

総説特集 うま味研究会 公開シンポジウム

「食べ物のおいしさにおけるうま味の役割-多感覚の相互作用」-3

塩味・うま味増強香気成分による減塩食の嗜好性改善

下田 満哉

(九州大学・大学院農学研究院・食料化学工学講座)

生活習慣病予防の観点から、食塩摂取量の低減が推奨されて久しい。減塩食の嗜好性改善に寄与し得る方法としての味覚と嗅覚の連携応答について解説する。まず、我々の味覚応答に嗅覚的要素が入り込んでいる可能性に関して考える。次に、味覚と嗅覚の間に連携応答が存在する場合、どのような状況において惹起されるのか。また、それは感覚受容レベルで生じるのか、中枢神経系で惹起されるのであろうか。最後に、醤油香に寄与する4成分からなる香料組成物を利用する減塩「だし」の嗜好性向上について述べる。

キーワード：減塩食、嗜好性、味覚、嗅覚、醤油フレーバー

世界保健機関（WHO）は生活習慣病の予防の観点から、一日当たりの食塩摂取量として2007年現在で5g未満を推奨している。一方、我が国の食塩摂取量は健康志向の高まりとともに年々減少傾向にあるものの、未だ平均10.6g/day（成人男性11.4g、成人女性9.8g）の食塩を摂取しているのが現状である（2010年）。我が国の食生活を考えると、WHOの摂取基準を直ちに国内に適用すると混乱を招く恐れがあることから、現状においては男性9.0g/day、女性7.5g/day未満を厚生労働省は推奨している。

加工食品や外食産業で食塩使用量を減らし難いのは、1) 塩味の付与、2) うま味発現、3) 静菌作用、4) 浸透圧調整作用、などが主な原因と考えられる。著者らは、醤油の呈する香りが減塩食の嗜好性を改善することを見出し、食品科学的見地から研究を展開してきた。従来、食科学においては味覚（呈味成分）と嗅覚（香気成分）は明確に区別して取り扱われてきたが、近年、食事においては両感覚が統合され“食の嗜好性に係わる化学感覚”として機能し

ているという実験結果が報告されつつある。これまでも食品開発の決め手として機能してきた食品香料の重要性に疑問の余地はないが、これに新たな視点を加えたいというのが本稿の目的である。

呈味成分に匂いはあるか？

(Do Tastants Have a Smell?)

不揮発性の呈味物質は無臭であり、味覚のみで感知されるという考えに疑いの余地は無いが、これに疑問を抱かせる実験が行われた¹⁾。実験の概要は次の通りである。

被験者として、高齢者パネル（19名；白人）（男性群10名、平均年齢69.0歳；女性群9名、平均年齢64.8歳）と若年者パネル（20名；白人）（男性群10名、平均年齢23.5歳；女性群10名、平均年齢21.3歳）を使用した。

官能評価の試料は、塩味、甘味、酸味、苦味、うま味の5基本味の水溶液であった。塩味物質として塩化ナトリウムと塩化カリウム、甘味物質としてス

Application of the linking response of taste and odor to salt-reduced food

Mitsuya Shimoda : Laboratories of Food Science and Technology, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Science, Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581, Japan ; E-mail : mshimoda@agr.kyushu-u.ac.jp ; TEL : + 81-92-642-3015 ; Fax : + 81-92-642-3015

下田 満哉

クローズとアスパルテーム、酸味物質として酢酸とクエン酸、苦味物質としてカフェインとキニン塩酸塩、うま味物質としてグルタミン酸ナトリウムとイノシン酸ナトリウムを、それぞれ三段階の濃度で調製したものを使用した。すなわち、基本味毎に2種類の呈味物質が使用され、さらに官能評価結果から呈味物質の濃度の影響を消去するために三段階の濃度で官能評価が行われた。

パネルは、高齢者パネル（60～83歳）および若年者パネル（18～30歳）に2分割し、それぞれを男女各5名となるように、グループ分けして4つのグループで官能評価を行った。その4つのグループは、鼻詰を付けずに味覚評価するグループ(nose-clip off)と鼻詰を付けて味覚評価するグループ(nose-clip on)に分けられた。すなわち、nose-clip offでは味覚だけでなく、もし機能するのであれば嗅覚も働く状況を想定している。逆に、nose-clip onでは嗅覚を塞いで味覚のみで試料を評価することを想定している。

評価は試料を5秒間口に含んで行った。一つの呈味質に関してはサンプルを代える毎に水5mlで口をすすぎながら順次評価を行った。味覚強度は“非常に弱い”から“非常に強い”までの9段階で評価した。

味覚強度に及ぼす nose-clip 装着の影響を図1に示す。非常に興味を引くのは、無臭であるはずの呈味成分の味覚強度の評価において nose-clip 装着の影響が認められたことである。図の横軸は nose-clip off のときの味覚強度から nose-clip on のときの味覚強度を差し引いた値である。したがって、ゼロとは nose-clip off と nose-clip on で味覚強度が同等であったことを意味し、正の値は nose-clip on により味覚強度が低下したこと、すなわち鼻腔を介して自由に息をすることができる条件で味覚を強く感じたことを示す。負の値は nose-clip on により味覚強度が上昇したこと、すなわち鼻を塞ぐことにより味覚が鋭敏化したことを示す。図1の全体的印象は、若年者パネルに比べて高齢者パネルでは nose-clip on と off の差が小さいことであった。個々の呈味質について詳しく見ていくとさらに興味深い考察が可能であった。

酸味に関しては酢酸とクエン酸を使用している。酢酸では両パネルとも nose-clip on により味覚強度

が大幅に低下したが、クエン酸ではそのような傾向はまったく認められなかった。これは酢酸が揮発性を有し独特の刺激臭（酸臭）を呈することに起因すると考えられる。すなわち、酢酸は酸味と共に酸臭を呈することから若年者パネルも高齢者パネルも nose-clip の影響が顕著に表れたと考えられる。一方、クエン酸では nose-clip on により高齢者パネルの味覚強度は若干向上した（この理由は不明である）が、若年者パネルでは nose-clip on で味覚強度はわずかに低下した。

うま味成分としてグルタミン酸ナトリウムとイノシン酸ナトリウムが用いられた。イノシン酸ナトリウムにおいては高齢者パネルおよび若年者パネルともに nose-clip off で強く味を感じていることがわかる。一方、グルタミン酸ナトリウムでは高齢者パネルのみで同様の結果が認められたが、若年者パネルでは nose-clip の影響は認められなかった（この理由も不明である）。うま味物質のことを海外では Flavor enhancer（風味増強物質）と呼ぶが、うま味成

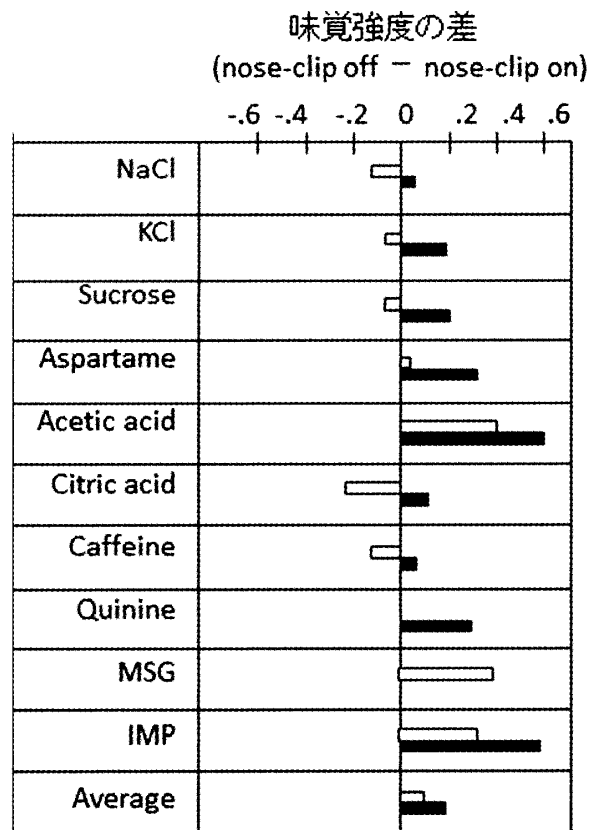


図1 味覚応答に及ぼす鼻詰装着の影響

変動を表すバーを省略した。

高齢者パネルを□、若年者パネルを■で表す。

塩味・うま味増強香気成分による減塩食の嗜好性改善

分の呈味強度に及ぼす嗅覚の影響が他の呈味質および呈味物質に比べて顕著に強かったのは非常に興味深い。

スクロースやアスパルテームの呈する甘味に関しては高齢者パネルでは nose-clip の影響は認められなかったが、若年者パネルでは nose-clip の影響が明瞭に認められた。塩味及び苦味に関しては、高齢者および若年者ともに nose-clip の影響はほとんど認められなかった。

以上の結果は、味覚応答に嗅覚が関与している可能性を示唆する。高齢者パネルは若年者パネルに比べてこの傾向は小さかったが、これは味覚に比べて嗅覚は加齢の影響が急速に現れることが判っている²⁾ので、それによって説明できるであろう。

以下は著者の考えである。酢酸以外の揮発性の呈味物質が嗅細胞を刺激することは、実際にはあり得ないので味覚細胞で生じた味覚応答が、神経伝達のどこかの段階で嗅覚神経の活性化を誘導するというのではないだろうか。Nose-clip off と on の結果はあたかも呈味物質が嗅細胞を刺激するような印象を私たちに抱かせるが、実のところは nose-clip off のときは味覚が嗅覚を誘導励起するのに対して、nose-clip on によってパネリストは嗅覚が閉ざされた意識することによって嗅覚の誘導励起が起らなかったからではないだろうか。これは坂井氏が言うところの学習性の共感覚³⁾ではないかと思う次第である。

味覚と嗅覚の連携応答が起こる条件

レトロネーザル香を私たちはどのように感じているのか。このことに関して、J. Lim と M. B. Johnson が行った研究⁴⁾を紹介する。彼らは、甘い香りの代表としてバニリンを、塩味を連想させる香りとして醤油フレーバーを用いて口腔内に呈味物質が存在するとき、被験者は香り（レトロネーザル香）をどの

ように感じるのかを調査した。

フタに空気導入口のあるストロー付の吸引ビンに 56 mM バニリン溶液、あるいは 0.000025% 醤油フレーバー溶液（醤油ではない点に注意）を入れ、ストローを口にくわえてヘッドスペースガスを吸引して、香りを口腔内に導入する方法を考案した。香りを吸引しながら、0.18 M スクロース溶液（甘味）、3.2 mM クエン酸溶液（酸味）、0.18 M 塩化ナトリウム溶液（塩味）、5.6 mM カフェイン溶液（苦味）、コントロールとして水をピペットで舌の上に 2 ml 滴下し、このとき香りをどこで感じているかをパネリストに質問した。

バニラの香りを感じた部位と口腔内呈味質の関係を表1に示す。すなわち、吸引したバニラの香りだけが口腔内に存在する（呈味物質が存在しない）ときは、22人中14人がバニラの香りを鼻で、6人が口腔内で、3人が舌で感じたことと答えた。オルソネーザルによると鼻で香りを感じるのに対して、口から香りを吸入すると香りを感じる部位を間違えた人が9名いたことになる。鼻で感じたことと答えたパネリストは確かに香りとして知覚しているが、口や舌で感じたことと答えたパネリストは味として感じたことになる。口腔内に呈味物質でなく水を添加した実験では、口腔内に空気だけが存在した（何も存在しなかった）時の知覚様式と同様の結果を示した。これに対してバニラの香りを吸引しながらスクロース、クエン酸、塩化ナトリウム、カフェイン溶液を舌に滴下したとき、その香りをどこで感じたかというスクロース溶液のときにのみ特異的な応答が認められた。すなわち、スクロース以外の呈味質が口腔内に存在してもバニラの香りの知覚部位は、空気あるいは水が口腔内に存在するときとほぼ同様であったのに対して、甘味物質であるスクロースが口腔内に存在するときは18人のパネリストがバニラの香りを舌で感じた。これは口腔内で感じる甘味（味覚）と

表1 バニラの香りと各種呈味質の連携応答

	空気	水	スクロース	クエン酸	食塩	カフェイン
鼻腔	14	13	9	12	13	12
口腔	6	6	5	6	7	7
舌	3	4	<u>18</u>	6	2	2

下田 満哉

バニリンの甘い香り（嗅覚）の感覚情報が脳内で融合（連携応答）した結果、バニラの香りを舌で感じていると錯覚したと考えられる。

図2はバニリンを用いたときと同様の口腔内条件において、醤油フレーバーを感じる部位を答えさせた結果である。特筆すべきは、塩化ナトリウム存在下で醤油フレーバーを舌で感じたと回答したパネリストが17人もいたことである。口で感じた9名、鼻で感じた8名を大きく上回っている。クエン酸溶液では醤油フレーバーの感知部位が鼻11人に対して舌9名、口5人であった。この結果は、塩味と酸味の味質が感覚的に近いことを意味しているのかもしれない。いずれにしても醤油フレーバーと塩味が脳内で融合し易く、食に関わる感覚情報として同じ向きのベクトルをもっていると考えられるのではないだろうか。

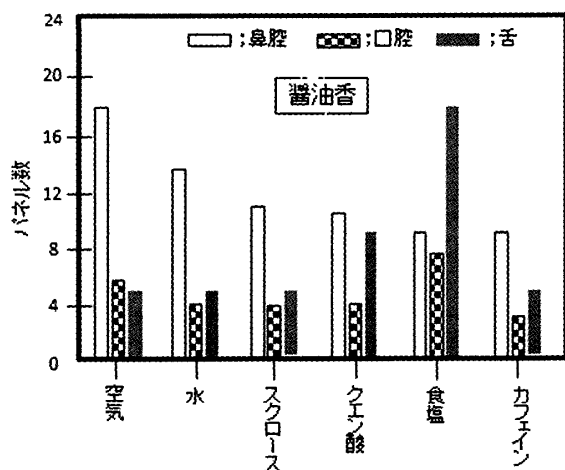


図2 レトロネーザル香感知様式に及ぼす味覚の影響

以上のように、Lim と Johnson の研究により、特定の香りの質に対して私たちが抱いているイメージと類似した呈味質が口腔内に存在するときには、味覚と嗅覚の応答を区別し難いこと、すなわち両者が連携して感覚応答を発生し易いことを示唆している。味覚は嗅覚に比べて、より明瞭な意識下にあることから嗅覚情報を味覚情報と誤認識するのかもしれない。

味覚と嗅覚が連携応答するときの中樞神経は？

味覚と嗅覚の連携応答が特定の組合せにおいて、惹起されることが官能的に示された。そこで fMRI

(Functional Magnetic Resonance Imaging)法により、連携応答が起こっているときの中枢神経の活動状態を観測した研究⁵⁾を紹介する。

Computer-controlled air-dilution olfactometer を用いて嗅覚を刺激しながら、低濃度食塩水(0.16M)ならびに高濃度食塩水(0.64M)の味覚強度を、先ず官能評価法により求めた。Olfactometer から供給される空気は、コントロール区では無臭、試験区ではベーコン臭とイチゴ香であった。図3に示す通り、低濃度及び高濃度食塩水ともにその味覚強度はベーコン臭により有意に増強した。イチゴ香によっても僅かな増強効果は認められたが、ベーコン臭ほどの効果はなかった。図4はこのときパネルが感じる快・不快の程度を示している。サンプルの塩味はパネルに不快感を与えた可能性があるが、ベーコン臭によって不快感が強まったと考えた。

香りの付与による快・不快の認識は食品の着香においては非常に重要な問題であるが、本研究では味覚と嗅覚が連携応答状態にあるとしてそのときの脳内活動を fMRI により観測した。図5の横軸の OA は odorless air、CO はベーコン臭(congruent odor)、IO はイチゴ香(incongruent odor)を供給していること、L は供試液が低濃度食塩水、H は高濃度食塩水であることを示す。塩味を増強させたベーコン臭との congruent な組み合わせにおいて、fMRI は前頭弁蓋部の活性化が惹起されたことを示した。一方、incongruent なイチゴ香ではこの部位は活性化しなかった。この結果は味質と匂いの質が似ている、あ

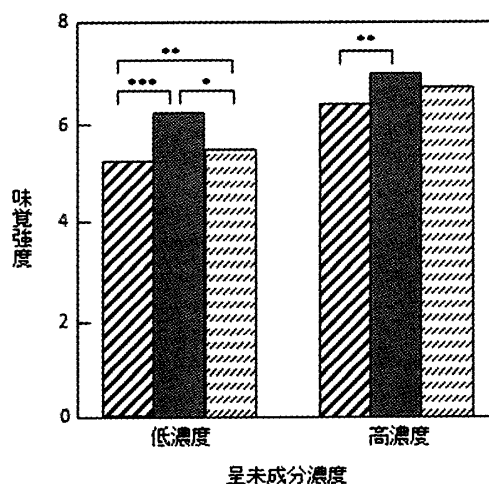


図3 味覚強度に及ぼす嗅覚の影響

斜線:無臭 黒:ベーコン臭 点線:ストロベリー臭

塩味・うま味増強香気成分による減塩食の嗜好性改善

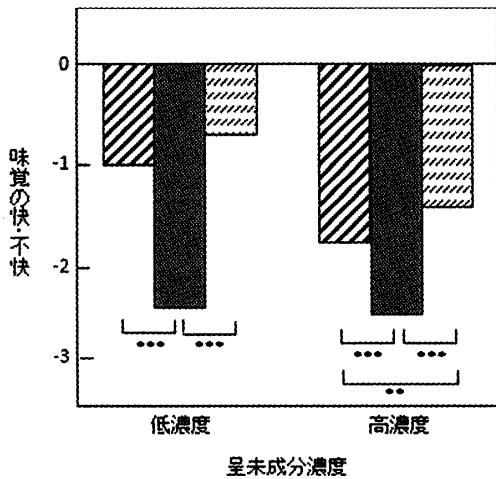


図4 味の快・不快に及ぼす嗅覚の影響

▨:無臭 ■:ベーコン臭 ▤:ストロベリー臭

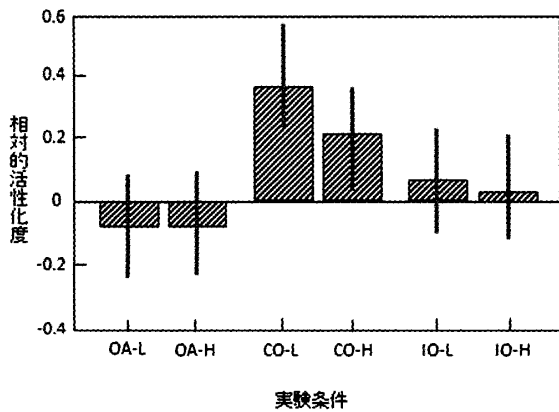


図5 味覚と嗅覚の連携応答 (fMRI 信号レベル)
OA;Odorless air,CO;Congruent odor,IO;Incongruent odor
L;Low concentration of Nacl,H;High cocentration of Nacl

るいは調和している(Taste-odor congruent)とき脳内の特定の部位(前頭弁蓋部)が活性化すること、味質と匂質が異なる場合にはこのような活性化は起こらないことを示している。これは味覚と嗅覚の連携応答は中枢神経系で生じることを示す重要な証拠と考えられる。この分野の更なる発展が待たれるところである。

醤油の香りは塩味と旨味を増強する

上述したように、味覚と嗅覚の間には連携応答が存在することが示された。連携応答の強さは味覚と嗅覚の質的調和(congruency)の程度によって影響を受けることが予想された。

著者は、醤油の香りの中に塩味を連想させる香りが含まれていると感じ、長年に渡ってその特徴香成分を探索してきた⁶⁾。この度、300にもものぼる醤油香気成分中の僅か4成分、すなわち、酢酸、4-ヒドロキシ-2(or5)-エチル-5(or2)-メチル-3(2H)-フラノン(HEMF)、イソアミルアルコール、メチオナル(構造式を図6に示す)から成る香気組成物が本醸造醤油と同様の濃度比で存在するときに、典型的な醤油の香り(うま味と塩味をイメージさせる)を再現することを認めた。この香気組成物は醤油の特徴的な香りを再現しただけでなく、これを「だし」に添加することにより、香りの変化に気付かれることなくうま味と塩味が増強することを明らかにした。このことに関しては2013年および2014年の日本食品科学工学会にて発表した^{7,8)}。

研究の概要は以下の通りである。

官能評価サンプル:0.3%うま味調味料溶液(グルタミン酸ナトリウム97.5%、5'-リボヌクレオチド2.5%)の食塩濃度を0.45%から0.7%まで0.05%刻みで6サンプル調製した。吸い物においては食塩濃度0.6%以下では味が薄く、水っぽく感じる。すなわち、うま味を十分に発現させることができない。

二系列のサンプルのうち一方には4成分香気組成物を添加し、他方は香気組成物を添加しなかった。香気組成物の添加濃度は調理における醤油の使用量を想定して、醤油中の1/30とした。

21名のパネルを使用して、全くおいしくない(0)から非常においしい(8)までの9段階で評価を行った。この官能評価では一連の香料無添加サンプルの評価を行った後、2日間のインターバルをおいて香料添加試料の評価を行った。この方法によると、香

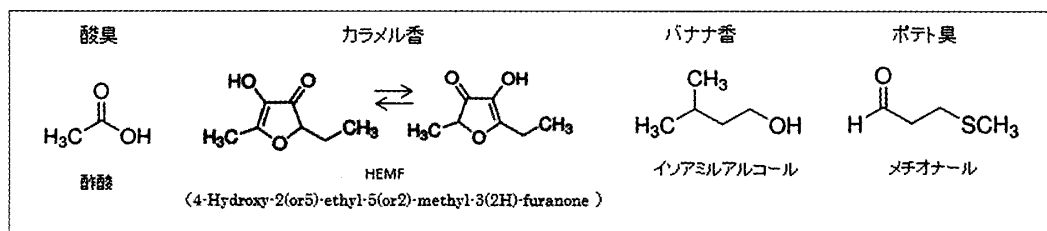


図6 醤油モデル香料に必須の香気成分

下田 満哉

料無添加のときの評価が記憶に残っていないので、香料添加効果を絶対尺度で評価することができると考えた。すなわち、パネリストが長年の食習慣によって獲得した塩味とうま味に関する絶対的尺度による評価と考えることができる。図7は「だし」のおいしさに及ぼす食塩濃度の影響と香料添加効果を示している（簡単のため標準偏差バーは省略）。図から明らかなように、食塩濃度 0.6% 以下では香料添加によるうま味改善効果が明瞭に現れた。一方、食塩濃度 0.65% 以上のサンプルではその効果は認められなかった。データは割愛するが、香料添加量を増やすことによって高濃度食塩の「だし」においても塩味及びうま味増強効果を確認することができた。

「だし」が鰹節や昆布だしの風味をもっているときの香料添加効果は確認すべき重要点である。かつお風味の「だし」を使用して同様の実験を行ったところ、減塩「だし」のうま味を図7と同程度向上させることも確認することができた。

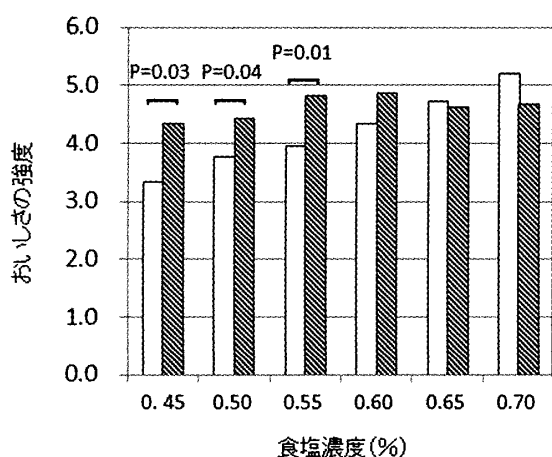


図7 うま味調味料溶液のおいしさの強度

□ ; 香料無添加
 ▨ ; 香料添加

< 著者紹介 >

下田 満哉

1976年3月 九州大学農学部卒業
 1981年3月 九州大学大学院農学研究科博士課程修了（農学博士）
 1982年3月 九州大学農学部助手採用
 1990年10月 九州大学農学部助教授
 2004年4月 九州大学大学院教授



先進国では、生活習慣病の予防を目的として相当に厳しい減塩対策が講じられつつある。我が国の代表的調味料である醤油の香りが食品の塩味とうま味を増強し得ること、すなわち、おいしさを犠牲にすることなく、食塩使用量を減らすための手段として注目されつつある。もし、醤油中の多量の食塩（約17%）と醤油の塩味増強香気を切り離して利用することができたら、食品香料として利用価値は大であると考えられる。

参考文献

- 1) Horning D E and Enns M P : The independence and integration of olfaction and taste. *Chemical Senses* 9, 97-106 (1984)
- 2) Mojet J, Koster E P and Prinz J F : Do tastants Have a Smell? *Chemical Senses* 30, 9-21(2005)
- 3) 坂井信之 : 香りと味の相互作用と融合 香料 263, 43~50 (2014)
- 4) Juyun L and Maxwell B J : Potential Mechanisms of Retronasal Odor Referral to the Mouth. *Chemical Senses* 36 283-289 (2011).
- 5) Han-Seok S, Emilia I, Cornelia H, Yoshiro O, Dorothee B, Johannes G, Gerhard E K, Bernhard L and Thomas H : A salty-congruent odor enhances saltiness: Functional magnetic resonance imaging study. *Human Brain Mapping* 34 62-76 (2013)
- 6) 下田満哉、醤油の香りは塩味を増強するか？ 日本味と匂学会誌、14巻、1号、3-8 (2007).
- 7) 日本食品科学工学会第60回大会要旨集 117頁。
- 8) 日本食品科学工学会第61回大会要旨集 141頁。