

## 自己評価報告書

平成23年 5月11日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2008～2012

課題番号：20224015

研究課題名(和文)

価数不安定性をもつアクチノイド化合物に特有の新奇量子状態の研究

研究課題名(英文)

Investigation of novel quantum states in actinide-based compounds with unstable valence

研究代表者

佐藤 憲昭 (SATO NORIAKI)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：30170773

研究分野：強相関物理学

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：アクチノイド、重い電子系、磁性、超伝導

## 1. 研究計画の概要

アクチノイドは物性科学的に興味ある現象、例えば従来の物理学では犬猿の仲と思われてきた強磁性と超伝導の共存などを示す。これらの現象を研究するために、東北大・金研に試料育成拠点を形成する。さらに、アクチノイド元素の 5f 電子が固体中で示す奇妙な性質(遍歴・局在 2 重性)の謎を解き明かす。

## 2. 研究の進捗状況

テトラアーク炉と基礎物性評価装置 PPMS の設置を終え、いくつかの典型的ウラン系物質の単結晶育成を行った。

(1) UCoGe に関する成果：①良質単結晶を用いた磁化測定および核磁気共鳴実験により、強磁性と超伝導が共存する実験的確認を得た。②通常の超伝導体とは異なり下部臨界磁場が存在せず、また超伝導状態において 2 つの緩和時間が存在することを見出した。これらより、自己誘導ボルテックスが存在する可能性を指摘した。③強いイジング的異方性スピン揺らぎが存在することを明らかにした。これは超伝導の引力相互作用を解明する上で重要な手掛かりになるものと期待される。以上の実験結果は、質的に新しいものを含み、強磁性と超伝導の相関(住み分け)を理解するうえで重要である。

(2) URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> に関する成果：①Spring-8 における共鳴 X 線散乱実験から、四極子秩序を特徴づける信号が無いこと、②磁気反射の精密な測定から、常圧において隠れた秩序と反強磁性の 2 相が空間的に相分離し共存していること、③一軸応力下中性子散乱から、磁気八

極子秩序の兆候もみられないこと、④逆格子空間の広い領域での超格子反射の探査実験から、磁気双極子及び電気四極子による秩序や構造相転移の可能性は、非整合長周期構造も含めて否定的であることを示した。さらに、⑤磁気トルク測定を行った結果、隠れた秩序の相転移温度以下で、回転対称性の破れが生じていることを見出し、⑥隠れた秩序相の高磁場において新たな相転移が存在する可能性を指摘した。これらの研究結果は理論家を大いに刺激することとなり、新たな理論提案が複数提出されるに至っている。

(3) 他の電子系物質に関する成果：強い放射能を持つ Np 化合物用の物性測定密閉容器を作製した。また、アクチノイド系列において Np の次に位置する Pu の強い放射能とそのため誘発される自己照射及び自己発熱を回避するために、長寿命の希少な原料である <sup>242</sup>Pu を使用した結晶育成方法を開発した。

## 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

理由：当初の研究目的は次の 3 点である。

①東北大金研にアクチノイド物質の結晶合成・育成のための拠点を形成する。②アクチノイドに特有の問題(強磁性超伝導体と URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> に関わる問題)の解決を図る。③アクチノイドの有効活用法を探る。

まず、上記 2-(1) の UCoGe に対する進捗状況から分かるように、①の目的は完全に達成された。②についても、上記 2-(1) および(2)に示したように、予想を超える早さで次々と重要な成果が得られている。

③についても、アクチノイドとの類似性に着想を得たバナジウム固体電池が一部実用化の領域に入ってきているなど、当初の目標に向けて順調に研究が進展している。

#### 4. 今後の研究の推進方策

上記成果を基に、さらに次の研究を進める。

(1) UCoGe: 異方的スピン揺らぎと超伝導発現機構の関係を理論研究の助けを借りながら明らかにする。また、自己ボルテックスのより直接的な検証のため、STM/STS 実験などを行う。

(2) URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>: 磁場中共鳴 X 線散乱及び高感度弾性定数測定により十六極子秩序の可能性について検証する。また、高次多極子の構造因子が高角側で大きな値をとる特徴に注目し、非共鳴短波長の放射光 X 線を用いて検出する実験を行う。

(3) 他の電子系物質: 価数不安定性を有する SmS における圧力誘起相転移や、典型的遍歴電子強磁性体 ZrZn<sub>2</sub> における圧力誘起量子相転移の研究を行い、UCoGe や UGe<sub>2</sub> の量子相転移と比較する。これにより、5f 電子の特性を抽出すると同時に、遍歴電子系 (価数不安定系) に共通する普遍性を導き出す。

最終的に、3d, 4f, 5f 電子の特質を遍歴・局在 2 重性 (価数の不安定性) の観点から整理し、新しい学理の構築を目指す。

#### 5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕 (計 88 件)

1. R. Okazaki, T. Shibauchi, H. J. Shi, Y. Haga, T. D. Matsuda, E. Yamamoto, Y. Onuki, H. Ikeda and Y. Matsuda, "Rotational Symmetry Breaking in the Hidden-Order Phase of URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>", *Science* 331 (2011) 439-442. 査読あり

2. Y. Ihara, T. Hattori, K. Ishida, Y. Nakai, E. Osaki, K. Deguchi, N. K. Sato and I. Satoh, "Anisotropic magnetic fluctuations in the ferromagnetic superconductor UCoGe studied by direction-dependent <sup>59</sup>Co NMR measurements, *Phys. Rev. Lett.* 105 (2010) 206403-1-4. 査読あり

3. K. Deguchi, E. Osaki, S. Ban, N. Tamura, Y. Simura, T. Sakakibara, I. Satoh and N. K. Sato, "Absence of Meissner State and Robust Ferromagnetism in the Superconducting State of UCoGe: Possible Evidence of Spontaneous Vortex State", *J. Phys. Soc. Jpn.* 79 (2010) 083708-1-4. 査読あり

4. T. Ohta, T. Hattori, K. Ishida, Y. Nakai,

E. Osaki, K. Deguchi, N. K. Sato and I. Satoh, "Microscopic Coexistence of Ferromagnetism and Superconductivity in Single-Crystal UCoGe", *J. Phys. Soc. Jpn.* 79 (2010) 023707-1-4. 査読あり

〔学会発表〕 (計 268 件)

1. Y. Haga, "Single crystal growth of strongly correlated uranium and transuranium compounds", The 1st ASRC International Workshop: New Approach to the Exotic Phases of Actinides Compounds under Unconventional Experimental Conditions, Tokai, Japan, February 16-18, 2011.

2. N. K. Sato, "Correlation of Ferromagnetism and Superconductivity in UCoGe", International Conference on Magnetic Materials 2010, Kolkata, India, Oct. 25-29, 2010.

3. N. K. Sato, K. Deguchi, N. Kabeya, E. Osaki, N. Tamura, "Correlation between magnetism and superconductivity in uranium-based heavy fermion compounds", Autumn Meeting of The Korean Physical Society, Bokwan Pheonix Park, Korea, Oct. 20-22, 2010.

4. H. Amitsuka, "Anisotropy of Magnetic and Elastic Properties of the Heavy-Electron Compound URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>", International Conference on Heavy Electrons 2010 (ICHE2010), Hachioji, Japan, September 17-20, (2010).

〔図書〕 (計 2 件)

1. "宇宙史を物理学で読み解く - 素粒子から物質・生命まで -" 佐藤憲昭 (分担執筆), 福井康雄 監修、飯島徹・杉山直・平島大・伊藤繁 編、名古屋大学出版会 (2010 年)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 3 件)

名称: アルデヒドを用いた水熱合成反応の制御方法

発明者: 山村朝雄, 白崎謙次, 佐藤伊佐務

権利者: 東北大学

種類・番号: P20100092

出願年月日: 2010 年 6 月 25 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

新聞掲載

1. UCoGeに関する記事

科学新聞、2010年3月5日。

2. URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>に関する記事

日刊工業新聞、平成23年1月28日 他3紙