

積算線量測定における測定機器の比較調査（第Ⅲ報）

榮 哲 浩 白 坂 邦三郎 大 津 睦 雄¹
 坂 本 洋 出 雲 信 明² 奥 江 碩
 川 元 孝 久

1 はじめに

本県では、川内原子力発電所周辺環境放射線調査の一環として、熱ルミネセンス線量計（以下「TLD」という。）を用いた、環境γ線積算線量測定を実施してきた¹⁾。

「環境放射線モニタリングに関する指針」（原子力安全委員会：平成13年3月一部改訂）では、積算線量の測定には、TLD、蛍光ガラス線量計（以下「RPLD」という。）及び直読式の電子式積算線量計の使用を推奨している。これらの線量計のうち、RPLDは、素子間のばらつきが少なく、フェーディングも小さい等の利点があることから、環境放射線モニタリングへ適用されてきており、2002年7月に文部科学省は「蛍光ガラス線量計を用いた環境γ線量測定法」²⁾（以下「マニュアル」という。）を制定した。

本県でも、TLDとRPLDの比較調査を、1995年10月から1996年9月³⁾と1997年4月から1999年3月⁴⁾の2回実施して、今回、積算線量を、TLDによる測定法からRPLDへ移行することを目的に、最終的な比較調査を実施し、2004年度から積算線量の測定をRPLDで行うこととしたので、その結果について報告する。

2 調査方法

2. 1 調査地点

調査地点は、図1に示すとおり積算線量を測定している25地点とした。

2. 2 調査期間

2002年7月～2004年2月

2. 3 調査方法及び測定機器

2. 3. 1 測定素子の前処理等

TLD素子は再生処理を410℃で5分間行い、プレドーズを確認後、使用した。

また、RPLD素子の再生処理及び回収後の熱処理は、マニュアルによる方法で行なった。

2. 3. 2 線量計の配置方法

TLD 3本（6素子）、RPLD 3個を別々のプラスチック製収納容器に入れ、地上1mに設置してある収納箱（材質PVC）に約3か月置いた。

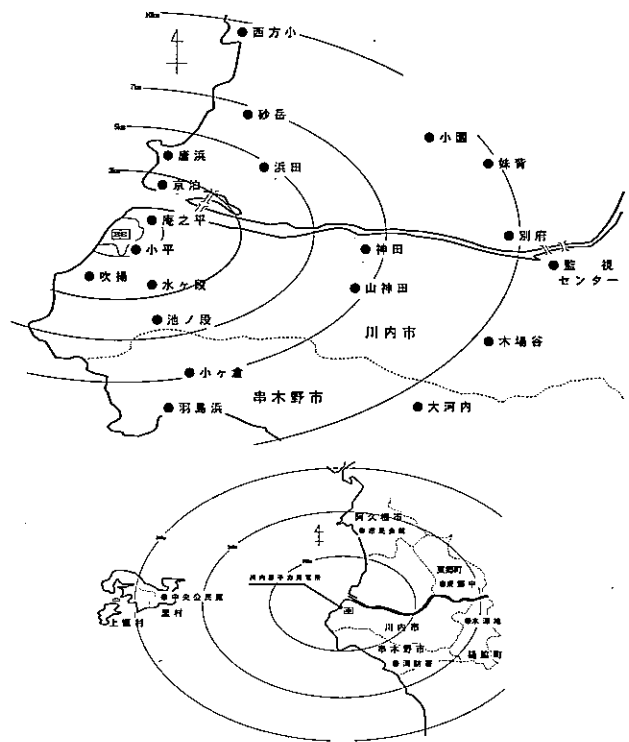


図1 調査地点図

1 鹿児島県大島支庁商工水産課 〒894-8501 鹿児島県名瀬市永田町17-3
 2 鹿児島県川内環境監視センター 〒895-0054 鹿児島県川内市若松町1番地

表1 測定機器の比較

項 目	期 間	型 式	測定対象エネルギー	エネルギー特性	フェーディング
蛍光ガラス線量計 (RPLD)	2002.7~2004.2	SC-1 (東芝硝子製線量計素子)	32keV~3MeV ²⁾	±20% (32keV~3MeV)	<1%/3か月
		FGD-201 (東芝硝子製線量計リーダ)			
	2003.12~2004.2	SC-1 (旭テクノガラス製線量計素子)			
		FGD-201 (旭テクノガラス製線量計リーダ)			
熱ルミネセンス線量計 (TLD)	2002.7~2003.12	UD-200S (松下電器産業製TLD素子)	30keV~10MeV	±30%	約10%/3か月
		UD-5120PGL (松下電器産業製TLDリーダ)			

表2 積算線量測定結果

(単位: μ Gy/91日)

地 点 名	積 算 線 量 計	設 置 期 間					全期間 の平均	
		2002.7~9	2002.10~12	2003.1~3	2003.4~6	2003.7~9		
小 平	RPLD	125 ± 3.7	119 ± 4.0	119 ± 4.3	117 ± 5.6	119 ± 3.5	120	
	TLD	125 ± 1.2	138 ± 5.4	130 ± 4.6	118 ± 1.4	122 ± 3.0	124 ± 5.9	126
京 泊	RPLD	125 ± 0.6	119 ± 0.7	117 ± 0.6	119 ± 0.7	117 ± 1.0	123 ± 1.9	120
	TLD	123 ± 4.0	136 ± 4.1	132 ± 1.6	119 ± 4.5	122 ± 1.4	122 ± 2.2	126
庵ノ平	RPLD	107 ± 1.2	106 ± 2.0	105 ± 1.6	104 ± 1.8	104 ± 2.1	105 ± 0.7	105
	TLD	112 ± 1.6	119 ± 3.4	115 ± 2.7	104 ± 3.4	107 ± 1.5	109 ± 2.9	111
水ヶ段	RPLD	138 ± 1.6	131 ± 1.8	130 ± 1.6	134 ± 2.0	131 ± 0.6	135 ± 2.6	133
	TLD	136 ± 3.9	150 ± 2.1	144 ± 2.3	130 ± 2.8	132 ± 1.4	138 ± 5.2	138
吹 揚	RPLD	121 ± 0.6	118 ± 1.2	117 ± 0.6	120 ± 1.2	116 ± 0.6	118 ± 2.1	118
	TLD	122 ± 2.7	133 ± 4.0	128 ± 3.3	115 ± 2.4	117 ± 2.6	119 ± 2.4	122
唐 山	RPLD	103 ± 2.1	101 ± 2.0	101 ± 2.2	101 ± 1.2	100 ± 1.5	99 ± 1.4	101
	TLD	108 ± 3.1	116 ± 2.4	112 ± 2.7	101 ± 2.9	101 ± 2.0	103 ± 3.8	107
浜 田	RPLD	114 ± 0.6	115 ± 2.0	113 ± 1.1	112 ± 0.7	113 ± 1.0	113 ± 0.7	113
	TLD	120 ± 2.4	127 ± 1.4	123 ± 2.4	111 ± 2.2	114 ± 1.4	113 ± 5.9	118
池ノ段	RPLD	130 ± 0.6	127 ± 2.9	123 ± 1.2	128 ± 2.4	125 ± 1.0	128 ± 2.1	127
	TLD	139 ± 3.1	139 ± 4.3	131 ± 3.6	122 ± 1.7	127 ± 1.3	127 ± 3.5	131
砂 岳	RPLD	150 ± 5.1	147 ± 2.4	143 ± 5.0	146 ± 2.5	143 ± 3.6	143 ± 2.6	145
	TLD	155 ± 5.0	153 ± 1.6	147 ± 2.0	138 ± 2.6	139 ± 2.7	143 ± 4.2	146
神 田	RPLD	144 ± 1.6	142 ± 1.3	138 ± 2.2	140 ± 2.5	139 ± 2.5	135 ± 4.3	140
	TLD	151 ± 3.2	152 ± 4.4	146 ± 3.4	135 ± 2.3	139 ± 1.9	141 ± 4.6	144
山神田	RPLD	128 ± 2.8	123 ± 1.3	125 ± 2.2	125 ± 1.8	125 ± 1.5	123 ± 1.4	125
	TLD	135 ± 5.1	135 ± 2.4	127 ± 1.6	122 ± 2.5	124 ± 1.1	125 ± 3.1	128
西方小	RPLD	115 ± 0.6	112 ± 2.4	111 ± 0.6	113 ± 2.7	110 ± 0.6	110 ± 3.1	112
	TLD	126 ± 3.0	123 ± 0.8	116 ± 3.4	111 ± 1.6	114 ± 2.4	113 ± 2.4	117
小 園	RPLD	129 ± 1.8	128 ± 0.7	128 ± 3.8	129 ± 3.6	126 ± 2.0	125 ± 1.9	128
	TLD	140 ± 3.1	141 ± 2.8	131 ± 4.8	123 ± 2.1	121 ± 1.9	126 ± 1.4	130
妹 背	RPLD	146 ± 3.8	145 ± 2.0	143 ± 1.2	145 ± 4.9	143 ± 2.5	141 ± 3.1	144
	TLD	156 ± 5.6	155 ± 4.3	150 ± 2.9	139 ± 2.9	140 ± 3.5	144 ± 2.4	147
別 府	RPLD	135 ± 1.0	135 ± 4.8	132 ± 1.1	133 ± 2.5	132 ± 0.0	132 ± 2.5	133
	TLD	145 ± 6.0	146 ± 0.9	136 ± 2.4	130 ± 3.5	129 ± 0.9	135 ± 5.1	137
木場谷	RPLD	125 ± 0.6	124 ± 2.7	121 ± 0.6	129 ± 2.5	124 ± 1.0	128 ± 1.2	125
	TLD	137 ± 4.5	134 ± 5.5	128 ± 3.0	123 ± 3.3	123 ± 2.3	122 ± 5.0	128
監視センター	RPLD	146 ± 3.8	137 ± 5.7	140 ± 3.5	138 ± 7.9	140 ± 3.2	135 ± 7.5	139
	TLD	150 ± 5.2	153 ± 4.4	145 ± 4.6	137 ± 3.7	131 ± 4.1	141 ± 4.5	143
小ヶ倉	RPLD	125 ± 1.2	126 ± 2.0	125 ± 1.1	122 ± 3.5	122 ± 0.6	117 ± 3.7	123
	TLD	135 ± 1.6	139 ± 3.9	129 ± 0.9	122 ± 4.2	116 ± 1.2	124 ± 4.0	128
羽島浜	RPLD	116 ± 2.8	115 ± 3.0	117 ± 2.8	120 ± 2.7	116 ± 3.0	118 ± 3.3	117
	TLD	122 ± 2.6	127 ± 2.7	122 ± 3.0	116 ± 1.9	111 ± 1.3	117 ± 2.5	119
大河内	RPLD	127 ± 0.6	126 ± 0.7	128 ± 0.6	127 ± 1.8	125 ± 0.6	123 ± 2.6	126
	TLD	136 ± 1.0	137 ± 3.8	132 ± 2.2	124 ± 3.0	121 ± 2.6	126 ± 2.6	129
消防署	RPLD	142 ± 0.6	141 ± 1.2	141 ± 1.1	146 ± 3.6	139 ± 0.6	143 ± 4.0	142
	TLD	151 ± 5.2	150 ± 4.4	149 ± 1.0	134 ± 1.4	130 ± 4.7	139 ± 1.2	142
市民会館	RPLD	136 ± 0.6	129 ± 1.2	131 ± 1.2	138 ± 1.1	132 ± 0.6	127 ± 1.2	132
	TLD	140 ± 4.5	142 ± 2.1	134 ± 5.4	130 ± 3.9	124 ± 2.6	137 ± 1.9	135
東郷中	RPLD	144 ± 0.6	138 ± 3.0	139 ± 0.6	134 ± 5.2	139 ± 0.6	126 ± 5.0	137
	TLD	146 ± 3.2	146 ± 3.2	142 ± 3.3	133 ± 2.6	134 ± 3.9	137 ± 3.6	140
水源地	RPLD	140 ± 3.3	133 ± 1.8	138 ± 2.8	124 ± 7.7	137 ± 2.5	136 ± 7.8	135
	TLD	139 ± 3.1	140 ± 6.8	146 ± 3.1	130 ± 5.4	129 ± 1.1	142 ± 2.9	138
中央公民館	RPLD	134 ± 0.6	135 ± 4.1	132 ± 0.7	140 ± 4.9	132 ± 0.6	134 ± 2.6	135
	TLD	137 ± 4.2	126 ± 2.8	141 ± 3.4	129 ± 3.5	130 ± 1.3	139 ± 2.1	134
全地点の平均	RPLD	130	127	126	127	126	125	127
	TLD	135	138	133	124	124	128	131

注) 積算線量±標準偏差を表示している。平均の欄には、平均値のみを表示している。

なお、2003年12月～2004年2月に使用したRPLDは、ポリスチロール製密封容器の収納枠に固定し、湿気対策として容器の底部にシリカゲルを置き、さらに袋内の空気を十分抜いたチャック付きのアルミ製防湿袋に入れて環境場に配置した。

2. 3. 3 測定機器の比較等

表1に測定機器の性能比較を示す。

なお、本調査では、田島⁹らと同じRPLDを使用した。

また、RPLDのリーダーは、2002年6月にメーカーによる点検・校正を実施したほか、2003年12月にRPLDとリーダーを新たに購入し、2003年12月～2004年2月の並行測定に使用した。

2. 3. 4 積算線量の算出方法

TLDは、約3か月間環境場に配置し、その間の積算線量を読み取った。その後、すべての素子に標準線源(^{226}Ra : 3.52MBq)を、距離30cmの位置で約18時間照射し、各素子の標準線源に対する感度から校正定数を求め、積算線量を補正した。

RPLDについても、TLDと同様に環境場に配置し、積算線量を読み取った。リーダーによる同一RPLDの繰り返し読み取り回数は5回とした。RPLDの特性として、同一ロット間のばらつきは極めて小さいことから、校正定数は、環境場に配置したRPLDのうち任意に10個を抽出し、TLDと同様に標準照射を行なって算出した。また、算出した校正定数は、全地点の積算線量の補正に使用した。

2. 3. 5 評価方法

TLDは、6素子の測定結果について、Grubbsの棄却検定を行い、検定後の平均値をその地点の積算線量とした。

RPLDは、棄却検定を行わず、3個の測定結果の平均値をその地点の積算線量とした。

また、積算線量は、全て91日間の積算線量に換算したが、積算線量計の配置・回収の際の運搬時の被ばく線量は考慮しなかった。

3 結果及び考察

3. 1 全測定値での比較

測定結果を表2に示す。

全調査期間の全地点平均値は、RPLDが127 $\mu\text{Gy}/91\text{日}$ 、TLDは、131 $\mu\text{Gy}/91\text{日}$ であった。今回の調査では、TLDの方がRPLDより4 $\mu\text{Gy}/91\text{日}$ 大きく、同じRPLDを使用して調査を行なった田島⁹らとは、異なった結果が得られたが、両線量計の差は小さかった。

この要因としては、今回の調査では、RPLDについてもTLDと同様、標準照射により積算線量の補正を行なったことによるものと考えられた。

図2に、TLD及びRPLDによる全地点の積算線量の相関を示す。両測定値の間には、有意水準1%で正の相関を認めた。

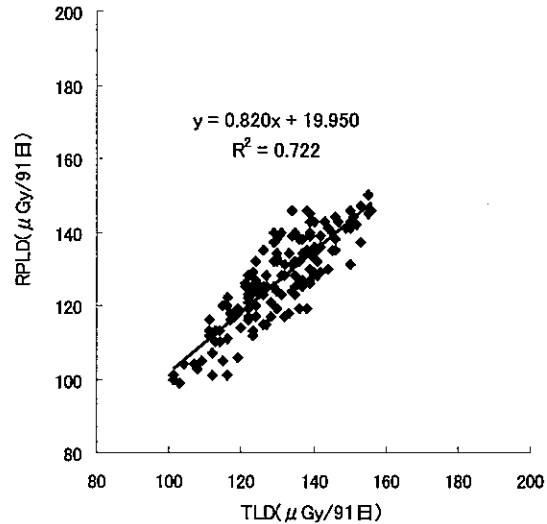


図2 TLD及びRPLDによる積算線量の相関

3. 2 各期毎の測定値の比較

TLDとRPLDの平均値を各期毎に比較すると、RPLDは125～130 $\mu\text{Gy}/91\text{日}$ 、TLDは124～138 $\mu\text{Gy}/91\text{日}$ の範囲であり、過去の調査結果と同様、RPLDの方が年間変動は小さかった。

また、表3に各期毎のRPLD及びTLDの相関係数を示す。

相関係数 (R^2) は、0.893～0.913の範囲であり、各期間において、全期間で比較したよりもTLDとRPLDは、高い正の相関を示した。

表3 TLD及びRPLDの相関

期 間	相関係数 (R^2)
2002.7～9	0.893
2002.10～12	0.798
2003.1～3	0.909
2003.4～6	0.913
2003.7～9	0.894
2003.10～12	0.890

3. 3 地点毎の測定値の比較

地点毎の、TLDの測定値に対するRPLDの測定値の比を、図3に示す。

測定値の比の最大は、2003年4～6月の消防署の1.089、最小は2002年10～12月の小平の0.862であった

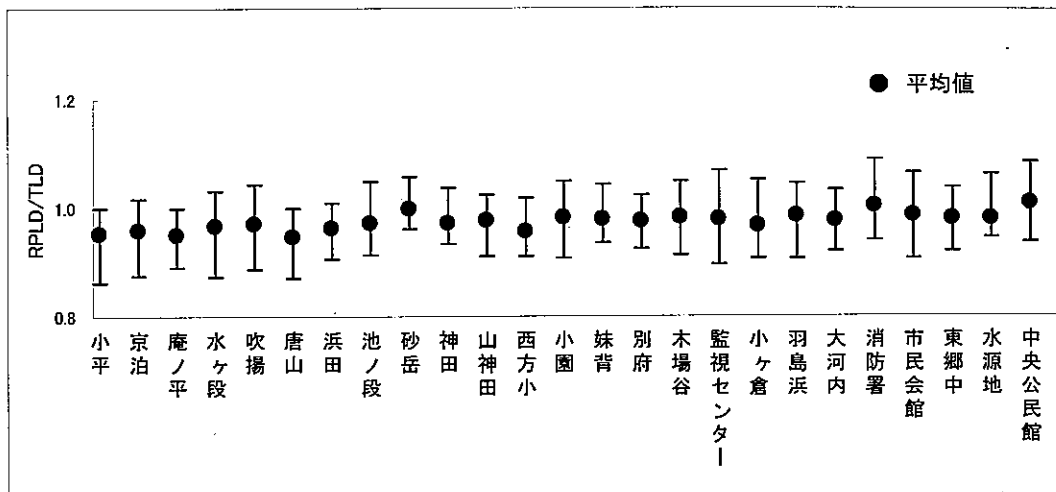


図3 TLD及びRPLDの測定値の比

が、各地点の比の平均値の範囲は、0.946~1.008でありTLDとRPLDの測定結果は、±10%の範囲内で概ね一致した。また、変動幅の最大は、監視センターの0.173、最小は別府の0.099であった。

3.4 RPLDの並行測定結果の比較

2003年12月に購入したRPLD (以下「新RPLD」という。)と今回の調査で使用したRPLD (以下「旧RPLD」という。)を46日間、24地点に配置し、並行測定を行なった結果を、表4に示す。

なお、積算線量は新しいリーダーで読み取った。

旧RPLDの測定値に対する新RPLDの測定値の比は、木場谷が最大で1.04、浜田、砂岳、監視センター、市民会館、水源地が最小で0.99であり、測定期間が91日間の約半分ではあるが、両RPLDの測定結果は±10%の範囲内で一致した。

3.5 RPLD素子の経年変化

図4に、今回の調査で使用した、RPLDの校正定数で補正していない、全地点の積算線量の平均値の経時変化を示す。

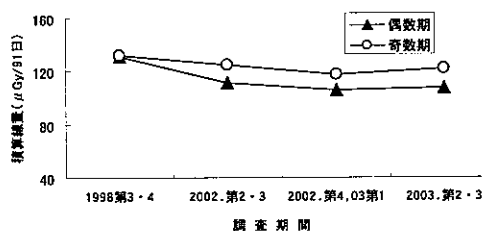


図4 RPLD素子の経時変化

RPLDの素子は、製造ロットナンバーにより感度が異なるため、調査に当たっては、ロットナンバーが同一の線量計を使用し、また、環境場には、第1・3四半期(奇数期)と第2・4四半期(偶数期)は、同じ線量計を配置

表4 新・旧線量計の並行測定結果

(単位: μGy/46日)

地点名	新RPLD	旧RPLD	新/旧	地点名	新RPLD	旧RPLD	新/旧
小平	63.5	62.7	1.01	小園	65.5	64.0	1.02
京泊	64.8	64.7	1.00	妹背	72.9	70.6	1.03
庵ノ平	57.4	56.3	1.02	別府	68.2	66.6	1.02
水ヶ段	68.5	68.8	1.00	木場谷	65.5	62.7	1.04
吹揚	62.8	61.7	1.02	監視センター	71.2	72.1	0.99
唐山	54.4	53.6	1.01	小ヶ倉	62.1	60.7	1.02
浜田	59.4	59.7	0.99	羽島浜	61.5	59.4	1.04
池ノ段	66.8	66.1	1.01	大河内	65.5	64.0	1.02
砂岳	74.2	75.2	0.99	消防署	72.5	70.3	1.03
神田	72.9	72.8	1.00	市民会館	66.8	67.8	0.99
山神田	65.2	65.1	1.00	東郷中	69.9	68.6	1.02
西方小	58.8	58.0	1.01	水源地	68.8	69.8	0.99

したけれども、今回の調査では、田島⁴⁾らの調査時と比較して同じRPLDを使用したにもかかわらず、第2・4四半期に使用したRPLDは、第1・3四半期で使用したRPLDと比較して、10%程度低い積算線量値を示した。

RPLDの特性として、線量計間の感度のばらつきは小さいことがあげられているが、同一ロットの線量計であっても、何らかの要因により、素子の感度が変化することもあることを推測できた。

マニュアルには、線量計の校正は、モニタリングに使用している、線量計の素子と同一ロットの素子10個に、約200 μ Gyの γ 線を標準照射し、校正定数を求めて行なう方法と、使用している線量計のロットに対して指定された補正係数がある場合には、その値をリーダーに読み込むことにより感度補正を行う、2つの方法が記載されているけれども、今回の結果から積算線量の評価は、前者の方法により、RPLDの校正定数の変動等を調査期間ごとに確認しながら、実施する方がよいことがわかった。

4 まとめ

調査結果をもとにTLDとRPLDの比較を行なった。

- 1) RPLDによる積算線量は、TLDと比較して、平均で4 μ Gy/91日低く評価されたけれども、両機器の差は小さかった。
- 2) TLD及びRPLDによる全期間及び各期間の積算線量は、有意水準1%で正の相関を認めた。
また、TLDの測定値に対する、RPLDの測定値の比の平均値の範囲は、0.946~1.008であり、TLDとRPLDの測定結果は、 $\pm 10\%$ の範囲内で概ね一致した。
- 3) 新・旧素子の並行測定結果(46日間)は、 $\pm 10\%$ の範囲内でよく一致した。
- 4) RPLDによる積算線量の評価は、標準照射により校正定数を求め、RPLDの校正定数等の変動等を、調査期間ごとに確認しながら実施する必要があると考えられた。

なお、九州電力櫛川内原子力発電所においてもTLDとRPLDの並行測定を実施し、県と同様の結果が得られたことから、その結果を2003年度第4回鹿児島県環境放射線モニタリング技術委員会に報告、TLDからRPLDへの移行を了承された。

以上のことから、2004年度から積算線量の測定をRPLDで行なうこととした。

参考文献

- 1) 鹿児島県；川内原子力発電所周辺環境放射線調査計画(平成14~15年度)
- 2) 文部科学省；蛍光ガラス線量計を用いた環境 γ 線量測定(平成14年)
- 3) 今村和彦, 猩々伸博, 他；積算線量測定における測定機器の比較調査, 鹿児島県環境センター所報, 12, 55~60(1996)
- 4) 田島義徳, 猩々伸博, 他；積算線量測定における測定機器の比較調査(第II報), 本誌, 1, 103~107(2000)