

スキーの加重中心の可聴化における時間遅れの影響

○大脇 遼 (東工大) 長谷川 晶一

キーワード : Ski, Sonification, Feedback delay, time lag

1. 緒言

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。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から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。

長谷川らは、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。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。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。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. 先行研究

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²⁾は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³⁾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⁴⁾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⁵⁾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。スキッドイ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る。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1)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2)した。

4. 無線化版の実装

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

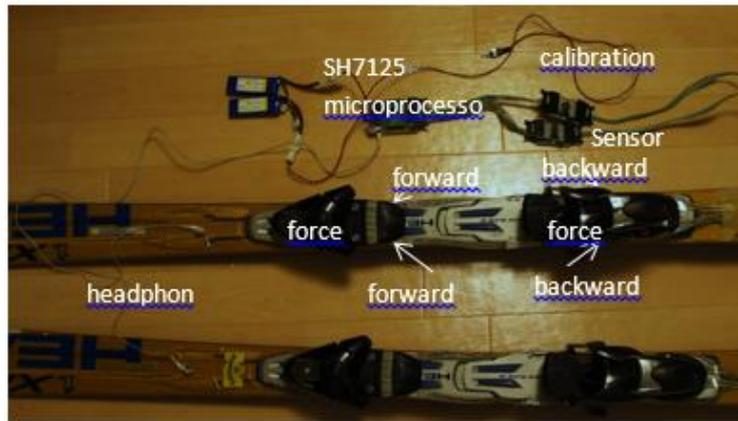


図 1 当初の有線接続の可聴化システム

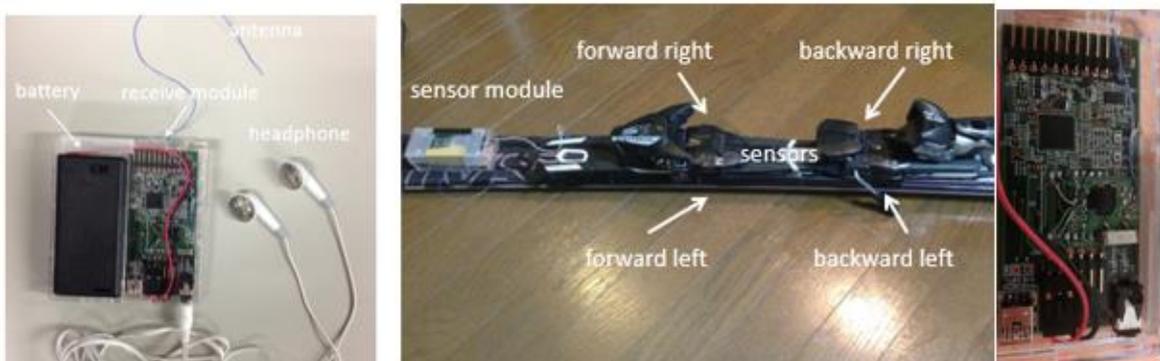


図 2 無線化した可聴化システム 可聴化部 (左) センサ部全体 (中) センサ回路 (右)

に入力される(図3).

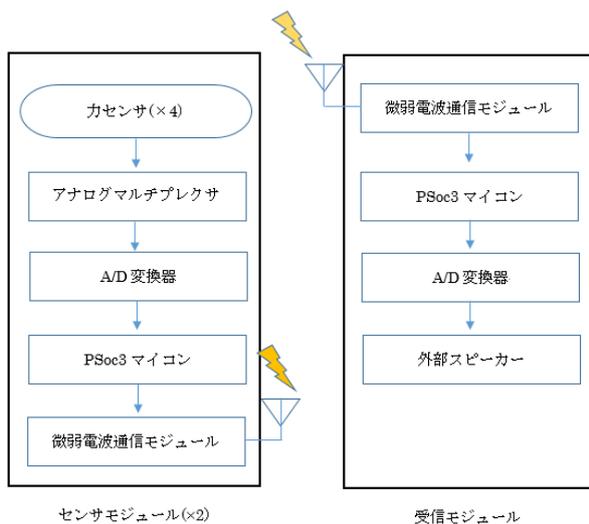


図 3 無線版の回路構成

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4)。

5. 無線化版による実験

無線化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。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なることができた。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ったのに対し，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，音質が改善していた。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。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た。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

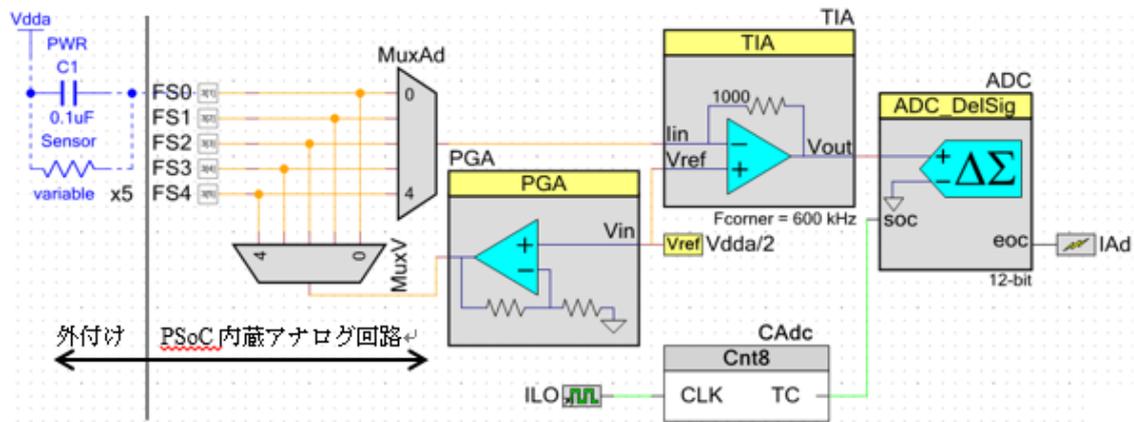


図 4 センサ部分の回路

いった感想を得た。有線版では提示音の更新は1kHz程度で行われ、遅れは2ms程度だが、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100ms程度の遅れが存在し、更新も10Hz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、BluetoothモジュールをPSoC3チップに搭載して、Androidデバイスに送ることで解決を試みた上で、スキー指導者に試用してもらった。試用した感想としては、ノイズが気になる、通信遅れにより加重中心の位置が正確に分かりづらい等が得られた。Bluetooth版では、受信機にはAndroid端末を用いたため操作性、音質は向上したが問題は解決しなかった。Bluetoothにも20ms程度の遅延があること、電源にステップアップコンバータを使用したため力センサの計測データにノイズが入ることにより、分かりにくい提示音となってしまった。

6. 通信遅れが及ぼす影響

通信による遅延が知覚にどの程度の影響を与えているかを調べるために、有線版のシステムを用いて作った模擬デバイス(図5)を用いて実験を行った。模擬デバイスはブーツを履かずに、素足でセンサを内蔵した板に乗ることで提案デバイスの利用を模擬的に再現するものである。模擬デバイスでは遅延を追加するため、センサから得られた値をリングバッファに入れ、リングバッファの長さを変えられるようにした。これにより音響出力までの時間をソフトウェアにより調節できる。実験は、どちらの足の入力がどちらの耳に出力されているかを被験者が判断できるまでの時間を計測することで行った。遅延時間は約2ms, 22ms, 154msの3段階とした。被験者は男性6名でA, B, Dはスキー未経験者, C, Eはスキー初級者, Fは筆者(SAJ1級)であ

る。

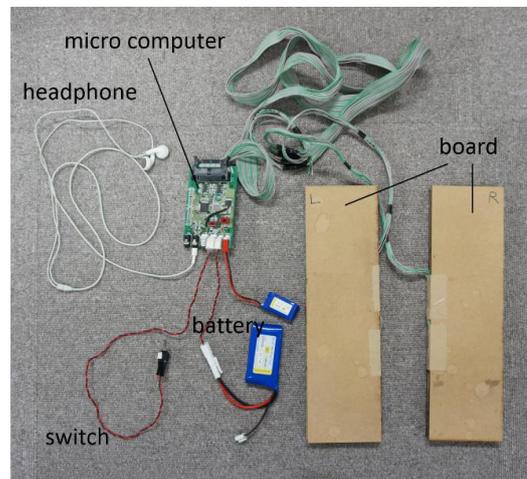


図5 模擬デバイス

被験者には、デバイスとシステムに慣れてもらうために、10分ほど遅延時間2msの状態では模擬デバイスを使用してもらい、判断までの時間が10秒以内となることを確認した上で実験を行った。また、筆者はデバイスを使い慣れている。被験者には、予めデバイスに乗り、自由に加重中心を動かして良いこと、ストップウォッチをスタートさせると可聴化が始まるので、左右どちらの耳にどちらの足の加重中心がフィードバックされているかを判断し、分かり次第ストップウォッチをストップさせるように指示した。実験者は被験者がストップウォッチをスタートさせるのと同時に可聴化を開始し、被験者の回答を確認した。実験は遅延時間2msから始め、22ms, 154msでの実験を続けて行った。6名の被験者による計測結果は表1のようになった。

表 1 可聴化から回答までの経過時間

可聴化の時間遅れ	2ms	22ms	154ms
被験者 A[s]	4.48	5.58	10.06
被験者 B[s]	6.61	6.98	10.71
被験者 C[s]	4.23	6.43	6.50
被験者 D[s]	3.25	5.49	7.82
被験者 E[s]	3.20	3.41	4.16
筆者[s]	1.98	2.01	3.16

計測結果から、時間の遅れを大きくするに伴い、判断に要する時間が大きくなることが分かる。時間遅れと判断に要する時間に比例関係が生じている可能性も考えられ、今後、遅延時間の条件をより細かい区切り、時間遅れと判断に要する時間の関係を調べていきたいと考えている。また、被験者 A と C を除くと、遅延時間 2ms と 22ms の間の判断に要する時間の差は僅かであるので、ひとまず遅延時間 22ms 以内の可聴化システムの実現を目指す。また、スキー経験者の筆者と初心者の間には結果に大きな差が生じた。その理由としては、筆者がデバイスの使用に習熟している事等も挙げられるが、スキーの習熟度によるといった事も考えられ、スキー上中級者と未経験者、初級者の間のデバイス利用の際の知覚の差についても今後より詳しく調べていきたい。

7. 耐久性の向上

5節で述べたようなスキー場での試用、実験の際には、通信遅れやノイズの影響に加えて、センサ部分の浸水による計測不良が度々生じた。センサ部分は薄いビニールとポリカーボネートを二重にしてシーラーで閉じた後にホットメルトグルーで隙間を埋めて防水処理を施していたが、滑走中にかかる圧力により破

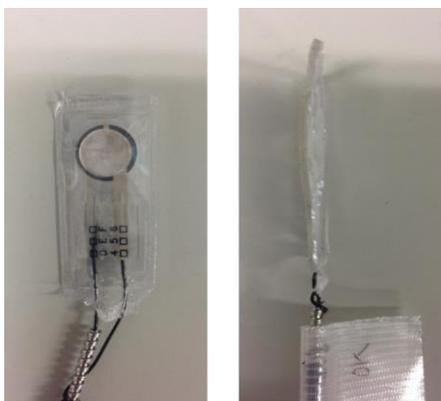


図 6. 用いているセンサ(左)と穴が開いたセンサ(右)

損(図6)し、浸水を防ぐことができなかった。そこで、圧力センサにガラス繊維のクロスを巻きつけ、FRP加工を施すことでセンサの耐久性を上げる事を計画している。

8. 結論と今後の展望

センサからイヤホンまで有線で接続していた可聴化システムの無線化を行い、そこで生じた遅延の問題を確認、計測した。遅延により、左右の対応の判断に要する時間が増加するという事が分かった。今後更に詳細な実験を行い、遅延と判断に要する時間の関係を調べていきたい。

また、センサに関しても、今回新しく提案した手法等で実験をし、更に耐久性を持ったものを作りたい。

文 献

- 1) Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihito 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) 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)(2006), pp. 2108–2111.
- 3) 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(2010)*, pp. 17–22.
- 4) D. MacGregor, M. L. Hull, and L. K. Dorius, "A microcomputer controlled snow ski binding system. instrumentation and field evaluation", *Journal of Biomechanics*, 18(4)(1985):pp. 255–265.
- 5) 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)(2008), pp. 17–28.
- 6) S. Hasegawa, "Augmented ski", <http://haselab.net/~hasel/ski/ski.php> (2012).
- 7) T. G. Smolka. "Safety ski binding", *U. S. Patent*, No.3(1972),pp. 566-776.