

生きているヒトの脳の神経線維束を見つけやすくする方法を開発

【ポイント】

- 複数の方法を効果的に組み合わせ、MRI 画像から脳の線維束を見つけやすくする方法を開発
- 生きているヒトの脳から、これまでよりも脳の線維の束を見つけやすくなったことを実証
- 脳の中で情報がやり取りされる仕組みの解明へ一歩。脳画像診断などへの応用にも期待

国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT、理事長:坂内 正夫) 脳情報通信融合研究センター(CiNet)の竹村浩昌特別研究員(JSPS 特別研究員)をはじめとする研究グループは、「アンサンブルトラクトグラフィ」という、脳の MRI 画像から神経線維の束(線維束^{*1})を見つけやすくする方法を開発しました。これは、これまで用いられてきた複数の手法を効果的に組み合わせることによって、脳の線維束を見つけやすくする方法です。

この技術の開発により、今までの方法では見つからなかった脳の線維束が新たに発見され、線維束を通じて脳の異なる場所同士でどのように情報をやり取りしているかが明らかになることが期待されます。

また、生きているヒトの脳から正確に線維束を見つけられる方法を用いることで、病気によって脳の中の線維がどのように変化するのかを調べる方法の開発につながり、脳画像診断などへの応用にも期待が持てます。

なお、この成果は、計算生物学の国際科学誌「*PLOS Computational Biology*」(電子版: 日本時間 2016 年 2 月 5 日(金)午前 4:00)に掲載されます。

【背景】

私たちヒトは、大人では 1500 グラム程度といわれるとても大きな脳を持っています。脳の中では、線維束と呼ばれるワイヤーケーブルのようなものを通じて、遠く離れた脳の場所同士での情報のやり取りがなされています。

私たちの日常の生活では、複数の脳の場所が関わって行われている活動が多くあります。例えば、私たちが言葉を使ってコミュニケーションを取るとき、聞こえてきた情報を理解するための脳の場所と、言葉を話すための脳の場所の間では、線維束を通じた情報のやり取りが行われていると考えられています。

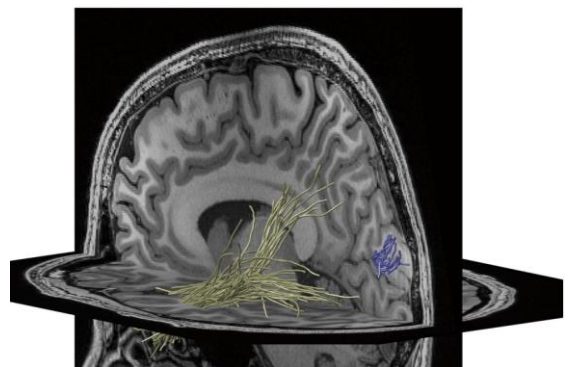
また、こうした脳の線維束が病気などで障害を受け、情報のやり取りが止まると、生活にも支障が出てくることが分かっています。そのため、脳の線維束について研究することは、私たちの日常の生活と脳の関係を理解し、また、脳の病気がもたらす生活への影響を明らかにするために重要です。

これまでの研究では、拡散強調 MRI^{*2}という方法で記録された MRI 画像を、トラクトグラフィ^{*3}という方法で分析することで、脳の線維束を見つける試みがなされてきました。今までに多くの研究者が様々なトラクトグラフィの方法や、トラクトグラフィを行うソフトウェアを提案してきました。しかし、これまでに提案されてきたトラクトグラフィ法を用いても、私たちの脳の中にあるすべての線維束を見つけられるわけではありません。それぞれの方法に長所と短所があり、どの方法を用いても、その方法が得意な線維束しか見つけることができないというのがこれまでの課題でした。

【今回の成果】

今回の研究では、これまでに提案されてきたトラクトグラフィの方法にそれぞれ異なる長所と短所があることに注目しました。

例えば、短い線維束を見つけるのが得意な「方法 A」は、長い線維束を見つけることができません。一方、長い線維束を見つけるのが得意な「方法 B」は、短い線維束を見つけることができません。そこで、私たちは、それぞれの方法の良いところだけを組み合わせることができれば、これまで見つからなかった線維束を見つけられるかもしれないとい



アンサンブルトラクトグラフィ法によって
見つかった線維束の例
(黄色: 長い線維束、青色: 短い線維束)

う可能性に着目し、今回、「アンサンブルトラクトグラフィー法」を提案しました。

アンサンブルトラクトグラフィー法では、まず、複数のそれぞれ異なる長所を持つ方法を使って、線維束の場所や形を推定します。さらに、近年提案された LiFE 法⁴という、トラクトグラフィーで見つかった線維束の中で妥当なものだけを選択する方法を用います。こうして、複数の方法を使って見つけた線維束の中から、LiFE 法で妥当なものだけを選び取ることによって、それぞれの方法の長所同士を組み合わせることで線維束を見つけ出すことが可能になります。アンサンブルトラクトグラフィー法では、方法 A の得意とする短い線維束は方法 A と同じように、方法 B の得意とする長い線維束は方法 B と同じように見つけることができます。

この方法の性能を評価するため、今回の研究では、生きているヒトの脳の MRI データを分析し、どのくらい線維束を見つけられるのかを調べました。その結果、アンサンブルトラクトグラフィー法を使うと、これまでの方法に比べて、より多くの脳領域で線維束を見つけられることが実証されました(補足資料 図 2 参照)。

今回、アンサンブルトラクトグラフィー法を使うことで、これまで見つけられなかった脳の線維束を見つけられるようになることが分かりました。このことにより、これまでよりも正確に、脳がどのような線維束を通じて情報をやり取りしているのかが分かり、私たちの日常の生活を下支えする脳の仕組みが明らかになることが期待できます。

【今後の展望】

これまでよりも MRI 画像から線維束が見つけやすくなることで、将来的には、MRI を使って脳の線維束が健康かどうかを判定する画像診断への応用などの展開が考えられます。

今後も、更に性能の高いトラクトグラフィー法の開発に取り組みつつ、これらの手法を用いることで、私たちの脳で情報がどのようにやり取りされているかを明らかにする研究を進めていきます。

<掲載論文>

掲 載 誌 : *PLOS Computational Biology* 12 号

U R L : <http://journals.plos.org/ploscompbiol/>

掲載論文名: Ensemble Tractography

著 者 名 : Hiromasa Takemura, Cesar F. Caiafa, Brian A. Wandell, Franco Pestilli

< 本件に関する問い合わせ先 >

脳情報通信融合研究センター

脳情報通信融合研究室

竹村 浩昌

Tel: 080-9098-3285

E-mail: htakemur@nict.go.jp

< 広報 >

広報部 報道担当

廣田 幸子

Tel: 042-327-6923

Fax: 042-327-7587

E-mail: publicity@nict.go.jp

<用語解説>

*1 線維束

ヒトの脳の中で、軸索と呼ばれる神経細胞同士を結ぶケーブルが集まって束になっている構造のことを指す。脳の中では「白質」⁵と呼ばれる領域が線維束から成り立っている。

*2 拡散強調 MRI

生きているヒトの脳から線維束の向きを見つけるときに使われる実験方法。MRI 装置を使って、脳を傷つけることなく計測することができる。拡散強調 MRI では、脳の中にある水の分子の動きに関する情報を測ることができる。線維束の中では、水の分子は線維束と平行な方向に動きやすいことが分かっている。このため、拡散強調 MRI を使って水の分子が動く方向を測ることができれば、線維束の向きについて知ることができる。

*3 トラクトグラフィー

拡散強調 MRI のデータから、線維束全体の形を見つける方法。拡散強調 MRI では、1.25 立方ミリメートルから 2 立方ミリメートルぐらいの空間の中で、線維がどちら向きであるのかを知ることができる。トラクトグラフィーでは、拡散強調 MRI で分かった線維の向きの情報をつないでいくことによって、線維束全体がどのような形をして、どこに存在しているのかを見つけることができる。

*4 LiFE 法

トラクトグラフィーで見つかった線維束の中から、妥当なものだけを選び出すための方法。LiFE は Linear Fascicle Evaluation の略で、トラクトグラフィーで見つかった線維束を評価する方法という意味。2014 年に発表された論文で、スタンフォード大学のグループによって発表、公開された。

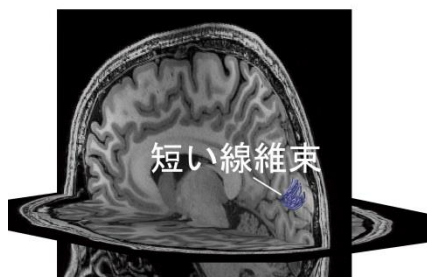
*5 白質

脳の中で、主に線維束から構成されている領域のこと。ヒトの脳の中で白質は深い場所に位置しており、白質にある線維束が遠く離れた脳の場所同士での情報のやり取りに関わっていると考えられている。

補足資料

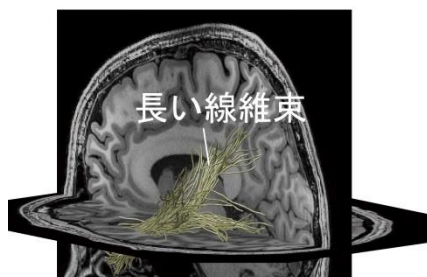
アンサンブルトラクトグラフィー法

方法 A：短い線維束が得意、
長い線維束は不得意



それぞれの方法の
得意な線維束だけを
抜き出して選ぶ
(LiFE 法)

方法 B：長い線維束が得意、
短い線維束は不得意



アンサンブルトラクトグラフィー：
両方の線維束を同時に見つけられる



図 1 アンサンブルトラクトグラフィー法

今まで提案されてきたトラクトグラフィー法では、方法ごとに長所と短所がありました。例えば、「方法 A」(図 1 左上)は、短くて折れ曲がった線維束(青い線)を見つけるのが得意ですが、長くて真っすぐな線維束を見つけるのが不得意です。「方法 B」(図 1 左下)はその反対で、長くて真っすぐな線維束(黄色い線)を見つけるのが得意で、短いものは不得意です。

アンサンブルトラクトグラフィー法(図 1 右)では、こうした特徴の異なる方法を使って見つかったいろいろな線維束の中から、LiFE 法という方法を使って妥当なものだけを選び出し、組み合わせます。その結果、アンサンブルトラクトグラフィー法では、短い線維束と長い線維束を同時に見つけることができるようになりました。

データ解析の詳細説明

本研究では、合計で9名の健康な実験参加者を対象として計測された拡散強調MRIデータを分析し、アンサンブルトラクトグラフィー法とこれまでの方法を比べました。

アンサンブルトラクトグラフィー法では、5つの異なる特徴を持つトラクトグラフィー法を用いて線維束を見つけ出し、さらに、LiFE法を使って見つかった線維束の中から妥当なものを選び出しました。

図1では、これまでの方法とアンサンブルトラクトグラフィー法で見つかった線維束を比べています。これまでの方法(方法A, 左上; 方法B, 左下)は、2種類の特徴が異なる線維束を同時には見つけられなかったのに対し、アンサンブルトラクトグラフィー法では、両者を同時に見つけることができます(図1右参照)。

このことから、アンサンブルトラクトグラフィー法を用いることで、これまで一つの方法を使うだけでは見つからなかったヒトの脳の線維束を見つけることができることが分かります。

また、これまでの方法では、脳のすべての場所における線維束を見つけることはできず、どの方法を用いても、実際に脳の中に存在している線維束を見落としていることが知られていました。図2は、トラクトグラフィーで求められた線維束が、脳の中でどれだけの体積を示しているのかを表しています。ここでは、線維束が集まっているとされる脳の領域(「白質」)の中で、どのぐらいの割合の場所でトラクトグラフィーが線維束を見つけることができたのかを表します。これまでの方法(方法A、方法B)では、今回テストした方法の中で一番良かったものでも5%の領域で線維束を見落としていることが分かります。

一方で、アンサンブルトラクトグラフィー法は、98%の領域で線維束を見つけられることが分かりました。このことにより、アンサンブルトラクトグラフィー法を使うと、これまでの方法では線維束を見つけられなかった場所でも線維束を見つけることができることが分かりました。

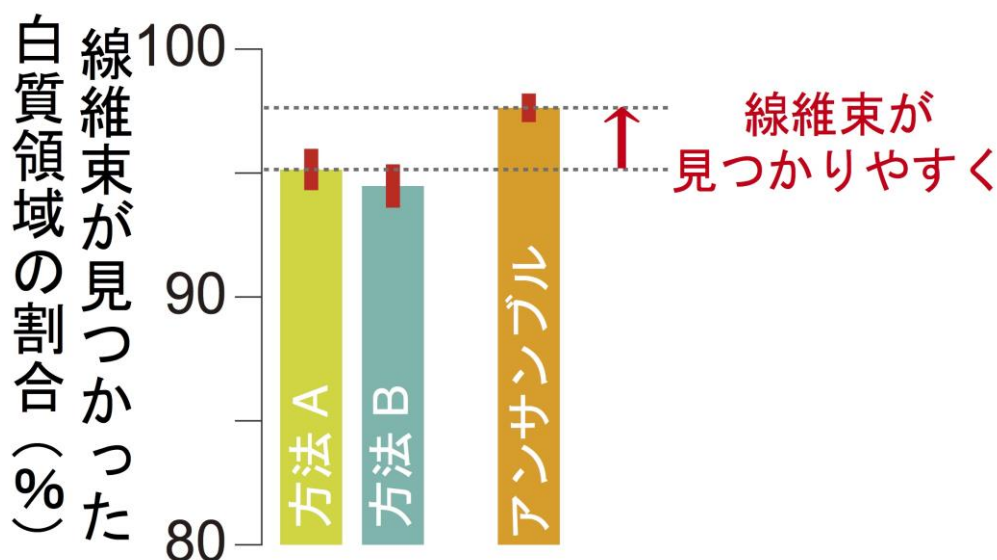


図2 トラクトグラフィーによって見つかった線維束が占める脳の領域の割合

縦軸: 線維束が集まっている白質の中で、線維束が見つかった領域の割合
エラーバー(棒グラフの赤い縦線): 解析されたデータセット間の標準誤差