

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

概要：2025年7月4-5日に新燃岳でドローンにて採取した試料に関して、 H_2O の濃度と $^2H/^1H$ 比および $^{18}O/^{16}O$ 比、 H_2 の濃度と $^2H/^1H$ 比を測定した。

H_2O の $^2H/^1H$ 比および $^{18}O/^{16}O$ 比から、 H_2O の大部分が天水（地下水）起源（マグマ水混合比は平均10%前後）と見積もられ、 H_2O-CO_2 間の酸素同位体平衡温度（ AET_{180} ；注1）はおよそ $100^\circ C$ 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（図1）。一方 H_2-H_2O 間の水素同位体平衡温度（ AET_D ；注2）は $500^\circ C$ 前後（ $450-600^\circ C$ ）となり、地下水によって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）。

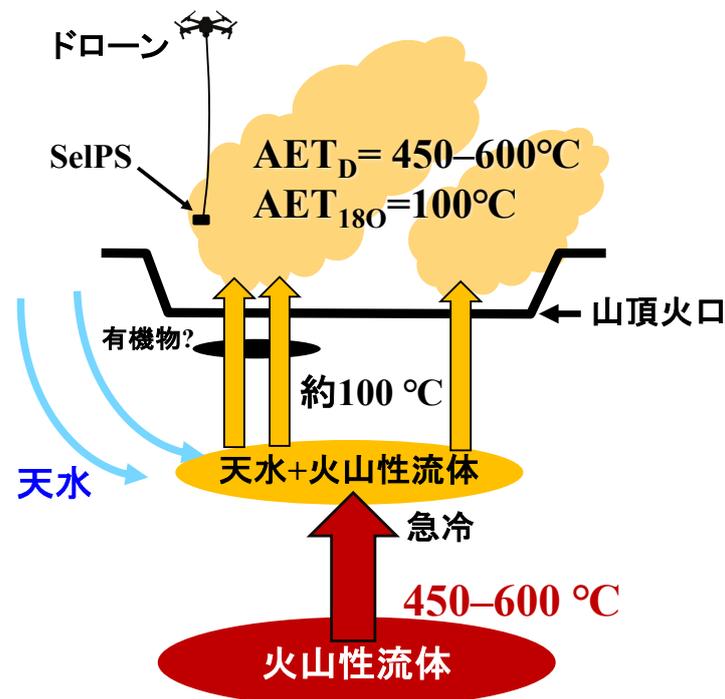


図1 観測された同位体組成を元に推定した、霧島新燃岳山体内における火山性流体の挙動および温度構造。

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。合計10フライト行い、18試料を得た。最初に測定した CO_2 の $\delta^{13}C$ および $\delta^{18}O$ の結果は報告済みであり（資料1）、 $\delta^{13}C$ の結果から、同位体的に異なる2つの CO_2 端成分 (Volcanic: $\delta^{13}C = -2.9 \pm 1.7\text{‰}$, Unknown: $\delta^{13}C = -25.6 \pm 1.4\text{‰}$) が存在する可能性が高いことが明らかになった。一方 $\delta^{18}O$ の方には両者間で有意差は見られず、 H_2O と CO_2 間の酸素同位体平衡温度（注1； AET_{180} ）に換算すると、 $87-154^\circ C$ と見積もられた（資料1；なお AET_{180} は $82-180^\circ C$ に修正）。

今回新しく H_2O の δ^2H および $\delta^{18}O$ (Takahashi et al. 2018) および H_2 の δ^2H (Tsunogai et al., 2011) を測定したところ、 H_2O や H_2 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_2 の主要起源となっている可能性が高いと結論した。

一方 H_2O 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 H_2O の端成分同位体組成を推定すると、 $\delta^2\text{H}$ が -45 ‰ 前後、 $\delta^{18}\text{O}$ が -6 ‰ 前後と見積もられた (図 2)。これは H_2O の大部分が天水 (地下水) 起源であることを示唆する。先に CO_2 の $\delta^{18}\text{O}$ から酸素同位体平衡温度 (AET_{180} ; 注 1) を $82\text{--}180 \text{ ‰}$ と見積もったが (表 1), 今回求めた H_2O の $\delta^{18}\text{O}$ (-6 ‰ 前後) を用いるとおよそ 100 ‰ 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。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 $\delta^2\text{H}$ もまた $\delta^{18}\text{O}$ も若干高く、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。

一方 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 H_2O の $\delta^2\text{H}$ としてえびの高原地下水 ($\delta^2\text{H} = -54.0 \text{ ‰}$) を仮定し、 $\text{H}_2\text{--H}_2\text{O}$ 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 (AET_D) を求めると $549 \pm 43 \text{ ‰}$ となった (表 1)。また、共存する H_2O の $\delta^2\text{H}$ としてマグマ水の上限值 ($\delta^2\text{H} = -17.2 \text{ ‰}$) を仮定して求めた AET_D は $490 \pm 36 \text{ ‰}$ となった (表 1)。これらの値はそれぞれ AET_D の上限と下限と考えられるが、これらは Multi-GAS による濃度組成から求めた、みかけの化学平衡温度 ($360\text{--}430 \text{ ‰}$; 資料 2) と同じか、若干高い温度を示している。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 ‰ 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 AET_{180} がおよそ 100 ‰ 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、さらに共存する H_2O 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 SelPS 採取試料の濃度組成比は Multi-GAS の結果と概ね整合的であった (表 2)。また SelPS 採取試料と一般大気の間には CH_4 濃度の有意差は見られなかったことから、火山ガスが CH_4 に富んでいる可能性は低いことも同時に確認された。

注 1 : $\text{CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ 間に酸素同位体交換平衡の成立を仮定して求めたみかけの同位体交換平衡温度。火山ガス中の $\text{CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ 間の酸素同位体交換反応は、 80 ‰ 以上であれば速やかに進行して平衡が成立する一方、それ以下の温度では急激に遅くなって交換が停止することが知られているので、 80 ‰ 以上の AET_{180} は火口の出口温度を反映している可能性が高い。なお平衡温度の計算には、 CO_2 の $\delta^{18}\text{O}$ に加えて H_2O の $\delta^{18}\text{O}$ が必要となる。

注 2 : $\text{H}_2\text{--H}_2\text{O}$ 間に水素同位体交換平衡の成立を仮定して求めたみかけの同位体交換平衡温度。平衡温度の計算には、 H_2 の $\delta^2\text{H}$ に加えて H_2O の $\delta^2\text{H}$ が必要となる。火山ガス中の $\text{H}_2\text{--H}_2\text{O}$ 間の水素同位体交換反応は、 250 ‰ 以上であれば速やかに進行して同位体交換平衡が成立する一方、それ以下の温度では次第に遅くなり、 100 ‰ 以下では完全に停止することが知られているので、出口温度が 250 ‰ 以上の火山ガスであれば、出口温度を反映している可能性が高く、出口温度が 250 ‰ 未満の火山ガスであれば、山体内で地下水と接触する等して急冷される直前の温度等を反映している可能性が高い。なお 200 ‰ 前後で長期に

保持されると再平衡化に向けて同位体比が上昇する可能性があるため、出口温度が 200 °C前後の可能性が高い場合は注意が必要になる。

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_D と AET₁₈₀)

	$\delta^2\text{H}_{\text{H}_2}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$ (‰)	H_2O^{*1}		AET _D	AET ₁₈₀
			$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		
all	-292.5 ± 18.0	+ 32.2 ± 0.5	-54 ~ -17	-8.3 ~ -10	454-592 °C	82-180 °C
Volcanic	-301.6 ± 23.3	+ 29.0 ± 1.2	-54 ~ -17	-8.3 ~ -10	427-580 °C	88-219 °C
Unknown	-266.5 ± 14.2	+ 31.9 ± 0.5	-54 ~ -17	-8.3 ~ -10	514-655 °C	81-177 °C

*1 同位体交換平衡温度計算に使用した共存する H₂O の同位体組成. 下限値として、えびの高原地下水 ($\delta^2\text{H} = -54.0$ ‰, $\delta^{18}\text{O} = -8.3$ ‰) を, 上限値としてマグマ水上限 ($\delta^2\text{H} = -17.2$ ‰, $\delta^{18}\text{O} = -10$ ‰) を使用

表 2 SelPS 採取試料から求めた霧島新燃岳火山ガスの濃度組成と Multi-GAS から求めた霧島新燃岳火山ガスの濃度組成の比較

	H ₂ O/SO ₂	H ₂ /SO ₂	H ₂ O/CO ₂	H ₂ /CO ₂	H ₂ /H ₂ O
Multi-GAS* ¹ (6/30 東大)	87	0.019	97	0.0212	22.4×10 ⁻⁵
Multi-GAS* ² (7/5 産総研)	35.3~92.8	0.0016 ~0.0034			1.7×10 ⁻⁵ ~9.6×10 ⁻⁵
SelPS+MS/CRDS (7/4-5 名大)	<1200* ³	<0.045* ³	40.4 ± 30.4	0.0010 ~0.0035	1.6×10 ⁻⁵ ~10×10 ⁻⁵

*1 参考資料 3、なお観測日が異なるので比較時は要注意。また H₂ は速報段階の暫定値であり、今後修正される可能性大

*2 参考資料 1

*3 採取時に SelPS 作動の閾値として設定した SO₂ 濃度から推定した上限値

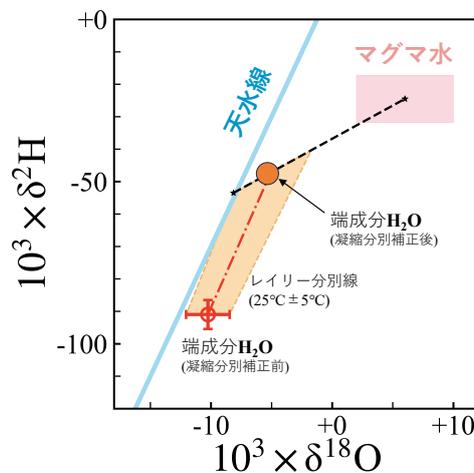


図 2 SelPS 採取試料中の H₂O の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ から求めた、凝縮分別補正前の H₂O の端成分同位体組成と、凝縮に伴う同位体分別を補正した霧島新燃岳 H₂O の端成分同位体組成。

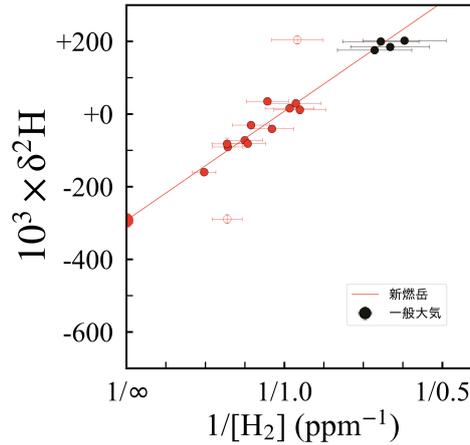


図3 観測された H₂ の濃度（逆数）と δ²H の関係．単純混合時は直線になる．赤丸（小）は各 Se1PS 採取試料，黒丸（小）は離発着点近傍で採取した一般大気試料，赤丸（大）は推定した端成分組成．

参考資料：

- ・ 1: [新燃岳でのドローン+Se1PS による CO₂ 同位体観測（2025年7月11日）](#) 速報：2025年7月14日，名古屋大学・産総研地質調査総合センター
- ・ 2: [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：2025年7月8日，産総研地質調査総合センター
- ・ 3: 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，東京大学理学部地殻化学実験室