

触覚の仮現運動における移動方向逆転現象の観察と分析

廣 大地* 橋口 哲志 柴田 史久 木村 朝子 (立命館大学)

Observation and Analysis of Turning over the Direction in Tactile Apparent Movement
Daichi Hiro*, Satoshi Hashiguchi, Fumihisa Shibata, Asako Kimura, (Ritsumeikan University)

Tactile apparent movement is the phenomenon that the discrete stimuli are perceived as a continuous movement. In this phenomenon, the direction of the continuous movement may be perceived opposite to the intended direction when the stimuli are two spots. However, in previous studies, we don't know whether this turning over the direction occur by presenting stimuli on the greater than two spots. Therefore, we analyze this turning over the direction under the greater than two spots condition.

キーワード：触覚，仮現運動，移動方向の逆転

(tactile perception, apparent movement, turning over the direction in tactile apparent movement)

1. はじめに

ある位置に刺激が提示された直後に、別の位置に同様の刺激が提示されると、あたかも最初の位置から後の位置に刺激が移動しているように感じられる。このように、離散的な刺激が連続した刺激に感じられる現象を仮現運動と呼ぶ。これまでに、この現象は視覚や聴覚での生起が確認され、映画やアニメなどで、少ないフレーム数でキャラクターの動きを表現する方法として活用されている^{(1)~(3)}。同様に、Sherrick ら⁽⁴⁾は触覚においても仮現運動が生起することを確認している。例えば、振動刺激や電気刺激といった触刺激を皮膚上の複数箇所に提示する。その際、適切な時間間隔を空けて順番に刺激を提示することで、触刺激が皮膚上を伝うように感じる現象が触覚の仮現運動である。

触覚の仮現運動は、情報を提示する手段として活用されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。例えば、作業から目が離せず、騒音が予想される工事現場での誘導や視聴覚障害者を対象とした情報提示など^{(7)~(9)}、主に視覚や聴覚に頼ることができない場面での応用が期待されている。

触覚の仮現運動に関する研究として、丹波ら⁽¹⁰⁾は 2 個の振動子を用いて仮現運動を生起させる際に、仮現運動を意図した通りに提示する条件について議論しており、その中で、仮現運動の方向を逆に知覚する現象（以下、移動方向逆転現象）について述べている。この移動方向逆転現象は、仮現運動が設計者の意図しない方向に知覚されるという点で致命的な問題となり得る。そこで、丹波らはこの現象を生起させないために、主に図 1 に示すような刺激時間（各

振動子が振動を開始してから停止するまでの時間）間の十分な待ち時間（刺激を繰り返し提示する際のインターバル）が必要であることを示した。

振動子が 2 個の場合にこの逆転現象が発生することは容易に想像がつく（図 2）。例えば、待ち時間なしで振動子 2 個が繰り返し振動すれば、一連の刺激の始点と終点がわからなくなり、刺激が往復するのように感じるだろう（図 2 (a)）。では、振動子の個数を増やした場合はどうだろう。振動子の個数が 2 個のときと比べ、一連の刺激を提示する距離が十分にあり、一連の刺激を提示するのに十分な時間がある（図 2 (b)）。したがって、刺激の始点と終点が明確となり、刺激の移動方向を知覚しやすくなる。即ち移動方向逆転現象が生起しないと推測できる。

そこで本稿では、触覚の仮現運動を用いて情報を提示するデバイスを製作する際の指標となることを期待し、振動子の個数を増やした場合の触覚の仮現運動の移動方向逆転

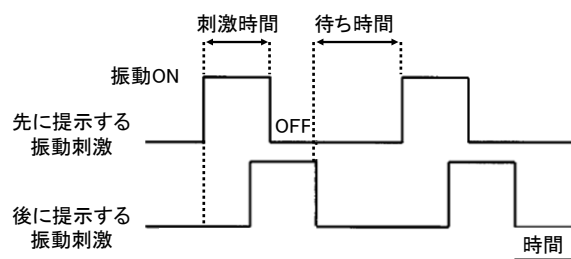


図 1 刺激時間・待ち時間の概念図

Fig. 1. Concept diagram of stimulation time / waiting time

現象について観察・分析を行う。具体的には、先行研究⁽¹⁰⁾と同様の条件、すなわち振動子が 2 個の条件で移動方向逆転現象が生起するかを確認した上で、振動子の個数を増やした状態でも、移動方向逆転現象が生起するか否かを観察し、その結果について分析する。

2. 実験目的と準備

〈2・1〉実験目的 本研究では、仮現運動の移動方向逆転現象が生起しにくいと考えられる条件下で、逆転現象と待ち時間の関係について分析する。

はじめに、先行研究と同様に、2 個の振動子を用いて仮現運動の移動方向逆転現象が生起するか実験する。次に振動子の個数を 2 個から 5 個に変更し、仮現運動の移動方向逆転現象が生起しにくいと考えられる条件下で逆転現象が生起するか実験を行う。その際、待ち時間が移動方向逆転現象に影響するか確認する。

〈2・2〉実験で使用する振動子と提示部位 実験で用いる振動子は、直径 12mm の円盤型偏平振動モータ（バイブレーションモータ FM34F、東京パーツ製）である。振動子は汎用入出力ボード（RBIO-2U、共立電子産業）を通して、パソコンで制御する。入出力ボードは同時に最大 10 チャンネルまで使用でき、各振動子の ON/OFF 時間を設定できる。

先行研究⁽¹⁰⁾での振動刺激の提示部位は、上腕であった。しかし、身体に沿って振動子を直線的に配置する場合、上腕では面積が小さいため、本研究では振動子が多く配置できる前腕に提示する。また、前腕の中でも体毛のある手の甲側より、外部からの刺激に敏感である無毛部の方が、触覚刺激に対する分解能が高い。そのため、本研究では前腕の腹側に振動刺激を提示する。

振動子の配置は、仮現運動の移動方向を判断しやすくするために振動子間の距離を狭くすることが好ましいと考えられる。そこで、2 点の刺激を提示した際に別々の刺激として識別できる最小の距離である 2 点弁別閾を参考に 40mm 間隔で配置する。そして、前腕の中央から手首側・肘側の

両端に 40mm の等間隔で複数の振動子を直線的に配置し、振動刺激を提示する（図 3）。また、振動子の個数は成人の前腕の長さの平均が約 25cm であることに加えて、振動子間の距離が 40mm であることから、前腕に配置できる最大の個数である 5 個とした。

〈2・3〉刺激時間と重なり時間の決定 実験では、振動刺激のパラメータとして刺激時間と重なり時間を設定する必要がある。刺激時間は、1 個の振動子が振動する時間である。また、重なり時間は、連続する振動子が同時に振動している時間（図 4）を指し、刺激時間との割合（重なり）で決定する。例えば、刺激時間が 200msec のとき、重なりを 50% とすると、重なり時間は、100msec ということになる。

これら 2 つのパラメータを決定するために、予備実験を行った。本実験では仮現運動の移動方向をできる限り正確に判断できることが好ましい。そこで、仮現運動が生起し、その移動方向を正確に判断できる条件を選定する。

予備実験では、先行研究⁽¹⁰⁾を踏襲し、刺激時間を 100, 200, 400msec の 3 種類を設定した、その結果、被験者全員が仮現運動を知覚した 200msec を本実験で扱う刺激時間とした。そのうえで、刺激時間の重なりを 0, 25, 50, 75% の 4 種類設定した。結果として、重なりが 50% のとき、被験者全員が滑らかな仮現運動を知覚し、その移動方向を正確に判断できた。よって、本実験では刺激時間を 200msec、重なり時間を 100msec（重なり 50%）とする。

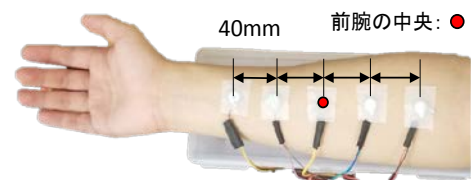


図 3 振動子の装着位置（振動子が 5 個の場合）
Fig. 3. The mounting position of the vibrators
(In the case of 5 vibrators)

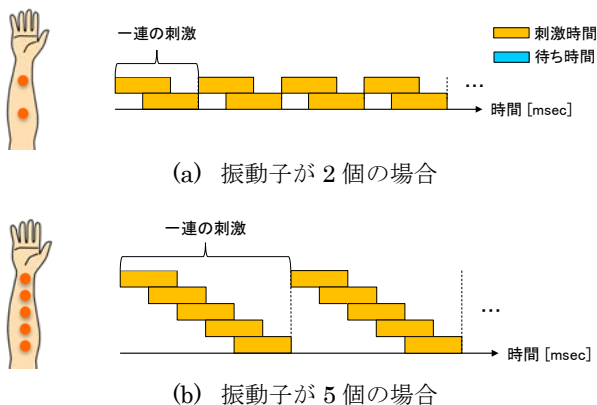


図 2 待ち時間がないときの振動刺激のイメージ
Fig. 2. Diagram of vibration stimulation
in the case of no waiting time

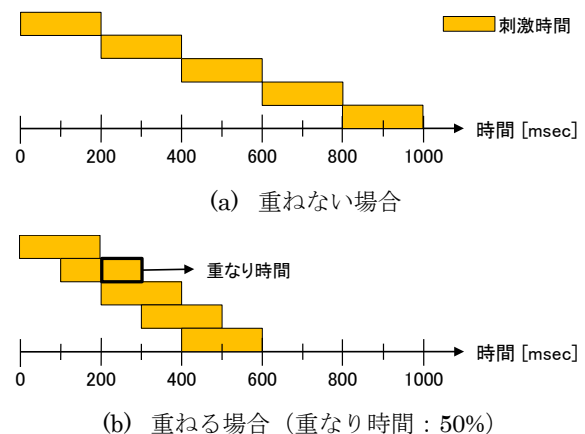


図 4 刺激時間の重なりの有無
Fig. 4. Presence or absence of overlap
of stimulation time

3. 実験 1: 振動子の個数が 2 個の場合

〈3・1〉実験目的 実験 1 では、まず先行研究⁽¹⁰⁾と同様に振動子が 2 個の条件下で、仮現運動の移動方向逆転現象が生起するか確認する。また、振動刺激を提示する際、待ち時間が短いほど、逆転現象が生起しやすいと考えられるため、待ち時間の長さが移動方向逆転現象に与える影響についても分析する。

〈3・2〉実験条件 実験 1 では、前腕の腹側中央から手首側・肘側の両端に、前腕の 2 点弁別閾の値である 40mm の等間隔で 2 個の振動子を直線的に装着し、交互に振動させることで振動刺激を提示する (図 5)。振動刺激の提示方向は手首側から肘側、肘側から手首側の 2 種類である。1 個の振動子が振動する時間 (刺激時間) は被験者全員が仮現運動を知覚した 200msec とし、重なり時間は刺激時間の 50% である 100msec とする。このとき、振動刺激を繰り返し提示するが、その際の待ち時間は 0, 50, 100, 200msec の 4 種類とする (図 6)。図 6 (a) は、待ち時間が存在しない 0msec の場合、図 6 (b) は、待ち時間が 200msec の場合を示す。よって、実験条件は提示方向と待ち時間を組み合わせである全 8 パターンである。(表 1)。

〈3・3〉実験方法 振動刺激の提示方法として、各試行の始めにランダムな刺激を提示する。これは知覚した仮現運動の方向を回答させる際に、振動刺激の開始点に基づいた回答を防ぐためである。その後、続けて提示パターンを 100 回提示する。提示パターンを繰り返し提示している間、被験者は知覚した仮現運動の方向を、ボタンを押し続けることで回答させる。回答には Wii Remote (RVL-003, 任天堂製) を利用する。Wii Remote は、Bluetooth アダプタ (LBT-UAN04C1BK, ELECOM 製) をパソコンと接続する

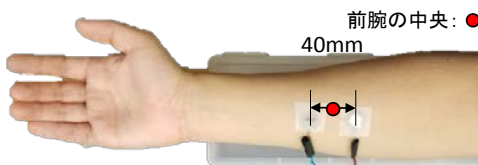
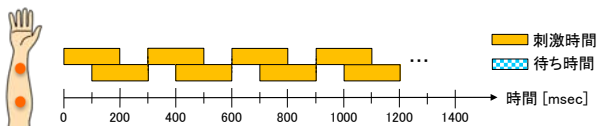
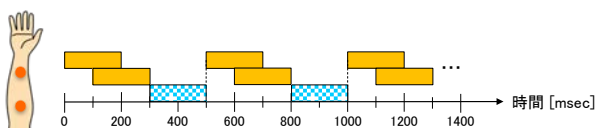


図 5 提示部位 (振動子: 2 個)

Fig. 5. Presentation part (Vibrators: 2)



(a) 待ち時間がない場合 (0msec)



(b) 待ち時間がある場合 (200msec)

図 6 提示パターンのイメージ

Fig. 6. Diagram of presentation pattern

ことでデータの送受信を行う。知覚した仮現運動を手首側から肘側の方向に感じた場合は十字キーの下ボタンを、肘側から手首側の方向に感じた場合は十字キーの上ボタンを、押させる。それ以外の感覚を知覚した場合は、ボタンから指を離させた。回答に用いるキーを図 7 に、回答方法を表 2 に示す。また、回答方法について、被験者は練習を十分に行っている。

回答時に実際の提示順と逆方向のボタンを一度でも押した場合、移動方向逆転現象が生起したと実験者が判断する。また、移動方向逆転現象の生起の有無については、ボタンでの回答に加え、口頭でも回答させた。

なお、仮現運動を知覚する際に、振動音や視覚による影響を排除するため、被験者にはアイマスクとイヤフォンを装着させ、振動刺激を提示するときのみホワイトノイズを聞かせた (図 8)。試行数は 1 人あたり 8 試行で、被験者は成人男性 9 人である。以下に実験手順を示す。

- (1) 被験者の前腕腹側を上向きにして手置き台に置かせる
- (2) 被験者の前腕中央から手首側、肘側それぞれ 20mm の位置 (合計 2 箇所) に振動子を装着する
- (3) 被験者にアイマスクとイヤフォンを装着させる
- (4) 回答方法について練習させる
- (5) 提示パターンからランダムに選択する。
- (6) ランダムな刺激を提示する
- (7) (5) で選択した提示パターンを 100 回提示する
- (8) (7) の間に提示された刺激の提示方向についてボタン

表 1 提示パターン

Table 1. Presentation pattern

提示方向	待ち時間 [msec]
手首側→肘側	0
	50
	100
	200
肘側→手首側	0
	50
	100
	200

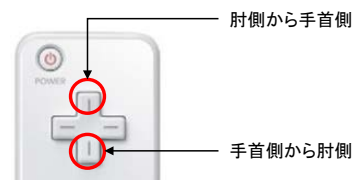


図 7 評価に使用するデバイス (Wii Remote)

Fig. 7. Devices used for evaluation (Wii Remote)

表 2 回答方法

Table 2. Answer method

知覚した仮現運動の方向	回答に用いる操作
手首から肘	十字キー下ボタン
肘から手首	十字キー上ボタン
方向を知覚しない	ボタンを押さない



図 8 実験風景

Fig. 8. Experimental scene

を押し続けることで回答させる

- (9) 被験者に振動刺激の残効がないか確認する
- (10) 残りの提示パターンに対して (5)~(9) を繰り返す

手順 (9) で被験者が振動刺激の残効を確認した場合、残効がなくなるまで休憩させた。また、実験による疲労の影響を排除するため、4 試行毎に 1 分以上の休憩を設けた。

〈3.4〉 実験結果・考察 図 9 は、移動方向逆転現象が生じた人数についてのグラフである。横軸は待ち時間を、縦軸は移動方向逆転現象が生じた人数を示す。実際の提示順と逆方向のボタンを一度でも押した場合、もしくは、口頭で移動方向逆転現象の生起を回答した場合、いずれかに該当する被験者を移動方向逆転現象が生じた被験者として扱った。図 10 は移動方向逆転現象が初めて生起するまでの刺激の提示回数を表す。横軸が待ち時間を、縦軸は移動方向逆転現象の生起した被験者が初めて生起を知覚するまでの刺激の提示回数を平均した結果である。移動方向逆転現象が生じなかった試行については、刺激の提示回数を 100 回とした。また、このグラフは縦軸の値が小さいほど、移動方向逆転現象が早く生起することを示す。なお、グラフ中のエラーバーは標準誤差である。

図 9 のグラフより、以下のことがわかる。

- (i) 提示方向と待ち時間の長さによらず、被験者の 3 割以上で移動方向逆転現象が生じた
- (ii) 待ち時間の長さによって、移動方向逆転現象の生起しやすさが異なる
- (iii) 刺激の提示方向によって、移動方向逆転現象が生起しやすい待ち時間が異なる

また、図 10 のグラフより、以下のことがわかる。

- (iv) 提示方向と待ち時間の長さによらず、刺激の提示回数が 40 回以下で、移動方向逆転現象が生起する
- (v) 刺激の提示方向によって、移動方向逆転現象が早く生起する待ち時間が異なる

(i) より、待ち時間の長さによらず、移動方向逆転現象が生じた。これは、振動子が 2 個のときに、振動子が交互に振動するため、刺激の始点と終点が曖昧になり、刺激の方向を正しく知覚できないと考えられる。また、刺激を一方方向に提示しているにも関わらず、コメントを聴取した際、刺激が往復するよう感じたとの意見があった。

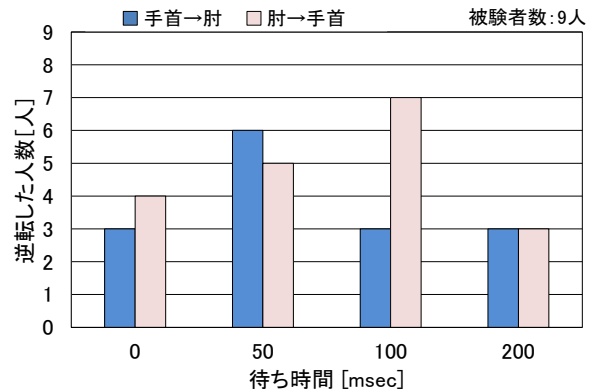


図 9 待ち時間ごとの逆転現象の生起人数

Fig. 9. Number of people who arose turning over the direction each waiting time

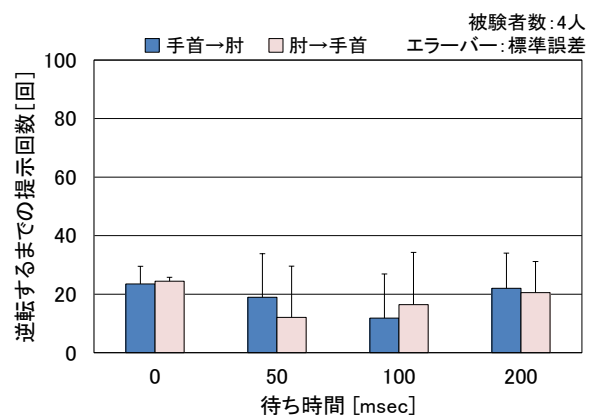


図 10 待ち時間ごとの逆転現象が生起するまでの刺激の提示回数

Fig. 10. Number of presentations of stimulus until turning over the direction arises each waiting time

(ii) より、待ち時間の長さは、仮現運動の移動方向を正確に知覚させるために必要なパラメータであることがわかった。これは先行研究⁽¹⁰⁾の知見と一致する。また、待ち時間が短くなるにつれて、移動方向逆転現象が生じた人数が増える傾向があったが、待ち時間が 0msec のときには逆転現象が生じた人数が少ない。これは、逆転現象を知覚する以前に、刺激の移動方向の知覚が困難であったと考えられる。また、待ち時間が 0msec のとき、常に刺激の移動方向がわからなかったとのコメントを得た。この点においても、待ち時間が 0msec のとき、刺激の移動方向の知覚が困難であったことを示唆している。

(iii), (v) より、刺激の提示方向によって、移動方向逆転現象が生起しやすい条件が異なることがわかった。これは、提示方向によって移動方向逆転現象に限らず、仮現運動そのものを知覚する際に傾向が異なる可能性を示唆している。このことは、実験後に被験者からのコメントを聴取した際、提示方向によって刺激の知覚が異なったように感じたとの意見と矛盾しない。

(iv) より、待ち時間の長さによらず、少ない提示回数で移動方向逆転現象が生じた。また、逆転現象が生じた

被験者から、刺激を提示してから早い段階で刺激が往復するように感じたとのコメントを得た。

以上から、振動子が 2 個の場合、先行研究⁽¹⁰⁾と同様に、待ち時間の長さが移動方向逆転現象の生起に影響することを示した。また、提示方向によって、移動方向逆転現象が生起しやすい待ち時間が異なることを示す結果となった。

4. 実験 2: 振動子の個数が 5 個の場合

〈4.1〉 実験目的 実験 2 では、振動子の個数を 2 個から 5 個に変更し、仮現運動の移動方向逆転現象が生起しにくいと考えられる条件下において、逆転現象が生起するか確認する。また、実験 1 と同様に待ち時間をパラメータとして仮現運動を生起させる際、移動方向逆転現象が生起する傾向を確認する。

〈4.2〉 実験条件・方法 実験 2 では、振動子の個数を 2 個から 5 個に変更し(図 11)、実験条件や評価方法は全て実験 1 と同様である。

〈4.3〉 実験結果・考察 実験結果の図 12 は、移動方向逆転現象が生起した人数についてのグラフである。横軸は待ち時間を、縦軸は移動方向逆転現象が生起した人数を示し、口頭で移動方向逆転現象の生起を回答した場合、実際の提示順と逆方向のボタンを一度でも押した場合、いずれかに該当する被験者を移動方向逆転現象が生起した被験者として扱った。図 13 は移動方向逆転現象が初めて生起するまでの刺激の提示回数を示す。横軸が待ち時間を、縦軸は移動方向逆転現象の生起した被験者が初めて生起を知覚するまでの刺激の提示回数の平均した結果である。移動方向逆転現象が生起しなかった試行については、刺激の提示回数を 100 回としている。また、このグラフは縦軸の値が小さいほど、移動方向逆転現象が早く生起することを示す。なお、グラフ中のエラーバーは標準誤差である。

図 12 のグラフより、以下のことがわかる。

- (i) 待ち時間の長さによっては、移動方向逆転現象が生起する
- (ii) 待ち時間の長さが短いほど、移動方向逆転現象が生起しやすい
- (iii) 手首側から肘側の方向より、肘側から手首側の方向に提示する方が、移動方向逆転現象が生起しやすい
また、図 13 のグラフより、以下のことがわかる。
- (iv) 提示方向と待ち時間の長さによらず、提示回数が 60

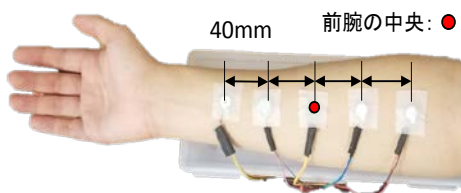


図 11 提示部位 (振動子: 5 個)
Fig. 11. Presentation part (Vibrators: 5)

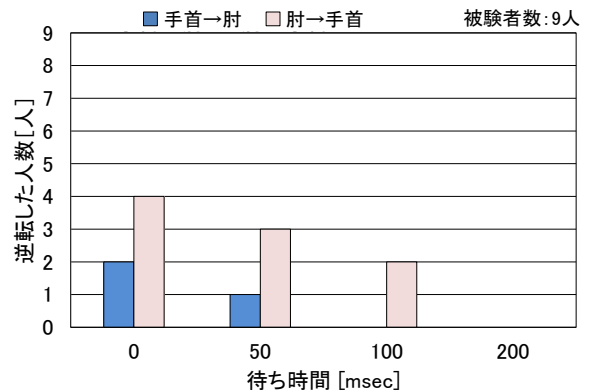


図 12 待ち時間ごとの逆転現象の生起人数
Fig. 12. Number of people who arose turning over the direction each waiting time

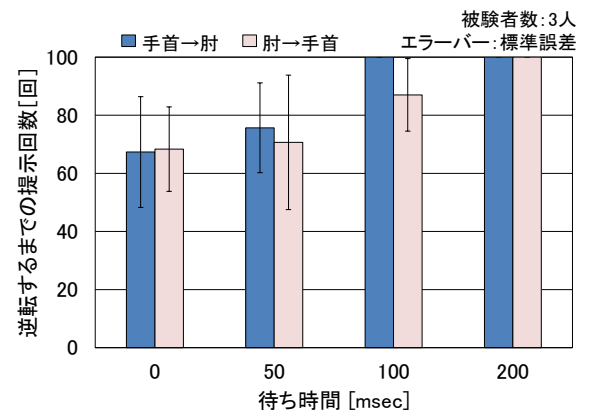


図 13 待ち時間ごとの逆転現象が生起するまでの刺激の提示回数
Fig. 13. Number of presentations of stimulus until turning over the direction arises each waiting time

回以上で、移動方向逆転現象が生起する

- (v) 刺激の提示方向によらず、待ち時間を短くすると、移動方向逆転現象が早く生起する傾向がある

(i) より、我々の予想に反して、振動子が 5 個の場合でも、移動方向逆転現象が生起することがわかった。このことから、移動方向逆転現象は、振動子の個数が 2 個の場合ほどではないが、振動子が少ない場合特有の現象でないことが示された。

(ii) より、先行研究⁽¹⁰⁾と同様に、待ち時間の長さが移動方向逆転現象の生起しやすさに影響していることがわかった。特に 0msec の場合に逆転現象が最も生起した。

(iii) より、移動方向逆転現象の生起する傾向と、仮現運動を知覚する傾向が、提示方向によって異なる可能性が示唆された。また、実験後に被験者からコメント聴取した際、提示方向によって仮現運動の知覚が異なるように感じたとの意見を得た。

(iv) より、待ち時間の長さによらず刺激の提示回数が多くなると、移動方向逆転現象が生起することがわかった。これは、逆転現象の生起するタイミングが待ち時間の長さ

に影響を受けることを示唆している。また、逆転現象が生じた被験者から、刺激を提示してから前半では、刺激の方向を正しく知覚できたが、後半になるにつれて刺激が往復するように感じるとのコメントを得た。

(v) より、待ち時間が移動方向逆転現象の生起するタイミングに影響を与えることがわかった。

以上から、振動子が 5 個の場合、先行研究⁽¹⁰⁾と同様に、待ち時間の長さが移動方向逆転現象に影響することが示された。また、移動方向逆転現象が生起するタイミングについて、提示方向と待ち時間の長さによらず、振動子が 2 個の場合では、刺激の提示回数が 40 回以下で生起したが、5 個の場合では、提示回数が 60 回以上で生起することがわかった。これは、振動子の個数が 2 個の場合では、刺激を提示してから早い段階で逆転現象が生起し、5 個の場合では、遅い段階で生起することを示している。また、振動子が 2 個の場合、早い段階で刺激が往復するように感じたというコメントを得た。さらに、振動子の個数が 5 個の場合について、前半では、刺激の方向を正しく知覚できたが、後半になるにつれて刺激が往復する場合があったとのコメントを得た。つまり、振動子の個数によって移動方向逆転現象が生起する仕組みが異なる可能性がある。さらに提示方向によって、移動方向逆転現象の生起しやすさが異なることを示す結果となった。

5. むすび

本稿では、先行研究⁽¹⁰⁾で生起が確認されていた、触覚の仮現運動の移動方向逆転現象について分析した。先行研究では、仮現運動を提示する際に用いた振動子の個数は 2 個であり、逆転現象が生起しやすい条件であるといえる。

そこで、本研究では先行研究と同じく振動子の個数を 2 個とした場合と、逆転現象が生起しにくいと考えられる振動子の個数を 5 個とした場合で実験を行った。その際、振動刺激を繰り返す際の待ち時間（刺激を繰り返し提示する際のインターバル）に着目し、逆転現象が生起する傾向を確認した。実験結果から以下の知見が得られた。

- (a) 振動子が 2 個の場合、振動子が 5 個の場合よりも移動方向逆転現象が生起しやすい
- (b) 振動子の個数によらず、待ち時間によって、移動方向逆転現象の生起しやすさが異なる
- (c) 振動子の個数によって、仮現運動の移動方向逆転現象の生起するタイミングが異なる
- (d) 提示方向によって、仮現運動の方向に対する知覚が異なることが示唆された

以上から、移動方向逆転現象が生起しにくいと考えられる振動子の個数を 5 個とした場合でも、仮現運動の移動方向逆転現象が生起することがわかった。これは、移動方向逆転現象は振動子が 2 個の場合特有の現象ではないことを示唆している。また、待ち時間の長さが移動方向逆転現象の生起しやすさに影響することを確認した。さらに、移動

方向逆転現象の生起するタイミングが異なることから、振動子の個数によって、移動方向逆転現象の生起原理が異なる可能性がある。また、提示方向によって移動方向逆転現象の生起する傾向が異なったため、今後はこの現象について詳細に調べる予定である。

文 献

- (1) 井戸啓介：“2 フレーム仮現運動における運動の同化現象の時間特性：誘導刺激とテスト刺激の時間的非同期の効果”，映像情報メディア学会誌，Vol. 66, No. 6, pp. 192 - 195, 2012.
- (2) 蘆田宏：“動き知覚と動画の認識”，映像情報メディア学会誌，Vol. 58, No. 8, pp. 1151 - 1156, 2004.
- (3) 川島祐貴，内川恵二，金子寛彦，福田一帆，山本浩司，木屋研二：“道路側面に設置された点滅柱状物体により生起する視覚誘導自己運動感覚を交通工学的に応用した自動車運転者の速度感覚変化手法”，映像情報メディア学会誌，Vol. 65, No. 6, pp. 833 - 840, 2011.
- (4) C. E. Sherrick and R. Rogers：“Apparent haptic movement,” *Perception & Psychophysics*, Vol. 1, No. 6, pp. 175 - 180, 1966.
- (5) 渡邊淳司，福沢恭，梶本裕之，安藤英由樹：“腹部通過仮現運動を利用した貫通感覚提示”，情報処理学会論文誌，Vol. 49, No. 10, pp. 3542 - 3545, 2008.
- (6) 雨宮智浩，広田光一，池井寧：“座面上の触覚仮現運動が及ぼす視覚誘導性自己運動感覚の速度知覚変化”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 18, No. 2, pp. 121 - 130, 2013.
- (7) 岡本匡史，久野慎平，柳田康幸：“外乱振動下での振動触覚刺激における仮現運動利用の効果”，電子情報通信学会技術報告，Vol. 107, No. 80, pp. 27 - 30, 2007.
- (8) 浅野裕俊，武藤拓路，野口啓太，水野統太，井出英人：“触覚刺激による仮現運動を用いた方向案内に関する基礎検討”，バイオメカニズム学会誌，Vol. 34, No. 3, pp. 223 - 239, 2010.
- (9) 坂井忠裕，石原達哉，伊藤崇之，磯野春雄：“視覚障害者向け情報受信端末の状態伝達への適用”，映像情報メディア学会誌，Vol. 55, No. 11, pp. 1506 - 1514, 2001.
- (10) 丹羽真隆，伊藤雄一，岸野文郎，野間春生，柳田康幸，保坂憲一，久米祐一郎：“振動触覚を用いた情報提示のための仮現運動と刺激条件”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 14, No. 2, pp. 223 - 232, 2009.
- (11) S. Weinstein：“Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body part, sex, and laterality,” *the First Int'l Symp. on the Skin Senses*, pp. 195 - 222, 1968.