

Ge半導体検出器を用いたIn-Situ γ 線測定 〈緊急時モニタリング測定地点〉

生田美抄夫

In-Situ Gamma-Ray Measurements by Portable Ge Semiconductor Detector

Misao IKUTA

キーワード : In-Situ、Ge半導体、島根原子力発電所、HASL、レスポンスマトリックス

1. はじめに

島根県は「島根県地域防災計画（原子力災害編）」¹⁾に基づき、島根原子力発電所のEPZ（緊急時計画区域）及びその周辺に、およそ100カ所の緊急時モニタリング地点を定めており、緊急時にはこれらの地点で線量率、ダスト・ヨウ素のサンプリング及び測定を行い、それにより屋内退避及び避難等の防護対策を、また、飲料水、牛乳および野菜等の放射性ヨウ素及び放射性セシウムを測定により、飲食物の摂取制限等の防護対策を講ずることにしている。

一方、緊急時に γ 線のエネルギー測定により、地表

に蓄積した放射性核種を定性・定量することは、将来の外部被曝量を予想し、また除染方法を決定する場合にも重要な情報となる。更にまた、野菜等の個々の試料を測定することなく、内部被曝量を推定できるので、食物摂取制限及び解除時に地域ごとに迅速な判断が可能となる。

そこで、緊急時モニタリング地点における γ 線の詳細なエネルギー情報を得ることのできるGe半導体検出器を用いたIn-Situ測定の適用可能性と、平常時のバックグラウンドを把握するための調査を行ったので、その結果を報告する。



図1 緊急時モニタリング地点

2. 調査方法

2. 1 測定

①調査期間

2006年12月15日から12月31日

②調査場所

島根県地域防災計画（原子力災害編）に定める緊急時
モニタリング地点から抽出した24地点

(図1参照)

③使用機器

携帯型Ge波高分析装置

- ・Ge半導体検出器 P型高純度Ge
相対効率97%、エネルギー分解能2.3keV
L=92mm、D=80mm

携帯型 NaI(Tl)波高分析装置

- ・NaI(Tl)検出器 3インチ球形（応用光研）
分解能7%、低カリウムガラス

④設置条件

Ge半導体検出器及びNaI検出器は、野外Ge架台
(CANBERRAポータブルカート)に設置した。

Ge：地上より1mの位置で下向き、NaI：地上より1
mの位置で横向き

⑤測定条件

Ge半導体検出器

30keV～2000keV(4096ch)、3600秒 (real time)

NaI検出器

50keV～3000keV(512ch)、1000秒 (real time)

Ge検出器及びNaI検出器をカートに組み込み、さら
にMCA及びデータ処理装置も同カートに固定した。
スロープ付き車両で運搬し、到着後10分以内にはゲイ
ン調整、測定開始することが可能であった。

測定開始後のGe及びNaIのスペクトルの監視は無線
LANにより車内に設置したPCから行った。

また、西浜佐陀においては深さ20cmまでの土壤中放射
能濃度の深度分布も測定した。

2. 2 解析

Ge半導体検出器測定ファイル

In-Situ測定プログラムでHASL方式により行い、ウ
ラン系列、トリウム系列核種については放射平衡仮定
での各スペクトルの線量率を個々に求め、算術平均に
より系列ごとの線量率を評価した。

K-40は1460keV、Cs-137は662keVの γ 線より評価し
た。

なお、地表は平坦な無限平面、自然放射性核種(U、
Th系列核種、K-40)は深度に対し一様分布($\alpha=0$)
とし簡略化のため人工核種及びBe-7は表面分布と仮
定した。また土壌密度は $\rho=1.6\text{g/cm}^3$ と仮定した。

NaI(Tl)検出器測定ファイル

空間線量測定プログラムにより50keV～3000keVの

表1 測定概況

地点名	地点コード	年	月	日	開始時刻	終了時刻	緯度	経度	高度m	天気	気温℃	湿度%	周辺土質
峰垣K	可搬4	2006	12	25	14:40	15:40	35° 29' 56.7"	133° 00' 27.4"	25	晴れ	13	53	草、砂利、土
西生馬K	可搬5	2006	12	25	13:30	14:30	35° 29' 40.9"	133° 01' 32.1"	21	晴れ	16	28	砂利、土、砂
六坊K	可搬6	2006	12	15	11:10	12:10	35° 30' 54.7"	132° 56' 17.3"	18	晴れ	12	56	アスファルト、土
加賀小学校前	S-6	2006	12	16	11:20	12:20	35° 33' 52.2"	133° 04' 08.3"	7	曇	14	52	草、砂利、土
佐陀宮内S	MA-4	2006	12	16	15:40	16:40	35° 30' 31.8"	133° 00' 25.2"	9	曇	14	60	砂利
秋鹿中組	MB-3	2006	12	15	12:50	13:50	35° 29' 57.9"	132° 57' 02.2"	44	晴れ	12	59	草、土、砂
東長江中組	MB-6	2006	12	27	11:00	12:00	35° 29' 21.5"	132° 58' 24.6"	20	曇	14	70	草、土、砂
東奥谷	MC-3	2006	12	25	12:00	13:00	35° 29' 09.4"	133° 03' 16.1"	19	晴れ	15	30	アスファルト、土
西持田	MC-6	2006	12	18	15:30	16:30	35° 30' 16.8"	133° 04' 11.3"	26	曇	8	80	アスファルト、土
殿町	MC-8	2006	12	25	10:30	11:30	35° 28' 18.8"	133° 03' 03.4"	10	晴れ	13	41	草、土
西川津靈感寺	MC-10	2006	12	25	9:00	10:00	35° 28' 49.7"	133° 04' 25.4"	30	晴れ	12	51	アスファルト、砂利、土
西浜佐陀	MS-1	2006	12	31	13:00	14:00	35° 28' 28.6"	133° 00' 46.1"	9	晴れ	13	40	草、土、砂
御津	MS-2(KA-7)	2006	12	16	17:00	18:00	35° 32' 09.4"	133° 01' 43.7"	24	曇	12	59	土、砂
古浦	MS-3(KB-6)	2006	12	19	13:50	14:50	35° 31' 27.9"	132° 58' 40.8"	6	曇	13	46	草、砂利、土
深田北	MS-4	2006	12	19	7:30	8:30	35° 31' 56.3"	132° 59' 53.4"	152	曇	6	90	アスファルト、土
片句	MP-5(KB-9)	2006	12	19	8:50	9:50	35° 32' 34.5"	132° 59' 00.1"	55	曇	8	72	砂利、土
北講武	MP-6(KA-6)	2006	12	27	9:30	10:30	35° 31' 21.6"	133° 01' 22.2"	21	曇	15	66	砂利、土
佐陀本郷	MP-7(KB-5)	2006	12	19	16:30	17:30	35° 31' 10.7"	132° 59' 49.3"	10	晴れ	10	65	アスファルト、土
大芦	MP-9	2006	12	16	12:40	13:40	35° 33' 12.2"	133° 03' 01.4"	13	曇	14	60	草、アスファルト、土、砂
手結	MP-11	2006	12	19	12:30	13:30	35° 32' 15.3"	132° 58' 20.8"	14	曇	13	52	土、砂
加賀浄水場	SJ-2	2006	12	31	11:30	12:30	35° 32' 47.2"	133° 05' 12.2"	120	晴れ	11	50	アスファルト、土
津ノ森浄水場	MJ-2	2006	12	15	16:00	17:00	35° 27' 57.0"	132° 55' 07.9"	8	晴れ	12	56	草、土
上宇部尾浄水場	MJ-5	2006	12	18	13:30	14:30	35° 29' 17.8"	133° 07' 31.5"	18	曇	11	62	アスファルト、土
枕木浄水場	MJ-7	2006	12	17	9:10	10:10	35° 31' 49.4"	133° 07' 51.3"	105	曇	12	53	アスファルト、土

表2 測定結果

地点名	Ge半導体検出器					G(E)関数法	NaI(Tl)検出器			
	HASL方式				Total		レスポンスマトリックス法			
	U系列	Th系列	K-40	Cs-137			U系列	Th系列	K-40	Total
峰垣	6.4	9.4	14.2	0.05	30.0	38.3	10.6	11.3	13.1	35.0
西生馬	9.4	13.9	24.7	0.03	48.8	55.3	14.1	16.4	23.3	53.7
六坊	6.1	10.8	18.9	0.03	35.8	38.6	13.0	10.6	15.7	39.3
加賀小学校前	6.3	10.4	15.0	0.03	31.8	36.9	9.2	11.8	13.8	34.8
佐陀宮内	11.2	13.9	20.9	0.05	46.0	48.6	15.5	12.9	18.3	46.7
秋鹿中組	9.9	14.2	17.9	0.11	42.2	45.2	17.2	13.4	14.7	45.2
東長江中組	7.9	14.5	26.0	0.05	48.4	55.5	10.6	18.3	24.4	53.2
東奥谷	6.6	11.1	24.7	0.01	42.4	47.4	14.0	10.3	20.3	44.7
西持田	6.2	7.3	14.0	0.03	27.5	31.4	8.7	8.2	12.3	29.2
殿町	6.1	11.4	20.3	0.74	38.5	48.7	14.4	12.2	17.3	43.9
西川津靈感寺	8.5	12.6	26.6	0.05	47.7	49.5	14.3	13.1	21.2	48.6
西浜佐陀	9.1	16.6	20.7	0.05	46.4	52.1	11.6	17.5	19.3	48.4
御津	12.6	15.6	25.4	ND	53.6	59.8	17.9	17.6	23.4	58.8
古浦	6.8	11.4	18.4	0.05	36.7	39.9	10.3	10.8	16.3	37.4
深田北	7.2	10.0	15.9	0.03	33.0	36.5	10.6	14.1	9.1	33.9
片匂	8.2	12.0	21.6	0.02	41.8	49.4	13.8	13.4	19.5	46.6
北講武	6.4	9.7	16.3	0.02	32.5	37.4	10.0	11.5	14.0	35.5
佐陀本郷	5.6	9.4	14.0	0.05	29.0	34.0	9.3	9.6	12.1	31.0
大芦	8.4	13.6	19.6	ND	41.6	42.5	10.3	12.4	17.4	40.1
手結	9.2	14.7	25.9	ND	49.9	54.3	14.1	16.5	23.6	54.2
加賀浄水場	6.8	9.6	18.4	0.08	34.9	44.4	13.2	11.5	16.3	41.0
津ノ森浄水場	9.2	14.2	22.0	0.05	45.5	46.2	13.5	16.6	19.4	49.5
上宇部尾浄水場	10.8	10.2	16.4	0.05	37.5	40.1	13.3	10.8	14.7	38.7
枕木浄水場	9.2	17.5	21.5	0.06	48.3	47.8	13.3	15.1	18.7	47.1

γ線についてG(E)関数法およびレスポンスマトリックス法(RM法)により評価した。

3. 調査結果及び考察

3.1 線量率

測定概況を表1に、測定結果を表2に示した。
図2にHASL方式、G(E)関数法及びレスポンスマ

トリックス法(RM法)の線量率(宇宙線を除く)を示した。G(E)関数法とレスポンスマトリックス法による線量率はほぼ同じであったが、HASL方式では、他の解析手法に比べ低い傾向を示した。

G(E)関数法及びレスポンスマトリックス法が散乱成分も含むエネルギーの波高スペクトルから線量率を評価する手法であるのに対し、HASL方式は主要ピークから土壤放射能を求め、それにより線量率を評価する手法であるため、放射性核種の土中分布状態、土壤密度、土壤含水率および土地の形状(建物、がけ、山)などに影響されるが、後述するが、土壤中の自然放射性核種濃度が均一でなく、下層が上層にくらべ高いためにHASL方式で低くなったことが考えられる。

3.2 放射性核種濃度

表3にBe-7とCs-137の地表放射能濃度を示した。
Be-7は短半減期(53日)のため表面分布であり、ほぼ正確に測定されていると思われる。

今回の測定で検出された人工放射性核種はCs-137のみであった。24地点中21地点から検出され、過去の大気圏内核実験等の影響が多く地点で残っていた。空間線量率へのCs-137からの寄与分は、ほとんどの地点で線量率寄与として0.1nGy/h以下であったが、

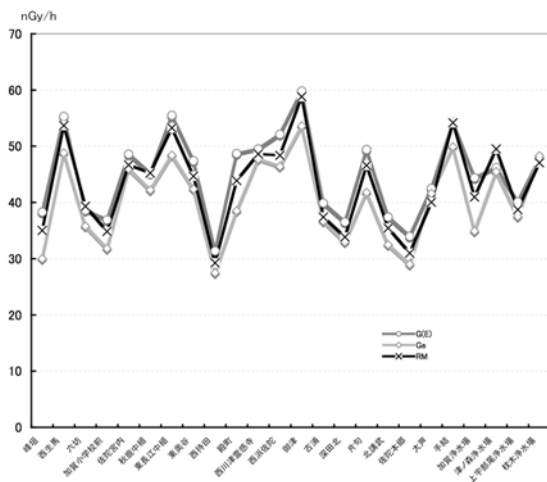


図2 各測定地点の線量率

表3 地表放射能濃度

調査場所	Be-7			Cs-137		
	計数率 cps	放射能濃度 Bq/km ²	空間線量率 nGy/h	計数率 cps	放射能濃度 Bq/km ²	空間線量率 nGy/h
峰垣	1.89E-01	3.45E+08	-----	7.58E-02	1.97E+07	4.98E-02
西生馬	1.68E-01	3.07E+08	-----	4.52E-02	1.18E+07	2.97E-02
六坊	1.22E-01	2.49E+08	-----	3.80E-02	1.09E+07	2.76E-02
加賀小学校前	2.10E-01	3.82E+08	-----	3.92E-02	1.02E+07	2.57E-02
佐陀宮内	1.38E-01	2.52E+08	-----	8.01E-02	2.09E+07	5.26E-02
秋鹿中組	1.50E-01	2.73E+08	-----	1.71E-01	4.46E+07	1.13E-01
東長江中組	1.27E-01	2.32E+08	-----	7.35E-02	1.92E+07	4.83E-02
東奥谷	4.65E-02	8.48E+07	-----	8.39E-03	2.19E+06	5.51E-03
西持田	1.70E-01	3.10E+08	-----	4.39E-02	1.14E+07	2.88E-02
殿町	2.27E-01	4.14E+08	-----	1.13E+00	2.93E+08	7.39E-01
西川津霊感寺	1.57E-01	2.86E+08	-----	8.28E-02	2.16E+07	5.44E-02
西浜佐陀	1.78E-01	3.62E+08	-----	6.92E-02	1.99E+07	5.03E-02
御津	2.12E-01	3.86E+08	-----			
古浦	2.16E-01	3.93E+08	-----	7.02E-02	1.83E+07	4.61E-02
深田北	1.31E-01	2.38E+08	-----	5.11E-02	1.33E+07	3.36E-02
片匂	1.20E-01	2.19E+08	-----	2.37E-02	6.17E+06	1.56E-02
北講武	1.42E-01	2.59E+08	-----	3.51E-02	9.15E+06	2.31E-02
佐陀本郷	1.49E-01	2.71E+08	-----	7.58E-02	1.97E+07	4.98E-02
大芦	2.15E-01	3.93E+08	-----			
手結	1.44E-01	2.63E+08	-----			
加賀浄水場	1.50E-01	2.74E+08	-----	1.16E-01	3.01E+07	7.60E-02
津ノ森浄水場	1.66E-01	3.03E+08	-----	7.25E-02	1.89E+07	4.76E-02
上宇部尾浄水場	1.52E-01	2.77E+08	-----	7.13E-02	1.86E+07	4.68E-02
枕木浄水場	1.72E-01	3.15E+08	-----	9.53E-02	2.48E+07	6.26E-02

殿町（県庁前庭）では0.7nGy/hと特異的に高い値であった。

これは当該地点の土壌が陽イオン交換容量の大きい黒ボク土であることに起因していると考えられる。

3.3 放射能濃度深度分布

放射能濃度の深さによる変動をみるため、西浜佐陀においては電動採土器（直径10cm）で土壌を採取した柱状の土壌試料（表面～深さ20cm）を2cm刻みで切断し、それぞれについてγ線分光分析を行い、その結果を表4に示した。

表4 放射能濃度深度分布

深さcm	Bq/kg湿土								
	Pb-214 (U-238)	Bi-214 (U-238)	Ac-228 (Th-232)	Pb-212 (Th-232)	Tl-208 (Th-232)	K-40	Cs-137	Be-7	
0～2	8.7	7	19	20	14	340	0.83	27	
2～4	11	9.7	24	25	19	560	0.68	ND	
4～6	15	13	29	29	23	710	0.53	ND	
6～8	17	14	32	35	24	720	0.48	ND	
8～10	19	15	35	38	29	750	0.57	ND	
10～12	16	13	33	35	29	790	0.46	ND	
12～14	16	13	36	39	32	890	ND	ND	
14～16	18	16	43	44	36	1000	ND	ND	
16～18	18	13	41	44	37	1010	ND	ND	
18～20	13	11	39	42	33	1010	ND	ND	

Be-7は表面0～2cmまでしか存在せず、表面分布で仮定のとおりであったが、Cs-137は0～12cmまで漸減し、それ以下ではNDであり、地表部のみと仮定し、HASL方式から求めたCs-137放射能濃度は過小評価となっていた。

自然放射性核種では、U系列は0～6cmまで増加していき、それ以下ではほぼ一定濃度を示した。

Th系列及びK-40は0～20cmまで徐々に増加しており、一様分布とした仮定との乖離が見られた。

3.4 検出下限値

今回用いたIn-Situ Ge測定システムにおける60分測定での検出下限値は、CurrieMDA法で計算しCs-137において濃度（面密度）で 2×10^7 Bq/km²、線量率で0.03nGy/hとなった。また、10分測定では 6×10^7 Bq/km²、線量率で0.09nGy/hとなった。

4. まとめ

(1) 一般に、In-Situ Geガンマ線分析は土壌の不均一からのサンプリング誤差を減らすことができ、実験室内で測定するに比べ1/10程度の測定時間で半径約10mほどの範囲の放射能が定量可能である。²⁾

また土壌を採取後の核種壊変、核種散逸による影響

を除去でき、実環境場のガンマ線を把握することができる。

(2)今回、In-Situ測定では通常使用される三脚を使用せず、ポータブルカートにGe及びNaI(Tl)検出器を固定し測定した。三脚を使用した場合に比べ7～8%の計数率の低下があったが、現場で組み立て測定するまでの煩雑さや時間のロスを考慮すると、測定器一式をカートに組んで車両で運搬後、迅速に測定できるこの測定法の有用性が認識できた。

(3)緊急時モニタリング地点中の24地点での測定であったが、人工放射性核種のバックグラウンドを把握することができた。今後、この情報をもとに微量の人工放射性核種の蓄積も評価できると考えられる。

(4)In-Situ Ge測定では自然放射性核種からの線量率算出においてNaI(Tl)検出器による測定値との差がみられたが、許容出来るレベルと思われる。人工放射性核種については、検出下限値からも解るように、線量

率上昇が確認出来なくても高感度な検出が可能である。

(5)島根県ではチェルノブイリ事故時の人工放射性核種をIn-Situ Ge測定で検出したが³⁾、このシステムは、現場での人工放射性核種の検出においては唯一のものであると考えられることから、緊急時モニタリングに積極的に活用すべきと考えられる。

文 献

- 1) 島根県防災会議：島根県地域防災計画（原子力災害編）（平成19年3月）
- 2) ゲルマニウム半導体検出器を用いたIn-Situ測定法，放射能測定法シリーズ33，日本分析センター（2008）
- 3) 寺井邦雄、藤井幸一他：チェルノブイリ事故影響調査 — In-Situ γ 線スペクトル測定データを中心として —，島根県衛生公害研究所報，33，29-37（1991）