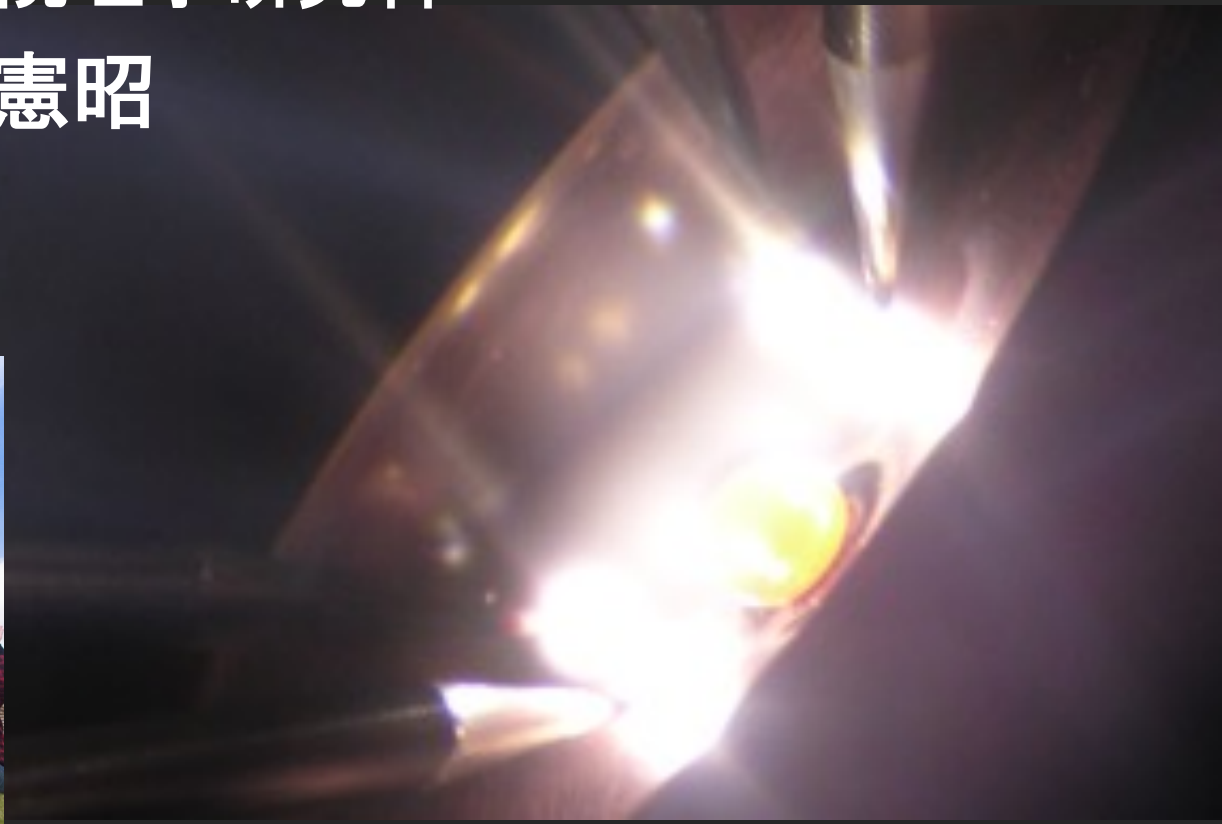


最終講義

「研究の始まりは人との出会いから」

名古屋大学大学院理学研究科

佐藤 憲昭



特集

「化学のマジックが生体物質をあやつる」

04 — 生命をだまして薬をつくる◇阿部 洋

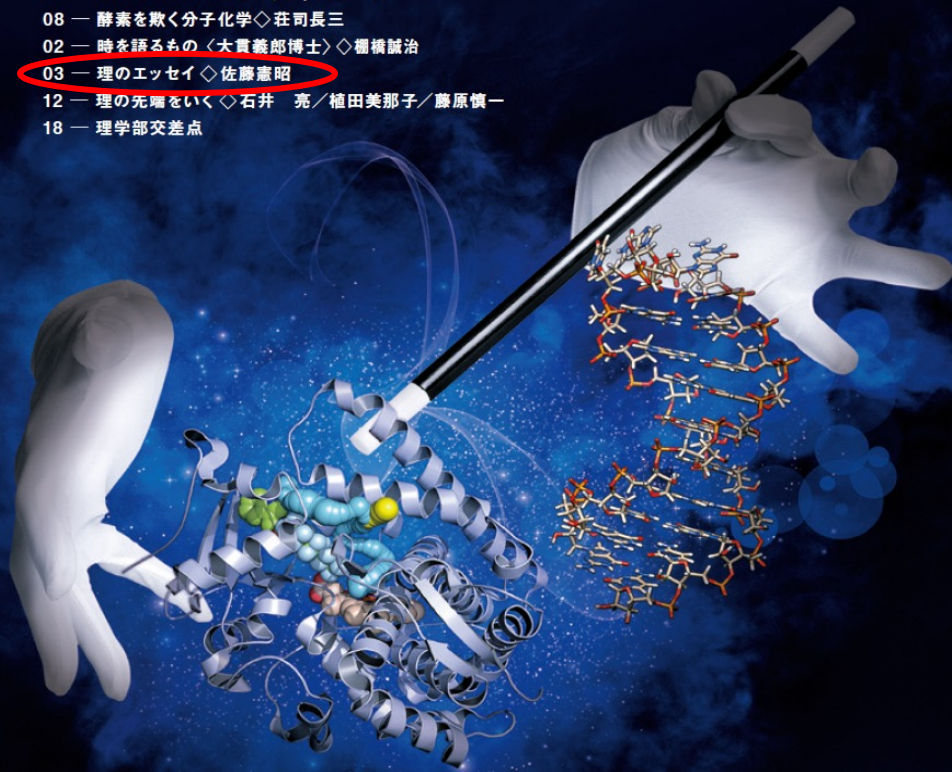
08 — 酵素を欺く分子化学◇荻司長三

02 — 時を語るもの〈大貫義郎博士〉◇櫻橋誠治

03 — 理のエッセイ◇佐藤憲昭

12 — 理の死囁をいく◇石井 亮／楠田美那子／藤原慎一

18 — 理学部交差点



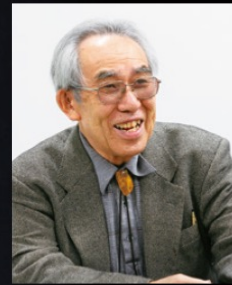
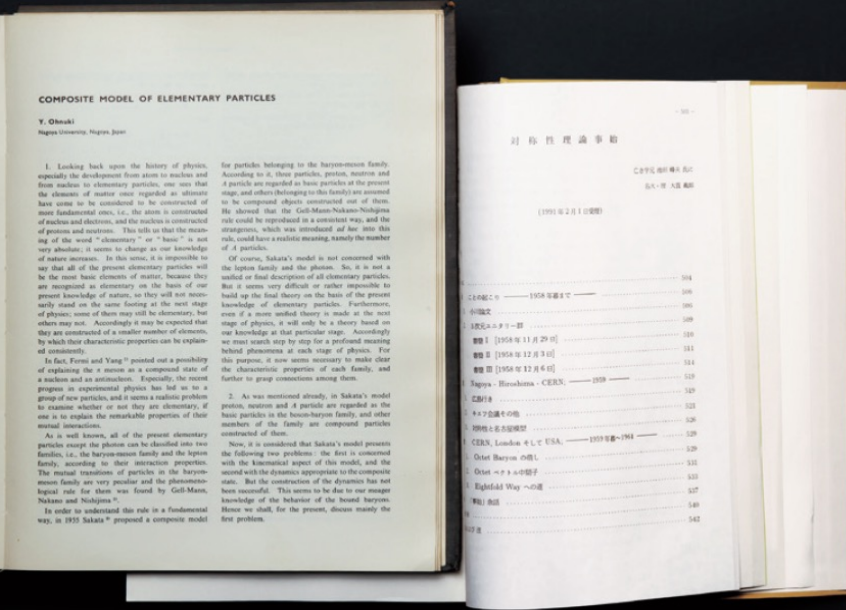
大貫義郎博士—素粒子物理学におけるU(3)対称性の発見

大貫義郎博士は、素粒子物理学に3次元ユニタリー対称性(以下、U(3)対称性)を導入したことで知られる。また、坂田昌一博士(1911-1970)らとともに、当時、名古屋大学の大学院生だった益川敏英博士や小林誠博士らを指導した。

1955年に名古屋大学で提案された坂田模型は、画期的な素粒子模型であったが、確固とした予言を行うための理論が当時は整備されていなかった。大貫義郎博士らは、1959年、坂田模型にU(3)対称性が存在することを発見し、対称性を用いて坂田模型を解析することを可能とした。この発見は、1960年に開かれたロチェスター会

議(高エネルギー物理学国際会議、ICHEP)で報告され、多くの研究者から注目された。その後U(3)対称性は、ゲルマン博士らによって八道説(Eightfold Way)として素粒子の現象論的分類に活用され、坂田模型の改良としてのクォーク模型発見の手がかりとなった(ゲルマンはこの業績でノーベル物理学賞受賞)。

対称性と保存則の考え方、あるいは数学の言葉では「群論」の道具方は、現代物理学においてももともと強力で普遍的な道具になっており、大貫義郎博士らのU(3)対称性の発見は、この考え方に先鞭をつけたものと言えよう。(榎橋誠治 素粒子宇宙物理学専攻教授)



大貫義郎(1928-)
名古屋大学教授(1971-1992)
名古屋大学名誉教授(1992-)

研究の始まりは人との出会いから

佐藤素昭 物質理学専攻教授



Illustration: Junichi Kishi

定年退職まで1年半。私の研究を方向づけた3人の同僚との出会いが昨日のこのように思い出される。

重い電子系研究のバイオニアであるフランク・シュテューグリッヒさんと最初にお会いしたのは、私が大学院生だった1982年であったと記憶している。それが縁で、ダルムシュタット工科大学のフランク・シュテューグリッヒさん(当時)が研究費を得た。1991年に彼らが発見した磁性超伝導体は東北大学の助手であった私の主要研究テーマとなり、彼らに師匠を務めたドレスデン工科大学の固体化学物理研究所に客員研究員として滞在。2003年から2008年間に超伝導発見機構に関する論文をまとめ上げた。彼との出会いがなかったならば、私の研究業績は半減していたに違いない。

超伝導発見機構のバイオニアは、一時帰国して立ち寄った大阪大学(当時の三宅和正)との議論によって生まれた。三宅さんとの議論は今でもかけがえのないものである。

帰国後まもなく名古屋大学で出会った三宅和正(1931年、準結晶研究のバイオニアである北海道大学)や石政勉(1934年、準結晶研究の報を受けた。この年は準結晶発見者にノーベル賞が授与された年でもある。それ以来共同研究を積み重ね、準結晶初量子臨界現象(2012年)や超伝導(2018年)を発見するに至った。石政さんとの出会いがなかったならば準結晶との出会いもなかったであろう。

三宅さんも石政さんも名古屋大学教養部での同僚であり、お二人とも大学を定年退職後、豊田理化学研究所のフェローとなった。30年の時を経て期せずして再び名古屋に集った私たちは、価数揺動準結晶という新分野開拓に挑戦している。縁とは実に不思議で面白い。

偶然の出会いによって始まった研究ではあるが、学生や同僚に恵まれたおかげで、成果の1つが英国物理学会誌において「2018年10大ブレイクスルー」に選ばれているなど、いくつもの幸運に巡り合うことができた。彼らとの出会いに心から感謝したい。

Noriaki Sato

1955年宮城県生まれ。1984年東北大学大学院理学研究科博士後期課程修了(物理学)。名古屋大学教養部助手、北海道大学理学部助手、マクスプランク固体化学物理研究所(ドレスデン)客員研究員、名古屋大学大学院理学研究科助教を経て2007年より現職。専門は物理学。



◎写真の説明

左は1960年ロチェスター会議の論文集と「対称性理論草稿」。U(3)対称性発見の経緯は、大貫義郎博士が1989年に広島大学理論物理学研究所(理論研)で行った講演「素粒子論における対称性理論の展開」をまとめた記録「対称性理論草稿」(素粒子論研究、1991年)に評述されている。上は1963年ごろのE研(素粒子論研究室)。黒板前が大貫義郎博士。その左が坂田昌一博士。

共同研究者の皆さん (敬称略)

Frank Steglich

石政 勉・三宅和正

1980

1984

1989

1990

1999

2000

2010

2020

東北大院生
(指導教官
糟谷忠雄教授)

名大・教養

東北大・理
(小松原研)

名大・M研

A. Menovski (単結晶育成)
(Amsterdam大)

J. Mydosh
(Leiden大)

A. Schenck (μ SR)
(PSI)

朝山・北岡G、石田G (NMR)
(阪大、京大)

遠藤G (中性子散乱実験)
(東北大)

G. H. Lander (中性子散乱実験)
(ITU)

S. Shapiro (中性子散乱実験)

G. Shirane (中性子散乱実験)
(Brookhaven N.L.)

蔡 安邦 (準結晶)
(東北大)

竹内恒博 (準結晶)
(豊田工大)

水木G (x線吸収)
(関西学院大)

Spring-8 (x線吸収)

伊達G (強磁場実験)
(阪大)

S.B. Woods (低温実験)

梅沢博臣
(Alberta大)

永野G (低温実験)
(物性研)

毛利信男 (高压実験)
(北大・物性研)

研究を始めたころの“背景”

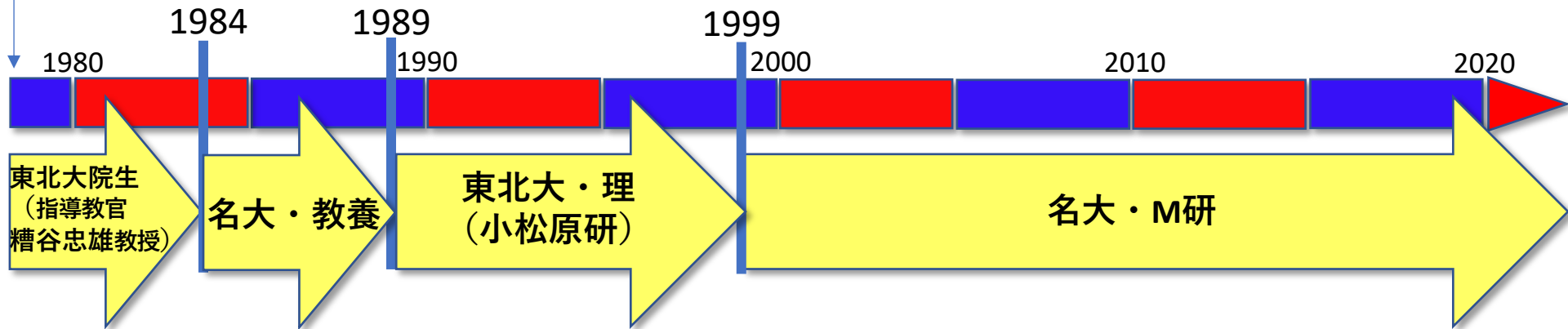
1979年：重い電子系（Heavy Fermion） CeCu_2Si_2 における超伝導の発見 → Fritz London記念賞

1982, 1984年：整数および分数量子ホール効果の発見 → それぞれノーベル賞

1984年：準結晶の発見 → ノーベル賞

1985年前後: UPt_3 , URu_2Si_2 , UBe_{13} の発見 → ノーベル賞

1986年：酸化物高温超伝導の発見 → ノーベル賞



プロローグ

「重い電子」研究の黎明

Heavy fermion

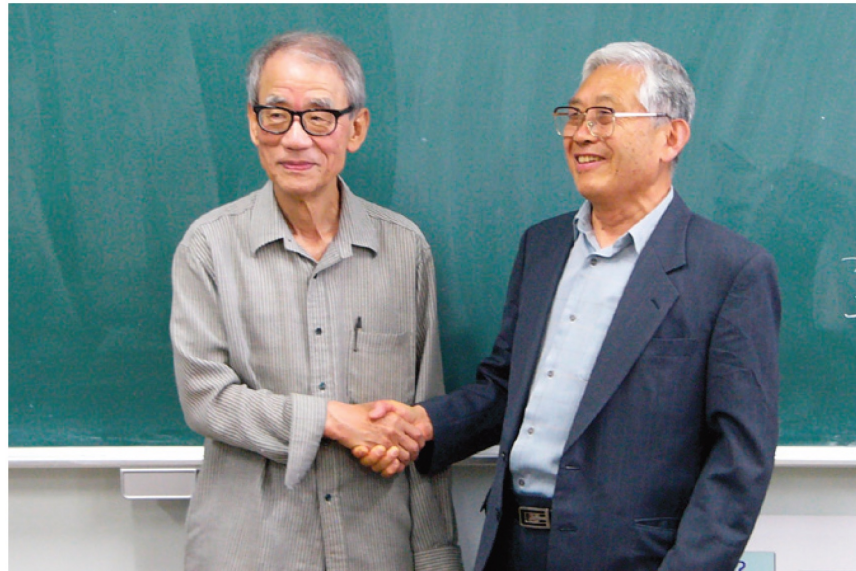
Heavy electron

糟谷一中野インタビュー (2006年6月21日)

学位論文の指導教官



(前列左
O: 岡本



インタビューが終わって…
中野藤生先生 (左) と糟谷忠雄先生 (右)

八高一名
O: 名大
野先生に

も、
;校でし
地名ス
む) が東

のですか？

K: 大講座制だったわけ。ヨーロッパの大学と同じで、素粒子物理の大講座に坂田 (昌一) さん。他に、物性物理という大講座があった。有山 (兼孝) さんがS研を作った。M研には宮原 (将平) さんが助教授、芳田 (奎) さんが助手でいた。(芳田氏は大阪高校、東京帝大卒業後、名古屋帝大特研生を経てM研の助手になった。) 教授は有山さんひとり。もう一つ、K研があった。大澤 (文夫) さん。そこから生物物理が始まった。あと、もう一つ、科学史の

旧糟谷邸 愛知県指定文化財



“じゃらん”より転載

The Rochester Conference (1977?)

on Valence Instabilities and Related Narrow-Band Phenomena

での P. W. Anderson によるエピローグ

1977: Andersonがノーベル物理学賞を受賞した年

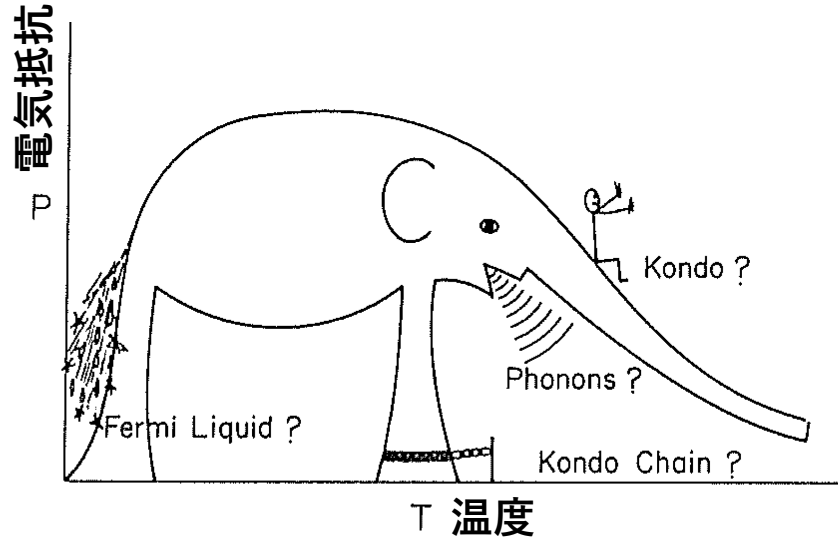


Fig. 2. Elephantine version of Fig. 1 (art work by PWA).

トピックス

高密度近藤系

京都大学基礎物理学研究所 山田 耕作

§1. はじめに

いわゆる高密度近藤系 (dense Kondo system) とは、高密度に磁性イオンが存在するにもかかわらず稀薄な磁性合金で観測された近藤効果が実現している系のことである。ここで近藤効果とは、抵抗が低温で増大することや、低温で絶対温度 T に比例する電子比熱が通常の金属に比べて数十から千倍まで異常に大きいことなどである。これらは低温で磁性不純物に局在した磁気モーメントと伝導電子が結合し、一重項束縛状態を形成することに起因している。

表題の系では「高密度」が問題である。通常の遷移金属を磁性不純物とする系の近藤効果は、ppm (100 万分の 1) から 1% 程度までの独立な磁性不純物とみなしうる極めて稀薄な濃度で観測されてきた。たとえば、典型的な近藤系である Cu 中に磁性不純物として Mn を含む系では ppm のオーダーの濃度でさえ、磁性不純物間の相互作用が問題とされてきた。この系では Mn が 1% のオーダーの濃度ともなるとスピングラスの研究対象であり、近藤効果は磁性不純物間の RKKY 相互作用のために見られなくなる。

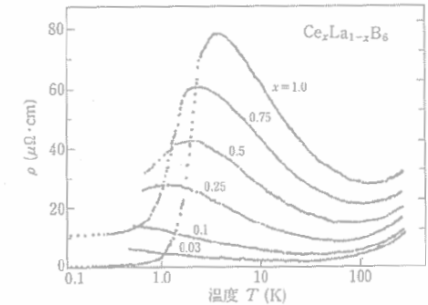
ところが、後述するセリウム (Ce) 金属やその化合物などでは、各格子点 (セリウム原子の位置) に磁気モーメントが存在するいわゆる近藤格子と呼ばれる系をなしている。それにもかかわらず、各格子点に局在した磁気モーメントがほぼ独立に近藤効果を示すように見えることは驚くべきことである。このような高密度近藤系の実現している理由を明らかにすることが、本稿の主目的である。

一方、周期的に磁性原子が存在する近藤格子と磁性稀薄合金系とは本質的な違いも存在する。たとえば、上述のように温度を下げていくと抵抗が増大するが、さらに低温では周期性のために抵抗が減少し始め、極端な場合は CeCu_2Si_2 に見られるように超伝導状態が実現する。このような本質的に新しい高密度近藤系の基底状態を含む低温での諸性質は未解決の部分が多い。その問題点を紹介する。広く深い内容については他にすぐれた解説があり、それらを文献としてあげてあるので参照していただきたい¹⁻⁹⁾。

§2. 実験事実

1) 電気抵抗

近藤効果といえばまず電気抵抗である。第 1 図 ~ 第 4 図に典型的な高密度近藤系と考えられる物質の抵抗を示す⁶⁻⁷⁾。ただし、第 2 図では磁性原子 Ce の効果をはっきりさせるため、周期律表で Ce の隣りで $4f$ 電子を持たない La で Ce を置換



第 1 図 $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{B}_6$ の電気抵抗の温度変化⁹⁾。

thing. So the work on Ce on that kind of thing and the work on the SmS black-to-bronze transitions, which of course are very important.

One of them which seems to be a very likely one in many cases was mentioned by Kasuya. Namely, this heavy Fermi liquid can localize because the bandwidth is so narrow and because the random potentials can be quite large in these systems. There is no reason at all why it shouldn't localize and maybe there are cases where it localizes. Kasuya gave an argument for one of them.

トピックス

The Roches

on Valence Instabili

での P. W. A

Andersonがノ

電気抵抗

P

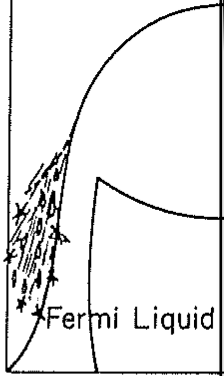


Fig. 2. Elephant

thing. So the work of SmS black-to-bronze t

which seems to be a v by Kasuya. Namely, t the bandwidth is so m be quite large in the it shouldn't localize Kasuya gave an argumet

「磁性と超伝導の物理」 (佐藤・三宅)

7-1 希薄近藤効果から高濃度近藤効果へ

7-1-1 磁気秩序 vs 近藤-芳田 1 重項

前章では、磁性イオンの数を 1 個に固定し、 f 電子間の Coulomb 斥力 U を大きくしたとき、近藤温度 T_K (数 K ないし数十 K) より高温で局在スピンの出現することを説明した。本項では、 U を大きな値に保ったまま、局在スピンの数 (濃度) を増やしていったときの系の変化について考える (図 7.1)。近藤効果が観測されるのは、図 7.1(a) のように、磁性イオン間の相互作用が無視される程度にその濃度が小さい場合である。例えば、銅の中の鉄不純物の場合には、数 ppm (ppm は 100 万分の 1) 程度以下である。磁性イオンの濃度を増加させると、スピン間に RKKY 相互作用が生じるため、近藤効果は消失し、代わりに「スピングラス」と呼ばれるスピンの凍結状態が現れる (図 7.1(b))。異方性がなく等方的であるとすると、各スピ

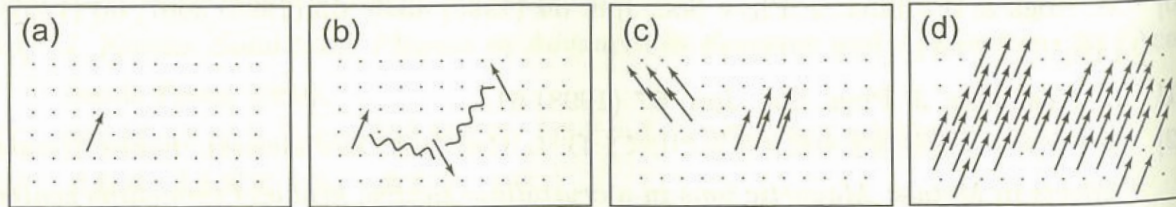
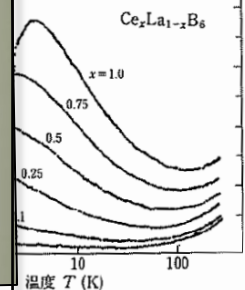


図 7.1 (a) の希薄近藤系から (d) の高濃度近藤系への展開。点は格子位置を示し、矢印は局在スピンを表す。

物理学研究所 山田 耕作

磁性原子が存在する近藤格子とは本質的な違いも存在する。たうに温度を下げていくと抵抗が低温では周期性のために抵抗が異なる場合は $CeCu_2Si_2$ に見られるが実現する。このような本質近藤系の基底状態を含む低温で部分が多い。その問題点を紹介容については他にすぐれた解文献としてあげてあるので参

まず電気抵抗である。第 1 図高密度近藤系と考えられる物ただし、第 2 図では磁性原子を置きさせるため、周期律表でを持たない La で Ce を置換



第 1 図 $Ce_xLa_{1-x}B_6$ の電気抵抗の温度変化²⁾。

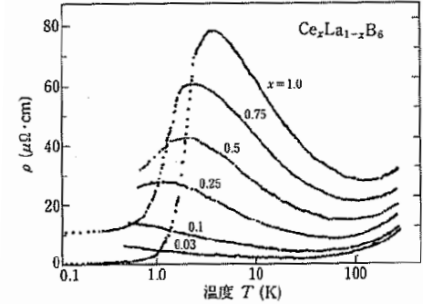
る。

1979年：重い電子系 $CeCu_2Si_2$ における超伝導の発見

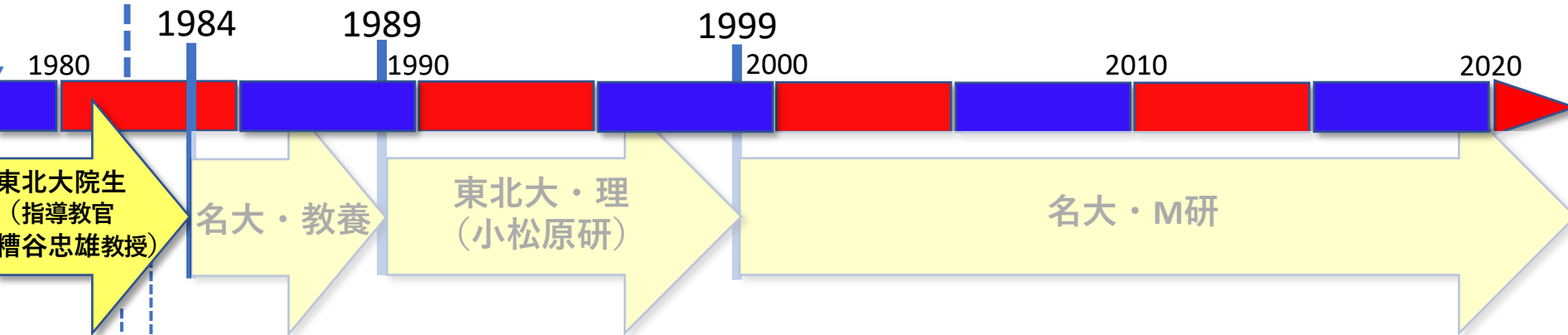


F. Steglich

$Ce_xLa_{1-x}B_6$



JPSJ (1985)



- 伊達G (強磁場実験) (阪大)
- S.B. Woods (低温実験)
- 梅沢博臣 (Alberta大)
- 永野G (低温実験) (物性研)
- 毛利信男 (高圧実験) (北大・物性研)

学生時代に共同研究をしていただいた先生方・グループ

初期 学会での発表：殆ど糟谷研のみ
⇒ 80年代に全国に急速に広がる！

第1章

ウラン系磁性超伝導研究の黎明

1979年: 重い電子系 (Heavy Fermion) $CeCu_2Si_2$ における超伝導の発見

1985年前後: UPt_3 , URu_2Si_2 , UBe_{13} の相次ぐ発見

1988~ 重点領域研究(糟谷忠雄)「アクチナイド化合物の物性研究」

1988 ~ NEDO 国際共同研究助成 「ヘビーフェルミオンの電子状態と物性に関する研究」

F. Steglich



1994~ 重点領域研究(小松原武美)「強相関伝導系の物理」



東北大院生
(指導教官
糟谷忠雄教授)

名大・教養

東北大・理
(小松原研)

名大・M研

伊達G (強磁場実験)
(阪大)

S.B. Woods (低温実験)
梅沢博臣
(Alberta大)

永野G (低温実験)
(物性研)

毛利信男 (高圧実験)
(北大・物性研)

A. Menovski (単結晶育成)
(Amsterdam大)

J. Mydosh
(Leiden大)

A. Schenck (μ SR)
(PSI)

朝山・北岡G、石田G (NMR)
(阪大、京大)

藤井博信
(広大)

遠藤G (中性子散乱実験)
(東北大)

G. H. Lander (中性子散乱実験)
(ITU)

S. Shapiro (中性子散乱実験)

G. Shirane (中性子散乱実験)
(Brookhaven N.L.)

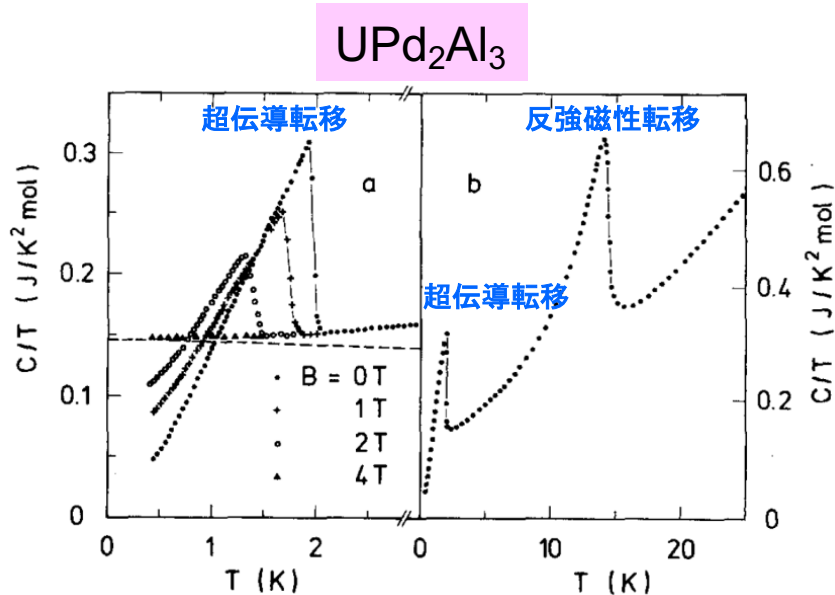
磁性超伝導で共同研究をしていただいた実験系の先生方・グループ、特に、東北大金研: 大洗施設、 α 放射体施設(塩川・佐藤グループ)には深く感謝

Discovery of SC in UPd_2Al_3 and UNi_2Al_3 by C. Geibel and F. Steglich

最初の共同研究の成果

Journal of The Physical Society of Japan
Vol. 61, No. 1, January, 1992, pp. 32-34

LETTERS



Geibel et al. (1991)

Anisotropy in a Heavy Fermion Superconductor: UPd_2Al_3

Noriaki SATO, Takuo SAKON, Naoya TAKEDA,
Takemi KOMATSUBARA, Christoph GEIBEL[†] and Frank STEGLICH[‡]

*Department of Physics, Faculty of Science,
Tohoku University, Sendai 980*

*†Institut für Festkörperphysik, Technische Hochschule,
Hochschulstrasse 8, W-6100 Darmstadt, Federal Republic of Germany*

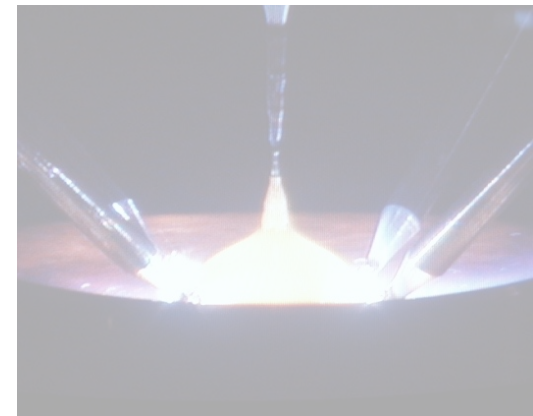
(Received November 7, 1991)

We report on the anisotropy of magnetization, electrical resistivity and upper critical magnetic fields (H_{C2}) of UPd_2Al_3 . The magnetization curve in the antiferromagnetically ordered state shows large anisotropy, indicating that the sublattice moments lie in the basal hexagonal plane. The value of $-(dH_{C2}/dT)$ at T_C is estimated to be about 36 (kOe/K) for the magnetic field parallel and perpendicular to the hexagonal c-axis, and the upper critical field seems to be rather isotropic.

1991年(?) F. Steglich 仙台に滞在 ⇒ 共同研究



名古屋にて

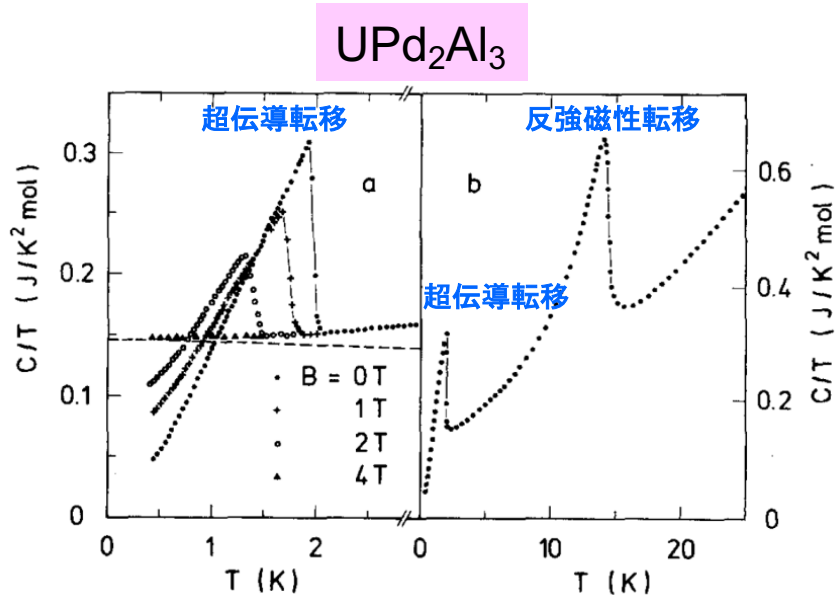


Discovery of SC in UPd_2Al_3 and UNi_2Al_3 by C. Geibel and F. Steglich

最初の共同研究の成果

Journal of The Physical Society of Japan
Vol. 61, No. 1, January, 1992, pp. 32-34

LETTERS



Anisotropy in a Heavy Fermion Superconductor: UPd_2Al_3

Noriaki SATO, Takuo SAKON, Naoya TAKEDA,
Takemi KOMATSUBARA, Christoph GEIBEL[†] and Frank STEGLICH[‡]

*Department of Physics, Faculty of Science,
Tohoku University, Sendai 980*

*[†]Institut für Festkörperphysik, Technische Hochschule,
Hochschulstrasse 8, W-6100 Darmstadt, Federal Republic of Germany*

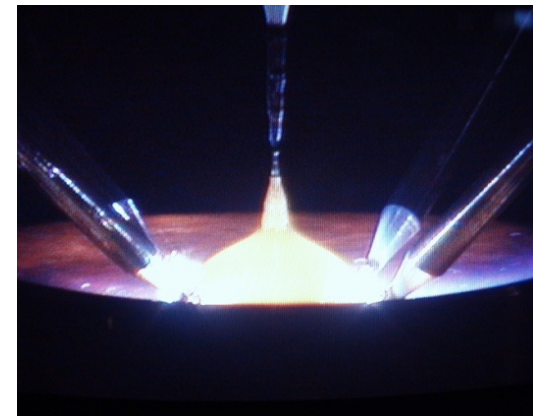
(Received November 7, 1991)

We report on the anisotropy of magnetization, electrical resistivity and upper critical magnetic fields (H_{C2}) of UPd_2Al_3 . The magnetization curve in the antiferromagnetically ordered state shows large anisotropy, indicating that the sublattice moments lie in the basal hexagonal plane. The value of $-(dH_{C2}/dT)$ at T_C is estimated to be about 36 (kOe/K) for the magnetic field parallel and perpendicular to the hexagonal c-axis, and the upper critical field seems to be rather isotropic.

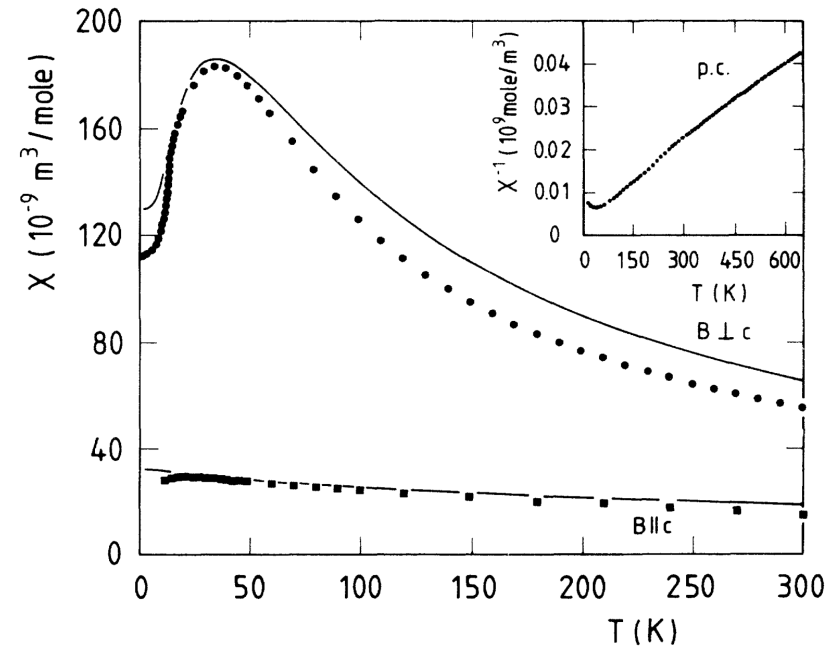
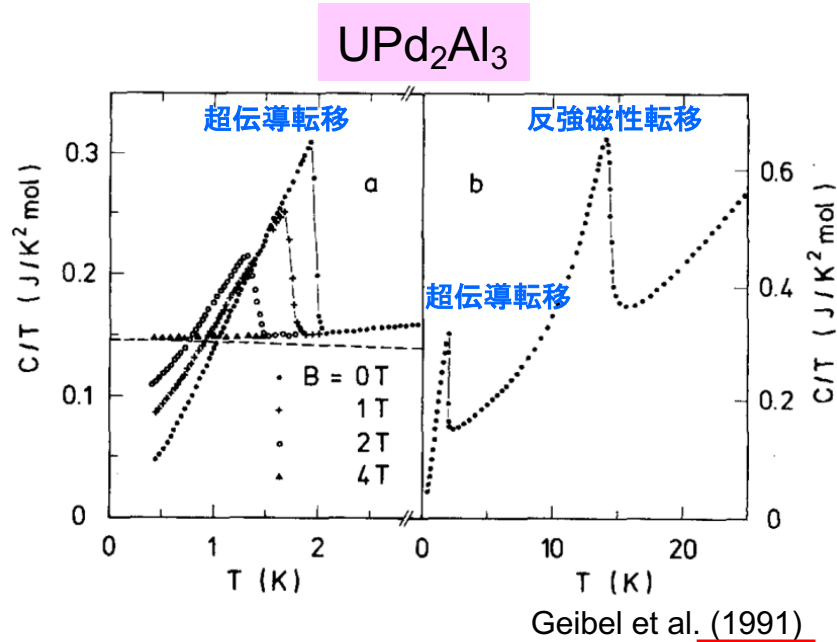
1991年(?) F. Steglich 仙台に滞在 ⇒ 共同研究



名古屋にて



Discovery of SC in UPd_2Al_3 and UNi_2Al_3 by C. Geibel and F. Steglich



1991年(?) F. Steglich 仙台に滞在 ⇒ 共同研究

A. Grauel, NKS et al. PRB (1992)



名古屋にて

5f-電子の局在成分: $5f^2$ 電子配置



Workshop „Synthesis and Properties of Heavy Fermion Materials”

February 14, 2014

Program

修論発表の後、羽田経由で
Frankfurt, Dresdenへ

February 14, 2014

ソチ五輪

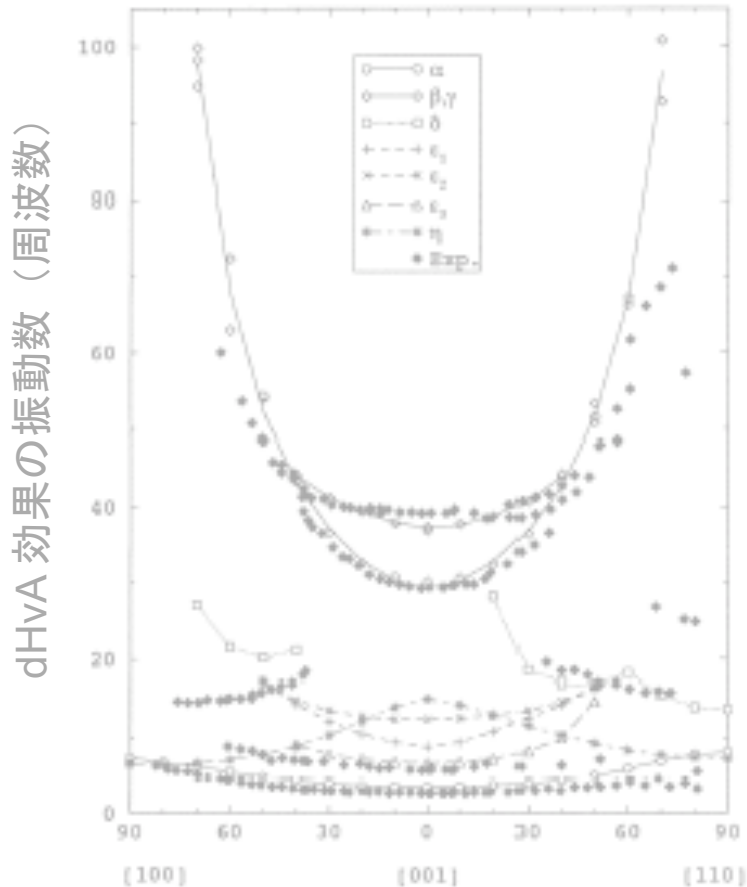
(竹内智香選手銀メダル)

10:00 - 10:05	Seminar rooms 1+2	Prof. Dr. Andrew P. Mackenzie <i>Opening</i>
10:05 - 10:50	Seminar rooms 1+2	Prof. Dr. Frank Steglich <i>tba</i>
10:50 - 11:35	Seminar rooms 1+2	Prof. Kenji Ishida <i>Quantum Critical Behaviors in Heavy-Fermion Ferromagnet Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO</i>
11:45 - 13:00		Lunch
13:00 - 13:45	Seminar rooms 1+2	Prof. Dr. Cornelius Krellner <i>How to find a Quantum Critical Material</i>
13:45 - 14:00		Photo
14:00 - 14:30	Foyer	Coffee
14:30 - 15:15	Seminar rooms 1+2	Prof. Dr. Clemens Laubschat <i>tba</i>
15:15 - 16:00	Seminar rooms 1+2	Prof. Dr. Noriaki K. Sato <i>Magnetism and superconductivity of f-electron based crystals and quasicrystals</i>

Magnetism of UPd₂Al₃

dHvA 効果実験

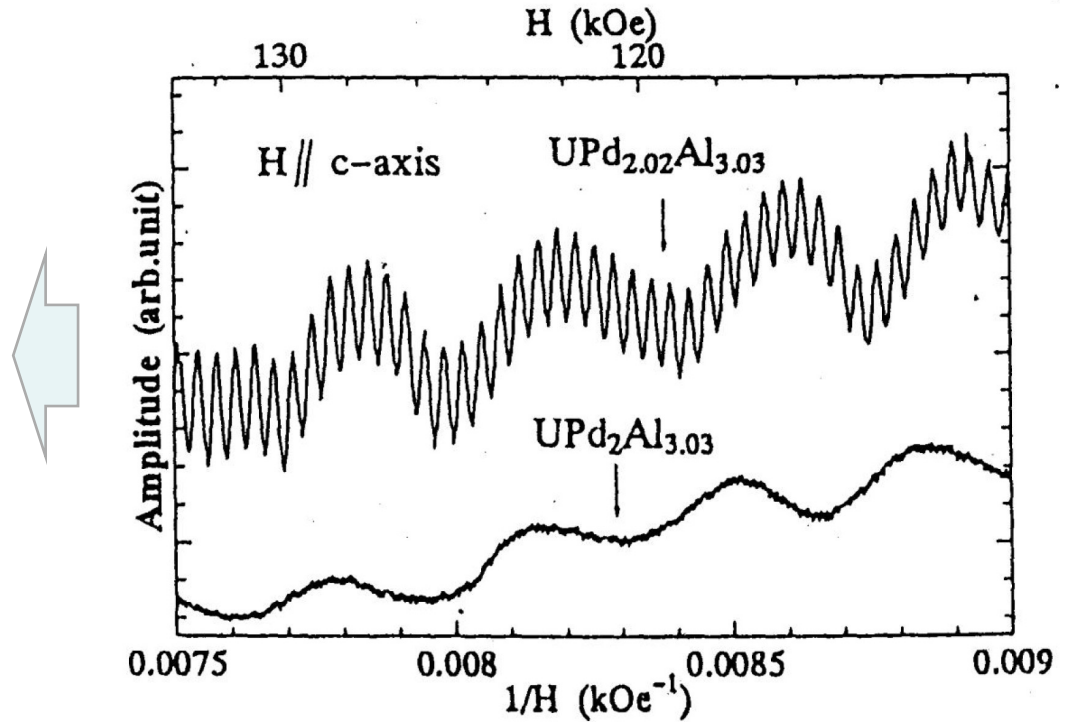
Presence of heavy mass quasiparticles



磁場の印加方向

Inada et al.; Physica B (1994)

稲田佳彦 学位論文



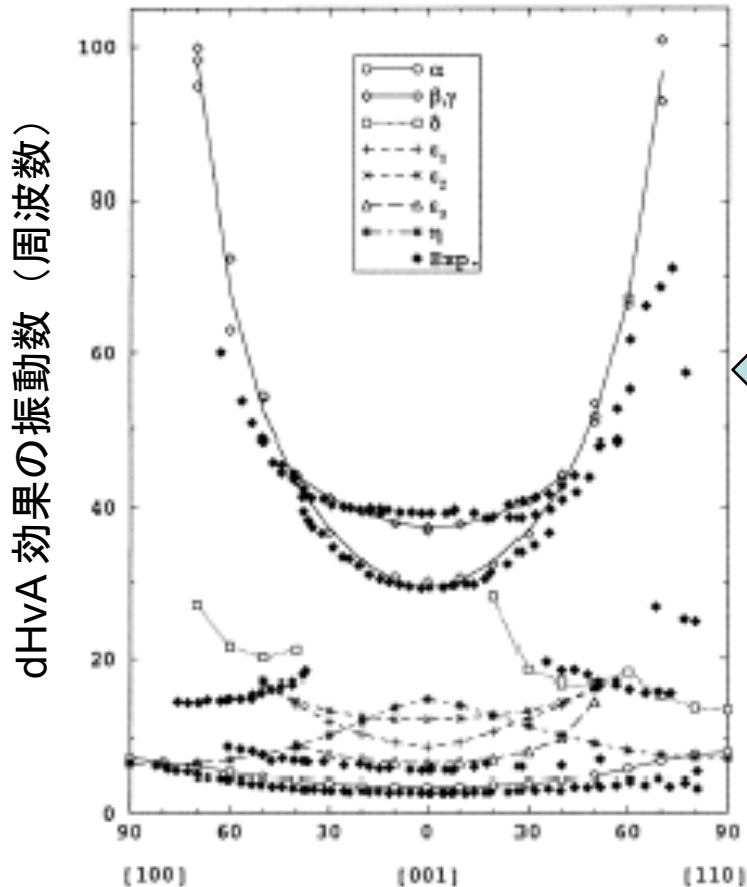
IEEE Transactions on Magnetics (1994)

試料が良質になると、より多くのFourier成分が見えてくる！
(組成比の調整)

Magnetism of UPd₂Al₃

dHvA 効果実験

5f-電子の遍歴成分: 重い準粒子の存在



磁場の印加方向

Inada et al.; Physica B (1994)

稲田佳彦 学位論文

実験と理論の対比

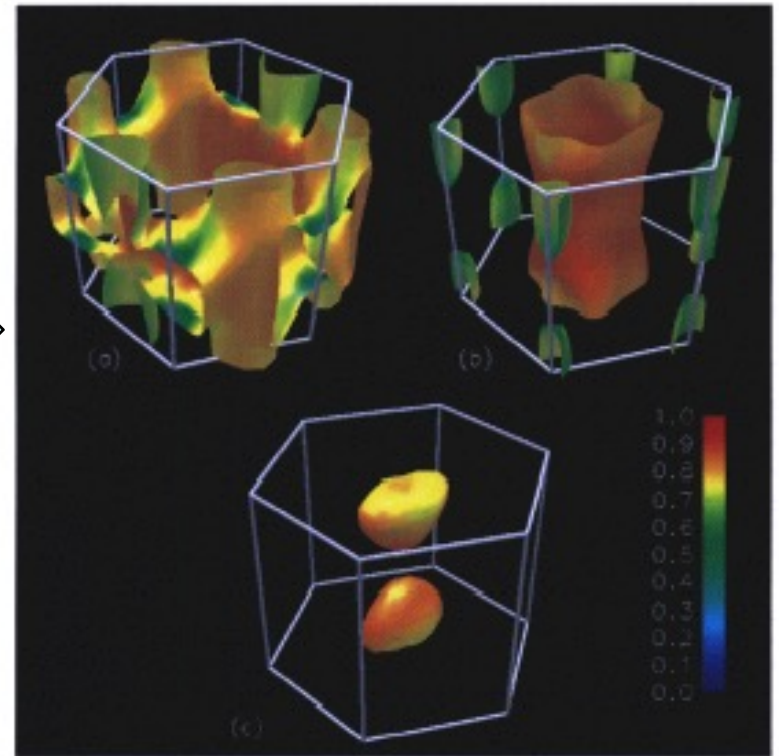


Figure 6. Fermi surfaces as in figure 5. The colours shown give the amount of 5f angular momentum character on each sheet of the Fermi surface.

Band structure calculation: Sandratskii et al.

中性子散乱実験の世界へ“足を踏み入れる”

J. Rossat-Mignod (International Conference on Strongly Correlated Systems (San Diego) August 1993) 、

G. Lander G (L. Paolasini, B. Rosli, N. Bernhoft, A. Hiess) 、

遠藤康夫 G (広田和馬、加倉井和久) 、 Brookhaven N. L. (S. Shapiro, G. Shirane)

PHYSICAL REVIEW B

VOLUME 53, NUMBER 21

1 JUNE 1996-I

Anisotropy and two length scales in the magnetic critical scattering in the heavy-fermion superconductor UPd₂Al₃

N. Sato, N. Aso, K. Hirota, T. Komatsubara, and Y. Endoh

Physics Department, Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai 980-77, Japan

S. M. Shapiro

Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973

G. H. Lander

*Commission of the European Communities, Joint Research Center, Institute for Transuranium Elements, Postfach 2340,
D-76125 Karlsruhe, Federal Republic of Germany*

K. Kakurai

Neutron Scattering Laboratory, Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Tokai, Ibaraki 319-11, Japan

(Received 21 December 1995)

We have performed neutron critical scattering experiments on the heavy-fermion superconductor UPd₂Al₃ above the Néel temperature in order to characterize the short-ranged correlations associated with the magnetic ordering. The magnetic correlation length along the hexagonal *c* axis is longer than that in the basal plane, suggesting that the antiferromagnetic interaction along the *c* axis is stronger than the ferromagnetic one in the basal plane. This antiferromagnetic correlation is discussed in connection with the pairing mechanism of the superconductivity. We also find that the magnetic fluctuations exhibit the two-length scales reminiscent of features observed in Tb and Ho. [S0163-1829(96)06422-3]

Spin Fluctuations in the Heavy Fermion Superconductor UPd₂Al₃ Studied by Neutron Inelastic Scattering

Noriaki SATO, Naofumi ASO, Gerry H. LANDER¹, Bertrand ROESSLI²,
 Takemi KOMATSUBARA³ and Yasuo ENDOH

Physics Department, Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai 980-77

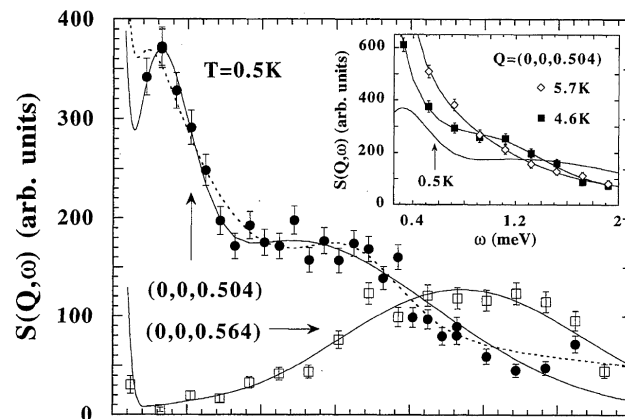
¹*European Commission, JRC, Institute for Transuranium Elements,
 Postfach 2340, D-76125, Karlsruhe, Germany*

²*Institut Max von Laue-Paul Langevin, Grenoble, Cedex 9, France*

³*Center for Low Temperature Science, Tohoku University, Sendai 980-77*

(Received March 17, 1997)

非弾性散乱スペクトル



ELSEVIER

Journal of Alloys and Compounds 271-273 (1998) 433-436

Journal of
 ALLOYS
 AND COMPOUNDS

Observation of two low-energy responses in UPd₂Al₃—interaction of magnetism and superconductivity?

N. Sato^{a,*}, N. Aso^a, B. Roessli^{1,b}, G.H. Lander^c, T. Komatsubara^d, Y. Endoh^a, O. Sakai^a

^a*Physics Department, Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai 980-77, Japan*

^b*Institut Max von Laue-Paul Langevin, Grenoble, Cedex 9, France*

^c*European Commission, JRC, Institute for Transuranium Elements, Postfach 2340, D-76125, Karlsruhe, Germany*

^d*Center for Low Temperature Science, Tohoku University, Sendai 980-77, Japan*

Abstract

We have performed neutron inelastic scattering measurements for the heavy fermion superconductor UPd₂Al₃. From comparison of the results with calculation, we suggest that the spin fluctuation determines the superconducting transition temperature T_c , and that the strong coupling between the heavy electrons and spin waves may lead to the observation of two low-energy responses. We also suggest, within the model investigated, that the spin wave excitation energy may be reduced below T_c . © 1998 Elsevier Science S.A.

$$g_{QP}(\omega) = \chi_{st} \gamma / (i\omega - \gamma), \quad g_{SW}(\omega) = \alpha^2 / (\omega - \Delta).$$

$$\begin{aligned} \text{Im}G_{ff}(q, \omega) = & \left(\frac{-\alpha^4 J^2 \chi_{st} \gamma \omega}{\omega^2 + \gamma^2} \right) / \left(\left(\omega - \omega_q \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\alpha^2 J^2 \chi_{st} \gamma^2}{\omega^2 + \gamma^2} \right)^2 + \left(\frac{\alpha^2 J^2 \chi_{st} \gamma \omega}{\omega^2 + \gamma^2} \right)^2 \right) \\ & + \left(\frac{-\alpha^4 J^2 \chi_{st} \gamma \omega}{\omega^2 + \gamma^2} \right) / \left(\left(\omega + \omega_q \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{\alpha^2 J^2 \chi_{st} \gamma^2}{\omega^2 + \gamma^2} \right)^2 + \left(\frac{\alpha^2 J^2 \chi_{st} \gamma \omega}{\omega^2 + \gamma^2} \right)^2 \right), \end{aligned}$$

“局在成分”の物理学的意味
 が不明

MPI CPfS at 1998-1999

第34巻第8号(通巻402号) 平成11年8月15日発行(毎月1回15日発行) 昭和59年10月6日第3種郵便物認可

ISSN 0454-4544

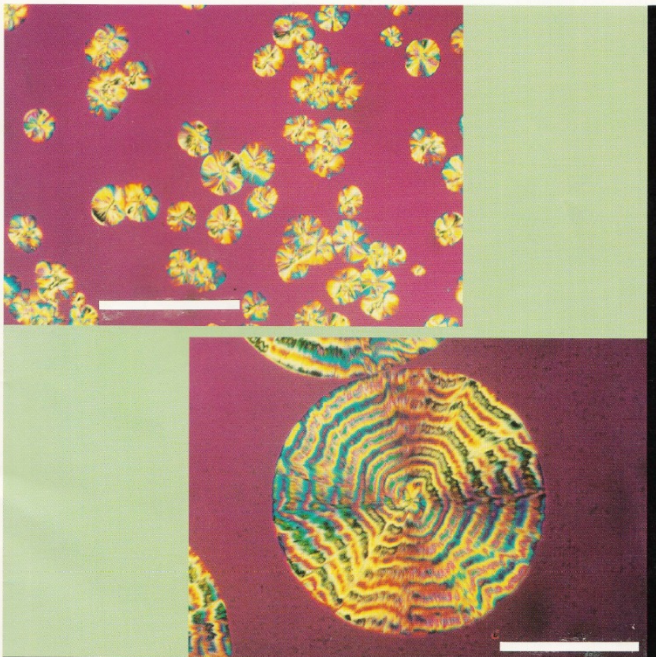
固体物理 8

SOLID
STATE
PHYSICS
Vol.34 1999

KOTBA 2 34 (8) 657 - 728 (1999)

No.402

- 半導体表面構造の光誘起変化と構成原子の脱離
- 金属水素化合物 YCo_5H_2 の磁性と電子構造 (II)
- 高温超伝導やモット転移においても近藤効果
- 近接場磁気光学顕微鏡 (MO-SNOM) の開発
- 銅酸化物超伝導体におけるジョセフソン・プラズマ共鳴の透過測定による観測
- タイプ II InAs/GaSb/AlSb ヘテロ構造量子井戸サブバンド間の電流注入発光
- 単一量子ドットの近接場分光—量子ドット中の電子のゼーマン・スピン分裂を中心にして—
- 電磁波誘起透明化 (EIT) を固体で実現した希土類イオン分散結晶 $Pr^{3+}:Y_2SiO_5$



結晶性高分子の球晶形態の非晶性高分子微量添加による制御 (東大工 池原飛之・李 庭昌・西 敬夫)

休/憩/室/

MPI-CPfS 研究所開所式に参列して

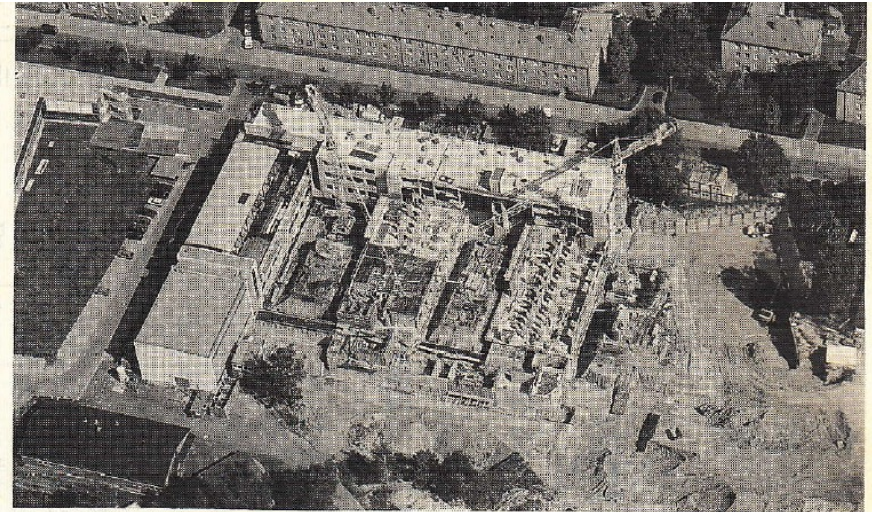
Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe (MPI-CPfS)の開所式が4月27日ドイツ・ドレスデンにて執り行われました。この研究所は、文字どおり化学と物理学の境界領域の固体物性研究を目指して設立されました。建物は未だ完成には至っておりません(2000年の後半に完成予定)ので、式典はこれに隣接したMax-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme (P. Fulde教授がディレクターを努めております理論研究所)で行われました。

式典は、設立ディレクターのF. Steglich教授の挨拶で始まり、連邦政府やザクセン州政府(ドレスデンはザクセン州の州都です)の政治家、ドレスデン市長、ドレスデン工科大学学長の祝辞が

続きます)。

また、ある方がその講演中、研究所の名前から「化学」という部分を抜かしたらしく、その後の講演者が皆これをジョークの種としたようで、その中には「化学と物理の融合というのは難しいものだ」といった皮肉めいたものもあったようです。因果応報という言葉は当たらないかも知れませんが、後日の開所式を報じた新聞の中には研究所の名前から「物理」が抜け落ちていたものがあったそうです。

はじめにも書きましたように、この研究所は化学と物理の融合を目指して1995年に設立が計画され、翌96年には(当時)Darmstadt工科大学教授のSteglich氏が研究所開設担当ディレクターとして



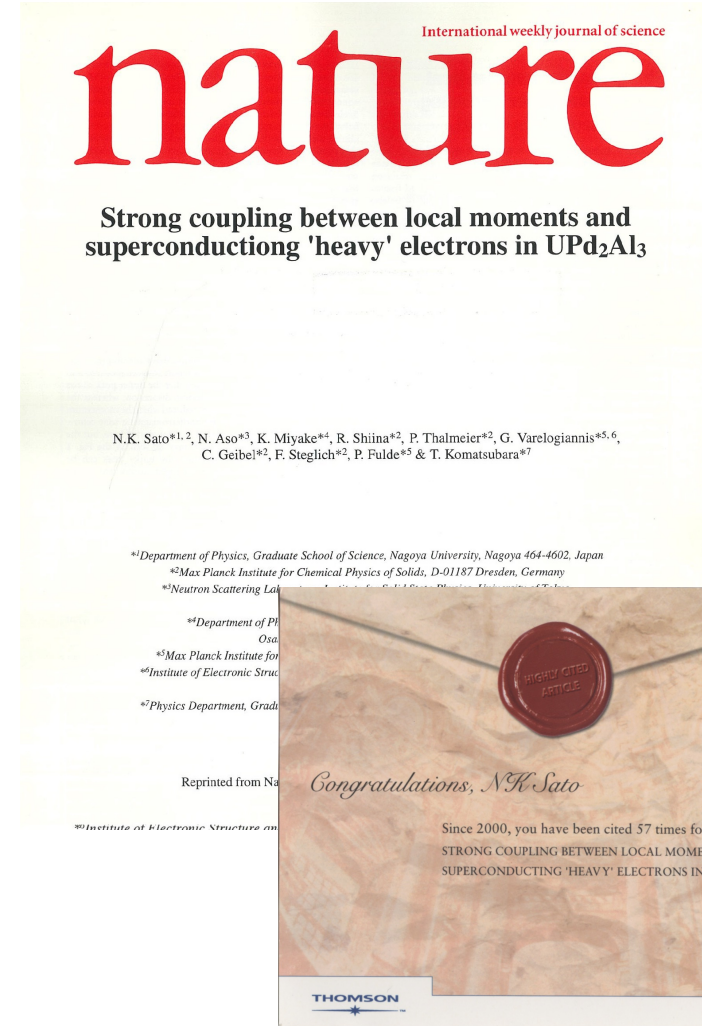
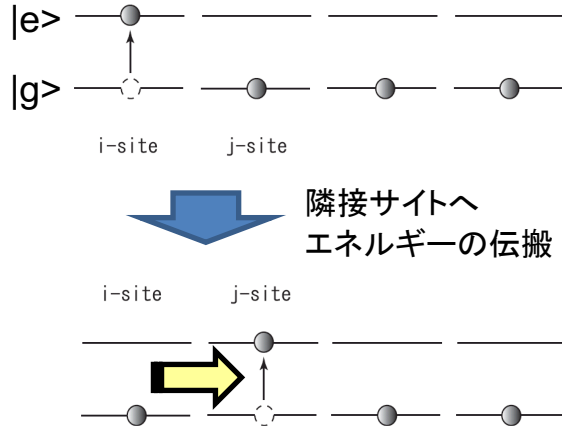
When I was staying at MPI at 1998-1999, the institute was under contraction.

一時帰国中に三宅氏と議論：
式の物理学的意味が明確になる！



K. Miyake

https://ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/TQP/member/profile/profile_b01_miyake.html 2021/8/4



Magnon : Exchange > CEF
Magnetic exciton: Exchange < CEF

(P. Thalmeier氏との議論)

This means that the number of citations your article received places it in the top 1% within its field according to *Essential Science Indicators*SM. Your work is highly influential, and is making a significant impact among your colleagues in your field of study.

Strong coupling between local moments and superconducting 'heavy' electrons in UPd₂Al₃

N. K. Sato^{*†}, N. Aso[‡], K. Miyake[§], R. Shiina^{†||}, P. Thalmeier[†], G. Varelogiannis[¶], C. Geibel[†], F. Steglich[†], P. Fulde[†] & T. Komatsubara^{**}

^{*} Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

[†] Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids, D-01187 Dresden, Germany

[‡] Neutron Scattering Laboratory, Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Ibaraki 319-1106, Japan

[§] Department of Physical Science, Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Toyonaka 560-8531, Japan

[¶] Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, D-01187 Dresden, Germany

[#] Institute of Electronic Structure and Laser, Foundation for Research and Technology—Hellas, 71110 Heraklion, Greece

^{**} Physics Department, Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

The electronic structure of heavy-fermion compounds arises from the interaction of nearly localized 4*f*- or 5*f*-shell electrons (with atomic magnetic moments) with the free-electron-like itinerant conduction-band electrons. In actinide or rare-earth heavy-fermion materials, this interaction yields itinerant electrons having an effective mass about 100 times (or more) the bare electron mass. Moreover, the itinerant electrons in UPd₂Al₃ are found to be superconducting well below the magnetic ordering temperature^{1,2} of this compound, whereas magnetism generally suppresses superconductivity in conventional metals. Here we report the detection of a dispersive excitation of the ordered *f*-electron moments, which shows a strong interaction with the heavy superconducting electrons. This 'magnetic exciton' is a localized excitation which moves through the lattice as a result of exchange forces between the magnetic moments. By combining this observation with previous tunnelling measurements on this material³, we argue that these magnetic excitons may produce effective interactions between the itinerant electrons, and so be responsible for superconductivity in a manner analogous to the role played by phonons in conventional superconductors.

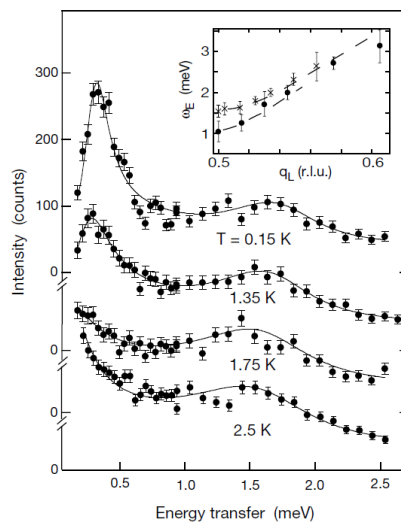


Figure 1 Temperature evolution of the inelastic neutron scattering spectrum. The experiments were performed at the IN14 spectrometer at the ILL Grenoble, and the experimental details are described elsewhere^{10–13}. The region of ω smaller than ~ 0.15 meV was inaccessible because it was masked by the strong intensity of incoherent elastic scatterings and by a tail of the antiferromagnetic (AF) Bragg peak at $\omega = 0$. The momentum transfer \mathbf{q} varied along the *c* axis around the AF zone centre $\mathbf{Q}_0 = (0, 0, q_L = 0.5)$. Solid lines represent fits using the expression for the spectral function given in Fig. 2 legend with the assumption that α , Δ_{CEF} and J_{AF} are independent of temperature. As inferred from susceptibility²³, microscopic properties^{8,24} and our own calculation of the AF order parameter, the local component is described by a $U^{4f}(5f^2)$ CEF singlet ground state (*g*) and an excited state (*e*), probably a doublet, at an energy Δ_{CEF} (≈ 7 meV). The formation of an induced local moment in the AF regime is caused by a magnetic matrix element $\alpha = \langle e | J_z | g \rangle (\approx 2.8)$ between them and $J_{\text{AF}}(\mathbf{q}) (\approx 0.7$ meV for $\mathbf{q} = \mathbf{Q}_0$). Inset, the dispersion relation of magnetic excitons at $T = 2.5$ K (crosses) and 0.15 K (circles). Dashed lines are guides to the eyes. The dispersion corresponds to an acoustic mode in the AF structure, and its finite gap at $\mathbf{q} = \mathbf{Q}_0$ is caused by uniaxial exchange anisotropies.

news and views

Superconductivity

Magnetic glue exposed

Piers Coleman

Overcoming electrons' mutual repulsion is the key to superconductivity. In simple metals, the forces that bind these charged particles in pairs are well understood, but what is the glue in other superconductors?

Physicists are fascinated by the 'glue' that holds matter together. According to quantum mechanics, forces are not instantaneous, but are transmitted by the exchange of tiny packets of energy, or 'quanta', between particles. So electromagnetic forces are produced by the exchange of photons, and the strong forces that keep quarks tightly bound inside protons are driven by the exchange of quanta suggestively called gluons.

But inside metals, different sorts of quanta become possible, and electrons that exchange these quanta can experience new kinds of attractive forces that profoundly change their properties. The most celebrated example of this is superconductivity — which occurs when electrons at low temperature pair up and flow without resistance. Now, on page 340 of this issue, Sato *et al.*¹ reveal a magnetic origin for the 'glue'

between electrons in an unconventional superconductor.

In the late 1950s, Bardeen, Cooper and Schrieffer (BCS) showed that superconductivity involves the formation of bound pairs of electrons, named Cooper pairs. BCS argued that the electron pairs were 'glued together' by tiny deformations in the crystal lattice, called phonons, that accompany the electrons' motion. But although phonons were implicated in superconductivity many years before the BCS theory, it was not until the 1960s that it became possible to definitively identify them as the glue in conventional superconductivity.

In the early 1960s, the Russian physicist Eliashberg² showed how the electron-pairing forces created by phonons could be elegantly incorporated into BCS theory using a set of equations that now bear his name. It turns out that the exchange of phonons between

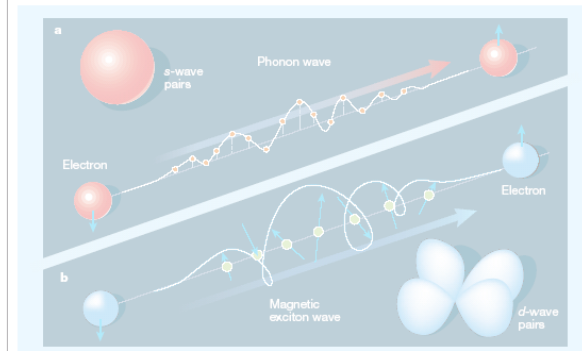


Figure 1 Two ways to make a metallic superconductor. a, In conventional superconductivity the glue responsible for binding electrons into superconducting pairs is derived from the exchange of 'quanta' of lattice vibrations — phonons, shown here as a wave passing through the lattice atoms — that bind electrons into 's-wave' pairs. b, Sato *et al.*¹ provide new evidence that, in the unconventional superconductor UPd₂Al₃, the glue responsible for the electron pairing derives from the exchange of magnetic quanta — magnetic excitons — that bind the electrons into 'd-wave' pairs (blue arrows indicate direction of spin).

Strong coupling between local moments and superconducting 'heavy' electrons in UPd₂Al₃

N. K. Sato^{*†}, N. Aso[‡], K. Miyake[§], R. Shiina^{†||}, P. Thalmeier[†], G. Varelogiannis[¶], C. Geibel[†], F. Steglich[†], P. Fulde[†] & T. Komatsubara^{**}

^{*} Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

[†] Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids, D-01187 Dresden, Germany

[‡] Neutron Scattering Laboratory, Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Ibaraki 319-1106, Japan

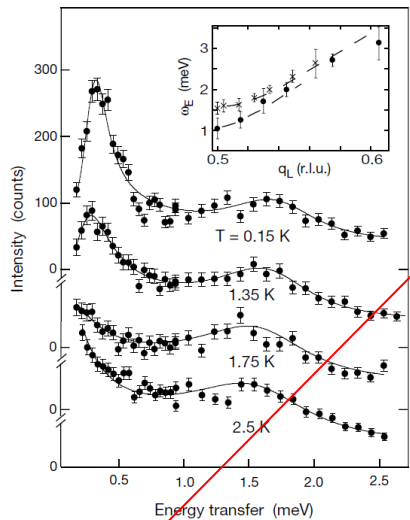
[§] Department of Physical Science, Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Toyonaka 560-8531, Japan

[¶] Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, D-01187 Dresden, Germany

[#] Institute of Electronic Structure and Laser, Foundation for Research and Technology—Hellas, 71110 Heraklion, Greece

^{**} Physics Department, Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

The electronic structure of heavy-fermion compounds (with the interaction of nearly localized 4f- or 5f-atomic magnetic moments) with the free-conduction-band electrons. In actinide heavy-fermion materials, this interaction yields heavy electrons having an effective mass about 100 times the free electron mass. Moreover, the itinerant electrons are found to be superconducting well below the superconducting temperature^{1,2} of this compound, whereas the magnetic moments suppress superconductivity in conventional superconductors. We report the detection of a dispersive excitation of the localized electron moments, which shows a strong coupling between the heavy superconducting electrons. This localized excitation which moves through the lattice is identified as a magnetic excitation. In contrast to this observation with previous tunnelling spectroscopy³, we argue that these magnetic excitations are responsible for superconductivity in a manner similar to the role played by phonons in conventional superconductors.



news and views

1. Strachey, J. ed. Strachey, J. (Hogarth, London, 1957).
2. Freud, S. *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud* Vol. 6 (transl. Strachey, J.; ed. Strachey, J.) (Hogarth, London, 1960).
3. Anderson, M. C. & Green, C. *Nature* **410**, 366–369 (2001).
4. Bjork, R. A., Bjork, E. L. & Anderson, M. C. in *Intentional Forgetting: Interdisciplinary Approaches* (eds Gilling, J. M. & MacLeod, C. M.) 103–137 (Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ, 1998).
5. Houghton, G. & Tipper, S. T. *Brain Cognition* **30**, 20–42 (1996).
6. Freud, S. *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud* Vol. 1 (transl. Strachey, J.; ed. Strachey, J.) (Hogarth, London, 1957).
7. Anderson, M. C. *J. Aggression Mahraumen Trauma* (in the press).

Superconductivity

Magnetic glue exposed

Piers Coleman

Overcoming electrons' mutual repulsion is the key to superconductivity. In simple metals, the forces that bind these charged particles in pairs are well understood, but what is the glue in other superconductors?

Physicists are fascinated by the 'glue' that holds matter together. According to quantum mechanics, forces are not instantaneous, but are transmitted by the exchange of tiny packets of energy, or 'quanta', between particles. So electromagnetic forces are produced by the exchange of photons, and the strong forces that keep quarks tightly bound inside protons are driven by the exchange of quanta suggestively called gluons.

But inside metals, different sorts of quanta become possible, and electrons that exchange these quanta can experience new kinds of attractive forces that profoundly change their properties. The most celebrated example of this is superconductivity — which occurs when electrons at low temperature pair up and flow without resistance. Now, on page 340 of this issue, Sato *et al.*¹ reveal a magnetic origin for the 'glue'

between electrons in an unconventional superconductor.

In the late 1950s, Bardeen, Cooper and Schrieffer (BCS) showed that superconductivity involves the formation of bound pairs of electrons, named Cooper pairs. BCS argued that the electron pairs were 'glued together' by tiny deformations in the crystal lattice, called phonons, that accompany the electrons' motion. But although phonons were implicated in superconductivity many years before the BCS theory, it was not until the 1960s that it became possible to definitively identify them as the glue in conventional superconductivity.

In the early 1960s, the Russian physicist Eliashberg² showed how the electron-pairing forces created by phonons could be elegantly incorporated into BCS theory using a set of equations that now bear his name. It turns out that the exchange of phonons between

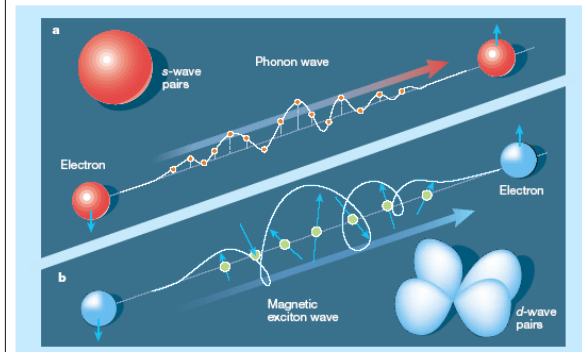
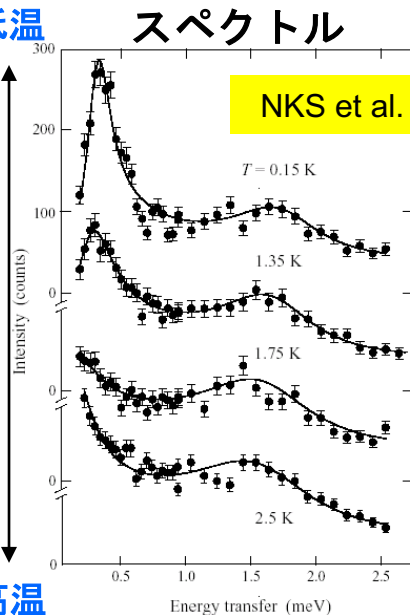


Figure 1 Two ways to make a metallic superconductor. a. In conventional superconductivity the glue responsible for binding electrons into superconducting pairs is derived from the exchange of 'quanta' of lattice vibrations — phonons, shown here as a wave passing through the lattice atoms — that bind electrons into 's-wave' pairs. b. Sato *et al.*¹ provide new evidence that, in the unconventional superconductor UPd₂Al₃, the glue responsible for the electron pairing derives from the exchange of magnetic quanta — magnetic excitons — that bind the electrons into 'd-wave' pairs (blue arrows indicate direction of spin).

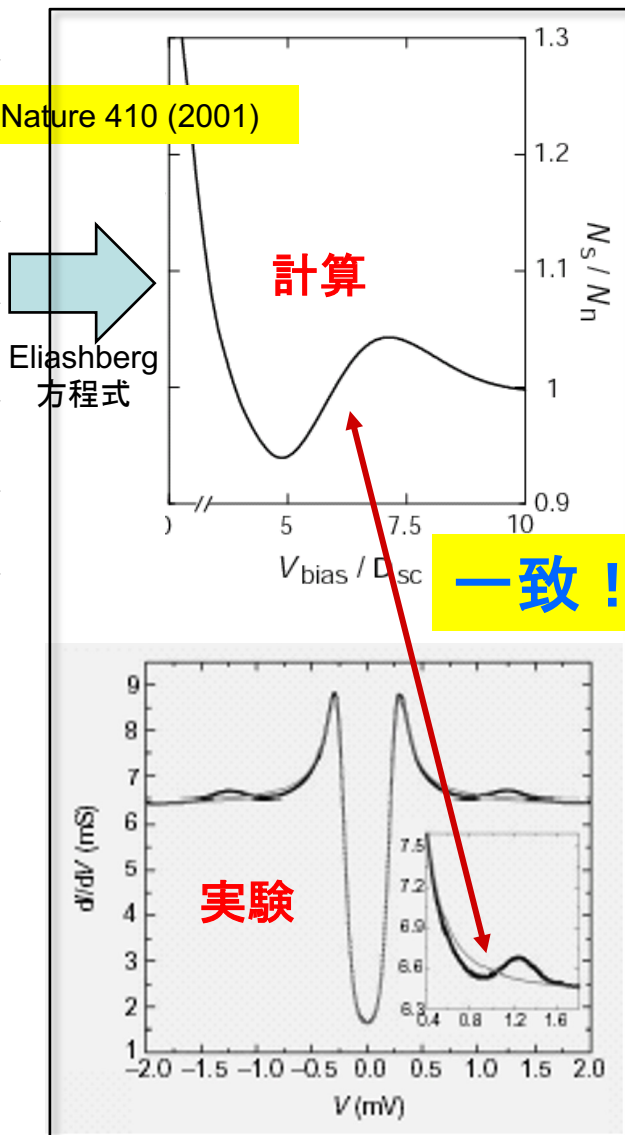
磁気励起子 (magnetic-exciton) 媒介超伝導

中性子非弾性散乱
スペクトル



NKS et al. Nature 410 (2001)

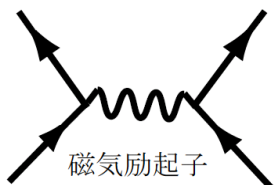
トンネルスペクトル



計算

一致!

実験



磁気励起子

Boson exchange

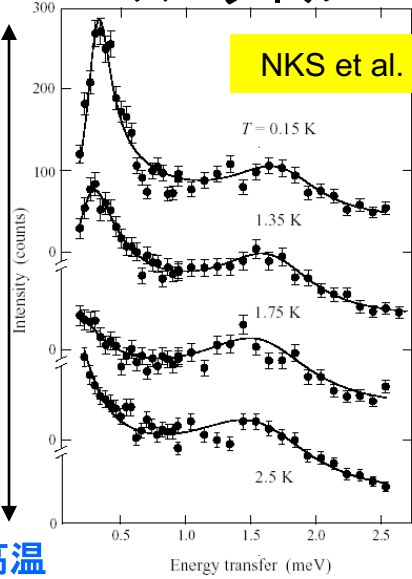
troscopy³. In the late 1960s, McMillan and Rowell⁴ confirmed the long suspected role of phonons in conventional superconductors. They showed that the phonon energy spectrum measured by neutron scattering from superconducting mercury and lead agreed with the spectrum that they had deduced from their precise electron-tunnelling measurements. In so doing, they also confirmed that the Eliashberg refinement of BCS theory was accurate to about 1%.

Sato et al.¹ provide new evidence for this magnetic glue. They studied the heavy-fermion superconductor UPd₂Al₃, so called because the conducting electrons in it acquire very large effective masses, often hundreds of times that of a free electron. UPd₂Al₃ is one of a handful of heavy-fermion superconductors in which both antiferromagnetism (a type of magnetic order) and superconductivity can coexist. In essence, the work by Sato et al. is an attempt to extend the approach of McMillan and Rowell to unconventional superconductivity.

M. Jourdan et al. Nature 398 (1999)

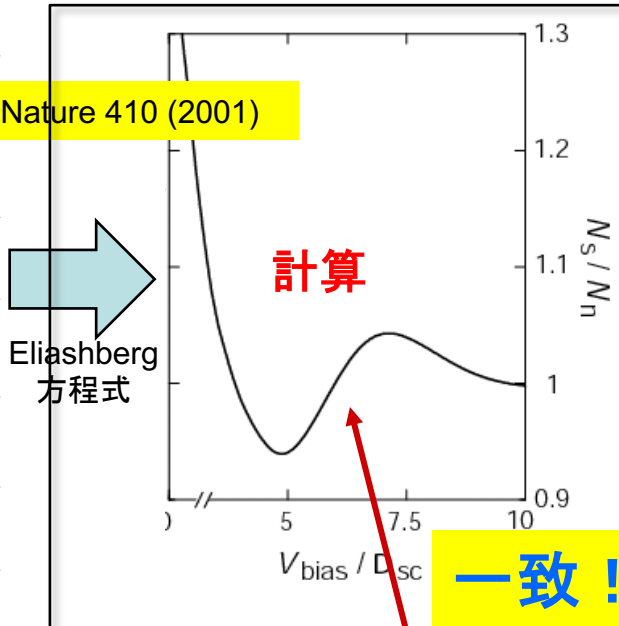
磁気励起子 (magnetic-exciton) 媒介超伝導

中性子非弾性散乱
スペクトル



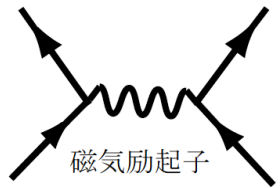
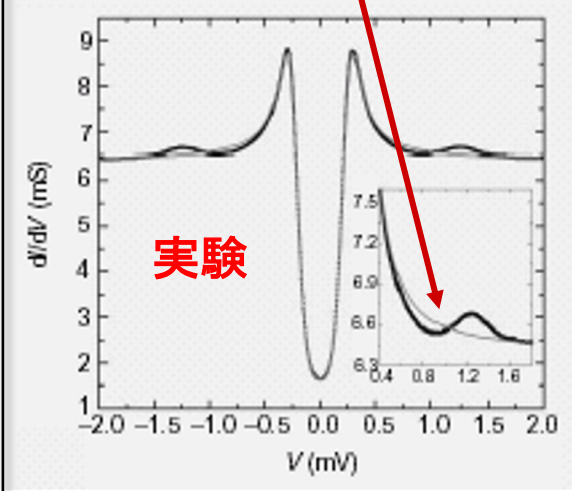
NKS et al. Nature 410 (2001)

トンネルスペクトル



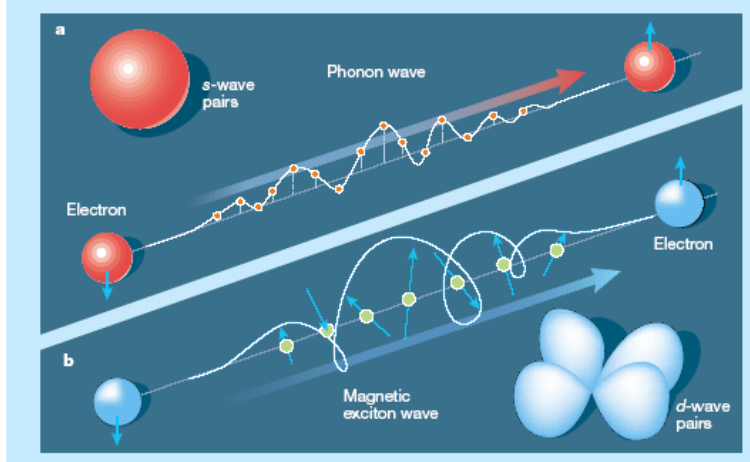
Eliashberg
方程式

一致!



Boson
exchange

troscopy³. In the late 1960s, McMillan and Rowell⁴ confirmed the long suspected role of phonons in conventional superconductors. They showed that the phonon energy spectrum measured by neutron scattering from superconducting mercury and lead agreed with the spectrum that they had deduced



hundreds of times that of a free electron. UPd₂Al₃ is one of a handful of heavy-fermion superconductors in which both antiferromagnetism (a type of magnetic order) and superconductivity can coexist. In essence, the work by Sato et al. is an attempt to extend the approach of McMillan and Rowell to unconventional superconductivity.

M. Jourdan et al. Nature 398 (1999)

Superconductivity of UPd₂Al₃

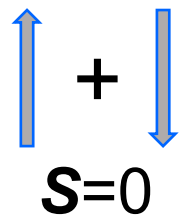
日本物理学会誌 2002

最近の研究から

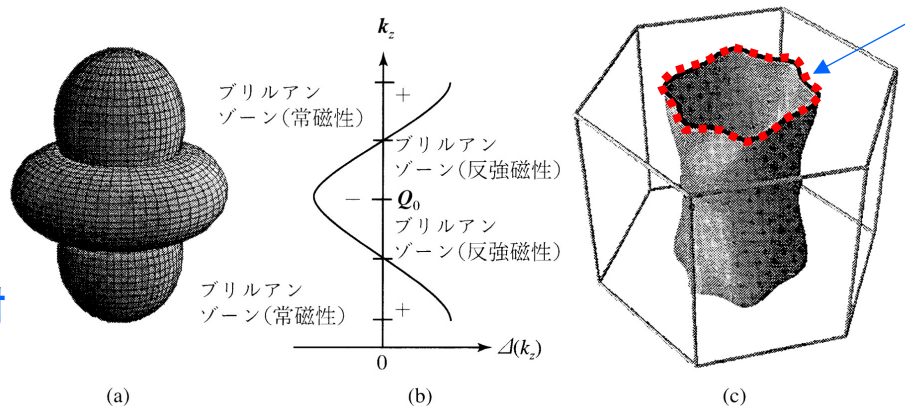
反強磁性は超伝導を誘起できるか？ ——UPd₂Al₃ における磁気励起子媒介超伝導——

佐藤 憲昭 <名古屋大学大学院理学研究科物質理学専攻 464-8602 名古屋市千種区不老町 e-mail: kensho@edu3.phys.nagoya-u.ac.jp>
 阿曾 尚文 <東京大学物性研究所 319-1106 茨城県那珂郡東海村白方 106-1 e-mail: aso@issp.u-tokyo.ac.jp>
 三宅 和正 <大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻 560-8531 豊中市待兼山町 1-3 e-mail: miyake@mp.es.osaka-u.ac.jp>

超伝導体における遍歴電子は引力相互作用によって互いに束縛されクーパー対を形成している。通常の超伝導体でグルー（接着剤）の役割を果たしている準粒子はフォノンであるが、磁気秩序と超伝導が共存する不思議な化合物である UPd₂Al₃ におけるグルーは一体何であろうか？ 本稿では磁気励起子と呼ばれる磁気モーメントの集団運動が超伝導引力を媒介していることを示す。



スピンシングレット対



線ノード

at the AF zone boundary

Even parity gap function

$$A_{1g} : (k_x^2 + k_y^2) - 2k_z^2$$

図3 (a) 点群 D_{6h} に対する A_{1g} 対称基底関数 (丸いフェルミ面の場合). (b) c 軸方向のギャップ関数. 式 (2) に対応し、反強磁性ゾーンバウンダリーの上下で符号を反転している. 反強磁性状態における c 軸方向のブリルアンゾーンは、常磁性状態の半分の大きさになっていることに注意. (c) バンド計算から得られるフェルミ面 (の一つ) とギャップ関数のノード.¹⁵⁾ ブリルアンゾーンの境界に存在する線ノードが大線で示されている.

最近の群論を用いた研究によっても確認！

Superconductivity of UPd₂Al₃

日本物理学会誌 2002

最近の研究から

反強磁性は超伝導を誘起できるか？

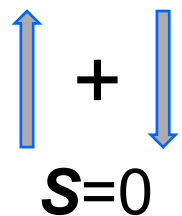
——UPd₂Al₃ における磁気励起子媒介超伝導——

佐藤 憲昭 <名古屋大学大学院理学研究科物質理学専攻 464-8602 名古屋市千種区不老町 e-mail: kensho@edu3.phys.nagoya-u.ac.jp>

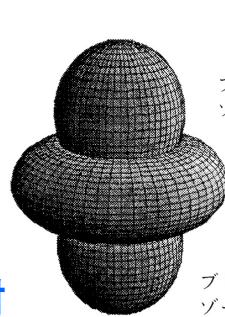
阿曾 尚文 <東京大学物性研究所 319-1106 茨城県那珂郡東海村白方 106-1 e-mail: aso@issp.u-tokyo.ac.jp>

三宅 和正 <大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻 560-8531 豊中市待兼山町 1-3 e-mail: miyake@mp.es.osaka-u.ac.jp>

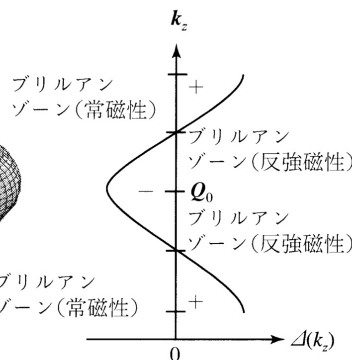
UPd₂Al₃ 関連で学位取得 (東北大) : 稲田、左近、阿曾



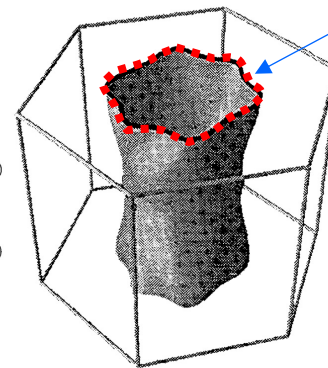
スピンシングレット対



(a)



(b)



(c)

線ノード

at the AF zone boundary

Even parity gap function

$$A_{1g} : (k_x^2 + k_y^2) - 2k_z^2$$

図3 (a) 点群 D_{6h} に対する A_{1g} 対称基底関数 (丸いフェルミ面の場合). (b) c 軸方向のギャップ関数. 式 (2) に対応し, 反強磁性ゾーンバウンダリーの上下で符号を反転している. 反強磁性状態における c 軸方向のブリルアンゾーンは, 常磁性状態の半分の大きさになっていることに注意. (c) バンド計算から得られるフェルミ面 (の一つ) とギャップ関数のノード.¹⁵⁾ ブリルアンゾーンの境界に存在する線ノードが大線で示されている.

最近の群論を用いた研究によっても確認!

第2章

M研の立ち上げ

M研発足

1999年11月

旧M研(金属磁性研) 新M研(磁性物理学研)

助手: 西岡 孝

D3: 牛田	→	旧テーマのまま
D1: 本山	→	URu ₂ Si ₂ , UGe ₂
M2: 水越	→	旧テーマのまま
M1: 向井、森若	→	高圧・SmS, CaB ₆
P4: 中村	→	UGe ₂

M研の礎を築いたメンバー



西岡 孝
(高知大教授)



牛田泰久
(豊田合成、未来研特任准教授)



本山 岳(島根大准教授)

M研の論文第1号

Journal of the Physical Society of Japan
Vol. 69, No. 8, August, 2000, pp. 2415-2418

(Received April 19, 2000)

High Pressure Magnetization Measurements on URu₂Si₂

Takashi NISHIOKA, Hitoshi MUKAI, Setsuji NAKAMURA,
Gaku MOTOYAMA, Yasuhisa USHIDA and Noriaki K. SATO

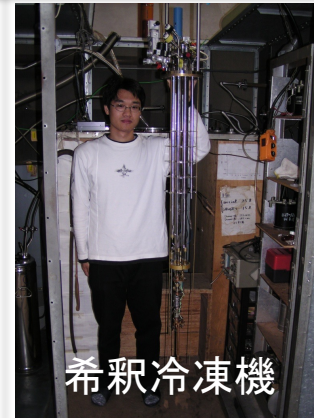
Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University,
Nagoya 464-8602

(Received April 19, 2000)

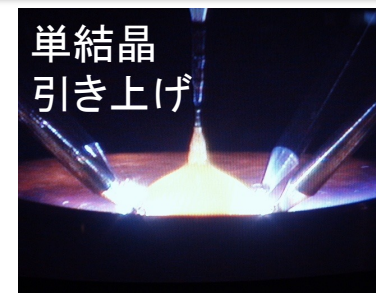
We have made high pressure magnetization measurements on a single crystalline URu₂Si₂ up to $P = 1.61$ GPa, in magnetic fields up to 15 T and in the temperature range between 4.2 and 100 K. A characteristic temperature T_0 which corresponds to an antiferromagnetic phase transition shows a slight increase with pressure, while T_{max} , at which the temperature dependence of the magnetization exhibits a maximum, remains nearly constant with pressure. We have also observed that the pressure dependence of the high field magnetization at low temperatures shows a shallow minimum at around 1 GPa, in contrast to a strong and monotonic increase in a staggered magnetic moment revealed by recent elastic neutron diffraction experiments under pressures. To reconcile this discrepancy, we suggest, in conjunction with other experimental results, that the observed large staggered moment in the neutron diffraction experiments is not static but fluctuating in time.

LETTERS

“ミドルネーム”
の使用



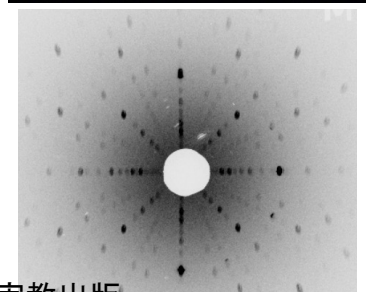
希釈冷凍機



単結晶
引き上げ



高圧セル



実教出版:
高校物理教科書に掲載予定

M研発足

1999年11月

M研の礎を築いたメンバー



西岡 孝
(高知大教授)



牛田泰久
(豊田合成、未来研特任准教授)



本山 岳(島根大准教授)

旧M研(金属磁性研) 新M研(磁性物理学研)

助手: 西岡 孝

- D3: 牛田 → 旧テーマのまま
- D1: 本山 → URu₂Si₂, UGe₂
- M2: 水越 → 旧テーマのまま
- M1: 向井、森若 → 高圧・SmS, CaB₆
- P4: 中村 → UGe₂

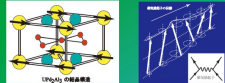
21世紀COE(2004? ~) ポスター

主な研究成果

主な研究成果

UPd₂Al₃ ~超伝導と磁気秩序の共存~

従来の固体物理学の常識では、磁気秩序は超伝導を壊すことばかりでも作り出すことはないだろうと考えられていました。しかし、ある種の物質では磁気状態にあるからでも超伝導が起ります。私たちの提案している UPd₂Al₃ における磁気励起子(magnetic excitation) 磁気超伝導のモデルがそうです。先のフェリイオンとの関係で言えば、磁気成分が磁気秩序を生み出し、超伝導現象はその導電成分によって覆われます。磁気秩序によって超伝導が壊されないのは、超伝導のコヒーレンス長に対して磁気励起子の寿命が短く、フェリイオン間の距離の内層磁気層はキャンセルしているためだと考えられています。



CaB₆ 寄生する強磁性 (Parasitic ferromagnetism)

1999年に、CaB₆ という「異常」・「謎解」モデルのいずれにもあてはまらないにも関わらず、鉄と同程度の400 K という高温で強磁性を示すという、これまで磁性物理学の常識を崩すものが発見されました。以来、理論・実験ともに積極的に研究がなされましたが、我々のグループではつい最近、この強磁性の真の起源は鉄と硼素とのクラスターであるとする実験的証拠を得ました。また我々は、この強磁性が CaB₆ の異常のものではなく、LaB₆ においても同じ800 K、1000 K付近に転移点をもつ強磁性を示すことを突き止めました。さらに、このクラスターを特異的に選んでその磁化は大きく減少し(図1)、その上置かない限り、磁気的異常が抑制されました。数多くのサンプルに関してのデータを蓄積していった結果、図2に示したように鉄の磁化量と硼化の濃度の間に強い相関関係を発見しました。なお、この結果は「サイエンス」の科学雑誌「Nature」に掲載されています。

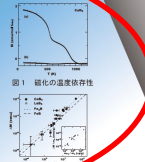


図2 磁化の濃度と鉄の磁化量の関係

研究の特色

純良単結晶の育成



高圧下



極低温



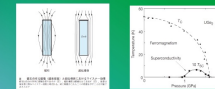
多重極限下での物性測定

現在の研究テーマ

UGe₂ ~超伝導と強磁性の共存~

UGe₂ は超伝導と強磁性が共存していると考えられる物質として注目を集めています。強磁性は常圧で 55 K 以下で発現しますが圧力を加えていくと徐々に減少し、1000 K 以上に達すると 1 K 以下の極低温で超伝導が出現します。超伝導は強磁性によって抑制されないのでしょうか? この疑問を解決すべく我々の研究グループでは、世界的にもトップクラスの良質な単結晶を作成し、極低温極高圧での様々な測定を行っています。

超伝導と強磁性の共存に関しては、ウラン系物質以外にも希土系化合物である CeRh₂ 等の研究も現在進行中です。



SmS ~絶縁体・金属転移において現れる新奇な相~

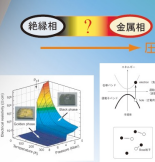


図3 SmSの圧力-温度相図

SmSは大気圧では黒色の絶縁体ですが、圧力によって絶縁体のエネルギーギャップの大きさをコントロールすることができ、最終的には金属へと相転移します。我々が特に注目しているのは、絶縁相と金属相の間で圧力領域での物性です。エネルギーギャップが十分小さくなった状態では、エキシトン(電子とホール)の共励起)というボーズ粒子が形成され、ボーズ-アインシュタイン凝縮が起こる可能性があります。もしこれが実際に実現しているならば、これまでにない全く新しい研究分野が切り開かれると期待されています。純良な単結晶試料と多量種下の物性測定という厳しい実験条件が要求されますが、それらを克服し、日々研究を行っています。

U系磁性超伝導体

CaB₆
CeB₆ ではない!

High-temperature weak ferromagnetism in a low-density free-electron gas

D. P. Young*, D. Hall*, M. E. Torelli*, Z. Fisk†, J. L. Sarrao†, J. D. Thompson†, H.-R. Ott‡, S. B. Oseroff§, R. G. Goodrich|| & R. Zysler¶

* NHMFL, Florida State University, Tallahassee, Florida 32306, USA

† Material Science and Technology Division, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87454, USA

‡ Laboratorium für Festkörperphysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Switzerland

§ Department of Physics, San Diego State University, San Diego, California 92182, USA

|| Department of Physics, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803, USA

¶ Centro Atomico Bariloche, Bariloche RN 8400, Argentina

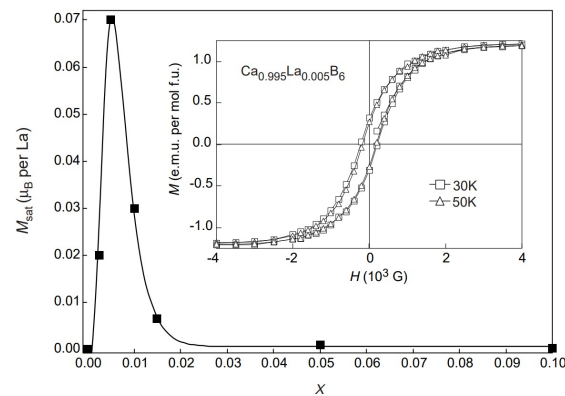


Figure 3 Saturation moment at $T = 5$ K per mol La as a function of La concentration in CaB_6 . The line is a guide to the eye. Inset, hysteresis loops at 30 K and 50 K for $\text{Ca}_{0.995}\text{La}_{0.005}\text{B}_6$.

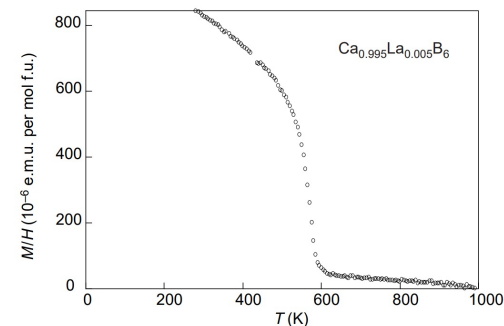


Figure 4 Magnetization of $\text{Ca}_{0.995}\text{La}_{0.005}\text{B}_6$ in a fixed applied field of 0.1 T as a function of temperature. These data were measured using a Faraday balance magnetometer.

日本物理学会誌 (2001)

最近の研究から

荷電フェルミ粒子系の強磁性転移

——実験室の電子液体と白色矮星表層の金属水素——

一丸節夫 <202-0005 西東京市住吉町 4-3-15 e-mail: STIchimaru@aol.com>

荷電フェルミ粒子（電子，陽子）系の磁化固転移を記述する相図を構築し， $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$ で実測された高温強磁性と，磁気白色矮星で観測された強い表面磁場の発現機構を論ずる。

1. はじめに

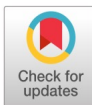
1998年の夏，アスペン物理学センターでエリヒュ・エイブラハムス (Elihu Abrahams) が「面白い話があるのだが」と私をよびとめ，ロスアラモスのフィスク (Fisk) がファクスで送ってきた実験データをみせた。それは，ヘキサボライド^{1,2)} CaB_6 に少量の La をドーピングすることにより得られる $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$ 中に，数密度 $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の自由電子群がつくりだされ，それらは温度 600 K でスピント極度 $\zeta = 0.07$ の強磁性状態にあることが，実測により確認された³⁾

情報は系の状態式である。二相平衡条件は一般に「温度・圧力・化学ポテンシャルが両相で等しい」で与えられる。しかし，電子 OCP では定密度の中和背景電荷があるので，その条件は「温度・密度・ヘルムホルツ自由エネルギーが両相で等しい」となる。

温度，数密度，スピント極度

$$\zeta \equiv (n_{\uparrow} - n_{\downarrow}) / n, \quad (n = n_{\uparrow} + n_{\downarrow}) \quad (1)$$

の関数として，相 Φ にある電子 OCP のヘルムホルツ自由エネルギーを $F_0(r_s, \theta; \zeta)$ で表す。ここで，



Ferromagnetism Induced by Ca Vacancy in CaB_6

Tomoaki MORIWAKA, Takashi NISHIOKA and Noriaki K. SATO*

Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602

(Received October 26, 2000)

CaB_6 doped with a La atom, $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$, is a ferromagnet, but the magnetic and transport properties of the nondoped mother material, CaB_6 , remain unclear. In order to reveal these we prepared a nondoped sample of CaB_6 from CaO and B by the oxidation-reduction method. We observed that a sample synthesized at an appropriate temperature shows a diamagnetic magnetization, while a sample prepared at a higher temperature exhibits ferromagnetism which is one order of magnitude larger than that in La-doped CaB_6 . We have ascribed this appearance of ferromagnetism to Ca vacancies which were produced during the synthesis. When we compared experimental results of the electrical resistivity with the magnetic properties, we failed to find any correlation between them. From these observations, we wish to suggest that the Ca vacancy yields not only the carrier doping effect but also another effect such as inhomogeneity or lowering of local symmetry in the crystal, the latter being possibly more effective in terms of the appearance of the ferromagnetism.

論文を書いたものの、しっくりこない？
さらに研究を積み重ねる！

Parasitic ferromagnetism in a hexaboride?

松林・真木の卒論

K.Matsubayashi, M.Maki, T.Tsuzuki,
T.Nishioka & N.K.Sato

研究会で話題。
学会でも立ち見が出る！

Department of Physics,
Graduate School of Science,
Nagoya University,
Nagoya 464-8602, Japan
e-mail: kensho@edu3.phys.nagoya-u.ac.jp

Natureに投稿するもリジェクト。
しかしその後、掲載！？

Reprinted from Nature, Vol. 420, No. 6912, pp.143-144, 14 November 2002

© Nature Publishing Group, 2002

brief communications

Magnetic properties

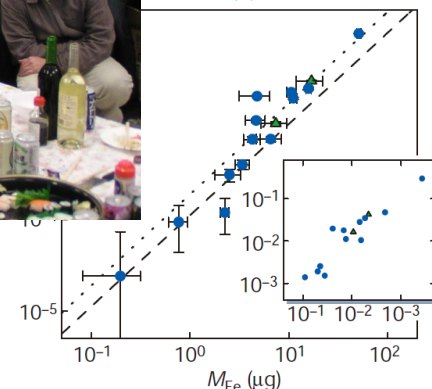
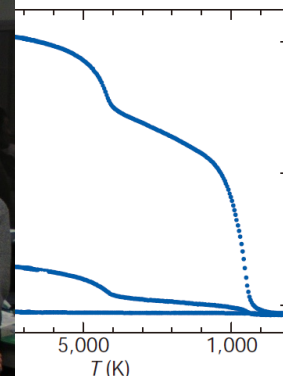
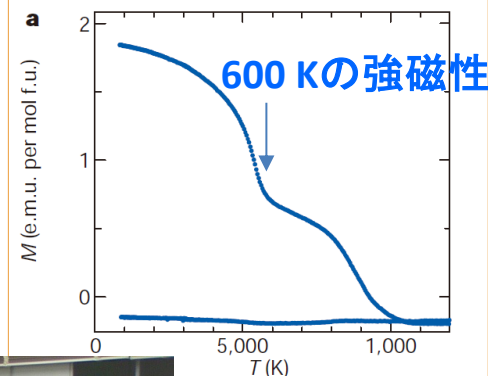
Parasitic ferromagnetism in a hexaboride?

Surprisingly for a compound with no magnetic element, Young *et al.*¹ have observed ferromagnetism in calcium hexaboride (CaB₆) doped with lanthanum



magnetic balance magnetometer (Cahn).

Figure 1a shows the temperature dependence of the magnetization $M(T)$ of CaB₆ synthesized using a BN crucible. Before acid treatment, a ferromagnetic feature is evident at around 600 K and 1,000 K; however, this disappears after acid treatment. This



a, Temperature (T)
e.m.u. per mol formula unit
g temperature. Top
ment, respectively.

Workshop: The Absud Salam International Center for Theoretical Physics,
Trieste (Italy), 17-28 July, 2000.

2002年春(立命館大)

講演番号	登録番号	タイトル	著者	所属	領域
24aXF-5	1545	CaB ₆ の磁性	真木幹雄, 松林和幸, 都築隆 A, 西岡孝 ^A , 佐藤憲昭 ^A	名大理, 名大院理 ^A	領域3

第3章

磁性超伝導体への挑戦

M研発足

1999年11月

M研の礎を築いたメンバー



西岡 孝
(高知大教授)



牛田泰久
(豊田合成、未来研特任准教授)



本山 岳(島根大准教授)

旧M研(金属磁性研) 新M研(磁性物理学研)

助手: 西岡 孝

- D3: 牛田 → 旧テーマのまま
- D1: 本山 → URu₂Si₂, UGe₂
- M2: 水越 → 旧テーマのまま
- M1: 向井、森若 → SmS, CaB₆
- P4: 中村 → UGe₂

21世紀COE(2004? ~) ポスター

現在の研究テーマ

磁性超伝導体
特に
強磁性超伝導体

主な研究成果

UPd₂Al₃ ~超伝導と磁気秩序の共存~

従来の固体物理学の常識では、磁気秩序は超伝導を壊すことであつても作り出すことはないだろうと考えられていました。しかし、ある種の物質では磁気状態にあるからでも超伝導が生じます。私たちの提案している UPd₂Al₃ における磁気励起子 (magnetic excitation) 磁気超伝導のモデルがそのようです。先のフェリマグと超伝導の関連で言えば、今の現在の成分が磁気秩序を生み出し、超伝導現象はその適切な成分によって選ばれます。磁気秩序によって超伝導が壊されないのは、超伝導のコヒーレンス長に対して磁気励起子の周期がずらす効果のため、スピン-軌道結合の内層電子はキーンセラーしているためだと考えられています。

CaB₆ 寄生する強磁性 (Parasitic ferromagnetism)

1999年に、CaB₆ という「異常」・「謎解」モデルのいずれにもあてはまらないにも関わらず、鉄と同程度の400 K という高温で強磁性を示すという、これまで磁性物理学の常識を破るものが報告されました。以来、理論・実験ともに精力的に研究がなされましたが、我々のグループではつい最近、この強磁性の真の原因は鉄と硼素とのクラスターであるとする実験的証拠を得ました。

まず我々は、この強磁性が CaB₆ の固有のものではなく、LaB₆ においても同じ800 K、1000 K付近に転移点をもつ強磁性を示すことをつきました。さらに、さらに、そのモデルを理論的に導くことでその強磁性は大きく減少し(図1)、その上置かずに鉄と硼素の割合が調整されました。数多くのサンプルに関してのデータを蓄積していった結果、図2に示したように鉄の抽出量と強磁性の減り強いの間に強い相関関係を見出ししました。なお、この結果はイギリスの科学雑誌「Nature」に掲載されています。

研究の特色

- 純良単結晶の育成
- 高圧下
- 極低温
- 多重極限下での物性測定

現在の研究テーマ

UGe₂ ~超伝導と強磁性の共存~

UGe₂ は超伝導と強磁性が共存していると考えられる物質として注目を集めています。強磁性は常圧で 53 K以下で発現しますが圧力を加えていくと徐々に減少し、10000 気圧に達すると 1 K以下の極低温で発現が出現します。超伝導は強磁性によって抑制されないのでしょうか? この問題を解決すべく我々の研究室では、世界的にみてトップクラスの良質な単結晶を作成し、極低温下での様々な測定を行っています。

超伝導と磁気秩序の共存に関しては、ウラン系物質以外にも希土系化合物である CeRhIn₅ 等の研究も現在進行中です。

SmS ~強磁性・金属状態において現れる新奇な相~

SmSは大気圧では黒色の絶縁体ですが、圧力によって絶縁相のエネルギーギャップの大きさをコントロールすることができ、最終的には金属へと相転移します。我々が特に注目しているのは、絶縁相と金属相の中間圧力領域での物性です。エネルギーギャップが十分小さくなった状態では、エキシトン(電子とホールの束縛状態)というボーズ粒子が形成され、ボーズ-アインシュタイン凝縮が起こり得る可能性があります。もしこれが実際に実現しているならば、これまでない全く新しい研究分野が切り開かれると期待されています。

SmSの研究には、純良な単結晶試料と多量低温での物性測定という新しい実験条件が要求されますが、それらを克服し、日々研究を行っています。

主な研究成果

CaB₆

CeB₆ではない!



ELSEVIER

Revised P – T phase diagram of URu_2Si_2

N.K. Sato^{a,*}, S. Uemura^a, G. Motoyama^b, T. Nishioka^c
 兵庫県立大 高知大

^aDepartment of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464 8602, Japan

^bDepartment of Material Science, Faculty of Material Science, Hyogo University, Hyogo 678 1297, Japan

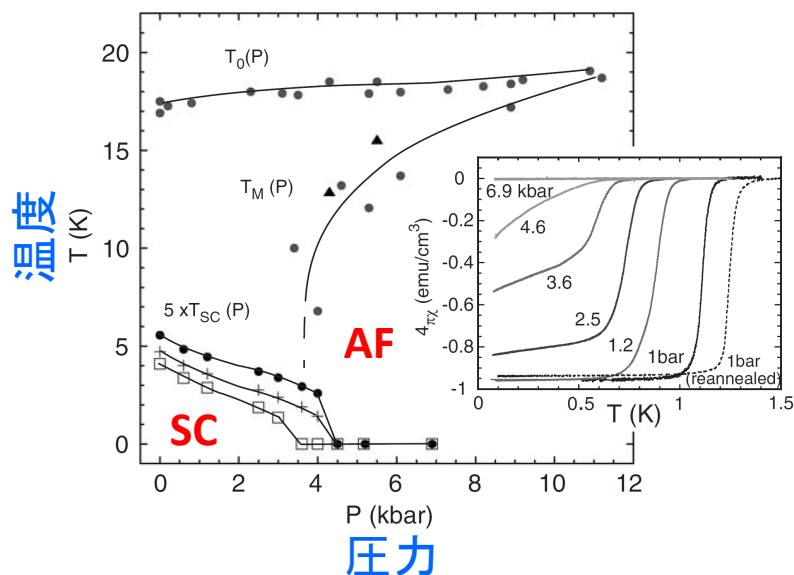
^cDepartment of Materials Science, Faculty of Science, Kochi University, Kochi 780 8520, Japan

超伝導は、反強磁性秩序と共存しない！

Abstract

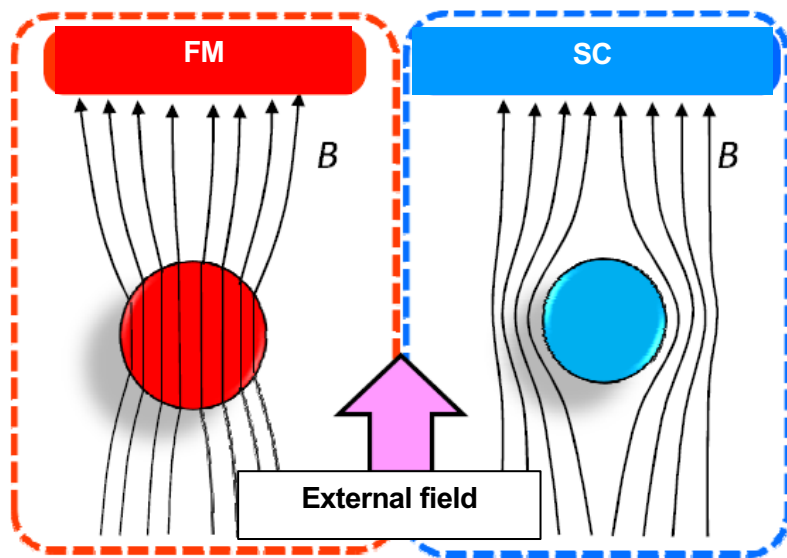
We present a revised pressure–temperature phase diagram of URu_2Si_2 determined from AC magnetic susceptibility, DC magnetization, and thermal expansion experiments. We have observed that the superconductivity does not coexist with a large moment antiferromagnetically ordered state which appears above a critical pressure.

© 2006 Elsevier B.V. All rights reserved.

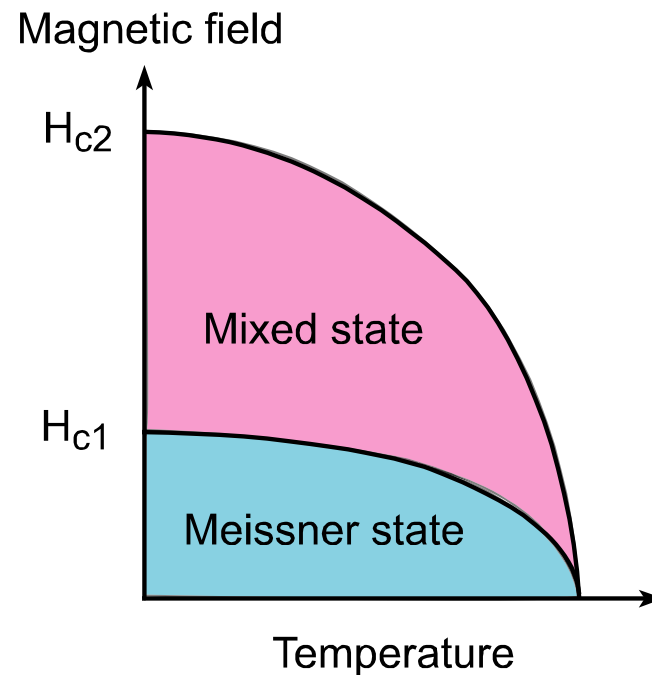


S. Uemura

強磁性(磁石)と超伝導は共存不可？



強磁性と超伝導は共存できない？



Regular type II SC

非ウラン系発見以前の“強磁性超伝導体”

	磁性	超伝導	具体例
<p>相分離状態</p>	$M \neq 0$ $M_n > M_s$	$H_{c1} > 0$	<p>合金</p>
<p>スピンスパイラル状態</p>	$M = 0$	$H_{c1} > 0$	<p>ErRh₄B₄, HoMo₆S₈</p>
<p>矩形波状態</p>	$M = 0$	$H_{c1} > 0$	<p>ErNi₂B₂C</p>

いずれも超伝導状態では一様磁化をもたなくなり、強磁性ではなくなる。

Superconductivity on the border of itinerant-electron ferromagnetism in UGe_2

S. S. Saxena^{*†‡}, P. Agarwal^{*}, K. Ahilan^{*}, F. M. Grosche^{*‡}, R. K. W. Haselwimmer^{*}, M. J. Steiner^{*}, E. Pugh^{*}, I. R. Walker^{*}, S. R. Julian^{*}, P. Monthoux^{*}, G. G. Lonzarich^{*}, A. Huxley[§], I. Sheikin[§], D. Braithwaite[§] & J. Flouquet[§]

^{*} Department of Physics, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge CB3 0HE, UK

[†] Materials Science Centre, University of Groningen, Nijenborgh 4, 9747AC

[§] Département de Recherche Fondamentale sur la Matière condensée - SPS

The absence of simple examples of superconductivity adjacent to ferromagnetism for many years cast doubt on the validity of conventional models. However, very few systems have been studied in the extreme conditions and temperatures required to test the theory definitively. Here we report on itinerant-electron ferromagnetism in a pure system, UGe_2 , which is known to exhibit superconductivity that we observe below 1 K, in a limited pressure range. The same electrons that produce band magnetism. In this case, superconductivity is opposed to lattice interactions, and by a spin-triplet rather than singlet, as in antiferromagnetic metals.

The origin of the remarkable stability or rigidity of structure in condensed-matter systems is a question of universal interest. The stability of simple systems of particles, such as atoms and molecules, is now described in great detail in terms of elementary quantum mechanics. But the more complex systems that are of interest in condensed-matter physics are less well understood.



Correlation between Superconductivity and Ferromagnetism in UGe_2

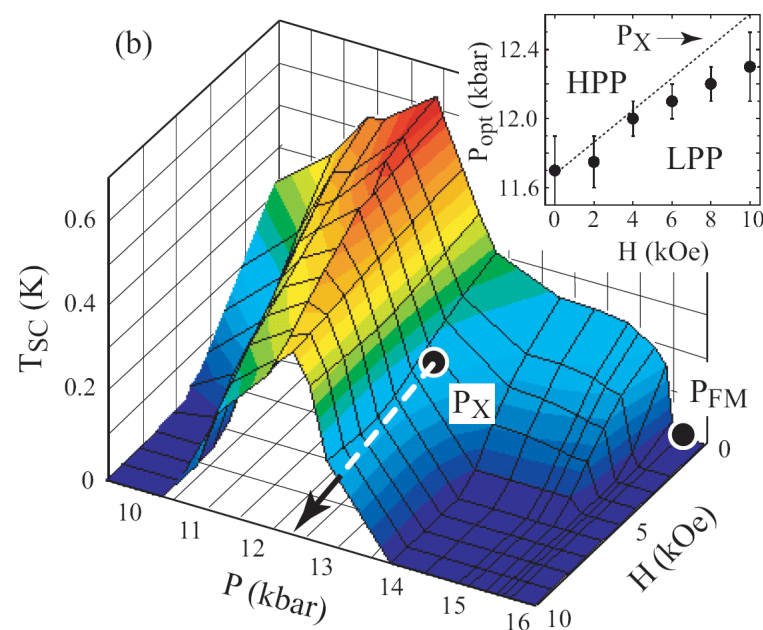
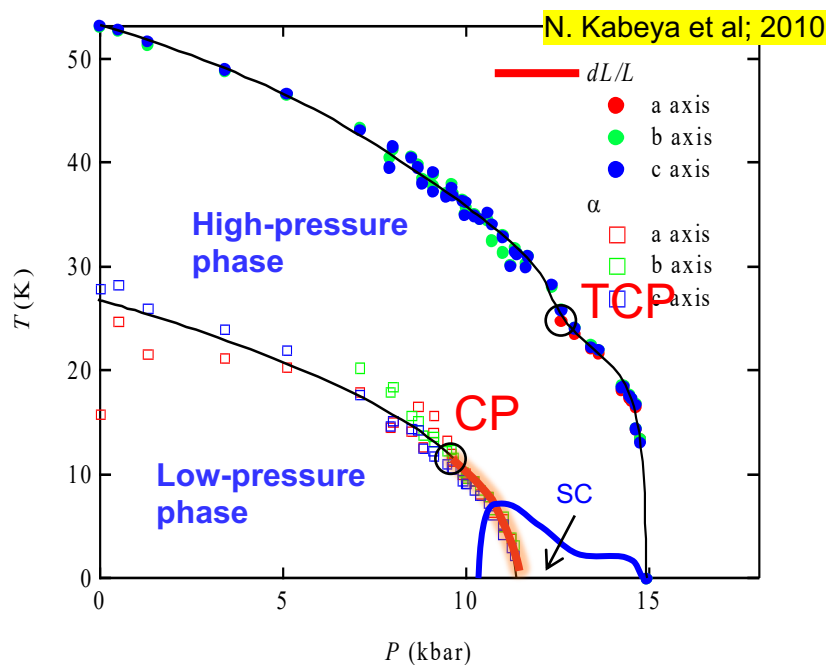
Hiroyuki NAKANE, Gaku MOTOYAMA¹, Takashi NISHIOKA* and Noriaki K. SATO
 兵庫県立大

Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602

¹*Department of Material Science, Graduate School of Material Science, University of Hyogo, Hyogo 678-1297*

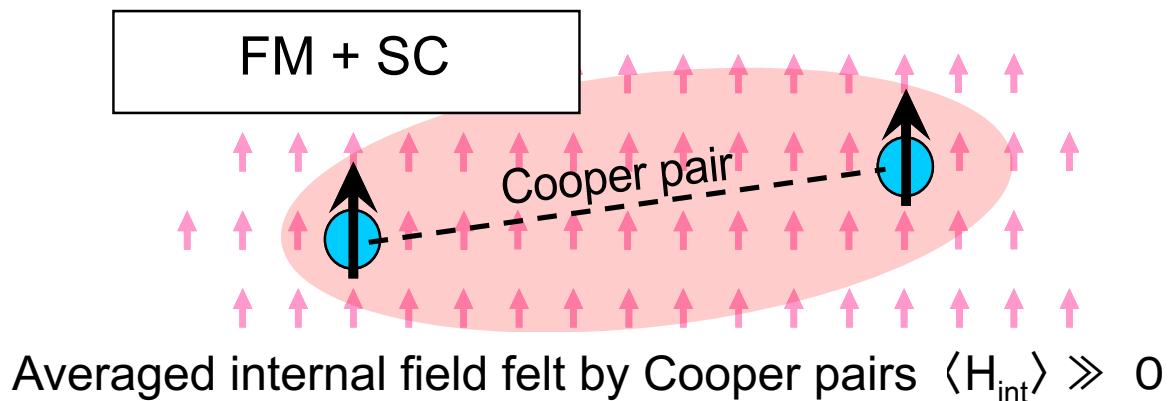
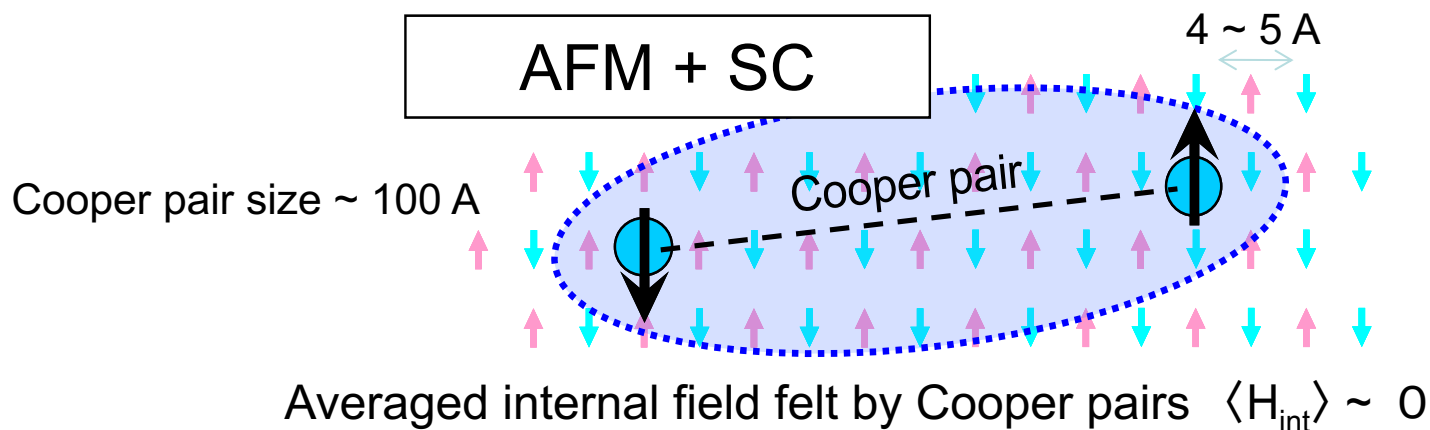
(Received October 27, 2004)

We measured the ac magnetic susceptibility of the ferromagnet UGe_2 that exhibits superconductivity at high pressures within a ferromagnetic phase. It is known that the ferromagnetic phase is separated into two phases and thus there are two critical pressures, namely, $P_X \sim 12$ kbar at which an unknown phase transition terminates and $P_{FM} \sim 16$ kbar at which a Curie temperature is suppressed to zero. We observed the following features in the vicinity of P_X : the discontinuity in the plot of superconducting transition temperature versus pressure, the maximum superconducting volume fraction in contrast to the small volume fraction near P_{FM} , and the markedly enhanced initial slope of the upper critical magnetic field (exceeding 200 kOe/K). These results indicate that the superconductivity directly correlates with P_X . We conclude therefore that it is the critical point P_X , rather than P_{FM} , that plays a crucial role in the appearance of the superconductivity.



強磁性と超伝導が共存するのはウラン系のみ！

Ferromagnetism	Antiferromagnetism	Hidden order	Paramagnetism
<u>UGe₂</u>	<u>UPd₂Al₃</u> <u>UNi₂Al₃</u>	<u>URu₂Si₂</u>	<u>UPt₃</u> <u>UBe₁₃</u>
candidates for odd parity superconductivity			



Possible competitive coexistence of ferromagnetism and superconductivity in UGe_2

Gaku Motoyama, Setsushi Nakamura, Hiroyuki Kadoya, Takashi Nishioka, and Noriaki K. Sato

Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

(Received 14 June 2001; published 19 December 2001)

We have measured magnetizations of the ferromagnet UGe_2 which shows superconductivity in a narrow external pressure range, $P_1 \leq P \leq P_2$, in the ferromagnetic state. When P is close to P_1 in the superconducting phase, the ac magnetic susceptibility indicates a peak-anomaly associated with the ferromagnetic transition and an imperfect superconducting shielding effect. As P increases away from P_1 , the peak anomaly becomes substantially broad and obscure, while the diamagnetic susceptibility approaches a perfect superconducting shielding. We have also observed that a saturation magnetization at low temperature shows a steep decrease with increasing P in the superconducting state. From these observations, we suggest that the superconductivity coexists in a competitive way with the ferromagnetism; as P increases, a volume fraction of the superconducting state grows over the system, while the ferromagnetic ordering possibly becomes spatially inhomogeneous.

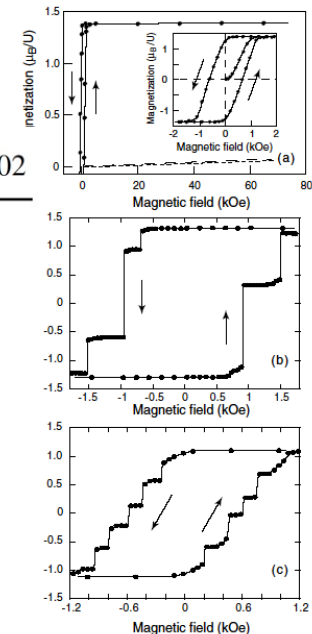
Unusual Nature of Ferromagnetism Coexisting with Superconductivity in UGe_2

T. Nishioka, G. Motoyama, S. Nakamura, H. Kadoya, and N. K. Sato

Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

(Received 22 November 2001; published 23 May 2002)

We report the discovery of a jump in the magnetization of a macroscopic single crystalline sample of UGe_2 that shows coexistence of ferromagnetism and superconductivity. In particular, we observe that the jump occurs at regular intervals of field and only at very low temperatures. This novel feature implies that the magnetic field induces a sudden change of the direction of the magnetization between two equivalent easy axes of magnetization even in a macroscopic sample. We ascribe it to a field-tuned resonant tunneling between quantum spin states, and we propose that the size of a magnetic domain is smaller than a superconducting coherence length.



magnetization M as a function of applied external magnetic field H . Arrows indicate the sweep direction of the field. (a) Measurements were done at atmospheric pressure and 4.2 K. Closed circles correspond to H applied parallel to the a axis, and the dotted (broken) line to the field parallel to the b axis (c axis), the latter being taken from Ref. [11]. Measurements were also carried out (b) at atmospheric pressure and 0.52 K and (c) at 11.5 kbar and 0.44 K. The ambient pressure data were taken after pressurization. Note the jumps in the hysteresis loop that were observed only at low temperatures.

COE セミナーのお知らせ

核物質・中性子星と地上の物質との接点を探る目的で、下記のような H 研・M 研合同セミナーを開催いたします。皆様の参加を歓迎いたします。

日時：5月8日(火) 午後1時30分から

場所：物理コロキウム室

1. 飯島 柳人 (M 研、MC2)

13:30~

「磁性超伝導体 UGe_2 の圧力温度相図と臨界現象」

--- 高圧下で超伝導を示す磁石 UGe_2 の実験について ---

2. 根本幸雄 (COE 研究員) 14:15~14:50

「平均場近似に基づくカイラル相転移の現象論」

--- ランダウ理論に基づくカイラル相転移の分類について ---

3. 野中千穂 (助教) 14:50~15:25

「QCD Critical Point in Relativistic Heavy Ion Collisions」

--- 重イオン衝突における QCD 相図の臨界終点近傍の物理について ---

4. ディスカッション 15:30~16:00

第23回 名古屋大学理学懇話会

入場無料

極限の世界を見通す 物理の目

— 法則はサイズを超える —

「磁石と超伝導と宇宙を結ぶ物理」

佐藤 憲昭

「極微世界の基本法則」

極限の世界にも実は基本となる共通の物理法則が存在する。

極限の世界を支配する物理法則を2人の研究者が読み解く。

2014 6月7日 土

□会場 名古屋大学
理学南館 坂田・平田ホール
(地下鉄名城線名古屋大学駅下車2番出口)

□開場 13:00 / 開演 13:30 - / 終了 16:00

□定員 300名

高校生 のためのサイエンスカフェ in 名大
[同日開演] 16:15-17:30

懇話会終了後、高校生を対象に研究者を囲んで、当日の講演や科学についてあれこれおしゃべりするサイエンスカフェを開きます。会費は無料。参加を希望される方は下記まで電話またはメールにてお申し込みください。当日参加も受け付けます。

第4章

強磁性超伝導体の新展開

新しい強磁性超伝導体

Ferromagnetism	Antiferromagnetism	Hidden order	Paramagnetism
<p>新たに2物質が追加</p> <p><u>UGe₂</u></p> <p><u>URhGe</u></p> <p><u>UCoGe</u></p>	<p>UPd₂Al₃</p> <p>UNi₂Al₃</p>	<p><u>URu₂Si₂</u></p>	<p><u>UPt₃</u></p> <p><u>UBe₁₃</u></p>
<p>candidates for odd parity superconductivity</p>			

Journal of the Physical Society of Japan
 Vol. 79, No. 8, August, 2010, 083708
 ©2010 The Physical Society of Japan

UCoGe

LETTERS

Absence of Meissner State and Robust Ferromagnetism in the Superconducting State of UCoGe: Possible Evidence of Spontaneous Vortex State

Kazuhiko DEGUCHI*, Eisuke OSAKI, Seiko BAN, Nobuyuki TAMURA,
 Yasuyuki SIMURA¹, Toshiro SAKAKIBARA¹, Isamu SATOH², and Noriaki K. SATO

伊達研出身

Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

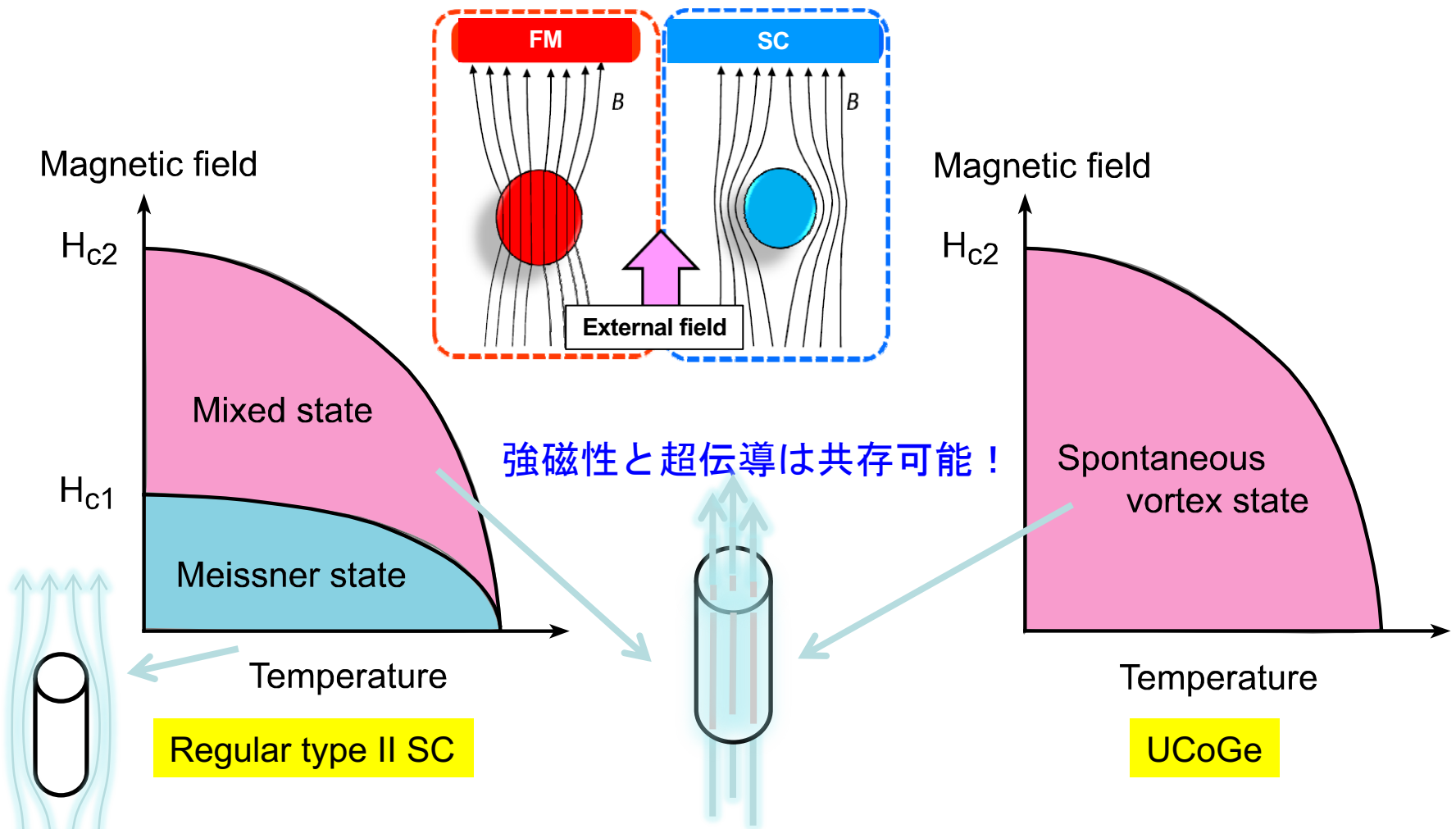
¹*Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 277-8581, Japan*

²*Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan*

(Received May 19, 2010; accepted June 21, 2010; published August 10, 2010)

We report ac magnetic susceptibility and dc magnetization measurements on the superconducting ferromagnet UCoGe (with superconducting and Curie temperatures of $T_{SC} \sim 0.5$ K and $T_{Curie} \sim 2.5$ K, respectively). In the normal, ferromagnetic state ($T_{SC} < T < T_{Curie}$), the magnetization curve exhibits a hysteresis loop similar to that of a regular itinerant ferromagnet. Upon lowering the temperature below T_{SC} , the spontaneous magnetization is unchanged, but the hysteresis is markedly enhanced. Even deeply inside the superconducting state, ferromagnetism is not completely shielded, and there is no Meissner region, a magnetic field region of $H < H_{c1}$ (a lower critical field). From these results, we suggest that UCoGe is the first material in which ferromagnetism robustly survives in the superconducting state and a spontaneous vortex state without the Meissner state is realized.

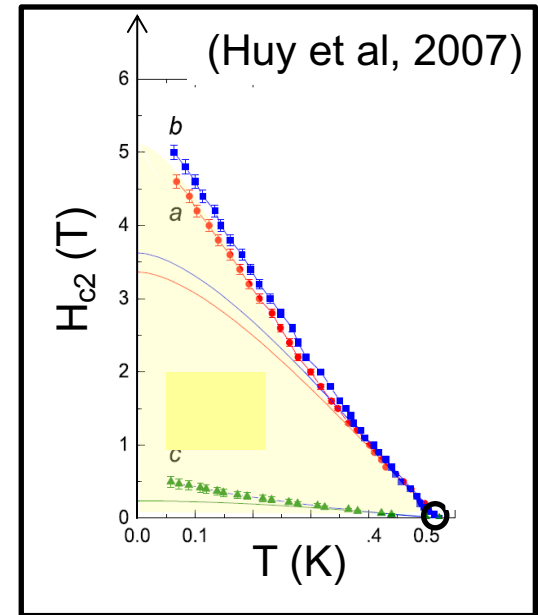
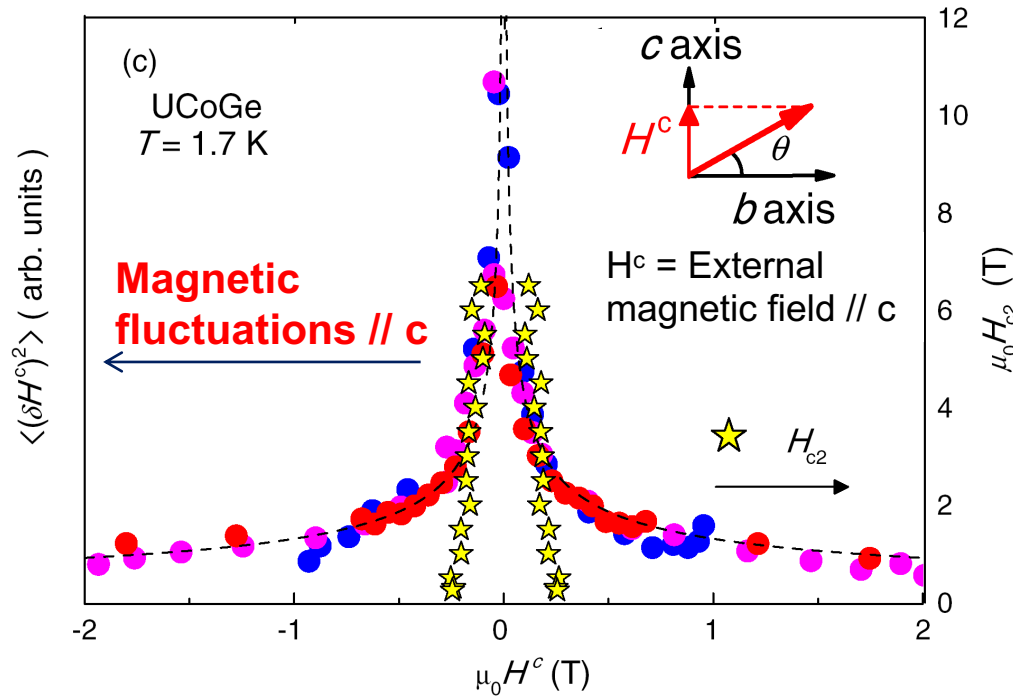
Spontaneous vortex state in UCoGe



**There is no Meissner state in UCoGe!
Absence of H_{c1} means that vortex spontaneously forms even at zero field.**

Spin fluctuation mediated SC

磁気縦揺ぎが媒介する超伝導発現機構



“Application of H //c” reduces the mag. fluctuations.

“Application of H //c” destroys SC.



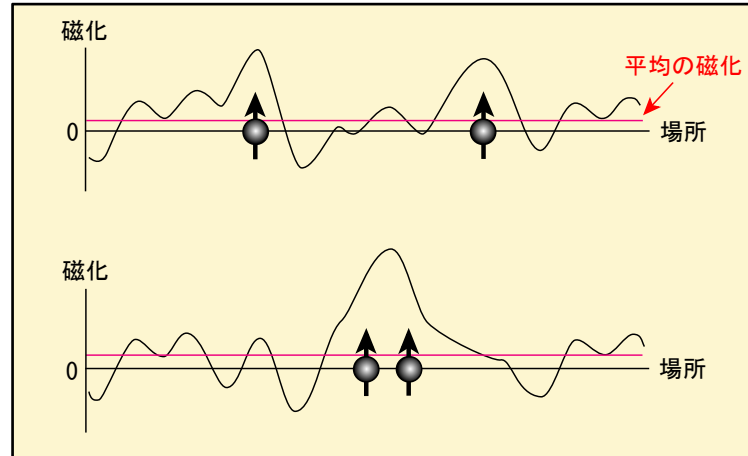
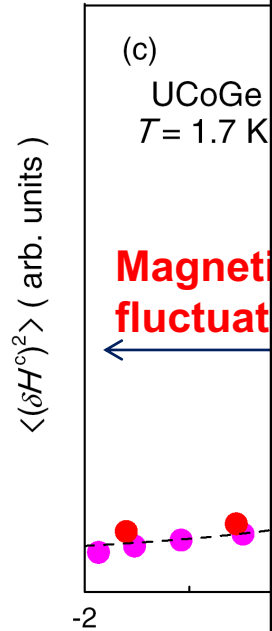
c軸方向の揺らぎが大きいと H_{c2} も大きい。
 “Magnetic fluctuations // c” induces the SC .

T. Hattori, K. Ishida, NKS et al. PRL 108 (2012) 066403.

K. Ishida 朝山研出身

Spin fluctuation mediated SC

磁気縦揺ぎが媒介する超伝導発現機構



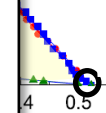
スピンの縦揺らぎ



液体 ^3He の超流動の機構と同じ

“Application of

al, 2007)



destroys SC.



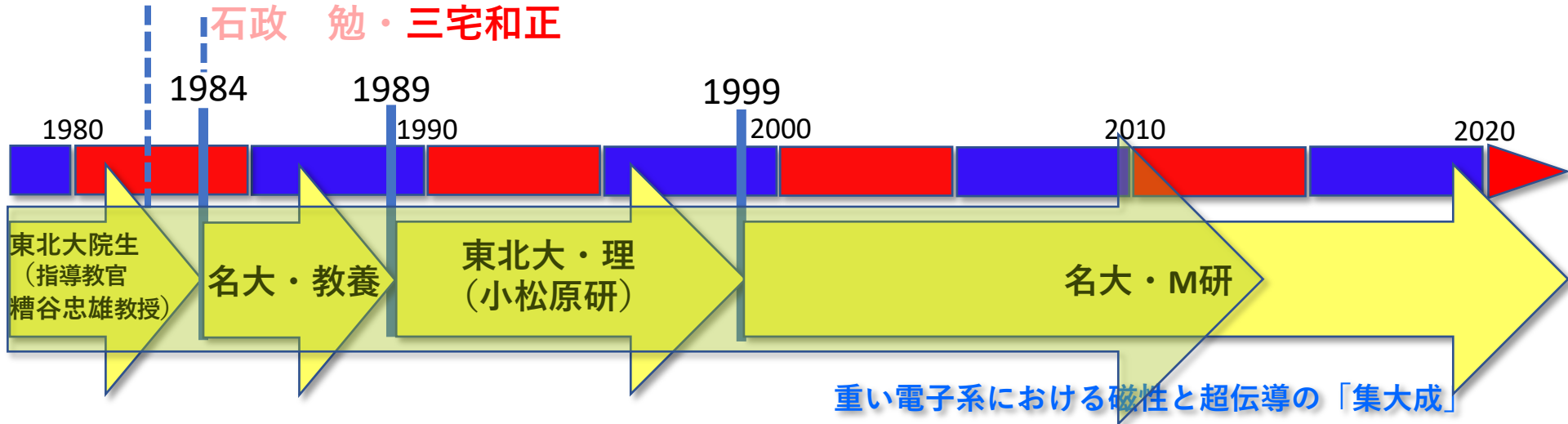
K. Ishida 朝山研出身

c軸方向の揺らぎが大きいと H_{c2} も大きい。
“Magnetic fluctuations // c” induces the SC .

T. Hattori, K. Ishida, NKS et al. PRL 108 (2012) 066403.

Frank Steglich

石政 勉・三宅和正



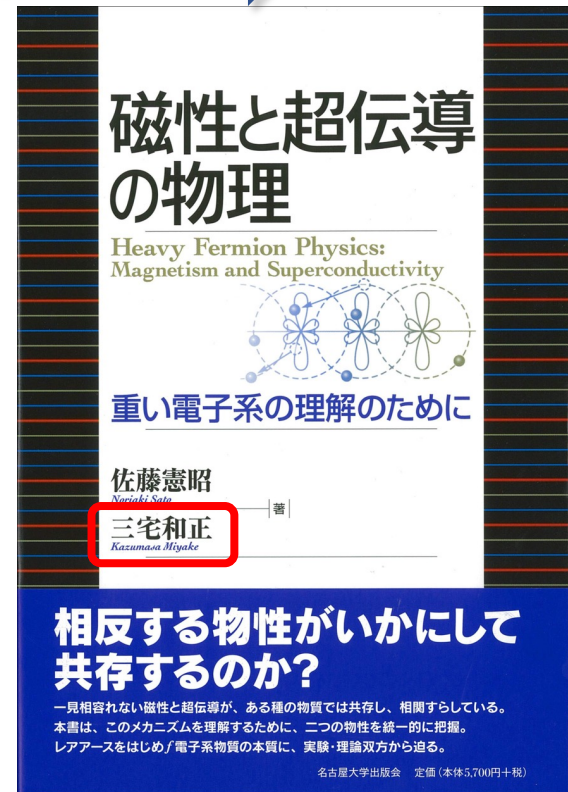
重い電子系における磁性と超伝導の「集大成」



「超伝導」部門
上位ランキング



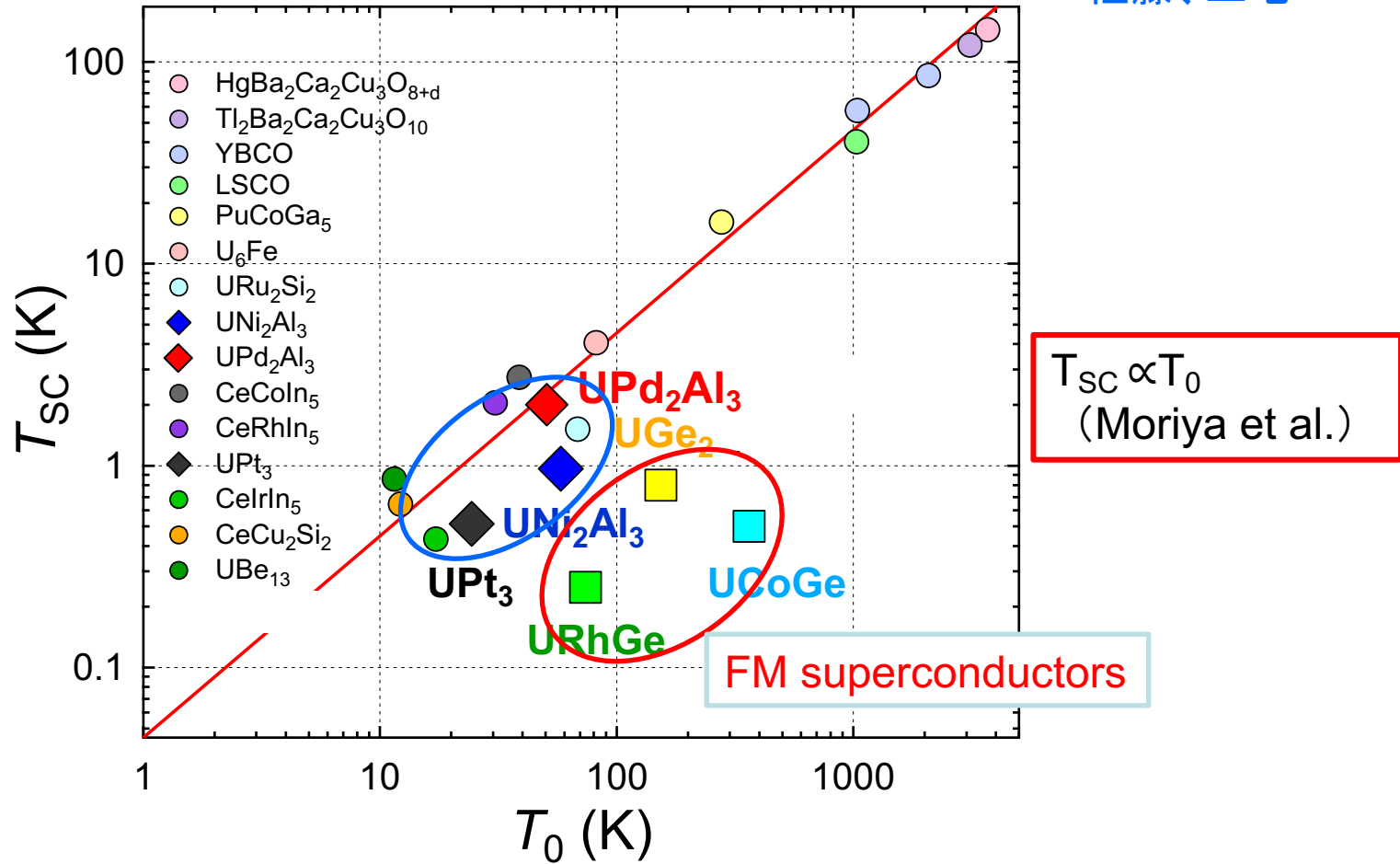
K. Miyake



名古屋大学出版会 (2013)

FM vs. AFM coexisting with SC

「磁性と超伝導の物理」
佐藤、三宅

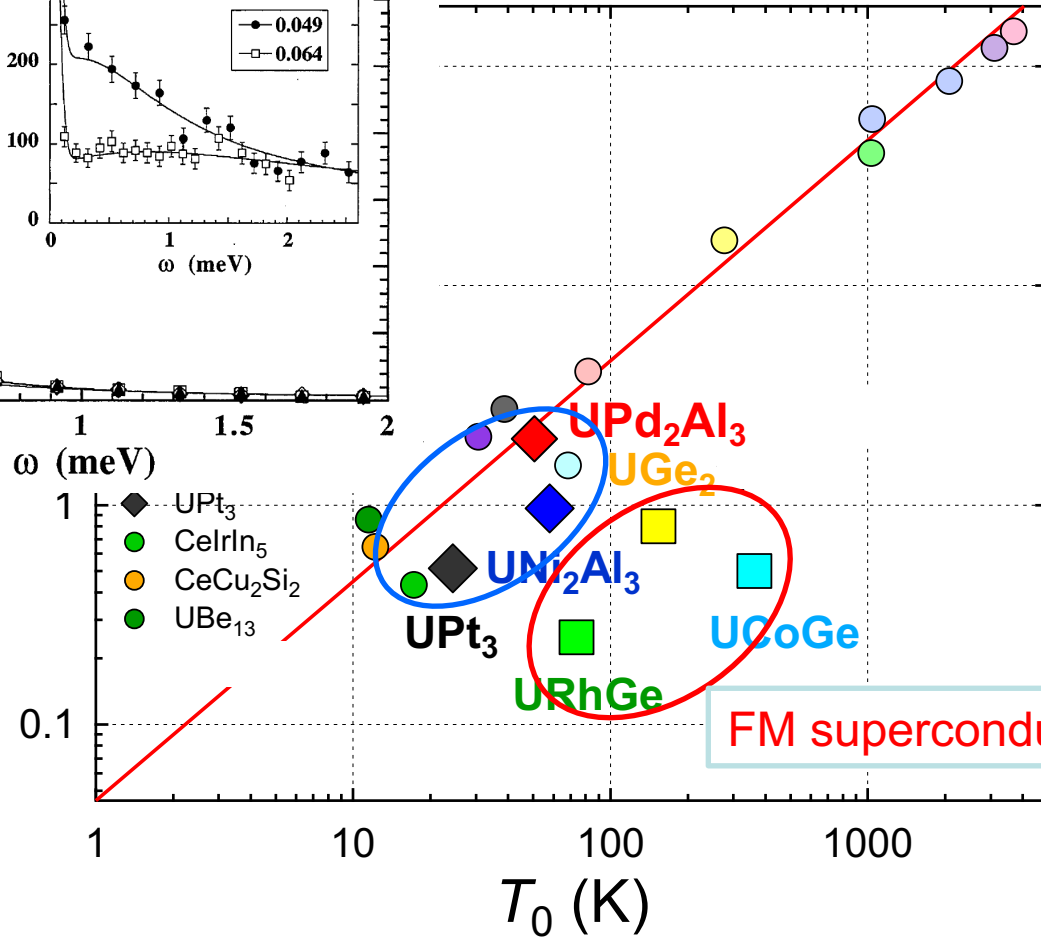
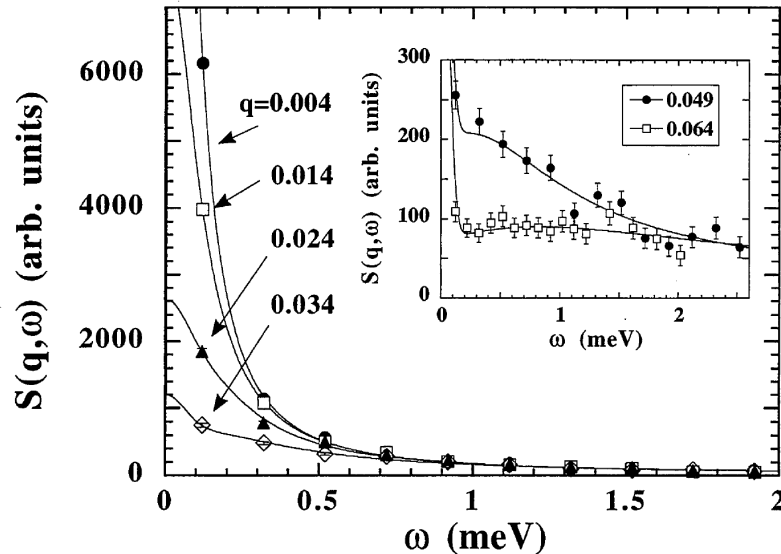


T_c seems to be determined by T_0 , spin fluctuation energy.
The SC is remarkably depressed in the FM state.

FM vs. AFM coexisting with SC

UPd₂Al₃ : JPSJ(1997)

「磁性と超伝導の物理」
佐藤、三宅



$T_{SC} \propto T_0$
(Moriya et al.)

FM superconductors

T_c seems to be determined by T_0 , spin fluctuation energy.
The SC is remarkably depressed in the FM state.

第5章

量子臨界現象と準結晶への展開

遍歴電子強磁性への興味

壁谷 (2012)

Journal of the Physical Society of Japan 81 (2012) 073706
DOI: 10.1143/JPSJ.81.073706

LETTERS

量子臨界点に近傍に超伝導が出現

ARTICLES

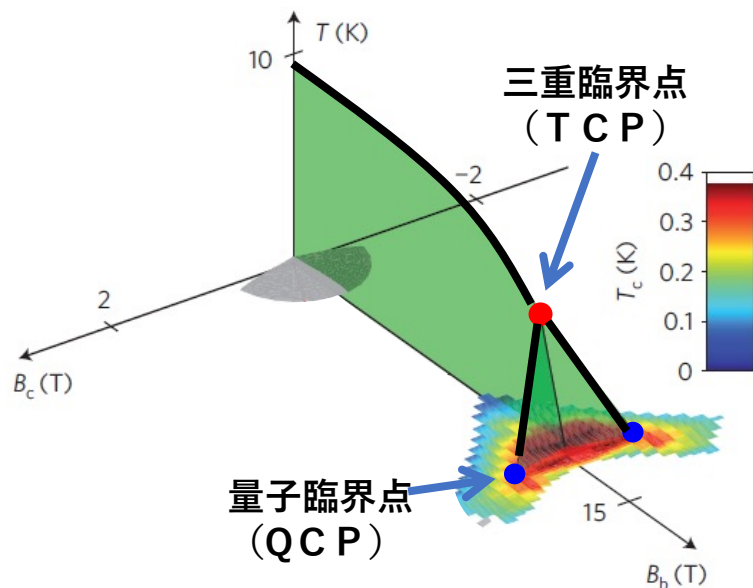
(2011)

nature
physics

PUBLISHED ONLINE: 28 AUGUST 2011 | DOI: 10.1038/NPHYS2073

High-field superconductivity at an electronic topological transition in URhGe

E. A. Yelland^{1,2*}, J. M. Barraclough², W. Wang³, K. V. Kamenev³ and A. D. Huxley^{1,2}



URhGeの温度、磁場に対する三次元相図

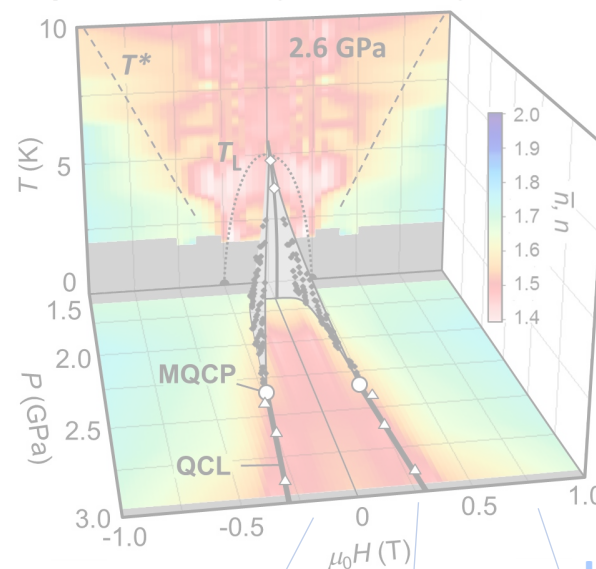
Non-Fermi Liquid State Bounded by a Possible Electronic Topological Transition in ZrZn₂

Noriyuki KABEYA^{*}, Hiroataka MAEKAWA, Kazuhiko DEGUCHI, Noriaki KIMURA¹, Haruyoshi AOKI¹, and Noriaki K. SATO²

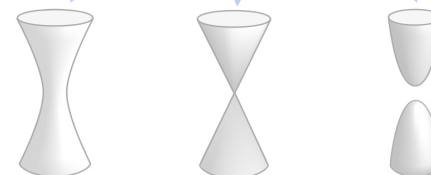
^{*}Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan
¹Department of Physics, Graduate School of Science, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

(Received April 18, 2012; accepted May 23, 2012; published online June 21, 2012)

We report high-precision magnetic and transport measurements of ZrZn₂ and present a phase diagram as a function of pressure and magnetic field. The paramagnetic phase is found to be divided into two regions at $T \simeq 0$ by a possible electronic topological transition (i.e., a non-symmetry breaking transition) known as the Lifshitz transition, and the two regions are characterized by Fermi and non-Fermi liquid behaviors. These results strongly suggest that the non-Fermi liquid state exists as a stable phase distinguished from the Fermi liquid by the Fermi surface topology. As a possible origin of the non-Fermi liquid behavior, an antiferromagnetic fluctuation arising from the Fermi surface nesting is discussed.



Lifshitz転移



対称性は不変 ⇔ 多くの2次転移は対称性が変化

Discovery of Quantum-Criticality-Like Behavior in Dilute Kondo System: $Ce_xLa_{1-x}Cu_{5.62}Au_{0.38}$

Takayuki Shiino*, Yuta Shinagawa, Keiichiro Imura, Kazuhiko Deguchi, and Noriaki K. Sato

Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

(Received August 9, 2017; accepted October 23, 2017; published online November 16, 2017)

We report the discovery of a new type of non-Fermi liquid in $Ce_xLa_{1-x}Cu_{5.62}Au_{0.38}$. When the Ce concentration x is decreased, the system changes into a dilute Kondo system. Its low-temperature susceptibility for $x \lesssim 0.05$ is not described as a local Fermi liquid but characterized by a divergent behavior, $1/\chi \propto T^\zeta$ with the unusual exponent $\zeta \sim 0.67$. Correspondingly, the temperature dependence of the magnetic specific heat T/H (where H is magnetic field) shows a divergent behavior together with un-



T. Shiino

M研最後の学位取得者

PHYSICAL REVIEW B **103**, 054510 (2021)

スエーデンで準結晶の研究

Superconductivity at 1 K in Y-Au-Si quasicrystal approximants


Takayuki Shiino^{1,*}, Girma Hailu Gebresenbut,² Fernand Denoel,¹ Roland Mathieu¹, Ulrich Häussermann,³ and Andreas Rydh⁴

¹*Department of Materials Science and Engineering, Uppsala University, Box 35, 751 03 Uppsala, Sweden*

²*Department of Chemistry, Ångström Laboratory, Uppsala University, 751 21 Uppsala, Sweden*

³*Department of Materials and Environmental Chemistry, Stockholm University, 106 91 Stockholm, Sweden*

⁴*Department of Physics, Stockholm University, 106 91 Stockholm, Sweden*

 (Received 24 November 2020; revised 5 February 2021; accepted 8 February 2021; published 22 February 2021)

We report the structural and physical properties of two Y-Au-Si (YAS) compounds, $Y_{14.1}Au_{69.2}Si_{16.7}$ and $Y_{15.4}Au_{68.6}Si_{16.1}$, which are 1/1 approximant crystals of a Tsai-type quasicrystal without intrinsic magnetic moments. The compounds differ by the presence of either a tetrahedron $(Au,Si)_4$ or a single Y atom at the center of their characteristic structural building unit consisting of concentric polyhedral shells. Both compounds exhibit bulk superconductivity, which seems to be of a conventional type-II BCS type. The compound with Y atoms at the cluster center has a slightly higher transition temperature with a sharper step in the specific heat than the compound with tetrahedral units. We discuss the occurrence of this superconducting state in the light of the specific structural and physical properties of these quasicrystal approximants.

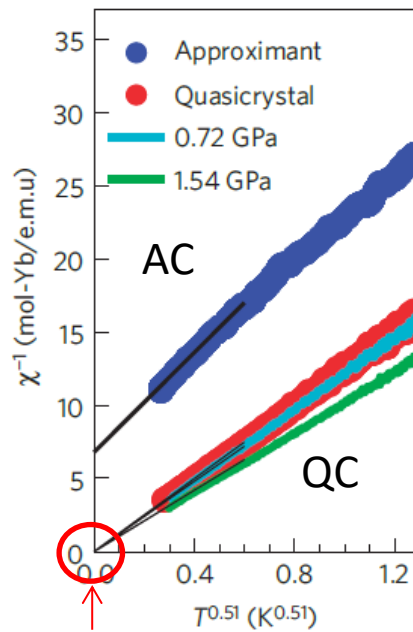
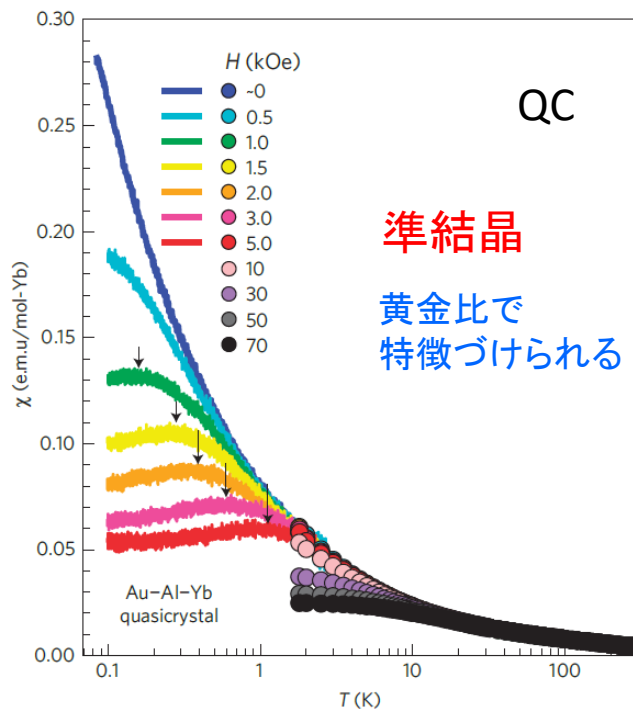
準結晶に量子臨界点が出現！

nature
materials

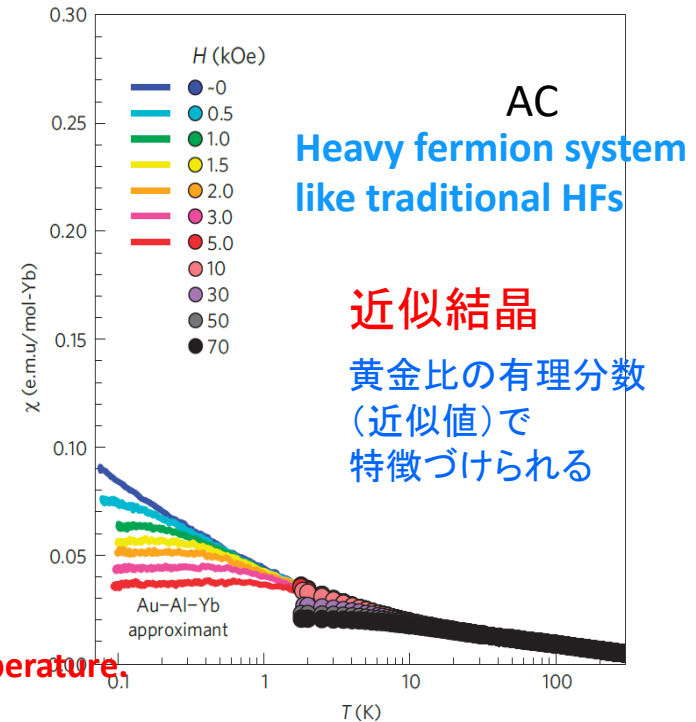
LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 7 OCTOBER 2012 | DOI: 10.1038/NMAT3432

Quantum critical state in a magnetic quasicrystal



χ diverges toward zero temperature



K. Deguchi



S. Matsukawa



T. Ishimasa

1984年当時
佐藤 = 価数揺動研究
石政 = 準結晶研究

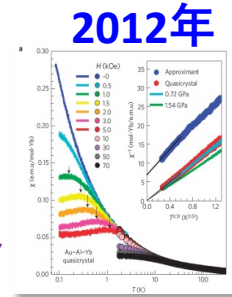
2011年
Au-Al-Yb準結晶の発見

価数揺動準結晶の探索

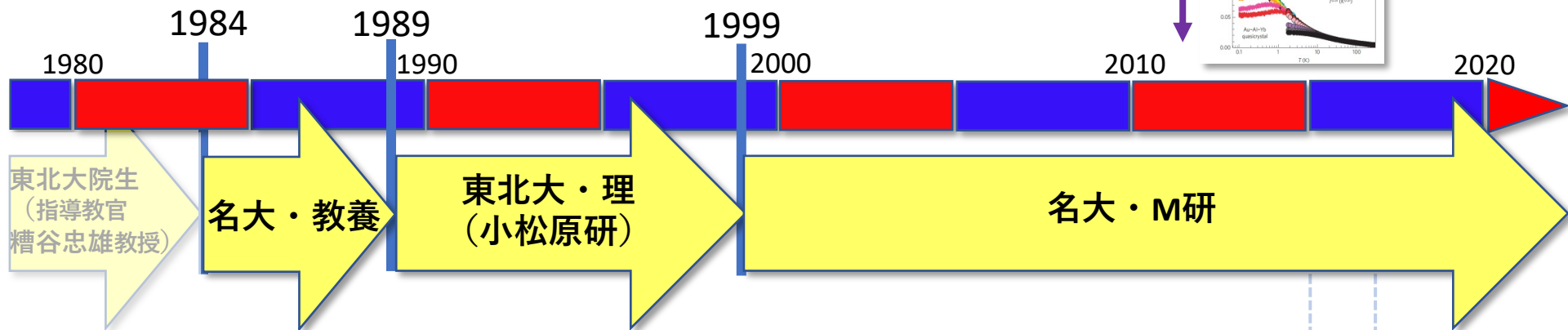
「物性を測定してみない？」



石政 勉



2012年



蔡 安邦 (準結晶)
(東北大)
竹内恒博 (準結晶)
(豊田工大)

水木G (x線吸収)
(関西学院大)
Spring-8 (x線吸収)



OPEN Concomitant singularities of Yb-valence and magnetism at a critical lattice parameter of icosahedral quasicrystals and approximants

Keiichiro Imura^{1,2,3}, Hitoshi Yamaoka², Shinjiro Yokota¹, Kazushi Sakamoto¹, Yoshiya Yamamoto³, Takuma Kawai³, Keisuke Namba¹, Shinnosuke Hirokawa¹, Kazuhiko Deguchi⁴, Nozomu Hiraoka⁴, Hirofumi Ishii⁴, Jun'ichiro Mizuki⁵, Tsutomu Ishimasa⁵ & Noriaki K. Sato¹

Non-Fermi-liquid (NFL), a significant deviation from Fermi-liquid theory, usually emerges near an order-disorder phase transition at absolute zero. Recently, a diverging susceptibility toward zero temperature was observed in a quasicrystal (QC). Since an electronic long-range ordering is normally absent in QCs, this anomalous behaviour should be a new type of NFL. Here we study high-resolution partial-fluorescence-yield x-ray absorption spectroscopy on Yb-based intermediate-valence icosahedral QCs and cubic approximant crystals (ACs), some of which are new materials, to unveil the mechanism of the NFL. We find that for both forms of QCs and ACs, there is a critical lattice parameter where Yb-valence and magnetism concomitantly exhibit singularities, suggesting a critical-valence-fluctuation-induced NFL. The present result provides an intriguing structure-property relationship of matter; size of a Tsai-type cluster (that is a common local structure to both forms) tunes the NFL whereas translational symmetry (that is present in ACs but absent in QCs) determines the nature of the NFL against the external/chemical pressure.

K. Imura

IGERレクチャーの後で

J. Mizuki



IGER 39
グリーン自然科学レクチャー
ナノ・エネルギー グリーン物質実務



2015年10月30日[金] 16:00~17:30

ES 総合館 ES ホール

講演後、簡単なミキサーを行います。 **無料**



百聞は一見にしかず

放射光 X 線で見える物質で働く電子の世界

Nano world in materials with Synchrotron X-rays



水木 純一郎 先生

Jun'ichiro MIZUKI

関西学院大学理工学部先進エネルギーナノ工学科 / 教授
Department of nanotechnology for sustainable energy / Professor

講演者略歴

1980年 東北大学大学院理学研究科物理学専攻修士課程修了。

その後、学部特別研究員、McMaster 大学 (カナダ) 博士研究員、Ames National Lab. (アメリカ) 研究員を経て、1985年 HEC 基礎研究班、1996年 日本原子力研究所 (現: 日本原子力研究開発機構)、2011年より 関西学院大学理工学部 教授として現在に在る。この間、1988年 東大先端研客員助教授、1996年~2007年 東北大学連携大学院教授、1997年~2005年 徳島工業大学連携大学院教授、2008年~2010年 岡山大学連携大学院教授も務める。

講演概要

物質の物性や機能発現の機構を解明し、その知見に基づいて新物質創製に向けていくことは物質科学研究の醍醐味です。物質は超伝導や磁性、超導性など多種多様な性質を示します。このような物質を創製するには、その性質を決めている 10^{23} 個の電子の集合体の振る舞いを観察し、それを量子力学の言葉で理解することが必要です。このような電子の集団の様子を観測できるのが放射光 X 線です。世界でも屈指の性能を誇る Spring-8 からの X 線を利用して電子の世界を覗いてみましょう。

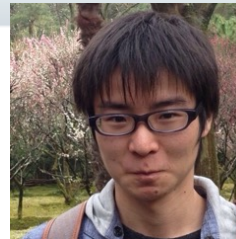
第6章

準結晶における超伝導
— フラクタル超伝導 —

ARTICLE

DOI: 10.1038/s41467-017-02667-x

OPEN



K. Kamiya



T. Takeuchi

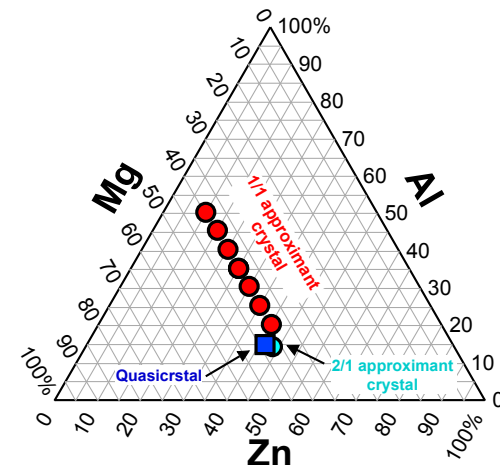
(豊田工大)

Discovery of superconductivity in quasicrystal

K. Kamiya^{1,5}, T. Takeuchi², N. Kabeya³, N. Wada¹, T. Ishimasa⁴, A. Ochiai³, K. Deguchi¹, K. Imura¹ & N.K. Sato¹

神谷君の修士論文

Superconductivity is ubiquitous as evidenced by the observation in many crystals including carrier-doped oxides and diamond. Amorphous solids are no exception. However, it remains to be discovered in quasicrystals, in which atoms are ordered over long distances but not in a periodically repeating arrangement. Here we report electrical resistivity, magnetization, and specific-heat measurements of Al-Zn-Mg quasicrystal, presenting convincing evidence for the emergence of bulk superconductivity at a very low transition temperature of $T_c \cong 0.05$ K. We also find superconductivity in its approximant crystals, structures that are periodic, but that are very similar to quasicrystals. These observations demonstrate that the effective interaction between electrons remains attractive under variation of the atomic arrangement from periodic to quasiperiodic one. The discovery of the superconducting quasicrystal, in which the fractal geometry interplays with superconductivity, opens the door to a new type of superconductivity, fractal superconductivity.



Evidence of bulk SC at $T_c \cong 45$ mK

Electrical resistivity

Zero resistivity

AC magnetic susceptibility

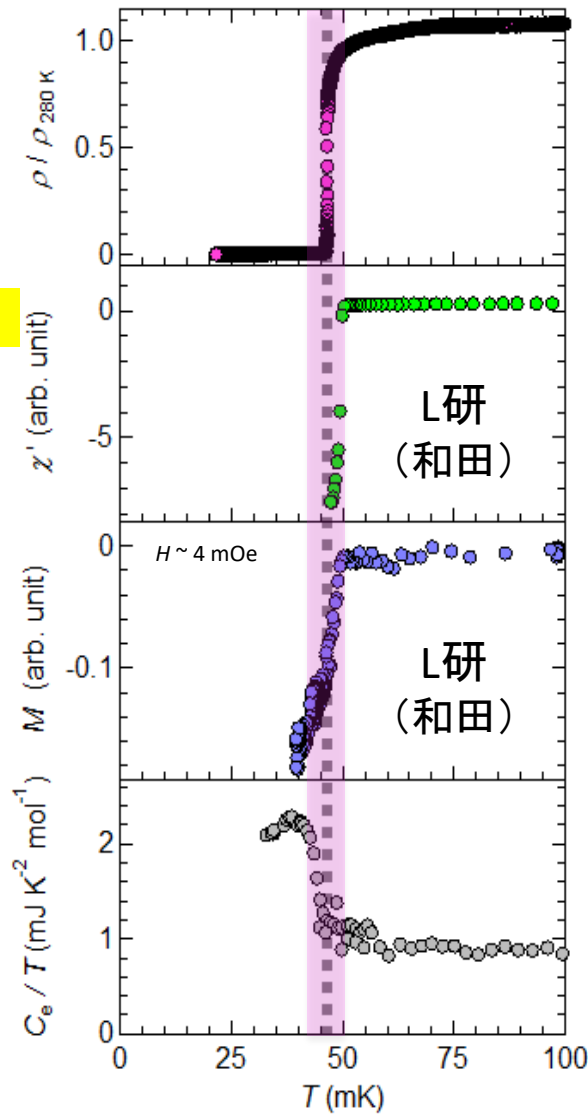
Shielding effect
(diamagnetism)

DC magnetization

Meissner effect

Specific heat

Specific heat jump

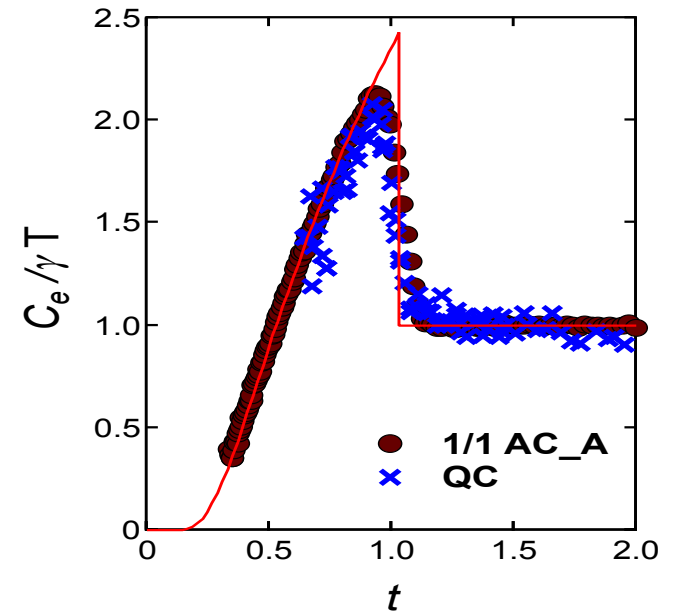


$T_c \approx 45$ mK

最大の功績者



N. Kabeya
(東北大)



1979年：重い電子系（Heavy Fermion） CeCu_2Si_2 における超伝導の発見 → Fritz London記念賞

1982, 1984年：整数および分数量子ホール効果の発見 → それぞれノーベル賞

1984年：準結晶の発見 → ノーベル賞

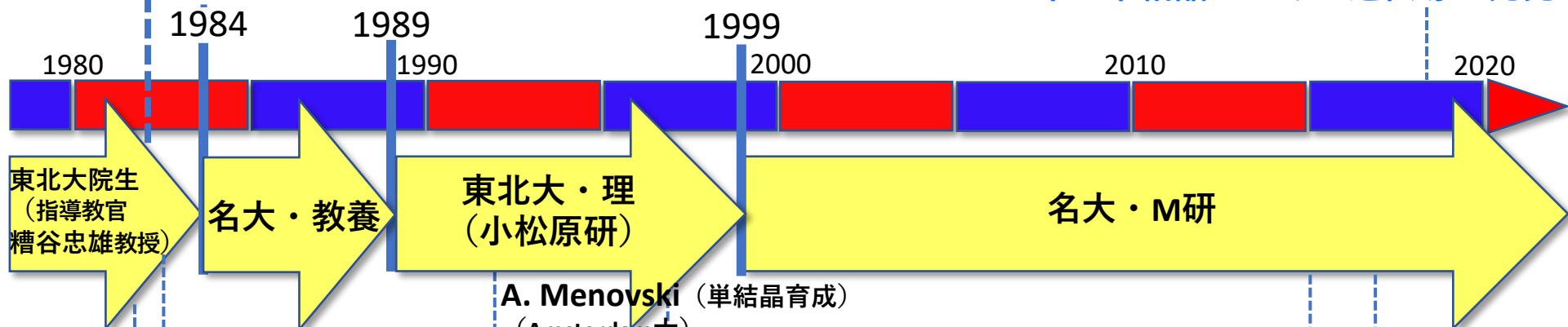
1985年前後: UPt_3 , URu_2Si_2 , UBe_{13} の発見 → ノーベル賞

1986年：酸化物高温超伝導の発見 → ノーベル賞

Frank Steglich

石政 勉・三宅和正

2018年：準結晶における超伝導の発見



東北大院生
(指導教官
糟谷忠雄教授)

名大・教養

東北大・理
(小松原研)

名大・M研

伊達G (強磁場実験)
(阪大)

S.B. Woods (低温実験)

梅沢博臣
(Alberta大)

永野G (低温実験)
(物性研)

毛利信男 (高压実験)
(北大・物性研)

A. Menovski (単結晶育成)
(Amsterdam大)

J. Mydosh
(Leiden大)

A. Schenck (μSR)
(PSI)

朝山・北岡G、石田G (NMR)
(阪大、京大)

遠藤G (中性子散乱実験)
(東北大)

G. H. Lander (中性子散乱実験)
(ITU)

S. Shapiro (中性子散乱実験)

G. Shirane (中性子散乱実験)
(Brookhaven N.L.)

蔡 安邦 (準結晶)
(東北大)

竹内恒博 (準結晶)
(豊田工大)

水木G (x線吸収)
(関西学院大)

Spring-8 (x線吸収)

で検索: [超伝導になる準結晶を世界で初めて発見——名古屋大、豊田工業大などの、準結晶超伝導転移からペンローズの意識と量子力学に、準結](#)

ウェブ検索結果

[世界初、超伝導になる準結晶の発見！ - 名古屋大学](#)

http://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20180220_sci_1.pdf

2018年2月20日 ... 名古屋大学大学院理学研究科の佐藤 憲昭教授らのグループは、豊田工業大学の竹内恒博教. 授、東北大学の落合 明教授、豊田理化学研究所の石政 勉フェローらとの共同研究により、**超伝導** になる**準結晶**注 1 を世界に先駆けて発見しま ...

[世界初、超伝導になる準結晶を発見 名古屋大学など | 大学ジャーナル ...](#)

<http://univ-journal.jp/19431/>

2018年2月25日 ... 名古屋大学の佐藤憲昭教授らのグループは、豊田工業大学、東北大学、豊田理化学研究所との共同研究により、**超伝導**になる**準結晶**を世界に先駆けて発見した。固体は3種類に分類される。結晶は原子が規則正しく整列し、ガラスは「 ...

[超伝導になる準結晶を世界で初めて発見——名古屋大、豊田工業大などの ...](#)

http://engineer.fabcross.jp/archieve/180222_nagoya-u.html

2018年2月22日 ... 名古屋大学は2018年1月20日、豊田工業大学、東北大学、豊田理化学研究所との共同研究により、**超伝導**になる**準結晶**を世界に先駆けて発見したと発表した。今後、新型の**超伝導**の解明につながる事が期待される。

[ノーベル賞間違いなし、日本発「準結晶超伝導転移 ... - JBpress - isMedia](#)

<http://jbpress.ismedia.jp/articles/-/52503>

2018年3月6日 ... 名古屋大学、豊田工業大学、東北大学、豊田理化学研究所などのグループが達成した、人類史的な価値をもつ大業績が発表されました。「Discovery of Superconductivity in Quasicrystal」。日本語なら「**準結晶**中での**超伝導**状態の発見」。

[名大ら、超電導になる準結晶を発見 | Optronics ONLINE ...](#)

<http://www.optronics-media.com/news/20180222/50154/>

2018年2月22日 ... 名古屋大学、豊田工業大学、東北大学、豊田理化学研究所らは共同研究により、**超伝導**になる**準結晶**を世界に先駆けて発見した（ニュースリリース）。固体は3種類（結晶、アモルファス、**準結晶**）に分類される。**準結晶**の原子配列は、一見 ...

[準結晶超伝導転移からペンローズの意識と量子力学に - 団塊亭日常](#)

<https://blog.goo.ne.jp/masaoreport/e/9a4a2211a7b840826b79f66f8868ce18>

2018年3月6日 ... 下記の記事は確かに凄い業績だと感じたのでネット検索で追っていくと意識と量子力学にいきついた。奥が深そうなのでとりあえず入り口をメモを。ノーベル賞間違いなし、日本発「**準結晶超伝導転移**」名古屋大学、豊田工業大学、東北大学、 ...

[準結晶と結晶をつなぐ物質の超伝導 - 日本物理学会](#)

<http://www.jps.or.jp/books/jpsjselectframe/2015/files/15-02-1.pdf>

準結晶と結晶をつなぐ物質の**超伝導**。機能性物質・構造素材として「結晶」または「アモルファス」という形の固体が様々な用途で利用されている。原子が周期的に整列している結晶にはシリコンなどの半導体、ダイヤモンドなどの、絶縁体、金・銀・銅などの金属が ...

[Al-Mg-Zn 系近似結晶・準結晶における超伝導 - J-Stage](#)

https://www.istage.ist.nipon.ac.jp/article/insnaivo/71/1/0/71_1_1782/.pdf

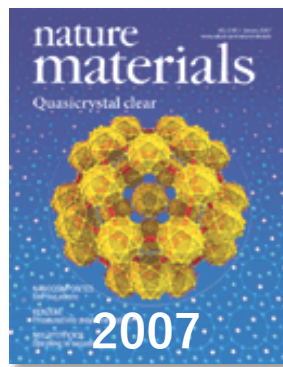
第7章

重い電子系と準結晶の学融合



Wikipedia

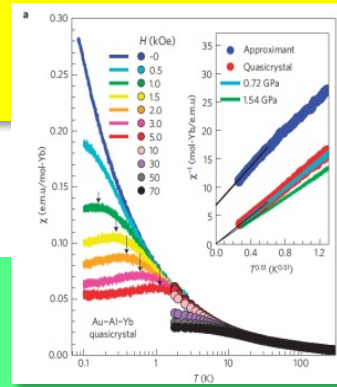
1984
Discovery of QC
D. Shechtman et al.



2007
Determination of QC structure
H. Takakura, A. Tsai et al.

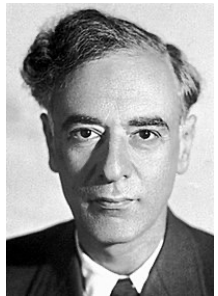
"Nature Materials" Vol.6 No.1, January 2007

準結晶 Quasicrystal (QC)



New stream of research

重い電子系 (HF) 強相関電子系 Strongly Correlated Electron Systems (SCES)

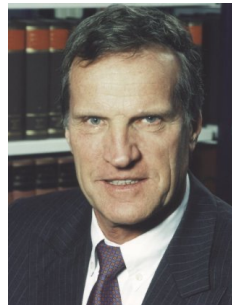


ウィキペディア

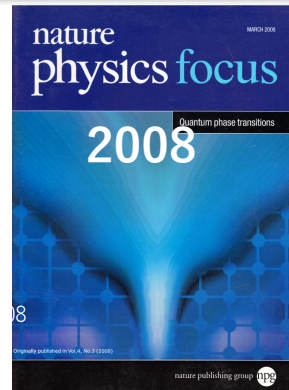
L. Landau
Fermi liquid



Wikipedia
1964
Kondo effect



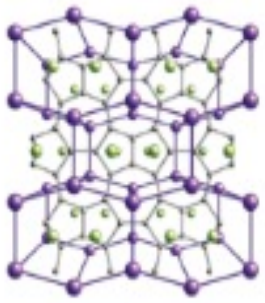
1979
Discovery of SC in SCES
F. Steglich et al.



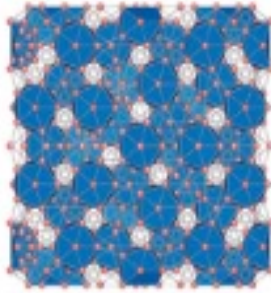
Quantum criticality in SCES

2012:
Discovery of quantum
criticality in QC

"Nature Physics: Focus" Vol.4 No.3, March 2008, pp.167-204



RI
TPCRI



**Strongly Correlated Electron Systems:
Open Space between Heavy Fermions and Quasi-crystals**
November 17-19, 2015
Nagoya University



K. Miyake

A. Tsai

T. Ishimasa

名古屋(2015) ⇒ Annecy(2017) ⇒ 仙台(2019年6月)

Interdisciplinary Symposium for Quasicrystals and Strongly Correlated Electron Systems

Creating a New Frontier through the Synergy of Quasicrystals and Strongly Correlated Electron Systems

Thematic program of TFC (Tohoku Forum for Creativity)

The TFC is an international visitor research institute that was established in 2013 at Tohoku University to facilitate collaborative research. In order to identify important problems across all of the sciences and humanities, the TFC brings together both junior and senior researchers in a stimulating environment that promotes creative approaches to new and interdisciplinary research areas.

2019年5月 (会議の1か月前) 逝去



蔡 安邦 東北大教授





Wikipedia



1984
Discovery of QC
D. Shechtman et al.

2007
Determination of QC structure
H. Takakura, A. Tsai et al.

準結晶 Quasicrystal (QC)

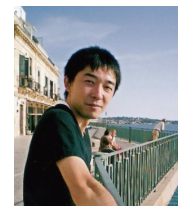
T. Ishimasa



K. Deguchi



K. Imura



Journal of the Physical Society of Japan

Invited Review Paper

掲載予定

Electron Correlation and Geometrical Frustration Effects on Magnetism in Icosahedral Quasicrystals and Approximants – An Attempt to Bridge a Gap between Quasicrystals and Heavy Fermions –

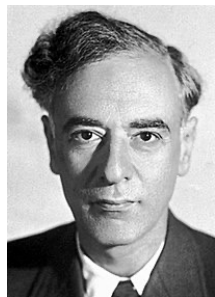
Noriaki K. Sato¹ Tsutomu Ishimasa² Kazuhiko Deguchi¹ and Keiichiro Imura¹

¹Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan
²Toyota Physical & Chemical Research Institute, Nagakute, Aichi 480-1192, Japan

Icosahedral quasicrystals (QCs), which are long-range ordered materials with a symmetry incompatible with translational invariance, have revived since the observation of their non-Fermi liquid (FL) behaviors, owing to an interest in the strong correlation effect developing in quasicrystalline structures. Herein, we review the progress in our understanding of magnetism in QCs, with emphasis on comparison with approximant crystals (ACs) and heavy fermions (HFs): ACs form a periodic structure (clusters) as QCs but form a periodic array of the clusters, and HFs are heavy fermions. Intriguing phenomena such as mixed valence, Kondo effect, and non-Fermi liquid behavior are observed in QCs and ACs. Topics taken up in this review lie at the crossroads of two fundamental fields in condensed matter physics. The fundamentals of QC structure and basic notions of HFs (including the disorder effect on FL) are, thus, introduced for readers who are not familiar with either QCs or HFs. According to a recent cutting-edge experiment on mixed-valence Yb-based QCs and ACs, the mean valence of Yb shows instability at a critical lattice parameter, independent of whether the global structure is quasicrystalline or periodic. In contrast, the QC and the AC show a difference in the emergence of the divergence in the magnetic susceptibility under pressure: the Au-Al-Yb QC shows a robust quantum criticality against pressure, whereas the Au-Al-Yb AC exhibits a pressure-induced quantum criticality as in the HFs. Using these results, we reveal the interrelation between valence and quantum critical behavior and discuss that the quantum criticality arises from quantum critical valence fluctuations. To get a unified view on the magnetism of these intriguing materials, we propose conjectures. One of them is that the Au-Al-Yb QC belongs to the same universality class as the YbRh₂Si₂ and β -YbAlB₃ HFs. In addition, an overview of the local moment magnetism of the QCs and ACs is given with a focus on crystal-field and geometrical-frustration effects. We find that the long-range magnetic order is disrupted or frustrated by quasiperiodicity in QCs, whereas the ACs show an intriguing magnetic ordered structure.

三宅・渡辺理論

重い電子系 (HF) 強相関電子系 Strongly Correlated Electron Systems (SCES)



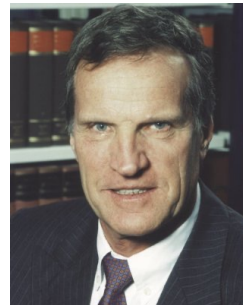
ウィキペディア

L. Landau
Fermi liquid



1964
Kondo effect

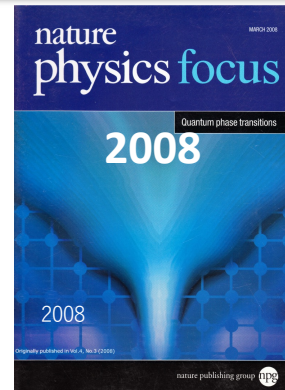
文化勲章
(2020)



1979
Discovery of SC in SCES
F. Steglich et al.

Fritz London記念賞
(2020)

Frank Steglich Max-Planck-Institut -acatech-

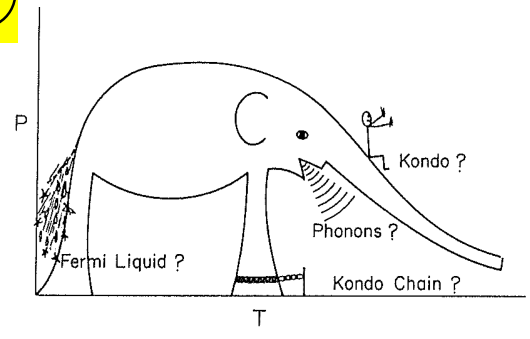


Quantum criticality in SCES

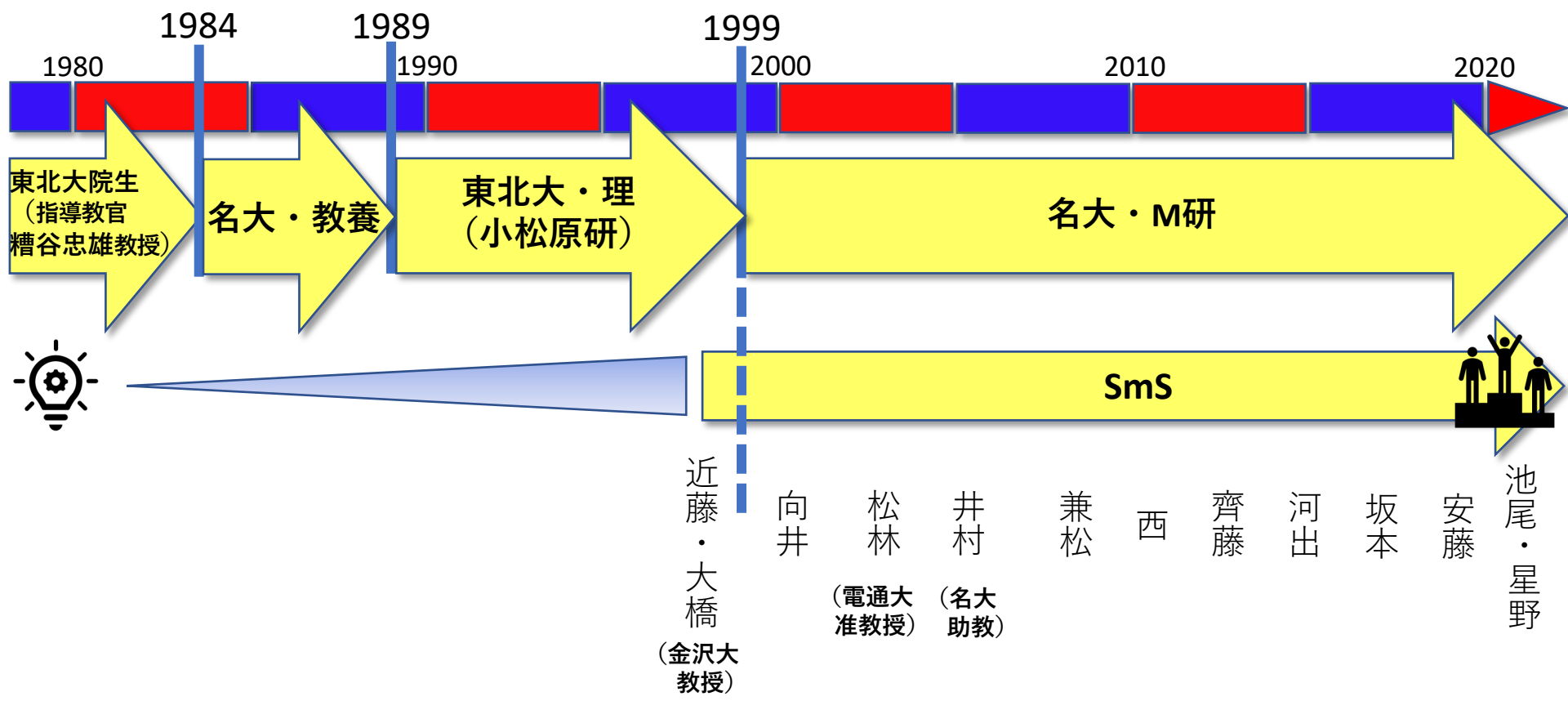
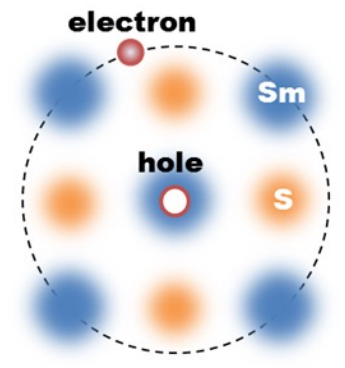
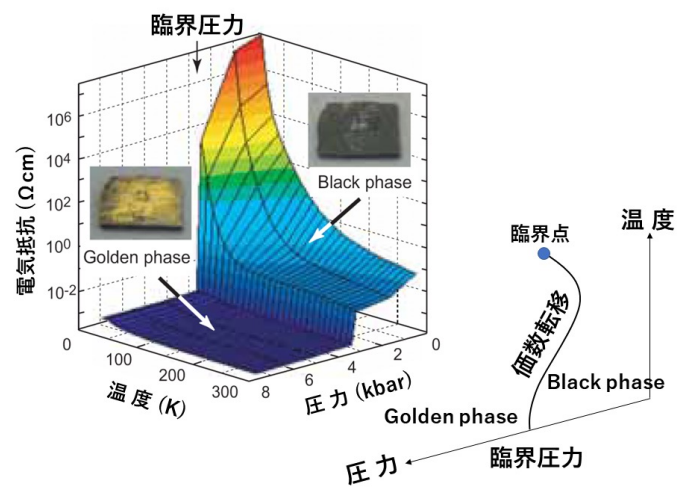
第8章

Perspectives : 2つの未解決問題

1



The **SmS black-to-bronze transition** is very important.

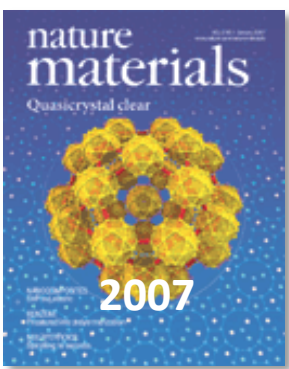




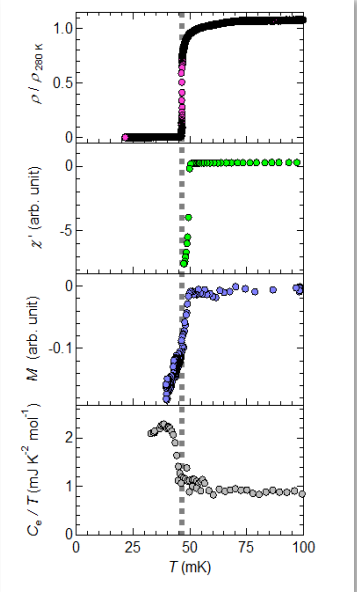
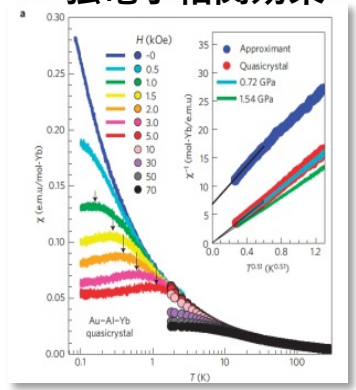
Wikipedia

1984
Discovery of QC
D. Shechtman et al.

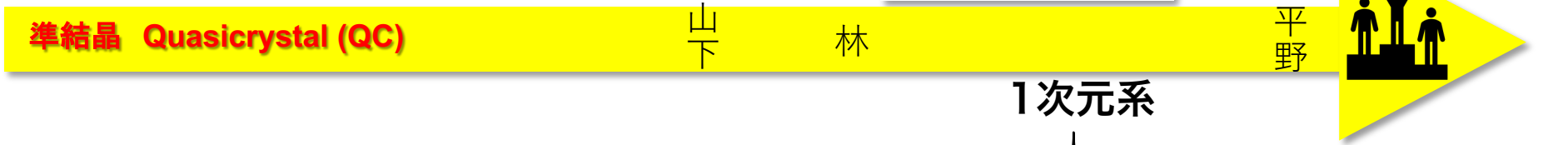
構造解明



多体効果・
強電子相関効果



未解決問題：1電子問題
3次元でも臨界状態は
存在するか？

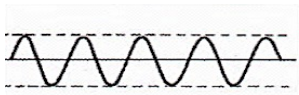


結晶 (周期系)
Bloch状態

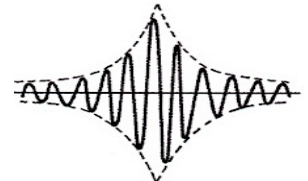
準結晶 (準周期系)
臨界状態

アモルファス (無秩序系)
Anderson局在

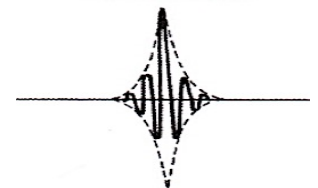
$$\phi \propto e^{ik \cdot r}$$



$$\phi \propto \frac{1}{r^a} \left(a < \frac{1}{2} \right)$$



$$\phi = e^{-ar}$$



エピローグ

Competitive Coexistence of Superconductivity with Antiferromagnetism in CeRhIn₅

G. F. Chen, K. Matsubayashi, S. Ban, K. Deguchi, and N. K. Sato

Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

(Received 26 December 2005; published 7 July 2006)

We carried out ac magnetic susceptibility measurements under pressures P on the heavy fermion antiferromagnet CeRhIn₅. We report bulk superconductivity (SC) at ambient pressure with a transition temperature $T_c \approx 90$ mK. The degraded SC in a powdered or polished sample was restored by annealing, showing that the SC state is sensitive to inhomogeneity. In a coexistence region of the SC with antiferromagnetism (AF), we find that $T_c(P)^n T_N(P)^{1-n} = \text{const}$ where T_N indicates a Néel temperature and n denotes a ratio of electronic specific heat coefficients below and above T_N , indicating the competition of the SC and the AF for states at the Fermi surface.



大学院生



陳根富 2004~2006
学振外国人PD



First results on U_2Ru_2Sn single crystalsS. Paschen^{a,*}, V.H. Tran^{a,1}, N. Senthilkumaran^a, M. Baenitz^a, F. Steglich^a,
A.M. Strydom^b, P. de V. du Plessis^c, G. Motoyama^d, N.K. Sato^d^aMax Planck Institute for Chemical Physics of Solids, Nöthnitzer Str. 40, 01187 Dresden, Germany^bPhysics Department, Rand Afrikaans University, P.O. Box 524, Johannesburg, South Africa^cSchool of Physics, University of the Witwatersrand, P.O. Wits 2050, Johannesburg, South Africa^dDepartment of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

Abstract

The tetragonal compound U_2Ru_2Sn shares several properties with the strongly correlated semimetal CeNiSn. Here we present, for the first time, measurements of magnetic, thermal, and electrical transport properties of single-crystalline samples and compare them to results on polycrystals. The specific heat and the magnetic susceptibility provide evidence for the opening of an energy gap of approximately 150–160 K. Both the magnetic susceptibility and the electrical resistivity are anisotropic. The c -axis is the easy magnetic axis along which the resistivity is ‘metal-like’. The resistivity along the a -axis is ‘semiconductor-like’.



S. Paschen
(ウィーン工科大教授)

Interplay of the superconductivity and magnetism in $Eu_{0.7}Na_{0.3}Fe_2As_{1.4}P_{0.6}$ Y R Jang¹, J B Hong¹, B H Min¹, M A Jung¹, Y Y Song¹, H J Oh¹,
K J Lee², M H Jung², S Kanematsu³, K Imura³, K Deguchi³,
N K Sato³ and Y S Kwon^{1,4}¹ Department of Physics, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Republic of Korea² Department of Physics, Sogang University, Seoul 121-741, Republic of Korea³ Department of Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Nagoya 464-8602, JapanE-mail: [yskwon@skku.ac.kr](mailto:ykwon@skku.ac.kr)

Received 27 April 2011, in final form 6 June 2011

Published 8 July 2011

Online at stacks.iop.org/SUST/24/085017

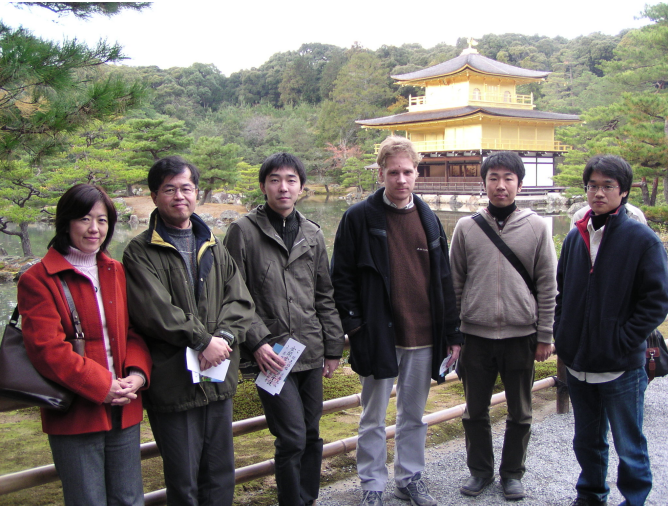
Abstract

The resistivity, magnetic susceptibility, magnetization and specific heat under magnetic fields were measured on a $Eu_{0.7}Na_{0.3}Fe_2As_{1.4}P_{0.6}$ single crystal. A decrease in resistivity to zero, which shifted toward lower temperatures under a magnetic field, was observed at $T_c \sim 25$ K due to a superconducting transition. The electrical and magnetic anisotropy was quite small. In low-field magnetization, helimagnetism appeared at $T_{HM} \sim 19$ K, which changed to ferromagnetism in higher fields. Therefore, superconductivity coexists with low field but with ferromagnetism in a high field. The specific heat shows



權 容聖 (Kwon Yong Seung) 成均館大 研究室
との合同コンパ@水原 (Swon)

現 DGIST, Daegu, Korea



講義の準備のお手伝い



ニュートンの
リンゴの木



「対称性」の実験



液体酸素の実験

2010年頃



M研の皆さんとともにここまで到達できたことを、うれしく、誇りに思っています。教育者としては至らない点が多々ありました。この場をお借りしてお詫びいたします。皆さん、有難うございました！心より感謝します。



2013年頃