



地表と地下 40 km の間を往復した岩石の履歴は語る

～沈み込み開始時の地温勾配変化を解明～

ポイント

- ・沈み込み境界に沿って地下深くまで沈み込んだ海洋底構成岩石の圧力温度履歴の推定に成功。
- ・異なる圧力温度履歴を持つ海洋底構成岩石が沈み込み境界で合体したと判明。
- ・圧力温度履歴は沈み込み開始時の地温勾配変化を反映し、世界との比較研究の進展に期待。

概要

北海道大学大学院理学研究院の竹下 徹教授（当時）及び岡山理科大学フロンティア理工学研究所の今山武志准教授らの研究グループは、白亜紀の北海道中央部にかつて存在した沈み込み帯で、沈み込み開始時の地温勾配変化を解明しました。

日本列島は現在及び過去を通じて海洋プレートが沈み込んでいる典型的な島弧―海溝系^{*1}で、北海道中央部には白亜紀（約1億年前）の海溝が存在したことが神居古潭変成岩（沈み込み境界^{*2}で形成された変成岩）の存在から判明しています。また、沈み込み開始直後に形成されると考えられている蛇紋岩メランジュ^{*3}とそれに含まれる海洋底構成岩石起源の高度変成岩テクトニックブロック（角閃岩、青色片岩）^{*4}の存在も知られていました。

研究グループは、これらの岩石の鉱物組み合わせ、及び鉱物の組成累帯構造^{*5}を解析することにより、岩石の形成圧力温度条件及びその履歴を調べました。

研究地域に産するざくろ石角閃岩はシュードセクション^{*6}解析から沈み込み開始時に40 km 深度で、15-17 °C/km の地温勾配で変成作用を経験した後、13 °C/km の地温勾配で重複変成を受け、後者の地温勾配で変成した青色片岩と合体しました（図1）。さらに、ざくろ石角閃岩及び青色片岩は、10 °C/km の地温勾配で変成した通常の神居古潭変成岩と合体し、ともに上昇しました（図1）。

この事実は、圧力温度履歴として岩石に記録されています。地温勾配の低下で示される沈み込み境界の冷却は約2500万年の間に生じ、新しく出来た沈み込み境界が定常状態になるまでに生じたと解釈されました。

以上、沈み込み開始時には比較的高い地温勾配のもとで変成岩が形成され、後に冷却後に沈み込んで来た岩石と合体することが岩石の記録する圧力温度履歴から明らかとなりました。この結果は、世界の沈み込み境界過程と比較出来、研究をより進展させることが期待されます。

なお、本研究成果は、2023年3月9日（木）に Journal of Metamorphic Geology 誌でオンライン公開されました。

【背景】

現在の日本列島は典型的な島弧―海溝系で、海洋プレートの沈み込みによって地震や火山活動が生じています。北海道中央部には白亜紀（約 1 億年前）に形成された低温高压型の神居古潭変成岩が南北に狭長に分布することが知られていますが、この事実は、当時海溝が北海道中央部に存在し、海洋プレートが沈み込んで島弧―海溝系を形成していたことを示します。一方、神居古潭変成岩の一つのメンバーとして蛇紋岩メランジュが知られており、その中には海洋底構成岩石起源の変成岩である角閃岩や青色片岩がテクトニックブロックとして含まれることも判明していました。近年、鉱物組成累帯構造やシュードセクションの解析に基づき、岩石が経験した圧力温度履歴の研究が精緻化し、沈み込み境界過程の研究が世界では大きく進展していました。

沈み込み境界で形成された岩石の圧力温度履歴については、これまで種々のタイプが報告されました。この内、岩石が沈み込み開始時に比較的高い地温勾配で変成し、その後、定常状態に向かって冷却されて低い地温勾配で変成する履歴は世界の多くの地点から報告されていました。また、このタイプの履歴を示す岩石は、沈み込み境界の冷却後に沈み込んで変成作用を受けた岩石と合体し、ともに上昇することも数値モデルで予想されていました。

研究グループは、世界の他の蛇紋岩メランジュ中に産する角閃岩や青色片岩テクトニックブロックについて行われて来た研究と同様に、岩石の鉱物組み合わせ、鉱物の組成累帯構造及びシュードセクション解析に基づき、個々の岩石が経験した圧力温度履歴を推定し、沈み込み境界過程を明らかにするための研究を行いました。

【研究手法】

始めに、詳細な野外地質調査・試料採取を行い、その後室内で顕微鏡観察を行い角閃岩や青色片岩などのテクトニックブロック中の鉱物組み合わせを記載しました。その後、ざくろ石、角閃石、緑れん石等の主要構成鉱物について、組成累帯構造を走査電子顕微鏡付属の電子線プローブマイクロアナライザーを用いて非破壊で分析しました。さらに、4つの種類の岩石について全岩組成の測定を行い、シュードセクションの解析を行って鉱物組み合わせが安定な圧力温度条件を推定しました。また、同種の研究ではあまり実施されていない石英c軸ファブリックの測定を、藍閃石を含む石英片岩についてユニバーサルステージを用いて行い、形成温度条件を解析しました。

【研究成果】

顕微鏡観察の結果、蛇紋岩メランジュに含まれるテクトニックブロックは6種類の岩型に区別されることが分かりました（図1）。また、角閃石の組成累帯構造の解析からは、(1) Ca 及び Al に富むコアが Na に富むリムに過成長されるもの、(2) Ca 及び Al に富むコアが Ca 及び Si に富む内側リムに過成長された後、さらに Na に富む外側リムに過成長されるもの、及び(3) Ca 角閃石が Na 角閃石に過成長されるもの（図2）の3つのタイプが識別されました。タイプ I の角閃石は、深さ約 40 km、温度 550–590 °C で変成したざくろ石角閃岩を構成します。本岩石はその後冷却され、深さ約 25–30 km、温度 360–480 °C で変成したタイプ III の角閃石（図2）で構成される青色片岩と蛇紋岩メランジュ中で合体したと推察されました。両者はさらに冷却され、同様の深さで温度約 300 °C で変成した通常の神居古潭変成岩と合体し、その後すべてが一緒に上昇したと推察されました。なお、ざくろ石角閃岩は別の産地のものが北大構内でクラーク像の斜め向かいに石碑として置かれています（<http://www.geosites-hokkaido.org/geosites/site0026.html> 参照）。

以上の結果は、世界の他の蛇紋岩メランジュ中に産する角閃岩や青色片岩テクトニックブロックに

ついて行われて来た研究結果と類似するものです。一方で、本研究は個々の岩石の圧力温度履歴が世界のものと微妙な差がある固有なものであることのほか、石英c軸ファブリックから推察される温度条件等、これまでの研究では行われなかった研究結果も報告したことが本研究の成果です。また、未解明問題として残りますが、タイプ II の角閃石で構成されるようなテクトニックブロックはこれまで見つかっておらず、今後の沈み込み境界過程の研究に新たな視点を提供しています。

【今後への期待】

先行研究との微妙な結果の差異や新たな情報は、世界の沈み込み境界過程の研究と比較され、今後の同分野の研究に生かされると予想されます。また、上記の複雑な組成累帯構造（タイプ II）を持つ角閃石で構成されるようなテクトニックブロックの発見は、沈み込み境界過程には未解明の事実がまだ隠されており、同分野の研究をさらに刺激すると期待されます。

論文情報

論文名	Pressure-temperature paths of tectonic blocks in mélangé: Recording thermal evolution of a subduction channel at an initial stage of subduction (メランジェ中のテクトニックブロックの圧力温度履歴：沈み込み初期の沈み込みチャネルの温度発展の記録)
著者名	Toru TAKESHITA ¹ (当時)、Takeshi IMAYAMA ² 、Mizuho ANDO ³ (当時)、Yuto KIMURA ³ (当時)、Marie PYTHON ¹ (当時) (1 北海道大学大学院理学研究院、2 岡山理科大学フロンティア理工学研究所、3 北海道大学大学院理学院)
雑誌名	Journal of Metamorphic Geology (変成岩地質学の専門誌)
DOI	doi.org/10.1111/jmg.12718
公表日	2023年3月9日(木) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学総合博物館資料部 名誉教授 竹下 徹 (たけしたとおる)

T E L 011-706-4639 F A X 011-746-0394 メール torutake@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.researchgate.net/profile/Toru-Takeshita-3>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 北海道札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

岡山理科大学企画部企画広報課 (〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1)

T E L 086-256-8508 F A X 086-256-8470 メール kikaku-koho@ous.ac.jp

【参考図】

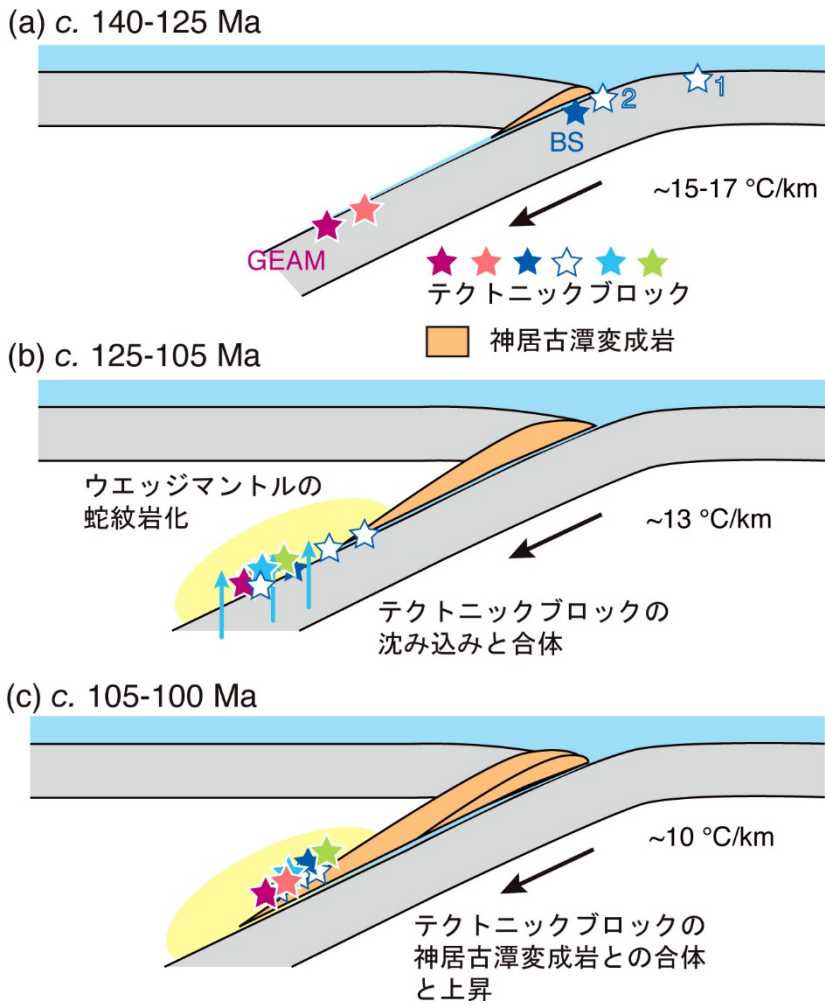


図 1. 異なる圧力温度履歴を持つ 6 種類のテクトニックブロックが、沈み込み開始から合体して上昇するまでを模式的に示した図。6 種類の内、GEAM (ざくろ石角閃岩) 及び BS (青色片岩) のみに名称を与える。

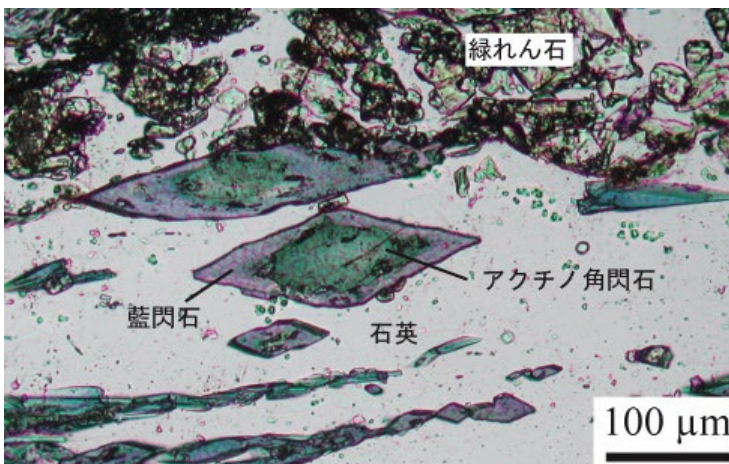


図 2. タイプ III の角閃石。内側の低圧で出来た緑色のアクチノ閃石が外側の高圧で出来た紫色を示す藍閃石で過成長されていることから、沈み込み時の圧力増加時に出来た角閃石であることが分かる。

【用語解説】

- *1 島弧—海溝系 … 日本列島のように海溝と平行に火山列が分布し、海溝陸側の地下で地震が生じる原因は海洋プレートが海溝から陸側へ沈み込むためであると考えられており、このようなシステムに与えられた名称。

- *2 沈み込み境界 … 島弧—海溝系（下記）で沈み込む海洋プレート（上面は海洋底を構成する玄武岩等）と上盤側にある島弧地殻及びその下に存在するウェッジマントルとの境界。

- *3 蛇紋岩メランジュ … 海洋底を構成する玄武岩や堆積物から脱水した水は、上方に移動しカンラン岩を蛇紋岩化させる（図1b）。蛇紋岩化した部分は軟らかく、沈み込み境界から剥がされた玄武岩起源の変成岩である角閃岩や青色片岩は、蛇紋岩に取り込まれテクトニックブロックとなる。蛇紋岩メランジュとは、蛇紋岩中に種々の岩石ブロックが取り込まれている構造様式に付けられた名称。蛇紋岩化した部分は沈み込み境界上の沈み込みチャンネルとして機能し、テクトニックブロックはチャンネル中を上方に移動し、最終的に削剥されて地表に露出する。

- *4 高度変成岩テクトニックブロック（角閃岩、青色片岩） … 成層構造が保たれている、比較的低温で形成された変成岩と異なり、蛇紋岩等メランジュに取り込まれている、より高温高压で形成された変成岩ブロックのこと。約 350-450 °C で青色片岩が、約 500-600 °C で角閃岩が形成される。

- *5 組成累帯構造 … 鉱物が形成される時、その成長の界面では局所平衡が保たれ、その時の温度圧力条件と平衡な化学組成を持つ鉱物が成長する。したがって、鉱物の成長時に温度圧力条件が変化すると、異なる化学組成を持つ鉱物が順次成長した構造として形成される。組成累帯構造とは、その構造に与えられた呼称のこと。

- *6 シュードセクション … 全岩組成が既知の時、化学組成系を指定すると反応の駆動力であるギブスの自由エネルギーを最小にする、安定な鉱物組み合わせは温度・圧力の関数として計算でき、それを図として表現したもの。