特集：にのいの分析

COMMENTARY

多次元ガスクロマトグラフィーを活かした
食品の香気成分分析Analysis of Food Volatiles by Taking Advantage
of Multi-Dimensional Gas Chromatography

堀内政宏

Masahiro HORIUCHI

高田香料株式会社 技術開発部 基礎研究課 *Research & Development, TAKATA KORYO Co., Ltd.*

(Received February 20, 2018; Accepted February 20, 2018)

1. はじめに

食品の香りは、美味しさを構成する要素の1つとして欠かせない。食品に含まれる香気成分は多種多様であり、1成分の存在量は極めて微量である。目に見えない香気成分の存在を視覚化するために、ガスクロマトグラフ (GC) 分析が利用されている。GCは成分を導入する注入口、成分を分離するカラムの温度や昇温条件を制御するオープン、そして分離された成分を検出する検出器から構成されている。検出された成分は、電気信号に変換され、ガスクロマトグラムとして視覚化される。検出器の種類はいくつかあるが、食品の香気成分分析では水素炎イオン化検出器 (FID)、熱伝導度検出器 (TCD) が汎用的に使われている。GC-FID, GC-TCD分析で検出されたピークから、リテンションタイム、面積値、高さの情報は得られるが、ピークに対応する成分名はわからない。成分を同定するには、ガスクロマトグラフ-質量分析計 (GC-MS) で分析する。GC-MS分析による結果はトータルイオンクロマトグラムとして表され、見た目はガスクロマトグラムと同じピークが得られる。しかし、GC-MS分析から得られたピークには、測定した質量範囲すべての質量数の情報が含まれ、それぞれのピークで各質量数の強度が異なる。この質量数の強度のパターンは成分固有であり、マスパターンやマスフラグメントパターンと呼ばれている。このパターンをライブラリーに登録している化合物のマスパターンと照合し、その一致率により成分を同定する。多成分で構成される食品の香気成分には構造異性体も含まれており、それらは似たようなマスパターンを示し正確に同定できない場合がある。その時のために、分析と同時にリテンションインデックス (R.I.) と呼ばれる指標を検出されたピーク情報の一

つに加えておく。この情報もライブラリーに登録しておき、マスパターンとR.I.の両方で照合させると、成分同定の精度が上がる。さらに、R.I.をGC分析においてもピーク情報の一つに加えておくと、GC-MS分析で同定したピークに対応する成分名をガスクロマトグラム上のピークと比較しやすく、ピークの同期に便利である。

食品の香気成分をGCおよびGC-MS分析するためには、分析の目的に応じて適切な注入口、カラム、検出器を選択し、分析条件を最適化しなければ、有用なデータは得られない。技術の進歩により、GCの分析条件の設定は、コンピュータソフトからの命令で制御されるようになり、操作が簡便になった。キャリアガスの流速や切り替えもコンピュータソフトで制御でき、より複雑なGCシステムが組めるようになった。これがハイフネーテッド技術として発展しGC-MSもその1つだが、GC-MS-MS, GC-GC, GC×GC, GC-分取装置 (GC-PFC) など種々の組み合わせがある。GC-MS-MSは、GCに2台のMSが直列に繋がれ、残留農薬の分析など比較的大きな分子量をもつ成分の分析に有用である。GC-GCはマルチディメンショナルGC (MDGC) と呼ばれ、2台のGCが直列に繋がれている。技術の進歩により、最近では1台のGCでこのMDGCの役割を果たす分析機器もある。GC×GCは包括的2次元ガスクロマトグラフと呼ばれ、2本の極性の異なるカラムを直列に繋ぎ、その間にモジュレータが設置されている。得られるクロマトグラムは横軸に1次元目のカラムで分離した成分、縦軸に2次元目のカラムで分離した成分がスポットとして平面上に表現される。モジュレータにはクライオ冷却型が多いが、フロー型¹⁾も開発されている。この分析手法は食品に関する分析だけでなく、マトリックスが複雑な石油化学や環境サンプルにも利用されている。GC-PFCはカラムで分離した成分を任意の範囲で分取でき、液体クロマトグラフのフラクションコレクターのような使い方がGC

でも可能となった。本稿では、このような多次元GCを活かした食品の香気成分分析について、いくつかの分析例を用いて紹介する。

2. GC×GC分析による麦飯の香りの違い

麦飯は、健康志向の高まりから注目されている。白米に2〜3割のもち麦や押麦を混ぜて炊飯される麦飯は、麦由来の食物繊維を取れることからコレステロール低下作用、腸内環境の改善作用に影響されている²⁾。最近では、炊飯器にも麦飯が炊飯できる機能が搭載され、一般消費者の注目度が伺える。麦飯を食べると、モチモチした食感で食べごたえがあり、白飯よりもお腹への満足感が高い。麦飯には、白飯にはない粉っぽい豆乳のような独特な香りがある³⁾。そこで、麦飯が炊飯できる機能のあるタイガー魔法瓶社製の炊飯器を使い麦飯独特の香りに寄与する成分を探索した。さらに、炊飯器に圧力炊飯の有無や内釜の材質などスペック違いがあり、これらの違いによる麦飯の香りについても調べた。

実験に用いた炊飯器は表1のように非圧力炊飯器で内釜の材質が金属、圧力炊飯器の材質が金属または土、これら炊飯器と比較するため、金属釜と土鍋を使った。炊飯方法は炊飯器がすべてIH、金属釜と土鍋はガスで麦飯を炊いた。各手法で炊飯した麦飯は炊飯後、有機溶剤に浸漬し香気成分を抽出した。麦飯をろ別し、揮発性成分をSAFE装置により回収した。この回収液を濃縮し、香気濃縮液を得た。

各濃縮液をGCおよびGC-MS分析したところ、麦飯の香気成分はどれも同じような組成であった。そこで麦飯の香気に寄与する成分をAEDA法で探索した。その結果、hexanal, 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine, (E,E)-2,4-decadienalが最も高いFD値=7を示した(表2)。比較的高いFD値=

表1. 実験に用いた炊飯装置

炊飯装置	内釜材質	炊飯方法
非圧力炊飯器	金属	IH
圧力炊飯器	金属	IH
圧力炊飯器	土	IH
金属釜	金属	ガス
土鍋	土	ガス

表2. 麦飯の香気寄与成分 (FD値≥4)

成分名	香調	FD値 (3 rd)
Hexanal	グリーン	7
2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine	ロースト, アーシー	7
(E,E)-2,4-Decadienal	オイリー, グリーン	7
2-Isopropyl-3-methoxypyrazine	アーシー, ピーマン様	6
(E,E)-2,4-Nonadienal	オイリー, グリーン	6
1-Octen-3-one	きのこ様	5
2-Acetyl-1-pyrroline	ポップコーン様	4
(E)-2-Octenal	グリーン	4
β-Damascenone	スイート, ハチミツ様	4
Phenethyl alcohol	酒様, フローラル	4

6や5を示した成分も、含窒素化合物や不飽和結合を有するカルボニル化合物であった。麦飯の香気寄与成分は、主に含窒素化合物と不飽和結合を有するアルデヒド類やケトン類で構成されていることがわかった。各炊飯条件で炊いた麦飯中に含まれるこれら香気寄与成分の含有量を比較すると(図1)、グリーンな香りを有するhexanalの含有量は圧力炊飯器金属と土においてすべての炊飯器の平均値と比べて少なく、非圧力炊飯器金属、ガス炊きの金属釜と土鍋では平均値より高い。オイリーでfattyな香りの(E,E)-2,4-nonadienalと(E,E)-2,4-nonadienalのような α,β -不飽和アルデヒドは、ガス炊きの金属釜と土鍋で平均値より少ない。ロースト様香気の2-ethyl-3,5-dimethylpyrazineと土様香気の2-isopropyl-3-methoxypyrazineも同様の傾向があったが、後者のメトキシピラジンは圧力炊飯器金属で平均値より少なかった。以上のことから、同じ脂質の酸化物であるアルデヒド類でも飽和のアルデヒドは圧力炊飯器で少なく、不飽和のアルデヒドはガス炊きで少ない傾向であった。

各炊飯器間における麦飯の香りを詳細に調べるため、GC×GC-飛行時間型質量分析計(TOFMS)により分析した。得られたデータを自動解析した後、統計解析ソフトにてクラスター解析し各炊飯器間に影響する成分をFisher Ratio (F.R.) 値を用いて探索した⁴⁾。F.R.値は式(1)のように表され、検体間の分散値が大きいほど、F.R.値が大きくなる。

$$\text{Fisher Ratio} = \text{検体間の分散値} / \text{検体内の分散値} \quad (1)$$

つまり今回の場合、各炊飯器で同定された成分の中から各炊飯器間で含有量が有意に変動する成分をF.R.値により探索した。F.R.値≥5以上の112成分でクラスター解析した結果(図2)、非圧力炊飯器金属において、グリーンでオイリーな香りを有する(E,E)-2,4-heptadienal, (E,E)-2,4-nonadienal, (E)-2-hexenal, (E)-2-heptanalのような不飽和アルデヒド類が有意に含まれていた。圧力炊飯器土で

図1. 香気寄与成分の生成量。

は、甘い香りを有する maltol, β -damascenone, furfural, ロースト様香気を有する 2-acetyl-2-thiazoline が有意に含まれていた。圧力炊飯器金属には、上記に示した成分が平均的に含まれていた。まとめると、金属釜と土鍋を使いガス炊きした麦飯は、グリーンな香りを有する飽和のアルデヒドが多く、ロースト様、土様香気のピラジン類が少ない。各炊飯器の特徴として、内釜が金属の非圧力炊飯器で炊飯した麦飯は、グリーン、オイリーな香りを有する不飽和アルデヒドが多く、内釜が土の圧力炊飯器では甘い香りやロースト様香気を有する成分が多かった。

今回、各炊飯器で炊飯した麦飯の香りの違いを GC×GC-TOFMS で分析した。最初は GC および汎用の GC-MS 分析したデータから各炊飯器間の香りの違いを検討したが、明確にわからなかった。GC×GC-TOFMS 分析により、検出ピーク数を増やし、その中から各炊飯器間で有意な成分を F.R. 値から探索した結果、各炊飯器で炊飯した麦飯の香りの違いを明らかにできた。

高速でデータの取り込みができる高分解能の TOFMS が、GC×GC で分離された成分を精度良く検出することで、詳細な香気成分分析を可能にした。GC×GC-TOFMS 分析では汎用の GC-MS と比べて検出されるピーク数はかなり多い。これを手動で 1 本ずつ解析することは不可能に近く、ライブラリーによる自動解析が欠かせない。得られた膨大な成分データを F.R. 値によって検体間に有意差が大きい順に並び替え、この値を利用して多変量解析し検体間に有意差がある成分を探索する。これらの操作がほぼ自動的にでき、解析にかかる時間がかなり短縮された。炊飯器間における麦飯の香気成分を多変量解析して得られた結果は、AEDA 法で探索した香気寄与成分とも相関性があり興味深い。今後はさまざまな食品の香気成分分析に利用していきたい。

3. GC-PFC による焼いたチーズの香気に寄与する成分の探索

チーズは世界で古くから親しまれている乳製品の一つであり、日本でもさまざまな料理に利用されている。生のまま食べてチーズの発酵感ある風味を楽しんだり、ピザやグラタンなどの上に乗せて焼いたりする。焼いたチーズの香

りは、生にはない独特な香りがあり、われわれの食欲を刺激する。そこで焼いたチーズの香りに寄与する成分を GC-PFC を用いて探索することを試みた。

実験は市販されているイギリス産のホワイトチェダーチーズを試料とし、これを焦げ目が付くまで 250°C のホットプレート上で焼いた後、有機溶剤に浸漬し香気成分を抽出した。固形分を除いた有機層から SAFE 装置により揮発性成分を回収した。この回収液を濃縮し、香気濃縮液を得た。

得られた香気濃縮液は、焼いたチーズの香りを想起させ、狙ったおりの香りを抽出できていた。焼いたチーズに寄与する成分を GC-Olfactometry (GC-O) で探索すると、12 カ所で香りを検知した。この中に単独で焼いたチーズの香りを想起させる成分はなかった。GC-PFC により、GC-O で香りのしなかった領域を集めた分画物 A、香りのした 12 カ所を集めた分画物 B、全領域を集めた分画物 C の三つに分けた (図 3)。香気濃縮液に対して各分画物を 3 点識別法により官能評価すると、香りのしなかった領域を集めた分画物 A は正しく識別できたが、香りのした 12 カ所を集めた分画物 B と全領域を集めた分画物 C は香気濃縮液と香りの違いを識別できなかった。このことから、焼いたチーズの香気に寄与する成分は分画物 B に存在する可能性が示唆された。分画物 C が香気濃縮液と香りの違いを識別できないことから、この手法の妥当性が確認できた。

図 2. クラスター解析の結果。

図 3. GC-PFC による分画物の調製。

A: GC-O で香りのしなかった領域, B: GC-O で香りのした領域, C: 全領域。

図4. オミッションテストをイメージしたGC-PFCによる分画物の調製。

分画物Bに含まれる成分を詳細に調べるため、香りのした12カ所をGC-PFCでさらに四つの領域に分画した。各分画物はオミッションテストイメージし、分画物B-1は図4のクロマトグラムの領域II, III, IVを集めたもの、分画物B-2は領域I, III, IVを集めたもの、分画物B-3は領域I, II, IVを集めたもの、分画物B-4は領域I, II, IIIを集めたものとした。得られた四つの分画物について、先ほどと同様に香気濃縮液に対する3点識別法で官能評価した。その結果、分画物B-2, B-3は正しく識別できた。つまり、これら分画物に含まれていない領域IIとIIIに焼いたチーズに寄与する成分が存在すると考えられた。これらの領域に存在しGC-Oで香りを検知した9成分の同定を試みると、dimethyl trisulfide, acetic acid, 3-(methylthio)propanal, 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine, 2,3-diethyl-5-methylpyrazine, butanoic acid, phenylacetaldehydeの7成分を明らかにした。同定できた7成分のOdor Active Value (OAV) を算出すると、3-(methylthio)propanalが最高のOAV値だった(表3)。この化合物は焼いたチーズのポテト様の芳ばしさに寄与しているであろう。次に高いOAV値のdimethyl trisulfideは、チーズを焼いたときに感じる調理感に寄与していると考えられた。butanoic acidやacetic acidは生のチーズの香りに多く含まれる香気成分であり、焼いても残るチーズ本来の香りに重要な成分である。焼いたロースト感には2種類のアルキルピラジン類が寄与していた。phenylacetaldehydeは閾値以下の濃度で含まれていたが、甘いハチミツ様の香気を有しており、焼いたチーズの甘い香りをエンハンスする成分かもしれない。

焼いたチーズの香りに寄与する成分が、オミッションテストをイメージしたGC-PFCで分取した分画物により探索できた^{11)~13)}。この使い方は、これまでのオミッションテストのように香りの再構築液を調製することなく、GC-PFCに香気濃縮液をセットするだけで自動的に調製できる。今回は高極性のWAX系カラムを用いて必要な領域を分取したが、無極性のカラムを使えば化合物の沸点の違いで分けられる。注入口にヘッドスペースサンプラーや加熱脱着装置を接続すれば、サンプルのヘッドスペース香気中の寄与成分の探索にも利用できる。このようにGC-PFCは、香気成分の分析に対して利用価値がある。

表3. 焼いたチーズの香りに寄与する成分のOAV

化合物	閾値 ^{5)~10)} ($\mu\text{g/kg}$)	濃度 ($\mu\text{g/kg}$)	OAV ⁱ
Dimethyl trisulfide	0.11 ^{a,b}	9.35	85
Acetic acid	124 ^{c,d}	4110	33.1
3-(Methylthio)propanal	0.2 ^{c,e}	176	880
2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine	2.2 ^{c,f}	35.5	16.1
2,3-Diethyl-5-methylpyrazine	0.5 ^{c,f}	1.7	3.4
Butanoic acid	205 ^{c,g}	9280	45.3
Phenylacetaldehyde	22000 ^{c,h}	3860	0.18

a: 液体チーズでの閾値, b: Adda *et al.* (1978), c: 植物油での閾値, d: Reners & Grosch (1998), e: Kibickova & Grosch (1998), f: Wanger & Grosch (1998), g: Stephan & Sceinhart (1999), h: Guadagni *et al.* (1998), i: OAVは濃度を閾値で割ることで算出。

4. GC×GC分析によるリンゴの香気成分分析

リンゴは日本の冬を代表する果物の一つであり、とても馴染み深い。食べ方は生食のほか、果汁を搾ってジュースにしたり、ジャムにしたりして食べられている。日本で最も収穫量の多いリンゴの品種はふじであり、続いてつがる、王林、ジョナゴールドの順となっている¹⁴⁾。これらリンゴの品種は、種子親と花粉親の自然または人工的な交配によって新しく生み出されている。そこで親子関係がはっきりしているリンゴの香気成分を分析し、親から子へ受け継がれる香気成分についてGC×GC分析により検討を試みた。試料は栽培地域や栽培方法などの条件を揃えるため、同じ農園から購入できるリンゴを探した。その結果、青森県のリンゴ農園からゴールデンデリシャス、印度、陸奥、王林が購入でき、これら4品種を試料とした。陸奥と王林は、種子親であるゴールデンデリシャスと花粉親である印度から交配された品種で兄弟関係にあたる。これら親子関係にあるリンゴの色と香りは、ゴールデンデリシャスが淡い黄色でフローラルな香り、印度が赤色でグリーンかつウッディーな香り、陸奥が印度の赤色を受け継ぎグリーンでフルーティーな香り、王林がゴールデンデリシャスの黄色を受け継いだ黄緑色でほかにはない特徴的なフルーティーな香りが強い。

4品種の香気成分は香りの強いリンゴ果皮から減圧水蒸気蒸留法で回収し、香気濃縮液を得た。これをGCおよびGC-MSに加え、GC×GC-TOFMSに供した。予想どおり、通常のGCおよびGC-MS分析では子に受け継がれる香気成分が、ひと目でわかりにくい。GC×GC-TOFMS分析でも2次元クロマトグラムに各リンゴの香気成分の違いがわかりやすくなるように注入量やスプリット比などの分析条件を検討した。最適な条件で分析すると、4品種のりんごから357成分が同定された。官能基別ではエステル類が156成分と最も数が多く、続いてアルコール類58成分、炭化水素類46成分、アルデヒド類29成分、ケトン類19成分、酸類15成分、その他34成分の順であった。これらの中で、hexyl acetate, butyl hexanoate, butanol, hexanol, (E)-2-hexenol, hexanal, nonanal, (E)-2-hexenal, hexanoic acid, octanoic acid, (E,E)-3,6- α -farneseneは4品種のリンゴに比

図5. 各リンゴのGC×GC-TOMS分析により得られた二次元クロマトグラム。

較的に高い含有量で含まれていた。次に4品種のリンゴから得られた2次元クロマトグラムにより成分の比較を試みた。比較の手順は単純で、親から順にクロマトグラム上にあるスポットを品種ごとに色あるいは線の種類を変えてマークするだけである。そうすると今回の場合は、子供の陸奥と王林のクロマトグラム上に5種類のマークの重なるパターンで表現できる。パターンIはゴールドデンリシャスと印度の両方のマークが重なる（両親から受け継いだ成分）、パターンIIはゴールドデンリシャスのマークが重なる（この親から受け継いだ成分）、パターンIIIは印度のマークが重なる（この親から受け継いだ成分）、パターンIVは親からのマークが重ならない（陸奥あるいは王林に特有な成分）、パターンVは親だけにあるマーク（親から受け継がれなかった成分）となる。

このようにマークしながら各リンゴの香気成分をみると（図5）、ゴールドデンリシャスにはbutyl acetate, butyl hexanoate, (E)-2-hexenyl acetate, hexyl 2-methylbutanoate, (E,E)-3,6- α -farneseneが高い割合で含まれていた。印度にはhexanol, (E)-2-hexenol, (E)-2-hexenal, hexyl acetateの含有量が多いのに加えて、複数のセスキテルペン類が検出された。次に陸奥と王林の香気成分を両親と比較すると、陸奥には両親から受け継がれた香気成分が多い傾向であったが、その中でもbutyl acetateやbutyl hexanoateはゴールドデンリシャス、(E)-2-hexenolや(E)-2-hexenalは印度の影

響を受けていると考えられた。そのほか、ゴールドデンリシャスからはeugenol, octanol, anethol、印度からは6-methyl-5-hepten-2-olやセスキテルペン類を受け継いでいた。陸奥に特有な成分としては、acetoin, methyl butanoate, isobutyl butanoate, (E)-2-heptenal, 2-(2-furyl)-2-methyl-3-butenal, linalool oxide, cis-furanoidが検出された。最後に王林の香気成分をみると、陸奥と同様に両親から受け継いだ香気成分が多い傾向であったが、hexyl 2-methylbutanoateと(E,E)-3,6- α -farneseneは印度の特徴を受け継いでいた。hexanal, ethyl butanoate, (E)-2-hexenalは両親から受け継いだ成分であっても、その含有量が高く、王林特有の成分組成になっていた。片方の親からそれぞれ受け継いだ香気成分も陸奥と同様であった。王林にはマークが重ならない固有のスポットが多く存在し、ethyl 3-hydroxybutanoateやethyl 3-hydroxyoctanoateをはじめとする飽和のヒドロキシエステル類、ethyl 3-hydroxy-(Z)-5-octenoateやhexyl 3-hydroxy-(Z)-5-octenoateのような不飽和結合を有するヒドロキシエステル類が同定された。これらに類似のヒドロキシエステル類はゴールドデンリシャスからも検出されエステルの酸側が炭素数8で共通しているが、アルコール側が炭素数4 (butyl) や6 (hexyl) で王林とは異なっていた。実際に王林の香りは他の3品種とは違う印象が強い。これは同じフルーティーな香りを有するエステル類でも、王林だけに含まれるエステル類が多く、それらが

図6. 各リンゴの香気寄与成分を示した二次元アロマグラム。

特徴的な香りを醸し出しているのであろう。

親子関係にある4品種のリンゴの香りを香気成分組成により特徴づけられた。そこで各リンゴの香気に寄与する成分も、2次元クロマトグラムの平面上にスポットとして表現し、親子関係が平面マップとして視覚化できるか試みた。今回は各リンゴの香気寄与成分をAEDA法により検討し、各寄与成分のFD値を利用した。AEDA法で明らかにした香気寄与成分をリテンションインデックスとMSパターンからGC×GC分析で得られた二次元クロマトグラム上のスポットと同期させた。各スポットの成分は、FD値によりスポットの大きさで重みづけをした。FD値の最も小さい成分を直径5 mmの円で表し、FD値が高くなるにつれて円の直径を5 mmずつ大きくした。結果として今回のリンゴの場合は直径5~3.0 mmの6段階の大きさの円で表すことができた。各官能基で円の色を変えて表し、視覚的にひと目で品種間の香気寄与成分の違いをわかるようにした。各リンゴで特徴的であった香気寄与成分だけを二次元マップとしてプロットすると(図6), ゴールデンデリシャスではdamascenone, eugenol, geraniolの寄与度が高く、続いて炭素数6のアルコール類とアルデヒド類が寄与している傾向で、このリンゴに特有な香気寄与成分はなかった。印度ではdamascenoneと炭素数6のアルデヒド類の寄与度が高い傾向であった。このリンゴ特有の香気寄与成分として、3-(methylthio)propanolと1-octen-3-olが明らかになった。これを基に子供である2つのリンゴの香気寄与成分をみると、陸奥ではeugenol, damascenone, 炭素数6のアルコール類の寄与度が高く全体の傾向としてはゴールデンデリシャスに近い。印度からはβ-ionone, dodecanol, octanal, (E,Z)-2,6-nonadienalが受け継がれていた。王林はゴールデンデリシャスからgeraniol, eugenol, 炭素数6のアルコール類、印度からoctanal, β-ionone, dodecanol, (E,Z)-2,6-nonadienal, 炭素数6のアルデヒド類を受け継いでおり、両親で特徴的であった香気寄与成分の寄与度が高い傾向を示した。王林に特徴的な成分としてethyl 2-methylbutanoateやethyl butanoateが高い寄与度を示し、これら成分もこのリンゴの強いフルーティーな香りに貢献している。

このリンゴの分析ではGC×GC分析から得られた二次元クロマトグラムを平面マップのように捉え、そのマップ

上に各品種の香気成分の違いをひと目で表すことができた¹⁵⁾。さらに香気寄与成分もマップとして表せた。F.R.値を利用した統計解析も一つの手法だが、このように分析の目的に応じて結果の表現方法を変えることも重要だと考える。

5. おわりに

本稿では2台以上の分析機器をハイフネーションで繋いだハイフネーテッド技術およびGC×GC分析技術を利用した多次元GCによる香気成分分析の例をいくつか紹介した。最近では液体クロマトグラフ(LC)とGCの組み合わせもあり、どんな機器でも繋げられる時代になった。高度化した分析機器を使いこなす分析者がいる一方で、分析機器に振り回されている分析者もいる。分析機器は目的に応じて適した装置を選択し、分析条件を整えないと意味のあるデータは得られない。食品の香気成分分析は、成分の捕集・抽出からGC分析までの間でよほどのミスをしないう限り、ガスクロマトグラムとして結果が得られる。結果をアウトプットする分析機器も大切だが、それより前の成分の捕集や抽出技術も大切にしたい。食品の香気成分分析には、分析対象となるヘッドスペース香気や香気濃縮液を得るために目的に適した手法を考え、目的とする香りを有するサンプルを調製するテクニックも必要だと思う。目的に合ったサンプルが調製できる技術と高度化した分析機器を使いこなす技術の両方を磨けば、ヒトと機器がハイフネーションされ、より有益な分析結果が得られるだろう。今後も新しい機器の組み合わせが生まれるだろうが、本当に必要な分析機器を見極める目を養うのと同時に、香気成分の捕集や抽出法なども考え、食品の香気成分分析に少しでも貢献できれば幸いに思う。

文 献

- 1) P. A. Bueno and J. V. Seeley, *J. Chromatogr. A*, **1027**, 3 (2004).
- 2) G. H. McIntosh, J. Whyte, R. McArthur, and P. J. Nestel, *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**, 1205 (1991).
- 3) 金子成延, 児玉偉丈, 神山紀子, 渡辺寛人, 早瀬文孝, 日本食品科学工学会誌, **60**, 439 (2013).
- 4) K. M. Pierce, J. C. Hoggard, J. L. Hope, P. M. Rainey, A. N. Hoofnagle, R. M. Jack, B. W. Wright, and R. E. Synovec, *Anal. Chem.*, **73**, 5068 (2006).
- 5) J. Adda, S. Roger, and J. P. Dumont, "Flavor of Food and Bev-

- erages: Chemistry and Technology," Academic Press, New York (1978), p. 65.
- 6) J. Reiners and W. Grosch, *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 2754 (1998).
 - 7) J. Kubickova and W. Grosch, *Int. Dairy J.*, **8**, 17 (1998).
 - 8) R. K. Wagner and W. Grosch, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **75**, 1385 (1998).
 - 9) A. Stepham and H. Steinhart, *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 4357 (1999).
 - 10) D. G. Guadangni, R. G. Buttery, and J. G. Turnbaugh, *J. Sci. Food Agric.*, **23**, 1435 (1972).
 - 11) 中本幸志, 穂岡 崇, 馬野克己, 第52回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会講演要旨集, **52**, 255 (2008).
 - 12) 中本幸志, 月刊フードケミカル, **27**, 19 (2011).
 - 13) 中本幸志, 香料, **257**, 87 (2013).
 - 14) “平成28年産りんごの結果樹面積, 収穫量及び出荷量”, 農林水産統計, 農林水産省 大臣官房統計部, 平成29年5月16日公表, <http://www.maff.go.jp/j/tokei/>
 - 15) 古川瑞樹, 香料, **249**, 69 (2011).