

### 一般化スケーリング理論による真性特異点を持つ無限次元系の相転移の記述(根本幸児)

2次相転移で見られる種々の物理量の特異性はスケーリング仮説によって説明されるが、ここでは臨界点の持つ自己相似性と臨界点に近づくとき発散する相関長の存在が本質的な役割を果たす。しかしBKT転移などベキ関数で表されない特異性を持つ場合はこの理論で説明することはできない。我々は非ベキ関数の特異性も含む一般化したスケーリング理論の枠組みを提案した。また近年、ある種の無限次元グラフ(最大2点間距離が $L / \log N$ のように振る舞う)上での臨界現象でBKT転移と似た真性特異性をもつ相転移が多く発見されており、無限次元系を扱うための拡張も行った。方法は単純で、自由エネルギーのスケール不変性に、相関長ではなく「相関体積」を導入し、その関数を適当に仮定することによって、これまでの2次転移や真性特異点をもつスケーリングが導かれる。実際このようなスケーリングが可能なのは、階層構造を持つsmall world network上のポッツモデルが示すinverted BKT転移における実空間くりこみ解析によって示した。

### ネットワーク上における拡張SIRモデルの不連続転移(根本幸児)

典型的な感染モデルとして多くの研究があるSIRモデルでは、平均場近似(反応方程式)の解析から臨界感染率以上で大流行へ連続転移を引き起こすことがよく知られている。また、SIRモデルのネットワーク上での適用のひとつとして、感染確率を導入したボンドパーコレーション問題にマップする方法があり、そのツリー近似解析からも臨界確率で連続転移を引き起こすことが示されている。最近、複数のS状態を持つ拡張SIRモデル(fadモデル)では、平均場近似の範囲内で大流行の転移が不連続であることが示され[2]、近年不連続転移をめぐる研究されている様々な伝播モデル・パーコレーションモデルとともに注目を集めている。我々はこのモデルに対応したネットワーク上のボンドパーコレーションモデルを提案し、そのツリー近似による解析を行った。その結果、感染確率パラメータによっては大流行への不連続転移を示すことがわかり、パラメータ空間での相図を得ることができた。

### 有限時間熱機関の研究(奥田浩司)

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。昨今、地球温暖化は世界的な問題となっている。より効率の良い熱機関を開発することは、この問題の解決に貢献するだろう。また、最近の原子力発電の安全性に対する疑問から、代替エネルギーへの要求が増しているが、その候補の1つである地熱発電は原理的には熱機関と考えることができるであろう。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きた。特に重要な結果は、熱機関の効率の上限を与えるCarnot効率 $\eta_C = 1 - T_c/T_h$  ( $T_c$ : 低温熱源の温度,  $T_h$ : 高温熱源の温度)の発見である。通常Carnot効率が実現されるのは、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。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と思われる。有限時間熱機関の過去の研究において、Curzon and Ahlborn(1975)がCarnotサイクルを有限時間に拡張し、Carnotサイクルのパワーが最大となるときにはその効率が $\eta_{CA} = 1 - \sqrt{T_c/T_h}$  CA効率 ( $T_c, T_h$ は熱浴の温度)となることを比較的一般的な条件のもとで導いたことは特に重要な成果である。我々が以前におこな

った有限時間熱機関の研究において、我々は熱機関の理論的モデルとして最少非線形不可逆熱機関を提案し、そのモデルが十分一般的な熱機関のモデルを含んでいることを示し、我々のモデルにおいて、最大パワー時の効率やその効率の上下限値を解析的に求めることができた。この研究では、お茶の水女子大学の泉田氏、スペイン・サマランカ大学の Hernandez 氏、Roco 氏と共に、我々の前モデルの理論的枠組みを冷却機関に拡張し、適切な figure of merit を最適化するという条件下における Coefficient of performance を解析的・数値的に求めることができた。

---

## 駆動壁をもつ容器中の粒子の速度分布の研究 (奥田浩司)

---

非平衡現象の理論的研究として、駆動壁をもつ容器中の粒子の速度分布の研究をおこなった。温度一定の平衡系においては、粒子の速度分布が Maxwell 分布になることはよく知られている。断熱駆動壁をもつ容器中では、粒子は駆動壁からエネルギーを得るので、粒子の平均速度はどんどん増加していくが、Jarzynski(1993) は、駆動壁をもつ容器中の 1 粒子の速度分布（相互作用のない多粒子系の速度分布）を時間の関数として解析的に導出し、普遍的に指数分布が現れることを示した。この研究では、1 粒子系で見られた指数的速度分布が、相互作用のある多粒子系ではどのように反映されるのかを調べるために、M1 学生の民君と共に、駆動壁をもつ容器中の剛体粒子系のシミュレーションをおこなっている。

---

## 大川房義

---

モットの金属・絶縁体転移あるいはモット絶縁体の問題は、磁性分野における最も重要な問題の一つであり、また銅酸化物における高温超伝導機構の解明にもつながる問題でもある。この問題を解決するには強い電子相関効果を正確に扱う必要がある。とくに、局所電子相関効果については正確に扱う必要がある。この局所電子相関効果は希薄磁性合金の問題である近藤効果を解く問題に帰着できる。そして非局所効果は摂動的に考慮できる。この理論枠組みに基づいて開発された近藤格子理論を利用し、モット絶縁体の本性解明に取り組んだ。得た結果はつぎのとおりである。もし基底状態に対称性の破れがないのに一粒子励起に完全ギャップのあく絶縁体の実現したとすれば、それは残留エントロピーが残り熱力学の第三法則の破れた基底状態であるべきことを示した。また、半分あるいはほとんど半分電子が詰まった強相関 Hubbard 模型において対称性の破れのない電子液体が実現した場合、その電子液体は主に共鳴電荷結合 (resonating valence bond 略して RVB) 効果で安定化した RVB 電子液体であることを示した。この結果に基づき、RVB 電子液体が銅酸化物高温超伝導体の「正常状態」であると提案した。また、強相関 Hubbard 模型における RVB 電子液体はハイゼンベルグ模型における RVB スピン液体と断熱的・解析的に接続している。いっぽう、もし対称性の破れのないモット絶縁体の実現するのならば、RVB 電子液体とモット絶縁体間の転移は、電子数あるいは化学ポテンシャルの関数として不連続な一次転移である。

---

## 自己無撞着摂動展開によるボーズ・アインシュタイン凝縮転移の研究 [K. Tsutsui and T. Kita: J. Phys. Soc. Jpn. 81 (2012) 114002](北孝文)

---

弱く相互作用するボーズ粒子系におけるボーズ・アインシュタイン凝縮(BEC)転移を、正常相における保存近似を用いて理論的に考察した。幾つかの近似を採用して、転移温度と転移点近傍の化学ポテンシャルの温度依存性を、弱結合極限で計算した。その結果、多数

の近似において相転移が一次転移となるという結論が得られた。一般に、BEC転移は連続転移であると考えられているが、本結果は、その通説に疑問を投げかけ、BEC転移の解明に向けた更なる努力が必要であることを示している。