

JAERI-M  
94-060

環境測定用ガラス線量計に対する自己照射  
と宇宙線寄与の評価

1994年3月

坂本 隆一・長岡 鋭・齊藤 公明・堤 正博  
森内 茂

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1994

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 日立高速印刷株式会社

環境測定用ガラス線量計に対する自己照射と宇宙線寄与の評価

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

坂本 隆一・長岡 鋭・斉藤 公明・堤 正博  
森内 茂

(1994年2月24日受理)

ガラス線量計における自己照射寄与、宇宙線寄与を実験的に決定した。この実験から得られた3" φ球形NaI (Tl) シンチレーション検出器の単位吸収エネルギーに対するガラス線量計への寄与分を表わす係数を用いることにより、今後は自己照射および宇宙線の寄与をより簡易に求めることができる。解析の結果、使用したガラス素子についての自己照射寄与は、 $0.98 \pm 0.82 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} \sim 7.6 \pm 1.8 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 、宇宙線硬成分寄与は $20.5 \pm 3.0 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 、宇宙線軟成分寄与は $6.6 \pm 2.2 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ であった。また、上述の係数の値は $0.99 \pm 0.11 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} / (\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1})$ であった。

また、環境中に配置したガラス線量計の方向特性およびNaI (Tl) シンチレーション検出器との比較測定を実施した。ガラス線量計の設置方向による感度に違いが無いこと、ガラス線量計の測定値から上記の自己照射寄与、宇宙線寄与を差し引くことにより、NaI (Tl) シンチレーション検出器による $\gamma$ 線の測定値とガラス線量計による $\gamma$ 線の測定値とは良く一致することを確認した。

Evaluation of Dose Contribution of Self-irradiation  
and Cosmic-ray to Glass Dosemeter for Environmental  
Radiation Measurement

Ryuichi SAKAMOTO, Toshi NAGAOKA, Kimiaki SAITO  
Masahiro TSUTSUMI and Shigeru MORIUCHI

Department of Environmental Safety Research  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 24, 1993)

The Contribution of self-irradiation and cosmic-ray to glass dosimeter was evaluated experimentally. The coefficient which means the ratio of dose of glass dosimeter to unit dose absorbed in a 3"  $\phi$  spherical NaI(Tl) detector from cosmic-ray was determined by this experiment, and the self-irradiation of glass dosimeter is determined easily by using this. By the result of analysis, the self-irradiation was found to be  $0.98 \pm 0.82 \sim 7.6 \pm 1.8$  nGy $\cdot$ h $^{-1}$ , the hard component of cosmic-ray to be  $20.5 \pm 3.0$  nGy $\cdot$ h $^{-1}$ , the soft component of cosmic-ray to be  $6.6 \pm 2.2$  nGy $\cdot$ h $^{-1}$  in the open field. The coefficient derived was determined to be  $0.99 \pm 0.11$  nGy $\cdot$ h $^{-1}$  / (MeV $\cdot$ s $^{-1}$ ).

The directional response of the glass dosimeters was examined, and found to be uniform. Considering the uniform directional response of glass dosimeters and subtracting the self-irradiation and cosmic-ray component, the measured value of gamma ray dose rates by glass dosimeters agreed with that by NaI(Tl) detector.

Keywords : Cosmic-ray, Self-irradiation, Glass Dosimeter, Environmental Radiation, Gamma Ray

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. ガラス線量計による測定 .....	1
2.1 ガラス線量計およびリーダ .....	1
2.2 ガラス線量計の事前処理 .....	1
2.3 リーダの校正方法 .....	2
2.4 読み取り方法 .....	2
3. NaI (Tl) シンチレーション検出器による測定 .....	2
3.1 実験の概要 .....	2
3.2 チャンネル-エネルギー校正 .....	3
3.3 測定結果 .....	3
4. 自己照射および宇宙線成分寄与に関する実験 .....	3
4.1 宇宙線の軟成分と硬成分について .....	3
4.2 実験の概要 .....	4
4.3 評価法 .....	4
4.4 実験結果 .....	5
5. 一般環境での測定実験 .....	6
5.1 実験の概要 .....	6
5.2 実験結果 .....	6
6. むすび .....	7
謝辞 .....	7
参考文献 .....	7

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Measurement of Glass Dosemeter .....	1
2.1 Glass Dosemeter and Reader .....	1
2.2 Pre-treatment of Glass Dosemeters .....	1
2.3 Calibration of Glass Dosemeter Reader .....	2
2.4 Reading Method .....	2
3. Measurement by NaI(Tl) Scintillation Detector .....	2
3.1 Outline of Experiment .....	2
3.2 Channel-energy Calibration .....	3
3.3 Results .....	3
4. Experiments on Self-irradiation and Cosmic-ray Component .....	3
4.1 Hard-component and Soft-component of Cosmic-ray .....	3
4.2 Outline of Experiment .....	4
4.3 Evaluation Method .....	4
4.4 Result .....	5
5. Measurement in Usual Environment .....	6
5.1 Outline of Experiment .....	6
5.2 Result .....	6
6. Conclusion .....	7
Acknowledgement .....	7
References .....	7

## 1. まえがき

原子力施設周辺環境放射線測定用の積算線量計として、日本では、1960年代から1970年代にかけて、フィルム・バッジが使用されてきた。その後、TLDの使用が実用化された。フィルム・バッジに比べ、現像の必要が無い、使用者が直接測定できる、測定可能最低線量が低い、再使用ができる等の理由から使用されはじめて、既に10数年が経過している。一方従来のガラス線量計は、アニール直後のガラス素子のプレドーズが大きいこと、ガラス素子表面の洗浄処理が煩雑、測定可能最低線量が高い等の理由で、一部の研究機関での使用にとどまっていた。しかし近年になって、読み取り装置の改良によりガラス線量計の普及の障害となっていた上記主要因が改良され、併せて、全自動型リーダの出現により、TLDと同程度の精度で測定が可能になった。さらに、TLDに比べて、繰り返し読み取りが可能であること、フェーディングが小さいことなどの理由で、これまでTLDが用いられてきた用途および新用途にも用いられるものと思われる。

しかし、環境中の低レベル $\gamma$ 線量測定において、ガラス線量計の測定値と他の放射線測定機器の測定値との間に十分な整合性を保つためには、計測手順を適切なものにするの他に、ガラス線量計に対する自己照射寄与ならびに宇宙線寄与分の評価が必要である。これら測定値間の比較を行なうためには $\gamma$ 線線量率の場所による差異と季節変動、入射 $\gamma$ 線のスペクトルと方向分布の変化、保守管理の状況、環境条件の差などが関係するが、ガラス線量計固有のものとしては自己照射寄与と宇宙線寄与を明らかにすることが必要である。

本報告は、ガラス線量計の自己照射寄与及び宇宙線寄与を実験的に評価した結果とともに環境中での連続測定に多く使用されているNaI(Tl)シンチレーション検出器による測定との比較結果について述べたものである。

## 2. ガラス線量計による測定

### 2.1 ガラス線量計およびリーダ

用いたガラス線量計は東芝ガラス(株)製のSC-1であり、ステンレスカードに固定されたガラス素子の線量計本体は、六面にエネルギー補償用フィルタが内蔵されたプラスチックカプセルに入っている。(Fig. 2.1 参照)

リーダは東芝ガラス(株)製のFGD-20である。これは、カプセルからガラスカードを自動的に取り出し、これにパルス的な紫外線レーザー光を照射して得られるラジオフォトルミネッセンスの光量の測定を行なうものである。また、高い再現性を得るために、1つのガラスカードの測定が数10回繰り返され、それらの測定値の平均値をそのガラスカードの測定値として出力する。このリーダでは一度に20カプセルまでの連続測定を行なうことができる。

### 2.2 ガラス線量計の事前処理

## 1. まえがき

原子力施設周辺環境放射線測定用の積算線量計として、日本では、1960年代から1970年代にかけて、フィルム・バッジが使用されてきた。その後、TLDの使用が実用化された。フィルム・バッジに比べ、現像の必要が無い、使用者が直接測定できる、測定可能最低線量が低い、再使用ができる等の理由から使用されはじめて、既に10数年が経過している。一方従来のガラス線量計は、アニール直後のガラス素子のプレドーズが大きいこと、ガラス素子表面の洗浄処理が煩雑、測定可能最低線量が高い等の理由で、一部の研究機関での使用にとどまっていた。しかし近年になって、読み取り装置の改良によりガラス線量計の普及の障害となっていた上記主要因が改良され、併せて、全自動型リーダの出現により、TLDと同程度の精度で測定が可能になった。さらに、TLDに比べて、繰り返し読み取りが可能であること、フェーディングが小さいことなどの理由で、これまでTLDが用いられてきた用途および新用途にも用いられるものと思われる。

しかし、環境中の低レベル $\gamma$ 線量測定において、ガラス線量計の測定値と他の放射線測定機器の測定値との間に十分な整合性を保つためには、計測手順を適切なものにする。この他に、ガラス線量計に対する自己照射寄与ならびに宇宙線寄与分の評価が必要である。これら測定値間の比較を行なうためには $\gamma$ 線線量率の場所による差異と季節変動、入射 $\gamma$ 線のスペクトルと方向分布の変化、保守管理の状況、環境条件の差などが関係するが、ガラス線量計固有のものとしては自己照射寄与と宇宙線寄与を明らかにすることが必要である。

本報告は、ガラス線量計の自己照射寄与及び宇宙線寄与を実験的に評価した結果とともに環境中での連続測定に多く使用されているNaI(Tl)シンチレーション検出器による測定との比較結果について述べたものである。

## 2. ガラス線量計による測定

### 2.1 ガラス線量計およびリーダ

用いたガラス線量計は東芝ガラス(株)製のSC-1であり、ステンレスカードに固定されたガラス素子の線量計本体は、六面にエネルギー補償用フィルタが内蔵されたプラスチックカプセルに入っている。(Fig. 2.1 参照)

リーダは東芝ガラス(株)製のFGD-20である。これは、カプセルからガラスカードを自動的に取り出し、これにパルス的な紫外線レーザー光を照射して得られるラジオフォトルミネッセンスの光量の測定を行なうものである。また、高い再現性を得るために、1つのガラスカードの測定が数10回繰り返され、それらの測定値の平均値をそのガラスカードの測定値として出力する。このリーダでは一度に20カプセルまでの連続測定を行なうことができる。

### 2.2 ガラス線量計の事前処理



本積算線量計は、線量直線性がよく、また、長期間のフェーディングも小さい。照射された線量計に対するビルドアップ効果は、約24時間室温に保持することによりほぼ完了することがわかっているが、ここでは、ビルドアップを早める目的でオープンを用いて70℃、1時間の熱処理を行なった。定常的な環境測定目的のためには、配置前の積算値を登録することにより特にアニーリングを必要としない。しかしながら、測定に使用する前のガラス線量計のプレドーズが高いほど、モニタリング期間の前後における測定値の差から得られる期間中の線量値の精度は低くなる。本実験では、低線量測定でも測定精度をできるだけ良くするため、配置の前にアニーリングを行なった。アニーリングは、カプセルからガラス素子のみを取り出し、電気炉に入れ熱処理温度400℃、1時間で行なった。

### 2.3 リーダの校正方法

ガラス線量計リーダーはメーカーによって校正されているが、環境放射線用として高精度測定を行なう場合は、標準照射したガラス線量計により校正を行なう必要がある。使用したガラス線量計リーダーの取扱説明書では、装置設置後、次の2種類の校正を行なうこととなっている。すなわち、長期間での線量測定値のトレーサビリティを確保するために、年数回程度の頻度で、①標準照射したガラス線量計による内部キャリブレーションガラス(リーダーの校正のため、リーダーに内蔵されたガラスカード)の校正を行ない、日常使用時には、②内部キャリブレーションガラスによる校正を行なうこととなっている。これに従い、校正を行なった。

### 2.4 読み取り方法

ガラス線量計は、照射後ガラスカードのラジオフォトルミネッセンスの蛍光量が時間とともに増大し、やがて安定化する。これをビルドアップと呼ぶ。ガラス中に安定な蛍光中心を形成するためには、一定の時間(24時間程度)を必要とするが、これを完了させるためのもう一つの方法は、測定結果の読み取り前に乾燥器にて、以下の条件で熱処理を行なうことである。本実験では、この方法を用い、処理温度：70℃、処理時間：1時間で熱処理後、充分室温に戻してからリーダーにて読み取りを行なった。

## 3. NaI(Tl)シンチレーション検出器による測定

### 3.1 実験の概要

宇宙線遮蔽状態の異なる場所に、地殻からの $\gamma$ 線を遮蔽するためと宇宙線軟成分からの寄与を除くために厚さ10cmの鉛箱を設置し、その中に3"  $\phi$ 球形NaI(Tl)シンチレーション検出器を入れて測定を行なった。

本積算線量計は、線量直線性がよく、また、長期間のフェーディングも小さい。照射された線量計に対するビルドアップ効果は、約24時間室温に保持することによりほぼ完了することがわかっているが、ここでは、ビルドアップを早める目的でオープンを用いて70℃、1時間の熱処理を行なった。定常的な環境測定目的のためには、配置前の積算値を登録することにより特にアニーリングを必要としない。しかしながら、測定に使用する前のガラス線量計のプレドーズが高いほど、モニタリング期間の前後における測定値の差から得られる期間中の線量値の精度は低くなる。本実験では、低線量測定でも測定精度をできるだけ良くするため、配置の前にアニーリングを行なった。アニーリングは、カプセルからガラス素子のみを取り出し、電気炉に入れ熱処理温度400℃、1時間で行なった。

### 2.3 リーダの校正方法

ガラス線量計リーダーはメーカーによって校正されているが、環境放射線用として高精度測定を行なう場合は、標準照射したガラス線量計により校正を行なう必要がある。使用したガラス線量計リーダーの取扱説明書では、装置設置後、次の2種類の校正を行なうこととなっている。すなわち、長期間での線量測定値のトレーサビリティを確保するために、年数回程度の頻度で、①標準照射したガラス線量計による内部キャリブレーションガラス(リーダーの校正のため、リーダーに内蔵されたガラスカード)の校正を行ない、日常使用時には、②内部キャリブレーションガラスによる校正を行なうこととなっている。これに従い、校正を行なった。

### 2.4 読み取り方法

ガラス線量計は、照射後ガラスカードのラジオフォトルミネッセンスの蛍光量が時間とともに増大し、やがて安定化する。これをビルドアップと呼ぶ。ガラス中に安定な蛍光中心を形成するためには、一定の時間(24時間程度)を必要とするが、これを完了させるためのもう一つの方法は、測定結果の読み取り前に乾燥器にて、以下の条件で熱処理を行なうことである。本実験では、この方法を用い、処理温度：70℃、処理時間：1時間で熱処理後、充分室温に戻してからリーダーにて読み取りを行なった。

## 3. NaI(Tl)シンチレーション検出器による測定

### 3.1 実験の概要

宇宙線遮蔽状態の異なる場所に、地殻からの $\gamma$ 線を遮蔽するためと宇宙線軟成分からの寄与を除くために厚さ10cmの鉛箱を設置し、その中に3"  $\phi$ 球形NaI(Tl)シンチレーション検出器を入れて測定を行なった。

### 3. 2 チャンネル-エネルギー校正

NaI(Tl)シンチレータにおいては発光効率のエネルギー依存性のため、パルス波高をそのままエネルギーに置き換えることはできないが、ここでは、測定データから得られる $^{40}\text{K}$ と $^{208}\text{Tl}$ のエネルギー値とそのピークチャンネル値から校正直線を求め、高エネルギー側に外挿して、チャンネル値をエネルギー値に変換した。

### 3. 3 測定結果

宇宙線遮蔽状態の異なる場所(野外湖上、車庫、四階建ビルディング地下、阿武隈洞)で測定した波高分布をFig. 3.1~Fig. 3.4に示す。10cm厚の鉛遮蔽が無い場合と有る場合の宇宙線波高分布の形を比べると、低エネルギー部分(10MeV前後)ではレベルが異なるが、エネルギーが30MeV前後ではほぼ同レベルであった。これは宇宙線軟成分は10cm厚の鉛で容易に遮蔽されるが、硬成分は遮蔽されにくいいためと考えられる。波高分布で、エネルギー範囲が3MeVから50MeVまでの検出器への吸収エネルギー $E_{\text{abs}}$ を次式により計算した。結果をTable 4.1に示す。

$$E_{\text{abs}} = \int_3^{50} N(E) \cdot E \, dE \quad (3.1)$$

$E$  : エネルギー

$N(E)$  : エネルギー $E$ における計数率

## 4. 自己照射および宇宙線成分寄与に関する実験

### 4. 1 宇宙線の軟成分と硬成分について

電離箱を鉛で囲んで、鉛の厚みを増しながら電流の変化を測ると、鉛の厚さが10cm位まで電流は徐々に減少していくが、それから先は厚さを増しても電流は僅かずつしか減少しないことが知られている。一般に、宇宙線を物質に比較的吸収されやすい部分と吸収されにくい部分に分け、通常前者を軟成分、後者を硬成分と呼ぶ。本研究においては、10cm厚鉛で遮蔽される宇宙線成分を軟成分、遮蔽されない部分を硬成分とする。

環境中での測定を野外での測定と屋内での測定に分けて考えた場合、野外での宇宙線強度は緯度や高度とともに徐々に変化を示すが、屋内での宇宙線強度は、建物等による遮蔽状態に大きく依存する。この様な場所でのガラス線量計の使用に際しては、線量計に寄与する宇宙線の硬成分量と軟成分量を分離評価しておくことが、種々の測定器(検出器)から得られた宇宙線や自己汚染を含まない正味の環境ガンマ線線量値との相互比較のために必要になる。

### 3. 2 チャンネル-エネルギー校正

NaI(Tl)シンチレータにおいては発光効率のエネルギー依存性のため、パルス波高をそのままエネルギーに置き換えることはできないが、ここでは、測定データから得られる $^{40}\text{K}$ と $^{208}\text{Tl}$ のエネルギー値とそのピークチャンネル値から校正直線を求め、高エネルギー側に外挿して、チャンネル値をエネルギー値に変換した。

### 3. 3 測定結果

宇宙線遮蔽状態の異なる場所(野外湖上、車庫、四階建ビルディング地下、阿武隈洞)で測定した波高分布をFig. 3.1~Fig. 3.4に示す。10cm厚の鉛遮蔽が無い場合と有る場合の宇宙線波高分布の形を比べると、低エネルギー部分(10MeV前後)ではレベルが異なるが、エネルギーが30MeV前後ではほぼ同レベルであった。これは宇宙線軟成分は10cm厚の鉛で容易に遮蔽されるが、硬成分は遮蔽されにくいと考えられる。波高分布で、エネルギー範囲が3MeVから50MeVまでの検出器への吸収エネルギー $E_{\text{abs}}$ を次式により計算した。結果をTable 4.1に示す。

$$E_{\text{abs}} = \int_3^{50} N(E) \cdot E \, dE \quad (3.1)$$

$E$  : エネルギー

$N(E)$  : エネルギー $E$ における計数率

## 4. 自己照射および宇宙線成分寄与に関する実験

### 4. 1 宇宙線の軟成分と硬成分について

電離箱を鉛で囲んで、鉛の厚みを増しながら電流の変化を測ると、鉛の厚さが10cm位まで電流は徐々に減少していくが、それから先は厚さを増しても電流は僅かずつしか減少しないことが知られている。一般に、宇宙線を物質に比較的吸収されやすい部分と吸収されにくい部分に分け、通常前者を軟成分、後者を硬成分と呼ぶ。本研究においては、10cm厚鉛で遮蔽される宇宙線成分を軟成分、遮蔽されない部分を硬成分とする。

環境中での測定を野外での測定と屋内での測定に分けて考えた場合、野外での宇宙線強度は緯度や高度とともに徐々に変化を示すが、屋内での宇宙線強度は、建物等による遮蔽状態に大きく依存する。この様な場所でのガラス線量計の使用に際しては、線量計に寄与する宇宙線の硬成分量と軟成分量を分離評価しておくことが、種々の測定器(検出器)から得られた宇宙線や自己汚染を含まない正味の環境ガンマ線線量値との相互比較のために必要になる。

#### 4. 2 実験の概要

ガラス線量計の自己照射寄与分は、宇宙線の寄与のほとんどない地下等で、線量計自体からくる自己照射寄与分以外の地殻等からの $\gamma$ 線を遮蔽した状態で測定することにより得ることができるが、身近にそのような条件の場所を準備できなかったのでここでは以下の方法により評価した。

宇宙線の遮蔽状態の異なる3地点に厚さ10cmの鉛箱を設置し、この中にガラス線量計を配置するとともに同鉛箱内で3"  $\phi$ 球形NaI(Tl)シンチレーション検出器により3 MeV以上の吸収エネルギーの測定を実施した(Photo 4.1)。この実験に用いたガラス線量計は、ガラス素子の成分や原料が同じで、製造年月日の異なる数種類のロット群から成り、ロットによる自己照射寄与の違いについても検討した。ガラス線量計読値とNaI(Tl)シンチレーション検出器による吸収エネルギー値との相関から、吸収エネルギーを零に外挿して得たガラス線量計値が自己照射寄与分である。また、宇宙線硬成分については、NaI(Tl)シンチレータへの単位吸収エネルギー当りのガラス線量計への線量率寄与分は回帰直線の回帰係数として求まる。したがって、ガラス線量計に寄与する宇宙線硬成分は回帰係数と3 MeV以上のNaI(Tl)シンチレータへの吸収エネルギーの積として求めることができる。

また、野外におけるガラス線量計への軟成分寄与を実測評価する目的で、4階建て建物の屋上に設置した下方向遮蔽鉛遮蔽体にて、ガラス線量計と3"  $\phi$ 球形NaI(Tl)シンチレーション検出器による並行測定を116日間にわたって実施した(Photo 4.2)。大気中天然放射性物質(主としてラドン娘核種)および地殻起因等の散乱 $\gamma$ 線からの線量寄与分、自己照射寄与分及び宇宙線硬成分寄与をガラス線量計の測定値から差し引き、ガラス線量計に対する宇宙線軟成分寄与を求めた。

#### 4. 3 評価法

ガラス線量計測定値とNaI(Tl)シンチレーション検出器による吸収エネルギー値の相関関係を次式で表わす。次式において、吸収エネルギーを零に外挿して得た切片  $b$  がガラス線量計の自己照射寄与分、直線の傾き  $a$  が単位吸収エネルギー当りのガラス線量計への線量率寄与分である。

$$R_j = a \cdot E_j + b \quad (4.1)$$

ここに、 $R_j$ はある場所でのガラス線量計の読値平均

$E_j$ はある場所でのNaI(Tl)シンチレーション検出器による

吸収エネルギー値

$j$ は場所のパラメータ

$a$ は直線の傾き

$b$ は直線の切片

回帰方程式を(4.1)とし、残差を $\varepsilon_j$ とすると、

$$\varepsilon_j = R_j - a \cdot E_j - b \quad (4.2)$$

となる。ここで、どのデータも値の大小によらずに等しい重みをもつデータとして扱うために、 $E_j$ の逆数の重み付けしたものの平方の和

$$Q = \sum (R_j/E_j - a - b/E_j)^2 \quad (4.3)$$

を最小にする  $a$ 、 $b$  を求めると、

$$a = (V1 \cdot W2 - V2 \cdot W1) / (V1 \cdot W3 - V3 \cdot W1) \quad (4.4)$$

$$b = (V2 \cdot W3 - V3 \cdot W2) / (V1 \cdot W3 - V3 \cdot W1) \quad (4.5)$$

となる。ここに、

$$V1 = \sum 1/E_j$$

$$V2 = \sum R_j/E_j$$

$$V3 = \sum$$

$$W1 = \sum 1/E_j^2$$

$$W2 = \sum R_j/E_j^2$$

$$W3 = V1$$

である。標準偏差は次式で表される。

$$\sigma_a = (\sum (a/E_j)^2 \cdot \sigma_{E_j}^2 + \sum (a/R_j)^2 \cdot \sigma_{R_j}^2)^{0.5} \quad (4.6)$$

$$\sigma_b = (\sum (b/E_j)^2 \cdot \sigma_{E_j}^2 + \sum (b/R_j)^2 \cdot \sigma_{R_j}^2)^{0.5} \quad (4.7)$$

#### 4. 4 実験結果

##### 自己照射寄与分・宇宙線硬成分

実験から得られたガラス線量計測定値とNaI(Tl)シンチレーション検出器による吸収エネルギー値をTable 4.1に示す。これらの相関(Fig. 4.1参照)について、最小二乗法を用いて検討した。Table 4.2に最小二乗法により得られた自己照射および宇宙線による線量寄与を示す。ガラス線量計の宇宙線感度に対する各ロットの直線の傾き $a$ はロットによらずほぼ一致した。また、各ロット間の違いは製造時期の違いに依存しており、製造過程の微妙な違いに起因するものと思われるが、ロット間で切片 $b$ (自己照射寄与分)がそれぞれ明らかに異なる値を示した。これを前提にして、再度、各ロットの直線の切片を求めた。Table 4.2は傾きが一定( $0.992 \pm 0.106 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} / (\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1})$ )であるとして自己照射寄与を評価した結果を示す。この結果、ロットにより $0.98 \sim 7.64 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ までの幅を示した。直線の傾き $a$ を $0.992 \pm 0.106 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} / (\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1})$ として、地上での宇宙線硬成分によるガラス線量計への寄与分 $D_h$ を求める。地上におけるNaI(Tl)シンチレーション検出器による吸収エネルギー値を $E_{\text{abs}}$ とすると下記の通りとなる。

$$D_h = E_{\text{abs}} \cdot a$$

Table 4.2に示す通り、 $D_h$ は次のように評価される。

$$D_h = 20.5 \pm 3.0 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$$

##### 宇宙線軟成分

軟成分評価のための測定実験(Table 4.3参照)から、期間中(116日)配置された複数の

ガラス線量計の読値平均値は、ロットEでは  $103.2 \pm 2.0 \mu\text{Gy}$ 、ロットFでは  $94.4 \pm 1.3 \mu\text{Gy}$  であった。連続モニターにより得られた測定値から宇宙線分および $^{40}\text{K}$ 汚染分を除いた期間積算値は  $17.1 \pm 0.9 \mu\text{Gy}$ 、期間中の自己照射寄与分・宇宙線硬成分寄与分はロットEでは  $66.8 \pm 8.6 \mu\text{Gy}$ 、ロットFでは  $59.8 \pm 8.6 \mu\text{Gy}$  であった。したがって、期間中の軟成分寄与分はロットEで  $19.3 \pm 8.9 \mu\text{Gy}$ 、ロットFで  $17.4 \pm 8.7 \mu\text{Gy}$  となった。ロットによる違いは誤差の範囲内であり、したがって、ガラス線量計に対する宇宙線軟成分寄与分は、両グループの線量率平均値として、 $6.6 \pm 2.2 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ と評価される。

## 5. 一般環境での測定実験

### 5.1 実験の概要

環境中に配置されたガラス線量計は、必ずしも地面と並行に設置されるとは限らない。そこで、設置方向によるガラス線量計の読値の違いを確認する目的で、平坦な地形の一般環境中に、ガラス線量計を縦方向、横方向、斜方向に向けて、一定期間設置した(Photo 5.1)。

ガラス線量計から得た値と $2" \Phi \times 2" \text{NaI(Tl)}$ 測定器によって得られた値を比較することを試みた(Photo 5.2)。原研では、環境中の放射線を連続的に測定する目的で、モニタリング・ポストが用いられている。これから得られたデータは、環境放射線監視システムにより収集される。モニタリング・ポストの検出器カバー表面にガラス線量計を設置し、130日間の比較測定を実施した。双方の測定データから宇宙線寄与分、自己照射寄与分を差し引き、正味の環境放射線量の比較を行なった。

### 5.2 実験結果

#### 方向依存性

読み取りを行なった結果を Table 4.4 に示す。この結果から、設置方向による違いは誤差の範囲内であり、特に、違いは無いことがわかった。

#### 比較測定

モニタリング・ポストから得た連続モニタ測定値の積算値とガラス線量計の測定値を Table 4.5 に示す。ガラス線量計による値が若干(数%)低い傾向であるが、ほぼ、良い一致を示した。

ガラス線量計の読値平均値は、ロットEでは  $103.2 \pm 2.0 \mu\text{Gy}$ 、ロットFでは  $94.4 \pm 1.3 \mu\text{Gy}$  であった。連続モニターにより得られた測定値から宇宙線分および<sup>40</sup>K汚染分を除いた期間積算値は  $17.1 \pm 0.9 \mu\text{Gy}$ 、期間中の自己照射寄与分・宇宙線硬成分寄与分はロットEでは  $66.8 \pm 8.6 \mu\text{Gy}$ 、ロットFでは  $59.8 \pm 8.6 \mu\text{Gy}$  であった。したがって、期間中の軟成分寄与分はロットEで  $19.3 \pm 8.9 \mu\text{Gy}$ 、ロットFで  $17.4 \pm 8.7 \mu\text{Gy}$  となった。ロットによる違いは誤差の範囲内であり、したがって、ガラス線量計に対する宇宙線軟成分寄与分は、両グループの線量率平均値として、 $6.6 \pm 2.2 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$  と評価される。

## 5. 一般環境での測定実験

### 5.1 実験の概要

環境中に配置されたガラス線量計は、必ずしも地面と並行に設置されるとは限らない。そこで、設置方向によるガラス線量計の読値の違いを確認する目的で、平坦な地形の一般環境中に、ガラス線量計を縦方向、横方向、斜方向に向けて、一定期間設置した(Photo 5.1)。

ガラス線量計から得た値と2"Φx2"NaI(Tl)測定器によって得られた値を比較することを試みた(Photo 5.2)。原研では、環境中の放射線を連続的に測定する目的で、モニタリング・ポストが用いられている。これから得られたデータは、環境放射線監視システムにより収集される。モニタリング・ポストの検出器カバー表面にガラス線量計を設置し、130日間の比較測定を実施した。双方の測定データから宇宙線寄与分、自己照射寄与分を差し引き、正味の環境放射線量の比較を行なった。

### 5.2 実験結果

#### 方向依存性

読み取りを行なった結果を Table 4.4 に示す。この結果から、設置方向による違いは誤差の範囲内であり、特に、違いは無いことがわかった。

#### 比較測定

モニタリング・ポストから得た連続モニタ測定値の積算値とガラス線量計の測定値を Table 4.5 に示す。ガラス線量計による値が若干(数%)低い傾向であるが、ほぼ、良い一致を示した。



## 6. むすび

本報告では、実験から決定された自己照射寄与、宇宙線寄与の値を示した。さらに、実環境での測定を実施し、その測定値からこれらの評価された寄与を差し引くことにより、他の測定器により得られた測定値と良く一致することを示した。

## 謝辞

本研究を遂行する上で次の諸氏の御指導、御協力を戴きました。ガラス線量計のロットの違いによる自己照射および宇宙線寄与の評価のために東芝ガラス㈱から調査のためのガラス線量計一式貸与の便宜とアドバイスを戴きました。阿武隈鍾乳洞の現地使用にあたり、福島県滝根町商工観光課および阿武隈洞管理事務所の御協力を戴きました。酒沼湖上での宇宙線測定にあたっては(財)放射線計測協会の御協力を戴きました。また、モニタリングポスト使用および観測データの使用にあたっては日本原子力研究所保健物理部放射線管理第1課の御協力を戴きました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1)P. Ambrosi, R. Neuhaust and E. Piesch: "First Experience with Pattern Approvals of Dosimetry Systems in Germany", Radiat. Prot. Dosim. 47 No.1/4 401-407(1993)
- (2)E. Piesch, B. Burgkhardt and M. Vilgis: "Progress in Phosphate Glass Dosimetry: Experiences and Routine monitoring with a Modern Dosimetry System", Radiat. Prot. Dosim. 47 No.1/4 401-407(1993)
- (3)E. Piesch, B. Burgkhardt and M. Vilgis: "Measurement of Low Photon Exposures using Full Automatic Phosphate Glass Dosimetry System with UV Laser Excitation", IRPA, 8th Montreal(Canada) May 17-22 (1992)
- (4)S. MORIUCHI, R. SAKAMOTO, T. NAGAOKA and K. SAITO: "Experimental Determination of Cosmic-ray Response of TLD for Environmental Use", IRPA, 6th International congress Berlin(West) May 7-12 (1984)
- (5)坂本隆一、斎藤公明、長岡 鋭、堤 正博、森内 茂: "TLDを用いた積雪期間中の環境 $\gamma$ 線線量率の減衰の測定", JAERI-M 90-217 (1990)
- (6)東芝ガラス㈱ "東芝ガラス線量計リーダ FGD-20 取扱い説明書"

## 6. むすび

本報告では、実験から決定された自己照射寄与、宇宙線寄与の値を示した。さらに、実環境での測定を実施し、その測定値からこれらの評価された寄与を差し引くことにより、他の測定器により得られた測定値と良く一致することを示した。

## 謝辞

本研究を遂行する上で次の諸氏の御指導、御協力を戴きました。ガラス線量計のロットの違いによる自己照射および宇宙線寄与の評価のために東芝ガラス㈱から調査のためのガラス線量計一式貸与の便宜とアドバイスを戴きました。阿武隈鍾乳洞の現地使用にあたり、福島県滝根町商工観光課および阿武隈洞管理事務所の御協力を戴きました。酒沼湖上での宇宙線測定にあたっては(財)放射線計測協会の御協力を戴きました。また、モニタリングポスト使用および観測データの使用にあたっては日本原子力研究所保健物理部放射線管理第1課の御協力を戴きました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1)P. Ambrosi, R. Neuhaust and E. Piesch: "First Experience with Pattern Approvals of Dosimetry Systems in Germany", Radiat. Prot. Dosim. 47 No.1/4 401-407(1993)
- (2)E. Piesch, B. Burgkhardt and M. Vilgis: "Progress in Phosphate Glass Dosimetry: Experiences and Routine monitoring with a Modern Dosimetry System", Radiat. Prot. Dosim. 47 No.1/4 401-407(1993)
- (3)E. Piesch, B. Burgkhardt and M. Vilgis: "Measurement of Low Photon Exposures using Full Automatic Phosphate Glass Dosimetry System with UV Laser Excitation", IRPA, 8th Montreal(Canada) May 17-22 (1992)
- (4)S. MORIUCHI, R. SAKAMOTO, T. NAGAOKA and K. SAITO: "Experimental Determination of Cosmic-ray Response of TLD for Environmental Use", IRPA, 6th International congress Berlin(West) May 7-12 (1984)
- (5)坂本隆一、斎藤公明、長岡 鋭、堤 正博、森内 茂: "TLDを用いた積雪期間中の環境 $\gamma$ 線線量率の減衰の測定", JAERI-M 90-217 (1990)
- (6)東芝ガラス㈱ "東芝ガラス線量計リーダ FGD-20 取扱い説明書"

## 6. むすび

本報告では、実験から決定された自己照射寄与、宇宙線寄与の値を示した。さらに、実環境での測定を実施し、その測定値からこれらの評価された寄与を差し引くことにより、他の測定器により得られた測定値と良く一致することを示した。

## 謝辞

本研究を遂行する上で次の諸氏の御指導、御協力を戴きました。ガラス線量計のロットの違いによる自己照射および宇宙線寄与の評価のために東芝ガラス㈱から調査のためのガラス線量計一式貸与の便宜とアドバイスを戴きました。阿武隈鍾乳洞の現地使用にあたり、福島県滝根町商工観光課および阿武隈洞管理事務所の御協力を戴きました。酒沼湖上での宇宙線測定にあたっては(財)放射線計測協会の御協力を戴きました。また、モニタリングポスト使用および観測データの使用にあたっては日本原子力研究所保健物理部放射線管理第1課の御協力を戴きました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1)P. Ambrosi, R. Neuhaust and E. Piesch: "First Experience with Pattern Approvals of Dosimetry Systems in Germany", Radiat. Prot. Dosim. 47 No.1/4 401-407(1993)
- (2)E. Piesch, B. Burgkhardt and M. Vilgis: "Progress in Phosphate Glass Dosimetry: Experiences and Routine monitoring with a Modern Dosimetry System", Radiat. Prot. Dosim. 47 No. 1/4 401-407(1993)
- (3)E. Piesch, B. Burgkhardt and M. Vilgis: "Measurement of Low Photon Exposures using Full Automatic Phosphate Glass Dosimetry System with UV Laser Excitation", IRPA, 8th Montreal(Canada) May 17-22 (1992)
- (4)S. MORIUCHI, R. SAKAMOTO, T. NAGAOKA and K. SAITO: "Experimental Determination of Cosmic-ray Response of TLD for Environmental Use", IRPA, 6th International congress Berlin(West) May 7-12 (1984)
- (5)坂本隆一、斎藤公明、長岡 鋭、堤 正博、森内 茂: "TLDを用いた積雪期間中の環境 $\gamma$ 線線量率の減衰の測定", JAERI-M 90-217 (1990)
- (6)東芝ガラス㈱ "東芝ガラス線量計リーダ FGD-20 取扱説明書"

Table 4.1 Absorbed energy due to cosmic-ray component between 3 and 50 MeV by 3"φ spherical NaI(Tl) scintillation detector and dose rate measured by glass dosimeter

(a) Absorbed energy by 3" φ spherical NaI(Tl) scintillation detector

Place	Absorbed energy by NaI(Tl) det. (MeV/sec)
On Hinuma lake	$20.7 \pm 2.1$
In a Pb-box In a garage	$18.6 \pm 1.9$
of 10 cm Inside a building	$13.0 \pm 1.3$
thick In Abukuma cave	$2.14 \pm 0.21$

(b) Dose rate measured by glass dosimeter

Place	Pb-box in a garage (nGy/h)	Pb-box inside a building (nGy/h)	Pb-box in Abukuma cave (nGy/h)
Lot A	$24.6 \pm 1.7$	$19.2 \pm 0.6$	$8.60 \pm 0.66$
Lot B	$23.8 \pm 1.9$	$19.8 \pm 0.3$	$7.80 \pm 1.08$
Lot C	$26.1 \pm 4.6$	$20.8 \pm 0.6$	$9.42 \pm 0.99$
Lot D	$23.8 \pm 1.8$	$16.5 \pm 0.6$	$7.14 \pm 1.44$
Lot E	$21.9 \pm 0.5$	$16.5 \pm 0.9$	$5.46 \pm 0.99$
Lot F	$19.4 \pm 0.5$	$13.6 \pm 0.7$	$3.31 \pm 0.38$



Table 4.3 Dose contribution of soft component of cosmic-ray for glass dosemeter

(a) Gross values of glass dosemeters during the period of 116 days

	Gross values( $\mu$ Gy)
Lot E	103.2 $\pm$ 2.0
Lot F	94.4 $\pm$ 1.3

(b) Accumulated values of the dose rates measured by continuous monitor during the same period of 116 days

17.1  $\pm$  0.9  $\mu$  Gy

(c) Accumulated contribution of hard component of cosmic-ray and self-irradiation during the same period of 116 days

	Total values( $\mu$ Gy)
Lot E	66.8 $\pm$ 8.6
Lot F	59.8 $\pm$ 8.6

(d) Dose contribution of soft component of cosmic-ray

	Evaluated values for 116 days ( $\mu$ Gy)	Dose rate contribution of soft component of cosmic-ray (nGy/h)
Lot E	19.3 $\pm$ 8.9	6.9 $\pm$ 3.2
Lot F	17.4 $\pm$ 8.7	6.3 $\pm$ 3.1

Table 4.4 Directional dependence of the glass dosemeters distributed in the environment during the period of 116 days

Direction	Gross values( $\mu$ Gy)
Vertical	$168.3 \pm 2.8$
Horizontal	$165.3 \pm 1.7$
Oblique	$169.5 \pm 1.9$

Table 4.5 Comparison between the values measured by glass dosemeters and a 2"φ X 2" NaI(Tl) scintillation detector

(a) Accumulated values of the dose rates measured by continuous monitor during the period of 130 days

Measured place	Accumulated values( $\mu$ Gy)
MP - 1 1	117.5 $\pm$ 11.8
MP - 1 4	144.1 $\pm$ 14.4
MP - 1 5	108.8 $\pm$ 10.9
MP - 1 8	111.0 $\pm$ 11.1
MP - 2 5	104.2 $\pm$ 10.4

(b) Values measured by glass dosemeter during the same period of 130 days

Measured place	Gross values ( $\mu$ Gy)	Net values during the periods* ( $\mu$ Gy)
MP - 1 1	206.3 $\pm$ 7.5	118.6 $\pm$ 14.1
MP - 1 4	221.5 $\pm$ 4.2	133.8 $\pm$ 12.6
MP - 1 5	193.8 $\pm$ 3.6	106.1 $\pm$ 12.4
MP - 1 8	193.3 $\pm$ 3.9	105.6 $\pm$ 12.5
MP - 2 5	185.8 $\pm$ 5.1	98.1 $\pm$ 12.9

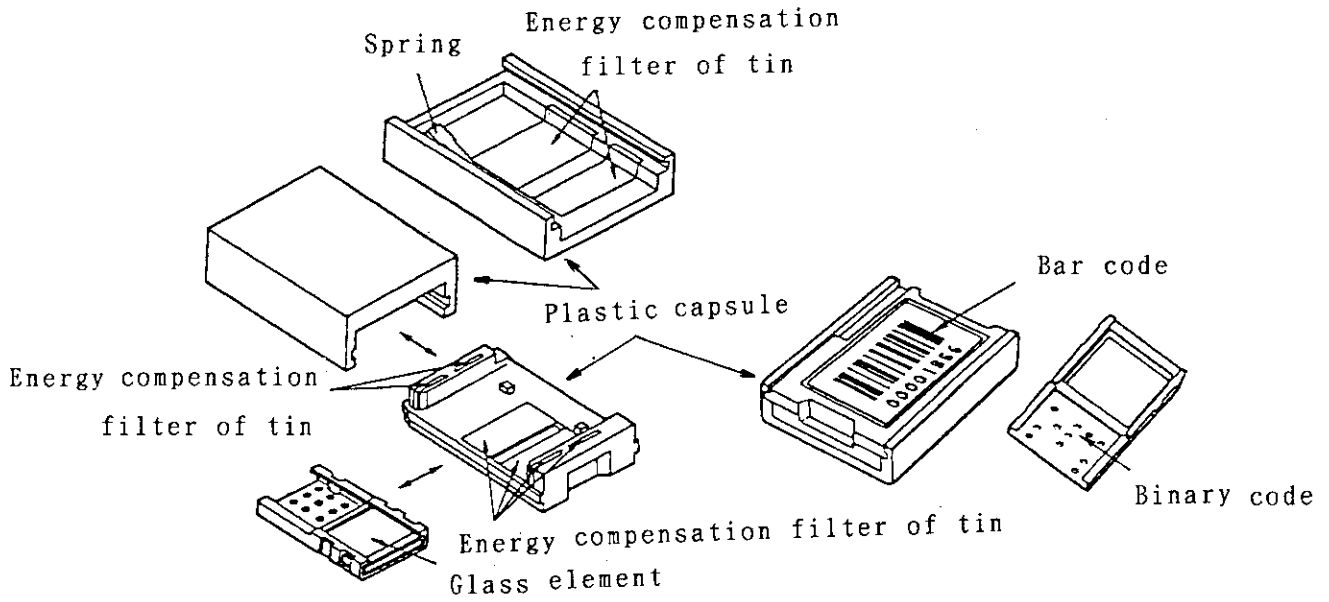
\* The total doses contributed from cosmic-ray and self-irradiation during the periods was calculated to be 87.7  $\pm$  11.9  $\mu$  Gy .

(c) Comparison between continuous monitor and glass dosemeter during 130 days

Measured place	Values of monitor (A)	Net values of glass dosemeter(B)	Rate(B/A)
MP - 1 1	117.5 $\pm$ 11.8	118.6 $\pm$ 14.1	1.01 $\pm$ 0.16
MP - 1 4	144.1 $\pm$ 14.4	133.8 $\pm$ 12.6	0.93 $\pm$ 0.13
MP - 1 5	108.8 $\pm$ 10.9	106.1 $\pm$ 12.4	0.98 $\pm$ 0.15
MP - 1 8	111.0 $\pm$ 11.1	105.6 $\pm$ 12.5	0.95 $\pm$ 0.15
MP - 2 5	104.2 $\pm$ 10.4	98.1 $\pm$ 12.9	0.94 $\pm$ 0.16



Structure of Glass dosemeter SC-1



Outline of the Reader FGD-20

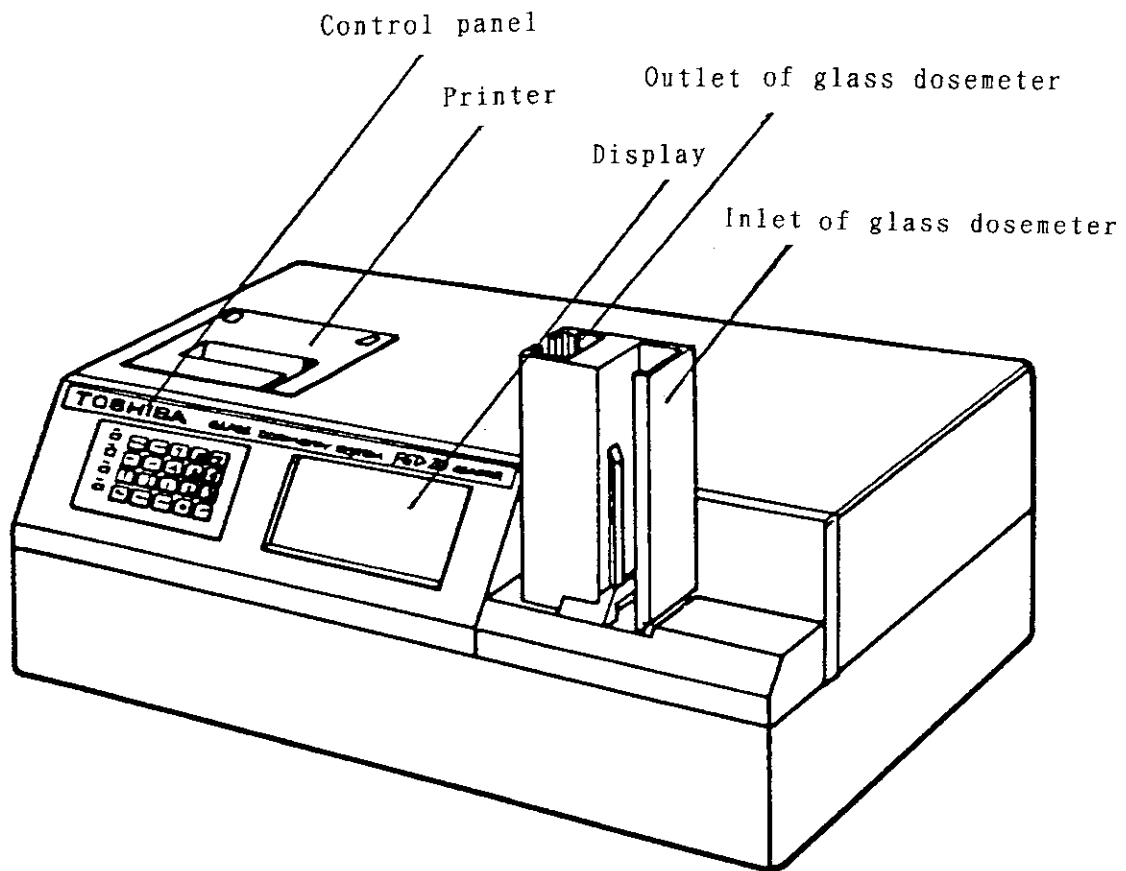


Fig. 2.1 Glass dosemeter and Reader

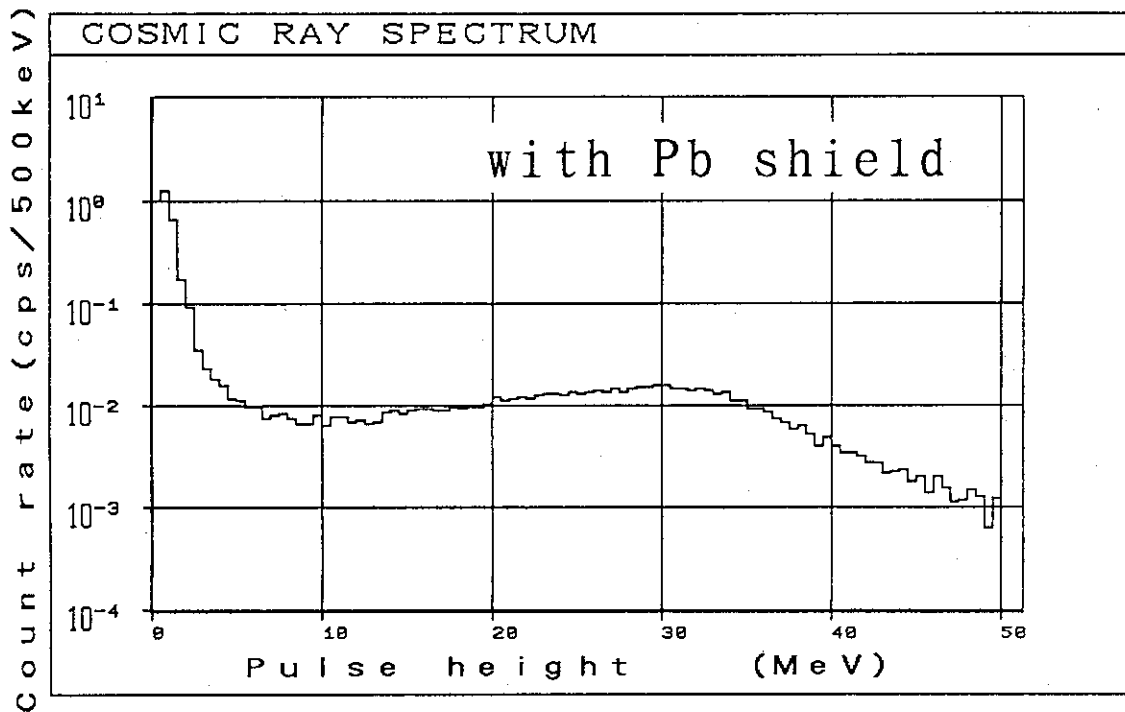
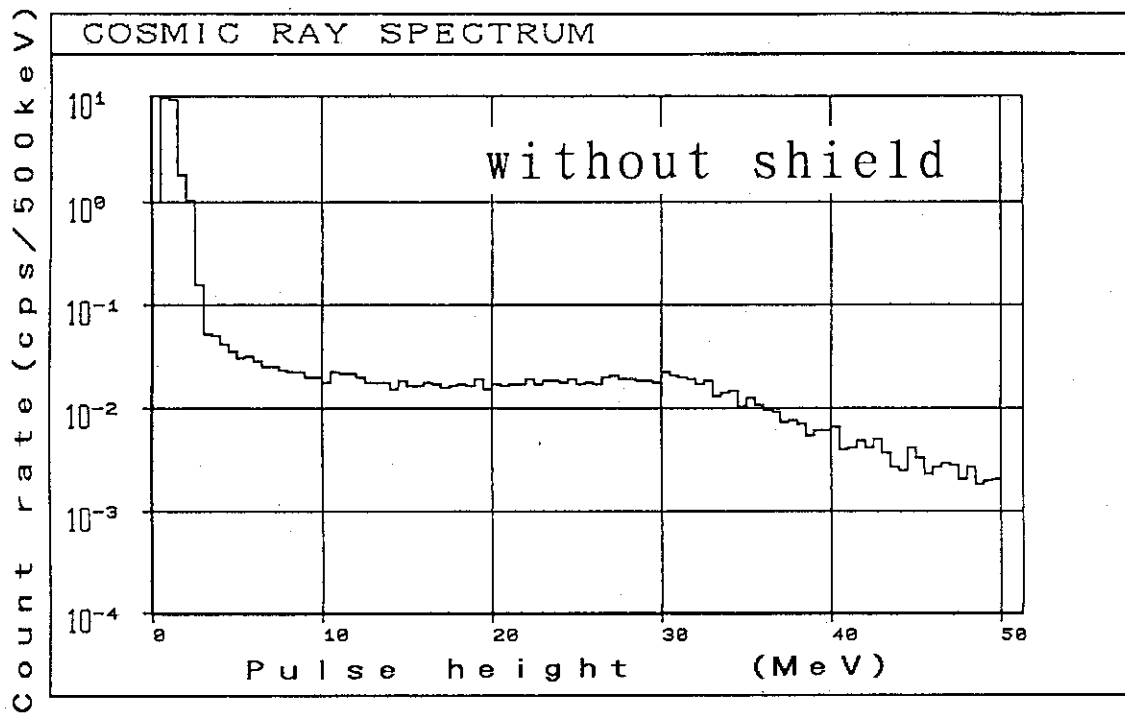


Fig. 3.1 Cosmic ray pulse height spectra with and without 10 cm thick lead shield measured outdoors in JAERI by a 3"  $\phi$  spherical NaI(Tl) scintillation detector

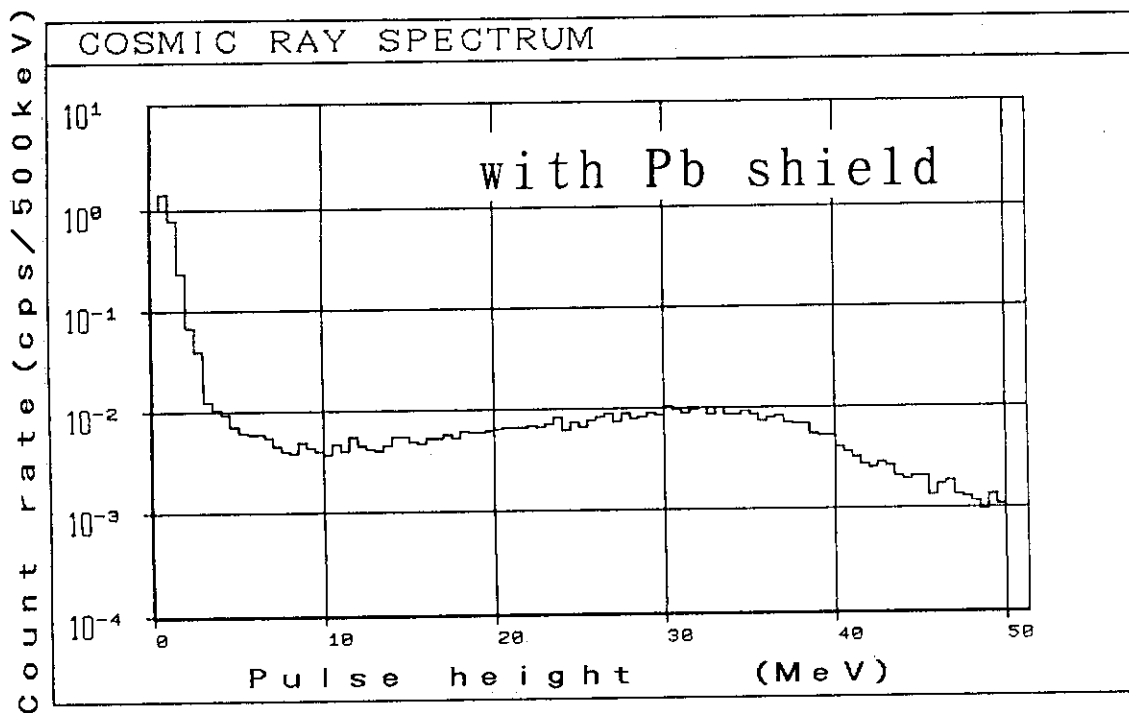
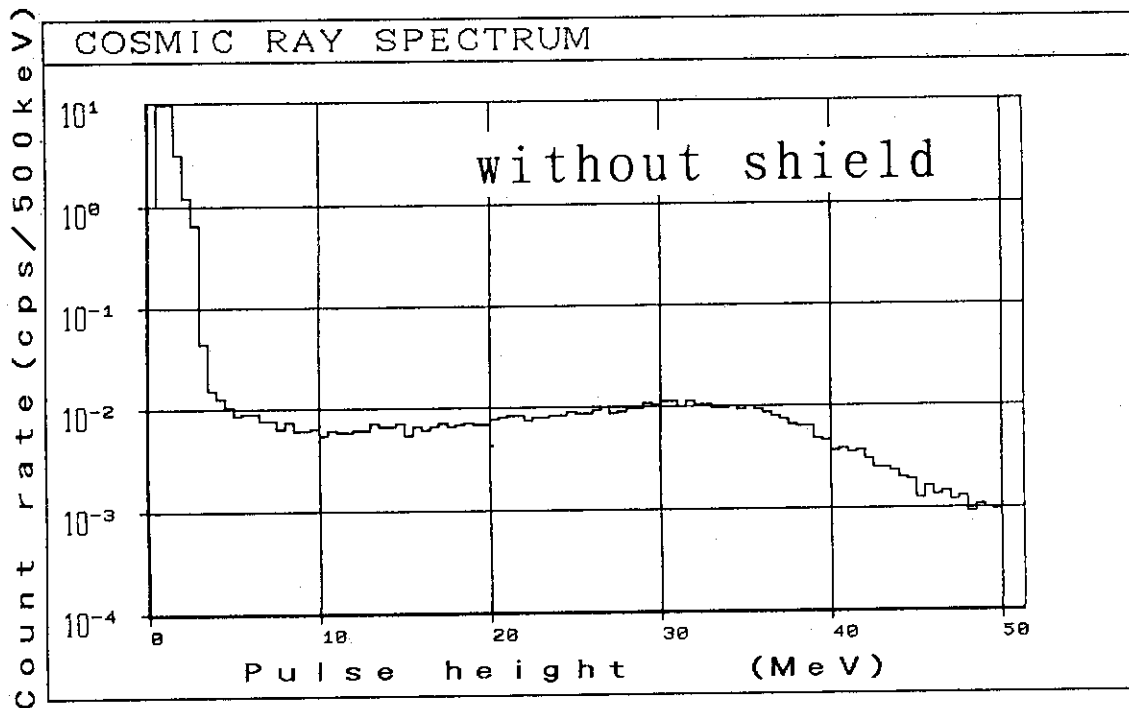


Fig. 3.2 Cosmic ray pulse height spectra with and without 10 cm thick lead shield measured in the building in JAERI by a 3"  $\phi$  spherical NaI(Tl) scintillation detector

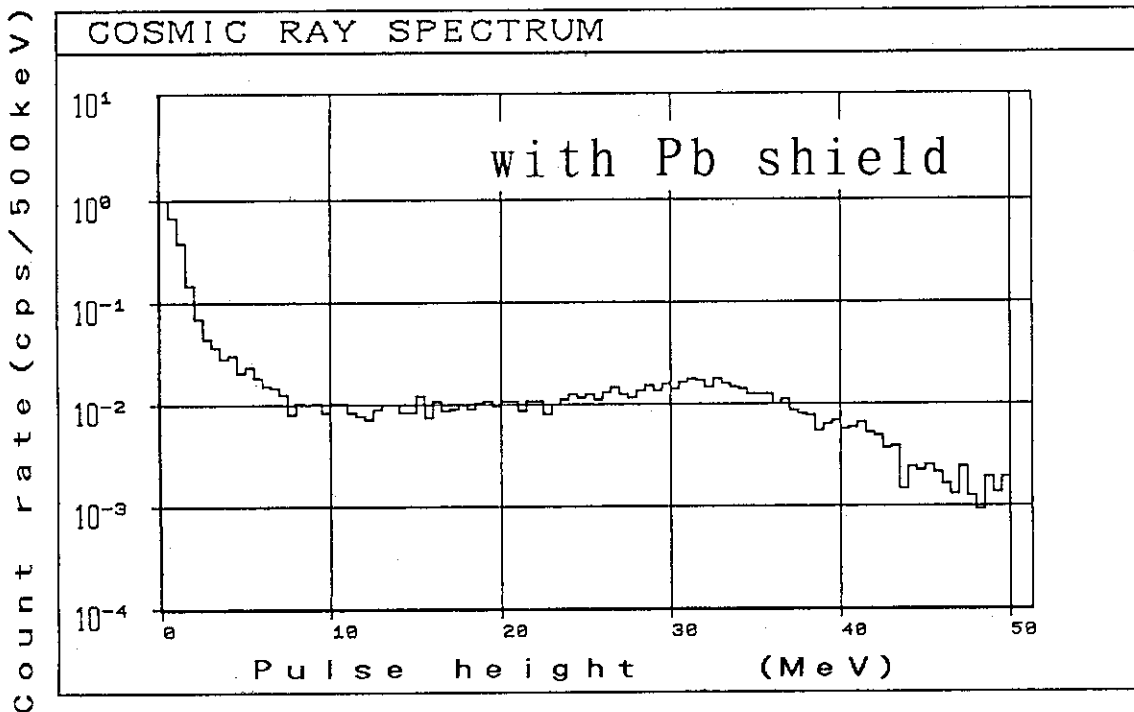
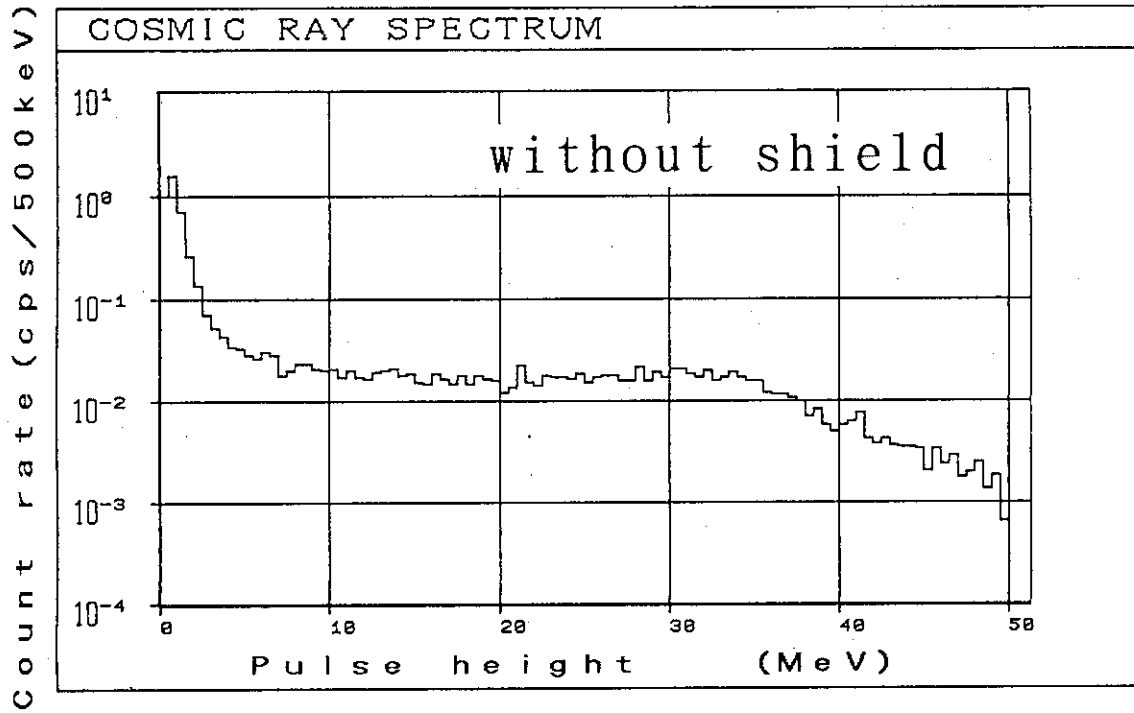


Fig. 3.3 Cosmic ray pulse height spectra with and without 10 cm thick lead shield measured at the level on lake Hinuma by a 3"  $\phi$  spherical NaI(Tl) scintillation detector

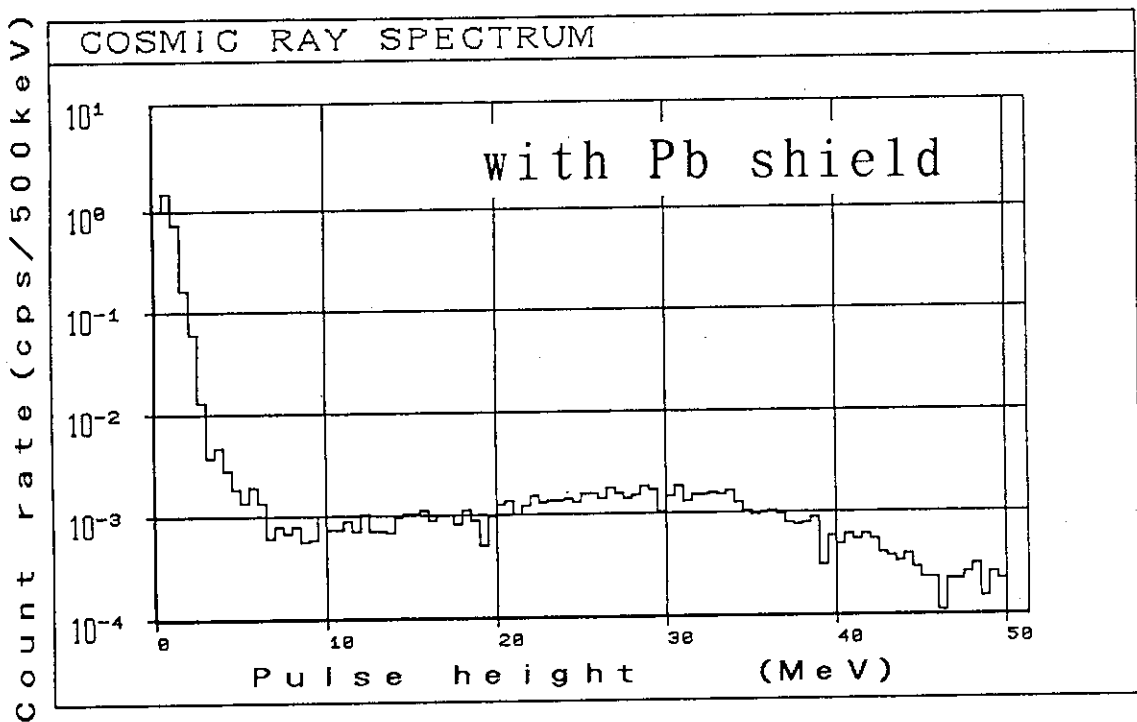
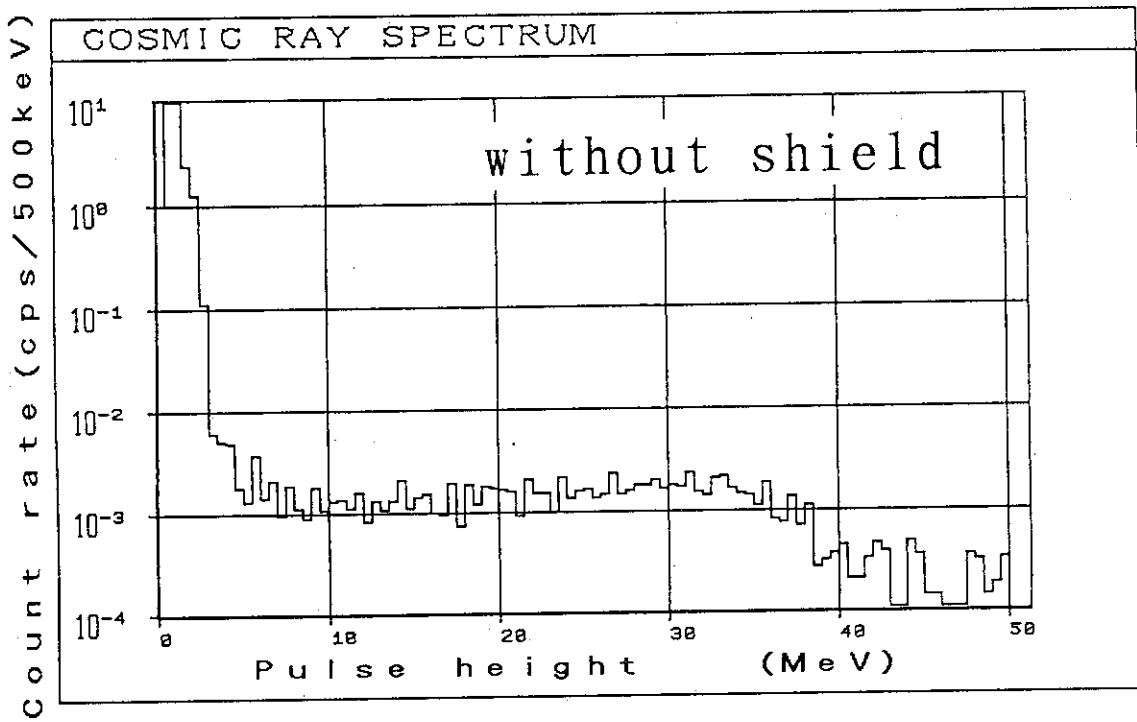


Fig. 3.4 Cosmic ray pulse height spectra with and without 10 cm lead shield measured inside Abukuma cave by a 3"  $\phi$  spherical NaI(Tl) scintillation detector

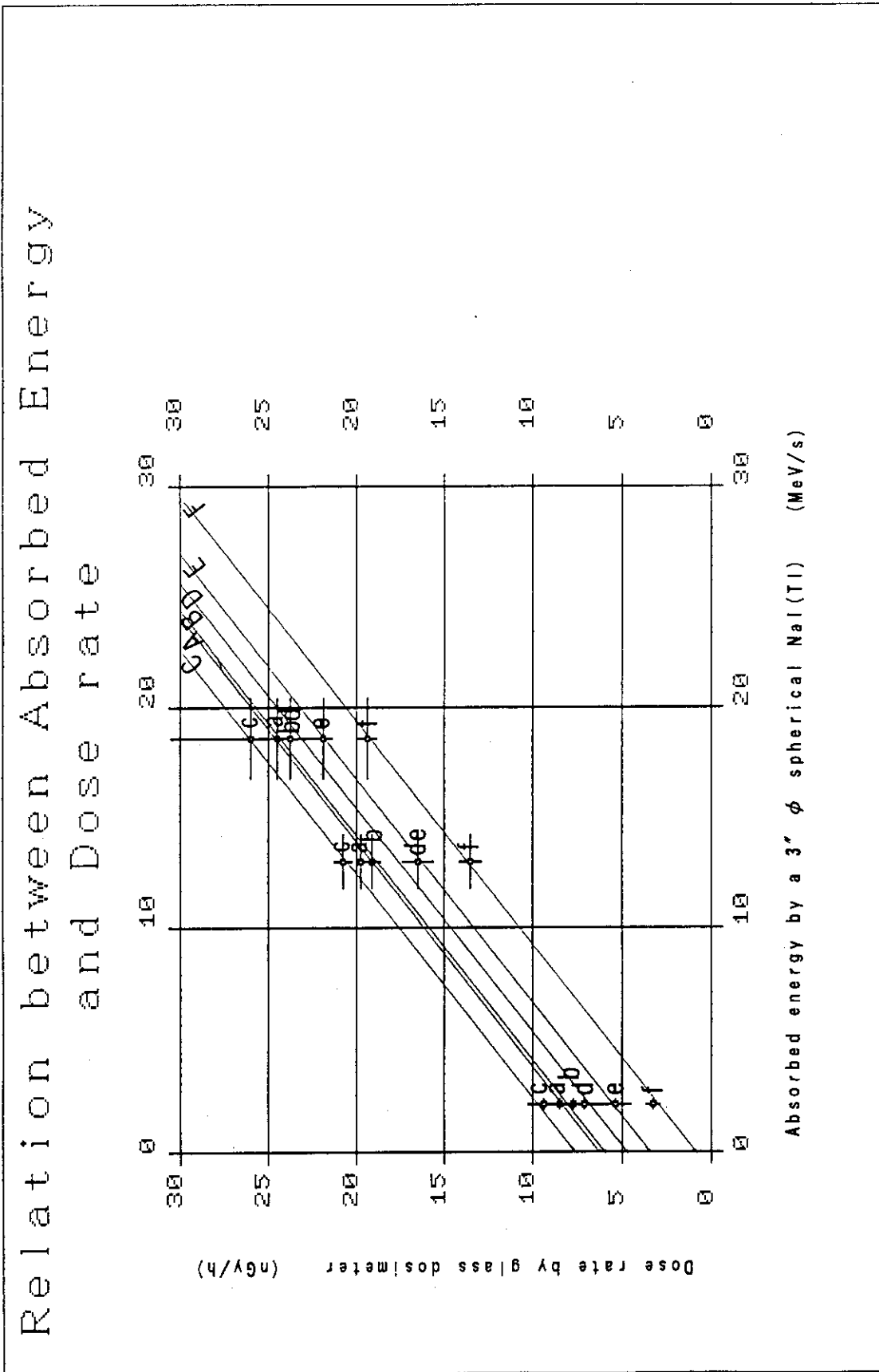


Fig. 4.1 Relation between absorbed energy by a 3"  $\phi$  spherical NaI(Tl) scintillation detector and dose rate by glass dosimeter

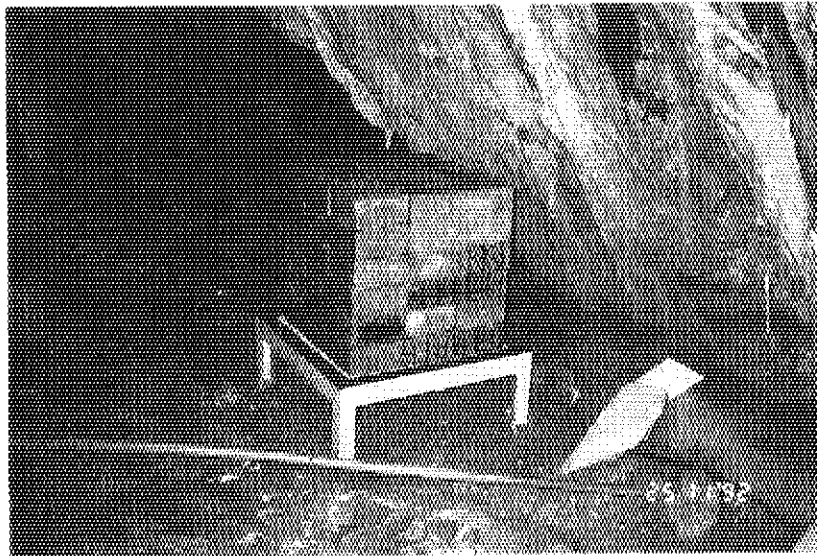


Photo 4.1 Experiment for determination of the contribution of self-irradiation

Glass dosemeters were set in a Pb-box of 10 cm thick inside Abukum cave

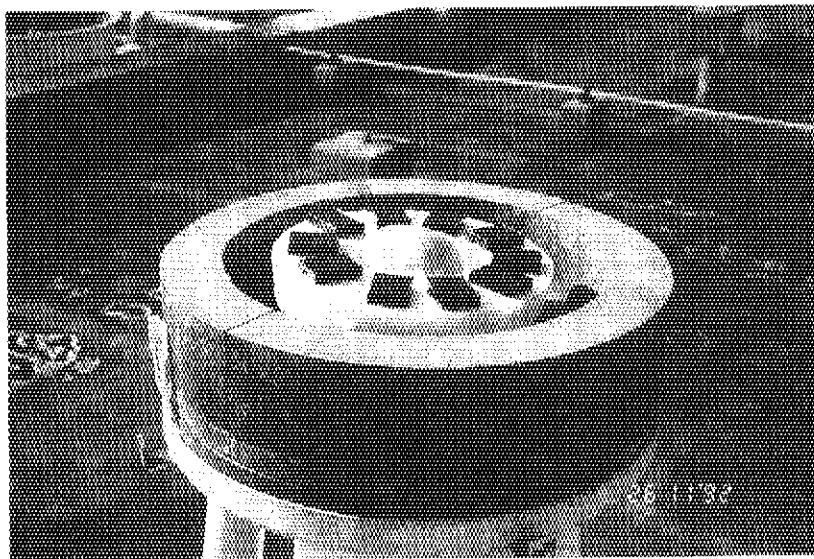


Photo 4.2 Experiment for the measurement of soft component of cosmic-ray using glass dosemeters

Glass dosemeters and a spherical NaI(Tl) det. were set in the center of the special cylindrical lead shield on the roof of four-storied building against terrestrial gamma ray

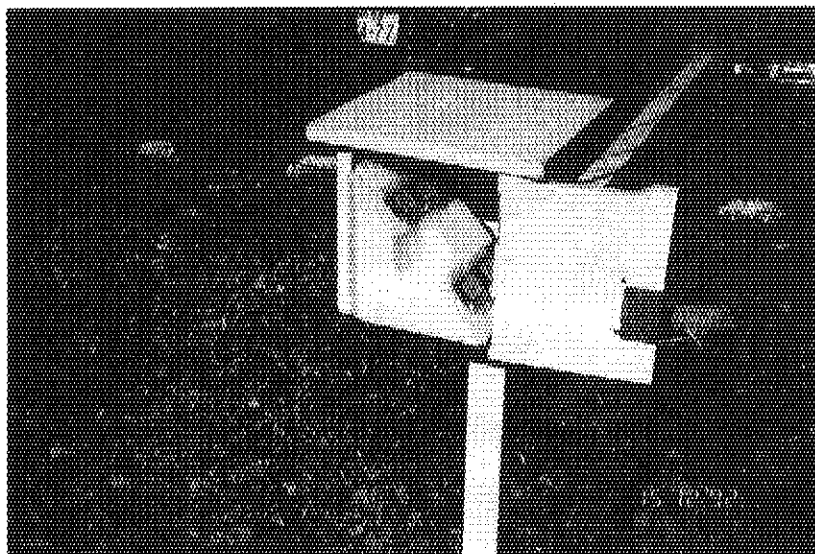


Photo 5.1 Experiment for the measurement of the directional characteristics of glass dosimeters in the environment

Glass dosimeters were set vertical, horizontal and oblique posture against the ground inside the wooden box at 1m height above the ground.

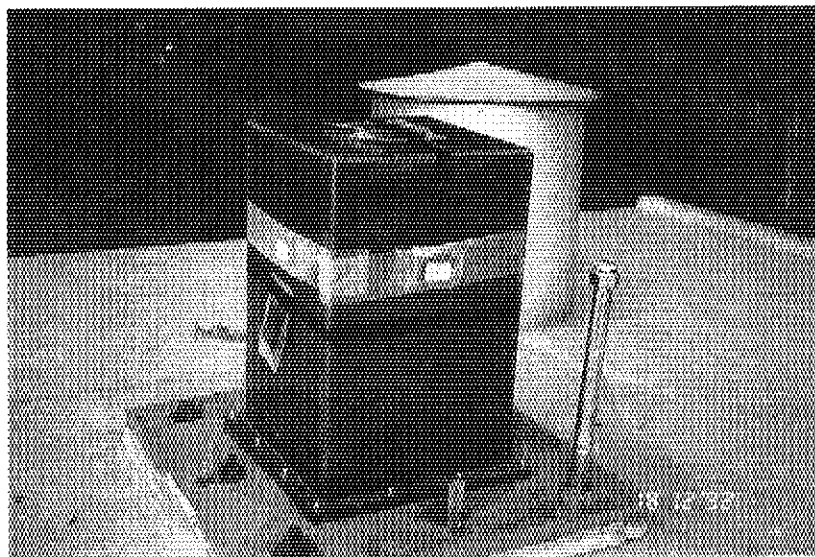


Photo 5.2 Measurement for the comparison of the values of glass dosimeters and the values of monitoring posts

Glass dosimeters were set on the surface of the detector cover of the monitoring post.