

でんぷん粉のダイラタンシー特性とジャミング転移の関連に関する研究

○佐光貞樹、上木岳士、玉手亮多
国立研究開発法人 物質・材料研究機構

片栗粉に等量弱の水を含ませた高濃度懸濁液は、せん断速度に依存してせん断応力が劇的に変化する非ニュートン的なレオロジー特性を示す。せん断速度が遅い場合には液体のような流動性を示すのに対し、せん断速度が速くなると抵抗力を発生する固体のような挙動を示す。高せん断速度条件下では懸濁液の体積膨張が見られるため、このようなレオロジー特性を示す材料はダイラタント流体と呼ばれている。このようなダイラタンシー挙動は食品科学・材料科学の分野にも密接に関係しており、その発現機構を分子レベルから理解するには、新しい食品や材料開発へとつながるだろう。これまでのダイラタント流体の研究は、主に流動を扱う粘性流体レオロジーの枠組みで議論されてきた。そのため、高体積分率・高せん断速度条件で現れる固体的応答の起源を矛盾なく説明することが困難であった。

液体を含まない高密度に充填された粉体が示す特異な力学挙動は、2000年以降ソフトマター物理学のホットトピックの1つとして盛んに研究されている。その結果、高密度粉体の力学挙動をガラス転移とのアナロジーとして捉える「ジャミング転移」という概念が大きく進展してきた。シカゴ大の H.M. Jaeger らは、このジャミング転移の考え方をダイラタント流体に展開することで、ダイラタント流体が示す固体的な力学応答の起源の大部分を上手く説明している¹⁻⁵⁾。一方で、材料科学の視点からは、ダイラタンシー特性を自在に操るための材料設計指針は未だ確立していない。特に、液体と粒子表面の相互作用に関する実験データや科学的知見は不足しており、量子ビームによる高度な先端計測法への期待が大きい。

我々のグループでは、これら最新の物理学の知見を材料科学に展開することで、新材料創製に繋げようという研究を進めている。従来のモデル材料には、片栗粉とコーンスターチという2種類のでんぷん粉が用いられてきた。一方で、でんぷん粉のサイズや形状は原料となる植物の種類によって変化に富む。そこで、種々の植物を原料としたでんぷん粉について固体微粒子としての材料特性とダイラタンシー特性を評価し、それらの相関関係を解明することで、ダイラタンシー特性を発現するために重要な材料因子を導き出すことに取り組んでいる。最近の報告⁵⁾では、ダイラタント流体の固体的力学応答には、液体の分子的性質が媒介した粒子間摩擦が深く影響しているとの指摘もあり、先端計測法を利用することで、その分子論的メカニズムを解明したいと考えている。

『謝辞』本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度の支援を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献)

- 1) Eric Brown, Heinrich M. Jaeger, "Through Thick and Thin", *Science*, 333, 1230–1231 (2011).
- 2) Eric Brown, Heinrich M. Jaeger, "The role of dilation and confining stresses in shear thickening of dense suspensions", *Journal of Rheology* 56, 875–923 (2012).
- 3) Ivo R. Peters, Sayantan Majumdar, Heinrich M. Jaeger, "Direct observation of dynamic shear jamming in dense suspensions", *Nature* 532, pages214–217(2016).
- 4) Nicole M. James, Endao Han, Ricardo Arturo Lopez de la Cruz, Justin Jureller, Heinrich M. Jaeger, "Interparticle hydrogen bonding can elicit shear jamming in dense suspensions", *Nature Materials* 17, 965–970 (2018).