シリーズ—研究小集会（第44回）大豆部会

解 説

大豆加工食品の香気成分とその特性 —魅力的な食品開発のための香り成分研究—

熊 沢 賢 二

小川香料株式会社

Aroma Components of Processed Soybean Foods and Their Characteristics — Study on Attractive Food Flavors —

Kenji Kumazawa

Ogawa & Company, Ltd., 15-7 Chidori Urayasushi, Chiba 279-0032

The variety of processed food products in Japan is vast compared to the rest of the world; processed soybean foods are no exception. Miso, soy sauce, soy milk, and tofu are the main processed soybean product groups. For processed food products that provide a mellow and attractive flavor, the aroma is one of the most important factors controlling the value of the products, and it is a significant challenge to achieve a high quality aroma with good palatability. Therefore, to create attractive processed soybean food products, fundamental knowledge of the key aroma constituents (potent and off-flavor odorants) in processed soybean foods and their chemical and sensory behaviors is strongly needed. In this article, I will introduce part of our research focusing on the potent odorants and their characteristics in miso as well as the topic of enhancing the effect of saltiness due to aroma.

(Accepted Jan. 28, 2019)

Keywords : processed soybean foods, flavor, odorant, AEDA, salt reduction

キーワード : 大豆加工食品, フレーバー, 香気成分, AEDA, 減塩

1. はじめに

日本における加工食品のパラエティーは世界でもまれに見る豊富さであり、大豆加工食品も例外ではない。味噌や醤油、あるいは豆乳や豆腐などの大豆加工食品にとって、香りは製品の価値を左右する重要な要素のひとつであり、嗜好性に優れた香気を賦与し、作りたての新鮮な香気を保持することは、製品の品質向上のための重要な課題である。しかし、大豆加工食品の香りの鍵となる香気寄与成分や香気劣化に関与する成分、さらに、それらの化学的、あるいは感覚的な特性には不明な点が多く、効果的に品質向上するための知見は十分とは言えない。ここでは、味噌の香気寄与成分と加工における香気変化に関与する成分の解明や、香気による塩味増強効果の話題を中心に、我々の研究の一端を紹介する。

2. 香気に寄与する成分の探索法

本研究では、極微量なために解明が困難な大豆加工食品

の香気寄与成分の探索に Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA)¹⁾ を適用した。AEDA は Gas Chromatography (GC) のカラムから溶出される成分を人間の鼻を使って検出する Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) の一方法であり、段階的に溶剤で希釈した香気濃縮物を GC-O により繰り返し測定することで、各成分の検出限界を希釈倍率 (Flavor Dilution factor : FD-factor) として得るものである。この手法は、GC による機器分析と官能評価を組み合わせた方法であり、食品の香気に対する各成分の寄与度を、それらの化学構造、濃度、閾値を知ることなく容易に判定することが可能である。さらに、GC では検出できないような極微量の成分や未知の成分であっても香気への寄与度を測定できるため、AEDA は重要な香気成分を網羅できる利点がある。また、同一の条件で調製した香気濃縮物（例えば、サンプル量、前処理方法、濃縮率などを統一して調製したもの）であれば、それぞれのサンプルに含まれる香気成分の寄与度を互いに比較することも可能であり、AEDA は食品の特徴成分を解明するための極めて有

効な方法論である。

3. 生味噌の香気成分と加熱による香気変化²⁾

日本の食卓に欠かせない味噌は、日本の食文化を代表する発酵食品のひとつであり、日本では主に味噌汁として大量に消費されている。味噌は栄養価に優れているだけでなく、近年、様々な機能性が見いだされ、人々の健康維持に役立つ食品としての観点からも注目されている³⁾。

味噌は醤油と同様に、大豆と穀物を原料とし、高濃度の塩分存在下において様々な微生物が関与する発酵工程を経て製造される。この発酵過程では、酵母や乳酸菌などの微生物が生育し、大豆や味噌麹に含まれる炭水化物や蛋白質は、その作用により低分子化されるとともに、それら相互の反応も加わり、味噌特有の複雑で豊かな香味が形成される。また、伝統的な味噌の製法には殺菌工程がなく、その製法による製品はいわゆる生味噌と言われている。一般に、生味噌は豊かな香味を有しているものの、その香味は極めて繊細なため、容易に変化することが知られている。

この様な味噌にとって、香気は製品の価値を左右する重要な品質因子のひとつであり、嗜好性に優れた香気を製品に賦与することは、品質向上のための重要な課題である。そのため、味噌香気の解明を目指した多くの報告例がある。味噌の香気を構成する成分は、既に、200 を超える種類⁴⁾が報告されており、その香気は多様な成分から形成されている。中でも、酵母の関与で生じる 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2H)-furanone (HEMF) は味噌の特徴成分^{5)~7)}であり、methionol, 4-ethylguaiacol を合わせたこの 3 成分のバランスが、様々な味噌香気の特徴を説明する上で重要であると言われている⁷⁾。しかし、GC-O により、味噌の香気に寄与する成分を詳細に探索した例⁸⁾⁹⁾は極めて少なく、依然として、味噌の香気寄与成分には、不明な点が多く残されている。

一方、工業的に製造された市販の味噌製品は、一般に容器やフィルムで包装されていることが多い。そのため、酵母から生じる炭酸ガスによる製品の膨張を防ぐために、アルコール添加や加熱殺菌されることも多い。一般に、味噌の加熱殺菌は比較的、穏やかな加熱条件¹⁰⁾ではあるが、繊細と言われている味噌香気への影響が懸念される。しかし、製造工程での加熱が味噌の香気に与える影響は、全く明らかにされていない。

ここでは、米味噌を実験試料として、まず生味噌の香気寄与成分を GC-O の一手法である AEDA にて探索した結果を紹介する。さらに、味噌の加熱工程における香気変化に関与する成分を、生味噌と加熱した味噌の比較により明らかにした点を紹介する。

(1) 生味噌の香気寄与成分

実験試料として、アルコール添加されていない 2 種類の市販生味噌を用いた。これらは、淡色系（中甘口）と赤色

系（中辛口）の米味噌であり、いずれも長野県産である。生味噌の香気濃縮物は、20% 懸濁液を遠心分離して得た上清から、固相抽出法（カラム濃縮法）と Solvent Assisted Flavor Evaporation (SAFE)¹¹⁾ を組み合わせた方法で調製した。過度の加熱操作をとまなわないこの方法で調製した香気濃縮物は、生味噌の特徴的な香気を良く保持しており、GC-O による香気寄与成分の探索にとって、最も好ましい分析サンプルである。

淡色系、赤色系の生味噌の香気濃縮物に AEDA を適用した結果、FD-factor 4 以上の 39 ピークを検出し、生味噌の香りが多くの香気寄与成分から成ることを確認した (Table 1)。約 500 g の生味噌から調製した香気濃縮物を、シリカゲルカラムクロマトグラフィーや溶媒分画などの方法で精製した後に、GC-O と GC-MS で成分探索を試みたところ、これらの中の 32 成分を同定することができた。同定した成分の中で、半数に相当する 16 成分が、今回、味噌から初めて見出した成分であったことから、生味噌には未だ解明されていなかった重要な成分が数多く残されていたことがわかった。

さらに、生味噌の香気にとって、特に重要と考えられる FD-factor 64 以上の 10 成分に着目したところ、味噌の特徴成分として知られている HEMF は、いずれの味噌でも最も高い FD-factor を示し、この成分が味噌の香気にとって重要な成分であるという、従来の知見を支持する結果となった。しかし、このように寄与度の高い成分に限定しても、3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone をはじめ、新たに見出した成分が半数に達した。これらの香気成分は、いずれも極めて閾値が低く、含有量が少ない化合物であり、従来の分析方法では探索が難しかった成分と考えられる。

これらの結果は、従来から知られている HEMF などの主要な香気成分に加えて、生味噌の香気には、極めて閾値の低い微量な香気成分も深く関与していることを示している。

(2) 加熱による生味噌の香気変化

加熱による生味噌の香気変化を確認するために、生味噌と加熱した生味噌（80℃、10 分間）について、10% 懸濁液の香りを官能評価で比較したところ、生味噌の香気は、加熱により醤油様の塩辛い香りが強まり、拡散性のある香りやフルーティーな香りが顕著に弱まった (Fig. 1)。この香気変化は、実験に用いた 2 種類の味噌に共通して観測されたことから、加熱による生味噌の普遍的な香気変化と推察される。

このような加熱による生味噌の香気変化に関与する成分を、加熱前後の生味噌の香気に AEDA を適用して探索したところ、加熱により FD-factor が変化した成分を特定することができた (Table 2)。FD-factor が変化した成分は僅かであり、この結果は、加熱による生味噌の香気変化が、比較的、少数の成分変化に起因する可能性を示している。

Table 1 Potent odorants showing FD-factors (FD $\geq$ 1) in the raw miso (light-colored and red)

No.	RI ^a	Compound ^b	Odor quality ^e	log ₄ (FD-factor)	
				Light-colored	Red
1	975	ethyl isobutyrate ^d	fruity	2	2
2	1040	ethyl butyrate	fruity	2	1
3	1050	ethyl 2-methylbutyrate ^d	fruity	2	1
4	1194		yogurt-like	1	1
5	1301	1-octen-3-one ^d	mushroom-like	3	4
6	1375	(Z)-1,5-octadien-3-one ^d	metallic	3	4
7	1439	acetic acid	sour	1	1
8	1453	methional	potato-like	2	3
9	1463		sulfurous, putrid	1	1
10	1537	(E)-2-nonenal	green, sweet	1	1
11	1593	(E,Z)-2,6-nonadienal ^{cd}	green, cucumber-like	1	1
12	1598	2,5-dimethyl-4-methoxy-3(2H)-furanone ^{cd}	sweet, caramel-like	2	2
13	1646	phenylacetaldehyde	sweet, honey-like	2	2
14	1674	3-methylbutanoic acid	sweaty, rancid	3	3
15	1703	(E,E)-2,4-nonadienal	fatty	2	1
16	1722	3-methyl-2,4-nonanedione ^{cd}	green	1	<1
17	1781		putrid	1	1
18	1815	(E,E)-2,4-decadienal ^c	fatty	1	2
19	1825	β -damascenone ^d	sweet, honey-like	1	<1
20	1864	2-methoxyphenol	burnt	4	2
21	1894	3-ethyl-1,2-cyclopentanedione ^d	sweet, sugar-like	1	1
22	1968	maltol	sweet	5	5
23	1989	cis-4,5-epoxy-(E)-2-decenal ^d	sweet, juicy, metallic	1	1
24	2004	trans-4,5-epoxy-(E)-2-decenal ^d	sweet, juicy, metallic	3	4
25	2026	4-ethyl-2-methoxyphenol ^c	spicy	2	1
26	2030	4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone	sweet	5	6
27	2036	4-nonanolide	sweet	2	2
28	2065	4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2H)-furanone	sweet, sugar-like	8	7
29	2171	eugenol ^d	spicy	2	1
30	2185		spicy	1	1
31	2198	2-methoxy-4-vinylphenol	spicy	2	<1
32	2204	3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone ^d	caramel-like	6	6
33	2227	o-aminoacetophenone ^{cd}	grape-like	1	<1
34	2256		phenolic	1	1
35	2265		burnt, spicy	1	1
36	2534		burnt, powdery	<1	1
37	2544	phenylacetic acid ^d	sweet, honey-like	3	3
38	2555	vanillin	sweet, vanilla-like	1	1
39	2613	3-phenylpropionic acid ^d	leather-like	1	1

^a Retention index on DB-Wax column (30 m $\times$ 0.25 mm i.d.; coated with a 0.25 μ m film) observed for GC-O.

^b The compound was identified by comparing with the reference substance on the basis of the following criteria: retention index (RI) on stationary phases given in DB-Wax, mass spectra, and odor quality.

^c The MS signals were too weak for unequivocal interpretation. The compound was tentatively identified by comparing with the reference substance on the basis of the following criteria: retention index (RI) on stationary phases given in DB-Wax and odor quality.

^d Newly identified compounds in miso.

^e Odor quality assigned during AEDA.

これらの中で、加熱により増加する成分は methional のみであった。しかし、この成分の香調はジャガイモ様であるため、加熱により強まる塩辛い香りをこの成分単独で説明することは難しい。したがって、この成分は、例えば他の

成分（香気成分、または不揮発性成分）との複合作用により、塩辛い香りの形成に対して、何らかの影響を与えている可能性がある。一方、1-octen-3-one, (Z)-1,5-octadien-3-one, trans-4,5-epoxy-(E)-2-decenal は、加熱により顕著に

Fig. 1 Flavor change in the raw miso products during heat processing (80 °C, 10 min)

For the control (raw miso suspension), all of the category scales were defined as 4. The non-heated miso suspensions (▲) and the corresponding heated miso suspensions (●), (left: light-colored rice miso; right: red rice miso).

Table 2 Potent odorants in the raw and heated miso (light-colored and red) that showed an FD-factor change

No.	RI ^a	Compound	Odor quality	log ₄ (FD-factor)			
				Light-colored		Red	
				Non	Heated	Non	Heated
5	1301	1-octen-3-one	mushroom-like	3	<1	4	<1
6	1375	(Z)-1,5-octadien-3-one	metallic	3	<1	4	1
8	1453	methional	potato-like	2	3	3	4
24	2004	<i>trans</i> -4,5-epoxy-(<i>E</i>)-2-decenal	sweet, juicy, metallic	3	<1	4	2

^a Retention index on DB-Wax column (30 m × 0.25 mm i.d.; coated with a 0.25 μm film).

減少した。したがって、これら成分は官能評価における拡散性やフルーティーな香調の低下に対応していると考えられる。

さらに、加熱による成分変化をより詳細に把握するために、赤味噌におけるこれら4成分の変化率(残存率)を測定した。その結果、1-octen-3-one, *trans*-4,5-epoxy-(*E*)-2-decenal((*Z*)-1,5-octadien-3-oneは極めて微量なため、定量できなかった)の残存率は極めて低く、この加熱条件ではほとんど残存しなかった(Table 3)。一方、味噌には、ビニルケトン類(1-octen-3-one, (*Z*)-1,5-octadien-3-one)に対応する類縁体として、ビニルアルコール類(1-octen-3-ol, (*Z*)-1,5-octadien-3-ol)が含まれていた。しかし、これらのアルコール類は、今回の加熱条件では全く減少しなかったことから、ケトンとアルコールの反応性の違いが、生味噌における熱安定性に大きく影響する可能性がある。加熱により減少する成分は、 α , β -不飽和ケトンを有する特徴がある。そのため、カルボニルやビニル基への求核(付加)

Table 3 Amount and residual ratio of decreased odorants in the red miso during heat processing

Compound	Amount ^a (mg/kg)		Residual ratio ^a (%)
	Non	Heated	
1-octen-3-one	1.7	0.008	0.5
(<i>Z</i>)-1,5-octadien-3-one	—	—	—
methional	2.2	8.2	377
<i>trans</i> -4,5-epoxy-(<i>E</i>)-2-decenal	0.075	0.0005	0.6

^a These amounts and residual ratio are triplicate results.

反応の起こりやすさが、熱安定性に影響する可能性が推察される。

味噌には様々な種類の求核化合物が含まれる。ここでは、より影響が大きいと考えられる味噌の主要な構成成分に着目した。味噌を構成する成分の主体は、水分と塩分を除くとタンパク質と糖質であり、これらの大部分は、発酵により、アミノ酸やグルコースといった低分子化合物に分

Fig. 2 Residual ratios of 1-octen-3-ol (□) and 1-octen-3-one (▨) after heating model solutions with dissolved amino acids (lysine and/or glutamic acid) or glucose

The residual ratio is the mean value of the triplicate results.

解されている¹²⁾。さらに、味噌は、遊離アミノ酸として、リジンやアルギニンといった塩基性アミノ酸、そして、グルタミン酸やアスパラギン酸といった酸性アミノ酸を多く含むという特徴がある¹²⁾。そこで、加熱により減少した成分の安定性に対する、味噌主要成分の影響を 1-octen-3-one と 1-octen-3-ol によるモデル実験で検討した (Fig. 2)。このモデル実験の結果から、80℃、10 分間の加熱条件では 1-octen-3-ol は安定だが、1-octen-3-one は水やグルコースでは減少しないものの、アミノ酸が含まれると減少することが明らかになった。さらに、この成分の安定性にはアミノ酸の種類も重要であり、酸性アミノ酸であるグルタミン酸に比べて、塩基性アミノ酸であるリジン存在下の残存率は、より低い結果となった。つまり、1-octen-3-one はアミノ酸が含まれる条件下では不安定であり、その安定性にアミノ酸のアミノ基が関与することを示している。したがって、遊離アミノ酸が高濃度で含まれ、塩基性アミノ酸含量も多い味噌は、1-octen-3-one がより失われやすい環境にあると考えられる。

モデル実験の結果から、味噌における 1-octen-3-one の低い熱安定性は、ビニルケトンという、求核 (付加) 反応が起りやすい分子構造が影響していることがわかった。さらに、比較的強い求核性を有するアミノ酸、中でも、より反応性の高い塩基性アミノ酸を多く含むという味噌の特徴が、80℃、10 分間という穏やかな加熱条件であっても、1-octen-3-one が極めて不安定な原因となりうることを推察した。この反応メカニズムは、同様に残存率が低かった (Z)-1,5-octadien-3-one や *trans*-4,5-epoxy-(E)-2-decenal と共通することから、味噌における香気変化の重要な要因のひとつであると思われる。

以上の結果から、生味噌香気の特徴をより詳細に明らか

にするためには、従来から知られている主要な香気成分だけでなく、新たに見出したような微量成分を極めて重要な要素として加える必要があることが明らかになった。さらに、製造工程や調理過程における香気変化を理解するには、味噌に含まれる反応性の高い主要な構成成分の影響を考慮する必要があることを推察した。

しかし、これらの結果は、多くの種類が存在する味噌製品の中の極めて限られた製品の結果である。したがって、工業的な味噌製品の更なる香味の向上には、これら香気成分の重要性やその変化のメカニズムをより詳細に解明する必要がある、いろいろな種類 (原料、製法、異なる熟成度など) の味噌についての詳細な研究が望まれる。

4. 塩辛い香気を呈する成分とその塩味増強効果¹³⁾

食品のおいしさにとって、塩味は非常に重要な要素であり、食塩による塩味の調整は食品の嗜好性に大きな影響を与える。食塩の構成要素であるナトリウムは、体内環境の恒常性を保つ上で、極めて重要な栄養素のひとつであり、私たちは、これを食品から補給しなければならない。そのため、人は食塩に対する強い要求性を持つといわれている。しかし、日本人の多くはかなり過剰な食塩を摂取しており、生活習慣病を予防する観点から、食品の減塩が大きな課題となっている。食品の減塩へのアプローチとして、既に、幾つかの方法が実用化されている。しかし、効果や嗜好性の面でこれらの方法のみでは、必ずしも十分とはいえないのが現状である。

この様な状況の中、香気による減塩という新たなアプローチが注目されている。香気による呈味の増強、あるいは抑制は多くの研究例¹⁴⁾があり、塩味の増強についても若干の報告^{15)~19)}がある。これらの報告によると、食品の塩辛い香りは塩味を増強する可能性を示しており、香気による食品の減塩化を期待させる研究成果である。しかし、いずれも複雑な組成の食品香気による検討であり、果たして、塩辛い香気を呈する成分があるのか、そして、そのような塩辛い香気成分が塩味を増強するのかという点は不明である。先の生味噌香気の研究から、私たちは加熱した味噌は塩辛い香気が強まる現象を認め、その香気に methional が関わることを推察した。そこで、味噌を実験材料として、塩辛い香気を呈する成分の解明を試み、さらに、そこで見出した香気成分について塩味の増強効果を検討した。

2 種類の味噌について、生味噌と加熱した生味噌 (80℃、10 分間) の 10% 懸濁液の香りを官能評価で比較したところ、生味噌の香気は加熱により様々な変化を生じ、中でも、醤油様の塩辛い香りが顕著に強まることがわかった。このような加熱による生味噌の香気変化を指標に、塩辛い香気に寄与する成分を AEDA、あるいは GC-MS を用いて探索を進めた。2 種類の生味噌は、ともに、加熱後に塩辛い香気が強まっており、両者に共通する塩辛い香調の成分が見

Fig. 3 Results of salty equivalent concentration test for salty taste intensity of the salty odorant added aqueous salt solutions

The odorant was added to the aqueous salt solutions in the following concentrations; methional (M): 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2*H*)-furanone (HEMF): 3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5*H*)-furanone (HDMF)=1 ppm: 0.5 ppm: 0.5 ppm. Significant difference from the control: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

出せるであろうと予想していた。しかし、AEDAの結果では、どちらの味噌も塩辛い香調を示す成分は認められず、加熱により強まった塩辛い香気は、単独の成分では説明することができない可能性が示唆された。そこで、これらの生味噌における結果を、より詳細に検討したところ、どちらの味噌も 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2*H*)-furanone (HEMF) や 3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5*H*)-furanone (HDMF) といった furanone 類の寄与度が極めて高いという特徴があり、さらに、両方の味噌に共通で加熱により増加する香気寄与成分は methional のみであることを見出した。

これらの結果を考え合わせると、グリーンでポテト様の香調である methional と ケーキ様や黒糖様の甘い香調である furanone 類が、加熱した味噌で認められた塩辛い香気に関与しており、例えば、両成分を混合すると、各々の単独の成分では認められない塩辛い香気が、新たに形成する可能性を推測した。そこで、この点を確認するために、methional と furanone 類の混合物の香調を検討した。様々な混合比率で塩辛い香りの強弱を比較した結果、2成分の混合系、3成分の混合系のいずれの場合も、かなり広い範囲の混合比率で塩辛い香調が感じられ、特定の比率、すなわち、methional に対する furanone 類の比率が 1:1 に近づくと、塩辛い香気により強まる傾向が認められた。ここまでの検討により、味噌で認められた塩辛い香気は、特定の香気成分が混合することで形成する新たな香調であり、その香調には methional と furanone 類が関与することを明らかにした。

そこで、この塩辛い香気の塩味増強効果を官能評価で検討した。食塩水と塩辛い香りを添加した食塩水の塩味強度を比較したところ、食塩水の濃度が 0.3%、あるいは 0.8%

のいずれの場合であっても、塩辛い香りを添加したサンプルの方が、有意 ($p < 0.001$) に塩味を強く感じる事が明らかとなった。さらに、これらの香気成分の塩味増強効果の程度を調べるために、食塩水に対する等価濃度を調べた。評価は 6 段階の濃度の食塩水を基準として提示し、評価サンプルの塩味が同等の強さだと感じる番号を選択させた。その結果、いずれの食塩濃度 (0.3%, 0.8%) であっても、塩辛い香りは 1 割から 2 割程度、食塩水の塩味を強く感じさせる効果を示した (Fig. 3)。さらに、この結果を詳細に比較すると、塩辛い香りの効果は furanone の種類により若干異なり、HEMF よりも HDMF の方が、やや塩味を強める傾向があり、両者を併用すると最も増強効果が高まる結果となった。

Methional と furanone 類は混合すると確かに塩辛い香気を呈し、塩味を増強する効果を示した。しかし、香気成分であるヘキサナールがマウスの MSG に対する味覚受容性を増強することが報告²⁰⁾されており、今回、認められた塩味増強効果の発現機構も疑問の残るところである。そこで、ノーズクリップを着用し香りの影響を除いた場合と、ノーズクリップを着用しない通常状態の場合について、7 段階尺度法にて塩味増強効果を確認した。その結果、通常状態の評価では明確な増強効果が確認できるものの、ノーズクリップを着用すると全く塩味の増強効果は認められなかった (Fig. 4)。従って、今回、観測された塩味の増強効果は、塩辛い香気としての刺激が食塩による塩味の刺激と複合することで発現する、すなわち、香りによる塩味増強効果¹⁴⁾である可能性が推察される。

ここまでの結果から、methional と furanone 類を混合して添加すると塩味の感覚強度が高まることから、これらの香気成分の利用は食品の減塩化に有効な手段となりうると

Fig. 4 Saltiness enhanced effect during the removed olfactory sense condition with a nose clip

Saltiness intensity was scored on a 7-point scale (1: weak-7: strong) and blank sample was 0.8% aqueous salt solutions on a 4-point scale. The odorant was added to the 0.8% aqueous salt solutions in the following concentrations; methional (M): 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2H)-furanone (MEMF): 3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone (HDMF)=1 ppm: 0.5 ppm: 0.5 ppm.

Significant difference from the control: ** $p < 0.01$.

思われる。

5. 終わりに

これまでに私たちは、上述の味噌の研究成果を始めとして、豆乳や様々な種類の醤油の香気成分とそれらの化学的、あるいは感覚的な特性を明らかにしてきた^{21)~23)}。これらの知見を活用した魅力的な大豆加工食品の開発が期待される。

なお、本稿は以前に発表した内容²¹³⁾を再編集したものである。

文 献

- Schieberle, P. (1995). New developments in methods for analysis of volatile flavor compounds and their precursors, In "Characterization of food: emerging methods" ed. by Goankar, A., Elsevier: Amsterdam, pp. 403-431.
- Kumazawa, K., Kaneko, S., and Nishimura, O. (2013). Identification and characterization of volatile components causing the characteristic flavor in miso (Japanese fermented soybean paste) and heat-processed miso products. *J. Agric. Food Chem.*, **61**, 11968-11973.
- Watanabe, H. (2010). Biological efficacies of miso. *Journal of the Brewing Society of Japan*, **105**, 714-723 (渡邊敦光. お味噌の効能, 醸造協会誌).
- Homma, N. (1987). On the aroma and aroma components of miso (part 2). *Journal of the Brewing Society of Japan*, **82**, 548-553 (本間信夫. 味噌の香気と香気成分について (その2), 醸造協会誌).
- Sugawara, E. (1991). Identification of 4-Hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2H)-furanone as a flavor component in miso. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **38**, 491-493 (菅原悦子. みそ香気成分としての HEMF (4-Hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2H)-furanone) の単離, 日本食品工業学会誌).
- Ohata, M., Kohama, K., Morimitsu, Y., Kubota, K., and Sugawara, E. (2007). The formation mechanism by yeast of 4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl-3(2H)-furanone in miso. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **71**, 407-413.
- Sugawara, E. and Yonekura, Y. (1998). Comparison of aroma components in five types of miso. *Journal of the Japanese Society for food science and technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **45**, 323-329 (菅原悦子, 米倉裕一. 各種味噌の香気成分組成の比較, 日本食品科学工学会誌).
- Sugawara, E. and Hosaka, Y. (2009). Effect of heating on the aroma components of miso soup. *Journal of the Japan Society of Home Economics*, **60**, 453-459 (菅原悦子, 保坂由貴子. 加熱による味噌汁の香気成分の変化, 日本家政学会誌).
- Ohata, M., Tominaga, T., Dubourdieu, D., Kubota, K., and Sugawara, E. (2009). Quantification and odor contribution of 2-futanmetnanethiol in different types of fermented soybean paste miso. *J. Agric. Food Chem.*, **57**, 2481-2485.
- Takano, M. and Yokoyama, T. (1998). Seasoning, In "Sterilization of the food -Science and Technique-", Saiwaishobo, Tokyo, pp. 334-336 (高野光男, 横山理雄. 食品の殺菌—その科学と技術—, 幸書房, 東京).
- Engel, W., Bahr, W., and Schieberle, P. (1999). Solvent assisted flavour evaporation - a new and versatile technique for careful and direct isolation of aroma compounds from complex food matrices. *Eur. Food Res. Technol.*, **209**, 237-241.
- Azuma, K. (2002). The compound change during the miso aging, In "Fermentation and Brewing I", Korin, Tokyo, pp. 130-147 (東 和男. 発酵と醸造, 光琳).
- 熊沢賢二, 蜂須賀祥子, 金子 秀, 田崎佳恵, 白杵 学, 山口弘俊, 西村 修 (2011). 塩辛い香気を呈する成分とその塩味増強効果. 仙台, 日本食品科学工学会第 58 回大会講演要旨集, p. 88.
- Prescott, J., Johnstone, V., and Francis, J. (2004). Odor-taste interactions: Effects of attentional strategies during exposure. *Chem. Senses*, **29**, 331-340.
- Shimoda, M. (2007). Does shoyu odor strengthen salty flavor?. *Japanese Journal of Taste and Smell Research*, **14**, 3-8 (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).

-
- 16) Lawrence, G., Salles, C., Septier, C., Busch, J., and Thomas-Danguin, T. (2009). Odour-taste interactions: A way to enhance saltiness in low-salt content solutions. *Food Quality and Preference*, **20**, 241–248.
- 17) Kremer, S., Mojet, J., and Shimojo, R. (2009). Salt reduction in foods using naturally brewed soy sauce. *Journal of Food Science*, **74**, S255–S262.
- 18) Lim, J. and Johnson, M.B. (2010). Potential mechanisms of retronasal odor referral to the mouth. *Chem. Senses*, **36**, 283–289.
- 19) Batenburg, M. and Van der Velden, R. (2011). Saltiness enhancement by savory aroma compounds. *Journal of Food Science*, **76**, S280–S288.
- 20) Yamaguchi, S., Fujiwara, H., Tashima, I., Iwanaga, D., and Ushio, H. (2010). Effect of oxidized arachidonic acid and hexanal on the mouse taste perception of bitterness and umami. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**, 1884–1890.
- 21) Kaneko, S., Kumazawa, K., and Nishimura, O. (2011). Studies on the key aroma compounds in soy milk made from three different soybean cultivars. *J. Agric. Food Chem.*, **59**, 12204–12209.
- 22) Kaneko, S., Kumazawa, K., and Nishimura, O. (2012). Comparison of key aroma compounds in five different types of Japanese soy sauces by aroma extract dilution analysis (AEDA). *J. Agric. Food Chem.*, **60**, 3831–3836.
- 23) Kaneko, S., Kumazawa, K., and Nishimura, O. (2013). Studies on the key aroma compounds in raw (unheated) and heated Japanese soy sauce. *J. Agric. Food Chem.*, **61**, 3396–3402.
- (平成 31 年 1 月 28 日受理)
-