

光学格子上の2成分ボソン系の 相構造と動力学

複数の秩序変数

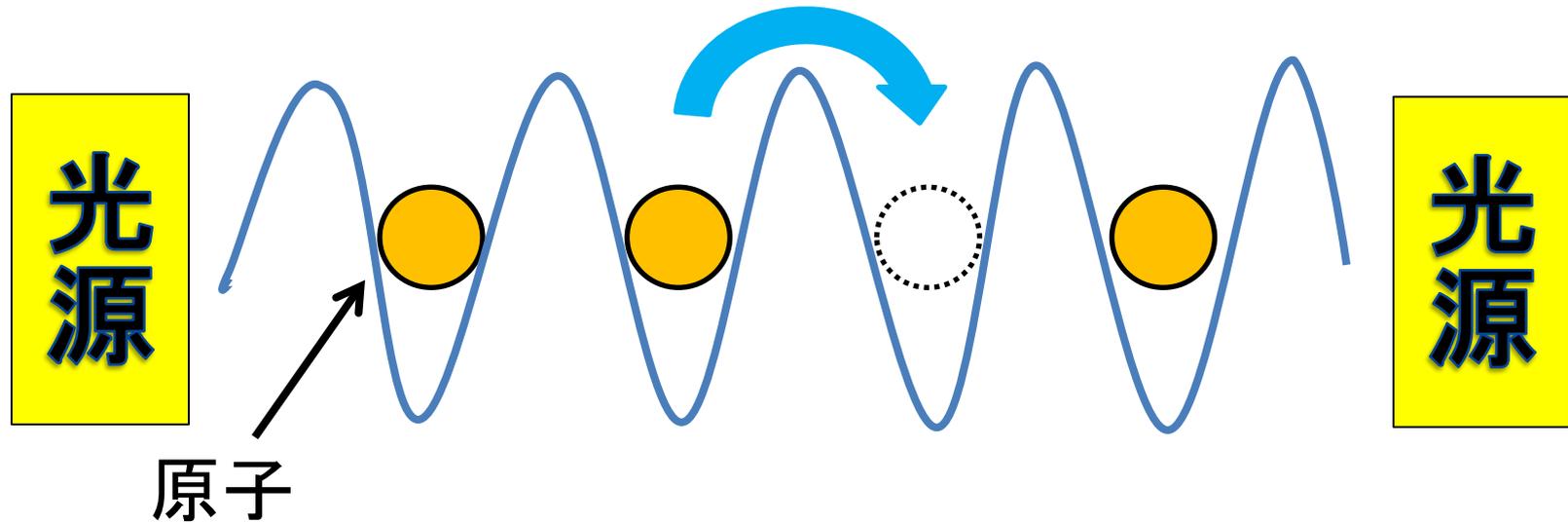
共存、相分離、それとも反発か？

高温超伝導物質、固体 ^4He 、強磁性超伝導、

熱場研究会 8/23/2011 一瀬郁夫(名工大)

レーザー光学格子

レーザー光による周期ポテンシャル



- ポテンシャルの高さはレーザー光の電場の2乗
- 原子は内部自由度を持つ

極低温2成分ボソン原子系

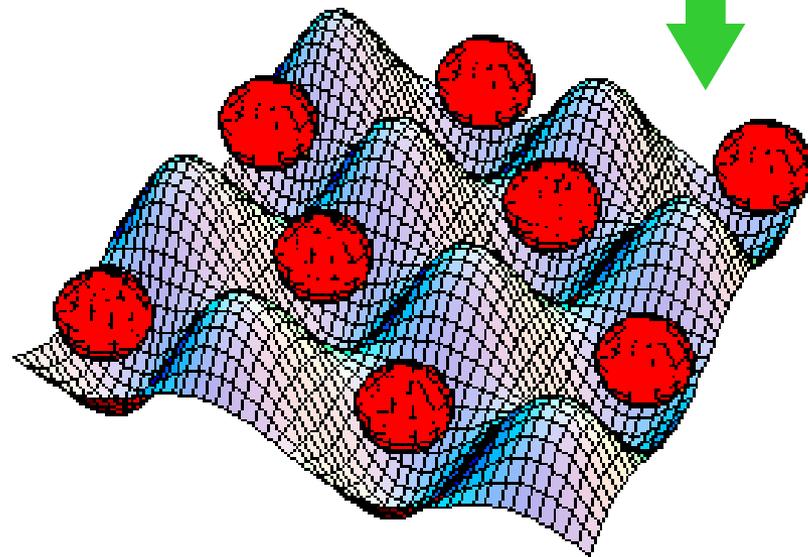
・光学格子 (Optical lattice)

1. 粒子が(擬)スピン自由度を持つことが可能
(擬)スピン自由度を持ったBEC
2. 粒子間の相互作用・格子間隔などが調節可能
超流動 – Mott絶縁体転移

2種類の
ボソン系

各サイトに
1個入れる

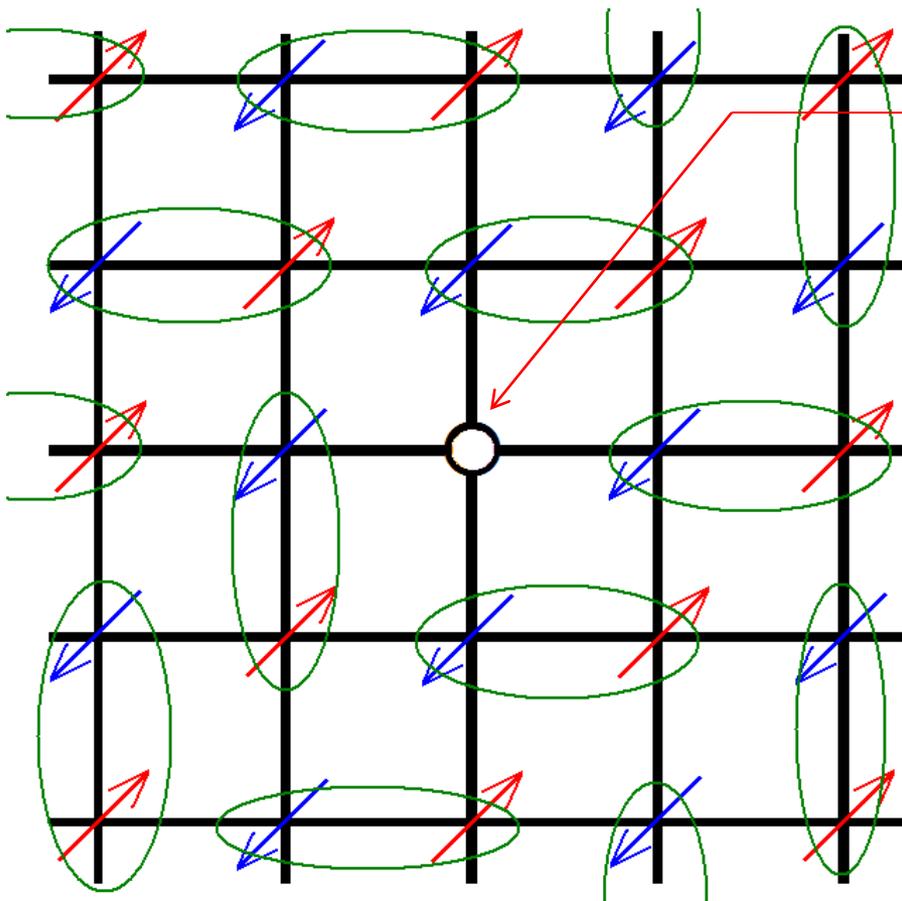
実験技術の向上により、
制御可能な
2成分ボソン強相関係の
検証が可能に



光学格子上の原子系 (高温超伝導体との類似)

A 原子 ↗ B 原子 ↙ サイト上原子間に斥力が作用

同種間斥力が大きい場合



ホール

- スピンを持たない
- $+e$ の`電荷`を持つ

Bose-Einstein凝縮

低エネルギー状態 (反強磁性)

超流動

古典的状态 vs 量子的状态

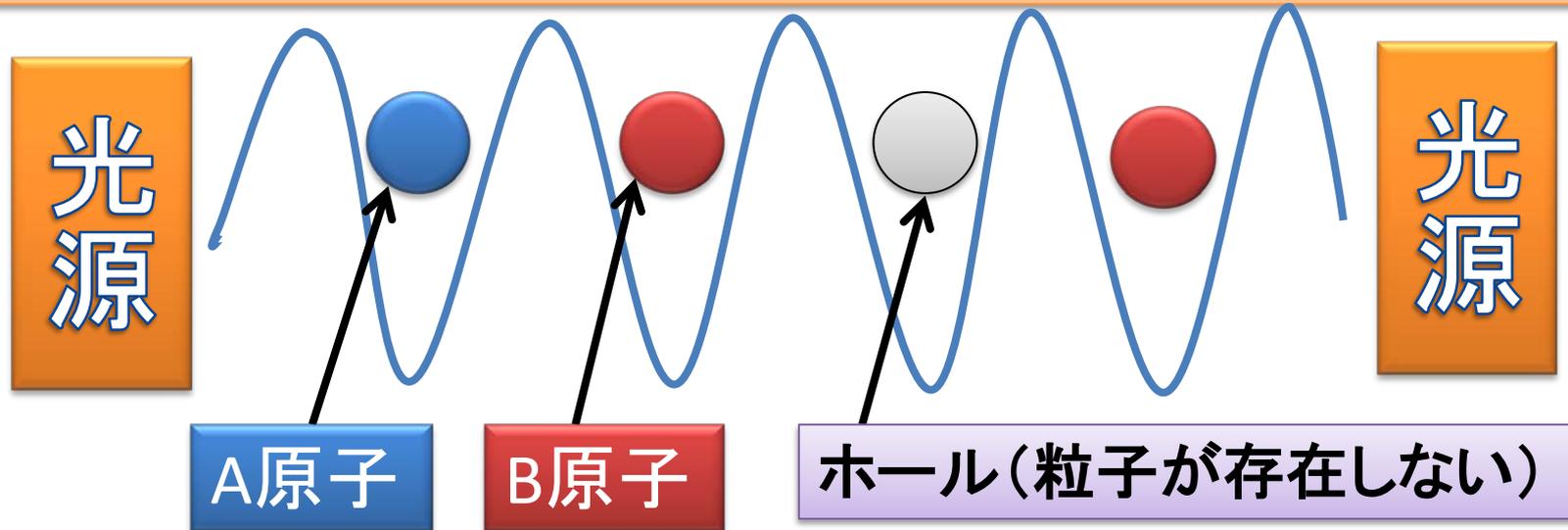
- A 原子、B 原子が互い違いに入った状態から原子をぬく (ホール局在) … 古典的状态

- 量子論 … 重ね合わせの原理
各格子サイトの一般的な量子状态

$$a |A \text{ 原子} \rangle + b |B \text{ 原子} \rangle + c |\text{ホール} \rangle$$

3D optical Latticeでの2成分原子系

Laser 光による周期potentialを操作することによって理想的な立方格子をつくる



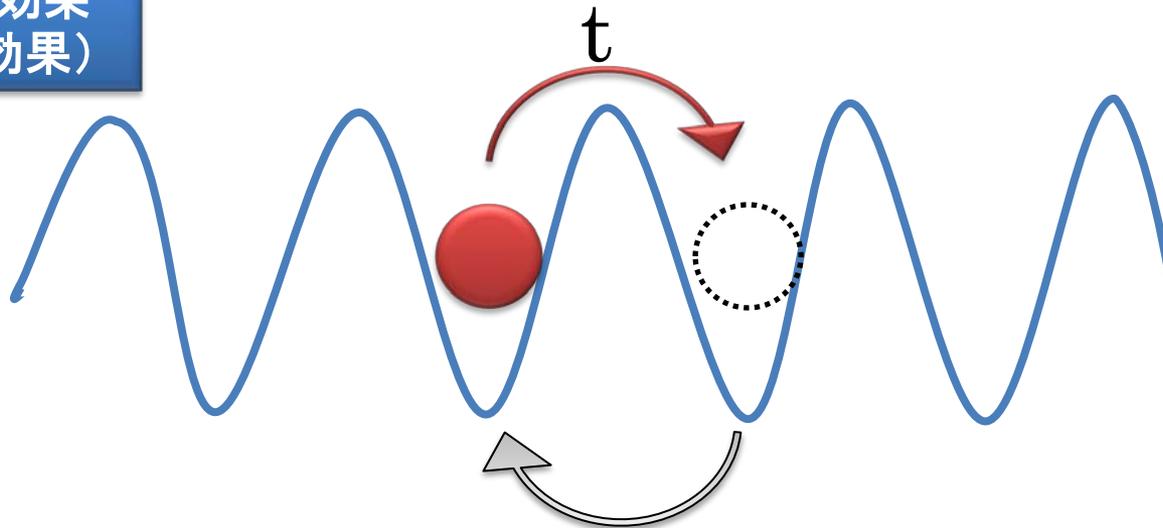
許される各サイトの状態: 状態の重ね合わせ

$|A\rangle$ = up spin とみなす

$|B\rangle$ = down spin とみなす

周波数、振幅を調整することで実現可能

ホッピング効果
(トンネル効果)



A原子、B原子
対称

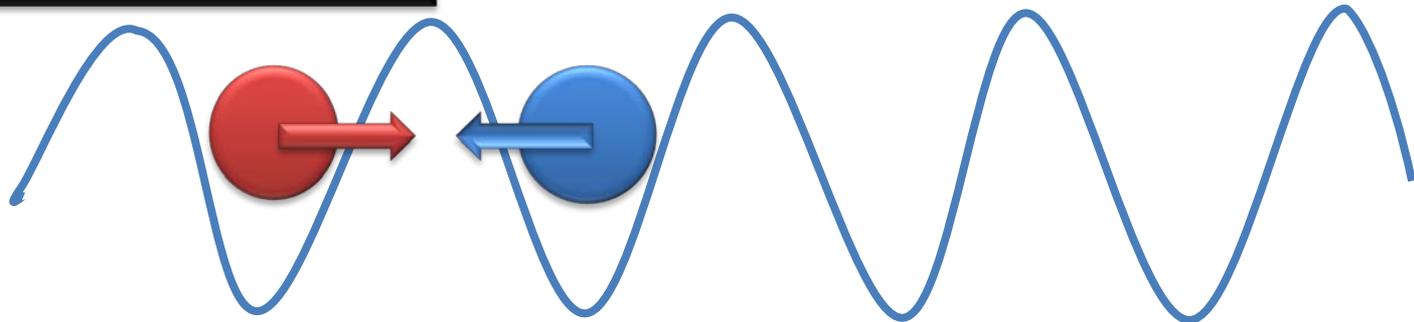
$$\beta = \frac{1}{k_B T}$$

t を自在にコントロール



$$c_3 \propto \beta t$$

2原子間相互作用 (同種・異種)



相互作用を自由自在に
コントロール



磁性的相互作用

方法論: 拡張GL 理論

格子上の量子場の理論

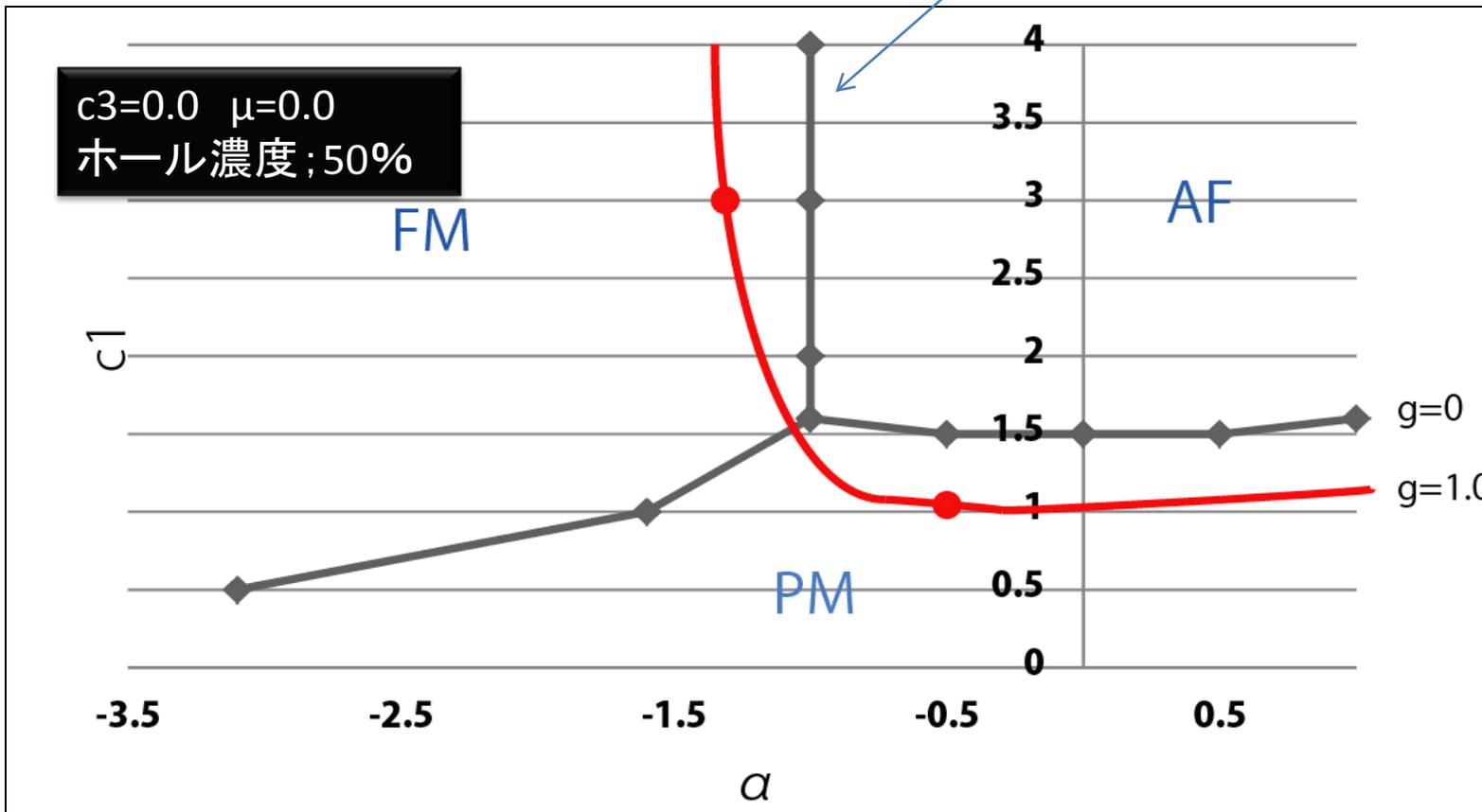
主にMC simulationによる

格子ゲージ理論に類似

(ボソン系なので実行可能)

相図(赤の線は無視してください)

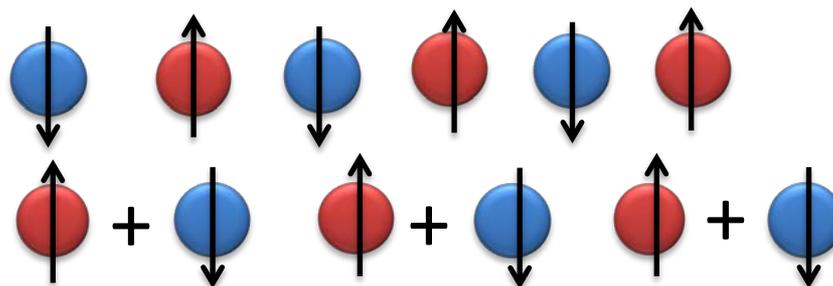
SU(2) 対称なライン



AF:反強磁性相

FM:強磁性相

PM:常磁性相

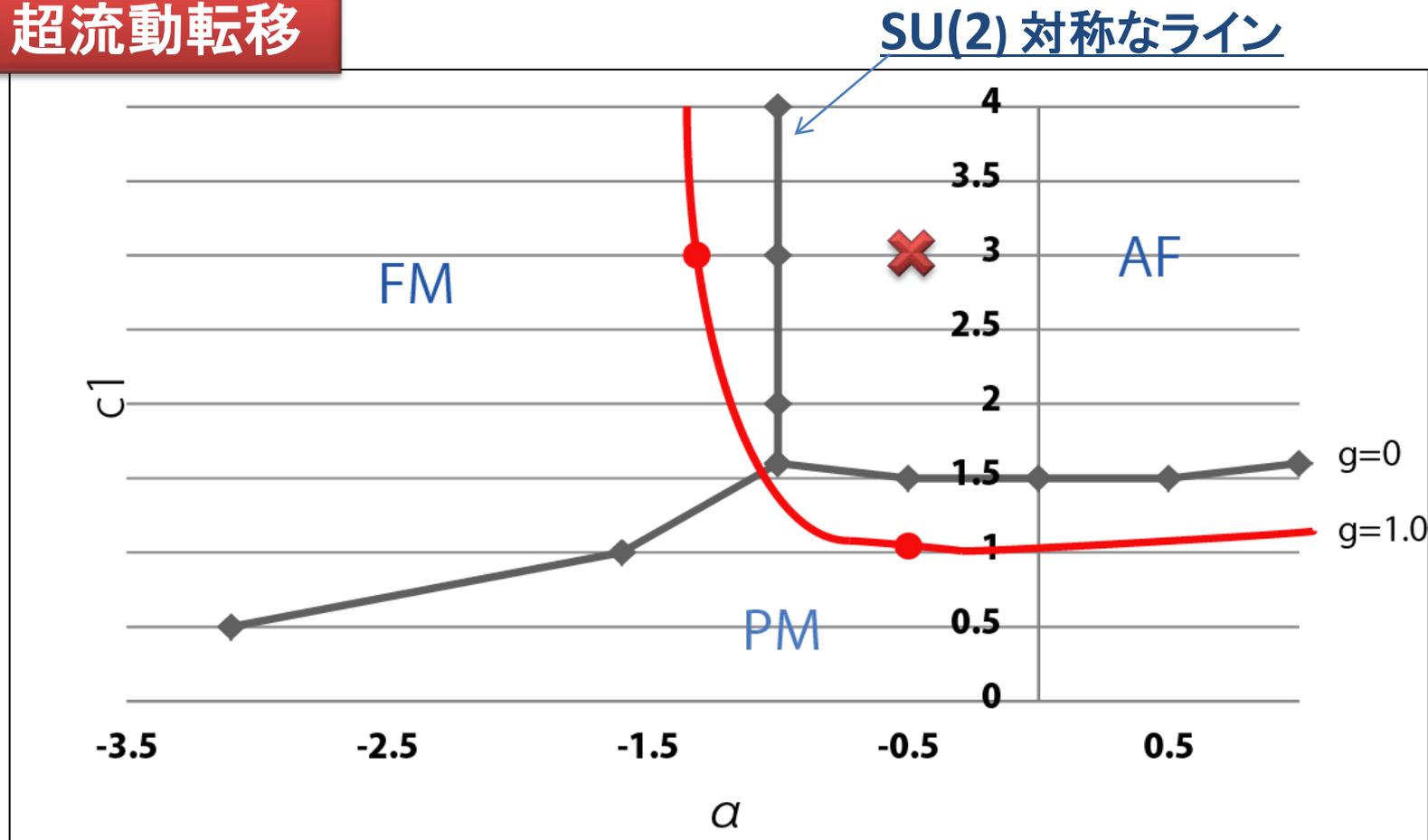


高温の無秩序状態

低温

高温

超流動転移



$c_3=0.0$ から値を大きくする

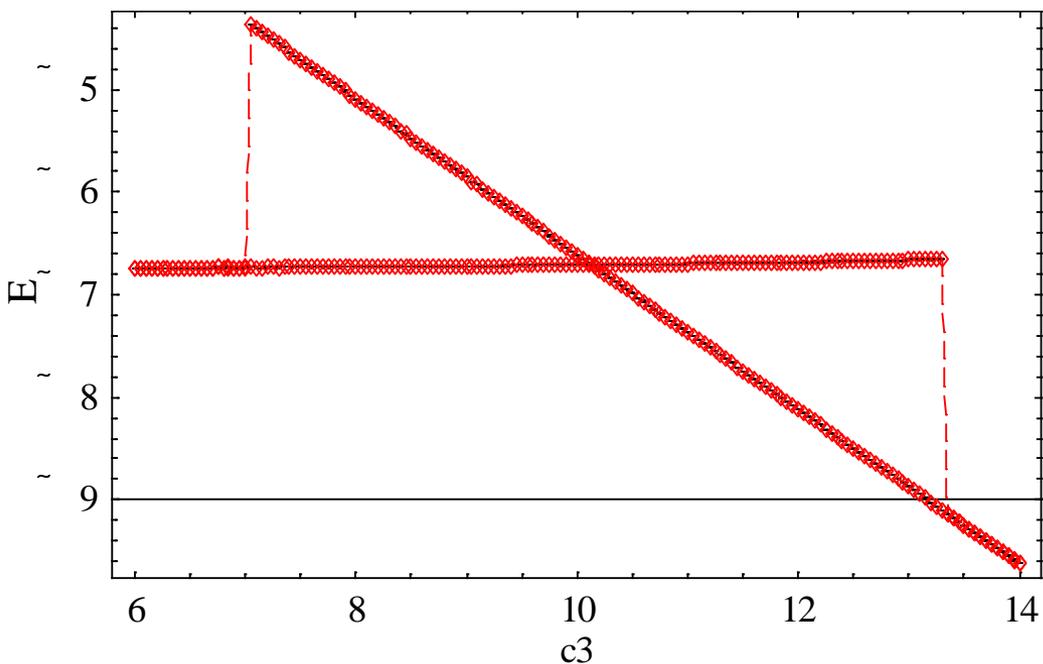
$$c_3 \propto \beta t$$

ホッピング効果大 + 低温化

超流動状態の発生

ホール移動条件下での相構造の解明 拡張されたGL理論を用いる

- Grand-canonical MC simulations の結果
AF-超流動相 の1次転移の観測
相分離相-(共存相)-超流動相の確認
- Canonical MC simulationsの結果
目的: 密度を自在にコントロールすることにより
相分離+共存のより詳しい分析が可能



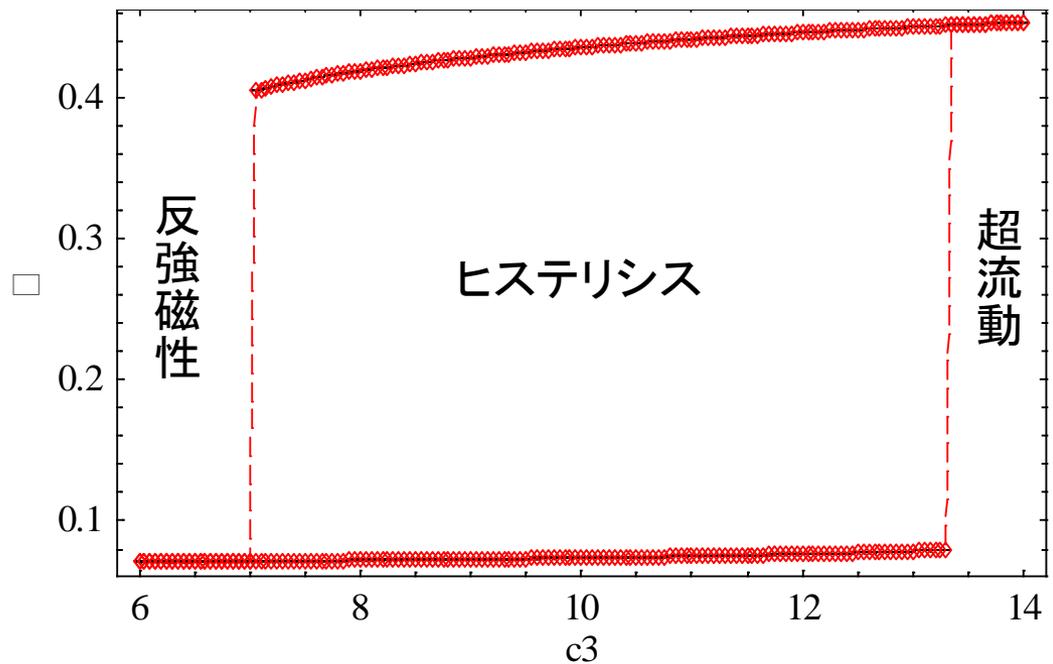
←エネルギー

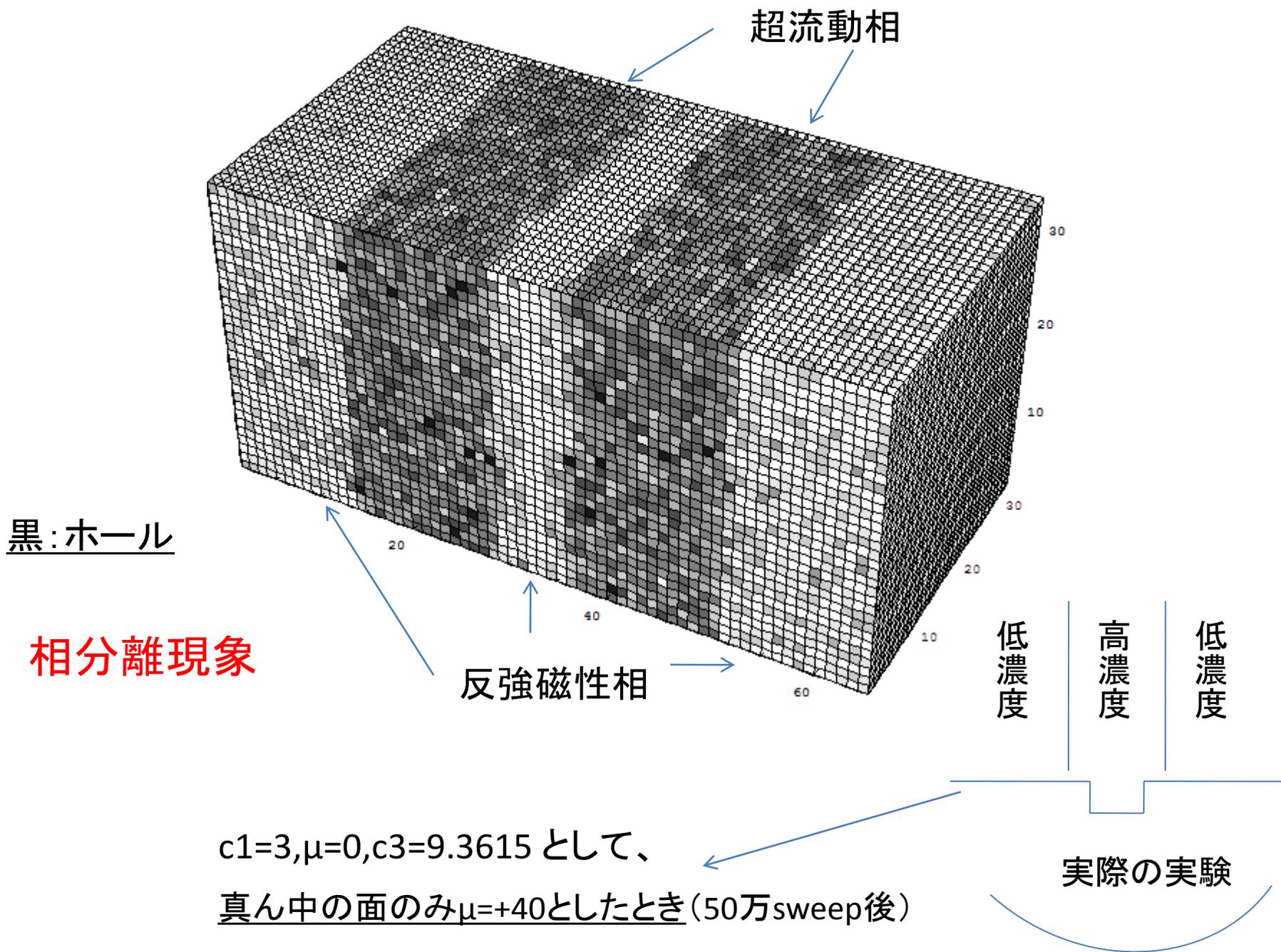
↓ホール濃度

Grand-canonical ensemble

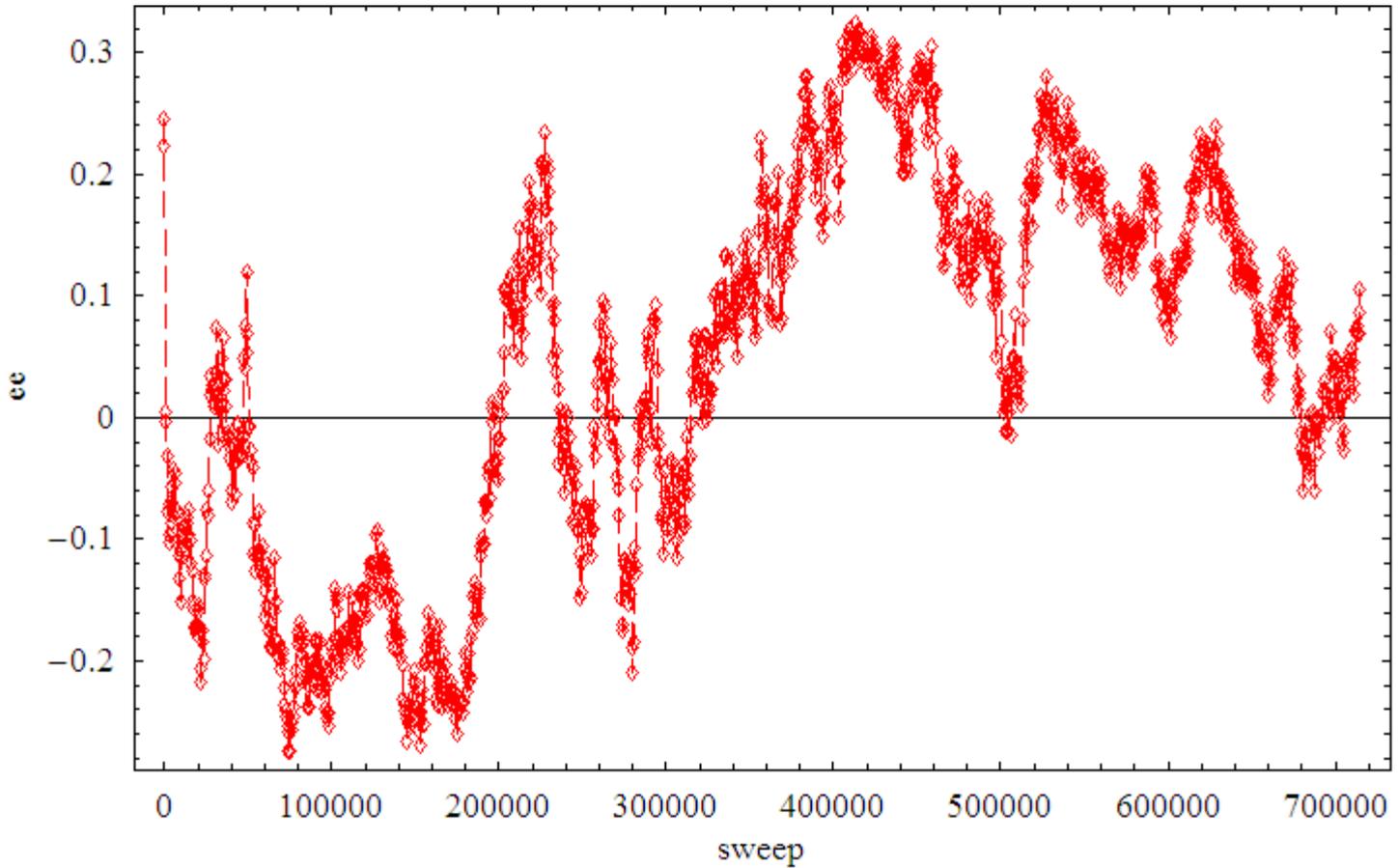
$c_1=3, \mu=0, \alpha=-0.5$ の相転移

強い1次転移を示す

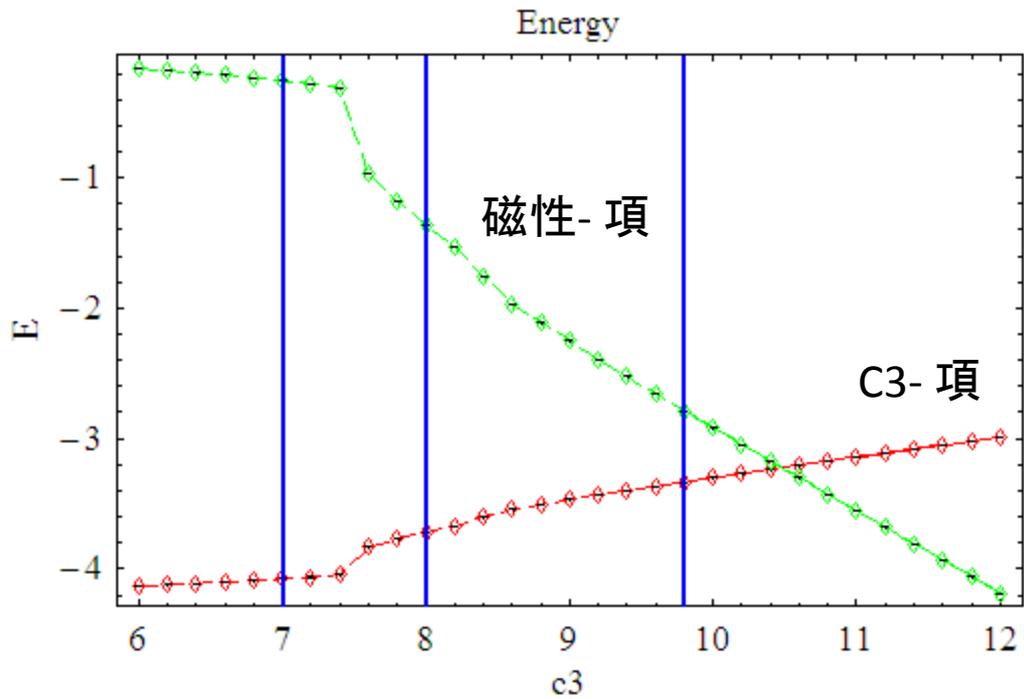




2つのSFの
位相差



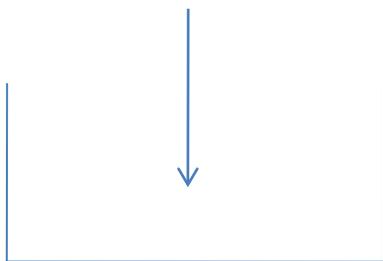
左右2つの超流動相での位相の相関
相関はない、ジョセフソン効果なし
古典相と量子相の完全分離



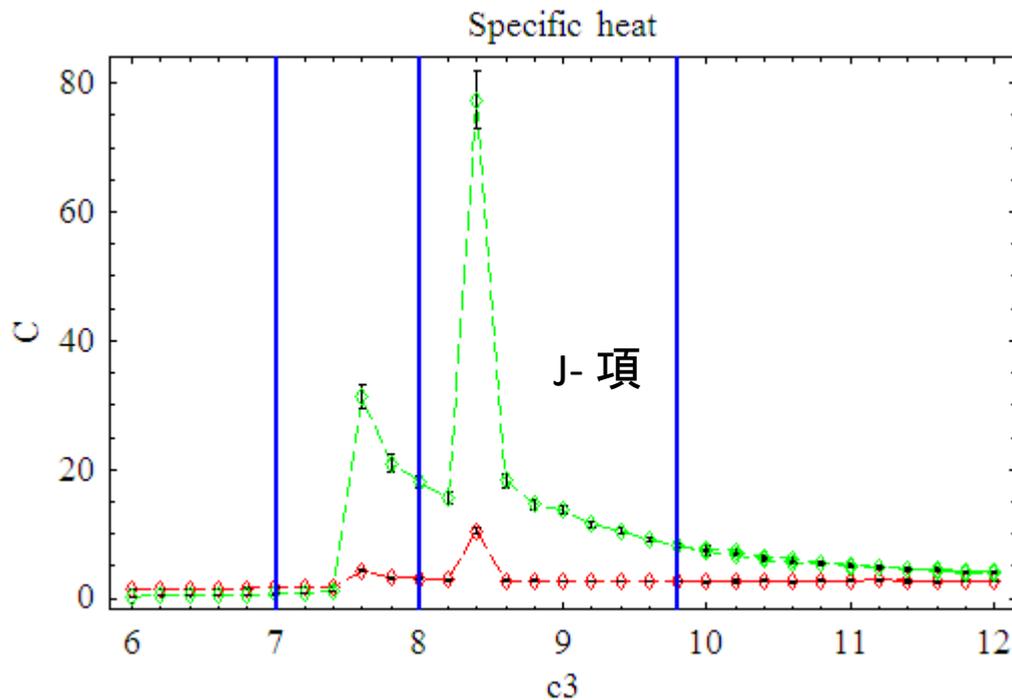
$\delta=0.24$
 $c_1=3$
 $\alpha=-0.5$
 $n_x=24$

ホール
ホップ振幅

Canonical ensemble
ホール濃度 24%

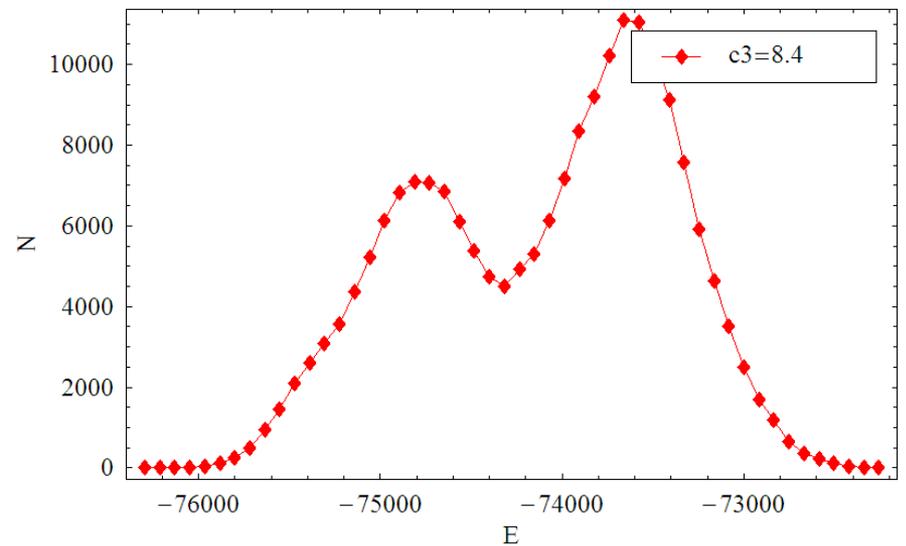
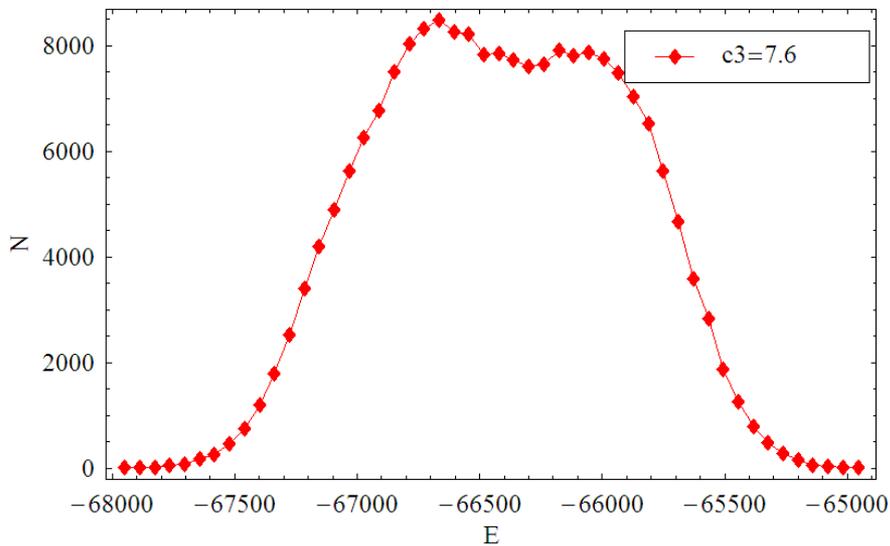
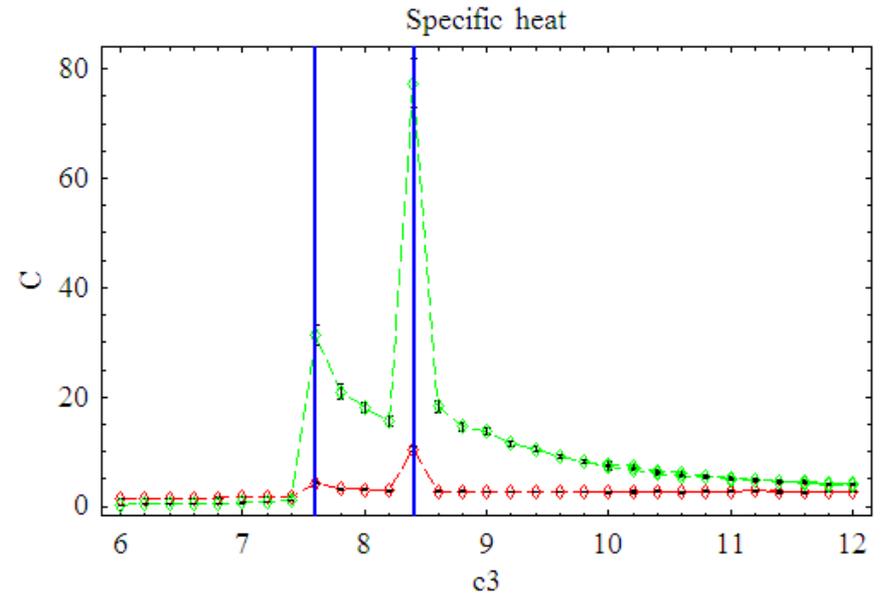


平坦な箱

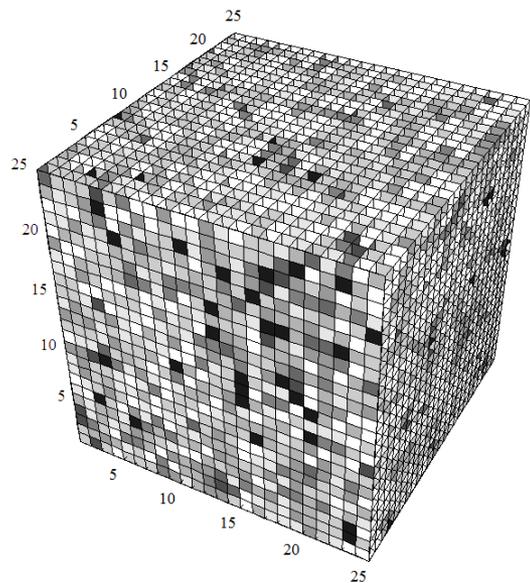


内部エネルギーの 分布ヒストグラム

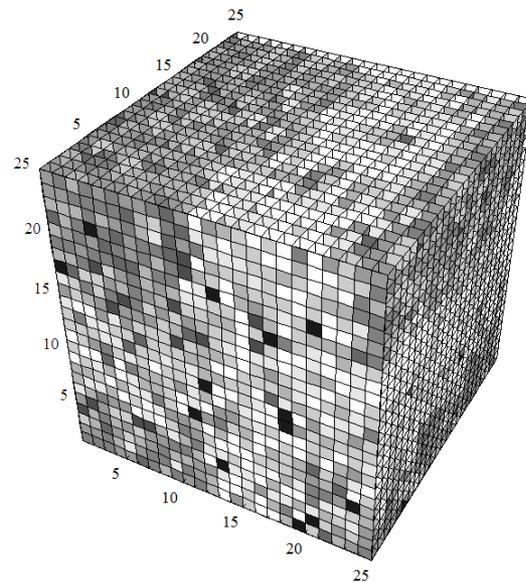
2つとも1次転移



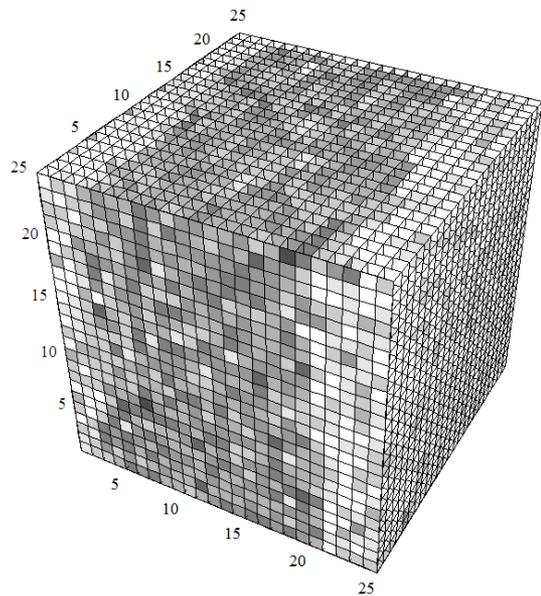
反強磁性相 ($c_3=7$)



反強磁性相+超流動1 ($c_3=8$)

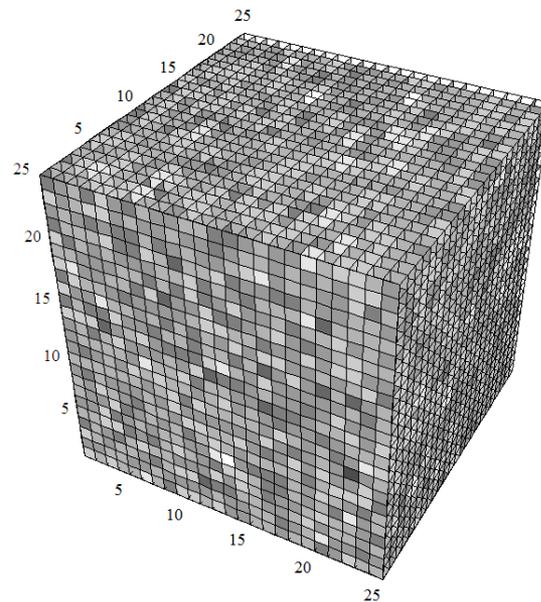


反強磁性相+超流動2 ($c_3=9.8$)

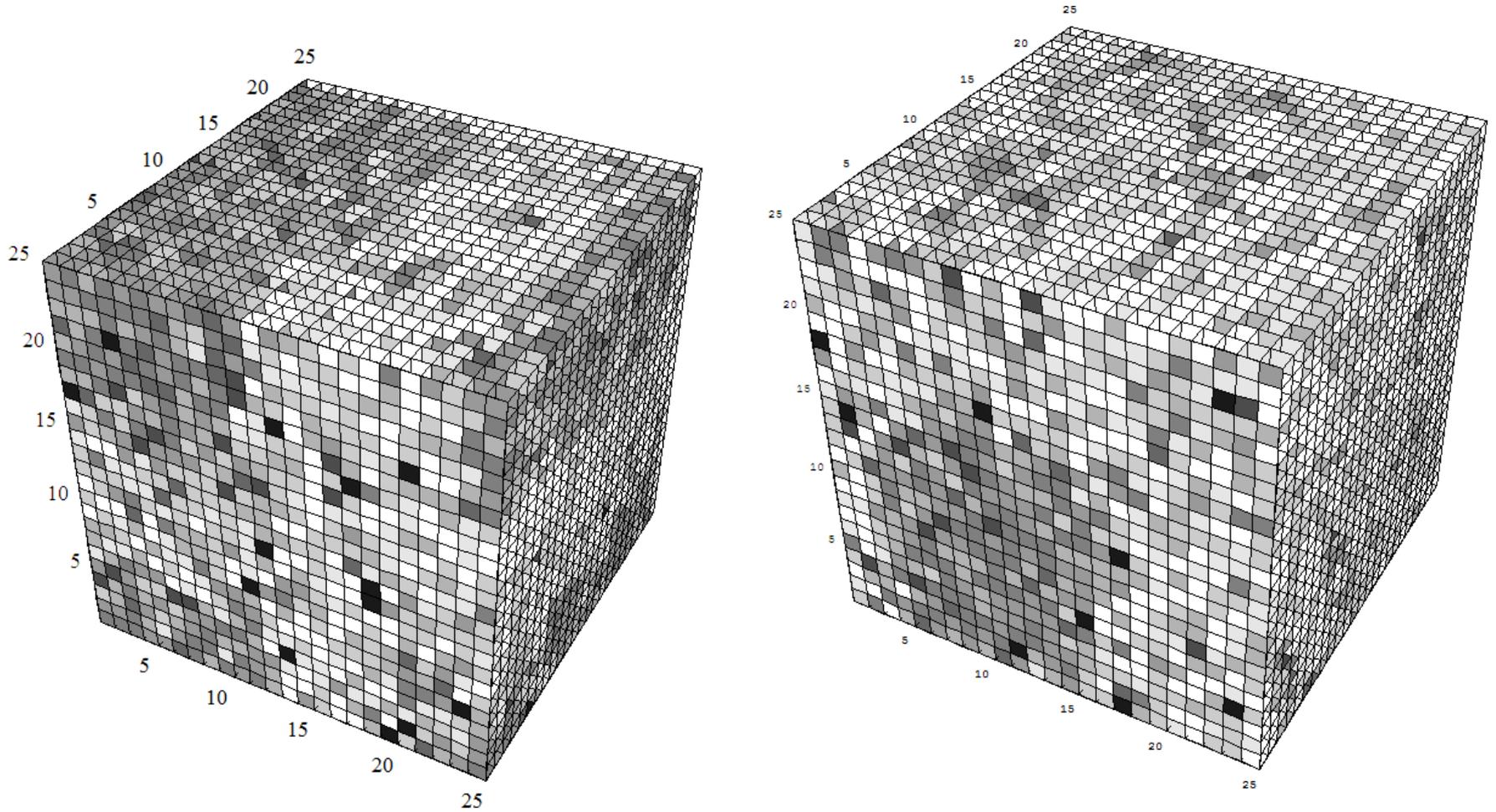


黒:ホール

超流動 (c_3 大)



C3=8
共存相？
アモルファス？



この結果より、少なくとも 4つの相が存在する

- 特に、相分離、相共存の構造は複雑で非一様
- AF solid 中に SF droplet, vice versa
- 観測された1次転移は相分離、相共存の転移か？
- (擬)スピン相関関数、超流動相関関数、
スナップショットの測定が手がかりになる
- 次最近接相互作用の導入と効果
超固体状態の存在、ペアー-SFの出現(5つ目)
高温超伝導現象への示唆