

NMR を活用した農畜水産物・食品の非破壊・網羅的成分分析

伊 藤 研 悟

1 はじめに

農畜水産物や食品の成分分析は、「安全性・品質・機能性・価値」を科学的に保証・向上させるうえで非常に重要である。従来は、核磁気共鳴法（nuclear magnetic resonance, NMR）や質量分析法、クロマトグラフィーなどの分析技術を用いて、特定の成分の化学構造や定量値などを評価してきた。一方、近年では成分全体を網羅的に分析・解析するメタボロミックスの分野が急速に発展している。また、メタボロミックスと、非侵襲的な計測と網羅的な検出が可能な NMR を組み合わせた「NMR メタボロミックス」という新たな研究領域は、複雑な要因と多様な成分を扱う農畜水産物・食品の研究において関心を集めている。さらに、計測用試料を破碎や抽出などの調製工程を経ることなく、そのまま丸ごと NMR で成分分析を行う「インタクト NMR 計測法」の技術開発も進んでいる。こうした新たな研究領域と技術は、今後のスマート農業や水産業、機能性食品の開発、品質保証といった多角的な分野への応用が期待される。本稿では、NMR を用いた農畜水産物・食品の網羅的な成分評価の現状と今後の展開について、「NMR メタボロミックス」の概要から「インタクト NMR 計測法」の新たな可能性に焦点を当て、最新の研究事例と共に解説する。

2 農畜水産物・食品研究における NMR メタボロミックス

2.1 概要

NMR は、農畜水産物や食品に含まれる有用成分や機能性成分などの化学構造決定に加え、アミノ酸、有機酸、糖類、脂質など多様な代謝物を網羅的に検出・定量解析するメタボロミックスへの活用が有効であるといえる。以下に、農畜水産物・食品研究における「NMR メタボロミックス」の利点を示す。

- 容易な試料調製
溶液試料は濃縮することで検出感度が向上
- 幅広い試料状態に対応
液体から半固体、固体状態まで計測が可能
- 計測の非破壊性
試料を消費せず、計測後の再利用や回収が可能
- 成分の網羅的検出と同定

非侵襲的かつ非選択的に計測し、データベースを用いて成分を特定することが可能

- 再現性と定量性の確保
過去のデータとの比較や統合が可能
- 機器間の互換性
数値化された波形データは異なる分析データとの統合解析が可能
- 多様な分析法と計測法に対応
低分子から高分子まで、様々な物理情報の取得が可能
- 試料調製の良好なコストパフォーマンス
溶液 NMR 計測用試料は 1 本あたり数百円程度で調製が可能
- 多検体自動計測
オートサンプラーを併用することで、1 本あたり数分程度の自動計測が可能となり、高いスループットでのデータ取得を実現

これらの特性により、年次変動のような長期の調査が必要となる農畜水産業・食品産業の現場において、多様な試料の大量分析に適している。そのため、「NMR メタボロミックス」は栄養・品質評価や栽培条件の最適化、産地や品種判別などに展開されている¹⁾。また、持続可能な農畜水産業、機能性食品の開発、品質保証の分野においても、その重要性はますます高まりつつある。

2.2 NMR メタボロミックスの流れ

農畜水産物・食品研究における「NMR メタボロミックス」の流れを図 1 に示す。

① NMR による成分分析の対象となるサンプルを選定する。NMR で計測可能なサンプルは、農畜水産物およびその加工品に加え、土壌や河川水などの環境資源、絹や羊毛といった生物素材、肥料、微生物など、多岐にわたっている。

② NMR 計測用試料を調製する。調製の際には、サンプルを凍結乾燥させた後、破碎装置を用いて粉末化する。固体 NMR 計測を行う場合は、そのまま粉末試料を固体 NMR 計測用試料管に充填する。一方で、溶液 NMR 計測を行う場合は、粉末試料に重水素化された水やメタノール、クロロホルムなどの溶媒を加え、加熱または常温で攪拌して極性成分を抽出する。その後、遠心

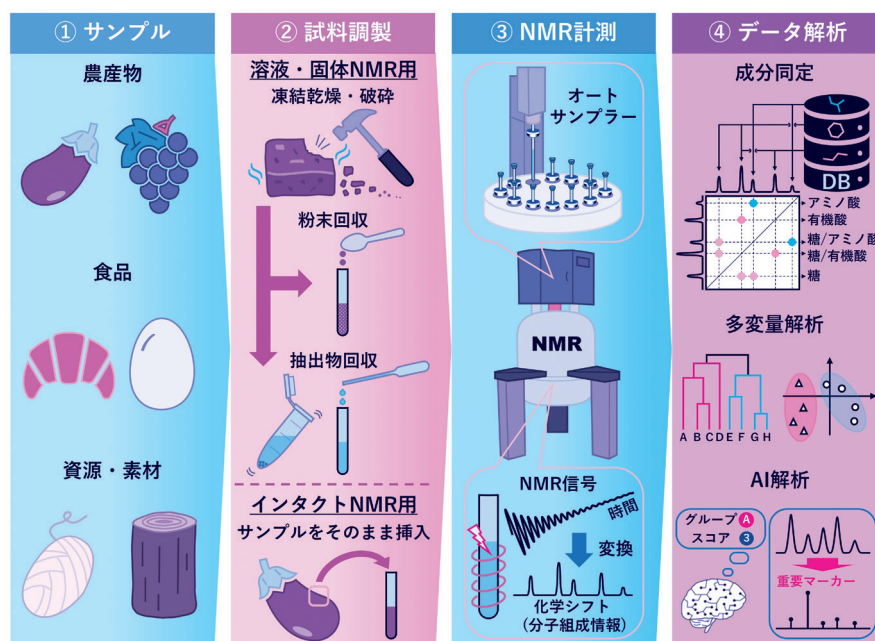


図1 農畜水産物・食品研究における NMR メタボミクスの流れ

分離を行い、上清を溶液 NMR 計測用試料管に充填する。また、インタクト NMR 計測を行う場合は、サンプルの一部あるいは全体をそのまま NMR 計測用試料管に挿入する。

③ NMR 計測を行うにあたっては、NMR 計測用試料管を NMR 装置にセットし、重溶媒ロック、シム調整、チューニング/マッチング、計測法の選択、計測パラメータの設定、レシーバーゲインの調整などを経て、計測を開始する。オートサンプルチェンジャーを搭載した NMR 装置では、最大で約 500 の試料を自動で連続計測することも可能である。NMR 計測では、大型の超電導磁石内にセットされた試料にラジオ波を照射し、励起した成分群から時間領域の自由誘導減衰 (free induction decay, FID) データを取得する。この FID データをフーリエ変換することで、各成分が持つ固有の共鳴周波数に基づいた NMR スペクトルを取得する。さらに、共鳴周波数のずれは、内部標準物質のピークを基準に補正され、汎用的な成分組成情報である化学シフトに変換される。

④ NMR スペクトルのデータ解析を行う。まず、NMR スペクトルの各ピークがどの成分に対応するかを同定する。農畜水産物や食品は多数の成分が混在するため、NMR スペクトルは複雑になるが、各成分は化学構造に応じた固有の化学シフトや NMR 信号の分裂パターンを示すため、純成分の NMR スペクトルを収録したデータベースとの照合によって成分同定が可能である。成分同定された複数の NMR スペクトルは、主成分分析 (principal component analysis, PCA) や階層クラスタ解析などの多変量解析に供することで、例えば品種、産地、栽培条件による成分の違いなどを特徴付けることが

できる。また、機能性や病理に関連するメタデータを教師データとして、人工知能 (artificial intelligence, AI) の深層学習アルゴリズムを活用した回帰・分類解析を行うことで、機能性成分や病理診断マーカーの発見にも繋げることができる²⁾。

2.3 NMR 計測のターゲットスケール

NMR 計測においては、計測対象のスケールや目的に応じて適切な分析法および計測法を選択する必要がある。図2に、NMR 計測のターゲットスケールを示す。

まず、低分子化合物といったミクロスケールの解析では、主に溶液 NMR が用いられ、分子の組成情報を取得できる。例えば、異種核単一量子コヒーレンス法 (hetero-nuclear single quantum coherence, HSQC) では、低分子化合物を構成する水素と炭素の相関信号シグナルを検出でき、全相関分光法 (total correlation spectroscopy, TOCSY) では、同一分子内の水素同士の間接相関信号を検出でき、これらの情報により、低分子化合物の骨格構造を推定することが可能である。また、二次元 J 分解分光法 (two-dimensional J -resolved spectroscopy, 2D J) では、同一分子内の隣接する水素間のスピン結合情報を抽出できるため、立体構造の推定にも有効である。時間領域 (time-domain, TD) NMR では、横緩和時間計測法 (carr-purcell-meiboom-gill, CPMG) や拡散順序分光法 (diffusion-ordered spectroscopy, DOSY) などを用いることで、分子の磁気緩和や拡散といった物性情報を取得することができる。

さらに、より大きなスケールでは固体 NMR が適用される。交差分極-マジック角回転法 (cross polarization magic angle spinning, CP-MAS) などにより、高分子化

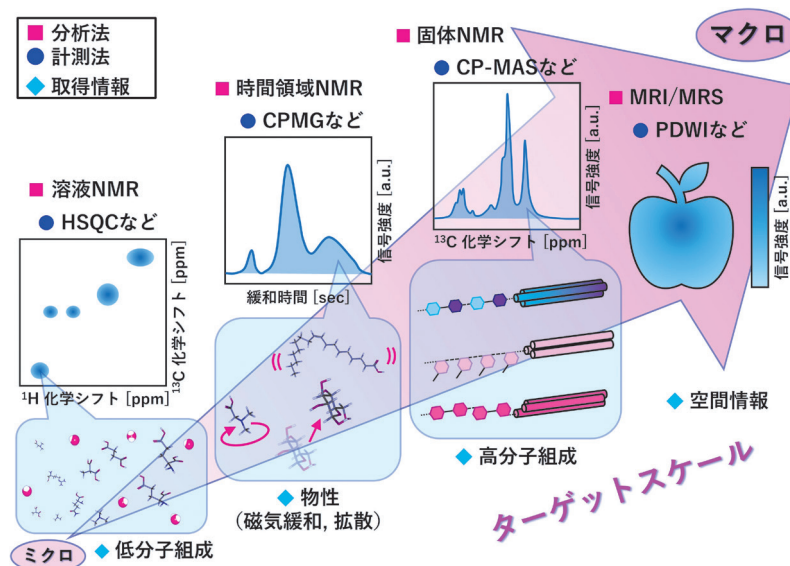


図2 NMR計測のターゲットスケール

化合物や固体材料の構造や組成の評価が可能である。最もマクロなスケールにおいては、NMRと同じ原理を利用する磁気共鳴画像法（magnetic resonance imaging, MRI）や磁気共鳴分光法（magnetic resonance spectroscopy, MRS）が用いられる。これにより、陽子密度強調画像法（proton density-weighted imaging, PDWI）などを通じて、生体内の空間情報や代謝物の分布などを可視化できる。

このように、NMRはミクロからマクロに至るまで、階層的に異なるスケールの物質や現象に対応可能であり、それぞれに適した手法の選択が重要である²⁾。また、これらのNMR分析法・計測法を横断的に用いて情報を網羅的に取得し、統合的に解析することで、生物という複雑なシステム全体の理解に貢献することができる。さらに、NMR技術の高度化により、従来法では取得できなかった生体内現象の解明に繋がる情報取得も可能となる。次節および次章では、これらの具体的な研究事例を紹介する。

2.4 海藻類のマルチオミクス解析

海藻類は健康食品や工業原料として有用な多糖類やミネラルを豊富に含んでおり、その成分組成は季節や環境などの要因によって変動することが知られている。従来、これらの成分分析とデータ解析は個別に行われることが多く、多様な有機成分と無機成分を統合的に評価する手法は限られていた。そこで本研究では、海藻類のヒジキに含まれる有機・無機成分を網羅的に分析し、これらの成分の時系列変動と相互関係を計量化学的手法により明らかにすることを試みた。

神奈川県三浦市の海岸にて、1年間にわたり月1～2回の頻度でヒジキを採取し（図3A）、以下の成分分析を

行った。低分子から高分子までの有機成分については、溶液NMR、固体NMR、フーリエ変換赤外分光法（fourier transform-infrared spectroscopy, FT-IR）、示差熱・熱重量測定法（thermogravimetry-differential thermal analysis, TG-DTA）、同位体比質量分析法（isotope ratio mass spectrometry, IR-MS）、全自動元素分析法（CHNS/O analyzer）を用いて分析を行った。また、金属イオンなどの無機成分については、誘導結合プラズマ発光分光分析法（inductively coupled plasma-optical emission spectrometry, ICP-OES）を用いて分析を行った。取得したスペクトルデータは、多変量スペクトル分解法（multivariate curve resolution alternating least-squares, MCR-ALS）により純成分のピークを抽出し、各種分析データと統合した。統合したデータに対して、PCAおよび自己組織化マップ（self-organizing maps, SOMs）を用いたパターン抽出を行った。さらに、成分間の相関ネットワークを構築し、構造方程式モデリング（structural equation modeling, SEM）により、有機成分と無機成分の相互関係を統計的に検証した。

その結果、ヒジキに含まれる成分には季節による顕著な変動が見られた。PCAおよびSOMsにより、各成分因子が時間経過に応じてクラスタリングされ、成分間の同調的な変動パターンが視覚的に示された。相関ネットワーク解析からは、夏季に濃度が高まる多糖類であるアルギン酸がFe、Al、Tiなどの金属イオンと高い相関を示し、この関係性はSEMにより統計的に検証された（図3B、C）。これらの成分変動は、光合成活性や成長過程における生理的変化、海水中の無機塩濃度変動などに起因する可能性が高いと考えられた。また、アルギン酸は金属イオンを選択的に取り込む性質を持つことが知られており、時系列的に変動する生体内外の状態に応じ

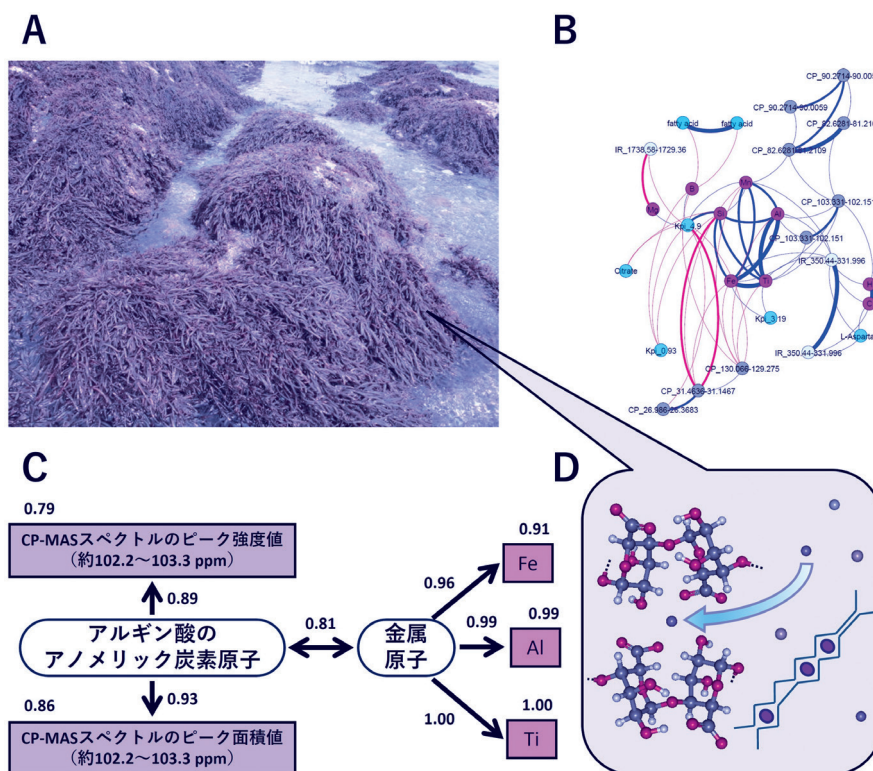


図3 (A) NMR計測などに供したヒジキ；(B) 各種計測データの統合相関ネットワーク；(C) アルギン酸と金属原子の構造方程式モデル；(D) アルギン酸が金属吸着するイメージ

Adapted with permission from reference 3. Copyright 2014 American Chemical Society.

てアルギン酸の構造が変化し、それが無機成分の取り込みに影響を与えていると考えられた（図3D）。この統合解析により、有機成分と無機成分からなる因子ネットワークが季節変化に応じて形成される様子を、初めて計量化学的に示すことができた³⁾。

本研究は、海藻類の成分を網羅的かつ統合的に評価する新たな解析戦略を提示し、自然環境が生物の成分構成に与える影響の全体像を明らかにした。これにより、海藻類の生理的応答や成分制御の理解が大きく進展すると考えられた。さらに、本手法は他の海藻類や農畜水産物にも適用可能であり、天然資源の品質評価や栽培管理、食品・医薬品原料の最適化利用に向けた応用が期待される。将来的には、地球環境変動と生物機能の関係を解明するための基盤技術としても活用されることが期待される。

3 インタクトNMR計測法を用いた農畜水産物・食品の丸ごと解析

3.1 概要

農畜水産物や食品中の成分を網羅的に分析する際には、前述の様に、対象とする成分に応じた試料調製が必要であり、複数の分析装置を用いることが一般的である。そのため、得られる成分情報は使用する抽出溶媒や調製方法に依存し、成分情報の取りこぼしが発生する可能性がある。また、成分分析のための試料調製は通常、

破壊的な操作を伴うため、成分と構造体との関連性が失われ、生体内現象や全体構造の状態を評価することが困難となる。

一方で、NMRは原理的に成分の抽出などを行わずに、農畜水産物や食品をそのままの状態で分析することが可能である。このように、試料を非破壊でNMR計測する技術は「インタクトNMR計測法」と呼ばれている。しかし、農畜水産物や食品をそのままの状態でのNMR計測する場合、組織間の磁化率の差によって局所磁場が不均一となることや、分子の静磁場方向に対する共鳴周波数の異方性、粘度の影響による分子運動の制御などにより、FIDが早期に消失し、各成分のNMR信号のピーク幅が広がる。これにより、スペクトル全体にわたってNMR信号のピークが重なり、個々の成分の種類や量を特定することが困難になるという課題がある。このため、農畜水産物や食品中の成分とその状態を非破壊的かつ高分解能に評価可能とする新たな技術の開発が求められている⁴⁾。

3.2 スジエビの部位における成分動態評価

農畜水産物や食品における空間的な成分分布や物性といった、表面的に「見えない品質」の評価は、食品の安全性や機能性、価値を保証・向上させるうえで重要である。NMRやMRI、MRSから、非侵襲的な成分評価や空間的な動態、成分の空間分布を観察することが可能であ

るが、有機体を「ありのままの状態」で、個々の成分・物性・空間分布を一括で評価できる計測法は存在しなかった。そこで本研究では、生体や食品といった複雑な混合系において、成分の組成、拡散係数や磁気緩和時間といった物性、および空間的な位置情報を非破壊的かつ高分解能で同時に取得可能な、新しいNMR計測法とデータ解析法の開発を試みた。

まず、試料中の成分分布を評価する化学シフトイメージング法 (chemical shift imaging, CSI) と、拡散や磁気緩和といった物性を評価する DOSY 法および CPMG 法を組み合わせ、空間分子動力学の順序分光法 (spatial molecular-dynamically ordered spectroscopy, SMOOSY) と名付けた新たな NMR 計測法を構築した。また、生体のように空間構造が不均一な試料では、前述したように、共鳴周波数の異方性や分子運動の制限により NMR スペクトルが広がってしまう問題がある。これを解消するため、NMR 計測中に試料管を高速回転させる高解像度マジックアングルスピニング法 (high-resolution magic-angle-spinning, HR-MAS) を併用した。さらに、SMOOSY 法により得られる NMR スペクトルは 3 次元であり、直感的な評価が難しいため、スペクトルを 2 次元画像として可視化し、生体内の成分組成、分布、物性を一目で評価可能とする疑似スペクトル画像法も開発した。

この SMOOSY 法をスズエビに適用した結果、頭部から尾部にかけての体軸方向における脂質、有機酸、アミノ酸などの成分分布と、これらの拡散係数や磁気緩和時間といった物性の空間的な変化を非破壊的に評価することに成功した (図 4)。具体的には、ドコサヘキサエン酸 (docosahexaenoic acid, DHA) やエイコサペンタエン酸 (eicosapentaenoic acid, EPA) といった脂質は全体

に分布していたが、頭部では拡散係数が低く、尾部では高いことが確認された。これは、エビの殻を構成するキチンといった硬い性質を持つ高分子との相互作用や、分子群が密な状態で存在することで分子運動が抑制され、拡散係数が低くなったと考えられた。また、この結果から頭部の方が尾部よりも硬い物性を有していることが示された。さらに、タウリンやベタインなどの成分は全体に分布している一方で、拡散係数に明確な空間変化が見られなかった。このことから、これらの成分は他の成分とほとんど相互作用せず、遊離状態で存在していると考えられた⁵⁾。

このように、SMOOSY 法は、従来の NMR や MRI、MRS の計測法では困難であった、生体や食品といった複雑な混合系における成分の組成・物性・空間情報を同時に高分解能で取得することを可能にした。特に、試料を非破壊で評価できる点は、食品の部位ごとの食感や呈味、加工・保存状態の評価、医療分野における生体組織の診断、さらには材料科学における新素材の評価など、多様な分野での革新的な応用が期待される。

3・3 野菜類の発酵過程における成分変化の追跡

NMR を用いた農畜水産物や食品中の低分子成分の分析には、従来、試料から成分を抽出して計測する方法や、前節で紹介した HR-MAS 法を併用して試料全体を計測する方法が用いられてきた。HR-MAS 法を適用する試料の調製は比較的簡便であるという利点がある一方、NMR 計測には専用の付帯装置を必要とし、試料管を高速回転させる必要があるため、食品の種類によっては細胞組織や構造を損傷するリスクがあるという課題が残されていた。そこで本研究では、HR-MAS 法を併用せず、かつ食品を破壊せずに、そのままの状態で高分解

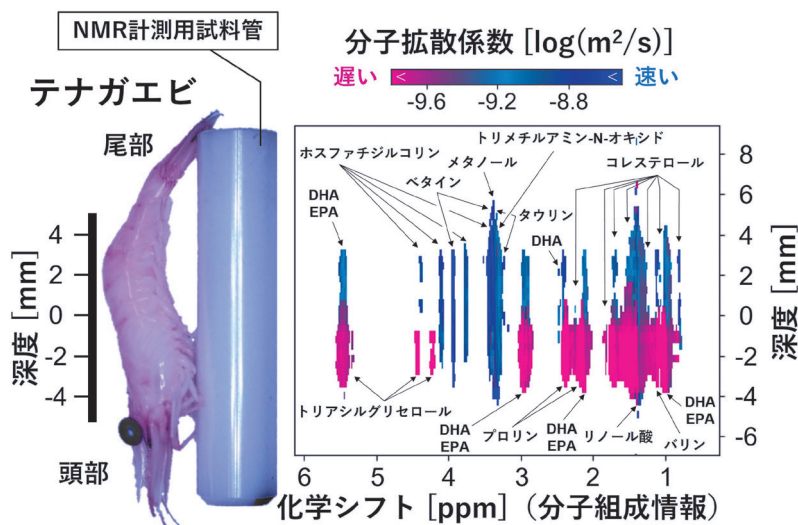


図 4 テナガエビ科スズエビの SMOOSY 疑似スペクトル画像

文献 5 の図 2 を一部改変して転載 (クリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際ライセンス <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> の下に提供されています)。

能の NMR スペクトルを取得する新たな計測法を導入することとした。また、その応用例として、野菜の発酵過程における成分変化を包括的かつ非破壊的に解析することを試みた。

まず、試料に照射するラジオ波パルスの種類やタイミングを調整することで、磁化率の不均一性によって引き起こされる NMR スペクトルの幅広化を抑制する分子間単一量子コヒーレンス法 (intermolecular single quantum coherence, iSQC) を用いたインタクト NMR 計測プログラムを作成した。次に、米ぬか床で発酵させたニンジンとキュウリを用い、発酵実験の 0 日目、3 日目、7 日目の各段階で、成分抽出を行わずそのままの状態での NMR 計測用試料管に挿入し、NMR 計測を行った。

新たに構築したインタクト NMR 計測法では、例えば発酵実験 3 日目のニンジンから得られた NMR スペクトルにおいて、約 2 ppm に観測される NMR 信号のピーク幅が、従来の NMR 計測法の約 37 Hz から約 11 Hz へと大幅に狭まり、約 3 倍の分解能向上が確認された (図 5)。その結果、従来の NMR 計測法では判別が困難であった糖類、アミノ酸、有機酸など、計 15 種類の成分

を高分解能で検出し、同定することに成功した。さらに、各発酵段階における NMR スペクトルを比較したところ、 γ -アミノ酪酸、アラニン、アスパラギン、フルクトース、グルコース、グルタミン、ロイシン、リンゴ酸、スクロースなどの成分は発酵実験 0 日目で多く検出されたが、発酵実験 3 日目以降にはほとんど検出されなくなった。一方で、酢酸、乳酸、未知成分の NMR 信号は発酵実験 3 日目と 7 日目で顕著に検出され、発酵実験 0 日目ではほとんど検出されなかった。このことから、発酵の進行に伴って糖類が減少し、アミノ酸や有機酸が増加するという変化が明確となり、微生物による糖代謝および乳酸発酵が進行したことが示唆された⁶⁾。

本研究により、インタクト NMR 計測によって得られる NMR スペクトルからでも成分同定が可能であり、成分間の定性的な評価が十分に行えることが示された。抽出物ではなく、試料を「ありのままの状態」で計測することで、より実態に即した評価が可能となったといえる。また、HR-MAS 法のような特殊な装置を必要とせず、一般的な NMR 装置に計測プログラムを導入するだ

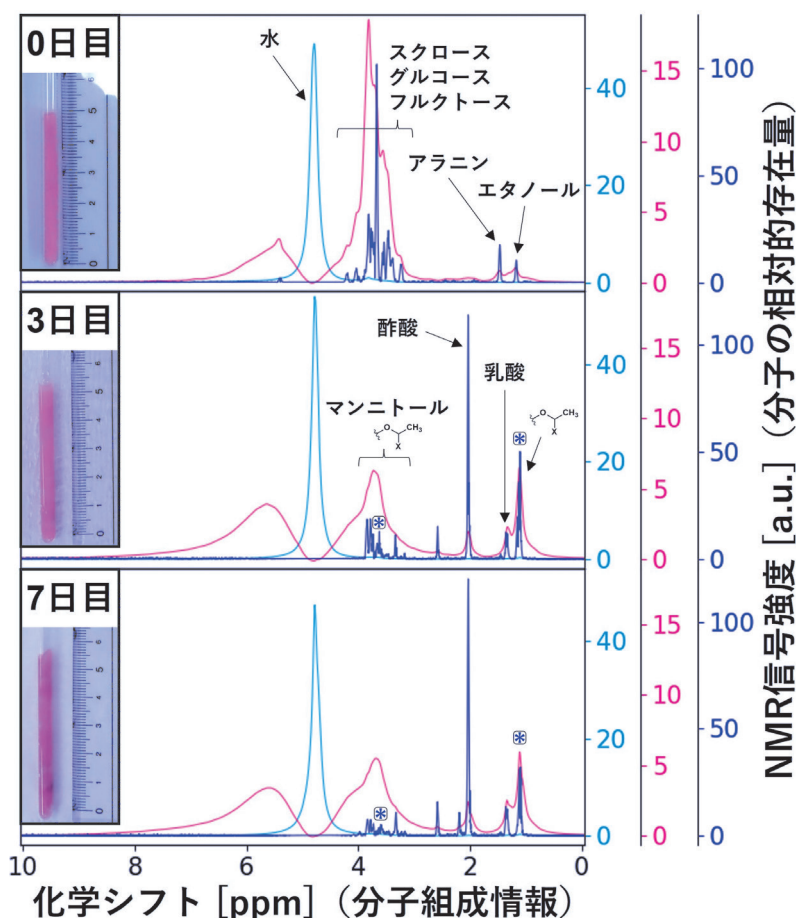


図5 ニンジンの発酵過程におけるインタクト NMR スペクトルの変遷

それぞれ、従来の NMR 計測法 (緑), 水分子由来の NMR 信号を抑制する従来の NMR 計測法 (赤), iSQC 法 (青) で取得した文献 6 の図 1 を一部改変して転載 (クリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際ライセンス <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> の下に提供されています)。

けで分析できる点も大きな利点である。今後、本研究で構築したインタクト NMR 計測法を様々な農畜水産物や食品に適用することで、試料調製を要しない簡便な成分分析が可能になると期待される。さらに、農畜水産物や食品を非破壊で計測できるため、これまで見落とされていた生命現象や成分情報の発見に繋がり、新たな食品の品質評価法の開発が加速されることが期待される。

3・4 農畜水産物・食品のどこでも簡易的品質評価

高磁場 NMR は、農畜水産物・食品研究の分野において、成分の網羅的な評価から有用成分の構造解析まで、幅広く利用されている。一方で、装置の維持管理は高コストとなり、また、大型の専用施設を必要とすることから、利用環境は限られていた。近年、NMR 装置の小型化・ポータブル化が進展しており、低コストで操作が簡便かつ可搬性があることから、現場での適用性が高いとして注目されている。小型 NMR 装置である卓上型 NMR や TD-NMR は、実験室の片隅にも設置可能であり、農畜水産物・食品中の成分や物性を簡易に評価できる。さらに、小型 NMR 装置の中でも片側開放型低磁場時間領域プロトン NMR (片側 NMR) は、農畜水産物や食品品質管理の現場にも運搬できる構成となっている。片側 NMR の計測は、計測対象物にマグネットを聴診器の様に当てることで行い、内部の状態を非破壊的に評価することができる⁷⁾。

片側 NMR の具体的な計測事例を図 6 に示す。ここでは、生卵およびトマトをマグネットの上に載せ、CPMG 法による計測を実施した。取得した磁気緩和時間分布データを逆ラプラス変換して NMR スペクトルを得たところ、それぞれ三つの成分ピークが確認された。磁気緩和時間は分子量や分子の運動性を反映しており、時間が長いほど低分子、短いほど高分子に対応する。このことから、磁気緩和時間が長いピークは水分由来、短いピークはタンパク質や多糖由来であることが示唆された。

現段階では、詳細な成分評価には他の分析装置から得られる情報との照合が必要であるものの、現場で簡便かつ非破壊的な品質評価が可能となる未来像が見えてきた。今後も引き続き、農畜水産物や食品品質管理の現場適用に向けた可能性を検証していく予定である。

4 おわりに

本稿では、NMR を活用した農畜水産物や食品中成分の非破壊的かつ網羅的な評価に関する新たな可能性と応用性について、最新の研究事例を交えて紹介した。特に「インタクト NMR 計測法」による成分分析においては、従来の破壊的手法では得られなかった、生体や食品中の成分の「ありのままの状態」と、それに伴う空間的・物性的な情報を高分解能で取得可能となった点は、技術的ブレイクスルーといえる。また、小型で可搬性のある NMR 装置は現場での適用性が高く、品質管理や簡易診

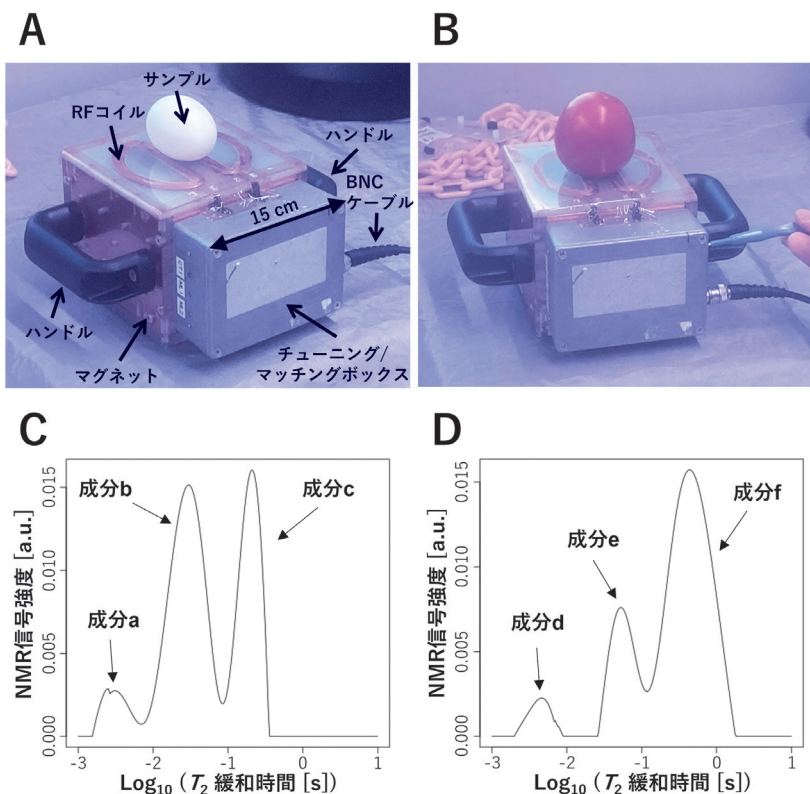


図 6 片側 NMR のマグネットの構成と計測対象である (A) 生卵および (B) トマトの配置。取得された (C) 生卵および (D) トマトの磁気緩和時間分布データを逆ラプラス変換して得られた NMR スペクトル

断の手段としての実用化へ向けた開発・実装が進むことが期待される。今後は、NMR と AI 解析との連携により、より高精度かつ迅速な成分評価が可能となることが見込まれる。さらに、生体組織や加工食品など、時間的・空間的に変動する複雑な混合系にも対応可能な解析技術の発展により、農畜水産業および食品産業の高度化・効率化への貢献が期待される。インタクト NMR 計測法をはじめとする新たな分析・解析技術は、今後の持続可能な農畜水産業および次世代の食品評価における基盤技術として、さらなる発展が望まれる。

謝 辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP25K08713 の助成を受けたものである。

文 献

- 1) 関山恭代：オレオサイエンス，**19**, 109 (2019).
- 2) J. Kikuchi, K. Ito, Y. Date : *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.*,

104, 56 (2018).

- 3) K. Ito, K. Sakata, Y. Date, J. Kikuchi : *Anal. Chem.*, **86**, 1098 (2014).
- 4) 伊藤研悟，関山恭代：農研機構技報，**17**, 26 (2025).
- 5) K. Ito, Y. Tsuboi, J. Kikuchi : *Commun. Chem.*, **3**, 80 (2020).
- 6) K. Ito, R. Yamamoto, Y. Sekiyama : *Metabolites*, **14**, 391 (2024).
- 7) Y. Nakashima : *J. Nondestr. Eval.*, **42**, 90 (2023).



伊藤 研悟 (Ito Kengo)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構基盤技術研究本部農業情報研究センターデータ研究推進室 (〒305-8601 茨城県つくば市観音台 2-1-9). 横浜市立大学生命医科学研究科生命医科学専攻博士後期課程. 博士 (理学). 《現在の研究テーマ》有機体の成分・物性・空間相関情報を取得する高分解能インタクト NMR 計測法の開発. 《趣味》ドライブ.

E-mail : ito.kengo722@naro.go.jp

原 稿 募 集

トピックス欄の原稿を募集しています

内容：読者の関心をひくような新しい分析化学・分析技術の研究を短くまとめたもの。

執筆上の注意：1) 1000 字以内 (図は 1 枚 500 字に換算) とする。2) 新分析法の説明には簡単な原理図などを積極的に採り入れる。3) 中心となる文献は原則として 2 年以内のものとし、出所を明記する。

なお、執筆者自身の文献を主として紹介するこ

とは御遠慮ください。又、二重投稿は避けてください。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2

五反田サンハイツ 304 号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会

[E-mail : bunseki@jsac.or.jp]