

# 運動の観察及び模倣により二者間に生じる

## ラグアダプテーション

○田端 篤 (東京工業大学), 小川 健一郎 (東京工業大学),  
緒方 大樹 (東京大学, 東京工業大学), 三宅 美博 (東京工業大学)

### Motor-sensory adaptation between self and other owing to observation and imitation of other movements

○Atsushi TABATA(Tokyo Institute of Technology), Ken-ichiro OGAWA(Tokyo Institute of Technology), Taiki OGATA(The Univ. of Tokyo, Tokyo Institute of Technology) and Yoshihiro MIYAKE (Tokyo Institute of Technology)

**Abstract:** The temporal perception between own motion and stimulus is recalibrated when people are exposed to temporal lag between own motions and stimuli or between other peoples' motions and stimuli. Temporal recalibrations by such lags are called lag adaptation. We investigated whether imitation of other people's movements also cause lag adaptation or not. Therefore we compared lag adaptation between three conditions: lag adaptation between self-movement and auditory stimuli (self-movement condition), lag adaptation between other's movement and auditory stimuli (observation condition) and between other's movement and auditory stimuli with imitation of the movement (imitation condition). Our experiment revealed imitation of other's movements caused lag adaptation. In addition, the effect of lag adaptation was larger in imitation condition than the other conditions.

**Keywords:** Lag Adaptation, Imitation of other's movement, Temporal Order Judgment

## 1 緒言

人は運動競技など身体を動かす事象において、他者の運動を観察したり模倣したりして、多くのことを学んでいる。他者の運動からの影響は、人以外の運動から受ける効果とは異なること[1]や他者の運動観察がその後の自己の運動に変化を及ぼすこと[2]が報告されている。これらは、我々の行動が無意識のうちに他者からの影響を受けていることを示している。

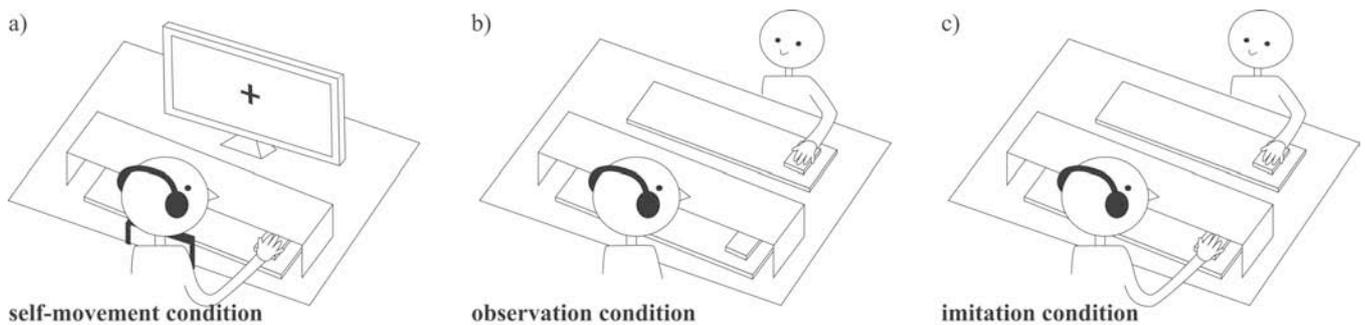
この無意識の影響は異種感覚の時間知覚においても起こることが知られており、ラグアダプテーションという現象が報告されている[3][4]。ラグアダプテーションとは、時間差のある2つの感覚刺激を長時間経験すると、そのずれの方向に主観的な同時点に変化する現象である。

では我々の柔軟な時間知覚は他者の運動という外界の入力情報からどのような影響を受けるのだろうか。このような観点から取り組んだ事例として、他者の運動観察とラグアダプテーションの関係を見た先行研究がある[5]。この研究では、ラグアダプテーションを起こした後に、運動感覚と聴覚刺激のどちらが先かを答

える時間順序判断 (Temporal Order Judgment: TOJ) 課題を用い、人が最も同時と知覚しやすい点である主観的同時点 (Point of Subjective Simultaneity: PSS) を調査している。結果として、他者の運動を観察することが、自己の運動と聴覚刺激間における時間知覚に影響を及ぼすことを示した。また、実験参加者自身が1人で運動を行った時と他者の運動観察時の聴覚刺激の提示遅れ時間に伴うラグアダプテーションの結果を比較し、参加者自身が1人で運動を行った時に起きるPSSの変化量が、他者の運動観察時より大きいことを明らかにした。

一方で、脳科学の分野では、他者の観察と模倣の両者がその後の自己の行動に及ぼす影響を調べた研究も多い[6][7]。中には他者の運動の模倣が観察以上に、我々の行動に効果を与えるという事例も報告されている[7]。そこで本研究では、時間順序判断課題を用い、PSSの変化量を指標に、自発的な模倣運動が我々の時間知覚にどう影響するのかを検証する。

## 2 仮説と検証方法



**Fig.1** Three conditions of experiment. a) Lag adaptation between self-movement and auditory stimuli (self-movement condition). b) Lag adaptation between other's movement and auditory stimuli (observation condition). c) Lag adaptation between other's movement and auditory stimuli with imitation of the movement (imitation condition).

本研究の仮説は、他者の運動を模倣することで、主観的な時間統合が参加者 1 人で行っていた場合に近づくとした。

検証方法として、自己の運動、他者の運動観察、他者の運動模倣に基づくラグアダプテーションの 3 条件を設け、各条件を順に比較した。

他者の運動を観察する時には、運動する他者の視覚情報と聴覚刺激が入力情報となる。そして他者の運動を模倣する時には、観察時の入力情報に参加者自身の運動感覚が付加される。このように模倣は観察を基準に、他者の運動を真似た運動情報が入力されることとなる。この模倣運動のフィードバックが働くことで、他者の運動模倣により行われるラグアダプテーションが参加者 1 人で運動した時のラグアダプテーションに近づくと思われ。

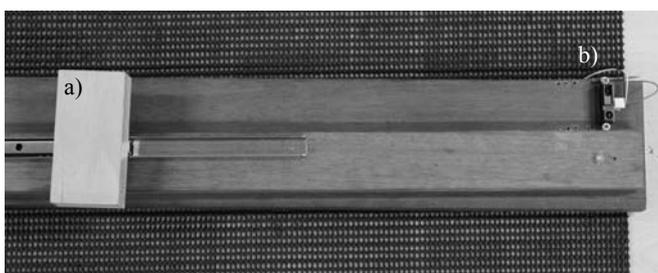
### 3 実験方法

#### 3.1 参加者

健康な大学生 7 人（年齢 24～26 歳）を対象に実験を行った。実験前にすべての実験参加者に対してインフォームドコンセントを行った。本実験は、東京工業大学疫学研究等倫理審査委員会によって承認された上で実施された。

#### 3.2 刺激と実験装置

運動に使用する装置を 2 つ準備する。装置には、約



**Fig.2** The device for recognition of movements. a) A holding block was moved back and forth by participants. b) The sensor for measuring distance. We detected the presence of moving block by using this sensor.

10～80cm の距離に応じて信号を出力する測距センサ（GP2Y0A21YK0F, SHARP）と、実験参加者が運動のために使用する木片、木片を左右に動かす土台となるスライダを取り付けた（Fig. 2）。以降、木片を把持部と称する。測距センサが把持部だけを検出するために、センサと把持部の取り付け位置は 10cm 以上の高さを設け、装置自体の水平位置を調節した。またスライダの可動範囲最大な部分（片側）まで把持部を動かした時だけ、センサが把持部を検知できるように、スライダとセンサを装置上に配置した。

聴覚刺激として、予め用意したヘッドフォン（MDR-1RB1, SONY）を用い、2000Hz の正弦波を 30 ミリ秒間提示した。さらに把持部を左右に動かす運動により生じる音をマスキングするため、連続的にホワイトノイズを流した[4]。

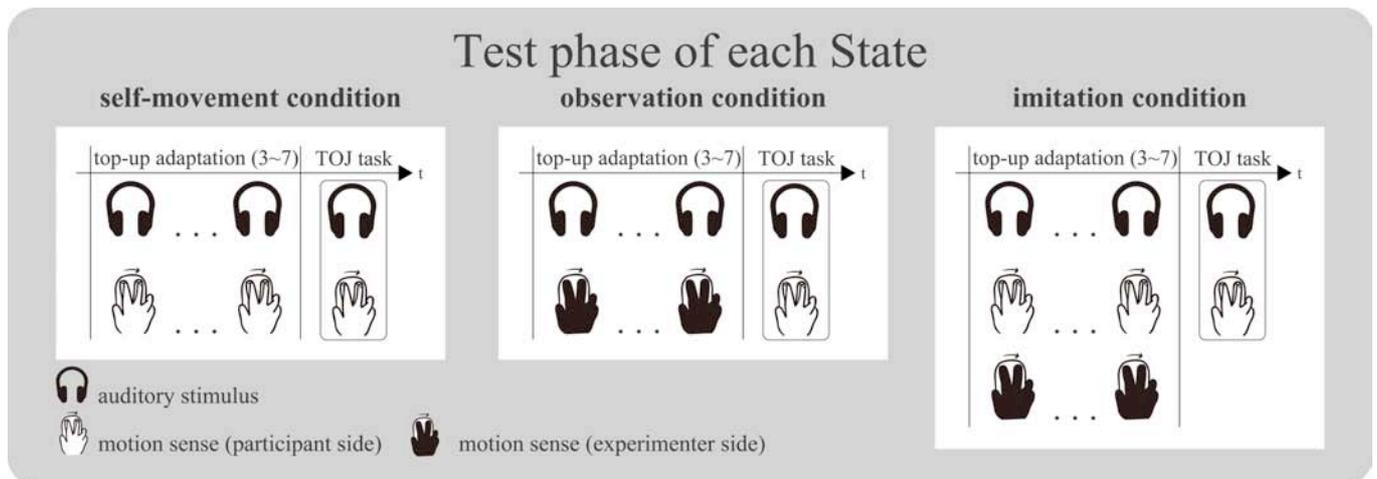
実験参加者の視覚刺激を統一するため、参加者から視距離 57cm の位置に解像度 1680px×1050px、23inch のモニター（THINKVISION L2321X 23-INCH WIDE MONITOR, Lenovo）を設置し、固視点を表示した。

#### 3.3 課題と条件

課題は、ラグアダプテーション後に、実験参加者自身の運動感覚とヘッドフォンから聞こえる聴覚刺激の TOJ 課題を行うことであった。ラグアダプテーションを起こす方法の条件として、参加者一人での運動（Fig. 1a）と他者の運動観察（Fig. 1b）、そして他者の運動模倣（Fig. 1c）の 3 条件を準備した。また、ラグアダプテーションを行う際のラグの条件として、50 ミリ秒もしくは 150 ミリ秒後の 2 条件を設けた。つまり、実験計画は 2 要因 6 条件であった。TOJ 課題における、刺激時間遅れには、0, 50, 100, 150, 200 ミリ秒の 5 条件を設けた[3]。ただし、聴覚刺激が常に後に提示された。

#### 3.4 手続き

温度を 20℃に設定した明るい部屋で、机と実験参加者、実験者が対面に座るための椅子を用意した。実験参加者が容易に手の届く机上に、実験参加者の運動の



**Fig.3** A sequence of test phase trial. Right arrows show timeline. Temporal order judgment (TOJ) task was carried out the following top-up adaptation phase, that is short exposed period. The number of top-up adaptation is settled on base in every trial.

ための装置 (Fig. 2) を置き、参加者自身の運動は視野から隠すようにした (Fig. 1). また参加者一人での運動 (Fig. 1a) 時にはあごのせを机に取り付けた.

実験ではまず初めに 4 分間の練習試行を行った. その後、アダプテーションフェーズとテストフェーズを交互にそれぞれ 2 回行った. 1 度目のテストフェーズ終了から 2 度目のアダプテーションフェーズ開始まで、最低 1 時間以上の間隔を空けた[3].

#### 3.4.1 練習試行

実験参加者が、実験全体を通して行う基本的な運動を習得するための練習試行を設定した. まず、参加者には測距センサを取り付けた右端から左に把持部を動かす、折り返して同じ地点に戻り、止めるまでの一連の運動をさせた.

また、実験参加者の前にある実験装置と同じものを別に用意し、参加者の装置と対称にした状態で、実験者の前に置いた. そして、実験者と実験参加者が対面し、実験者は自身の前にある把持部を左右に動かす運動を繰り返し行った. 同時に実験参加者に対し、実験者の運動と対称になるように参加者の前にある把持部を動かすように指示し、これを 2 分間行った. その後、再度 2 分間、実験者は運動をやめ、実験参加者 1 人で把持部を左右に動かす運動を繰り返し行った

#### 3.4.2 アダプテーションフェーズ

このフェーズでは運動の静止 (往復運動の右端への到着) に合わせて、50 ミリ秒もしくは 150 ミリ秒の時間遅れで音刺激を提示した. ただし参加者一人での運動時 (Fig. 1a) は参加者の運動、他者の運動観察時 (Fig. 1b) と他者の運動模倣時 (Fig. 1c) には実験者の運動を基準として、聴覚刺激提示タイミングを決めた. 2 度目のアダプテーションフェーズのうち、片方では運動の静止したタイミングの 50 ミリ秒遅れ、もう一方では 150 ミリ秒遅れとし[5], 各 3 分間行った. 参加者一人での

運動時 (Fig. 1a) は参加者自身が往復運動 (把持部を左右に動かす運動) を持続的に行う、他者の運動観察時

(Fig. 1b) は実験者の往復運動を見る、他者の運動模倣時 (Fig. 1c) は実験者の往復運動と対称になるよう参加者自身も運動を行うよう指示した. 1 度目のフェーズで 50 ミリ秒遅れ、2 度目のフェーズで 150 ミリ秒遅れの音刺激を提示するか、逆の順序で音刺激を提示するかは参加者間でカウンターバランスをとった.

#### 3.4.3 テストフェーズ

このフェーズはアダプテーションフェーズが終わって、すぐに開始された. テストフェーズの 1 試行は直前のアダプテーションフェーズと同様のことを 3~7 回行わせる “トップアップ” フィードバックと 1 回のテストから成り立つ (Fig. 3). テストでは、提示した音刺激と参加者自身の運動の静止のどちらが先かを問う時間順序判断 (TOJ) 課題を行った. 参加者には強制的にどちらが先かを選択させた. 提示する音刺激の時間遅れは、運動の静止後 0, 50, 100, 150, 200 ミリ秒の 5 つの条件から毎試行ランダムに選択した.

なお、1 回のテストフェーズは 25 試行ずつ、合計 50 試行から成り立ち、間に数分間休憩を挟むこととした.

## 4 結果

**Table 1** The mean PSSs and difference of PSSs after exposure to adaptation phase in 6 conditions

Condition	Auditory delay during exposure	PSS	Difference of PSS
self-movement condition	50msec	86.5	29.9
	150msec	115.6	
observation condition	50msec	90.2	17.2
	150msec	107.4	
imitation condition	50msec	66.3	39.0
	150msec	105.3	

実験結果として、自己の運動、他者の運動観察、他者の運動模倣の各3条件下において、聴覚刺激50ミリ秒遅れ、150ミリ秒遅れで提示した時の主観的同時点(PSS)とその変化量をTable 1に示す。ただし自己の運動条件では、実験参加者が3人、その他の2条件では7人を参加者として実験を行った。

まず自己の運動条件下で、PSSが50ミリ秒遅れの時86.5ミリ秒、150ミリ秒遅れの時115.6ミリ秒となり、2条件間のPSSの差は29.9ミリ秒であった(Table 1)。このことから様々な先行研究[3][4]で確認されている通り、参加者1人で運動を行った時に、ラグアダプテーションが生じたと予想される。次に他者の運動観察時の条件では、PSSがそれぞれ90.2ミリ秒、107.4ミリ秒となり、両者の差は17.2ミリ秒であった(Table 1)。そして他者の運動模倣条件時には、各ラグ条件下で66.3ミリ秒、105.3ミリ秒のPSS値となり、両者の差は39.0ミリ秒であった(Table 1)。この結果と他者の運動観察時の結果を比較すると、模倣している時の方がラグアダプテーションの効果が大きかった。最後に自己の運動条件と他者の運動模倣条件のPSSの変化量を比較すると、他者の運動模倣時において、実験参加者1人で運動した時よりも大きくなった。

## 5 考察

実験結果より、他者の運動を模倣した時にも、他の2条件時と同様、ラグアダプテーションの効果が見られることが示唆された(Table 1)。そして他者の運動観察時より運動模倣時に、PSSの変化量が大きくなる(Table 1)ことから、ラグアダプテーションは他者の観察以上に他者の模倣の影響を受けやすい傾向があることが示唆される。他者の運動観察時にラグアダプテーションが生じるということは、他者の運動の観察(視覚刺激)と聴覚刺激の時間知覚の変化が実験参加者自身の運動(運動感覚)と聴覚刺激の時間知覚にまで変化をもたらしたことになる。そして他者の運動模倣が運動の観察以上にラグアダプテーションの効果を引き起こしたことで、他者の運動の観察による視覚情報に加え、参加者自身の運動情報のフィードバックがラグアダプテーションにさらなる効果をもたらしたことを意味する。このことから、人は観察だけでなく行動してこそ感覚や知覚への影響が大きくなる可能性を示すことができ、より他者の運動を自己の運動と感じやすくなったことが示唆される。

また、実験参加者自身の運動よりも他者の運動模倣時の方が、ラグアダプテーションが生じやすい(Table 1)ことは、我々の仮説に反していた。この原因として、単純に両条件の入力情報を比較すると、模倣時には運

動する他者の視覚情報が増えることとなる。付加された視覚情報が参加者自身の模倣運動と完全に同調することで、よりラグアダプテーションを引き起こしやすい可能性がある。これは先行研究[5]でも取り上げられていたように、ミラー性とそれに付随する模倣活動がラグアダプテーションに働きかける影響があることを示唆している。今後は、サンプル数を増やしつつ、図形などの人間以外の対象の運動観察、模倣と他者の運動のそれらとの影響を比較することで、より他者との関わりの中で変容する時間知覚の特性について明らかにしてゆく。

## 6 結言

他者の運動模倣が外界刺激と自己運動の時間的統合過程に与える影響を明らかにするために、自己の運動時、他者の運動観察時、他者の運動模倣時におけるそれらと聴覚刺激のラグアダプテーションを比較した。結果、他者の運動模倣をつかったラグアダプテーションは、他の条件よりも効果が大きいことが示唆された。

## 参考文献

- [1] Hove, Michael J., Michael J. Spivey, and Carol L. Krumhansl. "Compatibility of motion facilitates visuomotor synchronization.", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 36(6), pp. 1526-1534 (2010).
- [2] T. Ikegami, and Gowrishankar Ganesh. "Watching novice action degrades expert motor performance: Causation between action production and outcome prediction of observed actions by humans.", *Scientific reports* 4, Vol. 6989, pp. 1-7 (2014).
- [3] Y. Sugano, M. Keetels, and J. Vroomen, "Adaptation to motor-visual and motor-auditory temporal lags transfer across modalities", *Experimental Brain Research*, Vol. 201(3), pp. 393-399 (2010).
- [4] M. Keetels, and J. Vroomen, "Exposure to delayed visual feedback of the hand changes motor-sensory synchrony perception", *Experimental Brain Research*, Vol. 219(4), pp. 431-440 (2012).
- [5] M. Watanabe, S. Shinohara, and S. Shimojo, "Mirror adaptation in sensory-motor simultaneity", *PLoS One*, Vol. 6(12), pp. 1-8 (2011).
- [6] Caspers, Svenja, et al. "ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain.", *Neuroimage*, Vol. 50(3), pp. 1148-1167 (2010).
- [7] Iacoboni, Marco, et al, "Cortical mechanisms of human imitation.", *Science*, Vol. 286(5449), pp. 2526-2528 (1999).