

小角散乱法によるカゼインミセルの構造解析

高木秀彰

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

【目的】

牛乳の白い色は色素によるものではなく、乳内に存在する数 100nm のミセルが可視光を乱反射するためである。このミセルは主にカゼインと呼ばれるたんぱく質からなるため、カゼインミセルと呼ばれている。牛乳の歴史は非常に長い、現在までこのミセル構造の詳細について明確には分かっていない。また、牛乳の重要な栄養素であるカルシウムはリン酸カルシウムの微粒子の状態で存在し、サイズについても諸説あるが、数 nm 程度の大きさでカゼインミセル内に内包されている。カゼインミセルの内部構造に関して、これまでの研究からサブミセルモデルとナノクラスターモデルの 2 つの有力なモデルが提唱されている。これまでの多くの研究から、ナノクラスターモデルの方が有力であると考えられている。そこで本研究では、ナノ構造体の構造解析に適している小角散乱法を用いて、カゼインミセルの構造を特定することを目的とした。

【方法】

試料である牛乳は脱脂を行い、低温殺菌したものを使用した。小角 X 線散乱(SAXS)実験は高エネルギー加速器研究機構の放射光施設フォトンファクトリー(PF)の BL-15A2 にて行った。入射 X 線エネルギーは 7.2keV、試料と検出器間の距離は約 3.5m の条件で実験を行った。

【結果】

SAXS を用いた牛乳のカゼインミセルの研究は世界的に広く行われている。SAXS プロファイルの特徴は一致しており、主に 3 つのブロードなショルダー状の散乱が観察されている。SAXS プロファイルの解釈について研究グループによって様々なモデルが提唱されており、統一した見解は現在まで得られていない。我々は従来提唱されているサブミセルモデルとナノクラスターモデルで理論計算したところ、この 2 つのモデルでは実験で得られた SAXS プロファイルを適切に説明できないことが分かった。最新の研究結果では、カゼインミセル内に数 10nm 程度の水の孤立ドメインが存在することが電子顕微鏡観察によって明らかになった[1]。そこで、我々は球状のカゼインミセル内に水のドメインと数 nm のリン酸カルシウム微粒子が存在するモデルを考えた。カゼインミセル(剛体球モデル)、水のドメイン(Debye-Bueche 理論)及びリン酸カルシウム粒子(Percus-Yevick 理論+剛体球)を使用したモデルで計算したところ、実験で得られたプロファイルとよく一致することが分かった。従って我々のモデルが有力な候補であることが示唆された。

[1] T. Kamigaki, et al., *Microscopy*, 67 (2018), 164-170.