

先端研究拠点事業—国際戦略型—  
「ソフトマターと情報に関する非平衡ダイナミクス」  
研究者交流プログラム 派遣報告書

2015年2月17日

氏名(ふりがな)	関 優也 (せき ゆうや)
所属機関・部局・専攻内の所属分野	東京工業大学・理工学研究科
身分・学年 (学生の場合は指導教員名)	博士課程学生・2年 (西森 秀稔)
メールアドレス	<a href="mailto:y-seki@stat.phys.titech.ac.jp">y-seki@stat.phys.titech.ac.jp</a>
電話番号、FAX	03-5734-4330

派遣先

受け入れ研究者氏名	Jorge Kurchan
所属機関 (国)	Centre national de la recherche scientifique (France)
身分	Research Director
メールアドレス	jorge@pmmh.espci.fr
研究室 URL	<a href="http://www.pmmh.espci.fr/~jorge/page_perso.en.html">http://www.pmmh.espci.fr/~jorge/page_perso.en.html</a>
電話番号、FAX	(+33) (0)1 40 79 4710 [(+33) (0)1 40 79 4523]

共同研究

研究課題名	和文	エネルギー準位反発を持つランダムエネルギー模型における量子多体局在
	英文	<b>Quantum many-body localization in a Random Energy Model with level repulsion</b>
場所 (国名・都市)	フランス・パリ	
派遣期間	2015年1月18日 ~ 2015年2月15日	

## ・概要

今回の渡欧では、Jorge Kurchan 博士と共に系のエネルギー準位反発と量子多体局在との関係について研究を行った。量子多体局在とは、横磁場の弱い領域におけるランダムネスを含む系のエネルギー固有状態が、横磁場が印可されていない系のエネルギー固有状態へと収束する現象を指す。例えばランダムエネルギーモデル (REM) では量子多体局在が起こることが数値的に確かめられている [1]。この現象は量子アニーリングの効率との関連も指摘されており [2]、量子多体局在の研究は情報物理への貢献が期待される。

私はまず論文 [1]の結果を再現することで量子多体局在に関する理解を深めた。その後、論文 [1]と同様の解析方法を用いてエネルギー準位間に反発のあるモデルを解析した。その結果、REM とは対照的に、エネルギー準位間の反発のあるモデルでは量子多体局在が起こらないことを表す結果を得た。以下ではこれらについて具体的に説明した後、残された課題について述べる。

## ・先行研究の再現

論文 [1]は REM に横磁場を加えた系を解析し、このモデルが量子多体局在を引き起こすことを数値的に示した。この論文では、エネルギー準位統計と局所観測量の凍結の存在を調べることで量子多体局在について調べている。我々は局所観測量についての結果を再現した。この論文中で扱っている局所観測量は、 $z$  方向の局所磁化である。固有状態が局在していない領域では、隣り合うエネルギー固有状態間での局所磁化の差が連続的に変化するのに対し、量子多体局在が起きている領域では不連続に変化し得る。よって、この局所磁化の差を調べることで量子多体局在の有無を判別できる。

我々は局所磁化の計算に加え、エネルギー固有状態の振幅を調べることで論文 [1]の結果の検証を行った。その結果、この論文を支持する結果を得た。

## ・エネルギー準位反発のあるモデルの解析

次に、我々はエネルギー準位間に反発の存在するモデルを構成し、このモデルが量子多体局在を引き起こすか調べた。このモデルの構築は論文 [3]に従った。反発の存在するエネルギー準位を構成した後、エネルギー準位分布を変形してガウス分布にすることにより REM と同じエネルギー分布を持ちながら準位間の反発が存在するモデルを構築した。我々はこのモデルの局所磁化の差の振る舞いとエネルギー固有状態の振幅を調べた。その結果、横磁場の弱い領域においても隣り合うエネルギー固有状態間の局所磁化の差はほぼ 0 であり、エネルギー固有状態の波動関数が配位空間上で広がりを持つことが分かった。これは量子多体局在が起きていないことを示唆している。

## ・今後の展望

解析的な取り扱いのしやすいモデルにおいて上述したような差異が存在するモデルを構築することが望ましい。そのために、横磁場ではなくすべての成分が 1 である行列を用いて量子揺らぎを導入したモデルについて解析している。また、量子アニーリングにおける問題の難しさとエネルギー準位間の反発との関係が明らかになることが期待される。

## ・参考文献

- [1] C. R. Laumann et al., arXiv:1404.2276, (2014).
- [2] C. R. Laumann et al., arXiv:1404.5710, (2014).
- [3] L. Dumitriu and A. Edelman, J. Math. Phys. 43, (2002).