

**ANALYSIS OF ATOMIC BOMB RADIATION DOSE ESTIMATION
AT RERF USING DATA ON ACUTE RADIATION SYMPTOMS**

急性放射線症状に関する資料を用いた放影研の
原爆放射線量推定についての解析

ETHEL S. GILBERT, Ph.D.
JILL L. OHARA, M.S.



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

ACKNOWLEDGMENT

謝 辞

We would like to thank Mr. Shoichiro Fujita and Mr. Hiroaki Yamada for patiently answering questions regarding shielding histories and other aspects of the dose estimation process.

遮蔽歴及び線量推定の経過に関するその他の問題について、質問に時間をかけて答えてくださった藤田正一郎及び山田広明の両氏に謝意を表したい。

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

本報告に基づく論文は下記の雑誌に掲載された。

Radiat Res 100:124-38, 1984

In the continued interest of accurately defining the late effects of the atomic bombs, the qualitative and quantitative characteristics of the A-bomb radiation exposure doses are periodically refined. If warranted by future dose assessments, the data reported here will be reanalyzed and subsequently reported.

原爆の後影響を引き続いて正確に究明する目的をもって、原爆放射線被曝線量の質的・量的特質について定期的に改良を加えている。今後線量評価によって、その必要性が起これば、本報の資料を再解析の上、改めて報告する。

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发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損により、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。


**ANALYSIS OF ATOMIC BOMB RADIATION DOSE ESTIMATION
 AT RERF USING DATA ON ACUTE RADIATION SYMPTOMS**

 急性放射線症状に関する資料を用いた放影研の
 原爆放射線量推定についての解析

ETHEL S. GILBERT, Ph.D.; JILL L. OHARA, M.S.

Department of Epidemiology & Statistics

疫学統計部

SUMMARY

The dose-response curves for acute radiation symptoms reported by atomic bomb survivors are compared by city, dose estimation method, class of dose estimation, and shielding category. The goals of these analyses are twofold: 1) to identify groups of survivors whose dose estimates may be especially biased or subject to an unusual amount of random error and 2) to investigate the consistency of air doses and transmission factors that have been proposed as possible replacements for the tentative 1965 dose estimates. Circular symmetry of acute effects is also investigated.

It is found that response rates for acute symptoms differ considerably by dose estimation method and shielding category even after controlling for both gamma ray and neutron exposure as well as for age and sex. It is not possible, however, to separate differences resulting from varying degrees of random error from differences resulting from systematic bias. Thus no firm conclusions can be reached regarding the appropriateness of proposed changes in dose estimates. One interpretation of these analyses is that the doses of survivors who were in Japanese type houses estimated by the 9-parameter method are subject to the least random measurement error, while doses of survivors who were in the

要 約

原爆被爆者が報告した急性放射線症状の線量反応曲線を都市、線量推定法、線量推定の精度及び遮蔽区分別に比較検討した。これらの解析の目標は次の二つである。1) 線量推定値が特に偏っているかもしれない被爆者群、又は確率的誤差が異常に多い被爆者群を確認する。2) 暫定 T65 推定線量に代わるものとして提案されている空気線量及び透過率の一貫性を調べる。急性影響の円形対称性についても調べた。

急性症状に関する反応率は、ガンマ線及び中性子線被曝、年齢及び性について調整を行った後でも、線量推定法及び遮蔽区分によってかなり異なることが判明した。しかし、程度の異なる確率的誤差に基づく差異と、系統的誤差による差異とを区別することは不可能である。したがって、提起されている線量推定法変更の妥当性については、確固たる結論が得られない。しかし解析によれば、9パラメーター法によって推定を行った日本家屋内における被爆者の線量では、測定の確率的誤差は最小であるが、戸外にいた者や地形によって遮蔽された者、コンクリート建造物によって完全に遮蔽された者、又は工場内に

open and shielded by terrain, who were totally shielded by concrete buildings, or who were in factories are subject to the greatest amount of error. The analyses also suggest that doses of Hiroshima survivors are, in general, better estimated than doses of Nagasaki survivors, a situation which could easily bias city comparisons and estimates of relative biological effectiveness. The hypothesis that doses might be higher in the westerly direction in Hiroshima is not supported by acute radiation symptom effects analyses, but excess acute effects are seen in the north of Hiroshima.

INTRODUCTION

Over the years, acute radiation symptoms, including epilation, bleeding, and oropharyngeal lesions have been used as one criterion for assessing radiation exposure of A-bomb survivors. The fact that the response curves for such symptoms were reasonably consistent when plotted by distance from the hypocenter for those judged to have approximately the same degree of shielding may have been an important factor in the decision in the early 1950s to attempt the calculation of the actual dose received by those in various shielding situations.¹ In 1959, Brill et al² considered the relationship of acute symptoms and the subsequent occurrence of leukemia. Later in 1963, Jablon et al³ compared proportions of survivors with acute symptoms in various dose groups between Hiroshima and Nagasaki as a means of evaluating the adequacy of the tentative 1957 radiation dose estimates, while in 1970, Jablon et al⁴ used data on acute symptoms to evaluate the relative biological effectiveness (RBE) of neutrons.

At the present time several aspects of the dose estimation process are being reassessed, and at least two sets of air dose curves⁵⁻⁷ have been proposed as possible replacements for the revised tentative 1965 dose (T65DR)⁸ air doses which have been used for most analyses in recent years. In addition, there are indications that the house transmission factors for gamma ray exposure calculated for the T65DR dosimetry may be too large,⁹ while it is uncertain how transmission factors for those in other shielding situations may be altered. Since there is now no single dosimetry deemed best but rather several candidate dosimetries, it seems especially appropriate at this time to use data on acute

いた者の線量には、最大量の誤差があることが示唆された。また、この解析では、広島に被爆者の線量はおおむね長崎の被爆者の線量よりも推定結果が良好であり、この差によって両市間の比較及び相対的生物学的効果比推定値に容易に偏りが生じ得ることも指摘される。広島の西部方面における線量推定値が高いかもしれないという仮説は、急性放射線症状の影響の解析では裏付けられなかったが、広島の北方では急性影響が多く認められた。

緒言

原爆被爆者の放射線被曝を評価する一つの基準として、長年の間、脱毛、出血、及び口腔咽頭の病変などの急性放射線症状が用いられてきた。ほぼ同じ程度に遮蔽されたと判断される者について、爆心地からの距離別にプロットした場合、これらの症状の反応曲線がかなりよく一致していたという事実は、1950年代初期に、色々な遮蔽状態にいた者が受けた実際の線量を算定する計画を決定する重要な要因となったかもしれない。¹ 1959年、Brillら²は、急性症状とその後の白血病発生との関係を考察している。その後1963年、Jablonら³は、暫定1957年放射線量推定値の妥当性を評価する手段として、広島・長崎間の各線量群における急性症状の被爆者の割合を比較したが、1970年にJablonら⁴は、急性症状に関する資料を用いて中性子の相対的生物学的効果比(RBE)の評価を行っている。

現在、線量推定過程の幾つかの段階について評価が行われており、近年ほとんどの解析に用いられてきた改訂暫定1965年線量(T65DR)⁸の空気線量に代わるものとして、少なくとも2組の空気線量曲線⁵⁻⁷が提案されている。更に、T65DR線量推定で計算されているガンマ線の家屋透過率は大き過ぎるかもしれないとの指摘があるが、⁹ その他の遮蔽状態のもとにおける透過率がどのように変わるかは不明である。現在のところ最良と思われる唯一の線量推定はないが、候補といえる推定は幾つかあるので、現時点では提案されている各線量推定の相対的長所を評価する一つの

symptoms as one way of evaluating the relative merits of the various dosimetries that have been proposed.

Data on acute symptoms also have potential for identifying survivors in particular shielding situations or locations where dose estimates may be especially biased or subject to an unusual amount of random error. Although much effort has gone into the development of various dosimetries, the problems involved in this estimation process have been enormous, and it is undoubtedly true that some doses have been more reliably estimated than others. Data on acute symptoms may aid in the process of identifying dose estimates subject to the greatest amount of error. Once such problem areas are identified, they can perhaps be resolved by improved dosimetry. If this is not possible, such problems can at least be taken into account in planning and interpreting various analyses.

MATERIALS AND METHODS

The goal of the analyses in this paper is to investigate the consistency of the dose-response relationship for various acute symptoms by such factors as city, method of dose estimation, and type of shielding. If a given dosimetry is fully adequate, then the response to any given gamma-neutron dose combination should not depend on these factors; that is, the acute symptom-response rates for different cities, different methods, etc., should be the same once both gamma ray and neutron dose and other variables such as age at the time of the bomb (ATB) and sex are controlled.

Dosimetry

The analyses of this paper include an evaluation of various elements of the dose estimation process as applied to the Life Span Study (LSS) cohort. The selection of the cohort has been described by Beebe et al,¹⁰ while the dose estimation process is described by Milton and Shohoji⁸ as well as by Auxier.¹¹ This process is briefly summarized below.

For each LSS survivor, information on location and shielding ATB was obtained from the shielding history.¹ This involved an extensive interview with the survivor (or in some cases a relative or acquaintance). For some survivors (except 30% for those exposed at 1,600-1,999 m in Hiroshima or for all cases exposed beyond

方法として、急性症状に関する資料を用いることが特に妥当であると思われる。

急性症状に関する資料は、特殊な遮蔽状態、又は線量推定値に特別の偏りが出る場所や、異常な量の無作為的な誤差が生じやすい場所にいた被爆者の確認にも利用できる。各線量推定の開発には多くの努力が傾けられているが、この推定経過に関する問題は膨大なものであり、ある線量の推定が他のものよりも高い信頼度で求められていることも疑いないものと思われる。急性症状に関する資料は、最大の誤差を招く線量推定値の確認に役立つかもしれない。一度この問題の領域が確認できれば、それらは恐らく改良された線量測定によって解消されると思われる。これが不可能である場合でも、このような問題は少なくとも各解析の計画及び解釈を行う際に考慮され得る。

材料及び方法

本報における解析の目標は、都市、線量推定法、及び遮蔽の種類などの因子別の各急性症状に関する線量反応関係の一貫性を調べることである。一つの線量推定が全く十分なものであれば、一定のガンマ・中性子線量の合計に対する反応は、これらの因子に依存しないはずである。すなわち異なる都市、異なる方法などにおける急性症状反応率は、一度ガンマ線及び中性子線の両線量やその他の変数、すなわち原爆時年齢及び性を調整すれば、同じになるはずである。

線量測定

本報の解析には、寿命調査集団に適用された線量推定法の各要素の評価も含まれている。集団の選定については Beebe¹⁰ が、また線量推定法については Milton 及び正法地⁸ 並びに Auxier¹¹ が記述している。その方法の概要は次のとおりである。

寿命調査集団中の各被爆者についてその原爆時の場所及び遮蔽に関する資料は、遮蔽歴¹ から入手した。このためには、被爆者(あるいは、若干の例では親族又は知人)との面接を広範囲に行った。一部の被爆者(広島で1,600-1,999 m で被爆した者の約30%又は2,200 m 以上の長崎被爆者すべてを

2,200m in Nagasaki), no shielding history was taken and information from a mail questionnaire was used instead.

Based on the recorded distance from the hypocenter, the air doses for both gamma ray and neutron exposure can be calculated for each survivor. There is now considerable evidence that the T65DR air doses, which have been used for most analyses in recent years, will need to be modified; in particular the Hiroshima neutron air doses are probably too large. In this paper two alternative air dose curves are considered; those given by Loewe and Mendelsohn,⁵ calculated at the Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), and those given by Kerr,⁶ calculated by Pace and Scott at the Oak Ridge National Laboratory (ORNL). The latter two air dose curves are nearly identical for Nagasaki, but ORNL air doses are slightly smaller than LLNL doses for Hiroshima.

The actual air dose values used in the current analyses are estimates derived from figures^{6,7} which display the LLNL and ORNL air doses as functions of distance from the hypocenter. Values were read at 200m intervals with linear interpolation used to estimate intermediate values based on the distances recorded in the LSS data bases.

For most shielded survivors, the air doses must be multiplied by transmission factors to estimate the doses received. For the T65DR doses, this factor was estimated by one of the methods described below.

For the majority of survivors reported to be shielded totally or partially by Japanese type houses of light construction within either 1,600m of the hypocenter in Hiroshima or 2,000m of the hypocenter in Nagasaki, the transmission factors were calculated as a function of nine parameters such as height above the floor, floor number, the presence of lateral or front walls, and so forth. This 9-parameter method was developed as the result of experiments at the Nevada test site where it was determined that the effect of shielding could be expressed reasonably well by such a function. For some survivors in Japanese type houses, the detailed information required for the application of the 9-parameter formula could not be obtained. For these survivors, the

除き)については遮蔽歴を用いず、代わりに郵送質問調査による資料を用いた。

爆心地からの距離の記録を基にして、各被爆者のガンマ線及び中性子線両方の空気線量を算定できる。近年ほとんどの解析に用いられてきた T65DR 空気線量は、現在ではかなり修正する必要があり、特に広島の中性子の空気線量は恐らく過大評価されているものと思われる。本報では、それに代わる二つの空気線量曲線について考察した。一つは Lawrence Livermore 研究所 (LLNL) で Loewe 及び Mendelsohn⁵ が計算したものであり、他の一つは Oak Ridge 研究所 (ORNL) で Pace 及び Scott によって計算された Kerr⁶ のものである。後者の両空気線量曲線は、長崎についてはほとんど一致しているが、広島については ORNL 空気線量の方が LLNL 線量よりやや小さい。

本解析に用いた実際の空気線量値は、LLNL 及び ORNL 空気線量を爆心地からの距離の関数として示す数値^{6,7}に基づく推定値である。寿命調査のデータベースに記録された距離に基づく中間値の推定に用いた一次補間法によって 200m 間隔で値を読んだ。

遮蔽された被爆者のほとんどについては、空気線量に透過率を乗じて被曝線量を推定する必要がある。T65DR 線量の場合、この透過率の推定は下記の方法の一つによった。

広島の爆心地から 1,600m 未満、又は長崎の爆心地から 2,000m 未満において、軽構造の日本家屋に完全又は部分的に遮蔽されたと報告した大部分の被爆者の場合、透過率は、床上での高さ、階数、側壁又は前壁の有無など 9 個のパラメーターの関数として計算した。この 9 パラメーター方式は、遮蔽の影響がそのような関数によってかなりよく表現できたと確認されている Nevada 実験場での実験の結果開発されたものである。日本家屋で被爆した一部の被爆者については、9 パラメーター方式の適用に必要な詳細な資料は得られなかった。これらの被爆者

estimated transmission factor was taken to be the average value of all transmission factors estimated by the 9-parameter formula. The combined group of those with doses estimated by the 9-parameter formula and those with average values assigned will be referred to as the Japanese type house group or as those in Japanese type houses.

For survivors who were in heavy concrete structures, in the open but shielded by nearby buildings or terrain, and in a variety of other special situations, the globe method was used to estimate transmission factors. This method involved the construction of a model of the building or shielding situation and the use of a spherical projector or globe to determine components of total dose coming from various directions.

For survivors who reported that they were in the open with no large structures nearby, the estimated dose was taken to be the estimated air dose at the assumed location of the survivor. Although such doses are not subject to the sources of variation involved in estimating transmission factors, it is thought by some that the errors in location ATB may be greater for these survivors than for others who could specify their location in terms of their homes or other nearby structures. The group classified as having air doses also includes some survivors who were shielded to some degree and were arbitrarily assigned transmission factors of 0.9 for gamma ray dose. In particular, several hundred survivors who were in factories in Nagasaki are included in this group. Since it is now thought by many that this factor is too high for this group, these survivors are excluded from most analyses in this paper (an analysis of this group is discussed in the section on shielding category).

Finally, for survivors located beyond 1,600 m in Hiroshima and beyond 2,000 m in Nagasaki, the estimated dose was taken to be the air dose. Thus these doses are in many cases overestimates since shielding was not taken into account. This group will be referred to as the distal group.

At present, it is not known how these procedures will be modified with the current dose reassess-

については、その推定透過率は、9パラメーター方式によって推定されたすべての透過率の平均値を当てた。9パラメーター方式によって線量推定を行った者、及び平均値を適用した者を併せた群は、“日本家屋群”又は“日本家屋にいた者”と呼ぶ。

被爆者のうち重コンクリート構造物内にいた者、戸外ではあるが近くの建築物又は地形によって遮蔽された者、並びにその他色々な特別の状態にいた者については、globe法を用いて透過率の推定を行った。この方法では、建物又は遮蔽状態の模型をつくり、球形投射機又はglobeを用いて色々な方向から来る総線量の構成要素を測定した。

戸外にいて近くに大きい建造物がなかったと答えた被爆者の場合は、その推定線量をその被爆者の想定位置における推定空気線量とした。このような線量は透過率の推定に伴う変動には影響されないが、これらの被爆者における原爆時の位置の誤差は、自分の家又は近くの建造物との関係によって各自の位置を明記できた者よりも大きいかもしれないと考える者もある。空気線量を与えられた者として分類された群には、ある程度遮蔽され、ガンマ線量0.9の透過率を任意に割り当てられた者をも含む。特に、この群には長崎の工場にいた数百人の被爆者が含まれている。現在多くの人によって、この透過率はこの群としては高過ぎると考えられているので、これらの被爆者は本報のほとんどの解析から除外した(この群の解析については遮蔽分類に関する項で述べた)。

最後に、広島1,600m以遠、長崎2,000m以遠にいた被爆者については、推定線量は空気線量とみなした。したがってこれらの線量は、遮蔽が考慮されなかったため、多くの場合、過大推定値となっている。この群は遠距離群と呼ばれる。

現在、この度の線量再評価によってこれらの扱いが

ment, but Marcum⁹ has suggested that the house transmission factors for gamma exposure calculated for the T65DR dosimetry may be too large by a factor of about 1.6. For this paper T65DR transmission factors have been applied with the Marcum correction* for those survivors in Japanese type houses (except where indicated otherwise).

Because the quality of the information available for dose estimation varies, estimates have been categorized as class 1, 2, or 3 with class 1 indicating the most reliable estimates.⁸ Many of the analyses in this paper have been repeated with restriction to those with class 1 doses. Instances in which this restriction alters results in any important way are noted.

Acute Radiation Symptoms

Data on acute symptoms were obtained through interview at the same time shielding histories were taken. The fact that evidence of these symptoms is not based on direct observation and is dependent on memory after a lapse of several years must be considered in interpreting results of analysis of this data. In addition, there may be some survivors who have experienced these symptoms for causes other than radiation exposure ATB, since some survivors exposed at distances where they could not have received any significant amount of radiation reported one or more symptoms.

The symptoms chosen for inclusion in the Master Sample code were epilation, bleeding, and oropharyngeal lesions. These were judged to be "the most objective, least liable to be caused by things other than radiation, and most apt to be clearly remembered by the person."¹² Only symptoms which were reported to have occurred within 60 days after the bombing have been considered as positive. The degree of epilation was also reported and coded as "slight" (less than 1/4), "moderate" (less than 2/3, 1/4 and over), and "severe" (2/3 and over).

どのように変えられるかは明らかでないが、Marcum⁹は、T65DR線量推定に関して計算されたガンマ線被曝についての家屋透過率は、約1.6倍大き過ぎるかもしれないと示唆している。本報では、日本家屋での被曝者(特に断らない限り)については Marcum の補正*を行った T65DR 透過率を適用した。

線量推定に関して入手されている資料の質には差があるので、推定値の精度を class 1, class 2 又は class 3 として分類しており、class 1 は最も信頼できる推定値であることを示す。⁸ 本報における解析の多くは、class 1 の線量を有する者に制限して繰り返し行ってきた。この制限によって結果が大きく変わる場合は表示した。

急性放射線症状

遮蔽歴を聴取する際に同時に、面接によって急性症状に関する資料を入手した。これらの症状の証拠が直接の観察に基づくものでなく、被曝から数年後の記憶に頼っていることは、この資料の解析結果を解釈する際に考慮する必要がある。その上、遠距離において有意量の放射線被曝を受けたはずのない被曝者が、一つ又はそれ以上の症状を報告しているので、原爆時の放射線被曝以外の原因でこれらの症状を経験している被曝者も若干いるかもしれない。

基本標本コードへ含めるために選定された症状は、脱毛、出血、及び口腔咽頭の病変であった。これらは“最も客観性があり、放射線以外のものによって起こる可能性が最も少なく、本人が最も明瞭に記憶しやすいもの”¹²と考えられた。原爆後60日以内に起こったと報告された症状のみを陽性と考えた。脱毛の程度も報告され、“軽度”(1/4未満)、“中等度”(1/2未満, 1/4以上)、並びに“重度”(3/4以上)とコードされた。

*Marcum suggests that the average gamma ray transmission factor for those in Japanese type houses should be modified from .90 to .55 in Hiroshima and .81 to .50 in Nagasaki. Thus the correction consists of dividing the gamma ray transmission factors (for those estimated with the 9-parameter or average method) by .90/.55=1.64 in Hiroshima and by .81/.50=1.62 in Nagasaki.

Marcum は、日本家屋内における被曝者の平均ガンマ線透過率は、広島では.90から.55へ、長崎では.81から.50へ変える必要のあることを示唆している。したがって、補正では(9パラメーター又は平均値の方法で推定を行った者について)ガンマ線透過率を、広島では.90/.55=1.64、長崎では.81/.50=1.62で割る。

The first endpoint considered for detailed analysis in this paper is severe epilation which was reported by 1,230 survivors in Hiroshima and 344 survivors in Nagasaki. This endpoint shows a sharp gradient with dose and is a symptom which would occur only rarely from causes other than radiation (it might occasionally have occurred as a result of protracted high fever due to typhoid - a disease whose prevalence increased in Hiroshima after the bombing). However, false negatives could well be a problem with this endpoint, since many men were already bald before exposure and since irradiation of a specific location, the scalp, was probably required to produce the symptom. The second endpoint selected for detailed analysis here is bleeding (purpura) which was reported by 3,312 survivors in Hiroshima and 1,252 survivors in Nagasaki. This symptom, which is more common than severe epilation, also shows a sharp gradient with dose, and is a more generalized reaction to radiation (that is, irradiation of a specific location is not required). Less detailed analyses were conducted for the three endpoints listed below:

1. Epilation regardless of degree present. This definition of epilation, which includes slight, moderate, severe, and degree unknown is also used in defining the following symptom combinations.
2. At least one of the symptoms present; bleeding or epilation. Oropharyngeal lesions were not included in defining this endpoint since the proportion of subjects reporting this symptom alone showed no relationship with dose.
3. All three symptoms present; epilation, bleeding, and oropharyngeal lesions.

Statistical Procedures

Previous comparisons of acute symptom-response rates by city have been based on analysis of a linear function of the gamma ray and neutron doses.⁴ That is, $z = \gamma + Bn$, where γ indicates gamma ray dose, n indicates neutron dose, and B can be interpreted as RBE. As it was desired to keep results as free as possible from dependency on any particular model the approach used

本報で詳細な解析のために考慮した最初の症状は重度の脱毛であり、これは広島の人、長崎の344人の被爆者によって報告されている。この症状は、線量の増加とともに急勾配で上昇し、放射線以外の原因によってはまれにしか起こらない症状である（広島で原爆後に発生率が増加した腸チフスによる持続性の高熱の結果として、ときには起こり得る）。しかし、多くの男性は被爆前、既に頭部が禿げていたし、この症状をもたらすのに特定の部位、すなわち頭皮の放射線照射が恐らく必要であると思われるので、この症状では疑陰性が問題であることが十分考えられる。今回の詳細な解析のために選定した第2の症状は、広島3,312人、長崎1,252人の被爆者が報告した出血（紫斑）である。重度の脱毛例よりも多いこの症状も、線量の増加とともに鋭い勾配を示し、放射線に対してより一層全身性の反応（すなわち、特定の部位の放射線照射は必要でない）である。下記の三つの症状については、さほど詳細な解析を行わなかった：

1. 程度のいかんにかかわらず脱毛が認められる者。軽度、中等度、重度、及び程度不明などの脱毛の定義は、下記の症状の組み合わせを定義する際にも用いた。
2. 症状、すなわち出血、又は脱毛、の少なくとも一つが認められる者。口腔咽頭の病変はこの症状のみを報告したほとんどの者が線量との関係を示さなかったのでこの症状の定義づけには含めなかった。
3. これら三つの症状、すなわち脱毛、出血、及び口腔咽頭の病変のすべてが認められる者。

統計的解析

以前に行われた急性症状反応率の都市別比較は、ガンマ線及び中性子線量の一次関数の解析に基づいている。⁴ すなわち $z = \gamma + Bn$ 、ただし γ はガンマ線量、 n は中性子線量を示し、 B は RBE と解釈される。結果をできるだけ特定のモデルに依存させないようにすることが望ましかったので、本調査で用いた

here was to categorize survivors by both gamma ray and neutron exposure and then to compare proportions with a given acute symptom for each gamma-neutron combination by the variable of interest (city, method, etc.). Since the number of survivors in any particular dose category is often very small, results have been pooled using the Mantel-Haenszel¹³ method. Except where noted otherwise, all analyses are also controlled through stratification for sex and age ATB (see Appendix 1).

Analyses were controlled for the 25 gamma-neutron combinations indicated below. Other combinations have insufficient data for analysis:

Dose Range		Gamma Ray rad	Neutron rad	Dose Range		Gamma Ray rad	Neutron rad
線量域		ガンマ線	中性子	線量域		ガンマ線	中性子
Low Dose 低線量	1	0	0-4	High Dose 高線量	14	200-299	0-4
	2	1-9	0-4		15	200-299	5-9
	3	10-24	0-4		16	200-299	10-24
	4	25-49	0-4		17	200-299	25+
Middle Dose 中線量	5	50-74	0-4		18	300-399	0-4
	6	75-99	0-4		19	300-399	5-9
	7	75-99	5-9		20	300-399	10-24
	8	100-149	0-4		21	300-399	25+
	9	100-149	5-9		22	400+	0-4
	10	100-149	10-24		23	400+	5-9
	11	150-199	0-4	24	400+	10-24	
	12	150-199	5-9	25	400+	25+	
	13	150-199	10-24				

Because analyses are controlled simultaneously for both gamma ray and neutron exposure, observed differences should not be attributable to differences in the type of radiation exposure. A limitation of this approach is that the dose combinations which can be used are restricted to those where data is available for both categories being compared. For example, the comparison of the two cities must be restricted to gamma ray exposure less than 150 rad and neutron exposure less than 5 rad. In Table 1, the number of LSS subjects are presented for each city and each dose estimation method by LLNL gamma ray and neutron doses.

アプローチは、被爆者をガンマ線及び中性子線の両被曝群別に分類し、次いで各ガンマ・中性子の組み合わせについて特定の急性症状を有する割合を、関心の対象である変数(都市, 方法など)別に比較した。特定の線量群における被爆者数は多くの場合非常に少ないので、結果はMantel-Haenszel法¹³によって総合評価している。特記しない限り、いずれの解析も性及び原爆時年齢別の層化によっても調整している(付録1)。

下記の25組のガンマ・中性子組み合わせについて解析の調整を行った。その他の組み合わせには解析に十分な資料がない。

解析では、ガンマ線及び中性子線被曝の両方について同時に調整が行われるので、観察された差が放射線被曝の種類の違いに起因するはずがない。このアプローチの限界は、使用できる線量の組み合わせは比較する両群に関する資料が得られているものに限定されていることである。例えば、両市の比較では、ガンマ線被曝を150 rad未滿、中性子線被曝を5 rad未滿に限定しなければならない。表1では寿命調査対象者の数を各線量推定法とともに、都市及びLLNLのガンマ線及び中性子線量別に示した。

TABLE 1 NUMBER OF LSS SURVIVORS^a WITH DATA ON ACUTE SYMPTOMS BY GAMMA AND NEUTRON DOSE^b, DOSE ESTIMATION METHOD, AND CITY

表1 急性症状に関する資料を有する寿命調査集団中の被爆者数^a, ガンマ線及び中性子線量^b, 線量推定法, 及び都市別

	Neutron Dose in rad							
	Hiroshima				Nagasaki			
	0-4	5-9	10-24	25+	0-4	5-9	10-24	25+
Japanese Type House								
Gamma ray dose:	0				0			
(rad)								
1-9	23				370			
10-24	1719				965			
25-49	3375				732			
50-74	1611				284			
75-99	759	104			270			
100-149	75	702	38		322			
150-199	0	79	327		133			
200-299	0	0	285	76	93			
300-399	0	0	3	98	23	13		
400+	0	0	0	88	1	13	12	4
Air Dose								
Gamma ray dose:	0				0			
(rad)								
1-9	0				0			
10-24	0				130			
25-49	429				227			
50-74	194				76			
75-99	55	7			43			
100-149	0	78	7		67			
150-199	0	0	48		34			
200-299	0	0	19	40	93			
300-399	0	0	0	24	14	13		
400+	0	0	0	25		13	11	7
Globe								
Gamma ray dose:	0				168			
(rad)								
1-9	26				104			
10-24	83				388			
25-49	514	(6)	(2)		317			
50-74	419	(8)	(7)		208			
75-99	202	13	(7)	(1)	162	0		
100-149	30	216	10	(4)	166	1	0	
150-199	1	24	88	(6)	83	4	0	
200-299	0	10	106	49	63	7	1	0
300-399	0	1	9	69	21	11	2	0
400+	0	0	0	97	3	21	28	10
Distal								
Gamma ray dose:	0	16702			3630			
(rad)								
1-9	18500				7734			
10-24	7770				1163			
25-49	2423				0			

a- Categories in parentheses are not used in any analysis since there is no comparable data for Nagasaki or for other dose estimation methods in Hiroshima.

括弧に入れた区分はいずれの解析にも用いなかった。というのは、長崎には対応するデータはなく、また、広島ではその他の線量推定法については、匹敵する資料がないためである。

b- LLNL doses with Marcum correction are used in this table.

本表では Marcum 訂正法を施した LLNL 線量を用いた。

Results are summarized by presenting Mantel-Haenszel odds ratios for the low, middle, and high dose ranges indicated above. Since these groups are based on gamma ray exposure, they will often be labeled as 0-49 rad gamma ray dose, 50-199 rad gamma ray dose, and 200+ rad gamma ray dose. Suppose, for example, that the two cities are being compared and that p_{Hj} is the proportion with a particular effect in Hiroshima where j indexes one of the 25 dose categories listed above. Let p_{Nj} be the corresponding proportion in Nagasaki. The odds ratio for Hiroshima relative to Nagasaki is then $p_{Hj}(1-p_{Nj})/p_{Nj}(1-p_{Hj})$ for dose category j . The Mantel-Haenszel odds ratio can be thought of as a weighted mean of these odds ratios over several dose categories (as well as sex and age ATB categories). Note that an odds ratio exceeding unity indicates that response rates are greater in Hiroshima than in Nagasaki while an odds ratio less than unity indicates the reverse. The test for whether a particular odds ratio differs from unity is the usual Mantel-Haenszel test. Confidence intervals for the odds ratios are calculated using the test-based procedure of Miettinen¹⁴. Additional detail regarding these procedures is given in Appendix 1.

The approach described above has the major advantage that it does not require assumptions about the shape of the dose-response curve, that it is possible to control for several variables simultaneously, and that it does not require iterative calculations. This procedure should be adequate to test most of the hypotheses of interest in this paper. The reader should, however, bear in mind that the Mantel-Haenszel odds ratio is not a maximum likelihood estimate, and that the test-based confidence intervals are strictly valid only when the true odds ratio is equal to one.¹⁵ Since exact quantification of relationships was not a major goal in this paper, the iterative computations necessary for maximum likelihood estimation did not seem justified.

In interpreting results of the analyses presented here, it should be noted that one of the effects of random dose errors will be a weakening of the dose-response relationship. Cochran¹⁶ has noted this result for simple linear regression, while the results of Jablon¹⁷ and Gilbert¹⁸ indicate that in the LSS cohort the response at high estimated doses is likely to be lower

上記の低, 中, 高線量域については, Mantel-Haenszel の見込比 (odds ratios, 相対危険度の近似値として通常使われる) によって結果を要約した。これらの群はガンマ線被曝に基づいているので, 多くの場合 0-49 rad, 50-199 rad 及び 200+ rad のガンマ線量に分類される。例えば両市の比較を行っていて, p_{Hj} が広島における特定の影響を有する割合であるとする。(ただし, j は上記の25線量群の一つを示す)。また p_{Nj} はそれに対応する長崎での割合であるとする。そうすると, 長崎に対する広島の見込比は, 線量群 j について $p_{Hj}(1-p_{Nj})/p_{Nj}(1-p_{Hj})$ となる。Mantel-Haenszel の見込比は, 幾つかの線量群 (並びに性及び原爆時年齢群) におけるこれらの見込比の加重平均値と考えられる。見込比が1以上の場合は広島の反応率が長崎より大であり, 1より小さい場合はその反対であることに注目すべきである。特定の見込比が1と異なるか否かを検定するのが通常の Mantel-Haenszel 検定である。見込比の信頼区間は, 検定を基盤とする Miettinen¹⁴ の方法を用いて計算する。これらの要領に関するその他の詳細事項は付録1に示した。

上記のアプローチには, 線量反応曲線の形状に関する仮定を必要とせず, 幾つかの変数に関する調整を同時に行うことができ, また反復計算の必要がない, などの大きい利点がある。この方法は, 本報告中の興味ある仮説のほとんどについて検定を行うに十分であるはずである。しかし, Mantel-Haenszel の見込比は最大尤度推定値ではなく, 検定に基づいて構成される信頼区間は真の見込比が1に等しい場合にのみ明確に妥当なものであること¹⁵を銘記する必要がある。本報告では, 関係についての正確な定量は主要目標ではなかったもので, 最大尤度推定に必要な反復計算を行うことは妥当でないように思われた。

ここで示した解析の結果を解釈する際には, 無作為な線量誤差の影響の一つとして, 線量反応関係を弱体化させることがあることに注目すべきである。Cochran¹⁶ は単純一次回帰に関するこの結果に気付いているが, Jablon¹⁷ 及び Gilbert¹⁸ の結果は, 寿命調査集団において高い推定線量では過大評価される傾向がある

than expected because these doses will tend to be overestimated. Thus odds ratios that differ significantly from unity do not necessarily reflect systematic bias. They may indicate instead that doses for one group are subject to more (or less) random error than doses in another group. In fact, if group A is subject to greater random error than group B, one would expect the odds ratio of group A relative to group B to decrease with dose. In particular, the odds ratio for the high dose range (200+rad) will be reduced so that, to some extent, the odds ratio in this range can be considered a measure of the amount of error in group A dose estimates (relative to group B), with a small odds ratio indicating a large amount of error.

RESULTS

City Comparisons

The only way that data on acute symptoms can be used to assess the adequacy of either the LLNL or ORNL air doses is by comparing response rates in Hiroshima and Nagasaki. Dose-response curves and odds ratios for Hiroshima relative to Nagasaki are presented in Figures 1-4 for both LLNL and ORNL dosimetries. The approach described in the previous section, in which those with common gamma ray and neutron doses are compared, requires that analyses be limited to lower doses. Thus, the odds ratios presented are for the dose ranges 0-49 rad gamma ray and 50-149 rad gamma ray (but are controlled for finer dose categories) and include only those with neutron doses less than 5 rad. Results are presented separately for each method of dose estimation - the Japanese type house group, air dose, globe method, and distal group. The odds ratios are controlled for sex and age ATB, but the plots are not.

In addition, city comparisons restricted to those with class 1 (most reliable) dose estimates are presented in Table 2. It is noted that for the Japanese type house group this is nearly equivalent to restricting the comparison to those with doses estimated by the 9-parameter method, that is, excluding those with doses estimated by the average method. Dose estimates of survivors in the distal group were all judged class 3; thus the distal group is not included in Table 2.

ので、そのような線量における反応は予想より低い可能性のあることを示している。したがって1と有意に異なる見込比は、必ずしも系統的な偏りを反映するとは限らない。それらは、むしろある群の線量は、他の群の線量よりも多く(又は少なく)無作為誤差を生じやすいことを示すかもしれない。事実、A群がB群よりも大きい無作為誤差を生じやすいとすれば、B群に対するA群の見込比は、線量とともに減少することが期待される。特に高線量域(200+rad)の見込比は減少するので、この領域の見込比は、ある程度まで(B群に対して)A群線量推定値の誤差量の一つの尺度であり、小さい値の見込比は大きい誤差を示すものと考えられる。

結果

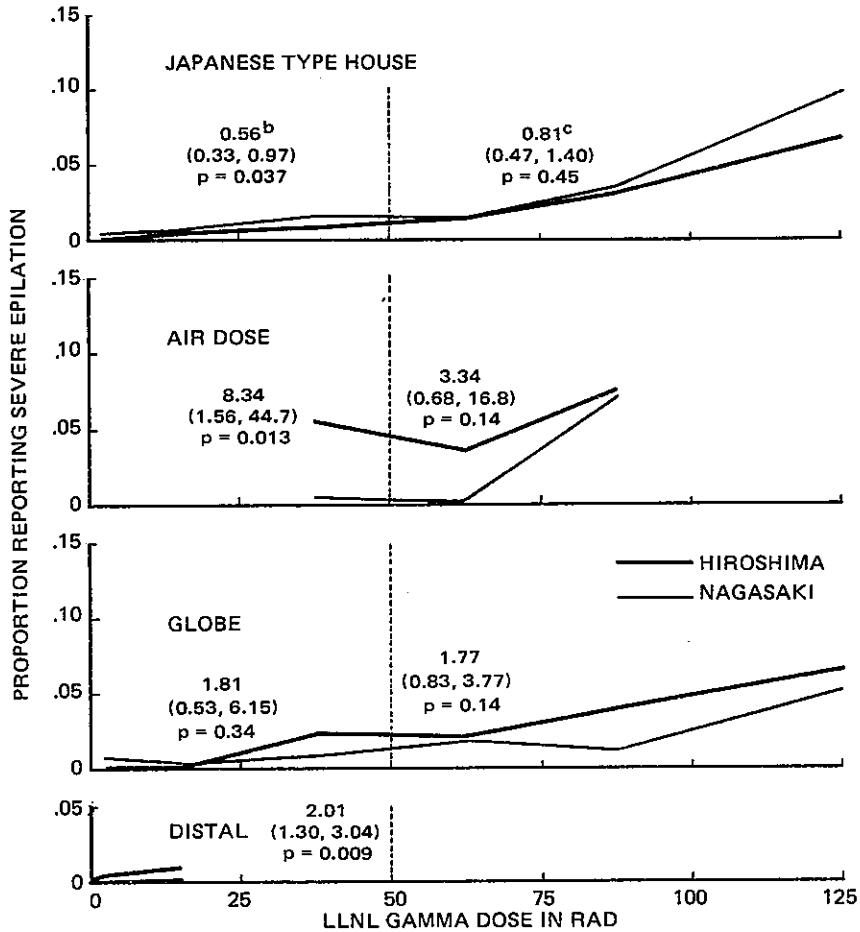
都市間の比較

LLNLの空気線量とORNLの空気線量のいずれが妥当であるかを急性症状を用いて評価するための唯一の方法は、広島と長崎の反応率を比較することである。LLNL及びORNLの両線量推定値に関する広島対長崎の線量反応曲線、及び見込比の比較を図1~4に示した。通常のガンマ線量及び中性子線量に被曝した者を比較した前節のアプローチでは、解析を低線量に限定して行う必要がある。したがって、示した見込比は、ガンマ線量0-49及び50-149radの線量域に関するものであるが(ただし、より細かい線量区分について調整を行っている)、中性子線量が5rad未満である者のみを含む。日本家屋内被曝群、空気線量、globe法、及び遠距離群の各線量推定法の結果を別々に示した。見込比は性及び原爆時年齢別に調整したが、プロットについては調整していない。

その上、class 1(最も信頼度の高い)の線量推定値を有する者に限定した都市間の比較を表2に示した。日本家屋内被曝群の場合、これは、9パラメーターによって線量を推定した者に限定したのとほぼ同じである。すなわち、平均値を用いて線量を推定した者を除外することになる。距離群における被曝者の線量推定値はすべてclass 3と判定した。したがって、遠距離群は表2に含めなかった。

FIGURE 1 CITY COMPARISON: PROPORTION REPORTING SEVERE EPILATION VS LLNL GAMMA DOSE^a

図1 両市の比較：報告された重度の脱毛の LLNL ガンマ線量^a に対する比率



a- Only survivors with LLNL neutron dose < 5 rad are included.

LLNL 中性子線量が < 5 rad である被爆者のみを含めた。

b- For LLNL gamma dose range 0-49 rad - odds ratio of Hiroshima relative to Nagasaki, 95% confidence interval for odds ratio, and p-value for significance test of odds ratio.

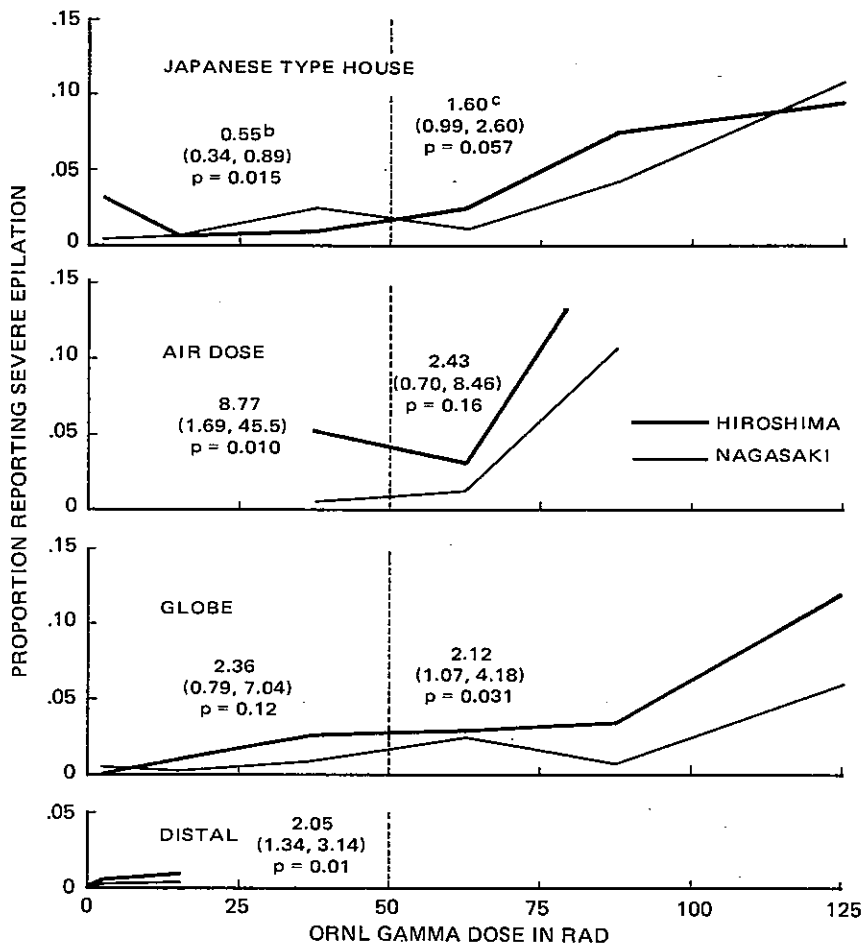
LLNL ガンマ線量域 0-49 rad の者についての、広島対長崎の見込比、見込比の95%信頼区間、及び見込比の有意性検定に関する p 値。

c- For LLNL gamma dose range 50-149 rad - odds ratio of Hiroshima relative to Nagasaki, 95% confidence interval for odds ratio, and p-value for significance test of odds ratio.

LLNL ガンマ線量域 50-149 rad の者についての、広島対長崎の見込比、見込比の95%信頼区間、及び見込比の有意性検定に関する p 値。

FIGURE 2 CITY COMPARISON: PROPORTION REPORTING SEVERE EPILATION VS ORNL GAMMA DOSE^a

図2 両市の比較：重度の脱毛を報告した者の率，対 ORNL ガンマ線量^a

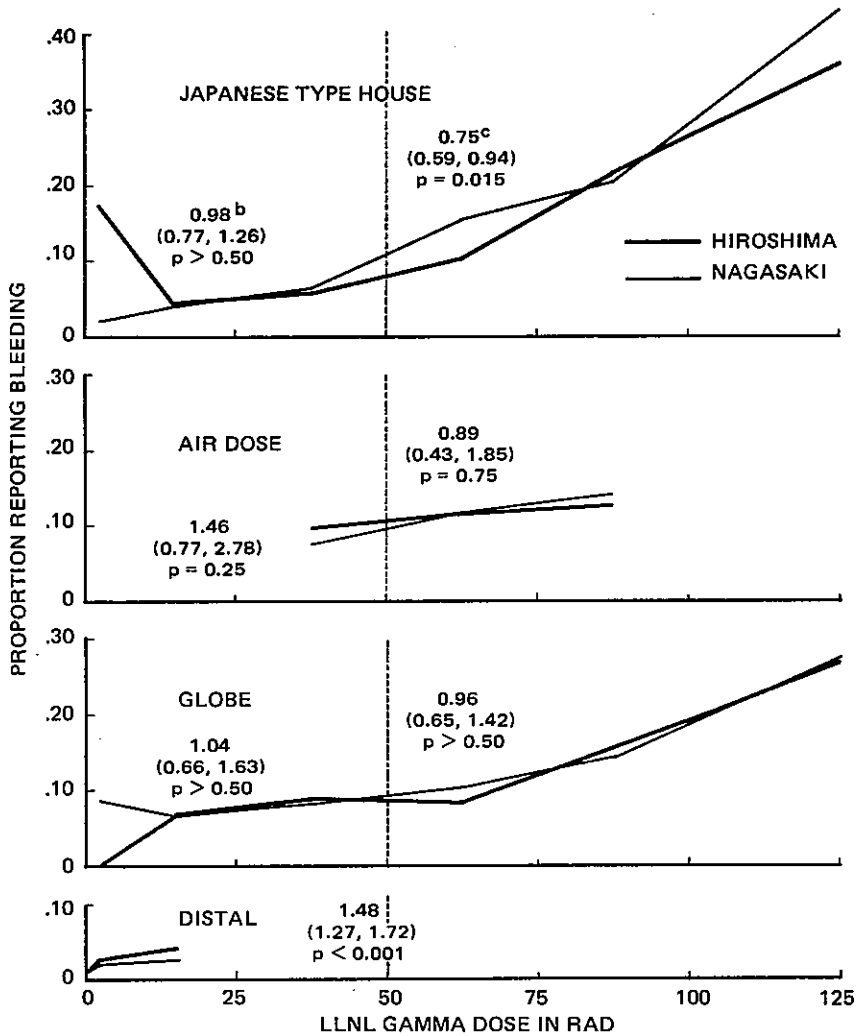


Footnotes a, b, and c are identical to Figure 1 except: change "LLNL" to "ORNL".

脚注 a, b 及び c は, LLNL が ORNL に変わったことを除けば, 図1 と全く同じである。

FIGURE 3 CITY COMPARISON: PROPORTION REPORTING BLEEDING VS LLNL GAMMA DOSE^a

図3 両市の比較：出血を報告した者の率，対 LLNL ガンマ線量^a

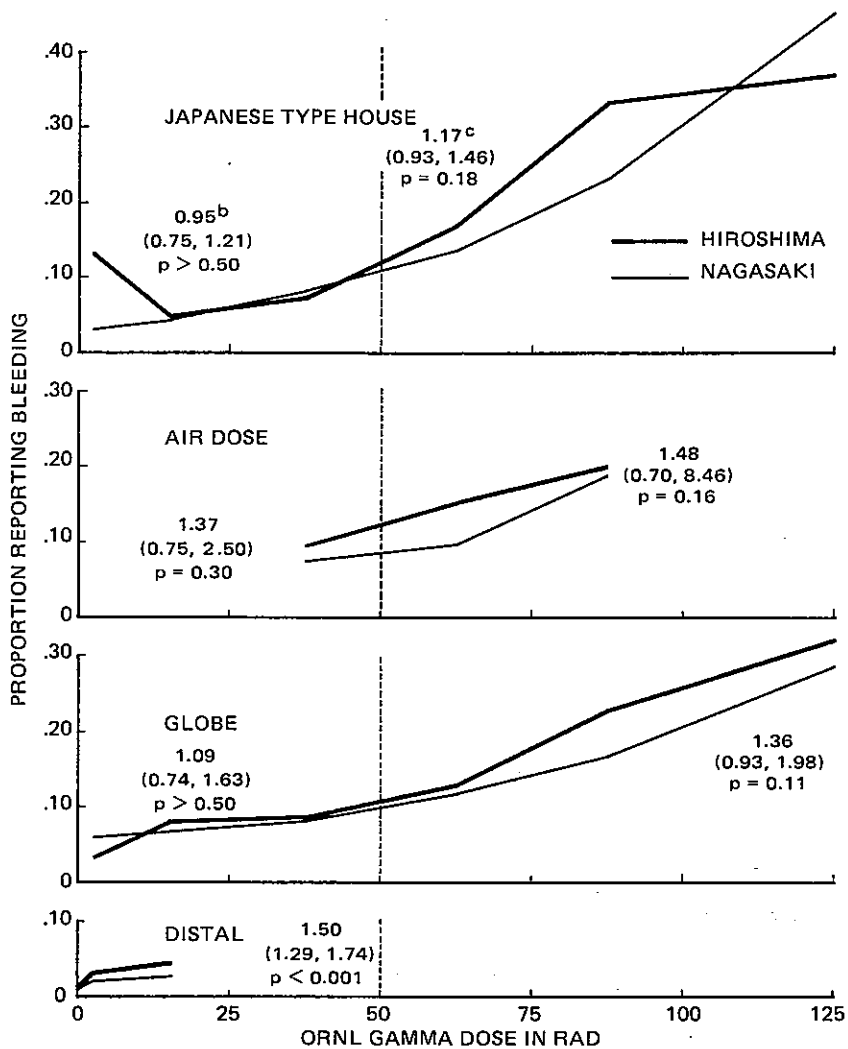


Footnotes a, b, and c are identical to Figure 1.

脚注 a, b, c は図1と全く同じである。

FIGURE 4 CITY COMPARISON: PROPORTION REPORTING BLEEDING VS ORNL GAMMA DOSE^a

図4 両市の比較：出血を報告した者の率，対 ORNL ガンマ線量^a



Footnotes a, b, and c are identical to those in Figure 1 except: change "LLNL" to "ORNL".

脚注 a, b, c は, LLNL が ORNL へ変わったことを除けば, 図1 と全く同じである。

TABLE 2 CITY COMPARISONS FOR THOSE WITH CLASS 1 DOSE ESTIMATES ONLY;
LLNL AND ORNL DOSES

表2 Class 1 の線量推定値を有する者のみに関する両市間の比較;
LLNL 及び ORNL 線量

		Gamma Dose in rad			
		LLNL		ORNL	
		0-49	50-199	0-49	50-199
Japanese Type House					
Severe epilation	OR ^a	0.48	1.08	0.47	2.26
	CI ^b	(0.25, 0.90)	(0.53, 2.23)	(0.28, 0.80)	(1.14, 4.47)
	p-value	0.022	>0.50	0.005	0.019
Bleeding	OR	0.99	1.03	0.96	1.37
	CI	(0.75, 1.30)	(0.78, 1.38)	(0.74, 1.25)	(1.05, 1.81)
	p-value	>0.50	>0.50	>0.50	0.023
Air Dose					
Severe epilation	OR	7.01	0.58	3.90	0.29
	CI	(0.69, 71.4)	(0.083, 4.06)	(0.46, 33.0)	(0.037, 2.23)
	p-value	0.10	>0.50	0.21	0.23
Bleeding	OR	0.95	0.71	1.11	0.72
	CI	(0.31, 2.90)	(0.22, 2.31)	(0.39, 3.16)	(0.19, 2.71)
	p-value	>0.50	>0.50	>0.50	>0.50
Globe					
Severe epilation	OR	0.97	3.04	1.40	3.89
	CI	(0.24, 3.98)	(0.74, 12.5)	(0.40, 4.88)	(1.00, 15.2)
	p-value	>0.50	0.12	>0.50	0.051
Bleeding	OR	0.90	0.99	0.94	1.34
	CI	(0.48, 1.70)	(0.51, 1.91)	(0.55, 1.62)	(0.71, 2.54)
	p-value	>0.50	>0.50	>0.50	0.37

a- OR= odds ratio of Hiroshima relative to Nagasaki OR = 広島対長崎の見込比.

b- CI= 95% confidence interval for odds ratio CI = 見込比の95%信頼区間.

Results for those in Japanese type houses are discussed first. The odds ratios for severe epilation are significantly less than unity in the low dose group for both dosimetries. As can be seen from Figures 1 and 2, this difference results from an excess number with severe epilation in the 25-49 rad group in Nagasaki. Since this effect is not seen for bleeding, and since the proportion with severe epilation in Nagasaki in the next highest dose group (50-74 rad) is not as large, this finding does not seem particularly meaningful. Aside from this oddity, the dose-response curves for severe epilation in the two cities agree quite well with the LLNL air doses for those in Japanese type houses. However, with ORNL air doses there is some evidence

日本家屋内にいた者の結果を最初に述べる。低線量群においては、重度の脱毛に関する見込比は、いずれの線量推定でも1より有意に少ない。図1及び2からみられるように、この差は、長崎の25-49 rad群に重度の脱毛を示す者が多いことに由来する。この影響は出血については見られず、また次に高い線量群(50-74 rad)における長崎の重度脱毛の割合はさほど大きくないので、この所見は特に有意とは思われない。この特異な現象はさておき、両市の重度脱毛に関する線量反応曲線は、日本家屋内にいた者に関するLLNL空気線量とかなりよく一致する。しかしORNL空気線量では、中間線量域の線量を

that the proportion with severe epilation is greater in Hiroshima than in Nagasaki for those with doses in the middle dose range. This difference is statistically significant when the comparison is restricted to those with class 1 doses. This comparison is based mostly on the 50-100 rad dose range since there are less than 100 survivors in Hiroshima with gamma ray doses between 100-150 rad and neutron doses less than 5 rad.

With bleeding, the two cities agree quite well with ORNL doses, but there is evidence of a significantly lower response in Hiroshima with LLNL doses in the 50-150 rad dose range. However, when these comparisons are restricted to those with class 1 dose estimates the difference in the middle dose range is no longer present with LLNL doses while the response is significantly higher in Hiroshima than in Nagasaki with ORNL doses.

City comparisons for those in Japanese type houses have also been made without applying the Marcum correction. Since this change is applied to both cities, the effects noted above simply occur at higher dose levels when the Marcum correction is not used.

The comparison for those with air doses is limited to those with 25-99 rad gamma ray exposure. The proportion in Hiroshima with severe epilation shows a striking significant excess in the 25-49 rad gamma ray dose group which is present for both LLNL and ORNL air doses. As described later, this group appears as an oddity in several comparisons; probably it does not reflect a problem with the LLNL or ORNL air doses. The proportion with bleeding in Hiroshima at 25-49 rad also exceeds the comparable proportion in Nagasaki, but the difference is not statistically significant for either dosimetry.

For the limited number of individuals with doses estimated by the globe method, there is some evidence that the proportion with severe epilation is higher in Hiroshima than in Nagasaki (the difference is of borderline statistical significance with ORNL doses). No meaningful differences are observed for bleeding. Those in the distal group show significant excesses in Hiroshima for both symptoms and for both dosimetries. Those differences are found in both the 1-9 and

有する者における重度脱毛の割合は、広島の方が長崎より大きい若干の所見がある。比較対象を class 1 の線量を有する者に限定する場合は、この差は統計的に有意である。広島の被爆者でガンマ線量が 100-150 rad、中性子線量が 5 rad 未満の者は 100 人以下であるので、この比較は主として 50-100 rad の線量域で行った。

出血については、両市は ORNL 線量ではかなりよく一致するが、LLNL 線量では 50-150 rad の線量域で広島の反応の方が有意に低いことが認められる。しかし、これらの比較の対象を class 1 の線量推定値を有する者に限定すると、LLNL 線量を用いると中間線量域における差はもはや認められないが、ORNL 線量によれば広島の反応の方が長崎よりも有意に高い。

日本家屋内にいた者についての都市間の比較の場合に、Marcum 訂正法を適用しない場合の比較も行った。この変更は両市に適用しているので、Marcum 訂正法を用いない場合は、上記の影響は高い線量値においてのみ生じる。

空気線量を与えられた者の比較は、25-99 rad のガンマ線に被曝した者に限定して行った。重度の脱毛のあった者の割合は、広島では 25-49 rad ガンマ線量群に著しく有意な過剰を示し、LLNL 及び ORNL のいずれの空気線量についても認められる所見である。後述するように、この群は幾つかの比較では特異な集団のように思われる；恐らく LLNL 又は ORNL 空気線量と関係のない問題を反映していると思われる。25-49 rad で出血のあった広島の被爆者の割合も、それに対応する長崎の者の割合を超えるが、この差はいずれの線量推定についても統計的に有意ではない。

Globe 法によって線量が推定されている限られた数の対象者については、重度の脱毛のあった被爆者の割合は広島の方が長崎より高いという若干の所見がある (ORNL 線量では、この差は統計的有意性のボーダーライン上にある)。出血については、有意な差は認められない。遠距離群では、両症状及び両線量推定のいずれについても、広島の方に有意な過剰が認められる。これらの差は、1-9 rad 及び 10-24 rad 群

10-24 rad categories, but are not seen in the 0 rad dose group. In Nagasaki, none of the distal group have doses exceeding 25 rad, so this comparison is limited to doses below this value.

Most of the analyses described above were conducted separately for each sex. Although severe epilation (but not bleeding) is more frequently reported by females than males, this is true in both cities and intercity differences are similar for the two sexes. The sex differential for severe epilation very likely results from this symptom being more often noticed and reported by females.

Other effects and combinations of effects have also been analyzed. Results for epilation including all degrees are similar to those for severe epilation, while results for at least one of the symptoms, bleeding, or epilation are similar to those observed for bleeding alone. Finally, for those with all three symptoms, the Japanese type house group in Hiroshima shows a significant deficit in the lowest dose group for both dosimetries (odds ratios are 0.37 and 0.51 for LLNL and ORNL dosimetries, respectively). With the LLNL doses a significant deficit is also observed for those with higher doses (odds ratio is 0.62). For the air dose group, there is an excess in the Hiroshima 25-49 rad group, but this difference is significant only with ORNL doses.

The above analyses have been restricted to smaller doses. Because it seemed desirable to expand the dose range for these comparisons, analyses based on the sum of the gamma ray dose and the neutron dose multiplied by a constant B, were conducted. That is, acute effect-response rates were compared between cities for common categories of $z = \gamma + Bn$. The categories used were the same as those specified earlier for gamma radiation. The rationale of these analyses was that if a constant B could be found such that there were no significant differences between cities, then any differences identified with consideration of total dose possibly could be explained by the difference in the neutron contribution to dose. Failure to find such a constant does not necessarily reflect inconsistencies between cities. It may simply mean that the model is inadequate. Since the

のいずれにも認められるが、0 rad 線量群には認められない。長崎では、遠距離群で線量が25 rad 以上の者はいないので、この比較はこの値未満の線量に限定されている。

上記の解析のほとんどは男女別々に行った。重度の脱毛(出血はそうでないが)は男性より女性の方に多く報告されているが、これは両市いずれにもいえることであり、都市間の差は男女とも同様である。重度の脱毛症に関する男女差は、女性の方がこの症状に気づき報告することが多いことによる可能性が強い。

その他の影響及び影響の組み合わせについても解析を行っている。あらゆる程度の脱毛の結果は重度脱毛の結果と同様であるが、これらの症状、すなわち出血又は脱毛の少なくとも一つに関する結果は、出血のみについて認められたものと同様である。最後に、三つの症状のすべてを有する者の場合は、広島の日道家屋内にいた者では、両線量推定とも、最低線量群に有意に少ないことが認められる(LLNL及びORNL線量推定法の場合の見込比はそれぞれ0.37及び0.51である)。LLNL線量では、高線量群(見込比0.62)の場合にも有意に少ないことが認められる。空気線量群の場合、広島の25-49 rad群に多く認められるこの差はORNL線量を用いた場合にのみ有意である。

上記の解析は低線量に限定して行っている。これらの比較で線量域を拡大することが望ましいと思われたので、ガンマ線量と、中性子線量に定数Bを乗じたものとの合計に基づいて解析を行った。すなわち、両市間で $z = \gamma + Bn$ という共通の区分を用いて急性影響反応率の比較を行った。用いた区分は、ガンマ放射線について先に詳述したものと同一であった。これらの解析の論理的根拠は、もし両市間に有意な差がないような定数Bが発見された場合は、総線量に関する差があれば、それは線量に対する中性子の寄与の量の差によってあるいは説明できるかもしれないということであった。そのような定数が発見されないとしても、必ずしも両市間に不一致のあることを意味しない。それは単にモデルが不適當であることを意味するかもしれない。図1~4に示した解析における

neutron contribution is less than 5 rad for the analyses presented in Figures 1-4, the differences already noted will generally persist for moderate values of B.

In Table 3, odds ratios for Hiroshima relative to Nagasaki are presented for B=1, 5, and 10 for both LLNL and ORNL dosimetries. An analysis with B=20 is also shown for severe epilation with ORNL doses.

Results for those in Japanese type houses are discussed first. With LLNL doses, the differences observed previously in the low dose range for severe epilation and in the middle dose range for bleeding persist as expected. Aside from these differences, results are consistent for the two cities with either B=1 or B=5 for severe epilation. For bleeding, results are consistent in the low and high dose ranges with all three values of B, but the odds ratio in the middle dose range (which is significantly less than unity even with B=1) decreases as B increases. With ORNL doses, consistent results are obtained for severe epilation with B=10 (aside from the previously noted difference in the low dose range) and for bleeding with B=5.

For those with air doses, odds ratios for severe epilation are significantly greater than unity in the high dose range for all three values of B and for both dosimetries. These odds ratios decrease as B increases, but clearly a value of B large enough to yield consistent results for the air dose group would be too large to yield such consistency for those in Japanese houses. Results for bleeding in the air dose group, however, are consistent for both dosimetries and all three values of B.

For those with doses estimated by the globe method, significantly elevated odds ratios are found for both dosimetries and all three values of B mainly in the highest dose range. However, these elevated odds ratios may result from differences in the shielding situations between the two cities for those in the globe group. This point will be addressed further after presenting comparisons by dose estimation method and shielding category.

中性子の寄与量は5 rad 未満であるので、既に認められている差は、B の中程度の値についてはおおむね存続することになる。

表3では、広島対長崎の見込比は、LLNL 及び ORNL のいずれの線量推定においても、B=1, 5 及び10の場合を示した。重度の脱毛については ORNL 線量による B=20 による解析も示した。

日本家屋内にいた者の結果について初めに述べる。LLNL 線量では、低線量域での重度の脱毛、また中間線量域での出血については以前に認められた差が予想したとおり存続していた。これらの差とは別に、重度の脱毛については、B=1 又は B=5 のいずれの場合にも両市の結果は一致する。出血については、低線量域及び高線量域の結果は B の三つの値のすべてにおいて一致するが、中間線量域における見込比 (B=1 の場合でも1より有意に低い) は、B の増加につれて減少する。ORNL 線量の場合、重度の脱毛については B=10 により (先の低線量域での差は別として)、また出血については B=5 によって一貫した結果が得られている。

空気線量を与えられた者の場合、B の三つの値及び両線量推定のいずれにおいても、高線量域では重度の脱毛の見込比は1より有意に大きい。これらの見込比は B の増加に伴って減少するが、空気線量群について一貫した結果を得るに十分な大きさの B の値は、日本家屋内にいた者にとってはそのような一貫性を得るには明らかに大き過ぎる。ただし、空気線量群の出血に関する結果は、両線量推定並びに B の三つの値のいずれについても一貫している。

線量が globe 法によって推定された者の場合は、主として最高線量域では、両線量推定並びに B の三つの値のいずれについても、見込比は有意に上昇していることが認められる。しかし、これら見込比の上昇は、globe 法の対象に関する両市間の遮蔽状態の差に由来するかもしれない。この点については、線量推定法及び遮蔽区分別に比較を行った後、更に取り上げることにしたい。

TABLE 3 CITY COMPARISONS BASED ON $z = \gamma + B_n$, LLNL AND ORNL DOSE
 表3 $z = \gamma + B_n$ に基づく両市間の比較; LLNL 及び ORNL 線量

		Dose in rad ^c					
		LLNL			ORNL		
		0-49	50-199	200+	0-49	50-199	200+
Japanese Type House							
Severe epilation	B=1 OR ^a	0.55	1.18	1.29	0.54	2.37	1.76
	CI ^b	(0.32, 0.95)	(0.89, 1.56)	(0.91, 1.84)	(0.34, 0.88)	(1.79, 3.12)	(1.20, 2.59)
	p-value	0.032	0.24	0.16	0.013	<0.001	0.004
B=5 OR	OR	0.56	0.75	0.87	0.55	1.41	1.38
	CI	(0.32, 0.98)	(0.55, 1.01)	(0.63, 1.20)	(0.34, 0.89)	(1.05, 1.89)	(0.98, 1.94)
	p-value	0.041	0.061	0.40	0.016	0.022	0.061
B=10 OR	OR	0.55	0.46	0.68	0.53	0.90	1.14
	CI	(0.31, 0.97)	(0.33, 0.64)	(0.50, 0.92)	(0.32, 0.87)	(0.66, 1.24)	(0.83, 1.55)
	p-value	0.038	<0.001	0.013	0.013	>0.50	0.42
B=20 OR	OR				0.54	0.51	0.77
	CI				(0.31, 0.95)	(0.36, 0.73)	(0.57, 1.03)
	p-value				0.031	0.002	0.082
Bleeding	B=1 OR	0.98	0.81	1.01	0.94	1.26	1.02
	CI	(0.77, 1.26)	(0.68, 0.96)	(0.97, 1.05)	(1.20, 0.74)	(1.06, 1.51)	(0.67, 1.53)
	p-value	>0.50	0.013	>0.50	>0.50	0.009	>0.50
B=5 OR	OR	1.05	0.60	0.93	0.91	0.96	0.98
	CI	(0.83, 1.33)	(0.51, 0.71)	(0.65, 1.32)	(0.72, 1.16)	(0.80, 1.14)	(0.68, 1.41)
	p-value	>0.50	<0.001	>0.50	0.45	>0.50	>0.50
B=10 OR	OR	0.96	0.41	1.05	0.90	0.68	1.12
	CI	(0.75, 1.24)	(0.34, 0.48)	(0.77, 1.44)	(0.71, 1.15)	(0.57, 0.81)	(0.80, 1.55)
	p-value	>0.50	<0.001	>0.50	0.42	<0.001	>0.50
Air Dose							
Severe epilation	B=1 OR	8.36	2.52	5.31	8.92	3.29	8.17
	CI	(1.56, 44.8)	(1.15, 5.52)	(2.88, 9.81)	(1.73, 46.0)	(1.57, 6.88)	(4.31, 15.5)
	p-value	0.013	0.021	<0.001	0.009	0.002	<0.001
B=5 OR	OR	7.30	2.00	3.40	9.21	2.07	4.70
	CI	(1.30, 41.5)	(0.91, 4.41)	(1.87, 6.17)	(1.77, 48.0)	(0.94, 4.56)	(2.52, 8.77)
	p-value	0.024	0.085	<0.001	0.008	0.073	<0.001
B=10 OR	OR	6.30	1.48	2.46	8.72	1.80	3.54
	CI	(1.03, 38.4)	(0.65, 3.38)	(1.39, 4.35)	(1.66, 45.7)	(0.82, 3.97)	(1.98, 6.34)
	p-value	0.046	0.35	<0.002	0.010	0.14	<0.001
B=20 OR	OR				5.17	1.59	3.03
	CI				(0.80, 33.3)	(0.63, 4.02)	(1.71, 5.37)
	p-value				0.084	0.33	<0.001
Bleeding	B=1 OR	1.41	1.03	1.12	1.40	1.14	1.42
	CI	(0.73, 2.69)	(0.64, 1.64)	(0.62, 2.02)	(0.76, 2.55)	(0.69, 1.86)	(0.77, 2.62)
	p-value	0.30	>0.50	>0.50	0.27	>0.50	0.26
B=5 OR	OR	1.36	0.93	0.87	1.44	1.09	1.04
	CI	(0.74, 2.51)	(0.59, 1.47)	(0.52, 1.47)	(0.78, 2.65)	(0.67, 1.78)	(0.58, 1.89)
	p-value	0.33	>0.50	>0.50	0.25	>0.50	>0.50
B=10 OR	OR	1.45	0.80	0.81	1.37	1.12	0.90
	CI	(0.74, 2.85)	(0.49, 1.31)	(0.49, 1.33)	(0.73, 2.56)	(0.67, 1.88)	(0.53, 1.53)
	p-value	0.28	0.37	0.40	0.33	>0.50	>0.50

(Continue 続く)

TABLE 3 表3 (Continued 続き)

		Dose in rad						
		LLNL			ORNL			
		0-49	50-199	200+	0-49	50-199	200+	
Globe								
Severe epilation	B=1	OR	1.84	1.92	3.08	2.30	2.96	4.05
		CI	(0.54, 6.22)	(1.21, 3.06)	(2.07, 4.58)	(0.76, 6.91)	(1.90, 4.62)	(2.63, 6.25)
		p-value	0.33	0.006	<0.001	0.14	<0.001	<0.001
	B=5	OR	1.75	1.38	2.29	1.98	2.05	3.45
		CI	(0.49, 6.27)	(0.82, 2.30)	(1.57, 3.35)	(0.64, 6.14)	(1.28, 3.28)	(2.32, 5.15)
		p-value	0.39	0.22	<0.001	0.24	0.003	<0.001
	B=10	OR	2.02	0.97	1.83	1.14	1.49	2.47
		CI	(0.55, 7.39)	(0.54, 1.74)	(1.26, 2.66)	(0.68, 6.75)	(0.88, 2.52)	(1.69, 3.61)
		p-value	0.29	>0.50	<0.002	0.20	0.13	<0.001
	B=20	OR				3.05	1.16	1.83
		CI				(0.95, 9.85)	(0.63, 2.12)	(1.27, 2.63)
		p-value				0.062	>0.50	0.001
Bleeding	B=1	OR	1.04	1.14	2.24	1.05	1.49	2.70
		CI	(0.67, 1.62)	(0.87, 1.51)	(1.52, 3.32)	(0.70, 1.57)	(1.13, 1.96)	(1.77, 4.11)
		p-value	>0.50	0.34	0.002	>0.50	0.004	<0.001
	B=5	OR	1.04	0.77	1.99	0.98	1.19	2.41
		CI	(0.68, 1.58)	(0.58, 1.01)	(1.39, 2.84)	(0.65, 1.47)	(0.90, 1.58)	(1.65, 3.53)
		p-value	>0.50	0.061	0.002	>0.50	0.23	<0.001
	B=10	OR	0.94	0.73	1.79	1.02	0.90	2.29
		CI	(0.58, 1.52)	(0.54, 0.99)	(1.26, 2.55)	(0.66, 1.55)	(0.67, 1.21)	(1.60, 3.27)
		p-value	>0.50	0.040	0.001	>0.50	0.48	<0.001

a- OR = odds ratio of Hiroshima relative to Nagasaki
広島対長崎の見込比。

b- CI = 95% confidence interval for odds ratio
見込比の95%信頼区間。

c- These categories are based on the value of $z = \gamma + Bn$ and might more appropriately be called rem if B is thought of as an RBE.

これらの区分は $z = \gamma + B_n$ の値に基づいており、BをRBEと考えるならば、remと呼んだ方がもっと適切である。

Before moving on to the next topic, a few words regarding city comparisons using T65DR doses seem to be in order. Because there is almost no overlap in common gamma-neutron categories for the two cities with T65DR doses, the direct comparisons presented in Figures 1-4 and Table 2 are not possible with this dosimetry, that is, differences between the two cities can be explained in terms of the RBE of the two types of radiation. It is, however, possible to conduct

次の問題に移る前に、T65DR線量による両市間の比較について付言しておきたい。T65DR線量では、両市におけるガンマ・中性子共通区分にはほとんど重複がないので、図1~4及び表2に示した直接の比較はこの線量推定では不可能である。つまり、両市間の差は2種類の放射線のRBEでは説明できない。しかし、表3に示したような解析を行うことは可能である。事実、これはJablonら⁴によって実施

the sort of analyses' presented in Table 3; in fact this was done by Jablon et al,⁴ although their analyses did not separate the various dose estimation methods. For bleeding, they obtained fairly consistent results between cities with B=5. We also have obtained consistent results for T65DR doses with B=5, although Hiroshima shows significantly more bleeding for the highest dose range in the globe group (as with ORNL and LLNL dosimetries).

For severe epilation, a difference between cities is found in the air dose group for the high dose range. As with LLNL and ORNL dosimetries, a value of B large enough to reduce this difference to nonsignificant levels leads to inconsistencies in the reverse direction for the Japanese type house group. Thus, the differences identified in Table 3 do not seem to result from the choice of dosimetry (LLNL, ORNL, or T65DR) but rather from oddities between cities that will persist with almost any reasonable choice of air dose curves. A summary of the results of city comparisons is given in Appendix 2A.

Dose Estimation Method Comparisons

With an ideal dosimetry,⁶ the response at any specified estimated dose should not depend on the method by which the dose was estimated. However, since the problems of dose estimation vary by the shielding situation of the survivor, it would be surprising if all doses were estimated with the same degree of reliability. As noted earlier each dose estimation method offers its own potential sources of error.

In Table 4, odds ratios for those with air doses, for those with doses estimated with the globe method, and for the distal group are presented relative to those in Japanese type houses. Results are given separately for the two cities and are controlled for both LLNL gamma ray and neutron exposure as well as age ATB and sex as described earlier. Since these comparisons are made within each city and since dose is essentially used as a control variable, results should be similar regardless of the choice of air dose curves. This was verified with repeat analyses made with ORNL (and in some cases T65DR) doses.

されている。ただし、彼らの解析では各線量推定法を分けなかった。出血については、彼らはB=5によって両市間にかなり一貫した結果を得ている。本調査でも、(ORNL及びLLNL線量推定と同様)広島におけるglobe法の対象者中最高線量域群に出血が有意に多いことは認められたが、B=5によってT65DR線量に関する一貫した結果を得ている。

重度の脱毛については、両市間で高線量域の空気線量群に差が認められる。LLNL及びORNL線量推定の場合と同様、この差を有意でない値にまで減少させるに十分な大きさのBの値によって、日本家屋内被曝群ではそれとは逆の方向の不一致がもたらされる。したがって表3で確認された差は、線量推定(LLNL, ORNL又はT65DR)の選択に起因するものではなく、むしろほとんどの妥当な空気線量曲線の選択によって持続する両市間の特異性によるものである。両市間の比較の結果に関する要約を付録2Aに示した。

線量推定法の比較

理想的な線量推定であれば、特定の推定線量における反応はその線量を推定した方法に左右されるべきではない。しかし、線量推定の問題は被曝者の遮蔽状態によって異なるので、すべての線量が同じ程度の信頼度によって推定できたとすれば、それはむしろ驚くべきことである。先に述べたように、各線量推定法は、それ自体の潜在的な誤差源をもっている。

表4では空気線量の与えられている者、globe法によって線量推定のなされた者、及び遠距離群についての見込比を、日本家屋内にいた者と比較して示した。結果は両市別々に示したもので、LLNLのガンマ線及び中性子線への被曝、並びに先述の原爆時年齢及び性について調整してある。これらの比較はそれぞれの都市について行い、線量は調整変数として用いたので、結果は空気線量曲線の選択とは無関係に類似しているはずである。このことは、ORNL線量(並びに若干のT65DR)を用いて解析を繰り返した結果、確認された。

TABLE 4 DOSE ESTIMATION METHOD COMPARISONS FOR EACH CITY

表4 線量推定法の比較, 都市別

		Gamma Dose in rad					
		Hiroshima			Nagasaki		
		0-49	50-199	200+	0-49	50-199	200+
Air Dose vs Japanese Type House							
With Marcum Correction							
Severe epilation	OR ^a	8.13	1.12	0.88	0.81	0.59	0.21
	CI ^b	(4.69, 14.1)	(0.77, 1.62)	(0.54, 1.42)	(0.25, 2.64)	(0.31, 1.14)	(0.12, 0.39)
	p-value	<0.001	>0.50	>0.50	>0.50	0.12	<0.001
Bleeding	OR	1.67	0.56	0.46	0.94	0.46	0.34
	CI	(1.17, 2.39)	(0.42, 0.73)	(0.22, 0.99)	(0.56, 1.56)	(0.31, 0.68)	(0.19, 0.63)
	p-value	0.005	<0.001	0.047	>0.50	<0.001	<0.001
Without Marcum Correction^c							
Severe epilation	OR	9.78	4.84	0.84	2.47	1.68	0.67
	CI	(5.39, 17.7)	(2.66, 8.80)	(0.43, 1.63)	(0.61, 9.98)	(0.82, 3.45)	(0.35, 1.30)
	p-value	<0.001	<0.001	>0.50	0.20	0.16	0.24
Bleeding	OR	1.96	1.74	0.24	1.30	1.13	0.59
	CI	(1.35, 2.84)	(1.15, 2.63)	(0.12, 0.48)	(0.74, 2.28)	(0.76, 1.70)	(0.36, 0.97)
	p-value	<0.001	0.009	<0.001	0.36	>0.50	0.037
Globe vs Japanese Type House							
With Marcum Correction							
Severe epilation	OR	2.45	0.73	0.87	0.62	0.50	0.25
	CI	(1.23, 4.84)	(0.54, 1.00)	(0.65, 1.17)	(0.23, 1.67)	(0.31, 0.80)	(0.14, 0.43)
	p-value	0.010	0.048	0.36	0.34	0.004	<0.001
Bleeding	OR	1.62	0.64	0.79	1.47	0.43	0.41
	CI	(1.19, 2.20)	(0.53, 0.78)	(0.58, 1.08)	(1.06, 2.05)	(0.33, 0.57)	(0.25, 0.68)
	p-value	0.002	<0.001	0.13	0.022	<0.001	<0.001
Without Marcum Correction							
Severe epilation	OR	3.33	2.85	1.05	1.08	1.39	0.74
	CI	(1.71, 6.48)	(1.82, 4.49)	(0.76, 1.45)	(0.28, 4.07)	(0.81, 2.37)	(0.45, 1.22)
	p-value	<0.001	<0.001	>0.50	>0.50	0.23	0.24
Bleeding	OR	1.98	1.63	0.65	1.68	1.10	0.49
	CI	(1.41, 2.77)	(1.25, 2.11)	(0.46, 0.93)	(1.15, 2.47)	(0.84, 1.45)	(0.32, 0.75)
	p-value	<0.001	<0.001	0.017	0.007	0.48	<0.001
Distal vs Japanese Type House							
With Marcum Correction							
Severe	OR	1.30			0.39		
	CI	(0.84, 2.02)			(0.12, 1.20)		
	p-value	0.24			0.10		
Bleeding	OR	0.76			0.62		
	CI	(0.64, 0.90)			(0.42, 0.92)		
	p-value	0.002			0.017		
Without Marcum Correction							
Severe epilation	OR	1.60			0.31		
	CI	(0.84, 3.05)			(0.06, 1.50)		
	p-value	0.15			0.14		
Bleeding	OR	0.89			0.70		
	CI	(0.68, 1.15)			(0.42, 1.18)		
	p-value	0.35			0.18		

a- OR= odds ratio relative to those in Japanese type houses.

日本家屋内にいた者に対する見込比。

b- CI= 95% confidence interval for odds ratio.

見込比の95%信頼区間。

c- Since without the Marcum correction there is almost no overlap of common gamma-neutron categories in the 100-400 rad range in Hiroshima, the odds ratio for the middle dose range is based on the 50-99 rad group while the odds ratio for the high dose range is based on the 400+ rad group.

Marcum 訂正法を用いない場合は、広島100-400 rad 域のガンマ・中性子共通区分に重複はほとんどないので、中線量域の見込比は50-99 rad 群に基づいているが、高線量域の見込比は400+ rad 群を基にしている。

Those in Japanese type houses were chosen as the comparison group since this is the largest group and there is some reason to believe that the doses of these survivors have been estimated the most reliably. Distance from the hypocenter is probably known fairly accurately for such survivors, and because the majority of survivors fall into this category, considerable effort has gone into evaluating the shielding effects of the typical Japanese type house. However, as noted earlier, there is now some question concerning the appropriate transmission factors for gamma ray exposure to these survivors.

In Table 4, results are presented both with and without the Marcum correction for those in Japanese type houses. These results are summarized in Appendix 2B. With this correction, the average transmission factors for gamma ray and neutron exposure are 0.55 and 0.35, respectively. Average values for the two transmission factors are also fairly similar for the globe method, so that there is considerable overlap in the gamma-neutron combinations with data for various dose estimation methods (this can be seen in Table 1). If, however, the Marcum correction is not applied, gamma ray exposure for those in Japanese type houses is attenuated much less than neutron exposure and only limited overlap of gamma-neutron combinations with data is found in the 100-400 rad gamma ray dose range in Hiroshima. Nevertheless, those in Japanese type houses were compared with those with other dose estimation methods without applying the Marcum correction, using the limited data available. In Nagasaki, there is no problem in carrying out this comparison, since there is so little neutron exposure.

In Figures 5-8, the dose-response curves for severe epilation and bleeding are plotted for each city by method. For the Japanese type house group, the curves are plotted both with and without the application of the Marcum correction. Unlike the analyses presented in Table 4, these curves are plotted only by gamma ray exposure and are not controlled for age and sex. However, as noted above, except for those in Japanese type houses in Hiroshima without the Marcum correction, the neutron doses are fairly comparable for the different methods.

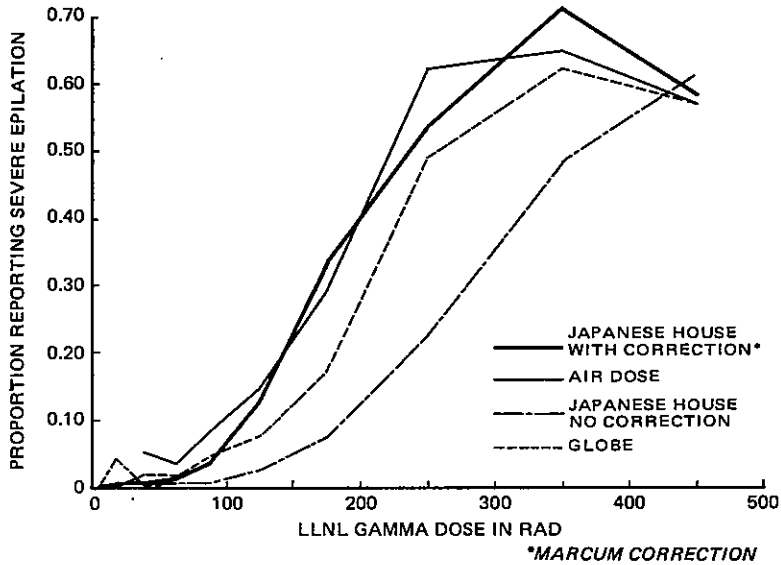
日本家屋内にいた者の群は最大の集団であり、またこれらの被爆者の線量は最も高い信頼度で推定されていると考えられる理由があるので、比較群として選んだ。この被爆者の爆心地からの距離は、恐ろしくかなり正確に知られており、また被爆者の大半はこの群に入るので、典型的日本家屋の遮蔽効果の評価には相当の努力を傾けた。しかし、先に述べたように、これらの被爆者のガンマ線被曝における適当な透過率について、現在若干の問題がある。

表4では、日本家屋内にいた者に Marcum 訂正法を適用した場合と適用しなかった場合の双方の結果を示した。付録2Bはこれらの結果を要約したものである。この訂正により、ガンマ線及び中性子線被曝に対する平均透過率は、それぞれ0.55及び0.35となる。Globe法では、この二つの透過率の平均値もかなり近似しているので、各線量推定法のデータには、ガンマ線と中性子線の組み合わせにかなりの重複がある(これは表1で認められる)。しかし、Marcum訂正法を適用しない場合は、日本家屋内にいた者のガンマ線被曝は中性子線被曝よりも減弱がはるかに少なく、各種線量推定法のデータには、ガンマ線と中性子線の組み合わせには広島のみ重複が認められた。それにもかかわらず、入手されている限られたデータを用いて、日本家屋内にいた者と、Marcum訂正法を適用しないその他の線量推定法を用いた者の場合との比較を行った。長崎では中性子線被曝がごくわずかであるため、この比較の実施には問題はない。

図5~8では、重度の脱毛及び出血の線量反応曲線を各市ごとに方法別に示した。日本家屋内被曝群の曲線は、Marcum訂正法を適用する場合と適用しない場合の双方について示した。表4に示した解析とは異なり、これらの曲線はガンマ線量のみによって示したもので、年齢及び性については調整を行っていない。しかし、上述のように、Marcum訂正法を適用していない広島の日本家屋内被曝者を除けば、それぞれの方法による中性子線量はかなり類似したものである。

FIGURE 5 DOSE ESTIMATION METHOD COMPARISON: PROPORTION REPORTING SEVERE EPILATION VS LLNL GAMMA DOSE,^a HIROSHIMA

図5 線量推定法の比較：重度の脱毛を報告した者の率，対 LLNL ガンマ線量^a，広島

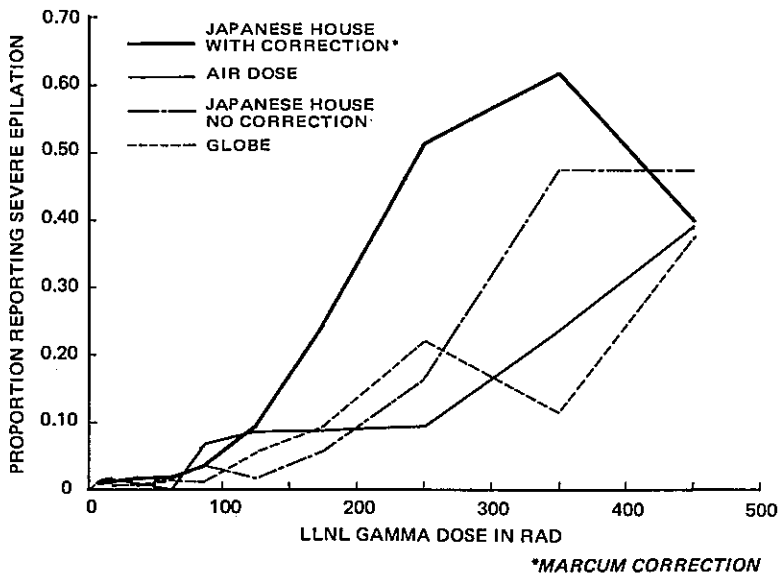


a- Neutron dose categories are pooled for these plots, but are fairly comparable for all methods except the Japanese type house without the Marcum correction. (In this case, the neutron dose is smaller). Differences in the 100-399 rad dose range for this method could result from differences in neutron exposure.

中性子線量の区分はこれらの記載のために統合した。得られた結果は Marcum 訂正法を用いない日本家屋内被曝を除けば、すべての方法にかなり類似している。(この場合、中性子線量は小さい)。この方法では、100-399 rad 線量域における差は、中性子被曝の差に由来し得る。

FIGURE 6 DOSE ESTIMATION METHOD COMPARISON: PROPORTION REPORTING SEVERE EPILATION VS LLNL GAMMA DOSE,^a NAGASAKI

図6 線量推定法の比較：重度の脱毛を報告した者の率，対 LLNL ガンマ線量^a，長崎

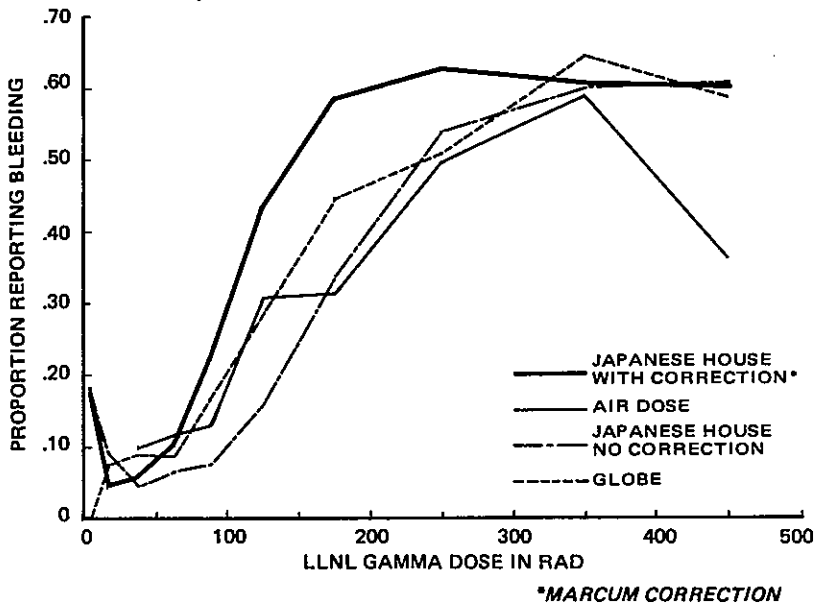


a- Same as footnote of Figure 5.

図5の脚注と同じ。

FIGURE 7 DOSE ESTIMATION METHOD COMPARISON: PROPORTION REPORTING BLEEDING VS LLNL GAMMA DOSE,^a HIROSHIMA

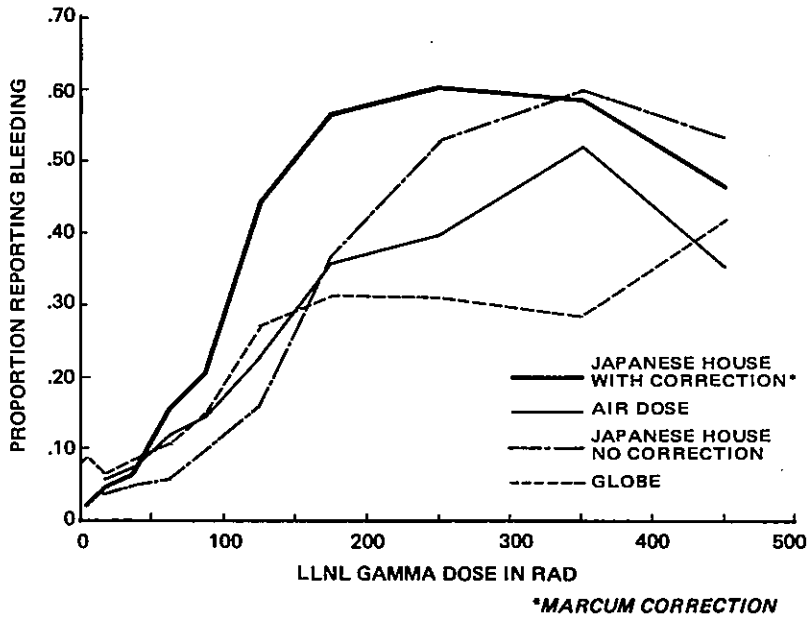
図7 線量推定法の比較: 出血を報告した者の率, 対 LLNL ガンマ線量^a, 広島



a- Same as footnote of Figure 5.
図5の脚注と同じ。

FIGURE 8 DOSE ESTIMATION METHOD COMPARISON: PROPORTION REPORTING BLEEDING VS LLNL GAMMA DOSE,^a NAGASAKI

図8 線量推定法の比較: 出血を報告した者の率, 対 LLNL ガンマ線量^a, 長崎



a- Same as footnote of Figure 5.
図5の脚注と同じ。

The comparison between those with air doses and those in Japanese type houses will be considered. First, it is noted that the excess effects for the Hiroshima air dose group for those with less than 50 rad which was observed in the city comparisons, now shows up in the comparison between methods in Hiroshima. This excess is seen for both severe epilation and bleeding (although it is most striking for severe epilation) and both with and without the Marcum correction.

Aside from this oddity, the dose-response curves for those with air doses and those in Japanese type houses are quite comparable for severe epilation in Hiroshima provided the Marcum correction is applied to the latter group. However, without the Marcum correction, those with air doses have significantly more severe epilation in the middle dose group than do those in Japanese type houses.

For bleeding in Hiroshima and for both symptoms in Nagasaki, the dose-response curves for those with air doses are not as steep as for those in Japanese type houses. With the Marcum correction, this results in significantly fewer effects for those in the two highest dose groups. Without the Marcum correction, the response curves for those in Japanese type houses begin their ascent at higher dose levels so that significant differences are seen only in the 200+ rad group (although for severe epilation in Nagasaki this difference is not significant).

For those with doses estimated using the globe method, there are significantly more reporting symptoms in the lowest dose group (<50 rad) than for those in Japanese type houses. This is true for all analyses presented except severe epilation in Nagasaki and possibly suggests that some globe doses have been underestimated. In Hiroshima, the dose-response curves for both severe epilation and bleeding are shifted a bit to the right of the corresponding curves for those in Japanese type houses with the Marcum correction resulting in significant differences in the middle dose ranges (50-199 rad). However, the globe curves are still to the left of the Japanese type house curves without the Marcum correction. Thus in this case, significant differences in the opposite direction are seen in the middle dose range. For bleeding, the response is significantly lower for those with

次に、空気線量を与えられた者と日本家屋内にいた者との比較について考える。第一に、両市間の比較によって広島空気線量群中50 rad未満の者に認められた過剰な影響は、広島の各方法間の比較でも認められる。この過剰は、重度の脱毛と出血（特に前者に顕著であるが）の双方、また Marcum 訂正を行った場合と行わなかった場合の両方に認められる。

この特異な面とは別に、Marcum 訂正法を日本家屋内にいた者に適用した場合に限り、広島における重度の脱毛については、空気線量を与えられた者と日本家屋内にいた者の線量反応曲線はかなり類似している。しかし、Marcum 訂正を行わない場合は、空気線量を与えられた者では、日本家屋内にいた者よりも、中間線量群における重度の脱毛が有意に多い。

広島出血、並びに長崎の両症状については、空気線量を与えられた者の線量反応曲線は、日本家屋内にいた者ほど急勾配ではない。Marcum 訂正法を適用した場合は、これが二つの最高線量群対象者に与える影響は有意に少ないものになる。Marcum 訂正法を適用しない場合は、日本家屋内にいた者の反応曲線は線量値の高いところから上昇が始まるので、200+ rad 群にのみ有意な差が認められる（ただし、長崎の重度の脱毛については、この差は有意でない）。

Globe 法を用いて線量推定を行った者の場合は、最低線量群 (<50 rad) では日本家屋内にいた者よりも症状を報告する者が有意に多い。これは発表された解析のうち、長崎の重度の脱毛を除くすべてに言えることで、あるいは若干の globe 線量が過少評価されていることを示唆するものかもしれない。広島では、Marcum 訂正法によって重度の脱毛及び出血の双方の線量反応曲線が、日本家屋内にいた者のそれに対応する曲線の右側にやや移動し、その結果、中間線量域 (50-199 rad) に有意な差が生じる。しかし、Marcum 訂正法によらない場合は、globe 曲線は依然として日本家屋内曲線の左側にある。したがってこの場合、反対方向における有意な差は中間線量域に認められる。出血については、(Marcum 訂正を行わなかった場合)

doses estimated by the globe method in the highest dose group (without the Marcum correction). In Nagasaki, the dose-response curves for those with the globe method are not as steep as for those in Japanese type houses. In fact, in Nagasaki, this comparison yields results that are quite similar to those for air doses noted above. Since the globe method was developed for use with T65DR dosimetry, this comparison was repeated using T65DR total dose (without the Marcum correction). Results were fairly similar to those with LLNL doses without the Marcum correction.

The distal group shows significantly fewer survivors reporting bleeding in both cities than for those in Japanese type houses. This result could be explained by the fact that shielding has not been taken into account in estimating the doses of the distal group.

The analyses reported above have been repeated with restriction to those with class 1 dose estimates. The only instance in which this altered results in any important way was for severe epilation in Nagasaki. In this case, both those with air doses and those with doses estimated by the globe method show steeper dose-response curves up to about 300 rad. However, significant differences persist for doses exceeding this value. Analyses have also been conducted for the two sexes separately with no meaningful differences being detected.

Limited analyses of other symptoms and symptom combinations were also made. Results of analyses of at least one symptom (including bleeding and/or any degree of epilation), and of all three symptoms were similar to results for bleeding alone, while results of analyses of all degrees of epilation were similar to those for severe epilation. However, in Hiroshima the proportion with any degree of epilation was significantly lower for those with air doses than for those in Japanese type houses (with the Marcum correction) in the highest dose group.

Class of Dose Comparisons

As noted earlier, individual dose estimates have been classified as to their judged reliability. If this judgment is meaningful, it should follow that those with class 1 dose estimates will have more pronounced dose-response curves than those with class 2 or 3 estimates. That is, the

最高線量群のうち、globe法によって線量推定を行った者の反応は有意に低い。長崎では、globe法による者における線量反応曲線は、日本家屋内にいた者のそれほど急勾配ではない。事実、長崎では、この比較で上記の空気線量の場合とかなり近似した結果が得られている。Globe法はT65DR線量推定に用いるために開発されたものであるため、この比較は(Marcum訂正を行わなかった場合)T65DR総線量を用いて繰り返された。結果は、Marcum訂正を行わなかった場合のLLNL線量の得られた者のそれとかなり近似したものになった。

遠距離群では、日本家屋内にいた者よりも、両市で出血を報告する者が有意に少ないことが認められた。この結果は、遠距離群の線量を推定する際に遮蔽が考慮されていないことによって説明できた。

上記の解析は、class 1の線量推定値を有する者に限定して繰り返し行ってきた。これによって結果に重大な変化が生じた唯一の例は、長崎の重度脱毛者の場合のみであった。この場合、空気線量を与えられた者とglobe法によって線量推定を行った者のいずれも、その線量反応曲線は約300radまで急上昇する。しかし、線量がこれ以上になった場合は有意な差が持続する。男女別にも解析を行ったが、有意な差が探知されなかった。

また、その他の症状及び症状の組み合わせについても一部解析を行った。少なくとも一つの症状(出血、ないしあらゆる程度の脱毛)、並びに三つのすべての症状の解析結果は、出血のみの結果と同様であったが、あらゆる程度の脱毛の結果は重度の脱毛の結果と同様であった。しかし広島では、あらゆる程度の脱毛を有する割合は、最高線量群においては、(Marcum補正を行った)日本家屋内群よりも空気線量を与えられた群の方が有意に低かった。

線量の精度の比較

前述のごとく、各線量推定値は信頼度の判定をもとに分類した。この判定が有意義なものであれば、線量推定値がclass 1の者は、class 2又はclass 3の推定値を有する者よりも顕著な線量反応曲線を示すことになるはずである。すなわち、class 1の推定値を

odds ratios of those with class 2 or 3 estimates relative to those with class 1 estimates should decrease with dose. These odds ratios are presented in Table 5 by dose estimation method and city.

有する者に対し class 2 又は class 3 の推定値の者の見込比は、線量とともに減少するはずである。これらの見込比は、表 5 で線量推定法別及び都市別に示した。

TABLE 5 CLASS OF DOSE COMPARISONS FOR EACH CITY
表 5 線量精度の比較、都市別

		Gamma Dose in rad					
		Hiroshima			Nagasaki		
		0-49	50-199	200+	0-49	50-199	200+
Japanese Type House							
Severe epilation	OR ^a	0.88	0.68	0.15	0.59	2.56	0.43
	CI ^b	(0.37, 2.08)	(0.48, 0.98)	(0.09, 0.24)	(0.18, 1.92)	(1.49, 4.35)	(0.11, 1.61)
	p-value	>0.50	0.039	<0.001	0.38	<0.001	0.21
Bleeding	OR	0.76	0.74	0.47	0.83	1.28	0.52
	CI	(0.56, 1.04)	(0.60, 0.92)	(0.29, 0.75)	(0.50, 1.39)	(0.89, 1.85)	(0.15, 1.79)
	p-value	0.094	0.006	0.017	0.48	0.18	0.30
Air Dose							
Severe epilation	OR	0.36	1.15	1.11	1.23	0.22	0.59
	CI	(0.14, 0.92)	(0.56, 2.38)	(0.32, 3.85)	(0.09, 16.7)	(0.07, 0.70)	(0.16, 2.13)
	p-value	0.032	>0.50	>0.50	>0.50	0.011	0.42
Bleeding	OR	0.66	0.78	0.34	0.28	0.86	2.33
	CI	(0.32, 1.37)	(0.45, 1.37)	(0.11, 1.08)	(0.12, 0.69)	(0.27, 1.45)	(0.59, 9.09)
	p-value	0.27	0.40	0.068	0.006	0.27	0.22
Globe							
Severe epilation	OR	∞	0.78	0.56	0.09	1.25	0.23
	CI	-	(0.38, 1.59)	(0.36, 0.88)	(0.01, 1.16)	(0.33, 4.16)	(0.08, 0.62)
	p-value	0.28	>0.50	0.014	0.065	0.75	0.004
Bleeding	OR	1.19	1.33	0.60	0.83	0.85	0.30
	CI	(0.52, 2.70)	(0.84, 2.13)	(0.37, 0.98)	(0.48, 1.47)	(0.50, 1.45)	(0.13, 0.68)
	p-value	>0.50	0.22	0.040	>0.50	>0.50	0.004

a- OR= odds ratio of classes 2 and 3 relative to class 1.
Class 2 及び class 3 の class 1 に対する見込比。

b- CI= 95% confidence interval for odds ratio.
見込比の95%信頼区間。

For those in Japanese type houses results follow the expected trend, especially in Hiroshima where numbers are large enough to permit more reliable inferences. It is evident that the class 1 doses are in fact better estimates. The comparison of dose classes in this instance is basically a comparison of those with doses estimated using the average method (all class 3) with those estimated using the 9-parameter

日本家屋内にいた者、特に信頼度の高い推定が可能なるほど対象数が多い広島では、結果は期待どおりの傾向をたどる。つまり、線量値は class 1 の方がよい推定値であることは明白である。この場合における線量の精度の比較は、主として平均値を用いて線量を推定した者(すべて class 3)と、9パラメーター法を用いて線量を推定した者(主として class 1 及び少数

method (mostly class 1 with a few class 2 dose). It is not surprising that the 9-parameter method, which considers the position of the survivors relative to the shielding by the house, provides better estimates than the average method which does not take this shielding into account. The elevated odds ratio for severe epilation (and, to a lesser extent, bleeding) in the middle dose range in Nagasaki is difficult to interpret, but indicates an excess for those with doses estimated by the average method.

For those with air doses, the only evidence that class 2 and 3 doses might be more poorly estimated is found for severe epilation in Nagasaki, and here the decrease in odds ratio is limited to the 50-199 rad dose group. It will be recalled that in the method comparisons of the previous section, the only instance in which restricting the analysis to class 1 estimates altered results was for severe epilation in Nagasaki. The reversal of the expected trend seen for bleeding in Nagasaki and severe epilation in Hiroshima is difficult to interpret. Possibly those with class 2 and 3 estimates were subject to shielding that was not adequately taken into account in their dose estimates. This would explain a reduction of the odds ratios for dose class comparisons, but does not explain why this finding is so pronounced in the lowest dose group.

For those with doses estimated using the globe method, numbers are small, but for those with doses exceeding 200 rad, the odds ratios are significantly reduced.

Shielding Category Comparisons

A qualitative classification of the shielding situation of each survivor was made by the interviewer at the time the shielding history was taken. These categories are defined as follows:

- (1) In open and unshielded
- (2) In open or behind some building, but unshielded or partially unshielded
- (3) In open but totally shielded by terrain
- (4) In open but totally shielded by building
- (5) Shielded totally by concrete building
- (6) Shielded totally by Japanese type house or by wooden or light frame building
- (7) Shielded totally by factory building
- (8) In air raid shelter
- (9) Miscellaneous

の class 2 の線量値)との比較である。被爆者の位置と家による遮蔽との関係を考慮する9パラメーター法の方が、個々の遮蔽状況を考慮に入れない平均値を与える方法よりもよい推定値が得られることは驚くにはあたらない。長崎の中間線量域における重度の脱毛(及びそれより程度は低い出血も)の見込比の上昇の解釈は難しいが、平均値を与える方法で線量推定を行った者にそれが多きを指摘している。

空気線量を与えられた者の場合、長崎の重度の脱毛の場合のみに、class 2 及び class 3 の線量推定値の正確性が低かったのではないかとすることを示す証拠が認められた。つまり見込比の減少は50-199 rad 線量群に限定されていた。前節の方法の比較では、解析を class 1 の推定値に限定した場合に結果が変わったのは、長崎の重度の脱毛に関するもののみであったことを想起されたい。長崎の出血、広島 of 重度の脱毛について期待したものと逆の傾向が認められたことは説明し難い。恐らく、class 2 及び class 3 の推定値を有する者の線量推定値に遮蔽効果が十分反映されていなかったのかもしれない。これによって線量の精度の比較における見込比の減少は説明できるが、なぜこの所見が最低線量群にそれほど顕著であるかは説明できない。

Globe 法を用いて線量推定を行った者の例数は少ないが、線量が200 rad 以上の者の場合は見込比は有意に減少する。

遮蔽区分の比較

面接者は、遮蔽歴聴取時に各被爆者の遮蔽状態の質的分類を行った。これらの分類は次のように定義した:

- 1) 戸外にいて遮蔽されていなかった者
- 2) 戸外又は建物の後にいたが、遮蔽されていなかった者、又は部分的にしか遮蔽されていなかった者
- 3) 戸外にいたが、地形によって完全に遮蔽されていた者
- 4) 戸外にいたが、建造物によって完全に遮蔽されていた者
- 5) コンクリート建造物によって完全に遮蔽されていた者
- 6) 日本家屋、あるいは木造や軽構造の建造物によって完全に遮蔽された者
- 7) 工場の建造物によって完全に遮蔽された者
- 8) 防空壕にいた者
- 9) その他

The number of survivors in each shielding category by city and dose estimation method is given in Table 6. The distal group, who with few exceptions have no shielding histories, are excluded from this table.

表6は、各遮蔽区分の被爆者数を、都市及び線量推定法別に示したものである。少数の例外を除いて、遮蔽歴の得られない遠距離被曝群はこの表から除外した。

TABLE 6 NUMBER OF LSS SURVIVORS BY DOSE ESTIMATION METHOD, SHIELDING CATEGORY AND CITY^a

表6 寿命調査集団中の被爆者数；線量推定法、遮蔽区分、及び都市別^a

Shielding Category	Dose Estimation Method				Total
	Air Dose	9-parameter	Average	Globe	
Hiroshima					
1- In open - unshielded	564	2	0	436	1002
2- In open - partially shielded	5	255	0	27	287
3- In open - shielded by terrain	1	1	0	22	24
4- In open - shielded by building	19	10	1	1244	1274
5- Shielded totally by concrete building	3	0	1	189	193
6- Shielded totally by Japanese type house	82	7077	7	53	7219
7- Shielded totally by factory building	13	3	0	0	16
8- In air raid shelter	0	0	0	23	23
9- Miscellaneous	12	0	1	14	27
Unknown ^b	306	1	2003	0	2310
Total	1005	7349	2013	2008	12375
Nagasaki					
1- In open - unshielded	208	0	0	151	359
2- In open - partially shielded	160	201	0	59	420
3- In open - shielded by terrain	101	220	0	502	823
4- In open - shielded by building	18	0	0	252	270
5- Shielded totally by concrete building	1	1	1	457	460
6- Shielded totally by Japanese type house	94	2385	2	29	2510
7- Shielded totally by factory building	742	2	0	54	798
8- In air raid shelter	0	0	0	248	248
9- Miscellaneous	7	6	1	14	28
Unknown ^b	61	0	416	2	479
Total	1329	2815	420	1768	6395

a- Survivors in the distal group and survivors without data on acute symptoms are excluded.
遠距離群の被爆者及び急性症状に関する資料のない被爆者は除外した。

b- These survivors have no shielding histories. Information obtained from mail questionnaires was used to determine their dose estimation method.

これらの被爆者には遮蔽歴がない。郵送質問調査で得た資料を用いて、それぞれの線量推定法を決定した。

It is emphasized that the shielding categories are based on the subjective judgment of the interviewer, while the choice of dose estimation method was based on consideration of far more detailed and extensive information also obtained during the interview. For example, for many of those categorized as being in the open and unshielded (1), the shielding histories indicated that there were nearby buildings or terrain that may have provided some shielding. Thus, attenuation factors for these survivors were calculated using the globe method. On the other hand, air doses were assigned to many survivors other than those categorized as in the open and unshielded, especially in Nagasaki.

Those with doses estimated using the 9-parameter method include primarily survivors in the open and partially shielded (2), in the open and totally shielded by terrain (3), and totally shielded by Japanese type houses (6). Over 97% of survivors in buildings of light construction (6) with shielding histories had their doses estimated with this method, but a few were assigned air doses or had their doses estimated with the globe method. All three dose estimation methods were used for those in categories 2 and 3, especially in Nagasaki.

Those survivors with doses estimated by the globe method are found in several shielding categories. In Hiroshima, however, by far the largest group with doses estimated by the globe method are those in the open but totally shielded by a building (4). The other two relatively large groups are those categorized as unshielded (1) and those categorized as totally shielded by a concrete building (5). In Nagasaki, those with doses estimated by the globe method include survivors in the above three groups as well as fairly sizable groups who were in the open and totally shielded by terrain (3) plus those who were in air raid shelters (8).

In Table 7, odds ratios for those in various shielding categories are presented relative to those in category 6. These results are summarized in Appendix 2C. For the unknown group, results are presented separately for those assigned air doses and those in Japanese type houses whose doses were estimated by the average method. Category 6 is by far the largest group and consists primarily of survivors in Japanese type houses with doses estimated by the

遮蔽区分は面接者の主観的判断に基づくものであるが、線量推定法の選択は、面接中に得た詳細かつ広範な資料に基づいていることを強調したい。例えば、戸外にいて遮蔽されていなかった者(第1区分)として分類した者の多くは、遮蔽歴から、そばに遮蔽となり得る建造物や地形があったことが示された。したがって、これらの被爆者の減弱因子は globe 法を用いて計算した。反面、特に長崎においては、戸外にいて遮蔽されていなかった者として分類した者以外の多数の被爆者に空気線量を与えている。

9パラメーター法を用いて線量推定を行った者は、主として、戸外にいて部分的に遮蔽されていた者(第2区分)、戸外にいたが地形によって完全に遮蔽されていた者(第3区分)、並びに日本家屋によって完全に遮蔽されていた者(第6区分)、である。軽構造の建造物にいて遮蔽歴の得られている被爆者(6)の97%以上は、この方法によって線量を推定しているが、少数の者については空気線量を与えたり、globe法によって線量推定を行った。第2及び第3区分の者、特に長崎のそれには、三つの線量推定法のすべてを用いた。

幾つかの遮蔽分類に、globe法によって線量推定を行った被爆者が含まれていた。しかし広島では、globe法で線量推定を行った最大の群は、戸外にいたが建造物によって完全に遮蔽された者(4)である。そのほか二つの比較的大きい群は、遮蔽されなかった者(1)とコンクリート建造物によって完全に遮蔽された者(5)として分類された群である。長崎では、globe法によって線量推定を行った者は、上記三つの群の被爆者、並びに戸外にいたが地形によって完全に遮蔽された者(3)、及び防空壕にいた者(8)などのかなり大きい群である。

表7では、各遮蔽区分の者の第6区分の者に対する見込比を示した。これらの結果は付録2Cに要約した。不明の群の結果は、空気線量を与えられた者と、平均値を与える方法で線量推定を行った日本家屋内にいた者とに分けて示した。第6区分は最も大きな群であり、主として9パラメーター法で線量推定を行った日本家屋内にいた被爆者からなる。比較

9-parameter method. For some of the comparisons, the numbers are quite small, especially in Nagasaki.

の幾つかでは、特に長崎のものにおいて、例数はかなり少ない。

TABLE 7 SHIELDING CATEGORY COMPARISONS FOR EACH CITY

表7 遮蔽区分の比較, 都市別

Shielding Category to be Compared vs Japanese Type House (Categ 6) ^a	Gamma Dose in rad						
	Hiroshima			Nagasaki			
	0-49	50-199	200+	0-49	50-199	200+	
1- Open - None							
Severe epilation	OR ^b	9.43	1.64	0.63	1.80	1.99	0.53
	CI ^c	(5.15, 17.3)	(1.19, 2.26)	(0.40, 0.98)	(0.48, 6.84)	(0.95, 4.16)	(0.26, 1.09)
	p-value	<0.001	0.003	0.042	0.38	0.067	0.086
Bleeding	OR	2.14	0.57	0.35	1.55	0.79	0.68
	CI	(1.49, 3.08)	(0.45, 0.74)	(0.22, 0.56)	(0.82, 2.90)	(0.50, 1.23)	(0.34, 1.38)
	p-value	<0.001	<0.001	<0.001	0.17	0.29	0.28
2- Open - Partial							
Severe epilation	OR	2.34	2.26	1.09	4.20	2.66	0.80
	CI	(1.06, 10.5)	(1.27, 4.03)	(0.34, 3.51)	(1.78, 9.95)	(1.56, 4.54)	(0.39, 1.63)
	p-value	0.039	0.006	>0.50	0.001	<0.001	0.54
Bleeding	OR	2.19	1.34	0.80	1.29	0.95	0.55
	CI	(1.29, 3.73)	(0.87, 2.06)	(0.31, 2.09)	(0.68, 2.46)	(0.58, 1.55)	(0.26, 1.15)
	p-value	0.004	0.18	>0.50	0.43	0.83	0.11
3- Open - Terrain^d							
Severe epilation	OR				0.46	0.38	0.092
	CI				(0.11, 1.94)	(0.11, 1.31)	(0.014, 0.59)
	p-value				0.29	0.11	0.012
Bleeding	OR				1.13	0.56	0.13
	CI				(0.72, 1.79)	(0.35, 0.91)	(0.021, 0.81)
	p-value				0.60	0.019	0.028
4- Open - Bldg							
Severe epilation	OR	1.99	0.36	0.76	0.92	0.59	0.33
	CI	(0.76, 5.22)	(0.23, 0.59)	(0.52, 1.13)	(0.12, 6.95)	(0.20, 1.71)	(0.13, 0.85)
	p-value	0.16	<0.001	0.18	0.94	0.33	0.021
Bleeding	OR	1.29	0.57	0.84	2.28	0.32	0.71
	CI	(0.85, 1.96)	(0.45, 0.72)	(0.56, 1.28)	(1.26, 4.12)	(0.16, 0.61)	(0.25, 2.02)
	p-value	0.24	<0.001	0.42	0.007	<0.001	>0.50
5- Concrete bldg							
Severe epilation	OR	0.00	0.38	0.14	0.00	0.36	0.09
	CI	-	(0.12, 1.23)	(0.072, 0.28)	-	(0.13, 0.97)	(0.037, 0.23)
	p-value	>0.50	0.11	<0.001	0.28	0.044	<0.001
Bleeding	OR	1.55	0.33	0.39	1.95	0.38	0.11
	CI	(0.69, 3.47)	(0.13, 0.84)	(0.20, 0.75)	(1.06, 3.58)	(0.26, 0.57)	(0.048, 0.27)
	p-value	0.29	0.020	0.004	0.031	<0.001	<0.001
7- Factory^d							
Severe epilation	OR				0.00	0.19	0.20
	CI				-	(0.089, 0.39)	(0.093, 0.42)
	p-value				0.32	<0.001	<0.001

(Continue 続<)

TABLE 7 表 7 (Continued 続き)

Shielding Category to be Compared vs Japanese Type House (Categ 6) ^a		Gamma Dose in rad					
		Hiroshima			Nagasaki		
		0-49	50-199	200+	0-49	50-199	200+
Bleeding	OR				1.32	0.32	0.94
	CI				(0.58, 3.03)	(0.23, 0.44)	(0.48, 1.86)
	p-value				0.51	<0.001	>0.50
Average							
Severe epilation	OR	0.97	0.66	0.16	0.64	2.67	0.43
	CI	(0.41, 2.32)	(0.45, 0.95)	(0.095, 0.26)	(0.093, 4.45)	(1.37, 5.19)	(0.12, 1.51)
	p-value	>0.50	0.028	<0.001	>0.50	0.004	0.19
Bleeding	OR	0.80	0.72	0.45	0.93	1.55	0.63
	CI	(0.58, 1.10)	(0.58, 0.84)	(0.28, 0.71)	(0.45, 1.92)	(1.03, 2.35)	(0.19, 2.08)
	p-value	0.16	0.003	<0.001	>0.50	0.037	0.45
Unshielded ^c Without Histories							
Severe epilation	OR	5.95	0.62	0.40			
	CI	(2.58, 13.7)	(0.30, 1.29)	(0.17, 0.94)			
	p-value	<0.001	0.20	0.036			
Bleeding	OR	1.56	0.49	0.40			
	CI	(0.88, 2.77)	(0.31, 0.78)	(0.20, 0.82)			
	p-value	0.13	0.002	0.013			

- a- 1- Open - None 戸外-遮蔽なし = in open and unshielded. 戸外にいて遮蔽されていなかった。
 2- Open - Partial 戸外-部分 = in open but partially shielded. 戸外にいたが、部分的に遮蔽されていた。
 3- Open - Terrain 戸外-地形 = in open but totally shielded by terrain. 戸外にいたが、地形で完全に遮蔽されていた。
 4- Open - Bldg 戸外-建造物 = in open but totally shielded by building. 戸外にいたが、建造物で完全に遮蔽されていた。
 5- Concrete bldg コンクリート = totally shielded by concrete building. コンクリート建造物により完全に遮蔽されていた。
 7- Factory 工場 = totally shielded by factory building. 工場の建造物で完全に遮蔽されていた。
- b- OR=odds ratio relative to Japanese type house (categ 6).
 日本家屋内にいた者(第6区分)に対する見込比。
- c- CI=95% confidence interval for odds ratio.
 見込比の95%信頼区間。
- d- The number of Hiroshima survivors in categories 3 and 7 is too small for meaningful analysis.
 第3及び第7区分における広島島の被爆者数は、有意な解析を行うには少な過ぎる。
- e- The number of Nagasaki survivors in this category is too small for meaningful analysis.
 この区分における長崎の被爆者数は有意な解析を行うには少な過ぎる。

For bleeding in Hiroshima, results of the comparison of in open-unshielded (1) and totally shielded by Japanese type house (6) are quite similar to those obtained in the comparison of those assigned air doses and those in Japanese type houses reported earlier. This is true despite the fact that the unshielded group in Hiroshima includes many with doses estimated with the globe method that were not included in the earlier comparison, while the earlier Japanese type house group included many in open-partially shielded (2) as well as those with doses estimated by the average method (no shielding histories) that are not included in the present comparison. For severe epilation, these changes do not reduce the significant differences in the lowest dose range, but do alter results in the higher dose ranges. A significant excess for the unshielded is now seen in the 50-199 rad group while a significant deficit is seen in 200+ rad group. In Nagasaki the groups being compared in Table 7 (in the open and unshielded (1) vs. totally shielded by Japanese type house (6)) also differ in the ways noted above from the earlier comparison of those with air doses and those in Japanese type houses. In addition, there is a fairly large number of survivors in Nagasaki who were assigned air doses but who were not included in the unshielded group. (As noted earlier, a large number of factory workers have not been included in the analyses of this paper but are included in Table 6.) Because of these differences, it is not surprising that the comparison of categories 1 and 6 in Table 7 does not show the significant differences seen earlier in the comparison of those with air dose and those in Japanese type houses (Table 4). In Hiroshima, results for the unknown group assigned air doses are very similar to those for the unshielded group. In Nagasaki, there are too few survivors in this category for a meaningful analysis.

In an attempt to clarify the above results, two additional comparisons were made. First, the unshielded who were assigned air doses were compared with the unshielded whose doses were estimated by the globe method. No significant or even suggestive differences were found, but of course numbers are small. Secondly, for those assigned air doses in Nagasaki, the unshielded were compared with those in other categories excluding the factory group. This comparison indicates that for those with doses over 50 rad, the unshielded group has signifi-

広島の出血の場合、戸外にいて遮蔽されなかった者(1)と日本家屋によって完全に遮蔽されていた者(6)との比較の結果は、先に述べた、空気線量を与えた者と日本家屋内にいた者との比較で得たものとかかなり近似している。広島の遮蔽されていなかった群の中に、以前の比較の際含まれていなかった globe 法によって線量を推定した多くの例が含まれており、一方、前述の日本家屋内群には、戸外にいて部分的に遮蔽されていた者(2)が多数含まれ、かつ今回の比較に含めなかった平均値を与えて線量推定を行った者(遮蔽歴のない者)が含まれているという事実にもかかわらず、このことは事実である。重度の脱毛の場合、これらの変化によって、最低線量域における有意な差が減少することはないが、高線量域における結果は変わる。遮蔽されていなかった者は、現在のところ50-199 rad 群に有意に多いが、200+ rad 群では有意に少ないことが認められる。長崎では、表7で比較している群(戸外にいて遮蔽されていなかった群(1)と日本家屋によって完全に遮蔽されていた群(6)との比較)も、空気線量の与えられている者と日本家屋内にいた者とを比べた以前の比較結果とは上記の点で異なってくる。その上、長崎には、空気線量を与えられてはいるが、遮蔽されていなかった群に含まれていない被爆者がかなり多数みられる。(先に述べたように、本報の解析には多数の工場労働者を含めなかったが、表6には含めた)これらの差によって、表7の第1、第6区分との比較が、先に空気線量を与えられた者と日本家屋内にいた群との比較(表4)で認められたような有意な差を示さないことは驚くにはあたらない。広島では、空気線量を与えられた不明群の結果は、遮蔽されていなかった群の結果と酷似している。長崎では、有意な解析を行うには、この区分の被爆者はあまりにも少ない。

上記の結果を明らかにするため、更に二つの比較を行った。第一に、同じく遮蔽されていなかった者のうち、空気線量を与えられた者と globe 法によって線量を推定した者との比較を行った。有意な、又は示唆的な差は認められなかった。もっとも数そのものが少なかった。第二に、空気線量を与えられた長崎の者については、遮蔽されていなかった者と、工場群を除くその他の区分との比較を行った。この比較では、線量が50 rad 以上である者において遮蔽されていなかった群には、その他の区分の者よりも、重度の

cantly more survivors reporting severe epilation than those in other categories. Regarding bleeding no significant differences were found however. Thus, the deficiency for severe epilation for those with air doses seen in Table 4 is more pronounced for those in categories other than the unshielded. Dose estimates of survivors in these categories were nearly all judged class 2 or 3 (in fact this comparison is quite similar to the class comparison for the air dose group presented in Table 5).

The comparison of those in open but partially shielded by buildings (2) with those totally shielded by Japanese type houses (6) is mainly a comparison within the 9-parameter method. This comparison was repeated with restriction to those with doses estimated by the 9-parameter method with similar results to those reported in Table 7. Those in shielding category 2 show significantly more survivors reporting severe epilation in the lower dose groups for both cities. This result suggests that doses of survivors in category 2 could be underestimated relative to category 6. In addition, those in the lowest dose group in Hiroshima show a significant excess for bleeding. It should be noted that the Marcum correction was applied for all doses estimated by the 9-parameter method, that is for both groups involved in this comparison.

In addition to categories 2 and 6, the Japanese type house group includes those with doses estimated by the average method. For survivors in this group in Hiroshima, the response for both symptoms in all but the low dose range is significantly lower than the response for those in shielding category 6. The differences are especially large in the highest dose range. In Nagasaki, the response rate for both symptoms is significantly elevated for the average group in the middle dose range. This comparison is very similar to the comparison of dose classes for those in Japanese type houses presented in Table 5. Again it is noted that the Marcum correction was applied for both groups involved in this comparison.

Analyses given earlier showed that when compared to those in Japanese type houses, those with doses estimated by the globe method exhibited more acute effects than expected for those with doses less than 50 rad, but less effects than expected for those with higher doses

脱毛を報告する被爆者が有意に多いことが認められる。しかし、出血については有意な差は認められなかった。したがって、表4で空気線量を与えられた者にみられる重度脱毛例数は少ないが、これは遮蔽されていなかった者以外の区分に属する者において一層顕著である。これらの区分に属する被爆者の線量推定値は、ほとんどすべて class 2 又は class 3 と判定された(この比較は表5に示した空気線量群の精度の比較にかなり近似している)。

戸外にいたが、建物によって部分的に遮蔽されていた者(2)と日本家屋により完全に遮蔽された者(6)との比較は、主として9パラメーター法内での比較である。この比較は、対象を9パラメーター法によって線量を推定した者に限定して繰り返し行い、表7で述べたものと同様の結果を得た。第2区分の者では、両市とも低線量群に重度の脱毛を報告する被爆者が有意に多いことが認められる。この結果は、第2区分の被爆者の線量が第6区分に比べ過少評価される可能性のあったことを示唆する。その上、広島での最低線量群では出血が有意に多いことも認められている。この比較を行った両群とも、9パラメーター法によって推定した線量のすべてに対して、Marcum訂正法を適用したことに注目されたい。

日本家屋内群は、第2及び第6区分のほかに、平均値を与える方法によって線量推定を行った者をも含む。広島でのこの群の被爆者については、低線量域以外のすべてにおける両症状の反応は、第6区分の者の反応より有意に低い。この差は、最高線量域で特に大きい。長崎における中間線量域の平均法群では、両症状の反応率が有意に上昇している。この比較は、表5で示した日本家屋内にいた者における各線量精度の比較に酷似している。また、この比較の対象となった両群にも、Marcum訂正法を適用したことに注目されたい。

初めに述べた解析では、日本家屋内にいた者に比べて globe 法で線量を推定した者において、線量が50 rad未達の者では予想したよりも多くの急性の影響を示したが、線量の高い者では予想したよりも影響が少ないことが認められた(ただし、長崎では重度の

(although no excess was seen in the low dose group for severe epilation in Nagasaki). These same trends are reflected in Table 6 in the results for those in the open and totally shielded by a building (4). Those in the open and shielded by terrain (Nagasaki only), and those in concrete buildings and totally shielded (5) also exhibit these trends and show particularly large deficiencies for those with doses exceeding 200 rad. The category 5 group includes many survivors located within 800m of the hypocenter whose doses were estimated by multiplying a large air dose by a small transmission factor. The results given in Table 7 suggest that there could be large dose estimation errors for those in this shielding category.

The one remaining category with a fairly large number of survivors with doses estimated by the globe method is the air raid shelter group (8) in Nagasaki. Because over half the survivors in this group have estimated doses of 0 rad, and because almost no survivors in category 6 (or other shielding categories) have 0 rad doses, comparisons of the air raid shelter group with category 6 are very limited (no significant differences were found however). However, the proportion of those in the air raid shelter group (with 0 rad doses) reporting bleeding is significantly higher than for others with 0 rad doses in the distal group. None of the air raid shelter group with 0 rad doses reported severe epilation.

Finally, those survivors in factories (7), most of whom have been excluded from other analyses in this paper, are seen to exhibit significantly fewer symptoms than those in category 6. In a supplementary analysis (not shown), this group was also found to exhibit fewer symptoms than other survivors assigned air doses. This factory group consists mainly of workers in the Mitsubishi factories who were assigned transmission factors of 0.90.

The differences in the dose-response relationship for various shielding categories will affect comparisons between cities especially for those with doses estimated by the globe method. Even though the city comparisons presented earlier were conducted separately for each dose estimation method, from Table 6 it can be seen that there are important differences between cities in the distribution of survivors by shielding

脱毛は低線量群では過剰はみられなかった)。これらの傾向は、表6の戸外にいて建物に完全遮蔽されていた者(4)の結果に反映されている。戸外にいて地形に遮蔽されていた者(長崎のみ)、及びコンクリート建造物にいて完全に遮蔽されていた者(5)もこれらの傾向を示し、線量が200radを超える者においては特に対象者数が少ないことが認められる。第5区分の群は、爆心地から800m未満で被曝したもので、大きい空気線量に小さい透過率を乗じて線量を推定した多数の被爆者からなる。表7に示した結果は、この遮蔽区分の者の線量推定には大きい誤差があり得ることを示唆する。

Globe法によって線量を推定した被爆者がかなり多く含まれる残り一つの区分は、長崎の防空壕にいた群(8)である。この群の被爆者の半数以上が線量を0radと推定されており、また第6区分(又はその他の遮蔽区分)には線量が0radである被爆者はほとんどいないので、防空壕群と第6区分との比較は非常に限られたものとなる(ただし、有意な差は認められなかった)。しかし、防空壕にいた群(線量0rad)で出血があると答えた者の割合は、遠距離群におけるその他の0rad線量の者よりも有意に高い。線量が0radであった防空壕群には重度の脱毛を報告した者はいなかった。

最後に、そのほとんどが本報における他の解析から除外されている工場にいた被爆者の群(7)は、第6区分の群よりも症状が有意に少ない。また、補足的な解析(ここでは示していない)では、この群は空気線量を与えられた他の被爆者よりも症状が少ないことが認められた。この工場にいた群は、主として透過率0.90を与えられた三菱の工場の労働者からなる。

各遮蔽区分における線量反応関係の差は、両市間、特にglobe法によって線量推定を行った者についての比較に影響を及ぼす。先に述べた両市間の比較は、各線量推定法別に行ったのであるが、表6から、各方法によって遮蔽区分別の被爆者分布に両市間で重要な差のあることが分かる。例えば、広島市の被爆者

category within methods. For example, most Hiroshima survivors with air doses are in category 1 (unshielded) while in Nagasaki, survivors with air doses are distributed over a variety of categories. For those with doses estimated using the globe method, the Hiroshima group consists primarily of those in open - totally shielded by a building (4) while the Nagasaki group is a mixture of several categories. Of particular importance is the fact that the Nagasaki group includes proportionally more survivors in open - totally shielded by terrain (3) and totally shielded by concrete building (5), both of which show weak dose-response relationship.

Because of these differences, city comparisons of the type presented in Table 3 were repeated with control for shielding category. This does not greatly affect results for those in Japanese type houses or for those with air doses, but does tend to reduce the odds ratios of those with doses estimated by the globe method in the highest dose range. With LLNL doses, these differences are no longer significant for bleeding (B=1, 5, 10) and are significant for severe epilation only for B=1. With ORNL doses, differences are not significant for bleeding with B=5, 10 and are not significant for severe epilation with B=10.

For those with air doses, the odds ratio for severe epilation in the high dose range is still significantly elevated for both dosimetries when the shielding category is controlled, but the p-value is increased (from <0.001 to 0.014 with B=5 and LLNL doses). For the high dose range, the unshielded air dose group in Hiroshima has a higher proportion reporting severe epilation than either the unshielded air dose group in Nagasaki or those in other shielding categories assigned air doses in both cities. The excess for this group is small, however - only about five cases with B=5 and LLNL doses.

For those in Japanese type houses, the small odds ratio for severe epilation in the low dose range is increased only slightly when the shielding category is controlled, but then the ratio no longer differs significantly from unity. This is true for both dosimetries and all values of B. The reduced odds ratio for bleeding in the middle dose range with LLNL doses is also no longer significantly different from unity when the shielding category is controlled. However,

で空気線量を与えられた者はほとんど区分1(遮蔽されなかった群)に属するが、長崎では、空気線量を与えられた被爆者は各区分にわたって分布している。Globe法を用いて線量推定を行った者については、広島群は主として、戸外にいて建造物によって完全遮蔽されていた者(4)からなるが、長崎群は幾つかの区分の混合である。特に重要であるのは、長崎群には、戸外にいて地形に完全に遮蔽され(3)、又はコンクリート建造物によって完全に遮蔽されていた(5)被爆者の割合が高く、そのいずれもが弱い線量反応関係を示している。

これらの差があるため、遮蔽の分類について調整を行い、表3に示すような両市間の比較を繰り返した。これによって日本家屋内にいた者や空気線量を与えられた者の結果は余り影響を受けなかったが、最高線量域において線量を globe 法によって推定した者の見込比は減少する傾向がある。LLNL 線量を使用した場合、これらの差は出血(B=1, 5, 10)についてはもはや有意ではなくなるが、重度の脱毛についてはB=1の場合にのみ有意である。ORNL 線量の場合、出血がB=5及び10であるもの、また重度の脱毛がB=10であるものについては、差は有意ではない。

空気線量を与えられた者については、遮蔽区分を調整した場合は、高線量域における重度の脱毛の見込比は、いずれの線量推定においても依然として有意に上昇しており、p値も増加する(B=5及びLLNL線量では、<0.001から0.014まで)。高線量域においては、広島群の遮蔽されなかった空気線量群は、長崎群の遮蔽されなかった空気線量群又は両市の空気線量を与えられたその他の遮蔽区分の者のいずれよりも、重度の脱毛を報告する割合が高い。ただし、この群における増加は小さく、B=5及びLLNL線量の場合約5例にすぎない。

日本家屋内にいた者の場合、低線量域での重度の脱毛の小さい見込比は、遮蔽区分を調整した場合ごくわずかしこ増加しないが、このときその比率と1との間にもはや有意な差はない。これは、いずれの線量推定についても、またBのすべての値についても認められる。LLNL線量を用いた場合も、中間線量域で出血の見込比が減少した場合、遮蔽区分を調整すればもはや1との間に有意な差はなくなる。ただし、

for those with doses estimated by the average method the odds ratios for both severe epilation and bleeding and for both dosimetries are significantly less than unity in the middle dose range. Perhaps this result could have been predicted from the results presented in Table 7 comparing the average group with shielding category 6.

Transmission Factors

The analyses discussed in this section are aimed at evaluating the transmission factors calculated using either the 9-parameter formula or the globe method. In the previous section, significant differences were found when comparing shielding categories in open - partially shielded (2) and totally shielded by Japanese type house (6) within the 9-parameter method. In addition significant differences were identified when comparing shielding categories in open and unshielded (1), in open but totally shielded by terrain (3), in open but totally shielded by building (4), and totally shielded by concrete building (5) for the globe method. These differences could reflect problems in the transmission factors used for certain shielding categories.

To further examine the estimated transmission factors, analyses were conducted which were controlled for distance from the hypocenter (in 100 rad intervals). The range of the transmission factor for each method (9-parameter and globe) was then subdivided into five intervals, and observed and expected numbers of acute effects were calculated for each interval. The linear trend test of Mantel¹⁹ was then used to determine if acute symptom effect rates increased with the value of the transmission factor once distance was controlled. Since at a given distance, the estimated dose increases with the value of the transmission factor, one would expect a corresponding increase in acute effects rates. Separate analyses were conducted for the 9-parameter method and the globe method, for gamma ray and neutron transmission factors and for the two cities (that is there were eight analyses for severe epilation and eight for bleeding).

The results of these analyses can be readily summarized, since in every case the acute effect rates showed significant increases with the value of the transmission factor. This was true even for the neutron transmission factors in Nagasaki, a result which can probably be attributed to the

平均値を与える方法で線量を推定した者の場合は、重度の脱毛と出血の双方、並びに両線量推定における見込比は、中間線量域では1より有意に少ない。この結果は恐らく、平均法群と遮蔽区分6とを比較した表7にみられる結果から予測できたと思われる。

透過率

この項で述べる解析は、9パラメーター方式又はglobe法のいずれかを用いて透過率の評価を行うことを目的とする。前項では、9パラメーター方式を適用された戸外にいて部分的に遮蔽されていた者(2)と、日本家屋内にいて完全に遮蔽されていた者(6)の遮蔽区分を比較し、有意な差が認められた。更に、globe法を適用した者、すなわち戸外にいて遮蔽されていなかった者(1)、戸外にいたが地形によって完全に遮蔽されていた者(3)、戸外にいたが建造物によって完全に遮蔽された者(4)、及びコンクリート建造物によって完全に遮蔽されていた者(5)の各遮蔽区分を比較した場合にも、有意な差が確認された。これらの差は、特定の遮蔽区分に用いられた透過率における問題を反映するものと考えられた。

推定した透過率を更に吟味するため、爆心地からの距離を(100rad間隔に)調整して解析を行った。次いで各方法(9パラメーター方式及びglobe法)における透過率の範囲を五つに細分し、各区分ごとに急性影響の観察数及び期待数を算定した。次にMantel¹⁹の線形傾向検定を用いて、いったん距離を調整したならば急性症状の影響率は透過率の値とともに増加するかどうかを調べた。ある一定の距離の推定線量は透過率の値とともに増加するので、それに対応する急性影響率の増加が期待される。9パラメーター方式及びglobe法について、ガンマ線及び中性子透過率、並びに両市について別々に解析を行った(すなわち、重度の脱毛及び出血についてそれぞれ八つの解析を行った)。

いずれの場合においても、急性影響率は透過率の値とともに有意な増加を示したので、これらの解析の結果は容易に要約できる。このことは、長崎の中性子透過率についても言えたが、この結果は恐らく(長崎の中性子線量は極めて少ないので)、これらの

high correlation of these factors with the gamma ray transmission factors (since there is very little neutron exposure in Nagasaki).

Further analyses of this type were conducted in which each shielding category was evaluated separately. These comparisons indicate that only for shielding category totally shielded by Japanese type house (6) is there fairly clear evidence that those with larger transmission factors have higher acute effect response rates than those with smaller factors. However, these comparisons are based on fairly small numbers so that failure to identify significant trends may simply be due to lack of power of the tests conducted.

In summary, it can be stated that the transmission factors do serve to quantify the difference in shielding between those in the various shielding categories, but, with the exception of the 9-parameter method as applied to those in Japanese type houses, there is little evidence that the transmission factors provide further meaningful differentiation of dose within shielding categories.

Circular Symmetry

All dosimetries (T65DR, LLNL, and ORNL) for LSS subjects that have been proposed to date have been based on the assumption that air doses are symmetric about the hypocenter. It is possible however that asymmetries in the distribution of doses could result from a tilt in the axis of the Hiroshima bomb, from gamma radiation originating from fission products, or from immediate fallout of radioactive particles. These possibilities are discussed in greater detail by Peterson et al,²⁰ who recently investigated the circular asymmetry of cancer mortality and found that in Hiroshima mortality from stomach cancer, leukemia, and colon cancer is significantly higher in the westerly direction. Although these findings provide some support for the possibility of dose asymmetries, Peterson et al interpret their findings as more likely resulting from asymmetries of other risk factors such as socio-economic status and smoking. This interpretation is supported by the fact that in general the evidence for asymmetries is no greater for those survivors exposed within 1,600 m from the hypocenter than for those exposed more than 1,600 m from the hypocenter.

因子とガンマ線透過率との高い相関によるものと考えられる。

この種の解析を更に進め、各遮蔽区分を別々に評価した。これらの比較では、日本家屋によって完全に遮蔽された遮蔽区分(6)の場合においてのみ、透過率の大きい者は、小さい者よりも高い急性影響反応率を示すかなり明白な兆候のあることが認められる。しかし、これらの比較はかなり少ない数に基づいているので、有意な傾向を確認できなかったのは、単に実施した検定力の不足によるのかもしれない。

要するに、透過率は各遮蔽区分間の遮蔽度の差を定量するのに役立つと言えるが、9パラメーター方式を日本家屋内にいた者に適用した場合を除けば、透過率が遮蔽区分間で更に有意な線量差をもたらすという証拠はほとんどない。

円形対称性

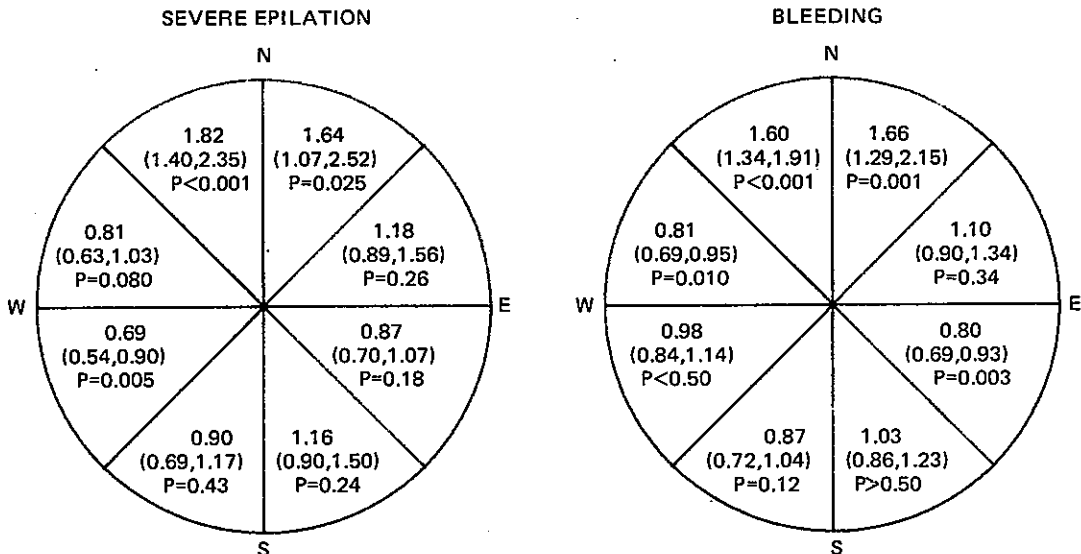
今日までに提案されてきた寿命調査対象者に関する線量推定(T65DR, LLNL, 及び ORNL)は、いずれも、空気線量は爆心地を中心に対称的であるとの推測に基づいている。しかし線量分布の非対称性が、広島原爆の軸の傾斜、核分裂物質から生じるガンマ放射線、又は放射性粒子の直接降下物によって起こった可能性がある。Petersonら²⁰は最近癌死亡率の円形非対称性調査を行い、広島における胃癌、白血病、及び結腸癌の死亡率は、西部方面が有意に高いことを認めており、上記の可能性について詳細な考察を行っている。これらの所見は、線量が非対称性である可能性を支持しているが、Petersonらは、自身の所見が、社会経済的状態及び喫煙のようなその他のリスク因子の非対称性による可能性が大きいと解釈している。この解釈は、相対的に言って非対称性傾向が、爆心地から1,600m未満の被爆者でも1,600m以遠被曝の者でも、さして差はないことによって裏付けられている。

Data on acute symptoms have been analyzed with respect to circular symmetry with results presented in Figures 9 and 10 and Table 8. For these analyses, each city was divided into octants and the odds ratio for each octant was calculated relative to the remaining seven octants. All analyses are controlled for LLNL gamma ray and neutron doses as well as for age and sex. The analyses presented in Figures 9 and 10 and in the first three columns of Table 9 include only survivors exposed within 1,600 m from the hypocenter in Hiroshima and within 2,000 m from the hypocenter in Nagasaki and are controlled for dose estimation method (air dose, Japanese type house, and globe). Table 8 includes separate odds ratios for the low, middle, and high dose ranges as well as analyses of the distal groups. To keep this table to a reasonable length, confidence intervals and p-values are not given; instead statistical significance is indicated by asterisks.

円形対称性について急性症状の資料の解析をし、図9及び10、並びに表8に示した結果を得た。これらの解析では各市を8分円に分割し、各8分円の見込比を残り七つの8分円に対応させて計算した。いずれの解析も、LLNLガンマ線及び中性子線量、並びに年齢及び性について調整を行った。図9及び10、並びに表9の初めの三つの欄に示した解析は、広島では爆心地から1,600 m未満、長崎では2,000 m未満の被爆者のみを対象とし、線量推定法(空気線量, 日本家屋, 及び globe)について調整を行った。表8は、低、中、高の線量域における各見込比と、遠距離群の解析を示したものである。この表があまり長くないよう信頼区間とp値は示さず、代わりに※印によって統計的有意性を示した。

FIGURE 9 OCTANT COMPARISONS FOR HIROSHIMA SURVIVORS EXPOSED WITHIN 1,600 m^a

図9 広島の1,600 m未満の距離で被爆した者に関する8分円別比較

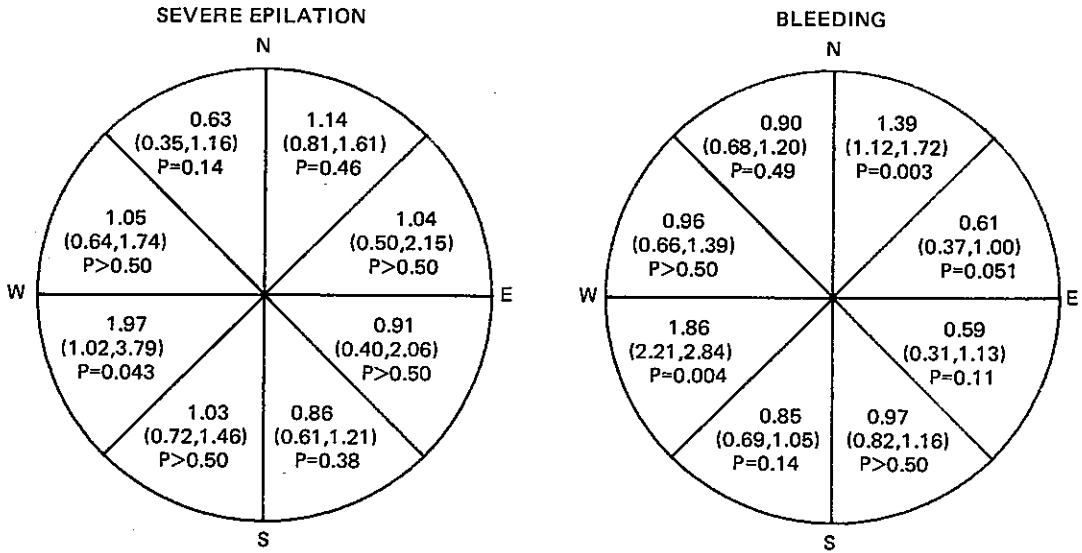


a- Odds ratios of each octant relative to the remaining seven octants are presented with 95% confidence intervals and p-values.

各8分円の残り七つの8分円に対する見込比を、95%信頼区間及びp値で示した。

FIGURE 10 OCTANT COMPARISONS FOR NAGASAKI SURVIVORS EXPOSED WITHIN 2,000m^a

図10 長崎の2,000m未満の距離で被曝した者に関する8分円別比較



a- Same footnote as in Figure 9. 図9と同じ脚注。

TABLE 8 OCTANT COMPARISONS^a

表8 8分円の比較^a

		Gamma Dose in rad								
		Hiroshima				Nagasaki				
		Within 1600 m				Within 2000 m				
		0-49	50-199	200+	Distal	0-49	50-199	200+	Distal	
Severe epilation	West:	NNW ^a	0.38	2.27**	1.79*	0.50*	0.29	0.76	0.66	0.84
		WNW	0.39	0.57**	1.34	0.93	1.32	1.03	1.06	0.00
		WSW	0.78	0.58**	0.88	1.29	0.00	1.45	4.32*	0.00
		SSW	1.82	0.89	0.69	1.11	2.15	0.95	0.76	0.59
	East:	NNE	1.20	3.11**	0.75	0.88	1.71	1.35	0.63	3.51
		ENE	1.19	1.18	1.17	1.16	0.36	0.68	2.01	1.24
		ESE	1.07	1.00	0.67*	1.17	0.00	2.37	0.61	0.61
		SSE	1.70	1.05	1.14	0.92	0.53	0.77	1.25	1.50
Bleeding	West:	NNW	1.13	2.11**	1.18	1.04	1.02	0.90	0.51	2.23**
		WNW	0.95	0.68**	1.13	0.89	0.56	0.87	1.82	1.49
		WSW	1.02	0.98	0.91	1.04	2.43	2.04**	1.06	0.00
		SSW	1.05	0.85	0.63	1.02	0.97	0.83	0.71	1.03
	East:	NNE	1.29	2.29**	2.41	1.15	1.14	1.35*	2.84**	0.92
		ENE	1.16	1.07	1.14	0.99	0.49	0.60	0.95	0.59
		ESE	0.71*	0.82*	0.89	0.85*	0.26*	1.00	0.75	0.41**
		SSE	0.96	1.05	1.07	1.07	1.17	0.92	0.76	1.03

*Significantly different from unity at the 0.05 level. 0.05の水準で1と有意に異なる。

**Significantly different from unity at the 0.01 level. 0.01の水準で1と有意に異なる。

a- Odds ratio of each octant relative to the remaining seven octants. 各8分円の残り七つの部分との間の見込比の比較。

TABLE 9 NUMBER OF LSS SURVIVORS BY CLASS OF DOSE ESTIMATION, SHIELDING CATEGORY AND CITY^a

表9 寿命調査集団中の被爆者数；線量推定の精度，遮蔽区分，及び都市別^a

Shielding Category	Hiroshima			Nagasaki		
	Class			Class		
	1	2	3	1	2	3
Unknown	1	0	2309	1	1	477
1-In open - unshielded	761	286	0	291	67	1
2-In open - partially shielded	268	17	2	197	198	25
3-In open - shielded by terrain	8	16	0	163	660	0
4-In open - shielded by building	1156	117	1	209	61	0
5-Shielded totally by concrete building	0	7	186	6	21	433
6-Shielded totally by Japanese type house	7065	112	42	2223	285	2
7-Shielded totally by factory building	3	13	0	2	789	7
8-In air raid shelter	3	12	8	223	25	0
9-Miscellaneous	6	17	4	6	20	2

a- Survivors in the distal group and survivors without data on acute symptoms are excluded.

遠距離群中の被爆者，及び急性症状に関する資料のない被爆者は除外した。

The results presented in Figure 9 show significantly elevated odds ratios for both severe epilation and bleeding for survivors exposed in the northern part of Hiroshima (NNW and NNE octants). For severe epilation, there is a significant deficiency in the WSW octant, while for bleeding there are significant deficiencies in the WNW and ESE octants. Other symptom combinations were analyzed and also show excesses to the north of Hiroshima. From Table 8 it can be seen that the observed trends are strongest for those in the middle dose range, and that the distal group does not show the same asymmetries exhibited by survivors exposed closer to the hypocenter. More detailed examination of the results does not reveal any important differences in asymmetries for different dose estimation methods. However, the asymmetries seen in Figure 9 are especially strong for survivors exposed between 1,100 and 1,200 m from the hypocenter.

In Nagasaki (Figure 10 and Table 8) significant excesses are observed in the WSW direction for both symptoms. For severe epilation, this excess is strongest in the high dose range, while for bleeding the excess is confined to the middle and low dose ranges. In addition bleeding shows a significant excess in the NNE direction which increases with dose. It is perhaps worth noting that a WSW excess was also observed for lung cancer in the Peterson et al analysis.

図9にみられる結果は，広島市の北部（北北西及び北北東8分円）で被爆した者における重度の脱毛及び出血の双方に関する見込比の有意な上昇を示す。重度の脱毛は西南西8分円で有意に少なく，出血は西北西及び東南東の両8分円で有意に少ない。その他の症状の組み合わせについて解析を行ったところ，それらについても広島市の北部に多発したことが認められた。表8によれば，認められた傾向は中間線量域の者が最も強く，また遠距離群では，爆心地に近い被爆者が示すのと同じ非対称性は示さない。結果を詳細に検討したところ，それぞれの線量推定法による非対称性には重要な差は認められない。しかし図9に見られる非対称性は，爆心地から1,100-1,200 mの間の被爆者に特に強い。

長崎（図10及び表8）では，両症状とも西南西の方角に有意に多いことが認められている。重度の脱毛は高線量群に最も多いが，出血が多いのは中・低線量域に限られる。その上，出血は北北東の方角に有意に多く認められ，この傾向は線量とともに増加する。Petersonらの解析で肺癌も西南西の方角に多いことが観察されたことは注目に値する。

Because Peterson et al controlled their analyses for distance and shielding category instead of dose, repeat analyses of acute symptom were made using this same approach. Results do not differ from those presented in any important way. Also we have conducted some analyses of cancer mortality using the methodology of this paper (with person-years substituted for cell counts). Results of these analyses are in general agreement with those presented by Peterson et al.

DISCUSSION

Interpretation of the findings described above is not easy and a number of points should be kept in mind in proposing an interpretation. First, a large number of statistical tests have been conducted, so some false positive findings are to be expected. Second, the statistical procedures used do not take account of the fact that observations for different survivors may be correlated (for example, one person may have reported for other members of the family or the same interviewer may have conducted the shielding history for several survivors in a particular location). Third, some survivors may be more likely than others to recall and report the occurrence of symptoms. Finally, the occurrence of symptoms as well as survival of the subject may be related to the situation of the subject in the weeks immediately following the bomb. Those who were able to obtain good medical care, eat good food, obtain adequate rest, and so on, may have been less likely to develop symptoms and more likely to survive. It is not obvious how bias resulting from the above factors is related to city, dose estimation method, and other factors considered in this paper, but the possibility that such bias could affect results certainly cannot be ruled out.

The simplest explanation (although not the only one) for many of the results obtained is that doses of survivors in certain situations are subject to more random error than doses of survivors in other situations. As noted earlier, such error will result in a weakening of the dose-response relationship, so that when a group with large error is compared with another group with smaller error, the odds ratios will decrease with dose. Thus one explanation of many of the results in Table 4 is that those with air doses and those with doses estimated by the globe method are subject to a greater amount of error

Peterson らは線量の代わりに、距離及び遮蔽区分で調整を行ったので、同じ方法を用いて急性症状の再解析を行った。結果は、示されたものときほど異ならなかった。また、本報の方法により(人数の代わりに人年を用いて)癌死亡率の解析を若干行った。これらの解析の結果は、Peterson らが発表したものとおおむね一致している。

考 察

上記の所見の解釈は容易なものでなく、解釈に際しては幾つかの点を銘記する必要がある。第一に、多数の統計的検定が行われているので、若干の疑陽性所見があることは予期される。第二に、用いられた統計的方法は、個々の被爆者に関する観察に相関性があり得ることが考慮されていない(例えば、ある者は自分のほか家族内の他の者について報告しているかもしれないし、また同一面接者が特定の場所で被爆した数人の者の遮蔽歴を聴取していることもあり得る)。第三に、一部の被爆者は他の者よりもよく症状の発現を思い出して報告するかもしれない。最後に、対象者の症状の発現とその後の生存は、原爆直後の数週間の間における対象者の状態と関係があるとも考えられる。十分な治療を受け、十分な食物を食べ、適当に休養することなどが可能であった者は、症状の発現は少なく、生存の可能性は多かったかもしれない。上記の因子に由来する偏りが都市、線量推定法、及び本報で考慮されたその他の因子とどのような関連があるかは明らかでないが、この偏りが結果に影響を及ぼす可能性は、明らかに否定できない。

今回得た多くの結果に対する最も単純な説明は、それ一つとは限らないが、ある特定の状態における被爆者の線量は、その他の状態における被爆者の線量よりも無作為の誤差を生じやすいということである。前述のように、このような誤差は線量反応関係の弱화를招くので、誤差の大きい群と誤差の小さいその他の群とを比較すると、見込比は線量とともに減少する。したがって、表4における多くの結果に対する一つの説明としては、空気線量を与えられた者と globe 法で線量を推定した者は、日本家屋にいた者に比べて、もっと多くの誤差が生じやすいことが挙げられる。更に表7の結果では、日本家屋に

than those in Japanese type houses. Further, the results of Table 7 could indicate that those totally shielded by Japanese type house (6) are subject to less dose estimation error than those in other categories. Doses of survivors in open - shielded by terrain (3), shielded totally by concrete building (5), and shielded by factory building (7) seem to be subject to especially large errors as evidenced by the small odds ratios in the highest dose range. It should be emphasized that since these findings are based on comparisons within cities they are fairly independent of the choice of air dose curves (LLNL, ORNL or T65DR).

There are a number of oddities in the results presented which have no obvious explanation. These include the excess of severe epilation for those with Hiroshima air doses of 25-49 rad, an excess of both severe epilation and bleeding for those with doses estimated by the average method in the middle dose range in Nagasaki, as well as other less striking oddities. Although the possibility that these findings indicate a problem with the dosimetry cannot be ruled out, it seems more likely that they are false positive findings (many statistical tests having been made) or that they result from the biases discussed at the beginning of this section in a way that is not currently understood. With regard to the first oddity, it is perhaps worth noting that this excess is particularly striking for those judged to have class 1 dose estimates. Also, as it happens, most survivors in Hiroshima assigned air doses in the 25-49 rad range were exposed in the southeastern section of the city ATB.

The excess number of survivors reporting acute symptoms in the northern part of Hiroshima, which is particularly striking for survivors exposed 1,100-1,200 m from the hypocenter, also has no obvious explanation. In the absence of a rationale that would support higher doses for survivors in the north, other explanations such as reporting bias must be considered. Perhaps the most important conclusion to be drawn from the analyses of circular symmetry is that they do not provide support for higher doses in the westerly direction, a possibility that is supported to some extent by analyses of cancer mortality by Peterson et al, who interpret their findings as more likely resulting from factors other than dose asymmetries; this interpretation seems

よって完全に遮蔽されていた者(6)における線量推定上の誤差は、その他の遮蔽区分の者におけるよりも少ないことが認められる可能性がある。戸外において地形に遮蔽されていた者(3)、コンクリート建造物によって完全に遮蔽されていた者(5)、及び工場の建物によって遮蔽されていた者(7)の線量は、最高線量域における見込比が小さいことによって分かるように、特に大きい誤差を生じやすいように思われる。これらの所見は各市市内での比較に基づいているので、空気線量曲線の選択(LLNL, ORNL又はT65DR)とは明らかに無関係なものであることを強調する必要がある。

発表された結果には幾つの特異な点があるが、これについては明白な説明がない。この中には、25-49 radの空気線量が与えられた広島市の被爆者に重度の脱毛が多いこと、長崎の中間線量域では、平均値を与える方法で線量推定を行った者に重度の脱毛と出血の双方が多いこと、またその他にもさほど顕著ではないが特異な点があることなどが挙げられる。これらの所見から線量推定に問題のあることが指摘される可能性は排除できないが、それらは疑陽性所見(多くの統計的検定が行われているため)であるか、又は本項の初めに述べた現在は理解できない偏りによる可能性が強いように思われる。この第一番目の特異な問題については、class 1の線量推定値を有すると判定された者に特に多いことを注意しておく価値がある。また、25-49 radの空気線量を与えられた広島市のほとんどの被爆者は、たまたま原爆時に市の南東部で被爆した者たちであった。

広島市の北部にいた被爆者に急性症状を報告した人が多いこと(特に爆心地から1,100-1,200 mで被爆した者において)についても明白な説明はできない。北部にいた被爆者が高い線量を受けたとする論理的根拠がない場合は、報告における偏りなど他の説明を考慮する必要がある。円形対称性の解析から導かれる最も重要な結論は、それらが西の方角における高線量を支持しないことであり、この可能性は、Petersonらの癌死亡率の解析によってある程度まで支持されている。Petersonらは、自分たちの所見が線量の非対称性以外の因子による可能性が強いと説明している。この説明は、急性症状について同様の非対称性が認められなかったことにかんがみ、特に妥当で

especially appropriate in the light of failure to find similar asymmetries for acute symptoms.

The city comparisons presented in Figures 1-4 and Table 2 provide no particularly convincing evidence that either the LLNL or ORNL doses are inadequate. The significant differences at low doses probably do not result from dosimetric problems. The difference observed in the middle dose range for bleeding (and other symptom combinations) for those in Japanese type houses results mainly from a difference between the two cities for those with doses estimated by the average method (class 3). Since it is restricted to this group, it probably does not reflect a problem with LLNL air doses. The results for the class 1 Japanese type house group (9-parameter) mildly suggest that ORNL doses in Hiroshima could be slightly too small, but the evidence for this is not strong.

The significant differences between cities for the distal group (for both dosimetries) could result from incorrect air doses far from the hypocenter in one or both cities. However, these differences could also result from differences in shielding for the distal groups in the two cities since air doses were used for these survivors. It should be noted that since there are no survivors in the distal group in Nagasaki with doses over 25 rad, the distal group comparison is limited to doses less than this value. Since it is not clear that doses this small can cause acute symptoms, differences at this level may reflect reporting bias.

The city comparisons presented in Table 3 suggest certain additional inconsistencies between cities at higher dose levels. However the differences observed for those with doses estimated by the globe method seem most likely to have resulted from differences between the Hiroshima and Nagasaki shielding situations. The elevated odds ratios for severe epilation for those with air doses in the highest dose range observed for both dosimetries is difficult to interpret. As can be seen from the dose-response curves for severe epilation in Figures 5-6, the Hiroshima air dose curve closely parallels the curve for those in Japanese type houses, while the Nagasaki air dose curve is strikingly different from that observed for those in Japanese type houses. Thus, it is impossible to find a value of B that leads to consistent results between cities

あるように思われる。

図1～4及び表2に示した両市間の比較では、LLNL又はORNL線量のいずれもが不相当であると特に納得させられる所見は得られていない。低線量域における有意な差は、恐らく線量推定上の問題によるものではない。日本家屋内にいた者の出血(及びその他の症状との組み合わせ)において、中間線量域で認められた差は、主として平均値を与える方法によって線量を推定した者class 3における両市間の差による。それがこの群に限定されているので、恐らくLLNL空気線量による問題を反映しないと思われる。Class 1の日本家屋内群に関する結果(9パラメーター法)では、広島ORNL線量はやや小さ過ぎると示唆されたが、これを裏付ける所見はあまり強くない。

いずれの線量推定においても、遠距離群における両市間の有意な差は、両市又はその一方の爆心地から遠い距離の空気線量が正しくないことに由来する可能性があった。しかし、これらの被爆者については空気線量を用いたので、これらの差は両市の遠距離群における遮蔽の差によることも考えられる。長崎の遠距離群被爆者で線量が25 rad以上の者はいないので、遠距離群における比較は線量値がこの値未満の者に限定したことに注目されたい。このように低い線量で急性症状が生ずるかどうかは明らかでないが、この値における差は対象者の報告における偏りを反映するものであるかもしれない。

表3に示した両市間の比較は、高い線量値での両市間におけるその他の特定の不一致があることを示唆する。しかし、globe法によって線量推定を行った者に認められた差は、広島と長崎の遮蔽状態の差による可能性が極めて強いように思われる。両線量推定とも、最高線量域の空気線量を与えられた者に認められた重度の脱毛の見込比の上昇の説明は困難である。図5～6に示す重度の脱毛の線量反応曲線からみられるように、広島の空気線量曲線は日本家屋内にいた者の曲線とびったり平行するが、長崎の空気線量曲線は日本家屋内にいた者に認められたものと著しく異なる。したがって、空気線量を与えられた者と日本家屋内にいた者の双方に、両市間で一致

for both those with air doses and those in Japanese type houses. One explanation of these findings is that the air dose group in Nagasaki may be subject to more random error than in Hiroshima because the hilly terrain in Nagasaki provided some shielding that has not been adequately accounted for. If this were the case, one would expect similar inconsistencies for bleeding. However, as can be seen from Figures 7 and 8, both Hiroshima and Nagasaki dose-response curves are moderately lower for those with air doses than for those in Japanese type houses.

As noted in the discussion of the city comparisons in which shielding category was controlled, the difference in cities for those in the high dose range can be accounted for by a fairly small number of cases. Furthermore, when all degrees of epilation are analyzed (not just severe) the response curve for air doses is significantly lower than that for Japanese type houses in Hiroshima. Differences in all degrees of epilation between the two cities persist for those with air doses, but they are not as striking as those for severe epilation.

In conclusion, it can be said that although there is some evidence of inconsistencies between cities with both LLNL or ORNL doses, these inconsistencies have a variety of possible explanations and do not necessarily indicate problems with the air dose curves for the two cities.

Results are also inconclusive regarding the appropriateness of the Marcum correction for those in Japanese type houses. Although there are significant differences between those in Japanese type houses when the Marcum correction is applied and those with other dose estimation methods, these differences could result from greater random error with these other methods. However, in Nagasaki at least, the dose-response curves are more comparable when the Marcum correction is not applied. In Hiroshima, the comparison of methods is limited when the Marcum correction is not applied, but significant differences are found both with and without the correction.

In general, it seems impossible to separate differences resulting from varying degrees of random dose measurement error from differences resulting from systematic bias. Thus, it is

した結果をもたらすBの値を見付けることは不可能である。これらの所見についての一つの解釈は、長崎の地形は丘陵が多く、この遮蔽についてまだ十分に説明されていないため、長崎の空気線量群は広島のものよりも多く無作為的誤差の対象となっているかもしれない。これが事実であるとすれば、出血についても同様の不一致が期待されるであろう。しかし、図7及び8から見られるように、広島・長崎のいずれにおいても、線量反応曲線は、空気線量を与えられた者の方が日本家屋内にいた者よりやや低い。

遮蔽区分の調整を行った両市間の比較の考察において記したように、高線量域の者における都市間の差は、例数が少ないことの影響によって説明できる。更に、あらゆる程度の脱毛(重篤なものだけでなく)の解析において、広島では、空気線量の反応曲線は日本家屋内にいた者のそれよりも有意に低い。空気線量を与えられた者では、両市間であらゆる程度の脱毛において差は存続するが、重度の脱毛の場合ほど著明ではない。

結論として、LLNL又はORNLのいずれの線量によっても両市間に不一致はあるが、これらの不一致には色々解釈があると考えられ、必ずしも両市の空気線量に問題があることを示すものではない。

日本家屋内にいた者に対する Marcum 訂正法の妥当性に関する結果も、決定的なものではない。Marcum 訂正法を適用した場合の日本家屋内にいた者と、その他の線量推定法によって推定を行った者との間に有意な差があるが、これらの差は、これら他の方法を用いた場合のより大きい確立的誤差によるものと考えられる。しかし、少なくとも長崎では Marcum 訂正法を用いない場合の方が、線量反応曲線はもっと比較性がある。広島では、Marcum 訂正法を適用しない場合は、比較に利用できる方法に限度があるが、訂正法を用いた場合も用いない場合もともに有意な差が認められる。

総体的に、様々な程度の確立的な線量推定誤差による差と、系統的な偏りに基づく差とを区別することは不可能のようである。したがって、両市間の

not possible to draw firm conclusions either regarding intercity consistency or the appropriateness of the Marcum correction. It is also difficult to distinguish between possible systematic error and random error for the differences in shielding categories identified in Table 7. Thus, it seems doubtful that the results of this paper will prove particularly helpful in developing improved dosimetry although perhaps those more knowledgeable in the details of the dose estimation process will find explanations for some findings which are not apparent to the authors.

Whatever the explanation, the analyses here make it clear that the dose-response relationships for various acute symptom effects do vary by factors such as dose estimation method and shielding category. This means that the dose-response relationships for other endpoints such as leukemia and other cancers can also be expected to vary by these factors although such variation may not be as obvious due to the smaller numbers involved. It is known¹⁶ that the presence of measurement error in the independent variable will tend to bias the estimates of regression coefficients downward, and this bias will obviously be more pronounced for some segments of the population than others. The results of the analyses here suggest that it may be wise to conduct some analyses in which survivors with especially poor dose estimates are excluded; for example, survivors in open, totally shielded by terrain (3), totally shielded by concrete building (5), and totally shielded by factory building (7).

The results of the present analyses have particularly important implications for analyses attempting to compare dose-response curves in Hiroshima and Nagasaki. If such analyses do not take dose estimation method and/or shielding category into account (most analyses in the past have not), a steeper dose-response curve for Hiroshima can be expected simply because a higher proportion of Nagasaki subjects fall into shielding categories for which dose estimates are subject to large measurement errors. Due to a smaller proportion of survivors in Japanese type houses, hilly terrain, and large groups of those in factories, Nagasaki doses are probably subject to greater measurement error than Hiroshima doses. This error can be expected to bias curves downward to a greater degree than in Hiroshima.

一貫性又は Marcum 訂正法の妥当性のいずれについても、確固たる結論を引き出すことは不可能である。また、表7で示した遮蔽区分の差における系統的な誤差と考えられるものと、確立的誤差とを区別することも難しい。したがって、本報の結果が線量推定の改善に特に有用なものになり得るかどうか疑わしいが、あるいは線量推定の細かいことに詳しい人には著者らに分からなかった所見が分かるかもしれない。

どのような説明にせよ、各種急性症状の影響に関する線量反応関係は、線量推定法や遮蔽区分などの因子によって変わることが、解析によって明らかになった。これは、そのほかの白血病やその他の癌のような後影響の線量反応関係も、これらの因子によって変わりうることを期待されるが、このような変化は、対象例数が少ないので明白に認められないかもしれないことを意味する。独立変数に測定誤差が存在するために、回帰係数の推定値を下方へ偏らせる傾向を生じ、この偏りは集団の一部では他の部分よりも明らかに著明なものとなる。¹⁶ 今回の解析結果から、線量推定値が特に悪い被爆者、例えば、戸外において地形によって完全に遮蔽されていた者(3)、コンクリート建造物によって完全に遮蔽されていた者(5)、及び工場の建造物によって完全に遮蔽されていた者(7)を除外して、幾つかの解析を行うことが賢明であるかもしれない。

本解析の結果は、広島と長崎の線量反応曲線を比較しようとする解析にとって特に重要な意義をもつ。このような解析で、線量推定法、あるいは遮蔽区分が考慮に入れられない場合(過去のほとんどの解析では入れていない)は、長崎の対象者の多くが線量推定値に大きい測定誤差を生じやすい遮蔽区分に属するという単純な理由によって、広島の線量反応曲線が急勾配になることが期待される。日本家屋内にいた被爆者の割合が少なく、丘陵状地形が存在し、また工場内にいた者の群が大きいと、長崎の線量は恐らく広島の線量よりも測定誤差が大きいであろう。この誤差は、曲線を広島のそれより大きく下方へ偏らせることが期待される。したがって、両市間に

Thus, differences observed between the two cities do not necessarily reflect either differences in the effectiveness of gamma ray and neutron radiation or problems in estimating the relative yields of the two bombs. This finding obviously has important implications for investigating the relative effects of gamma ray and neutron exposure, since such investigation is based mainly on comparisons between the two cities. It is suggested that such analyses carefully control for dose estimation method and probably also shielding category as a way of minimizing the biases noted above.

At this point perhaps a few words are in order regarding the assignment of dose estimates to class 1, 2, or 3. Presumably one reason for making such an assignment is to allow investigators to restrict analyses to better estimated doses as suggested above. Although the results of analyses presented in Table 5 indicate that in general class 1 estimates are subject to less error than class 2 and 3 estimates, it is possible that a more refined basis can be developed for selecting survivors with the most reliably estimated doses. In Table 9, survivors are categorized by class of dose estimation and shielding category.

Those with doses estimated by the 9-parameter method show the steepest response curves for acute symptoms which may suggest that these are the best estimated doses. These dose estimates are nearly all class 1. The acute symptom effects analyses would also seem to indicate that those with doses in open unshielded (1) and in open but totally shielded by building (4) as well as those in the unknown shielding category (mostly average method with some air doses) are probably subject to more error than the 9-parameter group, but less than those in open but totally shielded by terrain (3), totally shielded by concrete building (5) and totally shielded by factory building (7). The unknown shielding group are all in class 3 while shielding categories 1 and 4 are a mixture of classes 1 and 2, with the majority being in class 1. The comparisons involving these shielding categories presented in Table 7 were repeated with restriction to class 1 estimates. The results are very similar to those given in Table 7 and thus provide no evidence that class 1 estimates are more reliable than class 2 estimates for those in these shielding categories. Finally, nearly all

認められた差は必ずしもガンマ線及び中性子線の効果の差、あるいは両原爆の相対的出力の推定上の問題のいずれをも反映するものではない。この知見は明らかにガンマ線及び中性子線被曝の相対的効果を調査する上で重要な意義をもつものである、なぜなら、そのような調査は、主として両市間の比較に基づいているからである。そのような解析で上記の偏りを最小限にする方法として、線量推定法を、また更には、遮蔽区分をも丹念に調整することの必要性が示唆された。

ここで、線量推定値を class 1, class 2, class 3 にすることについて少し説明する必要がある。このように線量値に精度をつける一つの理由は、研究員に、上記で提案したようによい推定線量のみで解析を実施できるようにすることである。表5に示した解析の結果は、おおむね class 1 の推定値が class 2 及び class 3 のそれよりも誤差の少ないことを示すけれども、最も信頼性のある推定線量を有する被爆者を選択するために、もっとよい基盤を開発することは可能である。表9では、被爆者を線量推定の精度及び遮蔽区分別に分類した。

9パラメーター法によって線量を推定した者は、急性症状に対し最も急な勾配の反応曲線を示すが、これは最良の推定線量であることを示唆しているかもしれない。これらの線量推定値はほとんどすべて class 1 のものである。急性症状の影響の解析でも、戸外にいて遮蔽されていなかった者(1)戸外にいたが建造物によって完全に遮蔽されていた者(4)並びに遮蔽分類の不明な者(大部分は平均値法で一部は空気線量による)では、恐らく9パラメーター群よりも誤差が生じやすいけれど、戸外にいて地形によって完全に遮蔽されていた者(3)、コンクリート建造物によって遮蔽されていた者(5)及び工場の建造物によって完全に遮蔽されていた者(7)よりも誤差の生じることが少ないように思われる。遮蔽の不明群はすべて class 3 に属するか、遮蔽区分1及び4は class 1 及び class 2 の混成であり、その大半は class 1 のものである。表7に示したこれらの遮蔽区分の比較は、class 1 の推定値を限定して繰り返し行った。結果は表7に示したものと類似しているので、これらの遮蔽区分の者に関しては class 1 の推定値の方が class 2 の推定値よりも信頼できるという証拠はない。最後に、遮蔽区分5の被爆者のほとんどすべては

survivors in shielding category 5 are in class 3, while most survivors in shielding categories 3 and 7 are in class 2.

In general, it does not seem appropriate to evaluate the quality of dosimetries solely on the basis of acute symptoms analyses. However, it may be useful to summarize the results of this paper by offering the following tentative hierarchy based on the steepness of the response curves for acute symptoms:

Most reliably estimated; Doses estimated by the 9-parameter method (although the problems noted by Marcum need to be resolved).

Intermediate; Doses of survivors in open and unshielded (1) and in open but totally shielded by building (4) as well as the unknown shielding category.

Least reliably estimated; Doses of survivors in open but totally shielded by terrain (3), totally shielded by concrete building (5), and totally shielded by factory building (7).

It is hoped that the results of this paper and possibly also future analyses of acute symptoms as well as other endpoints (chromosomal aberrations, for example) can be used to supplement the assessment of error made by those responsible for estimating doses of A-bomb survivors. The relative error of dose estimates of various survivors can then be taken into account in planning and interpreting analyses of these survivors.

class 3に属するが、遮蔽区分3及び7の被爆者はほとんどがclass 2に属する。

総体的に、線量推定法の質を、急性症状の解析だけに基づいて評価することは妥当とは思われない。しかし、急性症状に関する反応曲線の勾配に基づく下記の暫定的な階段的分類を示して、本報の結果を要約することは有用であるかもしれない。

最も信頼できる推定値; 9パラメーター法で推定した線量(ただし Marcum が指摘した問題点は解消されねばならない)。

中等度に信頼できる推定値; 戸外にいて遮蔽されていなかった者(1), 戸外にいたが建造物で完全に遮蔽されていた者(4), 並びに遮蔽不明の区分に属する者の線量。

最も信頼度の低い推定値; 戸外にいたが地形で完全に遮蔽されていた者(3), コンクリート建造物で完全に遮蔽されていた者(5)及び工場の建造物によって完全に遮蔽されていた者(7)の線量。

本報の結果や将来行われる急性症状並びにその他の後影響(例えば染色体異常)の解析結果が、原爆被爆者の線量推定担当者の行う誤差の評価を補足するのに用いられることを期待するものである。それにより、いろいろな被爆者の解析計画及び解釈に当たって、これら被爆者の線量推定値における相対的誤差を考慮に入れることができる。

APPENDIX 1 MANTEL-HAENSZEL PROCEDURE

付録1 Mantel-Haenszel の方法

A description of the Mantel-Haenszel procedure used for analyses in this paper is given by Fleiss²¹ as well as by Mantel and Haenszel.¹³ Expressions for the various quantities that were calculated are given below. Let $i=1, 2, \dots, I$ index the variable of primary interest for a given analysis (city or method, for example). Let $j=1, 2, \dots, J$ index the gamma-neutron dose groups defined in the section describing statistical procedures (here $J=25$), and let $k=1, 2, \dots, K$ index sex and age ATB groups. The age ATB groups were the standard ones that have been used in most analyses of this data set, that is, 0-9, 10-19, 20-34, 35-49, and 50+ years. Let n_{ijk} denote the number of survivors in the ijk -th group and P_{ijk} denote the proportion with the acute symptom being analyzed in the ijk -th group. The Mantel-Haenszel odds ratio is then given by

$$\bar{O}_{MH} = \frac{\sum_{jk} \frac{n_{1jk}n_{2jk}}{n_{\cdot jk}} P_{1jk}(1-P_{2jk})}{\sum_{jk} \frac{n_{1jk}n_{2jk}}{n_{\cdot jk}} P_{2jk}(1-P_{1jk})}$$

where $n_{\cdot jk} = n_{1jk} + n_{2jk}$, k is summed from 1 through K , and j is summed from 1 through 4 for the low dose range, from 5 through 13 for the middle dose range, and from 14 through 25 for the high dose range. The test for statistical significance is obtained from the one degree of freedom chi-square statistic given by

$$\chi^2_{MH} = \frac{\left[\sum_{jk} \frac{n_{1jk}n_{2jk}}{n_{\cdot jk}} (P_{1jk} - P_{2jk}) \right]^2}{\sum_{jk} \frac{n_{1jk}n_{2jk}}{n_{\cdot jk}} \bar{P}_{jk}(1-\bar{P}_{jk})}$$

where $\bar{P}_{jk} = (n_{1jk}P_{1jk} + n_{2jk}P_{2jk})/n_{\cdot jk}$.
ただし、

Finally the 95% confidence intervals, obtained from the test-based procedure of Miettinen,¹⁴

are given by $\bar{O}_{MH} \pm \frac{1.96}{\chi_{MH}}$, where χ_{MH} is the positive square root of χ^2_{MH} defined above.

本報の解析に用いた Mantel-Haenszel の方法は、Fleiss²¹ 並びに Mantel 及び Haenszel¹³ によって記述されている。算定した色々な数量の数式を下に示す。 $i=1, 2, \dots, I$ は解析における最も関心のある変数(例えば、都市又は方法)を示す。 $j=1, 2, \dots, J$ は統計的方法を記述した項で定義したガンマ・中性子線量群を示す(ここでは $J=25$)、 $k=1, 2, \dots, K$ は性及び原爆時年齢群を示す。原爆時年齢群は、この資料のほとんどの解析に用いられている標準的なものである。すなわち 0-9, 10-19, 20-34, 35-49, 及び 50+ 歳である。 n_{ijk} は ijk 群に属する被爆者数を示し、 P_{ijk} は ijk 群における急性症状の割合を示すものとする。Mantel-Haenszel の見込比は、次のようになる。

ただし、 $n_{\cdot jk} = n_{1jk} + n_{2jk}$ であり、 k は 1~ K まで計算して求められ、 j は低線量域で 1~4 までの和をとり、中線量域では 5~13, 高線量域では 14~25 の和を計算する。統計的有意性の検定は、下記の自由度 1 の χ^2 統計を基に実施できる。

最後に、Miettinen¹⁴ の検定統計量から構成する方法によって得た 95% 信頼区間は、 $\bar{O}_{MH} \pm \frac{1.96}{\chi_{MH}}$ で得られる。ただし、 χ_{MH} は上に定義した χ^2_{MH} の正の平方根である。

APPENDIX 2A SUMMARY OF CITY COMPARISONS PRESENTED IN TABLES 2-3 AND FIGURES 1-4

付録2A 表2-3及び図1-4に示した両市間の比較の総括

Dose Estimation Method	Acute Symptom	Dosimetry	Gamma Dose in rad						
			0-49		50-199		200+a		
			All classes	Class 1 only	All classes	Class 1 only	All classes		
						B=1	B=5	B=10	
Japanese Type House	Epilation	LLNL	L ^b	L	-	-	-	-	L
		ORNL	L	L	-	G	G	-	-
	Bleeding	LLNL	-	-	L	-	-	-	-
		ORNL	-	-	-	G	-	-	-
Air Dose	Epilation	LLNL	G	-	-	-	G	G	G
		ORNL	G	-	-	-	G	G	G
	Bleeding	LLNL	-	-	-	-	-	-	-
		ORNL	-	-	-	-	-	-	-
Globe	Epilation	LLNL	-	-	-	-	G	G	G
		ORNL	-	-	G	-	G	G	G
	Bleeding	LLNL	-	-	-	-	G	G	G
		ORNL	-	-	-	-	G	G	G
Distal	Epilation	LLNL	G						
		ORNL	G						
	Bleeding	LLNL	G						
		ORNL	G						

a- Based on $z = \gamma + Bn$, $z = \gamma + B_n$ に基づく.

b- In reference to a one-tailed test at the 0.025 level on the odds ratio comparing Hiroshima to Nagasaki: 広島と長崎を比較する見込比の0.025の水準における片側検定.

G=odds ratio significantly greater than unity. 1より有意に大きい見込比.

L=odds ratio significantly less than unity. 1より有意に小さい見込比.

--=odds ratio did not differ significantly from unity. 見込比と1との間に有意な差はなかった.

APPENDIX 2B SUMMARY OF METHOD COMPARISONS PRESENTED IN TABLE 4 AND FIGURES 5-8

付録2B 表4及び図5-8に示した方法の比較の総括

Method to be Compared vs Japanese Type House	Marcum Correction	Acute Symptom	Gamma Dose in rad						
			Hiroshima			Nagasaki			
			0-49	50-199	200+	0-49	50-199	200+	
Air Dose	Yes	Severe epilation	G ^a	-	-	-	-	-	L
		Bleeding	G	L	L	-	L	-	L
	No	Severe epilation	G	G	-	-	-	-	-
		Bleeding	G	G	L	-	-	-	L
Globe	Yes	Severe epilation	G	L	-	-	L	L	L
		Bleeding	G	L	-	G	L	-	L
	No	Severe epilation	G	G	-	-	-	-	-
		Bleeding	G	G	L	G	-	-	L
Distal	Yes	Severe epilation	-						
		Bleeding	-			L			
	No	Severe epilation	-						
		Bleeding	-						

a- In reference to a one-tailed test at the 0.025 level on the odds ratio comparing a dose estimation method vs Japanese type house method.

ある線量推定法と日本家屋内被曝の方法とを比較する見込比の0.025の水準における片側検定.

G=odds ratio significantly greater than unity. 1より有意に大きい見込比.

L=odds ratio significantly less than unity. 1より有意に小さい見込比.

--=odds ratio did not differ significantly from unity. 見込比と1との間に有意な差はなかった.

APPENDIX 2C SUMMARY OF SHIELDING CATEGORY COMPARISONS
PRESENTED IN TABLE 7

付録 2 C 表 7 に示した遮蔽区分の比較の総括

Shielding Categories to be Compared vs Japanese Type House	Acute Symptom	Gamma Dose in rad					
		Hiroshima			Nagasaki		
		0-49	50-199	200+	0-49	50-199	200+
1- Open - None	Severe epilation	G ^a	G	L	—	—	—
	Bleeding	G	L	L	—	—	—
2- Open - Partial	Severe epilation	G	G	—	G	G	—
	Bleeding	G	—	—	—	—	—
3- Open - Terrain ^b	Severe epilation	—	—	—	—	—	L
	Bleeding	—	—	—	—	L	L
4- Open - Bldg	Severe epilation	—	L	—	—	—	L
	Bleeding	—	L	—	G	—	—
5- Concrete Bldg	Severe epilation	—	—	L	—	L	L
	Bleeding	—	L	L	G	L	L
7- Factory ^b	Severe epilation	—	—	—	—	L	L
	Bleeding	—	—	—	—	L	—
Average	Severe epilation	—	L	L	—	G	—
	Bleeding	—	L	L	—	G	—
Unshielded - No History ^c	Severe epilation	G	—	L	—	—	—
	Bleeding	—	L	L	—	—	—

a- In reference to a one-tailed-test at the 0.025 level on the odds ratio comparing a shielding category (1-5, 7, average, unshielded) to Japanese type house (category 6):

遮蔽区分 (1-5, 7, 平均値, 遮蔽されていなかった) と日本家屋内被曝 (第 6 区分) とを比較した見込比の 0.025 の水準における片側検定。

G = odds ratio significantly greater than unity 1 より有意に大きい見込比。

L = odds ratio significantly less than unity 1 より有意に小さい見込比。

— = odds ratio did not differ significantly from unity. 見込比と 1 との間に有意な差はなかった。

b- The number of Hiroshima survivors in categories 3 and 7 is too small for meaningful analysis.

第 3 及び第 7 区分に属する広島市の被爆者数は、有意な解析を行うにはあまりに少ない。

c- The number of Nagasaki survivors in this category is too small for meaningful analysis.

この区分に属する長崎市の被爆者数は、有意な解析を行うにはあまりに少ない。

REFERENCES

参考文献

1. NOBLE KB (ed): Shielding survey and radiation dosimetry study plan, Hiroshima-Nagasaki, Research Plan. ABCC TR 7-67
2. BRILL AB, TOMONAGA M, HEYSSEL RM: Leukemia in humans following exposure to ionizing radiation. Summary of findings in Hiroshima-Nagasaki and comparison with other human experience. *Ann Intern Med* 56:590-609, 1962. (ABCC TR 15-59)
3. JABLON S, ISHIDA M, YAMASAKI M: Studies of mortality of A-bomb survivors. 3. Description of the sample and mortality, 1950-60. *Radiat Res* 25:25-52, 1965. (ABCC TR 15-63)
4. JABLON S, FUJITA S, FUKUSHIMA K, ISHIMARU T, AUXIER JA: RBE of neutrons in atomic bomb survivors, Hiroshima-Nagasaki. ABCC TR 12-70
5. LOEWE WE, MENDELSON E: Revised dose estimates at Hiroshima and Nagasaki. *Health Phys* 41:663-6, 1981
6. KERR GD: Findings of a recent ORNL review of dosimetry for the Japanese atomic-bomb survivors. Oak Ridge National Laboratory technical report TM-8087, 1981. (Available from National Technical Information Service, US Department of Commerce, 5258 Part Royal Road, Springfield, Virginia, 22161)
7. Personal communication from W.E. Loewe to R.L. Prentice, dated 23 April 1981
8. MILTON RC, SHOHOJI T: Tentative 1965 radiation dose estimation for atomic bomb survivors. ABCC TR 1-68
9. MARCUM J: House attenuation factors for radiation at Hiroshima and Nagasaki. Preliminary report prepared for Defense Nuclear Agency. 15 May 1981 (Available from R & D Associates, P.O. Box 9695, Marina del Rey, California, 90291)
10. BEEBE GW, ISHIDA M, JABLON S: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 1. Plan of study and mortality in the medical subsample, 1950-58. *Radiat Res* 16:253-80, 1962 (ABCC TR 5-61)
11. AUXIER JA: Ichiban: Radiation dosimetry for the survivors of the bombings of Hiroshima and Nagasaki. (Available from Technical Information Center, Oak Ridge, TN, TID-27080).
12. BEEBE GW, ISHIDA M: Joint JNII-ABCC study of life-span in atomic bomb survivors, research plan. ABCC TR 4-59
13. MANTEL N, HAENSZEL W: Statistical aspects of the analysis of data from retrospective studies of disease. *J Nat Cancer Inst* 22:719-48, 1958
14. MIETTINEN O: Estimability and estimation in case-referent studies. *Am J Epidemiol* 103:226-35, 1976
15. HALPARIN M: Letter to the editor. *Am J Epidemiol* 105:496-8, 1977
16. COCHRAN WG: Errors of measurement in statistics. *Technometrics* 10:637-65, 1968
17. JABLON S: Atomic bomb radiation dose estimation at ABCC. ABCC TR 23-71
18. GILBERT ES: Some effects of random dose measurement errors on analysis of atomic bomb survivor data. RERF TR 12-82

19. MANTEL N: Chi-square tests with one degree of freedom. Extensions of the Mantel-Haenszel procedure. J Amer Stat Assoc 58:690-700, 1963
20. PETERSON AV, PRENTICE RL, ISHIMARU T, KATO H, MASON M: Investigation of circular asymmetry in cancer mortality of Hiroshima and Nagasaki A-bomb survivors. Radiat Res 93:184-99, 1983. (RERF TR 27-81)
21. FLEISS JL: Statistical Methods for Rates and Proportions. New York, John Wiley & Sons, 1981. pp 173-5