

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月25日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340128

研究課題名（和文） 高圧実験によるポストペロフスカイトとマントル最下部のレオロジー

研究課題名（英文） Rheology of post-perovskite and the lowermost lower mantle inferred from high pressure experiments

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：ポストペロフスカイトはマントル最下部層（いわゆる、D''層）の主要構成物質である。そこで、地球内部の対流を理解するために、ペロフスカイトからポストペロフスカイトへの相転移に伴う、レオロジー的性質の変化を高圧実験的手法により調べた。結晶粒径は、物質の粘性率や変形機構を制約する重要な要因で有り、実験結果から、相転移に伴い細粒化が起こることが明らかになった。このことは、ポストペロフスカイトに相転移することによって粘性率の低下が起きることを示している。

研究成果の概要（英文）：Post-perovskite is considered to be the dominant phase in the lowermost lower mantle (D'' layer). Therefore, we investigated rheology of post-perovskite associated with the phase transformation from perovskite to post-perovskite by means of high pressure experiments to understand the dynamics of the earth's interior. Grain size is a key parameter which controls the mechanism of deformation and viscosity of constituting materials. Based on present experimental results, significant grain size reduction occurs during phase transformation and hence viscosity reduction is expected in the D'' layer.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2011年度	3,200,000	960,000	4,160,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：高圧地球科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：ポストペロフスカイト、レオロジー、粒径、粘性率、異方性

## 1. 研究開始当初の背景

地球内部にはマンテル対流と呼ばれる大規模な固体流動が存在する。マンテル対流は、海洋プレートの沈み込みとマンテル上昇流に代表され、火成活動や深発地震の発生と密接に結びついている。従って、表層から地球深部までの地学現象を統一的に理解する為には、マンテル対流の定量的理解は不可欠である。地震学的観測から、沈み込む海洋プレートはマンテル最下部まで到達しその後水平方向に横たわることと、マンテル上昇流はマンテル最下部に根をもつことが明らかになっている。従って、マンテル対流の理解にはマンテル最下部での流動特性の理解が必要不可欠である。マンテル最下部には、D'層と呼ばれる地震学的に特徴付けられる層（地震波速度の不連続・異方性の存在）が全地球規模で存在する。しかし、その厚み・速度異常・異方性の大きさは場所によって様々である。地震波速度の異方性は海洋プレートが沈み込んでいく環太平洋地域とマンテル上昇流がある中央太平洋で顕著である。

D'層では下部マンテルの主要構成物質であるペロフスカイト(Pv)相の高圧相であるポストペロフスカイト(PPv)相が主要構成物質であると考えられている。即ち、沈み込んだ海洋プレートがマンテル底部に到達すると、PvからPPvへ相転移が起きる。PvとPPvの結晶構造が大きく異なっていることから、PvとPPvでレオロジーに大きな違いがあることが予想される。加えて、岩石の主要構成鉱物が相転移すると、粒径の変化のためにその岩石の流動特性が大きく変化する。そこで、PPvの流動特性を明らかにし、Pv-PPv相転移における流動特性変化を理解することが、マンテル最下部ダイナミクス研究にとって最も本質的に重要である。

## 2. 研究の目的

地震波速度の異方性を解釈することが、マンテル最下部の流動を理解する上で重要であると考えられる。そこで、PvからPPvへの相転移機構を明らかにし、細粒化の有無とそれに伴う結晶格子選択配向の様式を明らかにし、PPvのレオロジーを解明する。

珪酸塩においてPvからPPvへの相転移は、約120 GPaで起きる。このような圧力下では、高压装置としてダイヤモンドアンビルセルを用いた実験が有効な手段であるが、試料容積が小さく温度均質性が低いことから、実験的に非常に困難である。そこで、試料容積が比較的大きく、かつ、温度均質性の高い川井型マルチアンビル装置での実験を可能にするために、この装置での温度・圧力領域の拡大を行う。

## 3. 研究の方法

上述したように、珪酸塩ポストペロフスカイトでの実験は非常に困難であることから、本研究では、CaIrO<sub>3</sub>やMnGeO<sub>3</sub>をアナログ物質として用いることにより、より低圧力での相転移実験を川井型マルチアンビル装置で行うとともに、補完的にダイヤモンドアンビルセルによる実験を行った。

MnGeO<sub>3</sub>におけるPvとPPvの相転移境界を精密に調べる実験は、川井型マルチアンビル装置を用いた放射光によるその場X線観察法により行った。

相転移機構の決定、さらには、相転移に伴う細粒化の有無を調べる実験は、アナログ物質であるCaIrO<sub>3</sub>と、MgSiO<sub>3</sub>に関して行った。とくに、後者の実験には、ダイヤモンドアンビルセルを用いた。

## 4. 研究成果

MnGeO<sub>3</sub>におけるPvとPPvの相転移境界は、

圧力 60 GPa、温度 1600K にあり、その勾配は 13 MPa/K であるということを示した。これは、最下部マントルの温度構造、ひいては、マントル流動に関しての新たな情報を提供することになる。

Pv から PPv への相転移により結晶粒の細粒化が起きることを、CaIrO<sub>3</sub> および MgSiO<sub>3</sub> において、明らかにした。従って、D''層では、この細粒化による粘性率の低下が予想される。また、相転移直後の細粒さは、変形機構が拡散クリープが支配的である可能性を示唆する。

さらに予備的な実験結果から、この相転移では、Pv と PPv の間にトポタクティックな関係があり、Pv がマントル最深部へ沈み込んでいくスラブ内で選択配向している場合には、PPv へ相転移した直後に、拡散クリープによる変形の可能性があるにも関わらず、強い弾性的異方性が形成される。このような異方性は、D''層の環太平洋域で観測されている強い地震波速度の異方性としての解釈されうる。

目的の項でも述べたように、川井型マルチアンビル装置で、温度・圧力領域を拡大することは、高压レオロジーの研究において肝要である。実験技術開発により、60 GPa 程度であった圧力発生領域を、~100 GPa と拡大することに成功した。今後は、この技術をより拡大し、珪酸塩ポストペロフスカイトのレオロジー研究が可能となるようにしていく。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 2 件)

- ①Matsui, M., Ito, E., Yamazaki, D., Yoshino, T., Guo, X., Shan, S., Higo, Y., Funakoshi, K, Static compression of (Mg<sub>0.83</sub>, Fe<sub>0.17</sub>)O and (Mg<sub>0.75</sub>, Fe<sub>0.25</sub>)O ferropericlyase up to 58 GPa at 300, 700, and 1100 K., Am. Min. 97, 176-183, 2012, 査読有.

- ②山崎大輔, 焼結ダイヤモンドアンビルを組み込んだ川井型高压装置による圧力発生, 高压力の科学と技術 21, 272-277, 2011, 査読有.

- ③Xu, J., Yamazaki, D., Katsura, T., Wu, X., Remmert, P., Yurimoto, H., Chakraborty, S., Silicon and magnesium diffusion in a single crystal of MgSiO<sub>3</sub> perovskite. J. Geophys. Res., 116, B12205  
DOI: 10.1029/2011JB008444, 2011, 査読有.

- ④A. Shatskiy, T. Katsura, K.D. Litasov, A.V. Shcherbakova, Y.M. Borzdov, D. Yamazaki, A. Yoneda, E. Ohtani, E. Ito, High pressure generation using scaled-up Kawai-cell, Phys. Earth Planet. Inter., 189, 92-108, 2011, 査読有.

- ⑤Sougawa, M., Sumiya, T., Takarabe, K., Mori, Y., Okada, T., Gotou, H., Yagi, T., Yamazaki, D., Tomioka, N., Katsura, T., Kariyazaki, H., Sueoka, K., Kunitsugu, S., Crystal Structure of a New Carbon-Nitride-Related Material C2N2(CH2), Japanese Journal of Applied Physics, 50, 095503, 2011, 査読有.

- ⑥Xu, J, Ito, E., Yamazaki, D., Guo, X., Wu, X., Synthesis and crystal chemical characterization of the pyrochlore type MgZrSi2O7, Materials Chemistry and Physics, 128, 410-412, 2011, 査読有.

- ⑦Yoshino, T., Ito, E., Katsura, T., Yamazaki, D., Shan, S., Guo, X., Nishi, M., Higo, Y., Funakoshi, K., Effect of iron content on electrical conductivity of ferropericlyase with implications for the spin transition pressure, J. Geophys. Res., 116, B04202, 2011, 査読有.

- ⑧Zhai, S., Xue, W., Yamazaki, D., Shan, S., Ito, E., Tomioka, N., Shimojuku, A.,

- Funakoshi, K., Compressibility of strontium orthophosphate  $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2$  at high pressure, *Phys. Chem. Minerals*, 38, 357-361, 2011, 査読有.
- ⑨ D. Yamazaki, E. Ito, T. Katsura, T. Yoshino, S. Zhai, H. Fukui, A. Shatskiy, X. Guo, S. Shan, T. Okuchi, Y. Tange, Y. Higo, K. Funakoshi, Phase boundary between perovskite and post-perovskite structures in  $\text{MnGeO}_3$  determined by in situ X-ray diffraction measurements using sintered diamond anvils, *Am. Min.*, 96, 89-92, 2011, 査読有.
- ⑩ T. Katsura, A. Yoneda, D. Yamazaki, T. Yoshino, E. Ito, Adiabatic temperature profile in the mantle, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 212-218, 2010, 査読有.
- ⑪ D. Yamazaki, T. Matsuzaki, T. Yoshino, Grain growth kinetics of majorite and stishovite in MORB, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 183-189, 2010, 査読有.
- ⑫ Yoshino, T., Katsura, T., Yamazaki, D., Ito, E., Electrical conductivity of mantle peridotite at the uppermost lower mantle condition, *J. Phys.: Conference Series*, 215, 012102, 2010, 査読有.
- ⑬ Yamazaki, D., Ito, E., Yoshino, T., Guo, X.-G., Shun, S., Nishi, M., Higo Y., Funakoshi, K., Preliminary reports on in situ X-ray observation of “post-perovskite” in  $\text{CaRuO}_3$ , *J. Phys.: Conference Series*, 215, 012096, 2010, 査読有.
- ⑭ Ito, E., Yoshino, T., Yamazaki, D., Shatzkiy, A. S., Shun, S., Guo, X., Katsura, T., Higo, Y., Funakoshi, K., High pressure generation and investigation of the spin transition of ferropericlase ( $\text{Mg}_{0.83}\text{Fe}_{0.17}\text{O}$ ), *J. Phys.: Conference Series*, 215, 012099, 2010, 査読有.
- ⑮ A. Shatskiy, D. Yamazaki, Y. M. Borzdov, T. Matsuzaki, K. D. Litasov, T. Cooray, A. Ferot, E. Ito, T. Katsura, Stishovite single-crystal growth and application to silicon self-diffusion measurements, *American Mineralogist*; 95, 135-143, 2010, 査読有.
- ⑯ Shatskiy, A., Borzdov, Y.M., Yamazaki, D., Litasov, K.D., Katsura, T., Palyanov, Y.N. Aluminum nitride crystal growth from an Al-N system at 6.0 GPa and 1800 °C. *Crystal Growth and Design*, vol. 10, No. 6, p. 2563-2570, 2010, 査読有.
- ⑰ Ito E., Yamazaki D., Yoshino T., Fukui H., Zhai S., Shatzkiy A., Katsura T., Tange Y., Funakoshi K., Pressure generation and investigation of the post-perovskite transformation in  $\text{MgGeO}_3$  by squeezing the Kawai-cell equipped with sintered diamond anvils, *Earth and Planetary Science Letters*, 293, 84-89, 2010, 査読有.
- ⑱ Katsura T., Shatskiy A., Manthilake M. A. G. M., Zhai S., Yamazaki D., Matsuzaki T., Yoshino T., Yoneda A., Ito E., Sugita M., Tomioka N., Nozawa A., Funakoshi K., P-V-T relations of wadsleyite determined by in situ X-ray diffraction in a large-volume high-pressure apparatus, *Geophysical Research Letters*, L11307, 2009, 査読有.
- ⑲ Katsura, T., Shatskiy, A., Manthilake, M. A. G. M., Zhai, S., Fukui, H., Yamazaki, D., Matsuzaki, T., Yoneda, A., Ito, E., Kuwata, A., Ueda, A., Nozawa, A.,

Funakoshi, K., Thermal expansion of forsterite at high pressures determined by in situ X-ray diffraction: The adiabatic geotherm in the upper mantle, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 174, 86-92, 2009, 査読有.

⑳ Yoshino T., Yamazaki D., Mibe K., Well-wetted olivine grain boundaries in partial molten peridotites in the asthenosphere, *Earth and Planetary Science Letters*, 283, 167-173, 2009, 査読有.

㉑ Shatskiy A., Litasov K. D., Matsuzaki T., Shinoda K., Yamazaki D., Yoneda A., Ito E., Katsura T., Single crystal growth of wadsleyite, *Am. Min.*, 94, 1130-1136, 2009, 査読有

㉒ Ito E., Katsura T., Yamazaki D., Yoneda A., Tado, M., Ochi, T., Nishibara, E., Nakamura, A., A new 6-axis apparatus to squeeze the Kawai-cell of sintered diamond cubes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 174, 264-269, 2009, 査読有.

[学会発表] (計 8 件) 研究代表者主著者分のみ

① Daisuke Yamazaki, Interconnected ferro-periclase in the subducting slab at the top of lower mantle、地球惑星関連連合大会、2011. 5. 25、千葉

② 山崎大輔・伊藤英司・芳野極・下宿彰・郭シンツァン・単シャンミン・肥後祐司・國本健広・舟越賢一、焼結ダイヤモンドアンビルを組み込んだ川井型装置の圧力発生と地球構成物質の弾性、第 52 回高圧討論会、2011. 11. 10、那覇

③ D. Yamazaki, M. Murakami and M. Miyahara, Mechanism of transformation from perovskite to post-perovskite、地球惑星

関連連合大会、2010. 5. 25、千葉

④ 山崎 大輔、Rheology of the subducted slab in the lower mantle inferred from the connectivity of ferro-periclase in the post-spinel aggregates、地球惑星関連連合大会、2010. 5. 27、千葉

⑤ 山崎大輔・伊藤英・芳野極・下宿彰・肥後祐司・舟越賢一、焼結ダイヤモンドアンビルを用いた川井型装置での圧力発生とペロフスカイトの圧縮率、高圧討論会、2010. 10. 21、仙台

⑥ Daisuke Yamazaki, Eiji Ito, Xinzhuan Guo, Takashi Yoshino, Shuangming Shan, Akira Shimojuku, Akira Yoneda, Yuji Higo, Ken-ichi Funakoshi, 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, American Geophysical Union Fall Meeting, 2010. 12. 15, San Francisco

⑦ D. Yamazaki, E. Ito, A. Shatskiy, T. Yoshino, T. Katsura, K. Funakoshi, Observations of post-perovskite transition in germanate and melting of stishovite by using sintered diamond anvil and boron doped diamond heater in Kawai cell: Toward the generation of extreme P-T condition, AIRAPT-22 & HPCJ-50, 2009. 7. 28、東京

⑧ 山崎大輔・芳野極・桂智男・伊藤英司 下部マントルにおけるフェロペリクレーズの重要性について、地球惑星関連連合大会、2009. 5. 18、千葉

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

伊藤 英司 (ITO 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

(H22→H23)

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

桂 智男 (KATSURA TOMOO) 平成 21 年度

岡山大学・地球物質科学研究センター・教授 (当時)

研究者番号：40260666

(H21)