

熱水パス亀裂抽出への地中ガスラドン濃度の応用

北村 将悟*・久保 大樹*・多田 洋平*・柏谷 公希*・小池 克明*

Application of Radon Concentration in Soil Gas to Detecting Fractures of Hydrothermal Fluid Path

Shogo Kitamura*, Taiki Kubo*, Yohei Tada*, Koki Kashiwaya* and Katsuaki Koike*

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management,
Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2-215, Kyoto 615-8540, Japan.
E-mail: kitamura.shogo.72m@kyoto-u.ac.jp (Kitamura)

キーワード：地熱貯留層，リニアメント，ラドン濃度，Wayang Windu 地区，安比地区

Key words: Geothermal reservoir, Lineament, Radon concentration, Wayang Windu area, Appi area

1. はじめに

地熱発電には年間を通じた設備利用率が高く、二酸化炭素排出量も少ないという利点がある一方で、開発リスクが高く、主に初期コストにより発電単価が高いという課題を抱えている。地熱開発では、地熱貯留層内に存在する熱水の通路となる透水性亀裂（熱水パス）の位置と空間分布が重要となる。この透水性亀裂が地形的特徴や地表での地熱兆候から抽出でき、空間分布形態が推定できれば、資源量の評価精度向上につながり、開発コストの大幅な低下に貢献できる。

透水性亀裂の空間分布推定には地化学探査が用いられており、本研究では、地化学探査の一種であるラドンガス探査に着目した。ラドンは火山ガス中に多く含まれる不活性ガスであり、断層破砕帯の割れ目などを通して地表付近に運ばれるという性質がある。ラドンガス探査は、土壌や水中のラドン (^{222}Rn) やトロン (^{220}Rn) 濃度を測定し、空間分布や時間的な変化から地下構造の推定を行う放射能探査であり（今泉ほか, 1993）、熱水パスの抽出に有効であるとされている（Koike et al., 2014）。しかしながら、地熱貯留層や熱水パスの存在とラドン濃度の関係について不明な点が多く、現段階ではそれらの存在をラドンの高濃度の異常帯として検出できるには至っていない。

そこで、本研究では噴気や温泉などの地熱兆候が確認できる地区においてラドンガス探査を実施し、地質情報と比較することで熱水パス抽出に対するラドン濃度変化の有効性を明らかにすることを目的とした。探査地には、噴気や温泉など明瞭な地熱兆候が存在し、実際に地熱発電が行われているインドネシア西ジャワ州 Wayang-Windu 地区と、地熱資源が有望である岩手県安比地区を選定した。

2. ラドンガス探査法

ラドン濃度測定には半導体型ラドン測定器（Durrige 社製 RAD7）を用いた。本装置はラドン核種や娘核種が放射性崩壊する際に放出する α 粒子のエネルギー量を測定し、ラドン濃度 (Bq/m^3) に換算する。後述する各測定点では、地表より 50~100cm の深さに差し込んだ測定プローブから土壌中のガスをポンプで吸引し、5 分間を 1 サイクルとして、4~6 のサイクル測定を実施した。本研究では、測定機器内

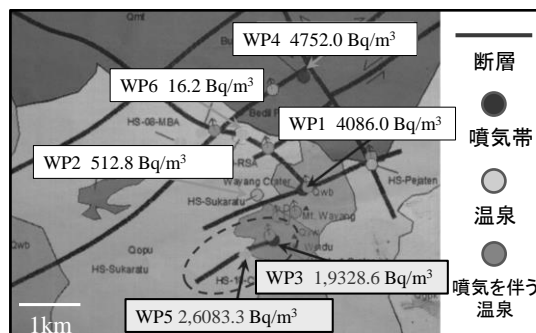
に残存する娘核種の崩壊による影響を防ぐため、ポロニウムのカウント数のみを測定に用いた。

3. 測定結果と考察

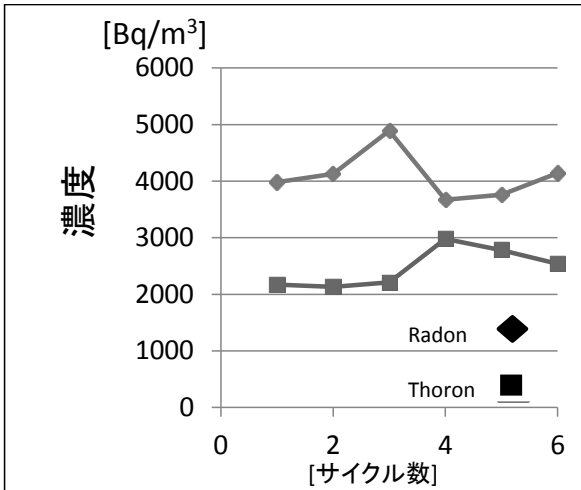
3.1 Wayang Windu 地区

2015 年 9 月に、6 点（以下 WP1~6）において土中のラドンガスを採取し、RAD7 により ^{222}Rn と ^{220}Rn 濃度を算出した。第 1 図に測点の配置と各測点での平均 ^{222}Rn 濃度を示す。

WP2, WP6 では明瞭な地熱兆候は見られず、他の測点と比べて ^{222}Rn 濃度も低いという結果になった。噴気が活発である WP1, 3, 4, 5 では ^{222}Rn 濃度に関して 2 つの特徴が見出された。1) WP2, WP6 に比べて明らかに ^{222}Rn 濃度が高い、2) 時間経過による濃度減少幅が小さい。WP1, 3, 4, 5 で濃度が時間とともに減少する測点はあるものの、その濃度減少の程度は緩やかである。一例として、WP4 の測定結果を第 2 図に示す。WP3（写真 1）と WP5 における ^{222}Rn 濃度は他の測点と比べて特に高く、この付近には地熱貯留層に繋がる熱水パスがあると考えられる。実際、これらの測点付近を断層が通っており、これが熱水パスに相当すると推定した。また ^{220}Rn は ^{222}Rn と比べて濃度が低いため、本研究では ^{222}Rn 濃度のみに着目した。これは半減期の相違に起因すると考えられる。（ ^{222}Rn : 3.58 d, ^{220}Rn : 53.4 s）



第 1 図 Wayang Windu 地区における測点の配置と各測点での平均 ^{222}Rn 濃度（断層分布の出典は Peta lokasi manifestasi geothermal blok Wayang-Windu）



第2図 WP4における²²²Rnと²²⁰Rn濃度の時間的変化



写真1 WP3に広がる熱水変質帯と測定風景

3.2 安比地区

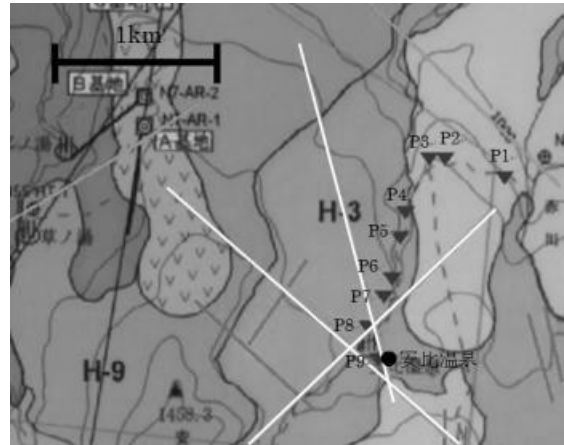
2015年10～11月に9点(P1～P9)でラドングス探査を実施した。測点の配置を第3図に示す。図中の実線は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による地熱促進開発調査報告書に基づく推定リニアメントを表す。

測点P1～P3における²²²Rn濃度は測定開始時には比較的高いが、測定時間の経過に伴う濃度減少幅が大きく、15分を過ぎるとほぼ検出されなくなるという結果が得られた。測点P4～P7では、²²²Rn濃度は、測定開始時から低く、測点P1～P3と同様、時間経過に伴い、ほぼ検出されなくなった。一方、測点P8とP9では²²²Rn濃度が相対的に高く、時間経過による濃度減少幅が小さいという特徴が見出された。一例として、P9でのデータをP4と第4図で比較する。この結果は明瞭な地熱兆候が存在するWayang Windu地区における傾向と類似している。したがって、測点P8とP9では²²²Rnの安定供給があると考えられ、AP9周辺のリニアメント(第4図中の白線)は地熱貯留層と繋がる熱水パスである可能性が高い。

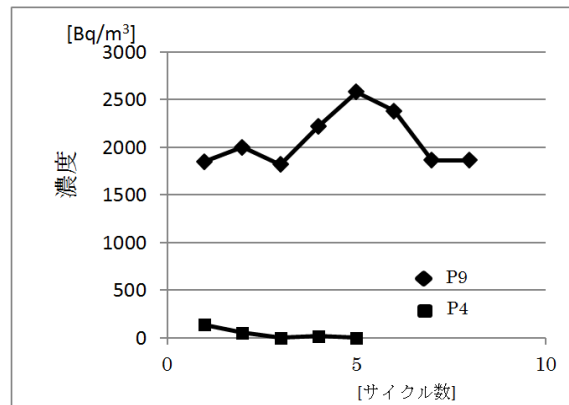
4. まとめ

本研究では、Wayang-Windu地区と安比地区においてラドングス探査を行い、²²²Rn濃度分布とその時間変化を明らかにした。また、ラドングス探査結果と地質情報を組み合わせて解釈することにより、熱水パスとして機能していると考えられる亀裂系構造の抽出を行った。半減期が短い

²²⁰Rnよりも²²²Rn濃度は熱水パスの抽出に有効であること、および本研究で用いたラドン濃度測定によれば、多くのリニアメントの中から熱水パスとして機能するものを抽出できる可能性が示唆された。これを検証するために、Wayang Windu地区では測点を大幅に追加する予定である。



第3図 安比地区における測点の配置とリニアメントの分布(安比温泉付近を通る白線は熱水パスに関連するとみなせるリニアメントを表す)



第5図 安比温泉付近(P9)と通常地盤(P4)における²²²Rn濃度の時間的変化の比較(安比地区)

文献

今泉眞之・竹内睦雄・小前隆美(1993)長野県山口村の阿寺断層の土壌ガス中のラドン濃度とγ線スペクトロメトリの違いについて, 応用地質, vol. 34, no. 1, pp. 1-13.
 Koike, K., Yoshinaga, T. and Asaue, H. (2014) Characterizing long-term radon concentration changes in a geothermal area for correlation with volcanic earthquakes and reservoir temperatures: A case study from Mt. Aso, southwestern Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 275, pp. 85-102.