Air-puff を用いた触覚刺激の誘発脳波の解析

正 員 内 田 雅 文 (青山学院大)
非会員 松 島 輝 昌 (青山学院大)
正 員 井 出 英 人 (青山学院大)

Analysis of Somatosensory Evoked Potentials by Air-puff Stimuli Skin

Masafumi Uchida, Member, Terumasa Matusima, Non-member, Hideto Ide, Member (Aoyamagakuin University)

キーワード：触覚，フラクタル分析，脳波

1. はじめに

ヒトの感覚情報処理，認知，行動に伴う脳神経活動は誘発脳波に反映されるが，誘発脳波は一般に，自発脳波に比べ信号が微弱なため，刺激や運動開始に合わせて加算平均処理を施すことにより，特徴抽出が行われてきた。体性感覚誘発電位(SEP)では1/f ゆらぎなどのゆらぎ情報が雑音と見なされるため，その情報は反映されない。そこで，フラクタル⁽¹⁾の考えを導入することにより，ゆらぎがもつ情報を定量的に表現することを目的とする。本研究では体性感覚誘発電位⁽²⁾についてフラクタル解析を行い，その結果により，感覚，認知過程におけるゆらぎ状態の変化について特徴抽出を見いだしたので述べる。

2. 時系列のフラクタル解析

時系列のフラクタルを適用するにあたり，時系列 $X(i)$ がフラクタルであるということを以下のように定義する。

「様々な k で粗視化を行ったときの時系列全体の長さを $L(k)$ とする。このとき $\log \text{ kus. } \log L(k)$ が直線になるときに，時系列はフラクタルであると定義する。このとき直線は $L(k) \propto k^{-D}$ と表せ，フラクタル次元はこの直線の傾きにより決定される。」

しかし時系列において時間軸方向の粗視化は Δt の整数倍で行われ，最大 $N\Delta t$ (N :データ数)までである。よって，最小値 Δt ，最大値 $N\Delta t$ を越える区間において粗視化を行うことは不可能であり，この有限区間内においてのみフラクタルであるとした。

ここで， $X(1), X(2), \dots, X(N)$ 個のデータがあるとき，新たに k で粗視化した時系列セット $x_k^m; x(m), x(m+k), x(m+2k), \dots, x(m+\{(N-m)/k\}k)$, ($m=1, 2, \dots, k$) を用意し，このように構成された個々の x_k^m に対する長さを次のように定義する⁽²⁾。

$$L_m(k) = \frac{\sum_{i=1}^{N-m/k} |X(m+ik) - X\{m+(i-1)k\}|}{k} \frac{N-1}{N-m/k} \dots \dots \dots (1)$$

k により粗視化された時系列の長さ $L(k)$ を k 個の $L_m(k)$

図 1 電極装置部位
Fig. 1. Electrodes position.

の算術平均で定義する。

$$\langle L(k) \rangle = \frac{\sum_{m=1}^k L_m(k)}{k} \dots \dots \dots (2)$$

このとき $L(k) \propto k^{-D}$ であれば， D 次元のフラクタルである。

3. 計測方法

10-20 国際電極法を基準とし，更に 10 ch 追加して計 29 ch の電極を頭皮上に装着し(図 1)，単極誘導法により基準電極を前額部(E_{p2})として脳波を導出した。被験者にはシールド室内において，white noise により外部の音を遮断した状態で右手人差し指に与えられる air-puff による自然刺激の呈示回数を数えさせる計数課題を行わせた。air-puff の刺激強度は， $6.25 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ で，刺激呈示間隔は 1 秒以上間隔をあけてランダムに呈示した。なお，計測の前には全神経を指先に集中するように教示した。

測定は健常な男女 6 人についてのべ 20 回行われ，誘発された脳波に対し加算平均，フラクタル解析を行った。フラクタル解析は，切出し区間を 64 ms として，刺激呈示前 96 ms から呈示後 360 ms までを解析時間として，16 ms 間隔でデータを処理した。

図 2 体性感覚野付近のフラクタル解析結果
Fig. 2. Fractal analysis of somatosensory evoked potentials.

図 3 29 ch の加算平均波形
Fig. 3. 29 channel's averaging.

図 4 フラクタル解析結果(等高線表示)
Fig. 4. Fractal analysis.

4. 解析結果

体性感覚野付近の加算平均波形とフラクタル解析の結果を図2～図4に示す。

その結果、体性感覚野付近では潜時が0 ms、つまり刺激呈示後0～64 msの区間データ前後にフラクタル次元の低いピークがみられ、それを過ぎるとフラクタル次元が上昇していく傾向がみられた。つまり、100 ms以内に現れる誘発脳波の成分(N 20, P 27, N 35, P 45, N 60, P 75)では脳の情報処理過程を反映する誘発脳波のゆらぎが減少する方向に向かい、その後の過程では逆にゆらぎが大きくなることを意味している。

これは、刺激を感じる過程ではゆらぎが少なくなり、刺激を認知する過程ではゆらぎが大きくなることを意味しているとともに、SEPに含まれる感覚過程と認知過程の誘発成分の割合がこのあたりの潜時を境に変化していることを意味しているのではないかと推定される。

5. まとめ

フラクタル解析は、時系列がもつゆらぎや周波数特性に着目して、そのゆらぎを定量的に表現する方法である。よって、生体情報などゆらぎをもつ系に対して、この手法は適用可能であると考えられる。

(平成6年3月11日受付)

文 献

- (1) 広中平祐訳：フラクタル幾何学(昭59) 日経サイエンス
- (2) 井出英人・八木真二郎：「フラクタルによる聴覚誘発電位の解析」, 電学論C, 113, 730 (平5-9)

内 田 雅 文 (正員) 1990年工学院大学大学院工学研究科修士課程修了(電気工学専攻)。移動ロボット、ニューラルネットワークなどの研究に従事。現在、青山学院大学理工学部電気電子工学科助手。

松 島 輝 昌 (非会員) 1994年青山学院大学大学院博士前期課程修了。日本電気(株)勤務。

井 出 英 人 (正員) 1970年工学院大学大学院工学研究科修士過程修了(電気工学専攻)。1985年UCLA応用科学科客員研究員。1986年UCLA脳研究所客員教授。感覚の計測、感覚代行の研究に従事。青山学院大学理工学部講師、助教授を経て現在、同教授。工学博士。