

## 準結晶と結晶をつなぐ物質の超伝導

機能性物質・構造素材として「結晶」または「アモルファス」という形の固体が様々な用途で利用されている。原子が周期的に整列している結晶にはシリコンなどの半導体、ダイヤモンドなどの絶縁体、金・銀・銅などの金属がある。逆にランダムに原子が並んでいるアモルファスの代表例はガラスである。D. Shechtman 博士（2011年ノーベル化学賞）によって1984年に発見された「準結晶」は、周期的ではない特殊な規則（準周期性）に従って原子が並んだ固体である。結晶と似た回折像が現れるが、その回転対称性は結晶では許されないものである。発見当初は第3の固体と呼ばれた準結晶も現在では広義の結晶と定義されている。

結晶では様々な電子状態が解明されている。例えば、希土類元素・アクチナイド元素を含む結晶では、物質を様々な方法で制御することにより、長距離磁気秩序の近傍に量子臨界点を作り出し、重い電子液体や異方的超伝導など強相関電子物性に関係した多様な秩序状態を作り出すことができる。一方、準結晶についてみると、その特殊な原子配置の構造についての研究は大きく進展したが、準周期性に特有な電子状態に起因する物性（周期的長距離秩序や超伝導、電子間の斥力が重要になる強相関電子物性などに関するもの）は未解明のままである。

今回、名古屋大学、北海道大学のメンバーからなる研究グループは、希土類元素 Yb を含む Tsai 型の多重殻クラスター構造（図1）をもつ Au-Ge-Yb 合金を調べ、準結晶と結晶をつなぐ物質である近似結晶が超伝導になることをはじめて発見した。超伝導を示す Au-Ge-Yb 近似結晶には転移温度  $T_c$  が 0.68 K の非磁性物質 [以下では AGY(I) と略記] と 0.36 K の磁性物質 [AGY(II)] の2つの物質が存在し、クラスター中心の原子の種類と配置のわずかな違いにより超伝導・磁性の違いが現れることが明らかになった。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical

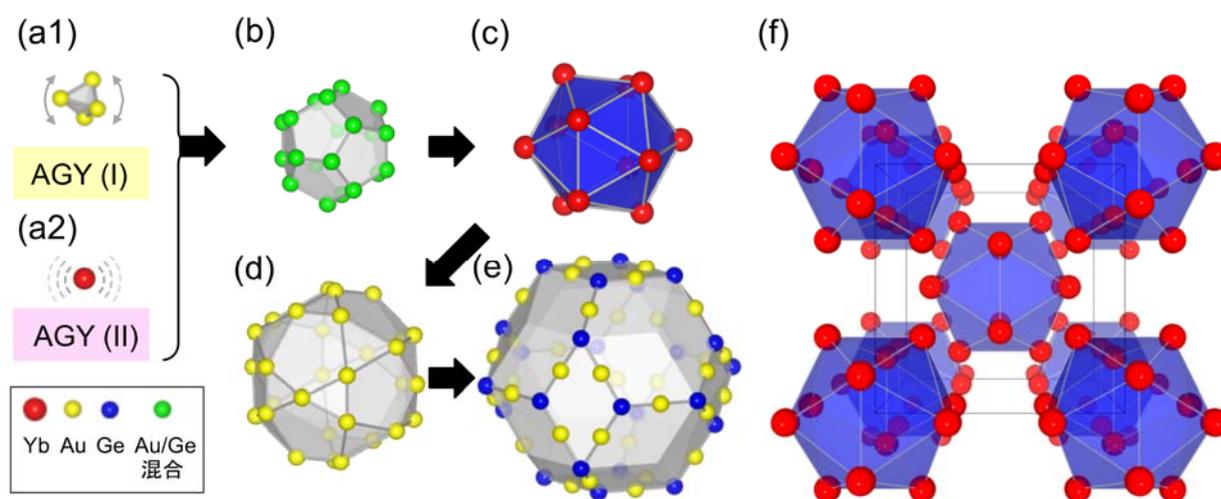


図1. Tsai 型の多重殻クラスターと近似結晶の結晶構造。(a1) AGY(I)の回転の自由度を持つ Au の正4面体。(a2) AGY(II)のラットリングの自由度を持つ希土類 Yb 原子。(b) 第2殻の正12面体。(c) 第3殻の希土類 Yb 原子の正20面体。(d) 第4殻の20・12面体。(e) 第5殻の菱形30面体。(f) 希土類 Yb 原子の正20面体のみを表示した体心立方の1/1近似結晶の結晶構造。日本物理学会誌70巻1号の綴込付録の「Tsai型クラスター組立模型」が参考になる [下田正彦：日本物理学会誌 70 (2015) 4]。組立用の展開図は日本物理学会 HP の「会員専用」ページからダウンロード可能である。

Society of Japan (JPSJ)の 2015 年 2 月号に掲載された。

図 1 に示すように、AGY(I)のクラスター中心は回転の自由度を持つ Au の正 4 面体であり、AGY(II)のクラスター中心はラットリングの自由度を持つ希土類 Yb 原子である。2つの系の磁性の比較から、正 20 面体を形成する Yb 原子は磁気モーメントを持たず、中心に位置する Yb 原子は磁性を持つと考えられる。AGY(I)と AGY(II)における超伝導転移温度の違いも局所構造の違いとそれに関係した磁性の違いに起因する可能性が高い。これは Tsai 型クラスター構造をもつ物質系が局所構造の違いで電子状態を制御できることを示唆するものであり、本研究の重要な結果と考えられる。同研究グループは以前に AGY(I)と同じクラスター構造を持ち、正 20 面体上の Yb 原子が磁気モーメントを持つ Au-Al-Yb 近似結晶と準結晶を作成することに成功し、対照実験を行うことにより準結晶が結晶とは性質の異なる量子臨界現象を示すことを発見した。本研究はこの Au-Al-Yb 準結晶・近似結晶との関係についても多くの興味を引き付けている。

準結晶の超伝導については、Bergman 型クラスター構造をもつ Al-Mg-Zn ( $T_c = 0.4$  K)と Al-Cu-Li ( $T_c = 1.5$  K)が知られているが報告は少ない。Au-Ge-Yb 近似結晶の超伝導の発見は、物質のバリエーションが豊富は Tsai 型クラスター構造をもつ物質系で準結晶の超伝導を探索することにより、結晶と準結晶の超伝導の性質の違いを比較できる可能性を見出した。希土類を含む Tsai 型クラスター構造をもつ物質系は、局所構造による物性制御が可能で、原子配置の規則性（周期性と準周期性）が物性に及ぼす効果を解明できる点において、他に類を見ないユニークな系である。今後の研究の展開が期待される。

## 原論文

[Superconductivity of Au-Ge-Yb Approximants with Tsai-Type Clusters](#)

[Kazuhiko Deguchi, Mika Nakayama, Shuya Matsukawa, Keiichiro Imura, Katsumasa Tanaka,](#)

[Tsutomu Ishimasa, Noriaki K. Sato: J. Phys. Soc. Jpn. \*\*84\*\* \(2015\) 023705](#)

問合せ先：出口 和彦（名古屋大学大学院理学研究科）  
佐藤 憲昭（名古屋大学大学院理学研究科）  
石政 勉（北海道大学工学研究院）