

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18700325

研究課題名（和文） 数学の能力に関する脳機能画像研究

研究課題名（英文） A functional brain imaging study in relation to mathematical ability

研究代表者

渡邊 丈夫（WATANABE, Jobu）

早稲田大学・高等研究所・准教授

研究者番号：90409756

研究成果の概要：機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) を用いて、数学的处理能力に関する脳活動を比較し、それぞれの脳機能に特異的な部位を抽出した。さらに、複数の時系列間の情報の流れを計算するデータ解析法を開発し、数学的处理能力に関する脳活動部位間の結合を調べた。下記の通り 2 つの査読付論文及び 4 回の国際学会で研究結果を発表した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,800,000	0	1,800,000
2007 年度	1,000,000	0	1,000,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	240,000	3,840,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：神経科学・神経科学一般 1101

キーワード：H 非侵襲的脳活動計測

1. 研究開始当初の背景

数学は我々の文化・文明・日常生活の中で重要な役割を果たしており、数学の能力は教育や科学技術レベルの維持・向上のために重大な関心事である。数の知覚や計算は文化的な発明以上のものであり、脳の進化の過程で獲得されたものだと考えられる。というのも、数の感覚や初歩的な計算は訓練されていない動物にも存在し、就学前の幼児や言語獲得以前の小児も同様の能力を持つからである。特に、3次元と2次元の間の視覚情報の変換と比較は日常生活に重要な役割を果たしている。例えば、我々が地図に基づいて目的地への道を探すとき、風景と地図の視覚情報は互いに変換・比較される。またサッカーやバスケットボールなどの球技を行う際、ボールや選手の位置の視空間情報と戦術盤のそれらとは互いに変換・比較される。近年、fMRIを初め、脳波 (EEG)、脳磁図 (MEG)、機能的近赤外線分光法 (fNIRS) などの非侵襲脳機能画像法を用いたヒト脳機能局在研究により、脳の様々な解剖学的部位とそれらが持つ機能との関連が急速に明らかにされつつある。これまでの脳機能画像研究は、数や量、形、記号などヒトの数学に関係する能力について、個別に調べたものであった。例えば、数の大きさの表現に関する部位は頭頂葉、暗記と言語的処理による正確な計算は前頭葉、図形や立体など形の認知は腹側経路(後頭葉～側頭葉)、空間的処理は背側経路(後頭葉～頭頂葉)にある、といったものである。しかしながら、二次元もしくは三次元の対象を平面的または空間的に回転させ、比較対象と同一の対象か否かを判断するメンタルローテーションと呼ばれる課題と運動前野と一次運動野、補足運動野との関連を示した研究はあるものの、三次元と二次元の対象を変換し、両者を比較する際に見られる脳の活動部位は明らかにされていない。

また現在、脳機能画像データから脳領域間の接続性 (connectivity) を計算するために様々な数学的解析法が開発されており、部位と機能の対応のみならず、複数の領域間の関係を明らかにすることによって、脳内ネットワークの機能を解明しようとする研究も盛んである。しかしながら、三次元と二次元の対象を変換し、両者を比較する過程に関連する脳領域間の結合性は調べられておらず、両者を比較する脳の処理過程は明らかにされていない。

2. 研究の目的

(1) fMRI を用いて数学的処理能力に関する脳活動を計測し、それぞれの脳機能に特異的な部位を抽出する。

(2) 複数の時系列間の情報の流れを計算するデータ解析法を用いて、数学的処理能力に関する脳活動部位間の結合を調べる。

3. 研究の方法

(1) 数学的処理能力に関する課題として、二次元の図形および三次元の立体の視覚刺激を用いた二次元 - 三次元間配置変換課題 (図1) およびその対照課題を作成する。その課題を遂行中の被験者の脳の局所血流変化をfMRIを用いて測定する。このデータを解析し、(a) 三次元的立体映像 (3D) から二次元的図形映像 (2D) への変換 (3D → 2D) (b) 二次元的図形映像 (2D) から三次元的立体映像 (3D) への変換 (2D → 3D) の認知および処理に関連する脳活動を示す脳領域を特定する。さらに各部位の課題間の脳活動レベルの差異について調べる。

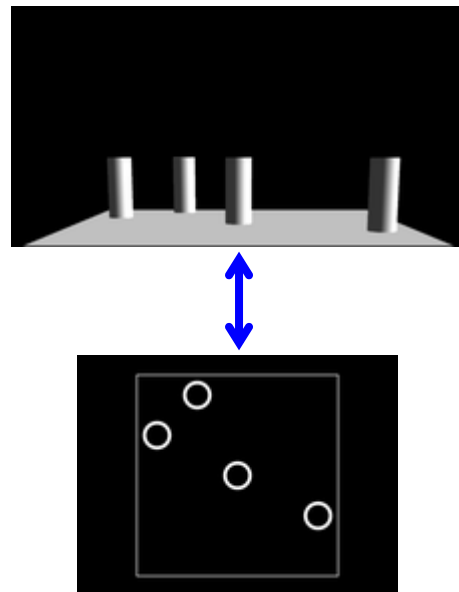


図 1. 二次元 - 三次元間の図形・立体間の変換課題

(2) 上記 (1) で特定された 3D → 2D 配置変換課題に特異的な活動を示す脳領域 (regions of interest: ROI) を 4 箇所 (図2) 選び、各部位の時系列データを抽出する。研究代表者が開発した、時系列解析法と情報理論の融合によって fMRI データからこれまでの手法では検出できない二つの脳活動

領域間に流れる情報量の時間変化を推定する方法を用いて、これらの時系列データから各脳領域間の関係と機能を解明する。

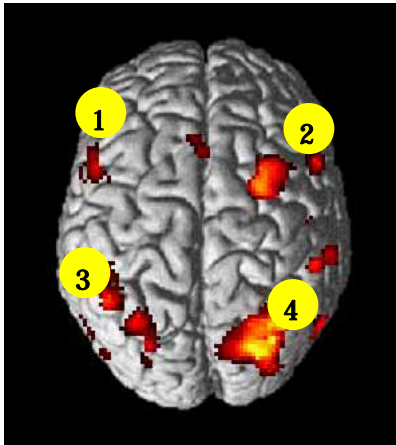


図 2. 課題遂行中に活動を示す脳領域を選択

4. 研究成果

(1) 3D 2D 配置変換課題 > 3D 2D 対照課題
主に両側前頭前野、右上頭頂小葉 (SPL)、両側下頭頂小葉 (IPL)、右海馬傍回、左小脳で強い賦活が見られた。

(2) 2D 3D 配置変換課題 > 2D 3D 対照課題
主に両側前頭前野、左 SPL、両側 IPL、右海馬傍回、左小脳で強い賦活が見られた。

前頭前野は空間情報の作業記憶に、SPL と IPL は視空間情報処理に関連して活動したと考えられる。小脳は運動制御に関連する部位だが、本研究の課題によって小脳が賦活したことで、小脳が空間認知にも何らかの関連がある可能性が示唆された。

(3) 研究代表者が開発した解析法を用いて、選択された課題遂行中に活動を示す 4 つの ROI 間の情報流を求めた。流れた全情報量を求めるために、全時間に渡って加算した結果を図 3 に示す(単位は bit)。解析の結果、大きな情報量が左 IPL から右 IPL および左前頭前野へ、また左前頭前野から両側頭頂葉へ流れていることがわかった。

Information Network Model

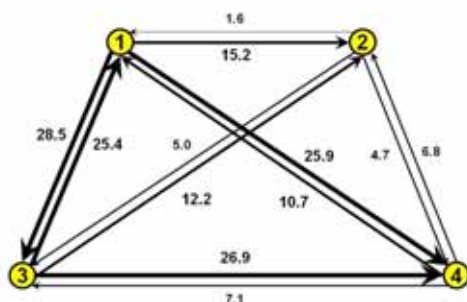


図 3. 脳活動領域間の情報の流れ

本研究の結果から、三次元から二次元への変換および二次元から三次元への変換の遂行中に脳内で行われる空間情報認知過程は、以下のモデルのように処理される可能性がある。まず一つ目の刺激の空間情報が V1 へ入力し、IPS を含む頭頂領域で処理される。さらに前頭前野で作業記憶として保存される。次に二つ目の刺激の空間情報が V1 へ入力され、頭頂領域で処理される。そして前頭前野で保存されていた一つ目の刺激の空間情報が IPS へ読み出され、頭頂領域で処理された二つ目の刺激とのマッチングが行われると考えられる。

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 2 件)

Watanabe J Lagged Traninformation Analysis of fMRI Data to Investigate Network Dynamics of Human Brain Activation. American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings Volume for International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 589 ~ 592, 2008 査読有

Watanabe J and Mohri H. A Stochastic and Optimization Analysis for a Network on Activation in Human Brain. International Conference on Applied Stochastic Models and Data Analysis Proceedings ASMDA2007, CD-ROM 2007. 査読有

[学会発表](計 4 件)

Watanabe, J. Lagged Traninformation Analysis of fMRI Data to Investigate Network Dynamics of Human Brain Activation. Sixth (6th) International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics. Kos, Greece September 16-20, 2008

Watanabe, J., Kanematsu, K., Uchida, S. The human parietal cortex involved in translation and comparison between the visuospatial information of three- and two-dimensional images. Society for Neuroscience 2007. San Diego, USA, November 2007

Watanabe, J. and Mohri, H. A Stochastic

and Optimization Analysis for a Network of Activation in Human Brain. The 12th International Conference on Applied Stochastic Models and Data Analysis (ASMDA2007). Chania, Greece, 29th May - 1st June 2007.

Watanabe, J., Miwakeichi, F., Galka, A., Kawashima, R., Ozaki, T. A model selection of general linear model applied to functional magnetic resonance imaging data using Akaike Information Criterion. Society for Neuroscience 2006. Atlanta, U.S.A., October, 2006

〔図書〕無し

〔産業財産権〕無し

出願状況 無し

取得状況 無し

〔その他〕

ホームページ等 無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 丈夫 (WATANABE JOBU)

早稲田大学・高等研究所・准教授

研究者番号：90409756