

1. 緒言

1.1 背景と目的

世界的に肥満が増加しているが^{1,2)}、日本においても、成人男性の約3割、成人女性の約2割が肥満である³⁾。肥満は、2型糖尿病、脂質異常症、高血圧などの疾患のリスクを高めるため^{2,4)}、その予防が重要であり、日常的なエネルギー収支のバランスを適正な範囲に保持することが望ましい⁵⁾。しかし、私たちが美味しいと感じる、嗜好性が高い食物は概して高エネルギーであるため、食物へのアクセシビリティが良好な社会環境で食欲の赴くまま食事をしていると過栄養につながりやすい⁶⁾。そのため、摂取エネルギーを適正な範囲に保ちながらも、おいしさや満足感を損なわない食べ方を探求し、社会に提案していくための研究が求められている。

過栄養の一方で、低栄養の問題も生じている。高齢者では、消化管運動の低下に伴う食欲不振⁷⁾などの高齢者特有の要因によって低栄養に陥りやすいことが知られており⁸⁾、日本では65歳以上高齢者の2割弱が低栄養状態にあることが報告されている³⁾。高齢者の低栄養は、入院日数の長期化⁹⁾、身体機能¹⁰⁾、認知機能¹¹⁾の低下等と関連しており、身体的、精神的、社会的フレイリティから要介護状態へと結びつきやすいために、その予防が喫緊の課題となっている。低栄養の問題は若年女性においてもみられ、20歳代女性の約2割が低BMI（やせ）である³⁾。中には、誤ったダイエットによって食欲が失われ摂食障害に陥る女性もいる¹²⁾。そのため、食欲不振になりがちな高齢者や、低栄養状態のやせの女性において、食事の美味しさや満足感を感じながら、無理なく必要なエネルギーを確保できる食べ方を検討し提案していくことが重要であると考えられる。

以上に述べた背景より、ヒトの食欲を高めたり低下させたりするのはどのような感覚や認知と結びついているのか、満腹感・満足感を得たり食後の体温を上昇させたりするのは、どのような感覚が刺激された時なのか、といったことを明らかにし、食事の美味しさや満足感を損なわない食べ方を提案するための知見を得ることを最終目的として、食にまつわる感覚とその後の生

理的・心理的な反応に着目した研究を行うこととした。一般的に、摂食者は、視覚、味覚、触覚、嗅覚および聴覚の五感から得た複数の情報を統合して食物を認知しており、どのように認知が行われるかが摂食者の食欲や食後反応に大きな影響を及ぼす。そこで、この五感のうち、栄養生理学実験室での検証が可能であった、視覚、味覚および触覚（口中感覚）の3つの感覚に関する研究を行った。

まず視覚に関しては、一般的に、赤色や黄色などの暖色系食品の嗜好性が高く、青色の寒色系食品の嗜好性が低いことが知られている¹³⁻¹⁷⁾。そして近年では、カラフルに装飾されたイースター・エッグが用いられたり¹⁸⁾、飲食店やテーマパーク等^{19,20)}で提供される非常にカラフルな色の料理や飲み物が人気を博したりという現象がみられ、暖色でない食品に対しても食べてみたいと思う人が多いことを示している。つまり色の好みは、食物においても多様化していると考えられる。そこで、食物の色が、摂食者の食べる意欲や食欲感覚、関連する生理指標（体温）などをどのように変化させるかを明らかにしたいと考えた。

次に味覚に関しては、新規人工甘味料が砂糖の代替品として普及し、エネルギー摂取量の抑制や減量などの効果が期待される一方で、人工甘味料の摂取が食欲や衝動的な摂食を増加させる可能性も報告されている²¹⁾。そこで、エネルギーを有さない人工甘味料（スクラロース）の摂取が食欲感覚や胃運動に及ぼす影響を明らかにするために、天然甘味料（スクロース）の摂取との比較研究を行った。

さらに触覚に関しては、口腔内にピリピリ・シュワシュワとした触感を与える炭酸水を摂取すると、水を摂取するよりも胃運動が強まり、満腹感を感じやすいことが報告されている²²⁾。この反応は、口腔刺激と胃膨張の両者によりもたらされるが、口腔刺激単独での効果は不明であった。そこで、炭酸水摂取後の食欲感覚と胃運動の変化が、炭酸水の口腔刺激（触覚）のみでも起こるのかどうかを明らかにするために、水を対照とした偽飲（sham-feeding）試験を行った。

以上の研究で得られた知見をもとに、食物に対する摂食者の認知のあり方

に着目した食事のあり方を提案することは、肥満・過体重者や高齢者における過栄養、低栄養を予防するための食事やそれらの予防のための栄養教育へ応用することが可能であると考えられる。

そこで本研究では、視覚や味覚、触覚を通して得られた食物に対する認知が、摂食者の食欲や食後反応をどのように修飾するのかを探求することを目的として、視覚や味覚、触覚からの情報が異なるように設計した試験サンプルを用いて、摂食者の食欲感覚に及ぼす影響を、生理的応答（胃運動や心拍の応答、体温等）とともに検討した。本博士論文は、視覚による認知の検討を研究 1、味覚による認知の検討を研究 2、口腔内の触覚による認知の検討を研究 3 として構成した。

1.2 本論文の構成

まず、本研究の位置づけや新規性を明らかにするために、**Review of Literatures** において、本研究と関連の深い先行研究のレビューを行った。

次に、研究 1 では、視覚を介した食品への認知のうち色に着目した「視覚による食物の認知と食欲感覚、体温に関する研究－食品の色は、若年女性の温スープへの受容性と摂取後の満足感、末梢体温を変化させる－」と題した研究により、暖色、寒色、白色のスープとその印象が、摂取後の食欲感覚や深部・末梢体温に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

次に、研究 2 では、味覚からの認知、とくに甘味からの認知に着目した「味覚による食物の認知と食欲感覚、胃運動に関する研究－エネルギーを有さない人工甘味溶液摂取後の食欲感覚と胃運動；等甘味度天然甘味料溶液との比較－」と題した研究により、エネルギーを有さない人工甘味料のスクラロースが食欲感覚や胃運動に及ぼす影響について、スクラロースとの比較により検討した結果を報告する。

さらに研究 3 では、口腔内の触覚からの認知として、炭酸水による口腔刺激に着目した「触覚（口中感覚）による食物の認知と食欲感覚、胃運動に関する研究－炭酸水の口腔刺激がヒトの食欲感覚と胃運動に及ぼす影響－」と題した研究により、炭酸水が食欲感覚や胃運動に及ぼす影響について、飲用

と偽飲（sham-feeding）試行を用いて検討した結果を報告する。

最後に，総合考察では，研究1から研究3で得られた結果から，視覚，味覚および口腔内の触覚を介した食物への認知が，摂食者の食欲や食後反応をどのように修飾するのかについて考察するとともに，研究の社会的意義や今後の展開について述べる。

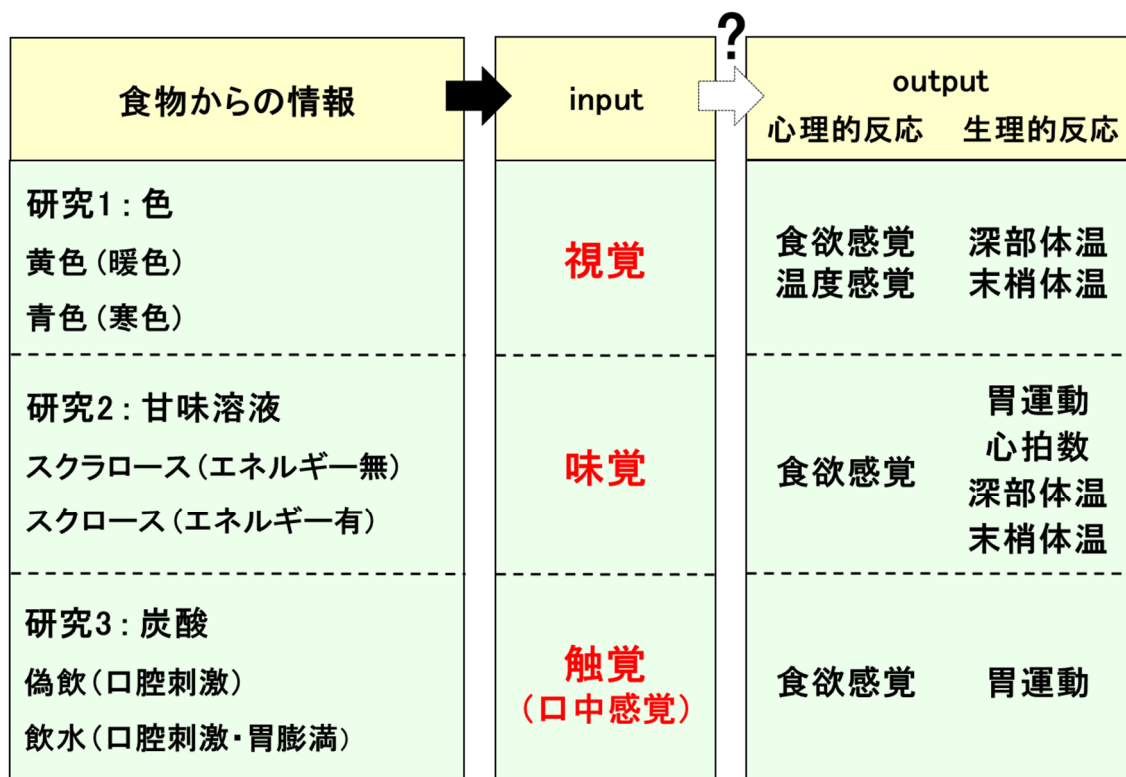


図 1-1 本論文の構成

1.3 引用文献

- 1) Ng M, Fleming T, Robinson M, Thomson B, Graetz N, Margono C, Mullany EC, Biryukov S, Abbafati C, Abera SF et al.: Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* 384: 766-781, 2014
- 2) 浅原哲子, 小川佳宏: メタボリックシンドローム, 総合臨床 60: 2039-2046, 2011
- 3) 厚生労働省: 平成 27 年国民健康・栄養調査報告 結果の概要, pp. 17-43, Available at :
<http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkoukyoku-Gantaisakukenkouzoushinka/kekkagaiyou.pdf> Accessed at January 25, 2017
- 4) 船橋徹: I 肥満と肥満症の正しい理解, 肥満・肥満症の指導マニュアル第 2 版, 日本肥満学会編集委員会, 医歯薬出版, 東京, pp. 1-28, 2001
- 5) 白石武昌, 河田照雄: 4 なぜ肥満になるのか, II 肥満の原因と予防, 肥満・肥満症の指導マニュアル第 2 版, 日本肥満学会編集委員会, 医歯薬出版, 東京, pp. 29-45, 2001
- 6) 山之内国男: 5 肥満の予防とヘルスケア, II 肥満の原因と予防, 肥満・肥満症の指導マニュアル第 2 版, 日本肥満学会編集委員会, 医歯薬出版, 東京, pp. 46-54, 2001
- 7) Clarkston WK, Pantano MM, Morley JE, Horowitz M, Littlefield LM, Borton FR: Evidence for the anorexia of aging: gastrointestinal transit and hunger in healthy elderly vs. young adults. *Am J Physiol* 272: R243-R248, 1997
- 8) 葛谷雅文, 深柄和彦: Topic 36 高齢者の栄養, 静脈経腸栄養 26: 935-954, 2011
- 9) Antonelli Incalzi R, Landi F, Cipriani L, Bruno E, Pagano F, Gemma A, Capparella O, Carbonin PU: Nutritional assessment: a primary component of multidimensional geriatric assessment in the acute care setting. *J Am Geriatr Soc* 44: 166-174, 1996

- 10) Landi F, Zuccalà G, Gambassi G, Incalzi RA, Manigrasso L, Pagano F, Carbonin P, Bernabei R: Body mass index and mortality among older people living in the community. *J Am Geriatr Soc* 47: 1072-1076, 1999
- 11) Incalzi RA, Gemma A, Capparella O, Cipriani L, Landi F, Carbonin P: Energy intake and in-hospital starvation. A clinically relevant relationship. *Arch Intern Med* 156: 425-429, 1996
- 12) 鈴木（堀田）眞理：日本の摂食障害 2014－最近の動向，治療，研究－，女性心身医学 19：255-259，2015
- 13) 奥田弘枝，田坂美央，由井明子，川染節江：食品の色彩と味覚の関係－日本の 20 歳代の場合－，日本調理科学会誌 35：2-9，2002
- 14) Yang F, Cho S, Seo HS: Effects of light color on consumers' acceptability and willingness to eat apples and bell peppers. *J Sens Stud* 31: 3-11, 2016
- 15) Cho S, Han A, Taylor MH, Huck AC, Mishler AM, Mattal KL, Barker CA, Seo HS: Blue lighting decreases the amount of food consumed in men, but not in women. *Appetite* 85: 111-117, 2015
- 16) Hasenbeck A, Cho S, Meullenet JF, Tokar T, Yang F, Huddleston EA, Seo HS: Color and illuminance level of lighting can modulate willingness to eat bell peppers. *J Sci Food Agric* 94: 2049-2056, 2014
- 17) Suk HJ, Park GL, Kim Y: Bon Appétit! An investigation about the best and worst color combinations of lighting and food. *Journal of Literature and Art Studies* 2: 559-566, 2012
- 18) excite ニュース：カラフルでポップな「イースター・エッグ」見つけたよ。 Available at :
http://www.excite.co.jp/News/lifestyle/20140402/Roomie_152214.html
Accessed at January 25, 2017
- 19) Gourmant Biz：あのブルーバーガーで話題のカフェで速水もこみちさん監修のピザが新発売。ビビッドカラーメニューが更に充実。 Available at :
<http://www.gourmetbiz.net/11688/> Accessed at January 25, 2017
- 20) 株式会社サンリオエンターテイメント：大人気！キャラクターメニュー。

Available at : <https://www.puroland.jp/food/charactermenu/> Accessed at
January 25, 2017

- 21) 斎藤雅文, 堀由美子, 中島啓 : 人工甘味料と糖代謝 - 2000年以降の臨床研究から -, 日本栄養・食糧学会誌 66 : 69-75, 2013
- 22) Wakisaka S, Nagai H, Mura E, Matsumoto T, Moritani T, Nagai N: The effect of carbonated water upon gastric and cardiac activities and fullness in healthy young women. *J Nutr Sci Vitaminol* 58: 333-338, 2012

2. 文献レビュー (Review of Literatures)

2.1 視覚による食物の認知

2.1.1 色と食品

食品の風味（フレーバー）は味だけでなく，外観やテクスチャー，匂い，温度などの様々な要因から構成されている¹⁾。摂食者は，五感を働かせて食物を味わい，美味しさを感じている²⁾。摂食前の感覚には，視覚と嗅覚があるが，なかでも視覚からの情報は，食物の存在場所の認知や食物かどうかの識別に不可欠であり³⁾，摂食行動の最もパワフルな決定要因であると考えられている。

食品の視覚情報のなかでも色は，摂食者が食品の性質を判断し，摂食行動を起こすうえで大きな影響を及ぼしていると考えられている⁴⁻⁶⁾。例えば，トマトやイチゴは，緑色の未熟な状態が，熟していくにつれ赤く色づく様子から，食べ頃であることを認識することができる^{5,6)}。未熟な果実と熟した果実からは，形や表面の凸凹に差は感じられにくく，色が見分けられなければ，熟しているか未熟かを知ることは困難である^{5,6)}。果実は古来より霊長類の食事において，主要なエネルギーの給源であったことから，霊長類の3色型色覚は，熟した果実を見つけやすいように発達したと考えられている⁵⁾。

さらに食品の色は，フレーバーの感じ方にも影響を及ぼすことが知られている。Zampini et al.⁷⁾は，被験者に赤色，橙色，緑色のいずれかに着色したストロベリーフレーバー，オレンジフレーバー，ライムフレーバーの飲料を供し，そのフレーバーを特定させる試験を行った。その結果，適切な色をつけた飲料では（ストロベリーは赤色，オレンジは橙色，ライムは緑色），不適切な色をつけた飲料よりも，フレーバーをより正確に当てることができたことを報告している。また奥田ら⁸⁾は，質問紙調査を行い，甘味からは桃色や橙色，酸味からは黄色，塩味から白色，苦味からは茶色と無彩色，旨味からは橙色，赤色，茶色がそれぞれイメージされたことを報告し，その理由として，被験者のこれまでの食経験からレモンと黄色，塩と白色，食べ物の焦げやコーヒーと茶色が結び付いたのではないかと考察している。

2.1.2 照明色と摂食者の食欲

食品の色が、摂食者の食べる意欲や食欲に及ぼす影響については、食事の場の照明色から検討されている（表 2-1）。Hasenbeck et al.¹²⁾ は、5色（白色、赤色、黄色、緑色、青色）の照明下のピーマンの写真を被験者に提示し、黄色の照明が被験者の摂取意欲と外観の嗜好性を高め、青色が低下させたことを報告した。さらに、小林ら¹⁰⁾ は3色（赤色、緑色、青色）照明下、Suk et al.¹¹⁾ は8色（白色、赤色、橙色、黄色、緑色、青色、紫色、桃色）照明下で複数の食品を被験者に提示し、食品と同系色照明の場合^{10,11)}、または食品の温度と照明色の寒暖イメージが一致する場合¹⁰⁾に、食欲が増強される傾向にあったことを報告した。

以上は、外観からのイメージに関する実験であるが、異なる照明下の食品を実際に摂取した場合についても報告されている。Cho et al.¹³⁾ は3色（白色、黄色、青色）照明をあてた状態でオムレツとパンケーキを被験者に摂取させ、青色照明では黄色や白色照明に比べて外観からみた嗜好性を低下させたことや、男性では実際に食べた量も減少したことを報告した。さらに、Yang et al.¹⁴⁾ は、5色（白色、赤色、黄色、緑色、青色）照明下のリンゴ、ピーマンでは、黄色または白色照明では被験者の摂取意欲や嗜好性を高めたのに対し、青色照明ではそれらが抑制されたことを報告した。液体のサンプルを用いた実験では、Oberfeld et al.⁹⁾ が一般消費者を被験者として、4色（白色、赤色、緑色、青色）の照明下で白ワインを飲んだ場合に嗜好性と購入最高価格は、赤色や青色照明下で高かったことを報告している。

以上を総合すると、黄色または白色照明は食欲を増強し、青色照明は食欲を減衰させていると考えられる。食事場所の照明が食欲を変化させるという知見は、肥満症の食事療法（減食）や、食欲不振者への対応（摂食量増加）への応用可能性が期待できる。しかし、食品そのものの色には違いがないことを頭でわかっているため、その影響は限定的であることも推察される。

表2-1. 食卓照明の色が、食べる意欲や食欲に及ぼす影響を検討した既報

Year	Journal	Nation	Authors	Participants	Sample	Light color	Trial	Results
2009	J Sens Stud	Germany	Oberfeld D et al. ⁹⁾	75 men, 75 women (20-79 y [47.5±14.0 y])	白ワイン	白, 赤, 青, 緑	摂取	嗜好性と購入最高価格は、赤、青よりも白、緑で低かった。
					白ワイン	白, 赤, 青, 緑	摂取	嗜好性、誘発性は、青、赤・緑、白、覚醒性は、赤、白・緑、青の順に高かった。
					白ワイン	白, 青, 赤	摂取	嗜好性に差は認められなかった。
2009	日本建築学会環境系論文集	Japan	小林 ¹⁰⁾	17 men, 8 women (university students)	白飯, 鯖塩焼き, パスタ, うどん, パン, トマト, 胡瓜, ブドウ, バナナ, ミカン, プリン, クッキー, ケーキ, 団子, ヨーグルト, サイダー, 牛乳, お茶, コーヒー, 水	赤(淡・濃), 緑(淡・濃), 青(淡・濃)	観察	全ての光色と食品で、淡色より濃色で食欲が抑制された。青、緑では、女性の方が男性よりも食欲が抑制される傾向にあった。デザートや同系色照明の場合に、食欲が抑制されにくい傾向にあった。食品の温度と照明色の寒暖が一致するときに食欲が保たれやすく、一致しない場合に食欲が抑制されやすかった。
					カットマト, ミントマト, ヨーグルト, ミカン, ミカンヨーグルト, 白飯, 鮭, 鮭ご飯	赤(淡・濃), 緑(淡・濃), 青(淡・濃)	観察	ミントマトよりもカットマト, 蜜柑やヨーグルトよりも蜜柑ヨーグルト, 白飯や鮭よりも鮭ご飯で食欲が抑制された。単色でなく複数の色を持つ食品で、食欲が低下しやすい。
					サラダ, ケーキ, 韓国寿司, スイーツ, 飲料 (赤, 黄, 緑, 青, 紫, 黒, 白), ミックススイーツ	白, 赤, 橙, 黄, 緑, 青, 紫	観察	総じて、橙、黄は食欲を増進し、赤、緑、青は食欲を抑制した。さらに同系色は食欲を増進し、補色は食欲を抑制した。
2012	J Lit Art Stud	Korea	Suk HJ et al. ¹¹⁾	14 men, 16 women (23.3±3.1 y)	キムチ子ガ, ハムエッグ, サラダ, ワイン, プルコギ, スイーツ, 飲料 (赤, 黄, 緑, 青, 紫, 黒, 白), ミックススイーツ	白, 赤, 橙, 黄, 緑, 青, 紫, 桃	観察	すべての食品色で、白が食欲を増進した。総じて、黄は食欲を増進し、青, 赤, 緑は食欲を抑制した。同系色は食欲を増進し、補色は食欲を抑制した。
					ピーマン(緑, 赤, 黄)	白, 黄, 緑, 青, 赤	観察 (写真)	ピーマン(緑): 摂取意欲, 外観の嗜好性は、黄, 緑, 白, 赤, 青の順に高値を示した。 ピーマン(赤): 摂取意欲, 外観の嗜好性は、黄, 白, 赤, 緑, 青の順に高値を示した。 ピーマン(黄): 摂取意欲は、黄・緑・白, 青・赤, 外観の嗜好性は、黄・緑・白, 青・赤の順に高値を示した。
2014	J Sci Food Agric	USA	Hasenbeck A et al. ¹²⁾	8 men, 49 women (19-76 y [29±15 y])	ピーマン(緑, 赤, 黄)	白, 黄, 緑, 青, 赤	観察 (写真)	ピーマン(緑): 摂取意欲, 外観の嗜好性は、黄, 緑, 白, 赤, 青の順に高値を示した。 ピーマン(赤): 摂取意欲, 外観の嗜好性は、黄, 白, 赤, 緑, 青の順に高値を示した。 ピーマン(黄): 摂取意欲は、黄・緑・白, 青・赤, 外観の嗜好性は、黄・緑・白, 青・赤の順に高値を示した。
2015	Appetite	USA	Cho S et al. ¹³⁾	76 men, 55 women (18-58 y [32±10 y])	オムレット, パンケーキ	白, 黄, 青	摂取	外観の嗜好性は黄, 白より青で低かったが、摂取意欲と摂取後の嗜好性、摂取後の空腹感/満腹感に差はみられなかった。青の摂取量(男)は、白、黄より少なかったが、摂取量(女)に差はなかった。
2016	J Sens Stud	USA	Yang FL et al. ¹⁴⁾	42 men, 32 women (18-31 y [25±3 y])	リングォ, ピーマン(赤)	白, 黄, 緑, 青, 赤	摂取	リングォ: 摂取意欲は、黄, 白, 緑, 赤, 青, 外観の嗜好性は、黄・白, 赤・緑・青の順に高値を示した。摂取後の嗜好性は、青が低値を示した。 ピーマン(赤): 摂取意欲, 外観の嗜好性は、白・黄, 赤, 緑, 青の順に高値を示した。摂取後の嗜好性は、白, 黄が高値を示した。

2.1.3 食品の色と摂食者の食欲

食品そのものの色が摂食者の食欲や食品への印象に与える影響についても、質問紙調査や異なる色の食品を用いた既報（表 2-2）で報告されている。米国の Birren¹⁵⁾は、食品の色と食欲との関連を調査し、赤色、橙色、黄色が食欲を増進し、黄緑色、紫色が食欲を抑制することを報告した。川染は¹⁶⁾、食品の色と嗜好の関係について調査し、赤色、橙色、黄緑色の嗜好性が高く、青色の嗜好性が低いことを報告した。奥田ら⁸⁾は、食品の色と食欲との関連を調査し、食欲を増強するのは、赤色、橙色、黄色で、食欲を減衰するのは、青色、紫色、茶色、黒色と認識されていたことを報告した。

また、Zhou et al.²³⁾は、4色（無着色、赤色、黄色、緑色）のアジアンヌードルの写真を被験者に提示し、無着色と黄色の麺では快さ、親しみ易さ、自然さが高く評価されたことを報告した。さらに、森重ら¹⁸⁾はゼリーを2色組み合わせた場合の配色パターン（実物）、豊満ら²¹⁾はゼリー、食器、食卓の配色パターン（写真）を被験者に提示し、複数のパターンの中でも暖色を含む組み合わせの嗜好性が高かったことを報告した。米国と日本では、黄緑色への嗜好の違いがあるが^{15,16)}、一般的には、赤色や黄色などの暖色が食品として好まれ、寒色である青色はあまり好まれないと考えられている¹⁷⁾。

以上は写真や色の提示による実験であるが、摂食試験も行われている。Paakki et al.²⁴⁾は、2色（黄色、青色）のポテトサラダをサンプルとした摂食試験を行い、黄色いサラダでは食欲が高まるが、青色のサラダでは減衰したことを報告した。Tepper¹⁹⁾は、2色（無着色、緑色）のオレンジジュースをサンプルとした飲用試験を行い、緑色のジュースは外観をみた被験者の食品への受容性を減じさせたが、嗜好性には影響がなかったことを報告した。Fernández-Vázquez et al.²²⁾は、3色（無着色、赤色、緑色）のオレンジジュースをサンプルとした飲用試験を行い、飲む前のジュースに対する嗜好性は赤色のジュースで高かったが、実際に飲んだ後は無着色や緑色のジュースの嗜好性が高まり、赤色との差が消失したことを報告した。しかし、異なる色の温かい食品を実際に摂取させ、さらに摂取前後の食欲感覚の変化について検討した報告は、調べた限りにおいて見当たらなかった。したがって、この

点の探求には新規性があると考えられる。

なお、食事環境が摂食者の食欲や食品への印象に与える影響について検討した研究もあり、テーブルクロスや食器など、食卓の色によっても、食品の嗜好性や食欲が変化することが報告されている（表 2-3）。

表2-2. 食品の色が、摂食者の食欲や食品の印象に与える影響を検討した既報

Year	Journal	Nation	Authors	Participants	Test meal	Meal color	Trial	Results
1986	日調科誌	Japan	森重ら ¹⁸⁾	49 boys (6 y)	ゼリー	赤, 橙, 黄, 緑, 茶, 黒, 白	観察	赤, 橙, 黒を含む組み合わせの嗜好性が高かった。
				54 men (20 y)	ゼリー	赤, 橙, 黄, 緑, 茶, 黒	観察	白, 橙, 黄を含む組み合わせの嗜好性が高かった。
				51 men (40-60 y)	ゼリー	赤, 橙, 黄, 緑, 茶, 黒	観察	白, 橙, 緑を含む組み合わせの嗜好性が高かった。
1993	J Sens Stud	USA	Tepper BJ ¹⁹⁾	342 people	オレンジジュース	橙, 緑	摂取	緑は外観の受容性を低下させたが、嗜好性そのものにはほとんど影響がなかった。
2003	Am J Psychol	USA	Zellner DA et al. ²⁰⁾	70 men, 110 women (university graduate & undergraduate students)	レモン水, ミント水, バニラ水	透明, 茶, 赤, 橙, 黄, 緑, 青, 紫	摂取	レモン水: 外観の嗜好性は、透明, 赤, 橙, 黄が高値, 緑, 青, 紫, 茶が低値を示した。摂取後の嗜好性は茶が低値を示した。 ミント水: 外観の嗜好性は、透明, 緑が高く, 黄, 茶が低かった。摂取後の嗜好性は透明, 青が高く, 茶, 赤が低かった。 バニラ水: 外観の嗜好性は、透明が高く, 緑が低かった。摂取後の嗜好性は差が認められなかった。
2005	日調科誌	Japan	豊満ら ²¹⁾	23 women (18-21 y)	ゼリー, 皿, 食卓	黄, 橙, 赤, 紫, 青, 緑, 白, 黒	観察 (写真)	嗜好性が高いのは、黄ゼリー, 橙皿, 白食卓の組み合わせで、暖色の評価が高かった。嗜好性が低いのは、すべて黒の組み合わせで、寒色および低明度色の評価が低かった。嗜好性への影響は、ゼリー, 皿が大きかった。
2014	Flavour	UK	Fernández-Vázquez R et al. ²²⁾	34 men, 66 women	オレンジジュース	橙, 赤, 緑	摂取	外観の嗜好性は、赤が高値, 橙, 緑が低値を示したが、摂取後に橙, 緑の嗜好性が有意に増加し、摂取後の嗜好性には差がなかった。
2015	Food Quality and Preference	China	Zhou X et al. ²³⁾	68 men, 40 women (18-23 y [19.8±1.2 y])	アジアンスードル	無着色, 赤, 緑, 黄	観察 (写真)	快さ, 親しみ易さ, 自然さは、無着色, 黄で高値, 赤, 緑は低値を示した。とくに、黄の評価が高く、快さは無着色よりも高く、欲求も最も高かった。
				42 men, 39 women (18-28 y [21.2±2.2 y])	アジアンスードル	無着色, 赤, 緑, 黄	観察 (写真)	快さ, 自然さは、無着色, 黄で高値, 赤, 緑で低値を示した。
2016	J Sens Stud	Finland	Paakki M et al. ²⁴⁾	75 men, 156 women, 4 not reported (10-80 y [47±16 y])	ポテトサラダ	黄, 青	摂取	健康さ, 自然さ, 食欲は、青より黄で高かった。

表2-3. 食卓・食器の色が、摂食者の食欲や食品の印象に与える影響を検討した既報

Year	Journal	Nation	Authors	Participants	Test meal	Sample	Sample color	Trial	Results
2003	日本食生活 学会誌	Japan	豊満ら ²⁵⁾	96 women (18-20 y)	パン, 牛乳, サラダ, ゆで卵	テーブル クロス	黄, 橙, 赤, 紫, 青, 緑, 白, 黒	摂取	橙, 青, 白の嗜好性が高値, 紫, 緑, 黒の嗜好性が低値を示した。テーブルカバーの嗜好性と色彩の嗜好性の間に正相関が認められた。
2012	J Sens Stud	UK	Piqueras- Fiszman B et al. ²⁶⁾	31 men, 26 women (21-61 y) [25.4±8.8 y]	ホットチョコレート	カップ	白, クリーム, 橙, 赤	摂取	橙, クリーム・赤, 白の順に, 嗜好性が高値を示した。
2013	Flavour	UK	Piqueras- Fiszman B et al. ²⁷⁾	111 men, 142 women (43.4±13.8 y)	苺のショートケーキ, ラスベリーとバナラ のケーキ, バナラ・ラスベリー・ バジルのメレンゲケーキ	皿	白, 黒	摂取	ショートケーキの食欲, 外観の嗜好性は, 黒に比べて白で高値を示した。ラスベリーとバナラのケーキの摂取後の嗜好性は, 白より黒で高かった。摂取後の嗜好性と食欲, 摂取後の嗜好性と外観の嗜好性は, 白と黒ともに, 正相関が認められた。
2013	Flavour	Canada	Stewart PC et al. ²⁸⁾	27 men, 21 women (16-54 y) [22.2±6.7 y]	ニューヨーク チーズケーキ	皿(丸, 角)	白, 黒	摂取	黒と白を比較すると, 嗜好性と品質はともに, 丸皿では白, 角皿では黒が高く評価された。
2014	Flavour	UK	Van Doorn GH et al. ²⁹⁾	9 men, 9 women (18-62 y) [31.5±12.2 y]	カフェラテ	マグカップ	透明(ガラス), 白(陶磁器), 青(陶磁器)	摂取	受容性, 品質に差は認められなかった。
				6 men, 30 women (17-66 y) [40.4±14.6 y]	カフェラテ	マグカップ (ガラス)	透明, 白(ラバー), 青(ラバー)	摂取	受容性, 品質に差は認められなかった。

2.1.4 食品ラベルや食器の色と摂食量

最近では、食品に付したラベルが摂食量に影響を及ぼすことが報告されている（表 2-4）。Genschow et al.³⁰⁾ は、飲料（白茶，緑茶，レモン水）を赤色，青色のラベル入りカップで被験者に供すると，青色よりも赤色のカップで飲料摂取量が少なかったこと，また，プレッツェルを 3 色（白色，赤色，青色）の皿で被験者に供すると，白色，青色よりも赤色の皿でプレッツェルの摂取量が少なかったことを報告した。Genschow et al.³⁰⁾ は，赤色が危険や禁止，回避などをイメージさせ，摂食量が減少したのではないかと考察している。また Bruno et al.³²⁾ は，ポップコーン，チョコレート，保湿クリームを 3 色（白色，赤色，青色）の皿で被験者に供し，白色，青色の皿に比べて，赤色の皿で供した場合に各サンプルの消費量が少なかったことを報告し，赤色の容器による消費量の減少は，食品に限定されないことを示した。一方，Reutner et al.³³⁾ は，チョコレート，ブドウを白色，赤色の皿で被験者に供すると，白色よりも赤色の皿でチョコレートの摂取量が少なかったが，ブドウでは差が認められなかったことを報告した。さらに，小麦パン，混合パン，ライ麦パンに赤色，緑色の旗を付けて被験者に供したところ，小麦パンでは，緑色の旗よりも赤色の旗を選択した者が少なかったが，ライ麦パンや混合パンでは差が認められなかったことを報告した。Reutner et al.³³⁾ は，健康に好ましくない食品のみ，赤ラベルが摂取量を減少させる可能性を述べている。

消費者が食品を健康的であるかどうかを判断する際に，赤色や緑色のラベルが影響を及ぼすことも報告されている。Schuldt³¹⁾ は，赤色または緑色ラベルを付したスナックバーを被験者に提示したところ，ラベルにはエネルギー量が表示されていたにも関わらず，緑色ラベルのスナックバーがより健康的であると評価された。さらに，白色または緑色ラベルを付したスナックバーを被験者に提示したところ，食品の健康さを意識する人ほど，緑色ラベルのスナックバーがより健康的であると評価した。また，Rohr et al.³⁴⁾ は，健康的な食品，健康的でない食品各 10 種類について，赤色，緑色の接近回避課題を行い，赤色は健康的でない食品に対する回避反応を促進したが，緑色は健康的な食品への接近反応に影響しなかったことを報告した。この結果か

ら, Rohr et al.³⁴⁾ は, 健康的でない食品への回避行動を導くのに, 交通信号機型の食品ラベルが有用である可能性を述べている。

表2-4. 食器や食品ラベルの色が, 食品の消費量や印象に及ぼす影響

Year	Journal	Nation	Authors	Participants	Test meal	Sample	Sample color	Results
2012	Appetite	Switzerland	Genschow O et al. ³⁰⁾	41 men (22.6±6.5 y)	白茶, レモン水, 緑茶	カップ (ラベル)	赤, 青	すべてのサンプルにおいて, 青に比べて赤で摂取量が少なかった(緑茶のみ有意差なし)。サンプルの嗜好性との関連は認められなかった。
				44 men, 61 women, 4 not reported (13-75 y [31.8±16.8 y])	プレッツェル	皿	赤, 青, 白	青, 白に比べて, 赤で摂取量が少なかった。サンプルの嗜好性は, 赤と青に差はなく, 赤と白では赤の評価が高かった。
2013	Health Commun	USA	Schuldt JP ³¹⁾	48 men, 45 women (university students)	スナックバー	包装	赤, 緑 (エネルギー量記載)	赤色に比べて, 緑色でより健康的であると認識された。
				16 men, 23 women	スナックバー	包装	緑, 白 (エネルギー量記載)	白では, 食品の健康さを重視する人ほど, スナックバーを健康的でないと認識した。緑では, 食品の健康さを重視する人ほど, スナックを健康的であると認識した。
2013	Appetite	Italy	Bruno N et al. ³²⁾	45 men, 45 women (18-50 y [23 y])	ポップコーン	皿	赤, 青, 白	青, 白に比べて, 赤で摂取量が少なかった。
				30 men, 45 women (19-58 y [25 y])	チョコレートチップス	皿	赤, 青, 白	青, 白, 赤の順に摂取量が少なかった。
				36 men, 39 women (19-66 y [33 y])	保湿クリーム	皿	赤, 青, 白	青, 白に比べて, 赤で消費量が少なかった。
2015	Food Quality and Preference	Switzerland	Reutner L et al. ³³⁾	12 men, 69 women, 1 not reported (16-55 y [21.9±5.4 y])	チョコレート, ブドウ	皿	赤, 白	チョコレートのみ, 白に比べて赤で摂取量が少なかった。皿の色は, サンプルの美味しさには影響しなかった。チョコレートよりもブドウが健康的と認識された。
				42 men, 69 women (16-84 y [45.3±18.7 y])	小麦パン, 混合パン, ライ麦パン	旗	赤, 緑	サンプル全体では, 緑に比べて赤を選択する人が少なかった。小麦パンのみ, 緑に比べて赤を選択する人が有意に少なかった(27.8%)。赤を選んだ人は, 混合パンでは40.5%, ライ麦パンでは52.6%だったが, 有意ではなかった。皿の色は, サンプルの美味しさに影響しなかった。ライ麦パン, 混合パン, 小麦パンの順に健康的と認識された。
2015	Exp Psychol	Germany	Rohr M et al. ³⁴⁾	41 men, 54 women (19-30 y [23 y])	健康的な食品, 健康的でない食品 各10種類	イラスト (接近回避課題)	赤, 緑 桃, 青	赤は緑に比べて, 健康的でない食品への回避反応を促進したが, 健康食品への接近行動には影響しなかった。桃, 青の比較では有意差がなかった。

2.1.5 視覚情報と温度感覚の関連

視覚情報と温度感覚の関連を調べた研究では、Kanaya et al.³⁵⁾ は、ラバーハンド錯覚と温度判断課題をミックスした実験により、肌に触れたものに対する温度感覚は、触れたものの外観に左右される可能性があることを報告した。具体的には、赤色や黄色などの暖色は温かく、青色や緑色などの寒色は冷たく感じるといったように、色がヒトの温度感覚を変化させることが知られている（表 2-5）。同様の実験で、Michael et al.³⁷⁾ は、4色（透明、赤色、黄色、緑色）の色付き水を被験者に嗅がせると、赤色が温かさ、緑色が冷たさを感じさせたことを報告した。Ho et al.⁴⁰⁾ は、被験者に赤色、青色用紙を載せたプレート（温度操作可能）を触らせ、被験者が申告したプレートから温かさを感じた最低温度は、青色よりも赤色で高かったこと、その一方、プレート上の手に赤色、青色照明を当てた場合には、プレートから温かさを感じた最低温度は、赤色よりも青色で高かったことを報告した。その理由として、Ho et al.⁴⁰⁾ は、実際のプレート（用紙実験）または手（照明実験）の温度と、色から判断された期待温度の差異が、2つの実験で異なる温度感覚を生み出したためではないかと考察している。

食に関する報告では、Guéguen³⁶⁾ は、4色（赤色、黄色、緑色、青色）のグラスに入れた飲料を被験者に摂取させ、青色グラスに入った冷たい飲み物は、赤色、黄色、緑色グラスと比べて最も止渴作用が高いと評価されたことを報告した。また Guéguen et al.³⁹⁾ は、4色（赤色、黄色、緑色、青色）のカップに入れたコーヒーを被験者に摂取させ、赤色、黄色、緑色、青色の順にコーヒーを温かく感じたことを報告している。その一方、Oberfeld et al.⁹⁾ が4色（白色、赤色、緑色、青色）の照明下の白ワインを被験者に摂取させたが、白ワインの温度感覚には差が認められなかったと報告しており、両報告の結果は一致していない。また、異なる色の食品を実際に被験者が摂取し、主観的な温度感覚を検討した報告は、調べた限りにおいて見当たらなかった。したがって、この点の探求には新規性があると考えられる。

表2-5. 視覚情報がヒトの温度感覚に及ぼす影響を検討した既報

Year	Journal	Nation	Authors	Participants	Sample	Sample color	Trial	Results
2003	Curr Psychol Lett	France	Guéguen N et al. ³⁶⁾	20 men, 20 women (18-20 y [18.7±1.1 y])	飲料入りリグラス	赤, 黄, 緑, 青	摂取	青色グラスの飲料は、緑・黄・赤色グラスと比べて、最も止渴作用が高いと評価された。
2008	Neurosci Lett	France	Michael GA et al. ³⁷⁾	17 women (17-25 y [19.9±2 y])	色水	透明, 赤, 黄, 緑	嗅ぐ	サンプルが見えると、見えない場合(目隠し)に比べて、赤では温かく、緑では冷たく感じていた。透明, 黄では、有意な差は認められなかった。
2009	J Sens Stud	Germany	Oberfeld D et al. ⁹⁾	69 men, 66 women (18-66 y [26.4±8.6 y])	白ワイン	白, 緑, 青, 赤 (照明)	摂取	温度感覚(ワイン)に差は認められなかった。
2010	Materials & Design	Netherlands	Fenko A et al. ³⁸⁾	15 men, 6 women (18-32 y [24 y])	スカーフ, トレイ	紫, 赤, マゼンダ, 橙, 黄, 緑(明・暗), 青緑, 青(明・暗)	触る	スカーフでは、紫や赤のような、赤みや暗みのある色に温かさを感じて、青(明), 黄では暖かさを感じにくかった。トレイでは、橙, 赤のような赤みのある色や黄に温かさを感じ、青(明・暗)では温かさを感じにくかった。
2014	Color Research & Application	France	Guéguen N et al. ³⁹⁾	14 men, 8 women (19-27 y [22 y])	スカーフ, トレイ	赤, 青	触る	スカーフとトレイはともに、青より赤で温かさを感じていたが、快さには差がなかった。
2014	Sci Rep	Japan	Ho HN et al. ⁴⁰⁾	60 men, 60 women (18-20 y [18.8±1.2 y])	コーヒー入りリカップ	赤, 黄, 緑, 青	摂取	最も温かいと回答した者の割合は、赤, 黄, 緑, 青の順に高かった。
2014	Sci Rep	Japan	Ho HN et al. ⁴⁰⁾	5 men, 7 women (26.4±6.7 y)	紙を貼った温度操作可能プレート (20-24°C→36-40°C)	赤, 青, コントロール (目を閉じる)	触る	プレートから温かさを感じる最も低い温度は、赤とコントロールよりも青で高かった。
2014	Sci Rep	Japan	Ho HN et al. ⁴⁰⁾	6 men, 5 women (25.3±5 y)	温度操作可能プレートに照明をあてたもの (20-24°C→36-40°C)	赤, 青, コントロール (目を閉じる)	触る	プレートから温かさを感じる最も低い温度は、赤が青よりも高く、青, コントロール, 赤の順に高値を示した。

表2-6. 視覚情報がヒトの生理的指標に及ぼす影響を検討した既報

Year	Journal	Nation	Authors	Participants	Stimuli	Trial	Results
1999	Journal of ISLIS	Japan	Shen Z et al. ⁴¹⁾	2 men, 16 women	紙(赤, 青, 白, 黒)	観察	赤, 黒は、紙をみた直後に足指, 足背温が上昇した。青は、30分後に足指, 足背, 手指, 手掌温が低下した。白は、直後に足背温, 30分後に顔皮膚温が低下した。
2013	J Physiol Anthropol	Japan	Takakura J et al. ⁴²⁾	15 men (20-24 y)	映像(氷山, 雪, 流水, 熱帯雨林, 砂漠, 火山噴火, 小川, 紅葉, 灰色(コントロール))	観察	映像の温度感覚は、 ΔHR , Δ 心拍出量/分, ΔVLF , 被験者の温度感覚と正相関, Δ 全末梢血管抵抗と負相関がみられた。
2015	Int J Biometeorol	Japan	Takakura J et al. ⁴³⁾	13 men (20-23 y)	映像(雪, 砂漠, 灰色) *寒冷条件28°C→16°C	観察	直腸温, 直腸と皮膚の温度差は、砂漠に比べて雪, 灰色で高値を示し、皮膚温は雪, 灰色よりも砂漠で高値を示した。

2.1.6 視覚情報と生理的指標の関連

視覚情報は温度感覚のみならず、生理的指標にも影響を及ぼすことが報告されている（表 2-6）。Takakura et al.⁴²⁾ は暑熱・寒冷環境を想起させる映像を被験者に提示し、映像に対する印象が暑いほど、心拍数、心拍出量が高値、総末梢血管抵抗が低値を示し、実際の暑熱・寒冷環境における心臓血管系反応と類似した反応が生じたことを報告した。さらに Takakura et al.⁴³⁾ は、寒冷条件下で暑熱環境を想起させる映像を提示すると、寒冷環境を想起させる映像に比べて、直腸温が低値、皮膚温が高値を示し、実際の寒冷条件下における深部体温の維持にも影響を与えることを報告した。

色に関しては、Shen et al.⁴¹⁾ は、被験者に 4 色（白色、赤色、青色、黒色）の色画用紙を 10 分間提示した結果、赤色と黒色の紙の提示では皮膚温が上昇したが、白色と青色の紙の提示では逆に低下したことを報告した。

しかし、異なる色の食品を摂取させ、摂取前後における深部・末梢体温の変化について検討した報告は、調べた限りにおいて見当たらなかった。したがって、この点の探求には新規性があると考えられる。

2.1.6 引用文献

- 1) Eertmans A, Baeyens F, Van den Bergh O: Food likes and their relative importance in human eating behavior: review and preliminary suggestions for health promotion. *Health Educ Res* 16: 443-456, 2001
- 2) 中山正夫: 多視点からのおいしさ向上発想, FFI ジャーナル 220: 147-155, 2015
- 3) 山本隆: 第2章 脳における食品の味覚認識と摂食行動のしくみ, 食と味覚, ネスレ栄養科学会議, 建帛社, 東京, pp. 33-98, 2008
- 4) Pathare PB, Opara UL, Al-Said FAJ: Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food Bioproc Tech* 6: 36-60, 2013
- 5) 和田有史: 実験心理学で探る食の感性ー多感覚知覚と社会的文脈, FFI ジャーナル 217: 177-183, 2012
- 6) 近江源太郎: 食品色彩の心理的効果, FFI ジャーナル 174: 37-43, 1997
- 7) Zampini M, Sanabria D, Phillips N, Spence C: The multisensory perception of flavor: Assessing the influence of color cues on flavor discrimination responses. *Food Quality and Preference* 18: 975-984, 2007
- 8) 奥田弘枝, 田坂美央, 由井明子, 川染節江: 食品の色彩と味覚の関係ー日本の20歳代の場合ー, 日本調理科学会誌 35: 2-9, 2002
- 9) Oberfeld D, Hecht H, Allendorf U, Wickelmaier F: Ambient lighting modifies the flavor of wine. *J Sens Stud* 24: 797-832, 2009
- 10) 小林茂雄: 鮮やかな光色で照明された食品に対する食欲, 日本建築学会環境系論文集 74: 271-276, 2009
- 11) Suk HJ, Park GL, Kim Y: Bon Appétit! An investigation about the best and worst color combinations of lighting and food. *Journal of Literature and Art Studies* 2: 559-566, 2012
- 12) Hasenbeck A, Cho S, Meullenet JF, Tokar T, Yang F, Huddleston EA, Seo HS: Color and illuminance level of lighting can modulate willingness to eat bell peppers. *J Sci Food Agric* 94: 2049-2056, 2014

- 13) Cho S, Han A, Taylor MH, Huck AC, Mishler AM, Mattal KL, Barker CA, Seo HS: Blue lighting decreases the amount of food consumed in men, but not in women. *Appetite* 85: 111-117, 2015
- 14) Yang F, Cho S, Seo HS: Effects of light color on consumers' acceptability and willingness to eat apples and bell peppers. *J Sens Stud* 31: 3-11, 2016
- 15) Birren F: Color & Human Appetite. *Food Technol* 17: 553-555, 1963
- 16) 川染節江：食品の色彩嗜好に関する年齢および男女間の変動，日本家政学会誌 38：23-31，1987
- 17) 片山脩，田島眞：2-3 食品の色と食欲，第2章 色の心理学，食品と色，光琳，東京，pp. 30-33，2003
- 18) 森重敏子，青山よしの，堀洋子，金子小千枝：食品における配色の男子年齢別嗜好，調理科学 19：306-312，1986
- 19) Tepper BJ: Effects of a slight color variation on consumer acceptance of orange juice. *J Sens Stud* 8: 145-154, 1993
- 20) Zellner DA, Durlach P: Effect of color on expected and experienced refreshment, intensity, and liking of beverages. *Am J Psychol* 116: 633-647, 2003
- 21) 豊満美峰子，松本仲子：食物・食器・食卓の配色が嗜好に及ぼす影響，日本調理科学会誌 38：181-185，2005
- 22) Fernández-Vázquez R, Hewson L, Fisk I, Vila DH, Heredia-Mira FJ, Vicario IM, Hort J: Colour influences sensory perception and liking of orange juice. *Flavour* 3: 1, 2014
- 23) Zhou X, Wan X, Mu B, Du D, Spence C: Crossmodal associations and subjective ratings of Asian noodles and the impact of the receptacle. *Food Quality and Preference* 41: 141-150, 2015
- 24) Paakki M, Sandell M, Hopia A: Consumer's reactions to natural, atypically colored foods: An investigation using blue potatoes. *J Sens Stud* 31: 78-89, 2016

- 25) 豊満美峰子, 松本仲子: 食卓の色彩が食物の印象に与える影響, 日本食生活学会誌 14: 172-176, 2003
- 26) Piqueras-Fiszman B, Spence C: The influence of the color of the cup on consumers' perception of a hot beverage. *J Sens Stud* 27: 324-331, 2012
- 27) Piqueras-Fiszman B, Giboreau A, Spence C: Assessing the influence of the color of the plate on the perception of a complex food in a restaurant setting. *Flavour* 2: 24, 2013
- 28) Stewart PC, Goss E: Plate shape and colour interact to influence taste and quality judgments. *Flavour* 2: 27, 2013
- 29) Van Doorn GH, Wullemin D, Spence C: Does the colour of the mug influence the taste of the coffee? *Flavour* 3: 10, 2014
- 30) Genschow O, Reutner L, Wänke M: The color red reduces snack food and soft drink intake. *Appetite* 58: 699-702, 2012
- 31) Schuldt JP: Does green mean healthy? Nutrition label color affects perceptions of healthfulness. *Health Commun* 28: 814-821, 2013
- 32) Bruno N, Martani M, Corsini C, Oleari C: The effect of the color red on consuming food does not depend on achromatic (Michelson) contrast and extends to rubbing cream on the skin. *Appetite* 71: 307-313, 2013
- 33) Reutner L, Genschow O, Wänke M: The adaptive eater: Perceived healthiness moderates the effect of the color red on consumption. *Food Quality and Preference* 44: 172-178, 2015
- 34) Rohr M, Kamm F, Koenigstorfer J, Groeppel-Klein A, Wentura D: The color red supports avoidance reactions to unhealthy food. *Exp Psychol* 62: 335-345, 2015
- 35) Kanaya S, Matsushima Y, Yokosawa K: Does seeing ice really feel cold? Visual-thermal interaction under an illusory body-ownership. *PLoS One* 7: e47293, 2012
- 36) Guéguen N: The effect of glass colour on the evaluation of a beverage's thirst-quenching quality. *Curr Psychol Lett* 11: 1-6, 2003

- 37) Michael GA, Rolhion P: Cool colors: color-induced nasal thermal sensations. *Neurosci Lett* 436: 141-144, 2008
- 38) Fenko A, Schifferstein HNJ, Hekkert P: Looking hot or feeling hot: What determines the product experience of warmth? *Materials & Design* 31: 1325-1331, 2010
- 39) Guéguen N, Jacob C: Coffee cup color and evaluation of a beverage's "warmth quality". *Color Research & Application* 39: 79-81, 2014
- 40) Ho HN, Iwai D, Yoshikawa Y, Watanabe J, Nishida S: Combining colour and temperature: A blue object is more likely to be judged as warm than a red object. *Sci Rep* 4: 5527, 2014
- 41) Shen Z, Tone A, Asayama M: The effects of viewing different colors on EEG and skin temperature in humans. *Journal of ISLIS* 17: 105-117, 1999
- 42) Takakura J, Nishimura T, Watanuki S: Visual information without thermal energy may induce thermoregulatory-like cardiovascular responses. *J Physiol Anthropol* 32: 26, 2013
- 43) Takakura J, Nishimura T, Choi D, Egashira Y, Watanuki S: Nonthermal sensory input and altered human thermoregulation: effects of visual information depicting hot or cold environments. *Int J Biometeorol* 59: 1453-1460, 2015

2.2 味覚による食物の認知

2.2.1 近年における人工甘味料の動向

味を呈する物質のうち、味神経によってその情報が伝達されるものは、基本味として、甘味、うま味、塩味、酸味、苦味の5種類に分類されている¹⁻³⁾。甘味は、エネルギー源の存在を示すものであり、甘味物質としては、スクロース、フルクトースなどの糖や、グリシン、アラニンなどのアミノ酸が知られている^{1,2)}。さらに近年では、健康志向の高まりなどを背景に、砂糖代替品として新規の人工甘味料が開発されている⁴⁾。人工甘味料に分類されるものとしては、アスパルテームやアセスルファム K、サッカリンなど多くの種類があるが⁴⁾、その中の1つであるスクラロースは、砂糖に近い自然な味質を持つ0 kcalの高甘味度甘味料で、長期保存性、水への溶解性、酸味や苦味などの不快味をマスキングする効果等の有用性から、多様な食品に利用されている⁵⁾。

糖質の過剰摂取が問題視されている米国において、非栄養甘味料（Nonnutritive sweeteners：NNS≒人工甘味料）は砂糖の代替品として発達・普及してきた歴史がある⁴⁾。2012年の米国心臓協会（AHA）と米国糖尿病学会（ADA）による、”Nonnutritive sweeteners: current use and health perspectives（非栄養甘味料：現在の使用状況と健康上の見解）”と題する科学的声明^{6,7)}では、「砂糖をNNSに置き換えることが、砂糖の使用や糖質摂取量を減少させるかどうか、および、食欲やエネルギーバランス、心臓病や代謝上の危険因子に対して恩恵があるかどうか、最終決定するためのデータは現時点では十分ではない」と述べた上で、「NNSを上手く使うことで砂糖の摂取量を抑え、そのことによってエネルギー摂取量の抑制や減量などの効果をもたらすかもしれない」と慎重ながらも、その潜在的恩恵の可能性について言及している⁴⁾。

2.2.2 甘味受容の分子メカニズム

口腔内に入った味物質は、舌の表面、咽頭、喉頭に分布する味蕾細胞と接触することにより、味として感知される^{1,3,8)}。基本味のうち、甘味、うま味、苦味は、情報変換物質である G タンパク質と共役し、味蕾細胞中に発現する G protein-coupled receptors (GPCRs ; G タンパク共役型受容体) ファミリーで受容される^{3,8-10)}。GPCRs ファミリーは、7回膜貫通型膜タンパク質で、N末端の細胞外ドメインで味物質と結合し、C末端の細胞内ドメインで G タンパク質を活性化する¹⁰⁾。また、N末端の細胞外ドメインの長さの違いから、甘味やうま味を受容する Taste 1 receptor family (T1R) ファミリーと、苦味を受容する Taste 2 receptor family (T2R) ファミリーに分類される¹⁰⁾。

なかでも、甘味の味覚受容は、T1R ファミリーのヘテロ二量体サブタイプである T1R2/T1R3 で行われており、砂糖 (sugars)、ノンカロリー甘味料 (non-caloric sweeteners)、D-アミノ酸や甘みを呈するタンパク質など多様な化合物の甘味を受容することが知られている (図 2-1)²⁾。つまり、エネルギーの有無に関わらず T1R2/T1R3 に結合することで、甘味シグナルが感覚神経を介して脳に伝達され、糖が体内に入ってきたと認識される。甘味を受容した T1R2/T1R3 は、G タンパク質を介してリン脂質分解酵素 (PLC-β2) を活性化し、細胞膜に含まれるイノシトールリン脂質 (PIP₂) を、ジアシルグリセロール (DG) とイノシトール 3 リン酸 (IP₃) に分解する^{1-3,10)}。IP₃ は、細胞内の小胞体からのカルシウムイオン放出を引き起こし (細胞内カルシウムイオン増加)、最終的に、TRPM5 (Transient receptor potential channel type 5) チャネルが開口したことによる Na イオンの細胞内流入によって、脱分極する^{1-3,10)} (図 2-2)。この一連の反応の結果、甘味情報が化学信号から電気信号に変換され、味神経を経て中枢神経へと送り込まれる¹⁰⁾。

T1R2/T1R3 は、様々な甘味物質を受容しているが、その化学的性質によって、認識に必要な甘味受容体側のアミノ酸残基が異なることが明らかになっている¹¹⁾。NNS では、アスパルテームは T1R2 の細胞外領域、シクラメートは T1R3 の膜貫通領域、ブラゼインは T1R3 の細胞外領域の中でもシステインに富む領域に作用することが報告されている¹²⁾。

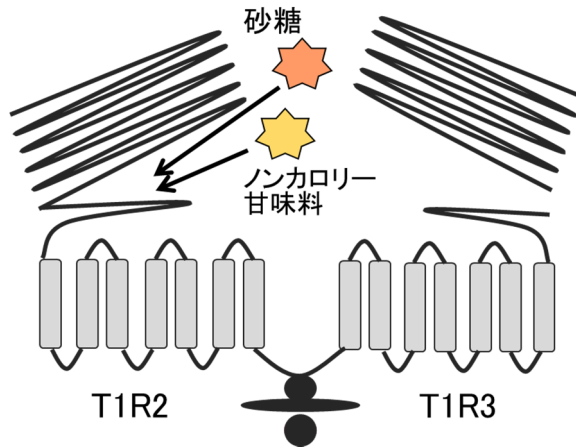


図 2-1 ヒト甘味受容体
食と味覚, pp.2-10 (安岡 顕人) ³⁾をもとに著者改変

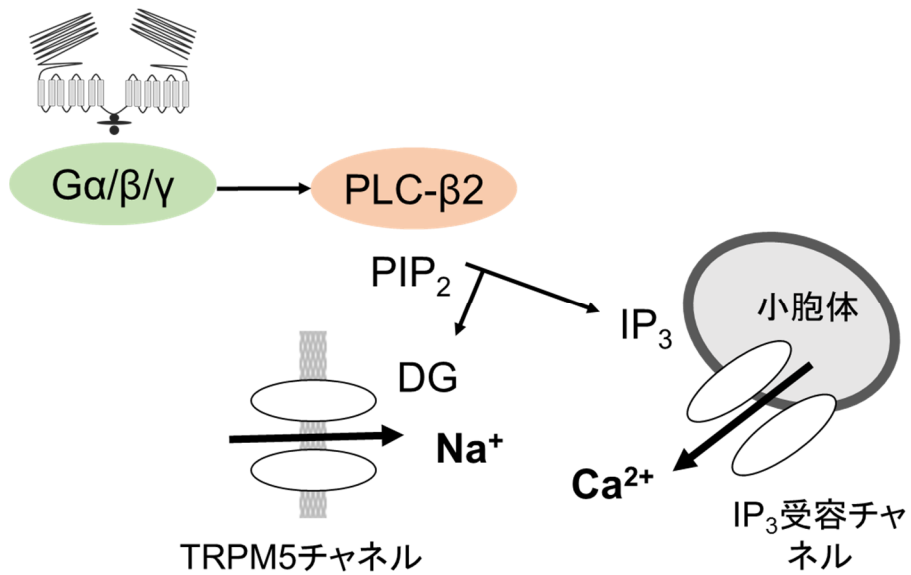


図 2-2 甘味受容の分子メカニズム ^{1-3,10)}
食と味覚, pp.2-10 (安岡 顕人) ³⁾をもとに著者改変

2.2.3 人工甘味料の経口摂取が食欲に及ぼす影響

近年では、甘味受容体は胃や小腸にも存在し、エネルギー調節機構や血糖の恒常性にも関与しているとの報告が相次いでおり、新しい研究領域として注目を集めている^{9,10)}。しかし、スクロースと似た甘味でありながらエネルギーを有さない NNS 摂取後に、食欲感覚や食欲に関わる消化管ホルモン（インクレチン）に違いがみられるかどうかについては一貫した見解が得られていない⁴⁾（表 2-7）。

Anderson et al.¹³⁾ は、若年男性に 200 mL の等甘味度溶液（スクロース（75g）、スクラロース）を負荷し、スクロース溶液と比較して、スクラロース溶液摂取 60 分後の摂食量が多かったことを報告している。Brown RJ et al. は、NNS を含む炭酸水（スクラロース、アセスルファム K を使用）、または炭酸水 240 mL を健常若年者^{17,18)}、1 型糖尿病患者¹⁸⁾ に負荷した後に糖負荷試験を行い、糖負荷後の Glucagon-like peptide 1（GLP-1；グルカゴン様ペプチド 1）の曲線化面積は、NNS を含む炭酸水の負荷で増大したことを報告した。この結果は、NNS 摂取が食欲に抑制的に働いたことを示唆している。また、Brown AW et al.¹⁴⁾ の報告では、若年女性に 355 mL の等甘味度溶液（スクロース（50 g）、スクラロース）を負荷すると、スクロース溶液、スクラロース溶液ともに摂取 30 分後には血中アシルグレリン濃度が低下し、スクロース溶液では 60 分後まで低下が維持されたが、スクラロース溶液では負荷前よりもアシルグレリン濃度が上昇したという結果が示されている。アシルグレリン濃度上昇と同じタイミングでスクラロース溶液試行の空腹感が強まっており、両者の関連性がうかがえる点が興味深い。

以上のように、エネルギーを有さない NNS 摂取であっても、食欲感覚や消化管ホルモンへの影響が認められるとする報告が複数認められる一方で、影響を否定する報告も多い。Ford et al.¹⁵⁾ は、0.083% のスクラロース溶液 50 mL を健常成人に負荷したが、GLP-1 とペプチド YY（PYY）は増加せず食欲も軽減しなかったと報告している。さらに Maersk et al.¹⁶⁾ は、NNS を含むコーラ（アスパルテームを使用）または水 500 mL を肥満者に負荷し、摂取 4 時間後の摂食量に差が認められなかったことを報告した。Wu et al.¹⁹⁾ は、

240 mL の水または等甘味度溶液（スクラロース（52 mg）、アセスルファム K（200 mg））を健常者に負荷した後に糖負荷試験，Pepino et al.²⁰⁾ は，60 mL の水またはスクラロース溶液（48 mg）を肥満者に負荷した後に糖負荷試験を行い，GLP-1 に差が認められなかったことを報告した。

表2-7. 甘味溶液の経口摂取が食欲感覚、食欲関連指標に及ぼす影響を検討した既報

Year	Journal	Nation	Authors	Participants	Test/sample	Parameters	Results
経口摂取試験							
2002	Am J Clin Nutr.	Canada	Anderson GH et al. ⁽¹³⁾	14 men (18-35 y, BMI 20-25 kg/m ²)	等甘味度の糖溶液 200 ml (ポリコーズ, スクロース, アミロース, アミロペクチン, スクラロース)	0-60min: 食欲感覚 60min: 自由摂食	スクロースと比較して、ポリコーズ、スクラロースの食事摂取量が少なかった。エネルギー摂取量と食欲感覚に正相関が認められた。
				14 men (18-35 y, BMI 20-25 kg/m ²)	等甘味度の糖溶液 200 ml (ポリコーズ, スクロース, グルコース, フルクトース + グルコース, スクラロース)	0-60min: 食欲感覚, 血糖値 60min: 自由摂食	スクロースと比較して、スクラロースの食事摂取量が少なかった。エネルギー摂取量は、食欲感覚と正相関、血糖値と負相関が認められた。
2011	Nutr Res	USA	Brown AW et al. ⁽¹⁴⁾	8 women (21.8±2.3 y, BMI 22.2±1.7 kg/m ²)	A 水 355 ml B スクロース 50 g + 水 355 ml C splenda 6 g + 水 355 ml D スクロース 50 g + splenda 6g + 水 355 ml	0-60min: 血液検査 (グルコース, トリグリセロール, グレリン, インスリン, グルカゴン), 空腹感	B・D摂取後、血中インスリン値・グルコース値上昇、血中グレリン値低下を示し、有意ではないが空腹感も軽減した。C摂取後は、B・Dと同様の血中変化を示したが統計的有意性はなく、空腹感に変化しなかった。
2011	Eur J Clin Nutr	UK	Ford HE et al. ⁽¹⁵⁾	1 men, 7 women (22-27 y, BMI 18.8-23.9 kg/m ²)	A 水 50 ml B 0.083% スクラロース溶液 50 ml C 50% マルトデキストリン溶液 + 0.083% スクラロース溶液 50 ml	0-120min: 血液検査 (インスリン, GLP-1, グルコース, PYY), 食欲感覚 120min: 自由摂食	C摂取後のみ、血中インスリン値・グルコース値上昇が認められた。
2012	Eur J Clin Nutr	Denmark	Maersk M et al. ⁽¹⁶⁾	24 obese subjects	A 水 500 ml B レギュラーコーラ 500 ml C ダイエットコーラ 500 ml (アスバルテーム添加)	0-240min: 血液検査 (グレリン, GLP-1, GIP), 食欲感覚 240min: 自由摂食	B摂取後の血中グレリンは、Aと比較して20%程度低値を示した。エネルギー摂取量は、A、CよりもBが高かった。AとCでは、食欲感覚やエネルギー摂取量の差は認められなかった。
経口摂取後、糖負荷試験を実施した試験							
2009	Diabetes Care	USA	Brown RJ et al. ⁽¹⁷⁾	10 men, 12 women (12-25 y, BMI 25.6±4.6 kg/m ²)	炭酸水 240 ml, ダイエットコーラ (スクラロース, アセスルファムK添加) 240 ml	0-180min: 血液検査 (グルコース, インスリン, GLP-1)	ダイエットコーラ摂取後のGLP-1は、炭酸水より高値を示した。
2012	Diabetes Care	USA	Brown RJ et al. ⁽¹⁸⁾	13 men, 12 women (12-25 y, BMI 19-36 kg/m ²)	炭酸水 240 ml, ダイエットコーラ (スクラロース, アセスルファムK添加) 240 ml	0-180min: 血液検査 (グルコース, Cペプチド, GLP-1, GIP, PYY)	ダイエットコーラ摂取後のGLP-1は、炭酸水より高値を示した。
				3 men, 6 women (Diabetes 1, 13-24 y, BMI 18-25 kg/m ²)	炭酸水 240 ml, ダイエットコーラ (スクラロース, アセスルファムK添加) 240 ml	0-180min: 血液検査 (グルコース, Cペプチド, GLP-1, GIP, PYY)	ダイエットコーラ摂取後のGLP-1は、炭酸水より高値を示した。
2013	Diabetes Care	Australia	Wu T et al. ⁽¹⁹⁾	10 men (33.6±5.9 y, BMI 25.5±1.0 kg/m ²)	A 水 240 ml B スクラロース溶液 240 ml (52 mg) C アセスルファムK溶液 240 ml (200 mg) D スクロース (46mg) + アセスルファムK 26 mg 溶液 240 ml	0-180min: 血液検査 (グルコース, Cペプチド, GLP-1, GIP, PYY) 0-240min: 血液検査 (グルコース, インスリン, GLP-1), 胃排出	すべての項目において、差は認められなかった。 すべての項目において、差は認められなかった。
2013	Diabetes Care	USA	Pepino MY et al. ⁽²⁰⁾	2 men, 15 women (35.1±1.0 y, BMI ≥42 kg/m ²)	水 60 ml, スクラロース溶液 60 ml (48 mg)	0-240min: 血液検査 (グルコース, インスリン, Cペプチド, グルカゴン, GLP-1, GIP)	水と比較して、スクラロース摂取後の血中グルコース値、インスリン値、Cペプチド値、インスリン分泌速度が高値を示した。

2.2.4 人工甘味料の胃内投与が食欲に及ぼす影響

近年の甘味受容に関する研究からは、甘味の感知は口腔内のみでなく胃腸でも行われていることが示唆されており^{9,10)}、このことを確認するために、甘味溶液を胃内投与する試験が行われている（表 2-8）。Ma et al.²¹⁾ は、スクロース溶液（50 g）またはスクラロース溶液（80 mg、生理食塩水で溶解）500 mL を健常者の胃内に投与する試験を行った。その結果、スクロース投与後には GLP-1 が高値を示したのに対し、スクラロースでは変化が認められなかった。さらに、Steinert et al.²²⁾ は、口腔内で感知可能な濃度の甘味溶液（グルコース、フルクトース、アスパルテーム、アセスルファム K、スクラロース）250 mL を若年健常者の胃内に投与する試験を行った。グルコース、フルクトース投与後には GLP-1、PYY の増加とグレリンの減少がみられたのに対し、同じ甘さであっても NNS では食欲ホルモンをほとんど変化させなかったと報告している。これらの結果について Steinert et al.²²⁾ は、胃腸には生体が利用可能な糖の存在を検知できるメカニズムが存在するものの、消化管の甘味受容体を介した検知機能はそれ自体で消化管ホルモン分泌を刺激するには不十分であることを示唆している。

表2-8. 甘味溶液の胃内注入が食欲感覚、食欲関連指標に及ぼす影響を検討した既報

Year	Journal	Nation	Authors	Participants	Test sample	Patameters	Results
2009	Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol	Australia	Ma J et al. ²¹⁾	7 subjects (24±2 y, BMI 21.6±1.2 kg/m ²)	A 生理食塩水 500 ml B スクロース溶液 500 ml (50g) C スクラロース (80mg) + 生理食塩水溶液 500 ml D スクラロース (800mg) + 生理食塩水溶液 500 ml	0-240min: 血液検査 (グルコース, インスリン, GLP-1, GIP), 胃排出	Aと比較して, B摂取後のみ血中グルコース値, インスリン値, GLP-1, GIP上昇が認められ, 胃排出が長かった。
2011	Br J Nutr	Switzerland	Steinert RE et al. ²²⁾	6 men, 6 women (19-29 y, BMI 20.5-24.7 kg/m ²)	A 水 250 ml B アスパルテーム溶液 250 ml (169 mg) C アセスルファムK溶液 250 ml (220 mg) D スクラロース溶液 250 ml (62 mg) E フルクトース溶液 250 ml (2.5g) F グルコース溶液 250 ml (5 g)	0-120min:血液検査 (グルコース, インスリン, グレリン, GLP-1, PYY, グルカゴン), 食欲感覚	Aと比較して, F摂取後に, GLP-1, PYY上昇, グレリン低下が認められ, E摂取後にPYY上昇が認められた。

2.2.5 引用文献

- 1) 林由佳子：味細胞における味覚の生理学（情報伝達機構），FFI ジャーナル 213：302-307，2008
- 2) ニノ宮裕三：食の調節情報としての味覚とおいしさのシグナリング，化学と生物 45：419-425，2007
- 3) 安岡顕人：1 味覚のしくみ，第 1 章 味覚のしくみとその不思議，食と味覚，ネスレ栄養科学会誌，建帛社，東京，pp. 2-10，2008
- 4) 斎藤雅文，堀由美子，中島啓：人工甘味料と糖代謝－2000 年以降の臨床研究から－，日本栄養・食糧学会誌 66：69-75，2013
- 5) 芳仲幸治，野上浩孝：医薬品開発に役立つ高甘味度甘味料 スクラロース・タウマチン，FFI ジャーナル 221：170-174，2016
- 6) Gardner C, Wylie-Rosett J, Gidding SS, Steffen LM, Johnson RK, Reader D, Lichtenstein AH; American Heart Association Nutrition Committee of the Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology, Council on Cardiovascular Disease in the Young; American Diabetes Association Nonnutritive sweeteners: current use and health perspectives: a scientific statement from the American Heart Association and the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 35: 1798-1808, 2012.
- 7) Gardner C, Wylie-Rosett J, Gidding SS, Steffen LM, Johnson RK, Reader D, Lichtenstein AH; American Heart Association Nutrition Committee of the Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology, Council on Cardiovascular Disease in the Young, and the American D Nonnutritive sweeteners: current use and health perspectives: a scientific statement from the American Heart Association and the American Diabetes Association. *Circulation* 126: 509-519, 2012
- 8) Chandrashekar J, Hoon MA, Ryba NJP, Zuker CS: The receptors and cells for mammalian taste. *Nature* 444: 288-294, 2006

- 9) Depoortere I: Taste receptors of the gut: emerging roles in health and disease. *Gut* 63: 179-190, 2014
- 10) 太田正人, 國島由美: 味覚の新機能, 日本調理科学会誌 47: 225-229, 2014
- 11) 三坂巧: 人工甘味料－甘味受容体間における相互作用メカニズムの解明, 化学と生物 50: 859-861, 2012
- 12) 朝倉富子: 3 不思議な味物質, 第 1 章 味覚のしくみとその不思議, 食と味覚, ネスレ栄養科学会誌, 建帛社, pp. 16-31, 2008
- 13) Anderson GH, Catherine NL, Woodend DM, Wolever TM: Inverse association between the effect of carbohydrates on blood glucose and subsequent short-term food intake in young men. *Am J Clin Nutr* 76: 1023-1030, 2002
- 14) Brown AW, Bohan Brown MM, Onken KL, Beitz DC: Short-term consumption of sucralose, a nonnutritive sweetener, is similar to water with regard to select markers of hunger signaling and short-term glucose homeostasis in women. *Nutr Res* 31: 882-888, 2011
- 15) Ford HE, Peters V, Martin NM, Sleeth ML, Ghatei MA, Frost GS, Bloom SR: Effects of oral ingestion of sucralose on gut hormone response and appetite in healthy normal-weight subjects. *Eur J Clin Nutr* 65: 508-513, 2011
- 16) Maersk M, Belza A, Holst JJ, Fenger-Grøn M, Pedersen SB, Astrup A, Richelsen B: Satiety scores and satiety hormone response after sucrose-sweetened soft drink compared with isocaloric semi-skimmed milk and with non-caloric soft drink: a controlled trial. *Eur J Clin Nutr* 66: 523-529, 2012
- 17) Brown RJ, Walter M, Rother KI: Ingestion of diet soda before a glucose load augments glucagon-like peptide-1 secretion. *Diabetes Care* 32: 2184-2186, 2009
- 18) Brown RJ, Walter M, Rother KI: Effects of diet soda on gut hormones in youths with diabetes. *Diabetes Care* 35: 959-964, 2012
- 19) Wu T, Bound MJ, Standfield SD, Bellon M, Young RL, Jones KL, Horowitz M,

- Rayner CK: Artificial sweeteners have no effect on gastric emptying, glucagon-like peptide-1, or glycemia after oral glucose in healthy humans. *Diabetes Care* 36: e202-e203, 2013
- 20) Pepino MY, Tiemann CD, Patterson BW, Wice BM, Klein S: Sucralose affects glycemic and hormonal responses to an oral glucose load. *Diabetes Care* 36: 2530-2535, 2013
- 21) Ma J, Bellon M, Wishart JM, Young R, Blackshaw LA, Jones KL, Horowitz M, Rayner CK: Effect of the artificial sweetener, sucralose, on gastric emptying and incretin hormone release in healthy subjects. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 296: G735-G739, 2009
- 22) Steinert RE, Frey F, Töpfer A, Drewe J, Beglinger C: Effects of carbohydrate sugars and artificial sweeteners on appetite and the secretion of gastrointestinal satiety peptides. *Br J Nutr* 105: 1320-1328, 2011

2.3 触覚（口中感覚）による食物の認知

2.3.1 食物の認知と触覚（口中感覚）

口腔内の触覚は、食物の物理的性状が口腔粘膜や歯根膜に存在する触受容器を刺激することによって生じる¹⁾。この感覚は、口あたり、舌触り、歯応えなどと表現されるテクスチャー（食感）がよく知られているが¹⁾、広義では、触覚は体性感覚と定義されており、痛覚、圧覚、温度感覚、振動覚なども含まれる²⁾。食物を口に入れたときに生じる感覚には、味覚、嗅覚、聴覚などもあるが、触覚は第一に働く口中感覚であり³⁾、口に入れたときの食物の印象を大きく左右すると考えられているものである。

口中の温冷刺激を受容する機構として、口中粘膜の三叉神経終末に存在する TRP (Transient Receptor Potential) チャンネルの存在が知られている^{1,4-6)}。TRP チャンネルは 7 つのサブファミリー (TRPV, TRPC, TRPM, TRPML, TRPN, TRPP, TRPA) に分けられており、ヒトでは TRPN を除く 6 つのサブファミリーに 27 のチャンネルが存在する⁴⁻⁶⁾。また温度感受性 TRP チャンネルである TRPV1 が初めて発見されて以来、9 つの TRP チャンネル (TRPV1, TRPV2, TRPV3, TRPV4, TRPM2, TRPM4, TRPM5, TRPM8, TRPA1) が温度感受性を有することが明らかになっている⁴⁻⁶⁾。これらの受容体はそれぞれ異なった温度帯で活性化するが、温度閾値は TRPA1 (17°C 以下) から TRPV2 (52°C 以上) まで幅広い⁴⁻⁶⁾。また、温度感受性を有する TRP チャンネルは、温度以外にも多くのリガンドや物理刺激に応答する「多刺激受容体」として機能するという特徴がある⁴⁻⁶⁾。例えば TRPV1 は、43°C 以上の温熱刺激に加えて、唐辛子の辛み成分であるカプサイシンの痛み刺激に反応する受容体として知られている^{1,4-6)}。一方、TRPA1 は、17°C 以下の冷刺激のほかにアリルイソシアネートや痛覚などの侵害受容でも活性化されることが報告されている^{1,4-6)}。

2.3.2 炭酸水の摂取が食欲感覚に及ぼす影響

炭酸水は、炭酸ガスが溶解した水を指し、人工的に圧力をかけて炭酸を溶解込ませて作る炭酸水と、天然の炭酸水に大別される⁷⁾。炭酸水は、口に含んだときのピリピリ・シュワシュワとした感覚⁸⁻¹⁰⁾や止渴作用から¹¹⁾、清涼感のある飲料として、ヨーロッパを中心にテーブルウォーターなどとして親しまれている。日本でも近年、健康志向などを背景に炭酸水の消費量が増加している¹²⁾。

炭酸水と健康の関わりに着目すると、比較的古くから炭酸水が消化不良などの胃腸症状を緩和するという報告がある¹³⁻¹⁵⁾。それに加えて炭酸水は、エネルギーを有さないため、飲料由来のエネルギー摂取量を抑制でき、肥満予防にも有用であることが知られている¹⁶⁾。我々の先行研究では、Wakisaka et al.¹⁷⁾が、炭酸水飲水が満腹感を増大させることや、この満腹感増大には胃運動や交感神経活動の相対的亢進が関与することを報告している。

炭酸水と水との違いは、炭酸ガスが含まれるかどうかということである。炭酸水は、口腔内に特有の刺激味^{8,9)}やピリピリ・シュワシュワとした感覚⁸⁻¹⁰⁾を与え、胃内では炭酸ガス分離による胃の膨張が生じる¹⁸⁾。固形食では、口中で味わうだけの食べ真似 (sham-feeding) でも食欲に関わる消化管ホルモンレベルを変化させ¹⁹⁾、満腹感が増大することが報告されている²⁰⁾。また、固形食の sham-feeding と液体の胃内投与を併せて行った実験では、sham-feeding の長さが摂食量を抑制することが示唆されている²¹⁾。さらに液体食でも、経口摂取が満腹感をより高めることが、胃内投与との比較より報告されている²²⁾。また胃の膨張は、伸長受容器から迷走神経を経て、脳に満腹感を知らせるサインとなっている^{23,24)}。したがって、炭酸水飲水後の満腹感増大は、口腔内の刺激と胃の膨張の両方によりもたらされた可能性があるが、両者の関与の比率は不明であった。そのため、口中感覚を分離する sham-feeding 試験による検証により、口中の触覚刺激の食欲感覚の寄与について検討する研究には、新規性があると考えられる。

2.3.3 炭酸水の口腔刺激

炭酸水のピリピリする感覚は、口腔内の炭酸脱水素酵素の働きにより、溶存する炭酸ガスから発生した水素イオン、炭酸水素イオンが、舌や口腔内の TRPA1 を刺激することで生じることが知られている¹⁰⁾。また TRPM8 は、冷刺激 (26°C 以下) に加えてメントールなどの冷涼感を有する物質で活性化することが知られているが^{1,4-6)}、炭酸水の刺激受容との関連は不明である。一方、Wise et al.²⁵⁾ は、高気圧下の泡がでない環境であっても、炭酸水のピリピリ感が感じられたことを報告し、酸による化学的な刺激が炭酸水のピリピリ感に重要な役割を果たしている可能性を示唆した。これらのことから、炭酸水による口腔刺激は、炭酸水の泡が口腔内の三叉神経に接触する物理的刺激と、酸による化学的刺激が複合したものであると考えられる。

2.3.4 引用文献

- 1) 山本隆：第2章 脳における食品の味覚認識と摂食行動のしくみ，食と味覚，ネスレ栄養科学会議，建帛社，東京，pp. 33-98，2008
- 2) 永野光，岡本正吾，山田陽滋：触覚的テクスチャの材質感次元構成に関する研究動向，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 16：343-353，2011
- 3) 合谷祥一：テクスチャーとおいしさ，化学と生物 45：644-649，2007
- 4) 富永真琴：植物由来の食品成分と温度感受性 TRP チャンネル 植物由来物質による TRP チャンネル制御，化学と生物 51：592-594，2013
- 5) 富永真琴：TRP チャンネルと感覚－痛みと温度感覚に焦点をあてて－，顕微鏡 46：222-226，2011
- 6) 沼田朋大，香西大輔，高橋重成，加藤賢太，瓜生幸嗣，山本伸一郎，金子雄，眞本達生，森泰生：TRP チャンネルの構造と多様な機能，生化学 81：962-983，2009
- 7) 早川光：ミネラルウォーター・ガイドブック，新潮社，東京，pp. 99-102，2008
- 8) Chandrashekar J, Yarmolinsky D, von Buchholtz L, Oka Y, Sly W, Ryba NJ, Zuker CS: The taste of carbonation. *Science* 326: 443-445, 2009
- 9) Harper SJ, McDaniel MR: Carbonated water lexicon: Temperature and CO₂ level influence on descriptive ratings. *J Food Sci* 58: 893-898, 1993
- 10) Wang YY, Chang RB, Liman ER: TRPA1 is a component of the nociceptive response to CO₂. *J Neurosci* 30: 12958-12963, 2010
- 11) Peyrot des Gachons C, Avriillier J, Gleason M, Algarra L, Zhang S, Mura E, Nagai H, Breslin PAS: Oral cooling and carbonation increase the perception of drinking and thirst quenching in thirsty adults. *PLoS One* 11: e0162261, 2016
- 12) 富士経済：清涼飲料 16 品目の国内市場を調査 2015 年の結果分析と 2016 年を展望，Available at : <https://www.fuji-keizai.co.jp/market/16044.html>
Accessed at January 25, 2017

- 13) Gasbarrini G, Miglio F, Arienti V, Biondi S: Considerations on the therapeutic efficacy of a standard alkaline bicarbonated mineral water in cases of dyspepsia. *Minerva Dietol Gastroenterol* 31: 55-62, 1985
- 14) Cuomo R, Grasso R, Sarnelli G, Capuano G, Nicolai E, Nardone G, Pomponi D, Budillon G, Ierardi E: Effects of carbonated water on functional dyspepsia and constipation. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 14: 991-999, 2002
- 15) Pouderoux P, Friedman N, Shirazi P, Ringelstein JG, Keshavarzian A: Effect of carbonated water on gastric emptying and intragastric meal distribution. *Dig Dis Sci* 42: 34-39, 1997
- 16) Daniels SR, Hassink SG: The role of the pediatrician in primary prevention of obesity. *Pediatrics* 136: e275-e292, 2015
- 17) Wakisaka S, Nagai H, Mura E, Matsumoto T, Moritani T, Nagai N: The effects of carbonated water upon gastric and cardiac activities and fullness in healthy young women. *J Nutr Sci Vitaminol* 58: 333-338, 2012
- 18) Cuomo R, Savarese MF, Sarnelli G, Nicolai E, Aragri A, Cirillo C, Vozzella L, Zito FP, Verlezza V, Efficie E, Buyckx M: The role of a pre-load beverage on gastric volume and food intake: comparison between non-caloric carbonated and non-carbonated beverage. *Nutr J* 10:114, 2011
- 19) Simonian HP, Kresge KM, Boden GH, Parkman HP: Differential effects of sham feeding and meal ingestion on ghrelin and pancreatic polypeptide levels: evidence for vagal efferent stimulation mediating ghrelin release. *Neurogastroenterol Motil* 17: 348-354, 2005
- 20) Smeets AJ, Westerterp-Plantenga MS: Oral exposure and sensory-specific satiety. *Physiol Behav* 89: 281-286, 2006
- 21) Wijlens AG, Erkner A, Alexander E, Mars M, Smeets PA, de Graaf C: Effects of oral and gastric stimulation on appetite and energy intake. *Obesity* 20: 2226-2232, 2012

- 22) Spetter MS, Mars M, Viergever MA, de Graaf C, Smeets PA: Taste matters - effects of bypassing oral stimulation on hormone and appetite responses. *Physiol Behav* 137: 9-17, 2014
- 23) Wang GJ, Tomasi D, Backus W, Wang R, Telang F, Geliebter A, Korner J, Bauman A, Fowler JS, Thanos PK, Volkow ND: Gastric distention activates satiety circuitry in the human brain. *Neuroimage* 39: 1824-1831, 2008
- 24) Andrews PL, Grundy D, Scratcherd T: Vagal afferent discharge from mechanoreceptors in different regions of the ferret stomach. *J Physiol* 298: 513-524, 1980
- 25) Wise PM, Wolf M, Thom SR, Bryant B: The influence of bubbles on the perception carbonation bite. *PLoS One* 21: e71488, 2013

3. < 研究 1 >

視覚による食物の認知と食欲感覚，体温に関する研究

－食品の色は，若年女性の温スープへの受容性と摂取後の満足感，末梢体温を変化させる－

3.1 要旨

食品の色は，摂食者の食べる意欲を左右することが知られている。本研究では，温スープの色が，摂食者の食品の受容性や食欲感覚に加えて，温度感覚や体温に及ぼす影響を検討した。

白色，黄色，青色のポタージュスープのいずれかを，異なる日の朝 9 時に若年女性 12 名に負荷した。スープの印象（摂取意欲，美味しさ，快さ，温かさ，不安感），主観的食欲感覚，主観的温度感覚は，VAS 質問紙に被験者が自己記入した。

鼓膜近似温，足先温は，試験サンプル摂取 20 分前から摂取 60 分後まで連続測定した。青色スープは白色，黄色スープに比べて，摂食意欲や美味しさ，快さ，温かさの各スコアが有意に低く，不安感スコアを有意に高かった。青色スープは，黄色，白色スープよりも摂取後の満足感スコアが有意に低く，主観的温度感覚（体全体）スコアは低い傾向が認められた。さらに黄色スープ摂取後のみ，足先温の有意な上昇が観察された。

本研究結果より，温スープの色は，食物の美味しさや受容性のみならず，摂取後の温かさの感じ方や末梢体温にも影響を及ぼすことが示唆された。肥満や食欲不振など食欲コントロールが必要な人々の食事療養に役立つエビデンスを提供するために，さらなる知見の集積が必要である。

3.2 緒言

食品の外観，中でも色は，摂食者にとって食べる前の食品が安全か，食べどきか，おいしいかどうかを判断するための重要な情報源である^{1,2)}。食品の色は，味覚の閾値や食品の嗜好，快さ，受容性に影響し，食品の選択や摂食において重要な役割を果たしている³⁾。

ある食品に異なる色の光を照射すると，食品への印象や受容性が変わることが知られている。これまでの研究で，りんごやピーマンは，黄色もしくは白色照明下では，摂食者の摂食意欲や外観への嗜好性が高く，青色照明下ではそれらが低くなることが見出されている^{4,5)}。同様に，オムレツとパンケーキのセットを青色照明の下に置くと，黄色や白色照明の下に置いた時よりも摂食者の外観への嗜好性が低くなることも報告されている⁶⁾。

色の心理的効果は摂食行動にも影響する。色と食欲や摂食量の関連を調べた研究からは，黄色照明は青色照明よりも摂食者の食欲や⁷⁾，男性のみであるが摂食量⁶⁾を増加させたことが明らかになっている。食物そのものの色が異なる場合においても，黄色のポテトサラダのほうが青色のポテトサラダよりも食欲をそそることや，摂食者に選択されやすいことが報告されている⁸⁾。以上の既報は，黄色や白色は摂食者の摂取意欲，受容性，食欲，摂食量を高めやすく，逆に青色はそれらを減じやすいという点で，ほぼ一致している。これらの知見は，食欲不振もしくは過食の摂食者の摂食量制御に役立つかもしれない。それゆえ，食前に摂取されることの多いスープをサンプルとした同様の検討は興味深いトピックスである。

さらに，色は食品の温度の感じ方にも影響することが知られている。一般的に，赤色，黄色は暖色，青色，緑色は寒色に分類され，色水の匂いがかぐと赤色ではより温かく，緑色ではより冷たく感じられることが見出されている⁹⁾。青色のグラスに入った冷たい飲み物は，緑色，黄色，赤色のグラスと比べて最も止渴作用が高いと評価され¹⁰⁾，カップに入れた温かいコーヒーは，カップの色が赤色，黄色，緑色，青色の順に温度が高いと評価される¹¹⁾。以上のように，飲料もしくはその容器の色（暖色／寒色）が，温度の感じ方などに影響することは知られている。しかし，摂取後の体全体の温かさや体温

にも影響するのかどうかは興味深いトピックスだが、十分に研究されているとは言えない。

本研究の目的は、エネルギー、主な原材料、温度、風味が等しい、3色（暖色、寒色、白色）の温スープをサンプルとして、スープの色が食品への受容性や食べる意欲とともに、食後の満足感や温度反応に及ぼす影響を明らかにすることである。

3.3 方法

3.3.1 被験者

本研究には、12人の健康な若年女性(年齢 22.0 ± 0.3 歳(平均 \pm 標準誤差)、身長 160.9 ± 1.0 cm、体重 50.6 ± 1.8 kg、Body mass index 19.5 ± 0.7 kg/m²、体脂肪率 24.6 ± 1.5 %、収縮期血圧 100 ± 2 mmHg、拡張期血圧 63 ± 2 mmHg)が参加した。全ての被験者は、非肥満・非喫煙者であり、視覚や嗅覚、食欲、エネルギー代謝に影響する疾患の症状または病歴を有しておらず、習慣的に朝食を摂取している。研究プロトコルは兵庫県立大学環境人間学部研究倫理委員会の承認を得ており(研究題目: スープの色による生理指標・主観指標への影響, 平成28年3月4日承認, 第134号)、ヘルシンキ宣言に則っている。全被験者は、書面にて実験参加に同意した。

3.3.2 試験サンプル調製

じゃがいものポタージュスープ(69 kcal, タンパク質 1.4 g, 脂質 2.2 g, 炭水化物 11.0 g, Na 500 mg)を試験サンプルとし、既報⁴⁻⁸⁾やPCCS色相環¹²⁾を参考に、暖色として黄色、寒色として青色、無彩色として白色を選択した。白色スープ粉末(クノール®カップスープ[ポタージュ], クノール食品株式会社, 神奈川)に、微量のクチナシ黄色色素を添加して黄色スープ粉末を作り、同様にクチナシ青色色素を添加して青色スープ粉末を作った。全てのスープ粉末は細菌検査を行ったあと、アルミ包材で密封した。白い陶磁器のふた付きのスープカップにいずれかのスープ粉末を入れ、150 mLの熱湯で溶かし、摂取する直前まで65°Cに保った(図3-1)。参加者は、3種類のスープを1-18日の間隔を空けた別の日の同時刻に、ランダムな順序で摂取した。スープ摂取時間は5分間に設定した。

表1に試験食の特徴を示した。味と香りは、専門パネル6名による官能検査で評価した。各パネルは、ランダムな順序で提示されるサンプルについて、味(甘味, 塩味, うま味)と香りについて、1(非常に弱い)から7(非常に強い)までのリッカートスケールで評価した。粘度は、Brookfield式回転粘度計(Brookfield Engineering Laboratories, Inc, USA)を用い、No.1ローター、

50 rpm, 65°C 条件で測定した。味, 香り, 粘度の各測定値にサンプル間で有意な差はみられなかった。試験食の色は, 分光色差計 (SE6000, 日本電色工業株式会社, 東京) を用いて, 均等色空間の各パラメータである, L* (明るさ), a* (+a*, 赤色方向; -a*, 緑色方向), b* (+b*, 黄色方向; -b*, 青色方向) を測定した。



図 3-1 試験サンプル (左から白色, 黄色, 青色スープ)

表3-1. 各試験サンプルの特性

	Sweetness	Flavor ^{ab}			Aroma ^{ab}	Viscosity ^b (mPs·s)	Color parameters ^c		
		Saltiness	Umami				L*	a*	b*
White soup	3.2 ± 0.3	4.3 ± 0.3	3.5 ± 0.2	3.0 ± 0.4	717.8 ± 92.8	65.1	-3.36	5.6	
Yellow soup	3.3 ± 0.6	4.0 ± 0.6	4.2 ± 0.4	3.2 ± 0.5	790.5 ± 80.6	63.1	-9.46	36.4	
Blue soup	3.2 ± 0.3	4.0 ± 0.4	3.7 ± 0.3	3.0 ± 0.4	700.5 ± 109.8	39.6	-6.03	-13.67	

平均 ± 標準誤差。^a官能試験による(1:非常に弱い, 2:かなり弱い, 3:やや弱い, 4:普通, 5:やや強い, 6:かなり強い, 7:非常に強い, の7尺度)にパネルが回答。^b3つのサンプル間に有意差は認められなかった(一元配置分散分析)。^cL*(明るさ), a*(+a*, 赤色方向; -a*, 緑色方向), b*(+b*, 黄色方向; -b*, 青色方向)

3.3.3 実験デザインと測定プロトコル

実験デザインは、全被験者に3種類の試験サンプル（白色，黄色，青色のスープ）を無作為な順序で，1日以上ウォッシュアウト期間を設けながら午前中の同時刻（9時前後）に摂取する，ランダム化クロスオーバーデザインとした。

被験者は，試験日の少なくとも1か月前から通常的生活習慣と体温を維持し，試験日前日はコーヒーや紅茶，辛い食品，高脂肪食品の摂取や運動を避けること，22時以降の絶食を依頼した。実験当日，被験者は前夜22時から絶食状態で（飲水は実験2時間前まで許可），8時に兵庫県立大学環境人間学部栄養生理学実験室（25-26°C）に来室した。検査衣に着替えた後，4極8点接触式電極の生体電気インピーダンス法（InBody520, Biospace, Korea）で体重と体脂肪率を測定し，測定用ベッドへ移動した。血圧（OMRON HEM-907, オムロン株式会社, 京都）を2回測定した後，深部・末梢体温用センサーを装着し，上体を45°起こした姿勢で15分以上安静を保持した。その後，鼓膜近似温と足先温を試験サンプル摂取20分前から摂取60分後まで連続測定した。試験サンプルの視覚的印象（摂食意欲，美味しさ，温かさ，快さ，不安感），主観的食欲感覚（空腹感，満足感），主観的溫度感覚（体全体，足先）は，視覚的評価尺度（VAS）を用いた質問紙に記録した。試験サンプルの印象は，摂取意欲を試験サンプル摂取前のみ，美味しさ，温かさ，快さ，不安感は試験サンプル摂取前後に測定した。主観的食欲感覚と主観的溫度感覚は，サンプル摂取前，摂取直後（0分後），30分後，60分後に測定した。さらにスープの摂取前には，スープの色から連想した食べ物について，自由記述で回答を依頼した。試験サンプルは，5分間で摂取するように指示した。すべての被験者をパーテーションで仕切り，安静と覚醒を保持した。

3.3.4 VAS 質問紙を用いた主観的感覚の測定

試験サンプルの視覚的印象（摂食意欲，美味しさ，温かみ，快さ，不安感），主観的食欲感覚（空腹感，満足感）^{13,14)}，主観的溫度感覚（体全体，足先）¹⁵⁾は，VAS 質問紙を用いて測定した。VAS 質問紙は，①質問または見出し，

②横に引いた 100 mm の長さの線 (VAS), ③線の左右末端に記された最小／最大の状態を表す言葉より構成されている。被験者は、それぞれの質問や項目に対して自分の食欲感覚と一致するように線に交差する印をつけ、線の左端から被験者がつけた印までをスコアとした¹³⁻¹⁵⁾。

3.3.5 統計処理

すべてのデータは平均±標準誤差で示した。統計処理には SPSS (SPSS for Windows ver. 22, IBM, 東京) を用い、検定の有意水準は 5% (両側検定) とした。各試験サンプルの特性 (味, 香り, 粘度) は、各試行間 (3 群間) を分散分析で比較した。試験サンプルの視覚的印象の各スコアは、Kruskal-Wallis 検定で比較し、その後の多重比較には Dunn 検定を用いた。試験サンプルの視覚的印象の各スコアの摂取前後の比較には、Wilcoxon の符号付き順位検定を用いた。各試行間 (3 群比較) の試験サンプル摂取後の時系列データ (主観的食欲感覚, 主観的温度感覚, 体温) の変化パターンは、被験者内因子を試験サンプル (因子 1) と経過時間 (因子 2) とする二元配置分散分析 (反復測定, 対応ありと対応あり) で検定した。その分析の過程において Mauchly の球面性検定を行い、球面性の仮定もしくは Huynh-Feldt のイプシロンの修正により被験者内効果 (Color effect, Time effect), および交互作用 (Color×Time) をそれぞれ検定した。交互作用が $p < 0.05$ の場合は交互作用あり (変化のパターンが試行により異なる) と判定した。また、摂取前を基点とする Dunnett の多重比較を用いて、試験サンプル摂取前後の比較を行った。体温については、各群の曲線下面積 (Areas under the curve : AUC) を算出し、3 群間を一元配置分散分析, Bonferroni 検定で比較した。

3.4 結果

3.4.1 試験サンプルの視覚的印象

摂取前のみ測定した摂取意欲スコアは、スープの色によって顕著に異なっていた（白色スープ 72.0 ± 2.7 mm, 黄色スープ 79.2 ± 3.5 mm, 青色スープ 22.9 ± 5.4 mm, $p < 0.001$ ）。すなわち青いスープでは、白色（ $p = 0.001$ ）、黄色（ $p < 0.001$ ）スープより有意に低いスコアが示された。

図 3-2 に、摂取前後の美味しさ、温かみ、快さ、不安感の各スコアを示した。摂取前に測定した青色スープの印象は、白色、黄色スープと比べて、美味しさ、温かみ、快さの各スコアが有意に低く、不安感スコアが有意に高かった（ $p < 0.001$ ）。そして、美味しさ（ $p = 0.002$ ）、温かみ（ $p < 0.001$ ）、快さ（ $p < 0.001$ ）、不安感（ $p < 0.001$ ）の各スコアの差は、摂取後まで維持された。摂取前後のスコアを比較すると、白色スープの摂取後には、美味しさ（ $p = 0.023$ ）、温かみ（ $p = 0.019$ ）、快さ（ $p = 0.019$ ）の各スコア、黄色スープの摂取後には温かみスコア（ $p = 0.010$ ）が小幅ながら有意に上昇した。青色スープでは、摂取後に美味しさ（ $p = 0.002$ ）、温かみ（ $p = 0.005$ ）、快さ（ $p = 0.025$ ）の各スコアが有意に上昇した。不安感スコアは、どのスープにおいても、摂取前後の有意な変化はみられなかった。

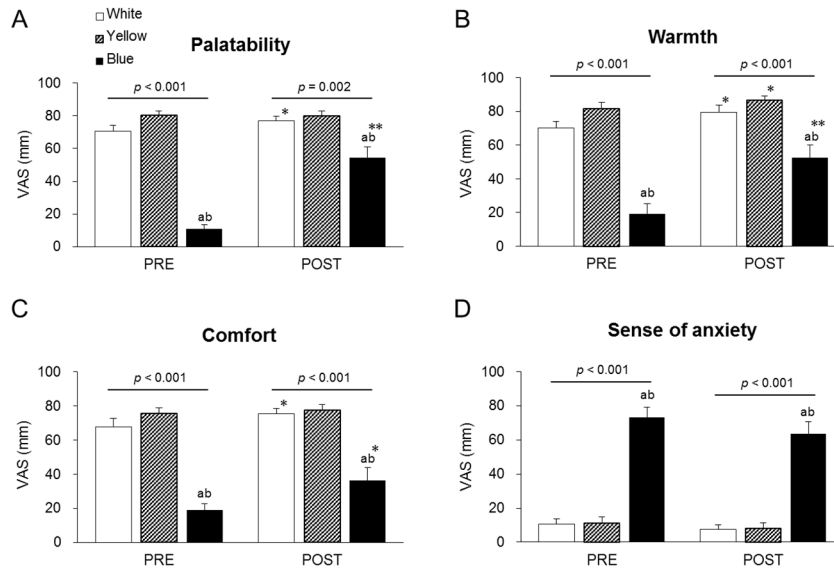


図 3-2 試験サンプルの視覚的印象（VASスコア）の前後比較

試験サンプル摂取前後の視覚的印象（VASスコア）。美味しさ（A），温かみ（B），快さ（C），不安感（D）。平均±標準誤差。 p 値はKruskal-Wallis検定により算出した。^a $p < 0.05$ vs. White, ^b $p < 0.05$ vs. Yellow（Dunn検定）。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs. 摂取前（PRE）（Wilcoxonの符号付き順位検定）。

3.4.2 スープの色から連想した食物

白色スープからは，12名中11名が，じゃがいも，たまねぎ，牛乳，チーズ，クリーム，豆乳，甘酒のいずれか，あるいはそのうちの複数を選挙したと回答し，1名が「なし」と回答した。黄色スープでは，全員がとうもろこし，かぼちゃ，バター，チーズのいずれか，あるいはそのうちの複数を選挙したと回答した。青色スープでは，12名中5名が，ソーダ，青色着色料，カクテルのブルーハワイ，青色シロップ，甲殻類の卵のいずれか，あるいはそのうちの複数を選挙したと回答し，7名が「なし」と回答した。

3.4.3 食欲感覚

図 3-3 に、試験サンプル摂取前後の主観的食欲感覚(VAS スコア経時変化)を示した。空腹感スコア(図 3-3A)は、すべてのスープで摂取後に一時的に減少した後、白色、黄色スープでは測定終了(60分)に向かって徐々に増加したが、青色スープでは空腹感スコアの有意な低値が維持された($p < 0.05$)。しかし、空腹感スコアの経時変化のパターンには、統計的有意性は認められなかった(Color×Time, $p = 0.165$)。満足感スコア(図 3-3B)は、白色、青色スープに比べて黄色のスープで摂取直後(0分)の高値が観察された。さらに、白色、黄色スープでは摂取直後に最も高いスコアが示されたが、青色スープでは摂取30分後に最も高いスコアが示された。満足感スコアは、経時変化のパターンが有意に異なっていた(Color×Time, $p < 0.001$)。

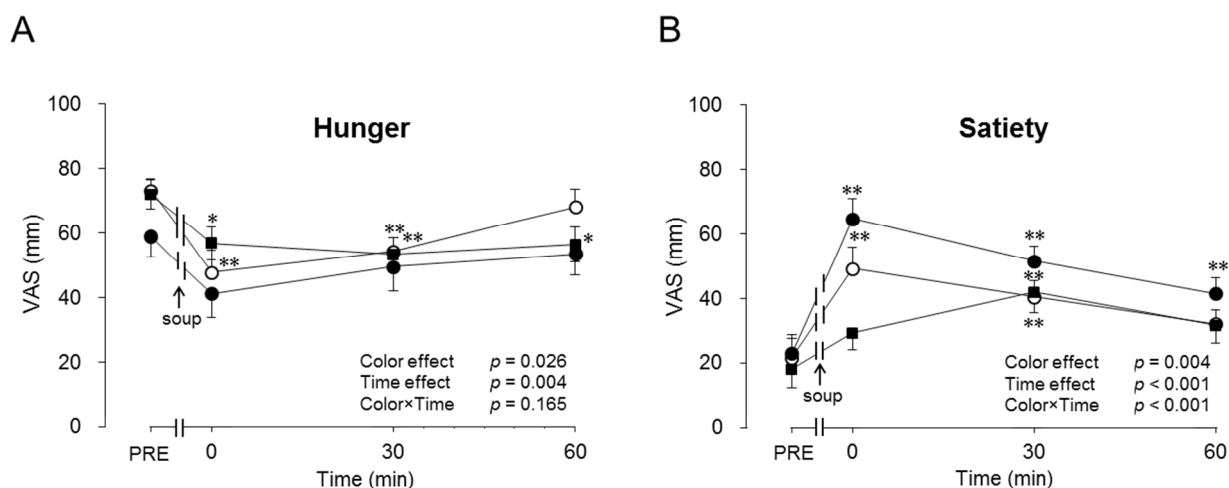


図 3-3 主観的食欲感覚 (VAS) スコアの経時変化

試験サンプル摂取前後の主観的食欲感覚 (VAS スコア) の時系列データ。空腹感 (A), 満足感 (B)。平均±標準誤差。二元配置分散分析 (反復測定)。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs. 摂取前 (PRE) (Dunnnett の多重比較)。○ 白色, ● 黄色, ■ 青色。

3.4.4 温度感覚

図 3-4 に、試験サンプル摂取前後の主観的温度感覚(VAS スコア経時変化)を示した。体全体(図 3-4A)、足先(図 3-4B)の主観的温度感覚スコアは、3 試行ともに、摂取直後(0 分後)に有意に高値を示し($p < 0.05$)、その後減少した。しかし、体全体、足先の主観的温度感覚スコアはともに、経時変化のパターンに統計的有意性は認められなかった。体全体の主観的温度感覚スコアは、白色、黄色スープに比べて青色スープで低値を示したが、体全体、足先の主観的温度感覚スコアはともに、経時変化のパターンに統計的有意性は認められなかった(体全体 Color×Time, $p = 0.064$; 足先 Color×Time, $p = 0.45$)。

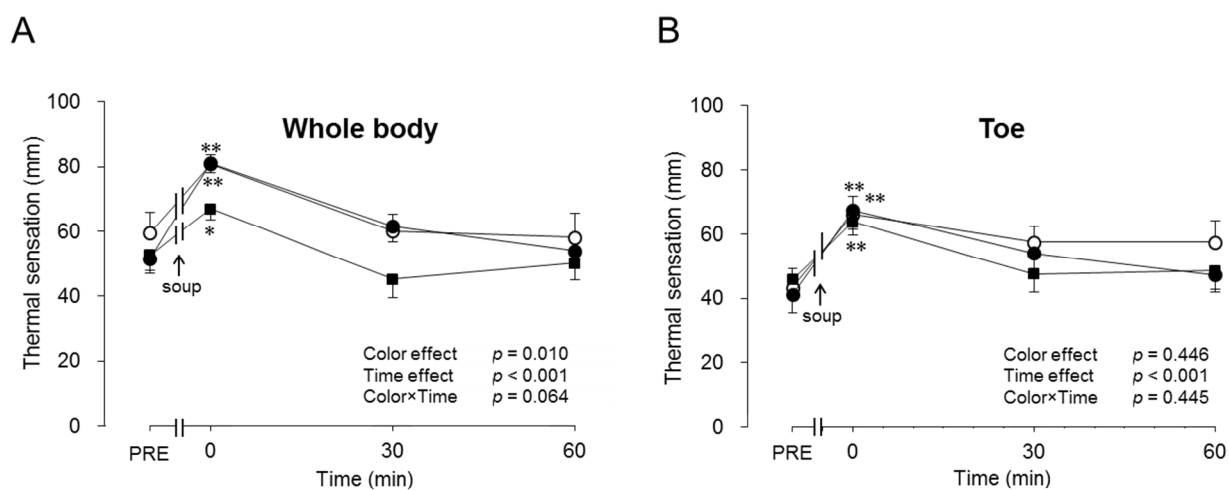


図 3-4 主観的温度感覚 (VAS) スコアの経時変化

試験サンプル摂取前後の主観的温度感覚 (VAS スコア) の時系列データ。体全体 (A)、足先 (B)。平均±標準誤差。二元配置分散分析 (反復測定)。
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs. 摂取前 (PRE) (Dunnett の多重比較)。○ 白色、● 黄色、■ 青色。

3.4.4 体温

図 3-5 は、試験サンプル摂取前を基準とした体温の経時変化と曲線化面積である。鼓膜温（図 3-5A）は、すべてのスープ摂取後に同程度に上昇し、経時変化のパターンは統計的有意性を示さなかった。

足先温（図 3-5B）の経時変化のパターンは、有意に異なっており、黄色スープは足先温を有意に上昇させたが、白色、青色スープは足先温を上昇させなかった（Color×Time, $p = 0.026$ ）。すなわち摂取前と比較して、黄色スープ摂取後は有意に高い足先温を示したが（0-25 分後, $p < 0.05$ ）、反対に、白色、青色スープは測定後半に有意に低い足先温を示した（白色スープ 50-60 分後, 青色スープ 40-60 分後, $p < 0.05$ ）。さらに、足先温の ΔAUC は、3 群間の有意差が認められ（ $p = 0.039$ ）、黄色スープの ΔAUC は、青色スープの ΔAUC に比べて高値傾向を示した（ $p = 0.052$ ）。

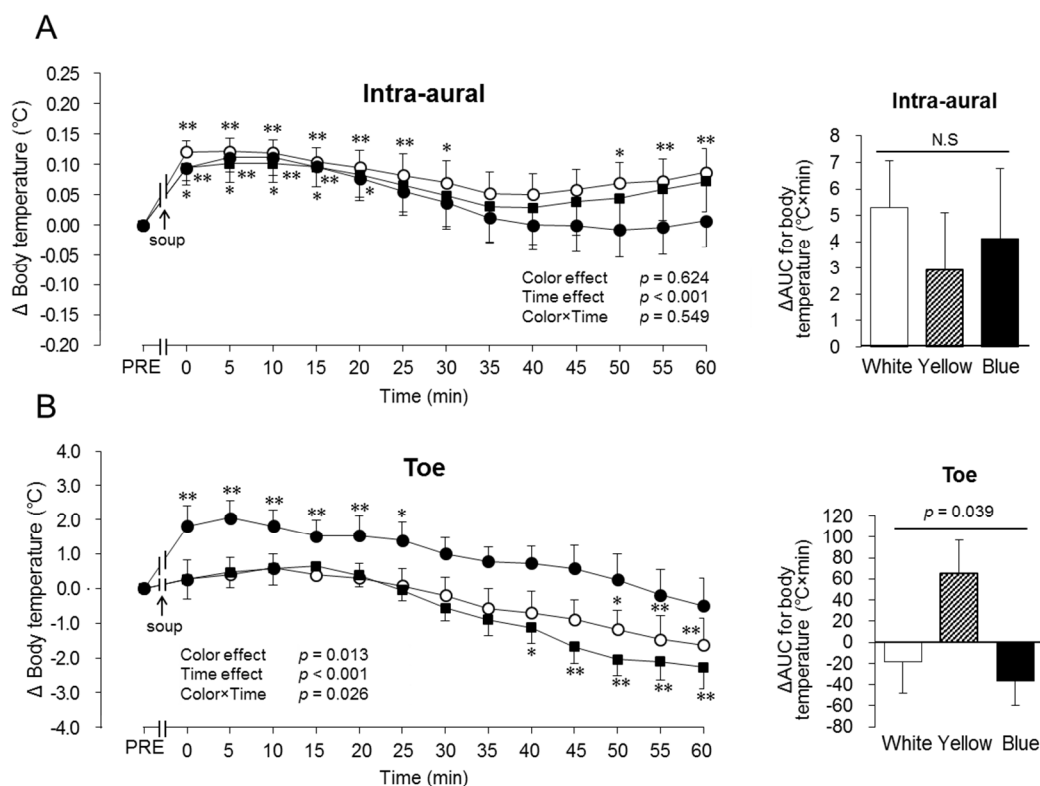


図 3-5 体温の経時変化

試験サンプル摂取前（PRE）を基点とした、各サンプル摂取後の時系列データと曲線化面積（AUC）。鼓膜温（A）、足先温（B）。平均±標準誤差。時系列データは二元配置分散分析（反復測定）、AUCは一元配置分散分析で検定した。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ vs. 摂取前（PRE）（Dunnett の多重比較）。○白色, ●黄色, ■青色。

3.5 考察

本研究の主要な知見は以下の3点である。1) 青色スープは、白色、黄色スープに比べて、摂取意欲、美味しさ、温かみ、快さの各スコアが有意に低く、不安感スコアは有意に高かったことから、受容性の低さが示された。2) 青色スープは、白色、黄色スープよりも、食後の満腹感を低下させ、体全体の主観的温感を低下させる傾向があった。3) 黄色スープは、白色、青色スープと比較して、摂取後の足先温を上昇させた。

3.5.1 温スープの色と視覚的印象

青色スープは、摂取前の食べてみたいという意欲や美味しそうか、温かそうかといった外観への評価を著しく減じる一方で、不安感を高めた。ヒトは、食品の外観と過去の経験を照らし合わせて食物の素材やそれらが安全かどうかを推測している¹⁶⁾。白色、黄色スープでは、被験者のほぼ全員がそれらのスープによく使われる食品を外観から連想したが、青色スープでは、連想される食品は「なし」もしくは、ソーダ、シロップ、着色料といったスープの材料として使われにくいものであった。青色という視覚情報が、安全な食品が供されているという事前の情報を歪め、認知の不協和を作り出したと考えられる。Cho et al.⁶⁾ は、同じ食品でも青色照明下に置くと外観の嗜好性が黄色や白色照明下に置いた時よりも低いことを明らかにしており、我々の結果と良い一致をみている。Cho et al.⁶⁾ は、青色の食品は希少なので、ヒトはその食品を食べても安全かどうかを疑うためであろうと考察で論じていた。本研究でも、青色のスープの食体験が無く、かつ、原材料を想起しにくかったことが、見た目の低い評価につながったのかもしれない。

また、摂取前の青色スープの美味しさ、温かみ、快さの評価は著しく低かったが、摂取後には数倍に高まった。その理由は、摂食により見た目から予想された風味と実際の風味の不一致の感覚が少し減ったことが考えられる。青色スープの温かみの評価が摂食後も白色、黄色スープより低いままだったのは、青色（寒色）という視覚的認知と、温かいという2つの情報の不一致が、評価に影響した可能性が考えられる。一方、青色スープの不安感は摂取

後も高いままであった。Paakki et al.⁸⁾ は、青色または黄色のじゃがいもで作ったポテトサラダは、試食の後であっても伝統的で馴染みがあり、安全であるという理由で黄色がよく選ばれることを報告している。本研究でも、青色スープに馴染みがないために、新規性食品への恐怖反応¹⁷⁾が不安感として強く表出された可能性が考えられる。

3.5.2 温スープの色と食欲

本研究では、早朝空腹時に 150 mL のスープのみを供したため、空腹感スコアの低下は僅かであった。しかし、青色スープでは摂取 60 分後も空腹感スコアは摂取前よりも有意な低値が維持され、すなわち、食欲の抑制が続いた。Suk et al.⁷⁾ は、様々な色の照明下に食物を置くと、黄色は摂食者の食欲を刺激するが、赤色や青色は減弱させることや、もともとの食品の色と照明色が近い時に摂食者の食欲が刺激されることを見出している。この既報と本結果を併せて考察すると、青色スープは食欲が減弱しやすい色であり、スープの色として不自然であったことが、被験者の不安や安全への疑いを惹き起こし、食欲が抑制されたのかもしれない。

また、青色スープでは摂取直後の満足感スコアも低かったことから、白色、黄色スープとは異なる食欲反応が示されたといえる。心理的要因と消化器運動の面から考察すると、胃運動は空腹感、満足感の重要なメディエータであることが知られている¹⁸⁾。青色スープでは摂取前後ともに不安感が高かったことが、胃運動を変調させて食欲を感じにくくし¹⁹⁾、空腹感や満足感の反応を変化させたことが推察される。

3.5.3 温スープの色と体温

白色、黄色スープでは、摂取後の体全体の主観的溫度感覚が青色スープよりも高値であった。また、実際の体温では、深部体温の指標として測定した鼓膜温は摂取 15-30 分後まで有意に高まったのち減少に転じる変化を示し、スープの色による有意な差はなかった。末梢体温の指標として測定した足先温は、黄色スープで最も高まった。

飲料またはその容器の暖色は温かさ、寒色は冷たさの感覚を誘導することが知られている^{9,11)}。色による視覚刺激と体温反応に関しては、Shen et al.²⁰⁾が、被験者に10分間色紙を提示してサーモグラフィで皮膚温を測定する実験を行い、足先温の上昇は赤色では白色や青色より高かったことを報告している。また、食物の美味しさと体温反応に関しては、de Wijk et al.²¹⁾が、好きな食品摂取後には皮膚温が上がり、嫌いな食品摂取後には皮膚温が低下することを見出した。また、心理状態と体温反応に関しては、Kreibig²²⁾が、不安感が指温度を低下させ、喜びや楽しさが指温度を上昇させることを観察している。さらに、飲食物の美味しさと体循環に関しては、Kashima et al.²³⁾が、嗜好性の高い液体ほど、摂取後のまぶたの血流量が増加したことを報告している。我々もこれまでに、温スープの美味しさが食後の心拍数、足先温の上昇と関連していることを報告している²⁴⁾。

以上の知見と本結果を総合すると、飲食物摂取後の主観的温感と実測体温の変化には、暖色か寒色かという色そのものの効果と、飲食物の美味しさ、飲食物への印象（不安感や快さ）が関連していると考えられる。また、黄色スープでみられた顕著な足先温上昇は、暖色であることや、美味しさや快さによって心拍数が上昇し、末梢の血流量の増加によってもたらされたと考えられる。今後は多様な生理学的指標による追試が必要である。

3.5.4 新規性と限界

本研究のひとつの限界は、若い女性のみという点である。また日本は、四季による気温差が大きく、朝に行う試験では外気温の差が体温に影響する。そのため、実験を1か月以内に行うことを最優先し、3試行を同じ性周期（高温期／低温期）に行うという、性周期のコントロールができなかった。そのため、体温は摂食前からの変化量で表しているが、性周期が結果に影響した可能性は否定できない。今後は、男性や異なる年代における検討が必要である。また青色スープには、寒色という要素に加え‘新奇食品’すなわちポタージュスープとしての食体験のない色であるという要素が寒色であるという要素に加わった可能性がある。ポタージュスープにはハウ

レンソウやトマトを素材とした緑色，赤色のものもある。暖色と寒色という要素に加え，健康的かどうかという意識の要素も加味した検討が今後は必要であると考えられる。さらに，スープは風味が等しくなるように作製したが，食用色素の添加により僅かに味の違いが生じたことである。事前に行った専門パネルによる官能検査では差がなかったが，敏感な被験者には風味の違いがスープの評価に影響した可能性がある。しかし，本研究は，我々が調べた限りにおいて，温かい飲食物の色が，食後の主観的温感や末梢体温を変化させることを見出した最初の研究である。

我々は，エネルギー，主な原材料，温度，風味が等しい，3色（暖色，寒色，白色）の温スープをサンプルとした試験を行い，温スープの色は，食物の美味しさや受容性のみならず，摂取後の温かさの感じ方や末梢体温にも影響を及ぼすことを明らかにした。肥満や食欲不振など食欲コントロールが必要な人々の食事療養に役立つエビデンスを提供するために，さらなる知見の集積が必要である。

3.6 引用文献

- 1) Hutchings JB: Chapter 1 Food color and appearance in perspective. *Food color and appearance (2nd Ed.)*. Aspen Publishers, Inc, Gaithersburg, MD, pp. 1-30, 1999
- 2) Eertmans A, Baeyens F, Van den Bergh O: Food likes and their relative importance in human eating behavior: review and preliminary suggestions for health promotion. *Health Educ Res* 16: 443-456, 2001
- 3) Spence C: On the psychological impact of food colour. *Flavour* 4: 21, 2015
- 4) Yang F, Cho S, Seo HS: Effects of light color on consumers' acceptability and willingness to eat apples and bell peppers. *J Sens Stud* 31: 3-11, 2016
- 5) Hasenbeck A, Cho S, Meullenet JF, Tokar T, Yang F, Huddleston EA, Seo HS: Color and illuminance level of lighting can modulate willingness to eat bell peppers. *J Sci Food Agric* 94: 2049-2056, 2014
- 6) Cho S, Han A, Taylor MH, Huck AC, Mishler AM, Mattal KL, Barker CA, Seo HS: Blue lighting decreases the amount of food consumed in men, but not in women. *Appetite* 85: 111-117, 2015
- 7) Suk HJ, Park GL, Kim Y: Bon Appétit! An investigation about the best and worst color combinations of lighting and food. *Journal of Literature and Art Studies* 2: 559-566, 2012
- 8) Paakki M, Sandell M, Hopia A: Consumer's reactions to natural, atypically colored foods: An investigation using blue potatoes. *J Sens Stud* 31: 78-89, 2016
- 9) Michael GA, Rolhion P: Cool colors: color-induced nasal thermal sensations. *Neurosci Lett* 436: 141-144, 2008
- 10) Guéguen N: The effect of glass colour on the evaluation of a beverage's thirst-quenching quality. *Curr Psychol Lett* 11: 1-6, 2003
- 11) Guéguen N, Jacob C: Coffee cup color and evaluation of a beverage's "warmth quality". *Color Research & Application* 39: 79-81, 2014

- 12) 熊野加代子：衣・食・住にまつわるベーシックデザイン&カラー，FII
ジャーナル 221：133-141，2016
- 13) Flint A, Raben A, Blundell JE, Astrup A: Reproducibility, power and validity
of visual analogue scales in assessment of appetite sensations in single test
meal studies. *Int J Obes Relat Metab Disord* 24: 38-48, 2000
- 14) 永井成美，日比壮信，山口亨，亀尾洋司，小林滋，片嶋充弘：視覚的ア
ナログ目盛り（visual analogue scales：VAS）を用いた日本語版食欲質問紙
の作成と再現性，妥当性の検討，日本肥満学会誌 18：39-51，2012
- 15) 高木絢加，武田一彦，御堂直樹，駒居南保，山口光枝，永井成美：温ス
ープ摂取後の主観的溫度感覚および深部・末梢体温の変化，栄養学雑誌
71：49-58，2013
- 16) Clydesdale FM: Color as a factor in food choice. *Crit Rev Food Sci Nutr* 33:
83-101, 1993
- 17) Birch LL: Development of food preferences. *Annu Rev Nutr* 19: 41-62, 1999
- 18) Janssen P, Vanden Berghe P, Verschueren S, Lehmann A, Depoortere I, Tack
J: Review article: the role of gastric motility in the control of food intake.
Aliment Pharmacol Ther 33: 880-894, 2011
- 19) Geeraerts B, Vandenberghe J, van Oudenhove L, Gregory LJ, Aziz Q, Dupont
P, Demyttenaere K, Janssens J, Tack J: Influence of experimentally induced
anxiety on gastric sensorimotor function in humans. *Gastroenterology* 129:
1437-1444, 2005
- 20) Shen Z, Tone A, Asayama M: The effects of viewing different colors on EEG
and skin temperature in humans. *Journal of ISLIS* 17: 105-117, 1999
- 21) De Wijk RA, Kooijman V, Verhoeven RHG, Holthuyzen NTE, de Graaf C:
Autonomic nervous system responses on and facial expressions to the sight,
smell, and taste of liked and disliked foods. *Food Quality and Preference* 26:
196-203, 2012
- 22) Kreibig SD: Autonomic nervous system activity in emotion: a review. *Biol
Psychol* 84: 394-421, 2010

- 23) Kashima H, Hamada Y, Hayashi N: Palatability of tastes is associated with facial circulatory responses. *Chem Senses* 39: 243-248, 2014
- 24) 高木 絢加, 岸田 菜々, 鈴木 麻希, 武田 一彦, 木村 理恵, 永井 成美 : 温スープ摂取後の安堵感と体温上昇に及ぼすナトリウム・嗜好性の影響, 栄養学雑誌 74 : 165-173, 2016

4. < 研究 2 >

味覚による食物の認知と食欲感覚，胃運動に関する研究

－エネルギーを有さない人工甘味溶液摂取後の食欲感覚と胃運動；
等甘味度天然甘味料溶液との比較－

4.1 要旨

エネルギーを有さない人工甘味料のスクラロースが食欲感覚や胃運動に及ぼす影響を，スクラロースとの比較により明らかにすることを目的とした。15°Cで150 mLのスクラロース溶液（SR），等温・等量・同程度の甘さのスクラロース溶液（S），コントロール（軟水，W）を，異なる日の朝9時に前夜22時より絶食した若年女性に負荷した。30 mLずつ分注したサンプルを口に含み口腔内に十分に行き渡らせてから飲み込む方法で甘味刺激を5回繰り返し，0・1・5杯目の甘味の感じ方を調べた。胃電図，心電図（心拍数），体温は，サンプル摂取20分前から摂取65分後まで測定し食欲感覚は15分毎に評価した。SとSRともに摂取直後の食欲を一過性に抑制しSRで低下が顕著だった。その後の食欲は溶液の甘味を強く感じるほど高まった。胃電図の応答はSとSRで異なり，心拍数増加はSでのみ認められた。本結果よりSRは心拍数や体温は上昇させないが，一過性に食欲を抑制し異なる胃運動を示すことがSとの比較において示唆された。

4.2 緒言

近年、健康志向の高まりなどを背景に、砂糖代替品として新規の人工甘味料が開発されている¹⁾。なかでもスクラロースは、砂糖に似た味質を持つ 0 kcal の高甘味度甘味料で、長期保存性等の有用性から多様な食品に利用されている²⁾。糖質の過剰摂取が問題視されている米国において、スクラロースを含む低栄養性甘味料 (Nonnutritive sweeteners ; NNS) は、砂糖の代替品として発達・普及してきた歴史がある¹⁾。2012 年の米国心臓協会と米国糖尿病学会による科学的声明^{3,4)}では、「砂糖を NNS に置き換えることが、砂糖の使用や糖質摂取量を減少させるかどうか、および、食欲やエネルギーバランス、心臓病や代謝上の危険因子に対して恩恵があるかどうか、最終決定するためのデータは現時点では十分ではない」と述べた上で、「NNS を上手く使うことで砂糖の摂取量を抑え、そのことによってエネルギー摂取量の抑制や減量などの効果をもたらすかもしれない」と慎重ながらもその潜在的恩恵の可能性について言及している¹⁾。

甘味の味覚受容は、味蕾細胞中に発現する G protein-coupled receptors (GPCRs ; G タンパク共役型受容体) ファミリーの一員である、Taste 1 receptor family (T1R) と呼ばれる受容体で行われており⁵⁾、T1R ファミリーのヘテロ二量体サブタイプである T1R2/T1R3 が、砂糖 (以下スクロースと記載)、NNS などの甘味を受容することが知られている⁵⁾。つまり、エネルギーの有無に関わらず T1R2/T1R3 に結合することで、甘味シグナルが感覚神経を介して脳に伝達され、糖が体内に入ってきたと認識される。近年、甘味受容体は胃や小腸にも存在し、エネルギー調節機構や血糖の恒常性にも関与しているとの報告が相次いでおり、新しい研究領域として注目を集めている⁵⁾。しかし、スクロースおよび NNS (スクラロースを含む) 摂取後の、食欲感覚や食欲に関わる消化管ホルモンなどの違いについては一貫した見解が得られていない^{1,5)}。

そこで本研究では、同程度の甘味を有する溶液であってもエネルギーの有無により、摂取後の食欲感覚や、関連する生理指標として胃運動、心拍数、体温が異なるかどうかを明らかにすることを目的として、15°C、150 mL の

スクロース溶液（以下 S と記載）と，等温・等量・等甘味度のスクラロース溶液（以下 SR と記載），コントロールとして軟水を用いた 3 試行をランダム化クロスオーバーデザインで行い，比較した。

4.3 方法

4.3.1 被験者

兵庫県立大学内で募集し、非肥満・非喫煙で、喫煙習慣や味や香りの感じ方に影響を及ぼす可能性のある疾患を有さないことを確認した、20-22歳の若年女性12名（年齢 20.8 ± 0.8 歳（平均 \pm 標準誤差）、身長 160.3 ± 3.5 cm、体重 49.1 ± 7.0 kg、Body mass index 19.1 ± 2.2 kg/m²）を被験者とした。被験者の甘味飲料の飲用状況（過去1か月）は、砂糖含有飲料摂取（週1回以上）が6名（50.0%）、NNS含有飲料摂取（週1回以上）が4名（33.3%）、砂糖含有飲料・NNS含有飲料ともに摂取が2名（16.7%）、どちらも週1回未満の摂取が4名（33.3%）であった。インフォームド・コンセントを実施し、書面での同意を得たうえで被験者登録を行い、試験参加への協力を得た。事前のキャンセルやドロップアウトがなかったため、全員のデータを解析に用いた。本研究は、兵庫県立大学環境人間学部研究倫理委員会の承認を得て実施した（平成24年2月28日承認第001号、平成27年4月15日研究倫理委員会組織改編に伴う再審査と再承認第116号）。

4.3.2 試験サンプル調製

軟水および試験サンプル溶解には、市販の軟水ミネラルウォーター（サントリー南アルプスの天然水、サントリー食品インターナショナル株式会社、東京）を用いた。スクロース（グラニュー糖GS、三井製糖株式会社、東京）とスクラロース（三栄源エフ・エフ・アイ株式会社、大阪）の計量にはデジタル分析天秤（ATX124、株式会社島津製作所、京都）を用い、10%濃度のS（60 kcal）、同等の甘味のSR（0 kcal）を調製した。SRの濃度は、既報⁶⁾を参考に数種類の濃度の溶液を調製したのち、測定と同時刻（9時）・同条件（前夜からの絶食状態）の被験者9名で官能試験を行い、Sに一番甘味が近いとの回答があった0.028%に決定した。試験サンプルは、測定前日に調製し、新品のペットボトル容器に入れた状態で冷蔵庫（約5°C）に保存した。測定当日は、試験サンプルを入れたペットボトルを14.0°Cに設定した恒温水槽に約1時間浸漬し、負荷直前に50 mL容量の透明プラスチックカップ5個に

30 mL ずつ移し入れ，温度（15°C）を防水型デジタル温度計（SK-250WP，株式会社佐藤計量器製作所，東京）で確認しながら被験者に提供した。また，カップに試験サンプルを移し替えた後も，冷水を 1 cm 高さに入れたバットにプラスチックカップを置く方法で試験サンプル摂取温度（15°C）を保持した。

4.3.3 実験デザインと測定プロトコル

実験デザインは，全被験者に S，SR，軟水の 3 種類の試験サンプルを無作為な順序で，1 日以上ウォッシュアウト期間を設けながら午前中の同時刻（9 時前後）に摂取する，ランダム化クロスオーバーデザインとした。

各被験者には，測定前日にカフェイン，香辛料，油の多い食事，激しい運動を避けること，および 22 時以降の絶食と 0 時以前の就寝を依頼した。測定の精度を確保するために，1 日あたりの被験者数は 1-2 名とし，同時測定した。測定当日のプロトコルを図 4-1 に示した。被験者は前夜からの絶食状態で（飲水は実験 2 時間前まで許可），8 時 30 分に兵庫県立大学環境人間学部栄養生理学実験室（室温 25-26°C）に来室した。半袖半ズボンの検査衣に着替えた後，4 極 8 点接触式電極の生体インピーダンス法（InBody520，Biospace, Korea）で体組成を測定し，測定用ベッドへ移動した。血圧（OMRON HEM7000，オムロン株式会社，京都）を 2 回測定した後，胃電図・心電図測定用電極と深部・末梢体温測定用センサーを装着し，上体を 45°起こした姿勢で 10 分間安静を保持した。その後，深部・末梢体温を試験サンプル摂取 20 分前から摂取 65 分後まで 90 分間連続測定し，胃電図と心電図（心拍数）は試験サンプル摂取前に 20 分間，および摂取後は 65 分間それぞれサンプリングした。主観的食欲感覚の測定には，視覚的評価尺度（VAS）を用いた質問紙を使用し，試験サンプル摂取直前（PRE），摂取直後（0 分），摂取 15・30・45・60 分後の計 6 回行った。150 mL の試験サンプル摂取時には，被験者に「1 杯（30 mL）あたり 30 秒間隔で計 5 杯を飲む。飲む時に口の中で試験サンプルを 2 回ほど回し，よく味わって飲む。」ことを指示し⁷⁾，ストップウォッチで時間管理しながら供した。試験サンプルの甘味の感じ方は，0

杯目（摂取直前），1杯目，5杯目の計3回調査票に記入した。測定中はベッドをパーテーションで仕切り，無音で刺激の少ない環境にするとともに，会話と体動，居眠りを禁止した。被験者は，食物に関係のない本や雑誌を読みながら，安静と覚醒を保持した。

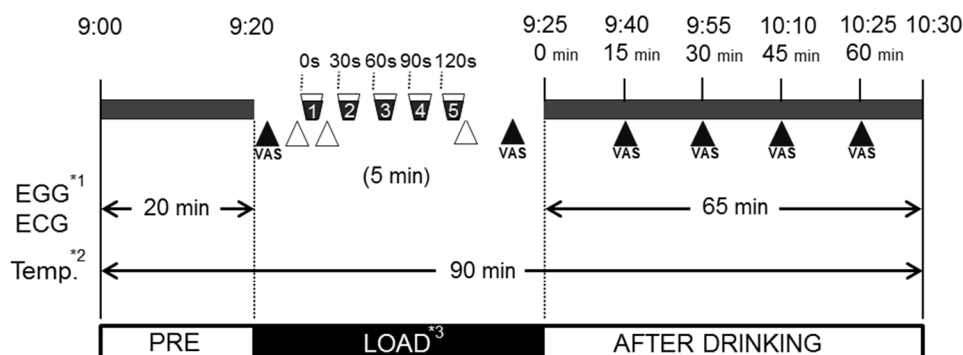


図 4-1 測定プロトコル

*1 S, SR, 軟水 150 mL のそれぞれを 5 回に分けて摂取した，

*2 胃電図・心電図の同時サンプリング，*3 体温（深部・末梢）のサンプリング。

▲主観的食欲感覚（VAS スコア），△試験サンプルの甘味の感じ方の評価（各サンプル摂取前，1杯目，5杯目）。

4.3.4 試験サンプルの甘味の感じ方の評価

試験サンプルの甘味の感じ方の評価のため，0杯目（摂取直前），1杯目，5杯目の甘味の感じ方を，20段階のリッカートスケールを記した質問紙に被験者自身が記入した。なお，軟水試行でも甘味を調べたのは，舌の表面は常に唾液に接しており，この状態が基準となって唾液を無味と感じており，水にも味を感じることが知られているためである⁸⁾。

4.3.5 VAS 質問紙を用いた主観的食欲感覚の測定

主観的食欲感覚の測定は，Flint et al.⁹⁾が開発した VAS 質問紙の邦訳版¹⁰⁾を用い，空腹感（Hunger），満腹感（Fullness），予想食事量（Prospective food consumption），満足感（Satiety）の4項目について，試験サンプル摂取直前，摂取直後，摂取後は15分間隔で測定終了までの計6回，VAS 質問紙に被験者が記入する方法で測定した。なお，“満腹感”と“満足感”はどちらも満腹状態を表す用語であるが，満腹感は“お腹が膨らんだという感覚（内臓感覚）”，

満足感は“精神的な満足を伴うお腹がいっぱいになったという感覚”として区別した¹⁰⁾。VAS 質問紙は、質問と横に引いた 100 mm の長さの線、そして線の左右末端に記された最小、最大の状態を表す言葉の 3 つを 1 単位として、これらが複数集まった形で構成されている^{9,10)}。空腹感(問い・最小/最大)は“どのくらい空腹ですか？(まったく空腹ではありません/これ以上ないほど空腹です)”，満腹感(問い・最小/最大)は“どのくらい満腹ですか？(まったく満腹ではありません/これ以上ないほど満腹です)”，予想食事量は“今、食事をとるとするとどのくらい食べられると思いますか？(まったく食べられません/いくらかでも食べられます)”，満足感(問い・最小/最大)は“(食事や食べ物に関して)どのくらい満足感がありますか？(まったく満足ではありません/これ以上ないほど満足です)”であった¹⁰⁾。被験者への教示は、印刷した説明書の文章“これは食欲や食事に対する欲求についてのアンケートです。次のページから現在の食欲などについておたずねします。設問に対し、現在の状態にもっとも当てはまると思える位置をスケール上の 1 点を示すようにマーキングしてください(良い/悪いマーキング例を図示)。”を読み上げる方法で全員に同じ教示を行った。被験者は、教示に従い自分の感覚と一致するように線を交差する印をつけ、線の左端から印の交点までの長さを 1 mm 単位で測り、それを各被験者の主観的感覚としてスコア化した^{9,10)}。

4.3.6 胃の電氣的活動の評価と測定

胃の電氣的活動の測定は、胃電図測定システムと解析プログラムを用い、既報^{11,12)}に基づく方法で、正常波(2-4 cpm)の周波数帯域のスペクトル積分値を算出しパワーを求めた。正常波パワーは胃運動の強さを表す指標、正常波のピーク周波数は、胃運動のリズム変化の指標として用いられている^{11,12)}。本研究では、胃電図の解析により得られた正常波パワーおよび正常波ピーク周波数を胃運動の評価に用いた。

4.3.7 体温の測定

体温は、既報¹³⁾に基づく方法で、深部体温の指標として鼓膜近似温(以下、鼓膜温と記載)、末梢体温として左足中指の皮膚表面温度(以下、足先温と記載)を経時的に測定した。鼓膜温は深部体温の一つである脳温に近く、体温調節中枢の温度変化を正確に反映するため臨床上有用な指標とされている¹³⁾。測定データは、データログ(高精度8チャンネルデータログ N542R, 日機装サーモ株式会社, 東京)を介して1分間隔でコンピューターのハードディスクに記録した。

4.3.8 統計処理

測定データとVASスコアは平均±標準誤差で表した。統計処理にはSPSS (SPSS for Windows ver. 22, IBM, 東京)を用い、検定の有意水準は5%(両側検定)とした。試験サンプル間の甘味スコア(正規性あり)の比較には、t検定(対応あり)を用いた。各試行間(3群比較)の試験サンプル摂取後の時系列データ(主観的食欲感覚, 胃運動指標, 心拍数, 体温)の変化パターンは、被験者内因子を試験サンプル(因子1)と経過時間(因子2)とする二元配置分散分析(反復測定, 対応ありと対応あり)で検定した。その分析の過程においてMauchlyの球面性検定を行い、球面性の仮定もしくはHuynh-Feldtのイプシロンの修正により被験者内効果(Sample effect, Time effect), および交互作用(Sample×Time)をそれぞれ検定した。交互作用が $p < 0.05$ の場合は交互作用あり(変化のパターンが試行により異なる)と判定した。また、軟水を基点とするDunnnettの多重比較を用いて、Sと軟水, SRと軟水の比較を行った。2変量(甘味スコアと主観的食欲感覚)の検定にはSpearmanの順位相関係数を用いた。

4.4 結果

4.4.1 甘味の感じ方

S の甘味スコアは、0 杯目（摂取直前） 0.3 ± 0.2 点、1 杯目 13.7 ± 1.6 点、5 杯目 13.8 ± 1.7 点であった。SR は、0 杯目 0.4 ± 0.2 点、1 杯目 13.3 ± 1.2 点、5 杯目 12.8 ± 1.5 点であった。軟水は、0 杯目 0.7 ± 0.3 点、1 杯目 0.8 ± 0.3 点、5 杯目 0.5 ± 0.3 点であった。S と SR の甘味スコアは、1 杯目 ($p = 0.753$) と 5 杯目 ($p = 0.320$) の間で、いずれも有意差は認められなかった。

4.4.2 食欲感覚

図 4-2 に、試験サンプル摂取前後の主観的食欲感覚 (VAS スコア経時変化) を示した。軟水ではいずれの指標も、摂取直後 (0 分後) に一過性に増減がみられたが 15 分後には摂取前の値に戻るという変化を示した。

空腹感 (図 4-2A) では、経時変化のパターンは 3 試行で有意に異なっていた (Sample×Time, $p = 0.007$)。すなわち、摂取直後は SR で空腹感が顕著に低下し、摂取 15-45 分後は S と SR は軟水よりも低い値で推移した。満腹感では (図 4-2B)、経時変化のパターンは 3 試行で異なる傾向が認められ (Sample×Time, $p = 0.079$)、摂取直後の満腹感上昇は SR で高かった。予想食事量では (図 4-2C)、3 試行の経時変化のパターンの違いに有意な差は認められなかった。満足感では (図 4-2D)、経時変化のパターンは 3 試行で有意に異なっていた (Sample×Time, $p = 0.031$)。軟水を基準とすると、S では摂取 15 分後と 30 分後に軟水と比べて有意に高い満足感スコアが示され、SR では摂取 30 分後に軟水と比べて有意に高い満足感スコアが示された。

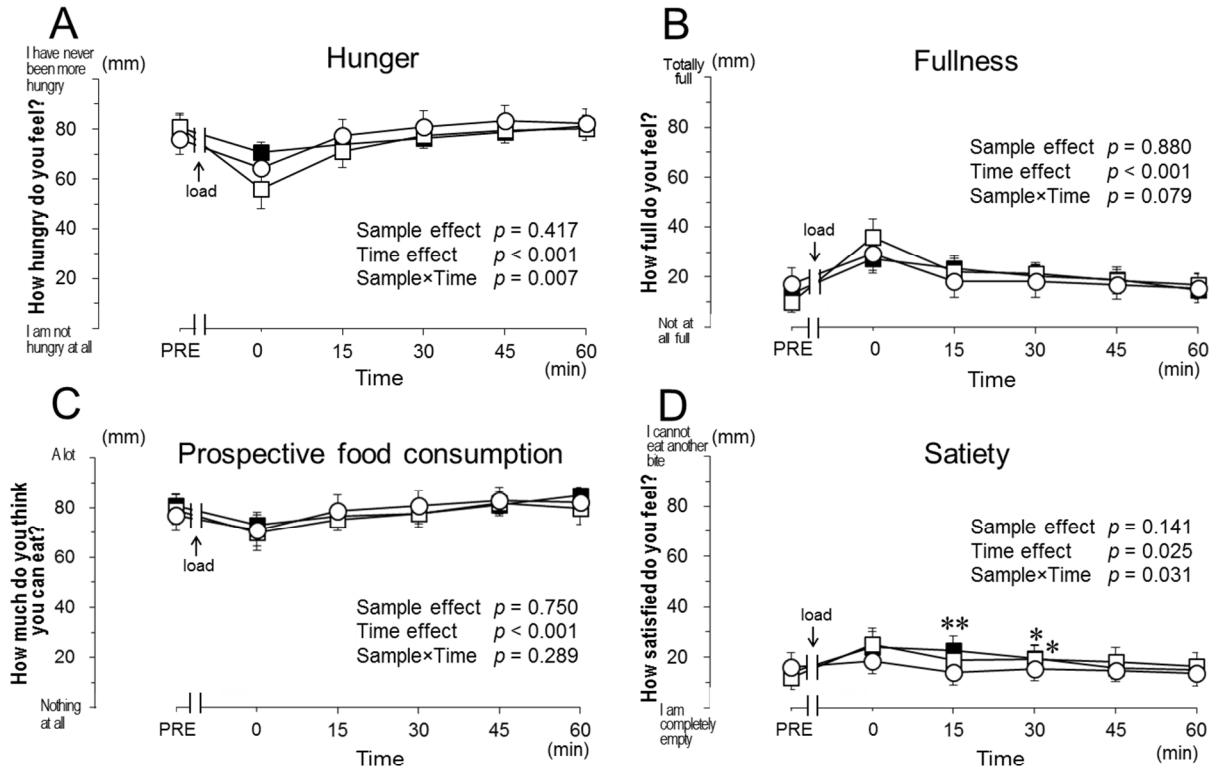


図 4-2 主観的食欲感覚 (VAS) スコアの経時変化

試験サンプル摂取前後の主観的食欲感覚 (VAS スコア) の時系列データ。空腹感 (A), 満腹感 (B), 予想食事量 (C), 満足感 (D)。平均±標準誤差。二元配置分散分析 (反復測定)。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, vs. 軟水 (Dunnnett の多重比較)。■ S, □ SR, ○ 軟水。

4.4.3 胃運動指標

図 4-3 に、試験サンプル摂取前後の正常波ピーク周波数（図 4-3A）、および正常波パワーを試験サンプル摂取前を基準とした増加比で示した（図 4-3B）。正常波ピーク周波数は、経時変化のパターンが 3 試行で有意に異なっていた（Sample×Time, $p = 0.033$ ）。すなわち、S 摂取後は一過性に増加したのち低下に転じるという変化を示し、SR では摂取後に低下せず 45 分後に軟水と比べて有意に高値を示した。正常波パワーは 3 試行ともに摂取後に増大し、その後 SR でのみ 30 分後まで高値で推移したが、統計的に有意な変化ではなかった。

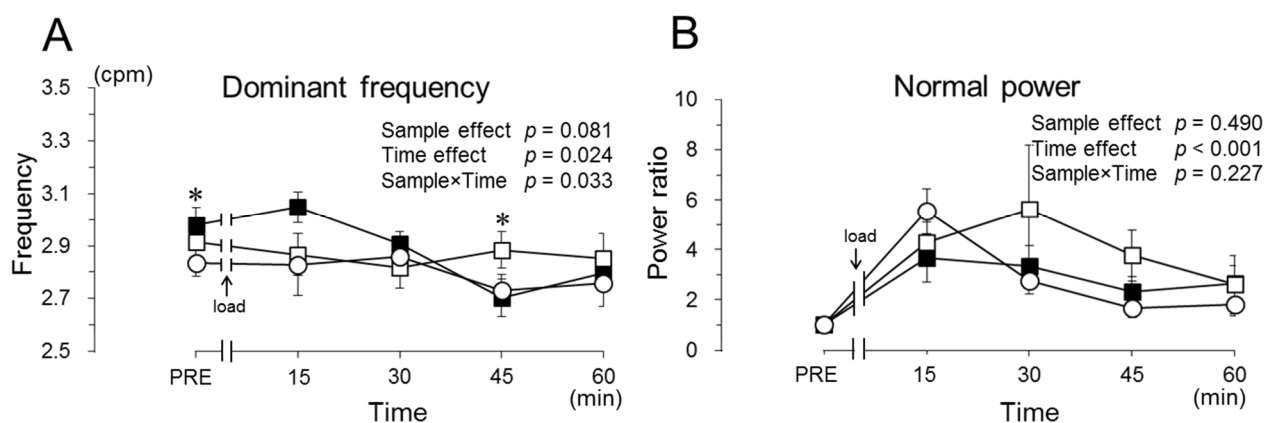


図 4-3 胃運動の経時変化

試験サンプル摂取前後の正常波ピーク周波数（1分あたりの収縮頻度を反映する）（A）、試験サンプル摂取前（PRE）を1とした、各サンプル摂取後の正常波パワー比（B）（胃収縮の強さを反映する）の時系列データ。平均±標準誤差。二元配置分散分析（反復測定）。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, vs. 軟水（Dunnett の多重比較）。■ S, □ SR, ○ 軟水。

4.4.4 心拍数

図 4-4A は、試験サンプル摂取前を基準とした心拍数の経時変化であり、経時変化のパターンが 3 試行で有意に異なっていた（Sample×Time, $p = 0.001$ ）、すなわち、S でのみ後半の上昇が認められ、摂取 55 分後には軟水と比べて有意に高い心拍数が示された。

4.4.5 体温

図 4-4B は、試験サンプル摂取前を基準とした鼓膜温の経時変化である。SR では、鼓膜温の上昇が 45 分後まで認められないまま低値で推移したが、統計的有意性には達しなかった。

図 4-4C は、試験サンプル摂取前を基準とした足先温の経時変化である。3 試行ともに時間の経過とともに足先温は低下し、統計的有意性には達しなかったが S と SR では後半の低下が軟水と比べて大きかった。

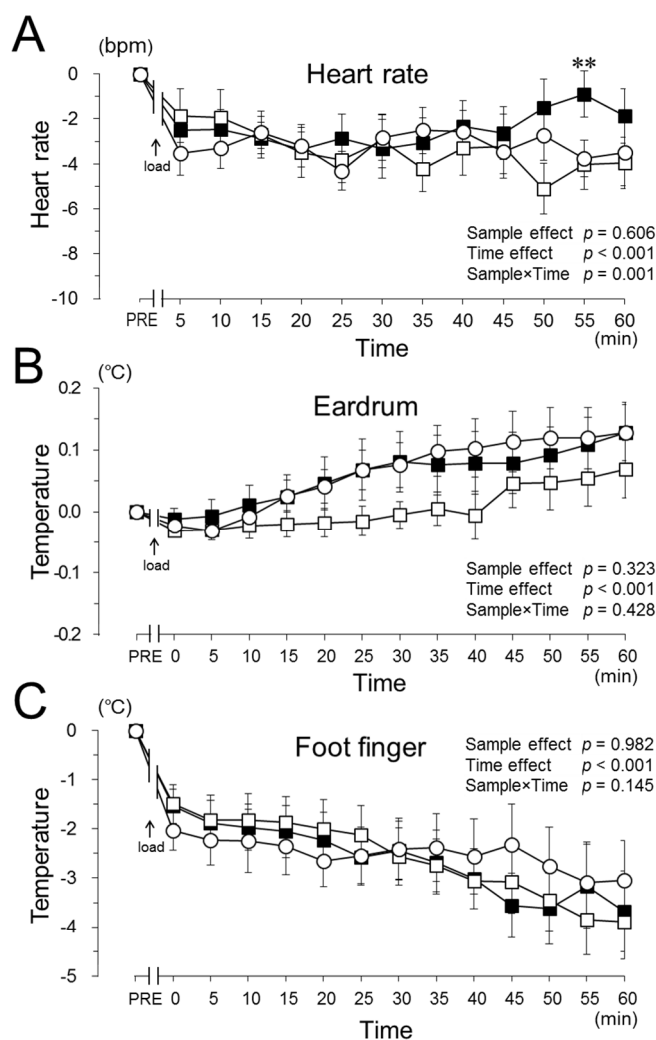


図 4-4 心拍数，体温の経時変化

試験サンプル摂取前 (PRE) を基点とした、各サンプル摂取後の心拍数 (A)、鼓膜温 (B)、足先温 (C) の時系列データ。心拍数は、4 分間の平均値であるため直後 (0 分) ではなく 5 分からのデータを示した。平均±標準誤差。二元配置分散分析 (反復測定)。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, vs. 軟水 (Dunnett の多重比較)。■ S, □ SR, ○ 軟水。

4.4.6 甘味の感じ方と食欲感覚

表 4-1 に、S および SR の甘味の感じ方（5 杯目の甘味スコア）と主観的食欲感覚（VAS スコア）の相関を示した。S では、摂取 15 分後と 30 分後の予想食事量と甘味スコアの間に関連のある正の相関、摂取 15 分後の満足感と甘味スコアの間に関連のある負の相関が認められた。SR では、摂取 15 分後と 45 分後の予想食事量と甘味スコアの間に関連のある正の相関、摂取直後（0 分）と 15 分後の満足感と甘味スコアの間に関連のある負の相関が認められた。すなわち、甘味を強く感じるほど、一定時間後（S では摂取 15 分後と 30 分後、SR では摂取 15 分後と 45 分後）の予想食事量が増加し、一定時間後（S では摂取 15 分後、SR では摂取直後と 15 分後）の満足感が低下した。

表4-1 各溶液の甘味の感じ方(5杯目の甘味スコア)と各食欲感覚(VASスコア)変化量の相関

Sucrose	Δ Hunger ^a		Δ Fullness ^a		Δ Prospective food consumption ^a		Δ Satiety ^a	
	r^b	p	r^b	p	r^b	p	r^b	p
0 min ^c	0.345	0.27	-0.281	0.38	0.284	0.37	-0.479	0.12
15 min	0.538	0.071	-0.482	0.11	0.611	0.035	-0.581	0.048
30 min	0.414	0.18	-0.401	0.20	0.730	0.007	-0.362	0.25
45 min	0.215	0.50	-0.032	0.92	0.315	0.32	-0.305	0.34
60 min	0.204	0.53	-0.267	0.40	0.464	0.13	-0.257	0.42

Sucralose	Δ Hunger ^a		Δ Fullness ^a		Δ Prospective food consumption ^a		Δ Satiety ^a	
	r^b	p	r^b	p	r^b	p	r^b	p
0 min	0.023	0.94	-0.007	0.98	0.314	0.32	-0.844	0.001
15 min	0.089	0.78	-0.216	0.50	0.688	0.013	-0.688	0.013
30 min	0.248	0.44	-0.177	0.58	0.385	0.22	-0.563	0.057
45 min	-0.025	0.94	0.050	0.88	0.605	0.037	-0.253	0.43
60 min	0.152	0.64	0.057	0.86	0.103	0.75	-0.390	0.21

^a, 試験サンプル摂取直前(PRE)を基点とした主観的食欲感覚(VAS)スコア変化量, ^b, Spearmanの順位相関係数

^c, 試験サンプル摂取後の経過時間(0 min=直後)。

4.5 考察

本研究の主要な知見は次の4点である。1) 少量ずつ口腔内を刺激しながら摂取した等甘味溶液(150 mL)は、エネルギーの有無に関わらず一過性に摂取直後の食欲を減弱させ、この反応はSRでより顕著に認められた。2) 溶液の甘味を強く感じるほど、一定時間後の食欲(予想食事量)が高まった。3) 胃運動指標のうち、正常波ピーク周波数はSとSRで異なる経時変化が認められた。4) 試験サンプル摂取後の心拍数上昇は、エネルギーを有するSでのみ認められた。

4.5.1 甘味を有する溶液の摂取と食欲感覚

味覚器での甘味の受容は、外界のエネルギー源の存在を示し、その摂取に駆り立てる情報となる¹⁴⁾。そのため、甘味を経口的に摂取すると、エネルギーを含む物質の体内取り込みのサインとして脳で認識され、食欲感覚を変化させることになる。本研究結果では、等甘味度のSとSRともに、エネルギーの有無に関わらず摂取直後に食欲の軽減が起こっており、甘味の認知が短期的な食欲に抑制的に働いたと考えられる。

短期的な食欲を抑制する要因のひとつとして、高血糖反応が知られている。Anderson et al.¹⁵⁾は、若年男性に400 mLの等甘味度に調製した溶液(スクラロースもしくはスクロース、グルコース等で75 gの糖質を摂取)を負荷し、血糖反応が高いほど60分後の食欲と摂食量(ピザの自由摂食)が低下したことを報告している。この結果からも、本研究でS摂取後に満足感が高まった要因のひとつに血糖反応があると考えられる。

次に、NNSであるSR摂取後にも短期的に食欲の軽減が起こった理由について、消化管ホルモン応答とともに食欲感覚を検討した既報をもとに考察する。Brown RJ et al.¹⁶⁾は、NNSを含む炭酸水(スクラロース、アセスルファミンKを使用)、または炭酸水のみをヒトに経口投与(240 mL)した後に糖負荷試験を行い、糖負荷後のGlucagon-like peptide 1 (GLP-1; グルカゴン様ペプチド1)の曲線化面積は、NNSを含む炭酸水投与で増大したことを報告した。この結果は、NNS摂取が食欲に抑制的に働いたことを示唆しており、

本結果の SR 摂取後の食欲が抑制されたという結果を支持していると考えられる。また、Brown AW et al.¹⁷⁾らの報告には、若年女性に等甘味度に調製した S (スクロース 50 g) もしくは SR を経口投与 (355 mL) すると、30 分後には S, SR ともに血中アシルグレリン濃度が低下し、S では 60 分後まで低下が維持されたが SR では負荷前よりもアシルグレリン濃度が上昇したという結果が示されている。アシルグレリン濃度上昇と同じ時間帯に SR の空腹感が強まっており、両者の関連性がうかがえる点が興味深い。本結果の SR 摂取後の食欲軽減も一過性であったが、SR 摂取後のごく初期にはグレリン分泌が抑制されるのかもしれない。一方、Ford et al.¹⁸⁾は、0.083%の SR をヒトに経口投与 (50 mL) したが、GLP-1 とペプチド YY (PYY) の増加もなく食欲も軽減しなかったと報告している。本研究 (0.028%, 150 mL) と負荷量や SR 濃度が異なるため単純に比較できないが、本研究では 30 mL の SR を 5 回に分けて少量ずつ口に含みながら舌全体に十分に甘味を感じさせる方法をとっており、口腔内の甘味受容体への刺激が従来の方法よりも強いと考えられ、この刺激の強さが食欲感覚をより変化させた可能性が考えられる。今後、本研究と同じプロトコルで試験サンプルを飲み込まない偽飲 (sham-feeding) による追試が必要である。

近年の甘味受容に関する研究からは、甘味の感知は口腔内のみでなく胃腸でも行われていることが示唆されている。このことを確認するために、Steinert et al.¹⁹⁾は、口腔内で感知可能な濃度の数種類の甘味溶液をヒトの胃内に投与する試験を行った。グルコース、フルクトース投与後には GLP-1, PYY の増加とグレリンの減少とともに食欲の軽減がみられたのに対し、同じ甘さであっても NNS では食欲ホルモン、代謝応答、食欲感覚をほとんど変化させなかったと報告している。これらの結果について著者ら¹⁹⁾は、胃腸には生体が利用可能な糖の存在を検知できるメカニズムが存在するものの、消化管の甘味受容体を介した検知機能はそれ自体で消化管ホルモン分泌を刺激するには不十分であることを示唆したと述べている。

さらに、食欲感覚には、脳内の情報処理過程の関与も考えられる。Frank et al.²⁰⁾は、ヒトの脳内血流動態反応を視覚化し、SR 摂取による島皮質の反応

は S 摂取よりも弱く、報酬系を司る中脳のドーパミン神経系の反応も観察されなかったことを報告している。この脳の甘味応答には、エネルギーの有無のみならず、T1R3 の感受性や血糖レベルも関与すると考えられており²⁰⁾、後者については、Sclafani et al.²¹⁾により、エネルギーの有無よりもグルコース感受性が報酬系により関与していたとする動物実験の報告がある。

ヒトでは不明な点が多いものの、以上の既報（胃への直接投与試験¹⁹⁾、脳内情報処理^{20,21)}）と本研究（経口投与）の結果を併せて考察すると、口腔内での甘味受容は、体内に糖が入ってきたことの一次的な検知の役割があり、食欲感覚を変化させるが、スクラロースのようにエネルギーを有さない甘味物質は、胃以降の消化管に存在する甘味受容体や脳内情報処理において、エネルギーやグルコース感受性を有さない物質であることが検知され、消化管ホルモンの分泌が一時的、あるいは分泌が起こらないのかもしれない。スクラロースが消化管ホルモン放出を刺激するか、さらに食欲感覚を変化させるかということは、現在もなお見解が一致しておらず、さらなる研究が必要である。

4.5.2 甘味の感じ方と食欲感覚

甘味の感じ方と食欲感覚の関連については、S、SRともに、甘味の感じ方が強いほど一定時間後の予想食事量スコアが高まり、満足感スコアが低下した。予想食事量（摂取 15-45 分後）、満足感（摂取 5-15 分後）ともに一定時間後のみに有意な相関がみられた理由のひとつは、食欲感覚の変化が摂取直後から 15 分後が大きく、60 分後には収束していたためであり、口腔内での甘味刺激の影響は短期的であったと考えられる。

ヒトの甘味感受性の変動については、血中レプチン濃度上昇が甘味感受性を低下させ、このことが甘味感受性の日内変動を生み出していることが報告されている^{14,22)}。また、Yoshida et al.²³⁾は、ラットを用いた実験で、食欲促進物質である内因性カンナビノイドの投与が甘味感受性を増強し、さらに甘味に対する嗜好を高めることを見出している。本研究では朝食摂取前の空腹時に試験サンプルを摂取したことから、内因性カンナビノイドによる甘味感

受性の増大と甘味嗜好性の増強効果が、甘味を介した食欲軽減により強く繋がった可能性が考えられる²³⁾。しかし、内因性カンナビノイドのヒトでの動態は十分に検討されておらず、我々の調べた限りでは、持続時間に関する報告は見当たらない。本結果の解釈のためにはさらなる知見の集積が必要である。

4.5.3 甘味を有する溶液の摂取と胃運動

胃運動指標のひとつである正常波ピーク周波数は、空腹期に1分間で約3回出現する胃の電氣的活動（正弦波）の出現頻度を表しており、飲食物摂取後には、周波数の変化（周波数シフト）が起こることが知られている^{11,12)}。この正常波ピーク周波数が、SRでは緩やかではあるが軟水と同様に低値へのシフトが起こっており、我々の前報¹¹⁾と良い一致をみている。しかしSでは、有意ではなかったがわずかに高値にシフトし、同じ甘味摂取であるにもかかわらずSRと逆の反応を示した。また、摂取45分後にSと軟水では低値にシフトしたがSRは変化せず、ここでもSとSRの反応は一致しなかった。胃には食欲増進ホルモンであるグレリンを産出する主要部位が存在し、食事摂取により放出が抑制されることが知られているが、このことは、胃中のグレリンP/D1細胞が栄養物を感知する機能を備えていることを示している⁵⁾。そのため、S摂取後にはグレリンP/D1細胞が反応してグレリン放出が抑制され、SR摂取後にはグレリン放出は抑制されなかったことが考えられる。以上の既報と本結果を併せて考えると、試験サンプルのエネルギーの有無がグレリンを介した胃運動に影響を与えた可能性が結果の解釈のひとつとして考えられる。

また、ラットを用いた内圧法による消化管運動測定システムにより、アシルグレリン投与は空腹期運動パターンを変化させないが、空腹期強収縮運動の頻度を増強することが見出されている²⁴⁾。さらに、この空腹期強収縮運動がレプチンの下流で食欲制御を担うニューロペプチドY (NPY) による制御を受けている可能性も示されており、食欲促進と空腹期運動誘発作用が中枢と胃で同調して生じていると考えられている²⁴⁾。本研究では、1-9 cpmの胃

の周期的電気活動を測定しており、不定期に起こる空腹期強収縮は頻度が低くスペクトル上に現れにくい。そのため、空腹感の増大と胃電図で可視的・定量的に評価した胃運動パターンとの関連は検討できず、本研究の限界点となっている。

4.5.4 甘味を有する溶液の摂取と心拍数，体温

心拍数について，全試験サンプル摂取後に心拍数低下が認められたのは，我々の既報（15°Cの軟水摂取）の結果¹²⁾と良い一致をみている。また，SR，軟水と比べて，S摂取後の心拍数が高値で推移した理由は，Sに含まれるエネルギーにより食後にエネルギー代謝が上昇したためであると考えられる。

深部体温指標については，統計的有意性には達しなかったが，鼓膜温はSおよび軟水では摂取直後に一過性に低下したのち早期に上昇に転じたのに対し，SRでは30分後まで低下が続いた。全試験サンプル摂取後の鼓膜温の一過性の低下は，冷水（15°C）摂取に伴う物理的な熱移動と，その後の熱産生による回復を反映していると考えられる。SRで鼓膜温上昇が起こらなかった理由は不明であり，甘味を有するがエネルギー産生栄養素を含んでいない別のNNS溶液でも同じ反応が起こるのか，今後の検討が必要である。

末梢体温指標の足先温は，3試行ともに65分間で約3-4°C低下しており，25-26°Cの実験室内に空腹条件で60分間素足を曝露した我々の既報²⁵⁾と良い一致をみた。Sのエネルギー量が60 kcalで食後の熱産生もわずかであったため，他の2試行との差が生じなかったと考えられる。さらに，足先を動かさない状態が続いたことによる血流量の低下や，体温より10°C低い測定環境で手足を暴露しているという実験条件も影響した可能性がある。

4.5.5 新規性と限界

本研究の新規性は、エネルギーを有さない甘味である SR 摂取後の食欲感覚と胃運動、心拍数や体温の反応を、等甘味で等量のエネルギーを有する S、およびコントロールとしての軟水との比較により明らかにした点である。摂取直後の食欲抑制は S、SR ともに一過性に生じ、一定時間後の食欲亢進は甘味を強く感じた被験者ほど高まっていた。また、心拍数は増加せず鼓膜近似で測定した深部体温の上昇も起こらないなど、同じ甘味でもエネルギーの有無で摂取後の反応が異なるという興味深い結果を得た。

本研究のひとつめの限界は、食欲に関連するホルモンの測定を行っていない点である。身体・精神的ストレスにより胃運動のリズムが変化することが知られていることから²⁶⁾、痛みや精神的苦痛を伴う採血を実施しなかった。他にも、スクラロースの甘味刺激が口腔内あるいは消化管内のレセプターでどのように受容され、その後どのようなメカニズムで食欲感覚、胃運動、心拍数や体温などに影響を及ぼしたのかといった詳細なメカニズムが検証できなかった点、短期的な検討のみであり、数日あるいは長期間の摂取で食欲を変化させるかどうか未検討である点、被験者が若年女性でサンプル数も12名と限られており、結果の一般化には注意を要する点が限界である。今後のメカニズムを説明し得る新知見の集積が待たれるとともに、口中刺激のみの場合の反応や他の NNS を用いた試験による追加的な検討が必要である。

さらに、NNS に関しては、その安全性にも十分に配慮しながら、適切に食事療法や栄養教育へと応用していくことが望まれる。

4.6 引用文献

- 1) 斎藤雅文, 堀由美子, 中島啓 : 人工甘味料と糖代謝－2000年以降の臨床研究から－, 日本栄養・食糧学会誌 66 : 69-75, 2013
- 2) 芳仲幸治, 中野玄洋 : スクラロースの新しい応用技術, FFI ジャーナル 218 : 374-379, 2013
- 3) Gardner C, Wylie-Rosett J, Gidding SS, Steffen LM, Johnson RK, Reader D, Lichtenstein AH; American Heart Association Nutrition Committee of the Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology, Council on Cardiovascular Disease in the Young; American Diabetes Association: Nonnutritive sweeteners: current use and health perspectives: a scientific statement from the American Heart Association and the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 35: 1798-1808, 2012
- 4) Gardner C, Wylie-Rosett J, Gidding SS, Steffen LM, Johnson RK, Reader D, Lichtenstein AH; American Heart Association Nutrition Committee of the Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology, Council on Cardiovascular Disease in the Young, and the American D: Nonnutritive sweeteners: current use and health perspectives: a scientific statement from the American Heart Association and the American Diabetes Association. *Circulation* 126: 509-519, 2012
- 5) Depoortere I: Taste receptors of the gut: emerging roles in health and disease. *Gut* 63: 179-190, 2014
- 6) Schiffman SS, Booth BJ, Losee ML, Pecore SD, Warwick ZS: Bitterness of sweeteners as a function of concentration. *Brain Res Bull* 36: 505-513, 1995
- 7) Peyrot des Gachons C, Mura E, Speziale C, Favreau CJ, Dubreuil GF, Breslin PAS: Opponency of astringent and fat sensations. *Curr Biol* 22: R829-R830, 2012

- 8) 山内昭雄, 鮎川武二: 味の強さと感度, 感覚の地図帳, 講談社, 東京, pp. 60-61, 2001
- 9) Flint A, Raben A, Blundell JE, Astrup A: Reproducibility, power and validity of visual analogue scales in assessment of appetite sensations in single test meal studies. *Int J Obes Relat Metab Disord* 24: 38-48, 2000
- 10) 永井成美, 日比壮信, 山口 亨, 亀尾洋司, 小林 滋, 片嶋充弘: 視覚的アナログ目盛り (visual analogue scales: VAS) を用いた日本語版食欲質問紙の作成と再現性, 妥当性の検討, 日本肥満学会誌 18: 39-51, 2012
- 11) 脇坂しおり, 松本雄大, 永井 元, 村 絵美, 森谷敏夫, 永井成美: 摂取する水の温度と量がヒトの胃運動に及ぼす影響, 日本栄養・食糧学会誌 64: 19-25, 2011
- 12) Wakisaka S, Nagai H, Mura E, Matsumoto T, Moritani T, Nagai N: The effects of carbonated water upon gastric and cardiac activities and fullness in healthy young women. *J Nutr Sci Vitaminol* 58: 333-338, 2012
- 13) 高木絢加, 谷口彩子, 駒居南保, 村 絵美, 永井 元, 森谷敏夫, 永井成美: 炭酸水による口腔への刺激が深部・末梢体温に及ぼす作用 - Sham-feeding (偽飲) による口腔内刺激を用いた評価 -, 日本栄養・食糧学会誌 67: 19-25, 2014
- 14) ニノ宮裕三: 食の調節情報としての味覚とおいしきのシグナリング, 化学と生物 45: 419-425, 2007
- 15) Anderson GH, Woodend D: Effect of glycemic carbohydrates on short-term satiety and food intake. *Nutr Rev* 61: S17-S26, 2003
- 16) Brown RJ, Walter M, Rother KI: Ingestion of diet soda before a glucose load augments glucagon-like peptide-1 secretion. *Diabetes Care* 32: 2184-2186, 2009
- 17) Brown AW, Bohan Brown MM, Onken KL, Beitz DC: Short-term consumption of sucralose, a nonnutritive sweetener, is similar to water with regard to select markers of hunger signaling and short-term glucose homeostasis in women. *Nutr Res* 31: 882-888, 2011

- 18) Ford HE, Peters V, Martin NM, Sleeth ML, Ghatei MA, Frost GS, Bloom SR: Effects of oral ingestion of sucralose on gut hormone response and appetite in healthy normal-weight subjects. *Eur J Clin Nutr* 65: 508-513, 2011
- 19) Steinert RE, Frey F, Töpfer A, Drewe J, Beglinger C: Effects of carbohydrate sugars and artificial sweeteners on appetite and the secretion of gastrointestinal satiety peptides. *Br J Nutr* 105: 1320-1328, 2011
- 20) Frank GK, Oberndorfer TA, Simmons AN, Paulus MP, Fudge JL, Yang TT, Kaye WH: Sucrose activates human taste pathways differently from artificial sweetener. *Neuroimage* 39: 1559-1569, 2008
- 21) Sclafani A, Zukerman S, Ackroff K: Postoral glucose sensing, not caloric content, determines sugar reward in C57BL/6J mice. *Chem Senses* 40: 245-258, 2015
- 22) Horio N, Jyotaki M, Yoshida R, Sanematsu K, Shigemura N, Ninomiya Y: New frontiers in gut nutrient sensor research: nutrient sensors in the gastrointestinal tract: modulation of sweet taste sensitivity by leptin. *J Pharmacol Sci* 112: 8-12, 2010
- 23) Yoshida R, Ohkuri T, Jyotaki M, Yasuo T, Horio N, Yasumatsu K, Sanematsu K, Shigemura N, Yamamoto T, Margolskee RF, Ninomiya Y: Endocannabinoids selectively enhance sweet taste. *Proc Natl Acad Sci U S A* 107: 935-939, 2010
- 24) 乾明夫：NPYの摂食制御と消化管運動調節－特にグレリンとの関連から，日本薬理学雑誌 127：83-87，2006
- 25) 高木絢加，山口光枝，脇坂しおり，坂根直樹，森谷敏夫，永井成美：若年女性の安静時エネルギー消費量，および中性温度域における体温と温度感覚の変化－日常的な冷え感の有無による2群の比較－，女性心身医学 17：193-205，2012
- 26) Muth ER, Koch KL, Stern RM, Thayer JF: Effect of autonomic nervous system manipulations on gastric myoelectrical activity and emotional responses in healthy human subjects. *Psychosom Med* 61: 297-303, 1999

5. < 研究 3 >

触覚（口中感覚）による食物の認知と食欲感覚，胃運動に関する研究 －炭酸水の口腔刺激がヒトの食欲感覚と胃運動に及ぼす影響－

5.1 要旨

我々は、炭酸水の飲水後に満腹感の高まりと胃運動が活発になることを報告している。このような反応が口腔刺激のみでも生じるかどうかを確かめるために、等量・等温の炭酸水と水を用いた飲水と偽飲（口腔刺激のみ）の試行（炭酸水の飲水，水の飲水，炭酸水の偽飲，水の偽飲）をクロスオーバーデザインで実施した。前夜 22 時より絶食した 13 名の若年女性に，午前 9 時にサンプル（15°C, 250 mL）を飲水あるいは偽飲してもらった。胃電図はサンプル負荷 20 分前から負荷 45 分後まで，胃筋電活動のパワーと頻度測定のため記録し，食欲感覚は VAS 質問紙で測定した。炭酸水の飲水では有意な空腹感軽減と満腹感増大が水の飲水との比較より認められ，炭酸水偽飲でも水の偽飲と比べて一過性だが同様の反応が認められた。胃運動パワー（徐波，正常波，速波）は，飲水後には炭酸水と水の両方で増大したが，偽飲では水，炭酸水ともに変化しなかった。胃正常波ピーク周波数は，炭酸水の飲水後には高値へシフト，炭酸水の偽飲後には低値へシフトし，両者の胃収縮頻度は異なっていた。本結果より，炭酸の口腔刺激自体が満腹感に関与することが示唆された。加えて，炭酸水の飲水と CO₂ で惹起される口腔刺激のみとでは，異なる胃収縮のリズムが惹起された。

5.2 緒言

炭酸水は、水に二酸化炭素を溶解したエネルギーを含まない飲料である。ヨーロッパを中心に、その独特な口腔刺激¹⁻³⁾と止渴作用⁴⁾が好まれ、広く飲用されている。日本ではそのままでも飲みやすい軟水が多く⁵⁾、ほとんど普及していなかったが、近年健康志向などを背景に炭酸水の消費量が増加しており、さらなる消費の伸びが予測されている⁶⁾。炭酸水と健康に関しては、消化不良等の胃腸症状の改善作用⁷⁻⁹⁾を有することが報告されている。

また炭酸水は発泡性飲料であり、胃を膨張させ¹⁰⁾満腹感を誘発することから、過食や体重増加の予防にも有用かもしれない。実際に、我々は炭酸水の飲用が胃運動の亢進を介して、満腹感を高めることを報告している¹¹⁾。

炭酸水飲用後の食欲感覚の変化には、炭酸ガス分離による胃の膨張¹⁰⁾に加えて、炭酸ガスが口腔内に与える特有の刺激味^{1,2)}やピリピリ・シュワシュワとした口腔刺激¹⁻³⁾が関与していると考えられる。sham-feeding試験を用いた食欲研究では、固形食による口腔感覚は胃の膨張を伴わずに、満腹感¹²⁾や満腹感を誘発する消化管ホルモン¹³⁻¹⁵⁾を増加させることが報告されている。さらに我々は、若年女性の炭酸水摂取が末梢体温を変化させることを明らかにしている¹⁶⁾。これらの知見は、炭酸水の口腔刺激のみでも満腹感を増大させる可能性を示唆している。しかし、炭酸水の口腔刺激単独の効果はほとんど明らかになっておらず、胃運動も関与している可能性がある。

そこで、炭酸水摂取後の満腹感や胃運動の増大が炭酸水の口腔刺激のみでも起こるかどうかを明らかにするために、等温・等量の水もしくは炭酸水を用いた偽飲試験をランダム化クロスオーバーデザインで実施した。

5.3 方法

5.3.1 被験者

本研究には、13人の健康な若年女性(年齢 20.6 ± 0.2 歳(平均 \pm 標準誤差)、身長 158.4 ± 0.9 cm、体重 50.6 ± 1.0 kg、Body mass index 20.1 ± 0.4 kg/m²、体脂肪率 27.4 ± 1.4 %、収縮期血圧 92 ± 3 mmHg、拡張期血圧 53 ± 2 mmHg)が参加した。全ての被験者は、非喫煙者であり、食欲や胃運動に影響する胃腸疾患やその他疾患の症状または病歴を有しておらず、ほぼ毎日朝食を摂取している。全ての被験者に対して、書面でのインフォームド・コンセントを実施した。本研究は、兵庫県立大学環境人間学部研究倫理委員会の承認を得て実施した(平成24年2月28日承認第001号、平成27年4月15日研究倫理委員会組織改編に伴う再審査と再承認第116号)。

5.3.2 実験デザインと測定プロトコル

実験デザインは、水の飲水試行(以下、“水”と記載)、炭酸水の飲水試行(以下、“炭酸水”と記載)、水の偽飲試行(以下、“水 SF”と記載)および炭酸水の偽飲試行(以下、“炭酸水 SF”と記載)の4試行をランダムな順序で被験者全員に実施する、ランダム化クロスオーバーデザインとした。4試行はそれぞれ、1-2週間以内に実施した。炭酸水は、二酸化炭素をミネラルウォーターに添加することによって製造されたものを用い、水は、炭酸水と同じタイプのミネラルウォーターを使用した。サンプルのミネラル含量およびガス圧は、既報の通りである¹⁶⁾。サンプルは250 mL、15°Cとし、透明なプラスチックカップで供した。

被験者は、試験日の少なくとも1か月前から通常的生活習慣と体温を維持し、試験日前日はコーヒーや紅茶、辛い食品、高脂肪食品の摂取や運動を避けること、22時以降の絶食を依頼した。前夜からの絶食状態の被験者は、朝9時に4試行のいずれかを無作為な順序で実施した。

初回の試験日のみ、4極8点接触式電極の生体電気インピーダンス法(InBody520, Biospace, Korea)で体重と体脂肪率を測定し、デジタル自動

血圧計（OMRON HEM-907，オムロン株式会社，京都）で血圧を2回測定した。

測定用ベッドへ移動し，電極を装着した後，上体を45°起こした姿勢で10分以上安静を保持した。胃電図は，サンプル負荷前の20分間，サンプル負荷後の40分間，上体を45°起こした姿勢のままサンプリングした。主観的食欲感覚の測定には視覚的評価尺度（VAS）を用い，負荷前，負荷直後，負荷後10分間隔に測定終了までの計6回行った。被験者には，飲水試行では，それぞれのサンプルを少しずつ味わいながら，全部飲むように，偽飲試行では，カップのサンプルをしばらく口に含んで十分に味わってから，飲み込まずに別のコップに移すように依頼した。全試行は，ストップウォッチを用いて4-5分で行った。測定中は室温を25-26°Cに保ち，無音で刺激の少ない環境とした。ベッドはパーテーションで仕切り，被験者の体動を禁止した。

5.3.3 VAS 質問紙を用いた主観的食欲感覚の測定

主観的な食欲感覚(空腹感,満腹感)は,VAS 質問紙を用いて測定した^{17,18)}。VAS 質問紙は，質問と横に引いた100 mmの長さの線，そして線の左右末端に記された最小，最大の状態を表す言葉の3つを1単位として，これらが複数集まった形で構成されている^{17,18)}。質問紙は1頁で1問を問う小冊子として作成した^{17,18)}。

5.3.4 胃の電氣的活動の評価と測定

胃の電氣的活動の測定は，胃電図測定システムと解析プログラムを用い，既報^{11,19)}に基づく方法で行った。本研究では，胃運動のパワーを評価するために，徐派（1-2 cpm），正常波（2-4 cpm），速波（4-9 cpm）の周波数帯域のスペクトル積分値を算出しパワーを求めた。さらに，胃運動の速さを示す正常波ピーク周波数を測定するために，2-4 cpmのピークスペクトルを算出した。

5.3.5 統計処理

データは平均±標準誤差で表した。各試行間（4群比較および2群比較）のサンプル負荷後の時系列データ（食欲感覚，胃運動指標）の変化パターンは，被験者内因子をサンプルの種類（因子1）と経過時間（因子2）とする二元配置分散分析（反復測定，対応ありと対応あり）で検定した。Mauchlyの球面性検定を行い，球面性の仮定もしくはHuynh-Feldtのイプシロンの修正により被験者内効果（Sample effect, Time effect, Sample×Time）をそれぞれ検定した。Sample×Timeが $p < 0.05$ の場合は交互作用あり（変化のパターンがサンプルにより異なる）と判定した。さらに，摂取前を基点とするDunnettの多重比較を行い，負荷前後の値を試行ごとに比較した。統計解析にはSPSS（SPSS for Windows ver. 22, IBM, 東京）を用い，検定の有意水準は5%未満（両側検定）とした。

5.4 結果

5.4.1 食欲感覚

図 5-1 に、試験サンプル負荷前後の食欲感覚スコアの経時変化を示した。空腹感スコア (図 5-1A)、満腹感スコア (図 5-1B) の経時変化のパターンは、4 試行で有意に異なっていた (Sample×Time, $p < 0.001$)。炭酸水負荷後に、最も低い空腹感スコアと最も高い満腹感スコアが示された。

炭酸水、水の SF 試行と比較して、両飲水試行では、空腹感スコアの有意な減少と満腹感スコアの有意な増加が認められた。そしてこの変化は、水よりも炭酸水で大きかった。

炭酸水 SF は一過性ではあるものの、摂取直後の空腹感スコアの減少と満腹感スコアの増加が観察された ($p < 0.05$)。一方水 SF では、測定終了にかけて空腹感スコアの高値が観察された。

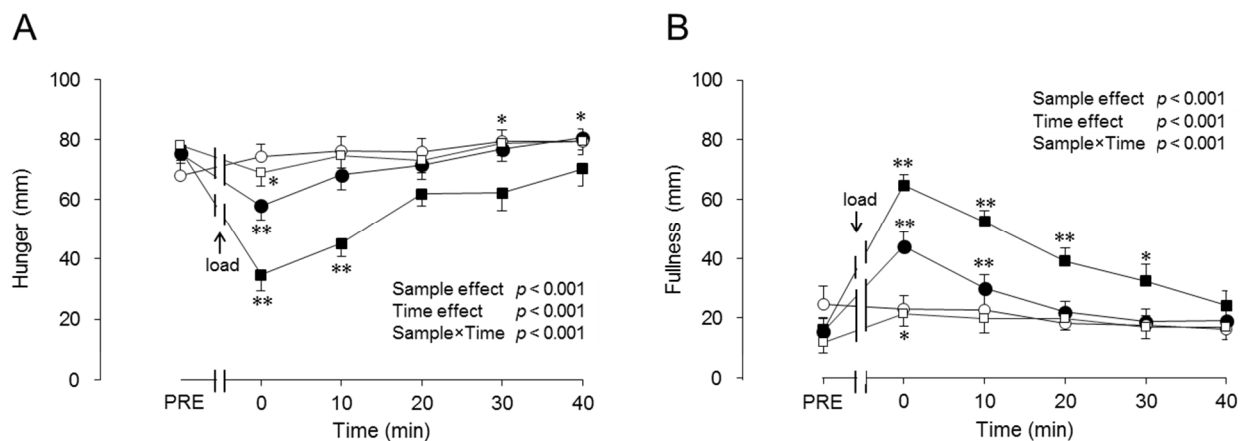


図 5-1 主観的食欲感覚 (VAS) スコアの経時変化

試験サンプル負荷前後の主観的食欲感覚 (VAS スコア) の時系列データ。空腹感 (A)、満腹感 (B)。平均±標準誤差。二元配置分散分析 (反復測定)。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, vs. 摂取前 (Dunnnett の多重比較)。● 水, ■ 炭酸水, ○ 水 SF, □ 炭酸水 SF。

5.4.2 胃運動指標

図 5-2 に、試験サンプル負荷前後の胃運動パワーの経時変化を示した。正常波パワー（図 5-2B, Sample×Time, $p = 0.028$ ）、速波パワー（図 5-2C, Sample×Time, $p = 0.022$ ）は、経時変化のパターンが 4 試行で有意に異なっていた。炭酸水、水の SF 試行と比較して、両飲水試行では高い胃運動パワーが示された。摂取前と比較して、除波パワー（図 5-2A）は水の負荷 20-30 分後、正常波パワー、速波パワーは水の負荷 20 分後、炭酸水の負荷 20-30 分後に有意な高値を示した。一方両 SF 試行では、有意な変化は観察されなかった。

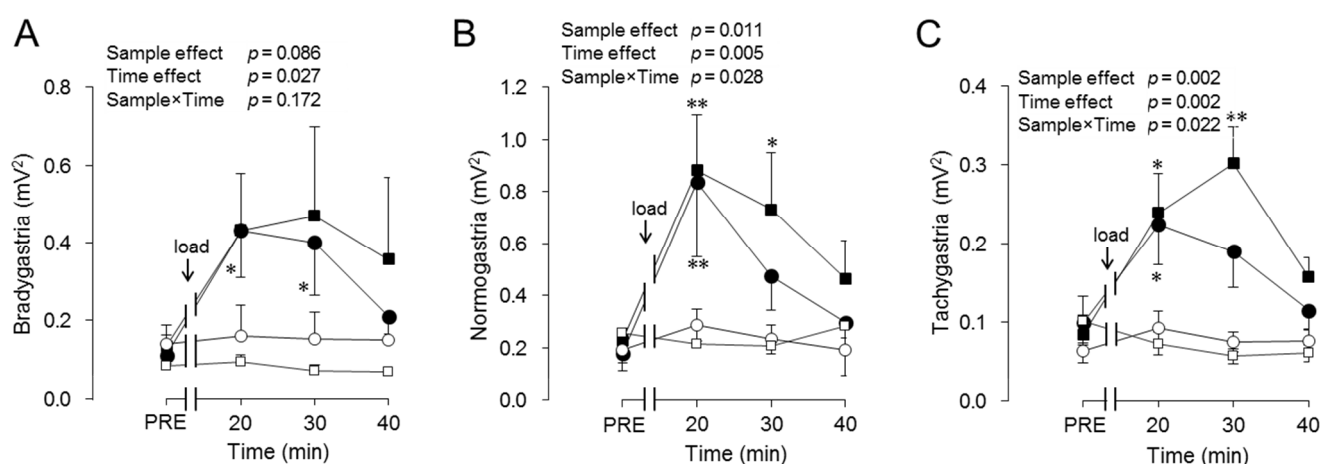


図 5-2 胃運動パワーの経時変化

試験サンプル負荷前後の徐波パワー（A）、正常波パワー（B）、速波パワー（C）の時系列データ。平均±標準誤差。二元配置分散分析（反復測定）。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, vs. 摂取前（Dunnnett の多重比較）。● 水, ■ 炭酸水, ○ 水 SF, □ 炭酸水 SF。

図 5-3 に、正常波ピーク周波数の経時変化を示した。正常波ピーク周波数（図 5-3A）の経時変化のパターンは、4 試行で有意に異なっていた

（Sample×Time, $p = 0.007$ ）。正常波ピーク周波数は、炭酸水負荷後に最も高値を示した。また、炭酸水負荷後は高い周波数にシフトする傾向がみられたが、水負荷後は有意に低い周波数にシフトした（ $p = 0.039$ ）。

炭酸水の飲水、SF 試行の比較（図 5-3B）では、経時変化のパターンは有意に異なっていた（Sample×Time, $p = 0.003$ ）。正常波ピーク周波数は、炭酸水負荷後に高い周波数にシフトする傾向がみられたが、逆に炭酸水 SF では、低い周波数にシフトした。

SF 試行の比較（図 5-3C）でも、経時変化のパターンは有意に異なっていた（Sample×Time, $p = 0.029$ ）。水 SF では、負荷後に高い周波数にシフトする傾向がみられたが、炭酸水 SF では、低い周波数にシフトした。

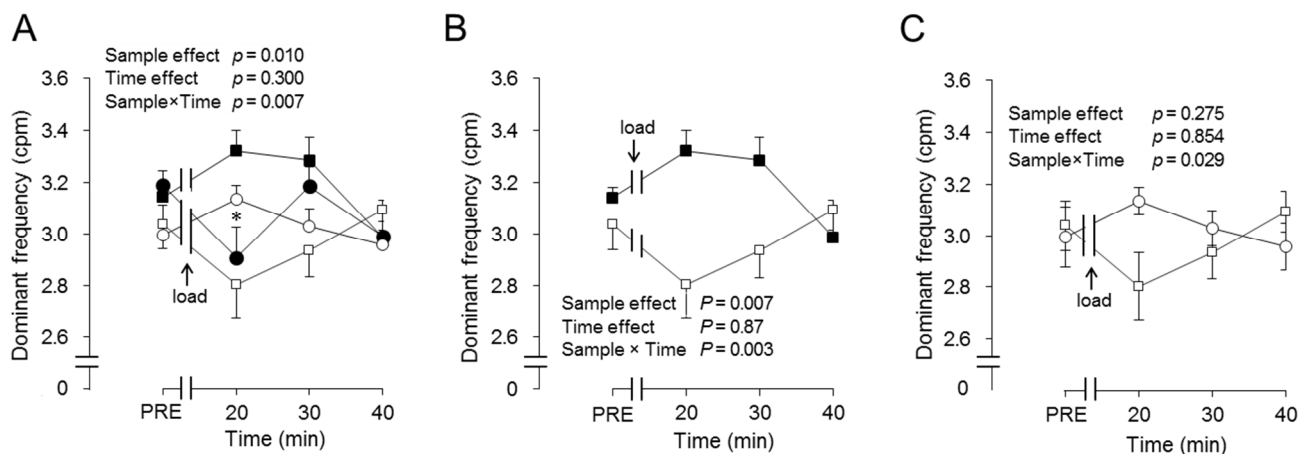


図 5-3 胃運動正常波ピーク周波数の経時変化

試験サンプル負荷前後の正常波ピーク周波数の時系列データ（A：4 試行の比較，B：炭酸水飲水，SF 試行の比較，C：SF2 試行の比較）。平均±標準誤差。二元配置分散分析（反復測定）。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, vs. 摂取前（Dunnnett の多重比較）。●水，■炭酸水，○水 SF，□炭酸水 SF。

5.5 考察

本研究の主要な知見は、3点である。1) 炭酸水の口腔刺激のみでも、一過性の有意な満腹感増大と空腹感軽減が観察された。2) 胃運動パワーは、炭酸水、水の飲水によって顕著に高まったが、炭酸水の口腔刺激のみでは変化しなかった。3) 胃運動の正常波ピーク周波数は、炭酸水の口腔刺激のみでは低値へシフト、炭酸水の飲水では高値にシフトし、異なる胃運動のリズムが示された。

5.5.1 食欲感覚

炭酸水飲水後に満腹感が著しく高まり、等温、等量のサンプルを用いた既報¹¹⁾との良い一致が認められた。我々は既報¹¹⁾において、炭酸水 250 mL から約 900 mL の炭酸ガスが発生することを推定した。さらに、MRI

(magnetic resonance imaging) で胃の形状を測定した研究¹⁰⁾では、炭酸飲料 300 mL を摂取した後に胃が拡大したことが報告されている。以上の知見と本研究の結果は、炭酸水飲水後の満腹感の増大が、炭酸ガスの放出が胃を膨張させたことによって誘発されたことを示している。

興味深いことに、炭酸水の口腔刺激のみでも一時的に満腹感が誘発され、この応答は頭相 (cephalic phase) から発生した可能性が示唆された。炭酸水は、酸味^{1,2)}や苦味²⁾、炭酸や発泡による独特の口腔刺激¹⁻³⁾を有している。炭酸ガスは TRPA1 チャンネルを活性化し、口腔内にピリピリ感を知覚させることが報告されている³⁾。動物実験では、methyl syringate などの TRPA1 アゴニストが消化管機能を調整し^{20,21)}、摂食量を減少させたことが示されており²⁰⁾、TRPA1 が食欲調節に関与することを示唆している。さらに冷たさ (15°C) の知覚は、TRPM8 を活性化した可能性がある²²⁾。TRPM8 の代表的なアゴニストであるメントールは、ヒトの食欲や摂食量を低下させることが報告されている²³⁾。さらに苦味は、栄養素でないもの、もしくは毒物の味のシグナルとして知られている²⁴⁾。以上の知見と本研究の結果から、炭酸水の口腔刺激による満腹感の増大は、炭酸水の味とピリピリ感、

冷たさによって誘発される TRPA1 や TRPM8 の活性化によって生じたと考えられる。

5.5.2 胃運動

胃運動は、胃の筋電活動によって管理されており、周期的に現れる約 3 cpm の正常波は、胃のペースメーカー細胞から発生している。したがって、算出された胃運動の正常波パワーは、胃の運動性を示す有用な指標であると考えられている^{11,19)}。本研究では、正常波を含む胃運動パワーのいずれの指標も、炭酸水の口腔刺激のみでは変化しなかった。しかし興味深いことに、正常波のピーク周波数は、炭酸水の口腔刺激を負荷した後に低い周波数にシフトし、胃運動の遅延を示した。我々は、既報を幅広く調べたが、味覚と胃の電気活動に関する先行研究は限られていた。Wicks et al.²⁵⁾は、苦味の sham-feeding が胃排出を遅らせ、食後の正常波パワーが増大したことを報告したが、正常波ピーク周波数に関するデータは示されなかった。さらに、酢の摂取が胃排出を送らせることが知られているが^{26,27)}、胃運動に対する酸味の影響は示されていない。胃排出の遅延は正常波の減少と関連しているため²⁵⁾、苦味や酸味は胃運動を変える可能性がある。

対照的に、炭酸水飲水後には、正常波ピーク周波数は高い周波数にシフトし、速い胃運動を示した。しかし既報では¹¹⁾、同量の炭酸水を摂取したにも関わらず、この変化は生じなかった。既報と本研究の結果の不一致は、注意事項がなく摂取したことや十分に味わっていないなど、異なる実験プロトコルが原因である可能性がある。

我々に残された課題は、炭酸水の飲水と口腔刺激のみの間で異なる胃収縮リズムが観察された理由である。苦味や酸味などの炭酸水の味、ピリピリ感、発砲刺激などの炭酸水の特長¹⁻³⁾は、毒物や痛みのシグナルに類似しているため、包括的または部分的に痛みの伝達経路に関与し、胃運動に影響を及ぼした可能性がある。それにも関わらず、炭酸ガスの分離による胃の膨張は¹⁰⁾、交感神経を亢進し、口腔刺激単独の作用よりも強力であったと考えられる。同様の研究では、コーヒー²⁸⁾、炭酸水¹¹⁾、香辛料を含む

スープ²⁹⁾の摂取が胃運動や交感神経を亢進したことが報告されている。炭酸水摂取後の顕著な胃膨張の影響は、口腔刺激の影響よりも強かった可能性がある。最近では、炭酸水には止渴作用があることや⁴⁾、炭酸の味に反応する細胞の存在が報告されており^{1,3)}、CO₂受容体や酸味受容細胞の役割が示唆されている。したがって、CO₂によって生じる口腔内のピリピリ感が食欲や消化管機能に対して果たす役割を理解するための、更なる研究が必要である。

5.5.3 新規性と限界

本研究のひとつの限界は、サンプルサイズが小さく、女性のみを対象としている点である。したがって、結果は注意して解釈する必要がある。また、胃電図の信号は胃運動に関連しているが、この信号は実際の胃運動と正確に相関しないことがある。最後に、食欲の調節におけるCO₂受容体や酸味受容細胞の役割は明らかになっていない点である。

本研究の結果は、炭酸による経口刺激は、満腹感の一過性の増大に単独で関与することを示唆している。さらに、炭酸の口腔刺激のみと炭酸水の飲水の間には、逆の胃運動リズムの変化が観察された。これらの新しい知見は、体重管理が必要な人のための食事療法に役立つかもしれない。

5.6 引用文献

- 1) Chandrashekar J, Yarmolinsky D, von Buchholtz L, Oka Y, Sly W, Ryba NJ, Zuker CS: The taste of carbonation. *Science* 326: 443-445, 2009
- 2) Harper SJ, McDaniel MR. 1993. Carbonated water lexicon: Temperature and CO₂ level influence on descriptive ratings. *J Food Sci* 58: 893-898, 1993
- 3) Wang YY, Chang RB, Liman ER: TRPA1 is a component of the nociceptive response to CO₂. *J Neurosci* 30: 12958-12963, 2010
- 4) Peyrot des Gachons C, Avriillier J, Gleason M, Algarra L, Zhang S, Mura E, Nagai H, Breslin PAS: Oral cooling and carbonation increase the perception of drinking and thirst quenching in thirsty adults. *PLoS One* 11: e0162261, 2016
- 5) 日本天然水研究会：知識ゼロからのミネラルウォーター入門，幻冬舎，東京，pp. 14-15，2006
- 6) 富士経済：清涼飲料 16 品目の国内市場を調査 2015 年の結果分析と 2016 年を展望， Available at : <https://www.fuji-keizai.co.jp/market/16044.html> Accessed at January 25, 2017
- 7) Gasbarrini G, Miglio F, Arienti V, Biondi S: Considerations on the therapeutic efficacy of a standard alkaline bicarbonated mineral water in cases of dyspepsia. *Minerva Dietol Gastroenterol* 31: 55-62, 1985
- 8) Cuomo R, Grasso R, Sarnelli G, Capuano G, Nicolai E, Nardone G, Pomponi D, Budillon G, Ierardi E: Effects of carbonated water on functional dyspepsia and constipation. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 14: 991-999, 2002
- 9) Pouderoux P, Friedman N, Shirazi P, Ringelstein JG, Keshavarzian A: Effect of carbonated water on gastric emptying and intragastric meal distribution. *Dig Dis Sci* 42: 34-39, 1997
- 10) Cuomo R, Savarese MF, Sarnelli G, Nicolai E, Aragri A, Cirillo C, Vozzella L, Zito FP, Verlezza V, Efficie E, Buyckx M: The role of a pre-load beverage on gastric volume and food intake: comparison between non-caloric carbonated and non-carbonated beverage. *Nutr J* 10:114, 2011

- 11) Wakisaka S, Nagai H, Mura E, Matsumoto T, Moritani T, Nagai N: The effects of carbonated water upon gastric and cardiac activities and fullness in healthy young women. *J Nutr Sci Vitaminol* 58: 333-338, 2012
- 12) Smeets AJ, Westerterp-Plantenga MS: Oral exposure and sensory-specific satiety. *Physiol Behav* 89: 281-286, 2006
- 13) Simonian HP, Kresge KM, Boden GH, Parkman HP: Differential effects of sham feeding and meal ingestion on ghrelin and pancreatic polypeptide levels: evidence for vagal efferent stimulation mediating ghrelin release. *Neurogastroenterol Motil* 17: 348-354, 2005
- 14) Arosio M, Ronchi CL, Beck-Peccoz P, Gebbia C, Giavoli C, Cappiello V, Conte D, Peracchi M: Effects of modified sham feeding on ghrelin levels in healthy human subjects. *J Clin Endocrinol Metab* 89: 5101-5104, 2004
- 15) Heath RB, Jones R, Frayn KN, Robertson MD: Vagal stimulation exaggerates the inhibitory ghrelin response to oral fat in humans. *J Endocrinol* 180: 273-281, 2004
- 16) 高木 絢加, 谷口 彩子, 駒居 南保, 村 絵美, 永井 元, 森谷 敏夫, 永井 成美 : 炭酸水による口腔への刺激が深部・末梢体温に及ぼす作用－Sham-feeding (偽飲)による口腔内刺激を用いた評価－. 日本栄養・食糧学会誌 67: 19-25, 2014
- 17) Flint A, Raben A, Blundell JE, Astrup A: Reproducibility, power and validity of visual analogue scales in assessment of appetite sensations in single test meal studies. *Int J Obes Relat Metab Disord* 24: 38-48, 2000
- 18) 永井成美, 日比壮信, 山口亨, 亀尾洋司, 小林滋, 片嶋充弘 : 視覚的アナログ目盛り (visual analogue scales : VAS) を用いた日本語版食欲質問紙の作成と再現性, 妥当性の検討. 日本肥満学会誌 18 : 39-51, 2012
- 19) Parkman HP, Hasler WL, Barnett JL, Eaker EY: Electrogastrography: a document prepared by the gastric section of the American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force. *Neurogastroenterol Motil* 15: 89-102, 2003

- 20) Min JK, Hee JS, Seo HS, Myungi J, Yiseul K, Mee-Re R: The TRPA1 agonist, methyl syringate suppresses food intake and gastric emptying. *PLoS One* 8: e71603, 2013
- 21) Nozawa K, Kawabata-Shoda E, Doihara H, Kojima R, Okada H, Mochizuki S, Sano Y, Inamura K, Matsushime H, Koizumi T, Yokoyama T, Ito H: TRPA1 regulates gastrointestinal motility through serotonin release from enterochromaffin cells. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106: 3408-3413, 2009
- 22) Peier AM, Moqrich A, Hergarden AC, Reeve AJ, Andersson DA, Story GM, Earley TJ, Dragoni I, McIntyre P, Bevan S, Patapoutian A: A TRP channel that senses cold stimuli and menthol. *Cell* 108: 705-715, 2002
- 23) Hutchings SC, Horner KM, Dible VA, Grigor JM, O'Riordan D: Modification of aftertaste with a menthol mouthwash reduces food wanting, liking, and ad libitum intake of potato crisps. *Appetite* 108: 57-67, 2017
- 24) Drewnowski A, Gomez-Carneros C: Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *Am J Clin Nutr* 72: 1424-1435, 2000
- 25) Wicks D, Wright J, Rayment P, Spiller R: Impact of bitter taste on gastric motility. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 17: 961-965, 2005
- 26) Liljeberg H, Björck I: Delayed gastric emptying rate may explain improved glycaemia in healthy subjects to a starchy meal with added vinegar. *Eur J Clin Nutr* 52: 368-371, 1998
- 27) Hlebowicz J, Darwiche G, Björgell O, Almér LO: Effect of apple cider vinegar on delayed gastric emptying in patients with type 1 diabetes mellitus: a pilot study. *BMC Gastroenterol* 7: 46, 2007
- 28) 種村一識, 松永哲郎, 山崎英恵, 李子帆, 城尾恵里奈, 足達哲也, 近藤高史, 津田謹輔: コーヒー摂取が胃運動および自律神経活動に与える効果の検討. *日本栄養・食糧学会誌* 65: 113-121, 2012
- 29) 永井成美, 脇坂しおり, 高木絢加, 山口光枝, 森谷敏夫: 香辛料を含むスープの摂取が胃運動と食欲に及ぼす作用. *栄養学雑誌* 70: 17-27, 2012

6. 総合考察

6.1 考察

肥満の予防や高齢者の低栄養予防では、いずれも適正範囲のエネルギー量の食事を摂取することが重要である^{1,2)}。しかし、食事量を制限すると、ボリューム感や満足感が得られにくく、継続が難しいのが難点である。また高齢者の低栄養は、加齢に伴う食欲不振が基盤にあり^{2,3)}、若年女性にみられる摂食障害はその前段階において食欲不振が主症状であり、その予防と改善も困難な点が多いと考えられている⁴⁾。以上の背景から、摂取エネルギーを適正な範囲に保ちながらも、食事の美味しさや満足感を損なわない食べ方を探究したいと考えた。

摂食者は、視覚、味覚、触覚、嗅覚および聴覚の五感から得た複数の情報を融合して食物を認知しており⁵⁾、どのように認知されるかが摂食者の食欲や食後反応に多大な影響を及ぼしている。そこで本研究では、食にまつわる感覚のうち、栄養生理学実験室で検証が可能な視覚、味覚および触覚(口中感覚)に着目し、これらの感覚を介して得られた食物への認知が、摂食者の食欲感覚や生理的応答(胃運動や心拍の応答、体温等)をどのように修飾するのかについて検討を行った。

研究1では、食物の視覚情報の一つである「色」が、摂食者の食べる意欲、摂取後の食欲感覚や足先温を変化させることを見出した。研究2では、エネルギーを有さない人工甘味料(スクラロース)の摂取は、心拍数や体温を上昇させないが、一過性に食欲を軽減し、エネルギーを有するスクロースとは異なる食後の胃運動を示すことを明らかにした。研究3では、炭酸水飲水による食欲軽減作用の一部は口腔刺激由来であり、触覚(口中感覚)のみでも食欲感覚が変化することを明らかにした。また、胃運動の出現頻度は、口腔刺激のみでは低値にシフトし、飲水すると高値にシフトするという、水とは逆の反応がみられたことから、炭酸水が胃内に入ることにより胃運動は強くなるが速度は遅くならないという特有の挙動をもたらす可能性も示された。

まず、視覚を介した認知について考察する。黄色は、食べる意欲、摂取後の満足感や足先温を高める作用がみられた。一方青色は、これらの指標に抑

制的に作用した。食品の美味しさは，摂取後の満足感⁶⁾や血流量⁷⁾，皮膚温⁸⁾の上昇に関与することが報告されていることから，黄色スープ摂取後の満足感や足先温上昇には，スープの美味しさが影響したと考えられた。また，食事の満足感は脳内報酬系を活性化し，さらに食欲を高めることが知られている⁹⁾。満足感の得られる黄色食品を食事に取り入れることは，摂食者の食欲を増進し，低栄養の予防と改善に役立つと考えられる。一方青色は，食品として珍しい色であることから¹⁰⁾，被験者に新奇性恐怖¹¹⁾が生じたことが推測され，このことが食後の満足感の低下に繋がったと考えられた。現代では食物の色の好みは多様化しており，新奇の色の食品に対する受容性も高くなっていると考えられるが，若い世代（若年女性）においても古典的な暖色／寒色に対する典型的な反応や食体験の有無に基づく反応が実際の食物において観察されたといえる。また青色では，摂取後の満足感が抑制されただけでなく，空腹感減少がその後1時間維持されるという興味深い知見を得た。この結果から，食前に青色食品を摂取する方法により，その後の食事量を抑制できる可能性が期待され，継続が可能な食事療法のひとつとして，過食の予防の一助になる可能性が考えられた。

次に味覚，そのなかでも甘味による認知について考察する。少量ずつ口腔内を刺激しながら摂取したスクロース溶液，スクラロース溶液はともに，一過性に摂取直後の食欲を軽減させ，甘味の認知が短期的な食欲に抑制的に働くことが示唆された。甘味の受容は口腔内のみでなく胃腸内の甘味受容体を介すると考えられているが¹²⁾，胃への直接投与試験からは，エネルギーを有するグルコースやフルクトースとは対照的に，人工甘味料では食欲ホルモン，代謝応答，食欲感覚を変化させなかったことが報告されている¹³⁾。これらのことから，人工・天然甘味料のいずれの摂取においても，その甘味は口腔内の甘味受容体を介して脳に体内に糖が入ってきたことを伝えるのが，実際には人工甘味料では体内での消化・吸収が起こらず血糖値も上昇しないためにエネルギー源と認知されず，インクレチンなどの食欲抑制に関わる消化管ホルモンの分泌も起こらない可能性が考えられた。ただし，口腔内の甘味受容において，甘味を強く感じるほど一定時間後の食欲が増強するという興味深

い結果が得られており、内因性の食欲促進物質エンドカンナビノイド¹⁴⁾の関与が示唆された。食前の適度な甘味の摂取が一定時間後の食欲を増すことが示唆されており、低栄養者の食事改善に資する可能性がある。

最後に、触覚（口中感覚）を介した食物の認知について考察する。サンプルとして用いた無糖の炭酸水を飲むと満腹感が高まることや、満腹感の高まりには胃運動の変化や交感神経活動亢進が関与することが報告されている¹⁵⁾。炭酸水を飲んだ後の生体の応答は既報¹⁵⁾のとおりであったが、偽飲による炭酸水の口腔刺激のみでも満腹感の高まりが認められたことから、この反応の一部は、口腔刺激由来であることが示唆された。胃運動出現頻度を表す正常波ピーク周波数は、水（冷水）刺激では高まったが、炭酸水の口腔刺激では低くなる現象がみられたことから、炭酸刺激で胃運動が遅くなることが示された。炭酸水は苦味を有しているが¹⁶⁾、苦味に対しては胃運動の応答がやや減弱する傾向にあることや胃排出が遅くなるとの報告があり¹⁷⁾、炭酸水の味刺激でも似たような現象が起こったことが推察される。加えて食欲にも抑制的に働くことから、エネルギーを含まない炭酸水の食前の飲用は、過食の予防に役立つかもしれない。しかし、ビールのようなアルコールを含む炭酸飲料を食前飲用に関しては、アルコールの作用により逆に食欲を増すことも知られているため¹⁸⁾、本研究結果をそのまま適用するのではなく、別に食欲への作用を検討する必要があると考えられる。

本研究により、視覚、味覚および触覚（口中感覚）を介した食物の認知は、食欲感覚を変化させるのみでなく、食後の生理的応答（胃運動や体温等）にも影響を及ぼすことが明らかとなった。本研究で得られた知見は、過体重者における食欲のコントロール、やせや低栄養者における食欲喚起、あるいは以上を目的とした食品の開発等への応用が可能であると考えられる。

6.2 引用文献

- 1) 白石武昌, 河田照雄: 4 なぜ肥満になるのか, II 肥満の原因と予防, 肥満・肥満症の指導マニュアル第2版, 日本肥満学会編集委員会, 医歯薬出版, 東京, pp. 29-45, 2001
- 2) 葛谷雅文, 深柄和彦: Topic 36 高齢者の栄養, 静脈経腸栄養 26: 935-954, 2011
- 3) Clarkston WK, Pantano MM, Morley JE, Horowitz M, Littlefield LM, Borton FR: Evidence for the anorexia of aging: gastrointestinal transit and hunger in healthy elderly vs. young adults. *Am J Physiol* 272: R243-R248, 1997
- 4) 鈴木(堀田) 眞理: 日本の摂食障害 2014—最近の動向, 治療, 研究—, 女性心身医学 19: 255-259, 2015
- 5) 中山正夫: 多視点からのおいしさ向上発想, FFI ジャーナル 220: 147-155, 2015
- 6) 脇坂しおり, 武田一彦, 御堂直樹, 駒居南保, 森谷敏夫, 永井成美: 食前のスープ摂取は続く食事の量に影響を及ぼすか?—ビジュアルアナログスケール(VAS)による短期的食欲感覚の評価—, 肥満研究 20: 110-118, 2014
- 7) Kashima H, Hamada Y, Hayashi N: Palatability of tastes is associated with facial circulatory responses. *Chem Senses* 39: 243-248, 2014
- 8) De Wijk RA, Kooijman V, Verhoeven RHG, Holthuyzen NTE, de Graaf C: Autonomic nervous system responses on and facial expressions to the sight, smell, and taste of liked and disliked foods. *Food Quality and Preference* 26: 196-203, 2012
- 9) Erlanson-Albertsson C: How palatable food disrupts appetite regulation. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 97: 61-73, 2005
- 10) Cardello AV: 1.2 The role of vision in food acceptance. In: Food choice, acceptance, and consumption (Meiselman HL, MacFie HJH, eds), Blackie Academic & Professional, London, pp. 11-19, 1996
- 11) Birch LL: Development of food preferences. *Annu Rev Nutr* 19: 41-62, 1999

- 12) Depoortere I: Taste receptors of the gut: emerging roles in health and disease. *Gut* 63: 179-190, 2014
- 13) Steinert RE, Frey F, Töpfer A, Drewe J, Beglinger C: Effects of carbohydrate sugars and artificial sweeteners on appetite and the secretion of gastrointestinal satiety peptides. *Br J Nutr* 105: 1320-1328, 2011
- 14) Yoshida R, Ohkuri T, Jyotaki M, Yasuo T, Horio N, Yasumatsu K, Sanematsu K, Shigemura N, Yamamoto T, Margolskee RF, Ninomiya Y: Endocannabinoids selectively enhance sweet taste. *Proc Natl Acad Sci U S A* 107: 935-939, 2010
- 15) Wakisaka S, Nagai H, Mura E, Matsumoto T, Moritani T, Nagai N: The effects of carbonated water upon gastric and cardiac activities and fullness in healthy young women. *J Nutr Sci Vitaminol* 58: 333-338, 2012
- 16) Harper SJ, McDaniel MR: Carbonated water lexicon: Temperature and CO₂ level influence on descriptive ratings. *J Food Sci* 58: 893-898, 1993
- 17) Wicks D, Wright J, Rayment P, Spiller R: Impact of bitter taste on gastric motility. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 17: 961-965, 2005
- 18) Konturek SJ, Konturek JW, Pawlik T, Brzozowski T: Brain-gut axis and its role in the control of food intake. *J Physiol Pharmacol* 55: 137-154, 2004

7. 結語

本研究では，食にまつわる感覚のうち，栄養生理学実験室で検証が可能な視覚，味覚および触覚（口中感覚）に着目し，これらの感覚を介して得られた食物への認知が，摂食者の食欲感覚や生理的応答（胃運動や心拍の応答，体温等）をどのように修飾するのかについて検討を行った。

その結果，1) 食物の色は，摂食者の食べる意欲，摂取後の食欲感覚や体温を変化させること，2) エネルギーを有さない人工甘味料の摂取は心拍数や体温を上昇させないが，一過性に食欲を抑制し，エネルギーを有するスクロースとは異なる胃運動を示すこと，3) 炭酸水飲水による食欲軽減の作用の一部は口腔刺激由来であり，触覚（口中感覚）のみでも食欲感覚が変化することが示唆された。

以上のことから，視覚，味覚および触覚（口中感覚）を介した食物の認知は，食欲感覚を変化させるのみでなく，食後の生理的応答（胃運動や体温等）にも影響することが示唆された。本研究で得られた知見が，本研究で得られた知見は，過体重者における食欲のコントロール，やせや低栄養者における食欲喚起，あるいは以上を目的とした食事療法や食品の開発等へ応用されることが期待される。

謝辞

本研究の遂行および本論文の作成にあたって、兵庫県立大学大学院 永井成美教授より終始御懇切なご指導とご鞭撻賜りました。心より感謝申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、兵庫県立大学大学院 北元憲利教授ならびに吉村美紀教授には貴重なご指導とご助言を賜りましたことを厚く御礼申し上げます。

京都府立大学大学院 東あかね教授には、本論文に対して多くの有益なご指摘、ご助言を頂きました。深く感謝致します。

胃電図の測定と解析にあたり、京都大学大学院人間・環境学研究科応用生理学研究室 森谷敏夫名誉教授には、測定・解析プログラムとシステム提供をはじめ、ひとかたならぬご指導とご協力を賜りました。深く感謝申し上げます。

本研究へ適切なお助言を賜りましたクノール食品株式会社開発技術センター 木戸妥恵研究員，木村理恵研究員，サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社 村絵美研究員に深く感謝致します。

本研究は、クノール食品株式会社，サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社からの資金（共同研究費）により実施されました。ここに感謝の意を表します。

本論文の審査の手続きでは、学務課の皆様に親切に対応して頂き、感謝の念に堪えません。心から感謝致しております。

兵庫県立大学 永井研究室の皆様には、実験と解析のサポートをして頂きました。特に、井上朋子さん，淡路友香子さん，坂川愛さんには、実験の補助に多くの時間を費やして頂きました。心より感謝申し上げます。

最後に、実験ボランティアとしてご協力いただきました兵庫県立大学学部生ならびに大学院生の皆様に心より感謝申し上げます。誠にありがとうございました。

業績目録

原著論文

第一著者

研究 1

Suzuki M, Kimura R, Kido Y, Inoue T, Moritani T, Nagai N: Color of hot soup modulates postprandial satiety, thermal sensation, and body temperature in young women. *Appetite* (Accepted)

研究 2

鈴木麻希, 泉杏奈, 村絵美, 林育代, 森谷敏夫, 永井成美: エネルギーを有さない人工甘味溶液摂取後の食欲感覚と胃運動—等甘味度天然甘味料溶液との比較—. *日本栄養・食糧学会誌* 69: 163-171, 2016

研究 3

Suzuki M, Mura E, Taniguchi A, Moritani T, Nagai N: Oral carbonation attenuates feeling of hunger and gastric myoelectrical activity in young women. *J Nutr Sci Vitaminol* (Accepted)

関連論文

鈴木麻希, 大竹恵子, 永井成美: HAQ-C で評価した小学生の攻撃性と心臓自律神経活動, 食生活, 運動習慣の関連, *子どもの心とからだ* 25: 202-211, 2016

共著

1. 浅井智子, 角田美紀子, 鈴木麻希, 上野真理, 杉山寿美: 乳脂肪クリーム, 菜種油の配合が卵液のレオロジー特性と加熱ゲルのテクスチャーに及ぼす影響. *日本調理科学会誌* 47: 312-319, 2014
2. 高木絢加, 加古千菜都, 駒居南保, 本窪田直子, 鈴木麻希, 林育代, 住田実, 永井成美: 特別支援教育における立体識別感覚を重視した食育教具の開発と観察法による評価. *栄養学雑誌* 73: 230-242, 2015

3. 本窪田直子, 駒居南保, 鈴木麻希, 林育代, 森谷敏夫, 永井成美: 夜型指向性が若年女性の自律神経活動, 胃運動および食欲感覚の日中の変動に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌 69: 65-74, 2016
4. Komai N, Motokubota N, Suzuki M, Hayashi I, Moritani T, Nagai N: Thorough mastication prior to swallowing increases postprandial satiety and the thermic effect of a meal in young women. *J Nutr Sci Vitaminol* 62: 288-294, 2016
5. 能瀬陽子, 林育代, 藤永莉奈, 鈴木麻希, 小谷和彦, 永井成美: 寮で生活する女子高校生の朝型-夜型指向性と朝の胃運動, バイタル指標との関連. 栄養学雑誌 74: 157-164, 2016
6. 高木絢加, 岸田菜々, 鈴木麻希, 武田一彦, 木村理恵, 永井成美: 温スープ摂取後の安堵感と体温上昇に及ぼすナトリウム・嗜好性の影響. 栄養学雑誌 74: 165-173, 2016
7. 杉山寿美, 北原千紘, 宮岡香歩, 鈴木麻希, 石橋ちなみ, 菊谷遥香, 森脇弘子: 白飯, 魚, 野菜を中心とした食事を繰り返し食べることが女子大学生の食嗜好, 食行動に及ぼす影響. 日本給食経営管理学会誌 10: 63-73, 2016
8. Nose Y, Fujinaga R, Suzuki M, Hayashi I, Moritani T, Kotani K, Nagai N: Association of evening smartphone use with cardiac autonomic nervous activity after awakening in adolescents living in high school dormitories. *Child's Nerv Syst* (in press), DOI: 10.1007/s00381-017-3388-z

学会発表

第一著者

1. Suzuki M, Otake K, Hayashi I, Moritani T, Narumi N: Aggression and its associations with nutritional intake, life-styles and autonomic nervous system activity in school children. 12th Asia Congress of Nutrition, Yokohama, 2015.

2. 鈴木麻希, 木村理恵, 木戸妥恵, 井上朋子, 永井成美: 食品の色は, 若年女性の温スープへの受容性と摂取後の満足感, 末梢体温を変化させる. 第 71 回日本栄養・食糧学会大会, 沖縄, 2017 (演題登録済み)

共著

1. 駒居南保, 高木絢加, 加古千菜都, 本窪田直子, 鈴木麻希, 林育代, 山口光枝, 住田実, 永井成美: 特別な支援を必要とする児童生徒を対象とした食育のための教具作成と有効性の評価. 第 61 回日本栄養改善学会学術総会, 横浜, 2014
2. 上野真理, 鈴木麻希, 渡辺雪乃, 富田美鈴, 杉山寿美: フライのバター配合が衣のテクスチャーに及ぼす影響. 日本調理科学会平成 26 年度大会, 広島, 2014
3. 廣兼希美, 鈴木麻希, 渡辺雪乃, 富田美鈴, 杉山寿美: フライの冷凍過程, 保存過程が衣の水分量に及ぼす影響. 日本調理科学会平成 26 年度大会, 広島, 2014
4. 森脇弘子, 北原千紘, 渡辺雪乃, 杉山寿美, 浅井智子, 鈴木麻希, 石橋ちなみ: 米・魚・野菜を中心とした給食の提供が大学生の食意識・食行動に与える効果の検証. 第 61 回日本家政学会中国四国支部研究発表会, 広島, 2014
5. 松浦璃佳, 荒木嗟千, 藤永莉奈, 駒居南保, 本窪田直子, 鈴木麻希, 永井成美: 付属高校寮生への生活リズム改善を目的とした食育介入の評価. 第 13 回日本栄養改善学会近畿支部学術総会, 京都, 2014
6. 荒木嗟千, 松浦璃佳, 藤永莉奈, 本窪田直子, 駒居南保, 鈴木麻希, 永井成美: 高校生を対象としたデータに基づく食育の実施と評価 - 測定参加者と不参加者の反応の違いに着目して -. 第 13 回日本栄養改善学会近畿支部学術総会, 京都, 2014
7. Yamaguchi M, Kotani K, Tsuzaki K, Suzuki M, Hayashi I, Sakane N, Toshio M, Nagai N: Circadian rhythm genes CLOCK and PER3 polymorphisms and

morning gastric motility in humans. 12th Asia Congress of Nutrition, Yokohama, 2015.

8. 高木絢加，武田一彦，岸田菜々，鈴木麻希，永井成美：温スープ摂取後の安堵感，体温に及ぼすナトリウムの影響．第 62 回日本栄養改善学会学術集会，福岡，2015
9. 能瀬陽子，藤永莉奈，是金有葵，鈴木麻希，林育代，森谷敏夫，永井成美：ブルーライトを光源とするスマートフォンの夜間使用が高校寮生の朝の胃運動と心臓自律神経活動に及ぼす影響．第 71 回日本栄養・食糧学会大会，兵庫，2016
10. 永井成美，林育代，鈴木麻希，能瀬陽子，湊聡美，住友文，二連木 晋輔，津崎こころ，小谷和彦，坂根直樹：妊娠前の体格やボディイメージと妊娠中の体重増加量との関連．第 37 回日本肥満学会，東京，2016