草津白根山

顕著な地殻変動は観測されていません。



草津白根山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図

草津白根山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
020982	長野栄	20150201	アンテナ交換



国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

●---[F3:最終解] O---[R3:速報解]

草津白根山

国土地理院・気象庁・防災科学研究所

^{※[}R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

期間: 2013/01/01~2019/06/10 JST (9) 嬬恋(950221)→渋峠(J424) 斜距離 基準値:17654.082m сm -1 -3 -4 2016 2017 2019 2014 2015 2018 cm (10) 中之条(020954)→谷沢原(KSYV) 斜距離 基準値:23380.060m 3 0 -1 -2 -3 -4 2018/01/23 噴火 2014 2015 2016 2017 2018 2019 (11) 中之条(020954)→草津(960591) 斜距離 基準値:23129.929m cm 3 2 1 -1 -2 -3 2018/01/23 噴火 -4 2014 2015 2016 2017 2018 2019

基線変化グラフ(長期)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

基線変化グラフ(短期) 期間: 2018/05/01~2019/06/10 JST (9) 嬬恋(950221)→渋峠(J424) 斜距離 基準值:17654.083m cm Sector M -1 -3 2019/1/1 7/1 10/1 4/1 cm (10) 中之条(020954)→谷沢原(KSYV) 斜距離 基準值:23380.058m 3 all south ----40.0 WIN TO THE WAY 0 -2 -3 -4 7/1 10/1 2019/1/1 4/1 (11) 中之条(020954)→草津(960591) 斜距離 基準值:23129.928m CM 4 3 2 and the second states a 12 and the second second -1 -2 -3 -4 7/1 10/1 2019/1/1 4/1

●---[F3:最終解] O---[R3:速報解]

国土地理院・気象庁・防災科学研究所

99



●---[F3:最終解] O---[R3:速報解]

国土地理院・気象庁・防災科学研究所

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

èр

2015

2014

-2

_8 Li____ 2013

期間: 2013/01/01~2019/06/10 JST (9) 嬬恋(950221)→渋峠(J424) 比高 基準値:1189.772m cm ۰. -2 2018/01/23 噴火 -6 2014 2015 2017 2018 2019 2013 2016 (10) 中之条(020954)→谷沢原(KSYV) 比高 基準値:884.401m cm 6 2 0 -2 -4 -6 -8 2013 --2018/01/23 噴火--2018 2014 2015 2016 2017 2019 (11) 中之条(020954)→草津(960591) 比高 基準値:857.898m cm 2018/01/23 噴火 1 190

2016

2017

2018

2019

比高変化グラフ(長期)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所



●---[F3:最終解] O---[R3:速報解]

国土地理院・気象庁・防災科学研究所

国土地理院



判読)ノイズレベルを超える変動は見られません。



	(a)
衛星名	ALOS-2
	2018/11/06
知识口吐	2019/02/26
観測日時	11:50 頃
	(112 日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右
観測モード*	U-U
入射角	37.5°
偏波	HH
垂直基線長	+ 460m
*U: 高分解能(3)	m)モード



○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

背景 : 地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図 草津白根山

草津白根山噴気の化学組成・安定同位体比(2014年7月~ 2019年5月)

Chemical composition and stable isotope ratio of the fumarolic gases sampled at Kusatsu-Shirane volcano, Japan (July 2014 to May 2019)

1. 概要

2014 年 7 月から 2019 年 5 月にかけて, 草津白根山湯釜火口北部地熱地帯の三か所で, 繰り返し噴気 を採取・分析した.3つの噴気で CO₂/H₂0 比は 2018 年 10 月から 2019 年 5 月にかけて低下した.He/(He+CH₄) 比は 2018 年 5 月から 6 月にかけて急激に上昇したが, その後低下に転じ, この傾向は 2019 年 5 月まで 継続している. CO₂ や He はマグマ成分であり, 2018 年 5 月から 6 月までの時期, 湯釜直下の熱水系に対 するマグマ成分の流量が急激に増加したが, 2018 年 10 月から 2019 年 5 月にかけてマグマ成分の流量は 減少傾向にあることを示している.

2. 噴気の採取・分析

草津白根山の湯釜火口の北山麓に広がる地熱地帯において、図1に示す3つの噴気孔W, C(C'), E で 噴気を採取した.噴気孔の緯度・経度を表1に示す.2017年11月までC 噴気を継続して採取していた が、2018年5月に噴気の放出が止まっていたので、北方に27m程度離れた C' 噴気で採取を行った.こ れらの噴気を採取するために、金属チタン管を噴気孔に差し込み、管と孔の隙間を砂などで注意深く塞 いだ.次にチタン管にゴム管を接続し、ゴム管の出口を真空ガラス瓶のコックに接続した.真空ガラス 瓶にはあらかじめ高濃度のアルカリ性水溶液(KOH) 20ml を封入しておいた.コックを慎重に開けるこ とにより火山ガスをアルカリ性水溶液に吸収させた.安定同位体比の測定のために噴気を水冷したガラ ス二重管に通し、凝縮水を採取した.噴気の化学分析は主に、小沢の方法[1]に従った.

3. 結果・考察

表2に2018年6月から2019年5月にかけて採取した噴気の化学組成,H₂0の安定同位体比,見かけ 平衡温度(AET)を示す.噴気の温度は観測期間を通じて水の沸点程度であった.AETは火山ガスの成分 間で以下の化学反応,

$$SO_2 + 3H_2 = H_2S + 2H_2O$$
 $\vec{x} = 1$

が平衡に到達する温度で,浅部熱水系の温度を反映すると考えられている. AET はガスの圧力に依存す るので,本報告では,圧力として AET における飽和水蒸気圧を用いた.

噴気 W, Cについて, H₂O を除いた噴気成分(=ドライガス)中の H₂S 濃度は, 2014 年 7 月に 10%前後 であったが,その後,増加し, 2017 年 11 月には 25%を超えた(図 2). 2018 年 5 月には全ての噴気で H₂S 濃度は 18~19%に低下し 10 月まで低い値を維持したが 2019 年 5 月には上昇に転じた. 既存の研究[2]

によると、草津白根山では、ドライガスの H₂S 濃度が 10%程度に低下すると火山活動が活発化し、噴火 の可能性が高まる.図2に示される変化は、2017年11月まで噴火の可能性が低下していたが、2018年 5月~10月にかけてその傾向は逆転した.その後、2019年5月には噴火の可能性は低い状態に戻ったこ とを示唆している.検知管による現場測定では(図3)、2018年6月から8月かけて上昇した CO₂/H₂S 比 は、2019年5月には低下した.

図 4, 5 にそれぞれ CO₂/H₂O 比, H₂S/H₂O 比の変化を示す. CO₂/H₂O 比は 2017 年 11 月の値に比較し, 2018 年は高い値を維持したが, 2019 年 5 月には低下する傾向にある. H₂S/H₂O 比は変動を伴うものの安定し ているが 2019 年 5 月には W と C (C')で上昇した. この原因は後で述べる同位体比の低下から示唆される 水蒸気の部分的な凝縮であると考えられる.

図 6 に He/(He+CH₄)比の変化を示す. 2014 年から 2017 年 11 月にかけて 1 から 0 に近い値まで減少し たが、その後、上昇に転じ、W と C(C')噴気では 2018 年 6 月に極大値に達した. E 噴気では 8 月に極大 に達し、全ての噴気で、2018 年 10 月には急激に低下し、低下傾向は 2019 年 5 月まで維持されている. He はマグマ成分、CH₄は熱水系成分であり、図 6 の変動は、2017 年 11 月以降に、湯釜直下に存在する 熱水溜りに対し、マグマ成分の流量が増大したことを意味している. この流量増加は、2018 年 10 月以 降に解消したと考えられる.

噴気 W と C' の見かけ平衡温度(AET)は 2018 年に入りわずかに低下傾向にあるが, E の AET は安定している(図 7). 図 8 および図 9 で, 噴気の水素・酸素同位体比は 2019 年 5 月に低下する傾向が見られる. W と C(C')で H₂S/H₂O 比が上昇したことを考え合わせると, 地表近くで水蒸気の部分的な凝縮が起こり, 残された水蒸気の同位体比が低下したと考えられる.

5. 文献

[1] 小沢竹二郎(1968) 地球化学におけるガス分析法(I). 分析化学, 17, 395-405.

[2]. J.Ossaka et al. (1980) Variation of chemical compositions in volcanic gases and waters at Kusatsu-Shirane volcano and its activity in 1976. Bull. Volcanol., 43, 207-216.

Table	T. LOCALION OF TUNNALOTE	s used for monitoring
Fumarole	Latitude	Longitude
W	N 36d 38m 52.3s	E 138d 32m 15.6s
C	N 36d 38m 52.4s	E 138d 32m 22.6s
C'	N 36d 38m 53.29s	E 138d 32m 22.55s
E	N 36d 38m 50.5s	E 138d 32m 33.0s

表 1. 採取・分析を行った噴気孔の位置 Table 1 Location of fumaroles used for monitor

表 2. 草津白根山噴気の化学組成,安定同位体比,見かけ平衡温度(AET)

Table 2. Chemical and isotopic composition of fumarolic gases sampled at Kusatsu-Shirane volcano, Japan with the apparent temperature calculated based on chemical composition.

									R-gas								
Location	Date	Temp	CO2/H2S	H2O	CO2	H2S	SO2	R−gas	He	H2	02	N2	CH4	Ar	δD_{SMOW}	$\delta^{18}O_{SMOW}$	AET
		°C	test-tube	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	‰	‰	°C
W	2018/6/19	94.8	7.08	97.1	2.42	0.430	0.00163	0.0113	0.251	0.223	0.058	99.1	0.0482	0.367	-70	-7.6	153
W	2018/8/6	94.6	5.82	97.7	1.89	0.401	0.00114	0.0097	0.209	0.229	0.045	99.2	0.0568	0.251	-73	-8.0	147
W	2018/10/17	94.8	4.79	97.3	2.16	0.518	0.00371	0.0248	0.056	0.108	0.038	99.5	0.0425	0.238	-74	-8.4	161
W	2019/5/24	94.7	4.06	97.5	1.87	0.608	0.00487	0.0210	0.058	0.171	0.025	99.4	0.0748	0.262	-79	-9.9	170
С	2018/6/19	94.0	5.95	97.6	2.00	0.431	0.00054	0.0104	0.222	0.158	0.0737	99.3	0.0418	0.198	-109	-15.1	133
С	2018/8/6	94.5	5.36	97.8	1.78	0.407	0.00107	0.0114	0.165	0.165	0.0336	99.2	0.0422	0.375	-107	-14.6	142
С	2018/10/17	94.0	5.25	97.5	2.00	0.436	0.00205	0.0275	0.050	0.069	0.0689	99.5	0.0281	0.309	-110	-14.7	147
С	2019/5/24	94.3	4.31	97.5	1.95	0.560	0.0052	0.0236	0.055	0.090	0.0184	99.6	0.0489	0.230	-120	-18.8	156
E	2018/6/19	94.0	6.25	98.1	1.63	0.300	0.00123	0.0111	0.154	0.495	0.0561	98.9	0.0756	0.277	-77	-8.4	175
E	2018/8/6	93.9	6.38	98.2	1.53	0.277	0.00227	0.0109	0.135	0.432	0.0551	99.0	0.0550	0.277	-77	-8.3	177
Е	2018/10/17	93.6	6.25	98.0	1.64	0.291	0.00192	0.0206	0.060	0.255	0.0712	99.4	0.0570	0.202	-79	-8.8	179
E	2019/5/24	94.5	4.70	98.4	1.31	0.303	0.00304	0.0167	0.056	0.331	0.0071	99.3	0.0743	0.243	-99	-14.1	184



図 1. 草津白根山山頂北側山麓噴気 W, C(C'), Eの位置. Hは新たに生じた陥没孔(背景図として, GoogleMap を使用した) Fig. 1. Location of fumaroles W, C(C') and E on the north flank of Kusatsu-Shirane volcano. H is a newly formed hole with boiling water. (GoogleMap was used for the background)



図 2. H₂O を除いた成分 (Dry gas) 中における H₂S 濃度の変化 (O:W, D:C ただし 2017 年 5 月以降は C', Δ:E). 月別地震回数 (白根山近傍) は気象庁の観測に基づく. 2018 年 1 月の地震は主に本白根山 で発生した.

Fig.2. Change of the H_2S concentration in the components excluding H_2O (dry gas)



図 3. CO₂/H₂S 比の時間変化(検知管による現場測定)(O:W, □:C ただし 2017 年 5 月以降は C', △: E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.





図 4. CO₂/H₂0 比の時間変化(O:W, □:C ただし 2017 年 5 月以降は C', Δ:E). 月別地震回数は気象 庁の観測に基づく.

Fig. 4. Change in the CO_2/H_2O ratio of fumarolic gases



図 5. H₂S/H₂0 比の時間変化(O:W, ロ:C ただし 2017 年 5 月以降は C', Δ:E). 月別地震回数は気象 庁の観測に基づく.

Fig.5. Change in the H_2S/H_2O ratio of fumarolic gases



図 6. He/(He+CH₄)比の時間変化(O:W, ロ:Cただし 2017 年 5 月以降は C', ム:E). 月別地震回数は 気象庁の観測に基づく.

Fig.6. Change in the $He/(He+CH_4)$ ratio of fumarolic gases



図 7. 見かけ平衡温度(AET)の変化(O:W,□:Cただし2017年5月以降はC',△:E). 月別地震回 数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 7. Changes in the apparent equilibrium temperature (AET)



図 8. H₂0 の水素同位体比(δ¹⁸0)の変化(O:W, □:Cただし 2017 年 5 月以降は C', Δ:E). 月別 地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig.8. Changes in the hydrogen isotope ratio of H₂O in fumarolic gases



図 9. H₂0 の酸素同位体比(δ¹⁸0)の変化(O:W, □:Cただし 2017 年 5 月以降は C', Δ:E). 月別 地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig.9. Changes in the oxygen isotope ratio of H_2O in fumarolic gases

箱 根 山 (2019 年 6 月 10 日現在)

大涌谷周辺(箱根山)では、5月18日から19日にかけて芦ノ湖の西岸及び駒ヶ岳付近 を震源とする火山性地震が増加した。5月19日には08時53分に震度1を観測する地震が 発生するなど74回火山性地震が発生した。日回数が50回を超えたのは2015年6月30日 以来であった。地殻変動観測では、GNSS連続観測で箱根山を挟む基線で、3月中旬頃から 伸びがみられている。現地調査では、大涌谷周辺で引き続き活発な噴気活動を確認した。 これらのことから、大涌谷周辺の想定火口域内に影響を及ぼす噴火が発生する可能性が あるため、5月19日02時15分に火口周辺警報を発表し、噴火警戒レベルを1(活火山で あることに留意)から2(火口周辺規制)に引き上げた。その後、警報事項に変更はない。 大涌谷周辺に影響を及ぼす小規模な噴火が発生する可能性があり、大涌谷周辺では小規 模な噴火に伴う弾道を描いて飛散する大きな噴石に警戒が必要である。風下側では火山灰 や小さな噴石が風に流されて降るおそれがあるため注意が必要である。地元自治体等の指 示に従って危険な地域には立ち入らないことが必要である。

〇 概況(2019年2月~6月10日)

・噴気など表面現象の状況(図3~8、図9-①、図10-①)

5月19日に実施した現地調査では、大涌谷周辺で引き続き活発な噴気活動を確認したが、大涌谷内の噴気孔から泥等が噴出した痕跡は認められなかった。また、赤外熱映像装置による観測では、大涌谷周辺の噴気孔の周辺で地熱域を引き続き確認し、地熱域の温度が高い状態が継続していることを確認した。

大涌谷監視カメラによる観測では、大涌谷の火口や噴気孔及び温泉供給施設から引き続き噴気が勢いよく噴出している。宮城野監視カメラ(大涌谷の東北東約3km)及び小塚山北東監視カメラ(大涌谷の北北東約3km)による観測では、大涌谷の噴気の高さは700m以下で経過している。

噴気の状況や地熱域の状況から 2015 年以降、大涌谷周辺は熱的には高い状態が継続 していると考えられる。

・地震や微動の発生状況(図9-2)、図10-2)、図11~18)

箱根山のカルデラ内で発生する火山性地震が4月下旬頃からやや増加していた中で、 5月18日05時頃から、芦ノ湖の西岸及び駒ヶ岳付近を震源とする地震がさらに増加 し、18日は43回の火山性地震が発生した。19日は08時53分に箱根町湯本等で震度 1を観測する地震が発生するなど74回の火山性地震が発生した。箱根山を震源とする 火山性地震で震度1以上を観測したのは、2015年9月25日以来である。また、日回数 で50回を超えたのは2015年6月30日以来である。5月20日以降、火山性地震は減 少しているものの、主に大涌谷付近から神山付近に分布するものが増減を繰り返しな がらやや多い状態で経過している。浅い低周波地震や火山性微動は発生していない。 なお、大涌谷付近から神山付近で発生している火山性地震は、主に深さ3~7km付近 で発生しており、3km以浅の浅い所で発生している火山性地震は少ない。

この資料は気象庁のほか、国土地理院、神奈川県温泉地学研究所のデータを利用して作成した。

・地殻変動の状況(図2、図9-3~8、図10-3~8、図15~20)

GNSS連続観測では、箱根山を挟む基線で、3月中旬頃から伸びがみられている。 台ヶ岳南傾斜計(大涌谷から北西約1km)による観測では、3月中旬頃から大涌谷 方向が隆起する変化が認められる。



図1 箱根山 観測点配置図 小さな白丸(O)は気象庁、小さな黒丸(●)は気象庁 以外の観測点を示している。 (国):国土地理院、(温):神奈川県温泉地学研究所



小さな白丸(〇)は気象庁、小さな黒丸(●)は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。 (国):国土地理院、(温):神奈川県温泉地学研究所

図 2 箱根山 GNSS 連続観測点配置図 小さな白丸(O)は気象庁、小さな黒丸(●)は気象庁以外の 観測点を示している。 (国):国土地理院、(温):神奈川県温泉地学研究所 GNSS 基線③~⑧は図9及び図 10 の③~⑧に、基線⑨は図 16 ~18 の⑨に対応している。 111



2016年2月18日13時30分(可視)

2016年2月18日13時30分(赤外)



2019年3月26日09時49分(可視)



2019年3月26日09時44分(赤外)



2019年5月19日10時10分(可視)

2019年5月19日10時15分(赤外)

図3 箱根山 大涌谷周辺の状況及び地表面温度分布

- ・5月19日に実施した現地調査では、大涌谷周辺で引き続き活発な噴気活動を確認したが、大涌 谷内の噴気孔から泥等が噴出した痕跡は認められなかった。
- ・引き続き噴気孔の周辺に地熱域を確認し、地熱域の温度が高い状態が継続していることを確認した。



図4 箱根山 大涌谷の状況 (5月12日、大涌谷監視カメラによる) ・火口や噴気孔、またその周辺の大涌谷温泉供給 施設から引き続き噴気が勢いよく噴出している。 図5 箱根山 早雲地獄の状況 (5月6日、宮城野監視カメラによる) 白円内は早雲地獄からの噴気の状況。 気象庁の宮城野監視カメラでは、大涌谷からの 噴気(黄矢印)は高さ概ね100m以上の場合に観 測される。



図6 箱根山 噴気場所(大涌谷・早雲地獄)位置図 赤丸及び赤矢印は宮城野監視カメラ設置場所及びその撮影方向及び 図3の場所及び撮影方向



図 7 箱根山 大涌谷の地熱域の状況(2018年1月12日~2019年5月24日) ・特段の変化は認められない。







図8 箱根山 大涌谷の地熱域の最高温度の変化(2017年9月1日~2019年6月7日) ・B領域の温度の上昇が認められるが、55号井の付近であるため人為的な要因の可能性がある。 A-D各領域の日射の影響ない時間帯(03時15分)の最高温度を非地熱域のE領域の平均温度 で引いた値を使用。

気象庁





・3月中旬頃から一部の基線で伸び(赤丸)がみられている。

35°15

Ыa

ц,

Aug Sep

> Nov V Dec Jan

> Feb Man

Ð

Rey ů,



```
2018年4月1日~2019年1月31日
●:2019年2月1日~6月10日
```

箱根山 広域地震観測網による山体周辺の震源分布図(2018年4月1日~2019年6月10日) 図 11 M(マグニチュード)は地震の規模を表し、MO.2以上の地震を表示している。 広域地震観測網により震源決定したもので、深さは全て海面以下として決定している。 図中の震源要素は一部暫定値が含まれており、後日変更することがある。 ・大涌谷付近から神山付近で発生している火山性地震は、主に深さ3~7km 付近で発生しており、3km 以浅の浅い 所で発生している火山性地震は少ない。芦ノ湖西岸の火山性地震は主に浅い所から深さ3kmに分布した。

気象庁

139°E

5kr

35°15

西

-1 Û 1

> 2 3

5 6

8 9 10

5km





図12 箱根山 広域地震観測網による山体周辺の震源分布図(2015年4月1日~2015年8月31日) M(マグニチュード)は地震の規模を表し、MO.2以上の地震を表示している。 広域地震観測網により震源決定したもので、深さは全て海面以下として決定している。

q 10

Apr

May

Jun

Jul

Aug







図 13-2 箱根山 2015 年と 2019 年の震源分布比較(左: 2015 年、右: 2019 年)

N= 47

139°05'

2019 05 21 00:00 -- 2019 06 10 24:00

2019年5月21日~6月10日

芦ノ湖付近の地震は21日以降減少。

大涌谷~駒ヶ岳付近の地震(10km 以浅)

139°E

がやや増加。

35°15′



駒ヶ岳付近で再度多発

図 13-3 箱根山 2015 年と 2019 年の震源分布比較(左: 2015 年、右: 2019 年)













図 14 箱根山 駒ヶ岳付近(左)と芦ノ湖西岸(右)で発生した地震の押し引き分布 (下半球投影)



```
図 15 箱根山 地盤変動の短期の状況(2016 年 10 月 1 日~2019 年 6 月 10 日)
```

・GNSS 連続観測で基線の伸びがみられた 2019 年 4 月頃から台ヶ岳南の傾斜計に南側(神山・駒ヶ岳方向)方向が隆 起する変化が認められたが、火山活動に起因しない季節変動を含んでいる可能性がある。 ※G 裾野 2-G 小田原の基線は、図2のGNSS 基線⑧に対応

G箱根-温)大涌谷の基線は、図2のGNSS 基線③に対応

気象庁



図 16 箱根山 地盤変動の長期の状況(2011 年 1 月 1 日~2019 年 6 月 10 日) ・2015 年の変化と比較するとまだ小さなものである。 ※G 裾野 2-G 小田原の基線は、図2のGNSS 基線⑧に対応 仙石原-G 箱根の基線は、図2のGNSS 基線⑨に対応

⑧G 裾野 2-G 小田原 1. ⑨仙石原-G 箱根 L 台ヶ岳南NS 25mm (GNSS) (傾斜:北UP) 100mm (雨量) 100回(地震) ニノ平補正EW (傾斜:東UP) 2.5µstrain (歪) 5µradian (傾斜) 湯河原 (歪) L 日別地震回数 I L AAAA 箱根雨量 2018/07/01 2019/02/26 2018/08/30 2018/10/29 2018/12/28 2019/04/27

レベル2

図 17 箱根山 最近の地盤変動(2018 年 7 月 1 日~2019 年 6 月 10 日) ※G 裾野 2-G 小田原の基線は、図2のGNSS 基線⑧に対応 仙石原-G 箱根の基線は、図2のGNSS 基線⑨に対応



図 18 箱根山 2015 年の噴火警戒レベル変遷と火山活動図(2015 年 1 月 1 日~2015 年 12 月 31 日) ※G 裾野 2-G 小田原の基線は、図2のGNSS 基線⑧に対応 仙石原-G 箱根の基線は、図2のGNSS 基線⑨に対応



図 19 スタッキング手法による箱根山の GNSS 基線長変化 および 基線図 ①、②のスタッキングは左下の基線長の組み合わせ、③のスタッキングは右下の基線長の組み合 わせを用いている。地図中のアルファベットは次頁の基線長に対応。



図 20 GNSS 観測 各基線長の変化 (2017 年 8 月 20 日 ~ 2019 年 6 月 28 日) (国):国土地理院 (温):温泉地学研究所 長基線、短基線のスタッキングに用いた各基線の基線長変化を示す。

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた 箱根山周辺における SAR 干渉解析

ー部の長期ペアにおいて、大涌谷周辺の局所的な衛星視線方向の距離伸長が検出されたが、直 近のペアでは、ノイズレベルを超えるような変化は認められない。

1. はじめに

ALOS-2/PALSAR-2 で撮像された箱根山周辺のデータを用いた干渉解析結果について報告する。

2. 解析結果

解析に使用したデータを第1表に示す。南行軌道(第1図)では、長期ペアで大涌谷の 局所的な場所で衛星視線方向の距離伸長が認められるが、直近ペアでは特段の変化はない。 北行軌道では、path125(第2図)では、長期ペアおよび直近ペアともに全体的に不明瞭であ るが、path126(第3図)では、わずかな衛星視線方向の距離伸長が大涌谷の局所的な場所で 認められる。

なお,各干渉解析結果については,電離圏遅延補正および対流圏遅延補正を行っている。

謝辞

本解析で用いた PALSAR-2 データの一部は、火山噴火予知連絡会が中心となって進めてい る防災利用実証実験(衛星解析グループ)に基づいて、宇宙航空研究開発機構(JAXA)に て観測・提供されたものである。また、一部のデータは PIXEL で所有しているものであり、 JAXA と東京大学地震研究所との共同研究契約により JAXA から提供されたものである。 PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析ソフトウェアは、 防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された *RINC*を使用した。また、干渉処理の過程 や結果の描画においては、国土地理院発行の 10m メッシュ(標高)を元にした楕円体高(DEHM) を使用し、地図の描画には GMT を用いた。関係各位におかれては、ここに記して御礼申し 上げます。

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.	
18-2910	南行	+	40.7°	2018.04.05	2010 04 04		
(SM1_U2-9)	千]1]		42.7	2019.02.07	2019.04.04	弗 凶 	
125-700	ᆛᅛᄽᆖ	+	22.4°	2018.01.14	2010.05.10	毎~図	
(SM1_U2-6)	76 ît		33.4	2019.02.10	2019.03.19	弗 2 凶	
126-690	ᆛᅛᄽᆖ	+	12 C ⁰	2018 04 12	2010 02 15	なっ図	
(SM1_U2-9)	461) A	4	43.0	2016.04.15	2019.03.15		

第1表 干渉解析に使用したデータ





第1図 path18(SM1_U2-9)による干渉解析結果(左:長期ペア,右:直近ペア) 図中の白三角は山頂を示す。また、丸はGNSS(赤:国土地理院)、下三角は傾斜計(橙:気象庁) の観測点位置を示す。左図で大涌谷付近に距離伸長が認められる。



第2図 path125(SM1_U2-6)による干渉解析結果(左:長期ペア,右:直近ペア) 図中の凡例は第1図と同じ。ノイズレベルを超えるような変化は認められない。



図中の凡例は第1図と同じ。大涌谷付近でわずかな距離伸長が認められる。

箱根山



国土地理院・気象庁・温泉地学研究所



※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

国土地理院・気象庁・温泉地学研究所



基線変化グラフ(長期)

●----[F3:最終解] O----[R3:速報解]

基線変化グラフ(短期) 期間: 2018/05/01~2019/06/10 JST



国土地理院・気象庁・温泉地学研究所

箱根山周辺の地殻変動(水平:3か月) 一次トレンド除去

基準期間:2019/03/01~2019/03/10[F3:最終解] 比較期間:2019/06/01~2019/06/10[R3:速報解]

計算期間:2015/10/01~2016/10/01



☆ 固定局:静岡清水町(93043)

箱根山周辺の地殻変動(水平:1年) 一次トレンド除去



☆ 固定局:静岡清水町(93043)

国土地理院

箱根山の SAR 干渉解析結果について



箱根山

背景:地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

	(a)	(b)	(c)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
	2018/12/13	2019/02/10	2019/03/15
ᇷᆱᇿᅳᄟ	2019/04/04	2019/05/19	2019/06/21
11111111111111111111111111111111111111	11:43 頃	23:38 頃	23:45 頃
	(112 日間)	(98 日間)	(98 日間)
衛星進行方向	南行	北行	北行
電波照射方向	右	右	右
観測モード*	U-U	U-U	U-U
入射角	42.8°	33.4°	43.6°
偏波	HH	HH	HH
垂直基線長	+ 527 m	+ 95 m	- 13 m

*¹U: 高分解能(3m)モード

国土地理院





箱根山

〇地震活動の概況

箱根山では、2019年3月以降、中央火口丘付近での地震発生頻度が高くなり、4月の中 旬頃からは更に発生頻度が高くなっている(図2,3,4,5)。一方5月の中旬頃に芦ノ 湖の北西部付近で地震活動が活発となり、18日の夕方から19日にかけて地震発生回数が 急激に増大した。その後地震の発生回数は急速に減少し、23日以降はほとんど発生しなく なった(図4,6)。その後は、6月10日に台ヶ岳付近で、13日には芦ノ湖南側付近で、 いずれも短時間に地震がまとまって発生したものの、翌日以降はほとんど発生しなくなっ た(図4,7,8)。6月21日現在、中央火口丘付近の地震発生頻度は、2016年以降では 高めに推移している(図5)。

地震(M≥0.1)の積算回数を、過去の群発地震活動と比較すると、火山活動の活発化の 初期には 2009 年の活動に近い増加がみられたが、その後の発生状況は低調となっている (図 9)。

〇地殻変動の状況

3月中旬以降、中央火口丘付近における地震活動の活発化とほぼ同じ頃より、GNSS 観測 データに山体の膨張を示す基線長の伸びの変化がみられ、特に中央火口丘付近の短い基線 に大きな伸びの傾向がみられ、6月21日現在もその傾向が継続している(図11)。地殻変 動解析によると、中央火口丘直下の深さ10km付近の茂木モデルと、大涌谷付近の浅部、深 さ2km付近の開口クラックモデルを合わせた膨張源が、これらの変化を最も良く説明する (図13、表1)。また、傾斜計のデータには、ノイズレベルを超える有意な変化はみられ なかった(図10)。地下水位には、特に変化はみられなかった(図12)。

〇地表面現象

干渉 SAR 解析によると、大涌谷の火口および噴気孔周辺において、ノイズレベルを超える変位はみとめられない(図 14、15、16、表 2)。

熱赤外カメラによる大涌沢の観測結果では、地表面温度の分布、領域内の最高温度、放 熱率に、いずれも火山活動の活発化を示すような変化はみとめられない(図 17)。

〇噴気温度及び火山ガス

大涌谷の代表的な噴気孔の噴気温度は、安定しているか低下傾向にあり、顕著な上昇傾 向はみとめられない(図 19)。

2015年のごく小規模噴火の噴出中心を集水域とする大涌沢(A点)では噴火以降塩化物 イオン濃度が低下傾向にあったが、2019年3月頃から僅かながら上昇に転じている(図20)。 噴出中心とは別の集水域の温泉(2号湧泉)では、2016年中に塩化物イオン濃度が上昇し たが、最近は大きな変化がみとめられない(図20)。 15-2 噴気近傍の雰囲気中では、2019 年 3 月以降、二酸化硫黄及び塩化水素の濃度上昇 が観測され、とくに塩化水素はそれ以前にほとんど観測されておらず、特筆すべき変化と 言える(図 21)。

大涌谷駐車場近傍(C点)の噴気中の火山ガス濃度は、2015年の噴火後、C02/H2S比は 徐々に低下してきていたが、2019年3月以降、やや上昇に転じたようにも見えるが顕著で はない(図 22)。

なお、本資料の作成に当たっては、国土地理院発行の数値地図 50mメッシュを使用しました。震源決定については、当 所データの他に東京大学地震研究所、防災科学技術研究所および気象庁の地震波形データを利用しました。国土地理院に よる GNSS 観測データを利用しました。ALOS-2/PALSAR-2 による観測データは火山噴火予知連絡会衛星解析グループ を通して JAXA から提供されたものです。データの所有権は JAXA にあります。解析には、防災科学技術研究所が開発 した SAR 干渉解析ツール(RINC)を使用しました。



図2 箱根火山周辺の震源分布(2016年6月1日~2019年6月19日)

黒丸は 2019 年 2 月 1 日~2019 年 6 月 19 日、灰色の丸は 2016 年 6 月 1 日~2019 年 1 月 31 日 を示す。

箱根山



図3 箱根火山周辺の地震活動(2016年6月1日~2019年6月19日) (A)は2019年2月1日~2019年6月19日、(B)は2016年6月1日~2019年6月19日を示す。





箱根山



箱根山



図9 箱根山における群発地震活動の時間経過の比較

MO.1以上の地震について、過去の群発地震活動における活動開始からの地震の積算数を比較。



ステップや異常値の一部は取り除いている。日降水量は気象庁アメダス観測点(箱根)を使用 した。



図 11 GNSS 基線長変動(2016 年 6 月 1 日~2019 年 6 月 19 日)

温泉地学研究所を中心とした、各観測点の基線長変化。アンテナ交換等に伴うステップは補正している。



地殻変動源モデルの推定



図 13 GNSS の変位ベクトル(黒矢印)とモデルによるシミュレーション結果(赤矢印)

変位量は、2019/2/19~2019/2/28 と 2019/5/23~2019/6/1 の各期間の平均値の差分で、曽我谷津 観測点(SOGA:青■)に対する変位で示している。ピンク色の×が茂木モデルの位置、矩形が開 ロクラックモデルの位置を示す。モデルのパラメータは、表1に示す。モデルは、気象研究所が開 発した MaGCAP-V を用いて逆解析により推定した。

表1 モデルのパラメータ

茂木モデル

経度[度]	緯度[度]	標高[m]	体積変化量[m³]
139.01294767	35.21796989	-9596.4	2.4439e+006

開口クラックモデル

経度 [度]	緯度 [度]	標高[m]	走向[度]	長さ [m]	傾斜[度]	幅 [m]	開口量[m]	開口体積 [m ³]
139.02074357	35.24208547	-1865.8	165.08	3216.227	62.27	3291.829	0.054	5.6718e+005

※開口クラックの座標値は、クラックの中央の位置の座標を示す。

ALOS-2/PALSAR-2 データの干渉解析結果



図 14

干涉 SAR 解析結果

2019 年 2 月 7 日と 4 月 4 日のペア (Path18)。大涌谷付近における入 射角は約 42.8°

大涌谷および芦ノ湖周辺において 顕著な変位は認められない。

図 15

干渉 SAR 解析結果 2019 年 2 月 10 日と 5 月 19 日の ペア(Path125)。大涌谷付近に おける入射角は約 33.4° 大涌谷および芦ノ湖周辺におい て顕著な変位は認められない。



※衛星視線方向の変化量は、正が衛星から遠ざかる変位、負が衛星に近づく変位を示す。図中の青線はケーブルカー線路およびロープウェイ索道の位置を示す。

表 2 干渉 SAR 解析に使用した ALOS-2/PALSAR-2 データおよび観測条件

Path-Frame	軌道・観測方向	Master	Slave	大涌谷付近に おける入射角
18-2910	南行軌道・右	2019/02/07	2019/04/04	42.8°
125-690	北行軌道・右	2019/02/10	2019/05/19	33.4°
126-700	北行軌道・右	2019/03/15	2019/06/21	43.6°



図17 大涌谷における熱赤外カメラの連続観測結果。

(A) 同時期における熱赤外画像。(A1) 2016 年 6 月 3 日 02:58、(A2) 2017 年 6 月 3 日 02:31、(A3) 2018 年 6 月 6 日 03:04、(A4) 2019 年 6 月 7 日 02:35。

(B) 画像内の最高温度(赤)と全画素の平均温度(黒)。

(C) Sekioka and Yuhara (1974) の式を用いた放熱量の計算結果。非地熱領域の平均温度 T0 と標準 偏差 σ より、T0+3 σ 以上を地熱領域とみなし、k=84 (寺田他、2009) として計算した。灰色の点は、 非地熱領域での最低温度が、熱赤外カメラの測定範囲外(0°C以下)であった日を示す。

(B)(C)については、2016年1月19日から2019年6月12日の各日午前2時台のデータのみを使用している。また、緑の縦線は、カメラ故障による交換やメンテナンス等を示す。



図18 大涌谷の火口、噴気孔、測定点の配置図。



図 19 大涌谷の代表的噴気孔の噴気温度変化 (噴気孔の場所は図 18 を参照)。



図 20 大涌沢の沢水(A点)および2号湧泉(B点)の塩化物イオンと硫酸イオンの濃度変化。



図 21 15-2 噴気近傍の雰囲気中の火山ガス濃度変化。パッシブ型検知管による測定。



図 22 大涌谷駐車場近傍(C点)の噴気中の火山ガス濃度変化。

箱根山噴気の化学組成(2019 年 6 月): 2015 年小噴火時との比較

Chemical composition of the fumarolic gases at Hakone volcano, Japan (June 2019): Comparison to the gases sampled during the small eruption in 2015.

1. 概要

箱根山において,2019 年 5 月から 6 月にかけて,噴気の CO₂/H₂S 比と He/CH₄ 比に上昇傾向が見出された.これらの比の増加率は,小噴火がおきた2015 年の場合の増加率に比べ,およそ 6~20 分の 1 程度であり,浅部熱水系に注入されたマグマ起源ガスの流量は2015 年に比べ有意に低い,と推定される.

2. 噴気の採取・分析

箱根カルデラ中央火口丘神山の大涌谷地熱地帯の二か所で自然噴気を繰り返し採取・分析した(図1) これらの噴気を採取するためチタン管を噴気孔に差し込み, 管と孔の隙間を砂などで注意深く塞いだ. 次にチタン管にゴム管を接続し, ゴム管の出口を真空ガラス瓶のコックに接続した. 真空ガラス瓶には あらかじめ高濃度のアルカリ性水溶液(KOH) 20ml を封入しておいた. コックを慎重に開けることによ り火山ガスをアルカリ性水溶液に吸収させた. 噴気の化学分析は主に, 小沢の方法[1]に従った. 噴気 を水冷したガラス二重管に通し, 凝縮水を採取した. ガラス二重管の後にテドラバックをつなぎ, 水蒸 気を除いたガス(ドライガス)を集め, 検知管により CO₂ および H₂S 濃度を測定し, CO₂/H₂S 比を求めた. 真空ガラス瓶のヘッドスペースに集まった KOH 溶液に溶けないガス成分を Ar キャリアーガスを用いた ガスクロマトグラフにより分析し, He/CH4 比を求めた.

3. 結果·考察

図 2, 3 に, それぞれ, CO₂/H₂S 比と He/CH₄ 比の時間変化と半月毎の地震回数を示す. N と S 噴気につ いてほぼ相似な変動が見られ, 2015 年の地震群発時に, これらの比は調和して上昇している. 本報告書 に図としては示していないが, H₂S/H2O 比や CH₄/H2O 比は地震群発時をまたいで変化が少なく, CO₂/H₂S 比と He/CH₄ 比の上昇は, マグマ起源成分である CO₂ や He の増加を意味しており, 地震群発時に浅部熱 性系にマグマ起源ガスが注入されたことを示唆している. 2017 年から 2018 年にかけて, CO₂/H₂S 比と He/CH₄ 比はわずかであるが, 上昇とそれに引き続く減少を示した. この変化の初期に, 金時山付近で地 震が増加している(神奈川県温泉地学研究所 HP). 2019 年 5 月 18 日から地震の群発が始まり, それに 同調して CO₂/H₂S 比と He/CH₄ 比が上昇を開始している.

図 4, 5 に, それぞれ CO₂/H₂S 比と He/CH₄ 比の変化率を示す. 2015 年の場合は地震群発の 2 日前であ る 4 月 24 日を基準とし, その日の CO₂/H₂S 比と He/CH₄ 比を 100 (%) とした. 2019 年の場合は, 地震群 発 8 日前の 5 月 10 日を基準とした. 図示された基準の日からの経過日数と変化率(%)を 2015 年と 2019 年の場合の間で比較すると, CO₂/H₂S 比の場合, N, S 両噴気で基準日から 32 日経過した段階で, 113~ 122%であった. 2015 年の場合, 32 日経過した時点にデータは存在しないが,内挿すると,およそ 230% となる. 2019 年の CO₂/H₂S 比の増加速度は 2015 年と比べて, 6~10 分の 1 程度である. He/CH₄ 比の場合, N, S 両噴気で基準日から 32 日経過した段階で, 変化率は 108~119%である. 2015 年の場合, 32 日経 過した時点を S 噴気の変動を用いて内挿すると,およそ 260%となる. 2019 年の He/CH₄ 比の増加速度は

箱根山

2015年と比べて、8~20分の1程度と言える.

気象庁の観測によると、半月毎の地震回数は 2015 年 5 月 1 日から 15 日にかけて 1303 回を記録して いる. この回数は 2015 年の最高値であった. 2019 年 5 月 15 日から 6 月 1 日にかけて 135 回の地震を記 録している. 2019 年の半月毎地震回数の最高値は 2015 年の最高値の約 10 分の 1 でありこの比率は, 2019 年と 2015 年における CO₂/H₂S 比や He/CH₄比の増加率の比率に類似している.

5. 文献

[1] 小沢竹二郎(1968) 地球化学におけるガス分析法(I). 分析化学, 17, 395-405.





図 2. CO₂/H₂S 比の時間変化

(Nとの比較のために, Sの曲線は, 0.7log単位, 下方に引き下げて表示した. 地震回数は気象庁の観 測に基づく)



図 3. He/CH4比の時間変化(地震回数は気象庁の観測に基づく)



図 4. CO₂/H₂S 比変化率の比較(2015年は4月24日を基準,2019年は5月10日を基準とした)



図 5. He/CH4比変化率の比較(2015年は4月24日を基準, 2019年は5月10日を基準とした)