

草津白根山噴気の化学組成・安定同位体比(2014年7月～ 2018年5月)*

Chemical composition and stable isotope ratio of the fumarolic gases sampled at Kusatsu-Shirane volcano, Japan (July 2014 to May 2018)

東海大学**, 気象研究所***

Tokai University**, Meteorological Research Institute***

1. 概要

2014年7月から2018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/H₂O比は2017年11月まで低下傾向を示したが、2018年5月に上昇に転じた。CO₂はマグマ起源成分であり、この傾向は、湯釜直下の熱水系に対するマグマ成分の流量が増加したことを暗示する。CH₄/CO₂比およびCH₄/He比は2014年7月から2015年10月まで小さな値であったが、その後急速に増加し、2017年11月まで高い値を保ったが、2018年5月に大きく減少した。CH₄は熱水系成分であり、CO₂/H₂O比の変化で暗示されたマグマ成分の流量増加と調和する。反応、SO₂+3H₂=H₂S+2H₂Oの見かけ平衡温度(AET)は150～190℃の間で変動したが、一つの噴気を除き、一定の上昇あるいは低下の傾向は見られなかった。H₂Oの安定同位体比についても、2018年5月に一つの噴気では顕著な低下が見られたが、全体的には2017年11月と比較して大きな変化はない。

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。これまで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。

噴気の採取とは関係ないが、図1のH地点に陥没孔が形成されていた。この陥没孔は2017年11月には存在していなかった。陥没孔形成の日時は不明である。孔の底では、93.4℃の熱水が沸騰していた(図2)。

* 2018年7月20日受付

** 大場武, 西野佳奈, 沼波望 *** 谷口無我

3. 結果・考察

表2に噴気の化学組成, H_2O の安定同位体比, 見かけ平衡温度(AET)を示す. 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,



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, H_2O を除いた噴気成分中の H_2S 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. しかし2018年5月には全ての噴気で H_2S 濃度は18~19%に低下した(図3). 既存の研究[2]によると, 草津白根山では, H_2S 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3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月には, その傾向は逆転したことを示唆する. 図4, 5にそれぞれ CO_2/H_2O 比, H_2S/H_2O 比の変化を示す. CO_2/H_2O 比は2017年11月まで一貫して低下し, 2018年5月に上昇したが, H_2S/H_2O 比は変動を伴うものの安定している. 図3に見られる最近の H_2S 濃度低下は, 本質的には CO_2/H_2O 比の上昇が原因である.

図6と7に, それぞれ, CH_4/CO_2 比と CH_4/He 比の変化を示す. 2015年まで徐々に値が増加し, その後, 急上昇したが, WとEは2017年4月から11月にかけて減少に転じた. Cは2017年11月まで上昇を続けている. 2018年5月には, CH_4/CO_2 比と CH_4/He 比は全ての噴気で急激に減少している. 一般に CO_2 とHeはマグマ起源流体に高濃度で含まれる. 他方, CH_4 は熱水系流体に高濃度で含まれる. ここで, 熱水系流体とは, 元来マグマ起源の流体が, 地殻内に長期間滞留し, 岩石との相互作用で還元的になった流体を想定している. 2018年5月の噴気に見られる CH_4/CO_2 比や CH_4/He 比の低下は, 噴気を生産する熱水系において, マグマ起源成分の寄与が増加し, 一方で熱水系流体の寄与が低下したことを示している.

図8で噴気C'の見かけ平衡温度(AET)は顕著に低下したが, 他の二つの噴気については, 2017年11月から大きな変化はみられない. 図9および図10で, 噴気C'の H_2O の水素・酸素同位体比は2017年11月の値から大きく低下したが, 他の二つの噴気については, 2017年11月から大きな変化はみられない. 噴気C'の変化は局所的な現象であり, おそらく火山ガスが地表近くで冷却を受け, 水蒸気の一部が凝縮したと考えられる.

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.

表1. 採取・分析を行った噴気孔の位置

Table 1. Location of fumaroles 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.

Fumarole	Date y/m/d	Temp. C	H2O %	CO2 %	H2S %	SO2 %	R-gas %	R-gas						H2O δ D _{SMOW} (‰)	H2O δ ¹⁸ O _{SMOW} (‰)	AET °C
								He %	H2 %	O2 %	N2 %	CH4 %	Ar %			
W	2014/7/23	92.4	95.4	4.19	0.389	0.00503	0.0421	0.0845	0.0617	0.0625	99.6	0	0.178	-65	-6.7	166
W	2015/5/15	93.5	96.4	3.11	0.426	0.00357	0.0321	0.0711	0.1412	0.0000	99.6	0.025	0.205	-69	-7.8	177
W	2015/10/15	94.2	97.4	2.05	0.504	0.00103	0.0254	0.0541	0.1369	0.0197	99.5	0.043	0.227	-67	-7.1	156
W	2016/4/22	93.5	97.5	1.93	0.518	0.00695	0.0294	0.0330	0.1468	0.0465	99.4	0.184	0.210	-78	-8.2	180
W	2016/10/28	93.4	98.3	1.31	0.396	0.00490	0.0248	0.0222	0.1079	0.0247	99.1	0.230	0.560	-66	-7.0	165
W	2017/4/25	93.3	98.1	1.42	0.445	0.00455	0.0190	0.0263	0.1696	0.0558	99.2	0.309	0.268	-81	-10.1	169
W	2017/11/10	93.6	98.4	1.13	0.426	0.00269	0.0173	0.0283	0.1328	0.0336	99.3	0.203	0.324	-75	-8.1	155
W	2018/5/18	94.3	97.9	1.72	0.396	0.00469	0.0187	0.0856	0.1201	0.0148	99.5	0.044	0.242	-74	-7.8	160
C	2014/7/23	94.1	95.5	3.97	0.533	0.00715	0.0435	0.0834	0.0573	0.0278	99.7	0	0.176	-77	-9.5	165
C	2015/5/15	93.4	96.8	2.76	0.410	0.00494	0.0298	0.0741	0.0800	0.0154	99.7	0.00754	0.167	-68	-7.2	162
C	2015/10/15	93.6	97.8	1.77	0.404	0.00208	0.0237	0.0530	0.0947	0.0251	99.6	0.02579	0.196	-70	-7.2	153
C	2016/4/22	97.2	97.8	1.75	0.419	0.00762	0.0258	0.0335	0.0868	0.0524	99.5	0.14492	0.209	-67	-5.4	164
C	2016/10/28	93.8	98.1	1.48	0.420	0.00498	0.0224	0.0273	0.1079	0.0140	99.4	0.22339	0.195	-66	-6.1	162
C	2017/4/25	93.6	98.2	1.34	0.423	0.00511	0.0194	0.0255	0.1119	0.0354	99.4	0.23343	0.231	-66	-6.3	159
C	2017/11/10	94.1	98.2	1.30	0.484	0.00376	0.0235	0.0262	0.1666	0.0120	99.2	0.26517	0.281	-75	-8.0	172
C'	2018/5/18	94.3	97.9	1.73	0.396	0.00234	0.0183	0.0890	0.0889	0.0198	99.5	0.05498	0.238	-118	-16.3	145
E	2015/5/15	93.4	96.9	2.74	0.289	0.00345	0.0252	0.0953	0.1686	0.0000	99.5	0.01696	0.192	-88	-10.9	179
E	2015/10/15	93.3	97.7	1.93	0.299	0.00191	0.0212	0.0688	0.2378	0.0146	99.4	0.02537	0.214	-79	-8.8	177
E	2016/4/22	94.1	97.8	1.84	0.346	0.00603	0.0246	0.0427	0.2055	0.0329	99.4	0.1043	0.208	-88	-10.0	187
E	2016/10/28	93.6	98.6	1.09	0.268	0.00263	0.0174	0.0282	0.3128	0.0220	94.7	0.14282	4.754	-79	-8.5	184
E	2017/4/25	93.8	98.5	1.11	0.344	0.00238	0.0167	0.0267	0.3870	0.0389	99.1	0.20363	0.232	-96	-12.9	185
E	2017/11/10	93.0	98.9	0.84	0.261	0.00272	0.0147	0.0285	0.3264	0.0101	99.2	0.17008	0.278	-84	-9.6	180
E	2018/5/18	94.8	98.4	1.28	0.303	0.00182	0.0171	0.0574	0.3161	0.0289	99.1	0.07411	0.401	-84	-9.9	178

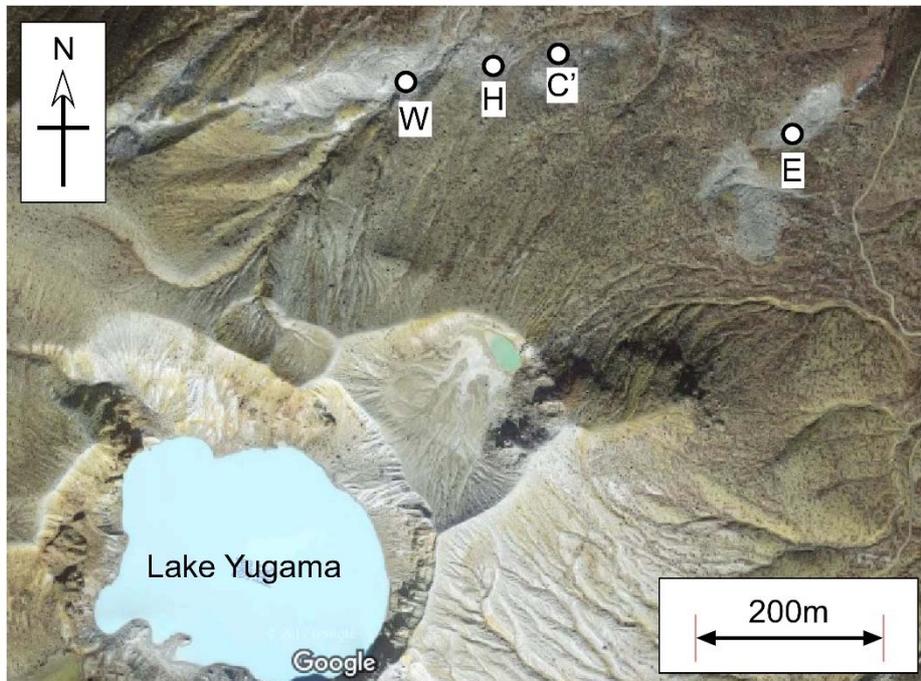


図1. 草津白根山山頂北側山麓噴気 W, C', E の位置. H は新たに生じた陥没孔 (背景図として, GoogleMap を使用した)

Fig. 1. Location of fumaroles W, C' 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. 陥没孔（図1のH地点）の様子. 底では93.4℃の熱水が沸騰していた.
Fig.2. Hole with boiling water at H in Fig.1.

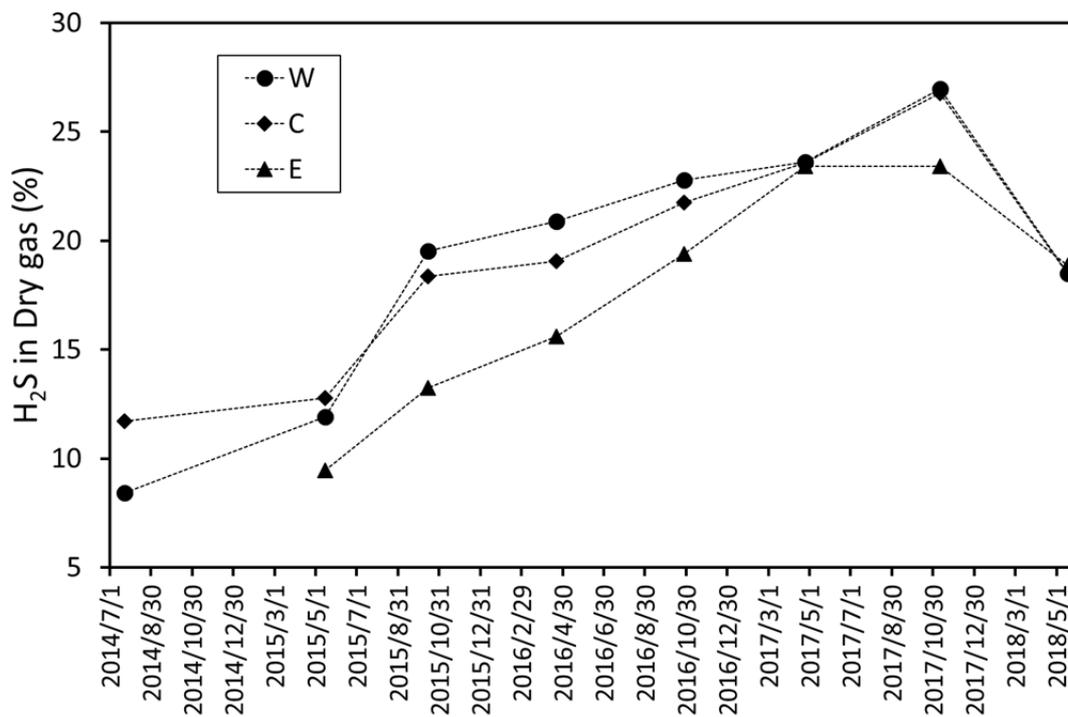


図3. H₂Oを除いた成分（Dry gas）中におけるH₂S濃度の変化
Fig.3. Change of the H₂S concentration in the components excluding H₂O (dry gas)

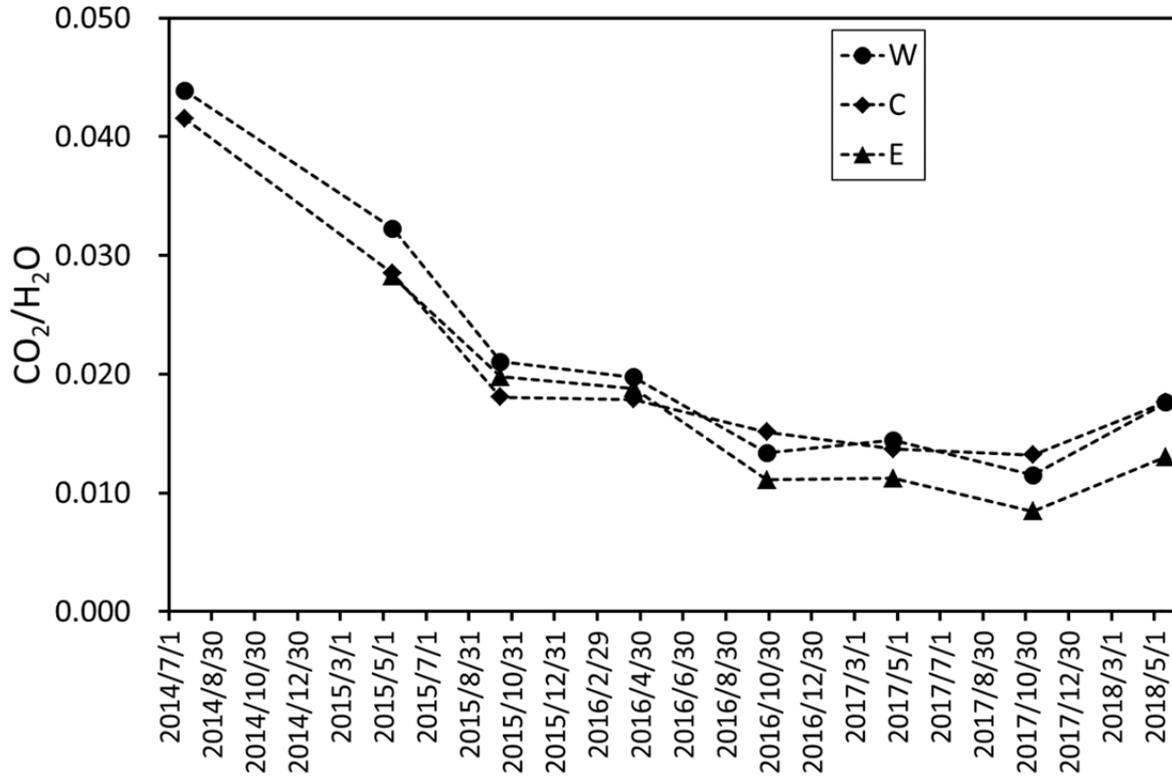


図4. CO₂/H₂O比の時間変化

Fig. 4. Change in the CO₂/H₂O ratio of fumarolic gases

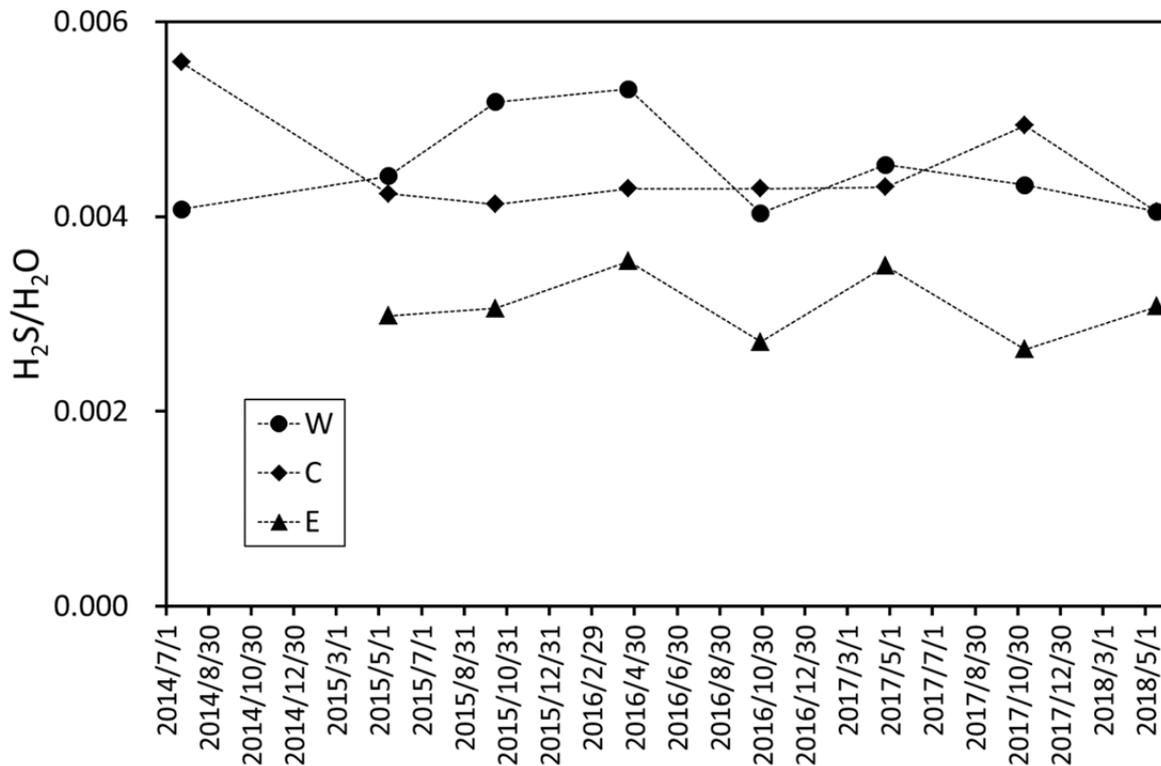


図5. H₂S/H₂O比の時間変化

Fig. 5. Change in the H₂S/H₂O ratio of fumarolic gases

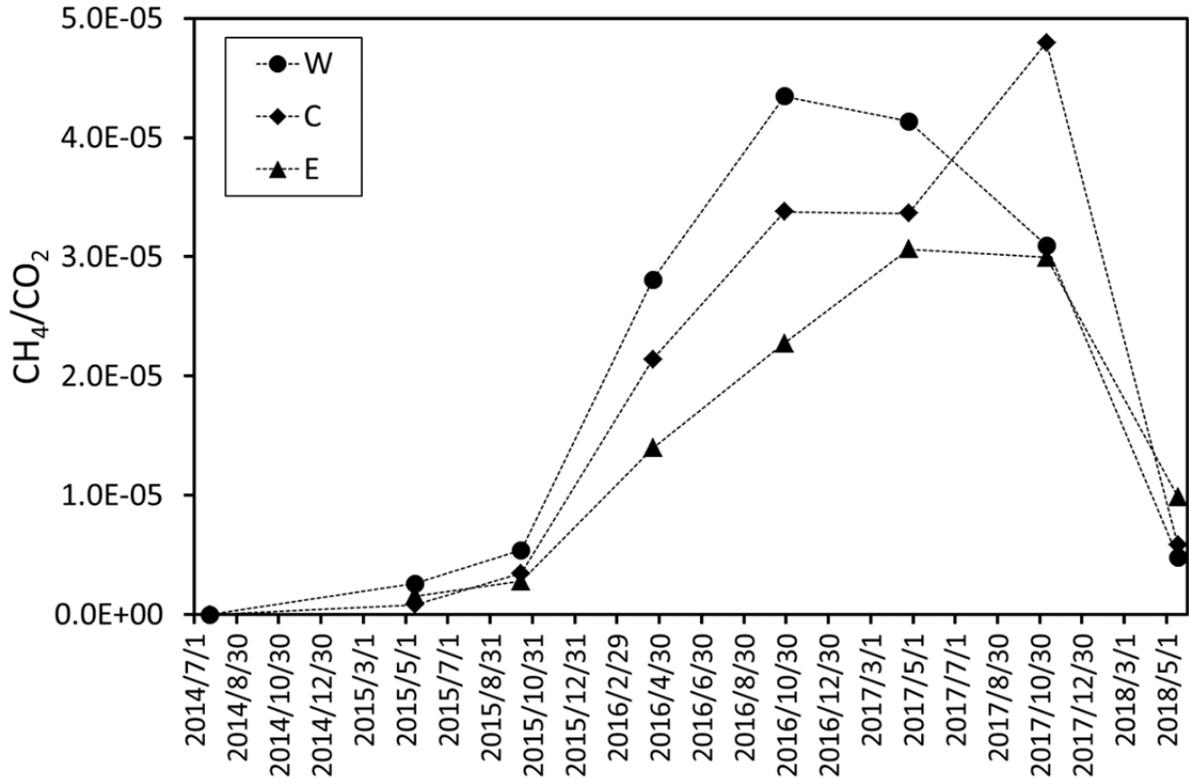


図 6. CH₄/CO₂比の時間変化

Fig.6. Change in the CH₄/CO₂ ratio of fumarolic gases

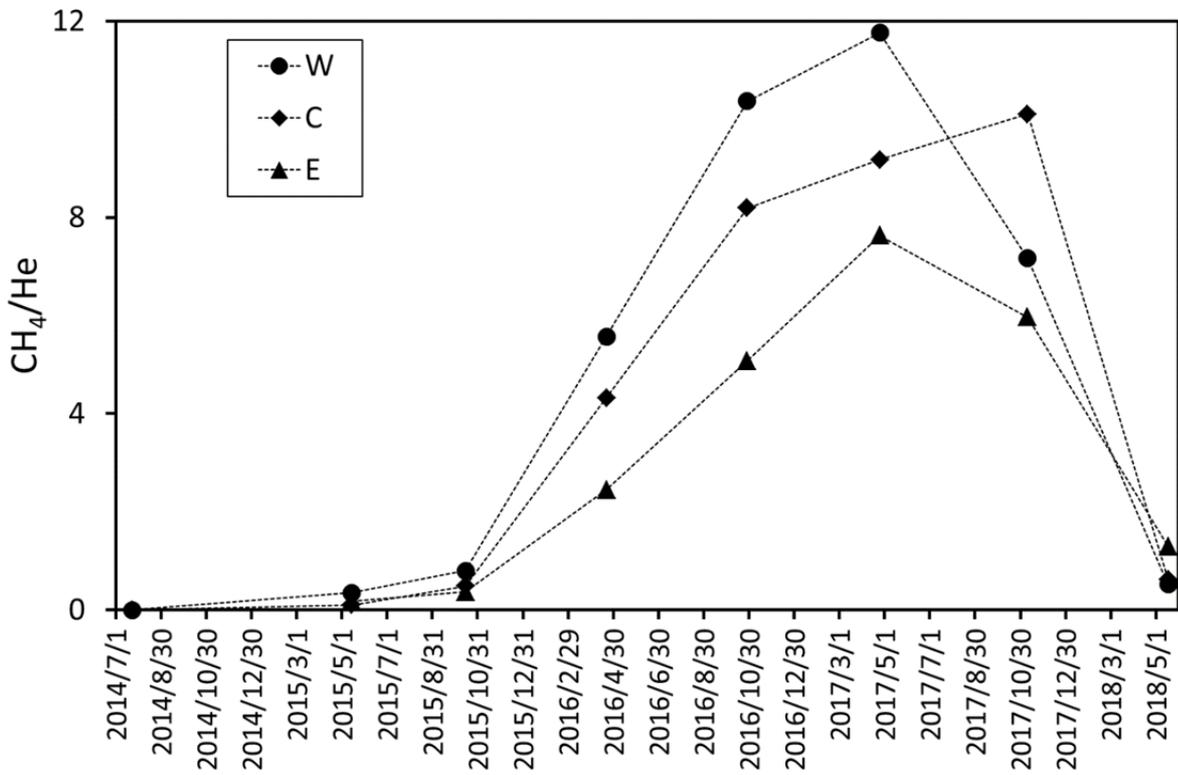


図 7. CH₄/He比の時間変化

Fig.7. Change in the CH₄/He ratio of fumarolic gases

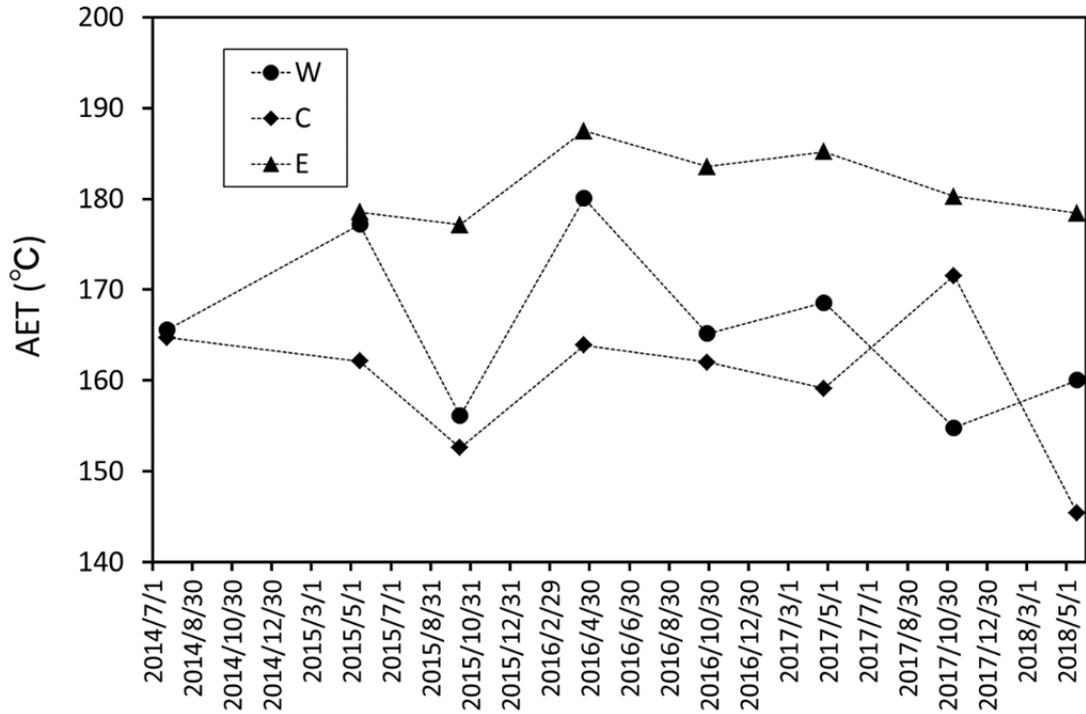


図8. 見かけ平衡温度 (AET) の変化

Fig.8. Changes in the apparent equilibrium temperature (AET)

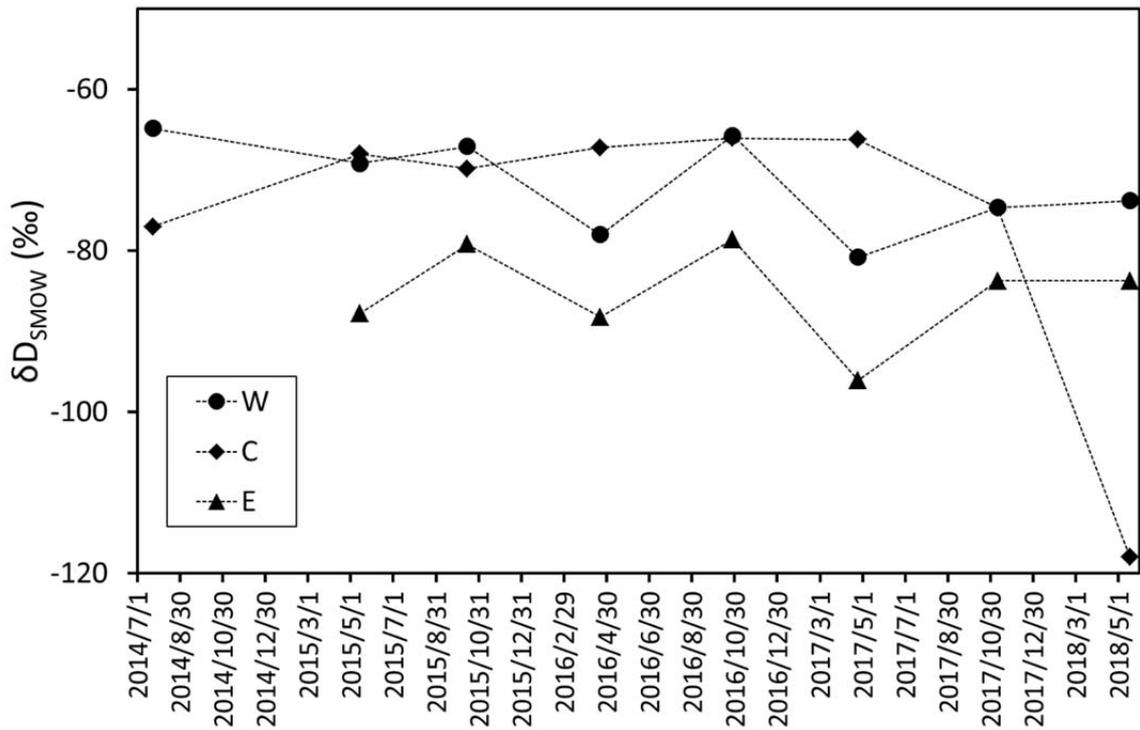


図9. H₂O の水素同位体比 (δ¹⁸O) の変化

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

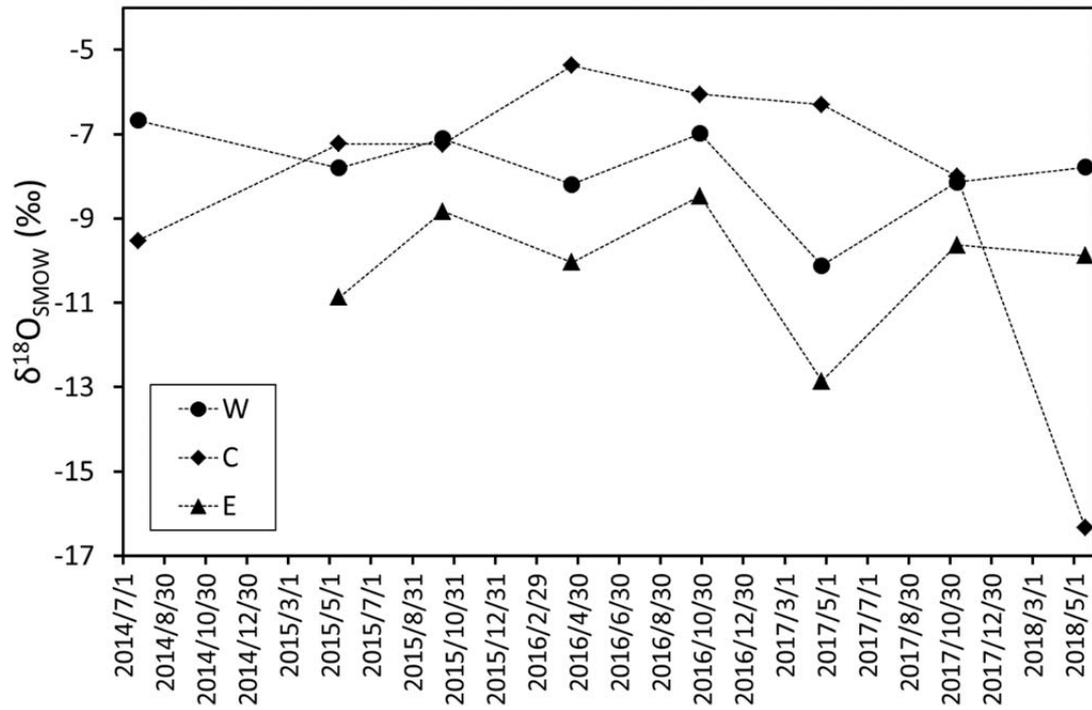


図10. H₂Oの酸素同位体比 (δ¹⁸O) の変化

Fig.10. Changes in the oxygen isotope ratio of H₂O in fumarolic gases