

原著論文

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

上堀 まい*, 伊藤 弘大*, 藤田 和之**, 伊藤 雄一*

* 青山学院大学, ** 東北大学

Effects of Temperature Presentation to the Oral Cavity and Food on Eating Experience and Taste Perception

Mai KAMIHORI*, Kodai ITO*, Kazuyuki FUJITA** and Yuichi ITOH*

* Aoyama Gakuin University, 5-10-1 Fuchinobe, Chuo-ku, Sagami-hara, Kanagawa 252-5258, Japan

** Tohoku University, 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

Abstract : We all need to manage our diets to lead healthy lives. Therefore, we focused on the temperature difference between the oral cavity and the food to improve the food experience and change the taste perception. In this paper, we investigated the changes in food experience and taste perception caused by the different temperatures of the spoon and food. The result of the study revealed that the “throat feeling” was improved, and the “deliciousness” and “comfort” increased when participants tasted the food with a spoon of the same temperature as that preferred for each food. In addition, we found that the combination of spoon and food temperature extended the food experience, and the perception of “sweetness” varied depending on the temperature of the spoon.

Keywords : Flavor, Human food interaction, Pseudo-physiological reaction

1. はじめに

食事は人生最大の喜びや幸福感をもたらす楽しい体験であり、食事を楽しむことは幸せな人生を送ることに繋がる [1, 2]. 一方で、食生活の改善は生活習慣病や肥満の一次予防と重症化予防につながると報告されており、塩分の過剰摂取の抑制は高血圧の予防につながるように、健康的な生活を送るために食事の管理は欠かせない [3]. しかし、多くの場合は塩分や糖分を控えた食事を摂取する必要があり、好きな食品を我慢しなければならない。そこで、健康的な生活を支援するために、人工的な味覚を提示する研究が進んでいる。

味覚を再現するために化学物質を組み合わせる手法として、Maynesらの“TasteScreen” [4] は、複数の化学香料を利用した可食液体をディスプレイ上部に配置し、ディスプレイ表面に味を出力するシステムを用いて味を再現するシステムを提案している。宮下らの“TTTV” [5] は、味センサーで測定した食品の情報をもとに合成した化学物質を、スクリーン上に配置された透明なシートに噴霧することで、元の食品の見た目と味を再現している。化学物質を扱う研究では、化学物質の管理や最適な配合が必要であり、容易に実装できないという問題点がある。また、グルタミン酸ナトリウムなどの人工化学物質の長期使用は、人体に悪影響を及ぼす可能性がある [6].

そこで近年では、化学物質を使わない様々な味覚提示手法の研究がなされている。例えば、舌に電気刺激を与え、「味覚」として基本五味を提示する研究 [7-11] が存在する。青山らは、この手法の1つである陰極刺激を用いることで、基本五味すべてに対して味覚制御ができることを報告している [7]. また、電気刺激によって味覚の変化が可能なカトラリーや

食器型のデバイスが提案されている [8, 9]. 味覚提示において、化学的な制御よりも電気刺激による制御の方が容易であるが、口中香や後味、味の濃さ、のど越し、おいしさ、心地よさといった「食体験」を拡張させることは困難である。

そこで、食体験を変化させるため、食体験を情報技術によって拡張・支援する試みもなされている。その中でも、視覚や聴覚のような情報を提示することによって、食体験を拡張する情報プロジェクション技術や、これらの感覚を組み合わせることで提示することで、感覚相互作用を生み、その感覚知覚を強調するクロスモーダル技術が注目されている [12-17]. 視覚、聴覚、味覚の間の感覚相互作用を用いて、味覚を変化させる手法として、鳴海らは、“Meta Cookie” [12] を提案している。“Meta Cookie”では、プレーンクッキーの見た目と匂いを変化させることで、異なる味覚を知覚することができる。視覚情報を組み合わせる方法として、鳴海らは、HMDを用いて食品の見かけの大きさを変えることで満腹感を変えて、食事の摂取量をコントロールする研究を行っている [13].

一方で、食品の温度が食体験や味覚に影響を与えることが分かっている。Stokesらは、コーヒーの温度はコーヒーの味覚や香りに影響を与えることを報告している [18]. Kimらは、スープ（鶏がらスープ、味噌汁、塩水）の温度と提供温度の好みによって、スープの塩味知覚に影響を与えることを報告している [19]. 他にも、ワイン [20] とチーズスープ [21] は、食品の温度によって香りに影響を与え、チェダーチーズ [22] は、温度によって、酸味に影響を与え、米飯 [23] は、温度によって、香り、食感、甘味に影響を与えることが分かっている。つまり、食品自体の温度を制御する、すなわち食品によって口腔内へ温度を提示することで、食体験や味覚を変化させる

ことができると言える。この特性を利用した研究もいくつか行われている [24-28]。鈴木らの“*Affecting Tumbler*” [24]では、鼻周辺に冷温覚を提示することで、飲料の味の濃さや後味、心地よさ、苦味が変化することが示されている。Karunanayakaらは、短時間で舌の表面の温度を変化可能な“*Thermal Taste Machine*” [25]を提案している。“*Thermal Taste Machine*”では、舌に温度提示することで、基本五味と食体験（ミント味や快感など）に影響を与えることが示されている。Cruzらは、舌前端的鼓索神経を加温することで甘味を、冷却することで酸味または塩味を提示できると報告している [26]。

このように、舌や鼻周辺への温度提示や食品の温度が、食体験や味覚に与える影響について研究が進んでいるものの、舌以外の口腔内や唇といった口周辺への温度提示による食体験や味覚変化に関する研究はなされていない。例えば、咀嚼時に食器やカトラリーに触れるのは下唇であることから、下唇の温度覚も重要だと考えられる。また、食品の温度と口腔内への温度の組み合わせによる食体験や味覚の変化についても調査された研究も存在しない。

そこで本研究では、舌と下唇周辺の口腔内で感じる温度と食品自体の温度を個別に提示することで、これらの温度の違いと食体験、味覚の関係を明らかにすることを目的とする。なお本稿では、ユーザが知覚する基本五味のことを「味覚」、食品の口中香や後味のような、味覚以外の感覚を「食体験」、舌と下唇周辺を口腔内として扱う。

2. 口腔内への温度提示と食品の温度による食体験と味覚の調査

本実験は、3状態の温度（加温・冷却・常温）の食品を口にする際に、食品の温度とは異なる温度のスプーンを使用することで、これらの温度の違いによる食体験や味覚の変化を評価することを目的とする。

2.1 口腔内への温度提示方法

実験に使用した温度提示スプーンの概要を図1に示す。温度を変化させたスプーンの上に食品を乗せると、食品自体の温度が変わってしまう。そこで実験では、温度を変化させ、下唇と舌に温度を提示するスプーン（以下、スプーンA）の上に、断熱効果のある別のスプーン（以下、スプーンB）を重ね、その上に食品を乗せる。この手法を用いることで、スプーンの底部と食品で別々の温度を提示することができる。この温度の違いによる食体験や味覚の変化を調査する。

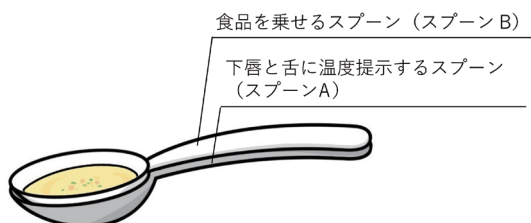


図1 実験に使用した温度提示スプーンの概要

2.2 スプーンの素材検討

本節では、口腔内への温度と食品の温度をそれぞれ提示するために用いる2つのスプーンの素材について検討する。スプーンAは、温度を変化させやすい素材が望ましい。また、スプーンAは加温、冷却した後に口に運ぶまでに時間を要するため、スプーンAの温度を維持する必要がある。そのため、比熱が大きく、熱伝導率が高い物質が適切であると考えられる。一般的なスプーンの素材として使われている物質の中から、比熱が大きく、熱伝導率が高い素材であるアルミニウムのスプーンを採用した。スプーンBは、スプーンAの温度が食品に伝えないようにする必要がある。すなわち、スプーンBの素材は、比熱が大きく熱伝導率が低い物質が適切である。スプーンAと重なり合う形状に成形するため、3Dプリンタで作成可能なプラスチックの中からPP（ポリプロピレン）とPETG（グリコール変性ポリエチレンテレフタレート）を選定した。これらの素材を用いて、3Dプリンタで2つのスプーンBを試作した。その後、スプーンAを加温・冷却し、その上に冷水を乗せたスプーンBを重ね、時間経過による温度変化を測定する予備実験を実施した。実験の結果、PPとPETGで温度変化速度に差はなかったため、造形が容易なPETGを採用した。

2.3 実験条件

先行研究から、食品の温度による食体験や味覚の変化は、食品の種類によって異なることがわかっている [18-23]。そのため、今回は液体と半固形の2種類の形状で、それぞれ加温状態・冷却状態が好まれる食品を2種類ずつ用意した。市販の製品から、温製スープ（味の素社製、コーンクリーム）、冷製スープ（味の素社製、コーンポタージュ）、具のない茶碗蒸し（ピルボックスジャパン社製）、ゼリー（和歌山産業社製）を選定した。なお、固形の食品はスプーンから口腔内に完全に移動させて咀嚼をしないと考えられるため、スプーンの温度によって食体験や味覚に影響を与えにくいと考え、今回は除外した。

スプーンの提示温度は加温・冷却・常温の3状態を設定した。食品の提示温度は、温かい状態が好まれる食品は、加温・常温、冷たい状態が好まれる食品は、常温・冷却の2状態を設定した。それぞれの温度を表1に示す。加温食品は60～65℃、冷却食品は5～10℃が好まれる [29]。そのため、加温食品は60℃、冷却食品は10℃に設定した。スプーンの温度は、実験参加者がスプーンを手にとってから口に運ぶまでの時間を考慮し、食品よりも加温、あるいは冷却した状態で実験参加者に手渡した。図2に室温24℃の部屋でのスプーンAの加温時と冷却時の温度変化を示す。実験参加者にスプーンを渡してから試食するまでに要する時間は15秒程度であるため、下唇に触れた時点で加温時に60～65℃、冷却時に4～6℃を提示する

表1 提示温度

状態	スプーンの温度 [℃]	食品の温度 [℃]
加温	60～65	60
冷却	5～7	10
常温	24	24

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

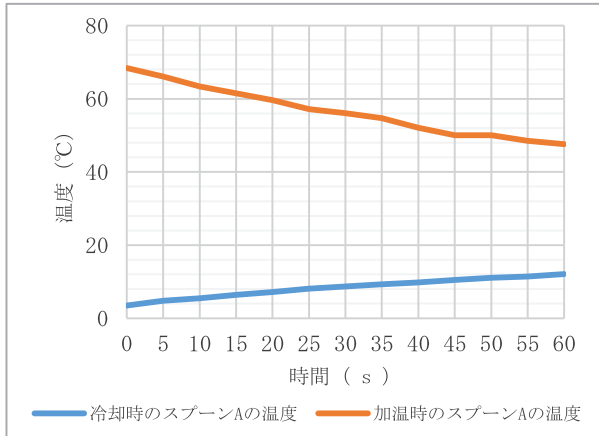


図2 スプーンAの加温時と冷却時の温度変化

ためには、冷却スプーンは4℃、加温スプーンは68℃で実験参加者に手渡せば良いと判断した。なお、食品とスプーンの温度は、赤外線放射温度計を用いて測定した。スプーンはそれぞれお湯と冷水で温度を変化させた。以上の条件で、スプーンと食品の温度のすべての組み合わせを提示した。1日の試行数を減らし、実験参加者の負担を減らすため、実験は2日に分けて実施した。

評価はマグニチュード推定法で行った。常温スプーン&常温の食品を基準刺激として提示し、その後の試食(比較刺激)の「下唇の温度」「食品の温度」「口中香」「後味」「味の濃さ」「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」という“食体験”に関する強さ及び「甘味」「塩味」「酸味」「苦味」「うま味」という“味覚”に関する強さを、基準を1として対比で回答してもらった。

「下唇の温度」は、スプーンによる温度提示が知覚できているか確認するために、「食品の温度」は、口腔内への温度提示によって食品の温度の感じ方に変化がみられるかを評価するために設けた。また、客観的な食体験の評価をしてもらうために、「口中香」「後味」「味の濃さ」「のど越し」の4項目を、実験参加者の個人的な好みを評価してもらうために「おいしさ」「心地よさ」の2項目を設けた。これら食体験に関する6項目と味覚に関する基本五味について評価項目を設定した。

2.4 実験手順

実験参加者は、青山学院大学の大学生及び大学院生の男女計20名(男性10名、女性10名)であり、実験前に本実験の説明をし、同意書に署名してもらった。実験参加者にはあらかじめ食品を試食し評価する実験であること、実験はいつでも中止できることを伝えた。その際、提示する食品が嫌いでないこと、アレルギーがないことを確認した。

空腹感が食体験の評価に影響を与えることを避けるため、実験参加者に当日は空腹でない状態で来るように指示した。確認のため、実験を始める前に、100 mmの数直線上に現在の空腹具合を評価するVisual Analogue Scale法を用いて、空腹具合を主観的に評価してもらった。数直線は空腹を0、満腹を100とした。評価値が30以下の場合、別日もしくは食事後に実験を実施した。

最初に、常温スプーン&常温の食品を基準として提示する。その後、比較刺激を基準と比較して口頭で評価してもらった。これを1セットとし、1つの食品に対して5セット実施した。5セットは、常温スプーン&常温の食品を除いたスプーンの加温・冷却・常温の3状態と、食品の好ましい温度・常温の2状態のすべての組み合わせを提示した。順序効果を考慮し、スプーンと食品の温度の組み合わせはランダムに提示した。実験参加者には、スプーンと食品の温度の組み合わせは伝えずに試食してもらった。なお、試食は何度でもできること、スプーンが下唇に触れるように試食すること、スプーンを渡したらできるだけ早めに口に運ぶことを伝えた。なお、本実験は青山学院大学の倫理審査委員会の承認(承認番号:H22-008)を受けて実施した。

3. 結果

スプーンと食品の温度の違いにより、食体験や味覚が変化するかを検証した。マグニチュード推定法で得られたデータは個人間で尺度のスケールが異なるため、対数変換した後に、実験参加者ごとの値を平均が0、標準偏差が1となるように標準化した。標準化は、実験参加者のすべてのデータの平均値と標準偏差を求め、各評価値から平均値を減算し、さらに標準偏差で除算した。対数変換後に標準化した評価データに対しShapiro-Wilk検定を実施したところ、すべての評価値で正規分布ではなかったため、ノンパラメトリック検定であるFriedman検定を実施した。そして、Bonferroni法で多重比較を行い、基準(常温スプーン&常温の食品)との有意差を調査した。加えて、スプーンの温度による食体験と味覚の変化を調査するため、Mann-Whitney U検定を実施した。各食品の標準化した評価データの中央値と基準の中央値との差を図3から図6に示す。

3.1 加温状態が好まれる液体食品(温製スープ)の結果

加温スプーン&加温スープは、基準よりも有意に「のど越し」が良くなり($p<0.05$)、「後味」と「心地よさ」が増し($p<0.05$)、「おいしさ」が増した($p<0.01$)。また、有意な差はなかったが、半数以上が「口中香」「味の濃さ」「うま味」が増したと回答した。

常温スプーン&加温スープは、基準よりも有意に「おいしさ」が増した($p<0.05$)。また、有意な差はなかったが、半数以上が「口中香」「後味」「味の濃さ」「心地よさ」が増したと回答した。

冷却スプーン&加温スープは、有意な差はなかったが、半数以上が「味の濃さ」が増し、「おいしさ」と「心地よさ」が減ったと回答した。

加温スプーン&常温スープでは食体験と味覚に影響はなかった。しかし、スープの温度が変化したと回答した10名のうち、半数の人が温かくなったと回答した。自由回答では、口腔内が温められたことにより、スープも温かくなったと回答した人がいる一方で、スプーンが温かいことによって相対的にスープが冷たく感じたとの回答もあった。

冷却スプーン&常温スープは、基準よりも有意にスープが冷たく感じられた($p<0.01$)。また、有意な差はなかったが、半数以上が「おいしさ」と「心地よさ」が減ったと回答した。

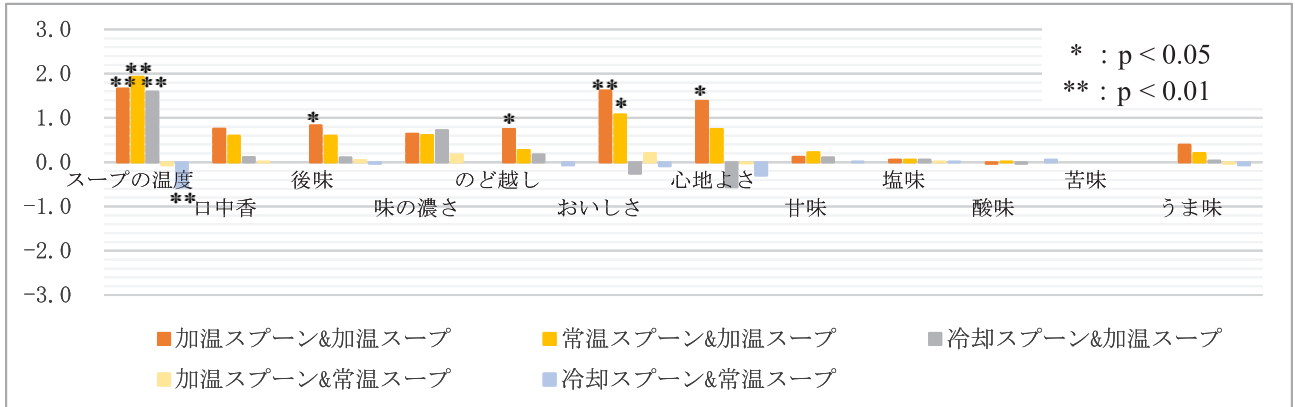


図3 温製スープの食体験と味覚の評価

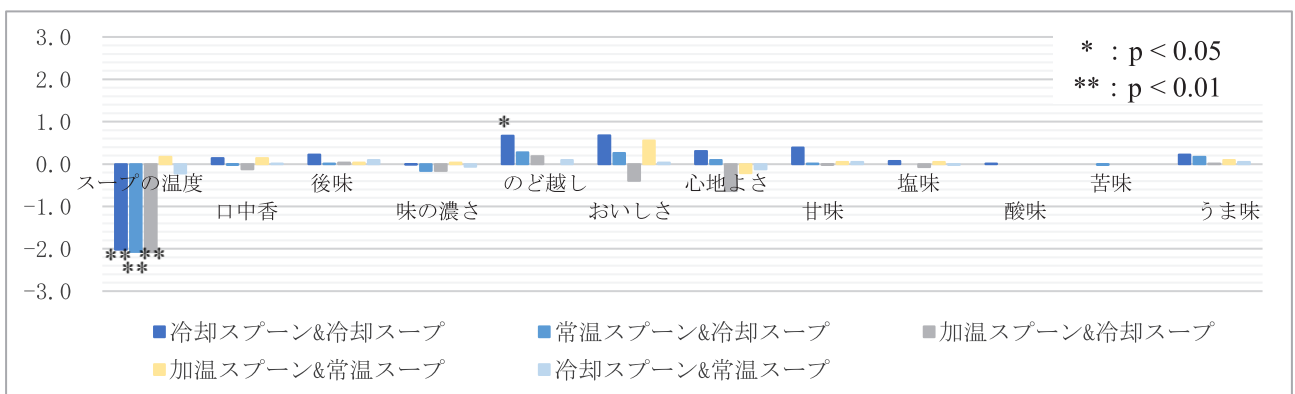


図4 冷製スープの食体験と味覚の評価

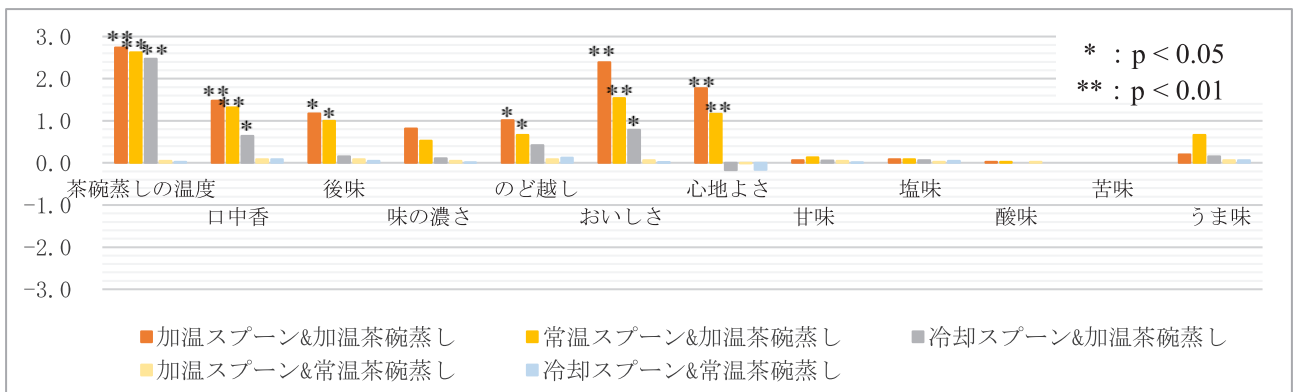


図5 茶碗蒸しの食体験と味覚の評価

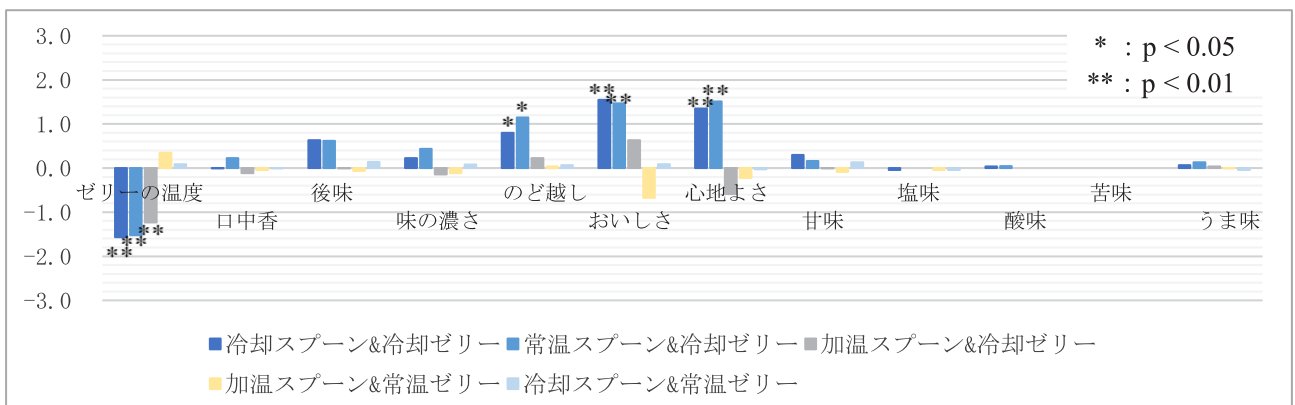


図6 ゼリーの食体験と味覚の評価

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

スープを試食する際に、下唇にスプーンを当てたまま食品を流し込むようにして試食する人が多かった。

自由回答では、「新鮮な体験だった」「冷却スプーン&加温スープは、寒い日に外で飲むスープのようだった」「加温スープがぬるかった/熱かった」「スープとスプーンに温度差があって驚いた」「不思議な感覚で楽しかった」などが報告された。

これらの結果から、スープを加温すると、「口中香」「後味」「味の濃さ」「おいしさ」「心地よさ」が増し、スプーンを加温すると、さらに「おいしさ」「心地よさ」「うま味」を感じ、「のど越し」が良くなることがわかった。しかし、スープを加温してもスプーンが冷たいと、「おいしさ」「心地よさ」が減ることが明らかになった。

Mann-Whitney U検定でも、冷却スプーンと常温スプーン、加温スプーンと冷却スプーンで「おいしさ」「心地よさ」において有意な差があった($p<0.01$)。この結果からも、スプーンを冷却すると、「おいしさ」と「心地よさ」が減少することが明らかになった。

3.2 冷却状態が好まれる液体食品(冷製スープ)の結果

冷却スプーン&冷却スープは、基準よりも有意に「のど越し」が良くなった($p<0.05$)。また、有意な差はなかったが、半数以上が「おいしさ」「心地よさ」「甘味」が増したと回答した。

加温スプーン&冷却スープは、有意な差はなかったが、半数以上が、「おいしさ」「心地よさ」が減ったと回答した。

加温スプーン&常温スープは、有意な差はなかったが、半数以上が、「おいしさ」が増したと回答した。

常温スプーン&冷却スープ、冷却スプーン&常温スープは、食体験と味覚に基準と比較して、食体験や味覚に有意な差はなかった。

スープを試食する際に、下唇にスプーンを当てたまま食品を流し込むようにして試食する人が多かった。

自由回答では、「冷却スープも常温スープもどちらもおいしかった」「冷却スープが不快だった」「加温スプーンの温度と食品の温度が異なるとびっくりした」「加温スプーン&冷却スープは、加温スープが来ると思っていたから、不思議な体験だった」などが報告された。

Mann-Whitney U検定では、冷却スプーンと常温スプーンで、「のど越し」が良くなり($p=0.0501$)、「甘味」が増す傾向があった($p=0.0518$)。また、冷却スプーンと加温スプーンで、「心地よさ」に有意な差があった($p<0.05$)。この結果より、スプーンを冷却すると、常温のスプーンと比較して、「のど越し」が良くなり、「甘味」が増すことが明らかになった。

3.3 加温状態が好まれる半固形食品(茶碗蒸し)の結果

加温スプーン&加温茶碗蒸しは、基準よりも有意に「後味」「のど越し」が良くなり($p<0.05$)、「口中香」「おいしさ」「心地よさ」が増した($p<0.01$)。また、有意な差はなかったが、半数以上が「味の濃さ」が増したと回答した。

常温スプーン&加温茶碗蒸しは、基準よりも有意に「後味」を強く感じ、「のど越し」が良くなり($p<0.05$)、「おいしさ」「心地よさ」が増した($p<0.01$)。また、有意な差はなかったが、半数以上が「味の濃さ」「うま味」が増したと回答した。

冷却スプーン&加温茶碗蒸しは、基準よりも有意に「口中香」「おいしさ」が増した($p<0.05$)。また、有意な差はなかったが、「のど越し」が良くなったと回答した。

加温スプーン&常温茶碗蒸し、冷却スプーン&常温茶碗蒸しは、食体験と味覚に影響はなかった。

自由回答では、「冷却スプーン&加温茶碗蒸しは、不思議な組み合わせだった」「冷却スプーン&加温茶碗蒸しは、温度差があって驚いた」「スプーンが冷たいと不快だけど、体験としては面白かった」「スプーンと茶碗蒸しの温度が一緒のときは、下唇と食べ物の温度が強く感じる」などが報告された。

これらの結果から、茶碗蒸しを加温すると、「口中香」「後味」「味の濃さ」「おいしさ」「心地よさ」が増し、「のど越し」が良くなることがわかった。しかし、茶碗蒸しを加温してもスプーンが冷たいと、「後味」「味の濃さ」「心地よさ」が減ることが明らかになった。

Mann-Whitney U検定では、冷却スプーンと常温スプーンで、「心地よさ」に有意な差があった($p<0.01$)。また、冷却スプーンと加温スプーンで、「後味」($p<0.05$)「おいしさ」($p<0.05$)「心地よさ」($p<0.01$)に有意な差があった。これらの結果から、スプーンを冷却すると、「心地よさ」が減少することがわかった。

3.4 冷却状態が好まれる半固形食品(ゼリー)の結果

冷却スプーン&冷却ゼリーは、基準よりも有意に「のど越し」が良くなり($p<0.05$)、「おいしさ」と「心地よさ」が増した($p<0.01$)。また、有意な差はなかったが、半数以上が「後味」「甘味」が増したと回答した。

常温スプーン&冷却ゼリーは、基準よりも有意に「のど越し」が良くなり($p<0.05$)、「おいしさ」「心地よさ」が増した($p<0.01$)。また、有意な差はなかったが、半数以上が「口中香」「後味」「味の濃さ」が増したと回答した。

加温スプーン&冷却ゼリーは、有意な差はなかったが、半数以上が「おいしさ」が増し、「心地よさ」が減ったと回答した。

加温スプーン&常温ゼリーは、有意な差はなかったが、半数以上が「おいしさ」「心地よさ」が減ったと回答した。また、同じく半数以上がゼリーの温度が温かくなると回答した。

冷却スプーン&常温ゼリーでは食体験と味覚に影響はなかった。

自由回答では、「加温スプーン&冷却ゼリーは、温度差が不快だった」「加温スプーンでは、ゼリーが溶けたなめらかな食感になった」「加温スプーンでゼリーを食べるのは気持ち悪かった」「今まで食べたことのない方法で楽しかった」などが報告された。

これらの結果から、ゼリーを冷却し、常温のスプーンか冷却スプーンで試食すると、「のど越し」が良くなり、「後味」「おいしさ」「心地よさ」が増し、常温スプーン&冷却ゼリーのときは、「口中香」「味の濃さ」が増すことがわかった。そして、冷却スプーン&冷却ゼリーでは「甘味」が増し、より「後味」が強くなる。加温スプーン&冷却ゼリーでは、常温スプーン&常温ゼリーで食べたときと変化はなかった。

Mann-Whitney U検定では、加温スプーンと常温スプーンで「口中香」($p<0.05$)、「後味」($p<0.05$)、「味の濃さ」($p<0.05$)、

「おいしさ」($p<0.01$)、「心地よさ」($p<0.01$)で有意な差があった。冷却スプーンと加温スプーンでは、「味の濃さ」($p<0.05$)、「後味」($p<0.01$)、「おいしさ」($p<0.01$)、「心地よさ」($p<0.01$)、「甘味」($p<0.01$)に有意な差があった。これらの結果から、スプーンを加温すると、「味の濃さ」「後味」「おいしさ」「心地よさ」が減少することが明らかになった。

4. 考察

4.1 全食品で共通して見られた特徴

今回の実験の結果、食品の温度に関わらず、スプーンの温度によって食体験や味覚に有意な差があった。この結果より、スプーンの温度変化によって、食体験や味覚に影響を与えることが可能であると示された。

加温スプーン&加温食品のように、食品ごとに好まれる温度と同じ温度のスプーンで試食すると、「のど越し」がよくなり、「おいしさ」「心地よさ」が増すことがわかった。これは、スプーンの温度と同程度の食品が口腔内に運ばれてくるため、喉を通していく感覚が良くなると考えられる。

一方で、4種類すべての食品で、スプーンと食品の温度差がある場合、食品の温度に関わらず、「のど越し」や「後味」といった食体験の変化がなく、「心地よさ」が減少した。この理由として、スプーンと食品の温度差により、実験参加者は驚きと不快感を体験し、食体験の評価が曖昧になってしまった可能性があると考えられる。「心地よさ」が減少した理由としては、最初に口腔内でスプーンの温度を感じ、スプーンの温度と同程度の食品が口腔内に運ばれると期待するため、期待と異なる温度の食品では、不快に感じるからだと考えられる。他にも、自由回答では「スプーンが温かい/冷たい場合、温かい/冷たい食品が口に運ばれると思った」などの意見があった。これらの考察や結果から、人は下唇や舌先で最初に触れるスプーンの温度から食品の温度を推測していると予想できる。

4.2 加温状態が好まれる液体食品(温製スープ)

スプーンの温度によって「口中香」「後味」「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」といった食体験が変化することがわかった。スプーンが下唇に触れる時間については指示をしていなかったが、下唇にスプーンを当てたままスープを流し込むようにして試食したことにより、口腔内にスプーンが長くとどまった。その結果、スプーンの温度が食体験に強い影響を与えたと考えられる。

加温スプーン&常温スープでは、スープの温度が変化したと感じた人のうち、半数が温かい、半数が冷たいと回答した。温かくなったと回答した人は、スプーンの温かさから、常温のスープでも温かく感じたのだと考えられる。一方、冷たいと回答した人は、最初に口腔内に触れたスプーンの温かさと比較してスープの温度が低いために、常温のスープでも冷たく感じてしまったのだと考えられる。本実験では、加温スプーンを60~65℃、常温スープを24℃に設定しており、温度差が大きいといえる。このことより、スプーンの温度を下げ、

スプーンとスープの温度差を少なくすることで、スープを温かいと感じる人を、より増やすことができると考えられる。これは、スプーンの温度を制御することで、実際にはスープの温度が常温であっても、温覚の提示が可能なことを示している。

4.3 冷却状態が好まれる液体食品(冷製スープ)

スプーンを冷却することで、「のど越し」が良くなり、「甘味」が増すことが分かった。しかし、温製スープに比べ、冷製スープでは食体験と味覚への影響が少なかった。冷製スープの実験においての自由回答では、スープは温かいほうがおいしく、冷たいスープはおいしくなかったとの回答があった。また、複数の実験参加者から「冷製スープは好きではない」との意見があった。そのため、冷製スープを好まない実験参加者が複数名いたために、スプーンの温度を変化させても、食体験の変化が小さかったのだと考えられる。

4.4 半固形食品(茶碗蒸しとゼリー)

茶碗蒸しは、スプーンと食品の温度差がなければ、スプーンの温度に関わらず、食品の温度によって、「口中香」「後味」「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」といった食体験が変化することがわかった。スプーンの温度に関わらず、加温茶碗蒸しで「口中香」を強く感じられた理由としては、食品を加温すると多くの匂い分子が空气中に放出されるため、香りが増したのだと考えられる。スプーンと食品の温度差がある場合、「後味」「のど越し」「心地よさ」の変化が少ない傾向にあった。

ゼリーでは、食品の温度によって「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」が変化したほか、冷却スプーンで冷却ゼリーを試食すると、後味を強く感じた。その他では、スプーンの温度による違いはなかった。

スプーンと食品の温度差がない場合、茶碗蒸しとゼリーにおいて、スプーンの温度による変化が少なかった理由としては、半固形の食品は咀嚼を伴うが、香りやおいしさを感じる咀嚼時には、口腔内からスプーンが完全に離れており、口腔内では食品の温度のみを感じていたためであると考えられる。一方、スープのような液体の食品は咀嚼を伴わないため、スプーンの温度による食体験に影響があったと考えられる。

4.5 味覚

冷製スープの条件では、スプーンの温度によって「甘味」の感じ方が変化する傾向にあり、ゼリーの条件では、「甘味」の感じ方が変化することが分かった。しかし、甘味以外を変化させることや、他の食品で味覚を変化させることはできなかった。この理由として、味覚を伝達する味蕾の大部分が舌にあり、下唇にはあまり存在しないことや、食品を試食するときにスプーンが舌に触れる時間が短いことが考えられる。先行研究である“Thermal Taste Machine”[25]では、舌を150秒間加温することにより味覚を変化させている。しかし、スプーンが舌に当たる時間は数秒なので、短時間の温度提示による味覚の変化は起こりにくいと考えられる。

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

5. 結論

本研究では、口腔内への温度提示と食品の温度の違いによる食体験の向上や味覚の変化を調査することを目的とし、実験を実施した。

実験では、スプーンは加温・冷却・常温の3状態を提示した。食品は、温製スープ、冷製スープ、茶碗蒸し、ゼリーを使用し、温製スープと茶碗蒸しは加温・常温、ゼリーと冷製スープは冷却・常温の状態を提示した。実験の結果から、加温スプーン&加温食品のように、食品ごとに好まれる温度と同じ温度のスプーンで試食すると、「のど越し」が良くなり、「おいしさ」「心地よさ」が増すことがわかった。このように、口腔内への温度提示によって食体験が変化することが分かった。また、常温の食品であっても、口腔内への温度提示によって、知覚する食品の温度が変化することがわかった。半固形の食品は、口腔内への温度提示の影響は少なく、食品の温度によって「口中香」「後味」「のど越し」「おいしさ」「心地よさ」といった食体験が変化することがわかった。一方で、味覚の変化については、冷製スープとゼリーでは、スプーンの温度によって「甘味」の感じ方が変化する傾向があったが、他の味覚については、4種類の食品において、口腔内への温度と食品の温度による変化はなかった。液体の食品と半固形の食品で試食の方法が異なる実験参加者がいたことから、食品の形状でスプーンが下唇に触れている時間が異なると考えられる。このことから、カトラリーや食器を用いて口腔内への温度提示する場合は、口腔内に留まる時間が長い方が、食体験や味覚に影響を及ぼす可能性がある。以上より、口腔内への温度提示と食品の温度の違いによって、食体験や味覚が変化することが明らかになった。

今後は、食品の形状による、カトラリーを口腔内に留める時間の長さの違いや、それによる影響の調査を行う。他にも、食品の種類を増やし、口腔内への温度提示と食品の温度による食体験と味覚の関係を明らかにする予定である。また、一定の温度ではなく、口腔内への温度提示を動的に変化させて、食体験と味覚への影響を調査する。

将来的には、温度を正確に制御可能なスプーンなど、温度提示カトラリーの実装を目指す。これを使用することで、食品をのど越しよく、おいしく、心地よく摂取することができ、苦手な食品でもおいしく食べることができると考えられる。また、常温の食品を好ましい温度に感じさせることで、災害時など、調理手段の限られる状況下での活躍も期待できる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP22K18424 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Macht, M., Meiningner, J., and Roth, J.: The pleasures of eating: A qualitative analysis, *Journal of Happiness Studies*, 6, pp.137-160, 2005.
- [2] United States, Department of Agriculture, and Department of Health and Human Services: Nutrition and your health: Dietary guidelines for Americans, Home and garden bulletin, U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services, 2000.
- [3] 文部科学省, 厚生労働省, 農林水産省: 食生活指針の解説要領, 1. 食生活指針改定の趣旨, <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000132167.pdf> (2022.07.29 閲覧).
- [4] Maynes-Aminzade, D.: Edible bits: Seamless interfaces between people, data and food, *Proceedings of the 2005 ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'2005)*, pp.2207-2210, 2005.
- [5] Miyashita, H.: TTTV (taste the TV): Taste presentation display for "licking the screen" using a rolling transparent sheet and a mixture of liquid sprays, *The Adjunct Publication of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '21*, pp.37-40, 2021.
- [6] Nagata, M., Suzuki, W., Iizuka, S., Tabuchi, M., Maruyama, H., Takeda, S., Aburada, M., and Miyamoto, K.: Type 2 diabetes mellitus in obese mouse model induced by monosodium glutamate, *Experimental Animals*, 55(2), pp.109-115, 2006.
- [7] Aoyama, K., Sakurai, K., Sakurai, S., Mizukami, M., Maeda, T., and Ando, H.: Galvanic tongue stimulation inhibits five basic tastes induced by aqueous electrolyte solutions, *Frontiers in Psychology*, 8, 2017.
- [8] Ranasinghe, N., Tolley, D., Tram, N., Liangkun, Y., Chew, B., and Do, E.: Augmented flavours: Modulation of flavour experiences through electric taste augmentation, *Food Research International*, 117, pp.60-68, 2018.
- [9] Nakamura, H., and Miyashita, H.: Controlling saltiness without salt: Evaluation of taste change by applying and releasing cathodal current, *Proceedings of the 5th International Workshop on Multimedia for Cooking & Eating Activities, CEA '13*, pp.9-14, 2013.
- [10] Ranasinghe, N., Lee, K.-Y., Suthokumar, G., and Do, E.: Virtual ingredients for food and beverages to create immersive taste experiences, *Multimedia Tools and Applications*, 75, pp.12291-12309, 2016.
- [11] Nakamura, H., and Miyashita, H.: Communication by change in taste, *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '11*, pp.1999-2004, 2011.
- [12] Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T., and Hirose, M.: Augmented reality flavors: Gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11*, pp.93-102, 2011.
- [13] Narumi, T., Ban, Y., Kajinami, T., Tanikawa, T. and

- Hirose, M.: Augmented perception of satiety: Controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12, pp.109-118, 2012.
- [14] Nakano, K., Horita, D., Sakata, N., Kiyokawa, K., Yanai, K., and Narumi, T.: Enchanting your noodles: GAN-based real-time food-to-food translation and its impact on vision-induced gustatory manipulation, 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp.1096-1097, 2019.
- [15] Narumi, T., Sato, M., Tanikawa, T., and Hirose, M.: Evaluating cross-sensory perception of superimposing virtual color onto real drink: Toward realization of pseudo-gustatory displays, Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference, AH '10, 18, 2010.
- [16] Wang, Y., Li, Z., Jarvis, R. S., Russo, A., Khot, R. A., and Mueller, F. F.: Towards understanding the design of playful gustosonic experiences with ice cream, Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, CHI PLAY '19, pp.239-251, 2019.
- [17] Koizumi, N., Tanaka, H., Uema, Y., and Inami, M.: Chewing jockey: Augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect, Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '11, 21, 2011.
- [18] Stokes, C. N., O'Sullivan, M. G., and Kerry, J. P.: Assessment of black coffee temperature profiles consumed from paper-based cups and effect on affective and descriptive product sensory attributes, International Journal of Food Science & Technology, 51(9), pp.2041-2048, 2016.
- [19] Kim, J.-W., Samant, S., Seo, Y., and Seo, H.-S.: Variation in saltiness perception of soup with respect to soup serving temperature and consumer dietary habits, Appetite, 84, pp.73-78, 2014.
- [20] Ross, C., and Weller, K.: Effect of serving temperature on the sensory attributes of red and white wines, Journal of Sensory Studies, 23(3), pp.398-416, 2008.
- [21] Kähkönen, P., Tuorila, H., and Hyvönen, L.: Dairy fat content and serving temperature as determinants of sensory and hedonic characteristics in cheese soup, Food Quality and Preference, 6(2), pp.127-133, 1995.
- [22] Drake, M., Yates, M., and Gerard, P.: Impact of serving temperature on trained panel perception of cheddar cheese flavor attributes, Journal of Sensory Studies, 20(2), pp.147-155, 2005.
- [23] Yau, N., and Huang, J.: Sensory analysis of cooked rice, Food Quality and Preference, 7(3-4), pp.263-270, 1996.
- [24] Suzuki, C., Narumi, T., Tanikawa, T., and Hirose, M.: Affecting tumbler: Affecting our flavor perception with thermal feedback, Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '14, 19, 2014.
- [25] Karunanayaka, K., Johari, N., Hariri, S., Camelia, H., Bielawski, K., and Cheok, A.: New thermal taste actuation technology for future multisensory virtual reality and internet, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 24(4), pp.1496-1505, 2018.
- [26] Cruz, A., and Green, B.: Thermal stimulation of taste, Nature, 403, pp.889-892, 2000.
- [27] Lipscomb, K., Rieck, J., and Dawson, P.: Effect of temperature on the intensity of basic tastes: Sweet, salty and sour, Journal of Food Research, 5(4), 1, 2016.
- [28] Yoko, O., and Keiko, Y.: Effect of temperature on human sensitivity to sweetness, 日本調理科学会誌, 47(2), pp.97-102, 2014.
- [29] 鈴野弘子: 調理学からみたおいしさの評価, 美味技術研究会誌, 2008(12), pp.26-32, 2008.



上堀 まい (非会員)

2022年 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科卒業。同年より同大学院博士前期課程。ヒューマンインタフェースの研究に従事。



伊藤 弘大 (正会員)

2015年 芝浦工業大学大学院理工学研究科電気電子情報工学専攻修士課程修了。エヌ・ティ・ティ・ソフトウェア勤務を経て、2018年同大学院理工学研究科機能制御システム専攻博士(後期)修了。2018年4月から2022年3月まで産業技術総合研究所人工知能研究センターにて産総研特別研究員として従事し、2022年4月から青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科助教に着任。放送大学東京文京学習センター非常勤講師を兼務。博士(工学)。



藤田 和之 (非会員)

2010年 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。2013年同研究科情報システム工学専攻博士後期課程修了。同年(株)イトーキ。2018年より東北大学電気通信研究所助教。2023年より同大学プロミネントリサーチフェロー。博士(情報科学)。



伊藤 雄一 (非会員)

2000年 大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年同大学院博士後期課程入学。2002年同大学院情報科学研究科助手。2008年より大阪大学クリエイティブユニット准教授。2021年より青山学院大学理工学部教授。博士(情報科学)。ACM, IEEE, 電子情報通信学会, 日本バーチャルリアリティ学会, ヒューマンインタフェース学会各会員。