

島根原子力発電所周辺におけるラドン濃度

〈変動要因の解析〉

生田美抄夫・藤井幸一

要 旨

空間放射線量率変動のバックグラウンドを把握するため、原子力発電所周辺の数地点でラドン及びラドン娘核種の測定を行い、ラドン濃度変動と気象因子との関連を解析した。

西浜佐陀（松江市）で典型的な日周期変動が確認された。西浜佐陀のラドン濃度は、地上と34m上空の温度差には無関係であり、標高150m及び300mの場所との温度差に依存し、接地逆転層の層厚及び強度に最も影響されていた。

ラドン濃度は、気温減率が不明でも風速による解析が可能であり、風速とラドン濃度はほぼ逆相関の関係があった。しかし、冬季の北西風の際は遠方由来ラドンが逆相関を崩していた。

西浜佐陀の地上付近においてはラドンおよびラドン娘核種ともに濃度の顕著な上昇はなかったが、シベリア気団に乗ったラドン供給は、冬季の線量率上昇の要因になっていると考えられる。

春季から秋季は近傍由来成分が多く、遠方由来のラドンは大きくは影響していなかった。

キーワード：ラドン、島根原子力発電所、フーリエ変換、接地逆転層、風速

1. はじめに

ラドン (Rn-222) は、ウラン (U-238) から始まるウラン系列に属している原子番号86、質量数222、密度 9.96kg/m^3 (空気： 1.29kg/m^3) の α 壊変をする自然界で最も重い放射性希ガスで、半減期は3.8日である。

大気中には大地よりラドンが供給され続けており、地球上での大気中濃度は $0.02\sim 10\text{Bq/m}^3$ の範囲に分布している。一方、ラドンは呼吸により肺を中心に年間 1.3mSv (ミリシーベルト) の内部被曝をもたらしており、この量は自然放射線による実効線量 2.4mSv (国連科学委員会による世界の平均値、1993年) の約半分にあたる。

島根県は、島根原子力発電所周辺において、原子力発電所からの予期しない放出を監視するため、1977年よりテレメータによる空間放射線量率の常時監視を行っている。ラドンの娘核種が降水時、雨や雪に取り込まれ空間放射線量率が平常の2～3倍に上昇する現象はよく知られているが、降水時以外の、大気中ラドンの濃度変動による空間放射線量率の変動等は、必ずしも実態がよく把握されていない。また、周辺住民の被曝量の評価、推定をTLD (熱ルミネセンス線量計) により行っているが、大地、大気及び宇宙線それぞれからの寄与の弁別はできない。

空間放射線量率変動の客観的な説明を可能とするため、また周辺住民の被曝量評価推定に活用するため、さらにはラドンをトレーサーとし原子力発電所周辺の大気の状態を把握し、緊急時の放射性プルームの拡散解析の精度を上げるため、原子力発電所周辺の数地点でラドン及びラドン娘核種の測定を行った。ここでは、西浜佐陀でのラドン濃度変動と気象因子との関連を中心に報告する。

2. 調査方法

2. 1 調査地点

松江市西浜佐陀 (保健環境科学研究所)、松江市鹿島町深田及び松江市鹿島町朝日山 (朝日寺) でラドン濃度を、松江市西浜佐陀、松江市鹿島町御津及び松江市鹿島町古浦でラドン娘核種濃度を連続測定した。

(図1)

2. 2 測定方法

- ・ラドン：通気式静電ラドンモニター
(検出器：ZnS (Ag) シンチレーション式、
捕集電圧： $-1,300\sim -3,000\text{V}$ 、捕集流量： 1L/min 、
応用光研、PYRON) 計4台

- ・ラドン娘核種：ダストモニター
 (検出器：CsI (TI) シンチレーション式
 RaA,RaB,RaC個別濃度測定法、応用光研)
- ・空間線量率：モニタリングポスト
 (検出器：NaI (TI) シンチレーション式、
 3インチ球形、DBM方式、ALOKA) 4局

3. 調査結果及び考察

3.1 ラドン濃度変動

a) 月変動

1994年1月から12月までの西浜佐陀におけるラドン濃度の月平均値を図2に示した。春季から夏季に低く、秋季に高くなる傾向がうかがえる。これは日本海側の京都府舞鶴市での季節変動と同様である¹⁾

b) 時刻変動

ラドン濃度の時刻変動に着目し、時刻別の平均値を図3に示した。これにより、西浜佐陀では16～18時に最も低くなり、6時～8時に最も高くなる日変動が見られる。

c) 周期性

ラドン濃度の変動の周期性を確認するため、高速フーリエ変換によるスペクトル解析を行い図4、5に示した。日射の影響による24時間の強い周期があり、年間

では8月～10月に24時間の周期が強まる傾向が見えるが、秋季は大気が安定しやすく接地逆転層の形成が強まるためと考えられる。そのほか、移動性高気圧の通過に対応する3日の周期も存在する。

3.2 ラドン濃度と気象要素との関係

a) ラドン濃度と気温との関係

ラドン濃度変動には、夜間の接地逆転層の形成が影響するのはよく知られている。そこで、西浜佐陀のラドン濃度と気温差(西浜佐陀-深田、西浜佐陀-朝日山、西浜佐陀(地上一屋上))関係(図6)を見ると、地上と標高40mの屋上との気温差ではラドン濃度との相関が無く、ラドン濃度は標高6mの西浜佐陀と標高150mの深田、310mの朝日山との気温差と相関があることがわかる。深田の場合を例に取り、その経時変化(1月～3月)を図7に示した。また、1月9日から11日までの西浜佐陀、深田、朝日山の気温変化を図8に示した。このように夜間、放射冷却が進むときは上空の気温の方が地上よりも高くなり大気が安定する。

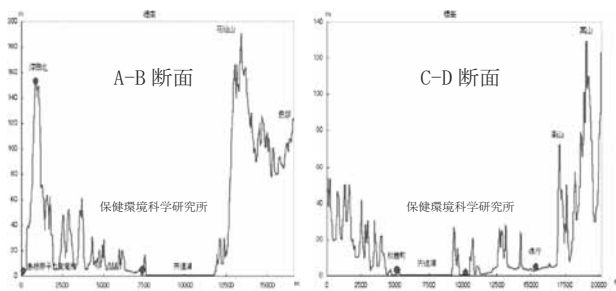
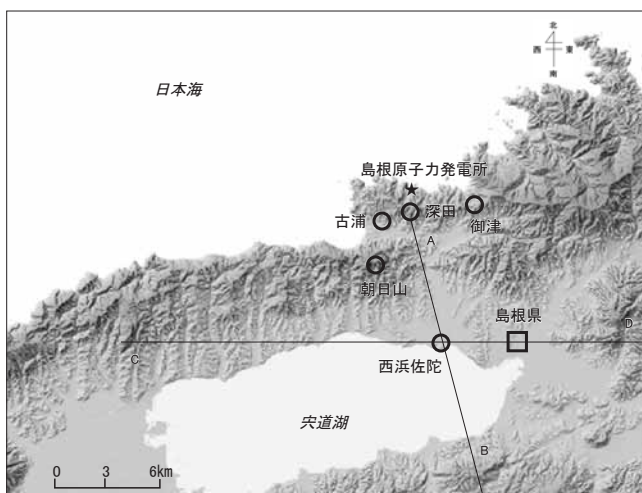


図1 調査地点

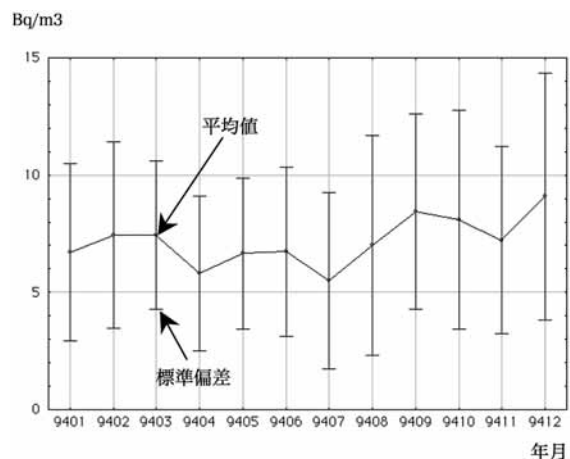


図2 西浜佐陀ラドン濃度の月変動

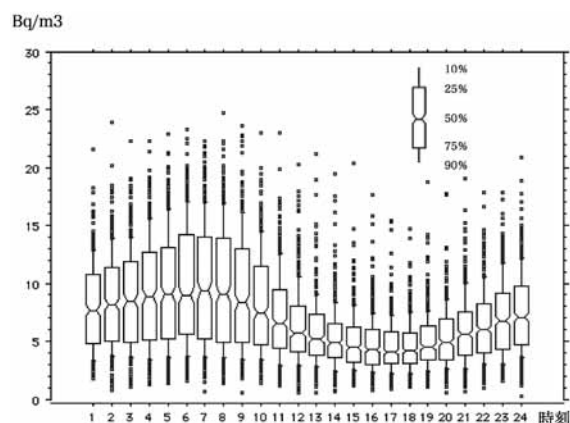


図3 西浜佐陀ラドン濃度の日変動

b) ラドン濃度と風向、風速との関係

西浜佐陀での月別の風向より、1月、2月及び12月に地形の影響か北西(NW)風というより西(W)の風が卓越している。3月、4月になると東(E)寄りの風が多くなり、その後、秋まで日中は北東(NE)の海風、夜間は南西(SW)の陸風が吹くようになる、7月はそれが顕著に現れた。しかし深田では北(N)の海風、南(S)の陸風がはっきりしているのに比べると、風向がずれているのは、海岸線から離れていることと宍道湖の影響であろう。

時刻別の風速とラドン濃度の関係では、風速が4 m/s以下で日周期変動が観測され、4 m/sを超えると全日ほぼ一定濃度であった。(図9)

西浜佐陀の風向別平均ラドン濃度及び平均風速を図10に示した。風向がカーム(C:風速0.4m/s以下)、南(S)寄りの風のとき、ラドン濃度が高いが、逆に風速が強い北東(NE)寄り及び南西(SW)のときラドン濃度が低い。このようにラドン濃度と風速の関係を見ると、ほぼ対称形をしており西浜佐陀での風速の強弱がラドン濃度に大きく影響

しており、北西の風を除き、風向にはあまり左右されないように見える。北西の風の時は逆相関を仮定したよりラドン濃度が高く、この風向では何らかの増加要因があるのであろう。

それを考察するため、春夏秋冬における風向別の風速とラドン濃度の関係をレーダーチャートとして示した(図11)。

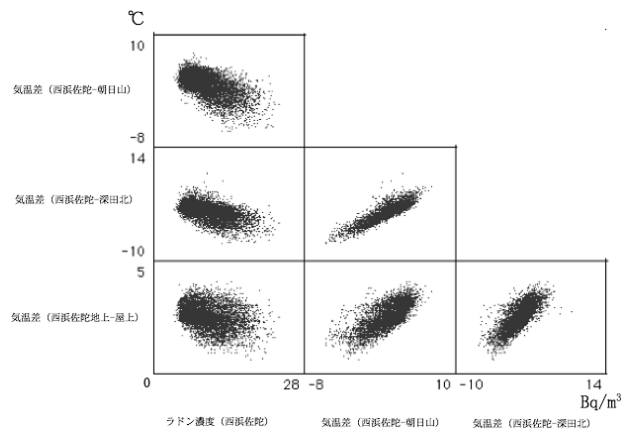


図6 西浜佐陀ラドン濃度と気温差

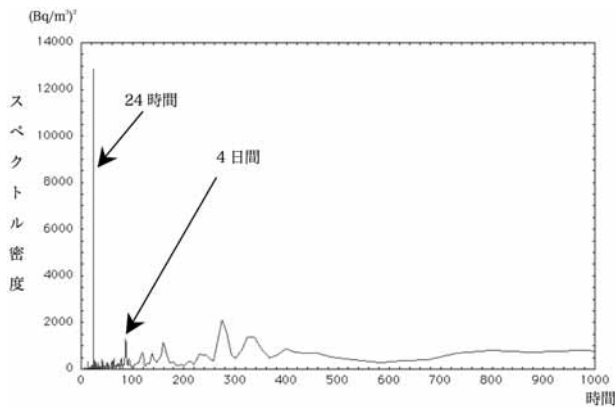


図4 西浜佐陀ラドン濃度の変動周期(年間)

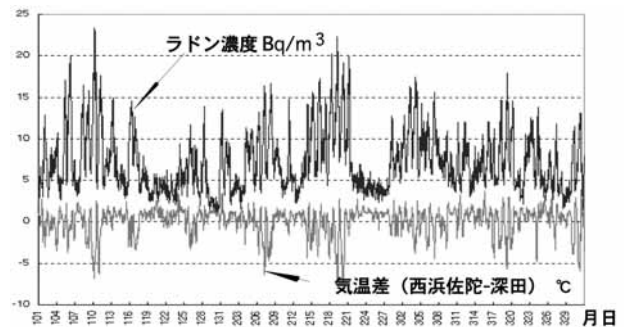


図7 西浜佐陀ラドン濃度と気温差変化

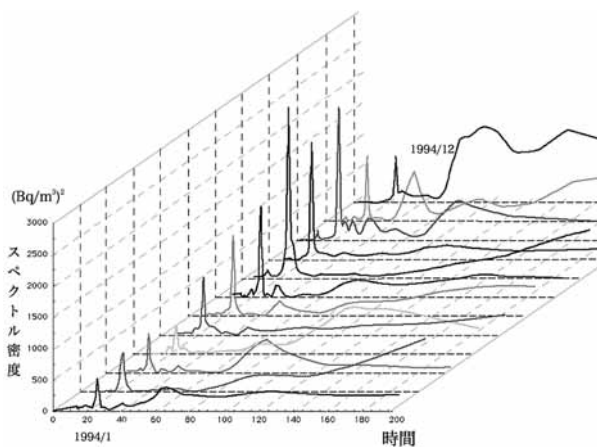


図5 西浜佐陀ラドン濃度の変動周期(月別)

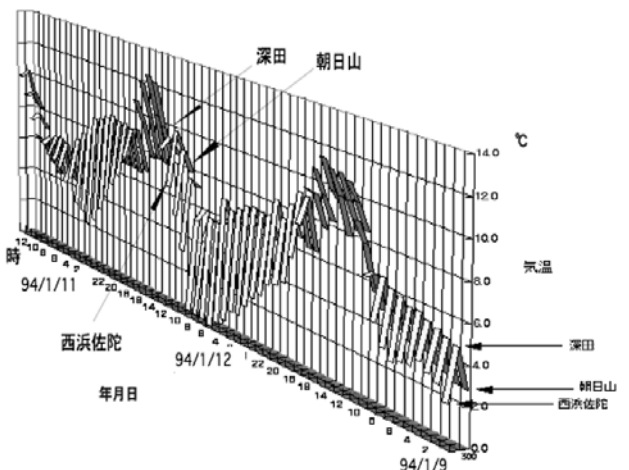


図8 接地逆転層の生成と解消

春夏季はどの方位も風速とラドン濃度は逆相関が強く、秋冬季では北西側で風速とラドン濃度の逆相関関係が崩れている。

さらに詳細に風向と風速別に分類したラドン濃度では、風速が2～4 m/sでは北西(NW)～西(W)風のとき濃度の上昇が見られた(図12)。これは冬季の北西の強い季節風の影響というより、近傍のラドン高濃度放出源からの影響の可能性もある。

また、風速が4 m/s以上では南(S)風のとき特異的にラドン濃度の上昇があり、南側にラドン高濃度放出源存在の可能性もある。

c) ラドン濃度と降水との関係

月別に降水の有無によるラドン濃度の分布を図13に示した。この図から、多くは降水によりラドン濃度が減少しているように見えるが、降水時は一般に風速が強まり、前述のように風速の影響が大きいので、3者間の関係を見るため、ラドンの濃度差(非降水時-降水時)と風速差(非降水時-降水時)の月別変化を図14に示した。なお降水時とは降水中、降水開始前1時間、降水終了後3時間とした。

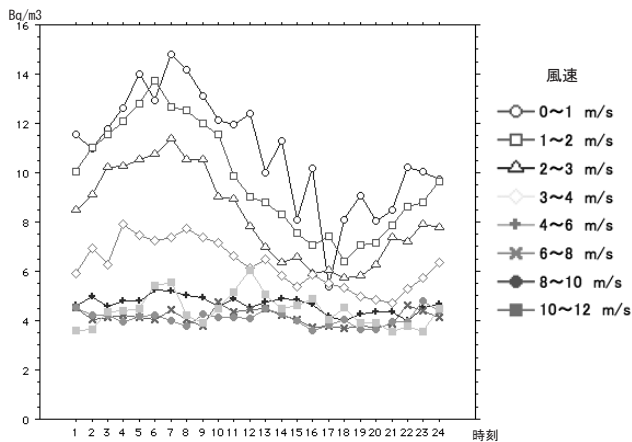


図9 西浜佐陀 時刻別の風速とラドン濃度

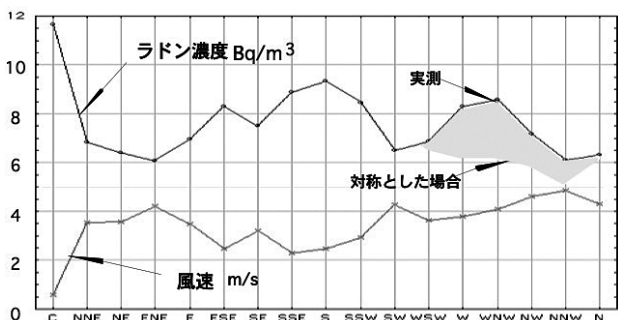


図10 西浜佐陀 風向別のラドン濃度と風速

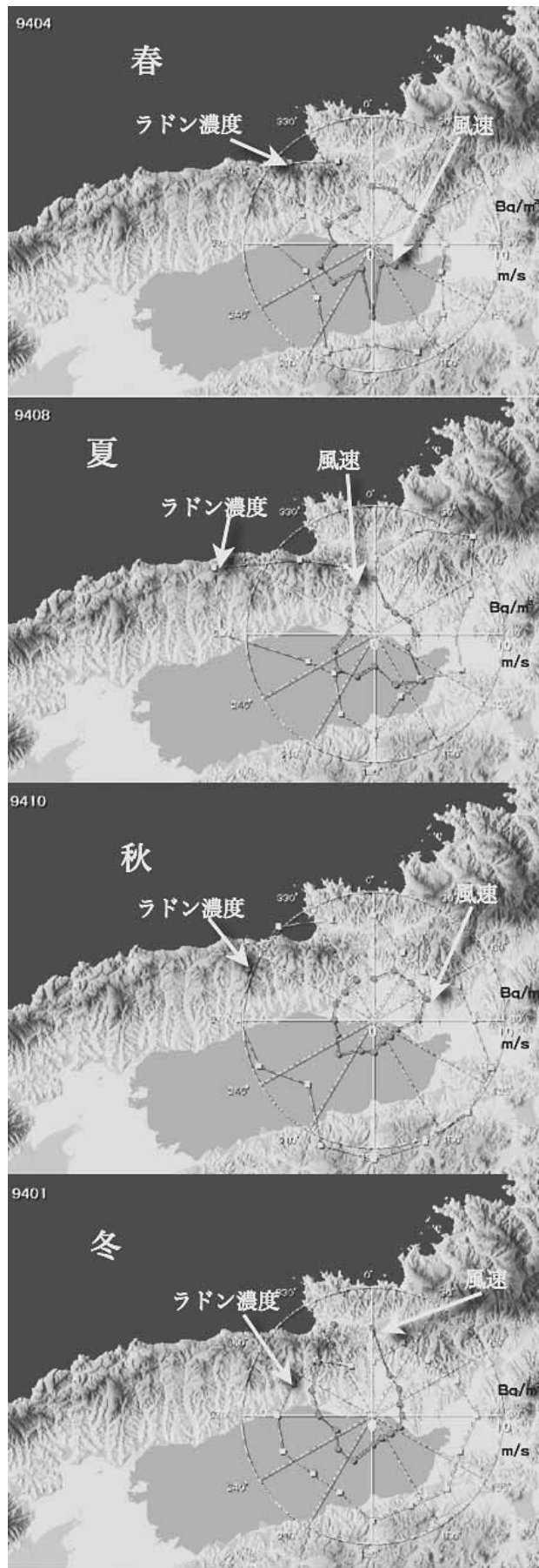


図11 西浜佐陀月別の風向別のラドン濃度と風速 (図の縮尺方位は図1と同じ)

3月及び11月、風速差が無いときはラドン濃度差も無く、7、8月は降水が数パーセントしかなく数値の変動が大きいが、風速差が大きいとラドン濃度差も大きくなる傾向がある。よって、降水時におけるラドン濃度の見かけの低下は、降水時には風速が高いことによるものであって、降水自体はラドン濃度にあまり影響しないものと思われる。

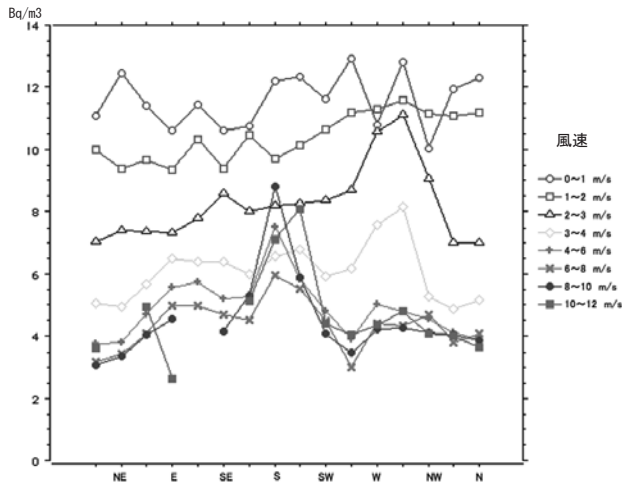


図12 西浜佐陀風向別、風速別ラドン濃度

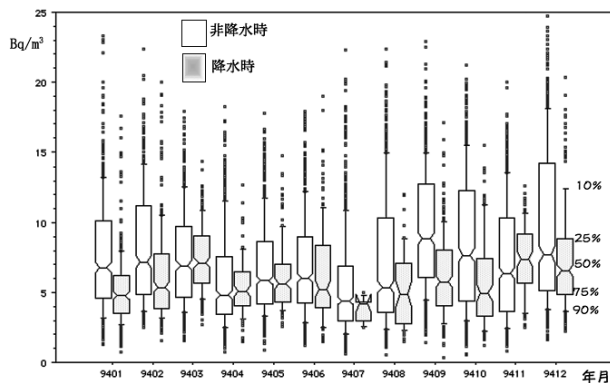


図13 西浜佐陀ラドン濃度の月変動

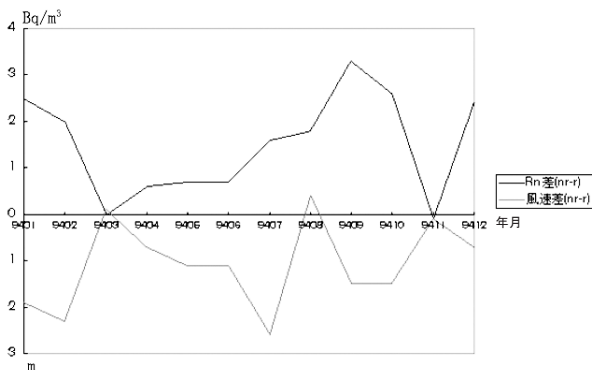


図14 西浜佐陀ラドン濃度差と風速差（非降水時-降水時）

d) ラドン濃度と大気安定度との関係

大気安定度とは、空気中の放射性物質の拡散状態を示すパラメータを決定するために必要な大気の状態を表す分類であり、日中は風速と日射量で、夜間は風速と放射収支量で決まる。大気安定度別のラドン濃度を図15に示した。安定度C~D（年間60%）のときは比較的風速が強い場合が多いのでラドン濃度は低くなっている。一方夜間、放射冷却により大気が安定状態になるE~F（年間25%）ではラドン濃度は高くなる。また、A~B（年間10%）は鉛直拡散が大きい風速が弱いため、このときもラドン濃度は高くなる。

すなわち、鉛直拡散係数にかかわらず、主に水平方向の風による拡散で濃度が決定する。

e) ラドン濃度とラドン娘核種濃度との関係

西浜佐陀におけるラドンとラドン娘核種（RaB/Rn）比の時間別変化を図16に示した。

RaA/Rn比は0.7を、RaB/Rn比は0.5を、RaC/Rn比は0.4~0.5を中心とした変化をしていた。また時間変化で見ると7時、8時にこれらの比は最大となり11時から13時には最小となる。これは、接地逆転層形成中に放射平衡の状態に近くなり、その後逆転層解消に伴い地中からラドンが供給されるためであろう。この傾向は全期間で認められている。

またこの比を月別見ると図17となる、春季と秋季に放射平衡状態に近づく、これはこの時期は大気が安定しやすいためと考えられる。

f) ラドン濃度と線量との関係

西浜佐陀の1994年10月の線量率、風速、降水量、ラドン濃度、ラドン娘核種RaC（Bi-214）の経時変化を図18に示した。降水による線量率の上昇やラドン（娘核種）濃度の変動による24時間周期の小さい変動が見える。また、降水後は土壌の含水率が上昇するため、

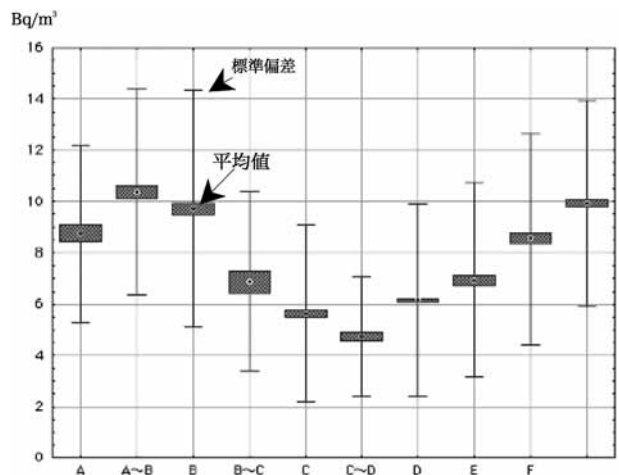


図15 西浜佐陀ラドン濃度と大気安定度

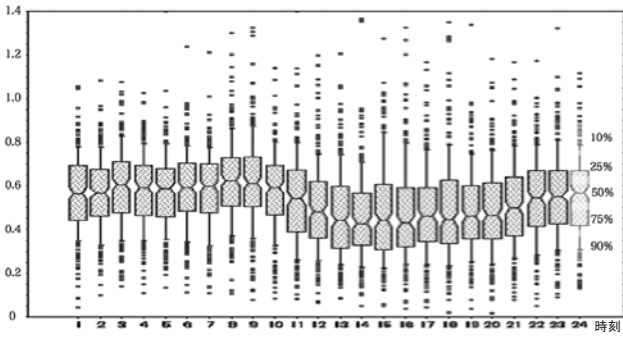


図16 西浜佐陀時刻別ラドン濃度とRaBとの比 (RaB/Rn)

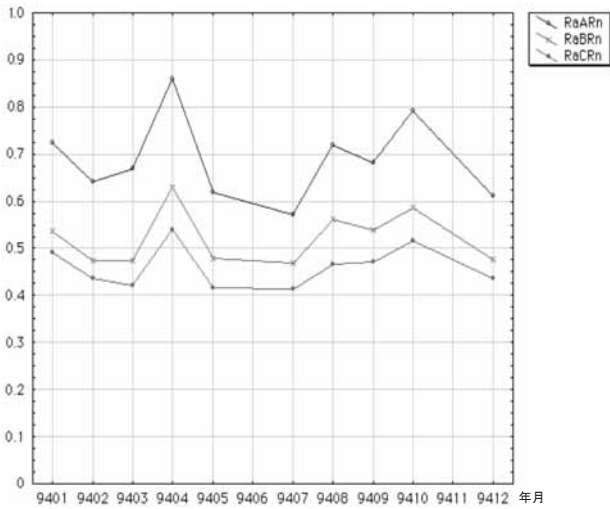


図17 月別ラドン濃度とラドン娘核種濃度との比

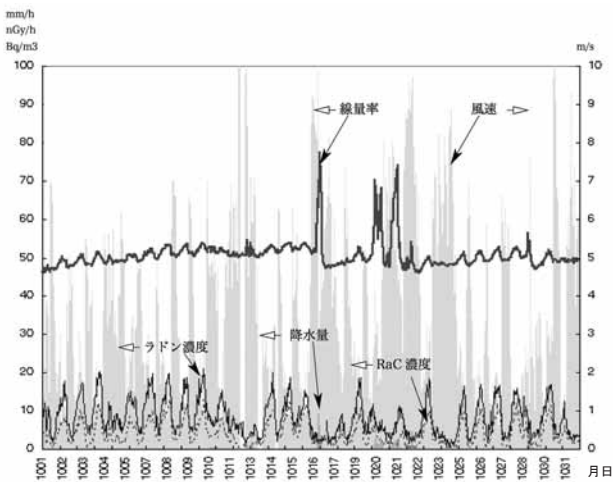


図18 西浜佐陀 線量率、風速、降水量、ラドン濃度、ラドン娘核種RaCの経時変化

遮蔽効果によりベースラインが低下するが、晴天がつづくと徐々に上昇する。

西浜佐陀での時間帯別の線量率変化は、6時、7時に高く、17時、18時に低くなるパターンが多く、接地逆転層形成に伴うラドン娘核種の蓄積と解消に対応している。

図19にラドン濃度、ラドン娘核種濃度と線量率の相関を示した。相関図は明らかに数種のグループに分かれているが、これは降水による土壌含水率の季節的な変動が影響していると考えられる。²⁾

また、ラドンとラドン娘核種 (Bi-214) の濃度には全期間とも強い相関がある。

さらに、ベースラインの変動の影響を取り除き、詳しく両者の関係を見るため、降水が無かった時のラドン濃度差と線量率差の関係を図20に示した。これよりラドンが直接線量率に寄与はしないが、ラドン濃度が1 Bq/m³変化すると線量率が、およそ0.21nGy/h変化する関係となることがわかる。

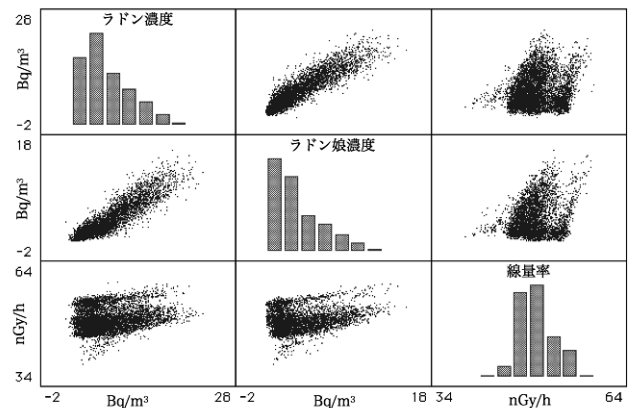


図19 西浜佐陀 ラドン濃度、RaCと線量率

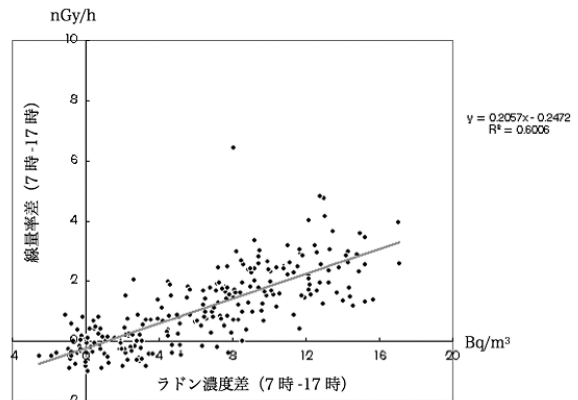


図20 西浜佐陀 ラドン濃度と線量率

4. まとめ

ラドン濃度の日周期変動は良く知られているが、西浜佐陀でも典型的な日周期変動が確認された。西浜佐陀のラドン濃度は、地上と34m上空の温度差には無関係であり、標高が高いところの温度差に依存して、逆転層の高さに比例している。厚い逆転層の場合は、気温減率の低下と逆転層解消に時間を要することによる、ラドン濃度の上昇があると思われる。

このことから、西浜佐陀周辺における地面からのラドン発生量は年間変動が少なく、ラドン濃度は逆転層の強度によって決まっていると考えられ、春季から秋季は近傍由来成分が多く、遠方由来のラドンは大きくは影響していない。

ラドン濃度は接地逆転層の層厚及び強度が最も影響するが、気温減率が不明でも近傍由来のラドン濃度は風速とも強い相関があるため風速による解析が可能である。

風速とラドン濃度はほぼ逆相関の関係があるが、北西風の時はこの関係が崩れている、冬季、北西の季節風が吹き込むとき西浜佐陀ラドン濃度は約6 Bq/m³であるが、同時期隠岐島で3 Bq/m³であった³⁾ことから、冬季における遠方由来ラドンによる供給が半分近くあり、これが逆相関を崩しているのではないかと思われる。

降水時には降水に取り込まれたラドン娘核種により線量率が上昇するケースが多いが、冬季の降水時には線量率が通常の3倍近くまで上昇することがある。

この説明として季節風中のラドン娘核種が多量に供給されるためとされているが、西浜佐陀の地上付近においてはラドンおよびラドン娘核種ともに濃度の顕著な上昇はない。

しかし、フラックスとしては多量のラドン供給があり、冬季の線量率上昇の要因になっていると考えられる。

非降水時の線量率変動要因解析には、ラドン、ラドン娘核種濃度把握が必要であるが、濃度測定に時間を要し1時間以上後でないと結果が解らない。

今後はリアルタイム(10分程度)で大気中及び降水中娘核種濃度を算出するシステム開発にも取り組みたい。

文 献

- 1) 藤波直人、江坂 忍：舞鶴市における大気中ラドン娘核種濃度の季節変動,保健物理, 26 127-128 (1991)
- 2) 生田美抄夫、藤井幸一、江角周一、藤原敦夫：放射性物質の大気境界層内での動態に関する研究 (1996)

Radon Concentration around Shimane Nuclear Plant <Analysis of Changing Factors>

Misao IKUTA, Kouichi FUJII

Summary

The radon and the radon progeny were measured in several points around the nuclear plant to understand the back-ground of the air dose rate change, and the relation between the change of radon concentrations and the weather factors was analyzed.

The typical cycle of day change was confirmed with Nishihamasada (Matsue City). The radon concentrations of Nishihamasada was irrelevant to temperatures fluctuate in the ground and the sky of 34m, depended on temperatures fluctuate with the place of above sea level 150m and 300m, and was influenced most by the thickness of the layer and strength of the surface inversion layer. The radon concentrations was able to be analyzed according to the wind speed even if the temperature lapse rate was uncertain, and the wind speed and the radon concentration almost had the relation of the inverse correlation.

However, the distance origin radon had destroyed this correlation at the northwester in winter.

It is thought that the radon supply to get on the Siberian air mass is a factor of the dose rate rise in winter though neither the radon nor the radon progeny rose the concentrations in the vicinity of the ground of Nishihamasada remarkably.

The neighborhood origin element was the majority in autumn from spring, and the radon of the distance origin did not greatly influence.

Key words: Radon, Shimane nuclear plant, Fourier transform, surface inversion layer, wind speed