

# 脳波を用いた精神疲労の判別に関する研究

藤田 晃佑 木下 史也 唐山 英明  
富山県立大学 富山県射水市黒河 5180  
t755013@pu-toyama.ac.jp

## A study on discrimination of mental fatigue using electroencephalogram

Kosuke Fujita Fumiya Kinoshita Hideaki Touyama  
Toyama Prefectural University Imizu-City, Toyama, Kurokawa5180

**Abstract:** In previous studies on mental fatigue using electroencephalograms, many studies focusing on P300 and CNV called event related potentials have been reported. However, in the event-related potential measurement, it is necessary to use the averaging method in order to extract the reaction more clearly, and it is necessary to add about 20 times on P300, which is considered to have a high S / N ratio. In this study, in order to construct a system for quantitatively evaluating driving fatigue, the effect on mental fatigue discrimination accuracy by combining the EEG basic rhythms with the event related potential waveform in the case of the small number of averaging times.

**Keywords:** Electroencephalogram, mental fatigue,  $\alpha$  wave,  $\theta$  wave, P300

### 1. はじめに

自動車の運転は日常生活の重要な一部を成している一方で、運転は身体機能や認知機能に高い要求が求められる活動である。自動車の運転作業において、他車や歩行者等の道路環境の把握や認知が精神負荷となり、運転者に対して精神疲労が生じる。精神疲労は認知機能の低下や欠落などを引き起こす要因となり、交通事故を招く恐れがある。そのため、運転疲労による事故を未然に防止するためにはドライバの疲労状態を把握する事が必要となる。脳波を用いた精神疲労に関する先行研究では、事象関連電位と呼ばれるP300やCNVに着目した研究が数多く報告されている[1-2]。しかし、事象関連電位の計測では、電位反応をより明瞭に取り出すために加算平均法を用いる必要がある。S/N比が高いとされるP300においても20回程度の加算が必要とされている[3]。そこで、本研究では運転疲労を量的に評価するシステムの構築を目的とし、加算平均回数が少ない場合での事象関連電位波形に基礎律動成分を組み合わせることで、精神疲労の判別精度に及ぼす影響について実験を行った。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験

被験者は、20代男性7名を対象とした。被験者には事前に実験の説明を十分に行い、実験参加への同意を得た。本実験での計測項目は脳波、眼電図、心電図とし、g.tec medical engineering社のg.USBampを用いて記録を行った。脳波の計測位置については、拡張10-20法に基づきFz, Cz, Pzを採用し、時間分解能は脳波、眼電図を512Hz、心電図を1kHzで記録し

た。実験は、暗算を用いた精神負荷15分間の後、視覚オドボール課題中の脳波、眼電図、心電図の計測を行う試行を1セットとし、全体で計8セット行った。1セット目の計測前(以下、Preと表記)と8セット目の計測時(以下、Postと表記)では、15分間の計測を行った。生体情報計測後にVASを用いた主観的な疲労に関するアンケートを行った。VASは左端を「疲れを全く感じない最良の感覚」(0%)とし、右端を「何もできないほど疲れきった最悪の感覚」(100%)と定義した。印がつけられた点の0%のポイントからの距離を定規で計測し、主観的疲労とした。視覚オドボール課題では、低頻度刺激として「x」、高頻度刺激として「o」の画像コンテンツを使用し、各コンテンツの出現頻度は1:3と設定した。なお、各刺激の提示時間は1秒間とし、提示順は任意とした。

#### 2.2 解析手法

本研究では、精神負荷作業前後(PreおよびPost)時のデータを使用して2クラスでの線形判別分析を行った。線形判別に使用したデータセットは低頻度刺激提示前後における5秒間(計10秒間)の脳波時系列を用いた。基礎律動成分の抽出は、10秒間で分割した脳波時系列に4-13Hzのバンドパスフィルタを適用し、最小二乗法を用いたトレンド除去を行った後、FastICAによる瞬目の除去を行った。その後、各時系列データに対し、高速フーリエ変換を用いて、 $\theta$ 波(4-8Hz)および $\alpha$ 波(8-13Hz)帯域のPSDを算出した。P300の抽出は、10秒間で分割した脳波時系列に1-5Hzのバンドパスフィルタを適用し、FastICAによる瞬目の除去を行った後、刺激提示時刻直前0.25秒間の平均値を用いてベースライン補

表1 各加算回数における判別結果(Average $\pm$ SD)

|      | $\theta$ 波, $\alpha$ 波,P300 |                 | P300            |                 | $\theta$ 波, $\alpha$ 波 |                 |
|------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|
|      | Pre                         | Post            | Pre             | Post            | Pre                    | Post            |
| 加算なし | 0.79 $\pm$ 0.08             | 0.78 $\pm$ 0.08 | 0.67 $\pm$ 0.06 | 0.68 $\pm$ 0.06 | 0.74 $\pm$ 0.10        | 0.71 $\pm$ 0.09 |
| 2回加算 | 0.85 $\pm$ 0.11             | 0.85 $\pm$ 0.09 | 0.77 $\pm$ 0.09 | 0.77 $\pm$ 0.09 | 0.79 $\pm$ 0.11        | 0.77 $\pm$ 0.12 |
| 5回加算 | 0.97 $\pm$ 0.04             | 0.97 $\pm$ 0.03 | 0.96 $\pm$ 0.06 | 0.97 $\pm$ 0.04 | 0.83 $\pm$ 0.15        | 0.82 $\pm$ 0.15 |

正を行ない、波形を抽出した。判別分析では、基礎律動および P300 での加算回数を 0 回加算(以下、加算なしと表記)、2 回加算、5 回加算の 3 通りにおいて、主成分分析による特徴点を抽出し、1 個抜き交差検証を用いて Pre および Post の判別精度を導出した。結果は、主成分分析での第 1 から第 15 主成分間における判別率が最も高いものを採用した。

### 3. 結果

主観アンケートおよび心拍変動解析を行い疲労に関する評価を行った。その結果、主観アンケートにおいて、Pre、Post 間での主観アンケート結果に有意な差が認められた( $p<0.0$ )。心拍変動解析において、迷走神経活動の指標とされる HF 成分に有意な差が認められた( $p<0.05$ )。また、交感神経の指標とされる LF/HF 成分では有意な差は認められなかった( $p>0.05$ )。Pre、Post における Cz での典型的な  $\theta$ ,  $\alpha$  波帯域のパワースペクトルと P300 波形を図 2 に示す。図 2 より、Pre 時に比べ Post 時では  $\theta$ ,  $\alpha$  波帯域のパワー増加と P300 潜時の延長、振幅の減少が確認できる。Pre、Post における Fz, Cz, Pz での  $\theta$ ,  $\alpha$  波帯域の PSD および P300 潜時、振幅に対して Wilcoxon の符号順位検定を行った。その結果、 $\theta$  波帯域の PSD では Fz, Pz,  $\alpha$  波帯域の PSD では Fz, Cz, Pz において Pre、Post 間に有意な差が認められた( $p<0.05$ )。しかしながら、P300 潜時では Cz、振幅では Fz において有意な傾向が認められたが、有意な差は認められなかった( $p>0.05$ )。

線形判別による判別結果を表 1 に示す。表 1 より、加算なしおよび 2 回加算において  $\theta$ ,  $\alpha$  波帯域のパワースペクトルと P300 を組み合わせることで、判別率が向上した。5 回加算においては、P300 のみでの判別率と比べ僅かに向上し判別精度は約 97%となった。

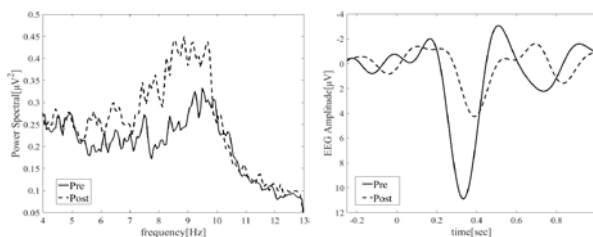


図1 4-13Hz 帯のパワースペクトル(左)と P300 波形(右)

### 4. 考察

約 4 時間の実験により、被験者は疲労感を訴え、主観的疲労感も有意に増加したことから、被験者は疲労状態であった

と考えられる。しかしながら本実験は、長時間実施されているため、被験者の疲労において身体的疲労と精神的疲労の度合いを考える必要がある。実験は座位姿勢で行われており、計測中以外は座りなおしを行っている。心拍変動解析において HF 成分の有意な減少は迷走神経活動の抑制を示しており、LF/HF および心拍数では有意な変化は認められなかった。すなわち、本実験は被験者に対して精神負荷を与えていたことを示している。脳波基礎律動において、 $\theta$ ,  $\alpha$  波帯域の PSD の増加が確認された。これは Trejo らの精神疲労時の基礎律動変化と同様の結果である[1]。このことから、被験者に対して発現した疲労は身体的疲労より精神的疲労の影響が大きいものであると考えられる。

線形判別において、脳波基礎律動と P300 波形を組み合わせることで、加算平均処理を行わない場合において P300 波形のみもしくは基礎律動のみを使用した場合の判別精度である約 70%と比較し約 10%向上することができた。通常、取得した脳波のノイズを低減するために加算平均処理を行う。加算回数が少ない脳波はノイズによる影響が大きくなる。すなわち、基礎律動と P300 波形を組み合わせることである程度のノイズを含んだ状態であっても判別することが可能であると考えられる。これは、ウェアラブル脳波計での計測など、ノイズが多く入る環境においての使用の可能性を示唆している。

### 5. 結論

本研究の目的は、脳波基礎律動と P300 波形の両方を用いて精神疲労を客観的に評価することである。実験は、暗算課題の前後に VAS による主観アンケートと視覚オドボール課題によって誘発される P300 および心電図の計測を行った。実験開始時(Pre)と実験終了時(Post)の  $\theta$ ,  $\alpha$  波帯域と P300 波形を用いて、2 クラスの判別を行った。その結果、判別精度は約 97%であった。このことから、脳波基礎律動と P300 波形を組み合わせることで、精度よく精神疲労状態を判別できる可能性を示すことができた。

### 6. 参考文献

- [1] L.J. Trejo et al.: EEG-Based Estimation and Classification of Mental Fatigue, Psychology, Vol.6, No.5, pp. 572-589, 2015
- [2] 岡本法宜:長時間の作業による精神疲労が事象関連電位 P300 に及ぼす影響, 産衛誌, Vol. 49, No. 5, pp. 203-208, 2007
- [3] J. Cohen, J. Polich: On the number of trials needed for P300, Int. J. Psychophysiology. Vol.25, No.3, pp. 249-55 (1997)

# 物語のグラフ表示と話の展開との相関

高木隆司

東京農工大学 (名誉教授), 〒248-0014 鎌倉市由比ヶ浜 2-23-12, jr.takaki@iris.ocn.ne.jp

## Graphic Representation of Narratives and Progress of Stories

Ryuji Takaki

**Abstract:** The present author has been trying to obtain correlations between graphic representations of narratives and intentions of them by investigating the Aesop Fables and the Konjaku-monogatari (Japanese short stories in the medieval age). It was found that unusual stories with good endings include many interactions among characters. In this paper time-wise developments of stories in Konjaku-monogatari are analyzed based on an established idea that a story has a progress with several stages, such as “set-up”, “complicating action”, “most reportable event”, “resolution”. It is found that the numbers of interactions among characters show a common type of progress for unusual stories with good endings.

### 1. 導入

筆者は、2017 年 6 月の形の科学シンポジウムにおいて、イソップ寓話のネットワーク構造に関する発表を行った[1]。そこでは、イソップ物語のうち、まれに起きる非常に良い内容の話では、登場人物同士の相互作用が他の話に比べて多いということを示した。同年 12 月の形の科学シンポジウムにおいて、12 世紀に成立した今昔物語の本朝編[2]の話においても、同様の傾向が見られることを示した[3]。本研究では、物語の進行の各段階において登場人物の相互作用の数がどのように変化するかを調べ、それと物語の意図との関係を問題にする。

### 2. 物語のネットワーク構造および物語の主旨の分類

話の意図を、教訓か戒め (A+, A-, A)、不思議な話 (B+, B-, B)、現実的な話 (C+, C-, C)、因果関係の紹介 (D+, D-, D) に分類する。+, -, (なし) は、良い話、悪い話、どちらでもない話である。図 1 は、霊鬼と分類された話の一例の構造である。この話の末尾に「狐は恩を知り嘘をつかないので、助けてやるべきだ」という教訓があり、A+ に属する。

図の右側に示すように、話を導入(Set Up)、展開(Event)、特徴がある場面(Most Remarkable Event)、終結(Resolution)に分け[4]、それぞれにおける相互作用数  $n_i$  を求めた (全相互作用は 16)。

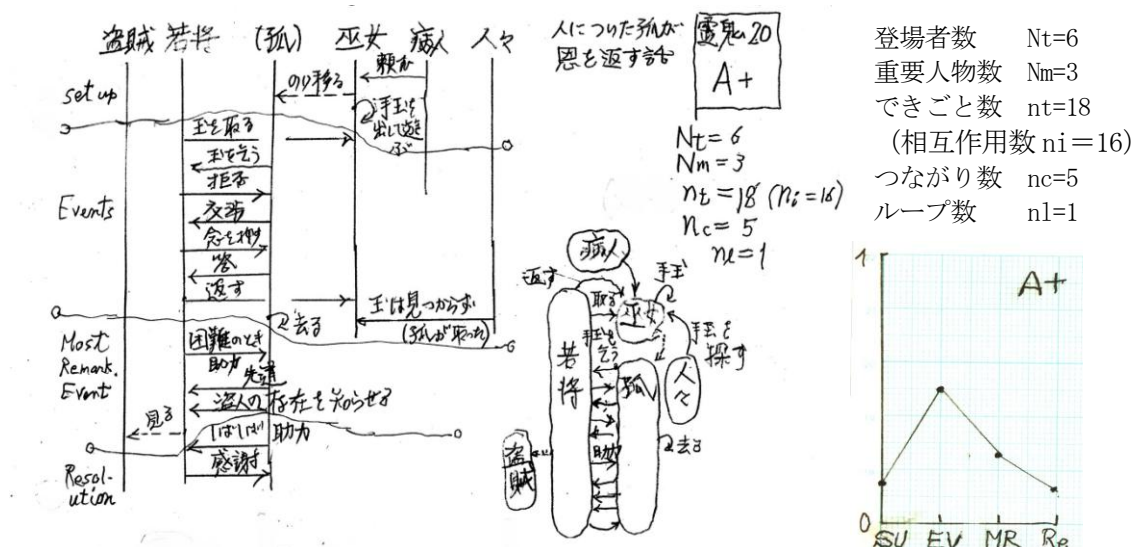


図 1. 今昔物語「人に憑いた狐が恩を返す話」。左：話の展開を長い横線で 4 段階に分ける、中下：話のネットワーク構造、右下： $n_i$  の変化 (全体で 1 になるよう規格化してある)。



### 3. 今昔物語における相互作用数の時間変化

B+,B-,B,C+,C-,C のタイプで、ある程度長い話（登場人物が 4 人以上、相互作用が 15 以上）について、図 1 の右に示したような相互作用数の変動を求めた。それらを図 2 に示す。

なお、文献[2]における掲載順に 5 話ずつ選んだ。なお、長い話は A+では 1 話（図 1）、C では 4 話のみで、A-,A,D+,D-,D にはない。

図 2 から、B+の変動は A+と似ていて、前半の出来事の説明（Ev）で相互作用が多いことがわかる。一方、B-では後半の MR と前半の Ev で同程度の相互作用がある。B はそれらの中間的な挙動をもつ。

C のタイプでは、最初(SU)と最後(Re)で ni が少ないという以外は際立った特徴がない。

以上から、非常に珍しい話が良い結果におわるという B+のタイプで、話の展開に共通の特徴が見られることがわかった。今後は、サンプル数を増す予定である。

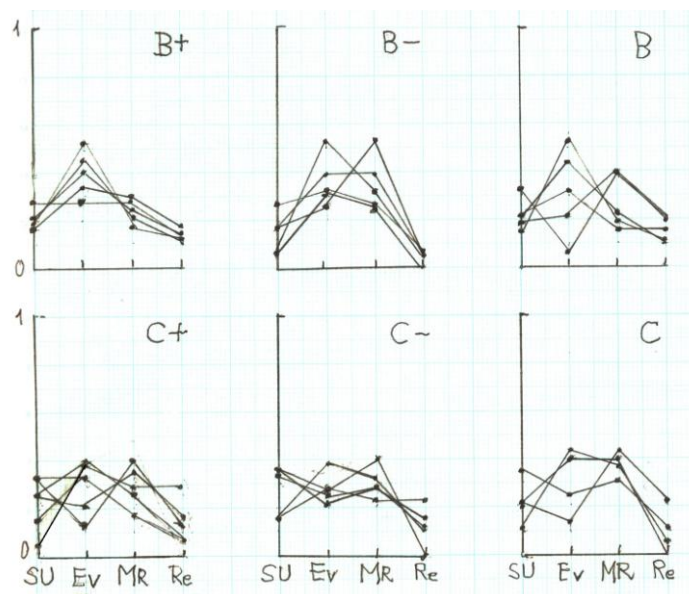


図 2. 今昔物語の比較的長い話についての ni の変化。  
縦軸は、各段階の ni を全部の ni で企画化してある。

### 4. 議論

筆者は、2008 年の形の科学シンポジウムにおいて、Ted Goranson (DARPA と呼ばれるアメリカの公的組織のメンバー)、Beth Cardier (メルボルン大学) との共著で行った講演で[5]、マイクロソフト社の OS である Windows-Vista の失敗を指摘し、今までに見たことがないシステムを設計するという人間にとって苦手な仕事においては、昔から伝えられている物語の解析が有効であることを主張した。筆者がイソップ物語を選んだ理由は、各話に教訓が付随し、話の意図が特定できるからである。

イソップ寓話と今昔物語には、話の性格に違いがある。前者は、奴隷イソップが主人に助言をする際に生み出したもので、妖怪や超能力の話は無い。一方、今昔物語は妖怪変化を含む珍しい話をふくんでおり、日常的な話は無い。しかしながら、珍しい話で良い結果に終わる場合には、どちらも登場人物同士の相互作用が多い。今回の解析では、そのような話の展開においても、特徴が認められた。

次に、上に述べた「未知の良いシステムの開発」という問題意識について言及する。人工知能研究者の松田雄馬氏によれば、「専門家の間では、人間の知能を超える人工知能ができるとは考えづらい」という結論に落ち着きつつあるそうだ。確かに、「人間の知能を超える人工知能」という言葉は自己矛盾を含んでいる。しかし、物語に含まれる過去の智慧の集積も借りたら、現代の人間の智慧を超えられる可能性も考えられる。物語の研究は、このような夢につながるのではないだろうか。

### 参考文献

- [1] 高木隆司、「イソップ寓話の解析-人工知能研究の一方針」、第 83 回形の科学シンポジウム講演予稿修 (2017), pp. 39-40.
- [2] 福永武彦、野坂昭如、「日本の古典 9, 今昔物語」, 河出書房新社, 1971.
- [3] 高木隆司、「今昔物語の構造解析-イソップ物語との比較」第 84 回形の科学シンポジウム講演予稿 (2017), pp. 23-24.
- [4] Beth Cardier との私信, 2017.
- [5] T. Goranson, B. Cardier, 高木隆司、「物語の対称概念をデザインするための kutachi」、形の科学会誌, 23 巻 2 号 (2008), pp. 235-236.

# 確率微分方程式を使用した胃電図の数理モデル化に関する研究

木下 史也<sup>1\*</sup>, 唐山 英明<sup>1</sup>, 高田 宗樹<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 富山県立大学工学部電子・情報工学科 〒939-0398 富山県射水市 黒河 5180

<sup>2</sup> 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1

\*f.kinoshita@pu-toyama.ac.jp

## A Study of Mathematical Modeling of Electrogastrograms Using Stochastic Differential Equations

Fumiya Kinoshita, Hideaki Touyama, Hiroki Takada

<sup>1</sup> Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Toyama Prefectural University, 5180 Kurokawa, Imizu-shi, Toyama, 939-0398 Japan.

<sup>2</sup> Department of Human & Artificial Intelligent System, Graduate School of Engineering, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui, Fukui 910-8507, Japan.

**Abstract:** In this study, we compared an EGG measured in the abovementioned experiment with numerical solutions to the mathematical model describing the EGG. It is known that the van der pol equation (VPE) is appropriate for obtaining a mathematical model of the EGG because the waveform of the electric potential in the Cajal cells is similar to the graphs of numerical solutions to the VPE. In our previous study, the mathematical model, a system of stochastic differential equations (SDEs), was improved by adding the VPE to a periodic function and random white noises that were analogous to the intestinal motility and other biosignals, respectively.

**Keywords:** Electrogastrogram, Van der Pol equation, Cajal cells, Stochastic Differential equations

胃や小腸にも心臓のように規則的な電気活動がみられ、電氣的に脱分極と再分極を繰り返している。胃の電気活動のペースメーカーは胃体上部 1/3 大彎側に存在し、ここからヒトでは 1 分間に約 3 回の波(3 cycle per minute, cpm)が幽門部に向かって電気活動を伝播している。このペースメーカーは副交感神経活動の支配を受けているが、自発的に周期的電気活動を起こしている。胃電図(Electrogastrogram, EGG)は、このペースメーカーが引き起こす電気活動の伝播を低拘束に測定できるひとつの方法である。

胃の電気活動のモデル化は、1971 年 Sarna らによって行われ、Van der Pol 方程式を用いて記述された。Sarna らのモデル式では、脱分極における on-off の 2 状態を胃の電気活動の伝播として物理学的に記述している。しかし、Van der Pol 方程式は決定論的な微分方程式であり、実際に測定される胃電図は必ずしも決定論的な数理モデルにより生成されているとは限らない。そこで、2009 年松浦らは Van der Pol 方程式に、他臓器からの影響を周期信号や白色雑音項として付加し、胃の電気活動の伝播を確率共鳴モデルにて記述した。

$$\dot{x} = y - 5 \operatorname{grad} f(x) + s(t) + \mu w_1(t) \quad 1.1$$

$$\dot{y} = -x + \mu w_2(t) \quad 1.2$$

$$f(x) = \frac{1}{12}x^4 - \frac{1}{2}x^2 \quad 1.3$$

ここで、周期関数  $s(t)$  は 1 分間に 7 回の規則的なトリガーを発生するペースメーカーで制御されている結腸から発生する電気信号の影響、白色雑音  $w_1(t)$ ,  $w_2(t)$  は、回腸や盲腸

などから発生する電気信号や、微弱で不規則な筋層間電位振動に代表される胃腸以外の臓器に起因する生体信号を表す。 $\mu$ は雑音振幅係数を表し、 $\mu$ を最適化することにより確率共鳴現象を記述する。確率共鳴を用いた数理モデル化では、その数値解析を通じて胃の電気活動と腸管およびその他の生体信号との関連性を調べることを可能とする。ここで、確率共鳴とは、潜在的に弱いリズムや双安定閾値をもつ系に、ある最適な雑音加わることによって潜在する周期信号が増幅する現象である。確率共鳴現象の特徴は、最適強度の雑音が吹かされることで、出力に最大の信号対雑音(Signal to Noise, SN)比が実現される現象であり、このとき、潜在する周期信号と系から発生される信号との相互相関係数の値が極大値となる。松浦らは $\mu = 7$ のとき相互相関係数が極大値とることを確認し、これを胃電図の最適なパラメータと設定した。

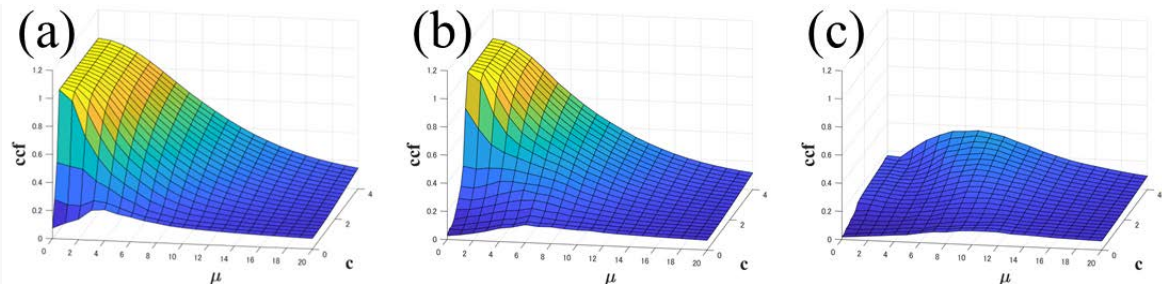
しかし、Van der Pol 方程式には非線形成分の強弱を表すパラメータや時間ステップに依存する固有周期が存在し、これらのパラメータを考慮せずに最適雑音係数を決定することは問題がある。そこで本研究では、松浦らにて提案された数理モデルを以下のように改良することで、確率共鳴現象における潜在する周期信号と系から発生される信号との相互相関係数の極大値について調査を行った。

$$\dot{x} = y - \lambda \operatorname{grad} f(x) + C \sin\left(\frac{2\pi\omega t}{1200}\right) + \mu w_1(t) \quad 2.1$$

$$\dot{y} = -x + \mu w_2(t) \quad 2.2$$

$$f(x) = \frac{1}{12}x^4 - \frac{1}{2}x^2 \quad 2.3$$

本研究で検討する数理モデルでは、非線形成分の強弱を表すパラメータを $\lambda$ 、周期信号の強弱を表すパラメータを $C$ 、周期信号の角周波数を $\omega$ とし、これら値を任意に変更することが可能である。本研究では、 $\lambda$ を1から8までの整数値、 $\omega$ を1, 3, 5, 7, 9, 11と変化させた。また、 $C$ は0から4.0まで0.2刻みで変化させた。雑音振幅係数 $\mu$ は先行研究と同様に1から20までの整数値で変化させた。数値解析は、式(2.1), (2.2)を差分方程式に書き換え、4次のRunge-Kutta法により数値計算を行った。このとき、時間ステップは0.05とし、白色雑音 $w_1(t)$ ,  $w_2(t)$ は閉区間 $[-1.7, 1.7]$ における一様乱数(平均±標準偏差:  $0 \pm 1$ )にて与えた。各数値解は18000ステップ算出し、得られた数値解は先頭から12000ステップを破棄し、残る6000ステップを使用した。本研究では、パラメータを変化させた際の数値解と潜在する周期信号との相互相関係数を算出することで、確率共鳴が引き起こされる雑音振幅係数について調査を行った。その結果、パラメータの組み合わせにより、相互相関係数が極大値をとる雑音振幅係数 $\mu$ の値は変化した。また、 $\mu$ が大きくなるとノイズ項が支配的になり相互相関係数の極大値は低下し、 $C$ が大きくなると潜在する周期信号が支配的になり相互相関係数の極大値は増加ことが確認された(Figs.1)。



Figs.1 Maximum value of cross correlation coefficient at  $\omega = 7$  (a)  $\lambda = 2$ , (b)  $\lambda = 4$ , (c)  $\lambda = 8$ .

# コーヒーおよびカレー摂取が胃電図に及ぼす影響の1例 —香料の客観的評価を目指して—

高井英司<sup>1</sup>、青柳隆大<sup>2</sup>

曾田香料株式会社 分析研究部<sup>1</sup>・基礎素材研究部<sup>2</sup>

千葉県野田市船形 1573-4

E-mail: Eiji\_Takai@soda.toray.co.jp

## Effects of Coffee and Curry Intake on Electrogastrography

Eiji Takai<sup>1</sup>, Takahiro Aoyagi<sup>2</sup>

Soda Aromatic Co., Ltd. Analytic Research Department<sup>1</sup>・Materials Research Department<sup>2</sup>

1573-4 Funakata Noda, Chiba

**Abstract:** In this study, we investigated the effects of coffee and curry intake on electrogastrography (EGG). EGG recordings were obtained over 20 min prior to and after ingestion of coffee or curry. After intake of coffee or curry, we observed an increase in the amplitude of the EGG signal/waveform. However, coffee ingestion following curry intake showed a decrease in the amplitude. Our results suggest that the effect of coffee ingestion on gastric motility varies depending on whether a subject is in a fasting or a nonfasting state.

**Keywords:** Electrogastrography, Coffee, Curry, Postprandial dip

### 1. はじめに

フレーバー（食品香料）は様々な食品に使用されており、日常生活に欠かせない存在である。しかしながら、香りを感じる嗅覚は他の感覚（視覚・聴覚など）と異なり客観的な数値として表現することが難しく、フレーバーの開発は主観的な官能評価に頼らざるを得ないのが現状であり、評価者の訓練に膨大な時間とコストが必要となる。

そこで、香りを嗅いだ時の生体反応を利用し、脳計測（fMRI・脳波・NIRS等）や自律神経計測（心電図・瞳孔計測器等）による香りの客観的評価が検討されている[1]。様々な生体計測のうち、①簡便、②非侵襲、③非拘束、④食品・食欲をイメージしやすい、といった観点から胃電図（EGG）に着目した。EGGは経皮的に胃運動を測定する方法であり、非侵襲的かつ比較的簡便に測定可能である[2]。

胃運動は様々な因子の影響を受けるが、消化管ホルモンであるグレリンも胃運動に関わる[3]。グレリンは嗅覚にも影響を及ぼすとの報告があり[4]、胃運動と嗅覚の間に何らかの相関があると考えられた。そこで、フレーバーの客観的評価手法の一つとして胃電図を選択し、予備検討として食品摂取時の胃電図計測を行ったので報告する。

### 2. 方法

本研究はすべての試験を同一被験者（20代健常男性）1名で行った。本研究については事前にインフォームドコンセントを実施し、実験参加への同意を得た。また、被験者には測定前日に十分な睡眠をとること、当日は刺激物（アルコール、カフェイン、香辛料等）の摂取および負荷のかかる運動は避けるよう指示した。

胃電図は、胃電図計測システム EGG Mibyo-tech. NOZOMI（株式会社ペリテック）によりサンプリング周波数 100Hz でデータをパソコンに取り込んだ。電極として心電図用ディスプレイダブル電極 Red Dot™ 2330（3M社製）を使用し、図1に示すように貼付した。

測定は胃電気活動の日内変動を考慮し、カレーライスの摂食は12時30分に統一した。また、コーヒー摂取は10時20分（空腹時）、13時20分（摂食後50分）、15時50分（摂食後3時間20分）に行った。一般に胃電図は仰臥位で測定されるが[2]、被験者に飲食品の摂取を行ってもらうことから座位にて測定を行った。

解析はノイズ除去を目的として高域遮断周波数 0.15Hz のローパスフィルターを適用し、

さらに 1Hz で再サンプリングした。再サンプリングはノイズ除去を目的としているため、1 秒間隔で分割し、その区間平均値を抽出した[5]。

被験食として、カレーライスはセブンイレブンで購入した「THE セブンビーフカレー アンガス種牛肉使用」(685kcal) を、コーヒーは「UCC BLACK 無糖」(ユーシーシー上島珈琲(株)) を使用した。

### 3. 結果・考察

空腹時のコーヒー摂取により、胃電図の振幅増大が観測された(図 2 上)。また、カレーライス摂取後にも振幅の増加が認められた(図 2 下)。これらの結果は、以前の報告を支持するものであった[6,7]。

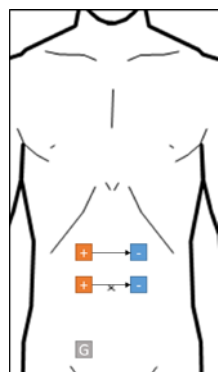


図 1. 電極貼付位置

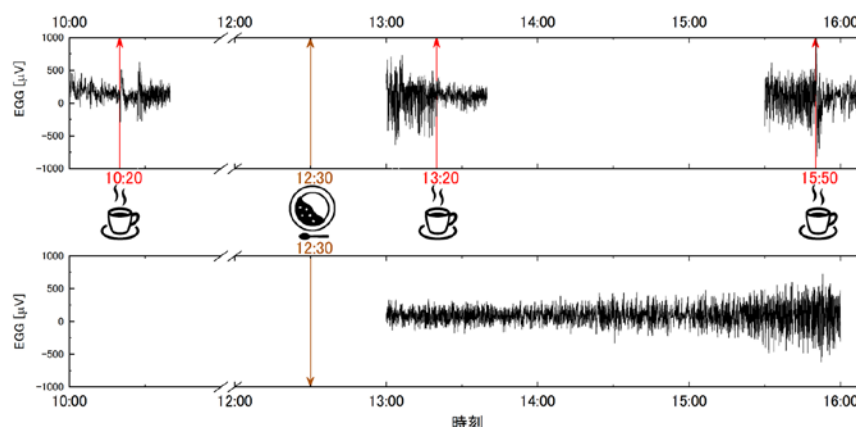


図 2. 胃電図測定結果

しかしながら、カレーライス摂食後にコーヒーを摂取すると振幅が減少し、測定した 20 分間は減少したままであった(図 2 上)。この現象はカレーライス摂食 50 分後と 3 時間 20 分後のいずれにおいても観測されたことから、コーヒー摂取がこの現象の引き金となっているかを確認するため、コーヒーを摂取することなくカレーライス摂食後 3 時間 30 分にわたって胃電図測定を行った。その結果、振幅は摂食後 3 時間 30 分後まで増加し続けたことから、振幅の減少は消化吸収に伴う生理的変動や日内変動というよりコーヒー摂取により誘導されると推測された。

本現象がいわゆる *postprandial dip* に相当するのか、コーヒー特有の現象であるのかは、さらなる検討が必要である。

以上の結果から、まだ予備検討段階ではあるものの、カレー摂食が胃運動を活発にし、コーヒー摂取はそのタイミングにより胃運動に与える影響が異なると推測されたことから、食欲がわく(胃運動の活発化)カレーフレーバーの開発や、摂取シーンを想定したコーヒーフレーバーの開発(食前:胃運動の促進→食欲増進、食後:胃運動の抑制→満腹感促進)につながる事が期待される。

### 参考文献

- [1] 日下部裕子, 和田有史 編, 「味わいの認知科学 舌の先から脳の向こうまで」, 勁草書房, 2011
- [2] 日本自律神経学会 編, 「自律神経機能検査第 5 版」, 文光堂, 2015
- [3] 中里雅光, 日内会誌, 92(4) 603-608, 2003
- [4] Jenny Tong, Erica Mannea, Pascaline Aimé, Paul T. Pfluger, Chun-Xia Yi, Tamara R. Castaneda, Harold W. Davis, Xueying Ren, Sarah Pixley, Stephen Benoit, Karyne Julliard, Stephen C. Woods, Tamas L. Horvath, Mark M. Sleeman, David D'Alessio, Silvana Obici, Robert Frank, and Matthias H. Tschöp, J Neurosci., 31(15) 5841-5846, 2011
- [5] 松浦康之, 横山清子, 高田宗樹, 岩瀬敏, 嶋田勝彦, 生体医工学, 44(4), 560-566, 2006
- [6] 種村一識, 松永哲郎, 山崎英恵, 李子帆, 城尾恵里奈, 足達哲也, 近藤高史, 津田謹輔, 日本栄養・食糧学会誌, 65(3), 113-121, 2012
- [7] 永井成美, 脇坂しおり, 高木絢加, 山口光枝, 森谷敏夫, 栄養学雑誌, 70(1), 17-27, 2012



# エッシャー「円の極限」の双曲平面への投影

吉野 隆

東洋大学理工学部、〒350-8585 川越市鯨井 2100

tyoshino@toyo.jp

## Projections of Escher's "Circle Limit" on Hyperboloids

Takashi Yoshino

Department of Science and Technology, Toyo University,

Kujirai 2100, Kawagoe, 350-8585 Japan

**Abstract:** We obtained the 3D images of Escher's famous series of pieces "Circle Limit" by projecting original 2D picture images onto the hyperboloid. These results enabled us to view the pieces from various viewpoints with various magnifications.

**Keywords:** Circle Limit, Escher, hyperbolic geometry, 3D image.

エッシャーの版画「円の極限」シリーズは双曲平面に描かれた合同な三角形のタイリングをポアンカレ円板に投影したパターン（コクセター・プリント, Coxeter, 1964）をモチーフにしている。この作品を双曲平面に投影したとき（すなわち、本来の空間に戻したとき）の図形を表示する試みを行った。

双曲幾何学は 2 葉双曲面の上半分  $-x^2 - y^2 + z^2 = 1$  ( $z > 0$ ) において定義されるが、図示のためには二種類の平面への投影（クライン円板とポアンカレ円板）が用いられる（中岡, 1993）。ポアンカレ円板は、投影中心を  $(0, 0, -1)$  として、双曲平面上の点  $(x, y, z)$  を平面  $z = 0$  に投影するもので、 $z = \sqrt{1 + x^2 + y^2}$  であることを考えれば、変換式は次のようになる。

$$(x_0, y_0) = \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{1 + z} x, \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{1 + z} y \right)$$

ポアンカレ円板から双曲平面への投影はその逆変換になるので、以下の式になる。

$$(x, y, z) = \left( R \frac{x_0}{r_0}, R \frac{y_0}{r_0}, \frac{R - r_0}{r_0} \right)$$

ここで、 $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$  かつ  $R = 2r_0/(1 - r_0^2)$  である。

円の極限を双曲平面に戻す簡単な方法は、画像を準備して、すべてのピクセルを双曲平面に投影することである（図 1）。その手順を以下に示す。はじめに、画像からポアンカレ円板の中心と円周を決定する。円周の半径を 1 で正規化し、各ピクセルを構成する頂点の座標を計算する。ピクセルを正方形とみなし、上の式に基づいて 3 次元空間におけるポリゴン（今回の場合には四辺形）として描く。厳密に言えば、ポリゴンを構成する辺は双曲線であるが、今回はこれを直線に近似している。これを、指定した領域（今回はもとの円板と同じ中心をもつ半径 0.8 の円内）にある全てのピクセルに適用した。ポアンカレ円板の円周上が無遠慮に相当するためである。投影されたポリゴンはピクセルと同じ色で塗る。

本研究では, 円の極限シリーズのうち, I, III, および IV を双曲平面に戻す作業を行った. 結果を図 2 に示す. 周辺部に行くほど ( $z$ が大きくなるほど) ひとつのピクセルが広い領域を表すために, 双曲平面上での解像度が粗くなっている. これを回避するためには, 中央部の精密な図形をもとにしてベクトルデータを作らなければならない. これは今後の課題である. 構成単位となっている図形は合同であるが, これは双曲幾何学的に合同であるため, 私たちの目で見るときに合同とは思えないことが改めて認識される.

得られた 3 次元データは 3ds 形式で保存した. 3ds 形式に対応している 3D viewer を使用することで, さまざまな方向からこの図形を観察することができる. 本研究で作成した 3ds ファイルをインターネット上で公開している. URL を以下に示す.

<http://takashiyoshino.random-walk.org/Escher3dsFiles/>

前述のように, 円の極限はコクセター・プリントと呼ばれている双曲平面上のタイリングをモチーフにしている. 本研究と関連して, 双曲平面上でのコクセター・プリントの実現も行っている (Yoshino, 2016). 講演時間が許せば, この実現方法についても紹介する. 文献

Coxeter, H. S. M. (1964) Regular Compound Tessellations of the Hyperbolic Plane, *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 278, no. 1373, 147-167.

Coxeter, H. S. M. (1979) The Non-Euclidean Symmetry of Escher's Picture 'Circle Limit III', *Leonardo*, 12, 19-25.

中岡稔 (1993), 双曲幾何学入門, サイエンス社.

Yoshino, T. (2016) Projections of Escher's "Circle Limit" on Hyperboloids - Visualization of Triangulation Patterns on Hyperboloids, *Symmetry: Culture and Science* 27(4) 425-430.

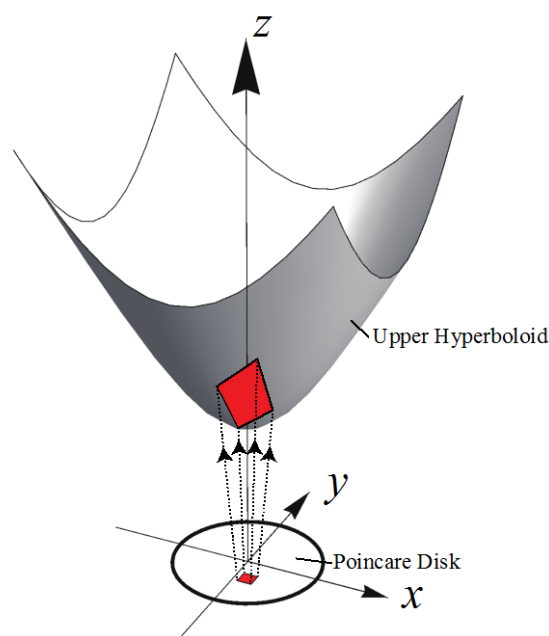


図 1 : ポアンカレ円板内のピクセルを双曲平面に投影する.



図 2 : 双曲平面に戻された円の極限. 左から, I, III, IV.

## 集団脳波同時計測とその解析

唐山 英明  
富山県立大学  
touyama@pu-toyama.ac.jp

## Recording and analyzing collaborative EEG signals

Hideaki Touyama  
Toyama Prefectural University

**Abstract:** In usual, EEG signals have been recorded with single subject. In recent years, the novel concept of simultaneous recording of EEG signals (collaborative EEG signals) from multiple subjects has been emerging. In this invited talk, the recording of the collaborative EEG signals is introduced as well as the analysis with machine learning technique.

**Keywords:** collaborative EEG, machine learning.

### 1. はじめに

近年、脳情報の解読に関する研究が活発に行われている。そのような解読技術に基づいて、脳情報のみでコンピュータを操作可能なシステム（ブレインマシンインタフェース）も開発されてきた[1]。従来の研究では、一人の被験者に対して脳情報を記録し分析することが行われてきたが、集団の脳情報を同時に記録し分析する手法が提案され、その応用可能性が模索され始めている[2, 3]。

### 2. 集団脳波同時計測と解析

外部刺激に対して惹起する脳波（事象関連電位）を用いたブレインマシンインタフェースの中には、特定の文字に対する注意の状態を推定し、その文字を入力可能な脳波キーボードがある[4]。通常、一人の被験者が利用するこのシステムでは、システムは同じ文字を複数回提示し、その時に惹起した事象関連電位を加算平均処理することにより、ノイズ成分を低減する。加算平均回数が増えるにつれて明瞭な事象関連電位が検出でき、インタフェース性能も向上することが分かっているが、一文字の入力には相当の時間を要するため、実時間性が確保できないという大きな問題がある。

一方で、集団脳波（collaborative EEG）では、図1に示すように、複数の被験者の脳情報を同時に記録して被験者間で統合して加算平均処理するものであり、各被験者から「その瞬間の」唯一回の脳情報のみ提供されればよく、実時間性が確保できるという利点がある。機械学習手法を適用することにより、集団の注意状態を精度よく把握することができると期待される。



図 1 集団脳波同時計測の様子

### 3. 応用可能性

集団脳波の応用可能性は多岐にわたる。例えばマーケティングへの応用であり，集団の注意を惹く商品やコンテンツを抽出・把握できる可能性がある。また，集団の総意を反映するゲームや集団の集中度計測システムも実現するかもしれない。

集団の注意状態について考えると，全員の注意状態が全く同じになることはあり得ない。そこで，その瞬間に，集団のどの程度が注意状態にあり，どの程度が非注意状態にあったかを推定できれば，さらに新しい実時間アプリケーションが実現できると考えられる。この概念は脳情報多数決 [5, 6] と呼ばれるべきものであり，今後の研究開発が待たれる技術の一つと言えよう。

### 4. 今後の課題

本研究では集団脳波同時計測とその解析の可能性について述べた。将来的に有用な技術となる可能性を秘めているが，現時点では集団を構成する人数が高々数十名の場合の検証にとどまっており，今後は簡便なウェアラブル脳波デバイスを用いて，100 名～1,000 名規模のデータ収集を行って検証をする必要があると考えられる。

### 参考文献

- [1] Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical neurophysiology*, 113(6), 767-791.
- [2] Wang Y, Jung T-P (2011) A Collaborative Brain-Computer Interface for Improving Human Performance. *PLoS ONE* 6(5): e20422. doi:10.1371/journal.pone.0020422
- [3] 吉竹一智, 増田侑也, 唐山英明, 集団同時脳波計測 – P300 の単試行検出精度の向上に向けて –, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.1, pp.13-19, 2013.
- [4] Krusienski, D. J., Sellers, E. W., McFarland, D. J., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (2008). Toward enhanced P300 speller performance. *Journal of neuroscience methods*, 167(1), 15-21.
- [5] Hideaki Touyama and Junwei Fan, Decision by majority by thinking, Transactions of the Virtual Reality Society of Japan, Vol.22, No.1, pp.27-30, 2017.
- [6] Kosuke Fujita and Hideaki Touyama, Majority rule using collaborative P300 by auditory stimulation, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol.21, No.7, pp.1312-1320, 2017.



## 東京藝術大学の六角堂

杉本 剛

神奈川大学、横浜市神奈川区六角橋 3-27-1

sugimt01@kanagawa-u.ac.jp

## The Hexagonal Gazebo in Tokyo University of the Arts

Takeshi Sugimoto

Kanagawa University, 3-27-1 Rokkakubashi, Kanagawa Ward, Yokohama

**Abstract:** There is a hexagonal gazebo in Tokyo University of the Arts. The requiem for Kakuzo Okakura covers whole of this gazebo: the orb on top (made by Hidemasa Katori); the copper roof; the main structures made of a hinoki cypress (late Fujiwara-style design by Yoji Kanazawa); the bronze statue of Kakuzo (made by Denchu Hiragushi); ‘Asia is One.’ is written by Yoshisaburo Okakura and carved by Denchu on the upright board behind the stature; back of the board fitted is a copper plate of the inscription about Kakuzo’s accomplishment written by Naohiko Masaki and engraved by Kamezo Shimizu. The year 1931 saw the establishment of the monuments.

**Keywords:** Kakuzo Okakura, Naohiko Masaki, Requiem Monuments

### 1. いとぐち

東京藝術大学の「奥の細道」には、六角堂があり岡倉覚三の全身像が安置されている。東京美術学校 2 代校長として順風満帆にみえた覚三の人生だったが、怪文書で不倫を暴かれるなどして、1898 年辞職に追い込まれ、一転野に下った。1901 年東京美術学校 5 代校長として就任した正木直彦はこの年のうちに日本美術院と和解した。しかし辞職の原因が原因だけに、岡倉覚三の顕彰が、東京美術学校で受け入れられるまでには、なお 30 年を要した。

### 2. 故岡倉前校長記念銅像除幕式

1931 年 12 月 6 日、美術学校の紅葉山にて式典が執り行われた。胸像設置の計画を持って正木が横山大観に相談に行ったところ、生前覚三は野ざらしの胸像を嫌ったということで、



図 1. 岡倉覚三銅像が鎮座する六角堂(左)・・・像の背面東屋内壁には Asia is One.(右)

岡倉覚三先生実我邦近代美術復興唱首也東洋美術史審美學之講明美術教育之施設古美術保存之制度無興我美術海外宣傳悉為先生所創案實行為明治十三年先生十九歲卒東京大學哲学科業之時代外國文化陶醉之風彌漫子海內視我美術若土著藝復興先生發起唱道國粹美術優越以覺醒迷夢是為我邦近代美術復興曙光十八年并文部省函取調掛十九年為美術取調掛委員遊子歐米諸國調查美術教育制度二十年歸朝官設東京美術學校先生任幹事二十三年任校長先生創業最碎心就市井画工彫工金工髹工中簡枝鉅匠薦為教官優遇之自指導誘振是努以復興地位向上技術精進在職十年所造就人材頗多橫山大觀下村寒山菱田春草并翹楚也此間為臨時全國寶物取調掛次為古社守保存會委員并帝室博物館幹事於是我邦古美術鑑查調查保存制度始得就諸三十一年共橋本雅邦并大觀觀山春草等烈故日本美術院同人等所作歲時開展覽會公之皆為先生所指導先生簍渡航子米國勃士敦美術館整理東洋美術先生素養英語英文先生在彼土所述作頗多就中英文東洋之理想開卷道故重細亞是一也其卓見警唱學者頗多英文茶說一書米國美術學校採為教課書佛獨本重譯汎布示為英文學典型矣先生以文久二年生以大正二年九月二日逝享年五十二先生逝而今持二十年先生遺業東京美術學、日本美術院共益紹隆先生造澤綿々弗絕美術院既有天心靈社祀先生今慈門人故雋胥謀於美術學校校苑新構祀堂安先生遺像昭和六年十二月六日行除幕式像美術院同人平櫛田中所造檜堂美術學校建築科金澤庸治所設計監造也而經營董事橫山大觀最鉅力云、校

東京美術學校校長正木直彦撰并書

図 2. 六角堂背面の銅板銘・・・正木直彦(撰並びに書)による岡倉覚三の偉業録

全身像を六角堂に安置するという大計画になったが、大觀が資金はいくらでも工面するというので計画は実施に移された。

- ・岡倉覚三(藤原式校服姿)銅像：平櫛田中・原型；阿部胤齋・鋳造
- ・六角堂：金澤庸治・設計(後期藤原式)；四坪三合(14m<sup>2</sup>)；柱間五尺(1.5m)；総高十七尺五寸(5.3m)；基礎(深さ2m配筋コンクリート固めに信州産大玉石敷詰め)のうえ銅像台部は甲州産三沢石貼付け最上層に亀甲模様)；木曾産桧造；頂の宝珠・香取秀眞・作；屋根銅葺
- ・「Asia is One.」(東屋内壁)：岡倉由三郎・揮毫；平櫛田中・彫刻
- ・六角堂背面銅板銘(東屋外壁)：正木真彦・撰ならびに書；清水龜藏・鐫刻

細部にまで配慮の行き届いた力作である。銅板銘は酸性雨などの影響だろうか・・・特に最上部の摩滅がひどく・・・判読は困難を極めたが、全文の転写に成功したと思うので、図2として公開する。当時の雑誌記録に写真はあがあるが豆粒である。それを見ると文字が白いが、今では文字はただの溝である。なお、正木の銘は画竜点睛を欠く。本文最終行最後の三文字の意味するところは、本文中「、」の位置に「校」を補う。書き損じなのだ。

200人以上集まった除幕式は盛会で、13時に孫の岡倉古志郎と横山大觀が除幕した。田邊孝次(事務報告)・金澤庸治(工事報告)・横山大觀(銅像贈呈の辞)・正木真彦(祝辞)・内府の牧野伸顯(祝辞)・米山辰夫(遺族挨拶)・14時半式終了。野外での茶会に流れる。

### 3. むすび

正木の顕彰は、金澤庸治・設計の正木記念館(1935)とそこに安置された正木の陶像(等身大日本初・沼田一雅・1938製作)とによりなされた。正木像は南東向き、覚三像は北西向き。

## 強度が異なる運動前後の胃電図に関する非線形解析

道上聖太<sup>1</sup>、○平山洪介<sup>1</sup>、木下史也<sup>2</sup>、高田宗樹<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 福井大学大学院工学研究科知能システム工学専攻 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1

<sup>2</sup> 富山県立大学工学部電子・情報工学科 〒939-0398 富山県射水市 黒河 5180

\*takada@u-fukui.ac.jp

## Nonlinear analysis of Electrogastrograms measured before/after exercises with several intensities

Kosuke Hirayama, Shouta Mitigami, Fumiya Kinoshita, Hiroki Takada

<sup>1</sup>Department of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering,  
University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui, Fukui 910-8507, Japan

<sup>2</sup>Toyama Prefectural University, 5180 Kurokawa, Imizu, Toyama 939-0398, Japan

**Abstract:** In our previous studies, it was suggested that the exercise load affected electrical activity in the stomach. We herein measured nonlinearity of the Electrogastrograms recorded before/after exercises with three intensities for the mathematical modeling of the electrical activity in the gastro-intestine. The value estimated after the exercise was significantly greater than that before the load except for the low-intensity.

**Keywords:** Electrogastrogram, Nonlinear analysis, Fourier-Shuffle, Exercise intensity

消化管に組み込まれている腸管神経系は「第2の脳」といわれており、自律神経や情報伝達物質を介して脳と関連している。一方、適度な運動は全身の血行を促進し自律神経を整えるとされ、胃腸の蠕動運動が促進されるなどの効果が期待できる。しかし、過度な運動負荷は交感神経優位となり消化管機能を抑制するため、適度な運動負荷強度を明確にしておくことは意義がある。胃腸の電気活動は無拘束・簡便に測定するひとつの方法として経皮的胃電図<sup>[1][2]</sup> (Electrogastrogram, EGG)がある。胃電図は心電図などと比べ非常に発生電位が小さいため研究が遅れていた領域である。

先行研究において、胃電図の3つの周波数帯域 bradYGastria (1.1 -2.4 cpm)、正常周波数帯域(2.4-3.7 cpm)、tachyGastria (3.7-5.0 cpm)の周波数解析の指標(パワースペクトル密度、パワースペクトル値、ピーク周波数)の比較によって運動が交感神経活動の優位性を引き起こしていることが示唆された。

そこで本研究では胃の活動システム解明のために運動において引き起こされる胃の活動低下は非線形性を持っているのかを明らかにすることを目的とした。非線形性を確認する手法として、Fourier -Shuffle サロゲートデータ法を用いて得られた胃電図周波数時系列データについて確認した。その結果強度が弱い運動でない場合には非線形性が高く、運動による影響を強く受けていることが示唆された。

### 参考文献

- [1] W. C. Alvarez: The electrogastrogram and what it shows, Journal of the American Medical Association, 78, pp.1116-1119, 1922.
- [2] L. K. Kennedy, M. Robert: Handbook of Electro-gastrography, Oxford University Press, Oxford, 2004.