

MEDICAL X-RAY EXPOSURE  
AMONG HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SURVIVORS

広島・長崎における原爆被爆者の医療用 X 線被曝

WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION

国立予防衛生研究所—原爆傷害調査委員会

JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE

## TECHNICAL REPORT SERIES

### 業 績 報 告 書 集

The ABCC Technical Reports provide the official bilingual statements required to meet the needs of Japanese and American staff members, consultants, advisory councils, and affiliated government and private organizations. The Technical Report Series is in no way intended to supplant regular journal publication.

ABCC 業績報告書は、ABCC の日本人および米人専門職員、顧問、評議会、政府ならびに民間の関係諸団体の要求に応じるための日英両語による記録である。業績報告書集は決して通例の誌上発表に代るものではない。

MEDICAL X-RAY EXPOSURE  
AMONG HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SURVIVORS

広島・長崎における原爆被爆者の医療用 X 線被曝

WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.



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

## ACKNOWLEDGMENT

### 謝 辞

Without the splendid cooperation of the medical associations and the hospitals and clinics in Hiroshima and Nagasaki, these investigations could never have been accomplished.

The author is very grateful to Dr. Hideo Irie, President of Kyushu University, and to Dr. George B. Darling, Director of the Atomic Bomb Casualty Commission, for their constant encouragement. He is very much indebted to Dr. Haruma Yoshinaga, Professor of Experimental Radiology; Dr. Masanori Kuratsune, Professor of Public Health; Dr. Toshiyuki Yanase, Professor of First Department of Internal Medicine, Kyushu University; and to Dr. Shigetoshi Antoku, Assistant Professor, Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University for reviewing this manuscript and for their criticisms and suggestions. The immeasurable assistance of Mrs. Grace Masumoto in the preparation of the manuscript is deeply appreciated.

広島・長崎両市の医師会および病・医院の絶大なご協力がなかったならば、本調査は完成をみなかったであろう。ここに深謝の意を表する。

本調査を遂行するにあたり、たえずご鞭撻を賜わった九州大学の入江英雄学長および調査の大きな重要性を指摘され一貫して激励と支持をいただいたABCC所長 Dr. George B. Darling に対して謝意を表する。また、本稿の校閲、批判と示唆を賜わった九州大学医学部放射線基礎医学教室の吉永春馬教授；公衆衛生学教室、倉恒匡徳教授；第1内科、柳瀬敏幸教授と広島大学原爆放射能医学研究所、安徳重敏助教授に対して謝意を表する。さらに、本報告書の作成にあたり多大の援助をいただいた舩本幸江氏に謝意を表する。

A paper based on this report was published in the following journal:

本報告に基づく論文は下記の雑誌に発表した。

Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi — Nippon Acta Radiol 30 (10):12-54, 1971

# CONTENTS

## 目 次

Summary	要 約 .....	1
Introduction	緒 言 .....	1
Method	方 法 .....	4
Equipment	設 備 .....	4
Results	結 果 .....	10
Discussion	考 察 .....	49
References	参考文献 .....	51
Table 表	1. Composition of AHS sample, 1958 成人健康調査対象群の構成, 1958年 .....	2
	2. Subjects reporting radiation therapy, Hiroshima 放射線治療を受けた者の分布, 広島 .....	12
	3. Diagnostic X-ray apparatus 診断用 X 線装置 .....	13
	4. Added filtration, diagnostic X-ray apparatus 濾過板, 診断用 X 線装置 .....	13
	5. Added filtration in diagnostic X-ray apparatus for routine chest examinations 胸部普通撮影に用いられる診断用 X 線装置の濾過板 .....	17
	6. Anode position for routine chest examinations 胸部普通撮影における陽極の位置 .....	17
	7. Confirmed exposure to chest photofluorography 胸部間接撮影の確認検査数 .....	18
	8. A method for determining active bone marrow 赤色髄の測定法 .....	20
	9. Distribution of active bone marrow 赤色髄の分布 .....	21
	10. Bone marrow integral dose, PA and lateral chest examinations ABCC, Hiroshima (1-16 Nov. 1962) 背腹方向および側方向胸部 X 線検査による骨髄積算線量, ABCC 広島 (1962 年 11 月 1 - 16 日) ..	21
	11. Estimated gonadal and bone marrow integral dose, PA chest examinations community hospitals and clinics, Hiroshima 背腹方向胸部 X 線検査による生殖腺ならびに骨髄の推定線量, 病・医院, 広島 .....	22
	12. PA-chest examinations, mean gonadal and bone marrow integral dose per exposure 胸部背腹方向 X 線検査, 曝射 1 回当たりの平均生殖腺線量および骨髄積算線量 .....	23
	13. Chamber dose by location, added filtration and kvp in PA chest examination 部位, 濾過板および kvp による胸部背腹方向 X 線検査の電離箱線量 .....	24
	14-16. Bone marrow integral dose in PA chest examination, by kvp, field size and filtration, obtained by computer 電子計算機によって得られた kvp, 照射野および濾過板による胸部背腹方向 X 線検査の骨髄 積算線量 .....	24
	17. Gonadal dose in PA chest examination by kvp, field size and filtration kvp, 照射野および濾過板による胸部背腹方向 X 線検査の生殖腺線量 .....	27
	18. Mean bone marrow integral dose from PA chest examination in Hiroshima and Nagasaki 広島・長崎における胸部背腹方向 X 線検査の平均骨髄積算線量 .....	27
	19. Mean gonadal dose from PA chest examination in Hiroshima and Nagasaki 広島・長崎における背腹方向胸部 X 線検査の平均生殖腺線量 .....	28

Table 20. Average bone marrow integral, gonadal and skin doses of AHS subjects by photofluorography, Hiroshima and Nagasaki 表 間接 X 線検査による成人健康調査対象者の平均骨髄積算, 生殖腺ならびに皮膚線量, 広島・長崎 .....	29
21. Radiation treatment by year and city 年度別・都市別にみた放射線治療数 .....	32
22-24. Average bone marrow integral, gonadal and skin doses, AHS subjects 成人健康調査対象者における平均骨髄積算線量, 生殖腺線量および皮膚線量 .....	35
25-30. Products of examinations and doses, and dose per capita 検査数と線量の積および 1 人当たりの線量 .....	37
31. Population of Hiroshima and Nagasaki by year 広島および長崎両市の年度別人口 .....	40
32-34. Contributing ratio of types of examinations to total medical dose by year 各種検査の総医療用線量に寄与する比率: 年度別 .....	41
35-37. Dose per capita 1 人当たりの線量 .....	42
38. Cumulative dose per capita radiography+fluoroscopy+photofluorography 1 人当たりの蓄積線量, 直接撮影+透視+間接撮影 .....	43
39. Comparison of A-bomb, ABCC examination and therapy dose, and reported fluoroscopy, selected cases 原爆, ABCC X 線検査および放射線治療による線量ならびに報告された透視検査の比較, 特定抽出対象例 .....	43
40. A-bomb, ABCC examination doses, and reported therapy and fluoroscopy per subject by computer (gastric cancer) 電子計算機にコードされている 1 人当たりの原爆放射線量, ABCC X 線検査による線量, および報告された治療と透視検査数(胃癌) .....	44
Figure 1. Baldwin-Farmer electrometer Baldwin-Farmer 電位計 .....	7
2. EIL electrometer with 35 cc chamber connected 35cc 電離箱を有する EIL 電位計 .....	7
3. Memorial ionization chamber Memorial 電離箱 .....	7
4. Wooden box containing varying thickness of aluminum 各種の厚さを有するアルミ盤を収納する木箱 .....	7
5. Plain Mix-D phantom and EIL chambers 無骨 Mix-D ファントームおよび EIL 電離箱 .....	8
6. Plain Mix-D phantom with inscriptions on superior surface of varying field sizes and receptacles inserted Mix-D phantom 表面に各種の大きさの照射野を描いた無骨 Mix-D ファントームおよび Mix-D ファントームに電離箱を挿入するための棒状容器 .....	8
7. Entire Mix-D phantom containing skeleton 骨格を有する Mix-D ファントーム .....	9
8. Pelvis and hip of phantom with insert accommodating ionization chamber removed ファントームの骨盤と腰部および電離箱を入れる引き出し .....	9
9. Skull, thorax, and abdomen of phantom with insert containing simulated stomach and duodenum ファントームの頭蓋, 胸部, 腹部ならびに模造の胃および十二指腸を入れたはめ込み部 .....	9
10. Lattice system to describe active bone marrow distribution 赤色髄の分布を示す格子区画 .....	9
11. Number of examinations by site, sex, and city 検査数: 部位・性・都市別 .....	13
12-13. Number of chest exposures 胸部撮影の数 .....	14
14. Comparison of field sizes and cone configuration 照射野の大きさと照射筒の形状の比較 .....	14

Figure 15. Number of examinations by body site, sex, and city

図	検査数: 部位・性・都市別 .....	16
16.	Bone marrow integral dose 骨髓積算線量 .....	26
17-20.	Films and frequency of medical X-ray examinations by year 年度別にみた医療用X線使用頻度 .....	30
21-22.	Bone marrow integral dose per capita by year 1人当たりの年度別骨髓積算線量 .....	44
23-26.	Gonadal dose per capita by year 1人当たりの年度別生殖腺線量 .....	45
27-29.	Skin dose per capita by year 1人当たりの年度別皮膚線量 .....	47



Approved 承認 15 July 1971

# MEDICAL X-RAY EXPOSURE AMONG HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SURVIVORS

広島・長崎における原爆被爆者の医療用 X 線被曝

WALTER J. RUSSELL, M.D., D.M.Sc.

Department of Radiology  
放射線部

## SUMMARY

Medical X-ray exposure was studied as a possible contaminant in the long-term evaluations of Atomic bomb survivors for late radiation effects. Participants in the ABCC-JNIH Adult Health Study were the focus for these investigations. An average of 23% of Hiroshima and 12% of Nagasaki Adult Health Study subjects received X-ray examinations in other institutions during the 3 months preceding their visits to ABCC. Medical X-ray examinations were significantly more frequent among A-bomb survivors than comparison subjects in the Adult Health Study, but not to an extent to cause bias between these two categories. The magnitude of cumulated medical X-ray dose approximated that of the A-bomb at distances from the hypocenters of 2200 m in Hiroshima and 3200 m in Nagasaki. ABCC X-ray examination doses were calculated for each Adult Health Study subject, and routinely updated with each examination for comparison with each subject's A-bomb dose. Each subject's reported exposures to fluoroscopy, photofluorography, and radiation therapy in other hospitals are recorded for future reference.

Activity of radiologic practice in Hiroshima and Nagasaki increased steadily since 1948, and was markedly different by city. For the years 1946-63 bone marrow integral dose was 1269 and 454 g-rad in Hiroshima and Nagasaki respectively. Gonadal doses were 118 and 37.4 mrad for males and 1652 and 413 mrad for females of Hiroshima and Nagasaki respectively. Corresponding skin doses were 43.5 and 12.8 rad for the two cities respectively.

## INTRODUCTION

Early in the use of X-ray, dose from examinations was afforded little attention except in unusual cases of

## 要 約

原爆被爆者の後障害に関する長期的調査において、付随的な照射源である医療用 X 線について調査研究を行なった。調査は主として ABCC - 予研成人健康調査受診者について実施した。成人健康調査対象者のうち、広島では平均 23%、長崎では 12% が、ABCC における定期診察前 3 か月以内にその他の医療機関で X 線検査を受けていた。成人健康調査のうちで、被爆者は対照者に比べて医療用 X 線検査を受ける頻度が有意に高かったが、これら 2 群間に放射線影響の差が生ずるほどの線量差ではなかった。医療用 X 線による蓄積線量は、広島では爆心地から 2200 m、長崎では 3200 m の距離における原爆による線量とほぼ同じであった。ABCC における X 線検査による線量は、個々の成人健康調査対象者について計算されており、検査を実施するごとにその線量を記入して、各対象者の原爆による線量との比較検討ができるようにしている。各対象者が他の病・医院で受けた透視検査、間接撮影ならびに放射線治療は、将来の参考のために記録保存されている。

1948 年以来、広島・長崎における放射線診療活動は著実に増大し、両市間に著しい差がある。1946-63 年の間における骨髄の積算線量は、広島で 1269 g-rad、および長崎で 454 g-rad であった。生殖腺線量は、男性ではそれぞれ 118 および 37.4 mrad、女性ではそれぞれ 1652 および 413 mrad であった。皮膚線量は両市でそれぞれ 43.5 および 12.8 rad であった。

## 緒 言

X 線が使用され始めたころは、患者に異常に大量の照射を行なう場合や患者を検査中に医師が大量の照射を受け



heavy exposures, and for physicians who were heavily exposed during their examinations of patients. During the 1930's the possibility of genetic damage from relatively small doses of X-ray was recognized. The advent of nuclear reactors prompted greater concern for population exposure. After the end of World War II, skin and gonad dose from diagnostic procedures was investigated. In the late 1950's attention was focused on dose to the bone marrow because of its possible contribution to the development of leukemia.

During investigations of late A-bomb radiation effects by ABCC, it was obvious that other sources of ionizing radiation might be concomitantly acting as contaminants. Medical X-ray is the most prevalent source of such exposure. Some diagnostic and most therapeutic X-ray exposures result in significantly high doses to patients. It is also possible that, because of experiencing the A-bomb, some individuals might receive more medical X-ray examinations than other members of the Hiroshima and Nagasaki populations.

With the inauguration of the ABCC-JNIH Adult Health Study in 1957, a fixed sample of the Hiroshima and Nagasaki populations originally consisting of 20,000 members came under detailed biennial surveillance (Table 1).<sup>1</sup>

たような場合を除き、検査による照射線量にはほとんど注意は払われなかった。しかし、1930年代に至り比較的少量のX線被曝によっても遺伝的な障害が起こることが認められた。原子炉の出現で一般の人口集団に対する放射線の被曝問題が大きな関心事となった。第2次大戦後、X線による診断検査の際の皮膚線量と生殖腺線量について調査が行なわれた。1950年後期には、白血病発生に影響をもたらす可能性があるという観点から骨髓線量に注意が注がれてきた。

ABCCで実施している原爆の後障害に関する調査で、原爆以外の電離放射線源が原爆放射線に付加され汚染因子として作用している可能性のあることが明白となった。その中で最も大きいのは医療用X線である。ある種の診断用X線検査や大部分のX線治療から患者は有意に高い線量の照射を受ける。また、被爆者によっては、原爆にあったために、広島・長崎の一般市民に比べて多くのX線検査を受けている可能性がある。

ABCC-予研の成人健康調査が1957年に発足してから当初20,000人からなる広島・長崎の固定人口集団は2年ごとに精密な検診を受けている(表1)。<sup>1</sup>

TABLE 1 COMPOSITION OF ADULT HEALTH STUDY SAMPLE, 1958, BY SEX, CITY, AND EXPOSURE GROUP<sup>1</sup>

表1 成人健康調査対象群の構成, 1958年: 性・都市・被爆群別<sup>1</sup>

Exposure Component 被爆状態		Group 比較群	Hiroshima 広島			Nagasaki 長崎			Total 計			
			Male 男	Female 女	Total 計	Male 男	Female 女	Total 計	Male 男	Female 女	Total 計	
0-1999 m												
With symptoms	症状あり	1	1312	2116	3428	678	887	1565	1990	3003	4993	
Without symptoms	症状なし	2	1312	2116	3428	677	883	1560	1989	2999	4988	
Distal exposed*	遠距離被爆	3	1313	2120	3433	674	885	1559	1987	3005	4992	
Nonexposed	非被爆	4	1313	2120	3433	676	883	1559	1989	3003	4992	
Total	合計		5250	8472	13722	2705	3538	6243	7955	12010	19965	

\* For Hiroshima, 3000-3499 m; for Nagasaki, 3000-3999 m. 広島では3000-3499 m, 長崎では3000-3999 m

The Adult Health Study population is part of a random sample of 100,000 Hiroshima and Nagasaki subjects being observed for abnormalities and cause of death.<sup>2</sup> The Adult Health Study is unique and permits detailed observations of this relatively large number of survivors who were instantaneously exposed to various doses of ionizing radiation at varying distances from the hypocenters. It also affords an unusual opportunity to assess the degree to which its members have been exposed to other sources of ionizing radiation. Being part of a random sample, it is representative of the city populations.

この成人健康調査対象集団は、各種の異常ならびに死因を観察するために無作為に抽出された100,000人からなる広島・長崎対象集団の一部によって構成されている。<sup>2</sup> この成人健康調査は他に類のないもので、爆心地からいろいろの距離において異なる量の電離放射線を瞬間的に受けた比較的多数の被爆者について精密検査を実施しているものである。また、この人々が他の電離放射線にどの程度被曝しているかを調べるにもまたとない機会を提供している。また、無作為抽出による対象群であるために市民全般を代表する。

During the early years of these follow-up investigations, some technical procedures used in Hiroshima and Nagasaki radiologic practice caused patients to receive relatively high doses compared to members of other populations. For example, frequent use of fluoroscopy when film was scarce and use of lower peak kilovoltage (kvp) and less added filtration resulted in relatively high doses. Use of radiation therapy for benign disease was another concomitant in these ongoing programs. It was therefore imperative to study in detail the individual exposures of Adult Health Study participants, both at ABCC and in other institutions, and to estimate exposure of the general populations of Hiroshima and Nagasaki, as well.

Dosimetry studies elsewhere are of general interest and concern populations of countries, or are restricted to roentgenology of patients in some radiology departments. National dose estimates for Japan and those for other institutions could not validly be applied to the populations of the cities who experienced the A-bombs. Therefore, the dosimetry investigations subsequently described differed markedly from dosimetry studies elsewhere.

In 1961 this detailed ongoing investigation of medical X-ray exposure among Adult Health Study subjects and the general populations of Hiroshima and Nagasaki was begun. The primary purposes of these studies were to:

Determine the frequency with which Adult Health Study subjects were being examined and treated with X-ray in other institutions;

Ascertain the frequency of medical X-ray exposure according to A-bomb exposed and nonexposed groups;

Establish characteristics of radiologic practice in both cities;

Estimate the cumulative effect of medical X-ray since 1945;

Compare the overall magnitude of medical X-ray exposure with that of the A-bombs;

Calculate and update doses received during Adult Health Study subjects' repeated examinations at ABCC;

Provide dose data for their estimated exposures in other institutions.

The latter two are sources for reference in evaluating causes of diseases or abnormalities among A-bomb exposed possibly associated with exposure to

この追跡調査が実施された初期のころにおいては、当時広島・長崎で用いられていたX線検査技法は、患者に他の人口集団に比較してより多くの放射線量を照射するものであった。たとえばフィルムが少なかったころは透視検査が多く使用されたり、低いkvpと付加濾過板を薄くしたりしたため患者は比較的高い線量を受けた。良性疾患に対しても放射線治療を施していたことも、この継続調査で認められたもう一つの付随的被曝因子であった。そこで個々の成人健康調査対象者が、ABCCおよび他の医療機関で受ける被曝線量を詳細に調べると同時に、広島・長崎両市の一般市民の被曝線量も推定することがぜひとも必要となった。

ほかで実施された線量測定調査は学問的な立場からの興味や、国全体の人口集団が対象であったり、特定の病院の放射線科を訪れる患者についてのX線検査に限定されている。日本の国民推定線量や他の医療機関で得られた線量値を原爆を経験した両市の被曝者に当てはめることは適当ではなかった。したがって、後述する線量測定調査は、ほかで実施している測定調査と著しく異なっている。

ABCC放射線部は、成人健康調査対象者および広島・長崎の一般人口集団における医療用X線照射について、1961年から詳細な調査を開始した。これらの調査の主要目的は次のとおりである：

ABCC以外の施設において、対象者が受けているX線による診療の頻度を明確にする；

原爆被曝者と非被曝者とが医療用X線照射を受ける頻度を確かめる；

広島・長崎両市における放射線診療活動の特徴を確立する；

1945年以降の医療用X線の蓄積効果を推定する；

原爆による被曝放射線量と医療用X線による総線量とを比較する；

ABCCにおける反復検査の結果、対象者が受ける線量を計算し、常に最新の資料をまとめておく；

ABCC以外の施設で受けた検査による推定被曝線量についての参考資料を準備する。

あとの二つの資料は、電離放射線被曝と関連している可能性のある疾病または異常の原因を評価するにあたっての参考資料とするためのものである。多くの関連研究が、

ionizing radiation. Numerous adjunct studies were also a part of this program.

## METHOD

Dose to Adult Health Study subjects in other hospitals and clinics was first assessed. Most institutions retain films and records for limited periods according to Japanese law.<sup>3</sup> Study of ABCC roentgenologic procedures was postponed in favor of those of other institutions lest their records no longer be available. Detailed assessments of ABCC procedures and their use among Adult Health Study participants were later made. Continuous monitoring of dose from all X-ray procedures experienced by Adult Health Study subjects in other hospitals is obviously impossible; they have been assessed periodically with slightly varying procedures each time.

Basically, studies of Adult Health Study subjects' exposures in other hospitals consisted of:

*Subject Surveys.* At ABCC subjects reported diagnostic and therapeutic exposures, and occupational exposures, indicating their time and place.

*Hospital and Clinic Surveys.* Personnel of hospitals where subjects were exposed, verified the exposures and furnished the technical factors used.

*Dosimetry.* The verified diagnostic procedures were reproduced at ABCC, using the same technical factors and a phantom human. Hospital units were surveyed for radiation output and quality to correct for any discrepancies between them and the experimental X-ray apparatus. Radiation treatments were evaluated for output and quality using the units of the hospitals which performed them. Air doses or skin doses and, when possible, depth doses were estimated according to hospital records.

Additional surveys of community institutions established trends in radiologic practice for earlier years during which no dosimetry was performed, to assist estimations of dose to the Hiroshima and Nagasaki populations. Substudies including those of basic phantom dosimetry, active bone marrow distribution, and fluoroscopy exposure were supportive to this program.

## EQUIPMENT

*X-ray Apparatus.* The following ABCC X-ray apparatus were used:

同時にこの研究計画に含まれている。

## 方 法

まず、成人健康調査対象者が他の病・医院で受けた線量について調べた。ほとんどの医療機関は日本の法律に従って、ある一定期間は撮影フィルムと照射記録を保管している。<sup>3</sup> これら医療機関の記録が処分されないうちに調査を行なうためABCCにおけるX線検査についての調査はあと回しにした。ABCCでの検査法とその成人健康調査対象者への適用については、後日詳細に検討を加えた。成人健康調査対象者が他の病・医院で受けたX線検査をすべて継続的に調査することは明らかに不可能である。しかし、方法にわずかな違いはあるが定期的に調査を行ってきた。

成人健康調査対象者が他の病・医院で受けた被曝の調査は、基本的に次の方法で行なわれた。

**対象者の調査。** ABCCにおいて対象者から診断、治療ならびに職業上の放射線被曝について報告を受け、該当する場合はその年月日と場所を聴取した。

**病・医院調査。** 対象者が照射を受けた病院で照射を確認し、使用された照射条件を聴取した。

**線量測定調査。** 確認された診断検査法をABCCで同じ条件のもとでファントムを使用して再現した。病・医院で使用しているX線装置の放射線出力と線質を調査して、実験に使用したX線装置との差異を補正した。放射線治療についても病院の装置を用いてその出力と線質を測定した。病院の記録をもとに空気線量または皮膚線量、そして可能な場合は深部線量も推定した。

地元医療機関についての追加調査で、線量測定が行なわれなかった初期における放射線診療の活動状況を調べ、広島・長崎市民に対する線量を推定する一助とした。また、基礎的なファントム線量測定、赤色髄分布および透視検査による被曝などを含む調査を実施して主調査を補足した。

## 設 備

**X線装置。** 次のABCC X線装置を使用した。

General Electric (GE) radiography-fluoroscopy unit, type 8, 130 kVp, 500 ma; KX-8 transformer; Regent table with Scholz spot-filmer; side-rail suspension of overhead radiography tube with tomography and stereoscopy capabilities.

GE Fluoricon image intensifier, 6-9 inch tube, with mirror, vidicon closed-circuit television, overhead crane tube suspension; 150 kVp, 500 ma.

Franklin head radiography unit, 100 kVp, 200 ma.

Thirteen fluoroscopy and seven photofluorography units in Hiroshima institutions were used in additional phantom dosimetry.

**Electrometers.** A Baldwin-Farmer electrometer (Figure 1) with Memorial ionization chambers was used for bone marrow and gonadal dose measurements.

An Electronic Instruments, Limited (EIL), Model 37 A electrometer<sup>4</sup> (Figure 2) was used to monitor radiation output and to verify surface doses. Dose rate and cumulated dose are obtainable with this apparatus.

Victoreen condenser R meters, Models 70 and 570 were used to assess output and dose from therapy apparatus.

**Ionization Chambers.** Memorial 1 cc ionization chambers (Figure 3) were used with the Baldwin-Farmer electrometer. Their relatively small size permitted their placement in marrow cavities or regions thereof. The measurable dose range with this equipment was 10-500 mR. Their characteristics included high sensitivity, relatively uniform response throughout the diagnostic energy range, and freedom from directional dependence.<sup>5</sup>

Electronic Instruments, Limited, 35 cc ionization chambers<sup>6</sup> were used with the EIL electrometer (Figure 2). Surface doses and radiation output were obtained with them. The range of measurable dose with this equipment was  $0.1-1.5 \times 10^5$  mR.

Victoreen ionization chambers of 25, 100, and 250 R capacity were used with Victoreen condenser R meters to measure output and dose from high energy X-ray and cobalt-60 therapy apparatus.

**Standards.** Reference chamber, Baldwin-Farmer, 1 volt/R, 0.6 cc capacity; Radium standard, Victoreen, 2 mg.

**Film Monitors.** Eastman Type-M industrial film was used to monitor surface dose during fluoroscopy and spot-filming. Packaged in lighttight envelopes.

GE 社製直接撮影-透視装置, 8 型, 130 kVp, 500 ma, KX-8 トランス; Scholz 狙撃撮影装置付き Regent 撮影台; 断層および立体撮影用サイドレール懸垂式オーバーヘッド管球.

GE 社製 Fluoricon 蛍光像輝度増倍装置 (イメージ・インテンシファイヤー) 6-9 インチ管, 鏡付き, ビジコン X 線テレビ, 起重懸垂式オーバーヘッド管球, 150 kVp, 500 ma.

Franklin 頭部 X 線装置, 100 kVp, 200 ma.

またファントム線量測定には, 広島市の医療施設における透視装置 13 台と間接撮影装置 7 台が使用された.

**電位計.** Baldwin-Farmer 電位計 (図 1) と Memorial 電離箱とを用いて骨髄と生殖腺線量の測定に使用した.

Electronic Instruments Limited (EIL) 社製 37A 型電位計<sup>4</sup> (図 2) を用いて放射線出力と表面線量とを測定した. この線量計で線量率と線量の両者が測定できる.

Victoreen コンデンサー R メーター 70 および 570 型を用いて治療用装置の出力と線量とを測定した.

**電離槽.** Memorial の 1 cc 電離箱 (図 3) を Baldwin-Farmer 電位計とともに使用した. この電離箱は比較的小型であるので, 骨髄腔またはその付近に挿入することが可能である. この電離箱の測定可能範囲は 10-500 mR で, その特徴は高感度であること, 診断用 X 線のエネルギー範囲内で比較的均一な感度をもっていること, ならびに方向依存性がない<sup>5</sup> ことである.

EIL 社製 35 cc 電離箱<sup>6</sup> を EIL 電位計 (図 2) と接続し, それによって表面線量と放射線出力とを求めた. この線量計によって測定可能な線量は  $0.1-1.5 \times 10^5$  mR である.

容量 25, 100, 250 R の Victoreen 電離箱と Victoreen コンデンサー R メーターとを併用して, 高エネルギー X 線とコバルト 60 治療用装置の出力と線量を測定するのに使用した.

**基準線量計および標準線源.** Baldwin-Farmer, 1 ボルト/R, 容量 0.6 cc の校正用電離箱; Victoreen, 2 mg の校正用ラジウム線源.

**フィルム・モニター.** Eastman M 型工業用フィルムを使用して透視と狙撃撮影の際の表面線量をモニターした. 遮光紙で包んだフィルムを継ぎ合わせてジャケットを作

films were joined to form jackets which were affixed to a phantom human.

**Densitometers.** MacBeth-Ansco Color Densitometer, Model No. 12; MacBeth Quantalog Densitometer, Model TD-102.

**Radiation Output and Quality Monitor.** A portable enclosure accommodating a 35 cc EIL ionization chamber and a remotely controlled revolving aluminum disk with 0, and 0.5, 1.0, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, and 5.0 mm thicknesses of aluminum was used to assess radiation quality by half-value layer approximation, and radiation output of hospitals' and clinics' apparatus (Figure 4).

**Phantom Materials.** Small block phantoms of plain Mix-D material were used for basic studies of response of ionization chambers and electrometers (Figure 5).

A large Mix-D block phantom in two sections with spaces at 5, 10, and 15 cm depths for Memorial ionization chambers within it was used in measurements of depth dose and scattered radiation near the margin of the direct beam of X-ray (Figure 6). Lathe-turned Mix-D chamber receptacles exactly fit the 2.8 cm holes in this phantom. One end of each receptacle also consisted of bone equivalent material (54% paraffin, 38% calcium phosphate, and 8% carbon) in 2, 4, and 7 mm thicknesses to represent bone cortices.

A phantom human simulated an average-size adult Japanese, 162 cm in height, consisting of Mix-D, containing a complete human skeleton, with beeswax-impregnated cellulose for lung tissue (Figure 7). A drawer system accommodated the Memorial ionization chambers, after the method of Laughlin et al (Figure 8).<sup>7</sup> Chamber locations included: Skull vertex; C-4, T-6, T-12, L-5 vertebrae; body of sternum; lateral portions of both sixth ribs; both iliac crests; trochanteric regions of both femurs; symphysis pubis; the female gonads; and one position for the male gonads. A removable Mix-D abdominal block allowed insertion of a similar block containing a simulated stomach and duodenum (Figure 9) for monitoring fluoroscopic procedures.

A skeleton phantom described quantities of active bone marrow by a 3-dimensional lattice to facilitate dose calculations according to X-ray beam size and projection (Figure 10).

りファントームに取り付けた。

**黒化度計.** MacBeth-Ansco 黒化度計, 12型; MacBeth Quantalog 黒化度計, TD-102型.

**放射線の出力と線質の測定.** 35 ccのEIL電離箱と遠隔操作で回転する厚さそれぞれ0.5, 1.0, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0および5.0 mmのアルミニウム製円盤とを入れる携帯用の箱を作り, 半価層近似値による放射線の線質および病・医院における装置の放射線出力を測定した(図4)。

**ファントームの材質.** 電離箱と電位計の感度を調べる基礎研究には無骨 Mix-D の小型ブロックファントームを使用した(図5)。

Memorial 電離箱を入れるため5, 10, 15 cmの深さに穴の設けられた二つの部分からなる大型 Mix-D ブロックファントームを用いて深部線量と線維の辺縁における散乱線量を計測した(図6)。ファントームに設けられた2.8 cmの穴に旋盤仕上げを行なった Mix-D 電離箱収納用棒状容器は正確にはまるようになっている。各棒状容器の一方の端は骨等価物質(パラフィン54%, 燐酸カルシウム38%, 炭素8%)を2 mm, 4 mm, 7 mmの厚さに作り骨皮質を代表させるものとした。

日本人成人に似せた平均体型に近い身長162 cmで完全な人体骨格と肺組織として密蝋浸透セルローズを持つ Mix-D ファントームが作られた(図7)。Laughlin<sup>7</sup>の方法に従ってファントームには Memorial 電離箱を入れる引き出しをつけた(図8)。電離箱の位置は次のとおりであった。頭頂, 第4頸椎, 第6胸椎, 第12胸椎, 第5腰椎, 胸骨体部, 左右第6肋骨の側部, 左右腸骨稜, 左右大腿骨転子部, 恥骨結合, 女性生殖腺と男性生殖腺1か所, なお透視検査法を調べるため, Mix-D の腹部はめ込みブロックと(図9)模造の胃と十二指腸を入れた類似のはめ込みブロックとを差し替えることができるようにした。

骨格ファントームを用いてX線束と撮影方向による線量計算を容易にするため, 立体格子区画で赤色量を表わした(図10)。



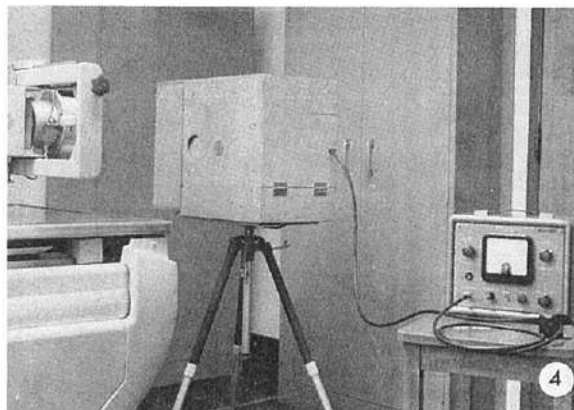
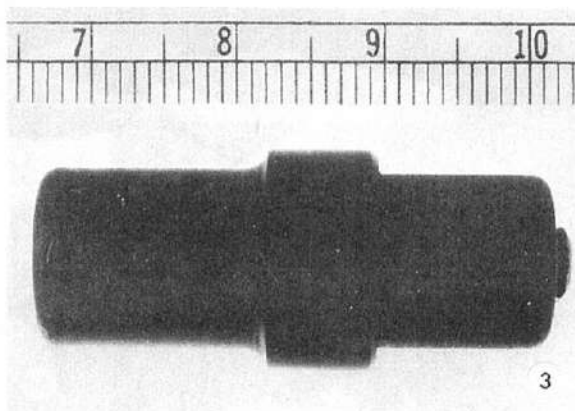
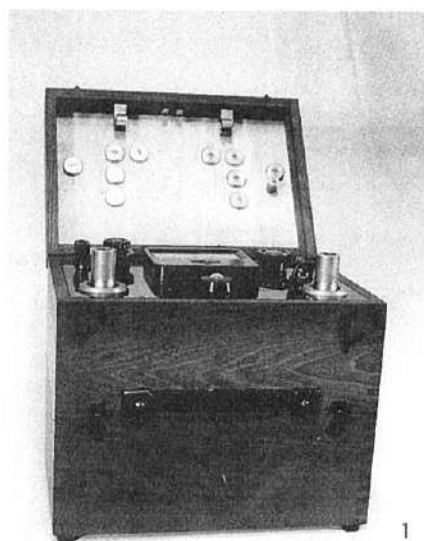


Figure 1 Baldwin-Farmer electrometer

Figure 2 EIL electrometer with 35 cc chamber connected<sup>4,6</sup>

Figure 3 Memorial ionization chamber<sup>6</sup>

Figure 4 Wooden box containing remotely controlled disk of varying thickness of aluminum for assessment of output and quality of radiation

図 1 Baldwin-Farmer 電位計

図 2 35cc電離箱を有するEIL電位計

図 3 Memorial 電離箱

図 4 放射線の出力と線質を調べるため遠隔操作によって作動する各種の厚さを有するアルミ盤を収納する木箱

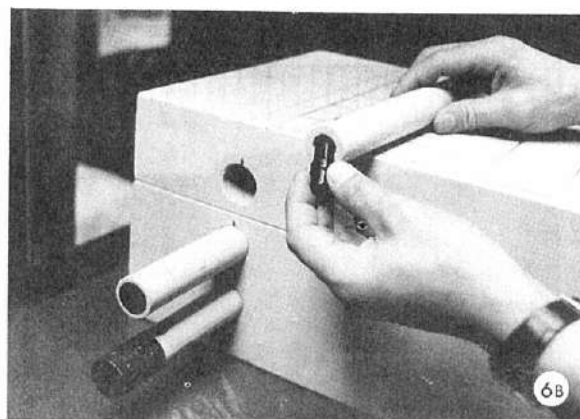
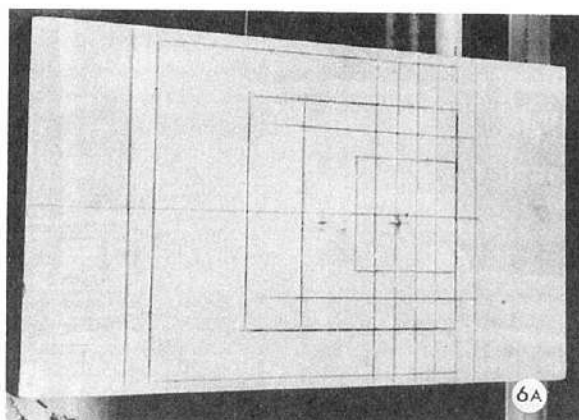
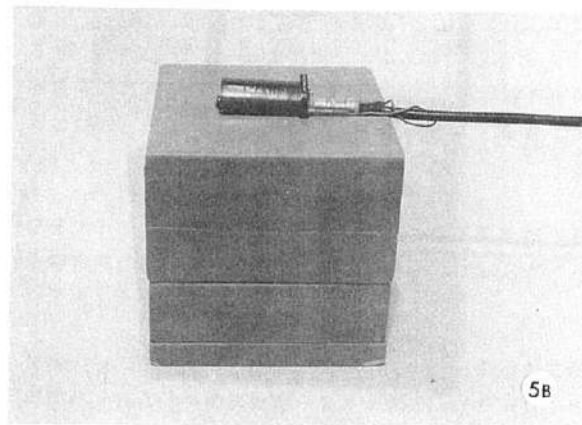
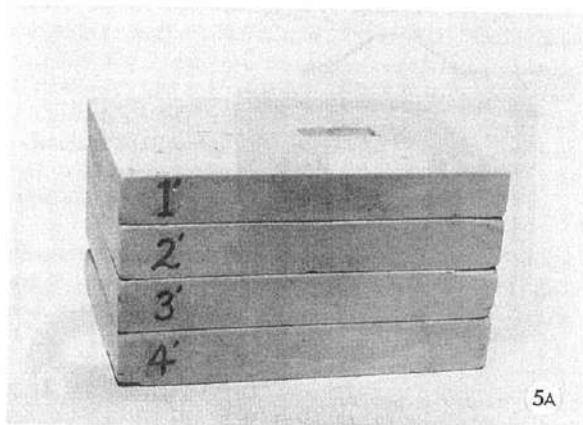


Figure 5 Plain Mix-D material to accommodate Memorial ionization chambers (A) and EIL chambers at surface (B)

Figure 6 Plain Mix-D phantom with inscriptions on superior surface of varying field sizes (A) and receptacles inserted into Mix-D phantom (B)

図5 Memorial 電離箱を入れるための無骨 Mix-D フェントーム(A)とその表面に置いた EIL 電離箱(B)

図6 表面に各種の大きな照射野を描いた無骨 Mix-D フェントーム(A)および Mix-D フェントームに電離箱を挿入するための棒状容器(B)



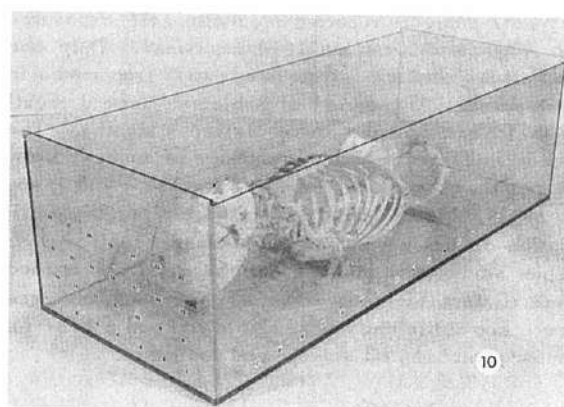
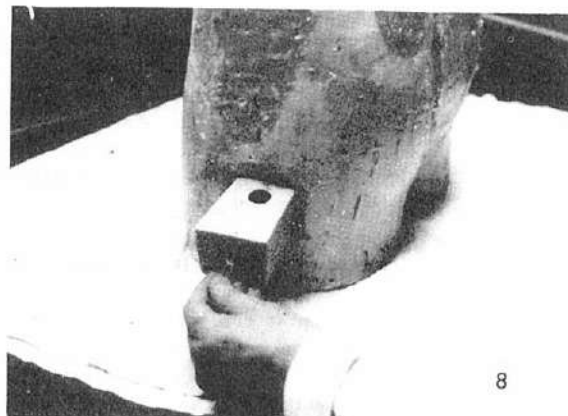
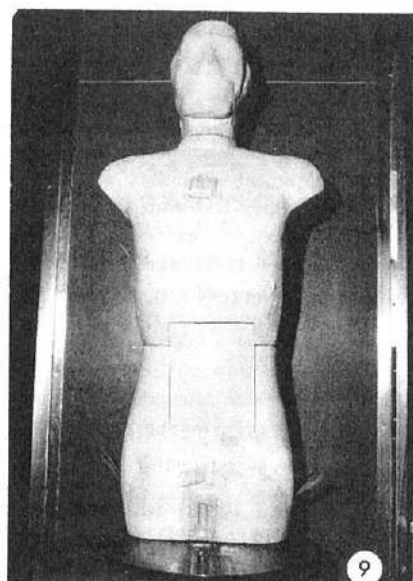
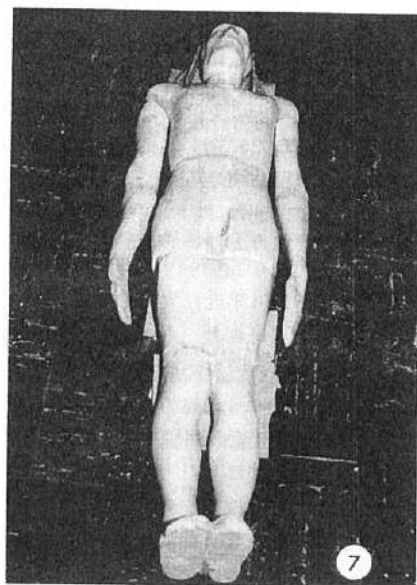


Figure 7 Entire Mix-D phantom containing skeleton

Figure 8 Pelvis and hip of phantom with insert accommodating ionization chamber removed

Figure 9 Skull, thorax, and abdomen of phantom with insert containing simulated stomach and duodenum

Figure 10 Lattice system to describe active bone marrow distribution<sup>18</sup>

図7 骨格を有する Mix-D 人体ファントーム

図8 ファントームへ骨盤と腰部および電離箱を入れる引き出し

図9 ファントームの頭蓋、胸部、腹部ならびに模造の胃および十二指腸を入れたはめ込み部

図10 赤色髄の分布を示す格子区画

## RESULTS

Since ABCC roentgenological techniques have been relatively uniform with time and technical factors for examinations are routinely recorded in detail and permanently filed, there was no immediate need to study doses they incurred. Attention was devoted instead to Adult Health Study subjects' exposures in other institutions lest records thereof be discarded because of the 5-year period required by law.<sup>3</sup> In the meantime, gonad and bone marrow doses for the frequently performed ABCC examinations were estimated<sup>8</sup> according to another investigator's data.<sup>9,10</sup>

### ABCC Subjects' Exposure in Other Institutions

**Subject Surveys.** The first subject survey in 1961, established the frequency of Adult Health Study subjects' medical, dental, and occupational exposure elsewhere, and the methods by which they might best be surveyed. For economy of time and effort of the existing ABCC staff, nurses in the medical clinic interviewed subjects in the initial survey.<sup>11</sup> A total of 1862 subjects reported receiving 1456 exposures to diagnostic X-ray on 1080 occasions. Only one radiation therapy exposure was reported—in Hiroshima. The period of subjects' memory recall was 1 year, and the survey lasted 3 months. The study indicated a higher frequency of medical X-ray among those proximally exposed (Groups 1 and 2) and showed subjects could not accurately recall examination details beyond a 3- or 4-month recall period. This study also pointed out the need for trained interviewers for such surveys. The data obtained were not sufficiently dependable to form a base for subsequent hospital surveys and dosimetry.

In a second subject survey<sup>12</sup> from 15 July to 16 November 1962, 406, of 2503 ABCC subjects interviewed in the Department of Radiology, each reported receiving 1 to 4 X-ray examinations. These responses were not analyzed for reliability. The period of recall was 3 months, and radiation therapy was excluded because only one subject reported such exposure in the previous survey. One Nagasaki and 14 Hiroshima subjects, all employed in the medical profession, reported occupational exposure. This survey's data were the basis for the first hospital and clinic survey and dosimetry.

The third survey of ABCC subjects<sup>13</sup> was for medical, dental, and occupational exposures in other institutions, and was conducted in the Department of Radiology from 1 February 1964 to 31 January 1965. Within a 3-month recall period, 5293 Hiroshima subjects reported 1506 occasions; 2221 Nagasaki subjects, 244 occasions of exposure to medical

## 結果

ABCCのX線検査技法は時が経過しても比較的一定していて、撮影条件は常に詳細に記録され、永久保存となっているので、直ちにそれによる線量の調査を実施する必要はなかった。一方、成人健康調査対象者が他の医療施設において受けた検査の記録は法律で定められた5年の保存期間経過後に処分されるおそれがあるので、その方を先に取り上げた。<sup>3</sup> その間、他の研究者<sup>9,10</sup>のデータをもとに、ABCCで実施している検査による生殖腺ならびに骨髄への線量を推定した。<sup>8</sup>

### ABCC対象者が他の医療施設で受けた線量

**対象者調査.** 1961年度に実施した最初の対象者調査では、成人健康調査対象者が他の施設で受けた医療用、歯科用および職業上の照射の頻度を調べると同時に、そのような調査を実施する最良の方法を確立した。放射線部職員の時間と業務量の関係で最初の調査では外来の看護婦が対象者の面接に当たった。<sup>11</sup> その結果、1862人が1080件の診断用X線検査を受け、1456回の照射を経験したという報告があった。治療用照射を受けたという報告は1例(広島)のみであった。調査は3か月間実施し、その間、過去1年間のX線検査について尋ねた。この調査の結果、近距離被爆者(第1, 第2群)は医療用X線を他の群よりも多く受けていることがわかり、また3-4か月以上前に実施された検査の詳細については正確に思い出せないことも判明した。さらに、このような調査の実施には訓練を受けた人が必要であることもわかった。この調査で得られたデータは、その後の病院調査や線量測定調査の資料とするほど信頼性のあるものではなかった。

1962年7月15日から11月16日までの間に実施された2回目の対象者調査<sup>12</sup>は放射線部で面接によって行われ、2503人中406人が1-4回のX線検査を受けたと答えた。これらの解答の信頼性については分析されていない。調査は過去3か月間におけるX線検査とした。また、放射線治療を受けた者については前回の調査時に1人しかいなかったの、今回はこの項目を除外した。長崎1人、広島14人の診療従事者が職業上の被曝を受けたと報告した。本調査のデータは最初の病・医院調査の基礎資料とした。

ABCC対象者が他の医療施設で受けた医療用、歯科用および職業上の照射についての第3回調査<sup>13</sup>は、1964年2月1日から1965年1月31日までの間にABCC放射線部で実施した。過去3か月間の被曝についての調査では、広島では5293人の対象者中、1506回のX線照射を受けたことが報告され、長崎では2221人中244回の照射を受け

X-ray. Twenty-eight percent in Hiroshima and 11% in Nagasaki reported exposure in other institutions—more marked a difference by city than in 1962. Chest examinations were most frequent; fluoroscopy was very infrequent in Nagasaki—and only for upper gastrointestinal series. Hiroshima subjects reported 150 occasions of radiation therapy, 102 (68%) of which were for benign disease (Table 2). Of the remaining 48 (32%), only 10% were thought by subjects to have been for malignant disease. Only two Nagasaki subjects reported exposure to radiation therapy. These differences by city could not be traced to artifacts in study methods and were attributed to basic differences in radiologic practice. In Hiroshima only, subjects who experienced the A-bomb (Groups 1-3) reported a small but significantly greater frequency of exposure to diagnostic procedures than those who did not (Group 4), but there were no significant differences by distance from hypocenter or history of radiation symptoms. The data of this study were used in a subsequent survey of hospitals and clinics and for dosimetry.

**Hospital and Clinic Surveys.** The first hospital and clinic survey,<sup>14</sup> from 20 November 1962 to 18 January 1963 in Hiroshima and from 4 to 8 February in Nagasaki, was based on a previous subject survey.<sup>12</sup> A wide variety of equipment and techniques was encountered, complicating calculations of dose per exposure (Table 3), particularly for fluoroscopic examinations. Number of examinations by body site, sex, institution, and city are shown in Figure 11.

A wider distribution of body sites was encountered in Hiroshima partially due to the greater number of Hiroshima subjects. Chest radiography predominated in both cities, and detailed analysis of exposure factors was made for this type of examination. In Hiroshima generally higher kVp and lower mas were used in hospitals than in clinics (Figures 12, 13).

Clinics in both cities used longer exposure times than hospitals. Round cones were most popular; multiple plane collimators were more frequent in hospitals; square cones in clinics, in both cities (Figure 14).

Eleven by fourteen inch film was more frequently used or males, 10×12 inch, for females. Added filtration used is shown in Table 4.

In Japan, 2.0 mm aluminum equivalent was legally required. Concerning added filtration, and assuming inherent filtration to be 0.5 mm aluminum equivalent, as many as 93 installations were not meeting the legal requirement, five of which used no filters at all. A detailed summary of numbers of subjects, for all examinations, by exposures, by type of institution,

たことが報告された。これは広島で28%, 長崎で11%が他の医療施設で照射を受けたと報告したことになり、1962年に比べて両市間の差は著しく大きくなっていた。最も多かったのは胸部X線検査であり、反面長崎では透視検査が非常に少なく、しかも上部胃腸管検査のみに用いられていた。広島の対象者は150件の放射線治療を受けたと報告し、102件(68%)は良性の疾病に対する治療のためであった(表2)。残りの48件(32%)中、被爆者自身が悪性疾患のための治療であったと答えたのはわずか10%であった。長崎では、放射線治療を受けたと報告したのはわずか2例であった。これら両市間の違いは、調査の方法に基因するものであるとは考えられず、放射線診療活動に関する相違によるものであると思われる。広島に被爆者(第1-3群)は非被爆者(第4群)より少し多い程度ではあるが、有意に高い頻度で診療X線照射を受けたことを報告している。しかし、爆心からの距離および放射線症状の有無による頻度の差は有意ではなかった。この調査のデータは、のちに実施した病・医院調査および線量測定調査に利用された。

**病・医院調査。** 最初の病・医院調査<sup>14</sup>は、前に実施された対象者調査<sup>12</sup>に基づいて、広島では1962年11月20日から1963年1月18日までの間に、長崎では2月4日から8日までの間に実施された。この調査で、装置および技法が種々異なっていることが明らかとなった。このことは、一照射当たりの線量(表3)、特に透視の際の線量計算を複雑にした。図11は部位別検査数を性別、医療施設の分類別および都市別に示した。

広島では患者数が多かったためもあって検査部位の分布が長崎より広範にわたっていた。両市とも胸部X線検査が圧倒的に多く、この検査における撮影条件について詳細に分析した。広島では、一般に病院は医院より高いkVpと低いmasを使用していた(図12, 13)。

両市の医院では、病院より撮影時間が長かった。また、両市の病院では円形照射筒が最も多く使用され、多重絞りも多く使用されていたが、一方、医院では角形照射筒がより多く使用されていた(図14)。

男性には11×14インチフィルムが多く使われ、女性には主として10×12インチが使用されていた。付加濾過板の厚さは表4に示す。

日本の法律では、2.0 mmのアルミニウム相当の濾過板を使用することが義務づけられている。固有の濾過が0.5 mmアルミニウム板相当と仮定すると、93の施設では規則を満たしておらず、五つの施設では濾過板を全く使用していなかった。全検査について照射回数、施設の種類および

TABLE 2 DISTRIBUTION OF SUBJECTS REPORTING RADIATION THERAPY BY BODY SITE AND DISEASE, HIROSHIMA 13  
表2 放射線治療を受けた者の分布: 部位および疾患別, 広島<sup>13</sup>

	Site 部位		Total subjects 対象者総数	Disease 疾患				Unknown 不明
				Benign 良性	Malignant 悪性	Unknown tumor 詳細不明 腫瘍		
Head 頭部	Hypophysis	下垂体 .....	2					
	Eyes	眼 .....	2					
	Parotid	耳下腺 .....	2	Rhinitis 鼻炎	1	Cancer 癌 1	Tumor 腫瘍 3	4
	Nose	鼻 .....	1					
	Tongue	舌 .....	1					
	Mandible	下顎 .....	1					
Neck 頸部	Lymph node	リンパ節 .....	27	Goiter 甲状腺腫	11			
	Thyroid	甲状腺 .....	11	Lymphadenitis リンパ腺炎	27	Cancer 癌 2		1
	Larynx	喉頭 .....	3					
Chest 胸部	Breast	乳房 .....	4	Pneumonia 肺炎	2			
	Lung	肺 .....	3	Fibroadenoma 線維腺腫	1			
	Trachea	気管 .....	1	Asthma 喘息	1	Cancer 癌 3		1
	Intercostal nerve	肋間神経 .....	1	Neuralgia 神経痛	1			
Abdomen 腹部	Uterus	子宮 .....	18					
	Spleen	脾臓 .....	3					
	Stomach	胃 .....	3	Myoma 筋腫	9			
	Kidney	腎臓 .....	2	Peritonitis 腹膜炎	2			
	Ovary	卵巣 .....	2	Ulcer 潰瘍	1			
	Peritoneum	腹膜 .....	2	Tuberculosis 結核	1	Cancer 癌 9	Tumor 腫瘍 1	10
	Vagina	膣 .....	1	Appendicitis 虫垂炎	1			
	Appendix	虫垂 .....	1	Hemorrhoid 痔疾	1			
	Rectum	直腸 .....	1	Neuralgia 神経痛	1			
	Anus	肛門 .....	1					
	Bladder	膀胱 .....	1					
	Mesentery	腸間膜 .....	1					
Extremity and spine 四肢および 脊柱	Knee	膝 .....	1	Arthritis 関節炎	1			1
	Foot	足 .....	1	Periostitis 骨膜炎	1			
	Periosteum	骨膜 .....	1	Spondylitis 脊椎炎	1			
	Spine	脊柱 .....	1					
Skin 皮膚	Hand	手 .....	6					
	Feet	足 .....	3					
	Pubis	恥骨 .....	3	Athlete's foot 水虫	18			
	Neck	頸部 .....	1	Eczema 湿疹	7			9
	Shoulder	肩 .....	1	Keloid ケロイド	5			
	Anal	肛門 .....	1	Wounds 創傷	3			
	Scrotum	陰囊 .....	1	Ringworm 白癬	3			
	Unknown	不明 .....	27					
Other その他	Unknown	不明 .....	6	Hypertension 高血圧	1			3
				Sterility 不妊症	2			
Total 合計			150		102	15	4	29

TABLE 3 DIAGNOSTIC X-RAY APPARATUS BY MANUFACTURER, TYPE, AND EXAMINING FACILITY  
HIROSHIMA + NAGASAKI<sup>14</sup>

表3 診断用X線装置：製作会社・型式・機関別，広島＋長崎

Manufacturer 製作会社	Hospitals 病院			Clinics 医院		
	Transformer 変圧器式	Condenser 蓄放式	Total 計	Transformer 変圧器式	Condenser 蓄放式	Total 計
A	18	0	18	12	6	18
B	16	0	16	6	3	9
C	5	0	5	3	0	3
D	3	0	3	5	6	11
E	0	0	0	5	1	6
F	2	0	2	0	0	0
G	6	0	6	4	3	7
Total計	50	0	50	35	19	54

TABLE 4 ADDED FILTRATION, DIAGNOSTIC X-RAY APPARATUS<sup>14</sup>

表4 濾過板，診断用X線装置<sup>14</sup>

Added filtration 濾過板	Hiroshima 広島		Nagasaki 長崎	
	Hospitals 病院	Clinics 医院	Hospitals 病院	Clinics 医院
Number of apparatus 装置の総数	34	41	16	13
None 無	1	3		1
0.2 mm Al		1		
0.3 mm Al	1			
0.5 mm Al	9	27	8	8
1.0 mm Al	13*	7	7	3
1.5 mm Al	3	1		1
2.0 mm Al	6			
2.5 mm Al			1	
5.0 mm Al		2	2	
0.1 mm Cu + 0.5 mm Al	1			
0.2 mm Cu + 1.0 mm Al	1*			

\* Additional technique: One hospital uses 0.2 mm Cu + 1.0 mm Al filter for high KV chest radiography

付加的技術：ある一つの病院では胸部高圧撮影時に，0.2 mm Cu + 1.0 mm Al 濾過板が使用されている。

FIGURE 11 NUMBER OF EXAMINATIONS BY SITE, SEX, AND CITY<sup>14</sup>

図11 検査数：部位・性・都市別<sup>14</sup>

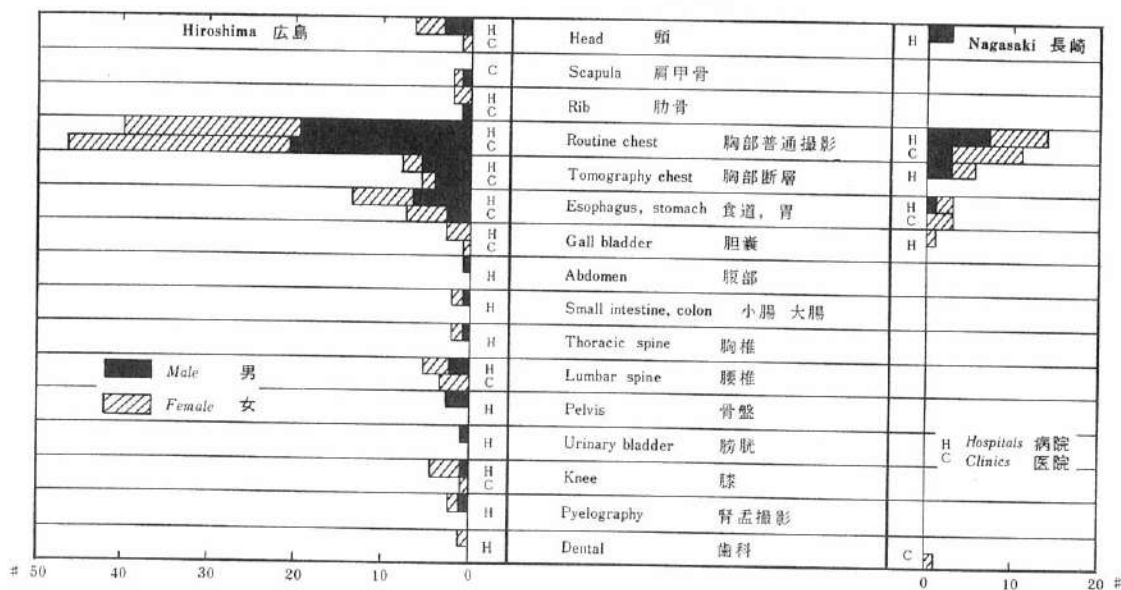


FIGURE 12 NUMBER OF CHEST EXPOSURES BY KVP, FACILITY AND CITY<sup>14</sup>

図12 胸部撮影の数: kvp・施設・都市別<sup>14</sup>

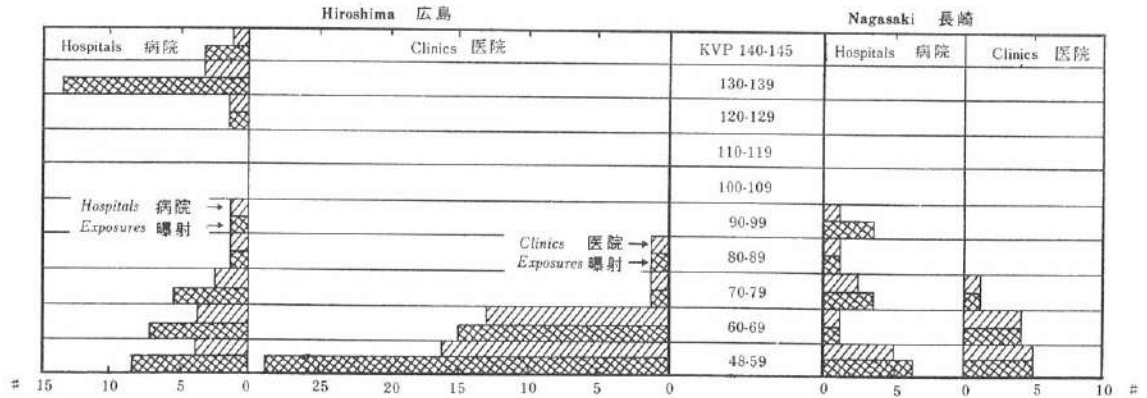


FIGURE 13 NUMBER OF CHEST EXPOSURES BY MAS, FACILITY AND CITY<sup>14</sup>

図13 胸部撮影の数: mas・施設・都市別<sup>14</sup>

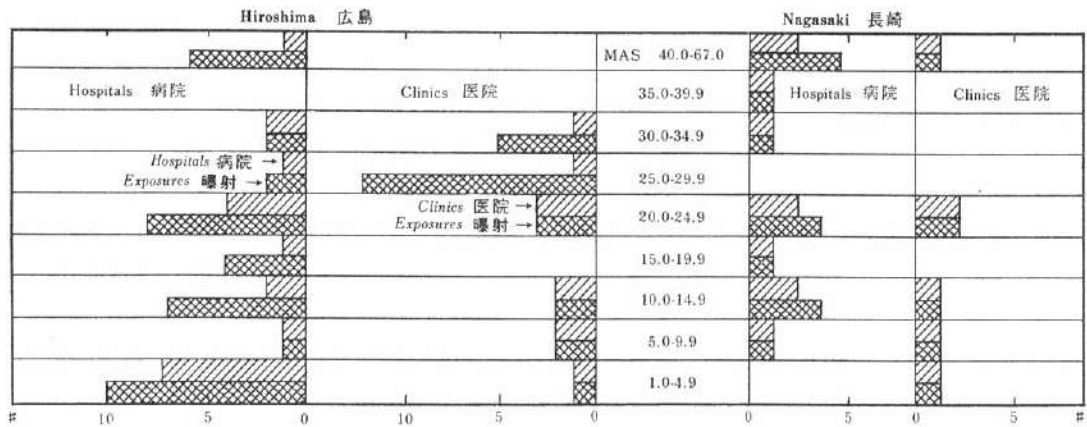
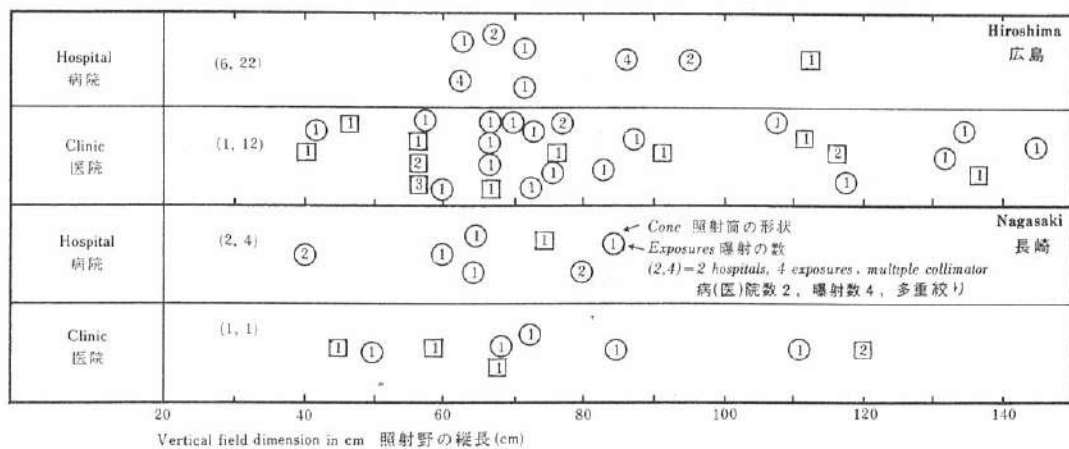


FIGURE 14 COMPARISON OF FIELD SIZES AND CONE CONFIGURATION<sup>14</sup>

図14 照射野の大きさと照射筒の形状の比較<sup>14</sup>





and city was compiled. The study provided detailed data as a basis for dosimetry.

The second hospital and clinic survey, based on an earlier subject survey,<sup>13</sup> was conducted from 1 July to 31 August 1965 in Hiroshima, and from 13 to 28 September 1965 in Nagasaki. Results have been reported separately for radiography and fluoroscopy<sup>15</sup> and for photofluorography.<sup>16</sup> The body sites examined using radiography and fluoroscopy<sup>15</sup> are shown in Figure 15 by sex, facility, and city.

Chest radiography again outnumbered other examinations. In 1962, the number of examinations per subject was 0.09 in Hiroshima; 0.05 in Nagasaki<sup>14</sup>; comparable figures for 1964<sup>15</sup> were 0.1 in Hiroshima; 0.06 in Nagasaki. In Hiroshima in 1962<sup>14</sup> upper gastrointestinal series were much less frequent than chest radiography; in 1964<sup>15</sup> their frequencies were more nearly the same. In Nagasaki their frequencies remained unchanged. Numbers of films per examination were 1.96 in Hiroshima and 1.69 in Nagasaki. The Hiroshima value agreed with the ratio of 1.90 for Hiroshima Red Cross Hospital.<sup>17</sup> Previously, ratios of total examinations to total films were 1.3 in Hiroshima and 1.23 in Nagasaki.<sup>15</sup>

Chest radiography and upper gastrointestinal series were the most frequent examinations in both cities. Age and sex distributions for chest radiography were essentially the same as in the previous study.<sup>14</sup> The 48-59 kvp range in the previous survey increased to 60-79 kvp. The testes were infrequently exposed by the direct beam, but the ovaries frequently were. Added filtration used is shown in Table 5.

Assuming 0.5 mm Al equivalent inherent filtration, as many as 122 units appeared not to have been complying with the legal requirement of 2.0 mm effective filtration.<sup>3</sup> Three of these apparatus had no filters. Positions of the anodes of the X-ray tubes are shown in Table 6.

Though the anode is preferably caudad to minimize gonadal dose, only half the tubes were so positioned, and a considerable number were horizontal. As in the previous study,<sup>14</sup> 10×12 inch film was more frequently used for females, though 11×14 inch film was generally the more frequent.

Upper gastrointestinal series exposure factors were analyzed in detail. There was a nearly equal distribution of this type of examination by age. Kvp used in hospitals was higher than that in clinics for both fluoroscopy and spot-filming; for spot-filming, lower mas was used in hospitals than clinics. For fluoroscopy, 3 ma was most frequent in both cities; 4.0 ma was used in some Hiroshima institutions.

都市別に、対象者の数について詳細に分類した。この調査から線量測定的基础となる詳しいデータが得られた。

第2回の病・医院調査は、前に実施した対象者調査<sup>13</sup>に基づいて、広島では1965年7月1日から8月31日まで、長崎では1965年9月13日から28日まで実施した。結果は、直接撮影、透視<sup>15</sup>および間接撮影別<sup>16</sup>に報告した。直接撮影と透視<sup>15</sup>検査での部位は、性別、施設別および都市別に図15に示す。

このたびの検査で最も多かったのは胸部X線検査であった。1962年には対象者1人当たりの検査数は広島で0.09、長崎<sup>14</sup>では0.05で、これに相当する1964年度<sup>15</sup>の数値は広島0.1、長崎0.06であった。広島では1962年<sup>14</sup>には上部胃腸管検査回数は胸部X線検査数よりはるかに少なかったが、1964年<sup>15</sup>にはその頻度はより胸部検査に接近していた。長崎では頻度に変わりはなかった。一回の検査に使用するフィルム枚数は広島で1.96枚、長崎では1.69枚であった。広島の値は広島日赤病院<sup>17</sup>の1.90枚と一致した。以前は、広島の全検査数に対する全フィルム使用枚数は1.3であり、長崎は1.23であった。<sup>15</sup>

両市ともに胸部と上部胃腸X線検査が最も多く行なわれた検査であった。胸部X線検査を受けた者の年齢および性別分布は、前回の調査と実質的には同じであった。<sup>14</sup> 前回の調査における48-59 kvpの電圧は60-79 kvpに増加していた。睾丸は直接線束に含まれることは少なかったが、卵巣はしばしば線束内に含まれていた。付加濾過板の厚さは表5に示す。

固有の濾過を0.5 mm Al相当と仮定すると、122の施設では法で定める2.0 mmの実効濾過<sup>3</sup>は得られていなかった。なお、3台の装置には濾過板が全くなかった。X線管球の陽極の位置を表6に示す。

生殖腺への線量を少なくするため、陽極は尾側にあることが望ましいが、そのような位置にあったのは、管球の半数のみで、かつ水平位置のものが相当数あった。なお、前回の調査<sup>14</sup>と同じく10×12インチのフィルムが女性に多く使用されていたが、全般的には11×14インチのものが最も多く使われていた。

上部胃腸管検査における照射条件は詳細に分析された。この検査の分布は各年齢群においてほぼ同じであった。kvpは透視検査と狙撃撮影ともに病院のほうが医院のそれより高く、狙撃撮影では、masは病院のほうが医院より低かった。透視検査では3 maが両市ともに最も多く使用されていたが、広島では4.0 maを使用していた施



FIGURE 15 NUMBER OF EXAMINATIONS BY BODY SITE, SEX, AND CITY<sup>15</sup>

図15 検査数：部位・性・都市別<sup>15</sup>

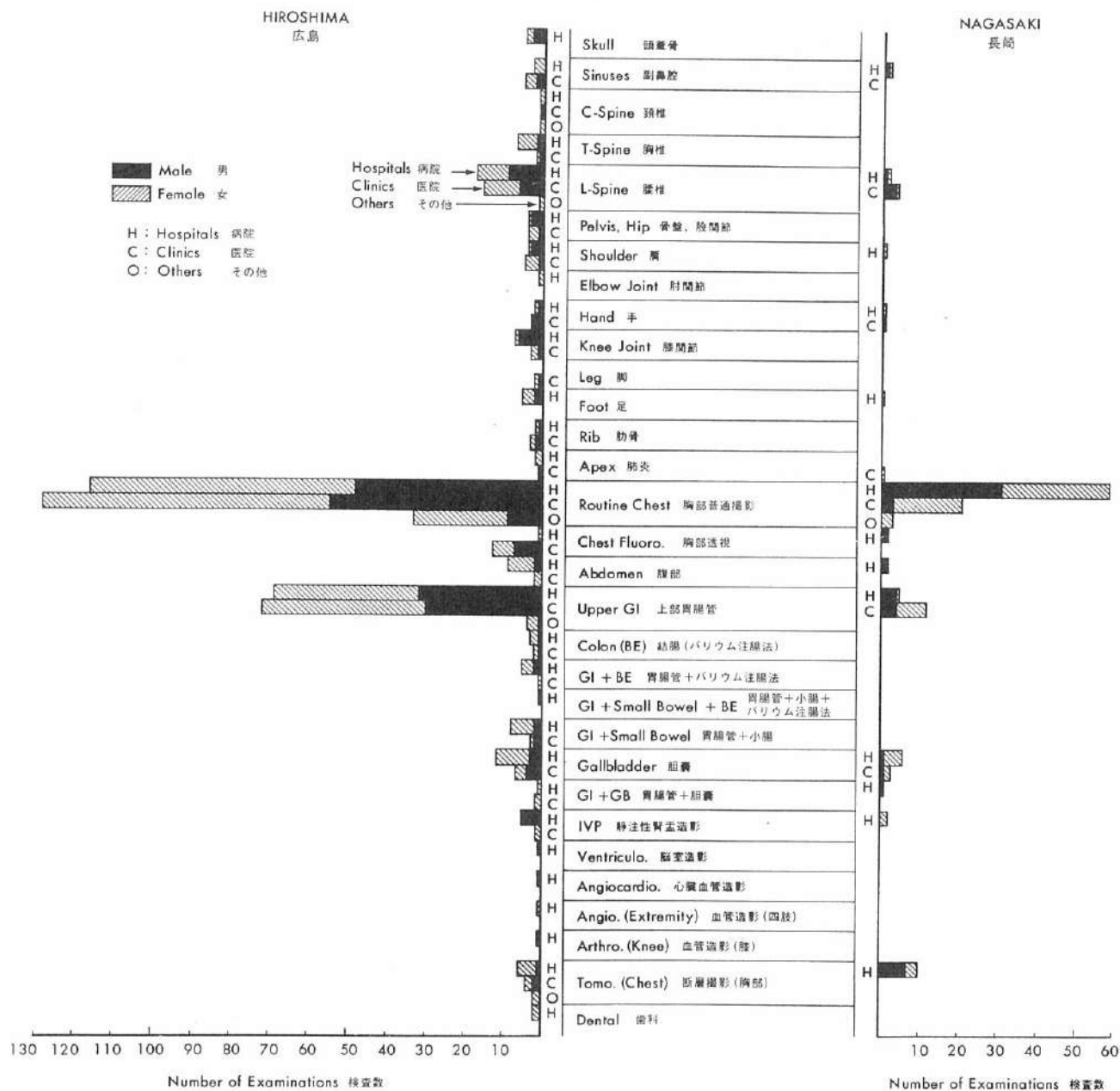


TABLE 5 ADDED FILTRATION IN DIAGNOSTIC X-RAY APPARATUS FOR  
ROUTINE CHEST EXAMINATIONS BY CITY<sup>15</sup>

表5 胸部普通撮影に用いられる診断用X線装置の付加濾過板：都市別<sup>15</sup>

Added Filtration 濾過板	Hiroshima 広島			Nagasaki 長崎		
	Hospitals 病院	Clinics 医院	Others その他	Hospitals 病院	Clinics 医院	Others その他
None なし	1	2	0	0	0	0
0.5 mmAL	14	48	1	6	15	0
1.0 mmAL	6	17	2	2	1	0
1.5 mmAL	4	1	0	1	0	1
2.0 mmAL	1	1	0	2	0	1
2.5 mmAL	0	0	0	1	0	0
3.0 mmAL	1	0	0	0	0	0
0.2 mmAL+0.1 mmCu	1	0	0	0	0	0
1.0 mmAL+0.1 mmCu	1	0	0	0	0	0
1.0 mmAL+0.2 mmCu	1	0	0	0	0	0
0.5 mmAL+0.3 mmCu	0	0	0	1	0	0
Total Apparatus 装置の総数	30	69	3	13	16	2

TABLE 6 ANODE POSITION FOR ROUTINE CHEST EXAMINATIONS BY CITY<sup>15</sup>

表6 胸部普通撮影における陽極の位置：都市別<sup>15</sup>

Anode Position 陽極の位置	Hospitals 病院数	Exposures 撮影数	Clinics 医院数	Exposures 撮影数	Others その他	Exposures 撮影数
Hiroshima 広島						
Head 頭側 .....	15	53	23	40	1	2
Foot 尾側 .....	12	57	24	44	2	31
Horizontal 水平 .....	4	14	16	36	0	0
Unknown 不明 .....	0	0	6	12	0	0
Nagasaki 長崎						
Head 頭側 .....	4	18	3	4	0	0
Foot 尾側 .....	6	16	2	3	2	3
Horizontal 水平 .....	3	27	9	12	0	0
Unknown 不明 .....	0	0	2	2	0	0

Few facilities kept good records of their fluoroscopy times. Five- and 10-minute fluoroscopy times predominated, especially in Hiroshima clinics. Though most Hiroshima hospitals used 5 minutes or less for an upper gastrointestinal series, a few reported times of 20 or 30 minutes. Fluoroscopy times were shorter for hospitals than clinics in Hiroshima, but the reverse was true in Nagasaki. Spot radiography occurred approximately five times per examination in both cities. Seventy-seven units had less than 1.5 mm added aluminum filtration, one had none.

設も若干あった。透視検査に要した時間を正確に記録している施設はほとんどなかった。一般に5分と10分が多く特に広島の医院で著しかった。大多数の広島の病院では上部胃腸管検査に要した時間は5分またはそれ以下であったが、幾つかの施設では20分または30分を要すると答えた所もあった。広島の病院の透視時間は医院よりは短かったが、長崎ではその反対であった。検査一回当たりの狙撃撮影回数は両市とも約5回であった。調べた装置のうち1.5 mm以下のアルミニウム濾過板を付加しているのが77台あり、うち1台には全くなかった。

Exposure factors for other examinations were also analyzed. As in an earlier survey,<sup>12</sup> Hiroshima subjects not in the city (Group 4) at the time of the bomb were less often exposed to medical X-ray than were survivors (Groups 1-3), but such exposure did not correlate with distance from hypocenter or acute radiation symptoms. Nevertheless, this suggested a need for more information concerning individual medical X-ray exposures of survivors to strengthen studies of atomic radiation effect.

A survey of institutions for technical factors in photofluorography was reported separately.<sup>16</sup> This was also based on an earlier survey<sup>13</sup> in which 674 of 5293 Hiroshima and 96 of 2221 Nagasaki subjects reported photofluorography exposure. Only 88 of the Hiroshima subjects could identify the institutions responsible, because the majority of Hiroshima examinations were performed by mobile units. The institutions responsible for the examinations were traced through schools, employers, and health centers. Seventy-eight percent of Hiroshima and 74% of Nagasaki reported examinations were confirmed. Photofluorography data for the institutions identified were studied concurrently with those of radiography and fluoroscopy (Table 7).<sup>15</sup>

他の検査における照射条件も調べた。前の調査の場合と同じく、<sup>12</sup> 広島の対象者中、原爆時市内にいなかった者(第4群)は被爆者(第1-3群)に比べて医療用X線照射を受ける回数は少なかったが、被爆者についてはその検査回数は必ずしも爆心地からの距離や急性放射線症状との相関はなかった。しかしながら、原爆放射線の影響に関する調査を推し進めるには、被爆者のひとりひとりの医療用X線被曝に関するより多くの資料が必要であることが示唆された。

各施設における間接撮影の撮影条件の調査結果は別に報告した。<sup>16</sup> これも前の調査<sup>13</sup>に基づくものであり、広島では5293人中674人、長崎では2221人中96人が間接撮影検査を受けたと報告した。広島の対象者のうちで検査を受けた施設名を知っていたのは88人だけであった。その理由としては、広島では大部分の検査は集団検診車が使用されたためである。これらの検診を実施した施設を調べるのに、学校、事業所および保健所などを通じて行なった。報告されたもののうち、広島で78%、長崎では74%が確認できた。確認された施設の間接撮影データは、直接撮影ならびに透視検査の結果とともに分析された(表7)。<sup>15</sup>

TABLE 7 OCCASIONS OF CONFIRMED EXPOSURE TO CHEST PHOTOFLUOROGRAPHY<sup>16</sup>

表7 胸部間接撮影の確認検査数<sup>15</sup>

Organization Sponsoring Photofluorography or Location 間接撮影の主催団体または検査の場所		Number 検査数	Periods Exposure Confirmed 検査についての確認を 行なった期間	Interval from Confirmed Exposure to Interview 確認された検査から面接までの期間		
				< 3 Months 3か月以内	> 3 Months 3か月以上	Outside City 市外
Hiroshima 広島	Specified by subject 対象者が報告したもの .....	88	1 July—31 August, 1965*	48	8	0
	Not specified by subject 対象者が報告しなかったもの .....	595	28 February—10 June, 1966	414	93	3
	Total					
	計 .....	683		462	101	3
Nagasaki 長崎	Specified by subject 対象者が報告したもの .....	98	13-28 September, 1965	72	10	0

\* Combined survey with radiography 直接撮影との同時調査

Photofluorographic apparatus was classified by type, manufacturer, examining facility, sponsoring organization, number of exposures, and by city. Two or three manufacturers predominated in both cities. More than one-third of the Hiroshima but only one-fifth of the Nagasaki units were mobile. Only three subjects in Hiroshima reported stomach examinations, though four of the 52 Hiroshima units were performing this type of examination in addition to chest photofluorography. Seventy-five to 85 kvp was most frequently used in both cities, whereas 60 kvp

間接撮影装置はその型式、製作会社、検査施設、主催団体、撮影回数ならびに都市別に分類した。両市とも二、三の製作会社の装置によって占められていた。広島では3分の1以上が集団検診車であったが、長崎ではわずか5分の1にすぎなかった。広島では集団検診車52台中4台は胸部間接撮影のほか、胃の検診も実施していたが、胃の間接撮影検査を受けた者は3人だけであった。胸部直接撮影<sup>15</sup>には60 kvpが主として使用されていたのに比べ、間接撮影では75-85 kvpが両市で最も多く使用され

had been most frequent for chest radiography.<sup>15</sup> Square cones predominated and the gonads were not in the direct X-ray beam except in the case of one Hiroshima unit with a round cone. All units had filters and 0.5 or 1.0mm aluminum was most frequently added. Japanese regulations required a 2.0mm aluminum equivalent. Because of wide variations in cooling oils and tube windows in use, no further investigation of filtration was made.

Anodes were positioned cranially in most Hiroshima installations; equally cranially or caudally, in Nagasaki. Whereas 35mm film was mainly used in the past, 60 or 70mm films predominated at the time of this survey.<sup>16</sup> Condenser units of 1.0 $\mu$ f capacity with wave-tail cut-offs were most popular. There were 17 Hiroshima and 9 Nagasaki transformer units, and 30 mas was most frequently employed. Exposure techniques of the units responsible for the three stomach survey examinations were ascertained. In Hiroshima a large number of mobile units belonging to a few private organizations performed most of the chest photofluorography; in Nagasaki, most examinations were by companies and schools. Many Nagasaki ABCC subjects had chest photofluorography at a hospital belonging to a large shipbuilding company. Frequency of photofluorography peaked in May-June and October-November in both cities, as was the case for photofluorography at a large Hiroshima hospital.<sup>17</sup> Relatively few examinations occurred in those over 60 years of age, unlike the chest radiography which was frequent in this age group.<sup>14,15</sup>

**Active Bone Marrow Distribution.** To define the quantity of active bone marrow irradiated according to beam margins and various projections and depths, active marrow distribution was calculated according to a three-dimensional lattice consisting of 5cm cubes, an example of which is shown in Table 8.<sup>18</sup>

The active marrow values of Ellis<sup>19</sup> were applied to this distribution lattice and results are shown in Table 9. They were used to calculate bone marrow integral dose from diagnostic procedures.

**Dosimetry.** Dose to the gonads and bone marrow from chest roentgenography at ABCC and other institutions were calculated in 1963,<sup>20</sup> according to the data of Epp et al.<sup>9</sup> The latter were applicable only to ABCC examinations as far as technical exposure factors were concerned. The data of Epp et al.<sup>9,10</sup> were unsuitable for those of other institutions in the two cities, whose exposure factors varied widely. Gonadal dose at ABCC was nil because of collimation and shielding; doses for ABCC and other institutions are shown in Tables 10 and 11.

ていた。ほとんどの装置には角形照射筒が使用され、広島  
の円形照射筒を有する装置1台を除いては生殖腺が直接  
X線錐に含まれたものはなかった。すべての装置に濾過  
板が使用されており、0.5mmまたは1.0mmのアルミニウ  
ム板が最も多く付加されていた。日本の法律では2.0mm  
のアルミニウム板相当の濾過板の使用が要求されている。  
しかし、冷却油や管球窓が多種類に及んでいたため、濾  
過に関してはこれ以上の解析は行なわなかった。

広島の施設では陽極のほとんどが頭側に位置しており、  
長崎では頭側と尾側がほぼ同数であった。過去の調査で  
は35mmフィルムが主として使用されていたが、このたび  
は60mmまたは70mmフィルムが大半を占めていた。<sup>16</sup> 蓄放  
式装置はコンデンサー容量1.0 $\mu$ Fで波尾切断を有する  
ものが一般に使用されていた。変圧器式は広島で17台、  
長崎で9台あり、30masが最も多かった。三つの胃検査  
に使用された装置の撮影技法を調べた。広島では少数の  
私的機関の所有に属する多数の集団検診車が胸部間接撮  
影の大半を実施し、長崎ではほとんどが会社あるいは学校  
で実施されている。長崎における多くのABCC対象者は、  
ある大造船会社の病院で胸部間接撮影を受けていた。間  
接撮影の頻度は、両市とも5-6月と10-11月に最も高  
く、ある広島の大病院における間接撮影の状況と同じで  
あった。<sup>17</sup> 60歳以上の者の検診数は比較的少なかった。  
これは同じ年齢群において胸部X線撮影回数が多かった  
のとは対照的であった。<sup>14,15</sup>

**赤色髄分布。** 線錐辺縁、各種撮影方向や深さにおける  
被照射赤色髄量を求めるため、赤色髄分布は5cm立方区  
画からなる格子状に分画して計算した。その一例を表8  
に示す。<sup>18</sup>

Ellis<sup>19</sup>の赤色髄値を用いて各立方区画内の分布を求めた。  
その結果は表9に示す。これを用いて診断用X線検査に  
よる骨髄積算線量を計算した。

**線量測定。** ABCCとその他の施設での胸部X線検査か  
ら受ける生殖腺と骨髄線量はEppら<sup>9</sup>のデータをもとに  
1963年<sup>20</sup>に計算された。Eppらの値<sup>9,10</sup>は照射条件から  
みてABCCでの検査のみに適用されうるもので、撮影条  
件が多様多様にわたる両市内の他の施設に適用するには  
不適當であった。ABCCでは多重絞りおよび遮蔽を使用  
していたため生殖腺線量は全くなかった。ABCCと他の  
施設の線量は表10, 11に示す。

TABLE 8 A METHOD FOR DETERMINING ACTIVE BONE MARROW<sup>18</sup>表 8 赤色髓の測定法<sup>18</sup>

Section 横断層	Cube Number 区画番号	Part 部位	%	Section 横断層	Cube Number 区画番号	Part 部位	%	
H	17	Clavicle (right) 鎖 骨 (右)	40	I	11	T7	第7胸椎	10
	18	C7	第7頸椎		20	12	Rib 5 (left) 第5肋骨 (左)	9
	18	T1	第1胸椎		80	13	Scapula (left) 肩甲骨 (左)	17
	18	T2	第2胸椎		60	13	Rib 4 (left) 第4肋骨 (左)	15
	18	T3	第3胸椎		40	13	Rib 5 (left) 第5肋骨 (左)	30
	18	Rib 1 (right) 第1肋骨 (右)	5		13	Rib 6 (left) 第6肋骨 (左)	10	
	18	Rib 1 (left) 第1肋骨 (左)	5		15	Scapula (right) 肩甲骨 (右)	5	
	18	Rib 2 (right) 第2肋骨 (右)	5		15	Humerus (right) 上腕骨 (右)	60	
	18	Rib 2 (left) 第2肋骨 (左)	5		16	Scapula (right) 肩甲骨 (右)	5	
	18	Clavicle (right) 鎖 骨 (右)	10		16	Rib 2 (right) 第2肋骨 (右)	5	
	18	Clavicle (left) 鎖 骨 (左)	10		16	Rib 3 (right) 第3肋骨 (右)	32	
	19	Rib 1 (left) 第1肋骨 (左)	93		16	Rib 4 (right) 第4肋骨 (右)	23	
	19	Clavicle (left) 鎖 骨 (左)	40		16	Rib 5 (right) 第5肋骨 (右)	3	
	20	Scapula (left) 肩甲骨 (左)	20		17	Rib 2 (right) 第2肋骨 (右)	5	
	20	Rib 2 (left) 第2肋骨 (左)	30		18	T4	第4胸椎	10
	20	Rib 3 (left) 第3肋骨 (左)	5		19	Rib 2 (left) 第2肋骨 (左)	5	
	20	Clavicle (left) 鎖 骨 (左)	40		20	Scapula (left) 肩甲骨 (左)	5	
	21	Scapula (left) 肩甲骨 (左)	15		20	Rib 2 (left) 第2肋骨 (左)	5	
	21	Humerus (left) 上腕骨 (左)	40		20	Rib 3 (left) 第3肋骨 (左)	32	
	21	Clavicle (left) 鎖 骨 (左)	10		20	Rib 4 (left) 第4肋骨 (左)	23	
	24	Rib 1 (right) 第1肋骨 (右)	2		20	Rib 5 (left) 第5肋骨 (左)	3	
	25	Sternum 胸骨	33		21	Scapula (left) 肩甲骨 (左)	5	
	26	Rib 1 (left) 第1肋骨 (左)	2		21	Humerus (left) 上腕骨 (左)	60	
	I	2	Scapula (right) 肩甲骨 (右)		3	23	Rib 3 (right) 第3肋骨 (右)	2
		2	Rib 5 (right) 第5肋骨 (右)		2	24	Rib 2 (right) 第2肋骨 (右)	15
		2	Rib 6 (right) 第6肋骨 (右)		5	24	Rib 3 (right) 第3肋骨 (右)	8
3		Scapula (right) 肩甲骨 (右)	3	25	Sternum 胸骨	27		
3		Rib 5 (right) 第5肋骨 (右)	5	26	Rib 2 (left) 第2肋骨 (左)	15		
3		Rib 6 (right) 第6肋骨 (右)	15	26	Rib 3 (left) 第3肋骨 (左)	8		
3		Rib 7 (right) 第7肋骨 (右)	3	27	Rib 3 (left) 第3肋骨 (左)	2		
4		Rib 6 (right) 第6肋骨 (右)	2	J	2	Scapula (right) 肩甲骨 (右)	2	
4		Rib 6 (left) 第6肋骨 (左)	2		2	Rib 8 (right) 第8肋骨 (右)	10	
4		T5	第5胸椎		3	3	Scapula (right) 肩甲骨 (右)	2
4		T6	第6胸椎		3	3	Rib 7 (right) 第7肋骨 (右)	22
5		Scapula (left) 肩甲骨 (左)	3		3	Rib 8 (right) 第8肋骨 (右)	20	
5		Rib 5 (left) 第5肋骨 (左)	5		3	Rib 9 (right) 第9肋骨 (右)	9	
5		Rib 6 (left) 第6肋骨 (左)	15		4	Rib 7 (right) 第7肋骨 (右)	3	
5		Rib 7 (left) 第7肋骨 (左)	3		4	Rib 7 (left) 第7肋骨 (左)	3	
6		Scapula (left) 肩甲骨 (左)	3		4	Rib 8 (right) 第8肋骨 (右)	3	
6		Rib 5 (left) 第5肋骨 (左)	2		4	Rib 8 (left) 第8肋骨 (左)	3	
6		Rib 6 (left) 第6肋骨 (左)	5		4	Rib 9 (right) 第9肋骨 (右)	2	
9		Scapula (right) 肩甲骨 (右)	17		4	Rib 9 (left) 第9肋骨 (左)	2	
9		Rib 4 (right) 第4肋骨 (右)	15		4	T7	第7胸椎	5
9		Rib 5 (right) 第5肋骨 (右)	30		4	T8	第8胸椎	8
9		Rib 6 (right) 第6肋骨 (右)	10		5	Scapula (left) 肩甲骨 (左)	2	
10		Rib 5 (right) 第5肋骨 (右)	9		5	Rib 7 (left) 第7肋骨 (左)	22	
11		Rib 5 (right) 第5肋骨 (右)	10		5	Rib 8 (left) 第8肋骨 (左)	20	
11		Rib 5 (left) 第5肋骨 (左)	10		5	Rib 9 (left) 第9肋骨 (左)	9	
11		Rib 6 (right) 第6肋骨 (右)	8		6	Scapula (left) 肩甲骨 (左)	2	
11		Rib 6 (left) 第6肋骨 (左)	8		6	Rib 8 (left) 第8肋骨 (左)	10	
11		Rib 7 (right) 第7肋骨 (右)	2		9	Rib 6 (right) 第6肋骨 (右)	15	
11		Rib 7 (left) 第7肋骨 (左)	2		9	Rib 7 (right) 第7肋骨 (右)	30	
11		T4 (anterior) 第4胸椎(前部)	60		9	Rib 8 (right) 第8肋骨 (右)	15	
11		T4 (posterior) 第4胸椎(後部)	20		11	Rib 7 (right) 第7肋骨 (右)	3	
11		T5	第5胸椎		97	11	Rib 7 (left) 第7肋骨 (左)	3
11		T6	第6胸椎		97	11	Rib 8 (right) 第8肋骨 (右)	5

TABLE 9 DISTRIBUTION OF ACTIVE BONE MARROW (GRAMS) <sup>18</sup>表9 赤色髄の分布 (g) <sup>18</sup>

Cube No. 区画番号	Skull Vertex 頭頂骨	← Craniad 頭の方へ					Transverse Sections 横断層					Caudad → 下方へ					Ischium: Prox. Femur 坐骨, 近位大腿骨		Cube Total 区画計
		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1*																			
2								1.10	0.99	1.18	0.59	0.14							4.00
3		2.49	1.24				0.76	1.86	2.95	1.96	0.90				14.41	7.63			34.20
4		4.97	6.22					0.83	2.48	4.32	2.56	1.31	0.95	0.96	9.78	36.19			70.55
5		2.49	1.24				0.76	1.86	2.95	1.96	0.90				14.41	7.63			34.20
6								1.10	0.99	1.18	0.59	0.14							4.00
7*																			
8							2.53										1.60		4.13
9							3.83	6.71	2.93	2.11	2.48	0.34			9.32	8.56	10.00	4.00	50.28
10	2.49	8.70	4.97	2.49			3.32	0.43				0.44	0.71	0.48	26.16	24.77	13.05	5.83	93.82
11	4.97	2.49			3.01	2.00	12.17	31.37	26.60	32.19	46.52	18.75	20.23	22.17	58.32	9.05			289.90
12	2.49	8.70	4.97	2.49			3.32	0.43				0.44	0.71	0.48	26.16	24.77	13.05	5.83	93.82
13							3.83	6.71	2.93	2.11	2.48	0.34			9.32	8.56	10.00	4.00	50.28
14							2.53										1.60		4.13
15							8.60	7.26											15.86
16							9.20	3.38	2.27	2.67	1.48	0.23			8.16	6.23			33.62
17	2.49	4.97	2.49	3.50			5.15	0.13			0.10					6.23	10.72	2.33	38.11
18	4.97		2.49	13.78	19.17		18.52	0.91				0.87	1.19				7.00	4.66	73.56
19	2.49	4.97	2.49	3.50			5.15	0.13			0.10					6.23	10.72	2.33	38.11
20							9.20	3.38	2.27	2.67	1.48	0.23			8.16	6.23			33.62
21							8.60	7.26											15.86
22*																			
23								0.06	0.51	0.85									1.42
24	1.24	4.97	1.24	3.32	0.74	0.04	0.62	0.42	0.24	0.15									12.98
25	2.49	4.97	2.49	1.23	1.23	7.70	6.32	5.85	3.51										35.79
26	1.24	4.97	1.24	3.32	0.74	0.04	0.62	0.42	0.24	0.15									12.98
27								0.06	0.51	0.85									1.42
28*																			
Total 計		24.87	54.69	31.08	36.64	23.88	105.25	82.53	55.07	58.04	60.48	23.23	23.79	24.09	184.20	152.08	77.74	28.98	
Grand Total 総計																			1046.64 g

\* No active bone marrow 赤色髄なし

TABLE 10 BONE MARROW INTEGRAL DOSE, PA AND LATERAL CHEST EXAMINATIONS ABCC, HIROSHIMA  
(1-16 November 1962) <sup>20</sup>表10 背腹方向および側方向胸部X線検査による骨髓積算線量, ABCC広島(1962年11月1-16日) <sup>20</sup>

	Male 男		Female 女	
	PA 背腹方向	LAT.* 側方向	PA 背腹方向	LAT.** 側方向
Bone marrow dose per exposure (g-rad) 1回照射ごとの骨髓線量 .....	3.1	2.6	2.8	2.5
Total number of subjects 対象者総数:	148			

\* No correction for kvp or added filtration. kvpまたは付加フィルターについては補正なし

TABLE 11 ESTIMATED GONADAL AND BONE MARROW INTEGRAL DOSE, PA CHEST EXAMINATIONS  
COMMUNITY HOSPITALS AND CLINICS, HIROSHIMA<sup>20</sup>

表11 背腹方向胸部X線検査による生殖腺ならびに骨髄の推定線量, 病院および医院, 広島<sup>20</sup>

	Hospitals 病院		Clinics 医院	
	Male 男	Female 女	Male 男	Female 女
Gonadal dose per exposure (mR)	(20)	(20)	(10)	(15)
1回照射毎の生殖腺線量 .....	0.03	1.1	0.03	0.6
Gonads in direct beam	-	(6)	-	(5)
直接線束を受ける生殖腺 .....	-	3.4	-	1.7
Gonads not in direct beam	(20)	(14)	(10)	(10)
直接線束を受けない生殖腺 .....	0.03	0.1	0.03	0.03
Bone marrow dose per exposure (g-rad)	(20)	(20)	(10)	(15)
1回照射毎の骨髄線量 .....	3.5	3.3	2.3	3.0

Number of subjects on whom dose was determined shown in parentheses.  
括弧内の数字は, 線量が計算されている対象者数を示す。

The first phantom dosimetry was based on a Hiroshima and Nagasaki hospital and clinic survey,<sup>14</sup> and performed in 1963.<sup>21</sup> All reported<sup>12</sup> and confirmed<sup>14</sup> X-ray examinations were duplicated at ABCC using a phantom human containing Memorial ionization chambers. Gonad positions were also designated in the lattice describing active bone marrow distribution. Direct beam size was based on film size, cone size and FFD.

Bone marrow integral and gonadal doses for examinations of all subjects are contained in the original report.<sup>21</sup> Mean bone marrow and gonadal doses for chest examinations are shown in Table 12.

Doses were somewhat lower than those reported in the literature, but no error such as variation in phantom density, or anode position were found responsible for this.

Bone marrow integral dose as referred to here represents the average energy dissipated in the bone marrow due to exposure to a diagnostic X-ray procedure. To obtain this energy, the measured absorbed dose produced at various points in the bone marrow was weighted by the amount of active bone marrow so as to produce a measure of the energy which was absorbed in the active marrow. These procedures are according to those of Laughlin et al.<sup>7</sup> A total active marrow of 1046 g was assumed.<sup>18</sup>

The second phantom dosimetry study, based on an earlier hospital and clinic survey,<sup>15</sup> dealt with a large number of chest examinations, and dose calculations were made with the aid of an electronic computer.<sup>22</sup> Exposures were made with a GE 130 kvp, 300 ma radiographic apparatus; cones describing 58, 85, and 110 cm diameter field sizes at 183 cm FFD; at 50, 70, 90, and 130 kvp; with 0.5,

ファントームを用いての最初の線量測定調査は, 1963年<sup>21</sup>に広島・長崎の病・医院調査<sup>14</sup>に基づいて実施された。報告され,<sup>12</sup> 確認された<sup>14</sup> X線検査すべてについて, ABCCで Memorial 電離箱を入れた人体ファントームを用いて再現した。生殖腺の位置も赤色髄の分布を示す格子状の区画の中に定めた。直接線束の大きさは, フィルムの大きさ, 照射筒の大きさとFFDにより求めた。

全対象者の骨髄積算線量および生殖腺線量は原報告書に記述されている。<sup>21</sup> 胸部X線検査の平均骨髄および生殖腺線量は表12に示す。

調査結果では線量は文献に報告されているものに比べてやや低かったが, ファントームの密度や陽極位置の違いなどによる誤差はなかった。

ここでいう骨髄積算線量とは, 診断用X線照射によって骨髄に与えられた平均エネルギーのことである。骨髄内の種々の場所において測定された吸収線量に赤色髄の量を掛け合わせるにより赤色髄に吸収されたエネルギー量を求めた。これは Laughlin ら<sup>7</sup>の方法に従った。赤色髄の総量は1046 gであると仮定した。<sup>18</sup>

以前の病・医院調査<sup>15</sup>に基づく第2回ファントーム線量測定調査では多数の胸部X線検査の結果を調べ, 電子計算機を用いて線量計算を行なった。<sup>22</sup> 照射はGE 130 kvp, 300 maのX線撮影装置を使用し, FFD 183 cmで照射筒により照射野直径は58, 85, 110 cmとし, 使用電圧は50,



TABLE 12 PA-CHEST EXAMINATIONS, MEAN GONADAL AND BONE MARROW INTEGRAL DOSE PER EXPOSURE<sup>21</sup>表12 胸部背腹方向X線検査、曝射1回当たりの平均生殖腺線量および骨髄積算線量<sup>21</sup>

Dose 線量			Hospitals 病院		Clinics 医院	
			Male 男	Female 女	Male 男	Female 女
Gonadal (mR) 生殖腺線量	Inside beam 線錐内	Mean dose 平均線量	0.023	0.27	0.33	0.66
		Exposures 曝射回数	3	9	4	16
	Outside beam 線錐外	Mean dose 平均線量	0.0029	0.053	0.034	0.0046
		Exposures 曝射回数	20	18	22	11
Bone marrow (g-rad) 骨髄線量		Mean dose 平均線量	3.70	3.22	4.09	2.86
		Exposures 曝射回数	23	27	26	27

1.0, and 2.0mm added aluminum filtration. For depth doses at locations other than those of the 16 ionization chambers in the phantom human, measurements were made in a large two-piece Mix-D block phantom, varying field sizes, kvp, filtration, and FFD—at 5, 10, and 15 cm depths. Scattered radiation dose was also measured in the latter phantom at 2, 4, 6, and 8 cm from beam edge, for 10, 20, and 30 cm<sup>2</sup> fields, at 5, 10, and 15 cm depths, and 60, 80, and 100 kvp. Values for a 30×30 cm field were used. Doses to cubical compartments and gonad positions in the bone marrow lattice<sup>18</sup> were the products of depth-dose ratios and ionization chamber readings. Bone absorption was assumed to be 10%—the mean obtained from study of 2 to 4 mm thicknesses of bone equivalent material. Ionization chamber doses at marrow and gonad positions were used when inside the beam. Gonad and bone marrow doses, when outside the direct beam, were obtained from scattered radiation dose data using the Mix-D block phantom. Contribution by dose outside the beam was no more than 5%. An example of ionization chamber dose readings according to added filtration and kvp is shown in Table 13.

An IBM Model 1440 electronic computer was used in this study, and details of methods were described in the original report.<sup>22</sup> The average overall error in these procedures was estimated to be 5%. Examples of dose tables and curves derived from computer analyses are shown in Tables 14 to 17 and Figure 16.

Following corrections for differences in radiation output and quality between X-ray units in the hospitals and clinics and the experimental unit at ABCC, bone marrow, gonadal and skin dose data were applied to individual exposures received by ABCC subjects in the community hospitals and clinics. The mean bone marrow integral and gonadal doses are shown in Tables 18 and 19.

70, 90および130 kvpで付加アルミニウム濾過板は0.5, 1.0および2.0 mmについて実験を行なった。人体ファントーム中の16個の電離箱以外の位置の深部線量は、5, 10, 15 cmの深さにおいて大きい二つの部分からなるMix-Dブロックファントームについて各種の照射野, kvp, 濾過板およびFFDを用いて測定した。また、散乱線の線量は同じファントームを用いて、電圧60, 80および100 kvp, 照射野10, 20および30 cm<sup>2</sup>, 深さ5, 10および15 cmで線錐縁から2, 4, 6および8 cmの距離において測定した。30×30 cmの照射野から得た値を使用した。各立方区画および骨髄格子区画内<sup>18</sup>の生殖腺位置に対する線量は、深部線量比と電離箱による測定値の積によって得られたものである。骨による吸収は2-4 mm厚さの骨等価物質についての測定から得た平均値である10%と仮定した。骨髄と生殖腺が線錐内にある場合は、骨髄と生殖腺の位置における電離箱の値を使用した。また、線錐外の生殖腺および骨髄線量は、Mix-Dブロックファントームで測定された散乱線量データから計算した。線錐外からの線量の寄与は5%程度であった。電離箱による測定値を付加濾過板とkvp別に表13に示す。

この調査には、IBM社の1440型電子計算機が使用され、その詳細は別の報告<sup>22</sup>に記述されている。この計算における平均総誤差は5%と推定されている。電子計算機によって得られた線量表および線量曲線の例を表14-17と図16に示す。

他の病・医院におけるX線装置とABCCの実験に使用したX線装置との間における放射線出力と線質の差を補正したのち、骨髄、生殖腺、皮膚の各線量データを個々のABCC対象者が地元病・医院で受けた照射に適用した。平均骨髄積算線量と生殖腺線量を表18と19に示す。

TABLE 13 CHAMBER DOSE BY LOCATION, ADDED FILTRATION AND KVP IN PA CHEST EXAMINATION<sup>22</sup>  
( mR/mas; FIELD SIZE: NO CONE, FFD:183cm)

表13 部位、濾過板および kvp による胸部背腹方向 X 線検査の電離箱線量<sup>22</sup>  
( mR/mas; 照射野: 照射筒なし, FFD:183cm)

Chamber 電離箱		0.5 mm Al				1.0 mm Al				2.0 mm Al			
		50 kvp	70	90	130	50	70	90	130	50	70	90	130
Skull	頭蓋骨.....	0.067	0.270	0.593	1.638	0.062	0.232	0.552	1.510	0.050	0.208	0.476	1.330
C-spine/4	頸椎(4).....	0.508	1.316	2.732	5.480	0.428	1.242	2.471	4.841	0.315	1.006	2.074	4.029
Sternum	胸骨.....	0.044	0.193	0.447	1.238	0.041	0.174	0.412	1.148	0.035	0.161	0.399	1.077
R-rib	右肋骨.....	0.355	0.932	1.765	3.564	0.304	0.787	1.421	3.238	0.221	0.653	1.264	2.664
L-rib	左肋骨.....	0.253	0.774	1.473	3.298	0.212	0.647	1.308	2.960	0.176	0.561	1.119	2.646
T-spine/6	胸椎(6).....	0.229	0.842	1.820	4.090	0.195	0.766	1.683	3.808	0.163	0.679	1.471	3.381
T-spine/12	胸椎(12).....	0.352	1.099	2.418	5.359	0.305	0.954	2.155	4.917	0.249	0.840	1.857	4.222
L-spine/5	腰椎(5).....	0.189	0.619	1.358	3.225	0.166	0.583	1.165	2.974	0.125	0.526	1.081	2.758
R-ovary	右卵巣.....	0.068	0.266	0.599	1.525	0.060	0.253	0.551	1.415	0.047	0.222	0.451	1.294
L-ovary	左卵巣.....	0.064	0.244	0.548	1.412	0.054	0.229	0.512	1.303	0.049	0.207	0.444	1.186
R-iliac	右腸骨.....	0.471	1.226	2.105	4.642	0.393	1.081	2.077	4.197	0.300	0.924	1.715	3.706
L-iliac	左腸骨.....	0.569	1.449	2.429	5.129	0.433	1.161	2.164	4.440	0.316	1.029	1.888	3.903
Pubic	恥骨.....	0.021	0.100	0.225	0.681	0.018	0.090	0.215	0.622	0.016	0.087	0.200	0.560
Testis	睾丸.....	0.006	0.031	0.072	0.230	0.006	0.027	0.070	0.216	0.005	0.024	0.066	0.196
R-femur	右大腿骨.....	0.007	0.033	0.074	0.227	0.006	0.030	0.073	0.206	0.006	0.029	0.069	0.197
L-femur	左大腿骨.....	0.007	0.032	0.072	0.222	0.006	0.029	0.068	0.204	0.006	0.028	0.066	0.194

TABLE 14 BONE MARROW INTEGRAL DOSE IN PA CHEST EXAMINATION BY KVP, FIELD SIZE AND FILTRATION,  
OBTAINED BY COMPUTER, INSIDE BEAM<sup>22</sup>

表14 電子計算機によって得られた kvp, 照射野および濾過板による胸部背腹方向 X 線検査の骨髓積算線量, 直接線<sup>22</sup>  
(g - mR/mas)

kvp	Field 照射野 1			Field 照射野 2			Field 照射野 3			Field 照射野 4			Field 照射野 5		
	0.5 mm Al	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
50	344	281	210	335	268	201	227	187	141	173	144	108	163	135	101
55	466	388	309	440	361	286	301	248	189	231	191	146	217	179	136
60	604	513	426	560	470	386	382	318	247	294	246	192	275	229	178
65	758	652	558	696	593	501	470	395	313	363	307	244	339	285	227
70	925	804	700	846	732	630	562	480	388	436	374	304	406	347	282
75	1111	971	850	1020	889	771	672	578	474	523	451	371	486	418	345
80	1304	1145	1003	1207	1059	920	787	683	568	614	535	446	569	496	414
85	1500	1324	1153	1406	1241	1076	905	794	672	708	623	528	655	577	489
90	1698	1506	1299	1615	1433	1235	1026	910	784	804	716	617	743	664	571
95	1921	1707	1470	1832	1632	1407	1159	1032	893	911	814	704	840	754	651
100	2155	1915	1647	2055	1836	1584	1298	1159	1003	1021	915	792	942	847	732
105	2898	2131	1831	2282	2045	1765	1442	1288	1113	1136	1018	880	1047	942	813
110	2650	2353	2020	2513	2257	1949	1590	1420	1223	1254	1123	968	1155	1039	894
115	2911	2580	2213	2746	2471	2135	1742	1554	1330	1374	1230	1054	1266	1137	973
120	3181	2812	2410	2980	2685	2321	2897	1689	1434	1497	1337	1138	1380	1236	1050
125	3458	3049	2610	3215	2899	2508	2055	1824	1535	1623	1444	1219	1495	1334	1124
130	3744	3289	2813	3449	3111	2694	2215	1959	1632	1749	1550	1297	1612	1433	1196
135	4038	3533	3019	3681	3321	2879	2377	2093	1724	1877	1657	1372	1731	1530	1264
140	4340	3781	3227	3912	3528	3062	2541	2226	1811	2007	1762	1442	1851	1626	1329

TABLE 15 BONE MARROW INTEGRAL DOSE IN PA CHEST EXAMINATION, BY KVP, FIELD SIZE AND FILTRATION,  
OBTAINED BY COMPUTER, OUTSIDE BEAM<sup>22</sup>

表15 電子計算機によって得られたkvp、照射野および濾過板による胸部背腹方向X線検査の骨髓積算線量、散乱線<sup>22</sup>

kvp	(g·mR/mas)														
	Field 照射野 1			Field 照射野 2			Field 照射野 3			Field 照射野 4			Field 照射野 5		
	0.5 mmAl	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
50	0	0	0	0	0	0	4	4	3	5	5	4	4	4	3
55	0	0	0	0	0	0	6	5	4	7	7	5	6	6	5
60	0	0	0	1	1	1	7	7	5	10	9	7	9	8	6
65	0	0	0	1	1	1	10	9	7	13	11	9	11	10	8
70	0	0	0	1	1	1	12	11	9	16	14	11	14	13	10
75	0	0	0	1	1	1	15	14	11	19	17	14	17	15	13
80	0	0	0	2	1	1	18	16	14	23	20	17	20	18	15
85	0	0	0	2	2	2	21	19	16	26	23	20	24	21	18
90	0	0	0	2	2	2	25	22	19	30	27	24	27	25	22
95	0	0	0	2	2	2	28	25	22	34	30	27	31	28	25
100	0	0	0	2	2	2	32	28	25	38	34	30	35	31	28
105	0	0	0	3	3	2	35	31	28	42	37	34	38	34	31
110	0	0	0	3	2	2	38	34	31	46	41	37	42	37	34
115	0	0	0	3	3	3	41	37	33	49	44	39	45	40	37
120	0	0	0	3	3	3	44	39	35	53	47	42	49	43	39
125	0	0	0	4	3	3	47	42	37	56	50	44	52	46	41
130	0	0	0	4	3	3	50	44	39	59	52	46	55	48	43
135	0	0	0	4	3	3	52	46	40	62	54	47	57	50	44
140	0	0	0	4	4	3	54	47	41	64	56	48	59	52	45

Values increase by field number (size) except for Field 5 which is lower than Field 4 due to amount of active marrow near field margin.

線量は照射野5を除いて照射野の番号とともに増加している。照射野5は辺縁の近くの活性骨髓量が少ないため照射野4よりも低い。

TABLE 16 BONE MARROW INTEGRAL DOSE IN PA CHEST EXAMINATION, BY KVP, FIELD SIZE AND FILTRATION,  
OBTAINED BY COMPUTER, TOTAL DOSE<sup>22</sup>

表16 電子計算機によって得られたkvp、照射野および濾過板による胸部背腹方向X線検査の骨髓積算線量、全線量<sup>22</sup>

kvp	(g·mR/mas)														
	Field 照射野 1			Field 照射野 2			Field 照射野 3			Field 照射野 4			Field 照射野 5		
	0.5 mmAl	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
50	344	281	210	335	268	202	231	191	144	179	148	112	168	139	104
55	466	388	309	440	361	286	306	253	193	238	198	151	223	184	141
60	604	513	426	561	470	387	390	325	252	304	254	198	284	237	184
65	758	652	558	697	594	502	479	404	320	376	318	253	350	295	235
70	925	804	700	847	733	631	575	491	397	452	388	315	420	359	292
75	1111	971	850	1021	890	772	687	591	485	542	468	385	503	434	357
80	1304	1145	1003	1208	1060	921	805	699	582	636	555	463	590	514	429
85	1500	1324	1153	1407	1242	1077	926	813	688	734	647	548	679	599	508
90	1698	1506	1299	1617	1435	1237	1050	932	803	835	743	641	771	688	593
95	1921	1707	1470	1834	1634	1409	1187	1057	915	945	844	731	871	782	676
100	2155	1915	1647	2057	1839	1586	1330	1187	1028	1059	949	822	977	878	760
105	2398	2131	1831	2285	2048	1767	1477	1319	1141	1178	1055	914	1085	976	844
110	2650	2353	2020	2516	2260	1951	1629	1454	1253	1299	1164	1004	1197	1077	928
115	2911	2580	2213	2749	2474	2137	1784	1591	1363	1424	1273	1093	1312	1178	1009
120	3181	2812	2410	2984	2688	2324	1942	1728	1470	1550	1383	1179	1429	1279	1089
125	3458	3049	2610	3218	2902	2511	2102	1865	1572	1679	1493	1263	1547	1380	1166
130	3744	3289	2813	3452	3114	2697	2265	2002	1671	1809	1603	1343	1667	1481	1239
135	4038	3533	3019	3685	3325	2882	2429	2138	1764	1939	1711	1419	1788	1580	1309
140	4340	3781	3227	3916	3532	3065	2594	2273	1853	2071	1818	1490	1910	1678	1374

FIGURE 16 BONE MARROW INTEGRAL DOSE<sup>22</sup>

図16 骨髓積算線量<sup>22</sup>

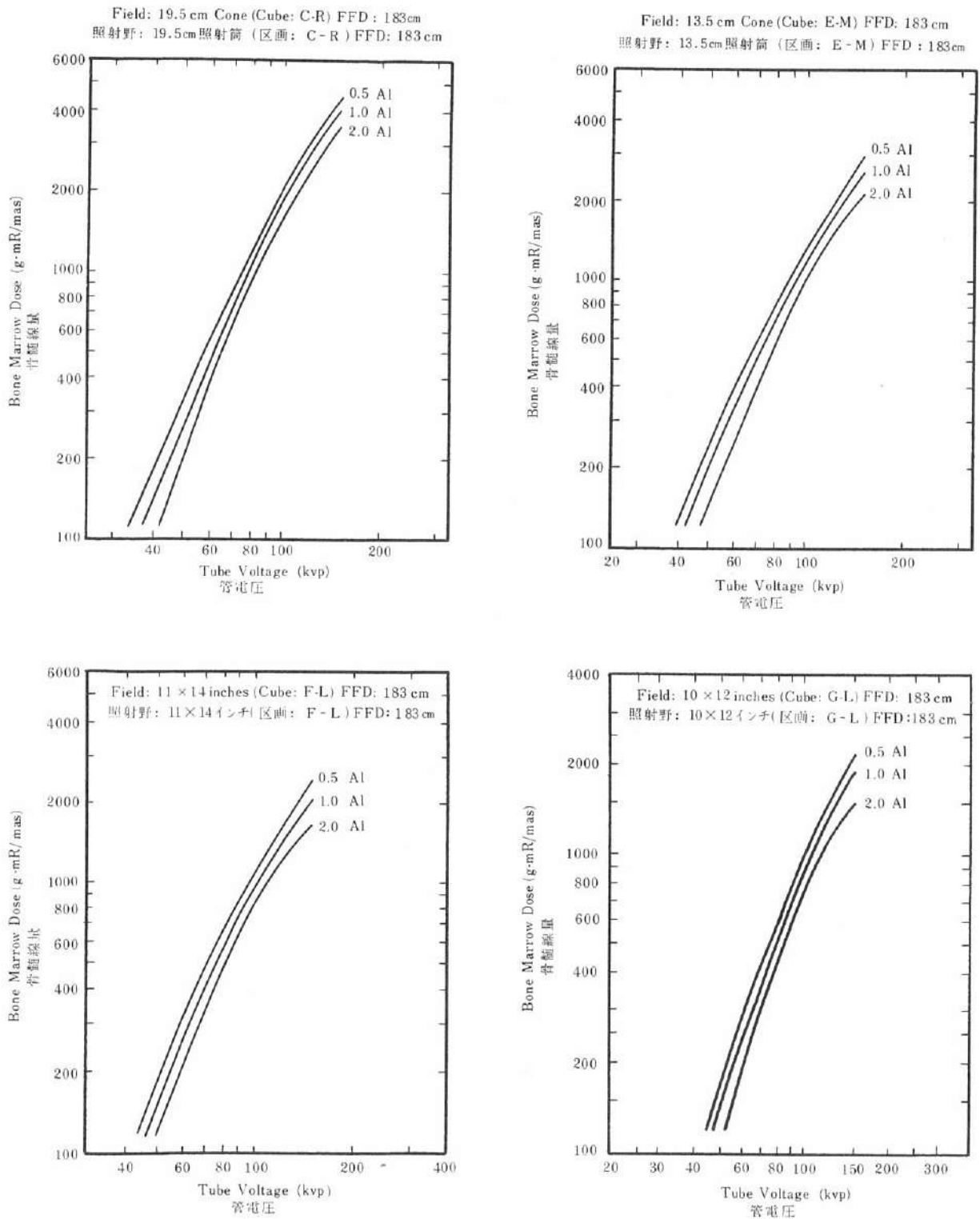


TABLE 17 GONADAL DOSE IN PA CHEST EXAMINATION BY KVP, FIELD SIZE AND FILTRATION<sup>22</sup>

表17 Kvp, 照射野および濾過板による胸部背腹方向X線検査の生殖腺線量<sup>22</sup>  
(mR/mas, FFD: 183 cm)

kvp	Field Size 照射野	0.5 mmAl		1.0 mmAl		2.0 mmAl	
		Male 男	Female 女	Male 男	Female 女	Male 男	Female 女
50	-S	.054	.076	.048	.068	.039	.057
	-R	.009	.076	.009	.068	.008	.057
	-Q	.003	.066	.002	.057	.002	.048
	-P	.001	.021	.001	.019	.001	.016
	-O	.000	.006	.000	.005	.000	.004
	-N	.000	.002	.000	.001	.000	.001
	-M	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	-L	.000	.000	.000	.000	.000	.000
70	-S	.214	.321	.191	.290	.187	.262
	-R	.045	.321	.039	.290	.035	.262
	-Q	.013	.255	.012	.241	.010	.215
	-P	.004	.093	.003	.085	.003	.075
	-O	.001	.034	.001	.032	.001	.028
	-N	.000	.009	.000	.009	.000	.008
	-M	.000	.003	.000	.002	.000	.002
	-L	.000	.001	.000	.001	.000	.001
90	-S	.423	.698	.405	.600	.380	.563
	-R	.100	.698	.097	.600	.092	.563
	-Q	.032	.574	.031	.532	.030	.448
	-P	.010	.266	.010	.253	.009	.246
	-O	.003	.079	.003	.075	.003	.073
	-N	.001	.023	.001	.022	.001	.022
	-M	.000	.007	.000	.007	.000	.007
	-L	.000	.002	.000	.002	.000	.002
130	-S	.940	1.73	.901	1.62	.786	1.37
	-R	.311	1.73	.292	1.62	.265	1.37
	-Q	.111	1.47	.104	1.36	.095	1.24
	-P	.040	.733	.037	.623	.034	.563
	-O	.014	.268	.013	.227	.012	.205
	-N	.005	.099	.005	.082	.004	.076
	-M	.002	.037	.002	.032	.002	.029
	-L	.001	.014	.001	.012	.001	.011

TABLE 18 MEAN BONE MARROW INTEGRAL DOSE FROM PA CHEST EXAMINATION IN HIROSHIMA AND NAGASAKI<sup>22</sup>  
(g-rad/EXPOSURE)

表18 広島、長崎における胸部背腹方向X線検査の平均骨髄積算線量<sup>22</sup> (g-rad/照射)

Type of Machine 装置の型式	Hiroshima 広島		Nagasaki 長崎		Total 合計
	Hospital 病院	Clinic 医院	Hospital 病院	Clinic 医院	
Transformer 変圧器式	3.68(155)	7.47(73)	3.87(78)	4.17(15)	4.61(321)
Condenser 蓄放式		4.77(91)		4.28(9)	4.73(100)
Total 計	3.68(155)	5.97(164)	3.87(78)	4.21(24)	4.64(421)

Number of exposures in parentheses. カッコ内の数字は照射の数を示す。

TABLE 19 MEAN GONADAL DOSE FROM PA CHEST EXAMINATION IN HIROSHIMA AND NAGASAKI<sup>22</sup>  
(mrad/EXPOSURE)

表19 広島、長崎における背腹方向胸部X線検査の平均生殖腺線量<sup>22</sup> (mrad/照射)

Type of Machine 装置の型式	Sex 性別	Hiroshima 広島		Nagasaki 長崎		Total 合計
		Hospital 病院	Clinic 医院	Hospital 病院	Clinic 医院	
Transformer 変圧器式	M 男	.051 (56)	.40 (29)	.014 (40)	.19 (4)	.12 (129)
	F 女	.42 (99)	1.02 (44)	.065 (38)	.50 (11)	.49 (192)
Condenser 蓄放式	M 男	-	.26 (45)	-	.0008 (1)	.26 (46)
	F 女	-	.64 (46)	-	.11 (8)	.56 (54)
Total 計	M 男	.051 (56)	.32 (74)	.014 (40)	.16 (5)	.16 (175)
	F 女	.42 (99)	.82 (90)	.65 (38)	.34 (19)	.51 (246)

Number of exposures in parentheses. カッコ内の数字は照射の数を示す。

Gonadal dose ranges were large compared to those of bone marrow dose, because gonads varied in location inside and outside the X-ray beam. Smaller doses, particularly gonadal, occurred more frequently in hospitals than clinics. A higher gonadal dose was incurred among hospitals in Nagasaki and clinics in Hiroshima. Ovarian doses were similar to those of Epp et al<sup>9,10</sup>; testis doses, varied from equal to 1/10 those of the latter. Mean bone marrow integral dose was about twice that of Epp<sup>9,10</sup>.

Bone marrow, gonadal and skin doses in roentgenography of body sites other than chest were similarly studied using phantom dosimetry, based on an earlier institution survey,<sup>15</sup> with computations by electric calculators.<sup>23</sup> Mean bone marrow integral and gonad dose per exposure and examination in the two cities are included in tables, and had rather wide standard deviations. Gonad doses were similar to those of Epp,<sup>10</sup> but generally lower than those of Heller<sup>24</sup> and the Adrian Committee.<sup>25</sup> These data assisted in dose estimates for Adult Health Study subjects and other members of the Hiroshima and Nagasaki populations.

Six Hiroshima photofluorographic units representative of those in use in both cities were studied using phantom dosimetry.<sup>26</sup> Six-hundred and fifty-one exposures verified in a previous survey<sup>15</sup> were reproduced. Results are shown in Table 20.

#### Adult Health Study Subjects' Exposure by ABCC Examinations

Dose to the Gonads and Bone Marrow in Radiographic Examinations at ABCC. Doses to the gonads and bone marrow in radiography at ABCC<sup>8</sup> were published for reference until detailed studies of ABCC examinations could be undertaken. The dose tables are based on the data of Epp et al.<sup>9,10</sup>

生殖腺線量は骨髓線量に比較してばらつきが大きかった。その理由は生殖腺の位置がX線線維内にあったり、外にあったりしたためである。一般に、受けた線量、特に生殖腺線量は病院のほうが医院よりも少ない場合が多かった。生殖腺線量は長崎では病院、広島では医院のほうが高かった。卵巣線量はEppら<sup>9,10</sup>と同じであり、睪丸線量は同じ、ないし10分の1の範囲内の差を示した。平均骨髓積分線量はEpp<sup>9,10</sup>らの約2倍であった。

胸部以外の部位についてのX線検査における骨髓・生殖腺および皮膚線量はファントム実験と以前の病・医院調査の結果をもとに、<sup>15</sup> 電機計算機を使って計算した。<sup>23</sup> 両市における1曝射当たりおよび1検査当たりの平均骨髓積分線量と生殖腺線量の結果を表に示したが、かなり大きい標準偏差が認められた。生殖腺線量はEpp<sup>10</sup>のそれと以ていたが、一般的に Heller<sup>24</sup> や Adrian 委員会<sup>25</sup> の数値よりは低かった。これらのデータは成人健康調査対象者や広島・長崎の一般人口集団における人々の線量推定に役だった。

両市内で使用されている間接撮影装置を代表する6台について広島でファントムによる線量測定を行なった。<sup>26</sup> 以前の調査<sup>15</sup> で確認された651の照射が再現され、その結果を表20に示す。

#### ABCCでの検査による成人健康調査対象者の受ける被曝

ABCC X線検査で生殖腺と骨髓の受ける線量。ABCCのX線検査で、生殖腺と骨髓の受ける線量<sup>8</sup>は、ABCC検査についての詳細な調査報告ができるまで参考として発表されたものである。線量表はEppら<sup>9,10</sup>のデータに基づくものである。



TABLE 20 AVERAGE BONE MARROW INTEGRAL, GONADAL AND SKIN DOSES OF ADULT HEALTH STUDY SUBJECTS<sup>26</sup>  
BY PHOTOFLUOROGRAPHY, HIROSHIMA AND NAGASAKI

表20 間接X線検査による成人健康調査対象者の平均骨髄積算、生殖腺ならびに皮膚線量、<sup>26</sup> 広島・長崎

Unit Type 装置の型式	Examinations 検査数			Bone Marrow Integral Dose 骨髄積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (mrad)
	Male 男	Female 女	Total 計		Male 男	Female 女	
Condenser 蓄放式	233	269	502	38.9	0.115	0.178	658
Transformer 変圧器式	92	57	149	46.6	0.714	8.42	604
Total 計	325	326	651	Mean 40.7 平均	0.285	1.62	646

Dose from Routine Roentgenography and Fluoroscopy.<sup>27</sup> Bone marrow integral, gonadal and skin doses were measured for all examinations conducted in the ABCC Department of Radiology using phantom dosimetry, the appropriate X-ray unit, and the average exposure factors for each type of examination. Results are shown in a comprehensive table.<sup>27</sup> It was again shown that magnitude of gonadal dose depended mainly on whether the gonads were in the direct X-ray beam.

Cumulative Doses to Individual Adult Health Study Subjects from ABCC Roentgenological Examination.<sup>28</sup> At the time of each subject's roentgenological examination, technical factors are routinely recorded and permanently filed in the ABCC Department of Radiology. Such data for all past examinations of each Adult Health Study subject were transcribed together with the appropriate average dose per examination, and skin, bone marrow integral, and gonadal doses were cumulated, updated, coded, and periodically analyzed.

#### Adjunct Studies

Radiologic Practice Since the Atomic Bombs, Hiroshima and Nagasaki.<sup>29</sup> For the years since 1945 during which no dosimetry was performed, activity of radiologic practice was assessed according to yearly totals of roentgenograms, radiographic, fluoroscopic, and photofluorographic examinations, and number of treatments by X-ray and telecobalt. Radiation therapy for benign or malignant disease was ascertained from hospital records. Institutions were first classified according to estimated number of films consumed per year. Large hospitals were those using more than 10,000 films per year. Because of their relative importance, all large hospitals—14 in Hiroshima, and 11 in Nagasaki—and a 40% random sample of nearly 500 small institutions in both cities were surveyed. The results are shown in Figures 17-20 and Table 21.

一般X線検査と透視検査による線量。<sup>27</sup> ファントム線量測定、適当なX線装置および平均照射条件を用いてABCC放射線部で実施したすべての検査について骨髄積算線量、生殖腺線量および皮膚線量を測定した。結果は総括して表<sup>27</sup>にまとめてある。ここでも、生殖腺線量の大きさは生殖腺が直接線維内にあったか否かによって異なることが示された。

ABCCのX線検査による各成人健康調査対象者への蓄積線量。<sup>28</sup> 各対象者のX線検査実施の際の照射条件は、記録されABCC放射線部に永久保存されている。各成人健康調査対象者の過去の検査データは、すべて検査ごとの平均線量とともに記録され、皮膚線量、骨髄積算線量、生殖腺線量は累計され、新しいデータは追加され、コード化され、そして定期的に解析されている。

#### 関連調査

原爆以後の放射線診療活動状況、広島・長崎。<sup>29</sup> 線量測定が行なわれなかった1945年以後の数年間に実施されたX線検査、直接撮影検査、透視検査および間接撮影検査の年間合計数ならびにX線および遠隔コバルト治療の年間回数をもとに放射線診療活動状況を評価した。良性または悪性疾患に対する放射線治療回数は、病院の記録をもとに調べた。各医療施設は、最初に年間使用フィルム枚数で分類した。大病院は、年間使用フィルム枚数が10,000枚以上のものとした。これら的大病院は相対的に重要であるので、すべての大病院(広島14、長崎11)と両市内の小施設の40%に相当する約500の医院を無作為に抽出して調べた。結果は図17-20と表21に示す。



FIGURE 17 FILMS AND FREQUENCY OF MEDICAL X-RAY EXAMINATIONS BY YEAR, HIROSHIMA <sup>29</sup>

図17 年度別にみた医療用X線使用頻度，広島 <sup>29</sup>

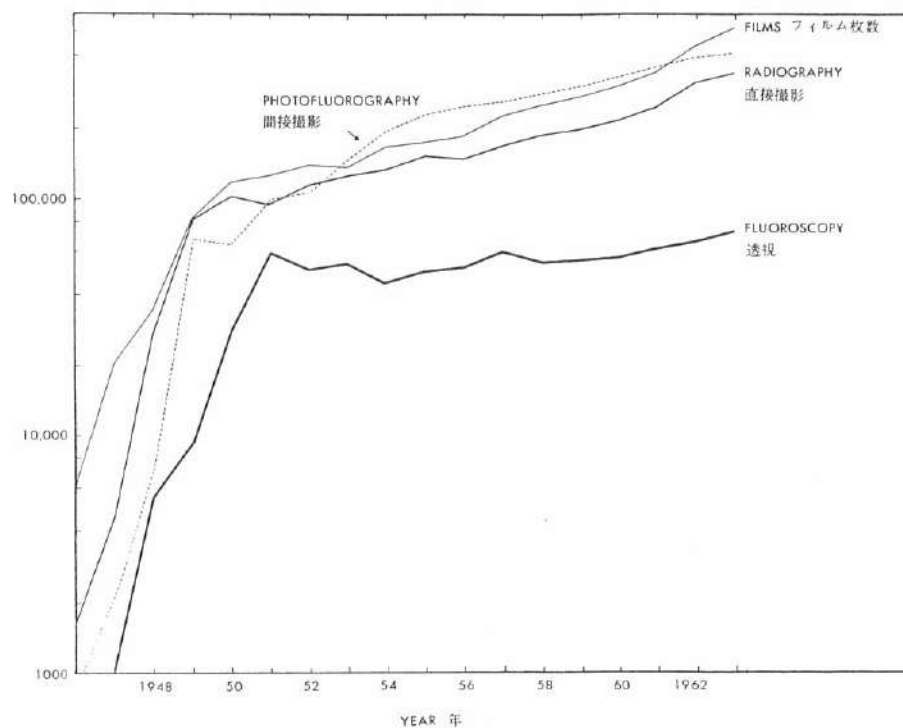


FIGURE 18 FILMS AND FREQUENCY OF MEDICAL X-RAY EXAMINATIONS BY YEAR, NAGASAKI <sup>39</sup>

図18 年度別にみた医療用X線使用頻度，長崎 <sup>39</sup>

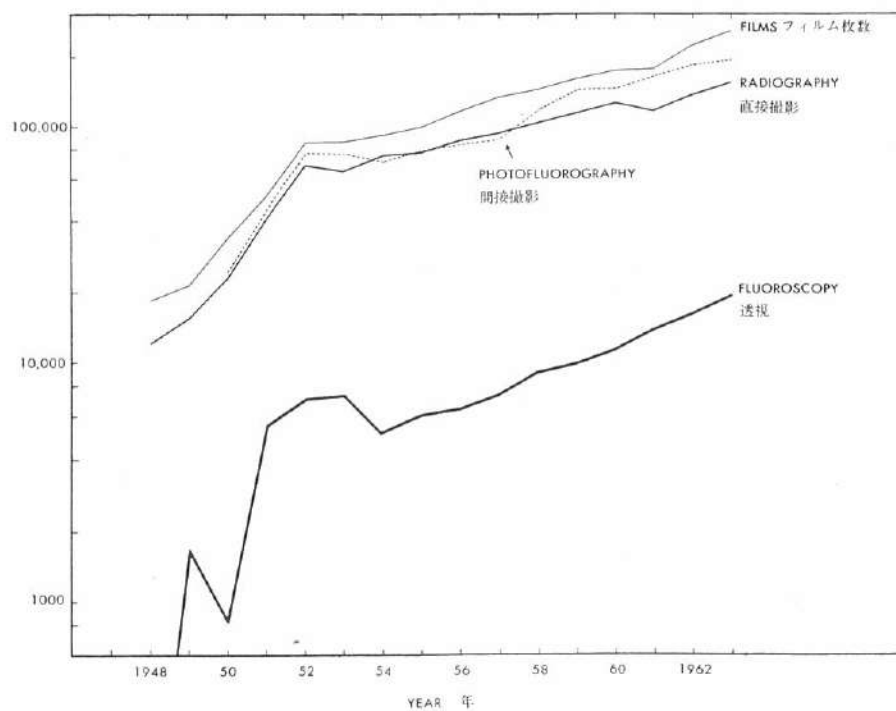


FIGURE 19 FILMS AND FREQUENCY OF MEDICAL X-RAY EXAMINATIONS PER CAPITA BY YEAR, HIROSHIMA

図19 年度別にみた1人当たりの医療用X線使用頻度，広島

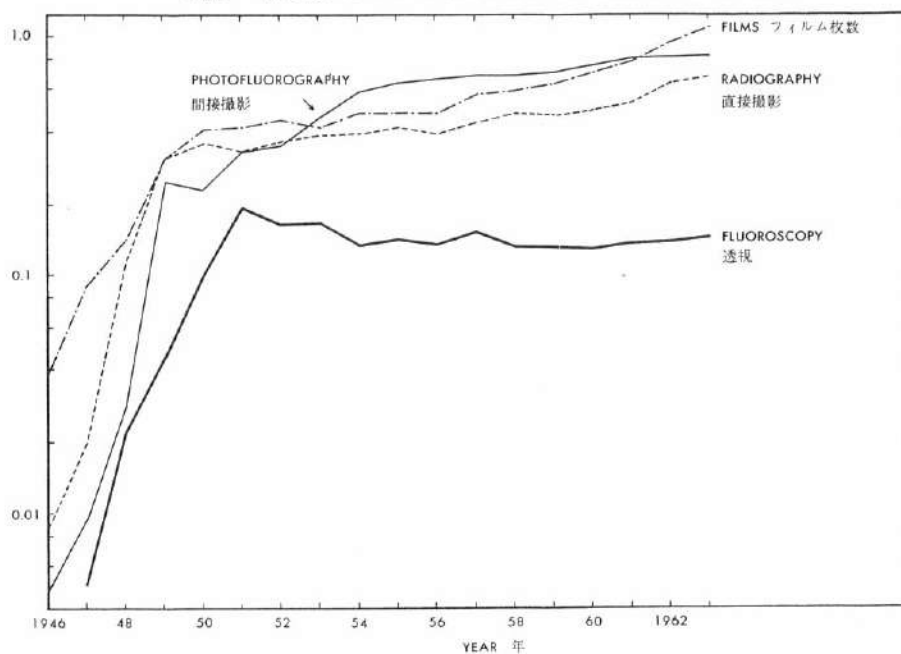


FIGURE 20 FILMS AND FREQUENCY OF MEDICAL X-RAY EXAMINATIONS PER CAPITA BY YEAR, NAGASAKI

図20 年度別にみた1人当たりの医療用X線使用頻度，長崎

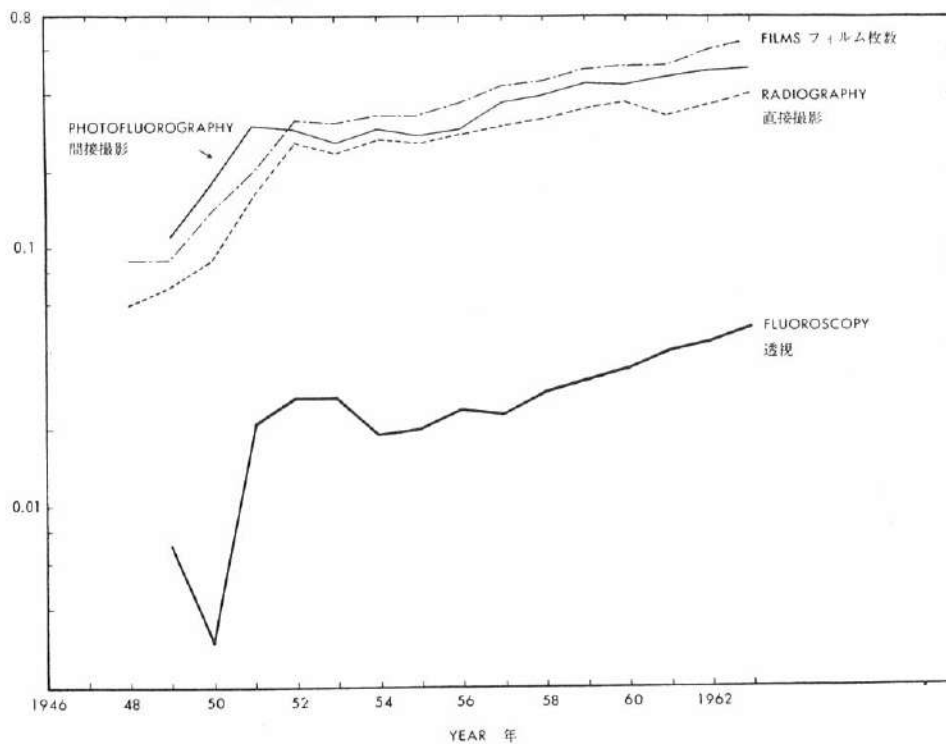


TABLE 21 RADIATION TREATMENTS\* BY YEAR AND CITY <sup>29</sup>表21 年度別・都市別にみた放射線治療数 <sup>29</sup>

Year 年度	Hiroshima 広島	Nagasaki 長崎
1945	-	-
46	-	-
47	300	-
48	400	-
49	200	-
50	500	-
51	10100	-
52	9100	800
53	9700	1000
54	11300	800
55	10900	1000
56	11900	8500
57	18300	10100
58	16300	10100
59	17600	10600
60	20400	18200
61	21300	20200
62	22100	23300
1963	23500	13600

\* Large hospital only 大病院のみ

First an abrupt, then a steady increase in activity of radiologic practice was detected. The data assisted in estimating dose to ABCC subjects and the general populations of Hiroshima and Nagasaki.

Radiologic Practice and Medical Records in a Large General Hospital in Hiroshima.<sup>17</sup> Numbers of yearly roentgenograms, radiographic, fluoroscopic, and photofluorographic examinations and treatments by X-ray and telecobalt were ascertained from the well-kept records of a large general hospital in Hiroshima, as a measure of the activity of its radiologic practice, for comparison with that of Hiroshima institutions in general. From 1949 to 1963, a sharp rise in number of films and a moderate rise in number of radiologic and fluoroscopic examinations was detected, paralleling the values for Hiroshima City.<sup>29</sup> There was only a slight rise in fluoroscopic examinations and a decline in radiation therapy over these years.

Estimation of Exposure Pattern and Bone Marrow and Gonadal Dose During Fluoroscopy.<sup>30</sup> Dose from fluoroscopic procedures is difficult to assess because of widely varying and continuously changing exposure factors. To assist dose estimations for these procedures, pattern of exposure and dose during upper gastrointestinal series by 10 radiologists using their own conventional fluoroscopic units and

診療活動は最初に急激な増加を示し、それ以降は着実な増加が認められた。このデータはABCC対象者および広島・長崎の一般市民の受けた線量を推定するのに役だった。

広島市内のある総合病院における放射線診療と医学記録。<sup>17</sup> 広島市内のある大総合病院でよく保管されていた記録をもとに年間のX線検査、直接撮影検査、透視検査、間接撮影検査ならびにX線および遠隔コバルト治療の頻度を調べ、広島の他の一般施設における放射線活動状況と比較した。1949年から1963年までに使用フィルム枚数に急激な増加、X線検査と透視検査に中等度の増加が認められ、これらは広島市における状態と同じ傾向を示した。<sup>29</sup> この間に透視検査にわずかな増加と、X線治療件数に減少が認められた。

透視検査時の放射線照射の分布および骨髓線量と生殖腺線量の推定。<sup>30</sup> 透視検査による線量は、照射条件に大きな差があり、たえず変動するため評価が困難である。この検査による線量推定の一助として、10人の放射線専門医に各自の透視装置と技法を用い、遮光紙に密封した工

techniques were monitored with industrial type X-ray films in lighttight "jackets" fixed to a phantom human. Dose was correlated with optical density using standard films exposed to known quantities of radiation. For fluoroscopy and spot-filming, surface doses were plotted in histograms, according to a lattice describing distribution of active bone marrow.<sup>18</sup> Bone marrow and gonadal doses incurred by the 10 examiners were thus established. The results also aided in the assessment of fluoroscopic procedures in use in the community.

**Exposure Pattern, Surface, Bone Marrow Integral and Gonadal Dose from Fluoroscopy.**<sup>31</sup> Use of image intensifiers by radiologists and conventional equipment by nonradiologists performing upper gastrointestinal series, barium enemas and chest fluoroscopy were also assessed. Bone marrow integral, gonadal and surface doses were included. Differences in exposure patterns and doses were demonstrated according to types of examiners and equipment.

**Radiation Output and Quality of Diagnostic X-ray Apparatus in Community Hospitals and Clinics.**<sup>32</sup> An apparatus consisting of a remotely controlled revolving disk with various thicknesses of aluminum filters, and a 35 cc ionization chamber, was used to measure the radiation output and quality of X-ray units in Hiroshima and Nagasaki hospitals. Values were compared with those of the ABCC experimental apparatus to correct for discrepancies before performing phantom dosimetry. There was moderately good correlation between kvp and radiation output.

**Quantitative Estimate of Anode Effect in Diagnostic X-rays.**<sup>33</sup> This detailed study was prompted by the relatively low gonadal doses encountered in some ABCC examinations for which, theoretically at least, the positions of the anodes of X-ray tubes could have been responsible. Using 14×17 inch medical X-ray films, densitometers, and dosimeters, 13 radiographic units of different manufacture, tube type and age were monitored when operating at various kvp, mas, and focal spot sizes. Standard films were correlated with optical density and dose. The 14×17 inch films were assessed for density and the dose incurred—the effects of anode position. Dose distributions in air were compared with those in a phantom. The importance of maintaining the proper position of the tube was demonstrated, and quantitative estimates are included in the report.

#### Application of Community Hospital and Clinic Data

Activity of radiologic practice since 1945 was assessed according to the numbers of radiographic,

業用X線フィルム・ジャケットを付した人体ファントームについて上部胃腸管検査と同じ方法で検査を依頼し、照射の分布と線量の測定を実施した。既知量の放射線を照射した標準フィルムによって黒化度と線量との関係を求めた。透視と狙撃撮影には赤色紙の分布を示す格子方式により、表面線量をヒストグラムに示した。<sup>18</sup> このようにして10人の放射線科医によって被検体の受けた骨髄線量と生殖腺線量を測定した。その結果は地元の透視検査を評価するのに役だった。

透視検査による照射の分布、表面線量、骨髄積算線量と生殖腺線量。<sup>31</sup> 放射線専門医についてはイメージ・インテンシファイアーを、放射線科を専門としない医師については通常のX線装置を使って、上部胃腸管X線検査、バリウム注腸X線検査、胸部透視検査について評価した。測定は骨髄線量、生殖腺線量、表面線量について実施した。照射の分布と線量は検査を実施する人と装置によって相違があった。

地元病・医院における診断用X線の放射線出力と線質。<sup>32</sup> 各種の厚みのアルミニウム濾過板と35cc電離箱のある遠隔操作回転盤からなる装置を使用して、広島と長崎の病院におけるX線装置の放射線出力と線質とを測定した。これらの測定値と実験に使用したABCC装置の値の違いを補正するために、ファントームによる線量測定を行なう前に比較検討した。比較的よい相関がkvpと放射線出力との間に認められた。

診断用X線における陽極効果の定量的調査。<sup>33</sup> ABCCにおけるある種の検査における生殖腺線量が比較的低く、少なくとも理論的にはX線管球の陽極位置の違いが原因である可能性があると考えたために詳細な調査を実施した。14×17インチの医療用X線フィルム、黒化度計と線量計とを用いて製作会社、管球の型式ならびに使用年数の異なる13のX線装置についてkvp, masならびに焦点の大きさを変えて測定を実施した。黒化度と線量との関係は標準フィルムによって求めた。14×17インチ・フィルムについて黒化度と受けた線量、すなわち陽極位置の効果を調べた。空気中における線量分布と人体ファントーム中における線量分布とを比較した。適当な管球位置を保つことの重要性が示され、その定量的評価は報告書に記載されている。

#### 病・医院資料の適用

1963年の病院調査<sup>29</sup>で直接撮影、透視、間接撮影と放射

fluoroscopic, and photofluorographic examinations and radiation treatments performed, in a survey of hospitals in 1963 (Table 21 and Figures 17-20).<sup>29</sup>

Relative frequencies and mean dose per examination for radiography, fluoroscopy, and photofluorography were determined by body site during a survey of Adult Health Study subjects.<sup>12</sup> These are shown in Tables 22-24. Only a very few subjects received more than one examination; therefore, the values are relatively independent of this factor.

For radiography, fluoroscopy, and photofluorography, the product of mean dose and numbers of examinations were calculated for each year from 1947 to 1963 as shown in Tables 25-30, column I.

The population of Hiroshima and Nagasaki, by year, from 1944 to 1964 is shown in Table 31. Using the population data for each city, per capita bone marrow integral, gonadal, and skin doses were calculated for these years, as shown in Tables 25-30, column II. These data are shown graphically in Figures 21-28.

Ratios by which radiography, fluoroscopy, and photofluorography contributed to bone marrow, skin and gonadal doses were estimated. Photofluorography contributes to the total dose from medical examinations because of its frequent use. Though relatively infrequently used, fluoroscopy contributes significantly because of the relatively high dose it incurs. The results are shown in Tables 32-34.

A prime purpose of these investigations was a comparison of the magnitude of dose from medical X-ray with that of the A-bomb, and a majority of the studies was directed toward this goal. Periodic surveys, dosimetry and assessment of activity of radiologic practice over a 16-year period contributed data for these comparisons. Prescinding from factors such as radiation energies, instantaneous vs intermittent exposure, dose fractionation and tissue recovery, gross nevertheless useful comparisons can be made.

Two periods 1946-63 and 1954-63 were chosen to illustrate the per capita dose data, as shown in Tables 35-38.

The data for the recent period are probably more accurate than those for the earlier one, largely because of record-keeping. Comparison of doses for these two periods underscores the dose increase with the increase in activity of radiologic practice. Since 1946, cumulative mean bone marrow dose was estimated as 1 rad in Hiroshima and 0.5 rad in Nagasaki. These values approximate A-bomb dose at 2200 m from the hypocenter in Hiroshima, and

線治療件数によって1945年以後の医療用放射線活動状況を調べた(表21, 図17-20)。

直接撮影、透視ならびに間接撮影検査の相対的頻度および1検査当たりの平均線量は、成人健康調査対象者の調査によって部位別に得られた。<sup>12</sup> これらの値は表22-24に示す。検査を2回以上受けた者の数は非常に少ないので、これらの値は比較的この要因に左右されない。

1947年から1963年まで毎年度の直接撮影、透視および間接撮影による平均線量と検査回数の積を計算し、表25-30の第1欄に示す。

1944年から1964年までの広島と長崎の人口を年度別に表31に示す。両市の人口の資料を利用して、この期間におけるひとり当たりの骨髄積算線量、生殖腺線量および皮膚線量を計算し、その結果を表25-30の第2欄に示す。このデータをグラフ形式で図21-28に示す。

直接撮影、透視ならびに間接撮影検査の骨髄線量、皮膚線量および生殖腺線量に対する寄与の比率を推定した。間接撮影は頻度が高いために、医療用X線検査による総線量に相当寄与している。透視検査の頻度は比較的小さいが、1検査当たりの線量が大きいので、総線量に寄与する割合はきわめて大きい。その結果は表32-34に示す。

これらの調査の主要な目的の一つは、医療用X線から受ける線量と原爆から受けた線量とを比較することであり、大部分の調査はこの目的達成のために実施された。定期的に実施した調査、線量測定ならびに16年間にわたる放射線診療活動状況の調査からこの比較のためのデータが得られた。放射線エネルギー、瞬間的照射に対して断続的照射、線量の分割照射および組織の回復等の違いはあるにしても、概略的ではあるが有用な比較ができる。

二つの期間、すなわち、1946-63年と1954-63年を選んでひとり当たりの線量データを求め、これを表35-38に示す。

主として記録保存の面から考えて、後期のデータが前期のものよりは正確であると思われる。この2期間の線量を比較すると、放射線診療活動が増加するにつれて、線量も増加していることが注目される。1946年以後の蓄積骨髄平均線量は広島で1 rad、長崎では0.5 radと推定された。これらの数値は図29の原爆放射線量曲線<sup>34</sup>に示されているように、広島では爆心から2200 m、長崎では

TABLE 22 AVERAGE BONE MARROW INTEGRAL, GONADAL AND SKIN DOSES BY RADIOGRAPHY,  
ADULT HEALTH STUDY SUBJECTS

表22 成人健康調査対象者の直接撮影検査による平均骨髓積算線量, 生殖腺線量および皮膚線量

Examination 検査部位		Examinations 検査数			Examinations × Dose/Examination 検査数×線量／検査				
					Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)	
		Male 男	Female 女	Total 計		Male 男	Female 女		
Skull	頭蓋骨	3	2	5	207	0.03	0.02	3.09	
Sinuses	副鼻腔	3	7	10	109	0.03	0.07	5.90	
C-spine	頸椎	1	2	3	91	0.01	0.02	1.62	
T-spine	胸椎	3	6	9	480	1.38	12.8	15.3	
L-spine	腰椎	19	21	40	5360	492.0	4910.0	204.0	
Pelvis	骨盤	4	4	8	534	394.0	956.0	13.7	
Shoulder	肩	4	6	10	57	0.04	11.2	1.19	
Chest	胸部	145	215	360	1800	23.2	131.0	15.4	
Rib	肋骨	3	2	5	226	1.8	7.48	6.1	
Abdomen	腹部	4	9	13	510	47.6	1350.0	24.6	
Gallbladder	胆嚢	9	19	28	848	66.5	272.0	60.4	
IVP	静注性腎盂造影	5	4	9	1040	76.5	2020.0	30.0	
Tomography, chest	断層撮影, 胸部	10	12	22	1420	6.9	13.6	31.9	
Ventriculography	脳室造影	1	0	1	100	0.01	-	3.84	
Knee	膝関節	7	3	10	10	3.5	0.36	-	
Extremities	四肢	9	8	17	17	0.09	0.08	-	
Total	合計	230	220	550	12800	11100	9680	417	
Sex Ratio	性比	0.42	0.58	1.00	Mean 平均 23.3	4.84	30.2	0.757	

TABLE 23 AVERAGE BONE MARROW INTEGRAL, GONADAL AND SKIN DOSES  
BY FLUOROSCOPY AND SPOT FILMING, ADULT HEALTH STUDY SUBJECTS

表23 成人健康調査対象者の透視と狙撃撮影検査による平均骨髓積算線量, 生殖腺線量および皮膚線量

Examination 検査部位	Flx Time 透視時間 (min. 分)	Examination 検査数			Average Dose per Examination 検査当たりの平均線量				Dose × Examinations 線量×検査数			
					Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)	Skin Dose 皮膚線量	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)	Skin Dose 皮膚線量		
		Male 男	Female 女	Total 計	(g-rad)	Male 男	Female 女	(rad)	(g-rad)	Male 男	Female 女	(rad)
Chest 胸部	1	9	7	16	37.2	0.34	1.52	1.27	595	3.06	12.2	20.3
Upper GI 上部胃腸管	5	71	91	162	359.0	26.3	535.0	16.5	58200	1870.0	48700.0	2670.0
Upper GI+BE 上部胃腸管＋バリウム注腸	8	2	4	6	647.0	135.0	1600.0	25.3	3880	270.0	9600.0	152.0
Upper GI+Small bowel+BE 上部胃腸管＋小腸＋ バリウム注腸	11	1	0	1	935.0	242.0	2670.0	34.1	935	242.0		34.1
Upper GI+Small bowel 上部胃腸管＋小腸	8	4	7	11	647.0	135.0	1600.0	25.3	7120	540.0	11200.0	278.0
Upper GI+Gallbladder 上部胃腸管＋胆嚢	5	2	2	4	359.0	26.3	535.0	16.5	1440	52.6	1070.0	66.0
BE バリウム注腸	5	2	3	5	601.0	333.0	3010.0	12.8	3010	666.0	9030.0	64.0
Total 合計		91	44	205					75100	3640	79600	3290.0
Sex Ratio 性比		0.44	0.56	1.00				Mean 平均	367	40.0	698	16.0



TABLE 24 AVERAGE BONE MARROW INTEGRAL, GONADAL AND SKIN DOSES FROM PHOTOFUOROGRAPHY, ADULT HEALTH STUDY SUBJECTS

表24 成人健康調査対象者の間接撮影検査による平均骨髓積算線量，生殖腺線量および皮膚線量

Unit Type 装置の型式	Examinations 検査数			Average Dose per Examination 検査当たりの平均線量				Dose × Examinations 線量×検査数					
				Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)				Skin Dose 皮膚線量 (rad)	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		
	Male 男	Female 女	Total 計		Male 男	Female 女	Male 男	Female 女					
Transformer 変圧器式	77	51	128	46.6	0.714	8.42	0.604	5960			429.0		77.3
Condenser 蓄放式	187	223	410	38.9	0.115	0.178	0.658	15949	21.5		39.7		270.0
Total 合計	264	274	538					21910	76.5	469			347.0
Sex Ratio 性比	0.49	0.51	1.00				Mean 平均	40.7	0.289	1.71			0.645

3200 m in Nagasaki, as seen from the A-bomb dose curves<sup>34</sup> shown in Figure 29.

Each Adult Health Study subject is routinely interviewed in the ABCC Department of Radiology for fluoroscopic, photofluorographic, and therapeutic exposures he has received in other hospitals and clinics, since his last ABCC examination. Coded dose data for individual subjects are retrieved for analysis, an example of which is shown in Table 39.

Skin doses are included for comparison purposes. Gonadal and bone marrow doses of course are more practical, the latter for future reference in cases of development of leukemia. Three categories of subjects with carcinoma were selected to illustrate A-bomb doses exceeding; equalling; and less than ABCC skin doses. The subjects in this example received their medical exposure because of malignancies, but a minority of populations also receive radiation therapy for benign disease.

Table 40 shows computer data comparing A-bomb with ABCC bone marrow integral, gonadal, and skin doses, numbers of fluoroscopy examinations and courses of radiation therapy among subjects with gastric cancer.

Such data, including radiation therapy doses, have been calculated for all participants of the Adult Health Study and are reference material in cases of development of diseases and abnormalities attributable to exposure to ionizing radiation. Medical X-ray exposure data are routinely updated as subjects are reexamined.

3200 m の距離で受けた原爆放射線量に近以している。

成人健康調査対象者各人についてABCC放射線部では、ABCCの定期検診の間に、他の病・医院で受けた透視検査、間接撮影検査と放射線治療について質問している。各人についてコード化された線量データは解析のため検索に供されており、表39にその1例を示す。

皮膚線量は比較のために記入してある。生殖腺と骨髓線量は、もちろん、より実用的であり、後者は将来白血病が発生した際の参考となる。癌症例を原爆放射線量がABCCの検査における皮膚線量より大きい者、同等の者および少ない者の3群に分類した。この例の場合の対象者は悪性疾患のために医療用X線照射を受けた者であるが、少数の人においては良性の疾患に対しても放射線治療を受けている。

表40は、電子計算機にコードされている胃癌患者における原爆放射線量とABCCのX線検査による骨髓積算線量、生殖腺線量ならびに皮膚線量および地元病・医院における透視検査回数と放射線治療回数を比較して示す。

放射線治療による線量を含むこのようなデータは、成人健康調査対象者全員について計算されており、電離放射線被曝に起因する疾病や異常の発生があった場合は参考資料となる。医療用X線照射に関する資料は、対象者が検診を受ける都度追加更新される。

TABLE 25 PRODUCTS OF EXAMINATIONS AND DOSES; AND DOSE PER CAPITA  
FROM RADIOGRAPHY, HIROSHIMA

表25 検査数と線量の積および直接撮影検査による1人当たりの線量, 広島

Year 年度	Examinations 検査数	I Dose × Examinations 線量×検査数				II Dose per Capita 1人当たりの線量				
		Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad ×10 <sup>3</sup> )	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad ×10 <sup>3</sup> )		Skin Dose 皮膚線量 (rad ×10 <sup>3</sup> )	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)	
			Male 男	Female 女			Male 男	Female 女		
1946	1544	36	3.14	27.0	1.17	0.23	0.048	0.302	0.00757	
1947	4468	104	9.08	78.3	3.38	4.66	0.968	6.04	0.0151	
1948	27389	638	55.7	480.0	20.7	2.56	0.532	3.32	0.0833	
1949	83938	1960	171.0	1470.0	63.5	7.22	1.500	9.36	0.235	
1950	102541	2390	208.0	1800.0	77.6	8.39	1.74	10.9	0.273	
1951	97731	2280	199.0	1710.0	74.0	7.69	1.60	9.97	0.250	
1952	112976	2630	230.0	1980.0	85.5	8.39	1.74	10.9	0.273	
1953	125613	2930	255.0	2200.0	95.1	9.09	1.89	11.8	0.295	
1954	132146	3080	269.0	2310.0	100.0	9.09	1.89	11.8	0.295	
1955	150322	3500	306.0	2630.0	114.0	9.79	2.03	12.7	0.318	
1956	145060	3380	295.0	2540.0	110.0	9.09	1.89	11.8	0.295	
1957	169918	3960	345.0	2980.0	128.0	10.3	2.13	13.3	0.333	
1958	188786	4400	384.0	3310.0	143.0	11.2	2.32	14.5	0.363	
1959	199306	4640	405.0	3490.0	151.0	11.0	2.27	14.2	0.356	
1960	211579	4930	430.0	3710.0	160.0	11.4	2.37	14.8	0.371	
1961	240100	5590	488.0	4210.0	182.0	12.3	2.57	16.0	0.401	
1962	301735	7030	613.0	5290.0	228.0	14.9	3.10	19.3	0.484	
1963	331810	7730	675.0	5810.0	251.0	15.8	3.29	20.5	0.515	

Dose per Examination: Bone marrow integral 23.3 g-rad; Gonadal, Male 4.84 mrad, Female 30.2 mrad; Skin 0.757 rad.

検査当たりの線量: 骨髓積算線量 23.3 g-rad; 生殖腺線量, 男 4.84 mrad, 女 30.2 mrad; 皮膚線量 0.757 rad.

Sex Ratio 性比: Male 男 0.42, Female 女 0.58

TABLE 26 PRODUCTS OF EXAMINATIONS AND DOSES; AND DOSE PER CAPITA  
FROM FLUOROSCOPY, HIROSHIMA

表26 検査数と線量の積および透視検査による1人当たりの線量, 広島

Year 年度	Examinations 検査数	I 線量×検査数				II 1人当たりの線量			
		Dose×Examinations		Dose×検査数		Dose per Capita		1人当たりの線量	
		Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad×10 <sup>3</sup> )	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad×10 <sup>3</sup> )		Skin Dose 皮膚線量 (rad×10 <sup>3</sup> )	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)
			Male 男	Female 女			Male 男	Female 女	
1946									
1947	1023	375	18.0	400	16.4	3.67	0.40	6.98	0.16
1948	5484	2010	96.5	2140	87.7	7.34	0.80	14.0	0.32
1949	9200	3380	162.0	3600	147.0	11.0	1.20	20.9	0.48
1950	28701	10500	505.0	11200	459.0	36.7	4.00	69.8	1.60
1951	58465	21500	1030.0	22900	935.0	69.7	7.60	133.0	3.04
1952	50497	18500	889.0	19700	808.0	58.7	6.40	112.0	2.56
1953	53652	19700	944.0	21000	858.0	58.7	6.40	112.0	2.56
1954	44393	16300	781.0	17400	710.0	47.7	5.20	90.7	2.08
1955	49938	18300	879.0	19500	799.0	51.4	5.60	97.7	2.24
1956	50150	18400	883.0	19600	802.0	47.7	5.20	90.7	2.08

Table 表 26

Year 年度	Examinations 検査数	I Dose × Examinations 線量 × 検査数				II Dose per Capita 1人当たりの線量			
		Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad × 10 <sup>3</sup> )		Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad × 10 <sup>3</sup> )		Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)		Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)	
		Male 男		Female 女		Male 男		Female 女	
1957	58711	21500	1030.0	22900	939.0	55.1	6.00	105.0	2.40
1958	52988	19400	933.0	20700	848.0	47.7	5.20	90.7	2.08
1959	54271	19900	955.0	21200	868.0	47.7	5.20	90.7	2.08
1960	55295	20300	973.0	21600	885.0	47.7	5.20	90.7	2.08
1961	60808	22300	1070.0	23800	973.0	51.4	5.60	97.7	2.24
1962	65308	24000	1150.0	25500	1040.0	51.4	5.60	97.7	2.24
1963	71140	26100	1250.0	27800	1140.0	55.1	6.00	105.0	2.40

Dose per Examination: Bone marrow integral 367 g-rad; Gonadal, Male 40.0 mrad, Female 698 mrad; Skin 16.0 rad.

検査当たりの線量: 骨髓積算線量 367 g-rad; 生殖腺線量, 男 40.0 mrad, 女 698 mrad; 皮膚線量 16.0 rad.

Sex Ratio 性比: Male 男 0.44, Female 女 0.56

TABLE 27 PRODUCTS OF EXAMINATIONS AND DOSES; AND DOSE PER CAPITA FROM PHOTOFLUOROGRAPHY, HIROSHIMA

表27 検査数と線量の積および間接撮影検査による1人当たりの線量, 広島

Year 年度	Examinations 検査数	I Dose × Examinations 線量 × 検査数				II Dose per Capita 1人当たりの線量			
		Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad × 10 <sup>3</sup> )		Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad × 10 <sup>3</sup> )		Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)		Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)	
		Male 男		Female 女		Male 男		Female 女	
1946	852	34.7	0.121	0.743	0.55	0	0	0	0
1947	2105	85.7	0.299	1.84	1.36	0.407	0.00283	0.0174	0.0065
1948	7129	290.0	1.01	6.22	4.60	1.22	0.00849	0.0523	0.0194
1949	68992	2810.0	9.80	60.2	44.5	10.2	0.0708	0.436	0.161
1950	64890	2640.0	9.21	56.6	41.9	9.36	0.0651	0.401	0.148
1951	99595	4050.0	14.1	86.8	64.2	13.4	0.0934	0.576	0.213
1952	107288	4370.0	15.2	93.6	69.2	14.3	0.0991	0.610	0.226
1953	145014	5900.0	20.6	126.0	93.5	18.3	0.127	0.785	0.290
1954	196831	8010.0	28.0	172.0	127.0	24.0	0.167	1.03	0.381
1955	229109	9320.0	32.5	200.0	148.0	26.1	0.181	1.12	0.413
1956	247969	10100.0	35.2	216.0	160.0	26.9	0.187	1.15	0.426
1957	262943	10700.0	37.3	229.0	170.0	27.7	0.192	1.19	0.439
1958	273280	11100.0	38.8	238.0	176.0	27.3	0.190	1.17	0.432
1959	292401	11900.0	41.5	255.0	189.0	28.1	0.195	1.20	0.445
1960	322893	13100.0	45.9	282.0	208.0	30.5	0.212	1.31	0.484
1961	357999	14600.0	50.8	312.0	231.0	32.6	0.226	1.40	0.516
1962	388472	15800.0	55.2	339.0	251.0	33.4	0.232	1.43	0.529
1963	408017	16600.0	58.0	356.0	263.0	33.8	0.235	1.45	0.536

Dose per Examinations: Bone marrow integral 40.7 g-rad; Gonadal, Male 0.289 mrad, Female 1.71 mrad; Skin 0.645 rad.

検査当たりの線量: 骨髓積算線量 40.7 g-rad; 生殖腺線量, 男 0.289 mrad, 女 1.71 mrad; 皮膚線量 0.645 rad.

Sex Ratio 性比: Male 男 0.49, Female 女 0.51.

TABLE 28 PRODUCTS OF EXAMINATIONS AND DOSES; AND DOSE PER CAPITA FROM RADIOGRAPHY, NAGASAKI

表28 検査数と線量の積および直接撮影検査による1人当たりの線量, 長崎

Year 年度	Examinations 検査数	I Dose ×Examinations 線量×検査数				II Dose per Capita 1人当たりの線量			
		Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g·rad ×10 <sup>3</sup> )	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad ×10 <sup>3</sup> )		Skin Dose 皮膚線量 (rad ×10 <sup>3</sup> )	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g·rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)
			Male 男	Female 女			Male 男	Female 女	
1946									
1947									
1948	12694	296	25.8	222	9.61	1.40	0.290	1.81	0.0454
1949	15679	365	31.9	275	11.9	1.63	0.339	2.11	0.0530
1950	23109	538	47.0	405	17.5	2.10	0.436	2.72	0.0681
1951	41551	968	84.5	729	31.5	3.73	0.774	4.83	0.121
1952	69454	1620	141.0	1220	52.6	6.06	1.26	7.85	0.197
1953	65759	1530	134.0	1150	49.8	5.59	1.16	7.25	0.182
1954	75490	1760	153.0	1320	57.1	6.29	1.31	8.15	0.204
1955	78691	1830	160.0	1380	59.6	6.06	1.26	7.85	0.197
1956	86941	2030	177.0	1520	65.8	6.52	1.36	8.46	0.212
1957	93859	2190	191.0	1640	71.1	6.99	1.45	9.06	0.227
1958	104130	2430	212.0	1820	78.8	7.46	1.55	9.66	0.242
1959	114224	2660	232.0	2000	86.5	8.16	1.69	10.6	0.265
1960	126066	2940	256.0	2210	95.4	8.62	1.79	11.2	0.280
1961	116195	2710	236.0	2040	88.0	7.69	1.60	9.97	0.250
1962	136533	3180	278.0	2390	103.0	8.39	1.74	10.9	0.273
1963	156839	3650	319.0	2750	118.0	9.32	1.94	12.1	0.303

TABLE 29 PRODUCTS OF EXAMINATIONS AND DOSES; AND DOSE PER CAPITA FROM FLUOROSCOPY, NAGASAKI

表29 検査数と線量の積および透視検査による1人当たりの線量, 長崎

Year 年度	Examinations 検査数	I Dose × Examinations 線量 × 検査数				II Dose per Capita 1人当たりの線量				
		Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad × 10 <sup>3</sup> )	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad × 10 <sup>3</sup> )		Skin Dose 皮膚線量 (rad × 10 <sup>3</sup> )	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)		Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)
			Male 男	Female 女		Male 男	Female 女			
1946										
1947										
1948	86	31.6	1.51	33.6	1.38	0	0	0	0	
1949	1717	630	30.2	671.0	27.5	3.67	0.40	6.98	0.16	
1950	833	306	14.7	326.0	13.3	0	0	0	0	
1951	5411	1990	95.2	2120.0	86.6	7.34	0.80	14.0	0.32	
1952	7068	2590	124.0	2760.0	113.0	11.0	1.20	20.9	0.48	
1953	7358	2700	130.0	2880.0	118.0	11.0	1.20	20.9	0.48	
1954	5159	1890	90.8	2020.0	82.5	11.0	1.20	20.9	0.48	
1955	6008	2200	106.0	2350.0	96.1	7.34	0.80	14.0	0.32	
1956	7430	2730	131.0	2900.0	119.0	7.34	0.80	14.0	0.32	
1957	7254	2660	128.0	2840.0	116.0	7.34	0.80	14.0	0.32	
1958	9172	3370	161.0	3590.0	147.0	11.0	1.20	20.9	0.48	
1959	9976	3660	176.0	3900.0	160.0	14.7	1.60	27.9	0.64	
1960	11576	4250	204.0	4520.0	185.0	11.0	0.80	14.0	0.32	
1961	13873	5090	244.0	5420.0	222.0	14.7	1.60	27.9	0.64	
1962	16153	5930	284.0	6310.0	258.0	14.7	1.60	27.9	0.64	
1963	19433	7130	342.0	7600.0	311.0	18.4	2.00	34.9	0.80	

TABLE 30 PRODUCTS OF EXAMINATIONS AND DOSES; AND DOSE PER CAPITA FROM PHOTOFLUOROGRAPHY, NAGASAKI

表30 検査数と線量の積および間接撮影検査による1人当たりの線量, 長崎

Year 年度	Examinations 検査数	I Dose × Examinations 線量 × 検査数				II Dose per Capita 1人当たりの線量			
		Bone Marrow Integral Dose 骨髄積算線量 (g-rad × 10 <sup>3</sup> )	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad × 10 <sup>3</sup> )		Skin Dose 皮膚線量 (rad × 10 <sup>3</sup> )	Bone Marrow Integral Dose 骨髄積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)
			Male 男	Female 女			Male 男	Female 女	
1946									
1947									
1948									
1949	24998	1020	3.55	21.8	16.1	4.48	0.0311	0.192	0.071
1950	45009	1830	6.39	39.2	29.0	7.33	0.0509	0.314	0.116
1951	76932	3130	10.9	67.1	49.6	12.2	0.0849	0.523	0.194
1952	76964	3130	10.9	67.1	49.6	11.8	0.0821	0.506	0.187
1953	71749	2920	10.2	62.6	46.3	10.6	0.0736	0.453	0.168
1954	79727	3240	11.3	69.5	51.4	11.8	0.0821	0.506	0.187
1955	84739	3450	12.0	73.9	54.7	11.4	0.0792	0.488	0.181
1956	88566	3600	12.6	77.2	57.2	11.8	0.0821	0.506	0.187
1957	117060	4760	16.6	102.0	75.5	15.1	0.105	0.648	0.239
1958	129027	5250	18.3	113.0	83.2	16.3	0.113	0.698	0.258
1959	142557	5800	20.2	124.0	91.9	17.9	0.125	0.767	0.284
1960	146979	5980	20.9	128.0	94.8	17.5	0.122	0.750	0.278
1961	162267	6600	23.0	141.0	105.0	18.7	0.130	0.802	0.297
1962	183956	7490	26.1	160.0	119.0	19.9	0.139	0.855	0.316
1963	197787	8050	28.1	172.0	128.0	20.4	0.142	0.872	0.323

TABLE 31 POPULATION OF HIROSHIMA AND NAGASAKI BY YEAR<sup>29</sup>表31 広島および長崎両市の年度別人口<sup>29</sup>

Year 年度	Hiroshima 広島	Nagasaki 長崎	Year 年度	Hiroshima 広島	Nagasaki 長崎
1944	336,483	240,000	1955*	357,287	303,724
1945	136,578	153,212	1956	375,926	307,835
1946	171,204	186,119	1957	389,473	315,496
1947*	222,434	195,174	1958	407,460	322,912
1948	246,134	213,698	1959	442,223	327,070
1949	270,863	229,823	1960*	431,336	344,079
1950*	285,712	247,248	1961	448,956	350,230
1951	297,758	258,392	1962	473,876	376,048
1952	310,172	266,374	1963	491,105	395,652
1953	325,732	274,809	1964	504,326	399,258
1954	337,837	277,900			

\* National Census 国勢調査

Source 資料源: Hiroshima City Office (Summary of Health &amp; Sanitation, 1964)

広島市役所(保健衛生要覧, 昭和39年)

Nagasaki City Health Center Annual Reports

長崎市保健所年報

TABLE 32 CONTRIBUTING RATIO OF TYPES OF EXAMINATIONS TO TOTAL MEDICAL DOSE  
BY YEAR, HIROSHIMA

表32 各種検査の総医療用線量に寄与する比率：年度別，広島

Year 年度	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量			Gonadal Dose 生殖腺線量						Skin Dose 皮膚線量		
				Male 男			Female 女					
	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接
1946	0.50	0.00	0.50	0.96	0.00	0.04	0.97	0.00	0.03	0.68	-	0.32
1947	0.18	0.66	0.15	0.33	0.66	0.01	0.16	0.83	0.00	0.16	0.78	0.06
1948	0.22	0.68	0.10	0.36	0.63	0.01	0.18	0.81	0.00	0.18	0.78	0.04
1949	0.24	0.41	0.34	0.50	0.47	0.03	0.29	0.70	0.01	0.25	0.58	0.17
1950	0.15	0.68	0.17	0.29	0.70	0.01	0.14	1.86	0.00	0.13	0.79	0.07
1951	0.08	0.77	0.15	0.16	0.83	0.01	0.07	0.93	0.00	0.07	0.87	0.06
1952	0.10	0.73	0.17	0.20	0.78	0.01	0.09	0.90	0.00	0.09	0.84	0.07
1953	0.10	0.69	0.21	0.21	0.77	0.02	0.09	0.90	0.01	0.09	0.82	0.09
1954	0.11	0.60	0.29	0.25	0.72	0.03	0.12	0.88	0.01	0.11	0.76	0.14
1955	0.11	0.59	0.30	0.25	0.72	0.03	0.12	0.87	0.01	0.11	0.75	0.14
1956	0.11	0.58	0.32	0.24	0.73	0.03	0.11	0.88	0.01	0.10	0.75	0.15
1957	0.11	0.59	0.30	0.24	0.73	0.03	0.11	0.88	0.01	0.10	0.76	0.14
1958	0.13	0.56	0.32	0.28	0.69	0.03	0.14	0.85	0.01	0.12	0.73	0.15
1959	0.13	0.55	0.33	0.29	0.68	0.03	0.14	0.85	0.01	0.13	0.72	0.16
1960	0.13	0.53	0.34	0.30	0.67	0.03	0.15	0.84	0.01	0.13	0.71	0.17
1961	0.13	0.53	0.34	0.30	0.67	0.03	0.15	0.84	0.01	0.13	0.70	0.17
1962	0.15	0.51	0.34	0.34	0.63	0.03	0.17	0.82	0.01	0.15	0.68	0.17
1963	0.15	0.52	0.33	0.34	0.63	0.03	0.17	0.82	0.01	0.15	0.69	0.16

TABLE 33 CONTRIBUTING RATIO OF TYPES OF EXAMINATIONS TO TOTAL MEDICAL DOSE  
BY YEAR, NAGASAKI

表33 各種検査の総医療用線量に寄与する比率：年度別，長崎

Year 年度	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量			Gonadal Dose 生殖腺線量						Skin Dose 皮膚線量		
				Male 男			Female 女					
	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接
1946												
1947												
1948	0.90	0.10	0.00	0.94	0.06	0.00	0.87	0.13	0.00	0.87	0.13	0.00
1949	0.18	0.31	0.51	0.49	0.46	0.05	0.28	0.69	0.02	0.21	0.50	0.29
1950	0.20	0.11	0.68	0.69	0.22	0.09	0.53	0.42	0.05	0.29	0.22	0.48
1951	0.16	0.33	0.51	0.44	0.50	0.06	0.25	0.73	0.02	0.19	0.52	0.30
1952	0.22	0.35	0.43	0.51	0.45	0.04	0.30	0.68	0.02	0.24	0.53	0.23
1953	0.21	0.38	0.41	0.49	0.47	0.04	0.28	0.70	0.01	0.23	0.55	0.22
1954	0.26	0.27	0.47	0.60	0.36	0.04	0.39	0.59	0.02	0.30	0.43	0.27
1955	0.24	0.29	0.46	0.58	0.38	0.04	0.36	0.62	0.02	0.28	0.46	0.26
1956	0.24	0.33	0.43	0.55	0.41	0.04	0.34	0.65	0.02	0.27	0.49	0.24
1957	0.23	0.28	0.50	0.57	0.38	0.05	0.36	0.62	0.02	0.27	0.44	0.29
1958	0.22	0.30	0.48	0.54	0.41	0.05	0.33	0.65	0.02	0.26	0.48	0.27
1959	0.22	0.30	0.48	0.54	0.41	0.05	0.33	0.65	0.02	0.26	0.47	0.27
1960	0.22	0.32	0.45	0.53	0.42	0.04	0.32	0.66	0.02	0.25	0.49	0.25
1961	0.19	0.35	0.46	0.47	0.49	0.05	0.27	0.71	0.02	0.21	0.53	0.25
1962	0.19	0.36	0.46	0.47	0.48	0.04	0.27	0.71	0.02	0.21	0.54	0.25
1963	0.19	0.38	0.43	0.46	0.50	0.04	0.26	0.72	0.02	0.21	0.56	0.23



TABLE 34 CONTRIBUTING RATIO OF TYPES OF EXAMINATIONS TO TOTAL MEDICAL DOSE BY YEAR,  
HIROSHIMA AND NAGASAKI

表34 各種検査の総医療用線量に寄与する比率：年度別，広島および長崎合計

Year 年度	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量			Gonadal Dose 生殖腺線量						Skin Dose 皮膚線量		
	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接	Male 男			Female 女			Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接
				Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接	Rad 直接	Flx 透視	Photo 間接			
1946	0.50	0.00	0.50	0.96	0.00	0.04	0.97	0.00	0.03	0.68	0.00	0.32
1947	0.19	0.65	0.16	0.33	0.66	0.01	0.16	0.83	0.00	0.16	0.78	0.06
1948	0.29	0.63	0.09	0.45	0.54	0.01	0.24	0.75	0.00	0.24	0.72	0.04
1949	0.23	0.39	0.38	0.50	0.47	0.03	0.29	0.70	0.01	0.24	0.56	0.20
1950	0.16	0.59	0.25	0.32	0.66	0.02	0.16	0.83	0.01	0.15	0.74	0.11
1951	0.10	0.69	0.21	0.20	0.79	0.02	0.09	0.91	0.01	0.09	0.82	0.09
1952	0.13	0.64	0.23	0.26	0.72	0.02	0.12	0.87	0.01	0.12	0.78	0.10
1953	0.13	0.63	0.25	0.26	0.72	0.02	0.12	0.87	0.01	0.11	0.77	0.11
1954	0.14	0.53	0.33	0.32	0.65	0.03	0.16	0.83	0.01	0.14	0.70	0.16
1955	0.14	0.53	0.33	0.31	0.66	0.03	0.15	0.84	0.01	0.14	0.70	0.16
1956	0.13	0.52	0.34	0.31	0.66	0.03	0.15	0.84	0.01	0.13	0.70	0.17
1957	0.13	0.53	0.34	0.31	0.66	0.03	0.15	0.84	0.01	0.13	0.70	0.16
1958	0.15	0.50	0.36	0.34	0.63	0.03	0.17	0.82	0.01	0.15	0.67	0.18
1959	0.15	0.49	0.36	0.35	0.62	0.03	0.18	0.81	0.01	0.15	0.66	0.18
1960	0.15	0.48	0.37	0.36	0.61	0.03	0.18	0.81	0.01	0.16	0.66	0.19
1961	0.15	0.48	0.37	0.34	0.62	0.03	0.17	0.81	0.01	0.15	0.66	0.19
1962	0.16	0.47	0.37	0.37	0.60	0.03	0.19	0.80	0.01	0.17	0.65	0.19
1963	0.16	0.48	0.36	0.37	0.60	0.03	0.19	0.80	0.01	0.17	0.66	0.18

TABLE 35 DOSE PER CAPITA, RADIOGRAPHY

表35 1人当たりの線量，直接撮影検査

City 市	Year 年度	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)
			Male 男	Female 女	
Hiroshima 広島	1946-1963	163	33.9	211	5.16
	1954-1963	115	23.9	149	3.73
Nagasaki 長崎	1946-1963	96	19.9	125	3.12
	1954-1963	75.5	15.7	98	2.45

TABLE 36 DOSE PER CAPITA, FLUOROSCOPY

表36 1人当たりの線量，透視検査

City 市	Year 年度	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)
			Male 男	Female 女	
Hiroshima 広島	1946-1963	749	81.6	1425	32.6
	1954-1963	503	54.8	957	21.9
Nagasaki 長崎	1946-1963	151	16.0	279	6.4
	1954-1963	118	12.4	216	4.96

TABLE 37 DOSE PER CAPITA, PHOTOFLUOROGRAPHY

表 37 1人当たりの線量, 間接撮影検査

City 市	Year 年度	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)
			Male 男	Female 女	
Hiroshima 広島	1946-1963	358	2.48	15.3	5.66
	1954-1963	290	2.02	12.5	4.60
Nagasaki 長崎	1946-1963	207	1.44	8.88	3.29
	1954-1963	161	1.12	6.89	2.55

TABLE 38 CUMULATIVE DOSE PER CAPITA RADIOGRAPHY+FLUOROSCOPY+PHOTOFLUOROGRAPHY

表38 1人当たりの蓄積線量, 直接撮影+透視+間接撮影

City 市	Year 年度	Bone Marrow Integral Dose 骨髓積算線量 (g-rad)	Gonadal Dose 生殖腺線量 (mrad)		Skin Dose 皮膚線量 (rad)
			Male 男	Female 女	
Hiroshima 広島	1946-63	1269	118	1652	43.5
	1954-63	908	80.7	1118	30.3
Nagasaki 長崎	1946-63	454	37.4	413	12.8
	1954-63	405	29.2	321	9.96

TABLE 39 COMPARISON OF A-BOMB, ABCC EXAMINATION AND THERAPY DOSES, AND REPORTED FLUOROSCOPY, SELECTED CASES

表39 原爆, ABCC X線検査および放射線治療による線量ならびに報告された透視検査の比較, 特定抽出対象例

Cancer 癌	A-Bomb 原爆 (rad)	ABCC Skin 皮膚 (rad)	Radiation Therapy X線治療 (R)	Fluoroscopy Examinations Reported 報告された 透視検査
A-Bomb Dose > ABCC Dose 原爆線量 > ABCC 線量				
1 Lung 肺	340	0.8	4140	1
2 Breast 乳房	Unknown 不明	1	4000	>30
3 Breast 乳房	364	3	13800	1
4 Breast 乳房	588	1	10800	3
5 Thyroid 甲状腺	153	0.4	6500	2
A-Bomb Dose = ABCC Dose 原爆線量 = ABCC 線量				
6 Breast 乳房				
Lung 肺	31	18	16600	
7 Breast 乳房		0.3	12920	1
8 Gastric 胃	36	20		1 (1)
9 Gastric 胃	64	66		
A-Bomb Dose < ABCC Dose 原爆線量 < ABCC 線量				
10 Lung 肺	2	21	3850	
11 Gastric 胃		10	4000	
12 Gastric 胃		22	2379	8
13 Gastric 胃	7	115		
14 Gastric 胃		8		20

( ) = Confirmed 確認済み

TABLE 40 A-BOMB, ABCC EXAMINATION DOSES, AND REPORTED THERAPY AND FLUOROSCOPY  
PER SUBJECT BY COMPUTER (GASTRIC CANCER)

表40 電子計算機にコードされている1人当たりの原爆放射線量, ABCC X線検査による線量,  
および報告された治療と透視検査数(胃癌)

MF No. 基本名簿番号	ABCC Dose				Fluoroscopy 透視	Radiation Therapy 放射線治療
	T 65 D (rad)	Gonad 生殖腺 (mrad)	Bone 骨 (g-rad)	Skin 皮膚 (rad)		
Hiroshima 広島						
	-	346.82	1282.80	36.799		2
	-	73.85	408.08	10.244		1 (1)
	0	157.50	676.00	16.793	2	
	0	77.63	342.54	8.713	20	
	52	2195.98	1322.59	33.141	1	
	36	1380.01	833.60	20.444	1 (1)	
	0	2177.62	1000.83	22.188	8	2 (2)
	-	748.98	739.46	13.549	3 (1)	
	5	542.61	372.10	3.071	3	2
	-	5363.84	1827.12	46.144	2	
Nagasaki 長崎						
	0	0.16	16.06	.138	1 (1)	
	182	611.78	388.74	9.647	1 (1)	

( ) = Confirmed 確認済み

FIGURE 21 BONE MARROW INTEGRAL DOSE PER CAPITA BY YEAR, HIROSHIMA

図21 1人当たりの年度別骨髓積算線量, 広島

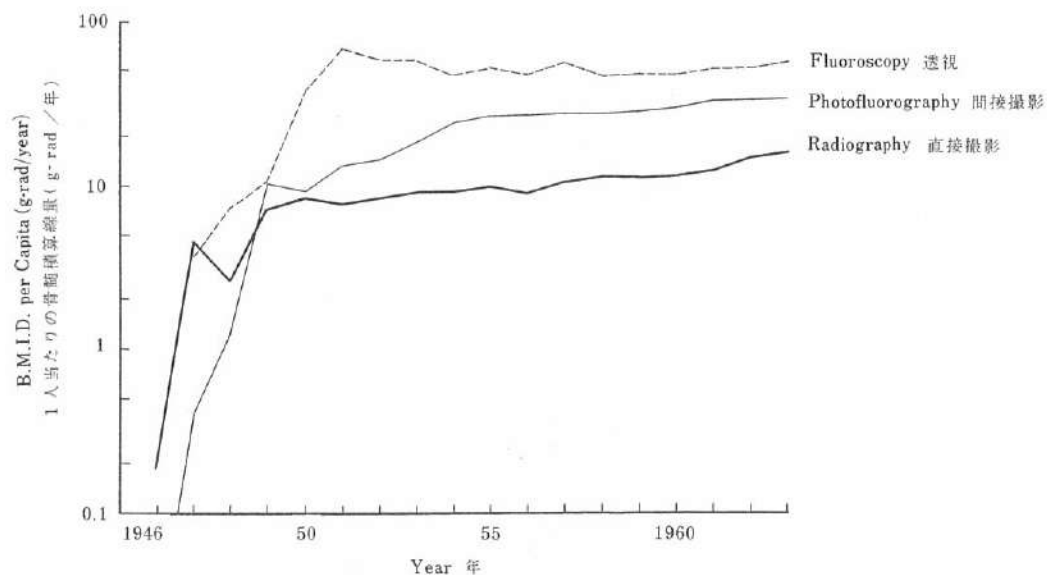


FIGURE 22 BONE MARROW INTEGRAL DOSE PER CAPITA BY YEAR, NAGASAKI

図22 1人当たりの年度別骨髓積算線量, 長崎

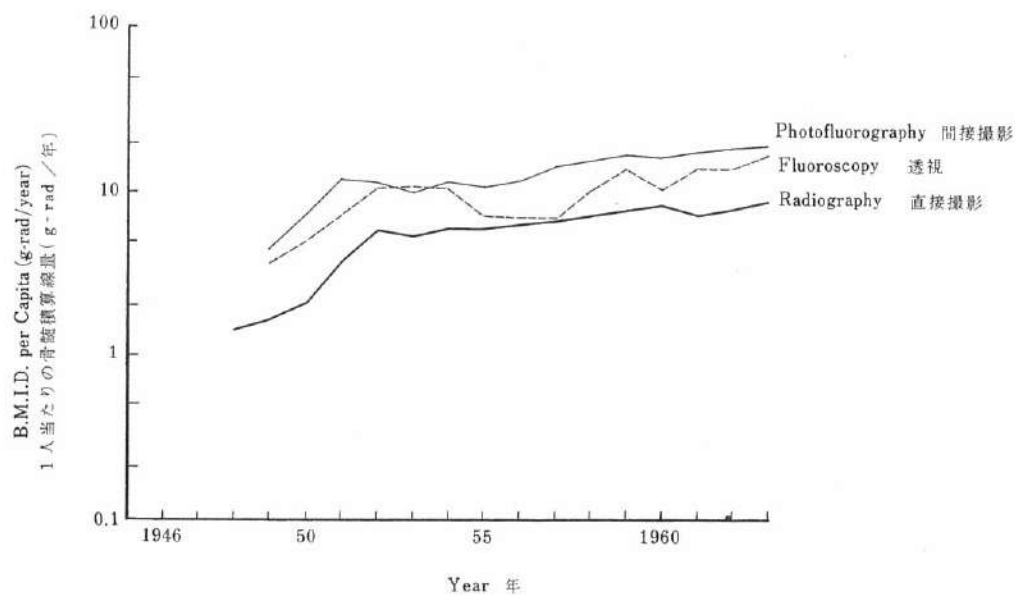


FIGURE 23 GONADAL DOSE PER CAPITA BY YEAR (MALE), HIROSHIMA

図23 1人当たりの年度別生殖腺線量(男), 広島

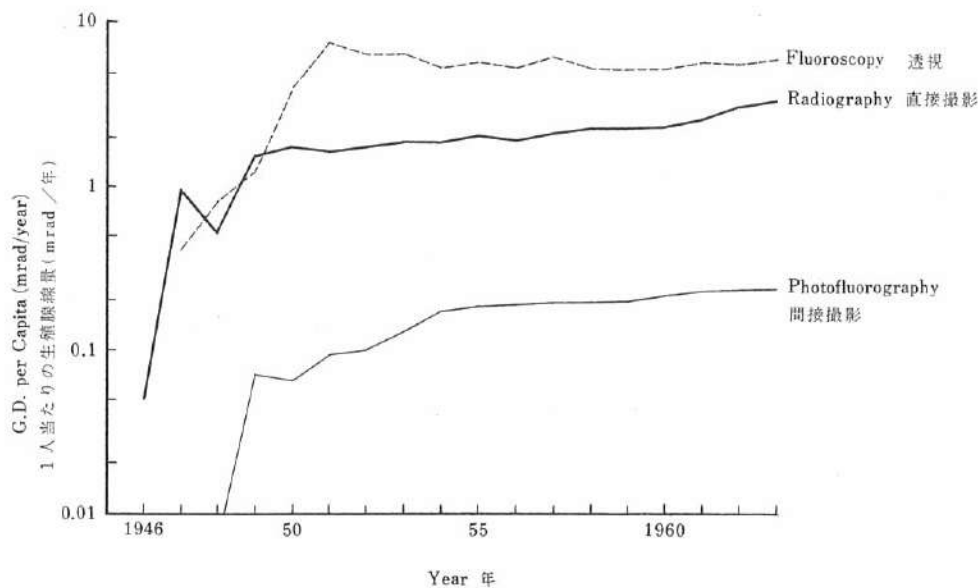


FIGURE 24 GONADAL DOSE PER CAPITA BY YEAR (FEMALE), HIROSHIMA

図24 1人当たりの年度別生殖腺線量(女), 広島

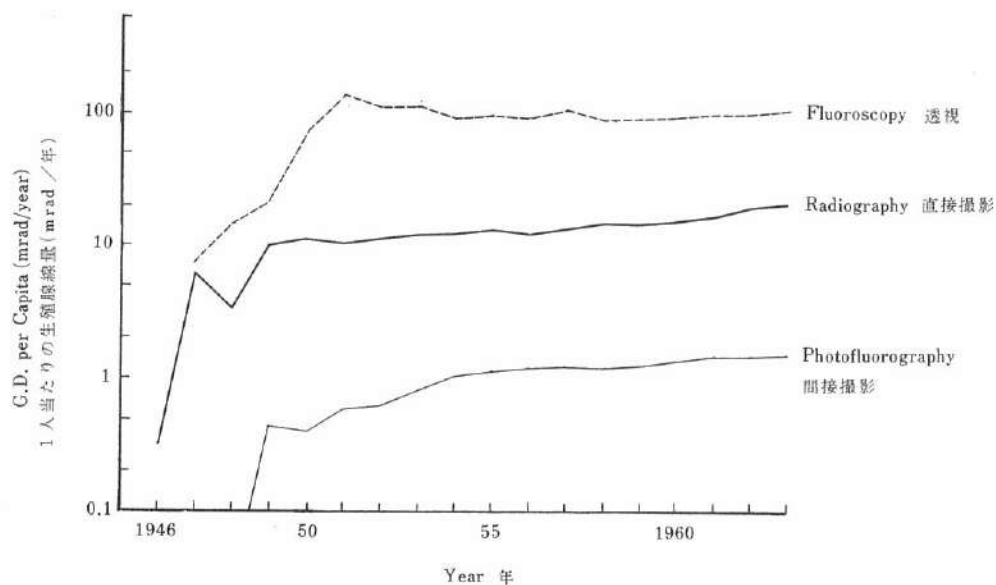


FIGURE 25 GONADAL DOSE PER CAPITA BY YEAR (MALE), NAGASAKI

図25 1人当たりの年度別生殖腺線量(男), 長崎

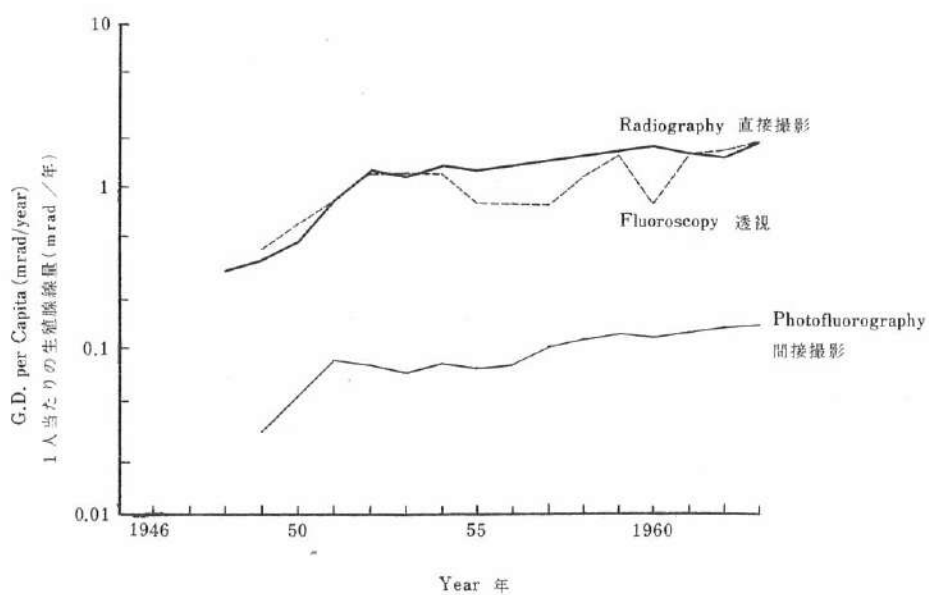


FIGURE 26 GONADAL DOSE PER CAPITA BY YEAR (FEMALE), NAGASAKI

図26 1人当たりの年度別生殖腺線量(女), 長崎

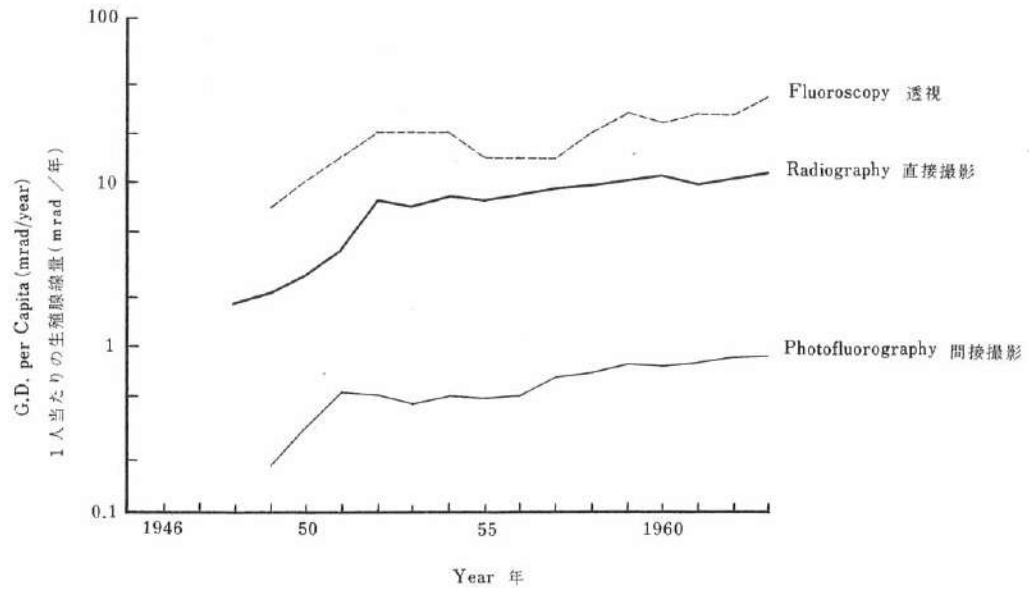


FIGURE 27 SKIN DOSE PER CAPITA BY YEAR, HIROSHIMA

図27 1人当たりの年度別皮膚線量, 広島

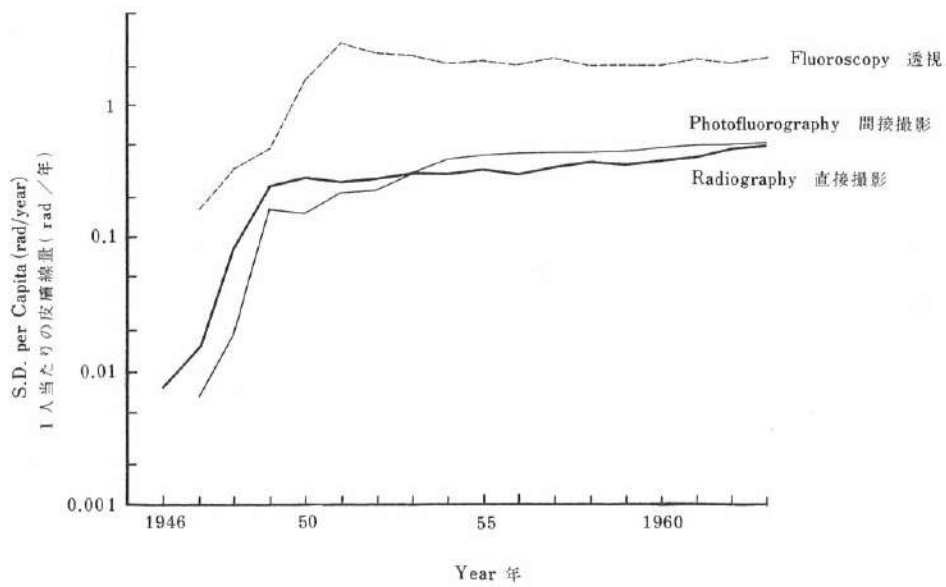




FIGURE 28 SKIN DOSE PER CAPITA BY YEAR, NAGASAKI

図28 1人当たりの年度別皮膚線量, 長崎

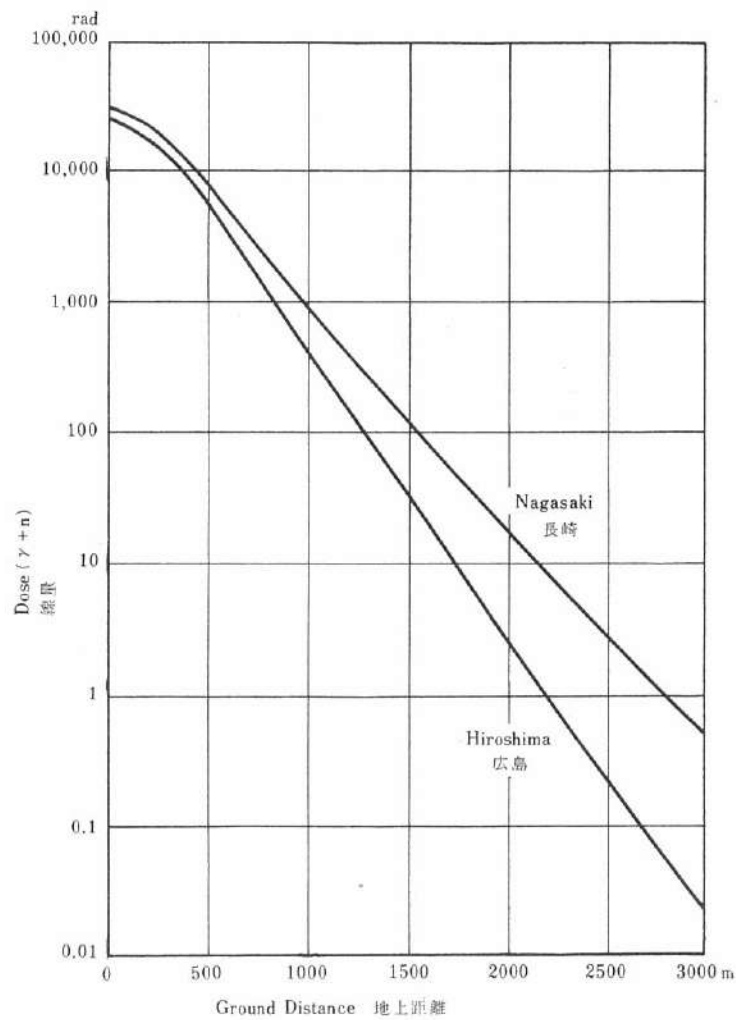
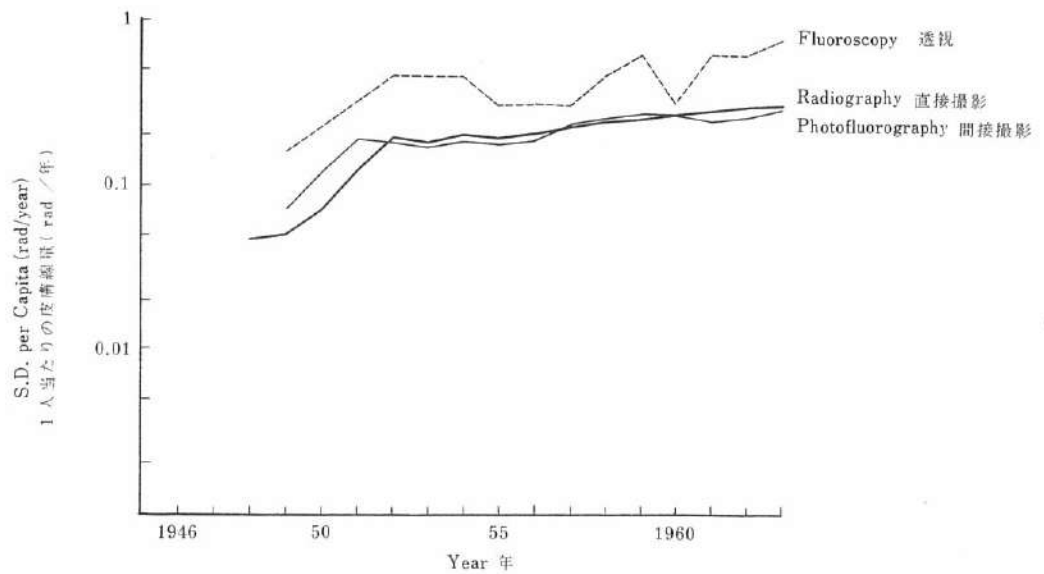


FIGURE 29 A-BOMB AIR DOSE (T65D),<sup>34</sup>  
HIROSHIMA AND NAGASAKI

図29 原爆による空気線量 (T65D),<sup>34</sup>  
広島および長崎

## DISCUSSION

Community use of medical X-ray increased abruptly, then steadily, since immediately after World War II. Marked differences in frequencies of radiologic examinations were found between the two cities. Examinations of Adult Health Study subjects in other hospitals and clinics were more than twice as frequent in Hiroshima as in Nagasaki. The technical factors used differed markedly by city. Use of fluoroscopy increased more in Hiroshima than in Nagasaki. In a majority of institutions, in both cities, insufficient added filtration was being used, and films per examination increased throughout the period of observation. Collimation was efficient for photofluorography, but gonads were often unnecessarily exposed during radiography in both cities. X-ray tubes apparently had been positioned without intent of taking advantage of the anode effect, either with respect to minimizing gonadal dose or gaining penetration of denser body parts. A small increase in number of mass gastric survey examinations was reported in Hiroshima. Occupational exposure was very infrequent. Radiation therapy—though an infrequent source of exposure—was reportedly more often administered for benign rather than malignant conditions, in Hiroshima. In Nagasaki, it was rarely reported as a source of exposure.

Doses from X-ray examinations in Hiroshima and Nagasaki hospitals varied with those previously reported, but were generally of the same order as other reported data. Doses for the Hiroshima and Nagasaki general populations are useful reference data in evaluation of Life Span Study participants for late-radiation effects and for whom no individual doses can be calculated. They are also of value in assessing the cumulative exposure of individual Adult Health Study participants who are repeatedly examined in other hospitals and clinics as well.

From the data available, the exact reason for the differences in dose to the populations of the two cities is not clear, but socioeconomic reasons may be largely responsible. Until this comprehensive study was performed, the order of medical X-ray dose among survivors was unknown. Using population data and estimates of numbers of roentgenologic examinations, cumulative per capita doses from these procedures were calculated. A gross comparison of their mean bone marrow doses with A-bomb dose estimates<sup>34</sup> showed they approximated at 2200m and 3200m from the hypocenters in Hiroshima and Nagasaki respectively. A-bomb doses at these distances were of a very low order.<sup>34</sup> This comparison excluded consideration of factors such as the energies of exposure sources. The eventual effects of the instantaneous A-bomb exposures as

## 考 察

第二次世界大戦直後から、社会全般に医療用X線の使用が急激な増加を示し、爾来着実にのびてきた。広島・長崎両市の間にはX線検査の頻度に著しい差があった。成人健康調査対象者が他の病・医院で検診を受けた回数は、広島の方が長崎のそれの2倍であった。両市で用いられた撮影条件も著しく相違していた。透視検査の増加は、長崎より広島で著明であった。両市における過半数の施設では濾過板の厚さが不十分であり、また調査した期間中、1検査当たりの使用フィルム枚数が増加していた。間接撮影における照射野の絞りには特に問題はみられなかったが、直接撮影では両市において不必要な生殖腺の被曝がしばしば認められた。生殖腺線量を最少限にとどめるためまた密度の高い体の部分の透過量を増加させるため、陽極効果を有効に利用するようX線管球を設置すべきであるが、これに対する考慮は特になされていなかった。広島では胃の集団検診の回数にわずかな増加が報告された。職業上の照射は非常に少なかった。放射線治療は被曝源としてはまれであったが、広島では悪性疾患よりも良性疾患の治療に使用されることのほうが多かったと報告されていた。長崎ではこれが被曝源として使用されたという報告はほとんどなかった。

広島と長崎の病院で実施されたX線検査から受ける線量は、以前の報告に比べて異なっていたが、これまでに報告されている他の資料とはほぼ同じ程度であった。広島と長崎の一般市民の線量は、個々の被曝線量の計算ができない寿命調査対象者における放射線後障害の評価には有用なデータである。そのほかに、成人健康調査対象者で、他の病・医院でたびたび検診を受ける人の蓄積線量を評価するにも役立つ。

現在入手されている資料からは両市間における線量の差の理由は明白ではないが、社会経済上の理由が大きな原因であるかもしれない。この総合的な調査が実施されるまでは、原爆被曝者における医療用X線の線量は不明であった。人口に関する資料とX線検査を受けた推定回数を用いて、これらの検査によるひとり当たりの蓄積線量を計算した。平均骨髓線量と原爆の推定放射線量<sup>34</sup>との概略的な比較によって、平均骨髓線量が広島と長崎の爆心地からそれぞれ2200mと3200mにおける線量に近以していることがわかった。この距離での被曝線量はきわめて少ないものであった。<sup>34</sup> この比較からは照射源のエネルギーの違いというような要因は除外された。多年の間に頻回にわたる低線量の医療用放射線照射と瞬間的な原爆放射線被曝との間に、最終的にはどのような影響上の

opposed to any from multiple low dose exposures of medical procedures over many years remain to be seen. However, the Adult Health Study offers a unique opportunity to observe any possible differences which may become manifest later.

One of the most important considerations in the studies of late radiation effects from the A-bombs was whether survivors were receiving radiologic exposures more frequently than other members of the Hiroshima and Nagasaki populations, thereby introducing an important concomitantly acting contaminant during evaluations of late radiation effects. There was a significantly greater number of diagnostic exposures among the survivors, but the difference was small, and there was no correlation between frequency of examinations and distance from hypocenters or reported radiation symptoms. Medical X-ray exposure therefore need not be regarded as a cause of bias in comparing exposure groups of the Adult Health Study for possible late radiation effects. The cumulative effect of medical X-ray on individuals in all exposure groups of the Adult Health Study is still an important consideration in evaluating them for possible effects of ionizing radiation.

A minority of Adult Health Study A-bomb survivors, for various clinical reasons, receive relatively large numbers of X-ray examinations. Doses from these procedures not infrequently exceed in magnitude those they received from the A-bombs. For those who eventually develop disease or abnormalities attributable to A-bomb exposure, a comparison of such sources of exposure and their respective doses will be essential in the evaluation of their disease. Average doses from all ABCC roentgenological procedures<sup>27</sup> are being used to estimate cumulative dose for each Adult Health Study subject's ABCC exposures. The frequency of their medical X-ray exposures elsewhere are being carefully documented for future reference.

Leukemia is a well known late radiation effect of the A-bombs. Many Adult Health Study subjects are approaching ages when malignancies and other diseases can be expected to occur in larger numbers. It is important that they be carefully observed for subtle differences in rates or manifestations of disease. Procedures initiated in these studies permit comparison of medical X-ray's frequency and dose with A-bomb doses of individual Adult Health Study subjects to assist in the evaluation of abnormalities and diseases attributable to A-bomb exposure.

差異があるかはまだ不明である。しかしながら、成人健康調査は、将来発生するかもしれないような相違を探知するにまたとない機会を提供する。

原爆の後障害に関する調査の中で最も重要な事項の一つは、被爆者が広島と長崎の一般市民に比べて放射線照射を受ける回数が多いかどうかということであり、それによって後障害の評価にあたり重要で付加的に作用する他の放射線被曝による汚染因子が存在するかどうかを調べることであった。被爆者では、診断用X線検査回数は有意に多かったが、その差は小さく、検査の頻度と爆心地からの距離や報告された放射線症状との間に相関はなかった。したがって、成人健康調査対象者群間における放射線の後障害の比較において、医療用X線被曝を偏りの原因の一つと考える必要はないであろう。成人健康調査の全被爆群中の対象者における医療用X線の蓄積効果は、電離放射線の影響の有無を調べるのに依然考慮すべき重要な問題である。

成人健康調査対象者中、少数の被爆者においてはいろいろの臨床上の理由から、比較的多くのX線検査を受けている。これらの検査によって受ける線量が原爆で受けた線量より多い場合も少なくない。原爆被爆に起因する疾病または異常が発生した際には、その照射源と線量の比較は、その疾病の評価に重要である。ABCCでのすべてのX線検査<sup>27</sup>による平均線量を用いて、ABCCでの検査に基づく成人健康調査対象者個人の蓄積線量を推定している。他の施設で受けている医療用X線照射は、将来参考にできるよう注意深く記録されている。

白血病が原爆放射線の後障害の一つであることは、広く知られている。多くの成人健康調査対象者は、悪性疾患やその他の疾病の発生が予想される年齢に達してきている。疾病の発生率や発現過程における微妙な違いを探知するため、注意深く観察を行わなければならない。この調査で紹介された方法により成人健康調査対象者個人の医療用X線検査の頻度と線量とを原爆放射線の線量と比較することが可能となり、原爆放射線被曝に起因する異常と疾病の評価に役立つものである。

## REFERENCES

### 参考文献

1. Research Plan for Joint ABCC-NIH Adult Health Study in Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 11-62
2. ISHIDA M, BEEBE GW: Joint JNIIH-ABCC study of life-span in atomic bomb survivors. Research plan. ABCC TR 4-59
3. 衆議院・参議院法制局(編): 現行法規総覧18(厚生4)医事・薬事, 東京, 第一法規出版, 1950年. p 1176  
(LEGISLATIVE BUREAU, HOUSE OF REPRESENTATIVE, HOUSE OF COUNCILORS ed): Current Laws and Regulations. Vol 18 (Welfare 4), Medical affairs and Pharmaceutical Affairs. Tokyo, Daiichi Hoki Shuppan, 1950. p 1176)
4. STUART S, OSBORN SB: A wide range direct reading X-ray dosimeter. *Phys Med Biol* 3:255-63, 1959
5. GARRETT R, LAUGHLIN JS: A diagnostic X-ray exposure dose chamber. *Health Phys* 2:189-94, 1959
6. OSBORN SB, BURROW RG: An ionization chamber for diagnostic X-radiation. *Phys Med Biol* 3:37-43, 1958
7. LAUGHLIN JS, MEURK ML, PULLMAN I, SHERMAN RS: Bone, skin, and gonadal doses in routine diagnostic procedures. *Am J Roentgenol* 78:961-82, 1957
8. IHNO Y, RUSSELL WJ: Dose to the gonads and bone marrow in radiographic examinations at ABCC. ABCC TR 24-63
9. EPP ER, WEISS H, LAUGHLIN JS: Measurement of bone marrow and gonadal dose from the chest X-ray examination as a function of field size, field alignment, tube kilovoltage and added filtration. *Br J Radiol* 34:85-100, 1961
10. EPP ER, HESLIN JM, WEISS H, LAUGHLIN JS, SHERMAN RS: Measurement of bone marrow and gonadal dose from X-ray examinations of the pelvis, hip and spine as a function of field size, tube kilovoltage and added filtration. *Br J Radiol* 36:247-65, 1963
11. ISHIMARU T, RUSSELL WJ: ABCC-JNIIH Adult Health Study, Hiroshima and Nagasaki, 1961. Exposure to medical X-ray. Preliminary survey. ABCC TR 7-62
12. RUSSELL WJ, ISHIMARU T, IHNO Y: ABCC-JNIIH Adult Health Study, Hiroshima and Nagasaki, July-November 1962. Exposure to medical X-ray. Survey of subjects. ABCC TR 9-63
13. SAWADA S, WAKABAYASHI T, TAKESHITA K, RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, IHNO Y: Survey of subjects, February 1964 - January 1965. Exposure to medical X-ray; Community hospitals and clinics, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 24-67
14. IHNO Y, RUSSELL WJ, ISHIMARU T: ABCC-JNIIH Adult Health Study, Hiroshima and Nagasaki, 1962-63. Exposure to medical X-ray; Community hospital and clinic survey. ABCC TR 11-63
15. SAWADA S, RUSSELL WJ, WAKABAYASHI T: Radiography and fluoroscopy techniques in community hospitals and clinics, 1964-1965. ABCC TR 2-68
16. SAWADA S, WAKABAYASHI T, RUSSELL WJ: Photofluorography techniques in hospitals and clinics of Hiroshima and Nagasaki, 1964-1965. ABCC TR 3-68
17. MATSUURA K, SAWADA S, RUSSELL WJ, YOSHINAGA H: Radiological practice and medical records in a large general hospital in Hiroshima. *Nippon Acta Radiol* 26:1225-36, 1966 (ABCC TR 8-65)
18. RUSSELL WJ, YOSHINAGA H, ANTOKU S, MIZUNO M: A method for determining active bone marrow distribution. *Dr J Radiol* 39:735-9, 1966 (ABCC TR 28-64)
19. ELLIS RE: The distribution of active bone marrow in the adult. *Phys Med Biol* 5:255-8, 1961
20. IHNO Y, RUSSELL WJ, ISHIMARU T: ABCC-JNIIH Adult Health Study Hiroshima. Exposure to medical X-ray; Chest X-ray examinations in community hospitals and at ABCC, bone marrow and gonadal dose estimates. ABCC TR 22-63
21. ANTOKU S, YOSHINAGA H, RUSSELL WJ, IHNO Y: Dosimetry, diagnostic medical X-ray; Exposure of ABCC subjects in community hospitals and clinics. ABCC TR 6-65
22. ANTOKU S, MILTON RC: Dose to bone marrow and gonads from chest examinations. Calculations by electronic computer. ABCC TR 4-67
23. ANTOKU S, YOSHINAGA H, RUSSELL WJ: Bone marrow and gonadal dose in roentgenography, excluding posteroanterior chest. ABCC TR 5-68

24. HELLER MB, PASTERNAK BS: The genetically significant dose from diagnostic radiology in New York City physicians' offices. A preliminary report. Proceedings of the 11th International Congress of Radiology, Rome, September 1965. Excerpta Medica International Congress Series No. 105, pp 1567-73
25. Radiological Hazards to Patients, second report of the committee, 1960 (London, H.M. Stationery Office)
26. ANTOKU S, RUSSELL WJ, TAKESHITA K, SAWADA S: Dose from chest photofluorography. ABCC TR 21-70
27. ANTOKU S, RUSSELL WJ: Dose from routine roentgenography and fluoroscopy. ABCC TR 20-70
28. ANTOKU S: Cumulative dose per Adult Health Study subject from ABCC examinations. Report in preparation
29. SAWADA S, WAKABAYASHI T, TAKESHITA K, YOSHINAGA H, RUSSELL WJ: Radiologic practice since the atomic bombs, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 25-67
30. YOSHINAGA H, TAKESHITA K, SAWADA S, RUSSELL WJ: Estimation of exposure pattern and bone marrow and gonadal doses during fluoroscopy. Br J Radiol 40:344-9, 1967 (ABCC TR 7-65)
31. TAKESHITA K, ANTOKU S, SAWADA S: Exposure pattern, surface, bone marrow integral and gonadal dose from fluoroscopy. ABCC TR 19-69
32. ANTOKU S, SAWADA S, MIZUNO M, SUGA Y: Radiation output and quality of diagnostic X-ray apparatus in community hospitals and clinics. ABCC TR 23-67
33. ANTOKU S, SAWADA S, MIZUNO M, SUGA Y: Quantitative estimate of anode effect in diagnostic X-rays. ABCC TR 26-67
34. MILTON RC, SHOHOJI T: Tentative 1965 radiation dose estimation for atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 1-68