

脳の解読装置をつくる

Andrzej CICHOCKI

アンジェイ チホツキ

脳科学総合研究センター 脳型計算論研究グループ
脳信号処理研究チーム チームリーダー

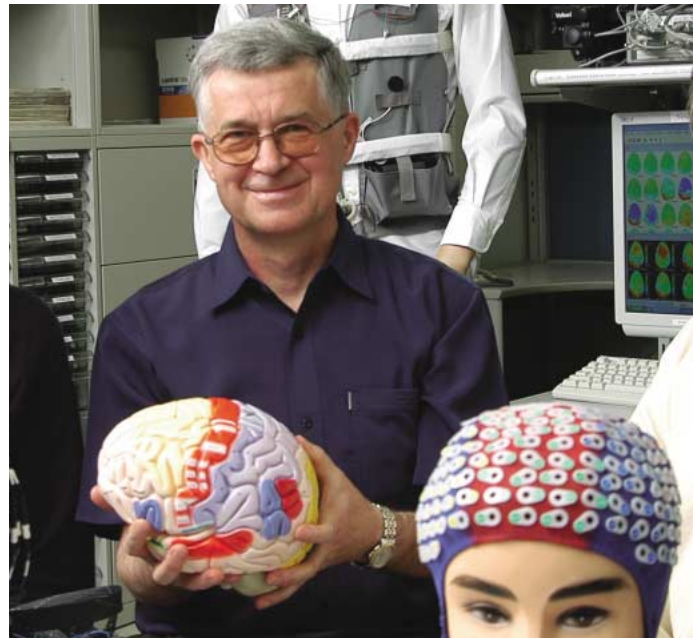
脳波から脳活動をとらえる“脳の解読装置”をつくる。それが脳信号処理研究チームの目標である。ただし、脳波にはさまざまな脳活動に伴う成分が複雑に混じり合っていて、知りたい情報が隠れてしまっている。その複雑な脳波を解読するために、脳信号処理研究チームには神経科学や工学、応用数学など、さまざまな分野の研究者が集まり、共同研究を行っている。そして、独立成分分析(ICA)という独自の手法を用いて脳波から知りたい情報だけを引き出し、アルツハイマー病の兆候を見つけたり、コンピュータを直接操作したり、心理状態の計測や脳の情報処理メカニズムを解明できる脳の解読装置をつくらうとしている。

脳波から知りたい情報だけを引き出す

脳は電気信号を発する神経細胞が100億個以上集まって巨大なネットワークをつくっている。その一つ一つの神経細胞が発する電気信号はとても弱いので、脳を傷つけずに外側から計測することはできない。しかし約1000個以上の神経細胞が同時に活動して電気信号が発生すると、脳の外側で電位の変化として計測できる。それが脳波だ。

脳波には、呼吸や歩行をコントロールする活動や、見たり聞いたりしたものを認識する活動など、脳のあらゆる活動に伴う成分が複雑に混じり合い、さらに心臓の拍動はくどうやまばたきなどに伴うノイズも混じっている。

ポーランド出身のアンジェイ・チホツキアンジェイ・チホツキチームリーダーは、信号処理の専門家として10年前に来日し、脳波を解読する研究チームを理研で立ち上げた。さまざまな成分が混じった信号の中から、知りたい情報だけを引き出す「ICA (Independent Component Analysis: 独立成分分析)」の研究において、Cichockiチームリーダーは、脳科学総合研究センターの甘利俊一センター長と並び、世界的に著名な研究者である。ICAは高度な数学的手法を用いた解析方法で、例えば複数の画像が重なったものから、元の画像を分離することができる(図1)。Cichockiチームリーダー率いる脳信号処



理研究チームでは、このICAという独自技術を用いて、脳波からどのような情報を引き出し、解読しようとしているのだろうか。

脳波からアルツハイマー病の兆候を発見する

2004年、脳信号処理研究チームは、脳波からアルツハイマー病の兆候を高い確率で発見できる可能性を示し、大きな反響を呼んだ。アルツハイマー病は神経細胞の細胞死により脳が萎縮いしゆくし、人格が破壊されていく進行性の認知症(痴呆症)である。アルツハイマー病は加齢とともに発症率が増加するので、高齢化社会の進展により患者数が急増することが確実視されているが、根本的な治療法はまだない。ただし、病気の進行を遅らせる薬が開発されつつあるので、できるだけ早い段階でアルツハイマー病の兆候を発見することが重要である。

「通常の診断で発見できる症状が表れる前の段階で、アルツハイマー病を早期発見することは非常に難しい課題です。この課題に対して私たちはまったく新しい手法を提案し、開発を続けています。症状が表れる数年前に、アルツハイマー病に伴う脳波のパターンや特徴を検出することができる一連の信号処理手法です。この手法は中・高齢者を対象にしたアルツハイマー病の定期集団検診の可能性を拓くものです」とCichockiチームリーダーは語る。

現在、PET（陽電子放射断層撮影装置）やMRI（核磁気共鳴画像診断装置）などによりアルツハイマー病を診断する方法が開発されつつあるが、その診断にはかなりのコストがかかる。

一方、Cichockiチームリーダーらが開発を進めている手法は、一般の病院で既に使われている標準的な脳波計を用いた測定データを解析するため、格段に安価な診断法となる。またPETによる計測では微量の放射性同位元素でラベルした化合物の投与が、MRIによる計測では強力な磁場が必要だが、脳波の計測ではそのような必要がなく、簡便で安全性が高い。開発に成功すれば、アルツハイマー病の定期集団検診の手法として一気に普及するだろう。

アルツハイマー病の症状は、記憶力の低下や無気力、うつ状態などに始まるが、そうした具体的な初期症状が表れる何年か前から、海馬と呼ばれる脳の奥にある領域で神経細胞の細胞死が始まると考えられている。神経細胞が死ぬと電気信号を出さなくなる。それを反映して脳波の周波数や振幅の時間変動パターンが変化するはずだ。それを目印に、アルツハイマー病の兆候を発見するのだ。

脳波から知りたい情報だけを引き出すには、まずノイズを取り除く必要がある。その後、ICAを使って、それぞれ独立した成分に分離する。さらに、分離した成分が脳のどこで発生したものを画像として示すことができる（表紙下段）。「分離した成分の中に、海馬で神経細胞が死に始めたことを示す脳波のパターンが3～4個ほど見つかるはずですよ」とCichockiチームリーダーは語る。ただし、分離された成分は極めて微弱である。従来はそのよう

な微弱な成分は、脳波を200～300回も計測し、加算平均という手法で検出する以外に方法がなかった。しかしそれでは検査に長時間かかり、集団検診に応用できない。研究チームでは、ICAを用いて1回の脳波計測で微弱な信号を検出することを目指している。

アルツハイマー病の兆候を示す目印となる脳波パターンを見つけるには、数年後にアルツハイマー病を発症した人と正常の人の脳波を比べて、統計的に違いを探し出す。しかし、誰が数年後にアルツハイマー病を発症するかは、事前には分からない。多くの中・高齢者の脳波を定期的に計測するとともに、症状が表れたかどうかを追跡調査する必要がある。研究チームでは医療機関の協力を得て、それぞれ100名ほどのデータを集めて比較し、アルツハイマー病の症状が数年後に表れた人だけに見られる脳波パターンを発見した（図2）。このパターンを目印にすると、数年後にアルツハイマー病になる人を約92%の確率で発見できる。

「見つかった脳波のパターンが、本当にアルツハイマー病による神経細胞の細胞死を反映したものなのかを確かめるとともに、世界各地から採取された大量のデータの解析とコンピュータシミュレーションにより、この診断法の有効性を確認することが今後の課題です」

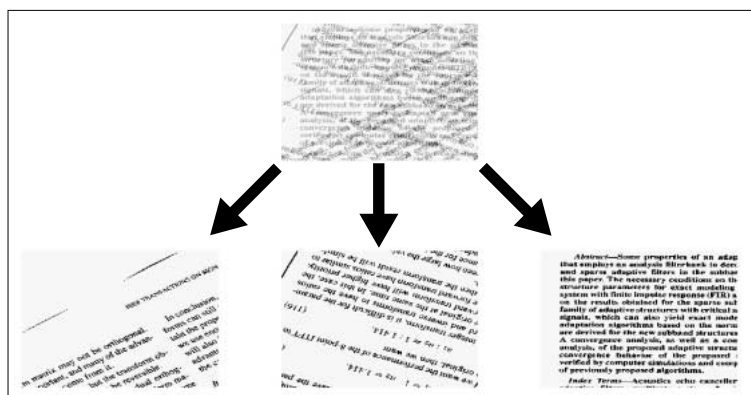
この方法は、アルツハイマー病だけでなく、パーキンソン病など脳のさまざまな病気にも有効なはずだ。また病状がどの段階かを診断したり、投薬の効果を調べることもできるだろう。「私たちと同じように脳波でアルツハイマー病など脳の病気を診断しようという研究グループが、世界に2～3ヶ所ありますが、ICAという独自の方法を持つ私たちが世界をリードしていると思います」とCichockiチームリーダーは自信を見せる。

さらにICAを用いたこの方法は、脳波だけでなく、例えば心臓の拍動に伴う心電図など、体のあらゆるところから発生している生体信号を計測して診断に応用することができる、とCichockiチームリーダーは考えている。「例えば、妊婦の生体信号を計測して胎児の心電図の成分だけを分離し、わずかな異常を見つけることもできるでしょう」

脳波でコンピュータを操る

脳の信号によりコンピュータを直接操作するBCI（Brain Computer Interface）の研究が、近年盛んに行われている。例えばサルの脳の運動野に電極

図1 独立成分分析 (ICA) の応用例



ICAを用いると、文章が混じった画像（上段）から、元の3つの文章（下段）を分離することができる。

を埋め込み、神経細胞が発する電気信号をとらえてコンピュータのカーソルを動かしたり、ロボットアームを操る実験の成功例が報告されている。筋力が衰える病気の人や、^{せきずい}脊髄が傷つき体の自由が奪われた人にとって、BCIは生活上の重要な手段となり得る。米国ではBCIを目的とした電極の埋め込み手術を5~10年後に医療行為として実用化しようという動きがある。

一方、脳信号処理研究チームでは、手術することなく、脳波でBCIを行うことに挑んでいる。脳波でコンピュータのカーソルを上下左右に動かす、クリックすることさえできれば、さまざまなコンピュータ操作が可能となり、障害を持つ人のQOL (Quality of Life: 生活の質)は大きく向上する。

現在、研究チームでは計測した脳波のデータをコンピュータに取り込んでICAを駆使して解析し、カーソルを約70%の確率で左右の望む方向へ動かすことに成功している。実用化への課題は、その確率を高めるとともに、リアルタイムで操作できるようにすることだ。つまり、「カーソルよ、右へ行け」と1回考えただけで、素早く、確実にカーソルが右へ動くようにすることである。将来は、ロボットアームを3次元で動かすことを目指している。

脳波で心理状態や思考過程に迫る

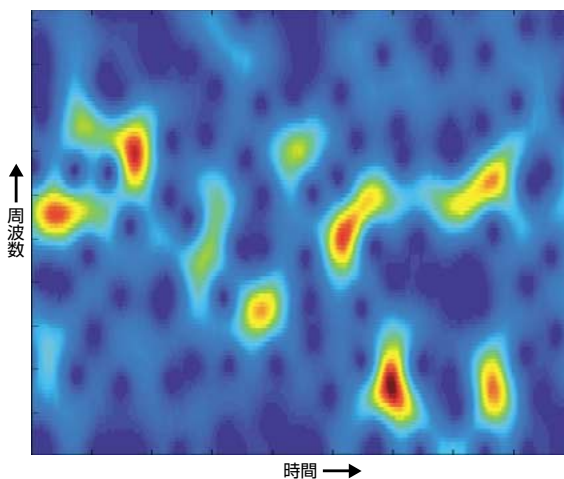
脳を傷つけずにその活動を高い空間分解能で調べることができるPETやMRIの登場により、脳科学が大きく進展している。しかし、神経細胞の活動に伴う血流量や代謝量の変化をとらえるPETやMRIは、原理的に時間分解能があまり高くない。何か外部から刺激を与えて脳が活動しても、それをリアルタイムで計測できないのだ。しかも装置の中に脳を固定して測定しなければならない。

一方、脳波は脳を固定せずに電極を付けた帽子をかぶるだけで計測できるので、さまざまな課題を行う実験ができる。また脳波は神経細胞の電気信号に伴う電位の変化なので、1000分の1秒以下の時間分解能で脳活動をとらえられる。ただし従来、脳波から知りたい成分だけを分離し、その成分がどの領域から発生したものか高い空間分解能で突き止めることが難しかったため、脳波から解析して得られる情報には限りがあった。

ICAを駆使して脳波を解析すれば、これまで計測できなかった脳活動をとらえ、脳科学の発展に貢献できるはずだ。例えば、従来は脳波を解析しても、気持ちが良いか悪いかわくくらいしか判別できな

脳が発する信号には
さまざまな成分が複雑に混じり合っていて、
知りたい情報が隠されている。
“脳から隠れた情報を引き出す”
それが私たちの研究テーマです。

図2 アルツハイマー病の兆候を示すと考えられる脳波のパターン



かった。研究チームでは、悲しい・怖い・うれしい・驚く・いらいらする・じれったい、などの細かい心理状態を、ICAを駆使して脳波で計測する研究を進めている。脳波で心理状態を細かく計測できれば、自然科学の研究テーマになりにくかった心理学的な研究を推進できるだけでなく、例えば自動車のドライバーの心理状態を計測して危険な場合は自動的に止まるようにしたり、広告のインパクトを計測したりすることもできるだろう。

脳の情報処理過程を、脳波によって調べる研究にも取り組んでいる。脳は視覚や聴覚など異なる情報を統合して判断したり、大切な情報だけに注目して情報処理を行うことができる。そのメカニズムは脳科学における最大の謎の一つだ。研究チームでは、異なる情報処理に伴う脳波の各成分がどのように変化するかを高い時間分解能で調べて、この謎を解明しようとしている。「仕組みを解明して理論モデルをつくり、ロボットに応用したいと考えています」とCichockiチームリーダーは夢を語る。

脳信号処理研究チームが開発している脳の解読装置は、脳科学や医学、ロボット工学などあらゆる分野に大きなインパクトを与えることだろう。 **R**