

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11月）*

Chemical composition and stable isotope ratio of the fumarolic gases sampled at Iwo-yama volcano, Kirishima, Japan (Dec. 2015 to Nov. 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11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月頃まで高い値を保ったが、同年7月以降低下し、2017年1月から9月にかけては停滞した。その後、2017年10月に急激に上昇し11月には再び低下したものの、2017年9月のレベルまで低下していない。一方で、地熱地帯からの放熱量上昇に対応し、2017年5月から7月にかけて反応、 $\text{SO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ の見かけ平衡温度（AET）が上昇したが、2017年9月に急激に低下した。2017年5～7月の変化の原因として、熱水系と地表を結ぶ浅部領域で流体の通路が拡大するなどの変化が起き、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が考えられる。

2. 噴気の採取・分析

図1に示す噴気孔 a, b, c で噴気を採取した。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 h が形成された。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。a, b, c 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。噴気の化学分析は主に、小沢の方法[1]に従った。

* 2017年12月8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に噴気の化学組成, H₂O 安定同位体比, 見かけ平衡温度 (AET) を示す. 2017年5月にSO₂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, CO₂/H₂O 比は2016年5月頃にピークに達し, その後は低下したが2017年10月に上昇した. CO₂/H₂S 比にも同様の傾向がみられる (図3). CO₂/CH₄ 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, 2017年10月に上昇した (図4). He/CH₄ 比は, 2016年2月に高く, その後は緩やかに低下したが, 同様に2017年10月に上昇した (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月に急上昇したが2017年9月以降は300°C前後に低下した (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H₂/H₂O 比とSO₂/H₂S 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月と7月に高い値を示した. 噴気に含まれるH₂Oの酸素同位体比は, 2016年2月から2017年9月にかけて, ゆるやかに上昇したが, 2017年10月から低下に転じた (図9).

4. 考察

マグマ起源ガスとしてCO₂やHeを, 熱水系に豊富なガスとしてCH₄やH₂S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9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減少傾向が継続したと推定される. この傾向は, 2017年10月に逆転し, マグマ起源成分の比率が上昇した. この時期に, 硫黄山の西方3km付近の深度-1~-3kmで火山性地震が頻発し, 新燃岳では噴火が発生した[2]. 2017年10月の噴気に見出された変化はこれらの火山活動と関係している可能性がある.

硫黄山の噴気地帯における放熱率は, 2016年2月頃から上昇を開始し, 2017年1月頃にピークに達し, その後は低下しつつある[2]. これに対応するように, 噴気の組成から計算されるAETは2017年5月と7月に高い値を示したが, 2017年9月以降は300°C前後に低下した. AETが上昇した時期にマグマ起源成分の増加は起きていないので, AETの上昇をもたらした原因は, 比較的浅い部分における変化であったと推定される. 例えば, 熱水系と地表を結ぶ地殻浅部領域で流体の通路が拡大するなどの変化が起き, 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変化が引き起こされた可能性がある. 噴気のH₂Oの酸素同位体比は, 2015年12月以来, 一貫して緩やかな上昇を続けたが, 2017年10月になり低下に転じた. この変化は, 2017年10月以降, 浅部熱水系に供給されるマグマ起源のH₂Oの流量が低下し始めたことを示唆している.

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.
 [2] 気象庁福岡管区気象台・鹿児島地方気象台 (2017) 霧島山の火山解説資料 (平成29年10月). 気象庁HP

6. 謝辞

福岡管区气象台および鹿児島地方气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-a	2017/9/15	106.0	99.1	0.54	0.31	0.022	5.5E-06	2.4E-03	7.7E-06	-48	-3.7	321	東海大・気象研
硫黄山-a	2017/10/18	96.0	99.0	0.87	0.14	0.015	7.0E-06	2.0E-03	5.5E-06	-48	-3.5	319	東海大・気象研
硫黄山-a	2017/11/28	95.9	99.1	0.70	0.20	0.010	8.0E-06	4.9E-03	7.6E-06	-49	-3.7	347	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-b	2017/9/15	96.4	99.3	0.40	0.26	0.004	4.6E-06	2.7E-03	7.4E-06	-44	-1.9	306	東海大・気象研
硫黄山-b	2017/10/18	96.0	99.0	0.82	0.13	0.005	7.6E-06	1.8E-03	4.4E-06	-45	-2.6	301	東海大・気象研
硫黄山-b	2017/11/28	96.0	98.5	1.19	0.25	0.003	1.3E-05	4.4E-03	1.1E-05	-47	-3.4	323	東海大・気象研
硫黄山-c	2017/5/15	95.2	99.0	0.80	0.11	0.037	1.1E-05	4.2E-02	1.4E-05	-57	-6.8	499	東海大・気象研
硫黄山-c	2017/9/15	96.1	99.5	0.30	0.21	0.002	4.2E-06	1.1E-03	6.6E-06	-44	-2.7	265	東海大・気象研
硫黄山-c	2017/10/18	96.2	99.0	0.90	0.13	0.002	7.5E-06	3.1E-04	5.7E-06	-48	-3.7	232	東海大・気象研
硫黄山-c	2017/11/28	95.8	98.6	1.16	0.25	0.004	1.3E-05	5.2E-04	1.4E-05	-51	-4.5	247	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		-44	-4.1	309	産総研(AIST)
硫黄山-a	2017/2/23	97.0	98.9	0.80	0.23	0.041		7.5E-03	1.2E-05	-43	-3.4	364	産総研(AIST)
硫黄山-a	2017/7/25	95.6	99.3	0.49	0.07	0.091		2.5E-02		-39	-1.6	493	産総研(AIST)
硫黄山-h	2017/7/25	148.0	98.8	0.52	0.32	0.269		2.9E-02		-37	0.2	495	産総研(AIST)

* AET の計算では平衡圧力を 1bar と仮定した。

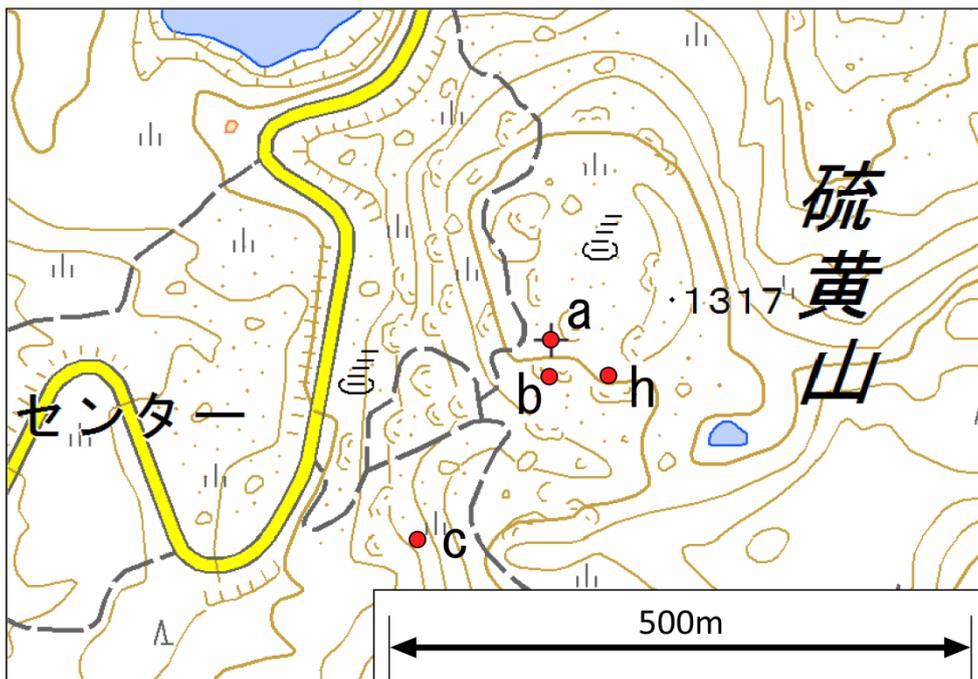


図 1. 硫黄山噴気 a, b, c, h の位置 (背景の地図として, 国土地理院 1/25000 地形図を使用した)

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

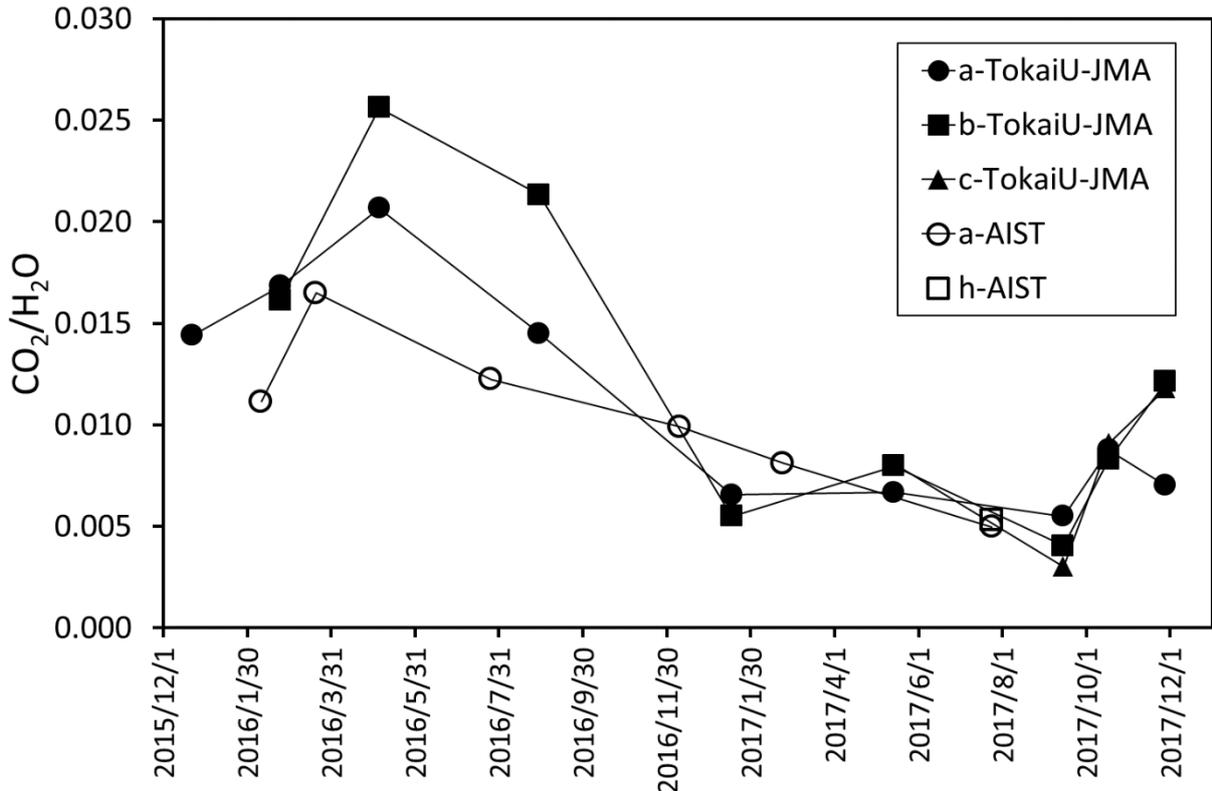


図 2. CO₂/H₂O 比の時間変化

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

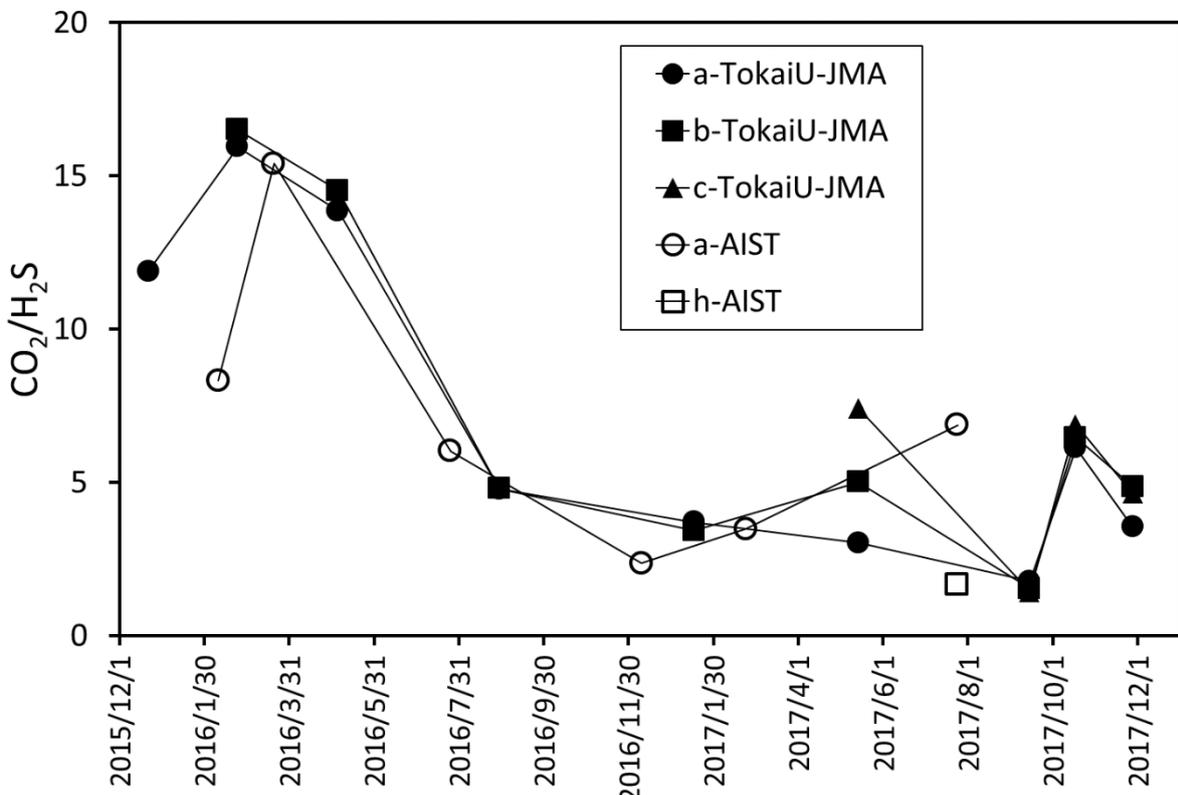


図 3. CO₂/H₂S 比の時間変化

Fig. 3. Changes in the CO₂/H₂S ratio of fumarolic gases.

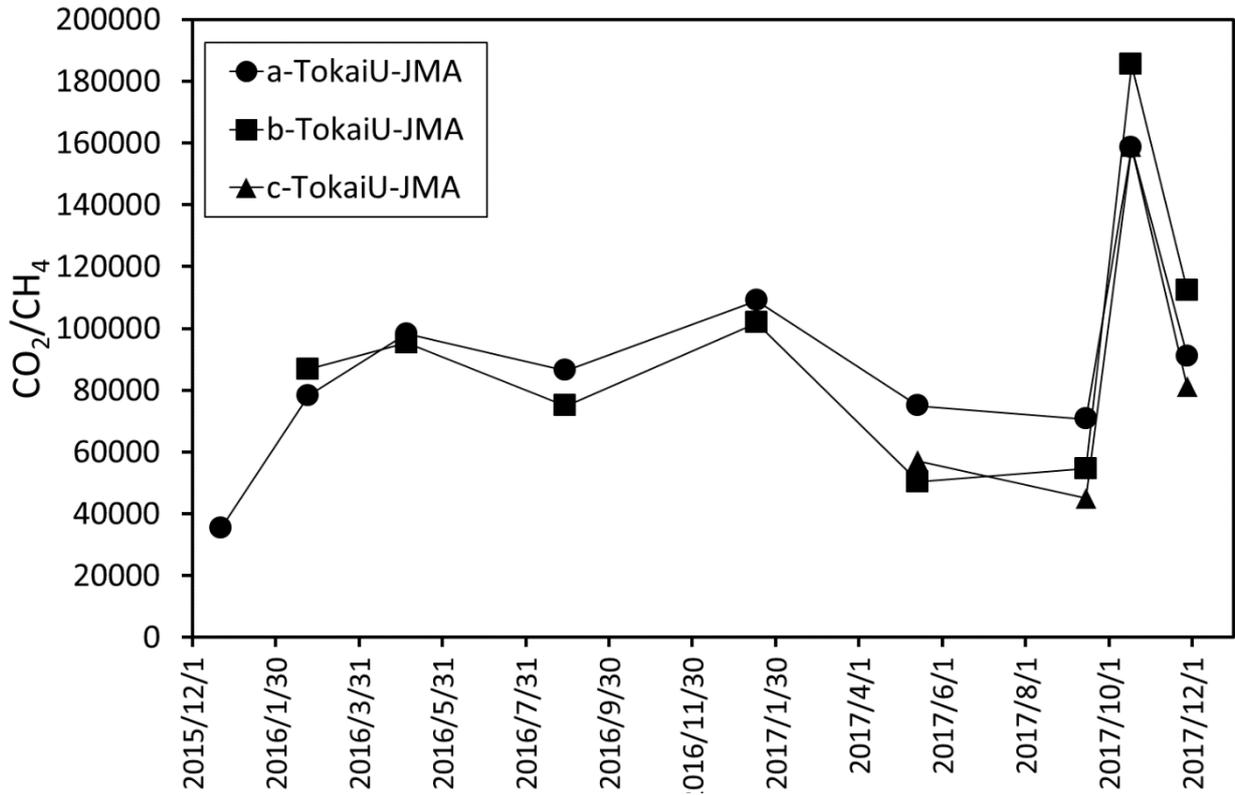


図4. CO₂/CH₄比の時間変化

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

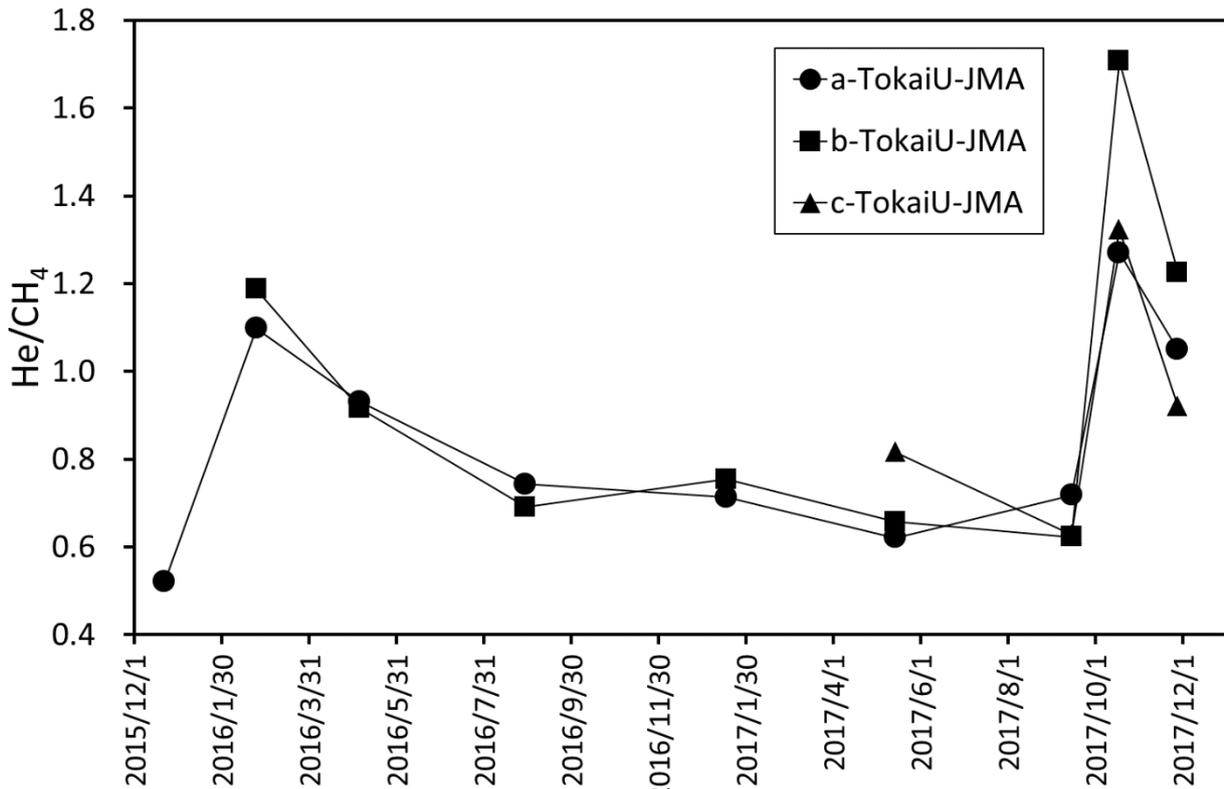


図5. He/CH₄比の時間変化

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

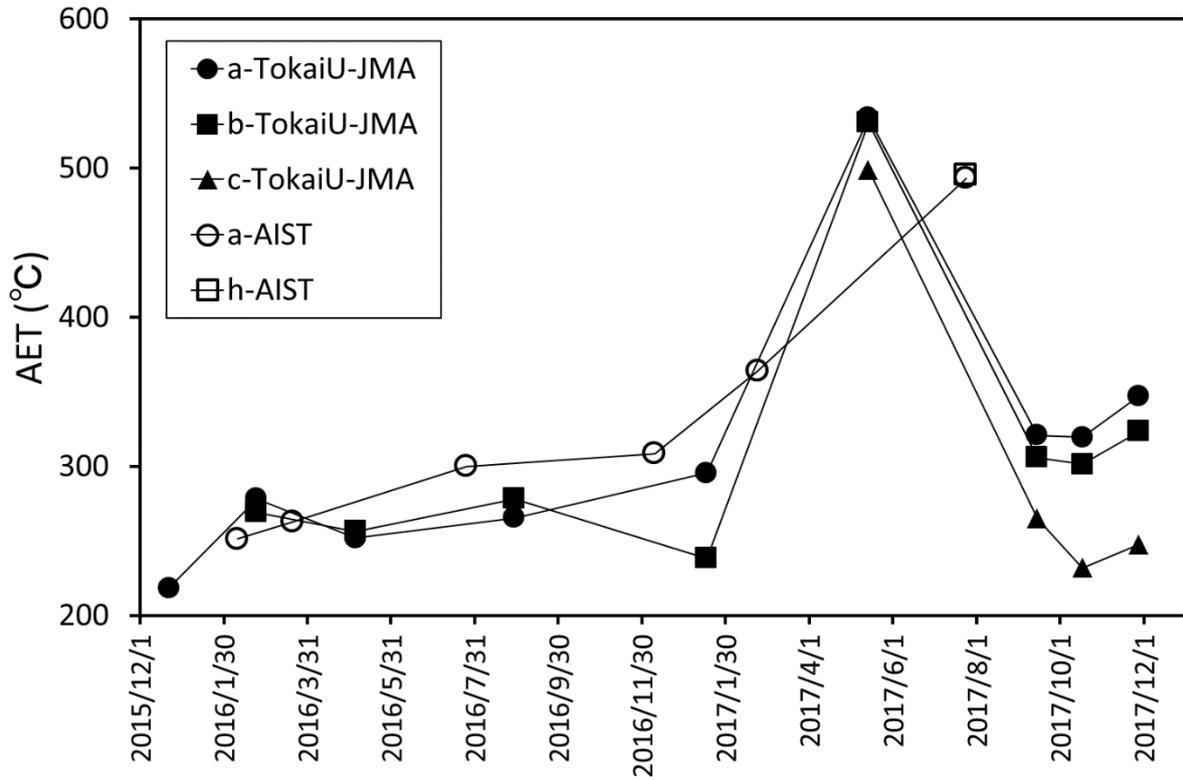


図6. 見かけ平衡温度 (AET) の変化

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

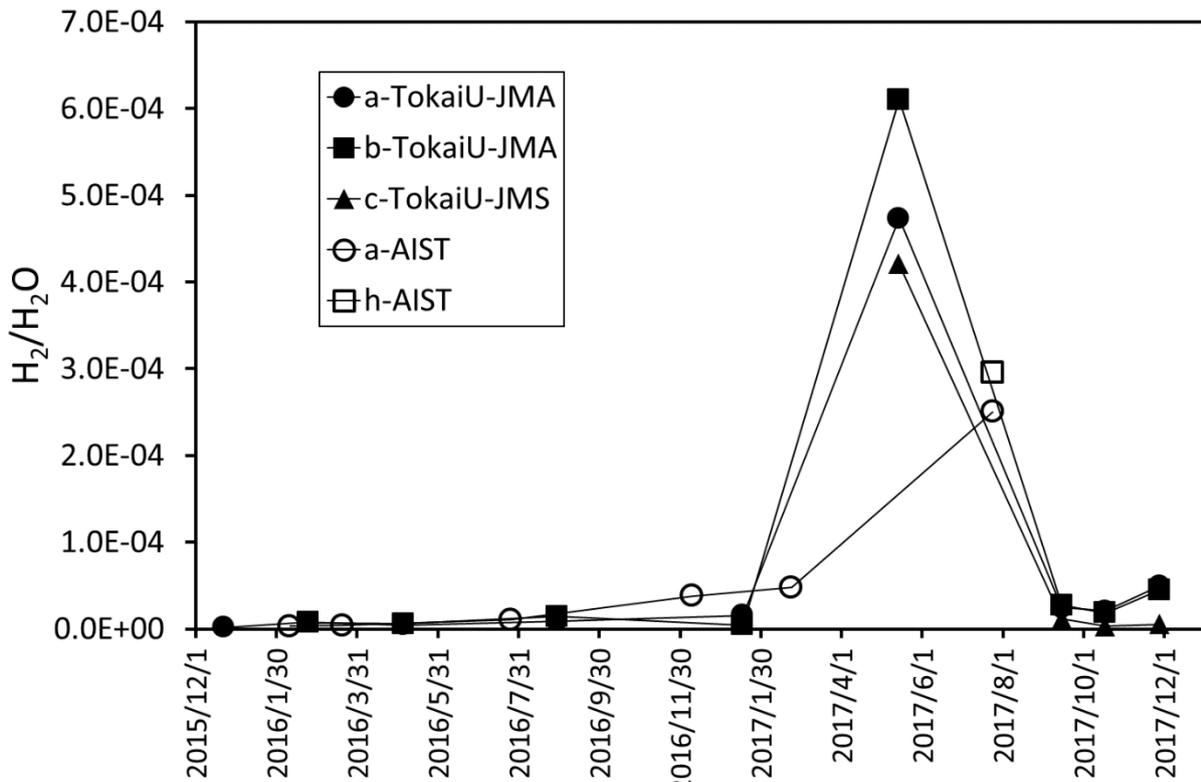


図7. H₂/H₂O比の変化

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

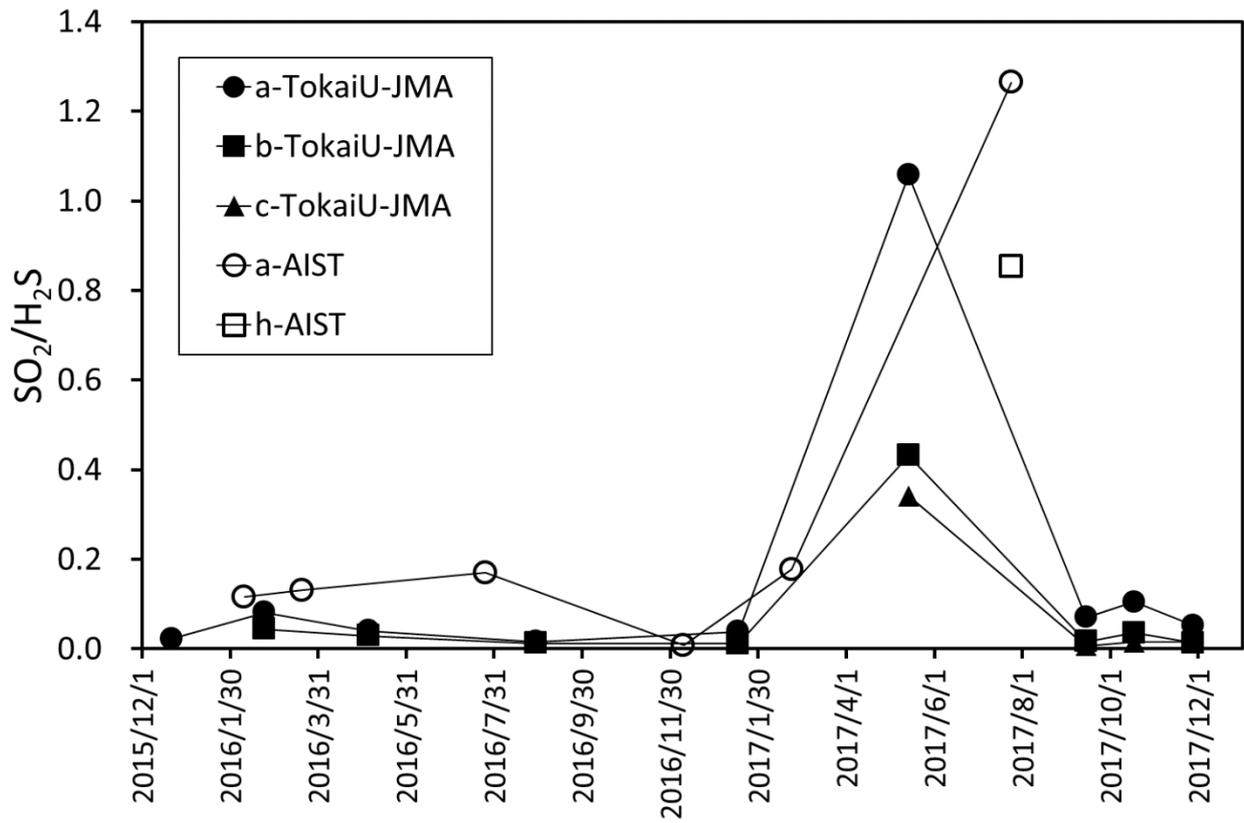


図 8. SO₂/H₂S 比の変化

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

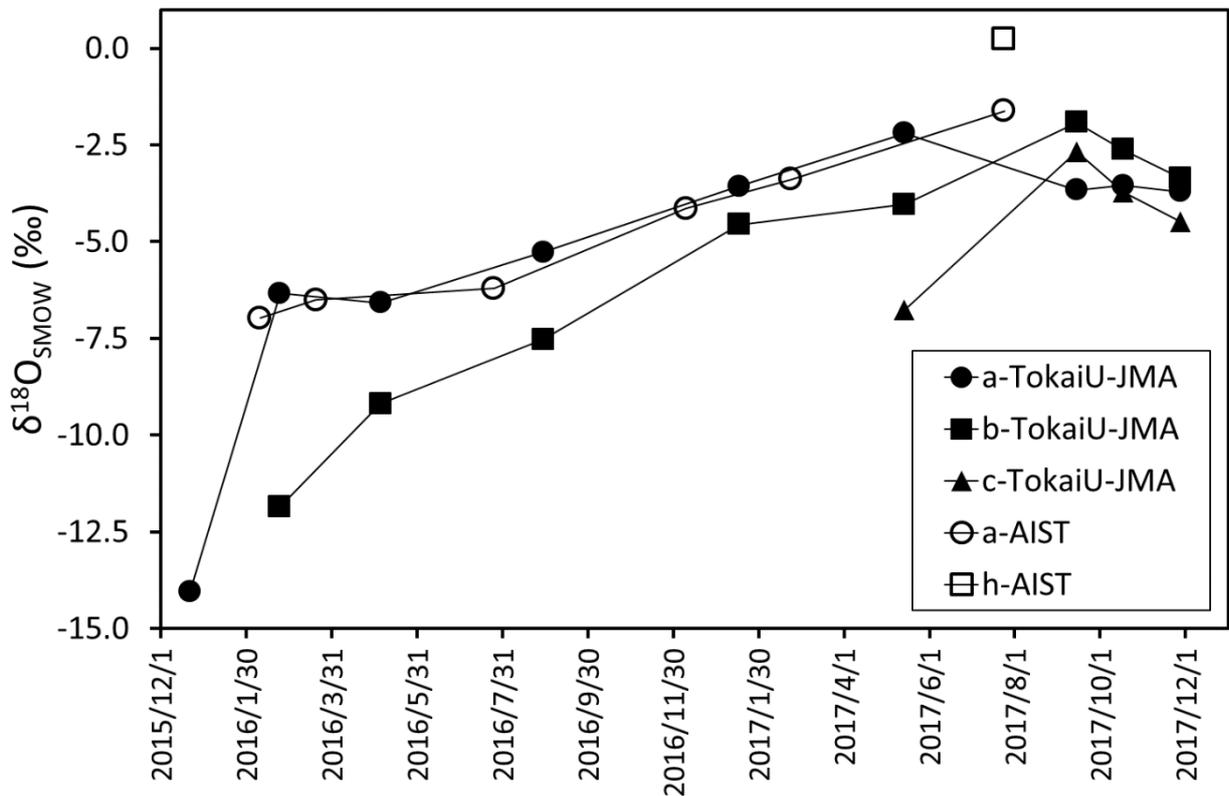


図9. H₂Oの酸素同位体比の変化

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