

2025年10月10日

## 2025年7月4-5日新燃岳での火山ガス観測結果

2025年7月4-5日に新燃岳でドローンを用いて同位体比分析のための火山ガス試料採取、マルチガス及びアルカリフィルタを用いた火山ガス組成観測を実施した。その結果、注目する反応により400℃以上と100℃前後という異なる平衡温度が得られた。平衡温度の違いは、注目した反応の反応速度の違いにより、火山ガスが二段階の冷却を受けた結果生じたと考えられる。これらは、冷却を受けながら上昇してきた高温の火山ガスが、地下浅部で地下水の影響を受けた低温の熱水系で急冷された後、放出されていることを示唆している(図1)。

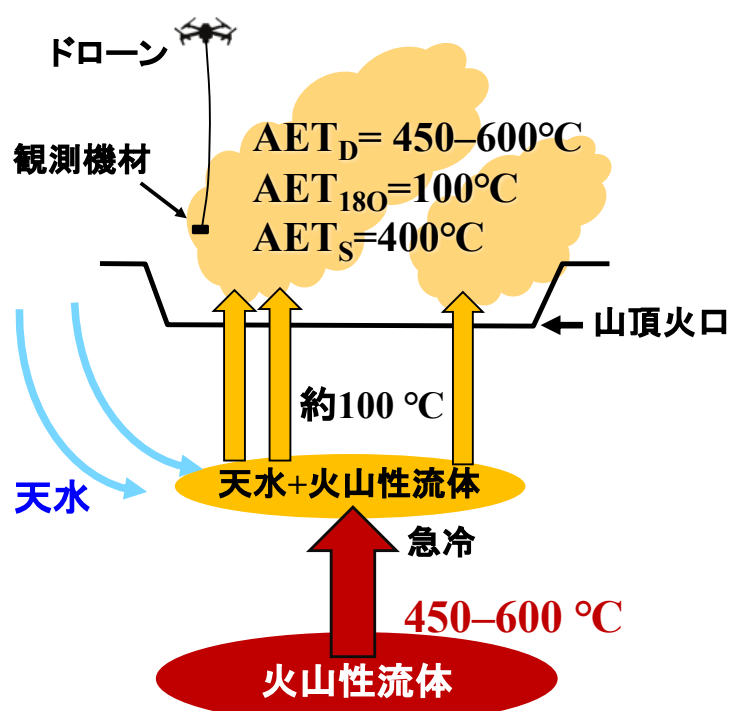


図1. 火山ガス組成から推定される火山内部の火山性流体の挙動及び温度構造

2025年6月22日の噴火再開以後、霧島火山新燃岳は断続的な噴火と大量の二酸化硫黄ガスの放出を継続していることから、深部からの継続的なマグマの供給が示唆される。

2025年7月4日および5日に新燃岳でドローンにSelPS (Tsunogai et al. 2022) を搭載して高濃度噴煙試料を採取した。CO<sub>2</sub>の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{18}\text{O}$ を測定し、 $\delta^{13}\text{C}$ の結果から、同位体的に異なる2つのCO<sub>2</sub>端成分 (Volcanic:  $\delta^{13}\text{C} = -2.9 \pm 1.7\text{‰}$ , Unknown:  $\delta^{13}\text{C} = -25.6 \pm 1.4\text{‰}$ ) が存在する可能性が高いことが明らかになった (表1)。

H<sub>2</sub>Oの $\delta^2\text{H}$ および $\delta^{18}\text{O}$  (Takahashi et al. 2018) およびH<sub>2</sub>の $\delta^2\text{H}$  (Tsunogai et al., 2011) を測定したところ、H<sub>2</sub>OやH<sub>2</sub>には端成分の有意な不均一は認められず、いずれも同位体的に端成分は一種類となった。火山ガス噴出直前のごく浅い部分で寄与した炭素がUnknown端成分中のCO<sub>2</sub>の主要起源となっている可能性が高いと結論した。

一方  $\text{H}_2\text{O}$  の端成分組成は、 $\delta^2\text{H}$  が  $-91.0 \pm 4.5\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  が  $-10.3 \pm 1.8\text{‰}$  と見積もられた (図2)．大気への放出直後に進行する凝縮分別を補正し (宮木他, 2024 年日本火山学会講演), 新燃岳から放出されるオリジナルの  $\text{H}_2\text{O}$  の端成分同位体組成を推定すると、 $\delta^2\text{H}$  が  $-45.8 \pm 15.9\text{‰}$  前後、 $\delta^{18}\text{O}$  が  $-4.9 \pm 2.4\text{‰}$  と見積もられた．これは  $\text{H}_2\text{O}$  の大部分が天水 (地下水) 起源であることを示唆する．今回求めたオリジナルの  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^{18}\text{O}$  ( $-4.9 \pm 2.4\text{‰}$  前後) を用い、 $\text{CO}_2$  との酸素同位体平衡温度 ( $\text{AET}_{180}$ ) を計算すると、 $94 \pm 10^\circ\text{C}$  となり、地下水の影響を強く受けた活動であることを支持する (表1)．ただし地下水 (えびの高原;  $\delta^2\text{H} = -54.0\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O} = -8.3\text{‰}$ ) と比べると  $\delta^2\text{H}$  及び  $\delta^{18}\text{O}$  が若干高く、マグマ水が平均 10% 前後 (最大 40%, 最小 0%) 混入している可能性がある．

また  $\text{H}_2$  の端成分組成は  $\delta^2\text{H} = -292.5 \pm 18.0\text{‰}$  と見積もられた (図3)．共存する  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^2\text{H}$  として噴煙から求めたオリジナルの  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^2\text{H}$  ( $\delta^2\text{H} = -45.8 \pm 15.9\text{‰}$ ) を使用し、 $\text{H}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  間に水素同位体交換平衡を仮定したみかけの同位体平衡温度 ( $\text{AET}_D$ ) を求めると  $535 \pm 68^\circ\text{C}$  となった (表1)．また、共存する  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^2\text{H}$  としてマグマ水の上限值 ( $\delta^2\text{H} = -18\text{‰}$ ) を仮定して求めた  $\text{AET}_D$  は  $501 \pm 48^\circ\text{C}$  となった (表1)．これらの値はそれぞれ  $\text{AET}_D$  の上限と下限と考えられる．火山ガス中の  $\text{H}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  間に水素同位体交換平衡が速やかに成立するのは経験的に  $250^\circ\text{C}$  付近までで、それ以下の温度では再平衡化に長い時間がかかることと、同じ火山ガス試料の  $\text{AET}_{180}$  がおよそ  $100^\circ\text{C}$  で一定であり、これが噴気温度を反映している可能性が高いこと、さらに最終的に放出された  $\text{H}_2\text{O}$  の大部分が天水 (地下水) 起源であることを勘案すると、地下水等によって山体内で急冷される直前の温度を反映している可能性が高い (図1)．なお  $\text{AET}_{180}$  は噴煙から求めたオリジナルの  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^{18}\text{O}$  だけを用いて推定したが、山体内で急冷される直前の  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^2\text{H}$  はマグマ水の可能性もあるので、 $\text{AET}_D$  の推定に用いた  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^2\text{H}$  値は広く設定している (表1)．

また、7月5日に現地にて、ドローンを用いたマルチガス・アルカリフィルタ観測を実施した (表2)．マルチガスでは  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  の4成分を測定した．下記の反応から計算される見かけの平衡温度 ( $\text{AET}_S$ ) は約  $400^\circ\text{C}$  と、桜島のようなマグマ噴火に伴う火山ガスと比較すると低温であった．



この結果はマグマから脱ガスした後に地下水・熱水系の影響も受けた活動であり、マグマから脱ガスした高温の火山ガスが  $400^\circ\text{C}$  程度まで冷却されたことを示唆している (表2)．アルカリフィルタ観測では  $\text{S}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$  の3成分を定量した． $\text{S}/\text{Cl}$  比は他の活動的な火山に比して10倍ほど高く、 $\text{Cl}$  に枯渇した特徴を示した． $\text{HCl}$  は低温の液相への溶解度が大きいことから、 $400^\circ\text{C}$  以上の高温の火山ガスが、噴出直前に低温 ( $100^\circ\text{C}$  程度) の地下水・熱水系と反応したことを示唆している．

$\text{SeIPS}$  採取試料の濃度組成比と  $\text{Multi-GAS}$  の結果を表3に示す． $\text{AET}_D$ ,  $\text{AET}_S$  はそれぞれ  $450$ - $600^\circ\text{C}$ ,  $370$ - $390^\circ\text{C}$  と計算され、火山地下の  $400^\circ\text{C}$  以上 ( $450$ - $600^\circ\text{C}$ ) の火山性流体から供給された火山ガスが浅部で急冷されていることを示唆する．一方で  $\text{AET}_{180}$  は約  $100^\circ\text{C}$  を示していること、火山ガス中の  $\text{HCl}$  が失われていることから、火山浅部に  $100^\circ\text{C}$  程度の液相が存在していることを示唆する．以上をまとめると、火山地下の  $400^\circ\text{C}$  以上 ( $450$ - $600^\circ\text{C}$ ) の火山性流体から供給された火山ガスが浅部で地下浅部に地下水の影響を受けた低温の熱水系 (約  $100^\circ\text{C}$ ) と接触・急冷され、地表に放出されていると考えられる (図1)．

表1 霧島新燃岳の端成分同位体組成と同位体平衡温度 (AET<sub>D</sub> と AET<sub>180</sub>)

|                 | $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2}$<br>(‰) | $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$<br>(‰) | $\text{H}_2\text{O}$                 |                                         | AET <sub>D</sub>  | AET <sub>180</sub> |
|-----------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|--------------------|
|                 |                                        |                                            | $\delta^2\text{H}$ (‰) <sup>*1</sup> | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) <sup>*2</sup> |                   |                    |
| <b>all</b>      | <b>-293 ± 18</b>                       | <b>+ 32.2 ± 0.5</b>                        | <b>-61.7 ~ -18</b>                   | <b>-4.9±2.4</b>                         | <b>453-581 °C</b> | <b>94±10 °C</b>    |
| <b>Volcanic</b> | <b>-302 ± 23</b>                       | <b>+ 29.0 ± 1.2</b>                        | <b>-61.7 ~ -18</b>                   | <b>-4.9±2.4</b>                         | <b>426-570 °C</b> | <b>105±15 °C</b>   |
| <b>Unknown</b>  | <b>-267 ± 14</b>                       | <b>+ 31.9 ± 0.5</b>                        | <b>-61.7 ~ -18</b>                   | <b>-4.9±2.4</b>                         | <b>513-642 °C</b> | <b>93±10 °C</b>    |

\*1 水素同位体交換平衡温度 (AET<sub>D</sub>) 計算に使用した共存する H<sub>2</sub>O の  $\delta^2\text{H}$ 。推定した端成分 H<sub>2</sub>O の  $\delta^2\text{H}$  (-45.8±15.9 ‰) を下限値として、またマグマ水上限の  $\delta^2\text{H}$  (-18 ‰) を上限値として使用

\*2 酸素同位体交換平衡温度 (AET<sub>180</sub>) 計算に使用した共存する H<sub>2</sub>O の  $\delta^{18}\text{O}$ 。推定した端成分 H<sub>2</sub>O の  $\delta^{18}\text{O}$  (-4.9±2.4 ‰) を使用

表2 マルチガス及びアルカリフィルタから求めた霧島新燃岳火山ガス組成 (モル比)、反応1の見かけの平衡温度、および観測時の最大 SO<sub>2</sub> 濃度

| Flight                | SO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S | H <sub>2</sub> O/SO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> | S/Cl | Cl/F | AET <sub>S</sub> °C | SO <sub>2</sub> max<br>ppm |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------|------|---------------------|----------------------------|
| 20250705<br>flight1-1 | 2.6                               | 130                              | 0.0029                          | -    | -    | 370                 | 37                         |
| 20250705<br>flight1-2 | 2.9                               | 81                               | 0.0028                          | -    | -    | 390                 | 110                        |
| 20250705<br>flight2   | 3.1                               | 48                               | 0.0015                          | -    | -    | 390                 | 95                         |
| 20250705<br>flight3   | -                                 | -                                | -                               | 21   | 27   | -                   | -                          |
| 20250705<br>flight4   | -                                 | -                                | -                               | 44   | 37   | -                   | -                          |

表3 SelPS 採取試料とマルチガスから求めた火山ガス濃度組成 (モル比) の比較

|                                                   | H <sub>2</sub> O/SO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O                          |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Multi-GAS<sup>*1</sup></b><br><b>(6/30 東大)</b> | <b>87</b>                        | <b>0.019</b>                    | <b>97</b>                        | <b>0.0212</b>                   | <b>22.4×10<sup>-5</sup></b>                               |
| <b>Multi-GAS</b><br><b>(7/5 産総研)</b>              | <b>35~93</b>                     | <b>0.0016</b><br><b>~0.0034</b> | /                                |                                 | <b>1.7×10<sup>-5</sup></b><br><b>~9.6×10<sup>-5</sup></b> |
| <b>SelPS+MS/CRDS</b><br><b>(7/4-5 名大)</b>         | <b>&lt;1200<sup>*2</sup></b>     | <b>&lt;0.045<sup>*2</sup></b>   |                                  |                                 | <b>1.6×10<sup>-5</sup></b><br><b>~10×10<sup>-5</sup></b>  |

\*1 参考資料 1, なお観測日が異なるので比較時は要注意. また H<sub>2</sub> は速報段階の暫定値であり, 今後修正される可能性がある.

\*2 採取時に SelPS 作動の閾値として設定した SO<sub>2</sub> 濃度から推定した上限値.

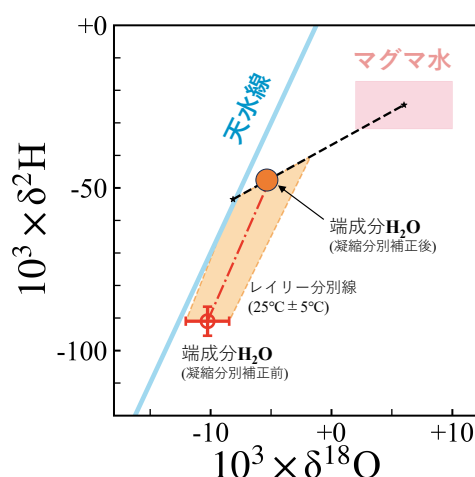


図2 SelPS 採取試料中の  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^{18}\text{O}$  と  $\delta^2\text{H}$  から求めた、凝縮分別補正前の  $\text{H}_2\text{O}$  の端成分同位体組成と、凝縮に伴う同位体分別を補正した霧島新燃岳  $\text{H}_2\text{O}$  の端成分同位体組成。

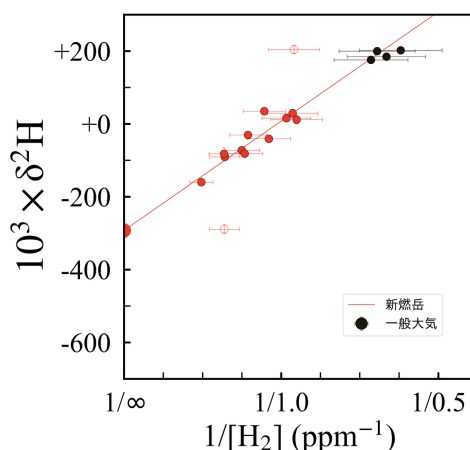


図3 観測された  $\text{H}_2$  の濃度（逆数）と  $\delta^2\text{H}$  の関係．単純混合時は直線になる．赤丸（小）は各 SelPS 採取試料，黒丸（小）は離発着点近傍で採取した一般大気試料，赤丸（大）は推定した端成分組成。

**補足** 本報告は2025年7月に火山調査研究推進本部へ提出した「新燃岳におけるマグマ水混合比および火山性流体温度構造推定結果 速報」及び「新燃岳でのドローンによるマルチガス観測（2025年7月5日）速報」の資料をとりまとめ、2024年7月5日に実施したアルカリフィルタ観測の分析結果を加筆し、再構成したものである。なおガスセンサーの校正や再解析を行ったため、火山ガス組成の数値は一部前回提出資料と異なる。

参考資料：

- ・1: 新燃岳でのドローンによるMultiGAS測定：2025年7月3日火山調査研究推進本部提出資料，東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設