

脳波のフラクタル解析に基づいた疑問・認知の検出に関する研究

清水 健市* 中川 匡弘** 牧野 忠慈***

* **長岡技術科学大学 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

***日本精機株式会社 R&D センター 開発部 開発 2 〒940-2141 新潟県長岡市藤橋 1 丁目 190-1

E-mail: *kshimizu@pelican.nagaokaut.ac.jp, **masanaka@vos.nagaokaut.ac.jp, ***t_makino@nippon-seiki.co.jp

あらまし 自動車分野では脳波をインタフェースとし、ヒトの認知や疑問をトリガーとした車載システムの開発が進んでいる。脳波のフラクタル性を用いてメタ認知状態の判別・認知状態の定量化法などの先行研究や、N400の報告がされている。しかし、運転中の数字認知検出や疑問検出の研究はあまり行われてきていない。そこで本研究では、脳波のフラクタル性を用いて自動車を運転中の数字を意識して認知している状態と疑問の検出を試みた。1種類の認知検出実験と2種類の認知検出実験で脳波を測定、フラクタル解析を行った。結果として、運転中の数字認知時に脳波のフラクタル次元は低下し、疑問時にはフラクタル次元が上昇した。

キーワード 脳波, フラクタル

A Study of Detection of Question and Cognition based on Fractal Analyses of EEG

Kenichi SHIMIZU*, Masahiro NAKAGAWA** and Tadashige MAKINO***

***Nagaoka University of Technology 1603-1 Kamitomioka-machi, Nagaoka-shi, Niigata, 940-2188 Japan

***NIPPON SEIKI CO.,LTD. R&D Center Development Dept., 190-1 Fujihashi 1-chome, Nagaoka-shi, Niigata 940-2141, Japan

E-mail: *kshimizu@pelican.nagaokaut.ac.jp, **masanaka@vos.nagaokaut.ac.jp, ***t_makino@nippon-seiki.co.jp

Abstract There is a trend to utilize question and cognition of people in bio-interface. According to these strategies, we have previously investigated the meta-recognition states through the spatio-temporal behavior of the fractal properties of the electroencephalogram(EEG) of the human brains. In this study we tried to detection of question and cognition by measuring and fractal analyzing the electroencephalogram (EEG) of the people during calculate, watch a moving image or operate a driving simulator. As a result, fractal dimension of EEG of people rises at time of question and understood at time of cognition. Detect in an unknown timing of question and cognition needs to be addressed in the future.

Keywords EEG, Fractal

1. はじめに

生体インタフェースにヒトの認知や疑問を活用するという働きかけがある。特に自動車分野では脳波をインタフェースとした車載システムの開発が進んでいる [1,2] [注1]。

脳の高次機能の1つに「認知機能」が存在する。ヒトが行う動作には認知的な活動が関わっている。認知的行動は、感覚器によって入力された信号が知覚系へと伝達され、さらに認知系で様々な情報処理を受けることによって可能になる [3]。

ヒトは言語などに疑問・違和感を覚えると事象関連電位であるN400が発生されることが知られている [4]。

脳の活動状態を計測する方法としては、機能的核磁気共鳴画像法(fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging), 近赤外分光法(NIRS: Near InfraRed Spectroscopy), 脳波(EEG: Electroencephalogram)など

がある。また、脳波がフラクタル性を持つことが示され、脳波信号にフラクタル解析を行うことによって脳の活動状態を解明しようとする研究がおこなわれてきた [5-7]。

先行研究では脳波のフラクタル性を用いてメタ認知状態の判別や認知状態の定量化法などが行われてきた [8-10]。しかし、人がある行動をしている時間における数字認知状態の判別に関する研究は殆ど行われていない。また、疑問状態の判別に関する研究も殆ど行われていない。そこで本研究では、脳波のフラクタル性を用いて、ヒトの疑問状態の判別、自動車を運転している時の数字を意識して認知している状態の判別を試みた。

疑問・認知状態の判別として、時間依存型フラクタル次元解析を用いた検討を行った。

2. 解析手法

フラクタル次元とは [7] 信号や幾何学構造の自己相似性または複雑さを表す数値であり，その値が大きくなるほど図形は複雑である [11]．本研究では筋電と脳波に対してフラクタル次元解析を行う．今回は以下のような手法によってフラクタル次元を算出した．

2.1. 分散のスケーリング特性を用いたフラクタル次元解析

時系列データのフラクタル次元推定は分散のスケーリング特性を用いたフラクタル次元推定法 (SPV: Scaling Property of Variance) [12] を用いる．まず，観察期間を短時間とし，定常性を確保すると [13]，自己アフィンフラクタル次元が D である時系列データ $f(t)$ の α 次のモーメント σ_α は次のように表わされる．

$$\sigma_\alpha(\tau) = \left\langle |f(t+\tau) - f(t)|^\alpha \right\rangle \sim |\tau|^{\alpha H_\alpha}. \quad (1)$$

ここで $\langle \bullet \rangle$ は統計平均を表している．Hurst 指数 H_α は時系列データのスケーリング特性を用いて，次式のよう求められる．

$$H_\alpha = \frac{1}{\alpha} \frac{\Delta \log \left\langle |f(t+\tau) - f(t)|^\alpha \right\rangle}{\Delta \log |\tau|}. \quad (2)$$

また， $\alpha=2$ の場合，時系列データの分散のスケーリング特性が求められる．以下， $\alpha=2$ の場合の H_α を H とする．この分散スケーリング特性から自己アフィンフラクタル次元 \hat{D} は次式で求められる [7]．

$$\hat{D} = 2 - H. \quad (3)$$

2.2. 時間依存型フラクタル次元解析

測定した信号から，解析窓幅 W の矩形窓データに対してフラクタル次元を求め，矩形窓を窓推移幅 W_s ずつ推移させて次の時刻における次元を求める．これにより，信号に対するフラクタル次元の時間変化が得られる．

2.3. 変動率

疑問時や認知時と非疑問時や非認知時での脳波のフラクタル次元の変動を，他の被験者と比較を行うために，変動率を以下の式より算出した．ここで D_A は非疑問時，もしくは非認知時のフラクタル次元の平均値， D_B は疑問時，もしくは認知時のフラクタル次元の平均値である．

$$\text{変動率} = \frac{\langle D_B \rangle - \langle D_A \rangle}{\langle D_A \rangle} \times 100[\%]. \quad (4)$$

被験者ごとに脳波の各 ch 変動率を求める．その後

スミルノフ・グラブス検定によって有意水準 5% で外れ値を除外する．残った ch で変動率の平均を求め，平均変動率とする．

3. 実験方法

3.1. 計測手法

今回は被験者として，健康的な 50 代男性 1 名，40 代男性 4 名，30 代男性 5 名，20 代男性 11 名について計測した．

脳波の測定にはデジテックス研究所(株)(現 株式会社 ミュキ技研)の PolymateV AP5148 を使用した．ハードフィルタの減衰特性はハイカットが -12 [dB/Oct]，ローカットが -6 [dB/Oct]，カットオフ周波数はハイカットが 2667 [Hz]，ローカットが 0.5 [Hz]，サンプリング周波数は 8 [kHz] で，50 [Hz] のノッチフィルタをかけてノートパソコンにデータを記録した．脳波測定用の電極は，国際 10-20 電極法 [14] に基づき，19ch で測定を行った．ここで，右耳の電極をリファレンス電圧として，2 点間の電位差を測定した．頭部の電極配置図を図 1 に示す．

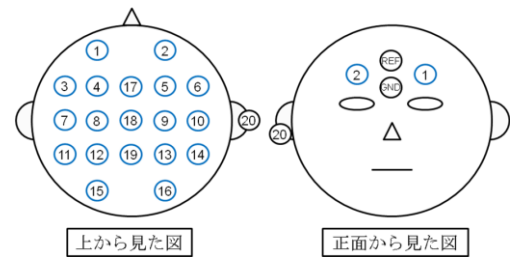


図 1 電極配置図

また，トビー・テクノロジー・ジャパン(株)の Tobii グラスアイトラッカーを被験者に装着させて，実験中の被験者の視線データを測定した．

3.2. 実験手順

本研究では疑問検出実験として計算問題タスク・動画タスクの 2 つの実験，認知検出実験として運転タスクの 1 つの実験を行った．

3.2.1. 計算問題タスク

被験者をディスプレイの前に座らせ，表示される 10 問の計算問題を解かせた．計算問題は簡単な 2 桁の足し算で，5 秒間問題が表示される．被験者はその間に解答用紙に答えを書く．その後 3 秒間答えが表示される．しかし，10 問の問題中 3 問はわざと間違った答えが表示される．正しい答えが表示されている時間の脳波を「非疑問時の脳波」，間違った答えが表示されている時間の脳波を「疑問時の脳波」とした．

3.2.2. 動画タスク

動画タスクは計算問題タスクと引き続き、被験者をディスプレイの前に座らせ行った。被験者はディスプレイに流れる動画 [注 2] を視聴する。動画は著名人のスピーチとなっているが、動画中で 2 回、声が別人のものと差し替えられている動画となっている。声が通常時の脳波を「非疑問時の脳波」、差し替えられた声の時の脳波を「疑問時の脳波」とした。

3.2.3. 運転タスク

運転タスクは日立ケーイーシステムズ(株)のドライビングシミュレータ、ACCESS MASTER AM1300 を用いて実験を行った。被験者はドライビングシミュレータで 2 回同じコースを走行した。走行中、「メータをながら見して運転する」もしくは「25km/h を維持して運転する」と指示を出し、被験者は指示に従ったような運転を行った。2 回目の走行では 1 回目の走行でできなかった方の指示を出し、同様に被験者は指示に従ったような運転を行った。「メータをながら見して運転する」と指示を出したときにメータを見ている時の脳波を「非認知時の脳波」、「25km/h を維持して運転する」と指示を出したときにメータを見ている時の脳波を「認知時の脳波」とした。



図 2 ドライビングシミュレータ



図 3 ドライビングシミュレータ画面と視線データ

3.3. 解析条件

解析パラメータは、解析窓幅 $W = 0.1[\text{sec}]$ 、窓推移幅 $W_s = 1/800[\text{sec}]$ 、スケーリング特性の傾き算出区間 $\tau = 1 \sim 2$ とした。

4. 解析結果

各タスク・全被験者の平均変動率を図 4 から図 6 に示す。また平均変動率の被験者平均をまとめたものを図 7 に示す。

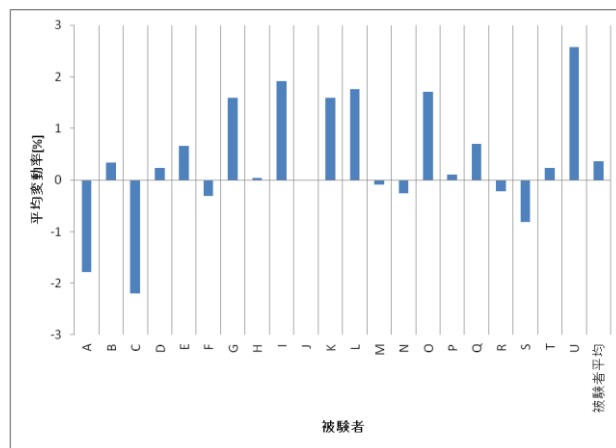


図 4 平均変動率(計算問題タスク)

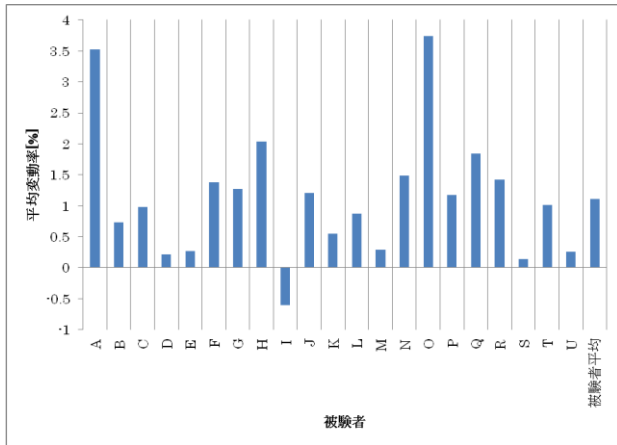


図 5 平均変動率(動画タスク)

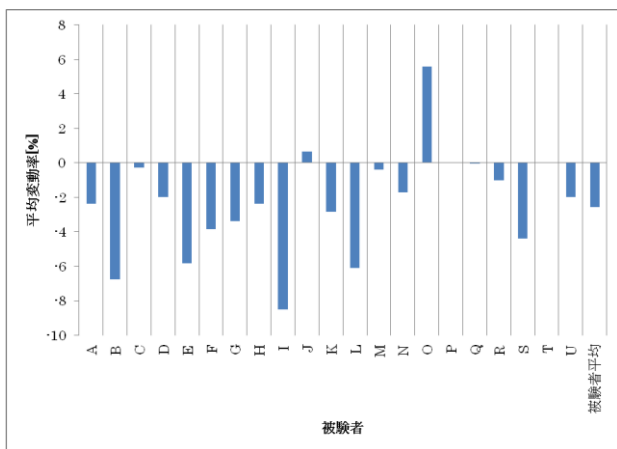


図 6 平均変動率(運転タスク)

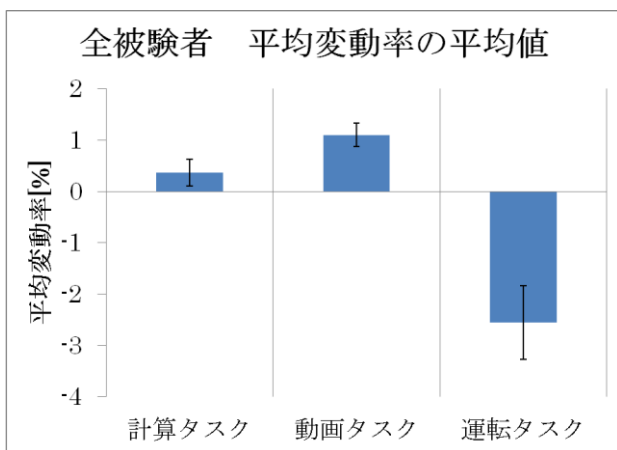


図 7 平均変動率の全被験者平均値

図 4, 図 5 より, 疑問時に脳波のフラクタル次元は上昇するという結果となった. 図 7 より計算問題タスクでは被験者平均で 0.37%, 動画タスクでは 1.13% 上昇するという結果となった.

図 6 より, 認知時に脳波のフラクタル次元は低下するという結果となった. 図 7 より被験者平均で 2.50%

低下するという結果となった.

5. 考察

疑問状態判別実験である計算問題タスクと動画タスクでは共通して疑問時に脳波のフラクタル次元が上昇するという結果が得られた. これにより, 脳波のフラクタル次元を用いた疑問状態の判別が可能であると考えられる.

また, 認知状態判別実験である運転タスクでは認知時に脳波のフラクタル次元が低下するという結果が得られた. これにより, 脳波のフラクタル次元を用いた認知状態の判別が可能であると考えられる.

6. おわりに

本研究では計算問題と動画を用いた実験とドライビングシミュレータを用いた実験を行い, 疑問状態や認知状態の判別を, 脳波のフラクタル解析を用いて試みた.

21 名の被験者に計算問題と動画を用いた実験で疑問状態, ドライビングシミュレータを用いた実験で運転中の認知状態の判別を行った. 結果として疑問状態では脳波のフラクタル次元が上昇し, 運転中の認知状態では脳波のフラクタル次元が減少することが分かった.

今回は疑問や認知のタイミングを事前に知っている状態での解析だが, タイミングが未知状態での疑問状態・認知状態の判別が今後の課題である.

注

[注 1]「The Electric CARtoon - Driving School at Night」,
<https://www.youtube.com/watch?v=ddWx_cI84UM>.

[注 2]「平成 26 年度近畿大学卒業式」,
<<https://www.youtube.com/watch?v=2DTyHAHaNMw>>.

文 献

- [1] 総務省, 「平成 27 年版情報通信白書」,
<<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/n0000000.html>>, 2016 年 7 月 8 日アクセス.
- [2] JAGUAR LAND ROVER ROAD SAFETY RESEARCH INCLUDES BRAIN WAVE MONITORING,
<http://media.jaguar.com/jaguar/news/2015/06/jlr_road_safety_research_brain_wave_monitoring_170615>, 2016 年 7 月 8 日アクセス. (雑誌例 2) W. Rice, A. C. Wine, and B. D. Grain, diffusion of impurities during epitaxy, Proc. IEEE, vol.52, no.3, pp.284-290, March 1964.
- [3] 村田厚生, “認知科学”, 朝倉書店, 1997.
- [4] M. Kutas and S. A. Hillyard: Reading senseless sentences, Brain potentials reflect semantic incongruity, Science, 207, 203/204, 1980.

- [5] 小河清隆, 中川匡弘, “脳波におけるカオスとフラクタル性”, 信学論, Vol.J78-A, No.2, pp.161-168, 1995.
- [6] Kiyotaka Ogo, Masahiro Nakagawa, “On the Chaos and Fractal Properties in EEG Data”, Electronics and Communications in Japan Part III-Fundamentals, Vol.78-10, pp.27-36, 1995.
- [7] Masahiro Nakagawa, “Chaos and Fractals in Engineering”, World Scientific, 1999.
- [8] 小此木慎哉, 畑田敏雄, 中川匡弘, “脳波のフラクタル次元解析を用いた学習効果計測の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告.NLP,非線形問題, 106(574), pp.39-44, 2007.
- [9] 西田周平, 畑田敏雄, 中川匡弘, “フラクタル次元解析を用いたメタ認知状態の判別法”, 電子情報通信学会技術研究報告.NLP,非線形問題, 108(442), pp.55-60, 2009.
- [10] 島田悟, 中川匡弘, “脳波のカオス・フラクタル性に基づいた認知状態・脳機能計測に関する研究”, 電子情報通信学会技術研究報告.MBE,ME とバイオサイバネティックス, 113(222), pp.131-136, 2013.
- [11] 高安秀樹, “フラクタル科学”, 朝倉書店, 1987.
- [12] 伊藤直子, 小森幸樹, 中川匡弘, “マルチフラクタル解析による脳波の時空間特性に関する研究”, 信学技報, MBE95-70, pp.47-54, 1995.
- [13] 加藤比呂子, 阿部一孝, 寺門弘訓, 今野紀雄, “脳波の時系列解析: 定常性・フラクタル性・正規性”, 信学論 (D-II), vol.J74-D-II, no.10, pp.1466-1471, 1991.
- [14] 大熊輝雄, “臨床脳波学 第5版”, 医学書院, 1999.