

Sweet Synthesizer: 甘味をパーソナライズする味覚メディア

安地 遥¹ 千田 知佳¹ 宮下 芳明¹

概要: 本稿では、LLM との自然言語対話を通じてユーザの甘味の嗜好を探索し、糖類ゼロの甘味料を混合するシステム「Sweet Synthesizer」を提案する。甘味は健康上の理由から制限されがちであり、甘味料の味についても好みに個人差がある。提案システムでは、ユーザの自然言語入力によって甘味料の混合案を生成・提案し、その試食とフィードバックの対話によってユーザの嗜好に合った甘味の実現を目指す。

1. はじめに

人によって「ちょうどよい甘さ」の感じ方は異なる。たとえば、コーヒーや紅茶に砂糖やミルク、ガムシロップを加える場面では、その組み合わせや分量に個人差がある。砂糖のみを加える人もいれば、ミルクと砂糖、ガムシロップなどを組み合わせる人もいる。自らの好みに合わせて甘味を調整することは日常的に行われている。近年、健康志向の高まりに伴い、砂糖の摂取を制限する動きが広がっている。食品業界では砂糖の代替として多様な糖類ゼロ甘味料を使用した食品開発が進められており、複数の甘味料を組み合わせることで製品ごとに最適な甘味バランスを設計されている。このように糖類ゼロ甘味料を組み合わせるような設計は、現状では企業による取り組みにとどまっている。

著者らは、一般の個人でも複数の甘味料を混合した設計ができないかと考えた。その可能性を探るため、様々な甘味料の水溶液を作り、味の確認を行った。その結果、特に甘味料がもつ苦味が課題であることを実感した。たとえばアセスルファミン K の苦味は、全体の味に与える影響が大きく、他の甘味料と適当に組み合わせる程度では、それを打ち消すのは困難であった。そこで、清涼菓子のパッケージに記載されている甘味料を組み合わせることで、アセスルファミン K の苦味を抑制することができた。このとき使用した甘味料は、アセスルファミン K と同様、単体ではそれぞれ苦味を有していた。つまり、苦味を持つ甘味料同士であっても、組み合わせによっては苦味を抑制し、甘味を増強する効果があることになる。

また、甘味料単体での味比べにおいては、最も好ましい

と感じる甘味の種類が個人ごとに異なり、甘味料に含まれる苦味に対する不快度の感じ方にも個人差が大きかった。この意味で、もし一般個人が自身の嗜好に合わせて甘味料を適切に混合できれば、大いに恩恵を受けられることを示唆している。しかし、自在に甘味料を混合して多様な甘味を表現したり、不快な苦味を抑制したりするためには、食品開発で用いられるような知識や経験が必要であることも分かった。

本稿では、このような背景で糖類ゼロ甘味料を組み合わせることで甘味をパーソナライズすることを目指し「Sweet Synthesizer」を提案する。本システムでは LLM を用い、自然言語での対話によって、甘味料を用いた混合案の生成、および混合溶液の出力まで一貫して行う。これにより、ユーザが専門的な知識を持っていなくても、自分の嗜好に合う甘味を探索することができる。さらに本稿では LLM の応答に関する検証も行っている。具体的には、各甘味料の時間的な後味の変化 [1]、および混合による甘味の相乗効果や苦味の抑制効果に関する専門知識 [2] を与えた場合と与えない場合とで、生成される提案を比較し、一貫性に与える影響を調査した。

2. 関連研究

2.1 甘味料の時間的特性と相互作用に関する研究

Tan ら [1] は甘味料の時間的な後味の変化を示している。具体的には、16 種類の甘味料を対象として、甘味、苦味、金属味、化学味、蜂蜜味、および口の渇きについて評価を行った。各甘味料を飲み込んだ後、参加者は 60 秒間にわたり、該当する属性を選択する形式で評価した。また、Choi ら [2] は 2 種類の甘味料を混合することによる甘味の相乗効果や苦味の抑制効果について調査した。その結果、特定

¹ 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science, School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University.

の甘味料の組み合わせによって、両方の効果が得られることを示した。

2.2 溶液混合

宮下ら [3][4] は 20 種類の味覚溶液をポンプによって 0.02 ml 単位で混合し、品種や産地の味の違いを再現可能とする味覚ディスプレイ TTTV3 を開発した。TTTV3 では甘味の提示に砂糖のみを使用していることから、複数の甘味料を混合するシステムではない。また、特定の味覚に特化した設計ではなく、甘味に焦点を当てた味覚ディスプレイではない。

2.3 味覚のパーソナライズ

笠原ら [5] は、スプーン型の味覚提示デバイス TTTV4 を開発し、ユーザごとに嗜好に応じた味を得られる味覚のパーソナライズを実現した。このシステムでは、LLM (GPT-4o[6]) を用いてユーザの要求を解釈し、基本五味に対応する味溶液の出力を調整している。

3. Sweet Synthesizer の設計・評価

LLM との対話による甘味料の混合案と溶液の出力を目指し、本システムを設計・評価する。本節では、混合に用いる甘味料、ユーザの指示に基づいて甘味料とその配合量を選定するソフトウェア、および提案された混合案を溶液として出力するハードウェアについて述べる。

3.1 混合する甘味料

エリスリトール、ステビア、スクラロース、アセスルファム K、アスパルテーム、キシリトール、ソルビトール、マンニトールの 8 種類の甘味料を混合の候補とし、ユーザの嗜好に適した甘味を実現することを目指す。厚生労働省はこれらの甘味料を食品添加物として認可しており、安全性が確認されている [7]。図 1 に、各甘味料の時間的な甘味の変化を、図 2 に各甘味料の時間的な苦味の変化を示す。甘味や苦味の感じ方は甘味料ごとに異なることから、甘味料を混合することによって、違いを活かした後味の調整ができる。

3.2 ソフトウェア

フロントエンドは JavaScript で実装した。バックエンドには Python を使用し、GPT-4o[6] の API 呼び出し、arduino へのシリアル通信を担当している。

3.2.1 入力インターフェース

ユーザからの指示は、タイピングによるテキスト入力とした。送信ボタンの押下により、指示内容に基づいた LLM の処理を開始する。画面上には、ユーザが求める甘味の指示文、LLM が提案する甘味料の種類とその配合量、および提案の根拠を表示する。

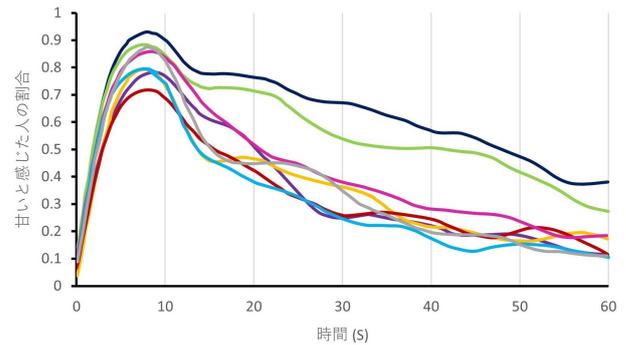


図 1 甘味料ごとの時間的な甘味の変化 (Tan ら (2019)[1] より引用・編集)

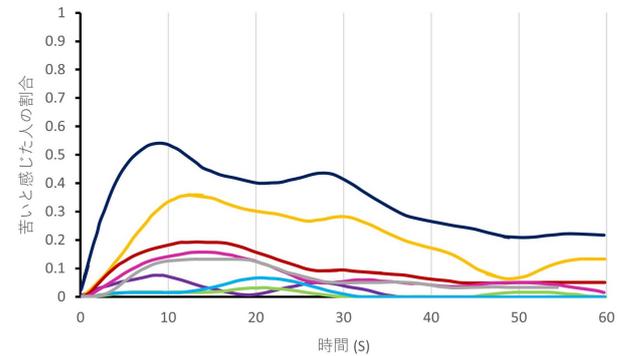


図 2 甘味料の時間的な苦味の変化 (Tan ら (2019)[1] より引用・編集)



図 3 図 1、図 2 における甘味料の色対応

3.2.2 プロンプト設計と知識の与え方

事前知識を与えたプロンプトでは、甘味料それぞれの後味の時間的な変化 (図 4)、甘味料を混合した場合の甘味の相乗効果や苦味の抑制効果に関するグラフ画像 (図 5) などを計 15 枚、ならびに対応する論文の相互関係に関する部分を抜き出したテキストを、プロンプト内に埋め込んだ。なお、事前知識の有無にかかわらず、ユーザから与える指示文は同一のものを用いた。

3.2.3 知識の有無による応答の比較

LLM の出力に対して、事前知識を与えたプロンプトと、知識を与えないプロンプトとの間で、提案される甘味料にどのような違いが生じるかについて検証した。各条件でそれぞれ 10 回出力を行い、提案に含まれる甘味料の出現頻度と LLM による甘味料の説明の一貫性を確認した。

1 回目の提案

初回の指示として、「スクラロースが 0.1g ある。後味を短くして」という条件を提示した。その結果を図 6 に示す。図 6 では、事前知識を与えた条件を白色の棒グラフ、事前

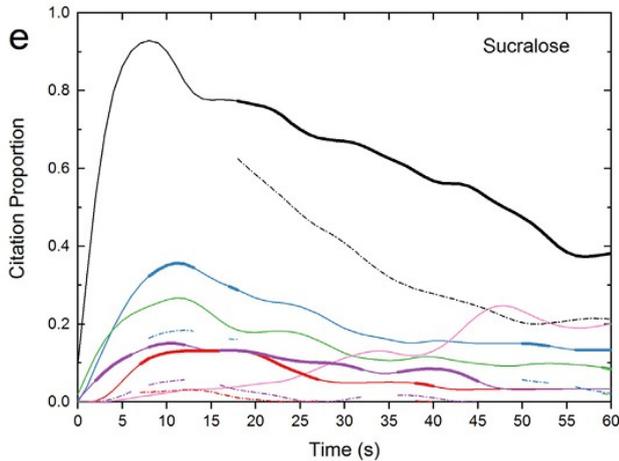


図 4 甘味料の時間的な後味の変化の例 (Tan ら (2019)[1] より引用)

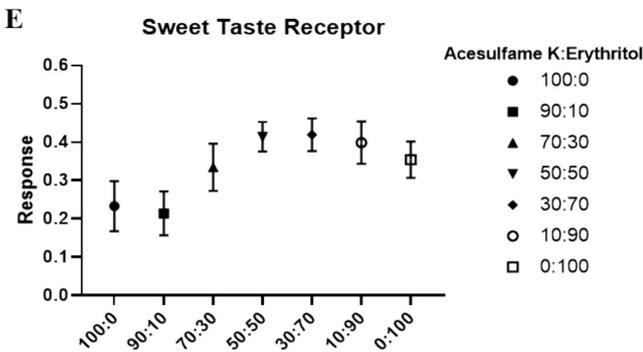


図 5 甘味料の相乗効果の例 (Choi ら (2024)[2] より引用)

知識を与えていない条件を黒色の棒グラフで表している。両条件においてエリスリトールが 10 回出現しており、提案内容に大きな差はなかった。

2 回目の提案

次に、「初回に提案した甘味料をベースとして、さらに後味を短くして」という指示を与えた場合、事前知識の有無によって出力結果に明確な差異が見られた。その結果を図 7 に示す。図 7 も同様に、事前知識を与えた条件を白色の棒グラフ、事前知識を与えていない条件を黒色の棒グラフで表している。事前知識を与えていない条件では、提案された甘味料にばらつきがあり、4 種類の甘味料がそれぞれ 2 回ずつ提案された。

一方で、事前知識を与えた条件では、事前知識を与えていない条件と比較して特定の甘味料が安定して選択される傾向が見られた。具体的には、LLM はエリスリトールを他の甘味料と比べて 2 倍以上の頻度で提案した。

出力文章

事前知識を与えていないプロンプトでは、同一の甘味料について異なる説明がなされる場合があった。たとえばアスパルテームについて、ある出力では「後味が比較的長い」と述べられた一方、別の出力では「人工甘味料の中では比較的后味が短い」と説明していた。このように、同じ甘味

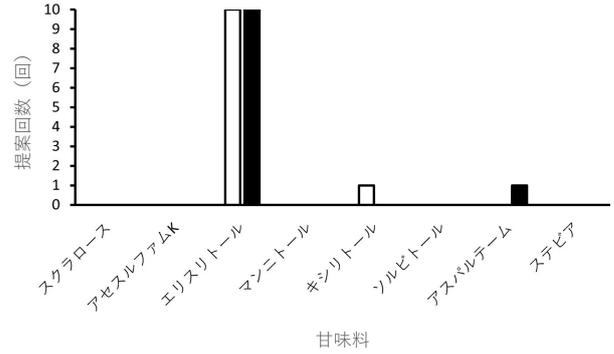


図 6 1 回目の提案：事前学習を与えたプロンプトを白色で、事前学習を与えていないプロンプトを黒色で表示する

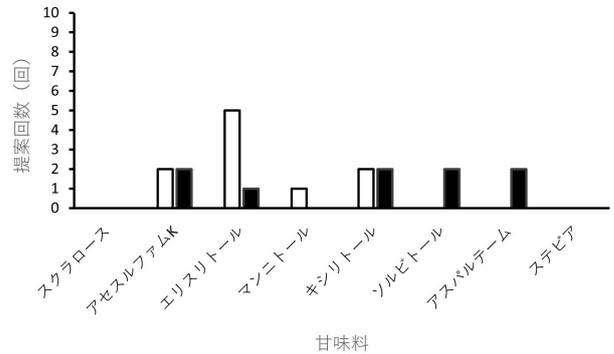


図 7 2 回目の提案：事前学習を与えたプロンプトを白色で、事前学習を与えていないプロンプトを黒色で表示する

料に対して一貫しない記述が見られることから、提案の信頼性を高めるため、事前知識を与えることは有効であると考えられる。

3.3 ハードウェア

LLM によって提案された甘味料を出力するためのハードウェアとして、TTTV3[3][4] の設計をベースに実装した。Sweet Synthesizer の全体構成を図 8 に示す。甘味料溶液を 0.02 ml 単位で出力・混合するために、チューブポンプ (RP-QHIA1.5S-3Z-DC3V) を採用した。甘味料溶液の出力量を制御するためにマイコンボード (Arduino Mega2560 R3) およびモータドライバ (TB67H450) を使用した。本システムでは、エリスリトール、ステビア、スクラロース、アセスルファム K、アスパルテーム、キシリトール、ソルビトール、マンニトールの 8 種類の甘味料を対象とし、それらを混合する。TTTV3 では 20 個のタンクを使用したが、本システムでは甘味料の種類に合わせて、8 個のみを使用した。

4. 議論

本稿では、LLM との対話により、指示に応じた糖類ゼロの甘味料の混合案および溶液を生成するシステム「Sweet

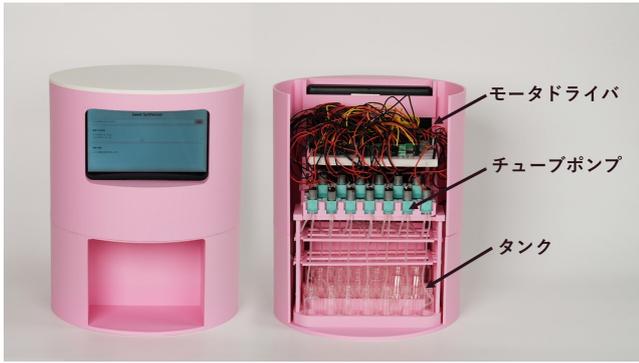


図 8 ハードウェア全体の正面および背面

Synthesizer」について述べた。本システムはユーザの主観的なフィードバックを反映させながら、段階的に甘味を探索する。LLM による提案は一意に定まらないという制約があるものの、ユーザは求める甘味に応じて複数の甘味料を混合し、体験できることを示唆した。事前知識の与え方やプロンプト設計を改善することで、より信頼性のある提案を安定して出力できる可能性がある。

今後は、使用する食品に応じて、混合に用いる甘味料の選定、および配合量を調整する手法を検討していく。LLM が適切な混合案を提案するためには、ベースとなる食品が本来持つ味の特性に応じて、甘味料の組み合わせを考慮する必要がある。たとえば、エスプレッソのようにもともと苦味が強い食品に対しては、苦味がある甘味料を加えた場合でも、その影響は少ない可能性がある。一方で、甘味のある食品をさらに甘くしたい場合には、苦味を持つ甘味料を混合することによって、苦味が目立ってしまう可能性がある。さらに、紅茶やコーヒーのように、同じ名称であっても販売元やブランドによって味の設計は異なるため、同様の調整が必要となる。

また、ユーザに日常生活の中で実使用してもらうことによって、生成された甘味に対する主観的な印象や、新たな甘味の体験ができるのかについて検証していきたい。

参考文献

- [1] Tan, V. W. K., Wee, M. S. M., Tomic, O. and Forde, C. G.: Temporal sweetness and side tastes profiles of 16 sweeteners using temporal check-all-that-apply (TCATA), *Food Research International*, Vol. 121, pp. 39–47 (2019).
- [2] Choi, Y., Wong, R. R., Cha, Y. K., Park, T. H., Kim, Y. and Chung, S.-J.: Sweet–bitter taste interactions in binary mixtures of sweeteners: Relationship between taste receptor activities and sensory perception, *Food Chemistry*, Vol. 459, p. 140343 (2024).
- [3] 宮下芳明, 村上崇斗, 大友千宙, 深池美玖: TTTV3 (Transform The Taste and reproduce Varieties): 産地や品種の違いも再現する調味機構と LLM による味覚表現, 情報処理学会, p. 236–243 (2023).
- [4] 村上崇斗, 宮下芳明: ポンプ混合式調味家電 TTTV3(Transform The Taste and reproduce Varieties) の設計と実装, 第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大

会論文集 (2023).

- [5] 笠原暢仁, 深池美玖, 宮下芳明: TTTV4: 一口ごとに味を提示する味覚のパーソナルメディア, 第 32 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2024) 予稿集 (2024).
- [6] OpenAI: Hello GPT-4o, <https://openai.com/index/hello-gpt-4o/> (2024). Accessed: 2025-07-14.
- [7] 公益財団法人日本食品化学研究振興財団: 指定添加物リスト, 公益財団法人 (オンライン), 入手先 (<https://www.ffcr.or.jp/tenka/list/post-11.html>) (参照 2025-7-1).