

総説特集 素材のおいしさを科学する - 2

かつおだしのおいしさ解析と商品開発への応用
～香りの解析からのアプローチを中心に～*

川口 宏和**

(**味の素株式会社 食品カンパニー 調味料開発・工業化センター)

かつお節は、昆布とともにわが国を代表する重要な「だし」素材であるが、このように広く用いられている大きな理由として、くん臭、肉質臭などの独特の好ましい香り(風味)や、うま味、厚み、酸味(しまり)などの呈味があると思われる。かつお節に含まれる呈味成分についてはほぼ解明されているが、香氣成分については寄与成分やその生成機構など、まだ未解明な部分が多い。また、かつお節は一度、削ってしまうと急速に香りが劣化し、かつお節加工品における品質面での大きな課題となっている。そこで、かつお節の香りの生成機構や劣化機構を明らかにするとともに、これらの知見をかつお節を原料とする風味調味料、かつお節だし(エキス)関連製品などの様々な製品の品質向上に応用できないか考えてみた。

キーワード：かつおだし、かつお節の香り、焙乾、ピラジン類、脂質酸化

1. かつおだしの機能と成分

かつお節は、和風料理に欠かせないだし素材として古くから親しまれてきた食品であるが、このように広く用いられている大きな理由の一つとして、かつお節独特の好ましい香り・風味があると思われる。また、かつおだしにはかつお節のくん臭、肉質臭などの香りに加え、うま味、厚み、酸味(しまり)、などの呈味を有し、素材の味を引き出したり、塩カドや苦味を和らげ、食品の味を調和させたりして食品の嗜好を高める効果がある。

福家らはかつお節エキス中のアミノ酸、有機酸、核酸などの含有量を調べている¹⁾。表1にかつお節エキス中の各成分の含量を示した。この中でGlu、Lys、His、カルノシン、IMP(5'-イノシン酸ナトリウム)、イノシン、クレアチニン、乳酸、Na⁺、K⁺、Cl⁻が呈味有効成分であった。アミノ酸ではHisが圧倒的に多く、遊離アミノ酸の86%を占めている。Hisは一般にサバ科の魚類(カツオ、マグロ、サバ

など)に顕著に見出される成分であり、だしに酸味とうま味を与える。また、有機酸では乳酸が非常に多いのが特徴で、酸味に参与している。

魚節の種類によってもアミノ酸、核酸をはじめとする呈味成分量に違いがある。たとえば煮干などは、かつお節と比べてうま味成分であるIMP含量が多い(図1)。ただし、同じかつお節でもばらつきがみられる²⁾。

かつお節の香氣成分に関しては、これまで多くの研究がなされており、400化合物以上とも言われる多数の成分が同定されているが、一成分で、かつお節香氣を特徴的に表す成分は存在せず、多くの成分の微妙なバランスによりかつお節の芳香は形成されと考えられている³⁾。また、かつお節香の主要寄与成分の発現機構は完全には解明されていない。

そこで、人が嗅ぐ香りに近いバランスで香氣成分を捕集でき、低沸点成分の捕集にも適したヘッドスペース法(purge and trap法)を用い、かつお節の香

* Recieved May 17, 2005; Accepted June 13, 2005

Analysis of dried bonito stock and application to development of food product

**Hirokazu Kawaguchi: Seasoning Development & Technology Center, Food Products Company, Ajinomoto Co., Inc. 1-1, Suzuki-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi 210-8681, Japan; hirokazu_kawaguchi@ajinomoto.com, Fax +81-44-244-0577

表1 かつお節のエキス成分の組成。

Free amino acids (mg)	Other N -compounds (mg)	Carbohydrates (mg)
Gly 26	TMA 19	Glycerol 17
Ala 50	TMAO 5	Arabinose 1
Val 16	Creatine 540	Ribose 2
Leu 25	Creatinine 1150	Mannose 5
Ile 8		Glucose 6
Ser 12		
Thr 11	Organic acids (mg)	Nucleotides (mg)
Asp 2	Lactic acid 3415	AMP 52
Glu 23	Succinic acid 96	IMP 474
Lys 29	Acetic acid 52	Inosine 186
Arg 5	Formic acid 13	Hypoxanthine 12
Met 17	Propionic acid 3	
Phe 15		
Tyr 20	Inorganic ions (mg)	(mg/100g)
Trp 4	Na ⁺ 434	
His 1992	K ⁺ 688	
Pro 5	Ca ²⁺ 39	
Tau 32	Mg ²⁺ 124	
Orn 5	PO ₄ ³⁻ 545	
Cystine 26	Cl ⁻ 1600	
β-Ala 1		
MeHis 1		
Anserine 1250		
Carnosine 107		

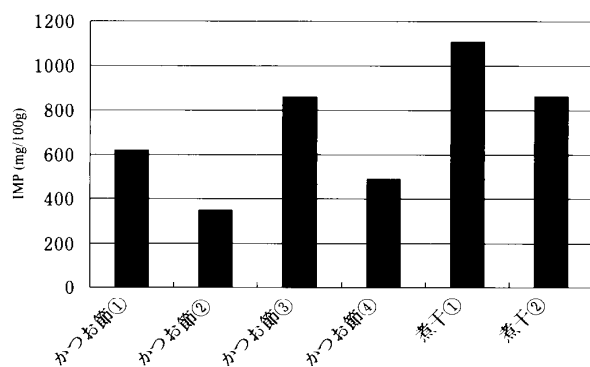


図1 かつお節と煮干のイノシン酸含量の比較。

気成分を GC-MS および GC- 匂いかぎにより解析した。だしの香気成分パターンはその原料であるかつお節粉末に非常によく類似していることが分かったので、実験にはかつお節粉末を用いた。

各成分の香りの特徴、成分同定の結果を表2に示す。以下、便宜上 RI が 1200 以下で流出する区分を低沸点区分、1200 ~ 1700 で流出する区分を中沸点区分、1700 以降で流出する区分を高沸点区分とした。低沸点区分にはジメチルスルフィドなどの含硫化合物による硫黄臭（海産物特有の匂い）があり、中沸点区分にはジメチルピラジン類によるナッツ臭、およびエチルジメチルピラジン類によるロースト臭が存在した。また、魚らしい香りを示す成分が存在したが、成分同定には至らなかった。高沸点区分にはフェノール類によるくん臭が存在した。こ

れらの成分（標準物質）をかつお節に添加して評価したところ、かつお節香が強まる効果を示した。また、粉碎してから時間が経ったかつお節粉に硫化水素を添加すると粉碎直後の肉質的な香りに近づくことを確認した。

以上の結果から、かつお節の香りを構成する主な成分として、香ばしい焙焼香を示すピラジン類、くん臭を示すフェノール類、魚らしさを示す成分（未同定）、および肉質的な香りを示す含硫化合物の4つの成分群が考えられた。魚らしい匂いは強すぎると劣化臭や不快臭の原因となるが、適正濃度範囲内の場合、水産加工品としての特徴を付与するため、かつお節の香気形成に寄与していると考えられた。トリメチルアミンなどが魚の生ぐさ臭に寄与するという報告もあるが⁴⁾、GC- 匂いかぎ分析において、トリメチルアミンとは異なるリテンションタイムに魚らしい匂いを示す成分が存在した。含硫化合物、ピラジン類、およびフェノール類はそれぞれ単独では、かつお節香を連想することは困難であるが、個々の成分が共存することにより、かつお節香を形成するものと推定された。焙乾工程において主要成分の量をコントロールすることができれば、かつお節の品質を向上できると考えられた。

2. かつお節の香りの生成（焙乾工程中の変化）

かつお節は煮熟、焙乾、黴付けなどの工程を経て

かつおだしのおいしさ解析と商品開発への応用～香りの解析からのアプローチを中心に～

表2 かつお節の主要香気成分。

Retention Index	Odor Description	Odor intensity ^{a)}	compounds	Method of Identification
746	sulfurous	+	dimethyl sulfide	MS+RI
918	yogurt-like	+	3-methylbutanal	MS+RI
1078	sulfurous	++	dimethyl disulfide	MS+RI
1269	nutty	+	methylpyrazine	MS+RI
1329	nutty	+	2,5-dimethylpyrazine	MS+RI
1331	nutty	+	2,6-dimethylpyrazine	MS+RI
1355	nutty	++	2,3-dimethylpyrazine	MS+RI
1366	rusty, fish-like	++	not yet identified	
1401	roasty	++	2-ethyl-5-methylpyrazine	MS+RI
1414	potato-like	++	trimethylpyrazine	MS+RI
1436	acidic	+	acetic acid	MS+RI
1450	roasty	++	3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine	MS+RI
1459	roasty	++	not yet identified	
1464	roasty	++	2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine	MS+RI
1477	roasty	+++	5-ethyl-2,3-dimethylpyrazine	RI
1508	nutty	++	methoxypyrazine	MS+RI
1645	pyrazine-like	++	not yet identified	
1704	roasty	++	naphthalene	MS+RI
1707	citrus-like	++	not yet identified	
1844	smokey	++	guaiaicol	MS+RI
1926	smokey	+	4-methylguaiaicol	MS+RI
1957	smokey	+	o-cresol	MS+RI
1960	smokey	+	phenol	MS+RI
2023	smokey	+	p-cresol	RI

a) +: weak ++: strong +++: very strong

製品として完成されるが、その香気形成には焙乾工程が最も重要であるといわれている⁵⁾。この焙乾工程は通常は8回から10回程度繰り返されるが、焙乾工程中の各段階の中間製品について、香気成分の種類や量の変化を解析した。

まず、煮熟カツオや各番火を終えた試料を官能評価したところ、煮熟後は単に煮魚の香りであるが、焙乾が進むにつれ、徐々にくん臭や香ばしさが感知されるようになった。4番火（焙乾4日目）前後でかつお節らしい香りが出現し、7番火で既にかつお節香がそなわった。

煮熟カツオに存在し、焙乾工程で増加する成分には、アセトン、2-ブタノンなどのケトン類、また、ベンゼン、トルエンなどの芳香族炭化水素類、および2-メチルフランなどのフラン類があった。表3に示すように焙乾により生成し、焙乾工程で増加する成分は最も種類が多く、ピラジン類、ピロール類、フラン類、ケトン類、芳香族炭化水素類、およびフェノール類などがあった。逆に煮熟カツオに存在し、焙乾工程で減少する成分としては低沸点の直鎖炭化水素類および直鎖アルデヒド類があった。一方、含硫化合物のジメチルサルファイド、ジメチルジサルファイドなどには一定の増減傾向は見られなかった。

図2にかつお節の香気に重要な成分であるフェノール類とピラジン類の焙乾工程中の量的変化を示

した。グアヤコール、フェノールは5番火以降、増加しなくなるのに対し、ジメチルピラジン類は引き続き増加しており、両者の挙動が異なることがわかった。

くん臭の付与に重要な役割を果たしているフェノール類は多量にくん煙中に存在しているため、くん煙から移行して焙乾初期に急速に煮熟カツオの表面より内部に浸透し、焙乾中期を迎えたところに付着量はほぼ一定となると考えられた。ところが、くん煙中にはピラジン類はほとんど存在しないことから、ピラジン類はくん煙から直接もたらされるのではなく、焙乾工程中にケミカルな反応により新たに生成すると推定された。そこで、ピラジン類の生成機構について詳細に検討することにした。

まず、ピラジン類の生成におけるくん煙成分の影響を調べるため、くん煙成分を含まない熱風で煮熟魚を乾燥して得た節と、通常通り焙乾して得たものとの間でピラジン類の量を比較した。結果を図3に示した。熱風のみで乾燥したのものにもピラジン類が検出されたが、焙乾したものではそれよりはるかに多量に検出された。また、かつお節の香りを官能評価しても、通常の節の方がピラジン類由来の香ばしいロースト臭が強かった。この結果から、ピラジン類の生成には、くん煙成分が大きく関与していることが示唆された。

表3 焙乾工程中に増加した成分。

[芳香族炭化水素類]

benzene, toluene, ethylbenzene, 1,2-dimethylbenzene, 1,3-dimethylbenzene, styrene, indene, naphthalene, methyl-naphthalene

[ケトン類]

cyclopentanone, 2-methyl-2-cyclopenten-1-one, 3-methyl-2-cyclopenten-1-one, 2,3-dimethylcyclopent-2-en-1-one

[フェノール類]

guaiacol, 4-methylguaiacol, phenol, o-,m-,p-cresol

[フラン類]

2-methylfuran, 2-ethylfuran, 2-furanmethanol, 1-(2-furanyl)-ethanone (= acetylfuran), benzofuran, 2-methylbenzofuran

[含窒素化合物]

pyridine, pyrazine, methylpyrazine, 2,3-dimethylpyrazine, 2,5-dimethylpyrazine, 2,6-dimethylpyrazine, 2-ethyl-5-methylpyrazine, 2-ethyl-6-methylpyrazine, trimethylpyrazine, pyrrole

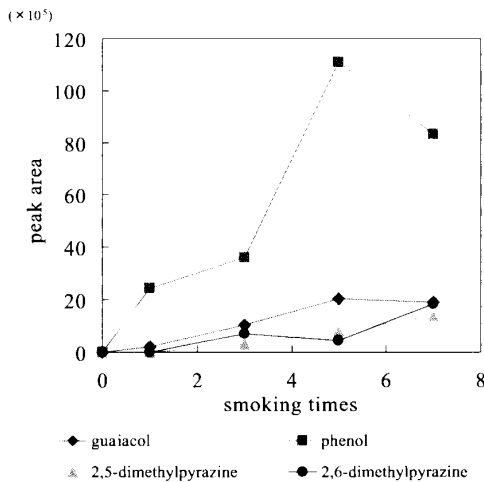


図2 焙乾工程におけるかつお節香气成分の変化。

次に上記両試料の粉末をアルミパウチに密封して、70℃で4時間加熱処理したところ、図4に示したように、熱風乾燥品では2,5-ジメチルピラジンがわずかに増加した以外はむしろ減少したのに対し、通常焙乾品ではどのピラジン類も大幅に増加していることがわかった。これらの結果より、焙乾中のピラジン類の生成あるいは増加は、くん煙由来の成分とカツオ肉由来の成分が反応するためであると示唆された。

ピラジン類の生成機構については、従来から多くの研究がなされている⁶⁾。一般に、食品中に存在するピラジン類は糖とアミノ酸とのメイラード反応により生成するといわれている⁷⁾。ピラジン環を形成する直前の中間体には α -アミノカルボニル化合物などがあり、同一あるいは異なる分子どうしが縮合

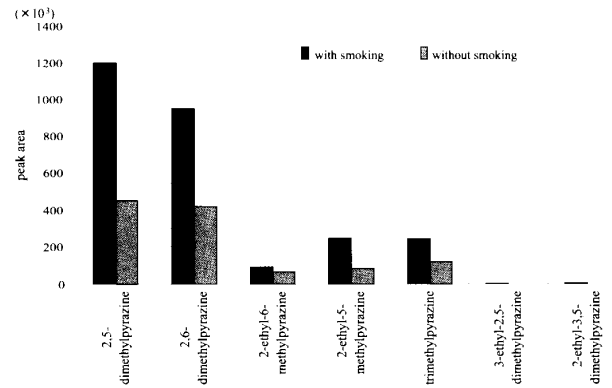


図3 焙乾の有無によるかつお節中のピラジン類の量の比較。

してピラジン類は生成すると考えられている。また、 α -アミノカルボニル化合物の生成経路としては、 α -ジカルボニル化合物とアミノ酸とのストレッカー分解反応がよく知られているが、 α -ケトアルコール類とアンモニアとの反応によっても生成することが報告されている⁸⁾。くん煙中には、 α -ジカルボニル化合物や α -ケトアルコール類が大量に存在するため、同様の生成機構であると考えられた。

上記仮説を検証するために、くん煙成分として確認されている α -ケトアルコール類であるアセトールおよび α -ジカルボニル化合物である2,3-ペンタジオンをかつお節の粉末に添加し、密封加熱したところ、2,5-ジメチルピラジン、2,6-ジメチルピラジン、3-エチル-2,5-ジメチルピラジン、および2-エチル-3,5-ジメチルピラジンなどのピラジン類が

かつおだしのおいしさ解析と商品開発への応用～香りの解析からのアプローチを中心に～

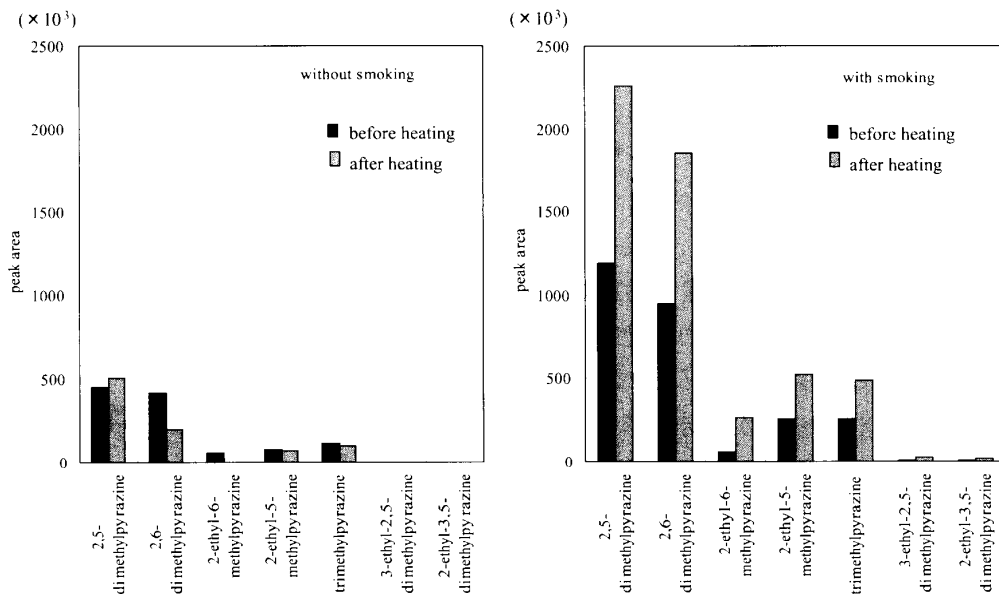


図4 加熱処理によるかつお節中のピラジン量の変化（焙乾の有無による比較）。

生成することが確認されるとともに強いロースト臭が付与された。

以上の結果より、焙乾工程中のピラジン類の大部分はくん煙から移行した α -ジカルボニル化合物や α -ケトアルコール類などとカツオ肉由来の含窒素成分（アンモニア、アミノ酸、たんぱく質のアミノ基）とが反応して α -アミノカルボニル化合物が生成し、さらに2分子が縮合し、そして酸化されることでピラジン類が生成すると考えられた（図5）。

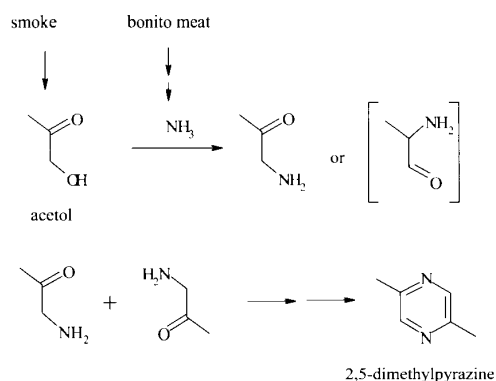


図5 かつお節におけるピラジン類の推定生成機構。

3. かつお節（粉末）の保存中における香りの劣化

かつお節は節の形状のまま保存する場合、長期間、品質が安定であるため、保存食品（あるいは調味料）として昔から用いられてきた。また、縁起物として贈答品としても重用されている。しかし、一度、削ったり、粉碎したりした後では急速に香りが劣化することはよく知られている。実際、削ったかつお節は風味の劣化を防ぐために、アルミ包材等に入れて窒素充填後、密閉シールした状態で「削り節パック」として市販されている。しかし、この場合も一度開封してしまえば、新鮮な削り節の匂いは消失してしまう。

粉碎後の香りの急速な劣化の主たる原因は、揮散による低沸点成分の急激な減少と不飽和脂肪酸の酸化分解によるカルボニル化合物の生成にあると推定されている。Sakakibaraら⁹⁾はかつお節粉の保存中

にメタンチオール、ジメチルサルファイドおよび2-ブタノンなどの低沸点成分の急激な減少と2,3-ペンタジオンやヘキサナールなどのカルボニル化合物の急激な増加を確認している。我々はかつお節粉を -20°C （24日）、 25°C （12日）、および 70°C （4時間）といった種々の条件下で、アルミパウチに密封して保存し、かつお節粉の香気成分をGC-MSにより分析し、詳細な解析を行った。ちなみに各温度での保存期間は包材内の酸素濃度が同等になるところに設定した。保存により顕著に増加した成分を表4に記した。 -20 、 25 および 70°C での保存において、アルデヒド類、ケトン類などのカルボニル類、および1-ペンテン-3-オールなどの成分の増加が認められた。ペンタナール、ヘキサナール、ヘプタナール、1-ペンテン-3-オール（標準物質）を粉碎直後のかつお節に添加したところ、脂質

が酸化劣化した際に生じる干し草、青草様などの香りが発現したことから、これらの成分の増加により、かつお節の香りが劣化することが確認された。また、表4に示すとおり、保存温度の違いにより増加するカルボニル化合物の種類が異なっていることが分かった。 -20°C の場合ではペンタナール、ヘキサナールなど直鎖アルデヒド類やジケトン類が増加したが、これらは脂質の酸化分解で生成したと推定された。また、 25°C の場合では直鎖アルデヒド類やジケトン類の増加はわずかであったが、分枝鎖アルデヒド類の増加がみられた。さらに 70°C の場合では直鎖アルデヒド類やジケトン類は検出されず、分枝鎖アルデヒド類の増加がみられた。分枝鎖アルデヒド類は脂質の酸化分解により直接的に生成するのではなく、脂質の1次的酸化分解物である α -ジカルボニル化合物と分枝鎖アミノ酸のストレッカー分解反応によって生成することが知られている^{10,11)}。また、1-ペンテン-3-オールは各温度条件においても共通して増加していた。

かつお節粉 20 g にヘキサナール、2,3-ペンタンジオン、2-メチルブタナール、3-メチルブタナールおよび1-ペンテン-3-オールを各 20 μl 添加後、密封して 70°C で4時間加熱したところ、図6に示したように、いずれの成分も減少が認められたが、特にヘキサナール、2,3-ペンタンジオンの減少量が大きかった。この結果は、直鎖アルデヒド類および α -ジケトン類がアルコール類や分枝鎖アルデヒド類と比べ反応性が高いことを示している。また、3-メチルブタナールが2-メチルブタナールと比べ減少量が大きかったのは、メチル基がアルデヒド基と離れているため、立体障害によるアルデヒド基の反応障害を起こしにくかったためと考えられた。このように、 -20°C で保存した際に増加した直鎖アルデヒド類やジケトン類が加熱により顕著に減少したことから、 70°C で保存した場合も、一度生成したこれらの化合物が2次的反応により減少すると推定された。

すなわち、保存中に生成反応と分解反応の双方が同時に起きており、脂質の1次的酸化分解は活性化エネルギーが低いため、比較的低温でも起こり得るが、生成したアルデヒド類と他の成分との反応(2次的反応)は活性化エネルギーが高いため、高温でなければ起こりにくいと考えられた。このよう

表4 かつお節粉保存中に増加した香気成分。

	-20°C (24d)	25°C (12d)	70°C (4hr)
1	propanal		
2		acetone	acetone
3	butanal		
4		2-butanone	2-butanone
5		2-methylbutanal	2-methylbutanal
6		3-methylbutanal	3-methylbutanal
7		2-ethylfuran	2-ethylfuran
8	pentanal	pentanal	
9	2,3-pentanedione	2,3-pentanedione	
10	hexanal		
11	1-penten-3-ol	1-penten-3-ol	1-penten-3-ol

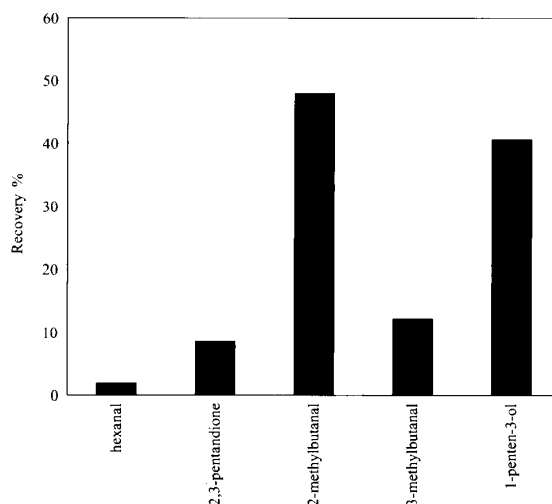


図6 かつお節粉への添加後、加熱した時の各香気成分量の変化。

に、両反応の活性化エネルギーが異なるため、保存温度によって検出される成分に差が生じたのではないかと推測された。また、分枝鎖アルデヒド類も側鎖にアルキル基を有し、それが立体障害を起こすため、直鎖アルデヒド類より反応性が低いことが知られている。そのため、高温で保存した際、これらの化合物が直鎖アルデヒド類と比べ、多く残存したものと考えられた。

かつお節粉保存中にヘッドスペース中の酸素が減少し、劣化臭成分の生成が認められたが、これらの変化を直接的に捉えるために、酸素の安定同位体を用いてヘッドスペース酸素の追跡を行った。質量数18の酸素原子を含む酸素を用いて調製した混合ガスによってヘッドスペースを置換したかつお節粉を保存し、マススペクトルにより、 ^{18}O の取り込みの確認を行った。1-ペンテン-3-オールについては図7に示したように $m/z=57$ のフラグメント ($\text{C}_3\text{H}_5\text{O}^+$) が、 ^{18}O によって $m/z=59$ へ変化していることが確認

された。その他、保存に伴い増加する成分についても、同様にそれぞれのマススペクトルを比較したが、 ^{18}O の取り込みが確認できなかった。その後、 H_2^{18}O を用いての検討により、プロパナール、ブタナール、ペンタナール、4-ペンテナール、2,3-ペンタンジオン、およびヘキサナールなどの含酸素成分に ^{18}O の取り込みが認められ、これらの成分は水分子中の酸素を取り込んで生成することが明らかになった¹²⁾。過酸化脂質の分解反応の過程においては系内の水が反応に関与し、開裂時にアルデヒド側に水分子中の酸素が入り、結果的に酸素原子が水の酸素原子と置き換わる反応が知られている¹³⁾。これらの劣化臭成分はこれと同様の機構により生成したと考察された。

また、かつお節粉末のヘッドスペース中に存在する含硫成分のうち、保存中に最も減少の大きかった硫化水素の減少メカニズムについて検討したところ、硫化水素は酸化されて単体硫黄となるため、その含量は減少し、やがて消失することがわかった¹⁴⁾。か

つお節の水溶性低分子成分中に硫化水素の酸化を促進する成分が存在し、その成分について解析したところ、ヒスチジンと鉄イオンの両成分が共存することによって促進作用を示すことがわかった。したがって鉄-ヒスチジン錯体が硫化水素の酸化反応の触媒として作用すると推定された。

4. おわりに ～商品開発への応用～

かつお節は様々な商品に活用されて、我々の生活から切り離せない存在であることは今さら言うまでもない。近年では、自宅でかつお節を削ってだしをとるといったケースはほとんど見られなくなったが、実はかつお節は加工品へと姿をかえて我々の暮らしの中に溶け込んでいる。例を挙げると削り・粉碎を行った後、袋づめた削りパックや、粉碎した節粉にMSG、食塩などの調味料を混合しただしの素(風味調味料)、あるいはふりかけ用途など、幅広く使用されている。また、かつお節からだしを抽出して、

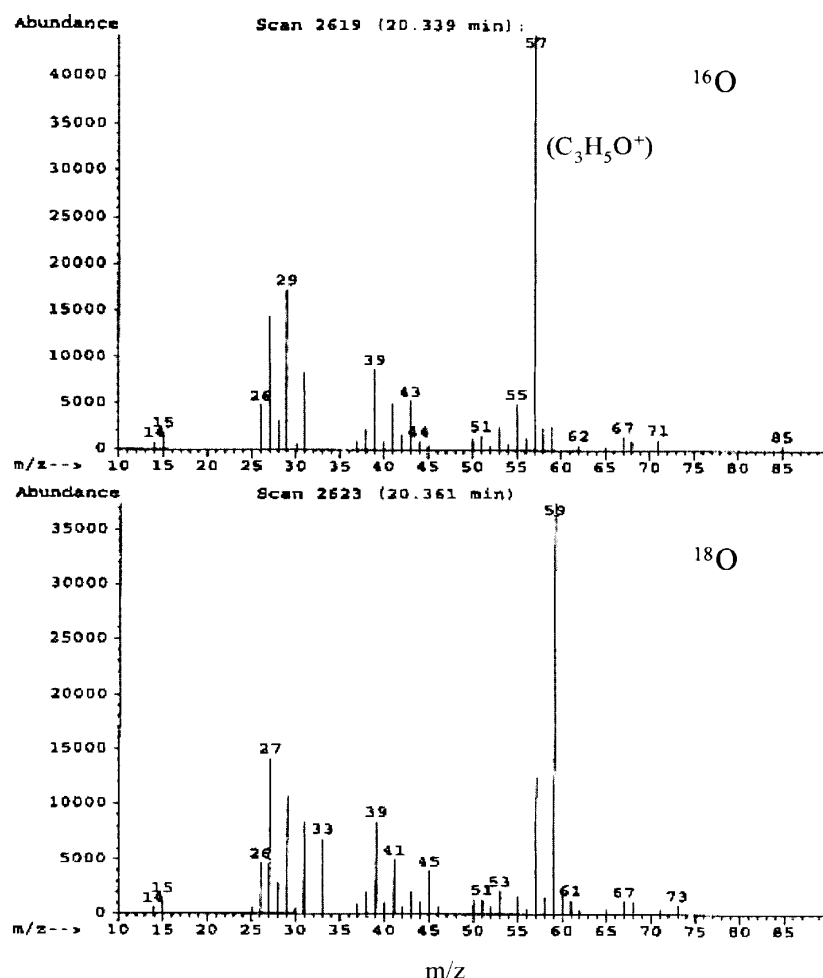


図7 かつお節粉保存中に生成した1-penten-3-olのマススペクトルの比較。

めんつゆ等に使用されている他、業務用の濃縮だしやかつお節エキスとしても広く利用されている。

これらの商品の品質向上のためには、原料であるかつお節の高品質化や、プロセス中の品質低下を最小限にすることが必要となる。また、かつお節の香りや呈味の機能を補完するために、かつお節エキスやその他の風味、コク味素材といった高品質・高機能型素材の配合やその配合比率の最適化も重要である。保存性向上については保存中の香り・風味の劣化抑制が大きな課題である。前述の通り、削った節粉は直ちに酸化して劣化臭が発現したり、他成分との反応により褐変臭が発現したりして品質が低下するので、包材の工夫（窒素置換、脱酸素材の使用など）やそれら劣化を促進する因子をブロックしたり、原因成分を取り除くことが効果的である。「かつおだしのおいしさの本質は何か」という点ではまだまだ未解明な部分は残されているものの、今回のような成分解析的なアプローチを続けることにより、かつお節を原料とする風味調味料、かつお節だし（エキス）関連製品のさらなる品質向上につながるものと考えられる。

文 献

- 1) 福家真也, 渡辺勝子, 酒井久視, 鴻巣章二: かつお節のエキス成分, 日食工誌 36, 67-70 (1989)
- 2) 堀口辰司, 田辺伸: 煮干、全国煮干協会、pp.183 (1999)
- 3) 榊原英公: 水産物のにおい, 水産学シリーズ 74, (小泉千秋編), 恒星社厚生閣, 東京, p.72-82 (1989)
- 4) 徳永俊夫: 魚臭・畜肉臭~においの化学とマスキング~ (太田静行編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 29-88 (1981)
- 5) 鈴木敏博, 本杉正義: かつお節香气成分ならびに付着フェノール類による抗酸化力の焙乾工程中の変化, 食科工 43, 29-35 (1996)
- 6) Shibamoto T and Bernhard RA.: Investigation of pyrazine formation pathways in sugar-ammonia model systems. *Agric. Biol. Chem.*, 25, 609-614 (1977)
- 7) 倉田忠男, 加藤博通: 食品における加熱香気生成反応—糖アミノ酸モデル系を中心として—, 香料 132, 11-26 (1981)
- 8) Rizzi GP: Formation of pyrazines from acyloin precursors under mild conditions. *J. Agric. Food Chem.*, 36, 349-352 (1988)
- 9) Sakakibara H, Yanai T, Yajima I and Hayashi K: Changes in volatile flavor compounds of powdered dried bonito (Katsuobushi) during storage. *Agric. Biol. Chem.*, 52, 2731-2739 (1988)
- 10) Munch P and Schieberle P: Quantitative studies on the formation of key odorants in thermally treated yeast extracts using stable isotope dilution assays. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 4695-4701 (1998)
- 11) Hofmann T, Munch P and Schieberle P: Quantitative model studies on the formation of aroma-active aldehydes and acids by strecker-type reactions. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 434-440 (2000)
- 12) 川口宏和, 石黒恭佑, 若林秀彦, 深見賢治, 上田要一: かつお節保存中における劣化臭成分の変化, 食科工 49, 312-319 (2002)
- 13) 並木満夫, 松下雪郎編: 食品の品質と成分間反応, 講談社, 東京, pp.47-67 (1990)
- 14) 川口宏和, 石黒恭佑, 若林秀彦, 上田要一: かつお節粉碎保存後の硫化水素の減少メカニズム, 食科工 49, 99-105 (2002)

< 著者紹介 >

川口 宏和 (かわぐち ひろかず) 氏略歴

1993.3 慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程応用化学専攻修了

1993.4 味の素(株)入社

2002.3 農学博士 (京都大学)

現在 調味料開発・工業化センター

