

令和5年5月18日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

未来の行動のための視覚処理促進を実現する脳機能 手が移動する前に手の移動先に向けられる視覚的注意の発見

【発表のポイント】

- 手を移動させるときの脳波を計測したところ、意識的に注意を向けること（トップダウン注意^(注1)）なく、移動先の視覚処理を促進すること（注意効果）を示しました。
- 手の移動先の注意効果は、移動のゴール付近で顕著であり、周囲に広く広がるトップダウン注意と異なることを示しました。
- 本成果はトップダウン注意と異なる機能を持ち異なる脳処理に依存した、手の移動先に向けられる注意が存在することを意味します。これは手による効果的な操作に貢献していると考えられます。

【概要】

脳の注意効果には意識して向けるトップダウン注意と、明るい対象など目立つ刺激に向けられるボトムアップ注意^(注2)の2つがあることが知られています。また近年、手の周りなどの視覚刺激に対する身体性注意という注意効果があることも指摘されています。手の周りに視覚的注意を向けることは、手で様々な操作を行うために有効であり、手が動くときはそれに先行した注意効果があるはずです。

これまで指差しが求められる実験において、指差しをする以前に注意効果が生じることが報告されています。しかしその機能がトップダウン注意であるかそれとは異なる処理過程によるのかは不明でした。

東北大学の研究グループは、手の運動のゴール位置と異なる場所にトップダウン注意を向けた場合にも、ゴール位置への注意効果があることを脳波計測によって明らかにしました。手の運動のゴール地点とトップダウン注意位置は大きく異なることから、両者が異なるメカニズムによることがわかりました（図1）。したがって手の運動のゴール位置には、意識的に向けるトップダウン注意とは別の注意メカニズムが働くことがわかります。この効果は手が見えない条件でも得られることから、手の運動を制御する脳処理の過程からの視覚処理への影響と考えることができます。

本成果は2023年5月8日、神経科学分野の国際誌 Journal of Cognitive

Neuroscience に掲載されました。

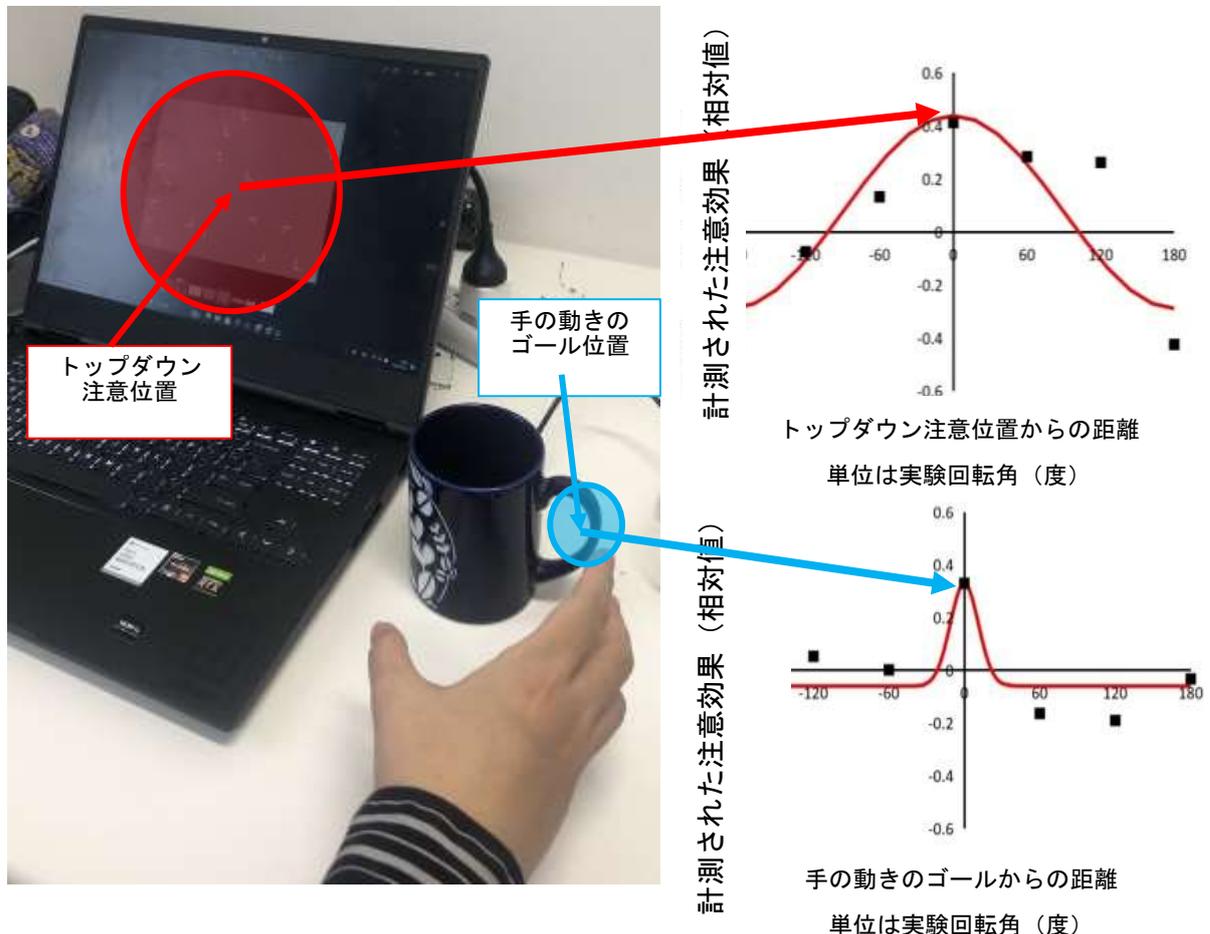


図 1 人は日常生活で様々な作業を同時に行うことができます。そのためにはそれぞれの作業に対して必要な注意を向けていると考えられます。例えば PC 作業中に飲み物を取るとき、手に取るカップに注意が向けられると考えられますが、それは画面に注意を向けたままでも可能かもしれません。本研究では画面に向けられた注意とは別に、手による操作対象に向けられる注意があり、しかもそれは手が動く前から働くことを明らかにしました。画面での作業のために向けられる注意、トップダウン注意は、注意位置の周りに広がる (右図 A) のに対して、手の動きのゴールの注意は、その周囲に限定される (右図 B) ことも明らかにしたことから、2つの異なる注意プロセスがあると考えられます。

【詳細な説明】

研究の背景

注意は人間の認識、行動において多くの対象からひとつを選択する人間にとって重要な脳機能といえます。視覚的注意は時事刻々と与えられる膨大な網膜情報から、重要とみなされる情報を選択する過程であり、その後の行動に大きな影響を及ぼします。

これまで注意に関する研究により、視野中のある場所に意識的に向ける注意（トップダウン注意）と目をひく視覚情報に自動的に向けられる注意（ボトムアップ注意）について多くの知見が得られています。一方それらとは異なる注意効果として、手の周囲における視覚処理の促進効果である身体性注意が知られています。手の周囲への視覚的注意は、手による操作をよりの確に実行するための機能と考えることができます。したがって、様々操作をする場面では手の動きに先行した視覚注意が想定できます。本研究グループは、そのような注意効果の存在を確認しました。

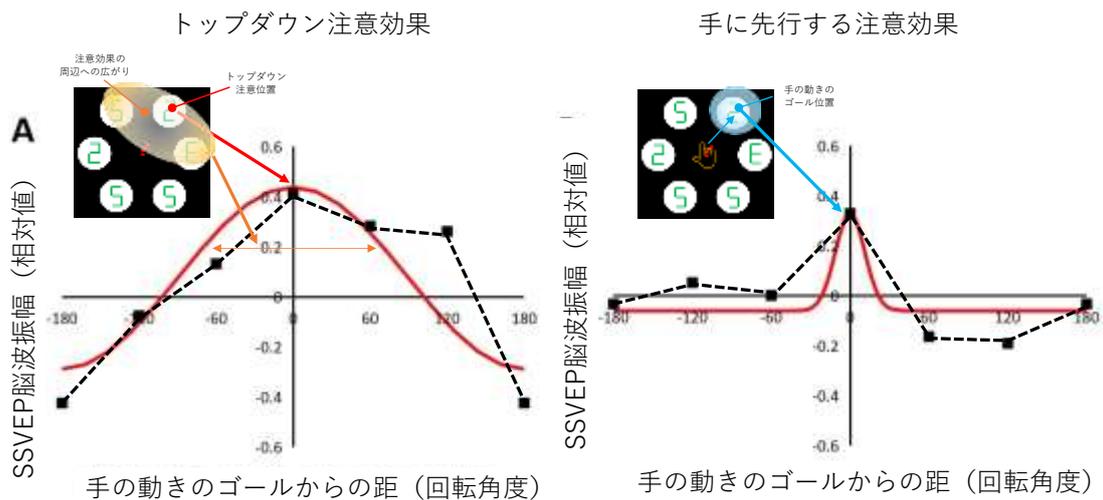


図 2 実験には円周上に並べられた 6 つのそれぞれ異なる周波数で明滅する円盤刺激を用いました（各図左上）。それぞれの周波数に対応する脳波 (SSVEP) の振幅を計測することでそれぞれの場所での注意効果を測定することができ、注意の広がりや推定できます。実験参加者は手がかり刺激（中央の赤い線分）で指示された円盤に手を動かし、手の運動に先立ち手がかり位置あるいは反対位置に提示される文字を読む課題を行いました。比較のために手を動かさない統制条件も実施しました。手を動かさない条件の結果は、視覚のトップダウン注意の計測であり、従来の結果と同様に注意位置の周りに広がる空間特性を示しました（右図 A）。手を動かさない条件の結果から手を動かさない条件の結果を差し引いたものが、手の動きの効果であり、その注意効果は手の動きのゴール位置に限定される（右図 B）ことを明らかにしまし

た。これらの結果は 2 つの異なる注意プロセスがあるとの考えを支持するものです。

今回の取り組み

異なる注意を調べるためには、異なる刺激に対する注意効果を同時に計測する必要があります。脳波によって視覚的注意効果の典型的な方法は、ディスプレイに提示される視覚刺激（小さな円刺激など）に対する応答、事象関連電位(Event Related potential, ERP)を計測する方法です。一般に注意を向けた位置に対する ERP は大きな値になることから、ERP の大きさによって注意の程度を評価することができます。しかし、この方法はパルス状の刺激への応答の計測であり、複数の場所において同時に注意効果を計測することはできません。本研究では、定常的視覚誘発電位(Steady State Visual Evoked Potential, SSVEP)を用いた注意計測法方法を用いることで、多点同時計測による注意効果の計測を、手の運動に先行する時間帯で計測することを実現しました。

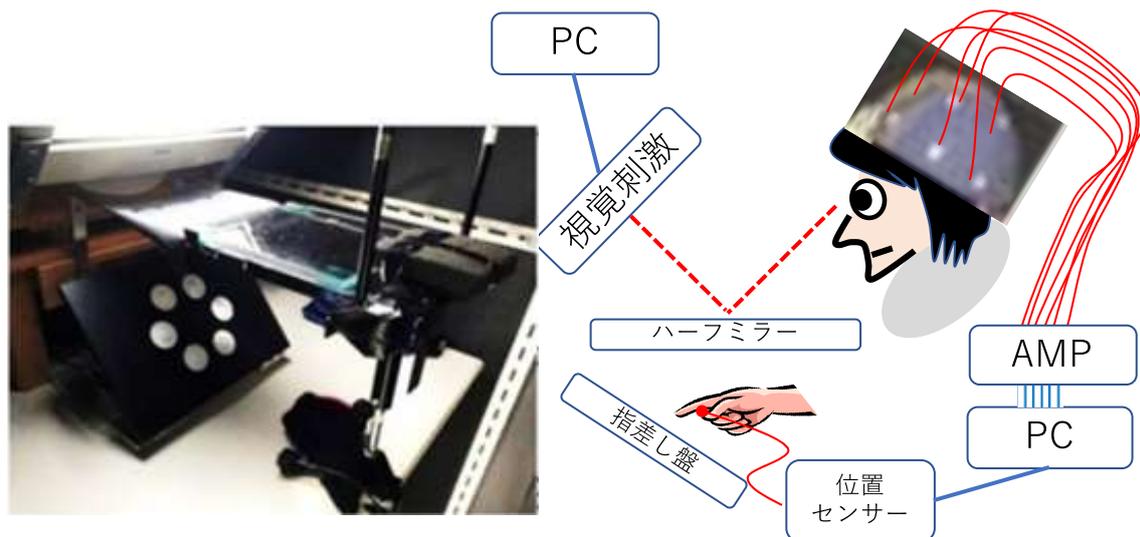


図 3 手が見えない状況で手の動き位置に対する位置の視覚刺激を設定するための実験環境。視覚刺激はハーフミラーを介して観察される。ハーフミラーの下を照明することで、実験開始前に手の位置と視覚刺激の対応を確認でき、実験中は照明を消すことで手は見えない。人差し指につけた位置センサーで手の位置を計測し、脳波計によって脳波を計測した。

トップダウン注意と手のゴールへの注意を分離して計測するために、手の動きのゴールと視覚課題を与える位置を同じ条件とそれらが異なる条件を設定して実験を行いました。それぞれの条件で、手の動きの有無を比較することで、手の動きのみの影響を調べることができます。視覚課題は、瞬間提示される文字が E か 3 かを見分けるもので、その課題を遂行するためには指定された位置

に視覚的なトップダウン注意を向けることが要求されます。同時に手の移動が要求される課題においては、トップダウン注意と別に手の動きのゴール位置に向ける注意が存在するか否かを調べることができます。そのような注意がある場合は、トップダウン注意と同じ位置に手を動かす場合は加算的な注意効果が、別の位置に動かす場合はトップダウン注意位置の影響がない手のゴール位置の効果が予想されます。

図3に実験結果を示します。それぞれのパネルの横軸は手がかり刺激の示す位置からの距離を回転角度で表し、縦軸はSSVEP脳波の振幅を正規化した値です。横軸0度は手を動かす位置で刺激の中心付近に提示される線分で示されました。手がかり刺激は、手を動かす場合は手のゴール位置、そうでない場合は視覚刺激の位置(same条件)かその反対(opposite条件)かになります。手のゴール位置の刺激に注意を向けそこに提示された刺激を読み取るのがMS条件(moving hand & same location)、逆方向の刺激の場合はMO条件(moving hand & opposite location)です。同様の刺激呈示で手の運動を求めないものが、SS条件(stationary hand & same location)とSO条件(stationary hand & opposite location)です。MS条件とSS条件は手がかり刺激と視覚刺激位置が同じであるのに対して、MO条件とSO条件は手がかり刺激と視覚刺激位置が逆となっています。手の動きの有無の条件の結果の間の差を取ることで、手の動きに依存した注意効果を求めることができます。図中のHSは手がかりが同じ条件での手の動きの有無の差(MS-SS)、HOは手がかりが逆の条件(MO-SO)での手の動きの有無の差を示します。HHとHOは、トップダウン注意の位置が異なるが、いずれも手のゴール位置に注意効果が見られます。しかも、その空間特性(広がり方)も類似している。またSS条件とSO条件は、トップダウン注意の効果のみを示しますが、注意位置の周囲に広がっています。

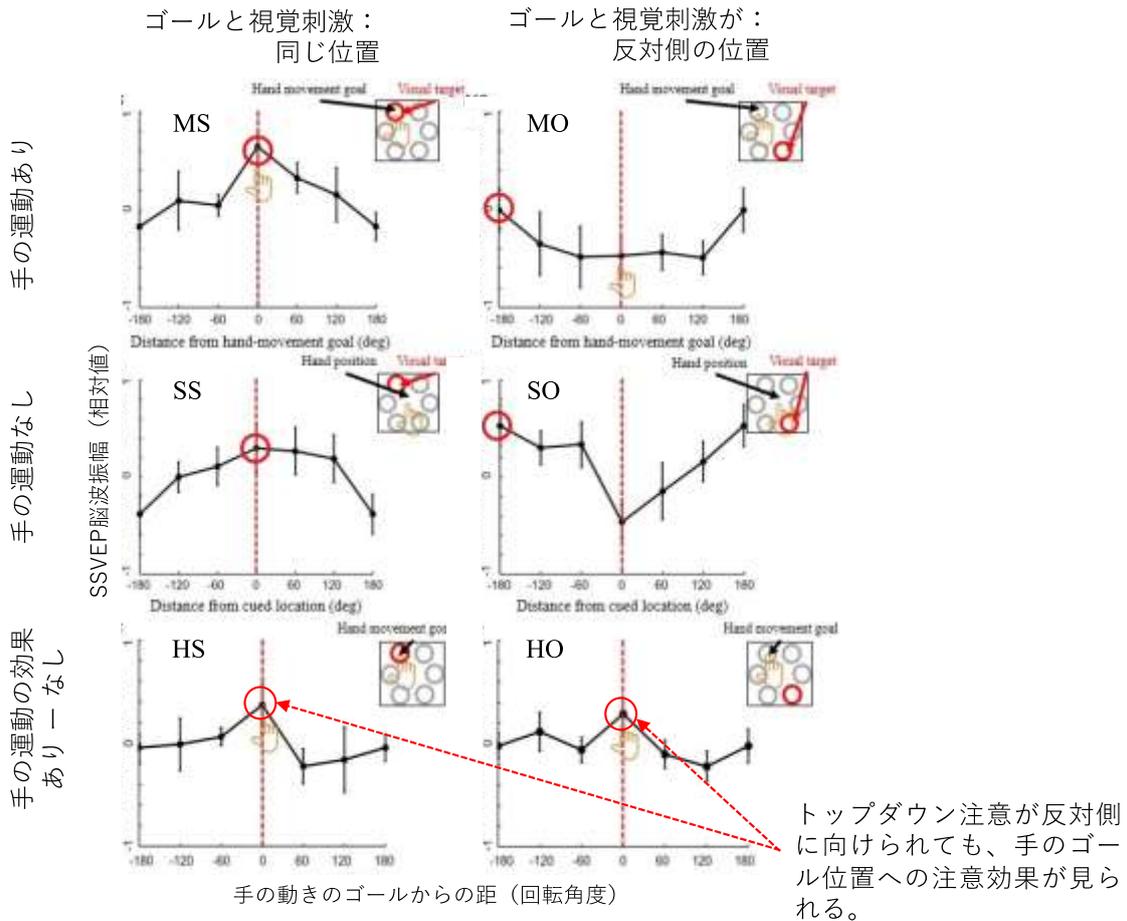


図 4 SSVEP による注意効果の推定。横軸 0 度は手を動かす位置。手のゴールと視覚刺激呈示位置が同じ場合は MS 条件 (moving hand & same location)、逆方向の場合は MO 条件 (moving hand & opposite location) であり、それぞれで手を動かさない条件は SS 条件 (stationary hand & same location) と SO 条件 (stationary hand & opposite location) である。手を動かさない条件の横軸 0 度は、手がかり刺激の指し示す方向であり、SS 条件ではその方向に視覚刺激が提示され、SO 条件では逆方向に視覚刺激が提示される。つまり MS 条件と SS 条件は手がかり刺激と視覚刺激位置が同じであるのに対して、MO 条件と SO 条件は手がかり刺激と視覚刺激位置が逆である。MS 条件と MO 条件が手を動かす条件、SS 条件と SO 条件が手を動かさない条件である。手の動きの有無の差を取ることで、手の動きに依存した注意効果を示すことができる。HS は手がかりが同じ条件 (MS-SS)、HO は手がかりが逆の条件 (MO-SO) の結果である。

今後の展開

危険を伴う作業、高い技能の取得、機器の正確な操作など、手を使った操作をする場合に、注意がどこに向けられているかを知ることは重要です。行動と認識が強く関連している身体性注意の理解は、それらの場面における的確支援シ

システムの開発に貢献できると研究グループは考えています。研究グループは特に、意図的に向けられるトップダウン注意と異なる注意メカニズムが協調的に働くとの知見は、無意識的な行動と認知の協働効果を含むことから、他者への技術を伝える場合や、環境の安全性を評価する場合などにおいて、主観的な判断のみに頼ることによる情報の欠如を招く可能性があることを認識すべきと考えます。各種操作業務の効率化や安全性強化などに対して、身体性注意効果を考慮することでよりの確な支援が可能となることが期待できます。さらに、AIやロボットが自律的になんらかの操作をする場合や、さらに自律的に行動を伴う技術を学習する状況において、人と同様の特性を持たせることでより効果的で同時に人と協調的な能力の習得も可能となるかもしれません。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP18330153、JP19H01111、東北大学ヨッタインフォマティクス研究センターの支援を受けて行われました。

【用語説明】

注 1. トップダウン注意

視線を正面に向けながら視野の片隅でものをみることができます。そのときには視線と独立に意識的に注意を向ける対象を決め、その位置での情報処理を選択的に促進していると考えられています。視線を固定していても、注意を向けた位置に提示された視覚情報はそれ以外の位置に提示された場合に比べて、処理が早く正確であり、また見落とすことが少ないことが知られています。

注 2. ボトムアップ注意

視野内に突然光るものが現れた場合に、そこに注意が引きつけられます。そのような場合には、視線も向けられますが、視線が固定されている場合でもその効果があることは実験的に示されています。また、視線移動がある場合も注意効果はそれに先立って生じていることもわかっています。

注 3. 身体性注意

身体近傍の刺激に対する処理の促進効果。例えば視覚刺激の検出にかかる応答時間を計測する課題に対して、手が視覚提示画面に近づける場合、膝の上に置いた場合より短時間で検出できるなどの実験結果が示されています。

注 4. 定常的視覚誘発電位(Steady State Visual Evoked Potential, SSVEP)

脳波による視覚応答を推定する手法の一つです。定常的に特定の周波数で明滅する視覚刺激に対する応答から注意の程度を推定するもので、異なる周波

数の刺激を利用することで、同時多点計測が可能になります。

【論文情報】

タイトル : Different mechanisms for visual attention at the hand-movement goal and endogenous visual attention

著者 : Wei Wu, Zhan Li, Takumi Miura, Yasuhiro Hatori, Chia-huei Tseng, Ichiro Kuriki, Yoshiyuki Sato, Satoshi Shioiri

*責任著者 : 東北大学電気通信研究所 教授 塩入諭

掲載誌 : Journal of Cognitive Neuroscience

DOI: https://doi.org/10.1162/jocn_a_02005

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学電気通信研究所

教授 塩入諭

TEL: 022-217-5468

E-mail: satoshi.shioiri.b5@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学電気通信研究所

総務係

TEL: 022-217-5420

E-mail: riec-somu@grp.tohoku.ac.jp