

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20340120

研究課題名(和文) 差応力下における部分熔融ペリドタイトの微細構造・物性に関する研究

研究課題名(英文) Study of microstructures and physical properties of partial molten peridotite under differential stress

研究代表者

芳野 極 (YOSHINO TAKASHI)

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授

研究者番号：30423338

研究成果の概要(和文)：差応力下における部分熔融ペリドタイトの物性を決定するために、変形機構を有するDIA型マルチアンビルのシステム更新を行った。変形実験で差応力場での部分熔融ペリドタイトの電気伝導度の異方性と静水圧場における電気伝導度の比較を行った。予察的な結果は剪断応力場では剪断方向に水平方向に電気伝導度が垂直方向に比べ、約1桁高くなる傾向が得られた。このことはアセノスフェアで観測される電気伝導度異方性が部分熔融メルトによっていることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：In order to determine physical properties of partially molten peridotite, we renewed operation system of a DIA-type mutianvil press with deformation finction. We compared electrical conductivities of the partial molten peridotites under hydrostatic and shear stress conditions. Preliminary result suggested that the conductivity parallel to shear direction is one order of magnitude higher than that normal to the shear direction. This result is consistent with the conductivity anisotropy observed at top of the asthenosphere and suggests a presence of partial molten zone at that depth.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：地球惑星科学

科研費の分科・細目：固体地球惑星物理学

キーワード：アセノスフェア、高圧、上部マントル、部分熔融、ペリドタイト、塑性変形、微細組織、電気伝導度

1. 研究開始当初の背景

アセノスフェアは、地殻と上部マントルの

最上部から構成される力学的に堅いリソスフェア(プレート)の下に位置し、リソスフ

エアに対して非常に柔らかく、流動性に富み、プレートを乗せて対流しているものと考えられている。アセノスフェアを特徴づける地球物理学的特性として、地震波速度の低下、電気伝導度の上昇を挙げることができる。これらの地球物理学的異常は、現在のところ2つの仮説で説明されている。1つは、アセノスフェアの最上部が部分融解しているために柔らかくなっているという説と少量の水がかんらん石中に存在すると岩石の強度が非常に低下するという説である。

最近の地球電磁気学的観測は、電気伝導度は深さ約60～70 kmで大幅に上昇し、プレートの運動方向に平行に電気伝導度がほぼ1桁高くなる異方性をもつことを示した。この原因を探るため含水かんらん石の電気伝導度測定が行われ、この説には否定的な結果が得られた。そこで、部分熔融説を検証する必要性が高まってきている。

2. 研究の目的

本研究は、部分熔融岩石の変形実験をアセノスフェア相当の高圧で行うことにより、アセノスフェアが何故柔らかいのか？そして何故異方性を持つのか？といった問題を明らかにすることを目的とする。観測された電気伝導度異方性、地震波速度はともにプレート運動方向に高い。このような特徴を説明するには、プレート運動方向に線状に配列した高い電気伝導度をもつメルトの存在とカンラン石のa軸の選択配向の存在が期待される。アセノスフェアに相当する圧力においてこのようなメルトの配列が剪断応力場で形成されるのかを高圧変形実験とその場電気伝導度測定によって解明する。

3. 研究の方法

静水圧条件と剪断応力場で部分熔融ペリドタイトの電気伝導度のその場測定を行った。

(1) 静水圧条件での部分熔融ペリドタイトの電気伝導度をカンラン石と玄武岩質メルト、炭酸塩メルトの2つの系でメルト量の関数とした。

(2) 剪断応力場でのペリドタイトの電気伝導度を鉄を含まないアナログ組成のフォルステライトと玄武岩質メルトの系で剪断方向に平行と垂直方向で同時に測定を行い、異方性を評価した。

4. 研究成果

(1) 静水圧場での部分熔融ペリドタイトの電気伝導度は、メルト量の増加につれ高くなった。オリビン+玄武岩質メルトの系では、観測された電気伝導度異常の絶対値を説明するためには、2～3%のメルトが必要である。オリビン+炭酸塩メルトの系では、玄武岩質メルトに比較して約1桁電気伝導度が高い結果が得られた。このことは、とても少量の炭酸塩メルトの存在により、観測された電気伝導度異常を説明できることが分かった。

(2) 剪断応力場での部分熔融ペリドタイトにおいて、剪断変形の進行に伴う歪みの増加とともに、剪断方向の電気伝導度が変形前の等方的なものに比較して、1桁程度増加した。一方、剪断方向に平行な方向は、変形前の電気伝導度とほとんど同じ値のままであった。この傾向は、歪み速度を変化させても再現され、ある一定の歪みに達すると定常的な値に到達してそれ以上の歪み量ではほとんど変化しなくなった。この約1桁の電気伝導度の異方性は、地球電磁気学的観測の結果と調和的であることから、アセノスフェアで観測される電気伝導度の異方性は部分熔融ペリドタイトの剪断変形によって生み出されたものと考察できる。

変形実験による電気伝導度測定結果は、まだ予察的なものである。例えば、低歪み実験では試料中の玄武岩質メルトとアルミナピス

トンの間の反応で厚いスピネル層が形成されたり、顕著な粒成長が変形実験中に起こるなどの問題を軽減させる必要がある。さらにこの実験をより現実的な鉄を含む系に拡張することも望まれる。最終的には、変形組織とカンラン石の選択配向を調査して、差応力場での部分熔融ペリドタイトの地震波速度の異方性について包括的に解釈していく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 29 件)

- ① T. Yoshino, F. Noritake, 2011. Unstable graphite films on grain boundaries in crustal rocks. 査読有、2011, Earth and Planetary Science Letters, in press.
- ② T. Yoshino, E. Ito, T. Katsura, D. Yamazaki, 他 5 名. Effect of iron content on electrical conductivity of ferro-periclase with implications for the spin transition pressure. 査読有、2011, Journal of Geophysical Research, Vol. 116, B04202, doi:10.1029/2010JB007801.
- ③ D. Yamazaki, E. Ito, T. Katsura, T. Yoshino, S. Zhai, 他 9 名. Phase boundary between perovskite and post-perovskite structures in $MnGeO_3$ determined by in situ X-ray diffraction measurements using sintered diamond anvils. 査読有、2010, American Mineralogists, Vol. 96, pp. 89-92.
- ④ T. Katsura, A. Yoneda, D. Yamazaki, T. Yoshino, E. Ito, 2010. Adiabatic temperature profile in the mantle. 査読有、2010, Physics of Earth and Planetary Interiors, Vol. 183, pp. 212-218.
- ⑤ D. Yamazaki, T. Matsuzaki, and T. Yoshino, 2010. Grain growth kinetics of majorite and stishovite in MORB: implications for the rheology of subducting slabs. 査読有、2010, Physics of Earth and Planetary Interiors, Vol. 183,

pp. 183-189.

- ⑥ D. J. Wang, H. P. Li, L. Yi, T. Matsuzaki and T. Yoshino. Anisotropy of synthetic quartz electrical conductivity at high pressure and temperature. 査読有、2010, Journal of Geophysical Research, Vol. 115, B09211, doi: 10.1029/2009JB006695.
- ⑦ T. Yoshino, M. Laumonier, E. McIsaac and T. Katsura. Electrical conductivity of basaltic and carbonatite melt-bearing peridotites at high pressures: implications for melt distribution and melt fraction in the upper mantle. 査読有、2010, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 295, pp. 593-602.
- ⑧ B. Zhang, X. P. Wu, J. Xu, T. Katsura and T. Yoshino. Electrical conductivity of enstatite up to 20 GPa and 1600 K. 査読有、2010, Chinese Journal of Geophysics, Vol. 53, pp. 760-764.
- ⑨ T. Yoshino, T. Katsura, D. Yamazaki and E. Ito, 2010. Electrical conductivity of mantle peridotite at the uppermost lower mantle condition. 査読有、2010, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 215, 012102.
- ⑩ E. Ito, T. Yoshino, D. Yamazaki, 他 6 名. High pressure generation and investigation of the spin transition of ferropericlase ($Mg_{0.83}Fe_{0.17}$)O. 査読有、2010, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 215, 012099.
- ⑪ D. Yamazaki, E. Ito, T. Yoshino, 他 5 名. Preliminary reports on in situ X-ray observation of “post-perovskite” in $CaRuO_3$. 査読有、2010, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 215, 012096.
- ⑫ E. Ito, D. Yamazaki, T. Yoshino, 他 6 名. Pressure generation and investigation of the post-perovskite transformation in $MgGeO_3$ by squeezing the Kawai-cell equipped with sintered diamond anvils. 査読有、2010,

Earth and Planetary Science Letters, Vol. 293, pp. 84-89.

- ⑬ T. Yoshino. Laboratory electrical conductivity measurement of mantle minerals. 査読有、2010, Survey in Geophysics, Vol. 31, pp. 163-206.
- ⑭ X.P. Wu, B.H. Zhang, J.S. Xu, T. Katsura, S.M. Zhai, T. Yoshino, G. Manthilake and A. Shatzkiy. Electrical conductivity measurements of periclase under high pressure and high temperature. 査読有、2010, Physica B, Vol. 405, pp. 53-56.
- ⑮ T. Katsura, T. Yoshino, T. Matsuzaki, G. Manthilake, 2009. Electrical conductivity of the major upper mantle minerals, a review. 査読有、2009, Russian Geology and Geophysics, Vol. 50, pp. 1139-1145.
- ⑯ T. Yoshino, T. Matsuzaki, A. Shatzkiy and T. Katsura. The effect of water on the electrical conductivity of olivine aggregates and its implications for the electrical structure in the upper mantle. 査読有、2009, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 288, pp. 291-300.
- ⑰ T. Katsura, A. Shatskiy, M. A. G. M. Manthilake, S. Zhai, D. Yamazaki, T. Matsuzaki, T. Yoshino, A. Yoneda, E. Ito, 他4名. P-V-T relations of wadsleyite determined by in situ X-ray diffraction in a large-volume high-pressure apparatus. 査読有、2009, Geophysical Research Letters, Vol. 36, L11307.
- ⑱ T. Yoshino, D. Yamazaki, and K. Mibe. Well-wetted olivine grain boundaries in partial molten peridotites in the asthenosphere. 査読有、2009, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 283, pp. 167-173.
- ⑲ D. Yamazaki, T. Yoshino, T. Matsuzaki, T. Katsura and A. Yoneda. Texture of (Mg, Fe)SiO₃ perovskite and ferro-periclase aggregate: implications for rheology of the lower mantle. 査読有、

2009, Physics of Earth and Planetary Interiors, Vol. 174, pp. 138-144.

- ⑳ T. Yoshino and T. Katsura. Reply to Comments on "Electrical conductivity of wadsleyite as a function of temperature and water content" by Manthilake et al. 査読有、2009, Physics of Earth and Planetary Interiors, Vol. 174, pp. 22-23.
- ㉑ G. Manthilake, T. Matsuzaki, T. Yoshino, S. Yamashita, E. Ito and T. Katsura. Electrical conductivity of wadsleyite as a function of temperature and water content. 査読有、2009, Physics of Earth and Planetary Interiors, Vol. 174, pp. 10-18.
- ㉒ T. Yoshino, and T. Katsura. Effect of iron content on electrical conductivity of ringwoodite, with implications for electrical structure in the mantle transition zone. 査読有、2009, Physics of Earth and Planetary Interiors, Vol. 174, pp. 3-9.
- ㉓ 桂智男、芳野極、松崎琢也、ギート・マンティラケ. 上部マントル主要構成鉱物の電気伝導度、査読有、2009、鉱物科学会誌、38巻、33-38
- ㉔ E. Ito, H. Fukui, T. Katsura, D. Yamazaki, T. Yoshino, 他9名. Determination of high-pressure phase equilibria of Fe₂O₃ using the Kawai-type apparatus equipped with sintered diamond anvils. 査読有、2009, American Mineralogists, Vol. 94, pp. 205-209.
- ㉕ T. Katsura, S. Yokoshi, K. Kawabe, A. Shatskiy, G. Manthilake, S. Zhai, H. Fukui, T. Yoshino, D. Yamazaki, T. Matsuzaki, A. Yoneda, E. Ito, 他5名. P-V-T relations of MgSiO₃ perovskite determined by in situ X-ray diffraction using a large-volume high-pressure apparatus. 査読有、2009, Geophysical Research Letters, Vol. 36, L01305.
- ㉖ M. Matsui, E. Ito, T. Katsura, D. Yamazaki, T. Yoshino, A. Yokoyama, and K.

Funakoshi. The temperature-pressure-volume equation of state of platinum. 査読有、2009, Journal of Applied Physics. Vol. 105, 013505.

②⑦ T. Yoshino, D. Yamazaki, E. Ito, and T. Katsura. No interconnection of ferro-periclase in post-spinel phase inferred from conductivity measurement. 査読有、2008, Geophysical Research Letters, Vol. 35, L22303.

②⑧ T. Yoshino, M. Nishi, T. Matsuzaki, D. Yamazaki and T. Katsura. Electrical conductivity of majorite garnet and its implications for electrical structure in the mantle transition zone. 査読有、2008, Physic of Earth and Planetary Interiors, Vol. 170, pp. 193-200.

②⑨ T. Yoshino, G. Manthilake, T. Matsuzaki and T. Katsura. Dry mantle transition zone inferred from electrical conductivity of wadsleyite and ringwoodite. 査読有、2008, Nature, Vol. 451, pp. 326-329.

[学会発表] (計 32 件)

- ① T. Yoshino, Laboratory-based conductivity structure in the mantle transition zone, AGU Fall meeting, 2010 年 12 月 15 日、San Francisco (アメリカ合衆国)
- ② X. Guo, Electrical conductivity anisotropy of natural deformed talc rocks and serpentinite at 3 GPa, AGU Fall meeting, 2010 年 12 月 14 日、San Francisco (アメリカ合衆国)
- ③ A. Shimojuku, Electrical conductivity of fluid-bearing quartzite at high pressure and high temperature, AGU Fall meeting, 2010 年 12 月 14 日、San Francisco (アメリカ合衆国)
- ④ D. Yamazaki, Compression of $MgSiO_3$ and $(Mg, Fe)SiO_3$ perovskites based on the pressure generation technique using sintered diamond anvils in a Kawai-type

apparatus, AGU Fall meeting, 2010 年 12 月 13 日、San Francisco (アメリカ合衆国)

⑤ T. Yoshino, Origin of the low velocity zone: perspectives of electrical conductivity and melt morphology, AGU Fall meeting, 2010 年 12 月 13 日、San Francisco (アメリカ合衆国)

⑥ 芳野極, フェロペリクレースのスピンの転移圧力の鉄濃度依存性, 高圧討論会、2010 年 10 月 20 日、仙台市戦災復興記念館、宮城県

⑦ T. Yoshino, Laboratory-based conductivity structure in the mantle, WPGM, 2010 年 6 月 22 日、Taipei、コンベンションセンター (台湾) .

⑧ T. Yoshino, Effect of iron content on spin transition pressure of ferropericlase, 地球惑星科学連合 2010 年連合大会、2010 年 5 月 25 日、幕張国際会議場、千葉県

⑨ X. Guo, In Situ Infiltration Experiments of Basalt- San Carlos Olivine Couple Based on the Electrical Resistance Measurements, 地球惑星科学連合 2010 年連合大会、2010 年 5 月 25 日、幕張国際会議場、千葉県

⑩ 則竹 史哉、沈み込み帯火成活動のアナロジーとしての二相流体移動の実験的研究、地球惑星科学連合 2010 年連合大会、2010 年 5 月 25 日、幕張国際会議場

⑪ 芳野極、流体を含む岩石の電気伝導度、地球惑星科学連合 2010 年連合大会、2010 年 5 月 24 日、幕張国際会議場、千葉県

⑫ T. Yoshino, Electrical conductivity of carbonatite-bearing peridotite, 地球惑星科学連合 2010 年連合大会、2010 年 5 月 23 日、幕張国際会議場、千葉県

⑬ T. Yoshino, Laboratory-based conductivity structure in the mantle transition zone, EGU, 2010 年 5 月 7 日、Vienna (オーストリア)

⑭ T. Yoshino, No interconnection of ferro-periclase in post-spinel phase inferred from conductivity measurement、

AIRAPT-22、2009年7月30日、お台場、東京
⑮ T. Katsura, Electrical Conductivity of Partially Molten Peridotite Analogue Under Shear、日本地球惑星連合 2009年度連合大会、2009年5月19日、幕張国際会議場、千葉県

⑯ T. Yoshino, The effect of water on the electrical conductivity of olivine aggregates、日本地球惑星連合 2009年度連合大会、2009年5月19日、幕張国際会議場、千葉県

⑰ T. Yoshino, Is there significant amount of water in the transition zone? Perspective of electrical conductivity, AGU Fall Meeting, 2008年12月16日、San Francisco (アメリカ合衆国)

⑱ 芳野極、かんらん石多結晶体の電気伝導度への水の影響:上部マントルの電気伝導度構造の解釈、日本高圧力学会、2008年11月13日、姫路商工会議所、兵庫県

⑲ T. Yoshino, Laboratory electrical conductivity measurement of mantle minerals, 19th EM Induction Workshop, 2008年10月27日、Beijing (中華人民共和国)

⑳ 芳野極、マントルに大量の水は存在するか? 日本地球化学会年会、2008年9月17日、東京大学教養部、東京

㉑ 芳野極、マントル鉱物の電気伝導度から推定された上部マントルの水の量、日本地球惑星連合 2009年度連合大会、2008年5月29日、幕張国際会議場、千葉県

㉒ T. Yoshino, Electrical conductivity of transition zone minerals: wadsleyite and ringwoodite, EGU, 2008年4月17日、Vienna (オーストリア)

[図書] (計3件)

① 芳野極、朝倉書店、コア、地球と宇宙の

化学事典、印刷中

② T. Yoshino, Springer, Netherland. Electrical properties of rocks. In *Encyclopedia of Solid Earth Physics*, edited by H. Gupta, in press.

③ 芳野極、桂智男、地球深部に大量に水は存在するか?—マントル鉱物の電気伝導度から見えてきたもの、科学、2008、12月号、1348-1355.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芳野 極 (YOSHINO TAKASHI)

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授

研究者番号: 30423338

(2) 研究分担者

山崎 大輔 (YAMAZAKI DAISUKE)

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授

研究者番号: 90346693

米田 明 (YONEDA AKIRA)

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授

研究者番号: 40260666

桂 智男 (KATSURA TOMOO)

岡山大学・地球物質科学研究センター・教授

研究者番号: 10262841

伊藤 英司 (ITOU EIJI)

岡山大学・地球物質科学研究センター・名誉教授

研究者番号: 00033259

(3) 連携研究者