

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 6日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700281

研究課題名（和文） 前頭葉機能のデコーディングによる新しい視覚的注意モデルの提案

研究課題名（英文） A novel approach to modeling neural substrates of visual attention by decoding frontal lobe function

研究代表者

尾崎 隆 (OZAKI TAKASHI)

東京大学・大学院総合文化研究科・特任研究員

研究者番号：40442941

研究成果の概要（和文）：近年の神経生理学・脳機能画像研究から、視覚的注意の発現には前頭葉機能が大きく貢献することが知られていたが、それがどのような神経メカニズムに拠るかは不明なままであった。本研究では偏グレンジャー因果性解析を軸とした因果性ネットワーク解析をヒト脳機能画像データに適用し、その神経メカニズムの解明を目指した。その結果、単純な視覚的注意課題において前頭葉→頭頂葉なる動的ネットワークが注意の発現に強く寄与することが明らかになった。一方、網膜座標系（レチノトピー）情報を伴う視覚的注意課題を用いて、前頭葉→頭頂葉なる動的ネットワークが細かい神経表象レベルでも保存されるか否かを検証したが、確定的な結論は得られなかった。サンプルサイズが小さかったことが原因と考えられるが、結論を確定させるには今後のさらなる研究が必要であろう。

研究成果の概要（英文）：Recent neurophysiological and/or functional neuroimaging studies have reported that the frontal lobe function may contribute to embodying visual attention in the human. What kind of the neural mechanisms, however, underlies such a finding has been less known. In this project, we applied effective connectivity analysis with partial Granger causality analysis on human functional neuroimaging data in order to clarify the mechanism. As a result, first we demonstrated that the frontal-to-parietal lobe causal connectivity emerges at an actively attentive mental state during a simple attention task. In the next experiment, we also tested a hypothesis that such frontal-to-parietal lobe causal connectivity emerges in a representation-by-representation manner in a spatial domain. However, it could not be confirmed possibly because its sample size was relatively small. Further studies are required to confirm it.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：脳認知科学

1. 研究開始当初の背景

知覚情報の取捨選択と集中処理を司る「注意」はヒトの高次認知機能を理解する上で欠かせないキーワードである。特に視覚モダリティにおける注意は研究の歴史も長く、100年以上に渡る心理学的・神経生理学的知見の蓄積がある。

近年のサル神経生理学的研究及び、ヒト脳機能画像研究、特に機能的MRI (fMRI) 研究により、視覚的注意の発現には前頭葉と頭頂葉が関与することが知られるようになった。このことから「前頭頭頂ネットワーク」という概念が視覚的注意の神経基盤として提案され、この脳内ネットワークの解剖学的・機能的特徴が追究されるようになった。

しかしながら、これまでのところ前頭葉もしくは頭頂葉単体における神経情報処理の検討はなされてきたものの、そのネットワーク内での入出力関係を初めとする「ネットワークそのものの性質」を追究する動きは乏しいままであった。

2. 研究の目的

本研究では上記前頭頭頂ネットワークの視覚的注意発現時の「ネットワークそのものの性質」を方向性・因果性ネットワーク解析 (effective connectivity analysis) を fMRI データに対して用いて解明することを目指した。具体的には偏グレンジャー因果性解析を援用し、特にヒト脳内の関心領域として前頭葉と頭頂葉を指定し、この両者の間での因果性ネットワークが視覚的注意の状態とどのように関連するかを調べた。

一方、前頭葉・頭頂葉とも固有の視空間座標系表象を保持していることが従来のサル神経生理学研究から知られている。そこで、本研究ではさらに踏み込んで、上記因果性ネットワークが細かい視空間座標系表象の間で一対一対応しているかどうかを調べた。

3. 研究の方法

本研究は第1実験と第2実験とに分かれる。第1実験では6名のヒト実験参加者にポズナー課題 (最も単純な視覚的注意実験課題: 左右水平2方向のいずれかに現れる刺激を速やかに検出するために「先行手掛かり」cueの指示に従って参加者は注意の指向・保持を行う) を遂行させながら fMRI で撮像し、全脳における注意関連脳賦活信号を得た。

第2実験では7名のヒト実験参加者に6方向ポズナー課題 (上記課題を水平右3方向+左3方向の計6方向に拡張して行う) を遂行させながら fMRI で撮像し、同様に全脳にお

ける注意関連脳賦活信号を得た。

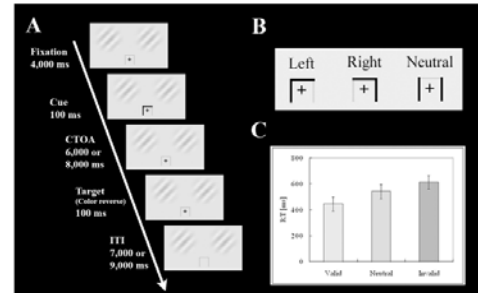


図1 ポズナー課題と典型的な反応速度特性

さらに、前頭葉及び頭頂葉における網膜座標系表象 (レチノトピー) を同定するために、回転方向位相エンコード型脳賦活ローカライザー (視野中心から60度おきに6方向に伸びたアルファベット3文字のエッジのうち1つを「注意のみ」「視線を視野中心から動かさずに」追跡してもらうという課題) を用いて fMRI で撮像した。このローカライザー実験では、前頭葉及び頭頂葉の視空間座標系表象を詳細に同定することができる。

取得した脳賦活信号は、はじめに fMRI データ解析のデファクト・スタンダードである一般線型モデルで解析し、前頭葉及び頭頂葉並びに他の (先行研究で報告されている) 重要脳部位の賦活を検出した。次に、前頭葉・頭頂葉の賦活部位のうち連続的に空間分布している箇所の fMRI 信号時系列を抽出し、多変量・偏グレンジャー因果性解析を実行した。その結果をネットワーク・グラフとして表示し、脳内にどのような「方向性のある」ネットワークが発現しているかを調べた。

第1実験のデータでは、前頭葉及び頭頂葉の注意課題関連脳賦活部位を一まとめとして fMRI 信号時系列を抽出し、「前頭葉」⇔「頭頂葉」という組み合わせで偏グレンジャー因果性解析を実施した。

他方、第2実験のデータでは前頭葉及び頭頂葉の脳賦活部位をローカライザー実験で同定された視空間座標系表象に基づいて左右それぞれの半視野のさらに上・中・下の計6クラスタに分割し、それぞれのクラスタから抽出した fMRI 信号時系列に対して「前頭葉のクラスタ群」⇔「頭頂葉のクラスタ群」という組み合わせで偏グレンジャー因果性解析を実施した。

<注: グレンジャー因果性解析について>

グレンジャー因果性解析とは、2003年にノーベル経済学賞に輝いた Clive W. J. Granger が1960年代に提案したマクロ経済学における時系列解析手法である。

この手法は、外部からの介入操作がなくと

も単なる観測データ時系列のみから2つ以上の事象同士の因果関係（因果性）を自己回帰モデルに基づいて定量化するものであり、神経科学研究においては脳部位間の活動の「つながり」「因果関係」を調べる手法として援用されている。特に近年のネットワーク性に注目した研究においては、グラフ理論解析と並んで脳内ネットワークの特性を調べる上で極めて重要な手法として位置付けられている。

具体的には、まず個々のデータ時系列に対して自己回帰モデルを推定する。その上で、互いに異なるデータ時系列の自己回帰モデル同士の和を取り、自己回帰モデルの推定残差を算出する。この際、ベイズ推定の手法で推定残差が単一のデータ時系列の自己回帰モデル単体の場合に比べて統計学的に有意に減少した場合、「グレンジャーの意味で因果がある」と認定するものである。

fMRI データは一般に単一ニューロン記録に比べて時間分解能が低く、また活動される信号自体も血流動態などによってニューロン活動が「なまった」ものとして測定されるため、生のニューロン活動信号同士で同種の解析を行った場合に比べて検出力が下がると考えられている。この欠点を克服するため、本研究ではブートストラップ法によって因果性を増幅することで検出力を高めた。

なお、偏グレンジャー因果性解析とは、グレンジャー因果性解析を偏相関解析のアナロジーで外部影響を明示的に除去するように工夫されたもので、Guo, Sethらによって2008年に提案されたものである。

4. 研究成果

第1・2実験ともに、全ての実験参加者がポズナー課題で期待される注意関連行動を示し（注意指向時に反応速度が促進し注意保持時に反応速度が抑制）、同時に注意指向時に前頭葉・頭頂葉において統計的な有意な賦活を示した。

偏グレンジャー因果性解析の結果から、第1実験においては前頭葉→頭頂葉なるネットワークが発現していることが確かめられた。この結果は2011年にPLoS One誌に査読つき論文として掲載された。

他方、第2実験においては「前頭葉の空間座標系表象クラスタ」→「頭頂葉内の空間座標系表象クラスタ」なる一対一対応ネットワークは一貫して見出せなかった。ただし一対一対応「しない」ネットワークが多数見出された他、前頭葉内の表象同士でのネットワークが見出されるなど、事前の予想に反して統一感を欠く知見が多く得られた。

第1実験での明快な知見に対して第2実験では統一感を欠く知見が得られなかった点については、本研究におけるサンプルサイズ

の小ささ（ $n = 7$ ）が影響しているものと疑われる。統計学的には $n > 12$ のサンプルサイズが最低でも必要であると考えられ、今後はサンプルサイズを大きくして追試することが必須というのが本研究での結論である。

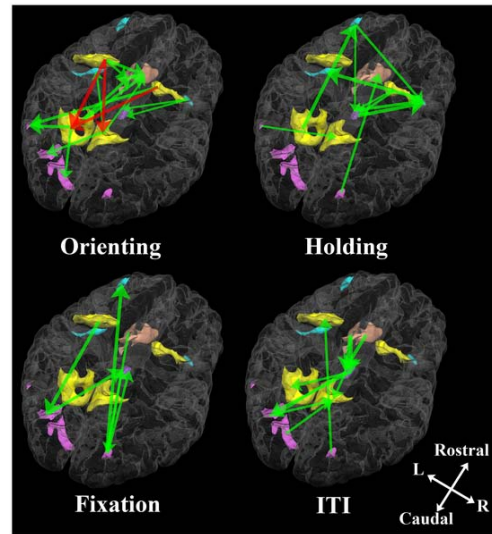


図2：第1実験における偏グレンジャー因果性解析の結果

なお、本研究に続く将来の研究のためにいくつか提案を述べておきたい。

まず、日本国内ではローカライザー実験の必要性が軽視される傾向にあると各種国内学術集会発表の様子から推察される。一方で、北米神経科学学会など同種の視覚的注意の研究が盛んに発表されるカンファレンスでは、ローカライザー実験の併用はコンセンサスとなっている。今後同種の研究を実施する際には、ローカライザー実験の併用を強く推奨する。

そして、偏グレンジャー因果性解析の適用についても日本国内では実施例が査読あり雑誌論文として発表されたのは事実上未だ本研究のみであり、そのノウハウが国内で周知されているとは言い難い状況である。幸い無償で提供されている解析パッケージも多く解析の実施そのものは難しくないが、そのfMRIデータへの適用時の問題点は国内では殆ど共有されていないに等しい。この点に関して、本研究で試行錯誤した結果として「fMRI撮像時のTRは1,000ms以下」「刺激提示間隔は6秒以上」という基準を提唱しておきたい。詳細はRoebroek et al. (NeuroImage, 2005)に譲るが、TRには理論的な上限値が存在する点と連続刺激提示によるfMRIデータの非線形性発現については、特に意識して臨んでもらいたい。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Takashi J. Ozaki, Frontal-to-Parietal Top-Down Causal Streams along the Dorsal Attention Network Exclusively Mediate Voluntary Orienting of Attention, PLoS One、査読有、2011、Vol. 6、Issue 5、e20079

[学会発表] (計 3 件)

- ① Takashi J. Ozaki, Hierarchy of the dorsal attention network revealed by causal connectivity analysis、The 15th Annual Meeting of The Association for the Scientific Study of Consciousness、2011、6月9～12日(京都大学)、P2-71
- ② Takashi J. Ozaki、Dorsal frontal-to-parietal causal flows exclusively occur during endogenous orienting、2011、第34回日本神経科学大会、9月14～17日(パシフィコ横浜)、P2-o02
- ③ Takashi J. Ozaki、Evidence of an intermediate attentional processing in an intermediate region between the dorsal and ventral attention networks、2011、The 41st Annual Meeting of the Society for Neuroscience、11月12～16日(米国・ワシントンDC)、223.05

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾崎 隆 (Takashi Ozaki)

東京大学・大学院総合文化研究科・特任研究員

研究者番号：40442941

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：