

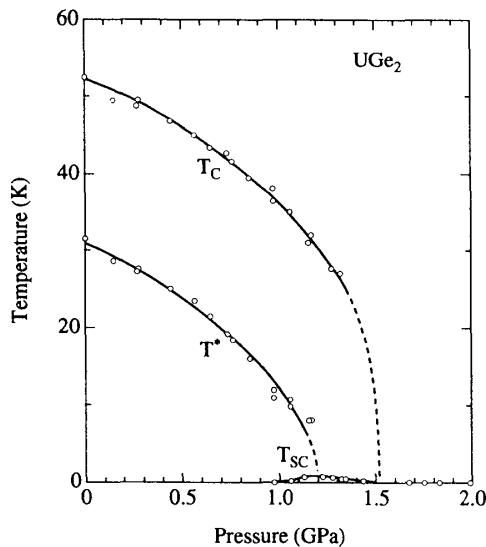
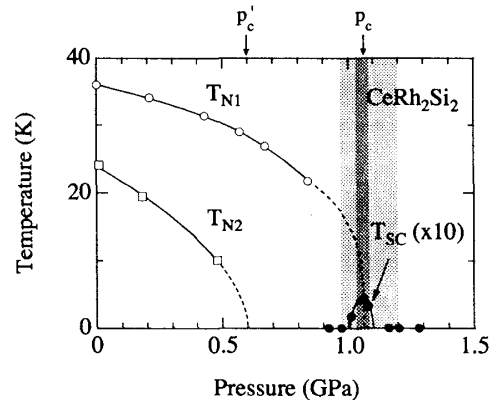
UGe<sub>2</sub>, CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>, CeRhIn<sub>5</sub> の量子臨界点現象

大阪大学大学院理学研究科・日本原子力研究所先端基礎研究センター  
大貫惇睦

希土類・ウラン化合物の局在性の強い  $f$  電子と結晶中を遍歴する伝導電子が低温で織りなす強相関電子系は、これまでいろいろな興味あふれる観点から研究されてきた。その基本は RKKY 相互作用と近藤効果の競合にある。筆者らはこの数年加圧によって磁気秩序や電子状態を変える実験を様々なセリウム・ウラン化合物に対して行ってきた。ここでは UGe<sub>2</sub> [1-3], CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> [4,5], CeRhIn<sub>5</sub> [6] について述べる。

(1) 強磁性体 UGe<sub>2</sub>

UGe<sub>2</sub> は斜方晶 Cmmm の結晶構造でキュリー温度  $T_C = 53$  K の異方的な強磁性体である。UGe<sub>2</sub> についてはすでに筆者らによって解説があるので、簡単に触れるにとどめる [7]。図 1 のキュリー温度  $T_C$  ともう一つの相転移温度  $T^*$  及び超伝導転移温度  $T_{SC}$  に対する圧力相図に示すように、UGe<sub>2</sub> は強磁性状態で超伝導が出現する。

図 1 UGe<sub>2</sub> の圧力相図図 2 CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の圧力相図(2) 反強磁性体 CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>

正方晶 CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は磁氣的性質が RKKY 相互作用に基づくような普通の反強磁性体であり、電子比熱係数  $\gamma = 23$  mJ/K<sup>2</sup>·mol と小さく、LaRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の 2 倍である。ネール温度は  $T_{N1} = 36$  K で  $T_{N2} = 24$  K で磁気構造が変わる。

さて加圧とともに図 2 に示すようにネール点  $T_N = 36$  K は  $p_c \approx 1$  GPa でゼロになる。 $T_{N2}$  は約 0.6 GPa でゼロとなる。この物質系は電流の方位に依らず全圧力で  $\rho = \rho_0 + AT^2$  のフェルミ液体の性質が成り立つ。係数  $A$  は  $p_c$  で最大となる。

超伝導が見出されるのは  $0.85 < p < 1.2$  GPa である。ただし、図 3 に示すようにシャープな電気抵抗ゼロは  $p_c$  付近の圧力幅として 0.05 GPa の極めて狭い圧力領域である。

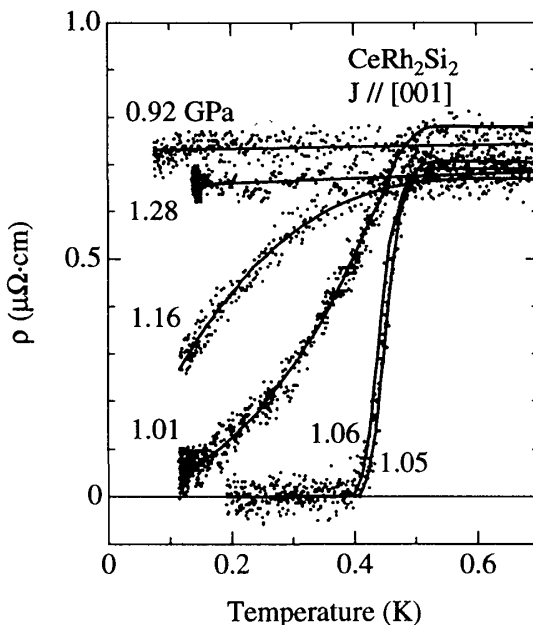


図 3 CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の圧力下の電気抵抗の温度変化

この物質系に対して電子状態を明らかにするために加圧下でのドハース・ファンアルフェン効果の実験を行った。図 4 (a) はフェルミ面の極値断面積  $S_F$  に対するドハース・ファンアルフェン振動数  $F(=chS_F/2\pi e)$  の圧力依存性である。常圧で見出されたブランチ d,  $\pi$ , o,  $\kappa$ ,  $\zeta$  などは基本的には LaRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> のフェルミ面で説明可能である。これは 4f 電子が局在していることの反映である。磁気構造が変化すると磁気ブリルアンゾーンを反映した新たなブランチ p, q, r が見出される。強調したいのは  $p > p_c$  で  $p < p_c$  の dHvA ブランチとは全く異なる A, B, C が検出される。この 3 種類のブランチは 4f 電子を遍歴電子と仮定したフェルミ面で説明可能である。つまり、フェルミ面の形状は  $p = p_c$  で急激に変わり、 $p_c$  は 1 次の相転移を意味している。一方、図 4 (b) はそれぞれのブランチのサイクロトロン質量の圧力依存性である。圧力とともに増大し、特に 0.8 GPa 以上で急激に増大する。局在 4f 電子は伝導電子と近藤効果を通して遍歴電子になると予想されるが、 $p < p_c$  ではフェルミ面の形状は変わらないので、ダイナミカルな現象であると結論される。つまり、中性子散乱の実験から 4f 電子の磁気モーメントは  $T_{N1}$  の圧力依存性とほぼ同様に減少するが、磁気モーメントの大きさそのものが小さくなるというよりは、磁気モーメント (スピン) が揺らいでいることによるのではないかと思われる。

ところが、UGe<sub>2</sub> の場合は 3d 電子とやや似ていて、5f 電子は伝導電子であると同時にウラン原子位置に磁気モーメントを形成する。したがって、圧力とともにフェルミ面の形状は徐々に変化し、 $p > p_c$  の常磁性ではフェルミ面は著しく変化する。4f 電子系と 5f 電子系はかなり異なっている。

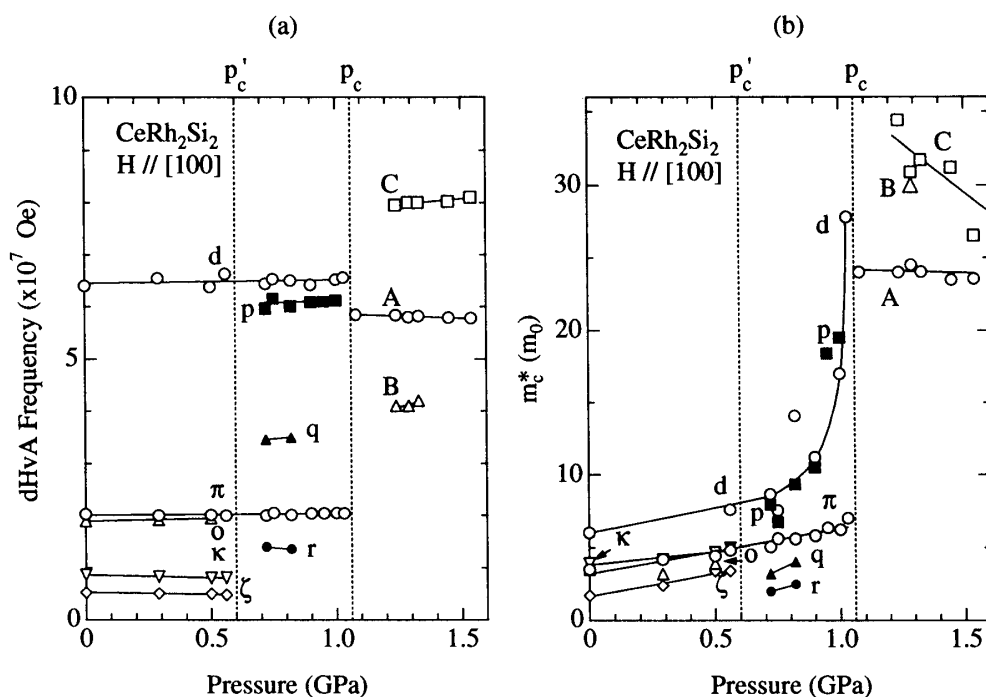


図4  $\text{CeRh}_2\text{Si}_2$  の (a) dHvA 振動数と (b) サイクロトロン有効質量の圧力依存性

### (3) $\text{CeRhIn}_5$

$\text{CeRh}_2\text{Si}_2$  の超伝導転移温度は 0.4 K と小さかったが、図 5 の相図に示すように  $p > 1.6$  GPa で超伝導領域がかなり広い圧力範囲で出現する。2.5 GPa での  $T_{\text{SC}} = 2$  K である。この  $T_{\text{SC}}$  の増大は、フェルミ面が準 2 次元的なシリンダー状をしていることによる。この圧力では電気抵抗は  $\rho = \rho_0 + AT$  と非フェルミ液体の性質を示す。ドハース・ファンアルフェン振動数は図 6 (a) に示すように圧力に依存せずほとんど一定であるが、サイクロトロン質量は図 6 (b) のごとく、超伝導が出現する 1.6 GPa 以上で重い電子系になっている。

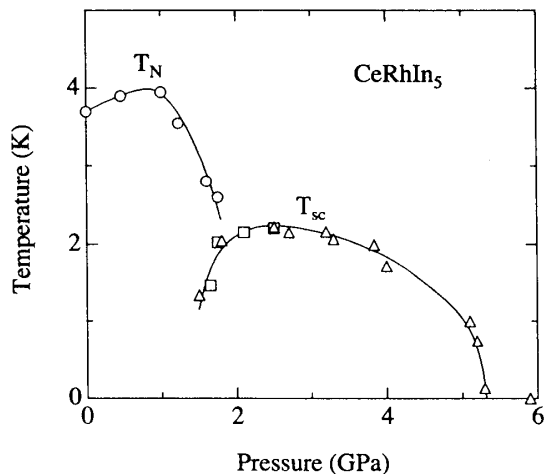


図5  $\text{CeRhIn}_5$  の圧力相図

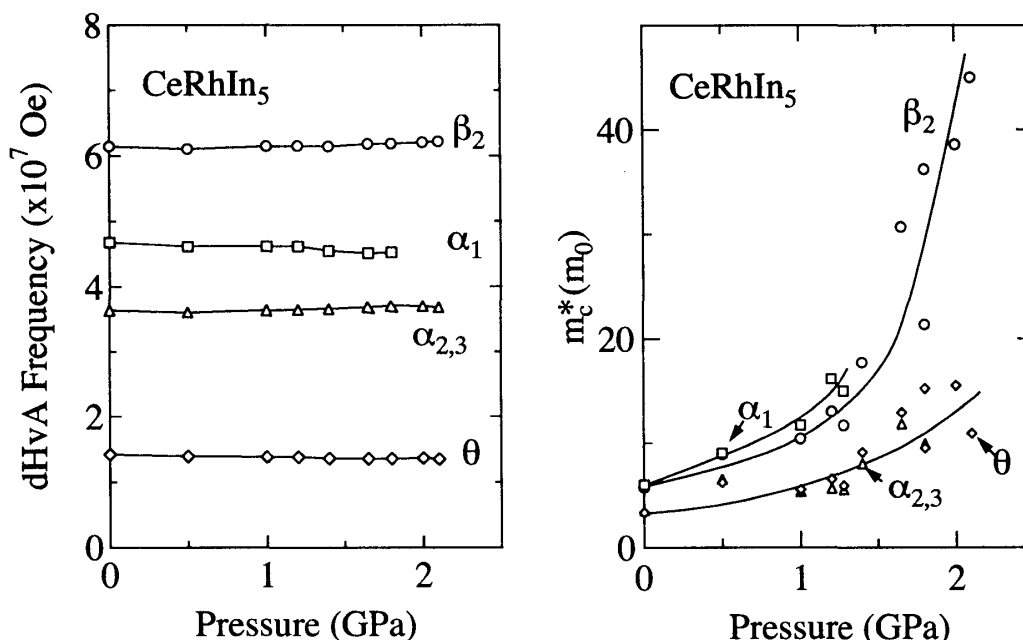


図6 CeRhIn<sub>5</sub> の(a) dHvA 振動数と(b)サイクロトロン有効質量の圧力依存性

以上、3つの異なる物質で加圧下でのドハース・ファンアルフエン効果の実験結果を示した。まだ、UGe<sub>2</sub>の実験は不十分であり、またCeRhIn<sub>5</sub>も2.1 GPa以上が行われていない。これからの課題である。

本研究はCOE (10CE2004)の援助で行われた。また、小林達生、播磨尚朝、山上浩志、芳賀芳範、山本悦嗣、荒木新吾、摂待力生各氏の協力で行われたものである。

#### 参考文献

- [1] N. Tateiwa, K. Hanazono, T. C. Kobayashi, K. Amaya, T. Inoue, K. Kindo, Y. Koike, N. Metoki, Y. Haga, R. Settai and Y. Onuki: J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 2876.
- [2] R. Settai, M. Nakashima, S. Araki, Y. Haga, T. C. Kobayashi, N. Tateiwa, H. Yamagami and Y. Onuki: J. Phys.: Condens. Matter 14 (2002) L29.
- [3] Y. Haga, M. Nakashima, R. Settai, S. Ikeda, T. Okubo, S. Araki, T. C. Kobayashi, N. Tateiwa and Y. Onuki: J. Phys.: Condens. Matter 14 (2002) L125.
- [4] S. Araki, R. Settai, T. C. Kobayashi, H. Harima and Y. Onuki: Phys. Rev. B 64 (2001) 224417.
- [5] S. Araki, M. Nakashima, R. Settai, T. C. Kobayashi and Y. Onuki: J. Phys.: Condens. Matter 14 (2002) L377.
- [6] H. Shishido, R. Settai, S. Araki, T. Ueda, Y. Inada, T. C. Kobayashi, T. Muramatsu, Y. Haga and Y. Onuki: printed in Phys. Rev. B.
- [7] 小林達生、立岩尚之、芳賀芳範、山上浩志、摂待力生、大貫惇睦：固体物理 36 (2001) 803.