

## 思わぬところから見つかった理想的な量子臨界現象

鉄をはじめとする金属材料の力学的な特性を改善するのに、種々の元素を加え母体金属中に微細な不純物を析出させることがある。たとえば鉄系の高速度鋼（切削工具の材料）では、高温域での硬さを保つために鉄以外の遷移金属元素（たとえばタングステン W やモリブデン Mo など）を加えるが、そのとき析出する化合物の1つとして $\eta$ -カーバイド  $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$  がある。 $\eta$ -カーバイドは図1のようなやや複雑な結晶構造（立方晶で一般式  $M_3M'_3X$ ）をとる。このような $\eta$ -カーバイド型構造

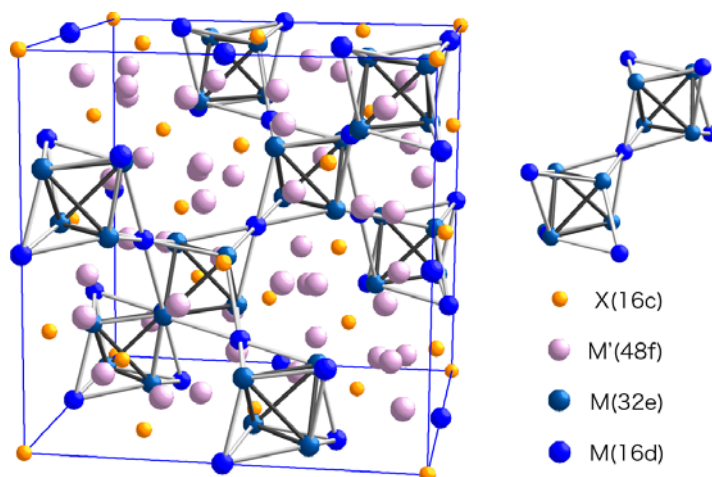


図1.  $\eta$ -カーバイド ( $M_3M'_3X$ ) の結晶構造

をとる遷移金属化合物の多くは、極めて硬いといった優れた力学的な特性を示し、工学的には古くから研究されてきた。また、最近では触媒としての応用も注目されている。これまであまり認知されることはなかったが、 $\eta$ -カーバイド型の結晶中で、 $M$  原子は星型四面体といわれる極めて特徴的な配列をとる。星型四面体は、 $M$  原子が作る正四面体の各面に、さらに別の四面体を重ねるようにもうひとつの  $M$  を配置した構造である（図1の右図参照）。これは立体幾何学分野で出てくる星型多面体（たとえば星型十二面体）の概念を拡張した造語で、Nyman らによってラテン語で *stella quadrangula* と名づけられている。 $\eta$ -カーバイド型の結晶中では星型四面体が連結し三次元的な立方格子（星型四面体格子）を形成する。結晶構造と発現する物性は深く関わっているので、それらの関連を明らかにすることは物性物理学の課題の一つである。星型四面体格子は、新たなタイプの幾何学的フラストレート系（磁気的な相互作用が競合し磁気秩序が起こりにくい系）であることが次第に明らかになりつつあり、金属磁性の研究の場として極めて有望ですが、数多く存在する $\eta$ -カーバイド型化合物が、磁性研究の表舞台に立つことはこれまで全くなかった。

最近、京都大学大学院工学研究科材料工学専攻のメンバーを中心とする研究グループは、 $\eta$ -カーバイド型構造を持つ化合物群が金属磁性研究の対象として有望であることに気づき、その最初のターゲットとして窒化物  $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{N}$  の低温域の電子物性を詳細に調べた結果、この物質は最低温度まで磁気的長距離秩序を示さないものの、金属強磁性発現寸前の（量子臨界点近傍の）特異な金属であることを初めて明らかにした。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 4 月号に掲載される。

金属中の電子のように、お互いに影響を与えながら物質内を動き回る多数の電子は典型的な多体系であり、その運動を厳密に取り扱うことは不可能である。しかし、電子間の相互作用をくりこむことで、あたかも独立な粒子のように記述することが可能で、それはフェルミ液体状態とよばれる。フェルミ液体金属では、電気抵抗率  $\rho$  の温度依存性は  $\rho = \rho_0 + AT^2$  ( $\rho_0$  と  $A$  は定数)、比熱  $C$  の温度依存性は  $C/T = \gamma + \beta T^2$  ( $\gamma$  と  $\beta$  は定数) と記述され、このような温度依存性が実際に多くの金属で観測されている。しかし、ある種の金属ではこれから逸脱した現象が観測され、非フェルミ液体と呼ばれる。非フェルミ液体は、例えば、磁気秩序発現寸前の磁気ゆらぎが発達した状態と考えられ、多くの場合、不純物ドーピングや圧力印加で人為的に磁気秩序状態を抑制したギリギリのところで観測されてきた。しかし、むりやり作った非フェルミ液体状態では、系の乱れや測定手法の制限から、本質的な情報を引き出すのに困難を伴う。

一方、本研究で調べられた、星型四面体格子を構成する鉄の  $d$  電子が金属的振舞いをする  $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{N}$  では、幸運にも、常圧下の純良試料において、電気抵抗率の  $\rho = \rho_0 + AT^{6/3}$  や比熱の  $C/T = a - b \log T$  ( $A, a$  と  $b$  は定数) といった非フェルミ液体的な温度依存性が観測された。これらの温度依存性は、3次元の金属強磁性量子臨界点に対する理論的予言と一致している。本研究成果は、金属強磁性量子臨界現象が実証された数少ない例の一つとして、しかも古くからよく知られた鉄系の材料で観測されたことで、多くの研究者の注目を集めている。数多く存在する同型構造の物質の物性は未だ明らかではなく、今後の研究の展開が期待される。

論文掲載誌 J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) No.4, p.043701

電子版 <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/79/043701> (3月25日公開済)

<情報提供: 和氣剛、中村裕之 (京都大学) >