

霧島硫黄山で採取した噴気の化学組成・安定同位体比（2015年12月～2017年5月）*

Chemical composition and stable isotope ratio of the fumarolic gases sampled at Iwo-yama volcano, Kirishima, Japan (Dec. 2015 to May 2017)

東海大学**気象研究所***産業技術総合研究所****

Tokai University**Meteorological Research Institute***

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology****

1. 概要

2015年12月から2017年5月にかけて、霧島硫黄山で繰り返し、噴気を採取・分析した。噴気に含まれるマグマ起源成分の比率は2016年5月頃まで上昇したが、同年7月以降低下し、2017年1月から5月にかけては停滞した。一方で、2017年5月に火山ガスの放出が盛んになり、反応、 $SO_2+3H_2=H_2S+2H_2O$ の見かけ平衡温度（AET）が500°Cを超えるなど、火山活動は活発化している。2017年5月の変化は、熱水系と地表を結ぶ浅部領域で何らかの変化が起き、熱水系流体の上昇速度が増加したため、浅部地下水の影響が低下したことで引き起こされたと考えられる。

2. 噴気の採取・分析

硫黄山では、図1に示す噴気孔aとbで噴気を採取した。2017年5月に噴気放出量が増大し、噴気孔aで採取が危険になったため、数m程度離れた場所の別の噴気孔で採取を行った（写真1）。また2017年5月に噴気孔aの近くで温泉水が湧出する孔が形成されていた（写真3）。2017年2月から5月の間に、噴気孔aの南東80mの場所に新たに勢いのよい噴気孔が形成された（写真4）。この噴気孔から放出する火山ガスの勢いは非常に強く、轟音を発していた。この噴気孔から火山ガスを直接採取することは危険だと判断された。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あるいはNaOH）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。凝縮水を採取した後の気体は一旦プラスチックバックに集め、検知管により、 CO_2 と H_2S の濃度を現場で測定し、 CO_2/H_2S 比を求めた。噴気の化学分析は主に、小沢の方法[1]に従った。

* 2017年8月2日受付

**大場武，西野佳奈，沼波望（Takeshi Ohba, Kana Nishino and Nozomi Numanami）

***谷口無我，高木朗充（Muga Yaguchi and Akimichi Takagi）

****篠原宏志，風早竜之介（Hiroshi Shinohara and Ryunosuke Kazahaya）

3. 結果

表1に硫黄山で採取した噴気の化学組成, H_2O の安定同位体比, 見かけ平衡温度 (AET) を示す. 2017年5月に SO_2 が増加したため, HCl の分析を試みたが, 検出限界以下であった. 噴気の温度は水の沸点程度であった. 図2に示すように, CO_2/H_2O 比は2016年5月頃にピークに達し, その後は低下し, 停滞する傾向がみられる. ピークの時期は異なるものの, CO_2/H_2S 比にも同様の傾向がみられる (図3). CO_2/CH_4 比は, 最初低かったが, その後高い値を保ち, 2017年5月に若干低下した (図4). He/ CH_4 比は, 2016年2月に高く, その後は緩やかに低下しつつある (図5). 火山ガス組成から計算される見かけ平衡温度 (AET) は2017年5月に急上昇した (図6). AET は火山ガスの成分間で以下の化学反応,



が平衡に到達する温度で, AET はガスの圧力に依存する. 本報告では, 平衡圧力として 1bar を仮定した. AET は火山ガスの H_2/H_2O 比と SO_2/H_2S 比に依存する. これらの値は, 図7, 8にそれぞれ示すように, 2017年5月に急上昇している. 噴気に含まれる H_2O の酸素同位体比は, 2016年2月から2017年5月にかけて, ほぼ一定の割合で高まりつつある (図9).

4. 考察

表面的には, 2017年5月は1月に比べて明らかに山頂付近で火山ガスの放出量が増大していた. また, 噴気に SO_2 が高濃度で含まれるようになるなど, 大きな変化が見られた. 火山ガス組成から計算される見かけ平衡温度は2017年5月で $500^\circ C$ を越えた. AET はガスの H_2/H_2O 比と SO_2/H_2S 比により決定される. 図7, 8に示されるように, 2017年5月にこれらの値は急上昇しており, これがAETを上昇させた直接的な原因である. 高温で化学平衡にあるガスが急速に上昇し, 化学平衡が低温で再平衡に達するよりも前に地表に現れるとAETは高くなる. AETの値と, 上昇速度を定量的に結び付けることは現時点で出来ないが, 火山ガスの地殻内における上昇速度の目安として用いることができるだろう. AETは2017年2月で $364^\circ C$ を示しており, この時点で火山ガスの上昇速度に増加傾向が始まっていたと考えられる. 2017年5月に SO_2 濃度は急激に増加したが, HCl 濃度は検出限界以下であり, 同位体比は増加しつつあるものの, 典型的な安山岩質マグマ水の値 (+8‰) にはまだ遠い (図9). 噴気の出口温度も水の沸点に近い. これらの観測結果は, 依然として火山ガスと浅部地下水が接触しており, HCl が火山ガスから除去されていることを示唆する. 噴気孔 a のそばに形成された温泉水 (写真2) の Cl^- 濃度は 11000 mg/L に達しており, 火山ガスの HCl を吸収した液相であると推定される.

マグマ起源ガスとして CO_2 や He を, 熱水系に豊富なガスとして CH_4 や H_2S を挙げることができる. 図2, 3, 4, 5に見られる変化について, 2017年1月から5月の期間に注目すると, ほぼ横ばいか減少しており, マグマ起源成分の熱水系に由来する成分に対する比率はやや減少傾向にあると推定される. 以上を総合すると, 2017年5月にみられた火山活動の活発化の原因として, 火山ガスの地殻内における上昇速度が増加し, 浅部地下水との相互作用の程度が弱まったことが挙げられる.

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.

6. 謝辞

気象庁地震火山部小久保一哉氏および福岡管区気象台は安全確保のために調査実施中に硫黄山の地震活動をモニタリングして下さいました。ここに記して感謝します。本研究実施のために、科研費「火山ガス観測により活火山ポテンシャル診断」(15K12485)を使用しました。

表1. 硫黄山および新燃岳噴気の化学組成, 安定同位体比, 見かけ平衡温度 (AET)

Location	Date	Temp °C	H2O %	CO2 %	H2S %	SO2 %	He %	H2 %	CH4 %	δ D ‰	δ 18O ‰	AET °C	分析
硫黄山-a	2015/12/22	97.2	98.4	1.42	0.12	0.003	2.1E-05	1.7E-04	4.0E-05	-91	-14.1	218	東海大・気象研
硫黄山-a	2016/2/24	97.2	98.2	1.65	0.10	0.008	2.3E-05	7.4E-04	2.1E-05	-52	-6.3	278	東海大・気象研
硫黄山-a	2016/5/6	95.3	97.8	2.02	0.15	0.006	1.9E-05	4.3E-04	2.1E-05	-57	-6.6	252	東海大・気象研
硫黄山-a	2016/8/30	96.9	98.3	1.42	0.30	0.005	1.2E-05	8.8E-04	1.6E-05	-41	-5.3	265	東海大・気象研
硫黄山-a	2017/1/17	96.4	99.2	0.65	0.18	0.007	4.3E-06	1.5E-03	6.0E-06	-43	-3.6	295	東海大・気象研
硫黄山-a	2017/5/15	96.5	98.8	0.66	0.22	0.230	5.5E-06	4.7E-02	8.8E-06	-42	-2.2	534	東海大・気象研
硫黄山-b	2016/2/24	96.2	98.3	1.58	0.10	0.004	2.2E-05	7.0E-04	1.8E-05	-78	-11.9	269	東海大・気象研
硫黄山-b	2016/5/6	95.2	97.3	2.49	0.17	0.005	2.4E-05	5.5E-04	2.6E-05	-67	-9.2	256	東海大・気象研
硫黄山-b	2016/8/30	95.2	97.5	2.08	0.43	0.006	1.9E-05	1.4E-03	2.8E-05	-56	-7.5	278	東海大・気象研
硫黄山-b	2017/1/17	97.0	99.3	0.55	0.16	0.002	4.0E-06	4.2E-04	5.4E-06	-46	-4.6	238	東海大・気象研
硫黄山-b	2017/5/15	96.6	98.9	0.79	0.16	0.068	1.0E-05	6.0E-02	1.6E-05	-46	-4.0	530	東海大・気象研
硫黄山-a	2016/2/10	95.7	98.7	1.10	0.13	0.015		3.0E-04		-57	-7.0	251	産総研 (AIST)
硫黄山-a	2016/3/21	96.4	98.2	1.62	0.11	0.014		4.1E-04		-54	-6.5	263	産総研 (AIST)
硫黄山-a	2016/7/26	95.8	98.5	1.21	0.20	0.034		1.1E-03		-48	-6.2	300	産総研 (AIST)
硫黄山-a	2016/12/10	95.8	98.6	0.98	0.41	0.003		3.7E-03				309	産総研 (AIST)
硫黄山-a	2017/2/23	97.0	98.9	0.80	0.23	0.041		4.7E-03	1.2E-05			364	産総研 (AIST)

* AET の計算では平衡圧力を 1bar と仮定した。

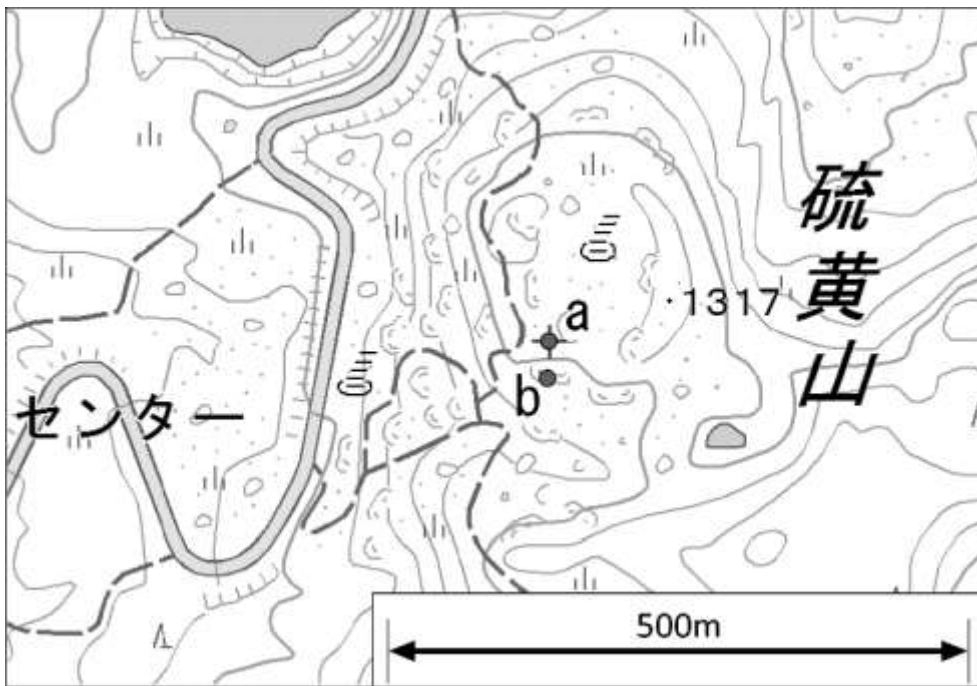


図1. 硫黄山噴気 a, b の位置 (背景の地図として, 国土地理院 1/25000 地形図を使用した)

Fig. 1. Location of fumarole a and b at Iwo-yama volcano (The map produced by Geospatial Information Authority of Japan was used for background)

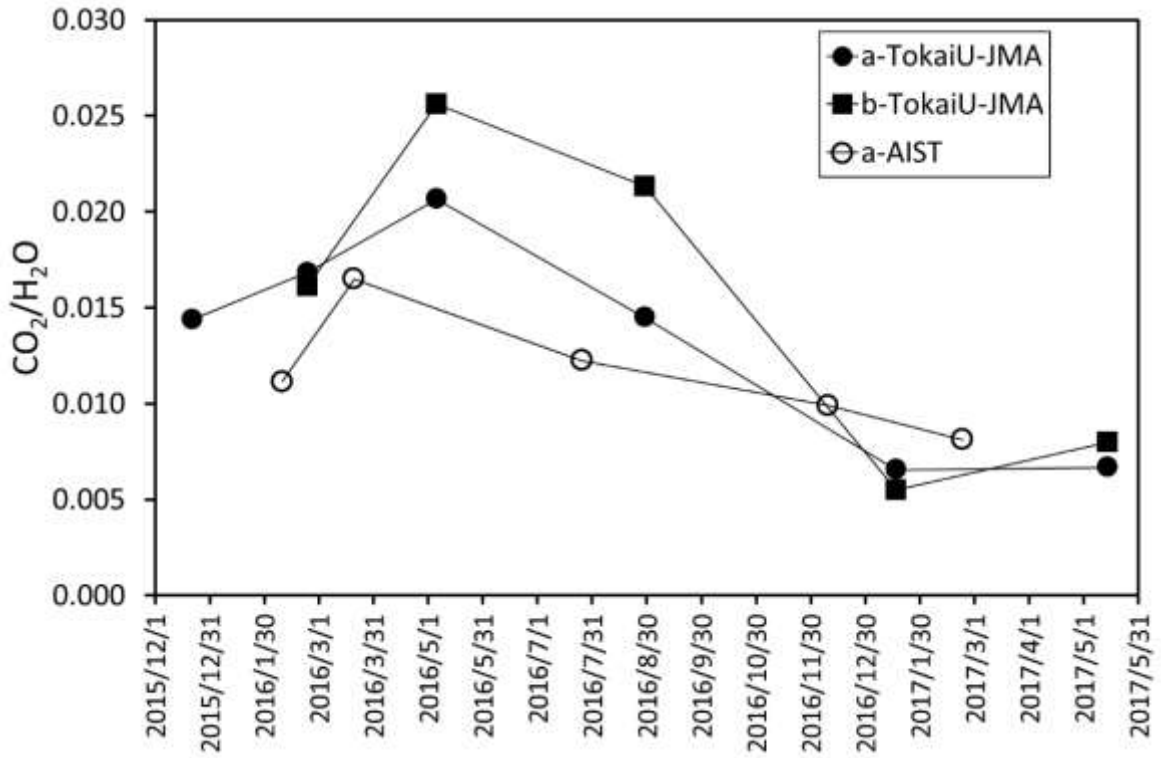


図 2. CO₂/H₂O 比の時間変化

Fig. 2. Changes in the CO₂/H₂O ratio of fumarolic gases.

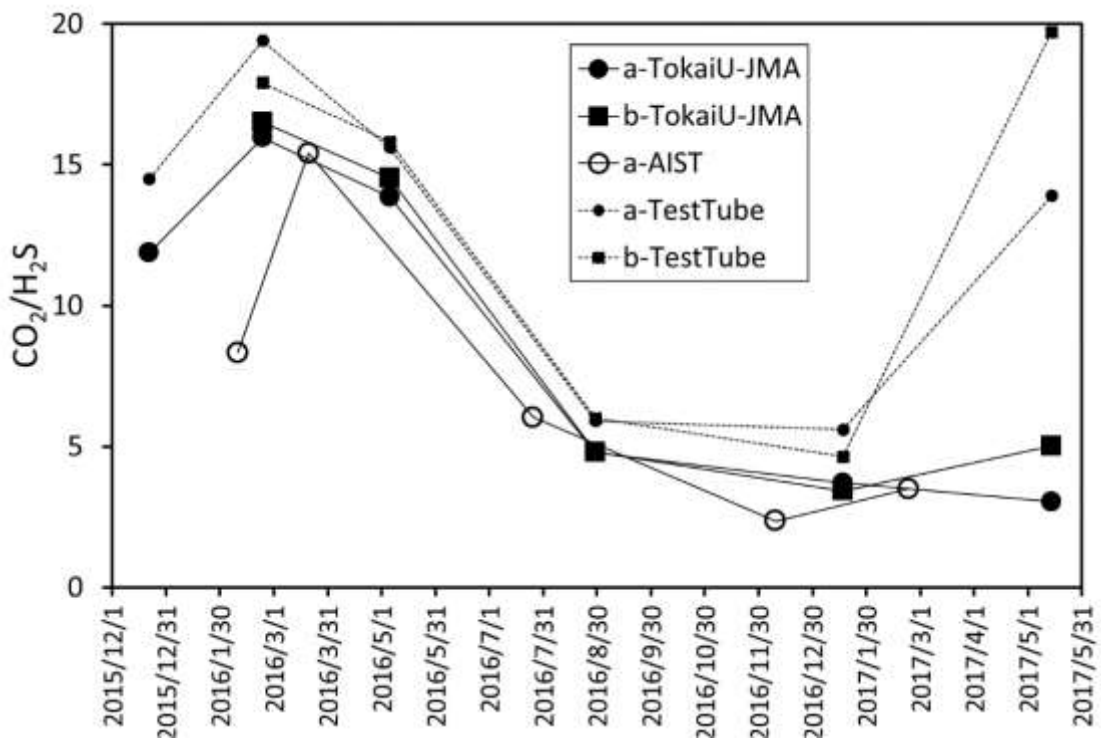


図 3. CO₂/H₂S 比の時間変化 (TestTube : 検知管による測定) 検知管による値が 2017 年 5 月に増加したのは, SO₂ と H₂S が採取時に反応し, H₂S が失われたためと考えられる.

Fig. 3. Changes in the CO₂/H₂S ratio of fumarolic gases. The increases of a and b of TestTube in May 2017 would be due to the loss of H₂S with the reaction of SO₂ during the sampling.

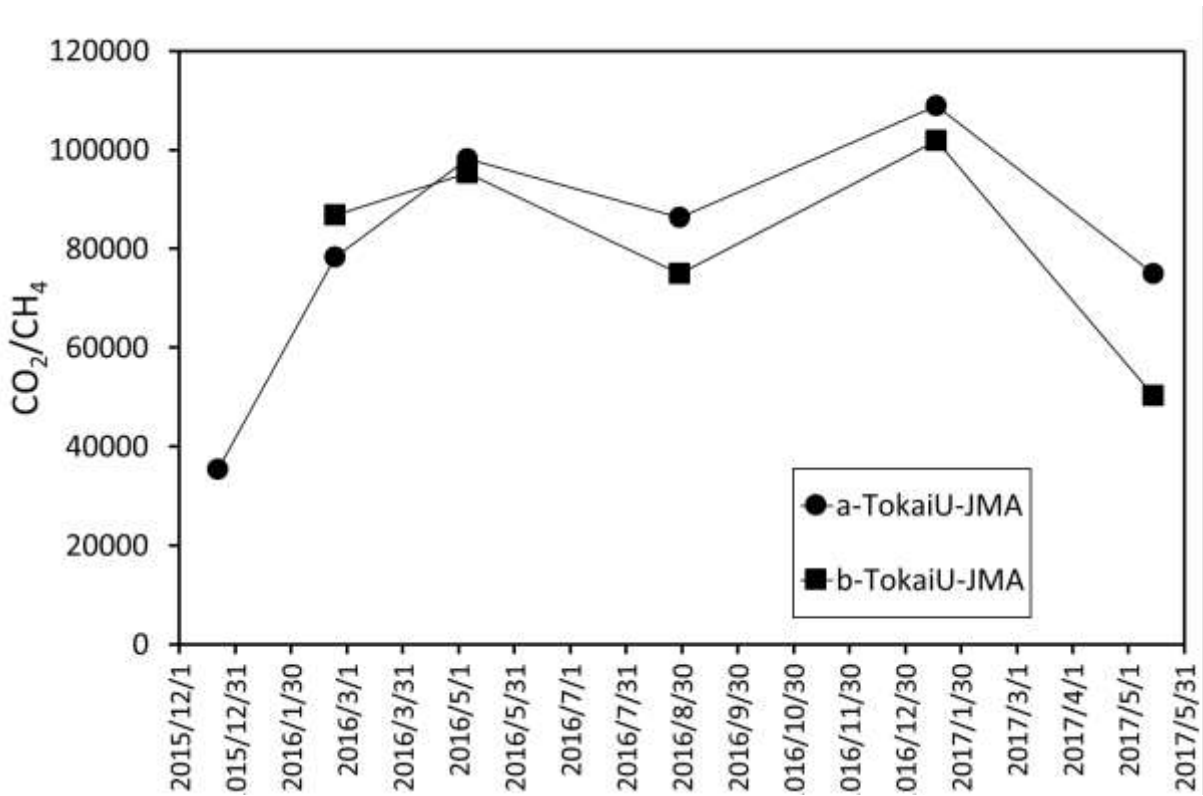


図 4. CO₂/CH₄ 比の時間変化

Fig. 4. Changes in the CO₂/CH₄ ratio of fumarolic gases.

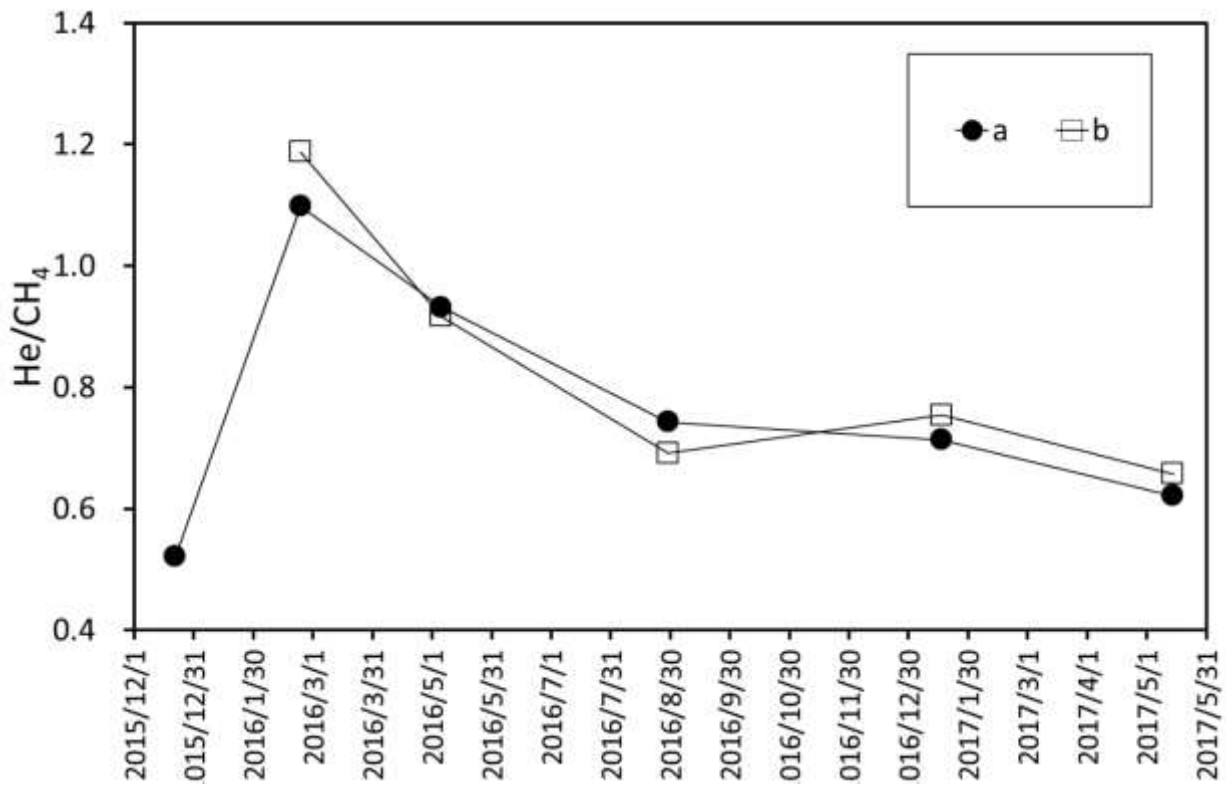


図 5. He/CH₄ 比の時間変化

Fig. 5. Changes in the He/CH₄ ratio of fumarolic gases.

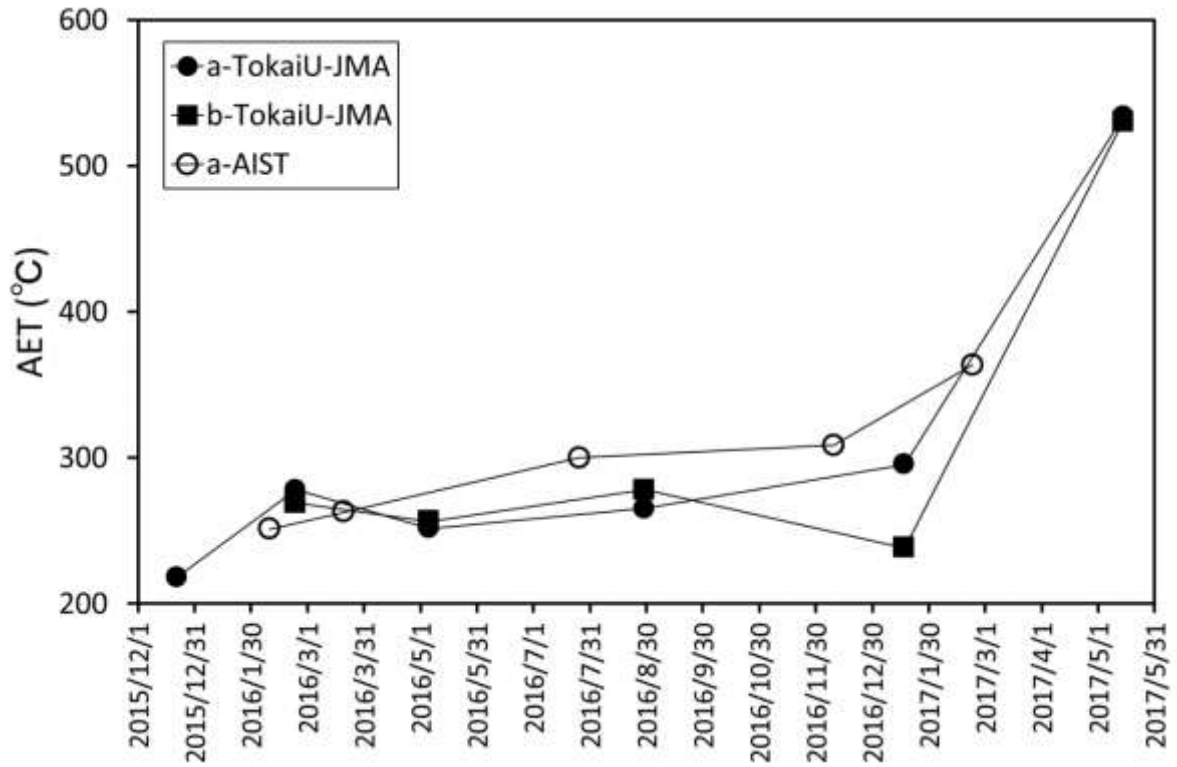


図 6. 見かけ平衡温度 (AET) の変化

Fig. 6. Changes in the apparent equilibrium temperature (AET).

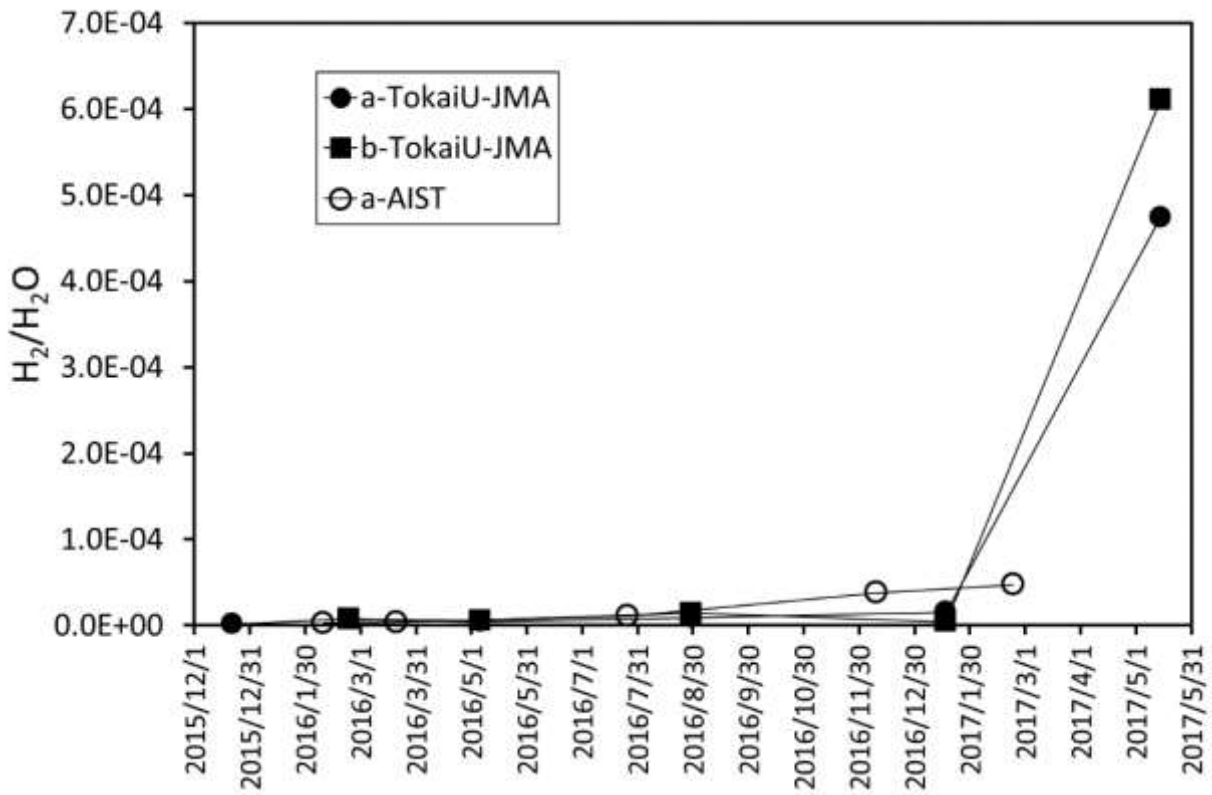


図 7. H₂/H₂O 比の変化

Fig. 7. Changes in the H₂/H₂O ratio of fumarolic gases.

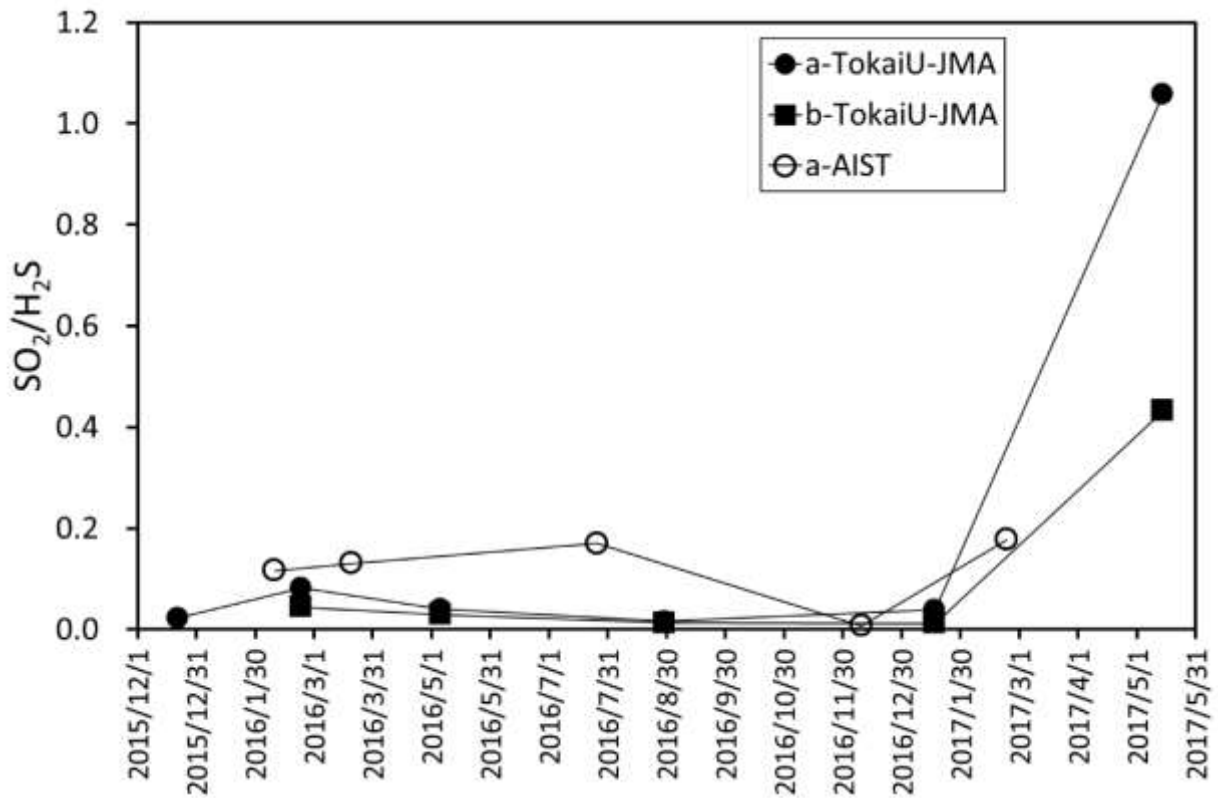


図 8. SO₂/H₂S 比の変化

Fig. 8. Changes in the SO₂/H₂S ratio of fumarolic gases.

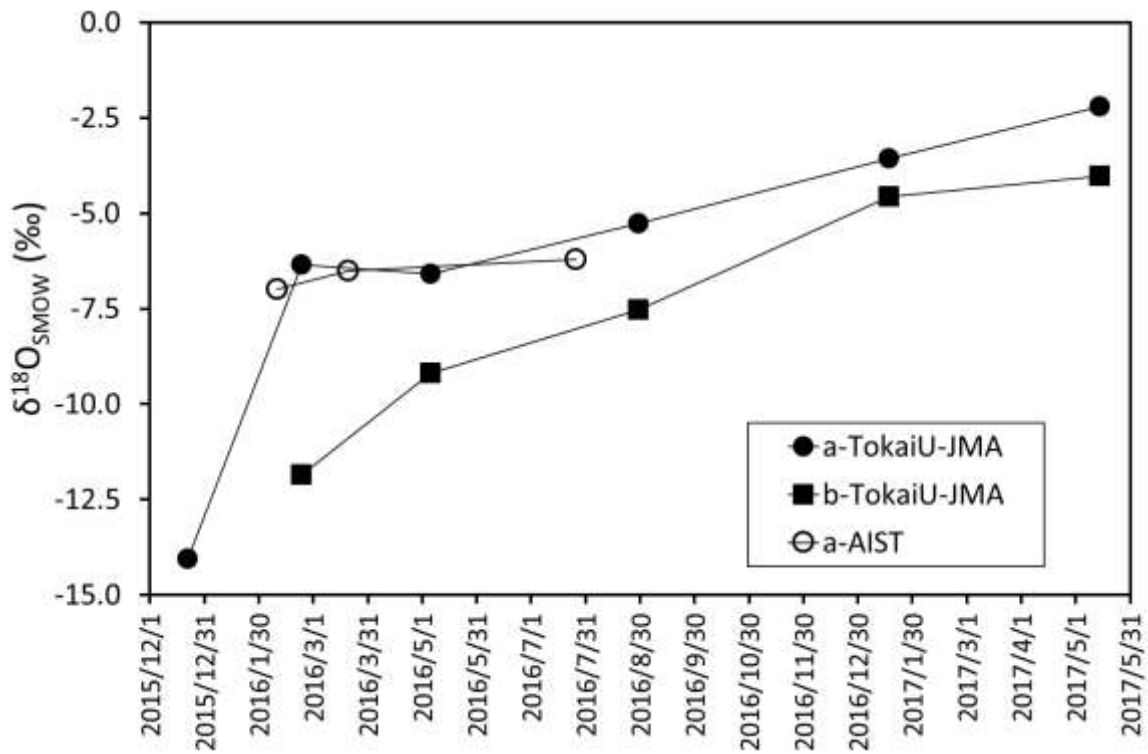


図 9. H₂O の酸素同位体比の変化

Fig. 9. Changes in the oxygen isotope ratio of H₂O in fumarolic gases.



写真1. 噴気孔 a に近接する採取を行った噴気 (2017年5月15日)

Plate 1. Fumarole a (15th May 2017)



写真2. 噴気孔 a の付近に形成された温泉水溜り (2017年5月15日)

Plate 2. Boiling hot water near the fumarole a (15th May 2017)



写真 3. 噴気 a の南東 80m の位置にある放出圧が高い噴気 (2017 年 5 月 15 日)

Plate 3. A strong fumarole with high flux producing a big noise, located 80m south east of fumarole a (15th May 2017).