

霧島硫黄山噴気の化学組成・安定同位体比（2015年12月～2018年5月）*

Chemical composition and stable isotope ratio of the fumarolic gases at Iwoyama volcano, Kirishima, Japan (Dec. 2015 to May 2018) *

東海大学**, 気象研究所***, 産業技術総合研究所****, 名古屋大学*****

Tokai University**, Meteorological Research Institute***

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

Nagoya University*****

1. 概要

2015年12月から2018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。噴気のSO₂/H₂S比、化学組成から計算される見かけ平衡温度、水素同位体比から計算される見かけ平衡温度は、2018年4月噴火の直前に顕著な上昇を示した。これらの変化は2017年5月に起きた変化と類似している。マグマ起源ガスの熱水系に対する流量の指標と考えられるHe/CH₄比は、2017年5月には低く、2018年3月に高い値を示した。よって、2018年4月の噴火は、マグマ起源ガスの流量が増加し、さらに熱水系の温度上昇を伴い、発生したと推定される。

2. 噴気の採取・分析

硫黄山では、図1に示す噴気孔a, b, c, hで噴気を採取した。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を封入した。真空ガラス瓶の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。採取後の噴気の化学分析は、主に小沢の方法[1]に従った。

* 2018年7月20日受付

** 大場武, 西野佳奈, 沼波望; *** 谷口無我; **** 篠原宏志, 風早竜之介

***** 角皆潤, 伊藤昌雅, 新宮原諒

3. 結果

噴気 a, b, h の $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比は、2017 年 10 月頃から 2018 年 3 月まで、0.007 から 0.012 の間で安定していたが、2018 年 5 月に噴気 a は 0.005 以下の低い値を示した (図 1). 噴気 a と h の $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ 比は、2018 年 1 月と 3 月に高い値を示したが、2018 年 5 月に a の値は 0.0004 と、これまでで最も低い値を示した (図 2). 噴気 a と h の $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、2018 年 1 月から 3 月にかけて低い値で安定していた (図 4). 噴気 a, c の CO_2/CH_4 比と He/CH_4 比は、2017 年 9 月までは、比較的低い値で安定していたが、その後、上昇し変動している (図 5, 6). この傾向は、2018 年 5 月になっても継続している. 以下の反応,



で定義される見かけ平衡温度は、噴気 a, c, h で 2017 年 5 月に高い値を示し、その後、低下したが、2018 年 3 月に再び上昇し、2018 年 5 月に低下した (図 7). 噴気に含まれる水蒸気と水素ガスの水素同位体比の差から、両者の間で水素同位体交換反応平衡を仮定し、見かけ平衡温度 (AET(D/H)) を計算することができる. 噴気 a と b の AET(D/H) は、2018 年 1 月に高い値を示し (図 8), 2018 年 3 月には、噴気 a, b, c で過去最高の値を記録した. その後 2018 年 5 月に噴気 a, c の AET(D/H) は低下した. 噴気の $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比は、2018 年 1 月から 3 月にかけて若干上昇したものの、上昇の幅は、2017 年 5 月に比べて小さかった (図 9). 噴気 a と c で $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比は 2018 年 5 月に低下した. 噴気の $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、2018 年 1 月から 3 月にかけて顕著に増加した (図 10), 特に、噴気 b, h, c では 2018 年 3 月の値は過去最大であった. 2018 年 5 月に噴気 c の $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は急減した. H_2O の水素・酸素同位体比については、2017 年 5 月頃から 2018 年 5 月にかけて安定している (図 11, 12).

4. 考察

熱水系の温度指標である AET や AET(D/H), さらに $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、2018 年 4 月 19 日の噴火に先立ち 2018 年 3 月末に顕著な上昇を示した. この変化は 2017 年 5 月に起きた変化と類似している. 一方で、熱水系に対するマグマ起源ガスの流量に対応すると考えられる He/CH_4 比は、2017 年 5 月に変化がなく、2017 年 9 月から高い値を示すようになった. よって、2018 年 4 月の噴火は、マグマ起源ガスの熱水系に対する流量が増加し、同時に熱水系の温度上昇を伴い、発生したと推測される.

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

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「火山ガス観測による活火山ポテンシャル診断」(15K12485) を使用しました.

表1. 霧島硫黄山噴気の化学組成, 安定同位体比, 見かけ平衡温度 (AET)

Table 1. Chemical composition and isotopic ratios of fumarolic gases with the apparent equilibrium temperature (AET) at Mt. Iwoyama, Kirishima Japan

Location	Date	Temp °C	H2O %	CO2 %	H2S %	SO2 %	He %	H2 %	CH4 %	δ D ‰	δ 18O ‰	AET °C	AET(D/H) °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	383	東海大・気象研・名大
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	701	東海大・気象研・名大
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	435	東海大・気象研・名大
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	252	東海大・気象研・名大
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	542	東海大・気象研・名大
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	865	東海大・気象研・名大
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	413	東海大・気象研・名大
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	768	東海大・気象研・名大
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	291	東海大・気象研・名大
硫黄山-a	2018/1/26	96.8	98.9	0.78	0.32	0.008	7.6E-06	2.7E-03	4.5E-06	-48	-3.7	311	1027	東海大・気象研・名大
硫黄山-a	2018/3/28	96.2	98.5	0.91	0.30	0.290	9.8E-06	1.7E-02	6.4E-06	-46	-2.2	462	1124	東海大・気象研・名大
硫黄山-a	2018/5/29	96.7	99.6	0.29	0.04	0.042	2.6E-06	1.1E-02	2.0E-06	-45	-2.4	440	1010	東海大・気象研・名大
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	728	東海大・気象研・名大
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	434	東海大・気象研・名大
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	256	東海大・気象研・名大
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	111	東海大・気象研・名大
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	339	東海大・気象研・名大
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	262	東海大・気象研・名大
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	779	東海大・気象研・名大
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	208	東海大・気象研・名大
硫黄山-b	2018/1/26	96.4	99.1	0.64	0.26	0.001	7.3E-06	1.7E-03	4.9E-06	-44	-1.9	268	575	東海大・気象研・名大
硫黄山-b	2018/3/28	97.7	99.2	0.61	0.06	0.086	7.0E-06	1.1E-02	7.2E-06	-40	-1.3	444	839	東海大・気象研・名大
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	485	東海大・気象研・名大
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	301	東海大・気象研・名大
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	250	東海大・気象研・名大
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	133	東海大・気象研・名大
硫黄山-c	2018/1/26	95.7	99.0	0.72	0.26	0.002	7.9E-06	4.5E-04	3.9E-06	-44	-2.7	236	178	東海大・気象研・名大
硫黄山-c	2018/3/28	97	99.1	0.74	0.06	0.042	8.1E-06	1.1E-02	1.0E-05	-46	-3.3	429	659	東海大・気象研・名大
硫黄山-c	2018/5/29	96.1	99.0	0.82	0.14	0.004	6.2E-06	1.6E-03	6.9E-06	-50	-4.1	294	296	東海大・気象研・名大
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		4.7E-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-a	2017/9/6	97.5	98.8	0.86	0.18	0.074		3.3E-02				489		産総研(AIST)
硫黄山-a	2017/11/7	98.5	99.1	0.73	0.15	0.038		5.3E-03				375		産総研(AIST)
硫黄山-a	2018/1/31	96.0	99.0	0.71	0.27	0.035		5.2E-03				363		産総研(AIST)
硫黄山-a	2018/3/27	108.0	98.6	0.87	0.26	0.235		1.2E-02				442		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)
硫黄山-h	2017/9/6	135.0	99.1	0.50	0.23	0.108		2.8E-02				479		産総研(AIST)
硫黄山-h	2017/11/7	132.0	99.1	0.65	0.19	0.046		4.8E-03				369		産総研(AIST)
硫黄山-h	2018/1/31	132.0	98.3	0.93	0.37	0.087		4.2E-03				363		産総研(AIST)
硫黄山-h	2018/3/27	144.0	98.6	0.67	0.32	0.308		1.6E-02				458		産総研(AIST)

*AET の計算では平衡圧力を 1bar と仮定した。AET (D/H) は水素同位体比に基づく見かけ平衡温度

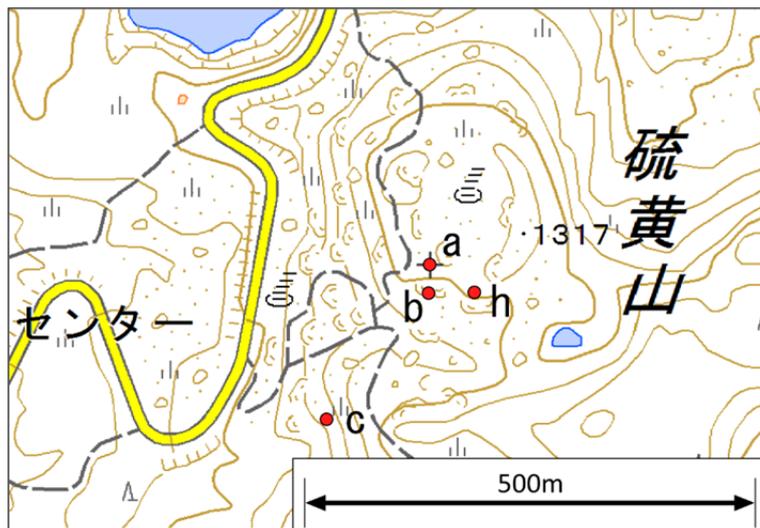


図1. 硫黄山噴気 a, b, c, h の位置 (背景の地図として, 国土地理院 1/25000 地形図を使用した)

Fig.1. Location of fumaroles a, b, c and h at Mt. Iwoyama Kirishima Japan (The topographic map issued by Geographical Survey Institute was used for background)

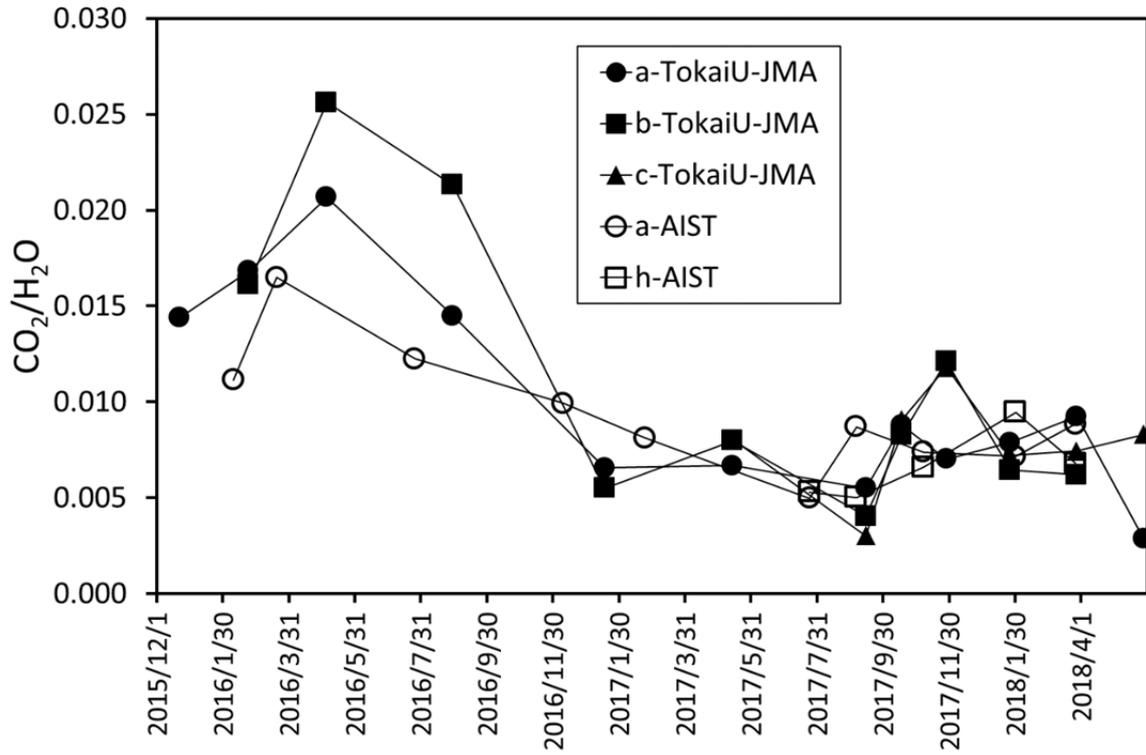


図 2. CO₂/H₂O 比の時間変化

Fig. 2. CO₂/H₂O ratio variation in fumarolic gases

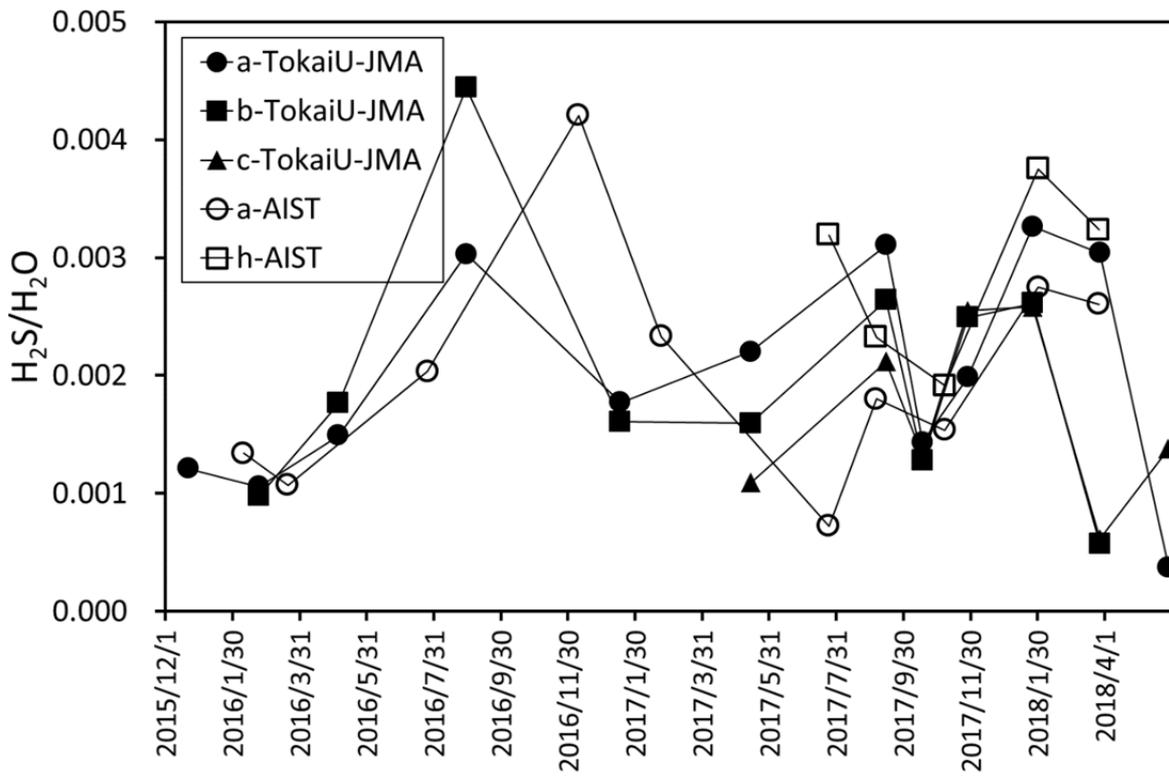


図 3. H₂S/H₂O 比の時間変化

Fig. 3. H₂S/H₂O ratio variation in fumarolic gases

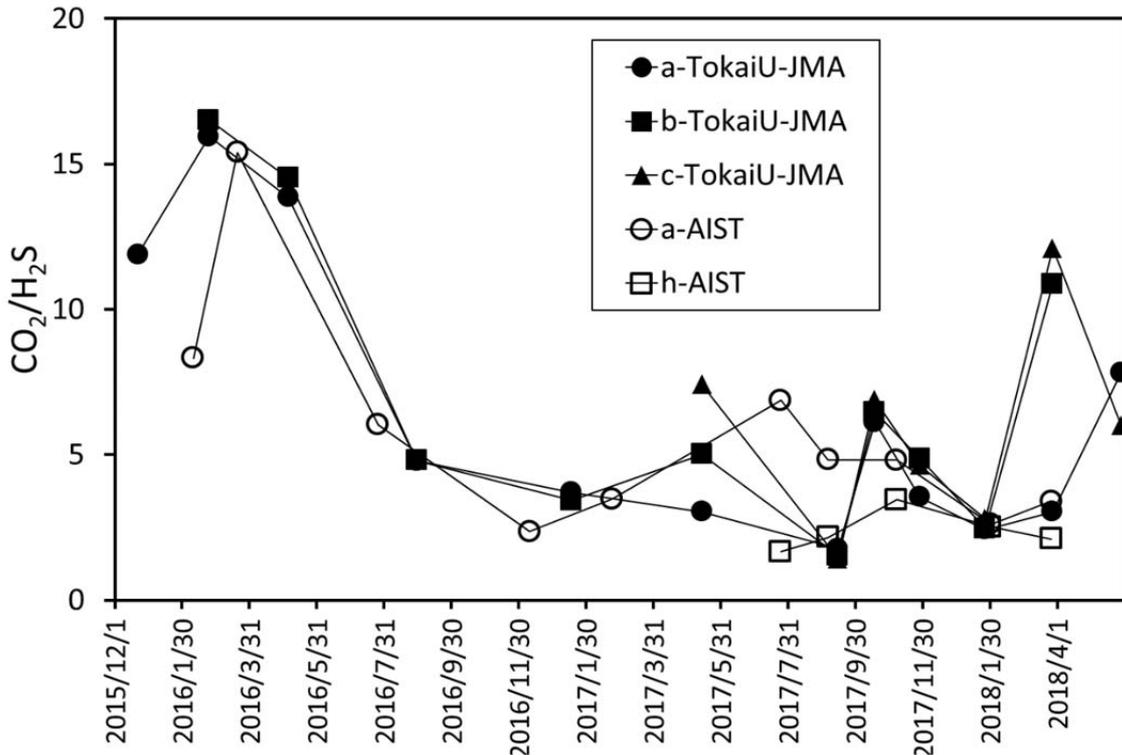


図4. CO₂/H₂S 比の時間変化

Fig. 4. CO₂/H₂S variation in fumarolic gases

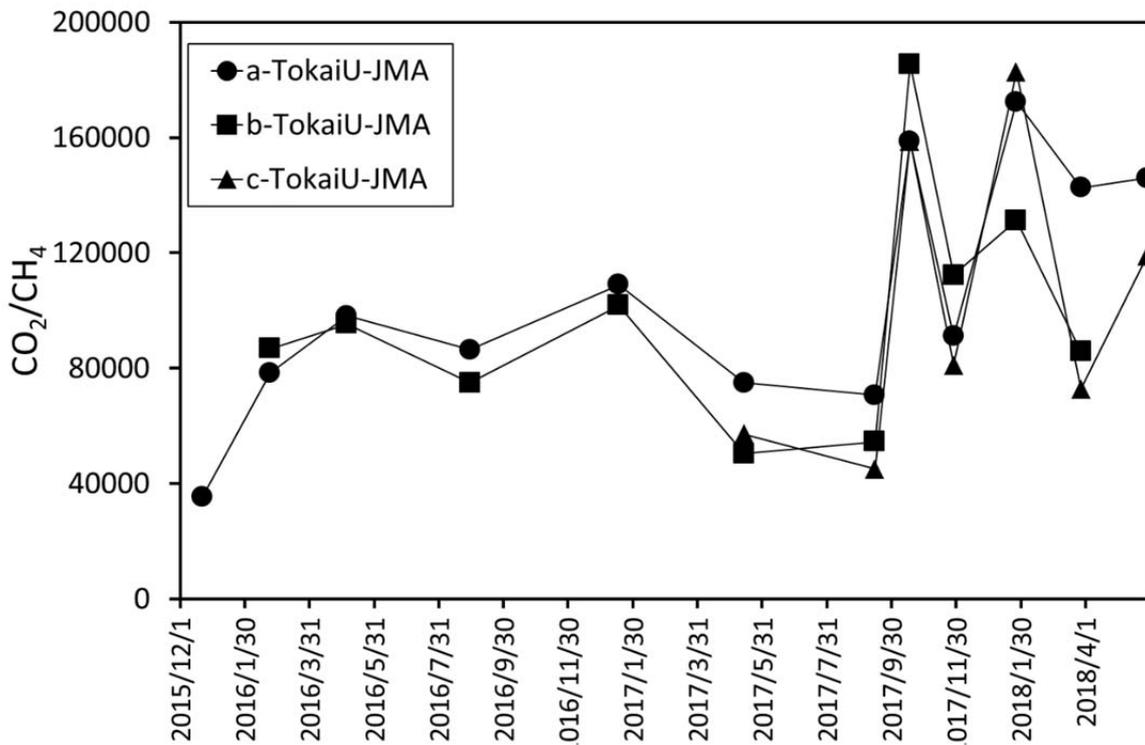


図5. CO₂/CH₄ 比の時間変化

Fig. 5. CO₂/CH₄ variation in fumarolic gases

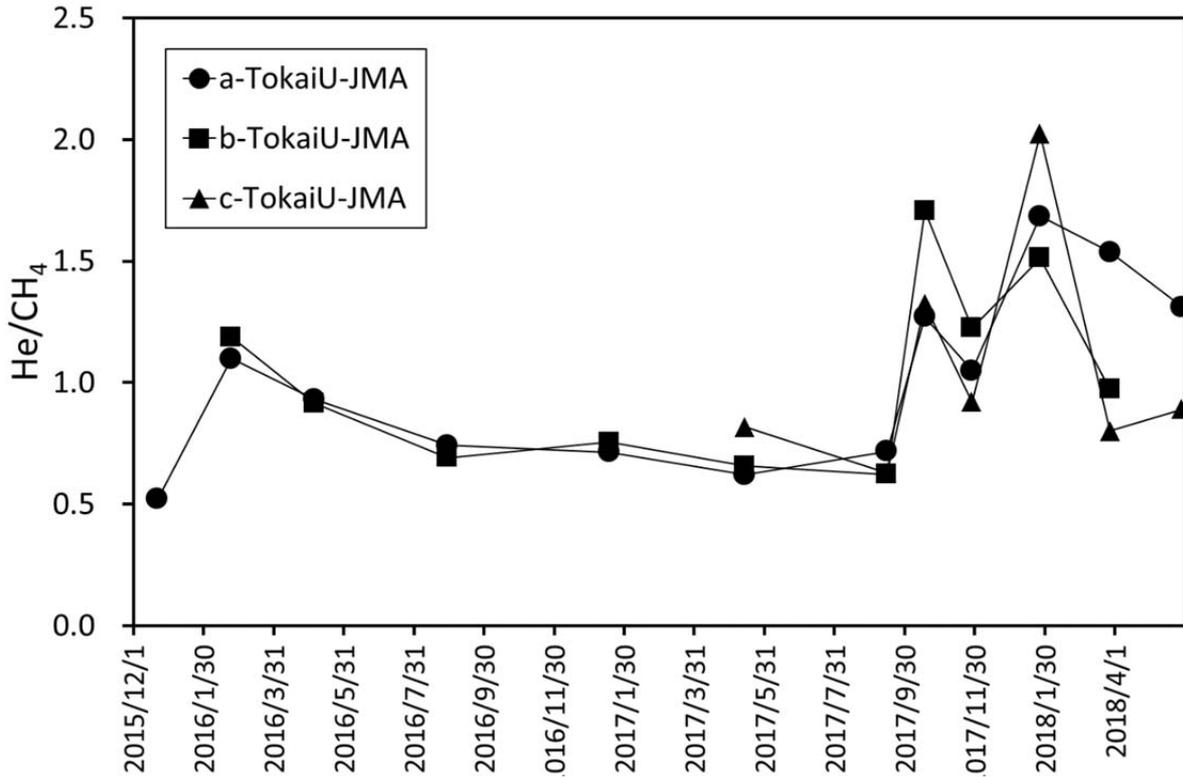


図 6. He/CH₄ 比の時間変化

Fig. 6. He/CH₄ variation in fumarolic gases

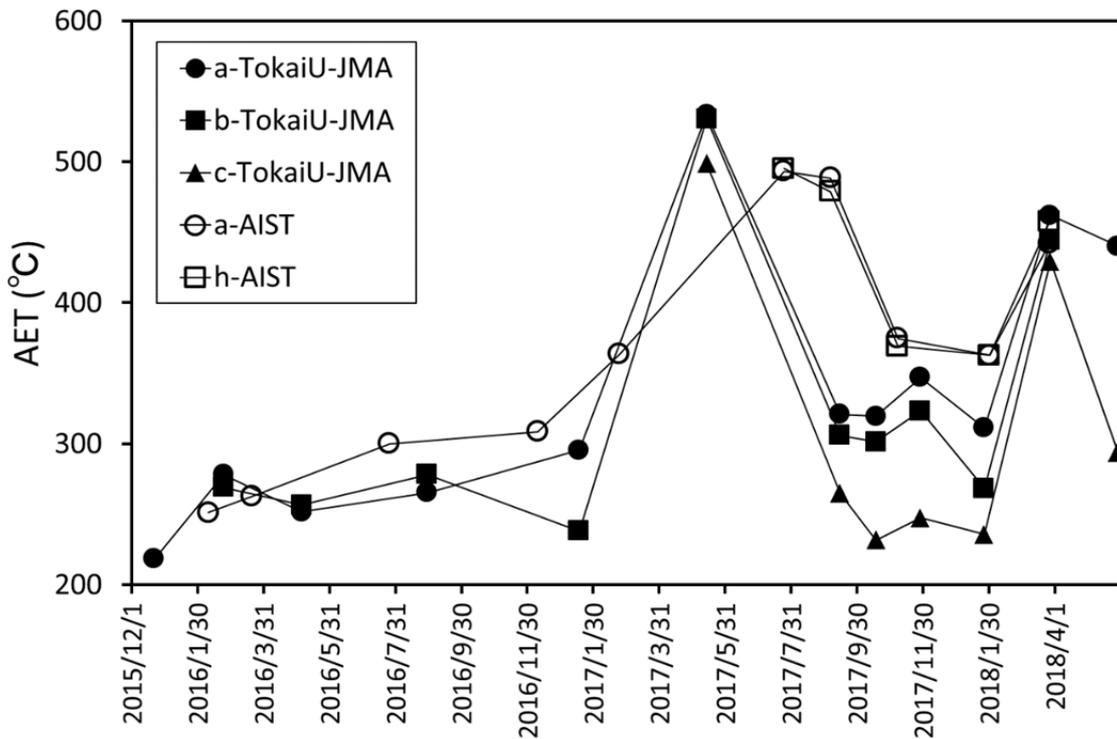


図 7. 見かけ平衡温度 (AET) の変化

Fig. 7. AET variation in fumarolic gases

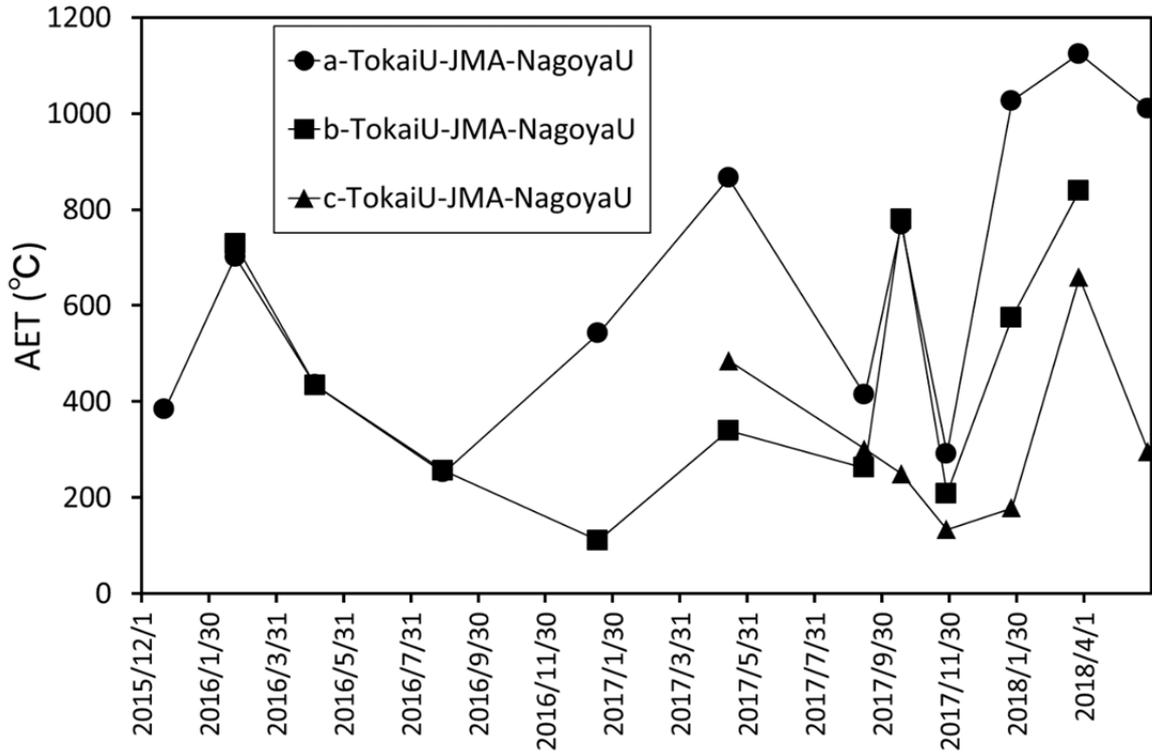


図8. 水素同位体比に基づく見かけ平衡温度 (AET(D/H)) の変化

Fig.8. Variation of AET by hydrogen isotope in fumarolic gases

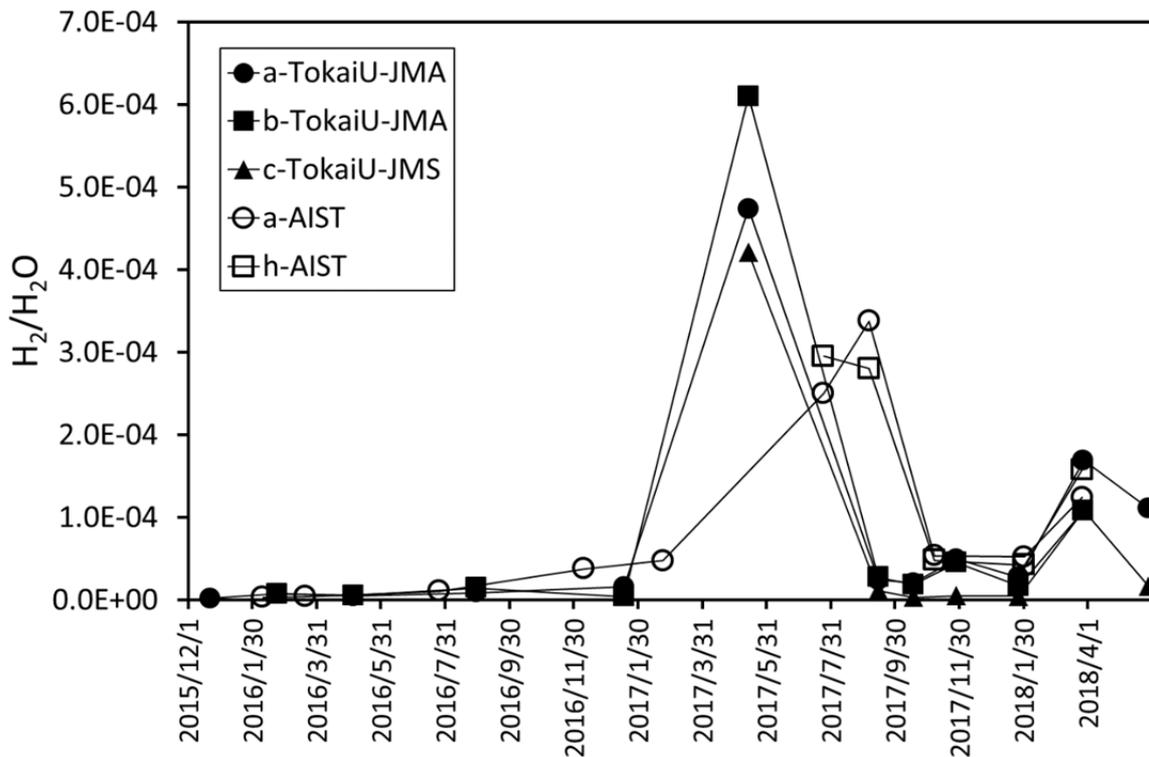


図9. H₂/H₂O比の変化

Fig.9. H₂/H₂O variation in fumarolic gases

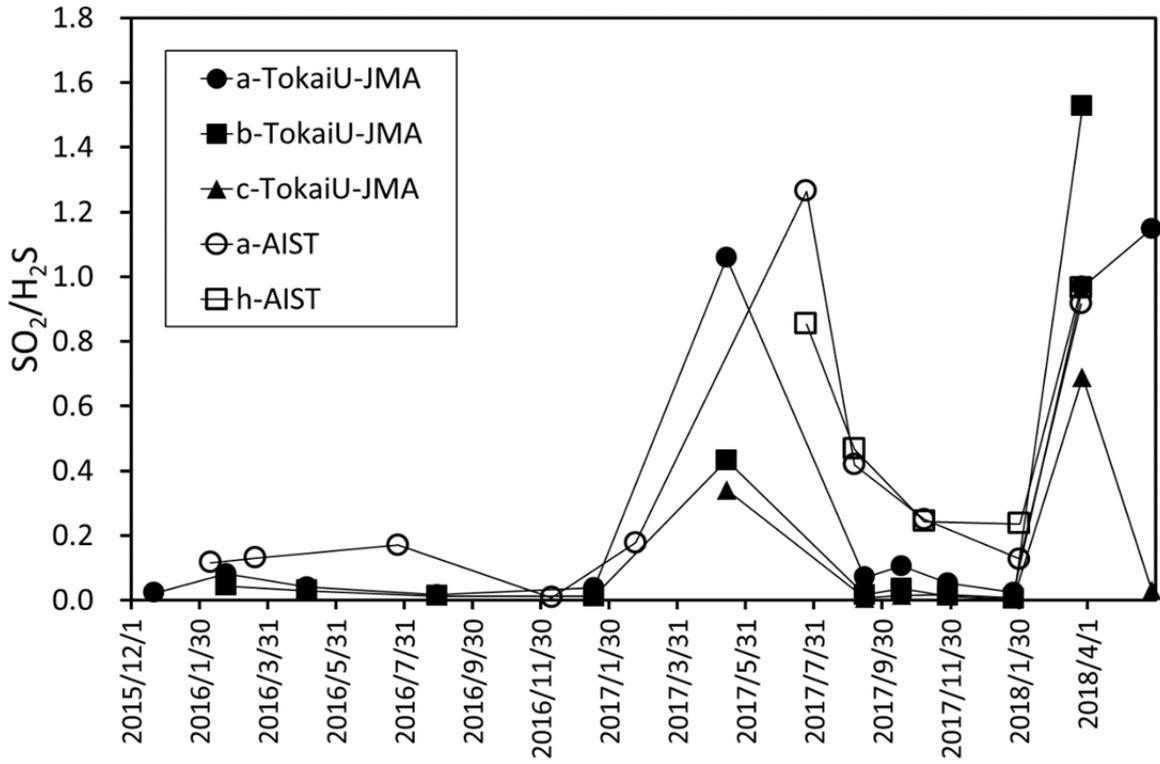


図 10. SO₂/H₂S 比の変化

Fig.10. SO₂/H₂S variation in fumarolic gases

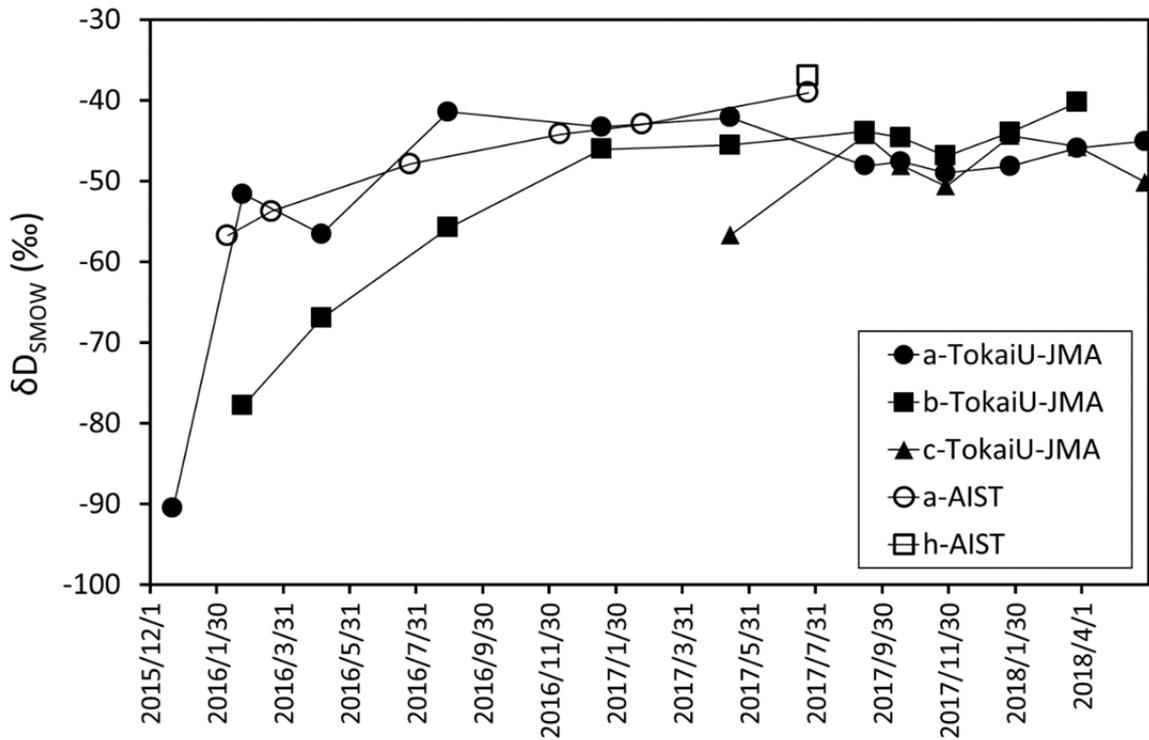


図 11. H₂O の水素同位体比の変化

Fig.11. Hydrogen isotopic ratio variation of H₂O in fumarolic gases

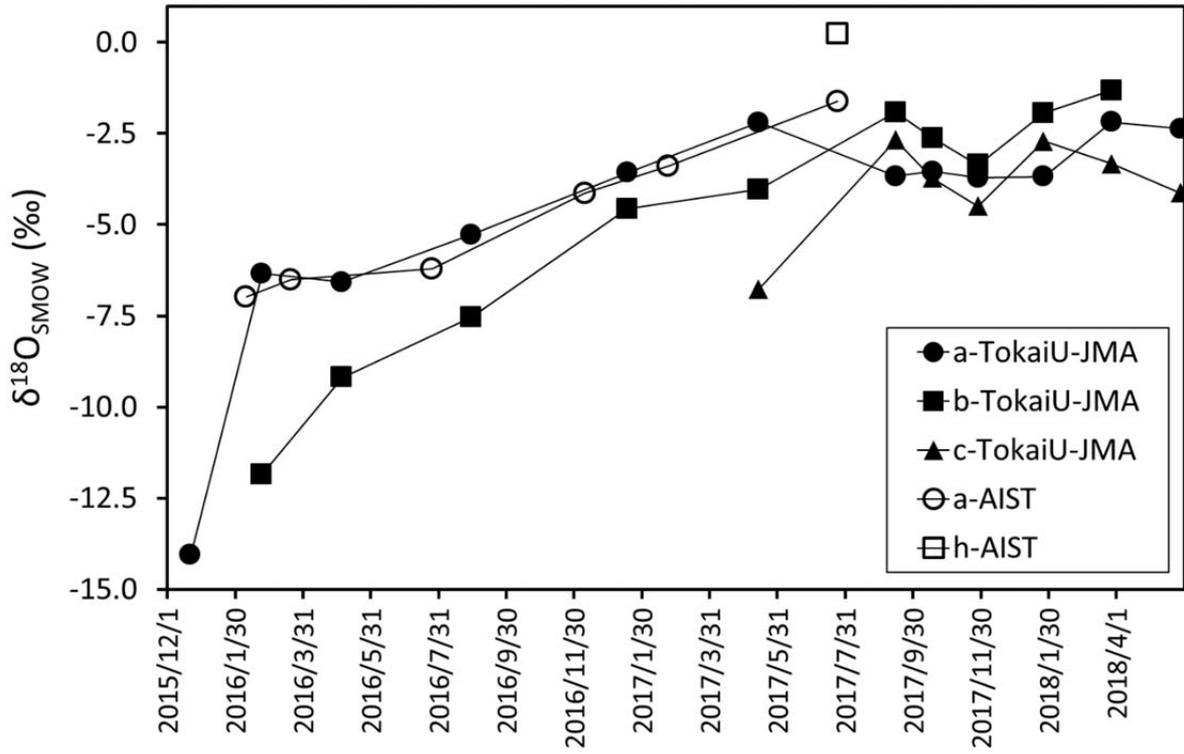


図 12. H₂O の酸素同位体比の変化

Fig.12. Oxygen isotopic ratio variation of H₂O in fumarolic gases