

沿岸域地下水におけるトロン、ラドン濃度特性

- 1)吉川 昌志
- 1)小野寺真一
- 2)齋藤 光代
- 3)小野 昌彦

- 1)広島大学総合科学研究科
- 2)日本学術振興会特別研究員PD 愛媛大学 沿岸環境科学研究センター
- 3)産業技術総合研究所

Characteristics of radon and thoron concentration in coastal groundwater

- 1) Masashi YOSHIKAWA
- 1) Shin-ichi ONODERA
- 2) Mitsuyo SAITO
- 3) Masahiko ONO

- 1) Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University
- 2) JSPS PD, Center for Marine Environmental Studies, Ehime University
- 3) The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Abstract

^{222}Rn (radon) and ^{220}Rn (thoron) are remarked as useful geochemical tracers for analyzing surface water and groundwater interaction. We applied the methodology of Dimova et al. (2009) to thoron analysis of groundwater in Kurobe, Toyama pref. and Saijo, Ehime pref., Japan. It seemed that radon equilibration in water – air exchange system spent about 15 min, On the other hand, thoron equilibration was quicker than that of radon. The radon concentration was one order higher in granitic rock areas than that in alluvial deposit area, on the other hand the thoron concentration was not so different. It was suggested that thoron is a good tracer for detecting groundwater discharge in surface water.

はじめに

水に溶存する物質の安定同位体は、古くから水循環を解析するためのトレーサーとして用いられてきた(永田・宮島, 2008、Levia *et al.*, 2011)。近年では、安定同位体の他にラドン、トロンのような遷移元素もその地球化学的特性を利用したトレーサーとしての活用が検討されている(例えば、Baskaran, 2011)。本論文で議論するラドン、トロンとは、遷移元素であるラドン(Rn)の放射性同位体である ^{222}Rn と ^{220}Rn を指す。

水文トレーサーとしてのラダンの利用は、1970年代から手法が確立されている(小前, 1995)が、トロンについてはその半減期の短さから、十分に検討された手法はまだ少ない。Dimova *et al.*(2009)は気液平衡装置の大気循環速度を上げることで、トロンの分析に成功している。そこで本研究では、

Dimova *et al.*(2009)で用いられた手法を用い、富山県黒部市及び愛媛県西条市の地下水中トロン濃度を測定し、ラドン濃度への応答を比較することを目的とする。

研究対象地域

黒部市は富山県北部に位置しており、背後に立山連峰を望む扇状地地域である。この扇状地を流れる黒部川は約682km²と全国屈指の集水域を持っており、年間降水量は約3800mmである。これが扇頂部から涵養し、沿岸域の扇端部では多くの自噴井がみられる。地質は大部分を花崗岩が占めている。一方、愛媛県西条市は背後に標高1982mと四国最大の石鎚山を望み、黒部と同様沿岸域では多くの自噴井がみられる。年平均降水量は約1393mmである。西条は西部と東部で地質が異なり、西部は花崗岩系、東部は玄武岩系の地質構成である。地下水試料は黒部では生地名水公園の一地点(K1)、西条では河原津(S1)、北条新田(S2)、北浜北(S3)の三地点で採取、分析した(Fig.1-a,b)。

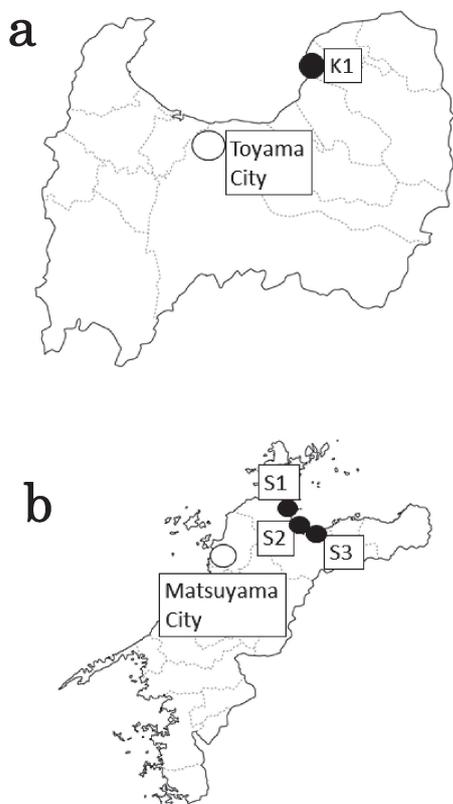


Fig.1-a 富山県における調査地点

Observation point in Toyama pref.

Fig.1-b 愛媛県における調査地点

Observation points in Ehime pref.

ラドンとトロンについて

一般に、ウラン系列元素の ^{222}Rn をいわゆる「ラドン」、トリウム系列元素の ^{220}Rn を「トロン」と呼ぶ。こういったウラン、トリウム系列元素は一般に大陸地殻もしくはマントル起源といわれ、花崗岩などの火成岩質の岩石中に多く含まれる。ラドンは1970年代から、その地球化学的特性が注目され、水循環解析に利用されてきた。ラドンは通常、水中に溶存ガスとして存在する。地下水中では、涵養後一週間から二週間程度で濃度平衡に達し、地表へ流出後は即座に大気中に散逸するため、地下水のトレーサーとして非常に有用である。また、その半減期は3.82日と比較的短く、岩盤などからラダンの供給を受けない場合は極めて低濃度となる点も、河川や海域で地下水流出の影響を考慮する場合に有効である。

一方トロンは、ラドンと同じく大陸地殻もしくはマントル由来のトリウム系列元素に属している。その地球化学的特性はラドンと類似している

が、半減期が約55秒とラドンと比較して非常に短いのが特徴である。そのため、ラドンよりも測定が困難である半面、地下水流出に対する応答が良いため、より精度よくその時間に流出した地下水をとらえることが可能である。

研究方法

本研究では、ラドン及びトロン分析にシリコン半導体アルファ線検出器(DurrIDGE社製RAD7)を用いた。半導体検出器は一般にシンチレーション検出器などと比較してエネルギー分解能に優れている。RAD7は内部に200個の独立したカウンターを持っており、その動作原理は、 ^{222}Rn がアルファ崩壊して娘各種の ^{218}Po になり、その ^{218}Po がさらにアルファ崩壊して ^{214}Pb にアルファ崩壊する際に放出するエネルギー(6.00MeV)を検出する。トロンにおいても同様で、トロンの娘各種である ^{216}Po が ^{212}Pb にアルファ崩壊するときのエネルギー(6.78MeV)を検出する。本研究において、トロン及びラドンの分析方法はDimova *et al.*(2009)で用いられた方法を用いた(Fig.2)。気液平衡装置と分析装置を閉鎖系でつなぎ、その間に二基の外部

バッテリー駆動式エアポンプとフローメータを接続した。平衡器側と分析器側で二つのループを形成させ、平衡器側を7L/min、分析器側を3L/minの流量に設定した。系の長さは全長3m程度で、径は半径約3mm程度である。分析は現地の地下水流出地点で直接水を6L/minの流量でくみ上げ、平衡器内で曝気を行った。ただし、K1については自噴する地下水を直接ホースにつないだため、流量は4L/min程度であった。くみ上げにはバッテリー駆動水中ポンプを用い、測定期間内の流量は安定していた。測定は2分間隔に行い、約20分から90分実施した。また、各地点の地下水の基本水質項目(電気伝導度、水温、pH、DO)をそれぞれポータブルメータ(電気伝導度、水温、は東亜DKK社製CM-21P、pHは同社製HM-21P、DOはHack社製HQ30d)で測定した。なお、調査はK1を2012年8月14日、S1、S2を2012年9月2日、S3を2012年9月3日に行った。

結果と考察

各地点の電気伝導度、pH、DOの測定結果をTable.1に示す。ECは地点によってそこまで大き

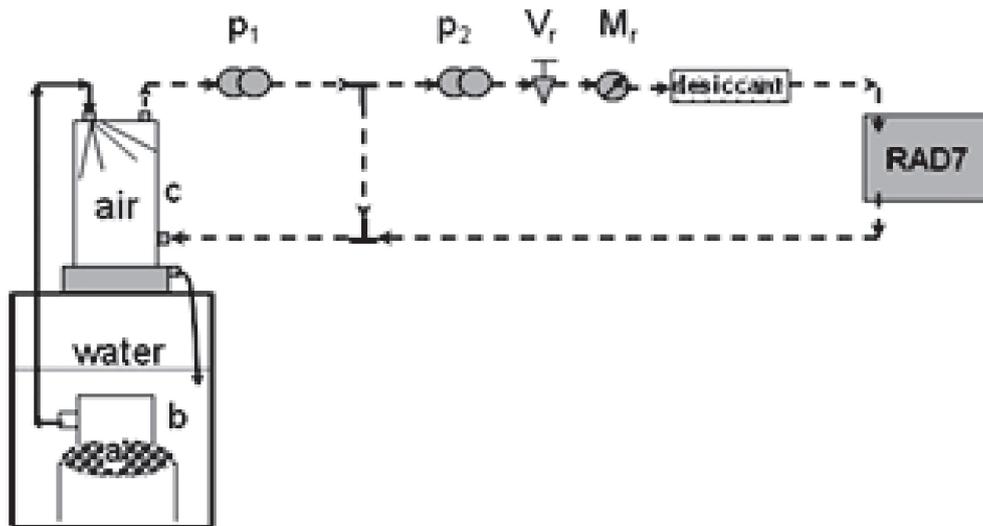


Fig.2 分析装置の概略図。図はDimova *et al.*(2009)より引用(P₁,P₂は2基のエアポンプ、V_rは流量調整用ニードルバルブ、M_rはフローメータを指す。)

Conceptual figure for analysis equipment shown in Dimova *et al.*(2009).(P₁ and P₂ are air pumps, V_r is a needle valve for adjusting flow rate, M_r is a flow meter.)

い違いはないが、S3は471 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と他の地点と比べて二倍以上高い。Fig.1に示した測定地点は全地点沿岸域に位置しているが、自噴地下水であるため海水が混入している可能性は低い。すなわち、電気伝導度は地質あるいは農業等の人為的負荷の影響を反映していると考えられる。pH、DOともに大きい差は認められないが、K1、S1はやや酸化性的である。また、水温はK1で低く11.9度、他の地点は約16.7~21.6度であったが、測定期間内の変

Table.1 各地点の基本水質項目

Basic water quality in each observation points.

	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	PH	DO (mg/L)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)
K1	114.2	6.82	8.39	11.9
S1	165.4	7.65	5.72	19.2
S2	195.0	6.94	4.01	16.7
S3	471.0	7.43	3.89	21.6

動は見られなかった。測定期間中の気温は各地点ではほぼ変動せず、K1で約28.5度、S1で28度、S2で27.5度、S3で27.0度であった。

各地点のトロン及びラドン測定結果をFig3-a ~ dに示す。ラドンはどの地点も平衡器内が気液平衡に向かうにつれ濃度が上昇している。K1は平衡後で約1700pCi/L、S1では約5200pCi/L、S2では約170pCi/L、S3では約420pCi/L程度であった。このように、K1、S1の方がS2、S3と比較してラドン濃度が1オーダー程度高い。これはK1、S1が花崗岩質であるのに対し、S2、S3は玄武岩質であることが原因であると考えられる。一方トロン濃度は、地点によってラドンほどの大きい差は認められなかった。唯一、S2は測定開始から一貫して0に近い低濃度であった。

このことから、トロンはラドンと異なる条件で

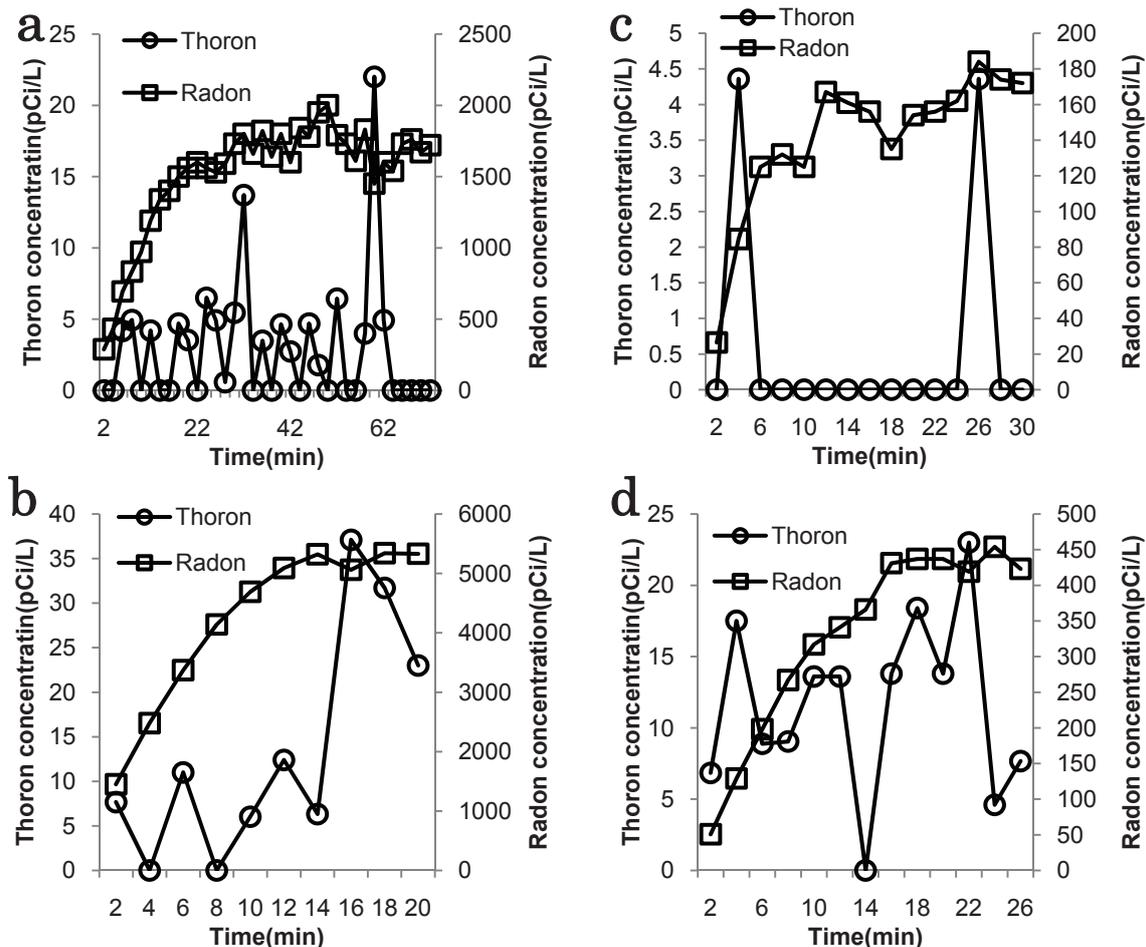


Fig.3 Fig.1におけるK1(a)、S1(b)、S2(c)、S3(d)のトロン及びラドン濃度
Thoron and radon concentrations in K1(a), S1(b), S2(c), S3(d) shown in Fig.1.

地下水中の濃度が決定されている可能性が示唆された。また、ラドン濃度は、各地点においておよそ15分前後で気液平衡に達しているが、K1で顕著なように、トロン濃度は最初の測定から濃度が大きく変わらず、気液平衡速度はラドンよりも早いことが示唆された。またトロンのシグナルは突発的に高い値がどの地点でも観測された。本研究における分析システムは、トロンが崩壊する前に分析器内のシリコンセルに到達することを念頭に設計されており、系内のエアポンプにより十分可能であるため、これらは地下水に含まれるトロンそのもののばらつきによると考えられる。ラドンは系内にとどまるので、比較的安定した値に落ち着くが、一方トロンは、地下水中のトロン濃度が一様でないとするなら、古いトロンは系内で崩壊するため、常に新しいトロンのシグナルが突発的に検出され、このように値がばらついて現れる可能性がある。この問題は、積分時間を長くすることで解決できると考えられるが、時間の長さについてはさらなる検証が必要である。トレーサーとしての利用に向けた今後の課題として、更に多様な地域においてトロン測定を行い、地下水中のト

ロン濃度がどの程度の差を持つのかを確認する必要がある。また、海水中のトロン濃度なども測定し、地下水濃度との差も検証する必要がある。

参考文献

- Baskaran, M. (2011): Handbook of environmental isotope geochemistry, Advances in isotope geochemistry, Springer, Vol.1, 571p.
- Dimova, N., W. C. Burnett and D. L. Smith (2009): Improved automated analysis of radon (^{222}Rn) and thoron (^{220}Rn) in natural waters, Environmental science and technology, 43, 8599-8603.
- 小前隆美 (1995): ラドンの水循環解析への応用, Radio isotopes, 44, 715-724.
- Levia, D. F., D. C. Moses and T. Tanaka (2011): Forest hydrology and biogeochemistry –synthesis of past research and future directions, Ecological studies, Springer, 216, 740p.
- 永田俊・宮島利宏 (2008): 流域環境評価と安定同位体 –水循環から生態系まで–, 京都大学学術出版会, 476p.