

Ceフタイトの磁性と伝導

東北大・理 世良正文・鈴木孝・糟谷忠雄

Ceフタイトは、異常な磁性を示す物質として知られているが、中でもCeSb, CeBiは特に異常であるとして、最近注目を集めている。従来CeSb, CeBiについて知られていた異常磁性としては、次の3点があげられる。(1) para領域での結晶場分裂が異常に小さい。点電荷モデルでの300K近い結晶場分裂がほとんど打ち消されており、CeSbで37K, CeBiで8Kである。(2) para領域での結晶場分裂が小さいにもかかわらず、秩序状態で異常に強い $\langle 001 \rangle$ 方向の磁気異方性が存在する。(3) 磁気相図が非常に複雑である。

最近、我々の理論グループによって、上記の(1), (2)の異常を同時に説明できるp-f mixingによるモデルが提唱された⁴⁾。CeSb, CeBiは半金属であり、valence bandは主にフタイトのp状態から成り、 Γ 点に数%のホール、X点に同数の電子が存在すると考えられる。4fレベルはフェルミレベルから約1eV下にあり、4fと最も近いpとのmixingが重要になる。p-f mixingが結晶場と同じ形で書け、点電荷モデルと逆の傾向をもつことから、para領域での結晶場分裂を小さくしている。また、p-f mixingが異方的であることから、order状態で異常に強い $\langle 001 \rangle$ 方向の磁気異方性を生ずる。

p-f mixingは、CeSbよりホール数の多いCeBiの方が強いと考えられるので、CeBiをLaで薄めて、4f電子の数を減らして行けば、p-f mixingは弱くなり、どこかで、ホール数の少ないCeSbと同じ位の強さになり、CeSbと同じような現象を示すようになることが期待される。また、そういう現象が起これば、それはp-f mixingモデルを立証したことになると考えられる。我々の行った $Ce_{1-x}La_xY$ ($Y=Sb, Bi$) の熱膨張、電気抵抗の測定で、実際に、そういう現象が見出された。

Fig. 1. 2 はそれぞれ $Ce_{1-x}La_xSb$, $Ce_{1-x}La_xBi$ の C 軸方向の熱膨張である。
 $Ce_{0.3}La_{0.7}Bi$ と $Ce_{0.3}La_{0.2}Sb$, $Ce_{0.7}La_{0.2}Sb$ のふるまいか。 $H=0, 85kOe$ の場合共に、よく似ていることから、上に述べた理由で、p-f mixing モデルを裏付ける一つの証拠であると考えられる。次に、para 領域での基底状態が Γ_7 であることがわかる。 Γ_7 は、 Γ_8 のように隣接する f-orbitals を引寄せて mixing して得をしようとすることがない。したがって、 Γ_7 が基底状態であれば、温度が下がるにつれ、その population が増えるために、結晶は膨張することになる。結晶場分裂は、 $CeSb$ で 37K, $CeBi$ で 8K, T_N は $CeSb$ で 16.5K, $CeBi$ で 25.5K であるために、 $CeSb$ では格子定数に min が現われるが、 $CeBi$ では min が現われる前に order するということになる。この $CeBi$ を La で薄めて行くと、 T_N が下がり、結晶場分裂が大きくなるために、 $CeSb$ と同じように min が現われることになる。

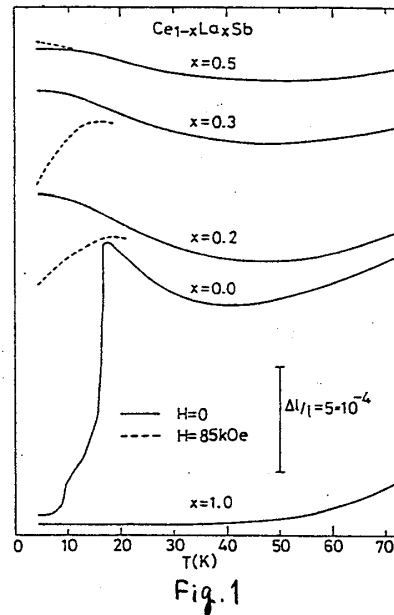


Fig. 1

温度が下がるにつれ、その population が増えるために、結晶は膨張することになる。結晶場分裂は、 $CeSb$ で 37K, $CeBi$ で 8K, T_N は $CeSb$ で 16.5K, $CeBi$ で 25.5K であるために、 $CeSb$ では格子定数に min が現われるが、 $CeBi$ では min が現われる前に order するということになる。この $CeBi$ を La で薄めて行くと、 T_N が下がり、結晶場分裂が大きくなるために、 $CeSb$ と同じように min が現われることになる。

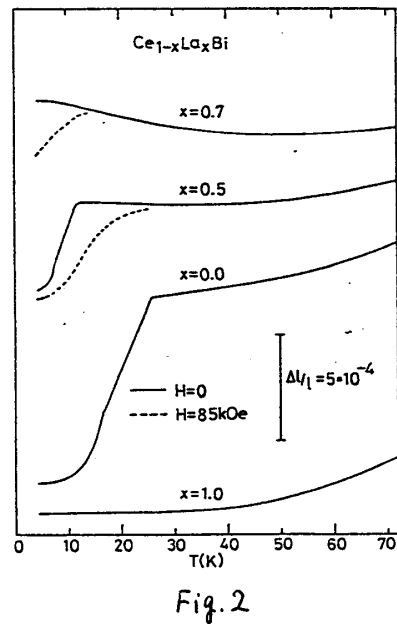


Fig. 2

$Ce_{0.7}La_{0.3}Sb$ と $Ce_{0.5}La_{0.5}Sb$ の $H=85kOe$ の下でのふるまいの違いは、容易軸がそれぞれ $\langle 001 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ であることに対応していると考えられる。 Γ_7 が基底状態の時の磁化容易軸は、

$\langle 111 \rangle$ である。 $Ce_{0.7}La_{0.3}Sb$ では、また p-f mixing が強く、磁場をかけると、基底状態は ordered Γ_8 に変換されて体積は縮むが、 $Ce_{0.5}La_{0.5}Sb$ では、p-f mixing が弱くなり、100kOe 程度の磁場では、また Γ_7 が基底状

態であるため結晶は縮まな¹¹、と考えられる。

p-f mixingモデルでは、para領域でも強い磁場によって、磁気異方性が誘起されることが予想されていた。我々は、これを確かめるためにpara領域での磁化、磁気抵抗の角度依存性の測定を行った。

Fig.3は、 $H \approx 80 \text{ kOe}$ の下での $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ 方向の磁化の温度変化である。4.2Kでの $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ 方向の磁化の比は $1:1/\sqrt{2}$ であり、Fig.3では、それにnormalizeして示している。高温で異方性がな¹¹とすれば、高温での $\langle 100 \rangle$ と $\langle 110 \rangle$ 方向の磁

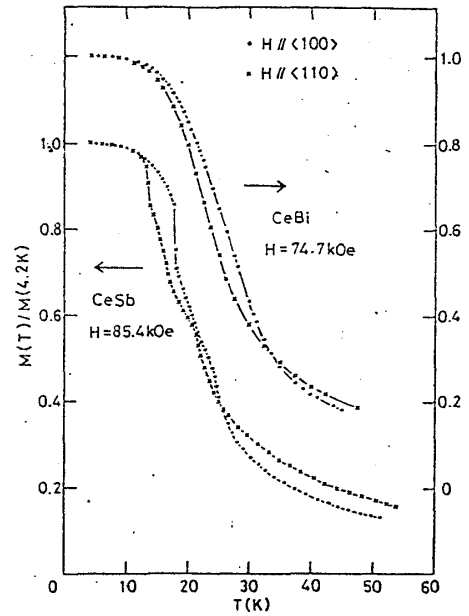


Fig.3

化の比は $1: \sqrt{2}$ になるはずであるが、実験では、40Kで、CeSbの場合、 $1:1.27$ 、CeBiの場合、 $1:1.04$ になっている。このことは、高温のpara領域でも、強い磁場によって異方性が誘起されていることを示している。また、誘起された異方性は、CeSbよりCeBiの方が大きいこともわかる。85kOeの磁場の下で行なった磁気抵抗の角度依存性の測定からも、para領域で磁気異方性が誘起されていることが確かめられた。

Fig.4.5は、それぞれ $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{Bi}$, $\text{Ce}_{1-x}\text{La}_x\text{Sb}$ の電気抵抗である。

$\text{Ce}_{0.3}\text{La}_{0.7}\text{Bi}$ と CeSb のふるまいがよく似ていることから、熱膨張と同じ理由で、p-f mixing モデルを裏付ける1つの証拠であると考えられる。

CeBi, CeSb の T_N 近傍でのふるまいは、Kasuya-Kondo理論によって、次のように説明される。CeBiの T_N のすぐ下の温度では、(+ -) という反強磁性相であるため、 $q=2\pi/a$ のゆらぎが大きくなり、このゆらぎによってX点の電子が散乱されて、その行き先の Γ 点にホールがあるために、抵

抗が増大する。

一方, CeSbで

は, T_N のすぐ

下の温度では

(+0-)と(11)

反強磁性相で

あるため,

$\phi = \frac{2}{3} \cdot \frac{2\pi}{a}$ のゆ

らぎが大きく

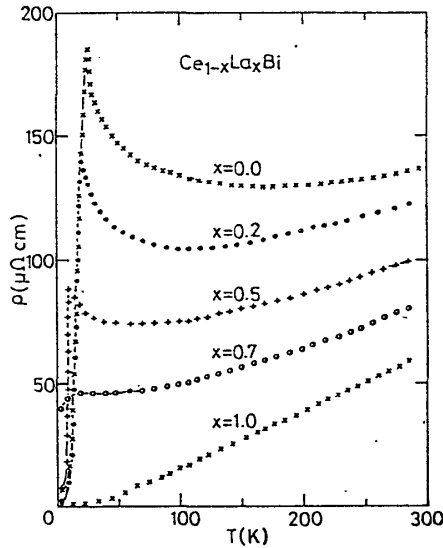


Fig. 4

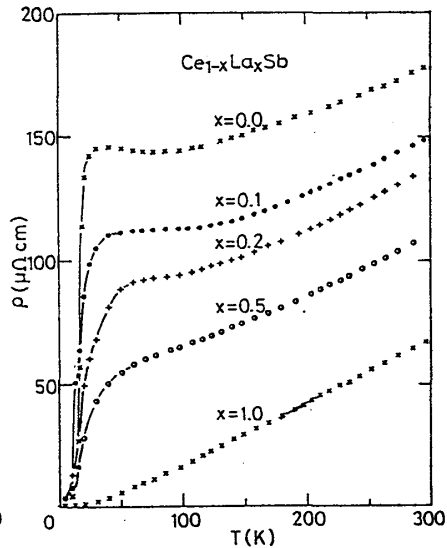


Fig. 5

なるが, このゆらぎによ, Γ_2 X点の電子が散乱されても, 行き先のホール密度が少ないために抵抗の増大は見られない。Ce_{0.3}La_{0.7}Biで20K付近にbroadなピークがあることから, CeBiでもやはり, broadなピークに臨界散乱によるsharpなピークが上乘せされておると考えられる。そこで問題は, CeSbで見られるbroadなピークの原因が何か, ということである。典型的なdense Kondo systemであるCeAl₂, CeAl₃の抵抗のふるまいによく似ていることから, CeSb, CeBiでもやはり, dense Kondo的ふるまいが現われているのではないかと考えられる。そこで, CeSb, CeBiは, 従来のdense Kondo systemとは, 4fとのmixingに大きく寄与しているのがホールであるという点で, 大きく異なる。つまり, p-band dense Kondo systemであるが, これは今後の課題である。

Fig. 6は, CeSbの磁気抵抗である。FP相で, 抵抗の増大が見られる。paraのplaneは比熱, 磁歪の測定から, Γ_2 から成, ている

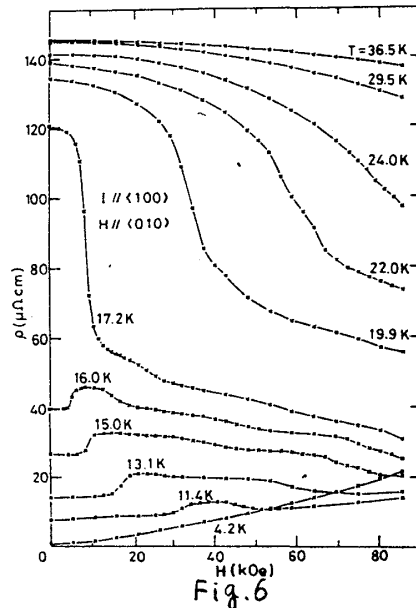


Fig. 6

ことがわかった。このこと、抵抗の増大は f によるものと考えられる。

FP相の para plane については、 f - f 間の相互作用が、 f - f 間のよう
に mixing を媒介とした強い相互作用がないために、非常に弱く、10K
程度の温度では order してはいない f の para であると考えられる。比熱か
らは、ほとんど完全に random になっただけにもかかわらず、抵抗の増
大はそれほど大きくなく、 f と $5d(e_g)$ 伝導電子の exchange interaction もあ
まり大きくなないと考えられる。

CeSb, CeBi のホール効果は、相図に対応して複雑なふるまいを示すが、
高温では、負で、磁場に対してほぼリニアであり、この傾きから求め
た carrier 数は、single carrier と仮定して、それぞれ 3.2%, 9.8% である。
ホールは f との mixing に寄与するためモビリティが小さく、伝導に寄与す
るのは主に電子であると考えられる。

以上をまとめると次のようになる。(1) $Ce_{1-x}La_xY$ ($Y=Sb, Bi$) の熱膨張
電気抵抗の測定の結果、 p - f mixing を裏付ける証拠が得られた。(2) 熱膨
張の測定から、para 領域での基底状態が f であることがわかった。(3)
para 領域でも強い磁場によって磁気異方性が誘起されること p - f mixing
モデルで予想されていたが、これを確かめた。(4) CeSb, CeBi の抵抗の T 近傍
でのふるまいは、Kasuya-Kondo 理論で説明される。(5) f と p との mixing
が重要である CeSb, CeBi の電気抵抗で、dense Kondo 的ふるまひが見出さ
れた。(6) CeSb, CeBi のホール効果の測定の結果、相図に対応した複雑な
ふるまひが見出された。

references

- 1) R.J. Birgeneau, E. Bucher, J.P. Maita, L. Pussel and K.C. Turberfield
Phys. Rev. B 8 (1973) 5345
- 2) G. Bush and O. Vogt Phys. Letters 25A (1967) 449
- 3) J. Rossat-Mignod Phys. Rev. B 16 (1977) 440
- 4) K. Takegahara, H. Takahashi, A. Yanase and T. Kasuya
Proc. of Int. Conf. on Crystal Field and Structural
Effects in f -Electrons Systems (in press)