

身体運動に同期した単純聴覚刺激が運動主体感に与える影響の評価

○ 松本 倫実（東大），濱崎 峻資（東大），前田 貴記（慶應大），
加藤 元一郎（慶應大），山川 博司（東大），高草木 薫（旭川医科大／東大），
山下 淳（東大），浅間 一（東大）

1. 序論

近年，科学技術の発達により，大半の人がスマートフォンやタブレットを常備するようになり，また，医師がモニタを見ながら医療機器を遠隔操作して手術を行うことができるようになるなど，人間が生きていく上で機械との結びつきの必要性が高まっている．そのため，様々な状況下において，人間と機械の間のマンマシンインタフェースと実際の身体動作の同調感を上げるなどして，使いやすいインタフェースを開発することが重要となっている．

視覚情報は日常生活を送る上で重要であり，これらのデバイスを使用するときにも我々は大部分を視覚情報に頼っている．しかし，時として我々の動作とモニタの動作がずれる場合が生じる．例えば，ロボットの遠隔操作中にカメラで取得した映像をネットを中継して得る場合，通信遅れにより動かしてから映像を受信するまでに時間差が生じる（図1）．その場合，我々がロボットを動かす際にストレスを感じる，作業効率が低下する等の問題が生じる．この問題を解決するために，視覚と動作のずれを回避できない場合でも自分が操作したと認識しやすいインタフェースを作っていくことが，より優れたインタフェース設計の一案として必要とされる．

身体と機械の同調感に関して，人間が自己の身体を認識するためには身体運動とその感覚フィードバックの情報の処理が重要であることが知られている．自己身体の認識は運動主体感（SoA: Sense of Agency）と身体（自己）所有感（SoO: Sense of Ownership）で構成されると報告されている[1]．このうち運動主体感は「観察される運動が自分によって引き起こされているという感覚」であり，人間が機械を操作する際に自分自身が操作したことを認識する感覚はこれに該当する．運動主体感は視覚と自己受容感覚の一連の関係性によって生じると考えられ

るため[2]，視覚刺激は運動主体感の有無に大きく関わっているといえる．

身体動作に対して視覚情報のずれを生じさせた場合の先行研究が前田らにより行われている[3]．この実験では被験者は音が鳴ったことを認識した後できるだけ早くボタンを押し，ボタンが押されてからモニタ上の映像に変化が見られるまでの時間を変えた際の運動主体感の有無を調査している．調査の結果，動作に対して視覚の遅れが約 300ms までなら健常者の 8 割が運動主体感を感じ，動作に対して視覚が先行する場合には運動主体感はほとんど感じられないと報告されている．

また，視覚とその他の感覚の強さの関係について，触覚に対する視覚刺激の優位性は本間により報告されているが[4]，聴覚に対しては優位性が逆転している例が数多く知られている[5]．

身体動作に対して視覚遅れが生じている条件下で，身体動作と同時に聴覚刺激を与えた場合が与えなかった場合よりも有意に遅延の検出感度が低いということを樋田らが示している[6]．この先行研究で得られた結論は，視覚と自己受容感覚の関連性といった点で運動主体感に結び付けて考えることができるが，指標が「視覚の遅延を感じるか否か」の内観報告であり，運動主体感の有無については論じられていない．加えて，視覚が身体動作に先行する場合についての運動主体感の変化は実証されていない．例えば，2 人以上で 1 台のロボットを共同操作するとき，自分が動かすよりもわずかに早く他人が同じロボットを動かした場合にそれを判別できるほうがスムーズに操作が進むため，視覚が身体動作に先行する場合においても運動主体感の感じ方についての調査は重要である．そのため本研究では，視覚と身体運動に時間的ずれのある条件下で身体動作と同時に聴覚刺激を与えた時とそうでない時を比較し，聴覚刺激がどの程度運動主体感に影響するかの調査を行うことを目的とする．

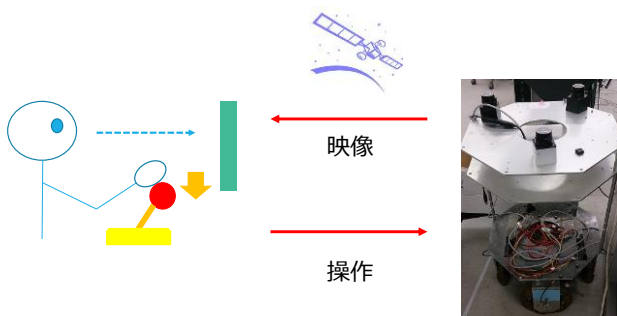


図1 ロボットの遠隔操作

2. 提案手法

2.1 仮説

本研究では「身体動作に同期した聴覚刺激がある方が，視覚情報の遅延が大きくても運動主体感を感じやすい」という仮説を立て，それを検証する．

また，視覚情報が動作に先行する場合において，動作と同期した聴覚刺激がある場合に運動主体感はどのように変化するか調査も同時に行う．

2.2 手法設計

仮説検証のための手法として、聴覚情報を一切提示しない条件下で、ある身体動作に対してそれに伴って引き起こされる視覚情報をずらす実験 1 と、ある身体動作と同時に単発的な聴覚情報を提示した上で視覚情報をずらす実験 2 を提案する。それぞれの実験系の具体的な手法を以下に示す。

実験 1：実験の流れを図 2 に示す。白い四角形のオブジェクトがパソコンのウィンドウの下方から上方へ移動していく。移動途中のある一点でオブジェクトの色が白から黄色に変化する。被験者にはオブジェクトの色が変化したらすぐにキーボードの矢印キーを押してもらう。キーボードが押されると四角形が瞬間的に上方にジャンプするが、そのタイミングは一定でなく、同時の場合、遅延する場合、先行する場合がある。被験者にはあらかじめ「自分がキーを押したときに四角形が飛ぶ場合と、コンピュータが勝手に四角形を飛ばす場合がある」と伝え、自分が四角形を飛ばしたと感じたかを Yes、No の 2 択で 1 回の施行ごとに回答してもらう。

実験 2：実験 1 と同様の実験を行うが、実験 2 では被験者がキーを押した瞬間に単発的に音を出すことで聴覚刺激を与える。実験 1 と同様、自分が四角形を飛ばしたと感じたかを Yes、No の 2 択で回答してもらう。

実験 1 と 2 の差は被験者がキーを押したときに音が鳴らないか（実験 1）鳴るか（実験 2）、であり、視覚に遅延がある場合の比較の図を図 3 に示す。



図 2 実験の流れ

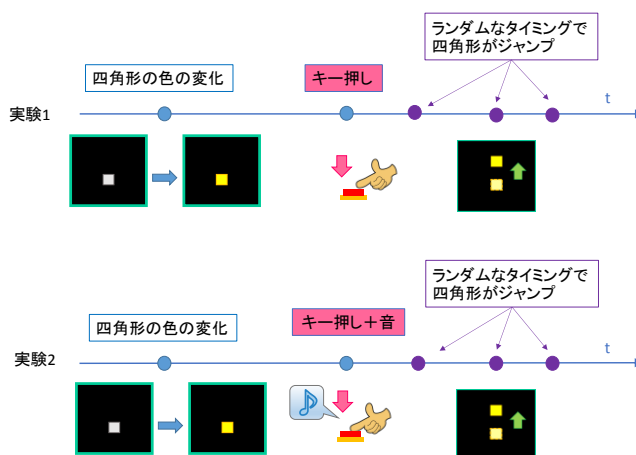


図 3 実験 1 と実験 2 の実験系の差異

3. 実験概要

3.1 実験条件詳細の設定手法

ウィンドウサイズは 150mm×200mm、四角形オブジェクトのサイズは 5mm×5mm とし、四角形の移動速度は毎秒約 20mm、キー押し時の四角形の瞬間的なジャンプは約 25mm とした（図 4）。

四角形の挙動について、キーを押す動作と同時にまたは遅延する場合、キー押しから 0～1000ms の範囲において遅延を 50ms 刻みで変化させる 21 パターン用意した。キーを押す動作に対して先行する場合は、四角形の色の変化から 0, 50, 100, 150, 200ms たった後にジャンプさせる 5 パターン用意した。各被験者は以上の計 26 パターンをランダムに重複無く発生させた 26 回の施行を実行した。

視覚情報におけるずれの設定方法について、特にキーを押す動作に対して先行する場合において、上記の値に設定した理由は以下である。

聴覚刺激に対する単純反応速度は約 208ms と報告されており[7]、視覚刺激に対する単純反応速度は聴覚刺激に対するそれよりも約 40ms 遅いとされることから[8]、視覚刺激に対する単純反応速度を約 250ms と計算し、四角形の色の変化から 250ms 後に身体動作が起こると推定した。

この理論に基づけば、例えば、図 5 において黄色の矢印で示したように、四角形の色の変化から 200ms 後に四角形がジャンプした場合、キーを押す動作の約 50ms 前にジャンプしたと言い換えることができる。

3.2 実験環境

20 代の右利きの健常者 10 名（男子 6 名、女子 4 名）を被験者とし実験 1, 2 を行った。

実験 1, 2 ともに外部からの刺激を最小限にするために静かな部屋の中で行った。実験 2 においては音が正確に聞こえるように被験者がイヤホン装着した状態で行った。

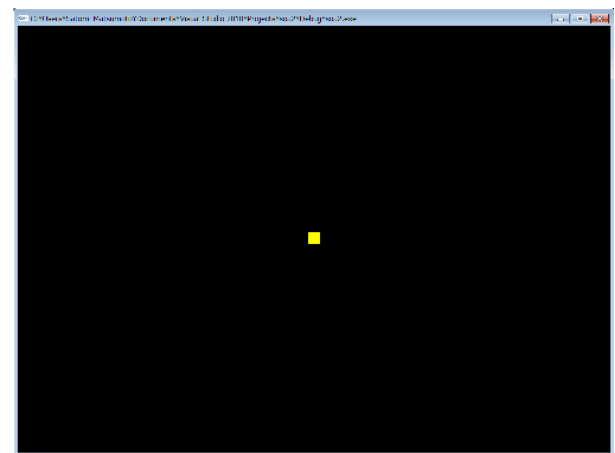


図 4 ウィンドウと四角形オブジェクト

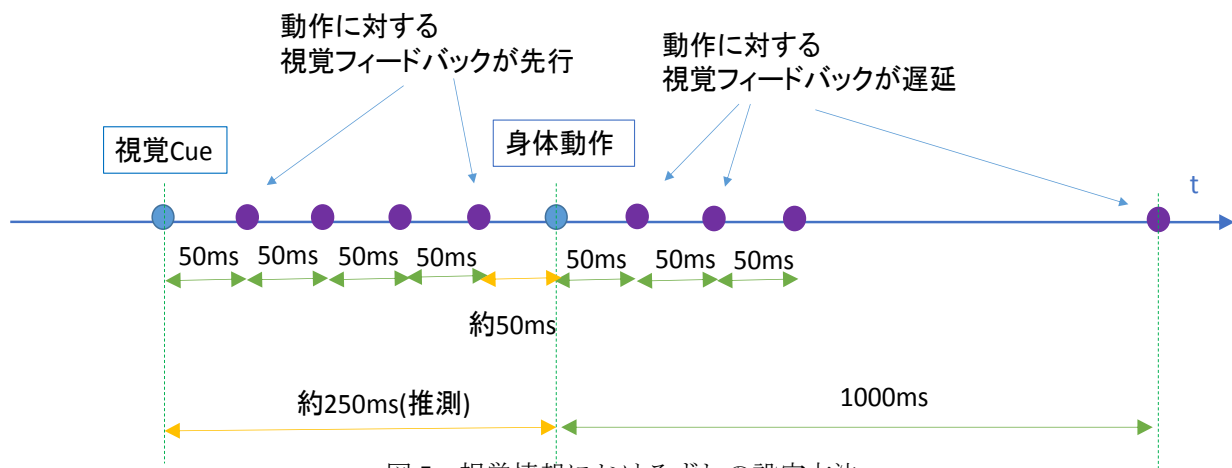


図5 視覚情報におけるずれの設定方法

3.3 実験手順

各実験に慣れてもらうため、被験者はまず実験 1 の視覚遅れが 0ms の場合を 3 回行い、実験 1 を 1 セット行った。その後続けて、同様に実験 2 の視覚遅れが 0ms の場合を 3 回行い、実験 2 を 1 セット行った。実際の実験風景を図 6 に示す。



図6 実験風景

4. 結果

実験 1, 2 において、視覚の各遅延時間または先行時間に対して運動主体感を感じた者の割合を算出した。身体動作（キー押し）に対して視覚（四角形のジャンプ）が先行する場合の結果を図 7、遅延する場合の結果を図 8 に示す。図 7, 8 において、グラフ横軸は四角形の色の変化（図 7）もしくは身体動作（図 8）に対する視覚情報の遅延時間を表し、縦軸は各先行または遅延時間における運動主体感を感じた被験者数の割合を示している。また、実線の折れ線グラフは実験 1（聴覚刺激なし）の結果を示し、点線の折れ線グラフは実験 2（聴覚刺激あり）の結果を示す。

視覚が身体動作に先行する場合は、実験 1 と実験 2 で目立った差が見られなかった（図 7）。遅延する場合は 0ms の点で実験 2 のほうが運動主体感を感じられない者が 3 割おり有意傾向である差が見られた ($t=1.96, 0.05 < p < 0.10$)。また 300ms の点で実験 1 では運動主体感を感じられたものが 3 割しかいなかったのに対し実験 2 では 6 割いるという違いが見られるものの有意な差ではなかった ($t=-1.15, p > 0.10$)。

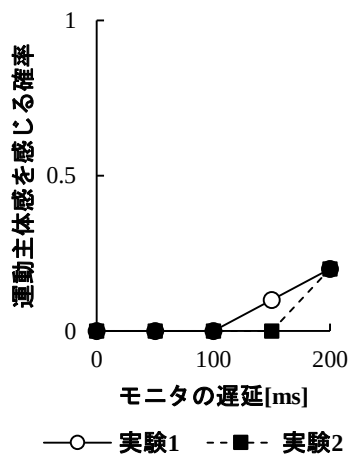


図7 視覚が先行する場合

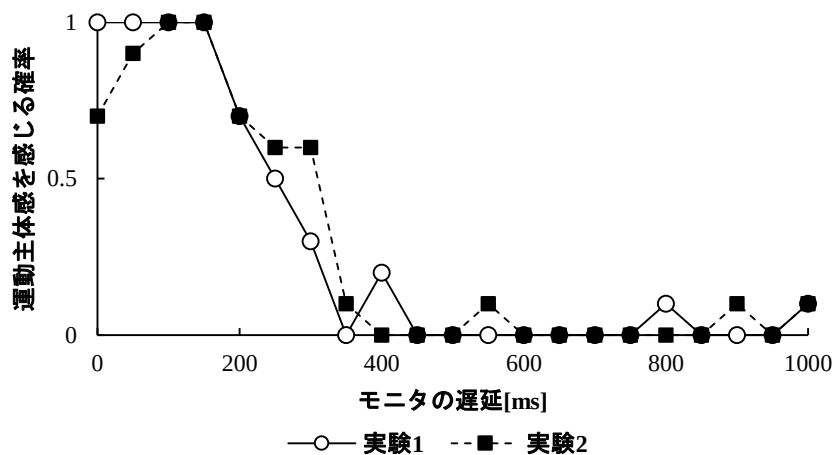


図8 視覚が遅延する場合

5. 考察

聴覚刺激の有無で明らかな有意差は見られなかったため、仮説「身体動作に同期した聴覚刺激がある方が、視覚情報の遅延が大きくても運動主体感を感じやすい」は否定される。また、同様の理由で、視覚情報が動作に先行する場合において、動作と同期した聴覚刺激がある場合に運動主体感は変化しないことが導かれる。ただし、0ms での有意傾向にある差を考慮すると、身体動作と同期した聴覚刺激がある場合、運動主体感を感じる範囲が 100~200ms の視覚遅れの場合のみと狭くなることが示され、聴覚刺激を与えないほうが運動主体感を得やすいことが示唆される。

6. 結論および今後の展望

本研究では、身体運動と視覚刺激に矛盾が生じている場合において、身体運動に同期した聴覚刺激が運動主体感に与える影響は小さいということがわかった。

しかし、本実験は被験者数が少なく、各被験者の試行回数が 1 回だけのためサンプル数が少ないという問題点がある。データの信憑性を高めるべく被験者数を拡充した後、今回観測された 0ms, 300ms での差について同様の結果が得られるか調べる必要がある。

謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究(B)24300198 の助成を受け実施された。

参考文献

- [1] M. Jeannerod: “The Mechanism of Self-recognition in Humans,” *Behavioural Brain Research*, Vol. 142, pp.1-15, 2003.
- [2] 上田 祥代: “身体拡張にかかわるメカニズムの検討—受動的／能動的刺激入力による差異, および, ミラーシステムとの関連性—,” 人間文化創成科学論叢, Vol. 14, pp. 217-226, 2011.
- [3] T. Maeda, K. Takahata, T. Muramatsu, A. Koreki, S. Iwashita, M. Mimura and M. Kato: “Reduced Sense of Agency in Chronic Schizophrenia with Predominant Negative Symptoms,” *Psychiatry Research*, 2013, (in press).
- [4] 本間 元康: “ラバーハンドイリュージョン: その現象と広がり,” *Cognitive Studies*, Vol. 17, No. 4, pp. 761-770, 2010.
- [5] L. Shams, Y. Kamitani and S. Shimojo: “Visual Illusion Induced by Sound,” *Brain Research*, Vol. 14, pp. 147-152, 2002.
- [6] 樋田 浩一, 浅井 康平, 上野 佳奈子, 鶴田 総太郎: “視聴覚と運動の非同時性判断に関する研究,” 第 28 回日本認知科学会予稿論文集, pp. 482-485, 2010.
- [7] F. C. Donders: “On the Speed of Mental Process,” *Acta Psychologica*, Vol. 30, pp. 412-431, 1969.
- [8] エルンスト・ペッペル, 田山 忠行: 意識の中の時間, 岩波文庫, 1995.