

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

宮下芳明^{†1} 村上崇斗^{†1} 大友千宙^{†1} 深池美玖^{†1}

TTTV3 は、20 種の溶液を 0.02ml 単位で混合し加えることで飲食物の味を変える調味家電である。一味に対して複数の溶液を用いて風味を近づけることができ、産地による違いも再現できる。アルカリ性物質の添加による中和、味覚修飾物質の活用、他の味によるマスキング効果を利用することで元の食品の味よりも特定の味を薄く感じさせる「味の減算」も行える。料理名をマイクで入力したり、画像をウェブカメラで見せたりすると、LLM によって味を推定して出力することが可能である。また、LLM と対話して味を調整することもでき、膨大な味空間のなかで未知の味を探索することもできる。

1. はじめに

筆者らは、電気泳動式の味ディスプレイ[1][2][3]、噴霧混合式の味ディスプレイ TTTV(Taste the TV)[4][5]を開発し、エンタテインメントコンテンツの可能性も開拓した[6][7]。簡易化・低価格化・オープンソースハードウェア化した Open-TTTV も開発した[8]。(鳴海らの味覚ディスプレイ[11]はクロスモーダルな効果を応用しており直接の味覚変化ではない。佐藤らの EMO 味[12]は目的が異なるが粉末混合式の味ディスプレイであるといえる。)

TTTV2(Transform The Taste and Visual appearance)[13]は、噴霧される飲食物と再現したい飲食物の味を測定し、その差を噴霧して加えることで味を再現する「調味家電」である。テレテイストを超えたテレイート、食物アレルギーの人もアレルギーなしでその味を楽しめる可能性[15]、実際に食することができない毒キノコなどの食品を味わう体験[16]ができるなど、様々な可能性を検証してきた。しかし、エンタテインメントコンピューティング 2022 での発表[16]以来、多くの反響や問い合わせがあり、そこから新たな可能性が見えてきた。

1.1 代替肉を食肉の味に近づけられるか

世界人口は増加し続け、食糧需要量も増える見通しであるのに生産量が追いつかないという、極めて深刻な食糧問題に我々は直面している。このような中で、農地利用・水利用・温室効果ガス排出量を抑えながら、肉の代わりとなるタンパク質資源を生産する手段が求められている。そのため大豆などを利用した代替肉や、ジャックフルーツを用いたフルーツミートなどの開発が盛んである。また、成長速度の速さと栄養価の高さといったメリットから昆虫食にも注目が集まっている。どれも、見た目や風味、食感といった要素を食肉に近づけるための努力が続けられている。そこで TTTV2 を用いて、これらの代替肉の味を食肉の味に近づけられないかという期待の聲が寄せられた。代替肉の他にも、オーツミルクなどの代替ミルク、こんにやくや豆乳を活用した代替卵などがあり、牛乳や卵の風味や性質

に近づけることが課題なため、TTTV2 の貢献が期待されている。しかし実際に試したところ、代替肉は元々強い独特の風味を持っており、味を噴霧して加える「加算」の方法論だけでは対応できないことがわかった。対象物から味を「減算」する方法論や、そのための仕組みが必要であると考えられる。

1.2 希少食材を正確に再現できるか

希少な食材や絶滅が危惧されている食材の味を記録・再現することが可能か、という問い合わせも多かった。人類は歴史上、希少食材を奪い合ってきたが、味を単なる情報ととらえれば、複製は容易なはずで、そうすれば十分な供給を実現可能である。

TTTV2 は地産地消の推進にも期待されている。地産地消は、食材を地元で生産し消費することで環境負荷低減と地域活性化を図るものであり、持続可能な社会を目指すうえで重要である。離れた土地にある食材も、味をデータとしてダウンロードし、TTTV2 で地産食材にその差の味を噴霧すれば、食材の輸入を控えられるというわけである。

しかし、こうした食材の味を正確に記録・再現するには、TTTV2 ではまだ精度が足りないと思える。たとえば甘味と苦味を混合すれば多くの人に「チョコレート」と言ってもらえる味を作り出せる。白ワインに渋味としてタンニン酸を足せば多くの人が「赤ワイン」と呼ぶ味にすることができる。だが、希少なものはチョコレートやワイン自体ではなく、一部の産地・銘柄のものである。産地や銘柄の細やかな違いを表現でき、パティシエやソムリエも区別できないほど再現することは、TTTV2 ではできていない。チョコレートそのものの味再現に必要な解像度と、チョコレートの産地による味の違いを表現するために必要な解像度は大きく異なる。ここで重要になってくるのは、基本味を再現する際にどの物質を使うかということである。たとえば、同じ酸味を実現できても、それにクエン酸を用いるか酢酸を用いるかで大きく風味が異なる。こうしたことまで鑑みた仕組みの構築が求められている。

^{†1} 明治大学
Meiji University

1.3 完全栄養食のバリエーションを広げられるか

食は人々の健康と密接に結びついたものであり、誤った食生活は生活習慣病を引き起こす可能性がある。そうした中、必要な栄養素を全て含んだ完全栄養食（完全食）への注目が高まっている。実際、ドリンク、クッキー、パンタイプ完全栄養食に多様な味を噴霧してバリエーションを増やすことは、TTTV2 でたやすく行える。とはいえ、毎日異なる味を楽しめるほどの味を、味センサで測定しておくことは難しい。味センサ自体は高価であるうえ、測定には1時間程度かかる。ファミリーレストランやコンビニにある食品をすべて測定してデータ化することすら、なかなかできないのが実態である。

1.4 プロの料理人による味の探求・追求に応えられるか

TTTV2 は一般家庭向けの家電であり、家庭でもプロの味つけを手軽に味わえることを目指していた。一方で、プロの料理人たちからの問い合わせで、TTTV2 が新たな創造的な味作りのツール（インストゥルメント）としての可能姿勢をもつことが分かった。

プロの料理人は、これまでにない新たな味わいを生み出すためのインスピレーションの源として TTTV2 を活用することができる。膨大な味の空間を探索して、まだ人類が味わったことのない体験を探求したり、細かな味付けを追い込んで調整したりできることが肝要となる。

しかしながら、プロ向けの設計は TTTV2 でまだ確立できていない。細やかな出力が行える機構や、精細な操作を行えるインタフェース、未知の味を探索するためのインタラクションデザインが必要であると考えられる。

2. TTTV3 の設計要件

前章の課題を整理すると、対象物における味の減算を行うための技術開拓、異なる味物質を切り替えたり組み合わせたりすることによる風味表現の実現、多様な料理の豊富な味覚データベースの構築、精細な操作のためのインタフェース、未知の味を探索するためのインタラクション、ということになる。

2.1 味の減算

まず、味の減算を行うための技術としては、味の相互作用、特にマスキング効果を用いることが考えられる(図1)。スイカに塩をかけると甘味が引き立つなど、ある味に別の味が加わることによって味が相乗されたり相殺されたりすることが知られており、相殺効果をもつ味を多めに加えることで減算に成功する可能性がある。

他にも、酸味なら中和剤を使用することが考えられる。加えて、甘味を抑制するギムネマ酸や、酸味を甘味に変えるミラクリンといった味覚修飾物質を使うことも考えられる。現に、筆者は電気味覚技術で甘味を制御する研究においてミラクリンを使用している。苦味抑制物質はエリオジ

クチオール、ホモエリオジクチオール、ステルビン、イエルバサンタなど種類が多いため、その食材に応じた物質を選択することで効果を高められる可能性がある。ただしこのような物質を用いるのであれば、これまでよりも多くのタンクを必要とする。

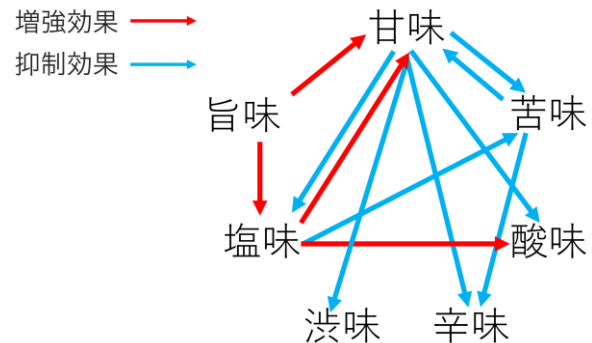


図1 基本五味・辛味・渋味における味の相互作用 [17][18][19]

2.2 風味の表現

筆者らはこれまで、いくつかの飲食物の味再現を追求してきており(表1)、その際に用いる味物質を選定することで風味を近づけることができるという経験をもっている。

一味の表現に常に同じひとつの物質を使っているのは、塩味の塩化ナトリウム、渋味のタンニン酸、辛味のN-カプサイシンであるが、酸味・甘味・苦味・旨味についてはそうではない。

酸味については、リンゴ酸(ワイン)、クエン酸(トマト)、酢酸(チョコレート)、乳酸(チョコレート、ニンニク)、プロピオン酸(チョコレート)の5種類の物質をこれまで使ってきた。甘味については、スクロース(ハッピーターン、カニクリームコロッケ、イカスミパスタソースなど)、フルクトース(ニンニク、トマトなど)の2種類の物質を使ってきた。苦味については、塩酸キニーネ(ワインなど)、炭酸カリウム(カニクリームコロッケなど)、アルギニン(ニンニク、イカスミパスタソースなど)、テオブロミン(チョコレートなど)の4種を使ってきた。旨味については、グルタミン酸ナトリウム(梅干し、キノコなど)とグルタミン酸(チョコレートなど)の2種を使ってきた。

たとえば、高品質なインクジェットプリンタも、シアン・マゼンタ・イエロー・ブラックの4色だけではなく、フォトブラックやライトシアン、ライトマゼンタ、グレーなど、多くのタンクを搭載することで品質を高めている。基本味の混合で多くの味を再現できるということをデモンストレーションする場合ならともかく、高品質な風味再現を念頭に置いた場合は、多くの味物質を搭載することが望ましいと考えられる。

表 1 風味を考慮した味再現に必要な味物質

再現する飲食物	使用する味物質と味
ワイン	リンゴ酸 (酸) スクロース (甘) 塩酸キニーネ (苦) タンニン酸 (渋)
梅干し	塩化ナトリウム (塩) クエン酸 (酸) スクロース (甘) グルタミン酸ナトリウム (旨)
ニンニク	塩化ナトリウム (塩) 乳酸 (酸) フルクトース (甘) アルギニン (苦) グルタミン酸ナトリウム (旨) N-カプサイシン (辛)
ベニテングダケ	塩酸キニーネ (苦) グルタミン酸ナトリウム (旨)
カニクリームコロッケ	塩化ナトリウム (塩) スクロース (甘) 炭酸カリウム (苦) グルタミン酸ナトリウム (旨)
チョコレート	塩化ナトリウム (塩) 酢酸 (酸) 乳酸 (酸) プロピオン酸 (酸) テオブロミン (苦) グルタミン酸ナトリウム (旨)
トマトソース	塩化ナトリウム (塩) クエン酸 (酸) フルクトース (甘) スクロース (甘) グルタミン酸ナトリウム (旨)
िकासミソース	塩化ナトリウム (塩) スクロース (甘) アルギニン (苦) グルタミン酸ナトリウム (旨)
ハッピーターン	塩化ナトリウム (塩) スクロース (甘) グルタミン酸ナトリウム (旨)

2.3 大規模な味覚データベース

前述の通り、味覚センサでの味測定に伴う時間とコストの問題で、大規模な味覚データベースを構築するのは難しい。そこで筆者らは ChatGPT などで行われている大規模言語モデル (Large Language Models, LLM) に着目した。そして「~の味と同じ塩味・酸味・旨味・甘味を感じられる

ように、水 100ml に食塩・クエン酸・グルタミン酸ナトリウム・砂糖を入れたい。それぞれ何グラム入れればいいですか?」といったプロンプトを LLM に入力すると、かなり妥当な答えが返ってくるのが判明した。Bing AI などそれらの根拠となっている参照元を調べてみると、ネット上のレシピ情報 (「再現レシピ」を含む) や、食品中の塩分・糖含有量といった情報を参考にしていることがわかった。

また、その配合が間違っていた場合も、指摘すればすぐに更新されたレシピを出力するため、味の出力とフィードバック (音声認識) を繰り返せば、味センサで測らなくてもある程度は再現ができると見込まれた。すなわち、大規模言語モデルを用いてレシピを生成すれば、実質的には大規模な味覚データベースとして機能すると考えられる。

また、Bing AI チャットは画像入力も対応したので、試していくつかの料理の写真を読み込ませたところ、その料理を認識することに成功した。TTTV3 ではウェブカメラでの入力が行えるようにすれば、スマートフォンに映っている写真や料理本の写真、そしてもちろん本物の料理の味を「複製」する際にも活用できると考えられる。

2.4 精細な操作のためのインタフェース

これまでの TTTV シリーズは、エンドユーザから見た使いやすさを重視しており、タッチパネル上で料理を選んで出力ボタンを押すような簡単な GUI を提供してきていた。しかしながら、プロの料理人が味を「追い込む」ことを考えたとき、もっと細やかで正確なコントロールが行えることが重要だと考えられる。

たとえば、レコーディングエンジニアが音量バランスやイコライジングを調整するような、スライダやノブを備えたハードウェアのコントローラを提供すると良いのではないかと考えた。そして当然ながらその精細な操作に応じて細やかな溶液混合ができる仕組みも必要となる。

2.5 未知の味を探索するためのインタラクション

画像生成 AI を活用した作品は、時には人間の発想を超えた表現を生んでいる。また、ChatGPT はアイデア出しのためのツールとして使われることが多い。こうしたことから、2.3 で述べた LLM による味推定を導入し、あえて誤用することで新しい味を開拓できる可能性が考えられる。たとえば、食べ物ではないものや、抽象概念を言葉や画像で入力し、味を推定させることでこれまでにない味を得られる可能性があると考えた。

2.6 設計要件

以上より、課題を解決するために必要な要件は、細かな精度での混合ができる仕組み、中和剤や味覚修飾物質、他の風味の味物質などを入れられる十分なタンク数、スライダやノブを備えたコントローラ、そして LLM を用いた味推定を行い音声・画像で対話できるシステムであることが導かれた。ここから、TTTV3 (Transform The Taste and reproduce Varieties) を設計した。0.02ml 単位の溶液出力精

度、20 タンク、各味を 1000 段階で操作できる MIDI コントローラ、LLM 対話システムの装備が要件となる。表現できる味の組み合わせは、理論上 10^{60} 通り（1 那由他）となる。

3. TTTV3 システム

TTTV3[21] は比較的コンパクトなサイズになっており、横幅 21cm、高さ 30cm、奥行き 21cm である（図 2）。システム上部にはタッチパネルを搭載しておりタッチ操作で味の選択や調整が行える。タッチ操作で味の選択や調整ができるソフトウェアは Python3.10 で実装されている。MIDI コントローラを用いた外部入力が可能で、好みの味やオリジナルの味に調整することができる。

システム下部から味溶液が射出される構造となっており、ここにコップや食品を置いて使用する。小型のチューブポンプ（RP-QⅢA1.5S-3Z-DC3V）を採用し、0.02ml 単位で味溶液を出力して混合を実現している。マイコンボード（Arduino Mega 2560 R3）でモータドライバ（TB67H450）を制御しチューブポンプの溶液出力量を調整している（図 3）。



図 2 TTTV3 のシステム。タッチパネル、ウェブカメラ、マイク、操作コントローラを備える。

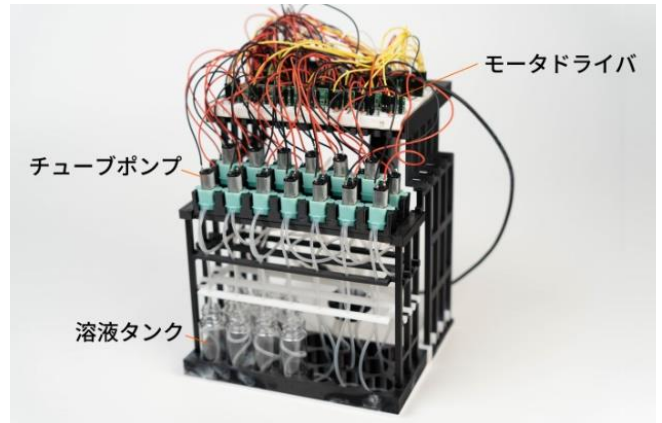


図 3 TTTV3 の内部

細やかな制御のため、ワイヤレス MIDI コントローラ（KORG/nanoKONTROL Studio）を採用した（図 4）。スライダやノブによって細かい調整ができる。スライダは 10 刻みで 0~990 までの 100 段階の入力が行え、ノブで 1 の位を 0~9 まで指定できる。味パラメータの切替は上部のボタンで行い、出力ボタンで滴下を行う。



図 4 操作コントローラ

4. LLM 対話システム

LLM 対話システムの動作には一定以上のスペック（CPU: インテル® Core™ i7-12700H、GPU: NVIDIA® GeForce RTX™ 3080 Laptop）を有したゲーミングノート PC あるいはデスクトップ PC の接続を必要とする。PC にはオーディオインターフェースを介したマイク、およびウェブカメラを接続し、次節の音声入力および画像入力を行うことができるようになる。これにより、料理名を言ったり、料理の写真を見せたりすることで、もっと美味しい味が得られることが期待される。

4.1 音声入力

ユーザの発話がマイクを通じて入力されると、Python のライブラリである Pyaudio によって WAV ファイルとして保存される。次に、WAV ファイルの内容が OpenAI の音声認識モデルである Whisper によってテキストに変換される。テキストに変換された発話内容を予め用意したプロンプト

のひな型に当てはめ、LLM と対話するためのプロンプトを作成する。

こうして作成したプロンプトを OpenAI の大規模言語モデルである GPT-4 に入力し、生成されたテキストを受け取る。生成されたテキストから使用する味物質のグラム数を取得し、取得した内容を TTTV3 に送信する。また、味物質のグラム数とは別にユーザの発話内容と生成した味の説明もテキストデータとして TTTV3 に送信され、TTTV3 の画面に表示される (図 5)。

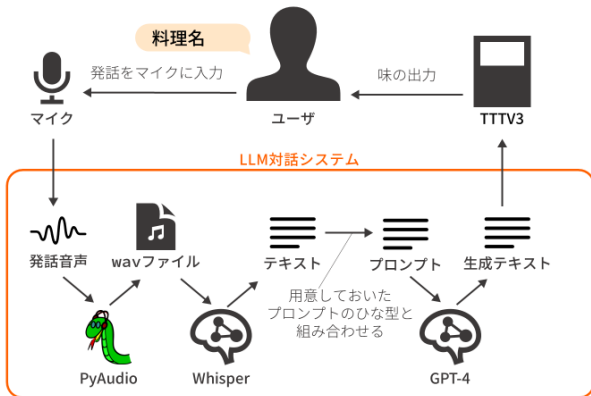


図 5 LLM 対話システムへの音声入力

4.2 画像入力

ユーザが料理をウェブカメラで撮影すると料理画像がシステムに入力される。画像が入力されると、Microsoft の Bing Visual Search API によって類似した画像とその画像が利用されているウェブページを取得する。

次に、取得したウェブページの内容をスクレイピングし、テキストデータにしたものを LLM に入力することで内容を要約させる。

要約した内容を再度 LLM に入力することで、入力した画像の料理名や特徴、使用している材料を推測させる。そうして推測した内容を用意しておいたプロンプトのひな型と組み合わせる最終的なプロンプトを作成し、LLM に入力することで味推定を行う (図 6)。

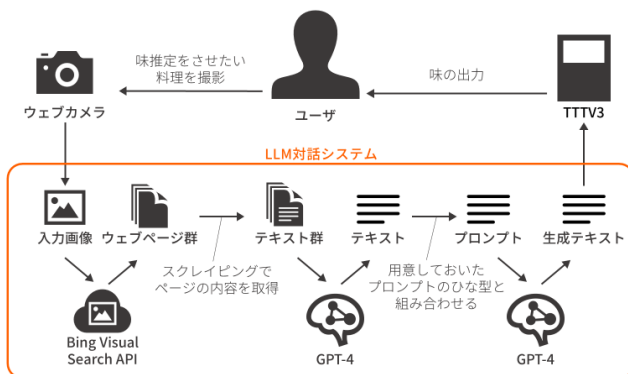


図 6 LLM 対話システムへの画像入力

5. 事例

5.1 種類の違いの表現 (梅干し)

TTTV3 が味の種類の違いを細やかに出力できるかをテストした。もともと、TTTV2 では梅干し専門店に取り扱っている 9 種類の梅干しの味を味センサで測定し、それらの平均値の出力を行っていたが[13]、出力のたびにばらつきがあった。表 1 のデータに基づき TTTV3 で実際に味比べを行うと、全て味は異なり、かつその梅干しの味をよく表現できていると感じた。

TTTV3 がテレビ番組で取り上げられるにあたり、白おにぎりに滴下しながら出演者にいくつか試食させた[20]。このとき、「⑥ ちんりう 三年漬梅干」の味について「箱根の梅干し屋さんの梅干しの味」「めっちゃうまい」といった感想をいただき、種類の違いはもちろんのこと、商品の魅力も表現できていることがうかがえた。

表 1 9 種類の梅干しの再現レシピ[21]

再現する品	旨味	塩味	酸味
① 延楽杉田白漬	0.14g	1.29g	0.48g
② 滝川紀州木樽白干梅	0.18g	1.22g	0.34g
③ ちんりう うす塩花梅	0.28g	0.52g	0.06g
④ ちんりう 花梅	0.15g	1.10g	0.45g
⑤ ちんりう うすしお梅干	0.27g	0.55g	0.04g
⑥ ちんりう 三年漬梅干	0.14g	1.21g	0.54g
⑦ 中田豊熟梅しそ風味	0.19g	0.65g	0.22g
⑧ 佐々木富之助南高白	0.15g	1.15g	0.01g
⑨ うめよし南高申年梅	0.15g	1.17g	0.44g
平均	0.13g	0.88g	0.67g

5.2 マスキングと中和剤の利用 (ワイン)

ワインの味再現を TTTV3 で行った。これについては単独で論文[22]があるので参照されたい。

この実験では、ベースとなる白ワインをもとに、別の白ワイン、さらには赤ワインに味を変化させることを試みた。ベースは酸味が比較的穏やかであるといわれる、ピノ・グリージョ 100%で作られた「フェウド・アランチョ ピノ・グリージョ」である。別の白ワインのターゲットは、ソーヴィニヨン 100%で作られた「オイスターベイ マールボロ ソーヴィニヨン・ブラン」であり、酸味が強い。この酸味を再現するためにリンゴ酸を用い、ベースのほうが渋味が強いことから、図 1 を参考に、甘味としてスクロースを加えることでマスキングを試みた。その結果、渋味が軽減されただけでなく、渋味のマスキングのためにスクロースを加えたにもかかわらず、甘味は増加しなかった。図 1 のとおり、渋味と甘味は「相殺」されたと考えられる。また、酸味も狙い通りに増加し、概ね再現に成功したと言える。

さらに、白ワインをベースに赤ワインの再現も試みた。

ターゲットの赤ワインは、ピノ・ノワール 100%で作られた「オイスターベイ マールボロ ピノ・ノワール」である。ターゲットの方がベースよりも渋味や苦味を強かったことから、タンニン酸（渋味）や塩酸キニーネ（苦味）を加えた。また、ベースの方がターゲットよりも酸味を強く感じたことから、スクロースを加えることでマスキングを行った。ただスクロースの追加量にも限界があると感じ、中和剤としてアルカリ性の炭酸水素ナトリウムを加えた。結果、渋味や苦味の再現は成功し、酸味についてはやや抑制しすぎた結果となった。マスキング・中和剤による抑制は成功したといえる。

5.3 風味再現とプロによる調整・評価（カカオ）

産地の異なるカカオの味の違いを再現することを試みた。単独で論文[23]があるので参照されたい。比較的安価で容易に入手可能なコートジボワール産カカオ（100%カカオマス・CeMoi社）をベースとし、高価で希少なペルー産クリオリ種カカオ（100%カカオマス・Shattell社）をターゲットとしている。

味再現においては、「酸味の風味」に着目し、3種類の酢酸・乳酸・プロピオン酸を用いる配合を行っている。また、ベースの苦味の方が強いいため、旨味物質によるマスキングで苦味を軽減することを行っている（図7）。

研究室で作成したレシピをもとに、パティシエによる微調整でレシピを最適化し、さらにスイーツ評論家に試飲してもらったところ、味再現品の味は目標とした味とほぼ一致しているとの評価をいただくことができた。



図7 TTTV3を用いたチョコレートの味調整

また、味センサ[24]およびBrixによる甘味測定によって、ターゲットであるペルー産のカカオと味再現品の類似度がかなり高いことが定量的にも示されている（図8）。

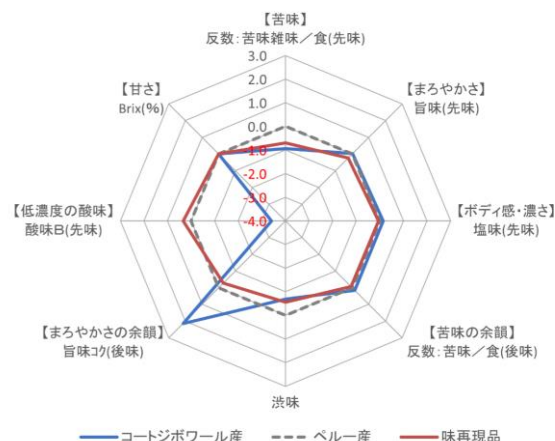


図8 味センサ[24]等による味再現品の再現度評価（論文[23]より引用）

5.4 LLMを用いた味推定

LLMを用いて、味推定の程度を確認した。飲食物を音声入力・画像入力した結果、及び非飲食物の味を音声入力・画像入力して推定させた結果について述べる。

5.4.1 飲食物名の音声入力：ミートソースの味

まずは音声入力で「ミートソース味」を推定させた。水200mlに対して食塩1.6g、砂糖10g、クエン酸0.2g、味の素20g、にがり0.1gという推定結果が表示されたので、溶液を出力して5名で味見を行った。

実際、ミートソースに近い味になっており、旨味が強く感じられた。このままパスタにかけてもいっくらいだという意見もあった。

5.4.2 飲食物の画像入力：トマトソースパスタの味

次に、画像入力テストとして「トマトソースパスタ」の画像を入力した（図9左）。



図9 LLM対話システムに入力した飲食物（トマトソースパスタ）の画像（左，5.4.2項）非飲食物（雲）の画像（右，5.4.4項）

生成されたテキストに入力画像はトマトソースパスタであるとの記述があった。また、水200mlに対して、食塩1.5g、砂糖2g、クエン酸0.5g、味の素0.3g、にがり0.1gという推定結果が表示されたので、溶液を出力して5名で味見を行った。

たしかにトマトの酸味を感じられ、ミートソースと比べた際の差異もわかる味であった。同様に、そのままパスタにかけてもいいくらいであるという意見も聞かれた。

5.4.3 非飲食物名の音声入力：初恋の味・失恋の味

次に、飲食物ではない、完全な抽象概念である「初恋の味」「失恋の味」という音声入力を行った。

「初恋の味」に関しては、水 200ml に対して食塩 1.5g, 砂糖 10g, クエン酸 0.5g, 味の素 0.5g, にがり 0.1g という出力であった。また、「失恋の味」に関しては、食塩 0.5g, 砂糖 10g, クエン酸 1.0g, 味の素 0.5g, にがり 0.1g の出力であった。実際に 5 名で味見したところ、どちらも酸味が強調されていて、文字通り「甘酸っぱい」を甘味と酸味で再現しているのではないかと感じられた。実際の初恋の味、失恋の味と比べようもないが、あまり納得感はなかった。ただ、「なぜこういう味にしたのか」という好奇心を掻き立て、体験者どうしの議論を活性化させた。

5.4.4 非飲食物の画像入力：雲の味

食べられない事例として雲の画像 (図 9 右) を入力することにした。画像の選定意図としては、綿菓子に見える可能性があり、甘い味が出力されるのではないかと期待したためである。

しかし、この画像は「鶏肉と野菜の炒め物」と認識され、水 200ml に対して食塩 2.5g, 砂糖 5g, クエン酸 0.5g, 味の素 0.5g, にがり 0g という出力であった。

5 人で味見してみたところ、「鶏肉と野菜の炒め物」にしては薄い味であり、つかみどころがない (という点では雲らしい) 味であった。

なお、綿菓子の画像を入力した場合は、綿菓子であると正しく認識された。ただし、砂糖 100% になると思いきや、水 200ml に対して食塩 0.5g, 砂糖 20g, クエン酸 0.2g, 味の素 0.1g, にがり 0.05g という出力がなされた。

実際に味見してみると、たしかに甘く、味も近いと言えたが、酸味などの他の雑味をやや感じた。

6. おわりに

本稿では、代替肉を食肉の味に近づける、希少食材を正確に再現する、完全栄養食のバリエーションを広げる、プロの料理人による味の探求・追求に応える、といった、より幅広い問題解決の手段となるような TTTV2 の改良について考察した。そして、味の減算、風味の表現、大規模な味覚データベース、精細な操作のためのインタフェース、未知の味を探索するためのインタラクション、といった要件を整理した。TTTV3 は、0.02ml 単位の溶液出力精度、20 タンクを搭載する。各味を 1000 段階で操作できる MIDI コントローラをもち、理論上 10⁶⁰ 通り (1 那由他) の味表現を正確に行える。そして、音声入力・画像入力による LLM 対話システムを備える。

これを用い、梅干しの種類ごとの味の違いを表現できることを確認した。また、マスキングと中和剤を利用して、ワインを別のワインとほぼ同じ味にすることができた。さらに、複数の酸を用いて風味まで近づけ、産地の異なるカカオの味の違いを再現した。パティシエによる微調整でレシピを最適化し、スイーツ評論家によって味がほぼ一致していると評価された。LLM を用いた味推定機能のテストでは、LLM 対話システムに料理名を話したり、料理の写真を見せたりすることで、ミートソースやトマトソースといった味を出力できることが示された。これにより、味センサによる測定や人による試行錯誤なしに大規模な味データベースが実現できる可能性が示唆された。さらに、非飲食物名の音声入力や、非飲食物の画像入力によって、プロの料理人にインスピレーションを与えうる味が出力されることも示唆された。今後は、このシステムを用いながら多くの課題解決に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 1) Homei Miyashita. Norimaki Synthesizer: Taste Display Using Ion Electrophoresis in Five Gels, Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI '20), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp.1-6, 2020.
- 2) Homei Miyashita. Taste Display that Reproduces Tastes Measured by a Taste Sensor. Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp.1085-1093, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1145/3379337.3415852>
- 3) 宮下芳明. 画面に映っている食品の味を再現して味わかる味ディスプレイの開発, 第 28 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 (WISS2020) 論文集, pp.103-108, 2020.
- 4) Homei Miyashita. TTTV (Taste the TV): Taste Presentation Display for "Licking the Screen" using a Rolling Transparent Sheet and a Mixture of Liquid Sprays. In the Adjunct Publication of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '21 Adjunct), Virtual Event, USA, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1145/3474349.3480223>
- 5) 宮下芳明. 液体噴霧混合式の味ディスプレイの試作, 第 29 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 (WISS2021) 論文集, pp.121-127, 2021.
- 6) 三瓶智輝, 宮下芳明. 五味霧中: 味覚を頼りに防御するゲームのデザイン, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol.2022, pp.195-198, 2022.
- 7) 小野達也, 宮下芳明. 味加減: 協力して味を増減させることによる味当てゲームの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol.2022, pp.222-225, 2022.
- 8) 宮下芳明, 村上崇斗. Open-TTTV: 調理家電に調味機構を付加するオープンソースハードウェア, 第 30 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 (WISS2022) 予稿集, pp.1-3, 2022.
- 9) Maynes-Aminzade, D. Edible Bits: Seamless Interfaces between People, Data and Food, in the Ext. Abstracts CHI '05, 2005.
- 10) OPEN MEALS, SUSHI TELEPORTATION. SXSW2018, 2018.
- 11) 鳴海拓志, 谷川智洋, 梶波崇, 廣瀬通孝, 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 (<特集> 香り・人・システム), 日本バーチャルリアリティ学会論文集, 15 巻, 4 号, pp. 579-588, 2010.

- 12) 佐藤祉大, 上岡玲子. EMO 味 : 心を味わうインタフェース開発, インタラクシオン 2020 論文集, pp.321-326, 2020.
- 13) Homei Miyashita. TTTV2 (Transform the Taste and Visual Appearance): Tele-eat virtually with a seasoning home appliance that changes the taste and appearance of food or beverages. In 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '22). Association for Computing Machinery, USA, Article 78, pp.1-2, 2022.
- 14) Homei Miyashita. TTTV2 makes it possible for people with shellfish allergies to still enjoy the taste of crab virtually. In 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '22). Association for Computing Machinery, USA, Article 79, pp.1-2, 2022.
- 15) Homei Miyashita. Virtual eating experience of poisonous mushrooms using TTTV2. In 28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '22). Association for Computing Machinery, USA, Article 81, pp.1-2, 2022.
- 16) 宮下芳明. TTTV2 (Transform The Taste and Visual appearance) : 飲食物の味と見た目を変える調味家電によるテレイト, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, Vol.2022, pp.143 - 150, 2022.
- 17) ベルナル・ラウース, ピーター・クーカイト, ヨハン・ランゲンビック. 香りで料理を科学する フードペアリング大全 分子レベルで発想する新しい食材の組み合わせ方, グラフィック社, 2021.
- 18) Noordeloos, S. and C, W, Nagel.: Effect of Sugar on Acid Perception in Wine, American Journal of Enology and Viticulture, Vol.23, No.4, pp.139-143, 1972.
- 19) 河合崇行, 日下部裕子 : 苦味マスキング効果の定量的解析, 食品総合研究所研究報告, 農業・食品産業技術総合研究機構 Vol.76, pp.9-16, 2012.
- 20) TBS 「理系応援バラエティ 実験ジャパン」, 2023 年 5 月 27 日 (土) 14:30-15:30, 2023.
- 21) 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, pp. 1-4, 2023.
- 22) 金珉志, 村上崇斗, 宮下芳明. TTTV3 を用いたワインの味表現, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol.2023, 2023.
- 23) 彭雪儿, 深池美玖, 笠原暢仁, 村上崇斗, 吉本健義, 湊祥輝, 富張瑠斗, 宮下藏太, 川田健晴, 宮下芳明. 産地の異なるカカオの味の違いを定量化し純物質で再現する手法, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, Vol.2023, 2023.
- 24) Yusuke Tahara and Kiyoshi Toko. Electronic tongues--A review, IEEE Sensors Journal, Vol.13, No.8, pp.3001-3011, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2263125>