

◇◇◇ 解説記事 ◇◇◇

“おいしさ”をどのように表すか —化学的手法を中心に—

亀山 眞由美

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 西日本農業研究センター

The Ways to Describe “Deliciousness”

Mayumi OHNISHI-KAMEYAMA

*Western Region Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research Organization
6-12-1, Nishifukatsucho, Fukuyama, Hiroshima 721-8514, Japan*

1. はじめに

おいしい食べ物はヒトに幸福感を与える。動物ではどうか。ネコには甘味受容体がなく、甘みを感じないという [1]。食餌を摂った後は満足そうにしているが、ほどよい甘さのデザートで食事を締める喜びは味わえないようだ。ここでは、ヒトの特権ともいえる、おいしいと感じることを評価する方法について整理する。主に、日本語論文や二次資料など、専門外の方に分かりやすく記載されている文献を引用する。

ヒトは甘味、うま味、塩味、酸味、苦味のような、受容体を介する味覚以外に、辛みや渋みを感じるほか、嗅覚、視覚、聴覚、触覚を総動員して食べ物を味わっている。食べ物を通じて得るおいしいというその感覚は、体調や心理状態、外的環境、食習慣を含む社会的背景にも大きく左右される。商業的観点においては、おいしさは食べ物の価値の高さを示すため、おいしさを定量的・定性的、客観的に数値化する試みは古くからおこなわれてきたが、まだ成功したとは言えないのが現状である。今後日本の人口は減少傾向が続く。内閣府の2018年度版高齢社会白書 [i] によると、2053年には1億人を下回って9,924万人、2065年には8,808

万人となる。食料に関する経済活動を維持するためには、人口増大が続く海外に市場を拡大する必要があるであろうし、国内の生産年齢人口減少に対しては、食料生産に関わる人を海外に求める必要も生じるだろう。グローバル化が加速する社会の中で、多様な食習慣をもつヒトが生産・製造する食べ物が、供給されるそれぞれのヒトにとっておいしいと感じることができるようにするためには、おいしさとは何かを、基準となるものと比較して定量的にはかり、定義することが極めて重要になると考えられる。しかし、おいしさは多様な要素が互いに相関しあって形作られているため、単純な指標化では解決し得ない。本稿では、多様な因子を包括的に考慮した、食べ物を食べる側の巨視的な測定・評価と、おいしさに関与する食べ物側の成分をできるだけ一度に多数分析して統合評価する微視的な測定・評価に分けて、化学的なアプローチを主として紹介する。

なお、語弊があるかもしれないが、ここでは、食べ物がヒトに与える複合的な影響を“おいしさ”と呼ぶことにする。

2. 巨視的なおいしさの評価方法

多様な因子のインプットによる、おいしさというアウトプットを、ヒトを用いて測定・評価する方法は2つに大別できる。ヒトが言葉で表した、味や香り、食感などの強さの程度に基づくものと、計測機器によるヒトの反応の大きさの程度に基づくものである。

2.1 官能評価

官能評価は、“a scientific discipline used to evoke, measure, analyze and interpret reactions to those characteristics of foods and materials as they are

著者略歴

亀山眞由美

1985年 大阪大学薬学部製薬化学科卒業

1985年 (財) サントリー生物有機科学研究所

1998年 農林水産省 食品総合研究所

独立行政法人化、組織統合、名称変更を経て

2016年 農研機構食品研究部門

2018年 農研機構西日本農業研究センター (現職)

〒721-8514 広島県福山市西深津町 6-12-1

Fax: +81-84-923-5215, E-mail: kameyama@affrc.go.jp

perceived by the senses of sight, smell, taste, touch and hearing”[2] と Institute of Food Technologists の Sensory division により定義されている。官能評価には分析型と嗜好型の2種類があり、分析型は官能評価の訓練を受けた評価者が客観的におこなう。一方、嗜好型は官能評価の訓練を受けていない多数の評価者により、好き・嫌いなど主観的な視点でおこなうものである。おいしさの評価では、以降に述べるような手法をはじめ、どのような新規な評価手法であっても、最終的にはヒトがどのように感じているかを言葉で表現した結果と関連づけをする必要がある。そのため、官能評価は、おいしさの評価するには最も重要な手法である。「化学と生物」の“セミナー室”の連載企画“食品の官能評価法-1~5[3-7]”が参考になる。

2.2 脳の反応の測定

おいしいと感じることによって生じる脳の血流変化とそれが起きる場所を、機器で非侵襲的に測定し評価する方法に注目が集まっている。代表的なものとして、fMRI（機能的核磁気共鳴画像 functional magnetic resonance imaging）、fNIRS（機能的近赤外分光法 functional near infra-red spectroscopy）、脳波・脳磁波測定 [8] などがある。最近、fMRI によるヒトの脳活動のパターンを人工知能モデル信号に変換し、実物を見たときに得られたパターンのデータベースから類似のものを検索し、現在ヒトが見ているもの、思い浮かべたものを推測することができたと報告された [9]。この実験では、空間分解能が高い MRI が用いられている。fNIRS は、生体を透過しやすい波長域の光を用いて、血中のヘモグロビンの酸素結合程度を測定する方法で、他手法よりも簡便で安全性が高く、小型装置も市販されている。脳の血流変化という観点での食品研究分野への導入は約 10 年前 [10] であるが、近年、人工知能モデルとの対応研究がさかんにおこなわれ、また、ビッグデータを活用し、教師データがなくてもすでに定義されたパターンとの類似度から、脳内の情報を読み取る取り組みもおこなわれている [ii] ことから、fNIRS は今後、言語や食習慣、文化の違いがあってもおいしさの評価できる方法として再度注目が集まる可能性もある。

2.3 その他

脳の活動を機器ではなく、ヒトの行動・挙動から推測する心理学的評価も脳の測定のアプローチの一つといえるが、ここでは成書 [11] の紹介にとどめる。

余談だが、食べ物の好き嫌いは遺伝によるものか、学習によるものかについては、学習、つまり幼少期の食経験の影響が大きいといわれている。しかし、ヒトの味覚や嗅覚の受容体の構造には地域によってバリエーションがあり、それに伴い味や香りに関わる成分

に対する感度が異なることから、ヒトが感じる味や香りに、遺伝的な要因に基づく地域差がある可能性が示唆されている [12,13]。タンパク質である味覚受容体の立体構造の違いで、脳への信号の伝わり方に差が生じることを踏まえると、脳での反応の計測という巨視的なアプローチにも、末端器官での受容体における特性も加味する必要があるのかもしれない。

3. 微視的なおいしさの評価方法

さて、食べ物側に話を移す。食べ物がつまおいしさの因子を、物理的なものと化学的なものの2つに分けてみる [14]。食材や食品の見た目や、それらを食べるときの音、温度、口や舌、喉の表面に対する刺激や触覚は物理的要因である。一方、味と香りは化学的要因である。食品に含まれる、味や香りに関連する成分の量比によって食品のおいしさが変わる。ここでは、化学的要因についてのみ述べる。

3.1 呈味成分の定量

甘味、うま味、塩味、酸味、苦味はそれぞれに対応する受容体に作用して、細胞内の様々な分子を介し、電気的な興奮として脳に伝達される。糖に代表される甘味成分、アミノ酸や核酸に代表されるうま味成分、イオン性の塩味・酸味は、いずれも水溶性成分であるが、生理的条件において、一般に、糖や苦味成分は電気的に中性、核酸や有機酸は電気的に陰性、ナトリウムやカリウム等は陽性で、アミノ酸は種類によって異なるなど、それぞれの群ごとに電気的・化学的性質が大きく異なる。

成分の量を測る場合、一般にはその成分が最も多く抽出される条件を設定し、抽出液中の他の類似成分と分離できるようなカラムクロマトグラフィ条件（汎用される液体カラムクロマトグラフィでは、カラム充填材や溶媒、検出器の種類）を選定する。他成分との分離が困難な場合や検出感度の向上が必要な場合は、蛍光標識の導入などの誘導体化をおこなう。ショ糖（甘味成分）とグルタミン酸（アミノ酸、うま味成分）、イノシン酸（核酸、うま味成分）の量を比較したい場合、糖、アミノ酸、核酸をそれぞれ専用のカラムや検出器を用いて分離し、それぞれの成分に適した方法で検出・定量してデータを比較する。おいしさの評価する際に、注目する成分が決まっている場合などはこのような成分特異的な分析法を用いて成分含量を算出する。たとえば、農産物の加工工程で、糖含量を高めておいしさが向上するような濃縮法を開発した場合、従来法と比べて、うま味成分の含量に変化はないか、糖酸バランスに影響はないかなどを確認するような場合である。

一方、新規に開発した方法でおいしさは向上したが、

どのような成分が変化したことによるかが不明な場合には、総体的（網羅的）に成分の相対量を比較する方法をとる。この食品プロファイル解析（食品メタボロミクス）をおこなう場合、特定の成分だけではなく、多数の成分がまんべんなく、農産物や食品の中に存在する量を反映して抽出できるよう、また検出できるよう工夫する必要がある。「おいしさの向上」という事象の変化の結果（目的変数）に対して、その原因となる成分の違い（説明変数）が多数存在するため、「おいしさの向上」の程度の段階を、ある程度の個数に絞って設定し、それに従って変化する説明変数を探すことになる。分析件数が多くなるため、抽出から定量までの過程を効率的におこなうことがカギになる。

水溶性成分を分析対象とする場合、①分離対象の成分の電気的特性の相違によって分離するキャピラリー電気泳動（capillary electrophoresis, CE）と、成分の質量で分離する仕組みの質量分析装置（mass spectrometry, MS）を組み合わせた手法（CE/MS）、②水溶性成分を揮発性の高い試薬と反応させて、水溶性成分を揮発しやすく（誘導体化）し、その揮発性誘導体化成分の混合物をガスクロマトグラフと質量分析装置等で分離・定量する手法（GC/MS, GC/FID（flame ionization detector, 水素炎イオン化型検出器）など）、③混合物を分離することなく、主要な成分を定量するNMR（核磁気共鳴分光法）が用いられることが多い。①～③は水溶性成分混合物をほぼ一度に分離・定量できる。しかし、短所もある。それぞれの物質群の含量の違いが大きく、定量可能な範囲（下限もしくは上限）を超える場合には、含量のレベルごとに前処理や分析をおこなう必要がある。これらの方法を用いた多数成分の同時測定により、食品や農産物の特性の差異化の提示に活用された事例は多数あるので、既報を参照されたい [15-17]。また、質量分析学会のメタボロミクス研究者有志によって運営されている、“ESI 友の会”のweb ページ [iii] には、“実践的メタボローム分析プロトコール、イチから始めるメタボローム分析”をはじめ、これから質量分析装置を検出器として多成分同時測定とその解析などに挑戦する方や、これらの手法の適用過程でカベに突き当たった方に有用な情報が掲載されているので、是非参照されたい。

3.2 香気成分の定量

ヒトが香りを意識し利用するようになったのは火を発見したときで、英語で香りを意味する perfume はラテン語の per fumum (through smoke) が語源と言われているそうだが [iv]。数千年にもわたって、ヒトは香りを食品のおいしさや生体への危険シグナルの指標として使っているが、数十万種類もあると推定されている香気成分のうち、ヒトが化学構造や特徴を把握している

香気成分はほんの一部である。

香気成分はヒトが感じる以上に含量が少ないため、分析前に濃縮工程が必要な場合が多い。試料から香気成分を取り出す代表的な方法として、溶媒抽出法、減圧蒸留法、常圧蒸留法、溶媒減圧法、ヘッドスペース法がある。ヘッドスペース法は、試料から揮発する香気成分を気体のまま捕集する方法で、特定の成分を吸着する捕集剤を使っても捕集効率は高くないが、農産物や食品そのものの香りを抽出できるという利点がある。

香気成分の分離は、専らガスクロマトグラフィ（GC）によっておこなわれる。キャピラリーカラムと呼ばれる細管（内径1ミリメートル以下、長さ数メートルから数十メートル）の内部には薄膜が塗布されており、この薄膜に吸脱着する挙動が香気成分ごとに異なることを利用して、混合物を分離する。カラムの薄膜の種類によって吸着されやすい成分が異なるため、2種のカラムを組み合わせるとより複雑な混合物を分離できる。これを GC×GC（ジーシーバイジーシー）や2次元 GC と呼ぶ。カラムで分離された香気成分を検出する代表的な方法として、FID によるものと MS によるものがある。前者は、GC で分離された成分を燃焼させ、その時に生じるイオンを電流として検知する。GC で分離されるほとんどの成分を検出できるが、成分特異的な情報は保持時間のみであるため、試料にどのような成分が含まれているかわかっている場合に使用される。後者は、GC で分離された成分に、電荷をもたせる過程で生じる分解物についての質量情報も与える。GC で分離された成分を検出器に導く経路に分岐を設け、FID や MS での検出と、ヒトの鼻でのにおい検出を同時にできるようにしたもの（olfactometry, sniffing）もある。香気成分は GC で分離され、順次検出器に送出される。検出器の信号強度を時間経過にそって記録して得たクロマトグラムを用い、香気成分の量を測る。

香気成分も呈味成分と同様、受容体を介して脳に信号が送られる [18]。鼻から直接嗅ぐ香り（orthonasal aroma）と、食べたときに口の中から伝わる香り（retronasal aroma）は違っていて、後者は食品が口中で破壊され唾液と混じって、嗅覚受容体で検知され、おいしさや風味のよさを増強する。この破壊による香り立ち [19] や水分と混和して生じる香りをどのように再現 [20] するかについても精力的に研究がおこなわれている。

3.3 センサ

センサは、個々の成分、もしくはその類似成分群や総体を検知して、認識部位から発信される強度情報を用いて、味成分や香気成分を評価する方法 / 装置である。味や香りのセンサは、それぞれ e-tongue, e-nose (e は electronic) と呼ばれている [21]。味成分については、

日本には1980年代半ばに米の食味計として開発 [22] されたものがある。これは、近赤外分光データと食味に関連する成分含量の相関を用いたものである。1990年代初めには味認識装置として、人工膜を利用した装置が開発 [23] されている。香気成分に関しては、対象成分が微量で多様という大きな問題があったが、近年香気成分についても精力的にセンサ開発がおこなわれている [24]。物質・材料研究機構 NIMS の吉川らは、気体成分の吸着により生じる膜の微小な歪みを検知する、超高感度小型センサ素子 (MSS, membrane-type surface stress sensor) を開発し、このデバイスと機能性感応材料、および機械学習を組み合わせ、匂いからお酒のアルコール度数を検知することに成功した [v]。

3.4 データ解析

味や香りに関連する多数の成分の含量を精密に測る (色々な成分を効率よくまんべんなく抽出し、再現性よく測る) ことは重要であるが、そのデータとヒトがよりおいしいと感じる傾向とを結びつけなければ、おいしさの要因を見出すことはできない。上述した食味計においても、多数の近赤外スペクトルのデータポイントから意味のあるデータを抽出し、食味と関連付ける操作がおこなわれている。また、最近、官能評価データと成分プロファイルデータの解析に基づいて、蜜入りリンゴを甘いと感じるのはその香りによる [25] こと、蜜入りリンゴの香りを添加したリンゴ加工品で、ヒトは好ましさを感じる [26] ことが報告されている。その他にも、かつおや昆布の風味に関連する香気成分がおいしさに寄与することが、官能評価や fNIRS による頭部血流測定の結果から検証された。このような、味や香気成分の含量と、ヒトの感覚との関連付けや比較については、データの質や量が異なるため、ノイズデータを削除したり、データを標準化したりする必要がある。ノイズなのか必要なデータなのかの判断は、そのデータの取得方法や意味を理解していなければできない。すなわち、化学・生化学実験、工学プロセス実験などの wet 系の研究者とインフォマティクスを専門とする dry 系の研究者のコラボレーションやコミュニケーションがますます重要になってくるということだ。これは、おいしさの解明研究分野にとどまらず、どのような分野の (ビッグ) データ解析にも当てはまる。異分野の研究交流がさらに加速化され、多量データの効率的活用が進むことを期待する。

化学的なアプローチによって得られたデータの具体的な解析法については、先述の ESI 友の会の web ページを参照されたい。

4. お わ り に

多数のデータから有用な情報をフィルタリングするデータの掘り起こしが「データマイニング」[27] という名称で注目され始めたのは、第二次 AI ブームの1990年代である。現在は第三次 AI ブームで、統計処理、人工知能、機械学習に関する研究は、莫大なデータ量を処理できるコンピュータのパワーの進歩と相まって日々進化している [28]。情報の伝播速度や程度も著しく、情報があふれている中でその真偽の判断も難しい。正しくフィルタリングすることがますます重要になるだろう。少し前になるが、口コミサイトで人気第1位になったロンドンのレストランで、冷凍食品やインスタント食品が提供されたが、来店者に高評価だったことが話題になった。このレストランは実は存在せず、フェイクニュースの仕掛け人が、1日だけ開店するのにやむなくとった措置だったそうだが、ヒトの感じ方が、他の人の評価の影響を大きく受けることを示している。偽情報に惑わされないためには、本物を見抜く力を鍛えなければならないと改めて考えさせられた。しかし、裏を返せば、料理のプロが提供する特別な食事でもなく、「おいしいね」と言いながらみんなで食べれば、おいしく感じられるということでもある。

おいしさの要因が完全に解明されれば、食品の見た目や食べているときの音、舌触り、くちどけ、のどごし、体調や食卓の雰囲気まで考慮され、その人がおいしいと感じることができる最適な材料や環境を揃え、3D プリンタや AR を用いて食事が提供される日もいずれ来るだろう。さらには、霞やサプリメントを食べていても VR で満腹感が得られる時代が来るのかもしれない。でも、望むらくは、時には失敗もしながら、おいしいものを主体的に見つけたいものである。おいしさの要因解明が、世界中の誰もがおいしいものをよりおいしく食べることに繋がることを祈っている。

本稿は、化学工学誌の特集「食に貢献する化学工学 II~おいしさ・安全・健康~」に掲載いただいた記事 [29] 中の引用 URL 等一部を更新・修正し、化学工学会の許可を受けて転載した。

引 用 文 献

- 1) 川端 二功, 川端 由子, 西村 正太郎, 田畑 正志, “動物の味覚受容体”, ペット栄養学会誌, **17**, 96-101 (2014).
- 2) H. Stone, J. L. Sidel; “Sensory Evaluation Practices”, 2nd ed., Academic Press, 1993, pp. 65-73.
- 3) 山口 静子, “官能評価とは何か, そのあるべき姿”, 化学と生物, **50**, 518-524 (2012).
- 4) 早川 文代, “官能評価パネルの選抜・訓練”, 化学と生物, **50**, 600-604 (2012).

- 5) 國枝里美, “製品開発の官能評価 分析型パネルと嗜好型パネルの違いについて”, 化学と生物, **50**, 742-747 (2012).
- 6) 今村美穂, “記述型の官能評価/製品開発における QDA 法の活用”, 化学と生物, **50**, 818-824 (2012).
- 7) 宇都宮仁, “フレーバーホイール専門 パネルによる官能特性表現”, 化学と生物, **50**, 897-903 (2012).
- 8) 宮内哲, “脳を測るー改訂ヒトの脳機能の非侵襲的測定ー”: 心理学評論, **56**, 414-454 (2013).
- 9) T. Horikawa, Y. Kamitani, “Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features”, *Nature Commun.*, **8**, 15037 (2017).
- 10) 壇一平太, “食味のニューロイメージング”, 食糧, 食品総合研究所, 2009, pp.75-85.
- 11) 今田純雄, 和田有史: 食行動の科学ー「食べる」を読みとくー, 朝倉書店, 2017
- 12) D. S. Risso, M. Mezzavilla, L. Pagani, A. Robino, G. Morini, S. Tofanelli, M. Carrai, D. Campa, R. Barale, F. Caradonna, P. Gasparini, D. Luiselli, S. Wooding, D. Drayna, “Global diversity in the TAS2R38 bitter taste receptor: revisiting a classic evolutionary PROPosal”, *Sci. Rep.*, **6**, 25506 (2016).
- 13) J. D. Mainl, A. Keller, Y. R. Li, T. Zhou, C. Trimmer, L. L. Snyder, A. H. Moberly, K. A. Adipietro, W. L. Liu, H. Zhuang, S. Zhan, S. S. Lee, A. Lin, H. Matsunami, “The mis-sense of smell: functional variability in the human odorant receptor repertoire”, *Nat. Neurosci.*, **17**, 114-120 (2014).
- 14) 高橋亮, 西成勝好, “おいしさのぶんせき”, ぶんせき, **8**, 388-394 (2010).
- 15) 福崎栄一郎, “メタボロミクス (代謝物総体解析) の食品工学への応用”, 生物工学, **85**, 488-491 (2007).
- 16) 及川彰, “メタボロミクスの農業・食品分野への応用”, 化学と生物, **51**, 615-612 (2013).
- 17) 隅谷栄伸, 笹井実佐, 大塚貴子, “NMR メタボローム解析手法による食品品質評価の可能性”, 東洋食品研究所研究報告書, **30**, 27-30 (2014).
- 18) 大木望, 東原和成, “嗅覚のメカニズム: ヒトはどのように匂いを感知するのか”, 化学工学, **80**, 702-705 (2016).
- 19) 佐川岳人, “スパイス & ハーブの香り立ち計測”, 日本質量分析学会誌, **66**, 75-81 (2018).
- 20) Y. Kakutani, T. Narumi, T. Kobayakawa, T. Kawai, Y. Kusakabe, S. Kunieda, Y. Wada, “Taste of breath: the temporal order of taste and smell synchronized with breathing as a determinant for taste and olfactory integration”, *Sci. Rep.*, **7**, 8922 (2017).
- 21) E. A. Baldwin, J. Bai, A. Plotto, S. Baldwin, “Electronic Noses and Tongues: Applications for the Food and Pharmaceutical Industries”, *Sensors*, **11**, 4744-4766 (2011).
- 22) 三上隆司, “米の食味品質評価装置の開発”, 日本食品工学会誌, **10**, 191-197 (2009).
- 23) 都甲潔ら, “味の数値化.”, *JST News*, **4**, 6-9 (2007).
- 24) A. Loutfi, S. Coradeschi, G. K. Mani, P. Shankar, “Electric noses for food quality”, *J. Food Eng.*, **144**, 103-111 (2015).
- 25) 田中福代, “香りがリンゴの風味を決定するー香氣成分の制御機構と変動事例ー”, 日本調理科学会誌, **50**, 151-155 (2017).
- 26) 田中福代, 庄司靖隆, 岡崎圭毅, 宮澤利男, “みつ入り果の香氣を再現したエチルエステル類添加リンゴ加工品の官能特性”: 日本食品科学工学会誌, **64**, 34-37 (2017).
- 27) 葛瑞樹, “データマイニング”, 日本食品科学工学会誌, **64**, 334-335 (2017).
- 28) 福島俊一, 藤巻遼平, 岡野原大輔, 杉山将, “ビッグデータ×機械学習の展望: 最先端の技術的チャレンジと広がる応用”, 情報管理, **60**, 543-554 (2018).
- 29) 亀山真由美, “おいしさをどのように表すかー化学的手法を中心にー”, 化学工学, **7**, 377-380 (2018).

引用 URL

- i) <https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/index-w.html> (May 24, 2019.)
- ii) https://www.jst.go.jp/impact//hp_yamakawa/ (May 24, 2019.)
- iii) <https://sites.google.com/site/esitomonokai/> (May 24, 2019.)
- iv) <http://www.jffma-jp.org/learning/base/index.html> (May 24, 2019.)
- v) <http://www.nims.go.jp/news/press/2017/06/201706200.html> (May 24, 2019.)

「化学工学会誌 Vol. 82 pp. 377-380 を改訂して転載」