

口頭講演 | R3：高圧科学・地球深部

2024年9月12日(木) 14:00 ~ 15:15 | 会場 ES025 東山キャンパス

R3：高圧科学・地球深部

座長: 境 毅(愛媛大学)、新名 良介(明治大学)、石井 貴之(岡山大学)、川添 貴章(広島大学)

14:00 ~ 14:15

[R3-09] 高圧下における下部マントル物質の電気伝導度と価数およびスピン状態との関係

「招待講演」

*増野 いくみ¹ (1. 岡山大・惑星研)

14:15 ~ 14:30

[R3-10] GHz-DAC音速法によるフェロペリクレース中の鉄イオンスピン転移に伴う弾性異常測定

*米田 明¹、増野 いくみ²、松井 亮介¹、石田 遼真¹、近藤 忠¹ (1. 大阪大学・理学研究科、2. 岡山大学・惑星物質研究所)

14:30 ~ 14:45

[R3-11] Reaction between water and iron in the early magma ocean and the present core-mantle boundary

*Yongjae Lee¹ (1. Yonsei University)

14:45 ~ 15:00

[R3-12] 高温高圧下におけるB2-FeNiSi相の音速測定と地球核の構成

*大谷 栄治¹、生田 大穰²、福井 宏之^{3,4}、坂巻 竜也¹、石川 大介^{3,4}、バロン アルフレッド^{3,4} (1. 東北大・院理、2. 岡山大惑星物質研、3. JASRI、4. 理研)

15:00 ~ 15:15

[R3-13] FeS IVとVの相境界について

*浦川 啓¹ (1. 岡山大学)

高圧下における下部マントル物質の電気伝導度と価数およびスピン状態との関係

Electrical conductivity of the lower mantle materials under high pressure with implication for valence and spin states of iron

*増野 いづみ¹

*Izumi MASHINO¹

1. 岡山大・惑星研

1. Okayama Univ.

主要な下部マントル鉱物には鉄が多く含まれており、ブリッジマナイトやフェロペリクレス中の鉄は圧力をかけることでスピン転移を起こすことが知られている。下部マントル物質中の鉄のスピン転移はその鉱物の密度、電気伝導度、熱伝導度、鉄の分配係数、電気伝導度などに大きな影響を与える。特に電気伝導度には敏感であり、例えばフェロペリクレス中の鉄は下部マントル圧力条件で高スピンから低スピンへとスピン状態が変化し、不対d軌道電子が減少することにより電気伝導度の有意な低下が観察されている (e.g. Lin et al., 2007; Ohta et al., 2007; Yoshino et al., 2011)。本発表ではダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧下における電気伝導度測定とメスバウアー分光測定を基に、下部マントルに関する物質の鉄のスピン状態と電気伝導度の関係を議論する。

キーワード：スピン転移、下部マントル、電気伝導度

Keywords: Spin transition, The lower mantle, Electrical conductivity

GHz-DAC音速法によるフェロペリクレース中の鉄イオンスピントランスferに伴う弾性異常測定

GHz-DAC ultrasonics to measure elastic anomaly with the spin transition of ferrous ion in ferroperricite

*米田 明¹、増野 いくみ²、松井 亮介¹、石田 遼真¹、近藤 忠¹

*Akira Yoneda¹, Izumi Mashino², Ryosuke Matsui¹, Ryoma Ishida¹, Tadashi Kondo¹

1. 大阪大学・理学研究科、2. 岡山大学・惑星物質研究所

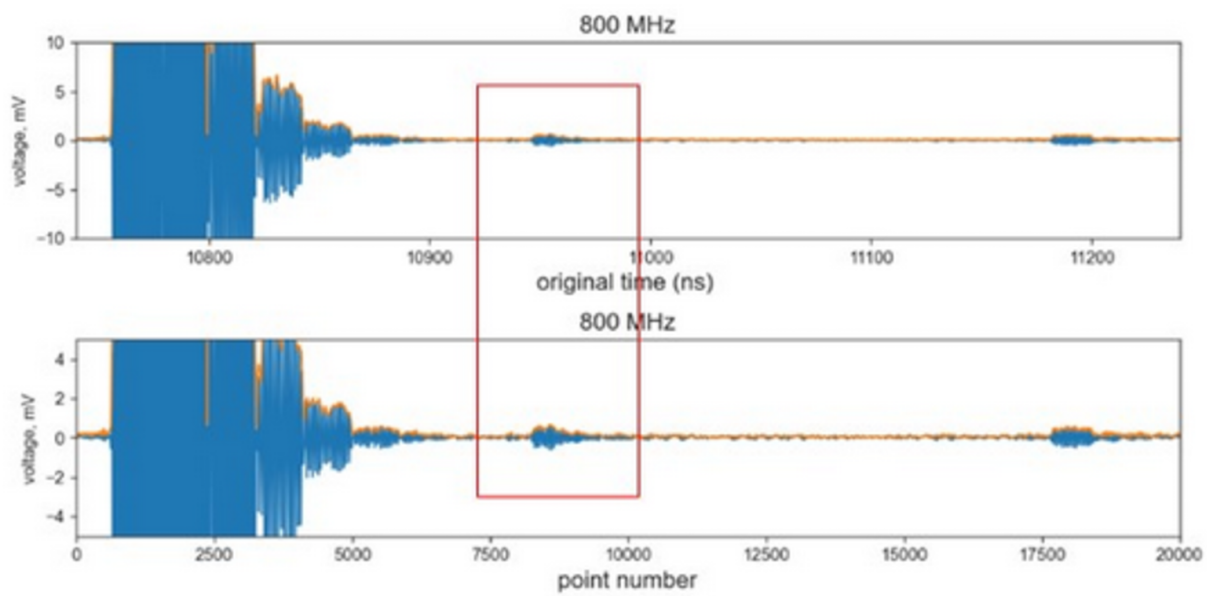
1. Osaka Univ. Sci, 2. Okayama Univ. IPM

GHz-DAC音速法により66GPaでのフェロペリクレース (Fe₁₇Mg₈₃O) のトラベルタイム測定に成功した。試料中の鉄2価イオンが低スピン状態であることをメスbauer分光法で確認した。今後、減圧過程においてトラベルタイム測定を実施し、スピントランスferに伴うP波S波速度の挙動解明を目指す。学会では、その時点までに取得できたデータを開示したい。

添付図は66GPaでのP波シグナルの観測例である。枠で囲んだ部分が試料からの反射波である。上下の二つの図は同じデータをプロットしたものであるが、縦軸のスケールが異なっている。また、横軸は時間（上図）とポイント数（下図）である。

キーワード：GHz-DAC音速法、スピントランスfer、フェロペリクレース

Keywords: GHz-DAC ultrasonics, Spin transition, ferroperricite



Reaction between water and iron in the early magma ocean and the present core-mantle boundary

*Yongjae Lee¹

1. Yonsei University

Recent interest in hydrogen as a clean geological resource has been escalating, leading to active research on the formation and exploration of natural hydrogen worldwide. Paradoxically, however, hydrogen is the most abundant element in the universe and is also widely distributed in the Earth, as contained in mineral structures from the crust to the core. Hydrogen in minerals can exist in the form of molecular water (H₂O), hydroxyl group (OH), or monatomic hydrogen (H), and is, therefore, directly related to the global transport and distribution of water. From this perspective, it is notable that the hydrogen budget increases innards to the mantle transition zone, lower mantle, and core, compared to the amount in the hydrosphere on the Earth's surface. In this presentation, I will introduce the reactions between water and iron based on two recent experimental results to simulate the conditions of the early magma ocean [1] and the present core-mantle boundary [2], which could be linked to the initial distribution of hydrogen and its enrichment in the topmost outer core.

[1] J. Choi, R.J. Husband, H. Hwang, T. Kim, Y. Bang, S. Yun, J. Lee, H. Sim, S. Kim, D. Nam, B. Chae, H.-P. Liermann, Y. Lee*, Oxidation of iron by giant impact and its implication on the formation of reduced atmosphere in the early Earth, *Science Advances*, Vol.9, eadi6096, 2023

[2] T. Kim, J.G. O'Rourke, J. Lee, S. Chariton, V. Prakapenka, R.J. Husband, N. Giordano, H.-P. Liermann, S.-H. Shim*, Y. Lee*, "A hydrogen-enriched layer in the topmost outer core sourced from deeply subducted water", *Nature Geoscience*, Vol.16, 1208-1214, 2023

Keywords: Hydrogen, Magma ocean, Core-mantle boundary

高温高圧下におけるB2-FeNiSi相の音速測定と地球核の構成

Sound velocity of B2-FeNiSi alloy at high pressure and high temperature and constitution of the Earth's inner core

*大谷 栄治¹、生田 大穰²、福井 宏之^{3,4}、坂巻 竜也¹、石川 大介^{3,4}、バロン アルフレッド^{3,4}

*Eiji OHTANI¹, Daijo IKUTA², Hiroshi FUKUI^{3,4}, Tatsuya SAKAMAKI¹, Daisuke Ishikawa^{3,4}, Alfred Q. R. BARON^{3,4}

1. 東北大・院理、2. 岡山大惑星物質研、3. JASRI、4. 理研

1. Tohoku University, 2. Institute for Planetary Materials, Okayama University, 3. JASRI, 4. RIKEN

Fe-Ni-Si系の高温高圧下における相関係 (Ikuta et al., 2021) によると、B2相の $\text{Fe}_{0.67}\text{Ni}_{0.06}\text{Si}_{0.27}$ 合金は地球核の高温高圧下において、Si量の少ないhcp-FeNi合金（またはSiをほとんど含まないhcp-Fe-Ni合金）と共存する。内核がB2相とhcp相の混合物からなる可能性を検証するために、B2- $\text{Fe}_{0.67}\text{Ni}_{0.06}\text{Si}_{0.27}$ (7wt% Ni-15wt% Si)の高温高圧下（130 GPa、2300 Kまでの温度圧力条件）における音速と密度を、SPring-8のBL43LXUビームラインの高分解能X線非弾性散乱法とX線粉末法を用いて測定した。高圧の発生にはダイヤモンドアンビル高圧装置を、高温の発生と測温には、ポータブルレーザー加熱測温装置を用いた。その結果、縦波速度 (V_p) と密度 (ρ) には、線形の関係（バーチ則）が成り立ち、その温度依存性はほとんど存在しないことが明らかになった。このようにバーチ則の弱い温度依存性は、純鉄のbcc相 (Shibazaki et al., 2016) およびFeSi合金のB20相 (Whitaker et al., 2009) に見られる温度依存性と同様である。本研究で得られたB2- $\text{Fe}_{0.67}\text{Ni}_{0.06}\text{Si}_{0.27}$ 合金の V_p - ρ 関係を内核の条件に外挿するとともに、状態方程式との組み合わせで横波速度 (V_s) を見積もり、地震学的モデルPREMの内核の値と比較した。内核の温度を6000 Kと見積もると、内核の条件において、B2- $\text{Fe}_{0.67}\text{Ni}_{0.06}\text{Si}_{0.27}$ 合金とhcp-Fe-Ni合金の二相混合物の V_p と V_s は、PREMの値と比較して、どちらも誤差の範囲ではあるが僅かに大きい値を示す。この結果から、PREMの内核はFe-Ni-Si合金のB2相とhcp相の混合物として説明可能であるが、PREMの内核をより良く説明できる可能性として、(1) 内核の温度が本研究で想定した6000 Kより高い、(2) ケイ素に加えて、鉄合金に含有されることで音速 (V_p と V_s) を下げる性質を示すと考えられるケイ素以外の軽元素成分（例えば硫黄）が内核に含まれていることなどの可能性が考えられる。

引用文献

Dziewonski and Anderson (1981). Preliminary reference Earth model. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **25**, 297-356.

Ikuta et al. (2021). Two-phase mixture of iron-nickel-silicon alloys in the Earth's inner core, *Communications Earth and Environments*, **2**, 225.

Shibazaki et al. (2016). Compressional and shear wave velocities for polycrystalline bcc-Fe up to 6.3 GPa and 800 K. *American Mineralogist*, **101**(5), 1150-1160.

Whitaker et al. (2009). Thermoelasticity of ϵ -FeSi to 8 GPa and 1273 K. *American Mineralogist*, **94**, 1039-104

キーワード：音速、B2-FeNiSi合金、高温高圧、内核

Keywords: Sound velocity, B2-FeNiSi alloy, High pressure and high temperature, Inner core

FeS IVとVの相境界について

On the phase boundary between FeS IV and V

*浦川 啓¹

*Satoru URAKAWA¹

1. 岡山大学

1. Okayama University

FeSは惑星や小惑星、衛星のコアの構成成分のひとつであると考えられている。そのため、高温高压下の相平衡や物性については様々な研究がなされてきた。FeSの多形の多くはNiAs型構造に関連した超格子構造を持っている。数GPaまでの圧力ではFeSは高スピン状態をとる。室温ではFeS I (toroillite) が安定で、温度上昇に伴いFeS IV (hexagonal相) からFeS V (単純NiAs型相) へと相転移する。これらは二次相転移で、FeS IとIVは反強磁性でFeS Vは常磁性である。Kusaba et al. (1998)とUrakawa et al. (2004)は高温高压X線回折実験を行い、FeS IVの超格子反射の存否からFeS IVとVの境界が約20GPaまでほぼ直線的に変化することを報告した。この相境界を1気圧まで外挿すると約450 Kとなる。一方、磁化率測定 (Horwood et al., 1976) による反強磁性から常磁性への変化は約590 K (Néel温度) で起こり140度の違いがある。本研究では放射光X線を用いたその場観察に基づき高スピンのFeS IVとVの相境界を再検討した。

KEKのPF-AR NE5CにおいてMAX80を用いてエネルギー分散法でX線回折測定を行った。出発試料には合成したトロイライト粉末を用いた。温度はW25%Re-W3%Re熱電対で测温し、圧力はNaClの状態方程式から求めた。荷重一定で1100 Kまで昇温したのち降温過程でFeSの粉末X線回折プロファイルを得た。データ解析にはPDIndexerを用いた。

300 K から1000 Kまでの温度範囲で25度毎にデータ収集してFeSの格子定数の温度変化を調べた。温度の減少に伴い圧力は約3 GPaから2 GPaまで下がった。等温体積弾性率を用いて各温度の体積を2.5 GPaの値に補正した。補正した体積は概ね温度に線形に変化するが2.5 GPa・625 K 付近で折れ曲がっており、2次相転移で期待される熱膨張率の不連続を示している。1気圧でも中性子回折実験から熱膨張率の不連続変化がNéel温度で起こることが報告されている (Tenailleu et al., 2005)。熱膨張率の比較から1気圧と2.5 GPaの2次相転移は同じものであると考えられる。これらを総合すると、高スピンのFeS Vの安定領域は、FeS IVの超格子反射から決められた境界より高温側にシフトする。

参考文献 Kusaba et al., *J. Phys. Chem. Solids*, **59**, 945 (1998). Urakawa et al., *Phys. Earth Planet. Inter.*, **143-144**, 469 (2004). Horwood et al., *J. Solid State Chem.*, **17**, 35 (1976). Tenailleu et al., *Mineral. Mag.*, **69**, 205 (2005).

キーワード：硫化鉄、二次相転移、熱膨張率、高压、X線回折

Keywords: iron sulfide, second order phase transition, thermal expansivity, high pressure, X-ray diffraction