

お粥の“とろみ”を科学する

～嚥下食の流動予測及び安全性向上に期待～

ポイント

- ・従来手法では計測が難しいお粥の流動物性評価に成功。
- ・流動物性データを基に広がりや流下挙動を予測することが可能に。
- ・物性評価と流動予測による嚥下食の安全性向上に期待。

概要

北海道大学大学院工学研究院の大家広平氏（日本学術振興会特別研究員 PD）、田坂裕司教授、村井祐一教授、並びに北海道大学病院栄養管理部の熊谷聡美栄養士長らの研究グループは、ミリサイズの具材を含む食品の流動物性を安定的に計測する手法を開発し、お粥に代表される流動食品の物性評価及び流動予測に成功しました。

日本では人口の超高齢化に伴い、嚥下障害を抱える方が急速に増加しています。そのため病院や介護施設の食事は、安全性を高めるために刻む・すりつぶすなど食品の粒子を細かくしたり、とろみを付けたりして提供されています。特にお粥は一食のうち半分程度のカロリーを占める貴重な栄養源となります。その流動物性は、食べやすさや誤嚥のリスクに直結するため、最適な流動食品を探求するために、客観的な数値として評価することが求められます。しかし、従来の計測手法はサンプルが均質であることを前提としており、ミリサイズの具材を含む、お粥のような流動食品を安定的に評価することは困難でした。

本研究で使用された流速分布計測支援型レオメトリ（VPAR）は、二重円筒間にサンプルを満たし、外円筒を回転させることで、サンプルに変形を与えます。その際、内円筒に働く負荷トルクを計測し、同時に超音波を用いて円筒間の速度分布を獲得します。これにより取得したデータを流体の運動方程式に代入して解析することで、流動物性を評価します。VPARを用いて、市販の白粥、玉子粥、小豆粥の計測が行われ、白粥の粘度が最も高く、次いで小豆粥、玉子粥は最も低い粘度を持つことが示されました。これらの結果は、実際にそれらのお粥を食べてみた感覚と整合的です。また、これらは何れも変形速度の増加に対して粘度が低下するシェアシンニング性^{*1}を示し、嚥下食として優れた性質を持つことが流体力学の観点からも明らかにされました。

研究グループはさらに、得られた流動物性データを流れの予測に活用することを試みました。摂食嚥下プロセスに関連して重要とされる、平板上での食塊の広がりや縮小部での流下速度を予測する簡易的な物理モデルが提案されました。広がり距離と流下速度の予測は、実験データとの比較により検証され、一連の物性評価から流動予測までの妥当性が示されました。今後、様々な流動食品の物性評価に VPAR が活用されるだけでなく、得られた流動物性データは摂食嚥下の予測シミュレーションに応用され、嚥下食の安全性向上に貢献することが期待されます。

なお、本研究成果は、2025年2月3日（月）公開の米国物理学協会 AIP が発行する雑誌 Journal of Rheology に Featured Article（注目記事）として掲載されました。また、AIP が発行する全体の論文の中で最も注目度の高い研究成果のみを特集する Scilight（Science Highlight）にも選出されました。

【背景】

日本では人口の超高齢化に伴い、嚥下障害を抱える方が急速に増加しています。これに起因する誤嚥性肺炎の年間死亡数は国内で6万人を超え（参考：2023年厚生労働省人口動態統計「性別にみた死因順位別死亡数・死亡率」）、潜在的に嚥下障害を抱える患者数は100万人に達するとされています。病院や介護施設の食事では、安全性を高めるために具材を細かく刻んだり、とろみを付けたりして提供されています。特にお粥は一食のうち半分以上のカロリーを占める貴重な栄養源となります。その流動物性は食べやすさや誤嚥のリスクに直結するため、最適な流動食品を探求するために、客観的な数値として評価することが求められます。流動物性を評価するために一般的にはトルク式レオメータ^{*2}が学術及び産業界で広く用いられています。しかし、この方法はサンプルが均質であることを前提としており、ミリサイズの具材を含むお粥のような流動食品を安定的に評価することは困難でした。

【研究手法】

本研究で使用された流速分布計測支援型レオメトリ（Velocity-profiling-assisted rheometry, VPAR）は、二重円筒間にサンプルを満たし、外円筒を回転させることで、サンプルに変形を与えます。その際、内円筒に働く負荷トルクを計測し、同時に超音波を用いて円筒間の速度分布を獲得します。これにより取得したデータを流体の運動方程式を介して解析することで、流動物性を評価します。具体的には、円筒間の各半径位置において、変形速度と応力が数値化され、これらを組み合わせることで応力の変形速度依存性が評価可能です。従来のトルク式レオメータに比べて、ミリサイズの混合物を含む流体の計測が可能で、お粥や果肉入りヨーグルトなどの流動食品のみならず、気泡や液滴を含んだ各種混相流体、泥や化粧品なども適用範囲に含まれます。

【研究成果】

VPARを用いて、市販の白粥、玉子粥、小豆粥の計測が行われ、白粥の粘度が最も高く、次いで小豆粥、玉子粥は最も低い粘度を持つことが示されました。また、これらは何れも変形速度の増加に対して粘度が低下するシェアシンニング性を示し、嚥下食として優れた性質を持つことが流体力学の観点からも明らかにされました。研究グループはさらに、得られた流動物性データを流れの予測に活用することを試みました。摂食嚥下プロセスに関連して重要とされる、平板上での食塊の広がりや縮小部での流下速度を予測する簡易的な物理モデルが提案されました。広がり距離と降下速度の予測は、実験データとの比較により検証され、一連の物性評価から流動予測までの妥当性が示されました（図1）。

【今後への期待】

これまで定性的な評価に留まっていた様々な流動食品の計測がVPARによって可能になります。特に、ミリサイズの混合物を含む不均質な流体に強みがあり、実際に病院や介護施設で提供されている嚥下食のデータベース化が可能となり、医療現場で長年蓄積された知見と融合することで、嚥下障害の度合いに応じた最適な流動食の選択に活用することが期待されます。また、信頼性の高い流動物性データベースを摂食嚥下の予測シミュレーションに組み込むことで、食べやすさや誤嚥のリスクを予測し、安全性向上に貢献することも期待されます。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費（特別研究員奨励費 JP22J20991）、北海道大学研究戦略室・総合イノベーション創発機構（創成特定研究事業）、公益財団法人エリザベス・アーノルド富士財団の助成を受けたものです。

論文情報

論文名 Rheology of fluid foods containing millimeter-sized ingredients examined by velocity-profiling-assisted rheometry and prediction of spreading and descending behaviors (流速分布計測支援型レオメトリによるお粥のレオロジー物性評価と広がりと流下挙動の予測)
著者名 大家広平¹、熊谷聡美²、田坂裕司¹、村井祐一¹ (¹北海道大学大学院工学研究院、²北海道大学病院栄養管理部)
雑誌名 Journal of Rheology (レオロジーの専門誌)
DOI 10.1122/8.0000919
公表日 2025年2月3日(月)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院 教授 田坂裕司 (たさかゆうじ)

TEL 011-706-6371 FAX 011-706-6373 メール tasaka@eng.hokudai.ac.jp

URL <https://lfc-me.eng.hokudai.ac.jp>

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)

TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

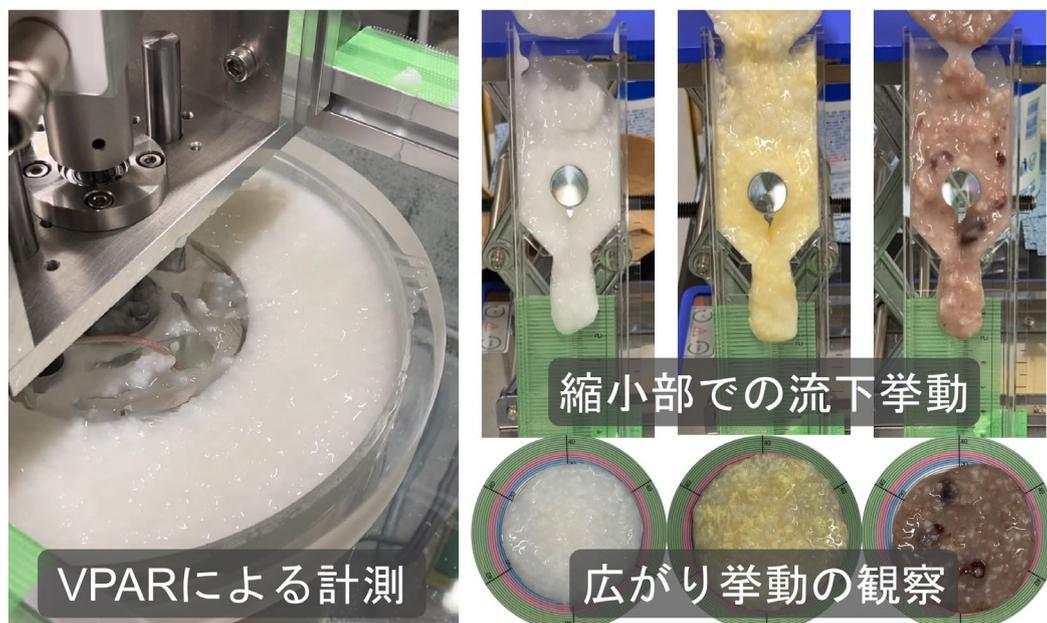


図1. VPARによる計測の様子と広がり挙動と流下挙動の観察

【用語解説】

- *1 シェアシンニング性 … ひずみ速度の増加に応じて粘度が低下する性質のこと。今回のお粥やヨーグルト、とろみ付き飲料もこの性質を持つ。
- *2 トルク式レオメータ … サンプルを幅1ミリに満たない微小間隙に満たし、内部のひずみ速度(単位時間当たりのひずみの変化量)が一定であることを仮定して、軸トルクと回転速度から間接的に粘度を求める手法。