

非エルミート・ランダムハイゼンベルク鎖の準位統計

新潟大学 大学院自然科学研究科 草部 浩一,¹ 千原 恵子, 平井隆司

1 はじめに

複素捻り境界条件、或いは複素ゲージポテンシャルが引き起こす、局在・非局在転移に注目が集まっている。例えば、高温超伝導体の磁束ピン止め現象の解析で、非エルミート量子系がある種の有効理論として現れることが見つかった。[1] このアンダーソン局在・非局在転移する非エルミート・アンダーソン模型に加え、一種のモット転移を起こす非エルミート・ハバード模型などが解析されている。[2] こうした模型では、1) 固有値の複素化が、1 電子状態の非局在化や多体模型でのギャップ消失現象と同時に起こることや、2) スペクトルフローが複素ゲージポテンシャルによって融合する現象、などの特徴が見出されている。さらに、こうした方向性のある非エルミート・ランダム模型 (directed random chaos) の固有値分布を非エルミート・ランダム行列理論から考察するという試みもある。[3]

そこで、準位統計の視点から複素捻りによる局在・非局在転移を議論できる可能性が考えられる。本研究では、非エルミート・ランダムハイゼンベルク模型を取り上げ、その準位統計を調べた。

2 非エルミート・ランダムハイゼンベルク鎖

2.1 模型

次の $S = 1/2$ 非エルミート・ランダムハイゼンベルク鎖を考える。

$$H = \sum_{j=1}^N \left\{ \frac{1}{2} J_j \left(e^{i(\Phi+i\Psi)/N} S_j^+ S_{j+1}^- + e^{-i(\Phi+i\Psi)/N} S_j^- S_{j+1}^+ \right) + J_j^z S_j^z S_{j+1}^z \right\} \quad (1)$$

ここで、 J_j を正規分布に従う乱数で与え、異方性パラメータ Δ により $J_j^z = \Delta J_j$ と与える。 Φ は通常の捻り境界条件であり、 Ψ が複素捻りを与える。

J_j が定数の場合にはこの模型は可解模型となり、そこでは、 Ψ の導入により Ising-type のスピンギャップの消失が起こることが知られている。[4, 5]

今回はスペクトル反発が起きている状況からの変化として準位統計を見る目的で、乱れを導入した。

¹E-mail: kabe@bussci.sc.niigata-u.ac.jp

2.2 スペクトル・フロー

準位統計の変化を理解するために、まず Ψ を止めて Φ を 0 から 2π まで変化させたときのエネルギー・フローを複素平面上で示す。(図 1) 通常の解析は $\Phi = 0$ のみで行われることに注意する

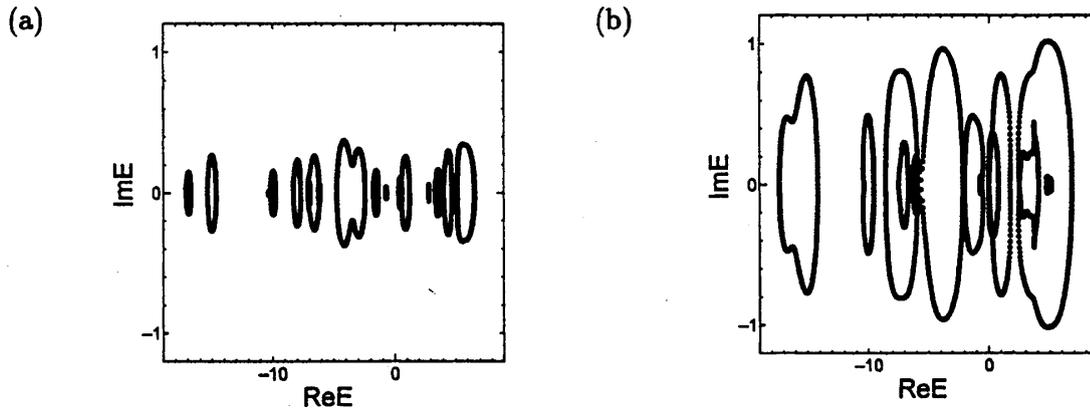


図 1: 非エルミート・ランダムハイゼンベルク模型の複素平面上でのエネルギー・フロー。(a) $\Psi = 1$ においては多くの状態は独立な周期軌道を描くが、(b) $\Psi = 2$ ではフローの融合が起きている。

と、このフローの融合が起こる点が羽田野-Nelson の複素固有値の出現する点に対応することが分かる。一方、固有値を実軸に射影してみると、このフローの融合が起こることが準位交差の発生として見えることも分かる。

2.3 準位統計

ここでは、準位統計を数値的に得るために有限系を扱う。有限系であるために固有値間の相関が残り、 $\Psi = 0$ での準位統計は準位反発を示すことに注意されたい。ここでの本質的な変化は、以下のようにウィグナー—ポアソンといった変化以外にあると考えられる。図 2 に固有値の実部に関する準位統計を示す。ここで、ランダムネスと Φ に関しての平均を取っていることに注意されたい。前節で見たフローの融合は、ある一定の頻度でのレベル交差点の発生を意味するが、実際 $\Psi = 1, 2$ とした場合には原点に δ -関数形のピークを発生している。

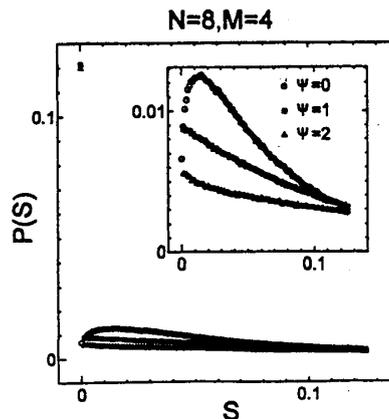


図 2: 固有値の実部に関する準位間隔分布

3 まとめと展望

今回扱ったような多体模型での複素捻りによる準位間隔分布の変化が、実際に予想される局在・非局在転移に関連することを明確にすることが、今後重要な課題である。例えば、多体グリーン関数の局在長が複素固有値の出現（或いはフローの融合）前後でどのようなようになるかが一つの指標になるかもしれない。

参考文献

- [1] N. Hatano and D.R. Nelson, *Phys. Rev. B* **56** (1997) 8651; *ibid.* **58** (1997) 8384.
- [2] T. Fukui and N. Kawakami, *Phys. Rev. B* **58** (1998) 16051.
- [3] K.B. Efetov, *Phys. Rev. B* **56** (1997) 9630.
- [4] I.M. Nolden, *J. Stat. Phys.* **67** (1992) 155.
- [5] G. Albertini, S.R. Dahmen and B. Wehefritz, *Nucl. Phys. B* **493** (1997) 541.