

卓上 NMR×機械学習で「母乳オリゴ糖」簡便測定法を開発

～一人ひとりに合わせた「個別化授乳ケア」と適切な栄養指導の実現へ～

ポイント

- ・卓上型（小型）NMR と機械学習を組み合わせることで、複雑な母乳分析の簡略化に成功。
- ・小型装置では測定困難だった母乳オリゴ糖（HMO）の高精度な定量法を確立。
- ・医療現場で母乳の状態を即座に評価し、個別の授乳支援への応用に期待。

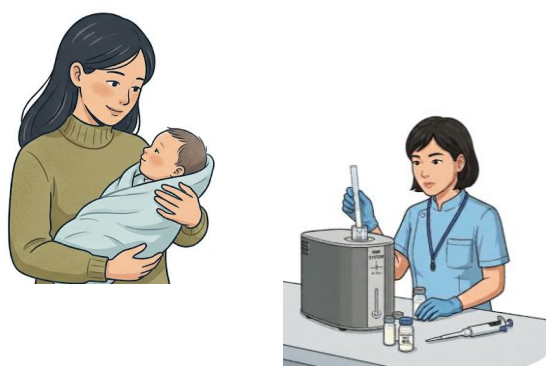
概要

北海道大学大学院先端生命科学研究院の相沢智康教授、中村公則教授、同大学大学院医学研究院の玉腰暁子教授らの研究グループは、小型で扱いやすい卓上型核磁気共鳴（NMR）装置^{*1}の測定データに機械学習^{*2}（AI）モデルを融合させることで、母乳中に含まれるオリゴ糖の量を、正確かつ簡便に定量する新技術を開発しました。

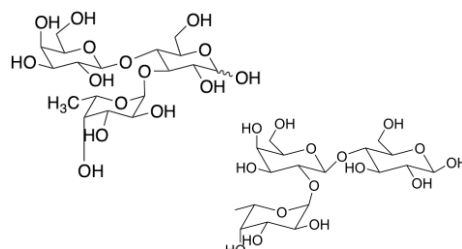
母乳オリゴ糖（HMO）^{*3}は、赤ちゃんの腸内環境の形成や免疫発達を助ける重要な成分ですが、人による分泌型（遺伝的特性）の違いや授乳時期による変動が大きいという特徴があります。しかしそのオリゴ糖を簡単に精度よく測定することは困難でした。研究グループは、超高磁場核磁気共鳴（NMR）装置による高精度なデータを正解（教師データ）とし、小型で卓上型の NMR 装置のデータから解析するワークフローを構築しました。その結果、信号が重複したデータから主要な HMO（2'-FL, 3-FL, LNFP-I）を、大型装置と遜色ない精度で定量することに成功しました。

本技術により、病院や地域の医療施設などの臨床現場において、お母さんの母乳の状態をその場で即座に評価・スクリーニングできるようになり、赤ちゃん一人ひとりの発育状態に応じた高度な授乳指導や個別化栄養ケアの実現が期待されます。

なお、本研究成果は、2026 年 7 月 25 日（土）公開の Journal of Agricultural and Food Chemistry 誌にオンライン掲載されました。



現場での**卓上NMR装置**の活用



機能性**母乳オリゴ糖**の種類や量
⇒個別ケアや授乳指導の実現へ

【背景】

母乳は、乳幼児の健やかな成長や免疫系の成熟、腸内細菌叢の確立を支える最良の栄養源です。母乳に含まれる母乳オリゴ糖（HMO）は、乳糖や脂質に次いで豊富な成分であり、200 種類以上の多様な構造が存在します。特にフコシル化 HMO（2'-FL、3-FL、LNFP-I など）は、腸内の善玉菌を増やすプレバイオティクス作用や病原体の感染予防、免疫調節など非常に優れた機能を持つことが知られています。

しかし、HMO の分泌量は母親の遺伝的特性（*FUT2* 遺伝子による分泌型・非分泌型）や授乳時期（初乳から成熟乳への経過）によって大きく変動します。このため、母乳の栄養状態を評価するためには正確な HMO の測定が不可欠ですが、従来の質量分析法や超伝導を用いた高磁場 NMR 装置は、装置が大型で高価かつ維持管理が複雑であるため、一般的な病院や臨床現場での日常的な測定には適していませんでした。

【研究手法】

研究グループは、設置や維持が容易な永久磁石を用いた小型の卓上型（60 MHz）NMR 装置に着目しました。研究ループはこれまでの研究で、母乳中の重要な栄養成分である乳糖（ラクトース）を小型卓上 NMR で正確に定量することに成功していました。しかし、小型卓上 NMR では分光分解能が低いため、母乳中に多量に含まれる乳糖の強力な信号と HMO の微小な信号が重なり合い、通常の解析手法では個別の HMO を定量することは不可能でした。

そこで本研究では従来とは完全に異なるアプローチでの解析手法を検討しました。北海道岩見沢市で実施されている「SMILE Iwamizawa」母子コホート研究より提供された母乳試料（初乳・産後 1 ヶ月・産後 4～5 ヶ月の 3 時期に採取）を分析対象とすることで、超高磁場（800 MHz）NMR で得られた厳密な定量値を「正解データ」とし、小型卓上（60 MHz）NMR のスペクトルデータに対して多変量解析及び機械学習アルゴリズムを適用・検証しました。

【研究成果】

検証の結果、最も優れた精度と安定性を示した機械学習モデルを用いて、小型 NMR の広範囲で重複したシグナルの中から濃度依存的な特徴量を的確に抽出することができ、2'-FL（決定係数 $R_p^2 = 0.99$ ）、3-FL（ $R_p^2 = 0.95$ ）、LNFP-I（ $R_p^2 = 0.84$ ）のいずれにおいても高精度な予測性能を達成しました。

さらに本モデルは、2'-FL の有無に基づく母親の「分泌型（Secretor）／非分泌型（Non-secretor）」の遺伝的判定を 100% 正確に判別できたほか、授乳経過に伴って 2'-FL が減少する一方で 3-FL が増加するという生体内の生理的変動パターンも正確に捉えることが確認されました。これにより、小型 NMR と機械学習の融合が、複雑な母乳中の HMO のスクリーニングにおいて強力なツールとなることが証明されました。

【今後への期待】

本研究で開発された分析システムは、従来の大型分析機器を必要とせず、コンパクトでメンテナンスフリーな卓上型装置とソフトウェアのみで完結します。この技術が病院や乳幼児健診の現場などに導入されることで、お母さんの母乳の状態（HMO プロファイル）をその場でスピーディに可視化できるようになります。これにより、赤ちゃんの腸内環境や発育段階に応じた「個別化授乳ケア」やより精密な栄養アドバイスなど、保健指導の質の向上に貢献することが大きく期待されます。

【謝辞】

本研究は、文部科学省「NMR プラットフォーム（北海道大学 NMR 施設）」の支援、並びに科学技術振興機構（JST）の COI NEXT プログラム（JPMJPF2108）及び次世代研究者挑戦的研究プログラム（SPRING, JPMJSP2119）の助成を受けて実施されました。また、北海道岩見沢市での SMILE Iwamizawa コホート研究にご協力いただいた参加者及び関係医療機関に深く感謝申し上げます。

論文情報

論文名	Machine Learning-Enabled Quantification of Fucosylated Human Milk Oligosaccharides in Human Breast Milk by Benchtop ^1H NMR Spectroscopy（卓上型 ^1H NMR 分光法と機械学習を用いたヒト母乳中フコシル化母乳オリゴ糖の定量）
著者名	Zhiyan Hu ¹ 、Jiaxi Jiang ¹ 、阿部 潤 ¹ 、Thanawat Thumrongtaradol ¹ 、赤坂美穂 ¹ 、大西裕季 ¹ 、長田誠司 ² 、新井達也 ³ 、久米田博之 ³ 、熊木康裕 ⁴ 、山内一夫 ⁵ 、清水由宇 ³ （研究当時）、横井友樹 ³ 、中村公則 ³ 、綾部時芳 ^{3,6} 、中村幸志 ⁷ 、木村尚史 ⁸ 、玉腰暁子 ⁸ 、相沢智康 ³ （ ¹ 北海道大学大学院生命科学院、 ² 株式会社中山商事、 ³ 北海道大学大学院先端生命科学研究院、 ⁴ 北海道大学大学院理学研究院、 ⁵ 新潟大学研究推進機構、 ⁶ 北海道大学産学・地域協働推進機構、 ⁷ 琉球大学大学院医学研究科、 ⁸ 北海道大学大学院医学研究院）
雑誌名	Journal of Agricultural and Food Chemistry（農業や食品の化学・生化学の専門誌）
D O I	10.1021/acs.jafc.6c04775
公表日	2026 年 7 月 25 日（土）（オンライン公開）

お問い合わせ先

北海道大学大学院先端生命科学研究院 教授 相沢智康（あいざわともやす）

T E L 011-706-3806 F A X 011-706-3806 メール aizawa@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://altair.sci.hokudai.ac.jp/g5/>

配信元

北海道大学社会共創部広報課（〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目）

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【用語解説】

- *1 卓上型核磁気共鳴（NMR）装置 … 従来の超電導磁石を用いた大型 NMR 装置と異なり、小型の永久磁石を使用したテーブルサイズの核磁気共鳴装置。冷媒補給が不要でメンテナンスが容易であり、臨床現場や品質管理への応用が進んでいる。
- *2 機械学習 … 人工知能（AI）技術の一種で、大量のデータからパターンを学習して予測モデルを構築する手法。
- *3 母乳オリゴ糖（HMO: Human Milk Oligosaccharides） … 母乳に含まれる複雑な構造を持つ難消化性の糖類。200 種類以上が存在し、赤ちゃんの腸内細菌（ビフィズス菌など）の栄養源となるほか、感染予防や免疫調整など重要な生理機能を持つ。