

# 琉球大学学術リポジトリ

## 沖縄島の陸水中ラドン濃度

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理学部 公開日: 2015-11-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 富濱, まどか, 山入端, 茜, 古川, 雅英, Tomihama, Madoka, Yamanoha, Akane, Furukawa, Masahide メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/32494">http://hdl.handle.net/20.500.12000/32494</a>

## 沖縄島の陸水中ラドン濃度

富濱まどか・山之端茜・古川雅英\*

琉球大学理学部物質地球科学科地学系

### Radon Concentration of Inland Water in Okinawa Island, Japan

Madoka Tomihama, Akane Yamanoha and Masahide Furukawa\*

#### Abstract

As a part of study to estimate the background radiation level in Japan, radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) concentrations of inland waters collected from Okinawa Island, main island of Okinawa prefecture, were measured with a simple liquid scintillation counter. The radon is an alpha emitting natural radioactive element with half-life of 3.8 days originated from the decay of  $^{238}\text{U}$ . The arithmetic mean  $\pm$  standard deviation of the concentration of subsoil waters collected at 29 points was calculated to be  $23.1 \pm 6.3 \text{ Bq L}^{-1}$ . Relatively high concentrations of  $36 \text{ Bq L}^{-1}$  and  $43 \text{ Bq L}^{-1}$  were found in Motobu area, northwestern part of the island. Also the concentrations of ground water samples collected at 4 points in Gyokusen-dou, a limestone cave in the southern part of the island, were estimated to be ND ( $< 2.3 \text{ Bq L}^{-1}$ ) -  $4.6 \text{ Bq L}^{-1}$ .

#### 1. はじめに

沖縄島における湧水・地下水等の陸水に含まれるラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) 濃度を測定したので、その結果の概要を報告する。ラドンは、ウラン ( $^{238}\text{U}$ ) 壊変系列に属する天然放射性核種であり、 $\alpha$ 線を放出して壊変する半減期 3.8 日の放射性希ガスである。ラドンはあらゆる環境中に存在しており、岩石・土壌などから散逸したラドンが陸水にも含まれている。このため、ラドンを高濃度で含む湧水や井戸水を風呂・洗濯・水洗トイレ等に使用した場合、水から大気に移行したラドンが屋内ラドン濃度を高め、吸気による内部被曝(ひばく)を増大する要因の一つとなる。また、飲料水として利用した場合、経口摂取による内部被曝が生じる。これらの内部被曝には、ラドン壊変生成核種(子孫核種)によるものも含まれる。

したがって、陸水等の環境水に含まれるラドン濃度を把握しておくことは、放射線被曝による健康リスクを考える上で重要である。また、放射線防護の観点に加えて、地下水中ラドン濃度の変化を地震予知に利用できる可能性が指摘されている(Igarashi *et al.*, 1995; 五十嵐, 1996 など) ことや、地下水流動解析のトレーサーとしてラドンを利用できる(例えば堀内, 2000) ことなどから、ラドンは、地球科学的な観点からも環境中の濃度分布を把握しておくことが重要な天然放射性核種である。

28 地点で湧水を、1 地点で井戸水を採取した。採取地点を図 1 に示す。また、2012 年 10 月から 2013 年 1 月の間に、玉泉洞内の 4 地点(図 2)において地下流水を採取した。玉泉洞は、第四紀琉球石灰岩層中に形成された鍾乳洞である。採水は、観光洞として遊歩道が整備されている延長約 900 m の区間で行った。なお、洞内の地下流水の一部は雄桶(ゆひ)川から流れ込み、その下流(観光洞出口側)は雄樋川に合流している。

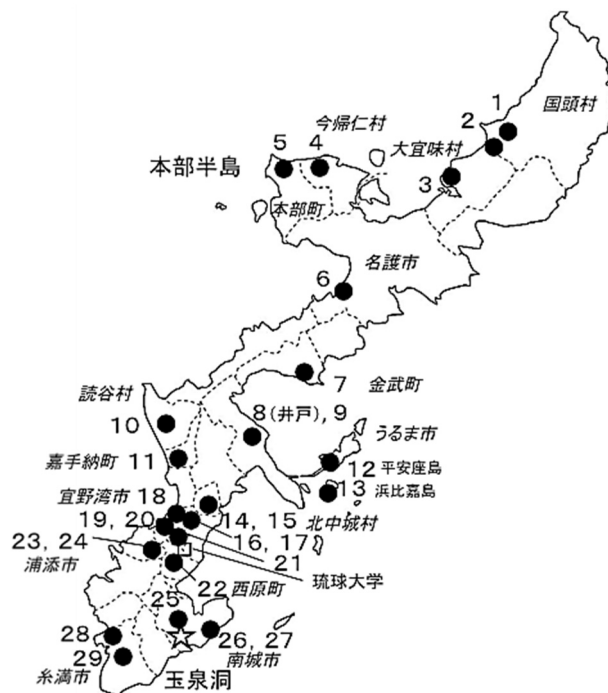


図 1 試料採取地点

#### 2. 試料採取と測定方法

2011 年 11 月から 2012 年 1 月の間に、沖縄島の

●: 湧水(8のみ井戸水), □: 水道水(琉球大学),  
☆: 鍾乳洞内の流水(玉泉洞)

\* m\_furu@sci.u-ryukyu.ac.jp

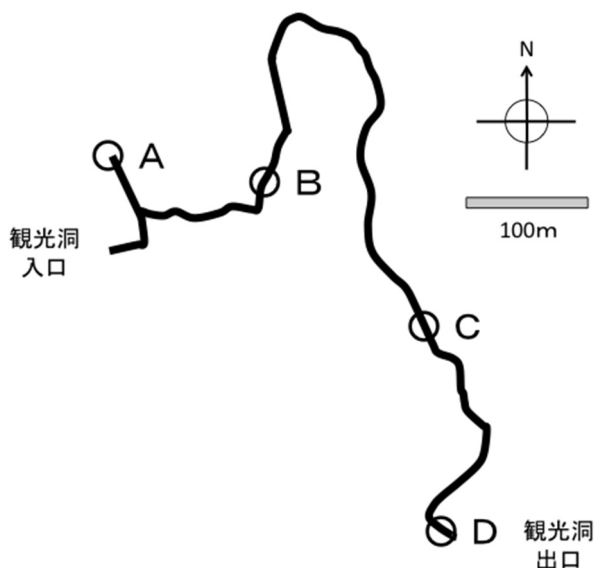


図2 玉泉洞内の試料採取地点 (A~D)

後述の簡易型液体シンチレーションカウンタによって水中ラドン濃度を測定するため、水試料の採取容器として、あらかじめ PerkinElmer 社のミネラルオイルシンチレータ 10 mL を入れた 20 mL ガラスバイアル（アルミ箔コートパッキンキャップ付、PerkinElmer 社）を各地点あたり 5 本用意した。現地において、ラドンの大気への移行を防ぐために、注射器によって採取した試料水 10 mL をバイアルの底に溜まるように（ミネラルオイルシンチレータの下になるように）注入した。これを研究室に持ち帰り、室温でバイアルを 30 秒間振とうし、ラドンを水試料からシンチレータに抽出した。振とう後は暗所にバイアルを保管し、放射平衡に達するまで、3 時間 12 分以上静置した。ただし、測定は半減期 3.8 日以内に行った。

ラドン濃度測定には、簡易型液体シンチレーションカウンタとして広く用いられている PerkinElmer 社の BetaScout を使用した。ラドン濃度の測定・算定は、安岡ほか (2011)、田中ほか (2011)、および Tanaka *et al.* (2013) に基づき、計数時間を 60 分、計数のチャンネル範囲を 3 区間 (30-1000 ch, 40-1000 ch, 50-1000 ch) に設定し、ラドン変換係数を  $4.5 \pm 0.2 \text{ cps Bq}^{-1}$  として積分バイアス法により行った。なお、ここで使用した簡易型測定器と高精度液体シンチレーションカウンタ (PerkinElmer 社 2300TR など) との比較測定では、両者によるラドン濃度値は  $\pm 10\%$  の誤差範囲内で一致し、簡易型測定器の検出限界値は  $2.3 \text{ Bq L}^{-1}$  と評価されてい

る (安岡ほか, 2011; 田中ほか, 2011)。

以上に加えて、測定器のバックグラウンドを評価するため、琉球大学の水道水とミネラルオイルシンチレーを混和したものを用意し、1 週間 (2 半減期) 以上静置した後に測定に供した。バックグラウンド値の評価は、現時点では不十分であるが、これを試料水測定値から差し引いた。

### 3. 結果と考察

湧水および井戸水のラドン濃度測定結果を表 1 に示す。28 地点 (図 1) における湧水のラドン濃度範囲は、 $15.4 \text{ Bq L}^{-1}$  (地点 22・西原町) ~  $43.4 \text{ Bq L}^{-1}$  (地点 5・本部町) であった。うるま市の湧水採取地点 9 の近傍に所在する地点 8 の井戸で得た試料 ( $22.5 \text{ Bq L}^{-1}$ ) を加えた計 29 地点における試料

表 1 湧水・井戸水試料のラドン濃度

試料採取 地点番号	市町村	ラドン濃度 ( $\text{Bq L}^{-1}$ )
		算術平均値 ± 標準偏差
1	国頭村 奥間	$21.6 \pm 0.5$
2	国頭村 浜	$20.2 \pm 0.8$
3	大宜味村 根路銘	$20.4 \pm 0.8$
4	今帰仁村 今泊	$36.3 \pm 1.0$
5	本部町 具志堅	$43.4 \pm 1.3$
6	名護市 許田	$17.2 \pm 0.5$
7	金武町 金武	$23.1 \pm 0.4$
8	うるま市 川崎(井戸水)	$22.5 \pm 0.3$
9	うるま市 川崎	$23.5 \pm 0.3$
10	読谷村 伊良皆	$27.7 \pm 0.5$
11	嘉手納町 屋良	$19.5 \pm 0.6$
12	うるま市 平安座島	$29.7 \pm 0.8$
13	うるま市 浜比嘉島	$17.8 \pm 1.3$
14	北中城村 大城門(1)	$28.5 \pm 0.7$
15	北中城村 大城門(2)	$17.3 \pm 0.6$
16	宜野湾市 喜友名	$22.1 \pm 1.0$
17	宜野湾市 野嵩(1)	$30.0 \pm 1.7$
18	宜野湾市 野嵩(2)	$21.6 \pm 0.8$
19	宜野湾市 真志喜	$24.3 \pm 1.7$
20	宜野湾市 大謝名	$17.6 \pm 0.6$
21	宜野湾市 我如古	$18.3 \pm 1.2$
22	西原町 森川	$15.4 \pm 1.4$
23	浦添市 安波茶	$26.8 \pm 1.3$
24	浦添市 仲間	$21.7 \pm 0.8$
25	南城市 船越	$19.0 \pm 0.6$
26	南城市 垣花	$17.9 \pm 0.5$
27	南城市 仲村渠	$18.1 \pm 0.7$
28	糸満市 潮平	$20.3 \pm 1.0$
29	糸満市 大里	$26.6 \pm 0.4$
算術平均値 ± 標準偏差		$23.1 \pm 6.3$

水中ラドン濃度の算術平均値±標準偏差は、 $23.1 \pm 6.3 \text{ Bq L}^{-1}$ となった。

地点によって  $20 \text{ Bq L}^{-1}$  以上の差異が認められるが、本部半島（図 1）に所在する比較的高い濃度の地点 4（今帰仁村）と地点 5（本部町）を除けば、沖縄島における湧水のラドン濃度は、地域による差異が小さいと考えられる。

沖縄島では、友寄ほか（1997）によって、16カ所で採取された湧水のラドン濃度が、Ge半導体検出器を用いたγ線スペクトロメトリーによって定量されている。その算術平均値は  $16.1 \text{ Bq L}^{-1}$ 、濃度範囲は  $5.4 \sim 33.0 \text{ Bq L}^{-1}$  である。これに較べて本研究の結果は概して高めであるが、西原町の地点 22 の測定値  $15.4 \pm 1.4 \text{ Bq L}^{-1}$  は、同一の湧水から得たと考えられる友寄ほか（1997）の値  $12.8 \pm 1.2 \text{ Bq L}^{-1}$  と概ね一致している。また、友寄ほか（1997）の最大値  $33.0 \text{ Bq L}^{-1}$  は、本研究でも最大値（ $43.4 \text{ Bq L}^{-1}$ ）を測定した本部町の湧水で得られたものである（ただし同一の湧水であるかは未確認）。なお、本部半島の湧水が比較的高いラドン濃度を呈する原因として、友寄ほか（1997）は、湧水中のラドン/ラジウム（ $^{226}\text{Ra}$ ）比が他域よりも高いことから、地下水の岩石との接触時間が長い、もしくは岩石からのラドンの溶出率が他域に比べて高い可能性を指摘している。

玉泉洞内の流水のラドン濃度測定結果は、地点 A と B は検出限界値（ $2.3 \text{ Bq L}^{-1}$ ）未満であり、地点 C と地点 D の算術平均値±標準偏差はそれぞれ  $4.2 \pm 2.6 \text{ Bq L}^{-1}$  と  $3.3 \pm 1.6 \text{ Bq L}^{-1}$  であった。したがって、標準偏差も考慮すると、玉泉洞内における流水のラドン濃度は  $10 \text{ Bq L}^{-1}$  を超えることはないかと推定される。前述の湧水に比べて低い値となった原因として、大気との接触によりそもそも低濃度である河川水が流入していることと、洞内における地形的段差を流下する際にさらにラドンが洞内大気に移行しているためであると推定される。

玉泉洞内流水のラドン濃度に関する報告例はこれまでにないが、玉泉洞周辺を含む沖縄島南部については、液体シンチレーションカウンタ（Packard BioScience 社 Tri-Carb 2250CA）で測定された 19カ所における湧水・地下水のラドン濃度が報告されている（Yoshimoto, 2013）。その平均値は  $4.6 \text{ Bq L}^{-1}$ 、濃度範囲は  $0.6 \sim 13.5 \text{ Bq L}^{-1}$  であり、沖縄島南部の陸水中ラドン濃度が他域と比べて低い可能性が示

唆される。

ちなみに、玉泉洞内の大気中ラドン濃度については Tanahara *et al.* (1997)、棚原ほか（1997）による研究がある。これらによれば、冬季は約  $100 \text{ Bq m}^{-3}$  を最低値として  $540 \text{ Bq m}^{-3}$  程度で安定しているが、夏季は洞内の空気密度が洞外に比べて相対的に大きくなることと、しばしば南風（外気）が観光洞出口に流入するため（特に風速  $7 \text{ m/s}$  以上の場合）、 $36 \text{ Bq m}^{-3}$  から高濃度の  $8,000 \text{ Bq m}^{-3}$  まで大きく変動している。いずれにしても、日本の屋外大気中ラドン濃度の年間平均値が  $6.1 \text{ Bq m}^{-3}$ （Oikawa *et al.*, 2003）であるのに対し、玉泉洞内の大気中濃度は顕著に高い。洞内大気中ラドン濃度を高める要因については今後、流水から洞内大気へのラドン移行量の推定、洞内滴下水に含まれるラドン濃度の定量と滴下水から洞内大気へのラドン移行量の推定、洞内堆積物のラドン散逸率測定などを行い、考究を深める必要があると考えられる。

#### 謝辞

神戸薬科大学アイソトープ実験施設の安岡由美講師から、水中ラドン濃度測定に関して多くの教示を得ました。また、玉泉洞を管理する株式会社南都の協力を得ました。特に、同社おきなわワールド営業部の大岡素平氏には現地でお世話になりました。記して謝意を呈します。

#### 引用文献

- 堀内公子（2000）水文学におけるラドン. 下道國・山田裕司 編, ラドン、その人間への影響まで, 放医研環境セミナーシリーズ, No.27 (ISSN 1343-0769), 22-30, 放射線医学総合研究所, 千葉.
- 五十嵐丈二（1996）地震に関連した地下水の水位・ラドン濃度変化のいくつかの特徴と地震予知の可能性. 地球化学, **30**, 1-16.
- Igarashi G, Saeki S, Takahata N, Sumikawa K, Tasaka S, Sasaki Y, Takahashi M and Sano Y (1995) Ground-Water Radon Anomaly before the Kobe Earthquake in Japan. *Science*, **269**, 60-61.
- Oikawa S, Kanno N, Sanada T, Ohashi N, Uesugi M, Sato K, Abukawa J and Higuchi H (2003) A Nationwide Survey of Outdoor Radon Concentration in Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, **65**, 203-213.

- 棚原朗, 伊波秀敏, 平良初男 (1997) 沖縄県玉泉洞におけるラドン濃度の季節変動要因. 洞窟学雑誌, **22**, 98-105.
- Tanahara A, Taira H and Takemura M (1997) Radon Distribution and the Ventilation of a Limestone Cave on Okinawa. *Geochemical J.*, **31**, 49-56.
- 田中里沙, 荒木沙織, 安岡由美, 向高弘, 大沼章子, 堀内公子, 滝沢英夫, 石川徹夫, 床次眞司, 福堀順敏, 杉原眞司, 古川雅英 (2011) High Efficiency Mineral Oil (ミネラルオイルシンチレータ) による水中ラドン直接測定法 (2層) の検討2. 第64回日本温泉学会大会講演要旨集, 81-82.
- Tanaka R, Araki S, Yasuoka Y, Mukai T, Ohonuma S, Ishikawa T, Fukuhori N and Sanada T (2013) A Simplified Method for Improved Determination of Radon Concentration in Environmental Water Samples. *Radioisotopes*, **62**, 423-438.
- 友寄喜貴, 棚原朗, 武村盛久, 渡口輝, 平良初男 (1997) 沖縄本島における湧水中の天然放射性核種について. 地球化学, **31**, 227-233.
- 安岡由美, 田中里沙, 荒木沙織, 向高弘, 大沼章子, 堀内公子, 滝沢英夫, 石川徹夫, 床次眞司, 福堀順敏, 杉原眞司, 後藤稔男, 尾上昌平, 片岡賢英, 横田繁昭 (2011) High Efficiency Mineral Oil (ミネラルオイルシンチレータ) による水中ラドン直接測定法 (2層) の検討1. 第64回日本温泉学会大会講演要旨集, 79-80.
- Yoshimoto S (2013) Dynamics of Groundwater Nitrates in Limestone Aquifer of the Southern Okinawa Island. *Bulletin of the National Institute for Rural Engineering*, **52**, 59-110.