



東京大学 物性研究所  
THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

# 川畑研究室

物性理論（物性基礎論） ・ 非平衡物理

2025 年度 大学院入試ガイダンス

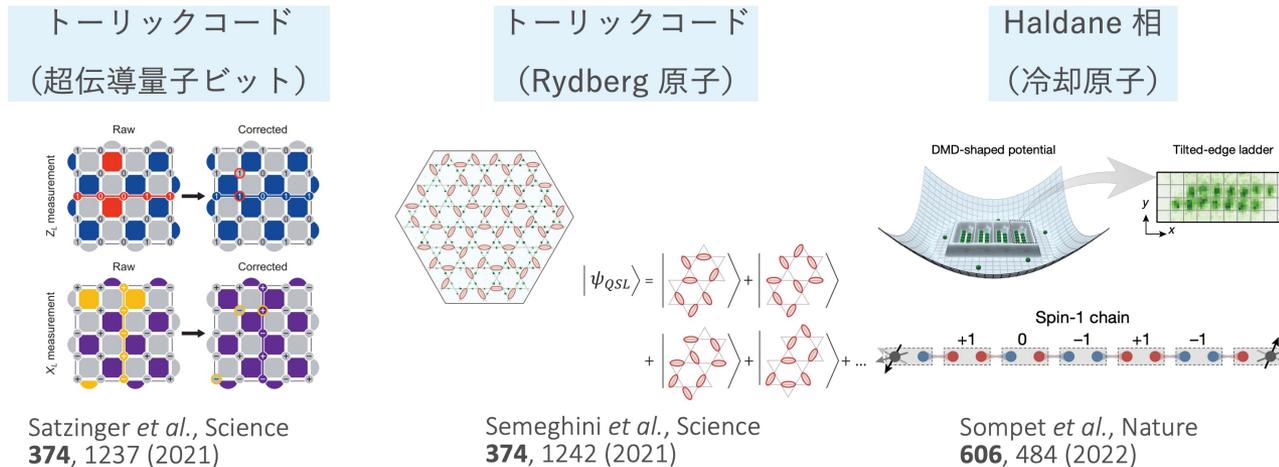
特定の対象や現象にとらわれず、それらに普遍的にあてはまる一般理論を構築する。

多彩な物性現象 ..... 普遍的な基礎概念

(対称性、くりこみ、超伝導、Anderson 局在、Mott 絶縁体、トポロジー……)

新しい基礎概念を発見し、物性物理の新しい基礎を築くことを目指す。

## 近年の量子技術の進展



### ☆ 散逸の存在が不可避、非平衡開放系の理解が不可欠

- ・ 量子相は散逸に対して安定か？
- ・ 非平衡開放系に特有の量子相は存在するか？

### ☆ 現代の物性物理の基本的問題にこたえる研究がしたい。

## ☆ 非エルミート物理の対称性とトポロジー

孤立平衡系（エルミート系）の基本対称性：

10 通りの内部対称性クラス  
(時間反転・荷電共役・カイラル)

Altland& Zirnbauer,  
PRB **55**, 1142 (1997)

## → 非エルミート性は対称性の本質を変えるか？

非平衡開放系（非エルミート系）の基本対称性：

38 通りの内部対称性クラス

非平衡開放系の物理の普遍性クラスを規定

Kawabata *et al.*, PRX **9**, 041015 (2019)

# エルミート系のトポロジカル相の分類 (周期表)

AZ Symmetry				Dimension							
Class	TRS	PHS	CS	0	1	2	3	4	5	6	7
A	0	0	0	$\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}$	0
AIII	0	0	1	0	$\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}$
AI	+1	0	0	$\mathbb{Z}$	0	0	0	$2\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$
BDI	+1	+1	1	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}$	0	0	0	$2\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}_2$
D	0	+1	0	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}$	0	0	0	$2\mathbb{Z}$	0
DIII	-1	+1	1	0	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}$	0	0	0	$2\mathbb{Z}$
AII	-1	0	0	$2\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}$	0	0	0
CII	-1	-1	1	0	$2\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}$	0	0
C	0	-1	0	0	0	$2\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}$	0
CI	+1	-1	1	0	0	0	$2\mathbb{Z}$	0	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}$

Schnyder, Ryu, Furusaki & Ludwig, PRB **78**, 195125 (2008)

Kitaev, AIP Conf. Proc. **1134**, 22 (2009)

AZ class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
A	P	C <sub>1</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
	L	C <sub>0</sub>	Z	0	Z	0	Z	0	Z	0
AIII	P	C <sub>0</sub>	Z	0	Z	0	Z	0	Z	0
	L	C <sub>1</sub> C <sub>0</sub> × C <sub>0</sub>	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0

AZ class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
AI	P	R <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>
	L	R <sub>0</sub> R <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
BDI	P	R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0
	L	R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> × R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>
D	P	R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z
	L	R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0
DIII	P	R <sub>4</sub>	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0
	L	R <sub>3</sub> C <sub>0</sub>	Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	2Z
AII	P	R <sub>5</sub>	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0
	L	R <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0

# 非平衡開放系（非エルミート系）のトポロジカル相の対称性にもとづく分類（周期表）

AZ <sup>†</sup> class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
AI <sup>†</sup>	P	R <sub>7</sub>	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z
	L	R <sub>0</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
BDI <sup>†</sup>	P	R <sub>0</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
	L	R <sub>1</sub> R <sub>0</sub> × R <sub>0</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>
D <sup>†</sup>	P	R <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>
	L	R <sub>2</sub> R <sub>0</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	0	2Z	0
DIII <sup>†</sup>	P	R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0
	L	R <sub>3</sub> C <sub>0</sub>	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z
AII <sup>†</sup>	P	R <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
	L	R <sub>4</sub>	2Z	0	0	0	0	0	0	0
CII <sup>†</sup>	P	R <sub>4</sub>	2Z	0	0	0	0	0	0	0
	L	R <sub>5</sub> R <sub>4</sub> × R <sub>4</sub>	0	2Z ⊕ 2Z	0	0	0	0	0	0
C <sup>†</sup>	P	R <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
	L	R <sub>6</sub> R <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
CI <sup>†</sup>	P	R <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
	L	R <sub>7</sub> C <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0

既知の非平衡トポロジカル現象を裏付け、  
未知の非平衡トポロジカル現象を予言する

SLS AZ class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
S <sub>+</sub> AIII	P	C <sub>1</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
	L	C <sub>1</sub> × C <sub>1</sub> C <sub>1</sub> × C <sub>1</sub>	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z
S A	P	C <sub>1</sub> × C <sub>1</sub>	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z
	L	C <sub>1</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
S <sub>-</sub> AIII	P	C <sub>0</sub> × C <sub>0</sub>	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0	Z ⊕ Z	0
	L	C <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	Z	0	Z	0	Z	0	Z	0

SLS AZ class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
S <sub>++</sub> BDI	P	R <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>
	L	P	0	0	0	0	0	0	0	0
S <sub>-</sub> DIII	P	R <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
	L	R <sub>7</sub> × R <sub>7</sub> C <sub>1</sub>	0	0	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z
S <sub>++</sub> CII	P	R <sub>5</sub> × R <sub>5</sub> R <sub>5</sub> × R <sub>5</sub>	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0
	L	P	0	0	0	0	0	0	0	0
S <sub>-</sub> CI	P	R <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	0
	L	R <sub>7</sub> × R <sub>7</sub> C <sub>1</sub>	0	0	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z
S <sub>-</sub> AI	P	C <sub>1</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
	L	R <sub>7</sub> R <sub>3</sub>	0	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
S <sub>+</sub> BDI	P	C <sub>0</sub>	Z	0	Z	0	Z	0	Z	0
	L	R <sub>0</sub> R <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
S <sub>+</sub> D	P	C <sub>1</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
	L	R <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>

SLS AZ class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
S <sub>-</sub> BDI	P	R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z
	L	C <sub>1</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
S <sub>++</sub> DIII	P	R <sub>3</sub> × R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0	0	2Z ⊕ 2Z
	L	R <sub>5</sub>	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0
S <sub>++</sub> CII	P	R <sub>5</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
	L	P	0	0	0	0	0	0	0	0

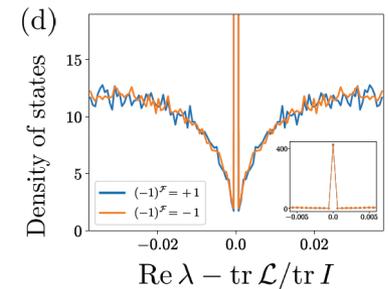
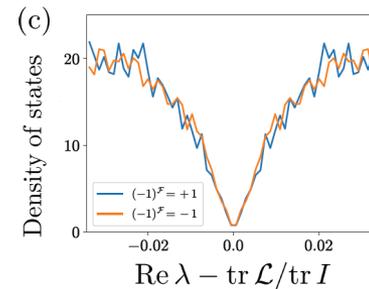
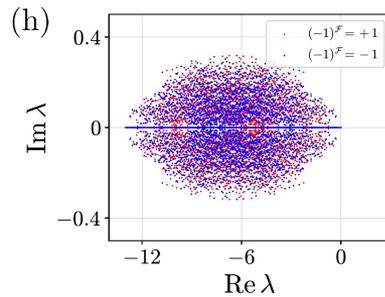
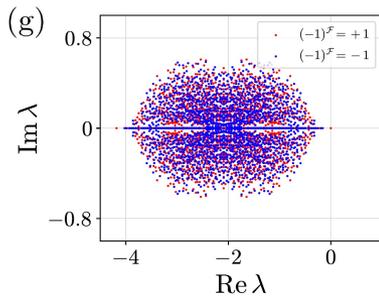
SLS AZ class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
S <sub>-</sub> BDI	P	R <sub>2</sub> × R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0
	L	R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0
S <sub>-</sub> D	P	R <sub>3</sub> × R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0	0	2Z ⊕ 2Z
	L	R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z
S <sub>++</sub> DIII	P	R <sub>4</sub> × R <sub>4</sub>	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0	0
	L	R <sub>4</sub>	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0
S <sub>+</sub> AII	P	R <sub>5</sub> × R <sub>5</sub>	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0
	L	R <sub>5</sub>	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0
S <sub>-</sub> CII	P	R <sub>6</sub> × R <sub>6</sub>	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0
	L	R <sub>6</sub>	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0
S <sub>-</sub> C	P	R <sub>7</sub> × R <sub>7</sub>	0	0	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z
	L	R <sub>7</sub>	0	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z
S <sub>-</sub> CI	P	R <sub>0</sub> × R <sub>0</sub>	Z ⊕ Z	0	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z
	L	R <sub>0</sub>	Z	0	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>

pH AZ class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
η <sub>+</sub> A	P	R <sub>1</sub>	Z	0	0	0	0	0	0	0
	L	C <sub>0</sub>	Z	0	0	0	0	0	0	0
η <sub>++</sub> DIII	P	R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z
	L	R <sub>3</sub> × R <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0	0	2Z ⊕ 2Z
η <sub>+</sub> AII	P	R <sub>4</sub>	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0
	L	R <sub>4</sub> × R <sub>4</sub> R <sub>5</sub>	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0	0
η <sub>++</sub> CII	P	R <sub>5</sub>	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0
	L	R <sub>5</sub> × R <sub>5</sub>	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0
η <sub>+</sub> C	P	R <sub>6</sub>	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0
	L	R <sub>6</sub> × R <sub>6</sub> R <sub>5</sub>	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0

pH AZ class	Gap	Classifying space	d=0	d=1	d=2	d=3	d=4	d=5	d=6	d=7
η <sub>-</sub> AI	P	R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0
	L	C <sub>0</sub>	Z	0	Z	0	Z	0	Z	0
η <sub>-</sub> BDI	P	R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z
	L	C <sub>1</sub> R <sub>3</sub> × R <sub>3</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
η <sub>-</sub> C	P	R <sub>4</sub>	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0
	L	R <sub>4</sub>	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0
η <sub>-</sub> CI	P	R <sub>5</sub>	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0
	L	R <sub>5</sub>	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0
η <sub>-</sub> BDI	P	R <sub>2</sub> × R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z ⊕ 2Z	0
	L	R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0
η <sub>-</sub> C	P	R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z
	L	R <sub>3</sub>	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z
η <sub>-</sub> CI	P	R <sub>4</sub>	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0
	L	C <sub>1</sub>	0	Z	0	Z	0	Z	0	Z
η <sub>-</sub> BDI	P	R <sub>2</sub> × R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z ⊕ 2Z	0
	L	R <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0	2Z	0
η <sub>-</sub> DIII	P	R <sub>4</sub> × R <sub>4</sub>	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0	0	0
	L	R <sub>4</sub>	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0	0	0
η <sub>-</sub> CII	P	R <sub>5</sub>	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z	0
	L	R <sub>5</sub>	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0
η <sub>-</sub> C	P	R <sub>6</sub> × R <sub>6</sub>	0	0	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z
	L	R <sub>6</sub>	0	0	2Z	0	Z <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	Z	0
η <sub>-</sub> CI	P	R <sub>0</sub> × R <sub>0</sub>	Z ⊕ Z	0	0	0	2Z ⊕ 2Z	0	Z <sub>2</sub> ⊕ Z <sub>2</sub>	Z ⊕ Z
	L	R <sub>0</sub>	Z	0	0	0	2Z			

# ☆ 量子開放系の対称性・カオスの分類 (非エルミートランダム行列)

$N \pmod{4}$	0	1	2	3
fermion parity $(-1)^{\mathcal{F}}$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$	$\mathbb{Z}_2$
modular conjugation $\mathcal{J}$	+1	+1	+1	+1
$\mathcal{P}$	+1	0	-1	0
$\mathcal{Q}$	+1	+1	+1	+1
$\mathcal{R}$	+1	0	-1	0
$\mathcal{S}$	+1	+1	+1	+1
$q \equiv 0 \pmod{4}$ ( $K_{m;i}K_{m;j}^* \notin \mathbb{R}$ )	AI = $D^\dagger$	AI = $D^\dagger$	AI = $D^\dagger$	AI = $D^\dagger$
$q \equiv 0 \pmod{4}$ ( $K_{m;i}K_{m;j}^* \in \mathbb{R}$ )	BDI + $\mathcal{S}_{++} = \text{BDI}^\dagger + \mathcal{S}_{++}$	BDI $^\dagger$	BDI + $\mathcal{S}_{-+} = \text{CI}^\dagger + \mathcal{S}_{-+}$	BDI $^\dagger$
$q \equiv 2 \pmod{4}$	BDI	AI = $D^\dagger$	CI	AI = $D^\dagger$



**Kawabata** *et al.*, PRX Quantum **4**, 030328 (2023)

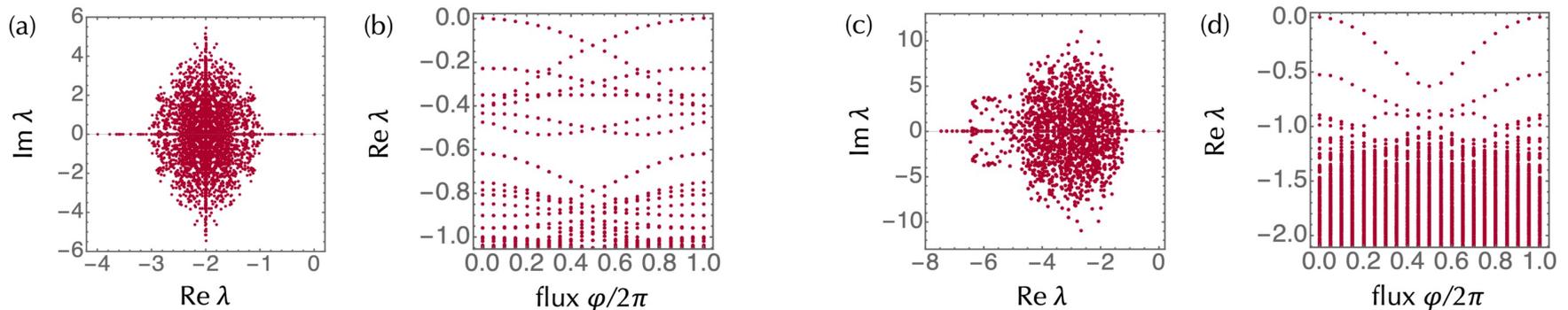
## Lieb-Schultz-Mattis 定理

Ann. Phys. **16**, 407 (1961)

対称性によるギャップ・基底状態への一般的制限

## ☆ 量子開放系における Lieb-Schultz-Mattis 定理

量子開放系における Haldane ギャップ現象



**Kawabata** *et al.*, PRL **132**, 070402 (2024)

- ・ 2023 年 7 月に始まった新しい研究室
- ・ 現所属メンバー：

PI：川畑

助教：1 名（9 月着任予定）

ポスドク：1 名

M1：2 名

**興味のあるかたは、メールで連絡し、  
面談にお越しくください（オンライン可）**

**より最近の研究  
(学生との共同研究)**

# 問題 1

## Anderson 転移と測定誘起相転移

Xiao, Ohtsuki & Kawabata, PRL **134**, 140401 (2025)

Xiao & Kawabata, arXiv:2412.06133

Zhenyu Xiao さんとの共同研究  
(北京大学大学院生 → プリンストン大学ポスドク)

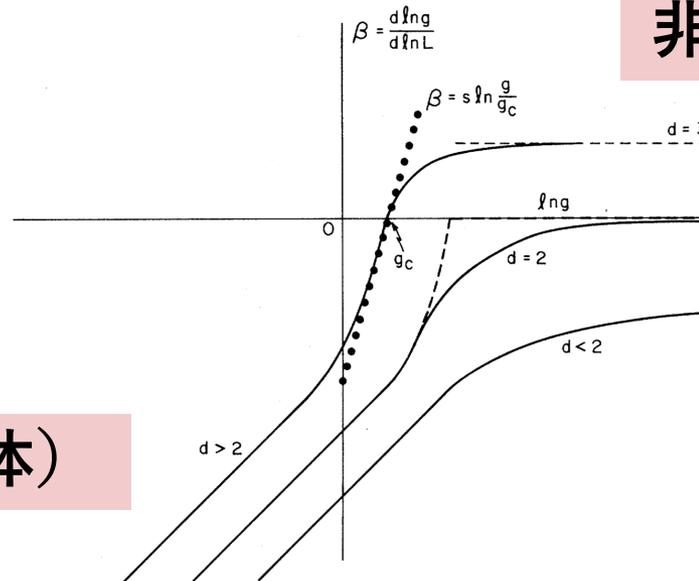
Anderson 局在：乱れ（不純物）による波動関数の局在

$$\hat{H} = \sum_i \left[ -t \left( \hat{c}_{n+1}^\dagger \hat{c}_n + \hat{c}_n^\dagger \hat{c}_{n+1} \right) + m_n \hat{c}_n^\dagger \hat{c}_n \right]$$

Anderson, PR  
**109**, 1492 (1958)

Anderson 転移：乱れに起因する連続相転移

非局在相（金属）



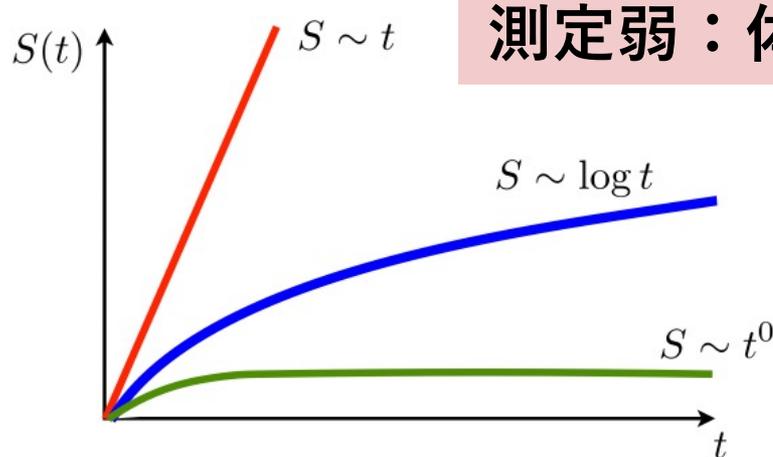
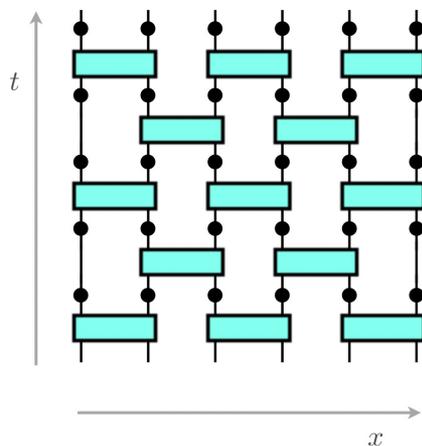
局在相（絶縁体）

Abrahams *et al.*,  
PRL **42**, 673 (1979)

測定誘起転移：ユニタリーダイナミクスと量子測定  
(非ユニタリー操作) の競合に起因する量子相転移

Skinner *et al.*, PRX **9**, 031009 (2019)

Li *et al.*, PRB **98**, 205136 (2018)



測定弱：体積則

測定強：面積則

☆ 量子開放系に特有の新しい相転移 (量子誤り訂正と関係)

Anderson 転移



測定誘起相転移

乱れ (不純物)

量子測定 (ノイズ)

時間と空間を入れ換えると、類似の相転移とみなせる

実際に、同一の有効的な場の理論で記述される：

非線形シグマ模型

Fava *et al.*, PRX **13**, 041045 (2023)

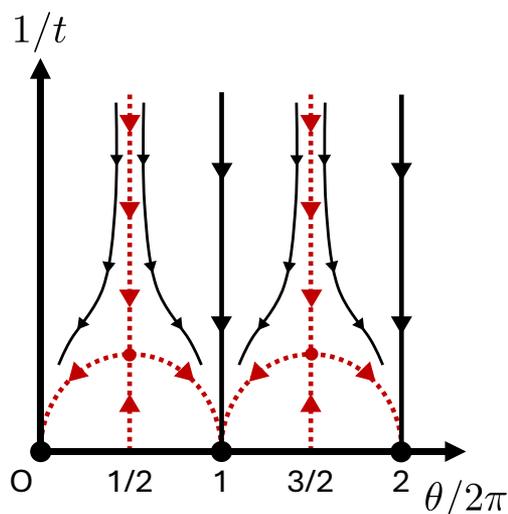
Poboiko *et al.*, PRX **13**, 041046 (2023)

$$S = \frac{1}{2g} \int d^d x dt \operatorname{tr} \left[ (\partial_\mu Q)^\dagger (\partial_\mu Q) \right] + (\dots)$$

空間次元・対称性によって普遍性クラスが規定

Anderson 転移についての既存の知識を踏まえると、測定誘起相転移についてもさまざまなことが問える。

## 例：トポロジカル項



量子 Hall 転移の 2 パラメータ  
スケーリング理論

Khmel'nitskii, JETP Lett. **38**, 552 (1983)

Pruisken, Nucl. Phys. B **235**, 277 (1984)

☆ 測定誘起相転移における、トポロジカル項は？

物性理論の既存の技術を応用して、量子技術で重要となる新しい相転移が解析できる。

一般論から、新しい普遍的現象が発見できる。

現代の物性物理では、こういう問題は多い。

# 問題 2

## 量子開放系と非ユニタリー共形場理論

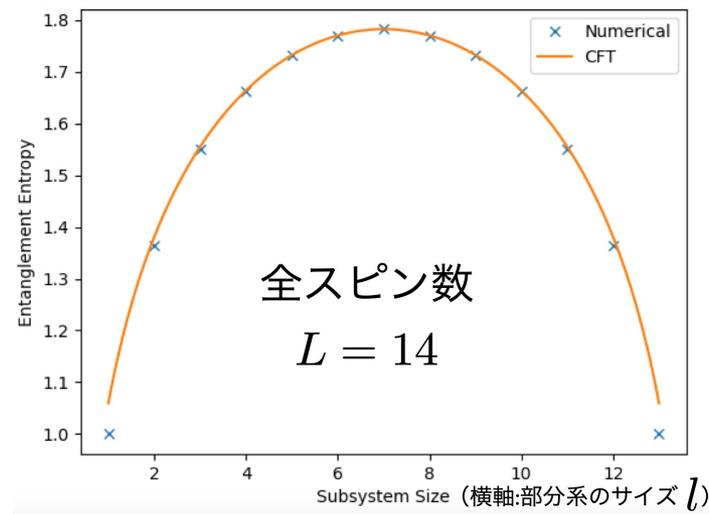
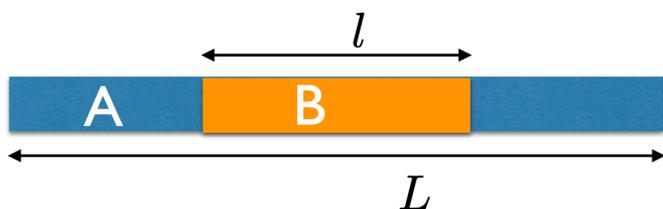
Shimizu & Kawabata, arXiv:2502.02001

清水 陽喜 さんとの共同研究  
(押川研大学院生)

量子臨界現象：共形不変性 → 共形場理論

量子エンタングルメント： $S = \frac{c}{3} \log l$

セントラルチャージ：共形場理論の普遍的情報



場の理論（数学）では、種々の共形場理論が知られている。

複素共形場理論： $c$  が複素の共形場理論

→ 物理で重要になるか？

最近、対応する非エルミート格子模型が構成された：

非エルミート 5 状態 Potts 模型

Jacobsen *et al.*, PRL **133**, 077101 (2024)

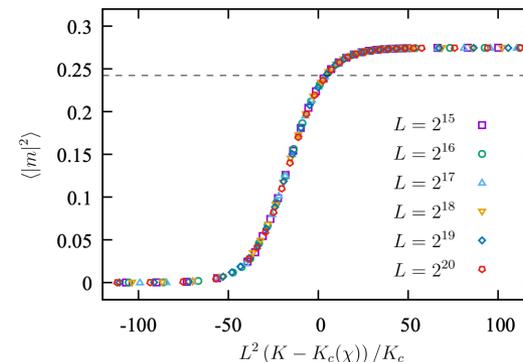
Tang *et al.*, PRL **133**, 076504 (2024)

$$H = - \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^{Q-1} \left[ J \left( \sigma_i^\dagger \sigma_{i+1} \right)^k + h \tau_i^k \right] + (\text{非エルミート摂動}) \quad c \simeq 1.14 - 0.02i$$

(1) 量子開放系での実現

(2) 通常の Potts 模型の

不連続転移も説明



共形場理論でのエンタングルメントエントロピー：

$$S = \frac{c}{3} \log l$$

**複素の  $c$  でも成立するか？**

**複素のエンタングルメントエントロピーとは？**

これまでの物性物理では注目されてこなかった場の理論（非ユニタリー共形場理論）を用いて、量子開放系の新しい相転移・臨界現象が議論できるはずである。