

# えびの高原硫黄山における2018年の火山活動と 周辺湧水の水質挙動との関係

辻 盛生\*, 伊藤 英之\*†, 井村 隆介\*\*

**要 旨** 霧島火山えびの高原の硫黄山山頂から半径500 m以内に存在する複数の湧水を対象に、2018年4月の噴火前後において継続的に水質測定を実施した。その結果、硫黄山西側、北東側の2つの湧水において、噴火前後における水質に明確な変化が見られた。西側の湧水は、水温、水質共に変動が大きかったが、その変化は噴火後に顕著であった。一方、北東側の湧水は、西側の湧水に比べると変動は小さいものの、噴火前に特徴的な傾向がみられた。0.5前後であったCl/SO<sub>4</sub>のモル比は、噴火直前の3月15日、26日の測定において1.2～1.3に上昇した。ECの連続測定では、4月16日に800 mS m<sup>-1</sup>から1100 mS m<sup>-1</sup>まで上昇し4月19日の噴火に至った。この北東側の湧水において見られた噴火前の特徴的な傾向は、噴火に至る予兆と考えられる。

**キーワード** 噴火, 湧水, 電気伝導度連続測定, Cl/SO<sub>4</sub>モル比

## 1. 背景および目的

霧島火山えびの高原の硫黄山では、2013年12月以降地震が増加し、火山性微動も観測された。さらに、2015年12月には山頂付近の噴気活動が活発化した(田島ら2019)。2017年3月19日には硫黄山南西側で、3月21日には火口南西側で熱水の湧出が確認され、2017年4月25日には硫黄山に隆起を伴う傾斜計の変動が確認された。2017年5月8日には、硫黄山火口西側で火山灰の噴出が確認され、火山活動が活発化した(気象庁2017)。その後、2018年4月19日に硫黄山の南側で噴火が発生した(田島ら2019)。

えびの高原の硫黄山周辺には、山頂付近から半径500 m以内に複数の湧水が存在する。本研究は、故伊藤英之元岩手県立大学教授の着想により、火山活動が活発化した硫黄山周辺におけるこ

れら湧水の水質測定を、2018年4月に発生した噴火前の2017年6月から噴火後の2019年11月にかけて継続的に実施した結果に基づく。ここでは、硫黄山において火山活動との関連の強い湧水を抽出すると共に、湧水の水質変動と噴火との関連性の解明を試みた。

## 2. 調査地および方法

調査地は、霧島火山えびの高原に位置する硫黄山とその周辺である。図1に調査位置を示した。図2は、噴火直後である2018年4月26日に撮影した調査地全景の航空写真である。硫黄山の西側にS-1、S-6の湧水、北東～東側にS-2(図3)、S-3、S-4、S-5の湧水を調査箇所を設定した。なお、S-6は硫黄山山頂からの距離が約800 mであり、この湧水のみ山頂から若干距離がある。調査

\* 岩手県立大学総合政策学部 〒020-0693 岩手県滝沢市菓子152-52 m\_tsuji@iwate-pu.ac.jp

\*\* 鹿児島大学共通教育センター 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-30 k6764036@kadai.jp

† 2019年12月4日逝去

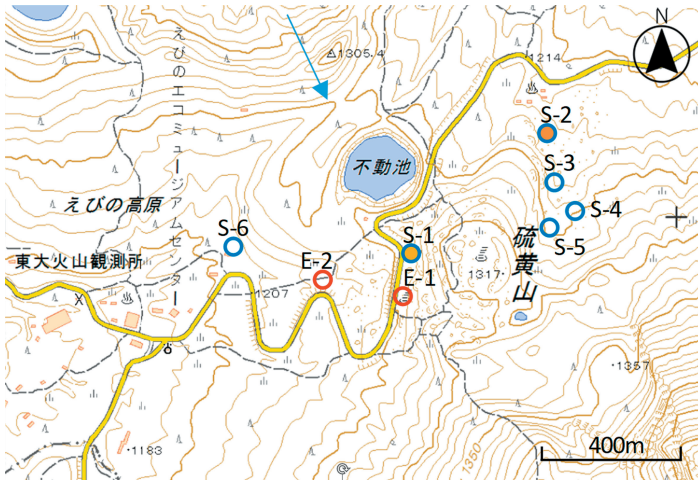


図1 現地調査地点地図

「S」は湧水, 「E」は流出水を示す。S-1において水温, S-2において水温とECの連続測定を実施した。矢印は図2の航空写真撮影方向を示す。(地理院地図より加筆引用。)



図3 EC連続測定を実施したS-2地点で調査を実施する故伊藤教授 (2018年5月19日)



図2 噴火直後の2018年4月26日に撮影した調査地点 (撮影: 井村)

“vents”は噴火, “fissure”は噴火割れ目, “Hot lahar”は高温土砂噴出を示す。

に際しては、えびの市からの警戒区域立ち入り許可を得た上で実施した。

定期調査は2017年6月から2019年11月まで、S-1, S-2, S-6は概ね月に1回の頻度で、S-3, S-4, S-5は概ね2ヶ月に1回の頻度で採水、測定を実施した(表1)。現地で気温、水温、EC(電気伝導度)、pHの測定を行い、採水後持ち帰り

イオンクロマトグラフィーで主要イオン、比色法(共立理化学研究所 デジタルパケットテスト)にて $Fe^{2+}$ 、 $Fe$ ( $Fe^{2+} + Fe^{3+}$ であり、全鉄イオンを示す)の測定を行った。また、火山活動の影響を反映している可能性が高いS-1においては水温ロガー(Onset社 HOBO U12)を、S-2においては水温およびECロガー(Onset社 HOBO U24)を用

表1 調査実施状況

	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	E-1	E-2
2017/6/3	○	○	○	○	○	○		
7/22	○	○	○	○	○	○		
8/10	○	○						
9/10	○	○	○	○	○	○		
9/25	○	○	○	○	○	○		
11/7	○	○						
12/2	○	○	○	○	○	○		
2018/1/9	○	○						
3/2	○	○						
3/15	○	○						
3/26	○	○	○	○	○	○		
5/19	○	○	○	○	○	○		
6/2	○	○						
7/22	○	○	○	○	○	○		
8/25	○	○						
9/23	○	○	○	○	○	○	○	○
11/6	○	○						○
12/10	○	○	○	×	×	○	○	○
2019/1/19	○	○						○
2/18	○	○	○	○	×	○	○	○
3/26	○	○						○
4/25	○	○						○
6/2	○	○	○	○	×	○	×	○
6/24	○	○						○
8/9	○	○						○
9/6	○	○						○
11/17	×	○	○	○	×	○	×	○
n	26	27	13	12	9	25	3	12

二重線は噴火のタイミングを示す。

"×"は、水涸れによるサンプリング未実施を示す。

表2 水質調査機器および方法

測定項目	方法	使用機器
主要イオン	イオンクロマトグラフィー	Thermo Fisher, IC1100 (カラム: AS23, CS16)
鉄イオン	還元とO-フェナントロリン比色法	共立理化学研究所, DPM-MT
EC	電極法	TOA-DKK, CM21
pH	電極法	TOKO, TPX-999i
水温連続測定	サーミスタ	Onset, HOBO U12
EC, 水温連続測定	電極法・サーミスタ	Onset, HOBO U24

いて10分毎に連続測定を行った。なお、S-1においては、ECロガーの測定可能温度を超えてしまうことから温度のみの測定とした。なお、S-1は2019年11月17日、S-5は2018年12月10日の調査以降湧水は枯れ、S-4は2018年12月10日に枯れたがその後は回復した。測定に用いた機

表3 各測定地点における主要水質項目の平均値と標準偏差

		S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	E-1	E-2
	n	26	27	13	12	9	25	3	12
水温	°C	55.8	21.4	15.1	11.9	17.6	14.8	19.0	83.8
	S.D.	7.6	3.1	1.3	3.2	2.6	0.4	13.9	4.5
pH		1.7	2.1	3.5	4.4	3.8	5.7	1.5	0.8
	S.D.	0.3	0.2	0.1	0.1	0.4	0.3	1.1	0.3
EC	mS m <sup>-1</sup>	1038	541.3	67.0	16.0	96.1	7.8	601.5	4341
	S.D.	539.0	195.7	19.1	4.1	33.5	3.1	389.9	1927
Cl <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1117	361.6	47.5	2.6	92.3	3.5	600.2	6900
	S.D.	1062	243.3	49.7	0.9	123.9	3.6	394.0	2970
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	3219	1328	211.2	51.7	369.7	22.1	825.9	8281
	S.D.	1356	463.5	79.5	14.8	110.9	8.7	408.8	3222
Na <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	404.1	128.1	19.1	6.1	34.4	3.7	195.4	2073
	S.D.	349.3	75.8	9.3	1.8	25.2	1.2	120.4	1028
K <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	60.9	34.0	5.6	1.3	13.6	1.3	31.8	389.2
	S.D.	47.4	19.2	2.3	0.3	5.7	0.4	22.4	180.5
Ca <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	227.5	104.7	30.3	12.2	41.1	6.8	40.2	474.3
	S.D.	95.8	40.9	6.9	3.7	13.5	2.7	9.5	161.7
Mg <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	149.9	51.1	11.5	2.3	18.1	1.6	31.8	569.6
	S.D.	102.4	27.8	4.8	0.8	11.0	0.8	14.3	206.3
Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	325.1	59.2	25.9	0.2	86.6	0.1	417.0	297.7
	S.D.	259.9	46.3	27.7	0.3	40.2	0.0	335.6	90.1
Fe <sup>2+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	224.2	8.6	21.3	0.1	80.3	0.1	400.5	271.0
	S.D.	257.9	18.7	24.9	0.1	44.1	0.0	328.4	99.8

器を表2に示す。降水量は、気象庁のアメダス観測所「えびの」に基づいた。

2018年4月19日には硫黄山南側で水蒸気爆発を伴う噴火が、20日には硫黄山西側の県道1号線脇から噴気が確認され、4月26日にはそこから小規模な噴火（ここでは「新火口」とする）が発生した。その結果、硫黄山頂上付近の火口からの高温土砂噴出水（E-1）が生じ、新火口（E-2）においても熱水の流出を確認したことから、2018年9月23日以降の調査にこの2点を加えた。なお、E-1は、2019年6月2日の調査時以降、水の流下は見られなかった。E-2は、S-1、S-2、S-6と共に、概ね月に1回の頻度で調査を実施した。

水を構成する酸素、水素の安定同位体であるδ<sup>18</sup>OおよびδDの分析（委託）を目的とした採水を、S-1からS-6については2018年7月22日、さらにS-1、S-2、E-1、E-2については2018年12月10日に行った。

### 3. 結果

#### 3.1 水温および EC の定期調査結果

各水質項目の平均値および標準偏差を表3に、水温の定期調査結果を図4に示す。S-1の水温は2016年においては27℃程度 (Tajima et al. 2020) であったが、調査を開始した2017年6月には50℃に上昇した。その後噴火前の2018年3月26日までは45～55℃付近で増減を繰り返したが、噴火後には65～70℃近くに上昇した。S-2は噴火前には15～20℃であったが、噴火を境に25℃まで上昇した。S-3は、若干の増減は見られたが、S-6に近い15℃前後の水温であった。S-4の水温は季節変動が見られ、冬季間に水温が7～10℃低下する傾向が確認された。S-5は噴火前から水温の上昇傾向が見られ、約16℃から20℃前後になった後枯渇した。S-6は、調査地点の中では最も標高が低く、えびの高原の他火山からの水系である。過去に飲用されていた湧水であり、水温はほぼ15℃で一定であった。

ECの定期調査結果を図5に示す。S-1のEC値は、2017年11月以降上昇傾向が見られ、2018年1月9日には1000 mS m<sup>-1</sup>を超えたが、2018年3月2日の測定時には780 mS m<sup>-1</sup>に下がるなど、変動を伴った。噴火後に上昇が見られ、2018年6月2日にはS-1のEC値は2000 mS m<sup>-1</sup>を超えた。その後は増減を繰り返しながら2019年3月26日の測定以降は600～800 mS m<sup>-1</sup>で推移し、2019年11月17日の調査時にはS-1の湧出は見られなくなった。S-2は、2018年3月15日の調査時までは500 mS m<sup>-1</sup>を概ね下回りEC値は比較的安定していたが、噴火前の同年3月26日には720 mS m<sup>-1</sup>に上昇し、噴火後の5月19日に約970 mS m<sup>-1</sup>を示した。以降若干の増減はあるものの低下傾向を示した。S-3のEC値は40～100 mS m<sup>-1</sup>であり、噴火後に30～40 mS m<sup>-1</sup>程度ゆるやかに上昇する傾向が見られたが、S-2に比べると上昇はごく僅かであった。S-4のEC値は20 mS m<sup>-1</sup>弱でほぼ一定であった。S-5のEC値は、45～140 mS m<sup>-1</sup>で増減が見られ、噴火に至るまでに上昇する傾向はみられたものの、S-2に比

べると僅かであった。S-6は、5～19 mS m<sup>-1</sup>とEC値は低い値を維持した。

#### 3.2 水温および EC の連続測定結果

図6に測定期間中のS-2におけるEC値、水温、S-1における水温の連続測定の推移と日降水量を示した。EC値および水温は、10分間測定値を日平均してプロットした。グラフの空欄は欠測を示す。S-2のEC値は、噴火前に定期調査を実施した3月26日には約700 mS m<sup>-1</sup>、噴火後の5月19日の測定値は約850 mS m<sup>-1</sup>であり、概ね定期調査値と同様の傾向が見られた。EC連続測定においては、3月26日、5月19日の定期調査の間である4月から5月にかけてさらにEC値が急上昇し、最大1300 mS m<sup>-1</sup>近い値が記録された。これは、2018年4月19日、20日および4月26日の噴火のタイミングと合致する。この変化は短期間で生じたために定期調査では確認できず、連続測定によって明らかになった。

EC値が急上昇した期間である3月31日から5月19日のS-2におけるEC値、水温、S-1における水温の連続測定の推移と時間降水量を図7に示す。なお、図7のEC、および水温の連続測定値は、10分毎に記録したデータをそのまま用いた。EC値は4月10日頃から上昇傾向が見られ、4月14日の降雨の影響で低下した直後、15日には1100 mS m<sup>-1</sup>まで上昇した。その5日後の19日に噴火が発生し、翌20日、26日と噴火活動が継続した期間は、24日の降雨で一時的に1000 mS m<sup>-1</sup>前後に低下したものの、再度上昇し、4月29日に1295 mS m<sup>-1</sup>の最大値を記録した。その後は降雨の影響を受けつつ低下し、800 mS m<sup>-1</sup>前後の噴火前の水準に近づいた。

図7に示す水温の推移を見ると、S-1は若干の上昇傾向が見られるものの、2018年4月19日の噴火前の変化は4月14日の降雨による低下以外は確認できなかった。しかし、4月19日の噴火後に、降雨は見られない条件で、17時から19時の間に水温が10℃以上低下した直後に戻る状況が確認された。その後に10℃近い上昇が見られ、4月20日の県道脇の噴気確認後にかけて70℃を

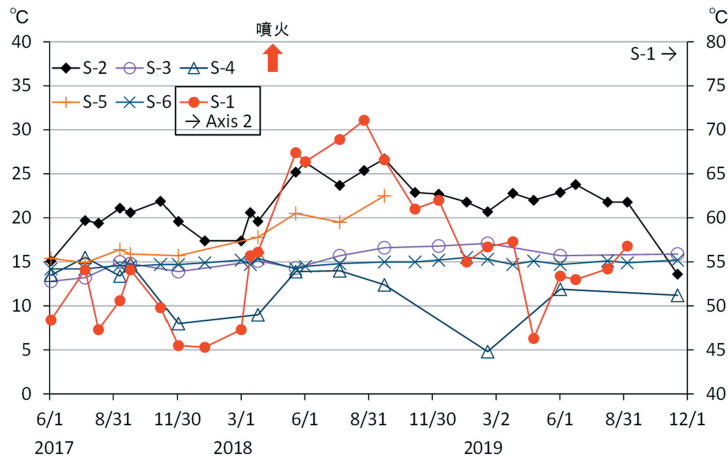


図 4 各測定地点における水温の推移

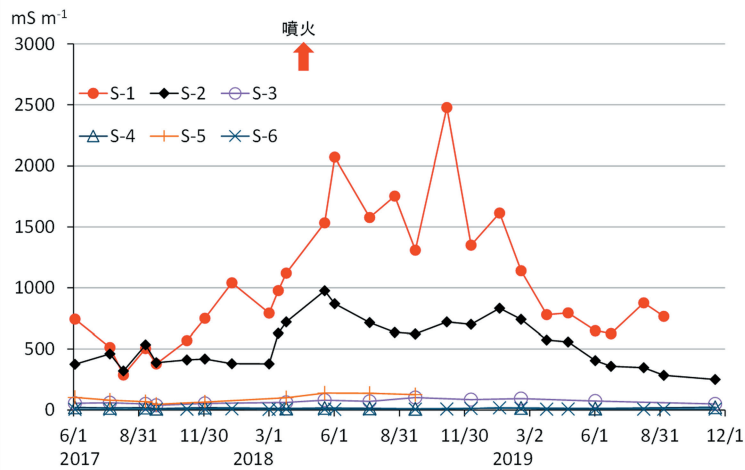


図 5 各測定地点における EC 値の推移

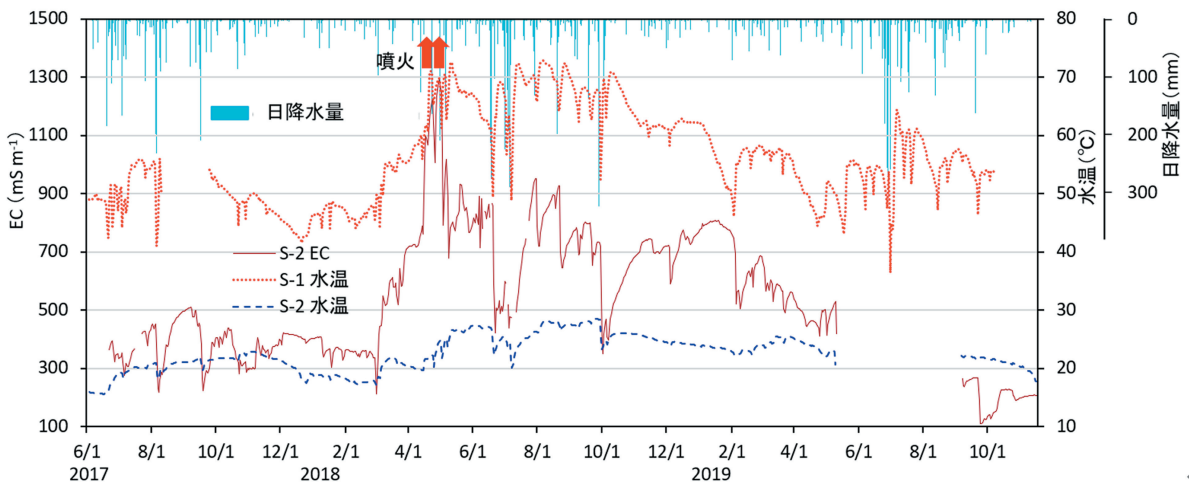


図 6 S-2 における EC 値、水温、S-1 における水温の連続測定の推移および日降水量の推移

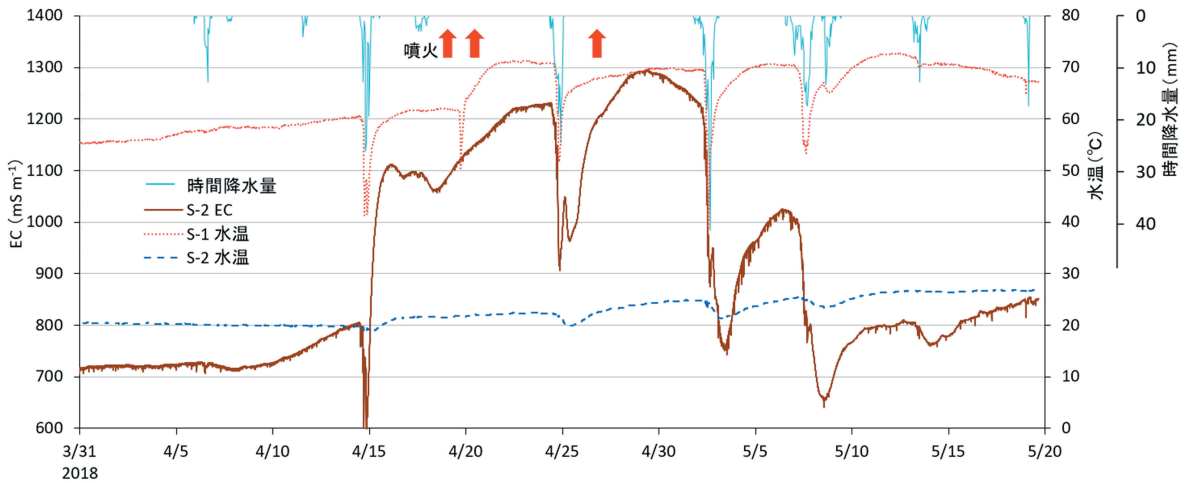


図7 噴火前後のS-2におけるEC値、水温、S-1における水温の連続測定の推移および時間降水量の推移

越える温度を確認した。その後は降雨の影響で低下する場合を除き、概ね70℃前後の水温を保つ傾向が見られた。他方で、S-2の水温の上昇幅は小さく、降雨の際に若干低下傾向が見られたものの、その変化はS-1に比べ緩やかであった。なお、5月2日の降雨は、13時に時間降水量40.5mmを記録した。その際の数値の変化を見ると、S-1の水温は13時20分に5月2日の降雨後の最小値(38.8℃)を記録したのに対し、S-2のEC、水温は、翌日3日の13時前後降雨直後の最小値(473 mS m<sup>-1</sup>, 21.7℃)を記録した。

### 3.3 S-1, S-2における主要水質項目の推移

ECの連続測定結果から、S-2において噴火の4日前からECの上昇を確認した。噴火前後の定期調査は、2018年3月26日、5月19日であり、噴火時のEC値が急上昇した4月15日から5月2日の期間は定期調査を実施していない。S-2におけるEC定期調査の結果では、3月2日までは低く、噴火前の3月26日の測定では300 mS m<sup>-1</sup>以上上昇した。この間のECの上昇と定期調査の各水質項目の測定値を比較することで、噴火前のEC値急上昇に寄与した成分をある程度想定できる。含有濃度が高く、噴火による水質変動が見られた水質項目として、Fe、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>をとりあげ、EC値の変動が大きかったS-1、S-2

における推移を図8に示した。また、各湧水におけるCl/SO<sub>4</sub>モル濃度比を図9に示した。

#### 3.3.1 S-1の傾向

Fe濃度は、S-1においては200 mg L<sup>-1</sup>前後から噴火後に上昇し、2018年6月2日には1000 mg L<sup>-1</sup>を越える値に至った。その後は2018年8月25日には500 mg L<sup>-1</sup>前後に減少し、2019年2月18日以降減少し、噴火前と同程度の濃度となった。Mg<sup>2+</sup>とCl<sup>-</sup>濃度の挙動は比較的類似しており、噴火前にも2018年1月9日にどちらも増加傾向は見られるものの、3月2日には低下した。噴火後の上昇傾向はFeに近かった。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度においては、2018年1月9日の1000 mg L<sup>-1</sup>前後から噴火前には3000～3500 mg L<sup>-1</sup>に上昇し、噴火後にさらに上昇したが、その度合いはFeやMg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>の濃度上昇率より小さかった。

#### 3.3.2 S-2の傾向

S-2のFe濃度においては、噴火前には50 mg L<sup>-1</sup>前後を維持し上昇傾向は見られず、噴火後5月19日に200 mg L<sup>-1</sup>を越える値を記録した。Mg<sup>2+</sup>とCl<sup>-</sup>濃度の推移は近い傾向が見られ、噴火前の3月15日に上昇し、噴火後の6月2日の測定時までは概ね近い濃度を維持した。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は、Mg<sup>2+</sup>とCl<sup>-</sup>濃度の推移に比較的近いが、噴火後の上昇の方が大きい傾向が見られた。

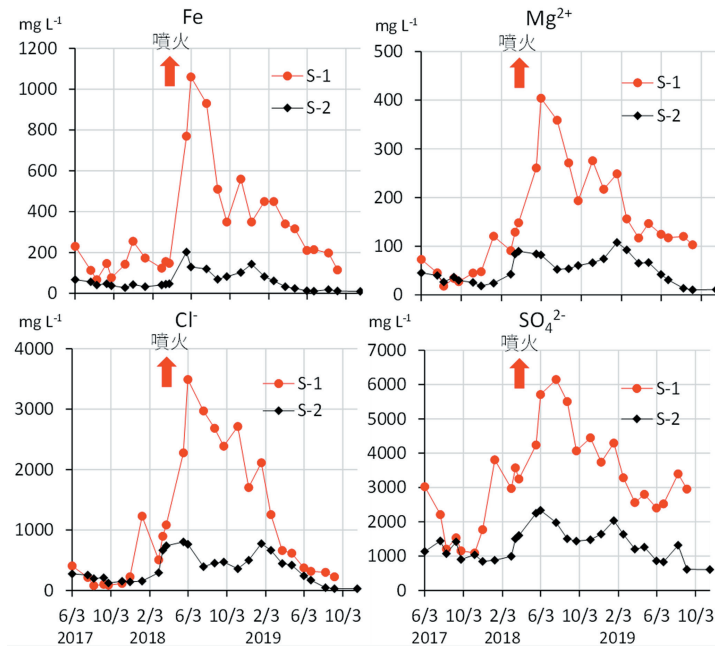


図 8 S-1, S-2 における高濃度水質項目の推移

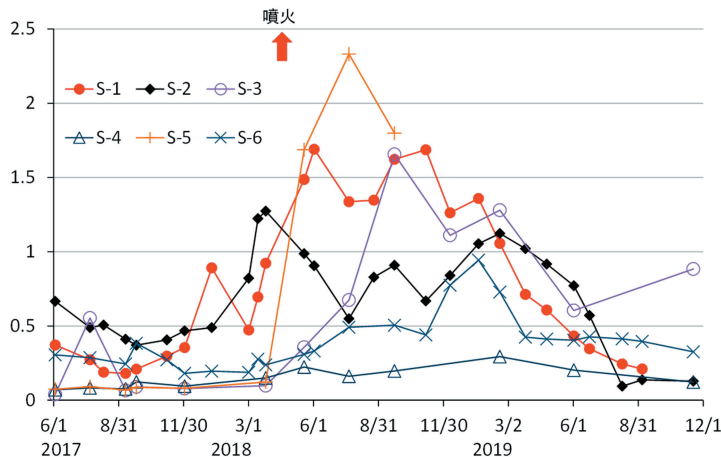


図 9 各測定地点における Cl/SO<sub>4</sub> モル比の推移

### 3.4 Cl/SO<sub>4</sub> モル比の推移

火山活動が活発になると値が大きくなる（小坂ら 1998）とされる Cl/SO<sub>4</sub> モル比において、各湧水における推移を図 9 に示した。噴火前後の変化を見ると、S-5 において噴火前の 2018 年 3 月 26 日が 0.1 前後であったものが噴火後の 5 月 19 日には 1.7 近くまで上昇した。S-1 の噴火前後の上

昇幅も比較的大きい傾向が見られ、0.3 前後で推移していた値が 1 月 9 日に 0.9 近くまで上昇、3 月 2 日に 0.5 弱まで降下したものの、5 月 19 日には 1.5 まで上昇した。S-2 においては、0.5 前後で推移していた値が噴火前の 3 月 2 日から上昇をはじめ、直前の 3 月 16 日に最大値の約 1.3 を記録した。噴火後に上昇する傾向は見られず、0.5 か

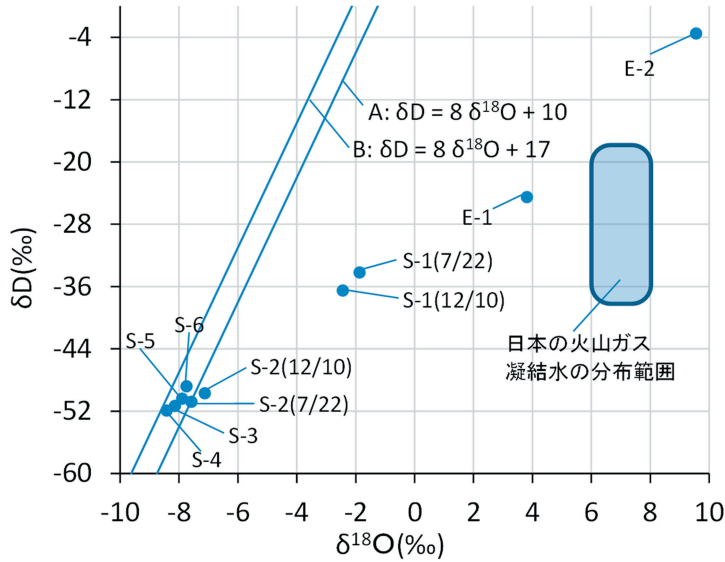


図10 各測定地点の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の関係

ら1.1前後で推移したことから、S-2において噴火前の増加傾向が明らかであった。S-3は、噴火後から上昇する傾向が見られたが、その立ち上がりはS-1、S-2、S-5に比べて遅く、9月23日に最大値約1.7を記録した。

### 3.5 水の安定同位体比

図10に、各湧水および火口流出水の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の関係を示した。直線Aは、世界各地の雨水における $\delta D$ と $\delta^{18}O$ のプロットによる回帰直線(Craig 1998)であり、雨水は概ねこの直線(「天水線」と呼ばれる)上に乗るとされる。国内各地域の天水線としては直線B(Matsubaya et al. 1973)が知られている。S-2～S-5は、概ね雨水由来であることを示す直線付近に配された。E-2は大きく天水線の範囲を外れ、 $\delta D$ と $\delta^{18}O$ はそれぞれ-3.5‰、9.6‰を示した。E-1は $\delta D$ が-24.5‰、 $\delta^{18}O$ が3.8‰であった。S-1は水を示すS-2～S-6の一群とE-1の間に位置した。

## 4. 考察

火山活動が活発化した硫黄山周辺の湧水において、火山活動によると考えられる水温やEC

値、主要イオンの変動が比較的明瞭に現れたのはS-1、S-2であった(図4、5)。定期調査によるEC値の推移では、変動幅はS-1に比べると小さいものの、S-2は、2018年3月2日までは $400 \text{ mS m}^{-1}$ 前後の値で変化は少なかったが、噴火前の3月15日に約 $630 \text{ mS m}^{-1}$ 、3月26日に $720 \text{ mS m}^{-1}$ に上昇し、その後噴火に至った。この傾向は、 $\text{Cl}^-$ や $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ など主要イオンにも見られ、ECの変動はこれらの電解質による。火山活動の指標とされる $\text{Cl}/\text{SO}_4$ モル比において、S-2における噴火前の上昇傾向は、他地点より顕著に現れた(図9)。噴火前に火山活動が活発化した状況をS-2における定期調査において捉えたと考えられる。

S-2におけるEC連続測定の結果を見ると、2018年2月までは $300 \sim 500 \text{ mS m}^{-1}$ であったが、その後上昇傾向が見られ、3月29日には $700 \text{ mS m}^{-1}$ を越えた(図6)。その後、4月15日にはEC値が $1000 \text{ mS m}^{-1}$ を越える値を記録した。噴火前後をピックアップした図7を見ると、4月14日の降雨時にS-2のEC値に低下が見られ、その後15日に急上昇し、4月16日の8時頃に $1100 \text{ mS}$



$\text{m}^{-1}$ を記録し、一旦上昇傾向が止まった。この時の14日の降雨によるEC値の低下は5月2日や7日の降雨による傾向とは異なり、降雨の影響によりEC値が $600 \text{ mS m}^{-1}$ 付近まで低下した後に急激に $1100 \text{ mS m}^{-1}$ まで増加した。S-2は $\delta \text{D}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の関係から雨水由来であることがわかる。この急激な変化は火山活動の活発化によるガスの噴出により増加した溶存物質が、雨水に溶解したことが要因と考えられる。この傾向が噴火前から見られたことから、今回の硫黄山の火山活動においては、S-2のECモニタリングによって噴火の予兆を捉えたと考えられることができる。

$\delta \text{D}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の関係を見ると、硫黄山頂上からの高温土砂噴出水が流下したE-1は、マグマから放出された水蒸気の同位体比（松葉谷1991）に近く、噴火活動に伴う火山ガス凝結水が流下していると考えられる（図10）。E-2は $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ の含有量が、測定期間の平均値でそれぞれ $6900 \text{ mg L}^{-1}$ 、 $2700 \text{ mg L}^{-1}$ であり、 $\delta \text{D}$ が $-3.5$ と海水の値に近く、 $\delta^{18}\text{O}$ が $9.6$ であった。基盤岩である堆積岩中の海水に由来する水が、高温条件下で母岩との同位体交換によって $\delta^{18}\text{O}$ が上昇した（Hoefs 2004）のかもしれない。一方、S-1は、2016年における田島らの調査によると、水温は $27^\circ\text{C}$ 、 $\delta \text{D}$ 値が $-53\%$ ～ $-54\%$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 値が $-8.0\%$ ～ $-8.3\%$ （Tajima et al. 2020）とされ、天水線にある湧水であったことが確認されている。したがって、我々が採取したS-1の湧水は、2018年4月からの硫黄山山頂付近の火山活動に伴い、E-1に近い組成の火山ガス凝結水が、S-1に元々湧出していた雨水由来の表層地下水によって希釈されたものと考えられる。

他方で、S-2の $\delta \text{D}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の関係は天水線に近いことから雨水由来の湧水であり、火山ガス凝結水由来の水が含まれるS-1とは素性が異なる。S-2は、S-3～S-5よりも山頂から遠い位置にあるものの、山頂付近の地下水が旧地形に沿って流下しやすいと考えられる硫黄山からの過去の溶岩流の末端部分に位置する。硫黄山山頂から350 mほどの距離であるが、降雨によるECや水温の低

下傾向を見ると、山頂付近に降った雨が24時間程度で流出しているものと考えられる。したがって、S-2では、火山ガス由来の凝結水自体は西側のS-1（あるいはE-1）に流れ下り、火山活動が活発になった際、火山ガス中に含まれる溶存成分のみが地下水に溶け込むメカニズムがS-2の涵養域で生じているものと推察される。間接的に火山活動の影響を受けた地下水がS-2から湧出することにより、噴火前における火山活動の変化を捉えることができたと考えられる。

### 謝辞

本報告は、故伊藤英之元岩手県立大学教授の着想により、火山活動が近隣湧水に与える影響に関する結果を示したものである。水質データを中心に火山活動との関係についてとりまとめを試みたが、故人の思いを汲みきれておらず、忸怩たるものを感じる。しかし、水質の側面からの解析に限られるものの、噴火中の火山周辺の湧水におけるリアルタイムな水質の挙動を解析することができた数少ない成果といえる。調査を終え、これからとりまとめに入る段階であった2019年12月4日に亡くなった故人に心から哀悼の意を示すと共に、着想に改めて敬意を表する。

調査に当たっては、えびの市基地・防災対策課、環境省九州地方環境事務所、えびのエコミュージアムセンターの皆様へ数々の便宜を賜っていただいた。また、現地観測に関しては、鹿児島大学大学院（当時）の赤崎文香さん、霧島ジオパークの石川徹さんにお手伝いいただいた。本研究は、高橋産業経済研究財団および日本工営株式会社の助成を受けて実施した。記して感謝申し上げる。

### 参考文献

- Craig, H. (1998) Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702-1703.
- Hoefs, J. (2004) *Stable Isotope Geochemistry*. Springer, 和田秀樹・服部陽子（訳）(2012) 同位体地球化学の基礎。丸善出版、東京。
- 気象庁 (2017) 第138回火山噴火予知連絡会資料（その2）霧島山。
- 小坂丈予・野上健治・平林順一 (1998) 十勝岳1988-1989年

噴火で放出された火山灰の付着水溶性成分. 火山 43(1), 25-31.

Matsubaya, O., Sakai, H., Kusachi, I., Satake, H. (1973) Hydrogen and oxygen isotope ratios and major element chemistry of Japanese thermal water systems. *Geochemical Journal* 7, 123-151.

松葉谷治 (1991) ポピュラーサイエンス熱水の地球化学. 裳華房, 東京.

田島靖久・中田節也・長井雅史・前野深・渡邊篤志 (2019) 霧島火山群, えびの高原硫黄山の2018年4月の小噴火. 火山 64(2), 147-151.

Tajima, Y., Nakada, S., Maeno, F., Huruzono, T., Takahashi, M., Inamura, A., Matsushima, T., Nagai, M. and Funasaki, J. (2020) Shallow Magmatic Hydrothermal Eruption in April 2018 on Ebinokogen Ioyama Volcano in Kirishima Volcano Group, Kyushu, Japan. *Geosciences* 10, 183.