

環境放射線測定局周辺における自然放射性核種の寄与等について

脇田安彦 藤崎学* 四反田昭二**
池之平剛*** 上原満 稲本信隆

1 はじめに

川内原子力発電所周辺の環境放射線測定局の7局ではシンチレーション検出器及び電離箱検出器による環境放射線の連続測定を実施しており、シンチレーション検出器ではスペクトルデータも併せて収集している。

シンチレーション検出器のスペクトルデータについてはこれまで不信頼データの原因究明などの利用に限られていたが、今後広く活用を図ることとしている。

このため、本報では携帯型シンチレーション検出器を用いて環境放射線測定局(7局)の周辺において環境γ線スペクトルを測定し、多重波高分析器及びデータ処理装置によりスペクトル解析を行い、自然放射性核種の寄与や降雨時の変動等について検討したのでその結果を報告する。

2 調査方法

調査地点を図1に示す。

調査は連続測定局のある7地点で実施した。

2.1 測定機器

検出器：EG&G ORTEC SintiPack Model-296
PMT Base(球形3"φ NaI(Tl)シンチレーション検出器)

多重波高分析器：EG&G ORTEC
NOMAD-PLUS

処理装置：COMPAQ ARMADA1750
(解析ソフト：SEIKO EG&G 空間線量評価システム)

2.2 測定方法及び測定時間

検出器中心部が地表から1mになるよう三脚に水平に固定し、測定時間は1000秒とした。

2.3 解析方法

スペクトル解析はピールオフ法^{1,2)}、G(E)関数法³⁾及びレスポンスマトリックス法⁴⁾を用い、自然放射性核種の

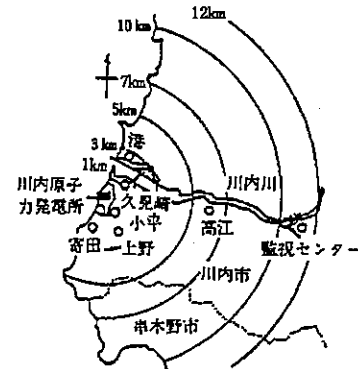


図1 調査地点

寄与解析はピールオフ法により行った。

エネルギー校正は⁴⁰K (1461keV) 及び²⁰⁸Tl (2614keV) のガンマ線ピークで行った。

3 結果及び考察

3.1 自然放射性核種の寄与割合

調査結果を図2に示す。図中に示すK-40は自然放射性核種である⁴⁰Kによる線量率を、U系列は²³⁸Uを起源とする自然放射性核種による線量率の合計を、Th系列はTh系列の自然放射性核種の線量率の合計を示し、自然核種計は上記3種の線量率の合計を示している。また、ピールオフ法は自然放射性核種以外の寄与を含めた全線量率を、連続測定は測定局に設置してある円柱形3"φ×3"NaI(Tl)シンチレーション検出器による連続測定結果を示している。

3.1.1 非降雨時

自然放射性核種の寄与割合は、小平局ではTh系列核種の寄与が約6割を占め、久見崎局と港局では⁴⁰Kの寄与が大きく、全線量率の約5割を占めていた。

センター局、高江局、上野局及び寄田局では⁴⁰KとTh系列核種の寄与はほぼ同レベルであり、U系列核種の寄与はすべての局で最小であった。

これら寄与割合の違いは主に地質によるものと考えら

*鹿兒島県環境生活部環境管理課

**鹿兒島県環境生活部環境管理課原子力安全対策室

***鹿兒島県環境生活部環境政策課

〒890-8577

〒890-8577

〒890-8577

鹿兒島市鴨池新町10番1号

鹿兒島市鴨池新町10番1号

鹿兒島市鴨池新町10番1号

れ、Ge検出器を用いた下籾らの報告^{3,4)}とよく一致しており、NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いたピールオフ法の有用性が確認できた。

なお、高江局や上野局などではピールオフ法による線量率と連続測定結果の差が大きいが、これは主に測定条件（測定位置及び高さ）の違いによるものと考えられる。

3. 1. 2 降雨時

降雨時における⁴⁰K及びTh系列核種の線量率の変動は小さく、非降雨時とほぼ同じレベルであったが、U系列核種の線量率は降雨時に上昇するケースが多くみられ、それに対応して全線量率が上昇する傾向がみられた。

以上のことから、これまでの報告^{3,4,5)}にもあるように、降雨時の線量率上昇はほとんどU系列核種の影響によるものが今回の調査結果からも明らかとなった。

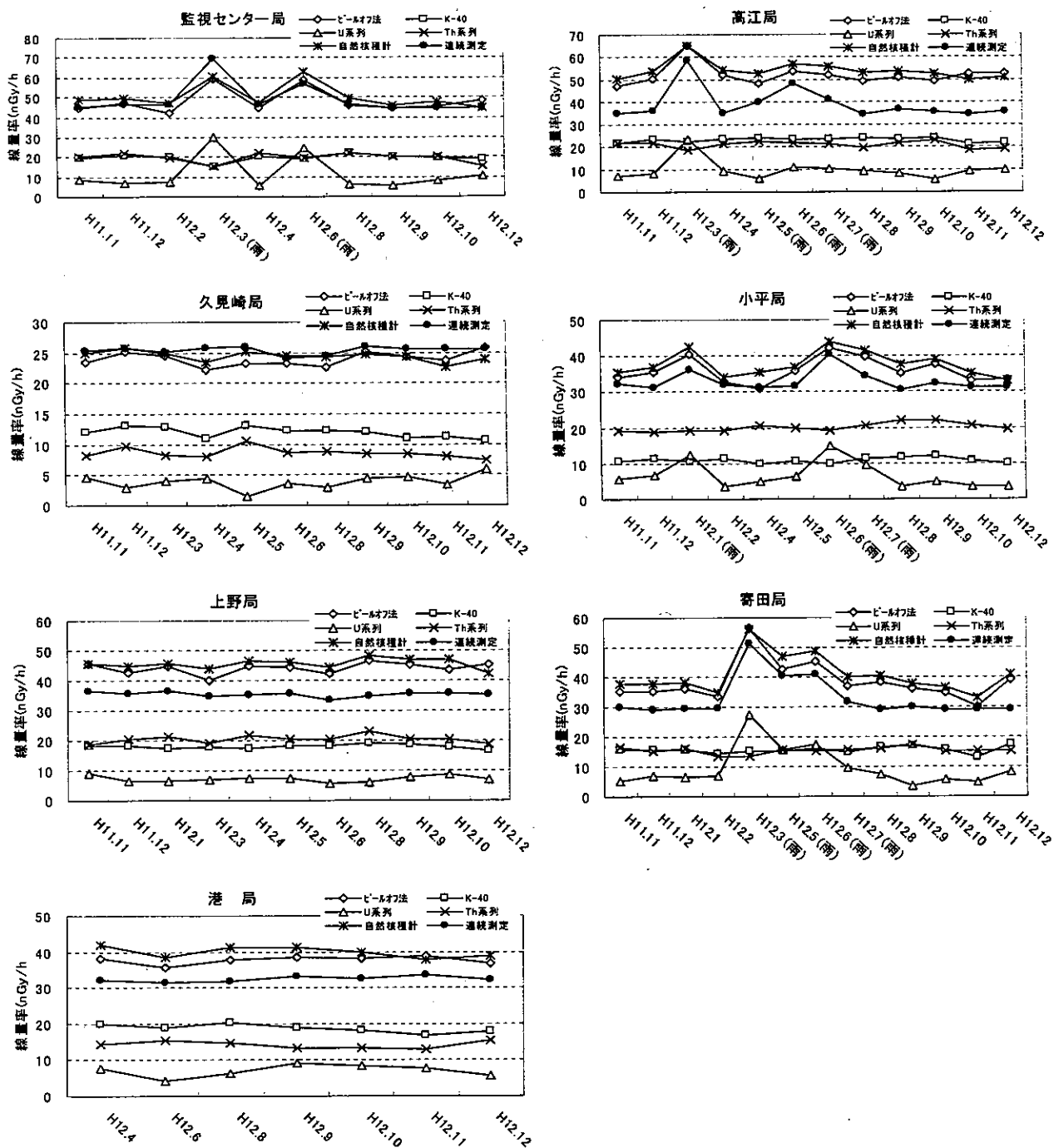


図2 線量率測定結果

3. 2 エネルギー領域別の構成成分

ピールオフ法によるエネルギー領域別の線量率と計数比を表1に示す。

自然放射線(γ線)は放射線の数(計数率)で見ると、100keVから249keVのエネルギー領域が一番多く全体の約40%と半数近くを占め、次いで50keVから99keVのものが約20%であり、これらを合わせた50keV~249keVの低エネルギー放射線が全体の約60%を占めている。

しかしながら線量率に占める割合で見ると、1000keVから1999keVのエネルギー領域が一番多く全体の約41%を占め、次いで500keVから999keVが約20%、2000keVから3000keVが約18%となっている。

以上のことから、γ線の計数率と空間線量率の寄与を比較すると、500keVから3000keVのエネルギー領域では放射線の数では約18%であるが、線量率では約79%を占めている。特に1000keVから3000keVのエネルギー領域では放射線の数で見ると約7%程度であるのに対し、空間線量率に占める割合は約59%を占めていることがわかる。これは高いエネルギーを持つγ線が入射した場合、その数が少なくても線量率は上昇しやすいが、低エネルギーを持つγ線では計数率にかなりの上昇を伴わなければ線量率は上昇しないということを意味している。

表1 エネルギー領域別の線量率と計数比

局名	項目	エネルギー領域区分(keV)							計
		0 ~49	50 ~99	100 ~249	250 ~499	500 ~999	1000 ~1999	2000 ~3000	
監視センター (n=10)	線量率(nGy/h)	0	0.9	4.0	5.2	9.5	20.1	8.3	47.9
	線量比(%)	0	1.9	8.3	10.9	19.7	41.8	17.4	100
	計数比(%)	5.7	19.9	38.2	18.0	11.1	6.2	0.9	100
高江 (n=12)	線量率(nGy/h)	0	0.8	4.6	6.0	10.0	21.9	8.5	51.8
	線量比(%)	0	1.5	8.8	11.4	19.3	42.4	16.6	100
	計数比(%)	4.7	16.0	41.8	19.4	11.0	6.2	0.9	100
久見崎 (n=11)	線量率(nGy/h)	0	0.5	2.2	2.7	4.5	10.5	3.4	23.9
	線量比(%)	0	2.0	9.1	11.3	18.9	44.2	14.5	100
	計数比(%)	5.2	19.2	40.5	17.8	10.5	6.0	0.8	100
小平 (n=12)	線量率(nGy/h)	0	0.8	3.0	3.8	7.7	12.5	7.8	35.7
	線量比(%)	0	2.4	8.4	10.7	21.4	35.1	22.0	100
	計数比(%)	6.8	22.1	37.5	16.8	10.4	5.3	1.0	100
上野 (n=11)	線量率(nGy/h)	0	0.9	3.8	4.8	9.0	17.4	8.0	43.9
	線量比(%)	0	2.1	8.6	10.9	20.5	39.7	18.2	100
	計数比(%)	4.8	20.7	39.5	17.6	10.7	5.7	0.9	100
寄田 (n=13)	線量率(nGy/h)	0	0.7	3.1	4.2	7.6	16.1	6.6	38.3
	線量比(%)	0	1.9	8.0	10.9	19.8	42.0	17.4	100
	計数比(%)	7.2	18.7	37.7	18.3	11.0	6.1	0.9	100
港 (n=7)	線量率(nGy/h)	0	0.8	3.1	3.9	6.9	17.0	5.9	37.5
	線量比(%)	0	2.0	8.2	10.5	18.4	45.2	15.6	100
	計数比(%)	4.2	21.3	38.8	17.7	10.8	6.4	0.8	100
全測定局 (n=76)	線量率(nGy/h)	0	0.8	3.4	4.4	7.9	16.4	7.0	39.9
	線量比(%)	0	2.0	8.5	11.0	19.8	41.2	17.5	100
	計数比(%)	5.6	19.6	39.2	18.0	10.8	6.0	0.9	100

※線量率、線量比、計数比はいずれも平均値

3. 3 γ線スペクトル

測定局毎のスペクトルグラフを図3に示す。これらを比較すると、非降雨時には⁴⁰Kと²⁰⁸Tl以外の顕著なピークは認められない。線量率が高い場所と低い場所を比較すると、スペクトルの形状が大きく変わるのではなくほぼ同じような形状であり、線量率が高い場所ではスペクトルが全体的に計数の多い側に、いわば背が高くなったような状態となっている。

降雨時と非降雨時を比較すると⁴⁰K及び²⁰⁸Tlのピークの高さはいずれの時も変わらないことがわかる。一方降雨時には非降雨時にない複数のピークが認められる。これらのピークについてエネルギー校正式を用いてピークエネルギーを推定すると図3のようにU系列核種である²¹⁴Biから放出されるγ線のエネルギーと推定される。U系列核種は図4に示すように半減期の短い多くの核種で

構成されており、放出されるγ線エネルギーも広範囲にわたっている。降雨時には、大気中に浮遊・拡散しているこれらの核種が雨により地表付近に落下してきて線量率上昇を引き起こすが、降雨時の線量率上昇への寄与が一番大きいのはU系列核種の²¹⁴Biと言われている。この核種から放出されるγ線は図4中にあるように1000keVを越える高いエネルギーを多く放出することに起因するが、測定結果のスペクトルでもその複数のピークが明らかに認められることがわかる。

原子力発電所の事故時に大量に放出され、線量率上昇を引き起こすと考えられている核種は¹³³Xe(81keV)、¹³¹I(364keV)、¹³⁷Cs(662keV)と言われているが、いずれも線量率寄与の低い低エネルギーのγ線を放出することから、この特性を利用して線量率変動の原因究明に利用できることが推測される。

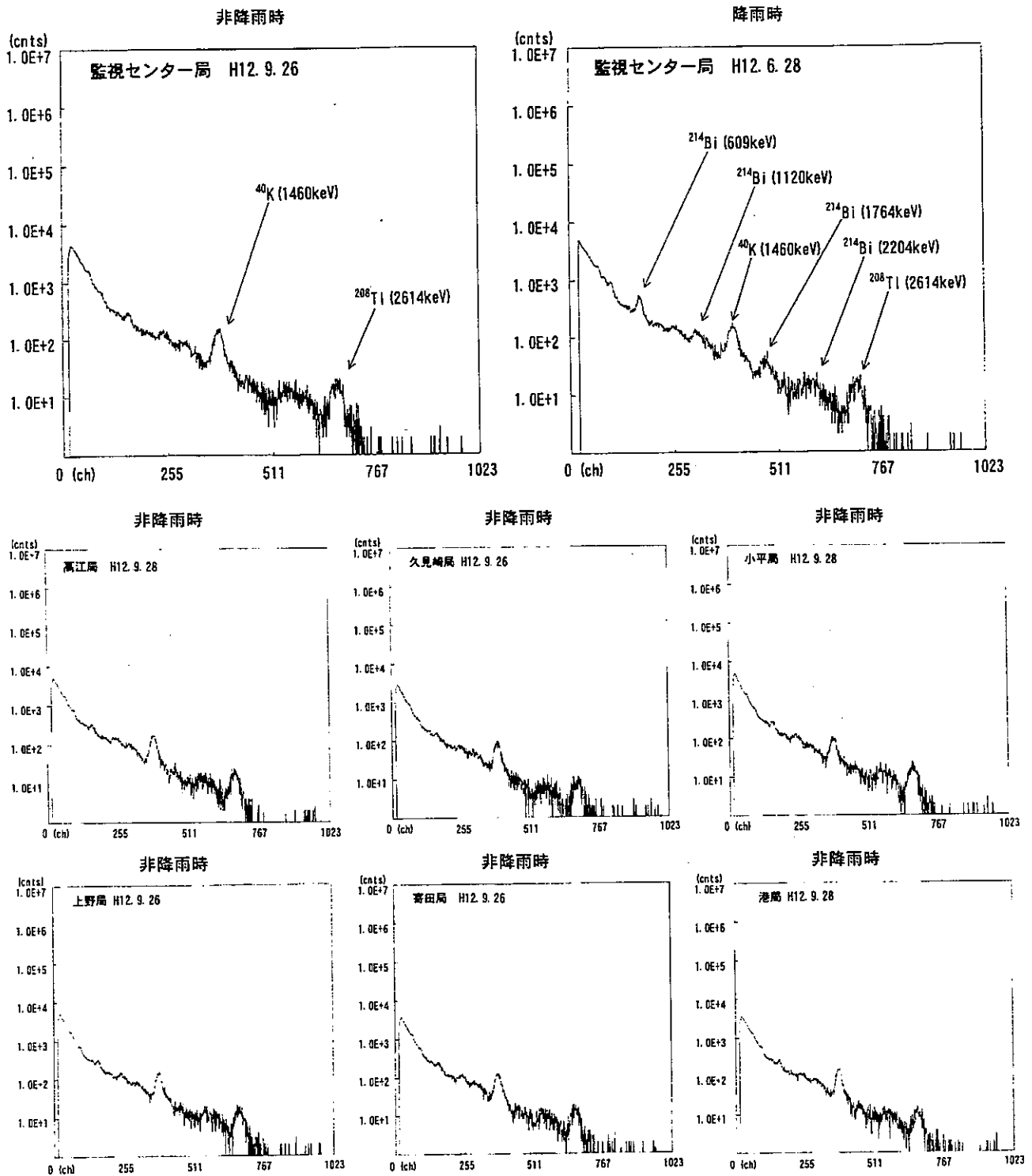


図3 測定局毎のスペクトルグラフ

なお、シンチレーション検出器から得られるスペクトルのピーク幅はかなり広く高分解能は期待できないことから、エネルギーが近接して存在する場合などにはピークが重なり合ったり妨害を受け、ピークのエネルギーの特定や核種の同定が難しくなることも推測され、文部科学省マニュアル¹⁾においても、ある程度限られた種類の人工放射性核種が存在する場合に限られると記述されて

いる。しかしこのような場合にも、 γ 線スペクトルを解析し全体の線量率から自然放射性核種による寄与を差し引くことにより人工放射性核種による寄与を合計線量として推測することが可能であり、線量率上昇の原因が自然変動によるものか否かの原因究明に役立てることができる。

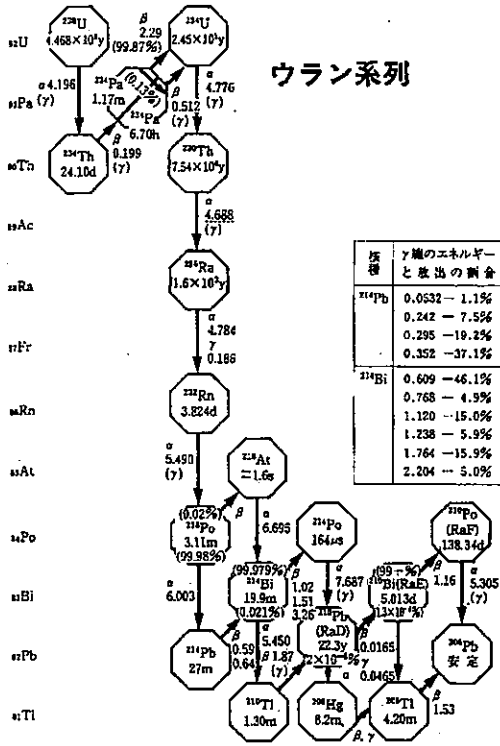


図4 放射性壊変系列⁶⁾

3. 4 解析方法による線量率の差

当システムではピールオフ法、G(E)関数法およびレスポンスマトリックス法の3種類の方法による空間線量率の評価が可能である。この3法の解析結果から導き出した関係式を表2に示す。

G(E)関数法はスペクトル分布に直接荷重関数を適用して線量計算を行う方法であり、連続モニタに多く利用されている。レスポンスマトリックス法とピールオフ法は検出器に入射したγ線スペクトルを検出器の応答に関する関数(レスポンス関数)を用いて解析を行う方法であり、自然放射性核種による線量寄与の分離が可能である。しかしながらいずれの場合もレスポンス関数を作った時の測定条件と現場での測定条件が同一であることが望ましいが、両者の条件の差が結果の不確かさの一因になると言われている¹⁾。

3法により得られた結果はいずれも高い相関が得られており、特にピールオフ法とG(E)関数法の相関が高かった。線量率の計算結果としては解析に用いるレスポンス関数の的確さなどの要因を考慮する必要がないことから、G(E)関数法が最も信頼性の高い結果が得られていると考えるのが妥当であるが、3法で得られた線量率の測定結果はG(E)関数法と比較して、ピールオフ法では約16%、レスポンスマトリックス法では約4%高い値が得られている。文部科学省マニュアル¹⁾においてはエネルギースペクトルを利用した測定法は手法としては示され

ているが、その手法による結果の差の評価については具体的に示されていないことから、今後のさらなる研究が望まれる。

表2 各解析法間の相関

X (nGy/h)	Y (nGy/h)	関係式	R	n
G(E)関数法	ピールオフ法	$Y = 1.182X - 0.894$	0.991	76
G(E)関数法	レスポンスマトリックス法	$Y = 1.019X + 1.469$	0.936	76
ピールオフ法	レスポンスマトリックス法	$Y = 0.877X + 1.721$	0.944	76

3. 5 被ばく線量の評価

γ線による外部被ばく線量当量の評価は1cm線量当量で行うが、環境放射線モニタリングで空間放射線量を通常測定している単位は環境放射線モニタリングに関する指針⁷⁾に基づき空気吸収線量(nGy/h)である。このため、γ線による外部被ばく線量評価を行うためには空気吸収線量から1cm線量当量(nSv/h)へ換算する必要がある。ピールオフ法の解析では双方の結果が同時に得られるためそのデータを用いて導き出した関係式を図5に示す。

環境放射線モニタリングに関する指針では換算係数0.8、緊急時環境放射線モニタリング指針⁸⁾では換算係数1.0を用いて推定値を計算することになっているが、今回の結果では1.17となっており、それらより若干高い値が得られている。これは上記換算係数が事故時に放出される核種や簡易に計算できることを前提に求められていることによると考えられるが、今後さらにデータを蓄積し解析を加え検討する必要がある。

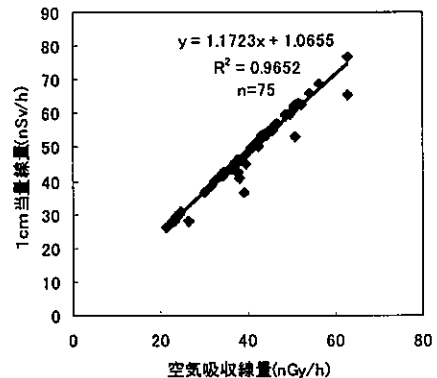


図5 1cm当量線量と空気吸収線量の相関

3. 6 宇宙線線量率

3MeV以上のエネルギーの計数率から推定した宇宙線線量率を表3に示す。その結果、全局とも同程度の値が得

られており、全局の平均で28.3nGy/hであった。なお、使用した換算値は高度37000feet (11211m)の航空機内の加圧アルゴン電離箱の値を採用したが、岡野²⁾によると1000m以下の高度にその換算値を使用すると実際より低めの数値になると報告されていることから、測定局周辺の宇宙線線量率は28.3nGy/h以上であると考えられる。

なお、連続測定局におけるNaI (Tl)シンチレーション検出器と電離箱検出器から得られる値の差は3MeV以上の高エネルギー放射線によるもので宇宙線線量率に相当すると推測されるが、この結果は全局平均で32.6nGy/hとなっており上述の結果とほぼ近い値が得られている。

表3 宇宙線線量率
(nGy/h)

局名	平均	最小～最大
監視センター	28.1 (10)	26.9～29.1
高江	27.3 (12)	26.1～29.7
久見崎	28.2 (11)	26.7～30.0
小平	28.6 (12)	27.2～30.7
上野	29.7 (11)	28.7～31.2
寄田	28.5 (13)	26.8～31.1
港	27.7 (7)	27.2～29.7
全データ	28.3 (76)	26.1～31.2

() 内はデータ数

4 おわりに

携帯型シンチレーション検出器で測定した γ 線のエネルギー情報を解析し、自然放射性核種の寄与や降雨時の変動等を調査し、その有用性を確認できた。当システム

は現場での取り扱いも比較的容易であることに加え、車両に搭載し必要な場所に移動して測定・解析が行えることから、環境放射線の平常時監視から緊急時における放射性核種の迅速な同定などその特徴を生かして幅広く活用していきたいと考える。

参考文献

- 1) 科学技術庁：空間 γ 線スペクトル測定法(平成2年)
- 2) 岡野真治：環境放射線量測定法，日本分析センター広報，No. 32，14～27(1998)
- 3) 下菌清香，今村博香，他：可搬型Ge検出器による環境ガンマ線のin-situ測定，鹿児島県環境センター所報，2，236～243(1986)
- 4) 下菌清香，四反田昭二，他：可搬型Ge検出器による環境ガンマ線のin-situ測定(第II報)，鹿児島県環境センター所報，3，129～135(1987)
- 5) 藤崎学，四反田昭二，他：可搬型Ge半導体検出器を用いた鹿児島県における空間放射線量率の地域分布とその構成成分，鹿児島県環境センター所報，10，69～77(1994)
- 6) 社団法人日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳
- 7) 原子力安全委員会：環境放射線モニタリングに関する指針(平成13年3月一部改訂)
- 8) 原子力安全委員会：緊急時環境放射線モニタリング指針(平成13年3月一部改訂)