

THE LD<sub>50</sub> ASSOCIATED WITH EXPOSURE TO THE ATOMIC BOMBING OF  
HIROSHIMA AND NAGASAKI: A REVIEW AND REASSESSMENT

広島・長崎の原爆被爆者における LD<sub>50</sub>: 文献的考察と再評価

SHOICHIRO FUJITA, M.S. 藤田正一郎

HIROO KATO, M.D., M.P.H. 加藤寛夫

WILLIAM J. SCHULL, Ph.D.



RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION

財団法人 放射線影響研究所

A cooperative Japan - United States Research Organization

日米共同研究機関

## ACKNOWLEDGMENTS

### 謝 辞

We are deeply indebted to many colleagues whose perceptive thoughts have contributed importantly to this manuscript. Our gratitude does not extend, however, to implicating them in whatever errors of interpretation may remain, these are unfortunately our own.

In particular, we appreciate the suggestions and comments of Dr. Keith Baverstock, Medical Research Council, Didcot, Oxon, UK and Dr. Robert M. Young, Defense Nuclear Agency, Va., USA and an unnamed statistical referee whose remarks clarified materially the exposition of the analytical procedures we have used. We are also indebted to Dr. Akio A. Awa who graciously has allowed us to use his cytogenetic comparisons of the T65D and DS86 dosimetry systems to attempt to couch the cytogenetic findings on the Shintoku School students in the newer system of dosimetry.

本報告書の作成に当たり、多くの方々から洞察力に富む貴重な御意見をいただき、深く感謝する。知見の解釈に誤りがあるとすれば、それはあくまでも我々自身の責任である。

英国の Medical Research Council の Keith Baverstock 及び米国ヴァージニア州 Defense Nuclear Agency の Robert M. Young 両博士からの御意見、また、名前は知らされていないが、使用した統計技法の説明を実質的により明確にする上で有用であった統計関係者の御意見に対して特に感謝の意を表したい。なお、進徳学園生徒の細胞遺伝学的所見を、新線量に基づいて検討するに当たり、阿波章夫遺伝学部長が行った細胞遺伝学的知見の T65D 及び DS86 による比較検討の結果の利用を許して頂いたことを感謝する。

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

本報告に基づく論文は下記の学術雑誌に掲載された。

*J Radiat Res (Tokyo)* 30:359-81, 1989

## RERF TECHNICAL REPORT SERIES

### 放 影 研 業 績 報 告 書 集

The RERF Technical Reports provide the official bilingual statements required to meet the needs of Japanese and American staff members, consultants, and advisory groups. The Technical Report Series is not intended to supplant regular journal publication.

放影研業績報告書は、日米専門職員、顧問、諮問機関の要求に応えるための日英両語による公式報告記録である。業績報告書は通例の誌上発表論文に代わるものではない。

---

*The Radiation Effects Research Foundation (formerly ABCC) was established in April 1975 as a private nonprofit Japanese Foundation, supported equally by the Government of Japan through the Ministry of Health and Welfare, and the Government of the United States through the National Academy of Sciences under contract with the Department of Energy.*

放射線影響研究所(元ABCC)は、昭和50年4月1日に公益法人として発足したもので、その経費は日米両政府の平等分担により、日本は厚生省の補助金、米国はエネルギー省との契約に基づく米国学士院の補助金とをもって運営されている。

## THE LD<sub>50</sub> ASSOCIATED WITH EXPOSURE TO THE ATOMIC BOMBING OF HIROSHIMA AND NAGASAKI: A REVIEW AND REASSESSMENT

広島・長崎の原爆被爆者における LD<sub>50</sub>: 文献的考察と再評価

SHOICHIRO FUJITA, M.S. (藤田正一郎)<sup>1</sup>; HIROO KATO, M.D., M.P.H (加藤寛夫)<sup>2</sup>;  
WILLIAM J. SCHULL, Ph.D.<sup>3</sup>

*Departments of Statistics<sup>1</sup>, Epidemiology<sup>2</sup>, and Permanent Director<sup>3</sup>*

統計部<sup>1</sup>, 疫学部<sup>2</sup>, 及び常務理事<sup>3</sup>

### SUMMARY

Data accumulated by RERF-ABCC have been used to estimate the LD<sub>50/60</sub> associated with the A-bombing of Hiroshima. A range of values emerge, varying slightly with the method of estimation used. This range, derived from DS86 marrow doses, and based on a linear fit to equally weighted estimates of the probabilities of death at various doses, is 2.3–2.6 Gy. A linear estimate in which the probabilities of death at the various doses are weighted by the inverse of their variances is somewhat lower, 2.2 Gy. These estimates include deaths in the first day, and the severely injured (burns, trauma) who survived the first day but succumbed later to their injuries. If inclusion of the latter groups biases downwards the estimate 17.5% or so, as one study suggests, and the range of the LD<sub>50/60</sub> is adjusted upwards by this amount, it would be 2.7–3.1 Gy. Given the nature of the data, this range would appear to be the “best” estimate.

These values are discussed in terms of possible ascertainment biases, nonlinear models, competing causes of mortality, and estimates of this parameter from other surveys of survivors in Hiroshima. It is shown that the LD<sub>50/60</sub> is relatively insensitive to the curve of mortality fitted to the observations, but the choice of model can influence substantially estimation of the LD<sub>95/60</sub>. It is also noted that the slope of the mortality curve is shallower than animal experimental evidence leads one to expect; presum-

### 要 約

放影研-ABCCが蓄積してきたデータを用いて広島  
の原爆に関する LD<sub>50/60</sub> を推定した。推定値の範囲  
は、使用した推定方法によって多少変動する。DS86  
骨髄線量を用い、各線量における死亡確率の推定値  
に等加重で直線を当てはめた場合、この範囲は2.3～  
2.6 Gyである。各線量における死亡確率の推定値  
に、その分散の逆数で加重して直線を当てはめた  
場合、推定値は多少低く、2.2 Gyである。これら  
の推定値は、第1日目の死亡者、及び第1日目には  
死亡しなかったが負傷(熱傷、外傷)のため後日死亡  
した重傷者を含む。ある調査結果に示されているよう  
に、これらの群を含めることにより推定値が約17.5%  
過小評価されていると考え、LD<sub>50/60</sub>の範囲を上方  
に補正すると、推定値は2.7～3.1 Gyになる。データ  
の性質を考えるとこの範囲が“最良”の推定値と考え  
られる。

確認の偏り、非線形モデル、競合死因、及び広島  
のほかの被爆者調査から得られた本パラメータの推定  
値に関連してこれらの値を考察する。LD<sub>50/60</sub>は観測  
値に当てはめた死亡曲線に比較的左右されないこと  
が示されるが、LD<sub>95/60</sub>の推定はモデルの選択にかなり  
影響を受ける。また、死亡曲線は、動物実験の  
結果から予想されるより、傾斜が緩やかである。恐ら

ably, this reflects the greater genetic heterogeneity in the human species than in most experimental animals, the difficulties inherent in separating deaths attributable to radiation from those stemming from other causes, notably burns and trauma, and inaccuracies in the dose estimates themselves. Finally, it is shown that there is a surprising concordance in the various estimates from Hiroshima given the different groups of survivors involved and the methods used to estimate the  $LD_{50/60}$ .

## INTRODUCTION

Numerous attempts have been made to estimate the distance or dose at which 50% of the individuals exposed to the A-bombing of Hiroshima or Nagasaki succumbed, ostensibly from their exposure to ionizing radiation. Each of these studies has its own strengths and weaknesses; none is above exception. Often the data were collected under circumstances which precluded definition of a satisfactory sampling frame, and with singular exceptions, identification of individuals at risk of death has been obtained retrospectively through surviving surrogates. Furthermore, for those studies removed in time from the actual bombing, differential migration from these cities could obscure the true distribution of survivors, and thus confound the estimate of the  $LD_{50/60}$ .

Among the earliest studies are those of a) the Joint Commission for the Investigation of the Medical Effects of the Atomic Bomb in Japan,<sup>1,2</sup> a binational group of Japanese and American investigators present in these cities shortly after the bombing (see also the study of the Japanese Medical Party of the Committee for Atomic Bomb Casualties on 22 November 1945),<sup>3</sup> and b) Professor Raisuke Shirabe, a member of the faculty of the School of Medicine at the University of Nagasaki.<sup>4-8</sup> Subsequent ones have made use of c) the survey of survivors conducted in Hiroshima in 1946, approximately one year after the bombing, by Dr. Ikuzo Matsubayashi of the Hiroshima City Office,<sup>9</sup> or d) an ad hoc reconstruction of the events attending the bombing made in 1969-75 by the Research Institute for Nuclear Medicine and Biology of the University of Hiroshima (RINMB).<sup>10,11</sup> In addition to these broader surveys, and a further one to be described shortly, there are several special groups of survivors who have been studied and whose mortality experiences are germane.<sup>1,2,12</sup>

くこれは、大部分の実験動物に比べヒトの遺伝的不均質性が高いこと、放射線に起因する死亡と他の原因、特に熱傷及び外傷による死亡との区別が困難であること、推定線量自体が不正確であることなどを反映しているのであろう。最後に、広島で得られた各推定値は、対象とした被爆者群がそれぞれ異なり、 $LD_{50/60}$ の推定方法が調査によって異なるにもかかわらず、驚くほど一致している。

## 緒言

広島・長崎における原爆被爆者の50%が、見かけ上電離放射線被曝のために死亡したと考えられる距離あるいは線量を推定する試みが数多く行われている。各調査にはそれぞれ例外なく長所短所がある。データ収集が適当な標本抽出計画を立てられないような状況のもとで行われたことが多く、まれな例外を除けば、死亡の観察対象となる者の確認は生存者の口述を通じて遡及的に行われた。なお、原爆後に月日が経過してから実施された調査では、両市からの人々の移住の状況が一樣でないために被爆者の分布が不明確となる可能性があり、 $LD_{50/60}$ の推定が一層困難になる。

最も初期に行われた調査としては、a) 原爆後の間もない時期に日米両国の研究者が参加して両市で実施された日本における原爆の医学的影響を調べるための合同調査団<sup>1,2</sup>の調査(1945年11月22日の日本側原子爆弾被害調査委員会医学班の調査<sup>3</sup>も参照)及び b) 長崎大学医学部の調来助教授の調査がある。<sup>4-8</sup> その後の調査では、次の資料が利用されている: すなわち、c) 原爆約1年後の1946年に広島市役所の松林鎭三博士によって行われた広島市被爆者調査の結果、<sup>9</sup> 並びに d) 広島大学原爆放射能医学研究所(原医研)が1969-75年に行った復元調査の結果<sup>10,11</sup>である。以上の広範囲に及ぶ調査並びに後述の研究以外にも、特定の被爆者群について幾つかの調査が行われており、その中の死亡者数が当該問題と深いかわりがある。<sup>1,2,12</sup>

The purposes of the present study are, first, to attempt a critical analysis and synthesis of previous studies in Hiroshima and Nagasaki in the context of the recent binational reassessment of the exposures associated with the nuclear weapons detonated over these cities in August 1945,<sup>13</sup> and second, to describe and analyze the data pertinent to this issue collected by ABCC, and its successor, RERF. Two measures will be used to describe mortality, namely, distance and dose, the former being the distance from the hypocenter and the latter the dose, either the free-in-air (FIA) kerma to tissue or, wherever practicable, the marrow dose at which death occurred in 50% of exposed individuals.

## PREVIOUS STUDIES

**Joint Commission.** Timewise, the most immediate and extensive effort to estimate injuries and deaths in these cities occurred shortly after the bombing under the auspices of the binational group of Japanese and American investigators to which reference has been made. Their findings have been summarized by Oughterson and Warren<sup>1</sup> and published in extenso in a six-volume report.<sup>2</sup> Our observations and conclusions on their study are based on the more extensive report, although in general it differs from the summary in only minor ways.

To estimate the total casualties, the Commission drew a random sample of approximately 5,000 individuals from 265 of some 523 chonakai (neighborhood associations) in existence at the time of the bombing (ATB). The chonakai, as well as the tonari-gumi (a group of about 10 neighboring households) of which the chonakai were comprised, were legally mandated in 1940, although the history of similar organizations in Japan goes back much further. These associations exercised considerable control over the lives of their members throughout the war, being responsible for such functions as rationing and civil defense. It can be presumed, therefore, that as sources of information they were fairly reliable. A detailed description of the selection process will be found in the six-volume report<sup>2</sup> (see also Reference 1, Appendix D).

Briefly, the basis of sample selection was the recently completed decennial census (November 1945). The census cards on all individuals between the ages of 13 and 60 were randomly ordered, and

今回の研究の目的は、両市で行われた当該問題に関する以前の調査研究について、まず、1945年8月に広島・長崎両市上空で炸裂した核兵器による放射線被曝線量に関する最近の日米共同の再評価<sup>13</sup>の観点から詳細な検討とまとめを試みることである。第二に、ABCC及びその事業を引き継いだ放影研が当該問題に関連して収集した資料を説明し、解析することである。死亡の記述に当たって二つの指標を使用する。すなわち、被爆者の50%が死亡した距離及び線量である。前者は爆心地からの距離であり、後者は空気中 (free-in-air, FIA) 組織カーマあるいは可能な場合は骨髄線量である。

## 以前の調査

**合同調査団。** 両市における死亡者数の推定を試みた最初の広範囲な調査は、前述の日米の研究者で編成された合同調査団によって原爆後の間もない時期に行われた。その所見は、Oughterson及びWarren<sup>1</sup>によってその概要が報告されており、また、6巻からなる詳細な報告書としても発表された。<sup>2</sup> 彼らの調査に関する我々の考察並びに結論は、その詳細な報告書に基づいている。もっともその詳細な報告書の内容は、全体として、概要の報告書とほとんど変わらない。

同調査団は、死亡者総数の推定値を求めるために原爆当時の町内会523組中265組から約5,000名の標本を無作為抽出した。町内会及び町内会を構成する隣組近隣の約10戸から成る組織は、1940年に制度化されたものであるが、日本ではこれに類似した組織が昔からあった。戦時中は町内会が生活物資の配給や民間防衛などの活動について責任を有していたので、会員の生活についてかなりの支配力をもっていた。したがって、情報源としてかなりの信頼性があると考えられる。標本抽出手順については、6巻からなる報告書<sup>2</sup>に詳細に説明されている(文献1, 付録Dも参照)。

簡単に説明すれば次のとおりである。当時完了したばかりの10年ごとに行われる人口調査(1945年11月)に基づいて標本抽出が行われた。年齢13歳から60歳の者全員の調査票を無作為に並べ、その中から20番



from this random ordering every 20th individual was chosen for study. A questionnaire was then completed on each selected individual which sought to enumerate all of the members of their families as well as their relatives and friends, and determine their fates. The questionnaire, as reproduced in the report, did not contain a specific question on the date of death of those individuals who were killed or succumbed subsequently; however, date and cause of death were sought in the Commission's statistical surveys of 6,993 (of 6,898) 20-day survivors in Hiroshima (in Nagasaki). A cautious procedure in interpreting the Commission's data is to assume that death could have occurred anytime between 6 August (in Hiroshima) or 9 August (in Nagasaki) and the completion of the questionnaire. They do not state precisely when the survey was conducted nor the interval of time that elapsed between its initiation and completion. However, sampling was based upon the nationally sponsored census that had been conducted in November 1945 and therefore collection must have taken place later; Masuyama<sup>3</sup> states that it occurred in the middle of December 1945.

In all, in Hiroshima, 4,706 questionnaires were issued of which 3,739 (79.5%) were returned. Collectively, information was obtained on 20,541 persons of whom 5,240 (25.5%) were dead (Reference 1, Appendix D, Table 5). The death rates within this sample were used to extrapolate total deaths in the city's population, and the results differed only slightly from the number of deaths the city authorities had reckoned. The Commission's analysts contend, therefore, that the sample was representative of the population as a whole (exclusive of the military). They note the inevitable inaccuracies concerning the exact position of some of the individuals, but conclude that at that time such errors were probably not large.

From this sample, a distance-casualty curve was constructed, and the distance  $LD_{50}$  so determined was 1,250 m (see Reference 1, Figure 3.10). This estimate is, of course, without regard to shielding, and, as earlier mentioned, it is not explicitly stated over what interval of time deaths were summed. Some uncertain percentage of these survivors were shielded, most commonly through their presence in a Japanese wooden structure. They further noted that isomortality curves in Hiroshima traced

目ごとに抜き出し調査対象として選んだ。このようにして選ばれたそれぞれの対象者についてアンケート調査を行い、家族全員のみならず親類や知人について情報を求め、生死の決定を試みた。報告書に掲載された調査票をみると、原爆で死亡した者あるいはその後に死亡した者の死亡年月日に関する具体的な質問事項はなかった。しかし、広島における20日間生存者6,993名(長崎では6,898名)について調査団が行った統計調査では、死亡年月日及び死因が求められた。調査団のデータの解釈に当たって留意せねばならないことは、8月6日(広島の場合)または8月9日(長崎の場合)からアンケート調査完了時までの間に死亡があり得たことである。調査がいつ実施されたか、また、調査を開始してから完了するまでの期間について具体的な記述はない。しかし、1945年11月に国が実施した人口調査に基づいて標本抽出が行われたので、資料収集はその後に行われたはずである。増山<sup>3</sup>は1945年12月中旬に行われたと言っている。

広島では合計4,706枚の調査票が配布され、3,739枚(79.5%)が回収された。延べ20,541名について情報が集まり、死亡者は5,240名(25.5%)であった(文献1, 付録D, 表5)。この標本における死亡率を用いて市内人口中の死亡者総数を推計したが、その結果は市当局の発表していた推定と大差なかった。したがって、調査団の統計解析担当者は、使用した標本が(軍関係者を除いて)市の人口全体を代表するものであったとしている。原爆時の場所が不正確な者も若干あることは避けられなかったと指摘しているが、当時はこの種の誤差は恐らく余り大きくなかったであろうと結論している。

この標本に基づいて距離別死亡曲線が出されており、それによれば  $LD_{50}$  距離は1,250 mであった(文献1, 図3.10を参照)。この推定では、遮蔽が全く考慮されていないことはもちろんであり、前述のとおりかなる期間の死亡者を合計したかについて明確な説明がない。被爆者の何割かは、主として木造日本家屋内にいたことによって遮蔽されていた。著者らは、広島における等死亡曲線がほとんど同心円を描き、

almost isocentric circles, and that the death rate corresponded to a calculated curve drawn as if lethal effects were diminishing inversely proportional to the square of the distance.

The Japanese Medical Party of the Committee for Atomic Bomb Casualties conducted its own survey on 22 November 1945 under the supervision of Dr. Motosaburo Masuyama.<sup>3</sup> Twenty-eight small districts were selected using a random sampling number on the map of Hiroshima. Within each district chosen, families were randomly selected for interview and asked about the fate of each member of the family and adjacent families. The fates of 874 individuals exposed at distances from 490 to 2,030 m were determined; 510 had died. It is not clear, however, how these authors handled distances for those members of the family who died outside their homes, and shielding was apparently ignored. As a consequence, it is difficult to derive an  $LD_{50/60}$ , even a crude one, from their data.

In Nagasaki, the Joint Commission used a similar sampling strategy to that described above for Hiroshima. To individuals, 4,100 questionnaires were distributed in 229 of the 324 chonakai in the city; 3,505 (85.5%) were returned with information on 18,158 persons; for reasons not identified, 1,736 of these persons in 22 of the chonakai (in the Tomachi, Kosakaki, Kogakura, and Doinokubi districts) were excluded, leaving 16,422 individuals of whom 3,781 (23.0%) were dead (Reference 1, Appendix D, Table 6). The distance  $LD_{50}$  was estimated to be 1,300 m, again without adjustment for shielding (see Reference 1, Figure 3.11). The similarity of this figure to the one obtained in Hiroshima is somewhat surprising in view of the differences now known to have existed in the yields of the two weapons (Nagasaki, being substantially larger), and the distribution of FIA exposures. However, it must be borne in mind that the burst altitude was determined to achieve maximum damage from the blast, and not by the anticipated release of radiation.

Since shielding was ignored, it is difficult to put these distance estimates into a perspective of use to us today. However, some rough approximations which provide, albeit imperfectly, the basis for a dose estimate which takes shielding into account

また、致死効果が距離の自乗に反比例して減弱すると仮定して計算した曲線に死亡率が一致したと指摘している。

日本側の原子爆弾被害調査委員会は、1945年11月22日に増山元三郎博士の指導の下で独自の調査を実施した。<sup>3</sup> 広島地図上に描かれた区画の中から乱数表を用いて28区画を選んだ。選ばれた各区画内から家族を無作為抽出し、面接でその家族及び隣の家族の構成員全員の生死について質問した。490～2,030 mで被爆した874名の生死を決定できた。すなわち、510名の死亡があった。しかし、自宅以外で死亡した家族員の被爆距離をいかに扱ったかは明らかでなく、また、遮蔽も無視された。その結果、そのデータから  $LD_{50/60}$  の大ざっぱな推定さえも導くことは困難である。

合同調査団は、長崎でも前記の広島調査と同様の標本抽出計画を実行した。市内の町内会324組中229組に4,100枚の調査票を配布した；3,505枚(85.5%)が回収され、18,158名について情報が得られた；理由の説明はなかったが、22の町内会(戸町、小櫛、小ヶ倉、土井首地区)に属していた1,736名が除外され、残り16,422名中に死亡者が3,781名(23.0%)あった(文献1、付録D、表6)。  $LD_{50}$  距離は1,300 mと推定され、この場合も遮蔽の補正は行われなかった(文献1、図3.11参照)。現在では周知のように両市で使用された兵器の出力に差があること(すなわち、長崎での出力がかなり大きかったこと)及び空気中カーマの分布を考えると、この数値と広島について求められた数値は驚くほど近似している。しかし、原爆の炸烈高度は爆発の被害効果が最大になるよう決定されたもので、予想された放射線放出量に基づいて決定されたものではないことに留意せねばならない。

このように遮蔽を無視して推定された距離を現在利用することは困難である。しかし、やや粗雑な近似値ではあるが、不完全ながらも遮蔽を考慮した線量の推定値を導くことは可能である。まず、合同

are possible. First, the Joint Commission describes mortality in a series of wooden buildings (all factories) at distances within 1,600 m (see Reference 2, Volume VI, page 48, Table 11). The numbers of individuals are small and dose inhomogeneities undoubtedly existed among the survivors within a given structure; however, linear extrapolation from the observed mortality rates (all below 50%) in these buildings suggests a distance  $LD_{50/60}$  in the neighborhood of 800 m. Given the disparate numbers of individuals at risk in these buildings, and the role of sampling variability in the building mortality rates, a large error must exist in this estimate. As an upper bound, however, one can extrapolate from the upper 95% confidence limits of the estimated death rates. This compensates, to some extent, for the inherent differences in accuracy of the various rates. The distance so obtained is about 990 m. Second, the Joint Commission also describes mortality in a large group of school children who were shielded (see Reference 2, pages 25-38, Table 6). A very crude estimate of the distance  $LD_{50}$  is possible if one assumes that those schools not specifically stated to be ferroconcrete were wood, missing children are presumed dead, and untraced individuals are subtracted from the alleged school population. The estimate that emerges from the observed death rates in the intervals 500-1,000 and 1,000-1,500 m is about 970 m. Again, the error of this estimate must be large and there is, of course, the uncertain degree to which the probability of death is age dependent.

**Shirabe's survey.** This study, conducted in Nagasaki, occurred in the three months from October through December 1945. Although of historic interest, the estimate of the distance  $LD_{50}$  it provides is unpersuasive, for reasons to be adduced shortly, and almost certainly biased. Be this as it may, visits were made to different localities (23 in all) at different distances from the hypocenter ranging from 700 to 3,500 m, and in each locality individuals acquainted with that neighborhood were identified. These persons were carefully questioned for the movements of all members of their neighborhoods just before and after the explosion. Age, sex, location ATB, injuries, deaths, and whether they moved or were taken to other areas following the bombing were recorded. In all 1,502 persons were identified of whom 559 (37.2%) had died prior to the survey.<sup>4,8</sup>

調査団は、1,600 m以内の一連の木造家屋内（いずれも工場）における死亡者について報告している（文献2，第Ⅵ巻，48ページ，表11参照）。その人数は少なく，一つの建物の中でも被爆者間の線量は不均一であったことは疑う余地はない。しかし，これらの建物において観察された死亡率（すべて50%以下）の線形補外により  $LD_{50/60}$  距離を推定すれば800 mの近辺になる。それぞれの建物内にいて観察の対象となった被爆者の人数に差があること，また，建物内の死亡率に対して標本変動の果たす役割を考えるならば，この推定に大きな誤差があるに違いない。しかし，その上限は，推定死亡率の95%信頼限界の上限値から推計することが可能である。それによって，それぞれの死亡率の正確度の違いをある程度補正できる。このようにして求めた距離は約990 mになる。第二に，合同調査団は遮蔽のあった多数の学童における死亡についても報告している（文献2，25-38ページ，表6参照）。特に鉄筋コンクリート建造物であるとの記述がない学校は木造校舎であると仮定し，行方不明の学童は死亡したと仮定し，また，追跡不可能な者を学童総数から差し引けば， $LD_{50}$  距離の非常に粗雑な推定が可能である。500～1,000 及び 1,000～1,500 mの範囲に観察された死亡率から得られる推定値は約970 mである。この場合も推定値に伴う誤差は大きいに違いないし，また，死亡の確率が年齢にどの程度依存しているかももちろん不確実である。

調教授の調査。この調査は，1945年10月から12月にかけての3か月間にわたって長崎で行われた。この調査で得られた  $LD_{50}$  距離の推定値に歴史的興味があるとはいえ，後述の理由のために説得力に欠け，偏りがあることもほとんど確実である。それはともかくとして，爆心地から700～3,500 mの距離の地区（合計23か所）を訪ねて，それぞれの地区の事情に詳しい方々から原爆の直前及び直後における近所の人々全員の動向について詳細に聞いた。年齢，性別，原爆時の場所，外傷の有無，死亡，原爆後の移住あるいは移動が記録された。合計1,502名の確認が行われ，その中559名（37.2%）が調査前に死亡していた。<sup>4,8</sup>



Shirabe and his colleagues observed 1) that within 1,000 m the mortality rate varied in the different localities from 42% (in the University Hospital) to 100%, with most death rates being above 90%; 2) the distance  $LD_{50}$  was about 1,500 m, terrain and structural shielding ignored; 3) the death rate for males was higher than for females over most distances again without adjustment for shielding; and finally, 4) the death rates were higher for the elderly and children under 10 years of age than for individuals of other ages. Although the numbers are small, most of the deaths of individuals exposed within 1,000 m occurred within two weeks after exposure whereas at distances beyond 1,000 m deaths tended to occur later, and at 2,000–3,000 m most took place in the third and fourth weeks after the explosion.

The analyses of their data were relatively simple and, as previously indicated, do not explicitly account for differences in shielding by structures or terrain, the latter a more important consideration in Nagasaki than in Hiroshima. It should be noted too that theirs was an opportunistic, not a probability-based sample and thus distances were not represented on a population density basis. Furthermore, 331 (22.0%) of the 1,502 individuals (or 58.3% of those exposed within 1,000 m) were exposed in the University Hospital, a reinforced concrete building 800 m from the hypocenter. Mortality in this group was 42.3%. Two other discrepant localities are those in Takao (distance 1,200 m; mortality 89.6%) and Ueno machi (distance 1,500 m; mortality 60.0%). Exclusion of the three groups cited, would place the distance  $LD_{50}$  at about 1,100 m, a value more consistent with that in Hiroshima. At this distance in Nagasaki, the DS86 marrow dose of an individual standing in the open would have been about 2.19 Gy.

In addition to the data just described, in an approximately three-week period from the latter part of October through the first part of November 1945, Dr. Shirabe and his associates identified 5,520 survivors, largely through visits to individual houses, schools, and factories, exposed within 4,000 m. Information on age, sex, shielding, symptomatology, illnesses, and treatment were recorded.<sup>6-8</sup> This was a prodigious undertaking at the time and under the circumstances that obtained. Their

調教授らの観察では、1) 1,000 m 以内の死亡率には 42% (大学病院内) から 100% に及ぶ範囲の地区差があるが、90% 以上であることが多いこと; 2) 地形や構造物による遮蔽を無視した  $LD_{50}$  距離は約 1,500 m であること; 3) 遮蔽を無視した場合の男性における死亡率は、ほとんどの距離で女性に比べて高いこと; また 4) 高齢者及び 10 歳未満の子供の死亡率がその他の年齢の者よりも高いことが認められた。調査人数は少なかったが、1,000 m 以内の者における死亡の大部分は被爆後 2 週間以内であったのに対し、1,000 m 以上の距離では死亡がもっと後に起こる傾向があり、2,000–3,000 m では死亡の大多数は被爆後第 3 週及び第 4 週であった。

彼らが行ったデータの解析は比較的簡単なもので、前述のように構造物や地形による遮蔽の違いについては、特に後者の地形による遮蔽は広島よりも長崎において考慮を必要とするにもかかわらず、別に考慮されなかった。また、調査標本は便宜の観点から求められたものであって、確率に基づいて抽出されたものではないので、その距離分布も人口密度を反映するものではなかったことを指摘したい。更に、調査対象者 1,502 名中 331 名 (22.0%) (すなわち 1,000 m 以内で被爆した者の 58.3%) は、爆心地から 800 m の地点にあった鉄筋コンクリート建ての大学病院で被爆し、その死亡率は 42.3% であった。その他に異例な場所として高尾 (距離 1,200 m, 死亡率 89.6%) 及び上野町 (距離 1,500 m, 死亡率 60.0%) の 2 か所がある。この 3 か所の集団を除外すれば、 $LD_{50}$  距離は約 1,100 m となり、広島での値に近くなる。長崎では、この距離で屋外で立っていた者の DS86 骨髄線量は約 2.19 Gy になる。

上記のデータ以外に、調教授らは、1945 年 10 月下旬から 11 月上旬にかけての約 3 週間にわたって主として個人住宅、学校や工場を訪問調査し、4,000 m 以内の被爆者 5,520 名を確認した。年齢、性別、遮蔽状況、症状、疾病、及び治療について情報を求めて記録した。<sup>6-8</sup> 当時の状況のもとでこのような調査を実施したことは驚くべきことである。その

observations have subsequently been used to assess the reliability of exposure, shielding, and symptom information obtained at later dates,<sup>14</sup> and as the basis of mortality studies.<sup>15,16</sup> Distance as ascertained in later histories tend generally to be closer than Shirabe found; this trend is not limited to a specific range of distances nor a period of time.<sup>14</sup> However, the trend itself has obvious implications for estimates of the distance LD<sub>50</sub> based on data more recently obtained. As to shielding and symptomatology, good agreement exists for individuals within wooden Japanese buildings, and for the occurrence of epilation (consistency 75%) and bleeding gums (69%), but lesser symptoms or injuries, e.g., fire burns, appear poorly recalled.

**Matsubayashi's survey.** Almost exactly one year after the bombing of Hiroshima, on 10 August 1946 to be exact, with financial support from the Japanese Scientific Research Council, Dr. Ikuzo Matsubayashi's survey occurred. The head of each family living within the city on that date was required to report the A-bomb casualties within his household (and relatives) to the city office. Age, sex, location ATB, brief information concerning shielding and injuries, and date of death were recorded. Ishida and Matsubayashi<sup>9</sup> have described the survey and its findings more fully in ABCC TR 20-61.

Briefly, they found 1) the casualty rates from the 1946 survey to be lower than those reported by the Joint Commission,<sup>1,2</sup> 2) mortality rates for the first day and average mortality rates for the periods 1 to 6 days, 7 to 14, 15 to 30, and 31 to 60 to be an exponential function(s) of distance from the hypocenter (the rates declined linearly or as a function of two straight lines, when plotted on semilogarithmic paper), decreasing rapidly with increasing distance, and 3) the highest death rates from radiation injury occurred among the population exposed between 500-999 and 1,000-1,499 m within about 10 and 20 days, respectively, after the bombing.

When the date of death was taken into account, the slopes of the mortality rates on distance were surprisingly similar in the first, 1-6, 7-14, 15-30, and 31-60 days, but were different from those at 61-91, 92-183, and 184-365 days post bombing. From these observations, they tentatively concluded, first, that deaths seen beyond 2,000 m were caused

結果は、それ以後に求められた被爆状況、遮蔽状況及び症状に関する情報の信頼性の評価に用いられ、<sup>14</sup> また、死亡率調査の基礎資料として利用された。<sup>15,16</sup> その後の調査で求められた各対象者の被爆距離は、調教授の調査の結果に比べて近距離になる傾向がある。この傾向は、特定の距離又は期間に限定されるものではない。<sup>14</sup> しかし、その傾向自体は、より最近に求められたデータに基づいて LD<sub>50</sub> を推定する場合に明らかに意味をもつことになる。木造日本家屋内で被爆した者では、遮蔽状況及び症状に関する情報の一致は良好であり、脱毛(一致率75%)及び歯肉出血(一致率69%)についても一致がよい。しかし、もっと軽い症状や外傷、例えば火傷については記憶が不確実になるようである。

松林博士の調査。広島における原爆投下から丁度1年後の1946年8月10日に松林鎭三博士が日本学術会議の助成を得て調査を実施した。原爆当日に広島市内に居住していた各世帯主は、家族内(親戚を含めて)の原爆死傷者について市役所に報告するよう要請された。年齢、性別、原爆時の場所、遮蔽と外傷についての簡単な情報及び死亡年月日が記録された。石田及び松林<sup>9</sup> は、その調査とその結果について ABCC 業績報告書 TR 20-61 で詳細に記述した。

簡単に説明すると、1) その1946年調査による死亡率は、合同調査団<sup>1,2</sup> のそれに比べて低い、2) 第1日目の死亡率並びに1~6日、7~14日、15~30日及び31~60日の各期間における平均死亡率は、爆心地からの距離に対して指数関数関係を示し(すなわち、半対数方眼紙上にプロットすると率が直線的に、あるいは二つの直線の関数として下降し)、距離に伴って急速に低下する、並びに3) 放射線傷害による死亡率は、500~999及び1,000~1,499 mで被爆した集団において、それぞれ被爆後10日及び20日以内において最高であったと報告された。

死亡年月日を考慮すれば、死亡率の距離に対する勾配は、原爆後の第1日目、1~6日、7~14日、15~30日及び31~60日の期間において互いに驚くほど似ていたが、61~91日、92~183日及び184~365日の期間では異なっていた。この観察結果から、著者らは、まず、「2,000 m以上での死亡は機械的傷害、

by mechanical injuries, burns, and the like but not radiation, and second, that “deaths caused by radiation per se occurred during the first two months following the atomic bomb explosion.”

They made no effort to estimate the LD<sub>50</sub> nor did they explicitly take shielding into account. A rough value for the distance LD<sub>50</sub>, shielding ignored, can be derived by interpolation from their Figure 1. It is about 950 m. It is even more difficult to place this distance estimate into a proper dose perspective than the estimate of the Joint Commission. Here there are no ancillary sets of data to which one can turn, and the authors acknowledge that their data give systematically lower distance-dependent death rates than those reported by the Commission, as we have previously noted.

**Research Institute for Nuclear Medicine and Biology survey.** The last of these studies to be described involves a reconstruction survey conducted by Hiroshima City authorities and members of the Research Institute for Nuclear Medicine and Biology (RINMB) of Hiroshima University in the years from 1969 through 1975.<sup>11</sup> Two phases were involved. In the first, individuals within the 113 districts (machi) of the city located within about 1,500 m of the hypocenter were identified and encouraged to provide information on the prebomb composition of the districts, names of shops and places of business, and resident families. Surviving members of the latter were contacted to construct house maps, and to prepare tentative lists of the survivors and the relatives of each family, and where they could be reached, if still alive. In the second stage, house-to-house visits were made to interview and confirm the surviving members of the families or their relatives given on the individual house maps; these interviews sought to determine the types of dwelling units and the names and fates of all of the household members ATB. Relationship to family head, sex, date of birth, injuries sustained at the time, present place of residence (if alive), and the like were recorded. Wherever practicable, such information was corroborated through the interviewing of other family members. However, only 30%–40% of the potential households were actually involved in this second, or confirmational stage. As the investigators carefully note, since living members constitute the source of all of the information they collected, deaths are systematically

火傷などが原因であり、放射線のためではなかった」、第二に、「放射線そのものによる死亡は、原爆後の最初の2か月間に起こった」と一応の結論を導いている。

LD<sub>50</sub>の推定は試みられなかったし、遮蔽も特に考慮されなかった。彼らの図1から、遮蔽を無視したLD<sub>50</sub>距離の大ざっぱな推計が可能で、おおよそ950 mになる。合同調査団の場合に比べて、この距離の推定を線量の観点から評価することは一層困難である。参考となる補足データもなく、前述のように合同調査団の報告に比べて距離別死亡率が系統的に低いことを彼らも認めていることは、先に触れた。

原爆放射能医学研究所の調査。ここで最後に説明する調査は、1969年から1975年にかけて広島市当局と広島大学原爆放射能医学研究所(原医研)研究員によって行われた復元調査である。<sup>11</sup>この調査は2段階に分けて行われた。第1段階では、爆心地からおおよそ1,500 m以内の113か所(町)に住んでいたことのある人々を探し求め、原爆以前の町内の様子、商店や事業所などの名前、及びそこに居住していた各世帯について情報を求めた。後者の世帯の中で生存している者に連絡して、町並みの図面やそれぞれの家族の中の生存者及び親類の名簿を作成し、生存者については連絡先を求めた。第2段階では、町並みの図面に記録されていた各世帯中の生存者あるいはその親戚への面接及び確認のために個別的な訪問が行われた。この面接を通じて原爆時の住居の種類並びに家族全員の名前とその生死の決定を試みた。世帯主との関係、性別、生年月日、原爆時の外傷、(生存者については)その現住所などが記録された。可能な場合は、その他の家族員との面接によって当該情報の検証が行われた。しかし、この第2の確認段階では、対象となるべき関係世帯のわずか30%~40%が実際に調査されたにすぎない。調査担当者も指摘しているように、収集された資料はすべて生存者から求めたものであるため、死亡は系統的に過小

underrecorded, and extrapolation of their results to the entire city leads to an estimated number of A-bomb deaths substantially lower than the number generally believed to have occurred.

Based on this reconstruction, however, a roster of 21,540 individuals residing in 56 districts of the city was compiled; attention centered on the 7,633 individuals whose residences and places of exposure were within the zone 500–1,500 m from the hypocenter. For their analysis they further restricted their attention to 3,215 persons exposed at distances of 500 to 1,300 m within Japanese houses of whom 1,640 (51.0%) died sometime in the interval from the bombing to 5 October. Distances were not individually estimated; survivors and deaths were aggregated within 100 m ranges from the hypocenter.

They present their data as a series of curves of mortality on distance from the hypocenter for different intervals of time. For each of these time intervals, a distance  $LD_{50}$  was estimated. For deaths occurring between 6 August and 10 September (or 5 October), the estimated distance is 1,002 m (1,026 m); for 7 August through 10 September, it is 887 m, and finally, for 20 August through 16 September (an interval corresponding roughly to the time of occurrence of death among the essentially otherwise uninjured Otake work parties, described below), it is 867 m. The latter distance is shorter than that predicted from the Joint Commission's account of the mortality among the Otake labor parties presumably uncomplicated by other causes of death. Although the methods of analysis are not fully described, it appears that for the distance-response curves for deaths or the estimates of the  $LD_{50/60}$ , based on intervals not including the first day following the bombing, no adjustment was made in the number of individuals at risk. Alternatively stated, deaths occurring prior to the days of interest were not excluded from the population on which subsequent risk is computed.

Recently, their data have been reanalyzed by Rotblat<sup>10</sup> who argues that the best estimate of the distance  $LD_{50/60}$  is  $892 \pm 11$  m, and deduces from this a marrow dose  $LD_{50/60}$  of 1.54 Gy. This value was arrived at using the preliminary estimates of the FIA kerma values with a reduction for shielding by houses based on the average transmission factors

報告され、その結果を市全体に当てはめて原爆での死亡者数の推定値を求めると、一般に考えられているよりかなり少なくなる。

しかし、この復元調査によって市内の56か所に居住していた21,540名の名簿がまとめられた。居住地及び被爆地点が爆心地から500～1,500 mの間であった7,633名を中心に検討が行われた。解析は、500～1,300 mで日本家屋内で被爆した3,215名に限定され、その中で原爆の日から10月5日までの期間の死亡者が1,640名(51.0%)いた。被爆距離の推定値は個別には求められなかった。被爆者数及び死亡者数は、爆心地から100 mごとに距離別にまとめられた。

彼らは、期間ごとに爆心地からの距離別に一連の死亡率曲線の形でデータを示し、各期間について $LD_{50}$ 距離が推定された。8月6日から9月10日(又は10月5日)までの死亡に基づいて求めたその推定距離は1,002 m(1,026 m)；8月7日から9月10日の間では887 mであり、8月20日から9月16日(これは後述する大竹から動員され、外傷のなかった人々に死亡が起こった時期に相当する期間)では867 mである。この最後の距離は、その他の死因がかかったとは考えられない大竹からの勤労奉仕団員について合同調査団が報告した死亡率から予想されるよりも近距離である。解析方法の詳細な説明はないが、原爆後の第1日を除外して各期間における死亡の距離別反応曲線あるいは $LD_{50/60}$ の推定値を求めるに当たり、観察対象人数の補正は行われなかったようである。言い換えれば、検討の対象となる期間以前の死亡者は、それ以後のリスクの計算の対象となる集団から差し引かれていない。

最近に至り Rotblat<sup>10</sup> は、そのデータの再解析を行い、 $LD_{50/60}$  距離の最善の推定値は  $892 \pm 11$  m であると主張し、それから  $LD_{50/60}$  骨髄線量が 1.54 Gy であると推論している。この数値は、1983年当時の平均透過係数を家屋遮蔽による減弱に用い、予備的な空気中カーマ推定値に基づいて計算されたものである。当時の線量推定値は DS86 とは幾分異なる

available in 1983. Since these estimates differ somewhat from those of the DS86, the earlier and the corrected ones in rad are given below. For simplicity the various gamma-ray components were combined, and the same transmission factors used by Rotblat have been employed.

Source	FIA kerma without reduction for shielding		FIA kerma with reduction for shielding		Absorbed dose in bone marrow	
	Old	New	Old	New	Old	New
Total gamma	503	628	202	252	151	188
Neutrons	33	48	12	17	3	4
Total	536	676	214	269	154	192

The exposure of an individual in a wooden structure at 892 m was computed also through using the average transmission factors for wooden buildings and body shielding from an analysis of detailed shielding histories on 11,164 survivors in the Life Span Study (LSS) sample exposed in wooden buildings in Hiroshima. When this is done, the FIA kerma within the building and the absorbed doses within the marrow for gamma rays (and neutrons) are 2.89 (0.17) and 2.38 (0.06) Gy, respectively. We shall return to a discussion of these calculations shortly.

**Special groups.** Possibly the most informative data are those derived from special groups of exposed individuals where the number of persons at risk is reliably known and their exposures can be better estimated. The Joint Commission report describes several such groups in both cities.<sup>1,2</sup> Some of these, such as the survivors in the Fuchi primary school or the University Hospital in Nagasaki are not presently useful, but they may become so once better estimates of individual doses are available. These survivors were all in reinforced concrete buildings (some earthquake proof) of varying heights within 1,000 m of the hypocenter. Other groups, with seemingly simpler shielding, are informative now.

One of the latter, a working party from Otake, a small town near Hiroshima, involved five subgroups of laborers, varying in size from 24 to 30 individuals, exposed at what was then thought to be 1,000 m and shielded only by wooden buildings. Although

ので、この初期の値とその後修正された値を rad で下に示す。ここでは単純に各ガンマ成分を合計し、Rotblat の使用した透過係数を用いた。

また、寿命調査集団中、広島の木造家屋内で被爆した者11,164名の詳細な遮蔽記録を分析して求めた木造家屋と身体遮蔽の平均透過係数を用いて、892 m の距離で、木造家屋内で被爆した者の被曝線量を計算してみた。その計算では、ガンマ線（並びに中性子）家屋内空気中カーマと骨髄吸収線量は、それぞれ 2.89 (0.17) 及び 2.38 (0.06) Gy である。この計算については後述する。

**特殊な集団。** 観察対象者数が確実に分かっている、被曝推定線量がより確実に計算できる被爆者で構成される特殊な集団を使用すれば、最も参考となる情報が得られるであろう。合同調査団の報告には、両市でこの種の集団が幾つか記述されている。<sup>1,2</sup> その中には、例えば、長崎の瀧国民学校や長崎大学付属病院の被爆者のように現在はまだ活用できないものもあるが、いずれは個人別線量推定方法の改善によって利用可能になるかもしれない。すなわち、その全員は爆心地から 1,000 m 以内の、高さがそれぞれ異なる幾つかの鉄筋コンクリート建造物（一部は耐震構造の建築物）内にいた。現在のところは、もっと簡単な遮蔽状況下にあったと考えられるほかの集団の情報が参考となる。

この後者の集団の一つは、広島に近い小さな町である大竹から動員された勤労奉仕団である。24 名ないし 30 名ずつの五つの作業班に分かれて、1,000 m の距離で木造家屋のみによる遮蔽状況下で被爆したとされている。これらの男性は家屋内にいたのではなく、



not actually within the latter structures, these men were all said-to-be standing in the shade of the houses awaiting a roll call. Seventy-two (55.4%) of 130 individuals, none of whom had "more than trifling injuries", subsequently died of the effects of radiation (3 of the original 135 died of burns, they had been less well shielded than the others because of an alleyway, and 2 died when trapped by a collapsing building). The first of these 72 deaths occurred on 26 August, that is, 20 days after the bombing, and almost all by 13 September. The incidence of death was strikingly similar in all five groups—14 of 27, 15 of 27, 13 of 27, 11 of 24, and 19 of 25.

In another group of 33 men, at a similar distance and again shielded by wooden buildings, 4 died at once when a building collapsed, and 21 died subsequently of radiation effects. The first died on 25 August and the others died by the end of the first week in September. Thus, among 159 men who did not suffer other serious injuries, 93 (58.5%) died. Given the present consensus location of the hypocenter, these men were actually exposed at a distance of 1,010 m. The newest FIA shielded kerma estimate (DS86), based on an average transmission factor of 0.47 for gamma rays, at this distance is 2.36 Gy and if it is presumed that they all died of the hematologic consequences of their exposure, the marrow dose would have been approximately 1.86 Gy, assuming the average marrow dose to be 0.79 of the FIA shielded kerma. It is important to bear in mind that this dose estimate presumes their shielding to have been intact at the time of their exposure to prompt radiation, which seems reasonable, as well as throughout the emission of delayed radiation from the fireball itself. The latter supposition cannot be true, because it is known the buildings collapsed under the blast. A more meaningful estimate of their exposure would seem to be the following: Woolson et al<sup>17</sup> have estimated that the shock wave reached 1,000 m in about two sec (see Reference 17, Figure 2). Prior to its arrival approximately 60% of the delayed radiation would have accumulated. At this distance the FIA kerma from delayed radiation without reduction for shielding was around 2.5 Gy. Thus, about 1.5 Gy was subject to attenuation from the buildings, and 1 Gy was not, and the marrow dose from delayed radiation would be  $(1.5 \times 0.47 \times 0.79)$  plus  $(1 \times 0.79)$  or 1.35 Gy. Prompt

その陰で点呼を待っていた。その130名の中には「軽傷以上の負傷」のあった者はなかったが、その後放射線影響で72名(55.4%)が死亡した(団員総数135名中3名は路地にいたために、その他の者よりも軽遮蔽であって、火傷を負って死亡し、また、2名は倒壊家屋の下敷になって死亡した)。この死亡者72名中の最初の死亡は8月26日、すなわち、原爆の20日後であり、その他はほとんど9月13日までに死亡している。五つの作業班の死亡率はほとんど同じであった(27名中14名、27名中15名、27名中13名、24名中11名、及び25名中19名)。

これ以外に、33名の男性グループが、ほとんど同じ距離で木造家屋による遮蔽状況下で被爆し、4名は家屋の倒壊で即死し、21名がその後に放射線の影響で死亡した。そのうち最初の死亡は8月25日で、その他の死亡は9月第1週の終わりまでに起こっている。したがって、放射線被曝のほかに重傷のなかった男性合計159名中93名(58.5%)が死亡した。現在爆心地であるとして意見が一致している地点からみると、これらの男性は実際に1,010 mの距離で被爆している。ガンマ線の平均透過率を0.47として求められたこの距離における最新の空気中遮蔽カーマ推定値(DS86)は2.36 Gyであり、その全員が放射線被曝の血液学的影響のために死亡したと仮定し、また、平均骨髓線量が、空気中遮蔽カーマの0.79倍であるとして骨髓線量を計算すれば、約1.86 Gyになる。この推定線量の計算に当たり、即発性放射線による被曝の間は当然のことながら、原爆の火球からの遅発性放射線による被曝の間も遮蔽物が無傷のままであったと仮定していることに留意せねばならない。しかし、爆風で建物が倒壊したことが分かっているので、この後者の仮定は正しくない。もっと意味のある被曝推定線量は次のようになるであろう。すなわち、Woolsonら<sup>17</sup>の推定では、衝撃波は約2秒で1,000 mに達し(文献17, 図2参照)、その到着時までに遅発性放射線の約60%が積算される。この距離では、遮蔽による減弱を考慮しない場合の遅発性放射線の空中カーマは約2.5 Gyである。したがって、1.5 Gy程度が家屋による減弱を受け、1 Gyはその減弱を受けないことになり、遅発性放射線による骨髓線量は $(1.5 \times 0.47 \times 0.79) + (1 \times 0.79)$ 、すなわち、1.35 Gyになる。この距離における即発

radiation at this distance is some 80% of the value of the delayed radiation, or about 2 Gy. The latter would, of course, be subject to both building and tissue attenuation; accordingly, the marrow dose from prompt radiation would be about 0.74 Gy. Adding the prompt and delayed components leads to a marrow dose of about 2.09 Gy. It is important to reiterate that these men had none of the stigmata of fire or flash burns nor traumatic injury.

Finally, they describe a group of 106 workmen in the open at about 1,000 m. All received severe burns and 48 died at once or within a few days of their burns. Forty-eight others died within two weeks, most of them within four days. Again death appeared attributable to burns but some also showed evidence of radiation injury. All of the 10 survivors exhibited acute radiation sickness. Two other smaller groups, 27 and 60 men, respectively, at approximately the same distance were studied. Of these, all died either instantly or within two weeks. Thus of 193 men only 10 survived (95% mortality). At this distance the FIA kerma (DS86) was 4.2 Gy, and the marrow dose would have been approximately 3.3 Gy, based on the average body transmission factor of 0.79 previously cited.

Kamada et al<sup>12</sup> have recently reexamined the mortality among 90 Shintoku high school students, all girls either 14 or 15 years old ATB, exposed in the Central Telephone Office in Hiroshima. The latter structure, a reinforced concrete building with a rough cement facing and a roof 50 cm thick, was located 550 m from the hypocenter. This building, one of several in Hiroshima studied in detail by the Joint Commission, is carefully described in Volume VI of their report (Reference 2, pages 139-148; see also Reference 1, page 60). Among these students, 31 were seriously injured and died within 24 hours; another 29 died within nine weeks, presumably of bone marrow failure. The remaining 30 students, alive in 1946, have been followed thereafter. Six of these have developed breast cancer (26-38 years after exposure).

Average exposure of the group of 59 students surviving more than a day has been estimated physically and cytologically. The FIA kerma, derived from the T65D dosimetry which includes an estimate of the attenuation through concrete,<sup>18</sup> was 5.98 Gy. Cytogenetic studies are available on

性放射線は遅発性放射線の80%程度、すなわち、約2 Gyである。この後者は、建造物及び組織双方によって減弱することはもちろんであり、したがって、即発性放射線による骨髄線量は約0.74 Gyになる。即発性及び遅発性線量成分を合計すれば、骨髄線量は約2.09 Gyになる。これらの男性は、火傷、熱傷あるいは外傷の徴候は全くなかったことを改めて指摘したい。

最後に、約1,000 mの屋外で被爆した106名の作業員についての記述もある。全員が強度の火傷を受け、そのうちの48名は即死又は火傷を受けてから数日中に死亡した。その他に48名は2週間以内、しかもその多くは4日以内に死亡した。この場合も、火傷に起因する死亡と考えられるが、そのうちの何人かは放射線傷害の徴候を示した。生存者10名はいずれも急性放射線症状を呈した。その他に、ほぼ同じ距離で被爆した男性27名及び60名で構成される二つの小規模の集団の調査も行われている。その全員が即死、又は2週間以内に死亡した。したがって、計193名の男性中わずかに10名が生き残った(死亡率95%)。この距離の空気中カーマ(DS86)は4.2 Gyであり、前述のように平均自己透過係数を0.79とすれば、骨髄線量は約3.3 Gyになる。

鎌田ら<sup>12</sup>は、原爆時に14又は15歳であって、広島中央電話局で被爆した進徳高等女学校生徒90名の死亡率について最近再検討を加えた。この建物は爆心地から550 mの距離にあって、ざらざらしたコンクリート外壁面をもち、屋根が厚さ50 cmの鉄筋コンクリート建造物である。これは合同調査団が広島で詳細に調べた建物数件の一つで、報告書第6巻に詳しく説明してある(文献2, 139-148ページ、また文献1, 60ページを参照)。生徒のうちの31名は重傷を負い、24時間以内に死亡した。その他に29名が恐らく骨髄機能障害のために9週間以内に死亡した。残りの生徒30名が1946年に生存していて、その後、追跡調査が行われ、6名に乳癌が認められた(被爆から26-38年経過後)。

原爆後1日以上生存した生徒59名の平均被曝線量が、物理学的並びに細胞遺伝学的技法によって推定されている。コンクリートによる減弱が考慮されているT65D線量計算方式<sup>18</sup>に基づく空中カーマ線量は5.98 Gyである。その建物の1階で被爆した生徒

10 of the survivors in this building, 3 students and 7 other young workers, all exposed on the first floor. The average estimated dose for the three students, based on the frequency of chromosomal aberrations revealed by G-banding of T lymphocytes, is 6.53 Gy (average T65D: 7.64 Gy), and for the other seven workers it is 1.93 Gy (average T65D: 2.71 Gy). The average T65D dose of a group of seven student survivors on the second floor, apparently none of whom have been studied cytologically, is 5.98 Gy. Since 29 (49.2%) of the 59 students who survived the first 24 hours subsequently died, they estimate the LD<sub>50/60</sub> (i.e., death of half of the exposed persons in 60 days following exposure) to be about 6 Gy.

This estimate is surely much too high; virtually complete obliteration of the immune system is known to occur at doses in excess of 7 Gy, and under the circumstances that obtained in Hiroshima survival stretches credulity. Moreover, the mortality they report does not accord with the statements of the Joint Commission which describe the fates of 43 immediate survivors. Of these 31 (72%) are said to have had radiation injury and 6 died (mortality 14%). The Commission's report further states that an investigative team from the Division of Environmental Health of the Japanese Institute of Public Health in Tokyo obtained 'almost identical' results late in November 1945 (Reference 2, footnote page 139).

There are other troublesome aspects of this estimate. First, the T65D estimates are based on the so-called globe method, possibly the least reliable of the major methods of estimation used in this system of dosimetry.<sup>18</sup> Second, the errors inherent in the cytogenetic estimates are undoubtedly large and dose dependent, and it is not explicitly stated how the doses were estimated from the frequency of aberrations per cell (or abnormal cells).

To couch these data in terms of the new doses, they have been compared to the RERF cytogenetic studies of the T65D and DS86 dosimetries, and the dose-response relationships that emerge from the latter.<sup>19</sup> The average DS86 shielded kerma estimate for the three students is now 4.90 Gy (marrow: 3.78 Gy), and for the seven other workers 1.50 Gy (marrow: 1.19 Gy). This suggests a marrow dose LD<sub>50/60</sub> of about 4 Gy rather than Kamada's

3名とその他7名の若い従業員、計10名の生存者について細胞遺伝調査が行われている。Tリンパ球のG分染法で認められた染色体異常の頻度に基づく生徒3名の平均被曝線量は6.53 Gy (平均 T65D 線量 7.64 Gy) であり、その他の従業員7名では1.93 Gy (平均 T65D 線量 2.71 Gy) である。2階で被爆した生徒7名については、いずれも細胞遺伝調査は実施されていないが、その平均 T65D 線量は 5.98 Gy である。被爆後24時間生存していた生徒59名中29名(49.2%)がその後に死亡しているので、LD<sub>50/60</sub> (すなわち、被爆60日以内に半数が死亡する線量) は約 6 Gy であると推定された。

この推定値は明らかに過大である。7 Gy 以上では免疫システムのほとんど完全な破壊が起こることが知られており、広島における状況のもとで生存が可能であったことは疑問である。その上、彼らが報告した死亡率は、合同調査団が調べた原爆直後に生存していた43名に関するその後の生死を記述した報告とは一致しない。合同調査団の報告した43名中31名(72%)は放射線傷害があり、6名が死亡した(死亡率14%)。東京の国立公衆衛生院環境衛生部から派遣された調査班が1945年11月下旬に行った調査でも「ほとんど同じ」結果を得たと合同調査団の報告に述べてある(文献2, 139ページ, 脚注参照)。

その推定値には、このほかにも問題がある。まず、T65D 線量推定値は、推定線量の計算に利用されている主な技法の中で恐らく信頼度の最も低い、いわゆるグローブ法に基づいている。<sup>18</sup> 第二に、細胞遺伝学検査に基づく推定値の誤差は大きく、しかも線量に依存することは疑う余地がなく、また、細胞当たりの染色体異常頻度(あるいは異常細胞数)からいかに線量推定値を求めたかの明確な説明がない。

このデータを新線量の観点から考察するために、T65D 及び DS86 線量計算方式について放影研で行われた細胞遺伝学的検証の結果と比較し、また、後者の検討から得られた線量反応関係<sup>19</sup>との比較を実施した。これによって平均 DS86 遮蔽カーマ推定値は、生徒3名で4.90 Gy (骨髄線量 3.78 Gy)、その他の従業員7名で1.50 Gy (骨髄線量 1.19 Gy) になり、LD<sub>50/60</sub> 骨髄線量は鎌田が報告した 6 Gy よりは、むしろ約 4 Gy であると示唆される。これは、合同調査団が最小の遮蔽を水 1 m 相当と仮定して計算した当

estimate of 6 Gy, and is consonant with the Joint Commission's estimate of an average exposure in this building of 400 R (see Reference 1, page 63), based on the assumption of a minimal shielding of the equivalent of 1 m of water.

Recently, still another group described by the Joint Commission, the survivors in the Chinzei and Shiroyama schools in Nagasaki, has been studied.<sup>20</sup> These were ferroconcrete buildings located at about 500 m from the hypocenter. Some 269 individuals were identified as exposed within the schools proper, adjacent wooden structures or air raid shelters; 208 were actually within the ferroconcrete buildings themselves. Many were killed outright by the blast or died within the first day from burns or other unknown causes. Using this source of information and others at their disposal, members of the Defense Nuclear Agency (USA) have reconstructed the events attending the exposures of 181 persons, 84 of whom died on the first day. Estimates of the doses of these 181 individuals were made using the DS86 FIA kerma and a complex modeling process to take into account the shielding afforded by the structures at approximately two foot intervals, vertically and horizontally, within the buildings. The  $LD_{50/60}$  was estimated both with and without including deaths on the first day. Using a linear probit model of mortality, which best fit these data, they find the  $LD_{50/60}$  to be 3.2 Gy (bone marrow dose) when deaths within the first day or the seriously injured surviving the first day are excluded, and 2.64 Gy when they are not. This difference (17% approximately) they attribute to possible bias introduced through inclusion of first day deaths and the severely injured.

## MATERIALS AND METHODS

The data described here are an outgrowth of the efforts of ABCC-RERF to identify all of the survivors of these A-bombings and, within specified distances of the hypocenters, to determine the shielding circumstances under which they were exposed.<sup>21</sup> Among the earliest attempts to enumerate the survivors, at least those still resident in these cities, was the radiation census of 1948; this was followed by a supplementary questionnaire appended to the 1950 national census which sought to identify survivors still alive wherever in Japan they might then reside. Neither of these surveys ascertained

建物内における平均推定線量 400 R (文献 1, 63 ページ参照) と一致する。

合同調査団の報告に記述された長崎の鎮西学院と城山国民学校における被爆者についても最近検討が加えられた。<sup>20</sup> 両校は、鉄筋コンクリート校舎で爆心地から約 500 m の距離であった。学校本館、隣接の木造建造物あるいは防空壕内で被爆したという 269 名が確認された。そのうちの 208 名が実際に鉄筋コンクリート校舎内にいた。その多くは爆風で即死、又は火傷あるいはその他の不明な原因で第 1 日目に死亡した。米国防核兵器局では、この資料及びその他の利用可能な情報に基づき、第 1 日目の死亡者 84 名を含めて、181 名の被爆状況を再現した。この 181 名の線量推定は、DS86 空気中カーマ並びに各建物による遮蔽を縦横 2 フィート間隔で計算する複雑なモデル方式を用いて求められた。第 1 日目に死亡した者を含めた場合と除外した場合の  $LD_{50/60}$  が推定された。データとの適合が最適と認められた線形プロビットモデルを死亡率に当てはめると第 1 日目の死亡者、又は第 1 日目に生き残った重傷者を除外した場合の  $LD_{50/60}$  は 3.2 Gy (骨髄線量)、除外しない場合は 2.64 Gy であるとしている。彼らは、この差 (約 17%) が第 1 日目の死亡及び重傷者を含むことによる偏りのためであろうと考えた。

## 材料及び方法

ここに報告するデータは、すべての原爆被爆生存者を確認すること、及び爆心地から一定の距離以内の被爆者の被爆時における遮蔽状況を決定することを試みた ABCC-放影研の努力の所産である。<sup>21</sup> 被爆者の数について言えば、少なくとも両市に引き続き居住していた者を対象に行われた最初の調査は 1948 年の被爆者調査であった。その後、昭和 25 年国勢調査の際の付帯調査で、日本国内のどこに居住しているかにかかわらず生存している被爆者の確認が試みられた。この二つの調査では、個人別の被爆距離は求められなかった。これらの調査の結果と放影研におけ



individual distances. In the years from 1953 to 1958, using these censuses and the Foundation's Master Sample of survivors as a basis, specially trained interviewers sought to determine for each survivor (within 1,600 m in Hiroshima; 2,000 m in Nagasaki) then resident in one or the other of these cities where he or she was on 6 or 9 August as reliably as practicable with the aid of city maps and aerial photographs taken before and soon after the bombings. If they were exposed within a building, a scale model was drawn to aid in determining their position, and they were asked to specify how many other individuals to their knowledge were present within the structure, their locations and whether they survived or died, and if the latter, when death occurred, if known.<sup>21</sup>

To simplify the complications introduced by different transmission factors associated with different structures and differences in terrain, the data to be analyzed were restricted to individuals surviving in Hiroshima within wooden Japanese buildings, either homes, tenements or small shops, portions of which commonly served as a dwelling place. We have restricted the data for several reasons. First, although the absorbed doses of the various exposed occupants cannot be presumed to be equal, there should be a greater degree of homogeneity than would obtain if differently constructed buildings were used. Second, since the number of individuals likely to have been exposed within such structures would be small, the survivor's knowledge and recollection of that number should be more accurate. Moreover, if more than one individual survived, corroboration of the number of occupants and their locations would be simpler and more meaningful. Third, under the new dosimetry, it is not yet possible to ascertain the extent of the attenuation of the FIA kerma at a particular distance by structures of other construction, concrete and the like, and our aim is to attempt to estimate the  $LD_{50/60}$  using DS86 doses. It must be borne in mind that some 80% or so of the survivors in the critical distances survived because they were shielded, and thus reliable estimates of the dose  $LD_{50/60}$  are ultimately dependent largely upon the probable doses of shielded individuals. Lastly, the data from Nagasaki have not been considered, for too many individuals at critical distances were shielded by terrain or structures for which DS86 dose estimates do not exist as yet.

る被爆者の基本標本に基づき、特に訓練を受けた調査員が1953年から1958年にかけて、当時広島・長崎のいずれかにまだ居住していた被爆者（広島では1,600 m以内、長崎では2,000 m以内の者）について、市の地図や原爆前及び原爆直後の空中撮影写真を用いて、8月6日又は9日にその人々がいた場所を可能な限り正確に決定するよう努力した。建物内で被爆した者については、その建物の縮尺図を描いて原爆時の位置の決定を試みるとともに、建物内にいたその他の者についても知る限りその人数や場所、生死の別、死亡の場合は分かればいつ死亡したかを尋ねた。<sup>21</sup>

構造物や地形の相違に伴う透過係数の違いのために問題を単純化する目的で、解析する対象は、広島において、一戸建て住宅、長屋式の建築、又は同居兼用の小さな商店など木造日本家屋内で被爆した生存者のデータに限定して解析を実施した。データを制限したのは幾つかの理由がある。まず、それぞれの家屋内被爆者の吸収線量が同じであったとは想像できないが、構造の異なる建物を使用する場合よりはその均一性は高いはずである。第二には、そのような各建物内で被爆した者は恐らく少数であったと思われるので、その人数についての被爆者の記憶はより正確であるはずである。また、生存者が一人以上いれば、家屋内にいた者の数及び場所の相互検証が簡単で、より意義があると思われる。第三には、新線量体系では、特定の距離におけるコンクリートなど、その他の構造の建物による空気中カーマの減弱を決定することがまだ不可能であるが、本書の目的はDS86を利用して $LD_{50/60}$ の推定を試みることである。ここで留意せねばならないことは、問題となる距離で被爆した生存者の80%程度は遮蔽があったために生き残ったことであり、したがって、信頼すべき $LD_{50/60}$ 線量を求めるためには、結局は遮蔽のあった者の推定線量に大きく依存する以外はない。最後に、長崎では問題となる距離にあった者の多数が、DS86推定線量がまだ計算不可能の地形や構造物で遮蔽されていたために、考察からそのデータを除外した。



Basically, our data, at a given distance or dose, can be envisaged as a bivariate array where one index is the number of occupants in the dwelling, say  $i$ , and the other index,  $j$ , is the number of individuals who died. Note that for a fixed number of occupants, the distribution of deaths should follow the truncated binomial (or negative binomial) since within a group, irrespective of its size, at least one person must have survived to identify the cluster and the fates of its members. Under this supposition, the estimation problem can be formulated as follows.<sup>22-24</sup> Let  $P_{ij}(p)$  be the probability of the occurrence of  $j$  deaths in a cluster of size  $i$  ( $i = 2, 3, \dots, n_i$ ;  $j = 0, 1, 2, \dots, i-1$ ) at distance (or dose)  $d$ . Then

$$P_{ij}(p) = \frac{\binom{i}{j} p^j (1-p)^{i-j}}{1-p^i} \quad (1)$$

It follows from this that the likelihood of the sample  $[n_{ij}]$  is merely

$$L(p) = \prod_{i=2}^n \frac{n_i!}{\sum_{j=0}^{i-1} n_{ij}!} \prod_{j=0}^{i-1} \left[ \frac{\binom{i}{j} p^j (1-p)^{i-j}}{1-p^i} \right]^{n_{ij}} \quad (2)$$

and the maximum likelihood estimate of  $p$  is the solution of

$$\sum_{i=2}^n \sum_{j=0}^{i-1} \frac{(i-j)n_{ij}}{1-p} = \sum_{i=2}^n \frac{i \cdot n_i}{1-p^i},$$

where,  $n_i = \sum_j n_{ij}$ .

The variance of this estimate is approximated by the reciprocal of

$$\frac{1}{p(1-p)} \sum_{i=2}^n \frac{1-p^i - i(1-p)p^{i-1}}{(1-p^i)^2} i n_i.$$

Thus, for a given distance (or dose), one can estimate the probability of death (and its error) for a fixed or variable number of occupants. If both estimates are obtained, one can further determine whether the number of occupants significantly influenced mortality as could be postulated a priori.

基本的には、ある距離又は線量におけるデータは二変量行列と考えることができ、その指標の一つはその家屋内にいた者の人数  $i$  であり、他の指標は死亡者数  $j$  である。家屋内にいた一定の人数における死亡者数は打ち切り二項分布 (又は負の二項分布) に従うはずである。なぜならば、その人数がいかにも多くとも、その集団とその集団内における者の生死の別の情報を得るために少なくとも一人の生存者がいなければならない。このように仮定すれば、推定の問題は次のように示すことができる。<sup>22-24</sup> ここで  $P_{ij}(p)$  を大きさ  $i$  の集団において死亡者数  $j$  ( $i = 2, 3, \dots, n_i$ ;  $j = 0, 1, 2, \dots, i-1$ ) が距離 (又は線量)  $d$  で発生する確率とすれば

これから標本  $[n_{ij}]$  の尤度は簡単に次のようになる。

そして  $p$  の最大尤度は次式の解である。

ここで  $n_i = \sum_j n_{ij}$  である。

この推定値の分散の近似値は次式の逆数である。

したがって、ある任意の距離 (又は線量) で家屋内にいた者の人数が一定の場合又は一定でない場合の死亡確率 (及びその誤差) を推定することが可能である。この二つの推定値を求めたならば、先験的に予想されるように果たしてその家屋内にいた者の人数によって死亡が有意な影響を受けたかどうかを

For example, other household survivors could free occupants pinned by wreckage who might otherwise have burned to death, or alternatively, a single death might make a more lasting impression on a small household than one of larger size. To these distance (or dose) estimates of mortality, it is possible to fit a variety of functions to obtain an estimate of the  $LD_{50/60}$ , a process tantamount to “smoothing” the observations.

## RESULTS

The basic data are given in Appendix Tables 1–3; in the first, the distributions are for fixed distances, and in the latter two for fixed FIA kerma in a house, T65D or DS86. Within each table, for a specified distance or dose interval, is given the number of clusters of size  $i$  with  $j$  deaths for deaths occurring in three periods of time. Clusters (number) with one or more individuals with unknown dates of death have been excluded. While we attempted to restrict these observations to those deaths of individuals actually within the household ATB, through inadvertence or misunderstanding on the part of the individual(s) interviewed, some deaths may have occurred elsewhere. Although this number is believed to be small, to the extent that such deaths have been included, the distance and dose estimates are in error. Presumably a misclassified death would have been more likely if the individual was closer to the hypocenter or less well shielded than surmised. This would have the effect of increasing the distance estimate, since the actual distance would be less than the value used, and thereby decreasing the dose.

Figure 1 gives the estimated probabilities of death as a function of distance and cluster size (for sizes 2–5) for the first 60 days postbomb (6 August–5 October 1945), without smoothing. Figure 2 gives the same probabilities as functions of the estimated DS86 kerma in a house. Superimposed on each of these figures is a curve based on the use of all of the data, taking into account cluster size. Note, first, that for both sets of estimates at very close distances (or high doses) the frequency of death is poorly estimated, when cluster size is fixed (sizes 2–5), either because the numbers are small (and presumably the exposure circumstances unusual), or the distances or doses themselves have been poorly ascertained. Second, over the range in which most

決定できる。例えば、倒壊物の下敷になった者は、その他の生存世帯員によって助けられなかったならば火災のために死亡したかもしれないし、他方、小世帯内の死亡が一人でも、大家族の場合に比べてより強烈な印象が長く残るかもしれない。各距離（又は線量）における推定死亡率に種々の関数を当てはめて  $LD_{50/60}$  を求めることが可能であり、これは観察結果を平滑化することにほかならない。

## 結 果

付表1–3に基礎データを示した。付表1に距離別分布を示し、後の二つの付表では家屋内におけるT65D及びDS86空気中カーマ別分布を示した。各付表には、ある特定の距離又は線量区間で、三つの死亡観察期間に対して、大きさ  $i$  の集団で死亡者数が  $j$  であった集団の数を示した。死亡時期が不明な者が一人以上あった集団（件数）は除外した。ここでは、原爆時に実際にその世帯内にいた者に限定するよう努力したが、間違っ、又は被面接者の誤解のために他の場所で死亡した者も含まれているかもしれない。その数は少ないと思われるが、そのような死亡者が含まれている場合、その程度に応じて距離及び線量の推定値に誤差が含まれることになる。当該死亡者が想像されているよりは爆心地に近かったり、遮蔽が少なかったりすれば、誤った分類に区分される可能性が大きくなる。そのような場合は、使用したよりも実際の距離は近いので、求められる推定距離を大きくする効果をもたらし、したがって、推定線量も低くなる。

図1には、原爆後の最初の60日間（1945年8月6日～10月5日）の推定死亡確率を距離及び集団の大きさ（2～5名）の関数として平滑化を行うことなく示した。図2では、同じ確率を家屋内の推定DS86カーマの関数として示した。この二つの図には、集団の大きさを考慮して全データを用いた場合の曲線をも重ねて示した。まず、集団の大きさを一定（大きさ2～5名）にした場合の極近距離（又は高線量）におけるこの二つの推定はともに、件数が少ないためか（したがって被爆状況が恐らく異例であったため）、又は距離あるいは線量そのものの情報が不十分であるためか、死亡頻度の推定が良くないことが注目される。第二に、

FIGURE 1 ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH IN THE FIRST 60 DAYS AFTER THE BOMBING BY DISTANCE AND CLUSTER SIZE

図1 原爆後の最初の60日間における推定死亡確率，距離，及び集団の大きさ別

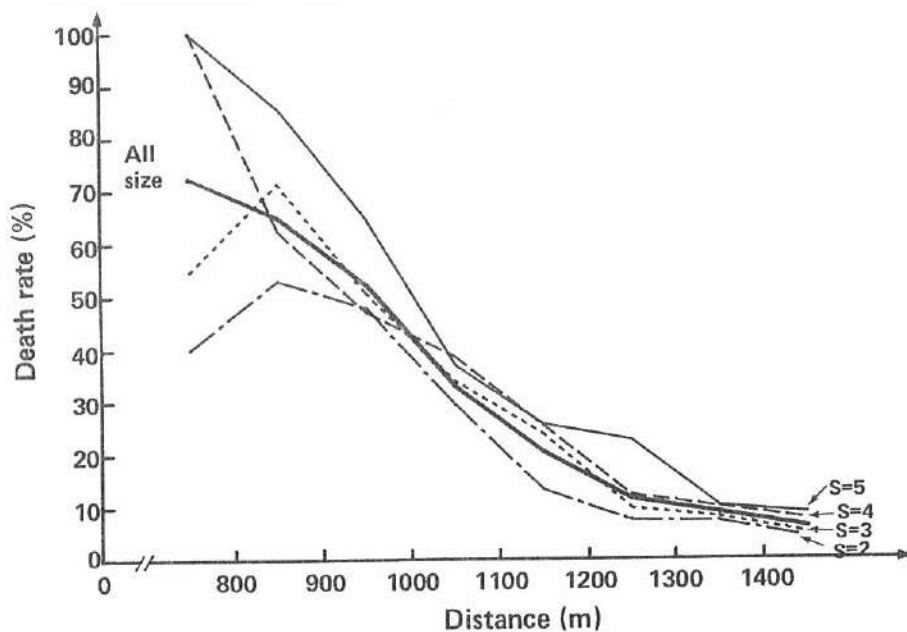
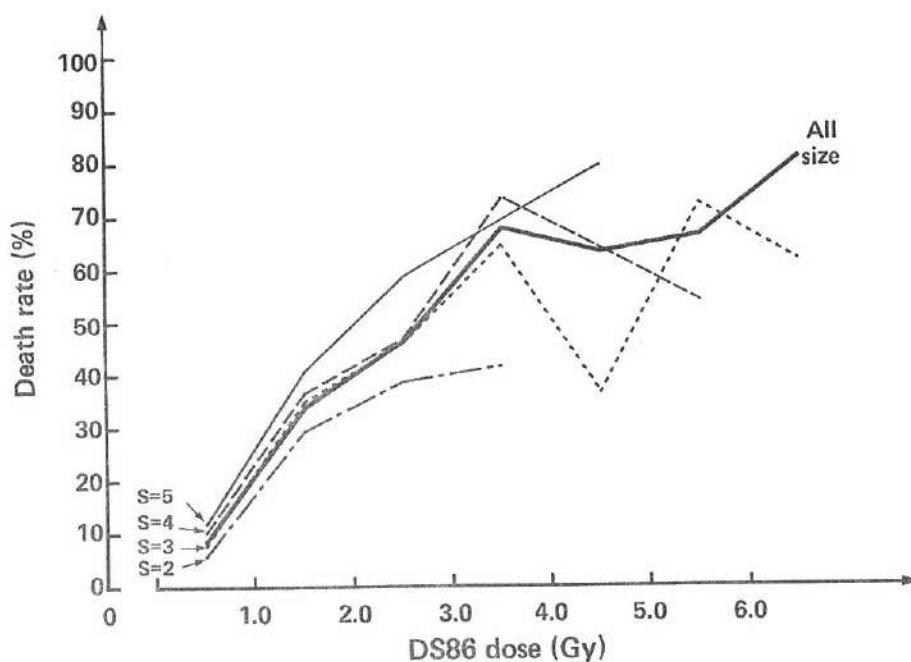


FIGURE 2 ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH IN THE FIRST 60 DAYS AFTER THE BOMBING BY DS86 DOSE AND CLUSTER SIZE

図2 原爆後の最初の60日間における推定死亡確率，DS86線量，及び集団の大きさ別



clusters are to be found (sizes 2-5), survival was significantly related to the number of individuals in the household, the larger the household the higher the probability of death, and the disparity was greater as dose (distance from the hypocenter) increased (decreased). This suggests, in turn, that a failure to take into account cluster size will lead to erroneous estimates of the distance (dose)  $LD_{50/60}$ . Lastly, the curve based on all of the data appears exponential, as has been commonly assumed by other investigators (see, for example, Masuyama<sup>3</sup>).

To estimate the distance (dose)  $LD_{50/60}$  three situations have been considered, namely, a) inclusion of all estimates of  $p$ , the probability of death, b) omission of those estimates of  $p$  associated with doses in excess of 6 Gy which we presume to be erroneous or at least subject to very large errors, and c) omission of those estimates associated with doses in excess of 5 Gy. The estimates of the probabilities of death (and their errors) that have been used are given in Appendix Tables 4-6.

The results for various intervals of time in which death occurred are given in Table 1 (distance), Table 2 (T65D kerma in house), and Table 3 (DS86 kerma in house). In each of these tables the second column corresponds to the commonly estimated  $LD_{50/60}$ ; the  $LD_{50/35}$  and  $LD_{50/147}$  are given largely to facilitate comparisons of our data with those of the RINMB. Observe, first, that in general the estimated  $LD_{50}$  is greater with distance, and lower with dose the longer the interval following the bombing over which deaths are summed. Second, although a normal or lognormal distribution has generally been favored on theoretical grounds by other investigators in fitting curves to the mortality estimates, a simple unweighted linear model does not appear to be a particularly poor approximation over the range of distances or doses used here. Finally, the marrow dose (DS86) estimates based on the distance  $LD_{50/60}$  given in Table 1 are 2.3 Gy (906 m), 2.0 Gy (934 m), and 1.9 Gy (943 m), all computed from the average transmission factors, house and body.

It should be noted that the formulation above does not necessarily solve all of the ascertainment problems. If it can be assumed that for a given distance (dose) all survivors were independently ascertained, that is, without respect to the number

集団の大部分が分布していた範囲では(大きさ2~5名), 生存率はその世帯内の人数と有意な関係を示し, 世帯が大きいほど死亡確率が高く, その差は線量(爆心地からの距離)の増加(減少)に伴って大きくなる. このことは, 一方では集団の大きさを考慮せねば,  $LD_{50/60}$  距離(線量)の誤った推定を導くことになることを示唆する. 最後に, 全データに基づく曲線は指数関数に従うようであり, これはその他の研究者が一般的に仮定していたと同じである(例えば, 増山<sup>3</sup>を参照).

$LD_{50/60}$  距離(線量)の推定を求めるに当たって三つの場合を考慮した. すなわち, a) 死亡確率  $p$  のすべての推定値を含めた場合; b) 6 Gy 以上の線量は間違っているか, 少なくとも非常に大きな誤差を伴っていると思われるので, そのような線量に関連した  $p$  を除外した場合; 並びに c) 5 Gy 以上の線量に関連した推定値を除外した場合である. 使用した死亡確率(及びその誤差)の推定値は付表4-6に示した.

死亡が生じた各期間に対する結果は, 表1(距離), 表2(家屋内 T65D カーマ) 及び表3(家屋内 DS86 カーマ)に示した. 各表の第2欄は, 一般に推定されている  $LD_{50/60}$  に相当する. また  $LD_{50/35}$  及び  $LD_{50/147}$  を示したのは, 広大原医研のデータとの比較の便のためである. まず, 原爆後の死亡を累積した期間が長くなるに従って, 一般に  $LD_{50}$  推定値は距離としては大きくなり, また, 線量としては低くなることに留意せねばならない. 第二に, 他の多くの研究者は, 推定死亡率に曲線を当てはめる場合に理論的見地から正規分布又は対数正規分布を好んで用いているが, ここで使用した距離又は線量の範囲では, 単純な非加重線形モデルも近似として特に劣ることはないようである. 最後に, 表1に示した  $LD_{50/60}$  距離に基づき, 家屋及び自己平均透過係数を用いて計算した推定骨髄線量(DS86)は, 2.3 Gy (906 m), 2.0 Gy (934 m) 及び 1.9 Gy (943 m) である.

上記の問題設定によって該当者確認の問題がすべて解決されるとは限らないことに注意せねばならない. ある任意の距離(線量)における生存者全員が互いに独立に確認されたのであれば, すなわち, 確認が集団内の生存者の人数とは全く無関係であったならば,

TABLE 1 UNWEIGHTED ESTIMATES OF THE DISTANCE  $LD_{50}$  IN HIROSHIMA IN METERS FROM THE HYPOCENTER. These estimates are based on individual distances grouped into successive 100 m intervals

表1 広島における爆心地からの  $LD_{50}$  距離 (m) の非加重推定値。この推定値は、各個人の被爆距離を 100 m ごとの区分に分けて求めた。

	Interval of time over which deaths are summed		
	6 Aug-10 Sept	6 Aug-5 Oct	6 Aug-31 Dec
All data:			
Linear model	911	943	948
Exponential model	887	906	909
0-799 m excluded:			
Linear model	893	934	942
Exponential model	911	934	937
RINMB survey	1002	1026	-
Estimate:	$LD_{50/35}$	$LD_{50/60}$	$LD_{50/147}$

TABLE 2 UNWEIGHTED LINEAR ESTIMATES OF THE  $LD_{50}$  BASED ON T65D VALUES OF FIA KERMA INSIDE A HOUSE (gray) IN HIROSHIMA. These estimates are based on individual doses grouped into successive 1 Gy intervals. The values in parentheses are the corresponding marrow doses, using the T65D estimated marrow transmission factors of 0.56 for gamma rays, and 0.28 for neutrons.

表2 広島における家屋内 T65D 空気中カーマ (gray) に基づく  $LD_{50}$  の非加重線形推定値。この推定値は、各個人の被曝線量を 1 Gy ごとの区分に分けて求めた。T65D 推定骨髄透過係数 (ガンマは0.56, 中性子は0.28) を用いて求めた骨髄線量を括弧内に示した。

	Interval of time over which deaths are summed		
	6 Aug-10 Sept	6 Aug-5 Oct	6 Aug-31 Dec
Data set:*			
A	4.50 (2.52)	4.14 (2.32)	4.09 (2.29)
B	4.08 (2.28)	3.76 (2.11)	3.73 (2.09)
C	4.00 (2.24)	3.69 (2.07)	3.65 (2.04)
Estimate:	$LD_{50/35}$	$LD_{50/60}$	$LD_{50/147}$

\*A = using all dose estimates; B = omitting the percent mortality estimates for shielded kerma in excess of 6 Gy; C = omitting the percent mortality estimates for shielded kerma in excess of 5 Gy.

A = すべての線量における推定値を用いた場合; B = 遮蔽カーマ 6 Gy 以上における死亡率推定値を除外した場合; C = 遮蔽カーマ 5 Gy 以上における死亡率推定値を除外した場合。



TABLE 3 UNWEIGHTED LINEAR ESTIMATES OF THE LD<sub>50</sub> BASED ON DS86 VALUES OF FIA KERMA INSIDE A HOUSE (gray) IN HIROSHIMA. These estimates are based on individual doses grouped into successive 1 Gy intervals. The values in parentheses are the corresponding marrow doses, using the DS86 estimated marrow transmission factor of 0.79 for body shielding.

表3 広島における家屋内 DS86 空気中カーマ (gray) に基づく LD<sub>50</sub> の非加重線形推定値。この推定値は、各個人の被曝線量を 1 Gy ごとの区分に分けて求めた。DS86 推定骨髄透過係数 (自己遮蔽) 0.79 を用いて求めた骨髄線量を括弧内に示した。

	Interval of time over which deaths are summed		
	6 Aug-10 Sept	6 Aug-5 Oct	6 Aug-31 Dec
Data set:*			
A	3.54 (2.80)	3.27 (2.58)	3.22 (2.54)
B	3.53 (2.79)	3.20 (2.53)	3.15 (2.49)
C	2.87 (2.27)	2.92 (2.31)	2.87 (2.27)
Estimate:	LD <sub>50/35</sub>	LD <sub>50/60</sub>	LD <sub>50/147</sub>

\* See footnotes of Table 2

表2の脚注参照。

of survivors within the cluster, and this obtains for all distances, no further ascertainment issue would remain. If, however, ascertainment was incomplete, as seems probable, then there will be a systematic overrepresentation of clusters with larger numbers of survivors. Thus, for example, within clusters of size 5, one would be disproportionately likely to identify a cluster in which everyone survived, that is, there were no deaths, than one in which there was a sole survivor (four deaths occurred). Allowance for this can be made as follows:

A cluster of size  $i$  with  $j$  deaths ( $j = 0, 1, \dots, i$ ) has  $i - j$  survivors of whom  $0, 1, 2, \dots, i - j$  may be ascertained. If  $c$  is the probability of ascertaining a survivor, then  $(1 - c)$  is the probability of failing to do so. Therefore, the probability,  $\pi$ , that a cluster of size  $i$  with  $j$  deaths is independently ascertained  $x$  times is

$$\pi_{jx} = \binom{i}{j} p^j (1-p)^{i-j} \left( \frac{i-j}{x} \right) c^x (1-c)^{i-j-x}.$$

Now only those clusters with  $j \leq i - 1$  and  $x \geq 1$  are ascertained. Clusters with  $x = 0$  occur, but are not ascertained; the proportion of such clusters is

$$\pi_{j0} = \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} p^j (1-p)^{i-j} (1-c)^{i-j} = [1 - c(1-p)]^i,$$

また、すべての距離にこれが当てはまるのであれば、これ以上の該当者確認の問題は残らない。しかし、もし確認が不完全であったならば、実はそうであった可能性が高いが、生存者の人数が多い集団が系統的に過大に表されることになる。したがって、例えば、大きさ5名の集団では、生存者が一人だけ (死亡者4名) であった集団に比べて、全員が生き残った、すなわち、死亡のなかった集団が確認される割合が高くなる。この補正は次のようにできる。

大きさ  $i$  で死亡者数  $j$  ( $j = 0, 1, \dots, i$ ) の集団では、生存者数は  $i - j$  で、その中の  $0, 1, 2, \dots, i - j$  名を確認できる。生存者を確認する確率を  $c$  とすれば、未確認の確率は  $(1 - c)$  である。したがって、大きさ  $i$  の集団で死亡者数  $j$  のものが  $x$  回独立的に確認される確率  $\pi$  は次のとおりである。

確認できる集団は  $j \leq i - 1$  及び  $x \geq 1$  のものだけである。  $x = 0$  の集団は起こり得るが確認されない。その集団の割合は次のとおりである。

and hence the proportion of clusters of size  $i$  which are ascertained are  $1 - [1 - c(1 - p)]^i$ . It follows that of the clusters of size  $i$  which are ascertained, the proportion which contain  $j$  deaths and  $x$  ascertainment ( $j = 0, 1, \dots, i - 1$ ;  $x = 1, 2, \dots, i - j$ ) is

$$\frac{\binom{i}{j} p^j (1 - p)^{i-j} \binom{i-j}{x} c^x (1 - c)^{i-j-x}}{[1 - \{1 - c(1 - p)\}]^i}$$

and, in turn, the overall proportion which contains  $j$  deaths ( $j = 0, 1, \dots, i - 1$ ) is

$$\sum_{x=1}^{i-j} \frac{\binom{i}{j} p^j (1 - p)^{i-j} \binom{i-j}{x} c^x (1 - c)^{i-j-x}}{[1 - \{1 - c(1 - p)\}]^i} = \frac{\binom{i}{j} p^j (1 - p)^{i-j} [1 - (1 - c)^{i-j}]}{[1 - \{1 - c(1 - p)\}]^i}$$

The likelihood of the sample  $[n_{ij}]$  now becomes

$$L(p, c) = \prod_{i=2}^n \frac{n_{i.}!}{\prod_{j=0}^{i-1} n_{ij}!} \prod_{j=0}^{i-1} \left[ \frac{\binom{i}{j} p^j (1 - p)^{i-j} [1 - (1 - c)^{i-j}]}{[1 - \{1 - c(1 - p)\}]^i} \right]^{n_{ij}}$$

and it is this expression which has to be maximized with respect to  $p$  and  $c$  (or with respect to  $p$  for fixed  $c$ ). Note that if  $c$  is one, the case where every survivor is ascertained, this expression is the same as (2) above. More importantly, the above expression holds only if the survivors are ascertained independently, and this can only be approximately true in the present instance. Be this as it may, both  $p$  and  $c$  can be estimated by solving simultaneously the two equations obtained by partial differentiation of the likelihood equation (or its logarithm).

To gain some notion of the systematic effects of ascertainment itself upon the estimates of  $p$ , four cases have been considered, namely, 1) no more than one survivor was independently ascertained in any cluster (equivalent to assuming ascertainment was proportional to the number of survivors in the cluster), and 2) through arbitrarily fixing  $c$  to be 0.25, 0.50, and 0.75. In the first instance, as Haldane<sup>23</sup> has shown, the estimation of the proportion of deaths,  $p$ , is straightforward.

したがって、大きさ  $i$  の集団が確認される割合は  $1 - [1 - c(1 - p)]^i$  である。これから確認される大きさ  $i$  の集団において死亡者数  $j$ 、確認回数  $x$  のもの ( $j = 0, 1, \dots, i - 1$ ;  $x = 1, 2, \dots, i - j$ ) の割合は次のとおりである。

その結果、死亡者数  $j$  ( $j = 0, 1, \dots, i - j$ ) であったものの全体の割合は次のとおりである。

そこで標本  $[n_{ij}]$  の尤度は次のとおりになる。

$p$  及び  $c$  (又は  $c$  を一定にした場合は  $p$ ) に関してこの式が最大になるようにせねばならない。もし  $c$  が 1 であれば、すなわち、全生存者が確認された場合には、この式は上記の (2) と同じであることを指摘したい。もっと重要なことは、各生存者が互いに独立に確認されたときのみこの式が有効であり、本調査においてこのことは近似的に正しいと言えるにすぎない。それはともかくとして、尤度方程式 (又はその対数) の偏微分より得られる二つの式を同時に解くことによって  $p$  及び  $c$  の両方を推定できる。

確認の状況自体の推定値  $p$  への系統的影響をある程度知るために四つの場合を考えてみた。すなわち、1) 集団内で独立に確認された生存者が一人だけの場合 (確認が集団内の生存者数に比例すると仮定するに等しい)、並びに 2)  $c$  を任意に 0.25, 0.50, 及び 0.75 に固定した場合である。この第一の例では、Haldane<sup>23</sup> が示しているように、死亡の割合  $p$  の推定は簡単である。

$$p = \frac{S - N}{T - N},$$

where S is the number of survivors at a given dose (distance), N is the total number of clusters at that dose (distance), and T is the total number of individuals (alive or dead) in those clusters. The variance of p is

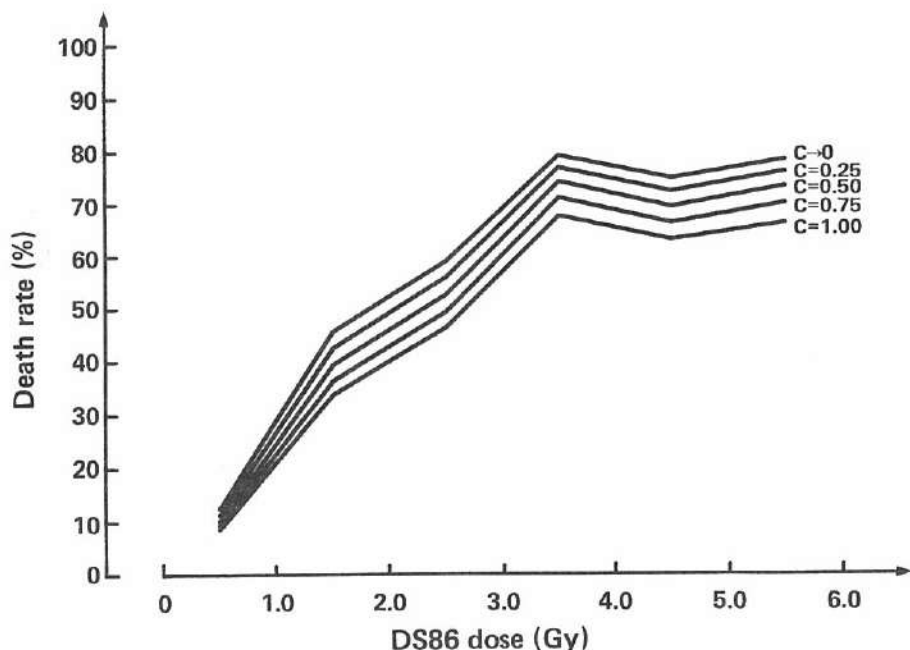
$$V = \frac{(T - S)(S - N)}{(T - N)^3}.$$

In the second instance, p is computable although not as simply. Figure 3 illustrates the effect on the estimate of the LD<sub>50/60</sub> of different assumptions about the thoroughness of the ascertainment of survivors. The estimate varies somewhat less than 20% under the extreme assumptions, that is, complete ascertainment, on the one hand, and ascertainment proportional to the number of survivors in the cluster, on the other. Neither of these extremes seems a reasonable approximation to the true case, but they set bounds to the probable reliability of the estimate.

第二の例では、p の計算は可能であるが、上記ほど簡単ではない。図3には、生存者の確認の完全性に関するそれぞれの仮定が、LD<sub>50/60</sub> の推定値に及ぼす影響を示した。一方では完全な確認があり、他方では確認が集団内の生存者数に比例するという両極端の間で、推定値の変動は20%をやや下回った。この両極端のいずれも実状に近いとは思われないが、それによって推定値の信頼度の範囲を設けることができる。

FIGURE 3 ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH IN THE FIRST 60 DAYS AFTER THE BOMBING FOR FIXED ASCERTAINMENT RATES

図3 原爆後の最初の60日間における推定死亡確率、確認率別



The estimates to be found in Tables 1-3 are un-weighted, that is, each estimate of the probability of death was given equal weight in the curve fitting although the standard errors are known to differ substantially. This seemed defensible in the estimation of the  $LD_{50/60}$  for the reason advanced below, but becomes troublesome in the estimation of the  $LD_{95/60}$ . Accordingly, Table 4 presents a series of estimates of the  $LD_{50/60}$  and  $LD_{95/60}$  based on weighting each probability by the inverse of its variance.  $LD_{05/60}$  values are not given for two reasons. First, complete shielding information does not extend beyond 1,600 m generally, and within 1,600 m the proportion of deaths is commonly greater than 5%, and hence mortality cannot be estimated at larger distances or smaller doses. This undoubtedly makes the estimated slopes of the dose-response curves that have been fitted overly steep, and raises the possibility of negative estimates of the  $LD_{05/60}$ . Second, as previously noted, a troublesome issue with both the old and the new dosimetry is the existence of some individuals with what appear to be exceptionally high doses. It is, therefore, of interest to know what constitutes an acceptably high dose, one at which several percent of exposed individuals would presumably survive.

表1-3に示した推定値は非加重のものである。すなわち、標準誤差に相当の違いがあることが分かっているが、曲線の当てはめに当たって、死亡確率の各推定値に同じ重みを与えたものである。この方法は下記の理由で、 $LD_{50/60}$ の推定値を求める場合に妥当であるが、 $LD_{95/60}$ の推定では問題が生じる。したがって、表4ではそれぞれの確率をその分散の逆数で加重したときの $LD_{50/60}$ 及び $LD_{95/60}$ の推定値を示した。 $LD_{05/60}$ 値は二つの理由で示してない。まず、完全な遮蔽情報は一般的に1,600 m以遠の者について求められていないとともに、1,600 m以内では死亡の割合は5%よりも一般に高いので、それ以遠の距離又はそれ以下の線量での死亡率は推定できない。このため、当てはめた線量反応曲線の推定勾配が過大となることは明らかであり、 $LD_{05/60}$ の推定が負になる可能性が生じる。第二に、先に示したように新旧両線量推定方式のいずれにも付随する問題は、極端に高いと思われる線量の者が存在することである。したがって、許容可能な高線量、すなわち、被爆者の数パーセントが生じ得たと思われる線量はどの程度であるかを知ることが興味深い。

TABLE 4 ESTIMATES OF THE  $LD_{50}$  AND  $LD_{95}$  BASED ON DS86 VALUES OF KERMA INSIDE A HOUSE (gray) IN HIROSHIMA. These estimates are based on individual doses grouped into successive 1 Gy intervals. The values in parentheses are the corresponding bone marrow doses, assuming the DS86 estimated tissue transmission factor of 0.79.

表4 広島における家屋内DS86空気中カーマ(gray)に基づく $LD_{50}$ 及び $LD_{95}$ の推定値。この推定値は、各個人の被曝線量を1 Gyごとの区分に分けて求めた。DS86推定骨髄透過係数を0.79として求めた骨髄線量を括弧内に示した。

Model	Estimated parameter			
	$LD_{50/60}$	$LD_{95/60}$	Slope*	SE of slope
Complementary loglog:	3.22 (2.54)	5.33 (5.00)	0.694	0.0620
Logit:	2.64 (2.10)	7.79 (6.15)	1.065	0.0863
Probit:	2.73 (2.16)	7.31 (5.77)	0.596	0.0498
Weighted linear:	2.84 (2.24)	5.42 (4.28)	0.174	0.0199

\* Strictly speaking, with the exception of the linear model itself, these are the regression coefficients associated with the linear transform of each specific model.

厳密に言えば、線形モデル以外は各モデルの線形変換に関する回帰係数である。

From Table 4, observe the following: First, the weighted linear estimate of the  $LD_{50/60}$ , which attaches less importance to the estimates of mortality at very high doses since their variances are large,

表4から次のことが観察される。まず、 $LD_{50/60}$ の加重線形関係の推定は、極めて高い線量における死亡率はその分散が大きいためにそれほど重視され

is only about 10% smaller than the corresponding unweighted one. Thus the unweighted estimates based on all of the individuals used in the sample, given in Tables 1-3, are not unduly influenced by the suspect dose group, and corroborates the finding that their systematic exclusion does not alter the mortality estimate much.

Second, the  $LD_{50/60}$  varies much less among the different models than does the  $LD_{95/60}$ . Alternatively put, the  $LD_{50/60}$  is relatively insensitive to the model used to estimate it, but this is clearly not so with regard to the  $LD_{95/60}$ .

Third, the probit function which has been favored by many investigators gives a marrow dose of 2.16 Gy for the  $LD_{50/60}$  and 5.77 Gy for the  $LD_{95/60}$ .

Fourth, the slopes of the dose-response in mortality are appreciably shallower than animal experimental evidence suggests should be true, and our estimates of the  $LD_{95/60}$  may be too high. Morris and Jones<sup>25</sup> have argued that the ratio of the  $LD_{95/60}/LD_{05/60}$  for low LET, high dose rate exposures should be 2 or so, and from the data they present the ratio  $LD_{95/60}/LD_{50/60}$  is about 1.4. If the inclusion of deaths in the first day underestimates the  $LD_{50/60}$  by 17.5%, as the Defense Nuclear Agency's study of the Chinzei and Shiroyama school survivors suggests, and one adjusts for the shallowness of the dose-response relationship (using the factor 1.4), the  $LD_{50/60}$  values in Table 4 give rise to  $LD_{95/60}$  values which range from 3.45 Gy (logit model) to 4.18 Gy (complementary loglog). These seem low, and to support this belief the following table was constructed:

ないが、対応する非加重の場合の推定に比べてわずかに10%低いにすぎない。このことは、表1-3に示した標本の全員に基づく非加重の場合の推定値が、線量の疑わしい群の存在によって過度の影響を受けることがないばかりではなく、その群を系統的に除外しても、死亡率の推定値が大きくは変わらないことを支持する。

第二に、 $LD_{95/60}$ に比べて $LD_{50/60}$ は、各種モデル間の変動がはるかに少ない。言い換えれば、 $LD_{50/60}$ の推定は使用されるモデルに対して比較的態度が低い、 $LD_{95/60}$ の場合はそうでないことが明らかである。

第三に、多くの研究者が好んで用いるプロビット関数では、 $LD_{50/60}$ の骨髓線量が2.16 Gyであり、 $LD_{95/60}$ のそれは5.77 Gyになる。

第四に、死亡率における線量反応の勾配は、動物実験の場合よりもかなり緩やかであり、我々の $LD_{95/60}$ 推定値は高すぎるのかもしれない。Morris及びJones<sup>25</sup>は、低LET高線量率被曝の場合の $LD_{95/60}$ と $LD_{05/60}$ との比率は2程度になるべきであると主張しており、彼らの示したデータでは $LD_{95/60}$ と $LD_{50/60}$ との比率は約1.4である。米国防核兵器局の行った鎮西学院と城山国民学校の生存者調査が示すように、第1日目の死亡者を含めると $LD_{50/60}$ が17.5%過小に推定されているとすれば、線量反応関係の勾配が浅いことについて(1.4の係数をもって)補正を加えると、表4に示した $LD_{50/60}$ 値からは3.45 Gy(ロジットモデル)から4.18 Gy(補充対数対数)の範囲に及ぶ $LD_{95/60}$ 値が得られる。これはあまりにも低いと思われるので、この考えを裏付けるために次の表を準備した。

Exposure zone (m)	Estimated population at risk	Survivors in the LSS sample	Estimated DS86 marrow dose in a wooden bldg at mid-interval (Gy)
≤ 500	7500	62 (0)	18.83
501-600	3300	51 (1)	12.07
601-700	3900	88 (5)	7.65
701-800	4500	193 (26)	4.82
801-900	5100	205 (96)	3.04
901-1000	5700	580 (244)	1.93
Total	30000	1179	



The estimate of the number of individuals at risk within each exposure zone is based upon the Joint Commission's estimate of 30,000 persons present within 1,000 m ATB, and the supposition that these individuals were uniformly densely distributed over the area. The Joint Commission report provides evidence that this was approximately true.<sup>2</sup> The number of survivors in the LSS sample given in the text table ignores the nature of the shielding which obtained; however, in parentheses will be found the number known to have been in a wooden building and on whom complete shielding histories exist. If shielding and the incompleteness of the sample are ignored, the survival rate in the 701-800 m zone was about 5% (4.3% to be exact), and at 750 m in a wooden building the marrow dose would have been about 4.8 Gy.

Approximately 31% of the roughly 285,000 persons who at the time of the 1950 national census stated that they were exposed in Hiroshima or Nagasaki (and in a few instances, both cities) are in the LSS sample. It is generally believed that exposed individuals not in the sample had lower doses, on average, than the sample members. If the LSS sample includes only half of the actual survivors within the 1,000 m range, this would imply 386 survivors in the 701-800 m zone rather than the 193 given above, and a survival rate unadjusted for shielding of about 8.6%. Within this same zone approximately 24% of the LSS sample members were in wooden structures (46 individuals; complete histories are available on 26 of these). If the same frequency of survivors in wooden building is assumed to obtain among the survivors not within the LSS sample, and if as many as half of the original population at risk was in wooden buildings, the survival rate in these structures at this distance would be about 4%. Clearly, this value hinges heavily on two assumptions, namely, the proportion of the population at risk who were in wooden buildings, and the extent of the incompleteness of the LSS sample at these distances. If three-fourths of the population at risk were in wooden buildings and the LSS members are half of the true number of survivors, the survival rate is 3%; if the LSS sample represents only a third of the actual survivors and half of the population was in wooden buildings, survival was 6%; finally, if three-fourths of the population were in wooden buildings, and

各被爆距離区間における観察対象となるべき人数は、合同調査団が推定した原爆時に1,000 m以内にいた被爆者数30,000名に基づいており、またこれらの被爆者が、距離別に均一に分布していたと仮定して計算した。合同調査団の報告によれば、これはほとんど間違いないことを示す知見がある。<sup>2</sup> 本文中の表に示した寿命調査集団における生存者数は入手されている遮蔽情報を無視している、しかし、括弧内には木造家屋内にいたことが分かっていて完全な遮蔽調査記録のある者の数を示した。遮蔽並びに標本の不完全性を無視するならば、701~800 m区間での生存率は約5% (厳密には4.3%) であり、750 mにおける木造家屋内の骨髄線量は約4.8 Gyになる。

昭和50年の国勢調査の際に行われた調査で、広島又は長崎(まれには両市)で被爆したと回答した約285,000名のほぼ31%が寿命調査集団に属している。調査標本に属していない者の線量は、属している者に比べて平均して低いと一般に考えられている。もし、寿命調査集団に1,000 m以内の区間における実際の被爆者の半数のみが含まれていれば、701~800 m区間の被爆者数は、表に示した193名ではなく、386名であることが示唆され、遮蔽について未補正の生存率は約8.6%になる。この区間では、寿命調査対象者の約24%が木造家屋内にいた(46名、この内26名について完全な遮蔽調査記録がある)。寿命調査に属していない被爆者についても木造家屋内にいた者の割合が同様であって、元来観察対象になるべき人数の半数もが木造家屋内にいたならば、この距離での生存率は約4%になる。この値は二つの仮定に強く依存していることが明らかである。すなわち、観察対象人口中における木造家屋内にいた者の割合、並びにこの距離における寿命調査集団の不完全性に関するものである。観察対象人口の4分の3が木造家屋内にいて、寿命調査集団に実際の被爆者の半数が属しているとすれば、生存率は3%である。寿命調査集団に実際の被爆者の3分の1のみが含まれていて、対象となるべき人口の半数が木造家屋内にいたならば、生存率は6%になる。最後に、人口の4分の3が木造家屋内にいて、実際の被爆者のわずか

only a third of the actual survivors are represented in the LSS sample, survival is 4%. Although these calculations are admittedly crude, they suggest that within wooden buildings the  $LD_{95/60}$  was probably in the zone 750–800 m where the marrow dose was about 4.5 Gy.

## DISCUSSION

Intuitively, the A-bombing of Hiroshima and Nagasaki would appear to provide an unparalleled basis for the estimation of the  $LD_{50/60}$ . However, retrospective estimates of radiation-induced mortality following the A-bombing of these cities are plagued by three virtually insurmountable problems. First, there are no wholly reliable estimates of the number of individuals nor their age or sex who were exposed at a given distance or dose and hence no reliable estimate of the number at risk of death, save in selected circumstances. Even in these latter instances, the population at risk is unlikely to have been representative of the general population in age, sex, or possibly health status. Second, it is exceptionally difficult, if not impossible, to separate deaths due to exposure to ionizing radiation from those ascribable to other bomb-related causes, such as fire or the blast itself. The Joint Commission, for example, reported in its study of 20-day survivors that 48% of those surviving within 2,000 m had multiple injuries (see Reference 1, page 90). Finally, other factors, such as age, sex, poor nutritional status, and the occurrence of a devastating typhoon on 17 September 1945, undoubtedly contributed to the 60-day mortality rates; the contributions these have made to mortality, and hence to the obfuscation of the estimation of the  $LD_{50/60}$  can only be conjectured. However, within our data, as in those of the RINMB, mortality at a given distance does appear to increase with age ATB (Figure 4; see also Appendix Table 7), but there is no clear effect of sex although the Joint Commission data and Shirabe's survey suggest that females may be more resistant than males within 1,000 m. The apparent effect of age may not be intrinsic, but possibly attributable to better nutrition on average. Given the stringencies of the time, and the limited food available, it can be assumed that most mothers would have favored their children in preference to themselves.

These handicaps can be mitigated to some degree, but only imperfectly. In the first instance, it is

3分の1が寿命調査集団に属していたならば、生存率は4%である。以上の計算は確かにおおまかなものであるが、木造家屋内では $LD_{95/60}$ は多分750～800 mの区間であり、その距離における骨髄線量は約4.5 Gyである。

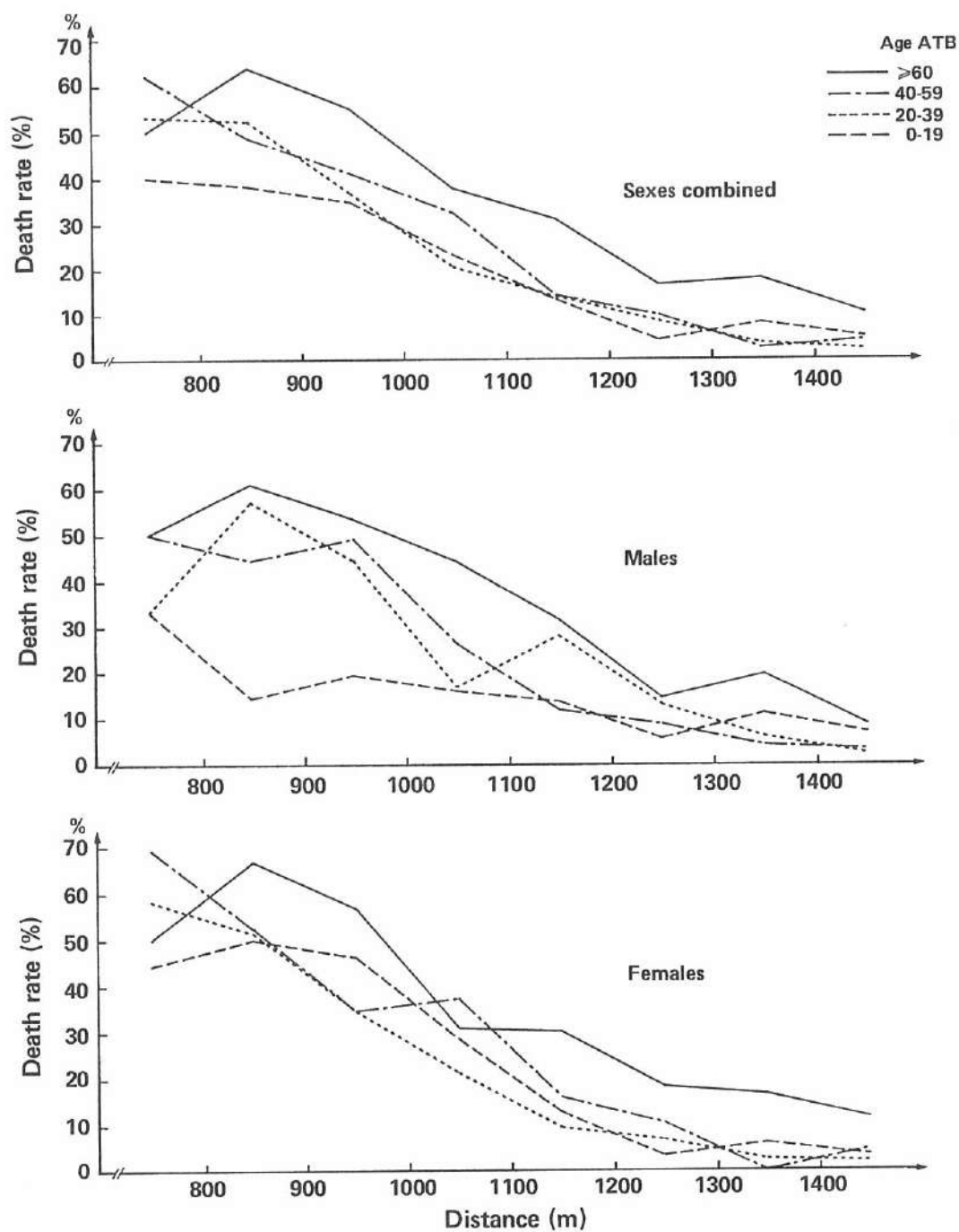
## 考 察

直感的には、 $LD_{50/60}$ を推定するため、他に類を見ない基礎資料が広島・長崎における原爆に関して得られるであろうと考えられる。しかし、両市における放射線に起因する死亡率を遡及的に推定しようとする場合、ほとんど解決不可能と思われる三つの問題がある。まず、特別な場合を除けば、原爆時に、ある任意の距離で被爆した者が何人いたか、あるいはある任意の被曝線量を受けた者が何人いたか、また、その年齢や性別についても完全に信頼できる推定はなく、したがって、死亡について観察の対象となるべき人数の信頼すべき推定値もない。その例外的な場合においてさえも、観察の対象となった集団の年齢・性別構成あるいは多分その健康状態も一般人口を代表するものであった可能性は少ない。第二に、電離放射線被曝に起因する死亡と、火災や爆風など原爆に関連したその他の原因による死亡との区別は、不可能ないしは極めて困難である。例えば、合同調査団は、20日間生存者の調査で、2,000 m以内の生存者の48%に重複外傷があったと報告している(文献1, 90ページ参照)。最後に、その他の要因、例えば、年齢、性別、栄養状態、及び1945年9月17日に大きな被害をもたらした台風も、60日間死亡率に影響を及ぼしたことは明らかである。その死亡率への影響、ひいては $LD_{50/60}$ の推定に及ぼした影響は推測する以外はない。しかし、我々のデータの範囲内では、原医研のデータもそうであるが、ある任意の距離における死亡率は原爆時の年齢に従って高くなるようである(図4, 付表7も参照)。また、合同調査団及び調教授の調査では1,000 m以内で被爆した女性が男性に比べて抵抗力があったと示唆されたのに対して、性別による明白な影響は認められない。年齢による影響は、本質的なものではないかもしれないが、栄養が平均して良かったことのためである可能性がある。当時の困難な状況及び食糧難のもとでは、母親が自分自身を犠牲にしても子供を大事にしたことが考えられる。

以上の問題は、ある程度緩和できるとはいえ完全な

FIGURE 4 ESTIMATED CRUDE DEATH RATE IN THE FIRST 60 DAYS AFTER BOMBING BY  
SEX AND AGE ATB

図4 原爆後の最初の60日間における推定粗死亡率，性別，及び原爆時年齢別



possible to restrict the analysis to individuals exposed under relatively homogeneous circumstances, e.g., within wooden structures. While this should reduce the differences in exposure of individuals at a given distance, or even within the same building, inhomogeneities will remain. Differences in position, or posture, for example, created differences in absorbed dose even within the same building. In the second instance, it is possible to examine the effect on the distance (or dose) LD<sub>50</sub> of counting deaths over several differing intervals of time following exposure, as we and others have done, and thereby to speculate, at least, on the effects of competing causes of mortality. It would seem more likely, for example, that a death occurring on 6 August (Hiroshima) or 9 August (Nagasaki) was due to trauma or fire than to the effects of ionizing radiation, for even extensive radiation-related central nervous system (CNS) damage, arguably one of the most rapid causes of death from exposure to ionizing radiation among those not instantaneously killed, does not generally result in death until 24 hours or so after exposure (although earlier CNS deaths have been reported). However, the fact that a more proximal cause of death exists, such as fire or trauma, does not preclude the possibility that an individual would have died of exposure had other circumstances obtained.

There are earlier estimates of the midline or marrow LD<sub>50</sub> for the survivors of the A-bombings of Hiroshima and Nagasaki than those presented here (see Reference 26); all of these stem from the data of the Joint Commission, and do not take cognizance of the other studies to which we have alluded. These estimates, moreover, are generally based on the yield of a nominal atomic weapon, and not upon individually based dose estimates. The latter were not available until the introduction of the T65D system of dosimetry, at least for the bulk of the survivors in Hiroshima and Nagasaki. As we have seen, the various subsequent studies yield distance estimates that range, in the main, between 900 and 1,000 m or so. In one sense, this suggests a surprising degree of correspondence given the differences in the studies and the segments of the population on which they are based. However, the dose difference that exists between 900 m and 1,000 m remains large (a factor of 1.5 or so) and hence the uncertainty of any single estimate is great.

解決は不可能である。第一の問題に関しては、比較的均質な状況のもとで被爆した者、例えば、木造家屋内被爆者に限定して解析を行うことができる。これにより、ある任意の距離あるいは同一建物内で被爆した者の間の被爆状況の違いを小さくすることができるが、非均質性は依然として残る。同じ建物の中でも、例えば、場所や姿勢の違いによって吸収線量に差が生じる。第二の問題については、我々あるいはほかの研究者が試みているように、被爆後の経過期間別に死亡者数を集計してLD<sub>50</sub>距離(又は線量)へのその影響を検討することが可能であり、それによって少なくとも競合死因の影響について推測できる。例えば、8月6日(広島)又は8月9日(長崎)における死亡は、電離放射線の影響よりはむしろ外傷又は火災のためであった可能性が高い。すなわち、即死を免れた者において電離放射線被曝に起因する死亡の原因として最も早期に出現するものの一つであると言われている中枢神経系(CNS)の放射線傷害が顕著である場合でも、そのための死亡は一般に被爆から24時間程度経過して初めて起こる(もともと、もっと早期にCNS死亡があったとする報告もある)。しかし、火災又は外傷などの早期の死因があったという事実があるとしても、もしも事情が違っていたならば、放射線被曝のための死亡があった可能性がないとは言えない。

広島・長崎の原爆被爆者の正中線上、すなわち、骨髄のLD<sub>50</sub>に関しては、ここに示した調査以外にもっと早期に推定を試みたものがある(文献26参照)。そのいずれの調査も合同調査団のデータに基づくものであり、ここで引用したその他の調査は考慮されていない。それらの推定値は、一般に核兵器の公称出力に基づくものであり、個人別に計算した推定線量に基づくものではない。特に、T65D線量推定方式が導入される以前は、少なくとも広島・長崎における被爆者の大部分についてこの後者個人別の推定値は求められていなかった。既に述べたように、その後の種々の調査から得られた推定距離は主として900~1,000 mの範囲にわたっている。ある意味では、それぞれの調査や各調査での対象集団の違いを考えると驚くほどの一致があると言える。しかし、900 mと1,000 mとの間における線量の差はやはり大きく(1.5倍程度)、したがって、それぞれの単一の推定はいずれもかなりの不確実性を伴っている。なお、我々及び

Moreover, it is important to bear in mind that the estimates of the dose  $LD_{50/60}$ , we and others have made, necessarily employ estimates of the various transmission factors based upon individuals who survived the A-bombing. These may overestimate the attenuation of dose of individuals who failed to survive. This would, of course, have the effect of underestimating the actual  $LD_{50/60}$ .

It is commonly assumed that data obtained from surviving individuals must underestimate the  $LD_{50/60}$ , because such observations obviously underestimate the number of deaths. But the extent and uniformity of this underestimation are uncertain. Estimation of the error to be associated with a given  $LD_{50}$  is also a bothersome matter. Most assume that the only source of error is that attributable to sampling; therefore, no cognizance is taken of the systematic errors in the placement of individuals, nor the effects of the latter on the error of the estimate itself, nor the grouping of the data. Furthermore, they do not reckon with the evidence presented here that survivorship varied with cluster (household) size, and by implication the distorting effect on  $LD_{50}$  estimates of data uncorrected for the method of ascertainment. As Jablon,<sup>27</sup> Gilbert,<sup>28</sup> and Gilbert and Ohara,<sup>29</sup> have shown, albeit in a different but pertinent connection, random errors in the estimation of exposures necessarily lead to an underestimation of radiation-related effects, and Morris<sup>30</sup> has shown that uncertainties in dose cannot only lead to a flatter slope to the dose-response curve, but change its shape. He finds, for example, that an error in weapons yield and ground transport of 15%, if coupled with an error of 40% attributable to building penetration, location of individuals, their postures, and orientations, can reduce the slope to three-quarters or so of its true value, although the effect on the estimate of the  $LD_{50}$  is much more modest, 6% or so. Errors of this magnitude are not inconceivable even with the new dosimetry.

There remain, of course, the enigmatic differences between the earlier estimates, particularly those with regard to distance, when presumably memories were less fallible, and the more recent ones. Three possible explanations can be cited; first, earlier estimates did not generally take into account dose differences resulting from inhomogeneities in shielding. Although as previously seen, rough

他の研究者が  $LD_{50/60}$  推定線量を求めるに当たり、必然的に原爆被爆生存者に基づく各種の推定透過係数を使用せねばならなかったことを銘記することが重要である。このことによって、生き残らなかった人々の線量減弱が過大に推定されるかもしれない。もちろんこれは実際の  $LD_{50/60}$  が過小に推定される効果をもたらす。

被爆生存者から求めたデータは明らかに死亡者数を過小評価するので、それに基づく  $LD_{50/60}$  の推定も過小評価であると一般に考えられている。しかし、その過小評価の程度や均質性は不明である。ある任意の  $LD_{50}$  に伴う誤差の推定も困難な問題である。誤差の唯一の原因は、標本抽出に起因するものであると仮定する研究者が多い。したがって、各被爆者の位置決定における系統的な誤差も、それが誤差推定自体に及ぼす影響も、また、データの区分方法も考慮していない。その上、本報告で示したように生存率には集団（世帯）の大きさによって差があること、また、そのことから推測されるように、対象者の確認方法について未補正のデータの使用のために、 $LD_{50}$  の推定に歪曲効果が及ぼされることを考慮していない。別の関連した観点からの検討ではあったが、Jablon,<sup>27</sup> Gilbert,<sup>28</sup> 並びに Gilbert 及び Ohara<sup>29</sup> は、推定被曝線量における確率誤差が必然的に放射線影響の過小評価をもたらすと報告している。Morris<sup>30</sup> は、線量の不確実性によって線量反応曲線がゆるくなるのみならず、その形状も変わると認めた。例えば、原爆の出力や地上の放射線輸送の誤差が15%であり、それに加えて建物の透過率、被爆者の場所、姿勢、及び身体の方向に起因する誤差が40%もあれば、曲線の勾配は実際の4分の3になることを示した。ただし、その  $LD_{50}$  推定に対する影響ははるかに少なく、6%程度である。新線量においてさえも、この程度の誤差があると想像される。

記憶が恐らくまだはっきりしていたと思われる初期の時期に求めた推定値と、もっと最近に至って求めた推定値との間には、特に距離推定について説明の困難な差が残っている。これについては三つの理由が考えられる。まず、初期の推定は遮蔽の非均質性に基づく線量の違いを考慮していないこと。ただし、ここに示したように、その後の推定値を導くために



approximations to circumstances which seem more akin to those on which later estimates are based, give less discrepant and presumably more plausible values. Second, with time survivors have tended to place themselves closer to the hypocenter. As earlier noted, this has been true with respect to persons in Shirabe's survey, but it is also true for the holders of ABSMTL (A-Bomb Sufferers Medical Treatment Law) handbooks, the bases for confirmation of exposure in the RINMB survey. Finally, in incomplete surveys, such as that of the RINMB, it is certainly conceivable that participation was more probable among individuals (households) where one or more deaths occurred. All three of these possible biases could have substantial effects on the estimate of the  $LD_{50/60}$ . Shielding, for example, would presumably have enhanced survival at the nearer distances, increased the distance  $LD_{50}$ , and have lowered the dose  $LD_{50}$ . These effects would be offset to some uncertain extent by the recent tendency of survivors to place themselves closer to the hypocenter. However, participation biased by differences in the likelihood of death within the family would ostensibly lead to shorter distances, on average, and an unrealistically high dose  $LD_{50}$ .

To conclude, fitting a variety of models to data on mortality in Hiroshima immediately following the A-bombing results in a number of estimates of the  $LD_{50/60}$  varying slightly with the method of estimation used. This range, derived from DS86 marrow doses, and based on a linear fit to equally weighted estimates of the probabilities of death at various doses, is 2.3–2.6 Gy. A linear estimate in which the probabilities of death at the various doses are weighted by the inverse of their variances is somewhat lower, 2.2 Gy. These estimates include deaths in the first day, and the severely injured (burns, trauma) who survived the first day but succumbed later to their injuries. If inclusion of the latter groups bias downwards the estimate 17.5% or so, as one study suggests, and the range of the  $LD_{50/60}$  is adjusted by this amount, the limits would be 2.7–3.1 Gy. These values have been shown to be similar to those derivable from other studies of more selected groups of A-bomb survivors. There is, therefore, a surprising coherence to the estimates of the  $LD_{50/60}$  under

使用された状況におおよそ近似する状況を用いた場合は、その差が少なくなり、恐らくもっと妥当であろうと思われる値が得られる。第二に、年数の経過とともに被爆者の報告する爆心地からの距離が近くなる傾向があること。前述のように、これは調教授の調査の対象者について認められているばかりでなく、原医研調査で被爆の事実の確認の根拠として使用された原爆医療法に基づく被爆者健康手帳の所持者においても認められている。最後に、原医研調査のように不完全な調査では、近親者に死亡者が一人以上あった者(世帯)の参加が得られる可能性が高いと考えられること。可能性として考えられるこの3種類の偏りはいずれも  $LD_{50/60}$  の推定に対して実質的な影響を及ぼし得る。例えば、遮蔽のために近距離での生存率が恐らく高くなり、それによって  $LD_{50}$  距離が増大し、 $LD_{50}$  線量が引き下げられる。このような影響は、被爆者の報告する爆心地からの距離が近くなるという最近の傾向によって、程度は不明ながらも若干は相殺されるであろう。しかし、家族内に死亡が起こった可能性に基づく違いが調査への参加に偏りを生み、それによって、平均して距離の推定が近距離となることが明らかであり、非現実的な高い  $LD_{50}$  線量が導かれる。

結論として、原爆直後の広島における死亡データに各種のモデルを当てはめることにより、数種類の  $LD_{50/60}$  の推定値が求められたが、使用した推定方法の違いにより多少の差がある。DS86 骨髄線量を用い、各線量における死亡確率の推定値に等加重で直線を当てはめて求めた場合、その範囲は 2.3–2.6 Gy である。各線量での死亡確率にその分散の逆数で加重して直線を当てはめると推定値は若干低くなり、2.2 Gy である。これらの推定値は、第1日目の死亡者及び第1日目は生存したが、その後に負傷(火傷、外傷)のために死亡した重傷者を含む。ある調査結果に示されているように、これらの群を含めることによって推定値がもしも17.5%程度下方に偏るとして、それに相当する補正を  $LD_{50/60}$  の範囲に加えると、その範囲は 2.7–3.1 Gy になる。この値は、ほかのより限定された原爆被爆集団についての調査から求められる値に近いことを示した。したがって、両市の原爆直後及びその後における環境下での  $LD_{50/60}$  の推定値は互いに驚くほど類似している。

the circumstances which obtained in these cities immediately prior and subsequent to the bombing.

Estimation of the  $LD_{95/60}$  has proven more difficult, but a reasonable range would appear to be 4.5–5.0 Gy when adjustment is made for deaths in the first or subsequent days from blast, burns, and severe trauma, and it is borne in mind that the human species is more genetically heterogeneous, on average, than the common experimental animals, and such heterogeneity affects mortality significantly.<sup>31–34</sup>

$LD_{95/60}$  の推定はより困難であると認められたが、第1日目の死亡及び爆風、火傷、及び強度の外傷に起因するその後の死亡について補正すれば、4.5～5.0 Gy が妥当な範囲と思われる。留意すべきことは、ヒトは平均して一般の実験動物よりも遺伝的に非均質性が著しく、その非均質性が死亡率に有意な影響を及ぼすことである。<sup>31–34</sup>

## REFERENCES

### 参考文献

1. OUGHTERSON AW, WARREN S: Medical Effects of the Atomic Bomb in Japan. New York, McGraw-Hill, 1956
2. OUGHTERSON AW, LeROY GV, LIEBOW AA, HAMMOND EC, BARNETT HL, ROSENBAUM JD, SCHNEIDER BA: Medical Effects of Atomic Bombs. USAEC, Office of Technical Information, Technical Information Service, Oak Ridge, Tennessee, Report NP-3041, see Volume 6, 1951
3. MASUYAMA M: Stochastic studies on the atomic bomb casualties. Bull Math Stat 5:21–30, 1952
4. SHIRABE R, FUJII H, ISHIMARU N, SATO T: Statistical observation of casualties caused by atomic bomb in Nagasaki. Part 1. Rate of death caused by atomic bomb. Original typewritten manuscript. ABCC Library Files
5. SHIRABE R, SUYAMA H, KAMEI T, AKABANE K, KUBOTA T: Statistical observation of casualties caused by atomic bomb in Nagasaki. Part 2. Time of death of persons receiving injuries from atomic bomb explosion. Original typewritten manuscript. ABCC Library Files. See also: Shirabe R: Medical survey of atomic bomb casualties. Military Surgeon 113:251–63, 1953
6. SHIRABE R, KIDO R, SATO T, ICHINOSE K, TAKAHASHI S: Statistical observation of casualties caused by atomic bomb in Nagasaki. Part 3. Surgical injuries caused by atomic bomb. Original typewritten manuscript. ABCC Library Files. See also: Shirabe R: Medical Survey of atomic bomb casualties. Military Surgeon 113:251–63, 1953
7. SHIRABE R, KIDO R, SATO T, ICHINOSE K, TAKAHASHI S: Statistical observation of casualties caused by atomic bomb in Nagasaki. Part 4. On the radiation sickness caused by atomic bomb. Original typewritten manuscript. ABCC Library Files. See also: Shirabe R: Medical survey of atomic bomb casualties. Military Surgeon 113:251–63, 1953
8. SHIRABE R: Nagasaki Genbaku Taiken (Nagasaki A-Bomb Experiences). Tokyo, University of Tokyo Press, 1982 (in Japanese)
9. ISHIDA M, MATSUBAYASHI I: An analysis of early mortality rates following the atomic bomb, Hiroshima. ABCC TR 20-61
10. ROTBLAT J: Acute radiation mortality in a nuclear war. In *The Medical Implications of Nuclear War*. Washington, DC, National Academy Press, 1986. pp 233–50
11. HAYAKAWA N, MUNAKA M, KURIHARA M, OHKITA T: Analysis of early mortality rates of survivors exposed within Japanese wooden houses in Hiroshima by exposed distance. Hiroshima Igaku -J Hiroshima Med Assoc 39: 126–9, 1986 (in Japanese).
12. KAMADA N, KURAMOTO A, KURIHARA M, MUNAKA M, YOKORO K, NIIMI M, AISAKA C, ITO C, KATO H: A follow-up study of girls aged 14 and 15 years who were exposed to atomic bomb radiation at 550 meters from the hypocenter. Radiat Res (submitted)

13. ROESCH WC (Ed): Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki: Final Report. Hiroshima, Radiation Effects Research Foundation, 1987
14. TACHIKAWA K: Comparison of ABCC and Shirabe radiation exposure and shielding information. ABCC TR 18-71
15. TACHIKAWA K, KATO H: Mortality among atomic bomb survivors, October 1945–September 1964. Based on 1946 Hiroshima City Casualty Survey. ABCC TR 6-69
16. TACHIKAWA K: Mortality follow-up of Shirabe 1945 Nagasaki questionnaire sample, 1945–66. ABCC TR 17-71
17. WOOLSON WA, SCOTT WH, WILSON CW: Delayed radiation models for atomic bomb survivor dosimetry. In *Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry: Second US-Japan Joint Workshop*. Hiroshima, Radiation Effects Research Foundation, 1983. pp 67–71
18. MILTON RC, SHOHOJI T: Tentative 1965 radiation dose estimation for atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 1-68
19. PRESTON DL, McCONNEY ME, AWA AA, OHTAKI K, ITOH M, HONDA T: Comparison of the dose-response relationships for chromosome aberration frequencies between the T65D and DS86 dosimetries. RERF TR 7-88
20. YOUNG RW: Human mortality from uniform low-LET radiation. A report presented at the NATO RSG V Meeting on LD<sub>50</sub> held at Gosport, UK on 11 May 1987
21. NOBLE K (Ed): Shielding survey and radiation dosimetry study plan, Hiroshima-Nagasaki. ABCC TR 7-67
22. FISHER RA: The effects of methods of ascertainment upon the estimation of frequencies. *Ann Eugenics* 6:13–25, 1932
23. HALDANE JBS: The estimation of the frequencies of recessive conditions in man. *Ann Eugenics* 8:225–62, 1938
24. ELANDT-JOHNSON RC: Probability Models and Statistical Methods in Genetics. New York, John Wiley and Sons, 1971
25. MORRIS MD, JONES TD: Prediction of the mortality dose-response in man. IACRO DNA Report 85-903, 1987
26. WARREN S, BOWERS JZ: The acute radiation syndrome in man. *Ann Intern Med* 32:207–16, 1950
27. JABLON S: Atomic bomb radiation dose estimation at ABCC. ABCC TR 23–71
28. GILBERT ES: Some effects of random dose measurement errors on analyses of atomic bomb survivor data. *Radiat Res* 98:591–605, 1984 (RERF TR 12-82)
29. GILBERT ES, OHARA JL: An analysis of various aspects of atomic bomb dose estimation at RERF using data on acute radiation symptoms. *Radiat Res* 100:124–38, 1984 (RERF TR 9-83)
30. MORRIS MD: Notes on the effect of dose uncertainty. IACRO DNA Report 85-903, 1987
31. KOHN HI, KALLMAN RF: The influence of strain on acute X-ray lethality in the mouse. I. LD<sub>50</sub> and death rate studies. *Radiat Res* 5:309–17, 1956
32. GRAHN D: Acute radiation response of mice from a cross between radiosensitive and radioresistant strains. *Genetics* 43:835–43, 1958
33. GRAHN D: Genetic variation in the response of mice to total body X-irradiation. I. Body weight response in six inbred strains. *J Exptl Zool* 125:39–62, 1954
34. GRAHN D, HAMILTON K: Genetic variation in the acute lethal response of four inbred mouse strains to whole body X-irradiation. *Genetics* 42:189–98, 1957

APPENDIX TABLE 1-1. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DISTANCE: 0-799 m

付表1-1. 距離 0~799 m における死亡の分布, 集団の大きさ別  
及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	4	3	0	0	0	0	0	0	7
	60 days	3	4	0	0	0	0	0	0	7
	147 days	3	4	0	0	0	0	0	0	7
3	35 days	1	3	4	0	0	0	0	0	8
	60 days	1	3	4	0	0	0	0	0	8
	147 days	1	3	4	0	0	0	0	0	8
4	35 days	0	0	0	3	0	0	0	0	3
	60 days	0	0	0	3	0	0	0	0	3
	147 days	0	0	0	3	0	0	0	0	3
5	35 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	60 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	147 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
6	35 days	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	60 days	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	147 days	0	0	0	0	0	2	0	0	2
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	5	6	4	3	1	2	0	0	21
	60 days	4	7	4	3	1	2	0	0	21
	147 days	4	7	4	3	1	2	0	0	21

APPENDIX TABLE 1-2. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DISTANCE: 800-899 m

付表1-2. 距離 800~899 m における死亡の分布, 集団の大きさ別  
及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	4	9	0	0	0	0	0	0	13
	60 days	4	9	0	0	0	0	0	0	13
	147 days	3	10	0	0	0	0	0	0	13
3	35 days	2	4	11	0	0	0	0	0	17
	60 days	1	4	12	0	0	0	0	0	17
	147 days	1	4	12	0	0	0	0	0	17
4	35 days	0	2	4	3	0	0	0	0	9
	60 days	0	1	5	3	0	0	0	0	9
	147 days	0	1	5	3	0	0	0	0	9
5	35 days	0	0	0	2	4	0	0	0	6
	60 days	0	0	0	2	4	0	0	0	6
	147 days	0	0	0	2	4	0	0	0	6
6	35 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	60 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	147 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	7	15	15	5	4	0	0	0	46
	60 days	6	14	17	5	4	0	0	0	46
	147 days	5	15	17	5	4	0	0	0	46

APPENDIX TABLE 1-3. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DISTANCE: 900-999 m

付表1-3. 距離 900～999 m における死亡の分布, 集団の大きさ別  
及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	28	37	0	0	0	0	0	0	65
	60 days	23	42	0	0	0	0	0	0	65
	147 days	22	43	0	0	0	0	0	0	65
3	35 days	11	16	24	0	0	0	0	0	51
	60 days	10	16	25	0	0	0	0	0	51
	147 days	10	16	25	0	0	0	0	0	51
4	35 days	3	10	10	7	0	0	0	0	30
	60 days	3	9	10	8	0	0	0	0	30
	147 days	3	9	9	9	0	0	0	0	30
5	35 days	0	3	1	3	4	0	0	0	11
	60 days	0	2	0	5	4	0	0	0	11
	147 days	0	1	1	5	4	0	0	0	11
6	35 days	0	0	0	1	1	1	0	0	3
	60 days	0	0	0	0	2	1	0	0	3
	147 days	0	0	0	0	2	1	0	0	3
7	35 days	0	0	1	1	1	0	0	0	3
	60 days	0	0	0	2	1	0	0	0	3
	147 days	0	0	0	2	1	0	0	0	3
8	35 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	60 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	147 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Total	35 days	42	66	36	12	6	2	0	0	164
	60 days	36	69	35	15	7	2	0	0	164
	147 days	35	69	35	16	7	2	0	0	164

APPENDIX TABLE 1-4. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DISTANCE: 1000-1099 m

付表1-4. 距離 1000～1099 m における死亡の分布, 集団の大きさ別  
及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	67	39	0	0	0	0	0	0	106
	60 days	58	48	0	0	0	0	0	0	106
	147 days	58	48	0	0	0	0	0	0	106
3	35 days	22	11	15	0	0	0	0	0	48
	60 days	20	11	17	0	0	0	0	0	48
	147 days	19	12	17	0	0	0	0	0	48
4	35 days	10	6	10	5	0	0	0	0	31
	60 days	9	4	12	6	0	0	0	0	31
	147 days	9	4	11	7	0	0	0	0	31
5	35 days	4	2	7	3	1	0	0	0	17
	60 days	4	2	6	3	2	0	0	0	17
	147 days	4	2	6	3	2	0	0	0	17
6	35 days	2	2	0	0	0	0	0	0	4
	60 days	2	2	0	0	0	0	0	0	4
	147 days	2	2	0	0	0	0	0	0	4
7	35 days	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	60 days	0	0	1	0	1	0	0	0	2
	147 days	0	0	1	0	1	0	0	0	2
8	35 days	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	60 days	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	147 days	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Total	35 days	105	61	34	6	1	0	0	0	209
	60 days	93	68	36	9	3	0	0	0	209
	147 days	92	69	35	10	3	0	0	0	209



APPENDIX TABLE 1-5. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DISTANCE: 1100-1199 m

付表1-5. 距離1100～1199 mにおける死亡の分布, 集団の大きさ別  
及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								
		0	1	2	3	4	5	6	7	Total
2	35 days	106	27	0	0	0	0	0	0	133
	60 days	102	31	0	0	0	0	0	0	133
	147 days	100	33	0	0	0	0	0	0	133
3	35 days	41	26	11	0	0	0	0	0	78
	60 days	37	29	12	0	0	0	0	0	78
	147 days	37	28	13	0	0	0	0	0	78
4	35 days	17	7	10	0	0	0	0	0	34
	60 days	15	6	11	2	0	0	0	0	34
	147 days	15	6	11	2	0	0	0	0	34
5	35 days	10	7	4	3	2	0	0	0	26
	60 days	10	6	5	3	2	0	0	0	26
	147 days	10	6	5	3	2	0	0	0	26
6	35 days	8	2	1	1	0	0	0	0	12
	60 days	7	2	2	1	0	0	0	0	12
	147 days	7	2	2	1	0	0	0	0	12
7	35 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	60 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	147 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
8	35 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	60 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	147 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	35 days	183	69	26	5	2	0	0	0	285
	60 days	172	74	30	7	2	0	0	0	285
	147 days	170	75	31	7	2	0	0	0	285

APPENDIX TABLE 1-6. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DISTANCE: 1200-1299 m

付表1-6. 距離1200～1299 mにおける死亡の分布, 集団の大きさ別  
及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								
		0	1	2	3	4	5	6	7	Total
2	35 days	154	22	0	0	0	0	0	0	176
	60 days	152	24	0	0	0	0	0	0	176
	147 days	151	25	0	0	0	0	0	0	176
3	35 days	88	24	3	0	0	0	0	0	115
	60 days	86	25	4	0	0	0	0	0	115
	147 days	84	27	4	0	0	0	0	0	115
4	35 days	39	8	4	3	0	0	0	0	54
	60 days	39	7	5	3	0	0	0	0	54
	147 days	38	7	6	3	0	0	0	0	54
5	35 days	8	3	1	4	0	0	0	0	16
	60 days	7	4	1	4	0	0	0	0	16
	147 days	7	4	1	4	0	0	0	0	16
6	35 days	8	1	3	0	0	1	0	0	13
	60 days	8	1	3	0	0	1	0	0	13
	147 days	7	2	3	0	0	1	0	0	13
7	35 days	2	0	0	1	0	0	1	0	4
	60 days	2	0	0	1	0	0	1	0	4
	147 days	2	0	0	1	0	0	1	0	4
8	35 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	60 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	147 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	35 days	300	58	11	8	0	1	1	0	379
	60 days	295	61	13	8	0	1	1	0	379
	147 days	290	65	14	8	0	1	1	0	379

APPENDIX TABLE 1-7. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DISTANCE: 1300-1399 m

付表1-7. 距離1300～1399 mにおける死亡の分布, 集団の大きさ別  
及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	179	25	0	0	0	0	0	0	204
	60 days	177	27	0	0	0	0	0	0	204
	147 days	176	28	0	0	0	0	0	0	204
3	35 days	110	22	4	0	0	0	0	0	136
	60 days	108	24	4	0	0	0	0	0	136
	147 days	107	25	4	0	0	0	0	0	136
4	35 days	52	12	7	0	0	0	0	0	71
	60 days	50	14	7	0	0	0	0	0	71
	147 days	47	17	7	0	0	0	0	0	71
5	35 days	16	5	2	1	0	0	0	0	24
	60 days	16	5	2	1	0	0	0	0	24
	147 days	16	5	2	1	0	0	0	0	24
6	35 days	8	4	3	0	0	0	0	0	15
	60 days	7	5	3	0	0	0	0	0	15
	147 days	7	5	3	0	0	0	0	0	15
7	35 days	6	1	2	0	0	1	0	0	10
	60 days	6	1	1	1	0	1	0	0	10
	147 days	5	2	1	1	0	1	0	0	10
8	35 days	3	0	0	0	0	0	0	0	3
	60 days	3	0	0	0	0	0	0	0	3
	147 days	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Total	35 days	374	89	18	1	0	1	0	0	463
	60 days	357	76	17	2	0	1	0	0	463
	147 days	361	82	17	2	0	1	0	0	463

APPENDIX TABLE 1-8. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DISTANCE: 1400-1599 m

付表1-8. 距離1400～1599 mにおける死亡の分布, 集団の大きさ別  
及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	384	32	0	0	0	0	0	0	416
	60 days	383	33	0	0	0	0	0	0	416
	147 days	380	36	0	0	0	0	0	0	416
3	35 days	237	26	5	0	0	0	0	0	268
	60 days	234	29	5	0	0	0	0	0	268
	147 days	227	36	5	0	0	0	0	0	268
4	35 days	110	22	6	2	0	0	0	0	140
	60 days	108	24	6	2	0	0	0	0	140
	147 days	106	23	9	2	0	0	0	0	140
5	35 days	60	18	6	0	1	0	0	0	85
	60 days	59	17	8	0	1	0	0	0	85
	147 days	58	18	8	0	1	0	0	0	85
6	35 days	18	2	3	0	0	0	0	0	23
	60 days	18	2	3	0	0	0	0	0	23
	147 days	18	2	3	0	0	0	0	0	23
7	35 days	11	2	0	1	0	0	0	0	14
	60 days	11	2	0	1	0	0	0	0	14
	147 days	11	2	0	1	0	0	0	0	14
8	35 days	2	1	1	0	1	0	0	0	5
	60 days	2	1	1	0	1	0	0	0	5
	147 days	2	1	1	0	1	0	0	0	5
Total	35 days	822	103	21	3	2	0	0	0	951
	60 days	815	108	23	3	2	0	0	0	951
	147 days	802	118	28	3	2	0	0	0	951

APPENDIX TABLE 2-1. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR T65D: 0-0.99 (gray)

付表2-1. T65D線量0～0.99 (gray)における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	709	79	0	0	0	0	0	0	788
	60 days	704	84	0	0	0	0	0	0	788
	147 days	699	89	0	0	0	0	0	0	788
3	35 days	433	69	12	0	0	0	0	0	514
	60 days	426	75	13	0	0	0	0	0	514
	147 days	418	85	13	0	0	0	0	0	514
4	35 days	199	41	17	5	0	0	0	0	262
	60 days	195	45	17	5	0	0	0	0	262
	147 days	189	47	21	5	0	0	0	0	262
5	35 days	85	28	9	5	1	0	0	0	126
	60 days	83	28	11	5	1	0	0	0	126
	147 days	82	27	11	5	1	0	0	0	126
6	35 days	34	7	8	0	0	1	0	0	50
	60 days	33	8	8	0	0	1	0	0	50
	147 days	32	9	8	0	0	1	0	0	50
7	35 days	19	3	2	2	0	1	1	0	28
	60 days	19	3	1	3	0	1	1	0	28
	147 days	18	4	1	3	0	1	1	0	28
8	35 days	5	1	1	0	1	0	0	0	8
	60 days	5	1	1	0	1	0	0	0	8
	147 days	5	1	1	0	1	0	0	0	8
Total	35 days	1484	226	49	12	2	2	1	0	1778
	60 days	1465	242	51	13	2	2	1	0	1778
	147 days	1441	262	55	13	2	2	1	0	1778

APPENDIX TABLE 2-2. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR T65D: 1.00-1.99 (gray)

付表2-2. T65D線量1.00～1.99 (gray)における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	135	42	0	0	0	0	0	0	177
	60 days	129	48	0	0	0	0	0	0	177
	147 days	127	50	0	0	0	0	0	0	177
3	35 days	53	32	15	0	0	0	0	0	100
	60 days	47	36	17	0	0	0	0	0	100
	147 days	46	36	18	0	0	0	0	0	100
4	35 days	25	11	12	0	0	0	0	0	48
	60 days	23	8	15	2	0	0	0	0	48
	147 days	23	8	15	2	0	0	0	0	48
5	35 days	9	7	4	5	3	0	0	0	28
	60 days	9	6	5	5	3	0	0	0	28
	147 days	9	6	5	5	3	0	0	0	28
6	35 days	9	3	2	1	0	0	0	0	15
	60 days	8	3	3	1	0	0	0	0	15
	147 days	8	3	3	1	0	0	0	0	15
7	35 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	60 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	147 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
8	35 days	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	60 days	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	147 days	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Total	35 days	233	95	33	7	3	0	0	0	371
	60 days	218	101	40	9	3	0	0	0	371
	147 days	215	103	41	9	3	0	0	0	371

APPENDIX TABLE 2-3. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR T65D: 2.00-2.99 (gray)  
付表2-3. T65D 線量2.00~2.99 (gray)における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	50	26	0	0	0	0	0	0	76
	60 days	43	33	0	0	0	0	0	0	76
	147 days	42	34	0	0	0	0	0	0	76
3	35 days	12	12	16	0	0	0	0	0	40
	60 days	12	10	18	0	0	0	0	0	40
	147 days	12	10	18	0	0	0	0	0	40
4	35 days	5	5	8	6	0	0	0	0	24
	60 days	4	4	9	7	0	0	0	0	24
	147 days	4	4	8	8	0	0	0	0	24
5	35 days	4	3	7	1	0	0	0	0	15
	60 days	4	2	6	2	1	0	0	0	15
	147 days	4	2	6	2	1	0	0	0	15
6	35 days	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	60 days	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	147 days	1	1	0	0	0	0	0	0	2
7	35 days	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	60 days	0	0	1	0	1	0	0	0	2
	147 days	0	0	1	0	1	0	0	0	2
8	35 days	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	60 days	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	147 days	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Total	35 days	72	48	33	7	0	0	0	0	160
	60 days	64	51	34	9	2	0	0	0	160
	147 days	63	52	33	10	2	0	0	0	160

APPENDIX TABLE 2-4. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR T65D: 3.00-3.99 (gray)  
付表2-4. T65D 線量3.00~3.99 (gray)における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	18	24	0	0	0	0	0	0	42
	60 days	13	29	0	0	0	0	0	0	42
	147 days	13	29	0	0	0	0	0	0	42
3	35 days	7	8	11	0	0	0	0	0	26
	60 days	7	8	11	0	0	0	0	0	26
	147 days	7	8	11	0	0	0	0	0	26
4	35 days	1	5	5	2	0	0	0	0	13
	60 days	1	5	5	2	0	0	0	0	13
	147 days	1	5	4	3	0	0	0	0	13
5	35 days	0	2	0	3	2	0	0	0	7
	60 days	0	2	0	3	2	0	0	0	7
	147 days	0	1	1	3	2	0	0	0	7
6	35 days	0	0	0	1	0	1	0	0	2
	60 days	0	0	0	0	1	1	0	0	2
	147 days	0	0	0	0	1	1	0	0	2
7	35 days	0	0	1	1	1	0	0	0	3
	60 days	0	0	0	2	1	0	0	0	3
	147 days	0	0	0	2	1	0	0	0	3
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	26	39	17	7	3	1	0	0	93
	60 days	21	44	16	7	4	1	0	0	93
	147 days	21	43	16	8	4	1	0	0	93

APPENDIX TABLE 2-5. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR T65D: 4.00-4.99 (gray)

付表2-5. T65D線量4.00~4.99 (gray)における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	7	12	0	0	0	0	0	0	19
	60 days	7	12	0	0	0	0	0	0	19
	147 days	7	12	0	0	0	0	0	0	19
3	35 days	5	5	12	0	0	0	0	0	22
	60 days	3	7	12	0	0	0	0	0	22
	147 days	3	7	12	0	0	0	0	0	22
4	35 days	1	1	5	5	0	0	0	0	12
	60 days	1	1	4	6	0	0	0	0	12
	147 days	1	1	4	6	0	0	0	0	12
5	35 days	0	0	1	0	3	0	0	0	4
	60 days	0	0	0	1	3	0	0	0	4
	147 days	0	0	0	1	3	0	0	0	4
6	35 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	60 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	147 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	60 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	147 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Total	35 days	14	18	18	5	3	1	0	0	59
	60 days	12	20	16	7	3	1	0	0	59
	147 days	12	20	16	7	3	1	0	0	59

APPENDIX TABLE 2-6. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR T65D: 5.00-5.99 (gray)

付表2-6. T65D線量5.00~5.99 (gray)における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	2	4	0	0	0	0	0	0	6
	60 days	2	4	0	0	0	0	0	0	6
	147 days	2	4	0	0	0	0	0	0	6
3	35 days	0	1	6	0	0	0	0	0	7
	60 days	0	0	7	0	0	0	0	0	7
	147 days	0	0	7	0	0	0	0	0	7
4	35 days	0	2	3	0	0	0	0	0	5
	60 days	0	1	4	0	0	0	0	0	5
	147 days	0	1	4	0	0	0	0	0	5
5	35 days	0	0	0	1	2	0	0	0	3
	60 days	0	0	0	1	2	0	0	0	3
	147 days	0	0	0	1	2	0	0	0	3
6	35 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	60 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	147 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	2	7	9	1	3	0	0	0	22
	60 days	2	5	11	1	3	0	0	0	22
	147 days	2	5	11	1	3	0	0	0	22



APPENDIX TABLE 2-7. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR T65D:  $\geq 6.00$  (gray)

付表2-7. T65D 線量  $\geq 6.00$  (gray) における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	5	7	0	0	0	0	0	0	12
	60 days	4	8	0	0	0	0	0	0	12
	147 days	3	9	0	0	0	0	0	0	12
3	35 days	2	5	5	0	0	0	0	0	12
	60 days	2	5	5	0	0	0	0	0	12
	147 days	2	5	5	0	0	0	0	0	12
4	35 days	0	2	1	5	0	0	0	0	8
	60 days	0	1	2	5	0	0	0	0	8
	147 days	0	1	2	5	0	0	0	0	8
5	35 days	0	0	0	1	2	0	0	0	3
	60 days	0	0	0	1	2	0	0	0	3
	147 days	0	0	0	1	2	0	0	0	3
6	35 days	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	60 days	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	147 days	0	0	0	0	0	2	0	0	2
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	7	14	6	6	2	2	0	0	37
	60 days	6	14	7	6	2	2	0	0	37
	147 days	5	15	7	6	2	2	0	0	37

APPENDIX TABLE 3-1. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DS86: 0-0.99 (gray)

付表3-1. DS86 線量 0~0.99 (gray) における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	784	90	0	0	0	0	0	0	874
	60 days	777	97	0	0	0	0	0	0	874
	147 days	770	104	0	0	0	0	0	0	874
3	35 days	459	82	19	0	0	0	0	0	560
	60 days	449	90	21	0	0	0	0	0	560
	147 days	438	100	21	0	0	0	0	0	560
4	35 days	214	48	23	5	0	0	0	0	290
	60 days	209	49	26	6	0	0	0	0	290
	147 days	203	51	30	6	0	0	0	0	290
5	35 days	93	29	13	7	1	0	0	0	143
	60 days	81	28	16	7	1	0	0	0	143
	147 days	80	29	16	7	1	0	0	0	143
6	35 days	41	8	9	0	0	1	0	0	59
	60 days	39	10	9	0	0	1	0	0	59
	147 days	38	11	9	0	0	1	0	0	59
7	35 days	19	3	2	3	0	1	1	0	29
	60 days	19	3	1	4	0	1	1	0	29
	147 days	18	4	1	4	0	1	1	0	29
8	35 days	6	1	1	0	1	0	0	0	9
	60 days	6	1	1	0	1	0	0	0	9
	147 days	6	1	1	0	1	0	0	0	9
Total	35 days	1616	261	67	15	2	2	1	0	1984
	60 days	1590	278	74	17	2	2	1	0	1984
	147 days	1564	300	78	17	2	2	1	0	1984

APPENDIX TABLE 3-2. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DS86: 1.00-1.99 (gray)

付表3-2. DS86 線量1.00～1.99 (gray) における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								
		0	1	2	3	4	5	6	7	Total
2	35 days	107	85	0	0	0	0	0	0	172
	60 days	94	78	0	0	0	0	0	0	172
	147 days	93	79	0	0	0	0	0	0	172
3	35 days	38	33	27	0	0	0	0	0	98
	60 days	34	34	30	0	0	0	0	0	98
	147 days	33	34	31	0	0	0	0	0	98
4	35 days	15	6	15	5	0	0	0	0	41
	60 days	13	6	14	8	0	0	0	0	41
	147 days	13	6	14	8	0	0	0	0	41
5	35 days	5	6	7	6	3	0	0	0	27
	60 days	5	5	6	7	4	0	0	0	27
	147 days	5	4	7	7	4	0	0	0	27
6	35 days	3	3	1	1	0	1	0	0	9
	60 days	3	2	2	1	0	1	0	0	9
	147 days	3	2	2	1	0	1	0	0	9
7	35 days	0	0	1	1	0	0	0	0	2
	60 days	0	0	0	1	1	0	0	0	2
	147 days	0	0	0	1	1	0	0	0	2
8	35 days	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	60 days	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	147 days	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Total	35 days	169	114	51	13	3	1	0	0	351
	60 days	150	128	52	17	5	1	0	0	351
	147 days	148	128	54	17	5	1	0	0	351

APPENDIX TABLE 3-3. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DS86: 2.00-2.99 (gray)

付表3-3. DS86 線量2.00～2.99 (gray) における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								
		0	1	2	3	4	5	6	7	Total
2	35 days	25	27	0	0	0	0	0	0	52
	60 days	23	29	0	0	0	0	0	0	52
	147 days	23	29	0	0	0	0	0	0	52
3	35 days	11	10	18	0	0	0	0	0	39
	60 days	10	11	18	0	0	0	0	0	39
	147 days	10	11	18	0	0	0	0	0	39
4	35 days	2	11	11	6	0	0	0	0	30
	60 days	2	9	13	6	0	0	0	0	30
	147 days	2	9	11	6	0	0	0	0	30
5	35 days	0	3	1	1	4	0	0	0	9
	60 days	0	3	0	2	4	0	0	0	9
	147 days	0	3	0	2	4	0	0	0	9
6	35 days	1	0	0	1	0	0	0	0	2
	60 days	1	0	0	0	1	0	0	0	2
	147 days	1	0	0	0	1	0	0	0	2
7	35 days	0	0	2	0	1	0	0	0	3
	60 days	0	0	1	1	1	0	0	0	3
	147 days	0	0	1	1	1	0	0	0	3
8	35 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	60 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	147 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Total	35 days	39	51	32	8	5	1	0	0	136
	60 days	36	52	32	9	6	1	0	0	136
	147 days	36	52	30	11	6	1	0	0	136

APPENDIX TABLE 3-4. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DS86: 3.00-3.99 (gray)

付表3-4. DS86 線量3.00～3.99 (gray) における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	9	8	0	0	0	0	0	0	17
	60 days	7	10	0	0	0	0	0	0	17
	147 days	6	11	0	0	0	0	0	0	17
3	35 days	2	2	7	0	0	0	0	0	11
	60 days	2	1	8	0	0	0	0	0	11
	147 days	2	1	8	0	0	0	0	0	11
4	35 days	0	1	1	4	0	0	0	0	6
	60 days	0	1	1	4	0	0	0	0	6
	147 days	0	1	1	4	0	0	0	0	6
5	35 days	0	0	0	1	4	0	0	0	5
	60 days	0	0	0	1	4	0	0	0	5
	147 days	0	0	0	1	4	0	0	0	5
6	35 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	60 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	147 days	0	0	0	0	1	0	0	0	1
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	11	11	8	5	5	0	0	0	40
	60 days	9	12	9	5	5	0	0	0	40
	147 days	8	13	9	5	5	0	0	0	40

APPENDIX TABLE 3-5. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DS86: 4.00-4.99 (gray)

付表3-5. DS86 線量4.00～4.99 (gray) における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	60 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	147 days	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3	35 days	1	4	1	0	0	0	0	0	6
	60 days	1	4	1	0	0	0	0	0	6
	147 days	1	4	1	0	0	0	0	0	6
4	35 days	0	0	0	2	0	0	0	0	2
	60 days	0	0	0	2	0	0	0	0	2
	147 days	0	0	0	2	0	0	0	0	2
5	35 days	0	0	0	1	1	0	0	0	2
	60 days	0	0	0	1	1	0	0	0	2
	147 days	0	0	0	1	1	0	0	0	2
6	35 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	60 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	147 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	2	4	1	3	1	1	0	0	12
	60 days	2	4	1	3	1	1	0	0	12
	147 days	2	4	1	3	1	1	0	0	12

APPENDIX TABLE 3-6. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DS86: 5.00-5.99 (gray)

付表3-6. DS86 線量5.00～5.99 (gray) における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	60 days	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	147 days	0	2	0	0	0	0	0	0	2
3	35 days	0	1	2	0	0	0	0	0	3
	60 days	0	1	2	0	0	0	0	0	3
	147 days	0	1	2	0	0	0	0	0	3
4	35 days	0	1	1	0	0	0	0	0	2
	60 days	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	147 days	0	0	2	0	0	0	0	0	2
5	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	0	4	3	0	0	0	0	0	7
	60 days	0	3	4	0	0	0	0	0	7
	147 days	0	3	4	0	0	0	0	0	7

APPENDIX TABLE 3-7. DEATH DISTRIBUTION BY CLUSTER SIZE  
AND BY DAYS AFTER THE BOMBING FOR DS86:  $\geq 6.00$  (gray)

付表3-7. DS86 線量 $\geq 6.00$  (gray) における死亡分布, 集団の  
大きさ別及び原爆後経過日数別

Cluster Size	Days After A-Bomb	Number of Death								Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	
2	35 days	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	60 days	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	147 days	0	2	0	0	0	0	0	0	2
3	35 days	1	0	3	0	0	0	0	0	4
	60 days	1	0	3	0	0	0	0	0	4
	147 days	1	0	3	0	0	0	0	0	4
4	35 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	60 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	147 days	0	0	0	1	0	0	0	0	1
5	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	35 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	60 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	147 days	0	0	0	0	0	1	0	0	1
7	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	35 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	60 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	147 days	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	35 days	1	2	3	1	0	1	0	0	8
	60 days	1	2	3	1	0	1	0	0	8
	147 days	1	2	3	1	0	1	0	0	8

APPENDIX TABLE 4-1. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND THEIR ERRORS IN THE FIRST 35 DAYS AFTER THE BOMBING BY DISTANCE

付表4-1. 原爆後の最初の35日間における推定死亡確率とその誤差, 距離別

Cluster Size	Distance (m)							
	0 -799	800 -899	900 -999	1000 -1099	1100 -1199	1200 -1299	1300 -1399	1400 -1599
All	0.695 (0.028)	0.615 (0.018)	0.480 (0.012)	0.284 (0.009)	0.179 (0.008)	0.108 (0.005)	0.082 (0.004)	0.057 (0.003)
2	0.273 (0.151)	0.529 (0.150)	0.398 (0.060)	0.225 (0.035)	0.113 (0.022)	0.067 (0.014)	0.065 (0.013)	0.040 (0.007)
3	0.547 (0.130)	0.636 (0.091)	0.484 (0.050)	0.305 (0.042)	0.213 (0.028)	0.088 (0.015)	0.074 (0.013)	0.045 (0.007)
4	1.000 ( - )	0.582 (0.098)	0.448 (0.050)	0.340 (0.045)	0.200 (0.035)	0.116 (0.022)	0.092 (0.017)	0.071 (0.011)
5	1.000 ( - )	0.856 (0.088)	0.574 (0.074)	0.344 (0.053)	0.247 (0.038)	0.213 (0.046)	0.100 (0.027)	0.080 (0.013)
6	1.000 ( - )	0.000 ( - )	0.709 (0.125)	0.083 (0.056)	0.097 (0.035)	0.154 (0.041)	0.111 (0.033)	0.058 (0.020)
7	( )	( )	0.430 (0.109)	0.286 (0.121)	0.430 (0.189)	0.322 (0.088)	0.143 (0.042)	0.051 (0.022)
8	( )	( )	0.635 (0.180)	0.125 (0.117)	0.000 ( - )	0.000 ( - )	0.000 ( - )	0.175 (0.080)

APPENDIX TABLE 4-2. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND THEIR ERRORS IN THE FIRST 60 DAYS AFTER THE BOMBING BY DISTANCE

付表4-2. 原爆後の最初の60日間における推定死亡確率とその誤差, 距離別

Cluster Size	Distance (m)							
	0 -799	800 -899	900 -999	1000 -1099	1100 -1199	1200 -1299	1300 -1399	1400 -1599
All	0.723 (0.024)	0.648 (0.023)	0.521 (0.014)	0.329 (0.008)	0.204 (0.007)	0.114 (0.005)	0.088 (0.004)	0.060 (0.003)
2	0.400 (0.183)	0.529 (0.150)	0.477 (0.065)	0.293 (0.040)	0.132 (0.023)	0.073 (0.015)	0.071 (0.014)	0.041 (0.007)
3	0.547 (0.130)	0.711 (0.090)	0.504 (0.050)	0.339 (0.044)	0.237 (0.030)	0.096 (0.016)	0.079 (0.013)	0.049 (0.008)
4	1.000 ( - )	0.622 (0.099)	0.469 (0.051)	0.365 (0.047)	0.253 (0.038)	0.121 (0.022)	0.099 (0.018)	0.075 (0.011)
5	1.000 ( - )	0.856 (0.088)	0.644 (0.075)	0.369 (0.054)	0.255 (0.038)	0.225 (0.047)	0.100 (0.027)	0.087 (0.014)
6	1.000 ( - )	0.000 ( - )	0.789 (0.120)	0.083 (0.056)	0.125 (0.039)	0.154 (0.041)	0.122 (0.035)	0.058 (0.020)
7	( )	( )	0.479 (0.111)	0.430 (0.134)	0.430 (0.189)	0.322 (0.088)	0.157 (0.044)	0.051 (0.022)
8	( )	( )	0.635 (0.180)	0.125 (0.117)	0.000 ( - )	0.000 ( - )	0.000 ( - )	0.175 (0.080)



APPENDIX TABLE 4-3. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND THEIR ERRORS IN THE FIRST 147 DAYS AFTER THE BOMBING BY DISTANCE

付表4-3. 原爆後の最初の147日間における推定死亡確率とその誤差, 距離別

Cluster Size	Distance (m)							
	0 -799	800 -899	900 -999	1000 -1099	1100 -1199	1200 -1299	1300 -1399	1400 -1599
All	0.723 (0.024)	0.650 (0.016)	0.530 (0.014)	0.333 (0.008)	0.208 (0.007)	0.120 (0.005)	0.093 (0.005)	0.068 (0.003)
2	0.400 (0.163)	0.625 (0.154)	0.494 (0.066)	0.293 (0.040)	0.142 (0.024)	0.076 (0.015)	0.074 (0.014)	0.045 (0.008)
3	0.547 (0.130)	0.711 (0.090)	0.504 (0.050)	0.348 (0.045)	0.242 (0.030)	0.102 (0.017)	0.081 (0.014)	0.057 (0.008)
4	1.000 ( - )	0.622 (0.099)	0.479 (0.051)	0.394 (0.047)	0.253 (0.038)	0.130 (0.023)	0.109 (0.019)	0.084 (0.012)
5	1.000 ( - )	0.856 (0.088)	0.670 (0.075)	0.369 (0.054)	0.255 (0.038)	0.225 (0.047)	0.100 (0.027)	0.089 (0.014)
6	1.000 ( - )	0.600 ( - )	0.789 (0.120)	0.083 (0.056)	0.125 (0.039)	0.167 (0.042)	0.122 (0.035)	0.058 (0.020)
7	( - )	( - )	0.479 (0.111)	0.430 (0.134)	0.430 (0.189)	0.322 (0.088)	0.171 (0.045)	0.051 (0.022)
8	( - )	( - )	0.635 (0.180)	0.125 (0.117)	0.000 ( - )	0.000 ( - )	0.000 ( - )	0.175 (0.060)

APPENDIX TABLE 5-1. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND THEIR ERRORS IN THE FIRST 35 DAYS AFTER THE BOMBING BY DS86

付表5-1. 原爆後の最初の35日間における推定死亡確率とその誤差, DS86 線量別

Cluster Size	DS86 (gray)						
	0 -0.99	1.00 -1.99	2.00 -2.99	3.00 -3.99	4.00 -4.99	5.00 -5.99	≥6.00
All	0.080 (0.002)	0.296 (0.008)	0.438 (0.012)	0.635 (0.025)	0.633 (0.045)	0.581 (0.062)	0.810 (0.042)
2	0.054 (0.005)	0.233 (0.028)	0.351 (0.063)	0.308 (0.104)	0.000 ( - )	1.000 ( - )	1.000 ( - )
3	0.072 (0.006)	0.319 (0.030)	0.448 (0.055)	0.591 (0.112)	0.366 (0.129)	0.725 (0.214)	0.818 (0.188)
4	0.094 (0.009)	0.318 (0.038)	0.448 (0.050)	0.734 (0.119)	1.000 ( - )	0.389 (0.155)	1.000 ( - )
5	0.112 (0.012)	0.375 (0.043)	0.559 (0.082)	1.000 ( - )	0.796 (0.167)	( - )	( - )
6	0.088 (0.015)	0.241 (0.058)	0.250 (0.125)	0.709 (0.216)	1.000 ( - )	( - )	1.000 ( - )
7	0.133 (0.024)	0.358 (0.129)	0.382 (0.107)	( - )	( - )	( - )	( - )
8	0.097 (0.035)	0.063 (0.061)	0.635 (0.180)	( - )	( - )	( - )	( - )

APPENDIX TABLE 5-2. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND  
THEIR ERRORS IN THE FIRST 60 DAYS AFTER THE BOMBING  
BY DS86

付表5-2. 原爆後の最初の60日間における推定死亡確率とその  
誤差, DS86 線量別

Cluster Size	DS86 (gray)						
	0 -0.99	1.00 -1.99	2.00 -2.99	3.00 -3.99	4.00 -4.99	5.00 -5.99	≥ 6.00
All	0.087 (0.002)	0.338 (0.008)	0.464 (0.010)	0.679 (0.025)	0.833 (0.045)	0.865 (0.062)	0.810 (0.042)
2	0.059 (0.006)	0.293 (0.032)	0.387 (0.066)	0.417 (0.120)	0.000 ( - )	1.000 ( - )	1.000 ( - )
3	0.079 (0.007)	0.349 (0.031)	0.480 (0.056)	0.646 (0.113)	0.366 (0.129)	0.725 (0.214)	0.618 (0.188)
4	0.103 (0.009)	0.365 (0.040)	0.469 (0.051)	0.734 (0.119)	1.000 ( - )	0.544 (0.204)	1.000 ( - )
5	0.119 (0.012)	0.407 (0.044)	0.586 (0.082)	1.000 ( - )	0.796 (0.167)	( )	( )
6	0.093 (0.015)	0.259 (0.060)	0.334 (0.137)	0.709 (0.216)	1.000 ( - )	( )	1.000 ( - )
7	0.138 (0.024)	0.504 (0.137)	0.430 (0.109)	( )	( )	( )	( )
8	0.097 (0.035)	0.063 (0.061)	0.635 (0.180)	( )	( )	( )	( )

APPENDIX TABLE 5-3. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND  
THEIR ERRORS IN THE FIRST 147 DAYS AFTER THE BOMBING  
BY DS86

付表5-3. 原爆後の最初の147日間における推定死亡確率とその  
誤差, DS86 線量別

Cluster Size	DS86 (gray)						
	0 -0.99	1.00 -1.99	2.00 -2.99	3.00 -3.99	4.00 -4.99	5.00 -5.99	≥ 6.00
All	0.092 (0.002)	0.343 (0.008)	0.470 (0.011)	0.694 (0.023)	0.833 (0.045)	0.665 (0.062)	0.810 (0.042)
2	0.063 (0.006)	0.298 (0.032)	0.387 (0.066)	0.478 (0.127)	0.000 ( - )	1.000 ( - )	1.000 ( - )
3	0.085 (0.007)	0.357 (0.032)	0.480 (0.056)	0.648 (0.113)	0.366 (0.129)	0.725 (0.214)	0.618 (0.188)
4	0.111 (0.009)	0.365 (0.040)	0.489 (0.051)	0.734 (0.119)	1.000 ( - )	0.544 (0.204)	1.000 ( - )
5	0.120 (0.012)	0.415 (0.044)	0.586 (0.082)	1.000 ( - )	0.796 (0.167)	( )	( )
6	0.096 (0.016)	0.259 (0.060)	0.334 (0.137)	0.709 (0.216)	1.000 ( - )	( )	1.000 ( - )
7	0.143 (0.025)	0.504 (0.137)	0.430 (0.109)	( )	( )	( )	( )
8	0.097 (0.035)	0.063 (0.061)	0.635 (0.180)	( )	( )	( )	( )

APPENDIX TABLE 6-1. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND  
THEIR ERRORS IN THE FIRST 35 DAYS AFTER THE BOMBING  
BY T65D

付表6-1. 原爆後の最初の35日間における推定死亡確率とその  
誤差, T65D 線量別

Cluster Size	DS86 (gray)						
	0 -0.99	1.00 -1.99	2.00 -2.99	3.00 -3.99	4.00 -4.99	5.00 -5.99	≥6.00
All	0.073 (0.002)	0.188 (0.006)	0.314 (0.011)	0.459 (0.012)	0.548 (0.020)	0.653 (0.029)	0.688 (0.023)
2	0.053 (0.008)	0.135 (0.021)	0.206 (0.040)	0.400 (0.075)	0.482 (0.118)	0.500 (0.217)	0.412 (0.142)
3	0.061 (0.006)	0.214 (0.025)	0.410 (0.053)	0.435 (0.067)	0.517 (0.077)	1.000 ( - )	0.482 (0.102)
4	0.086 (0.009)	0.183 (0.028)	0.426 (0.055)	0.423 (0.074)	0.602 (0.085)	0.418 (0.120)	0.681 (0.105)
5	0.100 (0.012)	0.302 (0.039)	0.268 (0.052)	0.570 (0.093)	0.796 (0.118)	0.856 (0.125)	0.856 (0.125)
6	0.093 (0.017)	0.111 (0.033)	0.083 (0.080)	0.709 (0.153)	0.000 ( - )	0.709 (0.216)	1.000 ( - )
7	0.122 (0.023)	0.430 (0.189)	0.286 (0.121)	0.430 (0.109)	( )	( )	( )
8	0.109 (0.039)	0.000 ( - )	0.125 (0.117)	( )	0.635 (0.180)	( )	( )

APPENDIX TABLE 6-2. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND  
THEIR ERRORS IN THE FIRST 60 DAYS AFTER THE BOMBING  
BY T65D

付表6-2. 原爆後の最初の60日間における推定死亡確率とその  
誤差, T65D 線量別

Cluster Size	DS86 (gray)						
	0 -0.99	1.00 -1.99	2.00 -2.99	3.00 -3.99	4.00 -4.99	5.00 -5.99	≥6.00
All	0.078 (0.002)	0.215 (0.007)	0.365 (0.013)	0.495 (0.018)	0.582 (0.020)	0.700 (0.022)	0.665 (0.025)
2	0.058 (0.006)	0.157 (0.022)	0.277 (0.046)	0.527 (0.083)	0.482 (0.118)	0.500 (0.217)	0.500 (0.153)
3	0.068 (0.006)	0.245 (0.027)	0.434 (0.054)	0.435 (0.087)	0.588 (0.078)	1.000 ( - )	0.482 (0.102)
4	0.090 (0.009)	0.231 (0.031)	0.476 (0.057)	0.423 (0.074)	0.633 (0.085)	0.479 (0.125)	0.734 (0.108)
5	0.108 (0.012)	0.309 (0.040)	0.322 (0.055)	0.570 (0.093)	0.888 (0.100)	0.856 (0.125)	0.856 (0.125)
6	0.097 (0.017)	0.133 (0.036)	0.083 (0.080)	0.834 (0.139)	0.000 ( - )	0.709 (0.216)	1.000 ( - )
7	0.128 (0.024)	0.430 (0.189)	0.430 (0.134)	0.478 (0.111)	( )	( )	( )
8	0.109 (0.039)	0.000 ( - )	0.125 (0.117)	( )	0.635 (0.180)	( )	( )

APPENDIX TABLE 6-3. ESTIMATED PROBABILITIES OF DEATH AND  
THEIR ERRORS IN THE FIRST 147 DAYS AFTER THE BOMBING  
BY T65D

付表6-3. 原爆後の最初の147日間における推定死亡確率とその  
誤差, T65D 線量別

Cluster Size	DS86 (gray)						
	0 -0.99	1.00 -1.99	2.00 -2.99	3.00 -3.99	4.00 -4.99	5.00 -5.99	≥ 6.00
All	0.083 (0.002)	0.219 (0.006)	0.371 (0.013)	0.506 (0.016)	0.582 (0.020)	0.700 (0.022)	0.680 (0.021)
2	0.060 (0.006)	0.164 (0.023)	0.288 (0.047)	0.527 (0.083)	0.482 (0.118)	0.500 (0.217)	0.600 (0.180)
3	0.072 (0.007)	0.252 (0.027)	0.434 (0.054)	0.435 (0.067)	0.566 (0.079)	1.000 ( - )	0.482 (0.102)
4	0.099 (0.009)	0.231 (0.031)	0.489 (0.057)	0.446 (0.076)	0.633 (0.085)	0.479 (0.125)	0.734 (0.103)
5	0.108 (0.012)	0.309 (0.040)	0.322 (0.055)	0.607 (0.084)	0.888 (0.100)	0.856 (0.125)	0.856 (0.125)
6	0.100 (0.017)	0.133 (0.036)	0.083 (0.080)	0.834 (0.139)	0.000 ( - )	0.709 (0.216)	1.000 ( - )
7	0.133 (0.024)	0.430 (0.189)	0.430 (0.134)	0.479 (0.111)	( )	( )	( )
8	0.109 (0.039)	0.000 ( - )	0.125 (0.117)	( )	0.635 (0.180)	( )	( )

APPENDIX TABLE 7. NUMBER OF INDIVIDUALS AT RISK AND DEATHS BY SEX,  
DISTANCE, AND AGE ATB

付表7 観察対象人数及び死亡者数, 性別, 距離別, 及び原爆時年齢別

Age ATB	Distance (m)							
	0 -799	800 -899	900 -999	1000 -1099	1100 -1199	1200 -1299	1300 -1399	1400 -1599
Sexes Combined								
0-19	N 15	21	72	100	136	142	185	368
	D 6	8	25	23	18	6	15	18
	% 40.0	38.1	34.7	23.0	13.2	4.2	8.1	4.9
20-39	N 15	44	134	162	216	285	401	776
	D 6	23	49	33	30	24	14	17
	% 53.3	52.3	36.6	20.4	13.9	8.4	3.5	2.2
40-59	N 21	39	127	155	246	307	354	735
	D 13	19	52	50	35	30	9	31
	% 61.9	48.7	40.9	32.3	14.2	9.8	2.5	4.2
≥ 60	N 22	44	169	194	253	370	463	1015
	D 11	28	93	73	78	61	83	105
	% 50.0	63.6	55.0	37.6	30.8	16.5	17.9	10.3

(Continued 続く)

APPENDIX TABLE 7. Continued 続き

		Distance (m)							
Age		0	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
ATB		-799	-899	-999	-1099	-1199	-1299	-1399	-1599
Males									
0-19	N	6	7	31	44	44	53	72	142
	D	2	1	6	7	6	3	8	10
	%	33.3	14.3	19.4	15.9	13.6	5.7	11.1	7.0
20-39	N	3	7	27	36	50	69	99	161
	D	1	4	12	6	14	9	6	4
	%	33.3	57.1	44.4	16.7	28.0	13.0	6.1	2.5
40-59	N	8	18	55	72	110	137	140	294
	D	4	8	27	19	13	12	6	10
	%	50.0	44.4	49.1	26.4	11.8	8.8	4.3	3.4
≥ 60	N	12	23	88	97	114	174	205	458
	D	6	14	47	43	38	25	40	40
	%	50.0	60.9	53.4	44.3	31.6	14.4	19.5	8.7
Females									
0-19	N	9	14	41	56	92	89	113	226
	D	4	7	19	16	12	3	7	8
	%	44.4	50.0	46.3	28.6	13.0	3.4	6.2	3.5
20-39	N	12	37	107	126	166	216	302	615
	D	7	19	37	27	16	15	8	13
	%	58.3	51.4	34.6	21.4	9.6	6.9	2.6	2.1
40-59	N	13	21	72	83	136	170	214	441
	D	9	11	25	31	22	18	3	21
	%	69.2	52.4	34.7	37.3	16.2	10.6	1.4	4.8
≥ 60	N	10	21	81	97	139	196	258	557
	D	5	14	46	30	42	36	43	65
	%	50.0	66.7	56.8	30.9	30.2	18.4	16.7	11.7

N, Number of individuals at risk  
D, Number of deaths