



Title	TLD蛍光体素子郵送法による診断用X線線量測定の相互比較の研究
Author(s)	加藤, 義雄; 橋詰, 雅; 辛嶋, 博 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1981, 41(9), p. 857-867
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20004
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

TLD 蛍光体素子郵送法による診断用 X 線 線量測定 of 相互比較の研究

放射線医学総合研究所養成訓練部, 物理研究部*

加藤 義雄 橋 詰 雅*

兵庫県立病院がんセンター放射線科

辛嶋 博 込山 豊蔵

日本大学医学部放射線医学教室

浦橋 信吾 鎌田 力三郎

川崎医療短期大学

西村 明久

(昭和56年1月14日受付)

(昭和56年3月23日最終原稿受付)

A Study of Intercomparison of Diagnostic X-ray Exposure by Mailing Mg_2SiO_4 (Tb) Thermoluminescent Dosimeter

Yoshio Kato and Tadashi Hashizume*

Training Division, *Division of physics, National Institute of Radiological Sciences,

4-9-1, Anagawa, Chiba-shi (260)

Hiroshi Karashima and Toyozo Komiyama

Radiology, Hyogo Prefectural Cancer Center, 7-13 Kusunokicho, Ikutaku, Kobe (650)

Shingo Urahashi and Rikisaburo Kamata

Department of Radiology, Nihon University, 30-1 Oyaguchi-Kamimachi, Itabashiku, Tokyo (173)

Akihisa Nishimura

Kawasaki Paramedical College School of Radiation Technology, 316 Matsushima, Kurashiki (701-01)

Research Code No.: 203.2 302.1

key Words: Intercomparison, Diagnostic x-ray exposure,
TLD

An applicability of Mg_2SiO_4 (Tb) thermoluminescent phosphor sealed in a capillary glass tube (12 mm in length and 2 mm in diameter) to the intercomparison of diagnostic X-ray exposure by mailing it was studied in cooperation with National Institute of Radiological Sciences (NIRS), Hyogo Prefectural Cancer Center and Nihon University.

The exposure on the thermoluminescent phosphors ranged from 0.1 R to 0.3 R for X-rays (30–35 keV) and from 0.3 R–11 R for ^{60}Co γ -rays which were measured with ionization chambers previously calibrated each other. A set of five thermoluminescent phosphors was exposed to X-rays or ^{60}Co γ -rays and the exposure was estimated from it. A relative standard deviation of thermoluminescence amounts for one set of five phosphors was $2.9\% \pm 1.1\%$ on an average over 85 sets in this experiment. The exposure for one type of radiation quality

was estimated by using two sets of phosphors.

Four experiments of the intercomparison of the diagnostic X-ray exposure were carried out by mailing Mg_2SiO_4 (Tb) phosphor in our laboratories. Relative differences in the exposures between NIRS and other laboratories were $2.6\% \pm 1.7\%$, the value of which seems to be acceptable for the sake of the intercomparison of the diagnostic X-ray exposure, because an exposure estimation of patients and practitioners due to diagnostic X-rays may have a relative errors of around 20% or more. Also, no effects of the mailing of the thermoluminescent phosphors were found on the thermoluminescent sensitivity of Mg_2SiO_4 (Tb).

緒 言

X線診断は数多くの医療診断技術の中でも重要なものであり、わが国のX線検査数は橋詰¹⁾の1979年の検査によれば、撮影が 9.7×10^7 件、透視が 1.8×10^7 件であり、この数は更に増加の傾向にあるといわれる。この診断用X線による患者と術者の被曝線量は他の人工放射線による被曝線量よりも大きく、また国民線量（遺伝有意線量、骨髓線量）への寄与は自然放射線に次いでいる²⁾。このことから、X線診断による患者と術者の被曝線量の評価とその低減法の研究は活発に行なわれ、本学会誌にも毎年多数の関連報告がみられる³⁾。また患者も放射線被曝の一つとして医療被曝に強い関心を寄せている。しかしながら、診断用X線（管電圧50-120kV）の標準的線量測定法は未だ決まっておらず、現在、物理部会で検討中であり、各施設ではそれぞれ独自の計測法で線量測定を行っているのが実状である。われわれは、これら各施設での診断用X線線量測定がどの程度の精度で行われているかという実態を知る手段として、また国内の線量統一の手段としての TLD 蛍光体素

子郵送による線量相互比較法の可能性について検討した。同様な研究は Puite ら⁴⁾が LiF 蛍光体を用いて行っている。ただ LiF はエネルギー依存性には優れてはいるが、感度が低く、粉末であるため、高線量の照射が必要なこと、取扱いが繁雑であり、多数施設間の相互比較といった大量処理では大変な手間を要するという欠点を持っている。われわれは、この点から、ガラス封入の高感度 TLD 素子として Mg_2SiO_4 (Tb)（大日本塗料製）を選らび、その特性および郵送による環境変化による TL 応答への影響について調べ、TLD 素子の郵送による線量測定相互比較への適性と信頼性について検討した。

方 法

TLD 素子を用いた線量測定への郵送の影響を調らるため、環境の違った3施設間で実験を行った。3施設は放射線医学総合研究所、日本大学駿河台病院と兵庫県立がんセンターである。以下これらの施設名をそれぞれ放医研、日大及び兵庫と記す。実験の分担は次の如くであった。TLD 素子の前処理（洗滌、熱処理など）、郵送、TL（熱

Table 1 Radiation units, radiation quality, and dosimeters used in our experiments.

Laboratory	Units	Tube Voltage	Effective Energy	Dosimeters
NIRS	Toshiba DC-15KA	90kV (F)	34 keV	Applied Engineering AE-130S (0.6cc & 12cc chambers)
		100kV (R)	35 keV	
	50Ci ^{60}Co unit	—	(1.25MeV)	
Nihon Univ.	Toshiba KXO-15	90kV (F)	35 keV	Applied Engineering (0.6cc chamber) & Takeda TR-84M (Vibration Reed)
		100kV (R)	36.5keV	
	Shimadzu STL-1	—	(1.25MeV)	
Hyogo Pref. Cancer center	Shimadzu ID-150L	90kV (F)	30.5keV	Ionex 2500/3 (2505/3: 0.6cc chamber) & Applied Engineering AE-132S
		100kV (R)	31 keV	
	Theratron 80	—	(1.25MeV)	

F : Fluoroscopy, R : Radiography

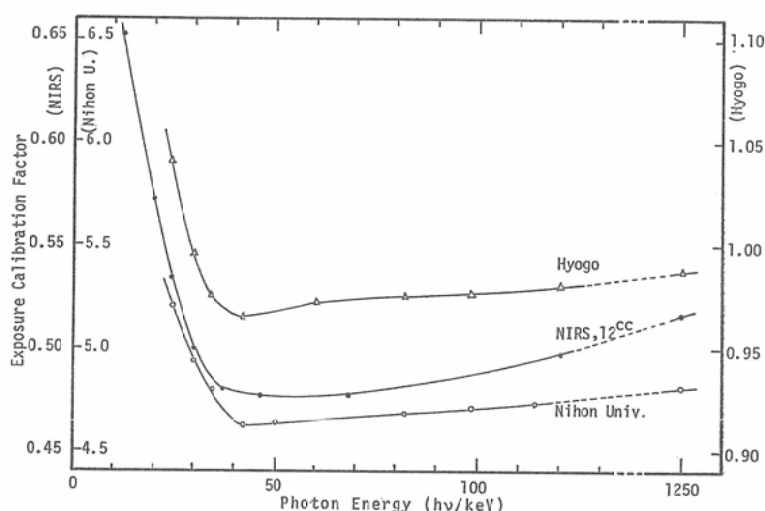


Fig. 1 Exposure calibration factors of the dosimeters.

蛍光量)の計測と線量評価は放医研が担当し、日大と兵庫は TLD 素子への X 線と ^{60}Co γ 線の照射と返送を分担した。

1) 照射線源と線量計

3 施設で用いた照射線源と線量計を Table 1 に示す。照射線源の線質は透視用 X 線として 90kV X 線、撮影用として 100kV X 線を選んだ。また比較のため ^{60}Co γ 線もあわせ用いた。X 線の実効エネルギーは Al の半価層の値より求めたが、各施設の線源の実効エネルギーの値は Table 1 の 4 列目に示した通りである。それらの値はおおよそ 30~36keV の値の中に入っている。

電離箱線量計は、各施設間の線量評価のくい違いを少なくするために、放医研に持ち寄り、 ^{60}Co γ 線から 26keV までのエネルギー領域の校正を行った。校正には電子技術総合研究所で値付けられた 0.6cc と 12cc の電離箱線量計 (応用技研 AE-130S) を用いた。その結果を Fig. 1 に示す。この校正には 2~3% 程度の誤差が含まれるものと考えられる。尚、兵庫は都合により最後 (第 4 回目) の相互比較実験の線量測定には電子技術総合研究所で値付けした別の電離箱線量計 (応用技研 AE-132S) を用いた。

2) 熱ルミネッセンス線量計 (TLD)

相互比較に用いた TLD 素子は Mg_2SiO_4 (Tb)

ガラス封入素子 (大日本塗料製 MSO-S ; 直径 2mm, 長さ 12mm) で、感度 (単位照射線量当りの熱蛍光量, TL/Exposure) のバラツキを少なくするために同一ロットナンバーのものを実験に用いた。これらの熱蛍光測定には極光 TLD リーダー 1200 (大日本塗料製) を用いた。

Mg_2SiO_4 (Tb) の実効原子番号は $Z=11.1$ で空気に比してかなり高い値であり、そのエネルギー依存性は Fig. 2 に示く如くであった。ここでは ^{60}Co γ 線に対する感度を 1 にしている。光子エネルギーが 100keV から 40keV に低くなって行くと、相対感度は急激に増加するが、40keV から 25keV の間では相対感度はほぼ一定値を示している。LiF に較らべて Mg_2SiO_4 (Tb) のエネルギー依存性はかなり劣るが、あえて、これを相互比較に使ったのは、次の理由に基づいている^{5)~9)}。即ち、(a) Mg_2SiO_4 (Tb) TLD 素子は低 Z-TLD 素子 (LiF TLD 素子など) に較らべて感度が高く、診断用 X 線装置のような小出力の線量測定に適している。(b) 診断用 X 線エネルギー領域 (25keV~40keV, 但し乳房撮影用 X 線は除く) での Mg_2SiO_4 (Tb) の感度はほぼ一定である。(c) 100R 以下の照射線量では Mg_2SiO_4 (Tb) の線量応答は優れた直線性を持っている。(d) 線量率依存性がほとんどない。(e) 退光現象

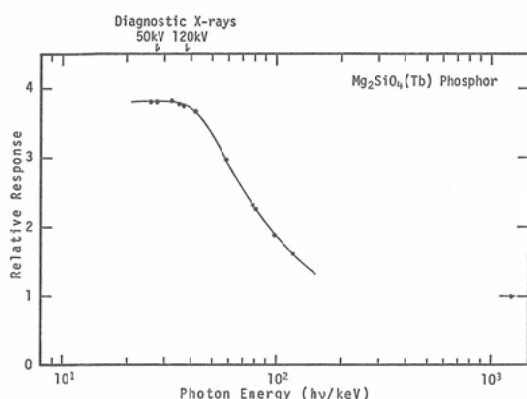


Fig. 2 Energy response of the $\text{Mg}_2\text{SiO}_4(\text{Tb})$.

がわずかしかなない（照射1カ月後で1%以下）。

(f) 5から10本の TLD 素子による熱蛍光量のバラツキ（偏動係数 $\sigma/\bar{x}$ ）が比較的小さい（ $\sigma/\bar{x} < 5\%$ ）。(g) $\text{Mg}_2\text{SiO}_4(\text{Tb})$ TLD 素子はガラス封入であるため、環境中の有毒ガスの影響を受けにくい。(h) TLD 素子の洗滌、熱処理に際しては、大量一括処理が可能で取扱いが簡単である。

この $\text{Mg}_2\text{SiO}_4(\text{Tb})$ TLD 素子の欠点としては波長の短い強い光に感じる（影響を受ける）ことである。今回の実験では、強い光（窓際の明るい光や、蛍光灯の直下光）に TLD 素子を曝らさないように注意した。照射及び熱蛍光測定時以外は、TLD 素子は5本または10本単位でアルミ箔に包み遮光保存した。TLD 素子の熱処理はアルミ箔に包んだ状態で 480°C で3時間行った。この熱処理で TLD 素子の被曝の前歴は完全に除去された。更に TLD 素子からの熱蛍光の発光の安定化を考え、TLD 素子への照射は熱処理1日以後とし、また熱蛍光量測定は照射1日以後とした。

TLD 素子5本の偏動係数（ $\sigma/\bar{x}$ ）はバックグラウンド・レベルから実験で行った照射線量（X線で約300mR, ^{60}Co γ 線で10R以下）の範囲では、ほとんどの場合5%以下であった。稀に5本の TLD 素子の熱蛍光量の読み値のうち、1つだけが異常に低い値を示すことがあった。この場合、次のような操作で、異常値を示す TLD 素子を除き、4本の TLD 素子の読み値から熱

光量の平均値を求めた。即ち、5本の TLD 素子の熱蛍光量 L の平均値 $\bar{L}$ に対するある TLD 素子の値の相対差が $\pm 6\%$ 以上であるとき、この TLD 素子を除いた。今回の実験で、この操作を行った TLD 素子は6本であった。その結果、偏動係数はバックグラウンド（読み値で5~20mR）で1.9~4.4%であり、30組の平均では3.2% $\pm$ 1.0%であった。またX線及び ^{60}Co γ 線（約200mR, 10R）では、0.8~4.9%であり、85組の平均値は2.9% $\pm$ 1.1%であった。

3) 相互比較方法

1施設あたり郵送した TLD 素子の構成は次の通りである。

- a) バックグラウンド用 TLD 素子 10素子
- b) 放医研にて照射済素子（ ^{60}Co (NIRS)) 10素子
- c) 放医研にて照射済素子（100kV (NIRS)) 10素子
- d) バックグラウンド模擬照射用 TLD 素子 10素子
- e) ^{60}Co γ 線照射用 TLD 素子 10素子
- f) 90kV X線照射用 TLD 素子 10素子
- g) 100kV X線照射用 TLD 素子 10素子

この70素子の TLD 素子は10本又は5本単位でアルミ箔に包み薄い発泡スチロール板に挟み書留速達にて郵送した。ここでa)は郵送中の環境からの放射線被曝を知るためである。予想以上の高い熱蛍光量が計測された場合、郵送中に異常な被曝があったものと推測できるが、今回の実験では幸いそのような異常被曝は認めなかった。b)とc)は熱蛍光測定までの間に環境変化（例えば熱、振動）により TLD 素子の熱蛍光量に影響があるかどうかを調べるためのものである。1回目と3回目の実験では都合によりc)ははぶいた。d)は TLD 素子を照射した場合と全く同じ取り扱いをして、環境から受ける影響（特に光の影響）をみるためのものである。a)のアルミ箔に包んだままのバックグラウンド用 TLD 素子の熱蛍光量よりやや高い値を示すことがあった。e)~g)は各施設でX線又は γ 線を照射するため

の TLD 素子である。

放医研では、各施設に TLD 素子を郵送すると共に、 ^{60}Co γ 線及び100kV X線の標準照射した TLD 素子を用意し、各施設で照射した TLD 素子の熱蛍光量より照射線量を推定する基準に用いた。100kV X線の標準照射を用意しなかった時には、X線(90kV と100kV)の実効エネルギーに対する TLD 素子の相対感度 3.83^2 (^{60}Co γ 線に対する値)を用いて ^{60}Co γ 線の感度から照射線量を推定した。Table 1 の如く、各施設のX線の実効エネルギーは30.5~36.5keV であり、このエネルギー領域での TLD 素子の相対感度は Fig. 2 に示す如く殆んど一定値である(1%以内)。

TLD 素子の照射は次の如くした。即ち、5本の TLD 素子を一組みとして照射用カプセルに入れ、これを線量計と並列に照射野中心に設置し照射した。 ^{60}Co γ 線照射用カプセルは厚さ1cm で10cm×3cm の大きさのルサイト板で、その厚みの中央(深さ5mm)に TLD 素子用の穴(3.2mm ϕ)を8mm 間隔にあけたものである。またX線照射用カプセルは厚さ4mm で10cm×1.5cm の大きさの発泡スチロール板で、TLD 素子用の穴を8mm 間隔にあけたものである。X線照射用カプセルの TLD 素子前面の発泡スチロールの壁厚は0.4mm 以下であり、これによるX線の減弱は無視し得た。線源-TLD 素子間距離は ^{60}Co γ 線の場合は90cm、X線で1.5m とし、照射野は20cm×20cm としたが、装置によっては若干の変更があった。照射線量は ^{60}Co γ 線では約0.4R~10R、X線では0.1R~0.3R であった。

TLD 素子を前処理して郵送してから熱蛍光測定迄にはほぼ1カ月ないし3カ月を要した。この間のバックグラウンドの大きさは読み値で3~20mR 程度であり、 ^{60}Co γ 線0.4Rの場合の読み値の数%以下であった。

結果と考案

相互比較実験は1976年から1979年にかけて5回行われたが、1976年6月に行った実験は熱蛍光量計測中に TLD リーダが故障し失敗した。これを除いた他の4回の実験結果を Table 2 に示す。

表中第1例は相互比較施設名を、また第2例は用いた放射線の線質、即ち ^{60}Co γ 線、90kV X線(透視用)と100kV X線(撮影用)を示す。線質名に(NIRS)と付いているのは、放医研にて照射した TLD 素子の組であることを示している。第3列は TLD 素子に照射した照射線量Xで、各施設で測定した値である。第4列は1組5本の TLD 素子の平均熱蛍光量Lで、TLD リーダーの読み値からバックグラウンド模擬照射用 TLD 素子の読み値を差引いたものである。

第5列は5本の TLD 素子の熱蛍光量の偏動係数 σ/L を示している。尚、第4列と第5列で()内に示してある数値はバックグラウンド模擬照射用 TLD 素子についてのそれぞれの値である。第6列は単位熱蛍光量当りの照射線量 X/Lを示す。照射線量の施設間の評価の違いは、このX/Lの値を比較すれば判る。第7列は同一線質の2組又は3組のX/Lの平均値($\bar{X/L}$)を示す。同一線質(例えば ^{60}Co γ 線)の4回のX/Lの値をみると、かなりバラついている。これは TLD リーダを実験途中で修理・調整した事、また長期間の使用による TL 受光部の汚れ等に起因する感度変化である。幸い、(X/L)が変わっても、 ^{60}Co に対するX線の相対感度 $(X/L)_x/(X/L)_{^{60}\text{Co}}$ には変化はなかった。第8列は、放医研で標準照射した TLD 素子の($\bar{X/L}$)の値を基にして、熱蛍光量Lから評価した照射線量 X_0 を示す。第1回と第3回の実験では100kV の標準照射を用意しなかったが、X線に対する照射線量 X_0 の評価のための($\bar{X/L}$)の値は、別の実験で求めてある相対感度 $(L/X)_x/(L/X)_{^{60}\text{Co}}$ の値 3.832 ± 0.072 ($n=10$)と($\bar{X/L})_{^{60}\text{Co}}$ の値から求めた。その値は第7列に()内に示してある。熱蛍光量から求めた照射線量 X_0 と各施設で測った照射線量Xの差、及びその相対差(%)を第9列と第10列に示す。これら4回の実験の($\bar{X/L}$)をまとめたものを Table 3 及び Fig. 3 に示した。Table 3 で第1例は放射線の線質、第2列は実験番号、第3、4と6列は($\bar{X/L}$)を示す。第5と7列は放医研の値($\bar{X/L}$)_{NIRS}に対する相対差を示す。

Table 2 The results of the intercomparison of the diagnostic x-ray exposure in our experiments.

Laboratory	Radiation Quality	Exposure (X) R	Thermo- luminescence		Exposure per Luminescence		Exposure* (Estimated)	Difference	
			(L)	(σ/L) %	(X/L)	($\bar{X}/L$)	(X ₀) R	(X-X ₀)	$\frac{(X-X_0)}{X_0}$ %
[Experiment I; 28 Feb. 1976]									
NIRS	⁶⁰ Co(NIRS)**	4.56	3.65	2.6	1.249	1.305	4.76	-0.20	- 4.2
		4.59	3.49	1.9	1.315		4.55	0.04	0.9
		4.59	3.40	5.0	1.350		4.44	0.15	3.4
	(B.G.)		(0.007)	(5.4)					
	100kVX(NIRS)					(0.340)***			
Nihon Univ.	⁶⁰ Co(NIRS)	4.58	3.48	3.2	1.316	1.312	4.54	0.04	0.9
		4.58	3.50	4.6	1.309		4.57	0.01	0.2
	⁶⁰ Co	8.92	7.07	2.1	1.262	1.267	9.23	-0.31	- 3.4
		8.92	7.01	3.2	1.272		9.15	-0.23	- 2.5
	90kV X	0.252	0.723	3.5	0.349	0.348	0.246	0.006	2.4
		0.252	0.729	3.7	0.346		0.248	0.004	1.6
	100kV X	0.311	0.921	2.1	0.338	0.340	0.313	-0.002	- 0.6
		0.316	0.928	3.5	0.341		0.316	0.000	0.0
	(B.G.)		(0.004)	(2.6)					
	Hyogo Pref. Cancer Center	⁶⁰ Co (NIRS)	4.60	3.58	1.9	1.285	1.285	4.67	-0.07
4.59			3.57	3.5	1.286	4.66		-0.07	- 1.5
⁶⁰ Co		5.58	4.30	2.2	1.298	1.299	5.61	-0.03	- 0.5
		5.76	4.43	2.3	1.300		5.78	-0.02	- 0.3
90kV X		0.194	0.540	2.4	0.359	0.358	0.184	0.010	5.4
		0.192	0.539	2.3	0.356		0.183	0.009	4.9
100kV X		0.197	0.562	4.2	0.350	0.350	0.191	0.006	3.1
		0.166	0.476	4.3	0.349		0.162	0.004	2.5
(B.G.)			(0.005)	(2.6)					
[Experiment II; 26 Mar. 1976]									
NIRS	⁶⁰ Co (NIRS)	0.373	0.357	3.6	1.045	1.043	0.372	0.001	0.3
		0.375	0.360	1.5	1.042		0.375	0.000	0.0
	100kV X (NIRS)	0.1044	0.382	3.9	0.273	0.275	0.1051	-0.0007	- 0.7
		0.1001	0.368	2.8	0.272		0.1012	-0.0011	- 1.1
		0.1039	0.373	1.8	0.279		0.1026	0.0013	1.3
	(B.G.)		(0.009)	(2.3)					
Nihon Univ.	⁶⁰ Co (NIRS)	0.367	0.350	1.8	1.049	1.056	0.365	0.002	0.5
		0.369	0.347	4.7	1.063		0.362	0.007	1.9
	100kV X (NIRS)	0.1025	0.358	2.2	0.286	0.281	0.0985	0.0040	4.1
		0.1006	0.364	1.1	0.276		0.1001	0.0005	0.5
	⁶⁰ Co	5.92	5.46	3.5	1.084	1.096	5.69	0.23	4.0
		5.92	5.35	4.0	1.107		5.58	0.34	6.1
	90kV X	0.189	0.653	2.8	0.290	0.290	0.180	0.009	5.0
		0.188	0.648	2.5	0.290		0.178	0.010	5.6
	100kV X	0.202	0.707	4.7	0.286	0.288	0.194	0.008	4.1
		0.201	0.688	2.5	0.291		0.189	0.012	6.3
	(B.G.)		(0.008)	(3.0)					

Laboratory	Radiation Quality	Exposure (X) R	Thermo- luminescence		Exposure per Luminescence		Exposure* (Estimated)	Difference	
			(L)	(σ /L) %	(X/L)	(X/L)	(X ₀) R	(X-X ₀)	($\frac{X-X_0}{X_0}$) %
Hyogo Pref. Cancer Center	⁶⁰ Co (NIRS)	0.370	0.353	4.6	1.048	1.037	0.368	0.002	0.5
		0.366	0.357	2.7	1.025		0.372	-0.006	- 1.6
	100kV X (NIRS)	0.0982	0.362	1.8	0.271	0.276	0.0996	-0.0014	- 1.4
		0.1025	0.365	2.9	0.281		0.1004	0.0021	2.1
	⁶⁰ Co	5.92	5.55	1.8	1.067	1.059	5.79	0.13	2.2
		5.94	5.65	2.5	1.051		5.89	0.05	0.8
	90kV X	0.144	0.500	3.6	0.288	0.285	0.138	0.006	4.3
		0.141	0.502	3.2	0.281		0.138	0.003	2.2
	100kV X	0.165	0.583	3.5	0.282	0.283	0.160	0.005	3.1
		0.165	0.585	3.5	0.283		0.161	0.004	2.5
(B.G.)		(0.009)	(2.1)						
[Experiment III; 18 Aug. 1976]									
NIRS	⁶⁰ Co (NIRS)	2.17	1.683	4.4	1.289	1.289	2.17	0.00	0.0
		2.17	1.683	2.8	1.289		2.17	0.00	0.0
	(B.G.)		(0.003)	(3.9)					
	100kV X (NIRS)					(0.336)			
Nihon Univ.	⁶⁰ Co (NIRS)	2.13	1.675	0.8	1.272	1.274	2.16	-0.03	- 1.4
		2.17	1.700	3.6	1.276		2.19	-0.02	- 0.9
	⁶⁰ Co	5.48	4.31	1.5	1.271	1.288	5.56	-0.08	- 1.4
		5.48	4.20	2.4	1.305		5.41	0.07	1.3
	90kV X	0.183	0.522	3.7	0.350	0.348	0.176	0.007	4.0
		0.180	0.517	4.5	0.347		0.174	0.006	3.4
	100kV X	0.190	0.551	4.8	0.346	0.345	0.185	0.005	2.7
		0.181	0.524	2.5	0.344		0.176	0.005	2.8
	(B.G.)		(0.003)	(3.3)					
Hyogo Pref. Cancer Center	⁶⁰ Co (NIRS)	2.16	1.672	2.3	1.292	1.289	2.16	0.00	0.0
		2.18	1.696	1.8	1.285		2.19	-0.01	- 0.5
	⁶⁰ Co	5.60	4.12	3.2	1.359	1.327	5.31	0.29	5.5
		5.53	4.27	2.0	1.295		5.50	0.03	0.5
	90kV X	0.282	0.821	3.9	0.343	0.342	0.276	0.006	2.2
		0.284	0.832	2.2	0.341		0.280	0.004	1.4
	100kV X	0.234	0.677	4.8	0.346	0.352	0.228	0.006	2.6
		0.234	0.654	3.9	0.358		0.220	0.014	6.4
	(B.G.)		(0.004)	(6.5)					
	[Experiment IV; 17 Feb. 1979]								
NIRS	⁶⁰ Co (NIRS)	0.766	0.718	1.2	1.067	1.084	0.778	-0.012	- 1.5
		0.767	0.697	2.1	1.100		0.756	0.011	1.5
	100kV X (NIRS)	0.321	1.157	2.5	0.277	0.285	0.330	-0.009	- 2.7
		0.322	1.097	3.1	0.294		0.313	0.009	2.9
	(B.G.)		(0.019)	(4.3)					
Nihon Univ.	⁶⁰ Co (NIRS)	0.759	0.668	1.2	1.136	1.127	0.724	0.035	4.8
		0.756	0.676	2.0	1.118		0.733	0.023	3.1
	100kV X (NIRS)	0.313	1.110	2.3	0.282	0.283	0.316	- 0.003	- 0.9
		0.324	1.140	4.2	0.284		0.325	- 0.001	- 0.3
	⁶⁰ Co	9.67	8.98	2.3	1.077	1.078	9.73	- 0.06	- 0.6
		9.48	8.78	2.2	1.080		9.52	- 0.04	- 0.4

Laboratory	Radiation Quality	Exposure (X) R	Thermo-luminescence		Exposure per Luminescence		Exposure* (Estimated)	Difference	
			(L)	(I/ρ) %	(X/L)	(X/L)	(X ₀) R	(X-X ₀)	($\frac{X-X_0}{X_0}$) %
	90kV X	0.325	1.132	1.9	0.287	0.291	0.323	0.002	0.6
		0.323	1.097	1.5	0.294		0.313	0.010	3.2
	100kV X	0.337	1.124	3.3	0.300	0.294	0.320	0.017	5.3
		0.332	1.150	4.9	0.289		0.328	0.004	1.2
	(B.G.)		(0.018)	(3.8)					
Hyogo Pref. Cancer Center	⁶⁰ Co (NIRS)	0.756	0.679	1.5	1.113	1.122	0.736	0.020	2.7
		0.755	0.668	2.3	1.130		0.724	0.031	4.3
	100kV X (NIRS)	0.339	1.164	1.9	0.291	0.288	0.332	0.007	2.1
		0.327	1.148	3.1	0.285		0.327	0.000	0.0
	⁶⁰ Co	11.20	10.44	3.3	1.073	1.068	11.32	- 0.12	- 1.1
		11.22	10.55	1.6	1.064		11.44	- 0.22	- 1.9
	90kV X	0.328	1.144	1.1	0.287	0.286	0.326	0.002	0.6
		0.343	1.205	2.3	0.285		0.343	0.000	0.0
	100kV X	0.322	1.114	3.7	0.289	0.289	0.317	0.005	1.6
	(B.G.)		(0.020)	(3.2)					

* : X₀ was calculated from (L) by using the value of (X/L) of NIRS.

** : (NIRS) indicates that TL phosphor was exposed to X- or γ -rays at NIRS.

*** : This figure was derived from (X/L) for ⁶⁰Co γ -rays and the relative response for X-rays (3.832).

Table 3 Differences in the estimated exposure between NIRS and other laboratories.

Radiation Quality	Experiment	Laboratory				
		NIRS	Nihon University		Hyogo Pref. Cancer Center	
		(X/L)	(X/L)	Δ (%)*	(X/L)	Δ (%)*
⁶⁰ Co (NIRS)	I	1.305	1.312	0.5	1.285	- 1.5
	II	1.043	1.056	1.2	1.037	- 0.6
	III	1.289	1.274	- 1.2	1.289	0.0
	IV	1.084	1.127	4.0	1.122	3.5
100kV X (NIRS)	II	0.275	0.281	2.2	0.276	0.4
	IV	0.285	0.283	- 0.7	0.288	1.1
⁶⁰ Co	I	1.305	1.267	- 2.9	1.299	- 0.5
	II	1.043	1.096	5.1	1.059	1.5
	III	1.289	1.288	- 0.1	1.327	2.9
	IV	1.084	1.078	- 0.6	1.068	- 1.5
90kV X	I	(0.340)	0.348	2.4	0.358	5.3
	II	0.275	0.290	5.5	0.285	3.6
	III	(0.336)	0.348	3.6	0.342	1.8
	IV	0.285	0.291	2.1	0.286	0.4
100kV X	I	(0.340)	0.340	0.0	0.350	2.9
	II	0.275	0.288	4.7	0.283	2.9
	III	(0.336)	0.345	2.7	0.352	4.8
	IV	0.285	0.294	3.2	0.289	1.4

* : $\Delta = [(\overline{X/L}) - (\overline{X/L})_{NIRS}] / (\overline{X/L})_{NIRS}$

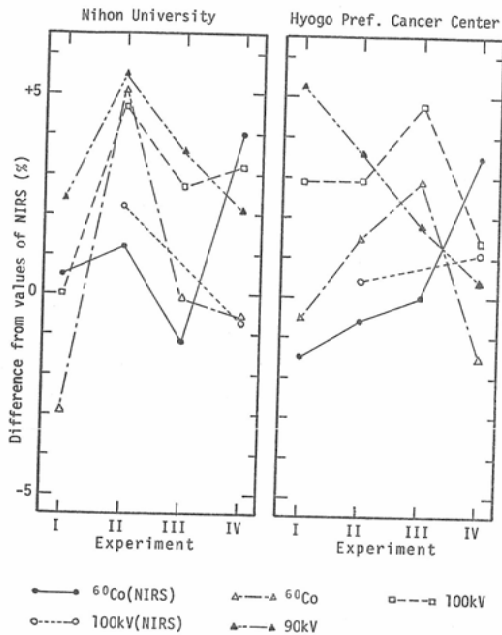


Fig. 3 Relative differences of the estimated exposure at Nihon University and Hyogo Prefectural Cancer Center from that at NIRS.

予め照射しておいた TLD 素子（既照射 TLD 素子）では、 ^{60}Co γ 線と 100kV X 線を含めて、相

対差の最大値は 4.0% であった。これに対し、日大と兵庫で照射した TLD 素子の $(\bar{X}/L)$ と放医研の標準照射の $(\bar{X}/L)$ の相対差はやや大きく最大で 5.5% であった。線質別にみると ^{60}Co で最大 5.1%、90kV で 5.5%、100kV で 4.8% であった。また 3 施設の $(\bar{X}/L)$ の平均値に対する各施設の $(\bar{X}/L)$ の相対差を線質別に書いたものを Fig. 4 に示す。 ^{60}Co γ 線では、その相対差は最大 3% 内に入っており、TLD 素子 5 本の偏動係数内に入っている。90kV と 100kV の場合も同様であった。TLD 素子 5 本 1 組で 2 組を使用すれば、線量評価の施設間の違いは最大でも 5.5% であり、3 種類の線質全体での相対差の絶対値 $|d|$ の平均は $2.60 \pm 1.68\%$ ($n=24$) であった。これは、現在の診断用 X 線被曝線量の評価誤差（恐らく 20% 以上と推測される）からみて十分な精度であろう。

バックグラウンド用 TLD 素子の読み値は測定までの期間から予想される値であり、郵送中の異常被曝は認められなかった。また ^{60}Co 既照射 TLD 素子の郵送の場合の (X/L) の相対差 d は 4 回の平均で放医研一日大が 1.73%、放医研一兵

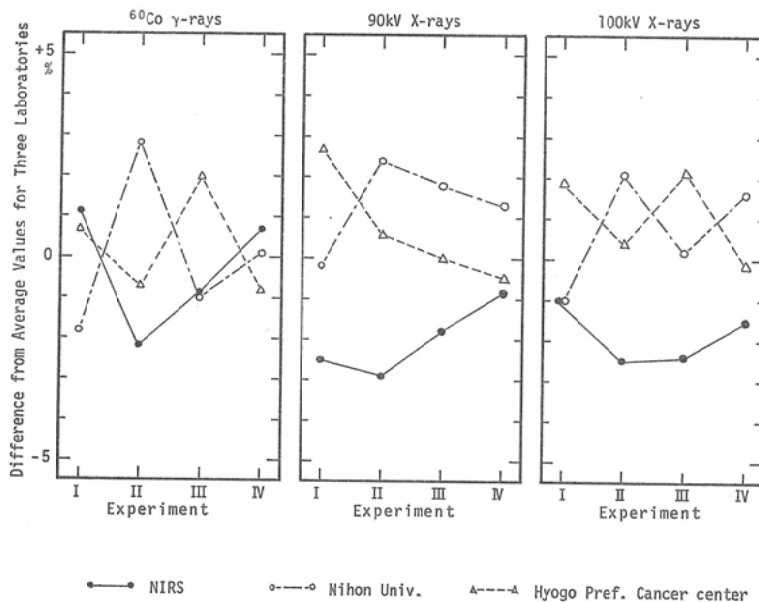


Fig. 4 The relative differences of the exposure measured at three laboratories from the mean value.

庫が1.40%であり、現在の TLD 測定の誤差内にかくれる大きさであり郵送による影響もまた認めなかった。この実験中、延べ700本程の TLD 素子を郵送したが、その間の素子の破損は僅か2本であり、発泡スチロール板で包んで郵送すれば TLD 素子の損失の心配は殆んどないことが判った。

以上のことから、 Mg_2SiO_4 (Tb) TLD 素子の診断用X線線量相互比較への使用についての適性について次のことがいえよう。即ち、相互比較に用いたエネルギー領域 (25keV~40keV) と線量範囲 (0.3R~10R) では Mg_2SiO_4 (Tb) TLD 素子は相互比較用 TLD 素子として充分使える。ただ注意すべきことは、TLD リーダの保守で、長期間にわたり一定の性能が維持できるよう充分な保守管理を行うことは当然であるが、相互比較実験を行うときは万一のことを考え、実験の都度、標準照射した TLD 素子を用意するのが望ましい。また診断用X線の線量測定では、線質と線量率は重要な因子であるので、相互比較の際には管電圧、フィルタ、FSD等の照射条件を適切に指示する必要がある。

TLD 郵送法による線量評価が出来ることから、今後は次のような目的にもこの方法は利用出来る。即ち、被曝線量の実態調査や、また線量計のない施設の線量測定、更には雑ではあるが、線量計の校正定数のおおよその値付け等にこの方法が応用できよう。

今回の研究では Mg_2SiO_4 (Tb) ガラス封入素子を用いたが、この素子と似た特性を有する CaSO_4 (Tm) ガラス封入素子も当然同様な目的に役立とう。この蛍光体については都丸¹⁰⁾が詳細に論じており、感度も高く、また素子間の発光量のバラツキは3%以内におさまるといふ。ただ診断用X線の実効エネルギー領域で、この素子の感度変化が Mg_2SiO_4 (Tb) より若干大きいので、X線の実効エネルギーごとに感度補正を行う必要があるかも知れない。LiF と BeO 蛍光体は粉末、リボンあるいはガラス封入などの型で使われているが、これらは感度の点からして、今回の如き目

的には不向きと考えられる。特に BeO 蛍光体はトリボルミネッセンスが出る¹⁰⁾ことから郵送法には不适当といえよう。ただ1R以上の大線量での相互比較にはエネルギー依存性にも優れているので適していよう。

線量の相互比較は今回の如き目的の他、治療線量の国内統一の上からも重要な手段である。治療放射線については加藤ら¹¹⁾白貝ら¹²⁾が LiF を使って研究している。その後は、より精度を高める上で医療用線量標準センターが全国各地に設置され国内統一が行なわれている。しかし、診断用X線についての線量相互比較はいまだ行なわれておらず、その線量評価の実態は定かでない。米国では測定センタ (Radiological physics Center) で治療線量ばかりでなく、診断用放射線についても TLD 郵送法により相互比較を行っているといわれる¹³⁾。今後、被曝問題がますます重要視されるおりから、わが国でも米国のような体制を作り、早急に診断用放射線の線量相互比較を行い線量評価の実態を調べる必要があろう。

結 語

放医研、日大、兵庫の3施設間での TLD 素子郵送法による診断用X線線量相互比較実験を通して Mg_2SiO_4 (Tb) 蛍光体ガラス封入素子とその郵送法についての適性を調べ、次のような結論に達した。

- 1) Mg_2SiO_4 (Tb) 蛍光体素子は空気に対し高い実効原子番号を有するが、診断用X線線量相互比較に充分適した特性を持っている。
- 2) ガラス封入素子なので取扱いが簡単で、相互比較のような大量処理が必要な場合に有利である。
- 3) 郵送中の TLD 素子の破損は適切な取扱いをすれば考慮しなくてよい。
- 4) 郵送中の環境変化による線量評価への影響は無視しうる。
- 5) TLD リーダの経時的感度変化を考慮し、⁶⁰Co γ 線等の標準照射をした TLD 素子を相互比較の度毎に用意する必要がある。

稿を終るにあたり、線量測定法及び電離箱線量計の

校正について多大の御援助を下された放射線医学総合研究所の川島勝弘博士、電子技術総合研究所の森内和之博士、加藤朗博士の諸先生、並びに物理部会測定委員会の諸先生方に深甚の謝意を表します。

本研究の一部は文部省科学研究費によって行なわれた。

文 献

- 1) 橋詰 雅, 丸山隆司, 野田 豊, 福久健児: 診断用X線によるリスクの推定. 第1報 撮影回数, 診断件数および透視件数について. 日本医放会誌, 40: 885—897, 1980
- 2) Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR 1977 Report
- 3) 1980年度の日本医放会誌に限りて引用する.
- 3-1) 橋詰雅, 松沢秀夫, 丸山隆司, 河内清光, 館野之男: 遠隔放射線治療による国民線量の推定. 第1報. 治療照射回数, 照射門数および患者数について. 日本医放会誌, 40: 52—91, 1980
- 3-2) 浦橋信吾: 12 inch I.I. 間接撮影法による胃X線検査における組織および器官線量の算定. 日本医放会誌, 40: 222—237, 1980
- 3-3) 橋詰 雅, 松沢秀夫, 丸山隆司, 河内清光, 白貝彰宏, 野田 豊, 館野之男: 遠隔放射線治療による国民線量の推定. 第二報. 遺伝有意線量, 平均骨髓線量および白血病有意線量. 日本医放会誌, 40: 466—475, 1980
- 3-4) 飯沼 武, 館野之男, 橋詰 雅: 診断用放射線被曝における個人のリスクの定量的評価. 日本医放会誌, 40: 476—484, 1980
- 4) K.J. Puite, D.L. J.M. Crebolder, B. Hogewegane J.J. Broerse: Intercomparisons of Absorbed Dose and Dose Distribution for x-irradiations using Mailed LiF Thermoluminescent Dosimeters. Phys. Med. Biol., 17: 390—399, 1972
- 5) T. Hashizume, Y. Kato, T. Nakajima, T. Toriyu, H. Sakamoto, K. Kotera and S. Eguchi: A New Thermoluminescence Dosimeter of High Sensitivity using a Magnesium Silicate Phosphor. IAEA-SM-143/11, 91—100, 1971
- 6) 加藤義雄: 第31回物理部会勉強会資料. 線量測定その3 “TLD” 1976
- 7) 中島敏行, 加藤義雄, 加藤仁三, 赤津康夫, 田中敬正, 佐藤紘子, 高久裕治, 笹沼義雄: 個人モニタとしての各種熱ルミネッセンス線量計の特性. 原子力誌, 14: 214—221, 1972
- 8) T. Nakajima: Optical and Thermal Effects on Thermoluminescence Response of Mg_2SiO_4 (Tb) and $CaSO_4$ (Tm) Phosphors. Health Phys. 23: 133—136, 1972
- 9) J.R. Cameron, N. Suntharalingam and G.N. Kenney: Thermoluminescent Dosimetry, The University of Wisconsin Press (London), 1968
- 10) 都丸禎三: $CaSO_4$ と BeO 熱ルミネッセンス線量計素子の特性と線量測定への応用. 日本医放会誌, 36: 808—825, 1976
- 11) 加藤義雄, 白貝彰宏, 隈元芳一, 丸山隆司, 吉田吉一, 橋詰 雅: LiF-TLDによる高エネルギー電子線の線量測定の国内相互比較. 日本医学放会誌, 29: 7—11, 1969
- 12) 白貝彰宏, 加藤義雄, 橋詰 雅: 高エネルギー放射線の線量測定に関する国内相互比較. 第二報. JAPM 標準線量計による $Co-60$ ガンマ線線量の相互比較および高エネルギー電子線線量の相互比較. 日本医放会誌, 34: 428—432, 1974
- 13) 都丸禎三: Memorial Sloan-Kettering Cancer Center の Medical Physics, 日本医放学会物理部会報, No. 16, 8—11, 1980