

1. 研究領域名：充填スクッテルダイト構造に創出する新しい量子多電子状態の展開

2. 研究期間：平成15年度～平成19年度

3. 領域代表者：佐藤 英行（首都大学東京・都市教養学部理工系・教授）

4. 領域代表者からの報告

(1) 研究領域の目的及び意義

希土類元素中の f 電子は、その環境により伝導電子と混成して新奇な現象を発現するが、それまでに見出された物質の多くは、f 電子を1つ含む Ce 系に限られていた。複数の f 電子が混成した場合、本質的に新奇な振舞いが理論的に予言されていたが、成功の報告はなかった。「複数の f 電子と伝導電子との混成により初めて実現する新現象」（量子多電子状態）を調べることは、電子が結晶中で示す量子状態の統一的理解を得るには不可欠である。

本研究領域の目的は、化学式 RT_4X_{12} (R:希土類、T:Fe,Ru,Os、X:15 属元素) で表される充填スクッテルダイト化合物の育成と、その物性評価を系統的に行うことにより、それまで不可能であった、「量子多電子状態」の多様な振舞いを探索し、その機構を解明することである。この物質系は、発足時点で、(1)それまででない極めて強い伝導電子と f 電子間の混成効果が実現され、(2)同じ結晶構造中の同じ希土類イオンでありながら、T、X を置換することによりそれまででない極めて変化に富んだ新奇な振舞いを示すこと、が確認され、量子多電子状態の統一的理解への大きなブレークスルーとなることが期待された。本研究において、この物質系の新奇な振舞いを探索しその機構を解明することは、新物質の開発の指針を与える上でも、これまでで理解されずに残された、磁気双極子以外の自由度による隠された秩序などを理解するためにも有効である。

(2) 研究成果の概要

成果達成に必要な純良結晶の合成は常圧・高圧フラックス法を駆使して達成され、多くの化合物群の系統的な研究が進んだ。f2 系の $PrFe_4P_{12}$ におけるスカラー型秩序相や f5 系の $SmRu_4P_{12}$ の 8 極子秩序相など、これまでの「磁気双極子秩序」とは基本的に異なる多彩な秩序相が発見された。これらは、多様な測定手法による特性評価と理論的な解析によって、高い対称性ゆえに可能となる局在電子の高い軌道自由度と遍歴電子のネスティング特性が絡み合い、高い次数までの多極子が交代して主役となる“新たな秩序”であるとの統一的理解が得られた。

一方、初めての Pr 系重い電子超伝導体 $PrOs_4Sb_{12}$ は、あらゆる手法での超伝導特性が調べられた。多バンド超伝導体の確認や初めての 4 極子励起子の発見が行われ、多極子揺らぎが超伝導対形成に寄与する実験的証拠が揃った。

また、多種類の構成要素を持つこの物質の特徴を生かし、多様な測定手法によるカゴ内の希土類イオンのラトリング評価が行われ、カゴサイズなどとラトリング振動数や非調和性の相関の系統性が明らかになり、より広いカゴ状物質のラトリング研究への指針を与えた。

結論として、“この物質群の多様性は、高い対称性ゆえに低温まで残された f 電子の高い自由度による”と整理できる。これは「より対称性の低い低次元化」へ向かう通常の新奇物性探索の方向性とは逆であり、新物質探索の新たな指針を提示したことになる。

5. 審査部会における所見

A (研究領域の設定目的に照らして、十分な成果があった)

本研究領域は、充填スクッテルダイト化合物を集中的に研究するというよくフォーカスされた研究目標を掲げ、十分に吟味された研究計画に基づいて研究が行われており、研究目的は十分に達成されたと評価する。特に、ラトリングによる重い電子超伝導体などいくつかの重要な研究成果が得られている。本研究領域で開発された高温高圧下での単結晶作製技術や微量単結晶試料を用いた物性測定技術は、f 電子系の研究分野に加えて、広く物質科学分野の研究に展開されることが期待できる。また、本研究領域のホームページにスクッテルダイト関連物質の物性のデータベースや物質別論文リストの掲載など研究成果の公開に力を入れるとともに、若手夏の学校の開催など若手研究者の育成も行っており、当該学問分野への貢献は十分に行われたと判断する。充填スクッテルダイト化合物において得られた新しい物理現象が、普遍的な新しい物理概念の創出に結びつくように、今後の研究が進展することを期待する。