

3. 2. 5. 3 構成岩石モデルの構築

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
 - 1) 平成25年度
 - 2) 平成26年度
 - 3) 平成27年度
 - 4) 平成28年度
 - 5) 平成29年度
 - 6) 平成30年度
 - 7) 平成31年度
 - 8) 平成32年度
- (e) 平成26年度業務目的

(2) 平成26年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 地震発生層の下限モデルの検討
 - 2) 弾性波速度実験
 - 3) ディオプサイドの焼結実験
 - 4) 万能試験機による高温変形実験の予備実験
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成27年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

2.5.3 構成岩石モデルの構築

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
横浜国立大学大学院環境情報研究院	教授	石川正弘

(c) 業務の目的

岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理する。主要造岩鉱物の多結晶焼結体を作成する。岩石の弾性波速度測定実験を行なう。万能試験機による高温変形実験の準備段階として予備実験を行う。

(d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成25年度：

岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理した。日本海東縁周辺部の地殻構成岩石に関する初期モデル（プロトタイプ）を作成した。翌年度以降の高温変形実験にむけて万能試験機を導入した。

2) 平成26年度：

岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理。主要造岩鉱物の多結晶焼結体を作成。岩石の弾性波速度測定実験。万能試験機による高温変形実験の準備段階として予備実験。

3) 平成27年度：

地殻深部を構成する岩石とその主要造岩鉱物の弾性波速度測定実験。主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験（焼結実験対象については、前年度までの弾性波速度測定実験の進捗状況も踏まえて決定）。多結晶焼結体の高温変形実験

4) 平成28年度：

引き続き弾性波速度測定実験を実施。多結晶体の焼結実験。多結晶焼結体の高温変形実験。弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを再度整理。日本海および日本海東縁陸上の地殻構造探査結果を踏まえて地殻構成岩石モデルを更新。

5) 平成29年度：

地殻深部を構成する岩石の弾性波速度測定実験。主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験。多結晶焼結体の高温変形実験。

6) 平成30年度：

地殻深部を構成する岩石の弾性波速度測定実験。主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験。多結晶焼結体の高温変形実験。

7) 平成31年度：

地殻深部を構成する岩石の弾性波速度測定実験。主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験。多結晶焼結体の高温変形実験。平成29年度から平成31年度に得られた弾性波速度実験結果を加えて、岩石と鉱物の弾性波速度に関する既存データを再度整理。地殻構成岩石モデルを更新。

8) 平成32年度：

平成30年度に引き続き、地殻深部を構成する岩石の弾性波速度測定実験、主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験、多結晶焼結体の高温変形実験を実施する。また、これまで8年間の弾性波速度測定実験で得られた弾性波速度データと、他のサブテーマ等で得られた地殻構造探査結果を踏まえて、東北日本沖と東北日本の沿岸域の地殻マンツルの構成岩石モデルをとりまとめる。

(e) 平成26年度業務目的

海陸地殻構造探査などの制御震源による速度構造や自然地震による速度構造などと、高温高压下での岩石の弾性波速度の室内計測実験の比較から日本海沿岸域から陸域の構成岩石を推定することが本業務の目的である。そのために、日本海沿岸域周辺の地殻マンツル境界付近に由来する捕獲岩の岩石の弾性波速度測定実験を行なうことを本年度の目的の一つとした。さらに温度構造モデルと推定した構成岩石をもとにレオロジー特性を求め、それによって地震発生層の下限を推定することが本業務のもう一つの重要な目的である。日本海および沿岸地域のレオロジー特性を明らかにするために、地殻深部を構成する岩石とその主要造岩鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理する。主要造岩鉱物の一つである輝石の多結晶体の焼結実験を行ない、万能試験機による高温変形実験の準備段階として予備実験を行う。

(2) 平成26年度の成果

(a) 業務の要約

地震発生層の下限モデルを検討した。また、地殻構成岩石モデルを改善するために、地殻マンツル境界付近に由来する捕獲岩の弾性波速度測定実験を行ない、岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理した。また、主要造岩鉱物の一つである単斜輝石の多結晶焼結体を作成し、万能試験機による高温変形実験の準備段階として予備実験を行った。

(b) 業務の成果

1) 地震発生層の下限モデルの検討

単純化した地震発生層の下限モデルを構築するために、日本海沿岸域から日本海の地域の地殻構造を海洋性地殻（日本海盆）、厚い海洋性地殻（大和海盆）、背弧リフト、大陸性地殻の4つに区分した（図1）。海洋性地殻、厚い海洋性地殻、背弧リフトともに海洋底年齢を一律に2000万年と単純化して温度構造を計算した（図2）。厚い海洋性地殻や背弧リフトと隣接する大陸性地殻の温度構造も同様に温度構造と仮定した。海洋性地殻、厚い海洋性地殻、背弧リフト、大陸性地殻の水深はそれぞれ3500 m、2500 m、500 m、500 mと仮定した。海洋性地殻、厚い海洋性地殻、背弧リフト、大陸性地殻について圧縮強度断面を計算したので例として示す。なお、圧縮強度断面は温度構造や構成岩石鉱物のレオロジーに敏感であるので、数値はあまり重要ではなく、海洋性地殻、厚い海洋性地殻、背弧リフト、大陸性地殻の間の強度の相対的な違いを理解することが今回の計算の目的である。

図3には日本海盆を想定した海洋性地殻の圧縮強度断面の計算例（深さ60 kmまで）を示した。海洋地殻の層厚を10.5 km、海底水深を3500 mと仮定している。海洋地殻は玄武岩やはんれい岩から構成されると一般的に考えられているので、本業務でははんれい岩の主要構成鉱物である斜長石のレオロジーパラメーターを用いて圧縮強度断面を計算した（歪速度 $10^{-7}/\text{yr}$ ）。海底面から続く脆性領域下限を海底断層の下限と仮定すると、断層下限深度は25.3 kmと推測される。

図4、図5、図6には大和海盆を想定した厚い海洋性地殻の圧縮強度断面の計算例を示した。海洋地殻の層厚16.5 km、海底水深を2500 mと仮定している。厚い海洋地殻のレオロジーパラメーターは、灰長石成分75%の斜長石、diabase、苦鉄質グラニュライトのレオロジーパラメーターを用いて圧縮強度断面を比較した。なお、歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。断層下限深度は斜長石とdiabaseの場合、約15 km（それぞれ14.6 kmと16.1 km）と推測される。一方、苦鉄質グラニュライトの場合、断層下限深度は25.3 kmと推測され、斜長石とdiabaseと比べ約2倍近く断層下限深度が深くなると計算される。したがって、厚い海洋性地殻の場合、その地殻構成岩石を解明することは、断層下限深度を推測する上で非常に重要である。

図7には背弧リフトの圧縮強度断面の計算例を示した。上部地殻層厚8.5 km、下部地殻層厚16 km、海底水深500 mと仮定した。上部地殻は花崗岩、下部地殻はdiabaseのレオロジーパラメーターを用いて圧縮強度断面を計算した（歪速度 $10^{-7}/\text{yr}$ ）。断層下限深度は14.1 kmと推測される。

図8には大陸性地殻の圧縮強度断面の計算例を示した。上部地殻層厚13.5 km、下部地殻層厚11 km、海底水深500 mと仮定した。上部地殻は花崗岩、下部地殻はdiabaseのレオロジーパラメーターを用いて、歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。断層下限深度は9.0 kmと推測される。背弧リフトと比較して断層下限深度が相対的に浅くなった要因は花崗岩質な上部地殻が厚いことである。

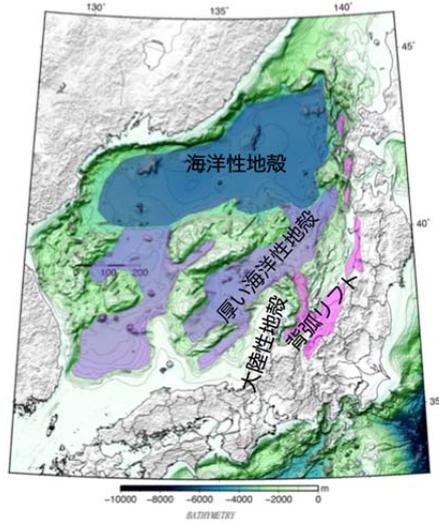


図1 日本海沿岸域から日本海の地域の地殻構造区分。海洋性地殻（日本海盆）、厚い海洋性地殻（大和海盆）、背弧リフト（日本海沿岸）、大陸性地殻の4つに区分した。

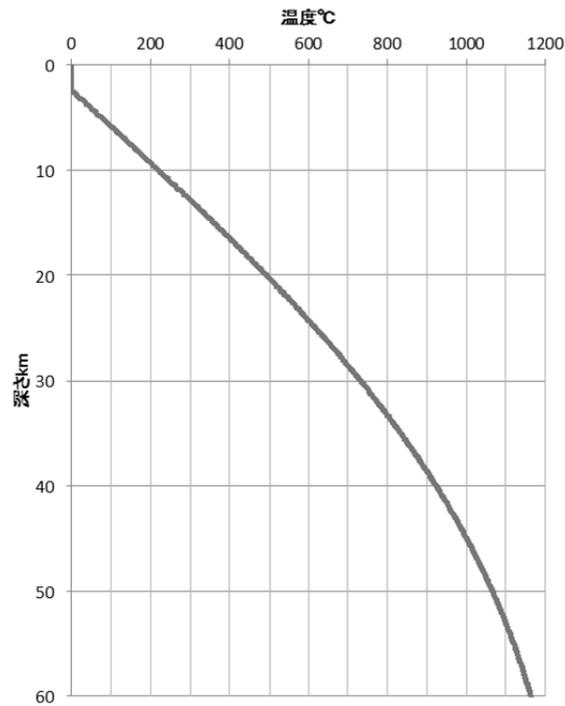


図2 海洋底年齢 2000 万年と仮定して計算した温度構造。水深 3500 m の場合の例。縦軸は深さ 0~60 km、横軸は 0 °C~1200 °C。

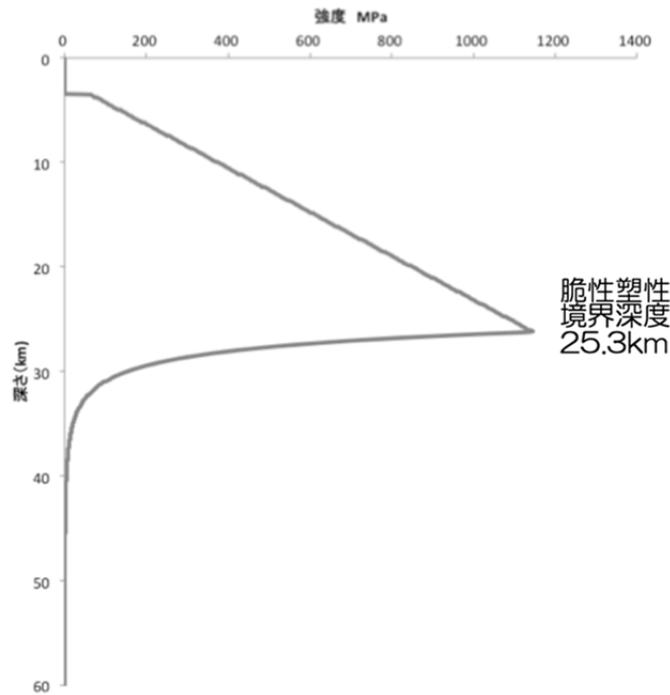


図3 海洋性地殻の圧縮強度断面の計算例（深さ 60 km まで）。海洋地殻層厚 10.5 km、海底水深 3500 m と仮定した。地殻は灰長石成分 75%の斜長石のレオロジーパラメーターを用いて、歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。海底面から続く脆性領域下限を断層下限と仮定すると断層下限深度は 25.3 km と推測される。縦軸は深さ 0~60 km、横軸は 0~1400 MPa。

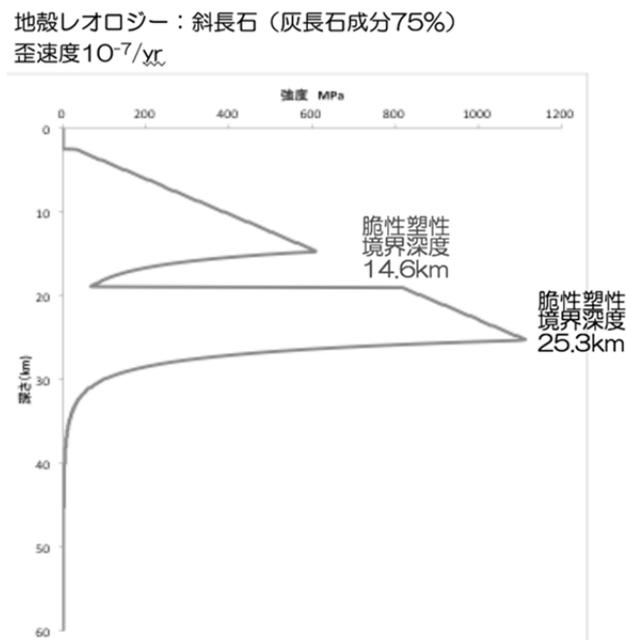


図4 厚い海洋性地殻の圧縮強度断面の計算例-例1-（深さ 60 km まで）。海洋地殻層厚 16.5 km、海底水深 2500 m と仮定した。地殻は灰長石成分 75%の斜長石のレオロジーパラメーターを用いて、歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。海底面から続く脆性領域下限を断層下限と仮定すると断層下限深度は 14.6 km と推測される。縦軸は深さ 0~60 km、横軸は 0~1200 MPa。

地殻レオロジー：diabase
歪速度 $10^{-7}/\text{yr}$

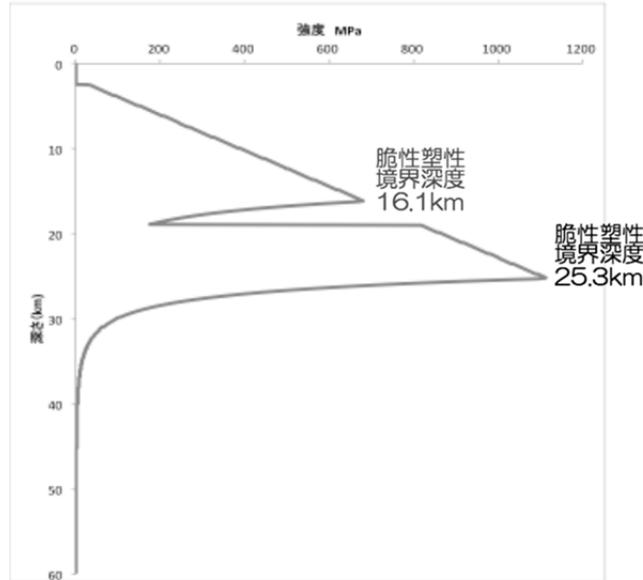


図 5 厚い海洋性地殻の圧縮強度断面の計算例-例 2- (深さ 60 km まで)。海洋地殻層厚 16.5km、海底水深 2500 m と仮定した。地殻は diabase のレオロジーパラメーターを用いて、歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。海底面から続く脆性領域下限を断層下限と仮定すると断層下限深度は 16.1 km と推測される。縦軸は深さ 0~60 km、横軸は 0~1200 MPa。

地殻レオロジー：苦鉄質グラニュライト
歪速度 $10^{-7}/\text{yr}$

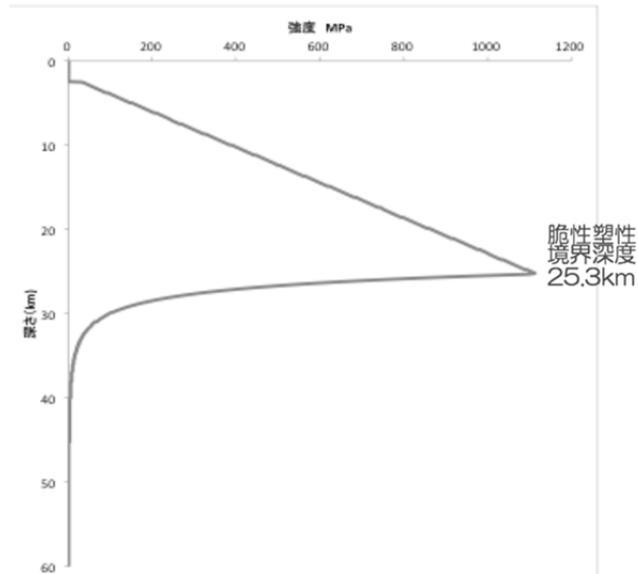


図 6 厚い海洋性地殻の圧縮強度断面の計算例-例 3- (深さ 60km まで)。海洋地殻層厚 16.5 km、海底水深 2500 m と仮定した。地殻は苦鉄質グラニュライトのレオロジーパラメーターを用いて、歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。海底面から続く脆性領域下限を断層下限と仮定すると断層下限深度は 25.3 km と推測される。縦軸は深さ 0~60 km、横軸は 0~

1200MPa。

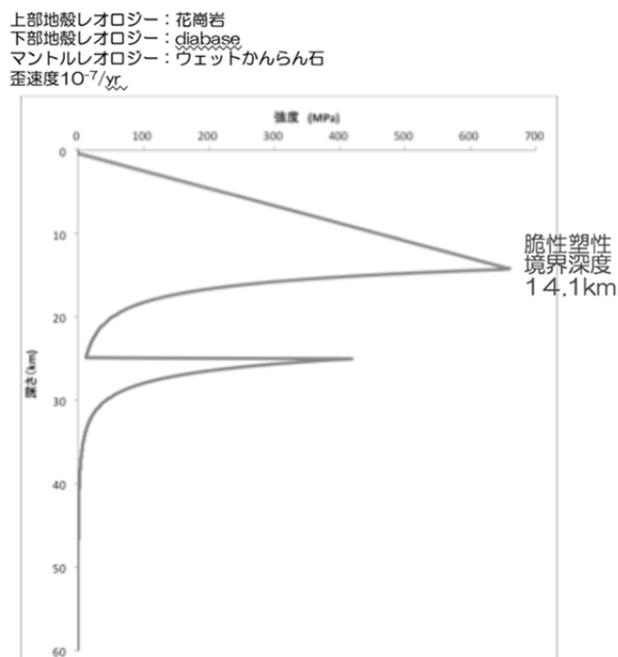


図 7 背弧リフトの圧縮強度断面の計算例（深さ 60 km まで）。上部地殻層厚 8.5 km、下部地殻層厚 16km、海底水深 500 m と仮定した。上部地殻は花崗岩、下部地殻は diabase のレオロジーパラメーターを用いて、歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。海底面から続く脆性領域下限を断層下限と仮定すると断層下限深度は 14.1 km と推測される。縦軸は深さ 0～60 km、横軸は 0～700 MPa。

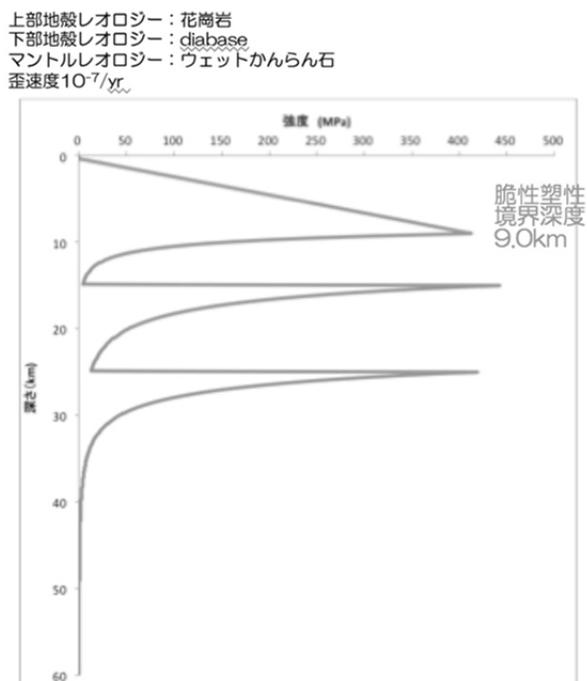


図 8 大陸性地殻の圧縮強度断面の計算例（深さ 60 km まで）。上部地殻層厚 13.5 km、下部地殻層厚 11 km、海底水深 500 m と仮定した。上部地殻は花崗岩、下部地殻は diabase

のレオロジーパラメーターを用いて、歪速度は $10^{-7}/\text{yr}$ とした。海底面から続く脆性領域下限を断層下限と仮定すると断層下限深度は 9.0 km と推測される。

2) 弾性波速度実験

海陸地殻構造探査などの制御震源による速度構造や自然地震による速度構造などと^{1,2,3)}、高圧下での弾性波速度の室内計測実験を比較することにより日本海沿岸域から陸域の構成岩石を推定することは、日本海沿岸周辺地域の地殻物性モデルに粘性等の拘束条件を与える上で重要であり、断層下限を推測する上でも必要不可欠である。これまでの先行研究^{2,4,5)}で、秋田県男鹿半島一ノ目潟に産する下部地殻マントルに由来する岩石の弾性波速度を測定し、地震波速度の対比から東北日本（秋田から岩手の陸域）の島弧地殻構成岩石を推測している。本年度は、地殻構成岩石の初期モデルを検討するための基礎データを得るために、隠岐島後に産する捕獲岩を研究対象とした（図 9）。高温高圧下で弾性波速度測定実験に際しては、横浜国立大学環境情報学府石川研究室所属の高橋宏和氏の協力を得た。

a) 実験手法

横浜国立大学設置のピストンシリンダー高圧発生装置を用いて、直径 14 mm、長さ 12 mm のコア試料を対象として最大圧力 1.0GPa 最高温度 340°C で P 波速度 (V_p) を測定した。圧力媒体としてタルクとパイロフィライトを使用した。隠岐島後に噴出している捕獲岩を実験試料として用いた。今回の実験ではバッファローッドを用いたパルス反射法測定法を採用し、岩石の P 波速度を測定した。パルス反射法では、まず、任意波形発生装置から特定周波数（7 MHz）の正弦バースト波を圧電素子に入力する。次に、電気信号は圧電素子により弾性波に変換され、高圧セルシステム内のバッファローッドを伝搬し、岩石試料の下面および上面で反射し、圧電素子に戻ってきた弾性波はふたたび電気信号に変換される。波形データはデジタルオシロスコープで 1024 回のアベレージングを行った。岩石試料の上面と下面からの伝搬時間の差が岩石試料中を伝搬した往復走時であり、P 波速度を決定する。

b) 実験結果

今回、超苦鉄質岩を実験試料として用いた。主に斜方輝石に富む岩石である。実験時の圧力を室温で 1.0 GPa まで昇圧し、26 °C から昇温しながら 340 °C まで測定した。26°C での P 波速度は 7.23 km/s で、340°C では 7.12 km/s であった（図 10）。1.0 GPa の時の P 波速度と温度の関係式は $V_p = -3.71 \times 10^{-4} T + 7.24$ が得られた。

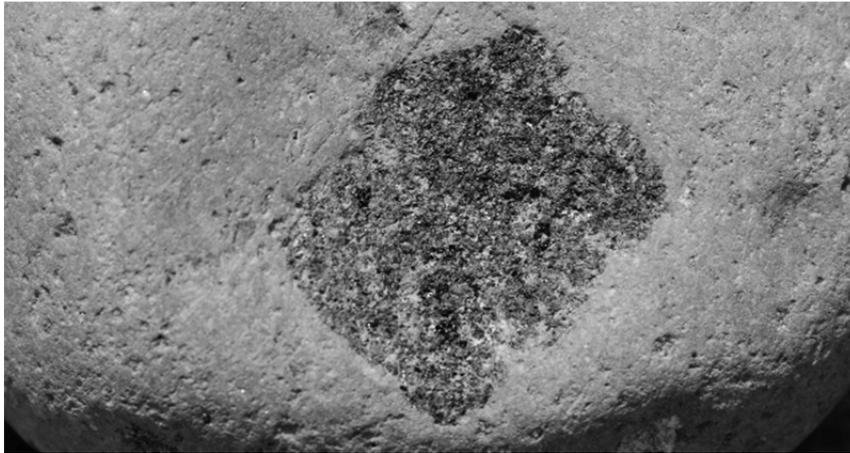


図 9 隠岐島後に産する捕獲岩。捕獲岩の直径は約 5cm。

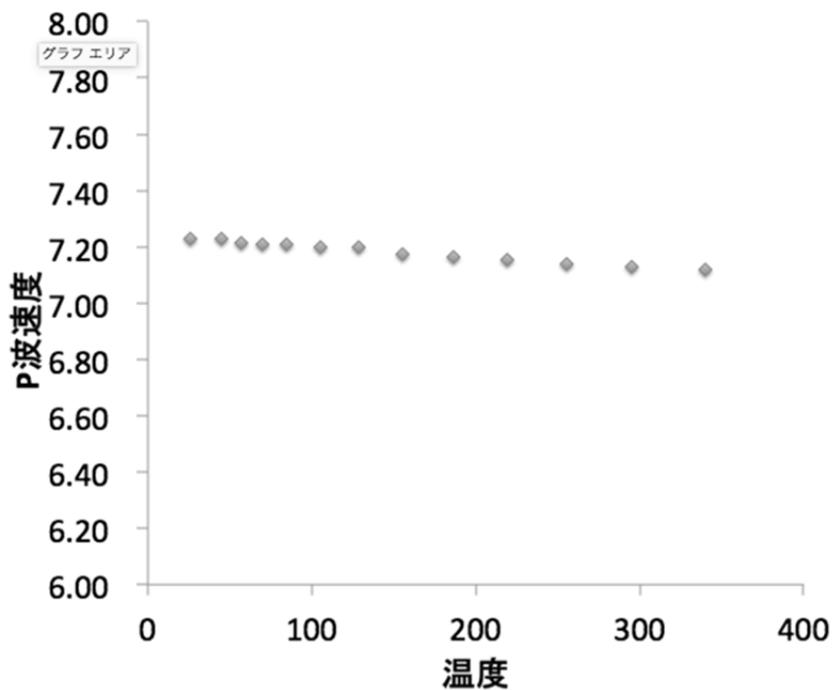


図 10 隠岐島後に産する下部地殻マントルに由来する岩石の P 波速度を地殻マントル境界相当の圧力で測定した。下図は輝石に富む岩石の測定例である。圧力は 1.0 GPa、温度は 26 °C から 340 °C。

3) ディオプサイドの焼結実験

地殻やマントルの構成鉱物の変形機構として、転位クリープと拡散クリープが重要であると考えられている。実験室で転位クリープと拡散クリープを再現し、そのレオロジー特性を決定するためには、粒径 1 μm 程度またはそれ以下の鉱物粒子で構成される超微粒鉱物多結晶を実験試料として用いる必要がある。本研究では結晶粒径がサブミクロンの小さな粒子に注目し、はんれい岩の主要造岩鉱物である単斜輝石の一種、ディオプサイドのナノ粉末を作成し、ディオプサイドのナノ粉末を出発物質とした焼結実験を行った。なお、実験に際しては、横浜国立大学環境情報学府石川研究室所属の坪川祐美子氏の協力を得た。

a) 実験試料

実験の原料には、天然のディオプサイド単結晶を用いた。電子線マイクロアナライザ (EPMA ; JEOL 製 JXA8530-F) による鉱物化学組成分析を行った結果、ディオプサイドの組成はそれぞれ $\text{Ca}_{0.99}\text{Na}_{0.01}\text{Mg}_{0.97}\text{Fe}_{0.03}\text{Si}_2\text{O}_6$ 、 $\text{Ca}_{0.97}\text{Na}_{0.02}\text{Al}_{0.02}\text{Mg}_{0.86}\text{Fe}_{0.13}\text{Si}_2\text{O}_6$ であり、僅かなヘデンバーライト成分が固溶体として含まれる。

b) 実験手法

ディオプサイド焼結体作製の実験手順の概要を示す。まず、単結晶を鉄乳鉢と乳棒を用いて粗割した。粗割したディオプサイド粗粒粉末は自動乳鉢を用いて、湿式粉砕を行った。自動乳鉢を用いて粉砕を行った後の粉末は、粒径が約 5~25 μm 程度である。この粉末を、遊星ボールミルを用いて粉砕を行い、沈降法により回収した粉末は、平均粒径は 0.9 μm 均であった。一方、自動乳鉢による粉砕後の粉末を、ビーズミル粉砕を行って得られた粉末は、平均粒径が約 0.20 μm であり、ナノ粉末が得られる。乾燥させたナノ粉末は、2MPa にて 10 分間一軸圧縮し、直径約 6 mm、高さ約 1 mm の円柱状の成形体を作製した。

成形体は、100 $^{\circ}\text{C}$ にて 12 時間以上乾燥させた後、大気雰囲気下および真空条件下で電気炉で焼成した。焼成温度は、1180 $^{\circ}\text{C}$ 、1230 $^{\circ}\text{C}$ 、1250 $^{\circ}\text{C}$ および 1280 $^{\circ}\text{C}$ である。5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の速度で昇温し、最高温度にて 2 時間保持した後に、5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の速度で 600 $^{\circ}\text{C}$ まで冷却し、その後炉の中で自然冷却させた。

c) 実験結果

粉末、成形体、焼結体の組織観察には、走査型電子顕微鏡 (KEYENCE 製 VE-8800) を用いた。焼結体に対しては、デジタルマイクロスコープ (KEYENCE 製 VHX-1000) による観察も行った。一部の焼結体は表面から数十 μm を研磨し、鏡面仕上げ後、サーマルエッチングを行い、組織を観察した。1130~1280 $^{\circ}\text{C}$ で焼成したときの焼結体の表面の SEM 像を図 11 に示す。焼成温度を高くするに従って空隙率は減少し、緻密化は進行する (図 12)。空隙率は 1230 $^{\circ}\text{C}$ 以上の焼成で 10% 以下となった。

ラマンマイクロスコープ (Renishaw 製 in Via Reflex) を用い、焼結体の同定を行った。励起波長 532 nm のレーザーと 1800 g/mm の回折格子を使用し、レーザー強度 10-100 %、露光時間 10~30 秒の照射条件下にて測定を行った。単結晶から作製した薄片試料と、熱処理後の焼結体表面のラマンスペクトルを分析した。各試料からは、最も大きく鋭い 666 cm^{-1} 、1013 cm^{-1} のピークを含むディオプサイドの 13 本のピークが認められた。

X 線回折分析装置 (Rigaku 製 RINT-2000) を用い、鉱物同定を行った。焼成前の試料は粉末で、焼成後の試料は焼結体の状態で測定を行った。得られたデータは総合粉末 X 線解析ソフトウェア PDXL を用いて処理した。1130~1280 $^{\circ}\text{C}$ で 2 時間焼成した試料の X 線解析分析を行った。焼成後のすべての焼結体からは、ディオプサイドが同定された。しかし、オケルマナイトなど他の鉱物が焼成後に生成しているので、純度の高いディオプサイドを作成することが次年度の課題となる。具体的に、焼結に影響を与える要因について、原料粉末自身の性質に関する要因 (粒子の大きさ、不純物の量など) と、原料粉末自体に直接関係ない外的な要因 (焼成条件、雰囲気など) に大別し、これらの要因ごとに焼結性に与える影響について検討を行う予定である。

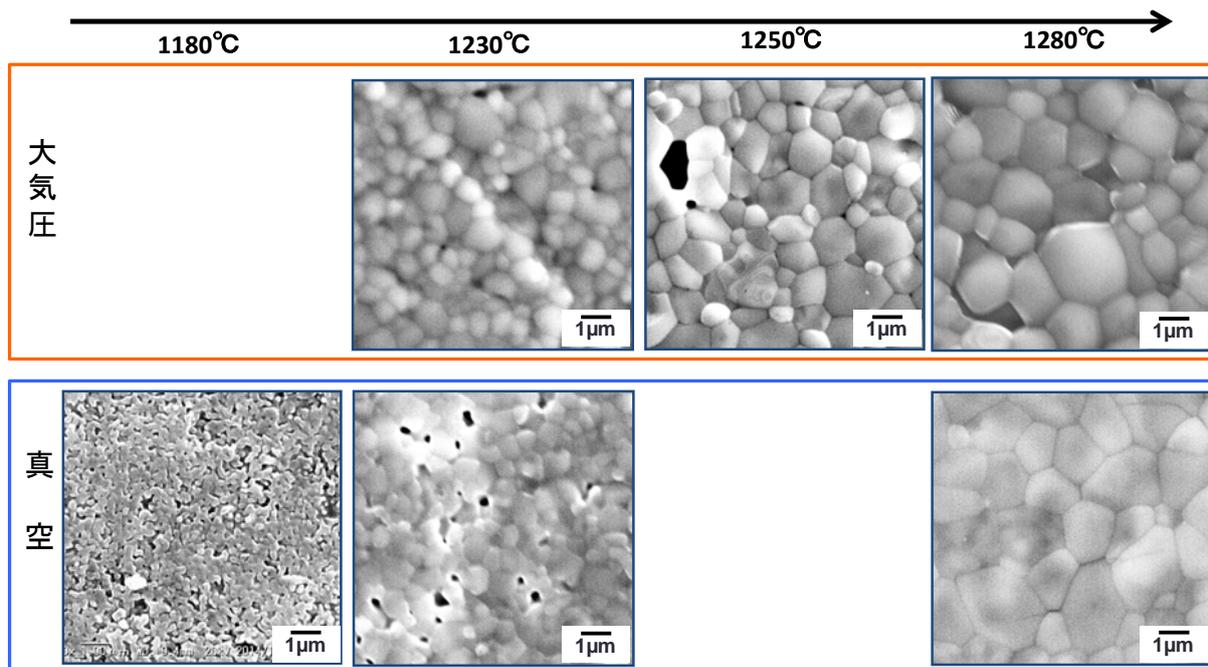


図 11 ディオプサイド多結晶体の焼結実験結果。日本海沿岸周辺域の地殻構成岩石を推測するために、また、地殻マントル強度を見積もるために、主要造岩鉱物多結晶体の焼結実験を行っている。これらの試料は弾性波速度実験や高温変形実験に用いる。写真は、焼結体の走査型顕微鏡写真(SEM 像)である。天然ディオプサイド結晶をサブミクロンからナノオーダーに粉碎し、パウダーを大気圧および真空条件で加熱した。

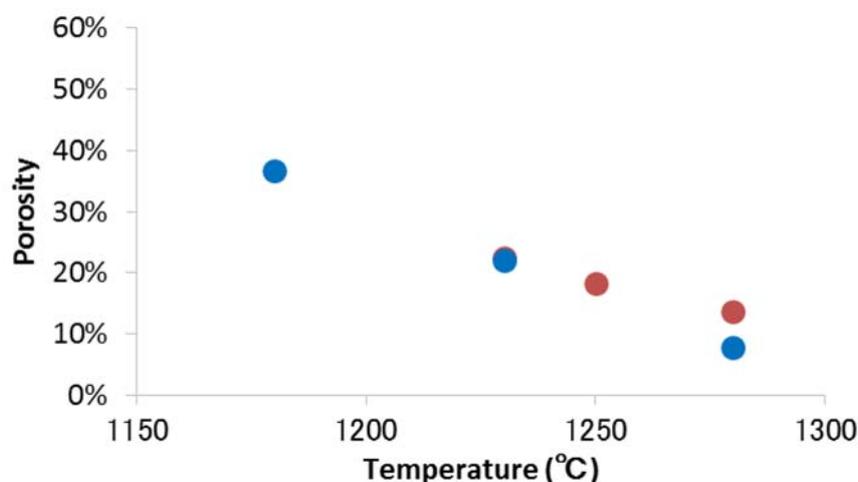


図 12 ディオプサイド多結晶体の焼結温度と空隙率の関係。天然ディオプサイド結晶をサブミクロンからナノオーダーに粉碎し、パウダーを大気雰囲気 (赤丸) および真空 (青丸) で 2 時間一定温度で加熱した。

4) 万能試験機による高温変形実験の予備実験

日本海沿岸周辺域の地震発生層の下限を推測するために、岩石鉱物の高温変形実験を計画しており、平成 26 年度は準備段階として予備実験を行った。本年度の焼結実験で作成したディオプサイドの多結晶体などを対象に準備段階として高温変形実験を行った。あわせて、岩石鉱物の流動特性に関する既存データの取集を同時に行った。

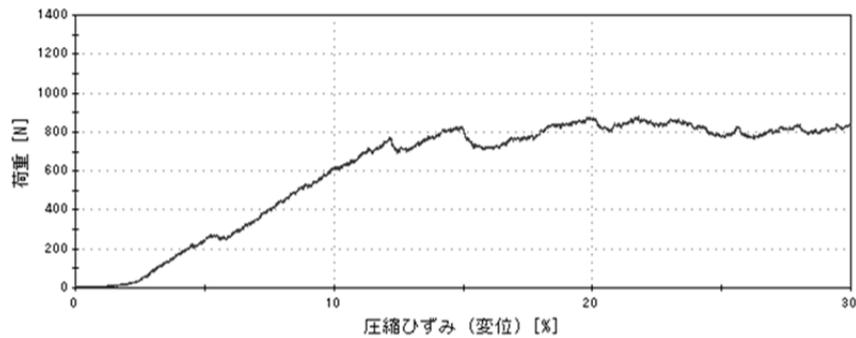


図 13 ディオプサイド焼結多結晶体を対象に高温条件で変形実験を行った。上図は 1150 °C の実験例である。ひずみが 30 % までに達するような塑性変形を示している。

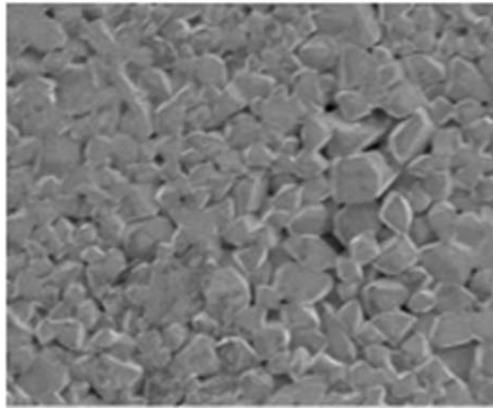


図 14 1200 °C の高温変形後のディオプサイド多結晶体の例。写真横幅が約 100 μm。

(c) 結論ならびに今後の課題

単純化した地震発生層の下限モデルを構築するために、日本海沿岸域から日本海の地域の地殻構造を海洋性地殻（日本海盆）、厚い海洋性地殻（大和海盆）、背弧リフト、大陸性地殻の 4 つに区分し、圧縮強度断面を計算した。その結果、日本海盆を想定した海洋性地殻では、断層下限深度は約 25 km と推測された。大和海盆を想定した厚い海洋性地殻の断層下限深度は、約 15 km と約 25 km が推測された。厚い海洋性地殻の場合、地殻構成岩石を解明することは、断層下限深度を推測する上で非常に重要となり、今後の重要な課題である。背弧リフトの断層下限深度は 14.1 km と推測された。また、大陸性地殻の断層下限深度は 9.0 km と推測された。背弧リフトと比較して大陸性地殻の断層下限深度が相対的に浅くなった要因は花崗岩質な上部地殻が厚いことである。このように断層下限深度は上部地殻層厚にも敏感であるので、上部地殻層厚分布をマッピングすることは今後の重要な課題となる。

平成 25 年度に防災科学技術研究所の地震波トモグラフィー³⁾に基づき地殻構成岩石モデル（プロトタイプ）を検討した。地殻構成岩石モデルは、提唱した断層下限深度を定量的に見積もる際には、欠かせない初期モデルである。次年度以降も継続して、地殻構成岩石モデルの更新を行って行く必要が有る。また、地殻構成岩石モデルを改善するために、岩石の弾性波速度測定実験を行ない、局所的には正確な地殻構成岩石モデルを構築する必要

がある。平成 26 年度は隠岐島後の捕獲岩を対象に弾性波速度測定実験を行ない、斜方輝石に富む岩石について高温高压での弾性波速度データを取得できた。実験対象の岩石種を増やす引き続き実験を継続することも今後の重要な課題となる。

地殻やマン托ルの構成鉱物の変形機構を実験で再現し、そのレオロジー特性を決定するためには、粒径 1 μm 程度またはそれ以下の鉱物粒子で構成される超微粒鉱物多結晶体を実験試料として用いる必要がある。本年度は、はんれい岩の主要造岩鉱物である単斜輝石の一種、ディオプサイドのナノ粉末を作成し、ディオプサイドのナノ粉末を出発物質とした焼結実験を行ない、緻密なディオプサイド多結晶体を作成した。主要造岩鉱物である輝石や長石の焼結実験を引き続き行なうことが今後の重要な課題となる。今年度は、ディオプサイド多結晶焼結体を用いて、万能試験機による高温変形実験を予察的に行ったが、本格的な実験は次年度の重要な課題となる。

(d) 引用文献

- 1) Iwasaki, T., Moriya, T., Hasemi, A., Umino, N., Okada, T., Takeda, T., Sekine, S., Tashiro, K. and Miyamachi, H.: Extensional structure in northern Honshu Arc as inferred from seismic refraction/wide-angle reflection profiling, *Geophysical Research Letters*, Vol.28, pp.2329–233, 2001.
- 2) Nakajima, J., Matsuzawa, T., Hasegawa, A. and Zhao, D. : Three dimensional structure of Vp, Vs, and Vp/Vs beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids. *Journal of Geophysical Research*, Vol.99, pp.22205–22220, 2001.
- 3) Matsubara, M., Obara, K. and Kasahara, K. (2008): Three-dimensional P- and S-wave velocity structures beneath the Japan Islands obtained by high-density seismic stations by seismic tomography, *Tectonophysics*, Vol.454, pp.86-103, 2008.
- 4) Nishimoto, S., Ishikawa, M., Arima, M. and Yoshida, T.: Laboratory measurement of P-wave velocity in crustal and upper mantle xenoliths from Ichino-megata, NE Japan: ultrabasic hydrous lower crust beneath the NE Honshu arc. *Tectonophysics*, Vol.396, pp.245-259, 2005.
- 5) Nishimoto, S., Ishikawa, M., Arima, M., Yoshida, T., Nakajima, J. : Simultaneous high P-T measurements of ultrasonic compressional and shear wave velocities in Ichino-megata mafic xenoliths: Their bearings on seismic velocity perturbations in lower crust of northeast Japan arc. *Journal of Geophysical Research*, Vol.113, B12212, doi:10.1029/2008JB005587, 2008.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
石川 正弘, 松原 誠, 武田 哲也	北上山地下の珪長質下部地殻と斜方輝石岩マン托ル：白亜紀スラブメルティングの証拠(論文)	岩石鉱物科学, 43, 100-107	平成 26 年 6 月 23 日

本多聡子 石川正弘	曹灰長石ナノ多結晶体の焼結 (ポスター発表)	日本地質学会第 121 年学術 大会, 主催: 日本地質学会	平成 26 年 9 月 13 日
坪川祐美子 石川正弘	ディオプサイドの細粒多結晶体 の焼結 (ポスター発表)	日本鉱物科学会 2014 年年 会, 主催: 日本鉱物科学会	平成 26 年 9 月 17 日
坪川祐美子 石川正弘	ディオプサイド細粒多結晶体の 焼結 (ポスター発表)	「地殻ダイナミクス – 東 北沖地震後の内陸変動の統 一的理解 –」研究集会	平成 26 年 10 月 20 日
本多聡子 石川正弘	曹灰長石ナノ粉末を用いた多結 晶体の作製 (ポスター発表)	「地殻ダイナミクス – 東 北沖地震後の内陸変動の統 一的理解 –」研究集会	平成 26 年 10 月 20 日
坪川祐美子 石川正弘	天然の単結晶を原料としたディ オプサイド細粒多結晶体の焼結 (ポスター発表)	第 5 回極域科学シンポジウ ム, 主催: 国立極地研究所	平成 26 年 12 月 2 日
Yumiko Tsubokawa Masahiro Ishikawa	Syntering of fine-grained diopside aggregates (ポスター 発表)	Metamorphic Evolution and Asian Continental Growth, 主催: 九州大学大 学院 地球社会統合科学府	平成 27 年 2 月 14 日

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 27 年度業務計画案

日本海および沿岸地域のレオロジー特性を明らかにするために、地殻深部を構成する岩石とその主要造岩鉱物の弾性波速度測定実験を行う。主要造岩鉱物の多結晶体の焼結実験を行う。なお、焼結実験対象については、前年度までの弾性波速度測定実験の進捗状況も踏まえて決定する。多結晶焼結体の高温変形実験を行う。

