

# 高温超伝導ジョセフソン渦糸系の 安定渦糸構造 (ダイジェスト版)

2008年6月26日 第8回ナノテクノロジー基盤領域研究交流会

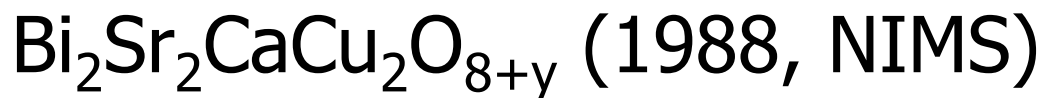
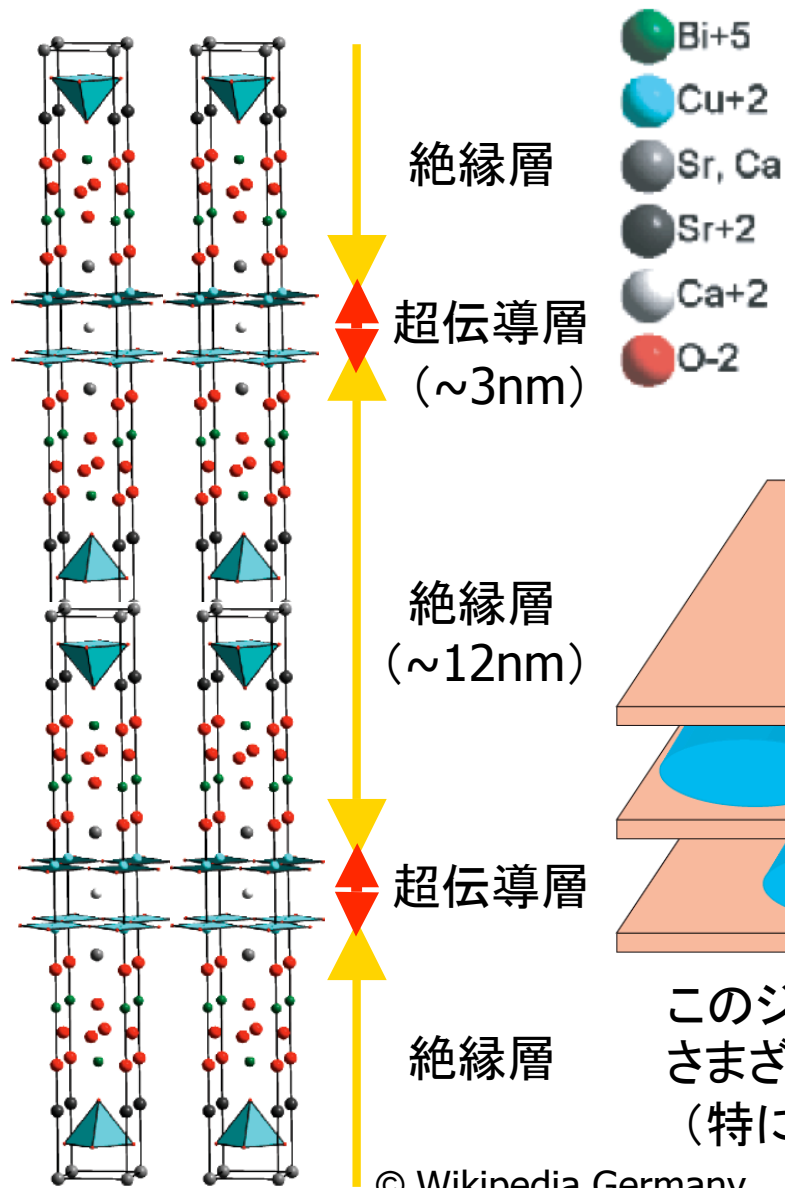
**野々村 禎彦** (計算科学C粒子・統計熱力学G)

※2008年10月時点での所属

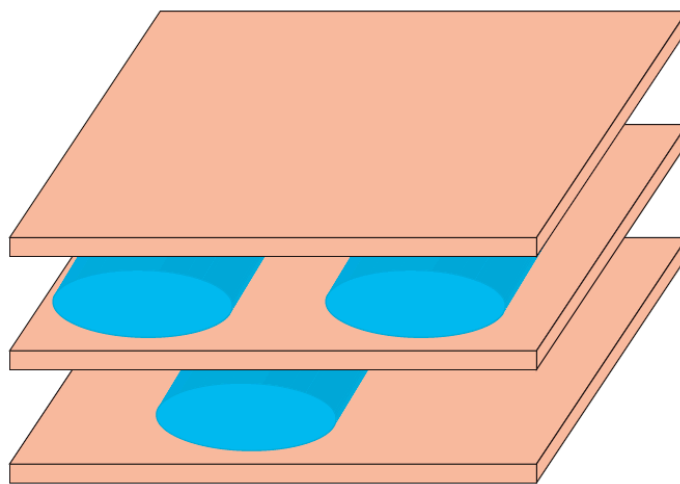
## Outline

- はじめに: ジョセフソン渦糸系とは
- ジョセフソン渦糸系の安定構造とその背景
- 傾斜磁場中に残るジョセフソン渦糸系の構造

# 銅酸化物高温超伝導物質のジョセフソン渦糸状態



銅酸化物高温超伝導物質は超伝導層と絶縁層がナノスケールで並んだ、天然のジョセフソン接合系



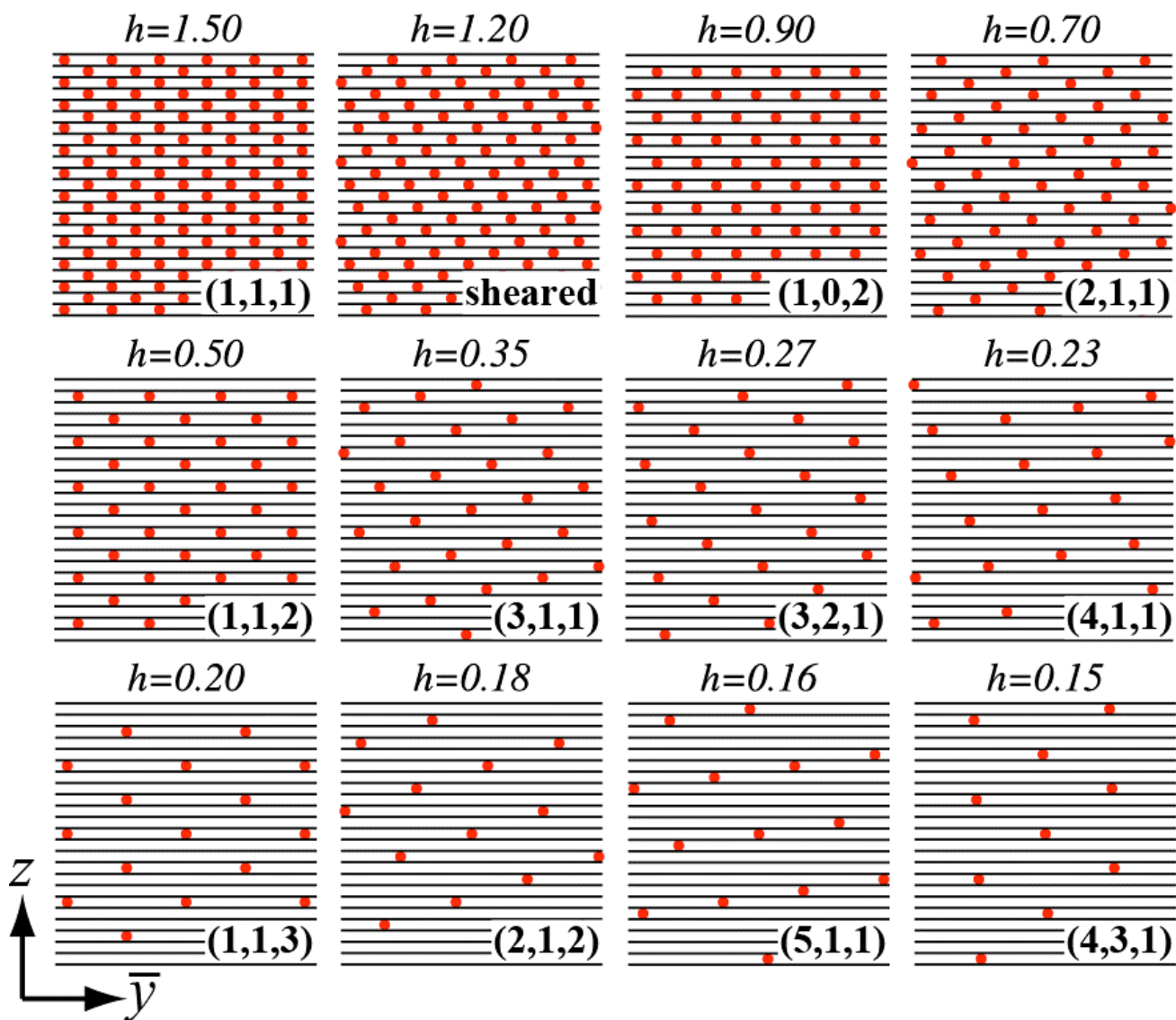
超伝導層に平行に磁場をかけると、マイスナー効果により渦糸は超伝導層を避け、絶縁層に広がって侵入する(層構造による、渦糸の本質的ピンング)

このジョセフソン渦糸系は、通常の渦糸系とは異なったさまざまな振舞を示す: この系へのNIMSの貢献は大きい (特に、羽田野グループの長年にわたる継続的な貢献)



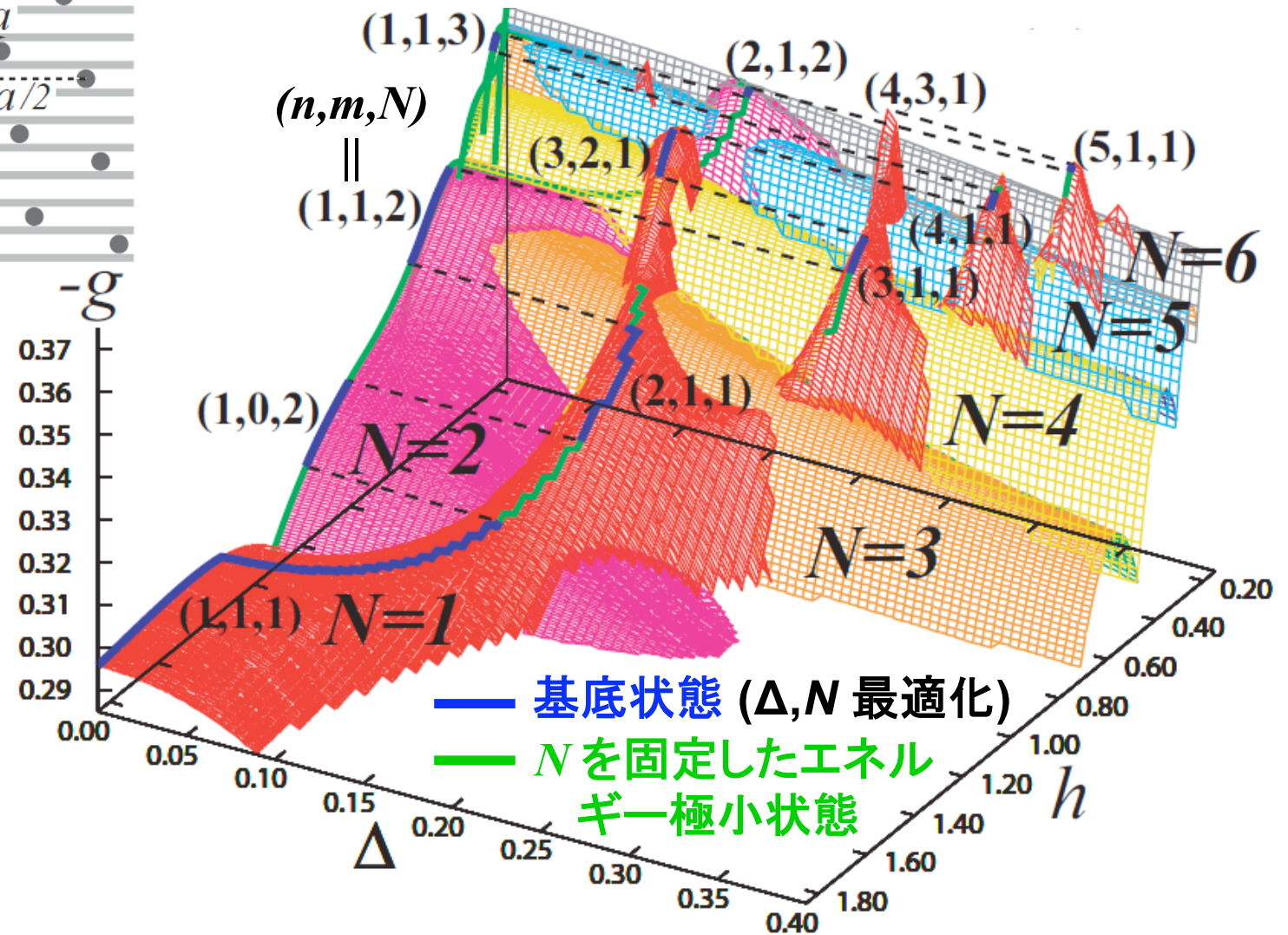
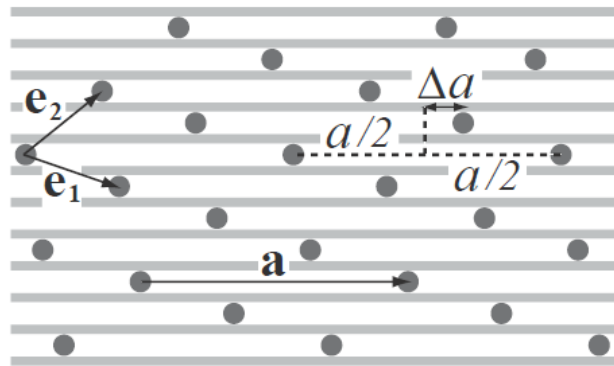
# 典型的な基底状態の渦糸構造

$h \equiv 2\pi\gamma d^2 B^x / \phi_0 \rightarrow h=1 \sim 30\text{T}$  for YBCO,  $\sim 0.5\text{T}$  for BSCCO



# Energy landscape in the $h$ - $\Delta$ plane

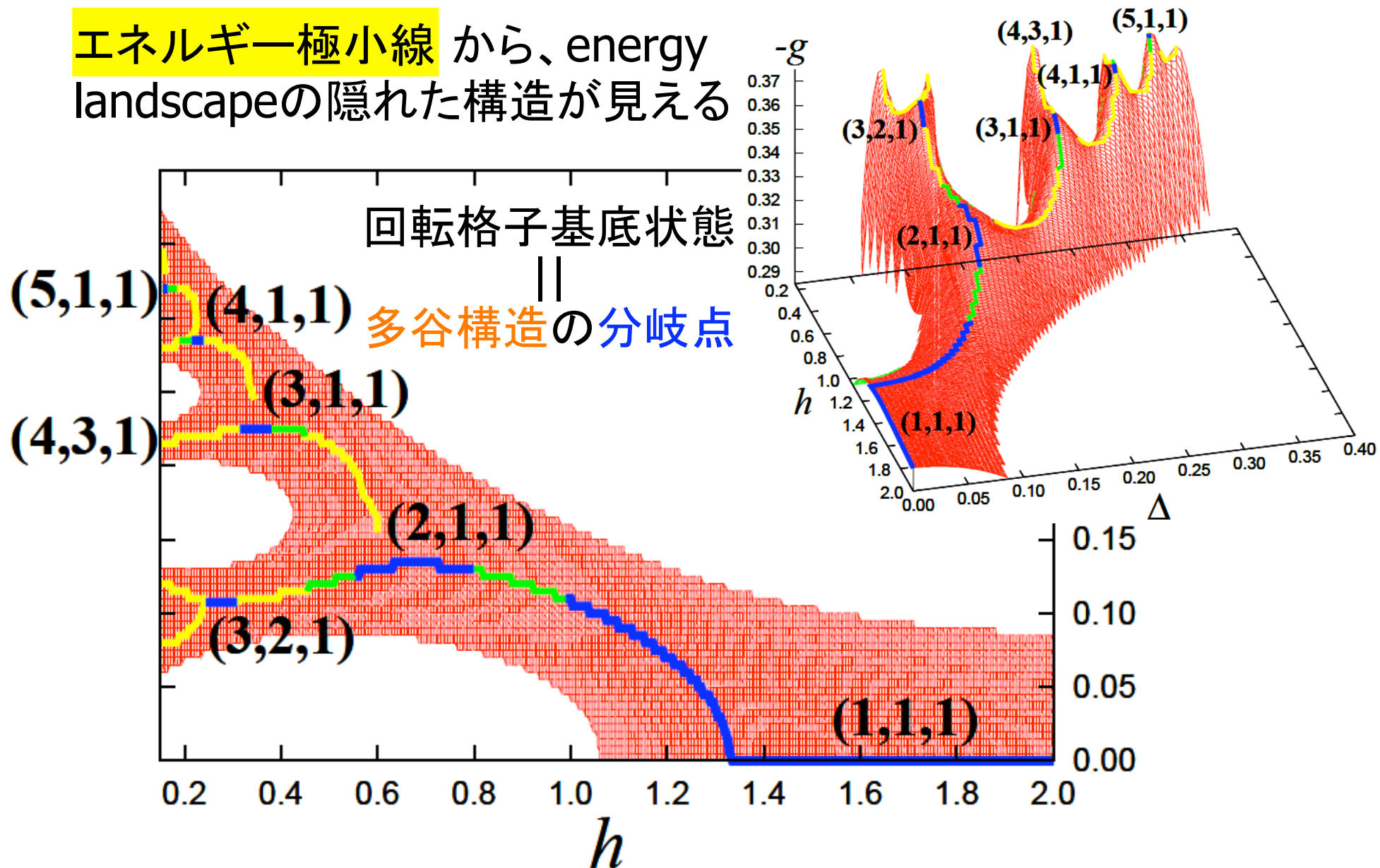
$$h \equiv 2\pi\gamma d^2 B^x / \phi_0 \rightarrow h=1 \sim 30\text{T for YBCO, } \sim 0.5\text{T for BSCCO}$$

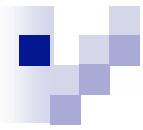




# $N=1$ 部分空間におけるエネルギー極小線の多谷構造

エネルギー極小線 から、energy landscapeの隠れた構造が見える



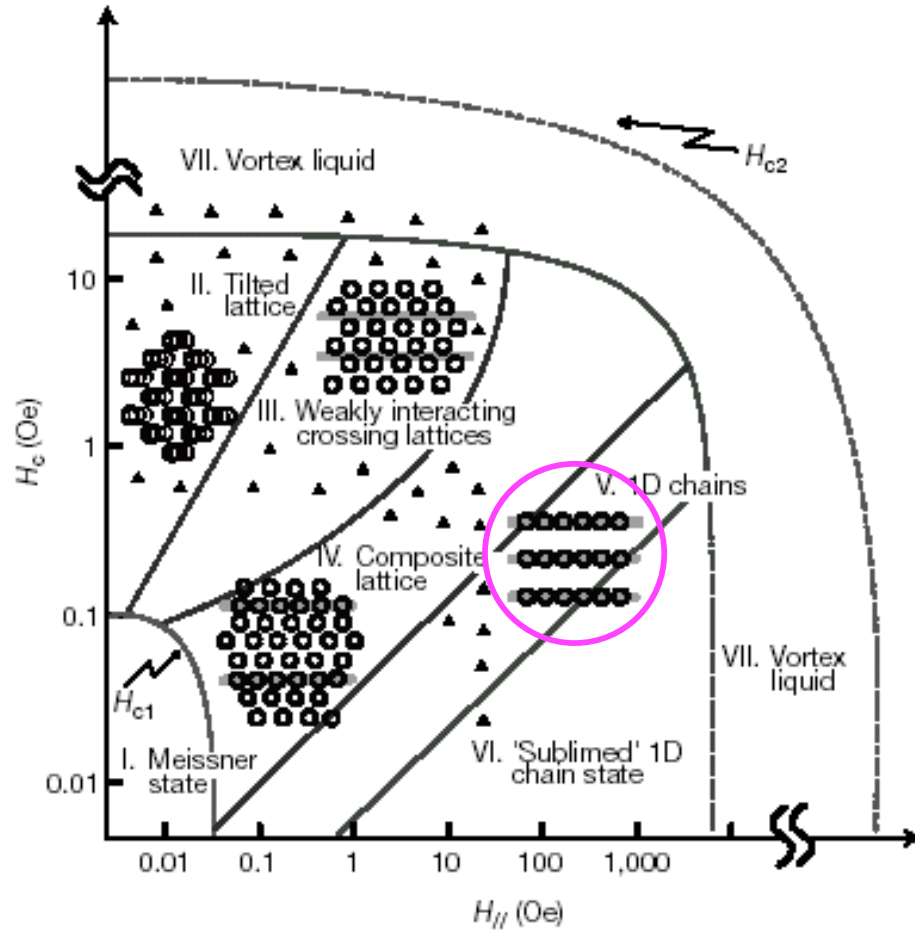


## 前半のまとめ

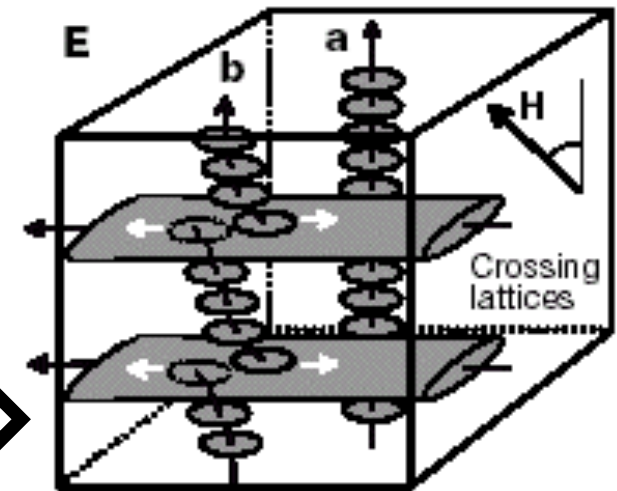
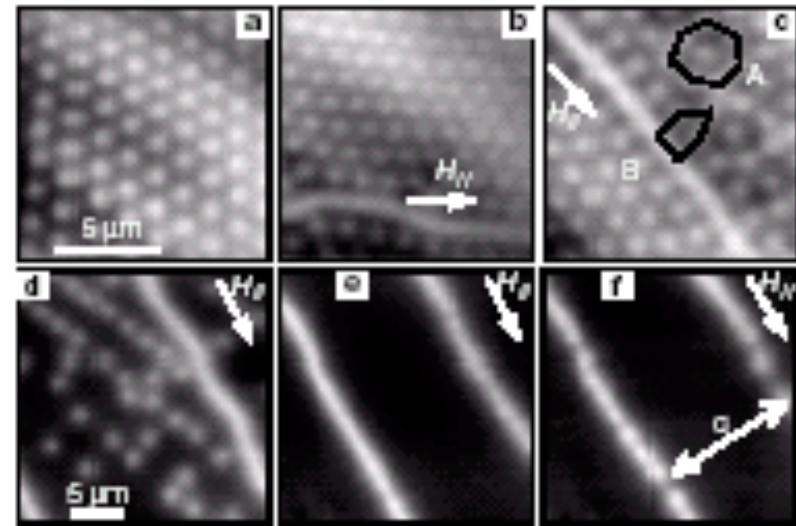
- ジョセフソン渦糸系の基底状態は、energy landscape の分岐する多谷構造 (基底状態 = 分岐点) が特徴
- ロンドン理論は基底状態の数値的厳密解から系統的にずれ、高磁場になるほどずれは大きくなる
- 特に高磁場領域でshear modulusは一定値に飽和し、ロンドン理論のような渦糸格子の不安定化は起きない (高磁場で渦糸三角格子のエネルギーは高くなるが、乱れた状態を取るとさらにエネルギーが上がるため)
- 以上の結果は、空間的非一様性を考慮しても変わらず

Y. Nonomura & X. Hu, Phys. Rev. B 74, 024504 (2006)

# 傾斜磁場中におけるBSCCOの複雑な相図

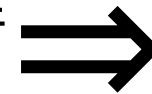


さまざまな渦糸状態のSTM像



A. Grigorenko et al., Nature 414, 728 (2001)

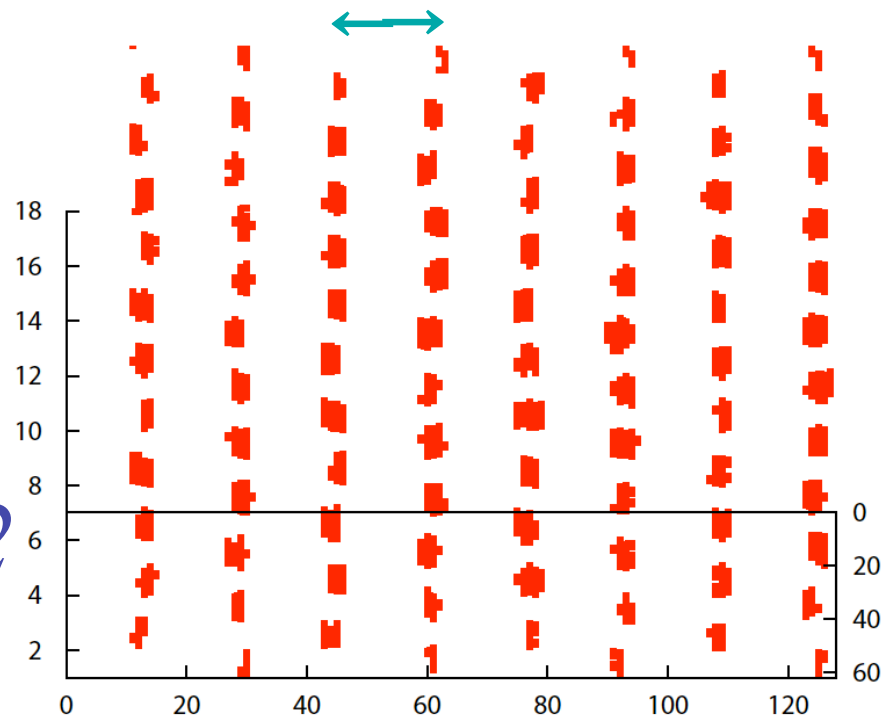
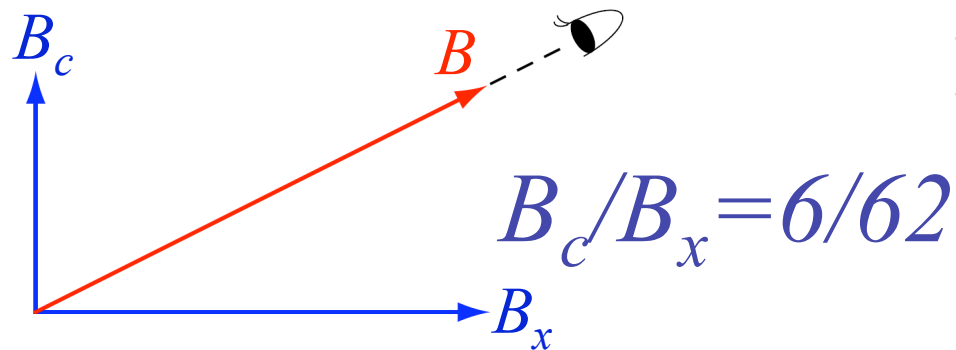
ジョセフソン渦糸とパンケーキ磁束の分離  
を前提にした、孤立渦糸鎖状態の解釈



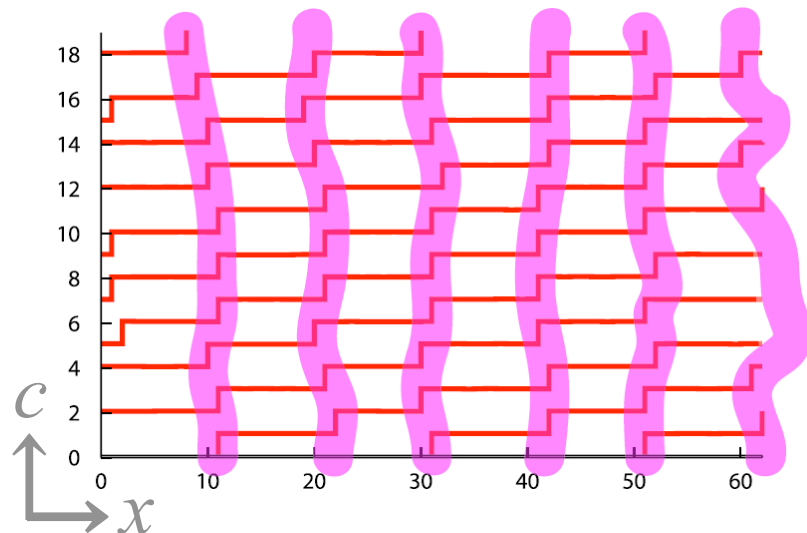
超伝導面内の渦糸格子間隔は、  
 $B_c/B_x=6/62$  までは変化しない



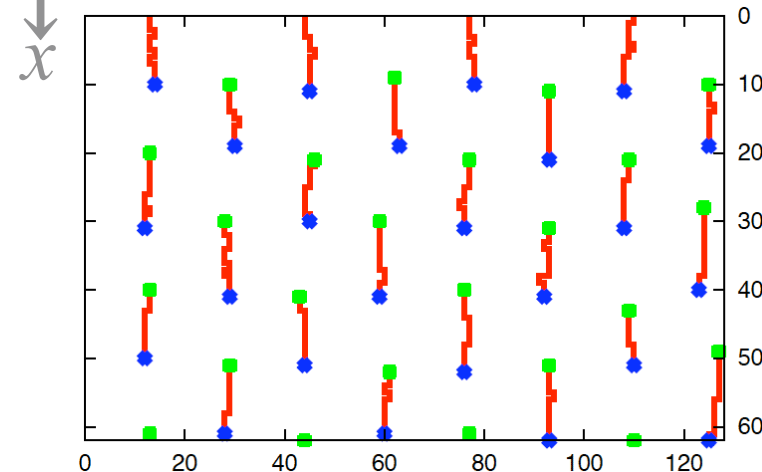
傾斜磁場中でジョセフソン渦糸格子構造が残る：孤立渦糸鎖状態の新解釈



side view (渦糸1列分を表示)

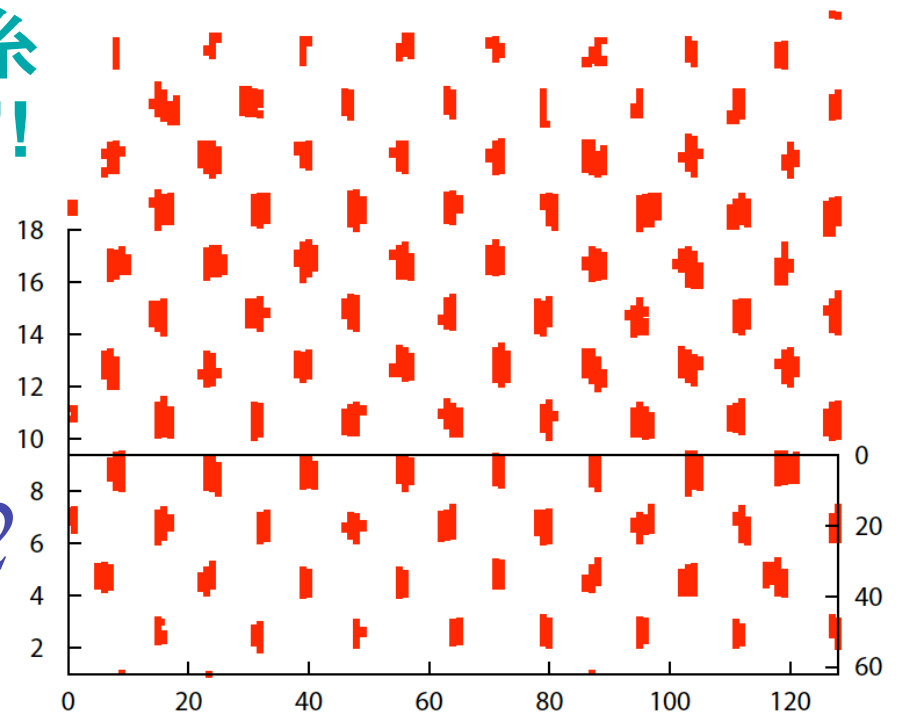
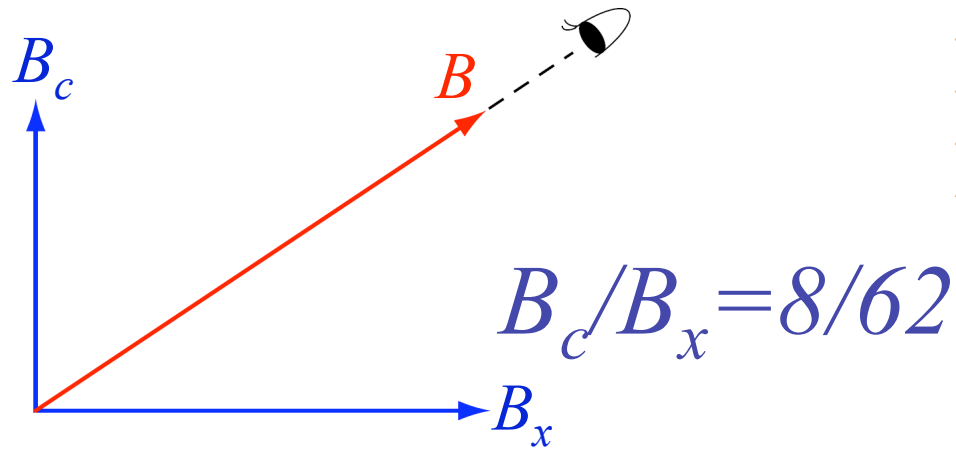


top view (in/out)

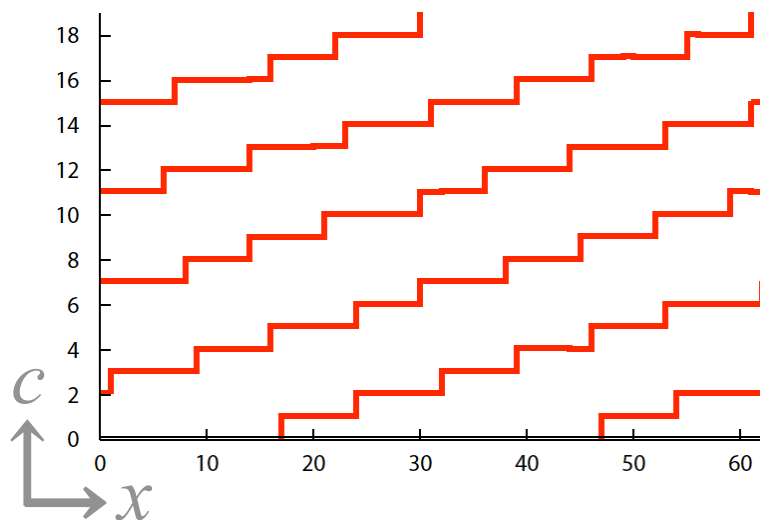




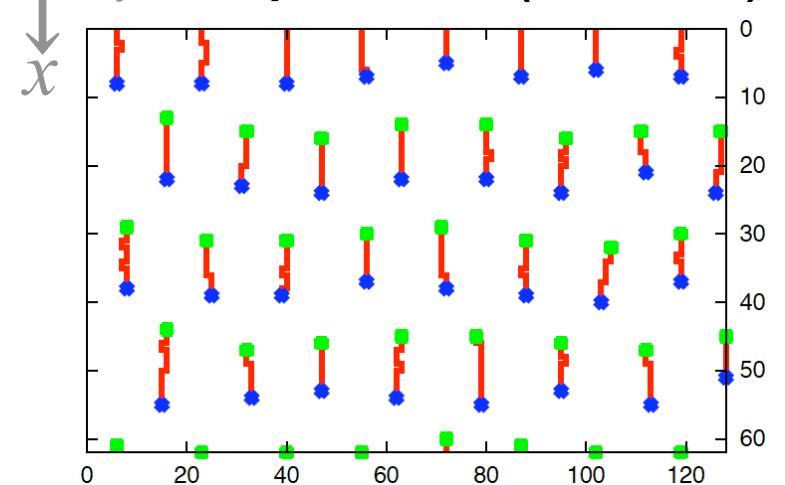
磁場の傾きを大きくすると、渦糸格子の構造相転移が起こった!!



side view (渦糸1列分を表示)

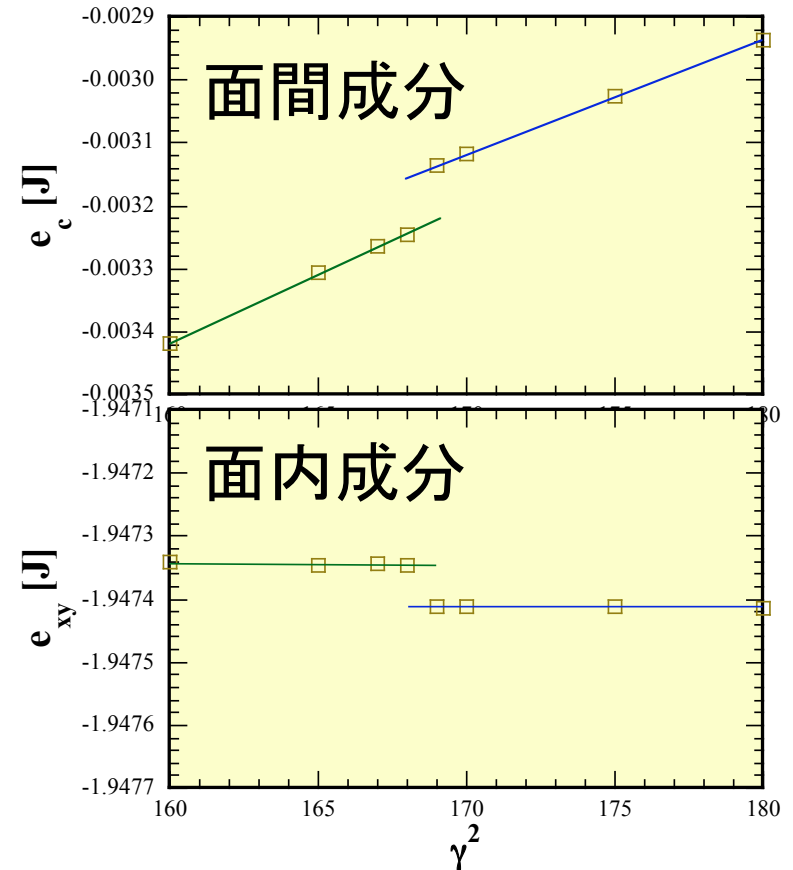
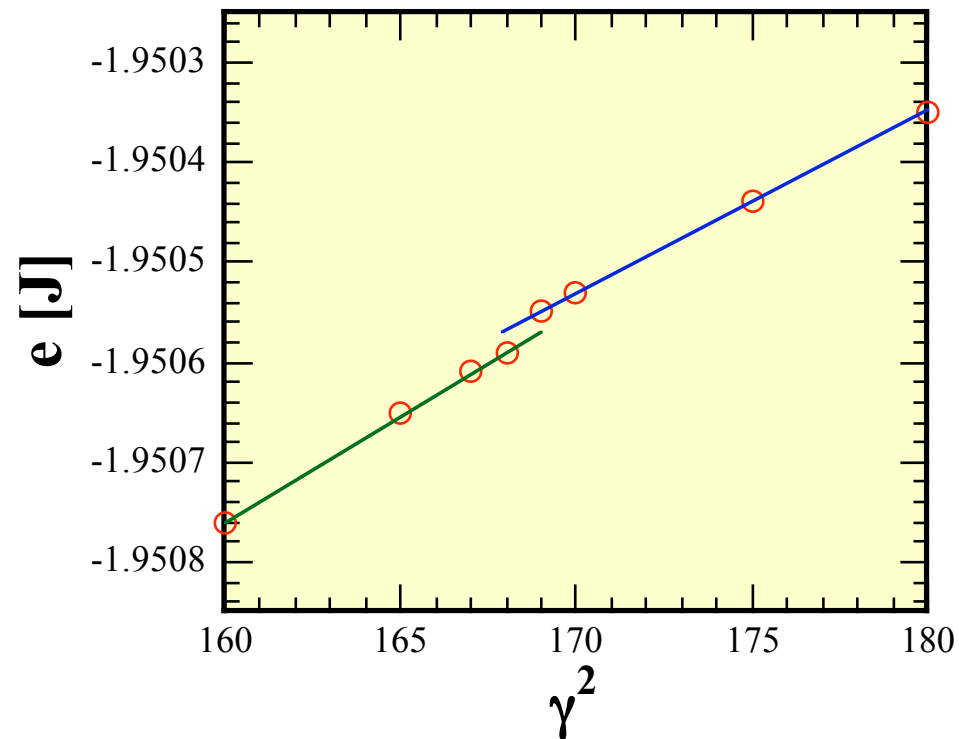


top view (in/out)

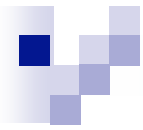


# $B_c/B_x=6/62$ , $T=0.05 J/k_B$ の系における結果

## 内部エネルギーの異方性依存性



磁場の傾きを変えた場合と同様のジョセフソン渦糸格子とアブリコソフ渦糸格子間の構造相転移は、磁場の傾きを固定して異方性を変えても起こり、**1次相転移**と判明



## 後半のまとめ

- 渦糸どうしが相互作用する多体効果を考慮して、傾斜磁場中の渦糸の安定構造を数値的に求めた
- 磁氣的相互作用を無視した従来の研究と相補的な計算でも、孤立渦糸鎖状態が現れることがわかった
- 孤立渦糸鎖状態 = ジョセフソン渦糸格子の構造を保って磁場方向に傾いた渦糸状態、という新解釈
- この計算に磁氣的相互作用を加えた時に、すべての渦糸状態が再現されるかどうかは今後の課題

Y. Nonomura & X, Hu, *Physica C* 412-414, 385 (2004)