

Temporal dominance of sensations 法のための解析手法

Analysis Techniques for Temporal Dominance of Sensations Method

岡本正吾*
OKAMOTO Shogo永野 光**
NAGANO Hikaru

1. 緒 論

Temporal dominance of sensations (TDS) 法^{1,2)} は、時系列官能評価法の一つであり、2010年代前半から食品科学分野で急速に使用が広がってきた。その最大の特徴は、食品を食べているときの味覚・嗅覚・テクスチャを含む複数種の感覚応答の時間変化を記録可能なことである。従前の方法である Time intensity もしくは Time trace 法ではたかだか2種類の感覚応答しか同時に記録できなかったことから、TDS法は画期的な手法である。TDS法はこれまでのところ、食品科学分野で主として開発され、用いられてきた。しかしながら、視覚・聴覚・触力覚刺激を含む刺激への適用例³⁻⁵⁾ が既にあり、近い将来、食品科学分野以外でも標準的な実験手法となることが予想される。

本著では、TDS法の結果を解析する手法を分類・紹介する。解析手法のみに焦点をあてた記事は先に存在しないため、本著ではこの点に注力し、測定手法などについては概説にとどめ、詳細は先の解説論文^{6,7)} に譲る。本著は、最近の解析手法を包括したうえで、それらを静的・動的手法に分類するという独自の視点に則って執筆されている。TDS法は感覚応答の時系列変化を捉えられるところに最大の特徴があるが、これまでに提案されている解析方法には、その時系列性を重視しない静的手法(4節)と重視する動的手法(5節)がある。

TDS法にはいくつかの変法が存在する。もっとも知られたものは、Temporal check-all-that-apply 法⁸⁾ であろう。本論文では、ISO 13299:2016¹⁾ で標準化されたTDS法(2節で概説する)のみを対象とするが、解説する手法の多くは変法に対しても適用可能である。

2. Temporal Dominance of Sensations (TDS) 法

TDS法の実施にあたっては、評価語およびパネルの選定、実験環境および食品の条件統制などの注意点が存在するが、ここでは解析手法を主題とする本著を読み進めるた

めに必要な点に絞ってTDS法を紹介する。

(1) 課題 (タスク)

TDS法では図1のような、評価語(属性)が記載されたボタンを最大で10-12個ほど有するグラフィカル・ユーザ・インタフェースを用いる。評価語は対象とする刺激(食品と飲料)および感覚器官によって異なり、定量的記述分析法(QDA法)で採用される評価語選定手法などによって決定される。実験参加者であるパネルは、1口で食べられる程度の大きさに準備された食品を指定された方法によって口に含むと同時に測定開始(start)ボタンを押す。その後、注意を惹かれた感覚にもっともよく対応する評価語が記載されたボタンを随時、押していく。あるボタンが押された後、次のボタンが選択されるまでは、そのボタンが選択された状態が続く。すなわち、ある瞬間に選択されているボタンは最大で1個である。測定開始ボタンが押されてから、初めに評価語が選択されるまでの期間を除き、常に1個のボタンのみが選択されている。インタフェースに列挙されたすべての種類のボタンを選択する必要はない。また、同一のボタンを1度の課題で複数回選択してもよい。パネルは以上の操作を口中の食品がなくなる、もしくは他に指定された状態になるまで継続し、最後に測定終了(stop)ボタンを選択する。以上が、TDS法の典型的な課題の手順である。同一のパネルが同一の食品を3回程度繰り返して評価するのが一般的である。

図2(a)に、TDS課題の試行の結果を例示する。この例

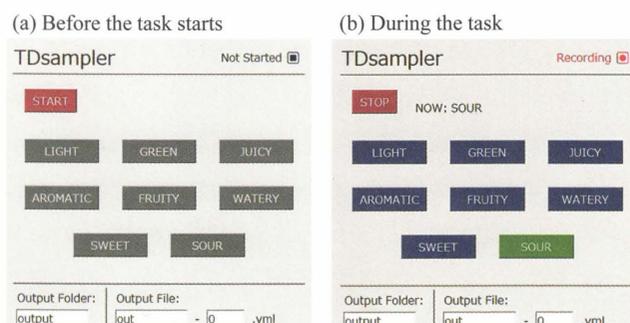


図1. TDS法のインタフェースの例。(a)課題開始前。(b)課題中。常時、どれか一つのボタンだけが選択されている。図の中では、sourが選択されている。

* 東京都立大学
(Tokyo Metropolitan University)

** 神戸大学
(Kobe University)

§ 責任著者連絡先 E-mail: okamotos@tmu.ac.jp

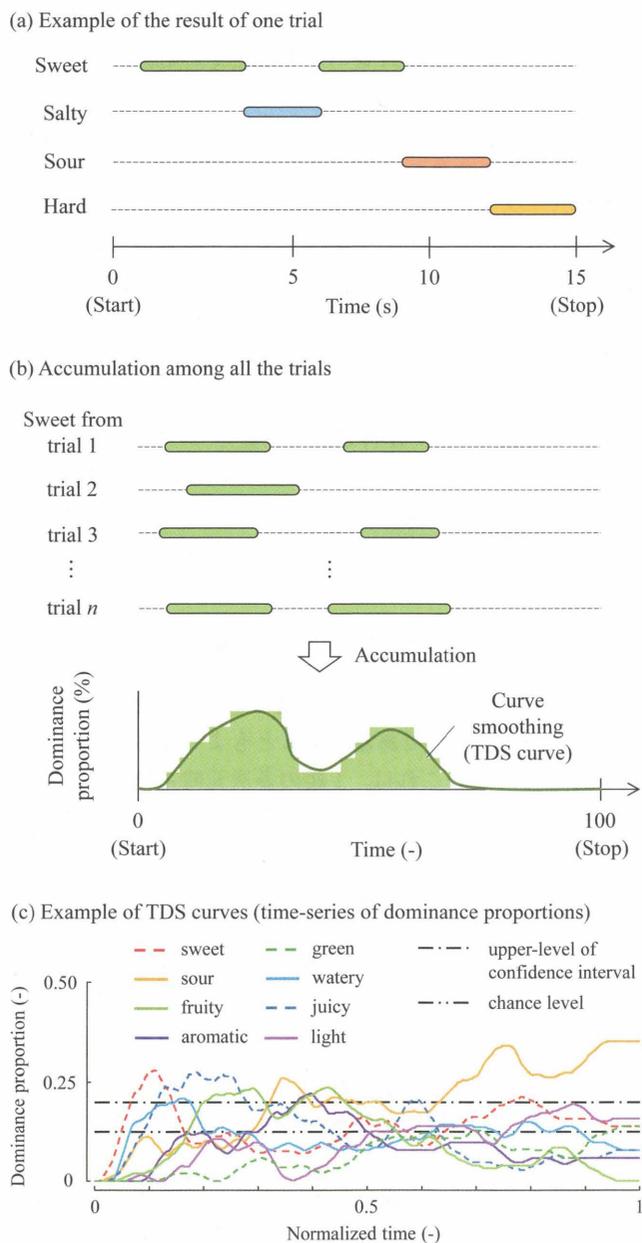


図2. TDS 課題の結果と TDS カーブの計算方法。(a)ある課題から得られる結果の例。(b)TDS カーブの計算方法。(c)TDS カーブの例とチャンスレベル, 信頼区間の上限値。

では、4種類の評価語 (sweet, salty, sour, hard) のいずれかが時間発展的に選択されている。先に述べたとおり、同時刻に選択されている評価語は最大1つである。開始ボタンが押された瞬間が0sであり、15sの時点で終了ボタンが押されるまで記録が続いている。このように、選択された評価語とその時刻がデータとして記録される。

(2) 課題時間の正規化

課題に要する時間もしくは食品を食べる時間はパネルおよび試行ごとに異なる。飲み物を対象とする場合を除いては、この時間の統制は困難である。したがって、あらゆる解析の前処理として、課題に要した時間を正規化 (無次元

化) して、パネル間・試行間での課題に要した時間を統一することが多い。例えば、測定開始ボタンが押された瞬間を0とし、終了ボタンが押された瞬間を1もしくは100とすることが典型的である (図2(b))。測定開始ボタンが押された瞬間ではなく、その後、初めて評価語が記載されたボタンが選択された瞬間を0とする作法もある。

3. 標準化されている解析手法

TDS法はISO 13299:2016¹⁾にて標準化されており、そのなかではもっとも代表的な解析および可視化手法としてTDSカーブと差分カーブの計算方法が記載されている。本節では、これらの2手法を概説する。そのほかに、占有期間 (dominance duration) の多変量解析 (4節にて解説)、課題に要する時間の分散分析 (4節にて解説) および軌跡図 (5節にて解説) がISO 13299では言及されている。

(1) TDS カーブ

TDSカーブは、ある正規化時刻にある評価語が選択されている試行の数が全体の試行数に占める割合の時刻歴である。この割合を占有割合 (dominance proportion) と呼び、各時刻で0から1の値をとる。初期の文献では、dominance ratio (占有率) と呼ばれたが、率と割合の誤用であり、現在では多くの研究者が割合の呼称を使っている。図2(b)に示すように、占有割合は試行数の割合の時刻変化そのものよりも、それに平滑化処理を施したものとされることが多い。現在のところ、平滑化方法には定まったものがない。

TDSカーブはある瞬間にある評価語が選択された割合を示すため、割合に関する統計手法が適用できる可能性がある。その代表例が信頼区間である。TDSカーブの値が占有割合のチャンスレベル (1を評価語の数で割って得られる値) を有意に超える区間では、その評価語が偶然以上に頻回に選択されたとみなす。対して、ある評価語のカーブの値がこの水準以下である区間では、その評価語が他の評価語よりも頻回に選択されたとみなさない。信頼区間はあくまでも目安であり、信頼区間の上限値を超えなければ注目に値しないということではない。しかしながら、TDSカーブを描画する際には、信頼区間の上限値とチャンスレベルを明示することが通例となっている (図2(c))。

(2) TDS 差分カーブ

TDS差分カーブ (TDS difference curve) は、2つの刺激 (食品) を比較するために用いられる。評価語ごとに2つの刺激間のTDSカーブの差を時系列グラフに描画したものであり、2刺激間のTDSカーブにどのような違いがあるかを直感的に視覚化する。ある評価語について、任意の時点での占有割合の差に意味があるかどうかを判断するための目安として、2つの割合の仮説検定を用いる方法が提案されている²⁾。この検定により、有意な差があるとみなされた区間では、その評価語について2つの刺激の間に差があると考えられる。

4. TDS データのパラメトリック解析 (静解析)

TDS 法の結果を解析する手法として、課題の結果から統計的なパラメータを計算し、それに対して多変量解析および仮説検定を適用する事例が多く報告されている。このようなパラメトリック解析は、TDS 法の時系列性という特徴を犠牲にした静解析となるが、仮説検定の適用容易性から好まれている。

(1) 占有期間

仮説検定や多変量解析と合わせてもっとも頻回に用いられるパラメータは、図 3(a) のように、それぞれの試行で、ある属性が選択されていた合計時間である。これを占有期間 (dominance duration) と呼び、評価属性ごとに算出される。占有期間は複数の食品を比較するとき重宝される。すべてのパネルが複数の食品を評価しているときは、ある評価属性の占有期間の平均値に食品間で差があるかどうかを、反復測定分散分析やフリードマン検定で調査できる。また、 p 種類の評価属性がある場合には、それぞれの試行は、 p 変量 (p 種類の占有期間) からなるサンプルとみなされ、主成分分析や canonical variable analysis を適用しやすい条件となる²⁾。占有期間は、標準的な解析手法であり、食品間比較を行うときには、まずこれを試して、食品間でいずれの評価属性に差がありそうかを見極めることができる。

(2) TDS 法の結果から抽出されるパラメータの代表例

図 3(b) のように、占有割合のカーブからは、ある属性の顕著さを表すパラメータとして、その最大値およびそこに達するまでの経過時間がパラメータとして使われる⁶⁾。カーブ下の面積もしくはカーブがチャンスレベルまたは 95% 信頼区間の上限を超えている区間のカーブ下の面積も、ある

属性がどの程度、顕著であったかを表すパラメータである⁹⁾。また、カーブがチャンスレベルを超えている区間の長さもパラメータとなる。以上のパラメータは、ある属性のカーブ 1 本から 1 個だけ算出されるため、仮説検定に馴染まない。比較対象の食品の種類が複数 (k 種類) ある場合には、 p 種類の評価語に対するパラメータを変量として有する k 個のサンプルに対して、主成分分析などが適用される。仮説検定を適用したい場合には、全パネルの全試行を複数のグループにわけ、それぞれのグループから一組のカーブを計算する方法がありえるが⁹⁾、一般的とはいえない。

他に、課題全体の特徴として、課題遂行中に評価語が選択された回数 (ボタンが押された回数)、タスク終了までに要した時間などがパラメータ化されている。TDS 法の解析手法のほとんどが正規化時間を採用しているが、タスク終了に要する時間にも意識を配るという意味で後者は重要である。

5. TDS データの動解析

TDS 法の最大の特徴である感覚の時系列変化を解析・視覚化するのが動解析である。もっともよく知られた手法が軌跡図¹⁰⁾である。これは、1 組の多次元時系列データを、時間軸を有さない空間 (通常は 2 次元平面) に 1 本の軌跡として描画する方法である (図 4)。図には、3 つの食品が同一の開始地点 (どの評価語も選ばれてない状態) から始まり、異なる軌跡をとりながらそれぞれの終点へと進んでいく経過を例示している。軌跡に示された丸点は、時間の経過を示すための目印であり、1/10 正規化時間ごとに付されている。図には軌跡以外に、それぞれの属性の開始地点からの位置ベクトルが示される。ある属性の位置に軌跡が近づくと、その属性が任意の時点で支配的であることを意味する。

軌跡図の計算は、主成分分析による。TDS カーブを時間方向に 100 点ほどに離散化し、各離散点を p 変量からなる

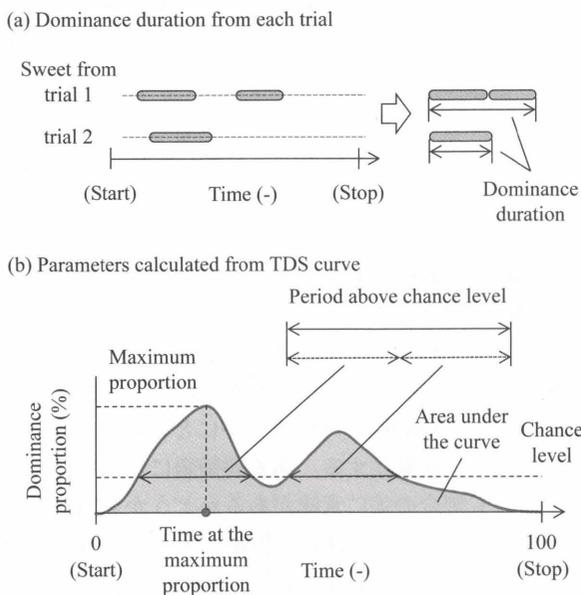


図 3. TDS 課題の結果から算出されるパラメータ。(a) 占有期間。(b) TDS カーブのパラメータ。

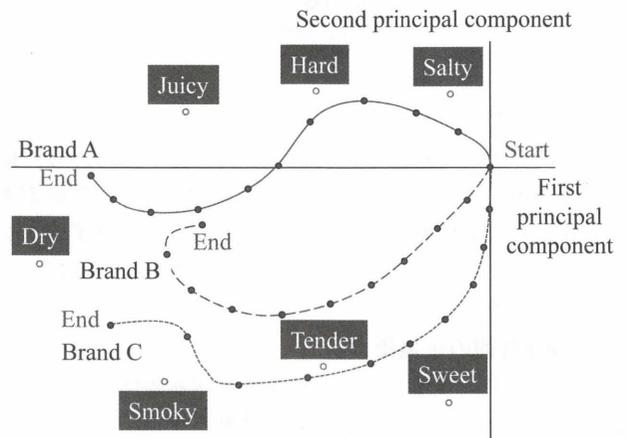


図 4. TDS カーブの軌跡図の例。評価属性の座標に近づくほど、その属性が支配的であることを意味する。

サンプル (p は評価語の数) とみなす。これらのサンプルから、 $p \times (100 \times \text{食品の種類})$ 要素の行列が構成できる。この行列に対して主成分分析を計算し、各主成分の主成分得点をプロットすることで、軌跡が描かれる。3種類以上の食品でも1つの平面上に軌跡を描いて比較することができるという点で、TDSカーブよりも優れた面がある。

なお、著者らは、時系列データの特性を活かした因果関係分析¹¹⁻¹³⁾を提案しており、新たな動解析手法の開発に取り組んでいる。これらは、ある瞬間の感覚から次の瞬間の感覚へと遷移していく過程から、感覚間の動的な因果関係を見出そうという試みである。

6. 結 び

紹介した手法は一部に限られているが、それでもTDS法の可能性が十分に感じられるのではないだろうか。本著で紹介した以外にも注目すべき解析方法は多い。例として、TDS法の結果からパネルの能力を分析する手法¹⁴⁾がある。これは、個々のパネルが味の違いをわかっているかを統計的に評価することを可能とする。TDS法の試行の中から外れ値を発見する手法¹⁵⁾は、すべての解析に先立つ共通の前処理として著者らが開発したものである。限られたサンプル集団から、多数のTDSカーブの組を計算するBootstrap resampling¹⁶⁻¹⁸⁾は、TDS法の結果を多くのデータを必要とする統計・機械学習手法へと橋渡しする。時系列データのどの部分が食の好みにつながっているかも研究者らの大きな関心である¹⁹⁾。このように、TDS法のための新たな活用方法および解析手法の探求は、世界中の研究者らによって続けられている。

文 献

- 1) International Organization for Standardization (2016), ISO 13299: Sensory analysis—Methodology—General guidance for establishing a sensory profile
- 2) Pineau, N., Schlich, P., Cordelle, S., Mathonnière, C., Issanchou, S., Imbert, A., Rogeaux, M., Etiévant, P. and Köster, E. (2009), Temporal dominance of sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time-intensity, *Food Quality and Preference*, **20**(6), 450-455
- 3) Kantono, K., Hamid, N., Shepherd, D., Lin, Y. H. T., Skiredj, S., and Carr, B. T. (2019), Emotional and electrophysiological measures correlate to flavour perception in the presence of music, *Physiol. Behav.*, **199**, 154-164
- 4) Peltier, C., Visalli, M. and Thomas, A. (2019), Using temporal dominance of emotions at home. Impact of coffee advertisements on consumers' behavior and methodological perspectives, *Food Quality and Preference*, **71**, 311-319
- 5) Nagano, H., Saito, N., Matsumori, K., Kazama, T., Konyo, M. and Yokokohji, Y. (2023), On the analysis of tactile sensation based on time measurement: An experimental case study on the interaction between skin and lotion, *IEEE Transactions on Haptics*, doi: 10.1109/TOH.2023.3260907
- 6) Pineau, N. and Schlich, P. (2015), Temporal dominance of sensations (TDS) as a sensory profiling technique, *Rapid Sensory Profiling Techniques*, Woodhead Publishing, Sawston, 269-306
- 7) Schlich, P. (2017), Temporal dominance of sensations (TDS): A new deal for temporal sensory analysis, *Curr. Opin. Food Sci.*, **15**, 38-42
- 8) Castura, J. C., Antúnez, L., Giménez, A. and Ares, G. (2016), Temporal check-all-that-apply (TCATA): A novel dynamic method for characterizing products, *Food Quality and Preference*, **47**, 79-90
- 9) Sokolowsky, M. and Fischer, U. (2012), Evaluation of bitterness in white wine applying descriptive analysis, time-intensity analysis, and temporal dominance of sensations analysis, *Anal. Chim. Acta*, **732**, 46-52
- 10) Lenfant, F., Loret, C., Pineau, N., Hartmann, C. and Martin, N. (2009), Perception of oral food breakdown. The concept of sensory trajectory, *Appetite*, **52**(3), 659-667
- 11) Okada, T., Okamoto, S. and Yamada, Y. (2019), Affective dynamics: Causality modeling of temporally evolving perceptual and affective responses, *IEEE Transactions on Affective Computing*, **13**(2), 628-639
- 12) Okamoto, S. (2021), Structural modeling of temporal dominance responses using covariances of contemporary changes in subjective qualities, *International Journal of Affective Engineering*, **20**(3), 127-130
- 13) Shimaoka, N., Okamoto, S., Akiyama, Y. and Yamada, Y. (2022), Linking temporal dominance of sensations for primary-sensory and multi-sensory attributes using canonical correlation analysis, *Foods*, **11**(6), 781
- 14) Lepage, M., Neville, T., Rytz, A., Schlich, P., Martin, N. and Pineau, N. (2014), Panel performance for temporal dominance of sensations, *Food Quality and Preference*, **38**, 24-29
- 15) Natsume, H., Okamoto, S., and Nagano, H. (2023), TDS similarity: Outlier analysis using a similarity index to compare time-series responses of temporal dominance of sensations tasks, *Foods*, **12**(10), 2025
- 16) Okamoto, S., Ehara, Y., Okada, T. and Yamada, Y. (2020), Affective dynamics: Principal motion analysis of temporal dominance of sensations data, *IEEE Transactions on Affective Computing*, **13**(2), 871-880
- 17) Okamoto, S. (2021), Bootstrap resampling of temporal dominance of sensations curves to compute uncertainties, *Foods*, **10**(10), 2472
- 18) Castura, J. C., Rutledge, D. N., Ross, C. F. and Næs, T. (2022), Discriminability and uncertainty in principal component analysis (PCA) of temporal check-all-that-apply (TCATA) data, *Food Quality and Preference*, **96**, 104370
- 19) Delarue, J. and Blumenthal, D. (2015), Temporal aspects of consumer preferences, *Curr. Opin. Food Sci.*, **3**, 41-46