

## 脳波のフラクタル解析を用いた集中力の経時変化の解析手法に対する検討

## A Study on Analysis Method of Concentration Time History Using Fractal Analysis of EEG

○有馬明日香<sup>1</sup>, 松本卓才<sup>1</sup>, 森下克幸<sup>2</sup>, 武井裕樹<sup>2</sup>, 小林伸彰<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>\*Asuka Arima<sup>1</sup>, Takatoshi Matsumoto<sup>1</sup>, Katsuyuki Morishita<sup>2</sup>, Yuki Take<sup>2</sup>, Nobuaki Kobayashi<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

Abstract: The rehabilitation of higher brain dysfunction is generally treated symptomatically, and there is no established treatment method. Therefore, we investigate an analysis method of higher brain functions using EEG to develop medical assistance applications. Previously, we confirmed the relevance between the fractal dimension and the ability to concentrate when presented with a task. In this paper, we report the time history of fractal dimension during the task presentation using the fractal analysis of EEG.

## 1. はじめに

外傷性脳損傷とは、頭部に回転加速度がかかった衝撃によって神経線維が断裂する脳の損傷である。後遺症が残ることが多く、後遺症の一つに記憶機能、注意機能、遂行機能が低下する高次脳機能障害がある。高次脳機能障害には確立された治療法がない<sup>[1]</sup>。そこで我々は、ニューロフィードバックを用いた、脳波の解析により、高次脳機能の活動状態を被験者にフィードバックすることで、外傷性脳損傷の診断と治療を補助するアプリケーションの開発について検討している。先に我々は、被験者が、提示された課題に対して集中している際のフラクタル次元の変化を確認するために、音声を用いた課題を作成し、被験者の脳波の測定、解析をおこなった。結果、脳波のフラクタル次元が変化し、提示された課題に対して集中しているかどうかの推定手法として有用であることがわかった<sup>[2]</sup>。本論文では課題提示時の脳波のフラクタル次元の経時変化による、集中力の解析手法について検討したので報告する。

## 2. フラクタル

フラクタルとは特徴的な長さを持たない図形、構造、現象を示す。フラクタル性を持つ構造の複雑さを定量的に表す量としてフラクタル次元がある。

本論文では Higuchi 法を用いて脳波のフラクタル次元を解析する。与えられた時系列を  $X_m(m=1,2,\dots,N)$  とする。まず  $k$  で粗視化したデータセットを次のように  $k$  個構成する。

$$\tilde{X}_m(k); X(m), X(m+k), X(m+2k), \dots, X(m + \left[ \frac{N-m}{k} \right] k) \quad (1)$$

次に構成された各  $\tilde{X}_m(k)$  に対して長さ  $L_m(k)$  を求める。

$$L_m(k) = \frac{\left\{ \left( \sum_{i=1}^{\left[ \frac{N-m}{k} \right]} |X(m+ik) - X(m+(i-1)k)| \right)^2 \frac{N-1}{\left[ \frac{N-m}{k} \right] k} \right\}}{k} \quad (2)$$

ここで  $[\ ]$  はガウス記号を表す。

$k$  で粗視化した時系列の各データセットから求めた  $L_m(k)$  の算術平均  $\langle L(k) \rangle$  は次式で表される。

$$\langle L(k) \rangle = \frac{\sum_{m=1}^k L_m(k)}{k} \quad (3)$$

求めた  $\langle L(k) \rangle$  を  $k$  に対して両対数でグラフにプロットする。プロットしたグラフの傾きの絶対値がフラクタル次元となる<sup>[3]</sup>。ここで Higuchi 法における  $k_{max}$  と  $N$  の値は理論値と推定値の誤差を比較した結果、 $k_{max}=6$ ,  $N>125$  の時、誤差が小さくなることがわかっている<sup>[4]</sup>。今回使用した脳波計のサンプリング周波数が 250 Hz であるため、 $N=250$  とした。

## 3. 実験内容

本実験は、2分の安静区間、4分のテスト区間、2分の安静区間の計8分とした。テスト区間では、音声で10から99の数値を複数再生し、数値を大きい順に並べ替える課題をおこなわせた。提示する数値の個数は実験毎に3個、4個、5個(以降、Sort3, Sort4, Sort5)と変え、難易度を変化させた。音声は6秒後に次の問題を再生する。この課題は Attention process training (APT) と呼ばれる注意障害のリハビリテーションプログラムより、持続性注意の課題を模倣して作成した<sup>[5]</sup>。測定環境は暗室、着座で閉眼状態とし、体動や眼球運動によるノイズが少なくなるように配慮した。脳波の測定には簡易脳波計 g.Moblab+を用いた。測定箇所は、国際10-20法に基づき、Fpz, AFz, C5, C6, Cz, T7, T8, Ozの8か所で測定をした。解析は1秒

間のデータに対して Higuchi 法によるフラクタル解析をおこない、1分毎の平均値の推移を確認した。

各難易度でのフラクタル次元の平均値の推移を Figure1, Figure2, Figure3 に示す。Figure1 より Sort3 では、T7, C5 以外のフラクタル次元の値は、テスト区間の前半よりも後半の方が高くなった。テスト後半は課題に慣れ、より集中していたと考えられる。実験終了後に被験者は、4 分間課題に集中できたと述べていた。Figure2 より Sort4 では、4 か所の測定箇所でのフラクタル次元の値は、前半より後半の方が低くなった。課題の途中で集中力が低下したと考えられる。実験後に被験者は、後半になるにつれて集中できなくなったと述べていた。Figure3 より Sort5 では、Sort3, Sort4 と比べてテスト区間でのフラクタル次元の変化率は小さくなっている。Sort5 は難易度が高く、課題に集中できていなかったと考えられる。

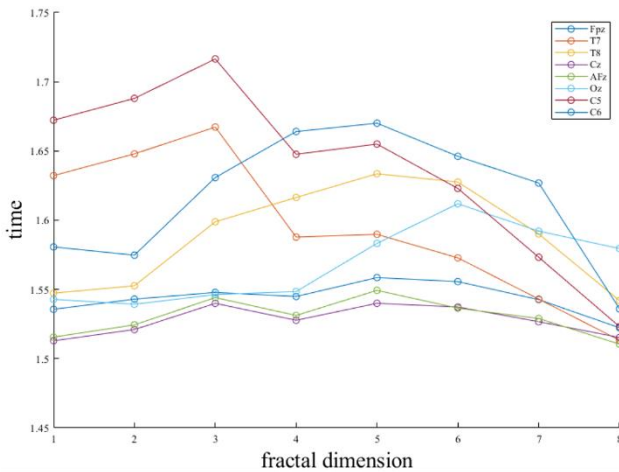


Figure1 Average of the fractal dimension of Sort3

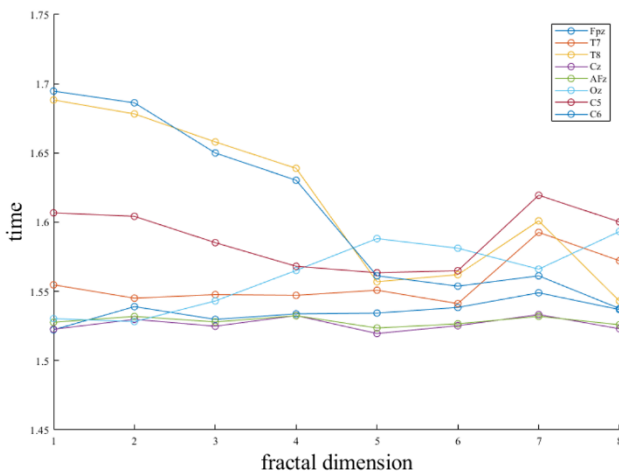


Figure2 Average of the fractal dimension of Sort4

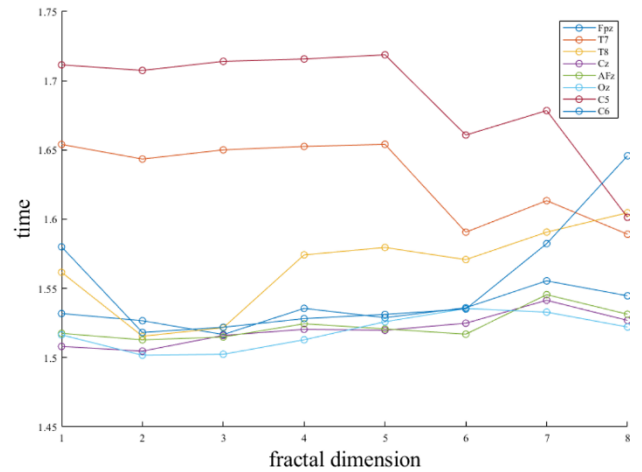


Figure3 Average of the fractal dimension of Sort5

#### 4. まとめ

我々は課題提示の時間経過による脳波のフラクタル次元の変化を確認した。難易度の低い Sort3 ではテスト区間の前半 2分と後半 2分でフラクタル次元の上昇に傾向がみられた。しかし Sort4, Sort5 では、フラクタル次元の上昇は見られたが、はっきりとした傾向は見られなかった。以上のことから脳波のフラクタル次元は、課題により集中すると上昇するが、集中していない場合には脳波のフラクタル次元にはばらつきが出ると考える。今後は、安静区間とテスト区間の時間を変化させ、傾向が分かる時間間隔について考察する。また、同被験者の誤差を考慮し被験者の数を増やし解析をおこなう予定である。

#### 5. 参考文献

- [1] 佐藤徳太郎：「外傷性脳損傷のリハビリテーション」, リハビリテーション医学, Vol.39, pp.572~577, 2002.
- [2] 有馬明日香, 松本卓才, 森下克幸, 武井裕樹, 小林伸彰, 齊藤健：「音声課題に対する脳波のフラクタル次元変化を用いた集中力の解析手法に対する検討」, 回路とシステムワークショップ, Vol.34, pp.172~177
- [3] 樋口知之：「時系列のフラクタル解析」, 統計数理, Vol.37, No.2, pp.210~216, 1989.
- [4] 佐瀬巧, 北城圭一, 合原一幸：「脳波のフラクタル構造に対するガンマ波の影響」, 生産研究, Vol.65, No.3, pp.326, 2013.
- [5] Laura L.Murray, R Jessica Keeton, LauraKarcher “Treating attention in mild aphasia: Evaluation of attention process training-II” Journal of Communication Disorders, Vol. 39, No. 1, pp.37-61, 2006