

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03685

研究課題名(和文) 準結晶で発現する強相関電子現象の研究

研究課題名(英文) Strongly Correlated Electrons in Quasicrystals

研究代表者

出口 和彦 (DEGUCHI, Kazuhiko)

名古屋大学・理学研究科・講師

研究者番号：40397584

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：(1) Au-Al-Yb準結晶が圧力・元素置換に対し「硬い」量子臨界物質であることと対照的に、Au-Al-Yb近似結晶は「敏感な」重い電子系の近似結晶であること発見した。準結晶特有の電子状態がAu-Al-Yb準結晶の量子臨界現象・磁性と密接に結びついていることがわかった。
(2) Al-Mg-Zn準結晶において50mKでバルクの超伝導が発現することを明らかにして、準結晶の超伝導の研究の端緒をつかんだ。Nature Communicationsに論文発表し、「ノーベル賞間違いなし、日本発「準結晶超伝導転移」”(伊東 乾, JBpress)のようにニュースとして取り上げられた。

研究成果の概要(英文)：The Au-Al-Yb quasicrystal with Tsai-type cluster exhibits novel quantum critical phenomena as observed in Yb-based heavy fermion materials with intermediate Yb valence, while the Au-Al-Yb approximant shows heavy Fermi liquid behavior. The quantum critical state of the Au-Al-Yb quasicrystal might correspond to an electronic state unique to the quasicrystals. In the process of material research, we have found superconductivity of Au-Ge-Yb approximants with Tsai-type cluster. Furthermore, we have confirmed the emergence of bulk superconductivity of Al-Zn-Mg quasicrystal at a very low transition temperature [1]. Comparison between the quasicrystal and the approximants demonstrate that the effective interaction between electrons remains attractive under variation of the atomic arrangement. In superconducting quasicrystal, the fractal geometry might interplay with superconductivity: fractal superconductivity.
[1] K. Kamiya, K. Deguchi et al., Nature Communications 9, 154 (2018).

研究分野：低温物理・超伝導・磁性

キーワード：強相関電子系 低温物性 金属物性 磁性 超伝導

1. 研究開始当初の背景

シェヒトマン博士 (2011 年ノーベル化学賞) によって 1984 年に発見された「準結晶」は、図 1 に示すように原子配置の並進対称性について特殊な等比数列的な規則性 (準周期性) をもち、結晶と似たような回折像が現れるが、その回折対称性は結晶では許されないものであり、どちらにも分類できない「第 3 の固体」となった。発見以来、準結晶の構造については研究が大きく進展したが、特殊な原子配置の規則を持つ準結晶では結晶で成功を収めているバンド理論も成り立たないため、電子状態に起因する特有の物性、まして、電子間の斥力が重要になる強相関電子物性については謎のままである。

我々の研究グループでは、図 1 のような Tsai-type クラスタ構造をもつ Au(金)-Al(アルミニウム)-Yb(イッテルビウム)を組み合わせた準結晶を作成した。この準結晶が強相関電子系の性質を示し、様々な物理量が低温で発散し、温度を冷やせば冷やすほど絶対零度に向かって無限に大きくなる量子臨界現象が「第 3 の固体」特有の性質と深く関係して安定に現れること (量子臨界物質) を発見した [1]。この現象は物質が量子臨界点という特異点に位置するとき現れる (図 2)。近年、Yb を含む強相関物質の結晶で非従来型の量子臨界現象とそれに関連した磁性・超伝導 [2] について精力的に研究が進められてきた。Tsai-type クラスタ構造をもつ準結晶・近似結晶の開発を進め、最近、我々のグループで Au(金)-Ge(ゲルマニウム)-Yb(イッテルビウム)を組み合わせた Tsai-type クラスタ構造をもつ近似結晶を作成することにより興味深い超伝導を発見し、準結晶における超伝導・磁気秩序・量子臨界現象の研究が進んでいる。

2. 研究の目的

量子臨界物質・超伝導物質を起点として、Tsai-type クラスタ構造 (局所構造) をもつ準結晶・近似結晶の新しい物質系でクラスタ配置の並進対称性 (大きな構造として周期性・準周期性) に着目した新物質開発・新現象探索を行い、

(1) クラスタ構造 (局所構造) に着目した新しい強相関電子系の開拓

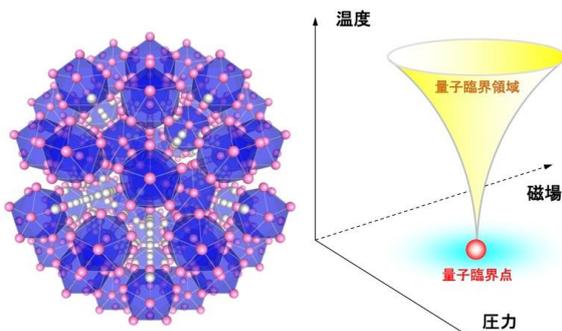


図1 Ybの原子のみ示した Au-Al-Yb準結晶の構造。

図2 相図の中に現れる量子臨界点と量子臨界現象。

(2) 強相関電子系における並進対称性 (大きな構造として周期性・準周期性) の役割の解明

を目的とする研究を行った。

3. 研究の方法

(1) クラスタ構造 (局所構造) に着目した新しい強相関電子系の開拓

Tsai-type クラスタ構造をもつ準結晶・近似結晶についてクラスタ構造 (局所構造、図 4) で発現する電子物性を選択し、並進対称性 (大きな構造として周期性・準周期性、図 3) により電子物性を制御して、強相関電子系の物質開発を行った。具体的には、Tsai-type クラスタ構造をもつ準結晶・近似結晶について、現有の設備 (マッフル炉、真空封入装置、アーク炉、プラズマ炉) を用いて、最適育成条件を調べ、純良な単相の準結晶・近似結晶作成を行った。

(i) Au-Al-R 系準結晶・近似結晶 (Au-Al-Yb: 量子臨界物質・重い電子系、Au-Al-Tm: フラストレーションをもつ金属磁性体)、Au-Ge-Yb 系準結晶・近似結晶 (磁性を持つ超伝導体) の作成を行った。

(ii) $RCd_{5.7-6.0}$ 準結晶・近似結晶 ($R =$ 希土類) は局在 f 電子系であるため、Cd を A_xB_{1-x} ($A:$ 遷移金属, $B:$ 典型金属) に置き換えた 3 元系の $R(A_xB_{1-x})_{5.7-6.0}$ 準結晶・近似結晶を作成し ($A:$ 遷移金属と $B:$ 典型金属は平均原子半径・平均価数が Cd に近い物を選ぶ)、f 電子の遍歴系を視野に入れた新物質開発を行った。

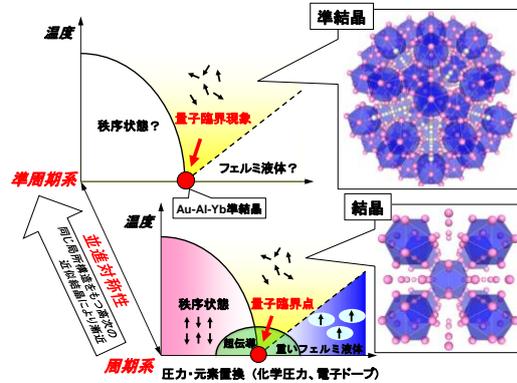


図3 強相関電子系の準結晶・結晶の相図の概念図。

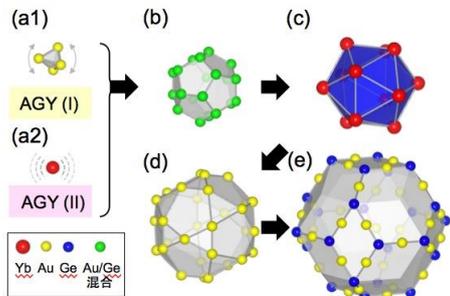


図4 Tsai 型の多重殻クラスタ構造。(a1) 回転の自由度を持つ Au の正 4 面体。(a2) ラットリングの自由度を持つ希土類 Yb 原子。(b) 第 2 殻の正 12 面体。(c) 第 3 殻の希土類 Yb 原子の正 20 面体。(d) 第 4 殻の 20・12 面体。(e) 第 5 殻の菱形 30 面体。

(2) 強相関電子系における並進対称性(大きな構造として周期性・準周期性)の役割の解明

強相関電子系における並進対称性の役割の解明するため、強相関電子系準結晶の物性について同じ局所構造を持つ準結晶(準周期)・近似結晶(周期)を作成し、対照実験を行う。図3にまとめてあるように、強相関電子系の物理現象(長距離磁気秩序や超伝導)が準結晶・近似結晶でどうなるのか物質・圧力・磁場の相図でみたときどのようなものか調べた。具体的にはf電子をプローブにしたAu-Al-Yb強相関準結晶・近似結晶の量子臨界現象の研究を行った。準結晶では特殊な原子配置の規則と関係した「局在」でも「遍歴」でもない準周期系特有の電子状態「Critical State」と関係して発現していると考え、Au-Al-Yb準結晶(量子臨界物質)・近似結晶(重い電子系)についてf電子をプローブとして強相関準結晶の電子状態を調べる。そのため、極低温・磁場下の熱力学量(磁化・比熱・交流磁化率)の測定を行い温度/磁場スケールを調べて、量子臨界指数を決定した。さらに、外部摂動(圧力・乱れ)に対する準結晶の物理現象のRobustnessの研究を行った。強相関電子系の準結晶・近似結晶に対して対照実験を行い、温度・磁場・圧力・試料をパラメータとした電子状態の相図から、外部摂動(圧力・乱れ)に対する準結晶の物理現象のRobustnessにアプローチする。特に対照実験の相図と試料依存性(並進対称性の乱れ)を系統的にまとめることが、並進対称性・回転対称性と準結晶の物理現象のRobustnessの関係に知見を与えると考えている。Au-Al-Yb準結晶の量子臨界現象に固有のものか、一般性のあるものか明らかにすることを目指した。

4. 研究成果

(1) Tsai-typeのクラスター構造をもつ新しい強相関電子系の準結晶・近似結晶の開発

結晶の重い電子系におけるf電子の局在・遍歴状態と準結晶の特殊な原子配置の規則との関係を調べるため、局在f電子を持つAu-Al-Tm系準結晶・近似結晶の研究を進めた。まず、電気抵抗・磁化率・比熱の温度依存性を極低温まで測定し、Au-Al-Yb系準結晶・近似結晶と比較すると、局在電子系のAu-Al-Tm系準結晶・近似結晶では通常の磁性体でみられる振る舞いが観測されたのに対し、Au-Al-Yb系準結晶・近似結晶では非従来型の磁性が観測され、f電子が局在・遍歴の中間状態にある中間価数のYbの価数ゆらぎが原因であることを示唆する結果が得られた。Au-Al-Yb系準結晶で観測された準結晶の量子臨界現象を理解するための重要な手がかりとなると考えられる。また、局在電子系における準結晶・近似結晶の磁気長距離秩序の有無についても調べた。その結果、20

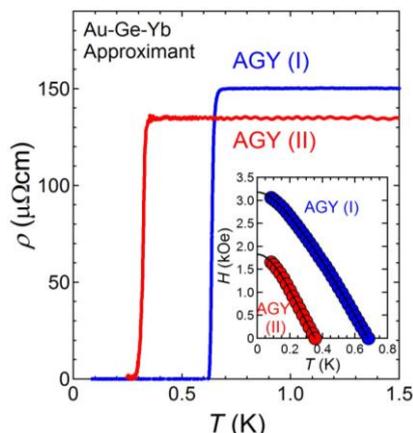


図4 Au-Ge-Yb 1/1 近似結晶の電気抵抗の温度依存性。非磁性のAGY(I)と磁性を持つAGY(II)はそれぞれ0.68 Kと0.36 Kで超伝導が現れる。内挿図は上部臨界磁場の温度依存性。

面体のTmを頂点とする正三角形に起因する幾何学的フラストレーションをもつ金属磁性体のAu-Al-Tm準結晶・近似結晶において興味深い磁気状態が観測することに成功した。この結果を論文にまとめ、Journal of the Physical Society of Japanに発表した[4]。

Tsai-typeのクラスター構造は図4のように希土類の20面体を持つことが特徴であり、クラスター中心の原子群を変えられる自由度を持つ。物質探索の結果、図4のようにAu(金)-Ge(ゲルマニウム)-Yb(イッテルビウム)を組み合わせたTsai-typeクラスター構造をもつ近似結晶を作成することにより興味深い超伝導を発見することに成功した。Au-Ge-Yb近似結晶はクラスター構造の違いにより2タイプの超伝導体があることがわかった。図4に示すように、①4面体タイプ:非磁性の超伝導体AGY(I)、②希土類ラットリングタイプ:磁性と共存する超伝導体AGY(II)である。2つの系の磁性の比較から、正20面体を形成するYb原子は磁気モーメントを持たず、中心に位置するYb原子は磁性を持つと考えられる。AGY(I)とAGY(II)における超伝導転移温度の違いも局所構造の違いとそれに関係した磁性の違いに起因する可能性が高い。特にAGY(II)の磁性はAu-Al-Yb近似結晶(重い電子系)と類似しており、量子臨界現象との関係が興味深い。また、この結果はTsai型クラスター構造をもつ物質系が局所構造の違いで電子状態を制御できることを示唆するものであり、本研究の重要な結果と考えられる。希土類を含むTsai型クラスター構造をもつ物質系は、局所構造による物性制御が可能な点と、原子配置の規則性(周期性と準周期性)が物性に及ぼす効果を解明できる点において、他に類を見ないユニークな系である。この結果を構造解析と超伝導の発見に分けて論文にまとめ、Journal of the Physical Society of Japanに発表した[5-7]。またJPSJの注目論文にも選ばれ、表彰された。希土類元素Ybを含むTsai-typeのクラスター構造をもつ新しい強相関電子系の準結晶・近似結晶の開発を行った。3元系の

(A_xB_{1-x})₈₅Yb₁₅ の Tsai-type のクラスター構造をもつ近似結晶 (A:遷移金属, B:典型金属): Pd₃₀Ga₅₅Yb₁₅, Pd_{45.6}Ge_{38.9}Yb_{15.5}, Au₄₄Ga₄₁Yb₁₅, Ag₄₇Ga₃₈Yb₁₅ についてアーク炉を使用し単相の多結晶試料の作成し、低温物性測定を行った。磁性に着目して、電気抵抗・磁化率・比熱の温度依存性を極低温まで測定し、Yb を含む Tsai-type のクラスター構造をもつ新しい強相関電子系の近似結晶を他の Tsai-type のクラスター構造をもつ準結晶・近似結晶と比較すると、局在電子系の Au-Al-Tm 系準結晶・近似結晶では通常の磁性体でみられる振る舞いが観測されたのに対し[4]、Yb を含む準結晶・近似結晶では非従来型の磁性が観測され、f 電子が局在・遍歴の中間状態にある中間価数の Yb の価数ゆらぎが原因であることを示唆する結果が得られた[8]。Au-Al-Yb 系準結晶で観測された準結晶の量子臨界現象を理解するための重要な手がかりとなり、準結晶の特殊な原子配置の規則と関係した「局在」でも「遍歴」でもない準周期系特有の電子状態「Critical State」と関係した強相関準結晶の電子状態の解明につながると考えている。

(2) 強相関電子系の準結晶に特有の物性

Au-Al-Yb 系の準結晶・近似結晶[1]は XANES の実験[9]から Yb³⁺ (全角運動量 $J = 7/2$, 有効磁気モーメント $p_{\text{eff}} = 4.54\mu_B$) と Yb²⁺ ($J = 0$, $p_{\text{eff}} = 0$) の中間価数の Yb をもち、光電子分光の実験[10]から価数揺動状態になっていることが示唆されている。Au-Al-Yb 準結晶について常圧・ゼロ磁場で磁化率、比熱の C/T 、さらに核スピン格子緩和時間の $(T_1T)^{-1}$ が $T \rightarrow 0$ K で発散する量子臨界現象が観測された[1,11]。温度依存性は非従来型であり、価数ゆらぎ由来の量子臨界現象との関係を示唆しているようにみえる[12]。一方、近似結晶では発散は示さず、近藤温度が数 K 程度の重い電子系のように見える。違いをより明確にするために圧力下の実験を行うと、準結晶の量子臨界現象は準周期性・回転対称性を変えないような静水圧に対して変化せず、「硬さ」を示す。対照的に、Au-Al-Yb 近似結晶は結晶における量子臨界点近傍の物質と同様に圧力に「敏感」な性質を示し、ある圧力でのみ量子臨界現象を示すことが明らかになった (図 5 (a), (b)) [13]。Au-Al-Yb 準結晶が常圧下で偶然に量子臨界点に位置しているとすれば、圧力を印加することにより量子臨界点から外れると考えられる。しかし実際には、図 5 (b) に示すように測定圧力範囲内で量子臨界状態に留まったままであり、圧力に対する「硬さ」が、Au-Al-Yb 準結晶の量子臨界現象の特徴である。この結果より、量子相転移なしで準結晶の量子臨界現象が現れているとすれば、価数揺動を起こしている f 電子が準結晶中で臨界状態のような準結晶特有の電子状態となることになり、量子臨界現象に類似した現象を観測している可能性が考えられる。蔡型クラスターを持つ Yb 系近

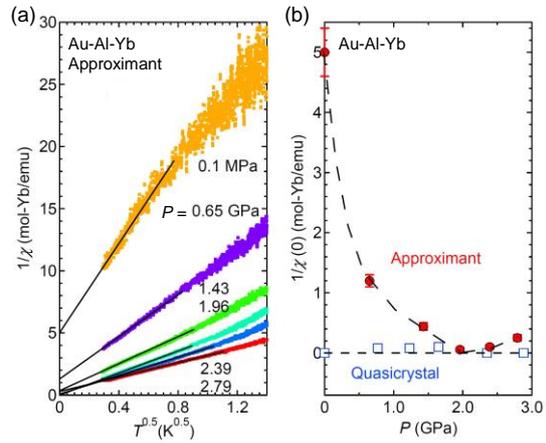


図 5 (a) Au-Al-Yb 近似結晶について圧力下における逆磁化率 (交流磁化率) の $T^{0.5}$ に対するプロット。(b) Au-Al-Yb 準結晶・近似結晶について図 2 (a) のプロットで絶対零度に外挿して求めた逆磁化率の圧力依存性。準結晶は圧力に依存せず絶対零度で発散するが、近似結晶は 2GPa 付近でのみ絶対零度で発散する。

似結晶は様々な種類のものが作成可能であり[3]、Yb の配位原子を変えることにより Yb の価数と f 電子の磁性を変えられることが最近わかった[8]。低温での磁化率大きさをみると、格子定数が増加に伴い Au-Al-Tm 準結晶・近似結晶で観測された局在スピン系の磁性 [4] から非磁性の状態まで系統的に変化し、Yb³⁺ から Yb²⁺ に Yb の価数も変化していると考えられる。高温の磁化率から求めた有効磁気モーメントの格子定数依存性を調べることで Au-Al-Yb 近似結晶が Yb の価数と f 電子の磁性が大きく変化する点の近傍に位置することがわかった。

準結晶の電子状態と超伝導についても調べるため、Bergman 型クラスターを持つ正 20 面体準結晶と近似結晶にも手を広げ、Al-Zn-Mg 準結晶が $T_c \cong 0.05$ K でバルクの超伝導 (図 6 参照) になることを最近明らかにした[14]。Nature Communications に論文発表し、「ノーベル賞間違いなし、日本発「準結晶超伝導転移」」(伊東 乾, JBpress) のようにニュースとして取り上げられた。準結晶における超伝導状態はフラクタル構造を反映した超伝導の可能性も理論で考えられており[15]、

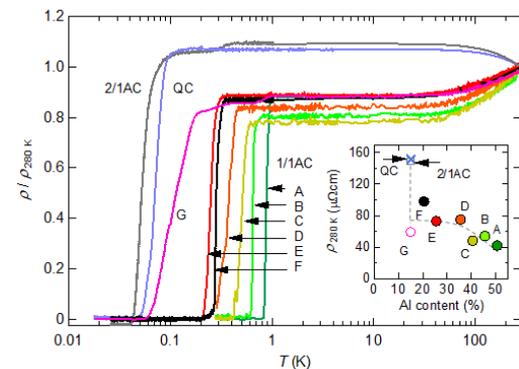


図 6 Al-Zn-Mg 準結晶・2/1 近似結晶・1/1 近似結晶の電気抵抗の温度依存性。 $T_c \cong 0.05$ K でバルクの超伝導が現れる。

準結晶における超伝導状態の解明を今後進めたいと考えている。また、蔡型クラスターを持つ Yb 以外の希土類を持つ準結晶・近似結晶の磁性と電子状態の研究を進めており、Ce 系の近似結晶 Ag-In-Ce における重い電子状態[16]の研究や磁性・正 2 0 面体や準周期配列のフラストレーション・多極子の研究を視野に入れて他の希土類を含む準結晶・近似結晶の探索も今後進める予定である。

- [1] K. Deguchi et al., Nature Materials **11** (2012) 1013. 朝日・中日新聞にプレスリリース.
- [2] 中辻知, 固体物理 **47** (2012) 521. 渡辺真仁, 固体物理 **47** (2012) 511.
- [3] S. Matsukawa, K. Deguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 034705-1-5 (2014).
- [4] M. Nakayama, K. Deguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 024721-1-6 (2015).
- [5] K. Deguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 023705-1-4 (2015). This paper was chosen as "Paper of Editors' Choice".
- [6] K. Deguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 015002-1-2 (2015).
- [7] 出口和彦, 佐藤憲昭, 石政勉, 固体物理 **50**, 497 (2015).
- [8] M. Hayashi, K. Deguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 043702 (2017).
- [9] T. Watanuk et al., Phys. Rev. B **86**, 094201 (2012).
- [10] 松波雅治: 私信. M. Matsunami, K. Deguchi et al., Phys. Rev. B **96**, 241102(R) (2017).
- [11] 佐藤憲昭, 出口和彦, 石政勉, 固体物理 **48**, 355 (2013).
- [12] S. Watanabe and K. Miyake, Phys. Rev. Lett. **105**, 186403 (2010).
- [13] S. Matsukawa, K. Deguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 063706 (2016).
- [14] K. Kamiya, K. Deguchi et al., Nature Communications **9** 154 (2018).
- [15] S. Sakai et al., Phys. Rev. B **95**, 024509 (2017).
- [16] K. Imura, K. Deguchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 093702 (2017).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件) すべて査読あり

1. "Discovery of Superconductivity in Quasicrystal"
K. Kamiya, T. Takeuchi, N. Kabeya, N. Wada, T. Ishimasa, A. Ochiai, K. Deguchi, K. Imura, and N. K. Sato:
Nature Communications **9**, 154 (2018).
2. "Direct observation of heterogeneous valence state in Yb-based quasicrystalline approximants"
M. Matsunami, M. Oura, K. Tamasaku, T. Ishikawa, S. Ideta, K. Tanaka, T. Takeuchi, T.

Yamada, A. P. Tsai, K. Imura, K. Deguchi, N. K. Sato, and T. Ishimasa:

Phys. Rev. B **96**, 241102(R)1-4 (2017).

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

T. Shiino, Y. Shinagawa, K. Imura, K. Deguchi, and N. K. Sato:

J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 123705-1-5 (2017).

4. "First Observation of Heavy Fermion Behavior in Ce-Based Icosahedral Approximant"
K. Imura, K. Nobe, K. Deguchi, M. Matsunami, H. Miyazaki, A. Yasui, E. Ikenaga, and N. K. Sato:

J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 093702-1-4 (2017).

5. "Observation of Systematic Variation in Yb Ion Valence as a Function of Interatomic Spacing in Icosahedral Approximant Crystals"

M. Hayashi, K. Deguchi, S. Matsukawa, K. Imura, and N. K. Sato:

J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 043702-1-4 (2017).

6. "Anticorrelation between polar lattice instability and superconductivity in the Weyl semimetal candidate $MoTe_2$ "

H. Takahashi, T. Akiba, K. Imura, T. Shiino, K. Deguchi, N. K. Sato, H. Sakai, M. S. Bahramy, and S. Ishiwata:

Phys. Rev. B **95**, 100501(R)1-5 (2017).

7. "Magnetic Properties of the Au-Al-Yb Approximant under Hydrostatic Pressure"

S. Matsukawa, K. Deguchi, K. Imura, T. Ishimasa, and N. K. Sato:

Journal of Physics: Conf. Series **809**, 012013-1-5 (2017).

8. "Quantum critical behavior in magnetic quasicrystals and approximant crystals"

N. K. Sato, S. Matsukawa, K. Nobe, K. Imura, K. Deguchi, and T. Ishimasa:

Journal of Physics: Conf. Series **868**, 012005-1-7 (2017).

9. "Pressure-Driven Quantum Criticality and T/H Scaling in the Icosahedral Au-Al-Yb Approximant"

S. Matsukawa, K. Deguchi, K. Imura, T. Ishimasa, and N. K. Sato:

J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 063706-1-4 (2016).

10. "Tsai 型クラスターをもつ Au-Ge-Yb 近似結晶の超伝導-準結晶をつなぐ物質で発現した超伝導-"

出口和彦, 佐藤憲昭, 石政勉:
固体物理 **50**, 497-507 (2015).

11. "Superconductivity of Au-Ge-Yb Approximants with Tsai-type Clusters"

K. Deguchi, M. Nakayama, S. Matsukawa, K. Imura, K. Tanaka, T. Ishimasa, and N. K. Sato:

J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 023705-1-4 (2015).

12. "Crystal Structure of Superconducting 1/1 Cubic Au-Ge-Yb Approximant with Tsai-type Cluster"

K. Deguchi, M. Nakayama, S. Matsukawa, K.

Imura, K. Tanaka, T. Ishimasa, and N. K. Sato:
J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 015002-1-2 (2015).

13. “Localized Electron Magnetism in the Icosahedral Au-Al-Tm Quasicrystal and Crystalline Approximant”

M. Nakayama, K. Tanaka, S. Matsukawa, K. Deguchi, K. Imura, T. Ishimasa, and N. K. Sato:
J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 024721-1-6 (2015).

14. “Origin of the Black-Golden Transition in $\text{Sm}_{1-x}\text{Y}_x\text{S}$ ”

K. Imura, M. Saito, M. Kaneko, T. Ito, T. Hajiri, M. Matsunami, S. Kimura, K. Deguchi, H. S. Suzuki, and N. K. Sato:

Journal of Physics: Conference Series **592**, 012028-1-6 (2015).

15. “ウラン系強磁性超伝導における強磁性ゆらぎが誘起するスピン三重項超伝導”

石田憲二, 服部泰佑, 佐藤憲昭, 出口和彦, 多田靖啓, 藤本聡:

固体物理 **50**, 123-132 (2015).

[学会発表] (計 14 件)

1. “正 20 面体準結晶の磁性と超伝導”

出口和彦: J-Physics : 多極子伝導系の物理 平成 29 年度領域全体会議 (東京大学物性研究所)、2018 年 3 月 15 日~3 月 17 日.

2. “量子臨界現象と高次元性”

出口和彦: 日本物理学会 (東京理科大学)、2018 年 3 月 22 日~3 月 25 日.

3. “Au-Ga-Yb 準結晶・近似結晶の磁性と電子状態”

出口和彦, 廣川慎之介, 米山祐樹, 横田晋次郎, 坂本和司, 井村敬一郎, 佐藤憲昭, 豊永詞, 石政勉, 山本義哉, 川井拓真, 水木純一郎, 山岡人志, 平岡望, 石井啓文: 準結晶研究会 (東北大学)、2018 年 3 月 5 日~3 月 7 日.

4. “Quantum Criticality and Superconductivity in icosahedral Yb quasicrystals and approximants”

K. Deguchi: Open space between aperiodic order and strong electronic correlations, Annecy, France, June 19–22, 2017.

5. “Magnetic quasicrystal with Yb icosahedron”

K. Deguchi: J-Physics 2017: International Workshop on Multipole Physics and Related Phenomena, Iwate, Japan, September 24–28, 2017.

6. “Magnetism and Superconductivity in Icosahedral Quasicrystals and Approximants with Tsai-type Clusters”

K. Deguchi, T. Ishimasa, and N. K. Sato: 13th International Conference on Quasicrystals (ICQ13), Kathmandu, Nepal, September 18–23, 2016.

7. “Quantum Criticality and Superconductivity in Icosahedral Quasicrystals and Approximants with Tsai-type Clusters”

K. Deguchi, S. Matsukawa, K. Imura, N. K. Sato, and T. Ishimasa: The International Conference on

Strongly Correlated Electron Systems (SCES2016), Hangzhou, China, May 8–13, 2016.

8. “Magnetism and Superconductivity in Icosahedral Quasicrystals and Approximants with Tsai-type Clusters”

K. Deguchi, T. Ishimasa, and N. K. Sato: 13th International Conference on Quasicrystals (ICQ13), Kathmandu, Nepal, September 18–23, 2016.

9. “クラスター構造をもつ正 20 面体準結晶・近似結晶の磁性と超伝導”

出口和彦: J-Physics : 多極子伝導系の物理 平成 28 年度領域全体会議 (北海道大学 フロンティア応用科学研究棟)、2016 年 5 月 26 日~5 月 28 日.

10. “Tsai-type クラスター構造をもつ強相関電子系の磁気準結晶の研究”

出口和彦: 山田財団 2016 年度長期派遣者研究交歓会 (薬業年金会館 大阪市)、2016 年 10 月 29 日.

11. “f 電子系準結晶・近似結晶の量子臨界と超伝導”

出口和彦: 日本物理学会 (東北学院大学)、2016 年 3 月 19 日~3 月 22 日.

12. “Quantum Criticality and Superconductivity in Icosahedral Yb Quasicrystals and Approximants”

K. Deguchi: Toyota RIKEN International Workshop 2015, Nagoya, Japan, November 17–19, 2015.

13. “Au-Al-Yb 準結晶における量子臨界現象とスケーリング”

出口和彦, 松川周矢, 井村敬一郎, 佐藤憲昭, 石政勉: 日本物理学会 (関西大学)、2015 年 9 月 16 日~9 月 19 日.

14. “Superconductivity of Icosahedral Yb Approximants with Tsai-type Clusters”

K. Deguchi, M. Nakayama, S. Matsukawa, K. Imura, N. K. Sato, K. Tanaka, and T. Ishimasa: International Conference on Magnetism (ICM2015), Spain, Barcelona, July 5–10, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

出口和彦 (DEGUCHI KAZUHIKO)

名古屋大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号: 40397584

(2) 連携研究者

佐藤憲昭 (SATO NORIAKI)

名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 30170773

石政勉 (ISHIMASA TSUTOMU)

公益財団法人豊田理化学研究所・フェロー
事業部門・フェロー
研究者番号: 10135270