

脳波のフラクタル解析を用いた味覚の感性評価

平 大生[†], 佐久間 平輝[†], 大畠 惇暉[†], 小池 和摩[†], 中川 匡弘[†]

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

E-mail: [†] taira@pelican.nagaokaut.ac.jp, [†] masanaka@vos.nagaokaut.ac.jp

あらまし 味覚や香り、歯触りなどが食品の感性価値であり、商品の総合価値を高める極めて重要な要素である。本研究では、チョコレートの食感、味、見た目が人の感性にどのような影響を与えているのかを解明し、食品の製品開発における感性解析手法の有効性を確認することを目的とする。結果として、属性間でサンプルを食べたときに誘発される感性の傾向が異なることを確認した。このことから、ターゲットを定めた製品開発に感性解析が有効であることが示された。

キーワード 脳波, フラクタル, 感性

On the Sensibility Evaluation of Sense of Taste based on Fractal Analysis of EEG —

Hiroki TAIRA[†], Taiki SAKUMA[†], Atsuki Ohata[†], Kazuma KOIKE, Masahiro NAKAGAWA[†]

[†] Nagaoka University of Techonology 1603-1 Kamitomioka-machi, Nagaoka-shi, Niigata, 940-2188 Japan

Keywords EEG, Fractal, Sensibility

1. はじめに

1.1. 背景

商品価値の構造は、実質価値、感性価値、記号価値から成り立っている。食品であれば「空腹を満たす」・「栄養を摂取する」事が実質価値である。「おいしい」味覚や香り、歯触りなどが感性価値である。ブランド価値や有名店の料理の味といったありがたさが記号価値となる。

「おいしさ」・感性価値により記号価値が構成されており、「栄養摂取」や「空腹を満たすこと」・実質価値をよりよく見せる役割を担っている。感性価値は商品の総合価値を高める極めて重要な要素になっている^[1]。現在も人の嗜好など食に対する感性を定量化し評価する研究が行われている^[2]。

一方、ヒトの感性へのアプローチとして、脳波を利用して脳状態を特徴化する試みが行われている。1997年には武者らによって感性スペクトル解析法 (Emotion Spectrum Analysis Method : ESAM) が発表されている^[3]。ESAMは脳波信号を周波数解析することで脳状態を特徴化している。

また、2002年には佐藤らにより感性フラクタル次元解析法 (Emotion Fractal-dimensions Analysis Method : EFAM) が発表された^[4]。EFAMは脳波のフラクタル次元を推定し、解析することで脳状態を特徴化している。

EFAMは怒り、喜び、悲しみ、リラクスの4感性について平均で70[%]以上の高い認識率を得ることに成功しており、感性価値を付加した商品開発などに利

用されている^[5]。

1.2. 目的

本研究では、チョコレートの市販品と新製品の比較検定を実施する。製品を見る・食べる・余韻に浸るときに製品の食感、味、見た目が人の感性にどのような影響を与えているのかを検証し、食品の製品開発における感性解析手法の有効性を確認する。

2. 解析手法

2.1. 独立成分分析を用いた筋電成分除去

本研究では、SOBI(Second Order Blind Identification)を利用して独立成分分析 (Independent component analysis : ICA)を行った。具体的な手順としては、(8)式より計測した脳波信号 f と分離行列 W より分離信号 f' を得る。その後、3.4.にある通りに筋電計測用に配置した口周りの6chの電極から計測した信号と f' の相関係数を算出し、相関係数の高い信号の成分を0にすることで f' から除去し、 f'' を得る。 f'' に W^{-1} を(9)式のように適用することで、筋電を除去した信号 f''' を得る。

この時の相関係数の閾値は ± 0.6 とした。

$$f' = Wf \quad (1)$$

$$f''' = Wf'' \quad (2)$$

2.2. フラクタル次元推定法

脳波の解析を行うために、分散のスケーリング特性を利用したフラクタル次元推定法を用いた。本手法では、脳波のチャンネル間差分を取ったデータを用いてフラクタル次元解析を行う。

フラクタル次元が D である時系列データ $f(t)$ と時間 τ だけ遅らせたデータ $f(t+\tau)$ の α 次モーメント $\sigma_\alpha(\tau)$ は次式で表すことができる。

$$\sigma_\alpha(\tau) = \langle |f(t+\tau) - f(t)|^\alpha \rangle \sim |\tau|^{\alpha H} \quad (3)$$

ここで、 $\langle \bullet \rangle$ は統計平均を示す。解析対象の時系列データ $f(t)$ が一様なフラクタル性を有している場合、Hurst 指数 H はモーメント次数 α に依存しない。 τ を変化させたときに、横軸を τ 、縦軸を $\sigma_\alpha(\tau)$ とした両対数グラフを作成すると時系列データ $f(t)$ のスケーリング特性が求められる。この時の Hurst 指数 H は次式で表される。

$$H_\alpha = 1/\alpha \cdot (\Delta \log \sigma_\alpha(\tau)) / \Delta \log |\tau| \quad (4)$$

(2)式において $\alpha = 2$ の場合、(1)式より時系列データ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を推定する。自己アフィンフラクタル次元の推定値 \hat{D} は Hurst 指数 H より次式で求めることができる。

$$\hat{D} = 2 - H \quad (5)$$

2.3. 時間依存型フラクタル次元解析

計測された脳波信号は時々刻々と変化する。それに伴い、脳波より推定されるフラクタル次元値も変化する。この変化を捉えるために解析窓を設定し、フラクタル次元を推定する。

解析窓幅を τ として解析窓内の時系列データに対してのみフラクタル次元推定を行い、窓推移幅 $\Delta\tau$ だけ解析窓を時間方向にシフトしながらフラクタル次元推定を繰り返す。

これにより、脳波信号からフラクタル次元の時系列信号を得ることができる。

2.4. 感性フラクタル次元解析定法(EFAM)

本研究では、感性フラクタル次元解析手法 (EFAM) を用いて感性の解析を行う。EFAM は時々刻々と変化する脳波の複雑性を数値化したフラクタル次元の時系列データを利用する。

本手法では、学習に用いる教師データと評価データの 2 種類の脳波を計測する。 n チャンネルの教師データの各チャンネル間で差分を取った $N (= {}_n C_2)$ チャンネルの時系列データにフラクタル次元解析を適用し、得られたフラクタル次元の時系列データを入力信号ベクトル $D(t)$ とする。この $D(t)$ を線形写像やニューラルネットワークなどを用いて、感性それぞれに独立な出力を与えるように学習、認識させる。これにより、定

量的な評価が可能となる。3 感性の場合、線形写像 C を用いて 3 次元ベクトル $z = (z_1, z_2, z_3)^T$ に線形変換を行うとすると次式のように関連付けることができる。

$$CD(t) + d = z(t) \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & \dots & C_{1,M} & d_1 \\ C_{2,1} & \ddots & C_{2,M} & d_2 \\ C_{3,1} & \dots & C_{3,M} & d_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1(t) \\ \vdots \\ D_M(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \\ z_3(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

ここで d は定数ベクトルである。線形写像 C と定数ベクトル d の数値をそれぞれの感性状態による出力 z から決定する。

この線形写像 C を感性マトリクスと呼ぶ。

実際の解析では、定数ベクトル d を線形写像 C に内包させた形である (6) 式を用いた。

$$C'D'(t) = z(t) \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & \dots & C_{1,M} & d_1 \\ C_{2,1} & \ddots & C_{2,M} & d_2 \\ C_{3,1} & \dots & C_{3,M} & d_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1(t) \\ \vdots \\ D_M(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \\ z_3(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

具体例として、安静、快、不快の 3 感性について解析を行う場合、安静の教師データが入力された際は $z = (1, 0, 0)^T$ 、快の教師データが入力された際は $z = (0, 1, 0)^T$ 、不快の教師データが入力された際は $z = (0, 0, 1)^T$ となるように C' を決定する。また、 C' を作成後、 n チャンネルの評価データの各チャンネル間で差分を取った N チャンネルの時系列データにフラクタル次元解析を適用し得られた $y(t)$ を $D(t)$ の代わりに (7) 式に入力することで評価データの感性出力 $z_v(t)$ を得ることができる。この $z_v(t)$ の大きさをそれぞれの感性の発現レベルとみなすことで、感性状態を定量的に評価することが可能となる。

3. 実験方法

3.1. 測定条件(使用機器など)

脳波データを取得するためにティアック株式会社の Polymate を用いて 2[kHz] のサンプリング周波数で計測した。脳波を取得する電極の配置は国際 10-20 法に基づき、右耳朶を基準とした頭部 19ch に取り付けた (図. 1)。また、タスク時にチョコレートを咀嚼する為口周り と 頬の筋電を独立成分分析で除去する為、口周りに 6ch の電極を配置して筋電を取得した。



図. 1 電極配置

3.2. 測定プロトコル

各被験者に①教師データの計測，②サンプル A を用いたタスク，③サンプル B を用いたタスク，④教師データの計測の順で実験を行った。サンプル A は，市販品でありココアクッキーとビスケットのザクザクとした食感が特徴である。重量は 21 グラムである。サンプル B は，新製品でチョコ生地がチョココーティングされていてしっとりとした食感が特徴である。重量は 18 グラムである。

①教師データの計測では，美味しさ，高級感，満足感の 3 つの感情の測定を行った。感情を誘起する為に被験者に事前に画像群の中から最も感情を誘起しやすい画像を選定してもらった。選定した画像を 30[sec] ディスプレイに映して見てもらい，その後 60[sec] は閉眼で感情に対する画像をイメージしてもらう。

②サンプル A を用いたタスクでは，味覚のリセットと口内の渇きに差が出ないように最初に水を飲んでもらった。その後，透明なパッケージに内包されたチョコレートを被験者の目の前に置き，30[sec] 眺めてもらう。次にパッケージを開けて中身をすべて食べてもらう。食後は閉眼で 30[sec] 余韻に浸ってもらう。以上，商品を見る，食べる，余韻に浸る際の脳波を評価対象とした。また，食後に再度水を飲んでもらい口の中にチョコレートの余韻が残らないことに注意した。

③のサンプル B を用いたタスクは②と同様に，サンプルの種類を変更して実験を実施した。

④教師データの計測では，タスク後に①と同様のプロトコルで感情想起を実施して脳波データを取得した。①と合計すると 1 つの感情につき 180[sec] の脳波が取得でき，それを各感情の教師データとした。

また，②と③を実施する順番は偏りをなくするため被験者ごとにランダムにした。

3.3. 被験者

被験者は健常な本学 20 代男子学生 15 名，学外 20 代男性 15 名，学外 20 代女性 15 名の合計 45 名を対象に実験を実施した。また，PM1 と PM3 の時間帯で実験した。

4. 解析結果及び考察

4.1. 感性変動率

EFAM で得られた感性出力は被験者ごとに計測した教師データに基づいて算出された結果であるため，本質的には被験者個人内でしか意味を持たない。そこで，被験者間で比較する為に，次式よりサンプル A を基準としたサンプル B の感性出力の変動率(感性変動率)を算出した。

$$\text{感性変動率} = (E_B - E_A) / |E_A| * 100[\%] \quad (10)$$

ここで， E_A はサンプル A を用いたタスク時の感性出力の時間平均値， E_B はサンプル B を用いたタスク時の感性出力の時間平均値である。

4.2. 被験者の選定(外れ値除外)

上記の感性変動率を算出した後，スマイルノフ・グラブス検定^[8]を用いた両側検定によって外れ値除去を行った。有意水準は 5% で検定を行い，外れ値と判定された被験者は解析から除外した。検定はタスク毎で行い，タスク内でも感性毎で独立に行った。

また，見るタスク，食べるタスク，浸るタスクで感性変動率を比較するために，各感性の各タスクで外れ値とされなかった被験者のみで感性変動率の比較を行った。

この結果，各タスクの各感性において被験者数は表 1 の通りとなった。

表 1. それぞれのタスクでの被験者数

		学生(名)	20代男性(名)	20代女性(名)	全体(名)
美味しさ	見る	11	13	10	34
	食べる	11	12	10	33
	浸る	11	15	13	39
高級感	見る	14	11	11	36
	食べる	12	9	13	34
	浸る	12	12	12	36
満足感	見る	11	12	12	35
	食べる	11	10	11	32
	浸る	11	13	13	37

4.3. 解析結果

解析対象となる被験者選定後，チョコレートを見る，食べる，浸るの 3 つのタスクを課した時の，美味しさ，高級感，満足感を被験者全体，20 代男子学生，20 代男性，20 代女性，男性全体でそれぞれの感性変動率をまとめた。そのグラフを図 2, 3, 4, 5, 6 に示す。縦軸は感性変動率，横軸はタスク毎の各感性となっている。

それぞれのグラフの変動率はいずれの感性もサンプル A に対するサンプル B の感性変動率である。また，塗りつぶされている棒グラフが平均値，塗りつぶされていない棒グラフが中央値である。

図 2 より被験者全体でサンプル A を基準として，サンプル B の美味しさは，見ているときは 7.0[%] 上昇，食べているときは 1.8[%] 上昇，浸っているときは 1.4[%] 減少している。高級感は，見ているときは 7.2[%] 上昇，食べているときは 0.7[%] 減少，浸っているときは 0.31[%] 上昇している。満足感は，見ていると

きは 9.7[%]減少，食べているときは 2.11[%]減少，浸っているときは 3.11[%]減少している．美味しさ，高級感においてはサンプル B の方が感性を誘発する傾向がある．満足感においてはサンプル A が感性を誘発している傾向がある結果となった．

図 3, 4, 5, 6 より異なる属性(全体，20 代学生，20 代男性，20 代女性)ごとの傾向を確認する．図 5 より 20 代女性の高級感と満足感，サンプル B が感性を誘発する傾向が高いことが確認された．図 4 の 20 代男性では美味しさ，高級感においてサンプル A が感性を誘発する傾向が高いことが確認された．

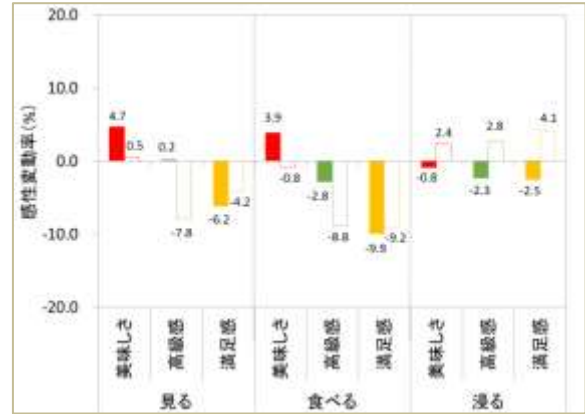


図 5. 20 代女性被験者の感性変動率

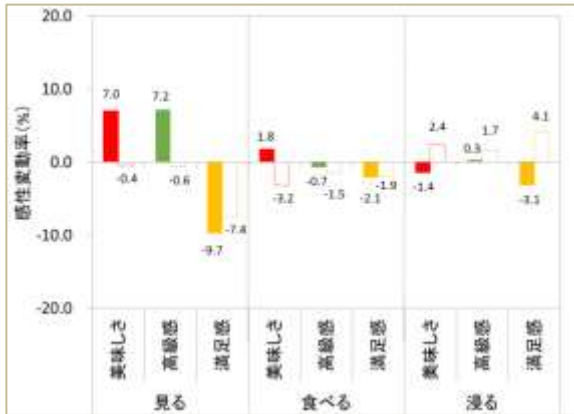


図 2. 被験者全体の感性変動率

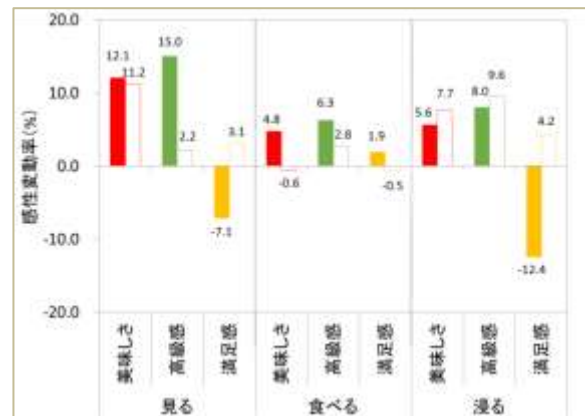


図 6. 男性被験者全体の感性変動率



図 3. 20 代男子学生被験者の感性変動率



図 4. 20 代男性被験者の感性変動率

5. 考察

図 2 より全体の結果を見ると美味しさ，高級感にはサンプル A が感性誘発の傾向が高く，満足感にはサンプル B が高い結果となった．しかし，20 代女性(図 5)の高級感にはサンプル A が高くなり，20 代男性(図 4)では美味しさ，高級感にはサンプル B が高い結果となり，属性ごとに傾向が異なっている．

20 代女性(図 5)でサンプル A が高級感の誘発傾向が高い背景には，現用品であるサンプル A は若い女性に支持されている製品である事実がある．一方，20 代男性にはサンプル B が好まれる傾向にあることから，性別と年代に焦点を当てたターゲット・マーケティングが有効であることが示唆される．

次に，感性の教師データ計測に使用した満足感の画像が，男性 3 種類，女性 2 種類から各個人で選定して測定したことで，①満腹満足感と②美味しさ満足感に分かれてしまった．①満腹満足感は，男性が選定した人数が多く，②美味しさ満足感は，女性の選定人数が多かった．①満腹満足感と②美味しさ満足感では製品の量と美味しさが混合してしまうため，②美味しさ満

足感に使用画像を統一する必要がある。また、サンプルAは18g, サンプルBは21gと重量に差があったため、満足感においてサンプルBが有利になってしまった。美味しさ満足感のみを評価したい場合は重量の統一化も必要であると考えられる。

6. おわりに

本研究では全体、学生、男性社員、女性社員の属性ごとに異なる結果を得られた。この結果より、ターゲットを定めて製品を開発する際に感性解析が有効であると考えられる。

今後の検討事項として、実験プロトコル及び製品重量などの条件の統一が挙げられる。また、昼食後の13時とおやつを食べる時間帯の15時で変化が見られるかを検証する必要も考えられる。

文 献

- [1] 高橋正二郎, 共感を呼ぶ商品作りのための「感性価値」の開発, pp.1-2, 情報機構, 2013
- [2] 相良 泰行, “食嗜好の計測・評価と先端技術 - 食品感性工学の提唱-”, 日本食品工業学会誌 41(6), pp. 456-466, 1994
- [3] T.Musha, Y.Terasaki, H.A. Haque, and G.A.Ivanitsky, “Feature extraction from EEGs associated with emotions”, *Artif Life Robotics*, vol.1, pp.15-19, 1997.
- [4] 特開 2004-194924 号
- [5] 揖斐拓人, 中川匡弘, “ガム咀嚼による集中への効果について”, 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング 113(223), 119-124, 2013.
- [6] 中川匡弘(分担), “脳波診断を応用した商品開発～女性用の生理用品パンティライナーの香り開発～,”顧客も気づいてない将来ニーズの発掘と新製品開発への活用, pp.138-141, 株式会社 技術情報協会, 東京, 2013.
- [7] 丸山貴司, 橋本公男, 上田俊吾, 中川匡弘, “脳波のフラクタル次元解析を用いた感性解析 -爽快系シャンプー使用時の検討-”, *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics* 24(6), pp.1137-1153, 2012.
- [8] 朝木善次郎, 安藤貞一, 倉知三夫, 小島次雄, 清水祥一, “技術者のための統計的方法”, 近藤良夫(編), 舟坂渡(編), 共立出版株式会社, 東京, 1967.
- [9] 中川匡弘, “カオス・フラクタル感性情報工学”, 日刊工業新聞社, 2010
- [10] 佐藤高広, 中川匡弘, “フラクタル次元解析を用いた感情の定量化手法”, 信学技報, HIP2002-45, 2002.