

Title	放医研におけるC0-60ガンマ線ドシメトリの国際相互比較
Author(s)	星野, 一雄; 川島, 勝弘; 平岡, 武 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1985, 45(7), p. 1039-1046
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18797
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

放医研における Co-60ガンマ線ドシメトリの国際相互比較

放射線医学総合研究所物理研究部

星野 一雄 川島 勝弘 平岡 武 松沢 秀夫

千葉県がんセンター放射線治療部

佐 方 周 防

（昭和60年1月7日受付）

（昭和60年2月5日最終原稿受付）

The International Co-60 Gamma Ray Dosimetry Intercomparisons at NIRS

Kazuo Hoshino, Katsuhiko Kawashima, Takeshi Hiraoka and Hideo Matsuzawa

Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences

Suoh Sakata

Department of Radiology, Chiba Cancer Center Hospital

Research Code No. : 203.9

Key Words : Dosimetry, Intercomparison, ⁶⁰Co-gamma ray, JARP dosimeter

The National Institute of Radiological Sciences (NIRS) is a medical standard dosimetry center in Japan accredited by the Japan Radiological Society for the purpose of the standardization of dose estimation in radiotherapy. It is equipped with a secondary standard dosimeter (Called JARP sub-standard dosimeter) that has been calibrated at a national standard against ⁶⁰Co-gamma rays. In order to confirm reliability of a JARP sub-standard dosimeter, the international ⁶⁰Co-gamma ray dosimetry intercomparisons at NIRS have been made between NIRS and the institutes of the other countries. During the years 1976-1983, four intercomparisons were made. The excellent agreement was obtained for each intercomparison. This paper describes the results of those intercomparisons and discusses the implication of the findings.

I. 緒 言

高エネルギーX・γ線および電子線治療における線量評価基準の全国的統一を目的として、1971年に日本医学放射線学会のもとに、医療用線量標準センターが、全国各地に開設され活動している。放射線医学総合研究所物理研究部第2研究室内にも、関東地区センターが設置されている。本センターは地区センターの一つとして、地域の医療施設の線量計の校正や、治療装置の出力測定を行うのみならず、我が国の医療線量標準として、全センターの中心的存在になっている。従って、我れわれは、医療標準を精度良く維持・管理して

行く責任がある。基準器は、JARP 準標準線量計と呼ばれている電離箱線量計である（これは1982年8月末日迄、JAPM 準標準線量計と呼ばれていた。今後、この年月日以前を単にJAPMと、以後をJARPと呼ぶことにする）。本線量計は毎年1回、我が国の国家標準である。電子技術総合研究所（電総研）の、⁶⁰Co-γ線標準場による校正を受けているが、機会ある毎に、外国の諸施設との相互比較を行って、国際的信頼性を確めている。

本論文は1976年以来、放射線医学総合研究所（放医研）において実施された、種々のドシメトリ相互比較の際行われた、⁶⁰Co-γ線ドシメトリ相互比

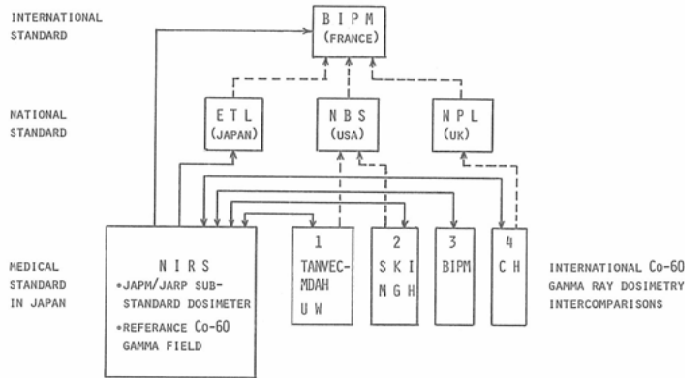


Fig. 1 Schema for the ^{60}Co -gamma ray dosimetry intercomparisons participants and their traceabilities to the national and international standard dose laboratories.

Table 1 The title of intercomparisons, the kind of dosimeters used by the participants and the measuring conditions

No.	Title	Date	Participant	Kind of dosimeter	Source to dosimeter distance	Field size	Quantity	In air or in water
1	Neutron dosimetry intercomparison between Japan and USA	April 16, 1976	NIRS	Ionization chamber	75 cm	10×10 cm ²	Exposure	In air
			TAMVEC-MDAH	Ionization chamber	75 cm	10×10 cm ²	Exposure	In air
			UW	Ionization chamber	75 cm	10×10 cm ²	Exposure	In air
2	Neutron and proton dosimetry intercomparison between Japan and USA	April 21, 1980	NIRS	Ionization chamber	80 cm	10×10 cm ²	Exposure	In air
			SKI	Ionization chamber	80 cm	10×10 cm ²	Exposure	In air
			MGH	Ionization chamber	80 cm	10×10 cm ²	Exposure	In air
3	International Fricke dosimeter intercomparison	February 1981	NIRS	Ionization chamber Fricke	61 cm	14×7 cm ²	Absorbed dose	In water
			BIPM	Ionization chamber Calorimeter	Unknown	Unknown	Absorbed dose	In water
4	Photon dosimetry intercomparison between Japan and UK	April 12–13, 1983	NIRS	Ionization chamber	80 cm	10×10 cm ²	Exposure	In air
			CH	Ionization chamber	80 cm	10×10 cm ²	Exposure	In air

較の総括である。なお、本総括には、国内の他の参加施設は含めない。

II. 相互比較とトレーサビリティ

本論文で報告する ^{60}Co - γ 線ドシメトリ国際相互比較を、標準に対するトレーサビリティの立場から、レベル別に位置付けると、Fig. 1の如くなる。放医研(NIRS)と相互比較を行った外国施設は、1. テキサス A & M 大学—MD アンダーソン病院連合チーム(TAMVEC-MDAH, 米国)とワシントン大学(UW, 米国)。2. メモリアルスロー

ンケタリング癌研究所(SKI, 米国)とマサチューセッツ総合病院(MGH, 米国)。3. 国際度量衡局(BIPM, 仏国)。4. クリスティー病院(CH, 英国)である。これらの相互比較は、Table 1の Title 欄に示した種々の相互比較の一環として実施された¹⁾²⁾。放医研と各参加施設とは、これらの相互比較により、お互に直接トレーサブルなので、Fig. 1にこの関係を実線と矢印で示した。また、各参加施設は、それぞれの国の国家標準に対しトレーサブルである。米国では国立標準局(NBS)に、英

Table 2 The ionization chambers used by the participants and the results of intercomparison No. 1

Participant	Ionization chamber				Exposure	Ratio
	Type	Shape	Volume	Gas		
NIRS	JAPM, No. 2	Cylindrical	0.6 ml	Air	36.84 R	1.000
TAMVEC- MDAH	72TG (IC-18)	Cylindrical	0.1 ml	Air	37.01 R	
	57TG	Spherical	1 ml	Air	36.84 R	
	63MG	Spherical	2 ml	Air	37.28 R	
	57TE (IC-17)	Spherical	1 ml	TE	36.77 R	
				Mean	36.89±0.34 R	1.001
UW	IC-17	Spherical	1 ml	Air	37.18 R	1.009

Table 3. The ionization chambers used by the participants and the results of intercomparison No. 2

Participant	Ionization chamber				Exposure	Ratio
	Type	Shape	Volume	Gas		
NIRS	JAPM, No. 2	Cylindrical	0.6 ml	Air	86.69 R	
	JAPM, No. 4	Cylindrical	0.6 ml	Air	86.85 R	
					Mean	86.77±0.11 R
SKI	IC-17	Spherical	1 ml	TE	87.15 R	
	IC-18	Cylindrical	0.1 ml	TE	86.15 R	
	T-2	Cylindrical	0.55 ml	TE	86.69 R	
					Mean	86.76±0.53 R
MGH	IC-18	Cylindrical	0.1 ml	Air	86.65 R	
	IC-18	Cylindrical	0.1 ml	TE	86.65 R	
					Mean	86.65±0.00 R

国では国立物理学研究所 (NPL) に国家標準が設定されている。各国の国家標準は、BIPMのもとに実施されている国家標準機関を対象とした相互比較により、国際標準にトレーサブルである。従って、放医研のJAMP/JARPは、間接的にNBS, NPLおよびBIPMにトレーサブルである。この関係をFig. 1に破線と矢印で示した。なお、BIPMには相互比較3により直接トレーサブルなので、電総研 (ETL) の場合同様に実線で結んだ。

III. 方法および結果

本論文に示す⁶⁰Co- γ 線ドシメトリ国際相互比較は、何れも放医研の⁶⁰Co遠隔治療装置の γ 線場において行ったものである。実施年月日、線量計の種類、測定条件等を年次順にNo. を付けてTable 1に示す。No. 3以外は、何れも電離箱による空中の照射線量 X での比較である。これらの場合は、外国施設から研究者が、線量計を携え来所

された。それぞれの電離箱のタイプ名称、形状、電離容積、電離気体について、Table 2~4に示す。

X の評価法は各施設とも基本的には同じで、(1)式の如くである。

$$X = M \cdot k_1 \cdot Nc \quad (R) \quad (1)$$

ここで、 M は線量計の読み値、 k_1 は大気補正係数である。 Nc は校正定数で、日本、米団では⁶⁰Co- γ 線、英国では2MV-X線により与えられている。読み値は安定後5回の測定の平均値である。

相互比較 No. 1, 2および4の結果を、Table 2, 3および4のExposure欄に示す。各測定共、標準偏差は零か僅小なので示してない。同施設で複数個の電離箱を使用した場合には、平均値をもって、その施設値とし、標準偏差と共に示してある。Ratio欄には放医研値を基準とした比を与えた。

以上の3回の電離箱同士の相互比較に比べ、下に述べる相互比較 No. 3は方法を異にする。

Table 4 The ionization chambers used by the participants and the results of intercomparison No. 4

	Participant	Ionization chamber			Exposure	Retio	
		Type	Shape	Volume			Gas
(April 12)	NIRS	JARP, No. 2	Cylindrical	0.6 ml	Air	58.88 R	
		JARP, No. 4	Cylindrical	0.6 ml	Air	58.78 R	
						Mean	
						58.83±0.07 R	1.000
	CH	Farmer	Cylindrical	0.6 ml	Air	58.98 R	1.003
(April 13)	NIRS	JARP, No. 2	Cylindrical	0.6 ml	Air	58.88 R	
		JARP, No. 4	Cylindrical	0.6 ml	Air	58.70 R	
						Mean	
						58.79±0.13 R	1.000
	CH	Farmer	Cylindrical	0.6 ml	Air	58.88 R	1.002

1980年から81年かけて、国際度量衡委員会の電離放射線諮問委員会の要請により、Fricke線量計(以下、単にFrickeと呼ぶ)の国際相互比較がNPLの協力を得てBIPMにより実施された。この計画は、Frickeが水の吸収線量測定 of 相互比較の手段として使用し得るか否かを見極めるために行われた³⁾。放医研も電総研の要請により、この計画に参加した。本相互比較は以下の要領で実施された。

(1) 分光々度計のチェック

(2) Frickeによる水の吸収線量の測定比較

(1)はFricke使用上の基本に係わる重要事項ではあるが、本論文に直接関係ないので、ここで記述は省略する。(2)は以下の方法で実施された。「各参加施設でFricke溶液を調製し、独自の照射容器に封入してBIPMへ郵送する。BIPMでは、これに⁶⁰Co- γ 線の水中照射を行って参加施設へ返送、この際、線量は知らされない。参加施設では、この照射済Frickeから、水の吸収線量を評価し、BIPMに報告、BIPMで照射した線量(BIPM線量)と評価線量との比較を行う」。

われわれは標準的手法⁴⁾に従ってFricke溶液を調製し、内径13.8mm ϕ 、外径17.7mm ϕ 、長さ(内法)52mm、容積約7.8mlのバイレックスガラス容器に封入した試料を作製した。試料へのBIPMの標準照射は1981年2月に行われた。水の吸収線量 D_W は、吸光々度分析法による、吸光度 A の測定より(2)式の如くして評価した。

Table 5 The result of Fricke dosimeter intercomparison

BIPM (Irrad. dose)	NIRS (Est. dose)	Ratio (NIRS/BIPM)
30.0 Gy	29.9 Gy	0.997
29.9 Gy	30.2 Gy	1.007
49.9 Gy	49.8 Gy	0.998
49.9 Gy	50.2 Gy	1.006
70.0 Gy	70.1 Gy	1.001
69.9 Gy	69.8 Gy	0.999
		Mean
		1.001±0.004

$$D_W = \Delta A_{25} \cdot C \cdot \frac{(\mu_{en}/\rho)_W}{(\mu_{en}/\rho)_F} \cdot K_V \quad (\text{Gy}) \quad (2)$$

ここで、 ΔA_{25} は照射済と未照射Fricke溶液の、304nm紫外線に対する吸光度の差で、光路長1cm、溶液温度25°Cにおける値である。Cは吸光度からFricke溶液の吸収線量 D_F への変換係数であり、FrickeのG値を15.5(100eV)⁻¹、Fricke溶液温度25°CにおけるFe³⁺イオンの分子吸光係数を2205l mol⁻¹ cm⁻¹、アボガドロ数を6.0225×10²³mol⁻¹、Fricke溶液密度を1.024g cm⁻³、光路長1cmとしたとき2.757×10²Gy A₂₅である。また、 $(\mu_{en}/\rho)_W/(\mu_{en}/\rho)_F$ は水とFricke溶液の質量エネルギー吸収係数の比で、 D_F から D_W への換算係数であり、1.003である⁵⁾。

後日発表されたBIPMからの報告⁶⁾(参加施設評価線量/BIPM線量をプロットしたグラフ)によるBIPM線量と、評価した線量を、それぞれTable 5のBIPM (Irrad. dose), NIRS (Est. dose)

Table 6 The results of comparison of the Fricke dosimeter and JAPM sub-standard dosimeter (chamber No. 4)

Date	Fricke	JAPM, No. 4	Ratio (Fricke/JAPM)
Feb 13	27.1±0.14 Gy	27.18 Gy	0.997
Feb 14	28.8±0.22 Gy	28.79 Gy	1.000
Feb 16	28.8±0.06 Gy	28.78 Gy	1.001
		Mean	0.999±0.06

欄に示す。Ratio (NIRS/BIPM)は上記報告から直接読み取った値である。これらより、比の平均値と標準偏差が計算され、 1.001 ± 0.004 が得られた。

以上は Fricke 国際相互比較の概略であるが、われわれは、この機会を利用して次の比較を行った。即ち、放医研の ^{60}Co 遠隔治療装置による、本FrickeとJAPMの比較である。これによりJAPMとBIPMの比較が、Frickeを介して可能になった。本比較は、水中5cmにおける水の吸収線量を、両者で測定する方法によった。この場合、照射野を $14 \times 7\text{cm}$ としたのは、Fricke試料の中心軸を通る断面を、入射 γ 線に対し直角に置いたとき、この断面内の線量の平坦度を最良にする配慮による。平坦度はMix-DPファントムとX線フィルム(Kodak X-Omat TL)にてチェックした。

まず、JAPMによる水の吸収線量を、標準測定法⁷⁾に従って測定した。このとき、ラド変換係数 C_{λ} は $0.95^7)$ とした。これより水の吸収線量率を求めた。次に、Fricke試料の照射を行った。照射は1個ずつ1日に3個、合計9個行った。これらの試料より、前記の方法で水の吸収線量を求めた。結果をTable 6のFricke欄に与える。値は1日分の平均値と標準偏差を示す。一方、JAPM(電離箱No. 4のみ使用)の結果は、JAPM, No. 4欄に与える。これは前記の水の吸収線量率に、Frickeの照射時間を乗じ、 ^{60}Co の減衰を補正して求めたものである。なお、照射時間は日毎に若干異なる。Ratio (Fricke/JAPM)欄には日毎の比の平均値を与えてあるが、全平均値と標準偏差は個々の試料の比から計算した値である。

Fricke 国際相互比較と Fricke と JAPM の比較の結果から、BIPM/JAPM が求められ、 $0.999/1.001=0.998$ が得られた。

IV. 考 察

1976年から1983年迄の間に、4回の ^{60}Co - γ 線ドシメトリ国際相互比較が行われ、外国の6施設との比較ができた。最初の比較の時点では、JAPMは電離箱No. 2を基準にしていたが、1977年よりNo. 4が加わり、基準を此れに変更し今日に至っている。この間、両電離箱共 N_c の変更はなかった。相互比較全体を見比べるべく、Table 2, 3および4のRatio欄と、BIPM/JAPMをFig. 2にプロットした。これらの比の全平均値と標準偏差は 1.002 ± 0.004 となり、大変良好な一致がみられた。MD アンダーソン病院、メモリアルスローンケタリング癌研究所は米国における医療用線量の校正機関である。また、クリスティー病院も英国において同様の立場にある。これらは、放医研同様に国家標準(1次標準)に対して2次標準機関である。国際度量衡局も含めて、標準と云われる機関だけ取り出すと、結果の一致は更に良好な 1.000 ± 0.0018 となる。この結果は、放医研のJAPM/JARPが、国際的にも十分なる信頼性を有することを立証すると共に、この間、品質管理が十分行き届き、高い精度を維持し得たことを示すものであろう。

Fricke 国際相互比較における、BIPM線量は、米国(NBS)、仏国(LMRI)、西独(PTB)およびオランダ(RIV)の国家標準研究所による、グラフイトカロリメータを用いた測定と、BIPM自身による、電離箱を用いた測定の結果から決定された。従って、この値は国際的合意に基づくものであろう。BIPM線量と放医研評価線量の $1.001 \pm 0.4\%$ と云う優れた一致は、われわれのFrickeが高精度であることの証拠となろう。

Fricke と JAPM の比較では、G値を15.5 (100eV^{-1})⁸⁾、 C_{λ} を0.95としたとき、 $0.999 \pm 0.6\%$ と良い一致をみた。ここで変動係数が、Fricke 国際相互比較時に比べて、やや大きいのは、照射した線量が約28Gyと、Frickeとしては不足しているためである。十分な線量を与え得なかったのは時間

的制約による。

最近、 C_{λ} の見直しが各国で行なわれていて、新しいプロトコルが出されている^{10)~12)}、我が国でも、日本医学放射線学会物理部会の測定委員会により、見直し作業が進められている。これらは、 C_{λ} (またはこれは換る諸係数) は電離箱の種類別に決定すべきである、と云う立場に立っている。最近の白貝¹³⁾による英国および米国のプロトコルに従った計算では、 ^{60}Co - γ 線に対する JARP の C_{λ} は旧値より0.4~0.5%大きくなっている。また、川島¹⁴⁾の計算では0.3%小さくなっている。しかしながら、前者は W/e として 33.8_5JC^{-1} を後者は 33.7JC^{-1} を用いているので、同一の W 値を用いれば、両者の差は小さい。 W 値として何れを用うべきかは、本論より外れるので、ここでは論じない。最近、阻止能も新しい値が発表された¹⁵⁾。とは云え、Fricke 相互比較の時点で用いた、 G 値は C_{λ} は相対関係としては正しい値であろう。それは、 G 値の決定が従属的であり、旧データに従って決定されているからである。今後、 G 値に関しても、新しい諸データにてらして見直す必要はあろう。

最後に、これら相互比較に関する諸測定の不確定度を検討する。まず、Table 7 に ^{60}Co - γ 線または 2MV-X 線により校正されている電離箱線量計で、 ^{60}Co - γ 線の照射線量を測定したときの不確定度を示す。また、Table 8 および 9 には JAPM および Fricke で水の吸収線量を測定したときの不確定度を示す。系統的な不確定度は考え得る最大値を与えた。これらのうち、 N_c , k_1 , A , G 値, ϵ_m お

よび D_F から D_W への換算係数については、ICRU レポート 14⁸⁾ に准じた。 K_V は実験的に決定したので、測定値の変動係数をあてた。ランダム

Table 7 Uncertainties in determination of exposure from a calibrated ionization chamber

Source	Uncertainty
1. Calibration factor, N_c and temperature-pressure correction factor, k_1	2.0%
2. Random uncertainty	0.2%
Over-all	2.0%

Table 8 Uncertainties in determination of absorbed dose in water from a JAPM sub-standard dosimeter

Source	Uncertainty
1. Calibration factor, N_c and temperature-pressure correction factor, k_1	2.0%
2. Rad conversion factor, C_{λ}	1.1%
3. Random uncertainty	0.2%
Over-all	2.3%

Table 9 Uncertainties in determination of absorbed dose in water from a Fricke dosimeter

Source	Uncertainty
1. Measurement of absorbance, A	0.5%
2. G-value	1.3%
3. Molar extinction coefficient, ϵ_m	0.5%
4. Determination of D_W from D_F	0.2%
5. Irradiation vessel correction factor, k_V	0.2%
6. Random uncertainty	0.6%
Over-all	1.6%

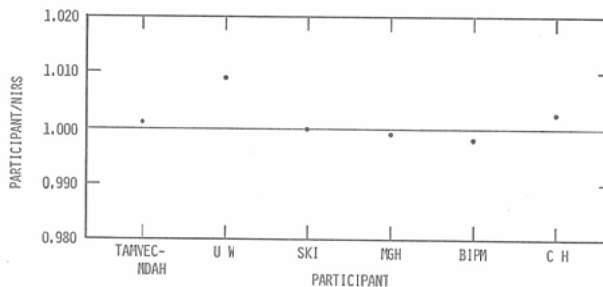


Fig. 2 Summary of the results of the ^{60}Co -gamma ray dosimetry intercomparisons. The data are normalized to NIRS values.

不確定度は各測定の変動係数の中から最大のものをあてた。全不確定度は各不確定度の自乗和の平方根とした。

これら個々の測定における不確定度から、相互比較における不確定度を推定した。これに先立ち、本相互比較が何れも置換法で行われたので、タイム、線源位置、線量計位置の再現性に基因する不確定度を推定しておかねばならない。前2者は、IAEA 技術レポート185⁹⁾を参考にして、各々0.1%とした。線量計位置は、最大1mmの設定誤差を想定して0.3%とした。Fricke が介在する相互比較 No. 3では、BIPM 線量の不確定度が不明なので、主として用いられたグラフィイトカロリメータでの不確定度をあてることにし、ICRU レポート14⁸⁾を参考にして0.5%と推定した。これらを総合した結果、電離箱同士の相互比較で2.9%、Fricke を介して BIPM と JAPM の比較で3.3%となった。これらは真値からの片寄りの範囲を示すものであり、相互比較における施設間の相違を示すものでないことは云うまでもない。

V. 結 論

(1) ⁶⁰Co- γ 線ドシメトリ国際相互比較を、1976年から1983年にわたって、4回延6カ所の外国施設と行った。その結果、外国施設値/放医研値の全平均値と標準偏差は 1.002 ± 0.004 であり、良好な一致をみた。これらのうちから、標準機関だけ取り出せば、 1.000 ± 0.0018 と更に優れた一致を得た。これにより、我が国の医療線量標準の信頼性の高さが、国際的レベルで確められた。

(2) Fricke 線量計国際相互比較の結果、放医研評価値/BIPM 値は 1.001 ± 0.004 で大変優れた一致をみた。これにより、放医研の Fricke 線量計の高精度なることが確められた。

本論文の要旨は松本に於ける第43回日本医学放射線学会総会において発表した。

稿を終えるに臨み、これらの相互比較に直接参加された、MD アンダーソン病院の Dr P.R. Almond, テキサス A & M 大学教授の Dr J.B. Smathers, ワシントン大学教授の Dr H. Bichsel, メモリアルローンケタリング癌研究所の Dr J.C. McDonald, Mr I-chang Ma, マサチューセッツ総合病院の Dr L.J. Verhey およびクリスティー病院の Dr D. Greene に深甚なる謝意を表します。また、Fricke 線量計相

互比較の橋渡しをして下さった電子技術総合研究所大阪支所長の森内和之博士、Fricke 試料の照射に携わられた国際度量衡局の Dr M.T. Niatel に深謝致します。(各氏の所属は相互比較当時のものです)

文 献

- 1) Kawashima, K., Hoshino, K., Hiraoka, T., Matsuzawa, H., Hashizume, T., Itoh, A., Almond, P.R., Smathers, J.B. and Bichsel, H.: The second neutrom dosimetry intercomparison between Japan and USA. *Jpn. Radiol. Phys.*, 1: 31-40, 1981
- 2) Greene, D., Hiraoka, T., Hoshino, K., Irifune, T., Kato, K., Kawashima, K., Sakata, S. and Tomaru, T.: Dosimetry intercomparison between UK and Japanese institutes. *Brit. J. Radiol.*, 57: 194, 1984
- 3) Henry, H.W.: Report from the consultative committee on standards for the measurement of ionizing radiations (CEMRI), Section I, X-rays, gamma rays and electrons. *Phys. Med. Biol.*, 29: 1443-1446, 1984
- 4) 日本医学放射線学会物理部会編：放射線治療における高エネルギー電子線の標準測定法。pp. 25-28, 1974, 通商産業研究社, 東京
- 5) Evans, R.D.: X-ray and γ -ray interactions. (In) Attex, F.H., Roesch, W.C. ed.: Radiation dosimetry. Second Edition, Vol. I. pp. 94-153, 1968, Academic Press, New York and London
- 6) Report from the Consultative Committee on Standards for the Measurement of Ionizing Radiation (CEMRI), Section I, X-rays, gamma rays and electrons, 6th Meeting p. 14, 1981, BIPM, Sèvres
- 7) 日本医学放射線学会物理部会編：放射線治療における⁶⁰Co ガンマ線および高エネルギーX線の標準測定法。pp. 13-15, 1977, 通商産業研究社, 東京
- 8) ICRU Report 14: Radiation dosimetry: X-ray and gamma rays with maximum photon energy between 0.6 and 50 MeV. pp. 1-18, 1969, ICRU, Washington, D.C.
- 9) IAEA Technical Report Series No. 185: Calibration of dose meters used in radiotherapy. p. 39, 1979, IAEA, Vienna
- 10) The Nordic Association of Clinical Physics (NACP): Procedures in external radiation therapy dosimetry with electron and photon beams with maximum energies between 1 and 50 MeV. *Acta Radiologica Oncology*, 19: 55-79, 1980
- 11) Radiation Therapy Committee, American As-

- sociation of Physicists in Medicine: A protocol the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. *Medical Physics*, 10: 741-771, 1983
- 12) Hospital Physicists' Association (HPA): Revised code of practice for the dosimetry of 2 to 35 MeV X-ray, and of caesium-137 and cobalt-60 gamma-ray beams. *Phys. Med. Biol.*, 28: 1097-1104, 1983
- 13) 白貝彰宏: Absorbed dose conversion factor C_A and C_E . *日医放物理会誌*, Supplement No. 20, 1-22, 1984
- 14) 川島勝弘: 私信. 第9回医療用標準線量研究会資料
- 15) ICRU Report 37: Stopping power for electrons and positrons. pp. 1-269, 1984, ICRU, Washington, D.C.
-