

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540058

研究課題名(和文)天才の神経基盤

研究課題名(英文)Neural basis of genius talent

研究代表者

北澤 茂 (KITAZAWA, Shigeru)

大阪大学・生命機能研究科・教授

研究者番号：00251231

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：人並み外れた才能は脳のどこに宿るのだろうか。アインシュタインやガウスの脳は、下部頭頂葉が極端な発達を遂げていた。本研究では、構造画像と機能画像の多次元データを解析して対照群と比較することによって、天才の脳の特徴を明らかにすることを目的として研究を行った。その結果、画像データベースと実際に撮像したデータを用いた予備的解析で、多次元データを用いた群間比較法が有効に機能することが確かめられた。さらに、数学の天才が宿る可能性のある領域を探るために、素数判断課題を開発して脳の機能画像と構造画像を検討した結果、右半球の島皮質の最前部の腹側と頭頂間溝外側部を結ぶネットワークが候補として浮かび上がった。

研究成果の概要(英文)：Where does genius talent reside in the brain? The brain of Einstein and that of Gauss are reported to have extremely developed gyri in the inferior part of the parietal cortex. In this study we aimed to elucidate features of the brain of geniuses by using multidimensional data from anatomical and functional imaging of the brain. We used data from a public database and those we actually obtained from volunteers and showed that our proposed group comparison method based on multidimensional scaling was effective. To search for the location where genius talent in mathematics would reside, we further invented a task that required to judge whether a number is a prime number or not. By examining both functional and anatomical images we suggested that a network between the right antero-ventral part of the insula and the lateral part of the intra-parietal sulcus is a good candidate for the mathematical talent.

研究分野：神経科学

キーワード：天才脳 fMRI DTI 多次元尺度法

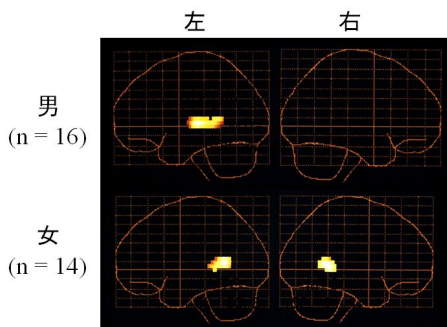
1. 研究開始当初の背景

人並み外れた才能を持つ天才には、人類の生活様式や文化を変革する力がある。アインシュタインは疑いなくその一人である。世界を変えた天才の脳は、驚いたことに通常の脳と構造自体が異なっていた (Witelson ら 1999)。頭頂葉の下部が極端に発達してシルビウス裂の上行枝が前に押し出されて、中心溝と一致していた。そのため通常の脳では中心溝と上行枝の間に存在する頭頂弁蓋が存在しない。実は数学の天才ガウスの下部頭頂葉も極めて発達していたことが知られている (Spitzka, 1907)。

皮質機能局在論の立場に立てば、肥大した下部頭頂葉の右または左の一方に、数学や物理の天才が宿った可能性がある。一方、発達した頭頂葉の両側を結ぶ脳梁や、前後を結ぶ弓状束など、情報の伝送経路を含めたネットワーク構造にこそ天才の秘密が隠されていた可能性もある。

天才の脳ではないが、我々は以前、朗読を聞くときに男は左半球を使うのに対し、女性は両側を使うことを発見した (Kansaku, Yamaura, Kitazawa, 2000)。脳梁の情報通信容量は女性が男性を 5% 程度上回る。その結果として女性は両側を同時に使って話を聞くことができるようになったと推定している。つまり伝送経路の容量の数%の違いが、大きな機能配置の差につながって、天才的な脳の使い方を生み出している可能性もある。

朗読を聞く時 男は左だけ、女は両側を使う



Kansaku, Yamaura & Kitazawa Cerebral Cortex (2000)

図 1: 左右機能配置の性差の例

しかし、これらの仮説は実際に検証されたことがないばかりでなく、系統的に研究を進める方法論も確立していないのが研究開始当初の状況であった。

2. 研究の目的

われわれは、1万人に一人の才能を天才と定義した。本研究ではまず数学の天才をターゲットとして、「天才を生み出す脳の構造と機能構築の特徴」を明らかにすることを最終的な目標として研究を行った。そのためには、一般人の脳の構造と機能構築の分布を明らかにして、天才脳と比較するための客観的かつ定量的な手法を開発する必要がある。われわれは、皮質のマクロ構造、灰白質のサイズ、

線維走行、活動の相関等の多次元の情報を経約して、効率よく比較を行うことを方法論上の第一段階の目標に設定して研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 公開データを用いた脳構造多次元データの可視化と群間比較法の開発

下記の - の手法について、公開されている画像データ (Washington University, Minnesota University, Human Connectome Project) を用いて開発を行った。

T1 画像を白質と灰白質に分離したのち、灰白質を解剖学的ランドマークに従って、66 個の領域に分割する。さらに均等大きさの小区画に細分化する。これらの領域それぞれの面積と皮質の厚さを記録する。

各領域間で拡散テンソル画像 (DTI) 法を使ったトラクトグラフィの結果に基づいて結合係数を定める (結合係数 1)。

視覚刺激と聴覚刺激に対する機能画像と比較して、領域分割に矛盾がないことを確認する。

安静時の脳機能画像の領域間相関を計算し結合係数 2 として記録する

以上の方法によって収集した脳の多次元パラメータ (面積、厚さ、結合係数 1、結合係数 2) を個人の脳の特徴量として定義して、特徴量間の距離を適当な重みづけで計算し、脳と脳間の距離行列を定義する。全く同一の脳間の距離はゼロとなり、構造が特殊な脳は他の脳からの距離が遠くなる。この距離行列に多次元尺度法を施して、脳間の距離が保存されるように 2 次元マップ表示する。さらに群間の分布の差を検定する。

(2) 撮像データを用いた脳構造多次元データの可視化と群間比較法の開発

8 名の被験者を対象として、

T1 画像を撮像し、領域分割を 2 つの方法で行った。

DTI 法の撮像パラメータを検討した。

視覚刺激に関しては、標準的な環状刺激法を用いて、視覚領域の分割を行った。一方、言語刺激に関しては、朗読音声の順方向再生と逆方向再生、無音を組み合わせた受動的聞き取り課題を用いることとした。

安静時の脳機能画像を撮影した。

左右半球間のネットワーク構造と直結することが期待される言語機能側性化のインデックスを用いて被験者を分類して、多種類の多次元パラメータが分類を説明するかどうかを検討した。

(3) 数学の才能のネットワーク構造に関する研究

ヒトの運動性言語野 (プロカ野) が運動前野の口の動きを制御する領域に隣接して発達したことを鑑みると、標準的なヒトが数学的な能力を発揮する際に使用するネットワークの近傍に数学の天才を司るネットワ

ークが付加的に発達している可能性がある。そこで、一般被験者 12 名を対象として、数学課題で活動する脳領域を機能的脳画像法を用いて検索した。

提示した数が素数であるかを判断する素数判断課題を用いた。全く同じ数のセットに対して、難易度を揃えた別の計算課題を開発して対照課題とした(図2)。

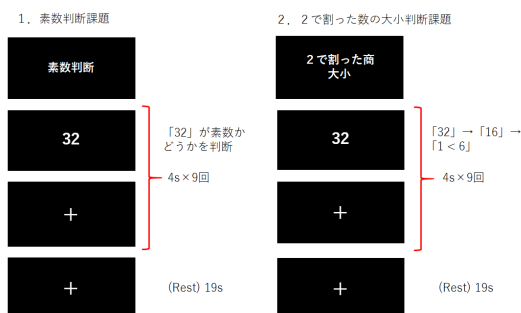


図2 素数判断課題と対照課題

4. 研究成果

(1) 多次元尺度法を用いた脳構造多次元データの可視化と群間比較法の開発

公開されている画像データ (Washington University, Minnesota University, Human Connectome Project) を用いて開発を行った。領域分割に関しては、MNI template に標準化した後、Automatic Anatomical Labelling Atlas を用いて 116 個に分割する場合と、Desikan-Killiany cortical atlas の解剖学的なランドマークに従い、66 個に分割する場合を比較検討した。多次元特徴量としては、面積、厚さ、DTI 法による領域間結合、安静時機能画像法による機能的結合、を抽出して検討した。

天才群と対照群の予備的な解析として、IQ (知能指数) が 130 を超える群 (偏差値 70 以上に相当) と、それ以外の群に分けて多次元尺度法で 2次元平面上に射影した分布に差があるかどうかを検討した。予備的な解析では、皮質の厚さを用いた場合に 2群を分けることができる可能性が示唆された。計画した手法が原理的には機能することが確かめられた。

(2) 撮像データを用いた脳構造多次元データの可視化と群間比較法の開発

DTI 法の撮像パラメータについては 32 channel coil を用いて $b=1000$, $NEX=2$, number of gradients = 30, resolution = 2mm isotropic, matrix = $96*96*75$ を用いることに決定した。言語の機能構築の側性化と相関するパラメータを検討した結果、角回とウェルニク野の Radial Diffusivity 値と側性化、さらに 左の前頭極と右の中心前回の間の機能的結合と側性化、の間に有意な相関があることが見出された(図3)。脳機能の側性化と機能的結合の間に相関があることを直接示した成果である。

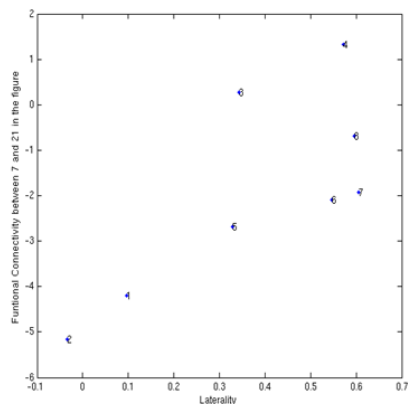


図3 言語機能配置の側性化と脳領域間の機能結合の間の相関

(3) 数学の才能のネットワーク構造に関する研究

右半球優位に、島皮質の最前部の腹側と頭頂間溝外側部に有意な活動の上昇がみられた。我々は島皮質前方腹側部と頭頂間溝外側部が下前頭側頭線維束で結ばれていることを示唆する tractography の結果も得た(図4)。

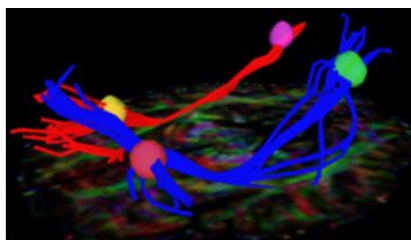


図4 島皮質の最前部の腹側(赤丸)と頭頂間溝外側部(緑丸)を結ぶ線維束

本課題で活動した頭頂間溝外側部は、これまでも数式処理課題などで活動することが報告されている領域と近い。アインシュタインやガウスで発達していた下部頭頂葉はこれらの領域に隣接して新たに生じた大脳皮質である可能性がある。

一方、島皮質の最前方部は、これまで数に關係する課題では活動が報告されたことがない領域である。島皮質の最前部はヒトに特徴的な大型の von Economo ニューロンが存在することが知られている領域で、ヒトで新たに発達した領域であると考えられている。これまではヒトの社会性を司る領域ではないかと想定されてきたが、ヒトに特有の「数学」の能力に關与する可能性が示唆されたと言えるだろう。

さらに注目すべき点は、島皮質の最前方部と頭頂間溝外側部が下前頭側頭線維束で結ばれている可能性が示唆されたことである。

これまで von Economo ニューロンは、他の皮質領域と高速な通信を行っていると思定されてきたが、その経路は不明だった。本研究ではトラクトグラフィを用いることで、下前頭側頭線維束を介して頭頂間溝周辺と接続する可能性を始めて示唆した。下前頭側頭線維束はサルの研究者を中心として存在そのものが疑われていたが、実はヒトだけに存在して、ヒトだけで発達した新たな皮質領域を結ぶ役割を担っている可能性がある。これらの領域と結合線維束が数学の天才と関連するかどうかを検討するのが今後の課題である。

本萌芽研究では、以上の通り、天才を支える皮質領域と神経ネットワークを検索する方法論を確立することに成功した。今後この手法を「天才」に恵まれた方に適用することで、一般人にはない新たな脳回や線維結合、さらには特徴的なネットワーク構造が発見されることを期待している。そのような変化は、言語機能が生み出された際の脳の変化に匹敵することも十分考えられるので、人類の「脳の進化」を考える際の大きな手掛かりにもなるだろう。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計3件)

北澤 茂. 脳の働き 脳研究 150 年の成果と未来 . 吹田市地区公民館講座、2014年5月17日、吹田市地区公民館、大阪.

北澤 茂. 機能局在から統合へ. こころの未来 脳科学集中レクチャー2013, 2013年12月25, 26日, 京都大学こころの未来研究センター, 京都.

北澤 茂. 自閉症の脳科学 理解と治療に向けて . 小児神経学セミナー招待講演, 2013年11月4日, ホテルコスモスクエア, 大阪.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北澤 茂 (KITAZAWA, Shigeru)
大阪大学・生命機能研究科・教授
研究者番号：00251231

(2) 研究協力者

木村一皓 (KIMURA, Ikko)