

Electrophysics

電磁物性学

I サマリウム化合物における磁性-非磁性転移の研究

Study of nonmagnetic-magnetic transition in samarium compounds

水戸 毅・中井祐介・上田光一

Mito, T., Nakai, Y., Ueda, K.

希土類元素を含む化合物が示す様々な物性を、希土類元素の種類によって特徴づけることを目的に、サマリウム (Sm) 化合物の磁性、電気伝導性、Sm 価数に注目した研究に取り組んでいる。SmB₆ や SmS は、常圧下では Sm 価数が 2~3 価間の中間価数状態をとり、非磁性の半導体 (近藤半導体) であるが、圧力の印加によって金属的かつ磁性を示すようになる。これらの物質は、近年ではトポロジカル近藤半導体の候補としても注目されており、4*f* 電子状態やギャップの圧力依存性を核磁気共鳴 (NMR) 測定によって調べている。SmB₆ については最新の高圧力技術との組み合わせにより 10 GPa まで、SmS については S 元素を NMR 観測が可能な ³³S 同位体で濃縮した試料を準備して 3.2 GPa までの測定を行った。

II トポロジカル物質の微視的研究

Microscopic study on topological materials

水戸 毅・中井祐介・上田光一

Mito, T., Nakai, Y., Ueda, K.

トポロジカル物質で観測される新奇な特性である高い移動度、巨大磁気抵抗、非自明な表面状態などは、バンド反転や線形分散と密接に関連している。黒リンはグラフェンに似た 2 次元層状構造をとり、常圧下約 0.3 eV のギャップを有する半導体である。圧力印加に従ってギャップの大きさが減少し、約 1.5 GPa において半金属状態に転移するという報告がなされ、トポロジカル電子状態の発現が期待されている。本研究では、黒リンについて温度、圧力を変化させ、系統的な ³¹P-NMR 測定を行っている。新奇なトポロジカル電子状態を示すと期待される XSn₄ (X=Pd, Pt) についても NMR 測定に取り組んでいる。

III Shastry-Sutherland 格子の核磁気共鳴

NMR studies of Shastry-Sutherland lattice compounds

水戸 毅・中井祐介・上田光一

Mito, T., Nakai, Y., Ueda, K.

幾何学的フラストレーションを持つ系では、スピンアイス、量子スピン液体状態、分数磁化プラトーなどの興味深い量子状態が生成されることが知られている。Shastry-Sutherland 格子を有する系では、幾何学的フラストレーションのために分数磁化プラトーや多彩な磁気構造が報告されており、微視的な観点からこの系の磁気構造や磁気的なゆらぎを明らかにするために NMR 実験に取り組んでいる。

IV 層状超伝導体 NaSn_2As_2 およびその類縁物質の核磁気共鳴

NMR studies of layered superconductor NaSn_2As_2

水戸 毅・中井祐介・上田光一

Mito, T., Nakai, Y., Ueda, K.

新規な層状超伝導体 NaSn_2As_2 は、van der Waals 力という非常に弱い力で結合した SnAs を伝導層とする二次元的な層状物質であるが、バルク超伝導を示す。層間の結合が弱いため、層間に存在する元素を変更することで、超伝導のみならず、熱電材料・電極材料など多彩な物性が発現することがわかりつつある。本研究では、核磁気共鳴の元素選択的な特長を活かして、本物質群に対して微視的な構造および電子状態の解明に取り組んでいる。

V 複数の相転移をもつ物質での核磁気共鳴

NMR study of materials with multiple phase transitions

水戸 毅・中井祐介・上田光一

Mito, T., Nakai, Y., Ueda, K.

希土類を含む金属間化合物（例えば $\text{RE}_5\text{T}_4\text{X}_{10}$ 、 $\text{RE}_2\text{T}_3\text{X}_5$; RE=希土類、T=遷移金属、X=Si 又は Ge）では、電荷密度波（CDW）、スピン密度波（SDW）、超伝導転移等のう

ち複数の相転移が、温度を変えていくと同一物質内で起こる。特に各構成原子についてのフェルミ面での電子の状態密度の測定に重点をおいて NMR 測定を行なっている。

VI ナノ粒子の核磁気共鳴

NMR study of nano-particles

水戸 毅・中井祐介・上田光一
Mito, T., Nakai, Y., Ueda, K.

バルクサイズの大きさでは金属的特性を示す元素をナノ粒子化し、ナノサイズの粒子中に閉じ込められた電子に生じる量子サイズ効果や表面効果を微視的かつ直接的に観測することを目的に、粒径分布幅を狭く揃えられたナノ粒子の NMR 測定に取り組んでいる。特に白金ナノ粒子では、粒径減少による金属・非金属転移を明確に捉え、量子サイズ効果の実験的な観測に成功した。

発表論文 List of Publications

- I-1** 吉田章吾, 遠藤宏太, 山田陽彦, 小山岳秀, 中井祐介, 上田光一, 水戸毅, 北川健太郎 (東大院理), 芳賀芳範 (原子力機構先端研) : 高圧下 ^{33}S -NMR 測定による SmS 金色相の低温ギャップ状態、日本物理学会 2021 年秋季大会 2021 年
- I-2** 吉田章吾, 遠藤宏太, 久米貴之, 山田陽彦, 小山岳秀, 中井祐介, 上田光一, 水戸毅, 北川健太郎 (東大院理), 芳賀芳範 (原子力機構先端研) : 金色相 SmS の低温, 高圧下で現れるギャップ状態と磁気秩序状態の ^{33}S -NMR 測定による研究、日本物理学会 第 77 回年次大会 2022 年
- I-3** S. Yoshida, T. Koyama, H. Yamada, Y. Nakai, K. Ueda, T. Mito, K. Kitagawa (Univ. Tokyo), Y. Haga(JAEA) : Nonmagnetic-Magnetic Transition and Magnetically Ordered Structure in SmS, Phys. Rev. B **103**, 155153 (2021)
- II-1** 藤原健太, 藤井拓斗, 中井祐介, 上田光一, 赤浜裕一, 水戸毅 : 圧力誘起半導体-半金属転移近傍におけるディラック電子系物質黒リンの ^{31}P -NMR による研究、日本物理学会 2021 年秋季大会 2021 年
- III-1** 中山大輝, 宮元慧介, 中井祐介, 上田光一, 水戸毅, N. Shitevalova(Natl. Acad. Sci. Ukraine), G. Pristas(Slovak. Acad. Sci.), S. Gabani(Slovak. Acad. Sci.), K. Flanchbart(Slovak. Acad. Sci.) : シヤストリーサザーランド格子反強磁性体 TmB_4 が示す磁気プラトー領域近傍での磁気揺らぎの発達、日本物理学会 2021 年秋季大会 2021 年

- III-2** 中山大輝, 宮元慧介, 中井祐介, 上田光一, 水戸 毅, N. Shitevalova(Natl. Acad. Sci. Ukraine), G. Pristas(Slovak. Acad. Sci.), S. Gabani(Slovak. Acad. Sci.), K. Flanchbart(Slovak. Acad. Sci.): シャストリーサザーランド格子反強磁性体 TmB_4 の磁気プラトー領域近傍における ^{11}B -NMR による研究、日本物理学会 第 77 回年次大会 2022 年
- IV-1** 中西祥太, 中井祐介, 上田光一, 水戸 毅, 後藤陽介 (東京都立大院理), 水口佳一 (東京都立大院理): ^{75}As -NQR 測定による $NaSn_2As_2$ の低温領域における異常の観測、日本物理学会 2021 年秋季大会 2021 年
- IV-2** 中西祥太, 伊藤大賀, 中井祐介, 上田光一, 水戸 毅, 後藤陽介 (東京都立大院理), 水口佳一 (東京都立大院理): 層状超伝導体 $NaSn_2As_2$ の NMR・NQR 測定で見る低温領域の異常、日本物理学会 第 77 回年次大会 2022 年
- V-1** 上田光一, 中井祐介, 水戸 毅, 小原孝夫; CDW と超伝導を示す $Lu_5Ir_4Si_{10}$ の Lu NMR IV、日本物理学会 2021 年秋季大会 2021 年
- VI-1** Takuto Fujii, Kaita Iwamoto, Yusuke Nakai, Taisuke Shiratsu, Hiroshi Yao (Mie Univ.), Koichi Ueda, and Takeshi Mito : NMR evidence for energy gap opening in thiol-capped platinum nanoparticles, Phys. Rev. B **105**, L121401 (2022)

大学院物質理学研究科

博士後期課程

- 中西祥太 : NMR, NQR 測定を用いた層状超伝導体 $NaSn_2As_2$ 及び類縁物質 $LiSn_2P_2$ の研究
- 吉田章吾 : 価数揺動物質 SmS における圧力誘起非磁性-磁性転移と磁気秩序構造

博士前期課程

- 高田真有 : NMR によるディラック電子系候補物質 $PdSn_4$ の電子状態についての研究
- 中山大輝 : Shastry-Sutherland 格子系 TmB_4 が低温・磁場下で示す多彩な磁気相の ^{11}B -NMR による研究
- 藤田翔一 : 電荷移動錯体 $(BTBT)_2XF_6$ と Se 置換体における金属-絶縁体転移の研究
- 藤原健太 : 半導体-半金属転移近傍における黒リン電子状態

科学研究費補助金等

- 1 科学研究費補助金 (2021 年度~2023 年度) 基盤研究 (C) 課題番号:21K03475
研究課題 「高圧下におけるディラック半金属/トポロジカル絶縁体のバンド構造と磁気効果」
研究代表者 水戸毅

- 2 科学研究費補助金（2021年度～2023年度）基盤研究（C） 課題番号:21K03450
研究課題 「NMR測定からアプローチするディラック電子の特異な反磁性と磁場下の電子状態」
研究代表者 中井祐介