



摂食行動に応じた環境の視聴覚刺激の低減による風味知覚の向上

Study on enhancement of flavor perception by dynamic diminishing of environmental audiovisual stimuli
in response to eating behavior

日塔諒太¹⁾, 小宮晨一¹⁾, 伴祐樹¹⁾, 割澤伸一¹⁾

Ryota NITTO, Shin'ichi KOMIYA, Yuki BAN and Shin'ichi WARISAWA

1) 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 (〒 277-0882 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, nittoryota@lelab.t.u-tokyo.ac.jp)

概要: 食事環境の視聴覚刺激は風味の期待を形成する一方、口腔内感覚への注意を妨げる課題があった。本研究では、摂食行動に応じて環境の視聴覚刺激を動的に低減し風味知覚を向上させる手法を提案する。カフェを模した環境で食品摂取時の風味評価を 3 条件 (低減なし・咀嚼中低減・常時低減) で比較した。結果、咀嚼中に刺激を低減した条件でのみ、いちごの風味が有意に向上した。よって、摂食行動に合わせた動的な環境制御が風味向上に有効であると示唆された。

キーワード: 風味, 環境刺激, 感覚代行, 摂食行動

1. はじめに

風味の知覚は食事体験の楽しみに重要であり、調理者はそのために多くの工夫を凝らしている。しかし、風味は食品だけでなく食事環境からも影響を受ける [1] ため、調理者の意図した形で伝わるとは限らない。したがって、食体験の価値を向上させるうえで、適切な環境設計によって食品固有の風味を知覚しやすくすることが求められる。

風味知覚を向上させるための方針の 1 つとして、環境の視聴覚刺激 (環境刺激) を制限し口腔内感覚へ集中させることが考えられる。風味とは、味覚、鼻腔後嗅覚、そして食感、温度、化学感覚などの口腔内体性感覚からの入力を脳が統合して構築される食品の認知である [1]。そのため、口腔内に食品があるときに、環境刺激を制限することで、口腔内感覚への注意が高まり風味を増強できる可能性がある。

実際に、視覚の遮断は甘味 [2] や嗅覚 [3] の感度を向上させることが知られている。ある感覚を制限すると他の感覚に注意が再配分される「感覚代行」[4] の応用例として、暗闇で食する「暗闇レストラン」が知られている。

また、環境の騒音を低減することも風味知覚の向上において重要である。騒音は甘味や塩味 [5, 6]、風味 [7] を低下させる。要因の 1 つとして、聴覚への注意資源の消費による味覚への注意資源の減少が考えられている [8]。そのため、風味への注意を妨げるような騒音の低減は風味の向上につながると考えられる。

一方で、環境刺激は風味の期待を生み出す役割も担う。照明の色や明るさはそれぞれ食体験の印象や風味に影響を与える [1]。そのため、環境刺激がない環境は食品の期待形成を妨げ、食体験の不確実性を高める [9]。したがって、食事過程を通して常に環境刺激を低減させることは、風味知覚を向上させる上で適切であるとは限らない。

そこで本研究では、摂食行動に応じて動的に環境刺激を低減させる手法を提案する。口腔内で風味知覚が行われる時間に合わせて刺激を低減させることで、摂食前後の情報不足に伴う不確実性を低減しながら、感覚代行によって風味を向上できると仮説を立てた。

環境刺激が風味知覚に与える影響に関する先行研究は、環境の時間的变化を伴わない静的な条件下でのものが中心であり、動的な環境変化が風味知覚に与える影響は十分に解明されていなかった。本稿では、摂食行動に応じた動的な環境刺激の低減が風味知覚に与える影響について、著者らの予備検証 [10] で示唆された効果を、参加者数を 18 名に増やし、食品の呈味成分量を統制した上で統計的に検証する。

2. 提案手法

2.1 動的な環境刺激の低減を可能にするシステム

動的な環境刺激の低減を行うために、透明度を制御できる「目隠し」と、騒音レベルを制御できる「耳栓」が必要である。その手段として、パススルー型の HMD とノイズキャンセリングレベル (NC レベル) を調整可能なイヤホンを使用した。システムの全体構成を図 1A に示す。

視覚刺激は、パススルー型 HMD (Meta Quest 3) で頭部の周りに表示する仮想的な球体の不透明度 (0-1) を操作することで行った。不透明度が 1 のときは低減前後の明度差を抑えるため灰色 (明度 0.3) を表示した。

聴覚刺激の低減は NC レベルを調整可能なイヤホン (Bose QuietComfort Ultra Earbuds) を用いて行った。NC レベルはスマートフォン (Apple iPhone 8) の専用アプリ (Bose) から操作することができる。マイコン (ESP32) を仮想的な BLE マウスとして使用し、アプリ画面を操作することで制御を可能にした。

視聴覚の低減レベルの指令は PC (Razer Blade 14) 上

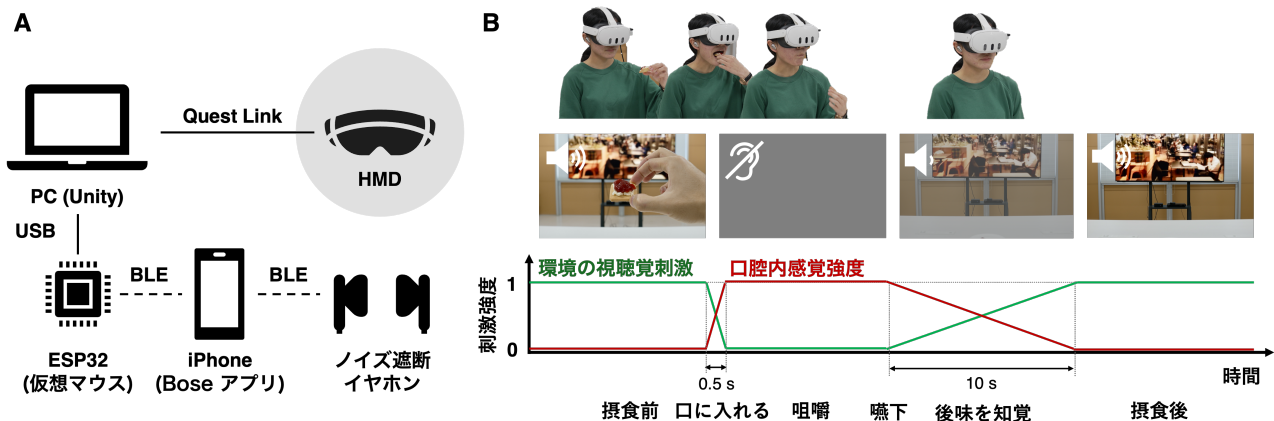


図 1: (A) 動的な環境刺激の低減を可能にするシステムの構成図。HMD の周囲に仮想的な球を配置し、その不透明度を操作することで視覚刺激を制御した。ノイズキャンセリングイヤホンのノイズキャンセリングレベルをマイコンを介して操作することで聴覚刺激を制御した。(B) 環境刺激の時系列設計。口腔内感覚強度は口腔内に食品がある時間は 1、後味の減衰に従って段階的に 0 になると仮定した。口腔内感覚が高まる時に視聴覚レベルを低くすることで口腔内感覚の感度を高める。また、口腔内感覚が少ない時間は視聴覚レベルを保つことで食体験の不確実性を低減した。

の Unity プログラムで実行された。これにより、環境刺激の低減レベルを同期して制御可能になった。

2.2 環境刺激の時系列設計

環境刺激の時系列設計は、口腔内感覚の強度の変化をもとに行った (図 1B)。摂食前は口腔内に食品が存在せず、食品の色や形、環境刺激に基づいて食品の風味の期待が形成される。そのため、環境刺激は低減させないことで、食体験の不確実性を低減する。食品を口に入れた瞬間に 0.5 s かけて線形的に環境刺激を最大まで低減し、注意を口腔内感覚へ集中させる。この低減時間は、ユーザーに即時性を感じさせつつ、急な変化による不快感を避けるための時間である。嚥下後は後味の減衰に合わせて 10 s かけて段階的に復元する。この復元時間は、本実験で使用する食品の後味の持続時間を考慮して設定した。著者による予備的な試食において、後味を知覚するのに十分な時間として 10 s が妥当であると判断した。

3. 摂食行動に応じた環境刺激の低減実験

カフェの店内を模した環境にてお菓子を食べさせ、感じた風味、味、食感を評価させる実験を行った。実験目的は、摂食行動に応じた環境刺激の低減が風味知覚に与える効果の検証であった。実験は参加者内計画で行った。実験で検証した仮説は以下である。

- H1: (低減による効果) 摂食行動に応じた環境刺激の低減は、低減しない条件に比較して風味が高い
- H2: (動的な低減による効果) 摂食行動に応じた環境刺激の低減は常時低減する条件に比較して風味が高い

3.1 条件

仮説を検証するため、実験条件は以下の 3 つを設定した (図 2A)。

- 低減なし：摂食前から嚥下後まで常に環境刺激の低減はされない。
- 咀嚼中低減 (提案手法)：摂食に同期して環境刺激を低減し、嚥下後に徐々に復元した。
- 常時低減：摂食前から摂食後まで常に環境刺激が低減される。

低減なし条件と咀嚼中低減条件を比較することで、環境刺激を低減することによる効果 (H1) を検証した。さらに、咀嚼中低減条件と常時低減条件を比較することで、摂食行動に応じた動的な低減の効果 (H2) を検証した。

3.2 実験環境と使用した食品

実験環境はカフェの店内を模して設計された (図 2B)。これは、本研究の応用例としてカフェなどの飲食店が想定されるためである。視覚刺激としてテレビモニター (Sony XRJ-85X95L) を用いてカフェの店内を表示した。また、聴覚刺激としてカフェの店内の会話内容が聞き取れないレベルの話し声を立体音響スピーカー (Sony HT-A9) で提示した。実験参加者の耳の位置で計測した騒音レベルは 50 ± 3 dB であった。これらの環境刺激によって、風味の阻害要因となる騒音がありながら、カフェでお菓子を食べる場面を想定しやすく食体験に対する期待を形成可能にした。

食品は、37 mm 四方のおからクッキー (6.0 g、寅家 豆乳おからクッキー) にクロテッドクリーム (2.0 g) といちごジャム (5.0 g) を載せて作成した (図 2C)。これは、カフェでの食事シーンに適した一般的なスコーンの食べ方を参考にした。すべて砂糖不使用・省塩のものを使用し、いちごの嗅覚情報を主とした風味への知覚がしやすいように設計された。

3.3 手順

まず、参加者は実験内容について口頭で説明を受けたのち、水で口を濯いで飲み込んだ。そして、イヤホンと HMD を装着した。その後、お菓子が 4 つ乗ったお皿が机の前に

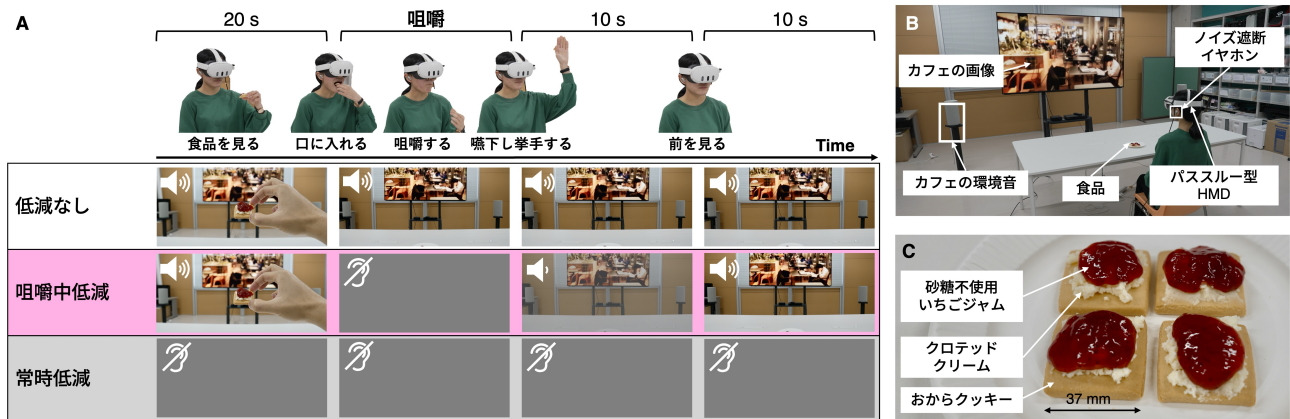


図 2: (A) 実験条件. 低減なし条件では摂食過程を通して環境刺激が与えられた. 咀嚼中低減条件では咀嚼中に環境刺激が低減し, 嚥下後 10 秒間で段階的に環境刺激が復元した. 常時低減条件では摂食過程を通して環境刺激が低減された. (B) 実験環境. 大型モニターと立体音響スピーカーを使用してカフェの店内の環境刺激を模擬した. (C) 食品. おからクッキーの上にクロテッドクリームと無糖いちごジャムが乗せられ, いちごの風味が際立つ食品を作成した.

置かれた. 食べ方の説明を受けたのち, 1 回食べる練習をした. HMD を外し, 水で口を濯いでから 1 分間休憩した.

次に, 参加者は HMD を装着後, 食品をつまんで 20 秒間見てから口頭の指示で摂食した. 嚥下後に挙手し, 20 秒間待機した後に HMD を外し, iPad で評価項目に回答した. この試行を 3 条件で繰り返した. 試行間には水で口を濯ぎ, 1 分間の休憩を設けた. 条件の順番は 6 通りの並び替えを各参加者に均等に割り振り, 順序効果を打ち消した.

3.4 評価項目, 解析方法, 実験参加者

評価項目は, 風味 3 項目 (いちご, クリーム, 小麦), 味 3 項目 (甘味, 酸味, 塩味), 食感 4 項目 (サクサク感, ジェル感, 滑らかさ, つぶつぶ感), そして後味とした. いずれの評価項目も 0 (感じなかった) から 4 (非常に強い) の 5 段階評価で評価した. パネルの熟練が低い場合は評価の段階が少ないほど迅速に一貫した評価が可能である [11]. 本研究の参加者は食品評価に慣れていないため, 5 段階にすることで直感的な評価を可能にした.

解析では, 全ての評価項目について, まず全体的な差を見るためにフリードマン検定を行った. さらに, 下位検定として, 低減なし-咀嚼中低減, 咀嚼中低減-常時低減の 2 項目間で Wilcoxon の符号順位検定を行い, Benjamini-Hochberg 法による多重性の補正を行った.

実験参加者は研究科のメーリングリストを通して集められた. 合計で 18 人が実験に参加した. 平均年齢は 27.2 歳 ($SD = 7.72$), 男性 12 人, 女性 6 人であった. この研究は東京大学の倫理審査委員会の承認と全ての実験参加者の同意を得て実施された.

4. 結果

本研究では, 18 名の参加者を対象に実験を実施したが, 技術的な問題が発生した 1 名を除外し, 最終的なサンプルサイズは $N = 17$ となった. ここでは, 食品の代表的な評価項目として, いちごの風味, 小麦の風味, 甘味, 酸味, サ

クサク感の結果を 図 3 に示す.

いちごの風味について, 咀嚼中低減条件では, 低減なしおよび常時低減条件と比較して, 有意に高かった (vs. 低減なし: $W = 11, p = 0.0268, r = 0.634$; vs. 常時低減: $W = 11, p = 0.0268, r = 0.634$). この効果量はいずれも大きく, 咀嚼中に環境刺激を低減することで, いちごの風味知覚が顕著に向上することが示された.

一方, いちご風味以外の風味 (クリームおよび小麦の風味) や, 味覚 (甘味, 酸味, 塩味), 食感 (サクサク感, ジェル感, 滑らかさ, つぶつぶ感), 後味について, いずれも条件間で有意な差は認められなかった ($p \geq 0.05$).

5. 考察

咀嚼中低減条件でのいちご風味の顕著な増強は, H1 (低減による効果) を部分的に肯定し, 環境刺激の低減が口腔内感覚への集中を促進することで風味知覚を向上させる可能性を示している.

また, 咀嚼中低減条件でのいちご風味は常時低減条件と比較しても高かったことから, H2 (動的な低減による効果) が部分的に肯定され, 口腔内感覚への注意の開始に環境刺激の低減を同期させることで風味知覚を効果的に高められる可能性を示唆している. 参加者からの「常時低減での不安感」や「咀嚼中低減条件での刺激回復による納得感」といった報告は, 提案手法が食体験の不確実性を低減した可能性を示唆する.

視覚遮断は嗅覚や触覚の感覚向上に繋がるとされるが [3, 12], 本研究で効果がいちご風味に限定され食感に及ばなかったのは, 知覚タイミングのずれが原因と考えられる. 実際, 多くの参加者は最初にいちごの風味を知覚し, その後他の感覚に注意が移行したと回答した. 提案手法は, 刺激低減の瞬間に最も効果を発揮するため, 初期に知覚されるいちご風味は増強されたが, 遅れて知覚される食感などには寄与しなかったと考えられる.

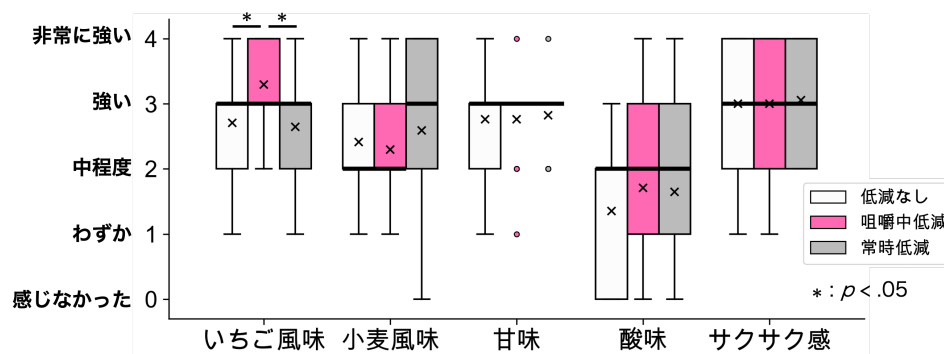


図 3: 各条件におけるいちご風味、小麦風味、甘味、酸味、サクサク感の評価値の箱ひげ図。中央値から四分位範囲の 1.5 倍以上離れたデータを外れ値としている。いちご風味は咀嚼中低減条件で低減なしと常時低減と比較して有意に高い。

先行研究では、視覚遮断が甘味の閾値を低下させるとされてきた [2] が、本研究では甘味の増強はされなかった。いちごの風味は増強された一方で甘味は増強されなかった。この違いの理由の 1 つとして、評価項目がいちごの風味と甘味を別々に聞いたことが挙げられる。今回使用した食品は砂糖を使用していないため、甘味は原材料の嗅覚的要素によって感じられる部分大きい。しかし、風味と味を個別に回答させると分離して知覚され味嗅覚相互作用が低減する [11] ことから、甘味の増強効果が低下した可能性がある。

6. 結論

本研究では、口腔内で風味知覚を行う時間に合わせて環境の視聴覚刺激を低減することで、摂食前後の食体験の認知を可能にしながら、口腔内感覚への感覚代行を可能にする手法を提案し、その有効性を検証した。その結果、口腔内感覚強度に合わせて環境刺激を低減する手法は、常に低減しない条件、常に低減する条件と比較して、食品の代表的な風味を有意に向上できることが明らかになった。本手法は、環境刺激による期待の形成と口腔内感覚という風味知覚を行うための 2 つの経路を、動的な環境刺激の低減によって両立することを可能にし、更なる食体験の価値の向上に貢献する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP24H00892 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Charles Spence. Multisensory flavor perception. *Cell*, Vol. 161, No. 1, pp. 24–35, 2015.
- [2] Emilia Leszkowicz, Patrycja Szymanek, Ewelina Pych, Joanna Danielczuk, Sylwia Skapska, and Artur H Świergiel. The effect of visual deprivation on basic taste modalities. *Journal of Sensory Studies*, Vol. 38, No. 6, p. e12869, 2023.
- [3] Martin Wiesmann, R Kopietz, J Albrecht, Jennifer Linn, U Reime, E Kara, Olga Pollatos, V Sakar, A Anzinger, Gunther Fesl, et al. Eye closure in darkness animates olfactory and gustatory cortical areas. *Neuroimage*, Vol. 32, No. 1, pp. 293–300, 2006.
- [4] Sarah Lefebvre, Jonathan Hasford, and Laura Boman. Less light, better bite: How ambient lighting influences taste perceptions. *Journal of Retailing and Consumer Services*, Vol. 65, p. 102732, 2022.
- [5] Kimberly S Yan and Robin Dando. A crossmodal role for audition in taste perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 41, No. 3, p. 590, 2015.
- [6] Charles Spence. Noise and its impact on the perception of food and drink. *Flavour*, Vol. 3, No. 1, p. 9, 2014.
- [7] Lorenzo D Stafford, Mya Fernandes, and Ed Agobiani. Effects of noise and distraction on alcohol perception. *Food Quality and Preference*, Vol. 24, No. 1, pp. 218–224, 2012.
- [8] Andrew T Woods, E Poliakoff, DM Lloyd, J Kuenzel, R Hodson, H Gonda, J Batchelor, Garnt B Dijksterhuis, and A Thomas. Effect of background noise on food perception. *Food Quality and Preference*, Vol. 22, No. 1, pp. 42–47, 2011.
- [9] Brian Wansink, Mitsuru Shimizu, Armand V Cardello, and Alan O Wright. Dining in the dark: How uncertainty influences food acceptance in the absence of light. *Food Quality and Preference*, Vol. 24, No. 1, pp. 209–212, 2012.
- [10] 日塔諒太, 小宮晨一, 伴祐樹, 割澤伸一. 咀嚼・嚥下中の視聴覚ノイズの遮断による風味と食感の向上. 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会 論文集, 3B2-01, 日本, 9 月 2024 年.
- [11] Robert A Frank. Response context affects judgments of flavor components in foods and beverages. *Food Quality and Preference*, Vol. 14, No. 2, pp. 139–145, 2003.
- [12] Stefan Brodoehl, Carsten M Klingner, and Otto W Witte. Eye closure enhances dark night perceptions. *Scientific reports*, Vol. 5, No. 1, pp. 1–10, 2015.