

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

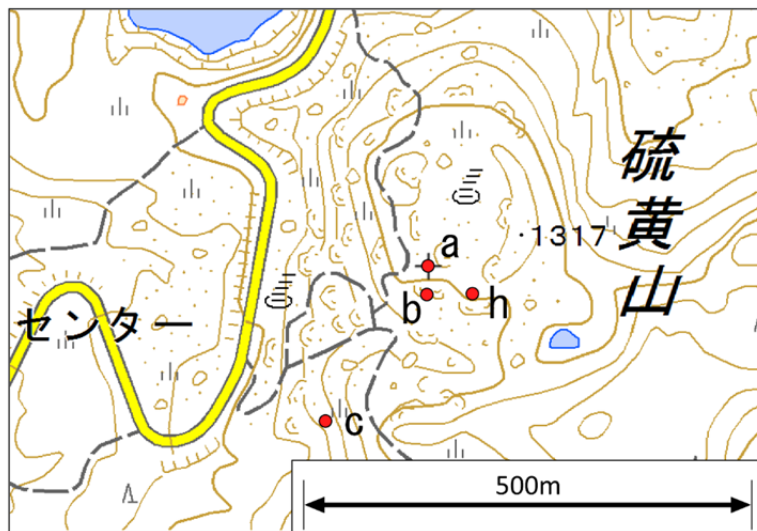


図1. 硫黄山噴気 a, b, c, h の位置 (背景の地図として, 国土地理院 1/25000 地形図を使用した)

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)

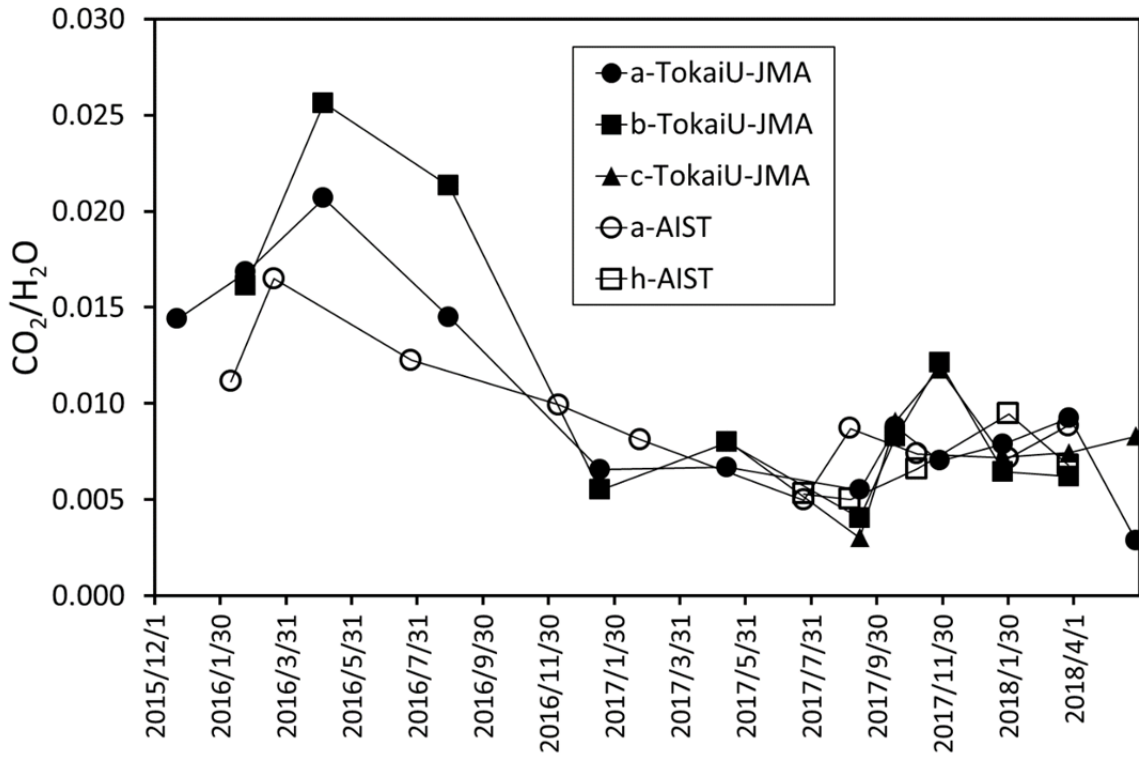


図 2. CO₂/H₂O 比の時間変化

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

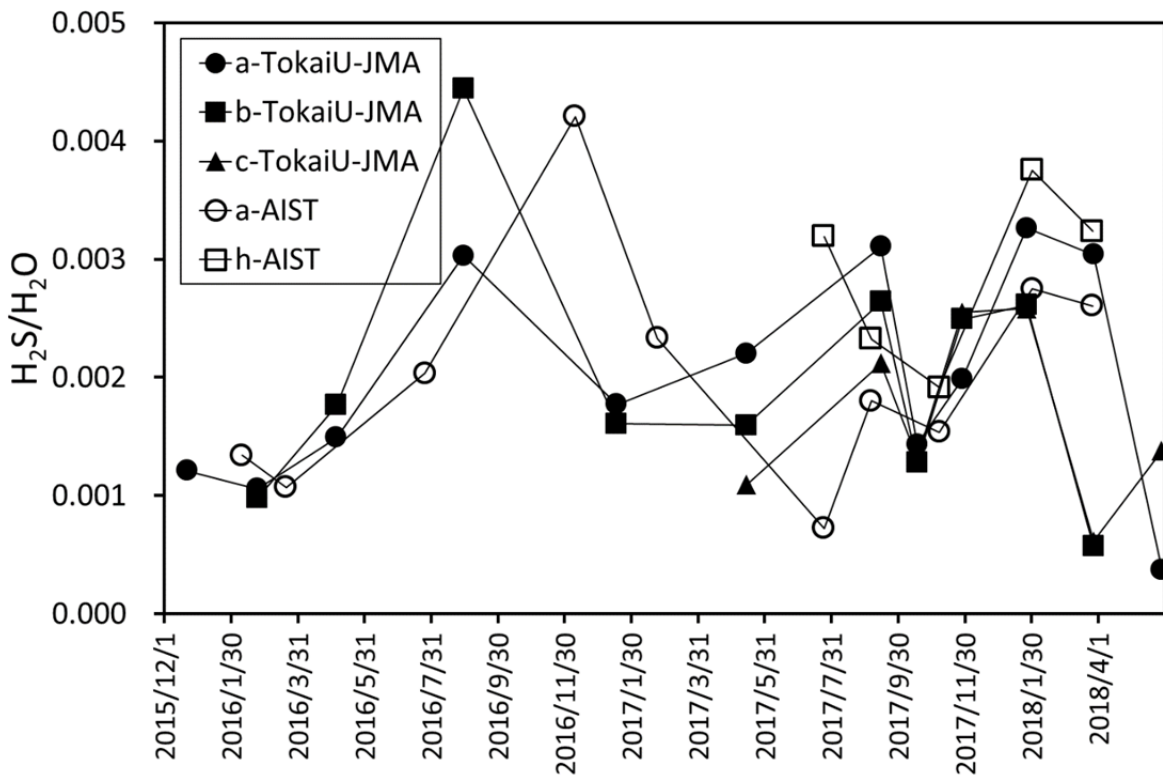


図 3. H₂S/H₂O 比の時間変化

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

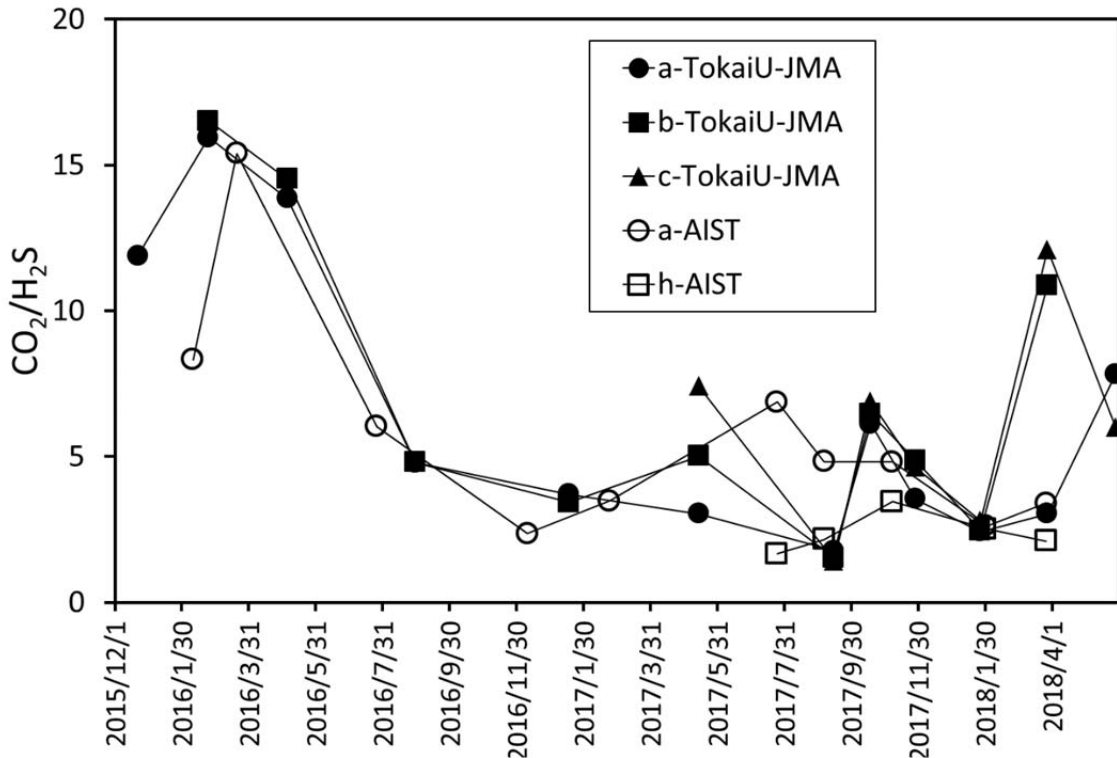


図4. CO₂/H₂S 比の時間変化

Fig. 4. CO₂/H₂S variation in fumarolic gases

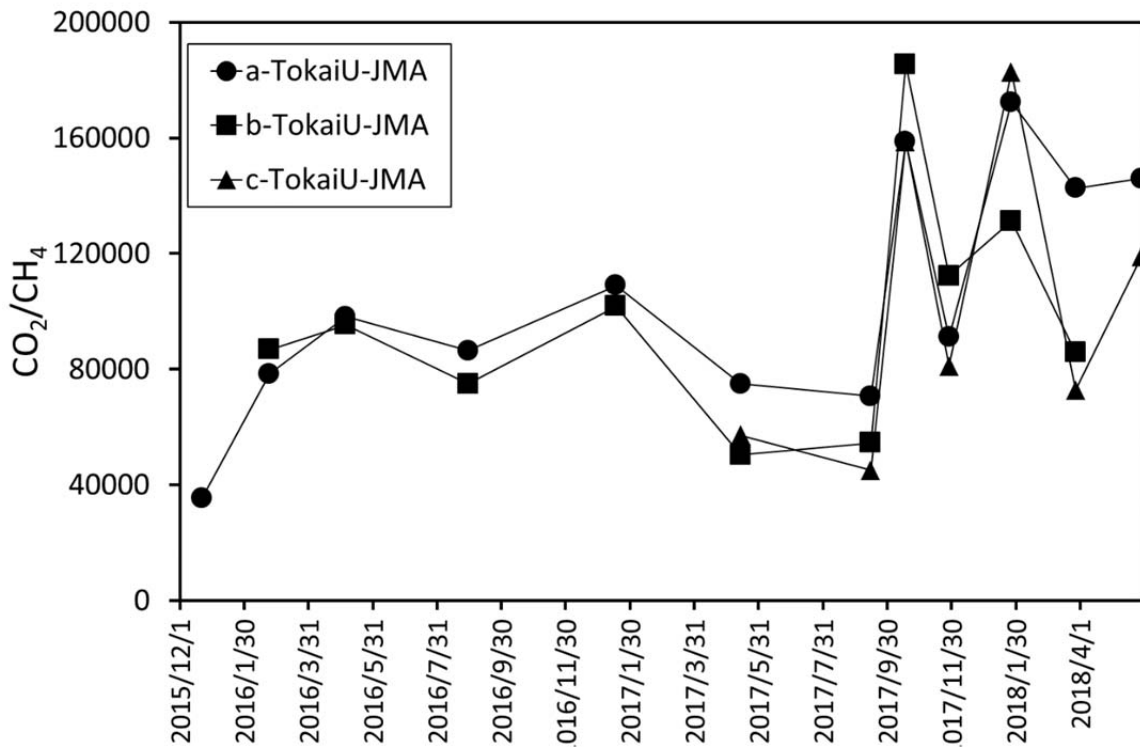


図5. CO₂/CH₄ 比の時間変化

Fig. 5. CO₂/CH₄ variation in fumarolic gases

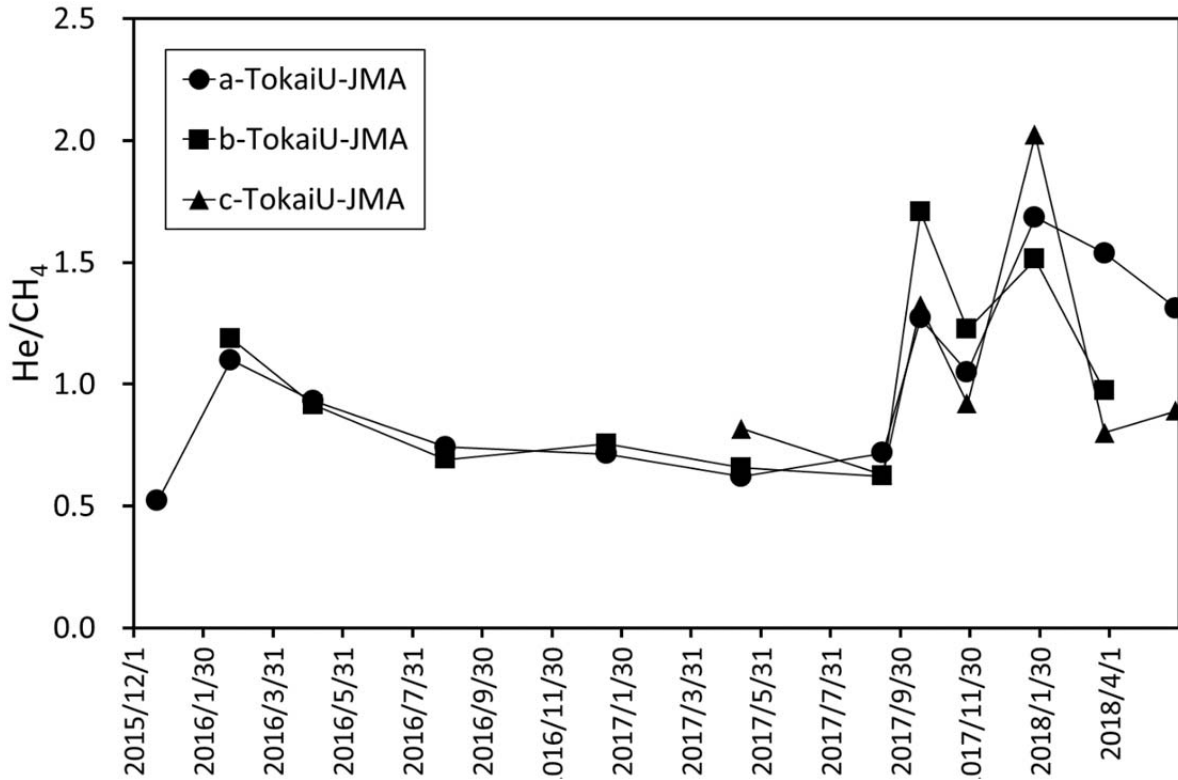


図 6. He/CH₄ 比の時間変化

Fig. 6. He/CH₄ variation in fumarolic gases

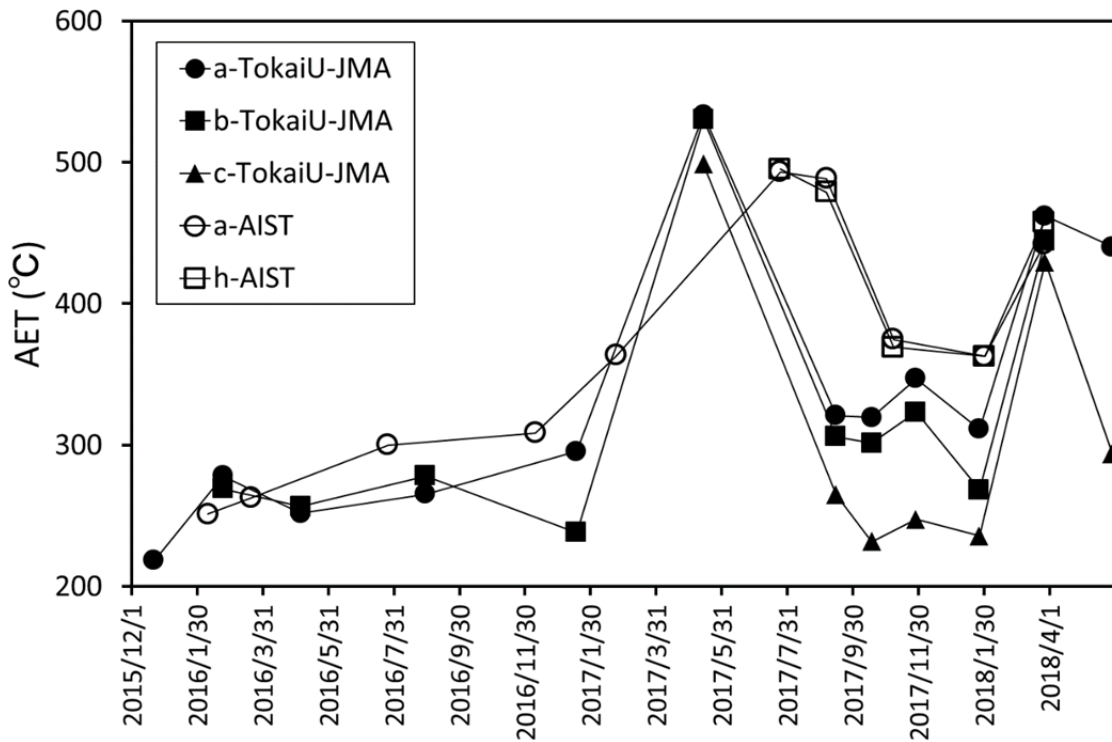


図 7. 見かけ平衡温度 (AET) の変化

Fig. 7. AET variation in fumarolic gases

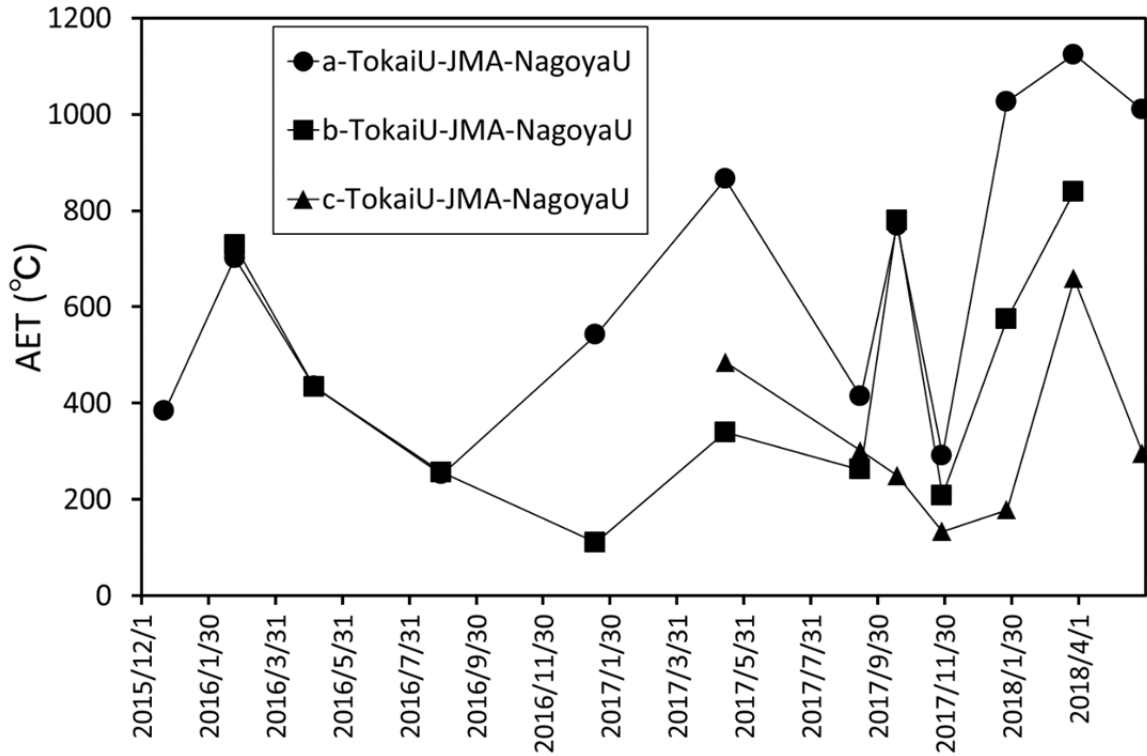


図8. 水素同位体比に基づく見かけ平衡温度 (AET(D/H)) の変化

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

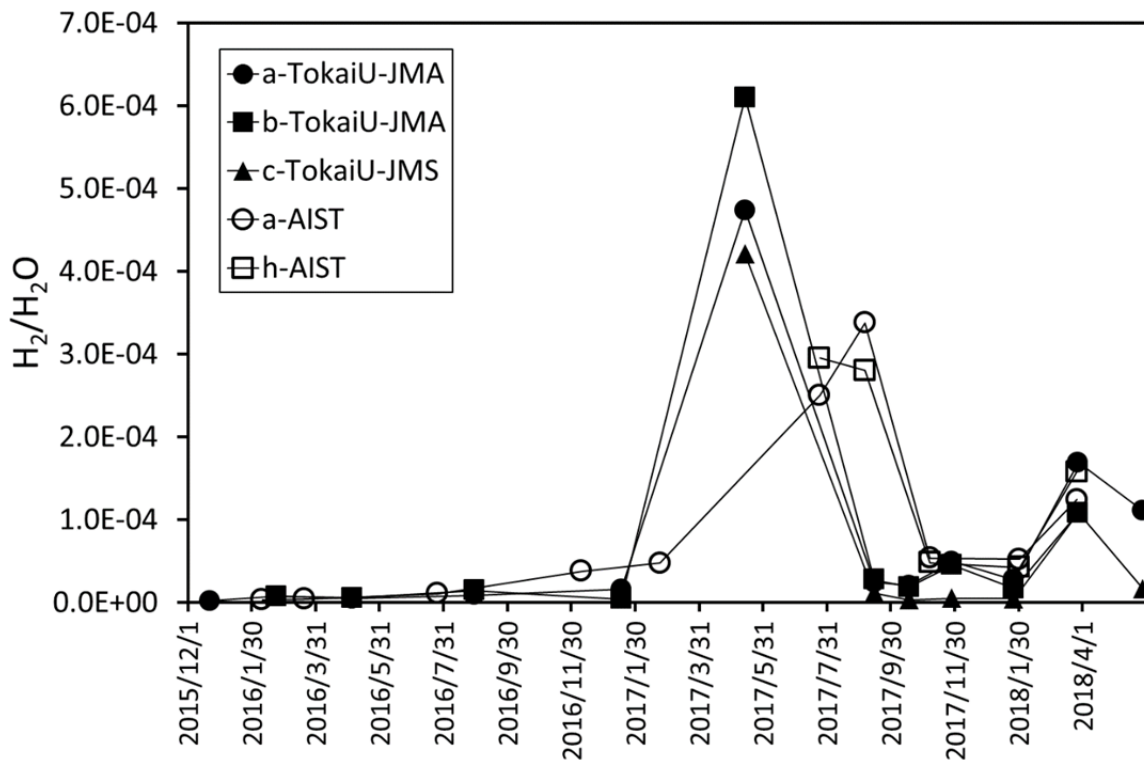


図9. H₂/H₂O比の変化

Fig.9. H₂/H₂O variation in fumarolic gases

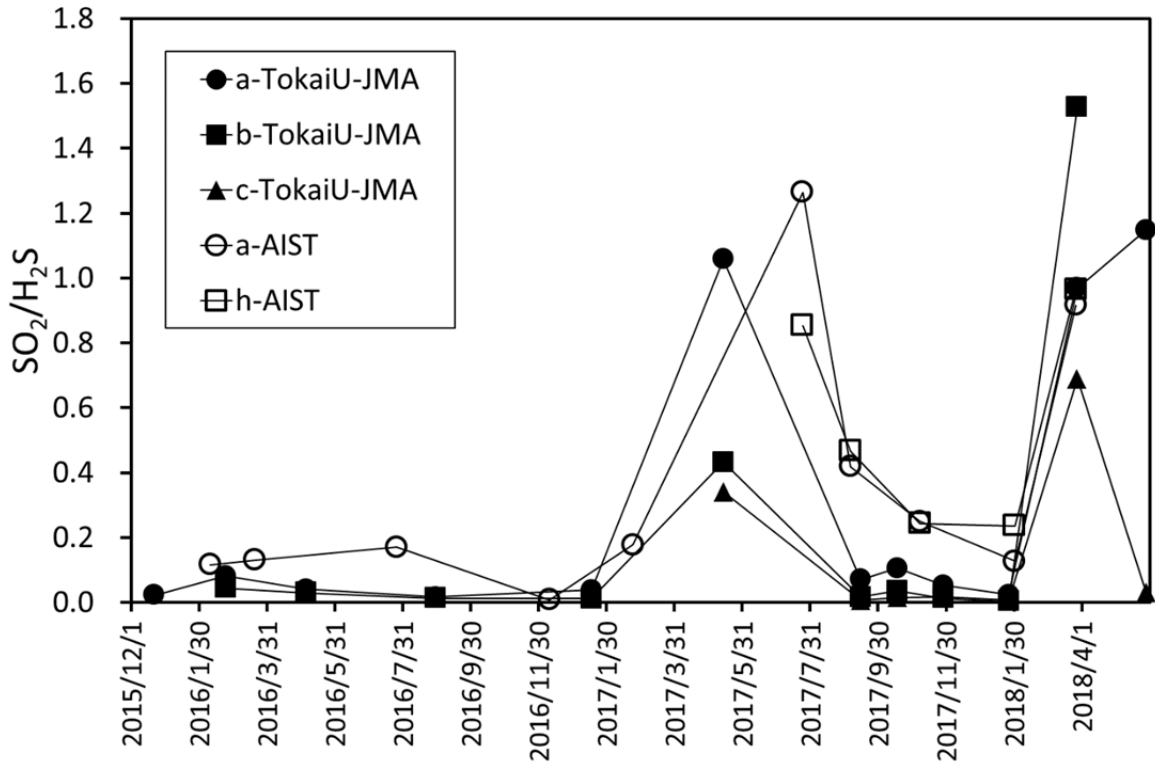


図 10. SO₂/H₂S 比の変化

Fig.10. SO₂/H₂S variation in fumarolic gases

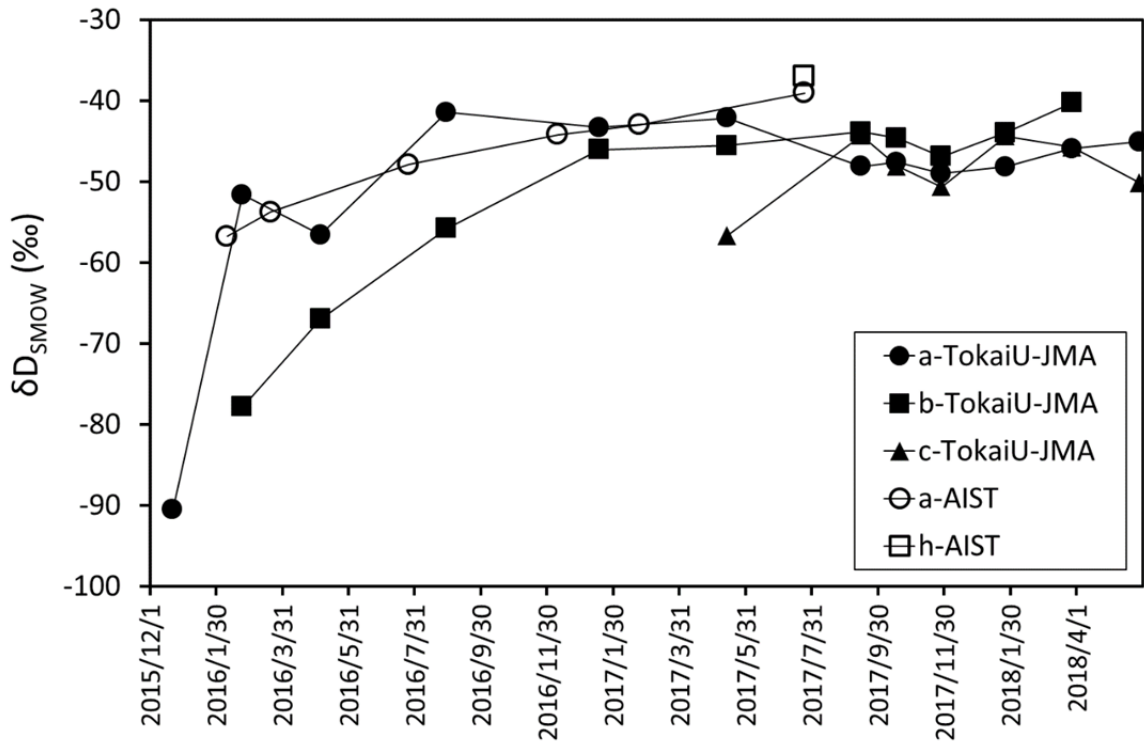


図 11. H₂O の水素同位体比の変化

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

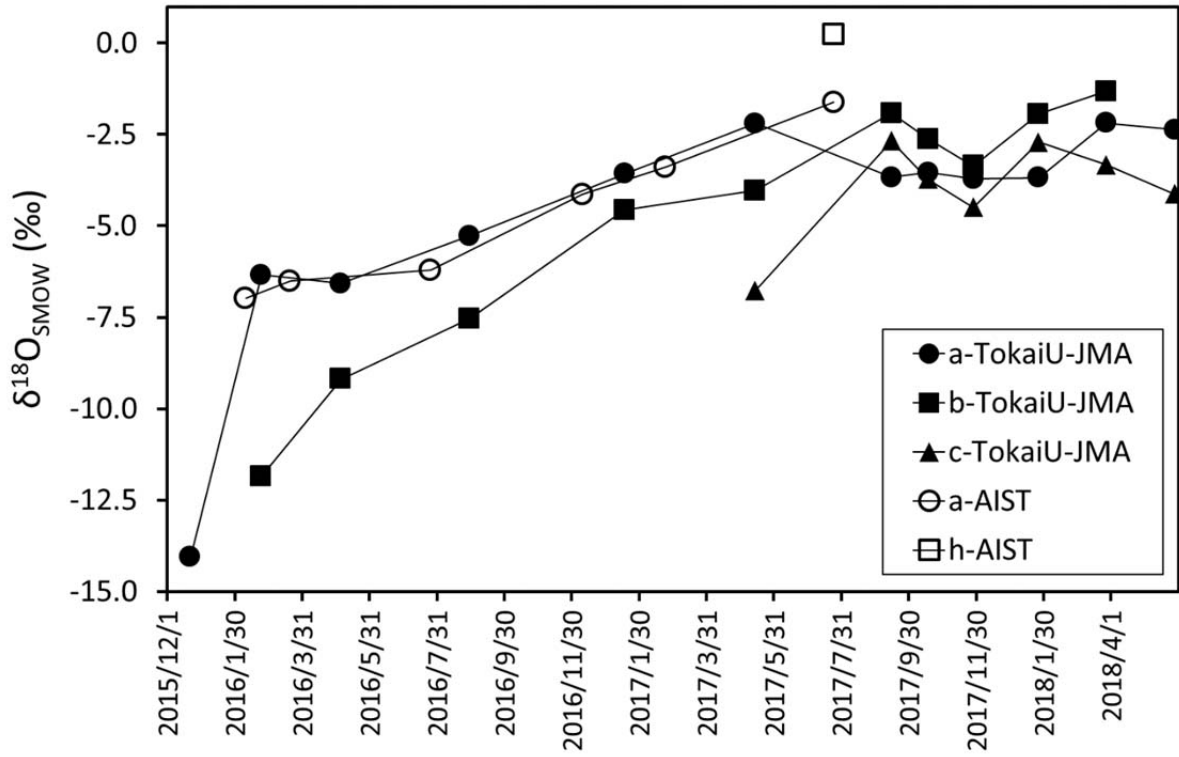


図 12. H₂O の酸素同位体比の変化

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