

# 自己運動とフィードバック音高の 関係認識における遅れの影響

Influence of delay on relationship recognition between self-motion  
and auditory pitch feedback

大脇遼<sup>1)</sup>, 長谷川晶一<sup>2)</sup>

Ryo OWAKI and Shoichi HASEGAWA

1) 東京工業大学 総合理工学研究科 知能システム科学専攻

(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 R2-624 長谷川晶一研究室, owaki@haselab.net)

2) 東京工業大学精密工学研究所

(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 R2-624 長谷川晶一研究室, hase@pi.titech.ac.jp)

**概要:** スキーを滑走する際に自分の姿勢を把握し制御することは容易ではない。そこで我々はこの問題を解決するために、加重中心位置を音の高低でフィードバックするシステムを作成した。数回の試用により、通信遅れが大きくなると、運動と音の対応の認識が困難になるという事例が生じた。そこで、遅れと自己運動認識の係を調べるために、どの程度の遅れが人体の知覚に影響を及ぼすかという実験を被験者に対して行った。その結果、およそ 20ms を越えると遅れが運動とフィードバック音の対応の認識を妨げる可能性があることが判明した。

**キーワード:** 音波処理、フィードバック遅延、タイムラグ

## 1. 概要

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。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。

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加重中心を音響として無線でリアルタイムフィードバックすることで、この問題を解決することを目的としていたが、実際に聴覚フィードバックを行なってみると無線通信により生じる時間遅れが運動とフィードバックの対応関係に影響を及ぼすことが判明した。そこで、遅れと自己運動認識の関係を調べるために実験を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用デバイス

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実験を行った。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した。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た。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、高音を後傾姿勢に、低音を前傾姿勢に対応させた。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、任天堂のバランス Wii ボード 2 台を用いた。バランス Wii ボードはフォースプレートとして十分に正確な測定ができる[1]為、力センサとしての使用は妥当だと判断した。バランス Wii ボードは 4 つの足にそれぞれロードセ

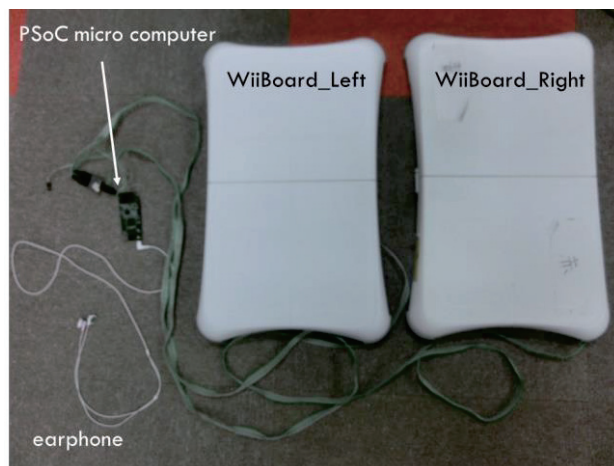


図 1: デバイス概要

ルが配置されている為、各ロードセルの増幅後の出力電圧をバランス Wii ボードから取得し、PSoCを用いてA/D変換、各足の重心位置の計算、音の出力を行った。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。そして左足のフィードバックを片方の耳に、右足のフィードバックをもう一方の耳に行った。

## 2.2 実験方法

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3.5msから119.8msまでおよそ10ms刻み、更に9.5msから30.7msまで4ms刻みとした。これは事前に予備実験を行った結果、遅延時間20ms付近が違和感を感じ始める境界なのではないかと判断した為である。被験者は男性3名、女性1名である。

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3.5ms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。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、それが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させ、被験者の回答を確認した。また、それぞれの遅延時間で3回ずつ計測を行い、平均した値を計測値として記録した。

## 3. 実験結果

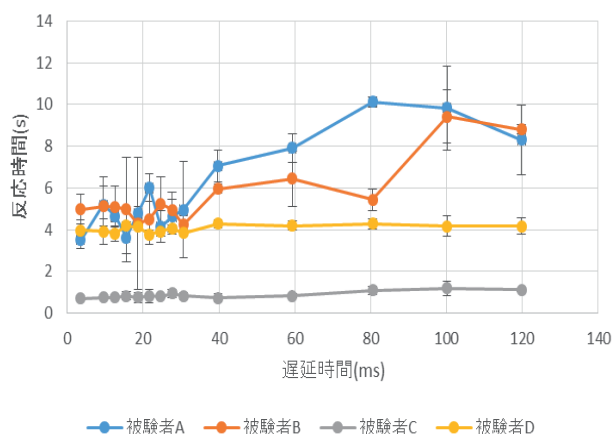


図2: 実験結果

実験結果から、被験者 A, B, C に関しては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っていることが分かる。また、被験者 A, B に関しては約20-40msの間で反応時間の大幅な増加が見られた一方で被験者 C, D はわずかに立ち上がるもののそれほど反応時間に大きな変化は見られなかった。また、被験者 D とそれ以外の被験者では、反応時間に大きな差が見られた。考えられる問題としては、各被験者の重心移動の仕方にばらつきがあり公平性に欠ける部分があった(動かし方に依存してしまっていた)、ことが考えられる。現行の実験方法では耳の良さの実験になりかねない為、実験方法の再検討が必要であると考えている。

## 4. 結論と今後の展望

バランス Wii ボードからイヤホンまで有線で接続した可聴化システムを用いて遅延の問題を確認、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。また、20-40ms以上の遅延がある場合に反応時間が上昇するようにみえるが、計測毎のばらつき、被験者ごとのばらつき共に非常に大きく、信頼できる実験結果とは言えない。ばらつきが少なくなるように実験を改良し、遅延の影響を正確に評価したいと考えている。

### 参考文献

- [1] Ross A. Clark, Adam L. Bryant, Yonghao Pua, Paul McCrory, Kim Bennell, Michael Hunt : Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance, Contents lists available at ScienceDirect Gait & Posture31, pp. 307-310, 2010.
- [2] Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihiko 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).バーチャル太郎, 現実花恵 : 日本バーチャルリアリティ学会解説の書き方, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 2, No. 4, pp. 11-16, 1997.
- [3] S. Hasegawa: Augmented ski, <http://haselab.net/~hase/ski/ski.php>, 2012
- [4] 大脇遼, 長谷川晶一: スキーの加重中心の可聴化における時間遅れの影響, スキー学会第24回大会講演論文集, pp. 20-23, 2014.