



## PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和 2 年 8 月 27 日

岡 山 大 学

報道解禁：令和 2 年 8 月 27 日（木）午後 6 時（新聞は 28 日朝刊より）

### 不純物散乱に強い未知の超伝導を新たに発見

#### ◆発表のポイント

- ・「重い電子系」と呼ばれる物質群は、特定の電子が①局在し磁性を示す、②遍歴して「重い電子」超伝導となる、という二面性を持ちます。重い電子が生まれる過程（局在-遍歴転移）は超伝導研究において有用と考えられていますが、これまでその観測には成功していませんでした。
- ・重い電子系化合物  $CeRh_{0.5}Ir_{0.5}In_5$  において局在-遍歴転移の様子を突き止め、さらにこの転移によって不純物散乱に強い超伝導が出現することを発見しました。
- ・今後、局在-遍歴転移に着目した高温超伝導物質開発の指針となります。

岡山大学大学院自然科学研究科（理）の鄭国慶教授、川崎慎司准教授らの研究グループは、重い電子系の超伝導物質において、「局在-遍歴転移」の観測に成功しました。さらに、この転移によって不純物散乱に強い超伝導が出現することを突き止めました。本研究成果は 8 月 27 日英国時間 10:00（日本時間 18:00）、英科学誌「*Communications Physics*」に掲載されました。（オープンアクセス）。

セリウム（Ce）など希土類元素を含む化合物に「重い電子系」と呼ばれる物質群があります。重い電子系は、Ce の電子が①局在し磁性を示す、②遍歴して「重い電子」超伝導となる、という二面性を持ちます。特に重い電子超伝導は、銅酸化物高温超伝導と類似点が多く、高温超伝導発現機構の原型物質として 40 年に渡って研究されてきました。2000 年代は、重い電子が生まれる過程（局在-遍歴転移）が論争の中心となりましたが、局在-遍歴転移は観測が難しく、共通理解は得られていませんでした。局在-遍歴転移の観測に成功した本研究成果は重い電子超伝導発現機構を考える上で重要な手がかりを与え、今後の高温超伝導物質開発にも生かされることが期待されます。

#### ◆研究者からのひとこと

本研究は、極低温高圧下という心身の苦勞が絶えない実験を 10 年以上積み重ねて得られた成果です。国内外のたくさんの方々に共同研究などでお世話になりましたが、特に実験室で昼夜を問わず苦樂を共にした当研究室の 4 名の卒業生に感謝です。



川崎准教授



## PRESS RELEASE

### ■発表内容

#### <現状>

セリウム (Ce) など希土類元素を含む化合物に「重い電子系」と呼ばれる物質群があります。1979年に初めて  $CeCu_2Si_2$  という物質で超伝導が発見されて以来、40年を超える歴史があります。重い電子系の特徴として、Ceの電子が局在（磁性）と遍歴（超伝導）という2つの性質を持ち、それらは「圧力」を使って自由自在に人工制御出来るのが実験の大きな利点です（図1参照）。1986年に銅酸化物高温超伝導体[1]が発見され注目を集めました。その超伝導は重い電子系とよく似たものでした。銅酸化物は化合物の性質上、元素置換が必須であり結晶の「乱れ」の影響が排除できません。一方で重い電子系は“クリーン”な圧力で研究ができますので、銅酸化物の原型物質として高温超伝導発現機構の研究が続けられてきました。

図1に示すように、Ceの電子はCeイオンの位置に局在する性質が強く、電子スピがお互いの向きを逆さまに並ぼうとします（反強磁性）。この状態で結晶を圧縮すると、Ceの電子と自由電子との重なりが大きくなり、遍歴性を増します。その結果として、「重い電子」と呼ばれる状態が作りだされます（図1参照）。それに伴って、フェルミ面[2]の大きさが変わります。この変化、「局在-遍歴転移」が超伝導の鍵を握ります。しかし、観測がとても難しいため、どの時点で「局在-遍歴転移」が起こるかが研究の主題の一つとなっていました。

#### <研究成果の内容>

本研究グループは、典型的な重い電子系反強磁性超伝導体  $CeRh_{0.5}Ir_{0.5}In_5$ [3]において、極低温高圧下の核四重極共鳴実験[4]を詳細に行いました。その結果、圧力で反強磁性が消失する量子臨界点[5]の前にCeの電子の局在-遍歴転移が起きていることを突き止めました[6]。さらに、超伝導について詳しく調べると、この物質でRhをIrで元素置換したことによる不純物散乱の影響が顕著にあらわれているにもかかわらず、超伝導転移温度が想定より下がらない（不純物散乱に負けていない）ことがわかりました[7]。このことから、局在-遍歴転移と量子臨界点の協働により、今までは理論的にのみ議論されていた「不純物散乱に強い超伝導」状態（奇周波数  $p$  波超伝導[8]）が出現していることを明らかにしました。

#### <社会的な意義>

持続可能な社会を実現するためには、発電所から各家庭へのロスなし送電や発電した余剰電力の蓄電を可能とする超伝導技術は欠かせない技術の一つです。一般への実用化のためには室温超伝導実現が大きな課題です。局在-遍歴転移の観測に成功した本研究成果は、重い電子系超伝導発現機構を考える上で重要な手がかりを与えるのはもちろんのこと、今後の高温超伝導物質開発に生かされることが期待されます。

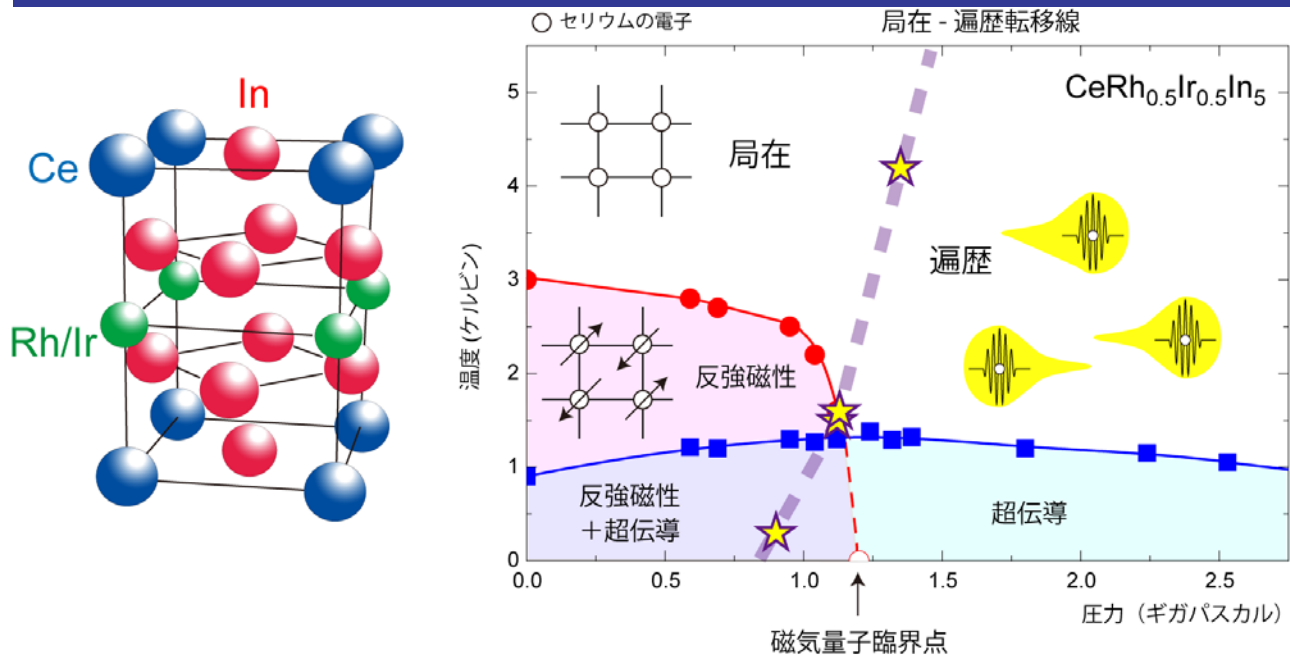


図 1. (左)  $\text{CeRh}_{0.5}\text{Ir}_{0.5}\text{In}_5$  の結晶構造。(右) 本研究で得られた圧力—温度相図。絶対零度で反強磁性が消失する点が磁気量子臨界点。Ce の電子の局在、遍歴のイメージ。本研究で局在-遍歴転移線（星印）を新たに発見。局在-遍歴転移は磁気量子臨界点より前に生じる。

### ■論文情報

論文名 : Localized-to-itinerant transition preceding antiferromagnetic quantum critical point and gapless superconductivity in  $\text{CeRh}_{0.5}\text{Ir}_{0.5}\text{In}_5$

掲載紙 : *Communications Physics*

著者 : Shinji Kawasaki, Toshihide Oka, Akira Sorime, Yuji Kogame, Kazuhiro Uemoto, Kazuaki Matano, Jing Guo, Shu Cai, Liling Sun, John L. Sarrao, Joe D. Thompson, & Guo-qing Zheng

DOI : 10.1038/s42005-020-00418-x

URL : <https://www.nature.com/commsphys/>

### ■研究資金

本研究は、科研費の支援を受けて実施しました (No. JP19K03747, JP23102717, JP25400374)

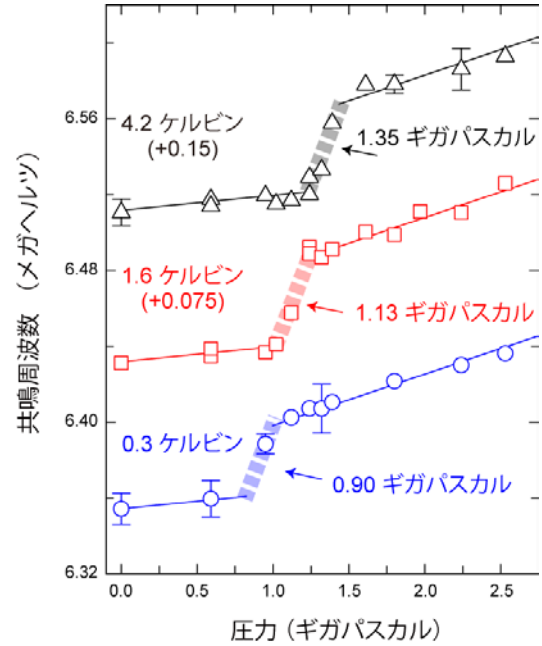
### ■補足・用語説明

- [1] 結晶構造中に銅と酸素で構成される二次元面を持つ物質の総称。もともと電気を通さないモット絶縁体（反強磁性体）に元素置換を行い、電子や空孔（電気を運ぶもの）を加えると、絶縁体が金属化し、さらに高温超伝導状態が発現します。
- [2] 金属は電子の運動によって決まる、フェルミ面と呼ばれる固有の面をもち、これは結晶構造や電子数によって異なります。本研究では、フェルミ面の「大きさ」に着目した実験を行いました。（Ce の電子が重い電子として伝導に参加することでフェルミ面は大きくなります。）

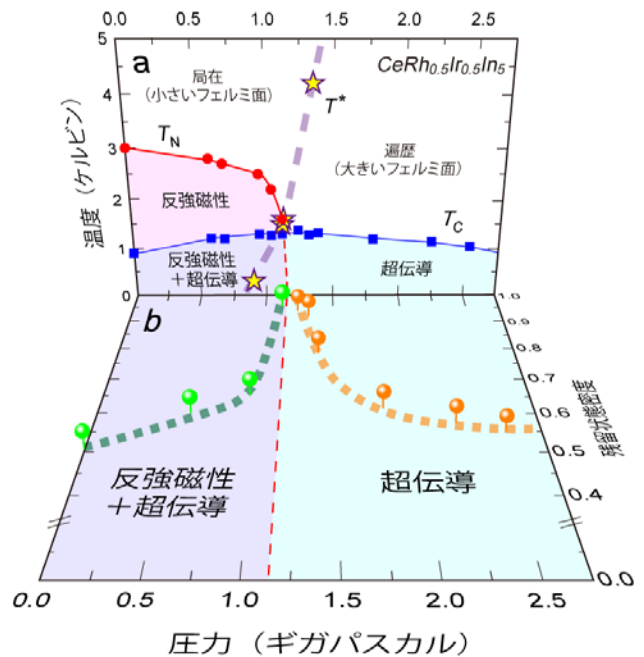


**PRESS RELEASE**

- [3] 測定に用いた試料は米国ロスアラモス研究所の J. D. Thompson 博士の研究グループから提供を受けました。
- [4] 原子核スピンを通して物質の電子状態を調べる実験手法。医療用 MRI の撮像原理と同じ。
- [5] 絶対零度で反強磁性の転移温度がゼロになる圧力。
- [6] 右図に示すように、局在-遍歴転移線で核四重極共鳴の共鳴周波数が不連続に変化することを発見しました。局在-遍歴転移でフェルミ面が突然大きくなったことを反映しています。



- [7] 右図 a は図 1 右と同じ相図を示しています。図 b の「残留状態密度」は、超伝導時に電子がどの程度不純物散乱を受けているのかを表す量です。一般に残留状態密度は圧力変化を示しません。ところが、本研究の場合「局在-遍歴転移」および「磁気量子臨界点」付近で残留状態密度が極端に増大しています。このような不純物散乱は、重い電子系では知られている超伝導にとっては致命的です。ところが  $\text{CeRh}_{0.5}\text{Ir}_{0.5}\text{In}_5$  の超伝導転移温度 ( $T_c$ ) は磁気量子臨界点で最高値を示しており、不純物散乱に強い超伝導が実現しているといえます。



- [8] クーパー対の対称性の一つ。超伝導では、電子はクーパー対と呼ばれる電子対を組んでいます。クーパー対の空間的、時間的対称性は超伝導の発現機構によって変わり、クーパー対の対称性を調べるのが超伝導研究で最も重要です。



＜お問い合わせ＞

岡山大学大学院自然科学研究科（理学部物理学科）

准教授 川崎慎司

（電話番号）086-251-7803

（FAX番号）086-251-7830 [事務室]



岡山大学は持続可能な開発目標（SDGs）を支援しています。