

脳ネットワークの制御に着目した 選択的注意のメカニズムの解析

Neural mechanism of selective attention: Roles of brain network regulation

代表研究者

森島陽介 東京大学医学系研究科認知言語神経科学分野・助教

Yosuke Morishima

Assistant Professor, Department of Cognitive Neuroscience

Graduate School of Medicine, The University of Tokyo

要旨

近代以降の機械の発達により人間の活動範囲は飛躍的に広がり、現代社会においても機械の果たす役割はますます大きくなっている。しかしながら、機械の発達によってもたらされている不幸な事故も少なくなく、その多くはヒューマンエラーに基づくものとも言われている。ヒューマンエラーに基づく事故を減らしていくためには人間は必ず間違いを起こす存在であるという前提で、人間の認知様式の欠点を補うようなインターフェースを開発していく必要があると考えられる。しかしながら、人間の認知様式に対する科学的な理解が十分でない現状においては、まずは人間の認知様式の解明が望まれるところである。人間の認知機能の中でも「選択的注意」は外界からの情報を効率よく処理するために取捨選択する働きをしており欠かすことの出来ない脳機能である。本研究課題では申請者が世界に先駆けて確立した脳波と経頭蓋磁気刺激の同時使用による脳領域間の情報伝達効率を測定する実験系を用いて、ヒトが外界からの情報に対して注意を向けた際にどのような脳ネットワーク制御が行われているのかを調べ、選択的注意の神経メカニズムを明らかにする。この研究で得られる知見は人間の「認知様式に合わせた」インターフェースの開発の為に基礎データとして貢献できると考えられる。

Abstract

The growth of the industries has brought enormous benefit to our daily lives. However, it has also brought unfortunate accidents due to human errors. In order to reduce such accidents as a long-term goal, we first focus to elucidate why our cognitive system makes errors. Selective attention is one of the most important abilities to efficiently process information from the external world, but we sometimes fail to grasp the information to be attended. The specific aim of this project is to reveal why the attentional system fails to capture the information. To address this issue, we will investigate the inter-regional signal flow in the brain by concurrent recording of electroencephalography and trans-cranial magnetic brain stimulation.

1. 研究目的

ヒトは外界からの情報をその時々、目的に応じた形で取捨選択をすることで効率の良い情報処理を行っている。これまでのヒトやサルを用いた機能的 MRI や電気生理学的手法による研究で、脳内のどの領域が働いているかは詳細に明らかにされてきたが、脳はネットワークして働くことによりその機能を果たしていると考えられる為、脳機能のメカニズムを明らかにするためには、ネットワークとしての脳の働きを明らかにすることが不可欠である。

著者は脳のネットワークの動作様式を解析するため、脳波記録中に経頭蓋磁気刺激を与える事により、認知課題遂行中の脳領域間の情報伝達効率を定量的に測定する実験系を確立することに成功した。この実験系の特色として、磁気刺激のタイミングを変えることにより 10 ミリ秒単位での脳のダイナミクスの変化を捉えることができるので、10 ミリ秒単位で変化するような脳機能を明らかにすることが出来る。

本助成課題では独自に確立した脳波記録に磁気刺激を与えて脳領域間の情報伝達効率を測定する手法(図 1)を用いて、ネットワークとしての脳の働き方を調べる事により、選択的注意の神経メカニズムを明らかにするものである。

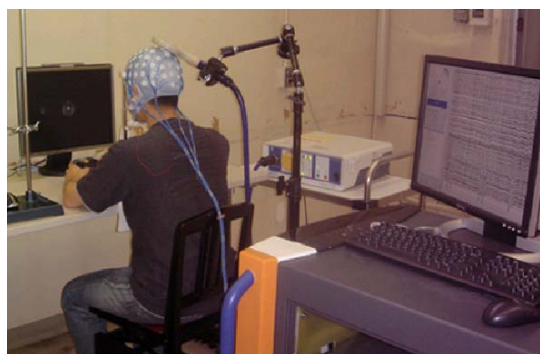


図 1. 脳波磁気刺激実験の実験装置

2. 研究経過

1. 選択的注意における課題特異的なトップダウンシグナルの同定

本実験に用いた視覚刺激のパターンを図 2 に示す。

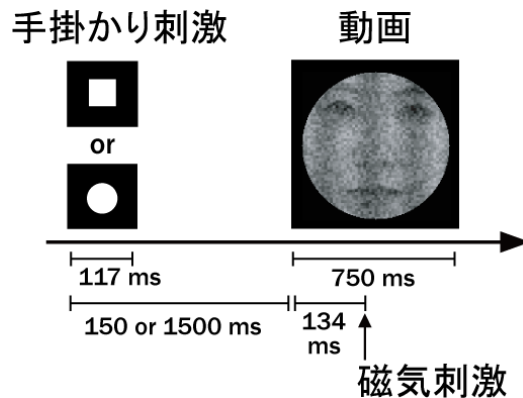


図 2 実験 1 で用いた視覚刺激

刺激は顔写真の上に、右もしくは左に動く縞模様が重ねられた動画が表示される。この動画が表示される前に手がかり刺激が表示される。この手がかり刺激が丸であった場合、被験者は動画の顔が男性か女性かを答え、手がかり刺激が視覚であった場合、縞模様が右か左のどちらに動くかを答えるよう指示されている。また、手がかり刺激から動画の提示までの間隔は 150 ミリ秒、1500 ミリ秒と 2 種類の間隔が存在する。視覚刺激のサイズは visual angle で約 5 度である。脳波計は Nexstim 社の磁気刺激に対応、60 チャンネルのものを使用した。脳波記録は左耳朶を基準とし、サンプリング周波数 1450Hz、時定数 100 秒にて記録した。経頭蓋磁気刺激は Magstim 社の Magstim200、8 の字型コイルを使用した。刺激強度は各被験者において運動閾値を測定しその 80% の強度を用いた。被験者が上記弁別課題を行う際の脳波記録の最中に、選択的注意に非常に重要な役割を担っていると考えられている前頭眼野に磁気刺激を与えて、その脳波電位の変化を調べた。磁気刺激は動画の開始後 134ms のタイミングで与えた。脳波データの解析は Compumedics 社の Edit, Mathworks

社の Matlab を使用した。脳波マップの作成には EEGLAB toolbox を使用した。電流密度分布推定には LORETA 法を用いた。

2. 選択的注意におけるトップダウンシグナルの時間的な変化の解析

本実験にはランダムドットモーション刺激を用いた。このランダムドットモーションではある一定の割合のドットが右上、右下、左上、左下のいずれかの同じ方向に動き、被験者はこの一定の割合のドットが動く向きを答えるよう指示されている。ドットが同じ方向に動く割合 (coherence) は 75% (easy 条件) と正答率が 5 割になる coherence (difficult 条件) の 2 条件を用いた。視覚刺激のサイズは visual angle で約 6 度である。脳波記録ならびに解析は実験 1 と同じシステムを用いた。経頭蓋磁気刺激は Magstim 社の Magstim200, 8 の字型コイルを使用した。刺激強度は各被験者に最大出力の 38% の強度を用いた。磁気刺激装置は磁気刺激後の再復帰までに約 3 秒かかるが、本実験では磁気刺激間の間隔が最短で 3 秒弱と短いため、リレーを用いて二つの磁気刺激装置を切り替えながら磁気刺激を行った。磁気刺激の対象脳領域は、選択的注意に非常に重要な役割を担っていると考えられている前頭眼野に磁気刺激を与えた。磁気刺激は動画の開始後 66 ミリ秒、166 ミリ秒、266 ミリ秒のタイミングで与えた。磁気刺激による脳波電位の変化を各条件で調べた。

3. 研究成果

1. 選択的注意における課題特異的なトップダウンシグナルの同定

磁気刺激による脳波電位の変化を動き弁別課題と顔弁別課題の条件間での差を調べた所、手がかり刺激と動画の間隔が長いとき(準備が十分出来ているとき)には2つの条件間で後頭、頭頂領域で大きな差が見ら

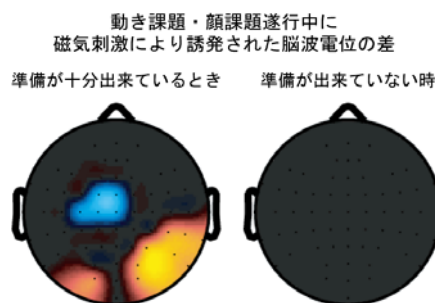


図 3 課題への準備状態に依存した脳波伝播

れたが、手がかり刺激と動画の間隔が短いとき(準備が十分出来ていない)時は、脳波電位に差が全く見られなかった(図 3)。

さらに磁気刺激による脳波電位の変化の由来を調べる為、LORETA 法による信号源推定を行うと動き弁別課題遂行中は動き情報を処理していると考えられている MT 野に、顔弁別課題遂行中には顔情報を処理していると考えられている側頭葉下側において、より強い信号源が存在する事がわかった(図 4)。

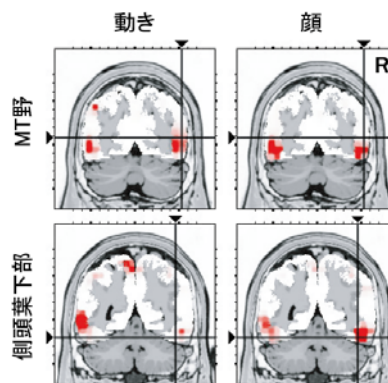


図 4 LORETA 法による信号源推定

2. 選択的注意におけるトップダウンシグナルの時間的な変化の解析

磁気刺激による脳波電位の変化を easy, difficult の各刺激条件、並びに磁気刺激の各タイミングに分けて解析を行った。視覚刺激提示後 66 ミリ秒、166 ミリ秒での磁気刺激では easy, difficult の条件間で脳波電位の差は全ての電極において見られなかったが ($p > 0.05$), 視覚刺激提示後 266 ミリ秒での

磁気刺激では頭頂領域, 特に CP3, CP5, CP7, P3, P4, P5 電極において, easy, difficult の条件間で優位な差が見られた($p < 0.05$).

4. 今後の課題と発展

1. 選択的注意における課題特異的なトップダウンシグナルの同定

本実験の結果により前頭眼野から課題特異的なトップダウンシグナルが視覚野に向けて送られている事が証明された. また, 低強度経頭蓋磁気刺激による脳波電位の変化は脳領域間の情報伝達様式の時間的変化を捉えるのに非常に優れた実験系である事が示された.

2. 選択的注意におけるトップダウンシグナルの時間的な変化の解析

実験1では特定の視覚特性に注意を向けた際のトップダウンシグナルを調べたのに対して, 本実験では特にボトムアップ的な視覚刺激によって, トップダウンシグナルがどのようなタイミングで強度が調節される事を調べた. 本実験の結果から, トップダウンシグナルは独立して前頭葉から視覚野に向けて送られているのではなく, トップダウンとボトムアップの相互作用により適応的な調節が行われている事が分かった. 今後は本実験結果をより詳細に解析し, これらの変化が視覚情報や意志決定などの一連のパラメーターのうち, どれと強い関連を示すのかをさらに解析していく予定である.

5. 発表論文リスト

1) Morishima Y, Akaishi R, Yamada Y, Okuda J, Toma K, Sakai K
Task-specific signal transmission from prefrontal cortex in visual selective attention, Nature Neuroscience Vol.12, No.1, pp85-91,

2009

2) Morishima Y, Okuda J, Sakai K
Adaptive mechanism of cognitive control system to fluctuating input (in revision)

3) Akaishi R, Morishima Y, Rajeswaren PV, Aoki S, Sakai K

Latent network connectivity underlies cost of behavioral freedom (under review)

謝辞

本研究は, 財団法人日産科学振興財団の認知科学研究助成の援助を受けて実施されたものであり, ここに感謝の意を表します.