

運動の音変換による身体バランス制御誘導システムの開発

Development of a System for Body Balance Control Induced by
Transformed Sound from Activity Sensing

2031019



研究代表者 (助成金受領者)	筑波大学	システム情報系	准教授	山 際 伸 一
共同研究者	名古屋大学	総合保健体育科学 センター	教 授	山 本 裕 二
共同研究者	大阪大学	医学研究科	助 教	門 田 浩 二

[研究の目的]

本研究では以下の3つの成果達成を目標とし、音をガイドとした身体バランス誘導システムの実現を目指す。

(1) センサーシステムから取得したデータから音をつくるソフトウェアを開発する

近年のスマートフォンといったモバイルデバイスは3軸の加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサに加えGPSといった人のモーションを捉えることが可能なデバイスを搭載している。この機能を利用し、さらに、その動きデータから音に変換する機能をもった、システムを開発し、運動スキルの獲得への有効性を示すことを目標にする。具体的には、それぞれのセンサーデータを音空間にマップして、動きを音で表現し、その表現から身体制御のイメージを獲得できるソフトウェアを開発する。

(2) センサで捕らえた動きデータから、運動の得点化が可能なシステムを開発する

上記のセンサで捉えた動きデータから、スキルの得点化が可能なシステムを開発する。具体的には、これまで多くの知見を得てきた動きであるスキーパラレルターンに着目し、動きデー

タから得点を計算できるシステムを開発する。

(3) 身体バランス→音変換データベースを開発する

上記の(1)のソフトウェアでの変換アルゴリズムを使って、センサーデータをアップロードすると、音へ自動変換するWebサイトを作成する。動きから音を作成する、という単純な道具としてだけでなく、音から動きのイメージングがどこまで可能か、また、どの音マッピングが動きを想像させる原因となるのかを検証する。

(4) 身体バランス→音変換をリアルタイムに行うセンサーシステムを開発する

動きをセンサで捉えた直後に、次の動き、しかも、スキルアップを促すことができる動きを予測して、その方向性等の情報を音で知らせるソフトウェアを開発することを目標とする。

本研究は以上の4項目を目標とし、スマートフォンやタブレットといった、普及にインパクトのある携帯端末を対象として、課題を進めた。

[研究の内容、成果]

本研究からは以下の成果が得られた。

- (1) 前述の研究目的 (2) に関して、スキーパラレルターンを対象に、スキル獲得のための動きの得点化に成功し、論文発表及び、特許出願を行った。
- (2) 動きデータを音変換するソフトウェアを開発し、上記 (1) の得点化ソフトウェアに統合した。
- (3) 音変換のためのセンサーデータのデータベースのプロトタイプを開発した。

また、本研究からは設定課題のうち、以下の項目に関しては成果達成を試みたが困難に直面し、議論を行い解決できるであろう糸口をつかむことはできた。

- (1) 動きをとらえたセンサーデータを音へとリアルタイムに変換し、スキル獲得のための次の動きの方向性を示すことはできなかった。
- (2) 運動を行ったあと、多くの時間が経過してからは、音のみからはイメージをつかむことができないことがわかった。

以上の得られた成果と、本課題の研究者間で行った議論を以下に順に示していく。



図1 スキートレーナーシステム

- (成果 1) 動きの得点化が可能なスマホアプリを開発

本研究では、スキーパラレルターンに注目し、その運動技能を得点化する仕組みを開発できた。スキーパラレルターンは、周期的な運動である

と共に、見た目の華やかさが評価される運動である。雪山での動き計測という難関があるため、これまで、研究課題としては十分に取り上げられることがなく、動きを数値化する、さらに、動きの得点化までを行った事例はない。そこで、本研究は、スマートフォンに搭載された加速度センサを使って、テンポ、対称性、ダイナミックさという観点から評価することで、見た目の華やかさを得点として表現できることを発見し、さらに、音での運動の引き込みで、それらの評価観点に関し、得点を向上することがわかった。

図1に開発目標のシステム全体像を示す。スマートフォンで捉えた動きのデータを音変換し、ユーザがリアルタイムに動きのイメージを確認できる。スマートフォンに保存されたデータは、野外での計測であっても、4Gなどの携帯電話回線からインターネットを介してサーバに送られ、ランキング等の事後情報として蓄積され、動きから生成される音を再確認することができる仕組みをもつ。このスマートフォンアプリとサーバに関して以下順に解説する。



図2 Ski Trainer アプリ

図2に開発したスマートフォンアプリ Ski Trainer の外観を示す。Ski Trainer は、スマホに搭載されたセンサーデータを棒グラフで表現し、さらに、計測を開始すると、そのデータをリアルタイムにストレージに保存する。動きは定期的な音刺激に誘導され、いわゆる音の引き込みという現象が発生することが知られているが、これをスキーパラレルターンに利用し、

周期的な運動のタイミングを制御できると考え、メトロノーム音を指定されたテンポでならず機能を Ski Trainer には搭載した。



図3 スマホを装着した様子

スキーパラレルターンに応用するため、測定軸を固定した。Ski Trainer で計測する軸は上下方向と左右方向を図3に示すように装着した場合に限定した。この場合、スマホの上下方向（Y 軸）は重力方向、左右方向（X 軸）は左右方向としてデータに現れる。スキー指導員から初心者までの10人ほどに実験を行ったところ、華麗さを表現するファクタは、スキーパラレルターンは左右方向の加速度に密接に関わることがわかった。それが大きければ大きいほど滑りは華麗に見える。また、上級者は突発的な雪面の変化に対応できる能力が高く、ターンのテンポを一定にする課題を与えても、そのタイミングが崩れることはなく、初心者の場合、雪面の変化に戸惑い、一定のテンポを刻めないことがわかった。以上の基礎実験結果から、テンポ、対称性、ダイナミックさ、の観点から、センサーデータを使って、スキーパラレルターンを得点化することができることがわかった。

図4にテンポの比較を示す。加速度センサのX 軸（体の左右軸）のデータを、加速度がゼロになるところ中心にグラフを描くと、スキーパラレルターンの動きは sin 波を描く。実験参加者には自分の心地よいタイミングを決めて、パラレルターンを実施してもらった。図4の左側のグラフは、上級者のグラフで、安定して、

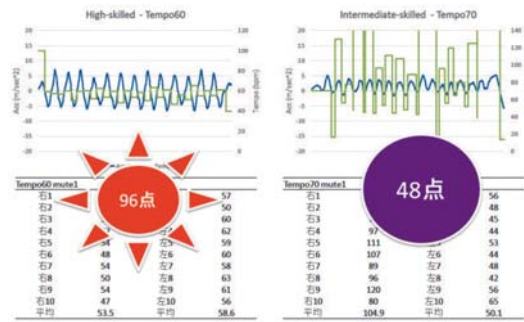


図4 テンポでスキルを比較する

一定のテンポを刻んでいる。右側は中級者のグラフで、テンポが乱れているのがわかる。この加速度のX 軸データから得られたテンポの分散を計算すると、得点化が可能である。例えば、図4では上級者は分散が常に一定であり、高い得点を得ている。

また、スキーパラレルターンの動きを加速度センサで捉えた場合、データのX 軸、Y 軸方向、つまり、身体の上下、左右方向の値を散布図にマップすると、華麗でダイナミックな滑りができている上級者はハートマークを描くことがこれまでの知見として得られていた。これは、上級者であれば、ターンの際に左右の偏りがなく、さらに、サイドエッジに体重をかけ回することで、華麗に見えているという理由がある。そこで、その性質を使って、対称性とダイナミックさを得点化する仕組みを開発した。

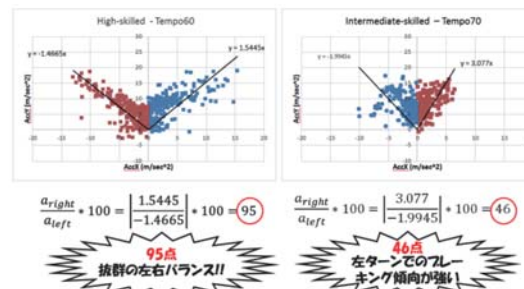


図5 対称性、ダイナミックさでスキルを比較

図5にSki Trainer で得られた加速度データを散布図にマップした結果を示す。左側のグラフが上級者であり、右側が中級者である。上級者の結果は、横軸方向（身体の左右方向）に大きく広がりがあることがわかる。この広がりを

ダイナミックさとして評価し、得点化する。この広がり、10人の被験者での統計を取って見たところ、大きくて2Gであることから、それに近い最大加速度を実現できているときには、最高点を得られるように計算する。さらに、対象に関しては、ターンのときの身体の左右の偏りを、散布図にプロットされた点の数の、グラフ内での左右差をカウントすることで評価する。偏りの多い方向に多くの点がプロットされることになるため視覚的に確認することができる。また、対称性は、グラフの左右にプロットされた点の近似直線を求め、それぞれの近似直線の左右差を得点とする。つまり、左右の近似直線の傾きが異なる時には、ターンの際に身体のどちらかに偏りが生じているということになるためである。

以上から、Ski Trainerを図3のように装着し、パラレルターンを実行するとスマートフォンにそのデータが蓄積される。そのデータを図4に示すインタフェースで解析し、視覚化することで、テンポ（図6右）、対称性/ダイナミックさ（図6左）を評価し、リアルタイムにフィードバックするシステムが開発できた。さらに、その得点ごとに、改善すべき点をメッセージ変換し、図6中央に示すような三角形のグラフを示しながら、スキル獲得のためには何が足りないかをレポートするようにした。



図6 Ski Trainerのスキル評価画面

Ski Trainerを利用することで、動きのどの部分が足りないかを視覚的に示し、さらに、前述のメトロノーム音を聞きながら、スキーパラ

レルターンを実施することで、テンポが改善された。さらに、ダイナミックさ/対称性がそれに伴い改善されていき、上達のための道具として十分使えることがわかった。

（動きデータを音変換するソフトウェアの開発）

加えて、図6中央の画面で音再生ボタンを押すと、その動きデータのX軸方向のデータを音変換して聞くことができるようにした。この機能によって、身体の動きがまだ記憶に残っているうちに、音でそのイメージをフィードバックし、不足点の発見とともに、左右の偏りを感じ覚的に知ることができることがわかった。

この音変換には、加速度データを可聴域内にマッピングすれば良いが、そのまま変換を実装すると、ノイズが平均律の中間音にマップされ、耳障りな音に変換される。そこで、可聴域をピアノの鍵盤以内にし、さらに、平均律で得られる音階の音に近似した。さらに、加速度のX軸をステレオの左右にシームレスにマップすることで、身体の左右の運動を表現した。この変換した音からの動きをイメージとしては、音のステレオ方向の動きは人は感受性が弱く、差を聞き取りにくい特性があり、細かな身体の動きをイメージできない。しかし、音の高低差は敏感に感じ取るため、音程のファクタは動き表現には重要であることがわかった。

（音変換のためのセンサーデータベースのプロトタイプ開発）

Ski Trainerで採取したセンサのデータを、アップロードし、事後に音で動きを確認できるデータベースサーバのプロトタイプを開発した。しかし、本データベースから動きの音を確認するにあたり、動きから時間が経過した後は、実際に動いたときの身体の記憶が少なく、イメージをつかめない、という問題があることがわかった。これを解決するためには、客観的に撮影された映像を示すなど、動きを提示する仕組みが必要である。Ski Trainerでは加速度とジャイロのデータが採取できているため、これらのデータを使って、動きを3次元再構成した

アニメーションを示すことができると考えられる。今後はこのような改善を行っていきたい。

[今後の研究の方向, 課題]

以上から、動きをセンサで捉え、そのデータを元に、音に変換し、スキル獲得を促すシステムを開発することができた。特に、スキル獲得のためには得点化という機能が必要であることがわかり、得点提示をおこなう機能を開発した。さらに、音提示によるテンポの引き込みで運動スキルの向上が見られることもわかった。運動を音変換し、イメージを再確認することは運動の直後に効果があることもわかった。

一方、本研究ではリアルタイムに動き予測をする機能を携帯端末で実現できなかった。リアルタイムに音変換することにも本研究では挑戦してみたが、どんなに高速に変換しても人の動

きから聴覚への感覚の伝搬遅延があり、動きに対し、音が遅れて聞こえてしまう、ということがわかった。これを改善するには動きを予測し、音を生成する事が必要であるため、今後、深く研究をしていく。

[成果の発表, 論文等]

本研究の成果は以下の国際会議論文として公表され、さらに、特許出願した。

- [1] Shinichi Yamagiwa, Hiroyuki Ohshima and Kazuki Shirakawa, Skill Scoring System for Ski's Parallel Turn, In Proceedings of International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS 2014), pp. 121-128, SCITEPRESS, October 2014.
- [2] 特願 2014-216756・山際伸一・評価値算出プログラム, 評価値算出方法, 情報処理装置・筑波大学・平成 26 年 10 月 23 日.