

STUDIES ON NAGASAKI (JAPAN) CHILDREN EXPOSED
IN UTERO TO THE ATOMIC BOMB

A ROENTGENOGRAPHIC SURVEY OF THE SKELETAL SYSTEM

長崎における胎内被爆児の研究

骨格系のレントゲン撮影による調査

WATARU W. SUTOW, M. D.

EMORY WEST, M. D.

Laboratories of the Atomic Bomb Casualty Commission

原爆傷害調査委員会検査室

(Originally published 1958 既発表)

RESPONSE OF HUMAN BEINGS ACCIDENTALLY EXPOSED TO
SIGNIFICANT FALL-OUT RADIATION

降下物から有意の放射線量を偶然に受けた人々における反応

EUGENE P. CRONKITE

ROBERT A. CONARD

RICHARD S. FARR

EUGENE BROWNING

VICTOR P. BOND

RAPHAEL SHULMAN

STANTON H. COHN

Naval Medical Research Institute, Bethesda, Md., and U. S.

Naval Radiological Defense Laboratory, San Francisco

Bethesda 市海軍医学研究所および San Francisco 市海軍放射能防衛研究所

(Originally published 1955 既発表)



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
HIROSHIMA AND NAGASAKI, JAPAN

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

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

原 爆 傷 害 調 査 委 員 会

広島および長崎

米国学士院 - 学術会議と厚生省国立予防衛生研究所
との日米共同調査研究機関

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

TABLE OF CONTENTS

目 次

STUDIES ON NAGASAKI (JAPAN) CHILDREN EXPOSED IN UTERO TO THE ATOMIC BOMB A ROENTGENOGRAPHIC SURVEY OF THE SKELETAL SYSTEM 長崎における胎内被爆児の研究 骨格系のレントゲン撮影による調査	<i>Page</i>
MATERIALS AND METHODS 資料および方法	1
RESULTS AND DISCUSSION 結果および考察	5
SUMMARY 要 約	11
REFERENCES 参考文献	11
RESPONSE OF HUMAN BEINGS ACCIDENTALLY EXPOSED TO SIGNIFICANT FALL-OUT RADIATION 降下物から有意の放射線量を偶然に受けた人々における反応	<i>Page</i>
CLINICAL OBSERVATIONS, THERAPY, AND HEMATOLOGICAL FINDINGS 臨床観察, 治療および血液学的所見	3
INTERNAL RADIATION HAZARD 内部放射線の危険	11
SUMMARY AND CONCLUSIONS 総括および結論	11
REFERENCES 参考文献	13

LIST OF TABLES AND FIGURES

挿入図表一覧表

STUDIES ON NAGASAKI (JAPAN) CHILDREN EXPOSED IN UTERO TO THE ATOMIC BOMB A ROENTGENORAPHIC SURVEY OF THE SKELETAL SYSTEM 長崎における胎内被爆児の研究 骨格系のレントゲン撮影による調査

	<i>Page</i>
Table 1. Children exposed in utero to radiation from the atomic bomb in Nagasaki and examined in 1952 表 長崎で原爆の放射能を受け、1952年に受診した胎内被爆児	3
2. Incidence of neural arch defects 椎弓欠損の発生率	4
3. Incidence of anomalies of hand bones 手骨異常の発生率	7
4. Incidence of rib abnormalities 肋骨異常の発生率	8
5. Incidence of variations of lumbosacral vertebrae 腰、仙椎骨変異の発生率	9
6. Occurrence of multiple skeletal abnormalities 多発性骨格異常の発生	10

RESPONSE OF HUMAN BEINGS ACCIDENTALLY EXPOSED TO SIGNIFICANT FALL-OUT RADIATION

降下物から有意の放射線量を偶然に受けた人々における反応

	<i>Page</i>
Figure 1. Mean leukocyte changes in highest exposure group (64 people) 図 最も強度の被曝群 (64名) における平均白血球数の変化	4
2. Mean platelet changes in highest exposure group (64 people) 最も強度の被曝群 (64名) における平均血小板数の変化	5
3. A Epilation in 7-year-old girl at 28 days B Six months later, showing complete regrowth of hair A 28日目における7才の少女の脱毛 B 6か月後毛髪の完全なる再生を示す	6
4. A Pigmented lesions of neck and antecubital fossae in 13-year-old boy (29 days after exposure). Desquamation with depigmentation of neck lesions has begun. B Extensive lesions in 13-year-old boy at 45 days after exposure A 13才の少年における首および肘前窩の色素沈着患部 (被曝29日後) 頸部病変の色素脱失と落屑が始まっている。 B 被曝45日後における13才の少年の広範囲の病変	6
5. A Hyperpigmented raised plaques and bullae on dorsum of feet and toes at 28 days. One lesion on left shows deeper involvement. Feet were painful at the time. B Six months later. Foot lesions have healed with repigmentation, except for depigmented spots persisting in areas where deepest lesions were. A 28日目の足および趾の背面における色素過剰の隆起した斑点および水疱。右足における1つの病変は深部に達している。この時足に痛みがあった。 B 6か月後足の最も深い病変があった場所に色素脱失部が持続している以外は、再色素沈着が起り治癒している。	7
6. Desquamation of back of scalp at 28 days. Epilation occurred earlier in desquamated area. Note persistent ulceration of left ear. 28日目における後頭部頭皮の落屑。 脱毛は落屑部においてより早く起きた。左耳に頑固な潰瘍を認める。	8
7. Photomicrograph of pigmented skin lesion three weeks after exposure (X 100). Extensive transepidermal damage with less involved areas on either side. Loose lamination of stratum corneum, absence of stratum granulosum, and disorganization of mulphighian layer. Dermis shows mild edema of pars reticularis, indistinct capillary loops, moderately pronounced perivascular cellular infiltrate, and mild telangiectasia. 被曝3週間後における色素沈着性皮膚病変の顕微鏡写真 (100倍)。表皮全層の強圧の障害があり、その両側に障害のより軽い部分がある。角質層の粗雑な断層形成膠様層の欠如およびマルピギー層の崩壊、真皮には網状部の軽度の浮腫、不明瞭なる毛細管係蹄部、中等度に顕著な血管周囲の細胞浸潤および軽度の毛細管拡張症を認める。	10

STUDIES ON NAGASAKI (JAPAN) CHILDREN EXPOSED IN UTERO TO THE ATOMIC BOMB

A ROENTGENOGRAPHIC SURVEY OF THE SKELETAL SYSTEM

長崎における胎内被爆児の研究

骨格系のレントゲン撮影による調査

WATARU W. SUTOW, MD and EMORY WEST, MD*

Animal experiments have demonstrated the sensitivity of the developing embryonic and fetal skeletal system to radiation injury.^{8,9,13,14,18,20} Skeletal anomalies of various types appear to be among the consistent and frequent abnormalities that follow intrauterine radiation, depending on the radiation dose and the stage of embryonic or fetal development at the time of exposure.

At the time of the atomic bomb explosions in Japan women in various stages of pregnancy were exposed to radiation at short distances. Thus, a certain number of children living at present in the atomic bombed cities were exposed during embryonic and fetal development. These children have been given comprehensive pediatric examinations. This report summarizes the results of the roentgenographic survey of the skeletal system to determine the occurrence of skeletal malformations in the Nagasaki children.

MATERIALS AND METHODS

Seventy-four children comprised the "exposed" group. This number represented the entire available group of children remaining in Nagasaki in 1952 who were known to have been *in utero* at the time of the atomic bomb explosion in Nagasaki and were within 2,000 meters of the hypocenter.**

動物実験によって、発育中の胎児の骨格系が放射能傷害に対して感受性を有することが証明されている^{8,9,13,14,18,20} 骨格における種々の異常は、子宮内放射線照射を受けた後に常に認められる異常、ないしはしばしば認められる異常のようであり、これは被曝時の放射線量および胎児の発育程度によって定まる。

日本において原子爆弾が投下された時、種々の妊娠期にあった婦人が爆心地から近距離で放射線に曝された。従って原爆を受けた都市に現在住んでいる或る一定数の児童は胎内で発育中に被曝した。これ等の児童に対して広範囲な小児科的診察が行なわれた。本報告書は、長崎の児童における骨格奇形の発生の有無を確かめるため、骨格系のレントゲン撮影による調査結果を総括するものである。

資料および方法

「被爆」群は74名の児童で構成された。この数は1952年現在長崎に居住して長崎の原子爆弾爆発当時、胎内にあり、爆心地**から2,000m以内にいた児童全員である。

Reprinted from the American Journal of Roentgenology, Radium Therapy and Nuclear Medicine. Vol 74 (3): 493-9, 1955

This Work was sponsored by the Atomic bomb Casualty Commission, National Academy of Sciences-National Research Council, with funds supplied by the United States Atomic Energy Commission
この論文は米国原子力委員会による資金で原爆傷害調査委員会、米国学士院一学術会議の援助によりなされたものである。

*From the Laboratories of the Atomic Bomb Casualty Commission
原爆傷害調査委員会研究室

**Hypocenter was defined as the point on the ground directly over which the atomic bomb was calculated to have exploded at Nagasaki on August 9, 1945.

爆心地は、原子爆弾が1945年8月9日に長崎で爆発したと思われる真下の地点をいう。

Ninety-one children were, for the purposes of this study, considered as "controls." These children were also known to have been *in utero* on August 9, 1945. They were exposed to the atomic bomb, however, at distances of 4,000 to 5,000 meters from the hypocenter. At 4 to 5 kilometers, the biologic effects of atomic bomb radiation were considered to be negligible.

The method of selection of these two groups of children for investigation has been described elsewhere.²¹ From a total of 1,771 female survivors of child-bearing age who were exposed to the bomb within the 2,000 meter area, 99 were found to have been pregnant at the time of exposure. Of the children resulting from these pregnancies, 75 were alive in 1952. A statistically comparable group of 1,744 women of child-bearing age were selected as controls from female survivors exposed at 4,000 to 5,000 meters. One hundred and thirteen of these women were pregnant on August 9, 1945. Of the children resulting from these pregnancies, 98 were alive in 1952. One child in the exposed group and seven children in the control group were not available for examination in 1952. Among the "exposed" group seen in 1952, major symptoms of radiation injury (epilation, purpura and/or oropharyngeal lesions) had occurred in 15 mothers.

The stage of gestation of any particular child at the time of exposure could not be accurately determined from existing records. The approximate gestational age at exposure in terms of "probable trimester of pregnancy," therefore, was calculated from the birth date of the children as follows:

Birth Date of Child 児童の生年月日	Estimated Gestational Age at Exposure 被爆当時の推定胎内月齢
After Feb. 10, 1946 1946年2月10日以降	First trimester 前期
Nov. 10, 1945 through Feb., 1946 1945年11月10～1946年2月まで	Second trimester 中期
Aug. 9, 1945 through Nov. 9, 1945 1945年8月9日～1945年11月9日まで	Third trimester 後期

The distribution of the children in terms of exposure status, sex and probable gestational age at exposure is summarized in Table 1.

本研究の目的に従って91名の児童が「対照」に定められた。これ等の児童も1945年8月9日胎内にいたが爆心地から4,000～5,000mの距離で被爆していた。4～5kmでは、原爆の放射能による生物学的影響は無視してよいと考えられた。

これ等2群の児童の選択方法は、他の報告書²¹⁾の中で記述されている。2,000m以内で被爆した妊娠可能年齢の女性生存者1,771名中、99名が被爆当時妊娠していた。生まれた児童のうち1952年現在、75名が生存していた。4,000～5,000mで被爆した妊娠可能年齢の女性生存者中、統計的に比較し得るもの1,744名が対照として選出された。1945年8月9日には、これ等の婦人中113名が妊娠していた。そして生まれた児童のうち1952年現在98名が生存していた。1952年に受診しなかったものは被爆群に1名、対照群に7名いた。1952年に受診した「被爆」児童の中15名の児童の母親が放射能傷害の主要症状(脱毛、紫斑および/または咽頭口腔部の病変)を経験していた。

被爆児童の被爆当時における胎内月齢を現存の記録から正確に判定することは出来なかった。従って、被爆当時のおおよその胎内月齢を下記によりその児童の生年月日から算出した。

被爆時の被爆状態、性、および推定胎内月齢による児童の分布は、表1に要約してある。

Table 1. Children Exposed in utero to radiation from the Atomic bomb in Nagasaki and Examined in 1952

表 1 長崎で原爆の放射能を受け、1952年に受診した胎内被爆児

Sex 性	Gestational Age at Exposure 原爆時の胎内月齢	Number Exposed within 2,000 Meters 2,000m以内の被爆者数	Number Exposed at 4,000 to 5,000 Meters 4,000~5,000mの被爆者数
Male 男	First trimester 前期	13 (2)*	10
	Second trimester 中期	10 (3)	14
	Third trimester 後期	11 (2)	15
Female 女	First trimester 前期	9 (4)	17
	Second trimester 中期	14 (2)	18
	Third trimester 後期	17 (2)	17
Total 計		74	91

* Figures in parentheses indicate mothers with radiation symptoms.
括弧内の数字は放射能症状を呈した母の数

In a 1951 study, roentgenograms obtained for the estimation of skeletal maturation included views of the left hand and wrist, left elbow, left shoulder, left knee and left foot and ankle. In 1952, lateral views of the skull, anteroposterior and lateral views of the entire vertebral column, and anteroposterior views of the lower legs were also taken. In all cases, therefore, it was possible to examine the entire left wrist and hand; the proximal one-third and distal one-third of the left radius and ulna; the distal one-third and proximal one-third of the left humerus; skull; rib cage; entire vertebral column; distal one-third of the left femur; entire tibia and fibula of both legs; left ankle and left foot. In most cases, the anteroposterior view of the dorsal and lumbar spines included the upper extremities as well, so that the humerus, radius and ulna of both sides were roentgenographed in their entirety; also the heads of both femurs were partially or wholly visible.

The lateral skull roentgenogram was examined to exclude abnormalities of the sella turcica and to note anomalies of shape, size and structure of the skull. In the examination of the vertebrae, a special effort was made to detect the failure of segmentation, variations in number, hemivertebrae, fusion of vertebrae, scoliosis, lumbosacral variations and spina bifida occulta. Rib abnormalities that were looked for included fusion of ribs, and variations in size

1951年に骨格の成熟度推定のためにx線写真による左手と左手首、左肘、左肩、左膝と左足および足首の調査がなされた。1952年には、頭骨の側方向撮影、脊柱の前後および側方向撮影並びに下脚部の前後方向撮影もなされた。従って、各例について、左手首および手全体、左橈骨および尺骨の近位部並びに遠位部の各々、左上腕骨の近位部並びに遠位部の各々、頭骨、胸廓、脊柱、左大腿骨の遠位部の各々、両脚の脛骨および腓骨、左足首および左足を検査することが出来た。大部分の例において胸椎および腰椎の前後方向撮影には上肢も含まれていたため、両腕の上腕骨、橈骨、および尺骨は、完全に撮影され、両大腿骨頭部も一部または全部観察することが出来た。

頭骨の側方向x線写真でトルコ鞍の異常の有無を確かめ頭骨の形状、大きさ、および構造の異常を調べた。脊柱の検査では、分割の不完全、数の変異、半側椎骨、椎骨融合、脊柱側彎症、腰、仙骨の変化および潜在二分脊椎の検出に特別の努力がなされた。肋骨異常として、肋骨融合、および大きさと数の変異を調べた。

and number.

In the hand and foot, the presence or absence of polydactylism, syndactylism and variations in number and appearance of ossification centers were noted. In particular, the occurrence of hypoplasia of the middle phalanx of the fifth finger and of accessory epiphyses at the bases of the metacarpals were investigated.

Failure of the laminae of the neural arch to fuse posteriorly was classed as "spina bifida occulta." The diagnosis of "lumbarization" was made when the first sacral segment had the appearance of a lumbar vertebra; that is, when it was not fused with the remaining sacral segments. The diagnosis of "sacralization" was made when one or both transverse processes of the vertebra were fused with the sacrum or articulated with the sacrum or ilium, leaving only four lumbar-type vertebrae. A rudimentary or a well-developed rib at the level of the seventh cervical body was called "cervical rib." "Lumbar ribs" included short ribs articulating with the lumbar vertebral bodies, usually the first lumbar.

手および足においては、多指趾症、合指症の有無、および骨核の数並びに形態の変異に留意した。特に第5指の中節骨の形成不全および中手骨の基底部に於ける副骨端の発生を調べた。

椎弓軟骨板の後方融合不全は「潜在二分脊椎」として分類された。第1仙骨が残余の仙骨と融合せず腰椎の形態を示した時は、「腰椎化」と診断した。脊椎横突起の片方または両方が仙骨と融合するか、または仙骨ないし腸骨と関節で連結し、4つの腰椎型の椎骨だけになっていた場合、「仙椎化」と診断した。第7頸体において發育不完全、または發育良好の肋骨は「頸肋骨」と呼んだ。腰椎体（普通第1腰椎）と関節で連結する短い肋骨は「腰肋骨」とした。小指の中節骨が可成り短かい場合は「形成不全」とした。正常な形態を有する短い節骨は変形したものと区別しなかった。

Table 2. Incidence of Neural Arch Defects

表 2 椎弓欠損の発生率

		Number Examined 被検例数	Proportion with Neural Arch Defects 椎弓欠損を伴う割合			Total 計
			G.A. 胎内月齡 I*	G.A. 胎内月齡 II	G.A. 胎内月齡 III	
Exposed 被爆群	Boys 男児	34	6 (2)/13†	6 (1)/10	5/ 11	17 (3)/34
	Girls 女児	38	4 (1)/8	8 (1)/14	9 (3)/16	21 (5)/38
	Total 計	72	10 (3)/21	14 (2)/24	14 (3)/27	38 (8)/72
Control 対照群	Boys 男児	39	6 (2)/10	12 (4)/14	12 (2)/15	30 (8)/39
	Girls 女児	52	9 (2)/17	5 (1)/18	13 (3)/17	27 (6)/52
	Total 計	91	15 (4)/27	17 (5)/32	25 (5)/32	57(14)/91
Grand Total 総計		163	25 (7)/48	31 (7)/56	39 (8)/59	95 (22)/163

* G. A. refers to gestational age on August 9, 1945, I, II and III indicating first, second and third trimesters of intrauterine existence, respectively.

G. A. は1945年8月9日における胎内月齡を述べ、I, II および III はそれぞれ子宮内存在の第1, 第2, 第3の期間を示す。

† Number in parentheses refers to children with failure of fusion of posterior laminae of the lumbar vertebrae, either alone or in combination with abnormality of sacral vertebrae.

括弧内の数字は腰椎の軟骨板後部融合不全及び仙骨異常を伴う例数を示す。

(Note: In 2 children, roentgenograms of the vertebrae were not taken, thus reducing the total number of subjects to 163.)

(註: 2名の児童には椎骨X線撮影を行わなかった。従って対象総数は163名に減少した。)

When the middle phalanx of the little finger, on inspection, appeared disproportionately short, the condition was classified as "hypoplasia." The short, normally contoured phalanx was not differentiated from the short deformed phalanx. "Accessory epiphyses" at the bases of metacarpal bones were noted when such epiphyses were either completely separated from, or only partially united with, the metacarpal shafts.

RESULTS AND DISCUSSION

1. *Neural Arch Defects.* In 38 of 72 (52.7 per cent) exposed and in 57 of 91 (62.6 per cent) control children, the laminae of either the lumbar vertebrae (usually the fifth lumbar segment) or the sacral vertebrae or both failed to unite posteriorly. The over-all incidence was 58.3 per cent (Table 2). The lumbar vertebrae were involved, either alone or in association with sacral vertebrae, in 13.5 per cent (22/163) of the children. The sacral vertebrae alone were affected in 44.8 per cent (73/163). There was no statistically significant difference in the incidence of these anomalies in relation to exposure to radiation, sex of children, or gestational age at exposure.

The incidence of "spina bifida occulta" found in the study was higher than has been observed in the literature available to us. Bucy,² after reviewing the literature, concluded that the probable incidence of spina bifida occulta in the general population approximated 5 per cent. Cushway and Maier⁴ reported the somewhat higher incidence of 17 per cent among 931 adults. Giles,⁵ in a study of lumbosacral vertebrae in 1,122 roentgenograms from "negative G-U examinations" in a consecutive series of 8,000 patients, reported spina bifida occulta in 267 cases, an incidence of 23.9 per cent. Brailsford¹ in a study of 3,000 roentgenograms of the spine found spina bifida occulta of the fifth lumbar vertebrae in 5 per cent and of the first and second sacral vertebrae in 11 per cent.

The extremely high number of neural arch defects found in this study immediately raised some question regarding the validity of calling this condition spina bifida occulta. It was possible that the failure of fusion simply represented a normal developmental process in which union will occur at later age

副骨端が中手骨の骨幹から全く分離しているか、または単に部分的に結合しているかの場合に、中手骨基部の「副骨端」と記した。

結果および考察

1. 椎弓の欠損 被爆児72名中38名(52.7%)および対照児91名中57名(62.6%)において、腰椎(通常第5腰椎)または仙椎の一方、ないしは双方共軟骨板が後部において結合していなかった。総発生率は58.3%(表2)であった。児童の13.5%(22/163)において腰椎のみ、または腰椎、仙椎共に異常があった。仙椎のみに異常があったものは、44.8%(73/163)であった。被爆状態、性、および被爆時の推定胎内月齢とこれ等の異常の発生率の間には、統計的に何等有意の差異はなかった。

本研究で認めた潜在二分脊椎の発生率は、入手し得る文献で観察して来た率よりも高率であった。Bucy²は上記文献を精査後一般人口集団における潜在二分脊椎の推定発生率を約5%であると結論した。CushwayおよびMaier⁴は、成人931名のうち17%という幾分高い発生率を報告した。8,000名の患者についての一連の観察において、泌尿生殖器検査結果が陰性であった者1,122名のx線写真の腰、仙椎骨の検討においてGiles⁵は267例(発生率23.9%)の潜在二分脊椎を報告した。Brailsford¹は3,000枚の脊柱x線写真検討において、第5腰椎では5%、第1および第2仙椎では11%の潜在二分脊椎を発見した。

本研究において発見された極めて多数の椎弓欠損は、この特態を直ちに潜在二分脊椎と呼ぶことの妥当性について若干の疑問を提起した。融合していないということは、単に正常な発育過程にあって、後で融合が起ると云う可能性も考えられる。手および手首のx

periods. The skeletal development or rate of maturation in Japanese children, as assessed from hand and wrist roentgenograms, is twelve to twenty-four months slower than that of American children of comparable age and sex.¹⁷ Similar retardation in the maturation of the vertebral components could explain the persistence of spina bifida occulta in older age groups.

Some American textbooks^{3,10,11} indicate that the ossification of the vertebral neural arch is completed during the first two postnatal years. If this were also true of Japanese children, the failure of fusion in the children in this study, whose chronological ages range from six years and eight months to seven years and five months, represented unlikely degrees of developmental retardation in ossification. Certain investigators, however, have reported later age periods for the fusion of the laminae. Girdany and Golden⁶ gave the age range of one to seven years for such fusion. Scammon¹⁵ clearly indicated the ages seven to fifteen years for fusion of the laminae of the typical sacral vertebrae, but the time of fusion of the laminae of the lumbar vertebrae was not clearly defined.

Further investigations have been started to determine whether or not similar incidences of neural arch defects exist in older children and to derive, if possible, from such studies of other age groups more information regarding the course of developmental processes in the posterior bony arch of the lumbar and sacral vertebrae. Spina bifida occulta was not found outside the lumbosacral area.

2. *Anomalies of the Hand Bones.* The abnormalities most frequently found in roentgenograms of the left wrist and hand were hypoplasia of the middle phalanx of the fifth digit, accessory epiphyses at bases of the metacarpals (especially the second metacarpal) and an accessory secondary ossification center for one of the carpal bones. The incidence of these three types of anomalies has been summarized in Table 3. No significant differences in the incidence of the anomalies were found between the boys and girls and between exposed and control groups.

The middle phalanx of the fifth digit has been found to be hypoplastic in a small number (1 per cent) of children.³ This anomaly is prominent in mongolism⁷ and also is found as a dominant here-

線写真によれば日本人児童の骨格の發育または成熟率は、同年齢で同性の米国児童¹⁷⁾のそれよりも12~24か月遅れている。椎骨成熟における同様な遅滞が、更に年長の年齢群に潜在二分脊椎があることの説明に一応はなる。

ある米国の文献^{3,10,11)}では、椎弓の骨形成は出生後2か年間に完結することを指摘している。もしこれが日本児童についても同様であるとすれば、本調査対象の満年齢6才8か月から7才5か月までの範囲の児童の椎体の融合不全は一応考えられない程の骨形成發育遅滞を示したものである。しかしながら、ある研究者等は軟骨板の融合はより後年齢期に行なわれると報告した。GirdanyおよびGolden⁶⁾は、この融合は1~7才の年齢範囲で行なわれると報じている。Scammon¹⁵⁾は典型的な仙椎軟骨板融合は7才から15才までと明示したが、腰椎の軟骨板の融合の時期については言明しなかった。

更に年長の児童に同様椎弓欠損があるかどうかを判定するため、出来得れば他の年齢群についてこのような調査から腰椎および仙椎の後部骨質弓における發育過程の経過に関する資料を求めると調査が開始された。腰・仙骨部以外では潜在二分脊椎は発見されなかった。

2. 手骨の異常 左手首および左手のX線写真で最も多く認められた異常は第5指、中節骨の形成不全、中手骨基底部における副骨端(特に第2中手骨)および手根骨の1つに副二次性骨核の認められたことであった。これ等3つの異常の発生率は(表3)に要約した。異常の発生率において、男女間に、また被爆群と対照群との間にも何等有意の差異は認められなかった。

第5指の中節骨は、少数(1%)の児童³⁾において形成不全を示した。この異常はモンゴリズム⁷⁾に顕著であり、又優性遺伝特性¹⁹⁾としても認められている。

Table 3. Incidence of anomalies of Hand Bones

表 3 手骨異常の発生率

		Number Examined 被検例数	Proportion with Anomalies of Hand Bones 手骨異常を伴う割合			
			G.A. 胎内月齡 I	G.A. 胎内月齡 II	G.A. 胎内月齡 III	Total 計
Exposed 被爆群	Boys 男児	34	2/13	2/10	4/11	8/34
	Girls 女児	39	3/9	4/14	2/16	9/39
	Total 計	73	5/22	6/24	6/27	17/73
Control 対照群	Boys 男児	39	2/10	5/14	3/15	10/39
	Girls 女児	52	3/17	8/18	10/17	21/52
	Total 計	91	5/27	13/32	13/32	31/91
Grand Total 総計		164	10/49	19/56	19/59	48/164

ditary characteristic.¹³ The unexpectedly frequent occurrence of this particular characteristic among Japanese children has been noted by Pryde and is being investigated in detail.¹² In this series, the over-all incidence of the hypoplasia of the middle phalanx of the fifth digit was 42/164.

In the majority of cases, the hypoplasia of the phalanx was associated with distortion of the usual contour of the bone. In others, the bone appeared abnormally short without any change in its shape. Notching at the proximal end of the metacarpals, most frequently the second metacarpal, presumably represents an accessory ossification center.³ This anomaly was found in 10 out of 164, or in 6.1 per cent of the children. Hypoplasia of the phalanx occurred in association with an accessory metacarpal epiphysis in 4 children, an incidence of 4/164.

Brailsford¹ differentiated between "pseudo-epiphysis" and "true supernumerary epiphysis." In all 10 children (10/164) in this series in whom this metacarpal abnormality was found, there was bony continuity between the diaphysis and the epiphyseal center. In a study of 1,000 "apparently normal children," Brailsford found 83 instances of pseudo-epiphyses of the metacarpal bones, 62 at the proximal portion of the second metacarpal and 21 at the distal end of the first metacarpal. Boden (quoted in Brailsford) in a study of diabetic children found pseudo-epiphysis of the second metacarpal in 14.7 per cent of boys and 5.3 per cent of girls.

日本児童にこの特殊な特性が以外な頻度で起っていることが Pryde によって発見され、委細にわたり検討されている¹²。この一連の観察において、第5指の中節骨の形成不全の総発生率は42/164であった。

大多数の観察例において、節骨の形成不全は、骨の通常の輪廓の歪曲に関連していた。その他では骨の形状には変化はなく、異常に短いようであった。中手骨（多くの場合は第2中手骨）の近位部の切欠は、恐らく副骨核を示すものと思われる³。この異常は164例中10例に、または児童の6.1%に認められた。節骨の形成不全は、副中手骨の骨端と共に4名の児童、すなわち4/164の発生率で認められた。

Brailsford¹は「偽骨端骨」と「真性の過剰骨端骨」とを区別した。この一連の観察では、中手骨の異常が認められた10名の児童(10/164)全部において、骨幹と異端核との間に骨質の接続があった。「外見上正常な児童」1,000名の調査において Brailsford は偽骨端骨を中手骨において83例、第2中手骨の近位部において62例、および第1中手骨の遠位部に21例発見した。Boden (Brailsford の報告に引用された)は糖尿病児童の調査において、男児14.7%、女児5.3%において第2中手骨の偽骨端骨を発見した。

An accessory epiphysis of the distal end of the first metacarpal was found in 1 child (exposed, third trimester girl), an accessory lunate in 1 (control, second trimester girl), an accessory lunate and greater multangular in 1 (control, second trimester girl) and accessory centers for the second and third metatarsal in 1 (control, first trimester boy).

3. *Rib Abnormalities.* Three types of rib abnormalities were found: cervical, lumbar, and short or rudimentary 12th dorsal. The incidence of these anomalies is shown in Table 4.

The over-all incidence was 20/163 (12.2 per cent), considerably higher than the 1:645 reported by Steiner¹⁶ in his study of rib abnormalities in 38,105 roentgenograms of the spine, chest and abdomen on which ribs could be examined. Cushway and Maier⁴ reported an incidence of 1:11 (9 per cent) supernumerary ribs in a study of 931 cases. Giles⁵ found cervical ribs in 6.5 per cent, lumbar ribs in 6-8 per cent and rudimentary dorsal ribs in 8.73 per cent of 1,122 cases.

第1中手骨遠位部の副骨端は、1名の児童(被爆、胎内月齢後期の女児)に、副月状骨は1名(対照、妊娠中期の女児)に、副月状骨および大多角骨は1名(対照、妊娠中期の女児)に第2および第3中足骨の副骨核は、1名(対照、妊娠前期の男児)に夫々認められた。

3. 肋骨の異常 3種の肋骨異常、すなわち頸部、腰部および短い、または未発育の第12背部肋骨に異常を認めた。これ等の異常の発生率は表4に示す。

総発生率は20/163(12.2%)であったが、これはSteiner¹⁶⁾によって調査された胸部、腹部および脊柱の38,105のレントゲン写真において、認められた1:645よりも相当に高率である。CushwayおよびMaier⁴⁾は、931例の調査において、過剰肋骨発生率を1:11(9%)と報告した。Giles⁵⁾は1,122例中6.5%に頸部肋骨を、6~8%に腰部肋骨を、8.73%に未発育背部肋骨をそれぞれ認めた。

Table 4. Incidence of Rib Abnormalities

表 4 肋骨異常の発生率

		Number Examined 被検例数	Proportion with Rib Abnormalities 肋骨異常を伴う割合			Total 計
			G.A. 胎内月齢 I	G.A. 胎内月齢 II	G.A. 胎内月齢 III	
Exposed 被爆群	Boys 男児	34	0/13	1/10	0/11	1/34
	Girls 女児	38	2/8	2/14	3/16	7/38
	Total 計	72	2/21	3/24	3/27	8/72
Control 対照群	Boys 男児	39	0/10	2/14	2/15	4/39
	Girls 女児	52	3/17	5/18	0/17	8/52
	Total 計	91	3/27	7/32	2/32	12/91
Grand Total 総計		163	5/48	10/56	5/59	20/163

In this present study there was no significant difference in incidence of rib abnormalities between the "exposed" and the "control" children. The incidence was significantly higher among the girls, however. Of the total number of rib anomalies 4 consisted of lumbar ribs, 14 of rudimentary or short 12th dorsal rib, and 3 (all in females) of

この調査において、「被爆」と「対照」児童との間には、肋骨異常の発生率に有意の差異はなかった。しかしその発生率は女児において有意に高率であった。肋骨異常の総数のうち、腰部肋骨4、未発育または短い第12背部肋骨14、および頸部肋骨3(全部女児)であった。二分肋骨、肋骨の鱗状配列、または癒合肋骨

cervical ribs. No bipartite ribs, imbrication of ribs, or synostotic ribs were found.

4. *Variations of Lumbosacral Vertebrae.* Aside from spina bifida occulta, sacralization of the fifth lumbar and lumbarization of the first sacral vertebra were the two variations seen in the roentgenograms of the lumbosacral region (Table 5). Uncompensated variations in the number of the lumbar and sacral vertebrae were not found. No significant differences were demonstrated between boys and girls and between the exposed and control groups in the incidence of lumbosacral abnormalities.

Cushway and Maier⁴ found sacralization of the transverse process of the fifth lumbar vertebrae in 50 out of 931 cases, an incidence of 1:18.6. Giles⁵ quoted Sutherland's figure on 4.5 per cent in 12,000 cases and reported 9.2 per cent in his own series of 1,122. Brailsford found this variation either on one or both sides in 8.1 per cent of 3,000 persons. The incidence in this study was 21 in 163, or 12.9 per cent.

の何れも認められなかった。

4. 腰、仙椎の変異 潜在二分脊椎のほか、第5腰椎の仙椎化および第1仙椎の腰椎化が、腰仙椎部x線写真(表5)において観察された2つの変異であった。腰椎および仙椎数の非代償性変異はなかった。腰、仙椎異常の発生率において、男女間に、また被爆群と対照群との間には何等有意の差異は証明されなかった。

CushwayおよびMaier⁴は931例のうち50例に第5腰椎の横突起の仙椎化を認めた。即ち発生率は1:18.6であった。Giles⁵は12,000例において4.5%と云うSutherlandの数字を引用し、また彼自身の観察した1,122例において9.2%であると報告した。Brailsfordは、3,000人の8.1%において、片方または両方にこの変異を発見した。本研究における発生率は、163例中21例、即ち12.9%であった。

Table 5. Incidence of Variations of Lumbosacral Vertebrae
表 5 腰、仙椎骨変異の発生率

		Number Examined 被検例数	Proportion with Lumbosacral Variations 腰、仙椎骨変異を伴う割合			Total 計
			G.A. 胎内月齢 I	G.A. 胎内月齢 II	G.A. 胎内月齢 III	
Exposed 被爆群	Boys 男児	34	2/13	0/10	3/11	5/34
	Girls 女児	38	1/8	1/14	2/16	4/38
	Table 計	72	3/21	1/24	5/27	9/72
Control 対照群	Boys 男児	39	0/10	3/14	1/15	4/39
	Girls 女児	52	1/17	4/18	3/17	8/52
	Total 計	91	1/27	7/32	4/32	12/91
Grand Total 総計		163	4/48	8/56	9/59	21/163

5. *Other Abnormalities.* Small single areas of cortical defect involved the distal portion of the femur in 4 cases and the proximal portion of the tibia in 1 case. In 2 boys, both exposed, the proximal epiphyses of the femur showed changes that roentgenologically suggested Legg-Perthes' disease.

6. *Multiple Abnormalities.* The data were examined to determine (a) if the skeletal abnormalities

5. その他の異常 単独な皮質欠損の小さな部位は4例では大腿骨の遠位部に、1例では脛骨の近位部に認められた。2名の男児(両名とも被爆児)の大腿骨の近位骨端に、放射線学的に Legg-Perthes 氏病を示唆する変化を示した。

6. 多発性異常 下記の有無を確めるために資料の検討が行なわれた。即ち、(a)前文に記述された骨格異

described in the preceding paragraphs tended to occur in combinations rather than singly, and (b) if multiple anomalies were more frequent among the exposed children. From Table 6 it was concluded that there was no tendency for the abnormalities to occur more often in combination than singly and more often in exposed than in control children.

7. *Comment.* In this investigation, the occurrence of the types of skeletal anomalies reported in experimentally irradiated mice and rats could not be demonstrated in children exposed at various stages of intrauterine existence to the atomic bomb. There was no difference between exposed and control children in the incidence of the more common bone variations. This survey, however, was conducted in 1951 and 1952 on children who were living six and seven years after exposure. It is quite possible that the more extreme degrees of abnormalities were present among the fetuses that were aborted or delivered dead and among infants that died in the early postnatal period. Data collected by Yamazaki, Wright and Wright²¹ show that 4 abortions, 6 stillbirths, 6 neonatal deaths and 3 infant deaths occurred among the exposed group. In contrast, 2 abortions, 1 stillbirth, 1 neonatal death and 3 infant deaths were reported among the control group.

常が単独よりもむしろ合併して起る傾向にあったかどうか、(b)多発性の異常が被爆児により頻発したかどうか。その結果表6で示す如く、単独よりも合併的に起ると云う傾向は認められず、対照児よりも被爆児に多く見られると云う傾向もなかった。

7. 論評 本調査では実験的に放射線照射を受けたハツカネズミおよびネズミにおいて報告された種々の骨格異常の発生は、色々の妊娠期にあった胎内被爆児には認められなかった。更に一般的な骨格異常の発生率においても、被爆児と対照児との間には差異はなかった。しかしこの調査は被爆6、7年後に生存していた児童について1951年および1952年に実施された。流産または死産となった胎児、あるいは出生後死亡した乳児に、更に極めて高度の異常があったと云う可能性は考えられる。Yamazaki, Wright および Wright²¹が収集した資料では、被爆群に流産4、死産6、新生児死亡6、および乳児死亡3が認められた。反面对照群では流産2、死産1、新生児死亡1および乳児死亡3が報告された。

Table 6. Occurrence of Multiple Skeletal Abnormalities

表 6 多発性骨格異常の発生

		Gestational Age on Aug. 9, 1945 1945年8月9日 における胎内月齡	No Anomalies 異常のないもの	Single Anomalies 単独の異常	Multiple Anomalies 多発性異常
Boys 男児	Exposed 被爆群	I	6	3	4
		II	3	5	2
		III	2	5	4
	Control 対照群	I	2	6	2
		II	1	5	8
		III	3	6	6
Girls 女児	Exposed 被爆群	I	1	4	3
		II	2	9	3
		III	4	7	5
	Control 対照群	I	5	8	4
		II	4	8	6
		III	1	8	8

In this study, an effort was also made to determine whether or not the presence of radiation symptoms in the mother was associated with increased incidence of skeletal abnormalities in the child. Although the numbers concerned were quite small, no correlation could be demonstrated.

SUMMARY

1. A roentgenographic survey of the skeletal system was made on 74 children who were exposed *in utero* to the atomic bomb explosion in Nagasaki, Japan at distances under 2,000 meters from the hypocenter. The findings were compared with those on a group of 91 children also exposed while *in utero* to the bomb but at distances of 4,000 to 5,000 meters.

2. No differences in the incidence of skeletal abnormalities were found between the two groups.

本研究においては母親の放射線症状の有無がその子供の骨格異常の発生率増加に関連性があったかどうかと云うことをも調べて見た。例数は少数であったが、相関関係は証明出来なかった。

要 約

1. 長崎において爆心地から2,000m以内の距離で胎内で被爆した74名の児童に対し、骨格系のx線撮影による調査が行なわれた。この調査所見は、胎内被爆児ではあるが爆心地から4,000~5,000mの距離で被爆した91名の児童と比較された。

2. この2つの群の児童の間には、骨格異常の発生率に差異は認められなかった。

REFERENCES

参 考 文 献

1. Brailsford JF: The Radiology of Bones and Joints. Williams and Wilkins Co., Baltimore, Md., 1948.
(骨格および関節の放射線学)
2. Bucy PC: In McQuarrie and Brenneman's Practice of Pediatrics. WF Prior Co., Hagerstown, Md., Vol. IV, Chap. 15.
(小児科学の実務)
3. Caffey, J: Pediatric X-ray Diagnosis. Year Book Publishers, Inc., Chicago, 1950.
(小児科のx線検査による診断)
4. Cushway BC, Maier RJ: Routine examination of spine for industrial employees. J. A. M. A., 1929, 92, 701-704.
(工業従業員に対する通常脊柱検査)
5. Giles RG: Vertebral anomalies. Radiology, 1931, 17, 1262-1266.
(椎骨の奇形)
6. Girdany BR, Golden R: Centers of ossification of skeleton. Am. J. Roentgenol., Rad. Therapy & Nuclear Med., 1952, 68, 922-924.
(骨格の化骨核)
7. Hefke HW: Roentgenologic study of anomalies of hands in 100 cases of mongolism. Am. J. Dis. Child., 1940, 60, 1319-1323.
(モンゴリズム100例における手の奇形の放射線学的研究)
8. Hicks SP: Developmental malformations produced by radiation; timetable of their development. Am. J. Roentgenol., Rad. Therapy & Nuclear Med., 1953, 69, 272-293.
(放射線によって生じた發育上の奇形; 發育の時間表)
9. Job TT, Leibold GJ Jr, Fitzmaurice HA: Biological effects of roentgen rays; determination of critical periods in mammalian development with x-rays. Am. J. Anat., 1935, 56, 97-117.
(レントゲン線の生物学的影響; x線による哺乳類の發育における重要時期の決定)
10. Keith A: Human Embryology and Morphology. Williams and Wilkins Co., Baltimore, Md., 1948.
(人間の胎生学および形態学)
11. Lewis WH: Gray's Anatomy. Lea & Febiger, Philadelphia, 1942.
(Grayの解剖学)

12. Pryde AW: Personal communication.
(私信)
13. Russell LB: X-ray induced developmental abnormalities in mouse and their use in analysis of embryological patterns. I. External and gross visceral changes. J. Exper. Zool., 1950, 114, 545.
(ハツカネズミにおけるx線が誘発した発育上の異常および胎生学的様式の分析上の効用)
14. Russell LB, Russell WL: Radiation hazards to embryo and fetus. Radiology, 1952, 58, 369-376.
(胎児に対する放射線の危険)
15. Scammon RE In: Morris' Human Anatomy. By Morris H. Edited by Schaeffer JP. Tenth edition. The Blakiston Company, Philadelphia, 1942.
(人体解剖学)
16. Steiner HA: Roentgenologic manifestations and clinical symptoms of rib abnormalities. Radiology, 1943, 40, 175-178.
(肋骨異常の放射線学的顕示および臨床症状)
17. Sutow WW, Ohwada K: Standards for assessment of skeletal development among Japanese children. To be published.
(日本児童の骨格発育の査定規準)
18. Warkany J, Schraffenberger E: Congenital malformations induced in rats by roentgen rays; Therapy, skeletal changes in offspring following single irradiation of mother. Am. J. Roentgenol. & Rad. 1947, 57, 455-463.
(レントゲン線によってネズミに誘発された先天性奇形; 母親へのただ1回の放射線照射後の子孫における骨格変化)
19. Warner EN: Survey of mongolism with review of 100 cases. Canad. M. A. J., 1935, 33, 495-500.
(100例の考察によるモンゴリズムの検討)
20. Wilson JG, Karr JW: Effects of irradiation on embryonic development. 1. X-rays on tenth day of gestation in rat. Am. J. Anat., 1951, 88, 1-33.
(胎児の発育上における放射線照射の影響 1. ネズミの妊娠第10日目におけるx線)
21. Yamazaki JN, Wright SW, Wright PM: Study of outcome of pregnancy in women exposed to A-bomb in Nagasaki. Atomic Bomb Casualty Commission, December 18, 1952.
(長崎における原爆被爆女性の妊娠結果に関する研究)