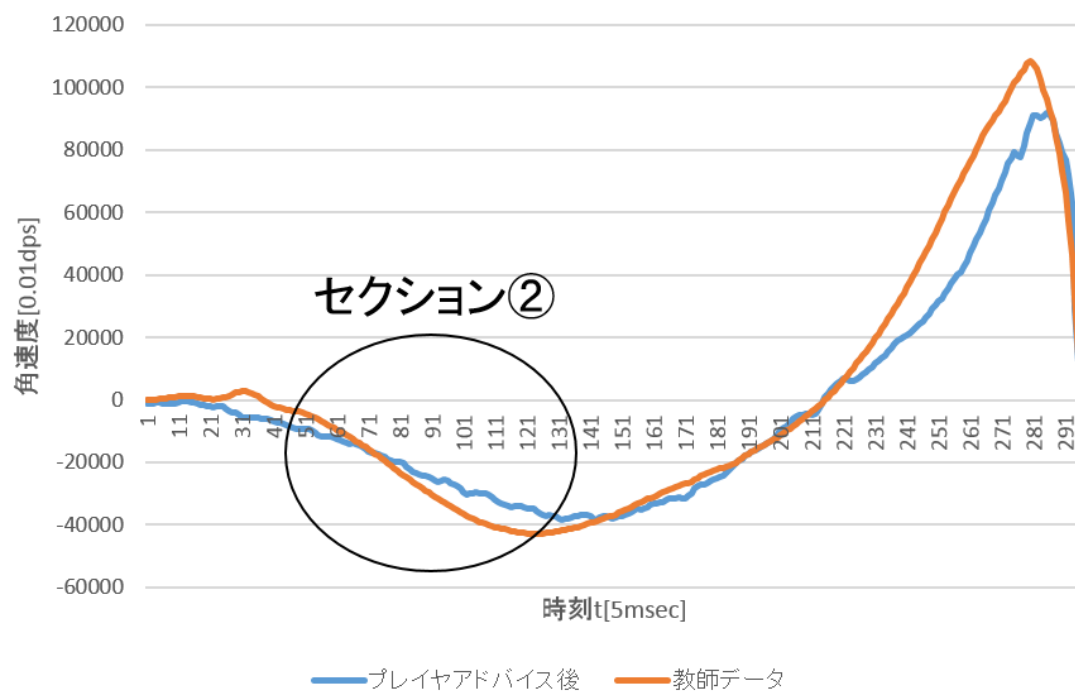


図 7-2: Player1 のアドバイス後 左手甲 Z 軸角速度

8 考察

8.1 アドバイス前後のスコア変化について

本システムでは、一度に5個のアドバイスを行う。アドバイスは点数が低かったセグメントについて行ない、1つのセグメントに割り当てられている点数は1,000/36で、約27.7である。その為、アドバイスされた箇所のスコアが全て0で、アドバイス後のスコアが全て1(満点)なら138.8(27.7*5)点上がる。左手甲と腰は2つのアドバイス、頭は1つのアドバイスを出すので、それぞれ最高55.5, 55.5, 27.7 点上がる。しかし、一度に5セグメントの動きを調整することは一般的に困難であり、スイング中に意識できる数は1,2個程度だと思われ、結果を見ても点数が上がっているのは1つのセグメントだけというパターンが多い。一つのセグメントの点数が0から1になることを100%の改善とすると、評価実験の結果は以下の表8-1のようになり、総合で16%改善していることが分かる。よって1回のアドバイスによる点数変化は点数全体に比べ小さいが、本システムを継続的に利用しアドバイスされた箇所をひとつひとつ改善していくことで上級者のスイングに近づけていくことが可能であると考えられる。

表 8-1: アドバイス後のスコア改善率

| | 総合点 | 左手甲 | 腰 | 頭 |
|-----|------|------|------|------|
| 平均 | 16% | 33% | 15% | -1% |
| MAX | 63% | 135% | 135% | 54% |
| MIN | -56% | -78% | -65% | -92% |

8.2 一度に出すアドバイスの個数

前節でも述べたように、今回の結果からプレイヤーが一度に修正を意識できるアドバイスの個数は1,2個程度だと思われる。それ以上を意識してしまうとスイングの悪化に繋がる。その為、一度に出すアドバイスの数を2個程度に減らして実験を行った。しかし、その場合、プレイヤーは出たアドバイスの事は自覚しており、自分のスイングの個性であると主張する声もあった。その為、アドバイスは5個程度表示し、プレイヤーにどのアドバイスを実践するか選択肢を与えることで、プレイヤーに合ったアドバイスを出すことができ、またプレイヤーが自分で選ぶことでモチベーションの向上にも繋がると思われる。また、そういった改善するつもりがない動作に関してのアドバイスは今後表示しない、などの機能も必要だと考えられる。

8.3 利用者のレベル

本システムは主にゴルフ初級者を対象としているが、本システムの本質は教師データである上級者のスイングデータとプレイヤーのスイングデータの違いを解析し、上級者のスイングに近づけるようなアドバイスを出すことである。たとえ中、上級者やプロゴルファであっても誰かのスイングを真似したいというケースは十分考えられ、本システムの本質を理解していれば、初級者に限らず本システムを利用し、教師データのスイングに近づけることは可能である。

8.4 複数の教師データの用意

評価実験では、教師データは一人分のデータを用いた。しかし、5.1 節で紹介したタイプや、体格など、人によって適した教師となるデータが存在すると思われる。人によっては、真似するスイングを指定したい場合もあると思われる。多彩な教師データの中から、プレイヤーが好きな選手や自分にあっていると思われる人のスイングを選択して、そのデータと比較することができれば、プレイヤーのモチベーションも上がり、より適切なアドバイスを行えると思われる。また、今回の教師データ提供者のタイプは A2 タイプであり、表 7-2 の Player9 と Player10 は A2 タイプである。点数変化を見ると、他の人より多く点数が上がる傾向を読みとることができる。今後、自動的にスイングデータからタイプや体格などを割り出し、適した教師データと比較・解析する機能を実装する予定である。

8.5 複数センサを連携させてアドバイス

本システムのアドバイスは、センサ毎に最も点数が低かったセグメントに対して行うもので、センサを取り付けた各部位(左手甲、腰、頭)の連携動作を見てアドバイスを行うものではない。その為、個々の動作の問題点は指摘することができるが、体全体的なアドバイスは行えていない。細かいアドバイスも重要ではあるが、全体的なアドバイスも有効だと考えられるので、今後実装を予定している。その場合、左手甲がパターン 2 で、腰がパターン 3 の時、全体としてこんな動きをしている、というような対応表を作成することになると思われる。

8.6 アドバイスの仕方

本システムのアドバイスの仕方は、問題点の指摘という形になっている。ゴルフに限らず様々なスポーツや習い事、勉強などでも、問題点や課題を見つけ、それを改善する為に自分で考え課題解決をしていく、というやり方が上達するための方法として有効である。しかし、問題点を解決する具体的な方法や、左の壁を意識する、などのコツを伝えることができれば、より速く上達に繋がる可能性がある。ただし、その場合はプレイヤーに考えさせる場合とどち

らが良いかを比較検証する必要がある。

また、本システムでは点数が低いところを優先してアドバイスしているが、多少点数が高くて、そのアドバイスをを行うことで、他の動作も連鎖的に良くなるといったセグメントがある可能性があり、それぞれのアドバイスの効果を評価し、優先度などを付けると性能向上につながると思われる。

8.7 センサ取り付け位置

センサを取り付ける時、なるべく教師データ計測時と同じになるようにしたのだが、手の形や手袋の形状、ポケットの形状などで多少のズレは生じている。その結果、小さい値ではあるが、センサ値に誤差が生じていると思われる。この問題を解決するには、誰でもずれない装着方法や装着器具を作成するか、ECI-frame にデータを変換する方法が挙げられる。ECI-frame とは、地球の北、東、中心軸を軸とした座標系である。変換の仕方は、まずセンサの bias error や scale error を取り除く。静止状態のセンサの加速度と地磁気を計測する。加速度のベクトルを g 、地磁気のベクトルを m とすると、以下の式がその加速度を ECI-frame に変換する行列となる。

$$TM = \begin{bmatrix} \frac{g \times (m \times g)}{\|g \times (m \times g)\|} & \frac{m \times g}{\|m \times g\|} & \frac{-g}{\|g\|} \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

スイング中にセンサの姿勢は変化する。静止状態からの Yaw 角を ϕ 、Pitch 角を θ 、Roll 角を φ とすると、オイラー角の回転行列は

$$Y_\phi P_\theta R_\varphi = \begin{bmatrix} \cos\psi\cos\theta & -\sin\psi\cos\theta + \cos\psi\sin\theta\sin\varphi & \sin\psi\sin\varphi + \cos\psi\sin\theta\cos\varphi \\ \sin\psi\cos\theta & \cos\psi\cos\theta + \sin\psi\sin\theta\sin\varphi & -\cos\psi\sin\varphi + \sin\psi\sin\theta\cos\varphi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\varphi & \cos\theta\cos\varphi \end{bmatrix} \quad (12)$$

である。これを用いて得られた加速度・角速度に $TMY_\phi P_\theta R_\varphi$ を掛けることで、ECI-frame に変換することができる。ECI-frame 上のデータにすることができれば、どのようにセンサをつけても構わなくなる。また、そのままだと常に同じ方角に向かって立たなくてはならないが、常にある方角に向かって立っているようなデータになるような変換行列を掛けることで立つ方角も自由にすることができる。しかし、上記の式の正確さを評価するためセンサの軌跡を求めたところ、軌跡の計算を正しく行うことは出来なかった。計算の結果、軌跡は発散してしまい、実際の軌跡とは全く異なるものとなっていた。原因としては、積分の累積誤差、角速度の誤差、加速度の誤差、計算式のミスなど様々な要因が考えられ、上記の式にもエラーが含まれている可能性も考えられ、ここでは ECI-frame は使用しなかった。しかし、将来的には解析の精度向上や、ユーザビリティの向上に繋がるので、上記の問題を解決と実装が望まれる。

8.7.1 重力加速度の除去

本システムの全ての処理は全てデータの中に重力加速度が含まれたまま行われるが、重力加速度を含む必要はなく、除去したほうが解析の精度は向上する。静止状態の加速度を \mathbf{g}_0 とし、それを重力加速度とすることで、 $\mathbf{Y}_\psi \mathbf{P}_\theta \mathbf{R}_\phi \mathbf{g}_0$ の値が各時刻の重力加速度となるので、 $\mathbf{Y}_\psi \mathbf{P}_\theta \mathbf{R}_\phi \mathbf{g}_0$ の値を各時刻の加速度から引くことで、重力加速度を除去することができる。しかし、上記の軌跡が正確に計算できなかった原因が、 $\mathbf{Y}_\psi \mathbf{P}_\theta \mathbf{R}_\phi \mathbf{g}_0$ の計算が正しく行えなかったことである可能性があった為、今回は実装しなかった。

8.8 実験人数、実験期間

評価実験では 10 人を対象に、1 回のアドバイスの効果を見たが、ゴルフスイングの上達には一般的に時間が掛かると言われている。評価実験におけるアドバイスも 1 つずつ細かな動作を直していくものであり、ある動作が改善しても、その後別のアドバイスを受けた時に、意識が別のアドバイスのほうに行ってしまう、改善していたものがまた悪くなる可能性もある。そのため時間を掛けて定着させる必要がある。人数に関しても、性別、年齢、身長、体重、体の柔らかさ、タイプといった面で様々な人が存在しているので、一般的にどんな人にも使えるか否かを評価するには、例えば 100 人以上といった規模で実験をする必要があると思われる。

8.9 ショット、クラブの種類

使用クラブによって多少スイングの動きは変わる。評価実験では、ドライバのみを対象としたが、別のクラブでも本システムを使いたいという意見もあり、本システムで他のクラブにも適応可能であるか、新たに教師データやアドバイス表を作成する必要があるかの検討が必要である。

また、評価実験では、フルショットを対象としたが、実際にゴルフコースを回る際は、フルショットだけでなく、ハーフショットやスリークォーターショット、バンカーショット、チップショット、ピッチショット、高い弾道、低い弾道のショット、ドロウ、フェード、インテンショナルショット等様々なショットを打つ場面が存在する。それらのショットも対象にすることで、本システムのスコアだけでなく、ゴルフのスコア上昇にもより直接的に繋がるとと思われる。

9 結論

本論文では、ゴルフ初級者のスイング上達を支援する為に、近年注目されているウェアラブルセンサを用いたゴルフスイング向上支援システムを提案し、実装した。ウェアラブルセンサは左手甲、腰、頭に装着し、スイング中の動きを計測し、Bluetooth を使ってスマートフォンにデータを送信する。スマートフォン側で得られたデータの解析を行う。本システムではスイングの検出を、スイング候補を検出した後に、本検出を行うという2段階にすることで、リアルタイム解析を可能にした。本システムは、ゴルフ上級者のスイングを真似することを目的としており、スイング類似距離として、プレイヤーのスイングと上級者のスイングの違いの数値化手法を新たに提案した。スイングの違いを数値化する為に、上級者のスイング時間に合わせてプレイヤーのスイングを正規化した。スイング類似距離に基づきスイングの点数を求め、スイング類似距離が特に離れている動作に関してアドバイスを行う。セグメントという概念を導入し、スイングを分割して計測軸毎にスイング類似距離を計算することで、362 パターンの動きに対応したアドバイスを出すことを可能とした。10 人のゴルフ初級者を対象とした実験では、本システムが計算するスイングの平均点が、アドバイス後で、アドバイス前と比べて全体で上がっていることが確認された。実験結果から一度に改善可能な箇所は1セグメント程度であることが分かった。アドバイス後の平均上昇点数は、1セグメントに割り当てられている点数の16%であった。一度に改善可能な動作は全体と比べると小さく、また別のアドバイスを受けた結果、前のアドバイスを受けて改善していた動きが元に戻ってしまうことが考えられ、プレイヤーは繰り返し練習し、少しずつ確実に改善していく必要があり、本システムはそういった練習を支援するのに適している。

今後は、様々な教師データの準備や、複数センサの解析結果を組み合わせたアドバイスの生成、ならびにより多人数での長期間の検証実験を行う予定である。

参考文献

- [1] Nike, “FuelBand,” [オンライン]. Available: http://www.nike.com/jp/ja_jp/c/nikeplus-fuelband.
- [2] 株式会社ディテクト, “ゴルフスイングアナライザー Golf Swing Better,” [オンライン]. Available: http://www.ditect.co.jp/products/golf_000001.php.
- [3] Google, “Google Glass,” [オンライン]. Available: <http://www.google.com/glass/start/>.
- [4] samsung, “Galaxy Gear,” [オンライン]. Available: <http://www.samsung.com/jp/consumer/mobilephone/gear/gear/SM-V7000ZKADCM>.
- [5] Logbar, “Ring,” [オンライン]. Available: <http://logbar.jp/>.
- [6] M. APPAREL, “ATHOS,” [オンライン]. Available: <http://www.liveathos.com/>.
- [7] OMsignal, “OMsignal Biometric Smartwear,” [オンライン]. Available: <http://www.omsignal.com/>.
- [8] Y.-C. Huang, “Calculate Golf Swing Trajectories from IMU Sensing Data,” International Conference on Parallel Processing Workshops, 2012.
- [9] K. Shiota, “Measurement and analysis of golf swing using 3-D acceleration and gyro sensor,” SICE Annual Conference 2012, 2012.
- [10] M. Ueda, “Measurement of Angular Motion in Golf Swing by a Local Sensor at the Grip End of a Golf Club,” IEEE TRANSACTIONS ON HUMAN-MACHINE SYSTEMS, VOL. 43, NO. 4, 2013.
- [11] H. Ghasemzadeh, “Coordination Analysis of Human Movements With Body Sensor Networks: A Signal Processing Model to Evaluate Baseball Swings,” Sensors Journal, IEEE Volume:11 , Issue: 3, 2011.
- [12] R. B. a. S. Venkatesan, “A Framework for Golf Training Using Low-Cost Inertial Sensors,” Body Sensor Networks (BSN), 2010 International Conference, 2010.
- [13] K. King, “Wireless MEMS inertial sensor system for golf swing dynamics,” Sensors and Actuators A: Physical Volume 141, Issue 2, 2008.
- [14] H. Negoro, “Measurement and analysis of golf swing using 3D acceleration and gyroscopic sensors,” SICE Annual Conference (SICE), 2011.
- [15] K. Watanabe, “Kinematical Analysis and Measurement of Sports Form,” Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on Volume:36 , Issue: 3, 2006.
- [16] 大. 正秀, “ゴルフスイング自動診断システムの開発,” シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, 2010.

- [17] 稲葉洋, “スポーツ動作分析の支援を目的とした人体センシング情報の可視化提示法,” 芸術科学会論文誌, 2003.
- [18] 春. 王, “スウィングのばらつきを考慮したゴルフクラブの最適設計,” 2010. [オンライン]. Available: <http://hdl.handle.net/2261/37193>.
- [19] 三井貴之, 小花貞夫, “IMU センサを用いたゴルフスイング向上支援システムの研究,” 電子情報通信学総合大会, B-18-17, 2014.
- [20] T. Mitsui, S. Tang, S. Obana, “Support System for Golf Swing Using Wearable Sensors,” International Conference of Mobile Computing and Ubiquitous Networking, pp.102-103, 2015.
- [21] 廣戸聡一, ゴルフ 4 スタンス理論, 池田書店, 2007.
- [22] ATR-Promotions, “TSND121,” [オンライン]. Available: <http://www.atr-p.com/products/TSND121.html>.

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方から御指導、ご支援を賜りましたことに感謝致します。博士課程前期の2年間を通じた研究ならびに修士論文執筆の指導等、様々な御指導頂きました小花貞夫教授、修士論文執筆における助言を頂きました寺田実准教授、研究への的確な御助言を頂きました湯素華助教、様々な議論を交わした研究室の皆様には感謝致します。また、教師データを提供やご助言を頂きました東宝調布スポーツパークの白石光哲プロ、検証実験に協力して下さいました、東宝調布スポーツパークゴルフスクールの皆様と電気通信大学ゴルフサークルの皆様には感謝致します。最後に日頃から支えて頂いた家族の協力に感謝致します。

付録 学会

本研究内容を電子情報通信学会総合大会と ICMU(International Conference of Mobile Computing and Ubiquitous Networking)で発表した。その掲載論文を載せる。また、ICMU では Best Student Poster Award を受賞したので、その表彰状も載せる。

IMU センサを用いたゴルフスイング向上支援システムの提案

Proposal of golf swing improvement support system using the IMU sensor

三井貴之 小花貞夫
Takayuki Mitsui Sadao Obana
電気通信大学 大学院 情報理工学研究科

Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

1. はじめに

近年, 体に装着するウェアラブルセンサを使って体の状態, 状況を監視しそれに基づいて人の安全で快適な活動を支援するサービスが注目されている. 筆者らはウェアラブルセンサを用いてコーチ(人)や設備投資無しで初心者のゴルフスイングのアドバイスをを行うシステムを検討し, その為の予備実験をしたので報告する.

2. 提案システム

プレイヤー(人)の 3 つの部位(左手首, みぞおち, 右膝)に 3 次元の加速度と角速度が計測可能な IMU センサを取り付け, スマートフォン等で各センサのデータを取得・解析を行う.

ゴルフスイングにはタイプが存在する[1]. タイプは無意識的に重心のバランスを取る足裏の箇所によって表 1 に示すように 4 つのタイプに分類できる. タイプ毎に適したスイングのやり方が存在する.

表 1: 重心バランスを取る足裏の箇所とタイプ名

| タイプ | バランスを取る箇所 | |
|-----|-----------|----------|
| | つまさき or 踵 | 内側 or 外側 |
| A1 | つま先 | 内側 |
| A2 | つま先 | 外側 |
| B1 | 踵 | 内側 |
| B2 | 踵 | 外側 |

提案システムでは以下の流れでアドバイスをを行う.

- (1) センサをつけて特定の動作を行い, タイプを判別
- (2) スイングを行い, タイプに適した動きをしているか解析し, 点数・アドバイスを表示

提案システムは, バックスイング, ダウンスイング, インパクト, フォロースルーの 4 つの観点から解析を行う.

3. 予備実験

A2(つま先外側で重心バランスを取る)タイプのゴルフ経験者と初心者とでデータに違いが表れるか実験した. センサは ATR-Promotion 社製小型無線多機能センサ TSND121 を使用し, サンプリング周期は 20 ミリ秒, センサとノート PC を Bluetooth で接続して, 経験者一人と初心者一人からスイングデータの取得・解析を行った.

表 2, 3 にスイングの各動作でセンサを取り付けた部位がどのような動きをしているか示す. 図 1 に実際のデータの一例としてみぞおちのセンサの Z 軸加速度の値を示す. みぞおちが前方に動けばマイナスの加速度が掛かる. 図 1 の (1) は体幹の傾きがほぼ変わらずバックスイングしていることを示し, (2) は体が起き上がりながらバックスイングしていることを示している. 図 1 の (3) は体が傾かずフォローしていることを示し, (4) は体が前に傾いたままフォローをしていることを示している. これらのことから経験者と初心者の違いをデータから判別可能であると思われる.

表 2: 経験者の動き

| スイング動作 | センサを付けた身体部位 | | |
|---------|----------------------------|------------------------|------------------|
| | みぞおち | 左手首 | 右膝 |
| バックスイング | アドレスの時と体の傾きが変わらない (図 1(1)) | ローテーションができていない | あまり動かない |
| ダウンスイング | 無駄なく速く回転する | 無駄なくインパクトに向かう | 右に一瞬加速度が掛かる |
| インパクト | 左向きに最も大きな加速度が掛かる | スイングの反対向きに大きな加速度が一瞬掛かる | 左向きに最も大きな加速度が掛かる |
| フォロースルー | 前に傾かないで回転 (図 1 の (3)) | ローテーションができていない | 左に回転 |

表 3: 初心者の動き

| スイング動作 | センサを付けた身体部位 | | |
|---------|-----------------------|--------------------------|----------------|
| | みぞおち | 左手首 | 右膝 |
| バックスイング | 体が大きく起きる (図 1 の (2)) | ローテーションができていない | やや右に加速度が掛かる |
| ダウンスイング | ゆるやかに回転した後速く回転 | 予備動作のあとにインパクトに向かう | 左に加速度が掛かる |
| インパクト | あまり横には動かない | スイングの反対向きにやや大きな加速度が一瞬掛かる | ゆるやかに左に加速度が掛かる |
| フォロースルー | 前に倒れたまま回転 (図 1 の (4)) | ローテーションができていない | 左に回転 |

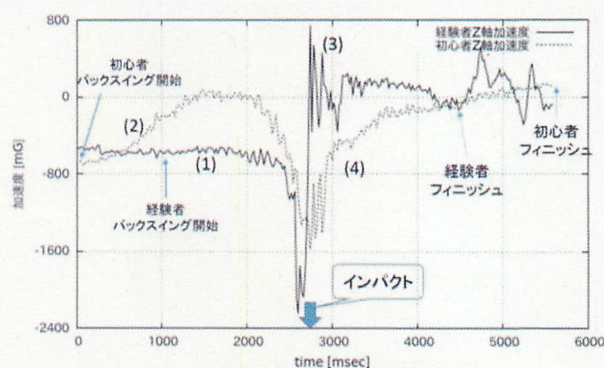


図 1: 経験者と初心者の動きの違い

4. おわりに

ウェアラブルセンサを用いたゴルフスイング向上支援システムの検討と予備実験を行い, ゴルフ経験者と初心者の違いがセンシングデータから検出できることを確認した. 今後は多人数のデータ分析, 計算機処理方法とアドバイス方法の検討と検証を行う予定である.

参考文献

- [1] 廣戸聡一. ゴルフ 4 スタンス理論. 池田書店, 2007, 160pp.

Support System for Improving Golf Swing by Using Wearable Sensors

Takayuki Mitsui, Suhua Tang, Sadao Obana

Graduate School of Informatics and Engineering

The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo, Japan,

takayuki.mitsui@uec.ac.jp, shtang@uec.ac.jp, obana@cs.uec.ac.jp

Abstract—This paper proposes a support system for improving golf swing by using wearable sensors, aiming at putting forward proper advice to beginners without requiring a human coach. First, the system framework is introduced. Then, sensor data obtained in the experiments is presented and analyzed. The analysis shows that there are clear differences between beginners and experienced players in their sensor data, which can be used to distinguish the levels of golf players, and help improve the performance of beginners.

Keywords—Wearable sensor; Golf swing

I. INTRODUCTION

Recently, wearable sensors have attracted much attention in monitoring body status (e.g., health care) and supporting human activities (e.g., improving the performance in sports) [1]. As for the analysis of golf swing, Koji Shirota suggested mounting sensors to the waist and distinguishing a beginner from an experienced player based on the sensor data that captures how the left shoulder falls in times of back swing [2]. They also evaluated the effect of feeding back the quality of the swing to players. Seiko Epson Corporation recently released the M-Tracer For Golf [3] which, when attached to a club, can be used to analyze the trajectory of the swing. How to analyze the behavior of the whole body during the swing and how to provide proper advice, however, are not addressed in these works.

In this paper, we propose a support system for improving golf swing by using wearable sensors, aiming at putting forwarding proper advice to beginners without requiring a human coach. We first introduce the basic golf swing types, and the steps in a golf swing. Then, we present the proposed system framework, and introduce experiment setup. Later, preliminary experiment results are discussed and analyzed. The clear differences between beginners and experienced players in their sensor data confirm that the proposed system is promising in distinguishing the levels of golf players.

II. GOLF SWING TYPES

Types in the golf swing can be classified into four [4], as shown in Figure 1, based on the locations of the feet in which the center of gravity of the body is balanced unconsciously. Accordingly, there exists a way of swing suitable for each type. A golf swing can be further divided into several steps, as shown in Figure 2.

III. PROPOSED SYSTEM

In this paper, we focus on the following steps that are enclosed in red frames in Figure 2.

- Backswing (brandishing the club).
- Downswing (swinging down the club).
- Impact (hitting the ball).
- Follow-through (finishing the swing).

Figure 1. Classification of swing types.



| Type | Locations of the feet for balance | |
|------|-----------------------------------|-------------------|
| | Toe or Heel | Inside or Outside |
| A1 | Toe | Inside |
| A2 | Toe | Outside |
| B1 | Heel | Inside |
| B2 | Heel | Outside |

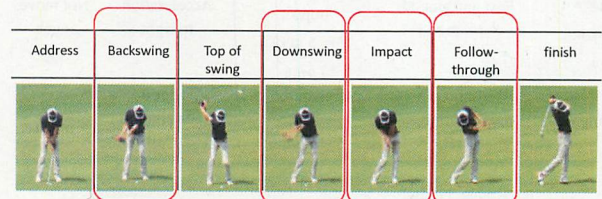


Figure 2. Steps of a golf swing.

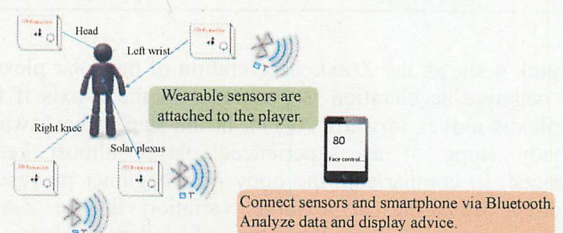


Figure 3. Overall image of our proposed system.

In our experiments, wearable sensors (TSND121 from ATR-Promotion) are attached to the four regions of a player (left wrist, the solar plexus, right knee, head), as shown in Figure 3. Sensor data such as 3-dimensional angular velocity and acceleration is measured by each sensor, and collected by a smartphone via Bluetooth. Proper advice is displayed on the smartphone screen after the analysis.

IV. EXPERIMENT RESULT

We experimented with the configuration shown in Table 1, golf experience of A2 type that takes the balance of the center of gravity of the body in the toe outside. The same experiment is repeated for beginners and experienced players to investigate the difference in their sensor data. In the analysis, data from four sensors is synchronized to the time of the impact of the left wrist.

Table 1. Configuration of our experiment.

| | |
|------------------------|---|
| Subject | A2 type (experienced / beginner) |
| Sensing item | 3-dimensional acceleration and angular velocity |
| Sensor sampling period | 20msec |
| Sensor mounting region | Left wrist, solar plexus, right knee, head |
| Use club | Driver |
| Analyzed swing | Backswing, Downswing, Impact, Follow-through |

The characteristic motions of body regions [4] with attached sensors, at each step of the swing, are summarized in Table 2. Examples of measured data are shown in Figures 4 and 5.

Table 2. Motions of body regions in golf experience.

| Movement of swing | Body regions with attached sensors | | | |
|-------------------|--|--|------------------------------|---------------|
| | Solar plexus | Left wrist | Right knee | Head |
| Back swing | Body slope not change (Fig 4 at (1)) | Rotation OK | Not move much | Not move much |
| Down swing | Fast and smooth rotation | Smooth shift to impact (Fig 5 at (3)) | Acceleration to right | Not move much |
| Impact | Largest acceleration to left | Large acceleration in reverse direction of swing | Largest acceleration to left | Not move much |
| Follow through | Rotate, but not inclined (Fig 4 at (2)) | Rotation OK (Fig 5 at (4)) | Rotate left | Rotate left |

Figure 4 shows the Z-axis acceleration of the solar plexus. Here, negative acceleration is generated in the Z-axis if the solar plexus moves forward. At (1), in the step of backswing, the body slope of an experienced player almost keeps unchanged. In comparison, the body of a beginner moves up and down, resulting in a large variation in the Z-axis acceleration. At (2), in the step of follow-through, an experienced player almost stands straight while the body of a beginner remains inclined forward.

Figure 5 shows the Y-axis acceleration of the left wrist. Here, negative acceleration is generated when a player moves his left hand to the left. At (3), an experienced player has a smooth transition from backswing to downswing whereas for a beginner, the transition is rough. At (4), an experienced player rotates his wrist at the time of impact, but this is not observed for a beginner.

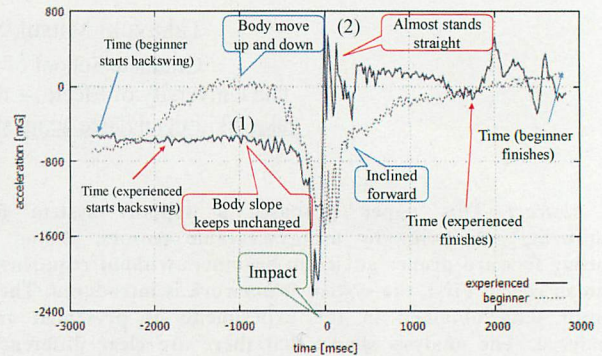


Figure 4. Comparison of Solar plexus Z-axis acceleration between a beginner and an experienced player.

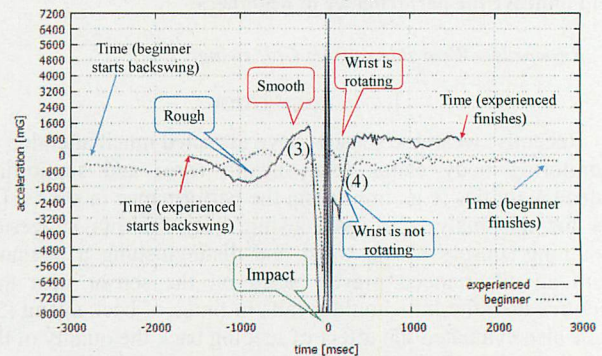


Figure 5. Comparison of left wrist Y-axis acceleration between a beginner and an experienced player.

V. CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

We have proposed a support system for improving golf swing which automatically puts forward advice for beginners, and done some preliminary experiments. The analysis shows that there are clear differences between beginners and experienced players in their sensor data, which can be used to help improving the performance of beginners. In the future, we will study how to use machine learning tools (such as SVM) to automatically distinguish a beginner from an experienced player, and further consider how to effectively provide proper advice to beginners.

REFERENCES

- [1] Min Chen, "Body Area Networks: A Survey," Journal of Mobile Networks and Applications, Volume 16, Issue 2, pp. 171-193, April 2011.
- [2] Koji Shirota, "Measurement and analysis of golf swing using 3-D acceleration and gyro sensor," SICE Annual Conference 2012, pp. 356-360, August 2012.
- [3] M-Tracer For Golf, <http://www.epson.jp/products/msensor/golf/>.
- [4] Souichi Hiroto, "The 4 stance theory of golf," Ikeda Publishing Co. Ltd., 2007, in Japanese.

ICMU Best Student Poster Award
2015

Presented to

Takayuki Mitsui

*This Award officially recognizes that the paper by
Takayuki Mitsui, Suhua Tang and Sadao Ohana
entitled*

“Support System for Improving Golf Swing by Using Wearable Sensors”,

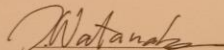
published on

*Proceedings of The Eighth International Conference on
Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2015)
January 21, 2015*



Jiannong Cao

ICMU2015 General Co-Chairs



Takashi Watanabe



Teruyuki Hasegawa

ICMU2015 Award Chair

Sponsored by



**Information Processing
Society of Japan**

Technically Co-sponsored by



**IEEE
computer
society**