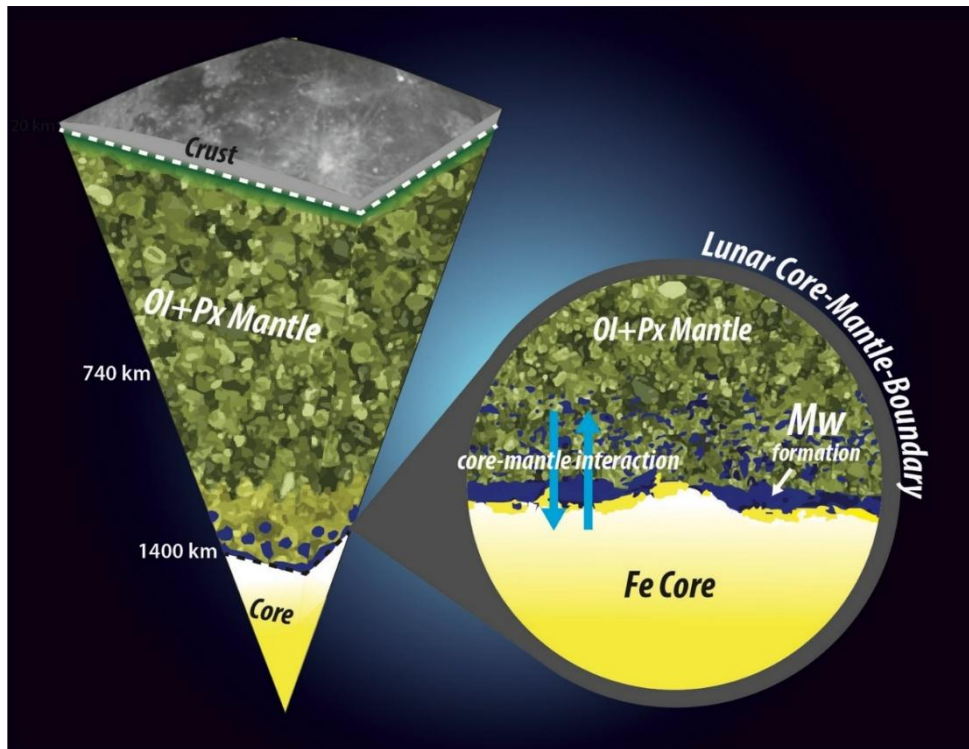


令和 8 年 7 月 3 日
愛 媛 大 学

月の深部の長年の謎を解明 ～核とマンツルの化学反応で生成する鉱物が 月の核-マンツル境界の地震波異常構造の原因～



愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター（GRC）のステーブ・グレオ准教授は北京高圧科学研究中心の研究者を中心とする共同研究チームの一員として、マグネシオウスタイトと呼ばれる鉱物が、月の核とマンツルの境界（CMB）における重要な構成鉱物である可能性を発見しました。この新たな知見は、惑星や衛星の内部において、一度分離した金属核と岩石マンツルが、その後に化学反応を起こして新たな鉱物を生成するという、地球のような岩石型惑星の化学進化に新たな知見を与えるものです。

本研究成果は、イギリスの科学雑誌「nature communications」に4月23日に掲載されました。

【本件に関する問い合わせ先】

愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター
准教授 Steeve Gréaux (ステーブ グレオ)
電話: 089-927-8405
E-mail: greaux.steeve_georgi.me@ehime-u.ac.jp



月の深部の長年の謎を解明

～核とマンツルの化学反応で生成する鉱物が月の核-マンツル境界の地震波異常構造の原因～

【研究成果のポイント】

- 月の核とマンツルの境界に存在する「地震波速度が低下する層（低速度層）」の原因を解明
- 鉄に富む鉱物「マグネシオウスタイト」が形成されることを高温高圧実験により実証
- 核とマンツルが化学的に反応するという、新しい惑星内部進化の姿を提示
- 月だけでなく、他の岩石型惑星の形成・進理解に重要な示唆を提供

【概要】

北京高圧科学研究中心（HPSTAR）および愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター（GRC）の研究者を中心とする共同研究チームは、マグネシオウスタイトと呼ばれる鉱物が、月の核とマンツルの境界（CMB）における重要な構成鉱物である可能性を発見しました。この新たな知見は、惑星や衛星の内部において、一度分離した金属核と岩石マンツルが、その後に化学反応を起こして新たな鉱物を生成するという、地球のような岩石型惑星の化学進化に新たな知見を与えるものです。この研究成果は、4月に「nature communications」に掲載されました。

【本文】

月の内部に関する研究は、惑星の分化や熱進化を理解するための基礎的な知見をもたらします。月は比較的小さな天体であるため、地球などの他の地球型惑星よりもはるかに速く冷却されました。対して、冷却がゆっくりと進んでいる地球では活発なプレートテクトニクスによって、また、火星では激しい表面更新によって、それぞれの惑星の形成初期のマグマ活動や地殻形成の記録は現在残っていません。しかし、冷却が速かった月では効果的に「凍結」されて保存されています。そのため、月の深部内部を調査することで、惑星・衛星の形成初期の溶融した未分化のマグマオーシャンから、どのようにして現在の安定した層状構造を持つ地球型惑星へと移行したのかを説明する地球物理学的モデルを構築することができます。これまでのモデルからは、月の深部の金属核と岩石マンツルの境界（CMB）に明確な地震波の低速度層（LVZ）が存在することが指摘されています。この層は「地震波速度が低く、密度が高い」という特徴を持っていますが、その原因の大部分は今日まで解明されていませんでした。

北京高圧科学研究中心（HPSTAR）および愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター（GRC）の研究者らによる共同研究チームは、月の核とマンツルの相互作用について調査を行いました。まず、HPSTARにおいて、月のCMBにおける金属核と岩石マンツルの反応を確かめるため、金属鉄と接触させたカンラン石集合体を月のCMBの温度圧力条件下においた実験を実施しました。その結果、カンラン石のマンツルと金属鉄の核の反応によって、マグネシオウスタイト（化学式 $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O}$ ）と呼ばれる鉱物が形成されることが示されました（図1）。マグネシオウスタイトが月の物質としてその形成が確認されたのは今回が初めてです。しかし、この発見を立証するためには、マグネシオウスタイトの地震波速度と密度が、実際の月のCMBの地震波速度モデルと一致することを示す必

要がありました。

そこで、色々な鉄（Fe）の含有量を持つマグネシオウスタイトを合成し、高圧下での超音波測定技術を持つ愛媛大学の研究チームが地震波速度の測定を行いました（図 2）。兵庫県にある大型放射光施設 SPring-8 のビームライン BL04B1 においてこの実験を行い、最大 9 万気圧、1200℃ までの高温高圧条件下で、マグネシオウスタイトの P 波・S 波速度および密度の同時測定に成功しました。この新たに得られたデータに基づき、研究チームは月の CMB の地震波速度と密度のモデル化を行いました。その結果、月のマントルを構成するカンラン石に加え、重量で約 5～15 % のマグネシオウスタイトと微量のケイ酸塩の融体を含む組成モデルが、観測されている月の CMB の低速度層（LVZ）の特徴と非常によく一致することを示しました。

この新しい知見は、月の形成と進化の歴史を理解する上で極めて重要な意味を持ちます。さらに、天体の進化過程において CMB の酸化を経験した分化地球型惑星にとって、CMB 領域における地震波速度の異常は「極めて普遍的な現象」である可能性を示唆しています。これは、地球や火星など地球型惑星の内部の進化過程の理解につながる新たな扉を開くものです。

【論文情報】

掲載誌：nature communications

題名：Reactive formation of magnesiowüstite at the lunar core-mantle boundary
(和訳：月の核-マントル境界におけるマグネシオウスタイトの反応形成)

著者：Qianzhi Xu, Shuchang Gao, Wim van Westrenen, Steeve Gréaux, Yoshio Kono, Peiyan Wu, Yongjiang Xu, Sheng Shang, Hua Xiang, Sho Kakizawa, Noriyoshi Tsujino, Yuji Higo & Yanhao Lin

DOI：10.1038/s41467-026-71701-8

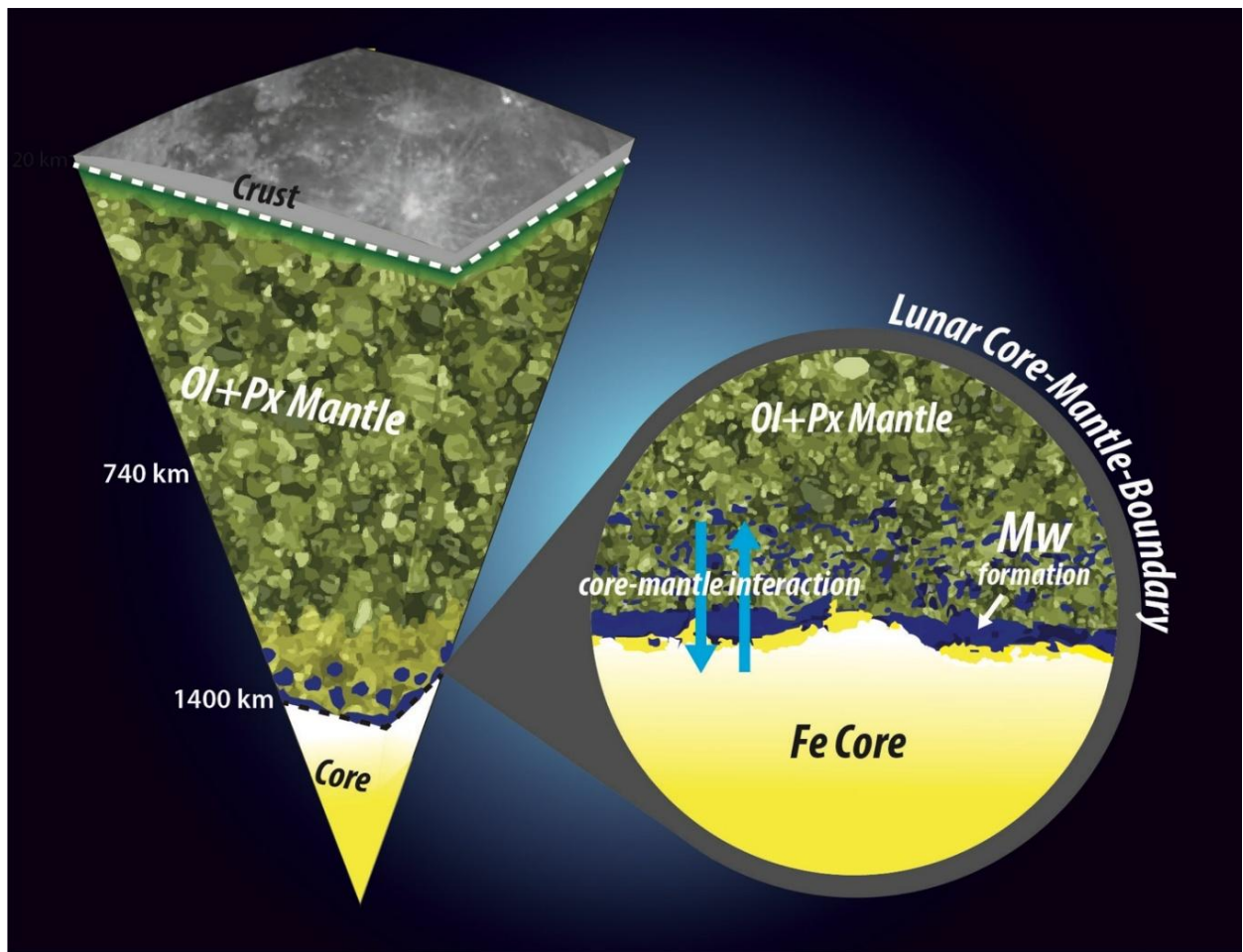


図1. 月のコア・マントル境界におけるマグネシオウスタイト（Mw）の反応形成

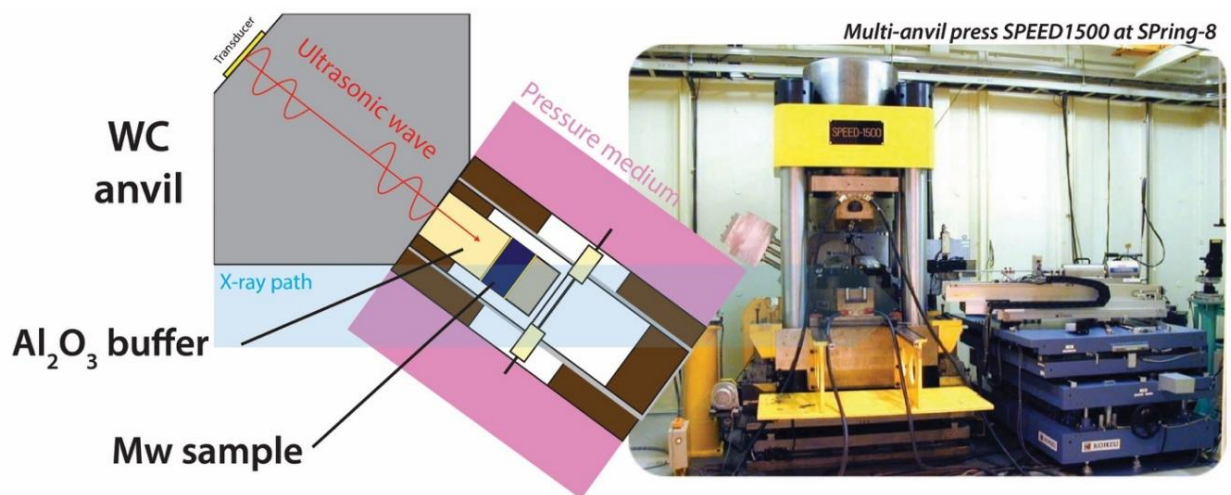


図2. 大型放射光施設 SPring-8 のビームライン BL04B1 における、月の CMB の高温高圧条件を再現したマグネシオウスタイト（Mw）の超音波測定