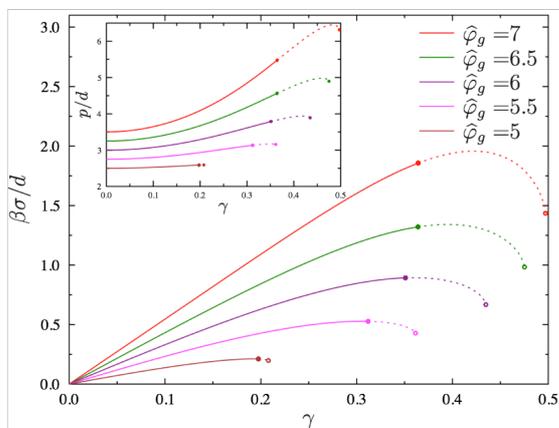


剛体球ガラスの力学特性：高次元極限でのレプリカ理論 (大阪大学 サイバーメディアセンター) 吉野 元

【はじめに】剛体球系は、ガラス転移・ジャミングを起こす最も単純な系であり、これらの現象を研究する上で重要な系である。液体状態から圧縮によって密度を上げてゆくと、ガラス転移によってアモルファスに固化する。これをさらに圧縮してゆくと粒子の動きが完全に止まったジャミング状態が得られる。最近、高次元極限における剛体球系ガラスのレプリカ理論が急速に展開している[1]。我々はこれを用いて、この系の歪みに対する準静的応答を理論的に解析した。特に(1)ガラス転移、ジャミングにおける剛性率の振る舞い[2]、(2)ガラス準安定状態の圧縮・シアに対する準静的応答[3]を解析した。

【結果と考察】高次元極限では有限のシア歪みのもとでも剛体球ガラスの自由エネルギーについての厳密な表式が得られることがわかった[2]。これを用いて、ガラス転移、ジャミングにおける剛性率の特異的な振る舞いを明らかにすることが出来た。すなわち、(a)動的ガラス転移点において、剛性率は不連続な飛びと $1/2$ 乗の特異性が現れる。これはモード結合理論の予測と一致している。また(b)ジャミング転移点近傍の高密度領域では、連続的なレプリカ対称性の破れ(RSB)を反映して、剛性率は圧力に対して非自明な冪乗則を示すこと、ある種の階層構造を示すことが明らかになった。



さらに Franz-Parisi ポテンシャルの方法(state-following method)を用いて、動的ガラス転移密度以上で得られるガラス準安定状態の圧縮・シアのもとでの準静的応答を解析した。その結果、左図のようにシア歪みに対する線形応答から非線形応答へのクロスオーバー、降伏過程を捉えることができた。挿図に示すように、圧力がシアによって高くなる dilatancy 効果も

捕らえられている[3]。また図に示すように、ガラス化した時点での密度が高いほど、剛性率、降伏応力ともに高くなり、安定したガラスが実現していることがわかる。(なお、点線部分では 1RSB 解が不安定化している。シアのもとで個々の準安定状態自体において連続 RSB が起きていると推測される。)

【参考文献】

- (1) P. Charbonneau, J. Kurchan, G. Parisi, P. Urbani, F. Zamponi, Nature Communications 5, 3725 (2014).
- (2) Hajime Yoshino and Francesco Zamponi, Phys. Rev. E 90, 022302 (2014).
- (3) Corrado Rainone, Pierfrancesco Urbani, Hajime Yoshino, Francesco Zamponi, arXiv:1411.0826.