



「脳波とfMRIの同時計測」を用いて脳の自発的活動を探る

われわれの脳は、なにもしていない安静時や睡眠時にも自発的に活動している。近年の脳神経科学の研究によって、脳内ネットワークにより生み出される自発的な脳活動こそが、意識や思考など、ヒトの高度な精神活動の基盤となっていることがわかってきた。

宮内哲研究マネージャー率いるCREST脳機能イメージングチームでは、機能的磁気共鳴画像（fMRI）と脳波（EEG）の同時計測の手法を確立し、脳の自発的な活動を生み出すしくみや機能的意義を非侵襲的方法によって明らかにしようとする研究に取り組んでいる。

脳波とfMRIの同時計測

機能的磁気共鳴画像（fMRI）は、

今日では、その空間分解能の高さと、臨床検査用の装置をそのまま利用できる利便性から、非侵襲脳機能研究に

とって不可欠な計測法となっている。

fMRIは、血中のヘモグロビンが酸素分子との結合の有無によって異なった磁性をとることを利用して、脳活動による血流の変化を2～4mmの分解能で脳全体にわたって画像化する。

一方脳波は、神経細胞の電気的活動を直接反映した信号であるため、時間的な解像度が非常に高い。また、臨床的な研究も含め、脳神経科学分野における膨大な知見が蓄積されて



CREST脳機能イメージングチーム専攻研究員 博士（情報学）

小池 耕彦

TAKAHIKO KOIKE Ph.D.

学歴

2005年 京都大学大学院情報学研究所 知能情報学専攻博士課程指導認定退学

職歴

2002年～2003年 京都大学経済研究所 リサーチアシスタント
2003年～2006年 科学技術振興事業機構 さきかけ研究21 リサーチスタッフ
2004年 光華女子大学人間関係学部 非常勤講師
2006年～ 摂南大学法学部/経営情報学部 非常勤講師
2006年～ 現職

無課題状態での脳活動の計測

わたしたちのチームでは、脳活動の定量化という研究目標に向かって、特に睡眠中の脳の活動を明らかにする研究を進めています。睡眠中の脳は外部刺激による活動ではなく、無課題の状態でも自律的に活動していて、しかも、これまで脳波を使った研究が蓄積され、睡眠状態の定義が確立しているので、わたしたちの研

究課題にとっても、最適な「状態」であると言えます。

これまでの脳波とfMRIの同時計測の研究で、ヒトの脳がある状態の時に、脳の複数の活動域が同時に活動している、あるいは、ある時間差をともなって活動を始めるなど、多くの有益な生データを得ることができました。

レム睡眠とノンレム睡眠の比較

しかし、それらの局所的な活動が、脳のシステムとして互いに関連する一連の活動なのか、それとも、別々の機能による互いに独立した活動なのか、それを評価する手法が必要となります。その解析には数学的、統計学的手法を用いますが、わたしは、レム睡眠とノンレム睡眠という2つの異なる睡眠状態で脳内神経回路網がどのように変化するかを検討しました。データの解析には、クラスタリング、相互相関関数、グラフ理論の3つの方法を用います。

クラスタリングは、脳の領域を同様な特性を持つグループに分けるのに有効です。相互相関は、ある関心領域と情報をやりとりしている領域を特定し関連性をマッピングすることができます。グラフ理論では、関心領域が他の領域からどの程度の情報を受け取っているかを解析できます。

そのような解析により得られたデータを総合的に分析し、ある「状態」での神経回路網の働きを推定するわけです。

認知症の脳機能分析などに応用も

レム睡眠とノンレム睡眠の「状態」での神経回路網を解析した結果、図(図2)のような神経回路網が浮かび上がりました。レム睡眠では、高次連合野と一次系との間の情報のやりとりに海馬と視床がハブのように介在し、視床と連合野との直接の情報交換はブロックされているようです。ノンレム睡眠では、連合野ネットワークと海馬・視床を含む辺縁系ネットワークが情報を交換し、一次系ネットワークは内部だけの情報交換で、他のふたつとは遮断されている可能性があります。

実験課題を必要としないで、ある「状態」における神経回路網の働きを解析する技術は、今後、認知症患者など課題ができない人の脳機能測定などの臨床分野や、意識レベルと脳活動の関連を解明する技術として、期待できると思います。

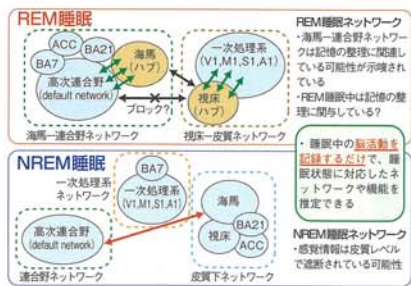


図2 ●解析結果：睡眠状態に対応した神経回路網

おり、脳波波形により、ヒトのある「状態」を定義できる。

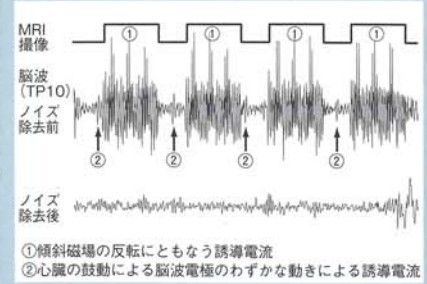
このように、fMRIと脳波は、どちらもヒトの脳活動を非侵襲的に計測する有効な方法であるが、それぞれの単独の能力は、自発的な脳活動を生み出すネットワークを特定するのに十分とは言えない。fMRIの持つ高い「空間解像度」と、脳波の持つ「状態を定義できる」という長所の両方が必要である。そこで考え出されたのが、fMRIと脳波の同時計測である。

ノイズ除去への取り組み

だが、脳波とfMRIの同時計測を実現するためには解決しなければならない難題があった。fMRIの撮像に必要な強力な磁場とその変動によって、脳波には脳活動で生じる信号の数十倍に達するノイズが混入するので、同時計測そのものが非常に困難だった。

CREST脳機能イメージングチームでは、2002年より脳波とfMRIの同時計測システムの開発に着手し、ハードウェアおよびソフトウェアの改良を重ね、fMRI撮像にともなう脳波上のノイズをほぼ完全に除去し、安定した脳波記録を行う技術を確認した。

図1●MRマグネット内で記録した脳波（上段）とノイズ除去後の脳波（下段）



(図1)

さらに、被験者の目の動きや身体の動きを赤外線カメラで同時に記録してfMRIデータの解析に利用することが可能な統合的なシステムを構築している。



CREST脳機能イメージングチーム
専攻研究員 博士(学術)
寒 重之
SHIGEYUKI KAN Ph.D.

学歴
2003年 金沢工業大学人間情報工学科卒
2008年 九州工業大学大学院生命体工学研究科
博士後期課程修了 博士(学術)

職歴
2008年～ 現職

急速眼球運動時の脳活動部位を同定

fMRIと脳波の同時計測をおこなうことによって、覚醒・ノンレム睡眠・レム睡眠といった状態の違いに対応した脳内ネットワークを調べるだけでなく、各状態に特徴的に現れる一過性の現象に関連した脳活動を調べることができます。

たとえば、ノンレム睡眠中の脳波に現れる睡眠紡錘波や、レム睡眠中の急速眼球運動(REMs)などにもなう脳活動も計測可能になりました。(図3)

わたしたちは、脳波とfMRIの同時計測システムにより、レム睡眠中のfMRI計測を行い、網膜からの視覚入力がないにもかかわらず、視床、視覚野等の視覚情報の処理に関係する脳部位がREMsにもなって活動することを確認しました。これは、レム睡眠中にも脳で視覚情報処理がおこなわれていることを示しています。

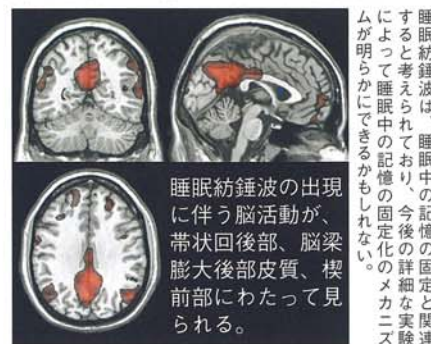
今後、より詳細な実験・解析を行うことにより、レム睡眠中に見る夢に関連した脳活動を計測・分離することも可能になると考えられます。

心拍・呼吸との同時計測でfMRIの精度を向上

また、わたしたちは、fMRIと脳波の同時計測に加えて、心拍や呼吸などの自律神経活動の指標も同時に計測し、これらの生理指標と脳活動との関連を調べる研究も行っています。

もともと、心拍や呼吸による頭部の動

図3●睡眠中の睡眠紡錘波の出現に伴う脳活動部位



きがfMRI信号のノイズの原因となることが知られており、これまで、さまざまなノイズ除去法が提案されてきました。しかし、心拍や呼吸は頭の動きを起こすだけでなく、脳血流にも影響を与え、fMRI信号にノイズを生じさせることがあります。このようなノイズは、これまで提案されてきた手法では対処することが出来ません。したがって、生理指標との同時計測は、fMRI信号の精度の向上に大変重要です。

自律神経活動と脳活動との関係を分析

これまでの脳神経科学では、自律神経系の活動はあまり注目されてきませんでした。しかし、心拍や呼吸は、精神状態や生理状態に応じて鋭敏に変化します。そして、わたしたちのこれまでの研究からも、心拍変動と脳活動との関係が明らかになりつつあります。

さらに研究が進めば、大脳における血流の制御に関連した自律神経メカニズムの解明が期待されるだけでなく、生理指標とfMRI信号との関係に基づいて、さまざまな脳神経変性疾患の早期診断が可能になるかもしれません。

このように、わたしたちが開発した脳波や生理指標とfMRIの同時計測は、意識や睡眠等の基礎研究のみならず、臨床面への応用にも期待できると思います。