

総説特集 食べ物とおいしさと熟成を科学する - 5

牛肉の香りと熟成*

松石 昌典**

(日本獣医畜産大学応用生命科学部食品科学科)

食肉を鼻先で嗅いで感じる orthonasal aroma と食肉を口中で噛んだときに鼻に抜けるものとして感じる retronasal aroma のうち、後者は食肉のおいしさの形成や動物種識別に大きく貢献している。牛肉の熟成により 2 つの好ましい香りが生じる。1 つは甘いミルク様の香りの生牛肉熟成香 (orthonasal aroma) で、酸素存在下、赤身と脂身の共存部において細菌の作用によって生じる。もう 1 つは甘い脂っぽい香りの和牛香 (retronasal aroma) で、高度に脂肪交雑した和牛肉を薄切りして数日間酸素存在下に置いた後 80℃ で加熱することで生じる。和牛香にはラクトン類などの化合物が寄与すると推定された。

キーワード：牛肉の香り、牛肉の熟成、生牛肉熟成香、和牛香、ラクトン

1. 食肉の香りの分類と熟成

食肉のおいしさを構成する要因としては、食肉を口に入れてから感じられるテクスチャー、味、香りがある。このうち香りの果たす役割は大きい。

食肉の香りは、生肉で感じられる生鮮香気と加熱肉に感じられる加熱香気に大別されるが、通常食肉は加熱して食されることが多いため、加熱香気が話題になることが多い (図 1)。加熱香気には、100℃ 以下の加熱で生じるボイル肉香気、100℃ 以上の加熱で生じるロースト肉香気および動物種特異臭などがある。これらのうち、ボイル肉香気とロースト肉香気は肉様香気を中心にして水煮臭やロースト臭などの特徴的な香気が組み合わさって形成されていると考えられる。肉様香気については、多くの研究がなされており図 2 に示したような肉様香気を持つ 27 種の化合物が同定されている¹⁾。その多くは、硫黄を含む複素環式化合物である。

他方、食肉の香りは、食肉を鼻先で嗅いで感じられる orthonasal aroma と食肉を口中で噛んだときに

口腔から鼻に抜けるものとして感じられる retronasal aroma に分類できる (図 3)²⁾。このうち、retronasal aroma は味と同時に知覚されるため、しばしば味と混同されることがある。しかし、両者は鼻孔を開閉することにより識別可能である。すなわち、鼻孔を閉じても感じられるのが味であり、鼻孔を開けて初めて感じられるのが retronasal aroma である。食肉の熟成による香りの変化については数例の報告があるが、味と retronasal aroma とを区別しないで flavor として評価したものが多い。Hodges ら³⁾は真空下で 15 日間熟成した牛肉ロインが熟成しなかったものに比べて beef flavor 強度が上昇したと報告し

・生鮮香気 血液臭など
 ・加熱香気 ボイル肉香気---肉様香気、水煮臭、脂肪臭で構成
 ロースト肉香気---肉様香気、ロースト臭、脂肪臭で構成
 動物種特異臭---マトン臭など
 性臭-----ボア臭など
 飼料臭-----草臭など

図 1 食肉の香りの分類。

* Recieved May 25, 2004; Revised and Accepted July 2, 2004
 Beef aroma and conditioning.

** Masanori Matsuishi: Department of Food Science and Technology, Faculty of Applied Life Science, Nippon Veterinary and Animal Science University, 7-1, Kyonan-cho, 1-chome, Musashino-shi, Tokyo 180-8602, Japan
 matmas@nvau.ac.jp, Fax:+81-422-51-9984

松石

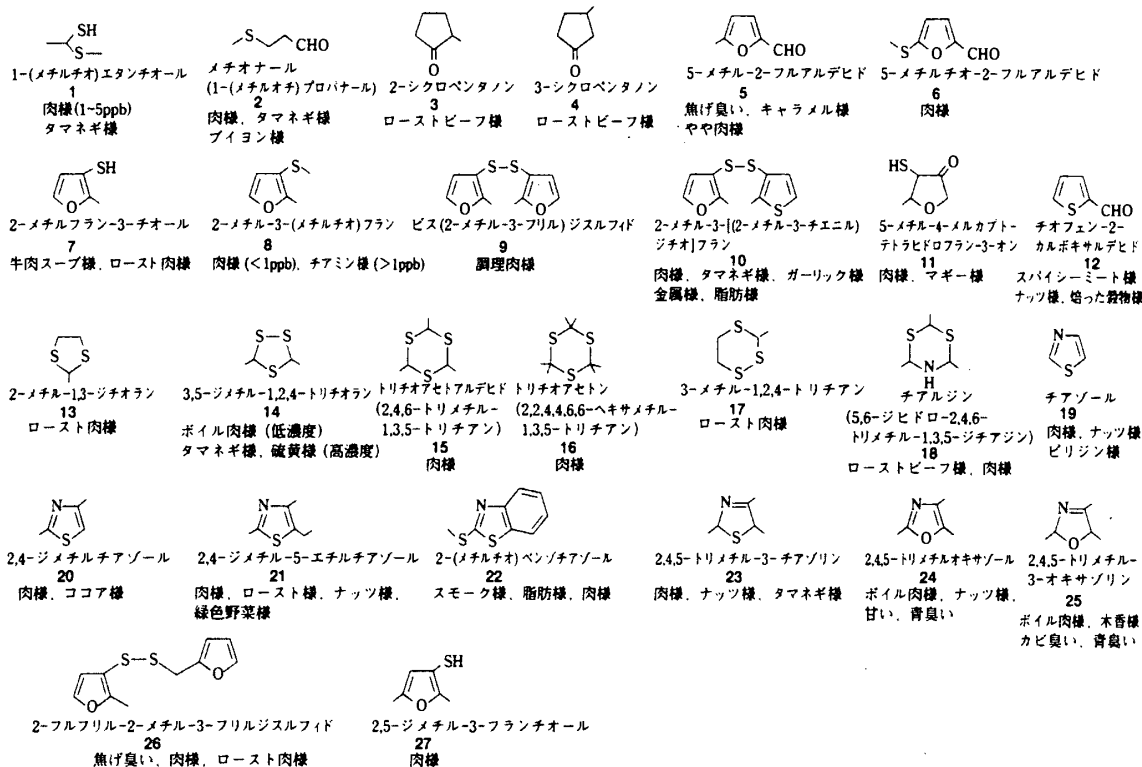


図2 加熱した食肉で検出された肉様香気物質¹⁾。

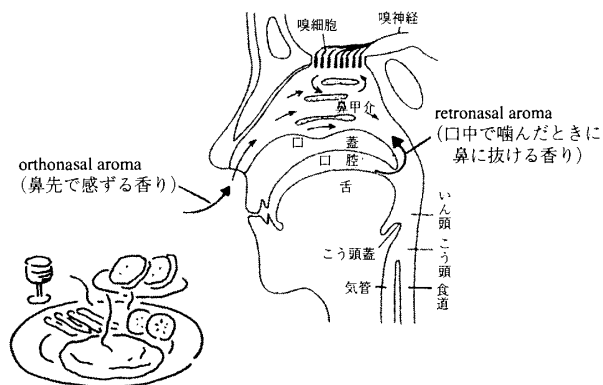


図3 orthonasal aroma と retronasal aroma。

ている。Warren と Kastner⁴⁾も空気下で11日間熟成した牛肉ロインでは beefy flavor が強まったとしている。さらに、Coppock と MacLeod⁵⁾は、真空下で4週間熟成した牛肉サーロインでは強い、風味の良い香りになったと報告している。一方、Seideman ら⁶⁾と Bidner ら⁷⁾は熟成肉と未熟成肉の間に flavor 強度の差がなかったと報告している。また、Davis ら⁸⁾も牛肉の真空下での4-16日間の熟成では flavor スコアの差が生じなかったとしている。このように、報告によって、熟成により flavor が向上するものとするものと向上しないものがあるのは、その多く

が味と retronasal aroma を一緒にした flavor で評価したことが1つの原因になっていると考えられる。すなわち、味あるいは retronasal aroma のいずれか一方が熟成によって向上したとしても、他方が向上していなければ、総合評価の flavor としては向上していないと評価されてしまうようなことがあり得るだろう。

しかし、味と retronasal aroma を明確に識別することは重要である。なぜならば、retronasal aroma は以下に述べるように、食肉の動物種識別や牛肉の熟成による美味しさの向上に大きく貢献しているからである。

2. 食肉の動物種識別における retronasal aroma の重要性⁹⁾

我々は各種の食肉を食べるときに、この肉は牛肉である、あるいは、鶏肉であるというように動物種を識別しているが、その判断の根拠として味、香り、テクスチャーのいずれが重要であるかを調べた。

目隠ししたパネリストが、牛、豚、鶏、羊、合鴨の加熱肉片、加熱パティ、加熱スープを、鼻孔を閉じた状態と開けた状態で口に入れ、その動物種と判

牛肉の香りと熟成

定根拠を回答した。

まず、加熱肉片の場合の結果を表1に示した。鼻孔を閉じた場合には、鶏肉が72%と正答率が高いが、他の動物種ではいずれも50%以下というように低かった。鶏肉についての判定根拠は味よりもテクスチャーの方が多かった。これは、鶏肉が独特な弾力性のある軟らかい食感をもっているためであろう。また、他の動物種の肉でも、判定根拠としては味よりもテクスチャーを挙げるものが多かった。一方、鼻孔を開けた場合には、いずれの動物種の肉でも正答率が上昇し、判定根拠としては香り (retro-nasal aroma) を挙げる者が多かった。鶏肉ではなお、テクスチャーと味を判定根拠に挙げるものが多くいたが、テクスチャーについては、鶏肉が独特の食感をもっているためであろう。他方、味については、後のスープの実験で鶏肉特有の味はないことが示されているので、おそらく独特の食感が味の感じ方を変えているのだと考えられる。

次に、部分的に筋肉の構造を破壊した加熱パティの場合の結果を表2に示した。鼻孔を閉じた場合には、鶏肉が61%と正答率が高いが、他の動物種ではいずれも40%以下というように低かった。鶏

肉についての判定根拠は味よりもテクスチャーの方が多かった。これは、パティにしてもカマボコ様の弾力性のある食感を有していたことがその理由であろう。いずれの動物種の肉においても、肉片の場合に比べて正答率が低下したのは、部分的に構造が破壊されて判定しがたくなったことを示すのであろう。一方、鼻孔を開けた場合には、いずれの動物種の肉でも正答率が上昇し、判定根拠としては香り (retro-nasal aroma) を挙げるものが多かった。鼻孔を開けた場合の正答率は加熱肉片と加熱パティ (表1と表2) とではほぼ同じであり、このことは、筋肉の構造が部分的に破壊されてもパネリストは香りによって動物種を正しく判定できることを示している。

最後に、筋肉の構造が全くない加熱スープの場合の結果を、表3に示した。鼻孔を閉じた場合には、いずれの動物種の正答率も30%以下であった。これは、肉片やパティの場合と比べても著しく低い値であり、味のみで動物種を判定するのは極めて難しいことを示している。いいかえれば、各動物種のスープの味はほとんど差がないことを示している。西村ら¹⁰⁾は、牛肉、豚肉、鶏肉の遊離アミノ酸パターン

表1 加熱肉片^{a)}の動物種を判定したときの正答率と判定根拠。

畜種	鼻孔を閉じたときの判定				鼻孔を開けたときの判定				
	正答率 (%) ^{b)}	判定根拠 ^{c)}			正答率 (%) ^{b)}	判定根拠 ^{c)}			
		味	テクスチャー	その他		味	香り	テクスチャー	その他
牛	44	2	7	5	69	2	18	6	3
豚	38	2	9	2	50	0	8	1	6
鶏	72	5	23	0	84	8	14	13	1
羊	47	3	4	8	66	0	20	0	1
合鴨	44	3	11	2	69	4	21	3	1

a: 4回の試験を行なった。各試験では、いずれの動物種も異なるロットの市販肉を用いた。参加したパネリストはそれぞれ8, 8, 9, 7人で合計32人。

b: 4回の試験で正しい動物種を回答したパネリストの割合。

c: それぞれの判定根拠を挙げた正答者の数。パネリストは複数の判定根拠を回答してよいことにした。

表2 加熱パティ^{a)}の動物種を判定したときの正答率と判定根拠。

畜種	鼻孔を閉じたときの判定				鼻孔を開けたときの判定				
	正答率 (%) ^{b)}	判定根拠 ^{c)}			正答率 (%) ^{b)}	判定根拠 ^{c)}			
		味	テクスチャー	その他		味	香り	テクスチャー	その他
牛	36	2	7	3	64	4	15	3	0
豚	36	3	4	6	61	4	7	1	7
鶏	61	11	14	0	73	3	18	10	0
羊	33	2	3	5	67	1	21	0	0
合鴨	30	4	5	3	52	1	16	2	1

a: 表1の肉片の場合と同じように4回の試験を行った。参加したパネリストは7, 10, 8, 8人で合計33人。

b: 4回の試験で正しい動物種を回答したパネリストの割合。

c: それぞれの判定根拠を挙げた正答者の数。パネリストは複数の判定根拠を回答してよいことにした。

表3 加熱スープ^aの動物種を判定したときの正答率と判定根拠。

畜種	鼻孔を閉じたときの判定			鼻孔を開けたときの判定			
	正答率 (%) ^b	判定根拠 ^c		正答率 (%) ^b	味	香り	その他
牛	14	4	1	29	4	4	2
豚	17	5	1	29	3	7	2
鶏	26	7	2	43	6	6	2
羊	14	2	3	66	2	22	1
合鴨	22	5	2	34	3	8	2

a: 表1の肉片の場合と同じように4回の試験を行った。参加したパネリストは8, 10, 10, 7人で合計35人。

b: 4回の試験で正しい動物種を回答したパネリストの割合。

c: それぞれの判定根拠を挙げた正答者の数。パネリストは複数の判定根拠を回答してよいことにした。

はほぼ同じであると報告しているの、加熱スープの肉様の味は遊離アミノ酸パターンによって決まり、しかもそれが動物種間で似ているために味での動物種識別が難しいことを示唆している。一方、鼻孔を開けた場合には、鼻孔を閉じた場合に比べて正答率が上昇した。特に羊肉スープでは66%と著しく高まった。これは、加熱スープにあるマトン臭が識別を助けたものと考えられる。他の動物種については鼻孔を開けても加熱肉片や加熱パティの場合に比べると著しく低い正答率であったので、おそらく、各動物種特異臭が加熱スープ調製の際に除かれてしまったと考えられる。

以上の結論として、食肉の動物種識別において最も重要な貢献をしているのは香り(retronasal aroma)で、次に重要なのはテクスチャーである。味の寄与は著しく小さいと考えられる。香りは、牛肉の香り、羊肉の香りというようにその特徴を記憶しやすいのに対して、テクスチャーは鶏肉を除けばその特徴を記憶しにくく、直接比較をしないとわかりにくい。したがって、こうしたことから動物種識別での香りの貢献は大きいと言えるだろう。

3. 牛肉の熟成により生じる好ましい香り、生牛肉熟成香と和牛香

3.1. 消費者の各種牛肉に対する嗜好性

財団法人日本食肉消費総合センターが全国の主要都市の2000世帯を対象に毎年行っている調査から、いくつかの品種の牛の肉に対するわが国の消費者の嗜好を知ることができる¹¹⁾。その調査結果では表4に示したように、常に2000世帯の85%前後が国産牛肉(和牛肉と乳牛肉などの非和牛肉を含む)

を好み、輸入牛肉を好むのはわずかに3%前後である。それぞれを好む第一の理由は、国産牛肉はおいしいから、輸入牛肉は価格が安いからであることが別表に示されている¹¹⁾。

味についての調査結果は、表5に示したとおりである。ここでは、国産牛肉を和牛肉とその他の国産牛肉に分けて尋ねている。その結果、和牛肉をおいしいとする世帯は82.4%で、おいしくないとする世帯はわずか0.5%である。また、和牛肉以外の国産牛肉(主に乳牛肉と考えられる)をおいしいとする世帯が26.0%もあることは注目し得る。これに対して、輸入牛肉をおいしいとする世帯は2.6%で、おいしくないとする世帯は36.1%もある。したがって、日本の消費者は和牛肉を最もおいしいと評価しているのである。

上記の調査では、和牛肉は味が優れているからおいしいという結論であるが、果たしてそうであるかを確認するために、和牛肉と輸入牛肉の味と香味の好ましき比較検討した(表6)¹²⁾。その結果、鼻孔を閉じて味のみの好ましさを判定した場合には、和牛肉と輸入牛肉には有意な差は見られなかった。しかし、鼻孔を開けてretronasal aromaが感じられるようにして判定した場合には、有意に和牛肉の方が好ましいと判定された。したがって、和牛肉がおいしいのは、味ではなくて香り(retronasal aroma)が優れているからとすることになる。

3.2. 生牛肉熟成香の生成機構

和牛肉の優れた香りの生成機構を調べるにあたって、次のような仮説を立てた。表5において和牛肉以外の国産牛肉(乳牛肉)をおいしいとする世帯が26.0%もあることから、乳牛肉にも和牛肉と共通の優れた香りがあると考えた。また、この香りは熟成によって生成すると思えた。なぜならば、1で述べたとおり牛肉の熟成でflavorあるいは香りが向上するとする報告があるからである。そこでまず、比較的入手しやすい乳牛肉を熟成させることによって優れた香りが生じるかどうかを調べた。

0℃で20日間空気下で貯蔵した乳牛肉と-80℃で18日間凍結貯蔵後に4℃で2日間解凍した乳牛肉をホットプレートで加熱して、味と香味を比較した¹³⁾。表7に示すように、鼻孔を閉じた状態での味では両者に差がないとする判定が多かったのに対

牛肉の香りと熟成

表4 消費者の国産牛肉と輸入牛肉の好み。

調査年月	回答世帯数	好むと回答した割合 (%)			
		国産牛肉	輸入牛肉	どちらともいえない	無回答
1997年12月	2000	85.8	2.4	11.6	0.3
1998年12月	2000	85.8	3.3	10.9	0.1
1999年12月	2000	84.9	3.0	10.4	1.7
2000年12月	2000	82.0	2.5	14.0	1.5

(財)日本食肉消費総合センター季節別食肉消費動向調査より)。

表5 消費者の牛肉の味に対する評価。

牛肉の種類	回答世帯数	味についての回答 (%)			
		おいしい	ふつう	おいしくない	無回答
国産牛肉					
和牛肉	2000	82.4	16.1	0.5	1.1
その他	2000	26.0	69.7	2.2	2.1
輸入牛肉	2000	2.6	54.3	36.1	7.2

1998年12月調査 (財)日本食肉消費総合センター季節別食肉消費動向調査より)。

表6 加熱和牛肉のおいしさに対する香りの寄与。

評価項目	より好ましいと判定された試料		検定
	和牛肉 ^a	輸入牛肉 ^a	
味 ^b	11	9	有意差なし
香味 ^c	19	1	有意差あり (P<0.001)

a: 牛肉試料 (約 4x3x0.2-0.4cm) を 1% 食塩水中で 2 分間加熱した。

b: 10 人の鼻孔を閉じたパネリストが判定した。

c: 10 人の鼻孔を開けたパネリストが判定した。

し、鼻孔を開けた状態での香味では 0°C 貯蔵肉の方が -80°C 貯蔵肉よりも好ましいとする判定が多かった。この結果は、0°C 貯蔵肉には熟成により好ましい香り (retronasal aroma) が生じていることを示している。このとき、加熱する前の生肉のにおいを鼻先で嗅いでみたところ、甘いミルク様の生鮮香気が感じられた。そこで、生肉の orthonasal aroma の好ましさを 2 点嗜好試験で調べた結果、0°C 貯蔵肉は -80°C 貯蔵肉よりも有意に好ましい香りを有していることが判明した (表 8)。この時点では、この好ましい香りが加熱した後に残存し、表 7 に示されたような熟成した乳牛肉の好ましい香味に貢献していると推定した。そこでこの甘いミルク様の香りを生牛肉熟成香と命名した。

生牛肉熟成香の生成条件を検討した結果¹³⁾、その生成には酸素が必要であることが判明した。また、赤身と脂身の共存も必要であった。これらの条件は、空気下で熟成される霜降り和牛肉には有利であり、逆に赤身がほとんどで真空包装されて輸入される輸入牛肉には不利である。さらに、牛肉塊にクロラムフェニコールを噴霧して貯蔵するとこの香りの生成

が抑制されたことから、この香りの生成には細菌が関与することが判明した。さらに、牛肉の細菌のスクリーニングを行った結果、*Brochothrix thermosphacta* が生牛肉熟成香生産菌の 1 つであることが明らかとなった¹⁴⁾。この菌は、牛肉に常在する低温細菌であり、通性嫌気性を示し、病原性は有していない。

3.3. 和牛香の生成機構

こうした細菌が和牛肉塊の表面や内部でどの程度繁殖し、香りを生成しているのかを調べた¹⁵⁾。和牛肉塊を脂身側表面、脂身寄り内部、最内部、底部寄り内部、底部表面に分け、それぞれについて生肉と加熱肉の生牛肉熟成香強度および総生菌数と *Brochothrix thermosphacta* 数を測定した。その結果、表 9 に示したように、生肉での香り (orthonasal aroma) は内部より表面で強く、それに対応して *Brochothrix thermosphacta* 数も表面の方が多かった。したがって、*Brochothrix thermosphacta* は主に肉塊表面で繁殖し、生牛肉熟成香を生成すると考えられた。一方、加熱肉の香り (retronasal aroma) については脂身寄り内部のように *Brochothrix thermosphacta* が少ないにも関わらず、生牛肉熟成香が強いと判定される部分があった。しかも、いずれの部位でも生肉よりも加熱肉の方が香りが強いと判定された。この結果から、和牛肉には生牛肉熟成香と質が似通っているが、加熱で生じる別の甘い脂っぽい香りが存在すると考えられた。これまでは、鼻先で感じられるミルク臭に似た甘い香りの生牛肉熟成香が、肉を加熱した後も残存して、その肉を口に入れたときに甘

松石

表7 0℃と-80℃で貯蔵した乳牛肉を加熱したもののおいしさに対する香りの寄与。

判定項目	パネリスト	好ましき	判定数
味	8人 (鼻孔閉)	0℃貯蔵肉 > -80℃貯蔵肉	3
		0℃貯蔵肉 = -80℃貯蔵肉	19
		0℃貯蔵肉 < -80℃貯蔵肉	2
香味	8人 (鼻孔開)	0℃貯蔵肉 > -80℃貯蔵肉	14
		0℃貯蔵肉 = -80℃貯蔵肉	5
		0℃貯蔵肉 < -80℃貯蔵肉	5

0℃貯蔵肉: と殺後4日目より空気下、0℃で20日間貯蔵。

-80℃貯蔵肉: と殺後4日目より-80℃で18日間貯蔵したのち4℃で2日間解凍。

表8 0℃と-80℃で貯蔵した乳牛肉の生鮮香気の好ましき。

より好ましいとした判定数		検定
0℃貯蔵肉	-80℃貯蔵肉	
22	2	有意差あり(P<0.001)

8人のパネリストで判定した。

0℃貯蔵肉: と殺後4日目より空気下、0℃で20日間貯蔵。

-80℃貯蔵肉: と殺後4日目より-80℃で18日間貯蔵したのち4℃で2日間解凍。

表9 熟成和牛肉塊の表面および内部における熟成香強度と菌数。

試料	部位	熟成香強度 ^a		菌数(個/g肉)	
		生肉	加熱肉	総生菌数	<i>Brochothrix thermosphacta</i> 数
A ^b	脂身側表面	0.50	1.05	2.1×10 ⁹	1.1×10 ⁸
	脂身寄り内部	0.50	1.33	3.0×10 ⁹	4.8×10 ²
	最内部	0.25	0.67	2.6×10 ²	0
	底部寄り内部	0.25	0.42	3.9×10 ²	4.3×10 ¹
	底部表面	0.42	0.75	2.9×10 ⁵	6.5×10 ⁴

a: 0、なし: 0.5、ごく弱い: 1.0、弱い: 2.0、中程度: 3.0、強い。6人のパネリストで判定した強度の平均値を示した。

b: -1~-2℃で59日間貯蔵した和牛のうちもも肉。

い脂っぽい香りとして感じられるのだろうと考えていたが、そうではなくて、生牛肉熟成香と加熱肉を口に入れたときに感じられる甘い脂っぽい香りは別のものだということである。市販の薄切り和牛肉を調査した結果、その多くで生牛肉熟成香は感じられないにも関わらず、加熱するとこの甘い脂っぽい香りが認められた。そこで、この甘い香りを和牛香(煮牛肉熟成香)と命名した。そして、生牛肉熟成香ではなく、この和牛香が表6で示された和牛肉の優れた香りの主因子であると結論した。なお、この香りは生肉を口に含んでも感じられないこと、および、肉を焼いたときよりも煮たときの方が香りを感じやすいことが判明している。

和牛香の生成条件を調べた¹²⁾。まず、40、60、80、100℃で市販の薄切り和牛肉を加熱し、いずれの温度で和牛香がよく生じるのかを調べた。その結果、

80℃で最も強く生じることが判明した(表10)。100℃での加熱では、真空包装したものの方が真空包装しないものより点数が高かったが、真空包装した80℃加熱よりもなお点数が低かった。したがって、100℃加熱では和牛香は揮散するかあるいは何らかの化学反応で失われるものと考えられる。

和牛香は和牛肉を熟成する前から存在するのかわかを調べた。と殺後0℃に3日間置いた和牛肉(脂肪交雑等級5)と市販の薄切り和牛肉(と殺後1~2週間熟成されていると考えられる)とで和牛香強度を比較した。その結果、市販の薄切り和牛肉の方が和牛香が強いと判定された。したがって、和牛香の生成にはある程度熟成が必要であることが示唆された。そこで、同じ和牛肉(脂肪交雑等級5)を薄切りにして4℃で含気貯蔵したものと、肉塊のまま-80℃貯蔵したものとで和牛香の強度を比較した。

牛肉の香りと熟成

その結果、表 11 に示すように 5、11 日間貯蔵した 4℃含気貯蔵肉片は -80℃貯蔵肉塊よりも和牛香が強いと判定された。さらに、4℃含気貯蔵肉片と 4℃真空貯蔵肉片の和牛香強度を比較した結果、含気貯蔵肉片の方が和牛香が強いと判定された。これらの結果により、和牛香の生成には和牛肉を薄切りにして空気下で数日間貯蔵することが必要であることが示された。他方、脂肪交雑等級 3 の和牛肉をと殺後 6 日目に入手し、薄切りにして空気下と真空下に 5 日間貯蔵したが、空気下に置いたものの和牛香は真空下に置いたもののそれより強くならなかった。このことは、脂肪交雑度の低い和牛肉は脂肪交雑度の高い和牛肉よりも和牛香の生成に時間を要することを示している。これは言い換えれば、脂肪交雑度が高いほど和牛香の生成に有利であることを示している。

和牛香の生成に対する細菌の寄与について調べた。市販の和牛肉塊を 0.2-0.4 cm に薄切りにし、一方はそのまま空気下に 5 日間貯蔵し、他方は 200 ppm クロラムフェニコール溶液に 15 秒間浸漬したのち空気下に 5 日間貯蔵した。貯蔵後両者を加熱した後和牛香の強度を比較したが、大きな差は見られなかった (表 12)。したがって、和牛香の生成には細菌は寄与していないと考えられた。これは、和牛香が生牛肉熟成香とは異なる機構で生成すること

を示している。

和牛香の生成に寄与する成分を明らかにするために、和牛肉をいくつかの成分に分画した¹⁶⁾。得られた画分は、筋原線維画分、筋漿画分、粗ミトコンドリア画分、および筋内脂肪画分である。これらの画分を単独であるいは組み合わせて加熱し、和牛香強度を官能評価した。その結果、これらを単独で加熱したときには、筋内脂肪画分に弱い和牛香が認められた (表 13) もの他の画分には和牛香は認められず、別種の香りが感じられた (筋原線維画分は無臭で、筋漿画分はイモ臭と青臭い香り、粗ミトコンドリア画分にはイモ臭と含硫化合物の香りがした)。しかし、筋内脂肪画分に他の 3 つの画分をそれぞれ混合して加熱した結果、粗ミトコンドリア画分を混合したときに最も強い和牛香が認められた (表 13)。これは、筋内脂肪の弱い和牛香に粗ミトコンドリア画分の肉様を連想させる含硫化合物の香りが合わさったことにより、甘い脂っぽい香りの和牛香が感じやすくなったものと考えられる。

以上のことから、和牛香は赤身とその中に交雑する脂肪が酸素と接触することで何らかの反応が起こり、この後に加熱することで発生することが明らかとなった。

3.4. 和牛香の香気成分¹⁷⁾

和牛香の香気成分を明らかにするために、和牛肉と輸入牛肉の香気画分を得て両者を比較する実験を行った。牛挽肉 20 g を 1% NaCl 100 ml および 0.05 μg/ml n-ヘキサデカン (内部標準) ジエチルエーテル溶液 0.1 ml とともにホモジナイズした。得られたホモジネートを用いて連続水蒸気蒸留を 30 分間行い、香気成分をジエチルエーテル中に捕集した。この操作を 30 回繰り返し、合計 600 g の肉から香気画分を得た。得られた画分を脱水、濃縮後にガス

表 10 各温度で加熱した和牛肉の和牛香強度の比較。

加熱条件	和牛香強度 ^a			
	40℃	60℃	80℃	100℃
含気下	0.21	0.71	-	-
	0.21	-	1.0	-
	0.21	-	-	0.21
	-	0.57	1.1	-
	-	0.50	-	0.07
	-	-	1.1	0.29
真空下	-	-	1.3	0.70

a: 7 人のパネリストが判定した強度の平均値を示した。

和牛香強度: 0、なし; 0.5、ごく弱い; 1.0、弱い; 2.0、中程度; 3.0、強い。

表 11 空気下あるいは真空下で貯蔵した和牛肉 (脂肪交雑等級 5) の和牛香。

貯蔵日数 (日)	和牛香が強いと判定された数 ^a			
	4℃含気貯蔵肉片	-80℃貯蔵肉塊	4℃含気貯蔵肉片	4℃真空貯蔵肉片
1 ^b	3	2	4	0
5 ^c	4	1	4	1
11 ^d	6	1	-	-

a: パネリストは、80℃で 2 分間加熱した肉片を口に含んで判定した。

b: 5 人あるいは 4 人で判定した。

c: 5 人で判定した。

d: 7 人で判定した。

クロマトグラフィー (GC) 分析、ガスクロマトグラフィー-マススペクトロメトリー (GC-MS) 分析、GC-におい嗅ぎ分析に供した。GC-におい嗅ぎ分析では、各成分の香りの質を記録するとともに、AEDA (Aroma Extraction Dilution Analysis) 法¹⁸⁾に従い、香気画分をジエチルエーテルで⁴⁰から⁴⁷倍まで段階的に希釈したものを GC に導入し、各ピークの香気を感じられなくなる手前の希釈率を FD factor (flavor dilution factor) として求めた。FD factor は各香気成分の存在濃度/閾値を意味し、この値が高いほどその香気成分が感知されやすく、寄与率が高いことを意味している。

分析の結果、和牛肉と輸入牛肉のいずれからも揮発性成分として、ラクトン類5種、ケトン類5種、アルコール類8種、不飽和アルコール類3種、エステル類2種、脂肪族アルデヒド類9種、脂肪族不飽和アルデヒド類8種、酸類2種、その他6種の合計48成分が検出同定された。これらを香りの質にしたがって分類し、そのうち FD factor が高い主なものを表14、15、16に示した。ココナッツ様、桃様の香りを有するラクトン類は、表14に示されたように和牛肉に著しく多く、しかも、 γ -ノナラクトンのように FD factor が1024と高いものがある。香りの質は甘さを伴ったものであり、和牛香の甘さへの寄与が大きいと考えられる。ココナッツ様、桃様以外の果物の香りを有する成分はやはり輸入牛肉より和牛肉に多く検出されているが、その差はラクトン類ほど大きくない。香りの質からして、和牛

香に直接貢献するとは考えにくい。脂肪様香気を持つケトン類、アルデヒド類などは表15に示されているが、やはりこれらも輸入牛肉より和牛肉に多く検出されており、しかも、ジアセチル、アセトイン、E-2-ノネナールのように FD factor が256と高いものがある。香りの質からして、和牛香の脂っぽさに寄与している可能性がある。表16にはグリーン香気を持つ成分が示されている。これらの化合物も輸入牛肉よりも和牛肉に多く検出されており、ヘキサナールのように FD factor が4096とかなり高いものがある。しかし、香りの質からすると和牛香に直接寄与するとは考えにくい。これらは、差はあっても輸入牛肉にも見出されることから、他の成分と混じり合って牛肉共通の加熱香気の形成に寄与しているのかもしれない。

以上のことから結論としては、和牛香の甘さはココナッツ様、桃様の香りを有するラクトン類が貢献しており、脂っぽさには、脂肪様香気を有するジアセチル、アセトインや一部のアルコール類、アルデヒド類などが寄与しているという推定が導き出される。

4. おわりに

著者らは、牛肉を熟成することによって生じる2つの好ましい香り、生牛肉熟成香と和牛香を見出した。いずれも酸素との接触、脂身と赤身の共存が必要である点は同じであったが、その他の生成条件は異なっていた。

表12 和牛香の生成に対するクロラムフェニコール処理の影響。

実験 ^a	パネリスト数	和牛香強度の平均値 ^b	
		対照和牛肉 ^c	処理和牛肉 ^d
I	5	0.9	1.2
II	4	1.4	1.4

a: 実験IとIIでは市販の異なる個体の和牛肉を用いた。

b: なし: 0.5、ごく弱い: 1.0、弱い: 2.0、中程度: 3.0、強い。

c: 薄切り和牛肉を4℃で5日間貯蔵後、80℃で2分間加熱した。

d: 薄切り和牛肉を200 ppm クロラムフェニコールに15秒間浸漬した。

4℃で5日間貯蔵後、80℃で2分間加熱した。

表13 和牛肉赤身の各画分を筋内脂肪と混合して加熱したときの和牛香強度。

試料 ^a	パネリスト数 (人)	和牛香強度 ^b の平均値			
		脂肪のみ	脂肪+筋原線維画分	脂肪+筋漿画分	脂肪+粗ミトコンドリア画分
A	4	0.38	0.38	0.50	1.5
B	5	0.10	0.30	0.80	2.0

a: 試料AとBは市販の異なる個体の和牛肉である。A、B間に等級の差はない。

b: 和牛香強度: 0、なし: 0.5、ごく弱い: 1.0、弱い: 2.0、中程度: 3.0、強い。

牛肉の香りと熟成

生牛肉熟成香は orthonasal aroma であり、生肉に感じられる甘い、ミルク様の香りである。残念ながら、加熱和牛肉のおいしさへの寄与は小さいと考えられたが、タルタルステーキなどの生牛肉料理のおいしさには貢献するだろう。また、牛肉が酸素存在下で熟成されたことを示す指標としての意味はあるだろう。

一方、和牛香は retronasal aroma であり、加熱和牛肉に感じられる甘い、脂っぽい香りである。すき焼き、しゃぶしゃぶなどの加熱料理のおいしさに貢献しており、この香りの存在は、日本人が和牛肉を好む主要な原因になっていると考えられる。和牛香に寄与すると考えられる香気成分はいずれも含酸素化合物であるが、これは和牛香の生成に酸素存在下

で熟成されることが必須であるという知見と強く関連していると見られる。そしてこのことは、今後これらの化合物の生成機構を解明する上で重要な示唆の1つであろう。

文 献

- 1) 沖谷明紘, 松石昌典: 天然および食品の香気成分-肉類, 最新香料の事典 (荒井綜一, 小林彰夫, 矢島泉, 川崎通昭編), 朝倉書店, 東京, pp.301-313 (2000)
- 2) Roberts DD and Acree TE: Simulation of retronasal aroma using a modified headspace technique: Investigating the effects of saliva, temperature, shearing, and oil on flavor release. *J. Agric. Food Chem.* 43,

表 14 果物様香気をもつ主な成分の量と香りの質。

FD factor	成分名	相対量		香りの質
		和牛肉	豪州産牛肉	
<甘い果物の香り>				
(ラクトン類)				
1024	γ -ノナラクトン	1.45	tr	ココナッツ様
16	γ -デカラクトン	0.29	-	桃様、ココナッツ様
16	δ -デカラクトン	0.73	tr	桃様、ミルク様
4	δ -ウンデカラクトン	0.37	tr	桃様、ミルク様
1	γ -ドデカラクトン	tr	-	桃様、ミルク様
<果物の香り>				
256	デカナール	0.99	0.63	オレンジ様、レモングラス様
256	プロピオン酸ヘキシル	0.10	tr	梨様
64	2-トリデカノン	0.2	0.09	果物様、ワックス様

tr, 痕跡量; -, 検出されない

表 15 脂肪様香気 (脂っぽい香り) をもつ主な成分の量と香りの質。

FD factor	成分名	相対量		香りの質
		和牛肉	豪州産牛肉	
256	ジアセチル	8.64	2.35	バター様、発酵臭
256	アセトイン	4.95	3.46	バター様、脂臭い
256	E-2-ノネナール	1.30	0.55	グリーン、柑橘様、脂臭い
16	d-リモネン	4.13	1.10	柑橘様、脂臭い
16	E-2-オクテナール	2.78	0.78	グリーン、柑橘様、脂臭い
16	ヘキサナール	4.50	3.54	グリーン、脂臭い

表 16 グリーン香気 (緑の香り) をもつ主な成分の量と香りの質。

FD factor	成分名	検出量		香りの質
		和牛肉	豪州産牛肉	
4096	ヘキサナール	50.55	6.01	グリーン、リンゴ様、花様
256	(E,E)-2,4-ノナジエナール	2.41	0.82	グリーン、金属臭
64	ノナナール	4.70	0.29	松葉様

- 2179-2186 (1995)
- 3) Hodges JH, Cahill VR and Ockerman HW: Effect of vacuum packaging on weight loss, microbial growth, and palatability of fresh beef wholesale cuts. *J. Food Sci.* 39, 143-146 (1974)
- 4) Warren KE and Kastner CL: A comparison of dry-aged and vacuum-aged beef strip loins. *J. Muscle Foods* 3, 151-157 (1992)
- 5) Coppock BM and MacLeod G: The effect of aging on the sensory and chemical properties of boiled beef aroma. *J. Sci. Fd. Agric.* 28, 206-214 (1977)
- 6) Seideman SC, Cross HR and Crouse JD: Variations in the sensory properties of beef as affected by sex condition, muscle and postmortem aging. *J. Food Quality* 12, 39-58 (1989)
- 7) Bidner TD, Montgomery RE, Bagley CP and McMillan KW: Influence of electrical stimulation, blade tenderization and postmortem vacuum aging upon the acceptability of beef finished on forage or grain. *J. Anim. Sci.* 61, 584-589 (1985)
- 8) Davis KA, Huffman DL and Cordray JC: Effects of mechanical tenderization, aging, and pressing on beef quality. *J. Food Sci.* 40, 1222-1224 (1975)
- 9) Matsuishi M, Igeta M, Takeda S and Okitani A: Sensory factors contributing to the identification of the animal species of meat. *J. Food Sci.* in press
- 10) Nishimura T, Rhue MR, Okitani A, Kato H: Components contributing to the improvement of meat taste during storage. *Agric. Biol. Chem.* 52, 2323-2330 (1988)
- 11) 財団法人日本食肉消費総合センター：季節別食肉消費動向調査報告（第44回），pp.71-82 (2000)
- 12) Matsuishi M, Fujimori M and Okitani A: Wagyu beef aroma in Wagyu (Japanese Black Cattle) beef preferred by the Japanese over imported beef. *Anim. Sci. J.* 72, 498-504 (2001)
- 13) 松石昌典，森壽一郎，文允熙，沖谷明絃：牛肉の含気熟成による生鮮香気，熟成香の生成，日本畜産学会報 64，163-170 (1993)
- 14) Matsuishi M, Fujimori M, Moon Y-H and Okitani A: Isolation and characterization of a bacterium producing the conditioned raw beef aroma. *Anim. Sci. J.* 71, 409-415 (2000)
- 15) 松石昌典，藤森光弘，沖谷明絃：和牛肉における生牛肉熟成香と煮牛肉熟成香の存在，第91回日本畜産学会大会講演要旨 pp.149 (1996)
- 16) 松石昌典，沖谷明絃：煮牛肉熟成香の生成における粗ミトコンドリア画分の寄与，第94回日本畜産学会大会講演要旨 pp.268 (1998)
- 17) 松石昌典，久米淳一，伊藤友己，高橋道長，荒井正純，永富宏，渡邊佳奈，早瀬文孝，沖谷明絃：和牛肉と輸入牛肉の香気成分，日本畜産学会報 75, 409-415 (2004)
- 18) Gasser U and Grosch W: Identification of volatile flavor compounds with high aroma values from cooked beef. *Zeit. Lebensm. Unters. Forsch.* 1866, 489-494 (1988)

<著者紹介>

松石 昌典（まついしまさのり）氏略歴

1983年 東京大学農学部農芸化学科卒業

1985年 東京大学大学院農学系研究科修士課程修了

1986年 東京大学大学院農学系研究科博士課程中退

1986年 日本獣医畜産大学助手

1992年 日本獣医畜産大学講師

2002年 日本獣医畜産大学助教授

この間、1992～1994年米国アリゾナ大学博士取得後研究員

専門：食品化学

主な著書： 最新香料の事典（分担、朝倉書店）

畜産食品の事典（分担、朝倉書店）

