

総説特集：「うま味と味覚嗜好性」

うま味と香りの交互作用における学習の影響

坂井 信之

(東北大学大学院文学研究科・電気通信研究所・ヨッタインフォマティクス研究センター)

本論文では味覚と嗅覚の相互作用における味覚嗅覚連合の役割について論じる。味覚嗅覚連合において質的連合と情動的連合の2つのメカニズムがあるが、動物実験では情動的連合の優先性を支持する結果が多いのに対して、ヒトを対象とする研究では質的連合を前提とする現象がみられる。この違いについて、本研究ではヒト独自の味覚認知システムがあり、その効果により、動物実験との相違が生じる可能性について論じた。それから醤油香とうま味の相互作用に関する実験を紹介し、この現象においても日常の食経験によって形成された味覚嗅覚連合が大きな役割を果たしている可能性について論じた。

キーワード：うま味、塩味、醤油香、味覚嗅覚連合、多感覚相互作用

はじめに

前世紀末頃にすっきりした甘さと微妙なフレーバーで一気に市場に躍り出たフレーバーウォーター（あるいはニアウォーター）系の飲料がある。一時的なブームかと思われたが、世界的な糖質への忌避傾向もあり、フレーバーウォーター飲料の売上は年々増加している。最近では、さらに無糖のフレーバーウォーター飲料の人気も高まっているという。呈味物質を含まないミネラルウォーターに香料を入れただけの商品のどこにうまみがあるのだろうか。本稿ではヒト独特の「味」の知覚メカニズムを通じて、この現象への理解を進めることにしたい。

1. 味覚と嗅覚の交互作用

先に述べたフレーバーウォーターの例のように食品の味知覚において、味覚と嗅覚の相互作用が重要な役割を果たしていることは、経験的にも学術的にも広く知られている。味覚と嗅覚の間には共感覚に類されるほどの強固な連合があり、その連合は生後の食経験によって習得されると考えられている¹⁾。味覚と嗅覚の間にはこのような相補的な強い結びつきがあるため、呈味物質を含まない水に香料を入れただけのフレーバーウォーターに対して、我々は味を感じるのである。

この味覚と嗅覚の相互作用は第一次味覚野のレベル

で生じていることが、動物実験およびヒト脳の非侵襲計測によって示唆されている。例えば、ラットに高濃度食塩水と香料の香りとの連合学習させると、通常そのラットは高濃度食塩水と対提示された香りを避けるが、食塩欠乏状態ではその香りのつけられた水を積極的に摂取しようとする。この学習は、ラットの第一次味覚野である島皮質の切除により損なわれる²⁾。また、ヒトを対象とした研究では、ベーコンの香りは同時提示された食塩水の塩味を強める。MRI装置内でベーコンの香りと食塩水が同時に提示されると、香りなしで食塩水を提示された場合やイチゴの香りと食塩水を同時に提示された場合に比べて、ヒト第一次味覚野である前頭弁蓋部近傍の血流量が有意に多くなることが報告されている³⁾。

そのため、嗅覚と味覚の連合およびその連合に基づく味覚増強効果は、味覚や嗅覚情報に基づいて「今食べている食物は、これこれの食物で、そのためこのような味がする」と言ったような第二次（高次）味覚野を要する複雑な情報処理を必要としない。つまり、この現象はいわば無意識のレベルで自動的に生じている可能性が示唆される。そのため水と香料しか含まれていないフレーバーウォーターに対して、その原材料名を認知していたとしても、自動的に味を感じるであろう。一方で、この現象は生後の食経験に基づく学習

Association of gustation with olfaction underlying the interaction between umami taste and odors.

Nobuyuki Sakai

Department of Psychology, Graduate School of Arts & Letters, Research Institute of Electrical Communication, and Yotta Informatics Research Center, Tohoku University

TEL・FAX：022-795-7691 E-mail address: nob_sakai@tohoku.ac.jp

によって生じるため、すべての食文化の人がある香りを嗅いだ時に一様に同じ味を喚起するわけではない。反対にある味と結びついている香りも食文化によって様々となる。このように味覚と嗅覚の強い関係は学習性の要因によって支えられているため、「学習性の共感覚」と呼ばれる¹⁾。

2. 「学習性の共感覚」を支える仕組み

我々は「学習性の共感覚」の背後にあるメカニズムを明らかにするため、いくつかの動物モデルを利用した研究を行ってきた。動物モデルを利用したのは、生後の食経験をコントロールできるためである。一方で、ヒトを対象とする研究では、参加者の生後の経験は各自バラバラで、それらを制御することは不可能であるため、得られた結果のどの部分が生得的なもので、どの部分が学習性のものであるかを判断することが非常に難しいからである。さらに、ヒトを対象とする研究で「学習性の共感覚」に関わる脳の仕組みを明らかにすることも難しいからである。例えば fMRI を利用した研究では、不自然な体制と不自然な刺激提示方法により研究を行わなければならないし、結果の解析・解釈も様々な要因が交絡するからである。それに対して動物実験の場合は脳損傷動物を作成することも可能であり、自由行動下の脳活動を測定することにより通常の行動に関わる脳機能を明らかにすることができる。

この目的で実施した最初の動物実験⁴⁾では、ラットに甘味とある香り(A)、苦味と別の香り(B)とを連合学習させた。ラットはすぐに香りAの入った水を、香りBの入った水に比べて選好するようになった。この学習は情動的情報処理に関わる扁桃体や前頭前皮質(ヒトの眼窩前頭皮質に相当すると考えられる部位)を破壊すると獲得が阻害されたが、味覚の質的情報処理を担う一次味覚野であるラットの島皮質を破壊しても影響は受けなかった。この結果から、ラットの味覚と嗅覚の連合には、質的連合(香りA = 甘い、香りB = 苦いなど)よりも、情動的連合(香りA = おいしい、香りB = まずいなど)の方が優勢だと考えられた(図1)。一方で、すでに先に述べた第二実験²⁾では、ラットは香りと塩味間の連合を獲得する可能性も示唆された。

そこで、第三実験⁵⁾では、嗅覚と味覚の連合時に、質的情報の連合と情動的情報の連合のいずれが優勢に生じているかということを確認するために、高次条件づけを応用したアプローチを用いた。第一実験と第二実験で用いたのは中性刺激(嗅覚)と無条件刺激(味覚)の一次条件づけの手続きであった。この条件づけの手続きでは、無条件刺激の持つ情動的情報と質的情報のいずれが中性刺激と結びついたのかを分けることが難しい。そこで、情動的情報と質的情報のそれぞれを分けて結びつける可能性が示唆されている⁶⁾高次条件づけの手続きを用いることとした。高次条件づけは、二次条件づけと感性予備条件づけの二つのバリエーションからなるが、いずれも二回の対提示手続きからなる。

二次条件づけでは、最初に中性刺激(嗅覚)と無条件刺激(味覚)の対提示を行い、2回目の対提示では最初の対提示で用いられた条件刺激を新しい無条件刺激として用いるという方法である。模式図を図2上に示した。結果として新しく導入した条件刺激(図では香りCと香りD)に対して、味覚の持つ情動的価値が連合されていれば、最初の対提示(一次条件づけ)で生じたのは情動的価値の連合だったと解釈される。

一方で、感性予備条件づけ(図2下)では、最初に情動的価値を持たない中性刺激間(嗅覚-嗅覚)の対提示を行い、次にそのうちのひとつと無条件刺激(味覚)の対提示を行う手続きをとる。もし、無条件刺激と対提示されていない刺激(図では香りCと香りD)に対する選好が無条件刺激と同じものであれば、味覚の質的情報が、直接対提示された刺激(図では香りAと香りB)を通じて、移動したと考えることができる。

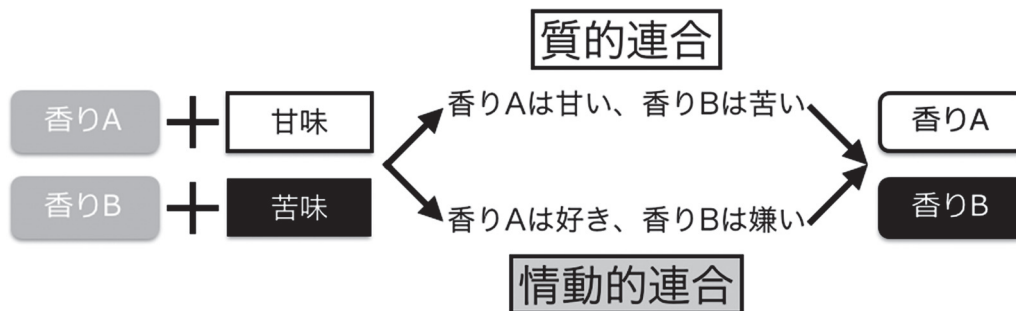


図1 ラットにおける味覚嗅覚連合メカニズム。脳損傷動物を用いた研究結果から、情動的連合の優位性が示唆された。

うま味と香りの交互作用における学習の影響

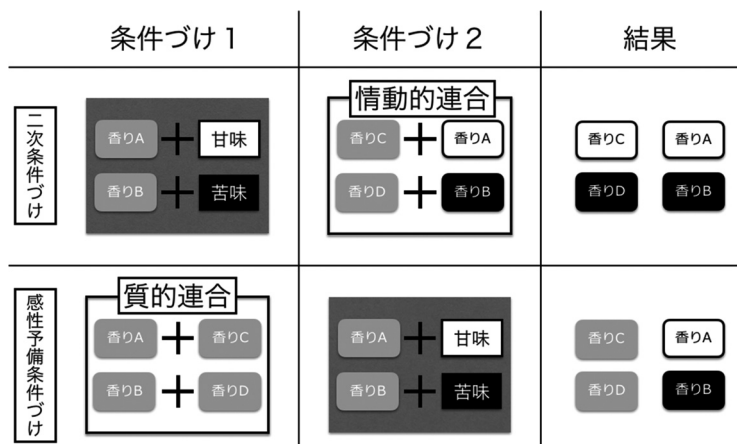


図2 味覚嗅覚連合における高次条件づけの概念。

実験の結果、二次条件づけ手続きでは比較的強い連合が獲得されたが、感性予備条件づけでは強い連合形成は見られなかった。そのため、味覚と嗅覚の間には、質的連合は非常に弱く、情動的連合が優勢であることが明らかとなった。つまり、食物の香りは食物の味覚の快不快（甘味=快、苦味=不快）と結びつき、味覚の持つ質情報（甘味=甘い、苦味=苦い）とは結びつきにくいことがわかった。

3. ヒトにおける「学習性の共感覚」とその応用

ヒトを対象とした研究では、味覚と嗅覚の共感覚は質的情報の連合に基づいていることが示唆されている。例えば、日常の食経験で塩味と連合しているベーコンの香りは食塩水の塩味を増強し、甘味と連合しているイチゴの香りはショ糖溶液の甘味を増強することが報告されている³⁾。また、同じ研究でベーコンの香りと塩味の同時提示を受けている参加者の島皮質、前頭弁蓋部、前帯状回、眼窩前頭皮質などにおける血流量の上昇がfMRIにより確認されている。

我々もNIRSを用いて類似の研究⁷⁾を行なった。我々の研究では、香り刺激として日常生活を通じて塩味と強く連合されていると考えられる醤油香を用いた。その結果、醤油香は0.58%の食塩水の塩味の強さを有意に増強し、0.80%の食塩水の塩味と同程度の強さと同等にまで高めることが主観的な評価だけでなく、脳応答においても見られることが明らかとなった。このような結果が生じるためには、醤油香と塩味の間には質的連合の生じている必要がある。

先に述べたラットの味覚と嗅覚の連合学習は主に情動的連合に基づいたものであった。この違いはどこにあるのだろうか？現時点ではこの問題に直接アプローチした研究がないため、直接の答えは得られていない。そこで、以下のような二つの仮説を考えてみたい。

a) ラットとヒトでは学習の仕組みが異なる。

ラットは、ヒトと同じように、食物を楽しむために食べているのではなく、栄養を吸収するために食べているという前提に立って論を進める。食物を検知するために味覚に加えて嗅覚を利用できれば、栄養を含む食物により早く接近でき、毒物を含む食物をより早く忌避できる。このような嗅覚の機能は風味-栄養学習や味覚による嗅覚嫌悪学習の促進などから観察できる。このような観点から、ラットなどの動物は嗅覚をその食物を摂取すべきか否かという信号の検出に利用しており、嗅覚情報は食物の情動的価値を検出できれば十分であると考えられることができる。

しかしながら一方で、味覚は、消化管にもレセプターが存在することが示すように、食物の消化吸収の仕組みを制御する重要な役割を担っている。この時に重要な情報が甘味やうま味、塩味などの質的情報であり、その質的情報に基づいて、消化吸収の機能が制御される。ラットはヒトと同じ雑食性の動物であり、摂取する食物に含まれる栄養分も様々であるし、摂取しなければならぬ栄養分も様々である。そのため、栄養成分のどれを摂取しなければいけないか、あるいはこれから摂取しようとしている食物にどのような栄養成分が含まれているかなどに、嗅覚情報を利用することができれば、生存の可能性が増す。このような場合に必要とされるのは味覚の持つ質的情報であるため、嗅覚が味覚の質的情報と連合されることは生態学的にも大きな意味を持つことになる。

これらのことを考えると、ラットとヒトの間で味覚-嗅覚連合学習の違いが見られるのは生態学的なベースに起因するものではない、すなわちラットとヒトの間の学習システムの違いに起因するものではないと考える方が理論的である。そこで、この仮説が正しい可能性は低いと言わざるを得ない。そこで次の仮説を検証してみたい。

b) ヒトの味覚-嗅覚連合の背後にはヒト独特の仕組みがある。

我々の研究⁷⁾に話を戻してみたい。この研究のうち大学生の実験参加者に Time-Intensity (TI) 法による塩味の強さ評定を行ってもらった時には、醤油香による塩味の増強効果が見られた (図 3A)。この時実験参加者に課されたのは「感じられる塩味の強さを継続的に評定してください」というものであった。しかしながら、別の実験参加者に VAS 法を用いて複数の項目の評価 (塩味の強さ、うま味の強さ、甘味の強さ、香りの強さ、刺激感の強さ、好み) を課したところ、醤油香による塩味の増強効果は見られなかった (図 3B)。刺激の提示方法や他の実験手続きは同様であったため、このような現象の違いは評定方法の違いがあるためだと解釈された。ストロベリー香とアスパルテムの同時提示実験において、TI 法による甘味単項目の評価を実施すると、甘味と香りの強さの複数項目を評価させた時よりも高い甘味評価が得られたことが報告されている⁸⁾。単項目の評価軸しかない時には、香りに起因する甘さを誤った (適切ではない) 形で甘味の評価として反応してしまったのであろう。この現象は Halo-Damping 効果と呼ばれている。我々の実験の結果の違いは、TI 法と VAS 法の評価方法の違いというよりは、評定項目数の違いによるものと解釈できる。Halo-Damping 効果に関わる脳部位については直接研究されたものはないが、眼窩前頭皮質がその部位でないかと類推されている⁹⁾し、Halo-Damping 効果は対人印象形成などの基本理論を構成する情報統合理論¹⁰⁾の現象の一つであると論じられており、感覚に起因する現象というよりは、高次な認知判断に起因する現象と考えられる。

我々の研究から、ヒトは官能評価の評価方法によって同じ刺激に対する反応が異なること、塩味増強時に注意や作業記憶に関係すると考えられる外側前頭前野

近傍の血流が増加することなどがわかった。これらの結果から、仮説 b) の可能性が高いと考えられる。しかしながら、一方で、ラットにおいても味覚と嗅覚の間に質的連合が形成される可能性を示す研究²⁾もあり、味覚と嗅覚の相互作用は感覚をベースとするボトムアップ的なものか、学習や認知をベースとするトップダウン的なものかを明らかにするためには、さらなる検証が必要であろう。

3. うま味と香りの相互作用

ここまで述べてきたのは香りとうま味や苦味、塩味との連合についてであった。ここでは現在我々が進めているうま味と香りの相互作用に関する研究について紹介する。

うま味の代表的な物質であるグルタミン酸は、味噌や醤油、魚醤、塩漬けハム、チーズなど様々な食文化の食材に豊富に含まれている¹¹⁾。中でも、我々日本人は生後の食経験を通じて、うま味と醤油香の連合ができていていると考えられる。そのため、この実験では醤油香を嗅覚刺激として用いた。当初は単体のグルタミン酸溶液を味覚刺激として用いようと考えていたが、実験参加者はグルタミン酸溶液単体の提示に対してポジティブな反応を示さなかったり、その味を感じにくかったりする¹²⁾。そのため、この研究では、上記の食材にうま味と一緒に豊富に含まれる塩味を味覚刺激として用いた。つまり、ここで紹介する実験で用いた味覚刺激と嗅覚刺激はともに先に述べた研究⁷⁾と同じである。

この実験では、醤油香を添加した食塩水 (0.45%、0.60%、0.75%、0.90%) を提示し、実験参加者に 100mm の VAS を用いて、甘味、塩味、うま味、香り、刺激感のそれぞれの強さと、好みを評定するように依頼した。また、同時にそれぞれの溶液を味わっている時の脳活動を fNIRS により測定した。

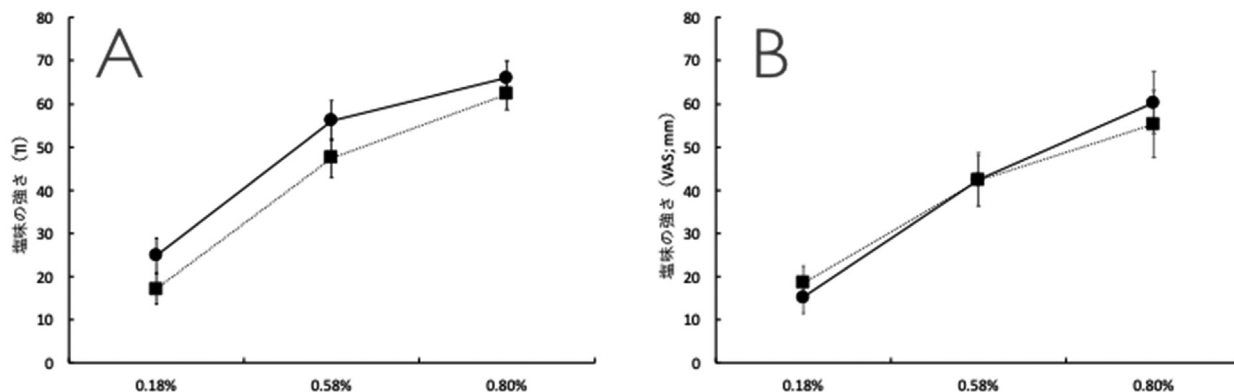


図3 評定法の違いによる塩味増強効果の違い。●は醤油香を添加した食塩水の評定値、■は香りなし食塩水の評定値を示す。

うま味と香りの交互作用における学習の影響

主観評定の結果、塩味の濃度が濃くなるにつれて感じられる塩味の強さが強くなることが確認できた。しかしながら、うま味の強さを含めて、他の評定項目については刺激間の違いは大きくなく、有意な主効果は見られなかった(図4)。そこで、個人差の大きさを鑑みて、各項目の相関・偏相関を算出した(表1)。その結果、うま味の強さは好み評定を含むほとんどの項目と強い相関・偏相関を見せること、醤油香の香りを強く感じた人ほど塩味やうま味を強く感じていることなどが明らかとなった。また、fNIRSの測定で、側頭部の上側頭回周囲で刺激に連動する血流量の顕著な増加

が見られた。上側頭回は言語的処理に関わっていることが広く知られている脳部位であるが、味覚の高度な情報処理(味質の弁別¹³)やラベルド・マグニチュード・スケール法による快不快判断¹⁴)にも関わっていることが報告されているため、本実験においても味覚-嗅覚複合刺激に対する高次判断が行われていたことが示唆される。

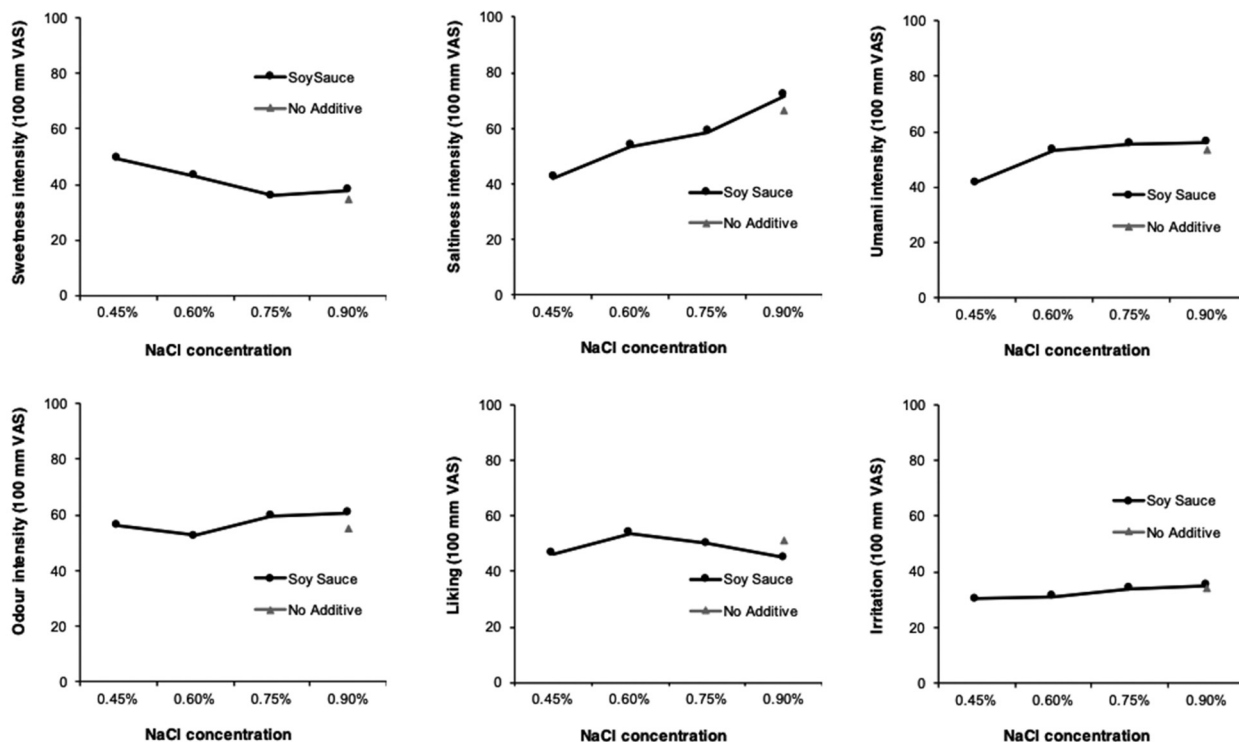


図4 様々な濃度の食塩水に醤油香を添加した刺激に対する評定値。

表1 様々な濃度の食塩水に醤油香を添加した刺激に対する評定値感の相関表。右上には相関係数、左下には偏相関係数を示す。

	甘味の強さ	塩味の強さ	うま味の強さ	香りの強さ	好み	刺激感
甘味の強さ		0.067	0.465	0.141	0.231	0.166
塩味の強さ	-0.100		0.397	0.502	0.157	0.112
うま味の強さ	0.400	0.138		0.572	0.409	0.159
香りの強さ	-0.112	0.373	0.445		0.351	-0.098
好み	0.115	0.001	0.293	0.080		-0.298
刺激感	0.12	0.149	0.268	-0.209	-0.385	

4. うま味と香りの相互作用における学習の影響

本研究の一部はすでに本学会で報告した¹⁵⁾ので、ここでは概略を説明するに留める。本研究では19種類の香料を嗅覚刺激、0.25% MSG 溶液を味覚刺激として、それらを同時提示した時の味と香りの一致度およびうま味の強さを100mmのVASにより実験参加者に評定してもらった。結果を図5に示す。うま味溶液単独提示時を基準とすると、第1象限にはうま味単独提示よりもうま味が強く感じられ、うま味と香りの一致性も高く評定された香料が位置することになる。同様に、第2象限にはうま味は増強するが一致度の低い香料、第3象限にはうま味の強さは抑制し一致度も低い香料、第4象限にはうま味は抑制するもののうま味との一致性は高い香料がそれぞれ位置する。もし、香りとうま味の間に見られる相互作用が学習に依存するという仮説が正しいのであれば、香料は第1象限と第3象限にのみ位置することとなる。図5を参照すると、19種類中16種類の香料が第1および第3象限に位置し、残りの3種類の香料は第2象限に位置することがわかる。また、うま味の強さと香りとうま味の一貫性との相関は、弱い正の相関 ($r = 0.24, p > 0.05$) しか見せなかった。本研究では、実験終了後、感じられた香りについて自由回答を行ってもらった。その結果、第2象限に含まれる香料の同定率は、19%と他象限に位置する香料の同定率 (29~35%) よりも低いことがわかった。そのため、うま味との一致性が低くなったと考えられる。一方で、カツオブシや焼き海苔、カレー、抹茶などの香りとうま味の対提示は、日本の

食文化では繰り返し経験するものであるため、意識下の感覚レベルでの相互作用は生じた(感じられるうま味の強度が増強した)のかもしれない。そのため、ここまでの議論、すなわち香りとうま味の関係性は日常の食経験を通じて形成された学習性のものであることは部分的に支持された形となった。

上述の研究は提示刺激が室温のものであったため、日常うま味食品を摂取するときの温度に近い60℃のうま味溶液と香料を同時に提示する研究を追加で行なった。この研究では香り刺激の種類をトマト、オニオン、ローストガーリック、ジンジャー、青ネギ、カツオブシ、まつたけ、昆布、チョコレート、抹茶の10種類にした。その結果を図6に示す。今回、香りとうま味の間には有意な強い正の相関 ($r = 0.76, p < 0.05$) が見られた。また、10種類の香料のうちまつたけ香料は一致性が低いがうま味の増強効果を見せる、つまりまつたけ香料は第2象限に位置するが、他の香料は第1および第3象限に位置することがわかった。これらの結果は、日常生活により近い状態であれば、日常生活で経験する香りとうま味の一貫効果が強く見られるようになることを示唆している。また、今回の研究においても昆布やカツオブシなど、日常生活でうま味と対提示されているであろうと期待される香料の一貫性が低かった。この理由としては、日常生活で昆布やカツオブシなどの香料を嗅ぐ経験が少ないと思われることが挙げられる。また、現在の若者の和食離れも一因かもしれない。昆布やカツオブシの香りとうま味感受性の相互作用における日常の食経験の影響なども含めて、今後の研究課題となるだろう。

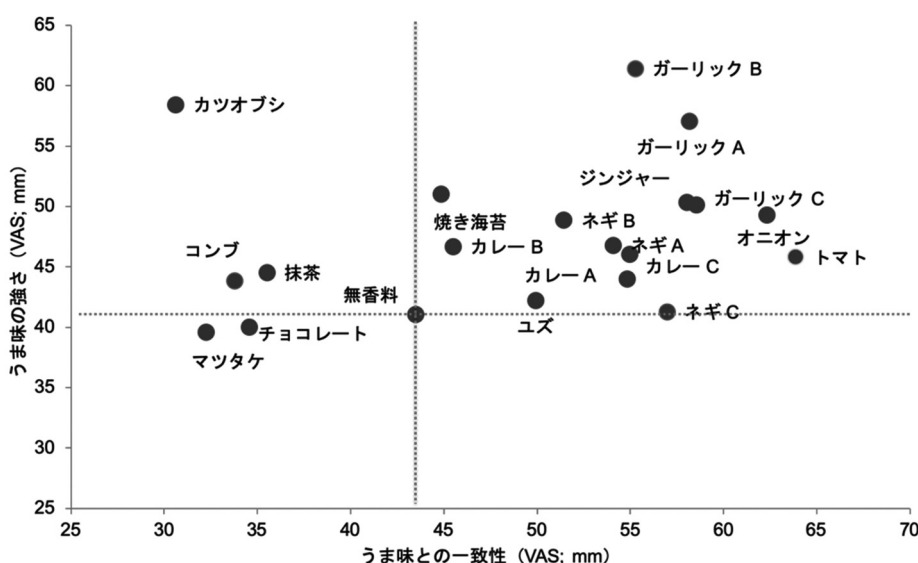


図5 室温のうま味溶液に様々な香料を添加した時のうま味評定値の散布図。

うま味と香りの交互作用における学習の影響

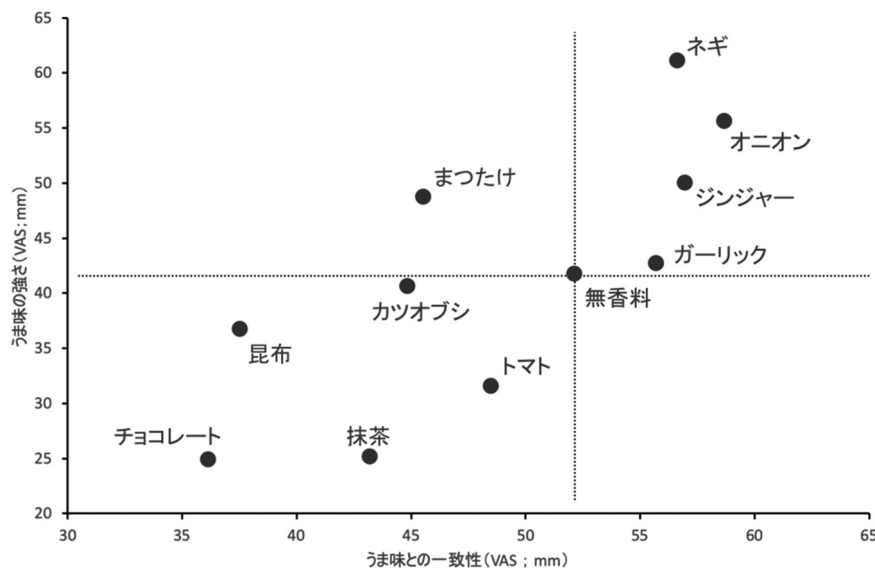


図6 60℃のうま味溶液に様々な香料を添加した時のうま味評定値の散布図。

5 まとめ

本論文では嗅覚によって味覚が増強される現象を中心に味覚と嗅覚の連合について議論した。日常生活での食経験を通じて経験される味覚と嗅覚の連合を通じて、嗅覚情報処理が味覚の機能を持つようになり、その結果として、嗅覚が提示されると味覚が生じたように知覚することが示唆された。しかしながら、嗅覚が形成する味覚の表象が、質情報なのか、快不快情報なのか、それともその両方なのかという細かなメカニズムについては未だよくわかっていないことも明らかになった。また、よくヒトのモデルとして用いられる動物とは、ヒトは異なった仕組みで食物を認知している可能性も示唆された。特に、ヒトにおいては視覚や聴覚を用いて食物を認知したり^{16,17)}、パッケージや情報を元に食物の味を予期したりすること¹⁸⁾が実験的に明らかにされてきており、今後は高次な認知機能という視点からの食物認知メカニズムの解明が必要とされるようになるだろう。

また、冒頭の例のように、我々はすでにこのようなヒトの特性を利用することを経験的に知っており、また利用してきた。今後もこの知見を応用することで、糖質や塩分を制限しても通常食と同じようにおいしい食物を作ったり、仮想現実 (Virtual Reality: VR) あるいは拡張現実 (Augmented Reality: AR) を通じて少ない労力や材料でよりおいしい食物を提供することが可能になるかもしれない。ただし、一時的に感覚を補うことが、その後の食の満足感や健康、生活の質などにどのような影響を与えるのかということについては、医学や倫理的な視点も含めて、検討されていく必要がある。

文献

- 1) 坂井信之: 食における学習性の共感覚. 味と匂誌 16, 171-178 (2009)
- 2) Sakai N and Imada S: Bilateral lesions of the insular cortex or the prefrontal cortex block the association between taste and odor in the rat. *Neurobiol Learn Mem* 80, 24-31 (2003)
- 3) Seo H-S, Iannilli E, Hummel C, Okazaki Y, Buschhuter D, Gerber J, Krammer GE, van Lengerich B and Hummel T: A salty-congruent odor enhances saltiness: Functional magnetic resonance imaging study. *Human Brain Mapping* 34, 62-76 (2013)
- 4) Sakai, N and Yamamoto T: Effects of excitotoxic brain lesions on taste-mediated odor learning in the rat. *Neurobiol Learn Mem* 75, 128-139 (2001)
- 5) Onuma T and Sakai N: Higher-order conditioning of taste-odor learning in rats: Evidence for the association between emotional aspects of gustatory information and olfactory information. *Physiol Behav* 164, 407-416 (2016)
- 6) Gewirtz JC and Davis M: Using Pavlovian higher-order conditioning paradigms to investigate the neural substrates of emotional learning and memory. *Learn Mem* 7, 257-266 (2000)
- 7) Onuma T, Maruyama H and Sakai N: Enhancement of saltiness perception by monosodium glutamate taste and soy sauce odor: A near-infrared spectroscopy study. *Chem Senses* 43, 151-167 (2018)
- 8) Clark CC and Lawless HT: Limiting response alternatives in time-intensity scaling: An examination of

坂井 信之

- the halo-dumping effect. *Chem Senses* 19, 583-594 (1994)
- 9) Abdi H: What can cognitive psychology and sensory evaluation learn from each other? *Food Qual Pref* 13, 445-451 (2002)
- 10) McBride RL, Anderson NH: Integration psychophysics in the chemical senses. In *Contributions to Information Integration Theory Volume I: Cognition* (Anderson NH ed), Psychology Press, East Sussex, pp. 295-319 (2014)
- 11) Kawai M, Uneyama H, and Miyano H: Taste-active components in foods, with concentration umami compounds. *J Health Sci* 55, 667-673 (2009)
- 12) Running CA and Hayes JE: Individual differences in multisensory flavor perception. In *Multisensory Flavor Perception. From Fundamental Neuroscience Through to the Marketplace* (Piqueras-Fiszman B and Spence C eds), Woodhead Publishing, Duxford, pp. 185-210 (2016)
- 13) Crouzet SM, Busch NA and Ohla K: Taste quality decoding parallels taste sensations. *Curr Biol* 25, 890-896 (2015)
- 14) Cerf-Ducastel B, Haase L, and Murphy C: Effect of magnitude estimation of pleasantness and intensity on fMRI activation to taste. *Chem Percept* 5, 100-109 (2012)
- 15) 坂井信之・藤本まなみ・村田恵：うま味と相乗効果を示す香料の選定. *味と匂誌* 18, 375-378 (2011)
- 16) 山本浩輔・丸山弘明・坂井信之：食物の味に色が与える影響について. *日本色彩学会誌* 43, 103-106 (2019)
- 17) Spence C: Sound: The forgotten flavor sense. In *Multisensory Flavor Perception. From Fundamental Neuroscience Through to the Marketplace* (Piqueras-Fiszman B and Spence C eds), Woodhead Publishing, Duxford, pp. 81-105 (2016)
- 18) 坂井信之・ペンナンワクル ユワディー・大沼卓也：ブランド認知が美味しさ評定に及ぼす効果. *睡眠と科学* 30-31, 34-40 (2018)

<著者紹介>

坂井 信之 (さかい のぶゆき)

- 1998年 大阪大学大学院人間科学研究科修了、博士 (人間科学)
- 1998年 日本学術振興会特別研究員
- 2001年 科学技術振興事業団科学技術特別研究員
- 2003年 神戸松蔭女子学院大学
- 2011年 東北大学大学院文学研究科准教授
- 2017年 同教授
- 2018年 東北大学電気通信研究所多感覚情報統合認知システム分野教授 (兼務)
- 2019年 東北大学ヨッタインフォマティクス研究センター副センター長 (兼務)

