

Temporal Dominance of Sensations 法を用いた味覚と感性の時系列データ解析

－感性のダイナミクス－

岡田 拓武*, 岡本 正吾*, 石川 智治**, 山田 陽滋*

* 名古屋大学, **宇都宮大学

Analysis of Perceptual and Affective Responses Towards Foods by Using Temporal Dominance of Sensations Method

－ Affective Dynamics －

Takumu OKADA*, Shogo OKAMOTO*, Tomoharu ISHIKAWA** and Yoji YAMADA*

* Graduate School of Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan

** Graduate School of Utsunomiya University, 350 Minemachi, Utsunomiya, Tochigi 321-8505, Japan

Abstract: Evolutions of perceptual and affective responses triggered by the exposure to stimuli are dynamic. In this research, we aimed to establish their mathematical models by using food stimuli. Such models enable us to design emotionally engaging products. We used Temporal Dominance of Sensations (TDS) method to record dominant sensations including sensory and affective responses over time while eating foods. Obtained multivariate time series data were analyzed by using Vector Auto-Regression (VAR) models and Granger causality tests.

Keywords: TDS, Dynamics, VAR model, Granger causality, Strawberry

1. 諸言

木製の家具を触ってぬくもりを感じる, 甘いものを食べて充足感を得るといった経験は, 感覚器官を通して体験される物理的な刺激(粗さ, 温度, 甘味, 香り)がわれわれの感性に影響を及ぼす例である. このように, 刺激に暴露することで生じる感覚情報は, ダイナミックな過程を経て感性の変化をもたらす. これまでに, 官能評価で用いられる感覚および感性に関する評価語対の意味的な因果関係を特定する方法が開発されている[1,2]. その因果関係を表す階層構造では, 「粗い/なめらか」, 「温かい/冷たい」といった材質の物理的な特性を示す言葉が最下層に位置し, その上に「快/不快」, 「単純/複雑」といった感性を表す形容詞対が位置することが多い. さらに最上位には, 「好き/嫌い」, 「良い/悪い」といった嗜好を表す形容詞対が並び, それらの階層構造には下層から上層に向けて, 評価語間に因果関係が成立する. これらの研究では, 評価者は刺激を体験して時間が経過した後に官能評価をしており, 刺激に暴露した直後からの経時的な感性の変化は研究の対象とされていない. 一方で, 刺激に晒された直後からの知覚や感性の時間応答を捉える試みがなされてきた[3-5]. これらの研究では, 直感的なユーザインタフェースを用いた主観評価によって, 知覚および感性の強度の時間変化が計測された. しかし, 実験結果は定性的な議論や正準変量分析による解析が主で, 時系列情報を十分に取込んだ数理的な解析手法は確立されていない.

本研究の目的は, 感性の経時変化を分析する数理手法を確

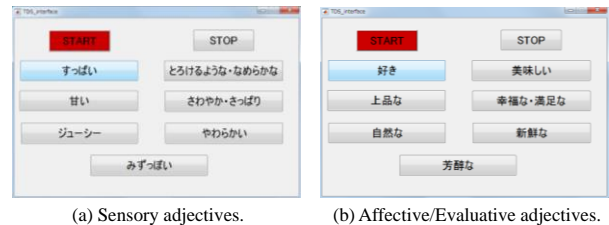


図 1. TDS 法に用いるユーザインタフェース (タッチパネル). (a): 知覚的な語のリスト. (b): 感性的/評価的な語のリスト. 実験中どちらか一方の画面が表示された.

立することである. 感性の時間変化の予測が可能になれば, 刺激を体験した直後の消費者に訴えかける製品の設計などに役立つ. 本研究では, 食品の味覚と感性の変化を対象とする. ここでの味覚は, 食品の香りやテクスチャといった嗅覚や触覚の情報を含む感覚で, 通常の意味での“味覚”と区別して用いる.

本研究では, まず, 味覚と感性の経時変化を計測するために Temporal Dominance of Sensations (TDS) 法による実験を行った. 続いて, 実験で得られた多変量時系列のデータを Vector Auto-Regression (VAR) モデルによってモデル化し, 感性の変化を予測した. さらに, Granger 因果性分析によって味覚と感性の因果関係構造を示した.

2. 感性および知覚の経時変化の計測

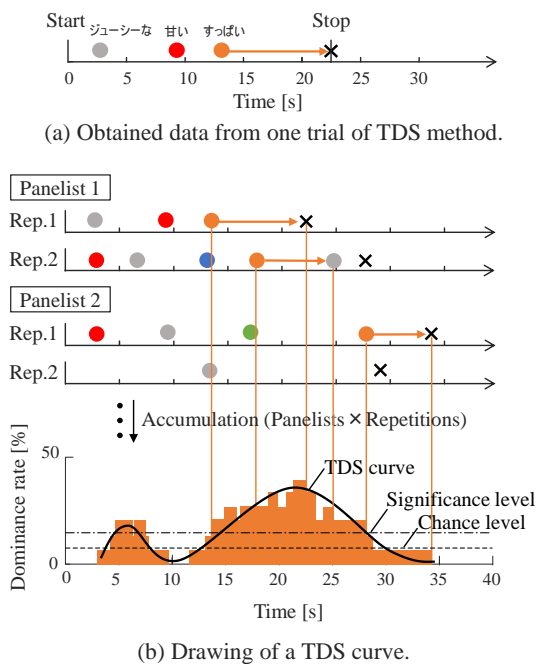


図 2. TDS 法によるデータの処理. (a): TDS 法による 1 回の試行で得られるデータ. 各ボタンを選択したタイミングが記録される. (b): TDS カーブの描画.

Temporal Dominance of Sensations (TDS) 法は、食品を賞味する際に生じる感覚の経時変化を計測する手法として提案された[4]. TDS 法では、評価者はある瞬間に最も支配的 (dominant) に感じられる感覚を、複数の選択肢の中から選んで回答する。「支配的な」感覚とは、「その瞬間に注意を惹かれた」感覚と定義され、必ずしも最も強く感じている感覚ではない. TDS 法では、図 1 に示すようなユーザインタフェースが用いられる. 評価者はサンプルを口に含んですぐに START ボタンをクリックした後、順次、形容詞が記載されたボタンをクリックする. 一度選択したボタンでも繰り返し選択できる. 口内の感覚がなくなった時点で STOP をクリックする.

TDS 法の 1 回の試行で得られるデータの例を図 2(a)に示す. 「すっぱい」という評価語に着目すると、「すっぱい」が選択されてから次に他の感覚が選択されるまで (もしくは STOP ボタンが押されるまで) の時間は「すっぱい」が支配的な感覚である. 図 2(b)に示すように、全試行 (評価者×繰り返し) を通して「すっぱい」が選択された回数を各時点においてカウントし、全試行回数に対する割合 (dominance rate) をプロットする. dominance rate の頂点をスムージングしたものは TDS カーブと呼ばれる. TDS カーブには、その評価語が偶然選ばれる確率である chance level と、その chance level を有意に上回ったと考えられる最小確率を示す significance level の 2 本の線が引かれる.

TDS 法はもともと複数の食品の違いを表現するために用いられた手法であったため、評価者に提示される感覚には味覚

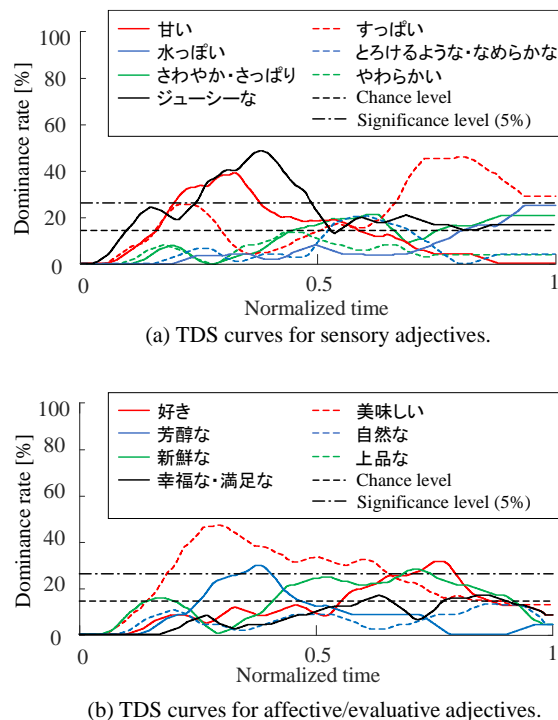


図 3. 実験で得られた TDS カーブ. (a): 知覚的な語. (b): 感情的/評価的な語.

を表す評価語が用いられることが多い. 一方で、「Happy」や「Loving」といった感情に関する評価語に適応する試みもなされてきた[5]. われわれは味覚と感性両方の変化に興味があるため、両者の評価語を用いて TDS 法を実施した.

3. 実験

食品としてイチゴを用いて TDS 法による実験を行った. 食品を食べ始めた瞬間からの味覚と感性の変化の情報を取得した.

3.1 評価語の選定

TDS 法では、スクリーン上に提示する評価語の数が多いと評価者が把握しきれないため、評価語の数は 10 個以内が望ましいとされる[6]. われわれは、以下の手順で評価語を選定した. まず、各種文献 ([7,8]など) をもとに、イチゴを表現する知覚的な語および、感情的/評価的な語 (計 137 語) を列挙したアンケートを作成した. ここで、知覚的な語とは、「甘い」、「やわらかい」といった、味覚や触覚を通して知覚される食品の特性を表現する言葉である. 感情的/評価的な語は、「幸福な」、「好き」のように感性や嗜好を表現する言葉である. このアンケートを用いて、7 名の評価者により、語を選定した. 各評価者はイチゴを食べながら、その味および感性的性質を表現するために適切な語をリストの中から選定した. また、リストに無い語も任意に回答することを認めた. 結果を集計し、選択された回数が多かった語を中心に、知覚的な語および感情的/評価的な語をそれぞれ 7 つずつ選定した. その

際、複合的な意味をもつ言葉は複数の評価語に分け（例: 「甘酸っぱい」→「甘い」、「すっぱい」）、類似の言葉はまとめるなどして（例: 「さわやか」、「さっぱり」→「さわやか・さっぱり」）なるべく多種類の語を含めた。選定した語は、性質に応じて2群に分けた。知覚的な語の群は「甘い」、「すっぱい」、「水っぽい」、「とろけるような・なめらかな」、「さわやか・さっぱり」、「やわらかい」を含んだ。感性および評価的な語の群は、「好き」、「美味しい」、「芳醇な」、「自然な」、「新鮮な」、「上品な」、「幸福な・満足な」を含んだ。

3.2. 2種類の評価語リストを用いた TDS 法

作成した2種類の評価語リストを用いて TDS法による実験を行った。評価者は実験の目的を知らない男性7名、女性1名の計8名であった。われわれの関心は、刺激に暴露した瞬間からのヒトの感性の変化である。評価者が刺激（イチゴ）に晒される瞬間をコントロールするため、評価者はサンプルを口に入れるまで目を閉じ、手で鼻をつまみ、視覚と嗅覚の情報を遮断した。サンプルを口に含んだ直後、評価者は目を開け、鼻から手を離し図1のインターフェースを用いて語を選択するタスクを実施した。一回のタスクでは1粒のイチゴを用いた。各評価者は、2語群のリストそれぞれについて3回ずつ交互に TDS 法を行った。リスト内の評価語の配置は参加者ごとにランダムとした。評価者は各試行の前に水を飲んで口腔内をリンスした。

3.3 結果

図3に、2種類の語群についての TDS カーブを示す。グラフの横軸（時間）は、サンプルを口に含んだ瞬間から口内の感覚がなくなるまでの時間（平均: 29 s, 標準偏差: 4.5 s）で正規化した。

知覚的な語では、前半で「ジューシーな」、「甘い」が、後半で「すっぱい」が顕著であった。感性的/評価的な語においては、「美味しい」がほとんどの時間において最も支配的であった。また、前半で「芳醇な」が、後半で「好き」、「新鮮な」が顕著であった。「上品な」は全体を通して一度も選択されなかった。

4. VAR モデルを用いた感性の経時変化の予測

TDS 法で得られたデータ（TDS カーブ）は、各評価語について、その感覚が各時点でどの程度支配的であったかを表す多変量の時系列データである。われわれは、複数の TDS カーブ間の関係を数理的に表現し、感性の変化をモデル化した。

4.1 VAR モデル

Vector Auto-Regression (VAR) モデルは、変数間で相互に影響を及ぼしながら発展していく時系列データを表すモデルとして、経済学や神経生理学の分野でよく用いられる。 k 変量 p 次の VAR モデルは、ある変数 x_i のある時点 t での値 $x_{i,t}$ を、その変数自身と、その他 $k-1$ 個の変数 $x_2 \sim x_k$ の、 p 時点

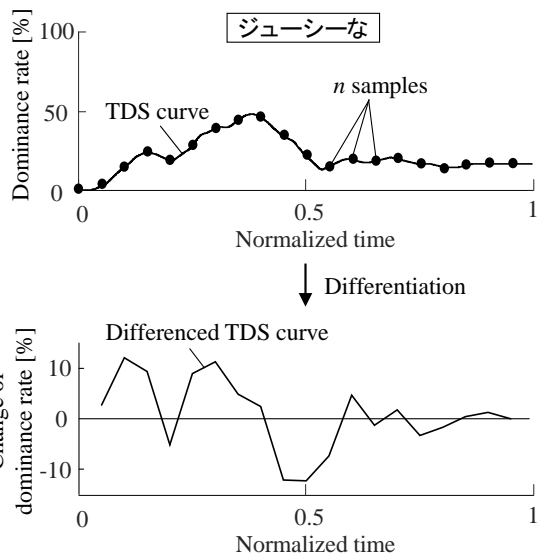


図4. TDS カーブの差分系列への変換の例。

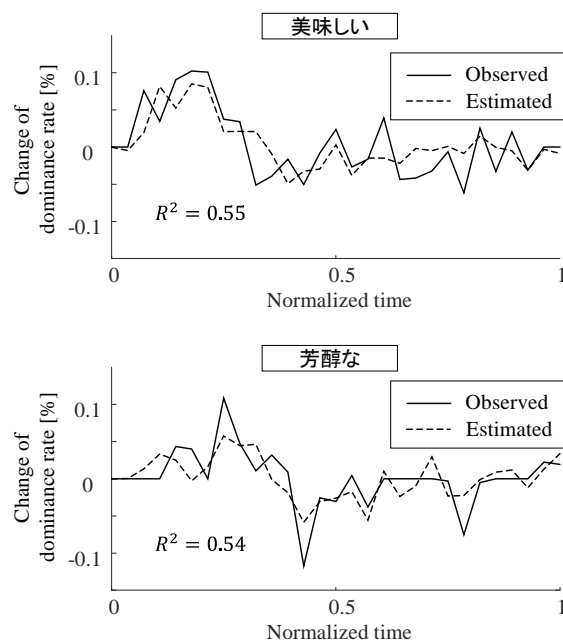


図5. VAR モデルによる感性の変化の推定の例。(a): (1)による「美味しい」の推定結果。(b): (2)による「芳醇な」の推定結果。

前までの値に回帰するモデルである。後述の Granger 因果性の概念を用いることで、VAR モデルから変数間の因果関係を判定できる。

4.2 感性変化の予測

全時間にわたって選択頻度の低い語はモデルに含めなかった。具体的には、知覚的な語について「やわらかい」、「とろけるような・なめらかな」を除き、感性的/評価的な語では、

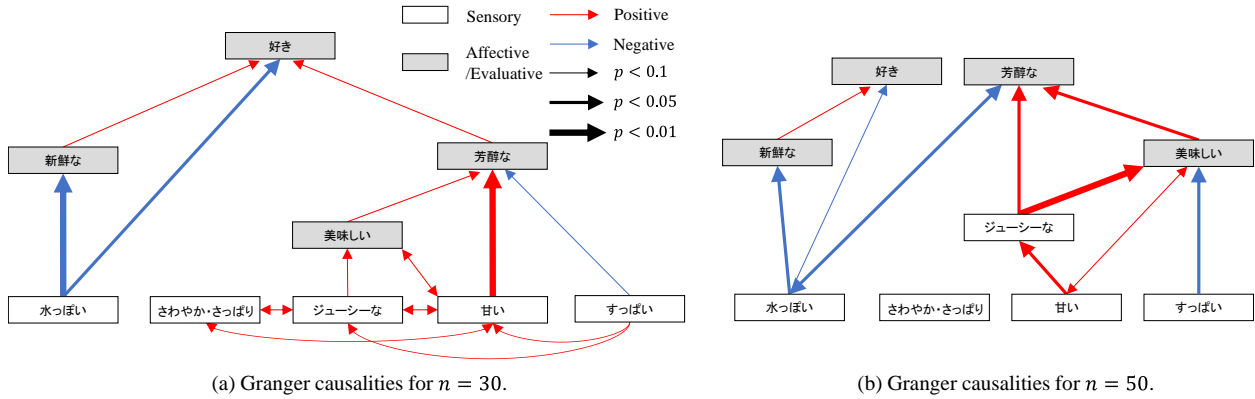


図 6. 味覚と感性の因果関係構造. (a): サンプル数 30. (b): サンプル数 50.

「上品な」, 「幸福な・満足な」, 「自然な」を除いた. 残りの 9 つの TDS カーブに対し, 全区間を 30 等分して (サンプル数 $n=30$) 単位根検定によるデータの定常性を調査した結果, 一部の変数について非定常性を棄却できなかった. そこで, 図 4 に示すように TDS カーブを差分系列に変換しトレンドを除去した. 変換後のデータに対して単位根検定を行った結果, 有意水準 5% で全ての変数について定常性が支持された.

VAR モデルを用いて, イチゴを賞味した際の (支配的な) 感性の変化をモデル化した. 感性的/評価的な感性の変化を, 5 つの知覚的な語 (「ジューシーな」 (x_{juicy}), 「水っぽい」 (x_{watery}), 「さわやか・さっぱり」 (x_{fresh}), 「すっぱい」 (x_{sour}), 「甘い」 (x_{sweet})) の p 時点前までの変化を用いて推定した. 例として, 「美味しい」 ($x_{delicious}$) と 「芳醇な」 ($x_{flavorous}$) のモデルを示す:

$$x_{delicious,t} = -0.0045 + 0.35x_{juicy,t-1} + 0.21x_{watery,t-1} + 0.34x_{fresh,t-1} + 0.27x_{sour,t-1} + 0.70x_{sweet,t-1} - 0.084x_{delicious,t-1} \quad (1)$$

$$x_{flavorous,t} = 0.00049 + 0.24x_{juicy,t-1} + 0.43x_{watery,t-1} - 0.37x_{fresh,t-1} - 0.15x_{sour,t-1} + 0.37x_{sweet,t-1} - 0.020x_{flavorous,t-1} \quad (2)$$

情報量基準をもとに, モデルの次数を $p=1$ とした. 図 5 に (1), (2) による「美味しい」, 「芳醇な」の推定結果のグラフを示す. 決定係数はそれぞれ, 0.55, 0.54 であった.

5. 味覚と感性の因果関係構造

本節では, 時系列データの因果関係分析に用いられる Granger 因果性分析によって, VAR モデルに用いた 9 つの評価語間の因果関係を調査した.

5.1. Granger 因果性

Granger 因果性は, 時系列データ解析における変数間の因果性を統計的に議論する手法である. 時系列データ x_t から x_1 への因果性があるとき, x_t は x_1 を予測するのに有効であると判断される. 具体的には, x_1 についての VAR モデルに x_t を含める場合と含めない場合の推定誤差を比較し, x_t を用いる

ことで x_1 の予測精度が有意に向上する場合, x_t から x_1 に Granger 因果性があるとする. Granger 因果性は, 通常の意味での因果関係 (x_t が x_1 を引き起こす) とは異なることに注意されたい. 本研究では, 2 変数間の因果性を議論するオリジナルの Granger 因果性を, 3 変数以上の場合に拡張した Conditional Granger 因果性[9]を用いる.

5.2. 味覚と感性の因果関係構造

感性および知覚の意味的階層構造では, 知覚に関する語が下層に配置され, 上位の層の感性的な語に影響を与える[1,2]. 本研究でも同様に, 最下層には「甘い」や「すっぱい」といった語を配置する.

VAR モデルに用いた 9 個の語の Granger 因果性を調査した. 図 6 に, 語間の Granger 因果性を矢印で示す. 矢印の向きは因果関係の向きを表し, 両矢印は双方向に因果性が認められたことを示す. 赤色の矢印は肯定的, 青色は否定的な因果関係を表し, 矢印の太さは有意水準を示す.

図 6(a)に, $n=30$ の場合の因果関係を示す. 有意水準 0.1 で 18 の因果関係が認められた. 全体的に, 下層には知覚的な評価語が, 上層には感性的/評価的な語が位置する傾向であった. 最上位には嗜好性を表す「好き」が位置した. これらの結果は, イチゴの賞味を通して知覚された感覚 (変化) が, 感性の変化をもたらすことを示唆しており, 先行研究で得られた多層構造[1,2]とも整合している. 「水っぽい」は味の薄さを意味し, 水っぽいと好まれない, 新鮮でないと判断された. 「甘い」と「美味しい」は相互に影響し, 近い意味と判断された. 両者は「芳醇な」に肯定的に影響し, 「好き」の判断につながった. 以上の因果性は, 意味的に妥当である.

一方で, 「すっぱい」→「甘い」などの直感的な解釈が難しい因果関係もみられた. 甘味と酸味は共に基本味であり, 互いに独立の味であるため, 知覚的な因果関係を持つとは考えにくい. 上述のように, Granger 因果性は統計的な手続きのみによって判断されるため, 本来は因果関係が存在しない変数間にも一定の確率で Granger 因果性があるとみなされることがある. 従って, 意味的な妥当性の確認が必須である.

留意すべきもう一つの点は, 得られる因果関係構造が VAR モデルに用いるサンプル数 n に依存する点である. サンプル

数は、VARモデル中で考慮する変数の最小の応答速度 (Δt) を規定している。1試行にかかる平均時間が約30sであったため、サンプル数が30では Δt は約1sとなる。サンプル数を50 ($\Delta t \cong 0.6$ s)とした場合の因果関係構造を図6(b)に示す。図6(a)と比較すると、下層に知覚的な語、上層に感性的/評価的な語が配置される点は共通している。しかし、「ジューシーな」、「甘い」、「すっぱい」、「さわやか・さっぱり」間の因果関係はほとんどみられなくなった。サンプル数を変えることで因果構造が本質的に変化する(上層と下層が入れ替わる等)という結果は得られていない。妥当なサンプル数を決定する方法について、今後の議論が必要である。一般に、サンプル数が小さいとVARモデルの妥当性に支障をきたし、大きいと Δt が小さくなり、実験課題との整合性がとれない。

謝辞

本研究の一部は、MEXT Kakenhi (17K20002, 感性ダイナミクスの創成)によって支援された。

6. 結言

本研究では、食品を賞味する際の感性の変化を数学的にモデル化することを目的とした。実験では、TDS法を用いて食品を賞味する際の味覚と感性の変化を計測した。実験で得られた多変量の時系列データに対しVARモデルを適応し、感性の変化のモデル化を行った。さらに、味覚と感性の関係を明らかにするために、Granger因果分析によって味覚と感性の因果関係構造の構築を試みた。その結果、知覚的な語から感性的/評価的な語への因果関係が多くみられた。

今後は、イチゴ以外の食品についても調査し、味覚と感性のモデル化手法の妥当性を検証していく。

参考文献

- [1] Nagano, H., Okamoto, S. and Yamada, Y.: Modeling Semantically Multilayered Affective and Psychophysical Responses Toward Tactile Textures, IEEE Transactions on Haptics, 2018.
- [2] Okamoto, S., Nagano, H., and Yamada, Y.: Specification of individuality in causal relationships among texture-related attributes, emotions, and preferences, International Journal of Affective Engineering, 15(1), pp.11-19, 2016.
- [3] Taylor, D. E. and Pangborn, R. M.: TEMPORAL ASPECTS OF HEDONIC RESPONSES 1. Journal of Sensory Studies, 4(4), pp.241-247, 1990.
- [4] Pineau, N., Schlich, P., Cordelle, S., Mathonniere, C., Issanchou, S., Imbert, A., Rogeaux, M., Etievant, P., and Koster, E.: Temporal Dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time-intensity, Food Quality and Preference, 20(6), pp.450-455, 2009.
- [5] Jager, G., Schlich, P., Tijssen, I., Yao, J., Visalli, M., De Graaf, C., and Stieger, M.: Temporal dominance of emotions: Measuring dynamics of food-related emotions during consumption, Food Quality and Preference, pp.87-99, 2014.
- [6] Pineau, N., de Bouille, A. G., Lepage, M., Lenfant, F., Schlich, P., Martin, N., and Rytz, A.: Temporal Dominance of Sensations: What is a good attribute list?, Food Quality and Preference, 26(2), pp.159-165, 2012.
- [7] 吉田尚平, 二上由梨, 石川智治, 青山リエ, 柏寄勝: 夏イチゴの美味しさ評価に関する基礎的検討, 日本感性工学会大会, 2017.
- [8] King, S. C., and Meiselman, H. L.: Development of a method to measure consumer emotions associated with foods, Food Quality and Preference, 21(2), pp.168-177, 2010.
- [9] Geweke, J. F.: Measures of conditional linear dependence and feedback between time series. Journal of the American Statistical Association, 79(388), pp.907-915, 1984.