

つゆの香気成分とコク寄与成分

誌名	日本醸造協会誌 = Journal of the Brewing Society of Japan
ISSN	09147314
著者名	早瀬,文孝 渡辺,寛人
発行元	日本醸造協会
巻/号	109巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 161-167
発行年月	2014年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



つゆの香気成分とコク寄与成分

だしの香気成分が嗜好性に及ぼすことが明らかになっているので、著者らはつゆの香気成分の分析とコクに寄与する香気成分の検索を行った。その結果、コクに寄与する香気成分として、2-acetylfuran, 2-ethylhexanol, 1-octen-3-ol を見出し、コクを増強する至適温度はそれぞれ、1bbp, 1ppb, 100pptであることを明らかにしたので、解説いただいた。

早瀬 文孝¹・渡辺 寛人²

1. はじめに

近年、食品の「コク」に関する研究が盛んになっている。コクの定義はいまだに定まっていないが、西村らの最近の総説¹⁾ではコクは主観的評価の「おいしさ」とは異なり、味わいに複雑性・厚み (complexity, thickness), 持続性 (continuity), 広がり (mouthfulness) が強められたときに感じる現象と定義されている。食品のおいしさには味だけでなく香りも重要な役割を果たしており、ストロベリー等の香気が甘味を増強するとの Frank と Byram による報告²⁾をはじめとした多くの研究により、香気成分が味覚を修飾することはよく知られている。しかしながら、香気成分のコクへの関与を明確に示した報告は少ない。筆者らは「コク」をもつ代表的な食品であるつゆを対象として香気成分の解析を行った。

つゆは、そばつゆ、煮物、鍋物、おでんなど加熱調理を中心にさまざまな料理に使用され、その簡便性・汎用性から、消費量は増加傾向にある。加熱されたつゆは香ばしいフレーバーとコクを有し、つゆのおいしさにはこの両者が貢献していると考えられる。つゆの原材料は醤油、砂糖、ダシ (かつお節・コンブ) であるが、このうちかつおだしの「こく」と「うま味」はかつお節の持っているうま味成分と複雑な香気成分 (400 成分以上) が一体となって醸し出されている³⁻⁵⁾。Yajima らはかつお節の香気成分を分析し、アルコール類、ケトン類、エーテル類、エステル類、ラクトン

類、フラン類、ピリジン類、ピラジン類、チアゾール類、フェノール類、脂肪酸類などを同定した。これらは魚自体、煮熟によるメイラード反応、焙乾 (燻乾)、発酵過程に由来すると考えられる。

Fushiki ら⁶⁻⁷⁾は、条件付け位置嗜好性試験とレバー押しオペラント条件付け法によるマウスの行動解析により、かつおだしへの嗜好性は、だし中のアミノ酸、核酸など、うま味成分以外に「匂い」が重要な役割を有していることを明らかにし、かつおだしに含まれる数百の香気成分のうち重要な 130 成分による再構成で嗜好性がもたらされることを示した。さらに、人間の官能評価を用いた方法 (GC-O, AEDA 法) により 130 から 30 にまで重要成分を絞り込んで解析を行い、スモーク様香気成分 (2,6-ジメトキシフェノール、フェノール、4-メチルグアヤコール [4-メチル-2-メトキシフェノール], *m*-クレゾール、グアヤコール [2-メトキシフェノール], 2,6-ジメトキシ-4-メチルフェノール、*o*-クレゾール、4-エチルグアヤコール [4-エチル-2-メトキシフェノール]) を再構成した 30 成分から除くと大きく嗜好性が減少するとの結果も示している。このように、だしの香気成分が嗜好性に影響を及ぼすことが明らかとなっている。これらの背景から、本研究ではつゆの香気成分の分析とコクに寄与する香気成分の検索を行った⁸⁾。

2. つゆの香気成分

つゆとして (1)「市販のつゆ」、(2) かつお節と醬

Volatile Components Contributed to Koku Taste

¹ Fumitaka HAYASE (Department of Agricultural Chemistry, Meiji University)

² Hirohito WATANABE (Department of Life Sciences, Meiji University)

第1表 つゆの香気に重要な成分

トースト様：	2,6-Dimethylpyrazine, 2-Ethyl-6-methylpyrazine, Furfural
スモーキー様：	2-Methoxy-4-methylphenol, 4-Ethyl-2-methoxyphenol
サワー様：	3-Methylbutanol, Acetic acid, 2-Furanmethanol
甘い香り：	3-Methylbutanal, Benzaldehyde
グリーン様：	2-Ethylhexanal, 1-Octen-3-ol

油で調製した「かつおつゆ」（対照つゆ）、(3) かつおつゆにコンブを加えて調製した「コンブつゆ」の3種を用い、それぞれの香気成分分析を行った。市販つゆにおいては、香気成分として酸類5種、アルコール類12種、アルデヒド類6種、エステル類2種、フラン類4種、ケトン類3種、フェノール類12種、ピラジン類8種、その他4種の計56種の化合物が同定された。市販つゆに対する香気寄与度をFD factorで測定したところ、第1表に示す12成分が重要な香気成分であることが明らかとなった。

第2表にかつおつゆ（control）とコンブつゆの香気成分の分析結果を示した。酸類2種、アルコール類15種、アルデヒド類13種、エステル類4種、フラン類2種、ケトン類5種、フェノール類15種、ピラジン類8種、その他9種の計73種の化合物が同定された。同定された化合物の多くは原材料中の香気化合物として過去に報告されているものであった。コンブつゆではかつおつゆと比較して多くの化合物が同定された。

市販つゆと同様に、アルコール類は同定された化合物数と総量が多く、加熱つゆの主要な揮発性化合物であった。その中ではエタノール、2-メチルプロパノール、2-メチルブタノール、3-メチルブタノールなどが特に高い定量値を示した。フェノール類としては2-メトキシ-4-メチルフェノール、2-メチルフェノール、4-エチル-2-メトキシフェノールの含量が多く、主要な揮発性化合物であった。また、アルデヒド類も多く検出され、フルフラール、ベンズアルデヒド、3-メチルブタノールが高い含量で同定された。さらに、GC-O/AEDA（Aroma extract dilution analysis）分析により、調製したかつおつゆおよびコンブつゆに含まれる香気成分のFD factorを求めた（第2表）。その結果FD factor 1～1024の範囲で計33種の香気寄与度の高い化合物が検出された。内訳は酸類が2種、アルコール類が6種、アルデヒド類が2種、エステル類が2種、フラン類が1種、フェノール類が12種、

ピラジン類が3種、その他が17種であった。

市販つゆと同様、調製したつゆにおいては全体的な傾向としてロースト様、スモーキー様、サワー様のいずれかの香気特性を有する化合物が多く検出された。とくにフェノール類を主体としたスモーキー様の香気を有する化合物が最も多く検出された。特に2-メトキシ-4-メチルフェノール、4-エチル-2-メトキシフェノールの香気寄与度は高く、FD Factor 64を示した。また、2,3-ジメチルフェノール、2,5-ジメチルフェノールはFD factor 16であり、比較的高い寄与度を示した。他方、No. 70の化合物やNo. 22の化合物は高いFD factorを示したが、今回化合物として同定するには至らなかった。そのほか、2,6-ジメチルピラジン（FD factor 64）などのピラジン類、フルフラール（FD factor 64-256）、エチルフェニルアセテート（FD factor 16）が高い香気寄与度を示した。サワー様の香気を有する化合物としては3-メチルブタノールがFD factor 256を示し、大きく寄与していると考えられた。また、1-ブタノール（FD factor 4-16）、酢酸（FD factor 4）、酪酸（FD factor 4）も比較的高い寄与度を示した。これらの香気成分は第2表にa, b, cの記号で示したように、醤油（soy sauce）⁹⁻¹⁸⁾、かつお節（dried bonito）¹⁹⁻²⁵⁾、コンブ（kombu）²⁶⁻²⁹⁾においてそれぞれ存在が報告されている。

3. つゆの香気成分のコクへの寄与

香気成分のコクの寄与度を調べるには、還元型グルタチオンや2,5-dimethylpyrazineなどの既知のコク味試料を用いたパネルのトレーニングが必須である。コクを「風味の広がり（Mouthfulness）」と「風味の持続性（Continuity）」で表し、対照区（1% ブイヨン、かつおつゆ、あるいは0.5% NaClと0.3% グルタミン酸ナトリウムを含む水溶液）とコク味試料添加群をパネルに提示し、強い方を選ばせる2点試験法でトレーニングを行った。その結果、パネルは明確に対照区とコク味試料添加群を識別できた。トレーニング後のパ

第2表 SDE 法によるつゆ(かつおつゆ, こんぶつゆ)の香気成分の相対的定量値と FD ファクター (文献8より)

No.	K.I.	Compound	Odor quality	FD factor		Relative amount ^a	
				Control	Kombu Containing seasoning soy sauce	Control	Kombu Containing seasoning soy sauce
Acids							
34	1467	Acetic acid ^{* abc}	sour, pungent	4	4	1.86±0.29	1.65±0.55
50	1643	Butyric acid ^{** ab}	cheese-like, pungent, sour	4		0.42±0.11	0.24±0.05
Alcohols							
3	990	Ethanol ^{* ab}	alcoholic	16	16	394.56±175.50	417.84±175.50
5	1114	2-Methylpropanol ^{** ab}				83.30±10.11	118.74±37.45
6	1166	1-Butanol ^{* abc}	cheese-like, pungent, sour	4	16	64.33±0.82	104.16±19.02 *
12	1225	3-Methylbutanol ^{** ab}	cheese-like, pungent, sour	256	256	130.78±2.75	223.06±53.16 *
15	1259	3-Methylbutanol ^{* a}				0.28±0.14	0.54±0.12
19	1314	2-Ethylbutanol ^{** b}				0.07±0.01	tr
23	1359	1-Hexanol ^{* bc}				0.20±0.02	0.27±0.04 *
29	1405	2-Butoxyethanol ^{** c}				nd	0.49±0.09
32	1453	1-Octen-3-ol ^{* abc}	green	1	4	1.20±0.15	2.87±0.32 *
33	1456	1-Heptanol ^{** b}				0.18±0.02	0.23±0.02 *
36	1494	2-Ethylhexanol ^{* ac}	green		64	0.33±1.12	0.98±0.27 *
45	1607	(E)-2-Octen-2-ol ^{** bc}				nd	0.55±0.06
55	1715	(E)-2-Nonenol ^{** c}				nd	1.05±0.30
58	1763	(E,Z)-2,6-Nonadienol ^{** bc}				nd	0.16±0.02
60	1787	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol ^{**}	dried bonito-like, smoky	1	1	0.15±0.05	0.33±0.07 *
Aldehydes							
1	828	2-Methylpropanal ^{** abc}				0.63±0.14	0.50±0.05
8	1194	1-Heptanal ^{* bc}				nd	tr
11	1212	3-Methylbutanal ^{** abc}				0.60±0.10	1.14±0.41
13	1228	(E)-2-Hexenal ^{* bc}				0.16±0.02	0.18±0.01
14	1254	(E)-4-Heptenal ^{* c}				nd	tr
17	1295	Octanal ^{* ab}				0.13±0.05	0.31±0.06 *
30	1434	(E)-2-Octenal ^{** bc}				nd	0.33±0.03
35	1472	Furfural ^{* abc}	almond-like, roasty	64	256	1.16±0.15	1.43±0.12
40	1532	Benzaldehyde ^{* abc}	fruity, green	4	16	3.41±0.19	4.59±1.15
42	1592	(E,Z)-2,6-Nonadienal ^{** bc}				nd	0.31±0.05
54	1711	Dodecanal ^{**}				0.83±0.28	1.00±0.31
57	1750	(E)-2-Undecenal ^{**}				nd	0.24±0.03
69	1920	Tetradecanal ^{**}				0.16±0.08	0.19±0.08
Esters							
49	1629	Methyl benzoate ^{**}				nd	tr
53	1702	Dimethyl pentanedioate ^{**}				0.47±0.27	0.90±0.33
59	1784	Ethyl phenylacetate ^{* *}	cocoa, roasty	16	16	0.26±0.11	0.42±0.04
64	1844	Butyl carbitol acetate ^{**}	soup stock like, smoky	1	1	0.29±0.09	0.35±0.06
Furanes							
38	1514	2-Acetylfuran ^{* ab}	sweetly		1	0.70±0.05	0.84±0.04 *
47	1627	2-Acetyl-5-methylfuran ^{** ab}				nd	0.36±0.08
Ketones							
7	1193	2-Heptanone ^{* b}				0.07±0.01	tr
10	1198	2-Methylcyclopentanone ^{** b}				nd	tr
24	1374	2-Methylcyclopentene-3-one ^{**}				0.63±0.09	0.75±0.16
41	1546	2,3-Dimethylcyclopenta-2-en-1-one ^{**}				0.36±0.10	0.59±0.03 *
44	1598	2-Undecanone ^{** b}	fruity	4		0.46±0.12	0.20±0.04 *
	2300	n-Tricosan (I.S.)				1.00	1.00

* Compounds identified using standard compound, in GC/MS-identification based on comparison of K.I. and mass spectrum of standard compounds, in GC/O-identification based on comparison of K.I. and odor quality of standard compounds.

** No standards available compounds, in GC/MS-identification based on comparison of K.I. with literature and NIST library mass spectrum, in GC/O-identification based on comparison of K.I. and odor quality in data literature.

^a Previously reported as volatile constituent in soy sauce, ^b dried bonito and ^c kombu.

^a Relative peak area of each peak when the value of the I.S. (n-Tricosan) is regarded as 1 (Mean ± standard deviation, n=3).

* Significantly different at p<0.05 (vs control).

nd: Not detected.

tr: Trace amount.

第2表 つづき

No.	K.I.	Compound	Odor quality	FD factor		Relative amount ^a	
				Control	Kombu Containing seasoning soy sauce	Control	Kombu containing sesoning soy sauce
Phenols							
71	1961	2-Methoxy-4-methylphenol* ^b	dried bonito-like, smoky	1	64	3.62±0.60	4.63±1.27
72	2004	Trimethylphenol* ^b	dried bonito-like, smoky	1	1	0.50±0.09	0.46±0.05
73	2014	2-Methylphenol* ^b	dried bonito-like, smoky	1	1	2.91±0.59	3.77±0.94
74	2016	Phenol* ^{ab}	dried bonito-like, smoky		1	0.74±0.10	1.52±0.51
75	2037	4-Ethyl-2-methoxyphenol* ^{ab}	dried bonito-like, smoky	16	64	4.04±0.82	4.90±0.75
77	2078	2-Ethylphenol** ^b				0.73±0.15	0.82±0.14
78	2082	2,3-Dimethylphenol* ^b	dried bonito-like, smoky	16	16	1.33±0.28	1.60±0.33
79	2084	2,5-Dimethylphenol* ^b	dried bonito-like, smoky	16	16	1.38±0.27	2.21±0.49
80	2097	4-Methylphenol** ^b	dried bonito-like, smoky		1	0.58±0.20	1.08±0.08 *
81	2115	2-Methoxy-4-propylphenol** ^b	roasty	4	4	1.30±0.21	1.42±0.20
82	2157	3,5-Dimethylphenol* ^b	dried bonito-like, smoky	1	1	0.43±0.07	0.56±0.12
83	2180	3-Ethylphenol*	dried bonito-like, smoky	1	1	0.93±0.17	1.15±0.37
84	2184	3,4-Dimethylphenol* ^b	dried bonito-like, smoky	1	1	0.53±0.06	0.62±0.11
85	2200	2-Methoxy-4-vinylphenol* ^a				0.50±0.05	0.56±0.09
86	2257	2-Methoxy-4-(1-propenyl)-phenol*				0.21±0.05	0.36±0.08
Pyrazines							
16	1274	2-Methylpyrazine** ^{ab}				0.09±0.02	0.19±0.03 *
18	1298	3-Methylpyrazine** ^a				0.11±0.04	0.20±0.08
20	1332	2,5-Dimethylpyrazine* ^{ab}	nutty, roasty	4	4	0.33±0.07	0.45±0.09
21	1342	2,6-Dimethylpyrazine* ^{ab}	nutty, roasty	16	16	0.18±0.02	0.23±0.04
26	1387	2-Ethyl-6-methylpyrazine** ^{ab}	potato-like, roasty	1	1	0.45±0.11	0.31±0.14
27	1390	2-Ethyl-5-methylpyrazine* ^{ab}				0.32±0.09	0.28±0.02
28	1402	Trimethylpyrazine* ^{ab}				0.20±0.07	nd
31	1449	2,5-Dimethyl-3-ethylpyrazine* ^b				0.14±0.01	0.17±0.01
Others							
2	966	Unknown***	cheese-like, pungent, sour	64	64	0.72±0.21	2.84±1.67
4	1110	Unknown***	fruity	1		tr	nd
9	1196	Pyridine** ^b				0.26±0.06	0.32±0.02
22	1349	Unknown***	cooked potato-like, roasty	1024	1024	1.22±0.22	2.18±0.33 *
25	1384	3-Ethylpyridine** ^b				nd	tr
37	1501	Unknown***	potato, consome	1	64	0.55±0.12	0.69±0.21
39	1515	Pyrrole** ^b				nd	0.11±0.02
43	1594	Unknown***	green	4		0.37±0.13	nd
46	1613	Benzonitrile** ^b				nd	0.16±0.02
48	1628	Unknown***	corn-like, roasty	4		0.34±0.18	nd
51	1652	Unknown***	roasty	4		tr	tr
52	1692	Unknown***	potato-like	64	64	0.81±0.24	1.03±0.11
56	1731	1,2-Dimethoxybenzene** ^b	sweety		64	0.41±0.04	0.89±0.24 *
61	1802	3,4-Dimethoxytoluene**	dried bonito-like, smoky	16	16	2.24±0.70	2.41±0.52
62	1815	Unknown***	dried bonito-like, smoky	1		0.15±0.03	tr
63	1823	Unknown***	mint	16	16	0.50±0.06	0.56±0.17
65	1862	2-Methoxytoluene**	fruity	4	64	3.07±0.51	5.39±0.54 *
66	1926	Unknown***	roasty	1	64	1.51±0.33	2.27±0.82
67	1931	Unknown***	roasty	1	64	0.25±0.08	0.35±0.05
68	1964	Unknown***	soup stock like, smoky	1	1	0.99±0.17	1.21±0.29
70	2002	Unknown***	soup stock like, smoky	256	256	0.46±0.14	0.49±0.06
76	2055	1,2,3-Trimethoxy-5-methylbenzene**				0.77±0.14	0.83±0.21
87	2328	Fluorene**				0.42±0.06	0.43±0.05
2300 n-Tricosan (I.S.)						1.00	1.00

* Compounds identified using standard compound, in GC/MS-identification based on comparison of K.I. and mass spectrum of standard compounds, in GC/O-identification based on comparison of K.I. and odor quality of standard compounds.

** No standards available compounds, in GC/MS-identification based on comparison of K.I. with literature and NIST library mass spectrum, in GC/O-identification based on comparison of K.I. and odor quality in data literature.

*** Unidentified odor active compound.

^a Previously reported as volatile constituent in soy sauce, ^b dried bonito and ^c kombu.

^a Relative peak area of each peak when the value of the I.S. (n-Tricosan) is regarded as 1 (Mean ± standard deviation, n=3).

* Significantly different at p<0.05 (vs control).

nd: Not detected.

tr: Trace amount.

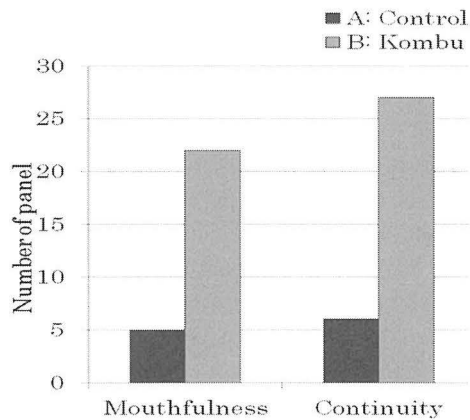
ネルに対し、かつおつゆとコンブつゆを 50℃に加熱して提示したところ第 1 図に示したように、明確に識別できた。

次にノーズクリップ着用がコンブつゆのkokの強さに対しておよぼす影響を検討した。ノーズクリップ着用により嗅覚が遮断されるため、香気成分の寄与度を評価できる。第 2 図に示すようにノーズクリップ着用によりkokを感じるパネル数が著しく減少し、香気成分がkokに寄与していることが明らかとなった。

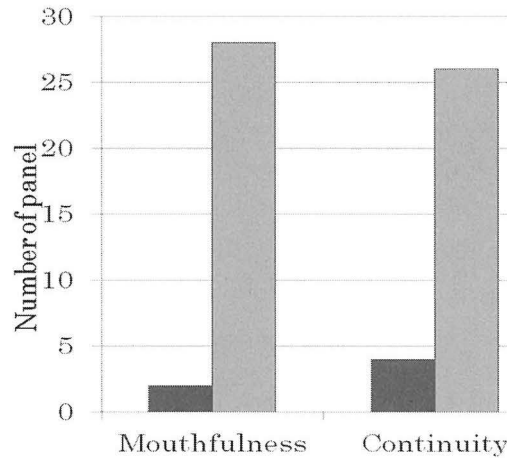
次に、かつおつゆとコンブつゆにおいて定量値に有意差が認められた化合物、あるいは 2 種のつゆにおける FD factor が異なる化合物から選択した 10 種の化合物を用いて、kokへの寄与度を検討した。具体的には対照区 (control) として 0.5% NaCl と 0.3% グルタミン酸ナトリウムを使用し、さらにこれに 10 種の化

合物をそれぞれ単独で添加したものを用意して、kokの強度を 2 点試験法で官能評価した。その結果を第 3 表に示す。

解析の結果、kokに寄与する香気化合物として 2-アセチルフラン、2-エチルヘキサノール、1-オクテン-3-オールが見出された。甘い香気を有する 2-アセチルフランは、醤油、かつお節の香気成分としても知られており、加熱によるメイラード反応によって生成すると考えられる。2-エチルヘキサノールはグリーン様香気を有し、醤油、コンブ中に同定されている。1-オクテン-3-オールはグリーン様香気を有し、醤油、かつお節、コンブ中に同定されている。この 3 種の化合物の濃度を変え、上記と同様な方法でkokの評価を行った結果、2-アセチルフランはkokを増強する至適濃



第 1 図 かつおつゆ (対照区; A) とコンブつゆ (B) の kok の強さ



第 2 図 ノーズクリップ有り (■)、無し (▨) で評価したときのコンブつゆの kok の強さ

第 3 表 こんぶつゆの香気成分の kok 寄与

Compounds	Concentration (ppb)	The number of panel judged to have more Koku intensity	
		control	+ Compound
2-Acetylfuran	100	9	22 *
2-Ethylhexanol	100	7	18 *
1-Octen-3-ol	10	7	19 *
Benzaldehyde	1000	11	15
1-Butanol	100	9	11
Furfural	100	6	13
Heptanal	10	7	12
1-Hexanol	100	6	16
3-Methylbutanol	100	11	11
Octanal	10	6	13

*significantly different at $p < 0.05$

第4表 コク寄与物質の検知閾値とコク増強至適濃度

	2-acetylfuran	2-ethylhexanol	1-octen-3-ol
検知閾値:	100 ppm	100 ppm	100 ppb
コク増強至適濃度	1 ppb	1 ppb	100 ppt

度は1ppb, 2-エチルヘキサノールは1ppb, 1-オクテン-3-オールは100pptであった(第4表)。一方, ノーズクリップを着用して同様な実験を行うと, 有意な差は見られなくなることからこれら香気がコクに対して影響を与えていることが示された。本研究と同様に先行研究においてもノーズクリップ着用により香気成分による甘味増強効果がみられないとの報告がなされている³⁰⁾。

興味深いことにこれらのコク増強至適濃度はそれぞれの検知閾値に比較して極めて低かった(第4表)。このような嗅覚と味覚の統合による閾値の変化については, いくつかの報告がある。たとえば, サッカリン(味覚)により, ペンズアルデヒドの閾値が低下することが知られている³¹⁾。また, 酪酸エチルはその閾値よりもはるかに低い濃度でショ糖の甘味を増強できるとの報告もある³²⁾。メカニズムは明らかでないが, これら嗅覚と味覚の統合は, 食品の味, おいしさを研究する上で興味深い課題であると考えられる。

4. まとめ

これまで, 香りに関する「コク付与物質」として香気物質(アリシン, スルフィド, ピラジンなど)が知られており, とくにピラジン類は岩崎らによって報告されている³³⁾。また, Kurobayashiらはセロリ由来の香気成分(フタリド類)について報告している³⁴⁾。本研究で得られた結果からも, 香気成分が食品のコクに大きく関与することが示唆された。しかしながら, コクの定義は定まっていないのが現状であり, 解釈が難しい面もある。本研究では「コクは味わいに広がり」と持続性が強められたときに感じる現象である」と定義し, 官能評価を行った。対照区としてかつおつゆと0.5% NaClと0.3% グルタミン酸ナトリウムを用いたことから, 本研究で同定した香気成分の効果は「コク付与」というより「うま味増強」と評価するべきであるとも考えられる。

既に述べたように, ストロベリー香気が甘味を増強する現象をはじめ, 香気成分が味覚を修飾することは

よく知られている。このような嗅覚と味覚の統合については近年研究が盛んに進められているところであるが, SchiffersteinとVerleghは香りと味の一致度(congruency)が甘味増強効果に必要であるとしている³⁰⁾。同様にDjordjevicらは醤油の香気成分は塩味増強効果をもつが, 甘味は増強しないことを報告している³⁵⁾。これらのことから, 香気成分による味の増強効果は経験(記憶)に依存しているとも考えられている。今後はその定義づけとともに, 脳における味覚, 嗅覚の統合メカニズム研究が進むことにより, 食品の「コク」についての科学的評価が明らかになることを期待したい。

文 献

- 1) 西村俊英, 江草愛: 味と匂誌, **19**, 167-176 (2012)
- 2) R.A. Frank and J. Byram: *Chem. Senses* **13**, 445-455, (1988)
- 3) I. Yajima, M. Nakamura, H. Sakakibara, T. Yanai and K. Hayashi: *Agric. Biol. Chem.*, **45**, 2761-2768 (1981)
- 4) I. Yajima, M. Nakamura, H. Sakakibara, J. Ide, T. Yanai and K. Hayashi: *Agric. Biol. Chem.*, **47**, 1755-1760, (1983)
- 5) H. Sakakibara, T. Yanai, I. Yajima, K. Hayashi: *Agric. Biol. Chem.*, **52**, 2731-2739, (1988)
- 6) H. Yamazaki, A. Ozeki and T. Fushiki: *Aroma Res.* **12**, 222-255 (2011)
- 7) H. Kawasaki, A. Yamada, R. Fuse and T. Fushiki: *Biosci. Biotech. Biochem.*, **72**, 2840-2846 (2008); *Biosci. Biotech. Biochem.*, **75**, 2288-2292 (2011)
- 8) 早瀬文孝, 高萩康, 渡辺寛人: 食科工, **60**, 59-71 (2013)
- 9) N. Nunomura and M. Sasaki: *Dev. Food Sci.* **28**, 287-312 (1992)
- 10) 鈴木敏博, 本杉正義: 食化工, **43**, 29-35 (1996)
- 11) 久保田芳郎, 宗像伸子, 館博: しょうゆの不思議, 日本醤油協会 (2005)

- 12) 山内文男, 大久保一良: 大豆の科学, 朝倉書店 (1992)
- 13) N. Nunomura, M. Sasaki, Y. Asao and T. Yokotsuka: *Agric. Biol. Chem.*, **40**, 491-495 (1976)
- 14) T. Aishima: *Agric. Biol. Chem.*, **43**, 1905-1910 (1979)
- 15) P. Steinhaus, and P. Schieberle: *J. Agric. Food Chem.*, **55**, 6262-6269 (2007)
- 16) 石津日出子: 調理科学, **3**, 91-99 (1970)
- 17) S. M. Lee, B.C. Seo and Y.S. Kim: *J. Food Sci.*, **71**, 146-156 (2006)
- 18) S. Kaneko, K. Kumazawa and O. Nishimura: *J. Agric. Food Chem.*, **61**, 3396-3402 (2013)
- 19) 久保田紀久枝, 水内裕子, 鷺野由紀: 家政誌, **40**, 341-346 (1989)
- 20) 小泉千秋: 水産物のにおい, 恒星社厚生閣 (1989)
- 21) 石黒恭佑, 若林秀彦, 川口宏和: 食科工, **48**, 570-577 (2001)
- 22) 川口宏和: 味と匂誌, **12**, 123-130 (2005)
- 23) 鷺野由紀, 久保田紀久枝, 小林彰夫: 家政誌, **40**, 265-270 (1989)
- 24) 石塚茂樹: 香料, No.163, 107-115 (1989)
- 25) T. Matsumoto, K. Saito, A. Nakamura, T. Saito, T. Nammoku, M. Ishikawa and K. Mori: *J. Agric. Food. Chem.*, **60**, 805-811 (2013)
- 26) T. Kajiwara, A. Hatanaka, T. Kawai, M. Ishikawa and T. Tsuneya: *J. Food. Sci.*, **53**, 960-962 (1988)
- 27) 高橋英史, 隅谷栄伸, 稲田有美子, 森大蔵: 食科工, **49**, 228-237 (2002)
- 28) 天野章: 香料, No.171, 157-164 (1991)
- 29) 藤村太一郎, 川合哲夫: 香料, No.212, 93-104 (2001)
- 30) H. N. Schifferstein and P. W. Verlegh: *Acta Psychol.* **94**, 87-105, (1996)
- 31) P. Dalton, N. Doolittle, H. Nagata and P.A.S. Breslin: *Nat. Neurosci.* **3**, 431-432, (2000)
- 32) D. Labbe, A. Rytz, C. Morgenegg, S. Ali and N. Martin: *Chem. Senses*, **32**, 205-214, (2007)
- 33) 岩崎弘明, 加藤朋恵, 斉藤知明: 特開平 11-313635 (1999)
- 34) Y. Kurobayashi, Y. Katsumi, A. Fujita, Y. Morimitsu and K. Kubota: *J. Agric. Food Chem.*, **56**, 512-516 (2008)
- 35) J. Djordjevic, R. J. Zatorre, M. Jones-Gotman: *Exp. Brain Res.* **159**, 405-408 (2004)