

機関番号：17104

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20300196

研究課題名（和文）

ICA、ECDL、DBN を利用した単一試行脳波による BCI の開発

研究課題名（英文）

Single-trial-EEG-based BCI using ICA, ECDL and DBN

研究代表者

山崎 敏正（YAMAZAKI TOSHIMASA）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：50392163

研究成果の概要（和文）：ICA（独立成分分析）、ECDL（脳内等価電流双極子推定）、DBN（ダイナミック・ベイジアン・ネットワーク）を利用した、単一試行脳波に基づく BCI（Brain-Computer Interface）を開発した。カテゴリカルデータ向けの学習モデルとして、数量化分析Ⅱ類と BN を採用した。その結果、前者では、イメージした手の左右識別に関して、7 名の被験者で相関比が 0.9 以上、LOOCV の正解率が 80% を超えた。後者では、“運動野” ノードの条件付き確率に着目した識別則を確立できた。更に、BN を DBN に拡張することにより、運動準備電位への適用を可能にし、識別則の精度向上につながった。

研究成果の概要（英文）：

A new single-trial-EEG-based Brain-Computer Interface (BCI) was developed using independent component analysis (ICA), equivalent current dipole source localization (ECDL) and dynamic Bayesian Network (DBN). Quantification Method of type II (QM2) and the BN were used as learning model for categorical data. All the QM2 models for the seven subjects had correlation ratios of more than 0.9, yielding the good discrimination between left and right hands to be imagined, and the correction rates in LOOCV of more than 0.8. Using the obtained BN, the classification rule was established on the basis of the conditional probabilities in the “motor cortex” nodes. Moreover, the generalization to the DBN allowed us to apply to the Bereitschaftspotential, and led to the better performance of the classification rule.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2009年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	11,500,000	3,450,000	14,950,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：ヒューマンインターフェース

## 1. 研究開始当初の背景

脳波を利用した BCI の研究が盛んになり始めていた。しかしながら、従来研究では、加

算平均後のデータ解析や特定の周波数成分に注目するなど、リアルタイム性が低く、更に連続値データを扱うために膨大な計算時

間を要した。

## 2. 研究の目的

上記の問題を克服するために、単一試行脳波の解析に挑戦し、ICA による信号と雑音の分離、多チャンネルの連続値データである脳波の、ECDL によるカテゴリカルデータへの変換、カテゴリカルデータ向きの学習モデルである数量化分析 II 類や (D) BN の利用を試みた。

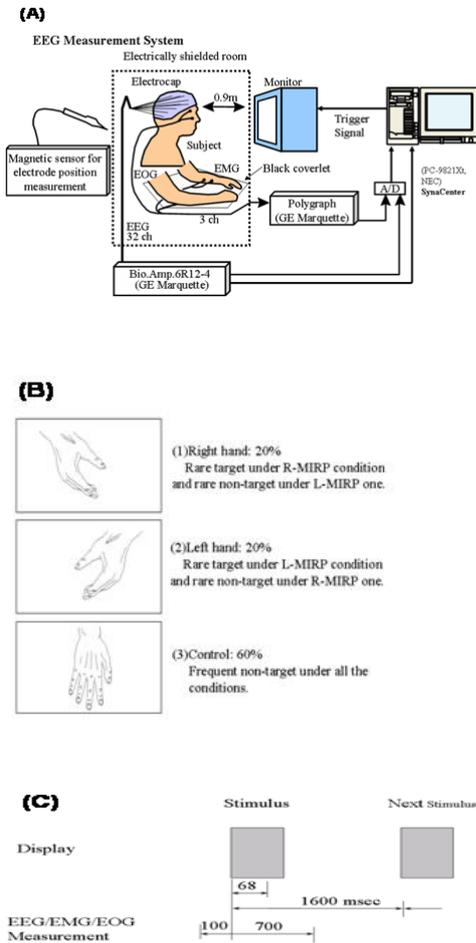


図 1 実験方法。(A)脳波計測装置；(B)線画刺激；(C)刺激の time scheduling。

## 3. 研究の方法

本手法の有効性を実証するために、既に計測済みの脳波データ (32 チャンネル、oddball paradigm) を利用して、左右の手いずれかを握るイメージを遂行した時 (図 1 参照) の、加算平均前の single-trial EEGs) を活用した。

計測された単一試行脳波それぞれに ICA を適用し、抽出された独立成分を deflation 操作により電極位置の次元に射影した後、ECDL を適用し、ダイポールが推定された脳内部位のデータを収集した。被験者は 7 名である。

脳内部位をカテゴリカルデータに集約し、このデータに数量化分析 II 類と (D) BN を適用し、イメージした手の左右の識別を試みた。

## 4. 研究成果

### (1) 数量化分析 II 類による結果

被験者 7 名全員が相関比 0.9 以上となり、図 2 から明らかなように、イメージした手の左右をきれいに識別した。更に、実用的な評価のために LOOCV を適用した結果、試行数 51

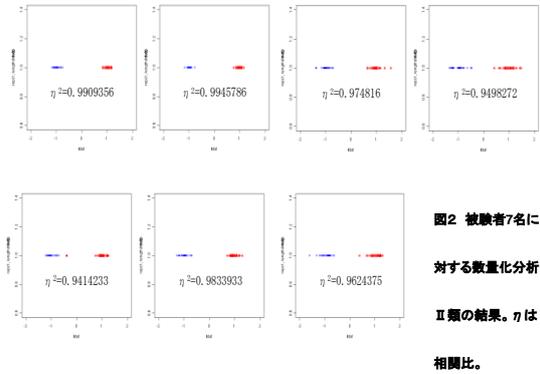


図 2 被験者 7 名に対する数量化分析 II 類の結果。η は相関比。

の場合、正解率は 80% を超えることが分かった。これらの結果は、ECDL 結果を 4 つのカテゴリに分けた場合に相当するが、6 カテゴリや 8 カテゴリにしても正解率に変化は認められなかった。一方、試行数を増やすと正解率の向上が見られ、113 trials で約 85% に到達した。

### (2) BN による結果

各被験者について、右手イメージと左手イメージそれぞれ約 30 trials の ECDL 結果を利用して BN を構築した。その 1 例を図 3 に示す。この BN モデルを利用した確率推論に

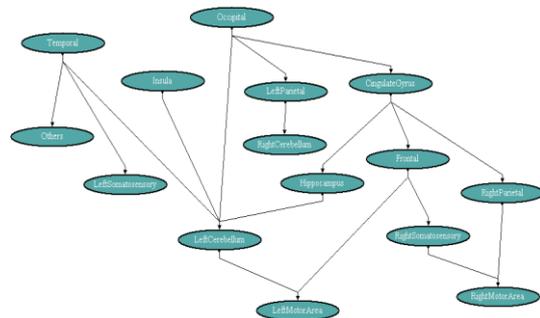


図 3 ある被験者に対して構築された BN モデル

基づき、「右利き被験者の場合、右手イメージ時の左右の“運動野”ノードの活性 (条件付き確率) に差が有り、左手イメージ時には差が無い」なる仮説 (識別則) を t 検定により検証した (表 1 参照)。その結果、ほとんどの被験者でこの仮説が実証された。また、t 検定の有意水準を試行数の関数として調べた結果 (図 4 参照)、25 trials 以上であれば確実に仮説を支持することが明らかになった。

表 1 t 検定の結果

Sub.	task	t value	significance level
1	R	2.41	0.0193
	L	1.57	0.123
2	R	-2.81	0.00672
	L	-1.84	0.0715
3	R	-7.27	1.05E-09
	L	-5.59	6.35E-07
4	R	-2.18	0.0336
	L	-0.793	0.431
5	R	-2.77	0.00754
	L	-1.75	0.0852
6	R	5.11	3.90E-06
	L	6.62	1.36E-08
7	R	-0.456	0.650
	L	-1.13	0.264

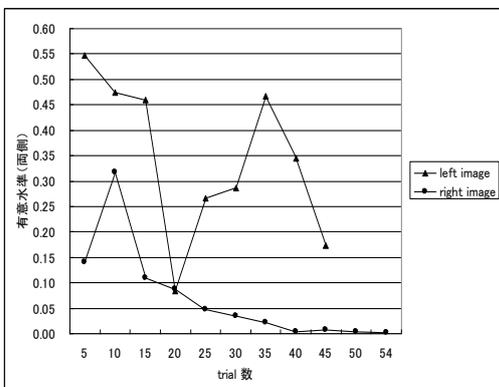


図 4 試行数の関数としての有意水準

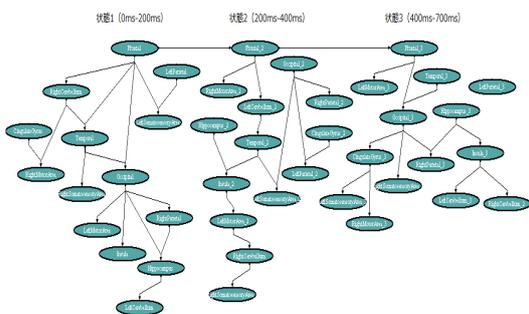


図 5 ある被験者の DBN モデル

動作イメージ課題遂行時に計測された本脳波データは oddball paradigm に基づいており、P300 の混入が避けられない。そこで、刺激提示から 0~700ms の区間を 3 区間 (0~200ms, 200~400ms, 400~700ms) に分け、それぞれで BN を構築し、これらを最上位ノードで結合して、図 5 の DBN モデルを得た。その結果、上記、識別則の精度が更に向上した。尚、(2)と(3)の計算に PC クラスタを利

用した。

(4)脳部位特定自動化システムの開発

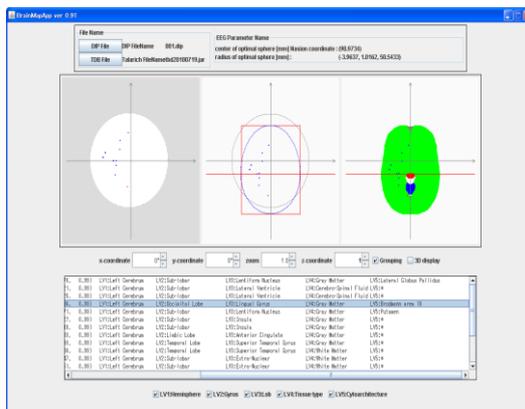


図 4 脳部位特定自動化システム

本研究では、膨大な ECDL 結果を必要とする。しかしながら、ECDL 結果からダイポールが推定された脳部位を特定するためには、これまで脳解剖学の本を参考にしてきたため多大な工数がかかってきた。そこで、本研究では、各被験者の MRI データを Talairach 標準脳に変換し、脳部位を自動的に特定するシステムを開発してきた。図 4 はシステム画面の例である。現在、標準脳の改良を検討中であり、将来、本 BCI のリアルタイム性を更に高めていく。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 36 件)

- ① T.Yamazaki et al., NEUROSCIENCE 2010, Nov.13-17, San Diego. 査読有.
- ② M.Sakamoto and T.Yamazaki, Brain Topography and Multimodal Imaging, Pp.171-173, Eds. T.Kobayashi et al., Kyoto Univ. Press, Kyoto Japan (2009). 査読有. <Kyoto Prize in ISBET2009 受賞>
- ③ T.Yamanoi, H.Toyoshima, T.Yamazaki et al., ISCIIA2008, Nov.21-26, 2008. 査読有<Excellent Paper Award>

[学会発表] (計 47 件)

- ① 井上勝裕、大森香奈、山口朋也、第 40 回日本臨床神経生理学会・学術大会、2010 年 11 月 2 日.
- ② 田中一史、本井美甫、山崎敏正他、ブレイン・バイオコミュニケーション研究会 第 3 回研究会、2009 年 11 月 6 日.
- ③ M.Maeda, K.Kawamura and K.Inoue, Proc. of the 40<sup>th</sup> ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, pp.176-181 (2009).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 敏正 (YAMAZAKI TOSHIMASA)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授  
研究者番号：50392163

(2) 研究分担者

井上 勝裕 (INOUE KATSUHIRO)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授  
研究者番号：00150516

前田 誠 (MAEDA MAKOTO)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・助教  
研究者番号：00274556