萌芽的研究支援課題 研究報告書

- 1. 氏名、所属機関および学年
 - 西 真之 九州大学理学府地球惑星科 博士課程2年
- 2. 課題番号、利用ビームライン、および課題名

2007B1680

BL04B1

マントル遷移相領域における海洋玄武岩物質の高圧相転移速度の解明

3. 研究概要 (目的および背景、実験・解析方法、結果、考察、等)

目的および背景

地球深部の極限条件に存在する物質の構成は、これまで地震波や電気伝導度による観測や高温高圧相平衡実験により推測されてきた。地球深部に沈み込むと考えられている海洋地殻玄武岩物質(MORB)の高温高圧相平衡実験もこれまでいくつか行われており(e.g., Irifune et al., 1986; Ono and Yasuda, 1996; Aoki and Takahashi, 2004; Okamoto and Maruyama, 2004)、上部マントル-マントル遷移層にかけての鉱物構成は Fig.1a となると考えられている(実際は少量の SiO2 相を含む)。

しかしながら、地球深部に沈み込むプレートの内部は周囲のマントルよりも低温の環境であり、鉱物の反応速度が非常に遅い。そのため、プレート内部のマントル鉱物は完全に平衡相関係に従うわけでなく、高圧相安定領域でも低圧相のまま、準安定相として存在する可能性が指摘されている(Sung and Burns, 1976 等)。地震波トモグラフィーに映るスラブの停滞領域は、予想される非平衡鉱物の存在領域でもある。非平衡相の存在は、プレートの粘性や密度等の物性値に密接に関わることが予想されるため、相転移の速度を解明することは、スラブ滞留のメカニズムを考える上で非常に重要な課題である。このような非平衡相の存在に関して、これまで Olivine 成分に関しての実験的研究が行われており(e.g., Kubo et al., 2004)、非平衡相の存在を示唆する数値シミュレーション結果が報告されている(Mosenfelder et al., 2001)。しかし、沈み込むプレート内の海洋玄武岩物質 (MORB) における鉱物の非平衡性に関しては未だ定量的に理解されていない。

相平衡実験によれば(Fig.1a)、clinopyroxene(Cpx)は圧力増加とともに、garnetに固溶していくはずであるが、garnetとCpx間の反応は非常に遅いという実験結果が最近得られている(Nishi et al., 2008 in press)。この場合、Cpxとgarnetはそれぞれ独立に組成を保ちマントル遷移層領域へと沈み込み(Fig.1b)、反応せずに残ったCpxがマントル遷移層領域でその高圧相へと分解相転移するという非平衡鉱物構成モデルが考えられる。本研究では、沈み込むプレート内で進行すると考えられるCpxの高圧相転移(赤線)の速度を実験的に明らかにし、非平衡相領域を定量的に明らかにすることを目

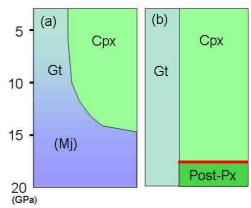


Fig. 1 高圧下での MORB の鉱物構

的とする。

実験・解析方法

出発物質として天然の一の目潟産 Diopside を用いた。

高圧発生は BL04B1 設置の MA 型高温高圧発生装置(SPEED-1500)を用いた二段加圧方式で行った。また、白色入射 X 線と SSD を用いたエネルギー分散法で試料をその場観察した。放射光 X 線回折を用いた高圧相転移のカイネティクス研究は、効率的に精度の良い kinetic data を取得できるため、近年多くの研究成果が得られている。 サンプルの圧媒体は(Mg,Co)O、ヒーターにはランタンクロマイト、サンプルカプセルにはグラファイトを用いた。アンビルはタングステンカーバイト製トランケーションは 3 mmである。圧力マーカーとして Au を少量 Diopside に混ぜており、Au の状態方程式から圧力を算出した。

代表的な実験の温度圧力履歴を Fig.2 に示す。まず、 粉末 Diopside を 室温で 10-12 GPa 程度まで加圧し、 1200 度まで過熱した。この条件で 100 分間アニールし、 粉末の Diopside を相転移速度測定に適した粒径(役 10 µ m)へと粒成長させた。実験中得られた X 線回折プロファ イル(Fig.3)から、試料アニール前は、Cpx 単相であるこ とが確認できたがアニール中に、Garnet のピークがみら

れた。これは、出発物質の Diopside が理想式

(MgCaSi2O6)で表現できるもとの違い、少量の Al を含

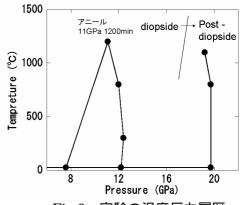


Fig.2 実験の温度圧力履歴

ため、Al に富む garnet を析出したと考えられる。この段階で回収された出発物質の BSE image から、Diopside 粒界に少量の garnet の析出が確認された(Fig.4)。

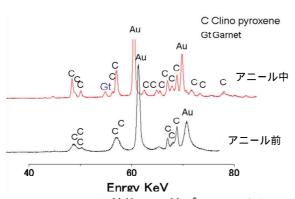


Fig.3 アニール前後の X 線プロファイル

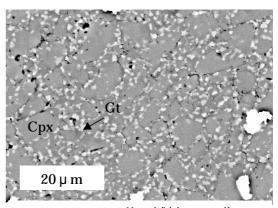


Fig.4 アニール後の試料(BSE 像)

アニール後室温まで徐冷し、再び 20GPa 程度まで加圧し、その後、温度を上げ 800 程度でサンプルの X 線回折プロファイルを確認した。 800 から、相転移が進行する目的の温度 (1000-1400) へ約 3 0 秒程度の短時間で加熱し、温度を維持しつつ 10 - 30 秒間隔の X 線回折時分割プルファイルを得た。実験条件を Table 1 と Fig.5 に示す。

_	_			
'	<u>`</u>	h	-	1
	1	D	œ	

Run No.	Pressure (GPa)	Temperature (°C)	Duration (min)	Hi-Press. Phase	n	K
PDK11	16.6	1400	60	CaPv, Gt		
PDK12	18.1	1300	100	CaPv, Gt	0.57	3.3×10 ⁻²
PDK21	<u>19.2</u>	(1100)	130	CaPv, Gt ,Wd,St	0.43	2.4×10^{-2}
PDK22	<u>20.2</u>	1200	50	CaPv, Gt, Wd, St		
PDK31	18.5	(1400)	46	CaPv, Gt	0.45	8.3×10 ⁻²
PDK32	<u>19.6</u>	1000	130	CaP∨, Wd, St	0.60	1.4×10 ⁻³
PDK33	<u>20.1</u>	1200	15	CaP∨, Gt, Wd,St	0.79	2.9×10 ⁻²

Temperature の()は熱伝対不調のため電力からの推定値

相境界からの過剰圧が2GPa程度ある実験(Table 1 の Run No.赤字)は低い温度でも比較的速く相転移が進行したが、過剰圧が小さい場合(Table 1 の Run No.赤字)は、比較的温度が高いにもかかわらず相転移速度が比較的遅かった。過剰圧が小さい場合は新相の核が形成が非常に遅かったと考えられる。

相転移カイネティクスの解析

Fig.6 は PDK32(19.6 GPa, 1000)の 200 秒間隔の時分割プロファイルである。この実験では、時間とともに Diopside(Cpx)のピークが減少し、CaPv と Rw のピークが増加していく様子が観察された。

Diopside の高圧分解相は温度により変化し (Table 1)、比較的低温(1000)だと、Stishovite (St) + Ringwoodite (Rw) + Ca-Pevoskite (CaPv) であるが、比較的高温(1200 度以上)だと、これに加えて Garnet (Gt)も出現する。

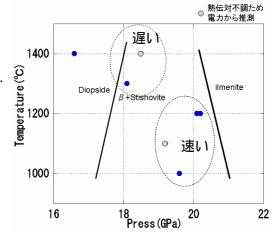


Fig.5 実験条件と CPX の相境界相境界

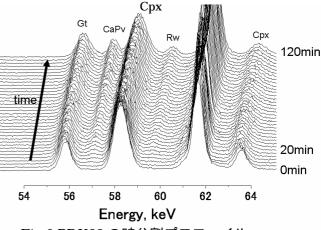


Fig.6 PDK32 の時分割プロファイル

多結晶体の相転移が進行し、生成相同士の衝突が起こるような場合の相転移率の時間変化の解析には、アブラミの式が適用される。アブラミの式は以下のように記述される。

$$V = 1 - \exp(-kt^n)$$

k値は核生成や成長の速度に依存した定数で、時間指数 n値は核生成や成長の時間依存性、成長方向の次元数に依存する。この式は以下のように変形できる。

$$\ln \ln \frac{1}{1 - V} = \ln k + n \ln t$$

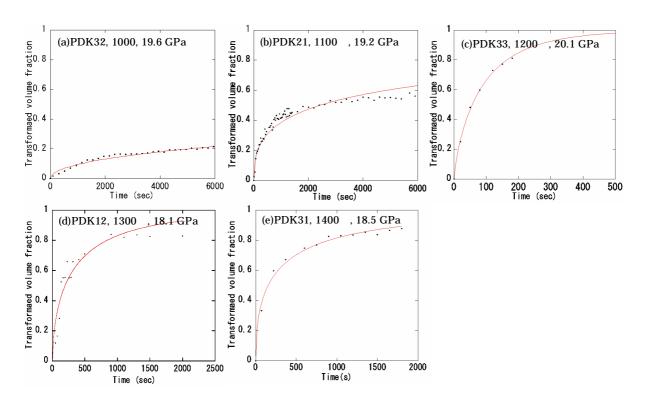


Fig.7 (a)-(e), それぞれの実験の Cpx の X 線回折強度から求まった相転移率の時間変化。

Fig.7 から、時間とともに相転移が進行してくのがわかる。(a)-(c)はそれぞれ過剰圧が 2 - 3 GPa 程度の実験で、温度が高いほど相転移が速く進行している。(d)と(e)は温度が高いにもかかわらず、(c)よりも相転移速度が遅い。これは(d)と(e)の実験時の過剰圧が非常に低く(<1GPa)、相転移メカニズムが(a)-(c)と異なるためと考えられる。

Fig.8 は実験終了後回収したサンプルの BSE image である。相転移が進行した箇所は複数の相に分解し、細粒化していた。

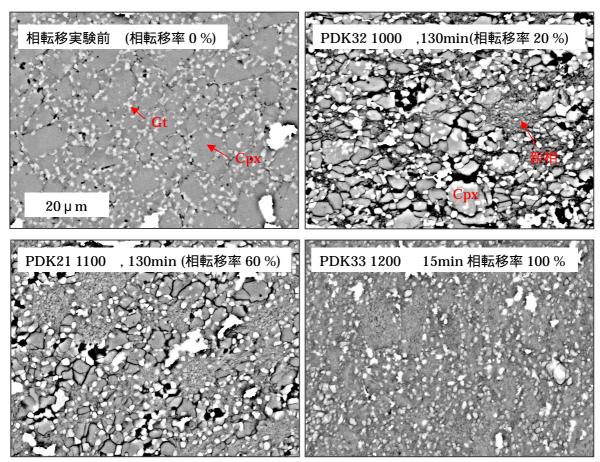


Fig.8 実験後回収試料の組織

今後の課題

今回の研究により、限られた条件(粒径 10um,過剰圧 2-3GPa)ではあるが相転移速度とその時間 依存性が明らかとなった。相転移速度は温度の違いにより大きく変化した。この結果から、今回 の実験と同程度の粒径の pyroxene が沈み込む場合は、海洋地殻が 1000 度の温度で 1 万年もかからずに相転移がほぼ完了するという計算結果が得られた。そのため、沈み込むプレートの時間スケール(10-100 万年)では準安定相がほとんど存在しないことになる。しかし実際の沈み込むプレートは粒径がより大きいと考えられるため、回収試料の観察(Fig.8)と X 線回折プロファイルから相転移メカニズムをより詳しく明らかにし、粒径の違いによる相転移速度の変化も定量的に議論する必要がある。