

平成 28 年 11 月 2 日

報道機関 各位

東北大学金属材料研究所

ウラン化合物の強磁場スピン密度波相を発見 -30 年来の謎に強磁場中性子回折が回答をもたらす-

【発表のポイント】

- ウラン化合物 URu_2Si_2 が示す「隠れた秩序」は謎の相転移を起こす現象として研究者の大きな興味を引きつつも、30 年来未解明のままであった。
- 「隠れた秩序」の解明につながる、強磁場中での磁気的な状態を実験的に明らかにする方法が待ち望まれていた。
- 本研究では強磁場中の磁気状態を解明する技術を確立し、「隠れた秩序」の壊れた特殊な磁気秩序相は、スピン密度波であることを世界で初めて明らかにした。

【概要】

東北大学金属材料研究所の青木大教授、野尻浩之教授は、CNRS（フランス国立科学研究センター）のウィリアム・クナフォ研究員（William Knafo）、CEA-Grenoble（フランス原子力庁）、茨城大学の研究者らとともに、ウラン化合物 URu_2Si_2 の「隠れた秩序」^{*1} に近接する強磁場中の磁気相がスピン密度波^{*2} を形成していることを世界で初めて発見しました。

きわめて短い時間に強磁場を発生しながら中性子散乱を行うという、高度な実験技術の組み合わせによって初めて実現した実験です。30 年来謎とされていた URu_2Si_2 が示す正体不明の相転移^{*3} 「隠れた秩序」の解明につながる他、強磁場中の新奇な量子相の発見にもつながるものと期待されます。

本研究の成果は、2016 年 10 月 20 日付英科学誌「Nature Communications」で発表されました。

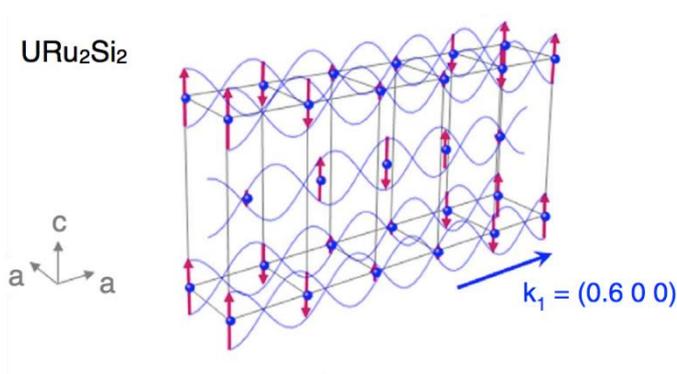


図 1: スピン密度波を示す URu_2Si_2 の磁気構造

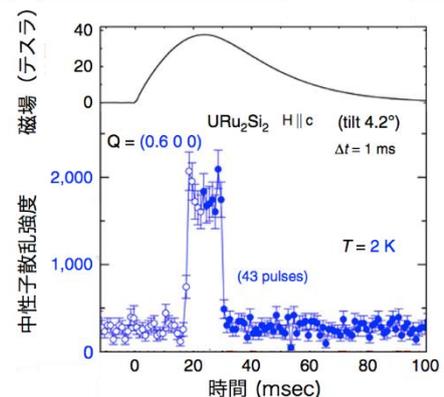


図 2: パルス強磁場と中性子散乱強度の時間依存性

【詳細な説明】

背景

放射性物質であるウランは、核燃料だけでなく、基礎物性研究の対象としても長い間大変興味をもたれてきました。ウラン化合物のなかでも URu_2Si_2 という物質は、17.5 ケルビン（約-255 度）以下の極低温下で「隠れた秩序」と呼ばれる正体不明の相転移を起こします。「隠れた秩序」は発見から 30 年たった今も未解明で、これまでに 700 編以上の関連論文が発表されるなど、研究者の興味を引きつけてやみません。「隠れた秩序」は強磁場を加えると、磁化の段階的なとび（メタ磁性）を示して、壊れることが分かっています。メタ磁性が起こるときの磁気的な状態を調べることは、「隠れた秩序」そのものの解明につながります。このため、強磁場中での磁気的な状態を実験的に明らかにすることが待ち望まれていました。

成果

今回、パルス強磁場という、約 0.1 秒間の短時間に 40 テスラ（地磁気の約 100 万倍）もの強い磁場を発生させる技術を用いて、研究用原子炉から出てくる中性子を利用した磁気散乱の実験を、フランス・グルノーブルの ILL（ラウエ・ランジュバン研究所）で行ないました（図 2）。その結果、「隠れた秩序」が壊れた特殊な磁気秩序相が、スピン密度波であることを世界で初めて明らかにしました（図 1）。スピン密度波とは、スピンの密度が一定の波長で空間的に変動することを言います。金属の顔とも呼ばれるフェルミ面とも密接に絡み合った現象です。「隠れた秩序」には、もともと 2 種類の磁気励起が知られており、強磁場を加えることで、そのうちの 하나가現れてきたものと考えられます。

展望および意義

パルス強磁場中の中性子散乱実験は、きわめて高度な実験技術であり、世界で私たち以外に誰も行っていません。今回、日本とフランスの研究者がお互いに技術を持ち寄ることにより初めて実現した研究成果です。この研究成果は、 URu_2Si_2 の「隠れた秩序」解明につながるだけでなく、強磁場中の磁気状態を解明する技術を確立したという点でも意義があります。また、強磁場中の新奇な量子相の発見にも期待がかかります。

共同研究機関および助成

本研究は、科研費・新学術領域研究「J-Physics:多極子伝導系の物理」および基盤研究(S)の補助を得て行われました。

発表論文

雑誌名： Nature Communications 7, 13075 (2016).

英文タイトル： Field-induced spin-density wave beyond hidden order in URu_2Si_2

全著者： W. Knafo, F. Duc, F. Bourdarot, K. Kuwahara, H. Nojiri, D. Aoki, J. Billette, P. Frings, X. Tonon, E. Lelièvre-Berna, J. Flouquet and L.-P. Regnault

DOI： 10.1038/ncomms13075

専門用語解説

※1 隠れた秩序

物質の秩序状態は、秩序変数（オーダーパラメーター）によって決定づけられます。 URu_2Si_2 は 17.5 ケルビンで謎の相転移を示し、それ以下の温度では秩序状態になります。しかし、どのような秩序状態になっているかわからず、その秩序変数は発見から 30 年たった今もよくわかっていません。このため「隠れた秩序」と呼ばれています。

※2 スピン密度波

スピンの密度が一定の周期で空間的に変動した状態のことを言います。さまざまな構造があり、金属の電子状態を決めているバンド構造と密接な関係があります。「金属の顔」と呼ばれているフェルミ面の一部が、スピン密度波の周期の平行移動によって重なり合う場合は、ネスティングと呼ばれています

※3 相転移

温度や磁場などを変化させることによって、物質が異なる相に移る現象のことを言います。たとえば、液体が気体になるのも相転移で、この場合は一次の相転移です。また、磁性体が常磁性から強磁性になるのも相転移です。これは通常、二次の相転移です。URu₂Si₂の「隠れた秩序」は二次の相転移であることが分かっています。

本件に関するお問い合わせ先

◆研究内容に関して

東北大学金属材料研究所 附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
教授 青木 大 (あおき だい)

茨城県東茨城郡大洗町成田町 2145-2

Tel: 029-267-3181 (代表) +33-6-8412-6754 (個人) Fax: 029-267-4947

E-mail: aoki@imr.tohoku.ac.jp

◆報道に関して

東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班

横山 美沙 (よこやま みさ)

TEL : 022-215-2144 FAX:022-215-2482

Email : pro-adm@imr.tohoku.ac.jp