

Title	CeRh <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> の圧力下でのドハース・ファンアルフェン効果
Author(s)	荒木, 新吾; 大貫, 惇睦
Citation	大阪大学低温センターだより. 2002, 117, p. 17-20
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/5600">https://hdl.handle.net/11094/5600</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

# CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の圧力下での ドハース・ファンアルフェン効果

理学研究科 荒木新吾、大貫惇睦 (内線5371)

E-mail: araki@crystal.phys.sci.osaka-u.ac.jp

## 1. はじめに

私達の研究室では、希土類化合物やウラン化合物の強相関 f 電子系の研究を行っている。Ce 化合物は図1のドニアックの相図に見られるように RKKY 相互作用により低温で反強磁性などの磁気秩序を示すもの、近藤効果により低温で重い電子状態が実現するものに大まかに分けられる。また、磁気秩序を示す Ce 化合物の試料を加圧することにより、磁気秩序を消失させることができる。磁気秩序が消失する量子臨界点近傍では圧力誘起超伝導 (CeIn<sub>3</sub>, CePd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>など[1]) や非フェルミ液体的挙動を示すことが知られており、極低温・強磁場に高圧を加えた多重極限環境下での物性測定はますます重要になっている。本稿では圧力下ドハース・ファンアルフェン (dHvA) 効果の測定装置の立ち上げと CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の結果について報告する。

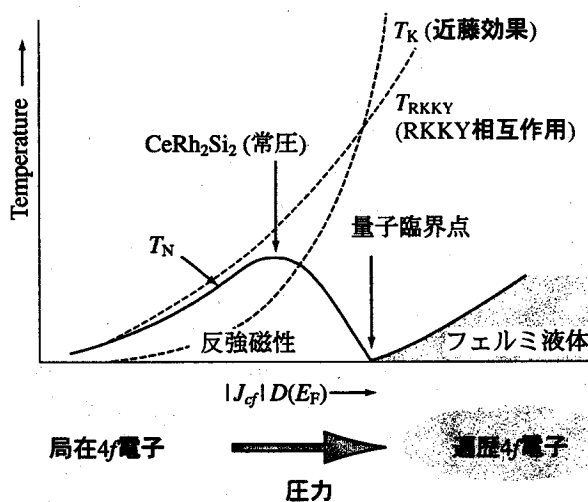


図1 ドニアックの相図。近藤効果と RKKY 相互作用の競合により、基底状態は反強磁性などの磁気秩序状態もしくはフェルミ液体で記述できる非磁性状態になる。

## 2. 圧力下の dHvA 効果の測定

dHvA 効果はフェルミ面の形状・サイクロトロン有効質量などを決定することのできる重要な実験手段である。dHvA 効果の測定には、極低温・強磁場・純良な単結晶が不可欠である。私達の研究室では、

希釈冷凍機と17T 超伝導マグネットを用いた dHvA 効果の測定装置が設置されているので、この装置に圧力セルを組み合わせれば圧力下 dHvA 効果の測定が可能になる。圧力セルとしては初期には BeCu 製のピストン・シリンダー型の圧力セルを用いた。BeCu は非磁性で強度の優れた材料として圧力セルによく用いられている。図2にその圧力セルを示す。圧力セルの試料空間（テフロンセルの内部）にはピックアップコイルと試料が入る。ピックアップコイルは0.26 $\mu\text{m}$ の銅線を検出部分に3000ターン、補償部分に約1650ターン巻いている。変調磁場を加えるコイルは超伝導マグネットと一体になっている。圧力セル全体に変調磁場が加わると、常圧での dHvA 効果ではさほど問題とならなかった渦電流による発熱が大きな問題になる。このため、BeCu を使った実験では最低温度は約130mK である。

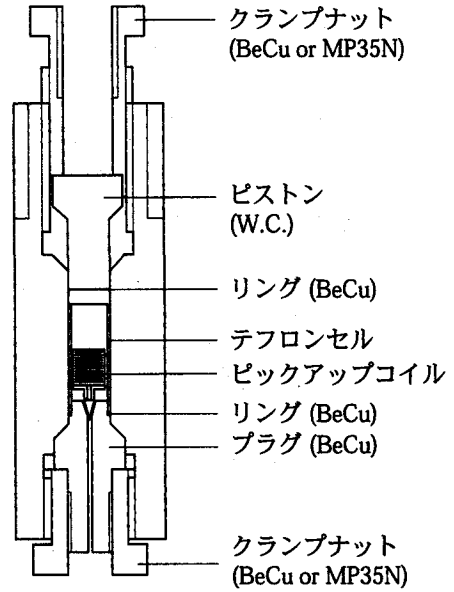


図2 圧力下 dHvA 効果に用いている圧力セル

このような発熱がない通常の実験では約25mK まで冷やすことができる。現在では、圧力セルの材料を MP35N に変更することにより、さらに低温での測定ができるようになってきている。MP35N は BeCu に比べて強度に優れ電気抵抗が約20倍大きいいため、渦電流による発熱を抑えることができるからである。

### 3. $\text{CeRh}_2\text{Si}_2$ の圧力下 dHvA 効果

$\text{CeRh}_2\text{Si}_2$  は、常圧ではネール温度  $T_N$  が36K の反強磁性体である。図1の相図ではちょうど  $T_N$  がピークになる位置に対応している。圧力を加えていくと  $T_N$  は徐々に減少していき、約1 GPa の圧力で磁気秩序は完全に消失してしまう[2]。量子臨界点近傍では  $T_c$  が約400mK の圧力誘起超伝導も観測されている。[3,4]。

これまでなされてきた Ce 化合物の dHvA 効果の測定結果を4f 電子を局在もしくは遍歴として取り扱ったバンド計算と比較すると、図1の量子臨界点よりも左側に位置する物質では4f 電子は局在しており、右側の物質では4f 電子は遍歴しているとみなすことができる。 $\text{CeRh}_2\text{Si}_2$  の常圧における dHvA 効果の結果も局在モデルで説明することができる。ただし、反強磁性秩序が起こるとブリルアンゾーンが磁気構造を反映して小さくなるので、フェルミ面の折りたたみが起こる。

図3は量子臨界点よりも高圧側である1.29GPa の圧力下での dHvA 振動の FFT スペクトルである。A, B, C の3つのブランチが存在している。この測定は MP35N の圧力セルを用いて行ったものであり、BeCu の圧力セルを用いた同じ試料での測定では振幅の大きいAブランチのみしか観測できなかった。

図4は dHvA 振動数の圧力依存性である。低圧側から見ていると d,  $\pi$  ブランチは量子臨界点の1.06GPa まで変化していない。これはフェルミ面の形状が変化していないことを示している。0.6GPa 付近での dHvA 振動数の変化、すなわち  $\pi$ , o,  $\kappa$ ,  $\zeta$  ブランチが消失し p, q, r ブランチの出現は磁気構造の変化に対応してフェルミ面の折りたたみ構造が変化したためである[2]。量子臨界点  $P_c$  ~

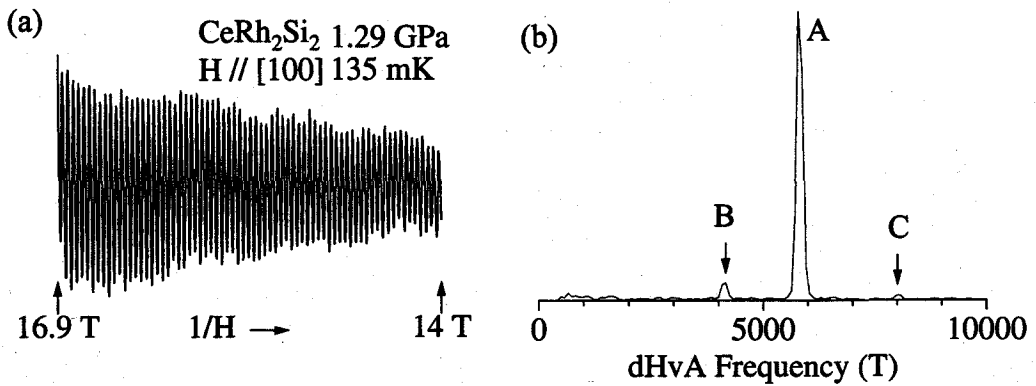


図3 1.29GPaでの(a)dHvA 振動と(b)そのフーリエスペクトル。A, B, Cの3つのdHvA ブランチが観測されている。

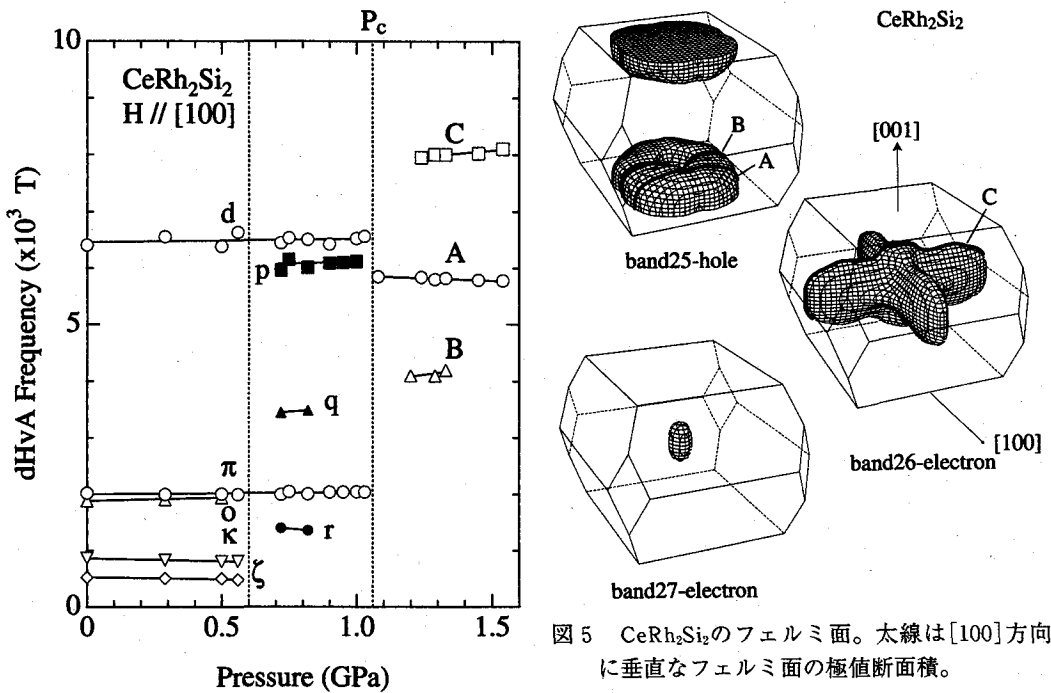


図4 フェルミ面の極値断面積に比例するdHvA 振動数の圧力依存性。

1.06GPaより高圧側では図3に見られるA, B, Cの3つのブランチが出現しており、1.06GPaで不連続に変化している様子がわかる。dHvA 振動数は印加している磁場方向に垂直なフェルミ面の極値断面積に比例しているから、これはフェルミ面が1.06GPaを境に不連続に変化していることを示している。それでは1.06GPaよりも高圧でのフェルミ面はどのようなモデルで理解できるのだろうか？

図5は遍歴4f電子モデルによって得られたフェルミ面である。このフェルミ面とdHvA効果の結果を比較してみよう。dHvA効果の実験は[100]方向の磁場中で行ったため[100]に垂直なフェルミ面の極値断面積を見ていることになる。図5からはそのような極値軌道として太い線で示した3つとバンド27

の小さな軌道が点在している。実験で得られた3つのブランチはそれぞれA, B, Cと示した軌道に対応している。つまり、高压側では4f電子は遍歴しているものとして理解できる。

dHvA効果からは、サイクロトロン有効質量も得ることができる。図6はサイクロトロン有効質量の圧力依存性である。低压ではほぼ直線的に増加しており、0.8GPa付近からdブランチのサイクロトロン有効質量は発散的に増加している。高压側のサイクロトロン有効質量は $20m_0$ 以上( $m_0$ は自由電子の質量)と重い。このサイクロトロン有効質量もバンド計算の結果と矛盾しておらず高压側のフェルミ面が遍歴モデルで説明できる根拠のひとつである。

#### 4. おわりに

CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>において、そのフェルミ面は量子臨界点の境に大きく形を変えることを明らかにしてきた。つまり、磁気秩序が存在している圧力域では4f電子は局在であり、磁気秩序が消失すると4f電子は遍歴性を持つ。CeRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>は1GPa程度の比較的低い臨界圧力が魅力的であった。現在の測定装置では約2GPaまでの圧力下でのdHvA効果の測定が実現できている。さらに高压での測定環境を実現させれば、研究対象がさらに広がり重要な成果が積み重ねられていくと思う。

本研究における、バンド計算は播磨尚朝助教授(産研)に行っていただきました。高压技術においては村松孝樹氏(基礎工)、小林達生助教授(極限セ)に多くの助言をいただきました。また、本研究は撰待力生助教授(理)との共同研究でもあります。厚く感謝致します。

#### 参考文献

- [1] N.D.Mathur, F.M.Grosche, S.R.Julian, I.R.Walker, D.M.Freye, R.K.W.Haselwimmer and G.G.Lonzarich: Nature **394**, 39(1998)
- [2] S.Kawarazaki, M.Sato, Y.Miyako, N.Chigusa, K.Watanabe, N.Metoki, Y.Koike and M.Nishi: Phys. Rev. B **61**, 4167(2000)
- [3] R.Movshovich, T.Graf, D.Mandrus, J.D.Thompson, J.L.Smith and Z.Fisk: Phys. Rev. B **53**, 8241(1996)
- [4] S.Araki, R.Settai, T.C.Kobayashi and Y.Önuki: J. Magn. Magn. Mater. **226-230**, 81(2001)
- [5] S.Araki, R.Settai, T.C.Kobayashi, H.Harima and Y.Önuki: Phys. Rev. B **64**, 24417(2001)

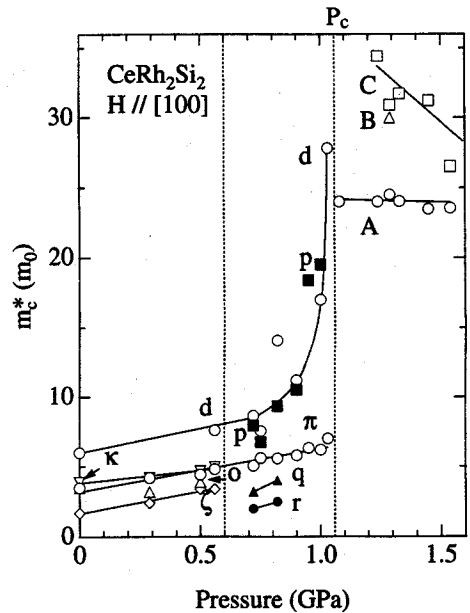


図6 サイクロトロン有効質量の圧力依存性。  
 $m_0$ は自由電子の質量。