

# スキーのための加重のリアルタイム可聴化

長谷川晶一<sup>\*1</sup> 石島誠一郎<sup>\*2</sup> 加藤史洋<sup>\*1</sup> 三武裕玄<sup>\*1</sup> 佐藤誠<sup>\*1</sup>

## Realtime Sonification of Weighting for Skiing

Shoichi Hasegawa<sup>\*1</sup>, Seiichiro Ishijima<sup>\*2</sup>, Fumihiko Kato<sup>\*1</sup>, Hironori Mitake<sup>\*1</sup> and Makoto Sato<sup>\*1</sup>

**Abstract** – スキーでは、ポジション（体の位置）や加重（床反力）の制御が重要である。初心者はパラレルターン時に傾斜への恐怖感からしばしば後傾し、ターンのコントロールができなくなる。そこで、我々は床反力を音に変換してスキーヤーにフィードバックする装置を試作した。スキーヤーは音によりポジションや加重の確認ができる。スキー場で利用してみたところ、すぐにポジションが調整できたり、斜面やスピードに対する恐怖感を克服できる可能性があることが分かった。

本稿の内容の一部は、国際会議 Augment Human 2012 にて発表した [1]。本稿では、本研究がスキーの楽しさをどのように拡張するかについての考察を 5 節に加えている。

**Keywords** : Augmented Sport, Augmentation of Enjoyment, Sonification, Ski

### 1 はじめに

ポジション（足に対する体幹の前後の位置）は、スキーレッスンや教本でもしばしば取り上げられるが、スキー中に自分の姿勢を把握し制御することは容易ではない。ゲレンデで正しい姿勢を静止時に教わっても、滑り始めると分からなくなってしまいう人も多い。滑りをビデオで撮ってあとで見ると、自分で思っている姿勢と大きく違うことに気付くという事が良く起こることから、自己の姿勢が把握できていないために姿勢の制御ができないと推察できる。足にかかる圧力は姿勢によって変化するが、滑走中変化し続ける足への加重の感覚から現在の姿勢を推定することは初心者には難しい。

そこで我々は、滑走中の姿勢をスキーヤーにフィードバックすることを考えた。2002年にスキーヤーにシースルー HMD と竿の先につけたカメラを装着させることで、第三者視点を与えることを試みた。[4]。しかし滑走中に第三者視点映像から姿勢を把握することは容易ではなかった。スキー滑走自体が視覚情報処理を必要とするため、重畳されたビデオ映像の処理を同時に行うことは難しいのだと考えられる。滑走中に閉眼したり、濃霧の中を滑走するとわかるが、スキーターンの方向把握には視覚が必要である。

The system :



Video images for HMD:



図1 Ski with third person's view

<sup>\*1</sup>東京工業大学, hase@pi.titech.ac.jp

<sup>\*2</sup>石島電子技研

<sup>\*1</sup>Tokyo Institute of Technology

<sup>\*2</sup>Ishijima Electronics Engineering, Inc.

本研究では、スキー滑走中にほとんど使用しない聴覚にフィードバックすることで、この問題を解決することを当初は目的としていた。実際に聴覚フィードバックを行なってみるとポジションの改善だけでなく、様々な可能性が見出された。

## 2 関連研究

可聴化はバイオフィードバックによく使われる手法である。Chiari ら [3] バランスの改善のために音によるバイオフィードバックシステムを提案している。また、Hummel ら [5] は、ラートというスポーツの可聴化により技術を改善することを提案している。

スキーを対象とした計測、制御、情報処理は1970年代から始まっている。スキーのビンディングの安全な開放については多数の特許があるが、センサと電気的な手法を用いたものも提案されている。[7]. MacGregor ら [6] は、6自由度力センサとマイコンを搭載したビンディングを作り、力の記録とビンディングの制御を行い安全性を向上させた。Brodie ら [2] は、全身動作と足の圧力を、GPS、慣性計測型モーションキャプチャ、インソール圧力分布センサを用いて計測するシステムを作り、全身動作と外力を正確な取得を実現した。外力の音響フィードバックにも言及しているが、実際に試していない。また、レースでのスピードを目的に加速度を可聴化するもので、初心者のポジション制御に役立つものではない。これに対して我々は、ポジションの感覚や加重中心の感覚がわからない初心者スキーヤーを対象としたシステムの提案を目的としている。

## 3 可聴化の提案

加重中心の位置は力センサから得ることができるので、力センサの値と音響フィードバックの関係を設計する。スキーでは、ターンとブレーキによるスピード制御が行われる。ターン、ブレーキ共に、加重中心を前（前傾姿勢）にする必要がある。加重中心が後ろ（後傾姿勢）になると制御が効きにくくなり、速度が増してしまう。

可聴化は、エンジン音をメタファとして行う。低い音を前傾姿勢に対応させ、高い音を後傾姿勢に対応させる。これにより現在の姿勢が速度を増すか減らすかすぐに分かる。また、低い音はより大きなトルクをイメージさせ、より大きな力でブレー



図2 可聴化システム

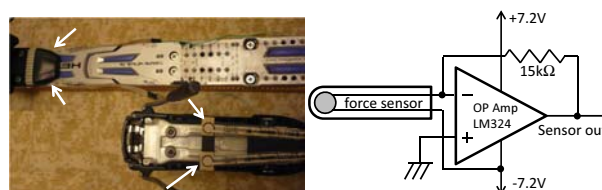


図3 力センサと駆動回路

キをかける操作と対応させやすい。左右の足の間の加重のバランスは2つのエンジン音の大きさの差によって表現した。一つの足での左右 = エッジングの可聴化は音の歪によって表現することを試みたが、わかりにくかった。

### 3.1 システムの概要

図2に可聴化システムの写真を示す。力センサ、ステレオイヤホン、SH7125マイコンによって、力を計測し、フィードバック音を生成する。SH7125には8チャンネルのADコンバータ(ADC)とマルチファンクションタイマパルスユニット(MTU)がついており、力センサの出力はADCに入力し、MTUのPWM機能で左右のイヤホンを駆動する。

### 3.2 力の計測

力センサには、Tekscan Inc. の FlexiForce<sup>®</sup>センサを用いた。8個のセンサを用い、左右のスキーに4個ずつ配置した。スキーのビンディングはスキーにネジで止まっている事がおおいので、シートタイプのカセンサをビンディングと板の隙間に入れることができる。図3にセンサと駆動回路を示す。

### 3.3 加重中心位置の計算

ADCから得られたデジタル信号は、2タップのIIRフィルタによって平滑化し、予めキャリブレーションを行なって得た最小値と最大値を用いて正規化する。各足の加重中心位置は、平滑化、正規

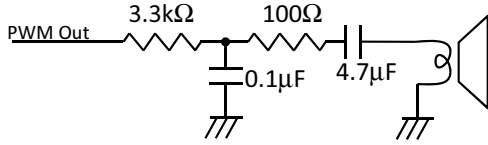


図4 提示音出力のためのローパスフィルタと直流遮断回路

化を行った信号を用いて、以下の式によって、求める。

$$x_{cop} = \Delta f_{fl} - \Delta f_{fr} + \Delta f_{bl} - \Delta f_{br} \quad (1)$$

$$y_{cop} = \Delta f_{fl} - \Delta f_{bl} + \Delta f_{fr} - \Delta f_{br} \quad (2)$$

$$s = \Delta f_{fl} + \Delta f_{bl} + \Delta f_{fr} + \Delta f_{br} \quad (3)$$

$$\Delta f_i = f_i - c_i \quad (i \in \{fl, fr, bl, br\}), \quad (4)$$

ここで、 $f_{fl}, f_{fr}, f_{bl}$  and  $f_{br}$  は左前、右前、左後、右後のセンサからの信号を正規化、平滑化したものである。 $c_i$  は事前のキャリブレーションにより取得したユーザーがスキー板の中心に乗った時の  $f_i$  の値である。 $s$  は片方のスキー板に加わる力の合計である。

次に、左右の耳に提示する音のパラメータは次の式によってきめる

$$pitch = k_p y_{cop} \quad (5)$$

$$volume = k_v s \quad (6)$$

$$distortion = k_d |x_{cop}|, \quad (7)$$

ここで、 $k_p, k_s, k_d$  は提示音の感度を調整するためのパラメータである。

### 3.4 提示音の生成

マイコンに付いている MTU の PWM 機能により、 $0/1024 \sim 1024/1024$  のパルス幅を 25kHz で出力する。出力は次のような回路でフィルタされる図4。パルスの幅はタイマ割り込みによって設定した。割り込みプログラムは、波形データが格納された配列からパルス幅を取り出し、配列の添字をインクリメントするようにした。これにより、音程はタイマの周期によって設定することができる。力センサを読み出し加重中心を計算するメインプログラムは、 $pitch$  の値をタイマ割り込みの周期  $T_{int}$  は次のように設定する。

$$T_{int} = 128 / (220 (\sqrt[12]{2})^{pitch}) [s]. \quad (8)$$

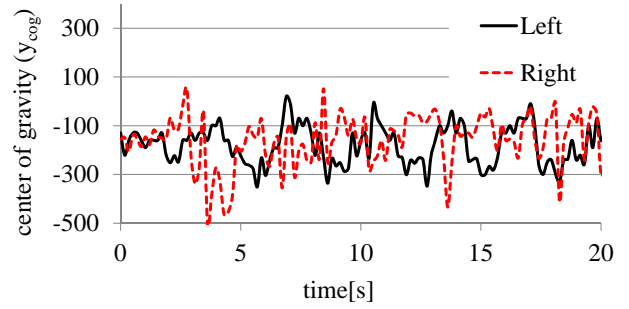


図5 可聴化なしの場合の初心者の加重中心位置の前後成分 ( $y_{cop}$ )

これにより、提示音は半音階を上下する。波形データは、次のような式で予め生成しておく。

$$pw = 512 volume (0.4 \sin(2\pi t) + 0.7 \sin(4\pi t) + 1) \quad (9)$$

$$(t = \frac{0}{128}, \frac{1}{128}, \dots, \frac{127}{128}),$$

ここで、 $pw$  は配列に格納される PWM のパルス幅 (0 to 1024) である。

このとき、パルス幅を適当な最大値と最小値で制限することで、歪んだ音も作っておく。16段階の歪具合の波形データを用意し、 $distortion$  の値に応じて使用する波形データを切り替える。

## 4 実験

システムの効果を調べるため、スキー初心者と上級者が提案システムをスキー場で使用した。データとビデオを記録するための PC と可聴化システムをバックパックに入れて背負って滑り、滑走中のセンサ値、出力音、スキーヤーに取り付けたカメラの映像と外部から撮影した映像を記録した。リフトを降りたところで1~2分かけて各センサの最大値、最小値と中心に乗った時の値のキャリブレーションを行った。その後、コースの最後まで滑り、リフトに乗り、またコースを滑るということを繰り返した。可聴化システムや記録のための PC はほとんどユーザの活動を妨げなかった。

図5と図6は、可聴化なし、可聴化ありの場合の、初心者のターン中の加重中心位置を表している。図6では加重中心が前方にとどまっているが、図5では後方に動いている。

図7は初心者が可聴化ありとなしでターンする場合のポジションを示している。可聴化により明らかにポジションが変化することが分かる。初心者の滑りはボーゲンに近かったので、前傾が良い

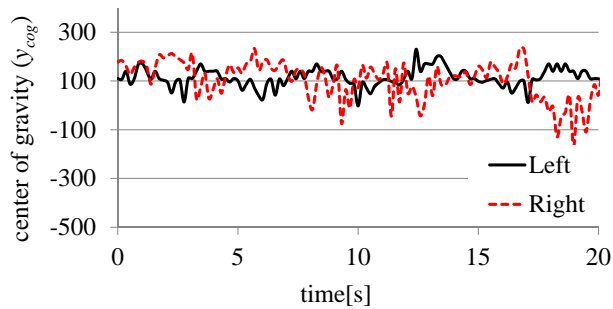
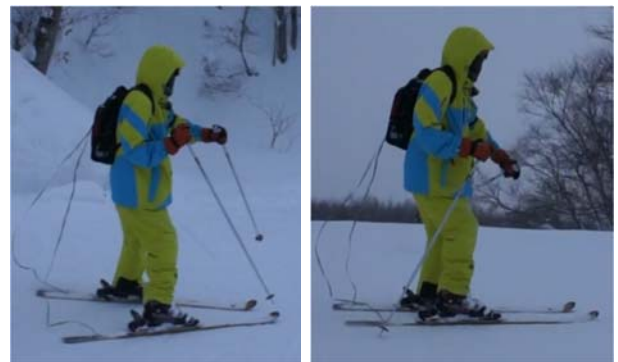


図6 可聴化ありの場合の初心者の加重中心位置の前後成分 ( $y_{cog}$ )

滑りというわけではないが、この時初心者はできるだけ前傾して滑ろうと意識していたので、意識通りの滑りができたとは言える。

利用者は、様々な感想をリフトに乗っている間、熱心に報告した。以下はそのまとめである。

- 音程の変化とスピードの変化はとても直感的である。左右のバランスとボリュームの関係も理解できる。(音の歪の変化には気づかなかった。)
- 音のフィードバックによって現在の姿勢が良し悪しがすぐわかる。
- 音のフィードバックに寄って現在の姿勢で良いとわかるので、高速時や急斜面でも、安心して滑ることができる。
- ターン中に、音程を合わせることで、加重中心位置を目標値にあわせる事ができる。
- 疲れると、音程を合わせるのが難しくなるので、疲れたとわかる。
- 音程は細かく変化するが、平均して理解することができる。
- 今まで気づかなかった斜面の小さな凸凹に気づくことができ、面白い。
- 平坦な斜面でショートターンを繰り返していると、ターンが乱れる3ターン前くらいに音が乱れることに気づく。今までは気づかなかったが、ターンの乱れが自覚できるより前に始まっていたことが分かった。
- ターンの大きさのリズムを音の変化のリズムとして意識できるようになるので、ターンの弧を揃えやすくなった。



without feedback



with sound feedback

図7 可聴化ありとなしでターンする場合の初心者のポジション。写真の上向きは、ゲレンデの木や柱の向きを基準にあわせてある。

- 音色が心地良い音色でない。音楽やもっと良い音にして欲しい。
- 音がうるさいので滑走中以外は切りたい。

実験中、どちらのユーザも可聴化つきのスキーを楽しんでいた。ただし音色については不満が強かった。

## 5 考察

デジタルゲームにおいて身体性・インタラクティブ性を追い求めると、ともすると実世界での既存の活動の代替としてのゲームという構図ができかねない。もちろん既存の活動をモチーフとしたゲームにも面白い物はあるが、代替物であると捉えられている限り本物指向に対抗することは難しい。ストーリーテリングの進化型としてのデジタルゲームはこの点で強い基盤を持っている。身体性やインタラクティブ性自体の楽しさの追求を考えると、既存のスポーツや遊びは重要な先行事例だと考えられる。スポーツや外遊びの大きな体の動きや、風を切る感覚、雄大な景色といった要素をデジタルゲームが上回することは難しい。むしろこれらを生かしてその上に楽しさを加える方が良い物ができると考えられる。では、すでに楽しい活動に対して、技術で何ができるのだろうか。ここでは、本研究の発展の方向として、上達支援、楽しさの付加、コミュニケーション支援の3つを挙げたい。

スポーツや遊びはある程度習熟しないとその本来の楽しさに到達できない。スキーの場合、とりあえず滑れるようになるまでの2日位を乗り越えれば滑れるコースも増えてあるところまではどんどん楽しくなる。しかしどのコースも滑れるようになった後漫全と滑っていても次の楽しさが得られる段階には至らない事が多く、そこで飽きてしまう人もいる。その後「板に乗れる」と言われる加重の制御ができるようになると滑りの制御の幅が突然広がり楽しくなる。私はその楽しさを自在にコースを変えられるジェットコースターの楽しさとよく例える。このような壁を越えるのを助けることが、まず技術でできることの第1に挙げられると思う。

加重によって音を変化させられるということは、スキーが楽器化したと捉えることもできる。コースを滑りながら、自分が作り出す音楽を楽しむという新たな楽しみをスキーに追加できる可能性が

ある。もともとスキーの楽しみに、与えられた斜面をどのようなターンで滑るか、どんな滑りを表現すれば最高かを考えそれを実現する、というものがある。滑りの表現がそのまま音楽として楽しめるようにできれば、本来の楽しさを生かした上で技術によって更に楽しさを付加できる可能性があると思う。

身体動作を伴う技の伝承は言語だけでは伝わらず、動きを見たり体を動かすことが必要になる。このためスキー談義が通じるためには、事前に相当の内容を共有する必要がある。可聴化により滑りが音の変化に変換されると、その変換法を共有している者=可聴化システム利用者の間では、滑りが共有できるようになると考えられる。これによりネットワーク上等での共有も容易になりコミュニケーションの活性化が図れ、コミュニケーションがエンタテインメントになると考えられる。

上述のような展開には、そのスポーツや遊びの本質を捉え、その情報をユーザに入出力するシステムを用意する必要があるだろう。スキーの場合、板への加重で板の動きが決まるため本質であると考え、これを計測、提示すれば良いと考えた。この考えの正誤は今後の研究の進展とともに明らかになるだろう。他のスポーツや遊びに展開するためには、それぞれの本質を捉えた上で、上手い入出力方法を見つける必要があるだろう。

## 6 結論と今後の予定・展望

提案した可聴化システムによる加重中心位置の可聴化が、初心者被験者のスキー時の体の位置の改善に簡単で効果的であった。エンジン音のメタファはわかりやすいが、音色は改善が必要だと考えられる。フィードバック音自体を楽しめるような音作りが必要になるだろう。

スキーシーズンにしか実験できないため、今後シーズンまでは、システムの改善に取り組む予定である。現在のセンサは耐久性が低いので、計測方法や板や靴への埋め込み方の改善により、使い続けられるシステムにしたいと考えている。また、ケーブルがあると装着が面倒なので無線化したいと考えている。シーズン到来後は、スキー教室に持ち込み、データを取りたいと考えている。

展望については、5節にも書いたが、スキーの楽しさを多くの人に知ってもらい、可聴化システムを用いたスキー談義がネット上で盛り上がるよう

にできればと考えている。

#### 参考文献

- [1] Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihiro Kato, Hironori Mitake and Makoto Sato. Realtime Sonification of Center of Gravity for Skiing *AH'12, Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference*, No. 11, 2012.
- [2] M. Brodie, A. Walmsley, and W. Page. Fusion motion capture: a prototype system using inertial measurement units and gps for the biomechanical analysis of ski racing. *Sports Technology*, 1(1):17–28, 2008.
- [3] L. Chiari, M. Dozza, A. Cappello, F. B. Horak, V. Macellari, and D. Giansanti. Audio-biofeedback for balance improvement: An accelerometry-based system. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 52(12):2108–2111, 2006.
- [4] S. Hasegawa. Augmented ski. <http://haselab.net/hase/ski/ski.php> accessed on Feb. 14, 2012.
- [5] J. Hummel, T. Hermann, C. Frauenberger, and T. Stockman. Interactive sonification of german wheel sports movement. In *Proceedings of ISON 2010, 3rd Interactive Sonification Workshop*, pages 17–22, April 2010.
- [6] D. MacGregor, M. L. Hull, and L. K. Dorius. A microcomputer controlled snow ski binding system-i. instrumentation and field evaluation. *Journal of Biomechanics*, 18(4):255–265, 1985.
- [7] T. G. Smolka. Safety ski binding. *U. S. Patent, No.3,776,566*, 1972.