

STATURE OF ADULTS EXPOSED IN CHILDHOOD TO
THE ATOMIC BOMBS OF HIROSHIMA AND NAGASAKI

小児期に広島または長崎において原爆に被爆した者の成人期体格

JOSEPH L. BELSKY, M.D.

WILLIAM J. BLOT, Ph.D.



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。

STATURE OF ADULTS EXPOSED IN CHILDHOOD TO
THE ATOMIC BOMBS OF HIROSHIMA AND NAGASAKI

小児期に広島または長崎において原爆に被爆した者の成人期体格

JOSEPH L. BELSKY, M.D.

WILLIAM J. BLÔT, Ph.D.



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

CONTENTS

目 次

Summary	要 約	1
Introduction	緒 言	2
Methods	方 法	3
Results	結 果	4
Discussion	考 察	8
References	参考文献	11

Table	1. Number of persons under 18 ATB measured at 5th cycle examination, 1966-68	
表	原爆時年齢18歳未満の被検者数, 第5周期診察, 1966-68年	3
	2. Average heights at 5th cycle examination, 1966-68, of those under age 18 ATB, Hiroshima	
	原爆時年齢18歳未満の者の平均身長, 第5周期診察, 1966-68年, 広島	5
	3. Average heights at 5th cycle examination, 1966-68, by age ATB, rad dose, and sex, Hiroshima	
	平均身長, 第5周期診察, 1966-68年: 原爆時年齢・rad線量群・性別, 広島	5
	4. Average heights at 5th cycle examination, 1966-68, by age ATB, rad dose, and sex, Nagasaki	
	平均身長, 第5周期診察, 1966-68年: 原爆時年齢・rad線量群・性別, 長崎	6
	5. Average heights by age ATB, sex, and city	
	平均身長: 原爆時年齢・性・都市別	7
	6. Average weights at 5th cycle examination, 1966-68, by age ATB, rad dose, and sex, Hiroshima	
	平均体重, 第5周期診察, 1966-68年: 原爆時年齢・rad線量群・性別, 広島	7
	7. Average weights at 5th cycle examination, 1966-68, by high rad dose groups, age ATB, and sex, Hiroshima	
	平均体重, 第5周期診察, 1966-68年: 高rad線量群・原爆時年齢・性別, 広島	8
	8. Average weights at 5th cycle examination, 1966-68, by age ATB, rad dose, and sex, Nagasaki	
	平均体重, 第5周期診察, 1966-68年: 原爆時年齢・rad線量群・性別, 長崎	8
Figure	1. Average adult height at 5th cycle examination, 1966-68, by age ATB, rad dose, and sex, Nagasaki	
図	平均身長, 第5周期診察, 1966-68年: 原爆時年齢・rad線量群・性別, 長崎	6

Approved 承認 19 November 1971

STATURE OF ADULTS EXPOSED IN CHILDHOOD TO
THE ATOMIC BOMBS OF HIROSHIMA AND NAGASAKI

小児期に広島または長崎において原爆に被爆した者の成人期体格

JOSEPH L. BELSKY, M.D.¹; WILLIAM J. BLOT, Ph.D.²Departments of Medicine¹ and Statistics²臨床部¹ および統計部²

SUMMARY

During the 5th Cycle of biennial examinations conducted at ABCC (1966-68), height and weight measurements were obtained for approximately 3200 adult residents of Hiroshima and Nagasaki who were children under age 18 at the time of the atomic bombs of 1945 (ATB). The individuals in each city were classified according to sex, age, and estimated radiation dose.

Analyses of the measurements found adult height to be significantly lowered among Hiroshima males and females exposed to high doses (100+rad) of radiation when they were aged 0-5 years ATB; however, the effect of dose declined with increasing age ATB. No differences were noted among those aged 12-17 ATB. For Nagasaki, no statistically significant differences in means for height were noted by A-bomb dose group, although, for females who were 0-5 years ATB the highest dose group had the smallest mean height.

Weight was also lower for Hiroshima residents exposed in childhood to high doses. Smaller adult weights were evident for all ages, not only for those exposed while very young. No significant differences were seen in Nagasaki survivors.

Nonradiation physical and psychological stresses that could affect growth are discussed. Still, it is concluded that a growth retarding effect of radiation can be demonstrated for the youngest heavily

要約

- ABCCにおいて行なわれる2年に1回の定期検診の第5周期診察(1966-68年)の際に、1945年の原爆時に18歳未満であった広島と長崎の住民約3200人について身長および体重の測定を行なった。両市における対象者を性、年齢および推定被曝放射線量別に分類して検討した。

測定値の解析の結果、原爆時年齢が0-5歳で高線量(100 rad以上)を受けた広島の対象者の身長は、男女とも有意に低いと認められた。しかし、放射線の影響は、原爆時年齢が高い者ほど少なかった。原爆時に12-17歳であった者の間には差は認められなかった。長崎では、原爆時年齢が0-5歳であった最高線量群中の女子の平均身長が最も低かったが、各線量群の身長平均値の間には統計学的に有意差はなかった。

小児期に高線量を受けた広島住民では、体重も少ないことが認められた。この体重の低下は、乳幼児期に被曝した者のみならず、すべての年齢群に認められた。長崎の被曝者では、有意な差を認めなかった。

放射線以外に成長に影響を及ぼしうる身体的および精神的ストレスについても考察を加えた。強度被曝の最若年齢群には、やはり、放射線による成長遅滞効果が認めら

Keywords: Height, Weight, Growth, Children ATB

exposed children. Combined with prior observations at ABCC, a somatic effect due to exposure to high doses of A-bomb radiation is apparent from conception through early adolescence. The mechanism (s) for this is unknown.

INTRODUCTION

Studies by ABCC have shown that somatic effects can be attributed to radiation exposure from the A-bomb.

For persons in utero ATB, examinations during adolescence¹ and again at age 17² revealed both height and weight to be smaller in those with high maternal exposure. Growth retardation was more significantly shown for Hiroshima offspring and was least apparent, statistically, among boys in Nagasaki.

However, findings for height and weight have been less uniformly revealing in studies of those exposed to the A-bombs in childhood. Greulich et al³ compared children from Hiroshima and Nagasaki with those from neighboring cities in 1947-50, and noted comparative reduction in growth among Hiroshima boys. A study⁴ of 2744 Hiroshima children aged 5-19 in 1951-53 revealed some height and weight differences possibly attributable to radiation. Nehemias⁵ used the data on these same subjects and found a negative correlation with twelve anthropomorphic measurements and an "exposure index." Though differences were statistically significant, Nehemias was hesitant to conclude that small size in "exposed" children was attributable solely to A-bomb radiation. He noted several nonradiation effects which could have a bearing on growth but for which data were lacking.

Since a new dosimetry⁶ has become available, called "T65D," total individual radiation (gamma plus neutron) dose estimates, in rad,* have been assigned to over 95% of the ABCC-JNIH Adult Health Study (AHS) population.⁷ This population, of 20,000 members selected from the 1950 A-bomb Survivors Survey and other censuses, includes groups with varying A-bomb exposures matched by age and sex.

Biennial clinical examinations of subjects were recently analyzed for the first five cycles (1958-68) of the AHS.⁸ With the new dose estimates, it was found that those exposed to 100+rad at ages 0-19 ATB had smaller mean heights and weights.

れるとの結論に達した。ABCCにおける以前の観察結果を勘案すれば、胎内期から思春期初期にかけての高線量被曝に起因する身体的影響が明白に認められる。その機序は不明である。

緒言

ABCCにおける調査では、原爆放射線被曝に起因すると考えられる身体的影響が認められている。

胎内被曝者についての思春期調査¹およびその17歳時における診察²では、母親が強度に放射線被曝している者において、その身長・体重がともに低下していることが認められた。この成長遅滞は、広島において、より有意であり、長崎の男子において統計学的に最も軽度であった。

しかし、小児期に原爆に被曝した者の調査では、身長および体重に関して一貫した所見は認められていない。Greulichら³は、1947-50年の期間に広島および長崎の児童と近隣都市の児童との比較を行ない、広島の男児の成長が比較的低下していることを認めた。1951-53年に広島で5-19歳の子供2744人について行なわれた調査⁴では、身長および体重に放射線被曝によると考えられる差が若干認められた。Nehemias⁵は、これらと同一の対象者についての資料を用いて12項目の人体計測値と「被曝指標」との間の関係を調べ、負の相関を認めた。この差は統計学的に有意であったが、Nehemiasは、「被曝した」子供の身体が小さいのを原爆放射線のみ起因するものと結論することにちゅうちょした。かれは、放射線以外に成長に影響を及ぼしうる要因がいくつかあることを指摘した。ただし、それに関する資料はなかった。

"T 65D"と称する新しい線量推定法⁶が採用されて以来、ABCC-予研成人健康調査⁷対象集団の95%以上に対して個別にrad*単位による放射線量(ガンマ線と中性子線の合計)が推定されている。この調査対象集団は、1950年度原爆被曝者調査およびその他の人口調査に基づいて選定された20,000人の対象者からなり、種々の程度で原爆被曝を受けた者の年齢および性別構成が一致するようになっている。

成人健康調査で各対象者について2年に1回の割合で行なわれる定期検診の最初の5周期(1958-68年)の診察について最近解析が行なわれた。⁸この新しい線量推定値を使用した解析により、原爆時年齢が0-19歳で100rad以上の線量に被曝した者は、身長および体重の平均値の小さいことが認められている。

* Unit expressing the absorbed dose of ionizing radiation, corresponding to an energy transfer of 100 ergs per gram of irradiated tissue.

これは電離放射線の吸収線量を表わす単位で、照射を受けた組織1g当たり100ergのエネルギー移動に相当する。

The purpose of the present study is to examine in greater detail the possible growth retarding effects of radiation in childhood. In particular we wished to test the hypothesis⁸ that the youngest among those exposed might be the most susceptible.

METHODS

Height and weight measurements were obtained for approximately 3200 AHS members who were less than 18 years old ATB. Height was recorded to the nearest centimeter, and weight to the nearest 0.1 kilogram. The measurements analyzed in the present study were taken in 1966-68 during the 5th Cycle of biennial examinations conducted at ABCC. Individual ages in 1966 ranged from 21 through 38 years corresponding to ages through 17 years ATB. Hence, the period of maximum growth (at least for height) had essentially been completed for the group under consideration, and the measurements are considered adult values.

今回の調査の目的は、小児期における放射線被曝の成長遅滞効果の可能性をより詳細に調べることにある。特に、被爆者中の最年少者が最も影響を受けやすいであろうという仮説⁸の検討を行ないたいと考えた。

方法

成人健康調査対象者のうちで原爆時に18歳未満であった者約3200人について身長および体重の計測値を入手した。身長はcm単位、体重は0.1 kg単位で記録した。本調査で解析した計測値は、ABCCで2年ごとに実施されている定期診察の第5周期(1966-68年)に測定されたものである。原爆時年齢17歳以下に相当する各対象者の1966年当時の年齢は、21-38歳の範囲内であった。したがって、ここで考察を行なう調査対象群では、最大の成長(少なくとも身長の成長)の期間は完了しており、これらの計測値は成人値であるとみなした。

TABLE 1 NUMBER OF PERSONS UNDER 18 ATB MEASURED AT 5TH CYCLE EXAMINATION, 1966-68

表1 原爆時年齢18歳未満の被検者数, 第5周期診察, 1966-68年

Age ATB 原爆時年齢	Male 男					Female 女				
	NIC 市内不在者	0-9 rad	10-99	100+	Total 計	NIC 市内不在者	0-9 rad	10-99	100+	Total 計
Hiroshima 広島										
0-5	34	40	42	30	146	50	69	59	34	212
6-11	32	38	25	23	118	36	65	40	28	169
12-17	128	249	107	89	573	207	281	209	117	814
Total 計	194	327	174	142	837	293	415	308	179	1195
Nagasaki 長崎										
0-5	31	29	17	30	107	27	36	17	32	112
6-11	14	54	23	21	112	59	62	26	38	185
12-17	87	82	48	118	335	108	153	70	175	506
Total 計	132	165	88	169	554	194	251	113	245	803

The sample study group was subdivided according to city, sex, and three age ATB levels: 0-5 years, 6-11 years, and 12-17 years. Each individual was classified according to an estimated exposure to A-bomb radiation.⁶ Four radiation dose groups were employed: not in city (NIC), 0-9 rad, 10-99 rad, and 100 or more (100+) rad. In Nagasaki, because of small numbers of individuals in the AHS who received between 10 and 99 rad, this subdivision was not included in the analysis (its exclusion increased the power of the Nagasaki analysis by approximately one-fourth). Table 1 lists the numbers of individuals in each subdivision of the sample.

調査対象群は、都市別、性別、および三つの原爆時年齢群別(0-5歳, 6-11歳, 12-17歳)に細分した。各対象者を推定原爆放射線量別⁶に分類した。放射線量によって次の4群に分類した: 市内にいなかった群, 0-9 rad群, 10-99 rad群および100 rad以上の群。長崎では成人健康調査対象者のうちで10-99 radを受けた者が少ないので、解析ではこの区分は含めなかった(それを除外したことにより、長崎の解析の検定能は約4分の1ほど増加した)。調査対象集団の各区分群における対象者数を表1に示した。

The data, both height and weight, were described by a statistical linear model with a normally distributed error term. The model, for both Hiroshima and Nagasaki, contained parameters representing sex, age ATB, and dose differences as well as sex-dose and age ATB-dose interaction differences (An interaction between two factors is said to exist if the differences among levels of one factor are not the same for each level of the other factor. For example, the presence of a sex-dose interaction indicates that differences among the several dose groupings are different for males and females).

Analysis of Variance techniques were utilized to determine whether the parameters of the models associated with dose differences were significantly different from zero; that is, to see if differences between the dose groupings did, in fact, exist. The statistical tests performed were sufficiently powerful to detect (in the absence of interaction), with at least 80% probability, actual differences between the dose groupings of approximately 1.3 cm in height and 1.9 kg in weight for both Hiroshima and Nagasaki.

RESULTS

Radiation and Height. In Hiroshima it was found that exposure to high doses of A-bomb radiation resulted in a marked reduction in mean height for those who were very young ATB, but its effect diminished with increasing age (The Analysis of Variance yielded a highly significant ($P < .01$) age ATB-dose interaction). Dose comparisons were made within the age ATB levels by means of Duncan's New Multiple Range Test.⁹ These showed that the average height for those aged 0-5 ATB was significantly ($P < .05$) or highly significantly ($P < .01$), smaller for the 100+ rad dose group in comparison with each of the NIC, 0-9 rad, and 10-99 rad means for both males and females; over 4.4 cm smaller for males and 2.5 cm smaller for females (Table 2). For those aged 6-11 years ATB, smaller height was again found for the 100+ rad dose group, though to a lesser degree. For those aged 12-17 years ATB no apparent differences between the four dose groups were in evidence. Comparisons of the averages of the 100+ group and the remaining two in-city dose groups combined are shown in Figure 1.

In a further look at the high dose effect in Hiroshima, the 100+ rad group was divided into 100-249 rad and 250+ rad groups. The means for heights (cm) and sample sizes for each age ATB level for these two high dose categories are shown in Table 3.

It can be seen that, for the youngest age group, those aged 0-5 years ATB, the 250+ rad mean heights

身長および体重の資料に対して、正規分布をする誤差項を有する統計学的な線型模型を当てはめた。その模型は、広島・長崎ともに、性、原爆時年齢および線量の差を示すパラメーターならびに性と線量との交互作用差および原爆時年齢と線量との交互作用差を示すパラメーターを含んでいる。(二つの因子の間に交互作用があるとは、一方の因子の各水準間の差が他方の因子の各水準に対して同一でない場合をいう。たとえば、性と線量との交互作用が存在するとは、設けられたいくつかの線量区分の間における差が男女で異なることを示す)。

この模型において線量の差に関連するパラメーターが0から有意に異なっていたかどうか、すなわち、各線量群間の差が実際に存在したかどうかは分散分析法を用いて決定した。実施した統計学的検定法は、広島・長崎のいずれにおいても、(交互作用のない場合に)各線量群間に身長で約1.3 cm、体重で約1.9 kgの差を少なくとも80%の確率で検知できる検定能を有していた。

結果

放射線と身長。 広島では、高線量の原爆放射線被曝は、原爆時年齢がきわめて低かった者の平均身長に著しい低下をもたらしたが、その影響は年齢の高かった者ほど軽度であると認められた。(分散分析は原爆時年齢と線量との間にきわめて有意な($P < .01$)交互作用を示した)。Duncanの多重範囲検定法⁹を用いてそれぞれの原爆時年齢群について線量別の比較を行なった。その結果、原爆時年齢0-5歳群における100 rad以上の者の平均身長は、男女とも、市内にいなかった者、0-9 radの者および10-99 radの者の平均値に比較して、有意に($P < .05$)またはきわめて有意に($P < .01$)低いと認められた。すなわち、男子においては4.4 cm以上も小さく、女子においては2.5 cmも小さかった(表2)。原爆時年齢6-11歳群でも、100 rad以上の線量群の身長は、上記ほどではないにしても、より低いことが再認められた。原爆時に12-17歳であった者については、四つの線量群間に明白な差は認められなかった。100 rad以上の群と市内にいた者の他の二つの線量群とを合計した平均値の比較を図1に示した。

広島における高線量の影響をさらに検討するために、100 rad以上の群を100-249 radおよび250 rad以上の群に分けた。これら二つの高線量群における各原爆時年齢層の平均身長(cm)および対象者数を表3に示した。

最年少群、つまり原爆時0-5歳であった者の場合では、250 rad以上の群の平均身長は男女とも低いことが認め

TABLE 2 AVERAGE HEIGHTS (cm) AT 5TH CYCLE EXAMINATION, 1966-68, OF THOSE UNDER AGE 18 ATB, HIROSHIMA

表2 原爆時年齢18歳未満の者の平均身長 (cm), 第5周期診察, 1966-68年, 広島

Age ATB 原爆時年齢	NIC 市内不在者	0-9 rad	10-99	100+
Male 男				
0-5	166.4**	166.1**	165.9**	161.5
6-11	162.3	164.2	166.3*	162.2
12-17	164.3	163.6	164.3	163.4
Female 女				
0-5	153.3*	153.6**	152.9*	150.4
6-11	152.5	153.6*	153.6*	150.5
12-17	152.1	152.3	152.2	151.9

* (P<.05) greater than 100+ average.
100+群の平均値より大

** (P<.01) greater than 100+ average.
100+群の平均値より大.

TABLE 3 AVERAGE HEIGHTS (cm) AT 5TH CYCLE EXAMINATION, 1966-68, BY AGE ATB, RAD DOSE, & SEX, HIROSHIMA

表3 平均身長 (cm), 第5周期診察, 1966-68年: 原爆時年齢・rad 線量群・性別, 広島

Age ATB 原爆時年齢		Male 男		Female 女	
		100-249	250+ rad	100-249	250+
0-5	Mean 平均値	164.2	159.8	151.8	149.8
	Number 数	12	18	11	23
6-11	Mean	162.7	161.5	150.4	150.5
	Number	13	10	17	11
12-17	Mean	163.2	163.5	152.1	151.7
	Number	43	46	58	59

were smaller for both males and females. The difference from the 100-249 rad group was statistically significant (P<.05) for males. Average heights at ages 6-11 years for females and 12-17 years ATB were approximately the same for the two dose groups.

In Nagasaki the effect of dose upon height was not statistically significant, although the mean height of Nagasaki females aged 0-5 years ATB was smallest for those who were exposed to 100 or more rad (Table 4). The same was not true for males in whom those exposed to 0-9 rad at age 0-5 years ATB show the smallest mean height. For both the 6-11 year and 12-17 year groups, however, the mean height for boys in the high dose exposure group was the smallest. In fact, for those aged 12-17 years ATB, it was significantly (P<.05 by Student's t-test) less than the low dose group averages.

Age and Height. In both Hiroshima and Nagasaki there existed a statistically significant age effect on height. The effect is characterized by a diminution in

られる。男子では、100-249 rad 群との差は統計学的に有意であった (P<.05)。原爆時年齢 6-11歳の女子および12-17歳群における平均身長は、両線量群においてほぼ同じであった。

長崎では、100 rad 以上の群における原爆時年齢 0-5歳の女子の平均身長は最も低かったが、線量が身長に及ぼした影響は統計学的に有意ではなかった (表4)。一方、男子では原爆時 0-5歳で 0-9 rad に被曝した者の平均身長が最も低かった。しかし、6-11歳および12-17歳群の男子では、高線量被曝群の平均身長が最も低かった。事実、原爆時年齢12-17歳の者では、それは低線量群の平均値よりも有意に低かった (Student の t 検定で P<.05)。

年齢と身長。 広島・長崎のいずれにおいても、年齢の身長に対する影響は統計学的に有意であった。この影響は、小児期に被曝した時の年齢が高いほど成人期身長が

FIGURE 1 AVERAGE ADULT HEIGHT AT 5TH CYCLE EXAMINATION, 1966-68,
BY AGE ATB & RAD DOSE, HIROSHIMA

図1 平均成人期身長，第5周期診察，1966-68年：原爆時年齢・rad線量群別，広島

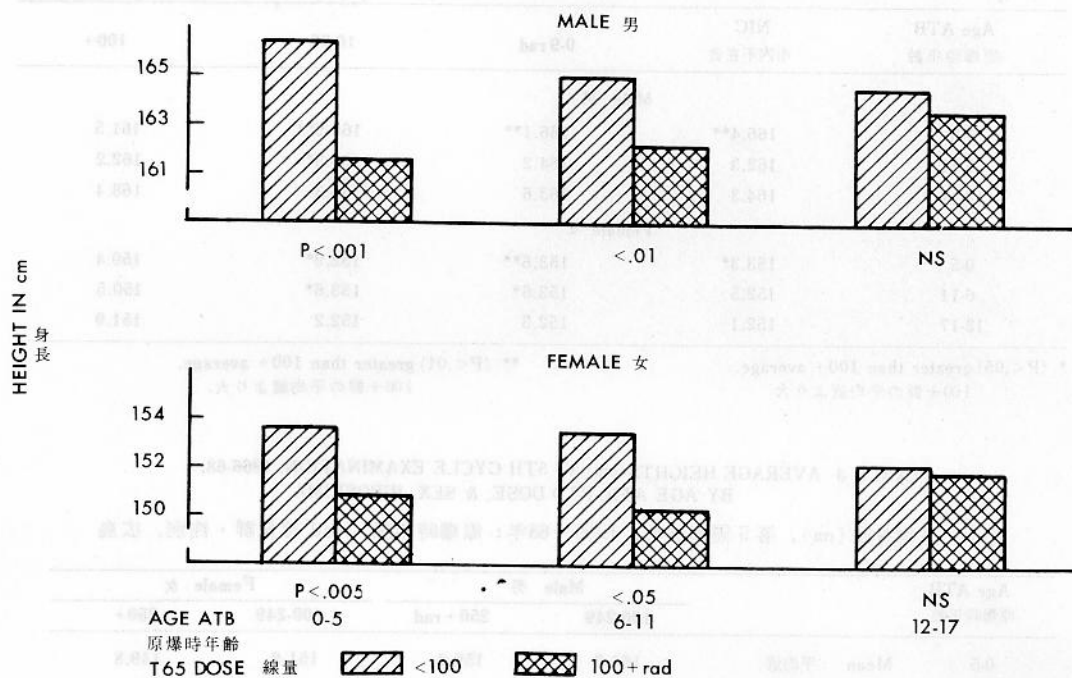


TABLE 4 AVERAGE HEIGHTS (cm) AT 5TH CYCLE EXAMINATION, 1966-68,
BY AGE ATB, RAD DOSE, & SEX, NAGASAKI

表4 平均身長 (cm)，第5周期診察，1966-68年：原爆時年齢・rad線量群・性別，長崎

Age ATB 原爆時年齢	NIC 市内不在者	0-9 rad	100+
Male 男			
0-5	166.2	162.2	166.2
6-11	164.0	164.1	162.7
12-17	163.2	163.9	161.8
Female 女			
0-5	152.8	152.9	150.8
6-11	152.4	151.3	151.5
12-17	151.8	151.6	151.2

adult height with increasing age at childhood exposure (Table 5). That is, as adults, each mean height is smaller for successive 6-year age groups.

In comparing heights in corresponding age ATB levels between Hiroshima and Nagasaki, all six of the comparisons in Table 5 for Hiroshima show average heights to be as great or greater than Nagasaki average heights. For males aged 0-5 and females aged 6-11 the differences were significant ($P < .05$).

低いことが特徴であった(表5)。すなわち，成人期における平均身長は各6歳年齢階級群において高年齢になるに従って低くなるのである。

広島および長崎における原爆時同一年齢階級群の身長を比較すると，表5に示した六つの比較にみられるように，いずれも広島平均身長は長崎と同等もしくはそれ以上であることが認められる。0-5歳の男子および6-11歳の女子においては，その差は有意であった($P < .05$)。

TABLE 5 AVERAGE HEIGHTS (cm) BY AGE ATB, SEX, & CITY

表5 平均身長 (cm) : 原爆時年齢・性・都市別

Age ATB 原爆時年齢	Male 男	Female 女
Hiroshima 広島		
0-5	166.1	153.3
6-11	164.1	153.3
12-17	163.9	152.2
Nagasaki 長崎		
0-5	164.3	152.9
6-11	164.1	151.8
12-17	163.5	151.7

Radiation and Weight. An Analysis of Variance was also performed for weight. It should be kept in mind that the height and weight measurements were obtained for the same 3200 individuals, and hence the statistical analyses for height and weight are not independent. In fact, since height and weight are positively correlated, if height for a particular sample division is large (or small), we might expect weight for that sample division to also be large (or small).

In Hiroshima the statistical analysis on weight measurements uncovered smaller mean weights among those who had received high doses of A-bomb radiation (Table 6). No significant age ATB-dose interaction was found. The effect of dose was suggestive ($P < .10$). For every age ATB group, for both males and females, the average weight was smallest for those in the high dose (100+rad) group. Multiple ranking procedures showed, for males, the 100+ mean to be smaller than the mean values for NIC and 10-99 rad ($P < .05$) groups at age level 0-5

放射線と体重. 体重についても分散分析を行なった. 身長および体重の測定値は, 同じ3200人の対象者について求められたものであるので, 身長と体重の統計学的解析は独立ではないことに注意すべきである. 事実, 身長と体重との間には正の相関があるので, ある特定の区分群の身長が大きい(または小さい)場合は, その区分群の体重も多い(または少ない)ことが期待されるであろう.

広島における体重測定値の統計学的解析の結果, 高線量の原爆放射線を受けている者の平均体重は少ないことが明らかにされた(表6). 原爆時年齢と線量との間には有意な交互作用は認められなかった. 線量の影響が示唆された($P < .10$). いずれの原爆時年齢群においても, 男女とも高線量(100 rad以上)群の者の平均体重が最も少なかった. 多重序列法によれば, 男子では100 rad以上を受けた者の平均値は, 原爆時年齢0-5歳群において, 市内にいなかった者や10-99 radの者の平均値より小さく($P < .05$), 6-11歳群においてはその他のすべての平均値より小さく($P < .01$), また, 12-17歳群におい

TABLE 6 AVERAGE WEIGHTS (kg) AT 5TH CYCLE EXAMINATION, 1966-68, BY AGE ATB, RAD DOSE, & SEX, HIROSHIMA

表6 平均体重 (kg), 第5周期診察, 1966-68年: 原爆時年齢・rad線量群・性別, 広島

Age ATB 原爆時年齢	NIC 市内不在者	0-9 rad	10-99	100+
Male 男				
0-5	57.5*	56.2	57.0*	52.7
6-11	57.7**	57.1**	61.0**	51.8
12-17	58.4**	57.3*	56.1	55.0
Female 女				
0-5	49.6	51.1*	48.8	47.1
6-11	50.1	52.1	50.9	48.6
12-17	51.9*	50.7	51.5*	49.6

* ($P < .05$) greater than 100+ average.
100+群の平均値より大.

** ($P < .01$) greater than 100+ average.
100+群の平均値より大.

TABLE 7 AVERAGE WEIGHTS (kg) AT 5TH CYCLE EXAMINATION, 1966-68, BY HIGH RAD DOSE GROUPS, AGE ATB, & SEX, HIROSHIMA

表7 平均体重(kg), 第5周期診察, 1966-68年: 高rad線量群・原爆時年齢・性別, 広島

Age ATB 原爆時年齢	Male 男		Female 女	
	100-249 rad	250+	100-249	250+
0-5	52.3	52.9	47.2	47.0
6-11	52.7	50.4	49.5	47.3
12-17	55.9	54.1	49.3	49.8

TABLE 8 AVERAGE WEIGHTS (kg) AT 5TH CYCLE EXAMINATION, 1966-68, BY AGE ATB, RAD DOSE, & SEX, NAGASAKI

表8 平均体重(kg), 第5周期診察, 1966-68年: 原爆時年齢・rad線量群・性別, 長崎

Age ATB 原爆時年齢	NIC 市内不在者	0-9 rad	100+
	Male 男		
0-5 6-11 12-17	56.3	54.3	56.8
	57.9	56.3	56.2
	57.8	58.3	55.3
Female 女 0-5 6-11 12-17	48.8	47.3	46.6
	52.2	49.8	49.9
	51.8	48.9	50.0

years, than all the means ($P<.01$) at age level 6-11 years, and than the mean values for the NIC ($P<.01$) and 0-9 ($P<.05$) groups at age level 12-17. For females, values for the 100+rad group were significantly ($P<.05$) smaller than the 0-9 rad mean in the 0-5 year age ATB group, and than the NIC and 10-99 means in the 12-17 year age ATB group.

When the 100+ group was subdivided into 100-249 rad and 250+rad groups, no significant differences between these two high dose categories were noted. The average weights for these are shown in Table 7.

In Nagasaki no significant dose effect upon weight was noted, though mean weights are smallest in the 100+rad group for females 0-5 years, and for males 6-11 years and 12-17 years ATB (Table 8).

DISCUSSION

From measurements of approximately 3200 residents less than 18 years old ATB in the cities of Hiroshima and Nagasaki, it was sought to determine whether a child's exposure to high doses of A-bomb radiation in 1945 resulted in either reduced adult height or weight about two decades later. Of primary concern was the hypothesis that the effect of such exposure upon growth (height) might depend upon the age of the

ては市内にいなかった者 ($P<.01$) および 0-9 rad の者 ($P<.05$) の平均値より小さいことが認められた。女子では、100 rad 以上の者の値は、原爆時年齢 0-5 歳群においては、0-9 rad の者の平均値よりも有意に小さく ($P<.05$)、また、12-17 歳群においては、市内にいなかった者および 10-99 rad の者の平均値よりも同様に有意に小さかった。

100 rad 以上の群をさらに 100-249 rad および 250 rad 以上の者に細分してみると、これら二つの高線量群の間に有意な差は認められなかった。これらの平均体重は表7に示した。

長崎では、原爆時年齢 0-5 歳の女子ならびに 6-11 歳および 12-17 歳の男子における平均体重は最も少なかったが、線量の体重に対する有意な影響は認められなかった (表8)。

考察

原爆時に18歳未満であった広島・長崎両市の住民約3200人の計測値について調べ、小児期に1945年の原爆による高線量放射線に被曝したことのために約20年後の成人期における身長または体重に低下があるかどうかの決定を試みた。おもな課題としては、このような被曝が成長(身長)に及ぼす影響の度合いは原爆時の小児期年齢に左右されたかかもしれず、特に原爆時幼少(0-5歳)であった

child ATB, and, in particular, that those who were very young (aged 0-5) ATB might be more susceptible to impaired future growth than those in the adolescent stage or older. For heights in Hiroshima this conjecture was confirmed. Hence, for Hiroshima, somatic retardation due to radiation, as has been noted in those exposed in utero,² is evident in early childhood but not beyond.

Though no significant dose effects were uncovered by the analysis of the Nagasaki data, the directions of differences in heights between exposure groups for Nagasaki females were consistent with the patterns found in Hiroshima. For males in Nagasaki this was not the case. For those aged 0-5 ATB, exposed to high doses, there was no radiation related reduction in height; but for those aged 12-17 ATB, who were exposed to 100+rad, smaller stature was found.

Just why a radiation effect which is so striking in Hiroshima is less evident in Nagasaki, especially among males, is not clear. It may be important to judge the differences between the cities in the light of known differences in the quality of radiation incurred. Fission neutrons accounted for a large percent of the total A-bomb radiation in Hiroshima, but only a negligible percent in Nagasaki.^{6,10} Although the dose groups as used in this study show total radiation in rad, for equivalent doses the biologic effects in Hiroshima compared with Nagasaki could differ by any order of magnitude corresponding to any relative biologic effectiveness (RBE) of neutrons greater than 1. At ABCC, estimates for RBE have been made for leukemia, other cancers, and certain acute radiation effects in order to explain observed differences between Hiroshima and Nagasaki.¹¹⁻¹³ In animal studies¹⁴ an effect of neutrons on growth retardation has been shown, and for equivalent energies, this seemed more pronounced than X-rays. Neutron growth retarding effects have been shown to be greater in younger animals.¹⁵

It would be facile to ascribe the observed intercity differences entirely to simple differences in radiation components on the basis of the present analysis. Other factors may be relevant, including errors in dose estimation and sampling bias, particularly in Nagasaki. However, it would seem unusual for these factors to operate so uniformly for Nagasaki males in our study and also in the in utero studies of Burrow et al¹ and Wood et al.²

The striking differences between the two city groups, especially in height, lead us to tentatively entertain the proposal that this observation is explainable, at least in part, on the basis of the great magnitude of the neutron component of radiation

者は、当時思春期以後の年齢にあった者よりもその後の成長に障害を受けやすかったかもしれないという仮説を検討した。広島における身長については、この推測は確認された。したがって、広島の場合、胎内被爆者²に認められていると同様な放射線による身体的発育遅滞が最年少期被爆者に認められるが、それより年長の者には認められない。

長崎の資料の解析では、有意な線量影響は認められなかったが、長崎の女子では被爆群間における身長差の傾向は、広島で認められたパターンと一致したものであった。しかし、長崎の男子についてはこれは当てはまらない。すなわち、原爆時0-5歳で高線量に被曝した者では、放射線に関連した身長の低下はなかった。しかし、原爆時12-17歳で100 rad以上に被曝した者には身長の低下が認められた。

広島では著明である放射線影響がなぜ長崎、それも特に男子にそれほど認められないかは明らかでない。両市間に存在すると認められている線質の差を考慮して、この両市間の差を評価することが肝要かもしれない。広島では、核分裂による中性子が原爆の総放射線のかなりの部分を占めていたが、長崎ではその割合は無視できるほどのものではなかった。^{6,10} 本調査で用いた線量群は、rad単位の総放射線量に基づいているが、線量が同一であっても中性子の相対的生物学的効果比(RBE)が1より大きい場合、長崎と比較して広島における生物学的影響は、それに相応した差を示す可能性がある。ABCCでは、白血病、その他の癌および特定の急性放射線影響について、広島・長崎間に観察されている差を説明するため、RBEの推定が行なわれている。¹¹⁻¹³ 動物実験¹⁴によれば、中性子は成長遅滞効果を及ぼすことが認められており、同一エネルギーの場合でも、これはX線よりも著明のように思われる。中性子による成長遅滞効果は若い動物ほど著明に認められている。¹⁵

本解析の結果から、両市間に観察された差が全面的に放射線成分における単純な差に帰すると考えることは容易であろう。しかし、その他の因子、特に長崎における線量推定値の誤差およびサンプル抽出上の偏りも関連があるかもしれない。しかし、これらの因子がわれわれの調査においてのみならず、Burrowら¹およびWoodら²の胎内被爆者調査においても、長崎の男子に対してこれほど一様に働くということは異常であるように思われる。

両市間の差、特に身長における著明な差については、長崎では中性子線量が無視できるほどのものであったのに対して、広島の放射線中の中性子線量は大きかったということによって、この観察は少なくとも部分的には説明

received in Hiroshima compared with the negligible neutron count in Nagasaki.

We feel that variations in height and weight found among the dose groups within each city can reasonably be attributed to differing exposures to total atomic radiation itself. Other factors which may affect growth in children could have been present during the wartime and post-bomb periods. Among these are malnourishment, disease, and physical and psychological stresses, as noted by Nehemias.⁵ The residents comprising the proximally exposed population (all those in the 100+, 10-99, and many in the 0-9 groups) also may differ from the more distally located survivors, and especially the NIC group, in socioeconomic aspects. All these, and other factors, could have conditioned heavily exposed children to increased somatic responsiveness to total body radiation from the A-bombs, or could, themselves, have affected subsequent growth. Despite these conjectures it is likely that disruption of normal life and undernutrition were widespread and probably affected all in-city comparison groups nearly equally in the immediate post-bomb period.

Selection of adult heights for comparison between exposure groups should minimize the problem of transient interruptions to normal rate of growth.⁵ That is, even for those children who sustained growth affecting traumas from the A-bomb, or at any other time, subsequent recovery in rate of growth, if they survived, could be assumed. Indeed our evidence, that the youngest at exposure have become taller as adults, in comparison with slightly older children exposed at the same time, suggests this assumption may be valid.

Since stature is primarily a result of genetic influences, the size of the parents would be a useful covariate in evaluating adult height of our subjects. Parental heights and weights were not available to us. However, both heights and weights of subjects aged 20-49 ATB, a range which spans the generation of parents of our study subjects, showed no significant variation according to dose.⁸

The mechanism (s) for the apparent radiation induced diminished adult stature in those heavily exposed in early childhood is not clarified by these studies. The early years are clearly highly susceptible to growth retardation as they are to radiation carcinogenesis.¹⁶ For instance, some Marshall Islands children exposed to external and internal (iodide) radiation in 1954 were noted to have significant reduction in height.¹⁷ Subsequent investigation showed a high proportion of thyroid dysfunction, and this is the presumed cause of their short stature.¹⁸

できるという提言を、暫定的に受け入れざるをえないのである。

両市におけるそれぞれの被曝線量群間に認められた身長および体重の差は、原爆の総放射線量そのものの差に起因すると考えるのは合理的であると思われる。戦時中および原爆投下後の期間には、小児の成長に影響を及ぼしうるその他の因子があったかもしれないと考えられた。たとえば、Nehemias⁵も指摘しているような栄養不良、疾病ならびに身体的および心理的ストレスなどである。また、近距離被曝群（100 rad以上の者および10-99 radの者全員、ならびに0-9 rad群中の多数）は、より遠距離の被曝群および特に市内にいなかった群と社会経済的な面で差がある。これらのすべての因子やその他の因子によって、強度に被曝した子供において原爆放射線の全身被曝に対する身体的反応の増強をもたらすような条件づけがなされたか、あるいはそれらの因子自体がその後の成長に影響を及ぼしたかもしれない。このような種々の推測が可能ではあるが、原爆直後の期間においては、日常生活の破綻や栄養不良が広範囲にわたって起こり、市内にいた者で構成される各比較群に対してもおそらくほとんど均一に影響を及ぼしたと想像される。

各被曝群間の比較に成人期身長を選んだことは、正常な成長率に対する一時的な障害の問題を最小限にするはずである。⁵ すなわち、原爆時またはその他の時期に成長に影響を及ぼすような外傷を受けた小児についてさえも、本人たちが生存していれば、その後に成長率が回復したであろうと推測できる。実際、被曝時に最年少であった者の成人期身長は、同時にやや年長で被曝した児童に比べて、より高くなっているというわれわれの所見は、この推測が妥当であるかもしれないことを示唆する。

体格は主として遺伝的影響の結果であるから、対象者の成人期身長を評価するには両親の大きさが有用な共変数であろう。両親の身長および体重の資料は入手していないが、本調査対象の両親の世代にあたる原爆時年齢20-49歳の者の身長および体重はいずれも線量に応じた有意な変化を示さない。⁸

乳幼児期に強度被曝した者にみられた放射線誘発性と思われる成人期体格の低下の機序は、今回の調査によっては明らかにできなかった。幼児期は放射線性発癌に対する感受性が高い¹⁶とともに、成長遅滞に対しても明らかに感受性が高い。たとえば、1954年に外部および内部的（ヨウ化物）放射線照射を受けた Marshall 群島の小児の幾人かに身長の有意味な低下が認められている。¹⁷ その後の調査では、甲状腺機能障害が高率に認められ、これが短軀の原因と考えられている。¹⁸ しかし、原爆による

However, fallout from the A-bomb occurred only in isolated districts and did not uniformly affect survivors.¹⁹ No evidence of hormonal dysfunction has thus far been found in prior ABCC studies. Which growth factor (s) may be modified by A-bomb radiation exposure is not known. Further exploration of this is now in progress.²⁰

放射性降下物は限定された地域にのみ発生し、被爆者に対して画一的には影響していない。¹⁹ 従来のABCC調査では、これまでにホルモン機能障害の徴候は認められていない。どの成長因子が原爆放射線被曝によって影響されるかは明らかでない。これについては、今なお追求中である。²⁰

REFERENCES

参考文献

1. BURROW GN, HAMILTON HB, HRUBEC Z: Study of adolescents exposed in utero. Clinical and Laboratory data, Nagasaki 1958-59. JAMA 192:357-64, 1965
2. WOOD JW, KEEHN RJ, KAWAMOTO S, JOHNSON K: The growth and development of children exposed in utero to the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. Am J Public Health 57:1374-80, 1967
3. GREULICH WN, CRISMON CS, TURNER ML: The physical growth and development of children who survived the atomic bombings of Hiroshima or Nagasaki. J Pediatr 43:121-45, 1953
4. REYNOLDS EL: Growth and development of Hiroshima children exposed to the atomic bomb. Three year study(1951-3). ABCC TR 20-59
5. NEHEMIAS JV: Multivariate analysis and the IBM 704 computer applied to ABCC data on growth of surviving Hiroshima children. Health Phys 8:165-86, 1962
6. MILTON RC, SHOHOJI T: Tentative 1965 radiation dose estimation for atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 1-68
7. ABCC-JNIH: ABCC-JNIH Adult Health Study, Hiroshima-Nagasaki. Research Plan. ABCC TR 11-62
8. BELSKY JL, TACHIKAWA K, JABLON S: ABCC Adult Health Study, Report 5. Results of the first five examination cycles, 1958-68, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 9-71
9. KRAMER CY: Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. Biometrics 12:307-10, 1956
10. AUXIER JA, CHEKA JS, HAYWOOD FF, JONES TD, THORNGATE JH: Free-field radiation-dose distributions from the Hiroshima and Nagasaki bombings. Health Phys 12:425-9, 1966
11. ISHIMARU T, HOSHINO T, ICHIMARU M, OKADA H, TOMIYASU T, TSUCHIMOTO T, YAMAMOTO T: Leukemia in atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki, 1 October 1950 - 30 September 1966. Radiat Res 45:216-33, 1971
12. JABLON S, FUJITA S, FUKUSHIMA K, ISHIMARU T, AUXIER JA: RBE of neutrons in Japanese survivors. Symposium on neutrons in radiobiology, November 11-14, 1969, Oak Ridge, Tennessee. USAEC CONF-691106. pp 547-77
13. JABLON S, KATO H: JNIH-ABCC Life Span Study, Report 6. Mortality among A-bomb survivors, 1950-70. ABCC TR 10-71
14. YAMAMOTO O: 14.1 MEV fast neutron equivalence of whole body X-irradiation for growth delay of mice. Nippon Acta Radiol 23:157-67, 1963
15. PHILLIPS RD, KIMELDORF DJ: Long term effects of neutron exposure on bone growth in the rat. Radiat Res 23:491-9, 1964
16. JABLON S, TACHIKAWA K, BELSKY JL, STEER A: Cancer in Japanese exposed as children to atomic bombs. Lancet 1:927-32, 1971
17. SUTOW WW, CONARD RA, GRIFFITH KM: Growth status of children exposed to fallout radiation on the Marshall Islands. Pediatrics 36:721-31, 1965
18. ROBBINS J, RALL JE, CONARD RA: Late effects of radioactive iodine in fallout. Ann Intern Med 66:1214-42, 1967
19. ARAKAWA ET: Residual radiation in Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 2-62
20. BELSKY JL, MANDAI T, BLOT WJ, IZUMI M, KAWATE R: Thyroid function in atomic bomb survivors exposed in childhood. ABCC RP 1-72