

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20740307

研究課題名（和文） メージャライト、リングウッドイト粘性コントラストの解明

研究課題名（英文） Study on viscosity contrast between majorite and ringwoodite

研究代表者

西原 遊 (NISHIHARA YU)

愛媛大学・上級研究員センター・上級研究員

研究者番号：10397036

研究成果の概要（和文）：マントル深部物質の粘性挙動解明を目的として、高温高压変形実験と高温高压応力解析の技術開発を行った。この技術に基づき調べた結果、カンラン石の低温レオロジーは正の活性化体積を持ち、沈み込むスラブの受ける粘性抵抗が上部マントルでは深さとともに増大することが示唆された。また、メージャライトの減圧分解反応は非平衡組成を持つざくろ石と単斜輝石の形成によって開始し、その後はざくろ石中の元素拡散によって進行するらしいことを示す予察的な結果を得た。

研究成果の概要（英文）：In order to study viscous behavior of the deep Earth materials, experimental techniques on deformation experiment and stress measurement under high-temperature and high-pressure were developed. An experimental study using the developed technique revealed that the activation volume of the low-temperature rheology of olivine has positive value, and this suggests that viscous resistance by subducting slab increases with increasing depth. On the other hand, a preliminary study on mechanism of the decompression-decomposition reaction of majorite showed that the reaction starts with formation of garnet and clinopyroxene with disequilibrium compositions followed by chemical diffusion in garnet.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：鉱物物理

## 1. 研究開始当初の背景

地球の上下部マントル境界（深さ 660 km）では、沈み込むスラブ（海洋プレート）からその最上部を構成する地殻成分が引き剥が

される可能性が指摘されている。しかし、メージャライトとリングウッドイトの粘性コントラストの大きさがこれまでよく分かっていないためスラブの剥離の実現性につい

ではよく分かっていない。このため、メージャライト、リングウッダイトを含むマントル鉱物（たとえばカンラン石）の高温高压下での粘性挙動を解明することが強く望まれる。

これまで、実験的な難しさから、高温高压下での物質の粘性挙動は定量的にはよくわかっていなかった。このため、マントル深部での粘性挙動を明らかにするためには、高温高压下での変形や応力測定の実験技術の開発が必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

高温高压変形実験、応力測定の実験技術とその技術を用いたマントル鉱物の高温高压下での粘性挙動の測定を行い、沈み込むスラブの挙動の解明を目指した。以下の(1, 2)では必要な実験技術の開発を行い、(3, 4)ではマントル深部での物質の粘性挙動と密接な関わりを持つ物性を、現実のマントルの深部に相当する高温高压条件下で調べた。

(1) KATD 方式による高温高压変形実験の技術開発

(2) 放射光施設 SPring-8 での高压応力測定技術の開発

(3) カンラン石の高温高压応力緩和試験

(4) メージャライトの分解反応

## 3. 研究の方法

(1) KATD 装置 (3 軸変形川井型装置) による高温高压変形実験の技術開発を行い、マントル遷移層に相当する温度圧力条件下で試料を定常的に変形させる。ディスク状に成型した焼結体試料を、軸に対して 45 度の角度で切断した硬い  $Al_2O_3$  円柱で挟み込みこれらを高压下で軸方向に圧縮することで、試料にせん断ひずみを与えた。試料の周囲はやわらかい NaCl で取り囲み、高温の発生にはチューブ型  $TiB_2+hBN$  を用いた。

(2) 放射光施設 SPring-8, BL04B1 に設置されている高压発生装置 SPEED-1500 と 2 次元 X 線回折測定のための光学系を組み合わせ用いて、高温高压条件下での物質の応力測定を行った。入射 X 線は 40-50keV に単色化したものを用い、回折 X 線はイメージングプレートによって測定した。

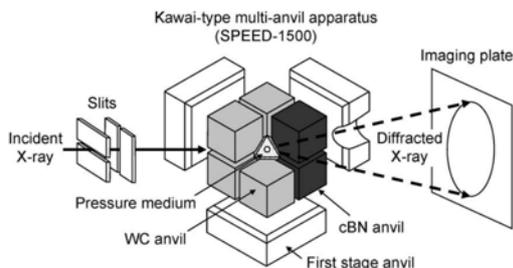


図1 SPring-8, BL04B1 の高压応力測定システム

(3) 上記(2)で確立された技術を用いて、

上部マントル主要鉱物カンラン石の応力緩和挙動をマントル深部条件で観察した。強度的に異方的なセル構成を用いることにより、最高 10 GPa までの加圧と同時に試料に高い差応力を発生させ、その後の加熱時 (最高 1000°C まで) における応力の時間変化を測定した。

(4) あらかじめマントル遷移層条件 (18 GPa, 1600°C) で合成した、マントル組成のメージャライトを、上部マントル条件下 (10 GPa, 1450°C) に一定時間 (1~12 時間) 保持し試料を回収する。回収試料の構成鉱物、微細組織を FE-SEM, XRD, TEM を用いて分析し、メージャライトの化学反応のメカニズムと速度を制約することを目指した。

## 4. 研究成果

(1) KATD 方式による高温高压変形実験の技術開発を行い、マントル遷移層に相当する 15 GPa, 1200°C の高温高压下でマグネシオウスタイトの変形実験に成功した。このとき試料の最終的な歪は  $\gamma \sim 1.1$  であった。この成功により、マントル遷移層の流動様式、上-下部マントル境界での物質の流動について議論するための実験データを得ることが可能となった。

(2) 川井型マルチアンビルを用いた測定としては世界で初めて、最高 10 GPa, 1000°C の高温高压下での応力測定を実現した。これにより、鉱物の流動特性の定量的評価に必要な応力の測定がマントル深部に相当する温度圧力条件下で可能となった。

(3) カンラン石の応力緩和挙動を高温高压下で観察することに成功し、この鉱物の比較的低温 (<800°C) でのレオロジーは正の活性化体積を持つことが示された。このことからカンラン石によって構成される 400 km 以浅の上部マントルでは、沈み込むスラブの受ける粘性抵抗が深さとともに増大することが示唆される。

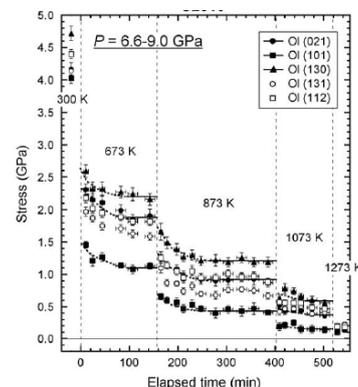


図2 カンラン石の応力緩和挙動

(4) 回収したメージャライト分解物の分析により、メージャライトの減圧分解反応は非

平衡組成を持つざくろ石と単斜輝石の形成によって始まり、その後ざくろ石中の元素拡散によって進行することを示す予察的な結果を得た。

#### 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 10 件)

- ① T. Kawazoe, N. Nishiyama, Y. Nishihara, T. Irifune, Pressure generation to 25 GPa using a cubic anvil apparatus with a multi-anvil 6-6 assembly, High Pressure Research, 査読有, 30, 2010, 167-174.
- ② A. Akashi, Y. Nishihara, E. Takahashi, Y. Nakajima, Y. Tange, K. Funakoshi, Orthoenstatite/clinoenstatite phase transformation in  $MgSiO_3$  at high-pressure and high-temperature determined by in-situ X-ray diffraction: Implications for nature of the X-discontinuity, Journal of Geophysical Research, 査読有, 114 巻, 2009, 10.1029/2008JB005894.
- ③ Y. Tange, Y. Nishihara, T. Tsuchiya, Unified analyses in P-V-T equation of state of  $MgO$ : a solution for pressure-scale problems in high P-T experiments, Journal of Geophysical Research, 査読有, 114 巻, 2009, 10.1029/2008JB005813.
- ④ Y. Tange, E. Takahashi, Y. Nishihara, K. Funakoshi, N. Sata, Phase relations in the system  $MgO-FeO-SiO_2$  to 50 GPa and 2000°C: an application of experimental technique using multianvil apparatus with sintered diamond anvils, Journal of Geophysical Research, 査読有, 114 巻, 2009, 10.1029/2008JB005891.
- ⑤ Y. Nishihara, K. Funakoshi, Y. Higo, H. Terasaki, N. Nishiyama, T. Kubo, A. Shimojuku, N. Tsujino, Stress measurement under high-pressure using Kawai-type multi-anvil apparatus combined with synchrotron radiation, Journal of Synchrotron Radiation, 査読有, 16 巻, 2009, 757-761.
- ⑥ K. Sakamaki, E. Takahashi, Y. Nakajima, Y. Nishihara, K. Funakoshi, Y. Fukai, T. Suzuki, Melting phase relation of  $FeH_x$  to 20 GPa: implications on the temperature of the Earth's core, Physics of the earth and Planetary Interiors, 査読有, 174 巻, 2009, 192-201.

- ⑦ N. Tsujino, Y. Nishihara, Grain growth kinetics of ferropericlasite at high-pressure, Physics of the earth and Planetary Interiors, 査読有, 174 巻, 2009, 145-152.
- ⑧ 西原遊, 高高压下での変形実験の最新技術、高圧力の科学と技術、査読有, 18 巻, 2008, 223-229.
- ⑨ Y. Nishihara, D. Tinker, T. Kawazoe, Y. Xu, Z. Jing, K.N. Matsukage, S. Karato, Plastic deformation of wadsleyite and olivine at high-pressure and high temperature using a rotational Drickamer apparatus (RDA), Physics of the Earth and Planetary Interiors, 査読有, 170 巻, 2008, 156-169.
- ⑩ Y. Nishihara, T. Shinmei, S. Karato, Effect of chemical environment on the hydrogen-related defect chemistry in wadsleyite, American Mineralogist, 査読有, 93 巻, 2008, 831-843.

[学会発表] (計 7 件)

- ① Y. Nishihara, K. Funakoshi, Y. Higo, N. Tsujino, T. Kawazoe, T. Kubo, A. Shimojuku, H. Terasaki, N. Nishiyama, Stress relaxation test of olivine under Earth's deep upper mantle conditions, AIRAPT-22 & HPCJ-50, 2009 年 7 月 30 日, お台場.
- ② A. Akashi, Y. Nishihara, E. Takahashi, Y. Nakajima, Y. Tange, K. Funakoshi, The orthoenstatite/clinoenstatite phase transition under the upper mantle conditions determined by in situ X-ray diffraction: Implications for nature of the X-discontinuity, Goldschmidt Conference 2009, 2009 年 22 日, Davos.
- ③ Y. Nishihara, K. Funakoshi, Y. Higo, N. Tsujino, T. Kawazoe, T. Kubo, A. Shimojuku, H. Terasaki, N. Nishiyama, Stress relaxation test of olivine under Earth's deep upper mantle conditions, 地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 20 日, 幕張.
- ④ 西原遊, 舟越賢一, 肥後祐司, 寺崎英紀, 西山宣正, 久保友明, 下宿彰, 辻野典秀, 川井方マルチアンビルと単色 X 線回折による高圧下での応力測定: SPring-8, BL04B1 での試験的実験, 第 49 回高圧討論会, 2008 年 11 月 14 日, 姫路.
- ⑤ 西原遊, 中島陽一, 赤司晃彦, 辻野典秀, 高橋栄一, 舟越賢一,  $\gamma$ -Fe の高温状態方程式とスピン転移の可能性, 第 49 回高圧討論会, 2008 年 11 月 14 日, 姫路.
- ⑥ 赤司晃彦, 西原遊, 高橋栄一, 中島陽一,

舟越賢一，高温高压 X 線その場観察による円巢多胎と相転移境界の決定：上部マントルにおける X 不連続面との関わり，日本地球惑星科学連合 2008 年大会，2008 年 5 月 28 日，幕張。

- ⑦ 西原遊，三軸変形川井型装置，KATD による高温高压変形実験，日本地球惑星科学連合 2008 年大会，2008 年 5 月 26 日，幕張。

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西原 遊 (NISHIHARA YU)

愛媛大学・上級研究員センター・上級研究員

研究者番号：10397036