

高次元ジャミング系の低周波数振動

(¹東京大学総合文化研究科, ²Montpellier Univ.)

¹島田真成, ¹水野英如, ²Ludovic Berthier, ¹池田昌司

【はじめに】

近年、ジャミング系と呼ばれるモデルに基づいてガラス物性を理解しようとする研究が盛んに行われている。ジャミング系とは、短距離の斥力相互作用しか持たず、熱運動が無視できる程度に巨視的な粒子系であり、粉体や泡などがその代表例である。ジャミング系は、密度変化に伴ってジャミング転移と呼ばれる相転移を示し、転移点よりも高密度側で固体的に振る舞う。このモデルと転移の理解はここ数十年で急速に進み、それらの研究で得られた知見は、アモルファス固体一般に普遍的な性質を議論する上でも役に立っている。

ジャミング系の著しい特徴の一つとして、固体相において弾性率や圧力などがスケーリング則に従うことが挙げられる。中でも、振動状態密度が従うスケーリング則は、固体の低温熱物性や塑性変形、過冷却液体の動力学を支配していると考えられており、注目を集めてきた。ジャミング系の振動状態密度には、 ω^* と表される特徴的な周波数が存在し、それより高周波数側で状態密度が周波数に依存せず一定になり、低周波数側で状態密度が周波数の2乗に比例することが知られている。数値的、理論的な研究によって、この2乗則は空間次元によらず存在する⁽¹⁾ことが分かっている。

この2乗則は、シミュレーションでは有限周波数で破綻することが知られており、より低周波数側には、結晶にも見られる平面波と、ガラス特有の局在化した振動の共存領域があることが分かっている⁽²⁾。一方で、理論では2乗則がゼロ周波数まで続くことが予想されており、シミュレーションの結果と大きく食い違っている。この差を解消できるかどうか、理論の正しさの試金石だといえる。

【結果と考察】

この数値実験と理論との差は、理論が平均場近似を用いており、空間次元を無限大にする極限でのみ厳密になることが原因であると考えられる。この予想を確認するべく、我々は9次元までのジャミング系の数値的な解析を行った⁽³⁾。低周波数領域にアクセスするために、粒子数にして約10万粒子系まで扱い、全周波数領域で状態密度の次元依存性を調べた。その結果、次元が高くなるにつれて、2乗則を示す領域が低周波数側に向かって伸びていくことが分かった(図1)。これは、理論の予想通り無限次元の極限で2乗則がゼロ周波数まで続くことを示唆している。

【参考文献】

- (1) Charbonneau et al., PRL **117**, 045503 (2016)
- (2) Mizuno et al., PNAS **114**, E9767 (2017)
- (3) Shimada, Mizuno, Berthier, Ikeda, arXiv:1910.07238 (2019)

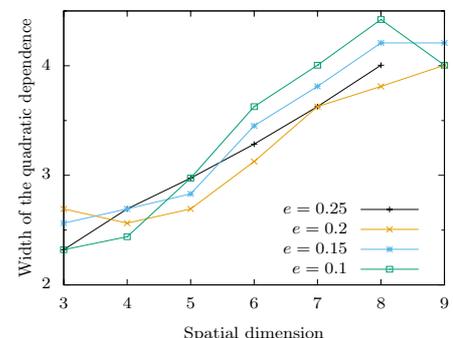


図 1: 2乗則の幅の次元依存性。異なる色は異なるプレストレス(低次元で圧力に比例する量)に対応している。