

【特別推進研究】

理工系



研究課題名 非平衡ソフトマター・アモルファス物質の物性解明への力学的自己組織化からの挑戦

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・客員共同研究員

たなか はじめ
田中 肇

研究課題番号： 20H05619 研究者番号：60159019

キーワード： ソフトマター、アモルファス物質、力学的自己組織化

【研究の背景・目的】

ソフトマター、アモルファス物質に代表される周期構造を持たない物質は、結晶とは大きく異なる特異な力学的性質（弾性、降伏・破壊挙動、成型加工性）、熱的性質（比熱、熱伝導特性）を持ち、様々な分野で人類に大きく貢献してきた。これまでの不規則系の構造の研究は、粒子の重心配置構造を軸に行われてきたが、いまだにその構造的特徴は未解明であり、混沌とした状態が続いている。そのため、構造・物性相関の基礎的理解は、結晶に比べ大きく遅れている。我々は、この問題の解決の鍵は、「一見動きがなく固体的に見える構造においても、非平衡状態においては、運動量保存則が系の状態の決定に深く関わっている」点にあると確信するに至った。そこで、従来のアプローチを大きく転換し、「系全体にパーコレートした力学的ネットワークの自己組織化」という全く新しい運動学的視点から、熱力学的・運動学的アプローチを融合することで、ガラスやゲルに代表される非平衡な固体状態にある物質の構造的特徴、さらには、これらの物質が示す普遍的かつ特異な力学的・熱的物性発現の物理的機構の解明に挑戦する。

【研究の方法】

- (1) **ソフトマターの力学的自己組織化**：コロイド分散系の相分離ならびにゲル化について、3次元共焦点顕微鏡による一粒子分解能観察と、流体効果を取り入れたシミュレーションとの直接比較を行うことにより、ソフトマターの力学的自己組織化の背後にある普遍的な物理的原理の解明を目指す。
- (2) **力学的トポロジーと流動・破壊**：流動下でコロイド・粉体粒子が形成する力鎖のネットワークのトポロジーと流れの関係に着目して、コロイド分散系の非線形レオロジー（シア・シニング、シックニング現象）に、従来と異なる新たな視点から迫る。
- (3) **相互作用ネットワークトポロジーに基づくアモルファス物質の物性解明**：結晶は熱力学的にも力学的にも平衡状態にあり、その固体性は構造のもつ周期性によって維持されている。一方、ガラスは熱力学的には非平衡状態にあり、構造に周期性はない。したがって、非晶質固体の構造の固さの起源となる自己組織化の原理が何であるのかは、謎に包まれてきた。我々は、アモルファス物質の固体化は、構造の力学的自己組織化の帰結であるという考え方の下に、アモルファス物質の示す特異な物性の解明を目指す。具体的には、非晶質固体中の空間的な力学的ネットワークの特性を、実験・シミュレーションにより明らか

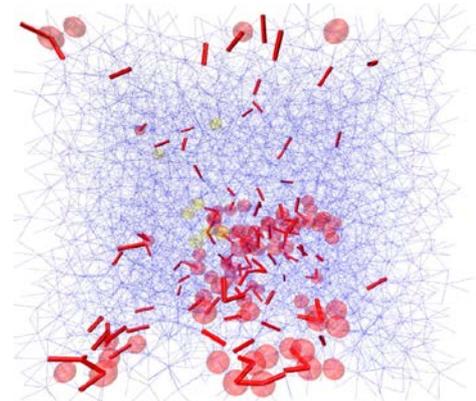


図 力学的ネットワークと不安定化時の粒子運動

にすることで、アモルファス物質特有の弾性発現の機構、破壊機構、さらには、低温における熱伝導や比熱の異常などの長年の未解明問題に挑戦する。

【期待される成果と意義】

非周期構造を持つ材料の最大の特徴は、その特異な力学物性（変形・破壊特性を含む）にある。我々は、力の伝達経路のトポロジーこそが、その物性を支配する最大の構造的因子であると考えている。そこで、これまで考えられてこなかった非周期構造材料の構造化における熱力学的因子と運動学的力学因子の協奏という観点から、構造・物性相関の解明を目指す。これにより、非周期構造材料にまつわる長年の未解明問題の物理的理解の深化がはかれるとともに、不規則構造を持つ高機能材料の開発に新しい潮流をもたらすことができると期待している。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T Yanagishima, J Russo, H Tanaka, Common mechanism of thermodynamic and mechanical origin for ageing and crystallization of glasses, *Nature Communications* **8**, 15954 (2017).
- ・ H Tsurusawa, M Leocmach, J Russo, H Tanaka, Direct link between mechanical stability in gels and percolation of isostatic particles, *Science Advances* **5**, eaav6090 (2019).

【研究期間と研究経費】

令和2年度～6年度 373,900千円

【ホームページ等】

<http://tanakalab.iis.u-tokyo.ac.jp>
tanaka@iis.u-tokyo.ac.jp