

スキーのための加重中心の付加的音響フィードバック

大脇 遼^{*1}, 三武 裕典^{*1}, 長谷川 晶一^{*2},

Extrinsic sound feedback of pressure center for skiing

Ryo OWAKI^{*1}, Hironori MITAKE^{*1} and Shoichi HASEGAWA^{*2}

^{*1} Tokyo Institute of Technology Precision and Intelligence Laboratory
4259 Nagatsutacho, Midoriku, Yokohama, Kanagawa, 226-8503 Japan

Control of body position is important in skiing. During turn, novice skiers often lean back and lose their control. Leaning back is natural reaction for people. They are afraid of the slope or speed. We develop a device to provide realtime sonification feedback of the center of pressure of the skier. The device guides the position of skier. A preliminary experiment shows possibility of improvements that the user become to be able to control their position immediately and even to overcome the afraid of slope and speed.

Key Words : Ski, Sonification, Body schema

1. 結 言

スキー滑走中の体の前後の位置は重要だが、自分の姿勢を把握し制御することは容易ではない。私はレッスン等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うことが多い。滑りをビデオで撮り後で見ると自覚との違いに気付くことから、自己の姿勢が把握できないために姿勢が制御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級者には難しい。またターン中の時々刻々の加重の変化を知覚することは更に難しいと思う。

そこで私は、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(1)。まず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(図1)。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、スキーヤーが重畳されたビデオ映像を同時に理解する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、スキーターン中の方向把握には視覚が必要である。



図 1 HMD とカメラによる第三者視点映像提示装置 (左) と滑走中に提示される映像 (右)

^{*1} 学生非会員, 非会員, 東京工業大学 (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4 2 5 9)

^{*2} 非会員, 東京工業大学 (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4 2 5 9) / 科学技術振興機構 さきがけ研究員
E-mail: {owaki, mitake, hase}@haselab.net

本研究では、スキー滑走中に比較的使用してい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(2)。実際に聴覚フィードバックを行なってみると姿勢の認識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(4)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は1970年代から始まっている。MacGregorら(5)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(6)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、初級者の姿勢認識に役立つものではない。これに対して本研究は、姿勢の感覚や加重中心の感覚がわからない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. 可聴化システム

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。音は両耳に提示し、左右の加重のバランスを音量のバランスに対応させる。また、左右の足それぞれの前後の加重位置を音程に対応させる。スキディングパラレルターンでは、前傾姿勢で前に加重するとターン弧が小さくなり減速する、後傾姿勢で後ろに加重すると踵が滑り弧が大きくなり、制御し難くなる。そこで聞き取りやすい高音を注意が必要な後傾に、低音を前傾姿勢に対応させた。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。



図2 当初の有線接続の可聴化システム

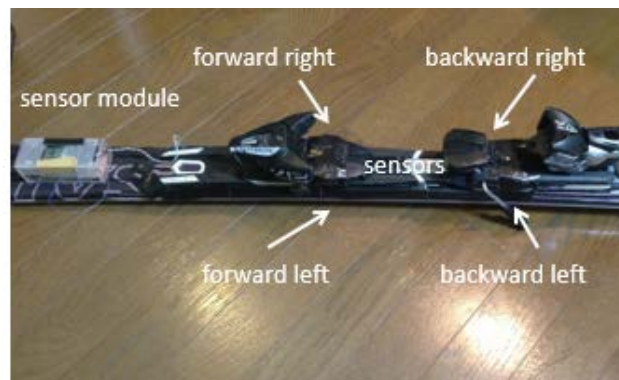
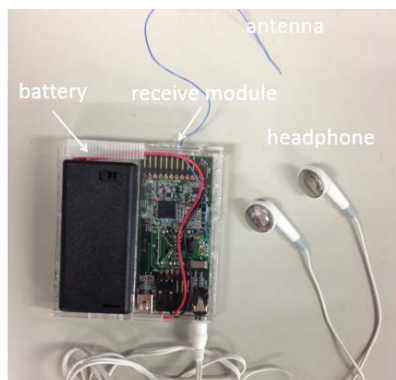


図 3 無線化した可聴化システム 可聴化部 (左) センサ部全体 (中) センサ回路 (右)

可聴化システムは、力センサ、ステレオイヤホン、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。力センサには、Tekscan Inc. のFlexiForce[®]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。4個のセンサの加重の重心により、各足の加重中心位置を求めた。音程は重心の前後位置、音量は加重の合計に比例させた。音程は半音階を上下するようにした。当初センサからイヤホンまで有線接続とした(図 2)が、ケーブルが足に絡まるなどして危険なためセンサを無線化(図 3)した。

4. 無線版の実装

無線化版では、無線化と同時にアナログ回路をPSoC3チップ上に集約した。力センサを駆動するためのOPアンプも内蔵回路を用い、マルチプレクサにより5つまでのセンサの駆動、計測を実現した。センサ部は左右それぞれに用意する。左右のスキー板に4個ずつ、計8個の力センサは、アナログマルチプレクサにより時分割でOPアンプにより駆動され、その信号はADコンバータを経由してセンサ部のPSoc3マイコンに入力される(図 4)。センサ信号は315MHz帯の微弱電波通信モジュールを経由して可聴化部へと無線伝送される。通信はすべて同じ周波数で行い、左右のセンサ部は、互いに相手の送信終了を確認してから信号を送信する。可聴化部は受信のみを続ける。

可聴化部ではセンサデータから加重中心、加重の大きさを求め、タイマー、波形メモリ、加乗算器、D/Aコンバータ、ローパスフィルタ、OPアンプからなる音響出力、イヤホン駆動回路を通して可聴化を行う(図 6)。

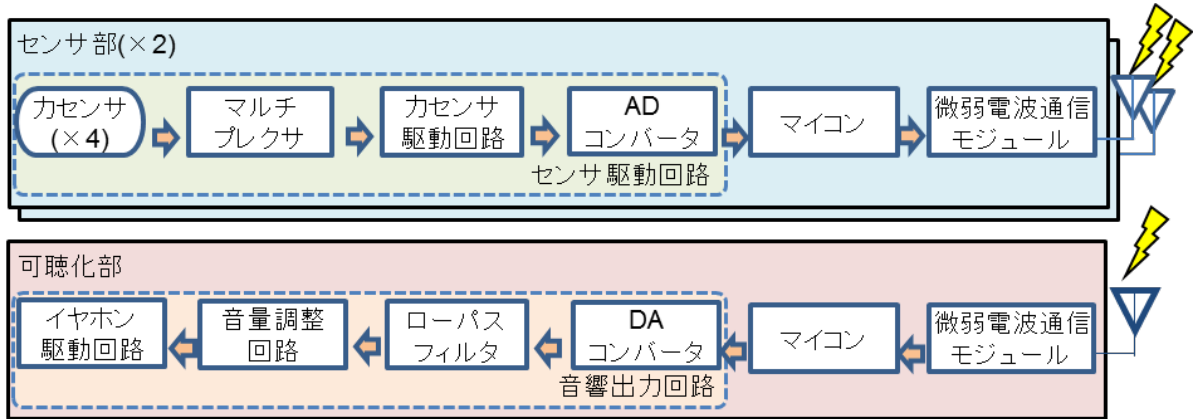


図 4 無線版の回路構成

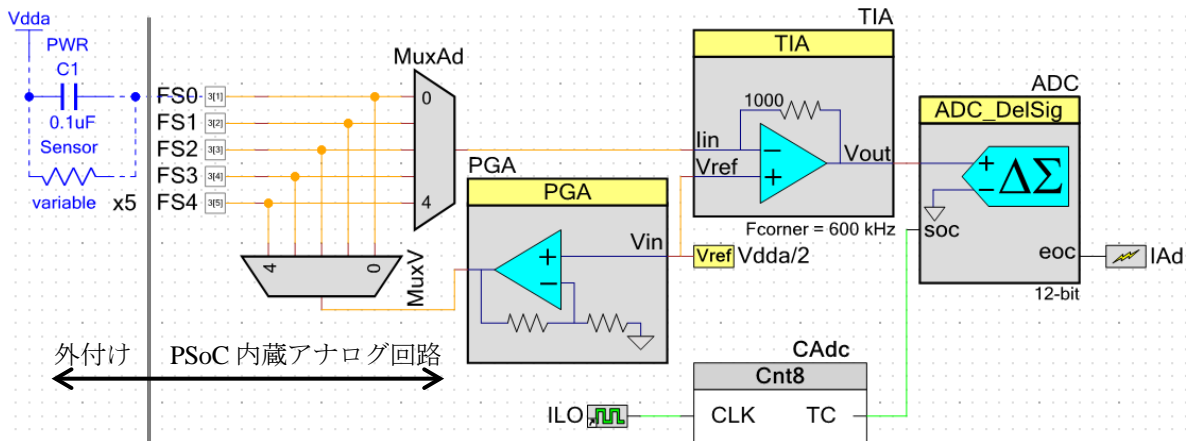


図 5 センサ駆動回路

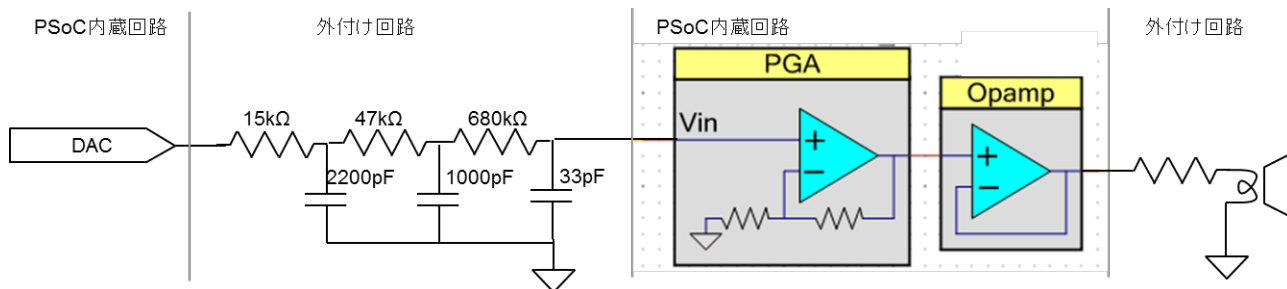


図 6 音響出力回路

4. 有線版による実験

システムの効果を調べるため、初期の有線接続による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。

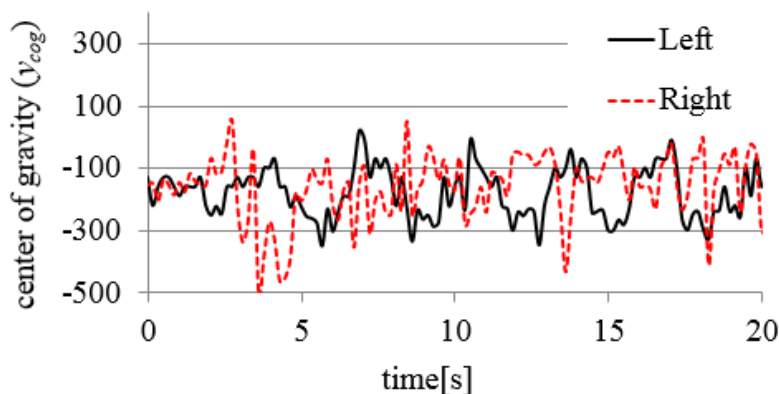


図 7 可聴化なしの場合の加重中心位置の前後成分

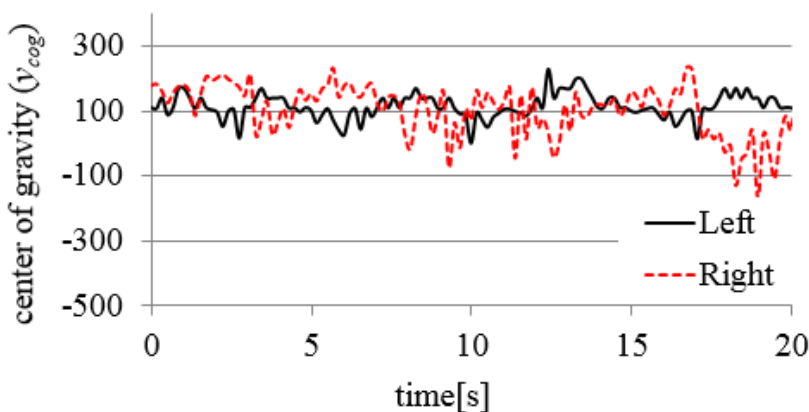


図 8 可聴化ありの場合の加重中心位置の前後成分

図 7 と図 8 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 8 では加重中心が前方にとどまっているが、図 7 では後方に動いている。利用者は、様々な感想をリフトに乗っている間に熱心に報告した。以下に感想をまとめて列挙する。

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。／音のフィードバックによって現在の姿勢が良いとわかるので、高速時や急斜面でも、安心して滑ることができる。／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。／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。今までは気づけなかったが、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、ターンの弧を描えやすくなった。／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。

5. 無線版による実験

無線版についても試用を行い、感想を集めたところ概ね同様の感想を得たが、ショートターンについては、分かりにくい、音の変化がターンに追いついていないと言った感想を得た。有線版では提示音の更新は1kHz程度で行われていたが、無線版では微弱無線モジュールの通信帯域幅の制限により更新周期が0.1秒程度になってしまった。更新頻度が少なく、遅延が大きくなったことが影響している可能性があると考え、改良を検討している。

提示音の指摘は、単調でつまらないという指摘はあるものの、音色に対する不快感の指摘はなくすことができた。有線版ではPWM出力に1段のローパスフィルタを掛けただけであつたのに対し、8BitのDAコンバータと3段のローパスフィルタを掛けたことで正弦波に近い音響が提示できるようになり、音質は改善している。半音階は不安定な印象を与えることから、全音階を用いることも試みたが、筆者と共著者は、半音階の方が前後の加重中心を捉えやすいと感じられた。

6. 身体図式の認識に関する考察

金子(7)は、運動を行う者が技を身につける能力を①体感能力、②コツ創発能力、③カン側発能力、④即興能力に大きく分類している。①体感能力は、『「全身感覚」によって、つまり、運動感覚システムの全体で感じ取れる運動能力である。』と説明されている。この体感能力は、更に3つに分類されその最初に、零点体感能力が挙げられている。これは、運動を行う者が運動中に自己の身体を感覚する際の零点であり、これを基準に前や後ろといった感覚が成り立つ。運動中の身体図式の状態の中のある状態を零点と感ずる能力なのだと思う。

緒言で触れた、静止時に教わった前後位置が滑り始めると分からなくなり、あとでビデオを見ると姿勢が予想と異なるという状況は、滑走時の零点体感能力がない状況だと考えられる。これに対して、本研究が行う可聴化は、聴覚を通じて音の高低により、前後の零点体感能力を付加的に与える可能性があると思う。

人の感覚器の信号から加重中心位置を求めるためには、皮膚感覚を積分したり、全身の関節トルクを計算したりといった難しい計算が必要になる。また、滑走中は運動による加速度が掛かるため、静止時より更に認識が難しくなると考えられる。これに対して、聴覚は蝸牛による共振により音を周波数分解することで音高により異なる有毛細胞が刺激される仕組みを持っており、音高の認識のために複雑な計算を要しないと考えられる。このような、体感することが難しい感覚を、装着型の機器により計測・演算・提示して体感しやすい感覚に変換することで、体感能力の獲得を支援することができるのではないと思う。

もちろん音の付加がなくなった途端に体感能力が失われるおそれも考えられる。この問題については、Concurrent Augmented Feedbackという文脈で研究がなされており、そもそもフィードバックがあると学習に悪影響があるという指摘(8)(9)と、良い影響があるという指摘(10)(11)がある。悪影響があると指摘する研究(8)(9)では、フィードバックが付加的に体感を与えるのではなく、目標値と現在値の差を提示する条件になっているとも解釈できる。また(11)では、半分の練習だけに音響フィードバックを与えるという工夫により良い結果を得ている。

7. 結論と今後の展望

可聴化システムを提案し、スキーターン中の姿勢制御への効果を確認した。利用者は可聴化つきのスキーを楽しんでいた。スポーツや遊びの本来の楽しさに到達するにはある程度習熟が必要なので、その支援に繋がるシステムとしたい。また、ターンに合わせて音を変化させられるので、滑りながら音を楽しむという新たな音楽の楽しみをスキーに追加できる可能性がある。

文 献

- (1) Hasegawa, S., "Augmented ski", <http://haselab.net/~hasel/ski/ski.php> (2012).
- (2) Hasegawa, S., Ishijima, S., Kato, S., Mitake, H and Sato, M., "Realtime Sonification of Center of Gravity for Skiing AH'12", *Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference*, No. 11(2012).
- (3) Chiari, L., Dozza, M., Cappello, A., Horak, F. B., Macellari, V. and Giansanti, D., "Audio-biofeedback for balance improvement: An accelerometry-based system", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol.52 No.12 (2006), pp. 2108-2111.

- (4) Hummel, J., Hermann, T., Frauenberger, C. and Stockman, T., "Interactive sonification of german wheel sports movement. In *Proceedings of ISON 2010*", 3rd Interactive Sonification Workshop(2010), pp. 17–22.
- (5) MacGregor, D., Hull, M. L. and Dorius, L. K., "A microcomputer controlled snow ski binding system. instrumentation and field evaluation", *Journal of Biomechanics*, Vol.18 No.4 (1985):pp. 255–265.
- (6) Brodie, M., Walmsley, A., and Page, W., "Fusion motion capture: a prototype system using inertial measurement units and gps for the biomechanical analysis of ski racing", *Sports Technology*, Vol.1 No.1 (2008), pp. 17–28.
- (7) 金子明友, "わざの伝承", 明和出版 (2002), 終章, pp.462-473.
- (8) Schmidt, R. A., Wulf, G., "Continuous Concurrent Feedback Degrades Skill Learning: Implications for Training and Simulation", *Human Factors*, Vol. 39 No.4(1997), pp.509-525.
- (9) Vereijken, B., Whiting, H., T., "In defence of discovery learning", *Canadian Journal of Sport Sciences*, Vol.15 No.2 (1990), pp.99-106.
- (10) Shea, C. H., Wulf, G., "Enhancing the Learning of Sport Skills through External-Focus Feedback", *Journal of Motor Behavior*, Vol. 34 No. 2(2002), pp.171-182.
- (11) Mononen, K., "The effects of augmented feedback on motor skill learning in shooting: a feedback training intervention among inexperienced rifle shooters", dissertation at University of Jyväskylä (2007).