

鶴見岳・由布岳周辺に湧出する温泉水の水質を用いた噴火予知の検討

大分工業高等専門学校 学生会員 ○河野 洋輝
大分工業高等専門学校 正会員 横田 恭平

1. 背景・目的

火山の噴火予知には、GPS による火山の隆起沈降の確認、観測所での地震動の連続観測などがある。大分県の活火山である九重山は、1995 年に噴火し、その時に多くの研究がなされたが、温泉の溶存成分による噴火の予知に関しては注目されていなかった。大分県内には九重山以外に、活火山として由布岳、鶴見岳、伽藍岳が存在する。既存の研究において、九重山、由布岳、鶴見岳、伽藍岳の噴火予知を目的とし、それぞれの火山の近隣にあり、マグマ起源と考えられる温泉の調査がなされた。しかしながら、由布岳周辺の温泉からは、想定する結果が得られなかった¹⁾。

そこで本研究では、公表されている温泉分析書^{2),3)}を用いて、由布院温泉、別府温泉がマグマ起源の温泉かどうかを判定し、由布岳、鶴見岳、伽藍岳の噴火予知に適しているかを検討する。

2. 研究対象地

図-1 に本研究室で噴火予知を目標とする九重山、由布岳、鶴見岳、伽藍岳と研究対象地としている近隣の温泉 5 地点および 2014 年と 2015 年の温泉分析書^{2),3)}に表記されている別府・由布院地域の温泉の場所を示している。研究対象地は、長湯温泉から温泉 A, B, C, 由布院温泉から温泉 D, 別府温泉から温泉 E とする。対象期間は 2014 年 5 月から 2016 年 8 月とした。

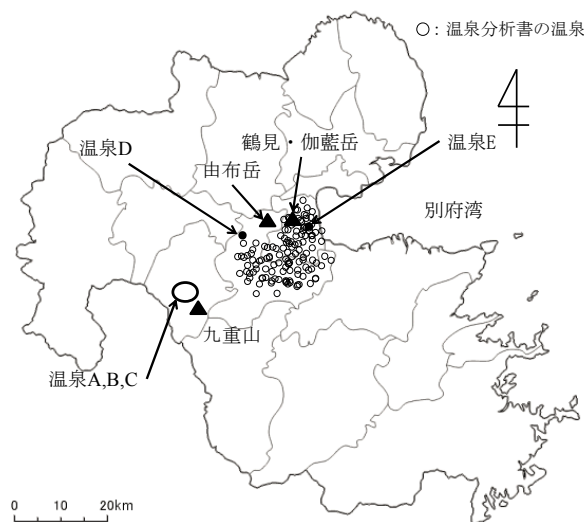


図-1 研究対象地および分析書内の温泉

3. 分析方法

(1) 研究対象地・温泉分析書について

0.02N の硫酸を用いた pH4.8 アルカリ度滴定により各温泉の HCO_3^- の含有量を調べる。イオンクロマトグラフ法 (ICS-1000 : DIONEX 社製) により、各温泉

の Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} の含有量を調べる。ICP 発光分光分析法 (ICPS-8100 : 島津製作所社製) により、 Mn , Fe , Al , B , Si , Sr , P , Zn の含有量を調べる。

大分県が公表している温泉分析書^{2),3)}に記載されている各成分をデータとしてまとめた。

4. 長湯温泉について

既存の研究より、長湯温泉はマグマ起源であることが判明している⁴⁾。長湯温泉には、九重山の CO_2 を多量に含んだ火山ガスが混入し⁵⁾。長湯温泉中の炭酸成分は HCO_3^- と主として存在する。この HCO_3^- の経年変化を調べると、非常に安定性があることが分かっている⁶⁾。これらのことより、長湯温泉において HCO_3^- は、噴火予知の指標として適していると考えられる。

5. 結果

(1) HCO_3^- の安定性について

図-2 に本研究室の研究対象地 (温泉 A~E) でのイオン成分の変動係数を示した。変動係数および標準偏差は式(1), (2)を用いて計算した⁷⁾。図-2 より、長湯温泉の HCO_3^- は変動係数が小さく、安定性が高いことがわかる。

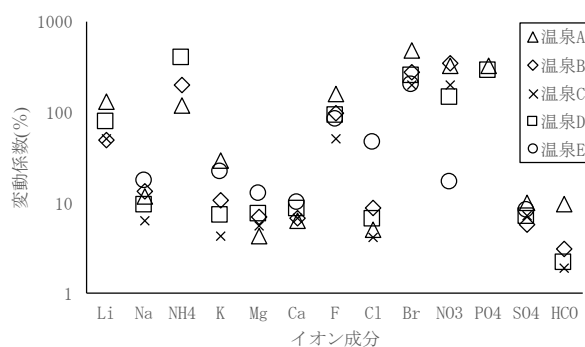


図-2 イオン成分の変動係数(対数表示)

標準偏差

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

変動係数

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

ただし、 n : データ数, x_i : 測定値, $\bar{x}$: 平均値

(2) 温泉 A~E の HCO_3^- の経年変化について

既存の研究より HCO_3^- で噴火予知を行うことの意義を示した。そこで本研究対象地 (温泉 A~E) の各地点における HCO_3^- の経年変化の確認を行う。

図-3 に研究対象地での HCO_3^- の経年変化を示す。

図-3 より、長湯温泉である温泉 A, B, C に比べ、温泉 D, E は値が低い事がわかる。

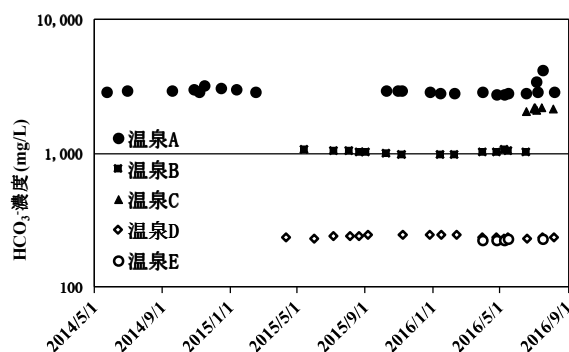


図-3 HCO_3^- の経年変化 (対数表示)

(3) Na^+ と Cl^- による相関

既存の研究により、別府温泉の大多数は天水起源であることが分かっている⁶⁾。また、天水・海水起源の温泉は Na^+ と Cl^- による相関が高い可能性があることが判明している⁷⁾。図-4 に、各温泉地での Na^+ と Cl^- の相関図を示す。図中の温泉 A, B, C は本研究室で調査・分析している長湯温泉の三地点である。別府温泉・由布院温泉は、温泉分析書のデータである。図-4 より、マグマ起源の長湯温泉では相関が低く、別府温泉では相関が高いことがわかる。なお、由布院温泉においては、濃度が高い地点を除くと $R^2=0.933$ となることから、別府温泉と同様に相関が高いと判断できる。

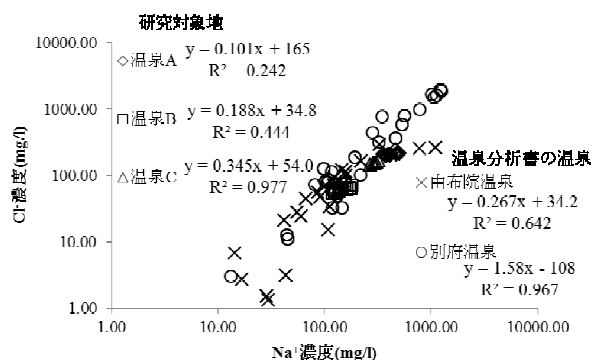


図-4 各温泉の相関 (対数表示)

(4) SO_4^{2-} と HCO_3^- の相関

次に、マグマの成分で図-2 においても濃度変化が少ないことが確認できた SO_4^{2-} と、長湯温泉の特異成分であり濃度変化が少ない HCO_3^- による相関をとり、長湯温泉の結果と比較することで由布院温泉・別府温泉のマグマ起源の温泉の判定を行う。図-5 に、各温泉での

SO_4^{2-} と HCO_3^- の相関図を示す。図-4 と同様に、温泉 A, B, C は本研究室で調査・分析している長湯温泉の三地点である。別府温泉・由布院温泉は、温泉分析書のデータである。長湯温泉では、直線の相関がみられる。しかし、別府温泉、由布院温泉では、直線の相関は見られず、曲線の関係がみられた。

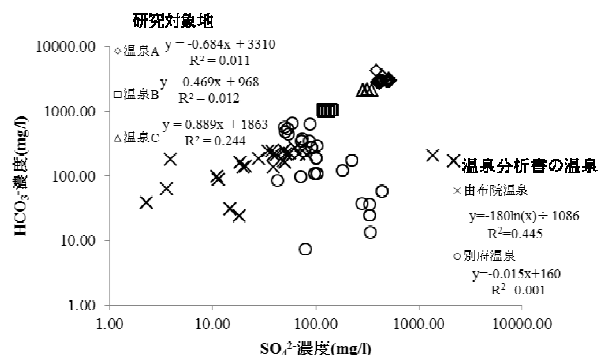


図-5 各温泉の相関 (対数表示)

6. 考察

HCO_3^- の経年変化より、由布院温泉・別府温泉は、長湯温泉に比べ、 CO_2 ガスの混入率が低い可能性がある。別府温泉で天水起源が多いことを考慮すると、 Na^+ と Cl^- の相関より、別府温泉と近い傾向を示す由布院温泉も天水起源の可能性が考えられる。そのため、 HCO_3^- による噴火予知は、由布院温泉、別府温泉では難しいと考えた。

7. 結論

今後の方針として、現対象地の調査を継続し、火山の活動時における各成分の異常値を確認し、活火山への応用の有無を判断するための知見としていく。

参考文献

- 1) 大分県：温泉調査研究会報告温泉分析書第 65 号，pp.1-63.2014.
- 2) 大分県：温泉調査研究会報告温泉分析書第 66 号，pp.1-93.2015.
- 3) 横田恭平：大分県内の温泉の水質を用いた噴火予知のための化学的指標の提案，環境技術，Vol.45，No.10，pp.536-544，2016.
- 4) 網田和宏，大沢信二：九重硫黄山噴気地域から放出されるマグマ性ガスへの空気及び地下の水の混合過程，日本地熱学会誌，Vol.25，No.4，pp.245-265，2003
- 5) 岩倉一敏，大沢信二，高松信樹，大上和敏，野津憲治，由佐悠紀，今橋正征：長湯温泉（大分県）から放出される二酸化炭素の起源，日本温泉科学会，50(2)，pp.86-93，2000.
- 6) 由佐悠紀：温泉・湯けむりの自然科学的概要，文化的景観別府の湯けむり景観保存計画，別府市，第 2 部，第 3 章，2012.
- 7) 吉田則夫，奥澤保，塚原弘昭：同位体比から見た松代群発地震地域の深部流体の起源，地震第 2 輯，Vol.55，No.2，pp.207-216，2002-2003.