

令和4年(2022年)6月19日の能登半島の地震の余震分布と当該地域の地質と活断層

令和4年6月19日15時08分に能登半島の北東部でマグニチュード5.4(気象庁暫定値)の地震が発生しました。

産業技術総合研究所では、2008年に能登半島の北岸沖で海底地質調査を実施し、海底に分布する活断層の全貌を明らかにしました(岡村ほか, 2010)。それによると、能登半島北岸の5-10 km 沖に北東-南西走向の活動的な逆断層が断続的に分布していることが示されています。それらは東から西へ、20 km 前後の長さを持つ珠洲沖セグメント、輪島沖セグメント、猿山岬沖セグメント、門前沖セグメントに区分されています(図1, 2)。すべての断層は南側が隆起する南東傾斜の逆断層で、中新世の日本海拡大時に形成された正断層が再活動したものです。

このうち、門前沖セグメントは2007年能登半島地震の震源断層であったことが確認されています(井上ほか, 2007)。高分解能反射断面で、2007年の地震に伴う変位が確認され、さらに約15,000年間の地層に記録された累積変形構造から2,000-3,000年間隔で地震が発生してきたと推定されています(池原ほか, 2007)。また、猿山沖セグメントより東側では、海岸沿いに分布する低位段丘及び離水生物遺骸群集の調査が行われ、最高で7 mに達する3段の段丘が断続的に分布すること、過去約1,500年間の離水生物遺骸群集が標高2 m以下に分布することが明らかになっています(宍倉ほか, 2020)。段丘の年代は直接測定できていませんが、間接的な仮定に基づいた参考値として、平均隆起速度は0.6~1.5m/ky、地震発生間隔は数百年から2,000年と推定されています。

今回の地震は、珠洲沖セグメントの南東約4~5km付近を震源として発生しました。この地震と珠洲沖セグメントとの関係を調べるために、1997年10月1日から2022年6月26日までに発生した地震について、気象庁による一元化処理で読み取られたP波・S波到達時刻を用いて、Double-Difference法(Waldhauser and Ellsworth, 2000)によりその位置を精度よく決定しました(図3)。余震は北東-南西走向で50~60°の南東傾斜の分布を示し、防災科学技術研究所F-net解の節面の一つとも概ね調和的です。この分布をそのまま地表に延長すると、珠洲沖セグメントの北側に抜けます。一方、浅部に向かい傾斜角がやや高角に変化する断層形状を持つ場合は、今回の地震は珠洲沖セグメントの深部付近で発生している可能性があります。また、エアガンの反射断面を観察すると、珠洲沖セグメントの北側には、複数の南傾斜の逆断層が分布していることから(図4)、それらの断層の深部で地震が発生した可能性も考えられます。

謝辞

本稿の作成に当たっては、気象庁一元化処理検測値とhypoDDプログラム(Waldhauser and Ellsworth, 2000)を使用しました。

引用文献

- 池原 研・井上卓彦・村上文敏・岡村行信 (2007) 能登半島西方沖の堆積作用・完新世堆積速度と活断層の活動間隔. 地震研彙報, 82, 313-319.
- 井上卓彦・村上文敏・岡村行信・池原 研 (2007) 2007 年能登半島地震震源域の海底活断層. 地震研彙報, 82, 301-312.
- 井上卓彦・岡村行信 (2010) 能登半島北部周辺 20 万分の 1 海域地質図及び説明書. 海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」. 数値地質図 S-1, 地質調査総合センター, https://www.gsj.jp/data/coastal-geology/GSJ_DGM_S1_2010_01_b_sim.pdf.
- 井上卓彦・尾崎正紀・岡村行信 (2010) 能登半島北部域 20 万分の 1 海陸シームレス地質図及び地質断面図. 海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」. 数値地質図 S-1, 地質調査総合センター, https://www.gsj.jp/data/coastal-geology/GSJ_DGM_S1_2010_03_a.pdf
- 岡村行信・井上卓彦・尾崎正紀・池原 研・駒澤正夫・大熊茂雄・加野直巳・伊藤忍・横田俊之・山口和雄 (2010) 海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」. 数値地質図 S-1, 地質調査総合センター, <https://www.gsj.jp/researches/project/coastal-geology/results/s-1.html>.
- 尾崎正紀 (2010) 能登半島北部 20 万分の 1 地質図及び説明書. 海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」. 数値地質図 S-1, 地質調査総合センター, <https://www.gsj.jp/researches/project/coastal-geology/results/s-1.html>.
- 宍倉正展・越後智雄・行谷佑一 (2020) 能登半島北部沿岸の低位段丘および離水生物遺骸群集の高度分布から見た海域活断層の活動性. 活断層研究, no.53, 33-49.
- Waldhauser, F. and Ellsworth, W. L. (2000) A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, California. Bulletin of the Seismological Society of America, 90, 1353-1368, doi:10.1785/0120000006.

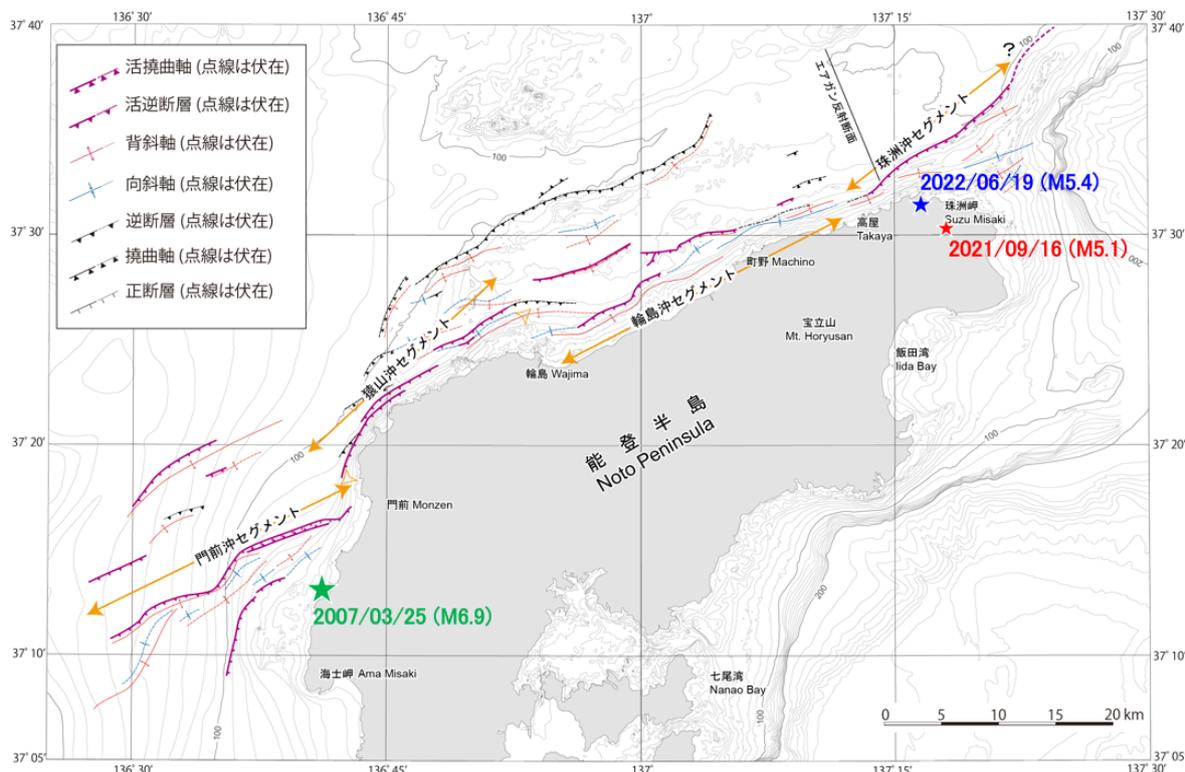


図1 能登半島北岸沖の活断層と6月19日の地震の震央(青星)。基図は、井上・岡村(2010)を一部改変。震源位置は防災科学技術研究所 Hi-net, 気象庁, 東京大学, 京都大学の各機関の地震観測網で得られた地震波形データと, 気象庁一元化処理検測値を使用し, hypoDD により決定したものである。参考に, 気象庁一元化カタログによる2007年3月25日能登半島地震(M6.9)と2021年9月16日の地震(M5.1)の震央を緑星, 赤星で示す。

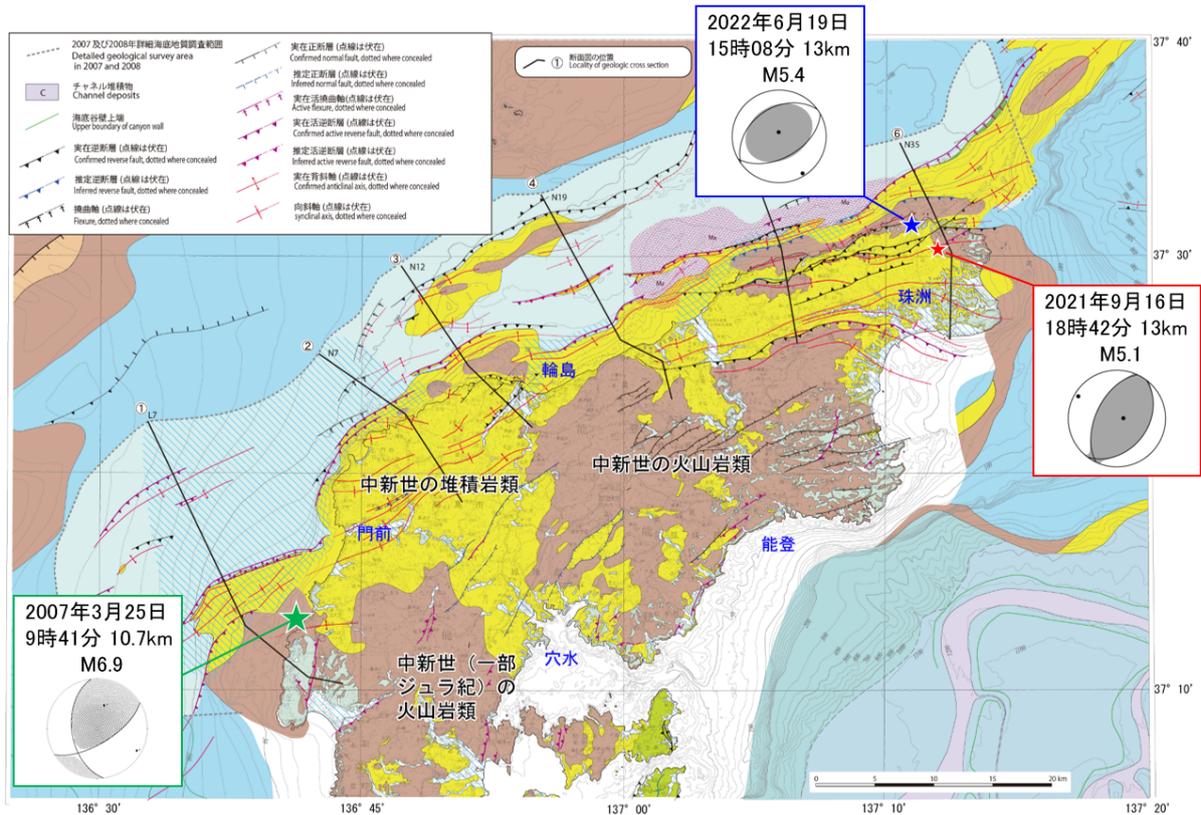


図2 能登半島の海陸シームレス地質図. 基図は, 井上ほか(2010)及び尾崎(2010).
メカニズム解は防災科学技術研究所のF-net解を示す. 震央は図1と同じである.

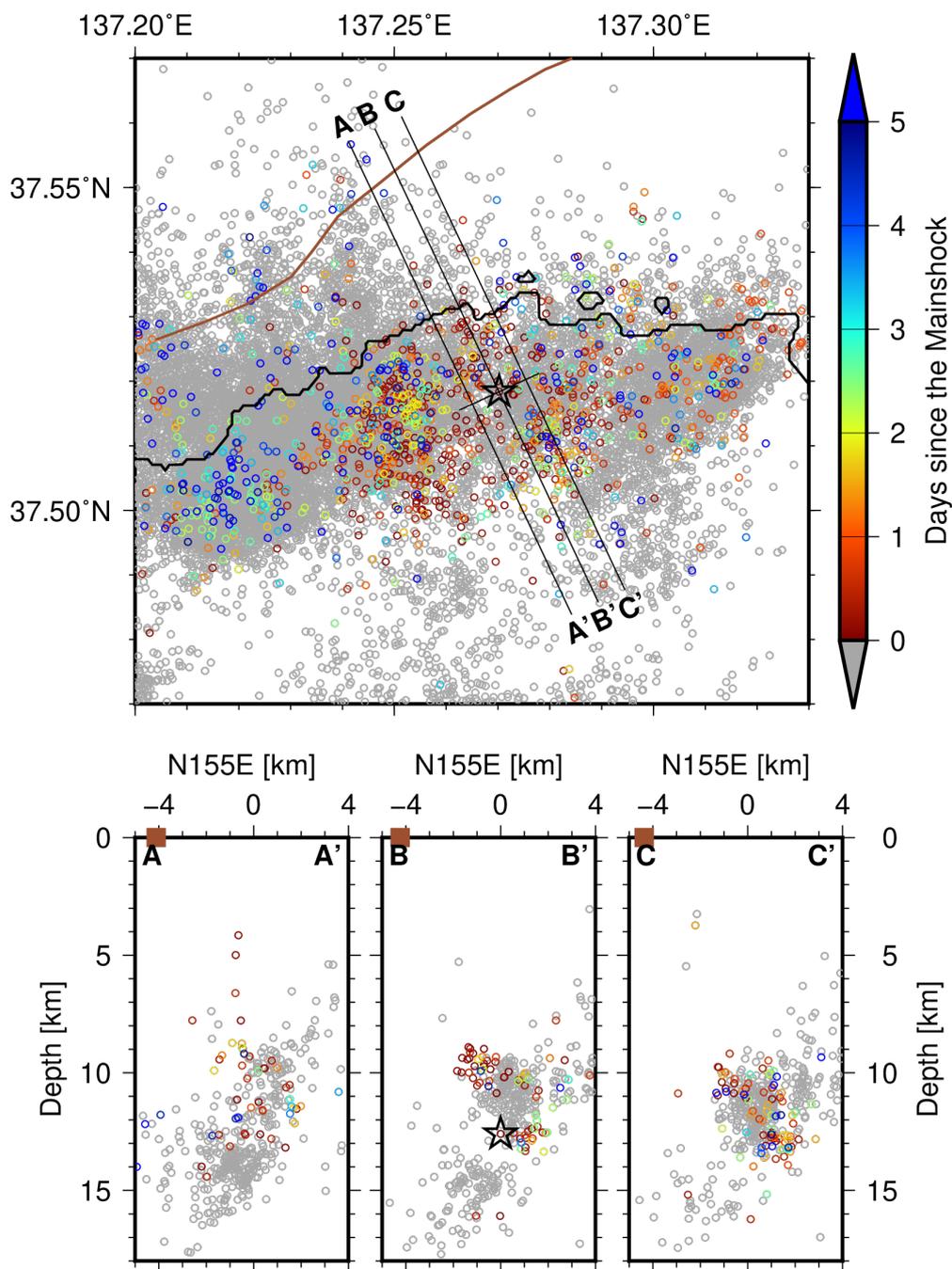


図3 能登半島北東部における震源決定結果. 丸の色は、2022年6月19日の地震（M5.4）の発生時刻を基準にして色分けしている. 星はM5.4の地震を示す. 赤の線は珠洲沖セグメントの地表位置を示す. 3つの測線（A-A'、B-B'、C-C'）の断面図を下図に示す. 赤の四角は珠洲沖セグメントの地表位置を示す.

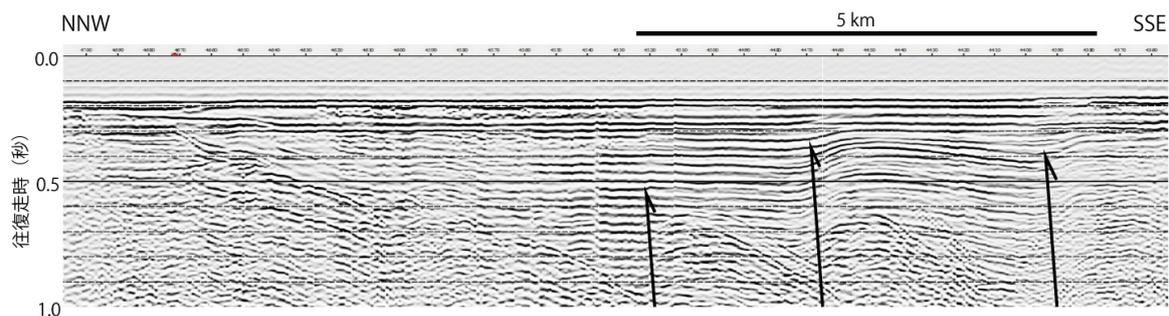


図4 図1に位置を示した珠洲北方沖のNNW-SSE方向のエアガンを音源とするシングルチャンネル反射断面。珠洲沖セグメントの活断層はこの反射断面には含まれず、南端よりすぐ南側に位置する。この断面では、活断層の北側にも少なくとも南側隆起の3つの逆断層が観察されるが、海底には達していないことから、活動をほぼ停止していると推定される。

能登半島及び周辺における温泉水のヘリウム同位体比と水温

能登半島直下での太平洋プレート上面の深度は約 250 km であり (図 5), 含水鉱物 (蛇紋岩, PhaseA) として運ばれた水は, 脱水してマントル内を上昇する. 溶融が生じるかどうかはマントルの温度構造で決まるが, 中部日本は二重の海洋プレートの沈み込みにより冷たい温度場になっているため (図 6), 溶融が生じることは考えにくい.

一方, 能登半島北東部及び北西部の温泉中のヘリウム同位体は, 能登半島南部に比べて有意に高く, マントル起源のガスを含み (図 7-a), 何らかの流体が上昇している可能性がある. ただし第四紀火山周辺の温泉のヘリウムがほぼマントル起源であるのに対し, 能登半島北部の温泉水は地殻起源のヘリウムが卓越しており (図 7-b), 地殻内での流体の滞留が考えられる. 温泉水の同位体 ($\delta D \cdot \delta^{18}O$) などからは顕著なマグマ水の寄与は見られず (加戸ほか, 2016), 温泉水の水温は一部の温泉を除いて最大 50°C 程度と活発な熱水活動を起こしている地域ではない (図 8).

温泉中にヘリウムなどのマントル起源ガスを多く含む理由としては, 火山活動によるもの, プレートから脱水した水がマグマ生成を伴わずに地表まで上昇したもの, 地殻下部においてマグマが固化した際に脱水した水が地表まで上昇したものなどが考えられる. 本地域内に, 第四紀火山は分布していないことから (図 9 及び図 10), 火山活動起源ではない. 本地域は, 活発な熱水活動を起こしている地域ではないが, ヘリウムなどのガスが遊離し, 断層などを介して水より先に上昇してくることが考えられる.

引用文献

Iwamori, H. (2000) Deep subduction of H_2O and deflection of volcanic chain towards back-arc near triple junction due to lower temperature. *Earth and Planetary Science Letters*, 181, 41-46

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2022) 2022 年 6 月 19 日石川県能登地方の地震の評価.

https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2022/20220619_ishikawa_1.pdf

加戸裕也, 上田 晃, 中本利正 (2016) 石川県内温泉水の化学及び同位体組成を用いた地球化学的地熱資源解析, *地球化学*, 50, 279-298

Nakamura, H. and Iwamori, H. (2013) Generation of adakites in a cold subduction zone due to double subducting plates. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 165:1107–1134, DOI 10.1007/s00410-013-0850-0

Ohwada, M., Satake, H, Nagao, K., and Kazahaya, K. (2007) Formation processes of thermal waters in Green Tuff: A geochemical study in the Hokuriku district, central Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 168, 55–67

高橋正明, 風早康平, 安原正也, 塚本 齊, 佐藤 努, 高橋 浩, 森川徳敏, 清水 徹, 宮越昭暢, 戸崎裕貴, 東郷洋子, 稲村明彦, 半田宙子, 仲間純子, 中村有理, 竹内久子, 大丸 純, 清水日奈子, 尾山洋一, 大和田道子, 切田 司 (2018) 深層地下水データベース (第 2 版), 地質調査総合センター研究資料集, no.653, 産総研地質調査総合センター

Umeda, K., A. Ninomiya, and T. Negi (2009), Heat source for an amagmatic hydrothermal system, Noto Peninsula, Central Japan, *J. Geophys. Res.*, 114, B01202, doi:10.1029/2008JB005812.

吉川敏之, 鹿野和彦, 柳澤幸夫, 駒沢正夫, 上島正人, 木川栄一 (2002) 珠洲岬, 能登飯田及び宝立山地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 76p.

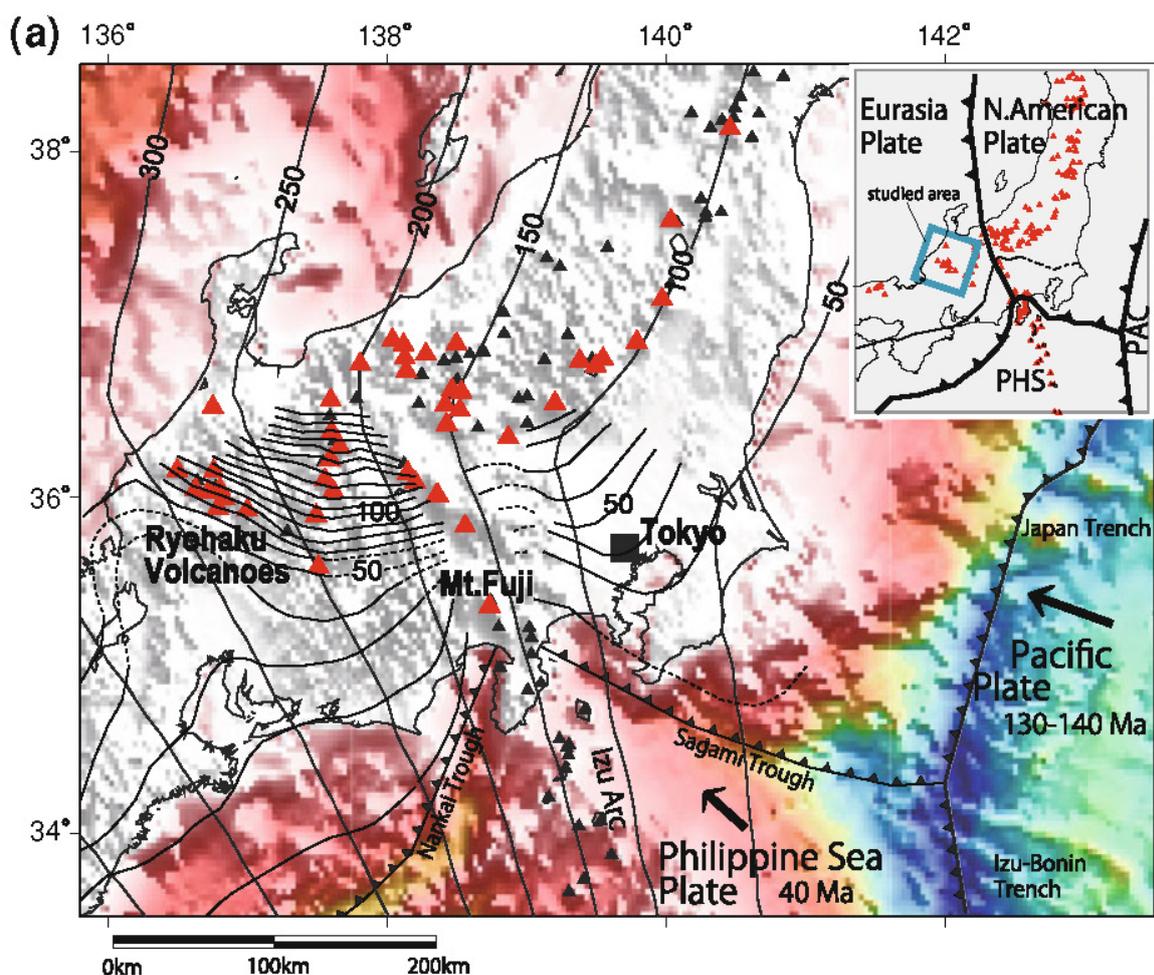


図5 日本列島中央部の第四紀火山の分布と、沈み込む太平洋スラブ (PAC) とフィリピン海スラブ (PHS) 上面の深度 (Nakamura and Iwamori, 2013)

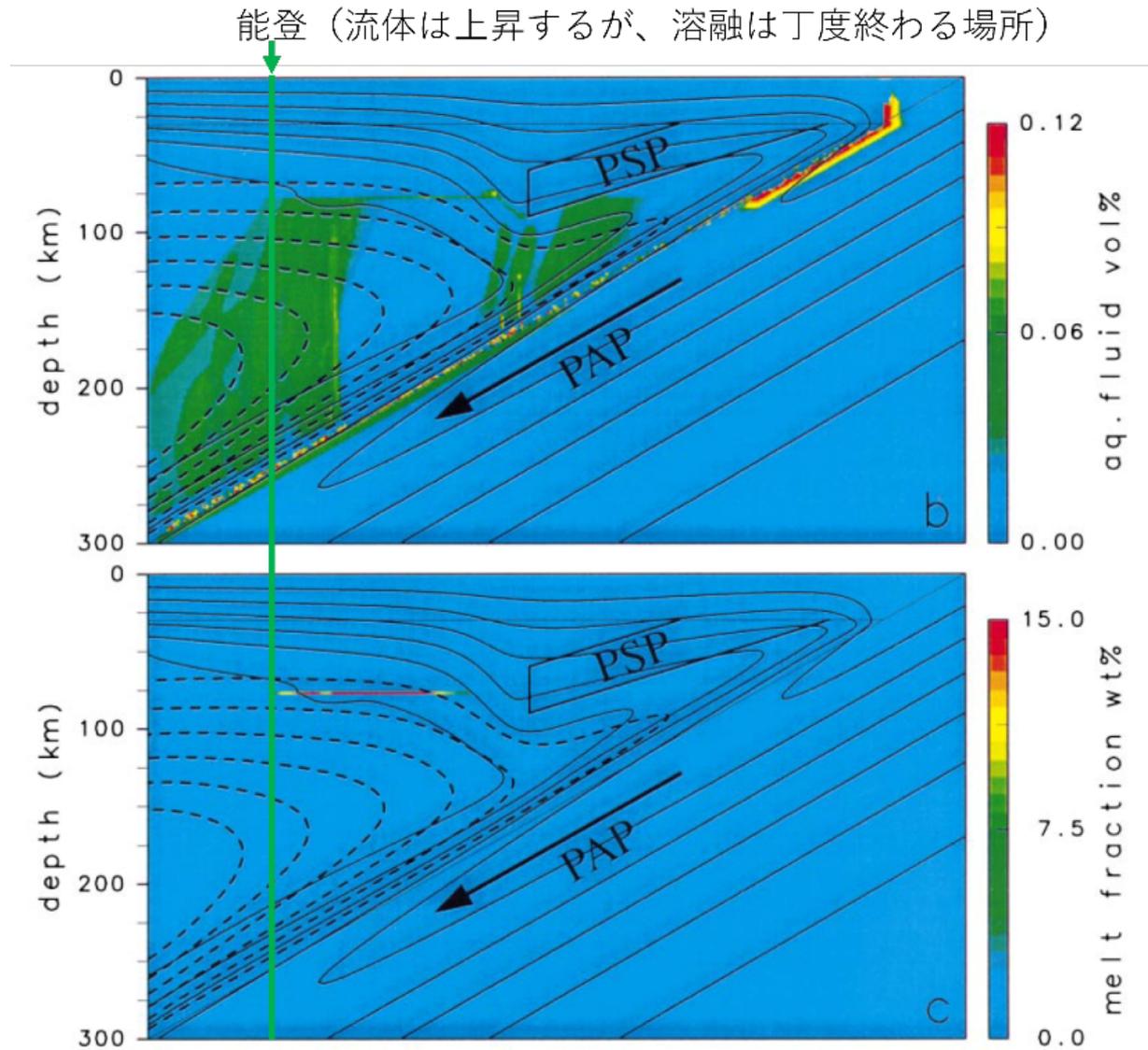


図6 数値モデルによって予測された中部日本の H_2O (上) とメルト (下) の分布 (Iwamori et al., 2000 に加筆)

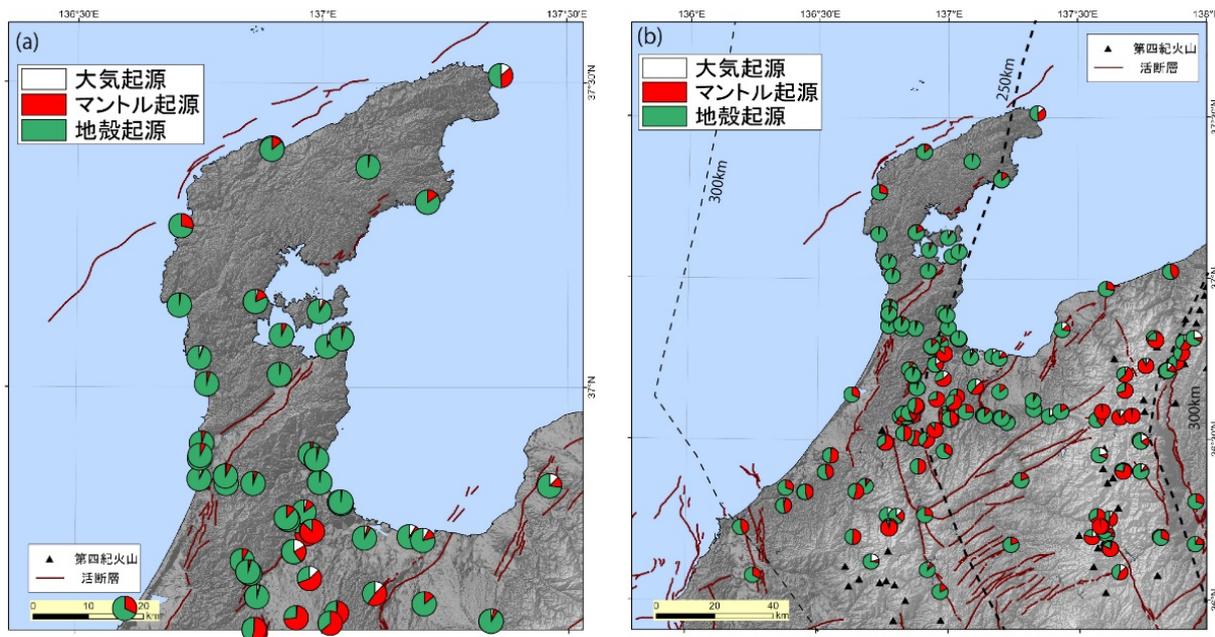


図7 能登半島周辺(a)及び中部地方(b)の温泉水中のヘリウム同位体比から見た、マントル起源及び地殻起源ガスの寄与率 (Ohwada et al., 2007; Umeda et al., 2009; 産業技術総合研究所未公表データなど) なお、能登半島試料は2009年以前に採取されたものである。

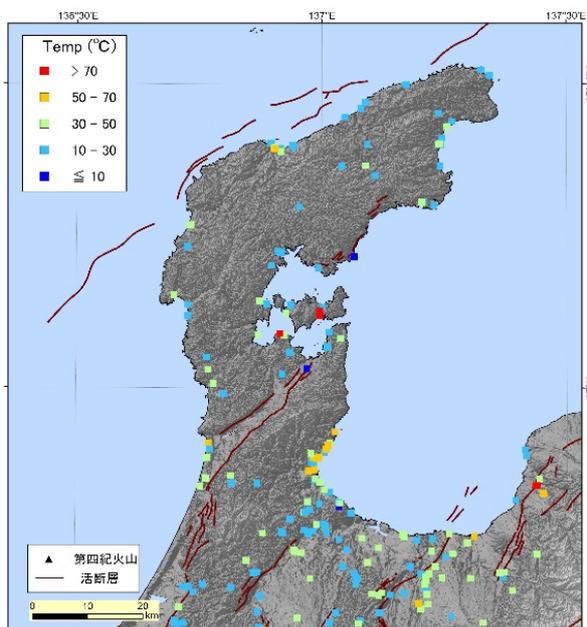


図8 能登半島周辺の温泉水の水温分布図 (高橋ほか, 2018)

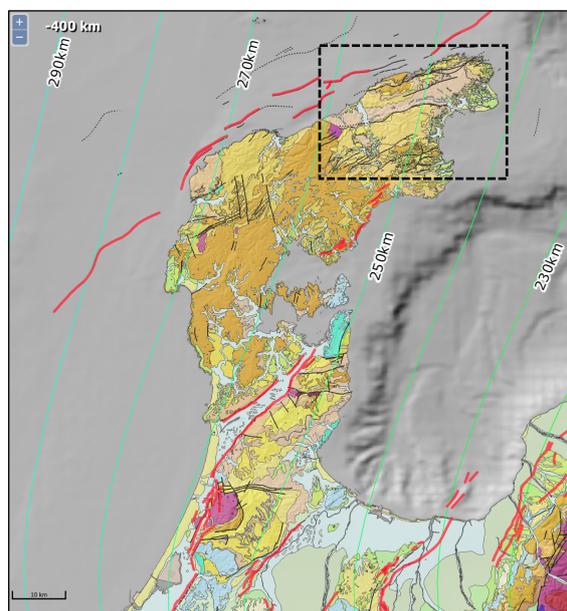


図9 能登半島周辺の地質 (基図は20万分の1日本シームレス地質図V2)。赤線は活断層, 黄緑線は太平洋プレートの等深線, 黒破線の矩形は図10の地質図幅の範囲を示す。凡例は図2を参照。凡例の一部は省略した。

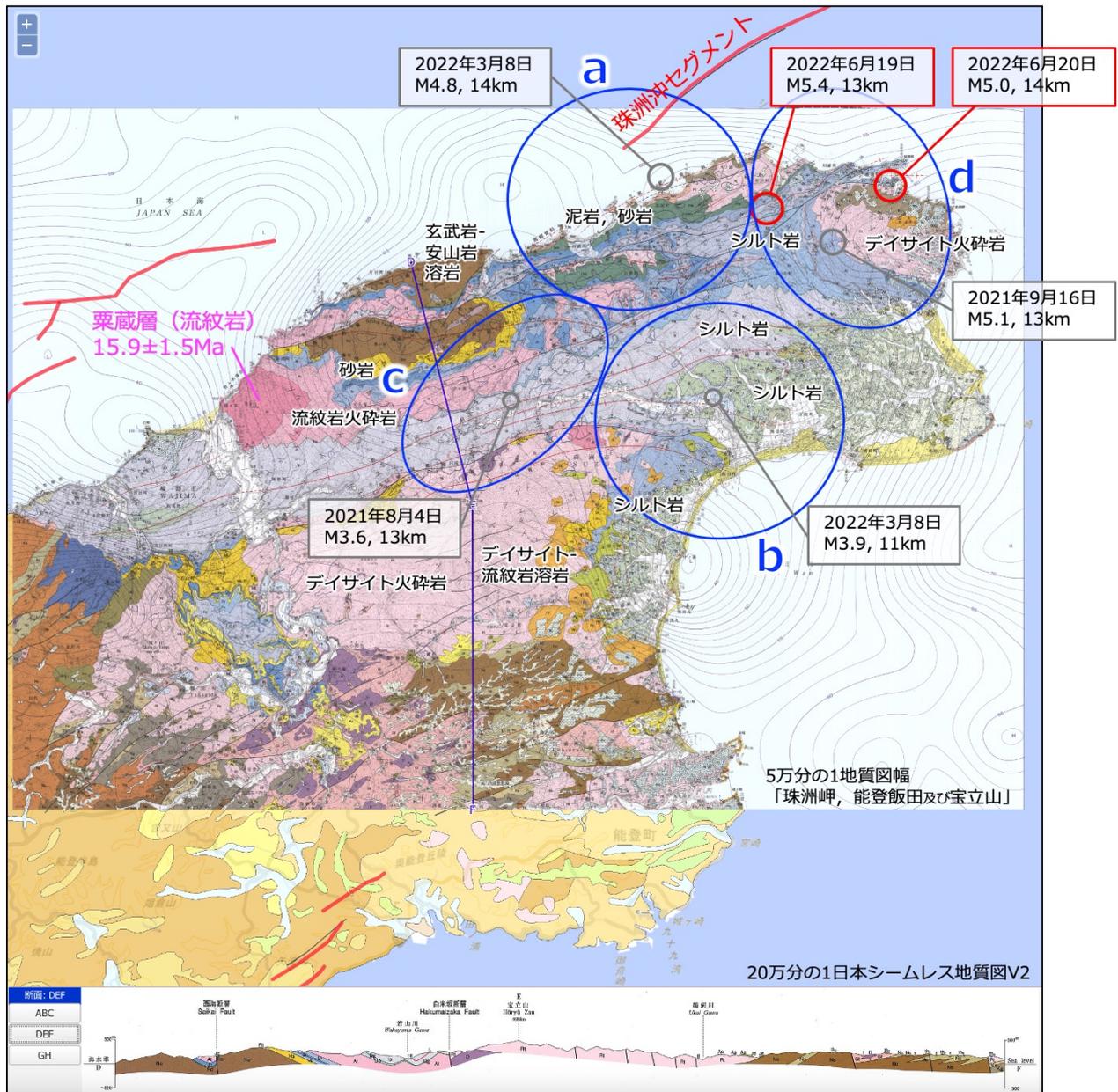


図10 能登半島北東端部の地質。基図は、吉川ほか（2002）及び20万分の1日本シームレス地質図V2。凡例の一部は省略した。青線の楕円は気象庁による能登半島の地震のクラスター、赤色の丸、灰色の丸は地域内で発生した主な地震を示す（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2022）。