

## 広島・長崎における原爆ガンマ線量の推定

丸山隆司\* (放射線医学総合研究所) 長友恒人 (奈良教育大学)

星正治 (広島大学) 隈元芳一 (放射線医学総合研究所)

藤田正一郎、Harry Cullings (放射線影響研究所)

はじめに

現在では、放射線業務従事者等の個人モニタなどに広く使われている熱ルミネセンス線量計(以下、TLD という)ではあるが、線量計として開発されたのは1970年代である。ABCC(現在のRERFの前身)の寿命調査(LSS)のため、信頼性のある被ばく線量評価システムの必要性が喚起されたのは1950年代の後半である。LSSは、戦後初の国勢調査が行なわれた1950年に開始された。そのころ原爆被ばく線量の評価にはネバダの核実験に基づくT57Dが使用されていた。しかし、この線量評価法の不確かさが問題であった。当時ABCCの顧問であった東大の中泉教授が、放医研の橋詰物理研究室長に被ばく線量の推定を要請してきた。そのころ米国では、時のトルーマン大統領の大気圏核実験禁止令により、ネバダでの核実験による線量評価法の研究は中止された。Auxier博士が保健物理研究用原子炉(HPRR)を利用した“ICHIBAN”プロジェクトにより、1965年にT65D(1965年暫定的線量評価法)を確立した。このとき放医研は、広島および長崎で被爆したコンクリート建造物中に中性子によって生成されたCo60誘導放射能から中性子線量およびレンガやタイルなどの窯業製品の熱ルミネセンス(TLという)を用いて線量を推定した。一方、京都大学の東村および市川グループは、屋根瓦などの熱ルミネセンスを用いて線量を推定していた。放医研のデータおよび京都大の線のデータは、T65Dとよい一致を示した。

1978年にH.H.RossiとC.W.Maysは、T65Dを用いたLSSの結果から推定した低線量中性子線に対する白血病のリスク係数が極めて大きな数値になることを見出し、T65Dの中性子線量のバイアスを示唆していた。1980年にLLNL(ローレンスリバモア国立研究所)のW.E.LoeweとE.Mendelesohnは、T65Dが特に広島の中性子線量を過大評価していることを指摘した。LSSの結果は、ICRPの線量限度値などに大きな影響を与えていることなどから、日米は勿論、世界の関係機関から注目されている。このため、日米の専門家を中心にグループが立ち上げられ、1983年2月の長崎会議から1986年3月の広島会議まで4回の日米合同会議の結果、DS86が作成された。DS86では、線量の推定はレンガやタイルなどのTL測定が中心であり、日本の3グループ(放医研、奈良教育大および広島大)および米国のユタ大、さらに後半では英国の2つのグループが参加し、T65Dのときとは異なり日米英の専門家グループで測定データの検討を行うことができた。DS86が発表されてからも、中性子誘導放射能の測定と並行してTL測定についても、なお一層の線量評価の精度向上に努めることが日米合同会議で勧告された。すでに戦後40年を経過しており、都市計画が進み、爆心からの方向および距離を考慮した被爆試料の収集は困難であったが、市民をはじめ放医研および広島大等の関係者の努力により試料の収集が行なわれ、測定を続けることができた。しかし、DS02では、中性子誘導放射能の問題に重点がおかれ、残念ながらTL測定には新しい所見はなく淡々と地道な作業が続いた。(例えば、放医研グループでは、試料のある限りTL測定継続の態勢を保持してきたが、2002年の独立行政法人への移行と関係者の定年退職も加わり、残念ながら休止状態に陥っている。)これまでのTL測定では、試料中の自然放射

\* MARUYAMA Takashi, National Institute of Radiological Sciences; [t\\_maru@fml.nirs.go.jp](mailto:t_maru@fml.nirs.go.jp)

能によるバックグラウンドの影響が大きく、爆心から約 2km 以遠で 線量の測定は困難である。今後は、発光の転換をはかった新しい手法によるレンガやタイルなどを用いた微弱な 線量の推定法の出現を期待したい。そのためのレンガおよびタイルの被爆試料は放影研および広島大に保存されている。

以下、わが国における TL による原爆 線量評価研究機関として T65D 以来参加している放射線医学総合研究所および奈良教育大学・広島大学のグループを中心に DS02 報告書にいたるまでの研究成果の概略をまとめ、ここに報告する。なお、本文中特別の断りがない限り、参考文献は放射線影響研究所刊の DS 86 および DS02 を参照されたい。

## I. 一般共通事項

### 1. レンガやタイルなどの TL による線量測定の原理

#### (a) 熱ルミネセンス

熱ルミネセンス (TL) は、ある種の初期励起によって蓄積されていたエネルギーが加熱により固体から放出された光である。初期励起、通常は電離放射線によるが、これが結晶格子欠陥での電子および正孔の捕捉を生じ、それに続く温度上昇が電子と正孔を捕捉から脱出させ、それらの再結合が発光中心のいたるところで起こり光を放出する。すなわち、TL 物質を加熱すると、その温度の上昇とともに蓄積されているエネルギーを TL して放出する。温度上昇に対する発生する TL 量の変化を示す曲線をグロー曲線という。このグロー曲線を用いて、熱ルミネセンス量が科学的に測定される。

熱ルミネセンスの歴史は、今から 3.5 世紀前の 1663 年、R.Boyle 卿に遡るが、それから 3 世紀後の 1953 年に、米国の Daniels が地質学および考古学における年代決定への TL の応用の可能性を示唆した時が TL 科学史の最初のものである。日本では、1965 年の市川による TL による土器の年代決定が最初

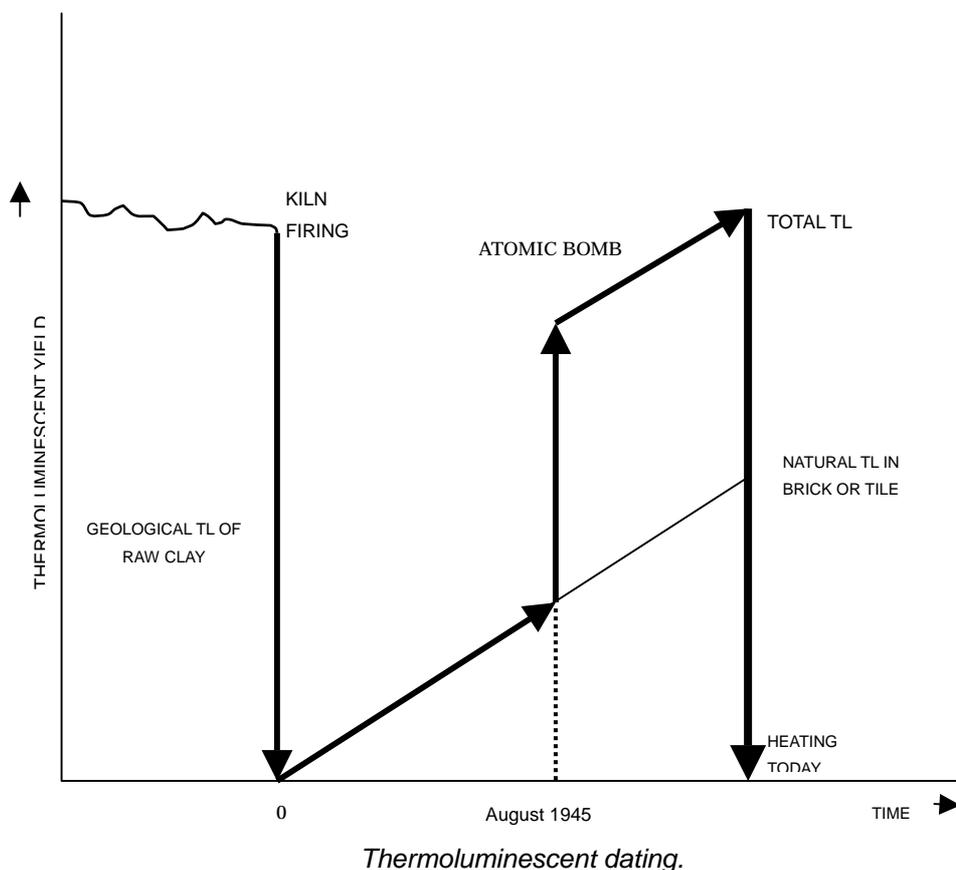


図 1 . レンガやタイルに含まれる石英の熱ルミネセンス (TL) による線量推定の模式図 .

である。

年代決定では、土器などの素材に含まれる石英などが TL 物質として利用される。素材の土壌には、ウランウム系列( $^{238}\text{U}$ )、アクチニウム系列( $^{235}\text{U}$ )、トリウム系列( $^{232}\text{Th}$ )およびカリウム( $^{40}\text{K}$ )などの自然放射性物質が含まれている。石英などは、土壌の放射性物質から放出された  $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、さらに宇宙線および環境放射線のエネルギーを吸収して、その結晶構造内に図 1 に示すように大量の TL エネルギーとして蓄積している。しかし、土壌がレンガやタイルとして加工されたとき、約 600 以上の窯で焼かれる。そのため蓄積されていた TL エネルギーが放出され、TL ストップウォッチはゼロ(窯業ゼロ時という)に戻され、その後、時間の経過とともに土器などの窯業製品自身および周辺環境からの放射線を被ばくして、あらためて TL エネルギーを蓄積する(この TL エネルギーを TLBG という)。その TL エネルギーの蓄積量は、ほぼ時間の一次関数で自然増加する。年代測定では、実験などで 1 年間の TL エネルギー蓄積量を求め、その値で総 TL エネルギーを除すことにより年代を推定する。

#### (b) レンガおよびタイルを用いた原爆ガンマ線量の推定

広島、長崎における  $\gamma$ 線量の推定に TL 物質の石英を含むレンガおよびタイルが用いられた。1945 年の夏、原爆に被爆したレンガおよびタイルは、ほとんど瞬間的に  $\gamma$ 線を吸収して、図 1 に示すように急激に TL エネルギーが増加し、それ以後は被爆以前とほぼ同じ割合で自然放射線によるほぼ直線的な TL 増加を示す。原爆  $\gamma$ 線量の測定では、被爆した  $\gamma$ 線量の測定では、TL エネルギーをバックグラウンド(TLBG という)として差し引かねばならない。被爆試料として採取された窯業製品は、主として広島ではタイル、長崎ではレンガであった。これらの試料の窯業ゼロ時から被爆までの年数は、60 年から 90 年程度であり、dating とは比較にならない短い期間である。後で述べるように、TLBG は試料により年あたりほぼ 2 から 5 mGy 程度である。例えば、年あたり 3.5 mGy とすれば、80 年間に蓄積された TLBG は、 $3.5 \times 80 = 280\text{mGy}$  である。3 Gy を超える原爆線量では、バックグラウンドの寄与は 10% 以下であるが、爆心から 2km での原爆線量は 100mSv 前後と推定されるので、測定される全 TL 線量のうち約 1/3 を占めるのみである。従って、遠距離ではバックグラウンドの評価は重要である。

#### (c) 年代測定における TL 測定のための試料精製法

土壌中に含まれる石英などは、ウランウム系列など自然放射性元素からの  $\alpha$ 線、 $\beta$ 線および  $\gamma$ 線により TL エネルギーを蓄積する。特に、ウランウムやトリウムなどの壊変により放出される  $\alpha$ 線のエネルギーは、最大でポロニウム 212 の 8.78MeV であり、土器の中での飛程は 45  $\mu\text{m}$  程度である。従って、90  $\mu\text{m}$  以上の直径をもった石英の結晶には、 $\alpha$ 線による線量とは全く無関係な内殻部分が存在すると考えられる。このような考え方に従い、年代測定法では次のような石英試料精製法が利用されている。

微粒子法(Fine grain technique): 土器などの測定試料を、衝撃を与えないように万力を用いて、V 字形金属などで直径がほぼ 1 ~ 9  $\mu\text{m}$  の微粒子に粉碎し、ほぼ 98% の  $\alpha$ 線による TL 線量と  $\beta$ および  $\gamma$ 線の全量を測定する。しかし、DS86 の日米および英国の TL 線量測定専門家会議で、微粒子法は、低線量環境測定には不向きである事が結論され、原爆線量推定から除外された。

石英粗粒子法(Quartz inclusion technique)  $\alpha$ 線による TL 線量が無視できる 100  $\mu\text{m}$  程度の石英粒子を用いて、 $\beta$ 線および  $\gamma$ 線による TL 線量を測定する。この方法では、土器などを 80 ~ 120  $\mu\text{m}$  の小粒子にして、磁気分離器により鉄鉱石などを除去し、塩酸や弗化水素などで処理して石英の表面を剥離して、 $\alpha$ 線に照射された部分を除去する。この処理を施した TL 測定試料を用いることにより  $\alpha$ 線の寄

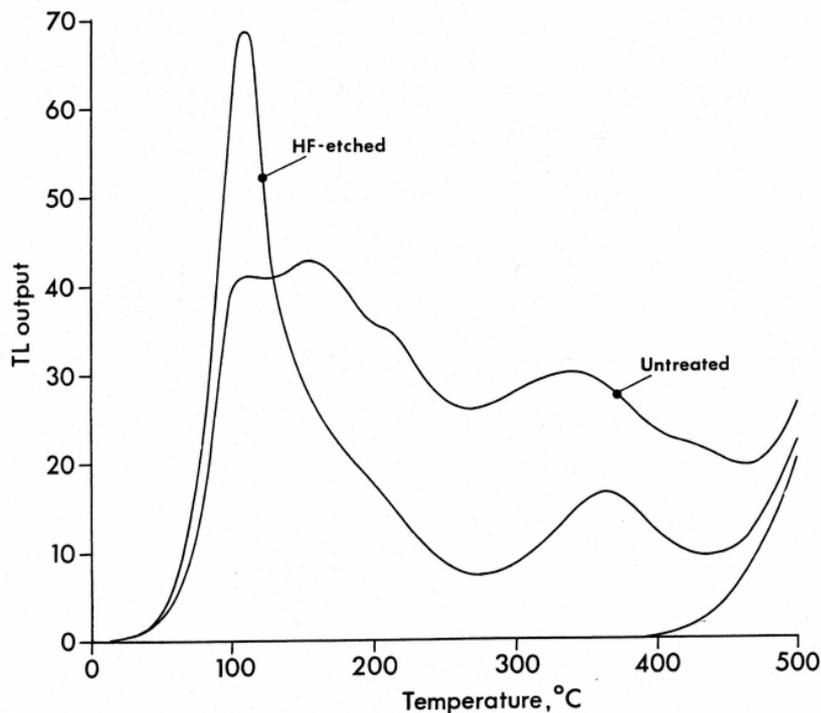


図2 . 石英の TL グロー曲線の一例 . 石英粗粒子法 (HF 処理) と単純高熱法 (HF 非処理) の比較

与を無視しうるほど小さくすることができる。原爆線量推定では、線に加えて環境線による線量の評価が重要になる。

(d) 試料精製法による TL グロー曲線、

石英の TL を用いた原爆線量の測定の場合も年代決定と同様に、深いところにあるトラップは長期間にわたって漏出することなく保持されているというのが基本的な考え方である。石英粗粒子法 (1 規定の弗化水素で 10 分間処理した場合) では、図 2 の HF 処理曲線が示すように高温側の 300 ~ 400 にある巾広い 2 つの重なり合ったグローピーク (325 および 375 ) および低温側 (110 ) にあるグローピークが顕著である。一方、弗化水素で処理しなかった場合は、図 2 の非処理のようなグロー曲線になる。いずれの場合も同一線量の線を照射した試料について測定されたデータである。計算によるグローピークの平均寿命は、それぞれ 110 が 3.5 時間、325 が  $3 \times 10^3$  年および 375 が  $10^7$  年である。110 のピークは寿命が短いために年代決定などにはこのままでは利用できない。

石英微粒子法や石英素粒子法では、この高温側のグロー曲線が TL 測定に利用される。

(e) プリドース法

石英に見られる 110 のピークは、その半減期が短いので自然放射線による熱ルミネセンスとしては存在しない。しかしながら、高感度のピークであり、10 ~ 100mGy 程度の線量 (試験線量という) を照射するだけで正確に測定しうる TL が誘発される。測定試料を一時的に 400 ~ 500 に加熱することにより感度が増加し、その増加量はそれまで焼成以来試料に蓄積されていた線量 (プリドースという) に比例する。110 ピークを生ずるトラップは僅かな数の電子によるが、受けてきた放射線量の記憶であり、一時的に 400 ~ 500 に加熱する結果として漏出されない記憶である。

## 2. 原爆線量推定のための石英の TL 測定法

### (a) TL 測定装置

T65D のころは TL 測定装置が未だ製品化されていなかったため、自家製の TL 測定装置が使用された。1970 年代には現在のように自動読み取り装置つきではないが、年代測定などにも使用できる TL 装置が市販されるようになった。さらに、1980 年代には、ブリドース法に便利な年代測定用 TL 装置が市販され、DS86 ではユタ大学やオックスフォード大学がこの装置を使用している。日本では、3 機関とも米国の Harshaw Chemical 社製のモデル 2000 を使用している。

### (b) 線量推定に用いられた試料

疫学調査の目的には、究極的には被爆者の臓器組織線量の評価が必要である。しかし、臓器組織線量を直接評価することは困難であるため、まず被爆した場所の空間線量を推定し、次いで被爆者の臓器組織線量を算定する方法をとる事にする。そこで、空間線量の評価のために、屋内被爆者を想定して屋根瓦、壁面のタイル或いはレンガなど石英を含む窯業製品が測定試料として選ばれた。屋根瓦は日本家屋などに多く用いられていたが、爆風や火災などによってほとんどが被爆時の場所が同定できないばかりか高熱のため、一部の鬼瓦などを除いては TL による線量推定には利用が困難であった。また、表面にタイルやレンガを用いた建造物等は、被爆当時から稀少であった上に、被爆線量推定の作業を行なうことができるようになった頃には、急速な復興などにより試料採取が困難になった。放影研および広島大学の関係者の皆様の努力によって、使用中の被爆建造物などから採取されたタイルやレンガの貴重な測定試料を用いて線量推定が行なわれてきた。1980 年代には、広島で広島大学や日赤病院などから表面タイル、長崎では民家の塀や倉庫などからレンガなどのかなり大量の試料が提供された。

### (c) TL 測定試料採取における重点事項

TL 測定試料（以下、試料という）であるレンガやタイル等の製造年の推定が可能であること。  
少なくとも、登記簿などから建造物の建設年月日が推定できること。

試料は、焼成以来 TL 測定時まで、火災等によって概ね 800 以上の高温に曝されたことがないこと。

周辺に人工放射線源が存在していないこと。

原爆線の試料への入射角度など被爆条件が推定できること。

試料は直接原爆線に被爆したことが明らかであること。

試料は、改築などによって移動されることなく採集位置に固着されていたものであること。

試料採取は、上記の重点事項に基づき、広島・長崎市民をはじめ、放影研および広島大学などの協力によって行われた。これらの試料を用いた TL 測定による原爆線量評価は、TL 測定機関の独自性に基づいて実施されているので、測定評価グループに報告する。報告の順番にはグループ施設名のイロハ順とした。

## 原爆 線量の測定

### 1. 放射線医学総合研究所（放医研）グループ

#### (a) 測定試料の精製

原爆線量評価のために、タイルやレンガなどを粉砕して TL 測定試料を精製しなければならない。タイルやレンガを粉砕あるいは切断するとき強い衝撃や摩擦などによるトリボルミネセンスが生じないよう細心の注意を必要である。通常は V 字型の金属および万力などで穏やかにタイルやレンガを粉砕する。また、切断する場合なども水で冷やしながらいながらダイヤモンドカッターを用いて、摩擦熱などに細心の注意が払われた。そのような条件下では、トリボルミネセンスを発生しないことを確認した。

建造物等から採取したタイルやレンガの被爆表面の汚れや放射能汚染を除去するとともに原爆線による 2 次電子平衡を考慮するため、採取した試料について、被爆面から 5 mm の部分を水で冷やしながらいながら、カッターで切断して除去する。

被爆面の厚さ 5mm を除去したタイルやレンガの試料から被爆表面 5cm × 5cm、厚さ 1cm の板状試料を切り取り、この板状試料を V 字型金属で穏やかに粉砕し、粗粒子とする。

粉砕した試料を乳鉢の中で乳棒を使って静かに粉末化する。

粉末化した試料を 210 μm および 105 μm メッシュの篩により、210 μm を超える粒径、105 μm 未満の粒径、105 から 210 μm の粒径の粒子に分別した。

105 から 210 μm の粒径の試料を TL 測定試料とする

超音波洗浄器を用いて蒸留水およびアセトンで洗浄する。

洗浄後磁気分離器を通して、鉄分など不用物を除去する。

以上の過程を経て精製された石英含有試料を鉤物顕微鏡で観測して、石英の含有状況をチェックする。

すでに述べたように、石英粗粒子法では TL 試料精製のとき 線の影響を除去するため、弗化水素などで石英粒子の表面を処理することによりウランやトリウムなどからの 線による TL 成分を除去する方法が執られている。放医研では物理測定室では、弗化水素などが使用できないため、石英粗粒子法を採用することができなかつた。線によるバックグラウンドの寄与が無視できない 3Gy 程度以下の原爆線量が予想される石英試料についてはプリドース法が適用された。3Gy 以上の線量推定には、275 から 310 の範囲のグロー曲線に囲まれた面積が使用された。この方法を簡易高温法という。一方、HF を用いる方法を石英粗粒子高温法と呼び、区別する。

#### (b) TL 測定

TL 量の測定は、多目的タイプ 2000 TL 線量測定器（Harshaw Chemical 社製）により実施された。TL 測定では、5mm × 5mm の正方形の凹面型スチール皿（深さ 0.5mm）に dispenser を用いて、約 5mg の TL 試料を単一層に広げる。高温における酸化防止のため窒素ガス雰囲気の中で、加温率 20 /秒で室温から 200 まで石英含有試料を加熱し、石英からの TL グロー曲線を得る。85 から 125 までの温度領域におけるグロー曲線の面積から TL 量を読み取る。

(c) 線用標準線量計

ブリドース法および単純高熱法では、石英の TL 量を 線の線量に変換するために、それぞれの測定試料について  $^{60}\text{Co}$  線量に対する TL 量の関係、すなわち線量・TL 関係が必要であった。この目的のため、線源としては  $^{60}\text{Co}$  遠隔治療装置および 線標準線量計としては電子技術総合研究所(現、産業総合研究所の前身)の国家標準線量計とトレーサビリティを有する医療用標準線量計(0.6cc 指帽型電離箱)が用いられた。

(d) 試験線量用線源

ブリドース法における試験線量用線源としては、微量の  $^{90}\text{Sr}$  - Y 溶液を含む塩化物を塗布した 線源を用いた。

(イ) ブリドース法

ブリドース法には、試料の線量・TL 量関係の直線性により、additive pre-dose 法および modified pre-dose 法のいずれかが用いられた。詳細は放影研出版の DS86 報告書に委ねる。精製された石英試料は 3 セットに分けられ、各セットは 7 つに分包される。各分包について TL 測定が行われる。試料によっては試料のセット数などは異なる。

(i) additive pre-dose 法：この方法は、主としてタイルの TL 測定に用いられた。その手順を以下に示す。

- 1) 200 に加熱し、85 から 125 までの 110 をピークとするグロー曲線の面積  $S_0$  を求める。
- 2) 500 に加熱して、次に試験線量 (12mGy) を照射して、200 に加熱して、1)と同様にグロー曲線の面積  $S(N)$  を求め、 $S(N)/S(0)$  を算定する。
- 3) 残りの 2 セットの試料には、 $^{60}\text{Co}$  治療装置により所定の 線量を照射する。
- 4) 線を照射した試料をそれぞれ加熱して約 10 秒間 500 に保つ。
- 5) 試験線量を照射して、200 に加熱して、1)同様にグロー曲線の面積  $S(N+)$  を求め、 $S(N+)/S(0)$  を算定する。
- 6) 同様にして、 $S(N+2)$  を求め、 $S(N+2)/S(0)$  を算出する。
- 7) 求めた比  $S(N)/S(0)$ 、 $S(N+)/S(0)$  および  $S(N+2)/S(0)$  を試験線量と付加した 線量の和の関数としてプロットする。その直線の外挿値を最小二乗法で読み取る。その外挿値が求める線量である。

(ii) Modified Pre-dose 法：この方法は、主としてレンガ試料の測定に用いられた。特に、レンガの場合、additive pre-dose 法では線量 TL レスポンスの直線性が得られないため、測定処理後の石英試料を電気炉で 550 に 5 時間加熱して、残留している TL シグナルを消去後、1Gy オーダー程度以上の線量の異なる  $^{60}\text{Co}$  線を照射した後、それらの試料の TL 測定を行う。

- 1) 試験線量を照射し、200 に加熱して、グロー曲線の面積  $S(0)$  を求める。
- 2) 3 セットの石英試料を電気炉により 6 分間、525 に加熱し、1 セットに試験線量を照射し、200 に加熱してグロー曲線の面積  $S(N)$  を求める。
- 3) 2 セットには、additive doses として および 2 (Gy) の  $^{60}\text{Co}$  線を照射して、200 に加熱し、グロー曲線の面積  $S(N+)$ 、 $S(N+2)$  を求める。
- 4)  $S(N)/S(0)$ 、 $S(N+)/S(0)$  および  $S(N+2)/S(0)$  を求める。
- 5) 2) および 3) の測定に用いたすべての石英試料を全部混合し、電気炉で 5 時間 550 で加熱す

- る。加熱した試料を 3 セットに分割する。
- 6) 試験線量を照射し、200 に加熱して、グロー曲線の面積  $S'(0)$  を求める。
  - 7) additive doses として  $^{60}\text{Co}$  線量 ( 、 2 、 . . . ) を照射する。
  - 8) 電気炉で、6 分間 525 で加熱する。
  - 9) 試験線量を照射し、200 に加熱してグロー曲線の面積  $S'(N+ )$ 、 $S'(N+2 )$  を求める。
- 次式のレスポンス曲線を満足する R および定数 を求める。

$$R=R \{1 \exp( D)\}$$

(口) 単純高温法

測定試料の特性にも依るが、レンガでは約 1 Gy 以上、タイルでは約 1.5Gy 以上の高線量域で、TL レスポンスと 線量との間に直線関係が得られないことがある。そのため、単純高温法により TL 測定が行なわれた。この方法では、プリドース法と同様に精製された石英試料を 400 程度まで加熱し、275 ~ 310 のグロー曲線の面積が用いられた。この温度の範囲内では、面積から推定された線量は温度の変化に対してほぼ一定であった。

(c) バックグラウンド測定

レンガやタイル試料に含まれる自然放射性核種を Ge 半導体検出器で同定した。その結果、広島および長崎のレンガとタイルには 線放出核種は大量に含まれていないことが確認された。レンガおよびタイルからのバックグラウンド 線は、図 3 に示す BG 測定セットにより、化成オプトニクス社製  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{TLD}$  粉末 (粒径約 100 ~ 150  $\mu\text{m}$ ) を用いて測定した。レンガやタイルからの 線を除去するため、厚さ 100  $\mu\text{m}$  のポリエチレン・フィルムを用いた。また、鉛遮蔽箱内の 線量は、 線を充分除去する厚さの亚克力樹脂上の TLD 粉末により測定した。TL 測定に用いられた試料と同種のレンガおよびタイルについて、それぞれ 3 組づつの測定セットを 15cm 厚さの鉛で遮蔽された箱の中に約 6 か月間放置して、 線バックグラウンド測定を行なった。図のポリエチレン フィルムによる 線吸収率を 0.3 として補正した。また、 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{TL}$  線量計素子を厚さ 2cm のアルミニウム板の深さ 5、10 および 15mm に計 15 本づつ封入した測定セットを試料採取位置に約 6 ヶ月間放置して、宇

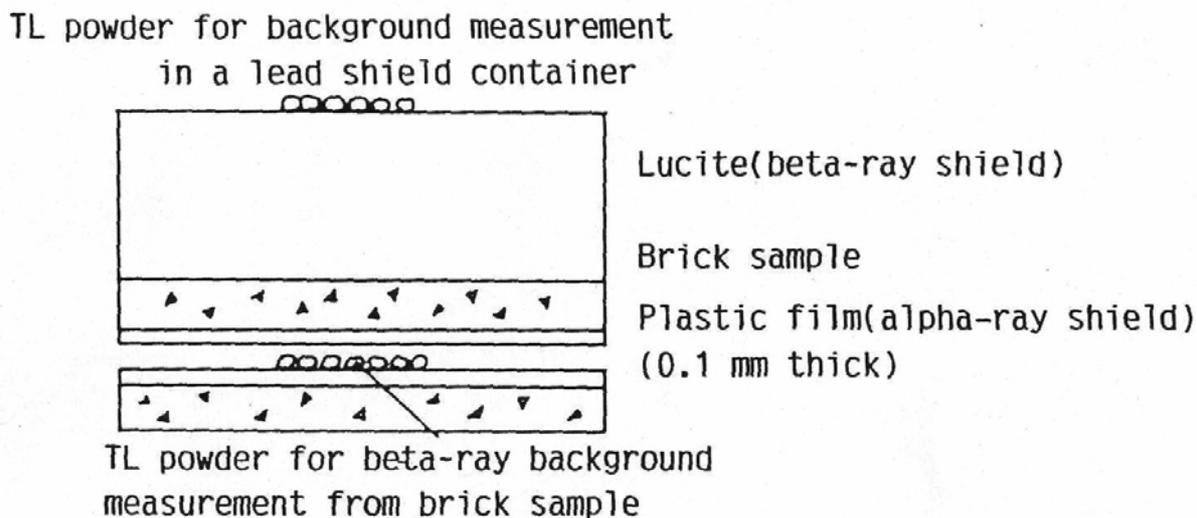


図 3 放医研の 線バックグラウンド測定の例 (この測定配置を 15cm 厚さの鉛ブロック遮蔽箱に閉じ込めて約 6 か月測定する)。

宙線および地殻からの 線など環境放射線によるバックグラウンドを測定した。これらの測定値より試料採取位置における年間 線および 線バックグラウンドを推定した。採取した建造物の登記簿から建築年月を推定し、レンガやタイルの TL 時計のスタート（自然放射線蓄積開始時刻）とした。

## 2. 奈良教育大および広島大グループ

### (a) 試料の精製

奈良教育大グループは、1960年代から考古学における土器などの年代決定に TL の利用に着手し、その手法を用いて放医研グループのデータとともに T65D および DS86 に 線量の情報を提供してきた。このグループは、HF を用いた石英粗粒子高温法およびプリドース法により、主にタイルの TL 測定を実施した。

タイルの被爆面から 2mm および裏面 1mm を除去したあと、粉碎して 74~149  $\mu\text{m}$ 、49~74  $\mu\text{m}$  および 49  $\mu\text{m}$  以下の粒径別に篩い分けした。74~149  $\mu\text{m}$  の粒子を超音波洗浄およびアセトンで洗浄後、室温で 24 時間王水により処理した後、磁気分離器で分離した非磁気成分を 10%HF で 1 時間処理して、非石英粒子を除去し、石英粒子の表面を緩やかにエッチングする。この処理により 線の影響を記憶している部分を除去する。精製した石英粒子を再び水およびアセトンで洗浄し、TL 測定のための石英試料とする。49  $\mu\text{m}$  以下のタイル粉末は、直径 45mm、厚さ 3mm の円板にプレスされ、線バックグラウンドの測定に用いられる。

### (b) TL 測定

Harshaw Model 2000 TL 装置（最大温度 600  $^{\circ}\text{C}$ ）を用い、窒素ガス雰囲気下で 5 乃至は 10  $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  の加温率で TL 測定を行なった。石英粗粒子法が持ちられてきたが、DS86 では、比較のためプリドース法による線量推定が行なわれた。

#### (イ) 石英粗粒子法

石英試料を窒素ガス雰囲気のもとで 20  $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  の加熱比で 室温から 500  $^{\circ}\text{C}$  に加熱し、グロー曲線を描かせる。図 4 は、一例として、広島大の建物の屋上のタイルで得られたグロー曲線を示す。N は被

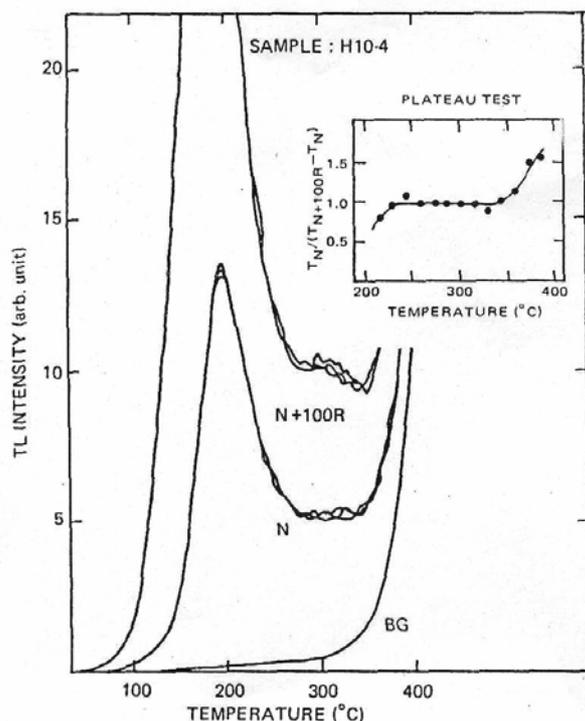


図 4. 奈良教育・広島大グループの TL グロー曲線の一例。

爆タイル、N+100 は N に 100R ( 876mGy ) の  $^{60}\text{Co}$  線を照射したときのグロー曲線を示す(参考：空気カーマ換算：100R =  $0.00876 \times 100\text{R} = 876\text{mGy}$ )。  $^{60}\text{Co}$  線の照射は電子技術総合研究所大阪支所で行われた。

(口)プリドース法

爆心から 1.2km から 2.1km の位置にあったタイル試料について、プリドース法による TL 測定が適用された。試験線量は 60kV ( 2mA ) の X 線による Gd の K-特性 X 線を利用した。Additive dose には電子技術総合研究所で  $^{60}\text{Co}$  線を照射した。手順等は通常の方法と同様であるので、ここでは省略する。

(c) バックグラウンドの測定

試料および環境のバックグラウンド測定は、松下電器製の  $\text{CaSO}_4$  TL 粉末を用い、図 5 に示す測定配置によって行われた。測定試料を作成のときに生じた粒径 49mm 以下のタイルや屋根瓦の粉末を 62.5kPa で圧縮して、直径 49mm 、厚さ 3mm の円板を 2 枚作成した。この 2 枚の円板で図のように挟んだ  $\text{CaSO}_4$  TL 粉末からなる測定セットを 10cm 厚さの鉛ブロックで遮蔽された容器の中に約 1 カ月間放置して、バックグラウンドを測定した。試料からの線を吸収するため、図のように 2 枚の円板を厚さ 3.5mg/cm<sup>2</sup> のポリエチレンで覆った。このポリエチレンによる線の吸収に対する補正係数を 1.13 とした。宇宙線や地殻からの線バックグラウンドは、試料採取後の場所に厚さ 1mm の銅管 ( 7mm × 10cm ) の中に封入した  $\text{CaSO}_4$  TL 粉末によって測定した。

3 . T L による原爆 線量の測定結果

(a) バックグラウンドの測定結果

放医研、奈良教育大および広島大のグループが測定した石英試料の TL バックグラウンドの結果を測定試料別に表 1 に示す。表は、測定グループ、測定試料の簡単な採取場所または建造物名称、試料の爆心からの距離、年間のバック線バックグラウンドおよび線バックグラウンド、試料の年数、推定された全バックグラウンドの順に与えている。TL 蓄積年数は建造物の年数とほぼ同じとした。バックグラウンドは試料に依存するが、大体 0.2Gy 程度であることがわかる。

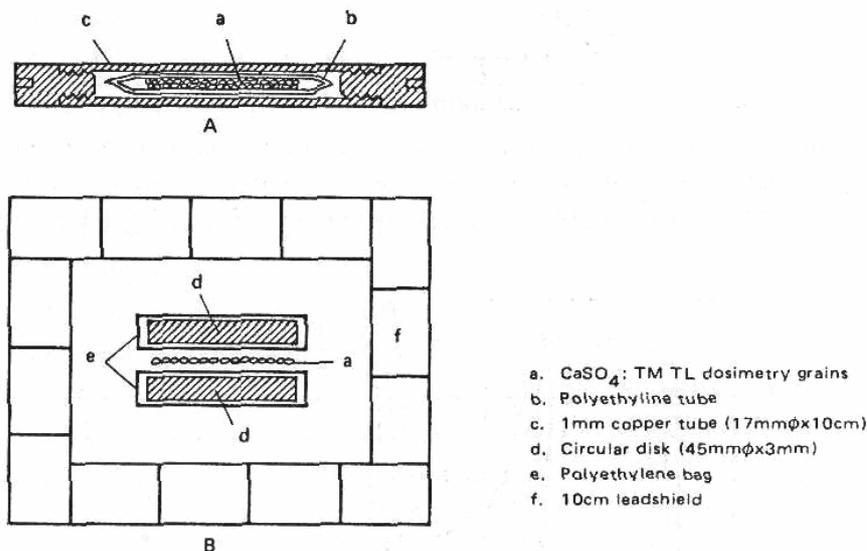


図 5 . 奈良教育大・広島大グループの線バックグラウンド測定例 .

(b) 原爆 線量の推定結果

試料の TL 測定値および評価された 線量を表 2 に示す。評価された 線量を爆心からの距離の関数として図 6 に示す。

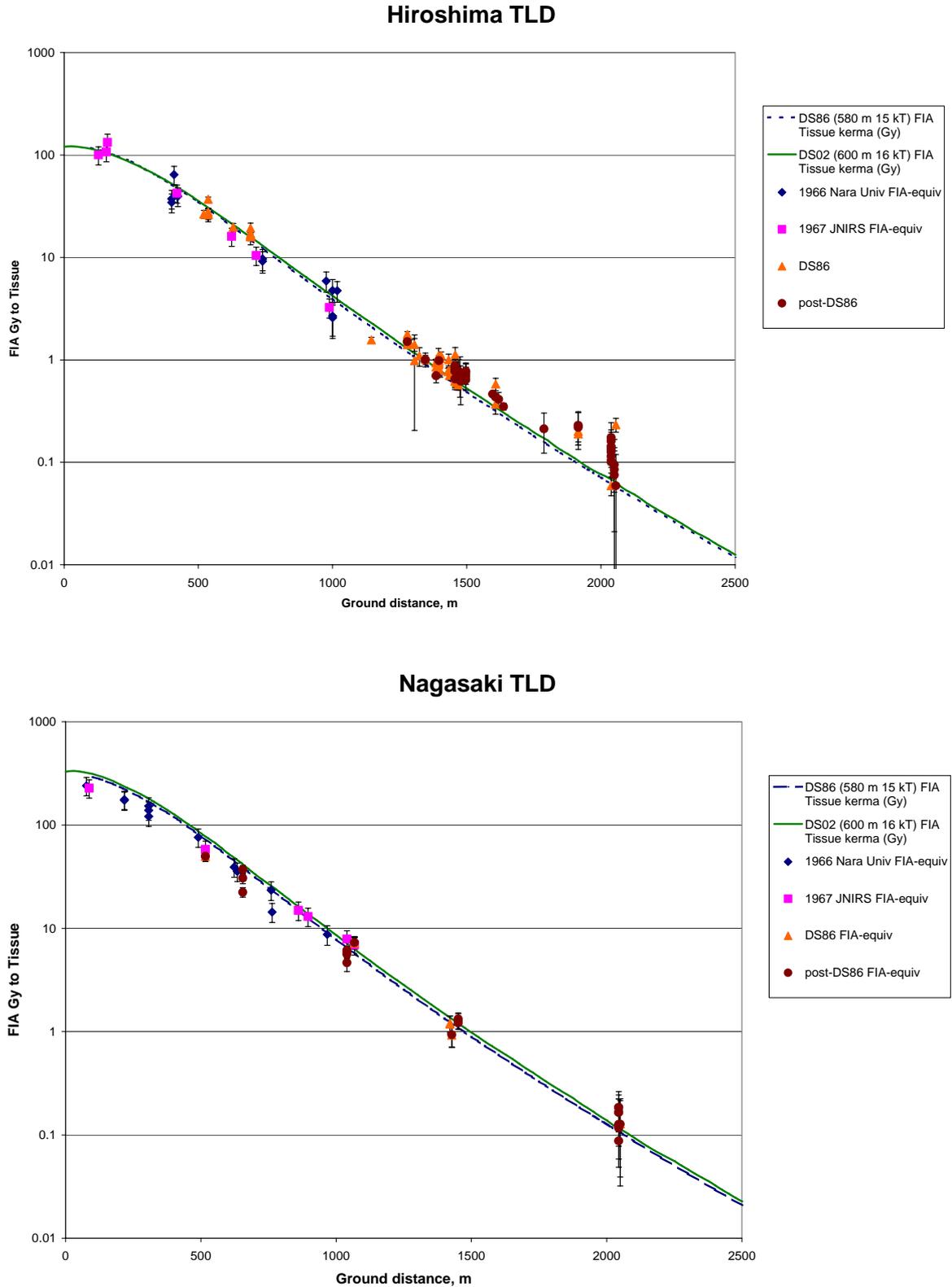


図 6 . レンガやタイルの TL 法による原爆 線量測定結果と計算曲線との比較 .

#### 4. 考察

広島・長崎の原爆線量は、1960年頃から奈良教育大学、放射線医学総合研究所を中心に行われてきた。45年の歳月を費やした大仕事であったが、スーパーコンピュータによるシミュレーション計算ともほぼ一致した結果が得られた。このあたりが幕の火引きどきかと心得る。石英の熱ルミネセンス測定は、考古学から発祥したことは良く知られているが、原爆線量推定の手法も考古学に類似していることを学ばせていただいた。別の意味であろうが、ORNLのAuxierは原爆線量推定のことを「原爆考古学」とおっしゃったことを思い出した。

DS86のとき、英米の考古学研究者の協力を得て、TL測定の相互比較などを実施した。このとき、研究者間で測定結果および測定精度にかなりよい一致が得られた。今回は、日本のグループを中心に線量の測定評価を続けた。その結果は図6に示されるように、爆心から2km以内では、TLによる測定結果が計算の値とかなりよく一致することが明らかになった。

長崎のTLによる線量が、いくつかの測定ポイントで計算による結果を過小評価していると指摘された。その原因は、航空写真などを参考にして検証したとき建物などのかげで線が遮蔽された可能性があるとして指摘された。地上から見て遮蔽されていなかったと判断したので、そのようなことがあるかもしれない。しかし、現在それを確認することは困難である。しかし、今後そのような事実がはっきりすれば、計算と実験との間でさらにより一致がえられるかも知れない。しかし、事象の再現が不可能であり、そのようなコメントがあったとだけ記しておく。

原爆被爆TLによる実測データは、石英の釜だし以後のバックグラウンドTLによって隠れてしまう2kmを超える地点の線量に対して、DS02による計算値の妥当性を裏付けている。

石英がアニールという熱処理により繰り返しTL線量計素子として利用できることから、同一素子によりスーブラリニアリティやブリドース特性などの確認が可能であり、かなり精度の高い測定が可能であった。これからもレンガやタイルによる線量の測定を行うとしたらケイ素でなく長石などの物性的変化を利用するのもよいのではないかとコメントして本稿を閉じる。

#### 謝辞

貴重な被爆試料の収集にこころよくご協力下さいました広島および長崎の市民の皆様に、放射影響研究所ならびに広島大学の関係者に深く感謝いたします。

稿を終わるにあたり、始終ご指導、ご協力をいただいた独立行政法人放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター医学物理部 西沢かな枝研究室長ならびに研究室の皆様に深甚の謝意を表します。

表1. バックグラウンドの測定結果.

Lab	Place and Sample	Sample Type	Beta +/- (mGy/yr)		Gamma +/- (mGy/yr)		Total Back-ground Dose +/- Rate (mGy/yr)		Age +/- (yr)		Total Bkg Dose +/- (Gy)		Dose to:	Reported Dist (m)
DUR	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	TILE	2.1	0.2	1.15	1	3.25	1.02	52	2	0.160	0.059	quartz	1454
DUR	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	TILE	2.1	0.2	1.15	1	3.25	1.02	52	2	0.160	0.059	quartz	1454
JNIRS	Naka Telephone Office	TILE											tissue	507
JNIRS	Naka Telephone Office	TILE											Tissue	523
JNIRS	Sanin Bank	TILE											Tissue	621
JNIRS	Chugoku Elec Co	TILE											Tissue	665
JNIRS	Chugoku Elec Co	TILE											Tissue	691
JNIRS	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.65	.32	1.25	0.04	3.9	0.32	52	2	0.203	0.020	Tissue	1366
JNIRS	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.65	.32	1.25	0.04	3.9	0.32	52	2	0.203	0.020	Tissue	1366
JNIRS	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.65	.32	1.25	0.04	3.9	0.32	52	2	0.203	0.020	Tissue	1393
JNIRS	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.65	.32	1.25	0.04	3.9	0.32	52	2	0.203	0.020	Tissue	1416
JNIRS	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.65	.32	1.25	0.04	3.9	0.32	52	2	0.203	0.020	Tissue	1420
JNIRS	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.65	.32	1.25	0.04	3.9	0.32	52	2	0.203	0.020	Tissue	1428
JNIRS	Red Cross Hospital	TILE	2.75	.36	1.21	0.07	3.96	0.37	44	2	0.174	0.021	Tissue	1433
JNIRS	H.U.F.S.(Hiro.Univ.)	TILE	2.65	.32	1.25	0.04	3.9	0.32	52	2	0.203	0.020	Tissue	1443
JNIRS	Ryomatsu sho	BRK	1.91	.38	1.2	0.08	3.11	0.39	73	2	0.227	0.034	Tissue	3387
JNIRS	H.U.F.S.(Hiro.Univ.)	TILE	2.65	.32	1.25	0.04	3.9	0.32	52	2	0.203	0.020	Tissue	1450
JNIRS	Chokin-Kyoku	TILE	2.96	.45	1.25	0.09	4.21	0.46	47	2	0.198	0.027	Tissue	1607
NU.E	Naka Telephone Office	TILE											Roentgen	523
NUE	Naka Telephone Office	TILE											Roentgen	523
N.U.E	Naka Telephone Office	TILE											Roentgen	523
N.U.E	Chugoku Electric Co.	Wall Tile	2.64	10	1.1	10	3.74	14.14	55		0.206		Tissue	692
NUE	Chugoku Electric Co.	Wall Tile	2.64	10	1.1	10	3.74	14.14	55		0.206		Tissue	692
NUE	Chugoku Electric Co.	Wall Tile	2.81	10	1.1	10	3.91	14.14	55		0.215		Tissue	692
NUE	Chugoku Electric Co.	Wall Tile	2.81	10	1.1	10	3.91	14.14	55		0.215		Tissue	692
NUE	Chugoku Electric Co.	Wall Tile	2.96	10	1.1	10	4.06	14.14	55		0.223		Roentgen	692
NUE	H.U.P.S. (Hiro. Univ.)	tile, railing	2.49	0.007	0.82	0.04	3.31	0.04	45	2	0.149	0.008	Roentgen	1271
NUE	HUFS "I" Bldg	tile, railing, roof	2.49	0.007	0.82	0.04	3.31	0.04	45	2	0.149	0.008	Tissue	1271
N.U.E	H.U.P.S. (Hiro. Univ.)	tile, railing	2.49	0.007	0.82	0.04	3.31	0.04	45	2	0.149	0.008	Roentgen	1298

Lab	Place and Sample	Sample Type	Beta +/- (mGy/yr)		Gamma +/- (mGy/yr)		Total Back-ground Dose +/- Rate (mGy/yr)		Age +/- (yr)		Total Bkg Dose +/- (Gy)		Dose to:	Reported Dist (m)
NUE	H.U.P.S. (Hiro. Univ.)	Tile, eaves	2.49	0.007	0.82	0.04	3.31	0.04	45	2	0.149	0.008	Roentgen	1282
NUE	H.U.P.S. (Hiro. Univ.)	Tile, eaves	2.49	0.007	0.82	0.04	3.31	0.04	45	2	0.149	0.008	Roentgen	1316
NUE	H.U.P.S. (Hiro. Univ.)	tile, railing	2.49	0.007	0.82	0.04	3.31	0.04	45	2	0.149	0.008	Roentgen	1336
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1388
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1388
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1388
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, railing	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1393
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1422
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1428
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1451
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1451
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1451
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1451
NUE	H.U.F.S. (Hiro. Univ)	tile, floor	2.71	0.007	0.88	0.03	3.59	0.03	52	2	0.187	0.009	Roentgen	1461
NUE	Japanese House (Nobori-cho)	Oni-gawara											Roentgen	1131
NUE	HUFS "I" Bldg	tile, railing, roof	2.37	0.007	0.78	0.04	3.15	0.04	45	2	0.142	0.800	Tissue	1298
NUE	HUFS "E" Bldg	tile, wall	2.57	0.007	0.84	0.03	3.41	0.03	52	2	0.177	0.009	Tissue	1378
NUE	HUFS "E" Bldg	tile, railing, roof	2.57	0.007	0.84	0.03	3.41	0.03	52	2	0.177	0.009	Tissue	1388
NUE	HUFS "E" Bldg	tile, wall	2.57	0.007	0.84	0.03	3.41	0.03	52	2	0.177	0.009	tissue	1388
NUE	Red Cross Hospital	tile, floor of roof	3.29	1.06	1.16	10	4.45	10.06	45		0.200		Tissue	1451
NUE	Chokin-Kyoku (Postal Savings)	Roof tile	3.23	.32	0.82	0.04	4.05	0.32	42	2	0.162	0.017	Roentgen	1597
NUE	Meisen -ji "oni-gawara" top	Roof Ornament	1.1	10	1.4	10	2.5	14.14	71		0.178		Tissue	1909
NUE	Meisen -ji "oni-gawara" bottom	Roof Ornament	1.1	10	1.4	10	2.5	14.14	71		0.178		Tissue	1909
NUE	HUFE	Tile, wall	3.12	10	0.96	10	4.08	14.14	55		0.053		Tissue	2041

Lab	Place and Sample	Sample Type	Beta +/- (mGy/yr)		Gamma +/- (mGy/yr)		Total Back-ground		Age +/- (yr)		Total Bkg		Dose to:	Reported Dist (m)
NUE	Hiramoto "oni-gawara" bottom	Roof Ornament	2.4	10	1	10	3.4	14.14	48		0.163		Tissue	2053
NUE	Kirihara	Roof tile	2.5	10	0.7	10	3.2	14.14	66		0.211		Tissue	2453
NUE	Kirihara	Roof tile	1.1	10	1.3	10	2.4	14.14	66		0.158		Tissue	2453
NUE	Kirihara	Roof tile	1.7	10	1.3	10	3	14.14	66		0.198		Tissue	2453
NUE	Kirihara	Roof tile	1.7	10	1.3	10	3	14.14	66		0.198		Tissue	2453
OXF H	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.1	0.21	1.15	1	3.25	1.02	52	2	0.169	0.063	Quartz	1454
OXF S	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.1	0.21	1.15	1	3.25	1.02	52	2	0.169	0.063	quartz	1454
OXF S	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2.3	0.46	1.15	1	3.45	1.10	52	2	0.179	0.076	Quartz	1454
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	3.08	0.15	1.15	0.1	4.23	0.18	52	2	0.196	0.014	Quartz	1386
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	3.08	0.15	1.15	0.1	4.23	0.18	52	2	0.196	0.014	Quartz	1426
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	10	10	10	10	20	14.14			0.000		Quartz	1433
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	3.08	0.15	1.15	0.1	4.23	0.18	52	2	0.196	0.014	Quartz	1451
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2	0.2	1.15	1	3.15	1.02	52	2	0.148	0.057	Quartz	1454
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	2	0.2	1.15	1	3.15	1.02	52	2	0.148	0.057	Quartz	1454
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	3.08	0.15	1.15	0.1	4.23	0.18	52	2	0.196	0.014	Quartz	1389
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	3.08	0.15	1.15	0.1	4.23	0.18	52	2	0.196	0.014	Quartz	1455
U OF U	H.U.F.S. (Hiro. Univ.)	TILE	3.08	0.15	1.15	0.1	4.23	0.18	52	2	0.196	0.014	Quartz	1430
Dur	Ieno wall	Brick											Quartz	1427
Dur	Ieno wall	Brick											Quartz	1427
Dur	Ieno wall	Brick											Quartz	1427
Dur	Ieno wall	Brick											Quartz	1427
Dur	Ieno wall	Brick											quartz	1427
Dur	Ieno wall	Brick											quartz	1427
JNIRS	Urakami	Brick											tissue	459
JNIRS	Sakamoto	Brick	2.18	0.28	1.09	0.3	3.27	0.41	50	5	0.164	0.033	tissue	1079
JNIRS	Zenza	Brick	1.82	0.22	1.05	0.06	2.87	0.23	60	3	0.172	0.019	tissue	1437

注 JNIRS : 放射線医学総合研究所、NUE : 奈良教育大学、HU : 広島大学:

表2 . T L測定によって得られた広島・長崎 線量 .  
広島 :

測定機関	試料採取場所・建造物	距離 (m)	測定線量 (Gy)	バックグラウンド (Gy)	空気中組織線量 (Gy)
NIRS	Atomic Bomb Dome	128	91.5 ± 18.3	-	91.5 ± 18.3
NIRS	Togiyacho Shojinji	162	77.1 ± 15.4	-	77.1 ± 15.4
NIRS	Nenryo Kaikan	158	68.5 ± 13.7	-	68.5 ± 13.7
NUE	Zaimokucho Denpukuji	410	61.4 ± 12.6	-	61.4 ± 12.6
NUE	Zaimokucho Seiganji	401	35.7 ± 7.4	-	35.7 ± 7.4
NUE	Zaimokucho Seiganji	401	32.9 ± 6.9	-	32.9 ± 6.9
NIRS	Fukuromachi Hospital	421	35.2 ± 7.1	-	35.2 ± 7.1
NUE	Zaimokucho	424	37.6 ± 7.8	-	37.6 ± 7.8
NIRS	Naka Telephone Office	521	30.3 ± 2.7	-	30.3 ± 2.7
NIRS	Naka Telephone Office	537	33.3 ± 1.7	-	33.3 ± 1.7
NUE	Naka Telephone Office	537	30.3 ± 2.7	-	30.3 ± 2.7
NUE	Naka Telephone Office	537	28.9 ± 3.4	-	28.9 ± 3.4
NUE	Naka Telephone Office	537	28.4 ± 4.1	-	28.4 ± 4.1
NIRS	Tatemachi Sanin Bk.	624	14.1 ± 2.9	-	14.1 ± 2.9
NIRS	Tatemachi Sanin Bk.	630	19.6 ± 1.7	-	19.6 ± 1.7
NIRS	Chugoku Electric Co.	694	10.5 ± 0.8	-	10.5 ± 0.8
NUE	Chugoku Electric Co.	694	12.3 ± 1.4	-	12.3 ± 1.4
NEU	Chugoku Electric Co.	694	10.5 ± 0.8	-	10.5 ± 0.8
NUE	Chugoku Electric Co.	694	10.6 ± 0.7	-	10.6 ± 0.7
NUE	Chugoku Electric Co.	694	10.9 ± 0.7	-	10.9 ± 0.7
NUE	Chugoku Electric Co.	694	10.3 ± 1.0	-	10.3 ± 1.0
NIRS	Noboricho minka	716	9.32 ± 1.90	-	9.32 ± 1.90
NUE	Hiroshima Castle	739	9.13 ± 2.15	-	9.13 ± 2.15
NUE	Hiroshima Castle	739	9.60 ± 2.25	-	9.60 ± 2.25
NUE	Nishiteramachi Koenji	977	5.68 ± 1.26	-	5.68 ± 1.26
NIRS	City Hall	988	2.94 ± 0.63	-	2.94 ± 0.63
NUE	Hiroshima Castle	1000	4.57 ± 1.29	-	4.57 ± 1.29
NUE	Hiroshima Castle	1000	2.58 ± 0.94	-	2.58 ± 0.94
NUE	Hiroshima Castle	1000	2.48 ± 0.92	-	2.48 ± 0.92
NUE	Nishitera Shosenji	1017	4.54 ± 1.03	-	4.54 ± 1.03
NUE	Noboricho minka	1145	1.86	0.2	1.66 ± 0.10

NUE	Hiroshima University	1279	1.66	0.2	1.46 ± 0.14
NUE	Hiroshima University	1279	1.63	0.2	1.43 ± 0.21
NUE	Hiroshima University	1279	1.19	0.2	0.99 ± 0.79
NUE	Hiroshima University	1290	1.31	0.2	1.11 ± 0.23
NUE	Hiroshima University	1305	1.19	0.2	0.99 ± 0.15
NUE	Hiroshima University	1305	1.19	0.2	0.99 ± 0.10
NIRS	Hiroshima University	1324	1.15	0.2	0.95 ± 0.08
NUE	Hiroshima University	1346	1.05	0.2	0.85 ± 0.12
NUE	Hiroshima University	1346	0.9	0.2	0.70 ± 0.10
NIRS	Hiroshima University	1385	1.27	0.2	1.07 ± 0.20
NUE	Hiroshima University	1386	1.04	0.2	0.84 ± 0.16
NUE	Hiroshima University	1386	1.02	0.2	0.82 ± 0.04
NUE	Hiroshima University	1395	1.12	0.2	0.92 ± 0.06
NUE	Hiroshima University	1396	1.12	0.2	0.92 ± 0.08
NUE	Hiroshima University	1396	1.15	0.2	0.95 ± 0.06
NUE	Hiroshima University	1396	1.16	0.2	0.96 ± 0.10
NUE	Hiroshima University	1396	0.98	0.2	0.78 ± 0.11
NUE	Hiroshima University	1396	0.9	0.2	0.70 ± 0.06
NIRS	Hiroshima University	1401	1.19	0.2	0.99 ± 0.13
NIRS	Hiroshima University	1405	0.96	0.2	0.76 ± 0.06
NUE	Hiroshima University	1430	0.82	0.2	0.62 ± 0.06
NIRS	Hiroshima University	1433	0.78	0.2	0.58 ± 0.10
NUE	Hiroshima University	1534	0.81	0.2	0.61 ± 0.11
NIRS	Hiroshima University	1435	0.93	0.2	0.73 ± 0.14
NIRS	Red Cross Hospital	1456	0.78	0.2	0.58 ± 0.10
NUE	Red Cross Hospital	1456	0.81	0.2	0.61 ± 0.11
NIRS	Red Cross Hospital	1456	0.93	0.2	0.73 ± 0.14
NUE	Red Cross Hospital	1456	1.02	0.2	0.82 ± 0.15
NIRS	Red Cross Hospital	1456	0.95	0.2	0.75 ± 0.12
NIRS	Red Cross Hospital	1456	0.99	0.2	0.79 ± 0.12
NIRS	Red Cross Hospital	1456	0.94	0.2	0.74 ± 0.13
NUE	Red Cross Hospital	1457	0.82	0.2	0.62 ± 0.08
NIRS	Hiroshima University	1457	1.23	0.2	1.03 ± 0.18
NUE	Hiroshima University	1457	0.96	0.2	0.76 ± 0.12
NUE	Hiroshima University	1457	0.92	0.2	0.72 ± 0.07
NUE	Hiroshima University	1458	0.86	0.2	0.66 ± 0.10
NUE	Hiroshima University	1458	0.92	0.2	0.72 ± 0.07
NUE	Hiroshima University	1458	0.96	0.2	0.76 ± 0.06
NUE	Hiroshima University	1458	0.78	0.2	0.58 ± 0.09
NUE	Hiroshima University	1469	0.68	0.2	0.48 ± 0.06
NIRS	Hiroshima University	1470	0.9	0.2	0.70 ± 0.21
NIRS	Hiroshima University	1475	0.88	0.2	0.68 ± 0.29
NIRS	Hiroshima University	1477	0.76	0.2	0.56 ± 0.23
NIRS	Red Cross Hospital	1497	0.93	0.2	0.73 ± 0.14
NIRS	Red Cross Hospital	1497	0.81	0.2	0.61 ± 0.13
NIRS	Red Cross Hospital	1497	0.9	0.2	0.70 ± 0.11
NIRS	Red Cross Hospital	1497	0.94	0.2	0.74 ± 0.15
NUE	Postal Sav.(Chokin k)	1608	0.59	0.2	0.39 ± 0.06
NUE	Postal Sav.(Chokin k)	1607	0.58	0.2	0.38 ± 0.02
NUE	Postal Sav.(Chokin k)	1607	0.53	0.2	0.33 ± 0.07
NUE	Postal Sav.(Chokin k)	1607	0.57	0.2	0.37 ± 0.06
NUE	Postal Sav.(Chokin k)	1619	0.51	0.2	0.31 ± 0.03
NIRS	Postal Sav.(Chokin k)	1637	0.53	0.2	0.33 ± 0.08
NUE	JEMIC	1766	0.4	0.2	0.20 ± 0.08
HU/NEU	Meisenji	1915	0.39	0.2	0.19 ± 0.04
HU/NEU	Meisenji	1915	0.38	0.2	0.18 ± 0.04
HU/NEU	Meisenji	1915	0.41	0.2	0.21 ± 0.08
HU/NEU	Meisenji	1915	0.4	0.2	0.20 ± 0.08
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.26	0.2	0.06 ± 0.06
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.3	0.2	0.10 ± 0.04
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.32	0.2	0.12 ± 0.04
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.32	0.2	0.12 ± 0.04
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.33	0.2	0.13 ± 0.06
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.33	0.2	0.13 ± 0.02
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.29	0.2	0.09 ± 0.03

HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.31	0.2	0.11 ± 0.04
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.36	0.2	0.16 ± 0.06
HU/NEU	Hiramocho Oni-gawara	2038	0.35	0.2	0.15 ± 0.03
NUE	Hiroshima University	2050	0.27	0.2	0.07 ± 0.05
NUE	Hiroshima University	2050	0.29	0.2	0.09 ± 0.04
NUE	Hiroshima University	2050	0.28	0.2	0.08 ± 0.08
NUE	Hiroshima University	2056	0.43	0.2	0.23 ± 0.04
NUE	Hiroshima University	2056	0.26	0.2	0.06 ± 0.01

注 . JNIRS : 放射線医学総合研究所、NUE : 奈良教育大学、HU : 広島大学:

長崎 :

測定機関	試料採取場所・建造物	距離 (m)	測定線量 (Gy)	バックグラウンド (Gy)	空気中組織線量 (Gy)
NIRS	Yamazotocho	87	222.9 ± 44.6		222.9 ± 44.6
NUE	Matsuyamacho	77	213.3 ± 42.8		213.3 ± 42.8
NUE	Oka machi	217	175.3 ± 35.2		175.3 ± 35.2
NUE	Oka machi	217	172.4 ± 34.6		172.4 ± 34.6
NUE	Yamazotocho	307	147.7 ± 29.6		147.7 ± 29.6
NUE	Yamazotocho	307	134.4 ± 27.0		134.4 ± 27.0
NUE	Yamazotocho	307	117.3 ± 23.6		117.3 ± 23.6
NUE	Shiroyama Primary Sch	490	75.0 ± 14.9		75.0 ± 14.9
NIRS	Urakami Church	517	44.3 ± 4.8		44.3 ± 4.8
NIRS	Urakami Church	517	44.3 ± 4.8		44.3 ± 4.8
NIRS	Urakami Church	517	57.8 ± 11.6		57.8 ± 11.6
NUE	Shumoyama cho	623	36.6 ± 7.4		36.6 ± 7.4
NUE	Ueno cho	634	34.0 ± 6.9		34.0 ± 6.9
NIRS	Nagasaki U. Hospital	655	40.4 ± 3.9		40.4 ± 3.9
NIRS	Nagasaki U. Hospital	655	33.4 ± 3.9		33.4 ± 3.9
NIRS	Nagasaki U. Hospital	655	24.4 ± 2.6		24.4 ± 2.6
NUE	Shiroyama cho	760	21.4 ± 4.4		21.4 ± 4.4
NUE	Shiroyamacho	763	12.9 ± 2.7		12.9 ± 2.7
NIRS	Hachimannjinja nearby	860	14.8 ± 3.0		14.9 ± 3.0
NIRS	Hachimanjinjya	896	13.3 ± 2.7		13.3 ± 2.7
NUE	Urakamicho	967	8.43 ± 1.72		8.4 ± 1.7
NIRS	Sakamoto cemetery	1040	8	0.23	7.8 ± 1.67
NIRS	Sakamoto cemetery	1040	7.6	0.23	7.4 ± 1.5
NIRS	Sakamoto cemetery	1040	6.5	0.23	6.3 ± 0.8
NIRS	Sakamoto cemetery	1040	5.2	0.23	5.0 ± 0.9
NIRS	Sakamoto cemetery	1040	6.7	0.23	6.5 ± 0.6
NIRS	Sakamoto cemetery	1068	7.8	0.23	7.6 ± 0.10
NIRS	Sakamoto cemetery	1068	8	0.23	7.8 ± 0.10
NIRS	Ienoch wall A	1421	1.39	0.23	1.16 ± 0.21
NIRS	Ienoch wall B	1421	1.37	0.23	1.14 ± 0.22
NIRS	Zenza	1428	1.21	0.23	0.98 ± 0.24
NIRS	Zenza	1428	1.22	0.23	0.99 ± 0.24
NIRS	Nagasaki U. Charnel	1452	1.46	0.23	1.23 ± 0.21
NIRS	Nagasaki U. Charnel	1452	1.51	0.23	1.28 ± 0.18
NIRS	Nagasaki U. Charnel	1452	1.4	0.23	1.17 ± 0.15
NIRS	Yamada Oil Storehouse	2045	0.35	0.23	0.12 ± 0.06
NIRS	Yamada Oil Storehouse	2045	0.45	0.26	0.19 ± 0.06
NIRS	Yamada Oil Storehouse	2045	0.4	0.26	0.17 ± 0.06
NIRS	Yamada Oil Storehouse	2045	0.43	0.26	0.17 ± 0.06
NIRS	Yamada Oil Storehouse	2045	0.38	0.26	0.12 ± 0.06
NIRS	Yamada Oil Storehouse	2045	0.45	0.26	0.19 ± 0.06
NIRS	Yamada Oil Storehouse	2045	0.43	0.26	0.17 ± 0.06
NIRS	Inasa	2050	0.39	0.26	0.131 ± 0.10
NIRS	Inasa	2050	0.39	0.26	0.131 ± 0.10

注 . JNIRS : 放射線医学総合研究所、NUE : 奈良教育大学、HU : 広島大学: