

**MEASUREMENT OF THE RESIDUAL RADIATION INTENSITY
AT THE HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SITES**

広島および長崎の原子爆弾被爆地域における残留放射能の強さの測定

N. PACE AND R. E. SMITH

**PENETRATION OF WEAPONS RADIATION: APPLICATION
TO THE HIROSHIMA-NAGASAKI STUDIES**

核兵器放射線の透過性：広島—長崎調査への応用

R. H. RITCHIE AND G. S. HURST



EDITOR'S NOTE
編集者の言葉

The ABCC Bilingual Technical Report series began in 1959. In order that manuscripts which have never been published or are available only in one language may be made a matter of record for reference purposes, the 1959 series is being kept open and items will be added from time to time.

1959年から日英両文によるA B C C業績報告書の作成を開始した。これまでに発表されなかった原稿，又は一方の国語だけで作成されたものも，参考用記録とするために1959年度集の中に随時追加される。

THE ABCC TECHNICAL REPORT SERIES
A B C C 業績報告集

The ABCC Technical Reports provide a focal reference for the work of the Atomic Bomb Casualty Commission. They provide the authorized bilingual statements required to meet the needs of both Japanese and American components of the staff, consultants, advisory councils, and affiliated governmental and private organizations. The reports are designed to facilitate discussion of work in progress preparatory to publication, to record the results of studies of limited interest unsuitable for publication, to furnish data of general reference value, and to register the finished work of the Commission. As they are not for bibliographic reference, copies of Technical Reports are numbered and distribution is limited to the staff of the Commission and to allied scientific groups.

この業績報告書は，A B C Cの今後の活動に対して重点的の参考資料を提供しようとするものであって，A B C C職員・顧問・協議会・政府及び民間の関係諸団体等の要求に応ずるための記録である。これは，実施中で未発表の研究の検討に役立たせ，学問的に興味が限定せられていて発表に適しない研究の成果を収録し，或は広く参考になるような資料を提供し，又A B C Cにおいて完成せられた業績を記録するために計画されたものである。論文は文献としての引用を目的とするものではないから，この業績報告書各冊には一連番号を付してA B C C職員及び関係方面にのみ配布する。

MEASUREMENT OF THE RESIDUAL RADIATION INTENSITY
AT THE HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SITES

広島および長崎の原子爆弾被爆地域における残留放射能の強さの測定

N. PACE AND R. E. SMITH

Naval Medical Research Institute National Naval Medical Center, Bethesda, Maryland
Maryland 州 Bethesda 市 米国海軍医学研究所 米国海軍医学センター

PENETRATION OF WEAPONS RADIATION: APPLICATION
TO THE HIROSHIMA-NAGASAKI STUDIES

核兵器放射線の透過性：広島—長崎調査への応用

R. H. RITCHIE AND G. S. HURST

Health Physics Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee
米国 Tennessee 州, Oak Ridge 市, Oak Ridge 国立研究所, 保健物理学部

(Originally published 1959 既発表)



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
HIROSHIMA AND NAGASAKI, JAPAN

A Cooperative Research Agency of
U.S.A. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES · NATIONAL RESEARCH COUNCIL
and
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE

with funds provided by
U.S.A. ATOMIC ENERGY COMMISSION
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH
U.S.A. PUBLIC HEALTH SERVICE

原 爆 傷 害 調 査 委 員 会

広島および長崎

米国学士院—学術会議と厚生省国立予防衛生研究所
との日米共同調査研究機関

(米国原子力委員会、厚生省国立予防衛生研究所および米国公衆衛生局の研究費による)

TABLE OF CONTENTS

目 次

MEASUREMENT OF THE RESIDUAL RADIATION INTENSITY AT THE HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SITES	
広島および長崎の原子爆弾被爆地域における残留放射能の強さの測定	
Summary	<i>Page</i> 1
総 括	
Background	3
背 景	
Method	4
調査方法	
Results	5
調査結果	
Discussion	16
考 按	
Acknowledgments	29
感謝の言葉	
References	30
参考文献	
PENETRATION OF WEAPONS RADIATION: APPLICATION TO THE HIROSHIMA-NAGASAKI STUDIES	
核兵器放射線の透過性：広島一長崎調査への応用	
Abstract	<i>Page</i> 1
要 約	
Introduction	1
緒 言	
Dose vs. Distance	3
線量と距離との関係	
Angular Distribution of Weapons Radiation	8
核兵器放射能の角分布	
(a) Collimators	9
コリメーター	
(b) Measurements	10
測 定	
Application to Determination of Dose Received by Residents of Hiroshima and Nagasaki	14
広島および長崎市民の被爆線量の測定への応用	
Acknowledgments	19
感謝の言葉	
References	20
参考文献	

LIST OF TABLES AND FIGURES

挿入図表一覧表

MEASUREMENT OF THE RESIDUAL RADIATION INTENSITY AT THE HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SITES

広島および長崎の原子爆弾被爆地域における残留放射能の強さの測定

	Page
Table 1. Conversion of Japanese and United States dates to number of days following the explosion at Hiroshima (H+) and Nagasaki (N+)	8
表 日本側および米側調査団の測定実施年月日の広島 (H+) および長崎 (N+) における原爆後の日数への換算	
2. Calculation of equation for expression of residual activity at Hiroshima in terms of the distance from the air burst point (height assumed to be 570 meters) of the bomb. This equation is for the residual activity as of 1 November 1945, 87 days following the explosion (H+87)	11
広島における残留放射能を炸裂点 (推定高度 570m) からの距離で表わす方程式の計算。この方程式は1945年11月1日すなわち原爆後87日 (H+87) 現在の残留放射能に関するものである	
3. Calculation of equation for expression of residual activity at Nagasaki in terms of the distance from the air burst point (height assumed to be 490 meters) of the bomb. This equation is for the residual activity as of 18 October 1945, 70 days following the explosion (N+70)	17
長崎における残留放射能を炸裂点 (推定高度 490m) からの距離で表わす方程式の計算。この方程式は1945年10月18日即ち原爆後70日 (N+70) 現在の残留放射能に関するものである	
4. Summary of the blood findings on inhabitants of the village of Nishiyama approximately 100 days following the explosion (N+99 to N+102)	18
原爆後約100日 (N+99~N+102) の西山の住民の血液所見の概要	
5. Leucocyte counts of 25 residents of Nishiyama who were not exposed to the atomic bomb explosion but who resided in Nishiyama continuously since the explosion. The data on 1, 15, and 28 October 1945 (N+53, N+67, and N+80) were obtained by Japanese investigators from the Kyushu Imperial University	21
原爆を受けなかったが、その後引き続き西山に居住した25名の白血球数。1945年10月1日、15日および28日 (N+53, N+67およびN+80) の資料は九州帝国大学の日本側調査団が得たものである	
6. Calculation of half-life of residual activity at Nagasaki based on data obtained by Nav Tech Jap Team 11-100 on 18 October 1945 (N+70) and data obtained by Japanese investigators ⁶ on 27 December 1945 (N+140)	22
1945年10月18日 (N+70) に米側海軍技術調査班が得た資料および1945年12月27日に日本側調査団 ⁶ が得た資料に基づいて計算した長崎における残留放射能の半減期	
7. Calculation of equation for expression of residual activity at Nagasaki in terms of the distance from the air burst point (height assumed to be 490 meters) of the bomb. The equation is for Japanese residual activity data ⁶ as of 27 December 1945, 140 days following the explosion (N+140)	23
長崎における残留放射能を炸裂点 (推定高度 490m) からの距離で表わす方程式の計算。この方程式は1945年12月27日すなわち原爆後140日 (N+140) 現在の日本側の残留放射能に関する資料 ⁶ に対するものである	
8. Calculation, from Equation 13, of the total radiation intensity, I, in roentgen units produced by gamma rays, I_{γ} , fast neutrons, I_{fn} , and slow neutrons, I_{sn} , as a function of the distance in meters, x , from the explosion center, at the time of the explosion at Nagasaki	26
長崎における原爆時のガンマ線 I_{γ} 速中性子 I_{fn} 、および緩中性子 I_{sn} によって生じた総放射線量 I (r 単位) につき炸裂点からの距離 x (m 単位) を関数とする方程式13の計算	

	<i>Page</i>
Figure 1. Residual radioactivity in Hiroshima data taken 1-2 Nov 45 (H+87-H+88)	6
図 広島における残留放射能 1945年11月1~2日 (H+87, H+88) に測定した資料	
2. Drift of radioactive material in Nagasaki area	6
長崎地区における放射性物質	
3. Residual radioactivity in Urakami and Nishiyama areas of Nagasaki	7
長崎の浦上および西山地区における残留放射能	
4. Residual radioactivity at Nagasaki atomic bomb site. Radioactivity measurements made in the period 15-27 Oct 45 (N+67-N+79)	7
長崎の爆心地域における残留放射能。1945年10月15日~27日 (N+67, N+79) の間に行なわれた放射能の測定	
5. Mean leucocyte count on 25 residents of Nishiyama and summated roentgen dosage received as a function of days following the Nagasaki atomic bomb explosion. The leucocyte data for days 53, 68 and 80 are from Japanese sources and the value at 0 days was assumed to be normal. The vertical bars represent plus and minus one standard deviation	16
西山居民25名の平均白血球数および長崎原爆後の日数の関数としてのr単位の線量の合計。原爆後53日, 68日および80日の白血球に関する資料は日本側から得たものであり, 0日の数値は正常と仮定した。垂直の線は標準偏差を表わす	
6. Residual activity in bone at Hiroshima from data of Yamasaki and Sugimoto	20
山崎および杉本の資料より得た広島の人骨の残留放射能	
7. Residual activity in sulfur at Hiroshima from data of Yamasaki and Sugimoto	24
山崎および杉本の資料より得た広島の硫黄の残留放射能	
8. Contribution of gamma rays, fast neutrons, and slow neutrons to the total roentgen dosage received immediately at various distances from the explosion of a plutonium bomb	27
プルトニウム爆弾の炸裂点から各距離における総レントゲン線量に対するガンマ線, 速中性子および緩中性子の割合	

PENETRATION OF WEAPONS RADIATION: APPLICATION TO THE HIROSHIMA-NAGASAKI STUDIES

核兵器放射線の透過性: 広島—長崎調査への応用

	<i>Page</i>
Figure 1. Diagram illustrating the geometry of field measurements	2
図 野外測定の幾何学的条件の図示	
2. γ -Air dose vs. slant range for a typical nuclear detonation	3
代表的核爆発における γ 線の空中線量対距離の関係	
3. Neutron air dose and flux vs. slant range for a typical nuclear detonation	4
代表的核爆発における中性子の空中線量および線束対直線距離の関係	
4. Diagram showing the construction of neutron and γ -ray collimators	5
中性子および γ 線コリメーターの構造を示す図	
5. Diagram illustrating the co-ordinates θ' and ψ' used in presenting angular distributions	5
角分布を表わすに用いた座標 θ' および ψ' を示す図	
6. Angular distribution of neutrons above plutonium threshold for a typical nuclear detonation. The heights of the columns are proportional to the flux entering the collimators oriented as indicated by the location of the columns	6
代表的核爆発におけるプルトニウム閾値以上の中性子の角分布。柱の高さは, 柱の位置が示す如く配置されたコリメーターに入る線束に比例する	
7. Angular distribution of neutrons above neptunium threshold for a typical nuclear detonation. The heights of the columns are proportional to the flux entering the collimators oriented as indicated by the location of the columns	7
代表的核爆発におけるネプトニウム閾値以上の中性子の角分布。柱の高さは, 柱の位置が示す如く配置されたコリメーターに入る線束に比例する	

8.	Angular distribution of neutrons above uranium threshold for a typical nuclear detonation. The heights of the columns are proportional to the flux entering the collimators oriented as indicated by the location of the columns	8
	代表的核爆発におけるウラニウム閾値以上の中性子の角分布。柱の高さは、柱の位置が示す如く配置されたコリメーターに入る線束に比例する	
9.	Angular distribution of neutrons above sulphur threshold. The heights of the columns are proportional to the flux entering the collimators oriented as indicated by the location of the columns	9
	硫黄閾値以上の中性子の角分布。柱の高さは柱の位置が示す如く配置されたコリメーターに入る線束に比例する	
10.	Angular distribution of γ -rays for a typical nuclear device. The numbers on the columns are proportional to the doses entering the collimators indicated	10
	代表的な核装置の γ 線の角分布。柱の数字は示されたコリメーターに入る線量に比例する	
11.	Representative plot of neutron angular distribution for nuclear weapons measured. Experimental results have been grouped into two categories: (1) those above the horizon (corresponding to $0^\circ < \psi < 90^\circ$), and (2) those below the horizon (corresponding to $90^\circ < \psi < 180^\circ$)	11
	測定した核兵器の中性子の代表的角分布図。実験結果を(1)水平線以上のもの ($0^\circ < \psi < 90^\circ$ に相当する) と(2)水平線以下のもの ($90^\circ < \psi < 180^\circ$) の2群に区分した	
12.	Representative plot of angular distribution of γ -dose for nuclear weapons measured. Experimental results have been grouped into two categories: (1) those above the horizon (corresponding to $0^\circ < \psi < 90^\circ$), and (2) those below the horizon (corresponding to $90^\circ < \psi < 180^\circ$)	12
	測定した核兵器の γ 線量の代表的角分布図。実験結果を(1)水平線以上のもの ($0^\circ < \psi < 90^\circ$ に相当する) と(2)水平線以下のもの ($90^\circ < \psi < 180^\circ$ に相当する) の2群に区分した	
13.	York's estimate of neutron and γ -air dose in Hiroshima as a function of horizontal distance from ground zero	13
	Yorkの推定による爆心地からの水平距離の関数としての広島における中性子および γ 線空中線量	
14.	York's estimate of neutron and γ -air dose in Nagasaki as a function of horizontal distance from ground zero	14
	Yorkの推定による爆心地からの水平距離の関数としての長崎における中性子および γ 線空中線量	
15.	Veranda side of light frame structure	16
	縁側から見た軽構造家屋	
16.	North side of light frame structure	16
	軽構造家屋の北側	
17.	Plan of house showing dosimetry stations	17
	線量測定位置を示す家屋の平面図	
18.	Attenuation of fast neutrons by typical single story Japanese houses	18
	代表的平屋建日本式家屋による速中性子の減弱	
19.	Attenuation of γ -radiation by typical single story Japanese houses	18
	代表的平屋建日本式家屋による γ 線の減弱	

PENETRATION OF WEAPONS RADIATION: APPLICATION TO THE HIROSHIMA-NAGASAKI STUDIES

核兵器放射線の透過性：広島—長崎調査への応用

R. H. RITCHIE AND G. S. HURST*

Abstract—Basic data necessary for the consideration of shielding against nuclear weapons radiation are presented. These include the variation of dose with distance from nuclear detonations, angular distribution of neutrons and γ -radiation, and some information on the spectrum of fast neutrons. Application of the data is made to the problem of determining the radiation dose in light frame structures. Experimental attenuation factors for typical Japanese houses are given.

1. INTRODUCTION

Some of the energy released from an atomic explosion appears in the form of γ -radiation and fast neutrons. Because of their penetrability in air, these radiations may produce severe biological damage at great distance from the point of detonation. This fact has led both military and civilian groups to consider the problem of shielding of weapons radiation. Information which is basic to the problem of determining the degree of shielding afforded by arbitrary arrangements of shielding materials will be covered in this report.

Before progressing to details of characteristics of weapons radiation, a few general remarks on the source of γ -rays and fast neutrons may be useful.¹ The γ -rays produced in the initial fission process are largely absorbed in the device itself; thus the main sources of γ -radiation are (1) the short life fission products in the fireball and (2) the nitrogen in air and material in the weapon which produce γ -rays by neutron capture.² Almost

要約—核兵器放射線に対する遮蔽を考究するに必要な基礎的資料をここに示す。炸裂点からの距離による線量の変化、中性子および γ 線の角分布並びに速中性子のスペクトルに関する資料も提供した。この資料を軽構造の建築物における線量を測定する問題に応用した。代表的日本家屋に対する実験的減弱値も示した。

1 緒 言

原子爆発によって放出されるエネルギーの一部は γ 線や速中性子として現われる。この二種のもは大気に対して透過性を有するので炸裂点から遠距離においても生物に重篤な損傷を与えることができる。この事実から軍並びに民間の団体は核兵器放射線に対する遮蔽の問題を検討するに至った。特定な位置にある遮蔽物の遮蔽度を測定するに当って必要な基礎的資料をこの報告書で取り扱った。

核兵器放射線の特性について詳述する前に γ 線や速中性子の一般的な説明を行なうことが役に立つと思う¹。初期の分裂過程において生成される γ 線の大部分は爆弾自体によって吸収される。従って γ 放射線の主要源は、(1)火球内の半減期の短い分裂生成物質と(2)空気中の窒素と爆弾の中の物質で、中性子を捕獲することによって γ 線を生成する²。中性子の殆んど全部

Reprinted by permission from Health Physics Pergamon Press 1959, Vol 1, pp 390-404.

*Health Physics Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee
米国 Tennessee 州, Oak Ridge 市, Oak Ridge 国立研究所, 保健物理学部

all of the neutrons are produced in the initial fission process.

Extensive measurements of neutron and γ -radiation have been carried out at U. S. weapons tests. In the case of γ -radiation, most of the dose measurements have been made with photographic film dosimeters, although recently much of the work has been done with chemical dosimeters. The tetrachloroethylene system³ has been of particular interest because of its apparently negligible response to neutrons. The earliest measurements of neutrons⁴ used Au and Au+Cd to determine the flux of thermal neutrons and the $S^{32}(n, p)P^{32}$ reaction to measure the flux of neutrons above approximately 2.5 MeV. More recently,^{5,6} these measurements have been supplemented through the use of Pu^{239} (surrounded with B^{10}), Np^{237} , and U^{238} . The complete system provides enough information on the spectrum of neutrons to permit a reasonably accurate calculation of tissue dose.

This report will present information, obtained through the use of these two methods of dosimetry, which will be useful in considerations on the shielding of atomic weapons radiation. For this purpose exact knowledge of the "dose" yield as a function of weapons design is not essential and will not be covered.

The information which is basic to shielding consideration—namely: (1) penetration of radiation in an air-over-ground geometry; (2) energy spectral distributions; and (3) angular distribution of weapons radiations—will be illustrated for "nominal bombs" (10-20 kT). Finally, the application of these data to a particular shielding problem, that of determining the shielding afforded by typical Japanese houses, will be discussed.

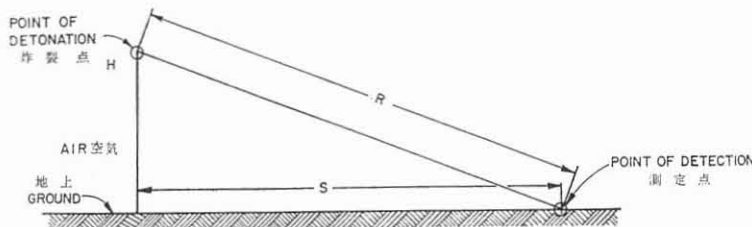
は初期の分裂過程において生成される。

米国における兵器実験で中性子および γ 線について広汎に亘る測定がなされた。 γ 線の場合は線量測定の大部分はフィルム線量計によって行なわれたが、最近では化学線量計が多く用いられるに至った。Tetrachloroethylene方式³⁾は中性子に殆んど反応しないので特に注目される。最初中性子測定⁴⁾では、AuとAu+Cdを用いて熱中性子束を測定し、約2.5MeV以上の中性子束を測定するには $S^{32}(n, p)P^{32}$ 反応を用いた。最近^{5,6)}はこれらの測定法に Pu^{239} (B^{10} で囲む) Np^{237} と U^{238} が加えられた。この総合方式で組織線量のかかなり正確な中性子スペクトルに関する資料が得られる。

この報告書では、これら2つの測定法で得られた資料を示す。この資料は原子兵器の放射線に対する遮蔽を検討するに当って有用である。兵器の設計によって"線量"の取量に相違があるが、取量についての正確な知識は遮蔽の考究には必要ではないので、ここでは言及していない。

"標準爆弾" (10~20 kT) について遮蔽の検討に基礎となる事項、すなわち、(1)地上の空気における放射線の透過性。(2)エネルギーのスペクトル分布。(3)核兵器放射線の角分布を示す。最後にこの資料の特定な遮蔽問題への応用、すなわち代表的日本家屋の遮蔽測定について検討を加える。

Figure 1 Diagram illustrating the geometry of field measurements
 図 1 野外測定の幾何学的条件の図示



2. DOSE VS. DISTANCE

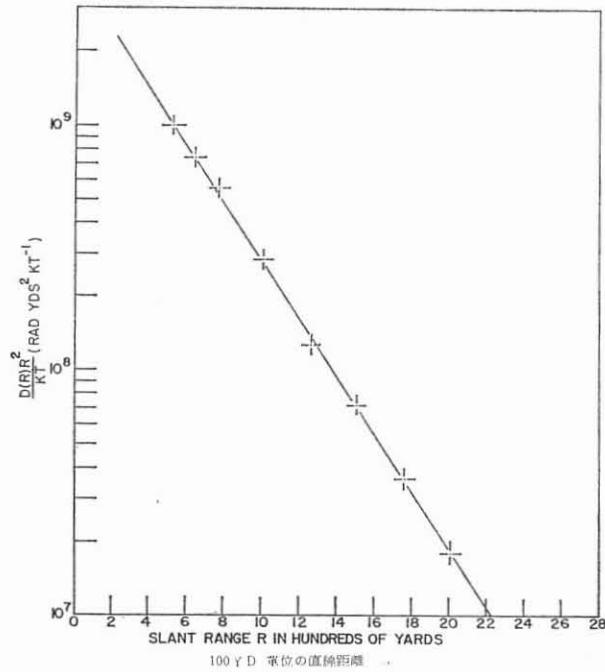
To consider the variation of dose with distance from the point of detonation, let R be the slant range from the point of detonation to the point of detection, H be the height of burst, and S the projection of R on a horizontal plane (Fig. 1). The particular geometry is air-over-ground with the point of detection on or very close to the ground.

2 線量と距離との関係

炸裂点からの距離による線量の変化を考察する。この場合、 R を炸裂点から測定点までの直線距離、 H を炸裂点の高さ、そして S を R の水平面上の投影とする(図1)。この幾何学的条件は地上の空気であって、測定点は地上又は地上近くにある。

Figure 2 γ -Air dose vs. slant range for a typical nuclear detonation

図 2 代表的核爆発における γ 線の空中線量対距離の関係



Experience⁷ has shown that the dose distance relationship for γ -rays and neutrons can be represented by

実績⁷⁾によれば、 γ 線および中性子の線量と距離との関係は、次の式で示すことができる。

$$D(R) = \frac{G_0 \exp(-R/L)}{R^2} \quad (1)$$

where G_0 depends on weapon yield as well as design, and L is the relaxation length for the radiation in question. Even for the conditions specified in Fig. 1, the relaxation length will

但し G_0 は爆弾の取量および設計によって決まり、 L は対象とする放射能の弛緩距離である。図1に示した条件の場合でさえ、弛緩距離は放射能のエネルギー・

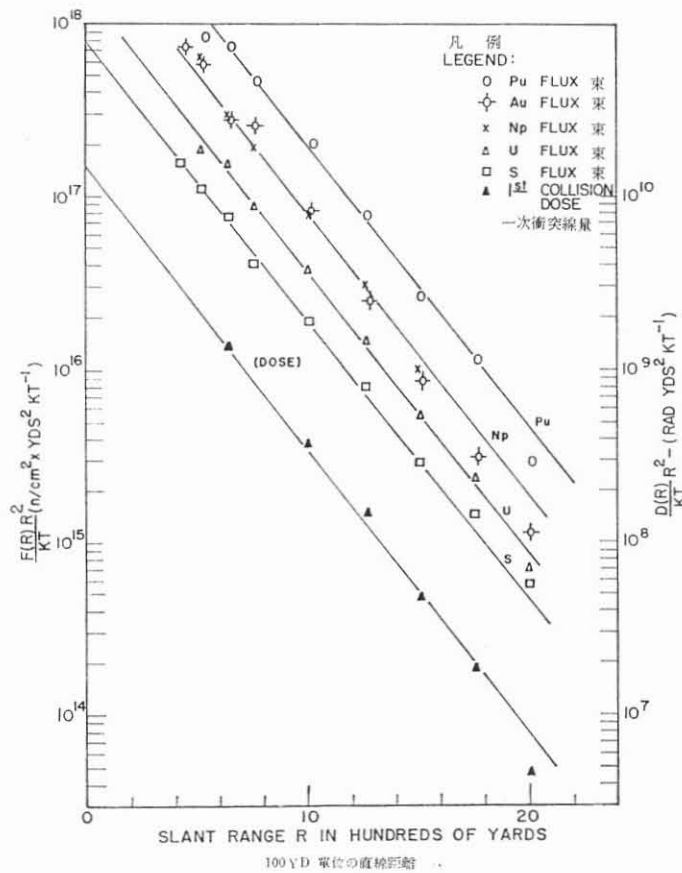
depend on the energy spectrum of the radiation (hence weapons design) and air density. Since we are not attempting to correlate radiation dose with weapons design, we consider only the latter effect and set

$$L_1 = \frac{\rho_0}{\rho} L_0 \quad (2)$$

スペクトル（すなわち爆弾の設計）及び空気密度によって左右される。線量と爆弾の設計との相関々係を求めるのが目的ではないので、後者の影響のみを考慮し、次の式を設定する。

【Figure 3 Neutron air dose and flux vs. slant range for a typical nuclear detonation

図 3 代表的核爆発における中性子の空中線量および線束対直線距離の関係



where ρ is the air density and ρ_0 and L_0 refer to the values of these quantities at a density of 1.29 g/l.

Typical dose-distance data for γ -rays are shown in Fig. 2. The log of the quantity $R^2 D(R)$ is plotted against R yielding a straight line. Using the known air density at the time these data were obtained, the value of $L_{0\gamma}$ for this case is 294 yd.

但し、 ρ は空気密度を示し、 ρ_0 および L_0 は1.29 g/lの密度の時に於ける夫々の値とする。

γ 線について線量と距離との関係を現わす代表的資料を図2に示す。 $R^2 D(R)$ の値の対数と R とを夫々縦・横の軸に取ると直線が得られる。この数値を求めた当時の空気密度を使えば、この場合の $L_{0\gamma}$ の値は294 ydとなる。

The value $G_{0\gamma}/kT$ is quoted for a nominal device and is equal to 4.1×10^9 rads-yd²/kT in this case. To illustrate the variation in these parameters with weapons design, Wilson⁸ gives $L_{0\gamma} = 350$ yd and $G_{0\gamma}/kT = 1.75 \times 10^9$ yd²-r/kT for the Hiroshima and Nagasaki weapons. Glasstone¹ gives $L_{0\gamma} = 338$ yd and $G_{0\gamma}/kT = 1.4 \times 10^9$ yd²-r/kT for a nominal weapon.

標準爆弾の $G_{0\gamma}/kT$ 値も示し、この場合はその値は 4.1×10^9 rads-yd²/kT に相当する。爆弾の設計によるこれらのパラメーターの変化を示す例として、Wilson⁸ は広島・長崎の爆弾は $L_{0\gamma} = 350$ yd で $G_{0\gamma}/kT = 1.75 \times 10^9$ yd²-r/kT であるとした。Glasstone¹ は標準爆弾においては $L_{0\gamma} = 338$ yd で $G_{0\gamma}/kT = 1.4 \times 10^9$ yd²-r/kT であるとした。

Figure 4 Diagram showing the construction of neutron and γ -ray collimators
 図 4 中性子および γ 線コリメーターの構造を示す図

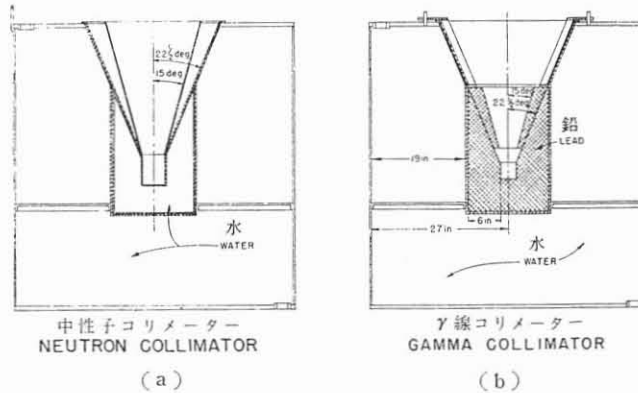
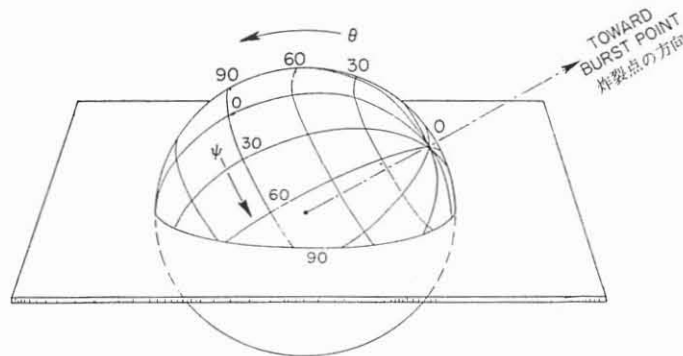


Figure 5 Diagram illustrating the co-ordinates θ' and Ψ' used in presenting angular distributions

図 5 角分布を表わすに用いた座標 θ' および Ψ' を示す図



As shown in Fig. 3, equation (1) holds equally well for fast neutron dose. Figure 3 is plotted in the same way as Fig. 2 except in the case of fast neutrons the flux as a function of distance $F(R)$ above the thresholds of the detectors is presented. The dose curve $D(R)$ is derived from the flux measurements as follows:⁵

図3に示す如く、方程式(1)は速中性子の線量にも適応できる。図3は図2と同じ方法で図示した。但し、速中性子においては、測定器の閾値以上の距離関数 $F(R)$ としての中性子束を示す。線量曲線 $D(R)$ は次の如く、中性子束の測定より得られる。⁵⁾

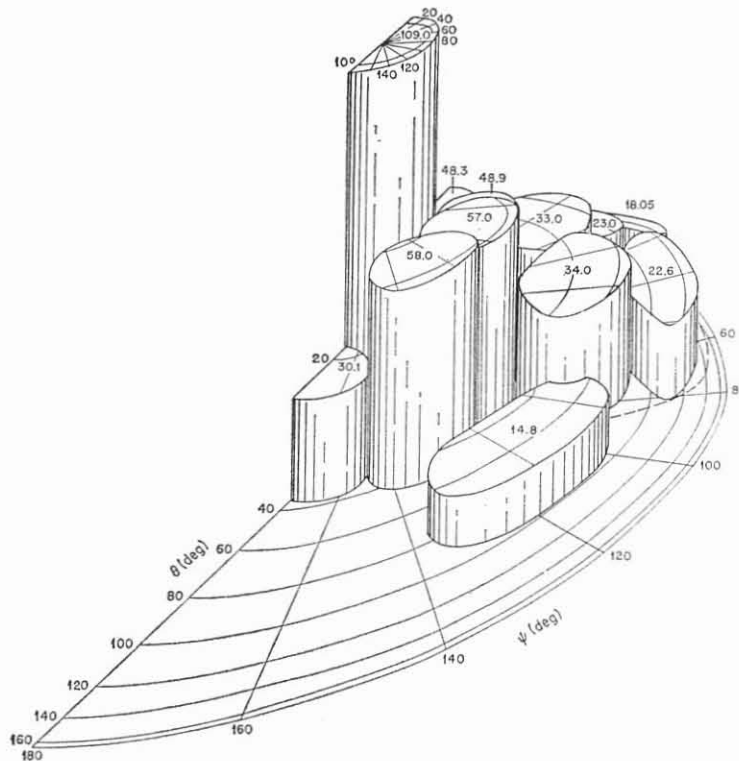
$$D = [1.0 (N_{Pu} - N_{Np}) + 2.4 (N_{Np} - N_{Tr}) + 3.0 (N_U - N_S) + 3.7 N_S] \times 10^{-9} \quad (3)$$

where D is the tissue dose in rads, N_{Pu} is the neutron flux above 5 keV (assuming 2.2 g/cm^2 elemental B^{10}), N_{Np} is the neutron flux above 0.75 MeV, N_U is the neutron flux above 1.5 MeV, and N_s is the neutron flux above 2.5 MeV. The thermal neutron contribution to the dose is not included in this formula since for all cases measured it is negligible compared with the fast component. For the case shown in Fig. 3, $L_{0n} = 212 \text{ yd}$ for all the flux curves and the dose curve. This illustrates the important empirical observation that the fast neutron energy spectrum does not appear to change with distance for the geometry considered in Fig. 1.

但し、 D はrad単位の組織線量 N_{Pu} は5keV上の中性子束(元素 B^{10} が 2.2 g/cm^2 と見做した場合)であり、 N_{Np} は0.75MeV以上の中性子束であり、 N_U は1.5MeV以上の中性子束であり、 N_s は約2.5MeVの中性子束である。測定を行なったすべての場合において速中性子に比べて熱中性子の線量への寄与は無視してもよい程度であるので含めない。図3に示す例ではすべての中性子束曲線および線量曲線は $L_{0n}=212 \text{ yd}$ である。これは図1で検討した幾何学的条件において、速中性子エネルギー・スペクトルが距離と共に変わらない

Figure 6 Angular distribution of neutrons above plutonium threshold for a typical nuclear detonation. The heights of the columns are proportional to the flux entering the collimators oriented as indicated by the location of the columns

図 6 代表的核爆発におけるプルトニウム閾値以上の中中性子の角分布、柱の高さは、柱の位置が示す如く配置されたコリメーターに入る線束に比例する



This fact has been observed to hold true for a variety of weapons fired under a variety of conditions, including changes in the value of the burst height H . The existence of this apparent constancy in spectrum is analogous to the existence of an equilibrium spectrum for deep γ -ray penetration problems⁹ and is probably explained by similar considerations, i.e. the pertinent neutron cross-sections show a generally increasing behavior with decreasing energy so that the most energetic components of the neutron spectrum control the penetration of the beam. Consequently, the low energy portions of the spectrum are fed by neutrons slowing down from higher energy groups but are depleted with a relatively greater probability than the higher energies because of the larger cross-sections.¹⁰ The value of G_{0n}/kT for the case illustrated in Fig. 3 is 1.5×10^{10} rads- yd^2/kT .

ようであるという重要な試験的観察結果を示すものである。この事実は、炸裂点の高さ H の変化を含む色々な状態や種々の爆弾によって確認された。スペクトルの外見上の不変性は γ 線の深部透過性の問題⁹⁾の平衡スペクトルの存在に類似している。これは当該中性子断面積はエネルギーの減少と共に一般的に増加する傾向を示すので中性子スペクトルの中で最も強力な構成部分ガビームの透過を制御する。それ故にスペクトルの低いエネルギーは高いエネルギーより減速する中性子によって補充されるが、断面積がより大きいので高いエネルギーより比較的大きい確率で減らされる。¹⁰⁾ 図3に示す例の G_{0n}/kT 値は 1.5×10^{10} rads- yd^2/kT である。

Figure 7 Angular distribution of neutrons above neptunium threshold for a typical nuclear detonation. The heights of the columns are proportional to the flux entering the collimators oriented as indicated by the location of the columns

図 7 代表的核爆発におけるネプトウニウム閾値以上の中性子の角分布、柱の高さは、柱の位置が示す如く配置されたコリメーターに入る線束に比例する

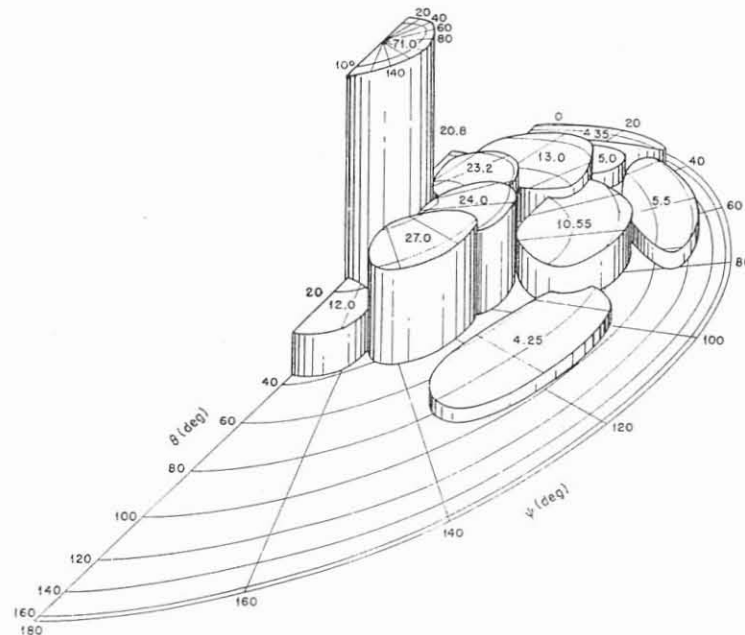
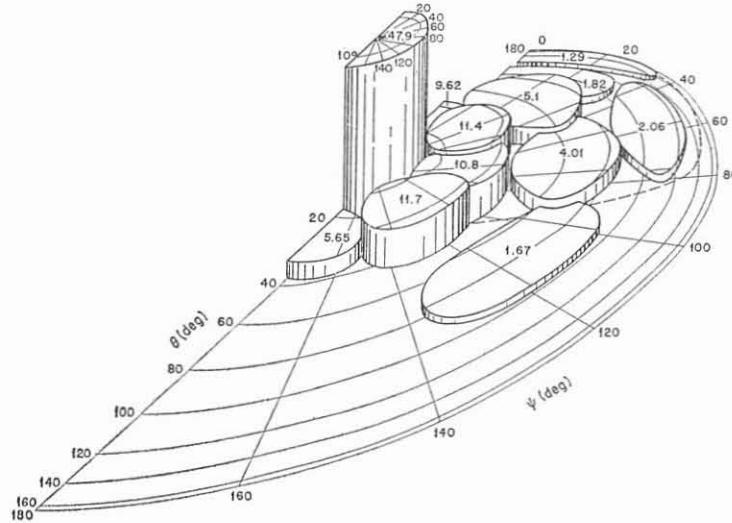


Figure 8 Angular distribution of neutrons above uranium threshold for a typical nuclear detonation. The heights of the columns are proportional to the flux entering the collimators oriented as indicated by the location of the columns

図 8 代表的核爆発におけるウラニウム閾値以上の中性子の角分布。柱の高さは、柱の位置が示す如く配置されたコリメーターに入る線束に比例する。



3. ANGULAR DISTRIBUTION OF WEAPONS RADIATION

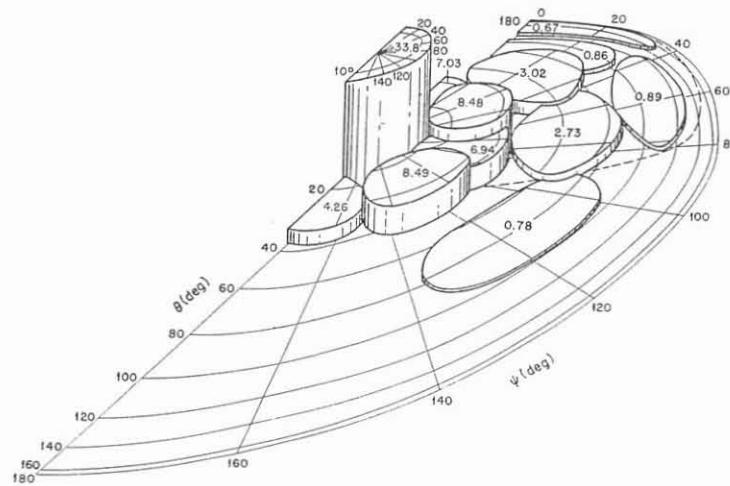
Information on the characteristics of ionizing radiation at large distances in air from nuclear weapons was limited mainly to air dose data until Operation Plumbbob in Nevada in 1957. The need for a more detailed description of the radiation field has been clearly felt; at least one attempt to measure the energy spectrum of γ -rays at considerable distance from a nuclear device¹¹ has been made, and some information on the fast neutron spectrum has been obtained with threshold detectors.⁷ For purposes of shielding against weapons radiation, a knowledge of the angular distribution of these radiations is essential. Accordingly, plans were made late in 1956 for a determination of this quantity during Operation Plumbbob.¹²

3 核兵器放射能の角分布

1957年 Nevada における Plumbbob 実験が実施されるまでは、核兵器から放出され遠距離に達する空中の電離放射能の特性についての資料は主として空中線量に限定されたものであった。放射能界に関するより詳細な知見の必要が感ぜられたので、核放射能装置から相当距離はなれた γ 線エネルギー・スペクトルの測定が試みられたことが少なくとも1度あった。又速中性子スペクトルについて閾値検出器を用いて若干の資料が求められた⁷⁾。核兵器放射能に対する遮蔽を考察するためには、これらの放射能の角分布に関する知識が重要である。従って、Plumbbob 実験¹²⁾において、この量の測定を行なう計画が1956年末に立てられた。

Figure 9 Angular distribution of neutrons above sulphur threshold. The heights of the columns are proportional to the flux entering the collimators oriented as indicated by the location of the columns

図 9 硫黄閾値以上の中性子の角分布, 柱の高さは, 柱の位置が示す如く配置されたコリメーターに入る線束に比例する。



(a) Collimators

The arrangement selected for the purpose of defining the range of directions from which radiations are accepted is shown in Figs. 4 (a) and 4 (b). The collimators consist of large cylindrical tanks with conical apertures. As mentioned above, the detectors, which consist either of the γ -ray chemical dosimeters or the neutron threshold detectors, are placed at the apex of the conical openings. The basic collimators were designed with an opening having a half-angle equal to 22.5° . Conical inserts were designed so that the opening could be reduced to 15° or 10° . The tanks were filled entirely with water for use in neutron measurements, Fig. 4(a). For the γ -ray application, part of the water around the apex of the cone was replaced by a lead cylinder, Fig. 4(b), which is an efficient attenuator of γ -radiation. The water outside the lead served to attenuate the neutrons that would strike the lead and thus minimized the generation of inelastic γ -rays therein. The overall attenuation factor of the collimators for radiation incident from directions outside the cone of acceptance was estimated to be at least 10^{-3} .

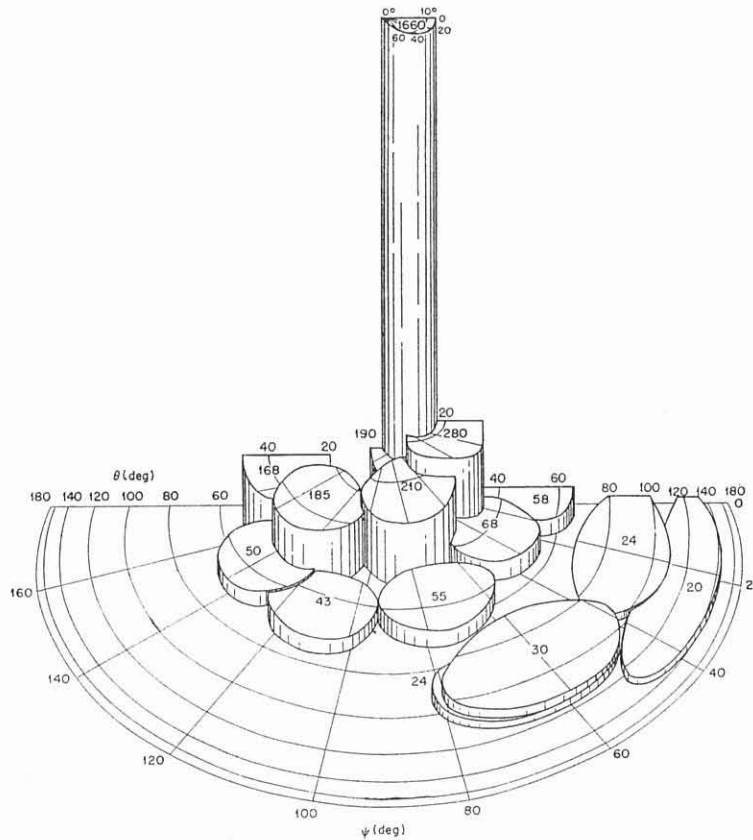
(a) コリメーター

放射線を受ける方向の範囲を画定するために選んだ装置を図 4 (a) および 4 (b) に示す。コリメーターは円錐孔を有する大きな円筒形タンクである。前述の如く、 γ 線化学線量計または中性子閾値検出器を、円錐孔の頂点に置く。コリメーターは半開角度 22.5° を持つように設計されている。円錐形差し込みを用いて孔を 15° ないし 10° にしぼることができるようになっている。図 4 (a) に示す如く、中性子測定にはタンクは水のみで満たされた、 γ 線測定に応用するには、図 4 (b) に示す如く、円錐の頂点の周囲の水の部分を γ 放射線を有効に減弱せしめる鉛の円筒と取り替えた。鉛の周囲にある水は、鉛に衝突する中性子を減弱せしめて、その中に生成する非弾性 γ 線を最少限度に喰い止める。受け入れ円錐外の方向から入射する放射線に対するコリメーターの総合減弱は少なくとも 10^{-3} であると推定された。

Laboratory tests made with artificial sources showed that the angle of acceptance of radiation was only slightly larger than the angular opening of the collimators due to wall scatter of radiation.¹³ The data are corrected for this effect.

人工的線源をもって行なった実験では、放射線の壁散乱により、放射線の入射角度はコリメーター孔の角度より僅かに大であることが判明した¹³⁾。資料にはこの影響に対する修正を行なった。

Figure 10 Angular distribution of γ -rays for a typical nuclear device. The numbers on the columns are proportional to the doses entering the collimators indicated
図 10 代表的な核装置の γ 線の角分布、柱の数字は示されたコリメーターに入る線量に比例する



(b) Measurements

For field measurements the collimators were grouped in clusters at various distances from the burst point and were distributed in direction so as to cover as much as possible of the whole sphere of directions at each distance. The system of coordinates used to describe the data obtained is presented in Fig. 5.

(b) 測定

野外測定には、コリメーターを炸裂点から色々異った距離に密集せしめて置き、各距離においては方向の全範囲をできるだけ多く含むような方角に分布した。得た資料の説明に用いた座標方式を図5に示す、コリメーターは立体角を有するので、その含む範囲について表示することが望ましい。

Since the collimators subtend an appreciable solid angle, it is desirable to have an indication of the extent of coverage. At a specified orientation of a collimator, the opening subtends a circular cap on a sphere whose center is at the apex of the collimator. These circles are mapped on a plane co-ordinate system and the mapping is chosen so that equal areas on the sphere map into equal areas on the plane system. Representative three-dimensional plots of Pu, Np, U and S activation fluxes are presented in Figs. 6-9, respectively. A given column height in these figures is proportional to the flux entering the collimator whose angular aperture coincides with the column base. Fig. 10 shows a similar plot of the γ -dose in another event. In this case a given height in the figure is proportional to the dose entering the collimator.

コリメーターを特定な方向に位置した場合、孔はコリメーターの頂点を中心とする球の面に描いた円に相当する。これらの円を平面座標方式で図示した。図示に当っては、球面図の面積が夫々平面図でも等しい面積となるようにした。Pu, Np, U および S の東の代表的立体図を夫々図 6~9 に示す。これらの図における円柱の高さはコリメーターに入る線束に比例し、コリメーターの特定角度は円柱の基底部と一致する。図 10 は他の実験における γ 線量の類似した図である。この場合、図の円柱の高さはコリメーターに入る線量に比例する。いずれの場合も分布は、 15° 半開角度コリメーターの場合の分布に従って標準化されている。全体の標準化は任意である。

Figure 11 Representative plot of neutron angular distribution for nuclear weapons measured. Experimental results have been grouped into two categories: (1) those above the horizon (corresponding to $0^\circ < \Psi < 90^\circ$), and (2) those below the horizon (corresponding to $90^\circ < \Psi < 180^\circ$)

図 11 測定した核兵器の中性子の代表的角分布図、実験結果を (1) 水平線以上のもの ($0^\circ < \Psi < 90^\circ$ に相当する) と (2) 水平線以下のもの ($90^\circ < \Psi < 180^\circ$) の 2 群に区分した。

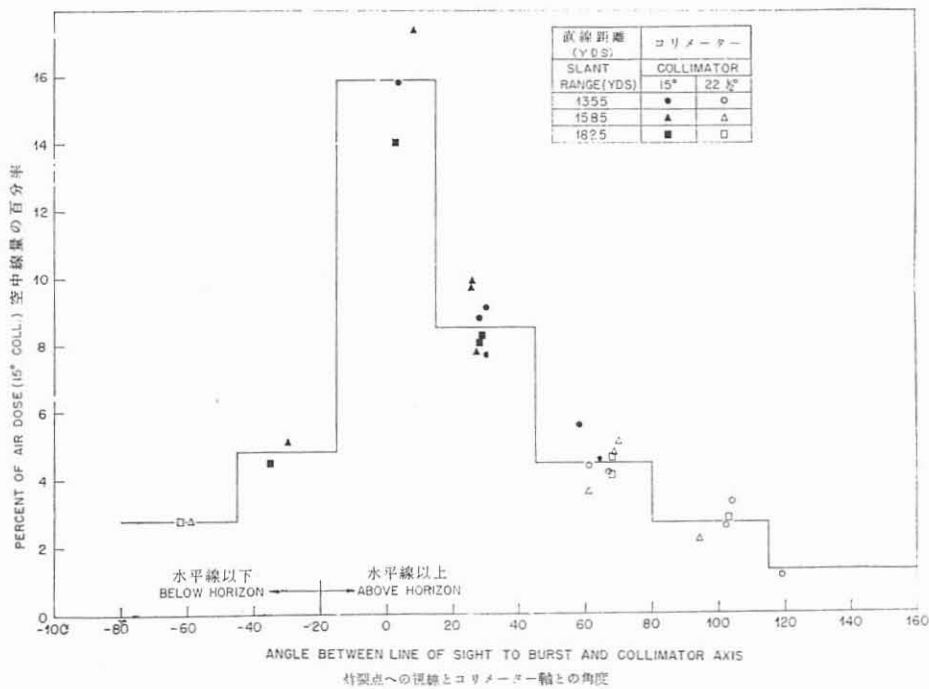
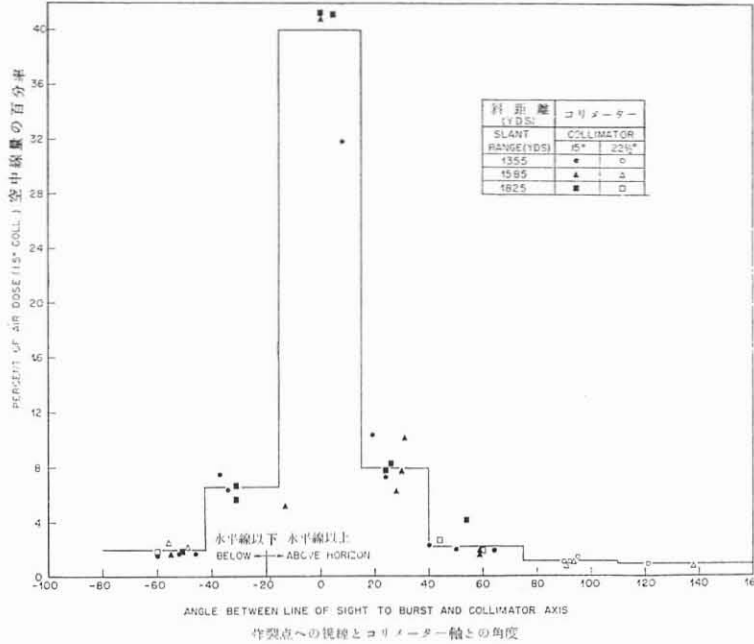


Figure 12 Representative plot of angular distribution of γ -dose for nuclear weapons measured. Experimental results have been grouped into two categories: (1) those above the horizon (corresponding to $0^\circ < \psi < 90^\circ$), and (2) those below the horizon (corresponding to $90^\circ < \psi < 180^\circ$)

図 12 測定した核兵器の γ 線量の代表的角分布図、実験結果を(1)水平線以上のもの($0^\circ < \psi < 90^\circ$ に相当する)と(2)水平線以下のもの($90^\circ < \psi < 180^\circ$ に相当する)の2群に区分した。



In both cases the distributions are normalized to that which would be indicated by 15° half-angle collimators. The overall normalization is arbitrary.

In the several events for which angular distribution data were obtained in Operation Plumbbob, the angular distributions of both neutrons and γ -rays were observed to be rather insensitive to the type of weapon and to the distance from the burst points. Figs. 11 and 12 show, respectively, the best estimates of angular distributions for neutrons and γ -rays obtained. In each case the percent of air dose received by a 15° collimator is plotted as a function of θ (Fig. 5). Variations in the azimuthal angle ψ have been neglected except for the division of the collimators into two groups: those whose axes point toward the ground and those whose axes are oriented above the horizon, i.e. positive θ values include data in the range -90°

Plumbbob 実験の一連の実験で、角分布の資料が得られたが、中性子および γ 線の角分布は兵器の種類あるいは炸裂点よりの距離によって余り影響を受けなかった。図11および12は夫々中性子および γ 線の角分布の最良推定値を示す。いずれの場合も、コリメーターの受けた空中線量の百分率は θ の関数として示されている(図5)。コリメーターを次の2群に分けた場合以外は方位角 ψ の変動は無視された。すなわち軸を地上に向けたコリメーターと軸を水平線より上に向けたコリメーターに区分した。従って θ の正の値は $-90^\circ \leq \psi < 90^\circ$ の範囲の資料を含み、 θ の負の値は $90^\circ \leq \psi < 180^\circ$ および $-180^\circ \leq \psi < -90^\circ$ の範囲を含む。 22.5° コリメーターの受けた線量は 15° コリメーターの値に標準化されている。

$\leq \psi \leq 90^\circ$ and negative values of θ include the ranges $90^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$ and $-180^\circ \leq \psi \leq -90^\circ$. Doses received by $22\frac{1}{2}^\circ$ collimators have been normalized to the 15° collimator response.

These data may be employed directly to estimate the dose which would be received by individuals shielded by irregularities in the terrain, e.g. ditches, foxholes, etc. They may be used to estimate the effective input source for calculating the shielding by structures of prompt radiation from weapons. These data will be compared with calculations of angular distributions when the latter become available.

これらの資料は、溝、塹壕等凹凸な地形によって遮蔽された者が受ける線量を直接推定するために用いることができる。又兵器の初期放射線に対する建物の遮蔽効果を計算するための有効入射源の推定にも使用することができる。尚これらの資料は角分布の計算ができるようになった時、それと比較する予定である。

Figure 13 York's estimate of neutron and γ -air dose in Hiroshima as a function of horizontal distance from ground zero

図 13 Yorkの推定による爆心地からの水平距離の関数としての広島における中性子および γ 線空中線量

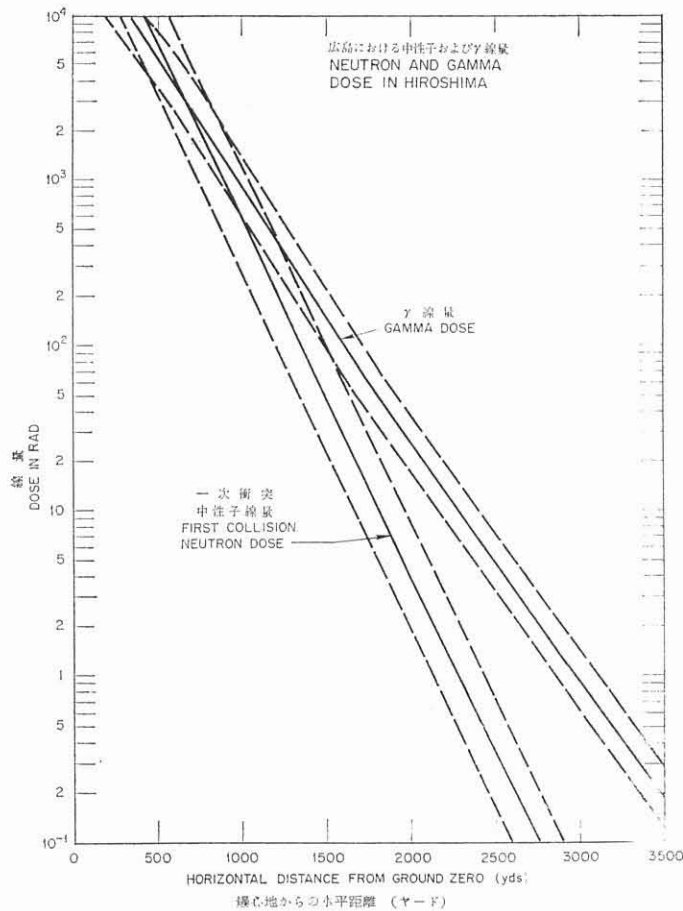
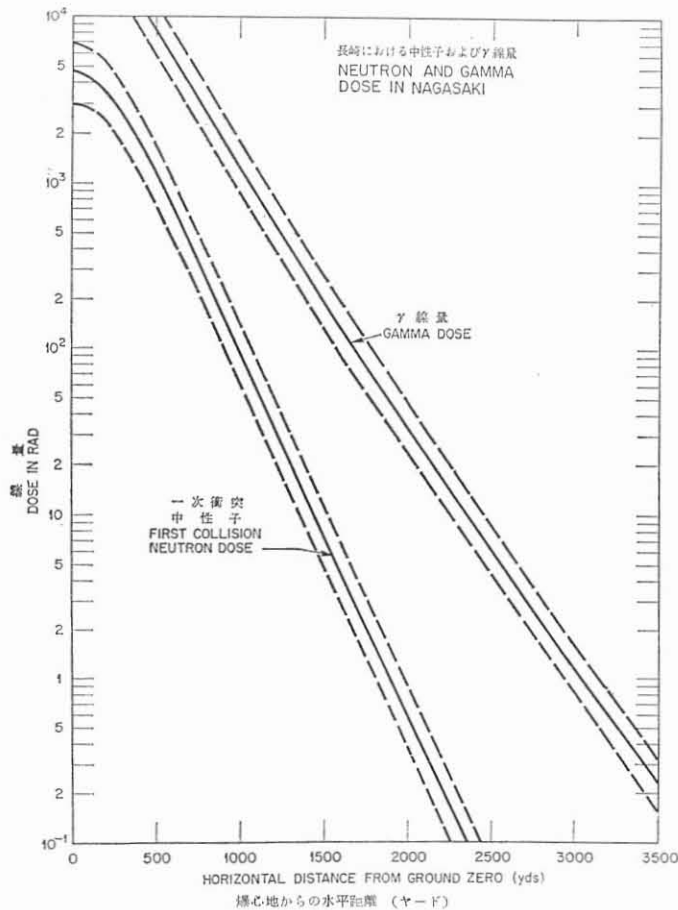


Figure 14 York's estimate of neutron and γ -air dose in Nagasaki as a function of horizontal distance from ground zero

図 14 York の推定による爆心地からの水平距離の関数としての長崎における中性子および γ 線空中線量



4. APPLICATION TO DETERMINATION OF DOSE RECEIVED BY RESIDENTS OF HIROSHIMA AND NAGASAKI

The health physics profession is concerned with the protection of man from the deleterious effects of ionizing radiation. Limits of exposure to these radiations can best be determined from a study of humans under conditions which permit accurate measurement of radiation dose and medical effects. The group of exposed individuals in Hiroshima and Nagasaki presents a unique opportunity for a study of the medical response of a large number of humans to radiation. A long-term study of medical effects in this group is in progress in Japan at the Atomic Bomb Casualty Commission, operated by

4 広島および長崎市民の被爆線量の測定への応用

保健物理学者は、人間を電離放射線の有害な影響から保護することに関心を有する。放射線照射の限界の決定には、放射線量および医学的影響の正確な測定が許される状況の下にある人間の調査を行なうことが最も適切である。多数の人間が放射線に対してどのような医学的反応を示すかを考究するには、広島および長崎の被爆者集団は唯一無二の機会を提供する。この集団について医学的影響の長期調査が、日本において米国学士院一学術会議¹⁴⁾が運営する原爆傷害調査委員会

the U. S. National Academy of Sciences, National Research Council.¹⁴ The program is conducted in co-operation with the National Institute of Health of the Ministry of Health and Welfare of the Japanese Government, with participation of interested Japanese scientists.

A critical study of the dose received by these individuals has just begun in the United States. It appears that a body of accurate data on the location of and shielding configuration around many persons exposed in the two cities now exists and continues to accumulate. The group of exposed persons which is of greatest interest for immediate study is the group located in light residential structures at the time of the bombing. Not only do a large fraction of the people fall in this category, but the attenuation factors of light structures are easier to establish than for more massive buildings. The experimental studies described in this paper have definitely decreased the uncertainty in the attenuation factors of structures of this type for radiation. There is certainly more to be accomplished in this area, but it now appears that the prime uncertainty in the determination of dose to individuals lies in establishing the air dose. The neutron and γ -ray air dose distributions for both Hiroshima and Nagasaki (Figs. 13 and 14) have been estimated by York¹⁵ using all available weapons effects information. The dotted curves show the range of estimated probable errors associated with each radiation. The averages of the dose curves agree to within 20 per cent in the case of γ -rays and to within 30 per cent in the case of neutrons with similar estimates of Harris.¹⁶ The earliest estimates of Wilson⁸ for the γ -doses agree to within 30 per cent over the most interesting distances. Wilson does not estimate the neutron dose to the Japanese. In spite of this good agreement between independent estimates there is still considerable uncertainty in the air dose, as can be clearly seen from Figs. 13 and 14.

The attenuation of two light frame structures was determined in the Plumbbob operation. The houses were identical in construction and were oriented so that the open (veranda) side of one house faced ground zero, while the veranda side

によって行なわれている。この研究計画は日本政府厚生省国立予防衛生研究所と共同で実施され、この研究に関心を有する日本の学者が参加している。

これら被爆者の被爆線量の入念な調査が最近米国で着手された。両市において被爆した多数の人々の位置およびその周囲の地形について現在一応資料が収集されたが、今後更に入手される。当面の調査に最も適用する群は、軽構造の建物内で被爆した群である。多数の被爆者がこの分類に属するのみならず、減弱係数の確定は軽構造の建物の方が重構造の建物より容易である。本書で述べる諸実験的調査成績は明らかにこの種の建物の放射線減弱係数の誤差を減少させた。この分野に残された問題はあるが、もはや各人の被爆線量の測定における主要な不確定性は空中線量の決定にある。York¹⁵は兵器の効果に関する資料を広く利用して広島・長崎両市の中性子および γ 線の空中線量分布(図13, 14)を推定した。点線で示した曲線は各放射線についての推定誤差の範囲を示す。線量曲線の平均は、Harris¹⁶が行なった推定と比較して γ 線の場合、20%以内まで一致し、中性子の場合30%以内まで一致する。Wilson⁸が γ 線量について行なった最初の推定は、最も興味のある距離に亘って30%以内まで一致する。Wilsonは日本人に対する中性子量の推定は行っていない。個々の推定がこのようによく一致しているにもかかわらず、空中線量には、図13および14に明らかに認められる如く、尚かなりの不確定性がある。

Plumbbob 実験において2つの軽構造建物の減弱効果が測定された。同一建築構造を有する2軒の家屋を設け、1つの家は縁側を爆心地に向け、他の家は縁側をその反対の方向に面するよう配置した。図15は縁側

of the other house faced in the opposite direction Fig. 15 shows a view of the veranda side of the house while Fig. 16 shows the opposite side. The construction and layout of the houses were typically Japanese. The tile roof had a mean superficial density of about 9 g/cm^2 including the mud base and wood sheathing. The mud-on-bamboo walls were approximately the same superficial density, while the interior walls were 11 g/cm^2 .

から見た家を示し、図16はその反対側を示す。家の建築構造と設計は共に全く日本のであった。瓦葺きの屋根の平均表面密度は、壁土の下地とそぎを含めて約 9 g/cm^2 であった。竹こまいに壁土を塗った壁もほぼ同様の表面密度があったが、内部の壁は 11 g/cm^2 であった。

Figure 15 Veranda side of light frame structure
図 15 縁側から見た軽構造家屋

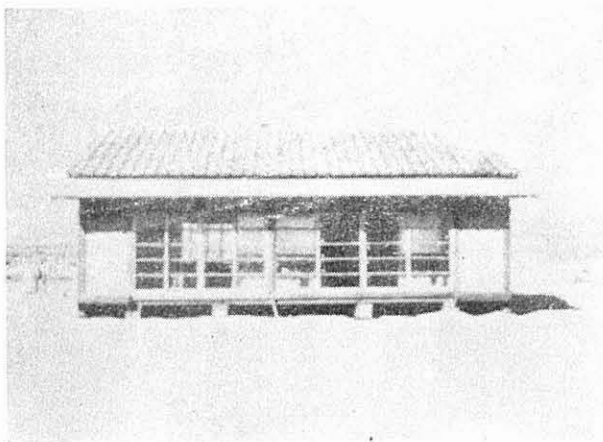


Figure 16 North side of light frame structure
図 16 軽構造家屋の北側

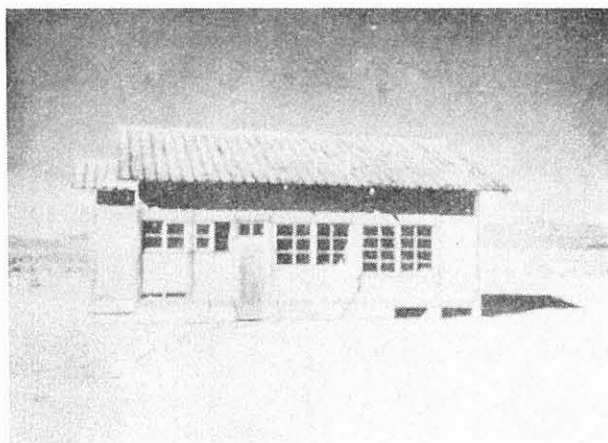
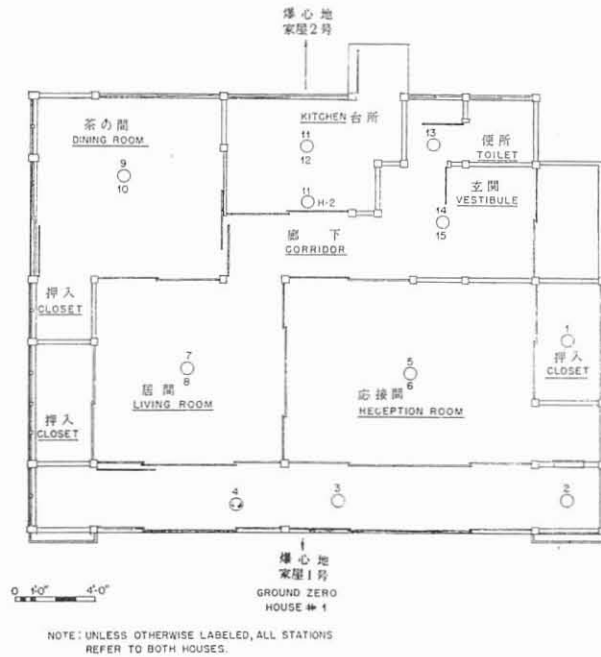


Figure 17 Plan of house showing dosimetry stations

図 17 線量測定位置を示す家屋の平面図



A total of 30 neutron- and 30 γ -detectors, all unshielded, were exposed in each of the houses. According to the arrangement shown in Fig. 17, half of the detectors were exposed at a height of approximately 42 in. above the floor while the remainder were placed 84 in. above the floor. The results obtained for the neutron- and γ -attenuation factors are shown in Figs. 18 and 19, respectively. In both cases it is seen that the dose correlates very well with a simple parameter, viz. the distance measured along the ray path from the point of entry into the house to the dosimeter (house penetration distance). An equally good correlation is found if one uses instead of the house penetration distance, the distance from the dosimeter to the outside wall of the house, measured along the projection of the ray path on the horizontal. Such correlations are not surprising in view of the angular distributions found experimentally. Crudely speaking, one may regard a house as a shell with holes (windows) in it. If there were no holes, the radiation level would be fairly uniform throughout at about 0.7 and 0.4 of the outside level for γ -rays and neutrons, respectively.

各家屋において、いずれも無遮蔽の中性子および γ 線検出器を夫々合計30ずつ配置した。図17に示す通り、検出器の半数は床上約42インチの高さで被爆せしめ、その残りは床上84インチの高さのところに置かれた。中性子および γ 線減弱係数について得た結果を夫々図18と19に示す。いずれの場合も線量は単純なパラメーター、すなわち放射線が家屋に入射する点から線量計までの距離(家屋透過距離)と非常によく相関関係を有する。家屋内透過距離の代りに、放射線進路の水平投影に沿って測定した線量計から家屋の外壁までの距離を用いても同様に相関関係が認められる。実験で角分布が認められていることに鑑み、そのような相関関係があるのは意外なことではない。大まかに言って家を、孔(窓)を有する殻と見做してよい。孔がなければ、家屋内の γ 線および中性子量は家屋外の夫々の線量の約0.7および0.4の水準でかなり一樣な量を示すであろう。

The large open spaces in the walls permit some of the radiation to enter unattenuated, and the farther one moves from the windows, the smaller is this contribution.

The scatter in the dose data inside the houses is approximately from 10 to 15 per cent and is well within the uncertainty in the air dose values in both Hiroshima and Nagasaki. Further house attenuation tests are underway for the purpose of investigating the effect of varying house size, orientation and mutual shielding of one house by another.

壁に開いている大きな穴は、若干の放射線を減弱しないまま入射せしめ、その窓から遠ざかるに従ってその寄与は減少する。

家屋内の線量の散乱は、約10%から15%までであって、広島および長崎における空中線量値の不確定性範囲内に十分入っている。家屋の色々な大きさ、向きおよび家屋と家屋の相互遮蔽の影響を調べる目的で家屋の減弱実験が更に行なわれている。

Figure 18 Attenuation of fast neutrons by typical single story Japanese houses
 図 18 代表的平屋建日本式家屋による速中性子の減弱

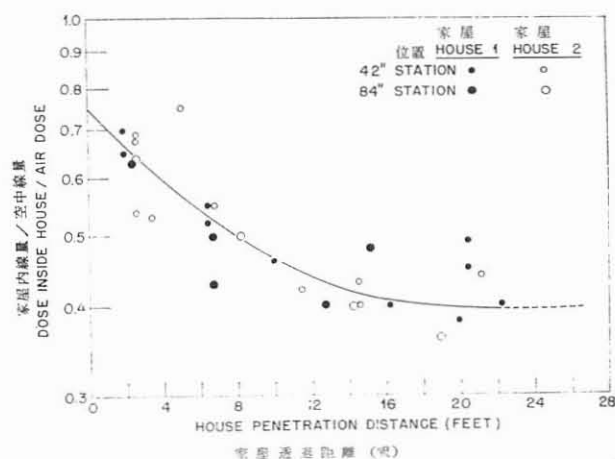
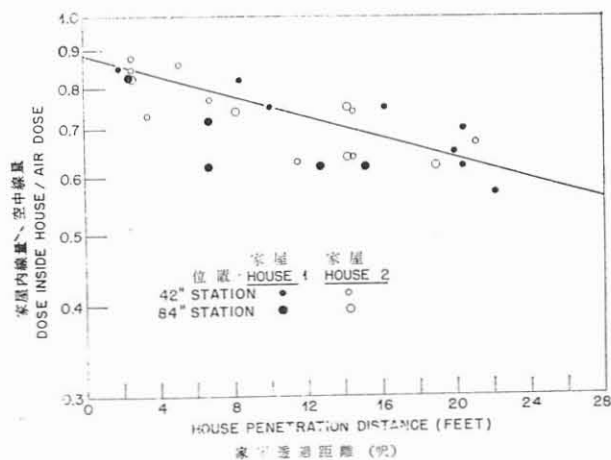


Figure 19 Attenuation of γ -radiation by typical single story Japanese houses
 図 19 代表的平屋建日本式家屋による γ 線の減弱



One may now arrive at a tentative dose estimate for people exposed in Japanese homes by the following procedure: (1) determine the air dose by means of York's air-dose curves and the known location of the survivors; (2) assign a house attenuation factor by reading the house penetration distance from the ABCC shielding records. Clearly, the results obtained in this way are very crude. In order to reduce the uncertainty in the dose it will be necessary to (1) establish more accurate the radiation yield of the Hiroshima and Nagasaki devices, and (2) obtain information on radiation attenuation of more general house shielding configurations. This can best be accomplished by a combination of experimental and calculational approaches, using the measured angular distributions as input information.

Acknowledgments

The authors wish to acknowledge the participation of the following individuals in this work: Health Physics Division, Oak Ridge National Laboratory: E. T. Arakawa, J. A. Auxier, C. W. Caldwell, J. S. Cheka, F. J. Davis, J. A. Harter, P. N. Hensley, W. W. Ogg, P. W. Reinhardt, C. C. Sartain, E. B. Wagner, B. T. Walters. U. S. Air Force, School of Aviation Medicine: H. M. Borella, L. C. Logie, S. C. Sigoloff.

The loan of T. V. Blosser to this project from the Applied Nuclear Physics Division, ORNL, is greatly appreciated. The valuable work of Capt. E. N. York and Col. M. Morgan, Air Force Special Weapons Center, is gratefully acknowledged. The wholehearted support of R. L. Corsbie and L. J. Deal, U. S. Atomic Energy Commission-Division of Biology and Medicine, and J. A. Pickering, U. S. A. F. School of Aviation Medicine, throughout the course of the field work is gratefully acknowledged.

日本の家屋内で被爆した人々の受けた線量は次の要領に従って一応推定することができる。(1) York の空中線量曲線と被爆位置により空中線量を決定する。(2) A B C C の遮蔽記録より家屋透過距離を用いて、家屋減弱係数を定める。この方法で得る結果は明らかに大変粗雑である。線量の不確定性を減ずるためには、(1) 広島および長崎の爆弾の放射線収量を更に正確にし、(2) 更に一般的な家屋遮蔽配置の放射線減弱について資料を求める必要がある。これは測定した角分布を資料として用い、実験的と計算的方法を合わせ用いれば、最もよく果し得るのである。

感謝の言葉

著者らは本研究に参加された Oak Ridge National Laboratory 保健物理学部の E. T. Arakawa, J. A. Auxier, C. W. Caldwell, J. S. Cheka, F. J. Davis, J. A. Harter, P. N. Hensley, W. W. Ogg, P. W. Reinhardt, C. C. Sartain, E. B. Wagner, B. T. Walters の諸氏ならびに米空軍航空医学部の H. M. Borella, L. C. Logie, S. C. Sigoloff の諸氏に感謝の意を表したい。

Oak Ridge National Laboratory の応用核物理学部より、この調査計画に携わるため T. V. Blosser 氏を派遣されましたことに対し深謝する。米空軍特殊兵器センターの E. N. York 大尉および M. Morgan 大佐の貴重な貢献に対し謝意を述べる。野外調査中、米国原子力委員会、生物医学部の R. L. Corsbie および L. J. Deal の両氏、ならびに米空軍航空医学部の J. A. Pickering 氏より終始心からの援助を賜ったことに対し深く感謝する。

REFERENCES

参 考 文 献

1. Glasstone S. (Editor): The Effects of Nuclear Weapons. United States Atomic Energy Commission, 1957.
2. Mittelman PS, Liedtke, RA: Nucleonics 13 (5): 50, 1955.
3. Sigoloff SC: Nucleonics 14 (10): 54, 1956.
4. Biggers WA, Waddell F: WT-9004, Classified. U. S. Atomic Energy Commission, 1957.
5. Hurst GS, Harter JA et al: Rev Sci Instrum 27: 153, 1956.
6. Reinhardt PW, Davis FJ: Health Physics 1: 169, 1958.
7. Glasstone S (Editor): The Effects of Nuclear Weapons. U. S. Atomic Energy Commission, 1957; Harris PS et al: ITR-1167, Classified. U. S. Atomic Energy Commission, 1955.
8. Wilson RR: Rad Res 4: 349, 1956.
9. Fano U: Nucleonics 11 (8): 8, 1953; 11 (9): 55, 1953.
10. Holland SS, Jr, Richards PI: J Appl Phys 27: 1042, 1956.
11. Private communication: Watt R. Los Alamos Scientific Laboratory.
12. Hurst GS et al: WT-1504, Classified. U. S. Atomic Energy Commission, 1958.
13. Auxier JA, Blosser TV: To be published.
14. Oughterson AW, Warren S (Editors): Medical Effects of the Atomic Bomb in Japan. McGraw-Hill, New York, 1956.
15. York EN in communication from Morgan M, AFSWC to Hurst GS, ORNL, RONL-CF-57-11-144, 1957.
16. Harris PS: Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-1987, Classified, 1955; Neel JV, Schull WJ: The Effect of the Atomic Bomb on Pregnancy Termination in Hiroshima and Nagasaki p. 51. NAS-NRC Publication 461, 1956.