【解説】

食品咀嚼中の 香気フレーバーリリースの測定

小竹佐知子

ヒトが食品を咀嚼すると、口腔内で食品から香気成分が放散され、それが呼気流によって鼻腔内へと達して嗅覚刺激が生じる。この現象は一般に「においが鼻に抜ける」と称するもので、顔の正面にある鼻の孔（前鼻孔または外鼻孔）からクンクンと嗅ぐにおいては区別されている。しかし、咀嚼中の口腔内では、食品から滲み出てきた味成分による舌への味覚刺激も同時に生じており、実際のところ私達は、鼻に抜けたにおいによる嗅覚刺激と味成分による味覚刺激とを区別して感じ取ってはいない。ここでは、以前本誌45巻のセミナー室⁽¹⁾でも取り上げられたことのある、この「鼻に抜けるにおい」に関して、特に咀嚼中に発生する事象を対象とした昨今の研究の取り組みにおいて、人パネルと咀嚼モデル装置を用いる方法について紹介する。研究の成果は、食品開発分野や、食育を含む食生活改善の指標づくりなどに応用されるものと考えられている。

食品咀嚼中の香りとは

においを感じる2つの経路を図1に示し、その違いや影響因子について表1にまとめた。一般に匂いを嗅ぐというと、鼻の孔からクンクン嗅ぐことを思いつく。このとき、静置された食品から立ちのぼってくる香気成分が、鼻の孔から吸引され鼻腔内の嗅上皮に結合して嗅覚

Aroma Release from Food during Mastication
Sachiko ODAKE, 日本獣医生命科学大学応用生命科学部

図1■においを感じる2つの経路（『味とにおいの化学』（日本化学会編，学会出版センター，p.51, 1988）より加筆して掲載）
orthonasalの接頭辞ortho-は、「まっすぐな，一直線の，直立した，垂直の，水平な，平坦な，平坦な，直の」を表わし，nasalは「鼻の，鼻に関する」の意。retronasalの接頭辞retro-は、「後方へ，後方の，後ろ向きの，後ろ向きに，再びもとへ，逆の」といった意味を表わす。医学系解剖書ではretronasalが後鼻孔そのものを指すとも書かれている。

刺激が脳に伝わる。このにおいを学術英語で（オルソ（ト）ネーザル）
orthonasal aromaという。一方，鼻に抜けるにおいは，口腔内の食品から放散された香気成分が，肺から鼻腔へと移動する呼気流（図2）によって後鼻孔（図1の右側の

表 1 ■ においを感じる 2 つの経路

図 1 の記号	①	②
学術英語表記	orthonasal aroma	retronasal aroma
英語音を使った日本語表記	オルソ (ト) ネーザルなにおい	レトロネーザルなにおい
解剖学的表記	オルソ (ト) ネーザル香	レトロネーザル香
解剖学的表記	前鼻孔 (外鼻孔) 経由のにおい	後鼻孔経由のにおい
動作との関連	鼻でクンクンと嗅ぐときのにおい	咀嚼 (モグモグ)・嚥下 (ゴクゴク) 時などに口から鼻に抜けるにおい
その他の呼称	たち香, 鼻先香	あと香, 口中香, もどり香, 経口香, 咀嚼香, 嚥下香, 喉越し香
影 響 因 子	① 香氣成分の空気中への揮散現象	〔食品-空気間の分配係数・Log P〕
	② 香氣成分の空気中への拡散現象	〔食品からの空気流への拡散係数〕
	③ ”	〔呼吸流量・流速〕
	④ —	食品の形状変化 〔食品の物性〕
	⑤ —	” 〔咀嚼頻度〕
	⑥ —	” 〔咀嚼力〕
	⑦ —	” 〔嚥下頻度〕
	⑧ —	” 〔唾液分泌量・速度〕
	⑨ 食品自体の温度	食品の体温度への上昇あるいは降下
	⑩ 香氣成分の生体粘膜組織への吸着現象	〔熱伝達率・熱拡散率〕
	⑪ ”	〔生体粘膜結合定数〕 〔体内粘膜組織表面積〕

②の下線 1 本の項目は食品・香氣成分側の測定項目, 下線 2 本の項目は人側の測定項目

図 2 ■ 呼吸の経路と食塊の経路 (『解剖学アトラス』(文光堂, p. 107, 2002) より加筆して掲載)

ほうのコバルト色の輪で描かれた孔) を経て鼻腔内へと運ばれ知覚されることにより感じられる。この鼻に抜けるにおいの学術英語表記は *retronasal aroma* であり、解剖学的にいうと後鼻孔経由のにおいと表わされるが、後鼻孔という呼称は農芸化学や食品科学分野の者にとって馴染みがなく、研究者や各業界により、わかりやすい呼び方が用いられている (あと香, 口中香, もどり香, 経口香, 咀嚼香, 嚥下香, 喉越し香など)。Retronasal

aroma は、食品 (固形食品も液体食品も) の状態が大きく変化しながら香氣成分が放散されるため、*orthonasal aroma* に比べて影響因子が多くなる (表 1 の影響因子 ④~⑧)。

咀嚼中の食品 (特に固形食品) は時間とともに流動性を帯びた食塊となり、その一部分が途中嚥下によって食道へと運ばれる。一方、流動性が少なく固形分として口腔内に残った食塊は再び咀嚼され流動化される。この咀嚼と嚥下の繰り返しの一連の動作を図 3 に示した。咀嚼中 (=呼吸中) の軟口蓋 (=口蓋帆) (図 2 および図 3-a) は弛緩しており、軟口蓋先端部分 (口蓋垂=一般に喉ちんこと呼ばれている部分) は舌根のうえにのっているが、口蓋垂の両脇の空洞は確保されているため (図 3-c)、口腔と鼻腔、そして肺や食道へとつながる経路はすべて連続している。したがって、食品から放散された香氣成分は口腔内にひろがり、その一部が肺から排出された呼気とともに鼻腔へと移動して *retronasal aroma* となる。また一部は体内粘膜表層に吸収される。嚥下時には (図 3-b),

- ① 口腔底が収縮し、舌が食塊とともに軟口蓋へ押し付けられる
- ② 押し上げられて緊張状態になった軟口蓋と盛り上がった咽頭後壁の密着により鼻腔への経路 (上気道) が遮断される

図3 ■咀嚼から嚥下までの一連の動作（解剖学アトラス（文光堂，p. 177, p. 205, 2002）より加筆して掲載）

③甲状舌骨筋の働きにより咽頭口（図3-b 赤い輪で描かれた孔）が上側に持ち上げられるとともに、舌根に押されて下降する咽頭蓋が咽頭口をゆるく塞ぐことで、肺への経路（下気道）が遮断される

という連続的な動きが起こる。この一連の動作①→②→③は、嚥下初段階①が随意相であるのに対し、気道遮断の②と③は反射的に起こる不随意相（これを嚥下反射という）となっていて、嚥下反射動作中は上気道と下気道は遮断され、呼気の移動は停止する。また、嚥下された食塊は舌が強力に咽頭のほうへ押しやり食道へと移動してゆき、この間も食塊からの香氣放散は続いている。ただし、嚥下動作の真っ只中は呼気移動がないので、放散された香氣は鼻腔へは運ばれず、retronasal aroma は発生しない。嚥下食塊からの放散香氣は、中咽頭空間に浮遊したり、一部は周辺の生体粘膜表層に吸収される。

咀嚼と途中嚥下が何度か繰り返されて最終嚥下に至るまでのあいだ、途中嚥下時に中咽頭部付近で浮遊した香氣は、咀嚼再開とともに発生する肺からの排出呼気により鼻腔へと運ばれて retronasal aroma となる。また、先にあげた口腔内や中咽頭部の生体粘膜表層に吸収された香氣も、時間とともに粘膜から離脱して retronasal aroma となる。焼肉店などで一頻り食べ、「もう食べられない」と飽和感を抱くのは、満腹したこと自体が効いているのももちろんなのだが、この吸収香氣が時間とともに粘膜から離脱して断続的に嗅覚に作用することで、嗅覚の疲労が起きていることも原因である。こんなときにビールを飲むと、「もう少し食べられるかなあ……」と思えるのは、中咽頭やその他生体膜表層の吸収香氣をビールが洗い流してくれるので、嗅覚をリセットできる

ことが寄与していると考えられている。

人パネルの咀嚼特性

咀嚼と嚥下の一連の動作中に retronasal aroma が発生する過程をみてきたが、人によって咀嚼頻度、咀嚼力、嚥下頻度、呼気流量や流速、唾液分泌量や分泌速度（以上を咀嚼特性と呼ぶ）、体内の粘膜組織の表面積が異なっているため、発生する retronasal aroma の質や量にも差が出てくる。咀嚼特性の測定手法を表2にまとめた。以下、個々の測定手法を解説し、パネリストによって咀嚼特性がいかに異なっているかをみていく。

咀嚼頻度は、一定時間あたり何回咀嚼するかを表わしたものであり、値の多いほうが速く噛んでいることを意味する。表2-Aは、噛むときに働く筋肉（咬筋）と口を開けたとき働く筋肉（舌骨上筋）に電極を貼り、筋肉が動く際の筋電位を測定するものである⁽²⁾。咀嚼時の筋活動量とともに、咀嚼頻度を算出することができる。牛肉試料（牛赤身茹で加熱肉 10 g）を咀嚼したときの咬筋と舌骨上筋が口の開閉に伴って交互に働くようすが波形からみてとれるが、パネリスト①と②では両筋電位波形の高さ（振幅）、面積（筋活動量）、前の咀嚼から次の咀嚼までの時間（周期）に差があった。パネリスト①のほうが咬筋の活動量が大きく、咀嚼頻度の少ないことが認められた。

表2-Bは、感圧部直径 0.95 cm のセンサーシート⁽³⁾を第1大臼歯の咬合面に置いて食品を咀嚼することで咀嚼力を測定するものである。牛肉試料を咀嚼した際、パネリスト①が最大咀嚼力 7.0 N を示して 20 秒で最終嚥下

表 2 ■ 人パネルの咀嚼特性測定

測定名	測定項目	実験風景	測定および観察結果
A 筋電図	筋活動量		<div>パネリスト①</div> <div>パネリスト②</div>
B 感圧シート による 咀嚼力	咀嚼頻度 咀嚼力		<div>パネリスト①</div> <div>パネリスト③</div>
C Video- fluoroscopy	嚥下頻度		<div>閉口時</div> <div>開口時</div>
D ファイバー スコープ による 鼻咽腔観察			<div>模式図</div> <div>咀嚼時</div> <div>嚥下時</div> <p>(左の前鼻孔から観察の場合)</p>
E 気流 抵抗管	呼吸流量		<div>パネリスト④</div> <div>パネリスト⑤</div>
F 吐き出し法 Spitting-out method	唾液量		<div>パネリスト⑥</div> <div>パネリスト⑦</div>

に至ったのに対し、パネリスト③はより小さな最大咀嚼力 2.8 N で最終嚥下に至るまでに 36 秒を要した。これらの測定から得られた咀嚼頻度はパネリスト①, ③がともに 1.1 回/秒, ②がこれより多い 1.5 回/秒であった。

表 2-C は Videofluoroscopy (ビデオフュロスコピー, ビデオ X 線造影法) により, 横顔面からの咀嚼・嚥下挙動を記録したものである。開口ぐあい, 咀嚼頻度, 嚥下頻度の観察の他に, 食品試料に造影剤を塗布あるいは

は滲み込ませておくことによって嚥下過程の食品の状態を観察できる。

表 2-D は前鼻孔からファイバースコープを挿入することにより軟口蓋の動きを観察するもので、咀嚼時には画像下方に白く見えている軟口蓋（模式図のオレンジ色部）が、嚥下時には画像上部まで盛り上がり咽頭後壁に密着するため、鼻咽腔がふさがれた状態になっていることがみられる（図 3-b に相当）。このような観察によって得られた途中嚥下回数は、牛肉試料で 1～3 回とパネリストによって異なっていた。

表 2-E は、咀嚼中に前鼻孔での呼気流量を気流抵抗管を用いて測定したもので、ゼリー食品 (10 g) を咀嚼したときの呼気量は、パネリスト④での最大値が ± 400 ml であったのに対し、⑥の場合は ± 80 ml であった。

表 2-F は、吐き出し法といって、咀嚼中にパネリストに食塊を吐き出してもらい、咀嚼前からの重量変化分を唾液分泌量とする方法である。途中嚥下が起こると正確な値は出にくいので、途中嚥下をしない状態でマヨネーズ様のモデル食品 (5 g) を咀嚼したときには、唾液が多く分泌するパネリスト (⑥) と少ないパネリスト (⑦) が認められた。

以上で示したように、咀嚼特性は人それぞれであるため、きちんと把握した上で放散香気を測定しないと、どの因子が影響して retronasal aroma を左右しているのかがわかりにくくなってしまう。また、ここで示した値は 20 歳前後の若者パネルのものであり、子供あるいは高齢者といった身体的特徴が異なるパネルであれば、また咀嚼特性値も変わってくる。

放散香气測定

このような咀嚼特性を把握した上で、パネリスト咀嚼中の放散香気を測定する方法について説明する。香气成分は揮発性成分であるため、フワフワと空中を漂って逃げていってしまう。そこで、口腔内あるいは鼻腔内に放散してきた retronasal aroma の香气成分をテナックスチューブなどの香气成分吸着剤にいったん捕集して測定器で分析する方法や、漂っている香气成分を測定器に直接吸引導入して分析する方法がある（図 4-a, b）。方法 a の場合は、一定時間内にテナックスチューブに捕集された香气成分を GC-MS (Gas chromatograph-Mass spectrometer, ガスクロマトグラフ質量分析計) などの測定機器で分析すると、捕集香气成分の種類と量を把握することができる。また、方法 b の場合は、PTR-MS (Proton transfer reaction-MS, プロトン移動反応質量分析

図 4 ■ パネリスト口腔内および鼻腔内からの香气捕集

計)⁽⁴⁾ や APCI-MS (Atmospheric pressure chemical ionization-MS, 大気圧化学イオン化質量分析計)⁽⁵⁾ を用いて、放散した香气成分のイオンフラグメントを連続してモニターできる。

以上のような機器を用いて測定した結果、咀嚼頻度が多く、咀嚼力が大きくて、呼気流量が多く、そして唾液分泌量が少ないパネリストの放散香气量が多くなる傾向が示されている。

咀嚼モデル装置による放散香气測定

先にも示したように、人パネルの咀嚼特性のとり値は範囲が非常に広く、また特性値の多中少・大中小の組み合わせで、retronasal aroma 発生への影響の仕方は多種多様となる。また、人パネルは体調の変化や検体試料の好みなどが咀嚼挙動に影響するという問題もある。そこで、咀嚼動作を模した咀嚼モデル装置を使って retronasal aroma 発生の仕組みを探る手法もとられている。

図 5 は咀嚼モデル装置の一例であり、咀嚼特性のうち、咀嚼頻度 0～1.5 回/秒、咀嚼力 0～980.1 N、模擬呼気流量（窒素ガス）0～1,000 ml/分、人工唾液流量 0～100 ml/分を自由に設定することが可能となっている。途中嚥下の動作を再現することはできないが、種々の模擬咀嚼条件で運転をし、装置にテナックスチューブを接続するか、あるいは PTR-MS などを連結することで、模擬咀嚼中の放散香気を測定することができる。牛肉試料を模擬咀嚼させた結果、0.5 回/秒の咀嚼頻度に比べて 0.8 回/秒の場合のほうが、2,3-ブタンジオン、2-ヒドロキシ-3-ブタノン、ヘキサナール、オクタナール、フルフラール、ベンズアルデヒドといった香气成分が平均すると 2.2 倍多く放散していた⁽⁶⁾。

図 5 の装置の他に、現在このような咀嚼モデル装置は

(a) 開口時

(b) 閉口時

(c) 蒟蒻ゼリー模擬咀嚼時

図5 ■咀嚼モデル装置

アメリカ Cornell 大学のグループ⁽⁷⁾、フランスの国立研究所の2グループ^(8,9)でも用いられている。

食品サイドのアプローチ

これまで、咀嚼特性を中心に述べてきたが、表1に示したように、咀嚼をする人パネルの側ではなく、食品および香気成分の特性によっても retronasal aroma の発生は影響を受ける。特に、香気成分の多くが疎水性化合物であることから、脂溶性が高く、脂溶性の度合いが高い香気成分ほど、含脂食品からは放散されにくい。そして、脂溶性の度合いは各香気成分によって異なってい

る。また、食品中に含まれる香気成分の種類は非常に多く、たとえば赤身茹で加熱牛肉では少なくとも46香気化合物が検出されている⁽¹⁰⁾。したがって、食品の成分組成やその分布状態、また食品に含まれる香気成分の把握も retronasal aroma 研究では重要となってくる。

おわりに

食品咀嚼中の香気フレーバーリリース研究について、人パネルと咀嚼モデル装置を用いる研究方法を中心に述べた。口腔、鼻腔あるいは食道といった生体の複雑な構造体の中で起こる咀嚼・嚥下という動作が、様々な要因によって影響を受けることを示したが、データ構築はまさに現在進行形であり、また表1にまとめた影響因子のうち、⑩⑪に示した体内生体粘膜組織に関する研究はあまり進んでいないのが現状である。今後、多角的にこの分野の情報を集めることが、食品開発におけるヒントを示したり、また食生活改善（食事の姿勢や食べ方の指導など）の指標を示すことにもつながると考えられ、様々な分野の研究者の参加を期待したい。

謝辞：本稿で紹介した研究成果の一部は、(独)日本学術振興会科学研究費基盤研究(B) No. 20300241の支援によって得られたものである。

文献

- 1) 東原和成：化学と生物，**45**, 564 (2007).
- 2) 神山かおる：調理化学，**40**, 329 (2005).
- 3) 壇はるか，神山かおる：FFI ジャーナル，**212**, 583 (2007).
- 4) W. Lindinger, A. Hansel & A. Jordan : *Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes*, **173**, 191 (1998).
- 5) A. Taylor & R. Linforth : *Food Ingredients Anal. Intern.*, **20**, 20 (1998).
- 6) 小竹佐知子，三浦孝之，阿久澤良造：関東畜産学会報，**59**, 65 (2009).
- 7) D. Roberts & T. Acree : *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 2179 (1995).
- 8) C. Salles, A. Tarrega, P. Mielle, J. Maratray, P. Gorria, J. Liaboeuf & J. J. Liodenot : *J. Food Eng.*, **82**, 189 (2007).
- 9) G. Arvisenet, L. Billy, P. Poinot, E. Vigneau, D. Bertrand & C. Prost : *J. Agric. Food Chem.*, **56**, 3245 (2008).
- 10) 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，沖谷明紘：日本畜産学会報，**75**, 409 (2004).