

Title	PrCo ₂ Si ₂ の強磁場磁化過程
Author(s)	米延, 賢治; 伊達, 宗行
Citation	大阪大学低温センターだより. 1989, 66, p. 2-6
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/12053
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

PrCo₂Si₂の強磁場磁化過程

理学部 米延 賢治・伊達 宗行 (豊中4155)

1. はじめに

金属間化合物RT₂X₂ (R: 希土類金属, T: 3d, 4d, 5d, 遷移金属, X: SiまたはGe) では、多彩な磁気的秩序が現れることで知られている。¹⁾ その1つであるPrCo₂Si₂は、図1(A)に示した様に、体心立方晶のThCr₂Si₂型結晶構造を持つ。その特徴は同一c面内には同種の原子が配置し、Prのみが磁気モーメントを担い、それはc軸に対してイジング的で、同一面内のスピンは強磁性的であり、c面間は反強磁性的である。^{2)~4)}

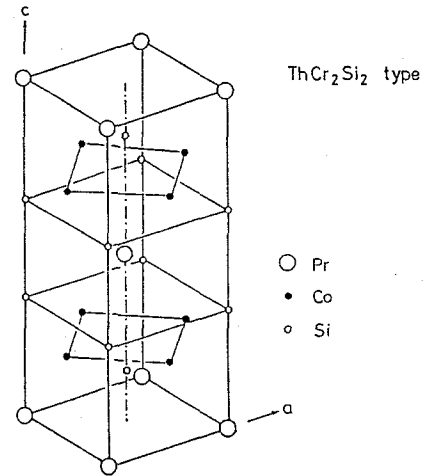
最近の中性子回折の実験により図1(B)に示す様なスピン構造が存在することが報告されている。⁵⁾ その構造は大体反強磁性的ではあるが長周期の磁気構造が見られ、従来の分子場近似等⁶⁾では説明が困難に思われる。そこで我々は、個々の近接相互作用はやめて、長周期の交換相互作用の場の中に置かれた一次元イジングスピン系という考えを導入し、「不整合分子場近似」の方法を考案した。ここではまず実験で得た強磁場磁化過程について述べ、不整合分子場の方法による解析について説明する。

2. 強磁場磁化過程

実験に用いた単結晶試料は広島大藤井グループによって製作され、磁化測定は阪大極限物質研究センター超強磁場部門で行った。試料の電気抵抗は温度4.2 Kで約5μΩcmと金属的なため、パルス幅20 msecのロングパルスマグネットを用いた。

図2に温度1.3 Kでc軸方向に磁場をかけたときの磁化を示す。低磁場で3段のステップ(ヒステリシス有り)、及び磁場122 kOeでヒステリシス無しの飽和磁化に至るステップが見られた。後の説明の

(A) Crystal structure of PrCo₂Si₂



(B) Spin Structure of PrCo₂Si₂

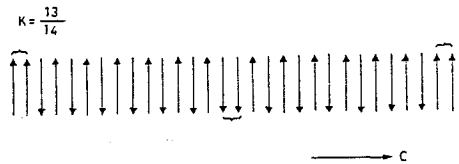


図1 PrCo₂Si₂の結晶構造と磁気構造。1個のスピンは同一c面内の全スピンを代表している。

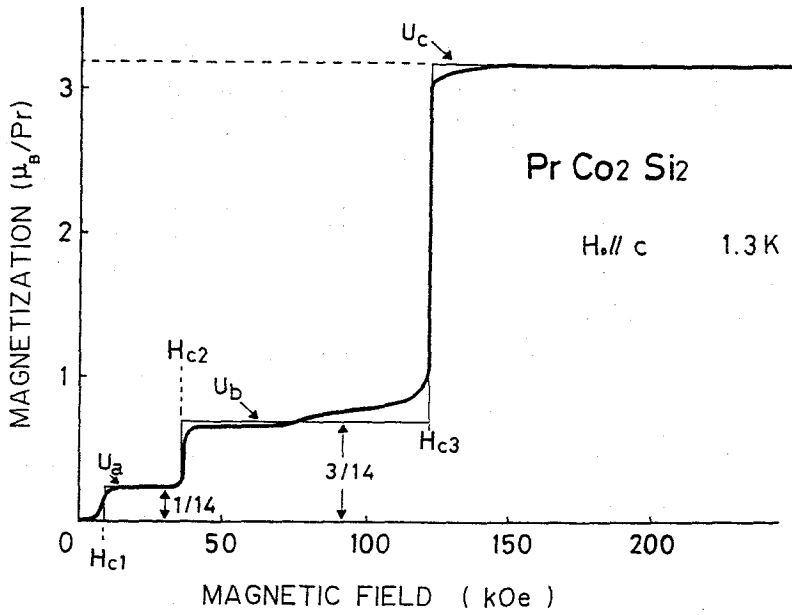


図2 強磁場磁化過程の実験（太線）及び理論（細線）曲線

ため臨界磁場を、ヒシテリスがある場合にはその平均をとった値として、 $H_{c1}=12$ kOe、 $H_{c2}=38$ kOe、 $H_{c3}=122$ kOeとする。各ステップの磁気モーメントの大きさは後で述べる様に、飽和磁化の0、 $1/14$ 、 $3/14$ 、1倍となる。なお磁場70 kOe付近にある小さなステップは無視する。又、c面内の磁化は非常に小さい。

3. 不整合分子場近似

ここでは、実験で得た多段のステップ磁化を説明するために用いるモデルについて述べる。まず図3

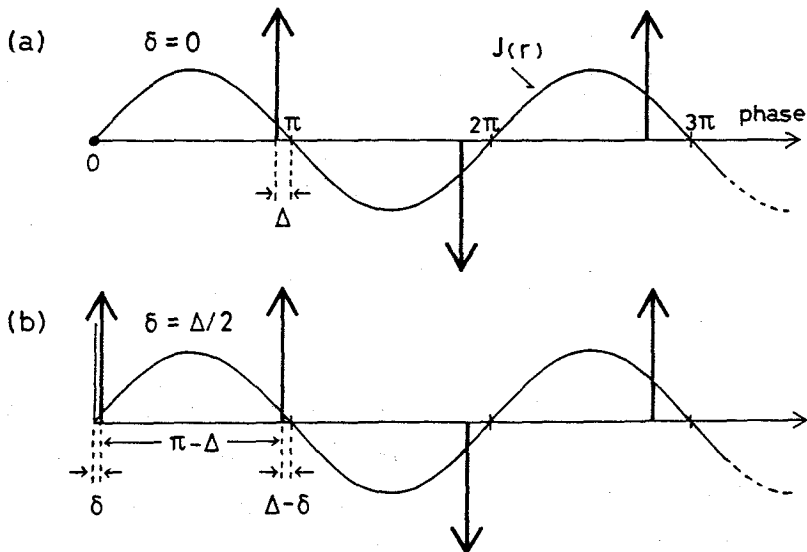


図3 不整合分子場近似によるモデル

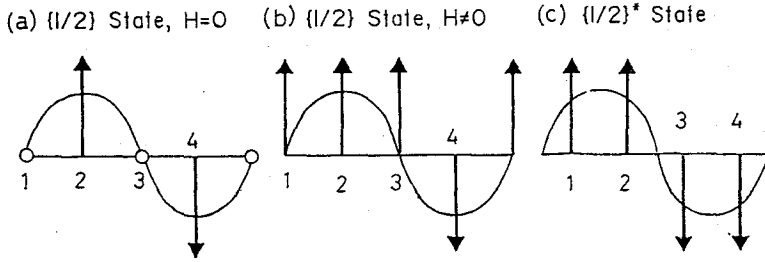


図4 $k=1/2$ の場合の例

に示す様に、RKKY相互作用を念頭に置き波数 k で指定される交換相互作用の場 $J(k)$ があり、その中にイジングスピン系が浸されていると考える。そしてスピンは局所場の方向を向く。図4の(a)で、位相が0のサイトは局所場が0のため、スピンの向きが決まらずバラの状態となる。今考慮すべきパラメータは、 J の絶対値、分子場の波数 k 、分子場に対するスピン系の位相 δ の3つである。図3では、 k にあたるパラメータとして Δ を採っている。なお δ としては、 0 と $\Delta/2$ のみを考えれば良いことが後でわかる。そして $J(k)$ の節にあたる点に近いスピンは、弱い局所場の中にあるため外部磁場によって弱い局所場の中にあたるため外部磁場によって反転しやすく、少数のスピンが反転しても分子場は影響を受けないとしよう。これが磁化過程を説明する際のポイントとなる。こうして温度 0 K、零磁場下のスピン1個あたりの交換相互作用エネルギーを求めると、

$$U_0 = - \left(\frac{J}{N} \right) \sum_{j=0}^{N-1} | \sin(j\Delta - \delta) | \quad (1)$$

となる。ここで N は全スピンの数である。

Δ/π または k が有理数のとき $\Delta/\pi = m/n$ ならば、(1)式において $N=n$ 、 $\Delta = \pi/n$ とできるため、

$$U_0 = - \left(\frac{2\pi}{n} \right) \frac{\sin(\pi/2n) \cos(\pi/2n - \delta)}{1 - \cos(\pi/n)} \quad (2)$$

と簡単になる。 δ について例えば図3の(a)を見れば明らかな様に、分子場に対して格子点を Δ だけシフトしても結晶全体の状態は不変である。したがって $0 \leq \delta \leq \Delta/2$ で十分である。

(2)式より、 $\delta = 0$ が安定になる。図4ではこれを $k=1/2$ の状態について示した。格子点は 2π の整数倍だけ位相を変えることにより、一周期の分子場中に移され、系の状態は $\{k\}$ 、 $\{k\}^*$ で示し、 $\delta = \Delta/2$ の場合を* によって区別してある。

零磁場では(c)の状態をとるが、磁場がある場合、(a)に注目すると、局所場ゼロのサイトは磁気モーメントを磁場方向に出し、(b)の状態へ変わる。すると、結晶全体として飽和磁化の半分の磁化が生じるため、ゼーマンエネルギーを得して、 $\delta = 0$ の状態へ変わる。これを phase slip transition と呼ぶ。

なお、 Δ/π または k が無理数の場合(1)式は積分に帰し、 $U_0 = -2J/\pi$ となる。強磁性および反強磁性状態では $U_0 = -J$ となる。

4. 磁化過程の説明

ここでは図2に示した温度1.3 Kの磁化過程を、3.で述べたモデルによって説明する。磁化過程におけるスピン構造のモデル、及び各状態の自由エネルギーを図5に示す。なお、前にも述べた様に図5の中のスピン構造の図で格子点は 2π の整数倍だけ位相をずらして一周期の分子場中に移して示してある。まず、導入する分子場の波数 k は中性子回折の実験や我々が測定した磁化過程のステップの大きさ比などを考慮し、 $k=13/14$ とする。磁場をかけていくと H_{c1} ではphase slip transitionが起こり、磁気単位胞28スピンのうち1個のスピンが反転する。図5ではこれ等を自由エネルギーの磁場依存性として示してある。この磁場軸は、 $U_b = U_c$ となる磁場を実験値122 kOeに合わせてある。このようにすれば、モデルの与える臨界磁場 H_{c1} 、 H_{c2} は実験値を非常に良く再現する。各磁場での基底状態の磁化を求め、その理論曲線を図2

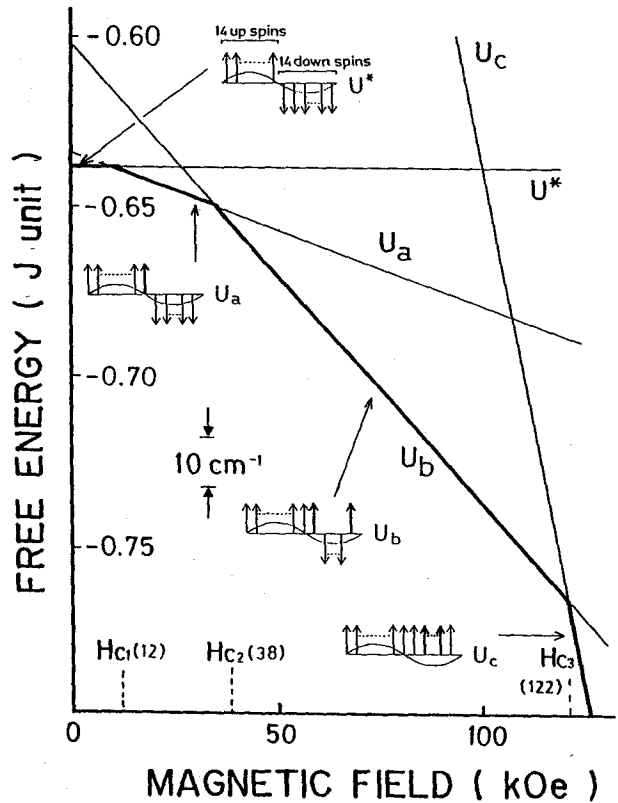


図5 自由エネルギーの磁場依存性と各相の磁気構造。太い実線はモデルによる温度1.3 Kの基底状態である。

の細い線で示す。各ステップの磁気モーメントの大きさは図5のモデルからわかる様に、飽和磁化の0、 $1/14$ 、 $3/14$ 、1倍である。

5. おわりに

3.で述べた不整合分子場の近似の方法を用いると、これまで全く手のつけられなかったCeSb、CeBiの非常に複雑な磁気相図もきれいに説明される。我々の研究を基礎にごく最近行われた、 PrCo_2Si_2 の磁場中の中性子回折実験により、図5で推定した自由エネルギー U_a 、 U_b の状態のスピン構造が確認された。我々の近似方法は、金属及び金属間化合物の磁性に重要な示唆を与えていると思われる。

参考文献

- 1) H. Pinto, M. Melamud, M. Kuznietz and H. Shaked: Phys. Rev. B 31 (1985) 508
- 2) T. Shigeoka, N. Iwata, Y. Hashimoto, Y. Andoh and H. Fujii: in press in Physica B

- 3) J. Leciejewicz, M. Kolenda and A. Szytuta: Solid State Commun. **45** (1983) 145
- 4) J. K. Yakinthos, CH. Routsis and P. Schobinger-Papamantellos: J. Phys. Chem. Solids. **45** (1984) 689
- 5) T. Shigeoka, N. Iwata, H. Fujii, T. Okamoto and Y. Hashimoto: J. Magn. Magn. Mat. **70** (1987) 239
- 6) P. Bak and J. von Bohem: Phys. Rev. **B21** (1980) 5297
- 7) M. Date: J. Phys. Soc. Jpn. **57** (1988) 3682
- 8) T. Shigeoka and H. Fujii: Private Communication