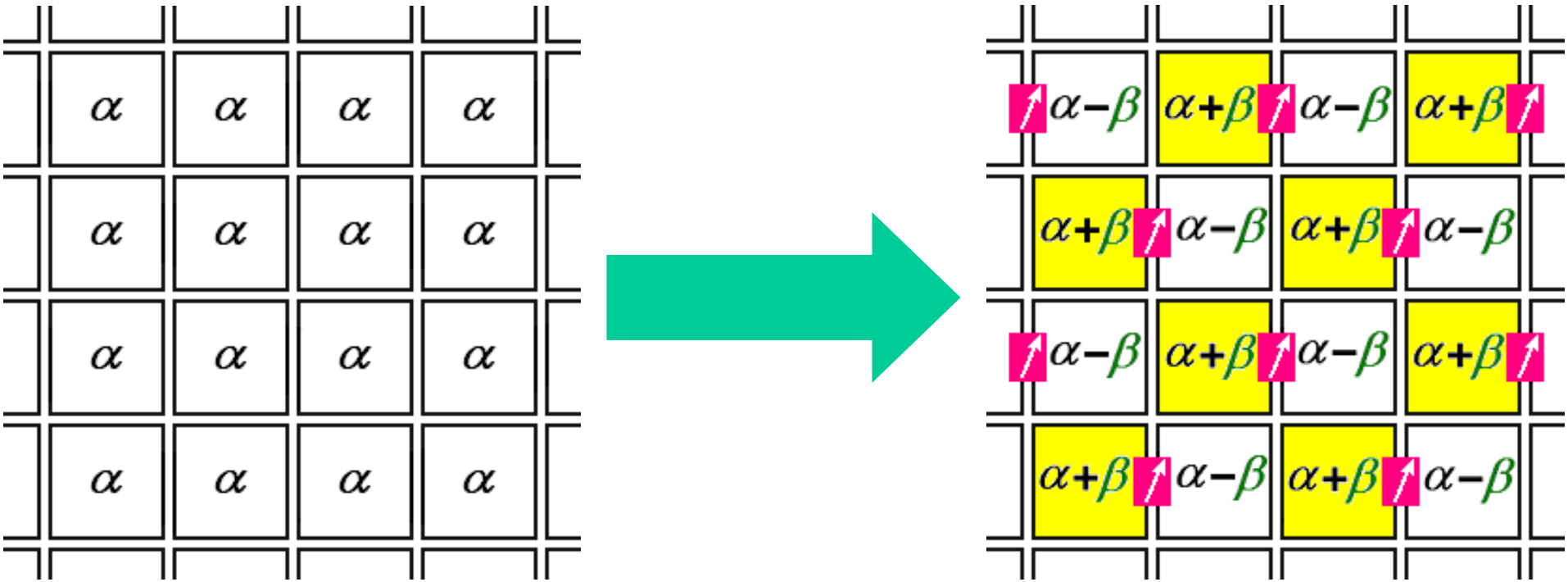
日本物理学会2006年秋季大会 24aXJ-9

超伝導ネットワークの相転移

２００６．９．２４
東大物性研
佐野浩孝、遠藤彰、勝本信吾、家泰弘

変調磁場下の超伝導ネットワーク

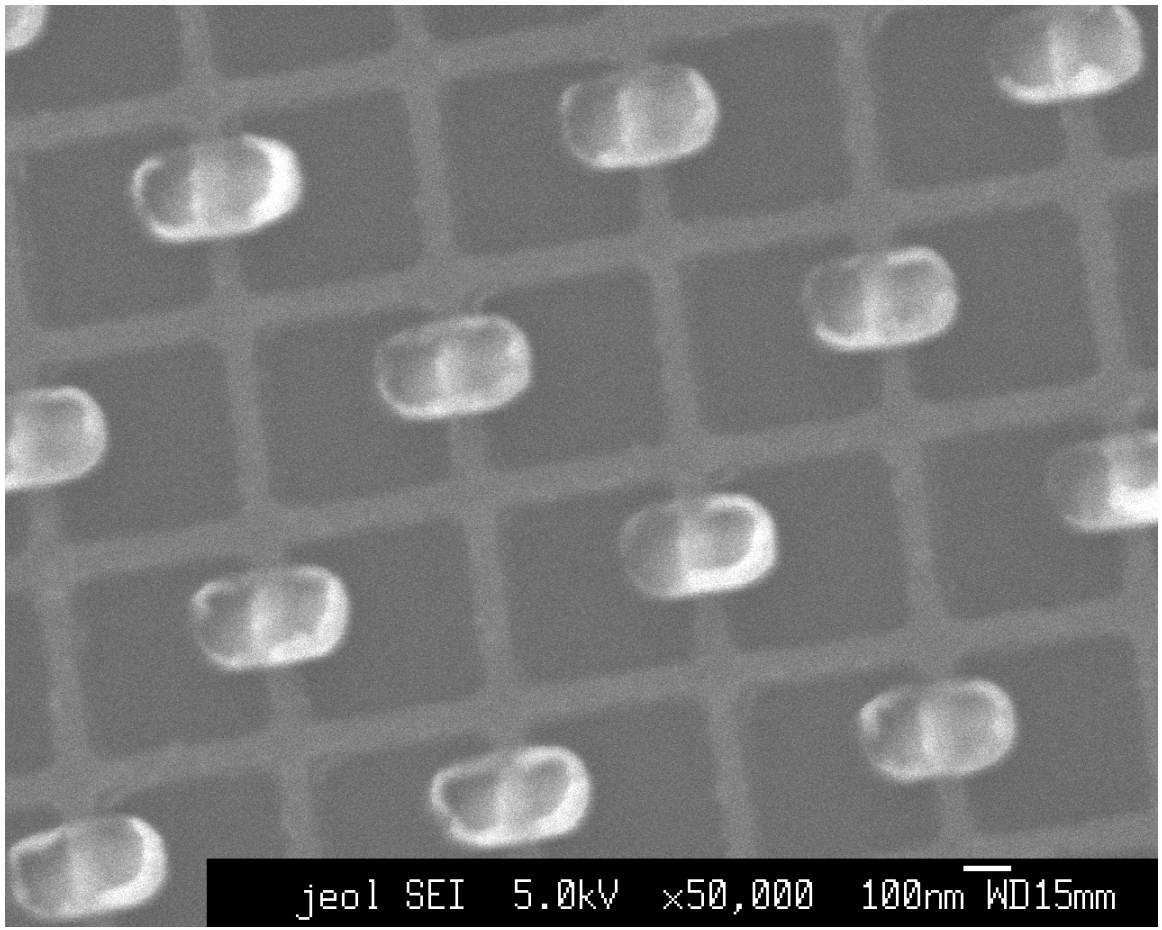
超伝導ネットワークの相転移・・・磁場により大きく変化
磁場の強さ: α（単位格子あたりの磁束量子の本数）で表す



従来の研究
・・・フラストレーションは一様

チェッカーボード型磁場変調
一様成分 α、変調成分 β

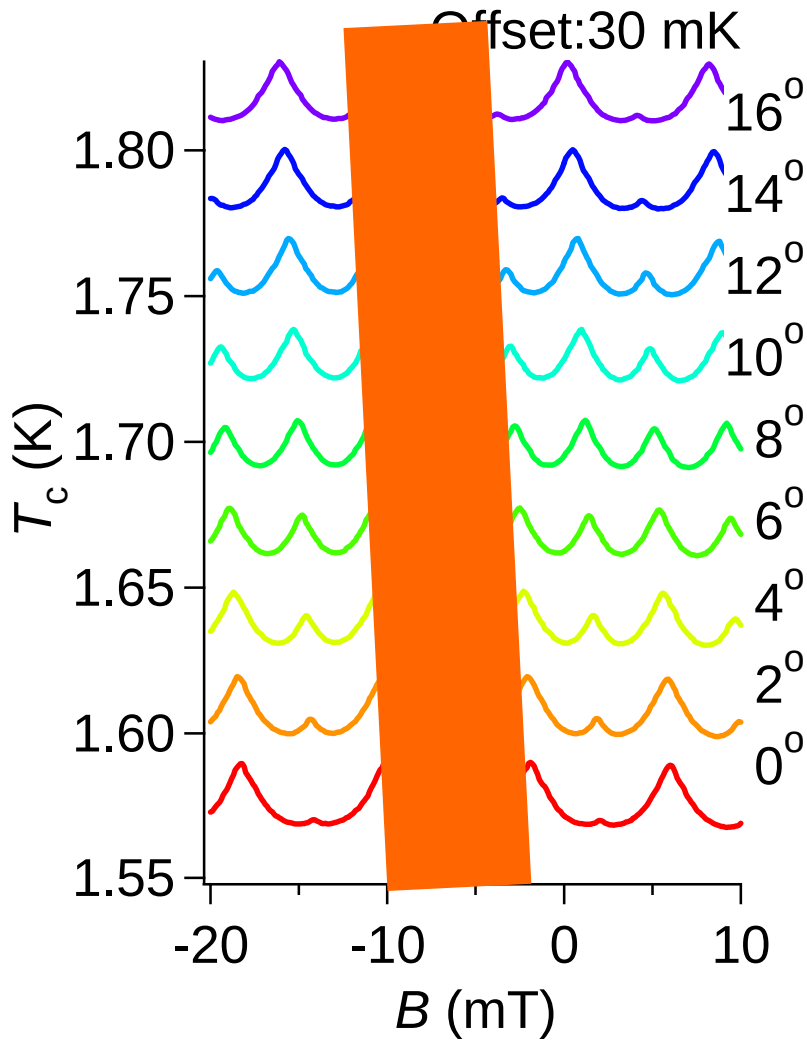
試料

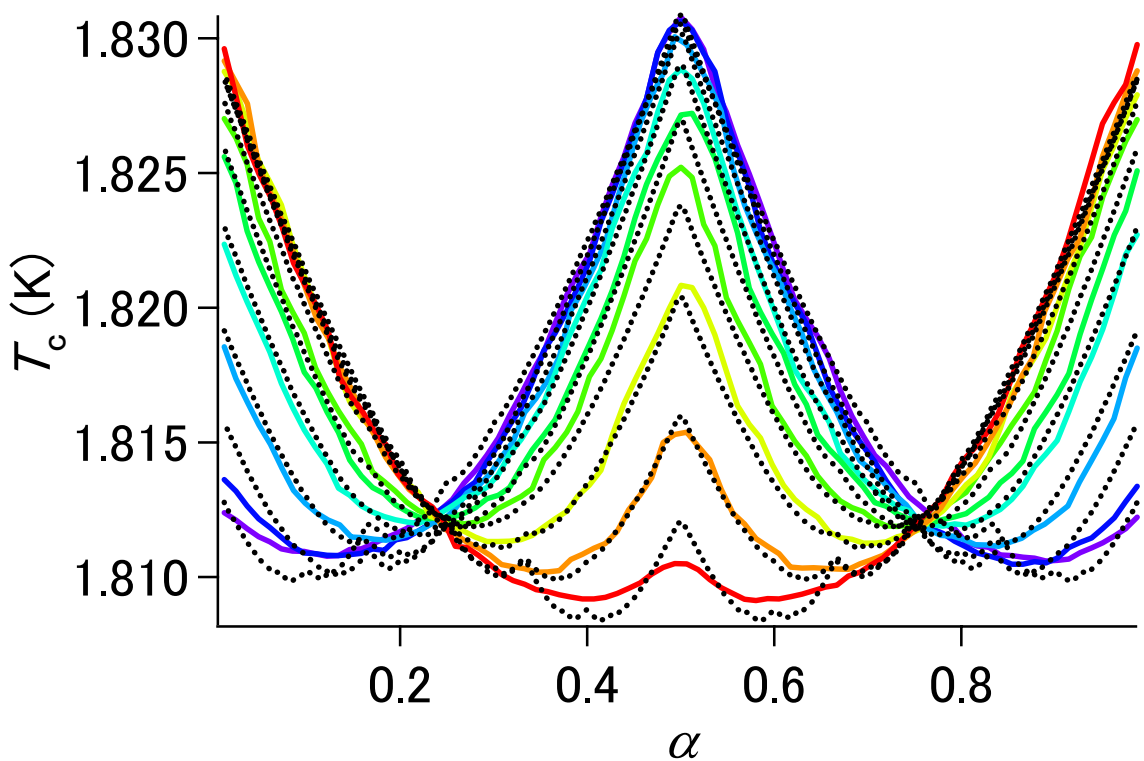


- ネットワーク: Al
  - 300×300
  - 周期　500 nm
  - 線幅　50 nm
  - 厚さ　30 nm
- ドット: Co
  - 縦　150 nm
  - 横　300 nm
  - 厚さ　80 nm

Little-Parks 振動

転移温度の磁場に対する振動＝Little-Parks 振動





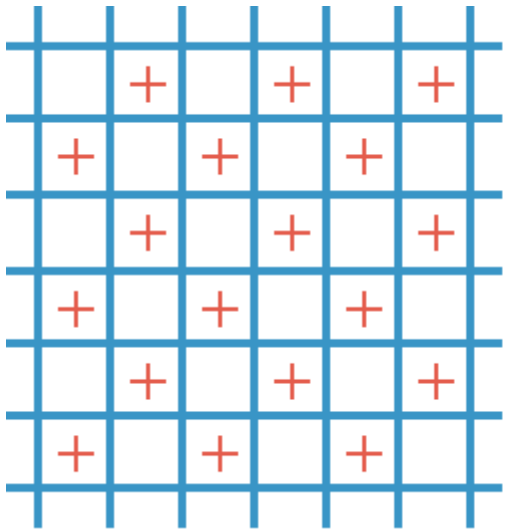
理論曲線（点線）とよく一致

⇒変調を狙い通り制御できている

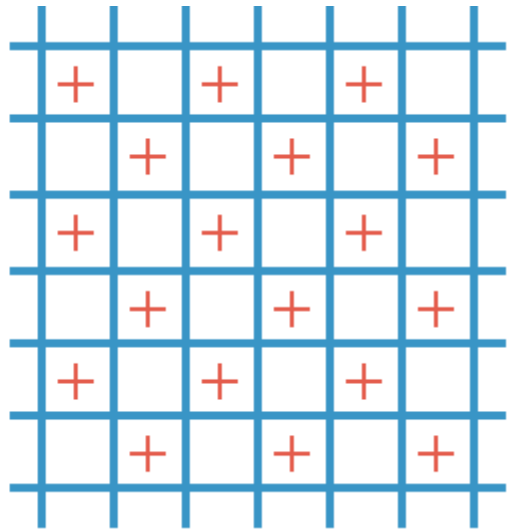
真の超伝導転移

- Little-Parks 振動 : 平均場的超伝導転移
  - オーダーパラメータの振幅に関する相転移
  - オーダーパラメータの位相は揃わない・・・抵抗≠0
- 真の超伝導転移
  - オーダーパラメータの振幅一定⇒自由度は位相だけ
    ⇒XYモデルで記述
  - 外部磁場 = フラストレーションの導入
  - α の値により様々な相転移
    - $\alpha = 0$ 通常のXY モデル⇒KT 転移
    - $\alpha = 1/2$ Fully Frustrated XY (FFXY) モデル

FFXYモデル



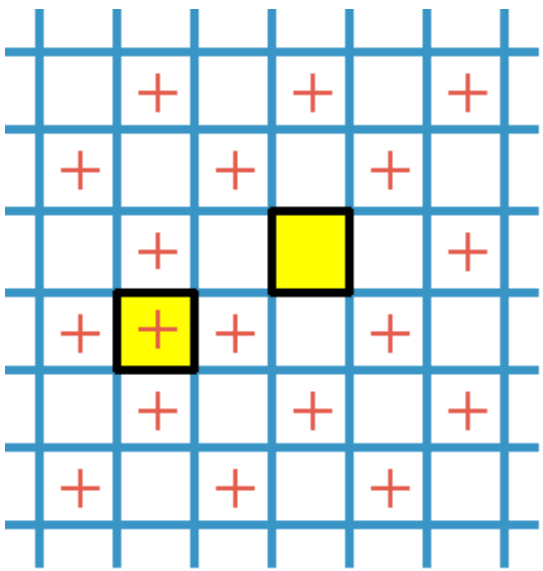
基底状態が2重に縮退



XY spin + Ising spin

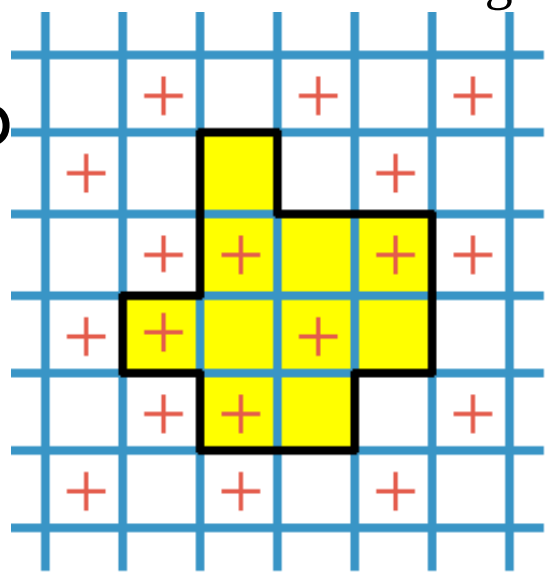
KT転移 (T_{KT})

Ising 転移 (T_{Ising})



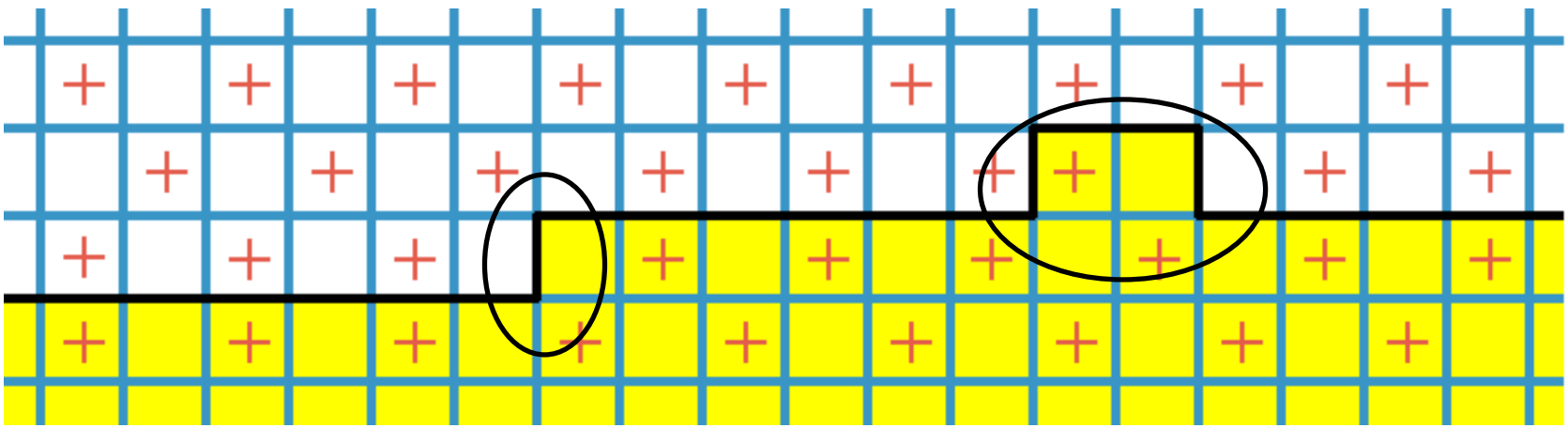
単独で存在する
場合と同じ

$$T_{\mathrm{KT}} < T_{\mathrm{Ising}}$$



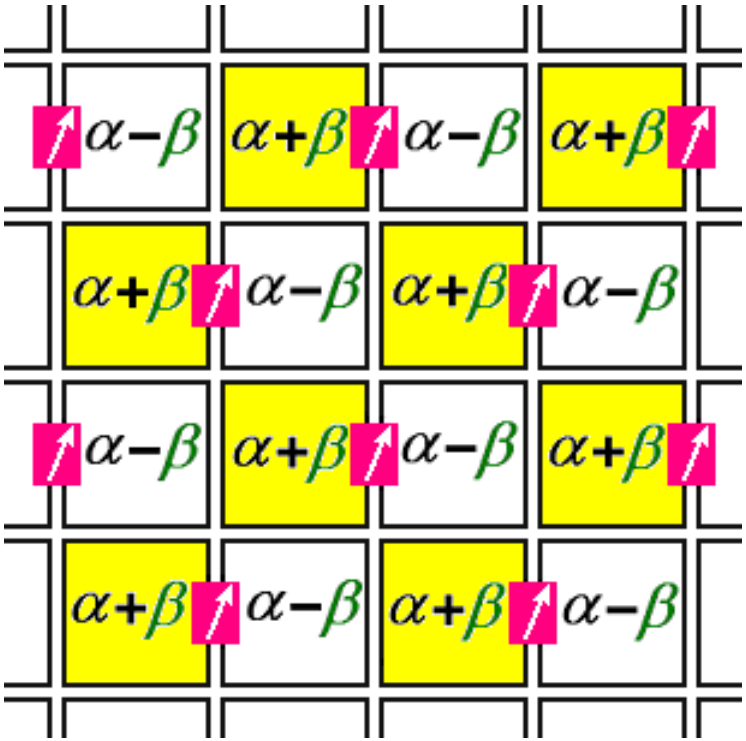
kink の相転移

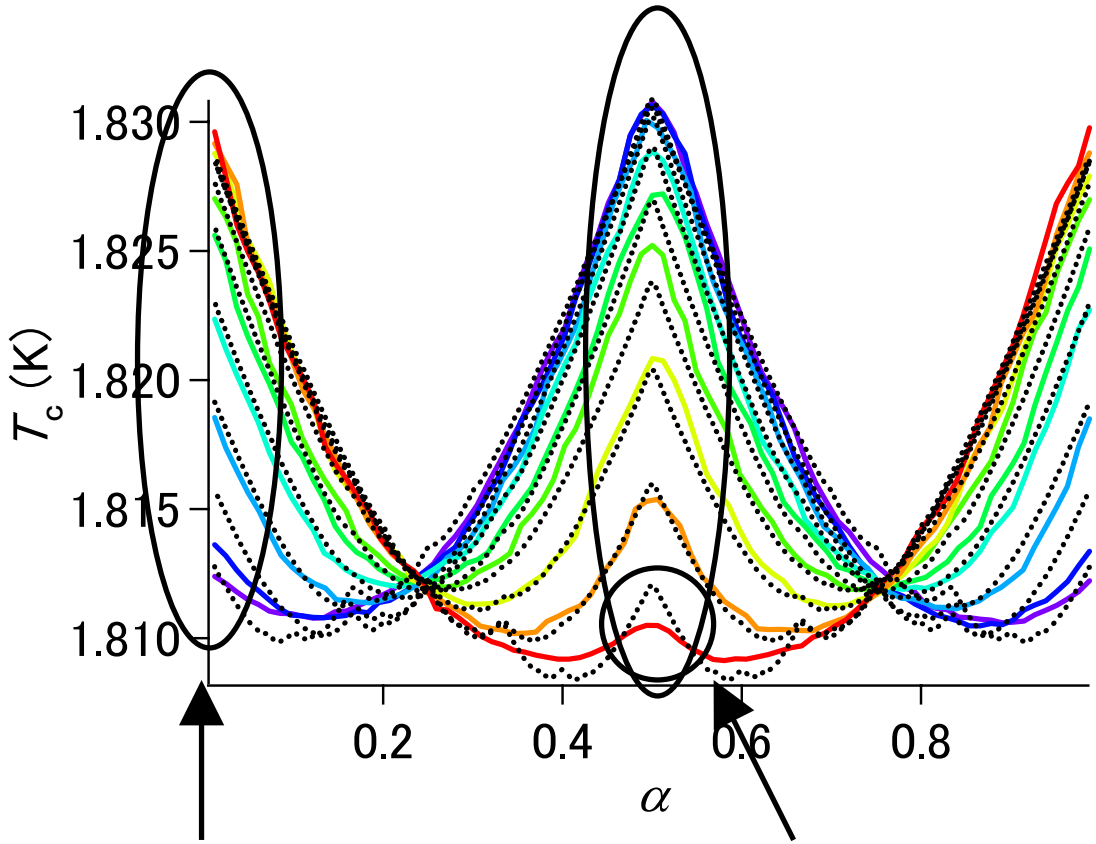
- ドメイン境界におけるkink
  - “simple kink” : 位相の相関を乱す
  - kink 対の生成・解離・・・KT 転移と同じメカニズム
  - 転移温度 $T_{\mathrm{kink}} < T_{\mathrm{KT}}$



FFXYモデルの位相の相転移＝kink の相転移

空間変調磁場





チェッカーボード型変調　　$(\alpha = 0, 1/2 - \beta) = (\alpha = 1/2, \beta)$

⇒縮退が解ける

$(\alpha = 1/2, \beta = 0)$→ 縮退解く → $(\alpha = 1/2, \beta = 1/2)$ ＝ KT 転移

縮退の効果

FFXYモデル・・・ kink の相転移

縮退をとく＝一方の渦糸配置を安定化

1. T_{Ising} が上がる
2. T_{kink} 近傍でのドメインのサイズが小さくなる
3. kink 対の広がりが抑えられる
4. kink による位相の乱れへの寄与が小さくなる

T_{kink} 近傍でも kink の広がり＜渦対の広がり

⇒kink よりも渦対が位相を乱す・・・KT 転移

I-V 特性の変化

真の超伝導転移・・・ I-V 特性にあらわれる

- $\beta = 0$ （完全に縮退） ・・・kink の相転移

  $V \sim I^a (T < T_c) \Leftrightarrow a$: ジャンプ$(T = T_c) \Leftrightarrow V \sim I\,(T_c < T)$
- $0 < \beta$ （縮退が少し解けた）
  - べき指数の変化が緩やかになる
  - T_c が上がる
- $0 << \beta$ （完全に解けた）・・・KT 転移

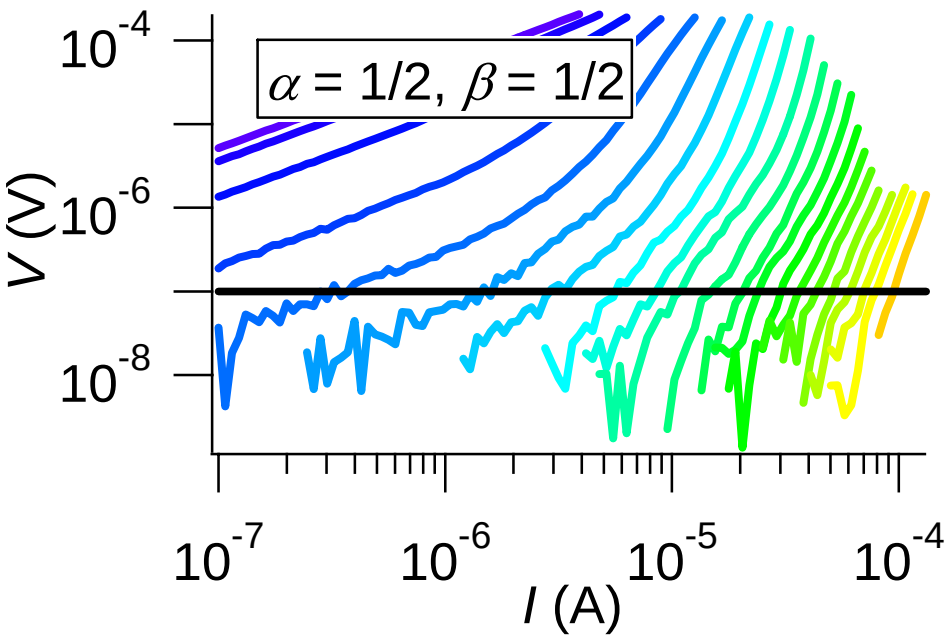
  $V \sim I^a (T < T_c) \Leftrightarrow a$: ジャンプ$(T = T_c) \Leftrightarrow V \sim I\,(T_c < T)$

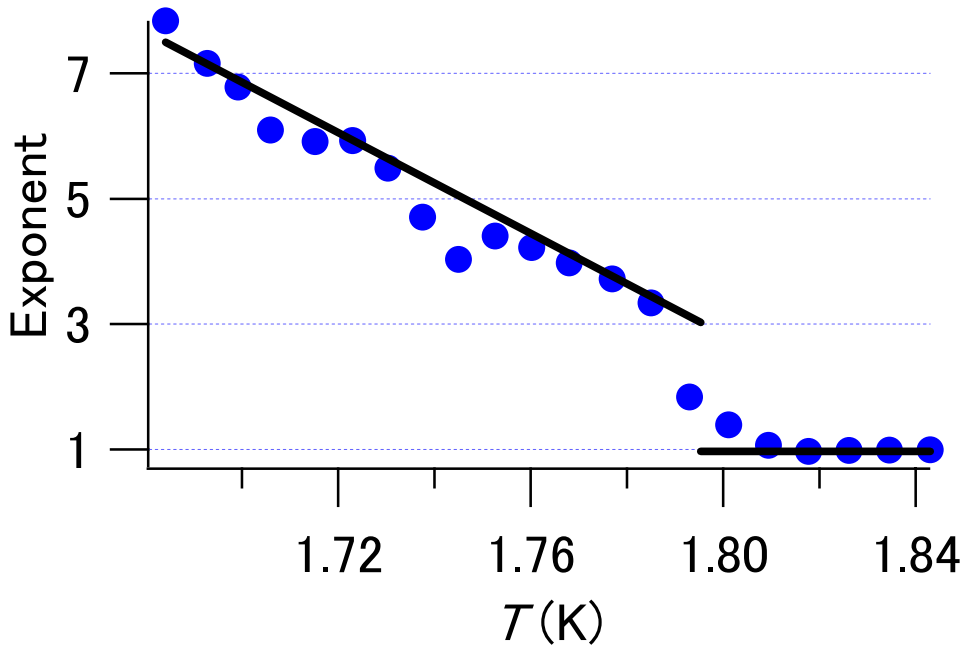
  a は1から3にジャンプ（ユニバーサルジャンプ）

$I-V$ 特性

$(\alpha = 1/2, \beta = 1/2) \Leftrightarrow (\alpha = 0, \beta = 0)$ ･･･KT 転移

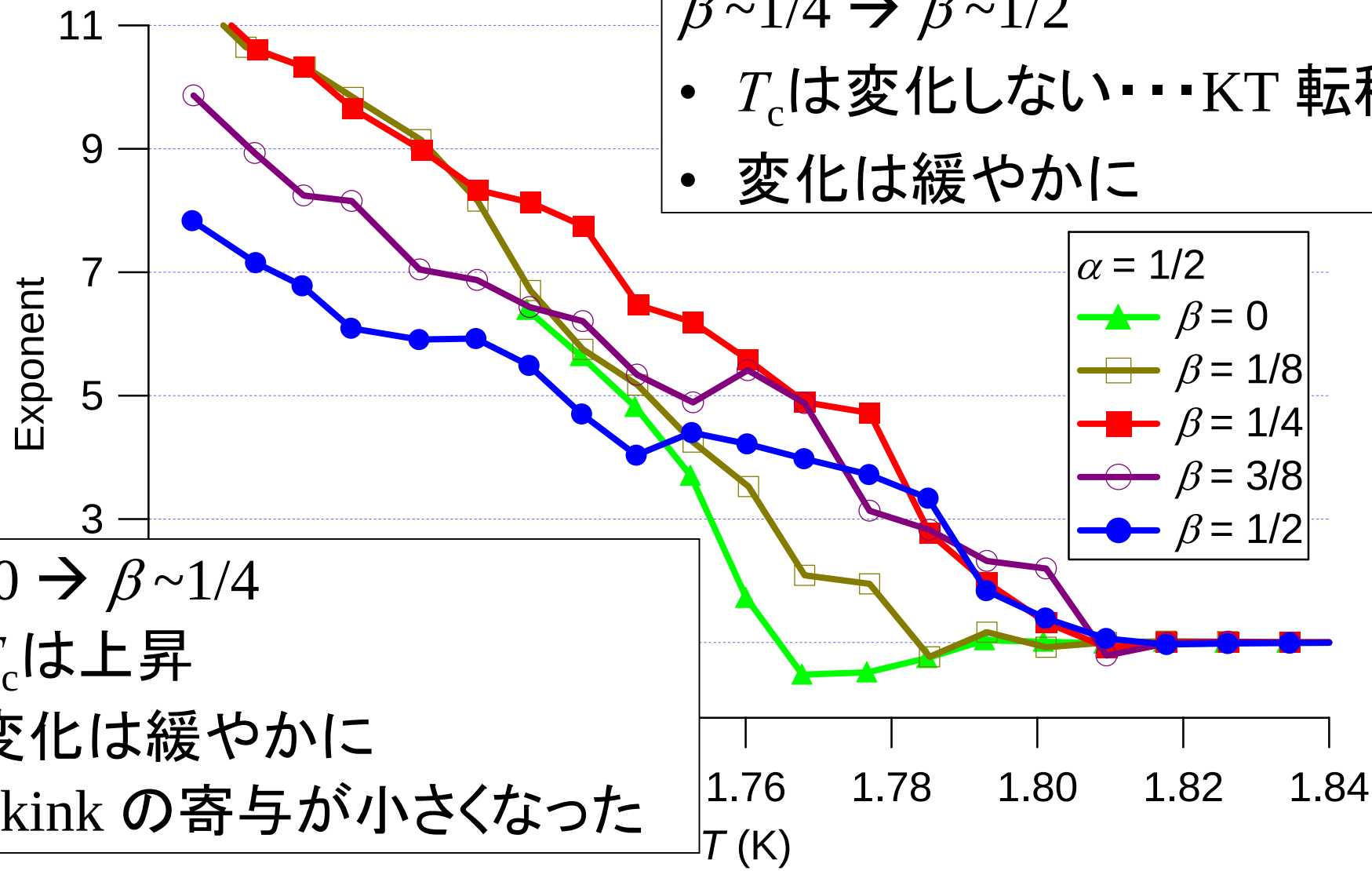
$V \sim I^a$ を仮定⇒べき指数 a の温度変化を比較





予想通り KT 転移を観測

べき指数



β ~1/4 → β ~1/2

- T_cは変化しない･･･KT 転移
- 変化は緩やかに

β ~0 → β ~1/4

- T_cは上昇
- 変化は緩やかに

･･･kink の寄与が小さくなった

まとめ

- 平均場的相転移
  - Little-Parks振動の変調磁場による変化を調べた

  ⇒予想される振る舞いと定量的に一致
- $I-V$ 特性
  - α =1/2におけるべき指数の温度依存性の、変調磁場βによる変化を調べた

    ⇒kink の相転移が磁場変調によってKT 転移へと変化していく様子を観測