

モニタリングポストで測定される 空間放射線量率の変動について

田中卓実・田中長義

1 はじめに

モニタリングポストは自然環境中の放射線強度（空間放射線量率）を連続的に測定し、大気核実験による降下物の影響、原子力関係施設等周辺の放射能漏れを監視する目的で全国に設置された。

モニタリングポストにより得られる空間放射線量率（以下線量率と言う）は平常時においても常に変動しており、当所の測定結果でも、経年、経月変動は比較的小さいものの、1時間単位で見れば気象条件、特に降水の影響と思われる大きな変動が見られる。

そこで当所で得られた線量率の測定結果と降水等気象条件との因果関係について解析したところ若干の知見が得られたので報告する。

2 解析方法

解析に用いる測定項目、及び測定方法は、以下のとおり。

測定項目	測定方法（測定機器等）
空間放射線量率	NaI シンチレーション検出器
γ線放射性核種	Ge 半導体検出器
降水量	多機能型デジタル雨量計
風向、風速	自記微風向風速計
気温、湿度	自記温度湿度計
日射量	自記日射計
浮遊粒子状物質濃度（SPM）	β線吸収法
最深積雪量	「鳥取県の気象月報」より

3 空間放射線量率の測定結果

(1) 経月変動

過去4年間（平成5年度～8年度）の線量率の経月変動を図1に示す。

線量率の月間平均値、最低値の変動が比較的小

さいのに比べ、月間最高値の変動が大きいことがわかる。月間平均値は40nGy/hあたりに集中しており、過去4年間では最低が38nGy/h、最高が43nGy/hで特に季節の特徴は見られなかった。

一方、月間最高値、最低値は明らかに冬季に季節の特徴が認められる。すなわち年間を通すと冬季に月間最高値が高くなり、逆に最低値は低くなる傾向が明らかに見られる。

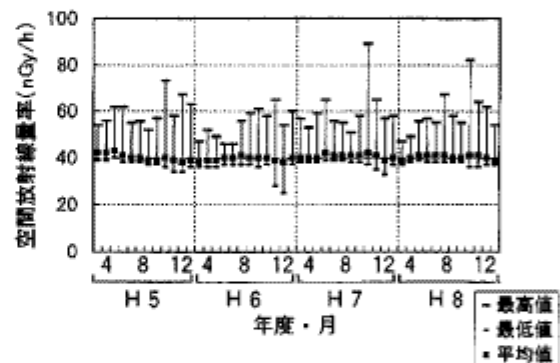


図1 線量率の経月変動

4 考察

自然環境中の放射線を発生源別に大別すると次の4つが考えられる。

- ① 地中からのγ線（天然放射性核種）
- ② 地表面からのγ線（天然放射性核種、降下人工放射性核種）
- ③ 大気中からのγ線（ラドン、トロンの娘核種）
- ④ 宇宙線

これらのうち当所のモニタリングポストでは宇宙線の寄与を除いて測定しているため、この中で短期的に強度が変動するのは主に②、③のγ線である。

これを踏まえ、線量率と気象7要素、SPM濃度（以下、気象要素等と言う）との関係について考察した。

(1) 線量率と気象要素等の相関について

線量率と気象要素等の4ヶ年（平成5年度から8年度）の日別データを四半期別（季節別）に分け、それぞれ単相関分析により相関を見た。（表1）

表1 線量率と気象要素等の相関（単相関係数）

	春季 n=339	夏季 n=357	秋季 n=366	冬季 n=355
降水量	0.5052**	0.6248**	0.7552**	0.5203**
風向	-0.0891	-0.1817**	-0.0281	-0.1543**
風速	-0.3712**	-0.2453**	0.1449**	0.0858
気温	0.2067**	-0.1223*	-0.2374**	-0.0273
湿度	0.4246**	0.4578**	0.4585**	0.4175**
日射量	-0.3717**	-0.3913**	-0.3756**	-0.2944**
最深積雪量	—	—	0.1968**	-0.3514**
SPM濃度	0.0678	0.1819	-0.1268*	0.0347

** 1%の危険率で有意

* 5%の危険率で有意

ここで、線量率、風速、気温、湿度、SPM濃度は日平均値、降水量、日射量は日積算値、風向は1日の内、N系（NE～NW）の風の吹いた割合を用いた。

四季を通じ線量率と強い相関（1%の危険率で有意）が認められたのは降水量、湿度、日射量であり、降水量、湿度とは正の相関、日射量とは負の相関が認められた。

線量率と各要素間の相関は季節により相関の正負が逆転する要素もあるなど、かなり異なっており、関係の複雑性が窺われる。

(2) 主成分分析による解析

線量率の変動の大きい冬季について、ここで取り上げた8個の要素（日別変数）について主成分

分析を適用し、線量率が大きく変動する要因について解析した。

各要素間の単相関係数を表2、各主成分の固有値、固有ベクトル、因子負荷量、寄与率、累積寄与率を表3に示す。

第1主成分（Z1）は湿度、降水量、最深積雪量の寄与が正で大きく、日射量、気温が負で大きいことから「真冬季」を表す合成変数、第2主成分（Z2）は主に風向、風速に関連する（季節風の影響？）合成変数、第3主成分（Z3）は気温、SPM濃度の寄与が正で大きく、日射量が負で大きいという性格を持つ合成変数、第4主成分（Z4）は主に最深積雪量に関連する合成変数であると解釈できる。

なお、はじめのいくつかの主成分により、元のデータの持つ情報を説明する程度を累積寄与率と呼ぶが、この場合、固有値が1以上の第3主成分までの累積寄与率が67%、第4主成分までの累積寄与率が78%程度であった。

そこで線量率が通常に比べかなり変動する現象と、これら気象要素等との関連性を見るために、個々のデータに対する主成分の値（主成分スコア）の散布図上に高線量率の日（線量率の日平均値が45nGy/h以上）と低線量率の日（日平均値が35nGy/h以下）をマークすると図2～図4のようになった。

高線量率はZ1-Z3軸の第1象限、すなわち気温、湿度が高く降水量の多い気象条件の日に出現し易いこと、低線量率はZ1-Z3軸の第3象

表2 冬季における気象要素間の相関（単相関係数）

n=355	降水量	風向	風速	気温	湿度	日射量	最深積雪量	SPM濃度
降水量	1.0000							
風向	0.0055	1.0000						
風速	0.0578	0.4600**	1.0000					
気温	-0.2244**	-0.0367	-0.0148	1.0000				
湿度	0.5845**	-0.1385**	-0.2484**	-0.2664**	1.0000			
日射量	-0.4454**	-0.0090	-0.2317**	0.2123**	-0.5501**	1.0000		
最深積雪量	0.2613**	-0.0180	-0.0040	-0.3904**	0.2072**	-0.1866**	1.0000	
SPM濃度	-0.1932**	-0.1774**	-0.1144**	0.5037**	-0.1649**	0.1537**	-0.1679**	1.0000

** 1%の危険率で有意

* 5%の危険率で有意

表3 主成分分析表

項目	Z 1		Z 2		Z 3		Z 4	
	固有ベクトル	因子付加量	固有ベクトル	因子付加量	固有ベクトル	因子付加量	固有ベクトル	因子付加量
降水量	0.4614	0.7353	-0.0825	-0.1053	0.2995	0.3303	0.0054	0.0049
風向	0.0163	0.0259	0.6230	0.7953	0.1276	0.1407	-0.0505	-0.0457
風速	0.0387	0.0616	0.6360	0.8119	0.3095	0.3413	0.1929	0.1747
気温	-0.3994	-0.6364	-0.1261	-0.1610	0.5152	0.5681	0.0537	0.0487
湿度	0.4714	0.7512	-0.3174	-0.4052	0.2257	0.2489	-0.1983	-0.1797
日射量	-0.4354	-0.6938	-0.0205	-0.0262	-0.4412	-0.4865	-0.0073	-0.0066
最深積雪量	0.3308	0.5272	0.0008	0.0010	-0.3213	-0.3543	0.8102	0.7341
SPM濃度	-0.3234	-0.5154	-0.2889	-0.3688	0.4288	0.4728	0.5114	0.4633
固有値	2.5393		1.6295		1.2157		0.8210	
寄与率	0.3174		0.2037		0.1520		0.1026	
累積寄与率	0.3174		0.5211		0.6731		0.7757	

限とZ1-Z4軸の第1象限、すなわち気温が低く、降水量(降雪量)、積雪量が多い日に出現し

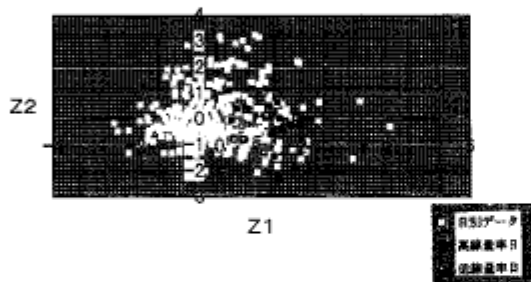


図2 主成分スコア (Z1-Z2)

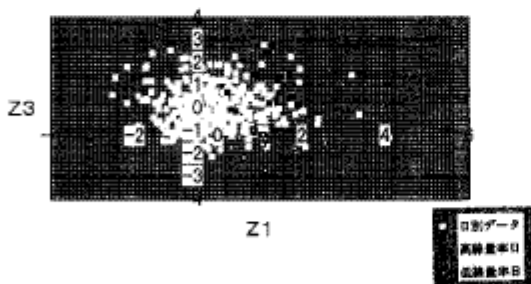


図3 主成分スコア (Z1-Z3)

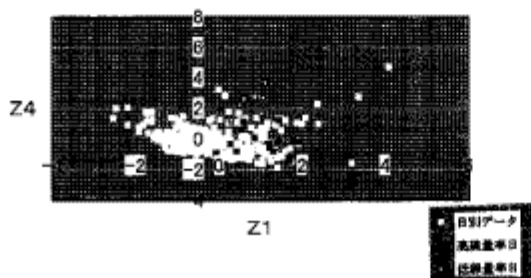


図4 主成分スコア (Z1-Z4)

易いことがわかる。(図4からSPMとの関連性は少ないものと思われる。)

なお、線量率の低下は地中からのγ線が積雪により一部遮蔽されるため起こると考えられる。

また図2で高線量率日がZ2のスコアの大きい領域には、ほとんど分布していないことから冬の季節風が卓越している日には出現しにくいものと思われる。

(3) 降水の影響

ア 降水時と無降水時の比較

図5は平成8年度の降水時と無降水時における線量率の月間平均値の経月変動を示したものである。無降水時に比べ降水時の線量率が高いのは明らかであり、月によって2~8 nGy/hの差があった。

さらに平成8年度の降水量と線量率の変動を四半期別に1時間単位で図9~図12(P.85~86)に示す。

これらの図から線量率の急激な上昇は降水に起因していることがよくわかるが、上昇量は必ずしも降水量(降水強度)に対応しているわけではなく、降水中の放射能濃度(降水の比放射能)が変動していることを示唆している。

イ 線量率を上昇させる降水中のγ線放射性核種の同定

降水時の線量率上昇の要因として雲中、落下中に雲粒、雨滴に取り込まれる短寿命のラドン娘核種、トロン娘核種によるところが大きいと

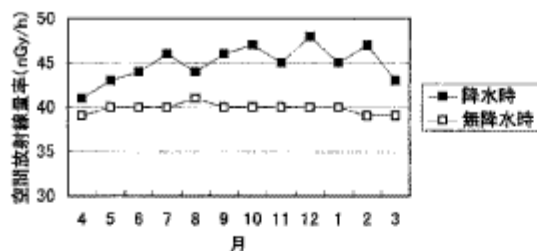


図5 線量率の経月変動（降水時、無降水時別）

言われている。

そこでモニタリングポストのマルチチャンネルアナライザー（MCA）を使い、降水前と降水時の空間放射線をエネルギー別にそれぞれ計測して、降水によるエネルギー分布（図6）の変化を調べるとともに、Ge半導体検出器により、その時の降水中に含まれるγ線放射性核種の同定を行った。（図7）

図6のようにモニタリングポストで得られるγ線スペクトルは、エネルギー分解能が低く、ピークは広がりをもつため、Ge半導体検出器によるγ線スペクトルのように、はっきりしたピークにならない。そのため、降水によるエネルギー分布の変化は50KeV～1300KeV、1500KeV～1800KeVの範囲で連続的に認められ、特に600KeV付近と1750KeV付近に大きな変化が見られる結果となった。

なお、図6の縦軸は計数値であり、線量率に換算する場合、エネルギー別に異なる重み付け

をする必要があるが、ここでは大ざっぱに比較するため、片対数グラフとした。

一方、図7の降水のγ線スペクトルから降水中に含まれるγ線放射性核種は図中に記載されているエネルギーのγ線を放出する ^{214}Pb 、 ^{214}Bi であることがわかった。

これらの結果を比較すると、図6のエネルギー分布で変化が認められた位置と図7のピーク的位置がほぼ一致しており、さらに図6でエネルギー分布の変化が大きかった位置が ^{214}Pb 、 ^{214}Bi の主要ピーク的位置付近であることから、線量率上昇の要因となる主たる核種は、降水中に含まれるラドン娘核種の ^{214}Pb （RaB）、 ^{214}Bi （RaC）であると言える。

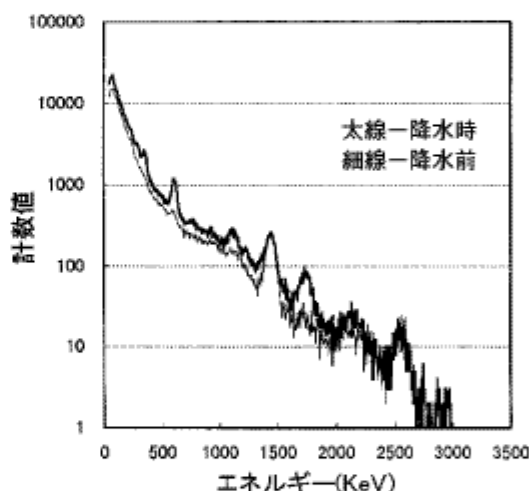


図6 空間放射線（γ線）のスペクトル

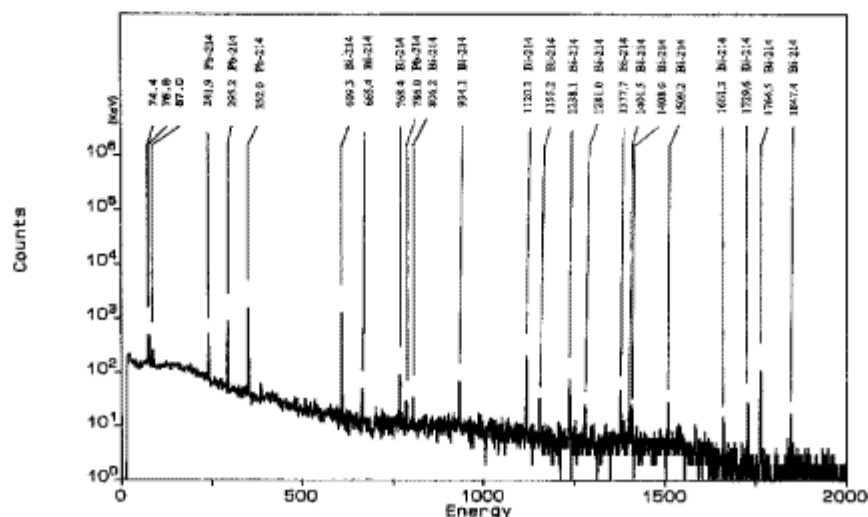


図7 降水のγ線スペクトル

ウ 降水1mm当たりの線量率上昇量について

降水時の線量率の上昇は、その時点での降水により地表に運ばれてきた放射能とそれ以前の降水により運ばれてきた放射能の両方に依存している。そこで降り始めの線量率上昇量が、その時の降水に含まれる放射能にのみ依存していると仮定し、5年度から8年度までの4年間のデータをもとに降り始め1時間の線量率の上昇量と降水強度（1時間当たりの降水量）を季節別（四半期別）にプロットして近似式を算出し、その傾きから降水1mm当たりの線量率上昇量を求め、初期降水中の放射能濃度の指標とした。（図8）

なお、ここでの降水強度は降水の流出を考慮に入れ、10mm/h以下のデータのみを使用している。

降水1mm当たりの線量率上昇量は冬季（1月～3月）、秋季（10月～12月）、春季（4月～6月）、夏季（7月～9月）の順に大きく、特に冬季が他の季節に比べ顕著に大きいことは、冬季に初期降水中の放射能濃度が顕著に高くなることを裏付けているものと思われる。

降水中の放射能は①雲の中で捕獲される場合（rainout）と②降下中に捕獲される場合（washout）が考えられるが、一般的には大部分が①であると言われており、季節による雲中のラドン娘核種濃度の相違、捕獲される効率の相違等の要因が考えられる。

エ 降水中の放射能濃度と気象要素との関係について

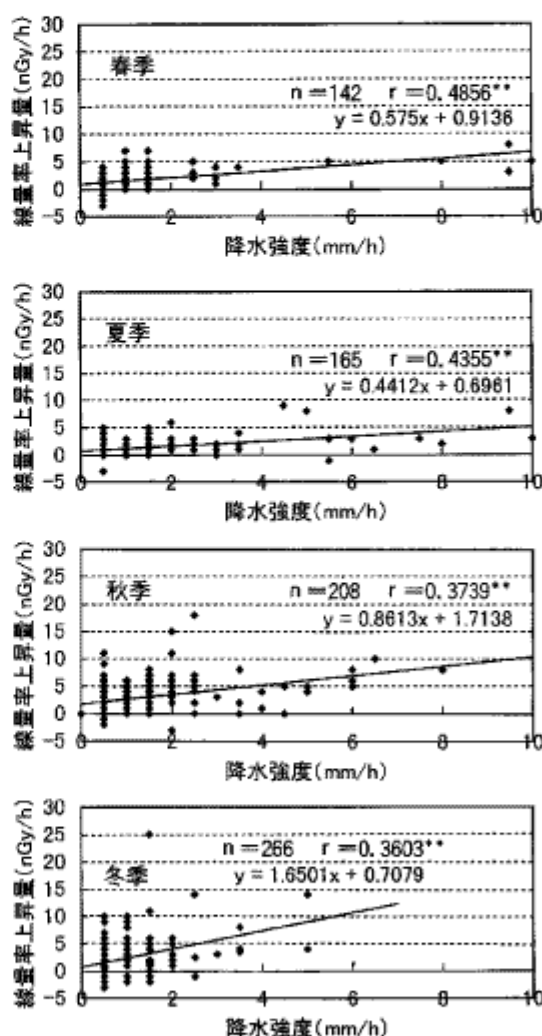
線量率の上昇は、アで述べたように降水による影響が支配的であることから、上記表1で線量率との間に相関が認められた要素は本来、線量率との直接的な因果関係は薄く、降水量、降水中の放射能濃度の増減に何らかの形で関係している可能性が大きい。

そこで、(1)、(2)で使用した5年度から8年度の日別データのうち、降水日のデータのみを使用し、偏相関分析（表4）を行い、降水中の放射能濃度との関係（偏相関係数）について考察

した。

これによると、風向、風速、気温、湿度、最深積雪量が降水量一定の条件で線量率と強い相関が認められた。（風速、湿度は正の相関、風向、気温、最深積雪量は負の相関）

今、降水日に限定しているため、線量率の上昇が降水量、降水中の放射能濃度とのみ因果関係があると仮定すると、このうちの最深積雪量を除く風向、風速、気温、湿度と降水中の放射能濃度との間に何らかの因果関係があるものと推測される。



** 1%の危険率で有意

図8 線量率上昇量と降水強度の関係
(季節別、H5年度～H8年度)

表4 降水時における線量率、気象要素間の相関（偏相関係数）

n=630	線量率	降水量	風向	風速	気温	湿度	日射量	最深積雪量	SPM濃度
線量率	1.0000								
降水量	0.4839**	1.0000							
風向	-0.2040**	0.0782	1.0000						
風速	0.1230**	-0.0168	0.3313**	1.0000					
気温	-0.1351**	0.2653**	0.0681	-0.1274**	1.0000				
湿度	0.2477**	0.1366**	0.2340**	-0.5376**	0.1334**	1.0000			
日射量	-0.0002	-0.1635**	0.1822**	-0.2905**	0.3385**	-0.3687**	1.0000		
最深積雪量	-0.3138**	0.2114**	-0.0776	0.1364**	-0.3211**	0.2080**	0.0890*	1.0000	
SPM濃度	0.0636	-0.0806*	-0.1462**	-0.0374	0.3784**	-0.0610	0.0263	0.0113	1.0000

** 1%の危険率で有意

* 5%の危険率で有意

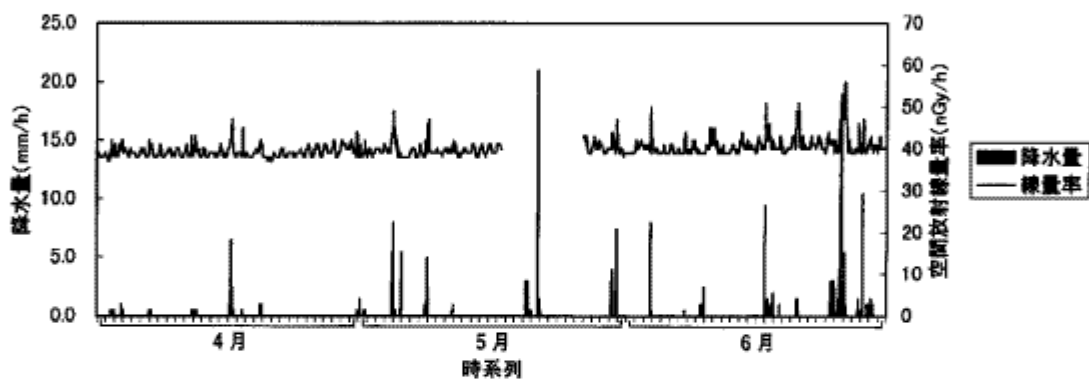


図9 1時間単位で見た降水量と線量率の変動（春季）

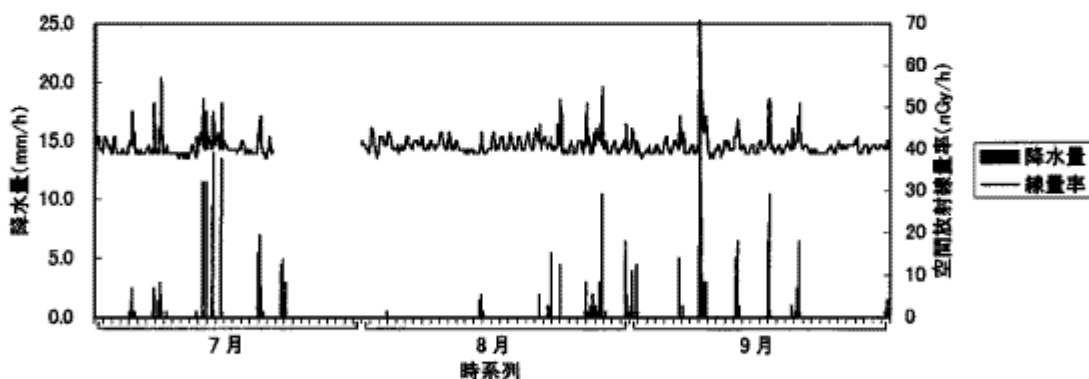


図10 1時間単位で見た降水量と線量率の変動（夏季）

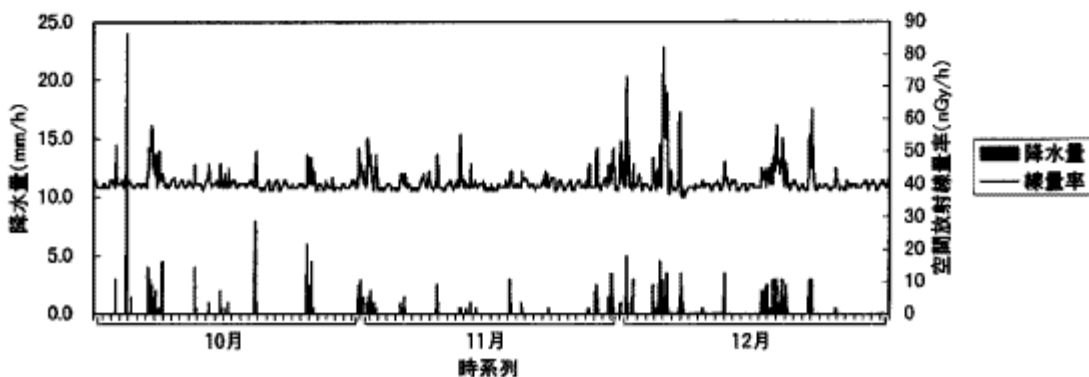


図11 1時間単位で見た降水量と線量率の変動（秋季）

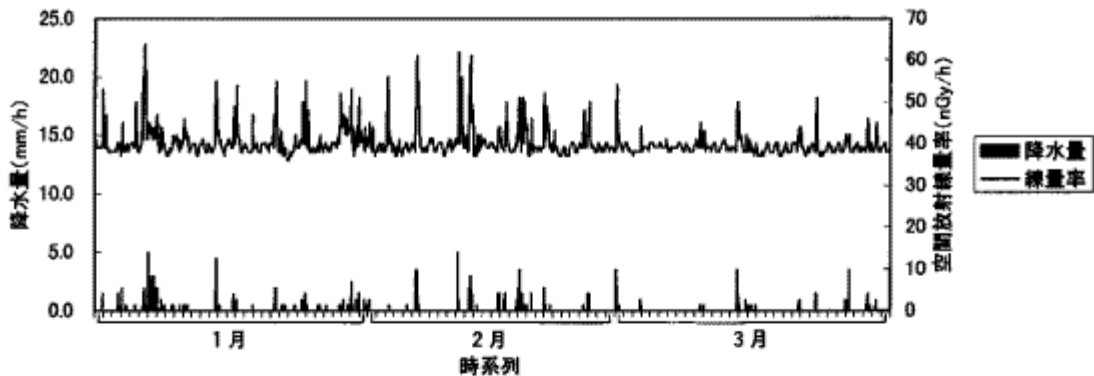


図12 1時間単位で見た降水量と線量率の変動（冬季）

5 ま と め

- (1) 空間放射線量率の月間平均値、月間最低値の経月変動が比較的小さいのに比べ、月間最高値の経月変動は大きい。月間平均値には特に季節的特徴は見られなかったが、月間最高値は冬季に高くなる傾向、月間最低値は冬季に低くなる傾向が明らかに見られる。
- (2) 空間放射線量率と気象7要素（降水量、風向、風速、気温、湿度、日射量、最深積雪量）、SPM濃度との単相関分析では、四季を通じ、線量率と降水量、湿度、日射量との間に強い相関が認められた。
- (3) 空間放射線量率の変動の大きい冬季について、気象7要素、SPM濃度の日別データ（5年度～8年度）を用い、主成分分析により高線量率、低線量率となる気象条件を解析したところ、高線量率は気温、湿度が高く、降水量の多い気象条件の日に、また低線量率は気温が低く、降水量、積雪量の多い日に出現し易いことがわかった。
- (4) 降水時と無降水時における空間放射線量率を比較すると、降水時の方が月により2～8 nGy/h、高い結果となった。
- (5) 降水による空間放射線スペクトルの変化と降水のγ線スペクトルを比較した結果、線量率上昇の要因が降水中に含まれるラドン娘核種

の ^{214}Pb 、 ^{214}Bi であることが確認できた。

- (6) 季節別に初期降水1mm当たりの線量率上昇量を求め比較したところ、冬季（1月～3月）、秋季（10月～12月）、春季（4月～6月）、夏季（7月～9月）の順に大きく、特に冬季が他の季節に比べ大きかった。これは冬季に降水中の放射能濃度が顕著に高くなることを裏付けているものと思われる。
- (7) 気象7要素、SPM濃度の日別データ（5年度～8年度）のうち、降水日のデータのみを使用して偏相関分析を行ったところ、風向、風速、気温、湿度が降水量一定の条件で線量率と強い相関が認められた。降水による影響により他の要素の影響が無視できると仮定すると、これら4要素と降水中の放射能濃度との間に何らかの因果関係があるものと推測される。

参 考 文 献

- 1) 岡部 茂：自然界のラドン族に関する概論、大気中のラドン族と環境放射能、P. 1～24、(1985)
- 2) 児島 紘：自然環境因子、生活環境におけるラドン濃度とそのリスク、P. 15, 105～113、(1989)
- 3) 堀 素夫ほか：大気環境のサーベイランス測定・設計・解析、東京大学出版会、(1984)