

視聴覚と運動の非同時性判断に関する研究 A Study on Asynchrony Judgment of Visual/Auditory Perception and Self-body Movement

樋田 浩一^{*1, *2, †}, 浅井 康平^{*1}, 上野 佳奈子^{*1, *2}, 嶋田 総太郎^{*1, *2, ††}

Kouichi Toida, Kouhei Asai, Kanako Ueno, Sotaro Shimada

^{*1} 明治大学, ^{*2} 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

^{*1} Meiji University, ^{*2} JST, CREST

[†] ee65053@isc.meiji.ac.jp ^{††} sshimada@isc.meiji.ac.jp

Abstract

This study investigated the delay detection probabilities of visual and auditory feedback of self-generated body-movement. In the present experiment, the subjects pressed a button with their finger and judged whether visual or auditory feedback was delayed or not, compared to the sensation of the finger movement. The results showed that the delay detection sensitivity for the auditory feedback was significantly better than that for the visual feedback. This suggests that visual and auditory feedbacks are differently integrated into the internal representation of the self-generated movement.

Keywords — Self-recognition, Agency, Delayed feedback

1. 背景

人間は目や耳などの感覚器官を用い、外界からの様々な感覚情報を視覚や聴覚として知覚している。感覚情報には自己の身体運動に付随して生起するものもあり。身体運動とその感覚フィードバック情報の処理が自己身体の認識に重要であることが知られている。

自己身体認識は、運動主体感 (sense of agency) と身体保持感 (sense of ownership) から構成されると報告されている (Gallagher, 2000 [1])。運動主体感は、「その運動を行っているのは自分自身である」という感覚であるのに対して、身体保持感は、「その身体は自分自身のものである」という感覚である。

自己身体認識において、運動主体感と感覚間の時間的整合性が重要であると知られており、既往の研究 (Shimada et al., 2010 [2]) では、身体運動に伴って生じる視覚情報に遅延をかけて呈示し、意図的に運動主体感と感覚間が時間的不整合な状況を作り出し、その特性が示された。視覚情報に遅延を感じるとの判断 (以下、非同時性判断と記

す) が 50 %となる遅延時間は約 230 ms であることが示された。しかし、他の感覚モダリティについては明らかとなっておらず、本研究では身体運動と視覚刺激の非同時性判断に加え、身体運動と聴覚刺激の非同時性判断が起こる遅延時間を調べ、両者の違いについて比較検討した。

2. 実験

身体運動は、既往の研究 [2] と同様に右手人指し指でスイッチを押す動作とした。この動作に伴う視聴覚刺激として、指の動きの映像 (視覚刺激) 及びスイッチの押下時に生じるパルス音 (聴覚刺激) を呈示する装置 (図 1) を用いた。視覚刺激については、被験者の手の上部に両面鏡を設置し、両面鏡下面に写った被験者の右手をビデオカメラで撮影し、その映像信号に遅延をかけて両面鏡上部に設置した LCD モニターに映し、両面鏡の上面に写して被験者に呈示した。この装置によって、自分自身の手を上部から見下ろすと同様の映像が、所望の遅れ時間を与えた視覚刺激として呈示される。聴覚刺激については、スイッチの押下時にパルスを発生させ、ディレイマシンの遅れ時間を制御し、ヘッドフォンからモノラル信号を呈示した。

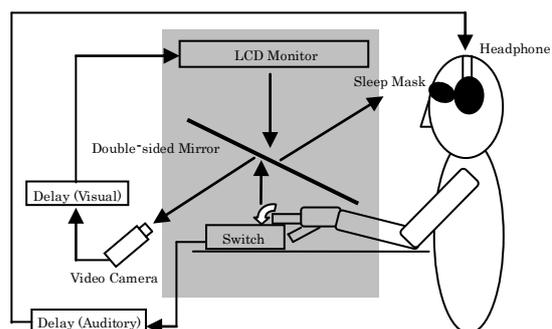


図 1 実験装置

視覚／聴覚刺激の遅延時間は 8 段階（118 ～ 352 ms, 33 ms 間隔）とし、試行間の間隔（ISI）は 10 秒間隔でランダムな順序で呈示した（恒常法）。1セッションは各遅れ時間について8回ずつ、合計 64 試行とした。

被験者は椅子に座り、実験者の合図を受けて実験装置内のスイッチを押す動作を繰り返して、動作に対する視覚／聴覚刺激が遅れていると感じるか判断した。視聴覚の呈示条件は、実験 1 として、1：視覚刺激のみ、2：聴覚刺激のみ、実験 2 として、3：視覚刺激（遅延あり）及び聴覚刺激（遅延なし）、4：視覚刺激（遅延なし）及び聴覚刺激（遅延あり）の、合計 4 条件とした。これら 4 条件の実施順序としては、表 1 の A～F の 6 つのパターンを作り、順序効果の影響を考慮した。パターン E と F については、条件 1 と条件 2 を各 2 セッション行っており、試行数は 2 倍（各条件 128 試行）としている。

以上の実験は、照度及び静穏環境を統制した防音室内で行い、実験 1 の被験者として右利き健常成人 25 人（男子 13 名、女子 12 名）が、実験 2 の被験者として右利き健常成人 17 人（男子 9 名、女子 8 名）、左利き男性健常成人 1 人が参加した。

実験 1 と実験 2 の両方に参加した 1 名の男子被験者（パターン D で実施）は、条件 2 の全ての試行において「遅れている」と回答したため、以降の解析対象からは除外した。

実験データは、感覚刺激の遅延時間ごとに遅れていると回答した回数を記録し、その確率を計算した。被験者ごとにロジスティック曲線へのフィッティングを行い、非同時性判断の確率が 50 % となる遅延時間を主観的等価点（Point of Subjective Equality, 以下 PSE と記す）として求めた。

3. 実験結果

視覚刺激又は聴覚刺激のみが呈示された実験 1 について、24 名の被験者の結果から求めた非同時性判断の割合と遅れ時間のフィッティング曲線を図 2 に示す。回帰曲線の曲率（傾き）は類似して

表 1 実験条件の実施順序

パターン	順序	人数
A	1 → 2 → 3 → 4	男子2人, 女子2人
B	2 → 1 → 4 → 3	男子2人, 女子2人
C	1 → 2 → 4 → 3	男子2人, 女子2人
D	2 → 1 → 3 → 4	男子3人, 女子2人
E	1 → 2 → 1 → 2	男子2人, 女子2人
F	2 → 1 → 2 → 1	男子2人, 女子2人

条件1 視覚と運動の非同時性判断に関する実験
 条件2 聴覚と運動の非同時性判断に関する実験
 条件3 聴覚情報も呈示した条件下での条件1
 条件4 視覚情報も呈示した条件下での条件2

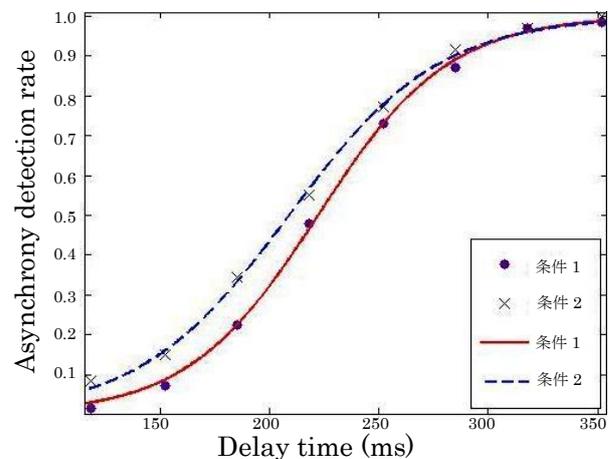


図 2 条件 1, 2 の結果の比較

表 2 被験者ごとの PSE

被験者	条件1	条件2	条件3	条件4
A	182.3	192.5	220.0	216.4
B	179.4	116.9	185.0	114.2
C	289.2	242.8	263.3	301.9
D	324.9	237.8	305.4	256.3
E	178.9	211.1	206.1	206.9
F	157.6	175.6	186.5	181.4
G	188.5	186.6	183.2	184.9
H	258.0	224.5	279.4	270.5
I	204.6	210.5	198.0	198.0
J	231.5	228.9	235.2	216.6
K	216.4	209.8	265.2	220.2
L	240.5	237.8	248.1	227.9
M	246.2	232.0	234.5	226.2
N	268.5	215.2	253.4	202.3
O	245.7	222.9	255.1	264.4
P	237.3	232.5	250.6	231.4
Q	219.2	251.4		
R	201.5	212.4		
S	182.5	187.0		
T	242.6	246.1		
U	219.1	185.0		
V	201.6	185.0		
W	196.4	166.0		
X	229.5	160.6		
平均	222.2	209.0	235.4	221.2

■ 判断が短い
 ■ 47.4 ms 以上判断が短い
 条件 1, 2, 条件 3, 4 の比較

いるが、遅れ時間ごとにみると聴覚の方が視覚よりも非同時性判断が生じる確率が高い傾向がみられた。視覚刺激呈示時(条件1)のPSEは222.2 ms, 聴覚刺激呈示時(条件2)のPSEは209.0 msであり, 有意差が確認された ($t=2.42, p<0.05$)。すなわち, 約13 msという僅差ではあるが, 聴覚は視覚よりも運動に対する非同時性判断が生じる遅延時間が短いことが示された。

表2に, 被験者ごとに分析した結果を示す。被験者ごと, 実験ごとに視覚と聴覚のPSEの値を比べ, 非同時性判断が生じる遅延時間が短い方は赤色で示している。PSEの値は視覚刺激呈示時(条件1)で158~325 ms, 聴覚刺激呈示時(条件2)で117~251 msと個人差があり, 視覚と聴覚のPSEの差(視覚のPSE-聴覚のPSE)についても-10.2~68.9 msの範囲で個人差がみられた。実験1では視覚の非同時性判断が生じる遅延時間が短い結果だったのは8名, 残りの16名は聴覚の方が短い結果であった。

図3に呈示刺激の違いによる非同時性判断の推移を, 図4に条件ごとのPSEの平均を示す。視聴覚刺激を同時呈示した実験2についても, 図3のaにおいて実験1と同様の傾向が得られており視覚刺激呈示時(条件3)のPSEの平均は235.4 ms,

聴覚刺激呈示時(条件4)のPSEの平均は221.2 msと同様の傾向がみられた ($t=2.30, p<0.05$),

被験者ごとに分析した結果においても, 実験2では視覚の方が短い結果だったのは4名, 残りの11名は聴覚の方が短い結果となり, 1名は両方とも同じだった。すなわち, 他の感覚刺激が呈示された場合でも, 視覚・聴覚のみの場合と同様の傾向がみられた。

一方, 視覚・聴覚それぞれで他の感覚刺激の有無の違いを検討すると, 図3のb, cや図4からPSEの平均に多少の違いはあるものの, 有意差はなかった。

また, 非同時性判断の推移に着目し, PSEにおける傾きを調べた。条件ごとのPSEにおけるロジスティック曲線の傾きを図5に示す。差はみられるものの, 統計的に有意差はみられなかった。

4. 考察

実験結果から, 運動に対する非同時性判断に関して視聴覚を比較すると, 聴覚の方が視覚よりも有意に遅延の検出感度が高いことが示された。しかし, 幾つかの点において, 個人差がみられたため, それらの原因を考察した。

まず, 試行の繰り返しによって実験結果に変化

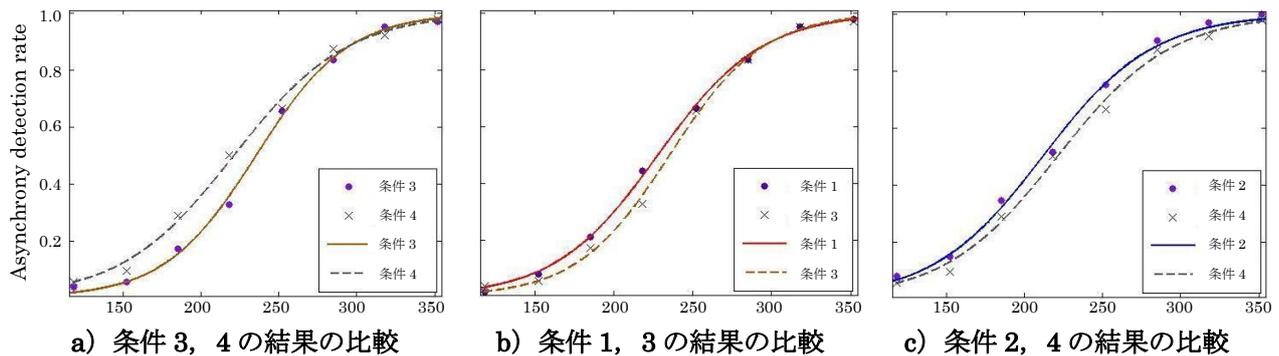


図3 呈示刺激の違いによる非同時性判断の推移

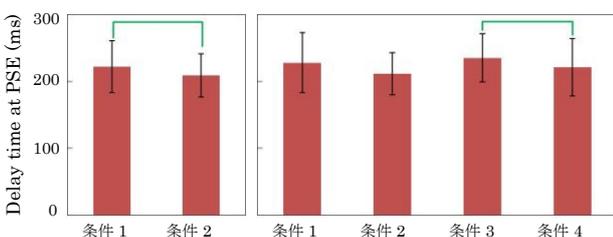


図4 条件ごとのPSEの平均 (左:N=24 右:N=16)

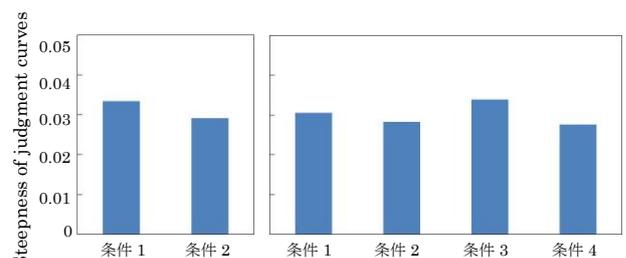


図5 PSEにおける傾きの平均 (左:N=24 右:N=16)

が生じる可能性を考え、順序効果についての検討を行った。表1のパターンEとFにおいて、視覚（1回目）と視覚（2回目）のPSEの平均はそれぞれ211.6 msと213.8 ms、聴覚（1回目）と聴覚（2回目）のPSEの平均は、それぞれ199.2 msと205.3 msであった。二元配置の分散分析を行った結果、有意な効果は確認されなかったため、順序効果は小さいと考えられる。

次に、視覚と聴覚のPSEに十分な差がある被験者を抽出し、非同時性判断に関して視聴覚で大きな差が出る要因について考察を行った。図6に、被験者ごとの視覚・聴覚のPSE（条件1, 2の結果）を示す。95%信頼区間の外側のプロット、すなわち視聴覚のPSEに有意な差がある被験者は4名であった。4名全員が聴覚の方が感度の高い被験者であり、これらの被験者に関して、実験終了後に実施したフェイスシートから属性を検討したものの、共通性は見出せなかった。

さらに、今回の実験方法（恒常法）で得られたPSEの確かさについて、追加実験により検討した。ここでは、聴覚刺激提示条件（条件2）に絞り、極限法の変形である上下法を用いて実験を行った。上昇系列では、PSEより十分に短い遅延時間から刺激を呈示し、被験者が遅れていると答えるまで30 msステップで遅延時間を長くした。被験者の非同時性判断が変わった後、その遅延時間から10 msステップで遅延時間を短くし、再び非同時性判断が変わる遅延時間を求めた。同様の方法で下降系列も行い、上昇系列及び下降系列各8回、計16データの平均から閾値を求めた。

以上の実験には、右利き健常成人7人（男子6名、女子1名）、左利き男性健常成人1人が参加した。なお、ほぼ全ての試行において「遅れている」と回答した男性被験者1名については以降の解析の対象から除外した。

上下法から求めた閾値の平均は191.4 ms、同じ被験者による恒常法のPSEは219.4 msとなった。この差については全被験者の結果で恒常法よりも上下法のPSEが短い結果となっており、有意差が確認された ($t=3.76, p<0.05$)。したがって、測定

法によってPSEの値が若干異なる可能性がある。

5. 総括

身体運動とそれに付随する視覚及び聴覚刺激について非同時性判断が起こる遅延時間を調べた結果、判断確率が50%となる遅延時間（PSE）は、視覚刺激では222 ms、聴覚刺激では209 msという結果が得られた。両者の差の検定の結果、聴覚の方が視覚よりも有意に遅延の検出感度が高いことが示された。このことから、身体運動に付随する視覚刺激と聴覚刺激では非同時性の判断に関する内部プロセスが異なる可能性が示唆された。感覚モダリティによって非同時性判断が異なるという結果は、身体の内部表現がどのように構成されるかについて重要な示唆を与えるものといえる。

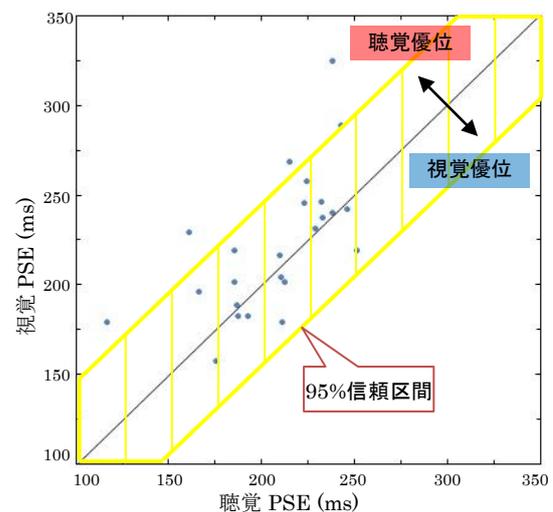


図6 各被験者の視覚と聴覚のPSEの散布図

参考文献

- [1] Gallagher, S. (2000) "Philosophical conceptions of the self : Implications for cognitive science" Trends in Cognitive Science, No. 4, pp. 14-21.
- [2] Shimada, S., Qi, Y., & Hiraki, K. (2010) "Detection of visual feedback delay in active and passive self-body movements" Experimental Brain Research, Vol. 201, pp.359-364.