

## 第6回ぶつりがく徒のつどい

2017年9月19日(火), 20日(水)

9月19日(火)

11:00-11:25 開場  
11:25-11:30 挨拶  
11:30-12:50 「量子誤り訂正理論とぶつりがく」  
12:50-12:55 質問時間  
12:55-13:55 昼食休憩  
13:55-15:25 「作用素環論による量子力学の定式化  
～超選択則とシュレディンガーの猫～」  
15:25-15:30 質問時間  
15:45-17:15 「パリティピーポーのためのいろいろな散乱」  
17:15-17:20 質問時間  
18:00-20:00 懇親会

9月20日(水)

11:00-11:30 開場  
11:30-12:30 「非平衡系と場の理論」  
12:30-12:35 質問時間  
12:35-13:35 昼食休憩  
13:35-15:05 「作用素環論による量子力学の定式化  
～超選択則とシュレディンガーの猫～」  
15:05-15:10 質問時間  
15:25-16:45 「幼稚園児のための場の量子論」  
16:45-16:50 質問時間  
17:00-17:10 閉会の挨拶

# 量子誤り訂正理論とぶつりがく

氷山 雹 (ひやまひょう [🐦@hyamatter](#))

量子コンピュータ, 特に万能量子コンピュータと呼ばれる量子の力を最大限に活用した量子コンピュータを実現するためには多くの課題が残されています. その最重要課題の1つが量子誤り訂正の実現です. 現在多くの人が使用している普通のコンピュータ  $\square$  (量子情報の人は古典コンピュータと言います) ではビットという情報の最小単位を電圧の高い低いなどで表現し, そのビットを操作して情報処理を行っています. 一方で量子コンピュータにおいては, 量子ビットという2準位系の状態を用いて情報処理を行っています. 量子ビットは環境などのノイズに弱くその状態はすぐに壊れてしまいます. こういったエラーを検出し訂正することが量子コンピュータの実現には不可欠なのです. この量子誤り訂正の理論を紹介し, ぶつりがくとの繋がりを紹介することが本講演の目的です. 前半は量子ビットとは何かから初め, スタビライザー形式という量子誤り訂正をうまく記述する枠組みを扱います. 後半ではトポロジカル秩序の一例でもある Kitaev の Toric モデル [1] と AdS/CFT 対応のトイモデルである HaPPY のホログラフィックコード [2] を時間の許す限り扱う予定です<sup>①</sup>.

前提知識は特に仮定しません. もしかしたら基本的な線形代数や群論 (Pauli 群とその可換部分群) を知っていると同きやすいかもしれません.

## 参考文献

- [1] A. Kitaev, *Annals Phys.* **303** (2003) 2.
- [2] F. Pastawski, B. Yoshida, D. Harlow, and J. Preskill, *JHEP* **06** (2015) 149.

# 作用素環論による量子力学の定式化 ～超選択則とシュレディンガーの猫～

大山修平 (@rigakurage)

公理的な量子力学において、状態は無次元ヒルベルト空間 $H$ の元、物理量は $H$ 上の自己共役作用素で表されるとされます。関数解析の一般論から、自己共役作用素に対してはスペクトル測度といわれる作用素値の測度が定まり、これを用いて物理量の確率分布及などを計算することができます。

このように公理的な量子力学では、ヒルベルト空間とその上の作用素を考えることで不確定性という量子論の特徴をとらえることができるわけです。

しかし、この定式化ではそもそもここで現れたヒルベルト空間とはなんなのか？(あるいはなぜヒルベルト空間なのか?)そしてなぜ物理量はその上の作用素とみなされるのか?という疑問に答えてはくれません。

これらの疑問にある意味で答えてくれるのが作用素環を用いた量子力学の定式化です。この定式化の最大の特徴は、ヒルベルト空間を手で与える必要がない、すなわち与えられた“物理量”及び“状態”からヒルベルト空間を構成することができるという点です(いわゆる GNS 構成)<sup>1</sup>。以上のような基本的定式化を説明するのが一日目の目標です<sup>2</sup>。

さて、ここまでの話では理論の別の定式化を与えただけなので、「どうせヒルベルト空間が出てくるなら、いままで通りの定式化でいいじゃないか」という意見があるかもしれません。

しかし、作用素環による定式化は決してただの書き換えではありません。実際に、これまでの定式化で見落としていた(あるいは見ないようにしていた)問題に対しても正しい解釈を与えてくれることがあります。

そこでこのような例として普通の量子力学で用いられている超選択則<sup>3</sup>という不自然な仮定について、作用素環の表現の立場から説明し、シュレディンガーの猫が現れる仕組みについて(一つの解釈を)お話しできればと思います。(最後に時間があればこれらを数学的に扱うための表現の因子分解と秩序変数についてお話しします。)これを説明するのが二日目の目標です。

前提知識は一、二回生程度の数学と量子力学の基本的な知識があれば十分ですが、これらについても話の中で極力説明します。

参考文献

[1]J.G.Murphy “C\*-algebras and Operator theory”

[2]小嶋 泉 「量子場とマイクロ・マクロ双対性」

[3]Ola Bratteli “Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics”

<sup>1</sup>物理量や状態に括弧がついているのは二つの定式化で少しズレがあるためです。

<sup>2</sup>一日目の内容は 2017 年 6 月 14 日に行われた数物談話会での発表とほとんど同じものになる予定ですので、そちらに参加された方はあらかじめご了承ください。

<sup>3</sup>超選択則という言葉は文脈によって様々な意味を持ちますが、ここではいわゆる「重ね合わせ禁止則」のことで。

# パリティピーポーのためのいろいろな散乱

田中宏樹

## 1 Abstract

散乱は、内部構造がわからないものを調べるうえで非常に重要な問題である。内部に何があるか分からないとき、いろいろなもの(荷電粒子、中性子など)を入射させ、それらがどのように散乱することで調べる。また、散乱の現象を記述するモデルはたくさんある。(力学、量子力学、相対性理論)力学、量子力学、相対性理論などを書いた本は多々あるが、今回の講演では、同じ現象を異なるモデルで記述することで、それぞれのモデルの特徴を紹介したいと思う。

## 参考文献

- [1] 植松 恒夫『力学』(学術図書出版社, 2014年)
- [2] 砂川 重信『散乱の量子論』(岩波書店, 1997年)
- [3] 猪木 慶治、川合 光『量子力学II』(講談社, 2012年)
- [4] ランダウ, リフシツ 著 恒藤 敏彦、広重 徹 訳『場の古典論』(東京図書, 2003年)
- [5] サマーチャレンジ編集委員会『サマーチャレンジ2017 講義テキスト』  
p64-p78 大西 明 ”原子核物理学入門”

# 非平衡系と場の理論

井上 篤生 (あつお @QuantumAtsuo)

平衡系の熱統計力学はエントロピーを中心にして非常に美しい理論体系にまとめられる。一方、非平衡系の物理学は基本法則も見つかっておらず数値シミュレーション・実験による検証も難しい。そうした中で一部の非平衡現象（活性・吸収状態転移、有向パーコレーションなど）が臨界現象や臨界指数の普遍性を有することがわかってきている。またそれらの実験による検証も行われつつある。場の理論は非平衡系においても有用な解析ツールとなっている。本講演では非平衡系において場の理論がどのように使われるかを簡単に解説する。

3・4回生を念頭におくので熱統計力学・量子力学・経路積分などの基本的事項を前提とし、場の量子論は前提としない。Ising 模型の平衡統計力学の復習から始め、場の理論への移行手続きを解説しくりこみの考え方について軽く触れる [1]。次に非平衡系で基本となる Langevin 方程式を導入し場の理論への移行手続きを解説する [2]。

時間に余裕があれば Langevin 方程式の隠れた対称性としての超対称性と対応する保存則について解説する [3]。

## 参考文献

- [1] K. G. Wilson, J. Kogut. *The renormalization group and the  $\epsilon$  expansion*. Physics Reports, **12**, 75-200 (1974)
- [2] U. C. Täuber. *Critical Dynamics*. Cambridge University Press, 2014
- [3] K. Mallick, M. Moshe, H. Orland, J. Phys. A: Math. Theor. **44** (2011) 095002

## 幼稚園児のための場の量子論

小出 真嵩 (まーぼー @feynman.M6Bap)

ワインバーグは自身の著書の中に「物理学者はディラック方程式の解き方を幼稚園で習う」という言葉を残している。これは当時のベストセラーである『人生に必要な知恵はすべて幼稚園の砂場で学んだ』を受けての言葉だと思われる。事実、物理学者にとってこの知識は必要不可欠なものだろう。

今回の講演では、相対論的量子力学から場の量子論の初歩までをできるだけ平易に紹介していこうと思う。前提知識としては特殊相対性理論、量子力学、解析力学の基礎を知っていることが望ましいが、知らなくても楽しんでもらえると思う。私も幼稚園児の心で、今一度素直にそして新鮮な好奇心を持ってこの講演に取り組もうと思う。