OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Glass transition without quenched disorder: Spin-orbital glass transition of a pyrochlore magnet
Author(s)	光元, 亨汰
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76374
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名　（　　光元 亨汰　　）	
論文題名	Glass transition without quenched disorder: Spin-orbital glass transition of a pyrochlore magnet （凍結した乱れのない系におけるガラス転移： パイロクロア磁性体におけるスピン軌道ガラス転移）

ある条件を満足すれば他の条件を満足できない状況が、自然界には多く存在する。物理学において、その状況はフラストレーションと呼ばれ、そこから非自明な物理現象が起こる場合がある。その代表例として、ガラス転移が挙げられる。中でも、電子が持つスピン自由度がランダムに凍結するスピングラス転移は、熱力学的な相転移であることが知られており、実験、理論の双方から盛んに研究されてきた。その特徴としては非線形帯磁率の発散や異常に遅いダイナミクスなどが挙げられる。また、理論的にはレプリカ法と呼ばれる手法が発展し、レプリカ対称性の破れという概念が、多くの実験事実を説明することが知られている。このレプリカ対称性の破れは、端的に言って、複雑な自由エネルギー地形の出現を意味する。

従来、スピングラス転移は、ランダムな相互作用（quenched disorder）由来のフラストレーションによって引き起こされると考えられてきた。その一方で、実験的には、乱れのない幾何学的なフラストレーションのみによっても、スピングラス転移が起こることが30年以上前から示唆されてきた。しかし、その機構を説明する理論は存在せず、重要な未解決問題とされてきた。

近年、スピングラス転移を示す代表的な幾何学的フラストレート磁性体である$Y_2Mo_2O_7$において、格子歪みの存在の重要性が実験的に示唆された。この格子歪みは、Moイオンにおける電子軌道の選択に起因するJahn-Teller歪みであると予想されている。我々はこの実験事実に基づき、スピンだけでなく格子歪みも動的な自由度として取り入れた有効模型を考案した。この模型はquenched disorderを含まず、また、スピンおよび格子歪みの双方が強い幾何学的フラストレーションを持つ。本論文では、まず微視的な視点からこの模型の導出を行い、これについて大規模な数値シミュレーションおよび無限大次元での平均場理論の解析を行った。

数値シミュレーションでは、有限温度における、スピンと格子歪みの同時ガラス転移を強く示唆する結果が得られた。格子歪みは軌道選択によるものなので、我々はこれをスピン・軌道ガラス転移と呼ぶことにする。この転移においては、スピンの凍結を反映する非線形帯磁率の発散だけでなく、格子歪みの凍結に対応する非線形誘電率の発散も示唆された。これは、今後の実験を触発する重要な結果である。

レプリカ法を用いた平均場理論では、温度や相互作用パラメータを変えることによって、スピンと格子が同時ガラス転移する場合と、ガラス転移が分離する場合があることがわかった。興味深いことに、どちらの場合においても、スピンと格子の両方がガラス化している相でのみ、レプリカ対称性の破れが起こる。また、非線形帯磁率および非線形誘電率に関係する、ガラス感受率の発散が起こることもわかった。

以上の結果から、我々の考案した有効模型は、$Y_2Mo_2O_7$で実験的に観測されるスピングラス転移を捉えていることが明らかになった。この模型はquenched disorderなしでガラス転移を示す、初めての模型である。

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　光元亨汰　）		
論文審査担当者	（職）	氏　　名
主 査	教授	菊池誠
副 査	教授	阿久津泰弘
副 査	教授	花咲徳亮
副査	教授	川村光
副査	准教授	吉野元

ある条件を満足すれば他の条件を満足できない状況が自然界には多く存在する。物理学において、その状況はフラストレーションと呼ばれ、そこから非自明な物理現象が起こる場合がある。その代表例として、ガラス転移が挙げられる。中でも、電子が持つスピン自由度がランダムに凍結するスピングラス転移は熱力学的な相転移であることが知られており、実験・理論の両面から盛んに研究されてきた。従来、スピングラス転移はランダムな相互作用（quenched disorder）由来のフラストレーションによって引き起こされると考えられてきた。その一方で、実験的には、乱れのない幾何学的なフラストレーションのみによってもスピングラス転移が起こることが30年以上前から示唆されてきた。しかし、その機構を説明する理論は存在せず、重要な未解決問題とされてきた。

近年スピングラス転移を示す代表的な幾何学的フラストレート磁性体であるY2Mo2O7において、格子歪みの存在の重要性が実験的に示唆された。この格子歪みはMoイオンにおける電子軌道の選択に起因するJahn-Teller歪みであると予想されている。申請者はこの実験事実に基づき、スピンだけでなく格子歪みも動的な自由度として取り入れた有効模型を考案した。この模型はquenched disorderを含まず、またスピンおよび格子歪みの双方が強い幾何学的フラストレーションを持つ。論文ではまず微視的な視点からこの模型の導出を行い、次にこの模型を用いて大規模な数値シミュレーションおよび無限大次元での平均場理論の解析を行った。

数値シミュレーションでは有限温度におけるスピンと格子歪みの同時ガラス転移を強く示唆する結果が得られた。この転移においては、スピンの凍結を反映する非線形帯磁率の発散だけでなく、格子歪みの凍結に対応する非線形誘電率の発散も示唆された。これは、今後の実験を触発する重要な結果である。レプリカ法を用いた平均場理論では、温度や相互作用パラメータを変えることによって、スピンと格子が同時ガラス転移する場合とガラス転移が分離する場合があることがわかった。興味深いことに、どちらの場合においても、スピンと格子の両方がガラス化している相でのみレプリカ対称性の破れが起こる。また、非線形帯磁率および非線形誘電率に関係するガラス感受率の発散が起こることもわかった。

以上の結果から、申請者の考案した有効模型はY2Mo2O7で実験的に観測されるスピングラス転移を捉えていることが明らかになった。この模型はquenched disorderなしでガラス転移を示す初めての模型である。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。