

統計物理学研究室

1. メンバー

教授：根本 幸児 011-706-3441 nemoto@statphys.sci.hokudai.ac.jp
教授：北 孝文 011-706-2687 kita@phys.sci.hokudai.ac.jp
助教：奥田 浩司 011-706-3442 okuda@statphys.sci.hokudai.ac.jp

研究員：植木 輝

DC3：大内 まり絵

DC2：円谷 允俊

DC2：三浦 孝祐

DC2：八代 愛美

DC2：桐越 研光

MC2：中田 康仁

MC2：口町 和香

MC2：疋田 理樹

MC2：鶴谷 周平

MC2：山家 椋太

MC1：渡部 風太

B4 : 黒川 大雅

B4 : 柳橋 勇太

B4 : 沖上 和希

2. 研究成果

根本幸児：

ネットワーク上の意見形成ダイナミクスの解析

ネットワーク上で周りの意見を参考にしながら自身の意見を変化させるようなダイナミクスの結果としてどのような大衆意見が形成されるかを調べる一つのモデルとしてオピニオンモデルとよばれる模型がある。我々はスケールフリーネットワーク上でそのような模型の一つであるNCO模型 (non-consensus opinion model) 上で二値意見 (賛成と反対など) のダイナミクスをシミュレーションによって研究した。初期意見の割合 f の増加に対し、同一意見のクラスターが有限サイズからマクロサイズへ変化する二次転移が起こり、さらに f が増加すると一次転移的にサイズが増加するようなネットワークパラメータ領域があることを示した。

北 孝文:

1. d波超伝導体の表面電荷

銅酸化物高温超伝導体の[110]表面を念頭に、d波超伝導体の表面近傍における電荷の再配置を、拡張準古典方程式を用いて理論的に研究した。そして、表面近傍における超伝導秩序変数の空間変化、あるいは、フェルミ面近傍における状態密度の傾きの存在により、外部磁場なしでも、表面に電荷が蓄積されることを明らかにした。さらに、この電荷の蓄積により、ゼロバイアス近傍の局所状態密度に非対称性が出現することがわかった。

2. 超伝導量子渦格子における電荷の空間変化

第二種超伝導体では、量子化された渦が格子を組んで安定化することが知られている。この量子渦格子における電荷の再配置を、拡張準古典方程式を用いて理論的に研究した。電荷が溜まる機構としては、よく知られた磁気ローレンツ力に加えて、超伝導秩序変数の空間変化が電子に及ぼす力（PPG力）も取り込んだ。渦中心に溜まる電荷は、磁気ローレンツ力が磁場の関数としてのピーク構造をもたらすのに対し、PPG力による電荷は磁場の関数として単調減少することが明らかになった。

3. 繰り込み群による一様ボーズ・アインシュタイン凝縮相の比熱の計算

汎関数繰り込み群の手法を用いて、一様ボーズ・アインシュタイン凝縮(BEC)相の比熱を数値的に計算した。具体的な系としては、超流動⁴Heがある。すでに、このBEC相においては、赤外領域における摂動展開の発散に対応して、線形分散のボゴリョボフ・モードが、有限温度の4次元以下、絶対零度の3次元以下で消失することが明らかになっている。この赤外異常により、極低温領域の比熱が T^3 則から大きく下方向にずれることが理論的に明らかになった。これは、⁴Heの実験結果とも一致する。

奥田浩司：

1. 有限時間熱機関の研究

非平衡現象の理論的研究として、有限時間熱機関の研究をおこなった。物理学では、熱機関の効率は熱力学の基本的課題として古くから扱われており、熱機関の効率の上限が Carnot 効率で与えられることは良く知られている。通常 Carnot 効率を実現されるのは、準静的極限の場合だけである。しかし、準静的（可逆）熱機関は無限の時間をかけて有限の仕事を取り出すと

いう点で、パワー（仕事率）が0であり、現実的な熱機関としては役に立たない。現実の熱機関は、有限時間で動作することで効率を犠牲にする代わりに有限のパワーを得ていると考えられる。そこで、準静的でない有限時間で動作する熱機関の性質を調べることは熱力学の重要な課題である。

この分野の理論的な興味として、Shiraishi ら(2016)は、マルコフ過程に従う熱機関という十分に一般的な枠組みの中で、効率とパワーの間にはトレードオフ関係がある、つまり、効率をCarnot効率に近づけようとすればパワーが0に近づいてしまうことを示した。平衡熱力学からは、準静的熱機関であれば Carnot 効率が得られることが示されるのみでありその逆は言えないので、Shiraishi らの結果は非平衡熱機関の基本的性質を示したものである。しかし一方で、具体的な熱機関のモデルの研究において、有限パワーで Carnot効率の熱機関が実現できるという結果がいくつか出てきている。例えば、Holubecら(2017)は、ブラウン粒子を用いた有限パワーカルノーサイクルにおいてCarnot効率が実現できることを示唆している。

この結果に着目して、D2 学生の三浦孝祐君、東京大学の泉田勇輝氏とともにブラウン粒

子カルノーサイクルの研究をおこなった。我々は既に、温度差の小さいときに緩和時間が小さい極限で Carnot 効率と有限パワーが両立可能であるという結果を示すことができていたが、このたび新たに、2つの等温過程を連続的に繋げる有限時間断熱過程をカルノーサイクルに導入することにより、任意の温度差のときに緩和時間が小さい極限で Carnot 効率と有限パワーが両立可能であることを示すことができた。さらに、この系で成立する効率とパワーの間のトレードオフ関係式を導出し、両立可能であるとの結果はトレードオフ関係式と矛盾していないことを理論的に示すことができた。

2.セルオートマトンによる貝殻の表面パターンの研究

生物の表面組織にはさまざまなパターンが見られ、そのパターンは遺伝子情報として書き込まれているわけではなく、化学物質の反応と拡散により自己組織的にパターンが形成されると考えられている。

この研究はM2 学生の口町和香さんと共におこない、特に多様で複雑な表面パターンをもつ貝殻が、エレメンタリーセルオートマトンによるパターンと類似していることに着目して、パターンを生み出す化学物質の詳細には立ち入ることなしに、セルオートマトンの規則をうまく調整することによって数値シミュレーションで貝殻パターンを再現することを目指した。

その結果、貝殻のパターンとある程度類似したパターンを得ることはできたが、きれいに一致したパターンが得られたとは言えず、再現にはもっと複雑なセルオートマトンの規則を導入する必要があるかもしれないことが分かった。

3. 成果発表（レフェリー制のあるジャーナルには * 印を付ける）

<原著論文>

1. E. S. Joshua, H. Ueki, W. Kohno, and T. Kita, "*Zero-Field Surface Charge Due To the Gap Suppression in d-Wave Superconductors*", *J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 104702 (2020).
2. Yusuke Suda and Koji Okuda, "Emergence of second coherent regions for breathing chimera states", *Phys. Rev. E, 101 (2020) 062203.

<会議抄録等>

1. 北 孝文：「ボーズ・アインシュタイン凝縮相の繰り込み理論」，*固体物理 2020 年 3 月号

4-2. 学術講演（国内学会・国内その他）（発表者に * 印を付ける）

1. 三浦孝祐*, 泉田勇輝, 奥田浩司:「有限時間断熱過程を用いたブラウン粒子カルノーサイクル」日本物理学会2020年年次大会（オンライン, 2020年3月16日-19日 講演番号16aK36-1
2. 三浦孝祐*, 泉田勇輝, 奥田浩司: 「有限時間断熱過程を用いたブラウン粒子カルノーサイクルの緩和時間依存性について」日本物理学会2020年秋期大会(オンライン, 2020年9月8日-11日) 講演番号8pL3-9

《ポスター発表》

1. 疋田理樹*, 根本幸児: 「複雑ネットワーク上のNCOモデルにおけるパーコレーション転移の数値解析」日本物理学会2020年秋期大会（オンライン, 2020年9月8日-11日）講演番号PSL-26
2. 疋田理樹*, 根本幸児: 「複雑ネットワーク上のNCOモデルにおけるパーコレーション転移の数値解析」ネットワーク科学セミナー2020（オンライン, 2020年12月17日-18日）

7. 科研費, 助成金等の取得状況

北 孝文

1. 「超流動相における異常長距離相関の理論的研究」科学研究費補助金（2020年～2022年）基盤研究C代表