

## 11 - 11 冷たい沈み込み帯としての中部日本と能登半島下でのスラブ深部脱水 Cold Subduction in Central Japan and Deep Slab Dehydration Beneath the Noto Peninsula

東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

日本列島のようなプレートの沈み込み帯では、沈み込みの運動とそれに伴うマントルにおける岩石の流動や温度構造が、沈み込み帯全体の構造やダイナミクスを特徴づける重要な要素である。同時に、プレートとともに深部に運ばれた水成分が流体として放出され、岩石の融点を低下させてマグマや火山活動を生じ、また岩石の強度を低下させて地震や地殻変動を誘発すると考えられている<sup>1)-3)</sup>。従って、沈み込み帯システムとそこに現れる地震・火山噴火などの変動現象の機構を理解するためには、さまざまな観測や解析手法を組み合わせ、プレート沈み込み、マントル対流、温度構造、流体やマグマの分布などを多角的かつ定量的にとらえる必要がある。

日本列島に分布する第四紀玄武岩の組成、および流体の生成移動を含むマントル対流の数値シミュレーションに基づき、中部日本下での 2 重のスラブ沈み込み（太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込みに対応する）と、それに伴うマントル対流 - 温度構造、マグマ生成と流体の発生・上昇を議論した<sup>4)</sup>。玄武岩組成に基づく研究結果およびマントル対流数値シミュレーションに基づく研究結果のいずれも、2 重のスラブ沈み込みによって、中部日本の下は低温であり、そのためスラブ脱水が東北日本などに比べて深部で起こり、能登の直下における太平洋スラブ由来流体の発生と上昇が示唆された（第 1 図）。また、深部からの流体が、この数年継続する能登の地震活動・地殻変動の誘因となっている可能性が指摘された。日本列島規模でのプレートの配置と沈み込み、テクトニクス、マントルの流動場 - 温度構造、深部脱水とスラブ由来流体の起源と原因を考慮するならば、能登半島はまだ成長過程の半島として陸化が継続しており、2 重のスラブ沈み込みを含む現在のテクトニクスとダイナミクスが維持される限り、能登半島の隆起とそれに伴う地震活動は、今後も中長期的に継続すると予想される。

地下のマグマや流体をより具体的にとらえるために、近年、新しい手法「Geofluid Mapping」が開発された<sup>5)-7)</sup>。この手法では、地震波速度と電気伝導度を同時解析し、地下の岩質、液体の種類、および液体の量や分布形状に関するパラメーター（アスペクト比や連結度にかかわるパラメーター）の定量推定が可能である。地震波速度と電気伝導度に加えて、地殻熱流量や噴出・湧出するマグマや地下水の組成を観測量として組み込み、これを固体・液体混合系の物性（地震波速度、電気伝導度、密度）を予測するフォワードモデルと組み合わせるパラメーター値のベイズ推定を行う（第 2 図）。現在のところ、地下およそ 60 km 程度までの地殻 - 最上部マントルに分布する 78 種の岩質（堆積岩～超塩基性岩）と水溶液やマグマ（苦鉄質～珪長質）を見分けて定量することが可能となった。

この手法を、東北地方中央部、栗駒火山周辺の火山域およびその前弧域（2008 年岩手・宮城内陸地震の震源域を含む非火山域）にまたがる東西約 80 km、南北約 50 km の地域に適用し、地下の Geofluid Mapping を行った<sup>7)</sup>。その結果、岩手・宮城内陸地震の震源直下、深さ約 10 ～ 20 km に流体量が 10% に達する水溶液のたまりが存在することが分かった。このたまりの下部には、非火山域にもかかわらず、モホ面付近に広く安山岩質マグマが広がっており、そこから水溶液が生成・上昇していることが分かった。これらの液体相は、地表付近からモホ面付近まで、すべて連結してい

ることも分かった。推定される流体量と浸透率を用いて、流体の圧力を計算したところ、水溶液たまりの上部で、静岩圧を 200MPa 以上も流体圧が上回り、岩手・宮城内陸地震を含む地殻浅部での地震活動を誘発した可能性がある。

また、火山域下のモホ面付近には玄武岩質マグマが広く分布しており、マントルから上昇してきた玄武岩質マグマが、モホ面付近で浮力を失って水平方向に広がったと考えられる。前弧領域方向へも広がり、水平方向に移動する間に冷却・分化して上述の安山岩質マグマをうみ、その安山岩質マグマから水溶液が遊離したと考えられる。

このように、モホ面付近には、広くマグマが広がっているものの、栗駒火山直下のモホ面付近にはマグマが存在せず、しかし火山直下の深さ 10 km 前後の領域に安山岩質マグマのたまりが存在することが分かった。これらの分布・位置関係から、モホ面付近に停留していたマグマが一部上昇し、火山にマグマを供給していると推定された。

今後、Geofluid Mapping を広域的に展開し、地下のマグマや流体の分布や量、および圧力を推定することで、地震や火山噴火の中長期のポテンシャル評価に資することが期待される。

(岩森 光)

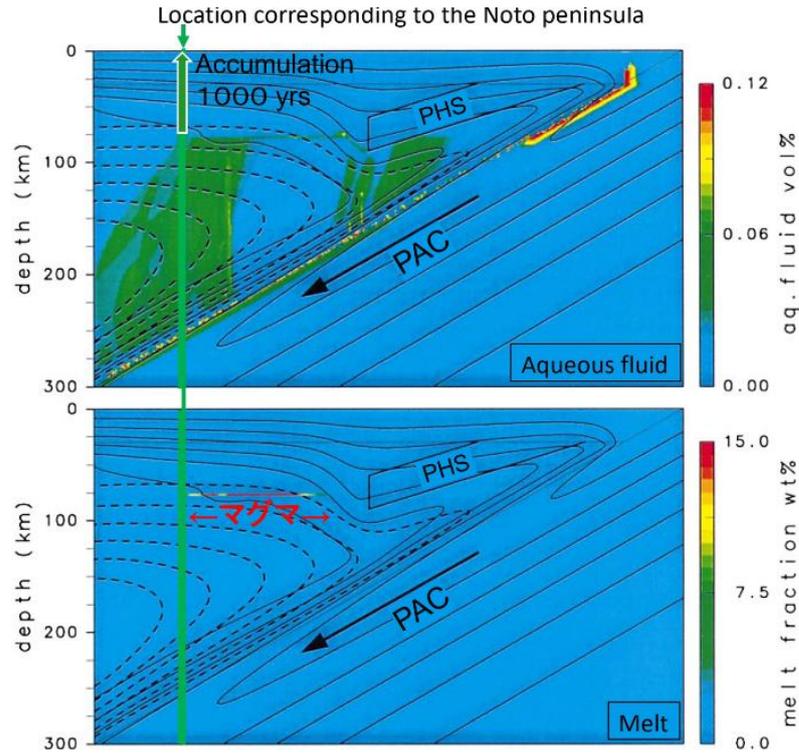
IWAMORI Hikaru

#### 謝辞

本報告の機会を頂いた産業技術総合研究所・今西和俊 博士に感謝いたします。本研究は、産業技術総合研究所・中村仁美 博士、および Geofluid Mapping Team との共同研究に基づくものです。共同研究者の皆様に感謝いたします。

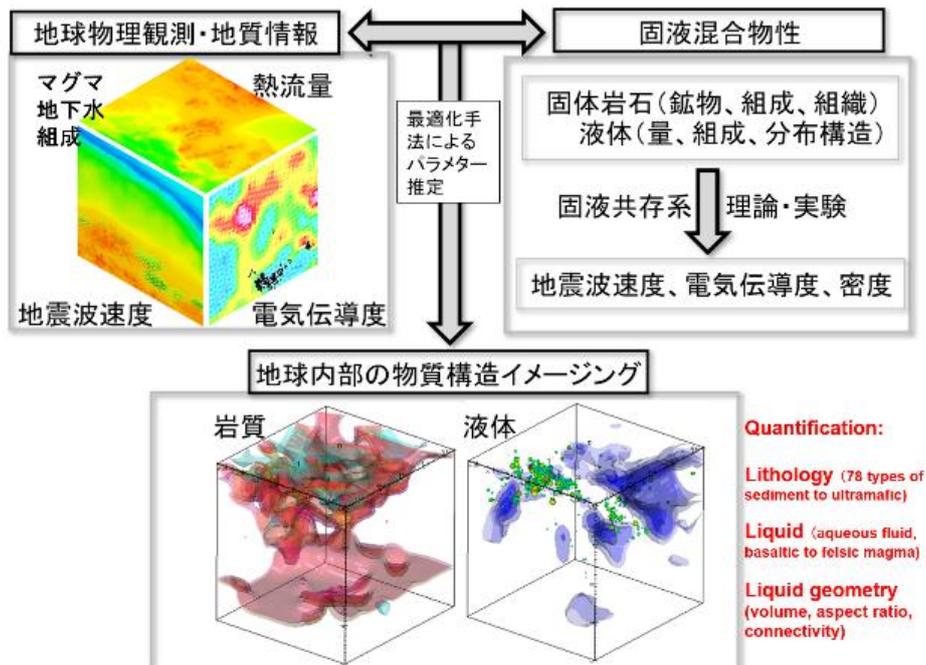
#### 参考文献

- 1) Iwamori (1998), *Earth Planet. Sci. Lett.*, **160**, 65-80. Transportation of H<sub>2</sub>O and melting in subduction zones.
- 2) Hasegawa et al. (2012), *Earth Planet. Sci. Lett.*, **355-356**, 231-243. Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake.
- 3) Muto et al. (2019), *Sci. Adv.*, **5**, eaaw1164. Coupled afterslip and transient mantle flow after the 2011 Tohoku earthquake.
- 4) 岩森・中村 (2023), *地震ジャーナル*, **78**, 2-12. 冷たい沈み込み帯としての中部日本と能登半島下でのスラブ深部脱水.
- 5) Iwamori et al. (2021), *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **126**, e2021JB022307. Simultaneous analysis of seismic velocity and electrical conductivity in the crust and the uppermost mantle: a forward model and inversion test based on grid search.
- 6) Kuwatani et al. (2023), *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **128**, e2023JB026836. Bayesian inversion of lithology and liquid phase parameters from seismic velocity and electrical conductivity in the crust and uppermost mantle.
- 7) Iwamori et al. (2025), *Comm. Earth Env.*, **6**, 373. Geofluid mapping reveals the connection between magmas, fluids, and earthquakes.



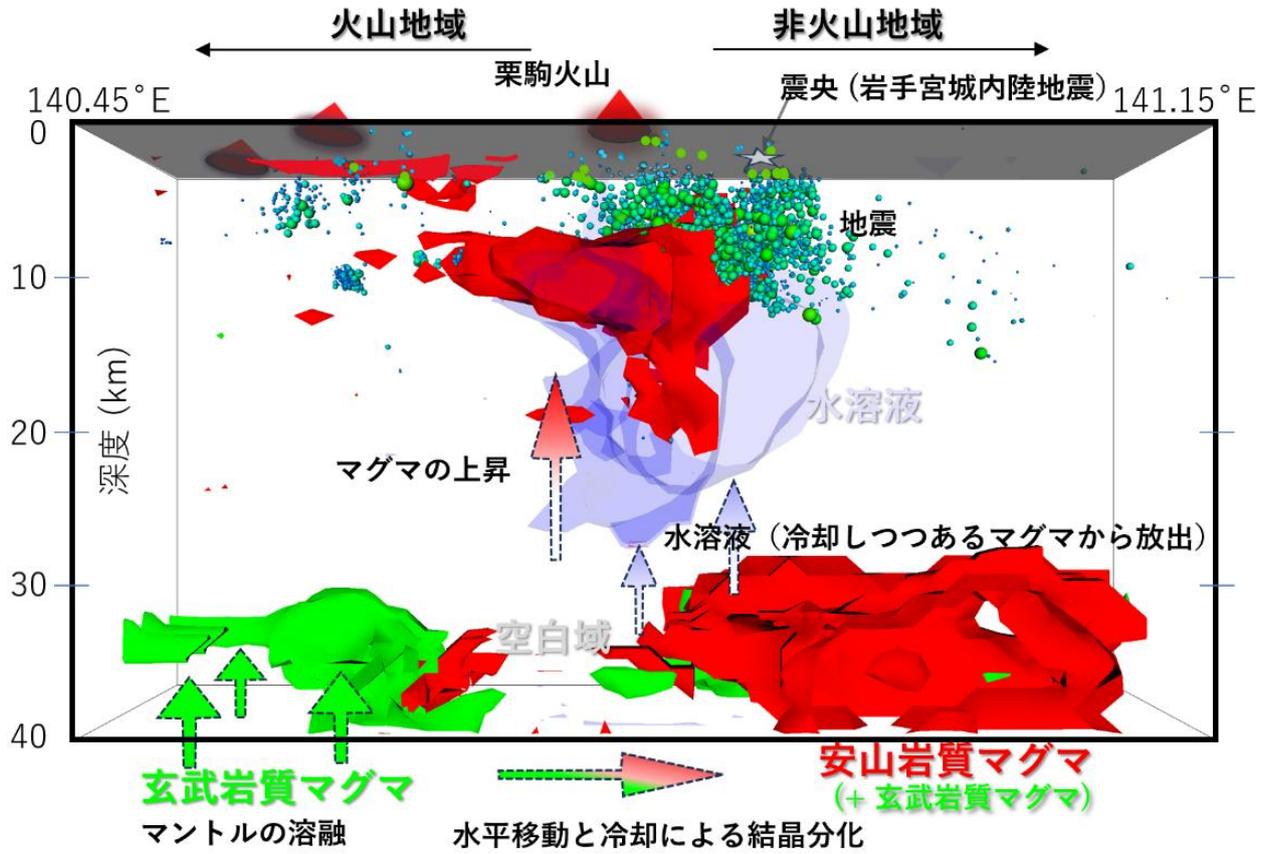
第 1 図 数値シミュレーションに基づく中部日本の地下 300 km までのマンテル対流—温度場と水溶液流体（上）およびマグマ生成領域（下）の分布. PAC: 太平洋スラブ, PHS: フィリピン海スラブ, 緑の縦線は能登半島のおよその位置に対応.

Fig. 1 Distribution of the temperature field and aqueous fluid (top), and magma generation regions (bottom) based on mantle convection simulation beneath central Japan down to 300 km depth. PAC: Pacific slab, PHS: Philippine Sea slab, and the vertical green line marks the approximate location of the Noto Peninsula.



第 2 図 地下の岩質・流体・マグマを定量的にとらえる Geofluid Mapping の手法概要.

Fig. 2 Overview of the Geofluid Mapping method for quantitatively capturing subsurface lithology, fluid, and magma.



第 3 図 Geofluid Mapping の応用例：栗駒火山および 2008 年岩手宮城内陸地震震源域の下のマグマ・流体。

Fig. 3 Application example of Geofluid Mapping: magma/fluid beneath the Kurikoma Volcano and the source region of Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008.