

中性子準弾性散乱で解析する食品中の水の物理化学

中川 洋

日本原子力研究開発機構

中性子非弾性散乱は、水素原子の大きな非干渉性散乱能を利用した水のダイナミクスの研究や、THz 周波数領域に特徴的なガラスの分子ダイナミクスなど、物質・生命科学研究で活用されている振動分光法の一つである。中性子線は透過性が高く、非破壊的に分子ダイナミクスを観測できるという特徴がある。このような中性子振動分光法では、食品中の水やガラス状態のマイクロ構造ダイナミクスを直接観測することができ、食品の構造—機能相関解析において、マイクロ構造と関係した食品物性の発現機構解明に威力を発揮すると期待できる。

一般に乾燥食品は、水分活性値を下げることで腐敗の原因となる微生物の増殖を抑えるとともに、ガラス状態にすることで食品の安定性を向上させている。食品のガラス化は食感とも関わることもあるため、食品の品質を決める重要な要因となる。このようなオーソドックスな食品分析法で分かる水分活性値やガラス転移温度といった熱力学量は、統計力学の観点から、マイクロ構造のダイナミクスが関係していると考えられる。したがって、食品中の水の物理化学の状態を調べ、それが巨視的な食品物性とどのように関係しているかを解明することは、食品物理学において重要なテーマとなると考えられる。

我々はこれまで、分子運動性の解析や水和構造の可視化ができる中性子非弾性散乱と分子シミュレーションの融合解析により、蛋白質と水和水のマイクロ構造のダイナミクスを観測し、両者の相互作用を調べてきた。具体的には、蛋白質の水分量を段階的に変化させたときの、水の分子運動性・水和構造・水素結合ダイナミクスを調べた。その結果、水分量の増加に伴う水分子間の水素結合の寿命の変化は、水と蛋白質間の水素結合の寿命の変化と連動していることが分かった。さらに水分活性値が、それらと相関関係があることから、水分活性は、水の分子運動に関する物理量から説明できることが示唆された。また興味深いことに、これら水の動的挙動と蛋白質のガラス転移とに関係性を見出している。

中性子の利用には研究用原子炉や加速器といった大型実験施設が必要であるが、わが国では大強度中性子実験施設 J-PARC が稼動し、食品科学への適用も期待されるようになってきた。一方で、中性子はユニークな計測法ではあるが、得られる情報には限界もある。食品のマイクロ構造を観る様々な計測手法と組み合わせて中性子を食品物性研究に適用していくことが重要であると考えている。

参考文献：

- [1] H. Nakagawa et al., *Biophysics and Physicobiology*, 16, 213-219 (2019)
- [2] H. Nakagawa et al., *Frontiers in Chemistry-Physical Chemistry and Chemical Physics*, 7, 731 (2019)
- [3] 中川洋、et al., *明日の食品産業*, 448, 23-30 (2018)
- [4] 中川洋、et al., *日本食品科学工学会誌*, 61, 323-328 (2014)
- [5] H. Nakagawa et al., *J.Phys.Soc.Jpn.* 79, 083801 (2010)
- [6] 中川、波紋・世界結晶年記念特集号、7 (2014)