

**DELAYED RADIATION EFFECTS
IN SURVIVORS OF THE ATOMIC BOMBINGS**

**A review of the findings of the
Atomic Bomb Casualty Commission, 1947-1959**

原子爆弾被爆生存者に見られる放射線照射の遅発性影響

1947年より1959年に至る
原子爆弾傷害調査委員会による調査結果の総括

J. W. HOLLINGSWORTH, M.D.



THE ABCC TECHNICAL REPORT SERIES

A B C C 業績報告集

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

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

**DELAYED RADIATION EFFECTS
IN SURVIVORS OF THE ATOMIC BOMBINGS**

**A review of the findings of the
Atomic Bomb Casualty Commission, 1947-1959**

原子爆弾被爆生存者に見られる放射線照射の遅発性影響

1947年より1959年に至る

原子爆弾傷害調査委員会による調査結果の総括

J. W. HOLLINGSWORTH, M.D.

From the Department of Medicine

臨床部



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
Hiroshima - Nagasaki, Japan

A Research Agency of the
U.S. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - NATIONAL RESEARCH COUNCIL
under a grant from

U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION
administered in cooperation with the

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

原爆傷害調査委員会

広島一長崎

厚生省国立予防衛生研究所

と共同運営される

米国学士院—学術会議の在日調査研究機関

(米国原子力委員会研究費に依る)

DETAILED RADIATION EFFECTS
IN SURVIVORS OF THE ATOMIC BOMBINGS

A review of the findings of the
Atomic Bomb Casualty Commission 1947-1950

原子爆弾被害者に対する放射線の影響の調査報告書

1947-1950年の調査結果

原子爆弾被害者に対する放射線の影響の調査報告書

WILLIAMS, M. B.

Department of Medicine

Washington, D. C.

An article based on this report has been accepted for
publication in "The New England Journal of Medicine".

この報告書の要約は、雑誌 "The New England Journal of Medicine"
に掲載される予定

Table of Contents

目 次

	<i>Page</i>
Introduction	1
緒 言	
The bombs and the surviving population	2
原子爆弾と被爆生存者	
Genetics	5
遺 伝	
Cataracts	7
白内障	
Leukemia	9
白血病	
Carcinoma	12
癌	
Growth and development of children	13
児童の成長と発育	
Microcephaly in children exposed in utero	13
胎内被爆児童における小頭症	
Aging acceleration	14
加齢の促進	
General medical effects in adults	15
成人における一般医学的見地から見た影響	
Miscellaneous effects	15
その他の影響	
Program for the future	16
将来の計画	
Summary	19
総 括	
References	20
参考文献	

Introduction

On the threshold of an era in which atomic energy holds so much potential for good and evil, the world has naturally focused its attention on the biologic effects of irradiation. This focus is primarily on the long-range changes that may occur in man, particularly as regards industrial and medical use of the atom and the danger from fallout. Information on delayed radiation changes in humans is necessarily quite limited, and the thousands of Japanese people who survived the atomic bombings of Hiroshima and Nagasaki constitute a unique group of irradiated humans who received, in a single exposure, dosages varying from negligible to near-lethal. The fate of these survivors of the atomic bombings of 1945 is important in assessing the peril of radiation in man.

In recognition of the importance of a careful scientific appraisal of the medical effects in these atomic bomb survivors - importance both to society and to the survivors themselves - the Atomic Bomb Casualty Commission (ABCC) was established under the National Academy of Sciences-National Research Council of the United States, and is operated in collaboration with the National Institute of Health of Japan. ABCC, charged with investigating the late effects of the bombings, entered the devastated cities in 1947 and began to build an intricate and extensive system for collecting a mass of medical and vital statistical data on the surviving population. Although many of the epidemiologic tools necessary to conduct such a study had been in use previously, their application to such a large population with such an unusual multi-faceted medical problem is unparalleled. Such an unprecedented undertaking has been beset by methodologic problems, but data accumulated over the past 12 years have been considerable, and despite defects have

緒言

善きにつけ悪しきにつけ、きわめて大きな潜在力を持つ原子力の新世代を迎えて、放射線の生物学的影響の問題は、全世界注目の的となってきた。その焦点は主として人間に現われると思われる長期にわたる変化、特に原子力の産業および医学面における利用に関する点、並びに放射性降下物の危険性におかれた。人間に現われる放射線の遅発性影響の推移については、その資料の入手は困難であるが、広島および長崎における数千の日本人原子爆弾被爆生存者は、その一時照射線量が無視して差支えない程度から、殆んど致死量にわたるまでの比類のない被照射群を構成している。従って、1945年に投下された原子爆弾の被爆生存者の将来は人間における放射線の危険度を調べるに当って重要である。

これら被爆生存者の医学的影響を精密に科学的評価をすることの重要性 - 社会的並びに被爆生存者自身から見たその重要性 - が認められて、米国学士院-学術会議の下部機構として原爆傷害調査委員会 (A B C C) が設立せられ、現在日本の厚生省国立予防衛生研究所との共同運営が行なわれている。原爆の遅発性影響調査の任務を課せられたA B C Cは、1947年に被災都市に入り、生存者に関する医学的並びに人口統計学的資料を集めるため、複雑で広汎な組織の確立に着手した。このような研究に必要な疫学的方法は既に種々用いられて来たが、これほど異例な多種多様な医学的問題を持つ膨大な集団に対して適用されるのは初めてのことである。この前例のない事業の遂行に当っては、幾多方法論上の難問にも遭遇したが、過去12ケ年にわたって集められた資料は相当量に上り、不備な点はあるけれども、人間における遅発性放射線性後遺症に関する具体的資料の重要な供給源を成すものである。

provided the major source of concrete data on late radiation sequelae in man.

With the mounting general interest in radiation biology, the programs of ABCC are being revised and extended. It seems appropriate, therefore, to summarize the findings of 1947-59 in hope of crystallizing the problems that remain for the future.

The bombs and the surviving population

On August 6, 1945, the atomic bomb was exploded over Hiroshima and three days later Nagasaki was bombed. In addition to the tremendous physical effects of the explosions, the release of energy produced quantities of gamma rays, neutron particles and other ionizing radiations. The amount of radiation released from the bombs is relatively well-known, and the air dose decreases nearly logarithmically from the hypocenter. The total air-dose curves for both bombs are reported to be similar, but the neutron air dose from the Nagasaki plutonium bomb was believed to be about one-sixth of that from the Hiroshima bomb at comparable distances. The proportion of the total dosage constituted by neutron and gamma radiations varies at different distances from the hypocenter.¹ There was probably no significant general "fallout" from either bomb, although limited areas in each city received detectable amounts. The relative insignificance of fallout is related to the fact that the bombs were small and were exploded so high above ground level that the "fireball" of radiant and heat energy did not reach the ground to pick up material to produce fallout. Similarly, there was little neutron-induced radioactivity reported in the structures near the hypocenter, although recalculation may yield a higher level of induced radiation present within the first few hours than had been previously thought by U. S. physicists.² The entire problem of dosimetry is under study and review by the Health Physics Division of the Oak Ridge National Laboratory, in collaboration with ABCC.

放射線生物学に対する一般の関心が高まるとともに、ABCCの研究計画にも修正と拡張が行なわれて来た。従ってここに将来に残された問題を取りまとめて提供する意味で、1947年以後1959年に至るまでの調査の結果をまとめると言うことは、有意義な事と考える。

原子爆弾と被爆生存者

1945年8月6日原子爆弾は広島上空において炸裂し、その3日後には長崎にも投下された。爆発の強烈な物理的効果のほかに、エネルギーの放出による多量のガンマー線、中性子、その他の電離放射線が産生された。爆弾から放出された放射線量については比較的よく知られておいて、空中線量は爆心から遠ざかるにつれて略対数的に減弱する。両市の投下爆弾による空中総線量曲線は同じであると言われるが、長崎のプルトニウム爆弾から発生した空中の中性子量は、同じ距離における広島のそれの約6分の1と考えられている。全線量中、中性子およびガンマー線の占める比率は爆心地からの距離によって異なる。この二つの爆弾による“放射性降下物”は、両市の一部地域に検出可能量の降下を見てはいるが、恐らく取るに足らないものであったと思われる。この放射性降下物が比較的少なかったことは、爆弾が小さく、しかも地上さわめて高く炸裂したために、放射性熱エネルギーの“火の玉”が降下物産生物質を拾い上げ得るまで地表に接近して来なかった事と関係がある。同様に爆心地付近の建造物からは、中性子による誘発放射能は余り検出されなかった。但し、再計算の結果では米国物理学者が考へたよりも多量の誘発放射能が、最初の数時間に認められることになるかも知れない。線量全般に関する問題についてはOak Ridge National Laboratory 保健物理学部が、ABCCと協力して研究並びに検討を行なっている。

To summarize our present knowledge, the calculated air-dose curves for both neutron and gamma rays are available, although their range of possible error is relatively large. Fallout was probably slight and can be neglected as a major source of contaminating radiation. It seems unlikely that induced radioactivity would add very much to the radiation received by the survivors, although that source of potential radioactivity cannot be completely dismissed. The attenuation of the air dose by buildings remains of major importance in determining the actual dose received by shielded individuals. Experiments have been undertaken by the Health Physics Division of the Oak Ridge National Laboratory, to reconstruct these shielding situations during nuclear weapons tests. Through interviews with survivors, specially trained technicians at ABCC determine the location of each closely exposed individual in terms of distance from the hypocenter and shielding situation at the time of the bombing. This information is then translated into an estimated dose for the individual survivor.

From the air-dose curves, it is evident that irradiation was intense (dosages perhaps of 400-800 rads) in the group exposed under 1000 meters from the hypocenter, and that little irradiation was received by those beyond 2000 meters (perhaps less than 20 rads).¹ Acute symptoms due to radiation toxicity at the time of the bombings occurred almost entirely in those exposed under 2000 meters.³ Not only radiation damage but all the other effects were more concentrated near the hypocenter, so that survivors under 1000 meters were quite few in number and in order to survive, most were heavily shielded. Table 1 shows the estimated civilian population size of Hiroshima and Nagasaki at the time of the bombings, and the overall mortality related to distance from the hypocenter. No accounting of military casualties has ever been possible. The surviving population represents a group of about 60,000 people living in the cities in 1950, who received definite irradiation (under 2000 meters from the hypocenter).

現在我々に分っていることを要約すれば次の通りである。中性子およびガンマー線の空中線量曲線は、ともに誤差範囲が比較的大きいが、推計されている。放射性降下物の量は僅少であると思われるので、汚染性放射線の主要発生源としては無視して差支えない。誘発放射能については、潜在放射能発生源の問題を無視することは出来ないが、それが被爆者の受けた線量を増加せしめるものとは思われない。建造物による空中線量の減弱は、遮蔽下にあつた人々が受けた実際の照射量を決定する上にきわめて重要な問題である。Oak Ridge National Laboratory保健物理学部では核兵器実験場でこの遮蔽状態再現の実験を行なつた。特殊訓練を受けたABC技術員は被爆生存者との面接により、近距離被爆者について爆心地からその被爆位置までの距離の算定および被爆時における遮蔽状態の推定を実施している。この資料に基づいて各被爆生存者が受けた線量の推定がなされる。

空中の線量曲線から推定すれば、爆心地から1000m以内の被爆者群は明らかに強烈な放射線の照射（照射線量は恐らく400乃至800rad）を受けているが、2000m以遠の被爆者群にあつては照射は殆んどないと思われる（恐らく20rad以下）：原子爆弾放射線の有毒性による急性症状は殆んど2000m以内の被爆者群に現われている。爆弾の放射線影響のみならず他の影響も、爆心地に近い地域程強烈であつたので、1000m以内の被爆生存者数はきわめて少なく、生残った者の多くは強力な遮蔽下にあつた者であつた。表1は原爆投下当時の広島および長崎の民間人の推定人口、並びに爆心地からの距離別に現わされた総死亡率を示す。軍関係の死傷者数は今日まで全く不明である。生存者とは（爆心地から2000m以内の地点にあつて）明らかに放射線の照射を受けたもので、1950年現在市内に居住していた約60,000名をさす。これら生存者のうち主要急性症状（脱毛、紫斑、乃至咽喉頭口腔部潰瘍）を呈した者約7000名が、1950年現

Of these survivors, approximately 7,000 who had experienced major acute radiation symptoms (epilation, purpura, or oropharyngeal ulcerations) were available in the cities in 1950. A population of this size, for which radiation doses may eventually be assigned with reasonable accuracy, is certainly unique for assaying the delayed effects of irradiation in man.

在広島・長崎に居住していた。追ってこれら生存者が受けた線量が、一応の精度をもって推定されると思われるが、これだけの規模の集団は人間における放射線照射の遅発性影響研究のためにかけがえのないものである。

TABLE 1 ESTIMATED CIVILIAN CASUALTIES WITHIN 2000 METERS OF THE HYPOCENTER, BY CITY

表1 爆心地から2000m未満における一般人死傷者数—都市別

CITY 市	DISTANCE FROM HYPOCENTER IN METERS 爆心地からの距離 (m)	EXPOSED POPULATION 被爆人口	SURVIVORS 生存者	
			NUMBER 数	PER CENT OF EXPOSED 被爆百分率
HIROSHIMA 広島	0- 499	8,230	220	3.5
	500- 999	24,950	4,240	17.0
	1000-1499	45,270	21,910	48.4
	1500-1999	67,900	53,030	78.1
	TOTAL 計	144,350	79,400	55.0
NAGASAKI 長崎	0- 999	30,900	3,580	11.6
	1000-1499	14,320	8,950	48.5
	1500-1999	6,550	4,690	71.6
	TOTAL 計	51,770	15,220	29.4

Source: Medical Effects of Atomic Bombs. The Report of the Joint Commission, Vol. 6.

出所: “原子爆弾の医学的影響”

Page 12, Sect. 10H, Table 3 (Hiroshima) 12頁10節H表3 (広島)

Page 97, Sect. 10N, Table 9 (Nagasaki) 97頁10節N表9 (長崎)

Page 114, Sect. 10N, Table D (Nagasaki) 114頁10節N表D (長崎)

The data previously collected at ABCC were obtained within the general framework of an exposed population, but the actual sample under study and the population at risk were frequently poorly delineated. In 1958, new programs were initiated and samples of "exposed" persons were defined into which most epidemiological data and vital statistics could be fitted. The ABCC "Master Sample" defines a group containing most of the heavily irradiated survivors, and appropriate lightly irradiated and non-exposed groups. A subgroup of the "Master Sample", designated by ABCC as the ME-200 sample, and containing most of those survivors who had major radiation symptoms of epilation, purpura, or agranulocytic pharyngeal lesions, along with other groups

ABCCが先に集めた資料は一般被爆者群によって得たものであるが、実際に研究の対象になったサンプル並びに被爆者集団の定義は、しばしば不明確であった。1958年に新しい研究計画が樹立され“被爆者”サンプルの定義が定められた。そしてこの被爆者サンプルに対して多数の疫学的資料並びに人口統計が利用されるようになった。ABCCの“基本標本”は強度の照射を受けた被爆生存者の大部分を占める一群と、軽度照射を受けた被爆者群および非被爆者群より成る。更にこの“基本標本”の中からABCCがME-200標本と名付ける脱毛、紫斑、乃至無顆粒細胞性咽頭障害などの主要放射性症状を呈した被爆生存者の大部分並びにその他の被爆者および非被爆者群を

of irradiated and non-exposed subjects, has been selected for periodic clinical examinations at ABCC as part of the Adult Health Study. Future data collected by ABCC will evolve mostly within the framework of one or both of these defined samples.

Genetics

Genetic changes have probably been more extensively investigated than any other biologic effect of irradiation. The implications of an effect, asymptomatic in the present generation but causing unknown effects in offspring, are singularly fearsome. Genetic hazards have been given great prominence by the lay press and other communication media, and much personal anxiety among A-bomb survivors is attributable to this fear.

The need for careful assessment of the genetic effects of the bombs was recognized at the outset, and a carefully planned program was continued at ABCC for a six-year period from 1948-54. This program has been the most successful of all the studies of ABCC, a success attributed in large measure to the continued active participation in the study by Drs. James V. Neel and W. J. Schull of the Department of Human Genetics at the University of Michigan. Their consistent direction of the program insured completion of the study in 1954 in accordance with survey plans made in 1948.

Over the six-year period, an attempt was made to have all pregnant mothers in the two cities registered with ABCC. Pregnant women were allowed special Japanese governmental food ration, and all pregnant women at the time of application for their special food supplement, were interviewed by an ABCC employee. Studies indicated that over 93 per cent of all pregnant women were actually registered by ABCC in this way. Other information was obtained from the midwives or physicians in attendance at the time of delivery. Specially trained physicians examined all infants at birth, and at nine-months of age a systematic sample was re-examined. Autopsies were ob-

併せ含む小分類群が選ばれ、それに対してABCCの定期臨床検査が実施せられて成人健康調査の一翼を成している。今後ABCCにおいて集められる資料も大部分はこれら2つの限定されたサンプル集団から得られるのである。

遺伝

放射線による生物学的影響の中では遺伝学的変化が最も広範囲にわたって調査されて来た。現代にあっては無症候であっても、子孫に未知の影響を残すかも知れないことはまことに恐るべきことである。遺伝学的障害の問題は新聞その他のマス・コミュニケーションできわめて大袈裟に取扱われて来たが、原子爆弾被爆生存者の間に見られる不安も多くはこの恐怖に基づくものである。

被爆の遺伝学的影響について慎重な評価を必要とすることは当初から認められて来たところであって、1948年より1954年に至る6ケ年間ABCCにおいて、周到な研究計画が継続実施された。この研究はABCCのあらゆる研究のうち最も成功を収めたものであって、その成功の主な原因はMichigan大学人類遺伝学教室のJames V. NeelおよびW. J. Schullが積極的且継続的に研究に参加して来たことにある。両氏の終始変らぬ研究指導により、この研究は1948年にたてられた調査計画に基づき1954年に完成を見た。

広島および長崎両市における全妊婦をABCCに登録する努力が6ケ年以上にわたって実施された。当時妊婦には日本政府による食糧の特別配給が認められていたから、その増配申請が行なわれる機会にすべての妊婦についてABCC職員による面接を実施した。このようにして、全妊婦の93%が実際にABCCに登録されたことが判明している。このほか分娩時に立会った助産婦および医師からも資料を入手した。特別訓練を受けた医師が出生時におけるすべての新生児の検査を実施し、更に生後9ヶ月目においても、系統的に抽出

tained on several hundred stillborn infants and children dying in the neonatal period.

Co-operation by the people of Hiroshima and Nagasaki was excellent. About 70,000 pregnancy terminations were recorded. In approximately ten per cent of these pregnancies, one or both parents were exposed to the bomb under 2000 meters from the hypocenter. The population (all those born in the six-year period) available for the genetic study, then, was large, co-operation excellent, and the information was systematically obtained.

Neel and Schull⁴ have reviewed in detail the entire experience of the ABCC genetic study. Of supreme importance was the fact that of 319 major congenital abnormalities detected among 27,000 infants examined both at birth and at nine months of age, there was no excess in the group with heavily irradiated parents. Similarly, stillbirths were not significantly increased in the exposed parents.

Other analyses were undertaken in an attempt to determine more subtle evidence of genetic damage. Birth weight might logically be expected to be decreased in infants harboring a number of detrimental but sublethal mutations. No differences in birth weight were detected. Detrimental recessive mutations might also contribute to the multiple causes of infant mortality. Analysis of infant deaths during the nine-month period following delivery again was negative; no excess infant mortality was detected in the children of irradiated parents. Simple anthropometric data were obtained and analyzed, with negative conclusions.

A single positive finding indicative of genetic effect has been observed in the study of sex of offspring of exposed parents.⁵ Sex-linked lethal mutations due to irradiation could change the sex ratio observed at birth. The Y-chromosome seems genetically inert, but lethal mutations

した乳児について再検査を実施した。死産児および新生児死亡例数百件について剖検も実施した。

広島および長崎の市民からは多大の協力を得て、約70,000名の妊娠についての結果の記録を完成した。これらの妊娠の約10%は、両親のいずれか一方または両者が爆心地から2000m以内における被爆者であった。従って遺伝学的研究のために利用した集団（すべて上記6ヶ年間に誕生した者）の規模は大きく、協力も十分に得られ、資料の入手は組織的に行なわれた。

NeelおよびSchull⁴によってABCCの遺伝学的研究のあらゆる面が精細に検討された。最も重要なことは、出生時および生後9ヶ月目に検査を実施した27,000名の乳児に発見された主要先天性異常319例については、強度の放射線照射を受けた両親群にも他の群に比較して決してその例が多くなかったことである。同様に死産例についても被爆者に有意の増加は認められなかった。

更に一層微妙な遺伝学的障害を探るために別の角度からの研究も行なわれた。乳児に致死性は無いが有害な突然変異がある場合には理論上出生時体重の減少が予想されるが、出生時体重における差は全く認められなかった。乳児には多種の死亡原因があるが、有害な劣性突然変異が又これら死因を助長することも考えられる。しかし出生から生後9ヶ月に至るまでの乳児死亡の解析の結果においても異常は認められなかった。即ち被爆した両親からの出生児に乳児死亡の増加は認められなかった。簡単な人体計測を行ない、その資料の解析を行なったが、異常は認められなかった。

遺伝学的影響を示すと思われる唯一の異常所見が、被爆した両親における産児の性別調査に当って観察された⁵。照射によって生じた伴性致死性突然変異は、出生時に観測された性比を変化させることが出来るかも知れない。Y染色体においては遺伝的活動は不活潑と思われるが、X染色体に

involving the X-chromosome would affect the offspring. Fathers (XY) transmit only their X-chromosome to their daughters (XX). Therefore, lethal mutants of an irradiated father would be distributed only to the female offspring. These sex-linked lethal mutations, if dominant, would decrease the frequency of female births. On the other hand, recessive sex-linked lethal mutations on an X-chromosome of an irradiated mother (XX) would produce death of sons (XY) but not of daughters (XX) who are protected by the dominant normal gene received from the father. The result would be a decrease in the number of male births. Irradiation-induced sex-linked lethal mutants would influence the sex-ratio in opposite directions, then, depending on whether it was the father or the mother who had been exposed to radiation. Irradiation of both parents tends to cancel these differences.

The results of the study of sex ratio of offspring fitted the hypothesis that irradiation does induce sex-linked lethal mutations in man. The sex ratios classified by parental exposure category were in the direction of genetic theory for 11 of the 12 regressive coefficients determined.⁵

The genetic program of ABCC, in summary, has shown alterations of sex-ratio at birth which could hardly be due to chance, and would indicate genetic damage. However, in this sizeable series there were no demonstrable increases in major congenital abnormalities, stillbirths, or infant mortality. In the ABCC genetic program it has been calculated that in 95 of 100 studies of this size, a twofold increase in any of these major genetic effects would have been detected. This indicates clearly that the added genetic risk for the individual survivor is indeed small.

Cataracts

Cataracts due to therapeutic irradiation have been known as a complication of

致死性突然変異が生じた場合、産児の性に影響をもたらすであろう。父親 (XY) は単にその X 染色体のみをその女兒 (XX) に伝える。従って被爆した父親の致死性突然変異体は女兒にだけ伝えられることとなる。これら伴性致死性突然変異体は、それがもし優性であれば女兒の出産率を低下させる。これに反して被爆した母親 (XX) の X 染色体における劣性の伴性致死性突然変異は男児 (XY) の死亡をもたらし、父親から受けた優性正常遺伝子で保護された女兒 (XX) には死亡は起らない。その結果、男児の出生数が減少することとなる。従って、照射に誘発された伴性致死性突然変異体は、被爆者が父親であったか母親であったかによって性比に対して反対方向に影響する。両親のいずれも被爆者である場合には、これらの相違は消滅する傾向がある。

産児の性比に関する調査の結果は、放射線照射が人間における伴性致死性突然変異を誘発するという仮説と一致した。両親の被爆状態別に従って分類された性比は解析を行なった12の回帰係数中11の係数において、遺伝学的原理との一致を見た⁵。

ABC Cの遺伝学的研究の成果を要約すれば、出生時性比の変動を認めたということであってこれは決して偶然的変動でなく、おそらく遺伝学的障害を示すものと思われる。然しながらこの相当な規模をもって行なわれた研究において、主要先天性異常、死産、並びに乳児死亡率には特に増加は認められなかった。ABC Cの遺伝学的研究計画においては、この規模の研究100のうち95まではこれら主要遺伝学的影響がいずれも倍加するものと予想されていたのである。このことは明らかに各被爆生存者における遺伝学的危険が事実上少ないことを示す。

白内障

医療用放射線によって生ずる白内障は、放射線治療の合併症として古くから知られている⁶ま

radiation therapy for many years.⁶ Cyclotron workers, who developed cataracts following exposure to irradiation of the head, have been the source of continuing and repeated observation.^{7,8}

Cogan has summarized the observations relating to the pathogenesis of the irradiation cataract, and has proposed a plausible theory as to their formation.⁹ Apparently the epithelial cells located near the equator of the lens pile up, possibly in an abortive attempt to produce lenticular fibers. These cells migrate to the posterior pole where they degenerate and form the basis of the radiation cataract. As seen by slit lamp, these early changes appear as a dot on the posterior lens; later, as a doughnut-shaped lenticular opacity, they become visible with the ordinary ophthalmoscope.

Because of the known cataractogenic effects of therapeutic and cyclotron radiation, a survey team was dispatched to ABCC in 1949 to detect cases of irradiation cataract. A systematic survey of 1000 patients, all exposed under 2000 meters from the hypocenter and without shielding, revealed no cases of radiation cataract. By a variety of non-systematic means, nine survivors with radiation cataracts in Hiroshima and one in Nagasaki were detected. All were exposed under 1000 meters from the hypocenter. Symptoms of visual loss, when they were present, occurred mostly two to three years after the bombing but one patient reported blurring of vision as early as six months post-bombing.¹⁰

Sinskey performed systematic examinations on A-bomb survivors in both cities from May, 1951, to December, 1953. Although the exact composition of his sample, 3,700 exposed and controls, is not clearly defined, many definite facts emerged. He examined 165 people with 90+ per cent epilation following the bombing and found a prevalence of 84 per cent of plaques on the posterior capsule of the lens. A balanced

た頭部に放射線の照射を受けて白内障の発生を見たサイクロトン従業員は、継続的反復観察の対象とされて来た。^{7,8}

Coganは放射線性白内障を病因論的に観察した結果をまとめて、その生成につき注目すべき新説を提唱した。⁹ すなわち、眼球赤道附近の上皮細胞は、おそらく水晶体線維を産生しようとしてそれを為し得ずに堆積する。これらの細胞は後極へ移動し、そこで変性して放射線性白内障の基盤をつくる。細隙燈で見ればこれら初期変化は水晶体後部の点状斑として現われるが、やがてそれはドーナツ型の水晶体混濁となつて、普通の検眼鏡でも見ることが出来るようになる。

医療用放射線およびサイクロトン放射線が白内障発生効果を有する事実に鑑み、1949年には放射線性白内障の症例を観察するため、調査班が編成されてABC Cに派遣された。いずれも爆心地から2000m以下の地点で無遮蔽状態で被爆した1000名につき組織的な調査が行なわれたが、放射線性白内障の症例は1例も見当らなかった。ただし組織的な方法によらないその他の調査では、広島市の被爆生存者9名及び長崎市の被爆生存者1名に放射線性白内障を発見した。これらはいずれも爆心地から1000m以内の地点で被爆している。視力喪失の諸徴候が現われた者には、その発現の時期はおおむね被爆後2及至3年の間であったが、うち1例では被爆後6ヶ月にして早くも眼が霞んで来たと言う。¹⁰

1951年5月から1953年12月まで両市の被爆生存者について、更にSinskeyによる組織的検査が行なわれた。十分構成も分類も行なわれなかった3700名の被爆者および対照について検査を行なったがこれにより多くの決定的な事実が明らかにされた。被爆後脱毛90+％に達した患者165名を検査してその84％に水晶体後囊下における円板状混濁の発生を認めた。同数の対照群においては僅か

control group included only 10 per cent with similar lens changes. The prevalence of these posterior subcapsular plaques was found to be strongly related to the degree of epilation, thus suggesting that this abnormality was related to radiation dose.

Overt lesions, visible by the ophthalmoscope, were found in a total of only 154 survivors in the two cities. Loss of visual acuity due to the cataracts was small, with all patients achieving effective vision with appropriate corrective lenses. Only four subjects were found in whom operative extraction of the diseased lens had been performed.¹¹

Sinskey believed that the lens lesions he observed in 1951-53 were stationary, but definitive data on this important point are not available. Similarly, the relationship of these radiation-induced lens changes to the development of senile cataracts deserves attention.

These studies from ABCC are generally reassuring as to the relative infrequency and blandness of clinical lenticular disease due to the bombings. Although major lens disease seems associated with high radiation doses and there may be a "threshold" dose for the overt cataract, the posterior plaques described by Sinskey increased in frequency as the degree of epilation in survivors increased. This suggests no "threshold" for the basic cellular mechanism of cataract production or a threshold at a relatively lower level than has been postulated for overt cataracts.

Leukemia

At the time of the atomic bombings in 1945, leukemogenesis was an established late sequela of irradiation in animals.¹² Reports had also appeared of an increased leukemia rate among radiologists.¹³ Interest, therefore, was attuned to this condition in the Hiroshima and Nagasaki survivors. Cases of leukemia in exposed persons began to be recognized in the late 1940's and systematic studies were under-

10%に同様の水晶体変化を認めたに過ぎない。すなわち、これら後囊下の円板状混濁の発生は、脱毛の程度と密接な関係を有することが判明し、この異常は照射線量と関係があることを示唆した。

検眼鏡でわかる程度の明瞭な障害は、両市合わせて154名の被爆生存者に認められたに過ぎない。これら白内障による視力の喪失度は僅少でいずれも適当な矯正眼鏡の使用により有効視力に達している。僅か4例に病眼水晶体の摘出が行なわれているのを認めた。¹¹

Sinskeyによれば、1951年から1953年にわたって観察した水晶体病変は安定していると思われるが、しかしこの重要な点についての決定的な資料は得られなかったと云う。同様にこれら放射線によって起された水晶体の変化と、老人性白内障発生との関係も注目に価する。

ABCCにおける上記の研究成果は一般に原爆による臨床的水晶体障害が少なく軽度であることを示す。主要水晶体障害には強度放射線照射との関連性も考えられ、また明瞭に認め得る白内障については“閾値”線量が存在するかも知れないが、Sinskeyの報告する水晶体後部の円板状混濁は被爆生存者における脱毛の度が強いほど発生率が高い。このことは白内障発生の基礎的細胞機序には“閾値”がないか、あるいは明瞭に認め得る白内障に予想されるよりも低い閾値しか存在しないことを示唆する。

白血病

1945年の原爆投下当時においては、白血病の発生は動物においては既に放射線照射の遅発性影響として確認されており、¹²更に放射線専門医における白血病発生の増加も報告されていたところから、¹³関心は広島および長崎の被爆生存者における白血病の問題に向けられた。被爆者における白血病の発生は既に1940年代末期から認められ始めており、ABCCにおいても組織的な研究に着手し

taken at ABCC and first reported in 1952.¹⁴ Since that time, many publications from ABCC have dealt with the problem of leukemia.¹⁵⁻¹⁷

Because of the extreme interest in this field, ABCC in Hiroshima has operated a hematologic consultation service available to the community. As a result, most of the cases have been studied by a member of the ABCC staff, and blood, bone marrow specimens, or autopsy material has been obtained. Death has served as a final "backstop" in case finding, and all causes of death suspicious of leukemia have been investigated by an ABCC hematologist. Leukemia case detection is thought to be quite good, since the level of suspicion of practitioners in the A-bombed cities is high.

Results of the observations on leukemia in Hiroshima have recently been summarized by Heyssel et al.¹⁸ Since 1945, records reveal that 122 cases of leukemia have occurred in residents of Hiroshima. Of those 122 cases, 96 occurred in people who presumably received significant irradiation doses and who were exposed less than 2000 meters from the hypocenter. These cases, fitted into various known population groups of survivors, give a striking increase in leukemia in the irradiated group; incidence in survivors under 1000 meters may be increased 10-50 fold.

The incidence of leukemia was first noted to rise in 1948, and reached a peak in 1950-52. Although the rate seems to have decreased somewhat since then, it remains much higher in the exposed population than in the non-exposed. The degree of risk seems clearly related to distance from the hypocenter, and therefore to radiation dose.

All types of acute leukemia were noted to be increased in the survivors. Chronic granulocytic leukemia was proportionately more increased than any other type. Chronic lymphocytic leukemia, a very rare

て、その第1回報告が1952年に行なわれた¹⁴ 爾來白血病についてはABCCから多くの発表が為されている。¹⁵⁻¹⁷

この部門に対する関心がきわめて高い事実に鑑み、広島ABCCにおいては血液学的立会診察サービスを開始し、一般の利用に供した。その結果、それら症例の大部分について1名のABCC職員が検討を実施し、血液および骨髓標本並びに剖検材料の確保に当たった。症例発見の最後の“極め手”は死亡であって、白血症の疑のあるあらゆる死因が、ABCC血液学専門医により調査された。被爆都市における開業医間にこれに対する関心が高かったため、白血病症例は大変多く発見されていると考える。

広島における白血病調査の結果についてはその総括的報告が先般 Heyssel 等¹⁸ によって行なわれた。記録によれば、1945年以来広島市民の間に122例の白血病が発見された。これら122例中96例が、多量の放射線照射を受けたと推定され、しかも爆心地から2000m以内の距離において被爆した人々に発生している。これら症例を、設定されている各種被爆生存者の集団に当てはめると、被爆者群の白血病に著しい増加が認められ、1000m以下の被爆生存者では10倍乃至50倍に達するものと思われる。

白血病発生率は1948年に初めてその上昇が認められ、1950年から1952年にかけて最高に達した。その後は、やや発生率が衰えたように思われるが、被爆者群における率は依然として非被爆者群におけるよりも遥かに高い。すなわち、発生の危険度は明らかに爆心地からの距離に関係があり、従って放射線照射量に関係があると思われる。

被爆生存者にはあらゆる型の急性白血病の増加が認められたが、慢性顆粒細胞性白血病の増加率は他のいずれの型におけるよりも高い。日本においては、きわめて稀有の疾患である慢性リンパ

disease in Japanese, was detected in only one irradiated survivor. As the general incidence of leukemia seems to have waned in recent years, so also has the relative prominence of the chronic granulocytic disease as compared to the acute forms of the disease.

Leukemia in the Nagasaki survivors is being currently analyzed by Tomonaga et al¹⁹ and the data generally agree with those from Hiroshima.

The mechanism of radiogenic leukemia has not been elucidated, but many scientists have postulated that irradiation induces a change in nuclear gene material, leading to the so-called somatic mutation. Such mutations, being directly related to the mechanical effects of the radiation particle on the chemical structure of the gene, might be expected to be directly related to radiation dose. Lewis²⁰ more forcibly than anyone else, has presented data that suggest a direct linear relationship of leukemia to radiation dose. The Hiroshima data, in instances corresponding to dosages above perhaps 75 r, support a linear relationship of leukemia induction to radiation dose. In the biologically critical dosage range below this level, the Hiroshima and Nagasaki populations are probably far too small to allow conclusive evidence on the relationship of very small doses of irradiation to leukemogenesis.²¹ However, this group constitutes the best potential source of information, and continued observation should allow more refined analysis of the dose-response curve.

Another possible mechanism of irradiation leukemogenesis, analogous to that postulated for carcinogenesis, is that irradiation accelerates the age of appearance of disease without increasing the total disease potential. The Hiroshima leukemia data refute this hypothesis, since the number of cases of leukemia already seen in the heavily exposed survivors exceeds by threefold the cases expected in the entire

球性白血病も1名の被爆生存者に認められた。しかし、近年白血病の全般的発生率に衰えが見え始めたと思われるとともに、慢性顆粒細胞性白血病にも急性型の白血病に比し、その発生率に衰えが見え始めた。

長崎の被爆生存者の白血病については、現在朝長等¹⁹によつて解析が行なわれているが、その資料は大体広島のと一致する。

放射線性白血病の発生機序はまだ明らかにされていないが、多くの科学者は放射線照射により遺伝子の核物質に変化を生じ、いわゆる体細胞の突然変異が発生するものと見る。このような突然変異は、遺伝子の化学的構造に対する放射線粒子の機械的影響に直接関係しているものであるから、更に照射量とも直接の関係をもつものと考えられる。Lewis²⁰は白血病と照射線量の直線関係を示唆する資料を提出して誰よりもこの関係を強調した。線量に換算して75 r以上に相当すると思われる距離で集められた広島における資料は、白血病発生と放射線照射量との直線関係の存在を裏付ける。これより低位の生物学的臨界線量の分布範囲においては、広島および長崎の集団はその規模が余りに小さいので、放射線量がきわめて少量の場合には、白血病発生に対する関係を証明するに足る決定的な事実をつかむことは不可能と思われる。²¹しかし、上記の群は資料の主要供給源となり得る可能性を持つものであつて、観測を更に継続するならば線量反応曲線について更に精密な解析も可能とならう。

放射線性白血病発生機序について、発癌における仮説にも比すべきものとして今一つ考えられることは、放射線が本来発生する筈の白血病の総数を増加させることなく、発病の時期を早めるだろうということである。この仮説に対して広島における白血病資料が反証を示した。既に高度の放射線照射を受けた者に現われた白血病の症例数だけで、同じ年齢・性別により構成される非被爆者

anticipated lifespan of an unexposed sample of similar age and sex composition.¹⁸

Induction of leukemia by radiation may well come about through mechanisms not yet anticipated. The leukemia subjects of Hiroshima and Nagasaki constitute the largest group of radiation-induced cases in the world, and it may be that their study will yield the key to the mechanism by which irradiation acts to cause leukemia.

Carcinoma

Irradiation induces many different types of tumors in experimental animals.²² Only recently at ABCC has it been possible to study systematically the incidence of tumors in survivors of the atomic bombings, although a preliminary attempt to analyze the incidence of carcinoma of the stomach has been made.²³ Tumor registries have been established by city medical associations in both Hiroshima and Nagasaki with ABCC contributing to their operation. The preliminary findings after 2 years of operation of the Hiroshima Tumor Registry have been reported orally in a paper read by Ishida and are to be published by the City Medical Association.²⁴ An increased incidence of tumors was found with relationship to the proximity of exposure. The survivors exposed under 1500 meters from the hypocenter were found to have tumor incidences twice as high as the control population. Although the number of cases was small, it seemed statistically probable that the incidence of specific carcinomas of the lung, stomach, breast, ovary, and uterine cervix was greater in the irradiated group.

Many more data are needed in this very critical field. Analysis of cancer mortality in an exposed and control population defined by census in 1950, may yield information on the types of tumors increased in those irradiated, as well as data on the latent period from the time of irradiation to the onset of tumor. Continued study by means of epidemiologic and clinical investigation is needed in order to evaluate possible mechanisms by which

群の生涯に現われると推定される数の3倍を越えているからである。¹⁸

放射線による白血病の発生は、未知の機序によるということも十分考えられる。広島および長崎の白血病患者は、世界最大の放射線誘発性白血病症例群を構成するものであつて、この研究は放射線照射による白血病発生機序を解明する鍵となるかも知れない。

癌

放射線照射は実験動物に多種類の腫瘍を発生させる。²² ABCCにおいては胃癌発生率解析の試みが予備的に行なわれたことはあるが、²³ 被爆生存者における腫瘍発生について組織的な研究が実施されるに至つたのはごく最近のことである。腫瘍登録所が広島および長崎両市の医師会によつて設立せられ、ABCCがその運営面に寄与している。2ヶ年にわたつて実施された広島における腫瘍登録の成果については、石田が口頭で中間報告を行なつたが、これは広島市医師会から刊行の予定である。²⁴ 腫瘍の発生は被爆距離が近くなるにつれて増加している。爆心地から1500m以内の被爆者においては、その腫瘍発生率は対照群のその2倍に達した。症例数は少ないが、肺、胃、乳房、卵巣、および子宮頸部における癌の発生率は、被爆者群に高いということが統計学的に云い得るように思われる。

この重大な問題についてはなお多くの資料を必要とする。昭和25年(1950年)国勢調査に基づいて設定された被爆者および対照群における癌死亡例の解析は、被爆者の間に増加を見た腫瘍の種類に関する知識、並びに被爆の時から腫瘍発生までの潜伏期についての資料を提供することであろう。人間にあつて放射線照射が発癌因子として作用する機序をなすと予想されるものを検討し、照射線量に応じた発癌の危険度を測るためには、疫

irradiation acts as a carcinogenic agent in man, and to measure the degree of risk in relationship to radiation dose.

Growth and development of children

Attempts to obtain systematic studies on growth and development of exposed and non-exposed children have been greatly hampered by the changing nature of the non-exposed populations available for study. Greulich and his collaborators,²⁵ however, did report physical retardation in exposed children persisting as late as 1950. It has proved virtually impossible to dissociate the effects due to irradiation per se from those due to the total physical and mental trauma of the bombing, and to its subsequent economic and social sequelae. The establishment of a relation of specific changes in growth and development to radiation may prove possible in the future from the data already collected if it becomes possible to assess the data in relationship to radiation dose.

Microcephaly in children exposed in utero

Because of the marked sensitivity of rapidly growing fetal tissues to radiation, the small group of children who were irradiated in utero have been of particular concern. Many pregnancies in heavily irradiated women terminated during the acute radiation phase with stillbirth or abortion.²⁶ Within a few years, cases of microcephaly associated in some instances with mental retardation, were noted in the offspring of women who were pregnant at the time of the bombings. These changes are apparently related to central nervous system damage by irradiation.

Miller²⁷ has reviewed the pertinent data on all of these children in Hiroshima, with particular attention to the 15 children found to be both mentally defective and microcephalic. Virtually all of the offspring of mothers irradiated under 2000 meters were examined. In addition to the microcephalic, mentally retarded group, 16 microcephalic children (head circumference

学的並びに臨床的調査による研究を継続して実施する必要がある。

児童の成長と発育

被爆児童および非被爆児童の成長と発育について組織的な研究を実施しようという試みは、研究に用いる非被爆者集団が常に異動するという性質のため妨げられるところが多かつたがGreulich等²⁵は被爆児童に1950年まで持続した身体的発育の遅滞について報告した。それによれば、放射線自体の影響を全体的に見た被爆の身体的精神的傷害乃至その後の経済的社会的影響と切り離して考えることは不可能である。成長及び発育の特定変化と放射線の関係は、将来照射線量を推定し、それにより資料の評価が可能となれば、既に集められた資料によつて確認出来るであろう。

胎内被爆児童における小頭症

急速な発育を遂げつつある胎児組織は放射線に著しく感受性が強いので、胎内において被爆した少数の児童については特別な関心が払われた。強度の放射線照射を受けた多くの妊婦は、急性症状発現期において死産または流産した。²⁶ 被爆した妊婦の産児に数年後に小頭症が認められ、その中には精神薄弱を伴うものも認められた。これらの変化は、放射線による中枢神経系の障害に関連があるものと思われる。

Miller²⁷は適切な資料に基づき広島におけるこれら児童全部について検討を実施したが、特に精神薄弱と小頭症を併せ示した15名については入念な検討を行なつた。2000m以内において被爆した母親の産児については事実上その全員の検査を実施した。そして前記精神薄弱と小頭症を併せ示した群のほかに、知能は正常であるが小頭を示す

more than two standard deviations less than the control group) were detected, in whom intelligence was normal.

Analysis of the microcephalic group revealed that almost all cases occurred in children who were within four months' gestational age at the time of irradiation. The degree of microcephaly correlated with the occurrence of subnormal intelligence, in that those with the most severe microcephaly were most likely to be mentally defective. Similarly, the defect was clearly related to irradiation dose since 8 of the 15 cases of microcephaly with associated mental retardation occurred in mothers exposed under 1200 meters from the hypocenter. Of the 15, the maternal history in 11 cases revealed major radiation symptoms following the bombing.

It seems evident that some degree of microcephaly, frequently associated with mental retardation, is a regular feature of a large radiation dose delivered in utero to the fetus of less than four months' gestational age.

Aging acceleration

Animal data indicate that in a variety of species early death, not due to specific causes, has followed irradiation.²⁸ This effect has been postulated as due to non-specific acceleration of the aging processes. Warren²⁹ has suggested a similar premature aging in American radiologists, based on an apparent decreased longevity, but his findings have been seriously questioned on the basis of the statistical methods used.³⁰ Decreased longevity has not been found in British radiologists.³¹ A large study of survivors and controls based on death certificate records is in progress at ABCC in collaboration with the National Institute of Health of Japan. Physiologic measurements of age in various organ systems may bring ancillary evidence on this point.

児童（対照群に比し頭囲が標準偏差2以上を示す者）16名が更に発見された。

これら小頭群について行なわれた解析によれば、そのほとんど全例が被爆当時妊娠4ヶ月以下であった胎児に現われている。小頭の程度は精神薄弱と相関関係を示し、最も強度の小頭を有する者が最も知能の欠陥を示す場合が多かった。小頭が精神薄弱を伴って現われた15例中8例まで母親が爆心地から1200m以内で被爆しているところから見て、この精神薄弱は明らかに同じく放射線照射量と関係がある。上記15例のうち11例の母親に被爆後主要放射線性症候が現われていることがその既往歴によつて明らかである。

ある程度の小頭症がしばしば精神薄弱を伴って現われるということは、妊娠4ヶ月以下の胎児が胎内において大量の放射線照射を受けた場合には普通のことと思われる。

加齢の促進

動物実験資料の示すところによれば、特定の死因なくして起る早期死亡の事実が放射線照射後の各種動物に認められる。²⁸ このような効果は加齢経過の非特定促進に基づくものと考えられる。Warren²⁹は寿命短縮と思われる事実を基礎として、米国放射線科医に同様の早期加齢現象のあることを示唆したが、その所見については、採用した統計方法の点から重大な疑問が持たれている。³⁰ 英国の放射線科医には寿命の短縮は認められていない。³¹ ABCCにおいては現在日本の厚生省国立予防衛生研究所と共同して、死亡診断書に基づいて、被爆生存者および対照に関する膨大な調査を実施中である。各種器官系統について行なう加齢現象の生理学的測定も、この点について更に補助的な事実を加えるものと思われる。

General medical effects in adults

Despite the fact that regular systematic general medical examinations have been a major feature of the ABCC program since 1950, no comprehensive analysis of the mass of collected data has been reported. The reasons for this deficiency are not hard to ascertain. To the clinician, it was clear that most of the irradiated subjects were grossly normal and that no major new radiation-induced syndromes had appeared. To the statistician, the job of assembling such a vast array of medical data seemed most formidable. The only published results of general medical examinations concern the negative findings in 78 patients with radiation cataracts.³² Currently, results of past medical programs at ABCC are being analyzed systematically in order to provide more information about possible general medical effects of irradiation.

Miscellaneous effects

One unusual finding was noted by Miller²⁷ in his analysis of examinations done on exposed and control children in 1954. Children who were aged 7-10 at the time of the bombing (16-19 years of age at the time of examination) were found to have significant loss of visual acuity as compared to control children. This observation may represent some unrecognized bias only, but the possibility of selective eye or nervous system damage in these children should be investigated further.

The psychologic problems of the A-bomb survivor are obvious. Because of the high death rate near the hypocenter, most of the heavily irradiated survivors experienced major disruption of the family situation due to deaths of close relatives. Fear of delayed effects, frequently accentuated by the publicity given these changes in the press as well as by the continued medical investigations of the exposed, has added further to the psychologic impact of these events. Nothing has been done in an

成人における一般医学的見地から見た影響

A B C Cの研究計画にあつては、1950年以来定期的且つ組織的な医学的検査がその主要特色を成して来たが、集められた大量の資料についてはまだ総括的な解析は行なわれていない。これが行なわれなかつた理由は簡単である。臨床医師にとつては、大多数の被爆者は外見上正常であつて放射線による新しい主要症候がこれに現われていないことが明瞭であり、一方、統計学者にとつてはこのように膨大な医学的資料について編成と整理を行なうことは、中々大変なことと考えられたからである。一般医学的検査の結果のうち、発表が行なわれたのは僅かに78名の放射線性白内障患者に関するもののみで、そこには有意な所見はなかつた。³² 現在は一般医学的見地から見た放射線照射の影響について、更に多くの資料を提供するため、既往の医学的研究成果の系統的な解析を実施中である。

その他の影響

Miller²⁷ は、1954年に実施された被爆児童および対照児童の検査結果を解析して、一つの異常所見を認めた。すなわち、被爆当時7才乃至10才に達していた児童（検査時においては16才乃至19才）を対照児童に比較して有意の視力減退を認めた。この観測は、あるいは単に未確認の偏りを示すものに過ぎないかも知れないが、これら児童の眼または神経系における特定障害の可能性については更に調査の必要がある。

被爆生存者に心理的な問題があることは明白である。爆心地近接地においては死亡率が高かつたために、強度の放射線照射を受けた者の大多数が、近親者の死亡による家庭の大きな破綻を経験している。遅発性影響に対する恐怖は、しばしばそれらの影響が新聞紙上に強調されることと、被爆者に対する医学的調査が継続される事実により刺激され、それによる心理的打撃を更に大きくす

attempt to quantitate the psychologic burden, or to assess its potential role in late medical effects. Separation of effects due to fear and anxiety could prove a problem in the interpretation of findings found in the Hiroshima and Nagasaki survivors. Certainly, this major latent but potential factor should not be ignored.

Program for the future

The past research of ABCC has been plagued by a continually shifting population base on which various observations have been made, rendering disease incidence figures unreliable. Isolated observations have been hard to fit within a general medical framework, and the importance of simultaneous observations in normal, non-irradiated subjects has not always been clearly recognized. Because of these major deficits, the reorganized program recognizes the need for unification of most epidemiological or clinical studies within a predefined sample of exposed and normal subjects.

Longevity and cause of death will be observed in 100,000 people, with death certificates as the major documentation. The gross study of causes of death will serve to delineate diseases of special interest, and these diseases in turn can be subjected to the closer scrutiny of clinical and laboratory investigation, and of postmortem tissue study.

A subgroup of 20,000 subjects will be given detailed physical and laboratory examinations at recurring intervals of about two years. The subjects, carefully matched as to age and sex, consist of four groups: (1) Exposed less than 2000 meters from the hypocenter and suffering from acute major radiation disease in 1945 (epilation, purpura, or agranulocytic croparyngeal ulcerations). (2) Exposed under 2000 meters, but not experiencing acute radiation symptoms in 1945. (3) In

る。この心理的負担の量定、またはそれが医学的見地から見た遅発性影響の中で果すと思われる役割の評価に関しては、従来何らの試みも行なわれていない。恐怖と不安から来る影響を明らかにすることは、広島および長崎における被爆生存者の所見解釈上の一つの問題となり得るであろう。この大きな、潜在的ながらも可能性のうかがわれる要因は、無視してならないものである。

将来の計画

ABCCの過去の研究では、観察の基礎となった母集団が常に一定でなく、発病率を示す数字に信頼がおけなかつたために困難を感じた。孤立した観察では、これを全体的な医学的研究の枠内に嵌め込み難く、同時に実施される正常な非被爆者についての観察の重要性が必ずしも明確に認識されなかつた。このような大きな欠陥を考慮して、再編成された研究計画では大部分の疫学的乃至臨床的研究を、予め定められた被爆者および非被爆者標本の範囲で統一する必要があることを確認した。

死亡診断書を主要な根拠として100,000名について寿命と死因の観察が行なわれる。死因を一通り調査すれば、特殊な興味の対象となる疾患の識別が可能となり、これら疾患については更に精密な臨床診察、臨床検査並びに剖検による組織検査をより重点的に行なうことが出来よう。

上記の小分類群である20,000名につき約2年毎に精密な全身並びに臨床検査を繰返し実施する。これら被検者については入念に年齢別並びに性別の組合わせを行なつて次の4群を構成する。すなわち(1)爆心地から2000m以内で被爆して1945年に急性の主要放射線症候(脱毛症、紫斑病、または無顆粒細胞性咽頭口腔潰瘍)を呈した者、(2)2000m以内で被爆したが1945年に急性放射線症候を呈さなかつた者、(3)1945年に市内に在り、被爆時に爆心地から3000mから4000mの間

the cities in 1945 at distances of 3000-4000 meters from the hypocenter presumably beyond the radiation area but within the area of physical destruction and economic disruption. (4) Non-exposed subjects who moved into the city after the bombings. Subjects in these groups will be presented for examination in random fashion, with their radiation status unknown to the clinic staff. The clinic examinations will not only detect disease, but will allow studies of physiologic aspects of aging, possible physiologic or biochemical changes related to radiation exposure or to survivorship following such exposure, and special and detailed clinical observations and investigations into the etiology, mechanisms, and progress of specific diseases. In addition to observations made during the course of clinic visits, it is hoped that interim home-visit information can be obtained on these subjects and on the small but important group who refuse to attend the clinic. Further, it is hoped that information growing out of the medical care in the community can be integrated with clinic records, and that special efforts be made to obtain postmortem examinations of subjects in this select medical sample.

Certain specific objectives of study are already clearly defined and underway. In collaboration with Professor K. Hirose of Nagasaki Medical School, ophthalmologic studies have been initiated. These observations should provide information on the incidence and progression of the posterior lens plaques. Neutron irradiation is reported much more potent than gamma irradiation in production of cataracts in animals.⁹ Since Hiroshima subjects are reported to have received much more neutron radiation than Nagasaki subjects, comparison of incidences of lens changes may lead to important evidence concerning the relative susceptability of the human lens to specific forms of radiation. Programs of detection and study of leukemia and cancer are continuing. The concept of aging acceleration due to irradiation is being investigated by a specific study of longevity, and by

にあつて放射線有効区域外であると思われるが物理的並びに経済的被災地域内にあつた者、(4) 原爆投下後に入市した非被爆者、である。検査はこれらの群に属する者を無作為的に抽出して行なわれるが、臨床部医師に対してはその被爆状態を伏せておく。臨床検査に際しては単に疾患の発見に努めるだけでなく、更に加齢現象の生理面、すなわち被爆の事実または被爆後の生残りの事実に関連して現われると思われる生理的乃至生化学的变化に対する研究、並びに特定疾患の病因、機序、乃至経過に関する特別の精密臨床観察と調査を行なう。被検者がABC臨床部来訪時に実施する観察のほか、それらの人々および少数の来訪はしなかつたが重要な対象と思われる人々については、随時の家庭訪問による資料入手も望ましい。更に医学研究計画に属する人々が、市内で診療を受ける際、その診療資料もABCの診察記録と統合することが望ましく、且つ特別な手続を講じてこれらの人々の剖検が出来るようにしたい。

研究のある種の特定目標については、既にその範囲が明確にされ、研究も実施中である。例えば、長崎大学医学部広瀬金之助教授の協力を得て、眼科学的研究が着手された。ここでの観察は水晶体後部の円板状混濁の発生、およびその後の経過に関する資料を提供することとなろう。動物の白内障発生には γ 線の照射よりも中性子の照射がはるかに強力に働くという。⁹ 広島市の被爆者は長崎市の被爆者に比べて、はるかに多量の中性子の照射を受けたといわれるから、両市の水晶体変化の発生率を比較研究すれば、特定の放射線に対する人間の水晶体の感受性について重大な事実が発見されるかも知れない。白血病並びに癌の発見および研究に関する計画も引続き実施中である。放射線によつて起る加齢促進に関する調査も、特に寿命に関する研究を実施すること、並びに多数の生理的加齢標識を臨床的に年令と比較する方法によつて

clinical comparison of many physiologic aging indicators with chronologic age. Associated with the interest in aging processes, hypertension and arteriosclerosis are under study, and valuable data about these diseases should be accumulated for comparison between Japanese and Western populations. The children exposed to irradiation in utero comprise a group that will be of continuing interest, particularly because of the recent reported increase in leukemia and tumor incidence in children following diagnostic irradiation of the pregnant mother.³³

The program at ABCC is firmly committed to the principle that current analysis of data collected is a necessity in order to guide the future programs. Definite schedules for systematic analysis of major current programs will be adhered to, and in order to accomplish these analyses the systems of collection, coding, and tabulating of data are being simplified and strengthened. Positive or equivocal findings in these analyses will obviously influence the direction of future research.

Eventually it is expected that a total body dose can be assigned to each individual exposed under 2000 meters from the hypocenter and not protected by heavy shielding material. Completion of this project will require several years. However, shielding histories are being obtained concurrently with the clinic examinations in the 20,000 subjects in the Adult Health Study, and irradiation dose estimates on this important group will be completed within a year as the first cycle of examinations is completed. The dosimetry work is of particular importance to the entire program, since it is highly desirable to express the late biologic effects of irradiation in terms of radiation dose.

Finally, continued awareness of knowledge concerning late radiation effects in animal experiments should provide the basis of imaginative studies on the exposed population of the cities. New knowledge of the cellular mechanisms by which radiation acts may also illuminate certain paths of investigation.

実施中である。加齢過程についての関心に併せて、高血圧症および動脈硬化症も研究されており、これらの疾患についても貴重な資料が集められ、日本人と西洋人との比較研究に供されよう。胎内被爆児童についても、特に最近妊婦が診断用放射線を受けた場合、産児に白血病および腫瘍の発生増加が見られると報告された事実により、³³胎内被爆児の一群は継続的研究の対象としている。

A B C Cの研究計画においては、現在集められた資料について行なう解析は将来の研究計画の指針として必要であるという原則を堅持する。主要な現在の研究計画については、予定された一定の組織的解析を継続することとし、これらの解析を行なうために資料の蒐集、記号化、および製表についてその手続の簡易化乃至強化を実施中である。この解析において、有意又は疑わしい所見が現われれば明らかに将来の研究の方向が左右されるであろう。

結局、爆心地から2000m以内で被爆した人で、強力な遮蔽物による保護を受けなかつた人々それぞれについて、全身照射量の推定が可能となろう。この課題を完成するには数年を要する。しかしながら、成人健康調査計画においては20,000名の臨床検査に併行して、遮蔽に関する資料の蒐集が行なわれており、この重要な1群における照射線量推定の仕事も、第1周期の検査完了とともに1年以内に完成するであろう。放射線照射の遅発性生物学的影響を線量で示すことが、きわめて望ましいところから、線量測定の作業は調査計画にとって特に重要である。

最後に、動物実験における放射線照射の遅発性影響に関する知識に絶えず留意するならば、広島・長崎両市における被爆者について想定し得る研究の基礎が得られるであろう。放射線が作用するための作用機序に関する新知識もまた調査の前途に光明を投ずるものと思われる。

Summary

A population of 60,000 Hiroshima and Nagasaki citizens within 2000 meters from the bomb hypocenter survived the atomic bombings of 1945 and were in residence in the two rebuilt cities in 1950. Of this group, approximately 25,000 survived under 1500 meters where radiation dose was relatively large, and 7,000 experienced major acute symptoms due to irradiation. This group has provided much of the existing knowledge concerning the delayed effects of irradiation in man, and their subsequent experience offers more potential information than any other available sources for elucidation of changes in irradiated human beings. The Atomic Bomb Casualty Commission has assembled a large mechanism for collection and utilization of clinical and vital statistical data on these survivors of the bombings. The past findings of ABCC in the fields of radiation cataract, leukemia, cancer, genetic effects, in utero changes, and growth and development have been summarized.

Current studies in many areas of medical interest are being pursued within the framework of a predefined irradiated and non-irradiated population.

総括

爆心地から2000m以内にあつた広島および長崎市民60,000名が1945年の原爆から生き残り1950年の再建された両市に居住している。このうち約25,000名は1500m以内で被爆し比較的大量の放射線照射を受けたもので、7000名は放射線に基づく主要急性症状を呈した。現在人間における放射線照射の遅発性影響として知られている事実の多くは、この群が提供したものであつて、この人々のその後の経過は人間に現われる放射線照射による変化を解析する上に、他のいかなる資料源よりも有力な知識を提供するものである。ABCCはこれら被爆生存者について、臨床上並びに人口統計上の資料を集めるための一大機構を作つた。以上放射線性白内障、白血病、癌、遺伝的影響、胎内被爆児の変化、並びに成長および発育に関するABCCの既往の所見を総括して見た。

現在においては、多方面にわたる医学的研究が、予め設定された被爆者および非被爆者集団の枠内において実施されつつある。

REFERENCES

参考文献

1. Ritchie, R. H., Hurst, G. S.: Penetration of weapons radiation: Application to the Hiroshima-Nagasaki studies. *Health Physics* 1: 390-404, 1959.
(核兵器放射線の透過性—広島・長崎調査への応用)
2. Arakawa, E. T.: Personal communication.
(私信)
3. Oughterson, A. W. and Warren, S.: *Medical Effects of the Atomic Bomb in Japan*. New York, McGraw-Hill, 1956.
(日本における原子爆弾の医学的影響)
4. Neel, J. V. and Schull W. J.: The effect of exposure to the atomic bombs on pregnancy termination in Hiroshima and Nagasaki. NAS-NRC, Washington, D. C., 1956. Publication No. 461.
(広島及び長崎で被爆した人の妊娠に及ぼす原爆の影響)
5. Schull, W. J. and Neel, J. V.: Radiation and the sex ratio in man. Sex ratio among children of survivors of atomic bombings suggests induced sex-linked lethal mutations. *Science* 123: 343-348, 1956.
(放射線照射と人間における性比. 被爆生存者の児童の性比は伴性致死性突然変異の誘発を示唆する)
6. Cogan, D. G., Donaldson, D. D., and Reese, A. B.: Clinical and pathological characteristics of radiation cataract. *A.M.A. Arch. Opth.* 47: 55-70, 1952.
(放射線性白内障の臨床的並びに病理学的特質)
7. Abelson, P. H. and Kruger, P. G.: Cyclotron-induced radiation cataracts. *Science* 110: 655-657, 1949.
(サイクロトロンにより誘発された放射線性白内障)
8. Woods, A. C.: Cyclotron cataracts. *Am. J. Opth.* 47: 20-28, 1959.
(サイクロトロン白内障)
9. Cogan, D. G.: Ocular effects of radiation. *New England J. Med.* 259: 517-520, 1958.
(放射線照射の眼科的影響)
10. Cogan, D. G., Martin, S. F., Kimura, S. J., and Ikui, H.: Ophthalmologic survey of atomic bomb survivors in Japan, 1949. *Tr. Am. Opth. Soc.* 48: 62-87, 1950.
(日本における原子爆弾被爆者に関する眼科学的調査)
11. Sinskey, R. M.: The status of lenticular opacities caused by atomic radiation. Hiroshima and Nagasaki, Japan, 1951-1953. *Am. J. Opth.* 39: 285-293, 1955.
(原爆放射線によつて生じた水晶体混濁の現状)
12. Furth, J. and Furth, O. B.: Neoplastic diseases produced in mice by general irradiation with x-rays. I. Incidence and types of neoplasms. *Am. J. Cancer* 28: 54-65, 1936.
(X線の全身照射を受けた廿日ねずみに起る腫瘍性疾患. 1. 腫瘍発生率とその種類)

13. Henshaw, P. S. and Hawkins, J. W.: Incidence of leukemia in physicians. *J. Nat. Cancer Inst.* 4:339-346, 1944.
(医師における白血病発生率)
14. Folley, J. H., Borges, W., and Yamawaki, T.: Incidence of leukemia in survivors of the atomic bomb in Hiroshima and Nagasaki, Japan. *Am. J. Med.* 13:311-321, 1952.
(広島・長崎両市の原爆被爆生存者における白血病の発生率)
15. Lange, R. D., Moloney, W. C., and Yamawaki, T.: Leukemia in atomic bomb survivors. I. General observations. *Blood* 9:574-585, 1954.
(原爆被爆生存者における白血病. 1. 一般的観察)
16. Moloney, W. C. and Kastenbaum, M. A.: Leukemogenic effects of ionizing radiation on atomic bomb survivors in Hiroshima City. *Science* 121:308-309, 1955.
(広島市の原爆被爆生存者における電離放射線の白血病発生効果)
17. Wald N., Truax, W. E., Sears, M. E., Suzuki, G., and Yamamoto, T.: Hematological findings in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors: A 10 year review. *Proceedings of the 6th International Congress of the International Society of Hematology.* New York, Grune & Stratton Co., 1956.
(広島・長崎両市の原爆被爆生存者における血液学的所見—10年間の観察)
18. Heyssel, R., Brill, A. B., Woodbury, L. A., Nishimura, E. T., Ghose, T., Hoshino, T. and Yamasaki, M.: Leukemia in Hiroshima atomic bomb survivors. *Blood*, 15(3):313-331, 1960.
(広島原爆被爆生存者における白血病)
19. Tomonaga, M., Brill, A. B., Itoga, T. and Heyssel, R. M.: Leukemia in Nagasaki atomic bomb survivors. *ABCC Technical Report* 11-59, 1959.
(長崎原爆被爆者における白血病)
20. Lewis, E. B.: Leukemia and ionizing radiation. *Science* 125:965-972, 1957.
(白血病と電離放射線)
21. Buck, C.: Population size required for investigating threshold dose in radiation-induced leukemia. *Science* 129:1357-1358, 1959.
(放射線によつて誘発される白血病における線量閾値調査に必要な集団の規模)
22. Furth, J. and Tullis, J. L.: Carcinogenesis by radioactive substances. *Cancer Res.* 16:5-21, 1956.
(放射性物質による癌発生)
23. Murphy, E. S. and Yasuda, A.: Carcinoma of the stomach in Hiroshima, Japan. *Am. J. Path.* 34:531-542, 1958.
(広島における胃癌について)
24. The Research Committee on Tumor Statistics, Hiroshima City Medical Association, Hiroshima (Chairman: Harada, T. Analyst: Ishida, M.): Neoplasms among atomic bomb survivors in Hiroshima City (First Report). *ABCC Technical Report* 10-59, 1959.
(広島市原子爆弾被爆生存者における悪性新生物の疫学的観察 第一報)

25. Greulich, W. W., Crismon, C. S., and Turner, M. L.: The physical growth and development of children who survived the atomic bombing of Hiroshima or Nagasaki. *J. Pediat.* 43:121-145, 1953.
(広島又は長崎における被爆生存児童の身体的成長及び発育)
26. Yamazaki, J. N., Wright, S. W., and Wright P. M.: A study of the outcome of pregnancy in women exposed to the atomic bomb blast in Nagasaki. *J. of Cell. and Com. Physiol. Supp.* 1. 43:319-328, 1954.
(長崎における被爆女性の妊娠結果に関する研究)
27. Miller, R. W.: Delayed effects occurring within the first decade after exposure of young individuals to the Hiroshima atomic bomb. *Pediatrics* 18:1-18, 1956.
(広島において原子爆弾被爆後最初の10年間に青少年に現われた遅発性影響)
28. Blair, H. A.: Data pertaining to shortening of life span by ionizing radiation, Report UR-442, University of Rochester Atomic Energy Project, Rochester, N.Y., 1956.
(電離放射線による寿命短縮に関する資料)
29. Warren, S.: Longevity and causes of death from irradiation in physicians. *J.A.M.A.* 162:464-468, 1956.
(医師の寿命と放射線照射による死因)
30. Seltzer, R. and Sartwell, P. E.: Ionizing radiation and longevity of physicians. *J. A. M. A.* 166:585-587, 1958.
(電離放射線と医師の寿命)
32. Fillmore, P. G.: The medical examination of Hiroshima patients with radiation cataracts. *Science* 116:322-323, 1952.
(広島における白内障患者の医学的検査)
31. Court-Brown, W. M. and Doll, R.: Expectation of life and mortality from cancer among British radiologists. *Brit. M. J.* 2:181-187, 1958.
(英国放射線科医の余命と癌による死亡率)
33. Stewart, A., Webb, J., and Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies. *Brit. M. J.* 1:1495-1508, 1958.
(児童の悪性疾患の調査)