

パイロクロア格子をもつ新しい遍歴電子磁性体

金属において電気伝導を担う伝導電子は、真空中の電子とは異なる質量（有効質量）をもっているかのように振る舞う。多くの物質においては、その違いはあまり大きくないが、ある種の希土類金属を含む化合物においては真空中の電子の百倍から千倍もの非常に大きな有効質量が現れることが知られている。このような状態は「重い電子状態」と呼ばれ、特異な超伝導状態や f 電子の自由度に関する複雑な秩序状態の舞台となることから、物性物理学の分野において活発に研究が行われてきた。希土類化合物における重い電子状態は、高温では動き回らず磁性を担う f 電子が低温で伝導電子と近藤効果を通して混じりあうことにより発現すると考えられている。

一方、f 電子をもたない遷移金属化合物においても、類似の重い電子状態が現れることが知られている。(Y,Sc)Mn₂ と LiV₂O₄ がその典型物質である。これら二つの物質の重要な共通点は、d 電子が電気伝導と同時に強い磁性を担う遍歴電子磁性体であり、さらにその d 電子を供給する遷移金属原子がパイロクロア格子を組んでいることである。パイロクロア格子とは、図 1(a)に示すように正四面体が三次元的に繋がった格子である。このように正三角形を基本とする格子上にスピンの並んだ磁性体では、幾何学的フラストレーションと呼ばれる機構によって通常の磁気秩序の形成が著しく阻害される。その結果、スピン液体などの新しい量子力学的基底状態が出現するものと期待されている。(Y,Sc)Mn₂ や LiV₂O₄ における有効質量の増大は、希土類化合物のように近藤効果によるものではなく、この幾何学的フラストレーションと関連があるのではないかと示唆されているが、未だにその原因は謎であり、議論が続けられている。d 電子系の重い電子状態の解明にとって大きな障害となっているのは研究対象となる物質が少ないことであり、新物質の発見が望まれていた。

最近、東京大学物性研究所の研究グループは、YMn₂Zn₂₀ という金属間化合物がパイロクロア格子をもつ新しい遍歴電子磁性体であることを見出し、さらに伝導電子の有効質量が著しく増大している可能性を示した。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 2010 年 9 月号に掲載されている。

YMn₂Zn₂₀ は図 1(b)に示した結晶構造をもち、磁性の強い遷移金属元素である Mn 原子がパイロクロア格子を組む。この物質は純粋な YMn₂Zn₂₀ 組成においては得られないが、Zn の一部を In で置換することにより合成できることが報告されていた。物性研グループは In 置換量を系統的に制御した一連の単結晶を合成し、各種の物性測定を行った。電気伝導率および磁化率の測定から、この物質が金属でありながら強い磁性を示す遍歴電子磁性体であることを明らかにした。一方、比熱測定により、図 2 に示すように、比熱を温度で割った量が低温で最大 280 mJ K² mol⁻¹ の非常に大きな値をとることを見出した。一般に、比熱を温度で割った量は電子の有効質量に比例し、通常の金属では高々、

数 $\text{mJ K}^2 \text{mol}^{-1}$ である。これに対して、 $(\text{Y,Sc})\text{Mn}_2$ と LiV_2O_4 では、それぞれ 150、420 $\text{mJ K}^2 \text{mol}^{-1}$ の大きな値が報告されている。 $\text{YMn}_2\text{Zn}_{20}$ においても同様に伝導電子の有効質量が大きく増大していると期待される。

$\text{YMn}_2\text{Zn}_{20}$ に関する研究は端緒についたばかりであり、今後、様々な物性測定が行われ、その電子状態の特徴が明らかにされるであろう。また、関連する物質群には非常に多くの化合物が知られており、興味深い物性を示すパイロクロア格子遍歴電子磁性体がまだまだ眠っているかもしれない。今回の発見が引き金となって、d 電子系の重い電子状態に関する研究が進展し、その機構が解明されることが大いに期待される。

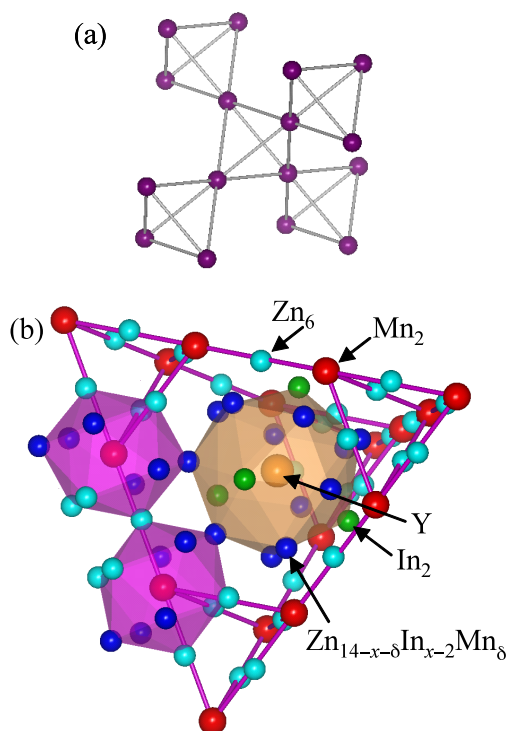


図 1. (a) パイロクロア格子. (b) In をドーピングした $\text{YMn}_2\text{Zn}_{20}$ の結晶構造. Mn の形成するパイロクロア格子と、Y と Mn に対する配位多面体をあわせて示す.

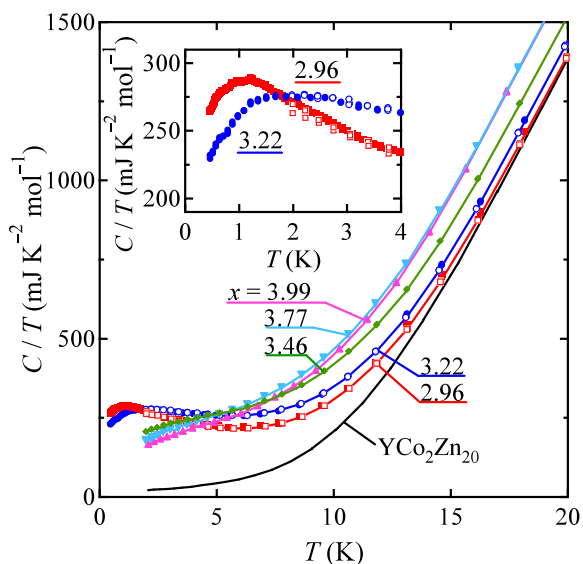


図 2. $\text{YMn}_{2+x}\text{Zn}_{20-x}\text{In}_x$ 単結晶の温度で割った比熱 C/T の温度依存性. 参考に、通常の金属である $\text{YCo}_2\text{Zn}_{20}$ のデータが示されている. 挿入図は低温部分の拡大図.

論文掲載誌 J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) No.9, p. 093712

電子版 <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/79/093712> (9月10日公開済)

<情報提供：岡本佳比古（東京大学物性研究所）、広井善二（東京大学物性研究所）>