

令和元年 11 月 22 日

マントル最下部の D''層に相当する 120 万気圧の発生に成功 地球内部の「未知の層」に迫る

◆発表のポイント

- ・ 未知の領域で研究のフロンティアである地球内部の研究手法としては、地球内部の環境を再現する高圧実験が有効な手段であり、その技術開発は研究進捗の鍵となります。
- ・ 高圧実験に用いる川井型マルチアンビル装置に組み込む試料部構成を改良することで、世界初となる 120 GPa の圧力の発生に成功しました。
- ・ 120 GPa は、地球内部で詳細な性質が分かっていない未知の層「D''」（ディーダブルプライム層）の圧力に相当するため、今回の成果は今後の D''層の研究に大きく貢献すると期待されます。

地球は半径約 6400 km のほぼ球状をした天体であり、その内部はいまだに未知の領域です。それは、地球深部の試料を入手することが困難であるためです。現在まで最も深い掘削穴はたかだか 10 km です。そこで、地球深部の研究には、その深部条件を実験室内に再現する高圧実験が有効となります。

岡山大学惑星物質研究所の高圧研究室では、実験技術の開発をはじめ、高圧下での弾性や非弾性、塑性、電気特性などの各種物性測定や、地球内部構成物質の相関係などの調査を行ってきております。最近、川井型マルチアンビル装置という我が国発祥の高圧実験装置においての圧力発生技術開発により、マントル最下部層である D''層に相当する 120 万気圧（120 GPa）の圧力発生に成功しました。

核・マントル境界は、固体と液体の境界であり、また密度変化や温度変化は地表でのそれに比べても大きく、地球で最大の境界と言えます。D''層は核直上にあり、核とマントルの境界層であるとも言えます。沈み込んで行ったプレートが最終的にたどり着くところであり、また核を熱源にして上昇流が発生する根でもあります。今回の成果によって、この重要な D''層の研究が推進され、地球深部研究が発展することを期待しています。

■発表内容

<導入>

地表で観測される火山噴火などの火成活動や、津波などの大規模災害をもたらす地震活動を理解するためには、地球表層だけを研究していればいのでしょうか。地球は大まかに層構造をしており、表面から、地殻、上部マントル、下部マントル、核となっています。日本周辺の火成活動や地震活動は、太平洋プレートあるいはフィリピン海プレートの日本列島への沈み込みが原因と考えられていますが、そのようなプレートは核とマントルの境界から、マントルプルームといわれている

PRESS RELEASE

マントル内の上昇流の海嶺での火成活動によって形成されていると考えられています。つまり、地表（プレート上）の人間生活は、直接的ではなくとも地球深部の運動やその運動がもたらす変動と密接に関わっているのです。したがって、地球深部の構造・進化・運動を理解することは、知的好奇心からの探究のみならず、地表への影響という観点でも重要なのです。

地球深部を研究する上で、その構成物質を知ることは重要ですが、サンプルを入手することは困難です。掘削による深さは地殻程度ですし、マグマの噴出によりもたらされる捕獲岩や、プレート運動により地表に露出する岩石試料は、上部マントル深さまでの構成物です。そこで、サンプルを入手できないような深度、高圧力の世界を研究するには、実験室内に高圧力を再現する高圧実験が鍵となります。

<背景>

高圧実験を行うための装置は多々ありますが、静的な圧縮において広く用いられている装置に、我が国で独自に開発された川井型マルチアンビル装置（注1）とダイヤモンドアンビルセル（注2）という装置があります。後者は圧力発生や温度発生に優れていますが、試料容積が小さいという難点があります。前者は逆に発生できる圧力が低いですが、試料容積が大きく、精度よく各物性を測定できるという利点があります。つまり、川井型マルチアンビル装置の圧力領域を拡大することは、地球深部の研究を進捗させる上で重要といえます。

岡山大学惑星物質研究所の高圧研究室は複数の川井型マルチアンビル装置を導入しており、その実験技術を日本国内はもとより、ドイツや米国、中国などに輸出してきました。川井型マルチアンビル装置に関する世界的に中心となる研究室です。そのような研究室において、我々は、川井型マルチアンビル装置の圧力領域の拡大を目指し技術開発を行ってきています。

<研究内容、業績>

川井型マルチアンビル装置における2段目アンビルに高硬度の焼結ダイヤモンド（注3）を利用し、高圧セルやガスケット（構造に気密性、液密性を持たせるために用いる固定用シール材）の形状サイズの最適化を行うことにより、川井型マルチアンビル装置としては世界初となる120 GPaという高圧力の発生に成功しました。この成果は2019年、エルゼビア社の学術誌「*Comptes Rendus Geoscience*」誌の2-3月号（351巻2-3号253-259頁）に掲載されました。実際の実験は放射光施設SPring-8で行いました。これは、30 GPa以上の高圧では圧力定点物質（注4）が確立しておらず、実験により発生した圧力を測定するために、SPring-8の強力なX線の利用が必要だったためです。

120 GPaはマントル最下部に存在しているD'層の圧力に相当します。この層は核と接していて、沈み込んでいくプレートの最終到着地であり、上昇するマントルプルームの発生地でもあります。したがって、この層の性質を解明することは、マントルの運動を理解する上で重要です。また、2004年、ブリッジマナイト（注5）の高圧相であるポストペロフスカイトが発見されました。この相転移（注6）は「最後のマントル相転移」といわれ、マントルにある主要鉱物で最後に発見された重要な相転移です。D'層はポストペロフスカイトで主に構成されていると考えられているため、今回の成果によって、ポストペロフスカイト、つまりはD'層に対する詳細な研究がようやく端緒に着

PRESS RELEASE

いたといえます。

<展望>

D^{''}層は高压でかつ高温の世界であり、今後は高温の実現も課題となります。川井型マルチアンビル装置により D^{''}層の条件が再現できるようになることは、これまでのダイヤモンドアンビルの実験での 10⁻⁵ mm 程度の試料サイズから、10⁻² mm 程度の大きな試料を取り扱えることを意味します。今後は、大きな試料の強みを生かして、ポストペロフスカイトの塑性的性質を決定していく予定です。塑性的性質は、物質の流動しやすさを表す性質で、その素過程には拡散現象が挙げられます。拡散を実験的に解明するためにはある程度の試料サイズが必要となり、ダイヤモンドアンビルセルによる実験は行われていません。今後、ポストペロフスカイトの拡散実験を行って D^{''}層の塑性的性質を解明することによって、マントル運動に新たな制約を与えていく予定です。

<略歴>

1967 年生まれ。北海道大学卒業、東京大学大学院修了。専門は地球科学で特に、高压地球学。米国ミネソタ大学研究員、愛媛大学助手を経て現職。

■補足・用語説明

注 1 川井型マルチアンビル装置：

先端が切り欠きされた 8 個の 2 段目立方体アンビルで正 8 面体の試料体を加圧する装置。試料容積を大きく確保することが可能。

注 2 ダイヤモンドアンビルセル：

対向する対の単結晶ダイヤモンドに試料を挟んで加圧する装置。高压力の発生に優れるが試料サイズが小さい。

注 3 焼結ダイヤモンド：

ダイヤモンド粉末を Si (ケイ素) や Co (コバルト) などの金属をつなぎにして固めた焼結体。超硬合金よりも堅い。

注 4 定点圧力物質

超高压を測定する方法の一つとして、相転移 (注 6 参照) を起こす圧力が精密に把握されている物質を用いて、その物質の相転移の状況を参照することで圧力を測定する方法がある。この際用いられる物質を定点圧力物質と呼ぶ。

注 5 ブリッジマナイト

地球深部の下部マントルを構成する鉱物の一種。高温・高压下で形成され、非常に不安定な性質を持つ。

PRESS RELEASE

注6 相転移：

化学組成を変えずに物質の状態や結晶構造が変わることを指す。水が氷になる変化や、グラファイトがダイヤモンドになる変化などが当てはまる。

<お問い合わせ>

岡山大学惑星物質研究所

准教授 山崎 大輔

(電話番号) 0858-43-3741

(FAX) 0858-43-2184

(メール) dy@misasa.okayama-u.ac.jp



岡山大学は、国連の「持続可能な開発目標 (SDGs)」を支援しています。