

<平成 28 年度助成>

多感覚的な味・風味の質の神経表象の探索—ヒト fMRI 研究—

山本 洋紀¹⁾・山城 博幸²⁾

(¹⁾ 京都大学大学院 人間・環境学研究科、²⁾ 藍野大学 (現所属・トヨタ紡織株式会社))

はじめに

食べ物の美味しさを味わうことは、ヒトに大きな喜びをもたらす。美味しさは、食べ物の味・香り・食感などを複合した感覚である風味と、それに付随する快・不快を伴う情動的側面を含めた総合的な判断の結果だと考えられている¹⁾。神経科学では、主に動物の研究から、味を分析する味細胞の受容体や一次味覚野の構造から、美味しさを反映する(と考えられる)脳活動や脳内物質まで明らかにしてきた²⁾。

ところが、ヒトが食べ物の風味を総合的に味わって、その美味しさを感じる脳過程についてはまだよくわかっていない。特に、鍵となるのは、ヒトの味覚関連皮質に存在すると考えられるガストトピー(またはケモトピー)とよばれる味覚地図である。ガストトピーとは、基本味(甘味・塩味・うま味・酸味・苦味)のそれぞれに応答するニューロンが、味覚野の異なる領域に集まっているという構造のこ

とで、ネズミの1次味覚野で見つかっている³⁾。この性質から味覚野では味覚情報が空間的な活動パターンとして表現されていると考えられている。

本研究の目的は、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)による脳機能イメージングによって、ヒトの1次味覚野の候補として提案されている頭頂弁蓋部と島の移行部のG野、中心溝下端の43野、島前部の3カ所(図1)⁴⁾と、2次味覚野として知られる前頭眼窩野(図1)のそれぞれに注目して味覚地図を解明することである。このために、まず、基本五味を用いたfMRI実験を行うための耐MRI環境の味覚刺激呈示装置の開発である。次に、この装置を用いて、味覚野応答の空間パターンを機械学習を用いた多変量パターン解析によって分析した。もし、当該脳領域に味覚地図が存在すれば、各種味覚刺激に固有な脳活動パターンが生じると予想される。

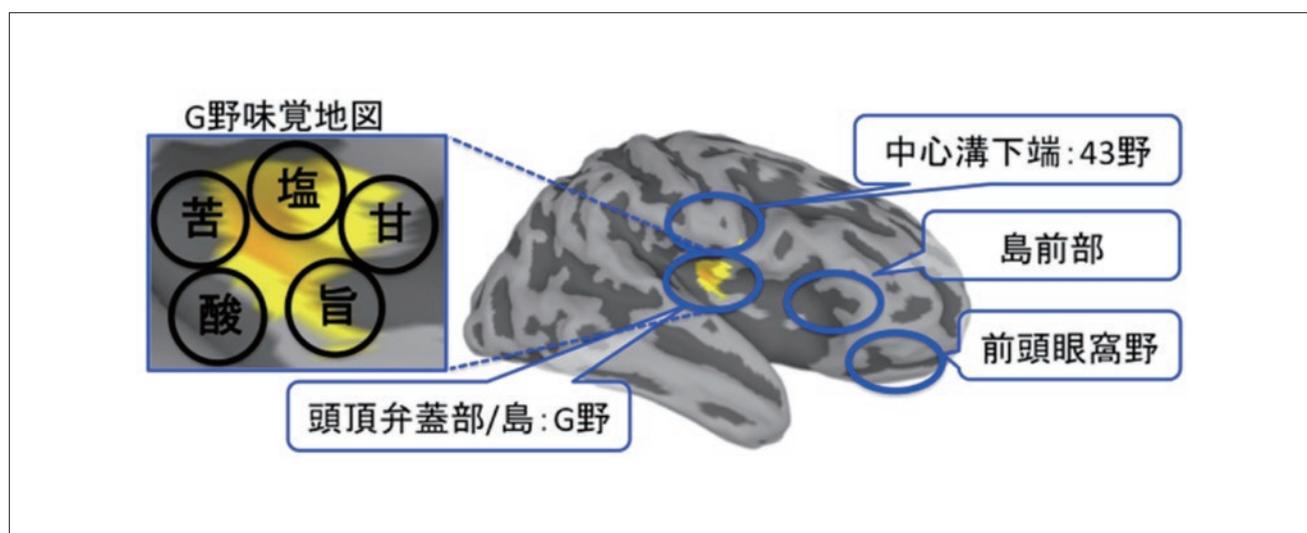


図1 ヒト味覚関連領域と味覚地図の想定図



図2 18ch 味覚呈示装置

味覚刺激呈示装置の開発

基本五味を用いた fMRI 実験を行うために、最大で 18 種類の味溶液の呈示が可能な味刺激呈示装置を作成した。図 2A が全体像で、図 2B の 18 組のシリンジ (5 ml) とチューブ (直径 2 mm、内径 1 mm) で、最大で 18 種類の味溶液を刺激として使用できる。刺激の量とタイミングは PC とマイコン (arduino) で制御している。図 2C に示す通り、被験者はチューブの束を口にくわえながら、視覚刺激も観察することができる。既存製品に比べて大幅に安価 (部材 80 万円程度) な耐 MRI 環境の味覚装置の開発に成功した。

味覚皮質の多変量パターン解析

開発した味覚刺激装置を使用して、味覚地図を解明するために、脳機能イメージング法を用いて、味覚野の脳活動の空間パターンを分析した。

方法

味覚刺激は 12 種類 (コーヒー、ビール、紅茶、牛乳、ヨーグルト、ココア、トマトジュース、グレープフルーツジュース、レモン水、めんつゆ、カレー、ポン酢) で適宜希釈し、それぞれシリンジに入れた。残りの 6ch のシリンジには口腔洗浄用に水を入れた。

実験プロトコルを図 3 に示す。被験者はプロジェ

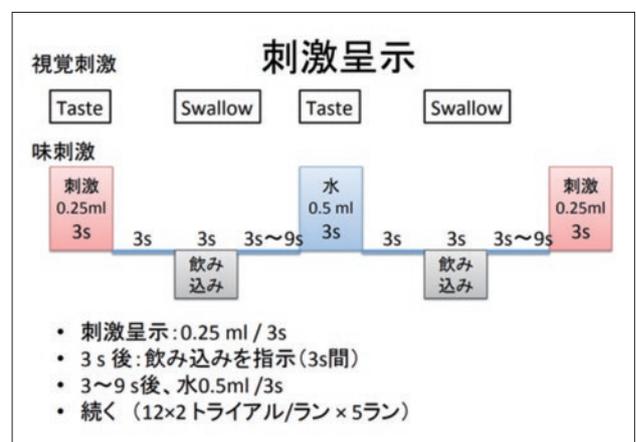


図3 実験プロトコル

クタースクリーンに呈示される指示に従って、12秒から18秒の試行を繰り返し行った。1試行では、0.25 mlの味覚刺激が「Taste」の画面指示と同時に3秒間呈示された。3秒後、「Swallow」の画面指示が呈示され、3秒から9秒の間において水(0.5 ml)が呈示された。被験者は、画面指示にしたがって、刺激を味わい、飲み込み、そして、水で口をすすぐように指示された。試行間の間隔は3秒~9秒であった。1ランでは12種類の刺激が各々2回ランダムに呈示された(24試行/ラン)。被験者は2名で各々1回の実験で5ランを行った。この間の被験者の脳活動を3テスラのMRI装置(シーメンス製)で測定した。解析では、まず、被験者の解剖画像から大脳皮質表面を復元し、その後、復元した脳表上で脳活動パターンの表象類似性解析を行った。もし、味覚

皮質に味覚地図があり、基本五味が空間的に符号化されているならば、基本味に共通性がある刺激間で脳活動パターンが類似すると予想された。

結果と考察

ヒトの1次味覚野の候補である頭頂弁蓋部と島の移行部のG野と2次味覚野とされる前頭眼窩野の脳活動の空間パターンを分析したところ、基本味という視点から興味深い味覚刺激間の類似性が2名のうち1名の被験者で見つかった。以下、1次味覚野、2次味覚野の順に結果を述べる。

1次味覚野

12種の味覚刺激のうち、トマトジュース(刺激

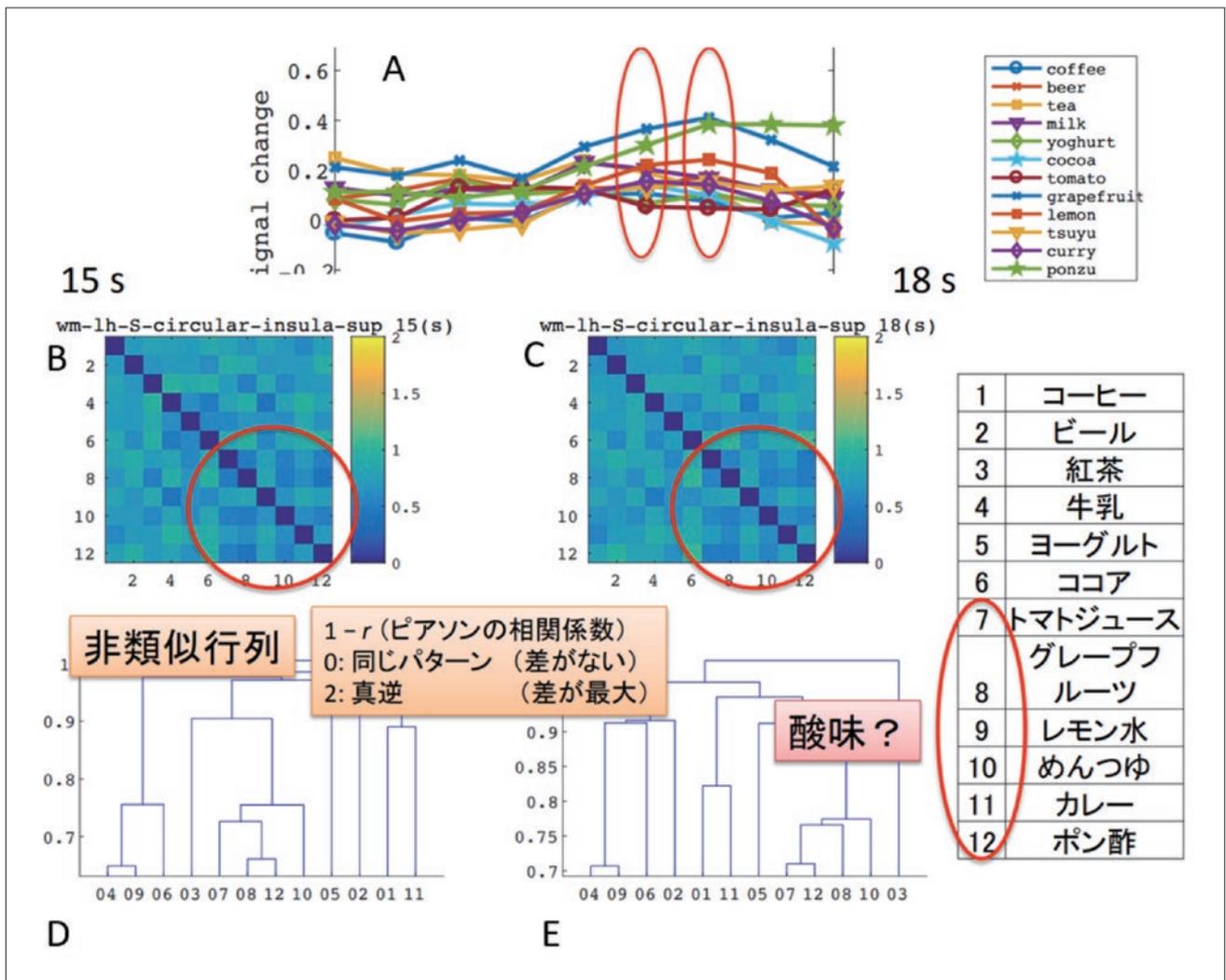


図4 左1次味覚野の表象類似性解析結果

No.7)、グレープフルーツジュース (8)、レモン水 (9)、めんつゆ (10)、カレー (11)、ポン酢 (12) に共通する脳活動パターンが左右半球ともに刺激呈示後 15 秒から 18 秒の間で見られた。左 1 次味覚野の結果を図 4 に示す。図 4A が脳活動の時間変化 (横軸: 秒) で、各刺激に対する 1 次味覚野全体の平均応答である。多くの刺激で刺激呈示後、15 秒から 18 秒で脳活動が最大になった。最大点に近い 15 秒と 18 秒で、刺激間の脳活動パターンの類似性を分析した結果が各々図 4B と図 4C で類似性を距離 (類似性の逆) 行列として表現したものである。ともに、行列の右下に距離の小さい正方形のクラスターが見られ、刺激 7 ~ 12 で活動パターンが似ていた。この距離行列をもとにクラスター解析を行った結果が図 4DE である。このクラスター内では特にトマトジュース (7)、グレープフルーツジュース (8)、ポ

ン酢 (12) 間の類似性が高いことがわかった。以上の結果は、基本五味のうち酸味に関する空間表象が 1 次味覚野に存在することを示唆している。

2 次味覚野

2 次味覚野では 1 次味覚野で見られた脳活動パターンの類似性がより高まるとともに、新たな類似性が示唆された。図 5 に結果を示す。刺激呈示後、15 秒と 18 秒ともに、右下の刺激 7 ~ 12 のクラスターが明瞭で類似性が高まっていた (図 5BC)。酸味のクラスターだ考えると、酸味がなく甘いココア (6) との相違が顕著 (図 5BC, DE) になっており、2 次味覚野では基本五味のカテゴリーがより明瞭になっている可能性がある。さらに、刺激呈示後の 20 秒には、ヨーグルト、ココア、トマトジュース、グレープフルーツジュース間で類似性が高くなっており、

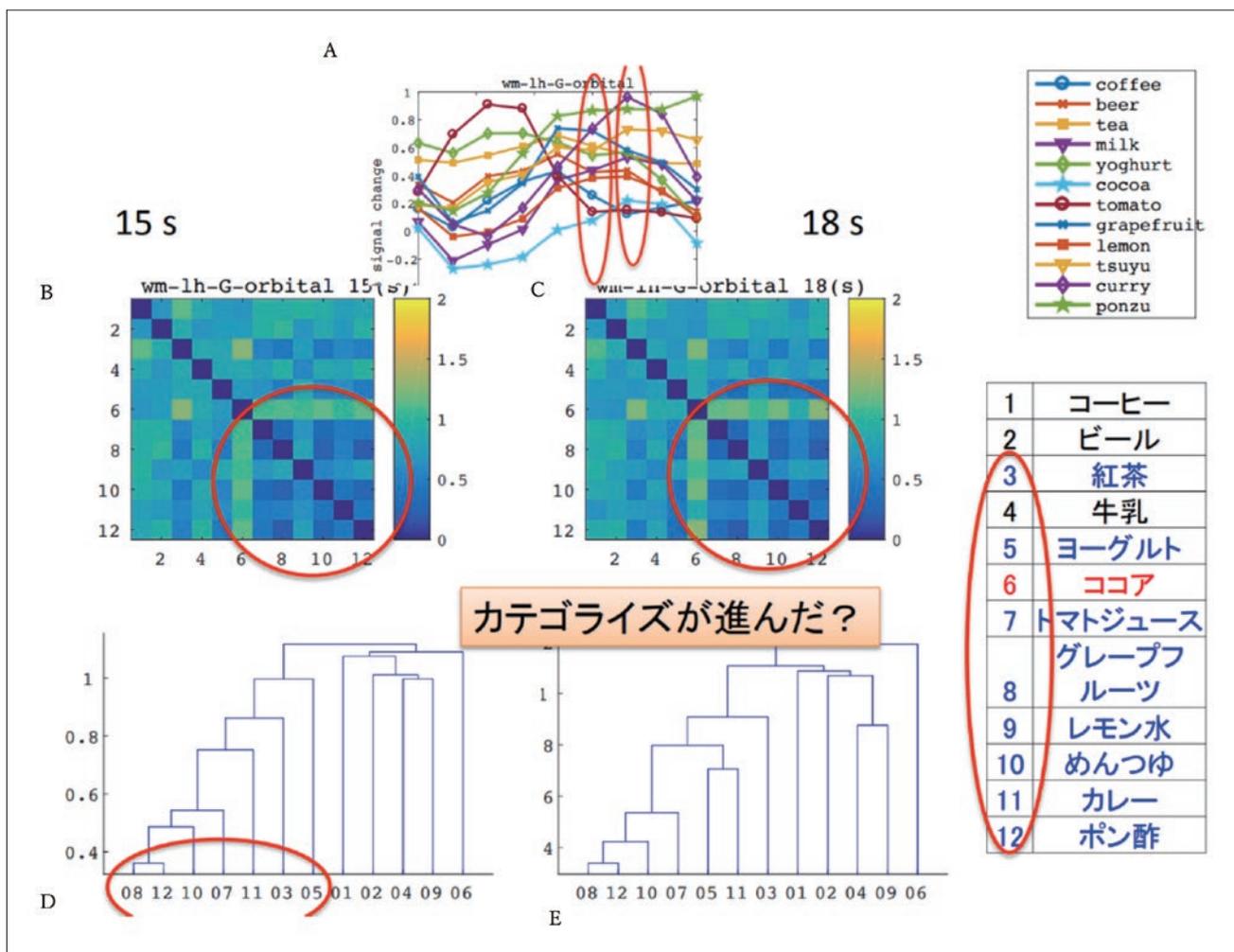


図 5 右 2 次味覚野の表象類似性解析結果

甘味の空間表象の存在が示唆された。

結 論

本研究では 18ch の fMRI 実験用味覚呈示装置を開発し、それをを用いて、ヒトの 1 次味覚野および 2 次味覚野に基本五味に関する味覚地図が存在する可能性を fMRI による脳機能イメージングで検討した。その結果、2 名のうち 1 名の被験者で、1 次味覚野では酸味、2 次味覚野では酸味に加えて甘味の味覚地図の存在が示唆された。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人 浦上食品・食文化振興財団に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 山本隆, 「おいしい」となぜ食べすぎるのか 味と体のふしぎな関係, PHP 新書, 2004, PHP 研究所
- 2) 山本隆, 味覚の神経生理学, 味覚・嗅覚, 2008, 朝倉書店
- 3) Yamamoto, Takashi, et al. "Gustatory responses of cortical neurons in rats. II. Information processing of taste quality." *Journal of neurophysiology* 53.6 (1985): 1356-1369.
- 4) 小川尚・小早川達 化学感覚受容のしくみ 味覚の脳機構, におい・かおり環境学会誌 (2006): 1348-2904.

Exploring neural representations of multisensory taste and flavor qualities : a human fMRI study

Hiroki YAMAMOTO¹⁾, and Hiroyuki YAMASHIRO²⁾

¹⁾ Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

²⁾ Aino University, Toyota Boshoku Corporation (current affiliation)

The brain processing of tastes by the human brain is still poorly understood. A key component is presumably taste maps, in which neurons that respond to each of the basic tastes are clustered in different regions, and taste information is thought to be represented as a spatial pattern of activity. The purpose of this study is to explore taste maps in human primary and secondary taste areas, through functional brain imaging using functional magnetic resonance imaging (fMRI). To this end, we developed an inexpensive multi-channel taste presentation device, and then conducted an fMRI experiment, in which twelve different flavor solutions (coffee, beer, tea, milk, yogurt, cocoa, tomato juice, grapefruit, lemon water, a Japanese soup base, curry, and ponzu) were presented. We used a representation similarity analysis of fMRI activity to explore taste maps in the primary and secondary taste cortices. In the primary taste cortex, we found that tomato juice, grapefruit juice, lemon water, the Japanese soup base, curry, and ponzu showed a common brain activity pattern between 15 and 18 seconds after stimulus presentation, in both the left and right hemispheres. The similarity among tomato juice, grapefruit juice, and ponzu was particularly high, suggesting that spatial representations related to acidity are located in the primary taste cortex. The secondary taste cortex showed more similarity to the brain activity patterns seen in the primary gustatory cortex, and also showed new similarities between yogurt, cocoa, and tomato juice, suggesting the presence of spatial representations of sweet taste.