

柏崎刈羽地域の環境 γ 線スペクトルの変動要因 に関する基礎的検討

山崎 興樹・谷川 義夫

Keywords：柏崎刈羽；環境放射線；エネルギースペクトル；アンフォールディング；自然放射性核種。

1 はじめに

新潟県では、1983年10月から環境放射線テレメータシステムにより、東京電力柏崎刈羽原子力発電所周辺地域の環境 γ 線の連続測定を実施している。

測定には NaI(Tl)シンチレーション検出器と電離箱検出器の2種類の検出器を使用しているが、前者からは環境 γ 線に関する情報として、G(E)関数荷重演算方式¹⁾により換算した線量率以外に、エネルギー範囲を限定した2種類の計数率も収集している。線量率の異常上昇があった場合、これらのデータの相関関係をチェックすることにより、自然要因によるものか人工要因によるものかを弁別することができる^{2, 3)}。

しかし、この方式は詳細なエネルギー情報を伴わないため、収集したデータから直接線量上昇の原因となった核種を特定することは不可能であった。

そこで、この点を補強するため、1996年度末の自動観測局放射線測定器の更新時に新たに γ 線スペクトロメータを全局に設置し、測定を開始した。1997年度は環境 γ 線スペクトルの自然変動のパターンを把握することを目的として基礎的な検討を行った。ここでは、降水と積雪による環境 γ 線スペクトルの変動について報告する。

2 調査方法

調査対象とした自動観測局は、発電所中心から約3kmの半円周上に5局、約8kmの人口密集地に2局の合計7局が設置されている。

環境 γ 線の測定には、アロカ(株)製温度補償型2"φ×2" NaI(Tl)シンチレーション検出器を使用した。検出部は地上1.5mに上向きに設置してあり、樹脂製カバーとの間に温風を流して検出器周辺の温度を一定(35℃)に保つよう工夫されている。線量率への変換は、波高値に対しG(E)関数を荷重演算する方式であり、測定エネルギー範囲は0.05~3 MeVである。計数率は2系統のシングルチャンネル波高分析器により、エネルギー範囲をそれぞれ1.65~2 MeV(SCA1)、0.05~3 MeV(SCA2)に設定している。

γ 線スペクトロメータのADC変換方式は逐次比較型、チャンネル数は1,000であり、計測時間間隔1時間で連続測定した結果をエンドレスでメモリに保存している。メモリの保存容量は1時間値で18日分である。スペクトルデータは約2週間に1回の割合でフロッピーディスクに書き出して回収し、パーソナルコンピュータによりデータ処理を行った。

気象観測は、(株)小笠原計器製作所製の感雨計、0.5mm転倒升式雨雪量計及び超音波パルス放射方式積雪深計を使用した。

スペクトル以外の測定は、計測時間を10分間として連続して行われ、正10分毎にテレメータシステムで放射線監視センター中央監視局へ伝送される。

3 解析方法

回収した環境 γ 線スペクトルデータは、1時間毎のシンチレーション検出器の出力波高分布(分解能1,000チャンネルの各チャンネル毎の計数)として得られる。

以下の手順により、波高分布から検出器への入射 γ 線のエネルギースペクトルを求め、エネルギー帯別の時系列変化を調べた。また、エネルギースペクトルから自然放射性核種の成分別の濃度を求め、その変動を調べた。

- (1) ^{40}K (1.461 MeV) と ^{208}Tl (2.614 MeV) の2つのピークを利用してエネルギー校正を行う。
- (2) 湊の方法に従って作成された2"φ×2" NaI(Tl)シンチレータ用22×22レスポンス行列⁴⁾を用いてアンフォールディング法による解析を行い、線束密度で表した入射 γ 線のエネルギースペクトルを求める。
- (3) エネルギースペクトルの ^{214}Bi 、 ^{208}Tl 及び ^{40}K に対応するピークの値から土壌中のU系列、Th系列及び ^{40}K の濃度を求める。

計算は以下の仮定に基づいて行う。

- ① 無限の平面を持つ大地及び空気を対象とする。
- ② 対象核種は地中に一様分布する。
- ③ U系列、Th系列は地中で放射平衡の状態にある。

なお、手順(1)~(3)の計算はアロカ(株)が作成したプログラム⁵⁾を用いて行った。

4 結果及び考察

降水時に空間線量率が上昇することはよく知られており、その原因は降水中に含まれるU系列の²³⁸Rn娘核種が地表で無限面線源となることによるものである。

柏崎刈羽地域においても、この現象はテレメータシステム運用開始当初から観測されており⁷⁾、上昇量は季節によっても、また降水をもたらす気団によっても異なることが認められている⁸⁾。また、積雪との関係についても、積雪時には無雪時に比べ大地からのγ線が遮蔽されるため空間線量率が低下することが報告されている⁷⁾。

降水及び積雪時におけるエネルギースペクトルの変動については、線束密度スペクトルを時系列に並べてそのパターンを調べた例が報告されている⁹⁾。ここではこの方法を参考にデータを整理し、刈羽局の結果について示した。

図1に降水に伴う空間線量率と波高分布スペクトルの変動例を示した。(a)は線量率の変動を、(b)は降水を含む1日分のスペクトルの変動を鳥瞰図で表したものである。スペクトルの横軸は0~1,000チャンネルが0~5MeVに対応しており、縦軸は1時間の計数である。降水時には線量率の上昇に対応してスペクトル分布の盛り上がりが見られ、特にU系列の²¹⁴Biに相当するピークの上昇が大きい。

図2は降水前と降水中の波高分布スペクトルを比較したものである。(b)には降水による増加分のみを示した。いくつかの明瞭なピークが認められ、U系列の²¹⁴Bi及び²¹⁴Pbに相当するピークでは降水中的の上昇が大きい。K及びTh系列の²⁰⁸Tlに相当するピークはほとんど変化していない。

シンチレーション検出器の出力波高分布のスペクトルはγ線と検出器構成物質との相互作用の過程を含むため、入

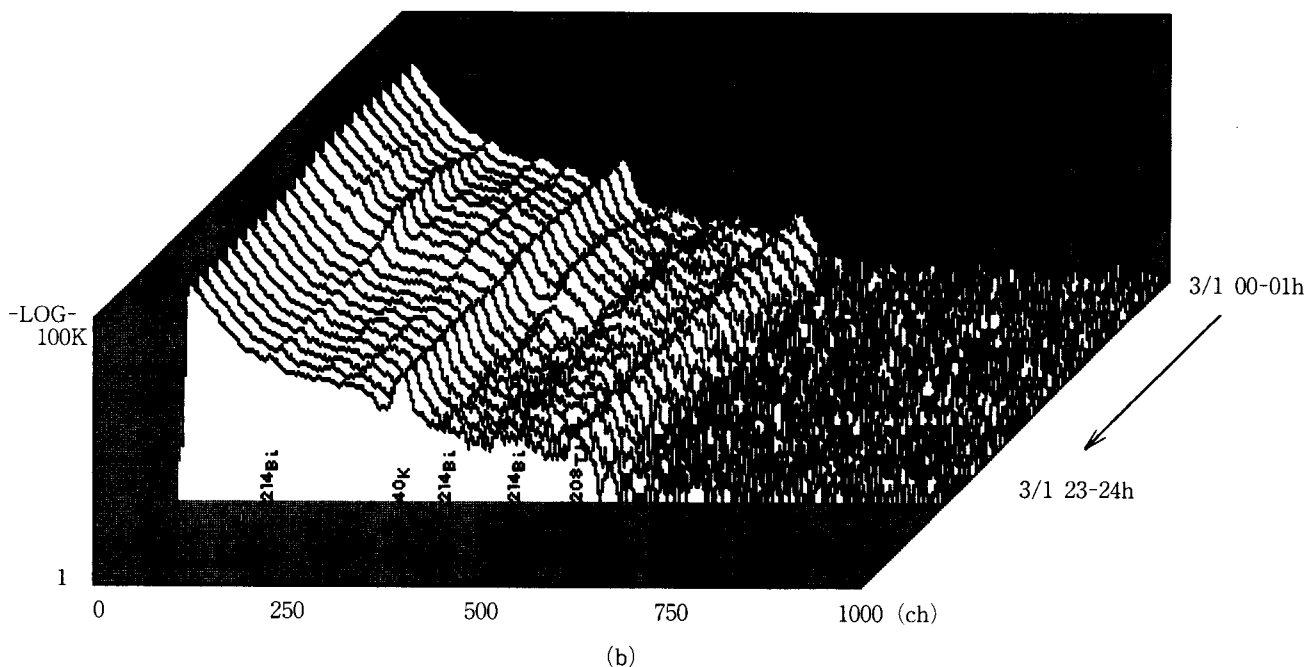
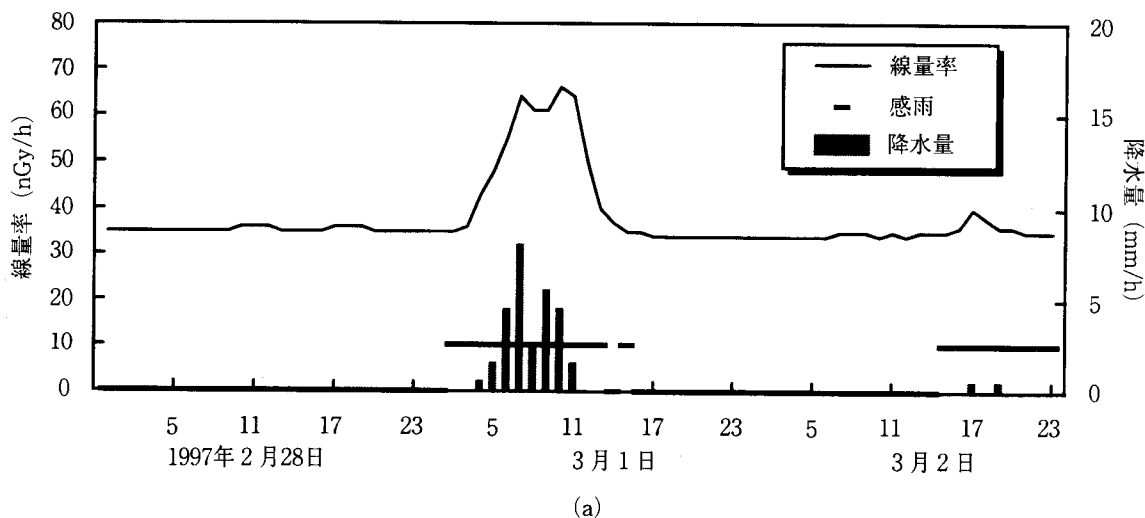


図1 降水に伴う空間線量率と波高分布スペクトルの変動 (刈羽局)

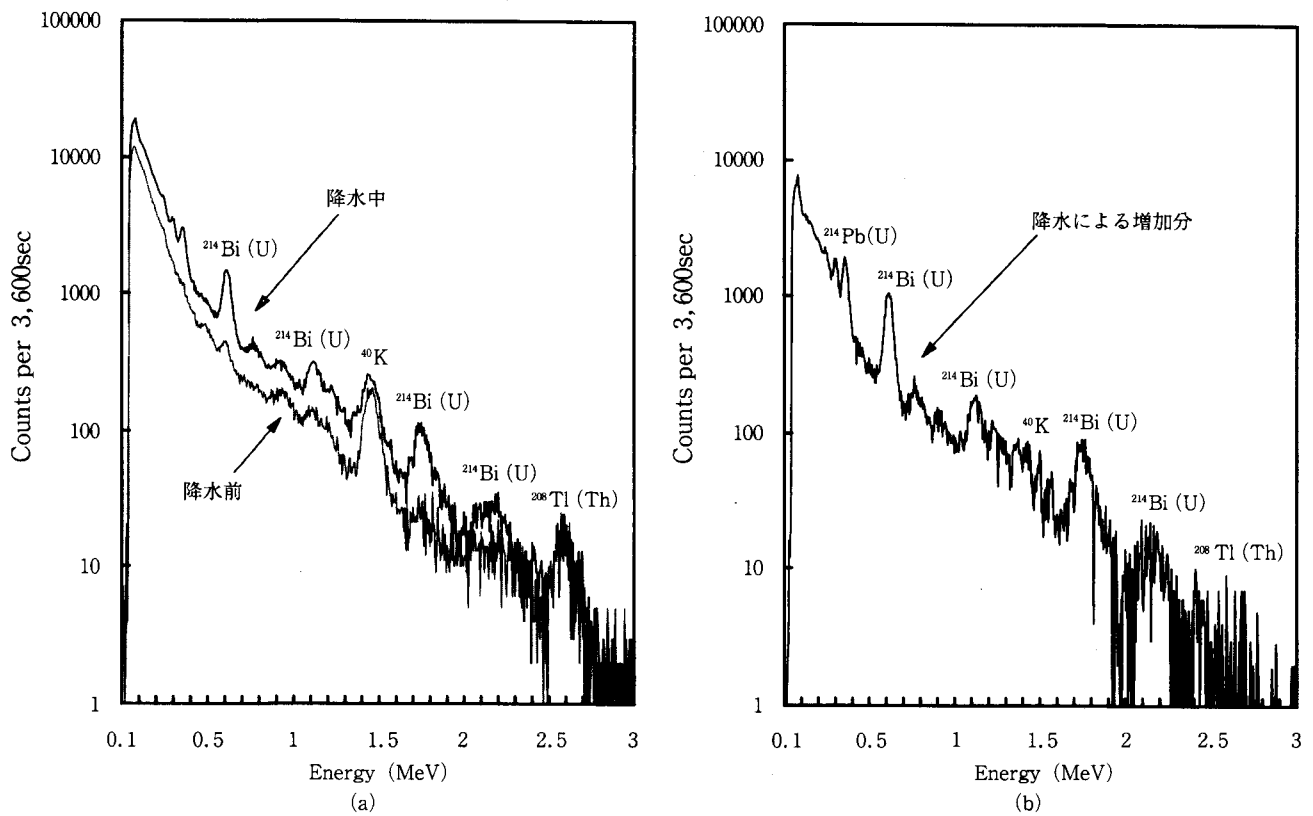


図2 降水前と降水中の波高分布スペクトル (刈羽局)

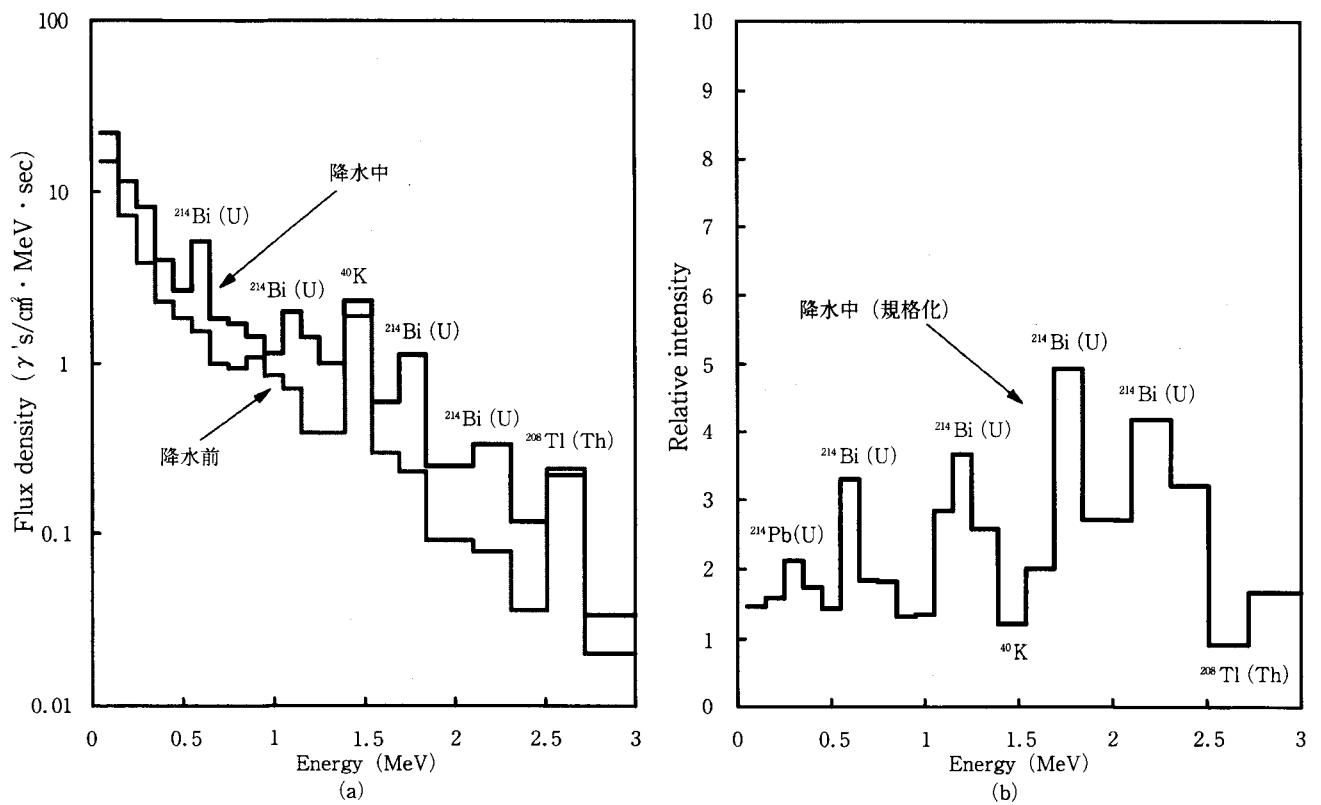


図3 降水前と降水中の入射γ線エネルギースペクトル (刈羽局)

射γ線のエネルギースペクトルと1対1に対応したものではない。この波高分布を入射γ線のエネルギースペクトル

に変換するための方法が、レスポンス行列を用いたアンフォールディングである。

図3は、アンフォールディングにより変換したエネルギースペクトルである。湊の方法では、スペクトルはエネルギー範囲0.05~3.2MeVの間を22の領域(エネルギービン³⁾)に分けて求められる。それぞれのビンは主な自然放射性核種からのγ線が一つのビンに収まるように作られており、各ビンのエネルギー範囲及び対応する核種は表1⁴⁾のとおりである。図3(b)は、低エネルギー側と高エネルギー側で線束密度の値が大きく異なることを考慮して、降水前の各ビンの線束密度を1に規格化して比(降水中/降水前)で表した降水中のエネルギースペクトルである。図3(a)に比較して、²¹⁴B iと²¹⁴P bを含むビンの線束密度相対値(降水中/降水前)の上昇がより顕著に認められる。

図4は、横軸を時間、縦軸をビン番号として、図3(b)のエネルギースペクトルを時系列に並べ、各ビンの線束密度の相対値を等高線表示したものである。降水が記録されなかった2月28日の1日のスペクトルの平均値を1として規格化して示した。

等高線は、上昇の様子を見やすくするため、間隔を0.5として、相対値1以上について描いた。また、同期間の降水量、感雨の有無及び土壤中の⁴⁰K、U系列、Th系列の濃度の時系列変化を併せて示した。濃度はスペクトルと同様2月28日の平均値を1として規格化した。この図からは、²¹⁴B iを含むビン(ビン番号6, 11, 12, 16)及び²¹⁴P bを含むビン(ビン番号3, 4)の値が降水とともに上昇する様子が、等高線に囲まれた部分の広がりや等高線の密度のパターンの変化として読み取ることができる。これに対

し、⁴⁰K(ビン番号14)及び²⁰⁸Tl(ビン番号5, 9, 20)には上昇が認められない。このことはまた、上段のグラフに示すように土壤中のU系列濃度の見かけの増加として現れる。これは、降水に含まれて降下したU系列核種が地表で無限面線源となり、検出器に入射するγ線が増加したことによる。

図5は、積雪期の空間線量率の変動例である。線量率は降水量に応じた上昇を繰り返すが、ベースラインは積雪量の増加とともに低下し、減少するに従って無雪時のレベルに戻っている。

このうち、11月29日から12月2日までの4日間の環境γ線スペクトルの変動を示したものが図6である。ここでは積雪に伴う線束密度の減少を評価するため、線束密度の相対値が1未満について間隔0.2で描いたスペクトル等高線図を下段に示した。スペクトルは、降水が記録されなかった11月26日の平均値を1として規格化した。図から、降水時に²¹⁴B iを含むビンと²¹⁴P bを含むビンの値が増加する傾向は無雪時と同様であるが、積雪時には⁴⁰K(ビン番号14)と²⁰⁸Tl(ビン番号9, 20)の値の低下が見られることが特徴的である。これは、上段のグラフに⁴⁰KとTh系列濃度の見かけ上の低下としても示され、土壤中に分布する⁴⁰KとTh系列核種からのγ線の一部が積雪によって遮蔽されたことによるものである。なお、U系列核種については、降雪とともに降下してγ線源となるものと相殺するため、比較的長い時間降水が無かった時を除いて積雪による遮蔽効果は⁴⁰K及びTh系列ほど明確には現れていない。

表1 エネルギービンに対応する主な自然放射性核種

ビン番号	エネルギー(MeV)	主な核種とγ線エネルギー(MeV)及び放出割合		
		ウラン系列	トリウム系列	カリウム-40
1	0.05-0.15			
2	0.15-0.25	²¹⁴ Pb (0.242) 7.5%	²¹² Pb (0.239) 43.3%	
3	0.25-0.35	²¹⁴ Pb (0.295) 18.5%	²⁰⁸ Tl (0.277) 6.3%	
			²¹² Pb (0.300) 3.28%	
4	0.35-0.45	²¹⁴ Pb (0.352) 35.8%		
5	0.45-0.55		²⁰⁸ Tl (0.511) 84.5%	
6	0.55-0.65	²¹⁴ Bi (0.609) 44.8%		
7	0.65-0.75			
8	0.75-0.85	²¹⁴ Bi (0.768) 4.8%		
9	0.85-0.95		²⁰⁸ Tl (0.860) 12.4%	
10	0.95-1.05			
11	1.05-1.15	²¹⁴ Bi (1.120) 14.8%		
12	1.15-1.25	²¹⁴ Bi (1.238) 5.9%		
13	1.25-1.39			
14	1.39-1.54			⁴⁰ K (1.461) 10.7%
15	1.54-1.69			
16	1.69-1.84	²¹⁴ Bi (1.764) 15.4%		
17	1.84-2.10			
18	2.10-2.31	²¹⁴ Bi (2.204) 4.9%		
19	2.31-2.51			
20	2.51-2.72		²⁰⁸ Tl (2.614) 99.2%	
21	2.72-3.00			
22	3.00-3.20			

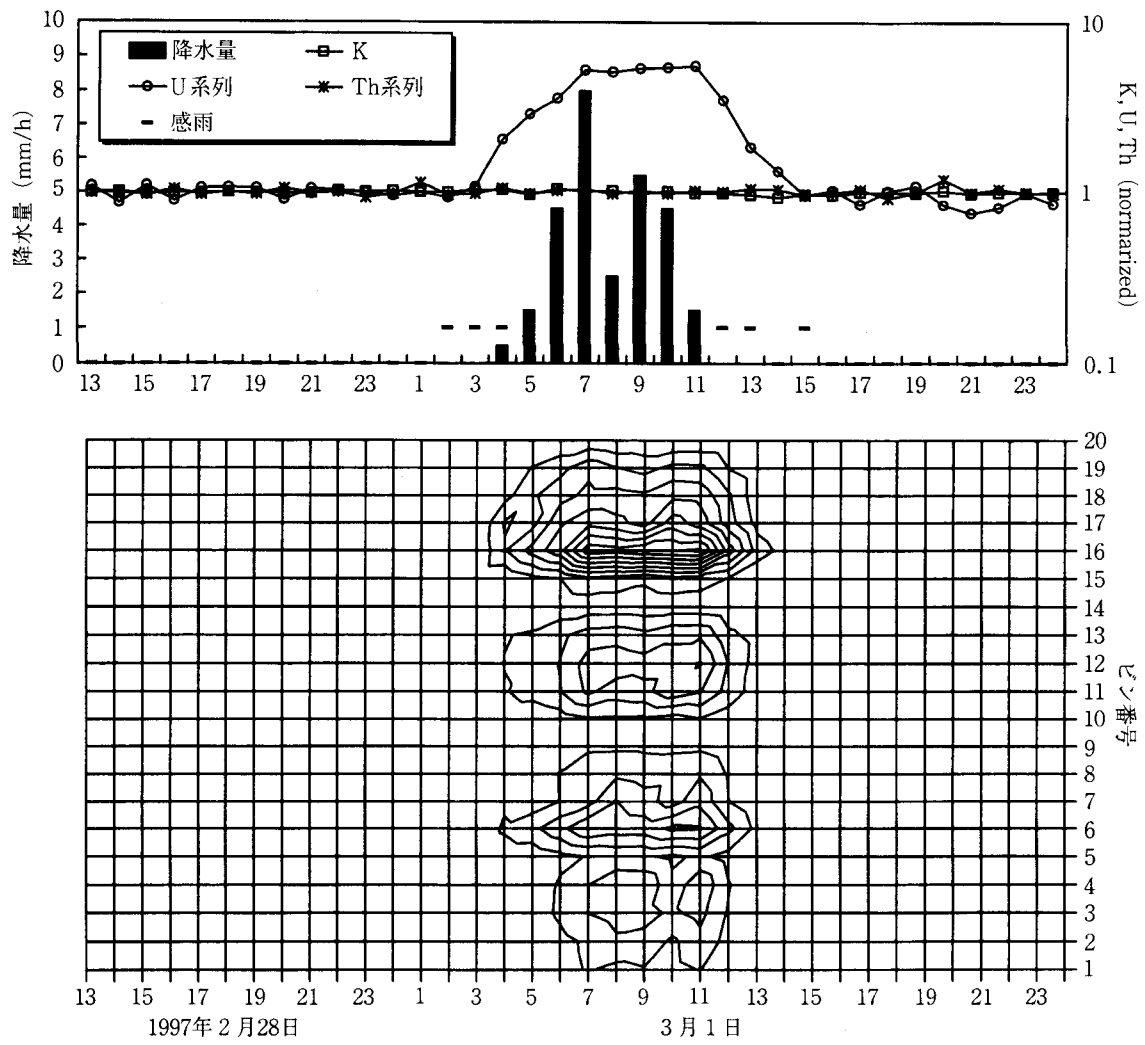


図4 降水による環境γ線エネルギースペクトルの変動 (刈羽局)

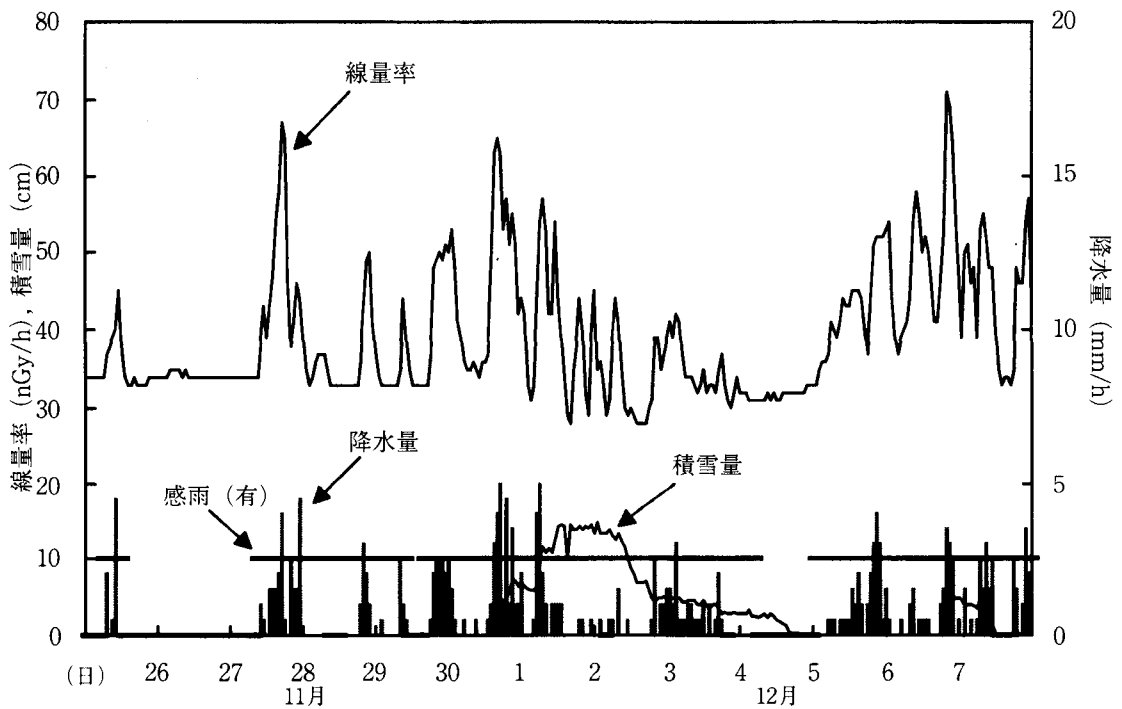


図5 積雪期の線量率の変動例 (刈羽局)

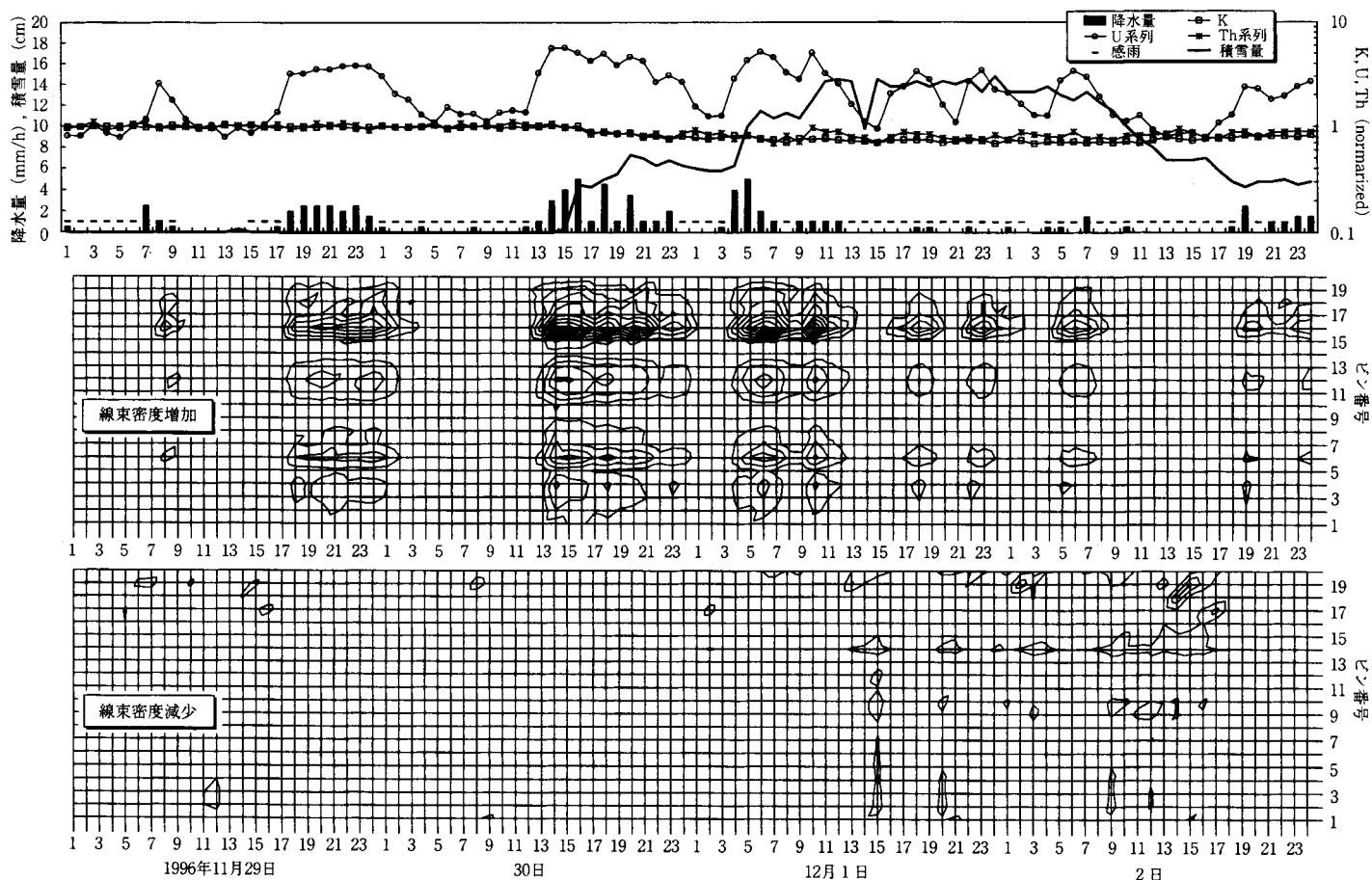


図6 積雪期の環境γ線エネルギースペクトルの変動 (刈羽局)

5 ま と め

放射線自動観測局に新設したγ線スペクトロメータを用いて、柏崎刈羽地域の環境γ線スペクトルを連続測定し、エネルギースペクトルの自然変動のパターンについて基礎的な検討をおこなった。

その結果、降水時の空間線量率の上昇は、主にU系列の²¹⁴B i 及び²¹⁴P bに相当するエネルギーのγ線線束密度の上昇に由来するものであり、積雪時の空間線量率の低下は、地中に分布する自然放射性核種からのγ線の一部が積雪により遮蔽されるためであることが確認された。

環境γ線スペクトルの測定は開始したばかりである。今後さらにデータを蓄積することにより、気象条件や土地利用等の周辺環境の変化が環境γ線の場に及ぼす影響について検討し、環境γ線の場の変動要因をよりの確に把握する手法を検討していくこととしたい。

文 献

- 1) 森内 茂：JAERI 1209 (1971).
- 2) 鈴木 修：新潟県公害研究所研究報告, 10, 31 (1985).
- 3) 霜鳥 達雄, 鈴木 修, 阿部 智夫：新潟県衛生公害研究所年報, 1 (1), 138 (1985).
- 4) 湊 進：名古屋工業技術試験所報告, 27 (12), 384 (1978).
- 5) H. L. Beck, J. DeCampo, and C. Gogolak : USAEC Rept. HASL-258 (1972).
- 6) アロカ株式会社：データ処理ソフトウェアパッケージ RPR-JSM806310取扱説明書 (1996).
- 7) 霜鳥 達雄, 鈴木 齊, 南 忠員：新潟県公害研究所研究報告, 9, 58 (1984).
- 8) 山崎 興樹, 鈴木 齊：新潟理化学, 20, 56 (1994).
- 9) 菊地 秀夫, 中村 栄一：宮城県原子力センター年報, 2, 3, 10 (1984).
- 10) 日本アイソトープ協会, アイソトープ手帳 (改訂9版) (1996).