

地下水中の原位置ラドン測定手法に関する研究 (継続)

(核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書)

2002年3月

岐阜大学生涯学習教育研究センター
田阪 茂樹

要 旨

岐阜大学生涯学習教育研究センター 田阪 茂樹

ラドン濃度の原位置測定では、水中ラドン濃度と空气中ラドン濃度の観測とともに、モニタリング孔の水位や雨量、風速、積雪量の観測も大切である。ラドン観測情報ネットワークシステムは、ラドン濃度が規制値以上を記録したときの早期発見の危機管理にも応用でき、長期的な安全確認のためのモニタリングシステムとしては最適である。季節変動や気象状況に起因する、空气中、水中ラドン濃度の予測についても、十分に対応できるシステムである。

水中ラドン濃度の原位置測定するために、2種類の水中ラドン計が開発された。水中投入型と地上設置型の水中ラドン計である。また、室内ラドン濃度測定に適した小型空气中ラドン計と、屋外ラドン濃度を測定するための高感度の大型空气中ラドン計が使用された。

屋内ラドン濃度は、冬期に観測小屋が雪に埋もれて、7,000(Bq/m³)まで上昇することが判明した。露天採掘場跡地の屋外ラドン濃度は、明け方、風速が秒速0.5m以下になると、ラドン濃度は200(Bq/m³)まで高くなることがわかった。屋外月平均ラドン濃度は約50(Bq/m³)と比較的に高くなつた。

No.18 モニタリング孔の水中ラドン濃度は、冬期の2月～3月は約20(Bq/l)と高く、夏季の7月～8月は5(Bq/l)で低い。No.19 モニタリング孔の水中ラドン濃度は、1月から8月の期間は20(Bq/l)と比較的低く、8月から1月の期間は50(Bq/l)と上昇している。No.5 モニタリング孔の水中ラドン濃度は、夏季の7月～8月のラドン濃度は数(Bq/l)と低く、冬期の12月～1月のラドン濃度は35(Bq/l)と高い傾向を示している。No.23 モニタリング孔の水中ラドン濃度は8月は53(Bq/l)と低く、4月は565(Bq/l)と高い。この観測値は4ヶ所のモニタリング孔の中で最高のラドン濃度を示した。

雨量と水位の変動データの解析結果から、No.23 モニタリング孔においては、地下水水流動が小さく、その結果、水中ラドン濃度の増加が予想される。水位とラドン濃度の変動は密接に関係しており、夜次露天採掘場跡地の中心部では、水位が高い程、水中ラドン濃度は低くなっている。逆に、跡地の下流部では、水位が高くなると、水中ラドン濃度は高くなっている。この観測結果から、水中ラドン濃度変動は地下水水流動と強く関係していることが考察された。

目 次

要 旨

1. 研究目的	1
2. 夜次露天採掘場跡地及び周辺におけるモニタリング	1
2-1. 観測施設と観測機器	1
2-2. 夜次露天採掘場跡地周辺モニタリング試錐孔	5
3. 空気中ラドン計	6
3-1. 小型空気中ラドン計	6
3-2. 大型空気中ラドン計	7
4. 水中ラドン計	10
4-1. 水中投入型水中ラドン計	10
4-2. 地上設置型水中ラドン計	13
5. ラドン観測情報のネットワーク化	16
6. 空気中ラドン濃度観測結果	20
6-1. 第1プレハブ観測小屋内の空気中ラドン濃度	20
6-2. 第2プレハブ観測小屋内の空気中ラドン濃度	20
6-3. 第2プレハブ観測小屋周辺の屋外空气中ラドン濃度	23
6-4. No.5 モニタリング孔における空气中ラドン濃度	26
6-5. No.5 モニタリング孔における空气中ラドン濃度	26
7. 水中ラドン濃度観測結果	28
7-1. No.19 モニタリング孔内の水中ラドン濃度	28
7-2. No.5 モニタリング孔内の水中ラドン濃度	29
7-3. No.23 モニタリング孔内の水中ラドン濃度	30
7-4. No.18 モニタリング孔内の水中ラドン濃度	31
7-5. No.23 と No.5 モニタリング孔の標高水位と雨量	32
7-6. モニタリング孔のラドン濃度と標高水位	35
8. モニタリング技術の検討	36
9. まとめ	37

9-1. 水中ラドン計	38
9-2. 空気中ラドン計	39
9-3. ラドン観測情報ネットワークシステムの開発	39
9-4. 空気中ラドン濃度の測定結果	40
9-5. 水中ラドン濃度の測定結果	40
参考文献	41

図 目 次

図1 夜次露天採掘場跡地周辺モニタリング試錐孔配置図	2
図2 静電捕集容積が1リットルの空気中ラドン計の構造図	6
図3 小型空気中ラドン計の校正実験結果	8
図4 静電捕集容積70リットルの大型空気中ラドン計の構造図	9
図5 水中投入型の水中ラドン計の構造図	11
図6 第2プレハブ内の水中ラドン濃度連続測定システムの設置概略図	14
図7 地上設置型水中ラドン計の構造図	15
図8 人形峠ラドンデータ表示システム	18
図9 ラドン観測システムとネットワークシステムの概要	19
図10 No.17モニタリング孔横の第1プレハブ観測小屋内ラドン濃度	21
図11 2001年度の積雪量とラドン濃度の変化	21
図12 第1プレハブ観測小屋構造図	22
図13 第1プレハブ観測小屋の床面と地面との距離の測定結果	22
図14 No.19モニタリング孔の第2プレハブ観測小屋内ラドン濃度	23
図15 夜次露天採掘場跡地の屋外ラドン濃度	24
図16 夜次露天採掘場跡地の屋外ラドン濃度と風速の比較	24
図17 夜次露天採掘場跡地の屋外ラドン濃度と風速の相関図	25
図18 No.5モニタリングポストの屋外空气中ラドン濃度	27
図19 No.23モニタリングポストの屋外空气中ラドン濃度	27
図20 夜次採掘場跡地No.19モニタリング孔における水中ラドン濃度	28
図21 夜次採掘場跡地No.5モニタリング孔における水中ラドン濃度	29
図22 夜次採掘場跡地No.23モニタリング孔における水中ラドン濃度	30

図23 夜次採掘場跡地No.18モニタリング孔における水中ラドン濃度	32
図24 No.5とNo.23モニタリング孔の標高水位変動	34
図25 No.5とNo.23モニタリング孔の標高水位と雨量の比較	34
図26 No.19モニタリング孔の標高水位とラドン濃度の変動	35
図27 No.2とNo.5モニタリング孔の標高水位とラドン濃度	36

写 真 目 次

写真1 No.17モニタリング孔のラドン観測用第1プレハブ観測小屋	3
写真2 No.19モニタリング孔のラドン観測用仮設第2プレハブ観測小屋	3
写真3 No.23モニタリング孔のラドン観測用モニタリングポスト	4
写真4 No.5モニタリング孔のラドン観測用モニタリングポスト	4

表 目 次

表1 夜次露天採掘場跡地周辺モニタリング試錐孔の観測項目と口元標高	5
表2 小型空気中ラドン計の校正係数	7
表3 水中投入型水中ラドン計の設置状況	10
表4 水中投入型水中ラドン計の校正実験結果	13
表5 地上設置型水中ラドン計の校正実験結果	14
表6 ラドン観測情報ネットワーク上の各種コンピューター	16
表7 No.17モニタリング孔の第1プレハブ観測小屋内の月平均ラドン濃度	20
表8 No.19モニタリング孔の第2プレハブ観測小屋内の月平均ラドン濃度	23
表9 夜次露天採掘場跡地の月平均屋外ラドン濃度	25
表10 No.5モニタリングポストでの月平均空気中ラドン濃度	26
表11 No.23モニタリングポストでの月平均空気中ラドン濃度	26
表12 No.19モニタリング孔の月平均水中ラドン濃度	28
表13 No.5モニタリング孔内の月平均水中ラドン濃度	29
表14 No.23モニタリング孔内の月平均水中ラドン濃度	30
表15 No.18モニタリング孔内の月平均水中ラドン濃度	31
表16 No.23とNo.5モニタリング孔の日雨量と標高水位変化の割合	33

地下水中の原位置ラドン測定手法に関する研究（継続）

岐阜大学生涯学習教育研究センター

田阪 茂樹

1. 研究目的

本研究は、鉱山の跡措置を進めていく際、又はその後のモニタリングを連続的に行う上で欠かすことのできないものである。平成8年度から12年度まで地下水中のラドンの挙動を解明する目的で開発した測定装置を用いて、人形峠環境技術センター構内の夜次露天採掘場跡地及び周辺モニタリング孔において、ラドン変動に関するデータを連続測定し、集積してきた。

本年度は、モニタリング孔でのデータの集積を継続して行い、捨石からのラドンの溶出やラドン濃度の季節変動について観測するとともに、測定装置の信頼性を確認する他、今後の鉱山の跡措置を進めていく上で重要となるモニタリング技術等について基本的な考え方の検討を行うものである。

夜次露天採掘場及び周辺のモニタリング孔で長期におけるラドン変動に関するデータを継続して観測、集積し、変動影響について評価する。

2. 夜次露天採掘場跡地及び周辺におけるモニタリング

2-1. 観測施設と観測機器

夜次露天採掘場跡地及び周辺のモニタリング孔における観測施設は4ヶ所に存在する。図1は夜次露天採掘場跡地周辺モニタリング試錐孔配置図で、写真1、2、3、4は観測施設を示す。No.17モニタリング孔の横にはラドン観測用第1プレハブが設置されている。No.5とNo.23モニタリング孔にも簡易型ラドン観測用モニタリングポストが設置されている。

写真1はNo.17とNo.18モニタリング孔の横のラドン観測用第1プレハブである。ここには観測機器として、ルータ、ハブ、計測用パソコン、データロガー、ラドン計用アンプ電源、U P S装置、光信用変換器が設置されている。ルータはISDN回線を通じて、環境計画課と岐阜大学のネットワークに接続されている。

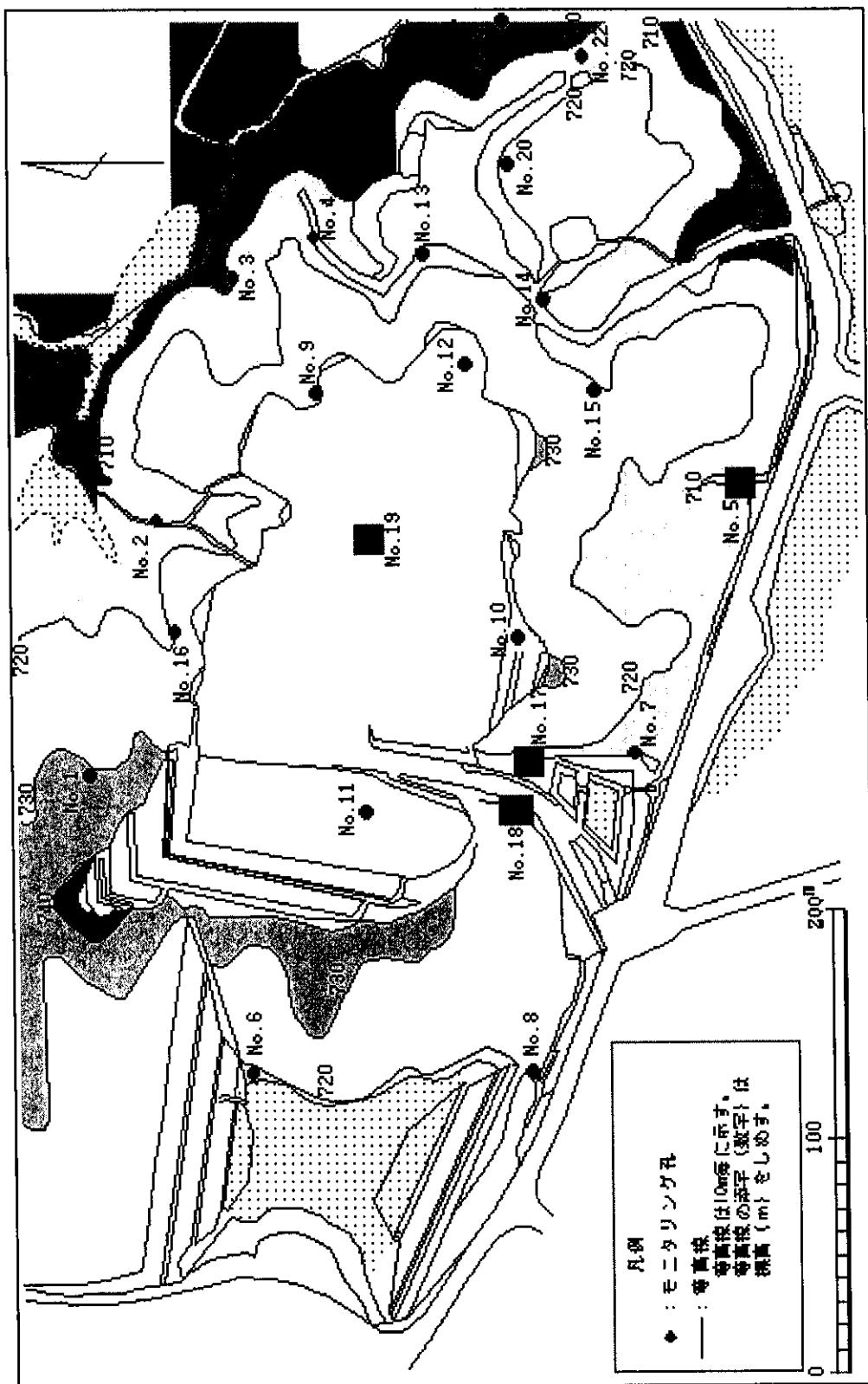


図1 夜次露天採掘場跡地周辺モニタリング試錐孔配置図

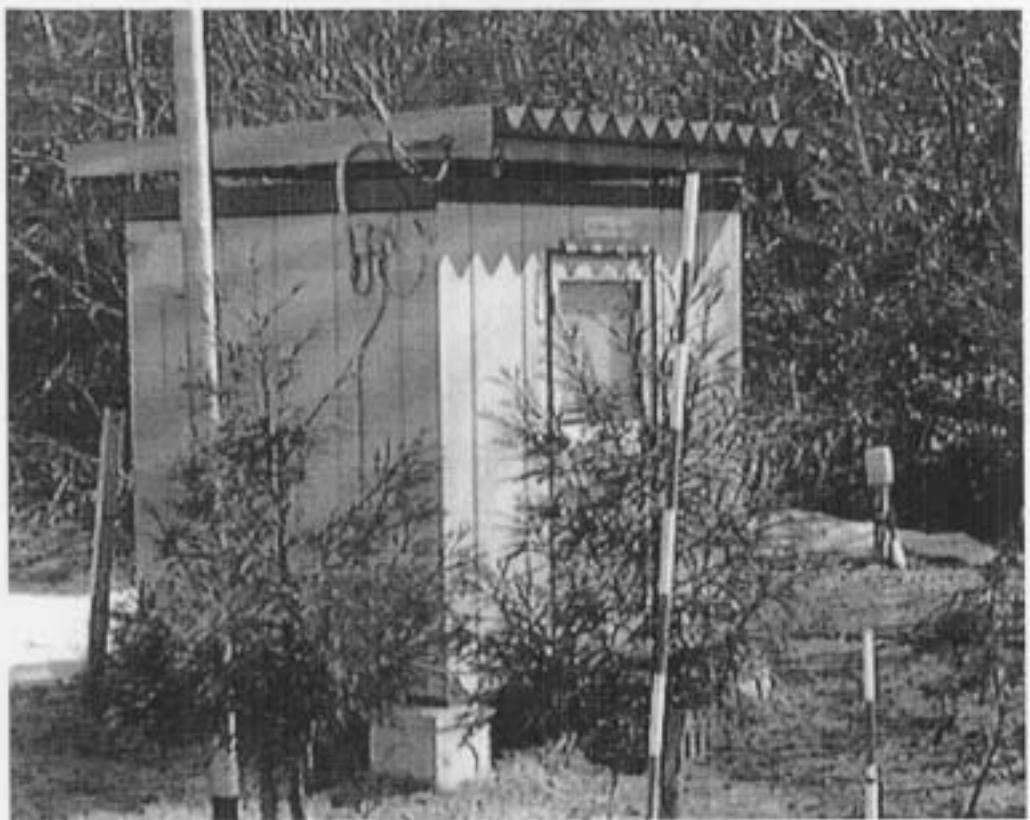


写真1 No. 17 モニタリング孔のラドン観測用第1プレハブ観測小屋



写真2 No. 19 モニタリング孔のラドン観測用仮設第2プレハブ観測小屋

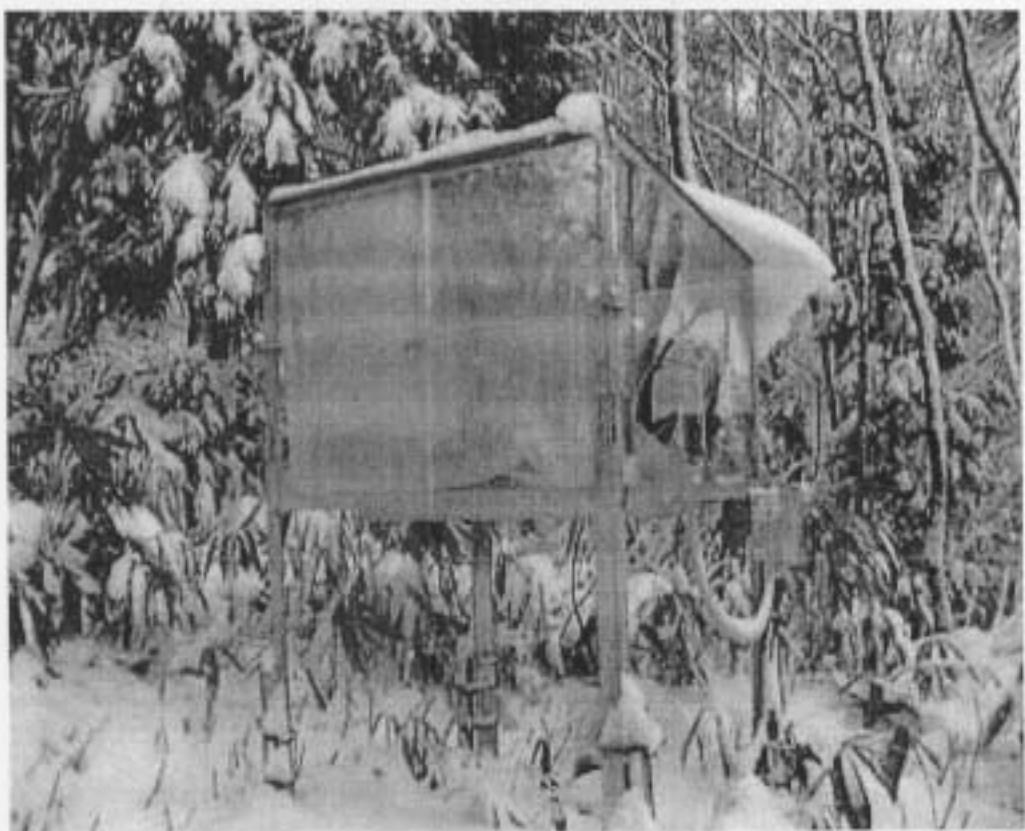


写真3 No. 23 モニタリング孔のラドン観測用モニタリングポスト



写真4 No. 5 モニタリング孔のラドン観測用モニタリングポスト

写真2はNo.19モニタリング孔のラドン観測用仮設第2プレハブを示す。計測用パソコン、データロガー、ラドン計用アンプ電源装置、精密水温計データロガー、UPS装置が設置されている。アンプ電源装置にはPINフォトダイオード用のバイアス電池(-120V)が入っていて、静電捕集電圧用としても使用されている。大気中ラドン濃度測定の高感度ラドン計用の高圧電源装置、除湿装置とフィルターホルダーがある。水中ラドン計のヒータ線用変圧器と流量表示器があり、水中ポンプ用の電源ボックスもある。また、近くには気象観測用のモニタリングポストが設置されており、そのデータ収集用のデータロガー装置が設置されている。

写真3はNo.23モニタリング孔の簡易型ラドン観測用モニタリングポストを示す。計測用パソコン、データロガー、ラドン計用アンプ電源装置、精密水温計用データロガー、UPS装置、光信用変換器が設置されている。

写真4はNo.5モニタリング孔の簡易型ラドン観測用モニタリングポストを示す。計測用パソコン、データロガー、ラドン計用アンプ電源装置、精密水温計用データロガー、UPS装置、光信用変換器が設置されている。

2-2. 夜次露天採掘場跡地周辺モニタリング試錐孔

表1には、各モニタリング試錐孔での観測項目、口元標高、掘進長、孔径のデータを示す。

試錐孔	観測項目	口元標高(m)	掘進長(m)	孔径(mm)
No.10	水位	725.077	30	30
No.19	ラドン・水位・水温	725.48	40	100
No.18	ラドン	720.502	10	75
No.17	水位・水温	719.976	25	75
No.5	ラドン・水位・水温	709.337	10	75
No.23	ラドン・水位・水温	704.26	14.4	75

表1 夜次露天採掘場跡地周辺モニタリング試錐孔の観測項目と口元標高

水中ラドン濃度の観測はNo.19、No.18、No.23、No.5の4ヶ所で実施している。モニタリング孔の標高差は、No.19の725.48(m)とNo.23の704.26(m)において20.5(m)である。また、空気中ラドン濃度の観測はNo.18、No.19ではプレハブ内の屋内ラドン濃度を測定して、No.19、No.23、No.5では屋外の空気中ラドン濃度測定を実施している。

3. 空気中ラドン計

3-1. 小型空気中ラドン計

静電捕集容積が1リットルの小型空気中ラドン計は、No. 17モニタリング孔の第1プレハブ、No. 19モニタリング孔の仮設第2プレハブ、No. 23モニタリングポスト、No. 5モニタリング孔のモニタリングポストの4ヶ所に設置されている。第1プレハブと仮設第2プレハブ内に設置されており、屋内ラドン濃度を測定している。No. 23とNo. 5モニタリング孔の2ヶ所のモニタリングポストは密閉性がほとんどないので、屋外のラドン濃度を測定していると考えられる。図2にはラドン計の構造図を示す。ステンレス製で、上部にアンプモジュール、PINフォトダイオード(PD)、ポリエチレン製フィードスルーが装着されている。下部には遮光用暗幕、メンブレンフィルター、ステンレス製メッシュがフランジによって取り付けられている。特に重要なことは、ステンレス製メッシュを内側に、メンブレンフィルターを外側にセットすることである。

静電捕集容積1リットルの空気中ラドン計の校正実験は安全管理課のラドン校正設備を用いて行われた。同型の8台のラドン計が校正チェンバー内に設置されて、チェンバー内の校正環境は相対湿度60%、気温20°C、ラドン濃度1000Bq/m³に制御された。1998年1月12

日13時25分にラドンガスを注入して、

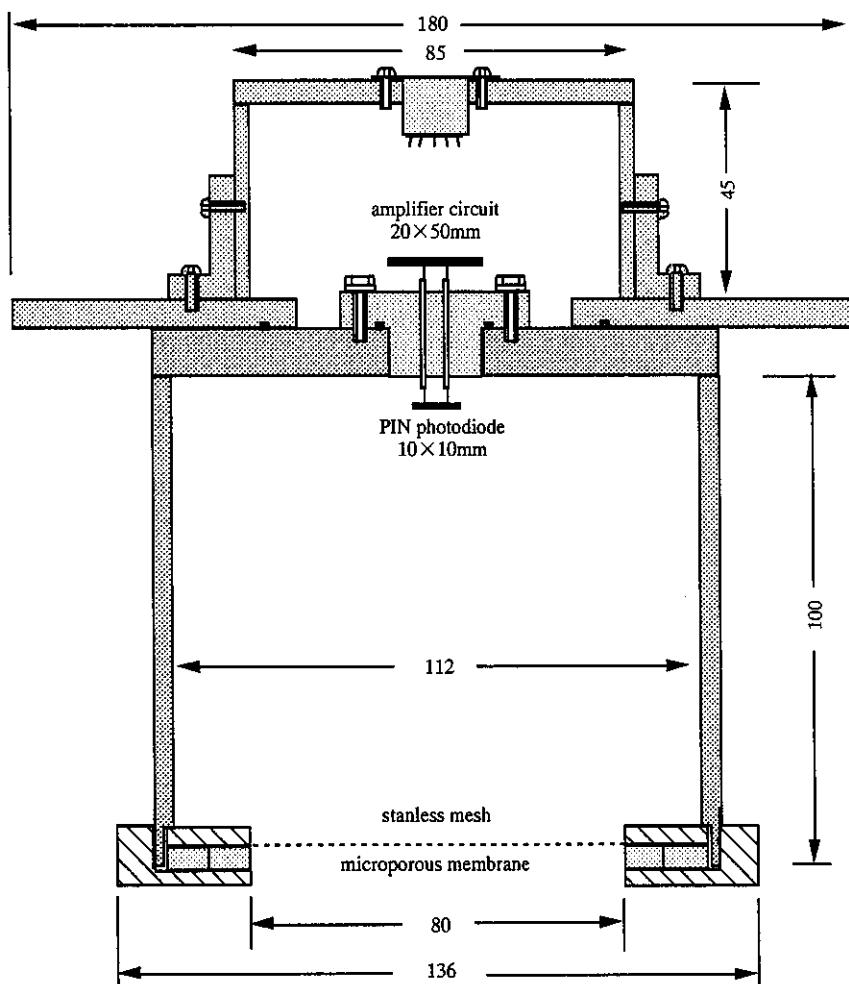


図2 静電捕集容積が1リットルの空気中ラドン計の構造図

1月 22日 11時10分にラドンガスを排気した。チェンバー内のラドン濃度は、校正実験中に5回、チェンバー内のラドンガスのサンプリングをして、電離箱で濃度を測定した。電離箱は、国際校正基準機関のオーストラリア放射線研究所における、国際比較校正実験でその濃度誤差が、1.5%程度であることが確認されている。したがって、ラドン濃度校正の原器として、この電離箱を用いている。8台のラドン検出器で測定された²¹⁸Poと²¹⁴Poのカウント数の減衰は、²²²Rnの3.8日の半減期の減衰曲線と良く一致した。図3には小型空气中ラドン計の校正実験結果を示す。校正実験で使用された8台のラドン検出器で観測されたラドン娘核種のカウント数の平均値と、電離箱で測定したラドン濃度を示す。8台のラドン検出器の校正係数を表2である。

検出器番号	校正係数	
	(Bq/m ³) / (²¹⁸ Po/h)	(Bq/m ³) / (²¹⁴ Po/h)
検出器 1	4.37 ± 0.11	3.28 ± 0.04
検出器 2	4.13 ± 0.15	3.13 ± 0.04
検出器 3	4.63 ± 0.04	3.42 ± 0.11
検出器 4	4.50 ± 0.14	3.26 ± 0.11
検出器 5	4.12 ± 0.14	2.97 ± 0.05
検出器 6	4.10 ± 0.13	3.38 ± 0.11
検出器 7	3.98 ± 0.09	2.94 ± 0.10
検出器 8	4.35 ± 0.11	3.40 ± 0.07
平均値	4.27 ± 0.03	3.21 ± 0.03

表2 小型空气中ラドン計の校正係数

また、この検出器の湿度特性については、RADIOISOTOPES, 43, 741-752(1996)「小型ラドンデータロガーの開発」に記述されているように、絶対湿度が5.6g/m³以上では検出効率がほぼ一定である。本研究では、この校正実験で²¹⁴Poのカウント数より得られた、下記の校正係数を使用している。

小型空气中ラドン計の校正係数 : 3.21 ± 0.03 (Bq/m³) / (²¹⁴Po/h)

3-2. 大型空气中ラドン計

静電捕集容積が70リットルの大型空气中ラドン計は、No. 19モニタリング孔の仮設第

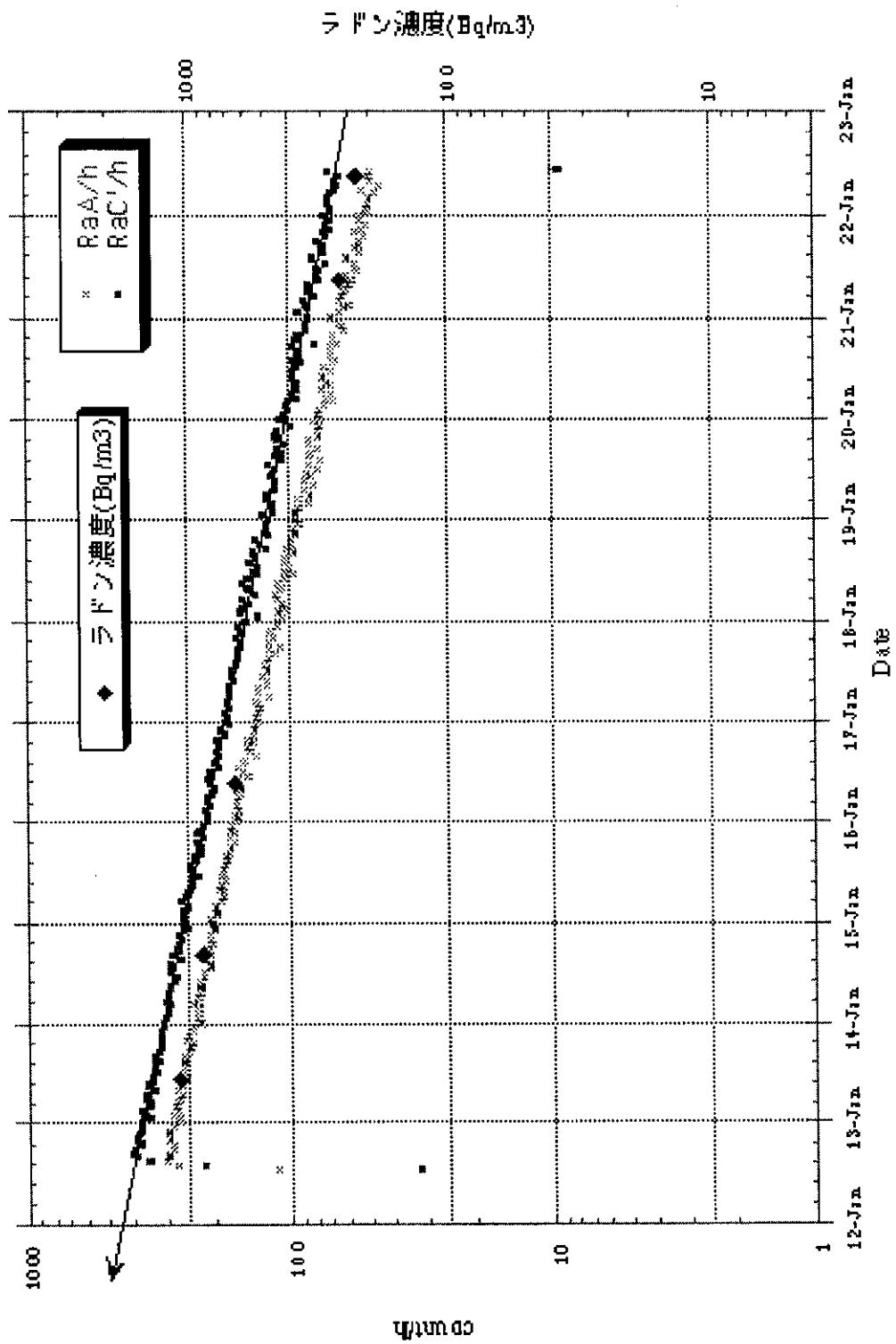


図3 小型空气中ラドン計の校正実験結果。8台のラドン検出器で観測されたラドン娘核種のカウント数の平均値と、電離箱で測定したラドン濃度を示す。直線は ^{222}Rn の3.8日の半減期の減衰曲線である

2プレハブ内に設置されている。屋外空気は毎分約4.5リットルで取り込まれ、 $0.8 \mu\text{m}$ のメンプランフィルターでダストをトラップし、除湿装置で相対湿度15~25%に除湿した後、ラドン計へ送り込まれている。ラドン計の入り口部には湿度計があり、常時モニターされている。図4には70リットル大型空気用ラドン計の構造図を示す。ステンレス製で、上部に高電圧分割回路モジュール、アンプモジュール、PD、セラミックス製フィードスルーが装着されている。PDには高圧電源装置からの-1500Vの静電捕集電圧が高電圧分割回路モジュールに入力されて、抵抗分割されて-120Vのバイアス電圧がPDのpn層間にかけられている、またp層には-1500Vの静電捕集電圧がかけられている。このラドン計の校正実験は岐阜大学で行われた、実験結果はRADIOISOTOPES, 46, 710-719(1997)「静電捕集型超高感度空气中ラドン検出器の開発」に掲載されている。本研究では、この論文の実験結果である、下記の校正係数を使って屋外のラドン濃度を求めている。

大型空气中ラドン計の校正係数 : $0.0328 (\text{Bq}/\text{m}^3) / ({}^{214}\text{Po}/\text{h})$

大型空气中ラドン計は小型空气中ラドン計と比較して約100倍の感度を有する。また、本ラドン計は、相対湿度が約15%以上で、湿度依存性がほとんど見られなかった。

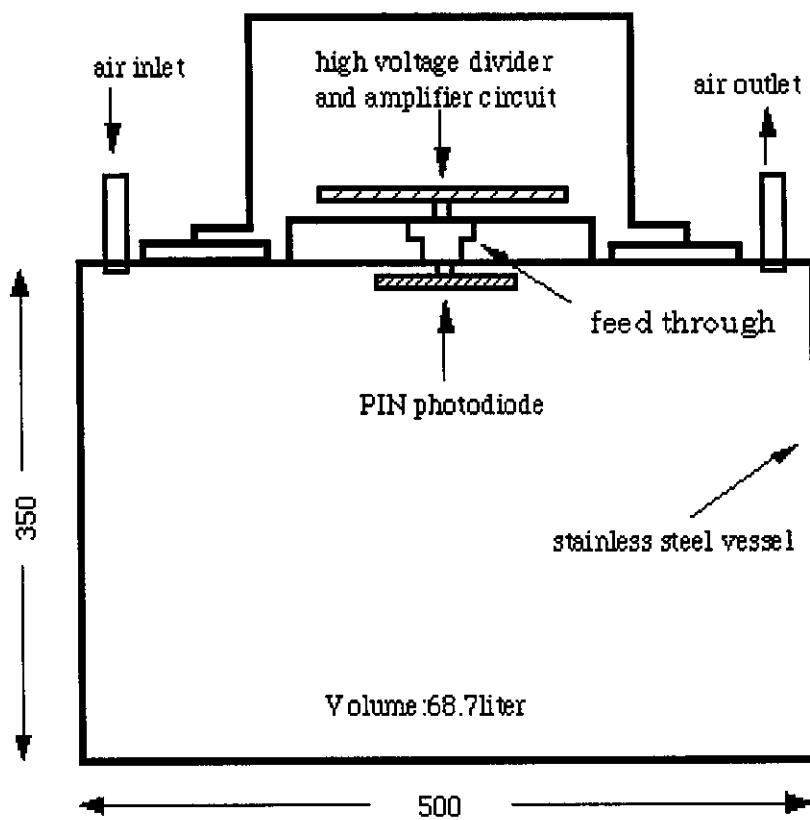


図4 静電捕集容積70リットルの大型空气中ラドン計の構造図

4. 水中ラドン計

4-1. 水中投入型水中ラドン計

今回製作したのは、従来のラドン検出器に機能性ガス分離膜を取り付け、水中に沈めた状態で水中ラドン濃度を測定することができるような水没型の原位置水中ラドン検出器である。人形峠環境技術センターにおいて地下水のラドン観測をするにあたって次のような条件を満たした検出器でなければいけない。

- 1) 持ち運びが容易にでき、口径 75mm のモニタリング孔に投入可能である。
- 2) A C 電源等の設備の整っていない屋外でも測定ができる。
- 3) 1 カ月以上の長期間にわたって自動車用鉛蓄電池を使って連続測定ができる。

水中投入型水中ラドン計は 3ヶ所の No. 18、No. 23、No. 5 モニタリング孔に設置されている。設置状況の詳細な説明は平成 10 年度の研究報告に記述されている。水中投入型水中ラドン計は表 3 のような設置条件で水中に設置された。水深約 2m の水中に投入された。

試錐孔	口元からの設置点 (m)	水深 (m)	口元標高 (m)
No. 18	2.68	1.0	720.502
No. 5	4	2.31	709.337
No. 23	5	2.07	704.26

表 3 水中投入型水中ラドン計の設置状況

検出器はステンレス容器、PD、アンプモジュール、フィードスルー、焼結金属フィルター、防水コネクタ、機能性ガス分離膜、ケーブルリールより成る。PD は浜松フォトニクス（株）製のパシベーション付ペアーチップタイプの型番「S3590-06」である。検出面積は 9 × 9mm、厚さ 500 μ m のものを使用した。容器の検出部の容積は 116 (ml)、容器の開口部の面積は 2.7cm²、静電捕集電圧は -120V である。ケーブルリールは深井戸に沈めるため 160m の長さがある。図 5 には水中投入型水中ラドン計の構造図を示す。

この水中ラドン検出器は深井戸内の地下水に沈めると水圧がかかることになる。さらに長期にわたって水没させるため、長期間機能膜に負担をかけ続けることになり、膜が損傷する恐れがある。これらによる機能性分離膜の損傷、および水漏れを防ぐため

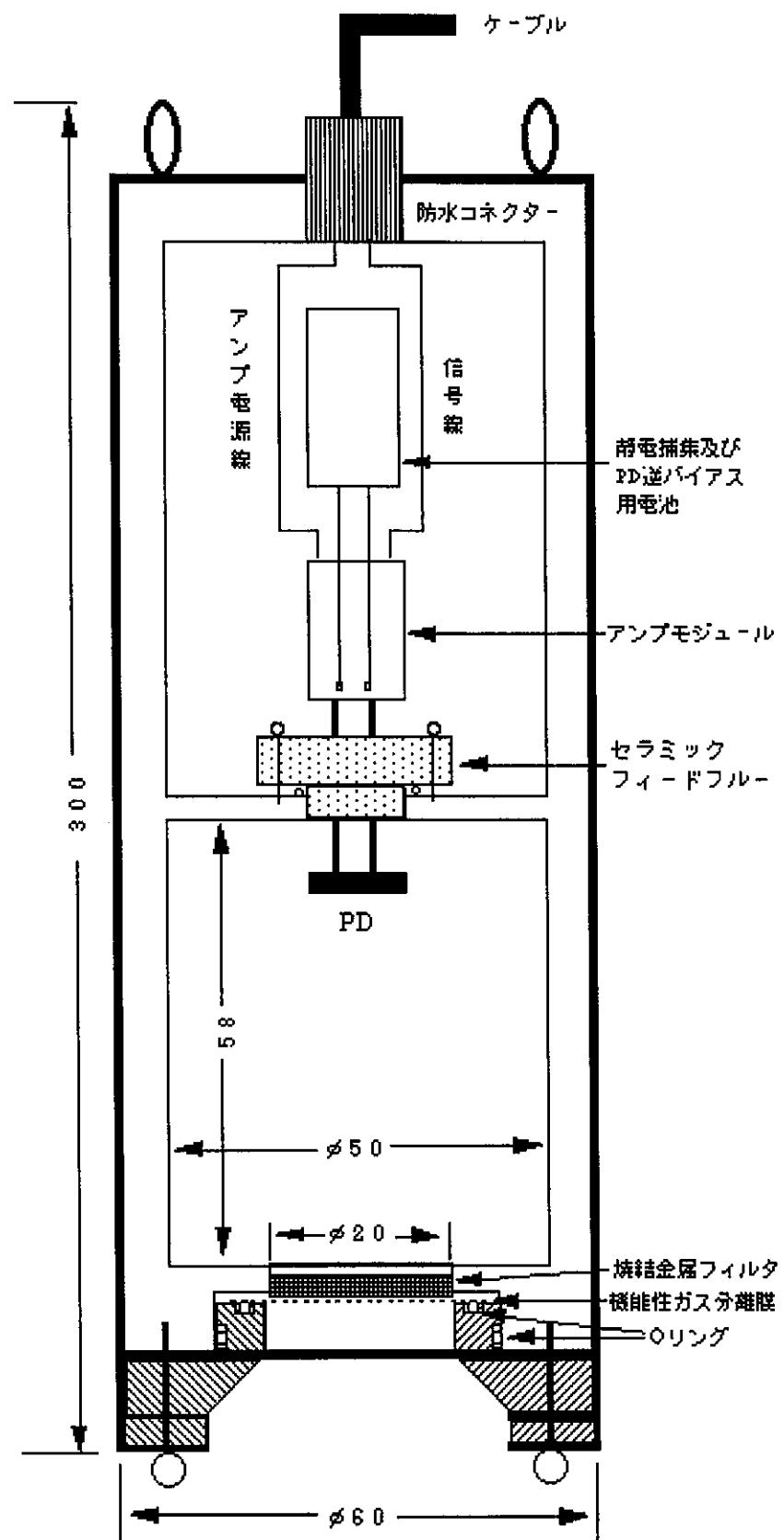


図5 水中投入型の水中ラドン計の構造図

に焼結金属フィルタのサポート板を用いて補強した。焼結金属というのはステンレス金属粉末を圧縮成形し、溶融点以下の温度で焼き固めたものである。網の目のようになっておりラドンガスが通過する。

開口部には水は通さずガスは通すという特性から、機能性ガス分離膜としてヘキスト・インターナショナル東京（株）の「セルガード」というポリプロピレン製のフィルムを用いた。この「セルガード」には様々なグレードがあるがここではNo.2400というものを使用した。「セルガード」はガスの透過に対しては極めて敏感で非常に小さい圧力下でも透過できることがわかっている。また、「セルガード」の臨界表面張力は35dyne/cmで水の表面張力72.8dyne/cmの方が大きい。このためこの膜は水を通さない。検出器を水中に沈めていくと水圧が高くなり、膜を隔てて容器内の気体圧と水圧との間に圧力差が生じる。この膜を水は透過できないので、水との圧力差に伴い検出器内の気体との間で蒸気圧に不均衡が生ずることになる。この結果、水中に溶解しているラドンガスは膜を透過して検出器に入り込み、平衡を保つために必要なある時間の後、膜を隔てた両者の圧力が等しくなる。つまり、水中において気体平衡の状態が成立すると考えられる。一定の圧力において水中に溶解している²²²Rnと、気体として存在する²²²Rnの比は一定であるから、この方法で水中のラドン濃度の変化に応じた測定ができるといえる。

水中投入型水中ラドン計は長時間地下水中に沈めて連続測定する。開口部の防水については、機能膜に「セルガード」を使用し、焼結金属のサポート板とOリングの間に機能膜をはさみ、蓋で押さえこんで固定した。コネクタ部分については水中コネクタを使用し完全に防水できている。

水中投入型水中ラドン計の校正実験は、No.5とNo.23モニタリング試錐孔から水をサンプリングして、液体シンチレーション法で水中ラドン濃度を測定した。測定は安全管理課に依頼した。下記の表4に校正実験の結果を示す。

試錐孔	水温 (°C)	採取月日	ラドン濃度 (Bq/l)	カウント数 (²¹⁴ Po/h)	校正係数 (Bq/l)/(²¹⁴ Po/h)
No. 5	8.0	2月 4日	21	1530	0.014
No. 5	7.3	1月 17日	33	2030	0.016
No. 5	9.3	12月 10日	38	1707	0.022
No. 5	12.5	11月 5日	17	849	0.020
No. 5	15.8	10月 9日	9	689	0.013

No. 23	5.7	1月 17 日	380	16720	0. 023
No. 23	8.2	12月 10 日	140	11552	0. 012
No. 23	10.5	11月 5 日	69	10978	0. 006
No. 23	11.6	10月 9 日	110	8777	0. 013

表4 水中投入型水中ラドン計の校正実験結果

校正係数は2001年10月9日から2002年2月4日の実験結果を用いて計算した。その結果、校正係数は下記のようになった。本研究ではこの校正係数値を用いて、No.5、No.23、No.18モニタリング試錐孔の水中ラドン濃度を求めた。

水中投入型水中ラドン計の校正係数： $0.017 \pm 0.005 (\text{Bq}/\text{l}) / ({}^{214}\text{Po}/\text{h})$

4-2. 地上設置型水中ラドン計

No.19モニタリング試錐孔においても、当初は上記の水中投入型水中ラドン計を設置したが、地下水に溶解した鉄成分が機能膜「セルガード」に付着して、溶存ラドンガス測定が困難となった。そこで、水中ポンプをモニタリング試錐孔の投入して、地下水を汲み上げて、地上設置型水中ラドン計で水中ラドン濃度の連続測定を実施した。

図6にはNo.19モニタリング孔のラドン観測用仮設第2プレハブ内に設置した、水中ラドン濃度連続測定システムの設置概略を図示する。ステンレス製のラドン計用水槽及び簡易鉄パイプを用いた水中ポンプの設置状況を説明している。水中ポンプは口元から11(m)で水深約2(m)に投入した。毎分1～2リットルで地下水を汲み上げて、ラドン計内に注水して、返水は再びモニタリング孔へ戻した。

地上設置型水中ラドン計の構造を図7に示す。

地下水中ラドン濃度を連続測定に使用している「地上設置型水中ラドン計」の特徴を下記の1)～5)に示す。

- 1) 揚水などの地下水中のラドン濃度を連続測定するときは、直接地下水を検出器に注入することにより、簡単に水中のラドン濃度を連続測定することが可能である。
- 2) 地下水は密閉容器側面のバルブ部から注入され検出器下部から流出する。
- 3) ラドン検出器内の結露を防止するためにヒーター線を使っている。
- 4) 検出器内の気温と水温を測定している。
- 5) 地下水の流量を毎分1リットル以上で、常に一定に保つことが重要である。

地上設置型水中ラドン計の校正実験は、No.19モニタリング試錐孔から水中ポンプで汲み上げた地下水を採水して、液体シンチレーション法で水中ラドン濃度を測定した。

下記の表5に校正実験の結果を示す。

試錐孔	水温 (°C)	採取月日	ラドン濃度 (Bq/l)	カウント数 ($^{214}\text{Po}/\text{h}$)	校正係数 (Bq/l) / ($^{214}\text{Po}/\text{h}$)
No. 19	19.1	1月 17日	42	16295	0.00258
No. 19	20.0	12月 10日	58	20158	0.00288
No. 19	22.3	11月 5日	48	16468	0.00291
No. 19	24.4	10月 9日	55	19085	0.00288
No. 19	24.3	9月 10日	35	17741	0.00197
No. 19	25.7	7月 5日	28	11346	0.00247
No. 19	24.2	7月 19日	31	11586	0.00268

表5 地上設置型水中ラドン計の校正実験結果

校正係数は2001年7月19日から2002年1月17日の実験結果を用いて算出した。その結果、校正係数は下記のようになった。本研究ではこの校正係数値を用いて、No.19モニタリング試錐孔の水中ラドン濃度を求めた。

地上設置型水中ラドン計の校正係数 : $0.0025 \pm 0.0003 (\text{Bq/l}) / ({}^{214}\text{Po}/\text{h})$

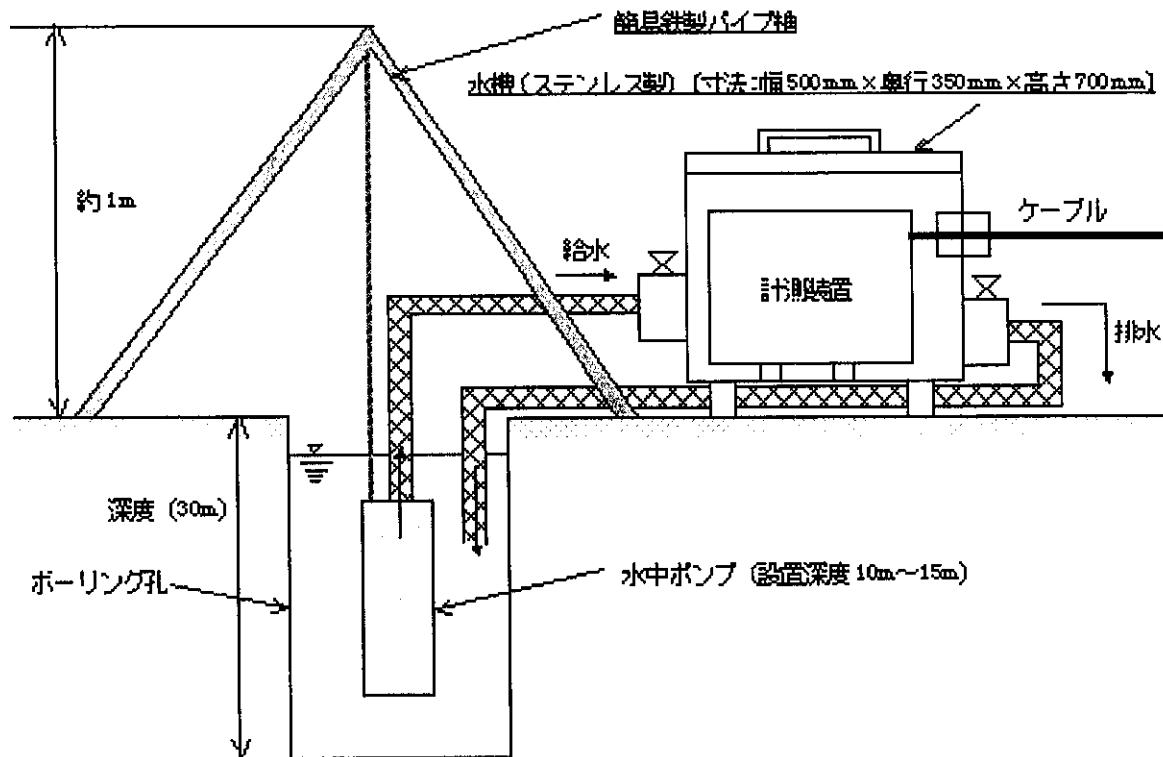


図6 第2プレハブ内の水中ラドン濃度連続測定システムの設置概略図

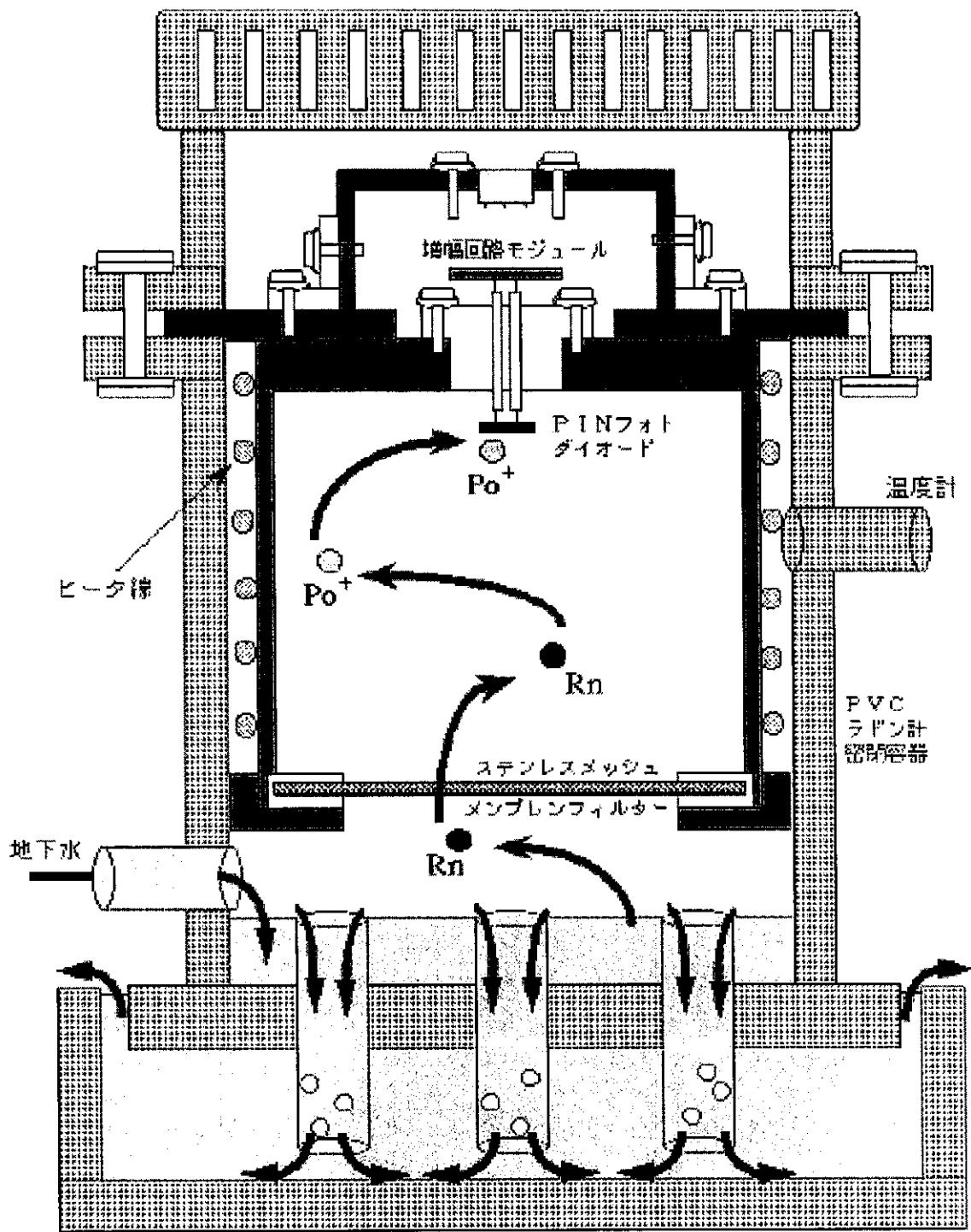


図7 地上設置型水中ラドン計の構造図

5. ラドン観測情報のネットワーク化

遠隔地モニタリングを可能とするため、ラドン測定ネットワーク整備の進んでいる岐阜大学とサイクル機構人形崎環境技術センターとの間をネットワーク化し、情報の共有を図るとともに、遠隔地での変動評価等に反映する。このため、平成10年度より電話回線(ISDN)によるネットワーク化を更に進め、連続データサンプリングによる遠隔地モニタリング評価を行っている。また、平成13年度からは露天採掘場跡地と環境計画課を電話回線で接続して、ラドン濃度のオンライン・モニタリング評価を行っている。

現在、夜次露天採掘場跡地及び周辺のモニタリング試錐孔No.17とNo.18の横には第1プレハブ観測小屋、No.19には仮設第2プレハブ観測小屋があり、No.23とNo.5にはモニタリングポストがある。これらの観測施設には計測用パソコン、データロガー等が設置されている。このうち第1プレハブ観測小屋にはISDN電話回線が施設されており、この観測点とNo.23とNo.5モニタリングポスト間は光ファイバーによるネットワーク接続を行っている。また、第1プレハブ観測小屋と仮設第2プレハブ観測小屋の間は10BASE-2による電線ケーブルによるネットワーク接続を行っている。

表6には、本研究で使用している、各種コンピューターの設置場所、名前、動作項目を示す。

設置場所	Name	動作項目
No. 17/No. 18	r_nin	ルータ (Tel:0868-44-7035)
No. 17/No. 18	p_nin	計測用パソコン
No. 19	radonboy	計測用パソコン
No. 23	no23	計測用パソコン
No. 5	no5	計測用パソコン
環境計画課	router	ルータ (Tel:0868-44-2566)
環境計画課	p-gif1	データ取得サーバ
環境計画課	WWW	Web サーバ

表6 ラドン観測情報ネットワーク上の各種コンピューター

観測施設内の4ヶ所にある計測用パソコンは、ISDN電話回線を通じて、岐阜大学及び環境計画課にあるデータ取得サーバとネットワーク接続され、観測データのリアルタイムなデータ取得が簡単にできる。データ取得サーバは自動で定期的に観測デー

タを取得しデータ解析を行い、観測項目毎にデータ解析ファイルを作成してデータ共有化を図っている。Web サーバ上で動作している「Web Page ラドン観測データ表示システム」の開発より、遠隔地でのモニタリングとラドン濃度変動評価等を行うことが可能となった。

本研究では、次のような 5 つのソフトウェアに関わる技術開発が行われ、その成果が利用されている。

- 1) Z80 マイコンで動作する「ラドンデータロガー用プログラム」
- 2) 計測用パソコンで動作する「ラドン計測用プログラム」
- 3) データ取得サーバで動作する「ラドン計測ネットワーク用プログラム」
- 4) データ取得サーバで動作する「ラドンデータ解析用プログラム」
- 5) Web サーバで動作する「Web Page ラドン観測データ表示システム用プログラム」

本研究で利用している、各種コンピュータの IP アドレス等のリストを表 6 にまとめる。

また、図 8 には人形峠夜次露天採掘場跡地におけるラドン観測システムのネットワークシステムの概要図を示す。パソコンを使用して、遠隔地でのモニタリングとラドン濃度変動評価等を行うために、Web サーバ上の Perl 言語による CGI プログラムが開発された。地下水中の原位置ラドン測定手法に関する研究のための「人形峠ラドンデータ表示システム」のホームページが図 8 である。

URL を下記に示す。

<http://frontier.physics.gifu-u.ac.jp/~nin/>

この Web Page はパスワードによる認証を行っているので、データ閲覧には登録が必要である。このページの「ラドン濃度計測地点選択イメージマップ」を選択すると、「人形峠ラドン観測地点の選択」に移り、ラドン濃度、水位、雨量、風速などの観測データを閲覧することが可能である。

図 9 には人形峠夜次露天採掘場跡地におけるラドン観測システムとネットワークシステムの概要をまとめる。露天採掘場跡地と環境計画課のパソコンにはプライベート・アドレスが割り当てられている。現在、このラドン観測ネットワークは Global Network のインターネットには接続されていない。図 9 の環境計画課にある Web サーバのパソコンにネットワークカードを 1 枚増設して、それを通じてインターネットに接続して、ラドン観測データを公開することも可能である。この場合、登録者のみにパスワードを発行して、認証を行うことによってラドンデータ公開に制限をつけることもできる。

地下水中の原位置ラドン測定手法に関する研究

人形縛ラドンデータ表示システム

- ラドン濃度計測地点選択インターフェイツ
- ラドン濃度速報
- 気象観測データ
- 気象観測速報
- 鳥取県西部地震にともなう水位とラドン濃度
- 平成8年度から平成11年度ラドン観測結果
- 夜次露天採掘場跡地試錐孔配置図
- 1999年12月ラドン観測画像データ
- No.5とNo.23モニタリング孔の観測開始
- 高感度空気用ラドン計の設置
- 地中用ラドン計の設置
- 揭示板

図8 人形縛ラドンデータ表示システム

URLは <http://frontier.physics.gifu-u.ac.jp/~nin/>



岐阜大学生涯学習教育研究センター
ラドン観測代表者 田阪 茂樹
〒501-1193 岐阜市柳戸1-1
TEL:058-293-2248, FAX:058-293-2207
tesaka@physics.gifu-u.ac.jp

あなたは847人の訪問者です
last revised 23-March-2002
(since 17. August, 2001)

閲覧にはユーザIDおよびパスワードが必要です
各ページに掲載の画像・記事の無断転載を禁じます

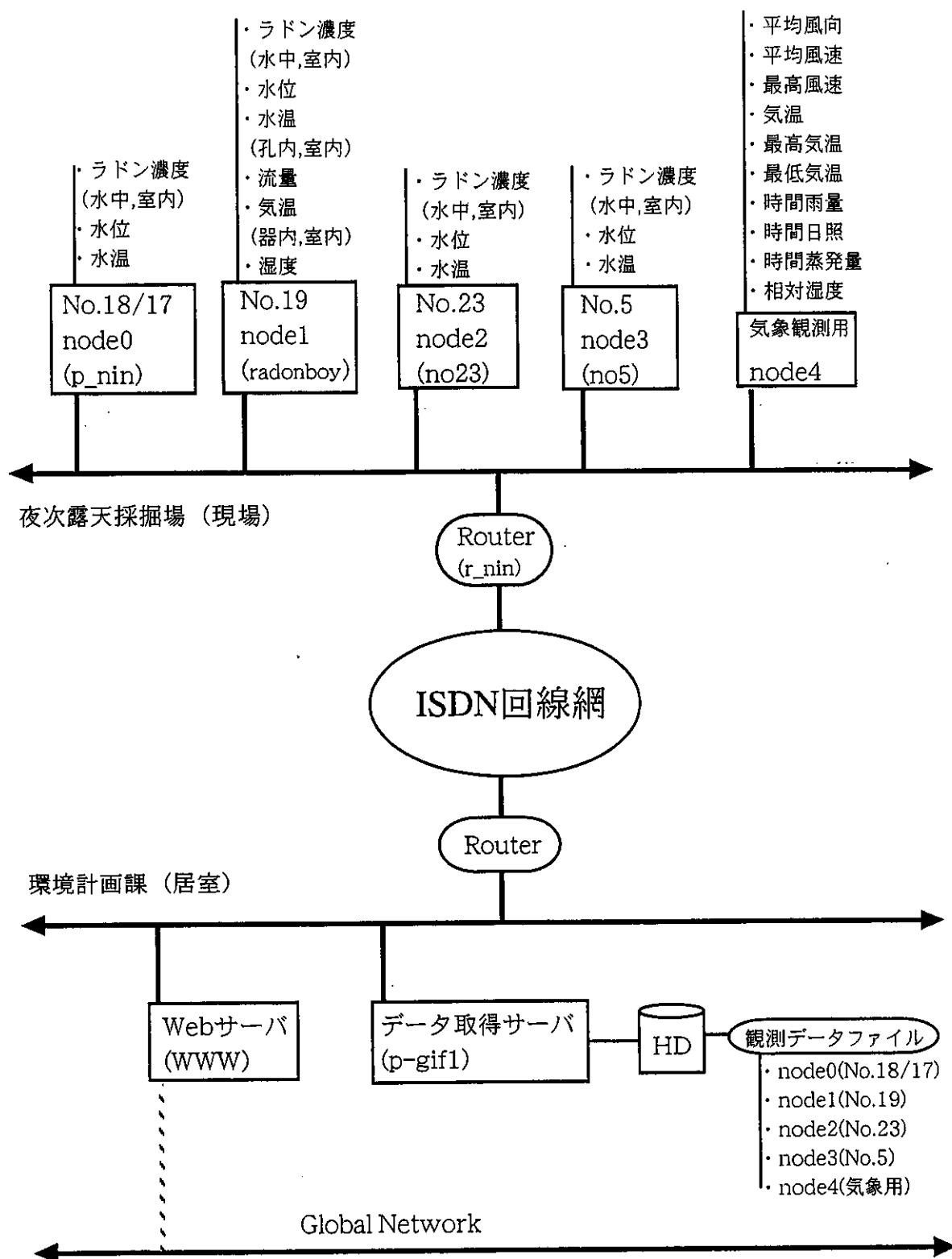


図9 ラドン観測システムとネットワークシステムの概要

6. 空気中ラドン濃度観測結果

6-1. 第1プレハブ観測小屋内の空気中ラドン濃度

No.18 モニタリング孔の第1プレハブ観測小屋内ラドン濃度について図10に観測結果を示す。観測期間は2001年7月4日から2002年6月10日である。最高ラドン濃度は2002年2月22日の5818(Bq/m³)であった。表7は2001年から2002年の月平均ラドン濃度(Bq/m³)を表わす、2002年2月の月平均ラドン濃度が1284±268(Bq/m³)で一番高い。

2001年7月	2001年8月	2001年9月	2001年10月	2001年11月	2001年12月
25.2±3.1	29.6±3.3	34.4±4.4	38.3±5.3	59.7±7.1	72.8±10.6
2002年1月	2002年2月	2002年3月	2002年4月	2002年5月	2002年6月
139±24	1284±268	128±35	46.5±6.3	46.2±7.4	131±12

表7 No.17 モニタリング孔の第1プレハブ観測小屋内の月平均ラドン濃度(Bq/m³)

図11には人形峠における2001年11月25日から2002年3月25日までの積雪量(cm)とラドン濃度(Bq/m³)の変化を示す。2002年2月19日の積雪量が122(cm)で最高であった。観測小屋内のラドン濃度と積雪量の変化は非常に良く関係していることが判明した。

図12の観測小屋の構造図である。図13の床下の隙間間隔の測定結果からわかるように、コンテナハウス床面と地面の間には約26~38(cm)の隙間があり、積雪量がこの隙間より十分に大きくなると、地面から散逸したラドンガスがこの空間にたまり、観測小屋内のラドン濃度を高めていると考えられる。

6-2. 第2プレハブ観測小屋内の空気中ラドン濃度

No.19 モニタリング孔の仮設第2プレハブ観測小屋内ラドン濃度について図14に観測結果を示す。観測期間は2001年7月4日から2002年5月25日である。この間、2001年12月28日から2002年1月24日と、2002年1月30日~2月21日の期間はデータが欠測している。最高ラドン濃度は2001年12月26日の6794(Bq/m³)であった。表8は月平均ラドン濃度(Bq/m³)を表わす。2001年12月の月平均ラドン濃度が1565±336(Bq/m³)で一番高い。

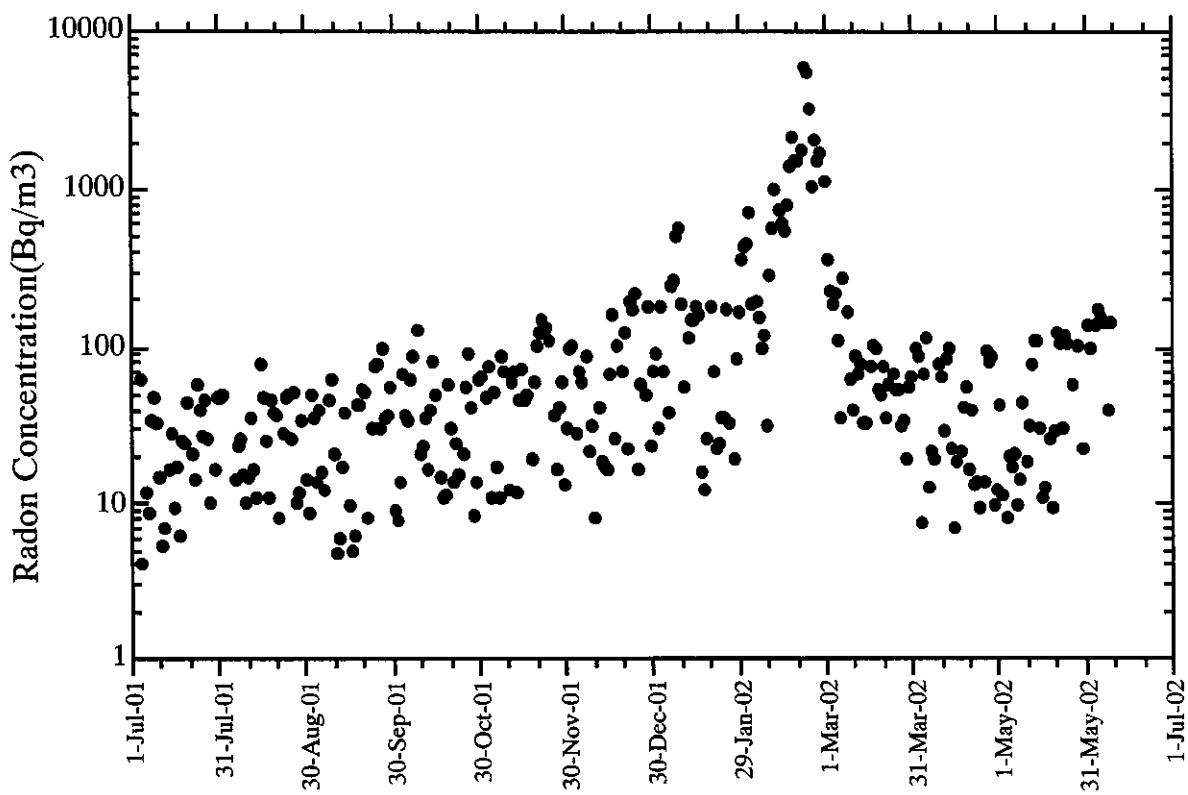


図 1 0 No.17 モニタリング孔横の第 1 プレハブ観測小屋内ラドン濃度

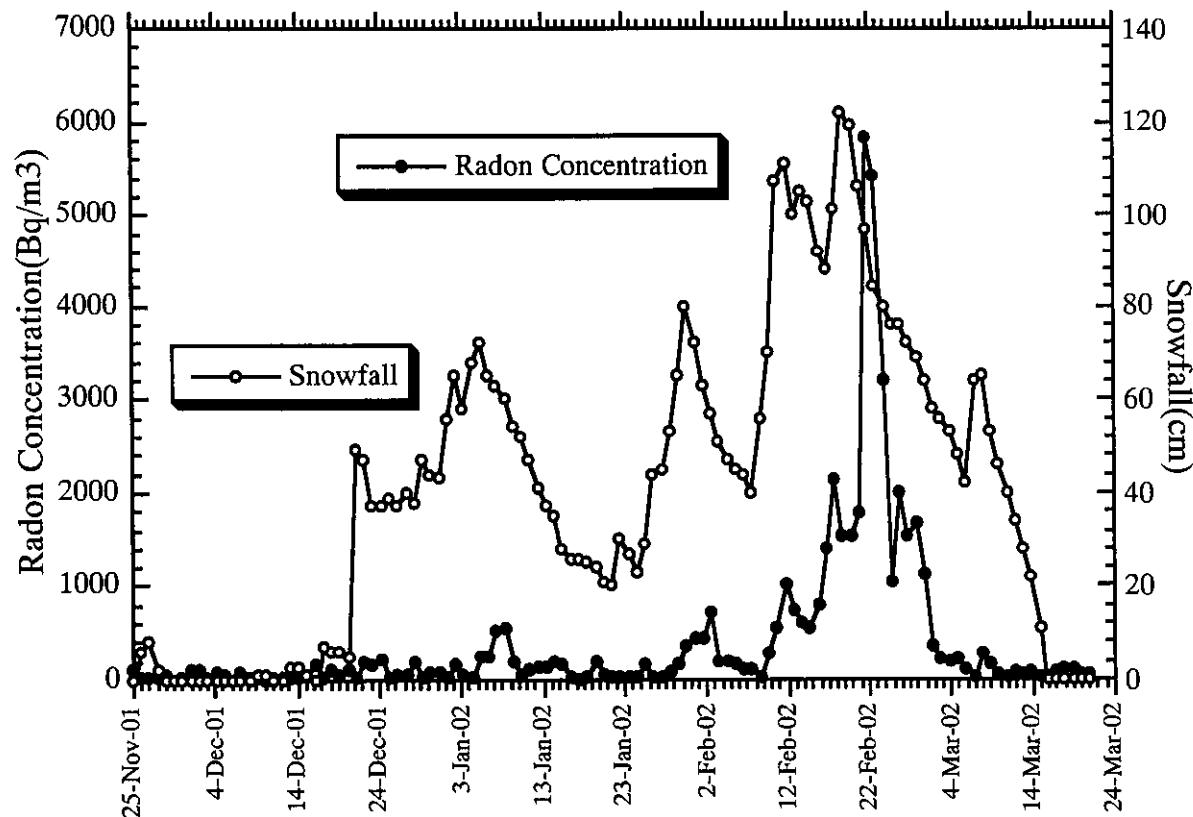
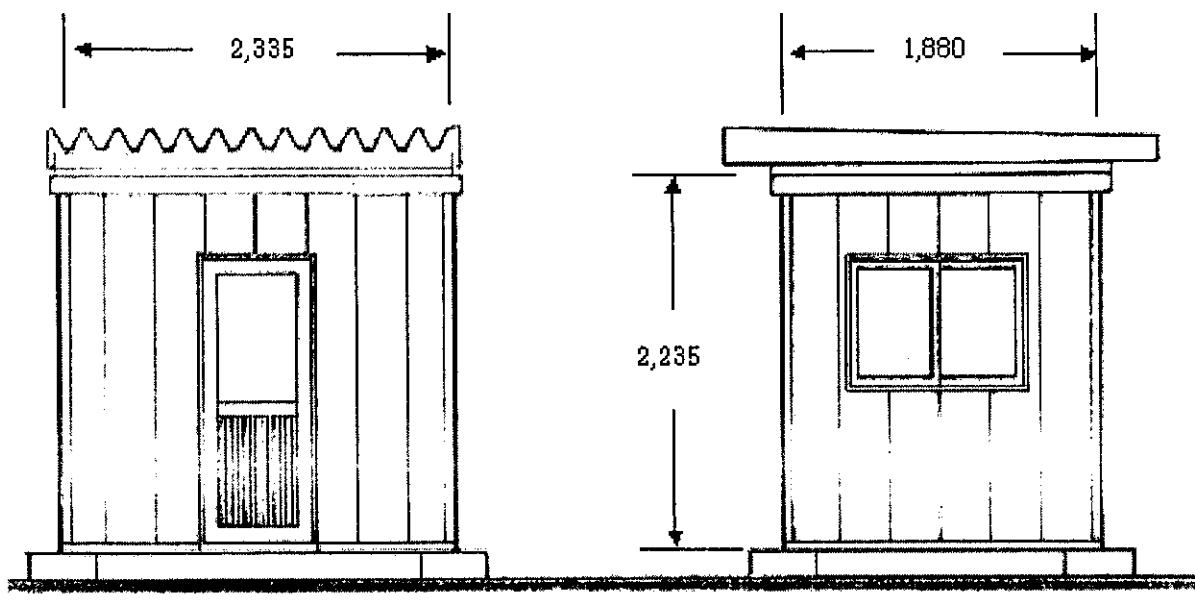


図 1 1 2001 年度の積雪量とラドン濃度の変化



No.18 孔地下水モニタリング用コンテナハウス

単位 cm

図 1 2 第 1 プレハブ観測小屋構造図

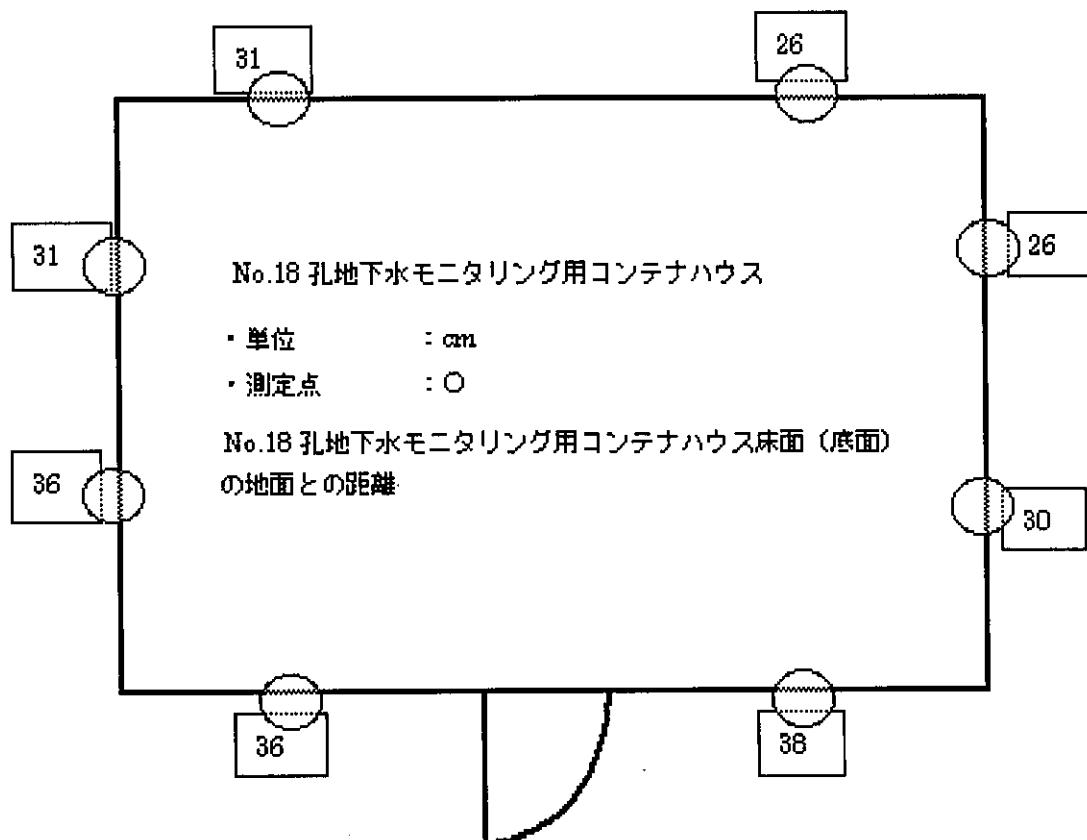


図 1 3 第 1 プレハブ観測小屋の床面と地面との距離の測定結果

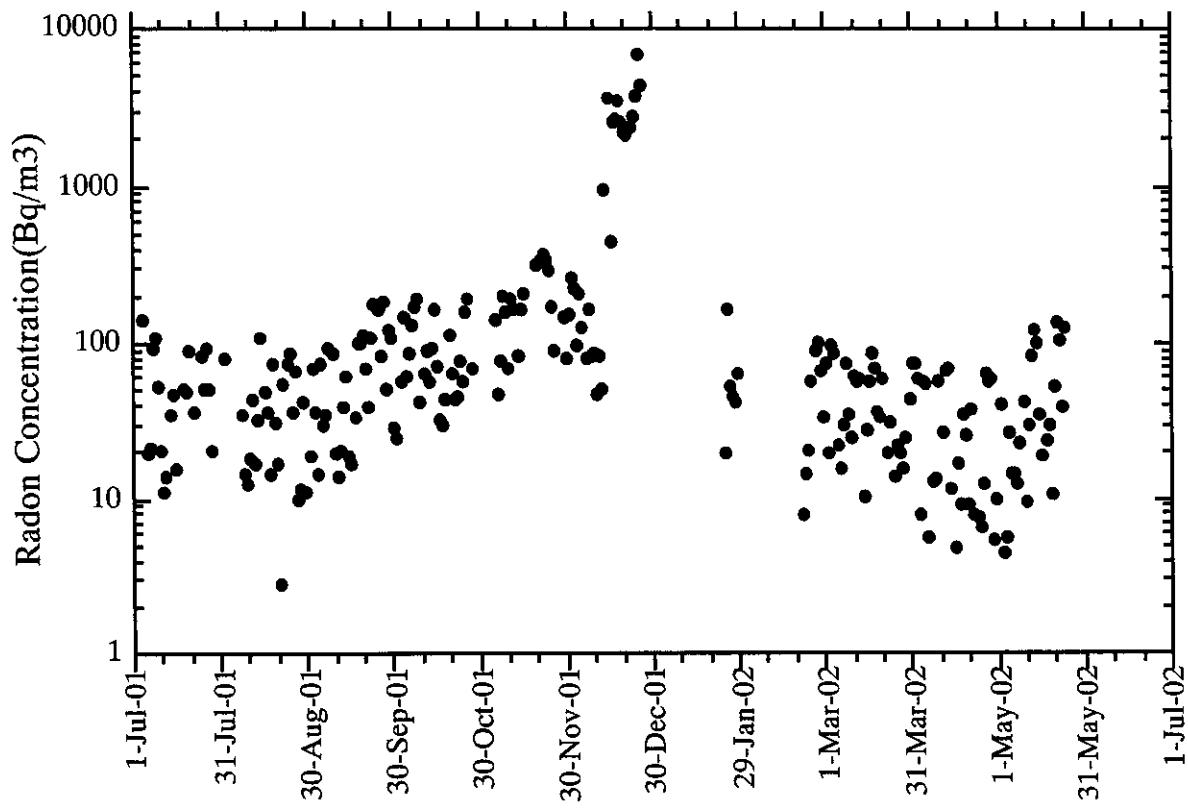


図14 No.19 モニタリング孔の第2プレハブ観測小屋内ラドン濃度

2001年7月	2001年8月	2001年9月	2001年10月	2001年11月	2001年12月
52.2 ± 7.6	38.9 ± 5.4	69.7 ± 8.8	85.6 ± 9.6	182 ± 22	1565 ± 336
2002年1月	2002年2月	2002年3月	2002年4月	2002年5月	2002年6月
64.5 ± 18.8	50.6 ± 12.9	41.8 ± 4.5	32.3 ± 4.6	44.3 ± 8.1	---

表8 No.19 モニタリング孔の第2プレハブ観測小屋内の月平均ラドン濃度(Bq/m³)

6-3. 第2プレハブ観測小屋周辺の屋外空气中ラドン濃度

No.19モニタリング孔の仮設第2プレハブ観測小屋（夜次露天採掘場跡地）の屋外ラドン濃度は静電捕集容積が70リットルの大型空气中ラドン計を用いて測定している。観測結果を図15に示す。観測期間は2001年12月6日から2002年5月25日である。この間、2002年4月15日から4月22日の1週間は、ラドン計の入口のバルブを閉じて、外気を導入しないで容器内のラドンの崩壊を観測した、カウント数はラドンの半減期の38日で減少した。ラドン濃度の日変動は、夜明け前の風の止む時間帯は約300

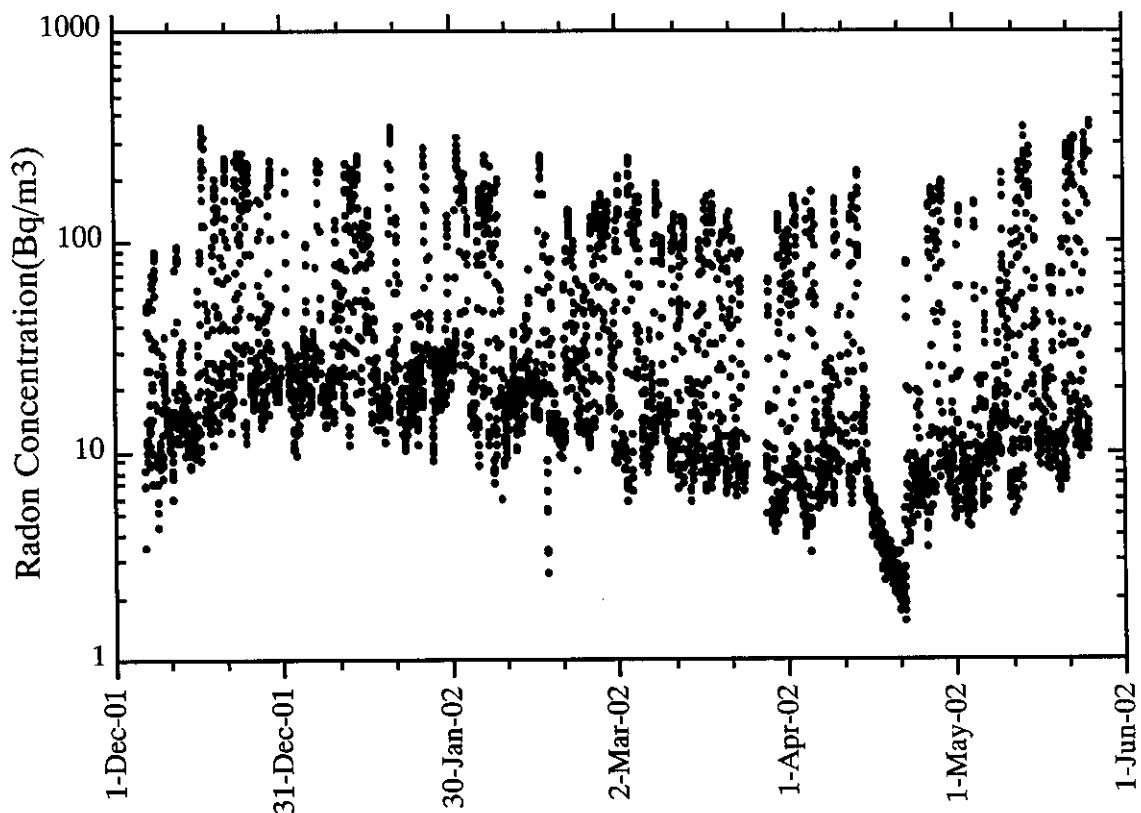


図 1.5 夜次露天採掘場跡地の屋外ラドン濃度

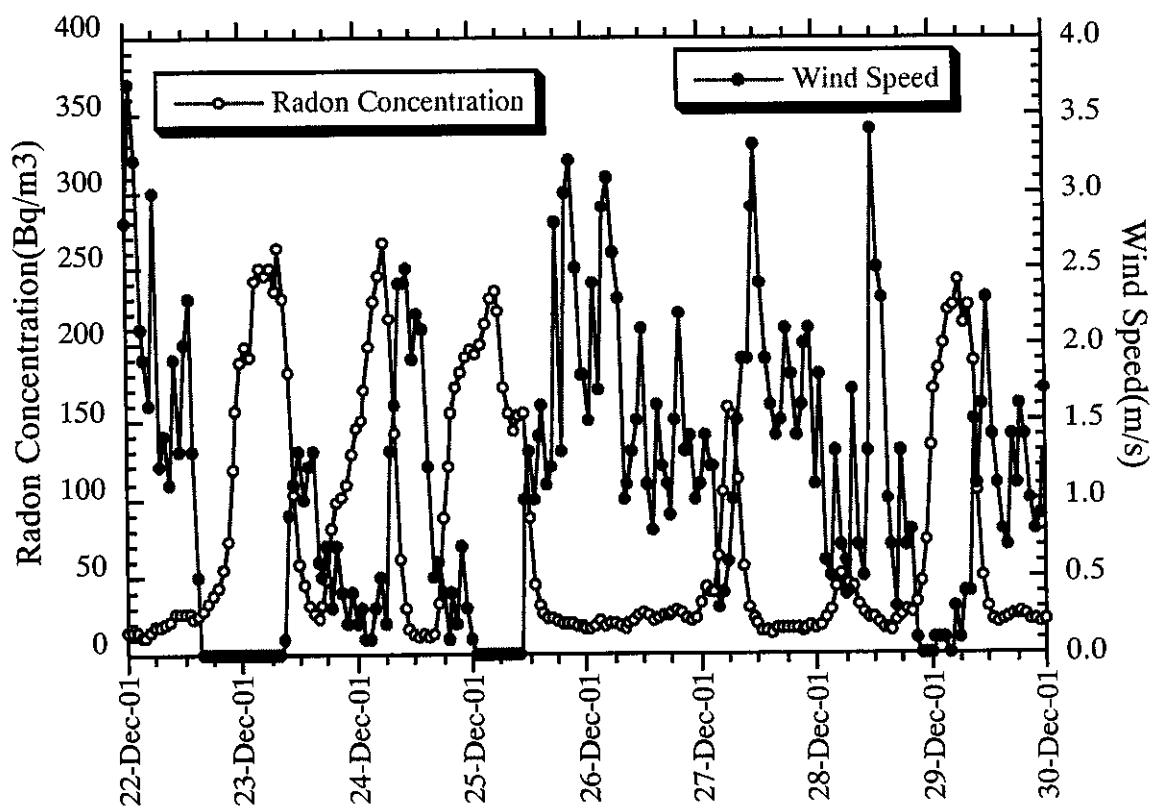


図 1.6 夜次露天採掘場跡地の屋外ラドン濃度と風速の比較

(Bq/m³)と非常に高く、昼間は逆に約 5(Bq/m³)程度で低くなる。夜次露天採掘場の屋外ラドン濃度と気象観測ポストによる平均風速データとの比較のために、2001年12月22日から12月30日の観測期間について、両方の観測データを図16に示す。この図から、12月23日、24日、25日、29日は午前0時頃から明け方にかけて、風速が0.5(m/s)以下と止み、ラドン濃度は200(Bq/m³)以上と急上昇している。第2プレハブ観測小屋内の屋内空气中ラドン濃度は、2001年12月26日に6794(Bq/m³)となっているが、この日は1~3(m)の風が1日中吹いて、屋外ラドン濃度は約20(Bq/m³)と低いことがわかる。

図17には、観測期間2001年12月6日から2002年5月25日までのラドン濃度と日平均風速の相関を示すものである、明らかに両者観測データの間には逆相関関係があることがわかる。表9は2001年12月から2002年5月の毎月の平均ラドン濃度(Bq/m³)を表わす。

2001年7月	2001年8月	2001年9月	2001年10月	2001年11月	2001年12月
---	---	---	---	---	51.6 ± 2.8
2002年1月	2002年2月	2002年3月	2002年4月	2002年5月	2002年6月
51.4 ± 2.3	56.5 ± 2.4	43.5 ± 1.9	40.4 ± 2.5	48.5 ± 3.0	--

表9 夜次露天採掘場跡地の月平均屋外ラドン濃度(Bq/m³)

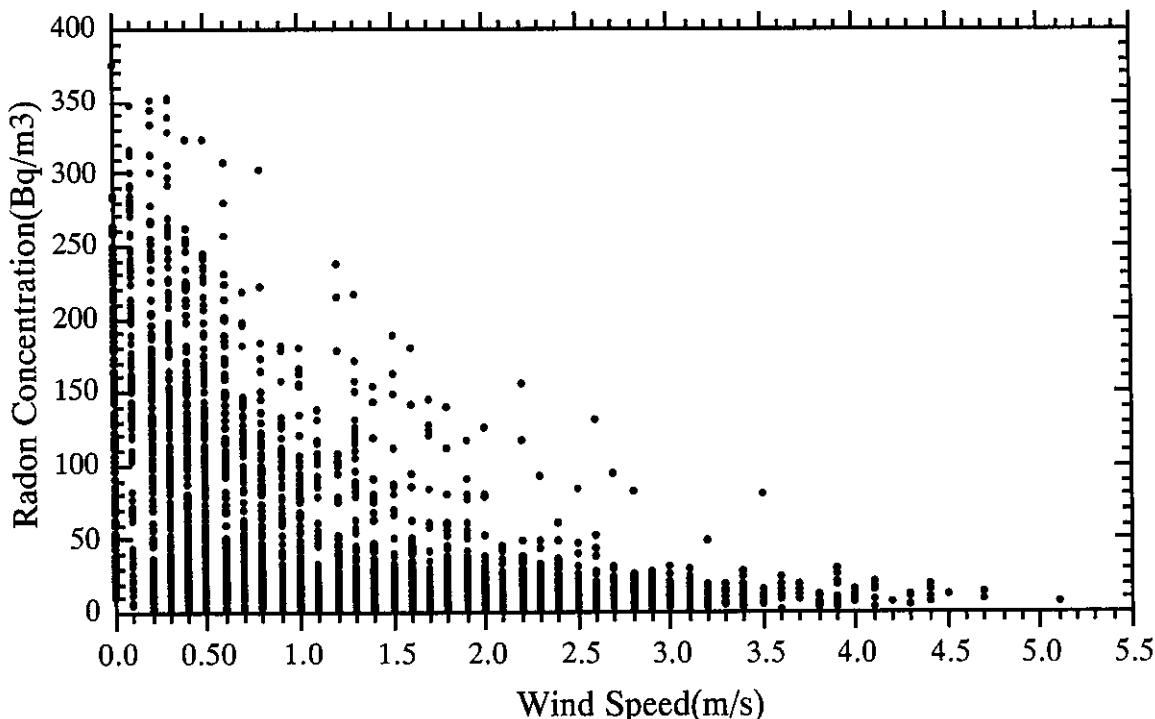


図17 夜次露天採掘場跡地の屋外ラドン濃度と風速の相関図

6-4. No.5 モニタリング孔における空気中ラドン濃度

No.5 モニタリング孔のモニタリングポストには、静電捕集容器の容積が 1 リットルのラドン計が設置されている。写真 4 からわかるように、ポスト内にラドン計は設置されているが、外気の換気が自由でほとんど屋外ラドン濃度を測定していると推定される。ラドン濃度の観測結果について図 18 に示す。観測期間は 2001 年 12 月 8 日から 2002 年 6 月 11 日である。最高ラドン濃度は 2002 年 2 月 27 日の $249(\text{Bq}/\text{m}^3)$ であった。表 10 は 2001 年 12 月から 2002 年 6 月の毎月の平均ラドン濃度(Bq/m^3)を表わす。

2001 年 7 月	2001 年 8 月	2001 年 9 月	2001 年 10 月	2001 年 11 月	2001 年 12 月
---	---	---	---	---	89.0 ± 12.9
2002 年 1 月	2002 年 2 月	2002 年 3 月	2002 年 4 月	2002 年 5 月	2002 年 6 月
75.1 ± 10.7	98.3 ± 11.9	96.2 ± 7.5	59.0 ± 7.2	43.7 ± 5.2	66.2 ± 6.4

表 10 No.5 モニタリングポストでの月平均空気中ラドン濃度(Bq/m^3)

6-5. No.5 モニタリング孔における空気中ラドン濃度

No.23 モニタリング孔のモニタリングポストには、容積 1 リットルのラドン計が設置されている。写真 3 からわかるように、ポスト内にラドン計は設置されているが、外気の換気が自由でほとんど屋外ラドン濃度を測定していると推定される。ラドン濃度の観測結果について図 19 に示す。観測期間は 2001 年 12 月 8 日から 2002 年 6 月 11 日である。この間、1 月 10 日から 14 日と、2 月 1 日から 3 日は電気的ノイズが多く解析から除外した。最高ラドン濃度は 2002 年 2 月 27 日の $181(\text{Bq}/\text{m}^3)$ であった。表 11 は 2001 年 12 月から 2002 年 6 月の毎月の平均ラドン濃度(Bq/m^3)を表わす。

2001 年 7 月	2001 年 8 月	2001 年 9 月	2001 年 10 月	2001 年 11 月	2001 年 12 月
---	---	---	---	---	68.9 ± 11.6
2002 年 1 月	2002 年 2 月	2002 年 3 月	2002 年 4 月	2002 年 5 月	2002 年 6 月
49.7 ± 8.3	75.1 ± 11.1	69.1 ± 6.0	48.2 ± 5.4	41.3 ± 4.4	59.4 ± 6.9

表 11 No.23 モニタリングポストでの月平均空気中ラドン濃度(Bq/m^3)

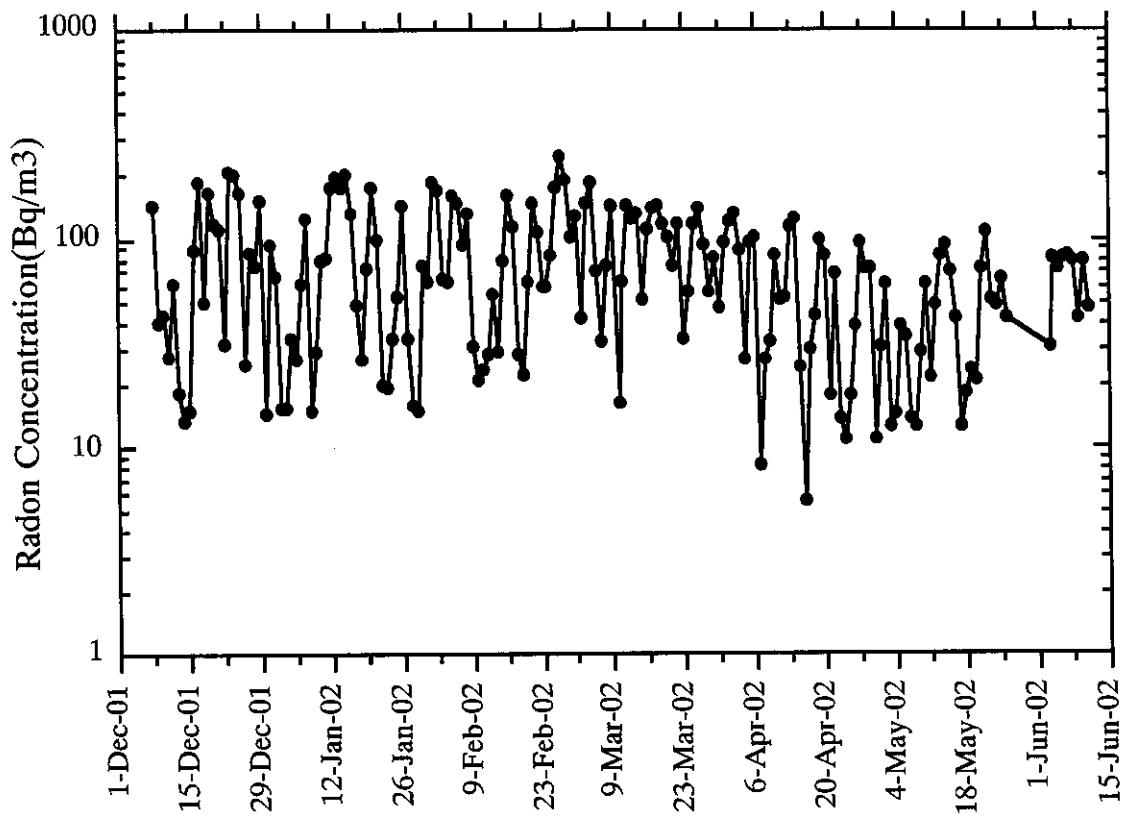


図1 8 No.5 モニタリングポストの屋外空气中ラドン濃度

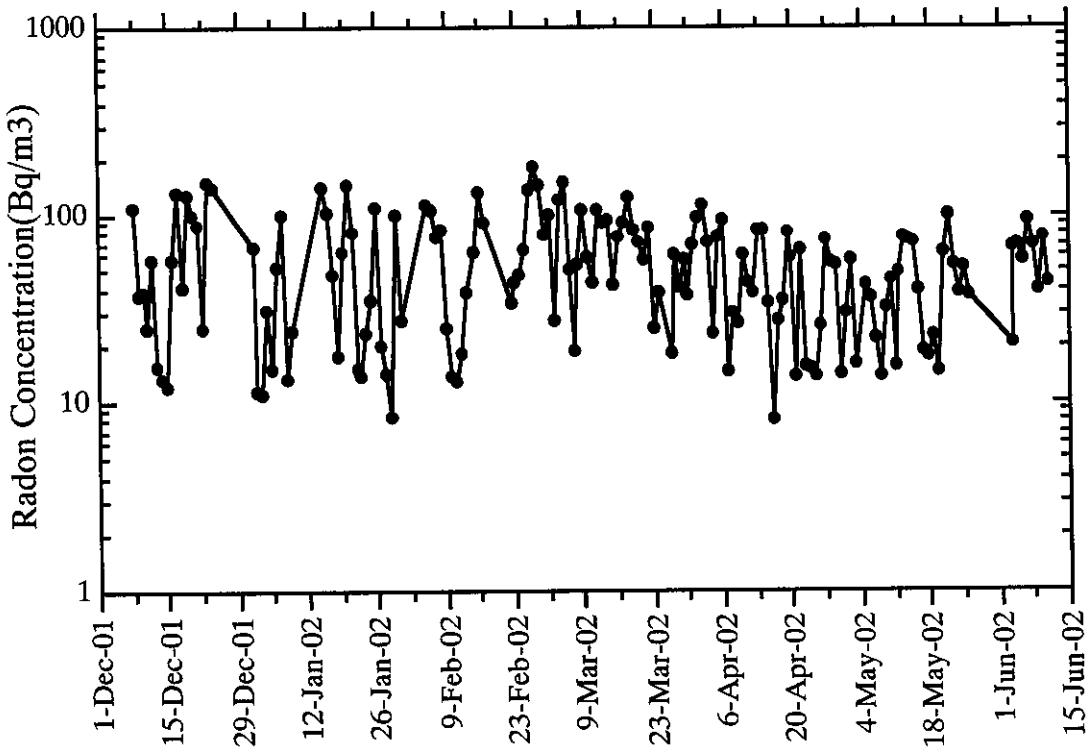


図1 9 No.23 モニタリングポストの屋外空气中ラドン濃度

7. 水中ラドン濃度観測結果

7-1. No.19モニタリング孔内の水中ラドン濃度

図6のような水中ラドン濃度連続測定システムを、仮設第2プレハブ内に設置した。水中ポンプをモニタリング試錐孔の投入して、地下水を毎分1～2リットルで汲み上げて、地上設置型水中ラドン計に注水して、返水は再びモニタリング孔へ戻した。観測期間は2001年1月1日から2002年1月25日である、途中7月24日から9月7日の期間は水中ポンプの故障のために測定が中断した。図20に観測結果を示す。図中の黒丸は今回の測定結果であり、四角印は液体シンチレーション法による水中ラドン濃度の校正実験の結果である。両者は良く一致している。

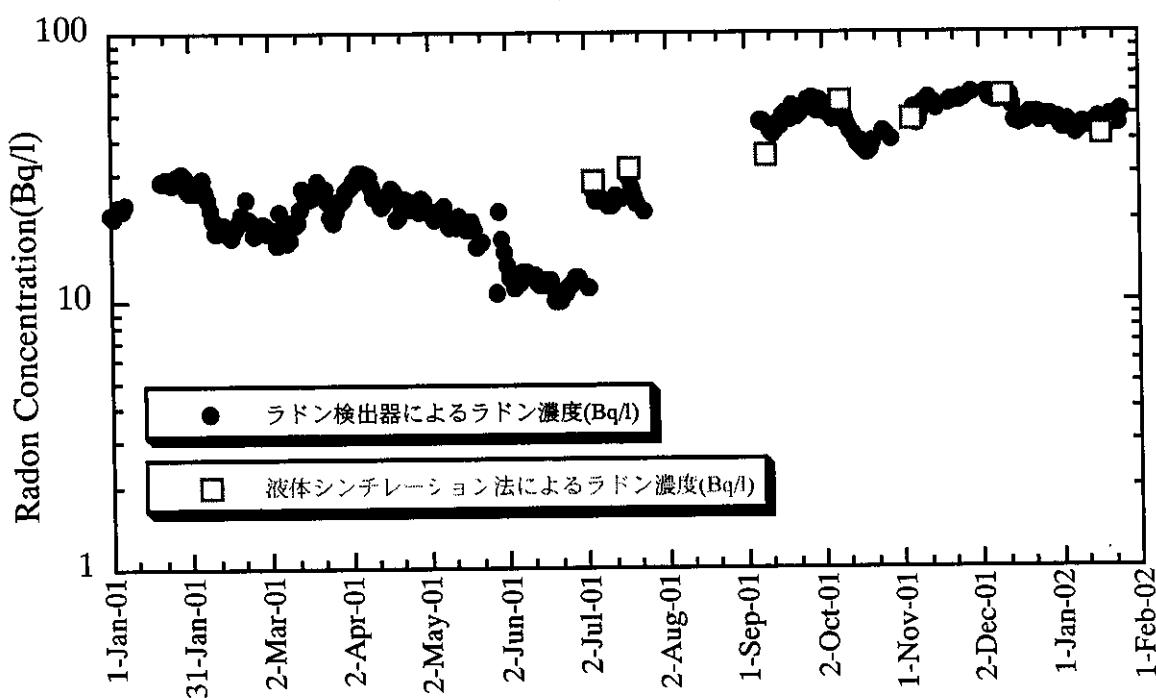


図20 夜次採掘場跡地No.19モニタリング孔における水中ラドン濃度

表12にはNo.19モニタリング孔内の月平均水中ラドン濃度を表わす、11月～12月の水中ラドン濃度が52(Bq/l)で、6月～7月の16(Bq/l)と比較して高い。

2001年1月	2001年2月	2001年3月	2001年4月	2001年5月	2001年6月
25.8 ± 0.8	21.2 ± 0.6	21.8 ± 0.6	25.1 ± 0.5	19.6 ± 0.5	11.8 ± 0.2
2001年7月	2001年8月	2001年9月	2001年10月	2001年11月	2001年12月
23.4 ± 0.8	---		28.7 ± 0.9	43.9 ± 1.1	53.4 ± 0.8
					51.0 ± 0.9

表12 No.19モニタリング孔の月平均水中ラドン濃度

7-2. No.5 モニタリング孔内の水中ラドン濃度

No.5 モニタリング孔のモニタリングポストの孔内には、水中投入型の水中ラドン計が設置されている。水中ラドン濃度の観測結果について図 2-1 に示す。観測期間は 2001 年 7 月 4 日から 2002 年 6 月 26 日である。2001 年 7 月 31 日から 8 月 3 日と、2002 年 5 月 26 日から 6 月 3 日の期間は、観測データが中断している。最高水中ラドン濃度は 2001 年 12 月 31 日の 44.5(Bq/l) であった。表 1-3 は 2001 年 7 月から 2002 年 6 月の毎月の平均水中ラドン濃度(Bq/l)を表わす。12 月から 1 月の冬期に水中ラドン濃度は高く、4 月から 7 月にかけて水中ラドン濃度は低い。

2001 年 7 月	2001 年 8 月	2001 年 9 月	2001 年 10 月	2001 年 11 月	2001 年 12 月
0.92 ± 0.04	7.09 ± 0.81	12.09 ± 0.17	12.5 ± 0.11	18.66 ± 0.66	35.94 ± 1.06
2002 年 1 月	2002 年 2 月	2002 年 3 月	2002 年 4 月	2002 年 5 月	2002 年 6 月
34.30 ± 0.96	18.71 ± 1.05	9.12 ± 0.18	4.21 ± 0.23	3.36 ± 0.03	3.43 ± 0.03

表 1-3 No.5 モニタリング孔内の月平均水中ラドン濃度(Bq/l)

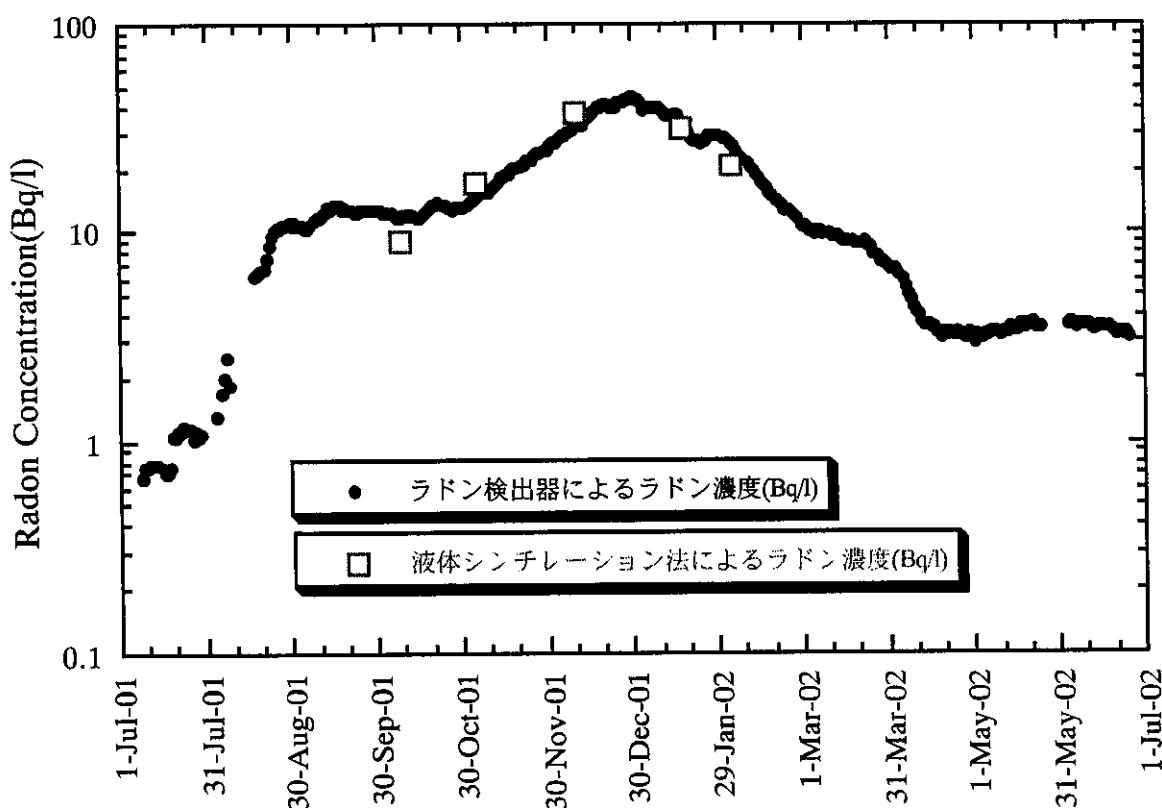


図 2-1 夜次採掘場跡地 No.5 モニタリング孔における水中ラドン濃度

7-3. No.23 モニタリング孔内の水中ラドン濃度

No.23 モニタリング孔のモニタリングポストの孔内には、水中投入型の水中ラドン計が設置されている。水中ラドン濃度の観測結果について図22に示す。観測期間は2001年7月7日から2002年6月11日である。2001年8月18日から9月30日と、2002年1月30日から2月23日の期間は、電源不安定によるラドン計の故障と、ネットワーク異常で、観測データが中断している。最高水中ラドン濃度は2002年4月24日の593(Bq/l)であった。表14は2001年7月から2002年6月の毎月の平均水中ラドン濃度を表わす。8月の平均水中ラドン濃度53(Bq/l)は低く、4月の平均水中ラドン濃度565(Bq/l)は高い。

2001年7月	2001年8月	2001年9月	2001年10月	2001年11月	2001年12月
54.5 ± 2.1	53.2 ± 0.3	---	160 ± 5	192 ± 1	192 ± 1
2002年1月	2002年2月	2002年3月	2002年4月	2002年5月	2002年6月
263 ± 6	432 ± 7	460 ± 4	565 ± 4	531 ± 4	468 ± 5

表14 No.23 モニタリング孔内の月平均水中ラドン濃度(Bq/l)

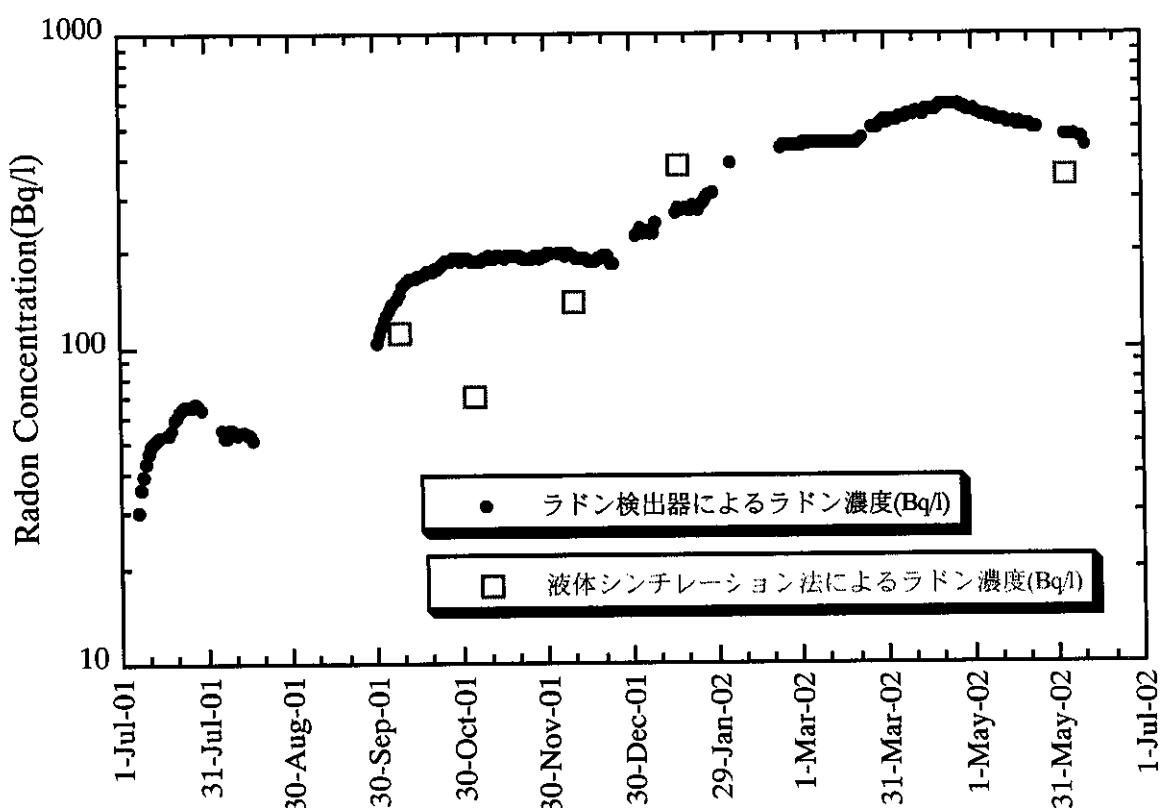


図22 夜次採掘場跡地No.23 モニタリング孔における水中ラドン濃度

7-4. No.18 モニタリング孔内の水中ラドン濃度

No.18 モニタリング孔のモニタリングポストの孔内には、水中投入型の水中ラドン計が設置されている。水中ラドン濃度の観測結果について図23に示す。観測期間は1999年1月1日から2002年6月29日である。最高水中ラドン濃度は1999年1月29日の30(Bq/l)で、最も低い水中ラドン濃度は2001年11月30日の0.33(Bq/l)であった。また、図中の四角印は液体シンチレーション法による水中ラドン濃度の測定結果である。

表15は1999年1月から2002年6月の毎月の平均水中ラドン濃度(Bq/l)を表わす。月平均の水中ラドン濃度の高い月としては、1999年2月の28(Bq/l)、1999年3月の22(Bq/l)、2002年2月の21(Bq/l)である。低い月としては、1999年12月の1.3(Bq/l)、2000年12月の0.7(Bq/l)、2001年12月の1.6(Bq/l)であり、12月になぜ低くなるかは検討中である。

1999年1月	1999年2月	1999年3月	1999年4月	1999年5月	1999年6月
19.4 ± 1.2	28.4 ± 0.1	21.9 ± 0.6	18.3 ± 0.3	13.4 ± 0.6	9.4 ± 0.1
1999年7月	1999年8月	1999年9月	1999年10月	1999年11月	1999年12月
6.8 ± 0.2	5.3 ± 0.2	7.8 ± 0.1	7.0 ± 0.1	6.1 ± 0.7	1.3 ± 0.1
2000年1月	2000年2月	2000年3月	2000年4月	2000年5月	2000年6月
3.2 ± 0.1	5.1 ± 0.1	5.0 ± 0.1	3.9 ± 0.1	5.9 ± 0.8	7.3 ± 0.3
2000年7月	2000年8月	2000年9月	2000年10月	2000年11月	2000年12月
4.9 ± 0.2	3.9 ± 0.1	7.0 ± 0.6	9.0 ± 0.2	4.1 ± 0.5	0.7 ± 0.1
2001年1月	2001年2月	2001年3月	2001年4月	2001年5月	2001年6月
6.2 ± 0.4	7.8 ± 0.1	6.6 ± 0.1	6.2 ± 0.1	7.7 ± 0.1	6.5 ± 0.1
2001年7月	2001年8月	2001年9月	2001年10月	2001年11月	2001年12月
5.2 ± 0.1	3.9 ± 0.1	10.5 ± 1.0	23.0 ± 0.5	4.6 ± 0.8	1.6 ± 0.1
2002年1月	2002年2月	2002年3月	2002年4月	2002年5月	2002年6月
17.9 ± 1.2	21.0 ± 0.1	18.0 ± 0.2	17.1 ± 0.2	15.5 ± 0.4	5.9 ± 0.6

表15 No.18 モニタリング孔内の月平均水中ラドン濃度(Bq/l)

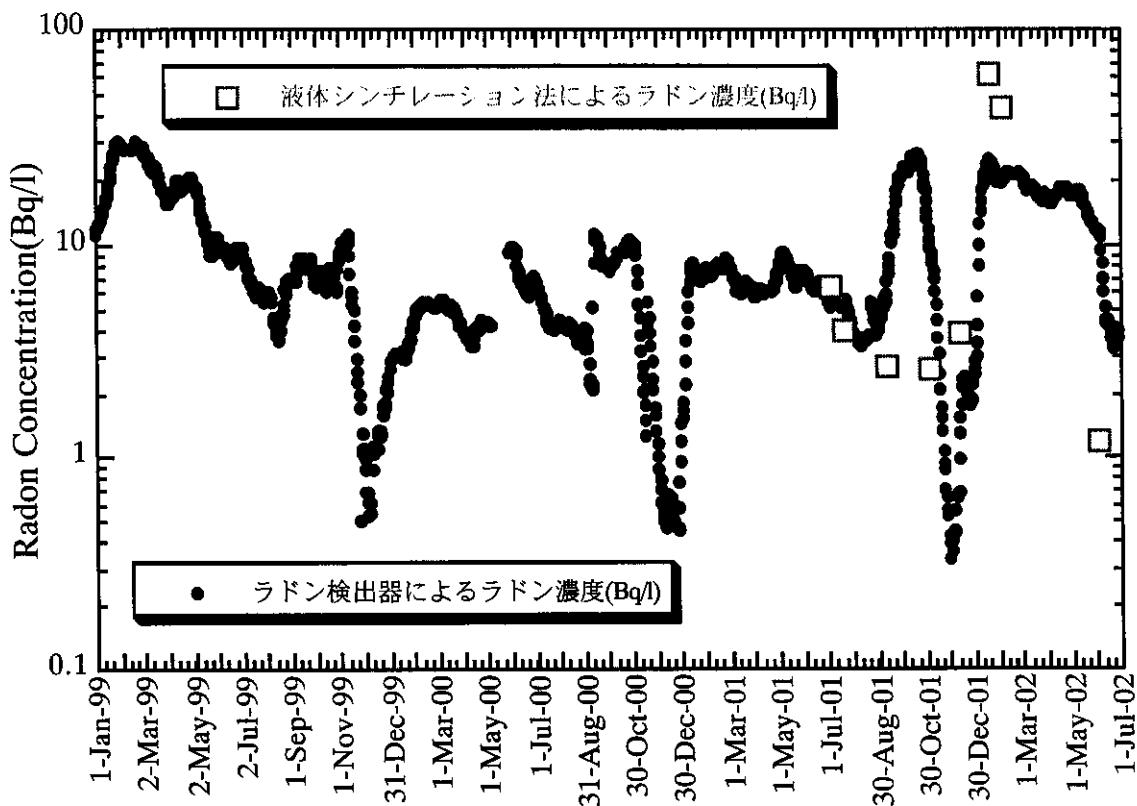


図2-3 夜次採掘場跡地No.18モニタリング孔における水中ラドン濃度

7-5. No.23とNo.5モニタリング孔の標高水位と雨量

図2-1からNo.5モニタリング孔内の水中ラドン濃度の変化を見てみると、夏季の7月～8月のラドン濃度は0.7～7(Bq/l)で低く、冬期の12月～1月のラドン濃度は35(Bq/l)と高い傾向を示している。このような年周期の変動はNo.18モニタリング孔内の水中ラドン濃度においても観測された一般的な傾向である。

しかし図2-2のNo.23モニタリング孔内の水中ラドン濃度の観測結果は、2001年7月～2002年5月まで、水中ラドン濃度は50～500(Bq/l)であり、連続して増加の傾向を示しており、No.5モニタリング孔のような明確な年周変化は見られない。

このように、No.23とNo.5モニタリング孔の水中ラドン濃度を比較すると、約10倍以上の違いが観測された。なぜ、No.23モニタリング孔の水中ラドン濃度は高いのかを考えるために、両モニタリング孔での水位観測データを比較した。

No.23とNo.5モニタリング孔は直線距離で約120m離れており、口元標高はNo.23モニタリング孔が約5m低い。両モニタリング孔には水位計が設置されており、水位観測データから標高水位を求めて比較した。図2-4は、No.5とNo.23モニタリング孔の標高水位の変動を示す。観測期間は2001年7月1日～2002年6月30日である。両モ

ニタリング孔の標高水位は、標高差が約5mあるが、ほとんど同じ範囲707.7m～708.6mで変動している。しかし詳しく見ると、水位変化の割合が大きく異なる。そこで雨量による水位変化の割合を調べた。

図25には、2001年7月1日から11月30日までの雨量データとNo.23とNo.5モニタリング孔の標高水位の変動を示す。雨量の観測点はNo.19モニタリング孔の観測小屋の横である。

この観測期間で日雨量が50mmより大きい観測日は2001年8月21日、8月22日、9月7日、9月11日、9月14日、9月15日、10月22日の7日である。このうち9月7日と9月11日は、No.23モニタリング孔の水位データが欠測しており、残りの3つの観測期間について、雨量と標高水位変動についてまとめて、下記の表16に示す。

観測日	8月21日,22日	9月14日,15日	10月22日
日雨量(mm)	56.0, 73.5	62.0, 59.0	53.0
No.23水位(m)	707.65-->707.87	708.07-->708.18	708.05-->708.10
No.5水位(m)	707.68-->708.33	708.40-->708.62	708.15-->708.38
No.23水位変化(m)	0.22	0.05	0.05
No.5水位変化(m)	0.66	0.22	0.23

表16 No.23とNo.5モニタリング孔の日雨量と標高水位変化の割合

日雨量に対する標高水位の変化の割合は、No.23モニタリング孔ではNo.5モニタリング孔に比較して、3分の1～4分の1の水位変化の割合であることが判明した。

No.23モニタリング孔においては、No.5モニタリング孔と比較して、地下水流動が小さく、地下水の停滞が起こり、その結果水中ラドン濃度の増加が予想される。

サイクル機構の実施した水文調査結果によると、No.23モニタリング孔周辺で水溜まりが認められるという情報がある。また、地下水流動解析結果では、No.23モニタリング孔はフラックス・ベクトルが周りから集中しているとの情報がある。

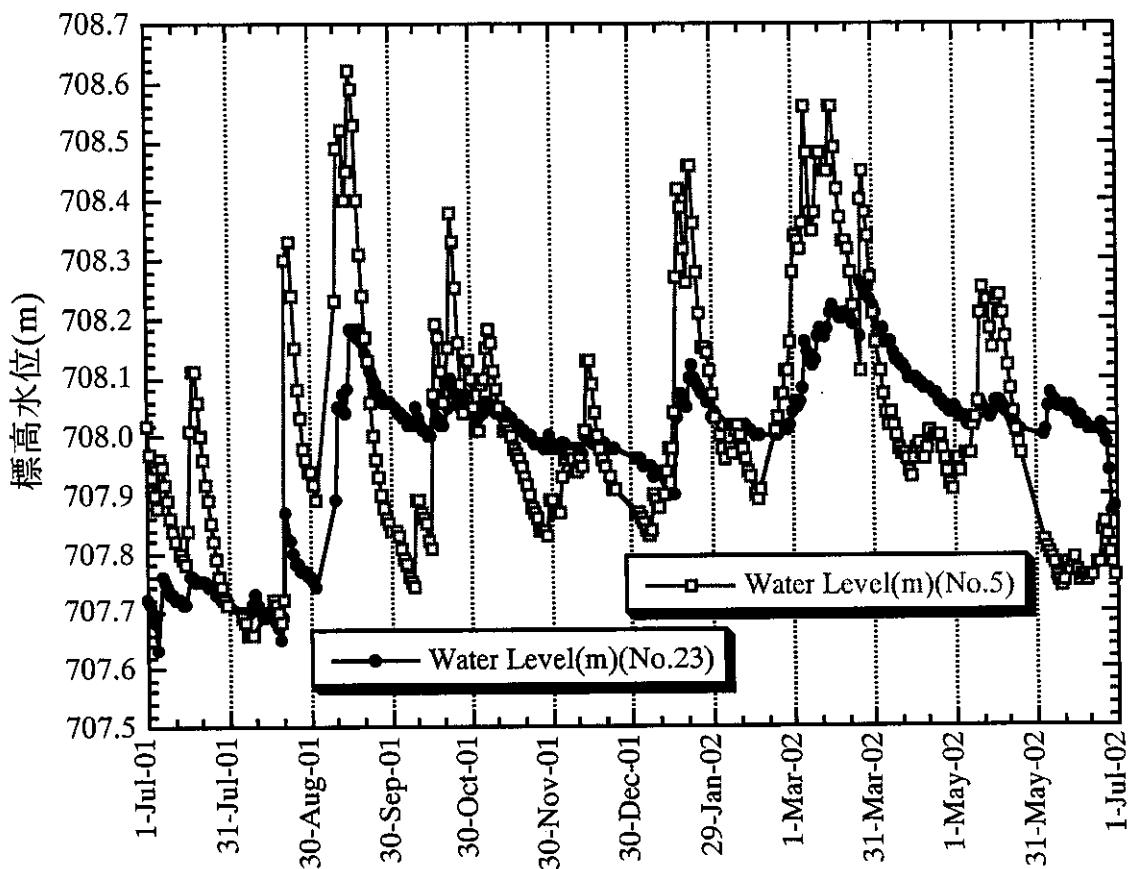


図 2-4 No.5 と No.23 モニタリング孔の標高水位変動

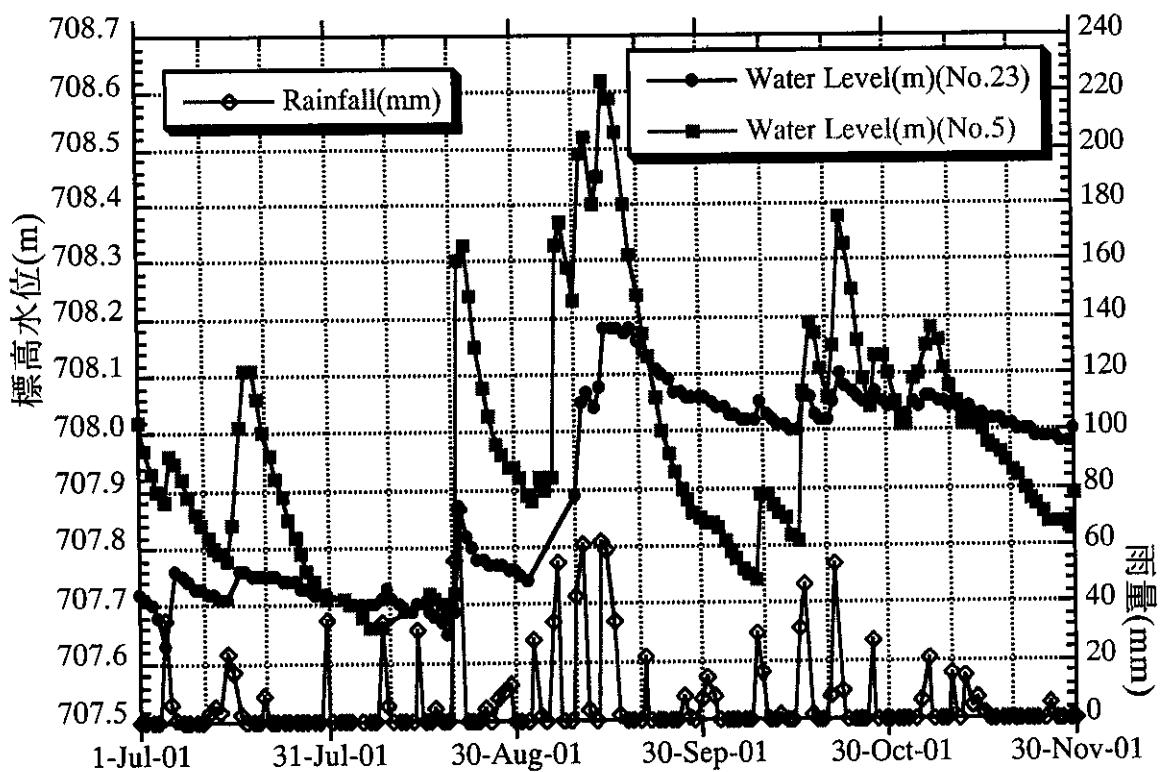


図 2-5 No.5 と No.23 モニタリング孔の標高水位と雨量の比較

7-6. モニタリング孔のラドン濃度と標高水位

下図の図26から、No.19モニタリング孔内の水位と水中ラドン濃度の変化を見てみる。2001年1月から8月の期間は、水位が718.5mと高く、水中ラドン濃度は10～20(Bq/l)と比較的低い。しかし、2001年8月から2002年1月の期間は、水位が715.5mと低下して、水中ラドン濃度は40～60(Bq/l)と上昇している。No.19モニタリング孔は、夜次露天採掘場跡地の中心部にあり、この水位が低いということは、跡地の地下水が風化花崗岩に停滞して地下水流動小さく、水中ラドン濃度を上げていると推察される。

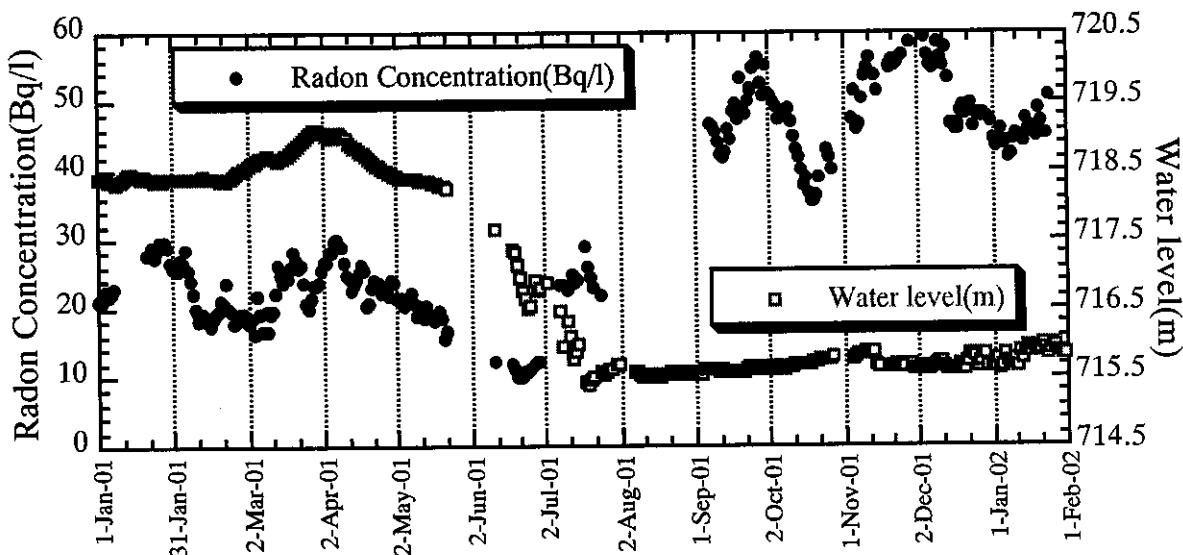


図26 No.19モニタリング孔の標高水位とラドン濃度の変動

図27の上図から、No.23モニタリング孔内の水位と水中ラドン濃度の変化を見てみる。2001年7月～8月において、水位は707.7mと比較的低く、水中ラドン濃度も30～70(Bq/l)と低い。10月から12月にかけて水位が708.0mと上昇するにつれて、ラドン濃度も200(Bq/l)と高くなっている。さらに、2002年1月から4月にかけて、水位が708.3mまで上昇して、ラドン濃度は600(Bq/l)まで高くなかった。2002年5月からは、少し水位が下降するに従って、ラドン濃度も低下しつつある。

図27の下図には、No.5モニタリング孔内の水位と水中ラドン濃度の変化を示す。水位は降雨による変動が激しく、冬期は比較的高い水位を保っている。水中ラドン濃度は夏期が低く、冬期が高い典型的な年変化の様相を示している。

水位とラドン濃度の変動は密接に関係しており、夜次露天採掘場跡地の上流の高いところでは、水位が高い程、水中ラドン濃度は低くなっている。逆に、跡地の下流部

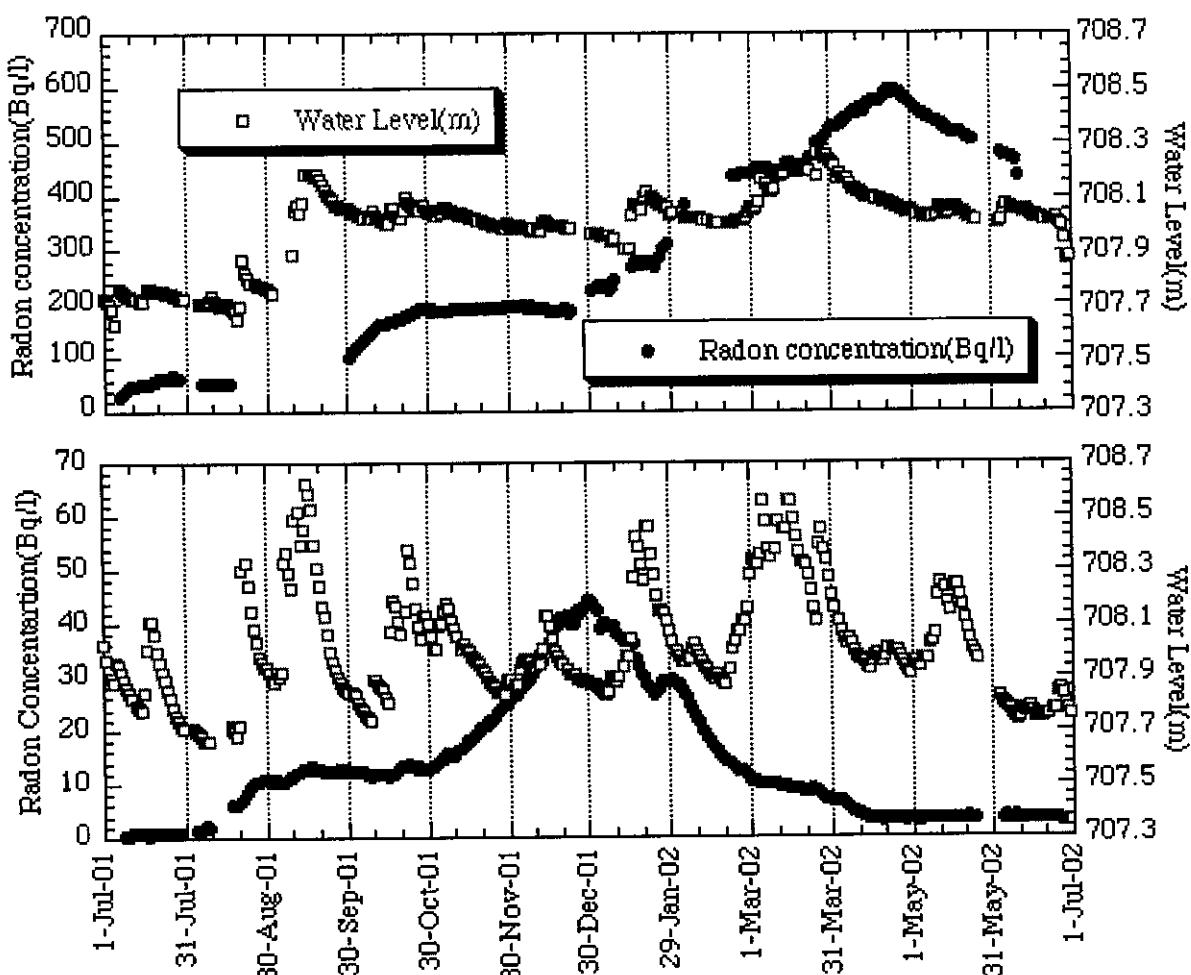


図27 No.23（上図）とNo.5（下図）モニタリング孔の標高水位とラドン濃度

では、水位が高くなると、水中ラドン濃度は高くなっている。この結果から、水中ラドン濃度変動は地下水流动と強く関係していることが推察される。

今後は、本研究の水中ラドン濃度観測結果と地下水流动解析の結果などを相互に比較検討することが必要である。

8. モニタリング技術の検討

今後の鉱山の跡措置を進めていく上で重要なモニタリング技術等について基本的な考え方の検討を行う。

ラドン濃度の原位置測定では、下記のような技術が基本となる。

- 1) 原位置水中ラドン濃度は、水位、雨量などの測定項目とともに重要であり、特に年間を通じた連続測定技術が非常に重要である。

- 2) 水中ラドン検出器としては、水質が比較的良いところでは、水中投入型の水中ラドン計を使用する。しかし、水質が悪いところでは地上設置型水中ラドン計を使用する。
- 3) 室内と屋外の空气中ラドン濃度の連続観測結果は、風速や積雪量などの気象観測データと相互比較しながら検討することが重要である。
- 4) プレハブ観測小屋などの室内空气中ラドン濃度の観測には、静電捕集容積が1リットルの空气中ラドン計で感度は十分である。屋外の空气中ラドン濃度の測定には、静電捕集容積70リットルの大型空气中ラドン計の使用が必要である。
- 5) 観測された測定データはラドン観測情報ネットワークを通じて収集して、データベースとして集中管理する技術が重要である。
- 6) 観測データは、Web Pageなどを通じて、観測状況を常時モニタリングすることが重要であり、また隨時データベースから観測データを取り出して解析することが可能な観測システム技術が重要である。
- 7) ラドン測定結果は地下水流動のモデル解析などの結果と相互比較して、検討していくことが重要である。

9. まとめ

平成8年度から実施してきた研究成果について、総合とりまとめを行う。
研究成果としては、水中ラドン計の開発、空气中ラドン計の開発、ラドン観測情報ネットワークシステムの開発、空气中ラドン濃度の測定結果、水中ラドン濃度の測定結果である。

9-1. 水中ラドン計

本研究では、水中ラドン濃度を原位置測定するための水中ラドン計を開発した。検出器は1年以上の長期間の連続測定の実用試験においても、十分に性能を発揮した。水中ラドン検出器には下記の2種類がある。

- 1) 水中投入型水中ラドン計
- 2) 地上設置型水中ラドン計

前者の水中ラドン計は、水質の良い、モニタリング試錐孔の水深2mに直接に投入して、水中ラドン濃度を連続測定することができる。水中投入型水中ラドン計は3

ヶ所のNo. 18、No. 23、No. 5 モニタリング孔に設置されている。

また、後者の水中ラドン計は、水質の悪いモニタリング試錐孔の地下水を水中ポンプで汲み上げて、ラドン計の検出部に注入することによって、水中ラドン濃度を連続測定することが可能である。地上設置型水中ラドン計はNo. 19 モニタリング孔に設置されている。

9 - 2. 空気中ラドン計

本研究では、室内、外気のラドン濃度を測定するための空気中ラドン計の実用試験を行った。空気中ラドン計には下記の2種類がある。

- 1) 小型空気中ラドン計
- 2) 大型空気中ラドン計

前者の、静電捕集容積が1リットルの小型空気中ラドン計は、No. 17、No. 19、No. 23、No. 5 モニタリング孔の観測用プレハブとモニタリングポスト内に設置されている。検出感度は約1(Bq/m³)であり、主に屋内の空気中ラドン濃度測定用に適している。

後者の、静電捕集容積が70リットルの大型空気中ラドン計は、No. 19 モニタリング孔の観測用プレハブに設置されおり、夜次露天採掘場跡地における屋外の空気中のラドン濃度の連続測定を行っている。検出感度は約0.01(Bq/m³)であり、屋外の空気中ラドン濃度測定用に適している。

9 - 3. ラドン観測情報ネットワークシステムの開発

夜次露天採掘場跡地の4ヶ所の観測施設内にある計測用パソコンは、ISDN電話回線を通じて、岐阜大学及び環境計画課にあるデータ取得サーバとネットワーク接続され、空気中ラドン濃度、水中ラドン濃度、水位、雨量、風速などの観測データをリアルタイムで取得することができるようになった。

データ取得サーバは自動であらかじめ設定された時刻に観測データを取得し、データ解析を行い、観測項目毎にデータ解析ファイルを作成してデータ共有化を図っている。また、Webサーバによる「Web Page ラドン観測データ表示システム」の開発より、遠隔地でのモニタリングとラドン濃度変動評価等を行うことが可能となった。

本研究で開発された「ラドン観測情報ネットワークシステム」は、オンラインでリアルタイムにモニタリング可能であり、また利用者の認証を行うことも可能である。このシ

システムは、ラドン濃度の規制値以上のラドン濃度を記録したときなどの早期発見などの危機管理にも応用できるネットワークシステムである。さらに落雷によるシステム破損の危険を回避する方策を充実すれば、長期的な安全確認のためのモニタリングシステムとしては最適であると考えられる。また、空気中、水中ラドン計の1年以上の連続測定データに基づいて、季節変動や気象状況に起因する、ラドン濃度値の予測についても将来十分に対応できるシステムである。

9-4. 空気中ラドン濃度の測定結果

屋内のラドン濃度については、No.17 モニタリング孔の第1プレハブ観測小屋と、No.19 モニタリング孔の第2プレハブ観測小屋の観測結果が、図10と図14に表わされている。夏季は数10(Bq/m³)と通常値である。しかし、冬期の積雪にともなって、観測小屋が雪に埋もれて、地面から放出されたラドンガスが観測小屋内に溜まり、屋内の空気中ラドン濃度は6000～7000(Bq/m³)まで上昇することが判明した。

夜次露天採掘場跡地における、地表近くの屋外ラドン濃度の観測結果は図16に示されている。明け方に風速が秒速0.5m以下になると、ラドン濃度は200(Bq/m³)まで高くなることがわかった。その結果、2001年12月～2002年5月の屋外月平均ラドン濃度は40～50(Bq/m³)と比較的高くなつた。

No.5とNo.23モニタリング孔のモニタリングポスト内の空気中ラドン濃度の測定結果は図18と図19に示されている。2ヶ所のモニタリングポストは隙間が多く外気との換気が良く、冬期でも雪に埋もれることは無く、ほとんど外気のラドン濃度を測定していると考えられる。両者のラドン濃度の変化の様子は非常に似ており、2001年12月～2002年6月の月平均ラドン濃度は、No.23モニタリングポストでは40～70(Bq/m³)であり、No.5モニタリングポストでは45～90(Bq/m³)である。

9-4. 水中ラドン濃度の測定結果

No.18モニタリング孔には、水中投入型の水中ラドン計が設置されている。水中ラドン濃度の観測結果について図23に示す。1999年1月から2002年6月の3.5年間の毎月の平均水中ラドン濃度を測定した。月平均の水中ラドン濃度の高い月としては、1999年2月の28(Bq/l)、1999年3月の22(Bq/l)、2002年2月の21(Bq/l)の冬期の2月～3月である。比較的に低い月としては、7月～8月であり、平均水中ラドン濃度は4

～5(Bq/l)である。特に低い月としては、1999年12月の1.3(Bq/l)、2000年12月の0.7(Bq/l)、2001年12月の1.6(Bq/l)である。

夜次露天採掘場跡地の中心部にある、No.19モニタリング孔内の水位と水中ラドン濃度の変化を見てみる。2001年1月から8月の期間は、水位が718.5mと高く、水中ラドン濃度は10～20(Bq/l)と比較的低い。しかし、2001年8月から2002年1月の期間は、水位が715.5mと低下して、水中ラドン濃度は40～60(Bq/l)と上昇している。No.19モニタリング孔の水位が低いということは、跡地の地下水が風化花崗岩に停滞して地下水流动が小さく、水中ラドン濃度を上げていると推察される。

No.5モニタリング孔の水中ラドン濃度の変化を見てみると、夏季の7月～8月のラドン濃度は0.7～7(Bq/l)で低く、冬期の12月～1月のラドン濃度は35(Bq/l)と高い傾向を示している。

No.23モニタリング孔の水中ラドン濃度の観測結果について図22に示す。観測期間は2001年7月から2002年6月である。8月の水中ラドン濃度53(Bq/l)は低く、2002年4月の水中ラドン濃度565(Bq/l)は高い。このモニタリング孔の水中ラドン濃度はすべての観測データの中で最高のラドン濃度を示した。また、日雨量に対する標高水位の変化の割合は、No.23モニタリング孔ではNo.5に比較して、3分の1から4分の1の水位変化の割合であることが判明した。No.23モニタリング孔においては、地下水の停滞が起こり、地下水流动が小さく、その結果水中ラドン濃度の増加が予想される。

No.19モニタリング孔のある、夜次露天採掘場跡地の中心部では冬期の水位は積雪の影響で、夏季と比較して約3m低い。逆にNo.23モニタリング孔では8月と比較して1月から3月は約40cm水位が高い。このような水位の変化が、水中ラドン濃度の夏期が低く、冬期が高いという、年周変化の原因であると考えられる。

水位とラドン濃度の変動は密接に関係しており、夜次露天採掘場跡地の中心部の高度の高いところでは、水位が高い程、水中ラドン濃度は低くなっている。逆に、跡地の下流部では、水位が高くなると、水中ラドン濃度は高くなっている。この観測結果から、水中ラドン濃度変動は地下水流动と強く関係していることが推察される。今後は、本研究の水中ラドン濃度と水位の変動の観測結果と、地下水流动解析結果などを相互に比較し検討することが必要である。

参考文献

- 1). 岐阜県神岡鉱山における地下水中のラドン濃度の観測（1）, 平4.8, 地震 第2輯
第45巻, 1-9頁
- 2). 水中ラドン検出器の開発, 平6.3, RADIOISOTOPES, 第43巻, 第3号, 125-133頁
- 3). Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan, 平7.7, Science
, Vol.269, pp.60-61
- 4). 小型ラドン測定システムの開発, 平8.5, 岐阜大学地域共同センター研究成果報告
書, 第6号, 45-52頁, 125-133頁
- 5). 小型ラドンデータロガーの開発, 平8.12, RADIOISOTOPES, 第45巻, 第12号
, 741-752頁
- 6). 静電捕集型高感度空気中ラドン検出器の開発, 平9.10, RADIOISOTOPES
, Vol.46, No.10, 710-719頁
- 7). Preliminary Results from Radon Observation at SYOWA station, Antarctica, during 1996,
平10.11, Polar Meteorology and Glaciology, No.12, pp.112-123
- 8). Development of High Sensitivity Radon Detectors, 平11.1, Nuclear Instruments and
Methods in Physics Research, Vol.A421, pp.334-341
- 9). World Wide Web を用いた地下水ラドンデータ表示システムの構築, 平12.3, 岐阜
大学教育学部研究報告－自然科学－第24巻第2号, pp.41-46
- 10). 水とラドン, 平12.11, 放医研環境セミナーシリーズ, No.27 ラドン、その人間への
影響まで、下道國、山田裕司編, 放射線医学総合研究所, pp.76-93