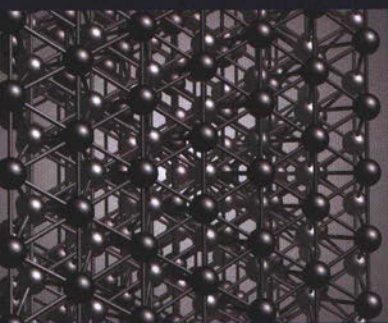


私たちが暮らす地球は、中心に鉄のコアを抱えている。

地表から約6400km下に存在する地球の中心は、見ることも、触れることもできない領域である。

その地球の中心にある鉄の結晶構造がこのほど明らかとなり、話題を呼んでいる。

地球の中心にある鉄



右の装置を利用して、鉄の結晶構造を調べたところ、地球の中心にある鉄は六方最密充填構造であることがわかった。

レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル

世界で初めて、地球の中心に相当する364万気圧、5700Kを発生させることに成功した高圧装置。ダイヤモンド先端は40 μ m。二つのダイヤモンドの間に試料を挟み、加圧し、さらに近赤外レーザーを照射して、高温を発生させる。

多くの謎を抱える地球のコア

果敢にも、地中探査船が地球のコアをめざすというSF映画があったが、現実には、人類は地球内部の99%以上を未だ見ることができていない。しかしながら、地上に住む研究者の探求心によって、この見えない世界は少しずつ明らかにされてきた。

地球内部の様子は、地震、地磁気、重力等の観測から推定できるが、特に地震波は地球内部を伝播し、かつ広い周波数帯域が利用可能なため、地球の表面から中心に至るまで調べることができる。

地球は層構造を持ち、大きくは地殻、マントル、コアに分かれ、また密度と太陽系における元素の存在比から、地殻とマントルは主にケイ酸塩鉱物、コアは鉄でできていることが明らかになっている。

コアは外核と内核に分かれ、外核は液体で、内核は固体となっている。外核では、溶けた鉄が熱輸送*1のため対流しており、これが地磁気発生の要因になっていると考えられている。内核は外核の溶融鉄が結晶化してできたとされ、結晶化に伴って発生した熱は地球内部の熱源の一部となっている。現在も結晶化は続いており、これによって内核はしだいに太り、外核は薄くなっていく。

コアはニッケルを5%程度含む鉄-ニッケル合金でできていると考えられているが、鉄-ニッケル合金よりも低密度であることから、なんらかの軽元素が混入している可能性がある。外核は10%程度の軽元素を含み、内核は軽元素の混入が少ない比較的高

*1 外核の対流を起こすメカニズムは、熱輸送の他に結晶化に伴う液体組成の変化があるとされ、どちらがより重要か、議論されている。

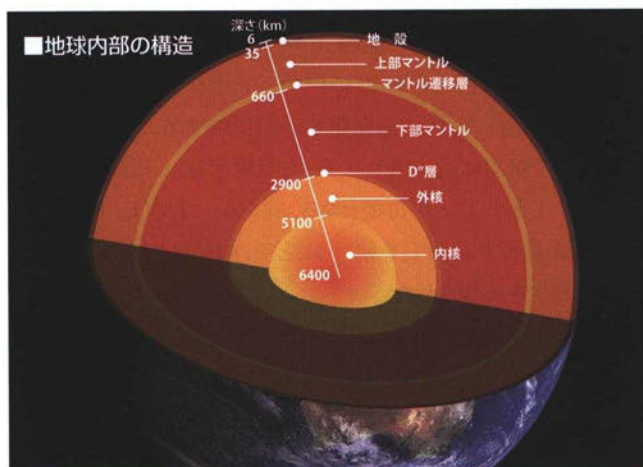
純度の鉄でできているとされる。軽元素が何であるかは1950年代から議論されてきたが、解明には多くの問題が山積しており、いまだ特定されていない。

コアに関する研究は、マントルを対象とした研究に比べて、圧倒的に少ないのが現状である。それは地球深部が超高压・超高温環境にあるため、研究がはるかに難しいからである。

超高压・超高温の世界を再現する試み

地球の最深部である内核は、圧力が330~364万気圧、温度は確定されていないが5000~6000Kと言われている。

純物質は圧力と温度によってその状態が変化し、物性も多様に変化する。内核の主成分である鉄も地表とは異なる状態で存在しているはずである。地震波はどのような弾性的性質を持った





レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル

■ダイヤモンド先端形状の改良



写真はダイヤモンドを真上から見たもの。先端の断面が写真左は平らとなっているが、中はこれが二段階になり、右は三段階になっている。ダイヤモンドの先端形状を変えることで、300万気圧以上の加圧が可能となった。

物質がどの様に分布するかは教えてくれるが、その物質の状態や構造までは教えてくれない。そのため、高压下での物質のふるまいを探ることは非常に重要となる。

高压下での物質を研究するうえで、結晶構造は最も基本的な情報となる。特に内核では地震波速度が伝播方向によって大きく異なる「地震学的異方性」を持ち、この異方性は内核の成長や内部の動きを知る重要な情報を含んでいる。この異方性の解釈に必要となるのが、内核の鉄の結晶構造である。

内核の鉄の結晶構造を調べるには、試料を採取し調査するのが最良であるが、地球深部に存在する物質を手に入れることはできない。そのため、代わりに地球深部の物質を実験室で人工的に作り出す研究が盛んに行われてきた。

しかし内核条件(圧力、温度)を実験室で再現することは難しく、1950年頃から鉄の結晶構造が探られてきたものの、いずれも低圧の実験や理論計算による構造の提案であった。六方最密充填(hcp)構造や体心立方(bcc)構造、面心立方(fcc)構造などさまざまな構造が提案され、なかでもhcp構造は、超高压常温下で安定であるため有望視されてきたが、温度が上昇するにつれて地震波速度の異方性が小さくなること等から、近年は高压型bcc構造が提案されるなど、論争となっていた。

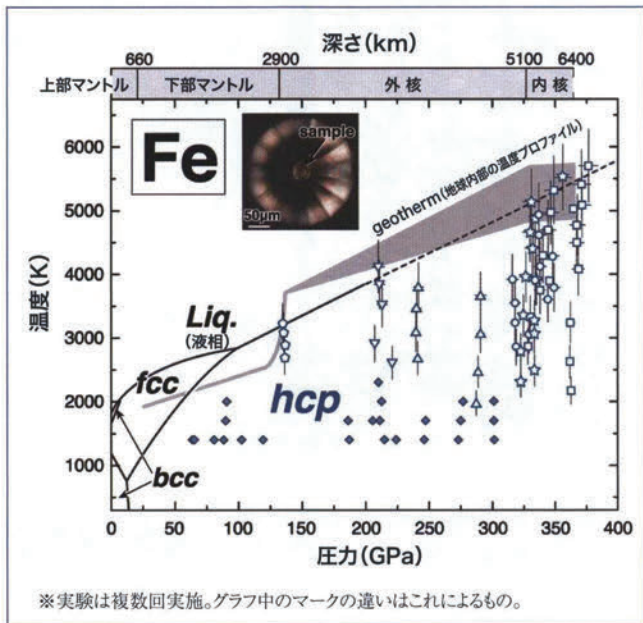
コアを照らす一筋の光

2010年4月、東京工業大学と(独)海洋研究開発機構、(財)高輝度光科学研究センターの研究グループ*2は、世界で初めて内核条件となる364万気圧、5700Kを実験室内で再現することに成功した。

使用したのは「レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル」という装置で、小さな円すい形のダイヤモンド2個の先端を突き合わせた間に試料を挟み、圧力を発生させるものである。さらにダイヤモンドを通して試料に近赤外レーザーを照射すると、超高压下で超高温を発生させることが可能となる。同グループでは、主にダイヤモンドの先端形状の改良を続けることで、内核に相当する圧力と温度の発生を実現させた。

そして、この高压装置を利用して鉄の結晶構造が調べられた。高压を発生させるには試料を小さくする必要があるが、内核条

■高压高温下における鉄の結晶構造変化(状態図)



件ともなると、20μmのサイズになる。このような微小試料の解析は容易ではないが、世界最大の大型放射光施設SPring-8の高輝度X線を用いることで、構造解析が可能となった。また超高压高温を長時間保持することは難しいが、SPring-8の測定時間はわずか1秒で済む。同施設において結晶構造変化を調べた結果、同年10月、内核条件下では鉄の結晶構造はhcp構造が安定であることが明らかになった。

この結果から、内核の地震学的異方性を説明するには、hcp構造のc軸が地球の回転軸に平行になるように、内核の中で鉄の結晶が配列している必要があることがわかった。結晶がどのように配列しているか明らかになったことで、今後、結晶の配列メカニズムを解明することにより、外核の溶融鉄が結晶化していく様子や内核内部の動き等の解明に繋がるかもしれない。

この分野では実験装置の性能が成果を大きく左右するため、研究者自らが装置の開発に深く関わる。日本はこの高压科学の分野で世界をリードしており、実験可能な条件が地球深部に迫るに従い、新たな発見が次々となされてきた。今回、内核条件が再現できたことによって、これまで困難であったコアにおける物質を詳しく調べることが可能となった。優れた高压装置の登場が、未知の世界を照らす光となるのか。今後の研究成果が期待される。

*2 東京工業大学・廣瀬敬教授、館野繁彦特任助教、海洋研究開発機構・巽好幸プログラムディレクター、高輝度光科学研究センター・高田昌樹部門長、大石泰生主幹研究員ら

●取材・写真協力：東京工業大学・廣瀬敬教授
●文 藤井美穂