



神奈川県
くらし安全防災局

神奈川県温泉地学研究所

令和4年度

研究成果発表会講演要旨集

日時 令和4年11月30日(水) 14時00分から16時00分

会場 温泉地学研究所2階会議室 及び Zoomによるハイブリッド

令和4年度温泉地学研究所研究成果発表会プログラム

日時：令和4年11月30日（水） 14:00～16:00（13:00 受付開始）

開催方法：温泉地学研究所2階会議室＋オンライン（Zoom）開催

■開会挨拶

14:00-14:05 温泉地学研究所長 板寺 一洋

■口頭発表（括弧内は発表者）

(1) 14:05-14:30 源泉一斉調査から見る箱根湯本温泉の特徴（二宮 良太）

日本有数の温泉観光地として知られる箱根湯本の源泉について、温泉資源の現状把握を目的とする一斉調査を実施しました。本調査の成分分析結果より、箱根湯本地区の温泉の特徴や温泉資源の現状について報告します。

(2) 14:30-14:55 2021年の地震活動と箱根山の火山活動について（長岡 優）

神奈川県およびその周辺地域を中心とした2021年の地震活動の概要と箱根山の火山活動についてお話しします。

(3) 15:00-15:25 神奈川県に向かって近づいてくるフィリピン海プレートの地殻構造（安部 祐希）

神奈川県に向かって移動するフィリピン海プレートは神奈川県の西側には衝突していますが、東側には沈み込んでいます。その違いを生む原因や陸側のプレートとの運動の食い違いがどこで起きているのかについて考えるために、フィリピン海プレートの地殻構造を明らかにしました。

(4) 15:30-15:55 人工衛星データからみる箱根火山浅部熱水系の構造について（道家 涼介）

人工衛星に搭載された合成開口レーダー（SAR）は、地表に観測点を設置することなく、地表面をスキャンするように、面的に地殻変動を捉えることができます。本発表では、この手法から明らかとなった、箱根火山浅部熱水系の構造について報告します。

■閉会挨拶

15:55-16:00 研究課長 菊川 城司

目次

口頭発表

源泉一斉調査から見る箱根湯本温泉の特徴	1
2021 年の地震活動と箱根山の火山活動について	3
神奈川県に向かって近づいてくるフィリピン海プレートの地殻構造	5
人工衛星データからみる箱根火山浅部熱水系の構造について	7

源泉一斉調査から見る箱根湯本温泉の特徴

○ 二宮良太、外山浩太郎、菊川城司（温泉地学研究所）

1. はじめに

温泉地学研究所では、箱根温泉の枯渇化が問題となった 1960 年代から、温泉資源に関わる様々な調査を行ってきました。中でも箱根湯本温泉や塔之沢温泉（以下、箱根湯本地区という）は、これまでも定期的に現地調査を実施してきました。過去の一斉調査は、1970（昭和 45）年（平野ほか、1972）、1980（昭和 55）年（平野ほか、1986）、1990（平成 2）年（温泉地学研究所、1992）、2006（平成 18）年（菊川・板寺、2008）、2015（平成 27）年（菊川、2020）に行われ、泉温、成分、揚湯量など、温泉資源の現状把握に必要なデータを収集しました。最新の調査では、温泉資源枯渇化の進行は 1970 年と比較すると鈍化しているものの、一部地域では溶存成分量が減少していることが報告されています。2021 年度温泉保護対策調査（以下、本調査という）では、箱根湯本地区に湧出する温泉の調査を行い、将来的な温泉保護対策の検討に必要な源泉情報の取得および過去の調査結果との比較による経年変化の検証を行いました。

2. 方法

2021 年 6 月 21 日から 8 月 6 日の間、箱根湯本地区の源泉 74 か所を対象に現地調査を実施しました。現地調査は、小田原保健福祉事務所温泉課とともに箱根湯本地区の源泉を訪れ、温度、pH、揚湯量などの現地調査項目の測定を行い、成分分析用の温泉水は 500mL ポリビンに採水しました。採取した温泉水は、鉱泉分析法指針（平成 26 年改訂）に準じて、溶存成分濃度を分析しました。各源泉の泉質は、鉱泉分析法指針に定める療養泉の泉質の分類に基づき判定しました。湧出形態別の源泉数は、水中ポンプにより揚湯している源泉が 49 か所と最も多く、次いでエアリフトポンプによるものが 21 源泉、タービンポンプによるものが 2 源泉、横穴湧泉が 2 源泉でした。

3. 結果および考察

温泉水中の成分項目を視覚的に評価するため、トリリニアダイアグラムを作成しました（図 1）。箱根湯本地区の温泉は、陽イオンについてはナトリウムイオン（ Na^+ ）が 60%以上、カルシウムイオン（ Ca^{2+} ）40%以下であり、マグネシウムイオン（ Mg^{2+} ）は少なくなっています。陰イオンについては、塩化物イオン（ Cl^- ）と硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）の混合が主体のものから、炭酸水素イオン（ HCO_3^- ）を主体とするものへ向かって幅広く分布していることが、湯本温泉の特徴と言えます。

次に、箱根湯本地区の温泉水の経年変化を見てみましょう。過去 6 回の調査全てにおいて分析を実施した 40 源泉について、主な調査項目（泉温、揚湯量、塩化物イオン濃度、硫酸イオン濃度、炭酸水素イオン濃度、メタケイ酸（ H_2SiO_3 ）濃度）の平均値の経年変化をまとめま

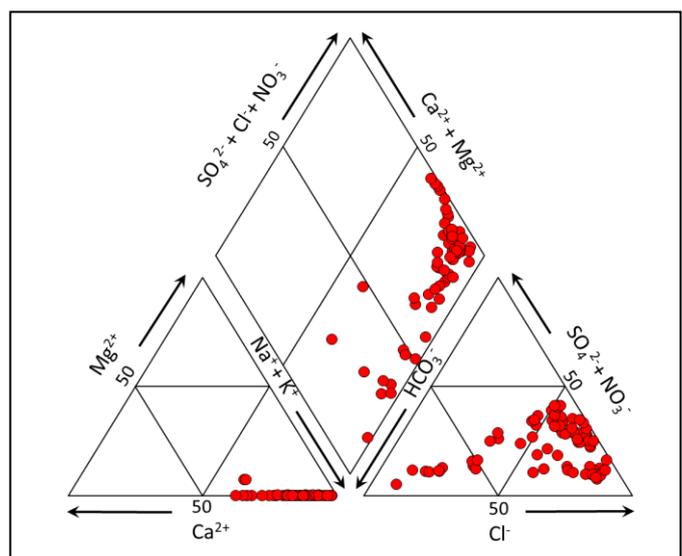


図 1 トリリニアダイアグラム（単位は当量%）
赤丸は、各源泉の化学成分濃度の相対的な割合を表しており、温泉水の成分的特徴を見ることができます。

した(図2)。その特徴を項目別に見ると泉温と揚湯量は、初回調査1970年以降、緩やかに減少しており、1970年と2021年の調査結果を比較すると、泉温は4.1℃、揚湯量は26.3L/min低下しています。温泉の主要成分である塩化物イオン、硫酸イオンは、1990年までは減少傾向にありましたが、1990年以降は横ばいの状況が続いています。1970年と2021年の変化量は、硫酸イオンが33mg/L、塩化物イオンが134mg/Lの減少でした。メタケイ酸については、概ね65mg/Lで推移しています。このことから、温泉保護対策要綱の策定をはじめとする神奈川県温泉保護対策により、温泉成分量の減少にある程度の歯止めがかかっていると考えられます。一方で、炭酸水素イオンは緩やかな増加が続いていましたが、2021年調査ではその傾向が顕著にみられました。温泉貯留層に対する浅層地下水の影響が増している可能性が懸念され、今後の変動を注視する必要があります。当所では、温泉資源の枯渇化による影響を広域的に捉えるためにも、引き続き定期的なモニタリングを実施して温泉資源の推移を観測する予定です。

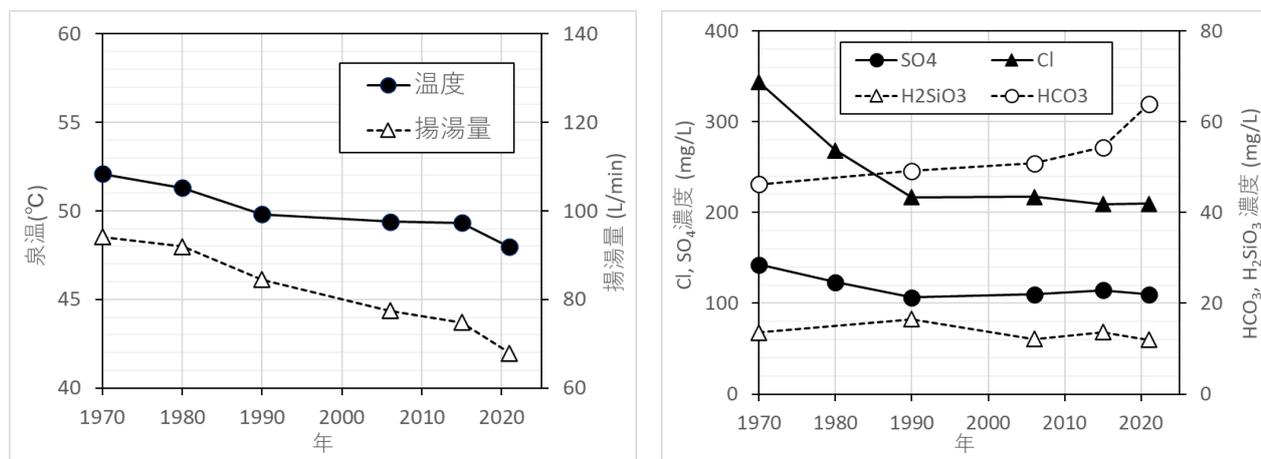


図2 主要調査項目(平均値)の経年変化

過去6回すべての源泉調査にて成分分析を実施した40源泉の平均値を算出しました。なお、1980年調査のメタケイ酸及び炭酸水素イオン濃度はデータ欠損のため省略しています。

謝辞

源泉一斉調査は、源泉所有者及び小田原保健福祉事務所温泉課の皆様のご協力により実施することができ、温泉資源の保護に必要な情報を収集することができました。ここに記してお礼申し上げます。

参考文献

- 温泉地学研究所(1992)平成3年度温泉保護対策調査報告書
- 温泉地学研究所(2006)平成18年度温泉保護対策調査報告書
- 温泉地学研究所(2015)平成27年度温泉保護対策調査報告書
- 菊川城司・板寺一洋(2008)箱根湯本地区温泉の泉質経年変化の評価—成因の解明に向けて,神奈川県立博物館調査研究報告,13,195-210.
- 菊川城司(2020)箱根湯本地区に湧出する温泉の現況と経年変化～2015(平成27)年の一斉調査結果から～,温地研報告,52(3),23-34.
- 平野富雄・大木靖衛・栗屋徹(1972)箱根湯本・塔之沢の泉質,温地研報告,3(3),109-130.
- 平野富雄・栗屋徹・大木靖衛(1986)箱根湯本温泉の湧出状況について,温地研報告,17(5),95-114.

2021年の地震活動と箱根山の火山活動について

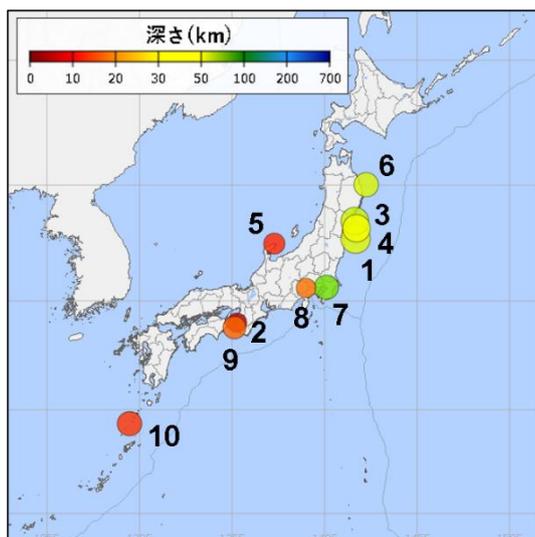
○長岡 優（温泉地学研究所）

1. はじめに

温泉地学研究所では、地震火山災害の軽減や県土の環境保全に役立てることを目的として、地質、地震、火山、地下水、温泉等の研究を行っています。本報告では昨年（2021年）1年間の地震活動と県内唯一の活火山である箱根火山の活動について、当所の観測結果及び他機関の観測データに基づいて紹介します。

2. 国内の主な地震活動

2021年の1年間に日本国内で発生した地震を震度別に振り返ると、震度6強が1回、震度5強が5回、震度5弱が4回、震度4が44回となっています（図1、表1）。2月13日に福島県沖で発生した地震（M7.3、最大震度6強）の際には宮城県の石巻港で22cmの津波が観測されたほか、宮城県と福島県で津波が観測されました。日本国内で津波が観測されたのは、2019年6月18日の山形県沖の地震（M6.7）の際に山形県鶴岡市で11cmの津波が観測された時以来です。



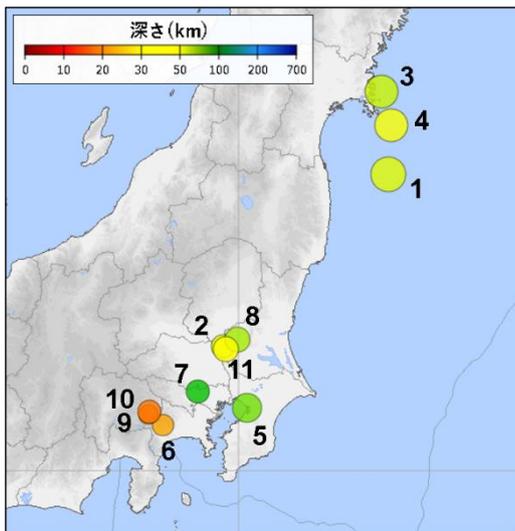
番号	発生日	震央地名	規模（最大震度）
1	2021/02/13	福島県沖	M7.3（6強）
2	2021/03/15	和歌山県北部	M4.6（5弱）
3	2021/03/20	宮城県沖	M6.9（5強）
4	2021/05/01	宮城県沖	M6.8（5強）
5	2021/09/16	石川県能登地方	M5.1（5弱）
6	2021/10/06	岩手県沖	M5.9（5強）
7	2021/10/07	千葉県北西部	M5.9（5強）
8	2021/12/03	山梨県東部・富士五湖	M4.8（5弱）
9	2021/12/03	紀伊水道	M5.4（5弱）
10	2021/12/09	トカラ列島近海	M6.1（5強）

図1 2021年に発生した日本国内で最大震度5弱以上を観測した地震の震央（気象庁資料改変）

表1 2021年に発生した日本国内で最大震度5弱以上を観測した地震 ※番号は図1中の番号に対応（気象庁資料改変）

3. 神奈川県的主要な地震活動

2021年の神奈川県に関連する地震活動を振り返ると、神奈川県付近を震源とする地震（※気象庁が発表する地震情報において、震央地名が「神奈川県東部」および「神奈川県西部」となるもの）については、神奈川県内外で震度4以上を観測した地震の発生はありませんでした（震度3が1回、震度2と1が2回ずつ）。一方、神奈川県内で震度3以上を観測した地震は11回発生し、震度5弱の地震が1回、震度4の地震が3回、震度3の地震が7回となっています（図2、表2）。



番号	発生日	震央地名	規模(最大震度)	県内震度
1	2021/02/13	福島県沖	M7.3 (6強)	4
2	2021/03/16	茨城県南部	M4.9 (4)	3
3	2021/03/20	宮城県沖	M6.9 (5強)	4
4	2021/05/01	宮城県沖	M6.8 (5強)	3
5	2021/10/07	千葉県北西部	M5.9 (5強)	5弱
6	2021/11/17	神奈川県西部	M4.4 (3)	3
7	2021/11/20	東京都多摩東部	M4.6 (3)	3
8	2021/12/02	茨城県南部	M5.1 (4)	3
9	2021/12/03	山梨県東部・富士五湖	M4.1 (4)	3
10	2021/12/03	山梨県東部・富士五湖	M4.8 (5弱)	4
11	2021/12/12	茨城県南部	M5.0 (4)	3

図2 2021年に発生した神奈川県内で最大震度3以上を観測した地震の震央(気象庁資料改変)

表2 2021年に発生した神奈川県内で最大震度3以上を観測した地震 ※番号は図2中の番号に対応 ※規模の欄の()内の数字は県外も含めた最大震度(気象庁資料改変)

4. 箱根火山の活動

2021年5月頃から箱根カルデラを挟む小田原-裾野2のGNSS基線でわずかな伸びが観測されましたが(図3中の青矢印)、同年8月頃から停滞しています。また、大涌谷の火山ガスの組成比にごくわずかな変化が見られましたが(温泉地学研究所, 2021, 第149回火山噴火予知連絡会資料)、中央火口丘付近の地震の発生状況やその他の観測データに特段の変化は認められませんでした。地震活動に関しては、12月7日に芦ノ湖南部で地震が一時的にまとまって発生しましたが、それ以外は概ね静穏に推移しました(図4)。

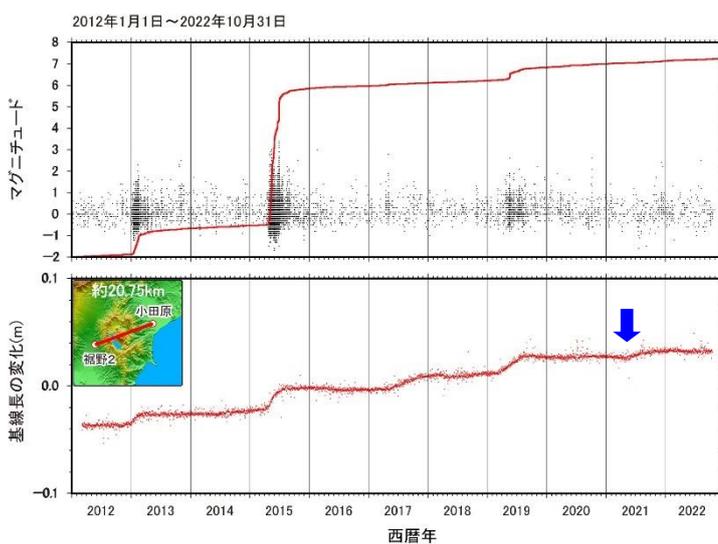


図3 2012年1月以降に箱根付近で発生した地震の規模と回数積算(上段)、及び小田原-裾野2のGNSS基線長の変化(下段)

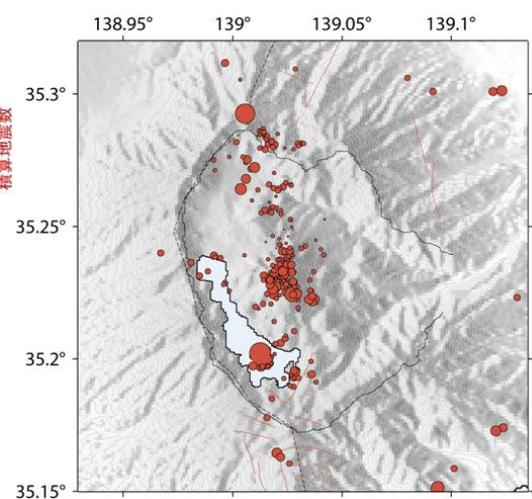


図4 2021年に箱根カルデラ周辺で発生した地震の震源分布図

神奈川県に向かって近づいてくるフィリピン海プレートの地殻構造

○安部祐希（温泉地学研究所）

1. はじめに

神奈川県付近ではフィリピン海プレートとオホーツクプレートが互いに近づきあうように移動しています*¹（図1）。二つのプレートの境界の一部は、相模トラフと呼ばれる相模湾から千葉県南方沖へと続く溝状の海底地形（図1）に一致し、そこからフィリピン海プレートがオホーツクプレートの下に沈み込んでいます。しかし、相模トラフの西端は小田原市付近にあり、それより西側の伊豆半島の付け根付近にはフィリピン海プレートの沈み込み口がなく、プレート同士が衝突しています。フィリピン海プレートが相模トラフから沈み込む領域（以降、沈み込み帯）では、沈み込むプレートと上盤側のプレートの境界面が滑ることでプレート同士の動きを解消していますが、プレート同士が衝突している場所（以降、衝突帯）では地下の岩盤がどのように移動しているのか詳しくわかっていません。そこで温泉地学研究所では、その手掛かりを探るため地下構造の解明に取り組んでいます。

2. 解析

神奈川県・伊豆半島とその周辺を含む領域の地下構造を、その領域に設置されている多数の地震計で観測した遠地地震波形のレシーバ関数解析*²により推定しました。プレートは、浅い部分が地殻、深い部分がマントルと呼ばれる組成の異なる媒質で構成されており、この解析ではその境界面を検出しその形状を明らかにしました。この境界面は、その存在を初めて明らかにした地震学者の名前を取って、モホロビッチ不連続面（以降、モホ面）と呼ばれています。

3. 結果および考察

フィリピン海プレートのモホ面は、伊豆半島では30 km 台後半、富士山より北で50 km 台後半、三浦半島周辺では30 km 未満の深さに存在します（図1）。伊豆半島から富士山の北側にかけてモホ面が傾斜しており、フィリピン海プレートのうち少なくとも地殻の深い部分とマントルは、衝突帯の下でも沈み込んでいるようです。既に明らかにされているフィリピン海プレートの上面の形状*³をもとに、フィリピン海プレートの地殻部分の厚さも明らかになりました（図2）。地殻は、伊豆半島から富士山にかけての地域で35 km を超えるほど厚く、その部分から離れるにつれて薄くなり、神奈川県東部では20 km に満たない部分もあります（図2）。よって、相模湾からは薄い地殻が沈み込んでおり、衝突帯には厚い地殻が存在することがわかります。基本的に地殻はマントルに比べて軽く、地殻部分の厚いプレートはそれが薄いプレートに比べて浮力が大きいいため、沈み込むのが難しいと考えられています*⁴が、それと整合的な結果が得られました。

では、衝突帯の地下では岩盤がどのように移動しているのでしょうか。その手掛かりとして、この領域の地殻変動が、伊豆半島の深さ15 - 20 km に水平な滑り面の存在を仮定することで説明されています*⁵（図2）。つまり、沈み込み帯では沈み込むプレートの上面が滑っているのに対し、衝突帯では上面の代わりにそれより深いプレートの内部に滑り面があることとなります。さらに稠密に観測された地殻変動から、伊東から丹沢にかけての地域は、東側が西側に対して北向きに動くことで地表面が歪んでいることが明らかになってきました*⁶（図2）。この地域は、ちょうど沈み込み帯と衝突帯との間の領域にあります。沈み込み帯では滑り面の摩擦力が大きくフィリピン海プレートがオホーツクプレートを北向きに駆動しているのに対し、衝突帯の滑り面は摩擦力が小さく下側のプレートの移動が上側のプレートに影響を及ぼせない、と考えるとその領域の歪に説明がつかます*⁶。

人工衛星データからみる箱根火山浅部熱水系の構造について

○道家涼介 (温泉地学研究所)

1. はじめに

箱根火山における 2015 年の活動では、多くの地上の観測点に加え、人工衛星搭載の合成開口レーダー (SAR) の観測により、水蒸気噴火に至る約 2 ヶ月間のプロセスが詳細に捉えられました。さらに、近年、同火山では比抵抗探査などにより地下のイメージングが進んでいます。本発表では、SAR データの干渉解析によって検出された箱根火山浅部の熱水活動に起因すると考えられる地表面変位やそれを説明するモデルと、そこから推測される同火山の浅部熱水系の構造について紹介します。

2. 2015 年活動時における大涌谷局所の地表面変位

箱根火山最大の噴気地帯である大涌谷では、2015 年 5 月 3 日より深さ 413m の蒸気井から噴出する蒸気の量が激増する異常が発生しました。その後繰り返し行われた人工衛星 ALOS-2 搭載の合成開口レーダー PALSAR-2 の観測では、大涌谷の局所 (直径約 200 m) が隆起していることが観測されました (Doke *et al.*, 2018 ; 図 1)。この地表面変位は、深さ約 100 m (標高約 900m 付近) における膨張で説明できます。また、比抵抗構造探査からは、この付近に局所的な高比抵抗帯 (電気を通しにくい箇所) が検出され、蒸気溜まり (蒸気ポケット) と解釈されています (Mannen *et al.*, 2019)。

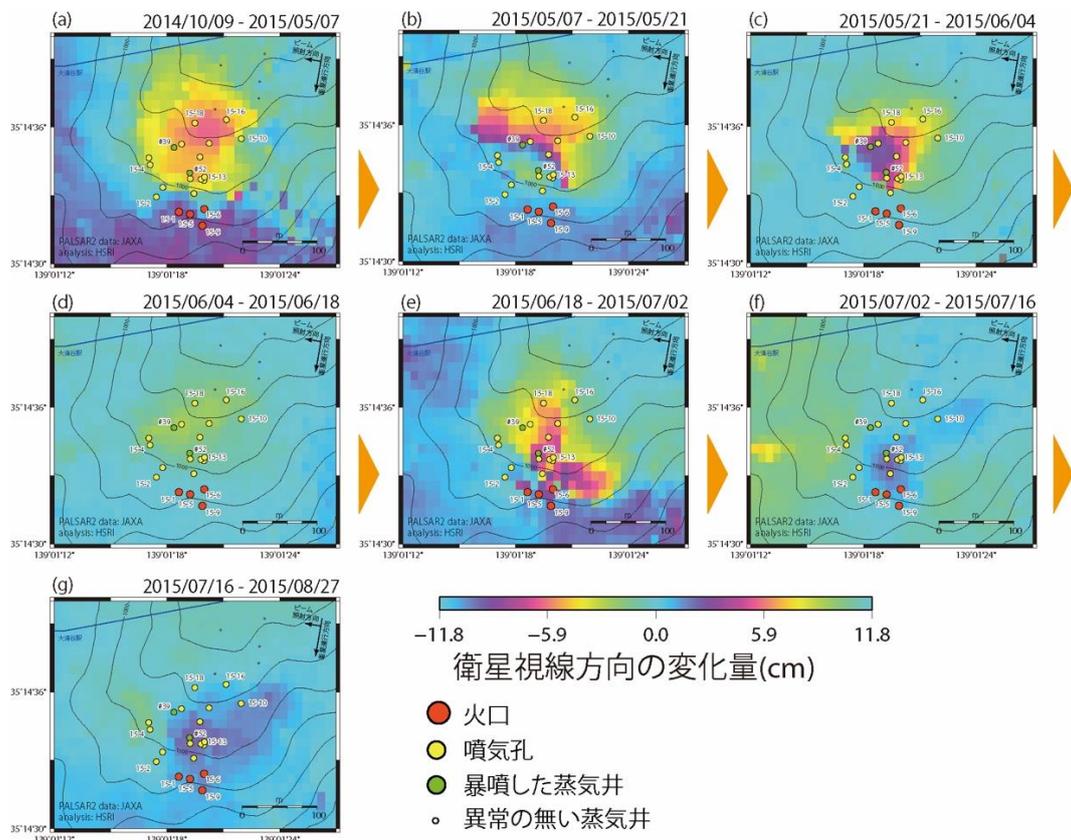


図 1 人工衛星 ALOS-2/PALSAR-2 によって捉えられた大涌谷における局所的な隆起現象。人工衛星が東南東方向の上空から地表を観測した結果を示しており、大涌谷周辺の直径約 200m が隆起している様子を示す。図中左上の青線が箱根ロープウェイの架線を示す。等高線の間隔は 25m。

3. 2015年水蒸気噴火時の地表面変位と流体クラックの貫入

2015年6月29日～7月1日にかけて大涌谷において水蒸気噴火が発生しました。その際のALOS-2/PALSAR-2の観測では、大涌谷から南東方向に約1kmの範囲で地表面変位が観測されました(Doke *et al.*, 2018、図2a)。この変位は、北西-南東走向の開口割れ目と、その下に分布し周辺エリア全体を沈降させる流体溜まりの収縮によって説明できます(図2b)。推定された開口割れ目の位置は、地表で地形的に認識できる火口列の直下にあたり、過去の噴火では、同じクラックを通じて熱水が地表に噴出したことが示唆されます。また、このクラック沿いの地表には、過去の水蒸気噴火の火口とされる凹地(小林ほか, 2006; 小林, 2008)が存在しており、同クラックの開口が繰り返し水蒸気噴火を引き起こしていると考えられます。さらに、箱根火山の中央火口丘には、これ以外の北西-南東走向の火口列が複数分布しており、それらの地下においても同様の構造の存在が示唆されます。

以上の結果から、箱根火山浅部の熱水系の構造は、長さ数100m～数kmの北西-南東～西北西-東南東走向のクラック状の流体の供給経路と、深さ数100mに分布するポケット状の流体溜まりによって特徴付けられ、それらが複数分布しているものと推定されます。

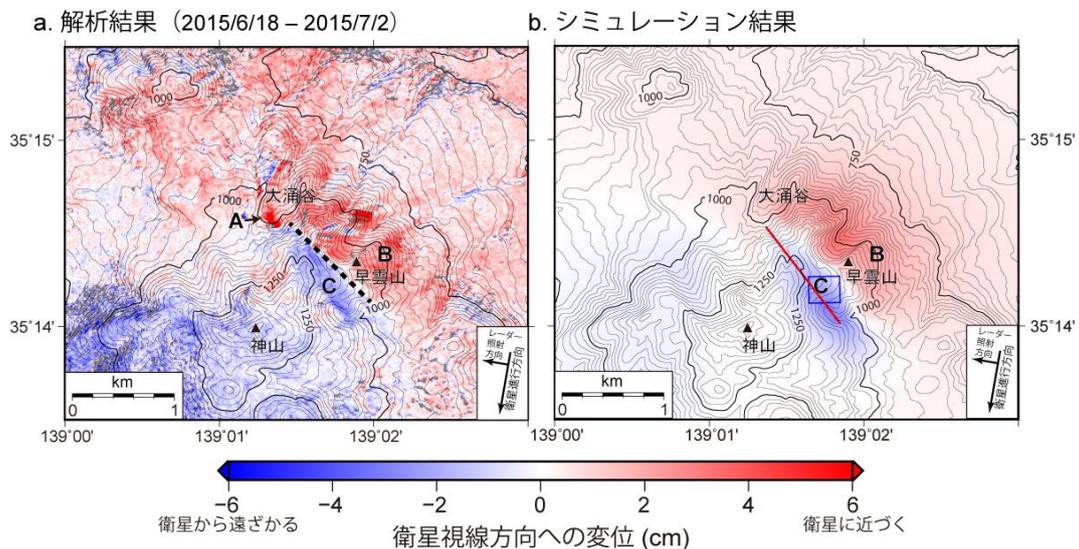


図2 噴火前後における干渉 SAR 解析結果。(a) 2015年6月18日と2015年7月2日の間の地表面の変位(衛星視線方向の変位)。(b) 地下に開口割れ目(赤線)と収縮源(青線)のモデルを推定した時のシミュレーション結果。

4. 2015年以降の中央火口丘の沈降現象

箱根火山の中央火口丘付近においては、2015年の水蒸気噴火以降、ALOS-2/PALSAR-2の観測により衛星から遠ざかる変位(すなわち沈降)が観測されています(Doke *et al.*, 2021、図3)。この沈降は、標高100～200m付近における流体溜まりの収縮によって説明できます。この沈降の原因となっている流体溜まりの存在は、既存の比抵抗構造探査により明らかとなっている構造(Seki *et al.*, 2021)ともよく対応し、地表付近の流体を通しにくい層(シーリング層もしくはキャップロックと呼ばれる)に閉じ込められた流体溜まりにおける収縮を反映していると考えられます。

また、この収縮の原因の一つとして、噴火時に地下の流体が抜けたことにより減圧が生じ、それにより圧密(主に透水性の低い岩盤において、水の移動にともなって生じるゆっくりとした体積の減少)が生じている可能性が挙げられます。このような現象を仮定すると、噴火の100年後においても約5 mm/yrの速度で沈降が継続すると予測されます。一方で、箱根火山の地下の流体溜まりで、再び圧力を溜め始め、次の噴火への準備を始める際には、この沈降は早期に終了すると想定されます。したがって、箱根

火山下の圧力状態をモニターし、将来の噴火リスクを評価する上で、この沈降現象の継続的な観測が重要であると考えられます。

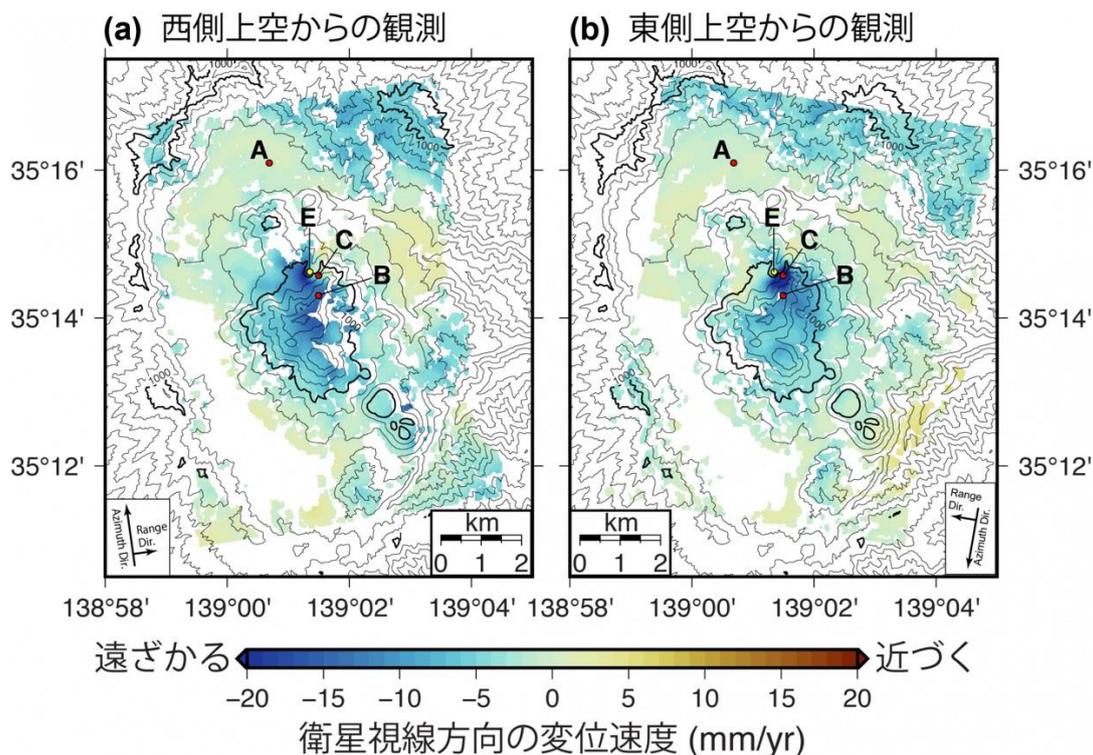


図3 噴火後から2020年4月までの干渉SAR時系列解析結果。箱根火山の中央火口丘付近で顕著な沈降が認められる。

謝辞

ALOS-2による観測データは火山噴火予知連絡会を通して、JAXAよりご提供いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

- Doke *et al.* (2018) *Earth, Planets and Space*, **70**, 63.
 Doke *et al.* (2021) *Geophysical Research Letters*, **48**, e2021GL094880.
 小林 (2008) 神奈川県立博物館調査研究報告(自然), **13**, 43-60.
 小林ほか (2006) 火山, **51**, 245-256.
 Mannen *et al.* (2019) *Earth, Planets and Space*, **71**, 135.
 Seki *et al.* (2021) *Geophysical Research Letters*, **48**, e2020GL091568.

なお、本発表内容の一部を地学雑誌の水蒸気噴火特集号に発表しております。日本語にて解析結果の概要や解釈の結果を紹介しているほか、箱根火山の熱水系の活動に関わる過去の研究についても簡単にレビューをしています。どなたでもダウンロードが可能ですので、ご興味を持たれたら是非ご覧ください。道家涼介・萬年一剛・板寺一洋 (2021) 地表面変位から推定される箱根火山浅部熱水系の構造, 地学雑誌, **130**, 811-830. <https://doi.org/10.5026/jgeography.130.811>

神奈川県温泉地学研究所
令和4年度研究成果発表会講演要旨集（2022）

発行・印刷

神奈川県温泉地学研究所

〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

電話：0465-23-3588

FAX：0465-23-3589

本講演要旨集を神奈川県温泉地学研究所の許可無く、複製、転用、販売などの
2次利用することを固く禁止します。
