

研究領域名	重い電子系の形成と秩序化	
領域代表者名	上田 和夫（東京大学・物性研究所・教授）	
領域代表者からの応募総額	14億8645万円	
研究期間	平成20年度～24年度	

ゆっくり動く電子たちの新しい秩序を見つけ出す

1. 本領域の目的

物性物理学とは、1メートルの100億分の1の大きさの原子という小さなものの性質をきちんと考えて、それらの原子が一兆個の一兆倍位集まった時に持つ性質を調べている学問である。原子のような小さなものの性質を扱う学問（量子力学）と、小さな物がとてもたくさん集まった集団の性質を扱う学問（統計物理学）の両方の助けを借りることによって、金属や半導体や絶縁体といった物質の性質の違いを初めて理解することができ、さらに現代の科学技術を支えている半導体や磁性体、超伝導体などを創りだすこともできる。本領域で主な対象とする物質は、元素周期表の下方にあるランタノイド及びアクチノイド系列の元素を含む化合物である。これらの元素の特徴は、f軌道に電子を有することであるが、これらのf電子は価電子でありながら原子核に強く束縛されていて局在性が強い。しかし、ある種の化合物中では、f電子が自由に動き回る伝導電子と混じり合って原子の外に引きずり出され、しぶしぶではあるが、結晶全体を動き回ることがある。この運動は、他の伝導電子の運動に比べてゆっくりとしているので、電子が重くなったように見える。ゆっくりとした運動はエネルギーが小さく、重い電子は簡単にいろいろな整列をして様々な性質を示すことがある。あるいは未知の性質が発見される可能性もある。そういう意味で、「重い電子系」は「物性の宝箱」なのである。この宝箱の中に眠る様々な新しい物性現象を発見し、理解することが、本領域の目的である。

2. 本領域の内容

重い電子の性質は、これまで、電子の持つ磁石としての性質（スピン）に注目して理解されてきた。すなわち、f電子の上向きと下向きの2つの状態をとるスピンの自由度が伝導電子との混じり合いによって打ち消される過程で重い電子が生じるのである。しかし、f電子には、沢山あるf軌道のうちのどれを占めるか、という軌道と呼ばれる自由度もあり、また軌道の形状も物性に関与するはずである。さらに、電子の運動を考える際、通常、原子は静止していると仮定するが、透き間の大きなカゴに原子を閉じ込めると、原子はゆっくりと大きな振幅で振動を始め、それがf電子の運動に影響を与える可能性がある。本領域では、このようなスピン以外の自由度に関わる重い電子状態の発見と理解、そして、その「新・重い電子状態」を舞台とした未知の物性現象の発見と理解を目指している。

3. 期待される成果

軌道自由度の絡んだ新しい重い電子物質は、電子スピンの配列した単純な磁石ではなく、スピンと軌道が複合化した「多極子」が配列した新型磁石になることが期待される。また、そのような物質は、多極子の揺らぎに起因した従来にない新奇超伝導体になることも期待される。一方、原子振動が関与した重い電子状態では、振幅の大きな原子振動が熱の伝導を妨げることから、効率よく熱を電気エネルギーに変換する新機能材料の開発につながることを期待される。

【キーワード】

軌道：水素原子の電子の波動方程式を解く際、電子状態を区別するために軌道角運動量Lを導入する。L=0, 1, 2, 3の状態をそれぞれ、s, p, d, f軌道と呼ぶ。

超伝導：多数の電子がペアを組んで、エネルギー最低状態に落ち込むことによって生じる量子力学的な現象。超伝導状態では電気抵抗はゼロになり、磁力線も排除される。

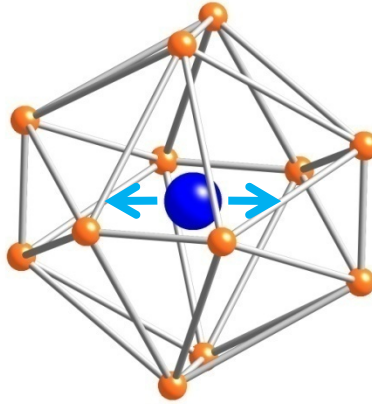
【科学研究費補助金審査部会における所見】

本研究領域は、多自由度が絡んだ有効質量の大きい重い電子系の生成機構とそれがもたらす様々な秩序状態に関する研究提案であり、非調和ファノンや多極子揺らぎによる超伝導など重い電子系研究に新たな展開が期待できる。各計画研究は、従来の研究成果を踏まえて十分に検討がなされており、研究実績のある研究者により研究が遂行されることから、多体電子系の電子物性の分野に大きく貢献すると期待される。研究課題の配置については、物質開発、理論、実験がバランスよく組み合わせられ、有機的連携による相補的な領域研究ができる計画となっている。

重い電子系の形成と秩序化

磁場に鈍感な重い
電子状態

熱を伝えにくい物質
(高効率熱電変換材料)



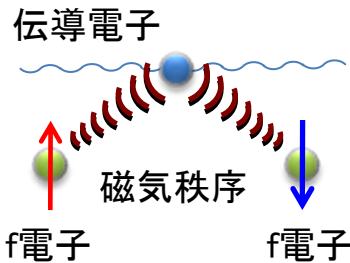
原子振動による近藤
効果

原子振動が熱伝導
を妨げる

カゴの中の原子が
大きな振幅で振動

ラットリング

ルーダーマン・キッテル・糟谷・
芳田(RKKY)相互作用

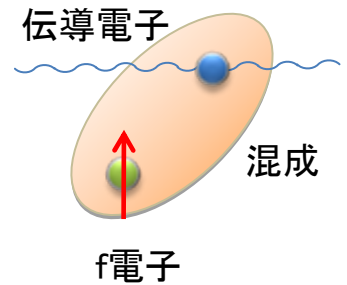


局在

重い電子
形成の
新機構

遍歴

近藤効果

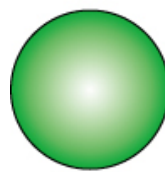


多極子

スピンと軌道の複合自由度

多極子の揺らぎ

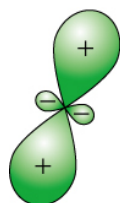
多極子の整列



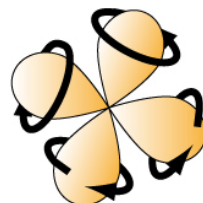
電気単極子



磁気双極子



電気四極子



磁気八極子

新しいタイプ
の超伝導

新しいタイプ
の磁石