

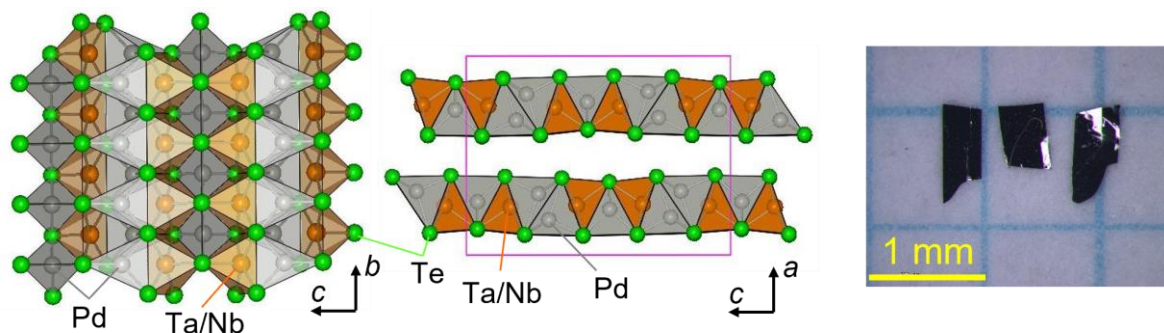
# そっくりな元素からなる物質に現れた超伝導と奇妙な絶縁体状態

## [1] 要旨

金属元素であるニオブ (Nb) とタンタル (Ta) はよく似た性質をもつ元素であり、ニオブを含む物質とタンタルを含む物質は同様の性質を示すことが多い。しかし、これらをパラジウム (Pd) とテルル (Te) と組み合わせた物質  $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  と  $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  は、同じ原子配列をもつにもかかわらず、全く異なる性質を示す。ニオブを含む  $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  は超伝導体であるが、 $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  は変わった絶縁体的な振る舞いを示し、他の元素を置換することで初めて超伝導を示すことが見出された。この発見は励起子絶縁体という奇妙な絶縁体状態の性質の解明に繋がる。

## [2] 本文

我々が生きる世界は、100 種類くらいの元素の組み合わせから構成されている。たとえば、鉄やアルミニウムのような金属元素とヘリウムのような希ガス元素の性質が全く異なることからわかるように、元素は多様である。しかし、中にはよく似た性質を示すそっくりな元素の組み合わせがあり、ニオブ (Nb) とタンタル (Ta) はその典型例である。ニオブの化合物とタンタルの化合物は固体中で同じ原子の配列パターン (結晶構造) をもつことが多く、さらに同じ結晶構造をもつときには、その物理的な性質もよく似ている。たとえば、酸化物  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  と  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  はともにバンド絶縁体であるし、セレン化物  $\text{NbSe}_2$  と  $\text{TaSe}_2$  はともに低温で電荷密度波と呼ばれる電子の分布が不均一となった状態をとり、さらに超伝導を示す。



左図： $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  と  $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  の結晶構造。右図：合成された  $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  の単結晶。

最近、名古屋大学大学院工学研究科応用物理学専攻のメンバーを中心とする研究グループは、ニオブまたはタンタルを、パラジウム (Pd) およびテルル (Te) と組み合わせた物質、 $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  と  $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  の純良試料を合成し、これらの結晶構造および電子物性を調べた。 $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  は、この研究において初めて合成された新物質である。その結果、両物質は同じ電子数を持ち、同じ結晶構造をもつにもかかわらず、片や  $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  は超伝導体であり、片や  $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  は絶縁体であるという、全く異なる性質を示すことが明らかになった。ニオブとタンタルの化合物はよく似た性質を示す、という常識からは予想外の結果といえる。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2021 年 6 月号に掲載された。

$\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  と  $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  が予想と反して全く異なる性質を示すこと、つまり、 $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  が超伝導を

示す一方で、 $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  が絶縁体となることには、「励起子絶縁体」が重要な役割を果たしている可能性が高い。励起子絶縁体は、固体中で電子と、電子が抜け去った孔である正孔が対を形成することによりお互いに束縛され動けなくなった、変わった絶縁体状態である。通常の絶縁体と異なる特異な光学応答を示すことや、これまでにない新しい超伝導の発現機構となることが理論的に指摘されたが、励起子絶縁体の状態をとることが実験的に確立した物質はほとんどない。今後、 $\text{Nb}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  と  $\text{Ta}_2\text{Pd}_3\text{Te}_5$  は、励起子絶縁体の物理を実験的に解明し、特異な励起子の性質を役に立つ機能に繋げるための研究にとっての標準物質となると期待される。

原論文(5月25日公開済)

[Superconductivity in  \$\text{Nb}\_2\text{Pd}\_3\text{Te}\_5\$  and Chemically-Doped  \$\text{Ta}\_2\text{Pd}\_3\text{Te}\_5\$](#)

N. Higashihara, Y. Okamoto, Y. Yoshikawa, Y. Yamakawa, H. Takatsu, H. Kageyama, and K. Takenaka, *J. Phys. Soc. Jpn.* **90**, 063705 (2021).

<情報提供：岡本 佳比古（名古屋大学大学院工学研究科）>