



平成 22 年 11 月 26 日  
岡 山 大 学

### 四半世紀の謎：「隠れた秩序相転移」の解明に大きな光

**概要：**岡山大学大学院自然科学研究科の吉田力矢日本学術振興会特別研究員（博士後期課程 2 年生）、横谷尚睦教授らは、日本原子力研究開発機構の芳賀芳範、山本悦嗣各研究員、大阪大学の大貫惇睦教授、東京大学物性研究所の辛埴教授らと共同で、物性物理学の大きな謎とされているウラン化合物・ $URu_2Si_2$  の二次相転移<sup>1)</sup>が、固体内電子の周期性<sup>2)</sup>を変化させていることを世界で初めて実験的に示唆しました。 $URu_2Si_2$  は 17.5K で二次相転移を示しますが、物質の発見から 24 年以上も、この相転移の正体は謎のまま「隠れた秩序相転移」と呼ばれています。今回の結果は、「隠れた秩序相転移」の理解に新たな指針を与えるもので、関連する超電導<sup>3)</sup>現象の理解などにも繋がることが期待されます。

**業績：**本学大学院自然科学研究科 吉田力矢日本学術振興会特別研究員（博士後期課程 2 年生）、横谷尚睦教授らの研究グループは、超高分解能レーザー角度分解光電子分光<sup>4)</sup>という手法を用いることで、 $URu_2Si_2$  の「隠れた秩序相転移」が電子の周期性を変化させるような相転移であることを世界で初めて実験的に示唆しました。

**背景：** $URu_2Si_2$  は 1986 年に発見された超電導体（超電導転移温度 $\sim 1.5$  K）ですが、17.5 K で未知の二次相転移を示します。一般に固体結晶中では、二次相転移以下の温度で系が何らかの秩序性を持つことが知られており、その秩序性は電子の動きや結晶の形などに影響を与えることがよくあります。しかしながら、 $URu_2Si_2$  の二次相転移に伴う変化は、従来の実験手法では観測されず、物質の発見から 24 年以上経った現在においても物質にどのような秩序化が起こっているかということは理解されていませんでした。そのため「隠れた秩序相転移」と呼ばれその検証が課題となっていました。今回の実験では、東京大学物性研究所の超高分解能レーザー角度分解光電子分光装置という世界最高の性能を持つ装置を使い世界最高品質の  $URu_2Si_2$  単結晶を測定することで、「隠れた秩序相転移」に伴う物質の変化を詳細に観測し、“隠れた秩序”の性質の一端を調べることに成功しました。

**意義・波及効果：**新たな電子の周期性は“隠れた秩序”の周期性を反映すると考えられます。これまで“隠れた秩序”の周期性に対する実験結果はないため、今回の研究結果は「隠れた秩序相転移」の理解に重要な手がかり与えるものです。また「隠れた秩序相転移」と関連が深い  $URu_2Si_2$  における超電導の理解や相転移現象一般の理解を進展させるものと期待されます。

この研究は文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「重い電子系の形成と秩序化」の支援を受けて実施され、実験は東京大学物性研究所の共同利用課題として行われました。

この成果は米国物理雑誌 Physical Review B の 11 月 15 日号に Editor's Suggestion（編集者が選ぶ注目論文）として掲載されました（論文題目 “Signature of Hidden Order and Evidence for Periodicity Modification in  $URu_2Si_2$ ” 「 $URu_2Si_2$  における隠れた秩序の特徴と周期性変化の証拠」）。

## PRESS RELEASE

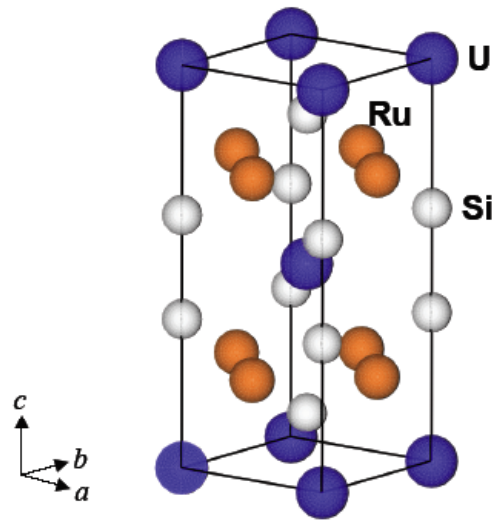


図1 URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の結晶構造

青丸がウラン原子、橙色丸がルテニウム原子、白丸がシリコン原子に対応します。

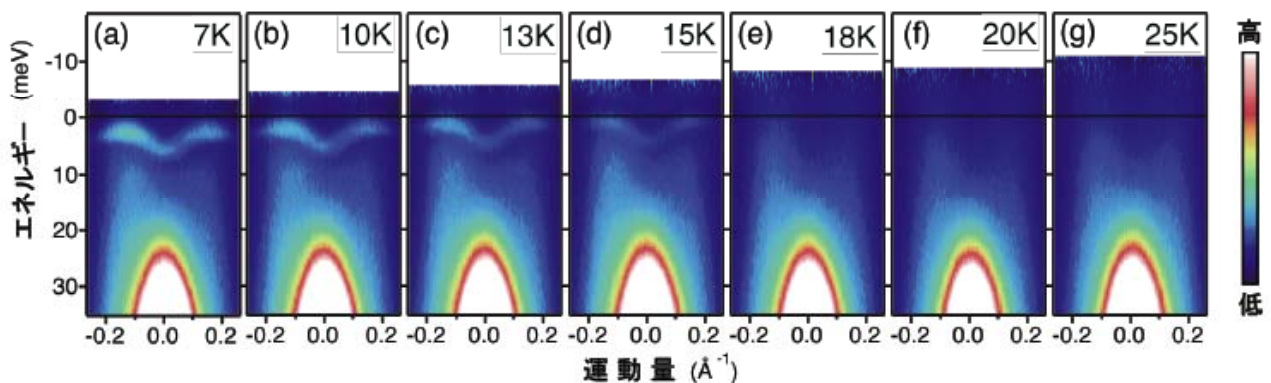


図2 URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の超高分解能レーザー角度分解光電子分光実験の結果

固体内電子をエネルギー(縦軸)と結晶表面に平行方向の運動量(横軸)で表した分布図の温度変化を示しています。図中の強度の強い部分は電子が多く存在する部分に対応し、バンドと呼ばれます。転移温度以下でエネルギーゼロ付近に波状の形を持ったバンドが現れることがわかります。転移温度以下における新たなバンドの出現は固体内電子の感じる周期性の変化を意味します。URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>で得られた結果は、他の実験結果との対応から、結晶構造(図1)において底辺のウラン原子と中央のウラン原子が等価でなくなることを示唆しています。

## PRESS RELEASE

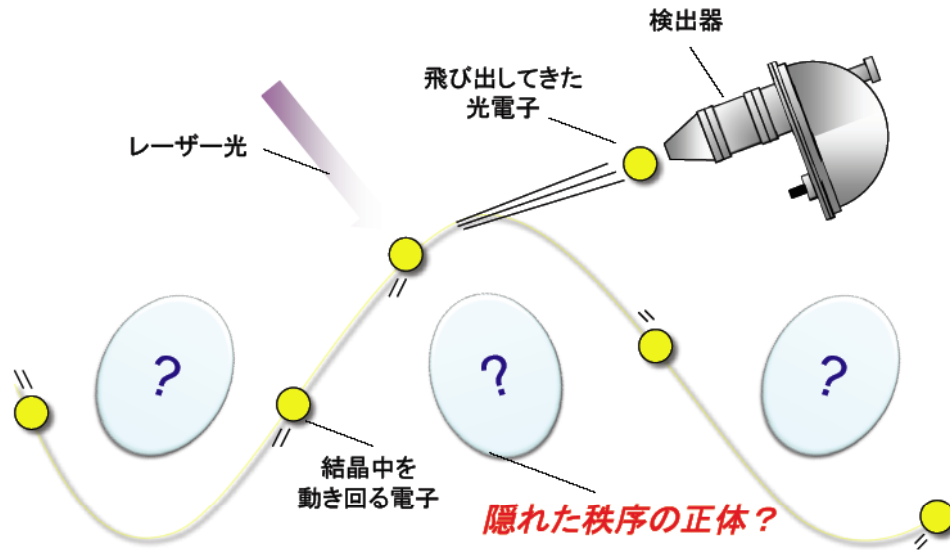


図3 隠れた秩序相における伝導電子と秩序状態のイメージ図

### 用語解説

#### 1) (二次)相転移

物質の性質が一様な状態を相とよびます。例えば、氷、液体の水、水蒸気はそれぞれ水の一つの相です。一つの相から他の相への変化を相転移といいます。水が凍る場合のように潜熱のする相転移を一次転移、潜熱はせずに比熱等に異常性が現れるような転移を二次転移といいます。一般に二次相転移点以下の温度では、系が何らかの秩序性を持つことが知られています。超電導転移(用語解説3)参照)、磁気転移は二次相転移の例です。

#### 2) 周期性

固体結晶においては原子が周期的に配列しています。結晶中の伝導電子は正の電荷を持った原子核の周期性を感じて運動します。電荷密度波転移と呼ばれる固体においておこる相転移では、伝導電子の電荷密度が秩序化し新たな周期性を示すことが知られています。

#### 3) 超電導

ある種の金属の抵抗が、その物質に固有な温度以下でゼロになる現象。超電導に転移する温度を超電導転移温度( $T_c$ )といい、通常の超電導体では  $T_c$  は絶対零度 ( $0\text{K}=-273.15^\circ\text{C}$ ) に近い温度でおこります。超電導は電気抵抗ゼロで電流を運べるため、エネルギーロスのない送電線などでの利用が期待されています。

超電導は転移温度以下において電子が対を形成することで説明されます。本来マイナス



## PRESS RELEASE

電荷を持つ電子間の引力の起源について、従来の理論では結晶格子の振動を考えます。その一方、それ以外の起源も提案されており、引力の起源の探求が物性物理学の重要課題となっています。

#### 4) 超高分解能レーザー角度分解光電子分光

角度分解光電子分光は、物質に光を照射し光電効果により物質外に飛び出してくる電子の運動エネルギーと放出方向を測定することにより物質内電子のバンド構造（エネルギー運動量分布）を測定する実験手法です。光の自然幅の極めて狭いレーザーを用いることにより、極めて高精度の実験を行うことができます。

<お問い合わせ>

岡山大学 （所属）自然科学研究科

・（氏名）横谷尚睦

（電話番号）086-251-7897

（FAX番号）086-251-7903