

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 池田 晴國

論 文 題 目 Thermodynamic theory of the glass transition of
binary mixtures of disparate size ratio
(二成分系のサイズ比が大きく離れた系における
ガラス転移の熱力学理論)

論文審査担当者

主 査	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	宮崎 州正
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	紺谷 浩
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	Ph.D.	岡本 祐幸
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	小林 晃人
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	谷口 博基

論文審査の結果の要旨

別紙 1-2

過冷却液体の温度を下げると、粘性係数や密度相関関数の緩和時間が発散的に増大し、遂には分子運動が凍結する。これがガラス転移と呼ばれる現象である。ガラス転移の大きな特徴は、転移点近傍で分子の動的な振舞いが劇的に変化するにも関わらず、静的な物理量はほとんど変化しない点である。この意味でガラス転移は、対称性の破れを伴う通常の相転移とは大きく異なる。

ガラス転移を説明する理論は数多く提案されてきたが、その中でも成功を収めているのが、スピングラスにおけるレプリカ理論を過冷却液体に拡張した、レプリカ液体論である。この理論は、一段階レプリカ対称性の破れ(1RSB: One-step replica symmetry breaking)の仮定に基づき、ガラス転移を熱力学的相転移として記述する。レプリカ液体論は、単成分系や、異なる粒子間のサイズ比が1に近い二成分系の過冷却液体に対する観測結果を、ほぼ定量的に説明する。しかし、粒子間のサイズ比が1から大きく異なる場合には、1RSBの仮定が破れる可能性がある。実際に、サイズが大きく異なる二種類の粒子からなるコロイド系の実験では、それぞれの成分のガラス転移点分離することが観測されているが、現在の理論ではこれを説明できない。申請者は、1RSBの仮定を見直すことによって、この問題の解決を試みた。

申請者はまず、球形スピン模型と呼ばれる全結合スピングラス模型を、相互作用が強いスピンと弱いスピンを含む二成分系へと拡張し、解析を行った。球形スピン模型は、ガラス転移の平均場模型と考えられており、単成分系の場合には、1RSBを示すことが知られている。申請者は、二種類のスピンの相互作用強度が大きく異なる場合には、異なる成分のスピンのガラス転移点分離することを明らかにした。また、この転移点の分離を記述するためには、1RSBより高次の二段階レプリカ対称性の破れ(2RSB)を考慮する必要があることを示した。

次に申請者は、2RSBの仮定のもとに、サイズが大きく異なる二種類の粒子からなるコロイド系のガラス転移点の計算を行った。スピングラス等の格子模型とは異なり、液体やコロイド系のような粒子系にレプリカ理論を適用した場合、区別出来ない並び替えの数は自明ではなく、ギブス因子のエントロピーへの寄与を正確に計算することは困難である。申請者は、液体論で良く知られている森田-広池理論をレプリカ液体論に適用することで、この問題を回避した。その上で、解析的な取り扱いが可能な高次元極限の場合に、ガラス転移点を厳密に計算した。この結果から得られたガラス転移の相図は、実験の結果と定性的に一致しており、二段階レプリカ対称性の破れによって大小粒子のガラス転移点の分離が説明されることを示した。

以上の結果は、異なる時間・空間スケールを持つ系のガラス転移の熱力学的性質を初めて明らかにした研究であり、高く評価される。なお、参考論文は動的転移シナリオによるガラス転移の平均場解析に関する研究であり、価値あるものである。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。