

他者意図理解における視覚意識の役割

廣瀬 智士

1. 序文

本プロジェクトは、他者意図理解における視覚意識の役割を解明する研究を行うと同時に授業履修者（人間・環境学研究科博士前期課程1年の2名）に研究遂行のために必要な技術を習得させることを目的とした。

以下、前半部分で、授業履修者が習得した技術を概説し、後半部分で研究報告を記す。

2. 授業として

授業は、実際に計画した研究を進める上で必要となる知識をその都度解説する形式をとった。本プロジェクトに、授業履修者として関わった学生は、上原慎太郎、小原一樹の2名である。特に上原は、実験の遂行段階から、解析まで、積極的にに関わり、本研究を遂行する上で大きな役割を担った。

本プロジェクトで学生が学んだのは、順に、1) 研究デザイン、2) 実験プログラムの作成、3) 実験遂行のためのセットアップ、4) 実験遂行時の注意点、5) 解析手法、の5点である。履修者は2名ともプログラミングには不慣れであったため、特に時間を割いて授業を行った。以下で、それぞれの段階で言及した内容について概説する。

(1) 実験デザイン

研究のデザインを説明する段階では、統制条件の取り方について考察した。統制条件とは、実験条件と比較するために設定する条件であり、実験条件に含まれる要因のうち、見たい要因以外の要因を除外した要因である。本研究では、視覚意識以外の要因は排除したいため、入力される視覚刺激、聴覚刺激について、統制条件を設定した。

(2) 実験プログラムの作成

本研究では、視覚刺激呈示、聴覚刺激呈示、被験者の運動（手首関節角度）の記録を同時に行わなければならない。また、視覚刺激に時間周波数の高い刺激を用いるため、

モニタの垂直同期周波数を考慮に入れた制御が必要である。

今回、LabView(日本ナショナルインスツルメンツ株式会社、東京)で、聴覚刺激呈示、MATLAB(The MathWorks、アメリカマサチューセッツ州)で視覚刺激呈示を行った。このため、履修者は、2種類のプログラム言語を学習することになった。(被験者の運動データの記録には、プログラムの必要の無いハードウェア(PowerLab; ADInstruments、<http://www.adinstruments.com/>)とソフトウェア(Chartr; ADInstruments)のセットを用いた。)

MATLAB は、心理物理学実験を含む広い科学分野で使われる言語である。また、脳機能イメージングの分野で、多くの研究者が利用している脳機能画像を統計処理するためのソフトウェアである Statistical Parametric Mapping (SPM; <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>)は、MATLAB をプラットフォームとしており、脳機能イメージングを行う上では、MATLAB の構造の理解は必要不可欠である。今回の履修者は今後、脳機能イメージングを用いた研究を行っていく予定であるため、基本的な構造から授業を行った。また、本研究の実験プログラムは MATLAB の toolbox である Psychtoolbox (<http://psychtoolbox.org/>)を用いたため、それについての概説も行った。Psychtoolbox は、心理物理学実験に特化したスクリプト集で、時間制御にすぐれており、無料で提供されているため、多くの心理物理学実験に用いられている。

MATLAB は行列演算を中心とするプログラムで、ほとんどの変数は行列として格納されている。本研究で用いた視覚刺激の制御も、縦×横(モニタ上でのピクセル位置)×3(赤、青、緑それぞれの輝度)の3次元の行列で表現されており、一旦 MATLAB に読み込んだ後は、行列を処理することで輝度、色、呈示位置などの制御が可能となる。

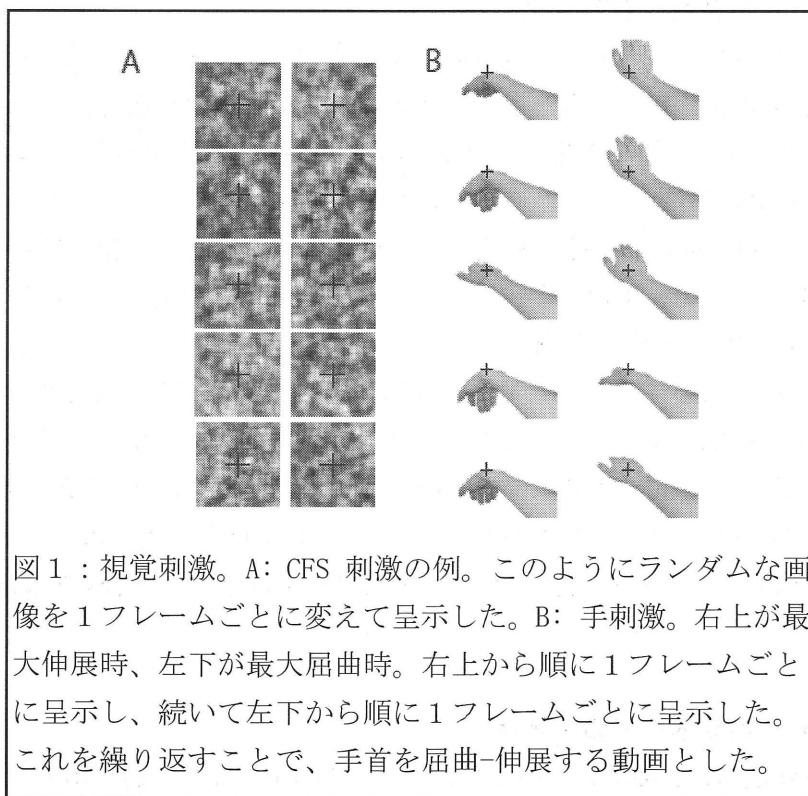


図1：視覚刺激。A: CFS 刺激の例。このようにランダムな画像を1フレームごとに変えて呈示した。B: 手刺激。右上が最大伸展時、左下が最大屈曲時。右上から順に1フレームごとに呈示し、続いて左下から順に1フレームごとに呈示した。これを繰り返すことで、手首を屈曲-伸展する動画とした。

今回は、Continuous Flash Suppression (以下 CFS) を実現するための長方形をたくさん重

ねた刺激（図 1）をプログラムにより作成すると同時に、様々な角度の手の写真（図 1）を読み込み、行列として処理することで、輝度を調節する処理を行った。また、それぞれの映像はモニタの垂直同期時間ごとにどのような刺激を呈示するかを指定するプログラムを作成した。

LabView は、ウインドウ上で、ブロックダイアグラムを結合することで、視覚的にプログラムを組むことができるのが特徴の言語である。特に、日本ナショナルインストゥルメンツ株式会社が提供するハードウェアとの互換性の高さから、心理物理学研究や、工学研究などでよく用いられている。本研究では、比較的シンプルな、指定されたタイミングで音を出すプログラムを作成した。

LabView では、基本的な機能は VI と呼ばれる素子に格納されている。例えば、”音を出す”という機能も、素子に格納されており、そこに音の高さ、呈示時間などの変数を接続することで、思い通りの制御が実現できる。

最後に、Chart も含めた 3 つのソフトウェアで同期をとる方法について解説する。今回は、視覚刺激呈示用 MATLAB から、参照となる刺激を呈示したタイミングに、オーディオジャックから、電圧を出力させ、それを LabView および Chart に入力するプログラムを用いた。この信号を用いて、LabView に音を出力するタイミングを指定するとともに、どのような刺激がどのようなタイミングで呈示されているかを Chart で記録した。

（３）実験セットアップ

本研究では、非常に高い時間周波数を持つ視覚刺激を呈示しなければならない。この際、モニタ、ビデオカード、制御プログラムの時間解像度について十分な理解をしなければ、呈示したい映像と実際に呈示された映像が異なるという現象が生まれる。

特に注意すべき点は、CRT（ブラウン管）モニタと、液晶モニタの応答特性の違いである。CRT モニタはその特質上、モニタに入る信号と実際の呈示のズレは 1 ミリ秒以下である。一方、液晶モニタは、機種にもよるが、信号の ON-OFF に対して、素子が応答するまで、一般的には 8 ミリ秒ほどの誤差が存在する。また、この誤差はそのときの呈示輝度によって異なるため、ミリ秒単位の制御が必要な実験では、CRT モニタを用いるのが一般的である。しかし、CRT モニタ自体が現在では、ほとんど製造されておらず、近い将来、液晶モニタでの実験を行わなければならない可能性も多分にある。今回は、中古の CRT モニタで実験を行ったが、比較的応答速度の早い（5 ミリ秒）液晶モニタ（EV2411W-H、株式会社ナナオ、石川県）を使用する場合の時間制御についても考察した。

（４）実験遂行時の注意点

被験者に先入観がかからないような教示の方法、また潤滑に実験を遂行し人的過誤（ヒューマンエラー）を少なくするためにどのように実験者側の行動をあらかじめ決定しておかなければならないかについて考察した。ヒトを対象とする実験の場合、実験時

の自由度をゼロにするのは得策ではない。なぜならば、相手がヒトである以上、疲労などの効果は人それぞれで、ある程度柔軟に対応する必要があるからである。一方、均一なデータを取得するためには、同一の教示、同一の時間幅で実験を遂行するのが望ましい。どの部分に自由度を持たせることが適切で、どの部分には自由度を持たせてはいけないのかについては、よく考えて実験を計画する必要がある。

(5) 解析プログラム

本研究では、被験者の手首の関節角度の時系列データと、呈示画像および音声のタイミングが電圧として得られる。この電圧データをどのように解析し、仮説を検証するかについては様々な可能性が考えられる。今回は、いくつかの解析を探索的に試行することで、より多くのプログラムに触れ、MATLAB プログラミングの構造に慣れる機会を持った。

具体的には運動のピーク位置を同定し、それと映像の運動のピークとの相互相関、ピーク位置の分散、および時系列自己相関 (correl 関数を使用) を求めるプログラムを作成した。これらは履修者 (MATLAB 初学者) にとっては複雑な構造をしているが、ほとんどはよく用いる関数で構成されているため、構造を学ぶ良い教材となったと思われる。注目して学んだ構造としては、for ループ構造、if 構文による分岐などが挙げられる。

3. 研究報告

以上のように実際の研究を通じて授業履修者は様々なテクニックを学習した。本項では我々が行った研究について報告する。

(1) 緒言

本研究は、他者運動の視覚入力から他者の運動意図を理解する際、視覚意識がどのように関わるかを明らかにすることを目的とする。

他者の意図を理解するための情報処理は、ミラーシステムと呼ばれる機構が基盤になっていると考えられている。ミラーシステムとは自己の運動表象を利用して他者の運動を理解する機構のことで、自己の運動生成に関与する脳内運動領域 (運動前野、下頭頂領域など) が、他者が同じ運動を行っているのを観察するときにも活動するという現象から提案されたものである (Rizzolatti et al., 2004, Buccino et al., 2001, Gangitano et al., 2001)。ミラーシステムの行動科学的証拠としては、他者の行う運動を真似することは容易であるが、その運動と反対の運動や、少し時間的にずれた運動を行うのは難しいことがあげられる (Kilner et al., 2003, Oouchida et al., 2004, Hirose et al., 2005, 大内田ら 2007)。これは他者運動の視覚情報がミラーシステム内の自己の運動表象に干渉することによって生じると考えられている。

しかし、ミラーシステムを駆動する視覚情報が、視覚意識、すなわち「見る」という主観的経験を伴う必要があるか否かは未だ明らかではない。我々が他者の意図を理解する際、その他者を“見た”という経験は重要な要素であると思われる。しかし近年、感情など限定された他者の情報は視覚意識が無くても自動的に処理されていることが示されつつある(Jiang and He, 2006; Jiang et al., 2009)。さらに、ミラーシステムに深く関わると考えられている頭頂領域は、視覚情報処理経路の中では、視覚意識との関連が薄いと考えられている背側経路に属する。これらのことから、ミラーシステムの一部は、視覚意識を必要としない処理を行っている可能性は十分考えられる。

我々の先行研究により、他者の手首の屈曲—伸展を観察しながら、手首の屈曲—伸展の周期運動を行う際、同じ視覚刺激を観察していても、映像中の手と同期した屈曲—伸展を求める場合に比べ、他者の手首が屈曲している際に伸展、伸展している際に屈曲することを求められた場合、運動が乱れることが報告されている(Oouchida et al., 2004)。本研究では、この課題を発展させ、音に合わせて手首を屈曲—伸展させた際に、受動的に手を観察させ、その映像がどのように手首運動に影響を及ぼすかを調査する。

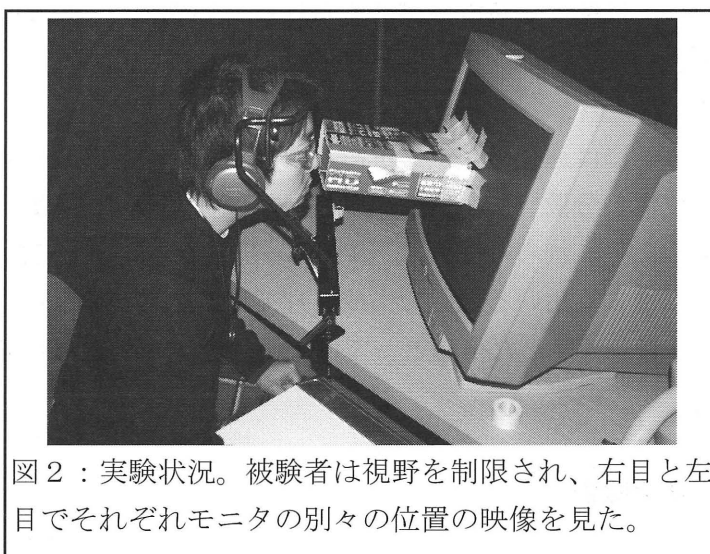


図2：実験状況。被験者は視野を制限され、右目と左目でそれぞれモニタの別々の位置の映像を見た。

(2) 方法

記録装置および刺激呈示装置

正常視力を持つ右利き男性1名が実験に参加した。被験者は暗室中で椅子に座り、ヘッドホン(MDR-XD050; Sony、東京)を通して交互に聞こえる高音(800Hz)および低音(600Hz)のトーン音(50ミリ秒)に合わせ、右手首を屈曲—伸展させる課題を行った。高音のトーン音が聞こえた時には、手を伸展方向に、低音の



図3：手首の角度を測定するための装置。上腕および手に、装置をバンドで固定し、可動部分にゴニオメーターが取り付けられた。

トーン音が聞こえた時に、屈曲方向に動かすことが求められた。トーン音は、160 ミリ秒ごと (6Hz) に呈示され、被験者は 3Hz で、手首を屈曲-伸展する動作を求められることになる。

被験者は実験を通して、顎台に顎を乗せ、視野制限装置を通して目から約 25cm 先にあるモニタ (垂直同期周波数 = 60Hz; 日本 SGI 株式会社、東京) を観察した (図 2)。被験者の右目にはモニタの右側の一部 (5cm×5cm) 左目にはモニタの左側の一部 (5cm×5cm) に呈示された映像のみが入力された。また、被験者は偏光眼鏡をかけており、右目に入力される像と左目に入力される像は、あたかも同一の場所にあるように見える状態であった。視覚刺激の呈示は、パーソナル・コンピュータ (Power Book G4 (Intel); Apple Inc.、アメリカカリフォルニア州) 上の Matlab 8.2 および Psychtoolbox により制御された。

被験者の右手には被験者の手首の角度を計測する装置 (図 3) が取り付けられた。装置には、ゴニオメーター (CP-2FB; 緑測器、東京) が取り付けられており、被験者の手首の角度が、A/D 変換器 (PowerLab) およびパーソナル・コンピュータ (LATITUDE D510; デル株式会社、神奈川) 上の計測ソフトウェア (Chart 5.5) により計測された。被験者は、自身の手の運動は見えない状態であった。

視覚刺激および課題条件

被験者の右目には、白もしくは黒の、長方形を複数重ね合わせた図形 (CFS 刺激; 図 1 A) が呈示され、左目には手首が屈曲-進展している手の画像 (手刺激; 図 1 B) が呈示された。右目に呈示される画像は、モニタの垂直同期時間 (16 ミリ秒) ごとにランダムに変わり、時間、空間的に高い解像度を持った刺激であった。この刺激が片方の目に入力されるとき、逆の目に同じ位置の情報として入力された視覚情報は視覚意識にはのぼらない場合があることが報告されている (Tsuchiya and Koch 2005)。本研究でも、手刺激は、事前に輝度を調節することで、手刺激、CFS 刺激の両方を呈示した場合は視覚意識にのぼらず、手刺激のみを呈示した場合は視覚意識にのぼる状態であった。また、手首の屈曲-伸展の画像 (手刺激) は、最大屈曲から、最大伸展までを 10 枚に分割した前腕の中央部あたりから、手

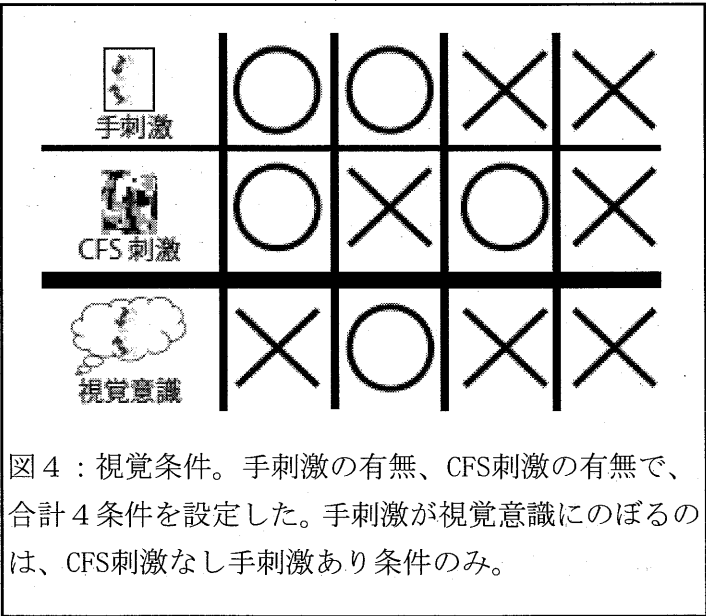


図 4：視覚条件。手刺激の有無、CFS刺激の有無で、合計 4 条件を設定した。手刺激が視覚意識にのぼるのは、CFS刺激なし手刺激あり条件のみ。

首の先端までが映っている写真を連続呈示した。これは、ヒトが屈曲-伸展の周期運動を繰り返しているように知覚される刺激であった。画像中の腕ふりは 3Hz で、高音が鳴ったときに最大屈曲し低音が鳴ったときに最大伸展、もしくは低音が鳴ったときに最大屈曲高音が鳴った時に最大伸展する映像が呈示された。

被験者は、4 種類の視覚条件（[CFS 刺激呈示、非呈示] × [手刺激呈示、非呈示]）のそれぞれの条件で課題を行った（図 4）。CFS 刺激が呈示されている場合、手刺激が呈示されていても、手は被験者の視覚意識にはのぼらない。また、手刺激が呈示されている場合、被験者自身の手の運動が画像中の手と同じ動きであることを求められる条件を同位相条件、逆の動きを求められる条件を逆位相条件とした。また、手刺激が呈示されていないときについても、手刺激の同位相条件と、同じ時系列の運動を要求される条件を同位相条件、逆の時系列の運動を要求される条件を逆位相条件とした。結局、被験者は 8 条件（4 [視覚条件] × 2 [同位相条件、逆位相条件]）の課題に参加した。

各試行は、10 秒間（30 往復の手首の往復運動）からなり、被験者は、8 つそれぞれの条件での試行に 10 試行ずつ、合計で 80 試行の実験に参加した。条件の順序はランダムに設定した。

データ解析

被験者の手首の角度が、伸展方向のピーク位置に来た時刻を記録し、ピーク位置から次のピーク位置までの時間を算出、各試行でのその時間の標準偏差を計算し、運動の乱れの指標として用いた（単位：ミリ秒、図 5）。このとき、試行の始まりから 2000 ミリ秒のデータは除外された。さらに、

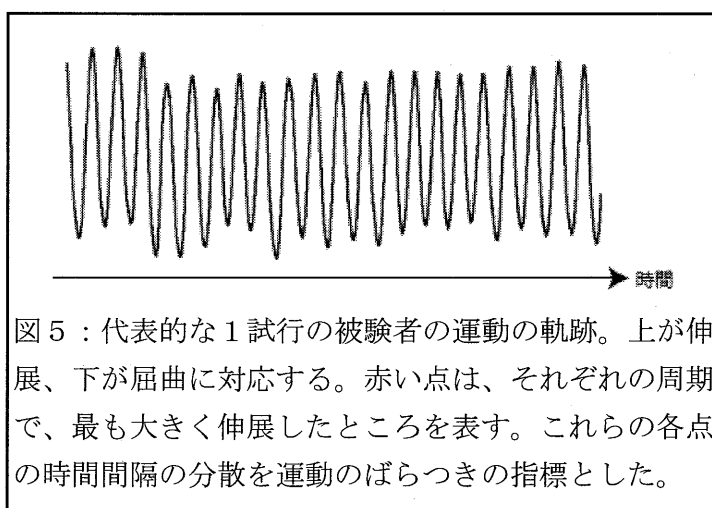


図 5：代表的な 1 試行の被験者の運動の軌跡。上が伸展、下が屈曲に対応する。赤い点は、それぞれの周期で、最も大きく伸展したところを表す。これらの各点の時間間隔の分散を運動のばらつきの指標とした。

ひとつでもピーク間間隔が 450 ミリ秒を超えたもの、運動の乱れの指標が 50 ミリ秒を超えていたものは、正常な周期運動が繰り返されていないと考え解析からは除外した。

運動の乱れの指標は、視覚条件が同じ同位相条件と逆位相条件の間で対応の無い t 検定を行った ($p < 0.05$)。

（3）結果

適切な運動が行われず解析から除外されたものは、CFS 刺激あり手刺激なし条件の逆位相条件、CFS 刺激なし手刺激あり条件の同位相条件、CFS 刺激あり手刺激ありの

同位相条件と逆位相条件でそれぞれ 1 試行、CFS 刺激あり手刺激なし条件の同位相条件と CFS 刺激なし手刺激あり条件の逆位相条件で 2 試行であった。

CFS 刺激あり手刺激あり条件の逆位相条件で運動の乱れが最も大きく(21.2 ミリ秒)、CFS 刺激あり手刺激あり条件の同位相条件で運動の乱れは最も小さかった (13.1 ミリ秒)。

また、t 検定の結果、CFS あり手刺激あり条件の同位相条件と逆位相条件でのみ有意な差が見られ($p < 0.05$)、他の条件では差は見られなかった (図 6)。

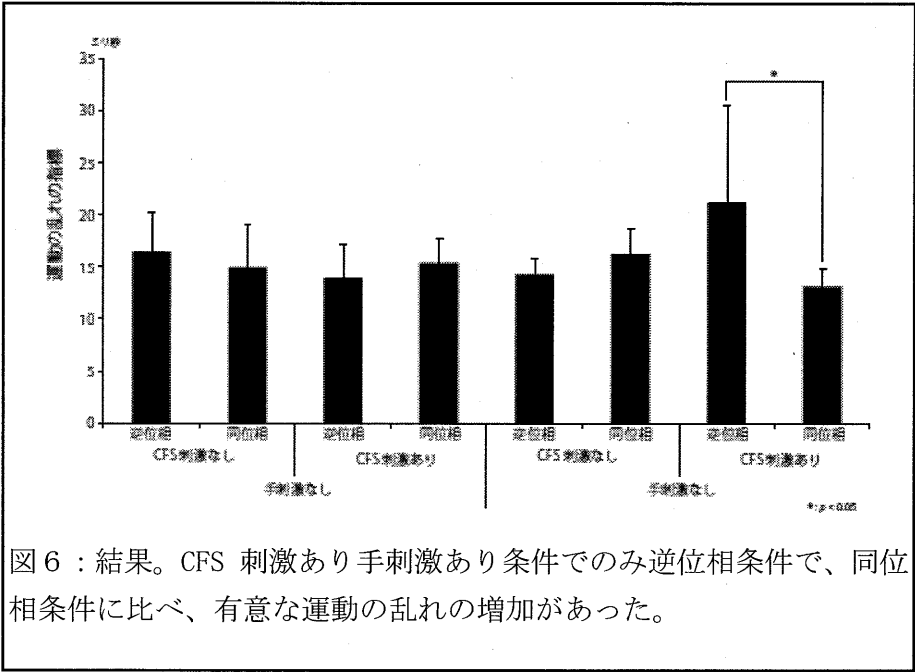


図 6：結果。CFS 刺激あり手刺激あり条件でのみ逆位相条件で、同位相条件に比べ、有意な運動の乱れの増加があった。

(4) 考察

本研究では、同位相条件に比べ、逆位相条件で、どれだけ運動が乱れるかを観察することで、視覚刺激中の手運動の自己運動への影響を調査した。

全条件を通して 8 試行で、適切な運動が行われず、解析から除外した。除外したどの試行も、平均より大きく運動は乱れており、また、同位相条件と逆位相条件で、優位な差が見られなかった視覚条件では、同位相条件の方が多く、もしくは同位相条件と逆位相条件で同数の試行を除外した。これはもしこれらの試行を含めても、逆位相条件の方が同位相条件より運動の乱れが大きくなることはないことを示す。また、唯一同位相条件と逆位相条件の間に優位な差が見られた CFS あり手刺激あり条件では、どちらも 1 試行が除外されているため、この処理が結果に影響したとは考えにくい。

本研究では、手刺激なし CFS 刺激あり条件で、先行研究で見られた手刺激の効果と同様に(Oouchida et al., 2004)、逆位相における運動の乱れが観察された。これは、視覚意識がなくても、他者運動の視覚情報は、自己の運動生成のための情報処理に干渉を与えうることを示している。先行研究では、一部の視覚情報はマスク刺激(本研究の CFS

刺激)により視覚意識が消失した場合でも連合野まで送られることが明らかになっている。本研究は、他者の運動情報も、視覚意識の有無にかかわらず、自己の運動生成に関わる領域まで運ばれていることを示唆した。

また、我々の研究では、先行研究とは異なり、映像中の手の運動が視覚意識にのぼる CFS 刺激なし手刺激あり条件では、視覚情報の効果は確認されなかった。これは、先行研究では、手の視覚刺激を手がかりに、同じ運動、逆の運動を生成しなければならないのに対して、本研究では、手の視覚刺激を運動の手がかりにする必要がなかったためではないかと考えられる。

近年、課題と関係のない情報は、意識にのぼらない場合の方が、意識にのぼる場合よりも課題に関係のある情報処理を阻害することが明らかになりつつある (Tsushima et al., 2006)。これは、意識にのぼる刺激は、自動的な情報処理を抑制することが可能であり、意識にのぼらない刺激は自動的な情報処理を抑制できないためであると考えられており、本研究においても、意識にのぼる他者運動の視覚刺激は、処理が抑制され、自己の運動への影響はなかったと考えられる。

本研究の結果は、意識下の他者運動の視覚刺激が、自己運動に影響を与えたことを示すのみならず、その影響は自己運動生成にとって邪魔になるとときには意識の介在により、その処理を抑制している可能性を示唆した。

引用文献

- G Rizzolatti and L Craighero, THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annu Rev Neurosci* (2004) vol. 27 (1) pp. 169-192
- G Buccino, F Binkofski, G R Fink, L Fadiga, L Fogassi, V Gallese, R J Seitz, K Zilles, G Rizzolatti and H J Freund, Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *Eur J Neurosci* (2001) 13 (2) 400-4
- M Gangitano, F M Mottaghy, A Pascual-Leone. Phase-specific modulation of cortical motor output during movement observation. *Neuroreport* (2001) 12 (7) 1489-92
- J M Kilner, Y Paulignan, S J Blakemore, An interference effect of observed biological movement on action. *Curr Biol* (2003) 13 (6) 522-5
- Y Oouchida, T Okada, T Nakashima, M Matsumura, N Sadato and E Naito, Your hand movements in my somatosensory cortex: a visuo-kinesthetic function in human area 2. *Neuroreport* (2004) 15:15(13):2019-23.
- Y Jiang, R Shannon, N Vizueta, E Bernat, C Patrick and S He, Dynamics of processing invisible faces in the brain: Automatic neural encoding of facial expression information. *Neuroimage* (2009) 44 (3) 1171-1177
- Y Jiang, S He, Cortical Responses to Invisible Faces: Dissociating Subsystems for

Facial-Information Processing. *Current Biology* (2006) 16 (20) 2023-2029

Y Tsushima, Y Sasaki and T Watanabe, Greater Disruption Due to Failure of Inhibitory Control on an Ambiguous Distractor. *Science* (2006) 314 (5806) 1786-1788