



飲料飲用の過程に応じた糖度制御による味知覚変化

Taste Perception Change by Controlling Sugar Content of Beverages according to the Intake Process

日塔諒太¹⁾, 伴祐樹¹⁾, 福井類¹⁾, 割澤伸一¹⁾

Ryota NITTO, Yuki BAN, Rui FUKUI, Shin'ichi WARISAWA

1) 東京大学大学院新領域創成科学研究科 (〒 277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, rnitto@edu.k.u-tokyo.ac.jp)

概要: 連続して同じ味を知覚する際順応と馴化に伴い知覚する味の強さが減衰することが知られている。しかし、食品の摂取過程に応じて感覚刺激を変動させた際にどのように知覚が変動するかは明らかではない。本研究では、甘味飲料を連続して飲む際に糖度を下降または上昇させ、摂取過程ごとの知覚を評価させた。その結果、いずれの場合でも摂取過程の途中で一定の糖度提示に比べ甘味が強化されるタイミングがあることが判明した。

キーワード: 飲料, 糖度, 味覚, 順応, 馴化

1. はじめに

甘いペットボトル飲料には大量の糖質が含まれている。清涼飲料水の飲み過ぎによって発症する清涼飲料水ケトースはペットボトル症候群とも呼ばれ問題になっている [1]。また、食塩の取りすぎは高血圧をはじめ生活習慣病の原因となっている [2]。

上記のような糖質・食塩の過剰摂取による健康被害を防ぐために、食品に含まれる糖質・食塩の量を減らす必要がある。少ない糖質・食塩量でも十分な甘味・塩味を生み出すために、摂取する食品は変えずに味の知覚を変化させる手法を実現することが本研究の狙いである。

摂取する食品は変えずに味の知覚を変化させるために、食品と合わせて提示する視嗅触覚刺激を操作する手法や、電気的に味覚を操作する手法が提案されてきた [3, 4, 5, 6, 7, 8]。しかし、これらの研究は摂取前の印象の操作や 1 回のみの摂取における知覚の操作に留まっている。食品を複数回連続して口内に摂取する際には、順応や馴化によりそれぞれの摂取のタイミングで異なる味の知覚が起きている [9, 10]。そのため、既存手法を用いて摂取過程によらず一定の感覚刺激を提示する方法では知覚の操作が十分に効果を発揮できるとは限らない。

そこで本研究では、食品を連続して複数回摂取する際に、飲食の過程に応じて提示刺激を変化させることで、効果的に知覚を操作させられるのではないかと考えた。その実現にあたっては、摂取過程に応じて提示刺激を変化させたときにどのように知覚が変動するかを明らかにする必要がある。このとき、視嗅触覚刺激や電気刺激による味の知覚変化には個人差があり、変化量を安定して制御することも難しい [11]。そのため、食品自体が持つ味覚刺激である糖度を変化させる。本稿では、甘味飲料の飲用過程に応じて糖度を制御することによる味の知覚変化を明らかにするため

の検証実験について報告する。

2. 関連研究

2.1 味知覚変化手法

食の研究領域や Human Computer Interaction の研究分野において、摂取する食品は変えずに味の知覚を変化させる手法が様々に開発されてきた。

視覚刺激を操作した例として齋藤ら [3] の研究が挙げられる。齋藤ら [3] は、ペットボトル緑茶飲料にカラーラベルを貼付した写真を 9 種類用意し、評定者に味の印象を評価させた。橙や黄は甘味を、茶や黒は渋みと味の濃さを、緑や白、青は爽快感や飲みやすさを感じる色として評価された。

嗅覚刺激を操作した例として石井ら [4] の研究と角谷ら [5] の研究が挙げられる。石井ら [4] は、甘い香りを持つ 6 種類のスパイス (アニス, フェネル, バニラ, シナモン, バジル, 八角) を調理で用いた時の甘味増強効果を調べた。バニラは甘味増強効果が最も高く、砂糖の使用量を 40% 減少できることが示された。角谷ら [5] は、呼吸と同期したバニラの香り提示がショ糖溶液の甘味知覚の増強に与える影響を調べた。香りによる味覚増強を起こすためには、飲用後の呼気による鼻腔後部への嗅覚刺激が必要であることが明らかにされた。

視覚刺激と嗅覚刺激の両方を操作した例として鳴海ら [6] の研究が挙げられる。鳴海ら [6] は、ヘッドマウントディスプレイと嗅覚ディスプレイを利用して、クッキーを食べる際の見た目と匂いを操作した。視覚情報と嗅覚情報の統合により、認知されるクッキーの風味を操作できることが示された。

触覚刺激に着目した例として Biggs ら [7] の研究が挙げられる。Biggs ら [7] は、皿の触感がその皿から取り出して食べるビスケットの口当たりと味に与える影響を調べた。表面が荒い皿から取り出したビスケットの味は辛味や塩味が

増す一方、表面が滑らかな皿から取り出したビスケットの味は甘味が増強されることが判明した。

電気刺激による味覚の操作をした例として上野ら [8] の研究が挙げられる。上野ら [8] は、飲料飲用時の嚥下前後に舌および喉に電気刺激を与えることで飲料の味の時間的変化を制御する手法を提案した。味を呈するイオンの泳動を制御することで嚥下前の味を増強したり、嚥下後の味を延長したりすることを目指している。

2.2 味覚の順応と馴化

同じ食品を連続して複数口摂取する際、摂取過程に応じて味の感覚の強さや知覚の強さが減少していくことが知られている [9, 10]。同じ濃度の味物質が与えられ続けると味覚受容器における応答が減衰する。この現象は順応として知られている。Kamo ら [9] は、1 mmol/L CaCl₂ に対するカエルの味神経の積分応答を観測した。刺激直後に応答は極大値をとり、その後減衰し定常状態になることが示された。繰り返される刺激によって行動反応が減衰する現象のうち、順応と感覚疲労を伴わないものは馴化と呼ばれる [12]。馴化のメカニズムは脳内の神経細胞の働きによって説明される [13]。また、食品の繰り返しの提示による馴化は満腹感の原因と考えられている [10]。

3. 甘味飲料糖度変化実験

3.1 実験目的

知覚の操作に有効な糖度の制御方法を探索するために、まず時間的に糖度を上昇または下降させる。本実験の目的は、甘味飲料を連続して複数口摂取する際、摂取過程に応じて糖度を上昇または下降させたとき、知覚がどのように変動するかを明らかにすることである。

3.2 実験参加者および用具

実験参加者は 21 歳から 44 歳までの 18 人 (男性 13 人、女性 5 人) であった。実験参加者は実験 3 時間前からの水以外の食品の摂取及び喫煙と実験 1 時間前からの水を含む飲料の摂取を控えた。

実験には次のものを用いた：30mL プラスチックカップ、希釈用カルピス (アサヒ飲料)、水 (コカ・コーラ いろはす)、アイマスク、冷蔵庫 (ジーマックス ZR-48)。

実験前の下準備として次のことを行った：1) 希釈用カルピスと水を混合してカルピスを作成した。体積パーセント濃度 (%) は 16, 18, 20, 22, 24 の 5 種類とした。これは、アサヒ飲料が希釈用カルピスを水で 5 倍に薄めて飲むことを推奨しており、その濃度の付近で変化させることにしたからである。2) それぞれの濃度のカルピスの糖度を糖度計で 3 回測定し平均値をとった (表 1)。3) カップにカルピスを 15mL ずつ注ぎ冷蔵庫 (5 ± 3 °C) に保管した。4) カップに水を 15mL ずつ注ぎ常温で保管した。

3.3 実験手順

実験参加者がカルピスの飲用と評価を次の手順で行った。

1. 水を 1 杯口に入れ軽く濯いで飲む
2. アイマスクをする

表 1: カルピスの濃度に対する糖度

濃度 (%)	16	18	20	22	24
糖度 (Brix)	8.7	9.7	10.9	11.7	12.9

表 2: 3 条件における 5 杯のカルピスの濃度 (%)

条件 \ 杯目	1	2	3	4	5
一定条件	20	20	20	20	20
下降条件	24	22	20	18	16
上昇条件	16	18	20	22	24

3. 手渡されたカルピスをブザー音の鳴るタイミングで 1 口で一気に飲む
4. 3 を 5 秒間隔で 5 杯繰り返す
5. アイマスクを外す
6. 1, 3, 5 杯目について甘さ、濃さ、粘性、印象の強さ、それぞれに対する嗜好など 8 項目、5 杯目飲用後の味について後味の長さ、後味の強さ、それぞれに対する嗜好など 4 項目、飲用全体について甘さのバランス、甘さの推移の自然さ、おいしさなど 5 項目、合計 17 項目を 9 段階のリッカート尺度で評価する。また、飲用中に想起した濃度変化のある他の体験の有無とその内容、心身の状態、その他感じたことについて記述式回答をする。
7. 水を 1 杯口に入れ軽く濯いで飲む

この手順を、カルピスの体積パーセント濃度を表 2 のように設定し 3 条件で行なった。順序効果を打ち消すために、3 条件の提示順番はランダムにした。味覚受容器の疲労を回復するためにセット間は 5 分間隔、リラックスできる動画を視聴した。図 1 に実験の様子を示す。



図 1: 甘味飲料糖度変化実験の様子

3.4 結果

評価項目のうち、1, 3, 5 杯目の甘さ、飲用中に想起した他の体験の有無とその内容についての結果を示す。

まず、1, 3, 5 杯目の甘さの中央値を折れ線グラフにした (図 2)。各制御パターンについては 1-3, 3-5, 1-5 杯目間で、各摂取タイミングについては各条件間で Wilcoxon の符号付き順位検定を行い Benjamini-Hochberg 法で補正を

表 3: 飲用中に濃度変化のある他の体験を想起した人数

	薄くなる	濃くなる	いずれもなし
一定条件	8	1	9
下降条件	5	5	8
上昇条件	6	4	8

した。一定条件において、1, 3, 5 杯目の順に甘さが弱化する傾向があった (1-3 杯目間: $p = 0.086$, 3-5 杯目間: $p = 0.071$, 1-5 杯目間: $p = 0.078$)。下降条件と上昇条件において、1, 3, 5 杯目の間に有意差は見られなかった。下降条件の 3 杯目は一定条件よりも甘かった (一定条件-下降条件間: $p = 0.045$)。上昇条件の 3 杯目は一定条件よりも甘かった (一定条件-上昇条件間: $p = 0.025$)。

次に、飲用中に想起した濃度変化のある他の体験の有無について、徐々に薄くなる体験を想起した人、徐々に濃くなる体験を想起した人、いずれも想起しなかった人の人数を表 3 に示す。想起した内容は次のようなものがあった。一定条件において薄くなる体験として、氷が溶けて薄くなっていくカルピスやスイカを食べる際に最初の一口は甘いが段々薄くなる体験などが挙げられた。下降条件において濃くなる体験として、溶け残り味が濃くなるプロテインや混ざりきっておらず下の方が濃いジュースが挙げられた。

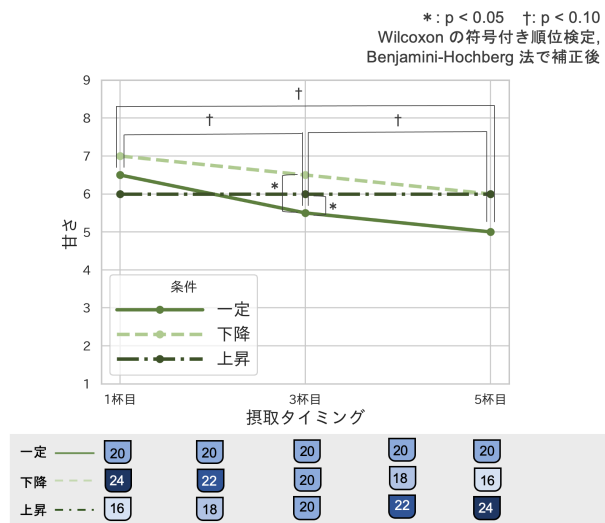


図 2: 摂取タイミングごとの甘さ評価 (中央値) およびカルピス濃度 (%)

3.5 考察

一定条件において、1, 3, 5 杯目の順に甘さが弱化する傾向が確認された原因として、順応または馴化が生じて一定の甘さに対する知覚が弱まったと考えられる。下降条件において、3 杯目が一定条件よりも甘く知覚された原因として、1, 2 杯目が一定条件よりも糖度が高かったため、甘味刺激が 3 杯目に持続したことが可能性として挙げられる。一方で上昇条件において、3 杯目は一定条件よりも甘く知覚された原因として、味の感覚特性が挙げられる。味の感覚の

強さは舌の受容膜上の刺激物質濃度の時間的変化勾配に依存していると考えられている [14]。上昇条件において糖度が上昇し時間的変化勾配を生んだことが甘味増強の原因の 1 つとして考えられる。3 条件において、3 杯目の糖度は同一だが甘さの知覚に差があったことから、摂取過程に応じた糖度制御によって甘さ知覚の操作が可能であるといえる。

飲用中に濃度変化のある他の体験を想起した人数について考察する。一定条件において、濃度が薄くなる体験を想起した人数が 18 人中 8 人であるのに対して濃くなる体験を想起した人数が 1 人だったことは、1, 3, 5 杯目の順に甘さが弱化する傾向に一致している。下降条件と上昇条件において濃度が濃くなる体験または薄くなる体験を想起した人数が近い割合で確認されたことは、それぞれの条件で 1, 3, 5 杯目間に有意差がみられなかったことに対応している。この原因として、舌上の糖質の蓄積量や順応、馴化の速度に個人差が生じたことが考えられるが、今後の検証が必要である。

今回の実験によって、摂取過程に応じて糖度を上昇または下降させることで飲用過程の中盤で甘さ知覚を増強できることが明らかになった一方で、飲用の序盤と終盤における甘さ知覚の増強は達成できていない。今後、濃度変化の勾配や上昇と下降を組み合わせた制御を行い飲用全体での知覚操作に有効な制御方法を探索する。

今回行なった実験の課題として、次の 3 つが挙げられる。糖度の変化が段階的であったため、味覚受容器に与える甘味刺激の連続的な変化を実現できていないこと、飲料が断続的に口内に供給されており、連続的に供給される実際の飲用にそのまま応用できないこと、高頻度な手の動きが必要になり、味を感じることに集中しにくいことである。

4. 連続的な糖度制御実験のための装置作成

前章で挙げた課題を解決して連続的な糖度制御実験を行うための装置を作成する。装置の要求機能および制約条件は次の 3 つである: (A) 連続的に糖度制御が可能, (B) 連続的に口内に飲料を供給可能, (C) 高頻度な腕の運動が不要。

装置の概念図を図 3 に、写真を図 4 に示す。恒温槽 (トーマス科学器械 T-22LA) を用いて飲料の温度を一定に保つようにした。その恒温槽の中に 2 つのガラス製容器を設置し、容器 1 にはそれぞれグラニュー糖を水に溶かした砂糖水を、容器 2 には水を入れた。これらの液体はそれぞれステップモータチューブポンプ (ウエルコ WPX1-NF4.8FA2-W6-CRP) によって流量を独立に制御されてシリコンチューブ (八興 SCC-4X6-10) へ流れるようにした。このとき、シリコンチューブに接続された流量計で流量を計測した。流れてきた砂糖水と水は攪拌ノズル (サンコーテクノ MXEA5) を通って混合されて、実験参加者がストローで飲むようにした。なお、ステップモータの駆動と流量計の信号取得のためにマイコン (ソニーセミコンダクタソリューションズ Spresense)、モータードライバ (DVR8835) および安定化電源を使用した。

2つのステップモータチューブポンプの回転数を独立に制御することで砂糖水と水の混合率を連続的に変化させ、連続的な糖度制御を可能にした。装置から連続的に流れる液体を直接口内へ送ることで、高頻度な腕の運動をせずに連続的に口内へ飲料を供給可能にした。

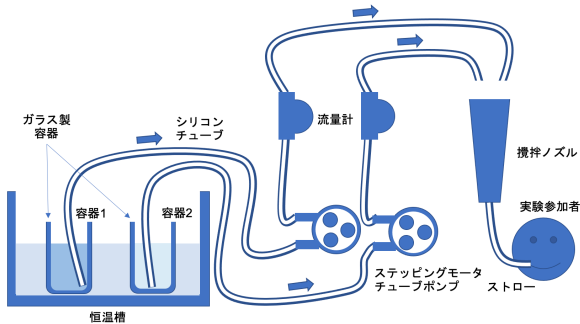


図 3: 連続的な糖度制御実験装置の概念図

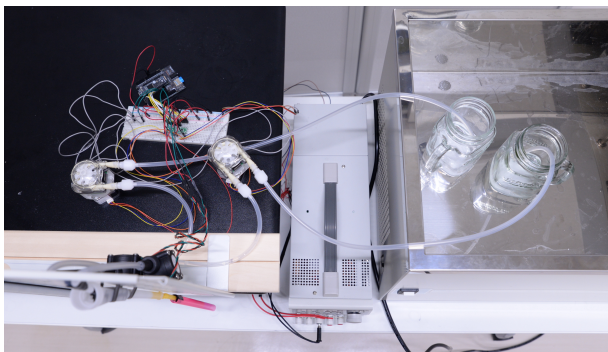


図 4: 連続的な糖度制御実験装置

5. おわりに

本研究は、食品を連続して複数口摂取する際、摂取過程に応じて与える感覚刺激を変化させたときにどのように知覚が変動するかを明らかにし、飲食の過程全体で摂取する食品は変えずに知覚の操作を行うことを目的とした。最初の試みとして飲料飲用の過程に応じて糖度を上昇または下降させた時の知覚の変動を明らかにした。

今後、作成した装置の性能評価を行なった後、連続的な糖度制御を行う条件でも同様の結果が得られるかを検証し、その結果を用いて飲用全体として甘味を増強できる糖度制御方法を設計する。

謝辞 本研究の一部は、科研費 (22K19786)、リバネス研究費ニッポン 食のイノベーション賞の助成を受けたものである。また、本研究の装置の作成に際し同研究室の伊藤義泰さんの協力を受けた。

参考文献

- [1] 全国健康保険協会. 清涼飲料水やイオン飲料の取りすぎで、ペットボトル症候群・かっけに!?

- https://kenkousupport.kyoukaikenpo.or.jp/support/05/20180727_1.html(参照 2022/07/24).
- [2] 農林水産省. みんなの食育. https://www.maff.go.jp/j/syokuiku/minna_navi/topics/topics5_04.html(参照 2022/07/24).
- [3] 齋藤牧子ほか. ペットボトル緑茶飲料の外観から感じる味の印象に及ぼすパッケージカラーの効果. 日本感性工学会論文誌, Vol. 8, No. 2, pp. 361–368, 2016.
- [4] 石井克枝, 境里美. スパイスの各種調理における甘味の増強効果. 一般社団法人日本家政学会研究発表要旨集, Vol. 57, pp. 21–21, 2005.
- [5] Yuya Kakutani, et al. Taste of breath: the temporal order of taste and smell synchronized with breathing as a determinant for taste and olfactory integration. *Sci. Rep.*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–9, 2017.
- [6] 鳴海拓志ほか. メタクッキー: 感覚間相互作用を用いた味覚ディスプレイの検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 4, pp. 579–588, 2010.
- [7] Lulie Biggs, et al. Haptic exploration of plateware alters the perceived texture and taste of food. *Food Qual. Preference*, Vol. 50, pp. 129–134, 2016.
- [8] Saraha Ueno, et al. Controlling temporal change of a beverage's taste using electrical stimulation. In *Extended Abstr. of the 2019 CHI Conf. on Human Factors in Comput. Syst.*, CHI EA '19, p. 1–6, New York, NY, USA, 2019. Assoc. for Comput. Mach.
- [9] Naoki Kamo, et al. A theory of dynamic and steady responses in chemoreception. *J. of Theor. Biol.*, Vol. 83, No. 1, pp. 111–130, 1980.
- [10] Leonard H Epstein, et al. Sensitization and habituation of motivated behavior in overweight and non-overweight children. *Learn. and motivation*, Vol. 39, No. 3, pp. 243–255, 2008.
- [11] 大塚勇人ほか. 陰極刺激による塩味増強効果の定量化. 第2回神経刺激インタフェース研究会, 2020.
- [12] Catharine H. Rankin, Thomas Abrams, et al. Habituation revisited: An updated and revised description of the behavioral characteristics of habituation. *Neurobiol. Learn. Mem.*, Vol. 92, No. 2, pp. 135–138, 2009. Special Issue: Neurobiol. of Habituation.
- [13] Jeff E. Engel and Chun-Fang Wu. Neurogenetic approaches to habituation and dishabituation in drosophila. *Neurobiol. Learn. Mem.*, Vol. 92, No. 2, pp. 166–175, 2009. Special Issue: Neurobiol. of Habituation.
- [14] 栗原堅三. 味覚のメカニズム. 計測と制御, Vol. 20, No. 5, pp. 517–524, 1981.