

## 独立成分分析と多次元有向コヒーレンス解析を併用した

 $\alpha$ 波の脳内伝搬分析

## Analysis of Alpha Wave Propagation in a Brain by Combination Use of Independent Component Analysis and Multidimensional Directed Coherence Analysis

阪田 治† Osamu Sakata      鈴木 裕† Yutaka Suzuki      脇 隼人† Hayato Waki

## 1. まえがき

多次元有向コヒーレンス解析(MDC解析)[1]は、多次元時系列間における情報の流れを可視化するための一方法であり、これによって、人間の脳などのブラックボックス化されているシステム内部の情報通信網構造の推定や情報通信動態について知見を得ることができる。これまで、多次元有向コヒーレンス解析法を用いた脳機能解析および臨床脳波解析に関する研究がいくつか行われてきた。しかし、多次元有向コヒーレンス解析は複数の信号源から発生する情報の流れの総和のみを検出するため、脳内に複数存在すると考えられる個々の情報流出源を起源とする情報の流れを区別して検出することができなかつた。特に解析対象を人間の脳波とした場合、もし伝搬された情報の流れを臨床神経生理学的根拠の下に分類することが可能となれば、脳機能解析や臨床脳波診断において、極めて画期的なことである。そこで本論文では、多次元有向コヒーレンス解析に独立成分分析(Independent component analysis (ICA)[2])を組み合わせ、臨床脳波学上の分類に基づく個々の脳波成分に関連する情報の流れの可視化法の提案を行う。その実施例として、健常者の閉眼安静時脳波中の $\alpha$ 波由来の情報の流れの可視化を行った。

## 2. 実験方法

多チャンネル脳波中の情報の流れに神経生理学的な意味付けをするための方法として、図1に示す手順を提案する。まず、解析対象である多チャンネル脳波の多次元有向情報量解析を行い、各脳波系列間の情報の流れを求める。次に、元の多チャンネル脳波に対して独立成分分析を行う。続いて、元の多チャンネル脳波 N ch に ICA で得られた独立成分のうちの1つを追加した N+1 ch の多次元時系列に対し、多次元有向情報量解析を行う。さらに、必要であれば他の独立成分に対しても同様の処理を行う。最後

に、図1(2)および図1(5)の結果を統合し、脳波系列間の全ての情報の流れの中のどの流れが、選択した独立成分に由来するものであるかを推測する。

被験者は32歳健康常男性、安楽椅子上で閉眼安静状態を維持して脳波を測定した。電極は国際10-20法に基づく8電極(N=8)を使用し、両耳朶を基準電極とする単極導出を行った。データのサンプリング周波数は500Hz、解析データ長は約16sである。

N+1チャンネルの多次元時系列を構成する独立成分には、その形状および周波数特性がきれいな $\alpha$ 波によく似た成分を2系列選び、その2系列のうちの1系列ずつを別々に用いてN+1チャンネルとし、MDC解析を2度行った。

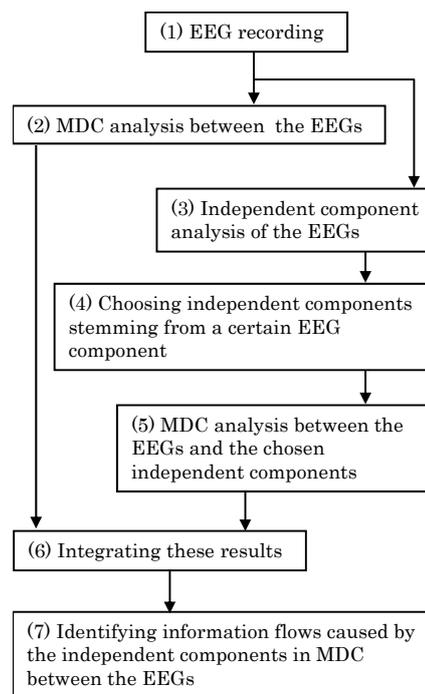


図1 脳波中の特定成分の情報の流れを推定するプロセス

† 山梨大学 University of Yamanashi

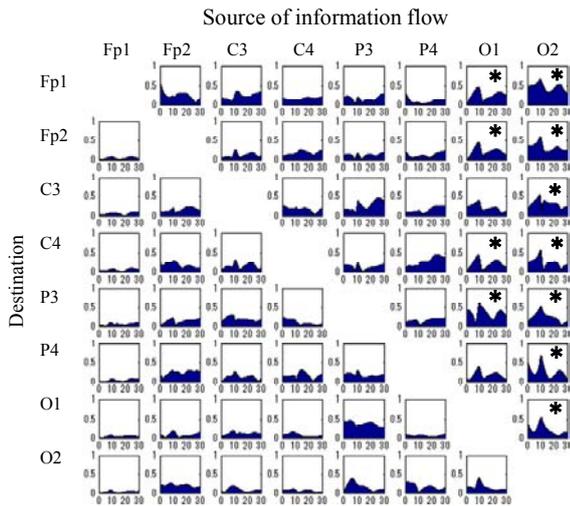


図2 各電極から得られた脳波信号間の有向コヒーレンス。

### 3. 結果および考察

各脳波間の情報の流れを表す多次元有向コヒーレンス解析結果を図2に示す。各グラフは、縦軸が有向コヒーレンス(0~1)、横軸が周波数(0~30Hz)を表す。ちなみに有向コヒーレンスは方向性を持つコヒーレンスと定義され、グラフの読み方は一般的なコヒーレンスと同様である。

一方、8チャンネル脳波に独立成分(IC)を1系列加えて8+1系列として行ったMDC解析結果を図3に示す。図3の第1, 2列はそれぞれ、+1系列として独立成分(IC1, IC2)を選び、IC1, IC2から8チャンネルの各脳波系列への情報の流れを表している。IC1, IC2は中心周波数が約10Hzのきれいな $\alpha$ 波様の独立成分である。

図2中の\*印は、10Hzあたりの周波数成分の有向コヒーレンスが高い値(閾値を0.5とした)を示している流れである。これを見ると、10Hz付近の周波数成分の情報の流れは、後頭部(O1, O2)を流出元として前頭方面に向かう流れであると推測できる。また図3より、IC2を信号源とする情報の流れの方がIC1よりも10Hz付近における有向コヒーレンスが大きいので、IC2を $\alpha$ 波の主要構成成分と考える。図2の結果および図3のIC2からの流れを総合して判断し、脳内情報の流れの模式図を表現したものが図4である。これは、脳内にIC2を生成する信号源が存在し、そこから主に後頭部への情報の流れ(または湧き出し)が起こり、それが頭頂を経由して前頭方面へ伝搬していく様子を表している。

Source of information flow

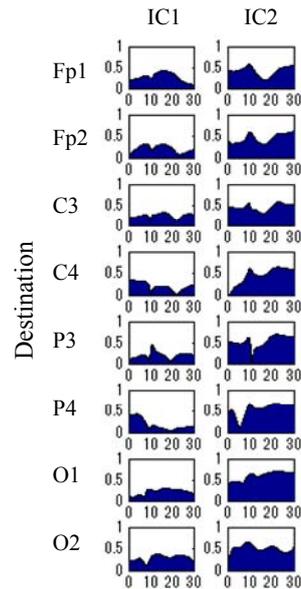


図3  $\alpha$ 波の主要成分から各脳波信号への有向コヒーレンス。

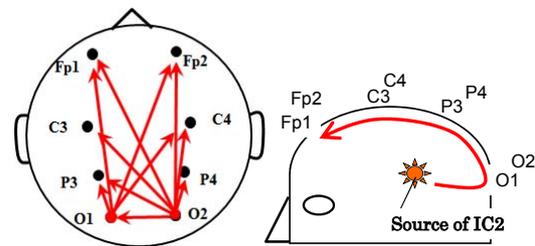


図4  $\alpha$ 波の主要成分(IC2)を流出源とする情報の流れの推定伝搬経路

### 4. まとめ

本報告では、人間の脳波の多次元有向コヒーレンス解析によって検出される情報の流れに対し、独立成分分析を利用して特定の脳波成分に特化した情報の流れを調べる方法の提案を行った。その実施例として、ある健常被験者の閉眼安静状態時の脳波中の $\alpha$ 波成分の流れの推定を試みた。その結果、「 $\alpha$ 波は後頭から前頭へ広がるように伝播する」という古くから言われている仮説に従った結果を得た。

### 参考文献

- [1] 阪田治, 今西なお美, 島田尊正, 椎名毅, 斎藤陽一, “多次元有向コヒーレンスによる $\alpha$ 律動の因果性解析”, 電学論C, Vol.118-C, No.7/8, pp.1016-1025 (1998)
- [2] P. Georgiev and A. Cichocki, Robust Independent Component Analysis via Time-Delayed Cumulant Functions, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E86-A, No. 3 (2003)