



非侵襲的温熱刺激による飲用時の主観的印象変容 を目的としたシステムの開発

何 紀婷¹⁾, 許 佳禕²⁾, 櫻田 国治²⁾, 齊藤 寛人²⁾, 門内 靖明²⁾, 稲見 昌彦²⁾

Jiting He, Jiayi Xu, Kuniharu Sakurada, Hiroto

Saito, Yasuaki Monnai, and Masahiko Inami

1) 東京大学 情報理工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, kaki.he@star.rcast.u-tokyo.ac.jp)

2) 東京大学 先端科学技術研究センター (〒153-8904 東京都目黒区駒場 4 丁目 6 番 1 号, xu.jiayi@star.rcast.u-tokyo.ac.jp, kuniharu.sakurada@star.rcast.u-tokyo.ac.jp, hiroto.saito@star.rcast.u-tokyo.ac.jp, monnai@star.rcast.u-tokyo.ac.jp, drinami@star.rcast.u-tokyo.ac.jp)

概要: 本研究では、飲用行為に対して非侵襲的な温熱刺激を適用し、飲料に対する主観的印象を変容させる可能性を探ることを目的としたシステムの開発を行った。既存の温熱刺激装置を基盤とし、刺激強度および提示タイミングを制御可能な提示フローおよび制御ソフトウェアを実装した。本発表では、飲用動作と同期した温熱刺激提示を実現するためのシステム構成、設計上の工夫、および今後の主観的体験評価への応用可能性について報告する。

キーワード: 感覚・知覚、触覚、クロス・マルチモーダル

1. 初めに

食事における味覚体験は、視覚・嗅覚・触覚・温度感覚など、複数の感覚が統合された複雑な知覚プロセスによって形成される。近年では、これらのクロスモーダルな感覚要因が、味に対する主観的印象に影響を及ぼすことが明らかになってきている。

なかでも、食品や使用する器具の温度が味覚に与える影響に関する研究は注目を集めており、温度の違いによって「甘味」「塩味」「酸味」などの基本味の知覚強度が変化することが報告されている[1][2]。また、スプーンなどの食器の素材やその温度が、食品全体の味に与える心理的印象や好感度に影響することも示されており[3][4]、口腔内に触れる器具の温度が飲食時の「心地よさ」や「のど越し」、「美味しさ」といった主観的体験に有意な変化をもたらすという知見も得られている[5]。

このような背景を踏まえ、本研究では、飲用動作に同期して非侵襲的な温熱刺激を提示することにより、飲料に対する主観的印象の変容を促す可能性について検討する。特に、VR 環境下での飲用行动をリアルタイムに検出し、それに基づいて皮膚表面に温度刺激を提示することで、既存の飲用体験に感覚的な拡張を加えるインタラクティブなシステムの構築を目指す。

本稿では、提案するシステムの構成および制御方式について述べるとともに、今後予定されている主観的体験評価

への応用可能性について考察する。

2. 関連研究

2.1 食品の温度が味覚印象に与える影響

食品の温度が味覚に及ぼす影響については、古くから多くの研究が行われてきた。Green らは、温度変化が甘味や苦味といった基本味の強度に明確な変化をもたらすことを示し、特に舌を加温することで甘味が、冷却することで酸味が錯覚的に強調される可能性を指摘している[1]。また、Lipscomb らによる実験では、飲料の温度が「甘味」「塩味」「酸味」の知覚強度に及ぼす影響が定量的に評価され、温度が味覚知覚に対して有意な効果を与えることが明らかにされた[2]。

2.2 器具の温度・素材と味覚印象の関係

食品そのものだけでなく、食器やカトラリーの素材や温度も味覚印象に影響を与えることが報告されている。Piqueras-Fiszman らの研究では、スプーンの材質（金属、プラスチック、陶器など）やその温度が食品の味の知覚や好みに与える影響を検証し、これらの要因が主観的な味覚評価に統計的に有意な差異を生じさせることが示された[3]。

さらに、Singh らは、温かいカトラリーと冷たいカトラリーが食品の風味や口当たりの印象に与える違いを分析し、触覚を通じた温度感が食品の受容性に強く関与してい

ることを報告している[4]。

2.3 温度提示とクロスモーダル知覚

近年では、温度刺激が単なる味覚の補完にとどまらず、食体験全体における「心地よさ」や「満足感」に寄与する、クロスモーダルな知覚変容の観点からの研究も進められている。上堀らの実験では、食品の温度とスプーンの温度を組み合わせ提示することで、「美味しさ」「快適さ」といった主観的な印象に温度が与える影響が実証的に示されている[5]。

このように、温度刺激は味覚を強調するだけでなく、他の感覚との統合によって、全体的な体験の質を変容させる重要な要素として注目されている。

3. 提案手法

本研究では、飲用行動に対する温熱刺激の印象変化を評価するために、飲用タイミングの検出から刺激提示、主観的評価取得までを一貫して行える実験システムを構築した。本章では、その構成要素と刺激条件設計の考え方について述べる。

3.1 システム全体構成

提案システムは、以下の3要素から構成される(図1参照)：

- **飲用動作の検出：**
飲用動作はカメラやセンサによって記録され、飲用開始のタイミングを基準として、後続の温熱刺激提示のタイミングが決定される。
- **非侵襲的温度刺激提示：**
被験者の頸部付近に取り付けた加温装置(図中央)を用い、飲用後の特定タイミングで温熱刺激を提示する。本刺激はArduinoによる制御のもと、時間的に変化する加熱カーブを生成する。
- **印象評価取得**
刺激後には、飲料の温感、味わい、印象の変化について主観評価を取得する(例：甘さ・濃さ・リラックス感など)。

3.2 刺激条件設計原理

温熱刺激の提示は、以下の2軸の条件で設計されている：

- **刺激強度 I：**温度出力レベル(例：低・中・高)
- **提示タイミング T：**飲用後の時間差(例：早・中・遅)

このような時間差刺激を設計する背景には、以下の知見がある：

1. **皮膚温の一時的変動：**飲用行動直後には皮膚温度が一過的に変動し、一定時間を経て回復する傾向がある[7]。
2. **味覚と温度の相互作用：**味覚印象は温度の変化に影響され、刺激提示タイミングが知覚の強調や歪みに寄与することが知られている[8]。
3. **時間的統合ウィンドウの存在：**人間の知覚システムは、時間差のある複数の刺激を一定の範囲内で“同時”と捉える特性がある[9]。

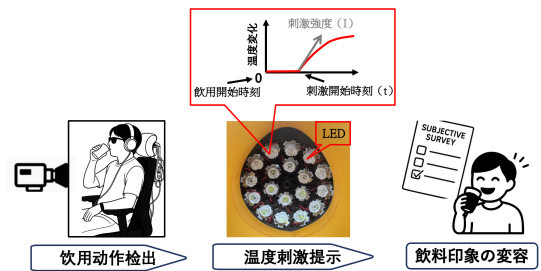


図 1: システム提案



図 2: 装置仕様

これに基づき、本研究では時間的知覚変容を誘導することを目的とし、刺激条件を構成している。条件の組み合わせはランダム順で提示し、期待や予測を抑制する。

3.3 刺激提示制御の実装

本研究では、飲用動作に対して遅延温熱刺激を提示するために、飲用タイミングの検出と連動した刺激制御システムを構築した。飲用開始時刻を基準とし、あらかじめ設定された時間差と刺激強度に応じて、頸部に取り付けた加熱装置から非侵襲的な温度刺激を提示する構成である(図2)。

温熱提示装置の構成については、主に先行研究における温度刺激デバイス[6]から着想を得ており、小型の加熱素子と熱制御回路による安定した皮膚表面加温の仕組みを参考にしている。本研究ではこれを頸部後方に応用する形で、局所的かつ繰り返し使用可能な刺激系を構成した。

温熱提示装置には、直径20mm・出力5Wの市販LED(CREE/XPGWHT-L1-STAR-G53)モジュールを使用し、16個(4×4)を格子状に配置した(図1中央)。これにより、局所的で均一な温熱提示が可能となっている。加熱制御はArduinoマイコンを用いて行われ、加熱の立ち上がり時間や刺激強度は条件に応じてリアルタイムに調整される。

3.4 応用可能性と今後の展望

本システムは、「飲用体験における印象操作」や「非侵襲的な感覚拡張」といった分野において、以下のような応用が期待される：

- 味覚障害や嚥下障害のある患者に対し、印象的な飲食体験を補助する感覚提示技術として活用可能。
- VR空間における没入感ある飲食シーンの演出に、現実世界での温度刺激を組み合わせることで臨場感を向上。

今後は、他の感覚要素（香り、音、視覚効果）との統合や、個人の生理状態（心拍、表情など）に基づいたフィードバック制御との連携も視野に入れ、より高度な「感覚拡張飲用システム」へと発展させていく予定である。

4. まとめ

本研究では、飲用行為に同期して非侵襲的な温熱刺激を提示することにより、飲料に対する主観的印象の変容を試みた。温度刺激の強度および提示タイミングを柔軟に制御可能なシステムを構築し、既存の飲用体験に新たな感覚的要素を付加するアプローチを検証することを目的とした。

特に、皮膚表面に対して局所的な温熱刺激を与えるという、比較的負担の少ない手法を採用することで、味覚印象や感情的評価に影響を与える可能性に着目した点は、今後のクロスモーダル体験設計に向けた有意義な検討の一步となると考えられる。

現在は、主観的評価と簡易生理指標のデータをもとに、温熱刺激による印象変容の傾向や効果について詳細な解析を進めている段階であり、今後の知見の蓄積によって、さらなるシステム改善および応用可能性の拡張が期待される。

5. 謝辞

本研究の遂行にあたり、多大なご協力をいただいた指導教員および関係者の皆様に深く感謝申し上げます。本研究は、サントリーホールディングス株式会社の支援および日本学術振興会 科学研究費補助金（JP24K23883）の助成を受けて実施されました。また、実験にご協力いただいた被験者の方々にも心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Green, B. G., & Frankmann, S. P. (1987). *Heat as a factor in the perception of taste, smell, and oral sensation*. In *Taste and Smell* (pp. 235-262).
- [2] Lipscomb, K., Rieck, J., & Dawson, P. (2016). *Effect of temperature on the intensity of basic tastes: Sweet, salty and sour*. *Journal of Food Research*, 5(4), 1-10.
- [3] Piqueras-Fiszman, B., et al. (2011). *Tasting spoons: Assessing how the material of a spoon affects the taste of the food*. *Food Quality and Preference*, 24, 24-29.
- [4] Singh, A., & Seo, H. S. (2023). *Impacts of utensil conditions on consumer perception and acceptance of food samples*. *Foods*, 12(5), 914.
- [5] 上堀まい, 伊藤弘大, 藤田和之, 伊藤雄一. (2023). *口腔内への温度提示と食品の温度が食体験と味覚に与える影響*. *日本感性工学会論文誌*, 22(2), 113-120.
- [6] J. Xu, S. Hasegawa, K. Kiyokawa, N. Ienaga and Y. Kuroda, "Integration of Independent Heat Transfer Mechanisms for Non-Contact Cold Sensation Presentation With Low Residual Heat," in *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 16, no. 4, pp. 770-784, Oct. - Dec. 2023, doi:10.1109/TOH.2023.3324754.
- [7] Mekjavic, I. B., & Tipton, M. J. (1996). *Thermal responses and thermoregulation in cold environments*. In *Handbook of Physiology: Environmental Physiology* (pp.105-128). American Physiological Society.
- [8] Green, B. G., & Frankmann, S. P. (1987). *The effect of cooling the tongue on the perceived intensity of taste*. *Physiology & Behavior*, 41(2), 217-219. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(87\)90306-4](https://doi.org/10.1016/0031-9384(87)90306-4)
- [9] van Wassenhove, V., Grant, K. W., & Poeppel, D. (2007). *Temporal window of integration in auditory-visual speech perception*. *Neuropsychologia*, 45(3), 598-607.