

**RADIATION DOSIMETRY
IN HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SURVIVORS**

広島及び長崎被爆生存者に関する放射線量測定

EDWARD T. ARAKAWA, Ph. D.



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、ABCC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、ABCC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 ABCCに於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 ABCC 職員及び関係方面にのみ配布する。

**RADIATION DOSIMETRY
IN HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SURVIVORS**

広島及び長崎被爆生存者に関する放射線量測定

EDWARD T. ARAKAWA, Ph.D.

This work was performed while the author was assigned to ABCC
as Consulting Health Physicist from Health Physics Division,
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.

本研究は著者が保健物理学者として Health Physics Division, Oak Ridge National Laboratory,
Oak Ridge, Tennessee から A B C C へ派遣勤務中行なわれたものである。



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
Hiroshima - Nagasaki, Japan

A Research Agency of the
U.S. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - NATIONAL RESEARCH COUNCIL
under a grant from
U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION
administered in cooperation with the

JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH of the MINISTRY OF HEALTH & WELFARE

原爆傷害調査委員会
広島-長崎

厚生省国立予防衛生研究所
と共同運営される

米国学士院-学術会議の在日調査研究機関
(米国原子力委員会研究費に依る)

A paper based on this report appeared in the following journal:

この報告書は下記の雑誌に掲載された:

New England Journal of Medicine, Volume 263, September 1960

TABLE OF CONTENTS

目 次

	<i>Page</i>
Introduction 緒 言	1
The Fission Process in General 核分裂過程の概説	2
Hiroshima and Nagasaki 広島及び長崎	3
Dosimetry Program 線量測定計画	8
Shielding Study 遮蔽物調査	8
Experimental Study 実験的研究	12
Tentative 1957 Doses (T57D) 1957年暫定線量 (T 57 D)	13
Summary 総 括	15
References 参考文献	16

LIST OF FIGURES

挿入図一覧表

	<i>Page</i>
1 A pictorial representation of the Hiroshima detonation 広島における爆発の解説図	4
2 A pictorial representation of the Nagasaki detonation 長崎における爆発の解説図	4
3 Estimated gamma and neutron air dose by distance from hypocenter (York) 爆心地からの距離別に見たγ線及び中性子の推定空中線量	5
4 Isodose contour evaluated in milliroentgens per hour as of October 3-7, 1945. Hiroshima 1945年10月3 - 7日現在の広島における放射線の等線量曲線 (mr / hr)	7
5 Isodose contour evaluated in milliroentgens per hour as of October 3-7, 1945. Nagasaki 1945年10月3 - 7日現在の長崎における放射線の等線量曲線 (mr / hr)	8
6 Shielding history area drawing 遮蔽物調査 - 地区図	9
7 Shielding history floor plan drawing 遮蔽物調査 - 間取図	10
8 Shielding history cross sectional drawing 遮蔽物調査 - 断面図	11
9 Transmission of gamma radiation and fast neutrons in typical single story Japanese houses 代表的平屋の日本家屋におけるγ線及び速中性子の伝導	13

INTRODUCTION

緒言

To evaluate the late biological consequences of the atomic bombings of Hiroshima and Nagasaki, there is an evident need for determination of the type and total dose of radiation received by individual survivors. Since 1956 this problem of radiation dosimetry has provoked a collaborative effort between the Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC) in Japan and the Health Physics Division of the Oak Ridge National Laboratory (ORNL).

Considerable information is needed before a dose can be calculated with any degree of certainty for the individual survivor. Although good estimates exist as to the general magnitude of radiation associated with atomic explosions, the bombs used on Hiroshima and Nagasaki were not monitored for their radiation potential. Therefore, the radiation from the original bombs has been estimated from data on similar, but not identical, nuclear weapons. In addition, dose calculation requires an exact knowledge of the whereabouts of the individual at the precise moment of explosion. Finally, the effects of shielding by a variety of structures and circumstances play a considerable role in the total dose received.

New medical programs are being initiated by ABCC, and it is hoped that data from these programs can eventually be evaluated in terms of response to a given radiation dose. Therefore, it seems pertinent to review the known physical considerations of the bombings, and to report on the progress in dosimetry of individual survivors.

広島及び長崎の原子爆弾による後発の生物学的影響を評価するためには、各被爆生存者が受けた放射線の種類及び総線量の決定が明らかに必要である。1956年以降、放射線量測定の問題について在日原爆傷害調査委員会 (A B C C) と Oak Ridge National Laboratory 保健物理学部との共同研究が実施されている。

各生存者についてある程度の確実性をもって線量が計算され得るまでには、相当の資料が必要である。原子爆発によつて生じた放射線の線量について推定が行なわれているが、広島及び長崎に投下された爆弾の放射線については当時測定しなかつた。従つて投下された爆弾から発生した放射線は、全く同じではないが類似核兵器の資料に基づいて推定された。更に線量計算には、爆発の瞬間被爆者がいた場所について正確な資料が必要である。そのうえ被爆総線量については、種々の建造物及び環境による遮蔽の影響が相当な役割を演ずる。

A B C C は、新しい医学研究計画に着手しており、これらの計画より入手した資料が、放射線量に対する反応として評価されることになるであろう。この意味で原子爆弾について行なわれた物理的考察を検討し、あわせて各被爆生存者に関する線量測定の進捗状況について報告することは適切であると思う。

THE FISSION PROCESS IN GENERAL

When a uranium (or plutonium) nucleus is invaded by a neutron, an unstable configuration exists and the nucleus splits into two or more particles. The important consideration is that the initial configuration of one large uranium nucleus contains much more energy than the two small nuclei which are produced. Consequently a large amount of energy must be liberated in the short interval of time during which the splitting or fission process occurs. The liberation of this energy is accompanied by a considerable increase of temperature so that the products of the explosion become extremely hot gases which move outward rapidly, pushing the surrounding medium away with great force. Fifty per cent of the total energy is released in the above manner, 35 per cent as thermal radiation, 10 per cent as residual nuclear radiation, and only five per cent of the total energy is released during the first minute as initial nuclear radiation.¹

The initial nuclear radiation consists of alpha, beta, and gamma rays in addition to neutrons. The alpha and beta particles are absorbed in a few meters of air and are thus of no consequence in an air burst. The gammas and neutrons, however, can traverse great distances and these are the radiations which are of chief concern in assaying the direct radiation effects of atomic weapons.

There are at least 40 different ways in which the nuclei can split when fission occurs. The 80 or so types of fragments produced in the fission process are called the fission products and are highly radioactive. These fission products, when they actually fall out of the atmosphere, constitute "fallout".

The neutrons released during the fission reaction may strike stable atoms in the environment, rendering them unstable and radioactive. This secondary neutron-induced radioactivity constitutes another source of radiation from the nuclear

核分裂過程の概説

ウランウム（又はプルトニウム）核に中性子を打ちつける場合、一種の不安定な状態が起きて核は2個以上の粒子に分裂する。重要な点は分裂前の状態のウランウム核の方が、生成せられた2個の核よりも多量のエネルギーを有するということである。従つて核分裂の過程において、多量のエネルギーが短い時間に放出される。このエネルギーの放出には温度の著しい上昇が伴うので、爆発の生成物は極めて高温の気体となり、これが外の方に向つて急速に動き巨大な力をもつてその周囲のものを押し出す。最初の1分間に総エネルギーの50%は、上述のように放出され、35%は熱線として、10%は残留放射線として、そして僅かに総エネルギーの5%のみは一次核放射線として放出されるのである。¹

一次放射線は中性子以外に α 、 β 、及び γ 線から成る。 α 線と β 線は大気中数m内で吸収せられるので、大気中の爆発では問題にはならない。しかしながら、 γ 線及び中性子は長距離に到達することが出来、これらは原子兵器の放射線の直接的な影響を評価するに当つて、最も問題になるものである。

分裂に際して核は少なくとも40種位の異つた割れ方をする。このようにして生成される約80種のを核分裂生成物といい、これらは強度の放射能を有する。これらの分裂生成物が実際大気から降下するとき、“降下物”となる。

分裂反応時に放出される中性子は、その周辺の安定した原子と衝突して、これらを不安定にし、かつ放射能を与えることがある。中性子によつて誘発された二次放射能は、核兵器の保有するもう

weapon. The magnitude of this effect is directly related to the intensity of neutrons released.

HIROSHIMA AND NAGASAKI

The situations in Hiroshima and Nagasaki are schematically depicted in Figures 1 and 2 respectively. A nuclear bomb was exploded 606 meters above the center of Hiroshima (Army Map Service 1945 L902 map of Hiroshima co-ordinates 44.28×61.70)² at 8:15 a.m. on August 6, 1945, and three days later a second nuclear bomb was detonated 500 meters above the Urakami Valley of Nagasaki (AMS L902 co-ordinates 65.95×93.63)³ at 11:03 a.m. on August 9, 1945. The direct gamma and neutron radiation emanations have been estimated by York⁴ and are shown as functions of distance from the hypocenter in Figure 3. Dose decreases in a near-logarithmic fashion as the distance from the hypocenter increases. The relative gamma and neutron doses vary independently, depending on the type of bomb, but the Nagasaki bomb apparently released very little neutron energy compared to the Hiroshima bomb. There are many uncertainties in these estimates of the air dose, perhaps by as much as a factor of two. A major objective of the dosimetry program is to improve these estimates.

The local fallout occurred in the western suburbs of Hiroshima (Furue, Takasu, and Koi) and in the Nishiyama area of Nagasaki, both about 3000 meters from the hypocenter. The external integrated gamma dose from these radioactive fission products is not precisely known but probably amounted to several rads in Hiroshima and about 100 rads in Nishiyama, Nagasaki, as extrapolated from the physical measurements made several weeks after the bomb.⁵⁻¹⁴ These figures are the external doses from fallout under conditions of continuous residence in these areas without shielding and therefore represent the upper limit of doses to which the residents of these areas could have been exposed.

一つの放射線源をなす。この変化の規模は放出される中性子の強さに直接関係がある。

広島及び長崎

広島及び長崎の原子爆弾爆発の状態を夫々図1及び図2に図示した。1945年8月6日午前8時15分に広島市中心部(米陸軍測量部1945 L 902 広島地図, 座標 44.28×61.70)² の上空 606 m の高度で1つの原子爆弾が爆発し, そして3日後の1945年8月9日午前11時3分, 長崎市浦上地区(同AMS L 902, 座標 65.95×93.63)³ の上空 500 m の高度で, 第2の核爆弾が爆発した。直接放出された γ 線及び中性子を York⁴ が推計し, これを爆心地からの距離の函数として図3に示した。線量は爆心地からの距離が増加するに従って大体対数的に減少する。爆弾の種類によつて γ 線及び中性子の相対線量は夫々異なるが, 長崎の爆弾が放出した中性子エネルギーは広島の爆弾と比較して極めて少量であつた。空中線量推計には多くの誤差があつて, その誤差の係数は2に至るかも知れない。線量測定計画の主目的の1つはこれら推計値を改善することにある。

爆心地からの距離夫々約3000m程に位する広島市の西部地区(古江, 高須, 己斐)及び長崎市西山地区に局地的な降下物があつた。これらの放射性核分裂生成物による γ 線の外部照射積算線量は正確に判らないが, 原爆落下後数週間後に実施された物理学的測定の数値について補外法を用いて推計した時, 線量は広島で数rad, 長崎の西山地区では100rad位であつた。⁵⁻¹⁴ これらの数値は当該地域の住民が遮蔽なく継続して居住しているということを前提として被爆し得る外部照射線量の上限である。

FIGURE 1 A PICTORIAL REPRESENTATION OF THE HIROSHIMA DETONATION
 図1 広島における爆発の解説図

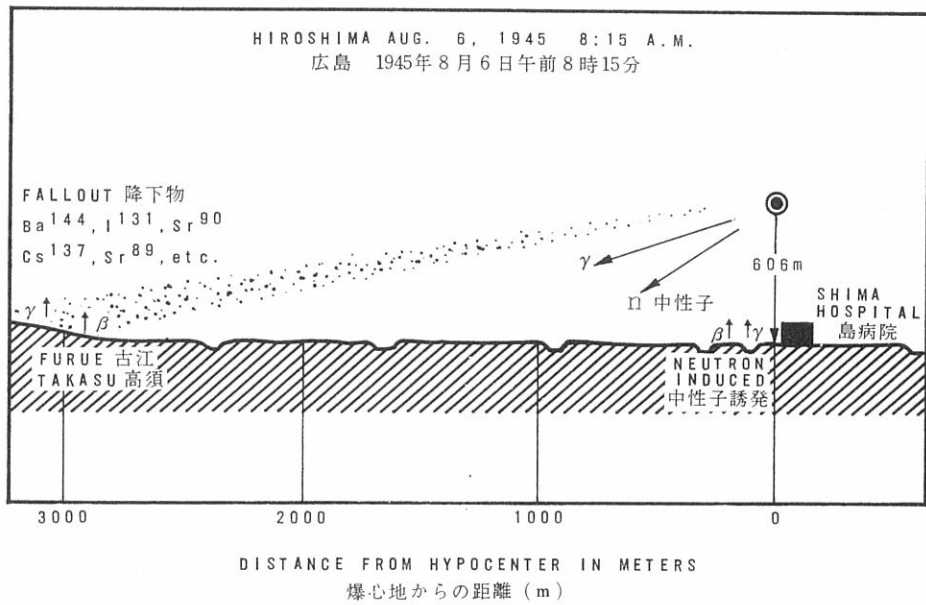


FIGURE 2 A PICTORIAL REPRESENTATION OF THE NAGASAKI DETONATION
 図2 長崎における爆発の解説図

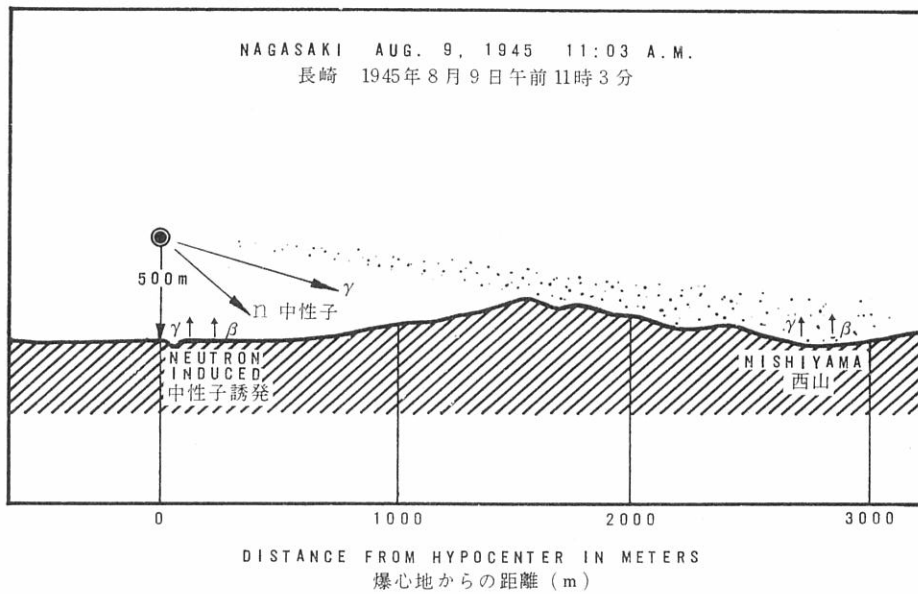
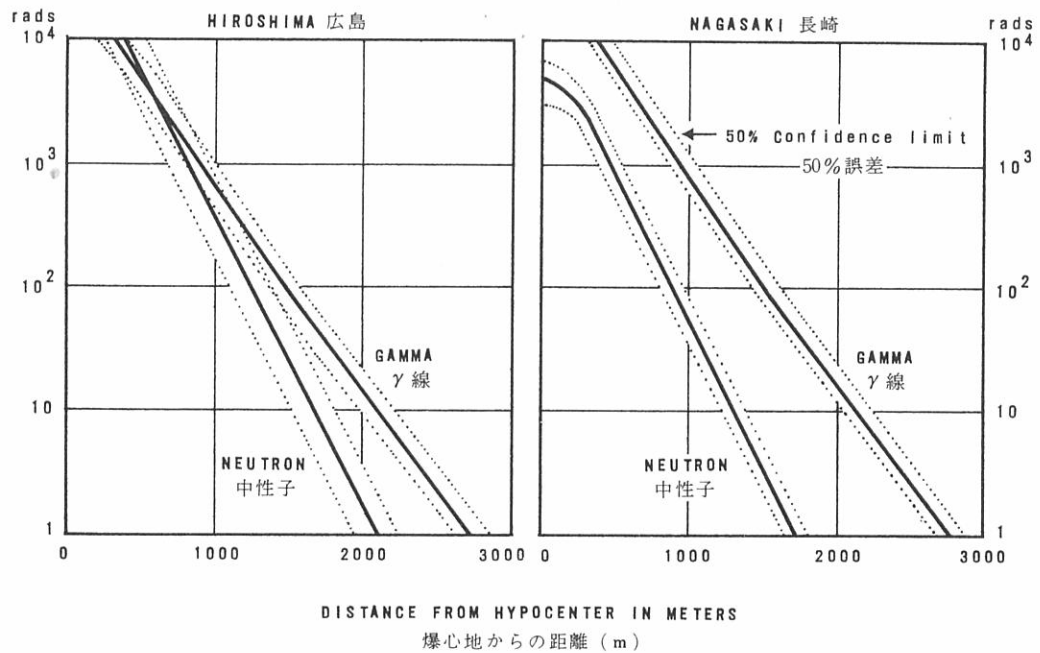


FIGURE 3 ESTIMATED GAMMA AND NEUTRON AIR DOSE BY DISTANCE FROM HYPOCENTER (YORK)⁴

図3 爆心地からの距離別に見たγ線及び中性子の推定空中線量⁴



The isodose curves determined by the First Technical Group of the Manhattan Engineering District in October, 1945¹⁵ representing gamma activity actually measured by Geiger counters are shown in Figures 4 and 5. In the distant areas they undoubtedly represent fallout of radioactive particles. Although these measurements were taken in October, 1945 after a major typhoon had swept Hiroshima, the data appear consistent with Japanese measurements obtained pre-typhoon.⁷⁻¹⁴

The radiation in the hypocenter areas, believed to be due to radioactive elements induced in the soil by neutrons, was very weak when measured several weeks after the detonations. However, this is understandable since the most abundant neutron-induced elements are those with short half lives such as Na²⁴ and Mn⁵⁶. There is no recourse except to theoretical calculations in order to estimate the maximum possible dosage from this source. Calculations show that the integrated dose from the time of the burst to infinite time could have

1945年10月に Manhattan Engineering District の第1技術班¹⁵が、ガイガー計数管を用いてγ線を測定して、これに基づいて作製された等線量曲線を図4及び図5に示す。遠距離地区にある等線量曲線があることは、放射性降下物があったであろうことを示す。これらの測定は大規模な台風が広島を荒した後の1945年10月に行なわれたのではあるが、その資料は台風以前に実施された日本側の測定値に一致しているようである。⁷⁻¹⁴

中性子によつて土壤に放射性元素が誘発されたものと思われる爆心地付近における放射線は、爆発後数週間目に測定された時極めて微弱であつた。しかし、中性子によつて誘発された元素の大部分がNa²⁴とMn⁵⁶など半減期の短いものであるが、これは当然考えられることである。この線源の最大線量を推定するためには理論的計算に依存する以外には方法はない。理論的計算の結果、爆発時から無限時に至るまでの総積算線量は広島において100rad、長崎で50radに達するものと思

amounted to 100 rads in Hiroshima and 50 rads in Nagasaki.¹⁶ The probability of receiving even 50 per cent of the calculated maximum dose is very small because of (1) the short lifetimes of these elements (half of the activity would have been expended in 12 hours and three-fourths in 27 hours), (2) the large decrease of this activity with increasing distance from the hypocenter (the neutron flux decreases to a tenth of the hypocenter value within 900 meters from the hypocenter), and (3) the fact that the raging fires made entry into this area practically impossible for a day or two.

The isodose curves (Figures 4 and 5) of the hypocenter area demonstrate a progressive and symmetrical decrease out from the hypocenter. Such data, as well as the height of the bomb burst, support the assumption that the detected hypocenter area radioactivity is the result of neutron-induced changes. If so, the hypocenter area isodose curves should mirror the direct neutron doses from the two bombs. The intensity of the hypocenter isodose curve for Nagasaki, however, seems very similar to that of Hiroshima, despite the fact that York's direct dose calculations (Figure 3) show the neutron dose in Nagasaki to be six times less than in Hiroshima. The results of measurements in both cities on the radioactive P^{32} produced in human bones from the reaction $P^{31}(n, \gamma)P^{32}$ also show that the neutron fluxes in the two cities were approximately equal.^{14, 17} This discrepancy as to the estimated neutron fluxes in the two cities is at present unresolved.

To summarize, there is little evidence that any significant dose was received by the Hiroshima and Nagasaki survivors except by direct radiation from the bombs. Induced radiation by neutrons was present, but this probably contributed little to the total dose received by the general population. Immediate fallout, of the sort and magnitude that rained on a Marshall Island population and on the Japanese fishing boat "Lucky Dragon" during weapons tests at Bikini in 1954¹⁸, did not occur in the two

われる。¹⁶ この計算された最大線量の50%を受け
る確率は次の理由のため、極めて少ない。即ち、
(1)これらの元素の半減期が短い、(これら元素の
放射能は12時間で半減し、27時間で $\frac{3}{4}$ 減少する)、
(2)爆心地から遠ざかるにつれてこの放射能は急激
に減少する、(中性子束は、爆心から900mで $\frac{1}{10}$
に減少する)、(3)火災のため一兩日中に爆心地付
近に立ち入ることは事実上不可能であつたからで
ある。

爆心地付近の等線量曲線(図4及び5)は爆
心地から外方に向つて漸次対称的に減少を示して
いる。爆弾の炸裂点の高度に関する資料と共にこ
の資料は爆心地付近に検出された放射能が中性子
によつて誘発された変化によるという仮定の裏付
になる。もしそうであれば、爆心地付近の等線量
曲線は両原子爆弾が放出した中性子線量を反映す
る筈である。Yorkの直接線量計算(図3)では、
長崎の中性子線量が広島のものよりも6倍も少な
いが、長崎の等線量曲線の強さは、広島のものに
近似している。 $P^{31}(n, \gamma)P^{32}$ の反応によつ
て人骨に生じた放射性 P^{32} を両市において測定し
たが、両市の中性子束は、大体等しいことを示し
た。^{14, 17} 両市における中性子束の推定誤差は今
尚解明されていない。

要約すれば、原爆の一次放射線を除けば、広
島及び長崎の被爆生存者が有意線量を受けたとい
う証左は殆んどない。中性子に誘発された放射能
は事実存在したが、これは恐らく被爆者が受けた
総線量に殆んど寄与しなかつたものと思われる。
1954年のビキニ核実験¹⁸にマーシャル群島住民及
び日本漁船“福龍丸”が受けた種類及び程度の降
下物の局地的落下は、両市にはなかつた。日本に
おける放射性降下物が少量であつたのは2つの因
子による。即ち1つには日本に投下された爆弾は

Japanese cities. Two factors contributed to the paucity of fallout in Japan. First, the Japanese bombs, being kiloton weapons, had about one-thousandth of the energy of the megaton Bikini weapon. Second, the largest fraction of local fallout at Bikini was due to neutron-activated earth and debris which had been drawn into the atmosphere. These larger particles then fell back to earth in the form of fallout. Since the fireballs in the Hiroshima and Nagasaki air bursts did not touch the ground, the above situation did not occur to any great extent.

キロトン級のもので、そのエネルギーはビキニのメガトン級の約 $\frac{1}{1,000}$ であつた。2にはビキニにおける局地的に見られた降下物は主として大気は吸いこまれた土及び破壊物で、それが中性子によつて放射能を持つようになった。その大きな粒は降下物の形をなして大地に再び落下した。しかし広島及び長崎の場合、空中で爆発したので火球は大地に接触しなかつたので、上述のような事実は殆んど惹起しなかつた。

FIGURE 4 ISODOSE CONTOUR EVALUATED IN MILLIROENTGENS PER HOUR AS OF OCTOBER 3-7, 1945 - HIROSHIMA¹⁵

図4 1945年10月3-7日現在の広島における放射線の等線量曲線 (mr / hr)¹⁵

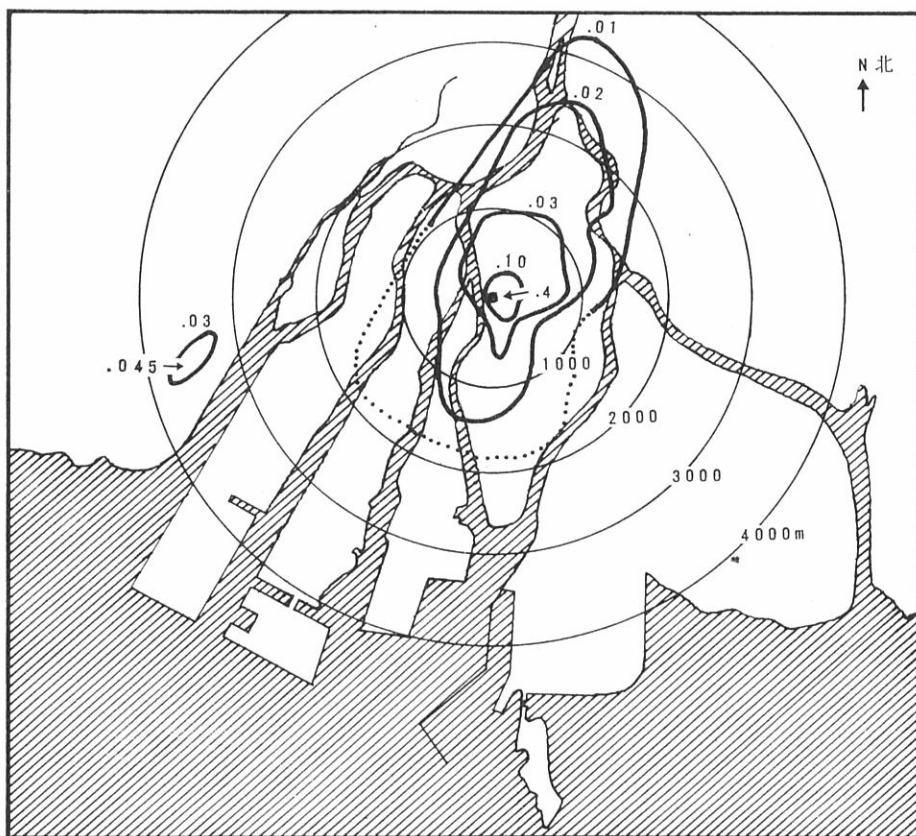
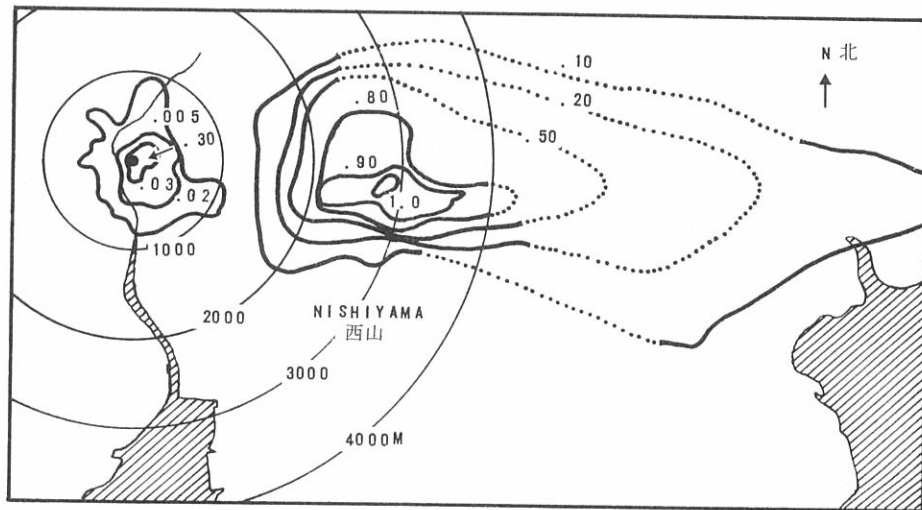


FIGURE 5 ISODOSE CONTOUR EVALUATED IN MILLIROENTGENS PER HOUR
AS OF OCTOBER 3-7, 1945 - NAGASAKI¹⁵

図5 1945年10月3-7日現在の長崎における放射線の等線量曲線 (mr / hr)¹⁵



DOSIMETRY PROGRAM

The program to determine the doses received by the Japanese survivors is a two-pronged attack, an experimental and theoretical phase at Atomic Energy Commission (AEC) contractor sites in the U. S. and an investigative program in Japan to define as precisely as possible the exact conditions of exposure, i.e., the shielding situation and position with respect to the source of radiation. The latter is possible only by direct interrogation of the people involved, numbering many thousands in each city.

Shielding Study

A typical shielding history made from interviews with survivors in Japan is illustrated in Figures 6-8. There are approximately 8000 completed shielding histories in Hiroshima and 5700 in Nagasaki. Figure 6 is a typical plot as drawn by the shielding technician with the

線量測定計画

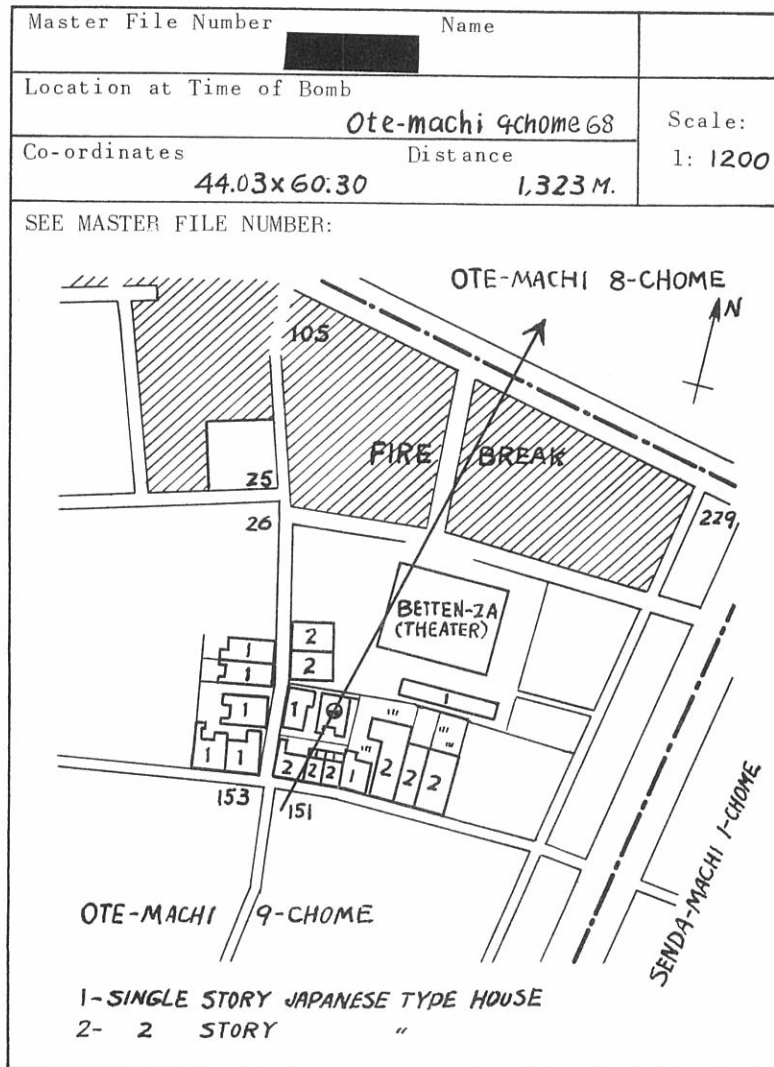
日本人生存者が受けた線量を決定する計画には2つの仕事がある。即ち米国において原子力委員会が実験上と研究所で行なう実験的及び理論的な研究、そして日本において行なわれる調査計画である。後者の調査計画では放射線源に対する遮蔽状態及び被爆位置等、被爆時の状態を出来るだけ精確に把握しようとするのである。両市の幾千人にのぼる被爆者を直接面接調査することによってのみこの資料が入手出来るのである。

遮蔽物調査

日本における被爆生存者との面接調査によって作成される代表的な遮蔽記録を図6-8に示す。広島では約8000件、長崎では約5700件の遮蔽記録が完成している。図6は原爆落下前後の両市の航空写真を利用して遮蔽物調査員が作製した代表的な地区区面である。被爆者に航空写真をもつて被

FIGURE 6 SHIELDING HISTORY AREA DRAWING*

図6 遮蔽物調査一地区図



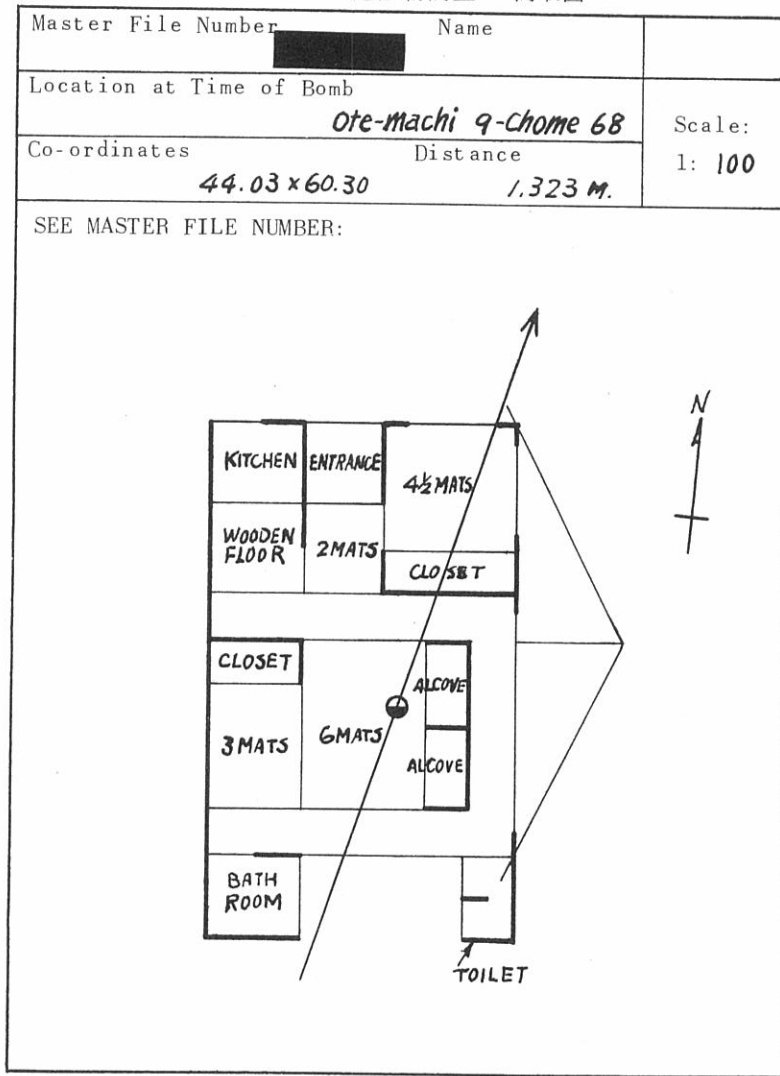
*Size of original: 8"x10½"
原寸

aid of pre- and post-bomb aerial photographs of the cities. The subject is asked to identify his position of exposure on aerial photographs from which the drawing is then made. This drawing is required to determine the distance from the hypocenter, from which the air dose may be derived by use of York's curves (Figure 3), and also to show the surrounding structures, which are of importance in calculating the attenuation of the radiation.

爆地点を確認して貰い、しかる後に図面が作製される。この図面は爆心地点からの距離を決定する上に必要なもので、その距離に応じてYorkが作成した曲線(図3)を用いて空中線量が推定出来る。又同図面は放射線の減弱を算定する上に重要である周囲の建造物を示すものである。

FIGURE 7 SHIELDING HISTORY FLOOR PLAN DRAWING*

図7 遮蔽物調査一間取図



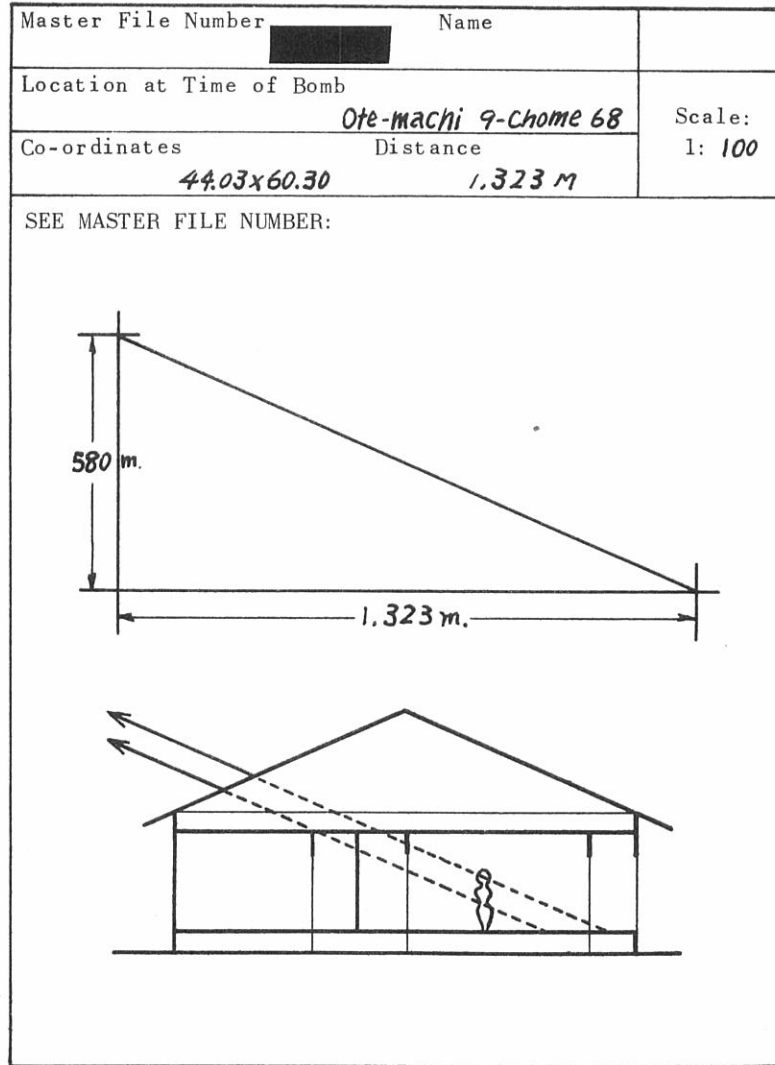
*Size of original: 8" x 10 1/2"
原寸

Figure 7 is a typical floor plan drawing from a shielding history. The reconstruction of these floor plans from memory is aided immensely by the standardization imposed by the approximately 3' x 6' straw mat (*tatami*) size used exclusively in Japanese floor construction. The number of mats in each room is generally remembered by most people, since this is the way in which room size is quoted. In addition, like the pieces in a jigsaw puzzle, if all of the room sizes are not remembered exactly, the rooms will not fit together to conform

図7は遮蔽物調査記録の1つである代表的な一間取図である。記憶を辿り間取りを再現するに当っては、日本家屋特有の約3呎×6呎の畳による家屋の画一性が大いに役立っている。部屋の大きさは畳の枚数によつて示されるので、大抵の人は各部屋の畳数を記憶している。更にもし各部屋の大きさを正確に記憶していない時には、丁度ほめ絵の場合と同様に、標準の大きさの部屋の組合せが成立しないし、また航空写真に見られる家屋

FIGURE 8 SHIELDING HISTORY CROSS SECTIONAL DRAWING*

図 8 遮蔽物調査一断面図



*Size of original: 8" x 10½"
原寸

to standard practices and also to the external shape and size which can be seen on the aerial photographs. It is felt, therefore, that the accuracy of these drawings is sufficiently precise for good attenuation calculations. Figure 7 is then used to draw Figure 8, which is a cross sectional drawing of the house along the ray path to the burst.

In addition to the drawings, the shielding histories include information on flash burns, injuries, fire burns, and the various acute radiation symptoms.

の外形及び大きさと一致したものが出来ない。従つてこれらの図面は減弱を推計するために充分正確なものと思われる。このあと図7を用いて炸裂点に対する家屋の断面図(図8)を作製する。

遮蔽物調査には上記の図面の他に、熱傷、外傷、火傷、及び諸種の急性放射線症状等に関する資料が求められる。

Experimental Study

The program in the U. S., under the supervision of the Health Physics Division of the Oak Ridge National Laboratory, is performed at the test site in Nevada and in various laboratories.

A series of experiments were conducted during the Nevada Plumb Bob Operations in the summer of 1957 to examine the various parameters required in evaluating exposure doses from nuclear weapons. These tests provided much useful data on scattered radiation and attenuation by structural materials. However, the results on attenuation by Japanese type houses are tentative and subject to revision since these experiments were conducted only on single-story houses unshielded by neighboring houses, which is not the typical situation in Japan. The reader is referred to the report by Ritchie and Hurst⁴ for details of the results described below.

Two identical, medium-sized Japanese type houses were constructed at the test site to determine their attenuation characteristics. Dosimeters were placed at various locations in the houses and both houses were exposed at the same distance, except that the open side of the first house faced the burst whereas the open side of the second house was oriented away from the burst. The results obtained, in terms of the ratio of the dose detected within the house to the open air dose at the same position are shown for gamma rays and fast neutrons in Figure 9. In both cases it is seen that the attenuation agrees with a simple parameter, the house-penetration distance, defined as the distance along the ray path from the first point of entry into the house to the detector. Note that the data for both houses are plotted on the same graph which shows that for the experimental situation described above, the attenuation within a house is independent of the orientation of the house with respect to the burst point.

Dosimetry studies at the weapons-testing sites have provided important information

実験的研究

米国においては Oak Ridge National Laboratory 保健物理学部の監督のもとに Nevada 実験場及び各所の研究所で実験が進められている。

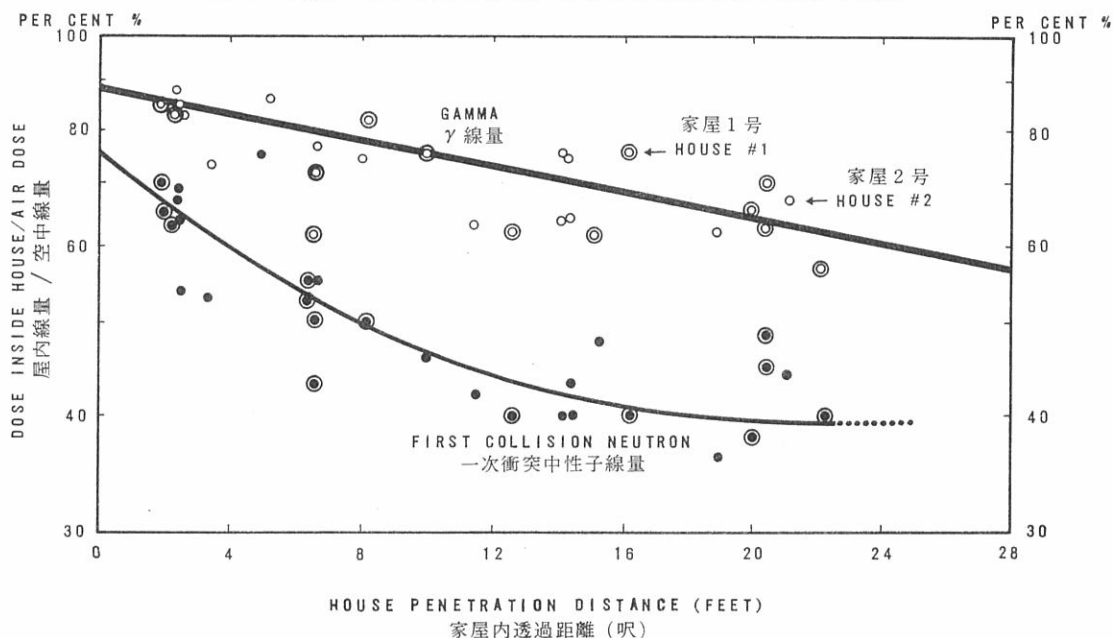
1957年の夏行なわれた Nevada Plumb Bob Operationsにおいて核兵器からの被爆線量を推定するために必要なパラメーターを検討するために一連の実験が実施された。これらの実験は建造物による散乱放射線及び放射線減弱について多くの有用な資料を提供した。隣接家屋の遮蔽を受けない平屋のみについて実験が行なわれたので、得られた日本家屋の減弱資料はあくまで暫定的なもので今後改良すべきである。というのは実験場の家屋配置は日本における状態を代表しないからである。次に記述する結果の詳細については Ritchie 及び Hurst⁴ の報告書を参照されたい。

家屋の減弱特性を決定するために実験場において同型の中型日本家屋2戸を建造した。両家屋内の各所に線量測定器を取りつけ、1戸は開放面を炸裂点に向け、もう1戸の方は開放面を炸裂点に対し反対に向けて同じ距離で被爆せしめた。γ線及び中性子について同一の位置で測定された戸外線量に対する屋内線量の比率は夫々図9に示した。両者の減弱は共に家屋透過の最初の点から測定器までの家屋透過距離という1個のパラメーターに従って変動する。両家屋に関する数値は同じグラフに図示した。上述の実験では家屋内の減弱は家屋の炸裂点に対する向きには無関係であることを示している。

核兵器実験場における線量調査によつて空中数百mの高度で炸裂した広島-長崎型爆弾から発

FIGURE 9 TRANSMISSION OF GAMMA RADIATION AND FAST NEUTRONS
IN TYPICAL SINGLE STORY JAPANESE HOUSES⁴

図9 代表的平屋の日本家屋におけるγ線及び速中性子の伝導⁴



concerning the amount of scattered radiation from Hiroshima-Nagasaki type weapons exploded several hundred meters in the air. Results indicate that a Japanese bomb survivor shielded by a wall or building on the side toward the detonation would still receive from scattered radiation approximately 15 per cent of the gamma air dose and 30 per cent of the neutron air dose. Thus, protection of this sort, so dramatic in prevention of acute thermal burns, was of limited value against ionizing radiation.

Tentative 1957 Doses (T57D)

Tentative doses are now being estimated on the basis of the 1957 weapons test results and the air dose curves of York for survivors exposed in houses unshielded or minimally shielded by neighboring houses. These doses will be revised when better attenuation data and air dose values become available. The following procedure must be carried out for each survivor separately.

生じた散乱放射線量に関し重要な資料を得た。これらの結果では爆発から壁又は建物で完全に遮蔽された被爆者でも散乱放射線によつて空中γ線量の約15%及び空中中性子線量の約30%照射を受けたと思われる。熱傷を防ぐ上には素晴らしい効果があつたこの種の遮蔽物は、電離放射線に対してはある程度有効であつたに過ぎなかつた。

1957年暫定線量 (T57D)

1957年の核兵器実験の結果と隣接する家屋によつて遮蔽されない或は軽度に遮蔽された家屋の内部で被爆した者についてYorkが作成した空中線量曲線に基づいて、現在暫定の被爆線量推定が行なわれている。今後より精確な線量減弱資料及び空中線量値が得られれば、これら暫定線量を改定する。個々の被爆生存者については下記の処置を行なう。

1. From Figure 6, the distance from the hypocenter is computed.
2. Air doses (gamma and neutron separately) are then read from Figure 3.
3. Using Figure 8, the house penetration distance may be measured.
4. The transmission factor may then be read from Figure 9.
5. Dose calculation would then be performed for each radiation separately. Exposure dose = (air dose) x (transmission factor).

Since the Relative Biological Effectiveness (RBE) from animal experiments is known to depend upon the effect being studied, and since it is also hoped that the studies being carried out at ABCC in Hiroshima and Nagasaki will shed some light upon the RBE values for humans, the data are recorded separately for gamma and neutron. The apparently large difference between the neutron doses in the two cities offers hope that a comparison of various effects between the two cities may provide some estimates of the RBE values.

However, as a matter of practical expediency and for screening purposes, the total rad doses may simply be added as a first approximation.

Discretion must be exercised in the use and interpretation of these dosages since the uncertainties in the air doses as shown in Figure 3 are quite appreciable. Some sharpening of the accuracy of these air dose curves may be obtained in the future from certain experimental studies relating to the mechanism of radiation production by nuclear weapons. Actual refiring of weapons identical to those used in Hiroshima and Nagasaki was contemplated before the moratorium on nuclear weapons testing began in October 1958. Refinements of current air dose knowledge may improve the present major uncertainty in dosage calculation. Much additional attenuation

1. 図6を用い爆心地よりの距離を算定する。
2. しかる後、図3より空中線量(γ線及び中性子を別々に)を読みとる。
3. 図8を用い家屋透過距離を計算する。
4. それから図9より伝導因子を読みとる。
5. 次に各種放射線について線量算定が出来る。被爆線量 = (空中線量) × (伝導因子)

動物実験から得たRBE(生物学的効果)は研究対象の効果に左右されることは知られており、又広島及び長崎にあるABCCが行なっている諸研究が、人間のRBEについて何等かの光明を与えるものと思われるので、資料はγ線及び中性子について夫々別に記録される。両市における中性子線量は明らかに大きな差があるので、両市間の種々な影響を比較することによりRBEの推定値が得られるという希望がもたれる。

しかしながら、実際上の便宜及び鑑別の目的にはrad単位に現わした各線量を単に合計してその総線量を概算値と見做しても差支えない。

図3に示してあるように空中線量に相当な誤差があるので、これらの線量の使用及び解釈に当っては慎重を期さなければならない。核兵器による放射能生成の作用に関連する実験的研究によつて今後空中線量曲線が一層正確になるものと思われる。広島及び長崎両市に対し使用されたものと同種の爆弾の実験は、1958年10月に始まった実験停止に先だつて計画された。空中線量に関する現在の知識を向上することにより、線量計算における現在の主な誤差が改善されるものと考えられる。各被爆生存者の受けた線量を正確に推計するためには、減弱について今一層の資料が必要である。

data, such as the effect of house size, mutual shielding by houses, the orientation of houses, and the attenuation of radiation by various materials are required to estimate accurately the doses received by individual survivors of the atomic bombing.

SUMMARY

This report summarizes the present state of knowledge in dosimetry of the Hiroshima-Nagasaki A-bomb survivors. Data have been presented on the physical factors involved in the two cities and on attenuation of radiation by various shielding situations. This information is being used to estimate a tentative radiation dose to individual A-bomb survivors. It should be emphasized that many important problems remain to be solved before accurate doses can be assigned to individual survivors. Such information will greatly strengthen investigation of biological consequences of instantaneous doses of gamma and neutron irradiation in men.

即ち家屋の大きさ、家屋による相互の遮蔽、家屋の方位、各種材料による放射線の減弱等の効果がこれである。

総 括

この報告において、広島と長崎の原爆生存者に対する放射線測定に関する現在の知識を要約した。両市における物理学的因子及び種々の遮蔽状況による放射線減弱に関し資料を提示した。この資料が、各被爆生存者が受けた暫定放射線量を推定するために用いられている。各生存者に対し正確な線量が割当てられ得るまでには、多くの重要な問題が未解決のまま残っていることを強調する必要がある。斯る資料は、人間における γ 線及び中性子の瞬時照射の生物学的影響を調査するために極めて大きな裏付になる。

REFERENCES

参考文献

1. Glasstone, S: Editor, The Effects of Nuclear Weapons, U. S. Atomic Energy Commission, June, 1957, P. 409.
(核兵器の効果)
2. Arakawa, E. T. 長岡省吾 (Nagaoka, S.)
広島における原子爆弾の炸裂点の決定—線量測定から見た意義, 広島医学, 12: 1052—1056, 1959.
(A B C C T R 12—59)
(Determination of the Burst Point of the Hiroshima A-Bomb; Dosimetric Significance, Hiroshima Igaku.)
3. Nagaoka, S. (長岡省吾) et al: Determination of the Burst Point of the Nagasaki A-Bomb. (Unpublished ABCC Technical Report)
(長崎における原子爆弾の炸裂点の決定) (A B C C 業績報告書準備中)
4. Ritchie, R. H., Hurst, G. S: Penetration of weapons radiation; Application to the Hiroshima-Nagasaki studies, Health Physics 1:390-404, 1959.
(核兵器放射線の透過性: 広島—長崎調査への応用)
5. Pace, N., Smith, R. E: Measurement of the Residual Radiation Intensity at the Hiroshima and Nagasaki Atomic Bomb Sites. Naval Medical Research Institute Report 160 A, April 1946.
(広島及び長崎の爆心地附近における残留放射能強度の測定)
6. Warren, S: Target Report -- Atomic Bombs, Hiroshima and Nagasaki, Report of U. S. Naval Technical Mission to Japan, X-28-2, May 1946.
(広島及び長崎の原子爆弾に関する報告)
7. 荒勝文策 (Arakatsu, B.)
爆発後数日間に行なえる広島市の放射能学的調査に関する報告. 原子爆弾災害調査報告集, 東京日本学術振興会, 1953, 第1分冊 pp. 5—10
(Report on radiological investigation of Hiroshima conducted for several days after the explosion, Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster. Tokyo, Nihon Gakujutsu Shinko Kai.)
8. 荒勝文策 (Arakatsu, B.)
長崎市における残存放射能, 同上 pp. 11—16
(Residual radiation in Nagasaki. Ibid.)
9. 山崎文男 (Yamasaki, F.)
原子爆弾爆発後, 広島西方に残った放射能について. 同上, pp. 25—33
(Residual radiation in West Hiroshima following the atomic bomb explosion. Ibid.)
10. 宮崎友喜雄, (Miyazaki, T.) 増田時男, (Masuda, T.) 佐々木忠義, (Sasaki, T.) 池田正雄 (Ikeda, M.)
原子爆弾により生じた広島市内およびその附近の放射能について, その1, 2 同上, pp. 34—38
(A-bomb radiation in Hiroshima city and vicinity, Part 1,2. Ibid.)

11. 増田時男, (Masuda, T.) 坂田民雄, (Sakata, T.) 中根良平 (Nakane, R.)
長崎およびその隣接地区における原子爆弾による放射能, 同上, pp. 38—40
(Radiation due to the atomic bomb in Nagasaki and adjacent areas. Ibid.)
12. 木村一治 (Kimura, M.)
ローリッツエン電気計による広島爆央地附近における放射能の測定, 同上, pp. 40—41
(Measurement of radiation near the hypocenter at Hiroshima by Lauritsen electro-
scope. Ibid.)
13. 篠原健一, (Shinohara, K.) 岡田利弘, (Okada, T.) 森田右, (Morita, A.) 高良和武,
(Kora, K.) 井上謙蔵, (Inoue, K.) 河井直幸, (Kawai, N.) 横田昌広 (Yokota, M.)
長崎市およびその近傍における土地の放射能, 第1, 2部同上, pp. 41—53
(Radiation of ground in Nagasaki city and vicinity, Part 1,2 Ibid.)
14. 藤原武夫, (Fujiwara, T.) 竹山晴夫 (Takeyama, H.)
広島市附近における残存放射能について, 同上, pp. 75—83
(Residual radiation around Hiroshima. Ibid.)
15. Wilson, R. R: Nuclear radiation at Hiroshima and Nagasaki, Radiation Res. 4:349-359,
1956.
(広島および長崎における核放射能線)
16. Arakawa, E. T: The Neutron Induced Radioactivity in Hiroshima and Nagasaki, to be
published.
(広島及び長崎における中性子誘発の放射能)
17. 山崎文男, (Yamasaki, F.) 杉本朝雄, (Sugimoto, A.) 木村一治 (Kimura, K)
広島における人骨中に生じた放射性燐 p^{32} について. 原子爆弾災害調査報告集, 東京日本学術振興会,
1953, 第1分冊 pp. 16—18
(Radioactive p^{32} induced in human bones in Hiroshima, op. cit. ref. 7.)
18. Cronkite, E. P., Bond, V. P., Dunham, C. L: Editors, Some Effects of Ionizing
Radiation on Human Beings: A Report on the Marshallese and Americans Accidentally
Exposed to Radiation from Fallout and a Discussion of Radiation Injury in the Human
Being, U. S. AEC TID-5358, 1956.
(人間に対する電離放射線の影響: 降下物の放射線に偶然被爆したマーシャル群島住民及び米人に関する
報告と人間における放射線障害に関する検討)