



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 (2) ～仮現運動の始点と終点の影響の分析～

廣 大地¹⁾, 新井啓介¹⁾, 橋口哲志²⁾, 柴田史久¹⁾, 木村朝子¹⁾

1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

2) 龍谷大学 理工学部 (〒520-2194 大津市瀬田大江町横谷 1-5)

概要: 触覚の仮現運動では移動方向を知覚できるが, ある条件では提示方向とは逆の方向を知覚する. この移動方向逆転現象は刺激が 2 点の場合に始点と終点が錯綜して発生しやすいが, 我々は刺激を 5 点にした場合でも現象の発生を確認した. それでは 5 点の場合に, この現象が何故起きたのか. 仮現運動の終点から始点に戻る際に逆転を知覚しているのか, または時間が経つにつれて 5 点の残効が影響したのか. 本稿では, これらの可能性を確かめるべく実験を行ったのでその内容と結果について報告する.

キーワード: 触覚の仮現運動

1. はじめに

触覚の仮現運動とは, 離散的に配置した触覚刺激を連続した 1 つの刺激に感じる現象である. 振動刺激や電気刺激を用いた触覚提示デバイスを皮膚に直線状に複数配置し, 適切な時間を空けて刺激を順番に提示することで, 触覚の仮現運動が発生することが知られている [1]. このように, 限られた数のデバイスでも, 触覚提示デバイスの表現力を向上させることができる [2]. しかし, 触覚の仮現運動では, 刺激のパラメータが多様であり, その組み合わせ次第で仮現運動の感じ方も変化する.

丹波ら [3] は 2 個の振動子を用いて仮現運動を発生させる際に, 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いる. その中で, 直線状の一連の刺激を一方に繰り返し提示しているにも関わらず, 刺激が往復するような感覚となることが確認されている. これより, 刺激の条件次第では仮現運動が意図した方向とは逆方向に知覚される可能性がある. 丹波ら [3] は, この現象が発生しない条件について検討しているが, 振動子の数が 2 個の条件に留まっている.

本研究ではこのような現象を, 触覚の仮現運動における移動方向逆転現象と称す. 丹波ら [3] の実験では, 振動子は 2 個でそれらの距離が近い条件であったため, 一連の刺激を繰り返し提示した際, この刺激の始点と終点が混同することで現象が発生したと考えられる.

そこで, 我々は仮現運動の始点と終点に距離をとり, さらに振動子の個数を 2 個から 5 個に増やすことで, 仮現運動で知覚される方向が逆転しにくい条件を設定し, 実験を行った [4]. しかし, 我々の当初予想に反して, 振動子を 5 個に増やした場合においても移動方向逆転現象が発生する

ことがわかった.

では, なぜ振動子を 5 点とした場合に, 移動方向逆転現象が発生したのだろうか. 例えば, 手首から肘にかけて 5 点順番に振動提示しても, 手首と肘両端の刺激のみが意識され, 5 点目の肘から 1 点目の手首に戻るところで方向の逆転を知覚しているのだろうか. それとも, 時間が経つにつれて 5 点に振動の残効が残り, その影響で移動方向逆転現象が発生しているのだろうか. つまり, 中央の 3 点が順番に振動しているかどうかは関係なく, 仮現運動の始点と終点が強く知覚されて, 移動方向逆転現象が発生しているのだろうか.

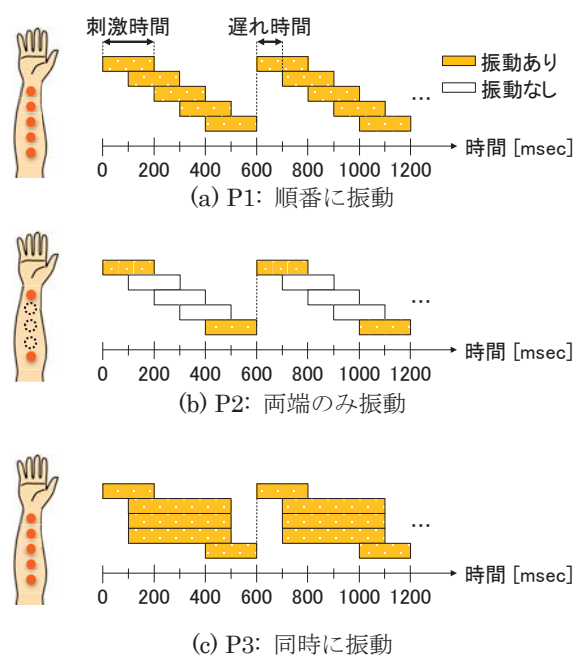


図 1 予備実験で使用する振動刺激の種類

本稿ではこれらの可能性を確かめるべく図1に示す3種類の振動刺激を設定して実験を行った。まず予備実験として、移動方向逆転現象が発生した5点の振動刺激(図1(a))において、両端の刺激のみ(図1(b))でもこの現象が発生するのを確認する。続いて本実験では、その結果を踏まえて、両端の条件は変えずに、中央3点の刺激を同時に振動させ(図1(c))、同様に移動方向逆転現象が発生するのを確認する。つまり、仮現運動が発生する両端の振動刺激と仮現運動が発生しない中央の振動刺激を組み合わせ、移動方向逆転現象における仮現運動の始点と終点の情報が中央部分よりも優位であるかのかを明らかにする。

2. 実験準備

2.1 実験で使用する振動子と提示部位

実験では、直径12mmの円盤型偏平振動モータ(パイブレーションモータ FM34F, 東京パーツ製)を使って振動を提示する。振動子は汎用入出力ボード(RBIO-2U, 共立電子産業)を通して、刺激提示用PCで制御した。入出力ボードは同時に最大10チャンネルまで使用でき、各振動子が振動するタイミングを設定できる。

振動刺激の提示部位は、非利き手の前腕腹側とした。そして、被験者の前腕の長さを測り、中央を基準として5点に印をつけ、各点に振動子を装着した。このとき、5個の振動子は40mmの等間隔で直線状に配置した(図2)。

2.2 知覚された仮現運動の方向の回答方法

知覚された仮現運動の方向を回答させるために、Wii Remote (RVL-003, 任天堂製)を利用した。Wii Remoteは、Bluetoothアダプタ(LBT-UAN04C1BK, ELECOM製)を測定用PCと接続することでデータの送受信を行う。振動刺激の知覚方向を回答する際、手首から肘方向に感じ

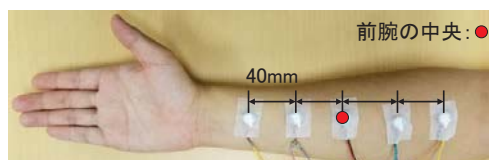


図2 振動子の装着位置

表1 Wii Remoteでの回答方法

知覚した振動刺激の方向	回答に用いる操作
手首→肘	十字キー下ボタン
肘→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3 実験の様子

た場合は十字キーの下ボタンを、肘から手首方向に感じた場合は十字キーの上ボタンを被験者に押させることで仮現運動と移動方向逆転現象が発生するタイミングを取得した(表1)。なお、振動刺激に方向を感じなかった場合は、ボタンから指を離させた。実験の様子を図3に示す。

2.3 刺激時間と遅れ時間

実験では、振動刺激のパラメータとして刺激時間、遅れ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、遅れ時間はある振動子が振動を開始してから次の振動子が振動を開始するまでの時間である。

実験では刺激時間を200msec、遅れ時間を100msecとした。これらの値は、我々のこれまでの研究[4]で仮現運動の発生頻度が高い組み合わせとして採用した。また、一連の振動刺激を提示する繰り返し回数も従来研究同様100回とした。

3. 予備実験: 両端の振動のみで移動方向逆転現象が発生するのを確認

3.1 実験目的

移動方向逆転現象の発生要因として、始点と終点の刺激が強く意識されて起こっているのであれば、始点と終点の刺激だけを提示した場合でも同程度移動方向逆転現象が発生するはずである。そこで本予備実験では、まず仮現運動が発生させる際の両端の振動刺激のみに着目して実験を行う。すなわち、これまでの実験[4]においてこの現象が発生した5点の振動刺激から中央の3点を排除し、始点と終点のみの情報でも移動方向逆転現象が発生するのを確認する。

3.2 実験条件

予備実験では振動刺激の種類として、5個の振動子があ一端から逆側の端まで、順番に振動するP1(図1(a))と、振動の提示タイミングは変えずに、両端の2個の振動子のみが振動するP2(図1(b))の2種類を設定した。また、振動刺激の提示方向として、手首から肘方向、肘から手首方向の2種類を設定した。よって、被験者1人あたりの提示パターンは計 $2 \times 2 = 4$ 通りとなった(表2)。

3.3 実験課題

振動刺激を繰り返し提示している間、被験者に振動刺激の知覚方向を、Wii Remoteのボタンによって回答させた。その後、仮現運動と移動方向逆転現象の発生の有無について回答用紙に記入させた。具体的には「振動刺激が動いたように感じたか」「振動刺激が反転した感覚があったか」の2項目の質問が記載してある用紙を被験者の前に置き、被験者自身に質問の回答を記入させた。これら2項目は、それぞれ仮現運動の知覚の有無と移動方向逆転現象の有

表2 予備実験の提示パターン

振動刺激の種類	提示方向
P1: 順番に振動	手首→肘
	肘→手首
P2: 両端のみ振動	手首→肘
	肘→手首

無に対応している。たとえば「振動刺激が動いたように感じたか」という問いに対して「感じた」と回答し、「振動刺激が反転した感覚があったか」という問いに対して「なかった」と回答した場合は、仮現運動が発生し、移動方向逆転現象は発生しなかったことを示す。

被験者には実験方法を教示した後、実験前に練習用の提示パターン（刺激時間 200msec、遅れ時間 100msec、刺激の繰り返し回数 50 回、振動刺激の種類 P1）を用いてボタンの押し方や回答方法を十分に練習させた。

3.4 被験者

成人男性 10 名（平均 21.9 歳、標準偏差 0.876）が予備実験に参加した。腕に痺れなどを感じておらず、怪我をしていない健常者を対象に実験を実施した。

3.5 実験手順

- (1) 振動刺激を提示し、振動刺激の知覚方向について回答させる
- (2) 仮現運動と移動方向逆転現象の有無について回答用紙に記入させる

以上を 1 試行とし、各提示パターンに対して 1 回の試行を実施した。よって、被験者 1 人あたりの試行回数は提示パターン数と同じ 4 回である。

実験中、被験者にはアイマスクとイヤフォンを装着させる。振動刺激を提示している間、ホワイトノイズを聞かせることで、振動音や視覚による影響を排除した。なお、各試行間では、被験者に振動残効が発生していないかを報告させ、残効が発生していないことを確認した。残効の発生を確認した場合は残効がなくなるまで十分に休憩させた。

3.6 実験結果

予備実験の結果を図 4 に示す。図 4(a) は各提示パターンで仮現運動が発生した人数を表し、図 4(b) は移動方向逆転現象が発生した人数を表す。

まず、図 4(a)、図 4(b) より、振動刺激を提示した方向（肘から手首方向、手首から肘方向）に関わらず、我々の先行研究と同じ条件（P1）、両端のみに振動を提示した条件（P2）ともに、仮現運動と移動方向逆転現象の発生が確認できる。

P2 において、中央 3 点の振動刺激を排除しても仮現運動が発生していることから、P2 の 2 点の刺激は仮現運動が発生し得る距離と時間間隔の範囲内であることがわかる。

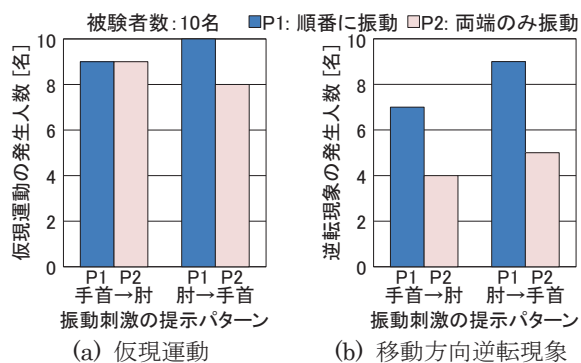


図 4 予備実験における錯覚の発生人数

ということは、P1 と比べると、P2 では（始点から終点に移行する時間）>（終点から視点に移行する時間）となるので、もし終点から始点へ移行する際の仮現運動を知覚していれば、P2 の場合の方が P1 よりも逆転現象が起りやすくなるはずである。しかし、図 4(b) を見ると、予備実験結果からは、P1 の条件の方が P2 の条件よりも移動方向逆転現象がより多く発生していることがわかる。

以上のことから、移動方向逆転現象は、単純に始点と終点の刺激が強く意識されて起こっているとは言い切れないことがわかる。

4. 本実験：移動方向逆転現象における仮現運動の両端と中央の影響力の分析

4.1 実験目的

予備実験より、移動方向逆転現象は、単純に始点と終点の刺激が強く意識されて起こっているとは言い切れないことがわかった。そこで、次なる仮説として、時間が経つにつれて腕に振動の残効が残り、その影響で移動方向逆転現象が発生しているのかどうかを確認する。もし残効の影響であるならば、5 点の振動刺激の内、中央の 3 点を同時に振動させても、5 点を順番に振動させた場合と同程度かそれ以上の移動方向逆転現象が発生すると予想される。そこで、本実験では、中央 3 点を順番に振動させるのではなく、同時に振動させることによって、移動方向逆転現象がどの程度発生するかを確認し、振動残効の影響について考察する。

4.2 実験条件

本実験では振動刺激の種類として、5 個の振動子がある一端から逆側の端まで順に振動する P1（図 1(a)）と、両端の条件は変えずに、中央の 3 点が真ん中で同時に振動する P3（図 1(c)）の 2 種類を設定した。また、振動刺激の提示方向として、手首から肘方向、肘から手首方向の 2 種類を設定した。よって、被験者 1 人あたりの提示パターンは計 $2 \times 2 = 4$ 通りとなった（表 3）。なお、実験課題と実験手順は

表 3 本実験の提示パターン

振動刺激の種類	提示方向
P1: 順番に振動	手首→肘
	肘→手首
P3: 同時に振動	手首→肘
	肘→手首

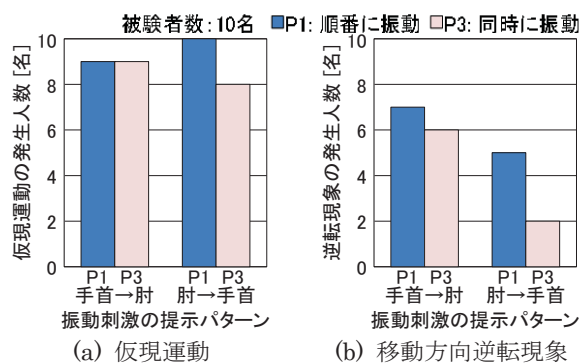


図 5 本実験における錯覚の発生人数

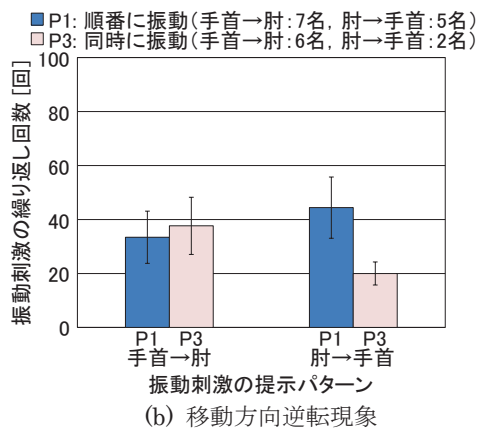
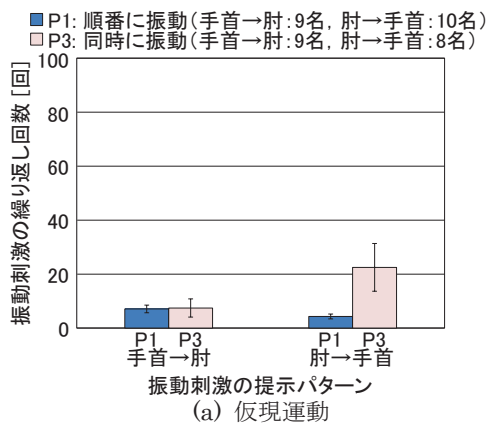


図6 本実験における錯覚の繰り返し回数

全て予備実験と同様である。

4.3 被験者

予備実験と同様の10名を対象に実験を実施した。

4.4 実験結果・考察

本実験の結果を図5と図6に示す。図5(a)は各提示パターンで仮現運動が発生した人数を、図5(b)は移動方向逆転現象が発生した人数を表す。また、図6(a)は仮現運動が発生するまでの繰り返し回数を、図6(b)は移動方向逆転現象が発生するまでの繰り返し回数を表す。ただし、図6(a)では、仮現運動が発生していない被験者は排除し、図6(b)では移動方向逆転現象が発生していない被験者を排除した。エラーバーは標準誤差を示す。

図5(a)より、振動刺激を提示した方向(肘から手首方向、手首から肘方向)に関わらず、P3においても仮現運動が発生していることがわかる。

更に、図5(b)を見ると、手首→肘の方向では、移動方向逆転現象がP1(5点順番)とP3(中央の3点が同時)の条件で同程度発生していることがわかる。しかし、肘→手首では、やはりP1の方がP3の条件の場合よりも移動方向逆転現象が多く発生している。以上のことから、今回の実験では、(P1の移動方向逆転現象) \geq (P3の移動方向逆転現象)となり、5点連続で振動を提示するP1場合の方が逆転現象の発生率が低くなることはなかった。このことから、残効の影響の可能性はあるものの、5点連続で振動を提示した場合の方が逆転現象が起りやすくなる、

その他の要因がある可能性が示唆された。

ここで図6(a)より、肘から手首方向において、中央の情報が仮現運動を発生させる条件(P1)と仮現運動が発生させない条件(P3)を比較すると、P1でより早く仮現運動が生じていることがわかる。一方で図6(b)の肘から手首方向の移動方向逆転現象においては、P3の方が早く発生している。即ち、仮現運動がスムーズに知覚できる条件ほど、移動方向逆転現象の発生に時間がかかる(または起こりにくい)可能性がある。P1とP3で仮現運動が発生する早さに明確な差が見られなかった手首から肘方向において、移動方向逆転現象の知覚する早さに大きな差が見られなかったことから、この可能性についても、今後検討していく必要があると考えている。

5. むすび

我々のこれまでの研究で、5個の振動子を直線状に配置し、一端から逆側の端まで順番に振動刺激を提示しても、移動方向逆転現象が発生することを確認した。それでは5点の場合に、この現象が何故起きたのか、仮現運動の終点から始点に戻る際に逆転を知覚しているのか、または時間が経つにつれて5点の残効が影響したのか。本稿では、これらの可能性を確かめるべく実験を行った。

予備実験結果からは、順番に振動する条件の方が両端のみの条件よりも移動方向逆転現象がより多く発生していることがわかる。移動方向逆転現象は、単純に始点と終点の刺激が強く意識されて起こっているとは言い切れないことがわかった。

続いて本実験では、仮現運動がスムーズに知覚できる条件ほど、移動方向逆転現象の発生に時間がかかる可能性がある。P1とP3で仮現運動が発生する早さに明確な差が見られなかった手首から肘方向において、移動方向逆転現象の知覚する早さに大きな差が見られなかったことから、この可能性についても、今後検討していく必要があると考えている。本研究の実験を担当した三木良崇氏(立命館大学情報理工学部所属)に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] C. E. Sherrick and R. Rogers: "Apparent haptic movement," *Perception & Psychophysics*, Vol. 1, No. 6, pp. 175 - 180, 1966.
- [2] 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.
- [3] 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", 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol. 14, No. 2, pp. 223 - 232, 2009.
- [4] 廣 大地, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: 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, 日本バーチャリアリティ学会第20回 Haptics 研究会, PI-18-039, pp. 61 - 66, 2018.