

令和 元年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2018

課題番号：15KK0146

研究課題名（和文）高対称カゴ状結晶構造に起因する複合量子自由度の超音波物性研究（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Ultrasonic Study of Complex Quantum Degree of Freedom in Highly Symmetrical Cage Structured Compounds(Fostering Joint International Research)

研究代表者

柳澤 達也 (Yanagisawa, Tatsuya)

北海道大学・理学研究院・准教授

研究者番号：10456353

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,900,000円

渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：3非クラマース2重項基底状態を持つ立方晶系化合物において、非磁性の基底状態が有する電気四極子自由度に起因した風変わりな物性が理論提案され、その検証が進められている。本研究ではその候補物質であるカゴ状化合物PrNi₂Cd₂₀や、その類似物質群の諸物性について、カリフォルニア大学、ドレスデン強磁場研究所、カレル大学、東北大学金属材料研究所、北海道大学の国際共同研究によって研究を推進し、極低温・強磁場における超音波測定の手法を駆使することで、四極子秩序や四極子近藤効果などの新規物性に関する実験的傍証を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

PrNi₂Cd₂₀のPrサイトは他の原子が作るカゴの中心に位置し局所的に反転対称を持たないため、近年研究コミュニティ内で注目が集まっている「パリティ混成系」に属し、その量子基底状態を調べることは当該研究分野への貢献が期待できる。また、これまでの海外機関との共同研究の事例は、試料提供ならびに人材の移動は海外との間の単一方向の交流が主であったが、本国際共同研究において、我が国の伝統的な強みである多極子物理の知見を活かしつつ、日本・米国・ドイツ・チェコの複数の研究機関に跨り、多角的・柔軟かつ持続可能な試料育成・提供・物性評価ネットワークの構築・強化を達成したことは有意義である。

研究成果の概要（英文）：Cubic cage-structured compound PrNi₂Cd₂₀ show no evidence for magnetic order in specific heat and magnetization and suggest a non-Kramers 3-doublet crystalline electric field ground state. In order to investigate the CEF ground state and search for possible exotic phenomena such as quadrupolar order and multi-channel Kondo effect, we have performed ultrasonic measurements on a single crystal of PrNi₂Cd₂₀ and its reference materials (SmNi₂Cd₂₀, (Y,Pr)Ir₂Zn₂₀, RBe₁₃ (R = Lu, Th, U), and UAu₂Si₂), down to 0.02 K up to 58 T, in collaboration with UC San Diego (USA), Dresden High-Magnetic Field Lab. (Germany), Charles Univ. (Prague), IMR, Tohoku Univ. (Japan) and Hokkaido Univ. (Japan). We found corroborating evidence for quadrupolar Kondo effect, and possible multipolar contributions on the low-temperature magnetic field-induced phase of these compounds.

研究分野：超音波電子物性

キーワード：超音波 四極子 多極子 カゴ状化合物 強磁場 近藤効果

1. 研究開始当初の背景

平成26年度、「頭脳循環を加速する若手研究者派遣プログラム(題目「核物質を含む化合物の強相関電子物性研究のための日米欧ネットワークの構築」代表・網塚浩)」の一環で、米国カリフォルニア大学サンディエゴ校(以下 UCSD)に滞在中、新物質 PrNi₂Cd₂₀ (Fig. 1)の育成に成功した。超音波を用いてその物質の基礎物性を調べたところ、本物質が非クラマース二重項を持ち、極低温で四極子近藤効果や多極子秩序などのエキゾチックな物性を起こす可能性があることが判った。当時は、他研究グループから PrV₂Al₂₀, PrIr₂Zn₂₀などで四極子近藤効果や、四極子秩序と共存する超伝導などが報告され始めたばかりであり、国内外で注目を集めていた。そのため、PrNi₂Cd₂₀とその参照物質系を本国際共同研究のメインテーマとして研究を推進することにした。

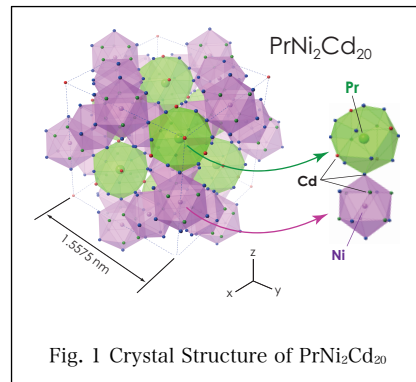


Fig. 1 Crystal Structure of PrNi₂Cd₂₀

2. 研究の目的

- (1) UCSD との共同研究で育成に成功したカゴ状結晶構造を持つ PrNi₂Cd₂₀ について、ドレスデン強磁場研究所 (以下 HLD) のパルス磁石(パルス~60 T), ならびに東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料センターのハイブリッド磁石(静磁場~28 T) との共同研究によって極低温・強磁場下における超音波測定を遂行し、本物質の量子基底状態および磁場誘起相に関する情報を得る。また、ゲストイオンを他の希土類やアクチノイド等に置換した RNi₂Cd₂₀ (R = 希土類, アクチノイド)にも研究範囲を広げることが目的とする。
- (2) 海外滞在中に構築したネットワークを活かし、アクチノイド化合物を含む新規カゴ状化合物や他の参照物質の育成を行い、多角的・柔軟かつ持続可能な試料育成・試料提供・物性評価体制の構築・強化を行う。

3. 研究の方法

- (1) UCSD に於いて Cd 自己フラックス法を用いた RNi₂Cd₂₀ 単結晶を育成する。また UCSD とチェコ・カレル大学においてアクチノイド化合物を含む新規カゴ状化合物や他の参照物質の合成に挑戦し、X線構造解析・電気抵抗・磁化・比熱などの基礎物性測定を行う。
- (2) 単結晶試料を北海道大学理学研究院, 東北大学金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター, ドイツ・HLD に移送し、各施設が有する実験装置の強みを活かした国際共同研究によって、主に超音波を用いた弾性定数測定の手法を用いて、新規カゴ状化合物の量子基底状態を明らかにする。

4. 研究成果

(1) PrNi₂Cd₂₀ の極低温・強磁場物性

PrNi₂Cd₂₀ の弾性定数(C₁₁-C₁₂)/2 (伝搬方向:k || <110>, 変位方向: u || <110>) の温度依存性を Fig. 2 に示す。室温から 50 K 付近まで、一般的な音響フォノンの寄与による温度依存性に従い増大(ハード化)し、低温側ではキュリー的な減少(ソフト化)を示す。この弾性定数の特徴的な温度依存性は、Γ₃ 対称性の四極子感受率として理解できる。Pr³⁺イオン(J = 4)の結晶場基底状態として Γ₃ 二重項基底を仮定すると、0.1 K までの実験結果をよく再現する。一方、一重項基底を仮定すると、3 K 以下のソフト化の増大を再現しない。これらのモデルの対照的な差と実験結果との一致は、本系の結晶場基底状態が非クラマース二重項であることを強く示唆する。同様の結晶場モデルは磁化率の結果が低温で一定値に収束する振る舞いが非磁性基底状態を示す実験事実とも一致する。さらに 0.1 K 以下では、弾性定数は絶対零度に向かって一定値に収束し、計算結果から外れる。0.1 K においては超音波吸収係数がブロードなピークを示すことが判った。

ここで、本系は非常に大きな電子比熱係数 γ ~ 626 mJ/mol K² を低温で示すことから、重い電子状態が形成されていることに注意したい。本系は Γ₃ 非クラマース二重項を結晶場基底状態に持つため、有効質量増強の起源として四極子近藤効果が考えられる。この多体効果が強結合状態に至らず RKKY 相互作用が打ち克つ場合、低温秩序の候補としては Γ₃ 対称性の四極子秩序が期待されるが、今のところ 0.5 K, 7 T まで行われている磁化率の測定では相転移等は確認されておらず、さらに低温・強磁場を目指した希釈冷凍機温度での物性測定が必要であった。そこで、UCSD で育成・試料評価を終えた PrNi₂Cd₂₀ 単結晶を鏡面研磨した後に国内に移送し、強磁場超伝導材料研究センターのハイブリッド磁石(28T-CHM)と希釈冷凍機を組み合わせ、超音波位相比較法を用いた弾性定数(C₁₁-C₁₂)/2 の測定を行った。その結果を Fig. 3 に示す。最低温 35 mK

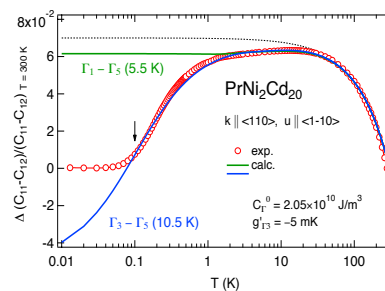


Fig. 2 Temperature dependence of relative change of elastic constant (C₁₁-C₁₂)/2 of PrNi₂Cd₂₀. Dotted and solid lines show phonon background and calculation of quadrupolar susceptibility using two different CEF models, respectively.

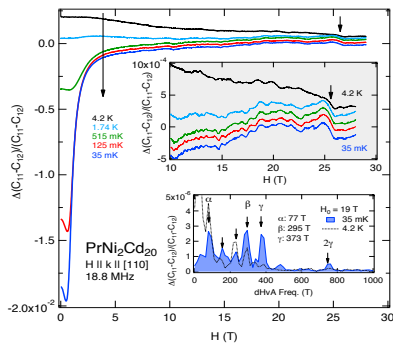


Fig. 3 Magnetic field dependence of elastic constant $(C_{11}-C_{12})/2$ of $\text{PrNi}_2\text{Cd}_{20}$. Upper and lower insets show zooming up of high magnetic field region and Fourier spectrum of dHvA signal.

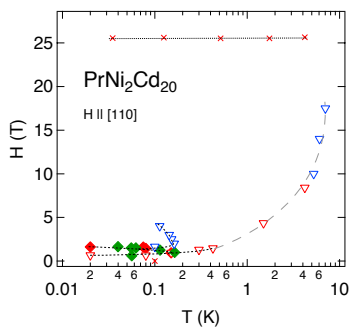


Fig. 4 Magnetic field-temperature phase diagram of $\text{PrNi}_2\text{Cd}_{20}$, constructed from the present ultrasonic measurements ($H_{\parallel} < 110 >$).

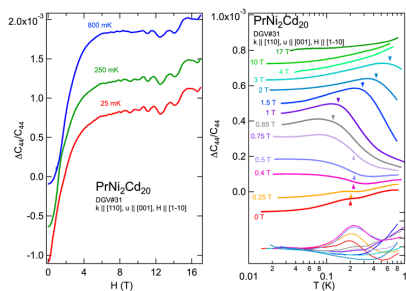


Fig. 5 Magnetic field and temperature dependence of the elastic constant C_{44} of $\text{PrNi}_2\text{Cd}_{20}$ for $H_{\parallel} < 110 >$.

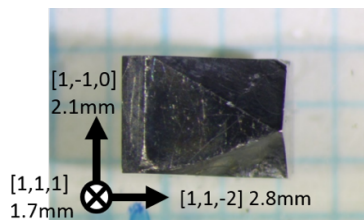


Fig. 6 A polished single crystal of $\text{SmNi}_2\text{Cd}_{20}$.

磁場依存性が緩やかにハード化し続けることを明らかにした。この結果を四極子感受率で解析すると、結晶場基底状態は Γ_8 四重項基底であると結論できる (Γ_7 二重項基底の場合は磁場中でソフト化する)。

さらに 50 T 付近に相転移らしき弾性定数の折れも観られたが、その原因はまだ明らかになっ

において、弾性定数 $(C_{11}-C_{12})/2$ は 5 T 以下で極小をとり、急激にハード化する。極小を除く磁場変化の大きな変化量は零磁場における温度変化に現れたソフト化の変化量に対応し、四極子感受率で説明できる。一方、極小の現れた磁場を磁場-温度相図にプロットすると、Fig. 4 に示すとおり右上がりの特徴的な境界線が浮かび上がる。しかし、依然として 1 T 以下の弱磁場領域では、弾性定数と超音波吸収係数の温度依存性に現れる異常が 1 T 以上に比べてブロードになっており、相境界は定義できない。更に、 Γ_5 対称性の四極子応答に対応する横波弾性定数 C_{44} モードについても同様の極低温領域における測定を行い、 $(C_{11}-C_{12})/2$ で得られていた 1 T 以下の低磁場領域のブロードな弾性異常を異なる対称性の超音波モードにおいても捉えることに成功した (Fig. 5)。

この領域における相転移の有無を確かめるため、極低温における比熱測定を HLD の Elizabeth Green 博士との共同研究で行なった。その結果、比熱においては弱磁場領域 (0-2 T) で明瞭なピークが観測されなかった (図省略)。よって、本物質の極低温領域では四極子近藤効果の強結合状態により RKKY 相互作用が抑制され、相転移がほぼ消失し、磁場中では逆に近藤効果が抑制されて超音波でのみ敏感に検出できるような短距離相関が局所的に復活している可能性が高い。同様の相図は従来型の磁気近藤効果を示す $\text{Ce}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$ の極低温領域に於いても報告されている。

一方、高磁場領域では静磁場を用いる上での最大の長所の一つである音響ド・ハース=ファン・アルフェン振動の観測に成功した。10~28 T の領域でフーリエ変換を行うとフェルミ面の極値断面積に比例する振動数として 77, 295, 373 T が得られた。これらは残留 Cd フラックスによる音響ド・ハース振動の可能性を排除するために、バンド計算と比較して議論する必要がある。一方、26 T 付近で量子振動とは性質を異にする階段状の弾性異常が観られる。磁場-温度相図にプロットすると、ほぼ温度に依存しない境界線が描かれる。この弾性異常は現在用いている結晶場モデルの準位交差では説明がつかない。類似した磁場誘起相は同じく非クラマース二重項基底状態を持つ $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$, $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ においても報告されており、その起源については動的ヤーン=テラー効果による多極子と格子の結合等が議論されている。また、高磁場領域で秩序パラメータが変化しているとすれば、それが 1-2-20 系の持つ局所反転対称無きカゴ状結晶構造に起因するものなのかどうかも興味深い。

(2) $\text{SmNi}_2\text{Cd}_{20}$ の弾性応答と結晶場解析

UCSD において類似物質 $\text{SmNi}_2\text{Cd}_{20}$ の単結晶育成と試料評価を行い、超音波測定に適する大型の単結晶の育成に成功 (Fig. 6) した。米国で X 線構造解析を行った後に、北海道大学に試料を持ち帰り、EDS, 磁化, 比熱などの試料評価, 超音波による弾性定数の測定を行った。その結果、弾性定数 C_{44} の低温領域に Curie-Weiss の法則に従うソフト化が観測されたことから、Sm イオンは 3 価の価数成分を有し、 Γ_8 四重項と $-\Gamma_7$ 二重項が擬縮退していることの傍証を得た (Fig. 7)。HLD でさらにこれを検証するため、 $\text{SmNi}_2\text{Cd}_{20}$ の弾性定数 C_{44} ($H_{\parallel} [111]$, $k_{\parallel} [110]$, $u_{\parallel} [001]$: 回転効果の無視できるモード) の測定をパルス磁場下で行い、20 K において 58 T までの

ていない。また、零磁場において $T_{C1} \sim 6.8$ K と $T_{C2} \sim 5.9$ K で逐次相転移が起こっている可能性があり、 Γ_8 四重項の持つ多極子自由度が $\text{SmNi}_2\text{Cd}_{20}$ の基底状態・並びに重い電子状態に寄与していることを強く示唆する。その一方で、 T_{C2} 程度の転移温度をもつ不純物相が混在している可能性も完全には排除できないため、今後は結晶を再育成しそれらの可能性について検証する必要がある。

(3) UCSD・カレル大学での物質開発

平成 29～30 年の間にカリフォルニア大学サンディエゴ校に通算 2 ヶ月滞在し、U を含むカゴ状化合物の育成にも挑戦したが、1-2-20 系では超音波測定が可能なサイズの単結晶は得られなかった。一方、その過程で未知の立方晶化合物が育成されていることを発見した。磁化測定の結果 150 K 付近で反強磁性的転移を示すことが解った。U-Pd-Bi から成る三元系であることは確実であるが、詳細の結晶・磁気構造と化学式は未だ判っていない。国際規制物資である U を含む試料は米国から日本へ移送することができないため、北海道大学も試料育成を行い、同様の U 化合物を得ることに成功した。引き続き、X 線振動写真や各種物性測定を行い結晶構造と化学組成の同定を試みている。

UCSD で育成した (U,Th)Be₁₃ を HLD に移送し、極低温での比熱測定を行い、480 mK に超伝導に由来するピークと 380 mK にブロードな肩状の異常を観測した (図省略)。この結果は、弾性定数と超音波吸収係数に現れた異常とも符合し、本系の特徴的な 2 段の超伝導転移を捉えていると考えている。

平成 29 年度 7 月にチェコ共和国プラハで開催される強相関電子系国際会議の会期に合わせて 1 か月弱プラハのカレル大学に滞在し、研究発表並びにアクチノイドを含む対象化合物の試料育成を行った。その中でも UBe₁₃ の参照系である LuBe₁₃, ThBe₁₃ はチェコで育成され、電気抵抗測定を行ったところそれぞれ $T_c = 630$ mK, $T_c = 125$ mK で超伝導転移を示すことが明らかになった (図省略)。

更に、チェコで近年育成に成功した、新物質 UAu_2Si_2 を HLD に移送し、パルス磁場下における磁化・超音波測定を行なった。こちらも当初の研究計画には無い物質であるが、多極子自由度と混成効果が競合する物質であり、超音波測定がその機構解明に適したプローブであることから、急遽国際共同研究の課題として加えた。60 T まで磁化、ならびに横波超音波 3 モードの測定を

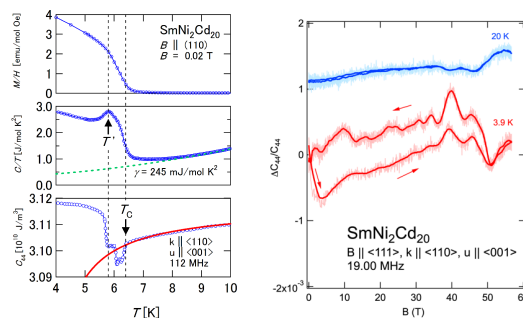


Fig. 7 (Left) Comparison of magnetization, specific heat divided by temperature and elastic constant C_{44} of $\text{SmNi}_2\text{Cd}_{20}$ as a function of temperature. (Right) Elastic constant C_{44} vs. pulsed magnetic field up to 58 T for $B \parallel \langle 111 \rangle$.

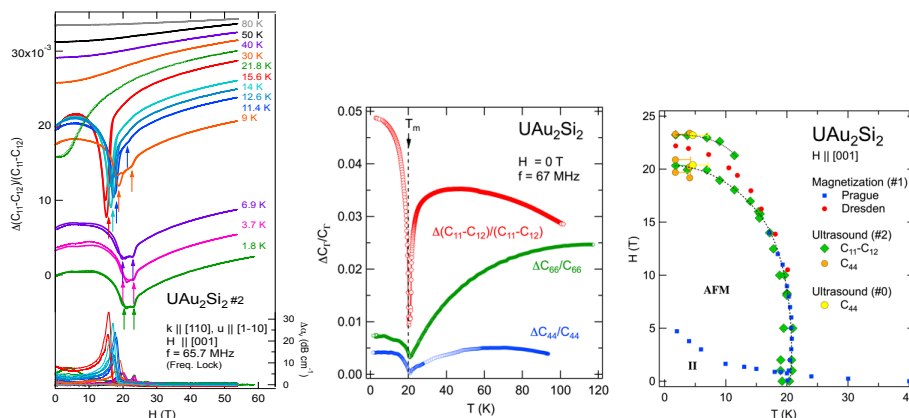


Fig. 8 (Left) Elastic constant $(C_{11}-C_{12})/2$, C_{66} and C_{44} of UAu_2Si_2 as a function of temperature. (Middle) Elastic constant $(C_{11}-C_{12})/2$ vs. pulsed magnetic field up to 58 T for $H \parallel \langle 001 \rangle$. (Right) Magnetic field-temperature phase diagram of UAu_2Si_2 for $H \parallel \langle 001 \rangle$.

20 T 迄行い、不完全だった極低温・強磁場領域の磁場-温度相図を完成した (Fig. 8)。全ての横波超音波にソフト化が現れたことから、本系が示す低温磁性と対称性を低下させる格子不安定性との連関を強く示唆する。

(4) 1-2-20 系における四極子近藤効果の単サイト効果

本研究遂行中に、広島大学の鬼丸らによって $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の Y 希釈極限系における四極子近藤効果に関する報告があった。1-2-20 系の量子基底状態を超音波で研究する本研究の眼目と合致すると考え、共同研究がスタートした。広島大の鬼丸氏から提供を受けた $\text{Y}_{0.966}\text{Pr}_{0.034}\text{Ir}_2\text{Zn}_{20}$ の超音波測定を HLD で希釈冷凍機を用いて $T \geq 40$ mK, $H \leq 17$ T の磁場・温度領域で行った。その結果、低磁場領域で弾性定数 $(C_{11}-C_{12})/2$ が対数的温度変化を示すことを明らかにした (図省略)。

これは同物質が非フェルミ液体的振る舞いを示す温度・磁場領域と整合し、2チャンネル近藤効果の理論予想とも一致する。本研究結果は、超音波によって、四極子近藤効果の単サイト効果の実証を得た初めての成果であると結論できる。

(5) 今後の展望

本研究で扱った 1-2-20 系の Pr サイトはカゴの中心に位置し局所的に反転対称を持たない(点群 T_d)ため、近年我が国の研究コミュニティ内で注目が集まっている「パリティ混成系」・「カゴ状化合物」に属し、その量子基底状態を調べることで、当該研究分野への貢献が期待できる。また、1-2-20 系において音響ド・ハース＝ファン・アルフェン効果が初めて観測された。今後はフェルミオロジーを通じた本系の重い電子状態と磁場誘起相転移の起源解明に繋がる可能性があるため、今後も研究を継続したい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者は下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① Search for multipolar instability in URu_2Si_2 studied by ultrasonic measurements under pulsed magnetic field, T. Yanagisawa, S. Mombetsu, H. Hidaka, H. Amitsuka, P. T. Cong, S. Yasin, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, K. Huang, N. Kanchanavatee, M. Janoschek, M. B. Maple, and D. Aoki, *Physical Review B* **97** (2018) 155137 (1-10), 査読有, DOI:10.1103/PhysRevB.97.155137
- ② Superconductivity in single crystalline $ThBe_{13}$ and $LuBe_{13}$, Klara Uhlrova, Naoyuki Miura, Vladimir Tkac, Jan Prokleska, Maciej Chrobak, Zbigniew Tarnawski, Hiroyuki Hidaka, Tatsuya Yanagisawa, Vladimir Sechovsky, and Hiroshi Amitsuka, *Physica B: Condensed Matter* **536** (2018) 516-518, 査読有, DOI:10.1016/j.physb.2017.10.129
- ③ Uncompensated Antiferromagnetic Ordering of UAu_2Si_2 Studied by ^{29}Si -NMR, Chihiro Tabata, Yoshihiko Ihara, Shogo Shimmra, Naoyuki Miura, Hiroyuki Hidaka, Tatsuya Yanagisawa, and Hiroshi Amitsuka, *Journal of Physical Society of Japan* **87** (2018) 114707 (1-4), 査読有, DOI:10.7566/JPSJ.87.114707
- ④ Magnetoelastic phenomena in antiferromagnetic uranium intermetallics: The UAu_2Si_2 case, M. Valiska, H. Saito, T. Yanagisawa, C. Tabata, H. Amitsuka, K. Uhlrova, J. Prokleska, P. Proschek, J. Valenta, M. Misek, D. I. Gorbunov, J. Wosnitza, and V. Sechovsky, *Physical Review B* **98** (2018) 174439 (1-10), 査読有, DOI:10.1103/PhysRevB.98.174439
- ⑤ Low-temperature x-ray crystal structure analysis of the cage-structured compounds MBe_{13} ($M = La, Sm, \text{ and } U$), Hiroyuki Hidaka, Ryoma Nagata, Chihiro Tabata, Yusei Shimizu, Naoyuki Miura, Tatsuya Yanagisawa, and Hiroshi Amitsuka, *Physical Review Materials* **2** (2018) 053603 (1-7), 査読有, DOI:10.1103/PhysRevMaterials.2.053603
- ⑥ Magnetically Ordered State and Crystalline-Electric-Field Effects in $SmBe_{13}$, Hidaka Hiroyuki, Yamazaki Seigo, Shimizu Yusei, Miura Naoyuki, Tabata Chihiro, Yanagisawa Tatsuya, and Amitsuka Hiroshi *Journal of the Physical Society of Japan* **86** (2017) 074703 (1-6), 査読有, DOI:10.7566/JPSJ.86.074703
- ⑦ Sm valence states and magnetic properties in $SmBe_{13}$ and $SmTi_2Al_{20}$ investigated by Sm synchrotron-radiation-based Mossbauer spectroscopy, Satoshi Tsutsui, Yoshio Kobayashi, Jin Nakamura, Michael K. Kubo, Shota Amagasa, Yasuhiro Yamada, Yoshitaka Yoda, Yusei Shimizu, Hiroyuki Hidaka, Tatsuya Yanagisawa, Hiroshi Amitsuka, Akira Yamada, Ryuji Higashinaka, Tatsuma D. Matsuda and Yuji Aoki, *Hyperfine Interactions* **238** (2017) 100 (1-8), 査読有, DOI:10.1007/s10751-017-1473-z

[学会発表] (計 8 件)

- ① UAu_2Si_2 の強磁場に於ける弾性特性, 柳澤達也, 日本物理学会第 74 回年次大会, 2019 年 3 月 15 日 (15pS-PS-62), 大阪大学 豊中キャンパス
- ② 単サイト四極子近藤効果の傍証:(Y,Pr) Ir_2Zn_{20} の弾性応答, 柳澤達也, 新学術領域研究 J-Physics: C01 トピカルミーティング 拡張多極子物性研究の現状と展望, 2019 年 1 月 21-22 日, 明治大学駿河台キャンパス グローバルフロント
- ③ Probing the 'Hidden Order' Phase in URu_2Si_2 by Means of Ultrasonic Measurements in Pulsed Magnetic Fields, Tatsuya Yanagisawa, International Conference on Magnetism 2018(国際学会), 2018 年 7 月 15-20 日(J8-03), MOSCONE CENTER San Francisco, U.S.A)

- ④ Anisotropic Elastic Response in the Hidden Order Phase of URu_2Si_2 under High Magnetic Fields, Tatsuya Yanagisawa, J-Physics2018 Summer School(国際学会), 2018年6月24-30日(P28), 夢舞台国際会議場, 兵庫
- ⑤ 電流と格子回転・歪みによる複合共役場を用いた拡張多極子検出の試み, 柳澤達也, J-Physic: 多極子伝導系の物理 平成30年度領域全体会議(後半キックオフミーティング), 2018年5月24-26日, 東北大学片平さくらホール
- ⑥ Observation of Multipoles in the Solid State by Means of Ultrasound, Tatsuya Yanagisawa, Physics and Astronomy Department Colloquium Series (California State University, Los Angeles)(招待講演), Physics Colloquium Series (California State University, Fresno)(招待講演), 2017年9月7・8日
- ⑦ Ultrasonic Study of the Elastic Response of the Magnetic Toroidal Order in UNi_4B , Tatsuya Yanagisawa, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2017)(国際学会), 2017年7月18日 (Tu-1-59), Czech Republic, Prague
- ⑧ UNi_4B のトロイダル磁気秩序における磁場中弾性応答 II, 松盛泰明, 門別翔太, 齋藤開, 柳澤達也, 日高宏之, 網塚浩, 日本物理学会第72回年次大会, 2017年03月17-20日 (20aL21-5), 大阪大学豊中キャンパス(大阪府・豊中市)

〔その他〕

出前授業「極低温のふしぎな世界」, 柳澤達也, 2019年1月31日, 札幌市立北園小学校
(参加人数(概数): 小学4年生80名+教員, PTA10名)

ホームページ等 <http://sonicbangs.sci.hokudai.ac.jp/yanagisawa/>

6. 研究組織

研究協力者〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

研究協力者氏名: ブライアン メイプル

ローマ字氏名: M. Brian Maple

所属研究機関名: カリフォルニア大学サンディエゴ校

部局名: 物理学科 職名: 教授 (Distinguished Professor of Physics and Bernd T. Matthias Chair)

研究協力者氏名: セルゲイ ツェリツィン

ローマ字氏名: Sergei Zherlitsyn

所属研究機関名: ヘルムホルツ研究所ドレスデン・ローゼンドルフ (ドイツ)

部局名: ドレスデン強磁場研究所 職名: 強磁場研究施設部部門長

研究協力者氏名: ウラジミール セコフスキー

ローマ字氏名: Vladimír Sechovský

所属研究機関名: カレル大学 (チェコ)

部局名: 数物理学科 職名: 教授

〔その他の研究協力者〕

研究協力者氏名: 網塚 浩 (北海道大学)

ローマ字氏名: Hiroshi Amitsuka

研究協力者氏名: エリザベス グリーン (HZDR)

ローマ字氏名: Elizabeth Lauren Green

研究協力者氏名: 中村 慎太郎 (東北大学金属材料研究所)

ローマ字氏名: Shintaro Nakamura

研究協力者氏名: 淡路 智 (東北大学金属材料研究所)

ローマ字氏名: Satoru Awaji

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。