



Title	放射線の熱量的測定に関する研究 その2 (137Cs $\gamma$ 線のエネルギー束について)
Author(s)	高久, 祐治; 川島, 勝弘; 稲田, 哲雄 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1961, 21(8), p. 801-805
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/20676">https://hdl.handle.net/11094/20676</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 放射線の熱量的測定に関する研究(その2)

 $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  線のエネルギー束について

放射線医学総合研究所物理第二研究室

高久 祐治 川島 勝弘 稲田 哲雄

星野 一雄 松沢 秀夫

(昭和36年11月18日受付)

Calorimetric study on ionizing radiation (2)  
(On the energy flux of Cesium-137 gamma-ray beams)

By

Y. Takaku, T. Inada, K. Kawashima, K. Hoshino  
and H. Matsuzawa

Physics Division, National Institute of Radiological Sciences.

The gamma-ray beam power from Cesium-137 teletherapy unit is measured by the calorimetric method. Using a Wheatstonebridge circuit with four matched thermistors, the detection sensitivity of the calorimeter is improved to be about  $3 \times 10^{-5}^\circ\text{C}$ .

The energy flux per roentgen,  $E_f$ , and the photon flux per roentgen,  $\phi$ , are found to be  $3030 \text{ ergs/cm}^2\text{-r}$  and  $2.86 \times 10^9 \text{ photons/cm}^2\text{-r}$  respectively.

At the same time, the gamma-ray attenuation through copper and muscle equivalent material, Mix P, is measured by the calorimeter. Unlike the heterogeneous x-rays, these results are found to agree with that obtained by the ionization method.

## I. 緒言

我々が放射線の熱量的測定に関する研究を始めた目的および実験計画については、既に第一報に述べたとおりである。また同時に、100~200 kVpの連続X線に関する幾つかの結果を同報に報告したり。

今回は  $^{137}\text{Cs}$  2000キュリー遠隔治療装置からの  $\gamma$ 線について実験を行ったので、こゝに報告する。前報と異なる主な点は、単一エネルギー線束であること、高エネルギー  $\gamma$ 線なるがゆえに鉛吸収体を非常に厚くしなければならぬこと、したがって温度変化の検出感度を上げるためにサーミスター4個の bridge 回路を用いたことなどである。

## II. 実験方法

## 1. 吸収体 (Fig. 1)

この実験に用いた吸収体は、底面の直径5 cm、高さ8 cmの鉛円柱であり、サーミスターや較正用抵抗の埋込みを容易にするため縦方向に2分割した。 $\gamma$ 線は底面に垂直に入射せしめた。較正用抵抗(以上ヒーターと呼ぶ)は入射面から2 cmの深さに、また2個のサーミスターは背面から2 cmの深さに埋込んだ。これを温度検出用円柱とする。他方これと全く同形同大で2個のサーミスターだけを埋込んだ鉛円柱を作り、 $\gamma$ 線を照射しない対照円柱とする。

## 2. 実験装置

Fig. 2 に示すごとく、真空恒温槽内に前記の

Fig. 1. Construction of Pb-absorber.

The Pb-absorber is a 5 cm  $\phi \times 8$  cm cylinder which consists of two lead blocks.

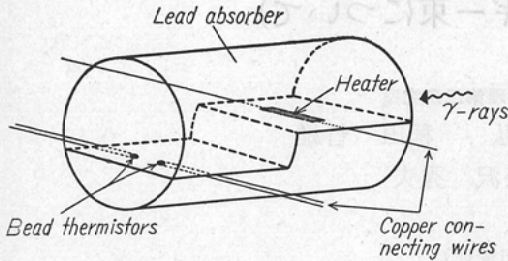
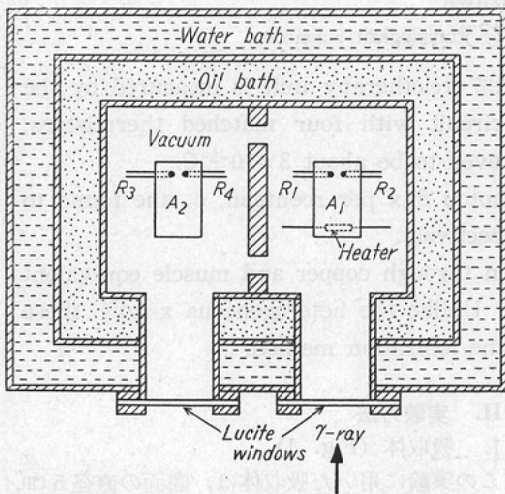


Fig. 2. Horizontal cross section of calorimeter construction.

- A<sub>1</sub>: Lead cylinder which is used to absorb Cs<sup>137</sup>  $\gamma$ -rays.
- A<sub>2</sub>: Lead cylinder which does not absorb Cs<sup>137</sup>  $\gamma$ -rays.
- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>: Temperature detection thermistors.
- R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>: Control thermistors.



温度検出用円柱 A<sub>1</sub> および対照円柱 A<sub>2</sub> をナイロン糸 (0.5mm $\phi$ ) で吊し、A<sub>1</sub> に  $\gamma$  線を照射する。A<sub>1</sub> のサーミスター R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> と A<sub>2</sub> のサーミスター R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> は Fig. 3 のブリッジ回路を構成し、B への出力電流が照射前は一定の平衡を保つよう抵抗 A によつて調整されている。  $\gamma$  線を吸収して A<sub>1</sub> の温度が上昇すると、R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> の抵抗値が減少して B への出力電流が変化する。そこで、これを直流増巾器 B とおして記録計へ導くと、Fig. 4 に示すような曲線が得られる。横軸は時

Fig. 3. Diagram of bridge circuit for twin calorimeter system.

- A: Resistance box to balance the bridge currents.
- B: Chopper amplifier.
- C: Recorder.
- V: Battery (1.3 V).
- R<sub>1</sub>-R<sub>4</sub>: Thermistors. R<sub>1</sub> and R<sub>2</sub> are temperature detection thermistors which are embedded in a lead cylinder A<sub>1</sub> of Fig. 2. R<sub>3</sub> and R<sub>4</sub> are embedded in another lead cylinder A<sub>2</sub> of Fig. 2.

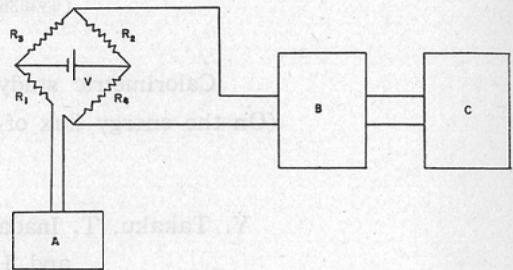
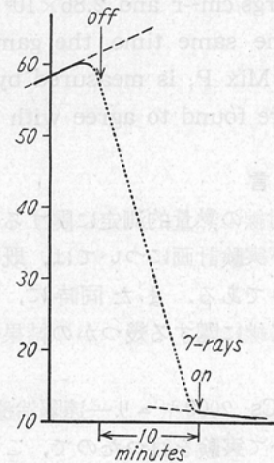


Fig. 4. Typical curve during  $\gamma$ -ray irradiation run.

1. FSD: 62 cm
2. D.C. amp: 200  $\mu$ V range
3. Resistance box: 103.88  $\Omega$
4. Irra. Time: 10 minutes



間、縦軸は記録計出力電圧に対応する。またヒーターに通電する場合も、これと全く同様な経過をとることは勿論である。

恒温槽は、ポリスチロール保温材、水、油の層

で囲まれた真空槽 (10<sup>-4</sup>mmHg) で実験は20°Cで行なつた. また真空槽の内面および鉛円柱の外表面には, 熱輻射損失を防ぐためにアルベーストを塗布した.

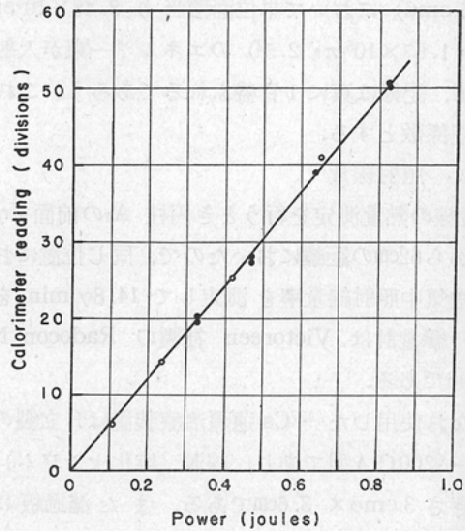
サーミスターは, ほぼ同一の特性をもつたもの4個を選んで実験に供した (0°Cで2400Ω ~ 100°Cで82.5Ω). 形はビード型である.

3. 熱量計の較正

温度検出用円柱A<sub>1</sub>内に封入したヒーター (2.18 kΩ) に 0.4 ~ 1.0mA の直流を与えたときの記録計フレを測定し, フレ1目盛に対応する吸収エネルギーを求めた. これはヒーター中で消費される全電気エネルギーに等しいと考えられる.

Fig. 5 にみられるとおり, 記録計の読みは消費された全電気エネルギーに比例し, 電力 (単位時間に消費されるエネルギー) には無関係である. したがつてこの直線の傾斜から, フレ1目盛は 1.67 × 10<sup>5</sup>ergs のエネルギー吸収に相当することが判る (Table 1). なお鉛の密度および比熱をそれぞれ 11.35g/cm<sup>3</sup>, 0.0304 cal/g·°C として計算すると, 記録計の1目盛は 0.000073°C (1.4万分の1度) に対応する.

Fig. 5. Variation of recorder's reading with the electric power dissipated in the heater embedded in Pb-absorber.



さて <sup>137</sup>Cs γ線照射の場合, 円柱 A<sub>1</sub> へ入射したγ線束は殆んどすべてこの内部に吸収されるであろう. 何故ならば, 円柱外へのエネルギー損失は, A<sub>1</sub>を透過する割合として0.02%, 前面からの背後散乱として 0.1% (Hayward<sup>2</sup>, Laughlin<sup>3</sup>),

Table 1. Calibration of calorimeter.

(1) Electric currents (mA)	(2) Time of heating (sec)	(3)* Dissipated power (ergs)	(4) Recorder reading (divisions)	(5)** Energy for one div. (ergs/div)
0.40	300	10.46 × 10 <sup>5</sup>	6.0	1.74 × 10 <sup>5</sup>
0.50	600	32.70 × 10 <sup>5</sup>	20.2	1.62 × 10 <sup>5</sup>
0.50	600	32.70 × 10 <sup>5</sup>	19.6	1.67 × 10 <sup>5</sup>
0.60	300	23.54 × 10 <sup>5</sup>	14.2	1.66 × 10 <sup>5</sup>
0.60	600	47.09 × 10 <sup>5</sup>	27.5	1.71 × 10 <sup>5</sup>
0.60	600	47.09 × 10 <sup>5</sup>	28.0	1.68 × 10 <sup>5</sup>
0.70	600	64.09 × 10 <sup>5</sup>	38.9	1.65 × 10 <sup>5</sup>
0.80	300	41.86 × 10 <sup>5</sup>	25.3	1.66 × 10 <sup>5</sup>
0.80	600	83.71 × 10 <sup>5</sup>	50.0	1.67 × 10 <sup>5</sup>
0.80	600	83.71 × 10 <sup>5</sup>	49.8	1.68 × 10 <sup>5</sup>
1.00	300	65.40 × 10 <sup>5</sup>	41.0	1.60 × 10 <sup>5</sup>

mean.....1.66<sub>7</sub> × 10<sup>5</sup>

\* The dissipated power gives 2.18 × (1)<sup>2</sup> × (2) × 10<sup>4</sup> ergs, because the resistance of heater is 2.180 kΩ.

\*\* The mean value of column (5) is estimated as 1.67 × 10<sup>5</sup> ergs ± 0.7 % (standard error) for recorder's reading of one division.



また側方への散乱として 0.1% (Goodwin<sup>4)</sup>) であるとされいるから。したがって円柱 A<sub>1</sub> の前面 (5 cmφ) において単位面積当り  $8.48 \times 10^3 \text{ ergs}$  ( $=1.67 \times 10^5 / \pi \cdot 2.5^2$ ) のエネルギー束が入射すれば、記録は真に1目盛ふれるであろう。これを較正係数とする。

4. 照射線量

γ線の熱量測定を行うとき円柱 A<sub>1</sub>の前面をγ線源から62cmの距離においたので、同じ位置における空気中照射線量率を測定して 14.8γ/min を得た。線量計は Victoreen 社製の Radocon No. 606である。

なお使用した <sup>137</sup>Cs 遠隔治療装置は日立製の T S - 200 C A型であり、線源 (塩化セシウム) の大きさ 3 cmφ × 3.6cmである。また濾過板は 2 mmCuである。

III. 結果および考按

Table 2 は以上の方法で得られた結果である F S D62cmにおける γ線束の強さ 44600ergs/cm<sup>2</sup>

Table 2. Experimental data of Cs<sup>137</sup> γ-rays.

1. FSD: 62cm.
2. Field size: 7 cm φ at the surface of Pb-absorber.
3. Time of irradiation: 10 minutes.
4. Resistance of resistor box: 103.08~105.00Ω
5. Volt-meter range: 200 μV.
6. Recorder reading (divisions/10 minutes) :
 

52.9
52.1
53.2
53.1
52.9
52.7
51.9
52.7

mean 52.7 ± 0.163 (standard error)

7. Exposure dose rate: 14.8 r/min in air at 62cm from the source (Radocon dosimeter).
8. Intensity of <sup>137</sup>Cs γ-rays (energy flux density) :  $F = 4.46 \times 10^4 \text{ ergs/cm}^2\text{-min.}$
9. Energy flux per roentgen:
 

$E_f = 3.03 \times 10^3 \text{ ergs/cm}^2\text{-r.}$
10. Photon flux per roentgen:
 

$\phi = 2.86 \times 10^9 \text{ photons/cm}^2\text{-r.}$

-min を照射線量率 14.8γ/min で割れば、1レントゲン当りのエネルギー束 E<sub>f</sub>として 3030ergs/cm<sup>2</sup>-r を求めることができる。

今<sup>137</sup>Csγ線のエネルギーを 662keV としこれに対する空気の質量エネルギー吸収係数( $m\mu_{en}$ )<sub>air</sub>を 0.0294cm<sup>2</sup>/g (1959年の ICRU Report<sup>5)</sup>) とすれば、 $E_f = 87.7 / (m\mu_{en})_{air}$ から E<sub>f</sub>は2983ergs/cm<sup>2</sup>-r と計算される。他方 Goodwin<sup>4)</sup>も実験値として 2959ergs/cm<sup>2</sup>-r を得ている。したがってこれ

Fig. 6. Attenuation of Cs<sup>137</sup> γ-rays through copper.

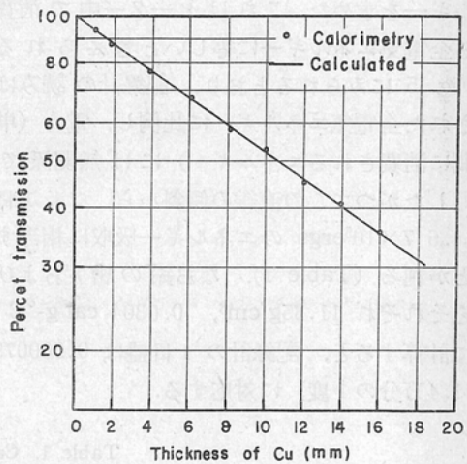
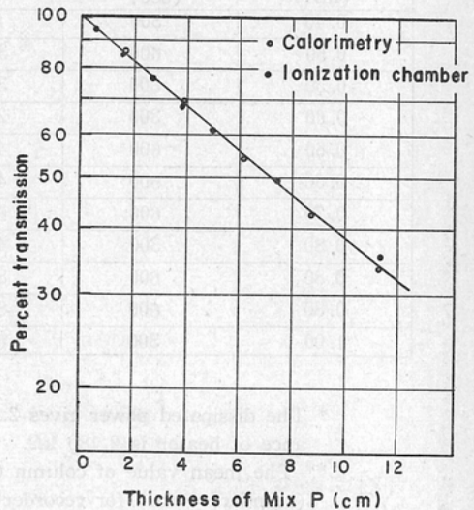


Fig. 7. Attenuation of Cs<sup>137</sup> γ-rays through Mix P.



らの値の比較から、単一エネルギー $\gamma$ 線では $E_f$ の実験値と計算値が良く一致(±1.5%)することが判る。これは、実効エネルギーの同定が困難な連続X線に比して實際上極めて好都合な利点である。

さらに実験値と計算値との良好な一致は、銅板透過による $\gamma$ 線の減弱においても亦みられる(Fig. 6)。例えば質量吸収係数を $0.072\text{cm}^2/\text{g}^{(6)}$ として計算した半価層は $10.8\text{mmCu}$ となるが、本実験では $10.7\text{mmCu}$ が得られた。

Table 2の最後の項に、レントゲン当りの光子束をあげたが、これは $E_f$ を $^{137}\text{Cs}$  $\gamma$ 線のエネルギー $662\text{keV}$ で割った値である。

Fig. 7は筋肉等価物質 Mix P<sup>(7)</sup>による $^{137}\text{Cs}$  $\gamma$ 線の減弱であるが、電離法と熱量測定法とは良く一致し、連続X線でみられるような厚さによる $E_f$ の変化<sup>(1)</sup>はおこらない。

#### IV. 結 論

$^{137}\text{Cs}$ 遠隔治療装置からの $\gamma$ 線出力を熱量的方法で測定した。この際熱量計の感度を上げるためにサーミスター4個のブリッジ回路をつくり、約

$3 \times 10^{-5}^\circ\text{C}$ の検出感度を得ることができた。単位レントゲン当りのエネルギー束 $E_f$ および光子束 $\Phi$ は、それぞれ $3030\text{ergs}/\text{cm}^2\text{-r}$ 、 $2.86 \times 10^9\text{photons}/\text{cm}^2\text{-r}$ である。

つぎに、銅および筋肉等価物質 Mix Pによる $^{137}\text{Cs}$  $\gamma$ 線の減弱を測定し、電離法と一致することを知った。これは連続X線と異なる点である。

#### 文 献

- 1) 稲田他：放射線の熱量的測定に関する研究(その1)。日本医放誌, 21, 197 (1961)。
- 2) E. Hayward and J. Hubbel: The albedo of various materials for 1 MeV photons. Phys. Rev. 93, 955 (1954)。
- 3) J.S. Laughlin et al.: Calorimetric evaluation of the roentgen for 400 kV and 22.5 MeV roentgen rays. Am. J. Roentgenol. Radium Therapy Nuclear Med. 70, 294 (1953)。
- 4) P. N. Goodwin: Calorimetric measurements on a cesium-137 teletherapy unit. Rad. Research 10, 6 (1959)。
- 5) Report of ICRU 1959, NBS Handbook 78 (1961)。
- 6) 木村健二郎編著“放射線データブック1958年版” 地人書館発行 (1958)。
- 7) 川島他：組織等価物質の試作, 日本医放会誌, 20, 2460 (1961)。