

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02918

研究課題名(和文) NMRによる非クラマース系Pr化合物における新奇量子現象の探索

研究課題名(英文) Exploration of novel quantum phenomena in non-Kramers Pr compounds by NMR

研究代表者

瀧川 仁 (Masashi, Takigawa)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：10179575

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、非クラマース・プラセオジウム3価イオンを含むカゴ状化合物PrTi<sub>2</sub>Al<sub>20</sub>について詳細はアルミサイトのNMR測定や磁化・比熱測定を行い、磁場に対して異方的な強四極子秩序相図を決定した。特に[001]および[110]方向の磁場下では2テスラ程度の弱磁場によって四極子秩序変数が不連続にスイッチする相転移を発見し、ゼーマン相互作用と四極子間相互作用の競合を仮定したランダウ現象論やモデル計算によって、その物理的機構を提案した。また二重ペロブスカイト化合物Ba<sub>2</sub>MgReO<sub>6</sub>に対する酸素サイトNMRによって、5d電子系の多極子秩序変数を決定するために必要な微視的データを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カゴ状化合物PrTi<sub>2</sub>Al<sub>20</sub>に対する詳細な明見NMR実験によって、非磁性の結晶場基底状態を持つ4f電子系における磁場誘起の四極子相転移を始めて発見した。また対称性に基づく理論的考察によって、磁場によるゼーマンエネルギーと四極子間相互作用の異方的な磁場依存性の競合がこの現象の原因となっている可能性を指摘し、非クラマース系の理解の発展に貢献した。さらに研究対象を拡大して、二重ペロブスカイト化合物の酸素サイトNMRを行うことにより、5d電子系における多極子秩序研究の進展に貢献した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we performed Al-NMR, magnetization and specific heat measurements on the caged compound PrTi<sub>2</sub>Al<sub>20</sub>, which contains non-Kramers trivalent Pr ions. We obtained a ferro-quadrupole phase diagram, which is anisotropic with respect to the magnetic field. In particular, we found discontinuous switching of the ferro-quadrupole order parameter induced by weak magnetic fields around 2 tesla along [001] and [110] directions. We proposed a physical mechanism by using a phenomenological Landau theory and model calculations, assuming competition between the magnetic Zeeman energy and the anisotropic quadrupole interactions. We also performed oxygen NMR measurements on the double perovskite compound Ba<sub>2</sub>MgReO<sub>6</sub> and obtained sufficient data to determine the multipole order parameters of the 5d electron system.

研究分野：核磁気共鳴法を用いた強相関電子系の量子現象の研究

キーワード：核磁気共鳴 多極子 スピン軌道相互作用 非クラマース系Pr化合物

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 希土類化合物における 4f 電子系は、電荷・スピン・軌道の多自由度が絡んだ多彩な量子状態を示し、強く相互作用する量子多体系の研究にとって重要な舞台を提供してきた。特に 3 価のプラセオジウム・イオン ( $\text{Pr}^{3+}$ ) は二個の 4f 電子を有する非クラマース・イオンであるため、Pr 化合物の結晶場基底状態においては、磁気双極子が存在せず、電気四極子や磁気八極子などの高次多極子のみが活性である可能性が考えられる。実際に  $\text{Pr}^{3+}$  イオンがダイヤモンド格子を形成する一連の立方晶カゴ状化合物  $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$  ( $T=\text{Ti, V, Ir, Rh, X}=\text{Al, Zn}$ ) が非磁性の二重項結晶場基底状態 ( $\Gamma_3$ ) を有し、その多くが低温で四極子秩序や四極子近藤効果を示すことが報告され、活発な研究が行われるようになってきた①。

(2) 上記のような多極子秩序は強いスピン軌道相互作用が重要な要因となっている。スピン軌道相互作用の強い電子系としては、4f 電子系以外にも 5d 電子系が知られており、多極子秩序を示す候補物質として二重ペロブスカイト構造を持つ 0s 化合物が理論的・実験的に研究されていた②。

### 2. 研究の目的

本研究では、 $\text{Pr}^{3+}$  イオンがダイヤモンド格子を形成するカゴ状化合物  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$  を対象として、アルミサイトの核磁気共鳴 (NMR) 測定と磁化・比熱等の熱力学的測定を組み合わせることにより、四極子秩序変数の対称性を微視的に決定し、非クラマース 4f 電子系の相転移や揺らぎの機構を解明することを目的とした。研究期間の後半では、強いスピン軌道相互作用を持つ 5d 電子系における多極子物理学を 4f 電子系と比較するために、新たに発見された二重ペロブスカイト化合物  $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$  に対して酸素サイトの NMR 測定を行い、秩序状態の同定と多極子モーメントの実験的決定を試みた。

### 3. 研究の方法

多極子状態を微視的に決定するために、磁場方位を精密に制御しながら NMR 測定を行う角度分解 NMR を主要な実験手段とし、磁化・熱測定などの熱力学測定と組み合わせることで解析を行う。さらにランダウ現象論やモデル・ハミルトニアンに基づく解析をよって、実験結果を説明することを試みる。

### 4. 研究成果

(1) カゴ状プラセオジウム化合物  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$  は、2K より低温で強四極子秩序状態を示すことが知られていたが、本研究では磁化および  $^{27}\text{Al}$  原子核の NMR スペクトルを磁場、磁場方位、温度を変えながら詳細に測定することにより、数テスラの低い磁場によって四極子秩序状態が不連続に変化するという予想外の現象を発見した③。この物質の結晶場基底状態である非磁性  $\Gamma_3$  二重項において活性な多極子自由度は、 $Q_z = 3z^2 - r^2$  および  $Q_x = \sqrt{3}(x^2 - y^2)$  によって定義される二種類の電気四極子モーメントと  $T_{xyz} = xyz$  で定義される一種類の磁気八極子モーメントである。ここで  $x, y, z$  は結晶の  $[100], [010], [001]$  方向にそれぞれ対応する。図 1 に様々な磁場方位における四極子秩序状態について、本研究から得られた相図を示す。まず磁場が結晶の  $[111]$  方向に平行な場合、四極子転移温度  $T_0=2.2\text{K}$  以下で  $Q_z$  型の強四極子秩序が発生する。 $T_0$  は殆ど磁場に依存しない。 $[111]$  方向の磁場下では  $x, y, z$  方向は等価なので、 $Q_z$  型の強四極子状態には三つの等価なドメインが存在することが想定される。このような状況を表現するには、この系における四極子秩序変数を、図 1 の一番右のパネルに示すような  $Q_x$  と  $Q_z$  を基底とする 2 次元空間のベクトルとして表示するのが便利である。例えば  $[111]$  方向の磁場下の三つのドメインの秩序変数  $Q_z, 3x^2 - r^2 = -Q_z/2 + \sqrt{3}Q_x/2, 3y^2 - r^2 = -Q_z/2 - \sqrt{3}Q_x/2$  は、この 2 次元空間の極角  $\theta$  の 3 つの値、0 度および  $\pm 120$  度に対応する。一方  $[001]$  方向の磁場下においては、図 2(a) に示すように 2 テスラ付近の磁場強度を境に NMR 共鳴周波数が不連続にジャンプする現象が観測された。1.2 テスラから 3.1 テスラの間の磁場領域では 2 本の共鳴

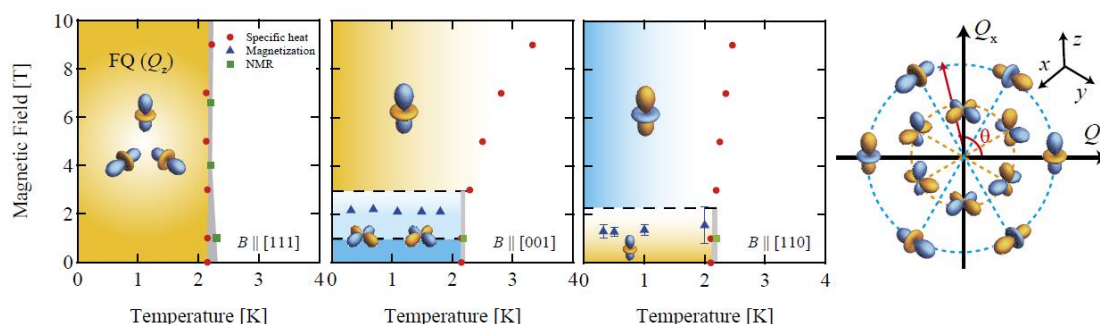


図 1：本研究で得られた  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$  の四極子秩序相図

線が共存しており、一次相転移が生じていることを示している。対称性に基づくNMRスペクトルの解析とモデル計算に基づく磁化率の解析によって、高磁場領域は $Q_z$ 型の強四極子相である( $\theta = 0$ )のに対し、低磁場領域の秩序変数は $Q_x$ 型に近い( $\theta = \pm 90$ )ことが結論された。同様な実験と解析により[110]方向の磁場下では、1~2テスラの磁場を境に、秩序変数が低磁場領域の $Q_z$ 型( $\theta = 0$ )から高磁場領域の $-Q_z$ 型( $\theta = 180$ )へ不連続にジャンプすることが結論された。

(2) 上記の実験で観測された磁場誘起1次相転移の機構を解明するために、局在4f電子のモデルに基づいて、系の対称性から許容される相互作用を取り入れたランダウ現象論を構築した③。まず磁場印加によって結晶場基底状態である非磁性 $\Gamma_3$ 二重項が磁気モーメントを有する結晶場励起状態と混成することによって、ゼーマンエネルギーの利得が生じる。この異方的ゼーマン相互作用は微視的によく理解されており、この利得によって安定化される四極子秩序状態は、[001]及び[110]方向の高磁場領域で実験的に観測された秩序変数と一致することが確認された。従ってゼーマン相互作用だけでは、ゼロ磁場下で2Kで観測された強四極子転移が磁場印加に伴ってクロスオーバーに変化するだけで、磁場誘起相転移は説明できない。一方、四極子秩序の原因となる四極子間相互作用は、ゼロ磁場では等方的であるが、磁場下では対称性が低下して磁場方向に依存する異方性が出現し得る。この異方的相互作用が特定の符号を持つ場合、これがゼーマン相互作用と競合することが判明した。そこで、低磁場領域では異方的相互作用がゼーマン相互作用より支配的であり、高磁場領域では両者の対象関係が逆転すると仮定することにより、実験で観測された磁場誘起相転移を再現することに成功した。

(3) 上記の現象論で仮定された四極子間相互作用の非自明な磁場依存性の起源を解明するためのヒントが、NMR周波数シフトの温度依存性から示唆された。図2(b)に[001]方向の磁場下における低磁場領域(1テスラ)、高磁場領域(6.6テスラ)それぞれの、アルミサイト周波数シフトと磁化率の温度依存性を比較して示す。高磁場領域では通常の磁性体で期待されるように、シフトを磁化率は同一の温度依存性を示すが、低磁場領域では2Kの強四極子転移温度以下で両者は全く異なる温度依存性を示す。アルミサイトの周波数シフトはPr-4f電子系と伝導電子との混成(c-f混成)を通じて生まれる伝導電子系のスピン偏極に比例する。従ってこの結果は低磁場領域では四極子秩序の出現が4f電子系の電荷分布の変化をもたらし、これがc-f混成を大きく変化させることを示唆している。一般的に四極子間の相互作用はc-f混成の2次過程であるので、このことは、四極子秩序の発生が秩序をもたらす原因である四極子間相互作用を変化させる、即ち何らかのフィードバック機構が働いていることを意味する。このことは磁場印加による四極子相互作用の僅かな変化がフィードバックによって増幅される可能性があることを示している。

(4)  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$ に対して、さらに比熱および磁気熱量効果の磁場方向依存性を詳細に測定することにより、NMRおよび磁化測定で観測された磁場誘起相転移が再確認された。また比熱の磁場方位依存性が、上記のモデル計算によって半定量的に再現され、磁場に依存する異方的四極子間相互作用の仮説に対する独立な証拠を得ることができた④。

(5)  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$ における4f電子系の四極子秩序と比較するために、2重ペロブスカイト化合物 $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$ に対して酸素サイトのNMR測定を行った。この系は $\text{ReO}_6$ クラスター上に1個の5d

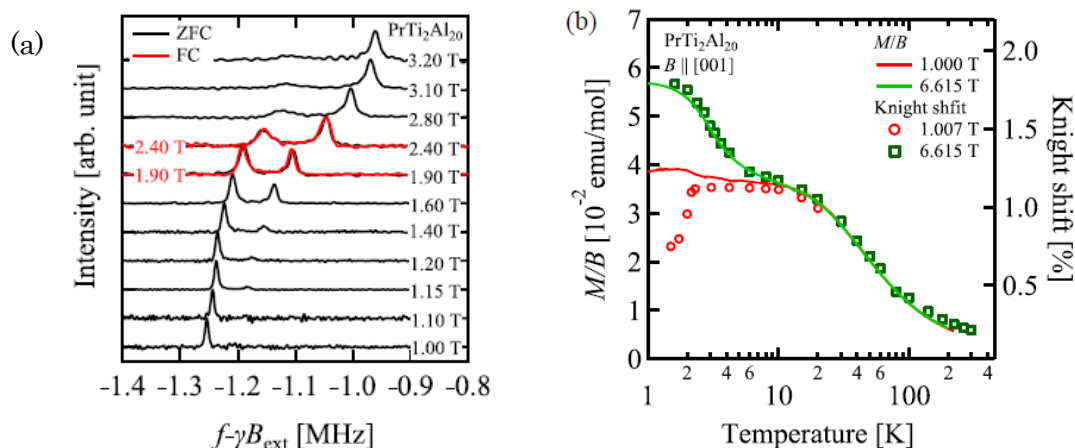


図2 : (a) [001]方向の様々な磁場下でのNMRスペクトル。(b) [001]方向の磁場(1テスラまたは6.6テスラ)におけるNMRナイトシフト(実線)および磁化率(シンボル)の温度依存性。

電子が存在し、結晶場で分裂した  $t_{2g}$  軌道の軌道角運動量 ( $L = 1$ ) とスピン  $1/2$  が結合して生じる  $J_{\text{eff}}=3/2$  の 4 重縮退状態を占める。酸素サイトにおいては、スピンと軌道によって異なる異方性を持つ内部磁場が発生し、四極子モーメントが電場勾配に反映されるので、NMR スペクトルから、磁気双極子、電気四極子、磁気八極子を独立に決定することができる。本研究では 36K 以下において多極子秩序に起因する共鳴線の分裂が観測され、モデル計算と組み合わせることにより、各種の多極子モーメントの大きさを定量的に決定するための解析法が確立された。

<引用文献>

- ① Takahiro Onimaru and Hiroaki Kusunose, “Exotic Quadrupole Phenomena in Non-Kramers Doublet Systems - The cases of  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  ( $T=\text{Ir, Rh}$ ) and  $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$  ( $T=\text{V, Ti}$ )”, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 082002 (2016).
- ② Gang Chen, Rodrigo Pereira, and Leon Balents, “Exotic phases induced by strong spin-orbit coupling in ordered double perovskites”, Phys. Rev. B **82**, 174440 (2010).
- ③ Takanori Taniguchi *et al.*, “Field-Induced Switching of Ferro-Quadrupole Order Parameter in  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 084707 (2019).
- ④ Shunichiro Kittaka *et al.*, “Field-Orientation Effect on Ferro-Quadrupole Order in  $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 043701 (2020).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Trump B. A., Koohpayeh S. M., Livi K. J. T., Wen J.-J., Arpino K. E., Ramasse Q. M., Brydson R., Feyngenson M., Takeda H., Takigawa M., Kimura K., Nakatsuji S., Broholm C. L., McQueen T. M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Universal geometric frustration in pyrochlores	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2619-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-05033-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Tanaka Yu, Wawrzynczak Rafal, Le Manh Duc, Guidi Tatiana, Okamoto Yoshihiko, Yajima Takeshi, Hiroi Zenji, Takigawa Masashi, Nilsen Goran J.	4. 巻 87
2. 論文標題 Inelastic Neutron Scattering Study of the Spin Dynamics in the Breathing Pyrochlore System LiGa0.95In0.05Cr4O8	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 073710-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.073710	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Taniguchi Takanori, Hattori Kazumasa, Yoshida Makoto, Takeda Hikaru, Nakamura Shota, Sakakibara Toshiro, Tsujimoto Masaki, Sakai Akito, Matsumoto Yosuke, Nakatsuji Satoru, Takigawa Masashi	4. 巻 88
2. 論文標題 Field-Induced Switching of Ferro-Quadrupole Order Parameter in PrTi2Al20	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 084707-1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.084707	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kittaka Shunichiro, Taniguchi Takanori, Hattori Kazumasa, Nakamura Shota, Sakakibara Toshiro, Takigawa Masashi, Tsujimoto Masaki, Sakai Akito, Matsumoto Yosuke, Nakatsuji Satoru	4. 巻 89
2. 論文標題 Field-Orientation Effect on Ferro-Quadrupole Order in PrTi2Al20	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 043701-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.043701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wawrzynczak R., Tanaka Y., Yoshida M., Okamoto Y., Manuel P., Casati N., Hiroi Z., Takigawa M., Nilsen G.J.	4. 巻 119
2. 論文標題 Classical Spin Nematic Transition in LiGa0.95In0.05Cr408	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 087201-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.087201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nawa K., Takigawa M., Kraemer S., Horvatic M., Berthier C., Yoshida M., Yoshimura K.	4. 巻 96
2. 論文標題 Dynamics of bound magnon pairs in the quasi-one-dimensional frustrated magnet LiCuV04	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 134423-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.134423	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nawa Kazuhiro, Yoshida Makoto, Takigawa Masashi, Okamoto Yoshihiko, Hiroi Zenji	4. 巻 96
2. 論文標題 Collinear spin density wave order and anisotropic spin fluctuations in the frustrated J1-J2 chain magnet NaCuMo04(OH)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174473-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.174433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida M., Nawa K., Ishikawa H., Takigawa M., Jeong M., Kraemer S., Horvatic M., Berthier C., Matsui K., Goto T., Kimura S., Sasaki T., Yamaura J., Yoshida H., Okamoto Y., Hiroi Z.	4. 巻 96
2. 論文標題 Spin dynamics in the high-field phases of volborthite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 180413(R)-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.180413	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamaguchi H., Sasaki Y., Okubo T., Yoshida M., Kida T., Hagiwara M., Kono Y., Kittaka S., Sakakibara T., Takigawa M., Iwasaki Y., Hosokoshi Y.	4. 巻 98
2. 論文標題 Field-enhanced quantum fluctuation in an S=12 frustrated square lattice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094402-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.094402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 M. Takigawa
2. 発表標題 High Pressure Phases in the Shastry-Sutherland spin system SrCu <sub>2</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
3. 学会等名 Kavli ITS & IOP, CAS Joint Workshop on Quantum Magnetism: Frustration, Low Dimensionality, Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Takigawa
2. 発表標題 Field-induced switching of ferro-quadrupole order parameter in PrTi <sub>2</sub> Al <sub>20</sub>
3. 学会等名 ISSP Workshop on Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Takigawa
2. 発表標題 Field-induced switching of ferro-quadrupole order parameter in PrTi <sub>2</sub> Al <sub>20</sub>
3. 学会等名 3rd Aisa-Pacific workshop on Quantum Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小濱芳允, 石川孟A, 松尾明, 金道浩一, 瀧川仁, 広井善二
2. 発表標題 ボルボサイトにおける隠れた秩序の観測
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 那波和宏, 吉田誠, SteffenKraemer, AnnaOrlova, MladenHorvatic, 瀧川仁, 廣井善二
2. 発表標題 一次元フラストレート磁性体NaCuMoO4(OH)の飽和磁場近傍における二段相転移
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石川美咲, 武田晃, 瀧川仁, 藤間友理, 有馬孝尚
2. 発表標題 51V核NMR測定でみたGaV4Se8のスキルミオン相の局所磁性
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 武田晃, 瀧川仁, 木村健太, 中辻知
2. 発表標題 核スピン格子緩和率測定で探る量子スピナイスPr2Zr2O7の局所磁性
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 田中雄, 瀧川仁, 岡本佳比古, 広井善二
2. 発表標題 ブリージングパイロクロア格子反強磁性体LiGaCr408の単結晶合成とNMR測定
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口貴紀, 武田晃, 瀧川仁, 中村翔太, 榊原俊郎, 辻本真規, 酒井明人, 中辻知
2. 発表標題 PrTi2Al20における磁場誘起相転移
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takigawa, Masashi
2. 発表標題 Effects of magnetic field on the ferro-quadrupole order in PrTi2Al20
3. 学会等名 ISSP Workshop on Novel Phenomena in Quantum Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takigawa, Masashi
2. 発表標題 Field-induced switching of ferro-quadrupole order parameter in PrTi2Al20
3. 学会等名 ISSP Workshop on Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川美咲, 武田晃, 瀧川仁, 藤間友理, 有馬孝尚
2. 発表標題 51V核NMR測定で探るスキルミオン物質GaV4Se8の磁気構造
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中雄, 瀧川仁, 二木健太, 岡本佳比古, 竹中康司
2. 発表標題 型バイロクロア酸化物CsW206の単結晶NMR
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田晃, 山内徹, 吉田誠, 瀧川仁, 石川孟, 廣井善二
2. 発表標題 S=1/2正方格子物質RbMoOPO4Clの圧力誘起磁気相の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口貴紀, 武田晃, 瀧川仁, 中村翔太, 榊原俊郎, 服部一匡, 辻本真規, 酒井明人, 松本洋介, 中辻知
2. 発表標題 NMRと磁化測定によるPrTi2Al20の四極子相図
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田晃, 山内徹, 吉田誠, 瀧川仁, 石川孟, 廣井善二
2. 発表標題 S=1/2正方格子物質RbMoOP <sub>4</sub> Clの圧力誘起磁気転移
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 米良伸義, 武田晃, 瀧川仁, 松林康仁, 平井大悟郎, 廣井善二
2. 発表標題 パイロクロア酸化物Cd <sub>2</sub> Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub> のNMR
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下穰, 田代光輝, 下澤雅明, 杉井かおり, 谷口貴紀, 武田晃, 瀧川仁, 宍戸寛明
2. 発表標題 CeCoIn <sub>5</sub> における超低温下NMR測定III
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 谷口貴紀, 武田晃, 瀧川仁, 中村翔太, 榎原俊郎, 服部一匡, 辻本真規, 酒井明人, 松本洋介, 中辻知
2. 発表標題 NMRと磁化測定によるPrTi <sub>2</sub> Al <sub>20</sub> の四極子相図と多極子揺らぎに関する研究
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊亮, 武田晃, 瀧川仁, 鈴木慎太郎, 中辻知
2. 発表標題 -YbAlB <sub>4</sub> のNMR
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯前貴央, 武田晃, 瀧川仁, 酒井明人, 中辻知
2. 発表標題 NMRによるPrV <sub>2</sub> Al <sub>20</sub> の多極子秩序の検証
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋高俊一郎, 谷口貴紀, 中村翔太, 榊原俊郎, 瀧川仁, 辻本真規, 酒井明人, 松本洋介, 中辻知
2. 発表標題 磁場角度分解比熱・エントロピー測定からみたPrTi <sub>2</sub> Al <sub>20</sub> の四極子秩序
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 那波和宏, 吉田誠, SteffenKramer, MladenHorvatic, AnnaOrlova, 瀧川仁, 廣井善二
2. 発表標題 一次元フラストレート磁性体NaCuMoO <sub>4</sub> (OH)の飽和磁場近傍における磁気相図
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 磯前貴央, 武田晃, 瀧川仁, 酒井明人, 中辻知
2. 発表標題 PrT2Al2O(T=Ti,V)のNQR測定
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 夏靖丁, 磯前貴央, 武田晃, 瀧川仁, 酒井明人, 中辻知
2. 発表標題 PrV2Al2OのNMR測定
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米良伸義, 武田晃, 瀧川仁, 松林康仁, 平井大悟郎, 広井善二, 長谷川巧
2. 発表標題 パイロクロア酸化物Cd2Re2O7のNMR
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

瀧川研究室HP 業績 <a href="https://masashi.issp.u-tokyo.ac.jp/">https://masashi.issp.u-tokyo.ac.jp/</a> 瀧川研究室HP 業績 <a href="http://masashi.issp.u-tokyo.ac.jp/">http://masashi.issp.u-tokyo.ac.jp/</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	中辻 知  (Nakatsuji Satoru)  (70362431)	東京大学・大学院理学系研究科・教授    (12601)	
連携研究者	榊原 俊郎  (Sakakibara Toshiro)  (70162287)	東京大学・物性研究所・教授    (12601)	
連携研究者	山下 穰  (Yamashita Minoru)  (10464207)	東京大学・物性研究所・准教授    (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関