

銅山川における底生動物を用いた水質評価

(東予支所) 岡田文明・藤原正方・水口定臣

1. はじめに

近年、河川の水質を評価する方法として、水生生物を用いた生物学的な水質判定法の研究が進められている。

銅山川水系は、昭和52年に水質環境基準のAA類型に指定されて以来、毎月1回環境基準監視調査を実施してきた。今回は、より総合的な水質の評価を行うことを目的として、理化学的試験に加えて、底生動物相の調査を実施したのでその結果を報告する。

2. 調査方法及び河川の概要

2.1. 調査方法

銅山川本流の7地点について、理化学的試験と底生動物相について次のとおり調査を行った。

調査年月日 昭和61年8月11日～12日

調査地点 図1のとおり。

調査項目 水温、pH、DO、BOD、T-N、T-P、底生動物

底生動物の採取は、30cm×30cmのコドラートを使用し、採取網のメッシュは、NGG50を用いた。

また、理化学的試験の試験方法は表1のとおりであり、底生動物については、図説¹⁻⁴⁾を用いた絵合わせにより、目までの分類を行い、次に実体顕微鏡下で検索表^{2,4)}を用いて、種の同定と定量を行った。

2.2. 河川の概要⁵⁾

銅山川は別子山村と高知県本川村との境界にある冠山(標高1732m)付近に源を発し、別子山村、伊予三島市、新宮村を経て、徳島県山城町で吉野川に流入する総延長121kmの1級河川である。途中に別子ダム、柳瀬ダム、新宮ダムの3ダムを設け、工業用水、水道水、灌漑用水、発電等に利用している。また、上流は、アマゴ、アユ等の漁場としても知られており、夏季には、子供達の水浴の情景もみられる。

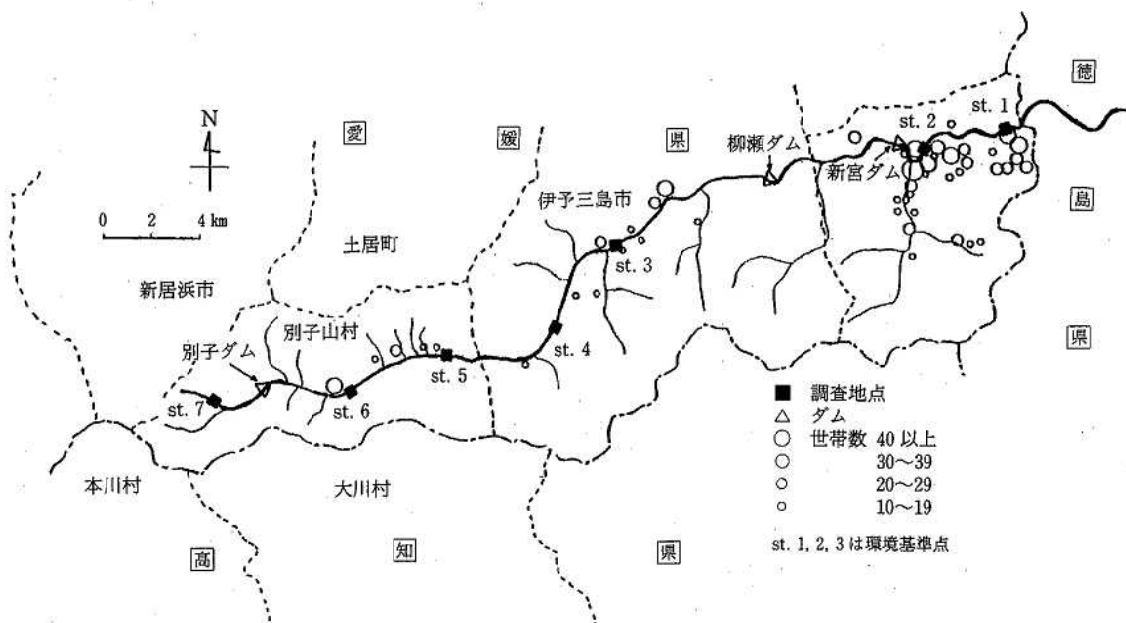


図1 調査地点と河川流域の世帯分布状況

表2 調査地点の概要

項目\地点	st.1 大古味橋	st.2 寺尾	st.3 富郷橋	st.4 宮城	st.5 東宮	st.6 筏津	st.7 中7番
水温(°C)	26.5	25.5	21.5	21.0	19.8	18.5	16.5
流速(m/s)	0.28	0.51	0.58	0.90	0.83	0.93	0.88
水深(cm)	30	30	35	40	25	25	25
底質	石礫	石礫	石礫	石礫	石礫	石礫	岩石礫

表3 底生動物の出現状況

(単位:個)

種名\地点番号	地点番号							種名\地点番号	地点番号						
	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
節足動物								ヒロアタマナガレトビケラ				2	4	1	
昆虫類								ナガレトビケラ属	1	8	17	13	29	8	4
蜉蝣目								イノブスヤマトビケラ				1	3	2	
エルモンヒラタカゲロウ			39	47	34	21	10	ヤマトビケラ属				6	66	5	2
タニヒラタカゲロウ				3	4			チャバネヒゲナガカワトビケラ			15	1			
ナミヒラタカゲロウ			1					ヒゲナガカワトビケラ			52	26		10	8
ユミモンヒラタカゲロウ			2	6	12	17	33	ムネカクトビケラ	3						
ウエノヒラタカゲロウ			1	1		35	7	マルツツトビケラ	31	12	2	3	1	3	
シロタニガワカゲロウ								Ceraclea属	6	7					
キブネタキガワカゲロウ	4						4	ニンギョウトビケラ					31		
ミヤマタニガワカゲロウ					1			シマトビケラ科		3	4	2	31	6	5
サツキヒメヒラタカゲロウ			3					カワトビケラ科			9	1	4	1	3
トビロココカゲロウ			22	14				双翅目							
サホココカゲロウ		2			2			ナガレエスリカ					6	33	8
シロハラココカゲロウ			19	18	4	28	21	エリエスリカ	36	15	15		18	6	3
フタバココカゲロウ			6	2	10	35		ウスバヒメガガンボ	22	65	62	39	39	32	3
ミジカオフタバココカゲロウ			7	3	5	19		ガガンボ科	1	6	2	6	5		
ココカゲロウ属	4	6	69	11	8	3	2	鞘翅目							
ヨシノマダラココカゲロウ			13	18	1		1	アシナガドROMシ		6	5				2
キタマダラカゲロウ	3		10	5				ヒメドROMシ			2		3		3
ホソバマダラカゲロウ	2	3	1				2	広翅目							
クシゲマダラカゲロウ			63	61	60	2	22	ヘビトンボ				3			
アカマダラカゲロウ	7		17	6				膜翅目							
チノマダラカゲロウ			4	14	6			ミズバチ						8	
横翅目								蛛形類							
クラカケカワゲラ属	1	2	14	6	4	6		だに目							
カミムラカワゲラ属	8	18	19	18	25	12		ミズダニ			2	4			
フツツメカワゲラ属	1							扁形動物							
モンカワゲラ属				1				渦虫類							
フサオナシカワゲラ属							7	三枝腸目							
ミドリカワゲラ科			3					ナミウズムシ				2		10	
ハラジロオナシカワゲラ科					2			環形動物							
毛翅目								貧形類							
ウルマーシマトビケラ		3	11	11	106	38	4	ミズミミズ	1					3	2
ギフシマトビケラ	3	7						種数	17	14	36	36	33	26	24
コガタシマトビケラ	27	16	5	6				個体数	156	149	539	386	579	327	169
エチゴシマトビケラ					9	3									
オオシマトビケラ	4														
ヤマナカナガレトビケラ			6	2	8										
ムナグロナガレトビケラ			13	10	6	4									

表1 水質の試験方法

測定項目	分析方法
水温	JISK0102の7
pH	JISK0102の12
DO	JISK0102の32.1
BOD	JISK0102の21
T-P	環境庁告示第140号
T-N	環境庁告示第140号

3. 調査結果

3.1. 底生動物の分布状況

調査地点の概況を表2に示す。また、底生動物の分布状況を表3に、各地点における個体数出現頻度（個体数/総数）を図2に示す。

水温は上流ほど低く、st.1(26.5°C)とst.7(16.5°C)で10°Cの差がみられた。流速はst.1を除いて、0.5m/s～1.0m/sであり、水深は25cm～40cmで、底質は全地点で石礫又は岩石礫であった。

底生動物の分布状況は、全般的にみて、カゲロウ、トビケラ、双翅目のガガンボ、ユスリカを中心とした動物相となっており、特にst.3～st.6は、種数、個体数とも豊富であった。st.7は、個体数はやや少ないが、種

数は24種と豊富であった。これらに比べると、st.1, st.2は、種数、個体数ともやや少なく、カゲロウの出現が少なかった。

次に各地点での優占種をみると、st.1でエリユスリカ、マルツツトビケラ、コガタシマトビケラが優占し、st.2では、ウスバヒメガガンボが、全体数の約半分を占めた。st.3, st.4になると、マダラカゲロウ、コカゲロウ、ヒラタカゲロウの蜉蝣目が中心になっており、st.5では、ウルマーシマトビケラ、ヤマトビケラの毛翅目が優占した。st.6, st.7では、これまでヒラタカゲロウ科の中心となっていたエルモンヒラタカゲロウに変わって、ウエノヒラタカゲロウ、ユミモンヒラタカゲロウが優占種となり、フタバコカゲロウ、シロハラコカゲロウも多くみられた。これら各地点での優占種の中で、ウスバヒメガガンボは、全地点で出現し、st.7以外のかかなり広範囲にわたって、高い出現頻度を示した。

3.2. 生物学的水質判定結果

各地点における生物学的水質判定結果を表4に示す。これらのうち、多様性指数(DI)⁹⁾、汚濁指数(PI)⁷⁾、生物指数(BI)⁶⁾の変化を図3に示す。なお、優占種法⁷⁾の欄に示した種名は、個体数出現頻度⁸⁾10%以上のものとした。

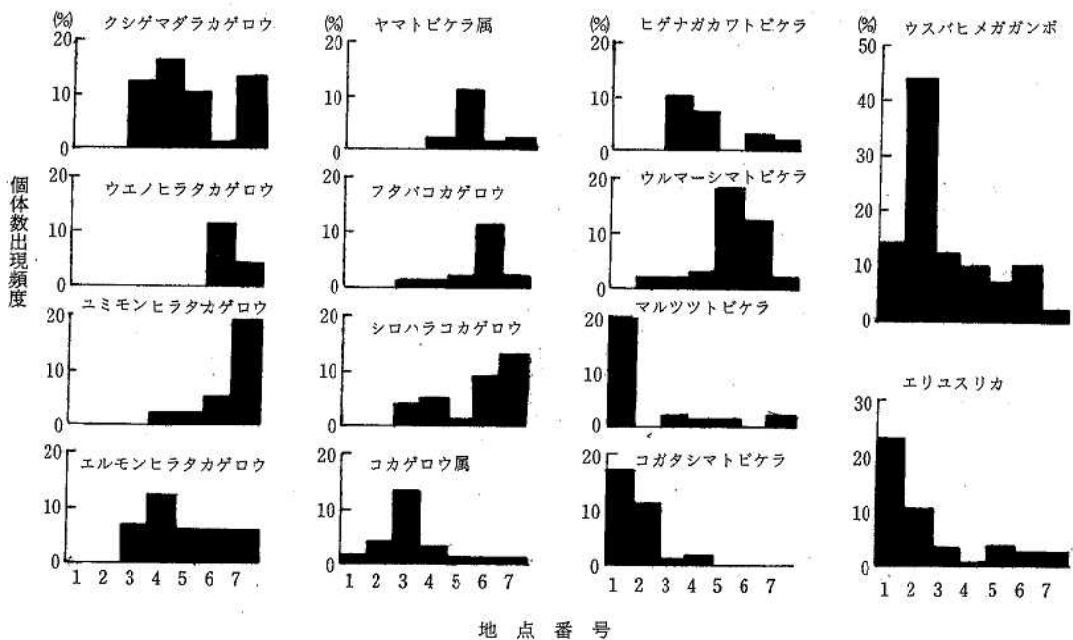


図2 優占種の個体数出現頻度

判定結果は、st.2でDIが2.8と中汚染水域となった他は、すべて貧腐水性(OS)で清水域と判定された。

しかし、図3を見ると、PIではあまり差はみられないものの、DI、BIでst.1、st.2とst.3~st.7の間に差がみられる。また、優占種をみても、st.1とst.2に汚濁耐性種であるコガタシマトビケラが出現している。これらのことより、st.1、st.2はOSではあるが、st.3~st.7に比べ多少とも汚染されていることがわかる。

このことは、柳瀬ダム、新宮ダムにより下流の水量が減少したところに、図1でわかるように、これらの地点が、上流の地点に比べ流域人口が多いための、生活排水による汚染と考えられる。

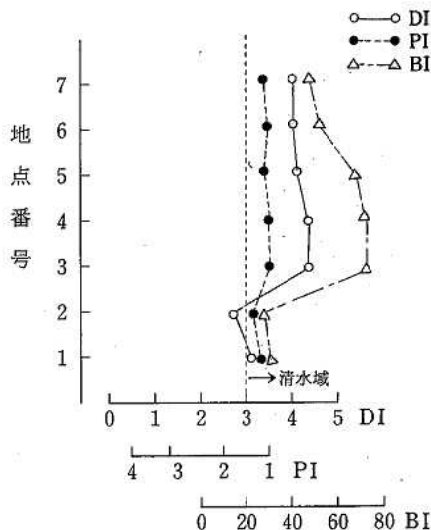


図3 DI, PI, BIの変化図

表4 生物学的水質判定結果

項目\地点番号	1	2	3	4	5	6	7
優占種法 ¹⁾	OS エリュスリカ マルツツトビケラ コガタシマトビケラ ウスバヒメガガンボ	OS ウスバヒメガガンボ コガタシマトビケラ エリュスリカ	OS コカゲロウ属 クシゲマダラカゲロウ ウスバヒメガガンボ ヒゲナガカワトビケラ	OS クシゲマダラカゲロウ エリモンヒラタカゲ ロウ ウスバヒメガガンボ	OS ウルマーシマトビケラ ヤマトビケラ属 クシゲマダラカゲロウ	OS ウルマーシマトビケラ フタバコカゲロウ ウスバヒメガガンボ	OS ユミモンヒラタカゲロウ クシゲマダラカゲロウ シロハラコカゲロウ
多様性 指数 ²⁾	判定 指数 清水域 (3.1)	中汚染水域 (2.8)	清水域 (4.3)	清水域 (4.3)	清水域 (4.1)	清水域 (4.0)	清水域 (4.0)
汚濁 指数 ³⁾	判定 指数 OS (1.3)	OS (1.3)	OS (1.0)	OS (1.0)	OS (1.1)	OS (1.0)	OS (1.1)
生物 指数 ⁴⁾	判定 指数 OS (29)	OS (25)	OS (70)	OS (70)	OS (65)	OS (51)	OS (46)

注) 多様性指数は、shannon-weaver (1949) の式を用いた

3. 3. 理化学的試験結果との比較

理化学的試験結果を表5に示す。これらのうち、T-N、T-P、BODとDIを比較したものを、図4に示す。

T-N、T-Pについてみると、いずれも最上流st.7が最も低い値を示し、st.1、st.2が他に比べ高いことにおいて、DIと一致する。T-Pはst.6、st.5がst.1について高い値を示した。

BODは、いずれの地点も1.0mg/l以下で、あまり

差がみられなかったが、環境基準点(st.1, 2, 3)の60年度の平均値をみると、st.1が1.2mg/l、st.2が1.3mg/lであるのに対し、st.3は0.7mg/lと差がみられた。特にst.2においては、最高3.4mg/lを示したときもあった。

以上のように、st.1、st.2は他の地点と比べ、理化学的試験においても、差がみられ、若干汚染されている点において、生物学的水質判定結果と一致している。

表5 理化学的試験結果

項目\地点番号	1	2	3	4	5	6	7
pH	8.0	8.5	7.8	8.1	7.7	7.6	7.8
DO (mg/ℓ)	8.9	9.7	8.9	9.2	8.6	9.0	9.0
BOD (mg/ℓ)	0.8	0.7	0.5	<0.5	0.6	0.7	<0.5
60年度 平均値 ⁵⁾	1.2	1.3	0.7				
範囲	0.6~2.6	0.6~3.4	<0.5~1.5				
T-N (mg/ℓ)	0.78	0.92	0.31	0.31	0.23	0.19	0.15
T-P (mg/ℓ)	0.018	0.020	0.005	0.005	0.011	0.014	<0.003

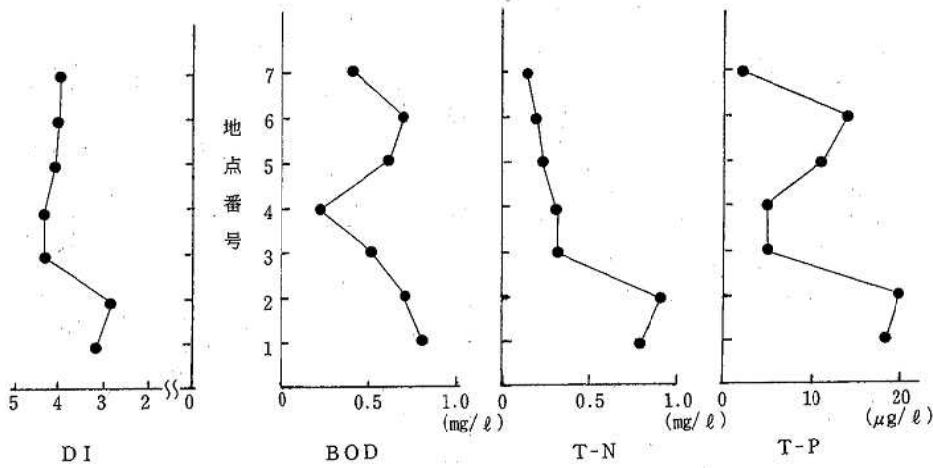


図4 T-N, T-P, BODとDIの比較

4. まとめ

銅山川における生物調査の結果、次のことがわかった。

- (1)底生動物は、ほとんどが昆虫類で、蜉蝣目、毛翅目、双翅目が主要出現目であった。
- (2)生物学的水質判定結果は、すべて貧腐水性(OS)であったが、st.1, st.2で若干の汚染がみられた。
- (3)st.1, st.2で若干の汚染がみられる点において、理化学的水質結果と一致した。

— 参考文献 —

- 1) 津田松苗, 六山正孝: “水生昆虫” (1986), 保育社
- 2) 川合禎次: “日本産水生昆虫検索図説” (1985), 東海大学出版会
- 3) 上野益三: “日本淡水生物学” (1980), 北隆館
- 4) 津田松苗: “水生昆虫学” (1983), 北隆館
- 5) 昭和61年版愛媛県環境白書
- 6) 津田松苗, 森下郁子: “生物による水質調査法” (1982), 山海堂
- 7) 愛媛県公害技術センター: 生活排水による河川の水質汚濁に関する調査, p.18(1986)
- 8) 榊美代子: 広島県環境センター研究報告第5号, p.77(1983)
- 9) 森谷清樹: 多様性指数による水域環境の生態学的評価, 用水と廃水, 18, 729(1976)

愛媛県における自然放射線分布 (第2報)

矢野隆司・篠原広充・安永章二
安井正良・金子敏明・松浦榮美

1. はじめに

当センターは、昭和60年度に愛媛県全域の自然放射線を調査し、 γ 線線量率及び宇宙線線量率の実態を明らかにして報告した¹⁾。

昭和61年度は、 γ 線線量率の地域差が主として地質に由来することから、主要地質ごとに地点を選定し、U-1系列、Th-1系列及びK-40の線量率寄与を調査した。また、宇宙線及び過去の核爆発実験やチェルノブイリ原子力発電所事故に起因する人工放射線についてもあわせて調査した。

2. 調査方法

2. 1. 調査期間

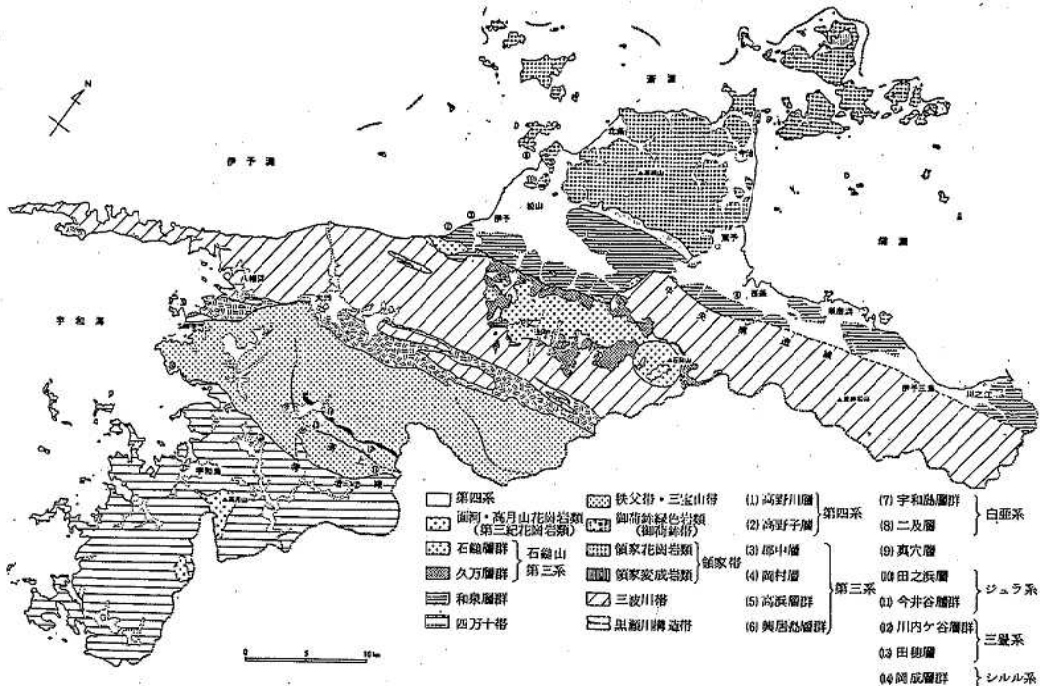
調査は、昭和61年9月から12月までの4カ月間で実施した。降雨時には γ 線線量率が上昇するので、好天を選んで調査した。

2. 2. 調査地点

調査地点は、愛媛県地質図により県内の主要地質12種類に対し、面積に応じて2地点以上配置し、計40地点選定した。愛媛県地質図を図1に示す。

調査地点の位置を図2に、それぞれの調査地点の地質分類及び岩石の種類を表1に示す。

現地における調査地点は、相当の広がりをもつ平坦な場所を選んだ。



(出典：愛媛県百科辞典)

図1 愛媛県地質構造概略図

Takashi YANO・Hiromitsu SHINOHARA・Shoji YASUNAGA
Masayoshi YASUI・Toshiaki KANEKO・Shigemi MATSUURA

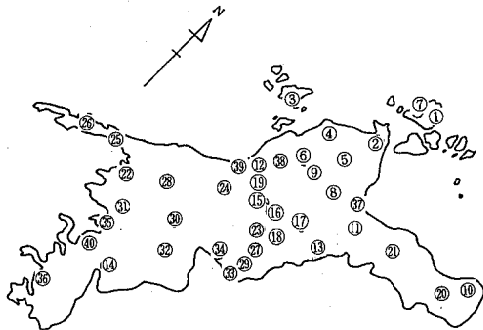


図2 調査地点位置図

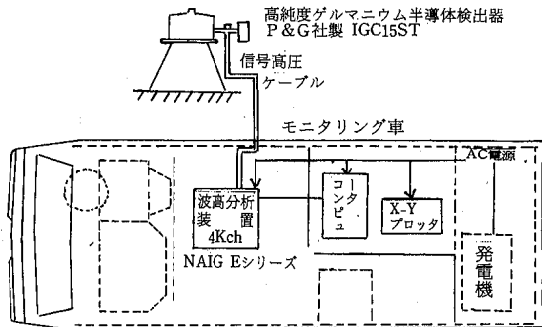


図3 in-situ測定システムの概要

表1 地質分類及び岩石の種類

地点番号	地質分類	岩石の種類	地点番号	地質分類	岩石の種類
1		黒雲母花崗岩	21		黒色片岩
2		花崗岩	22		〃
3	領家花崗岩類	〃	23	三波川帯	緑色片岩
4		斑状花崗閃緑岩	24		〃
5		花崗閃緑岩	25		〃
6		〃	26		〃
7		変質粘板岩	27	御荷鉾緑色岩類	輝緑岩
8	領家変成岩類	〃	28		〃
9		〃	29		砂岩・粘板岩
10		砂岩・頁岩	30		〃
11	和泉層群	〃	31	秩父帯・三宝山帯	〃
12		〃	32		砂岩・頁岩
13		両雲母花崗岩等	33		晶質石灰岩
14	面河・高月山花崗岩	黒雲母花崗岩	34		〃
15		斜方輝石安山岩	35	四万十帯	砂岩・頁岩
16	石鎚層群	〃	36		〃
17		〃	37		砂・レキ・粘土
18	久万層群	レキ岩・砂岩等	38	第四系	〃
19		〃	39		〃
20	三波川帯	砂岩片岩	40		〃

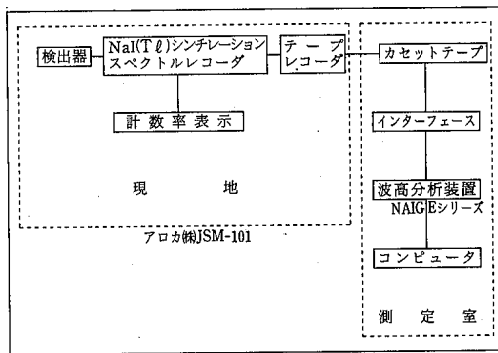


図4 宇宙線測定システム

3. 調査結果

3.1. 地質分類による自然放射線

本県の地質は、概ね東西方向に長く伸びた層状をなしている。地質由来の自然放射線調査結果を北から南の順に表2に示す。また、地質分類ごとの線量率寄与を図5に示す。

県内の自然放射線の γ 線線量率は、中央構造線の北側の県北部、即ち、領家花崗岩類、領家変成岩類及び和泉層群の地域は全般的に高い。中央構造線の南側に続く県中央部の地域については、面河・高月山花崗岩及び久万層群で高い値が見られるが、石鎚層群、三波川帯及び御荷鉾緑色岩類の広い地域が低くなっている。このうち、三波川帯の緑色片岩と御荷鉾緑色岩類の輝緑岩の地域は特に低い。県南部の秩父帯・三宝山帯及び四万十帯の地域は、県北部と県中央部の中間的な値となっている。ただし、秩父帯・三宝山帯の晶質石灰岩の地域は低い値となっている。

次に、地質由来の自然放射線を構成するU一系、Th一系及びK-40の線量率寄与をみると、ほぼ1:2:2の割合となっており、地質分類の違いによる差は少ない。

2.3. 測定方法

地中に存在するU一系、Th一系及びK-40並びに人工放射線の γ 線線量率の測定については、可搬型高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いた。

測定時間は4,000秒、測定高さは地上1mで行った。解析方法は、U一系、Th一系及びK-40の自然放射性核種については地中一様分布、人工放射性核種については無限平面分布とし、それぞれの線量をHASL方式を用いて算出した^{2,3)}。調査に使用したモニタリング車の、in-situ測定システム概要を図3に示す。

宇宙線線量率は、球形 $3''$ ϕ NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータを用いた。測定時間は1,000秒、測定高さは地上1mで行った。解析方法は、3MeV以上の成分1cpsを $2.12\mu\text{R/h}$ として評価する理研方式によった⁴⁾。測定から解析までのシステムを図4に示す。

表2 地質分類と自然放射線

(単位: $\mu\text{R/h}$)

地点番号	調査地点	地質分類	岩石の種類	地質由来の自然放射線			
				U-系列寄与	Th-系列寄与	K-40寄与	計
1	上浦町井口	領家花崗岩類	黒雲母花崗岩	1.8	5.9	5.3	13.0
2	今治市延喜		花崗岩	1.0	3.9	3.1	8.0
3	中島町長師		〃	1.2	3.7	4.3	9.2
4	北条市萩原		斑状花崗閃緑岩	0.6	2.8	3.3	9.2
5	玉川町竜岡		花崗閃緑岩	0.9	3.1	3.8	7.8
6	松山市湯山柳		〃	1.0	3.3	3.4	7.7
7	大三島町大見	領家変成岩類	変質粘板岩	1.6	3.3	3.3	8.2
8	丹原町田滝		〃	1.0	2.6	2.5	6.1
9	松山市川の郷		〃	1.2	2.7	2.9	6.8
10	川之江市西新町	和泉層群	砂岩・頁岩	1.4	2.7	3.3	7.4
11	西条市水見		〃	1.2	3.0	3.1	7.3
12	伊予市上三谷		〃	1.6	3.2	3.6	8.4
13	面河村面河溪	面河・高月山花崗岩	両雲母花崗岩等	1.4	2.7	4.3	8.4
14	宇和島市滑床		砂・レキ・粘土	1.2	2.8	3.4	7.4
15	松山市三坂峠	石鎚層群	斜方輝石安山岩	0.9	2.2	1.8	4.9
16	久万町樺木		〃	1.0	1.8	2.1	4.9
17	面河村黒森峠		〃	0.8	1.4	1.2	3.4
18	久万町古岩屋	久万層群	レキ岩・砂岩等	0.5	1.1	1.1	2.7
19	砥部町鶯の崎		〃	1.3	3.1	3.8	8.2
20	伊予三島市柳瀬	三波川帯	砂岩片岩	1.4	2.1	2.7	6.2
21	新居浜市打除		黒色片岩	0.6	1.7	1.9	4.2
22	八幡浜市舌間		〃	1.0	2.9	2.9	6.8
23	久万町上野尻		緑色片岩	0.4	0.9	0.5	1.8
24	中山町豊岡		〃	0.3	0.6	0.7	1.6
25	伊方町九町越		〃	0.2	0.4	0.3	0.9
26	瀬戸町見晴山	〃	0.3	0.4	0.3	1.0	
27	美川村大川嶺	御荷鉾緑色岩類	輝緑岩	0.2	0.8	0.6	1.6
28	大洲市田口		〃	0.4	0.3	0.2	0.9
29	柳谷村西谷	秩父帯・三宝山帯	砂岩・粘板岩	0.9	1.6	2.1	4.6
30	肱川町丸山公園		〃	1.0	1.6	1.8	4.4
31	宇和町卯之町		〃	1.5	4.5	3.5	9.5
32	城川町魚成		砂岩・頁岩	1.0	3.1	1.2	5.3
33	柳谷村五段高原		晶質石灰岩	0.2	1.0	0.9	2.1
34	野村町大野ヶ原		〃	0.6	1.8	1.4	3.8
35	吉田町桜町	四万十帯	砂岩・頁岩	1.1	2.6	3.0	6.7
36	内海村須の川		〃	1.2	2.8	3.2	7.2
37	東予市吉田	第四系	砂・レキ・粘土	1.0	2.6	2.8	6.4
38	松山市居相		〃	1.3	3.5	3.7	8.5
39	伊予市米湊		〃	0.9	1.9	1.9	4.7
40	宇和島市和壺		黒雲母花崗岩	1.0	2.4	2.7	6.1

なお、吉田町桜町については、降雨の為再測定を実施し、降雨時と降雨時以外のデータを収集したので表3に示す。これによると、Th-系列及びK-40については降雨による差は見られないが、U-系列だけが影響を受けており、上空まで拡散していたラドンの娘核種が降雨により降下し、地表で高濃度になり、線量率を上昇させていることがよく分かる。

表3 降雨の影響

(単位: $\mu\text{R/h}$)

区分	地質由来の自然放射線			
	U-系列寄与	Th-系列寄与	K-40寄与	計
降雨時	2.7	2.6	2.9	8.2
降雨時以外	1.1	2.6	3.0	6.7

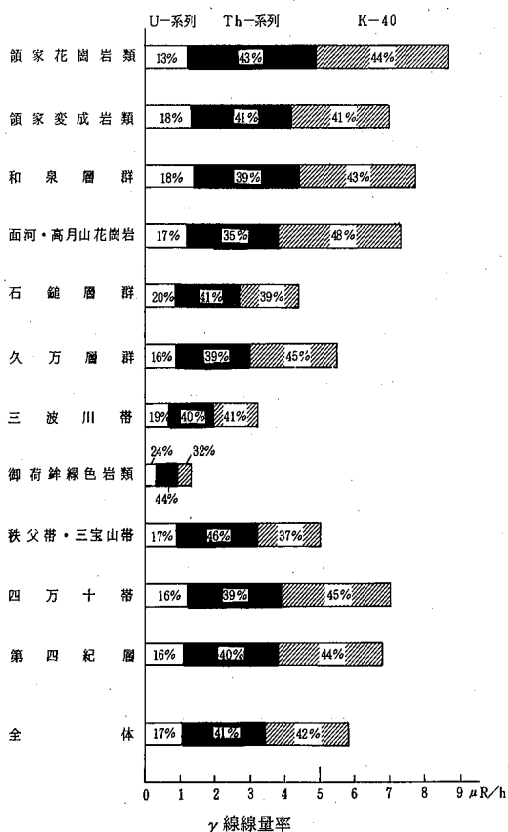


図5 地質分類と線量率寄与

3. 2. 宇宙線

宇宙線線量率は、山間部の高地に位置する柳谷村五段高原と野村町大野ヶ原で最高値4.8μR/h八幡浜市舌間等低地において最低値3.1μR/hとなっている。

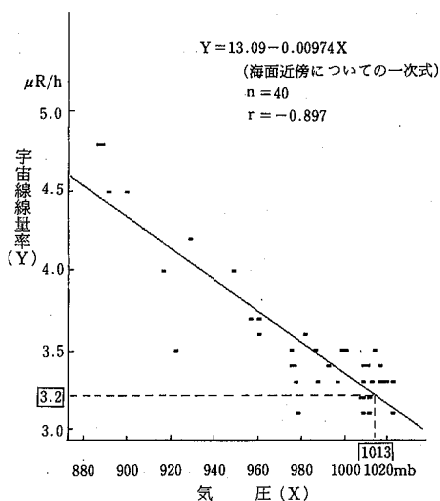


図6 宇宙線と気圧

宇宙線と海拔高度に依存する気圧の関係を海面高度近傍について一次式で表わすと図6のとおりとなる。このことから、気圧が1気圧(1,013mb)の場合の宇宙線を見積もると本県では3.2μR/hである。

3. 3. 人工放射線

人工放射線は、調査開始早々の9月に半減期の短いRu-103が1地点検出されたが、他の地点についてはCs-137のみで「検出されず」から0.57μR/hの範囲内となっている。

Cs-137は、地表面の状態により線量率が異なり、砂地又は裸地では「検出されず」から0.03μR/hで、草地、腐蝕土又は周辺に樹木がある場所では「検出されず」から0.57μR/hで、地表面付近でのCs-137の保持に差が見られる。0.5μR/h以上であった美川村大川嶺と柳谷村五段高原は、腐蝕土及び草地であり、かつ、内陸の高地であるので、風や雨の気象要因等がかさなり高線量率を示しているものと思われる。ただし、自然放射線と比べると小さい値である。

4. まとめ

- (1) 県内の自然放射線は県北部で高く、県中央部で低く、県南部は中間の値であり、この値は地質に支配されている。
- (2) U-系列、Th-系列及びK-40の線量率寄与の割合は、地質分類の違いによる差はあまり見られない。
- (3) 宇宙線線量率は高地ほど高く、1気圧の地点で3.2μR/hであった。
- (4) 人工放射線はCs-137がほとんどで、チェルノブイリ原子力発電所事故由来の短半減期核種はほとんど消滅しており、自然放射線と比べると小さい値である。

— 参考文献 —

- 1) 松浦榮美, 二宮久, 安永章二, 矢野隆司, 金子敏明, 安井正良: 愛媛県公害技術センター所報, 第7号, 32 (1986)
- 2) H. L. Beck, J. D. Camp, C. Gogolak: H A S L -258 (1972)
- 3) 阪井英次, 寺田博海, 片桐政樹: 可搬型 Ge(Li) 検出器を用いた環境ガンマ線の in-situ 測定, J A E R I -M6498 (1976)
- 4) 浜田達二, 岡野真治, 出雲光一, 熊谷秀和, 西田雅美, 和田雅美: 第20回環境放射能調査研究成果論文抄録集, 143 (1977)

ソ連チェルノブイリ原子力発電所事故の影響について

矢野隆司・安永章二・篠原広充
金子敏明・安井正良・松浦榮美

1. はじめに

1986年4月26日に発生したソ連チェルノブイリ原子力発電所の事故は、大量の放射性物質が大気中に放出されたため、ヨーロッパ各国に被害をもたらし、遠く8700kmも離れた日本にも影響を及ぼした。

公害技術センターでは、科学技術庁の要請を受け、4月29日から6月6日まで緊急放射能調査（以下「緊急調査」）を実施した。また、平常業務として実施している伊方発電所周辺環境放射線等調査（以下「監視調査」）でも事故の影響がみられた。両調査に現れた影響をここに報告する。

2. 調査方法

緊急調査は、当センター（松山市）において、空間ガンマ線量率測定、降下物、大気浮遊じん等の試料について全ベータ放射能測定、核種分析を行った。緊急調査の項目及びそれぞれの調査期間等を表1に示す。核種分析は、緊急調査では短時間に多数の試料を測定しなければならないことから、検出目標値を飲食物摂取制限に関する指標（56年、原子力安全委員会）の1/15～1/30に定め、3600秒～10,000秒で行った。

監視調査は、松山市及び西宇和郡伊方町において実施しており、調査項目等を表2に示す。

表1 緊急調査の方法

項 目	調 査 期 間 等	測 定 器	備 考	
空間ガンマ線量率	4月30日～5月23日 1回/日 但し、5月1日～5月5日は2回/日	1"φ×1"NaI(Tl)シンチレーションサーベイメーター	科学技術庁方式	
全ベータ放射能	降下物	4月29日～5月23日 1回/日 5月1日～5月22日	毎日採取分は採取の4時間後に測定	
	大気浮遊じん	4月30日～5月23日 1回/日	集塵の5時間後に測定	
核種分析	降下物	5月1日～5月22日	（勸）日本分析センターが測定	
	大気浮遊じん	5月3日～6月6日 1回/日	口紙-TOYO GB100R	
	雨 水	5月3日～5月30日 日降雨毎	高純度Ge半導体検出器	試料容器 U-8
	水道水	5月4日～6月6日 1件/日		前処理なし
	市販牛乳	5月4日～6月6日 1件/日		
海産生物 (ホンダワラ)	5月23日 採取			

表2 監視調査の方法(抜粋)

項 目	測 定 器	備 考	
空間ガンマ線量率	モニタリングステーション	2"φ×2"NaI(Tl)シンチレーション検出器	温度補償、エネルギー補償回路付
	モニタリングカ	高純度Ge半導体検出器	HASL方式
全ベータ放射能	大気浮遊じん	端窓型GM管50mmφ	集塵の11時間後に測定
核種分析	降下物	高純度Ge半導体検出器	蒸発乾固
		低バックグラウンド放射能自動測定装置	Sr-90
	大気浮遊じん	高純度Ge半導体検出器	口紙 TOYO GB100R

Takashi YANO・Shoji YASUNAGA・Hiromitsu SHINOHARA
Toshiaki KANEKO・Masayosi YASUI・Shigemi MATSUURA

3. 調査結果

3. 1. 空間ガンマ線量率

当センターでの空間ガンマ線量率測定結果は、8.7~10.9 μ R/hで、過去の測定値(7.9~11.7 μ R/h)の範囲内であった。

伊方町に設置しているモニタリングステーションの連続測定結果では、図1に示すとおり5月4日~29日の間わずかにベースラインが上昇し、最上巾で約0.3 μ R/hであり、降雨に対応する線量率上昇程明らかでない。この間の降雨の影響を除いた線量率上昇分を試算すると0.1mRであり、公衆中の個人に対する許容破ばく線量500mrem/年を十分下まわっている。

次に、6月3日、モニタリングステーションで可搬型高純度ゲルマニウム半導体検出器によるIn-situ測定を実施したので、このスペクトルを図2に示す。

事故の影響による人工放射性核種は、I-131, Ru-103, 及びCs-137の3核種を検出したが、線量率に換算するとそれぞれの寄与線量は、0.011, 0.015, 0.037 μ R/hと小さく、あわせて0.063 μ R/hである¹⁾。同地点の8月20日の測定では、半減期の短いI-131, Ru-103については検出されていない²⁾。

以上のことから、事故の影響による線量率上昇は、極くわずかであり、短期間であったことが分かる。

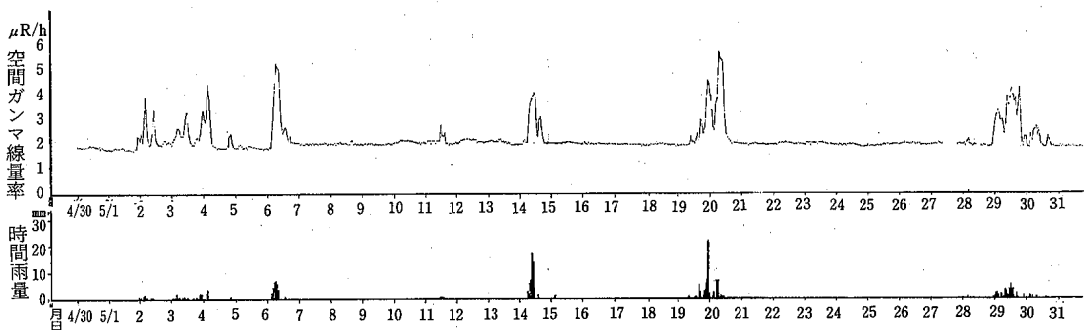


図1 空間ガンマ線量率と時間雨量

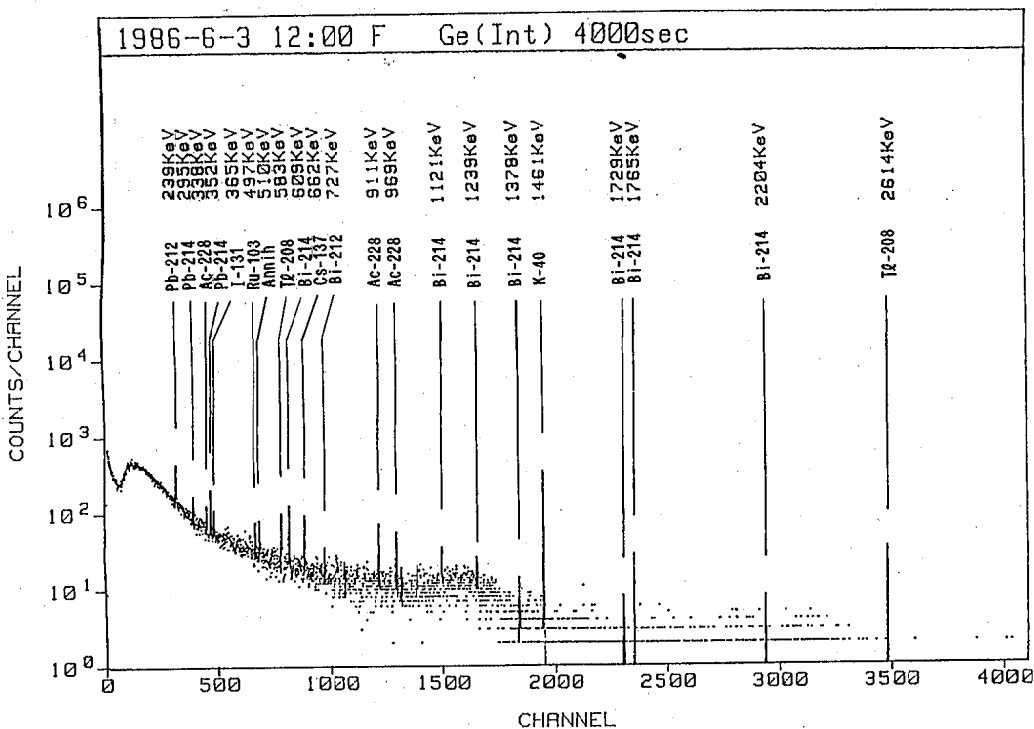


図2 In-situ ガンマ線スペクトル (伊方町)

3. 2. 降下物

当センターで5月1日～22日の間採取した降下物の核種分析については、各都道府県とも(財)日本分析センターに試料を送付し、一括測定したので表3に示す。

これによると日本への事故の影響は、東北、北陸地方の日本海側で大きく、西日本で小さいことがわかる。

核種でみると、降下量の多かったのは低沸点のI, Cs及びTeと揮発性酸化物を形成するといわれるRu⁴⁾で降下量の少なかったのは高沸点で水や二酸化炭素と反応して不揮発性酸化物を形成するといわれるZr, Nb, Ce⁴⁾である。

チェルノブイリ原子力発電所に近いキエフ市の降下量は、Zr—95—5.1Ci/km², Cs—137—0.58Ci/km²との報告があり⁵⁾不揮発性の核種は、発電所の近傍にほとんど落ちて、日本へはあまり飛来していない。

なお、日本はチェルノブイリから遠く離れているため、核種の構成比は、Be—7を除き降下量の多少にかかわらず各都道府県ともほぼ一定している。

次に、4月から9月までの松山市及び伊方町の降下物中の核種の推移を図3及び図4に示す^{1,2)}

これによると事故の影響は5月に大きく現れ、6月以降急激に減少し、検出される核種も少ない。5月の降下物は、揮発性の核種が多く、不揮発性のものが少なく、その構成比が全国の緊急調査結果と一致していることから松山市、伊方町とも同じ事故の影響を受けていることが分かるが両地点の差は大きい。

降下物の多少は、降雨の影響を受けるため、両地点のCs—137降下量と雨量の関係を表4に示す。

これによると5月は、過去の核爆発実験の影響が小さくなっていた事故直前に比べ、単位雨量当たりのCs—137濃度が、それぞれ200倍、500倍の値となっており、6月以降は急激に減少している。また、雨量の少なかった8月を除き、この単位雨量当たりのCs—137濃度は伊方町の方が高い。この差は、雨、風の気象要素、地理的な位置及び地形の違いが影響し、生じたものと考えられる。

表3 チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う全国の放射性降下物核種分析結果

都道府県名	採取期間 (昭和61年)	測定日 (昭和61年)	検出された核種													mCi/km ²				全ベータ放射能 (mCi/km ²)		
			⁷ Be	⁹⁰ Zr	⁹⁴ Nb	¹⁰¹ Ru	¹⁰⁶ Ru	^{110m} Ag	¹²⁵ Sb	^{132m} Te	¹³¹ I	¹³² I	¹³¹ Te	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	¹⁴⁰ Ba	¹⁴⁰ La	¹⁴¹ Ce		¹⁴⁴ Ce	
北海道	4.30~5.22	5.29	2.5	*	0.018	1.4	0.46	0.0078	ビーク	0.98	2.7	*	0.068	0.49	0.055	1.0	0.26	0.25	0.045	0.048	4.0	
青森	5.1~5.22	6.5	2.5	0.013	0.042	2.8	0.83	0.014	ビーク	1.9	5.2	*	0.22	0.99	0.12	2.2	0.39	0.40	0.066	0.074	13	
宮城	5.1~5.22	6.5	2.9	*	0.027	2.0	0.65	0.0097	ビーク	1.5	1.1	*	0.78	0.099	1.7	0.30	0.29	0.052	0.045	5.6		
秋田	5.1~5.22	5.28	6.7	*	0.086	9.2	2.8	0.041	ビーク	6.8	17	0.27	0.45	3.1	0.38	6.8	1.3	1.3	0.24	0.22	89	
山形	5.1~5.22	5.28	3.0	0.029	0.063	2.8	0.82	0.014	ビーク	1.9	3.7	0.083	0.14	0.99	0.12	2.1	0.41	0.39	0.086	0.089	16	
福島	4.30~5.22	5.28	4.9	*	0.071	4.0	1.3	*	ビーク	3.4	7.1	*	0.28	1.9	0.16	3.5	0.68	0.65	0.11	0.12	8.7	
茨城	5.1~5.22	6.4	3.9	0.021	0.058	4.0	1.2	0.021	ビーク	3.0	6.2	*	0.31	1.3	0.18	2.9	0.48	0.46	0.093	0.075	11	
千葉(日本分析センター)	5.2~5.22	5.29	4.8	0.0089	0.048	4.0	1.3	0.018	ビーク	2.7	6.5	0.10	0.17	1.4	0.17	3.0	0.42	0.41	0.063	0.065		
埼玉	5.1~5.22	6.5	4.2	*	0.029	4.7	1.4	0.019	ビーク	3.2	2.9	*	0.30	1.6	0.20	3.3	0.48	0.41	0.062	0.079	13	
東京	5.1~5.22	6.5	4.9	*	0.058	5.0	1.5	0.028	ビーク	3.4	7.5	*	0.30	1.8	0.22	3.9	0.52	0.53	0.085	0.088	14	
神奈川	4.30~5.22	5.30	5.3	0.038	0.088	4.9	1.6	0.023	ビーク	4.0	11	*	0.33	2.2	0.29	4.6	0.61	0.61	0.12	*	*	
新潟	5.1~5.22	6.2	2.4	0.010	0.039	3.0	0.89	0.015	ビーク	2.1	2.7	*	0.13	1.1	0.13	2.3	0.49	0.48	0.095	0.087	9.2	
石川	4.30~5.22	6.5	5.7	*	0.060	7.8	2.4	0.034	ビーク	6.1	14	*	0.32	3.3	0.39	7.0	0.75	0.80	0.084	0.12	140	
福井	5.1~5.22	6.4	4.6	0.031	0.098	4.9	1.5	0.031	ビーク	3.8	7.6	*	0.20	2.1	0.25	4.5	0.69	0.68	0.13	0.15	13	
長野	5.1~5.22	5.28	2.0	0.022	1.8	0.56	*	ビーク	1.3	5.5	0.038	0.093	0.56	0.048	1.1	0.28	0.27	0.054	0.060	8.8		
静岡	5.1~5.22	6.4	5.2	*	0.090	4.5	1.3	0.018	ビーク	3.1	3.0	*	0.31	1.8	0.22	3.8	0.52	0.49	0.11	0.15	14	
愛知	5.1~5.22	6.6	4.0	*	0.024	3.4	0.98	0.012	ビーク	2.5	2.3	*	0.31	1.4	0.19	3.0	0.31	0.34	0.050	0.097	18	
京都	4.30~5.22	5.30	2.8	*	0.016	1.5	0.39	*	ビーク	1.2	0.86	*	0.090	0.53	0.062	1.1	0.18	0.18	0.031	*	7.2	
大阪	4.30~5.22	5.30	3.1	*	0.013	1.3	0.37	0.0048	ビーク	1.0	3.6	0.025	0.061	0.46	0.057	1.0	0.18	0.17	0.026	*	8.4	
兵庫	4.30~5.22	6.5	4.3	*	0.024	1.6	0.54	*	ビーク	1.2	6.3	*	0.31	0.46	0.051	0.93	0.22	0.27	0.033	0.078	6.0	
和歌山	5.1~5.22	6.2	3.3	*	0.0076	0.57	0.18	*	ビーク	0.43	1.3	*	0.33	0.33	0.030	0.68	0.12	0.12	0.018	*	13	
鳥取	5.1~5.22	6.2	3.2	0.030	0.085	6.1	1.9	0.034	ビーク	3.7	11	0.087	0.22	2.0	0.24	4.2	0.51	0.52	0.092	0.077	15	
島根	4.30~5.22	6.5	4.0	0.017	0.057	5.9	1.7	0.025	ビーク	4.4	9.6	*	0.19	2.0	0.26	4.4	0.38	0.40	0.066	0.075	15	
岡山	5.1~5.22	5.31	4.0	*	0.021	2.1	0.62	*	ビーク	1.0	6.8	*	0.31	1.1	0.13	2.2	0.28	0.29	0.042	*	*	
広島	5.2~5.27	6.10	4.2	*	0.032	0.88	0.34	*	ビーク	1.0	6.8	*	0.31	0.53	0.044	1.1	0.12	0.16	0.047	*	*	
山口	5.1~5.22	6.4	8.8	0.093	0.16	3.1	0.92	0.017	ビーク	2.5	6.7	*	0.14	1.3	0.16	2.9	0.42	0.43	0.13	0.12	15	
愛媛	5.1~5.22	5.30	3.7	0.032	0.057	1.3	0.37	*	ビーク	0.97	3.7	*	0.052	0.53	0.058	1.2	0.16	0.16	0.050	0.059	3.9	
高知	5.1~5.22	6.4	3.8	*	0.039	3.6	1.1	0.026	ビーク	2.3	1.4	*	0.31	1.8	0.20	3.7	0.23	0.31	0.048	*	15	
福岡	4.30~5.22	6.6	3.0	*	0.038	*	*	*	ビーク	1.7	*	*	0.25	*	0.49	0.093	0.076	*	*	*	*	
佐賀	4.30~5.22	6.3	4.2	0.0067	0.020	0.62	0.18	*	ビーク	0.49	1.8	*	0.22	0.22	0.026	0.48	0.097	0.092	0.023	2.7		
長崎	5.1~5.22	6.4	4.3	*	0.014	0.83	0.26	0.0052	ビーク	0.61	1.8	*	0.31	0.31	0.037	0.69	0.13	0.11	0.023	*	5.6	
鹿児島	5.1~5.22	6.6	2.0	*	0.051	0.32	*	*	ビーク	0.58	*	*	0.087	*	0.23	*	*	*	*	*	*	*
沖縄	4.30~5.22	6.5	1.3	*	0.0077	0.67	0.20	0.0047	ビーク	*	2.2	*	0.56	0.56	0.063	1.3	0.076	0.076	*	*	4.6	

(注) 1. 測定結果は、計数値がその計数誤差の3倍を超えるものについて有効数字2桁で表示した。またそれ以下については*で示した。

2. 測定結果は、試料採取日に補正した。

3. 広島については、事前処理をした試料の測定データであり¹³⁷Cs以外の核種は参考値である。

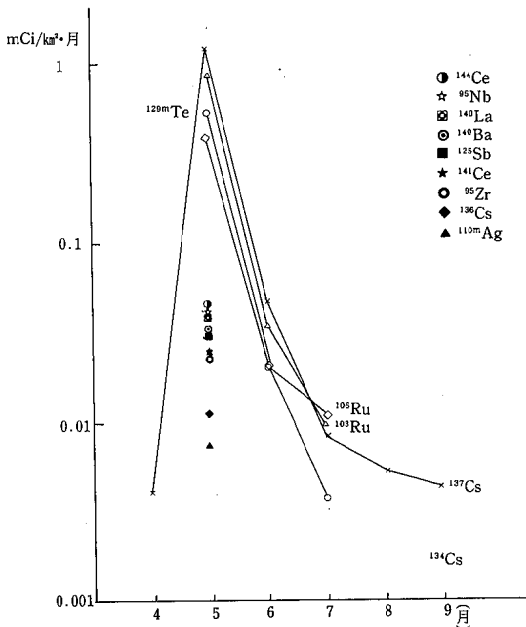


図3 降下物中の核種の推移 (松山市)

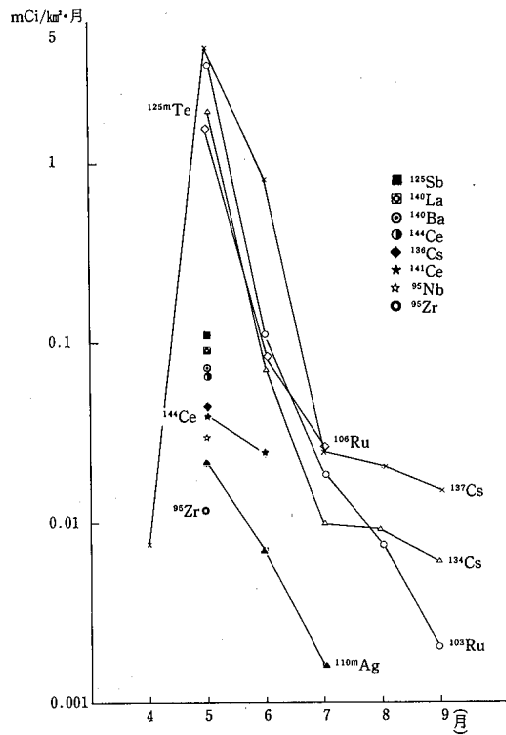


図4 降下物中の核種の推移 (伊方町)

表4 Cs-137と雨量

地点	区分	4月	5月	6月	7月	8月	9月	60年度
松山市	Cs-137	0.0043 mCi / km ² ・月	1.2	0.047	0.0082	0.0053	0.0043	ND~0036
	雨量	139.5mm/月	176.0	139.0	102.0	15.0	149.0	—
	Cs-137/雨量	3.1×10 ⁻⁵ mCi/km ² ・mm	6.8×10 ⁻³	3.4×10 ⁻⁴	8.0×10 ⁻⁵	3.5×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻⁵	~3.7×10 ⁻⁵
伊方町	Cs-137	0.0077	4.5	0.18	0.025	0.021	0.015	ND~0.0032
	雨量	184.5	206.5	279.0	168.5	73.0	104.5	—
	Cs-137/雨量	4.2×10 ⁻⁵	2.2×10 ⁻²	6.5×10 ⁻⁴	1.5×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻⁴	1.4×10 ⁻⁴	~2.3×10 ⁻⁵

ベータ線放出核種の Sr-90は、過去の核爆発実験の影響が減少し、両地点とも58年度から検出されなかったが、調査した7月の降下物から伊方町で0.0025 mCi/km²・月検出²⁾された。

3. 3. 大気浮遊じん

5月3日から6月6日の間実施した大気浮遊じんの核種分析結果では、核種でみると揮発性の高いI, Cs, Te, Ruが多く、不揮発性のZr, Nb, Ce, Ba, Laは少量又は検出されず、降下物と同様の傾向を示している。

放射性物質の飛来状況を見るため、長期間検出されたI-131, Ru-103, Cs-134, Cs-137の4核種の推移を図5に示す。

この図によると、5月5日分(採取期間…前日9:00から当日9:00…以下同じ)から影響が現れ、5月9日のピークは事故日の4月26日放出分が、5月18, 19日のピークは、5月4~5日に放射性物質の崩壊熱により再度大量放出⁶⁾したものが飛来したものと考えられ、チェルノブイリから約二週間で日本に到達している。

また、5月26日ごろ、4月26日放出分が再度地球を一周してきたという報告⁷⁾もあり、地球的規模の汚染であり、複雑な飛来状況であったことがわかる。

7月以降の大気浮遊じんからは、事故の影響核種を検出していない。²⁾

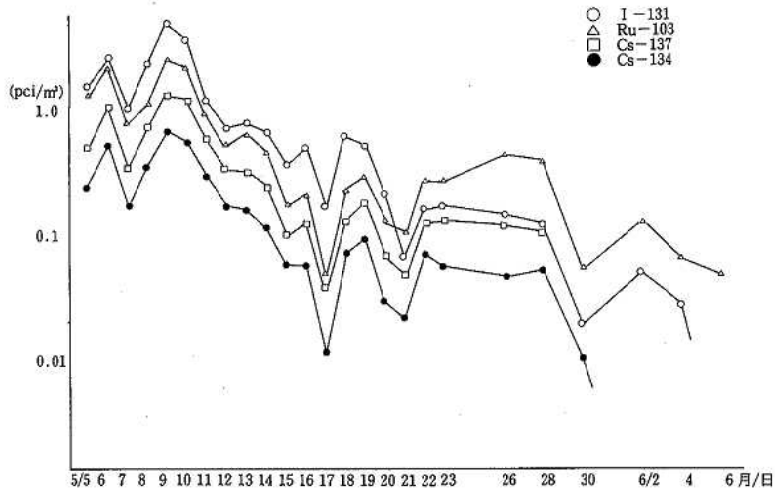


図5 大気浮遊じん中の核種の推移 (松山市)

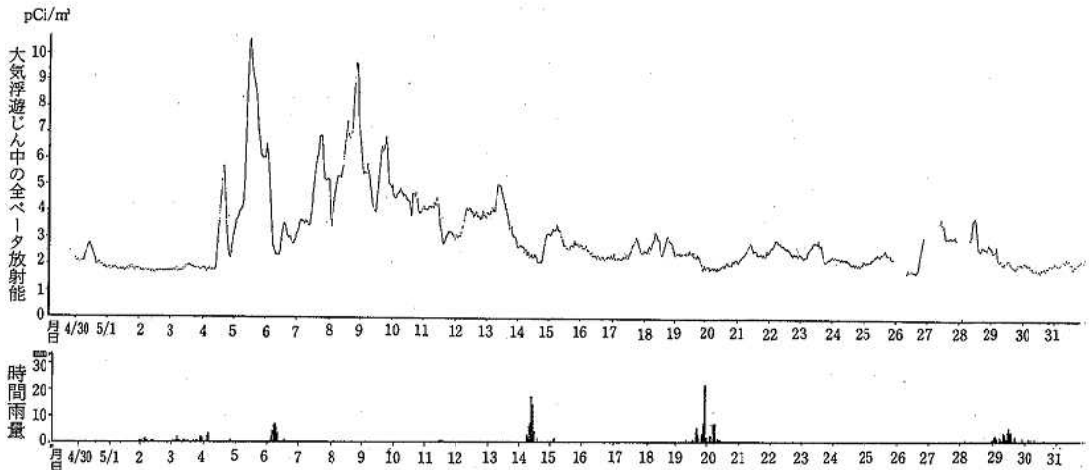


図6 大気浮遊じん中の全ベータ放射能 (伊方町)

次に、モニタリングステーションにおける大気浮遊じんの全ベータ放射能連続測定結果を図6に示す。

この測定は、ラドン、トロン等自然放射性核種の影響をさけるため集塵の11時間後に測定しているが、ここでは採取時刻にあわせ図示している。

この図から、事故の影響は5月4日の11時から現れ、5月8日から減少しており、核種分析の結果とほぼ一致している。なお、5月4日、6日、9日等、雨による濃度の減少が見られる。

今回の事故の影響は、この測定に顕著に現れ、核種の判定は出来ないが有効な情報が得られた。

3. 4. 雨水、水道水、市販牛乳、海産物

雨水から事故の影響核種を検出したのは、5月5日、7日、12日の3回で、I-131は5月5日が最高値で、680pCi/l、Cs-137は5月12日のみ検出し、220pCi/l。

その他、Ru-103、I-132、Te-132、Cs-134が少量検出されている。雨水はそのままでは飲料に供さないが、5月5日のI-131の最高値は、飲料水の摂取制限値 (3×10^3 pCi/l以上)の約1/5であった。

水道水、市販牛乳、海産物からは、事故の影響核種は検出されなかった。

4. 核爆発実験との比較

過去の中国核爆発実験と今回の事故とは、影響の現れ方が異っている。昭和55年10月16日、最後に行われた第26回中国核爆発実験時の降下物中の核種の推移を図7及び図8に示す⁸⁾

今回の降下物中の核種の推移図3及び図4と比べ、主な違いは次の2点である。

- (1)、核爆発実験の方が影響期間が長い

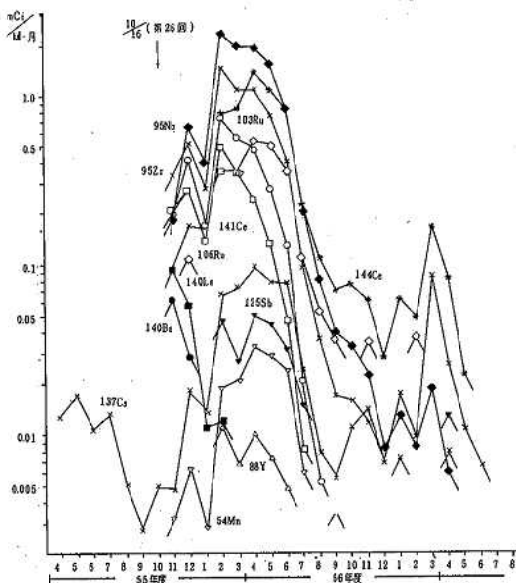


図7 核爆発実験時の降下物中の核種の推移
(松山市)

(2), 核種の組成比が異なる

(1)の違いは、核爆発が大気圏で実施された場合、爆発の高度、規模により異なるが、かなりの放射性物質が成層圏へ注入され、長期間にわたり影響を及ぼすが、今回の事故は地上放出であり、成層圏への注入はほとんどなかったものと考えられる。

(2)の違いは、①今回の事故が遠く離れたソ連チェルノブイリで起き、地上放出であったため、I-131, Cs-137等揮発性の高いものは多く飛来したが、不揮発性のZr-95等は近傍に落ち、少量しか飛来しなかった②核爆発実験は、核爆発とほぼ同時に、核分裂収率に従って生成されたものが放出されるが、炉の長期間運転後は、短半減期核種は減衰し、長半減期のものは蓄積し割合が多くなる③核爆発実験は、爆弾の構造材の放射化に由来するMn-54⁹⁾等の誘導放射性核種が見られるが、今回は、炉内に生成された核分裂生成物が崩壊して出来るCs-133, Cs-135が放射化されて生成される原子炉特有のCs-134, Cs-136が検出されたことによる。

5. まとめ

今回のチェルノブイリ原子力発電所事故の本県への影響をまとめると次のとおりである。

- (1), 事故の影響は軽微であり、空間ガンマ線量率の上昇はほとんど認められなかった。
- (2), 降下量でみると伊方町の方が松山市より多かった。
- (3), 核種でみると揮発性の高い核種は多く飛来したが、不揮発性の核種は少なかった。

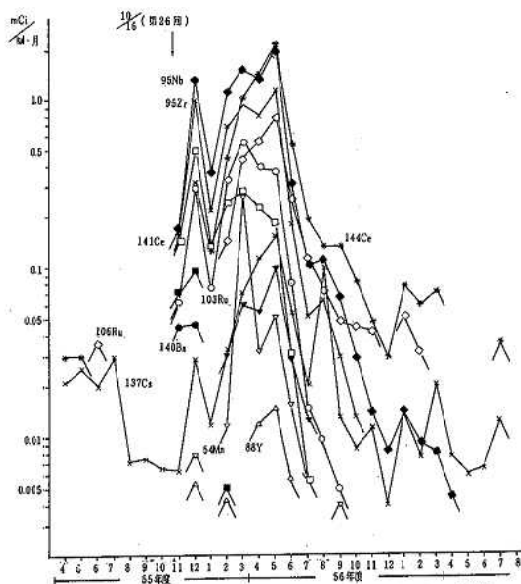


図8 核爆発実験時の降下物中の核種の推移
(伊方町)

(4), 事故の影響は、5月4日から現れ、5月9日をピークに漸減した。

(5), 核爆発実験に比べ影響期間は短かった。なお、環境中には長半減期核種が残存しており、今後とも調査を継続することになっている。

— 参考文献 —

- 1) 愛媛県：昭和61年度第1・四半期伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果(1986)
- 2) 愛媛県：昭和61年度第2・四半期伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果(1986)
- 3) 科学技術庁：チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う我が国への放射性降下物の核種分析結果(1986)
- 4) 軽水炉安全性研究グループ：“軽水炉の安全性”，p.112 (1979) 講談社
- 5) 大和愛司：原安協だより，95，p.4(1986)
- 6) 日本原子力文化振興財団：チェルノブイリ原子力発電所事故第3報(1986)
- 7) 青山道夫，広瀬勝己：第28回環境放射線調査研究成果論文抄録集，p.317 (1986)
- 8) 愛媛県：昭和57年度伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果(1983)
- 9) 市川龍資：“環境放射能”，p.33 (1984) ソフトサイエンス社

環境放射線の測定器

金子敏明・篠原広充・矢野隆司
安永章二・安井正良・松浦榮美

1. はじめに

環境放射線の測定に使用される測定器と測定法は、単に照射線量率を求めるものから各種の情報を求めるものまで種々のものがある。

これらは①放射線防護に使用されるように、簡便に線量率を求める。②特定の放射線の影響を目標値（例えば線量目標値の年間5ミリレム）との関連で把握する。③放射線の内容を評価する。など測定の目的に応じて単独で、あるいは組合せて使用される。

ここでは、各種測定器と測定法の特徴や限界について紹介する。

この中で、Ge 半導体検出器を用いた環境γ線スペクトロメトリーについては詳しく紹介する。

2. 環境放射線測定器の分類

当センターが所有する主な測定器を検出器の種類別に分類し、表1に示す。

3. 測定器と測定法

3. 1. 電離箱

3. 1. 1. 電離箱式サーベイメータ

空気等価の壁材料を用い、封入気体として空気を用いてその電離電流量を測定する電離箱式サーベイメータは、照射線量率の本質的な測定器である。

この測定器は小型軽量であり、線量率測定は簡便に行える。

エネルギー特性は図1に示すとおり平坦である。

しかし、この測定器の電離気体密度は1.3g/l程度と小さい。このため、10μR/h前後の微弱な環境放射線測定では10⁻¹⁵A/l程度のわずかの電流を測定することとなり、低レベルの環境放射線測定には使用できない。

3. 1. 2. 高圧電離箱

高圧電離箱は微弱な環境放射線の線量率測定を容易にするため、電離気体量を大きくして得られる電離電流を大きくしたものである。

環境放射線測定では、大容量の鉄製容器に電離気体（主にアルゴンガス）を高圧で封入したものが使われ、主に固定式の連続モニタとして使用される。この固定式のものには測定範囲が広く、通常高線量率用として用いられている。

表1 測定器の分類表

検出器	測定器	型式	測定範囲
電離箱	電離箱式サーベイメータ	アロカ㈱ ICS-151 (空気等価ベークライ) ト製円筒型	~100mR/h
	高圧電離箱	ロイター-ストークスRSS-111 (直径約25cm厚さ3mm のステンレス容器に 25気圧8ℓのアルゴン ガスを封入)	~5mR/h
NaI(Tl)シンチレータ	NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ	アロカ㈱ TCS-121C (1"φ×1"NaI(Tl)シンチレータ)	~25mR/h
	NaI(Tl)シンチレーション式スペクトロメータ	アロカ㈱ JSM-101 (球形(3"φ)NaI(Tl)シンチレータ 多重波高分析装置 NAIG Eシリーズ)	~0.1mR/h
プラスチックシンチレータとZnS	有機シンチレーション式サーベイメータ	シントマツト6134	~3R/h
Ge半導体	Ge半導体スペクトロメータ	Princeton Gamma-Tech IGC 15ST (高純度Ge半導体) 多重波高分析装置 NAIG Eシリーズ	—

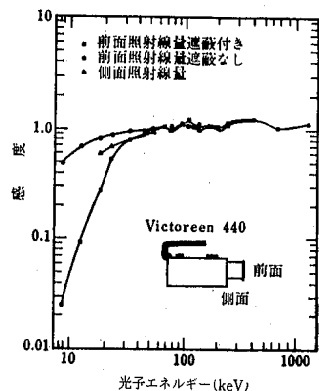


図1 電離箱式サーベイメータのエネルギー特性¹⁾

Toshiaki KANEKO・Hiromitsu SINOHARA・Takashi YANO
Shyoji YASUNAGA・Masayoshi YASUI・Shigemi MATSUURA

図2にエネルギー特性を示す。200keV以上のエネルギー特性は良いが、低エネルギーでは壁材による電離と遮へいのため、エネルギー特性が変化している。このため、低エネルギー放射線の線量率測定を行う場合には、エネルギー情報に基づく校正が必要となる。環境放射線測定では、250keV以下の放射線の線量率寄与は表2に例示すとおり小さい。

高压電離箱による測定値は宇宙線、 γ 線及びその散乱線の外に検出器の自己汚染を含んだ値を示す。

自己汚染は電離箱壁及び電極部からの α 線の寄与で0.1~2 $\mu\text{R/h}$ に相当する。³⁾

この自己汚染は、高レベルの放射線測定では問題とされないが、低レベルの放射線を厳密に測定する場合にはこの値を評価しておくことが必要となる。しかし、測定器の利用者側での評価は困難である。

一方、固定式の連続モニタはその設置場所の環境放射線のレベルの変化を監視するものであり、自己汚染が変化しなければ問題ない。ただし、高压電離箱を交換する場合や他の測定器との比較には注意を必要とする。

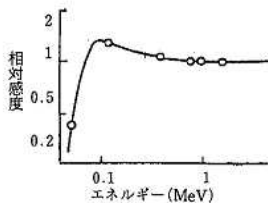


図2 高压電離箱のエネルギー特性²⁾

表2 環境放射線のエネルギー分布(1986年3月12日、愛媛県モニタリングステーション)

	線束密度	線量率
	2.59 ($\gamma/\text{cm}^2 \cdot \text{S}$)	2.63 ($\mu\text{R/h}$)
線量率に対する比率	0.98 ($\gamma/\text{cm}^2 \cdot \text{S}$) / ($\mu\text{R/h}$)	1
エネルギー (keV)	0~50	5.79%
	50~100	15.83
	100~250	27.03
	250~500	15.06
	500~1000	13.13
	1000~2000	19.30
	2000~3000	3.86

(注) 球形NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータによる実測値。

3. 2. NaI(Tl)シンチレータ

NaI(Tl)シンチレータを用いた測定器には吸収エネルギーに比例する電流を測定するものと電流のパルスを計数するものがあり、後者が一般的に使用されている。

NaI(Tl)シンチレータは気体を用いた電離箱に比べて密度が大きく、従って γ 線に対する検出効率が大きい。

3. 2. 1. NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ

NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ(以下「NaIサーベイメータ」という。)は小型軽量であり、線量率測定は簡便に行える。

図3にエネルギー特性を示す。NaIサーベイメータはパルス計数方式であるため、感度は高エネルギーで低く低エネルギーで高く、線束密度に比例した応答を示している。

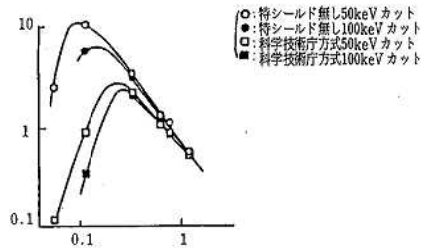


図3 NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータのエネルギー特性²⁾

このため、科学技術庁方式⁴⁾のように特定の線源で校正する等単色 γ 線を測定する場合には検出効率が高く有効であるが、環境放射線のようにエネルギー分布幅が大きいものについては不向きである。

3. 2. 2. DBM方式NaI(Tl)シンチレーション式モニタ^{3,5)}

DBM方式NaI(Tl)シンチレーション式モニタ(以下「DBM方式NaIモニタ」という。)はパルス計数方式のNaI(Tl)シンチレータのエネルギー特性を改善した線量率の測定器である。

DBM方式NaIモニタは、パルス波高分布に直接荷重関数を適用して行う線量計算を波高弁別器バイアス変調法(Discriminator Bias Modulation Method)により自動化した測定器である。

この測定器は線量率を直接測定できるもので、主に固定式の連続モニタとして使用される。この固定式のものは高压電離箱に比べると測定範囲が狭く、低線量

率用として用いられている。また、温度依存性のため、加温装置等による温度補償がなされているものもある。

エネルギー特性は図4に示すとおり平坦である。

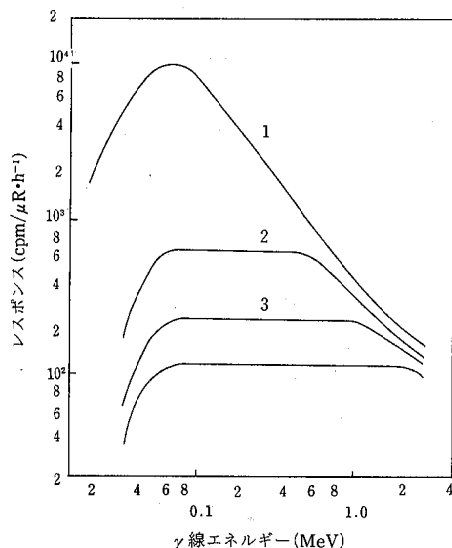


図4 DBM方式2inφ × 2inNaI(Tl)シンチレーション式モニタのエネルギー特性(1はエネルギー補償を行わないもの、2, 3, 4はエネルギー補償を行ったもので、補償範囲はそれぞれ0.5, 1.0, 2MeVである。)^{3,5)}

DBM方式NaIモニタによる測定値はγ線とその散乱線の外にわずかの宇宙線と検出器の自己汚染を含む。

3"φ × 3" NaI(Tl)シンチレータを用いたDBM方式モニタの宇宙線について、3 MeV以上の領域で0.36μR/h、3 MeV未満の領域で0.23μR/hが報告されている。^{3,5)}この3 MeV以上の領域の取り扱いは測定機関ごとに異なる。

検出器の自己汚染は光電子増倍管の窓等に使用するガラス中のK-40によるものであるが、低カリガラスを使用するものについては問題とならない。^{3,6)}

固定式の連続モニタで環境放射線のレベル変動が生じた場合の原因推定に関しては、全計数率と線量率の関係から得られるエネルギー情報が有効である。

また、2 MeV程度以下の人工放射線寄与を定量評価する方法としては、特定領域の計数率と全線量率の相関を利用する方法が有用である。³⁾

固定式連続モニタとして使用される高圧電離箱式モニタとDBM方式NaIモニタの測定値には4 μR/h程度の差があり、^{7,8)}単純な宇宙線寄与の差より多目である。

この原因は高圧電離箱式モニタの自己汚染と両測定器のエネルギー特性の違いが作用していると考えられる。

3. 2. 3. NaI(Tl)シンチレーション式スペクトロメータ

NaI(Tl)シンチレーション式スペクトロメータ(以下「NaIスペクトロメータ」という。)ではNaI(Tl)シンチレータの吸収エネルギーに比例するパルス波高の分布が得られる。

このパルス波高分布の解析には通常コンピュータが使用され、単なる線量率の外に線束密度や線量率のエネルギースペクトル、宇宙線線量率等多くの情報が得られる。

パルス波高分布を解析して線量率を求める方法としては①パルス波高分布からγ線エネルギー分布を求め、線束—線量換算を行うピールオフ法、⁹⁻¹¹⁾レスポンスマトリクス法^{12,13)}②スペクトル—線量変換演算子によってパルス波高分布から直接線量換算を行うG(E)関数法^{3,14,15)}がある。

これ以外には、環境の線源分布を仮定し、パルス波高分布の全吸収ピーク計数率を利用するHASL方式^{16,17)}があるが、この方法については3.4.Ge半導体で説明する。

ピールオフ法、レスポンスマトリクス法及びG(E)関数法で解析したエネルギー特性は、図5に示すとおり平坦である。

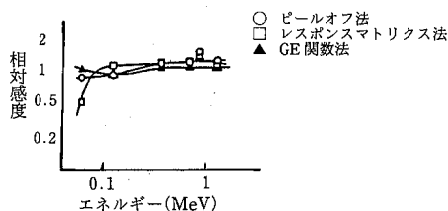


図5 球形NaI(Tl)スペクトロメータエネルギー特性²⁾

NaI(Tl)スペクトロメータの利用法として、固定式連続モニタに適用して自然放射線及び人工放射線の寄与を定量評価する方法¹⁸⁾や可搬型の測定器による線量率のエネルギースペクトルから連立方程式法により自然放射線の寄与を求める方法¹⁹⁾もある。

NaIスペクトロメータは重量や電源の関係で運搬して使用するのに不便であるが、球形(3"φ)NaI(Tl)シンチレータを用いた理研式ポータブルレコーダは可搬型となっている。⁹⁻¹¹⁾

この測定器と測定法では多くの情報が得られるもの

の①情報入手のため解析時間が必要なこと②線量率測定範囲が狭いこと等の問題はある。

3. 3. プラスチックシンチレータ

プラスチックシンチレータは空気等価に近く、プラスチックシンチレータを用いて電流を測定する線量率計は照射線量の本質的な測定器に近いものである。⁶⁾

プラスチックシンチレータを用いた有機シンチレーション式サーベイメータは小型軽量であり、線量率測定は簡便に行える。

有機シンチレーション式サーベイメータのうち、ZnSにより低エネルギーに対する特性が改善されたものについては、図6に示すとおりエネルギー特性は平坦である。ただし、①検出器と測定器本体が一体構造の場合、測定器本体による遮へいのため r 線、宇宙線ともに測定値が15%程度小さくなる²⁾②宇宙線についてはシンチレーションパルスの飽和現象と考えられる影響で $1.5\mu\text{R/h}$ 小さくなる。⁶⁾との報告がある。

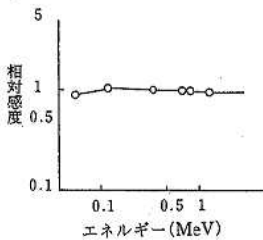


図6 有機シンチレーションサーベイメータエネルギー特性²⁾

3. 4. Ge 半導体

Ge 半導体を用いた測定器は吸収エネルギーに比例する電流パルスを計数する測定器である。

この測定器は分解能の良さを生かし、多重波高分析装置と組合せたスペクトロメータとして放射性核種の分析に使用されている。

環境の線源分布を仮定して検出器位置の線量率及び地中の放射能濃度をパルス波高分布の全吸収ピーク計数率から計算するHASL方式がある。^{16,17)}この測定法では線源別の線量率寄与及び放射能濃度が求められる。

ここに、環境放射線測定に限定したHASL方式の概要を示す。

3. 4. 1. 測定システム

環境放射線測定のプロック図(概念図)を図7に示す。

測定器は発動発電機等の電源を搭載した自動車(モニタリングカー)で測定場所に運搬される。

Ge 半導体検出器はモニタリングカーから離し、地上1 m の位置に下向きに設置される。

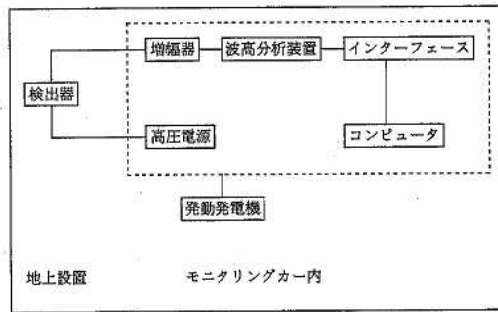


図7 環境放射線測定のプロック図

3. 4. 2. 解析方法

検出器位置における線量率は、パルス波高分布のピーク計数率を次に示す N_t/I で割って放射性核種単独あるいは系列の寄与を求める。

$$N_t/I = N_o/\phi \times N_t/N_o \times \phi/I$$

ここで

N_t/I : 地中の放射性核種が単独で、あるいは系列として検出器に与える単位線量率 ($\mu\text{R/h}$) 当たりのピーク計数率 (cps)

N_o/ϕ : 検出器軸方向からの単位 r 線束密度 (Photon/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$) 当たりのピーク計数率 (cps)

N_t/N_o : 検出器の角度依存性を考慮した補正係数

ϕ/I : 地中の放射性核種が放出するあるエネルギーの r 線が検出器位置(地上1 m)に与える直接 r 線束密度 (Photons/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$) を、その核種(系列)の放出する全 r 線とその散乱線が検出器位置において与える線量率 ($\mu\text{R/h}$) で割った値

この解析において、地中の放射性核種の分布は自然放射性核種 (K-40, U-系列, Th-系列) については地中一様分布、フォールアウト核種については、降下直後のものに対する無限平面分布と降下後の時間を経過したものに対する指数分布を仮定している。

3. 4. 3. 特徴と限界

Ge 半導体を用いた環境 r 線スペクトロメトリは、核種(系列)別の線量率寄与が評価できる点で優れている。

この応用例としての①自然放射性核種の線量率寄与の場所による差の測定②人工放射性核種の線量率寄与の測定等が上げられている。

この方法は次に列記するような問題を有しているが、

その限界を承知して使用すれば比較的容易に多くの情報が得られるため、有用な方法である。

- 実際の環境においては、仮定している線源分布や放射平衡は必ずしも確保されない。
- 線量率評価に使用する γ 線の全吸収ピークの線量率寄与は線量率全体に対して相対的に低く、例えば、50keV の場合21%、500keV の場合38%、1000keV の場合48%、2500keV の場合60%等となっており、仮定がくずれた場合、誤差が大きくなる。
- 正確に測定しようとする場合、地中放射性核種の深度分布、密度、組成等の実測を必要とし、取り扱いが非常に複雑である。

また、この方法では NaI スペクトロメータと同様情報入手のためのコンピュータとそれによる解析時間が必要であり、Ge 半導体に対する液体窒素の補給も必要である。

3. 4. 4. Ge 半導体スペクトロメータによる in-situ 測定

当センターが昭和60年度に実施した in-situ 測定結果²⁰⁾を表3に示す。

いずれの測定地点もウラン系列(U-系列)寄与に比べ、トリウム系列(Th-系列)寄与及びK-40寄与が大きい。

領家火燭岩類や領家変成岩類に囲まれた第四紀層の中に位置する松山市の線量率は三波川帯の緑色片岩の地域に位置する伊方町の線量率よりも高い。

人工放射性核種である Cs-137 の線量率寄与は自然放射線の線量率に比べ2桁低い。

表3 Ge 半導体スペクトロメータによる in-situ 測定結果 (単位: $\mu\text{R}/\text{h}$)

市町区分	測定地点	自然放射線				Cs-137 寄与
		U-系列寄与	Th-系列寄与	K-40寄与	計	
松山市	愛媛県公署技術センター	1.45 ± 0.06	4.28 ± 0.29	4.10 ± 0.16	9.83 ± 0.43	検出されず 0.021
伊方町	愛媛県モニタリングステーション	0.49 ± 0.10	0.90 ± 0.15	1.13 ± 0.05	2.52 ± 0.30	検出されず 0.011
伊方町	愛媛県モニタリングポイントNo.7	0.35 ± 0.02	0.47 ± 0.11	0.88 ± 0.05	1.73 ± 0.15	0.025 0.034

4. 各種測定器による in-situ 測定結果比較

当センターが昭和60年度に実施した各種測定器と測定法による in-situ 測定結果²⁰⁾を表4に示す。

以下に、3MeV 以上の宇宙線寄与を除く各測定結果を中心に比較を行う。

この場合、高圧電離箱の実測値から球形 NaI スペクトロメータによる宇宙線線量率を除いた値を基準(以下「基準値」という。)とする。

4. 1. NaI サーベイメータ

NaI サーベイメータの実測値は Ra-226 で校正されたもので、基準値より高い。

これは、表2に示す環境放射線の線束密度のエネルギー分布と3.2.1. に示すエネルギー特性による。

表4中の科学技術庁方式は宇宙線(3.2 $\mu\text{R}/\text{h}$)を加えていない値である。この値は基準値より小さい。

これは、この測定法が1mm鉛により低エネルギー散乱線束を小さく捕えており、更に Cs-137 (実効エネルギー660keV) で校正したことによる。

4. 2. 球型 NaI スペクトロメータ

球形 NaI(Tl) スペクトロメータによる測定値は、いずれの解析法のものも基準値のほぼ10%の範囲内にある。

4. 3. 有機シンチレーション式サーベイメータ

有機シンチレーション式サーベイメータによる測定値は、 γ 線とその散乱線の外に宇宙線寄与を含んでいるため、基準値より大きい。

測定地点による宇宙線寄与の差は小さいため、基準値の小さい測定地点の測定値の基準値に対する割合は相対的に大きくなっている。

ただし、この測定値は3.3. に示す方向特性や宇宙線感度のため、宇宙線を含んだ高圧電離箱の実測値より小さくなっている。

4. 4. Ge 半導体スペクトロメータ

Ge 半導体スペクトロメータによる測定を、解析法上の仮定を満足する条件下で実施することは難しいと考えられるものの、測定値は基準値と比較的一致している。

愛媛県モニタリングポイント No. 7 の測定地点は木立の中にあり、また、線質特性からも樹木による散乱線の線束が増加していると推定される。

このため、ピーク計数率の相対割合が低下し、解析法上の特性から測定値が低目となっている。

5. まとめ

今回は測定器個有の特徴や限界を紹介したが、使用目的から測定器を分類すると次のとおりとなる。

- (1) 線量率が簡便に得られる可搬型の測定器としては、小型軽量のものに電離箱式サーベイメータ、

表4 in-situ 測定結果の比較 (3 MeV 以下の領域に着目して)

(単位: $\mu\text{R/h}$)

市町区分	測定地点	高圧電離箱		NaIサーベイメータ		球形NaI (Tl) スペクトロメータ			有機シンチレーション式サーベイメータ	Ge半導体スペクトロメータ	球形NaIスペクトロメータによる宇宙線線量率
		実測値	宇宙線を除いた値	実測値	科学技術庁方式	ピールオフ法	レスポンスマトリクス法	G(E)関数法			
松山市	愛媛県公害技術センター	12.78	9.60	11.87	5.87	10.61	10.07	9.15	10.73	9.83	3.18
		± 0.27	± 0.28 (100)	± 1.63 (124)	± 0.55 (61)	± 0.36 (111)	± 0.33 (105)	± 0.31 (95)	± 0.95 (112)	± 0.43 (102)	± 0.08
伊方町	愛媛県モニタリングステーション	5.95	2.50	3.31	1.27	2.68	2.52	2.29	4.84	2.52	3.45
		± 0.08	± 0.14 (100)	± 0.41 (132)	± 0.17 (51)	± 0.10 (107)	± 0.09 (101)	± 0.09 (92)	± 0.59 (194)	± 0.30 (101)	± 0.11
伊方町	愛媛県モニタリングポイント No. 7	5.23	2.01	2.67	0.91	2.09	2.00	1.81	4.46	1.73	3.22
		± 0.16	± 0.21 (100)	± 0.43 (133)	± 0.10 (45)	± 0.08 (104)	± 0.08 (100)	± 0.06 (90)	± 1.09 (222)	± 0.15 (86)	± 0.13

(注) ピールオフ法による線質特性 ($\gamma/\text{cm}^2/\text{s}/\mu\text{R/h}$) は上から順に1.05, 0.98, 1.09である。

NaI サーベイメータ及び有機シンチレーション式サーベイメータがあり、やや大型のものに高圧電離箱とDBM方式NaI モニタがある。

(2) 線量率が直接得られ、線量率の変化量を評価するのに適した固定式モニタとしては高圧電離箱とDBM方式モニタがある。

(3) 簡便な線量率の入手は困難であるが、各種の情報が得られる測定器としては、NaI スペクトロメータとGe半導体スペクトロメータがある。

なお、測定器を選択する際には紹介した特徴等の外安定性、方向特性や操作性に関係する検出器の形状や測定器の構成等に対する配慮も必要である。

— 参考文献 —

- 1) 木村逸郎, 阪井英次訳: “放射線計測ハンドブック”, P.137 (1982)
- 2) 水口定臣, 西原博明: 愛媛県公害技術センター所報, 第5号, 38 (1983)
- 3) 森内茂: スペクトル荷重関数方式による環境ガンマ線線量測定器に関する研究, J A E R I - M 7066 (1977)
- 4) 科学技術庁: 放射能測定調査委託実施計画書, 81 (1986)
- 5) 科学技術庁: 連続モニタによる環境 γ 線測定法 (1982)
- 6) 応用物理学会低線量計測専門委員会: 環境微弱放射線線量の絶対測定法に関する研究 (低線量計測専門委員会報告書) (1977)
- 7) 茨城県公害技術センター: 東海・大洗地区の空間線量率調査資料 (1983)
- 8) 新潟県: 柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果 (1986)

9) 浜田達二, 岡野真治, 出雲光一, 熊谷秀和, 西田雅美, 和田雅美: 第20回環境放射能調査研究成果論文抄録集, 143 (1977)

10) 岡野真治: 理化学研究所ニュース, No58, 5 (1979)

11) 青野真, 室岡学, 水口定臣, 徳山崇彦, 松浦榮美, 西原博明: 愛媛県公害技術センター所報, 第3号, 36 (1981)

12) 湊進: 名古屋工業技術試験所報告, 27, 384 (1978)

13) 水口定臣, 室岡学, 徳山崇彦, 青野真, 松浦榮美, 西原博明: 愛媛県公害技術センター所報, 第3号, 40 (1981)

14) 森内茂, 長岡鋭, 坂本隆一, 斉藤公明: 球形NaI (Tl) シンチレーション検出器のスペクトル線量変換演算子の決定, JAERI-M 8092 (1979)

15) 徳山崇彦, 室岡学, 水口定臣, 青野真, 松浦榮美, 西原博明: 愛媛県公害技術センター所報, 第3号, 43 (1981)

16) Harold V. Beck, Joseph DeCampo, Carl Gogolak: INSITU Ge (Li) AND NaI(Tl) GAMMA-RAY SPECTROMETRY, HASL-258 (1972)

17) 坂井英次, 寺田博海, 片桐政樹: 可搬型Ge(Li)検出器を用いた環境ガンマ線のin-situ測定, JAERI-M 6498 (1976)

18) 中村栄一, 石川陽一, 菊地秀夫, 郡山力: 宮城県衛生研究所年報, 142 (1980)

19) 篠原広充, 松浦榮美, 安永章二, 矢野隆司, 金子敏明, 安井正良: 愛媛県公害技術センター所報, 第8号, 58 (1987)

20) 愛媛県: 昭和60年度伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果 (1986)

環境放射線測定におけるクロスチェック

安井正良・松浦榮美・金子敏明
矢野隆司・篠原広充・安永章二

1. はじめに

原子力施設周辺の環境放射線モニタリングの結果を正しく評価するためには、測定データの信頼性をクロスチェックにより維持確保することが重要である。このため、当センターでは、科学技術庁（財）日本分析センター委託）が実施しているクロスチェックに積極的に参加している。また、伊方原子力発電所の周辺環境放射線調査は当センターと四国電力㈱で実施していることから四国電力㈱ともクロスチェックを行い、測定データの信頼性を確保している。

ここでは、環境放射線測定に関し、昭和55年度から始めた（財）日本分析センター（以下「分析センター」という。）四国電力㈱の両機関との、それぞれのクロスチェックについて報告する。

2. クロスチェックの実施状況

当センターと分析センターとのクロスチェックの実施状況を表1に、四国電力㈱との実施状況を表2に示す。

表1の各項目及び表2のクロスチェックポイントの積算線量は、測定に必要な熱ルミネセンス線量計（以下「TLD」という。）のアニーリング、リーダ校正のための標準照射、計測及びデータ解析等の測定操作が適切に行われているかどうかをチェックするものである。

表2の空間 γ 線線量率は、これらの測定器の校正及びデータ解析の適切さを比較検討するものである。

表1 分析センターとのクロスチェック実施状況(件数)

項目	測定器	地点数 又は種別	年度					
			55	56	57	58	59	60
クロスチェックポイントの積算線量	TLD	3	3	3	3	3	3	3
標準照射	I	高線量照射	1	1	1	1	1	1
		低線量照射	1	1	1	1	1	1
	II	高線量照射	-	-	-	-	1	1
		低線量照射	-	-	-	-	1	1
計		5	5	5	5	7	7	

表2 四国電力㈱とのクロスチェック実施状況(件数)

項目	測定器	地点数	年度					
			55	56	57	58	59	60
クロスチェックポイントの積算線量	TLD	10 (60年度は5)	40	40	40	40	40	20
空間 γ 線線量率	球形 ^{22}Na (T _{el})シンチレーションスペクトロメータ	2	-	-	-	-	4	4
	高純度Ge半導体検出器	1	-	-	-	-	1	1
計			40	40	40	40	45	25

これらのクロスチェックの使用機器と測定法等を表3に示す。

3. クロスチェックの方法

3. 1. クロスチェックポイントの積算線量

クロスチェックポイントに複数個のTLDを3カ月間設置し、回収後分割のうえ、両機関が各々に計測して、データ解析を行い、その結果を相互に比較する。

3. 2. TLDの標準照射

3. 2. 1. 標準照射I

分析センターが、基準 γ 線源により一定線量を標準照射したTLDについて、当センターが計測して、データ解析を行い、その結果を照射線量と比較する。

3. 2. 2. 標準照射II

当センターが、基準 γ 線源により一定線量を標準照射したTLDについて、分析センターが計測して、データ解析を行い、その結果を照射線量と比較する。

3. 3. 空間 γ 線線量率

両機関の測定器を近接して設置のうえ同時刻に計測して、データ解析を行い、その結果を相互に比較する。

4. 結果と考察

4. 1. クロスチェックポイントの積算線量

分析センターとの積算線量クロスチェックの結果を表4に示す。また、分析センター測定値に対する当センター測定値の相対比を図1に示す。

表3 使用機器と測定法

項 目	測定機関	使 用 機 器 等	測定又は解析方法
クロスチェックポイントの積算線量	分析センター	TLD素子 KYOKKO MSO-L ナショナル UD-200S	リーダー KYOKKO 2500 ナショナル UD-502B
	公害技術センター	TLD素子 KYOKKO MSO-L ナショナル UD-200S	リーダー KYOKKO 1300 ナショナル UD-502B
	四国電力	TLD素子 ナショナル UD-200S	リーダー ナショナル UD-502A ナショナル UD-502B
標準照射 I 標準照射 II	分析センター	TLD素子 ナショナル UD-200S 基準γ線源…Ra-226 10mCi	リーダー ナショナル UD-502B
	公害技術センター	TLD素子 ナショナル UD-200S 基準γ線源…Cs-137 5mCi	リーダー ナショナル UD-502B
空間γ線線量率	球形3"φNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ	公害技術センター	球形3"φNaI(Tl)シンチレーション検出器 ポータブルスペクトルレコーダ アロカ JSM-101 多重波高分析器 NAIGEシリーズ
		四国電力	球形3"φNaI(Tl)シンチレーション検出器 ポータブルスペクトルレコーダ アロカ JSM-101 多重波高分析器 キャンベラ8100
	高純度Ge半導体検出器	公害技術センター	高純度Ge半導体検出器 P&G社 IGC15ST 多重波高分析器 NAIGEシリーズ
四国電力	高純度Ge半導体検出器 P&G社 IGC15ST 多重波高分析器 NAIGEシリーズ	検出器 地上高1m 下向 測定時間 4000秒 解析法 HASL方式	

表4 積算線量の測定結果

クロスチェックポイント	測定機関	年度						単 位
		55	56	57	58	59	60	
I	分析センター	25.6	21.7	21.6	23.1	23.6	22.0	mR/91日
	公害技術センター	22.0	22.6	21.8	22.8	22.9	23.1	
II	分析センター	18.0	15.1	15.5	16.1	16.7	14.2	
	公害技術センター	15.0	15.7	15.5	16.2	16.8	15.2	
III	分析センター	13.8	11.6	12.0	12.3	13.1	12.0	
	公害技術センター	11.0	12.1	11.7	12.3	12.6	12.5	

このクロスチェックの方法は、TLDを用いる積算線量測定における測定操作全般について、総合的にチェックすることに重点がおかれている。測定結果の相違の有無の判定基準は、両機関の測定値の差が、分析センター測定値の7%以内となっている。

55年度の相違の原因は、特定できなかったが、各年度とも同一のクロスチェックポイントであり、TLD設置場所の環境に特段の変化がないことから、経年的にデータを検討すると、55年度の当センターの測定結果は、適正な結果であったと考えられる。56年度から60年度は、判定基準に合致している。

次に、四国電力側の積算線量クロスチェックは、低線量での比較でもあるので、測定における標準偏差と基準γ線源の精度を加味して判定しており、両機関の測定値の差が、当センター測定値の7%以内を「よく一致」、16%までを「おおむね一致」、16%を超える場合を「一致しない」としている。

表5に示す55年度から59年度の判定結果からデータの信頼性が確保されていることが分かる。

60年度からは、とりわけ低線量である5箇所のカロスチェックポイントについてのみ実施しており、測定結果を表6に、当センター測定値に対する四国電力側測定値の相対比を図2に示す。

全般的に良好な結果である。

以上のことから、TLDを用いた積算線量測定の測定操作は、総合的に適切に行われていることが分かる。

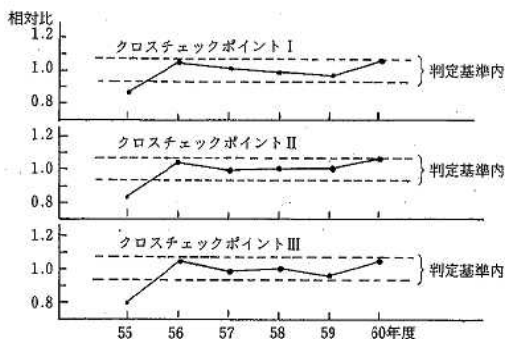


図1 積算線量測定結果の相対比

表5 判定結果(件数)

区分	年度	55	56	57	58	59
よく一致		26	25	34	35	33
おおむね一致		11	15	6	5	7
一致しない		0	0	0	0	0
計		40	40	40	40	40

表6 積算線量の測定結果(60年度)

クロスチェックポイント	四半期測定機関	年度				単位
		1	2	3	4	
1	公害技術センター	12.6	12.8	13.0	12.1	mR/91日
	四国電力	12.7	11.6	13.2	12.8	
2	公害技術センター	12.6	12.7	13.0	13.7	
	四国電力	12.8	11.7	13.3	13.8	
3	公害技術センター	14.0	13.6	14.4	14.3	
	四国電力	13.8	12.5	14.6	14.2	
4	公害技術センター	12.2	12.2	12.5	12.9	
	四国電力	11.4	10.8	12.1	12.2	
5	公害技術センター	12.4	12.1	13.0	13.2	
	四国電力	11.6	11.3	12.7	12.8	

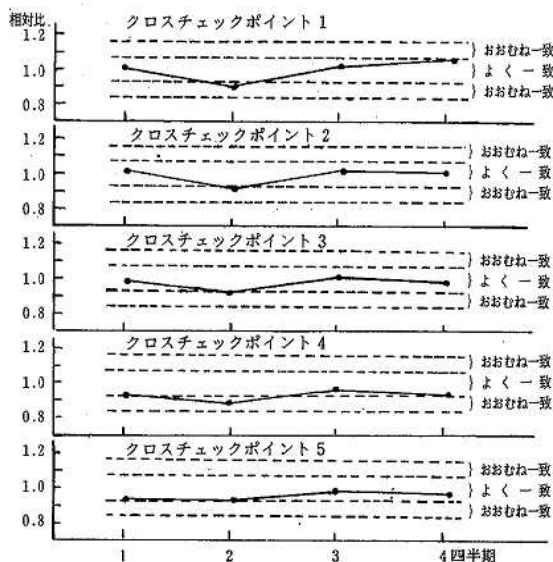


図2 積算線量測定結果の相対比 (60年度)

4. 2. TLDの標準照射

4. 2. 1. 標準照射I

標準照射Iの測定結果を表7に示す。また、分析センターの照射線量に対する当センターの測定値の相対比を図3に示す。

表7 標準照射Iの測定結果

区分	年度	55	56	57	58	59	60	単位
高線量照射	照射線量(分析センター)	37.0	23.7	23.2	23.0	26.9	27.1	mR
	測定値(公害技術センター)	34.6	24.1	23.6	22.7	26.6	27.2	
	相対比	0.94	1.02	0.98	1.01	1.01	1.00	
低線量照射	照射線量(分析センター)	13.0	14.2	14.0	13.6	17.9	18.0	mR
	測定値(公害技術センター)	13.1	14.7	14.3	13.5	17.5	18.1	
	相対比	1.01	1.04	1.02	0.99	0.98	1.01	

相対比は、照射線量に対する測定値の比率

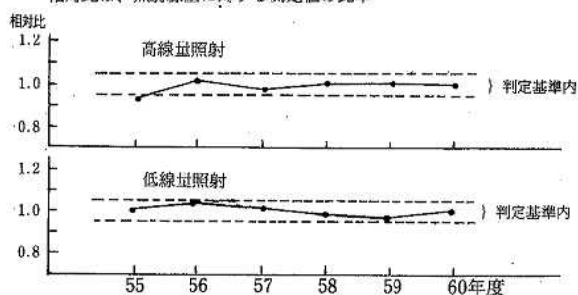


図3 標準照射I測定結果の相対比

この標準照射Iのクロスチェックの方法は、TLDリーダの校正が適正に行われているかどうかのチェックに重点がおかれている。測定結果の相違の有無の判定基準は、分析センターの照射線量と当センター測定値の差が、照射線量の5%以内となっている。

55年度の高線量照射の測定結果の相違は、分析センターの標準照射時のトラブルの影響によるものであったことが判明している¹⁾。56年度以降の測定結果は、判定基準に合致している。

このことから、当センターのリーダ校正は、適切に行われていることが分かる。

4. 2. 2. 標準照射II

標準照射IIの測定結果を表8に示す。

表8 標準照射IIの測定結果

区分	年度	59	60	単位
高線量照射	照射線量(公害技術センター)	24.4	20.4	mR
	測定値(分析センター)	25.8	19.8	
	相対比	0.95	0.97	
低線量照射	照射線量(公害技術センター)	14.7	10.1	mR
	測定値(分析センター)	15.5	9.6	
	相対比	1.05	0.95	

表9 球形3"φNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータのIn-Situ測定結果

クロスチェック ポイント	年度 測定 機関	項目	59				60			
			γ線線量率 (μR/h)	宇宙線線量率 (μR/h)	全平均線量率 (μR/h)	線質特性 (γ/σ ² S/μR/h)	γ線線量率 (μR/h)	宇宙線線量率 (μR/h)	全平均線量率 (μR/h)	線質特性 (γ/σ ² S/μR/h)
A	1回目	公害技術 センター	2.4	3.4	5.8	1.02	2.7	3.4	6.1	1.00
		四国電力	2.3	3.2	5.5	1.00	2.6	3.5	6.1	1.00
	2回目	公害技術 センター	2.4	3.4	5.8	1.03	2.6	3.4	6.0	0.99
		四国電力	2.4	3.4	5.8	1.03	2.5	3.4	5.9	1.00
B	1回目	公害技術 センター	1.8	3.4	5.2	1.09	2.0	3.2	5.2	1.06
		四国電力	1.8	3.3	5.1	1.07	2.0	3.3	5.3	1.05
	2回目	公害技術 センター	1.9	3.3	5.2	1.08	2.0	3.4	5.4	1.06
		四国電力	1.9	3.3	5.2	1.10	1.8	3.3	5.1	1.07

表10 高純度Ge半導体検出器のIn-Situ測定結果

クロスチェッ クポイント	年度 測定 機関	項目	59					60					単位
			U系列寄与	Th系列寄与	K-40	Cs-137	計	U系列寄与	Th系列寄与	K-40	Cs-137	計	
A	公害技術 センター	四国電力	0.51	0.79	0.97	0.011	2.3	0.61	0.90	1.1	検出されず	2.6	μR/h
		公害技術 センター	0.62	0.79	1.1	0.010	2.5	0.68	1.2	1.2	0.0069	3.1	

この標準照射IIのクロスチェックは、TLDリーダ校正のための標準照射が適切に行われているかどうかをチェックすることに重点がおかれている。測定結果の相違の有無の判定基準は、分析センター測定値と当センターの照射線量との差が、測定値の5%以内となっている。すべて判定基準に合致しており、当センターのγ線標準照射は、適切に行われていることが分かる。

4. 3. 空間γ線線量率

4. 3. 1. 球形3"φNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ

このクロスチェックは、測定とデータ解析の相互チェックのため実施している。

測定結果を表9に示す。

結果は、よく一致しており、両機関の測定、データ解析は、適切に行われていることが分かる。

4. 3. 2. Ge半導体検出器

このクロスチェックは、Ge半導体検出器の校正、測

定データを相互にチェックするため実施している。

測定結果を表10に示す。

結果は、よく一致しており、両機関の検出器の校正、データ解析は、適切に行われていることが分かる。

5. おわりに

環境放射線測定におけるクロスチェックの実施は、測定データを正しく評価するうえで、データの信頼性を維持確保するとともに、測定技術の向上に多大な成果があった。

今後とも、積極的にクロスチェックを実施して、測定データの信頼性確保に努めるとともに、最新の技術情報の収集や各種研修への参加により、技術の向上を図ることとしている。

— 参考文献 —

- 1) 財団法人分析センター：昭和55年度放射能分析確認調査事業報告書(1981)

連立方程式法によるK-40, U-系列, Th-系列からの 寄与線量率の解析と評価

篠原 広充・松浦 榮美・安永 章二
矢野 隆司・金子 敏明・安井 正良

1. はじめに

環境放射線は、通常そのほとんどが地殻や大気に含まれる自然放射性核種からの放射線と宇宙線である。

地殻からの放射線は、大部分が地表面の土壤中に含まれる自然放射性核種であるK-40, U-系列, Th-系列からのガンマ線及び散乱線によるものであることから、これに着目し、連立方程式法による環境放射線線量率のデータ解析を試みたので、その結果を報告する。

2. 測定データと方法

松浦ら¹⁾が報告した「愛媛県における自然放射線分布」の調査方法により得た県下175地点の現地測定データを用いた。

測定は、アロカ(株)製球形3" φNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ(JSM-101)を用いた。測定時間は1,000秒、検出器は、地上高1mである。

測定から解析までの流れを図1に示す。現地で検出器から得た信号ごとの波高値をカセットテープに収録し、測定室に持ち帰り解析したものである。

3. 解析方法

K-40, U-系列, Th-系列の各寄与線量率は、波高分析装置で得られたr線スペクトルのうち0~3 MeV領域のr線を10keV/chに変換し、10keVごとのr線線量率を加算し全線量を求める。次にエネルギー領域をそれぞれ、K-40(1.34~1.60MeV), U-系列

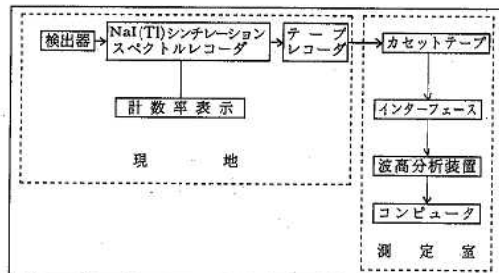


図1 環境放射線測定ブロック図

(1.61~2.30MeV), Th-系列(2.31~3.00MeV)とし、次式の連立方程式から各寄与線量率(DoseK, DoseU, DoseTh)を求めた。

$$0.500\text{DoseK} + 0.106\text{DoseU} + 0.043\text{DoseTh} = \text{DK}$$

$$0.0023\text{DoseK} + 0.255\text{DoseU} + 0.124\text{DoseTh} = \text{DU}$$

$$0.000\text{DoseK} + 0.024\text{DoseU} + 0.275\text{DoseTh} = \text{DTh}$$

ここで

- DoseK, DoseU, DoseTh は各寄与線量率
- DK, DU, DTh は各エネルギー領域の実測値
- 連立方程式の各系数は、理化学研究所放射線研究室岡野の提供値(U-系列は、米国ヒューストン, Th-系列は、インドケララで得た値)

4. 結果

4. 1. 連立方程式法とピールオフ法との比較

今回の連立方程式法により求めた合計線量率とピールオフ法²⁻⁶⁾のr線線量率について平均値の差を危険率0.01で検定したところ、表1、図2のとおり双方の解析結果は一致しており差は認められなかった。

なお、線量評価例を図3に示す。

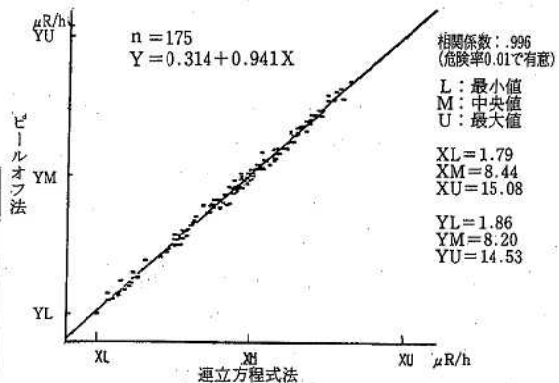
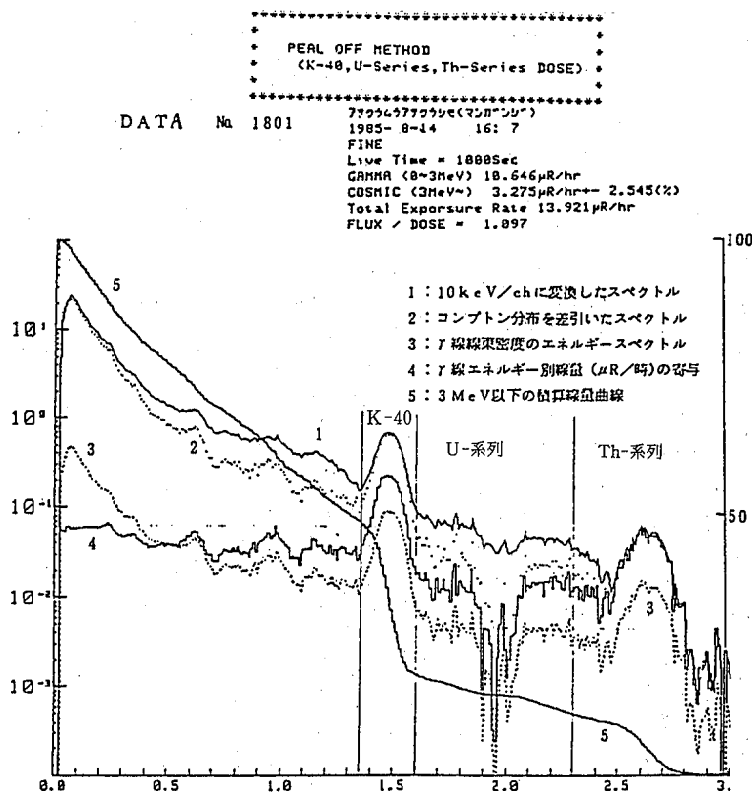


図2 連立方程式法とピールオフ法の回帰分析結果

表1 平均値の差の検定結果

n=175

項目	平均値 (μR/時)	標準偏差 (μR/時)	平均値の差の検定	回帰式(相関係数)
連立方程式法(X)	7.91	2.47	差があるといえない (危険率0.01)	Y=0.314+0.941X (0.996)
ピールオフ法(Y)	7.76	2.33		



ENERGY (MeV)

ENERGY	<50Kev	~100Kev	~250Kev	~500Kev	~1 Mev	~ 2 Mev	~ 3 Mev
DOSE(μR/h)	.17	.29	.92	1.10	1.96	4.62	1.59
DOSE(%)	1.58	2.75	8.61	10.37	18.38	43.41	14.90
FLUX(r/s)	.94	2.21	3.18	1.60	1.40	1.91	.44
FLUX(%)	8.09	18.91	27.22	13.68	11.92	16.37	3.76
COUNT(cps)	51.99	110.18	153.49	66.35	40.42	24.12	2.83
COUNT(%)	11.57	24.52	34.16	14.76	8.99	5.37	.63

ISOTOPE	DOSE(μR/hr)	MATRIX A			MATC(μR/hr)
K-40	5.57	.5000	.1060	.0430	3.07
U-ser	.87	.0023	.2550	.1240	.78
Th-ser	4.38	0.0000	.0240	.2750	1.23
SUM	10.82	**	**	**	5.10

図3 NaI (Tl) シンチレーションスペクトルと線量評価例

4. 2. 連立方程式法によるK-40, U-系列, Th-系列の相関行列

各寄与線量率の相関行列を表2に示す。

合計線量率に対してK-40とTh-系列が強い相関を示し、U-系列は弱い相関を示していることからU-系列については、気象条件の変動等によるものと考えられる。

表2 相関行列 n=175

項目	K-40	U-系列	Th-系列	合計
K-40	1	-	-	-
U-系列	0.387*	1	-	-
Th-系列	0.769*	0.469*	1	-
合計	0.942*	0.533*	0.931*	1

*危険率0.01で有意

4. 3. 測定地点別の測定結果

県下175地点の測定生データの連立方程式法により得られた各寄与線量率の最高値、最低値等の解析結果を表3に示す。

各寄与線量率の合計（以下「合計線量率」という。）でみると1.79~15.08 μ R/時の範囲にあり、平均値は7.91 μ R/時となっている。

表3 測定地点別最高値・最低値

項目	最高値	最低値	平均値	標準偏差
K-40寄与 (μ R/時)	6.94 (大三島町宮浦)	0.61 (久万町上野尻)	3.72	1.35
U系列寄与 (μ R/時)	1.68 (大三島町宗方)	0.22 (久万町上野尻)	0.71	0.26
Th系列寄与 (μ R/時)	7.58 (上浦町井口)	0.63 (中山町豊岡)	3.49	1.14
合計 (μ R/時)	15.08 (上浦町井口)	1.79 (中山町豊岡)	7.91	2.47

4. 4. 市町村別測定結果

地点別の解析結果を70市町村ごとに取りまとめた結果を表4、表5に示す。

合計線量率の最高値は、越智郡大三島町の12.5 μ R/時であり、最低値は、伊予郡中山町の2.1 μ R/時であった。

伊方発電所のある西宇和郡伊方町は、2.9 μ R/時で県下市町村中二番目に低い結果であった。

表4 市町村別最高値・最低値

項目	最高・最低	
	最高	最低
K-40寄与	6.8 (越智郡生名村)	1.0 (伊予郡中山町)
U-系列寄与	1.3 (越智郡大三島町)	0.23 (上浮穴郡面河村)
Th-系列寄与	5.9 (越智郡吉海町)	0.79 (伊予郡中山町)
合計	12.5 (越智郡大三島町)	2.1 (伊予郡中山町)

(単位： μ R/時)

4. 5. 地域分布

市町村別の行政区画に分けた各寄与線量率の分布を図3~6に示す。

図3の合計線量率については、高縄半島及び越智郡島しょ部に高線量域があり、三波川変成帯である大洲市周辺に低線量域がみられる。

図4のK-40寄与線量率及び図6のTh-系列寄与線量率については、図4の合計線量率とほぼ同じ傾向がみられた。

図5のU-系列寄与線量率については、合計線量率、K-40、Th-系列寄与線量率の分布とは異なっており、南北に高線量率が点在している。低線量域は県下に点在しているものの全体的には東西に分布している。

5. まとめ

今回の連立方程式による解析法、及び同解析法による現地測定結果から、次のことが明らかになった。

- (1) 今回試みた連立方程式法による解析結果とピールオフ法による解析結果はよく一致した。
- (2) K-40、Th-系列寄与線量率は、合計線量率に対し強い相関があり、U-系列寄与線量率は弱い相関を示した。
- (3) 愛媛県における線量率分布は、合計線量率についてみると、高線量率域が高縄半島から越智郡島しょ部にあり、最高値は上浦町井口の15.08 μ R/時であった。低線量域は三波川変成帯にあり、最低値は中山町豊岡の1.79 μ R/時であった。

K-40、Th-系列寄与線量率分布は、合計線量率とほぼ同じ傾向であった。

U-系列寄与線量率分布は、前記と異なり南北に高線量域が点在している。

- (4) 連立方程式法は、自然放射線の種類と量が分かるので環境放射線モニタリングとして大変有用である。

今後は、ピールオフ法と併わせて連立方程式法による解析データの蓄積を進めたい。

最後に、御多忙にもかかわらず貴重なデータの御

表5 市町村別測定結果

市町村	連立方程式法				ビール オフ法	市町村	連立方程式法				ビール オフ法		
	K-40寄与 (μ R/時)	U-系列寄与 (μ R/時)	Th-系列寄与 (μ R/時)	合計 (μ R/時)	γ 線線量率 (μ R/時)		K-40寄与 (μ R/時)	U-系列寄与 (μ R/時)	Th-系列寄与 (μ R/時)	合計 (μ R/時)	γ 線線量率 (μ R/時)		
松山市	5.0	0.67	4.5	10.2	9.9	上浮穴郡	久万町	1.7	0.28	2.1	4.1	4.3	
今治市	4.9	0.52	3.4	8.9	8.6		面河村	2.9	0.23	4.4	7.6	7.7	
宇和島市	4.0	0.70	3.7	8.4	8.1		美川村	2.4	0.49	2.6	5.5	5.7	
八幡浜市	2.5	0.64	2.4	5.6	5.5		柳谷村	4.2	0.69	4.0	8.8	8.6	
新居浜市	4.0	0.81	4.1	8.9	8.6		小田町	4.1	1.0	3.8	8.9	8.7	
西条市	3.2	0.78	3.4	7.4	7.4		松前町	4.5	0.56	3.9	8.9	8.7	
大洲市	2.1	0.47	2.5	5.1	5.1	伊予郡	砥部町	4.9	0.61	4.0	9.5	9.1	
川之江市	4.3	0.68	3.2	8.2	8.0		広田村	2.5	0.51	2.9	5.9	5.9	
伊予三島市	3.9	0.75	3.1	7.8	7.5		中山町	1.0	0.27	0.79	2.1	2.2	
伊予市	3.7	0.85	4.0	8.5	8.5		双海町	2.2	0.62	2.3	5.1	5.2	
北条市	4.8	0.63	3.5	9.0	8.6	喜多郡	長浜町	2.2	0.32	1.9	4.4	4.3	
東予市	4.9	0.79	4.1	9.8	9.5		内子町	2.4	0.75	2.7	5.9	5.9	
宇摩郡	新宮村	4.1	0.68	3.1	7.8		7.5	五十崎町	2.7	0.43	3.8	6.9	7.0
	土居町	3.0	0.64	2.7	6.3		6.2	肱川町	2.3	0.50	2.5	5.4	5.4
	別子山村	2.8	0.36	2.7	5.9	6.0	河辺村	3.0	0.56	2.1	5.7	5.4	
周桑郡	小松町	4.1	0.67	4.3	9.1	9.0	西宇和郡	保内町	2.5	0.55	2.1	5.1	4.8
	丹原町	4.3	0.95	3.6	8.9	8.9		伊方町	1.3	0.46	1.1	2.9	2.8
越智郡	朝倉村	5.6	0.87	4.4	10.8	10.6		瀬戸町	3.8	0.63	3.1	7.5	6.9
	玉川町	5.5	0.45	4.4	10.4	10.0		三崎町	1.6	0.43	1.1	3.1	3.2
	波方町	5.0	0.74	3.7	9.4	9.1	三瓶町	2.8	0.65	2.9	6.4	6.4	
	大西町	5.0	0.96	3.6	9.5	9.2	東宇和郡	明浜町	2.4	1.1	3.1	6.6	6.5
	菊間町	5.0	0.69	4.0	9.7	9.4		宇和町	2.5	0.74	3.0	6.2	6.1
	吉海町	5.5	0.32	5.9	11.7	11.8		野村町	2.4	0.75	2.7	5.8	5.8
宮窪町	5.3	0.97	3.8	10.0	9.7	城川町		3.6	0.95	4.7	9.2	9.1	
越智郡	伯方町	5.9	0.99	4.2	11.1	10.9	北宇和郡	吉田町	3.6	0.70	3.2	7.5	7.3
	魚島村	3.7	1.1	3.5	8.3	8.3		三間町	3.1	0.51	3.0	6.6	6.6
	弓削町	6.0	0.98	4.5	11.5	10.8		広見町	3.3	0.86	4.1	8.2	8.2
	生名村	6.8	0.93	4.7	12.4	11.6		松野町	3.2	0.92	4.1	8.2	8.2
	岩城村	4.4	0.92	3.6	9.0	8.5	日吉村	4.2	0.57	3.5	8.2	7.9	
	上浦町	5.3	1.2	5.7	12.1	11.7	津島町	3.7	1.1	3.8	8.6	8.5	
	大三島町	5.9	1.3	5.3	12.5	12.3	内海村	3.7	0.90	3.5	8.1	8.0	
	関前村	5.3	1.0	3.2	9.5	8.9	南宇和郡	御荘町	4.0	0.72	3.8	8.5	8.2
温泉郡	重信町	4.6	0.75	4.2	9.8	9.4		城辺町	3.1	0.71	4.0	7.7	7.8
	川内町	3.8	0.93	3.5	8.2	8.3		一本松町	3.4	1.0	3.6	8.0	8.0
	中島町	4.9	1.0	4.6	10.6	10.3		西海町	2.9	0.78	3.2	6.9	6.9



図3 市町村別合計線量率



図4 市町村別のK-40寄与線量率



図5 市町村別のU-系列寄与線量率



図6 市町村別のTh-系列寄与線量率

教示，御指導いただいた理化学研究所放射線研究室岡野真治先生に深く感謝いたします。

— 参考文献 —

- 1) 松浦榮美，二宮久，安永章二，矢野隆司，金子敏明，安井正良：愛媛県公害技術センター所報，第7号，32 (1986)
- 2) 岡野真治：理化学研究所ニュース，No. 58，(1979)
- 3) M. Okano, K. Izumo, H. Kumagai, T. Katou, M. Nishida, T. Hamada, K. Masahiro: Measurement of Environmental Radiations with a

Scintillation Spectrometer Equipped with a Spherical NaI(Tl) Scintillator, NREIII, Vol 2, 896 (1980)

- 4) C. Gogolak, T. Gesell: Intercomparison Experiment at NRE III, NRE III, vol 2, 1698 (1980)
- 5) 青野真，室岡学，水口定臣，徳山崇彦，松浦榮美，西原博明：愛媛県公害技術センター所報，第3号，36 (1981)
- 6) 熊谷秀和，岡野真治：理化学研究所報告，58(1), 1 (1982)

愛媛県公害技術センター所報

第 8 号

昭和62年 3 月発行

編集発行所 愛媛県公害技術センター
松山市三番町 8 丁目 234 番地(〒790)
電 話 松山 (0899) 21-3900

印刷所 佐川印刷株式会社
松山市問屋町 8 番 6 号
電 話 松山 (0899) 25-7471
