

タイトル	等価電流双極子推定法による脳内活動時空間推定のための脳波のICAによる前処理
著者	山ノ井, 洋; 田中, 良典; 豊島, 恒; 山崎, 敏正; YAMANOI, Takahiro; TANAKA, Yoshinori; TOYOSHIMA, Hisashi; YAMAZAKI, Toshimasa
引用	北海学園大学工学部研究報告(42): 93-100
発行日	2015-01-15

等価電流双極子推定法による 脳内活動時空間推定のための脳波のICAによる前処理

山ノ井 高 洋*・田 中 良 典**・
豊 島 恒**・山 崎 敏 正***

Preprocessing of electroencephalograms by Independent Component Analysis for Spatiotemporal localization of brain activity

Takahiro YAMANOI*, **Yoshinori TANAKA****, **Hisashi TOYOSHIMA****,
and **Toshimasa YAMAZAKI*****

Abstract

The authors measured electroencephalograms (EEGs) from subjects on recalling several types of images presented on a CRT. Each presented image consisted of four types line drawings of body part. During these experiments, the electrodes were fixed on the scalp of subjects, however, thus obtained EEGs were multiple components including muscle potential, brain potential, etc. Recently, independent component analysis (ICA) is paying an attention for applications to EEG analysis. The ICA is a technical method for solving so called the cocktail party problem. We applied the ICA to single-trial EEGs for preprocessing in order to obtain real brain activities, and then we tried to estimate spatiotemporal brain activities by use of the equivalent current dipole source localization (ECDL) method. Results were almost coincided with previous results from ECDL analysis attempted to event related potentials (ERPs) ; averaged EEGs.

1 はじめに

山ノ井らは、これまでにさまざまな線画（視覚刺激）を提示して、それらの線画を認知する際、および線画について名称の想起や文字の想起をする際の被験者の脳波（EEG：Electroencephalogram）を計測し、これらを加算平均した事象関連電位（ERP：Event Related Potential）

* 北海学園大学工学部生命工学科

* Department of Life Science and Technology, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

** (株)ジャパンテクニカルソフトウェア

** Japan Technical Software Co. Ltd.

*** 九州工業大学情報工学部生命情工学科

*** Department of Biosciences and Bioinformatics, Faculty of Computer Science and Systems Technology, Kyushu Institute of Technology

に対して、等価電流双極子推定法を試み、推定された結果を基に、視覚刺激に対するヒトの脳における種々の処理について時空間的に研究してきている [1], [2], [3], [4], [5].

現在は, single-trial EEGに混入するノイズを削除し, 全体の特徴を抽出するために線画ごとの波形データに対し加算平均法を用いている.

しかしながら, この従来の手法では多くの計測データを必要とし, 実験時間の増加など被験者への負担が増し, 正確なデータの取得が困難となる恐れがある.

近年, 新たな信号解析の前処理手法として独立成分分析 (ICA: Independent Component Analysis) が注目されている. ICAはいわゆるカクテルパーティ問題 (複数の信号が混合された観測信号から原信号を分離する問題) を工学的に解決する方法である [6], [7].

一方, 脳波 (EEG) は頭皮上に装着した電極から, 脳内や筋肉の活動で生じる複数の成分が混合したものである. 本研究では, 計測されたEEGに前処理の意味でICAを適用することで single-trial EEGに隠された生体内部から発生するアーチファクトの分離を試みた. これが有効となれば, EEG計測後ERPを得る目的から, 従来は数十回の実験を繰り返していたが, EEG計測実験の回数が大幅に減少可能となる. このことは, 被験者の疲労軽減に役立つ. さらに, 当研究室で並行して進めているEEGを用いたブレイン・コンピュータ・インターフェイスへの応用研究に関しても, single-trial EEGを用いていることからICAの前処理によって判別精度を高めることが期待できる.

本論文では, ICAの有効性を確かめるため, ICA適用後のデータに対し, 線画の認知時における脳内活動部位の時空間推定 (ECDL) 法を試みた [8], [9]. この結果を, 従来山ノ井らが試みてきた数十回の実験結果のEEGを加算平均して得られた事象関連電位 (ERP) に対し て試みたECDL法の結果 [5] と比較検討を行った.

2 独立成分分析とは

ここで, n 個の独立な信号原から発生する未知の信号

$$s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t)$$

とこれらの未知の原信号が線形に混ざった n 個の測定信号

$$x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$$

があり, それが時間によらない行列 A によって線形関係

$$x(t) = As(t)$$

で結ばれているとする. ICAの目的は $s(t)$ が独立であるとの仮定から, A に関する知識なしに

$x(t)$ を n 個の独立な成分に分離することである．実数行列 W が存在すれば，次式

$$y(t) = Wx(t)$$

により互いに独立な $y(t)$ を再構成して，元の信号が回復可能となる． $WA = I$ (I は単位行列) となれば， $y(t)$ と $s(t)$ は一致する．しかしながら， $y(t)$ の成分の独立性に順序は影響しないので $WA = PD$ となれば良い．ただし， P は各行，各列に 1 つだけ 1 をもつ行列， D は対角行列である．いくつかの信号の独立性の定義の 1 つのもとで， W をあるコスト関数を基に，コストが最小になるように決定する．

これが，いわゆるカクテルパーティ問題といわれる，雑音から必要な音声を聞き分ける効果の数学的处理と言われている．

3 独立成分分析による脳波の前処理

本研究では，MATLABのICA分析ツールであるICALAB（理研）を用いて，前処理として single-trial EEGにICAを適用することを試みた（図1）．ICALABの中で我々が用いた方法は不動点法を用いたアルゴリズム（Fixed-Point ICA）である．ICALABは，我々が今まで行ってきた国際10-20法に基づいた19chのEEG計測データに対し，独立成分を求め，それらの独立成分を基に，計測データを再構成することが可能である．本研究では，ICALABで19個の独立成分を抽出し，さらに各独立成分を基に再構成した19個のEEGデータ（ $y_1 \sim y_{19}$ ）を求めた．

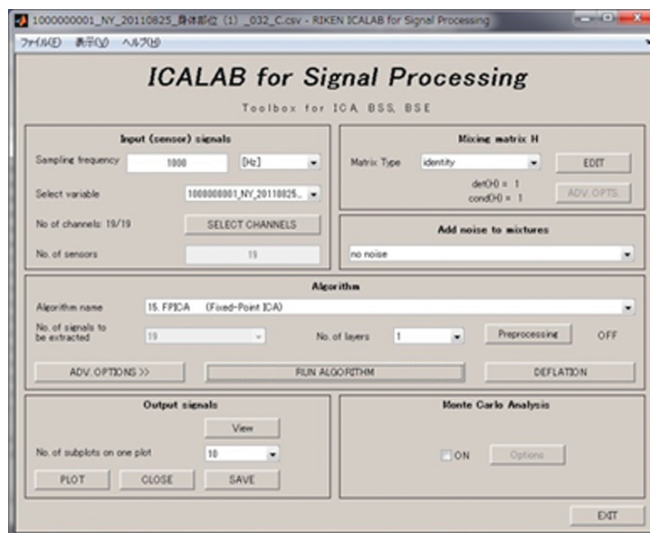


図1 本研究で用いたICA解析ツールICALABの初期画面

さらに，不動点法では，独立成分をとして求められた結果も元の19chに対応させるので，独立成分によって再構成された計測データ $y_1 \sim y_{19}$ に対して等価電流双極子推定（ECDL：

Equivalent Current Dipole source Localization) 法による脳活動の時空間推定を試みた。本研究での推定には1双極子モデルと3双極子モデルを用い比較を行った。

4 ICA前処理後のデータへの1双極子モデルECDL法の適用

本研究に用いたEEGsは、先行研究により加算平均処理による脳波の特徴抽出と脳活動の推定を行っている [5]。そこで、それらの推定された脳部位と今回の推定された脳部位の比較を行った。先行研究において得られたERPデータを図2に示す。表1には先行研究において推定された脳部位、表2にICAを適用したEEGにおいて推定された脳部位の一部を示す。表1と表2より、一次視覚野 (V1) や中心後回、海馬傍回などの活動を推定したという点で一致がみられた、しかしながらICAを適用した推定結果において、言語野 (Broca野やWernicke野など) での活動や認知に関わるとされる紡錘状回での活動などは推定することができなかった。また、ECDL法による推定結果の評価基準となる適合度 (GOF: Goodness of fit) などの値も従来用いてきた基準を満たさなかった。

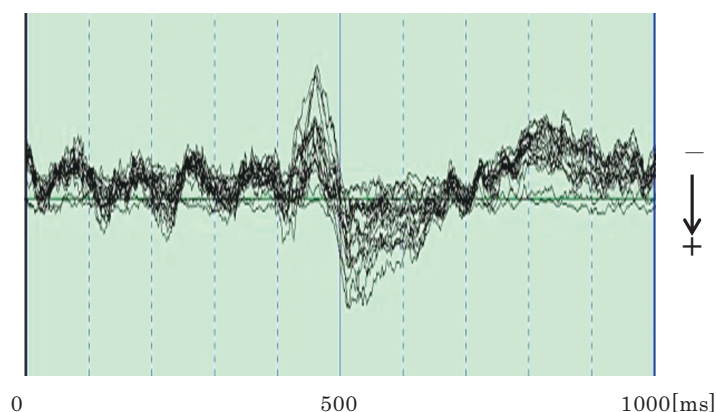


図2 脳波計測で得られた事象関連電位 (ERP) のデータ

表1 先行研究において加算平均後の脳波に対してECDL法を適用した推定部位とその潜時

V1	ITG	R ParaHip	R AnG
131	323	393	427
Wernicke	R Broca	R ParaHip	R PstCG
455	485	506	524
L FuG	R ParaHip	Broca	[ms]
556	590	681	

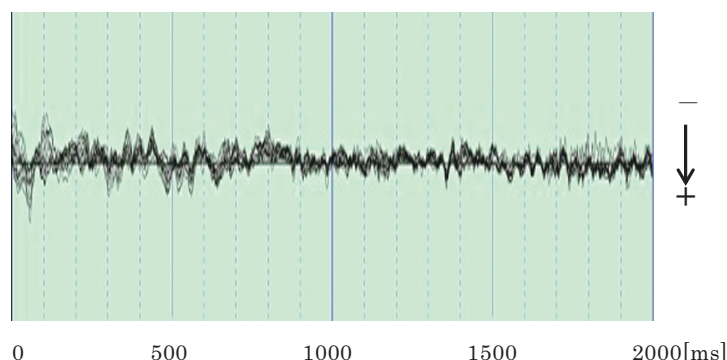


図3 脳波計測で得られたsingle-trialのデータ

予備実験的に試みた1双極子モデルによるECDL推定では、先行研究と一致する結果が一部しか確認できなかった [11]。得られた一部の結果を図4に示す。また、Goodness of Fit (GOF) の値は、従来我々が基準としている99%を上回る結果はいずれも得られなかった。本研究では、より推定精度の高い3双極子モデルによる推定を試みた。さらに、EEG計測によって得られたERPデータ (図3) の特徴より、解析潜時幅を1双極子による解析より狭め、適用する範囲を0～2000msから0～1000msに変更した。

図4にICA適用後のEEGデータ (0～2000ms) に1双極子によるECDL法推定を試みた結果の例を示す。指定されたECDが分散する結果と一カ所に集中する結果と2つの場合が表れてい

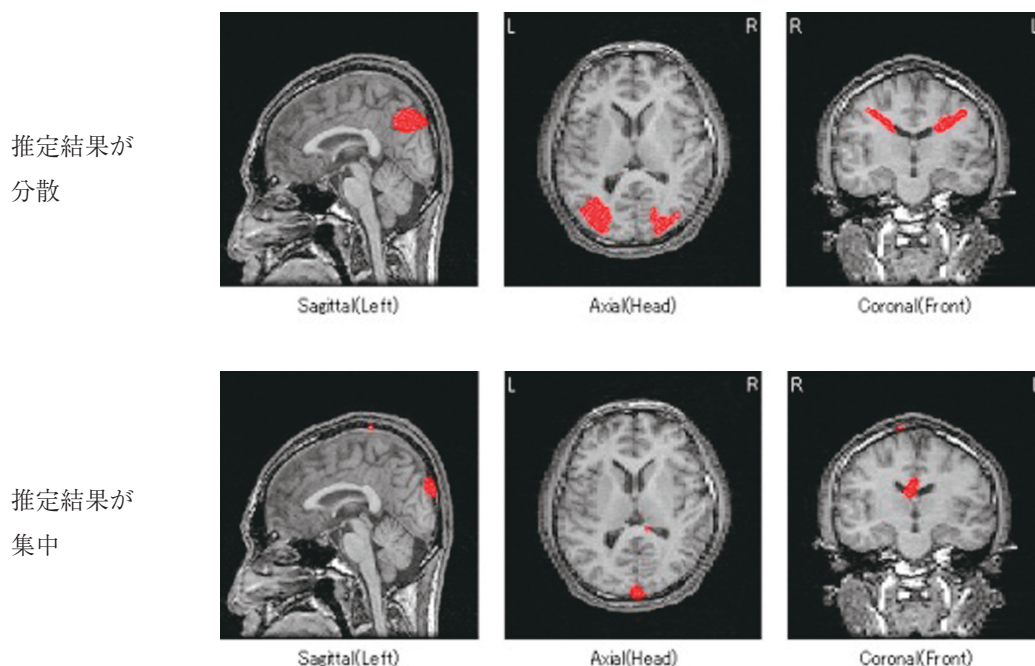


図4 1双極子ECDL法による推定結果の比較

た。

さらに、EEGデータを2分の1（1～1000ms）、4分の1（1～500msと501～1000ms）に分割してICAを適用することで推定結果の向上を図った。その結果、分析対象データの範囲を絞ることで、推定された脳部位の増加など、ある程度の向上が確認できた。しかしながら、適合度などの評価値における向上は確認できなかった。

今後はさらに狭い範囲（250ms間隔または100ms間隔）でデータを分割することで推定結果の向上がみられるかの検討、そして1双極子モデルだけではなく2双極子モデルと3双極子モデルを用いて脳活動の推定を行う必要があることが考えられる。

5 ICA前処理後のデータへの3双極子モデルECDL法の適用

本節では、ICAによって再構成された計測データ $y_1 \sim y_{19}$ に対して、より推定精度の高い3双極子モデルECDL法による脳活動の時空間推定を試みた結果を述べる。また、先行研究で得られたERPデータ（図2）の特徴から、解析範囲を0～2000msから0～1000msに変更した。図5には、ICAによって再構成された計測データ $y_1 \sim y_{19}$ のうち、 y_1 にECDL法を適用して得られた推定結果の一例を、表2には、推定された部位とその潜時の関係を示す。表3では、 $y_1 \sim y_{19}$ それぞれの推定結果と先行研究によって得られた推定結果[10]と比較し、一致した推定結果のみをまとめた。

最後に、 $y_1 \sim y_{19}$ のEEGデータにおける推定結果と潜時の関係をまとめたものを表3に示す。

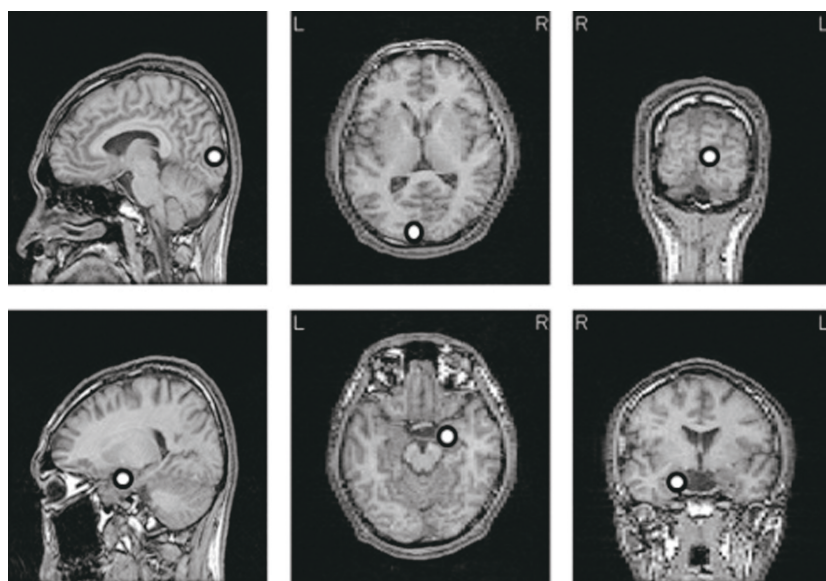


図5 3双極子モデルECDL法による推定結果の一例

表 2 y1 成分に対するECDL推定部位とその潜時

V1	R ITG	R ParaHip	R AnG
128	None	374	None
Wernicke	R Broca	R ParaHip	R PstCG
None	None	510	None
L FuG	R ParaHip	Broca	[ms]
None	595	None	

表 3 y1～y19のデータにおけるECDL推定部位とその潜時

V1	R ITG	R ParaHip	R AnG
y1 : 128 y2 : 129 y7 : 141 y8 : 124	y3 : 325 y12 : 318 y17 : 326 y18 : 310	y1 : 374 y2 : 394 y6 : 393 y7 : 384 y8 : 389 y13 : 404 y15 : 402 y16 : 386	y3 : 427 y13 : 430
Wernicke	R Broca	R ParaHip	R PstCG
y12 : 451 y16 : 448 y19 : 439	y9 : 484 y10 : 484 y18 : 488	y1 : 510	y7 : 505 y9 : 530
L FuG	R ParaHip	Broca	[ms]
y8 : 558 y10 : 553 y17 : 575	y1 : 595 y12 : 593 y16 : 603	y3 : 630 y8 : 686 y16 : 667	

6 考察

ICAを適用したsingle-trial EEGにECDL法を適用し、ERPデータに対してECDL法を試みた結果と比較を行った。先行研究のERPに対するECDL法による推定結果とICAの前処理を試みたSingle-trial EEGに対して3双極子モデルによるECDL法を試みた推定結果の比較を試みた。

表3に見られるように、すべての結果と比較をおこなった結果、かなりの部分で推定が一致した。また従来の結果以外の新たな推定部位も得られたが、今までのERPデータからの解析では失われていた反応が発見された可能性がある。このことから、3双極子によるECDL法推定の前処理としては、ICAは有効ではないかと結論づけられる。また、今回は解析の潜時の範囲を0～2000msから0～1000msに変更したことで良好な結果を得たことから、さらに、潜時を細かく分けて、ICAによる前処理を試みるのが有効であるかも知れない。

7 謝辞

本研究の一部は、平成19年度に採択され、平成25年3月終了した文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に伴う北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター研究プロジェクト「電磁・光センシングを主体とする生体関連情報の先進的計測・処理技術の開発と応用」の一環として行われた。本研究を行うにあたり協力を頂いた被験者および援助を頂いた方々に謝意を表す。本実験データのECDL解析には平成25年度山ノ井研究室卒業研究生川村優樹君の援助をうけた。

参考文献

- [1] T. Yamanoi, T. Yamazaki, J.-L. Vercher, E. Sanchez, M. Sugeno : Dominance of recognition of words presented on right or left eye –Comparison of Kanji and Hiragana–, Modern Information Processing From Theory to Applications, B. Bouchon-Meunier, G. Coletti and R.R. Yager (Eds.), Elsevier Science B.V., pp.407–416, 2006.
- [2] 豊島恒, 山ノ井高洋, 山崎敏正, 大西真一, 菅野道夫: 向きを表す単語と記号に対する時空間的脳活動の比較, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol. 18, No. 3, pp. 425–433, 2006.
- [3] H. Toyoshima, T. Yamanoi, T. Yamazaki, S. Ohnishi : Spatiotemporal Brain Activity during Hiragana Word Recognition Task, J. Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.3, pp.357–361, 2011.
- [4] Takahiro Yamanoi, Hisashi Toyoshima, Toshimasa Yamazaki, Shin-ichi Ohnishi, Michio Sugeno and Elie Sanchez : Micro Robot Control by Use of Electroencephalograms from Right Frontal Area, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Information, vol. 13, No. 2, pp. 68–75, 2009.
- [5] Y. Tanaka, T. Yamanoi, M. Otsuki et al. : “Spatiotemporal localization of Brain Activities on Recalling Body Names”, 28th Fuzzy System Symposium, pp.932–935, 2012.
- [6] 村田昇: [入門] 独立成分分析, 東京電機大学出版局, 2005.
- [7] Apo Hyvärinen, Juha Karhunen and Erkki Oja, (根本幾, 川勝真喜訳): 【詳解】独立成分分析 信号解析の新しい世界, 東京電機大学出版局, 2011.
- [8] 山崎敏正, 上條憲一, 剣持聡久: 動径成分の信頼限界に基づいた脳波信号源推定の精度評価, 医用電子と生体工学, 37–4, pp. 336–341, 1999.
- [9] 山崎敏正: 32チャンネル電極キャップによる脳内等価電流双極子推定, CLINICAL NEUROSCIENCE, Vol.18, No.2, pp.186–190, 2000.
- [10] 田中良典, 山ノ井高洋, 山崎敏正, 大西真一: 独立成分分析の脳活動の時空間推定への適用, 平成25年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会論文集 (CD), 講演番号139, 2013.