

LIFE SPAN STUDY REPORT 11
PART 1. COMPARISON OF RISK COEFFICIENTS FOR
SITE-SPECIFIC CANCER MORTALITY BASED ON THE
DS86 AND T65DR SHIELDED KERMA AND ORGAN DOSES

寿命調査 第11報

第1部 DS86及びT65DRの遮蔽kerma並びに臓器線量に基づく
部位別癌死亡リスク係数の比較

YUKIKO SHIMIZU, D.M.Sc. 清水由紀子

HIROO KATO, M.D. 加藤寛夫

WILLIAM J. SCHULL, Ph.D.

DALE L. PRESTON, Ph.D.

SHOICHIRO FUJITA, M.S. 藤田正一郎

DONALD A. PIERCE, Ph.D.



RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION
財団法人 放射線影響研究所

A cooperative Japan - United States Research Organization
日米共同研究機関

ACKNOWLEDGMENT

謝 辞

Many people have made helpful comments and suggestions regarding the form and content of this report. The authors would especially like to acknowledge the important contributions made by G. W. Beebe, V. Bond, R. J. M. Fry, S. Jablon, W. Sinclair, and A. C. Upton.

本報の様式及び内容について多くの方々から有益なコメント及び御助言をいただいた。特に、多大な御協力を頂いた G. W. Beebe, V. Bond, R. J. M. Fry, S. Jablon, W. Sinclair, A. C. Upton 博士に対して深く謝意を表する。

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発表論文に代わるものではない。

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

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

CONTENTS

目 次

Summary 要 約	1
Introduction 緒 言	4
Materials and Methods 研究対象及び方法	5
Exposures and the Sample Used in This Analysis	
本解析で用いた被曝線量及び研究対象集団	5
Ascertainment of Death 死亡の確認	7
Statistical Methods 統計学的方法	7
Results 結 果	11
Comparison of the Two Dosimetric Systems 二つの線量推定方式の比較	11
Free-in-air (FIA) kerma 空中 (FIA) kerma	11
Shielded kerma 遮蔽 kerma	12
Organ-absorbed dose 臓器吸収線量	13
Comparison of Cancer Mortality 癌死亡の比較	15
Characteristics of the DS86 subcohort and those members of the LSS sample not included in this subcohort	
DS86サブコホートとこれに含まれない寿命調査対象者の特徴	15
Dose-response curves under the two dosimetry systems	
二つの線量推定方式における線量反応曲線	17
Linear risk coefficients under the two systems of dosimetry	
二つの線量推定方式における線形リスク係数	21
The modification of risk by age ATB and sex	
被爆時年齢及び性によるリスクの修正	23
Dose-response models under the two systems of dosimetry	
二つの線量推定方式における線量反応モデル	26
Discussion 考 察	34
References 参考文献	40

LIST OF TABLES

表

1. Number of study subjects by exposure status, cohort, and city 研究対象者数; 被爆状態, コホート及び都市別	6
2. Number of subjects, person-years, and cancer deaths by DS86 shielded kerma 対象者数, 人年及び癌死亡数; DS86遮蔽kerma 別	8
3. Mean shielded kerma and organ-absorbed dose (mGy) among survivors exposed to 0.01 Gy and over 0.01Gy 以上に被曝した人の平均遮蔽kerma 及び臓器吸収線量 (mGy)	14
4. Distribution of proximally exposed survivors by T65DR dose estimation method and city 近距離被爆者の分布; T65DR 線量推定の方法及び都市別	16
5. Excess relative risk per 1 Gy (DS86 shielded kerma) by T65DR dose estimation method — DS86 subcohort 1 Gy 当たりの過剰相対リスク (DS86遮蔽kerma); T65DR 線量推定の方法別 — DS86 サブコホート	16
6. Comparison between DS86 and T65DR in summary measures of radiation dose-response for mortality based on shielded kerma — DS86 subcohort [both cities, sexes (unless otherwise noted), all ages ATB combined] 遮蔽kerma に基づく癌死亡についての放射線線量反応の要約指標に関する DS86 と T65DR の比較 — DS86サブコホート [両市, 男女 (特に別記しない限り), すべての被爆時年齢を合計したもの]	24
7. Comparison between DS86 and T65DR in summary measures of radiation dose-response for mortality based on organ-absorbed dose — DS86 subcohort [both cities, sexes (unless otherwise noted), all ages ATB combined] 臓器吸収線量に基づく癌死亡についての放射線線量反応の要約指標に関する DS86 と T65DR の比較 — DS86サブコホート [両市, 男女 (特に別記しない限り), すべての被爆時年齢を合計したもの]	25
8. Comparison of radiation effect modification based on DS86 and T65DR estimates — Excess relative risk per gray DS86 及び T65DR 推定値に基づく放射線影響の修正要因の比較 — 1 Gy 当たりの過剰相対リスク	27
9. Comparison of the deviance among various dose-response models based on total organ-absorbed dose 総臓器吸収線量に基づく種々の線量反応モデルにおける偏差 (deviance) の比較	28
10. Comparison of the deviance among various dose-response models based on organ-absorbed gamma rays and neutron doses 臓器吸収ガンマ線量及び中性子線量に基づく種々の線量反応モデルにおける偏差 (deviance) の比較	30

11. Ratio of the Hiroshima to Nagasaki risk for fixed RBE values — Organ dose equivalent 特定の RBE 値における広島の高崎に対するリスクの比 — 臓器線量当量	31
12. Comparison of excess death per 10^4 person-year-Sv for selected RBE values using the DS86 and T65DR doses DS86 及び T65DR 線量を用いた場合の特定の RBE 値に対する 10^4 人年 Sv 当たりの過剰死亡の比較	33
13. Proportion of subjects with T65DR shielded kerma dose of 6 Gy and over by DS86 shielded kerma T65DR 遮蔽 kerma 線量が 6 Gy 以上の被爆者の割合; DS86 遮蔽 kerma 別	37

LIST OF FIGURES

図

1. Free-in-air kerma by ground distance, city, and dosimetry system for gamma rays and neutrons ガンマ線及び中性子の空中 kerma; 被爆距離, 都市及び線量推定方式別	11
2. Shielded kerma by ground distance, city, and dosimetry system for gamma rays and neutrons ガンマ線及び中性子の遮蔽 kerma; 被爆距離, 都市及び線量推定方式別	12
3. Shielded kerma and organ-absorbed dose-response curves for mortality from leukemia by city and dosimetry system 白血病死亡率の遮蔽 kerma 及び臓器吸収線量反応曲線; 都市及び線量推定方式別	18
4. Shielded kerma and organ-absorbed dose-response curves for mortality from all cancer except leukemia by city and dosimetry system 白血病以外のすべての癌による死亡率の遮蔽 kerma 及び臓器吸収線量反応曲線; 都市及び線量推定方式別	19
5. Shielded kerma and organ-absorbed dose-response curves for mortality from stomach cancer by city and dosimetry system 胃癌死亡率の遮蔽 kerma 及び臓器吸収線量反応曲線; 都市及び線量推定方式別	20
6. Shielded kerma and organ-absorbed dose-response curves for mortality from colon cancer by city and dosimetry system 結腸癌死亡率の遮蔽 kerma 及び臓器吸収線量反応曲線; 都市及び線量推定方式別	20
7. Shielded kerma and organ-absorbed dose-response curves for mortality from lung cancer by city and dosimetry system 肺癌死亡率の遮蔽 kerma 及び臓器吸収線量反応曲線; 都市及び線量推定方式別	22
8. Shielded kerma and organ-absorbed dose-response curves for mortality from female breast cancer by city and dosimetry system 女性乳癌死亡率の遮蔽 kerma 及び臓器吸収線量反応曲線; 都市及び線量推定方式別	22

LIST OF APPENDIX TABLES

付 表

1. Average house transmission factors by dose system and city 平均家屋透過係数；線量推定方式及び都市別	41
2. Comparison of T65DR and DS86 shielded kerma dose estimates by city T65DR 及び DS86遮蔽kerma 推定値の比較；都市別	42
3. Average organ dose transmission factors by dose system 平均臓器線量透過係数；線量推定方式別	43
4. Comparison of T65DR and DS86 organ-absorbed dose estimates by city — Bone marrow T65DR 及び DS86臓器吸収線量推定値の比較；都市別 — 骨髓	44
5. Ditto — Large intestine 同上 — 大腸	45
6. Ditto — Lung 同上 — 肺	46
7. Ditto — Stomach 同上 — 胃	47
8. Ditto — Female breast 同上 — 女性乳房	48
9. Ditto — Bladder 同上 — 膀胱	49
10. Ditto — Ovary 同上 — 卵巣	50
11. Summary measures of radiation dose-response for mortality: Both cities, both sexes (unless otherwise stated), all ages ATB combined, 1950-85 (DS86-subcohort, DS86 shielded kerma) 死亡における放射線線量反応の要約指標；両市，男女（特に別記しない限り），すべての 被爆時年齢合計，1950—85年（DS86サブコホート，DS86遮蔽kerma）	51
12. Ditto (DS86-subcohort, T65DR shielded kerma) 同上（DS86サブコホート，T65DR 遮蔽kerma）	52
13. Ditto (Full-cohort, T65DR shielded kerma) 同上（コホート全体，T65DR 遮蔽kerma）	53
14. Comparison of the deviance among various dose-response models based on total dose — Shielded kerma 総線量に基づく種々の線量反応モデルの偏差（deviance）の比較 — 遮蔽kerma	54
15. Comparison of the deviance among various dose-response models based on gamma rays and neutrons — Shielded kerma ガンマ線及び中性子に基づく種々の線量反応モデルの偏差（deviance）の比較 — 遮蔽kerma	54

16. Ratio of the Hiroshima to Nagasaki risk by fixed RBE values — Shielded kerma 広島の高崎に対するリスクの比：特定の RBE 値別—遮蔽 kerma	55
17. Comparison of risk coefficients between models with or without age, sex adjustment — Organ-absorbed dose 放射線誘発リスクにおける年齢及び性の補正をした場合と補正をしない場合の 各モデルにおけるリスク係数の比較—臓器吸収線量	56

LIFE SPAN STUDY REPORT 11

PART 1. COMPARISON OF RISK COEFFICIENTS FOR SITE-SPECIFIC
CANCER MORTALITY BASED ON THE DS86 AND T65DR SHIELDED
KERMA AND ORGAN DOSES

寿命調査第11報

第1部. DS86及びT65DRの遮蔽kerma並びに臓器線量に基づく部位別
癌死亡リスク係数の比較

YUKIKO SHIMIZU, D.M.Sc. (清水由紀子)¹; HIROO KATO, M.D. (加藤寛夫)¹;
WILLIAM J. SCHULL, Ph.D.²; DALE L. PRESTON, Ph.D.³;
SHOICHIRO FUJITA, M.S. (藤田正一郎)⁴; DONALD A. PIERCE, Ph.D.⁴

Departments of Epidemiology¹ and Statistics⁴, Permanent Director², and Research Information Center³

疫学部¹, 統計部⁴, 常務理事², 研究情報センター³

SUMMARY

In March 1986, as a result of a comprehensive re-evaluation of the exposures of the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki, a new method for the estimation of individual doses was introduced, termed the Dosimetry System 1986 (DS86). Briefly, the differences between this system and the old (T65DR) can be summarized as follows: 1) The DS86 free-in-air gamma dose increases somewhat in Hiroshima, but decreases in Nagasaki in comparison with the T65DR; whereas the neutron dose decreases in both cities, to about 10% its former value in Hiroshima and 30% in Nagasaki. 2) The transmission factor for gamma rays in wooden Japanese structures is smaller, around 51% and 59% of the T65DR value, on average, in Hiroshima and Nagasaki, respectively. 3) As a consequence, the average DS86 total shielded kerma (the sum of the individual shielded gamma and neutron doses) for those survivors exposed to 10 mGy and over decreases to 69% and 76% of the T65DR values in Hiroshima and Nagasaki, respectively.

The present analysis embraces a total of 75,991 persons, hereafter termed the DS86 subcohort, including the distally exposed (59,784 individuals) to whom doses are assigned in most instances and 16,207 among a total of 19,387 proximally exposed subjects (i.e., survivors within 1,600 m in Hiroshima and 2,000 m in Nagasaki, based on T65DR distances), mostly individuals within Japanese houses or tenements, on whom DS86 doses can be directly calculated.

要約

広島・長崎の原爆被爆者の被曝線量について総合的な再評価が行われた結果、1986年3月に個人線量推定のための新しい方法が導入され、これが1986年線量推定方式 (DS86) と命名された。この方式と古い方式 (T65DR) の差異は次のように要約できる: 1) DS86 空中 (FIA) ガンマ線量は、T65DRと比較すると、広島では若干増加するが長崎では減少する。これに対して、中性子線量は両市で減少し、広島では以前の値の約10%、長崎では30%程度になる。2) 木造の日本式建造物におけるガンマ線の透過係数は小さくなり、平均してみると、広島・長崎それぞれにおいてT65DR値の約51%と59%になる。3) 以上の結果、10 mGy以上に被曝した被爆者の平均DS86総遮蔽kerma (個人遮蔽ガンマ線量及び中性子線量の合計) は、広島・長崎それぞれにおいて、T65DR値の69%と76%に減少する。

本解析は総数75,991人を対象としており、以後この対象集団をDS86サブコホートと呼称する。この中には、大半の人に線量が付与できた遠距離被爆者 (59,784人)、並びに、近距離被爆者19,387人 (T65DRの距離に基づく)、広島では爆心地から1,600 m以内、長崎で2,000 m以内の被爆者) のうち、そのほとんどが日本式家屋又は長屋内で被爆し、DS86線量が直接算出できる16,207人が含まれている。

Emphasis here is on cancer site-specific comparisons of the DS86 cancer risk estimates and those obtained by using the T65DR on the same group of survivors (the DS86 subcohort). The rationale for thus restricting the comparison is to assess, as directly as possible, the effect of changes in the risk estimates, unconfounded by a change in the cohort definition. In another report,¹ the primary aim was to compare, but only for broad classes of cancer, the conclusions which have been drawn from the T65DR dosimetry to those that now seem appropriate. Comparison was thus made to the full T65DR cohort; substantial emphasis in this report was placed on the effects of assumptions about relative biological effectiveness (RBE) and possible nonlinearities in the dose-response. As a result of all of these factors, the changes due to the new dosimetry described there are somewhat greater than those indicated here.

The risk coefficients for cancer mortality for the period 1950-85 have been compared, using 10 sites or groups of sites of cancer where the increase in mortality is statistically significant, with both the DS86 and T65DR doses, viz, leukemia, all cancers except leukemia, cancer of the stomach, colon, lung, female breast, esophagus, ovary, bladder, and multiple myeloma. Three measures of risk -- the excess relative risk (per gray), absolute risk (excess cancer deaths per 10^4 PYGy), and the attributable risk (%) -- have been estimated. In general, in terms of shielded kerma, these measures increase as expected given that the DS86 doses decrease in contrast to the T65DR values. The excess relative risk over the various sites ranges from 1.35 to 1.51-fold higher and the excess numbers of cancer deaths per 10^4 person-year-gray (PYGy) are increased from 1.38 to 1.61-fold under the DS86 system. The attributable risks do not differ significantly between the two dosimetric systems (the ratio of the DS86 and T65DR estimates varies from 0.95 to 1.08).

Under the DS86 system, the computed average transmission factors for specific organs increase generally but those for house shielding decrease as compared with the T65DR. Accordingly, in terms of organ-absorbed dose (gamma and neutron), assuming a linear dose-response model, the difference in risk coefficients between the two dose systems is smaller than that for shielded kerma; the changes in the transmission factors for house shielding and organ tissue tend to nullify one another. The excess

本報においては、特に、同一の被爆者集団 (DS86 サブコホート) について DS86 線量を用いた癌リスク推定値と T65DR を用いて得られた推定値を癌部位別に比較する。このように比較を限定して行うのは、集団の定義の変化により影響を受けないようにして、推定リスクの変化の影響をできる限り直接評価するためである。別の報告書¹では、大まかな癌の分類を用いて、T65DR 方式から得た結論と今や適切と思われる結論とを比較することが主な目的となっている。したがって、T65DR コホート全体との比較が行われた。また、この報告書では、生物学的効果比 (RBE) に関する仮定の影響と、線量反応における非線形性の可能性に重点が置かれている。このようなことから、この報告書に述べられている新線量推定方式による変化は、本報で示すものより若干大きくになっている。

DS86 線量と T65DR 線量のいずれにおいても死亡率の増加が統計学的に有意な10種の癌部位、すなわち、白血病、白血病以外のすべての癌、胃癌、結腸癌、肺癌、乳癌、食道癌、卵巣癌、膀胱 (尿路系) 癌及び多発性骨髄腫を用いて、1950-85年の間の癌死亡リスク係数を比較した。過剰相対リスク (1 Gy 当たり)、絶対リスク (10^4 PYGy 当たりの過剰癌死亡)、及び寄与リスク (%) の三つのリスク指標を推定した。全体的に見て、遮蔽 kerma においては、DS86 線量が T65DR 線量と比較して小さくなるので、これらの指標は予想通り増加する。DS86 方式では、部位別の癌の過剰相対リスクは1.35～1.51倍高くなり、 10^4 人年Gy (PYGy) 当たりの過剰癌死亡数は1.38倍から1.61倍高くなる。寄与リスクは両方式間で有意な差を示さない (DS86 推定値と T65DR 推定値の比は 0.95～1.08である)。

DS86 方式では、T65DR と比較して、特定臓器の平均透過係数は全体的に増加するが、家屋の透過係数は低下する。従って、臓器吸収線量 (ガンマ線及び中性子) の場合、家屋及び臓器組織の透過係数の変化は互いに相殺される傾向にあるので、線形線量反応モデルを仮定すると、両線量推定方式間におけるリスク係数の差は遮蔽 kerma の場合より小さくなる。

numbers of cancer deaths per 10^4 PYGy with the DS86 organ-absorbed doses (and ratio to T65DR) are 2.94 (0.95), 10.13 (0.73), 2.42 (0.72), 0.81 (0.83), 1.68 (0.89), 1.20 (1.33), 0.45 (0.92), 0.71 (1.11), 0.66 (0.81), and 0.26 (0.90) for leukemia, all cancers except leukemia, cancer of the stomach, colon, lung, female breast, esophagus, ovary, bladder, and multiple myeloma, respectively. It should be noted that the risk coefficients based on the DS86 organ-absorbed doses are generally smaller than those based on the T65DR values. However, the risk coefficient for cancer of the female breast increases with the DS86 even at the organ-absorbed dose level. Parenthetically, it should be noted that in the DS86 system posture and orientation are taken into account; this was not true in the T65DR.

The difference in cancer mortality between Hiroshima and Nagasaki is smaller with the DS86 than with the T65DR and no longer statistically significant for either shielded kerma or organ-absorbed dose. The magnitude of the effects of such modifiers of radiation-induced cancer as age at exposure, sex, and time since exposure does not change between the two dose systems for either shielded kerma or organ-absorbed dose.

Since the DS86 neutron dose is very small, even in Hiroshima, attempts to measure the separate effects of neutrons through an analysis of the dose-response using the gamma and neutron doses separately or to estimate their RBE do not give meaningful results. The data prove compatible with a wide range of plausible RBE values.

With the DS86, the excess numbers of cancer deaths per 10^4 PYSv attributable to gamma rays for an assumed constant neutron RBE of 1, 10, and 20 in organ dose equivalent, adjusted for the effects of age and sex, are 2.95, 2.67, 2.40 for leukemia, 10.1, 9.41, 8.76 for all cancers except leukemia, 2.63, 2.36, 2.10 for stomach cancer, 0.76, 0.73, 0.69 for colon cancer, 1.80, 1.59, 1.42 for lung cancer, and 1.22, 1.00, 0.82 for female breast cancer. Thus, the risk associated with gamma rays does not differ materially with different assumed values of the neutron RBE. With the T65DR doses, the estimated excess deaths per 10^4 PYSv is much more sensitive to the RBE value that is assumed, and the disparity between the two dosimetries grows larger as the assumed RBE increases, reflecting the relative importance of the neutron component in the two systems. At an RBE of 10, for the five specific cancers,

DS86臓器吸収線量での 10^4 PYGy 当たりの過剰癌死亡数(及び T65DR に対する比)は、白血病 2.94 (0.95), 白血病以外のすべての癌 10.13 (0.73), 胃癌 2.42 (0.72), 結腸癌 0.81 (0.83), 肺癌 1.68 (0.89), 乳癌 1.20 (1.33), 食道癌 0.45 (0.92), 卵巣癌 0.71 (1.11), 膀胱(尿路系)癌 0.66 (0.81), 及び多発性骨髄腫 0.26 (0.90) である。DS86臓器吸収線量に基づくリスク係数は、T65DR 値に基づく係数より全体的に低いことに注意すべきである。しかし、乳癌のリスク係数は、DS86において、臓器吸収線量レベルでも増加する。付言すれば、DS86方式では被爆者の被爆時の姿勢と方向が考慮されているが、T65DRでは考慮されていないことに注意すべきである。

癌死亡における広島・長崎間の差異は T65DR よりも DS86では小さく、遮蔽kermaと臓器吸収線量のいずれにおいてももはや統計学的に有意ではない。被爆時年齢、性、被爆後経過時間などの放射線誘発癌の修正要因による影響の程度は、遮蔽kerma、臓器吸収線量のいずれにおいても、両線量推定方式間で変化しない。

DS86の中性子線量は非常に低いので、広島においてさえも、ガンマ線量と中性子線量を別々に用いた線量反応解析から中性子のみの効果を測定したり、そのRBEを推定したりすることには余り意味はない。得られたデータから推定したRBE値の信頼限界はかなり広範囲である。

DS86では、中性子RBEの値を1, 10, 20と仮定した場合、年齢及び性の影響を補正した臓器線量当量でのガンマ線による 10^4 PYSv 当たりの過剰癌死亡数は、白血病で2.95, 2.67, 2.40, 白血病以外のすべての癌で10.1, 9.41, 8.76, 胃癌で2.63, 2.36, 2.10, 結腸癌で0.76, 0.73, 0.69, 肺癌で1.80, 1.59, 1.42, 乳癌で1.22, 1.00, 0.82である。したがって、異なる中性子RBE値を仮定した場合でも、ガンマ線によるリスクに実質的な相違は見られない。T65DR線量では、 10^4 PYSv 当たりの推定過剰死亡は、仮定したRBE値に大きく影響されるので、仮定したRBEが増加するにつれて2方式間の相違は大きくなる。これは、両方式における中性子成分の相対的な重要性を反映している。RBEが10のとき、乳癌、結腸癌、白血病、肺癌及び胃癌の五つの特定の癌

i.e., female breast, colon, leukemia, lung, and stomach, the increase in excess number of deaths per 10^4 PYSV under the DS86 varies from 12% (colon) to 133% (female breast).

Briefly, this reevaluation of the exposures does not change the list of radiation-related cancers. Some city differences in dose-response previously thought to be real when the T65DR doses were used, such as leukemia, are no longer significant with the DS86 doses. Assuming a linear dose-response, and using estimated organ-absorbed doses, the risk coefficients derived from the two dosimetries are very similar, whereas those based on shielded kerma are about 40% higher with the new dosimetry. If larger RBE values are assumed, the disparity between the two dosimetries increases because the neutron dose is much greater in the revised T65 dosimetry.

INTRODUCTION

Heretofore radiation-related risks among the A-bomb survivors in the studies of RERF, and its predecessor ABCC, have been couched in terms of their estimated tentative 1965 dose revised (T65DR); the latter estimates are based on the work of Auxier et al of the US Oak Ridge National Laboratory (ORNL).² This system of dosimetry estimated, for most individual survivors (98%) within the RERF Life Span Study (LSS) sample, a tissue kerma in air.³ Organ (tissue) doses were assigned using fixed coefficients to describe the attenuation of radiation through other superimposed organs and tissues before it reached the specific organ or tissue of interest.⁴ Tissue kerma in air and organ-absorbed doses were estimated for the two kinds of radiation released by the A-bomb, viz, neutrons and gamma rays.

In 1975, Preeg of the Los Alamos National Laboratory (LANL) reexamined the gamma-ray and neutron spectra from the Hiroshima and Nagasaki A-bombs using a one-dimensional model and discovered that they differed considerably from the spectra used in calculating the T65DR dose.⁵ Simple calculations based on these spectra suggested that the T65DR neutron dose was overestimated markedly for Hiroshima. Subsequently, Loewe and Mendelsohn⁶ at the Lawrence Livermore National Laboratory and Kerr and Pace at ORNL⁷ independently calculated the air doses in Hiroshima and Nagasaki and reported that both the neutron and the gamma doses differed substantially from the T65DR

では、DS86での 10^4 PYSV 当たりの過剰死亡数の増加は12% (結腸) から133% (乳房) までの範囲である。

要約すれば、今回の放射線量再評価によって、放射線との関連の認められる癌の部位が変更されることはない。T65DR 線量を用いられていたときに存在すると考えられた線量反応における都市間差 (例えば白血病など) は、DS86線量ではもはや有意ではない。線形線量反応を仮定し、推定臓器吸収線量を用いると、両線量方式から得られるリスク係数は酷似している。ただし、遮蔽kermaに基づくリスク係数は新方式の方が約40%高い。大きなRBE値を仮定すると、中性子線量はT65DRの方がはるかに高いので両方式間の相違は増大する。

緒言

放影研とその前身であるABCCの研究における原爆被爆者の放射線関連リスクはこれまで1965年暫定推定放射線量 (T65DR) に基づいて表されてきた。この推定放射線量は米国Oak Ridge研究所 (ORNL) のAuxierらの研究に基づくものである。² この線量推定方式を用いて、放影研寿命調査 (LSS) 集団内のほとんどの被爆者 (98%) について空中組織kermaが推定された。³ 放射線が特定の臓器又は組織に達するまでに他の臓器及び組織を通る過程で減弱する様子を説明するために一定の係数を用いて臓器 (組織) 線量が付与された。⁴ 原爆によって放出された2種類の放射線、中性子とガンマ線、について、空中組織kerma及び組織吸収線量が推定された。

1975年に、米国Los Alamos研究所 (LANL) のPreegは広島・長崎に投下された原爆のガンマ線及び中性子スペクトルを1次元モデルを用いて再検討し、それらスペクトルがT65DR線量を算出するのに用いられたスペクトルと大幅に相違することを発見した。⁵ スペクトルに基づくこの単純計算の結果、特に広島でT65DR中性子線量が過大評価されていることが示唆された。その後、米国Lawrence Livermore研究所のLoewe及びMendelsohn⁶とORNL⁷のKerr及びPaceが別々に広島・長崎の空中線量を計算し、中性子線量とガンマ線量のいずれもT65DR推定値

estimates. These findings prompted a complete reassessment of the A-bomb radiation dosimetry (for a fuller account of the events which preceded this reassessment see Kerr, Hashizume, and Edington⁵). This was begun jointly by the Governments of Japan and the United States, and an Atomic Bomb Radiation Dosimetry Committee chaired by Dr. Eizo Tajima, on the Japanese side, and a Dosimetry Re-assessment Panel chaired by Dr. Frederick Seitz, on the American side, were established. A series of workshops ensued,^{5,8,9} and out of these grew a consensus system, known as the Dosimetry System 1986 (DS86).⁵ Details will be found elsewhere.⁵

The present analysis centers on a comparison of the radiation-related risks of site-specific cancer mortality based on this new system and the T65DR doses and deaths from cancer in the years 1950 to 1985 for approximately 76,000 members of the recently extended Life Span Study sample (LSS-E85)¹⁰ on whom estimates of the DS86 and T65DR doses are presently available. Attention focuses on the estimation of the cumulative risk to date and not its projection to a lifetime. Other publications in this series will address issues, such as noncancer mortality and the effects of age at the time of the bomb (ATB), sex, and other modifiers of risk, more thoroughly.

MATERIALS AND METHODS

Exposures and the Sample Used in This Analysis

At present, the LSS-E85 sample¹⁰ consists of 120,321 individuals; however, life status cannot be determined on 193, and they have been excluded from consideration here. Among the remaining 120,128 subjects, there are 91,228 exposed individuals excluding 26,517 "Not-in-city (NIC)" and 2,383 on whom a dose (T65DR) could not be estimated. DS86 doses have been calculated for or assigned to 75,991 of the 91,228 LSS-E85 survivors on whom a T65DR dose exists, including 16,207 among a total of 19,387 proximally exposed subjects (i.e., survivors within 1,600 m in Hiroshima and 2,000 m in Nagasaki, based on T65DR distances), mostly individuals within wooden Japanese houses or tenements (Table 1). Among the 59,784 distally exposed persons, direct computation of the DS86 dose was possible for somewhat more than 2,000 individuals, largely survivors in Hiroshima within the zone 1,601-1,800 m; these computed

とは大きく異なることを報告した。これらが判明したことから、原爆放射線推定方式を完全に再評価することになった(再評価に至る経緯の詳細については、Kerr, 橋詰及びEdingtonの報告を参照⁵)。このプログラムは日米両政府合同で開始され、日本では田島英三博士を長とする原爆による線量の評価検討委員会が、米国ではDr. Frederick Seitzを長とする原爆線量再評価委員会が設置された。その後幾つかのワークショップが開催され、^{5,8,9} その結果、1986年線量推定方式(DS86)として知られる方式が採択されるに至った。⁵ 詳細は別途に報告されている。⁵

本解析では、主に、最近(1985年)拡大された寿命調査集団(寿命調査-E85)¹⁰のうち、DS86とT65DR推定線量が現在得られている対象者約76,000人について、1950年から1985年までの癌による死亡に基づいて、部位別癌死亡率の放射線関連リスクの比較をこの新線量とT65DRに関して行った。現在までの累積リスクの推定に重点を置き、生涯リスクの推計は行わない。本シリーズの他の報告書では、癌以外の死因による死亡及び被爆時年齢、性並びにその他のリスク修正要因の影響についてより詳細な検討が行われる。

研究対象及び方法

本解析で用いた被曝線量及び研究対象集団

現在、LSS-E85集団¹⁰は120,321人の対象者から構成されているが、このうち193人については生死が不明であるので、本解析から除外した。残りの120,128人のうち、“市内不在者(NIC)”26,517人及び線量(T65DR)が推定できない2,383人を除くと、被爆者は91,228人となる。T65DR線量が与えられたLSS-E85対象者91,228人のうち、75,991人についてDS86線量を算出又は付与した。この中には、近距離被爆者19,387人(T65DRの距離に基づく、広島では爆心から1,600 m以内、長崎で2,000 m以内)のうちの16,207人が含まれており、そのほとんどは木造日本家屋又は長屋内にいた(表1)。遠距離被爆者59,784人のうち、DS86線量が直接算出できたのは2,000人強で、その多くは広島での1,601-1,800 m区間の被爆者である。このように算出線量が得られる場合は、

TABLE 1 NUMBER OF STUDY SUBJECTS BY EXPOSURE STATUS, COHORT, AND CITY

表1 研究対象者数; 被爆状態, コホート及び都市別

City	Cohort	Exposure			T65DR dose unknown	"Not-in- city"	Total (LSS-E85 *** sample)
		Total	Proximal* exposure	Distal** exposure			
Total	T65DR full	91228	19387	71841	(2383)	(26517)	120128
	DS86	75991	16207	59784	-	-	
	Not DS86	15237	3180	12057	(2383)	(26517)	
Hiroshima	T65DR full	60468	12787	47681	(1426)	(20168)	82062
	DS86	51390	12130	39260	-	-	
	Not DS86	9078	657	8421	(1426)	(20168)	
Nagasaki	T65DR full	30760	6600	24160	(957)	(6349)	38066
	DS86	24601	4077	20524	-	-	
	Not DS86	6159	2523	3636	(957)	(6349)	

* Survivors who were at distances within 1,600 m in Hiroshima or within 2,000 m in Nagasaki

広島では爆心地から1,600 m以内, 長崎では2,000 m以内の距離の被爆者

** Survivors who were beyond 1,600 m in Hiroshima or beyond 2,000 m in Nagasaki

広島では爆心地から1,600 m以遠, 長崎では2,000 m以遠の被爆者

*** The LSS sample in Nagasaki was augmented through the addition of 11,393 survivors exposed at distances of 2,500 m or greater. This enlarged sample has been designated the LSS-E85.

長崎の寿命調査対象者は、2,500 m以遠の被爆者11,393人を加えることにより拡大された。この拡大集団はLSS-E85と命名された。

doses have been used where they were available in preference to an assigned dose. Assignment of doses to the remaining distally exposed on whom detailed information on shielding does not exist is described elsewhere.¹¹ Hereafter we shall refer to the 91,228 individuals as the full T65DR cohort, and the 75,991 as the DS86 subcohort.

As in previous LSS reports, doses above 6 Gy have been truncated. This pragmatic step obviously does not deal rigorously with either the random or the systematic errors inherent in the estimation of the true dose of a survivor. Among the systematic errors, the most important may be the failure of both the old and new dosimetries to account adequately for the time-dose dependencies. Given the large contribution that delayed radiation from the fireball

付与線量よりも優先的に用いた。遮蔽に関する詳細な情報が得られないその他の遠距離被爆者に対する線量の付与については別途に報告する。¹¹ 以後、上述した91,228人をT65DRコホート全体とし、75,991人をDS86サブコホートとする。

過去の寿命調査報告書と同様に、6 Gy以上の線量は6 Gyとした。この現実的な方法では、被爆者の真の線量の推定に伴う固有な確率的誤差又は系統的誤差を厳密に処理することはできない。系統的誤差のうちで最も重要なものは、新旧線量推定方式が共に時間-線量依存関係を適切に説明できないことであろう。火球から放出された遅発放射線が総線量に

makes to the total dose, loss or gain of shielding as a result of the blast effect, particularly in the first several seconds following the detonation of a bomb, could substantially influence kerma in shielded areas and ultimately organ-absorbed dose. Jablon,¹² Gilbert,¹³ and Gilbert and Ohara¹⁴ have examined the impact of some of these errors, the random ones, in the context of the T65DR dosimetry; the principles they address undoubtedly hold true qualitatively, if not quantitatively, for the new dose estimates as well.

Given the variety of expressions which have been used to describe exposures or doses, to avoid ambiguity in the paragraphs to follow, we shall use only three terms, namely, the free-in-air (FIA) kerma, kerma in house or shielded areas (termed here "shielded kerma"), and organ-absorbed dose. The first implies the kerma in tissue at a point in air over bare ground (i.e., no person present and not in or near a building); the second, the kerma of the individual with allowance for house structural shielding; and the last, the radiation absorbed by the organ or tissue under consideration.

Ascertainment of Death

Deaths are routinely ascertained through the obligatory household registries that exist in Japan, and ascertainment is considered to be essentially complete. Although some deaths are inevitably reported late, based on the final years covered in Report 10, we estimate that 96% of the deaths that actually occurred in the years 1983-85 and all of those prior to 1983 are included in this analysis.

Causes of death are obtained from the Vital Statistics Death Schedules which are based on the death certificates. For the present analysis, a total of 5,936 (83.7%) cancer deaths occurring during the period 1950-85 in the DS86 subcohort among a total of 7,096 cancer deaths in the full T65DR cohort (excluding NIC and T65DR dose unknown) were used. Table 2 shows the number of subjects, person-years at risk, and deaths by DS86 shielded kerma.

Statistical Methods

The effects of radiation on site-specific cancer mortality have been estimated using the two different dose systems, and the 75,991 subjects in the DS86 subcohort. The following items are compared:

大きく寄与しているとすれば、特に爆発後最初の数秒間において、爆風効果による遮蔽物の喪失又は獲得が、遮蔽領域における kerma 並びに最終的には臓器吸収線量に顕著な影響を及ぼす可能性がある。Jablon,¹² Gilbert¹³ 並びに Gilbert 及び Ohara¹⁴ はこれらの誤差のうちの幾つかの確率的誤差の影響を T65DR 方式の観点から検討している。彼らが報告した原則は、量的にはないとしても、質的には新しい推定線量にも当てはまることは明らかである。

被曝線量を表すのに様々な用語が用いられてきたが、以降の記述では曖昧さを避けるために、空中 (FIA) kerma、家屋又は遮蔽領域における kerma (ここでは "遮蔽 kerma" と称する) 及び臓器吸収線量の三つのみを用いる。空中 kerma とは、遮蔽物のない (建物の内部又は付近でなくて、付近に人もいない) 地面上の空中のある点における組織中の kerma を意味し、遮蔽 kerma は家屋建造物による遮蔽を考慮した各被爆者の kerma であり、また、臓器吸収線量は対象臓器又は組織によって吸収された放射線を意味する。

死亡の確認

死亡は通常日本の戸籍制度を通じて確認されており、確認状況はほぼ完全であると思われる。第10報の対象となっている最後の数年を見ると、一部の死亡報告が遅れるのは避けられないが、1983-85年の間に発生した死亡例の96%及び1983年以前の全死亡例が本解析に含まれている。

死因は死亡診断書に基づく人口動態統計死亡票から得た。本解析では、T65DR コホート全体 (NIC 及び T65DR 線量不明群を除く) の7,096人の癌死亡例のうち、DS86サブコホートで1950-85年の間に発生した癌死亡例5,936人 (83.7%)を用いた。表2は、対象者数、観察年、及び死亡数をDS86遮蔽kerma別に示したものである。

統計学的方法

部位別癌死亡に対する放射線の影響を二つの線量推定方式とDS86サブコホートの75,991人の対象者を用いて調べた。次の各項について比較を行った。

TABLE 2 NUMBER OF SUBJECTS, PERSON-YEARS, AND CANCER DEATHS BY DS86 SHIELDED KERMA

表2 対象者数, 人年及び癌死亡数: DS86遮蔽kerma 別

	Total	DS86 shielded kerma in gray										
		0	0.01-0.05	0.06-0.09	0.10-0.19	0.20-0.49	0.50-0.99	1.0-1.99	2.0-2.99	3.0-3.99	4.0+	
Number of subjects	75991 (45557)	34272 (19766)	19192 (12116)	4129 (2449)	5172 (3220)	6558 (4038)	3616 (2250)	1946 (1095)	637 (382)	211 (115)	258 (126)	
Number of person- years at risk	2185335 (1350441)	1001931 (598963)	537862 (346849)	121251 (73858)	149826 (95778)	185648 (118054)	102472 (65939)	55228 (32680)	18164 (11148)	6071 (3611)	6884 (3561)	
Number of cancer deaths												
Leukemia	202	58	36	2	13	21	19	23	15	9	6	
All cancer except leukemia	5734	2443	1322	333	416	537	330	221	78	23	31	
Esophagus	176	83	27	11	18	13	10	8	4	-	2	
Stomach	2007	854	469	119	143	191	114	78	21	5	13	
Colon	232	103	57	10	10	20	12	8	6	2	4	
Lung	638	253	151	42	40	68	38	29	11	3	3	
Female breast	155	57	39	5	10	14	15	9	2	2	2	
Ovary	82	31	18	1	8	11	6	5	1	1	-	
Bladder	133	49	30	6	8	14	13	8	3	1	1	
Multiple myeloma	36	13	9	1	-	7	2	1	-	1	2	

(): Number for female 女性の数値

The gamma and neutron doses are rounded after summing the appropriate components recorded to the nearest milligray. These rounded gamma-rays and neutron values have been summed to obtain the total dose. This method of rounding is somewhat different from that used by Preston and Pierce¹ which accounts for the small differences between some of our tables and theirs. The method we have used represents a consensus reached after their study was completed.

ガンマ線量及び中性子線量は, 記録された適切な値を合計した後, 最も近いミリグレイで四捨五入した。この四捨五入したガンマ線量と中性子の値を合計して総線量を得た。この四捨五入の方法は Preston 及び Pierce¹ が用いた方法とはやや異なり, これが我々と彼らの表における若干の差異の原因となっている。我々が用いた方法は, 彼らの研究が終了した後に行われた合意に基づくものである。

1. Risk coefficients: Excess relative risk (RR) per gray; Excess deaths per 10^4 PYGy; Attributable risk (%)
2. Shape of the dose-response curve
3. Radiation effect modifiers: City, sex, age ATB, time since exposure
4. RBE of neutrons

In the statistical analyses the person-years and the numbers of deaths are aggregated and stratified by city, sex, six categories of age ATB (<10 years of age, 10-19, 20-29, 30-39, 40-49, 50+), seven follow-up intervals (1950-55, 1956-60, 1961-65, 1966-70, 1971-75, 1976-80, 1981-85), and 10 categories of radiation dose (0, 0.01-0.05, 0.06-0.09, 0.10-0.19, 0.20-0.49, 0.50-0.99, 1.00-1.99, 2.00-2.99, 3.00-3.99, and 4.00+ Gy), yielding 1,680 strata. The same dose categories are used for shielded kerma and organ-absorbed dose. Parenthetically, it should be noted that most previous analyses of the LSS sample have been based on 8 rather than 10 dose categories, for exceptions see references 10 and 15.

Formally, the model we have fitted can be described as follows (for a detailed explanation see references 10 and 16): Let i be the stratum in the cross-classification of city, sex, age ATB, and follow-up interval, j be the exposure category, and Y_{ij} , PY_{ij} , and M_{ij} be the numbers of deaths, person-years, and the mortality rate in stratum i and dose group j . Under these circumstances, the mortality can be defined as

$$M_{ij} = M_{i0} RR_{ij}$$

where RR_{ij} is the risk in stratum i of exposure group j , relative to exposure group 0 Gy, after adjusting the background rate for city, sex, age ATB, and time since exposure. More specifically, the risk coefficients are calculated assuming a linear (in dose) RR function, i.e.,

$$RR_{ij} = 1 + bD_{ij} \exp^{aX}$$

where D_{ij} is the mean total dose (shielded kerma or organ-absorbed) in the ij -th category, and X is the effect of a radiation modifier, such as sex, city, age ATB, and time since exposure. For investigation of the RBE, the total dose D_{ij} is divided into its gamma $_{ij}$, and neutron $_{ij}$ components.

1. リスク係数: 1 Gy 当たりの過剰相対リスク; 10^4 PYGy 当たりの過剰死亡数; 寄与リスク (%)
2. 線量反応曲線の形状
3. 放射線効果修正要因: 都市, 性, 被爆時年齢, 被爆後経過期間
4. 中性子の RBE

統計学的解析では, 人年及び死亡数を都市別, 性別, 六つの被爆時年齢カテゴリー別 (10歳未満, 10-19歳, 20-29歳, 30-39歳, 40-49歳, 50歳以上), 七つの追跡期間別 (1950-55年, 1956-60年, 1961-65年, 1966-70年, 1971-75年, 1976-80年, 1981-85年) 及び10個の放射線量カテゴリー別 (0 Gy, 0.01-0.05 Gy, 0.06-0.09 Gy, 0.10-0.19 Gy, 0.20-0.49 Gy, 0.50-0.99 Gy, 1.00-1.99 Gy, 2.00-2.99 Gy, 3.00-3.99 Gy, 4.00 Gy 以上) にまとめ, 層化した結果, 1,680個の層が得られた. 遮蔽kerma 及び臓器吸収線量についても同じ線量カテゴリーを用いた. ちなみに, 寿命調査集団に関する以前の解析の多くは10個ではなく8個の線量カテゴリーに基づいている. 例外については, 参考文献の10と15を参照のこと.

我々の適合モデルは次のように説明できる (詳細については参考文献の10及び16を参照): i を都市, 性, 被爆時年齢及び追跡期間の交差分類における層, j を被曝線量カテゴリー, Y_{ij} , PY_{ij} 及び M_{ij} を層 i 及び線量群 j における死亡数, 人年, 並びに死亡率とする. これらの条件で死亡率は

と定義されるが, ここで, RR_{ij} は, バックグラウンド死亡率を都市, 性, 被爆時年齢及び被爆後経過期間について補正した, 線量群0に対する線量群 j の層 i における相対危険度である. 更に, ($Dose$ に関して) 線形相対リスク関数, すなわち, 次のモデルを仮定してリスク係数を算出する.

ただし, D_{ij} は ij 番目のカテゴリーにおける平均総線量 (遮蔽kerma 又は臓器吸収線量) であり, X は性, 都市, 被爆時年齢及び被爆後経過期間などの放射線修正要因である. RBE を調べる際には, 総線量 D_{ij} をガンマ線 ij と中性子 ij の両成分に分ける.

Parameters are estimated by the method of maximum likelihood, assuming that the numbers of deaths Y_{ij} are independent Poisson random variables with expected values $E(Y_{ij}) = PY_{ij} \cdot M_{ij} \cdot RR_{ij}$, where PY_{ij} is treated as constant. The goodness of fit of a model to the data is measured by the deviance which is defined as the ratio of the log likelihoods under the full model, which exactly fits the data, and the one based on the parameters that have been actually estimated. The degrees of freedom associated with the deviance are merely the number of strata minus the number of parameters estimated. In the comparison of two models with differing numbers of parameters, we assume the difference in the deviances to be distributed as chi-square with degrees of freedom equal to the difference in the number of parameters estimated.

The three risk coefficients used for the primary comparison of dosimetries are based on fitting the above model with the $\exp(aX)$ term omitted.

1. Excess RR per gray

$$\hat{b} \cdot 1$$

2. Excess deaths per 10^4 PYGy

$$\left[\sum_i \sum_{j=1} PY_{ij} \cdot \hat{M}_{i0} \cdot \hat{b} \cdot D_{ij} / \sum_i \sum_{j=1} PY_{ij} \cdot D_{ij} \right] \times 10^4$$

3. Attributable risk (%)

$$\left[\sum_i \sum_{j=1} PY_{ij} \cdot \hat{M}_{i0} \cdot \hat{b} \cdot D_{ij} / \sum_i \sum_{j=1} Y_{ij} \right] \times 100$$

Preston et al¹⁰ have shown that an age-constant RR model adequately describes the LSS data, provided the RR is allowed to depend upon sex and age at exposure. As noted above, the primary dosimetric comparisons here are based on models which average over the effects of these two factors. The justification for this, as supported by secondary analyses, is that the sex and age at exposure effects are essentially the same for the two dosimetries, and thus an adequate comparison is obtained by averaging over them.

死亡数 Y_{ij} は独立な Poisson 確率変数で、期待値が $E(Y_{ij}) = PY_{ij} \cdot M_{ij} \cdot RR_{ij}$ (ここで PY_{ij} は定数として扱う) と仮定して、各パラメーターを最大尤度法で推定する。このデータに対するモデルの適合度は、データに完全に適合するモデルと実際にパラメーターを推定したモデルにおける対数尤度の比として定義される偏差 (deviance) によって測定する。偏差に関連した自由度は単に、層数から推定パラメーター数を差し引いて得られる。パラメーター数が異なる二つのモデルの比較においては、偏差の差はカイ二乗分布を示し、自由度は推定パラメーター数の差に等しいと仮定する。

両線量推定方式の主な比較に用いた三つのリスク係数は上記のモデルから $\exp(aX)$ 項を除いたものから得る。

1. 1 Gy 当たりの過剰相対危険度

2. 10^4 PYGy 当たりの過剰死亡数

3. 寄与リスク (%)

Preston ら¹⁰ は、相対リスクが性及び被爆時年齢に依存するようにされていれば、年齢に対して一定の相対リスクモデルは寿命調査データにうまく適合することを示した。上述したように、本報における主な線量推定方式の比較はこれら二つの要因の影響を平均化したモデルに基づいている。このような処置を取ったのは、副次的な解析で支持されたように、性及び被爆時年齢の影響は両方式においては基本的に同一であり、それらを平均化することによって適切な比較を行うことができると考えたためである。

RESULTS

Comparison of the Two Dosimetric Systems

FIA kerma

The FIA kerma curves by distance from the hypocenter for the two systems are shown in Figure 1 for Hiroshima and Nagasaki, separately. It will be noted that the DS86 FIA gamma kerma in the open increases in Hiroshima with increasing distance and is about three times higher at 2,000 m, but decreases a little in Nagasaki when compared to the T65DR estimates. The comparable DS86 neutron kerma decreases in both cities, to around 10% and 30% in Hiroshima and Nagasaki, respectively, as contrasted with its estimated T65DR value.

結果

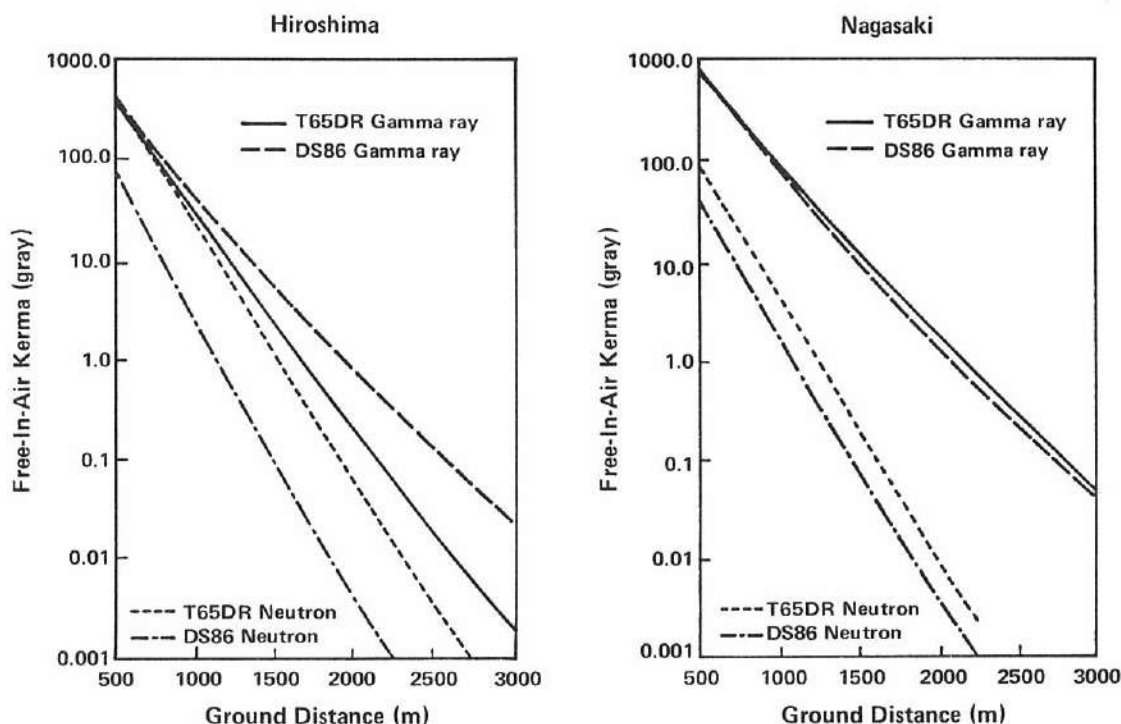
二つの線量推定方式の比較

空中 kerma

二つの線量推定方式における、爆心地からの距離別の空中 kerma 曲線を広島・長崎別々に図1に示した。野外での DS86 空中ガンマ kerma は、T65DR 推定値と比較して、広島では距離が増大するにつれて増加し、2,000 m では約3倍であるが、長崎では若干減少している。対応する DS86 中性子 kerma は、T65DR 推定値と比較すると、広島・長崎でそれぞれ約10%と30%に減少している。

FIGURE 1 FREE-IN-AIR KERMA BY GROUND DISTANCE, CITY, AND DOSIMETRY SYSTEM FOR GAMMA RAYS AND NEUTRONS

図1 ガンマ線及び中性子の空中 kerma；被爆距離，都市及び線量推定方式別



Shielded kerma

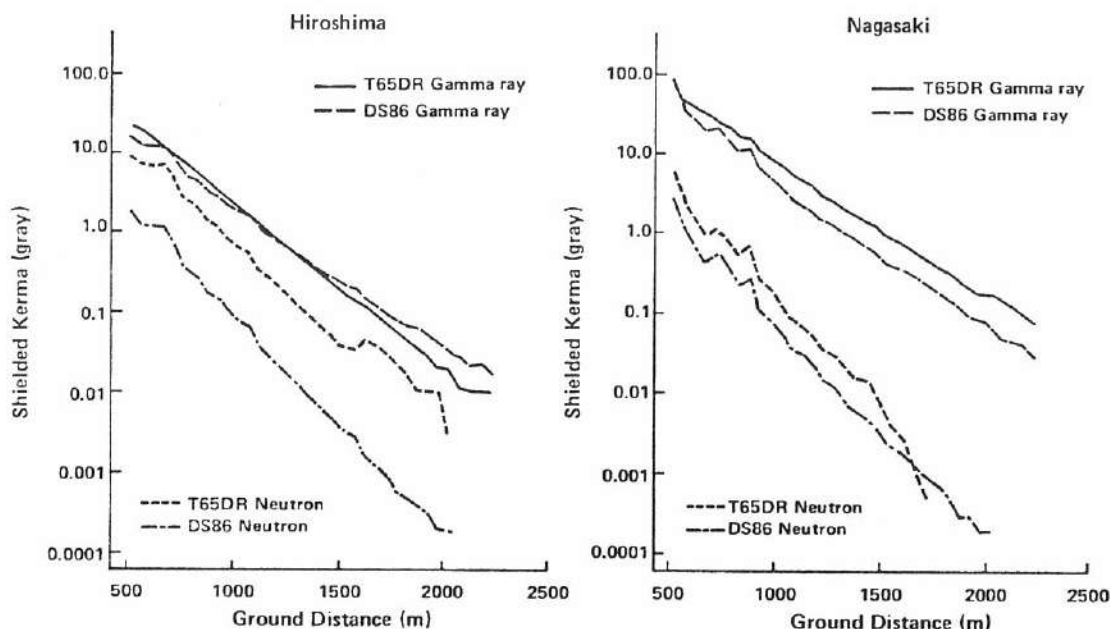
As a result of the changing spectrum of energies, the average transmission factor for gamma rays in Japanese houses changes substantially under the DS86 system, i.e., from 0.90 (0.81) in Hiroshima (Nagasaki) for the T65DR system to 0.46 (0.48) for the DS86, while the average transmission factor for neutrons differs much less strikingly, i.e., 0.31 (H) and 0.35 (N) for the T65DR and 0.36 (H) and 0.41 (N) for the DS86 (Appendix Table 1). Although the neutron transmission factors are somewhat higher with the new dosimetry, the DS86 transmission factor for gamma rays is about 51% of the corresponding factor for the T65DR in Hiroshima and about 59% for Nagasaki (Appendix Table 1). Accordingly, in Hiroshima, the shielded gamma kerma within 1,400m of the hypocenter is lower (Figure 2) for the DS86 than the T65DR system, although it is higher at distances beyond 1,400m. In Nagasaki, the DS86 shielded gamma kerma is lower everywhere than the T65DR system, and in both cities the neutron kerma decreases substantially.

遮蔽 kerma

エネルギー・スペクトルが変更された結果、日本家屋内のガンマ線の平均透過係数はDS86方式の下で大きく変化し、T65DRでは広島(長崎)で0.90(0.81)であったのが、DS86では0.46(0.48)となっている。一方、中性子の平均透過係数は余り大きくは変わっておらず、T65DRで0.31(広島)と0.35(長崎)であったのが、DS86では0.36(広島)と0.41(長崎)になっている(付表1)。中性子透過係数は新しい線量推定方式では若干高くなっているが、ガンマ線のDS86透過係数は、広島ではT65DRの対応する係数の約51%であり、長崎では約59%である(付表1)。したがって、広島では、爆心地から1,400m以内の遮蔽ガンマkermaはT65DRよりもDS86の方が低い(図2)が、1,400m以遠では逆に高くなっている。長崎では、DS86遮蔽ガンマkermaはあらゆる距離でT65DRよりも低い。また、両市において中性子kermaは著しく減少している。

FIGURE 2 SHIELDED KERMA BY GROUND DISTANCE, CITY, AND DOSIMETRY SYSTEM FOR GAMMA RAYS AND NEUTRONS

図2 ガンマ線及び中性子の遮蔽kerma；被爆距離、都市及び線量推定方式別



As stated earlier, individual estimates of shielded kerma were calculated for or assigned to 75,991 members of the DS86 subcohort (51,390 for Hiroshima and 24,601 for Nagasaki) under both systems. The distributions of these 75,991 individuals by 10 dose categories for both the DS86 and T65DR system are shown in Appendix Table 2. In general, the survivors are shifted toward lower dose categories with the DS86 dosimetry, except for doses below 0.10 Gy in Hiroshima where they are classified somewhat higher.

For those subjects (31,044 in Hiroshima; 10,675 in Nagasaki) exposed to 0.01 Gy or more, the mean DS86 total, gamma and neutron kerma are uniformly lower than the comparable T65DR values; thus, in Hiroshima for total dose the means are 0.304 vs 0.442 Gy (in Nagasaki, 0.267 vs 0.366 Gy), 0.295 vs 0.344 Gy (0.265 vs 0.362 Gy) for gamma rays, and 0.010 vs 0.099 (0.003 vs 0.004) for neutrons. Clearly, the three city-specific mean doses are more similar in the DS86 (Table 3).

Organ-absorbed dose

Insofar as the statements that follow are concerned, it must be borne in mind, first, that in the T65DR system each specific organ transmission factor is a constant; whereas in the DS86 fixed values are not used. Organ-absorbed doses, particularly among the more heavily exposed, reflect the circumstances of individual exposures, including posture and orientation, and therefore, the computed average transmission factor, which we use in our comparisons, can vary with the sample of individuals on whom that average is based. Second, here and elsewhere in this report, unless otherwise specified, our discussion of organ doses is based on total-absorbed dose. The average organ transmission factors for the 12 organs are shown in Appendix Table 3 for both the DS86 and T65DR. The transmission factors are higher in the DS86 than in the T65DR system for gamma ray, neutron, and neutron-capture gamma ray. Thus the changes in the shielding transmission factor, which is lower for the DS86 for gamma rays (though it is somewhat higher for neutrons), and the organ transmission factor for gamma rays tend to cancel each other.

Table 3 gives the mean total, gamma, and neutron organ-absorbed doses for the bone marrow, large intestine, lung, stomach, female breast, urinary bladder, and ovary for the cities combined as well as separately (for the numbers of individuals involved, see Appendix Tables 4 through 10). The

前述したように、個人遮蔽kerma推定値を両方式を用いてDS86サブコホートの対象者75,991人(広島51,390人、長崎24,601人)に対して算出又は付与した。DS86及びT65DRの両方式における、これら75,991人の10個の線量カテゴリー別の分布を付表2に示した。全体的に見て、DS86方式では被爆者は低線量カテゴリーに多く分布している。ただし、広島の0.10Gy以下の被爆者は、やや高線量に分類されている。

0.01Gy以上に被曝した者(広島31,044人、長崎10,675人)の平均DS86総kerma、ガンマkerma及び中性子kermaは対応するT65DR値よりも一様に低くなっている。したがって、広島では、平均総線量は0.304 Gy (DS86) 対0.442 Gy (T65DR) (長崎では0.267 Gy 対0.366 Gy)、平均ガンマ線量は0.295 Gy 対0.344 Gy (長崎では0.265 Gy 対0.362 Gy)、平均中性子線量は0.010 Gy 対0.099 Gy (長崎では0.003 Gy 対0.004 Gy)である。明らかに、この三つの都市別平均線量はDS86においてより近似している(表3)。

臓器吸収線量

これから先の記述に関する限り、まず、T65DR方式では特定臓器の透過係数は定数であるのに対して、DS86では一定した値は用いないことを銘記しておかねばならない。特に高線量被爆者の臓器線量は姿勢及び方向などの個人の被爆状況を反映するので、我々が比較に用いている平均透過係数はその算定基盤となる集団によって変化し得る。第二に、本報においては、特にことわらないかぎり、臓器線量の考察は総吸収線量に基づくものである。12種の臓器に対する平均臓器透過係数をDS86及びT65DRの両方について付表3に示した。ガンマ線、中性子及び中性子捕獲ガンマ線の透過係数はT65DR方式よりもDS86方式の方が高い。したがって、遮蔽透過係数(DS86のガンマ線では低い、中性子ではやや高い)の差異及びガンマ線の臓器透過係数は互いに相殺する傾向にある。

骨髄、大腸、肺、胃、乳房、膀胱(尿路系)及び卵巣に対する平均総臓器吸収線量、平均ガンマ線臓器吸収線量及び平均中性子臓器吸収線量を両市合計の場合と、両市別々の場合を表3に示した(対象者数に

TABLE 3 MEAN SHIELDED KERMA AND ORGAN-ABSORBED DOSE (mGy) AMONG SURVIVORS EXPOSED TO 0.01 Gy AND OVER

表3 0.01Gy 以上に被曝した人の平均遮蔽kerma 及び臓器吸収線量 (mGy)

		Total			Hiroshima			Nagasaki		
		Number of		Total	Number of		Total	Number of		Total
		Subjects	Total		Subjects	Gamma		Subjects	Gamma	
Shielded kerma	DS-86	41719	295	287	8	285	10	10675	267	265
	T65DR	41316	414	350	64	344	99	15170	366	362
Organ Dose :	Bone	40701	242	239	3	243	3	10132	228	227
	Marrow	41316	219	201	18	199	28	15170	204	203
Large Intestine	DS-86	39859	223	222	1	225	2	9776	215	215
	T65DR	31958	198	188	12	173	16	10085	217	216
Lung	DS-86	40382	240	238	2	242	3	9913	228	227
	T65DR	41316	194	180	14	179	22	15170	182	181
Stomach	DS-86	39961	228	226	2	228	2	9825	218	217
	T65DR	41316	181	169	12	169	18	15170	171	171
Female Breast	DS-86	25252	240	236	4	243	5	6449	217	216
	T65DR	25211	309	276	33	270	51	9274	288	286
Bladder	DS-86	40060	231	229	1	233	2	9820	220	218
	T65DR	41316	174	162	12	162	18	15170	164	164
Ovary	DS-86	24581	211	210	1	214	1	6142	198	198
	T65DR	19563	190	181	9	168	13	6349	208	207

DS86 gamma doses are greater than those based on the T65DR at six (female breast excepted) of these seven sites. For the female breast it is actually lower, since the gamma-ray transmission factor changes less for the female breast than for the other organs. The neutron organ-absorbed doses are reduced appreciably in Hiroshima, but there is little change in Nagasaki.

Comparison of Cancer Mortality

Characteristics of the DS86 subcohort and those members of the LSS sample not included in this subcohort

Risk estimates will differ with the certainty of the doses on which their estimation is based and different degrees of certainty attend the various methods employed to estimate the DS86 (and T65DR) doses. As a result, the doses of the DS86 subcohort should differ in reliability from the doses of survivors not included in the subcohort. That this is true is shown in Table 4 where the proximally exposed subjects in the "full T65DR cohort" are distributed by the method of estimation of the T65DR dose for the "DS86 subcohort" and the "Not in DS86 subcohort" separately for Hiroshima and Nagasaki. Within the DS86 subcohort, the majority of the dose estimates rests on two methods, either the "9-parameter" (64.5%) or the "average Japanese house transmission factor" (15.6%). Whereas within the "Not in DS86 subcohort", all individuals have doses assigned either on the basis of "the estimated air dose at their location, if outside, or within the structure which shielded them" (42.7%) or the "globe method" (57.3%).³ It should also be noted that among those individuals in Nagasaki assigned "air doses" are the survivors exposed in the Mitsubishi factories where the new transmission factor has yet to be determined.

Intuitively, the accuracy of the methods of dose-estimation can be rank ordered -- "9-parameter", "average transmission factor for Japanese house", and "assigned air dose or globe". In Table 5, the excess RR per gray based on the DS86 shielded kerma is shown for each of these three methods for leukemia and all cancers except leukemia.

For those individuals who had died prior to the time of the shielding history interview, the detailed information required to calculate the dose by the "9-parameter" method could often not be obtained and their doses were estimated by the less exact method based on "average transmission factor for Japanese houses". To assess the possible importance of the

については、付表4-10を参照). これら7部位のうち6部位において(乳房以外), DS86ガンマ線量がT65DR線量よりも高い. 乳房に対するDS86ガンマ線量が低いのは, ガンマ線透過係数がほかの臓器に比べて乳房においては余り変化していないからである. 中性子臓器吸収線量は広島でかなり減少しているが, 長崎ではほとんど変わらない.

癌死亡の比較

DS86サブコホートとこれに含まれない寿命調査集団対象者の特徴

リスク推定値はその推定の基盤となる線量の精度によって異なるもので, DS86(及びT65DR)線量の推定に用いた種々の方法の精度も様々である. このため, DS86サブコホートの線量の信頼性はこれに含まれていない被爆者の線量とは異なるはずである. これが正しいことは表4に示されており, 表中では, "T65DR コホート全体"中の近距離被爆者が, "DS86 サブコホート"と"DS86サブコホートに含まれていない者"のそれぞれについて, T65DR線量推定法別及び都市別に分類されている. DS86サブコホートでは, 線量推定値の多くは"9パラメータ法"(64.5%)と"日本家屋平均透過係数"(15.6%)のいずれかを用いて算出している. これに対して"DS86サブコホートに含まれていない者"では, 全員が"屋外ならばその地点での, または遮蔽建築物内での推定空中線量"(42.7%)又は"グローブ法"(57.3%)に基づいて線量を付与されている.³ また, "空中線量"を付与された長崎の被爆者の中には, 新しい透過係数がまだ決定されていない, 三菱の工場内で被爆した者を含むことにも注意すべきである.

一般に, 線量推定法の正確さの順位は次のとおりであると考えられる. "9パラメータ法", "日本家屋の平均透過係数", "空中線量付与又はグローブ法". 表5は, DS86遮蔽kermaに基づく, 白血病及び白血病以外のすべての癌の1 Gy当たりの過剰相対リスクをこれら三つの方法のそれぞれについて示したものである.

遮蔽歴の面接調査が行われる以前に死亡した被爆者については, "9パラメータ法"による線量の算出に必要な詳細な情報が得られないことがしばしばあったので"日本家屋平均透過係数"に基づくあまり正確でない方法により線量が推定されている. 線量推定値

TABLE 4 DISTRIBUTION OF PROXIMALLY EXPOSED SURVIVORS BY T65DR DOSE ESTIMATION METHOD AND CITY

表 4 近距離被爆者の分布; T65DR 線量推定の方法及び都市別

City	Cohort	Total (%)	Method of Estimation for T65DR Dose*			
			9-Parameter	Average Japanese House Transmission Factor	Globe	Air Dose Application
Total	T65DR full	19387 (100.0)	10450 (53.9)	2535 (13.1)	3904 (20.1)	2498 (12.9)
	DS86	16207 (100.0)	10450 (64.5)	2535 (15.6)	2082 (12.8)	1140 (7.0)
	Not DS86	3180 (100.0)	—	—	1822 (57.3)	1358 (42.7)
Hiroshima	T65DR full	12787 (100.0)	7576 (59.2)	2088 (16.3)	2076 (16.2)	1047 (8.2)
	DS86	12130 (100.0)	7576 (62.5)	2088 (17.2)	1620 (13.4)	846 (7.0)
	Not DS86	657 (100.0)	—	—	456 (69.4)	201 (30.6)
Nagasaki	T65DR full	6600 (100.0)	2874 (43.5)	447 (6.8)	1828 (27.7)	1451 (22.0)
	DS86	4077 (100.0)	2874 (70.5)	447 (11.0)	462 (11.3)	294 (7.2)
	Not DS86	2523 (100.0)	—	—	1366 (54.1)	1157 (45.9)

*See Milton and Shohoji³ for a description of these methods.これらの方法の説明については Milton 及び正法地³を参照。TABLE 5 EXCESS RELATIVE RISK PER 1 Gy (DS86 SHIELDED KERMA) BY T65DR DOSE ESTIMATION METHOD
— DS86 SUBCOHORT —表 5 1 Gy 当たりの過剰相対リスク (DS86遮蔽 kerma); T65DR 線量推定の方法別
— DS86サブコホート —

Site of Cancer	Period	9-Parameter	Average Japanese House Transmission Factor	Air Dose Application and Globe
Leukemia	1950-85	3.6	2.1	3.0
	1966-85	2.0	1.3	1.0
All cancer except leukemia	1950-85	0.38	0.42	0.14
	1966-85	0.45	0.36	0.23

certainty of the dose estimate on the risk coefficients, excess RRs were compared for the period after completion of the shielding history survey, i.e., 1966-85, and the full period, 1950-85. As could be expected, the excess RR per gray is generally highest for the "9-parameter" data followed by the "average transmission factor for Japanese houses" and the "assigned air dose or globe" for both mortality from leukemia and all cancers except leukemia for the period 1966-85 (Table 5).

The most meaningful comparison of the risk coefficients associated with the two systems of dosimetry depends to a large extent upon the purposes of the analysis and these can vary substantially. Here to examine the effect of the dosimetry change itself unconfounded by a changing cohort, we have compared the risks based on the use of the DS86 subcohort and not on a contrast of the DS86 doses for the DS86 subcohort and the T65DR for the full T65DR cohort. Elsewhere,¹ where the purposes were to compare the conclusions which have been drawn from values in the literature, based on the entire LSS cohort and the T65 dosimetry, with those that now seem permissible, emphasis was placed upon use of the full T65DR cohort. Since the data on A-bomb survivors referred to by BEIR¹⁷ and UNSCEAR¹⁸ are site-specific risk coefficients derived from the full cohort, values based on this cohort will also be given here.

Dose-response curves under the two dosimetry systems

To determine the suitability of linear descriptors of risk, the DS86 dose-response curves were compared with those for the T65DR for Hiroshima and Nagasaki, separately, both in terms of shielded kerma and organ-absorbed doses, for five selected sites of cancer where an increase in mortality with dose is well-established. It should be noted, of course, that the range of absorbed doses to specific organs under the DS86 system is greater than under the T65, for more ionizing radiation is estimated to reach the organ in the former than the latter instance. For leukemia (Figure 3), in terms of total shielded kerma, the T65DR dose-response curve was nonlinear in Nagasaki, but mortality was higher in Hiroshima than in Nagasaki at the same dose as mentioned in previous reports. The DS86 dose-response curve is higher in both cities than the T65DR. At face value mortality in Hiroshima remains higher, but the city difference, whether mea-

すの正確さのリスク係数に対する重要性を評価するため、遮蔽歴調査が終了した後の期間である1966-85年と全期間の1950-85年について推定方法別の過剰相対リスクを比較した。予想通りに、1966-85年の期間では、白血病及び白血病以外のすべての癌による死亡の1 Gy当たりの過剰相対リスクは概して"9パラメーター"のデータで最も高く、"日本家屋の平均透過係数"、"空中線量付与又はグローブ法"がこれに続いている(表5)。

二つの線量推定方式から得られるリスク係数について意義深い比較を行うことができるか否かは、解析の目的に大きく左右されるものであり、また、目的は大幅に変わり得る。本報では、コホートの変化によって影響されない線量推定方式の変化自体の影響を調べるために、DS86サブコホートを使用して得られたリスクを比較し、DS86サブコホートのDS86線量とT65DRコホート全体のT65DR線量との対比によるリスクの比較は行わなかった。ほかの報告書¹では、その目的が、寿命調査コホート全体のT65DRに基づいて得られた文献中の数値に基づく結果と、現在妥当と思われる結論を比較することであるため、T65DRコホート全体を使用することに重点が置かれた。BEIR¹⁷及びUNSCEAR¹⁸に引用された被爆者データは、寿命調査コホート全体から得られた部位別リスク係数であるので、本報でも、その寿命調査コホート全体に基づく値を同時に示した。

二つの線量推定方式における線量反応曲線

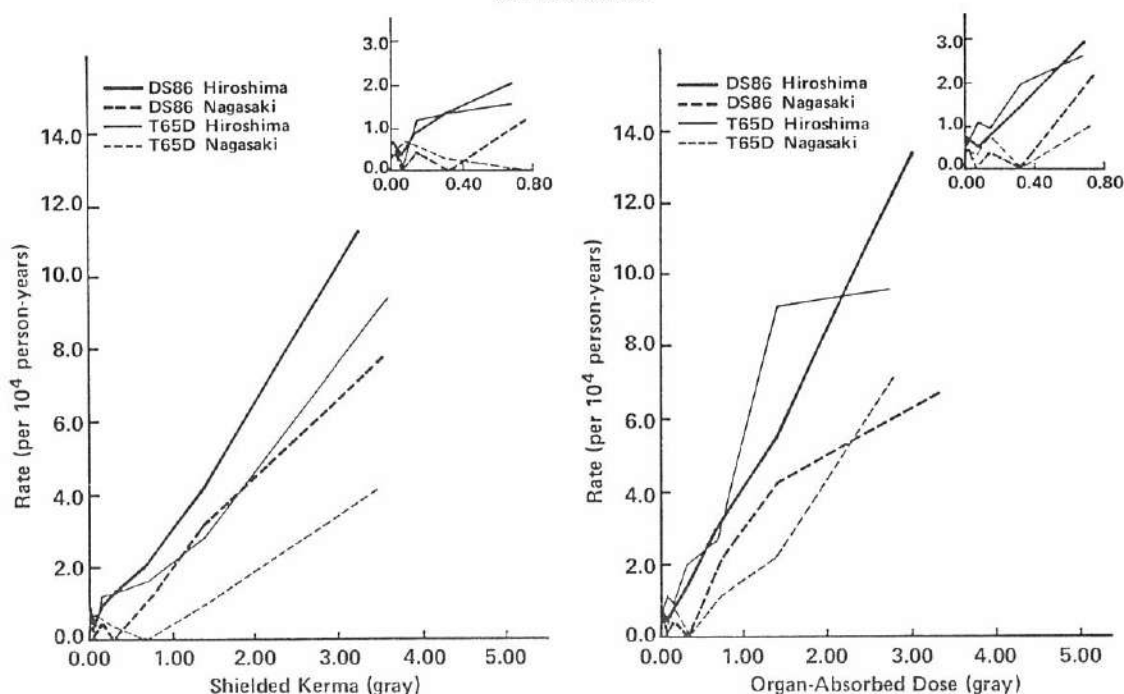
リスクを線形で示すことの妥当性を調べるために、線量に伴う死亡率の増加が十分立証されている五つの癌部位について、遮蔽kermaと臓器吸収線量の両方からDS86線量反応曲線とT65DR線量反応曲線を広島・長崎別に比較した。DS86方式ではT65DR方式に比べて多量の電離放射線が臓器に到達したと推定しているので、前者における特定臓器吸収線量の範囲は後者の場合よりも大きいことに当然注意すべきである。白血病(図3)では総遮蔽kermaから見ると、T65DR線量反応曲線は以前の報告書で述べたように長崎では非線形であり、同じ線量では死亡率は長崎よりも広島の方が高い。DS86線量反応曲線は両市共にT65DRのそれよりも高い。DS86でも計算値そのものは、広島の死亡率の方が依然として高いが、都市間差は、1 Gy当たりの過剰相対リスクと 10^4 PYGy当たりの過剰死亡数のいずれから判断

sured by the excess RR per gray or excess deaths per 10^4 PYGy, is not statistically significant.

しても、統計学的に有意ではない。

FIGURE 3 SHIELDED KERMA AND ORGAN-ABSORBED DOSE-RESPONSE CURVES FOR MORTALITY FROM LEUKEMIA BY CITY AND DOSIMETRY SYSTEM

図3 白血病死亡率の遮蔽kerma 及び臓器吸収線量反応曲線；都市及び線量推定方式別



The insert in the upper right hand corner of each figure is an enlargement of the observed cancer rates at doses of less than 1.0 Gy.

各図の上部右角の小図は1.0 Gy 未満での観察癌死亡率を拡大したものである。

Leukemia mortality in Nagasaki, in the 0.50-0.99 Gy range, increases significantly with the DS86 doses as a result of the shifting downwards of individuals with higher T65DR doses to this range where no cases were previously found. The shape of the dose-response curve is more linear with the new dosimetry in both cities. However, in terms of organ-absorbed dose, the DS86 curve is closer to that seen with the T65DR organ-absorbed doses than is true of the two shielded kerma estimates; otherwise, the findings are similar to those for the latter estimates with respect to linearity and the city difference. Although responses still vary within the low dose range, there is no statistically significant evidence of a positive effect at low doses even when the observations are distributed over finer subdivisions, i.e., 0, 0.01-0.05, 0.06-0.09, 0.10-0.19, and 0.20-0.49 Gy (see figure insets).

長崎における0.50～0.99 Gyの範囲の白血病死亡率はDS86では線量と共に有意に上昇するが、それは、T65DRで高線量であった者が低線量に修正されたからである。線量反応曲線は両市共に新しい線量推定方式の方がより明瞭な線形を示す。しかし、臓器吸収線量の場合、新旧の遮蔽kermaの場合と比較して、DS86線量反応曲線はT65DR線量反応曲線に近い形状を示している。これ以外では、線形性と都市間の差においては臓器吸収線量と遮蔽kermaは類似した所見を示している。低線量範囲における反応は依然として多様であるが、線量区分を更に細分して、0, 0.01-0.05, 0.06-0.09, 0.10-0.19, 0.20-0.49 Gy (図中の図参照)としても、低線量で統計学的に有意な顕著な線量効果は認められない。

For all cancers except leukemia (Figure 4), though the background rates are higher in Hiroshima, findings similar to those seen with respect to leukemia were observed for both shielded kerma and organ-absorbed dose (based on the dose to the large intestine). Briefly, the response at a given shielded kerma is higher with the DS86 than the T65DR system, but the responses are more similar when organ-absorbed doses are used. The city difference in mortality is smaller, as observed for leukemia mortality, and no longer statistically significant.

For stomach cancer (Figure 5), like all cancers except leukemia, the dose-response curve suggests no difference between the cities.

For cancer of the colon (Figure 6), though there is no apparent significant dose-response observed in Nagasaki, the response is higher with the DS86 than the T65DR in Hiroshima with shielded kerma, but is smaller when organ-absorbed doses are used.

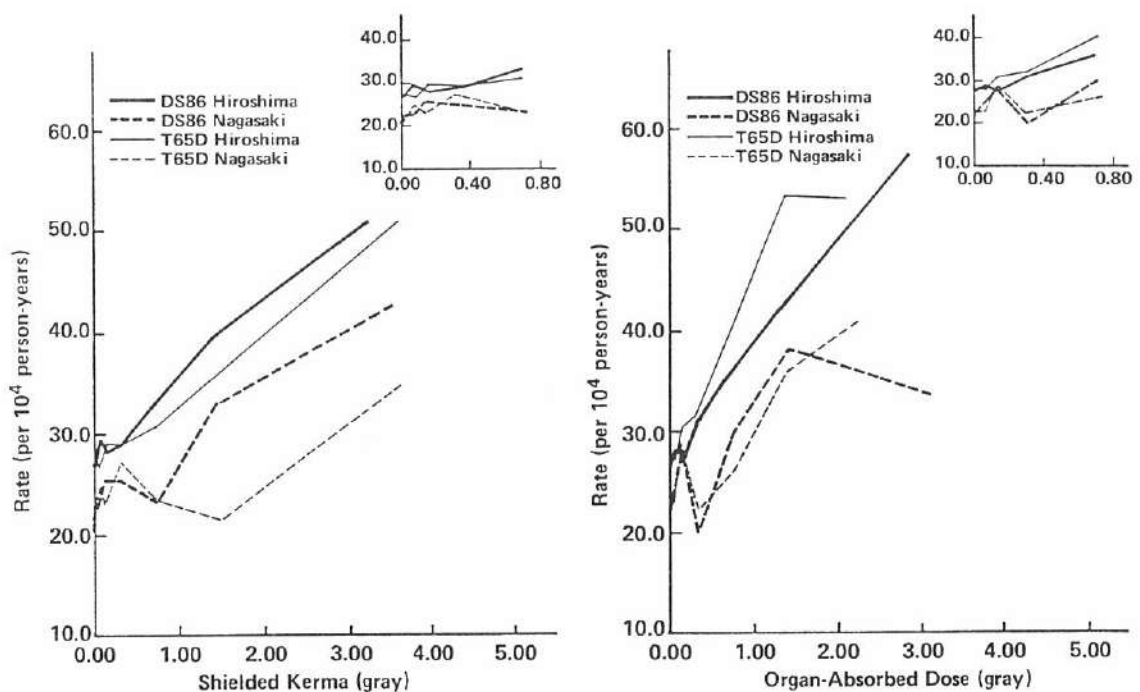
白血病以外のすべての癌については(図4), 広島のパックグラウンド死亡率は高いものの, 遮蔽kerma及び臓器吸収線量(大腸線量に基づく)のいずれにおいても白血病の場合と同様の所見が得られた. 簡単に述べれば, 特定の遮蔽kermaにおける反応はT65DR方式よりもDS86方式の方が高いが, 臓器吸収線量を用いると線量反応は両方式間で近似したものになる. 死亡率の都市間の差は白血病の場合と同様に小さく, 統計学的に有意ではない.

胃癌の場合(図5), 白血病以外のすべての癌と同様, 線量反応曲線に両市間で差はない.

結腸癌では(図6), 長崎には明瞭な線量反応は見られないが, 広島においては遮蔽kermaの場合にDS86の反応がT65DRの反応よりも高くなり, 臓器吸収線量を用いた場合は逆に低くなる.

FIGURE 4 SHIELDED KERMA AND ORGAN-ABSORBED DOSE-RESPONSE CURVES FOR MORTALITY FROM ALL CANCER EXCEPT LEUKEMIA BY CITY AND DOSIMETRY SYSTEM

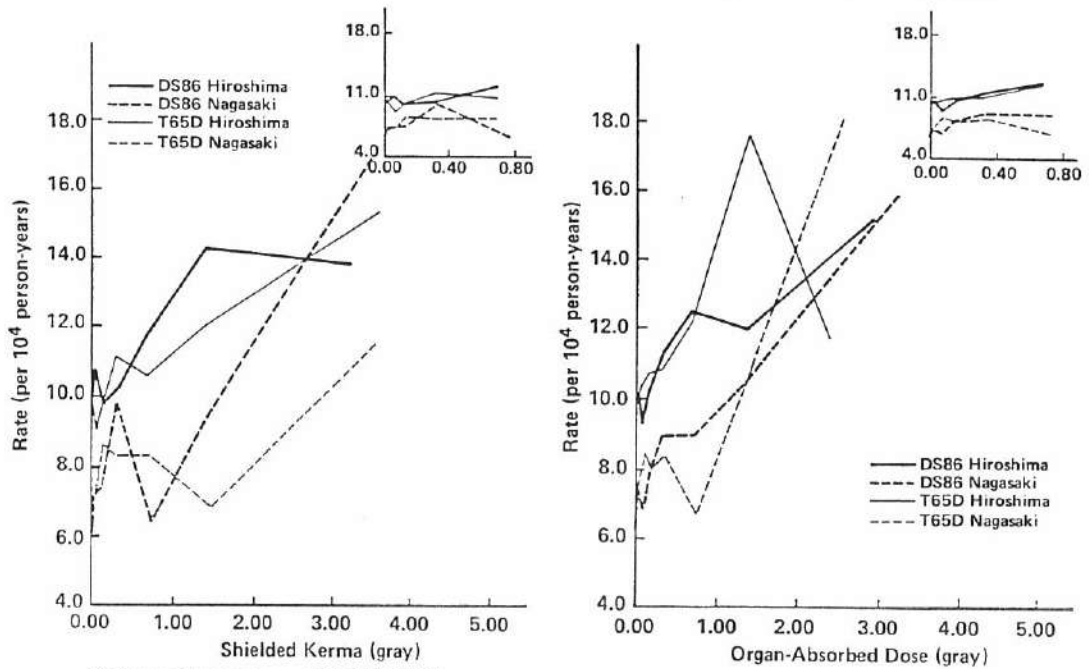
図4 白血病以外のすべての癌による死亡率の遮蔽kerma及び臓器吸収線量反応曲線; 都市及び線量推定方式別



See Figure 3 footnotes. 図3の脚注参照.

FIGURE 5 SHIELDED KERMA AND ORGAN-ABSORBED DOSE-RESPONSE CURVES FOR MORTALITY FROM STOMACH CANCER BY CITY AND DOSIMETRY SYSTEM

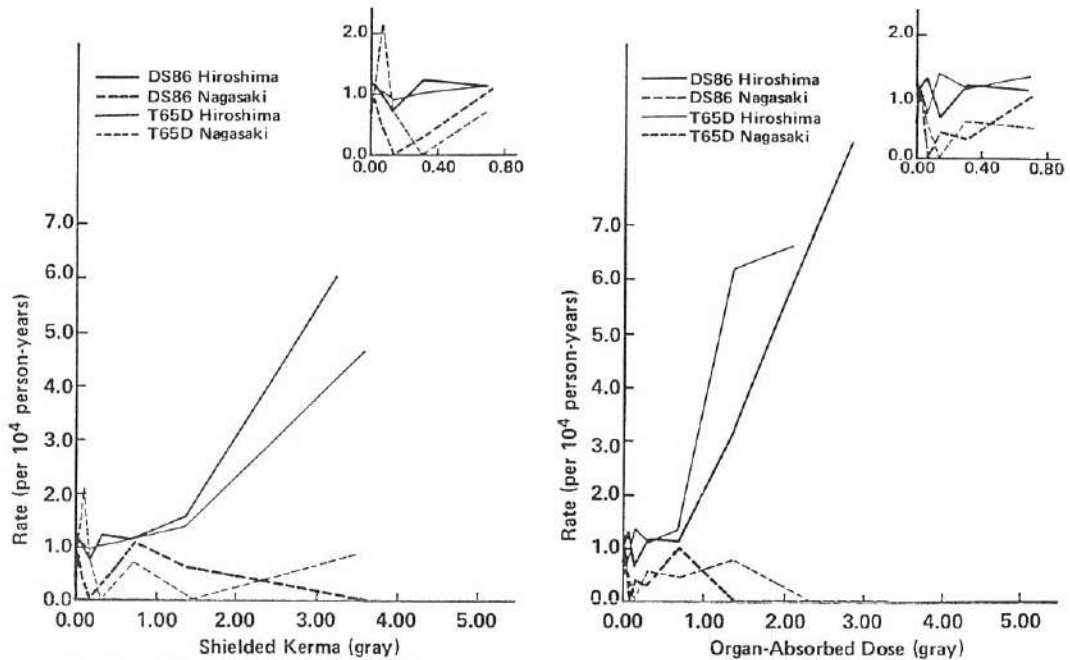
図5 胃癌死亡率の遮蔽kerma 及び臓器吸収線量反応曲線；都市及び線量推定方式別



See Figure 3 footnotes. 図3の脚注参照.

FIGURE 6 SHIELDED KERMA AND ORGAN-ABSORBED DOSE-RESPONSE CURVES FOR MORTALITY FROM COLON CANCER BY CITY AND DOSIMETRY SYSTEM

図6 結腸癌死亡率の遮蔽kerma 及び臓器吸収線量反応曲線；都市及び線量推定方式別



See Figure 3 footnotes. 図3の脚注参照.

For lung and female breast cancers, where no significant city differences in dose-response obtained with the T65DR, there are no city differences with the new doses (Figures 7 and 8), though mortality at exposures of 3 Gy or higher appears greater for Hiroshima than for Nagasaki.

Linear risk coefficients under the two systems of dosimetry

Although some analyses of possible nonlinearities in the dose-response have been described in the preceding section, the primary emphasis here is on risk estimates derived from linear models. As in past reports, estimated doses exceeding 6 Gy have been set to 6 Gy, on the grounds that survival was unlikely at higher exposures, and thus the very high dose estimates may be substantially in error. Over this range there is no clearly significant evidence of nonlinearity (although other forms of response fit the data), and thus from a purely statistical standpoint linear risk estimates are a reasonable summary of the dose-response. There is, however, some marginally significant evidence of a leveling off of the dose-response at exposures above 4 Gy shielded kerma with the new dose estimates.¹ Elsewhere, Preston and Pierce have, for reasons indicated there, emphasized risk estimates obtained by omitting those survivors with dubiously high exposures, i.e., above 4 Gy. The result of this is to increase the DS86 risk estimate somewhat.¹ However, the results of these two reports should not be construed as contradictory, but rather representative of the use of different comparison groups. As previously stated, our report focuses as directly as possible on the changes in site-specific risk estimates with the two dosimetries within a fixed group of individuals.

Shielded kerma: For all sites of cancer, four indexes, namely: 1) the statistical significance (P-value) of a linear increase in cancer mortality (excess RR); 2) the excess RR per gray; 3) the excess deaths per 10^4 PYGy; and 4) the attributable risk (%), are shown for the DS86 and T65DR doses in Appendix Tables 11 and 12. (To provide a reference, these same indexes for the T65DR on the full T65DR cohort are shown in Appendix Table 13). In addition, the indexes for mortality from all causes, all diseases (excluding external causes), and all neoplasms (including benign and those of unspecified nature) are shown in Appendix Tables 11-13.

T65DR で線量反応に有意な都市間差の見られなかった肺癌及び乳癌については、新線量でも都市間差は見られないが(図7及び8), 3 Gy 以上の死亡率は長崎よりも広島の方が高いように思われる。

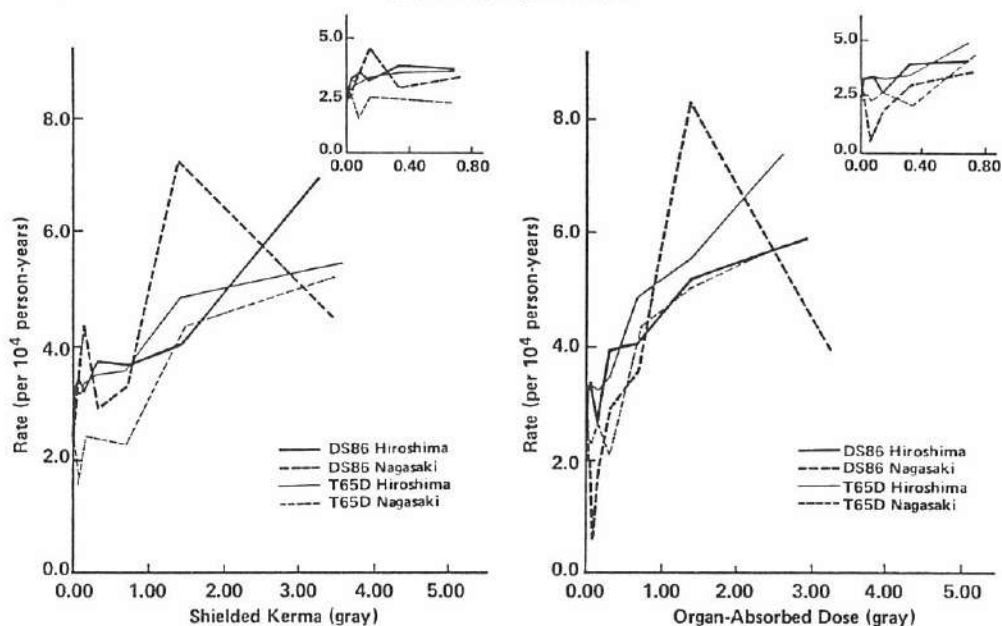
二つの線量推定方式における線形リスク係数

前節では線量反応の非線形性に関する解析について少し述べたが、ここでは、線形モデルから得られるリスク推定値を主に検討する。以前の報告書と同様に、6 Gy 以上の生存は考えられないので誤りであろうという理由から、6 Gy 以上の推定線量は6 Gyとした。したがって、極めて高い推定線量には大きな誤差が含まれている可能性がある。この線量範囲では、明瞭に有意な非線形性は認められない(その他の形の線量反応もデータに適合する)ので、純粋に統計学的な見地からすると、線量反応の要約としては線形のリスク推定値が妥当である。しかし、新しい推定線量では、遮蔽kermaが4 Gy 以上では線量反応が横ばい状態であることが示唆された。¹ Preston及びPierceは、その報告書で、そこに示した理由から、4 Gy 以上の不確実で高い線量を有する被爆者を除外してリスク推定値を得る方法を強調している。その結果、DS86リスク推定値は若干高くなっている。¹ しかし、これら二つの報告書の結果を相反するものと考えるべきではなく、むしろ異なる比較群の使用例を示すものと解釈すべきである。前述したように、我々の報告書では、固定対象群における部位別リスク推定値の両線量推定方式間の変化をできる限り直接的に扱っている。

遮蔽kerma: すべての癌部位について、DS86とT65DRにおける1) 癌死亡率(過剰相対リスク)の線形増加の統計学的有意性(P値)、2) 1 Gy 当たりの過剰相対リスク、3) 10^4 PYGy 当たりの過剰死亡数、及び4) 寄与リスク(%)の四つの指標を付表11及び12に示した。(参考のために、T65DRコホート全体のT65DRにおける同じ指標を付表13に示した。)更に、すべての原因、すべての疾患(外因によるものを除く)、及びすべての腫瘍(良性及び性質不明のものを含む)による死亡に関する上記の指標を付表11~13に示した。

FIGURE 7 SHIELDED KERMA AND ORGAN-ABSORBED DOSE-RESPONSE CURVES FOR MORTALITY FROM LUNG CANCER BY CITY AND DOSIMETRY SYSTEM

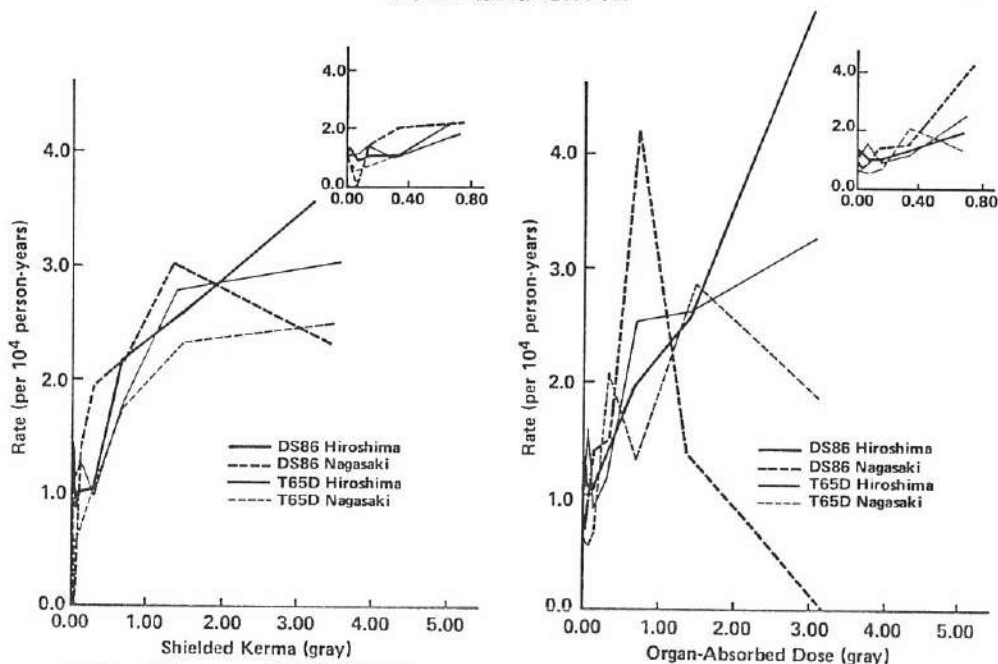
図7 肺癌死亡率の遮蔽 kerma 及び臓器吸収線量反応曲線；
都市及び線量推定方式別



See Figure 3 footnotes. 図3の脚注参照

FIGURE 8 SHIELDED KERMA AND ORGAN-ABSORBED DOSE-RESPONSE CURVES FOR MORTALITY FROM FEMALE BREAST CANCER BY CITY AND DOSIMETRY SYSTEM

図8 女性乳癌死亡率の遮蔽 kerma 及び臓器吸収線量反応曲線；
都市及び線量推定方式別



See Figure 3 footnotes. 図3の脚注参照

To compare the DS86 and T65DR indexes, 11 specific sites where the increase in mortality was statistically significant ($P < .05$) with both the DS86 and T65DR were examined (Table 6). Since the total DS86 shielded kerma is usually smaller than the T65DR, all three indexes are generally higher for the DS86 than the T65DR. The DS86 excess RRs per gray are 1.38 and 1.36-fold higher than the T65DR values for leukemia and all cancers except leukemia, respectively. For individual sites of cancer, the new excess RRs range from 1.35-fold (stomach cancer) to 1.51-fold (ovary and other uterine adnexa) greater. Excess deaths per 10^4 PYGy are 1.44-fold higher for leukemia and 1.43-fold for all cancers except leukemia. For specific cancer sites, the absolute risk (excess deaths) varies from 1.38 (multiple myeloma) to 1.61 (ovarian cancer) times higher. The attributable risks associated with the DS86 doses do not differ significantly from those for the T65DR.

Organ-absorbed dose: Table 7 compares the excess RR, the excess deaths, and attributable risk in terms of organ-absorbed dose for 10 selected sites of cancer. As previously noted, the DS86 shielded kerma is generally less than the comparable T65DR dose; hence the DS86 risk coefficients based on these exposures are greater. With organ-absorbed dose, however, the risk coefficients based on the DS86, although somewhat different from the T65DR estimates, typically differ only slightly for deep organs. For shallow organs, such as the breast, the differences are greater, e.g., the risk coefficients for the female breast increase by as much as 33%.

Since our data are limited to mortality, radiogenic cancers that are frequently not fatal, such as those of the thyroid, have been excluded from the analysis. However, the change in risk coefficients between the two dose systems for these other sites of cancer can be roughly estimated by using the changes in average air dose, house and organ transmission factors. For thyroid cancer, the DS86/T65DR ratio is estimated to be 1.4 with shielded kerma and 1.1 with organ-absorbed dose.

The modification of risk by age ATB and sex Previous analyses,^{10,19} which have discussed these effects more thoroughly than is intended here (they will be the topic of a subsequent report in this series), have revealed that radiation effects are modified by age ATB and sex, and possibly attained age. The risk is higher at younger age ATB and for fe-

DS86 と T65DR の指標を比較するために、DS86、T65DR のいずれにおいても死亡率の増加が統計学的に有意な ($P < .05$) 11 部位を調べた (表 6)。DS86 総遮蔽 kerma は通常 T65DR よりも小さいので、三つの指標はすべて T65DR よりも DS86 の方が全体的に高い。1 Gy 当たりの DS86 過剰相対リスクは、白血病及び白血病以外のすべての癌において、それぞれ T65DR 値の 1.38 倍及び 1.36 倍である。各癌部位については、新しい過剰相対リスクは 1.35 倍 (胃癌) から 1.51 倍 (卵巣癌及び他の子宮付属器の癌) まで及ぶ。10⁴ PYGy 当たりの過剰死亡数は白血病で 1.44 倍、白血病以外のすべての癌で 1.43 倍である。各癌部位の絶対リスク (過剰死亡数) の範囲は 1.38 倍 (多発性骨髄腫) から 1.61 倍 (卵巣癌) である。DS86 線量における寄与リスクは T65DR の場合と有意には異ならない。

臓器吸収線量: 表 7 は、10 種の癌部位について、臓器吸収線量における過剰相対リスク、過剰死亡数及び寄与リスクを比較したものである。前述のように、DS86 遮蔽 kerma は対応する T65DR 線量よりも全体的に低い。したがって、前者に基づく DS86 リスク係数は高くなる。しかし、臓器吸収線量の場合、DS86 に基づくリスク係数は T65DR 推定値と若干異なるが、深部の臓器については概してわずかに異なるにすぎない。乳房のように浅部の臓器においては、この差は大きく、例えば、乳房のリスク係数は 33% も増加している。

我々のデータは死亡にのみ限定されているので、甲状腺癌のような致死的でない放射線誘発癌は解析から除外した。しかし、このようなほかの癌部位におけるリスク係数の両線量推定方式間の変化は、平均空中線量、家屋透過係数及び臓器透過係数の変化から大まかに推定できる。甲状腺癌の場合、DS86/T65DR の比は遮蔽 kerma で 1.4、臓器吸収線量で 1.1 と推定される。

被爆時年齢及び性によるリスクの修正

これらの影響について本報以上に詳細に検討した以前の解析^{10,19}では、放射線の影響は被爆時年齢、性、及び死亡時年齢により修正されることが示された。これらは本報第 2 部のテーマの一つである。若年被爆者にリスクが高く、また肺及び甲状腺などの

TABLE 6 COMPARISON BETWEEN DS86 AND T65DR IN SUMMARY MEASURES OF RADIATION DOSE-RESPONSE FOR MORTALITY BASED ON SHIELDED KERMA - DS86 SUBCOHORT (Both Cities, Sexes (unless otherwise noted), All Ages ATB Combined)

表6 遮蔽kermaに基づく死亡率についての放射線線量反応の要約指標に関するDS86とT65DRの比較 - DS86サブコホート (両市, 男女 (特に別記しない限り) すべての被爆時年齢を合計したもの)

Site of cancer	Dose system	Excess relative risk per Gy	DS86	T65DR	Excess deaths per 10 ⁴ PYGy	DS86	T65DR	Attributable risk (%)	DS86	T65DR
All malignant neoplasms	DS86	0.39 (0.32, 0.47)	1.39		10.1 (8.43, 11.9)			10.4 (8.67, 12.2)		
	T65DR	0.28 (0.23, 0.33)		1.44	7.00 (5.87, 8.19)	1.44		10.2 (8.54, 11.9)	1.02	
	T65DR-full*	0.25 (0.21, 0.30)			6.21 (5.24, 7.22)			9.02 (7.61, 10.5)		
Leukemia	DS86	3.97 (2.89, 5.39)	1.38		2.30 (1.88, 2.73)			56.6 (46.3, 67.1)		
	T65DR	2.87 (2.10, 3.89)		1.44	1.60 (1.30, 1.91)	1.44		56.2 (45.8, 66.9)	1.01	
	T65DR-full	2.62 (1.95, 3.48)			1.40 (1.16, 1.65)			53.4 (44.0, 63.0)		
All except leukemia	DS86	0.30 (0.23, 0.37)	1.36		7.49 (5.90, 9.15)			8.04 (6.33, 9.82)		
	T65DR	0.22 (0.17, 0.27)		1.43	5.25 (4.17, 6.37)	1.43		7.96 (6.34, 9.67)	1.01	
	T65DR-full	0.19 (0.15, 0.23)			4.62 (3.70, 5.58)			6.98 (5.59, 8.43)		
Esophagus	DS86	0.43 (0.09, 0.92)	1.43		0.34 (0.08, 0.67)			12.8 (2.95, 25.0)		
	T65DR	0.30 (0.06, 0.65)		1.55	0.22 (0.05, 0.45)	1.55		12.5 (2.61, 24.8)	1.02	
	T65DR-full	0.18 (-0.01, 0.45)			0.14 (-0.01, 0.32)			7.63 (-0.31, 17.7)		
Stomach	DS86	0.23 (0.13, 0.34)	1.35		2.09 (1.20, 3.06)			6.41 (3.68, 9.38)		
	T65DR	0.17 (0.09, 0.25)		1.47	1.42 (0.83, 2.07)	1.47		6.22 (3.61, 9.07)	1.03	
	T65DR-full	0.13 (0.07, 0.20)			1.13 (0.63, 1.67)			4.94 (2.77, 7.30)		
Large intestine, except rectum	DS86	0.56 (0.25, 0.99)	1.37		0.56 (0.26, 0.91)			15.2 (7.05, 24.9)		
	T65DR	0.41 (0.18, 0.71)		1.47	0.38 (0.18, 0.63)	1.47		14.4 (6.59, 23.7)	1.06	
	T65DR-full	0.41 (0.20, 0.69)			0.37 (0.19, 0.58)			14.2 (7.21, 22.4)		
Trachea, bronchus, and lung	DS86	0.46 (0.25, 0.72)	1.39		1.26 (0.70, 1.89)			11.6 (6.48, 17.4)		
	T65DR	0.33 (0.18, 0.51)		1.45	0.87 (0.49, 1.29)	1.45		11.2 (6.36, 16.8)	1.04	
	T65DR-full	0.30 (0.17, 0.44)			0.83 (0.50, 1.20)			10.5 (6.29, 15.1)		
Female† breast	DS86	1.02 (0.48, 1.76)	1.44		1.04 (0.53, 1.61)			22.4 (11.5, 35.0)		
	T65DR	0.71 (0.34, 1.21)		1.49	0.70 (0.36, 1.10)	1.49		23.5 (12.1, 36.6)	0.95	
	T65DR-full	0.83 (0.46, 1.32)			0.80 (0.48, 1.17)			24.8 (14.8, 36.0)		
Ovary and other† uterine adnexa	DS86	0.80 (0.14, 1.85)	1.51		0.45 (0.09, 0.89)			18.6 (3.62, 37.1)		
	T65DR	0.53 (0.07, 1.24)		1.61	0.28 (0.04, 0.58)	1.61		17.2 (2.59, 35.4)	1.08	
	T65DR-full	0.50 (0.09, 1.10)			0.28 (0.06, 0.55)			14.9 (3.09, 29.3)		
Bladder, other, unspecified urinary	DS86	1.06 (0.46, 1.09)	1.49		0.56 (0.27, 0.90)			23.4 (11.2, 37.4)		
	T65DR	0.71 (0.30, 1.30)		1.56	0.36 (0.17, 0.60)	1.56		21.9 (10.0, 35.9)	1.07	
	T65DR-full	0.61 (0.25, 1.12)			0.29 (0.13, 0.48)			19.1 (8.54, 31.7)		
Multiple myeloma	DS86	1.89 (0.56, 4.45)	1.45		0.22 (0.08, 0.39)			32.9 (11.5, 59.8)		
	T65DR	1.30 (0.40, 2.99)		1.38	0.16 (0.06, 0.28)	1.38		33.2 (12.1, 59.7)	0.99	
	T65DR-full	0.70 (0.15, 1.72)			0.10 (0.02, 0.20)			21.3 (5.20, 42.8)		

(): 90% confidence interval * Risk coefficients were calculated by using T65DR dose on the full T65DR cohort

90%信頼区間 リスク係数はT65DR線量を用いてT65DRコホート全体について算出した。

†: Risk estimation for these sites are based on females only. これらの部位に対するリスク推定は女性にのみ基づく。

TABLE 7 COMPARISON BETWEEN DS86 AND T65DR IN SUMMARY MEASURES OF RADIATION DOSE-RESPONSE FOR MORTALITY BASED ON ORGAN-ABSORBED DOSE - DS86 SUBCOHORT (Both Cities, Sexes (unless otherwise noted†), All Ages ATB Combined)

表7 臓器吸収線量に基づく癌死亡についての放射線線量反応の要約指標に関するDS86とT65DRの比較—DS86サブコホート(両市, 男女(特に別記しない限り)), すべての被爆時年齢を合計したもの]

Site of cancer	Dose system	Excess relative risk per Gy	DS86 / T65DR	Excess deaths per 10 ⁴ PYGy	DS86 / T65DR	Attributable risk (%)	DS86 / T65DR
Leukemia	DS86 T65DR	5.21 (3.83, 7.12) 5.76 (4.24, 7.86)	0.90	2.94 (2.43, 3.49) 3.11 (2.56, 3.71)	0.95	58.6 (48.4, 69.5) 57.7 (47.5, 68.7)	1.02
All except leukemia	DS86 T65DR	0.41 (0.32, 0.51) 0.58 (0.46, 0.72)	0.71	10.13 (7.96, 12.44) 13.97 (11.11, 17.04)	0.73	8.1 (6.4, 10.0) 9.8 (7.8, 12.0)	0.83
Esophagus	DS86 T65DR	0.58 (0.13, 1.24) 0.67 (0.12, 1.47)	0.87	0.45 (0.10, 0.88) 0.49 (0.09, 1.00)	0.92	13.0 (3.0, 25.5) 11.9 (2.2, 24.3)	1.09
Stomach	DS86 T65DR	0.27 (0.14, 0.43) 0.39 (0.23, 0.58)	0.69	2.42 (1.26, 3.72) 3.34 (1.95, 4.83)	0.72	5.7 (3.0, 8.7) 6.4 (3.7, 9.2)	0.89
Large intestine, except rectum	DS86 T65DR	0.85 (0.39, 1.45) 1.04 (0.43, 1.85)	0.82	0.81 (0.40, 1.30) 0.98 (0.42, 1.63)	0.83	16.3 (8.0, 26.2) 17.6 (7.6, 29.4)	0.93
Lung	DS86 T65DR	0.63 (0.35, 0.97) 0.72 (0.41, 1.11)	0.88	1.68 (0.97, 2.49) 1.89 (1.10, 2.79)	0.89	12.3 (7.2, 18.3) 11.4 (6.6, 16.8)	1.08
Female† breast	DS86 T65DR	1.19 (0.56, 2.09) 0.91 (0.43, 1.57)	1.31	1.20 (0.61, 1.91) 0.90 (0.46, 1.42)	1.33	22.1 (11.3, 35.0) 23.2 (11.8, 36.5)	0.95
Ovary†	DS86 T65DR	1.33 (0.37, 2.86) 1.21 (0.11, 3.06)	1.10	0.71 (0.22, 1.32) 0.64 (0.06, 1.43)	1.11	22.3 (6.9, 41.4) 18.3 (1.9, 40.8)	1.22
Bladder	DS86 T65DR	1.27 (0.53, 2.37) 1.59 (0.63, 3.03)	0.80	0.66 (0.31, 1.12) 0.81 (0.34, 1.38)	0.81	21.5 (9.8, 35.7) 20.5 (8.7, 35.0)	1.05
Multiple myeloma	DS86 T65DR	2.29 (0.67, 5.31) 2.39 (0.75, 5.56)	0.96	0.26 (0.09, 0.47) 0.29 (0.11, 0.53)	0.90	31.8 (11.0, 57.6) 32.7 (12.0, 59.5)	0.97

(): 90% confidence interval 90%信頼区間

†: Risk estimation for these sites are based on females only.
これらの部位に対するリスク推定は女性にのみ基づく。

males for some sites of cancer, such as the lung and thyroid. Radiation effects might also be modified by other factors which have varied between the cities, and if so, the temporal change in radiation-induced cancer could differ by site of cancer.¹⁰ To determine whether the effects of these modifiers were altered with the DS86 system the following simple model, in which the effects of city (C), sex (S), age ATB (A), and temporal change (T) are taken into consideration, was used:

$$M = M_{DS86}[1 + bD \exp^{aX}],$$

where X is the effect of a radiation modifier, such as age ATB, sex, city, and time since exposure. For simplicity, these modifiers have merely been dichotomized: age ATB (<20 vs 20 or older), sex (male vs female), city (Hiroshima vs Nagasaki), and time since exposure (<26, 26 or later); the results are set forth in Table 8. As expected, the effects of these factors both in terms of organ-absorbed dose and shielded kerma do not differ between the two dose systems.

Dose-response models under the two systems of dosimetry

At present, the molecular and cellular events which predispose to radiation-induced cancer are still poorly understood although it is tacitly assumed their frequency relates in some manner to initial energy deposition. The quantitative models that have been used to describe the frequencies of cancer following exposure to ionizing radiation rest largely on pragmatic considerations. However, it has been commonly observed that at high to very high doses there are fewer cancers than would be expected on the supposition of a simple proportionality with dose. This fact can be modeled by the product of two terms: an initiation term, increasing as a function of dose, and a cell survival term, declining with it. Although the latter term can be neglected at low doses, a concave downward curve at high doses in Hiroshima and Nagasaki cannot be attributed unambiguously to cell killing or inactivation for other potential sources of bias, such as those inherent in the dosimetry, could produce a similar effect.

Since careful corrections for city, sex, age ATB, and other confounding variables are necessary when the shape of the dose-response curve is the object of

特定の癌部位で女性リスクが高くなっている。放射線の影響は都市によって異なるようなその他の要因によっても修正され得るが、もしそうであれば、放射線誘発癌の経時的变化は癌部位によって異なる可能性がある。¹⁰ これらの修正要因の影響がDS86方式で変化しているかどうかを調べるために、都市(C)、性(S)、被爆時年齢(A)及び経時的变化(T)の影響を考慮した次の単純モデルを用いた:

ただし、Xは、被爆時年齢、性、都市及び被爆後経過期間などの放射線修正要因の影響を示している。単純化するために、これらの要因を単純に二分化した。すなわち、被爆時年齢: 20歳未満対20歳以上、性: 男性対女性、都市: 広島対長崎、及び被爆後経過期間: 26年未満対26年以上とした。結果は表8に示した。予想通り、これらの要因の影響は、臓器吸収線量と遮蔽kermaのいずれにおいても、両線量推定方式間で異なる。

二つの線量推定方式における線量反応モデル

現在、放射線誘発癌の素因となる分子及び細胞における事象は依然として十分解明されてはいないが、そのような事象の頻度は初期エネルギー沈着と何らかの関係があるのではないかと考えられている。電離放射線被曝後の発癌頻度を示すのに用いられてきた定量的モデルは、おおむね実際の考慮に基づくものである。しかし、癌の頻度は線量の増加に正比例するとの仮定に対して、実際には、高線量から極めて高い線量において癌の発生率は低くなることはよく見られる現象である。これは、線量の関数として増加する項と線量と共に減少する細胞生存項の2項の積によってモデル化できる。後者の項は低線量では無視できるが、広島・長崎における高線量での凹形下向きの曲線が疑いなく細胞死、又は不活性化によるものと考えすることはできない。なぜなら、線量推定方式に内在するようなその他の偏りが同様の効果を生むとも考えられるからである。

線量反応の形状を検討する場合には、都市、性、被爆時年齢その他の交絡変数を慎重に補正しなければ

TABLE 8 COMPARISON OF RADIATION EFFECT MODIFICATION BASED ON DS86 AND T65DR ESTIMATES
 - EXCESS RELATIVE RISK PER GRAY -

 表8 DS86 及び T65DR 推定値に基づく放射線影響の修正要因の比較
 - 1 Gy 当たりの過剰相対リスク -

Radiation effect modifier		Shielded kerma				Organ-absorbed dose			
		Leukemia		All except leukemia		Leukemia		All except leukemia	
		DS86	T65	DS86	T65	DS86	T65	DS86	T65
City	Hiroshima	3.87	2.96	0.30	0.24	5.21	6.18	0.43	0.65
	Nagasaki	4.18	2.47	0.29	0.17	5.15	4.36	0.37	0.44
	(H/N)	(0.93)	(1.20)	(1.03)	(1.41)	(1.01)	(1.42)	(1.16)	(1.48)
Sex	Male	3.94	2.93	0.18	0.15	5.19	6.05	0.25	0.40
	Female	3.88	2.75	0.44	0.29	5.23	5.38	0.60	0.77
	(M/F)	(1.02)	(1.07)	(0.41)	(0.52)	(0.99)	(1.12)	(0.42)	(0.52)
Age ATB	<20	8.81	5.84	0.80	0.56	10.87	11.75	1.07	1.49
	20+	2.87	2.18	0.24	0.18	3.92	4.35	0.34	0.48
	(<20/20+)	(3.07)	(2.68)	(3.33)	(3.11)	(2.77)	(2.70)	(3.15)	(3.10)
Time since exposure	<26	7.75	5.33	0.22	0.16	9.96	10.59	0.27	0.40
	26+	1.13	0.89	0.38	0.28	1.65	1.92	0.55	0.75
	(<26/26+)	(6.86)	(5.99)	(0.58)	(0.57)	(6.04)	(5.52)	(0.49)	(0.53)

study, the following model, which takes these into account, was used:

$$M = M_{CSAT} \cdot RR(D) \cdot S(D)$$

where $RR(D)$ is the relative risk, and $S(D)$ is the probability of survival of transformed cells, written as $S(D) = \exp(-b_1 D - b_2 D^2)$. In our analysis the dose-squared term in $S(D)$ was omitted. Three different RR models have been examined, namely:

Linear model:

$$RR(D) = 1 + a_1 D \exp(c_1 \text{ age ATB} + c_2 \text{ sex})$$

Quadratic model:

$$RR(D) = 1 + a_1 D^2 \exp(c_1 \text{ age ATB} + c_2 \text{ sex})$$

Linear-quadratic model:

$$RR(D) = 1 + (a_1 D + a_2 D^2) \exp(c_1 \text{ age ATB} + c_2 \text{ sex})$$

ばならないので、これらを考慮に入れた次のモデルを用いた:

ただし、 $RR(D)$ は相対リスク、 $S(D)$ は転化細胞の生存確率である。後者は、 $S(D) = \exp(-b_1 D - b_2 D^2)$ と表される。我々の解析では、 $S(D)$ 中の線量の二乗項は省略した。次の3種の異なる相対リスクモデルを検討した:

線形モデル:

二次モデル:

線形二次モデル:

In order to determine the shape of the dose-response curve in terms of organ-absorbed dose, these models were fitted with and without provision for cell killing. Our analysis has been limited to all cancers except leukemia and five selected sites where a clear dose-response curve has previously been obtained: leukemia, and cancers of the stomach, colon, lung, and female breast. Table 9 shows the deviances associated with the various models. In general, with both the DS86 and T65DR doses, a simple linear model fits the data on leukemia, cancers of the stomach, lung, and female breast, and all cancers except leukemia better than the quadratic (Q) and as well as the linear-quadratic (LQ). Colon cancer appears to fit a Q or LQ model better. Inclusion of cell killing does not significantly improve the fit, except in one instance where leukemia mortality under either the Q or LQ model fits better with a cell killing term. A similar tendency was observed in dose-response in

臓器吸収線量における線量反応曲線の形状を決定するために、細胞死を考慮した場合と、考慮しない場合とで、これらのモデルの適合性を調べた。白血病以外のすべての癌、並びに明瞭な線量反応曲線が既に得られている五つの部位（白血病、胃癌、結腸癌、肺癌及び乳癌）に限定して解析を行った。表9はこれらのモデルの偏差を示したものである。全体的に見て、DS86とT65DRのいずれの場合も、白血病、胃癌、肺癌、乳癌、及び白血病以外のすべての癌で、単純線形モデルが、二次(Q)モデルよりもよく適合し、線形二次(LQ)モデルと同程度に適合している。結腸癌はQモデル又はLQモデルによく適合するようである。白血病でQモデル又はLQモデルに細胞死の項を加えると適合がよくなる例を除いては、細胞死を含めても適合度を有意に向上させることにはなら

TABLE 9 COMPARISON OF THE DEVIANCE AMONG VARIOUS DOSE-RESPONSE MODELS
BASED ON TOTAL ORGAN-ABSORBED DOSE

表9 総臓器吸収線量に基づく種々の線量反応モデルにおける偏差(deviance)の比較

Site of cancer	Dose system	Without cell killing			With cell killing		
		L	Q	LQ	L	Q	LQ
	df	1509 (754)	1509 (754)	1508 (753)	1508 (753)	1508 (753)	1507 (752)
Leukemia	DS86	513.7	534.9	513.5	513.5	506.9	506.8
	T65DR	501.8	515.5	501.2	501.2	502.1	499.8
All except leukemia	DS86	1141.0	1173.1	1139.0	1138.7	1158.6	1137.9
	T65DR	1017.9	1041.1	1016.7	1016.7	1037.8	1016.6
Stomach	DS86	858.6	866.9	858.2	857.0	866.8	857.0
	T65DR	880.6	886.4	880.3	879.9	885.7	879.8
Colon	DS86	348.8	342.8	342.3	346.4	341.8	339.2
	T65DR	308.5	304.7	304.4	307.8	303.3	301.6
Lung	DS86	585.3	595.7	583.0	583.0	593.2	583.1
	T65DR	534.7	540.0	534.4	534.4	538.7	533.9
Female breast	DS86	289.1	295.7	288.8	288.6	291.5	-
	T65DR	308.3	313.7	307.9	307.8	-	-

df : Degree of freedom, the figure in parentheses is df for breast

自由度、括弧内の数値は乳癌の自由度

- : No convergence 収束しない

L : Linear 線形

Q : Quadratic 二次曲線形

LQ : Linear-quadratic 線形二次曲線形

terms of shielded kerma (Appendix Table 14); however, for all cancers except leukemia a marginally better fit ($P < 0.10$) occurs with the LQ model without cell killing or the linear model with it. For those sites other than leukemia and colon, the fitted curve associated with the LQ model is invariably concave downwards, not upwards, and undoubtedly reflects the flattening out of the effect with doses in the higher range.

Although the neutron doses are substantially smaller under the DS86 system than the T65DR, and the meaningful estimation of the neutron RBE is difficult, if not impossible, neutrons cannot be totally neglected in Hiroshima where they are estimated to be as great as 0.10 Gy at 1,000 m in shielded kerma. Moreover, the neutron RBE has been and continues to be of sufficient interest that an analysis seemed warranted, if for no other reason than to demonstrate the difficulties that now exist in the use of the LSS data to estimate this parameter. Accordingly, the models described above were further augmented to include the individual contributions of gamma rays and neutrons as follows:

$$1) \text{ L-L: } bD = b_1g + b_2n$$

$$2) \text{ LQ-L: } bD = b_1g + b_2g^2 + b_3n$$

$$3) \text{ Q-L: } bD = b_1g^2 + b_2n$$

The cell killing term was omitted in these analyses. Deviances were computed and examined to determine, if possible, which model, among the three above, fits the data best (Table 10). In this assessment, however, it must be borne in mind that the individual site-specific death rates to which the models are fitted are poorly estimated, particularly at the higher doses, and their variances are large; hence the ability to discriminate between different dose-response relationships is limited.

With the DS86 organ-absorbed doses, the LQ-L fits better than the Q-L, whereas the L-L and LQ-L fit equally well for all of the five organs and solid malignancies collectively (Table 10; see Appendix Table 15 for shielded kerma). Thus the L-L model appears to be an adequate descriptor of the dose-response for most of these organs. With the T65DR organ-absorbed doses, as with the DS86, the L-L and LQ-L fit equally well and the LQ-L fits better than the Q-L for all cancers except leukemia, stomach, and female breast; whereas for leukemia, and

ない。遮蔽 kerma の線量反応にも同様の傾向が認められた(付表14)。しかし、白血病以外のすべての癌においては、細胞死を含めない場合の LQ モデル又は含めた場合の線形モデルで適合度がやや良くなる($P < 0.10$)。白血病及び結腸以外の部位では、LQ モデルに適合する曲線は必ず上向きではなく下向きの凹形であり、明らかに、高線量域での線量反応の横ばい化を反映している。

中性子線量は T65DR に比べて DS86 では大幅に低くなっており、中性子 RBE の推定は不可能ではないにしても困難であるが、遮蔽 kerma での中性子が 1,000m 地点で 0.10 Gy 程度に推定されている広島ではこれを全く無視することはできない。更に、中性子 RBE はこれまで、そしてこれからも極めて興味深いものであり、このパラメータの推定に寿命調査データを用いる上で存在する困難さを示すというだけの理由でも解析を行う価値があるように思われた。したがって、上述のモデルにガンマ線と中性子のそれぞれの寄与を含めるようにした：

これらの解析では細胞死の項は除外した。可能であれば上述した三つのうちのどのモデルが最も良くデータに適合するかを決定するために、偏差を算出し、調べた(表10)。しかし、この評価では、モデルへの適合性を調べた各部位別死亡率の推定は特に高線量で不安定であり、そのばらつきは大きい。したがって、異なる線量反応関係を鑑別する能力は限定されている。

DS86 臓器吸収線量においては、5種類の臓器のすべて及び充実性腫瘍全体について LQ-L は Q-L よりも高い適合性を示すが、L-L と LQ-L は同等の適合性を示す(表10；遮蔽 kerma については付表15を参照)。したがって、これらの臓器の大部分の線量反応を示すモデルとして適切なものは L-L モデルであると思われる。T65DR 臓器吸収線量においても、DS86 の場合と同じように、白血病以外のすべての癌、胃癌及び乳癌に対して、L-L と LQ-L は同じようによく適合し、LQ-L は Q-L よりもよく適合する。一方、白血病、肺癌及び結腸癌の場合は、

TABLE 10 COMPARISON OF THE DEVIANCE AMONG VARIOUS DOSE-RESPONSE MODELS
BASED ON ORGAN-ABSORBED GAMMA RAYS AND NEUTRON DOSES

表10 臓器吸収ガンマ線量及び中性子線量に基づく種々の線量反応モデルにおける
偏差 (deviance) の比較

Site of cancer	Dose system	L-L	Q-L	LQ-L
	df	1508 (753)	1508 (753)	1507 (752)
Leukemia	DS86 T65DR	511.7 500.7	515.8 500.1	511.3 499.5
All except leukemia	DS86 T65DR	1140.9 1011.5	1149.2 1018.0	1137.6 1010.5
Stomach	DS86 T65DR	856.6 880.6	866.1 884.8	856.3 880.3
Colon	DS86 T65DR	334.7 299.6	338.9 299.6	334.5 298.7
Lung	DS86 T65DR	583.7 533.9	592.3 535.7	582.9 533.6
Female breast	DS86 T65DR	289.0 308.3	291.8 311.8	288.4 307.6

Model L-L : Linear for gamma rays and neutrons

ガンマ線及び中性子に対して線形

Q-L : Quadratic for gamma rays and linear for neutrons

ガンマ線に対して二次, 中性子に対して線形

LQ-L : Linear and quadratic for gamma rays and linear for neutrons

ガンマ線に対して線形二次, 中性子に対して線形

df : Degrees of freedom, the figure in parentheses is the df for the breast
自由度, 括弧内の数値は乳癌の自由度

cancers of the lung and colon, the Q-L and LQ-L appear equally satisfactory. It is impossible to assert that one of the models is better than any other; however, since the curvature is invariably downwards when a curvilinear model gives an acceptable fit, this would imply a higher risk at low doses than that which obtains under a linear model.

Previous reports have generally estimated the RBE of neutrons from shielded kerma, for organ-absorbed doses were often not available. Now that they are and are patently more appropriate, our estimation of RBE focuses almost entirely on organ-absorbed doses. Unfortunately, it was not possible to derive reasonable RBE estimates based on these doses directly through maximum likelihood estimation. Since this approach was not practicable, we have

Q-L と LQ-L が等しく妥当であるように思われる。これらのモデルのうちどれか一つをほかのものより優れているとみなすことはできない。しかし、曲線モデルが十分な適合性を示す場合、曲線はかならず下方に向いているので、線形モデルに比べて、低線量でリスクが高いと考えられる。

以前の報告書では、臓器吸収線量がしばしば得られなかったため、中性子の RBE は一般的に遮蔽 kerma から推定されていた。現在、臓器吸収線量が得られ、明らかにより妥当なものであることから、我々が行った RBE 推定ではほとんど臓器吸収線量を用いた。残念ながら、直接に最大尤度法を用いてこれらの線量から妥当な RBE 推定値を得ることはできなかった。この方法は実用的ではなかったので、我々

attempted to determine the RBE on the supposition that the small city difference in organ-absorbed dose-response observed is attributable to differences in neutron flux, and have taken as the estimate of the RBE that value(s) which makes the ratio of the city-specific risk coefficients one or nearly so (Table 11). Inasmuch as there is no apparent dose-response in Nagasaki for colon cancer, this malignancy was excluded in this analysis.

は、両市間に観察された臓器吸収反応の小さな差異が中性子線量の差異によるものと仮定して RBE を決定しようと試み、都市別リスク係数の比が約 1 となる値を推定 RBE と考えた(表11)。長崎では結腸癌に明瞭な線量反応が認められないので、この腫瘍は本解析から除外した。

TABLE 11 RATIO OF THE HIROSHIMA TO NAGASAKI RISK FOR FIXED RBE VALUES
— ORGAN DOSE EQUIVALENT —

表11 特定の RBE 値における広島と長崎に対するリスクの比
— 臓器線量当量 —

Site of cancer	RBE	Excess relative risk per Sv		Excess deaths per 10 ⁴ PYs	
		DS86	T65DR	DS86	T65DR
Leukemia	1	1.23	1.63	1.99	2.98***
	5	1.18	1.11	1.91	2.04*
	10	1.12	0.80	1.83	1.48
	20	1.03	0.53	1.69	0.98
	30	0.96	0.64	1.58	0.76
All except leukemia	1	1.57	2.09*	1.75	2.32*
	5	1.54	1.55	1.71	1.72
	10	1.50	1.19	1.67	1.31
	20	1.44	0.82	1.60	0.91
	30	1.38	0.64	1.54	0.71
Stomach	1	0.60	0.85	0.74	1.10
	5	0.57	0.61	0.71	0.79
	10	0.55	0.46	0.68	0.59*
	20	0.50	0.31*	0.62	0.40**
	30	0.47	0.25*	0.58	0.31**
Lung	1	0.97	1.46	1.21	1.73
	5	0.92	1.03	1.15	1.22
	10	0.87	0.77	1.10	0.90
	20	0.79	0.52	0.98	0.61
	30	0.73	0.41	0.90	0.47
Female breast	1	0.69	1.05	0.80	1.25
	5	0.65	0.64	0.75	0.77
	10	0.60	0.44	0.70	0.53
	20	0.53	0.29	0.63	0.35
	30	0.49	0.22	0.57	0.27

*: P<0.05 **: P<0.01 ***: P<0.001

With the DS86 organ-absorbed dose, assuming an equality of excess RR between Hiroshima and Nagasaki, the RBE of neutrons for leukemia is 20-30, for all cancers except leukemia, 30 or more, and for cancers of the stomach, lung, and female breast, less than 1. Based on an equality of excess deaths between the two cities, the RBE for leukemia or all cancers except leukemia is 30 or more, for lung cancer, 10-20, and for cancers of the stomach and female breast, less than 1. The disparity between these estimates, particularly with regard to some cancers other than leukemia, e.g., lung, where the background rates are approximately the same under both systems of scaling, attests further to the difficulty of deriving meaningful estimates of the RBE under the new dosimetry.

Since the estimation of the effects of exposure to gamma rays depends on the estimates of the RBE of neutrons, and the latter vary greatly as shown above, the risk coefficients per sievert were estimated based on assuming arbitrary but constant RBE values of 1, 10, and 20. The results are shown in Table 12 in terms of excess deaths per 10^4 PYsV for both organ dose equivalent and shielded kerma. The value assuming an RBE of 1 should, of course, be close to the one based on total organ-absorbed dose (Tables 6 and 7), but not necessarily identical, for an adjustment for age and sex occurs in one instance (Table 12) but not in the other (Tables 6 and 7).

The absolute risks (excess deaths per 10^4 PYsV) with the DS86 for an RBE of 10 and (20) are 2.67 (2.40), 9.41 (8.76), 2.36 (2.10), 0.73 (0.69), 1.59 (1.42), and 1.00 (0.82) for leukemia, all cancers except leukemia, and cancers of the stomach, colon, lung, and female breast, respectively. These values do not differ significantly with the different RBE (though they decrease slightly at an RBE of 20), because of the small neutron exposures. As is apparent from Table 12, with the T65DR doses, the estimated excess deaths is much more sensitive to the RBE value that is assumed, and the disparity between the two dosimetries grows larger as the assumed RBE increases, reflecting the relative importance of the neutron component in the two systems. At an RBE of 10, for the five specific sites given in Table 12, the increase in excess number of deaths per 10^4 PYsV under the DS86 varies from 12% (colon) to 133% (female breast).

DS86 臓器吸収線量においては、広島・長崎間で過剰相対リスクが等しいと仮定すると、中性子の RBE は、白血病で 20-30、白血病以外のすべての癌で 30 以上、胃癌、肺癌及び乳癌で 1 未満となる。両市間で過剰死亡数が等しいと仮定すると、白血病又は白血病以外のすべての癌の RBE は 30 以上、肺癌では 10-20、胃癌及び乳癌では 1 未満である。特にバックグラウンド死亡率が両線量推定方式間でほぼ同じである肺癌など、白血病以外の幾つかの癌において、RBE 推定値に相違が見られることは、新しい推定方式を用いて妥当な RBE 値を推定することがいかに困難であることを示すものである。

ガンマ線被曝の影響の推定は中性子の RBE 推定値に左右され、また、RBE 推定値は上述のように大きく異なるので、任意ではあるが一定の RBE 値 1、10 及び 20 を仮定して 1 Sv 当たりのリスク係数を推定した。臓器線量当量と遮蔽 kerma の両方について、推定の結果を 10^4 PYsV 当たりの過剰死亡数で表 12 に示した。RBE を 1 と仮定した場合の値は当然総臓器吸収線量に基づく値(表 6 及び 7)に近いが、必ずしも同一ではない。これは、前者(表 12)には放射線誘発癌のリスク推定についての年齢及び性の補正が行われているのに対して、後者(表 6 及び 7)には行われていないためである。

DS86 での絶対リスク (10^4 PYsV 当たりの過剰死亡)は、RBE を 10 及び (20) と仮定した場合、白血病 2.67 (2.40)、白血病以外のすべての癌 9.41 (8.76)、胃癌 2.36 (2.10)、結腸癌 0.73 (0.69)、肺癌 1.59 (1.42)、乳癌 1.00 (0.82) である。中性子線量が少ないために、これらの値は RBE を変えても有意に変化しない(ただし、RBE が 20 の場合、値はやや低下する)。表 12 から明瞭のように、T65DR 線量では、推定過剰死亡数は、仮定された RBE 値に大きく影響され、両線量推定方式間の差異は RBE 値が上昇するにつれて大きくなる。これは、両方式における中性子の相対的な重要性を反映している。RBE が 10 のとき、表 12 の 5 種の部位においては、DS86 における 10^4 PYsV 当たりの過剰死亡数の増加は 12% (結腸) から 133% (乳房) まで様々である。

TABLE 12 COMPARISON OF EXCESS DEATH PER 10^4 PERSON-YEAR-Sv FOR
SELECTED RBE VALUES USING THE DS86 AND T65DR DOSES表12 DS86 及び T65DR 線量を用いた場合の特定の RBE 値に対する
 10^4 人年 Sv 当たりの過剰死亡の比較

Site of cancer	RBE	DS86	T65DR	DS86/T65DR
<u>Organ dose equivalent</u>				
Leukemia	1	2.95(1.79,4.15)	3.08	0.96
	10	2.67(1.62,3.76)	1.81	1.48
	20	2.40(1.46,3.39)	1.23	1.95
All except leukemia	1	10.1(6.23,15.3)	13.72	0.73
	10	9.41(5.79,14.3)	8.99	1.05
	20	8.76(5.39,13.3)	6.34	1.38
Stomach	1	2.63(1.01,5.52)	3.38	0.78
	10	2.36(0.88,4.96)	2.02	1.17
	20	2.10(0.77,4.47)	1.34	1.57
Colon	1	0.76(0.15,2.70)	0.93	0.82
	10	0.73(0.15,2.50)	0.65	1.12
	20	0.69(0.14,2.35)	0.49	1.41
Lung	1	1.80(0.17,6.74)	1.90	0.95
	10	1.59(0.15,5.85)	1.18	1.35
	20	1.42(0.13,5.29)	0.80	1.78
Female breast	1	1.22(0.31,3.10)	0.90	1.36
	10	1.00(0.25,2.61)	0.43	2.33
	20	0.82(0.20,2.21)	0.26	3.15
<u>Shielded kerma</u>				
Leukemia	1	2.28(1.41,3.30)	1.60	1.43
	10	1.82(1.11,2.63)	0.67	2.72
	20	1.48(0.90,2.14)	0.41	3.61
All except leukemia	1	7.42(4.61,11.3)	5.13	1.45
	10	5.55(3.41,8.56)	2.05	2.71
	20	4.29(2.61,6.68)	1.19	3.61
Stomach	1	2.18(0.86,4.54)	1.46	1.49
	10	1.59(0.60,3.42)	0.53	3.00
	20	1.21(0.44,2.67)	0.29	4.17
Colon	1	0.52(0.10,1.91)	0.36	1.44
	10	0.43(0.08,1.47)	0.16	2.69
	20	0.35(0.07,1.18)	0.10	3.50
Lung	1	1.29(0.18,4.27)	0.88	1.47
	10	0.94(0.13,3.17)	0.36	2.61
	20	0.71(0.10,2.45)	0.21	3.38
Female breast	1	1.00(0.27,2.67)	0.69	1.45
	10	0.77(0.19,2.10)	0.26	2.96
	20	0.60(0.15,1.69)	0.15	4.00

(): 90% confidence interval 90%信頼区間

Rossi,²⁰ using largely experimental evidence, has argued that the RBE increases over a wide range of doses as the inverse of the square root of the neutron dose. We have, therefore, calculated the excess deaths for leukemia, and all cancers except leukemia using a variable $RBE = 1/\sqrt{N}$, $10/\sqrt{N}$, $20/\sqrt{N}$. The resulting values are shown below in terms of organ dose equivalents, and they are not appreciably different from those in Table 12.

RBE	Excess Deaths per 10^4 PYSv	
	Leukemia	All except Leukemia
$1/\sqrt{N}$	2.93	10.08
$10/\sqrt{N}$	2.71	9.47
$20/\sqrt{N}$	2.47	8.86

DISCUSSION

One of the central problems in risk estimation, and ultimately in risk projection continues to be the shape of the dose-response relationship. Under the T65DR dose system, the dose-response curve based on total shielded kerma appeared linear, in general, except for leukemia where a nonlinear model (LQ or Q) fit the observational data better than a linear (L) one, although statistically no one model could be shown to be significantly better than any other.^{19,21} However, under this dosimetry system, the city difference in dose-response was remarkable, i.e., cancer mortality at the same dose was higher, often significantly so, in Hiroshima than in Nagasaki. This was ascribed to the fact that the radiation in Nagasaki was nearly all gamma rays; whereas a presumably large neutron component existed in Hiroshima and the carcinogenic effect of neutrons was thought to be greater for the same absorbed energy ($RBE > 1$).^{19,21} Under the DS86 dose system, the neutron dose decreases substantially, particularly in Hiroshima. The total shielded kerma, which now consists of mostly gamma rays, decreases in both cities but much more so in Nagasaki. As a result,

- 1) The risk coefficients based on total shielded kerma increase with the DS86 as compared with the T65DR.
- 2) The dose-response curve appears more linear as a result of the shifting of survivors in the high dose range in the T65DR system to lower val-

Rossi²⁰ は、主に実験的結果から、RBE は中性子線量の平方根の逆数として広い線量範囲において増加すると指摘している。したがって、我々は、変数 $RBE = 1/\sqrt{N}$, $10/\sqrt{N}$, $20/\sqrt{N}$ を用いて白血病及び白血病以外のすべての癌について過剰死亡数を算出した。得られた値を組織線量当量で下記に示した。またここに示した値は表12の値と大きく異なるものではない。

考 察

リスクの推定（最終的には生涯リスクの予測）における中心的な問題の一つは、依然として線量反応関係の形状である。T65DR 線量推定方式では、総遮蔽 kerma に基づく線量反応曲線は、非線形モデル (LQ 又は Q) が線形 (L) モデルよりも観察値によく適合する白血病以外については、一般的に線形を示したが、統計学的に見てほかのものよりも有意に優れたモデルはなかった。^{19,21} また線量反応における都市間差は顕著であり、同じ線量での癌死亡率は長崎よりも広島の方がしばしば顕著に高かった。これは、長崎では放射線の大部分がガンマ線であったのに対して、広島では中性子が多かったと考えられ、同一の吸収エネルギーでは中性子の発癌効果の方が高いと考えられるためである ($RBE > 1$)。^{19,21} DS86 線量方式では、中性子線量は大幅に減少し、特に広島でこの傾向が強い。総遮蔽 kerma は、現在ほとんどガンマ線であるが、両市で低下し、特に長崎で著しく低下している。以上のことから、次のような所見が得られた。

- 1) 総遮蔽 kerma に基づくリスク係数は T65DR と比べて DS86 で増加している。
- 2) T65DR 線量方式で高線量範囲にあった被爆者が DS86 ではより低い線量域に移動したため、線量反応曲線はより明瞭な線形を示す。

ues in the DS86. Even leukemia in Nagasaki, where a nonlinear model fit better with the T65DR doses, now fits a linear model much better.

- 3) The difference between the cities in dose-response decreases and is no longer statistically significant. However, mortality in Hiroshima still seems higher than in Nagasaki for some sites of cancer including leukemia. This fact, coupled with consistently higher frequencies of chromosome aberrations and the occurrence of other early effects, such as epilation in Hiroshima, suggests a continuing need to search for alternate explanations for the city differences heretofore ascribed to the presumed differences in the neutron flux.

As previously pointed out, the organ transmission factors are generally larger with the DS86 than the T65DR doses; whereas the transmission factors for Japanese houses are smaller and, thus, the changes in the attenuation of dose as a result of houses, on the one hand, and tissue, on the other, tend to cancel out in calculating the organ-absorbed dose. As a reflection of these facts, the difference in the risk coefficients is much smaller with organ-absorbed dose than shielded kerma and the risk coefficients based on organ-absorbed doses are slightly lower with the DS86 doses except for the female breast. However, at RBE greater than 1, the DS86 risk coefficients are larger than those based on the T65DR doses, reflecting the greater contribution of neutrons to the organ dose equivalent under the latter system.

The RBE based on T65DR organ-absorbed doses to the marrow, stomach, lung, and female breast are 14.7, 7.4, 4.7, and 6.5, respectively.^{19,21} In the DS86 system, as a result of the reduction in the neutron doses, it is not presently possible to derive reasonable RBE estimates based on organ-absorbed doses, and therefore, to assess meaningfully the difference between the dose systems in this important parameter. However, these efforts should be continued as the DS86 sample expands, and mortality accumulates.

We should observe that in the comparison of risk coefficients in this paper (see Tables 6 and 7), the background mortality rates for each dose group have been adjusted for modifying factors such as age, sex, city, and calendar time, but the radiogenic risk has not been explicitly adjusted for the sake of simplicity, since the magnitude of the effects of such mod-

T65DR 線量では非線形モデルによく適合していた長崎の白血病さえも現在では線形モデルに対してより良い適合性を示す。

- 3) 線量反応の都市間の差は減少し、もはや統計学的に有意ではない。しかし、白血病を含む幾つかの癌部位については、広島死亡率の方が依然として長崎よりも高いようである。この事実は、広島において染色体異常の頻度が一貫して高いこと、及び脱毛などの早期影響と併わせて、これまで中性子線量の差異によるものと考えられてきた都市間の差に対して、別の解釈を求めることが引き続き必要であることを示唆している。

前に指摘したように、臓器透過係数は T65DR よりも DS86 線量の方が全体的に大きい、日本家屋の透過係数は小さくなっている。したがって、一方では家屋、他方では組織における線量減弱係数の変化は臓器吸収線量を計算する際には相殺される傾向にある。これらの事実を反映して、リスク係数の差異は遮蔽 kerma よりも臓器吸収線量でかなり小さくなり、臓器吸収線量に基づくリスク係数は乳房を除いて DS86 線量でやや低くなっている。しかし、RBE が 1 以上のとき、DS86 リスク係数は T65DR 線量に基づく係数よりも大きい。これは、T65DR では中性子の臓器線量当量に対する寄与が大きいことを反映している。

T65DR 臓器吸収線量に基づく、骨髄、胃、肺及び乳房に対する RBE は、それぞれ、14.7、7.4、4.7 及び 6.5 であった。^{19,21} DS86 方式においては、中性子線量が減少した結果、臓器吸収線量に基づく適切な RBE 推定値を得ることは現在不可能であり、したがって、この重要なパラメータにおける両線量方式間の差異について有意義な評価を行うこともできない。しかし、DS86 集団が増加し、死亡データが蓄積されるのにあわせて、RBE 評価の努力も継続すべきである。

本報でリスク係数を比較する際に（表 6 及び 7）、各線量群のバックグラウンド死亡率を年齢、性、都市及び暦年時間などの修正要因について補正したが、放射線誘発リスクに対しては単純化するために明らかな補正は行わなかった。これは、上述した修正要因

ifiers on the radiogenic risk does not appear to be altered significantly between the two dose systems. It should be noted, however, that there is an implicit adjustment in the estimation procedure itself which becomes extremely important in the projection of lifetime risk, but can be defensibly ignored here, since our purposes are solely to compare the two systems of dosimetry site-specifically. Moreover, as shown in Appendix Table 17, the ratio of the risk coefficients between the two dosimetry systems for leukemia and all cancers except leukemia is not different with or without age and sex adjustment. In the examination of the dose-response models, however, adjustment was made for these factors.

In this report, the estimated differences in risk coefficients between the two dose systems (DS86 and T65DR) are based on a subcohort which includes proximally exposed A-bomb survivors on whom relatively accurate shielding information is available (majority of those individuals whose doses are based on the 9-parameter method of estimation) and distally exposed survivors. Individuals not included in this subcohort either had insufficient shielding data to compute a dose, or were exposed in structures other than Japanese-type houses. Since these individuals are included in the full cohort, the latter embraces many cases where the accuracy of the dose estimate is relatively poor. As we have shown (Table 5), the estimated risk declines as the dose estimates grow poorer (see in this connection reference 12-14). Reflecting this, the risk coefficients in the full cohort are lower than those in the subcohort, and thus the utilization of the full cohort as the standard of comparison emphasizes the difference between the dosimetries.

Preston and Pierce,¹ using the present sample and cancer deaths separated into "leukemia" and "cancer of all sites excluding leukemia," observe that the shielded kerma dose-response curve may be linear in the group exposed to less than 4 Gy but shows a convex curve in the group exposed to more than 4 Gy (DS86), although the response appears linear when T65DR doses and the full T65DR cohort is used. They have also pointed out that most of those survivors with doses exceeding 4 Gy in the DS86 are the survivors whose estimated shielded kerma in the T65DR were truncated at 6 Gy. The effect of excluding survivors with doses exceeding 4 Gy under the new dosimetry is to increase the DS86 risk

が放射線誘発リスクに及ぼす影響の程度は、両線量方式間で有意に変化していないと思われるからである。このことは生涯リスクの推定では非常に重要で通常この補正はなされているが、我々は二つの線量推定方式を部位別癌死亡率で比較することのみを目的としているので、ここではこの補正は無視できる。更に、付表17に示されているように、白血病及び白血病以外のすべての癌においては、両線量推定方式間のリスク係数の比は、前述の放射線誘発リスクについての年齢及び性の補正を行っても行わなくても変わらない。しかし、線量反応モデルの検討では、これらの要因について補正を行った。

本報では、二つの線量推定方式 (DS86 及び T65DR) におけるリスク係数の差異は、比較的正確な遮蔽情報が得られている近距離被爆者 (大部分は9パラメーター法により線量が推定された者) と遠距離被爆者を含むサブコホートに基づくものである。このサブコホートに含まれない者は、線量の算出に十分な遮蔽データがないか、日本家屋以外の建築物内で被爆した者である。これらの被爆者はコホート全体には含まれているので、このコホートには線量推定値の精度が比較的低い者も多く含まれている。既示したように (表5)、線量推定値の正確さが低くなるにつれて推定リスクは低下している (これについては文献12-14参照)。これを反映して、コホート全体におけるリスク係数はサブコホートの係数より低く、したがって、比較の基準としてコホート全体を用いると線量推定方式間の差異が強調される。

Preston 及び Pierce¹ は、今回用いた集団と“白血病”及び“白血病以外の全部位の癌”に分けた癌死亡数を用いて、遮蔽 kerma 線量反応曲線は 4 Gy 未満に被曝した群では線形傾向を示すが、4 Gy 以上群では凸形曲線を示すこと (DS86)、また、この反応は T65DR 線量と T65DR コホート全体を用いたときは線形となるように思われることなどを観察した。彼らはまた、DS86 で線量が 4 Gy を超える被爆者の多くは、T65DR の推定遮蔽 kerma が、6 Gy 以上であるが 6 Gy とされた者であることを指摘した。新線量推定方式で 4 Gy 以上の線量を有する被爆者を除外すると、遮蔽 kerma と臓器吸収線量のいずれにおい

estimates 7% for leukemia and 14% for all cancers except leukemia in both shielded kerma and organ-absorbed dose. Examination of the 286 survivors with T65DR doses exceeding 6 Gy reveals the proportion of survivors with DS86 shielded kerma of 4 Gy or more to be $218/286 = 76.2\%$ (Table 13). Of those survivors with DS86 doses exceeding 4 Gy, 99 exceeded 6 Gy (DS86). In terms of organ-absorbed dose, all of the 286 cases save 2 subjects (female breast dose) had a DS86 dose of less than 6 Gy.

でも、DS86 リスク推定値は白血病で7%，白血病以外のすべての癌で14%増加すると報告している。T65DR 線量が6 Gy以上の被爆者286人について検討すると、DS86 遮蔽 kerma が4 Gy以上の被爆者の割合は $218/286 = 76.2\%$ となる(表13)。DS86 線量が4 Gy以上の被爆者のうち、99人の線量はDS86で6 Gy以上である。臓器吸収線量では、2人(乳房線量)を除いて、286人のDS86線量が6 Gy未満であった。

TABLE 13 PROPORTION OF SUBJECTS WITH T65DR SHIELDED KERMA DOSE OF 6 Gy AND OVER BY DS86 SHIELDED KERMA

表13 T65DR 遮蔽 kerma 線量が6 Gy以上の被爆者の割合；
DS86 遮蔽 kerma 別

DS86 shielded kerma (Gy)	T65DR shielded kerma (Gy)		
	T	<6.0	6.0+
T	75991 (100.0%)	75705	286 (0.4%)
<2.0	74886	74886	-
2.0-2.9	631	621	10 (1.6%)
3.0-3.9	217	159	58 (26.7%)
4.0-4.9	94	34	60 (63.8%)
5.0-5.9	64	5	59 (92.2%)
6.0+	99	-	99 (100.0%)

To examine the effect of these individuals on the risks we have presented, we have estimated the risk for both the DS86 and T65DR doses on the following two groups using shielded kerma and organ-absorbed dose:

Group 1: DS86 subcohort excluding the 286 subjects with estimated T65DR kerma exceeding 6 Gy; and

Group 2: DS86 subcohort excluding the 257 subjects with DS86 shielded kerma exceeding 4 Gy.

The ratios of the excess deaths per 10^4 PYGy with the DS86 doses to those with the T65DR doses for the various groups are shown as follows.

我々が示したリスクに対するこれらの被爆者の影響を調べるために、遮蔽 kerma と臓器吸収線量を用いて、次の2群についてDS86及びT65DR線量でのリスクを推定した：

第1群：T65DR 推定 kerma が6 Gy以上の286人を除くDS86 サブコホート

第2群：DS86 遮蔽 kerma が4 Gy以上の257人を除くDS86 サブコホート

DS86 線量による 10^4 PYGy 当たりの過剰死亡数とT65DR 線量による同死亡数の比率を色々な群について次に示した。

RATIO OF THE EXCESS DEATHS PER 10^4 PYGy BASED ON THE DS86 DOSIMETRY
TO THAT OF THE T65DR USING VARIOUS COHORTS

種々のコホートをを用いた場合の、DS86線量に基づく 10^4 PYGy 当たりの
過剰死亡数と T65DR に基づく同死亡数の比

		Present Report				Preston and Pierce	
		Cohort*				Cohort*	
		DS86 Subcohort	DS86 Subcohort	Group 1	Group 2	DS86 Subcohort	Group 2
		DS86 Subcohort	T65DR Full Cohort	Group 1	Group 2	T65DR Full Cohort	T65DR Full Cohort
SHIELDED KERMA							
Leukemia	DS86	2.30	2.30	2.38	2.41	2.58	2.75
	T65DR	1.60	1.40	1.61	1.61	1.55	1.55
	DS86/ T65DR	1.44	1.64 (+14%)	1.48 (+3%)	1.50 (+4%)	1.66	1.77 (+7%)
All cancer except leukemia	DS86	7.49	7.49	8.39	8.58	8.24	9.37
	T65DR	5.25	4.62	5.49	5.56	5.46	5.46
	DS86/ T65DR	1.43	1.62 (+14%)	1.53 (+7%)	1.54 (+8%)	1.51	1.72 (+14%)
ORGAN-ABSORBED DOSE							
Leukemia	DS86	2.94	2.95	3.07	3.10	3.23	3.46
	T65DR	3.11	2.70	3.15	3.16	2.87	2.87
	DS86/ T65DR	0.95	1.09 (+15%)	0.97 (+2%)	0.98 (+3%)	1.13	1.21 (+7%)
All cancer except leukemia	DS86	10.13	10.13	11.27	11.61	11.46	13.03
	T65DR	13.97	12.24	14.62	14.81	14.59	14.59
	DS86/ T65DR	0.73	0.83 (+14%)	0.77 (+5%)	0.78 (+7%)	0.79	0.89 (+14%)

*: Cohort for risk estimate of DS86 dose, upper row 上段は DS86 線量によるリスク推定のコホート

Cohort for risk estimate of T65DR dose, lower row 下段は T65DR 線量によるリスク推定のコホート

(): Increment of the ratio of the risk estimates DS86/T65DR in various cohorts to that in the DS86 subcohort

DS86 サブコホートにおけるリスク推定値の比、DS86/T65DR に対する種々のコホートの増加分

There are some differences in the text table between the present calculations and those of Preston and Pierce¹ that warrant explanation since they might otherwise seem incompatible. For example, using the DS86 shielded kerma, excess deaths per 10^4 PYGy for all cancers except leukemia are 7.49 in the present paper and 8.24 in Preston and Pierce. Their estimate is the average, with equal weights, over several age at exposure and sex categories; whereas ours is essentially weighted by the time at risk. There is a bigger difference between the estimates of excess RR, ours being 0.30 per gray shielded kerma and theirs 0.43. Theirs is again an average with respect to age at exposure and sex,

この本文中の表では、今回の計算と Preston 及び Pierce¹ の計算に若干の相違がある。矛盾があると思われるかもしれないので以下に説明をした。例えば、DS86 遮蔽 kerma を用いた場合、白血病以外のすべての癌の 10^4 PYGy 当たりの過剰死亡数は、本報では 7.49、Preston 及び Pierce の報告書では 8.24 である。彼らの推定値は、幾つかの被爆時年齢及び性カテゴリーについて加重値を等しくして得られた平均値であるのに対して、我々の値は観察期間で加重平均したものになっている。過剰相対リスク推定値には更に大きな差があり、我々の値は 1 Gy 遮蔽 kerma 当たり 0.30 であるのに対して、彼らの値は 0.43 である。この場合も、彼らの値は被爆時年齢及び性について加重値を等しくした平均値であるのに

using equal weights; whereas the weights we have used are essentially the number of excess deaths, giving most weight to those who were older at exposure. When the ratio of the risk estimates obtained by Preston and Pierce based on the same DS86 subcohort we have used are compared to the estimates presented here, they are very similar despite somewhat different methods of estimation.

Though the ratio of the excess risk between DS86 and T65DR doses increases in Group 2 more than in the subcohort in both the present analysis and that of Preston and Pierce, the change is larger in Preston and Pierce, particularly for organ-absorbed doses. There are two possible explanations for this difference: 1) Preston and Pierce estimated the excess risk for the T65DR doses using the full cohort, whereas in the estimation of the excess risk with both sets of doses we have confined our attention to Group 2. 2) As previously noted, since individual organ-absorbed doses were not then available, Preston and Pierce reckoned the absorbed dose using the individually estimated shielded kerma multiplied by the average transmission factor for the marrow or colon. We have used the individually estimated absorbed doses to the marrow or large intestine which became available later.

Collectively, the observations outlined in the several preceding paragraphs emphasize two important points. First, statements regarding the effects of the new dosimetry (as opposed to the old) must be appreciative of their different objectives, and the comparisons that have been made. Second, albeit somewhat tangential, as the second of the text tables shows, elimination of those survivors with doses above 6 Gy (doses which are probably above the LD₉₅ in these cities²²) or even 4 Gy does not significantly affect the risk estimates when linear models are used, presumably because of the small number of such individuals. Their presence could have more important consequences in the assessment of dose-response relationships, and there is a need, therefore, for an acceptable method to cope with improbably large doses.

対して、我々が用いた加重値は過剰死亡数になっており、被爆時に高齢であった人に最大の加重値を与えて得たものである。我々が用いたのと同じ DS86 サブコホートに基づいて Preston 及び Pierce が得たリスク推定値の比を本報の推定値と比較すると、推定方法が若干異なるにもかかわらず両者は極めて類似している。

DS86 と T65DR 間の過剰リスクの比は、本解析及び Preston と Pierce の解析のいずれにおいても、サブコホートよりも第2群の方が増加しているが、この変化は Preston と Pierce の方が大きく、特に臓器吸収線量において顕著である。この差異について二つの説明が考えられる：1) Preston 及び Pierce はコホート全体を用いて T65DR 線量での過剰リスクを推定したのに対して、両線量方式での過剰リスクの推定で、我々は第2群のみを対象とした。2) 前述したように、個人臓器吸収線量は当時得られなかったもので、Preston と Pierce は個人推定遮蔽 kerma に骨髄又は結腸の平均透過係数を乗じて吸収線量を算出した。我々は、骨髄又は大腸の個人推定吸収線量が後に利用できるようになってからこれを用いた。

まとめると、以上に概述した内容には、二つの重要な点がある。第一に、(古い線量推定方式と比較して)新しい線量推定方式の影響に関する記述は、それぞれの異なる目的と、そこに行われている比較を考慮しなければならない。第二に、本文中の第二の表が示すように、幾分付随的な事ではあるが、線量が 6 Gy 以上(両市で恐らく LD₉₅ 以上²²)又は 4 Gy の被爆者を除外しても、恐らくこのような被爆者が少ないことから、線形モデルを用いた場合はリスク推定値は有意な影響を受けない。このような高線量群の存在は線量反応関係の評価においてより重要な意味をもつので、本当とは思えないほどの高線量を扱うのに適切な方法が必要である。

REFERENCES

参考文献

1. PRESTON DL, PIERCE DA: The effect of changes in dosimetry on cancer mortality risk estimates in the atomic bomb survivors. RERF TR 9-87
2. AUXIER JA: Ichiban -- Radiation Dosimetry for the Survivors of the Bombings of Hiroshima and Nagasaki. REDA Critical Review Series, TID-27080, NTIS 1977 (see also CHEKA JS, SANDERS FW, et al: Distribution of weapons radiation in Japanese residential structures. USAEC Report CEX-62, 11, 1965)
3. MILTON RC, SHOHJOI T: Tentative 1965 radiation dose estimation for atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki. ABCC TR 1-68
4. KERR GD: Organ dose estimates for Japanese atomic bomb survivors. Health Phys 37:487-508, 1979
5. ROESCH WC (ed): US-Japan Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki: Final report, Vol 1. RERF Hiroshima, 1987
6. LOEWE WE, MENDELSON E: Revised dose estimates at Hiroshima and Nagasaki. Health Phys 41:663-5, 1981 (see also, LOEWE WE, MENDELSON E: Neutron and gamma doses at Hiroshima and Nagasaki. Nuc Sci Eng 81, 1982)
7. KERR GD: Findings of a recent Oak Ridge National Laboratory review of dosimetry for Japanese Atomic Bomb survivors. In *Reevaluation of Dosimetric Factors: Hiroshima and Nagasaki*, ed by Bond VP and Thiessen JW, DOE Symposium Series 55, CONF-820928, 1982
8. THOMPSON DJ (ed): US-Japan Joint Workshop for Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki. RERF Hiroshima, 1983
9. RADIATION EFFECTS RESEARCH FOUNDATION: Second US-Japan Joint Workshop for Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki. RERF Hiroshima, 1984
10. PRESTON DL, KATO H, KOPECKY KJ, FUJITA S: Studies of the mortality of A-bomb survivors. Report 8. Cancer mortality, 1950-82. Radiat Res 111:151-78, 1987 (RERF TR 1-86)
11. KERR GD, PRESTON PL, EBISUI H, FUJITA S: Radiation dosimetry for the survivors of the atomic bombings in Hiroshima and Nagasaki (in preparation as an RERF Technical Report)
12. JABLON S: Atomic bomb radiation dose estimation at ABCC. ABCC TR 23-71
13. GILBERT ES: Some effects of random dose measurement errors on analyses of atomic bomb survivor data. Radiat Res 98:591-605, 1984 (RERF TR 12-82)
14. GILBERT ES, OHARA JL: An analysis of various aspects of atomic bomb dose estimation at RERF using data on acute radiation symptoms. Radiat Res 100:124-38, 1984 (RERF TR 9-83)
15. WAKABAYASHI T, KATO H, IKEDA T, SCHULL WJ: Studies of the mortality of A-bomb survivors, Report 7. Part III. Incidence of cancer in 1950-78, based on the Tumor Registry, Nagasaki. Radiat Res 93:112-46, 1983 (RERF TR 6-81)
16. RADFORD EP, PRESTON DL, KOPECKY KJ: Methods for study of delayed health effects of A-bomb radiation. In *Cancer in Atomic Bomb Survivors*. Ed by I. Shigematsu and A. Kagan. Tokyo, Japan Scientific Societies Press, and New York, Plenum Press, 1986. (Gann Monograph on Cancer Research No. 32) pp75-88
17. COMMITTEE ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION: Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR-III). National Academy of Sciences--National Research Council. Washington DC, National Academy Press, 1980

18. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF IONIZING RADIATION: Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Sales Publication Number E.77.IX.1, New York, 1977
19. KATO H, SCHULL WJ: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 7. Mortality, 1950-78: Part 1. Cancer mortality. Radiat Res 90:395-432, 1982 (RERF TR 12-80)
20. ROSSI HH: Symposium on radiobiological response relationships at low doses. The effects of small doses of ionizing radiation. Fundamental biophysical characteristics. Radiat Res 71:1-8, 1977
21. FUJITA S, SHIMIZU Y, YOSHIMOTO K, YOSHIMOTO Y, KATO H: RBE of neutrons in cancer mortality among atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki, 1950-78. RERF TR 9-80
22. FUJITA S, KATO H, SCHULL WJ: The LD₅₀ associated with exposure to the atomic bombing of Hiroshima and Nagasaki: A review and reassessment. (an RERF Technical Report in preparation)

APPENDIX TABLE 1 AVERAGE HOUSE TRANSMISSION FACTORS BY DOSE SYSTEM AND CITY

付表1 平均家屋透過係数；線量推定方式及び都市別

City	Dose system	Gamma	Neutron
Hiroshima	DS86	0.46	0.36
	T65DR	0.90	0.31
	DS86/T65DR	0.51	1.16
Nagasaki	DS86	0.48	0.41
	T65DR	0.81	0.35
	DS86/T65DR	0.59	1.17

APPENDIX TABLE 2 COMPARISON OF T65DR AND DS86 SHIELDED KERMA DOSE ESTIMATES BY CITY
付表2 T65DR 及び DS86 遮蔽 kerma 推定値の比較; 都市別

City	T65DR (Gy)	DS86 Dose (Gy)								Mean T65DR Dose (Gy)					
		0	0.01-	0.06-	0.10-	0.20-	0.50-	1.00-	2.00-	3.00-	4.00+	Total	Gamma	Neutron	Total
I	0	29777	4898	1074	113							34575	0.00	0.00	0.00
	0.01-	4495	11965	1631	221							17647	0.02	0.00	0.02
	0.06-		1189	1177	3740	2						3053	0.06	0.01	0.07
	0.10-		1125	247	1034	561						6606	0.12	0.03	0.14
	0.20-		5		84	4272	291					5849	0.27	0.05	0.31
	0.50-					1611	1890	58				3623	0.60	0.10	0.70
	1.00-					109	1293	898	9			2309	1.20	0.32	1.47
	2.00-						140	743	131	2		1021	2.10	0.33	2.44
	3.00-						2	197	252	157		503	2.87	0.60	3.46
	4.00+							45	245	157	258	705	4.33	0.90	5.24
Total	34272	19192	4129	5172	6558	3616	1846	637	211	258	75891	0.19	0.03	0.23	
Mean DS86 Dose (Gy)															
H	0	20346	4998	1074	113							25244	0.00	0.00	0.00
	0.01-		718	1631	221							3603	0.02	0.00	0.02
	0.06-		130	871	358	2						1881	0.06	0.02	0.08
	0.10-		1		358	561						4904	0.11	0.03	0.14
	0.20-					4056	291					4684	0.26	0.06	0.31
	0.50-					806	1896	58	9			2670	0.57	0.13	0.70
	1.00-						814	475	118	2		1642	1.09	0.30	1.39
	2.00-							63	214	51		595	1.88	0.55	2.44
	3.00-							7	142	114	173	328	2.57	0.89	3.46
	4.00+								483	187	173	436	3.83	1.40	5.23
Total	20346	12745	3376	4360	5407	2911	1422	483	187	173	51390	0.17	0.05	0.23	
Mean DS86 Dose (Gy)															
N	0	9431	4249									9431	0.00	0.00	0.00
	0.01-	4485	1069									8744	0.02	0.00	0.02
	0.06-		1124	508	72							1069	0.07	0.00	0.07
	0.10-			247	64							1792	0.14	0.00	0.14
	0.20-		5			237	84					1195	0.31	0.00	0.31
	0.50-					109	479	79				853	1.47	0.01	1.48
	1.00-						140	273	13			657	2.41	0.01	2.44
	2.00-						2	134	38	1		426	3.43	0.03	3.47
	3.00-							38	103	43	85	175	5.14	0.05	5.24
	4.00+							534	154	44	85	269	0.22	0.00	0.23
Total	13926	6447	753	812	1151	705	534	154	44	85	24601	0.22	0.00	0.23	
Mean DS86 Dose (Gy)															
Note : T65DR doses above 6 Gy are truncated to 6 Gy (gamma : 4.28 Gy ; neutron : 1.72 Gy)															
6 Gy 以上の T65DR 線量は 6 Gy とした (ガンマ線 : 4.28 Gy ; 中性子 : 1.72 Gy) .															
DS86 doses above 6 Gy are truncated to 6 Gy (gamma : 5.62 Gy ; neutron : 0.38 Gy)															
6 Gy 以上の DS86 線量は 6 Gy とした (ガンマ線 : 5.62 Gy ; 中性子 : 0.38 Gy) .															

See Table 2 footnotes
表2の脚注参照

APPENDIX TABLE 3 AVERAGE ORGAN DOSE TRANSMISSION FACTORS BY DOSE SYSTEM

付表3 平均臓器線量透過係数; 線量推定方式別

Organ	Dose system	Gamma	Neutron	Neutron-capture gamma
Bone marrow	DS86*	0.81	0.37	0.42
	T65DR**	0.56	0.24	0.07
	DS86/T65DR	1.45	1.54	6.00
Colon	DS86	0.74	0.19	0.41
	T65DR	0.40	0.14	0.08
	DS86/T65DR	1.85	1.36	5.13
Stomach	DS86	0.75	0.28	0.40
	T65DR	0.47	0.18	0.07
	DS86/T65DR	1.60	1.56	5.71
Lung	DS86	0.80	0.33	0.37
	T65DR	0.50	0.22	0.07
	DS86/T65DR	1.60	1.50	5.29
Female breast	DS86	0.85	0.61	0.32
	T65DR	0.80	0.55	0.05
	DS86/T65DR	1.06	1.11	6.40
Bladder	DS86	0.76	0.22	0.40
	T65DR	0.45	0.18	0.07
	DS86/T65DR	1.69	1.22	5.71
Ovary	DS86	0.74	0.16	0.39
	T65DR	0.40	0.12	0.08
	DS86/T65DR	1.85	1.33	4.88
Thyroid	DS86	0.85	0.41	0.43
	T65DR	0.70	0.45	0.04
	DS86/T65DR	1.21	0.91	10.75
Liver	DS86	0.76	0.29	0.39
	T65DR	0.47	0.18	0.08
	DS86/T65DR	1.62	1.61	4.88
Pancreas	DS86	0.72	0.18	0.42
	T65DR	0.40	0.12	0.08
	DS86/T65DR	1.80	1.50	5.25
Testis	DS86	0.78	0.32	0.38
	T65DR	0.65	0.40	0.05
	DS86/T65DR	1.20	0.80	7.60
Uterus	DS86	0.73	0.14	0.40
	T65DR	0.40	0.12	0.08
	DS86/T65DR	1.83	1.17	5.00

* The DS86 does not use constant transmission factors; these values are the averages from modeling the exposures of 19,113 individuals.

DS86では一定の透過係数を用いない; これらの値は19,113人の被曝線量をモデル化して得られた平均値である。

** These values are those given by Dr. Kerr,⁴ and are constants.

これらの値は Dr. Kerr⁴ により提示されたものであり、定数である。

APPENDIX TABLE 4 COMPARISON OF T65DR AND DS86 ORGAN-ABSORBED DOSE ESTIMATES BY CITY - BONE MARROW

付表 4 T65DR 及び DS86 臓器吸収線量推定値の比較: 都市別一骨髄

City	T65DR (Gy)	DS86 Dose (Gy)										Mean T65DR Dose (Gy)		
		0	0.01-	0.06-	0.10-	0.20-	0.50-	1.00-	2.00-	3.00-	4.00+	Total	Gamma	Neutron
T	0	30252	4423	2100	207							34875	0.00	0.00
	0.01-	5038	13886	1369	2542							21231	0.01	0.00
	0.06-		1182	578	1943	154						5227	0.07	0.01
	0.10-		289	11	515	2172	13					4978	0.12	0.01
	0.20-					3601	954	5				5086	0.29	0.02
	0.50-				3	436	1585	343				2377	0.64	0.06
	1.00-					12	474	994	144	5		1629	1.27	0.11
	2.00-						6	227	231	88	103	653	2.28	0.27
	3.00-							9	37	38	52	137	3.24	0.65
	4.00+													
Total		35290	19740	4059	5210	6375	3042	1578	412	130	155	75991	0.11	0.01
Mean DS86 Dose (Gy)														
H	0	20821	4423									25244	0.00	0.00
	0.01-		9111	2100	207							11418	0.02	0.00
	0.06-		38	1286	2540	154						4018	0.07	0.01
	0.10-			5	1559	2162	13					3739	0.12	0.01
	0.20-				35	2841	942	5				3826	0.26	0.03
N	0	20821	4423									25244	0.00	0.00
	0.01-		9111	2100	207							11418	0.02	0.00
	0.06-		38	1286	2540	154						4018	0.07	0.01
	0.10-			5	1559	2162	13					3739	0.12	0.01
	0.20-				35	2841	942	5				3826	0.26	0.03
	0.50-					87	1325	328	136	5		1738	0.61	0.08
	1.00-						83	748	184	80	103	952	1.21	0.19
	2.00-							82	4	2		449	2.22	0.38
	3.00-												2.70	0.35
	4.00+													
Total		20821	13572	3391	4341	5247	2343	1161	324	87	103	51390	0.10	0.01
Mean DS86 Dose (Gy)														
N	0	9431										9431	0.00	0.00
	0.01-		4775	83								9813	0.01	0.00
	0.06-		1124	574	384	2						1209	0.07	0.00
	0.10-		269	11	480							1237	0.13	0.00
	0.20-					10						1260	0.33	0.00
Mean DS86 Dose (Gy)	0.00													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
	0.50-													
	1.00-													
	2.00-													
	3.00-													
	4.00+													
Total		14459	8158	868	869	1128	699	417	88	43	52	24601	0.13	0.00
Mean DS86 Dose (Gy)														
Mean DS86 Dose (Gy)	0.00													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
Gamma	0.00													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
Neutron	0.00													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
Total		0.00	0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.38	2.39	3.46	4.65	0.09		
Gamma		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.00		
Neutron		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.00		
Total		0.00	0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.38	2.41	3.48	4.68	0.09		

APPENDIX TABLE 5 COMPARISON OF T65DR AND DS86 ORGAN-ABSORBED DOSE ESTIMATES BY CITY - LARGE INTESTINE

付表5 T65DR 及び DS86臓器吸収線量推定値の比較; 都市別—大腸

City	T65DR (Gy)	DS86 Dose (Gy)										Mean T65DR Dose (Gy)			
		0	0.01-	0.06-	0.10-	0.20-	0.50-	1.00-	2.00-	3.00-	4.00+	Total	Gamma	Neutron	Total
T	0	35823	8209	1	727	8						44033	0.00	0.00	0.00
	0.01-	309	10368	3150	2843	648						14562	0.02	0.00	0.02
	0.06-		931	782	2843							5284	0.07	0.00	0.07
	0.10-		10	200	1357		56					4221	0.13	0.01	0.14
	0.20-				282	2668	1424	81				4435	0.29	0.02	0.31
	0.50-					136	1185	587	18			1986	0.67	0.04	0.71
	1.00-						164	695	238	17		1114	1.27	0.08	1.35
	2.00-							37	105	130	84	356	2.04	0.14	2.18
	3.00-											-	-	-	-
	4.00+											-	-	-	-
Total		38132	19518	4113	5209	6218	2829	1380	361	147	84	75991	0.08	0.00	0.08
Mean DS86 Dose (Gy)															
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.36	2.33	3.48	4.36	0.12			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.00			
	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.37	2.35	3.51	4.41	0.12			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.00			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.00			
	0.00														
	0.00														
	0.00														
	0.00														
	0.00														
Total															
H	0	21307	8209	1	727	8						25517	0.00	0.00	0.00
	0.01-		5357	3149	2858	648						9241	0.02	0.00	0.02
	0.06-		4	331	2858							3841	0.06	0.01	0.07
	0.10-			1	752	2613						3422	0.13	0.01	0.14
	0.20-					1827	56					3259	0.29	0.02	0.31
	0.50-					11	1371	61				1280	0.63	0.08	0.69
	1.00-						693	538	18			652	1.21	0.13	1.35
	2.00-						9	420	207	16		198	1.85	0.23	2.08
	3.00-							5	61	84	48	-	-	-	-
	4.00+											-	-	-	-
Total		21307	13570	3482	4337	5107	2129	1024	286	100	48	51390	0.07	0.01	0.08
Mean DS86 Dose (Gy)															
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.35	2.31	3.49	4.28	0.13			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07	0.00			
	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.36	2.34	3.53	4.35	0.13			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07	0.00			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07	0.00			
	0.00														
	0.00														
	0.00														
	0.00														
	0.00														
Total															
N	0	14516	5011	1	85							14516	0.00	0.00	0.00
	0.01-	309	327	431	585							5321	0.02	0.00	0.02
	0.06-		10	199	585							1443	0.07	0.00	0.07
	0.10-				282							789	0.14	0.00	0.14
	0.20-					85						1176	0.30	0.00	0.30
	0.50-					841	53					728	0.73	0.00	0.73
	1.00-					185	492	49	31	1		462	1.35	0.01	1.36
	2.00-						155	32	44	46	36	158	2.29	0.02	2.30
	3.00-											-	-	-	-
	4.00+											-	-	-	-
Total		14825	5848	631	872	1111	700	358	75	47	36	24601	0.09	0.00	0.09
Mean DS86 Dose (Gy)															
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.71	1.37	2.38	3.45	4.47	0.09			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00			
	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.71	1.38	2.39	3.46	4.49	0.09			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00			
	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00			
	0.00														
	0.00														
	0.00														
	0.00														
	0.00														
Total															

APPENDIX TABLE 6 COMPARISON OF T65DR AND DS86 ORGAN-ABSORBED DOSE ESTIMATES BY CITY - LUNG
付表6 T65DR 及び DS86臓器吸収線量推定値の比較; 都市別-肺

City	T65DR (Gy)	DS86 Dose (Gy)										Mean T65DR Dose (Gy)			
		0	0.01-	0.06-	0.10-	0.20-	0.50-	1.00-	2.00-	3.00-	4.00+	Total	Gamma	Neutron	Total
T	0	30352	4323	2646	309	1						34875	0.00	0.00	0.00
	0.01-	5257	13993	924	2822	408						22208	0.01	0.00	0.02
	0.06-		1224	432	1648	2411	30					5378	0.07	0.01	0.07
	0.10-		76	3	431	3163	1198	23				4597	0.13	0.01	0.14
	0.20-					317	1475	473	1			4819	0.29	0.02	0.31
	0.50-					3	330	909	222	13		2236	0.65	0.05	0.70
	1.00-						2	132	209	100	180	1477	1.27	0.10	1.37
	2.00-											803	2.33	0.19	2.52
	3.00-											-	-	-	-
	4.00+											-	-	-	-
Total		35609	19616	4005	5210	6303	3006	1537	432	113	160	75991	0.10	0.01	0.11
Mean DS86 Dose (Gy)															
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.36	2.34	3.39	4.51	0.13			
Neutron	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.05	0.08	0.00			
Total	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.69	1.38	2.38	3.45	4.59	0.13			
H	0	20821	4323	2644	309	1						25244	0.00	0.00	0.00
	0.01-		9276	722	2803	408						12230	0.02	0.00	0.02
	0.06-		5		1224	2387	30					3938	0.07	0.01	0.07
	0.10-					2351	1175	23				3641	0.13	0.01	0.14
	0.20-				9	28	1098	412	1			3558	0.28	0.03	0.31
	0.50-						22	641	199	13		1569	0.61	0.07	0.68
	1.00-							31	135	61	108	875	1.21	0.17	1.38
	2.00-											335	2.14	0.32	2.46
	3.00-											-	-	-	-
	4.00+											-	-	-	-
Total		20821	13604	3386	4345	5175	2825	1137	335	74	108	51390	0.09	0.01	0.10
Mean DS86 Dose (Gy)															
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.67	1.36	2.34	3.32	4.45	0.14			
Neutron	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07	0.10	0.00			
Total	0.00		0.02	0.07	0.14	0.32	0.68	1.38	2.38	3.39	4.55	0.14			
N	0	9431	4717	2								9431	0.00	0.00	0.00
	0.01-	5257	1219	202	19							9976	0.01	0.00	0.01
	0.06-		76	432	424	24						1440	0.07	0.00	0.07
	0.10-			3	422	812	24					956	0.13	0.00	0.13
	0.20-					289	347	31				1261	0.32	0.00	0.32
	0.50-					3	308	288	23			687	0.74	0.00	0.74
	1.00-						2	101	74	39	52	802	1.36	0.01	1.36
	2.00-											268	2.58	0.02	2.60
	3.00-											-	-	-	-
	4.00+											-	-	-	-
Total		14688	6012	639	865	1128	681	400	87	39	52	24801	0.11	0.00	0.11
Mean DS86 Dose (Gy)															
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.71	1.38	2.35	3.52	4.63	0.09			
Neutron	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00			
Total	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.72	1.36	2.36	3.55	4.66	0.09			

APPENDIX TABLE 7 COMPARISON OF T65DR AND DS86 ORGAN-ABSORBED DOSE ESTIMATES BY CITY - STOMACH

付表7 T65DR及びDS86臓器吸収線量推定値の比較; 都市別一胃

City	T65DR (Gy)	DS86 Dose (Gy)										Mean T65DR Dose (Gy)		
		0	0.01-	0.05-	0.10-	0.20-	0.50-	1.00-	2.00-	3.00-	4.00+	Total	Gamma	Neutron
T	0	30685	3990		348	1						34675	0.00	0.00
	0.01-	5345	14418	2590	2734	476						22732	0.01	0.02
	0.05-		1096	1096	1700	2399						5418	0.07	0.00
	0.10-		41	334	1700	2399						4408	0.13	0.01
	0.20-			5	420	3136	24	27				4699	0.29	0.02
	0.50-				1	335	1111	444	4			2189	0.68	0.04
	1.00-					3	1385	844	216	5		1391	1.29	0.09
	2.00-						323	844	168	122	110	499	2.28	0.16
	3.00-						1	98				-	-	-
	4.00+											-	-	-
Total		36030	19591	4025	5203	6260	2844	1413	388	127	110	75991	0.09	0.01
Mean DS86 Dose (Gy)														
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.69	1.36	2.34	3.49	4.39	0.12		
Neutron	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.07	0.00		
Total	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.69	1.38	2.37	3.54	4.46	0.12		
H	0	21254	3990		348	1						25244	0.00	0.00
0.01-			9392	813	2697	476						12531	0.02	0.00
0.05-			17	1	1266	2275	24					4903	0.07	0.01
0.10-					11	2356	1082	27				3588	0.13	0.01
0.20-						44	1008	424	4			3476	0.28	0.03
0.50-							29	583	200	5		1480	0.62	0.06
1.00-								21	163	84	65	817	1.23	0.15
2.00-												273	2.08	0.28
3.00-												-	-	-
4.00+												-	-	-
Total		21254	13589	3404	4322	5152	2143	1055	307	89	65	51390	0.09	0.01
Mean DS86 Dose (Gy)														
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.36	2.33	3.48	4.38	0.13		
Neutron	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.07	0.09	0.00		
Total	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.38	2.37	3.55	4.45	0.14		
N	0	9431	4856									9431	0.00	0.00
0.01-		5345	283	37								10201	0.01	0.00
0.05-			333	434	34							1415	0.07	0.00
0.10-			5	409	780	34						842	0.14	0.00
0.20-				1	291	291	29					1223	0.31	0.00
0.50-					3	377	377	20	16			689	0.73	0.00
1.00-						294	261	77	65	38	45	574	1.36	0.01
2.00-							1					226	2.52	0.02
3.00-												-	-	-
4.00+												-	-	-
Total		14776	5992	621	881	1108	701	358	81	38	45	24601	0.11	0.00
Mean DS86 Dose (Gy)														
Gamma	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.72	1.37	2.38	3.52	4.45	0.09		
Neutron	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00		
Total	0.00		0.02	0.07	0.14	0.31	0.72	1.38	2.39	3.54	4.47	0.09		

APPENDIX TABLE 8 COMPARISON OF T65DR AND DS86 ORGAN-ABSORBED DOSE ESTIMATES BY CITY - FEMALE BREAST

付表 8 T65DR 及び DS86 臓器吸収線量推定値の比較; 都市別 - 女性乳房

City	T65DR (Gy)	DS86 Dose (Gy)										Mean T65DR Dose (Gy)			
		0	0.01-	0.06-	0.10-	0.20-	0.50-	1.00-	2.00-	3.00-	4.00+	Total	Gamma	Neutron	Total
T	0	17180	2866	510	60							20348	0.00	0.00	0.00
	0.01-	2825	8161	1140	241							11556	0.02	0.00	0.02
	0.06-		731	657	2313	7						2119	0.06	0.01	0.07
	0.10-		618	75	576	631	209					4219	0.12	0.02	0.14
	0.20-		1		24	2417	1023	42				3278	0.29	0.03	0.32
	0.50-					856	658	482	19			1545	0.62	0.07	0.69
	1.00-					71	69	286	107	12		1210	1.28	0.14	1.42
	2.00-						4	91	104	20		474	2.14	0.28	2.42
	3.00-							13	45	42	5	224	3.03	0.36	3.39
	4.00+							884	275	74	86	186	3.94	0.55	4.50
Total		20305	12377	2382	3214	3882	1963				91	45557	0.15	0.02	0.17
Mean DS86 Dose (Gy)															
H	0	12143	2866	510	60							15009	0.00	0.00	0.00
	0.01-		5381	1139	241							5951	0.02	0.00	0.02
	0.06-		100	296	2334	7						1487	0.06	0.01	0.07
	0.10-		1		187	831	209					3182	0.12	0.02	0.14
	0.20-					2233	385					2629	0.28	0.04	0.32
	0.50-					434	328	42				1411	0.59	0.10	0.69
	1.00-					1		406	19			754	1.18	0.22	1.40
	2.00-							174	94	12		280	1.98	0.46	2.44
	3.00-							28	77	17	5	127	2.78	0.60	3.38
	4.00+							1	20	27	58	106	3.47	0.93	4.40
Total		12143	8348	1945	2722	3306	1502	651	210	56	63	30946	0.14	0.03	0.17
Mean DS86 Dose (Gy)															
N	0	5337	2789									5337	0.00	0.00	0.00
	0.01-	2825	831	1								5895	0.02	0.00	0.02
	0.06-		617	361	79							632	0.07	0.00	0.07
	0.10-		1	75	389							1057	0.14	0.00	0.14
	0.20-				24	184	58					649	0.33	0.00	0.33
	0.50-					422	330	56				504	0.68	0.00	0.68
	1.00-					70	69	112	13			456	1.45	0.01	1.46
	2.00-						4	63	27	3		194	2.37	0.02	2.39
	3.00-							12	25	15	28	97	3.37	0.03	3.40
	4.00+											80	4.56	0.06	4.63
Total		8162	4029	437	492	676	461	243	65	18	28	14811	0.18	0.00	0.18
Mean DS86 Dose (Gy)															
Gamma	0.00	0.02	0.07	0.14	0.31	0.72	1.37	2.37	3.39	4.73	0.10				
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.05	0.00				
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Neutron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Total															

APPENDIX TABLE 9 COMPARISON OF T65DR AND DS86 ORGAN-ABSORBED DOSE ESTIMATES BY CITY - BLADDER
 付表 9 T65DR 及び DS86臓器吸収線量推定値の比較; 都市別一膀胱

City	T65DR (Gy)	DS86 Dose (Gy)										Mean T65DR Dose (Gy)			
		0	0.01-	0.06-	0.10-	0.20-	0.50-	1.00-	2.00-	3.00-	4.00+	Total	Gamma	Neutron	Total
T	0	30581	4094									34875	0.00	0.00	0.00
	0.01-	5350	14507	2618	373	5						22851	0.01	0.00	0.02
	0.06-		889	1060	2921	543						5513	0.07	0.01	0.07
	0.10-		42	342	1519	2449	67					4419	0.13	0.01	0.14
	0.20-			7	379	2917	1282	52				4637	0.29	0.02	0.31
	0.50-				1	286	1288	520	11			2106	0.66	0.05	0.70
	1.00-					3	291	802	224	12		1332	1.28	0.09	1.37
	2.00-							75	144	119	120	458	2.21	0.17	2.38
	3.00-														
	4.00+														
Total		35931	19032	4025	5193	6203	2928	1449	379	131	120	75991	0.09	0.01	0.09
Mean DS86 Dose (Gy)															
H	0	21150	4094									25244	0.00	0.00	0.00
	0.01-		9540	2613	373	5						13531	0.02	0.00	0.02
	0.06-		13	772	2889	543						4217	0.06	0.01	0.07
	0.10-				1053	2402	67					3522	0.13	0.01	0.14
	0.20-				15	2128	1235	52				3430	0.28	0.03	0.31
	0.50-					21	889	480	11			1411	0.62	0.07	0.69
	1.00-						35	529	202	12		778	1.22	0.15	1.37
	2.00-							20	85	77	75	257	2.01	0.29	2.30
	3.00-														
	4.00+														
Total		21150	13647	3385	4330	5099	2226	1091	298	89	75	51390	0.08	0.01	0.09
Mean DS86 Dose (Gy)															
N	0	9431										9431	0.60	0.00	0.60
	0.01-		4967	3								10320	0.61	0.00	0.61
	0.06-		976	288	32							1296	0.07	0.00	0.07
	0.10-		42	342	466	47						897	0.13	0.00	0.13
	0.20-			7	364	789	47					1207	0.31	0.00	0.31
	0.50-				1	265	399	30				695	0.73	0.00	0.74
	1.00-					3	256	273	22	42	45	554	1.36	0.01	1.37
	2.00-							55	59			201	2.47	0.02	2.49
	3.00-														
	4.00+														
Total		14781	5985	640	863	1104	702	358	81	42	45	24801	0.10	0.00	0.10
Mean DS86 Dose (Gy)															
Gamma	Dose (Gy)														
	Gamma	0.00	0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.37	2.34	3.45	4.35	0.14			0.09
	Neutron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.05	0.07	0.00			0.00
	Total	0.00	0.02	0.07	0.14	0.31	0.68	1.38	2.37	3.45	4.42	0.14			0.09

APPENDIX TABLE 10 COMPARISON OF T65DR AND DS86 ORGAN-ABSORBED DOSE ESTIMATES BY CITY - OVARY

付表10 T65DR 及び DS86臓器吸収線量推定値の比較; 都市別一卵巣

City	T65DR (Gy)	DS86 Dose (Gy)										Mean T65DR Dose (Gy)		
		0	0.01-	0.06-	0.10-	0.20-	0.50-	1.00-	2.00-	3.00-	4.00+	Total	Gamma	Neutron
I	0	20769	5225	1942	567	7						25994	0.00	0.00
	0.01-	6363	586	444	1718	412						9086	0.02	0.00
	0.06-	207	2	134	751	1654	39					2160	0.07	0.00
	0.10-				183	1666	829	28				2580	0.13	0.01
	0.20-					137	696	354	9			2706	0.29	0.01
	0.50-						110	416	127	10		1196	0.68	0.03
	1.00-							22	51	63		663	1.28	0.07
	2.00-											172	2.06	0.11
	3.00-											-	-	-
	4.00+											-	-	-
Total		20976	12176	2520	3219	3876	1674	820	187	73	36	45557	0.08	0.00
Mean DS86 Dose (Gy)														
H	0	12507	5225	1942	587	7						17732	0.00	0.00
	0.01-	3180	175	175	1671	412						5646	0.02	0.00
	0.06-				457	1621	39					2258	0.07	0.00
	0.10-					1183	798	28				2117	0.13	0.01
	0.20-					5	400	326	9			1989	0.29	0.02
	0.50-						4	245	114	9		740	0.64	0.05
	1.00-							3	29	41		372	1.23	0.12
	2.00-											92	1.86	0.20
	3.00-											-	-	-
	4.00+											-	-	-
Total		12507	8355	2117	2695	3208	1241	602	152	50	18	30846	0.07	0.01
Mean DS86 Dose (Gy)														
N	0	8262	3233	269	47							8262	0.00	0.00
	0.01-	207	586	134	294	33						3440	0.02	0.00
	0.06-		2		183	503	31					902	0.07	0.00
	0.10-					132	296	171	13			463	0.14	0.00
	0.20-						108	19	22			717	0.31	0.00
	0.50-											456	0.73	0.00
	1.00-											291	1.35	0.01
	2.00-											80	2.23	0.01
	3.00-											-	-	-
	4.00+											-	-	-
Total		8469	3821	403	524	868	433	218	35	23	17	14611	0.09	0.00
Mean DS86 Dose (Gy)														
Mean DS86 Dose (Gy)	0													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
	0.50-													
	1.00-													
	2.00-													
	3.00-													
	4.00+													
Total														
Mean DS86 Dose (Gy)														
Mean DS86 Dose (Gy)	0													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
	0.50-													
	1.00-													
	2.00-													
	3.00-													
	4.00+													
Total														
Mean DS86 Dose (Gy)														
Mean DS86 Dose (Gy)	0													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
	0.50-													
	1.00-													
	2.00-													
	3.00-													
	4.00+													
Total														
Mean DS86 Dose (Gy)														
Mean DS86 Dose (Gy)	0													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
	0.50-													
	1.00-													
	2.00-													
	3.00-													
	4.00+													
Total														
Mean DS86 Dose (Gy)														
Mean DS86 Dose (Gy)	0													
	0.01-													
	0.06-													
	0.10-													
	0.20-													
	0.50-													
	1.00-													
	2.00-													
	3.00-													
	4.00+													
Total														

APPENDIX TABLE 11 SUMMARY MEASURES OF RADIATION DOSE-RESPONSE FOR MORTALITY: BOTH CITIES, BOTH SEXES (unless otherwise stated†). ALL AGES ATB COMBINED, 1950-85 (DS86-Subcohort, DS86 Shielded Kerma)

付表11 死亡における放射線線量反応の要約指標: 両市, 男女(特に別記しない限りす), すべての被爆時年齢合計, 1950-85年(DS86 サブコホート, DS86 遮蔽 kerma)

Cause of death	Statistical test (P)	Excess relative risk per Gy	Excess risk per 10 ⁴ PYGy	Attributable risk (%)
All causes	0.000	1.10 (0.08, 0.13)	12.8 (9.82, 15.9)	2.87 (2.26, 3.56)
All diseases	0.000	0.11 (0.09, 0.14)	13.2 (10.3, 16.3)	3.12 (2.42, 3.84)
All neoplasms	0.000	0.38 (0.31, 0.45)	10.2 (8.44, 11.9)	9.95 (8.27, 11.7)
All malignant neoplasms	0.000	0.39 (0.32, 0.47)	10.1 (8.43, 11.9)	10.4 (8.67, 12.2)
Leukemia	0.000	3.97 (2.89, 5.39)	2.30 (1.88, 2.73)	56.6 (46.3, 67.1)
All except leukemia	0.000	0.30 (0.23, 0.37)	7.49 (5.90, 9.15)	8.04 (6.33, 9.82)
Digestive organs and peritoneum	0.000	0.24 (0.16, 0.33)	3.42 (2.30, 4.62)	6.71 (4.51, 9.07)
Esophagus	0.02	0.43 (0.09, 0.92)	0.34 (0.08, 0.67)	12.8 (2.95, 25.0)
Stomach	0.000	0.23 (0.13, 0.34)	2.09 (1.20, 3.06)	6.41 (3.68, 9.38)
Large intestine, except rectum	0.000	0.56 (0.25, 0.99)	0.56 (0.26, 0.91)	15.2 (7.05, 24.9)
Rectum and rectosigmoid junction	0.66	-0.08 (, 0.27)	-0.08 (-0.17, 0.25)	-2.20 (-4.79, 7.08)
Liver	0.57	0.12 (-0.13, 0.71)	0.05 (-0.05, 0.25)	4.03 (-4.47, 21.0)
Gallbladder and bile ducts	0.10	0.40 (0.00, 0.99)	0.24 (0.0002, 0.54)	8.78 (0.01, 19.9)
Pancreas	0.54	0.88 (, 1.24)	-0.11 (, 0.20)	-3.37 (, 6.42)
Other, unspecified	0.29	0.33 (-0.12, 1.15)	0.12 (-0.05, 0.25)	8.15 (-3.29, 24.8)
Respiratory system	0.000	0.40 (0.21, 0.63)	1.31 (0.71, 1.97)	10.3 (5.60, 15.5)
Trachea, bronchus, and lung	0.000	0.46 (0.25, 0.72)	1.26 (0.70, 1.89)	11.6 (6.48, 17.4)
Female breast†	0.000	1.02 (0.48, 1.76)	1.04 (0.53, 1.61)	22.4 (11.5, 35.0)
Cervix uteri and uterus†	0.07	0.22 (0.02, 0.50)	0.61 (0.04, 1.30)	5.49 (0.46, 11.8)
Cervix uteri†	0.17	0.45 (-0.06, 1.30)	0.27 (-0.04, 0.70)	10.7 (-1.67, 27.5)
Ovary and other uterine† adnexa	0.03	0.80 (0.14, 1.85)	0.45 (0.09, 0.89)	18.6 (3.62, 37.1)
Prostate†	0.84	0.05 (, 0.73)	0.03 (, 0.40)	1.95 (, 24.9)
Bladder, other, unspecified urinary	0.000	1.06 (0.46, 1.90)	0.56 (0.27, 0.90)	23.4 (11.2, 37.4)
Malignant lymphoma	1.00	-0.01 (, 0.44)	-0.004 (, 0.20)	-0.28 (, 15.2)
Multiple myeloma	0.002	1.89 (0.56, 4.45)	0.22 (0.08, 0.39)	32.9 (11.5, 59.8)
Other cancer	0.03	0.20 (0.05, 0.38)	0.79 (0.19, 1.45)	5.79 (1.42, 10.7)
Benign neoplasms and neoplasms of unspecified nature	0.40	-0.04 (-0.16, 0.27)	-0.05 (-0.22, 0.33)	-0.98 (-4.55, 6.82)

() : 90% confidence interval, 90%信頼区間

† : Risk estimation for these sites are based on either males or females only.

これらの部位に対する推定は男性又は女性についてなされた

APPENDIX TABLE 12 SUMMARY MEASURES OF RADIATION DOSE-RESPONSE FOR MORTALITY, BOTH CITIES, BOTH SEXES (unless otherwise stated)[†], ALL AGES ATB COMBINED, 1950-85 (DS86-Subcohort, T65DR Shielded Kerma)

付表12 死亡における放射線線量反応の要約指標；両市，男女（特に別記しない限り[†]），すべての被爆時年齢合計，1950-85年（DS86サブコホート，T65DR遮蔽kerma）

Cause of death	Statistical test (P)	Excess relative risk per Gy	Excess Risk per 10 ⁴ PYGy	Attributable Risk (%)
All causes	0.000	0.08 (0.06, 0.09)	9.21 (7.13, 11.3)	2.89 (2.24, 3.56)
All diseases	0.000	0.08 (0.06, 0.10)	9.46 (7.43, 11.6)	3.13 (2.45, 3.82)
All neoplasms	0.000	0.27 (0.23, 0.32)	7.12 (5.96, 8.33)	9.87 (8.27, 11.6)
All malignant neoplasms	0.000	0.28 (0.23, 0.33)	7.00 (5.87, 8.19)	10.2 (8.54, 11.9)
Leukemia	0.000	2.87 (2.10, 3.89)	1.60 (1.30, 1.91)	56.2 (45.8, 66.9)
All except leukemia	0.000	0.22 (0.17, 0.27)	5.25 (4.17, 6.37)	7.96 (6.34, 9.67)
Digestive organs and peritoneum	0.000	0.18 (0.12, 0.24)	2.40 (1.65, 3.22)	6.74 (4.61, 9.01)
Esophagus	0.03	0.30 (0.06, 0.65)	0.22 (0.05, 0.45)	12.5 (2.61, 24.8)
Stomach	0.000	0.17 (0.09, 0.25)	1.42 (0.83, 2.07)	6.22 (3.61, 9.07)
Large intestine, except rectum	0.001	0.41 (0.18, 0.71)	0.38 (0.18, 0.63)	14.4 (6.59, 23.7)
Rectum and rectosigmoid junction	0.84	-0.02 (-0.15, 0.20)	-0.02 (-0.14, 0.18)	-0.83 (-5.99, 7.46)
Liver	0.74	0.06 (-0.15, 0.50)	0.02 (-0.06, 0.16)	2.51 (-6.41, 18.8)
Gallbladder and bile ducts	0.03	0.36 (0.07, 0.76)	0.21 (0.05, 0.42)	11.2 (2.44, 22.3)
Pancreas	1.00	0.00 (-0.15, 0.24)	-0.002 (-0.13, 0.19)	-0.11 (-5.82, 8.52)
Other, unspecified	0.14	0.32 (-0.03, 0.92)	0.11 (-0.01, 0.27)	11.3 (-0.94, 28.7)
Respiratory system	0.000	0.29 (0.15, 0.44)	0.89 (0.50, 1.33)	9.93 (5.53, 14.9)
Trachea, bronchus, and lung	0.000	0.33 (0.18, 0.51)	0.87 (0.49, 1.29)	11.2 (6.36, 16.6)
Female breast [†]	0.000	0.71 (0.34, 1.21)	0.70 (0.36, 1.10)	23.5 (12.1, 36.6)
Cervix uteri and uterus [†]	0.15	0.12 (-0.01, 0.31)	0.32 (-0.04, 0.77)	4.26 (-0.53, 10.3)
Cervix uteri [†]	0.14	0.33 (-0.03, 0.90)	0.20 (-0.02, 0.49)	10.9 (-0.91, 27.0)
Ovary and other uterine [†] adnexa	0.05	0.53 (0.07, 1.24)	0.28 (0.04, 0.58)	17.2 (2.59, 35.4)
Prostate [†]	0.73	0.07 (-0.16, 0.59)	0.04 (-0.10, 0.31)	3.09 (-7.15, 23.2)
Bladder, other, unspecified urinary	0.001	0.71 (0.30, 1.30)	0.36 (0.17, 0.60)	21.9 (10.0, 35.9)
Malignant lymphoma	0.99	-0.02 (, 0.29)	-0.01 (, 0.14)	-0.88 (, 13.3)
Multiple myeloma	0.002	1.30 (0.40, 2.99)	0.16 (0.06, 0.28)	33.2 (12.1, 59.7)
Other cancer	0.003	0.18 (0.07, 0.30)	0.68 (0.28, 1.12)	6.76 (2.82, 11.2)
Benign neoplasms and neoplasms of unspecified nature	0.43	0.08 (-0.07, 0.30)	0.10 (-0.09, 0.35)	3.00 (-2.80, 10.5)

See Appendix Table 11 footnotes

付表11の脚注参照

APPENDIX TABLE 13 SUMMARY MEASURES OF RADIATION DOSE-RESPONSE FOR MORTALITY; BOTH CITIES, BOTH SEXES (unless otherwise stated†), ALL AGES ATB COMBINED, 1950-85 (Full-Cohort, T65DR Shielded Kerma)

付表13 死亡における放射線線量反応の要約指標；両市，男女（特に別記しない限り†），すべての被爆時年齢合計，1950—85年（コホート全体，T65DR 遮蔽 kerma）

Cause of death	Statistical test (P)	Excess relative risk per Gy	Excess Risk per 10 ⁴ PYGy	Attributable Risk (%)
All causes	0.000	0.06 (0.05, 0.08)	7.26 (5.00, 9.07)	2.26 (1.71, 2.82)
All diseases	0.000	0.07 (0.05, 0.08)	7.43 (5.71, 9.21)	2.44 (1.87, 3.02)
All neoplasms	0.000	0.25 (0.21, 0.29)	6.37 (5.38, 7.40)	8.82 (7.44, 10.2)
All malignant neoplasms	0.000	0.25 (0.21, 0.30)	6.21 (5.24, 7.22)	9.02 (7.61, 10.5)
Leukemia	0.000	2.62 (1.95, 3.48)	1.40 (1.16, 1.65)	53.4 (44.0, 63.0)
All except leukemia	0.000	0.19 (0.15, 0.23)	4.62 (3.70, 5.58)	6.98 (5.59, 8.43)
Digestive organs and peritoneum	0.000	0.15 (0.10, 0.21)	2.00 (1.36, 2.68)	5.62 (3.82, 7.53)
Esophagus	0.12	0.18 (-0.01, 0.45)	0.14 (-0.01, 0.32)	7.63 (-0.31, 17.7)
Stomach	0.000	0.13 (0.07, 0.20)	1.13 (0.63, 1.67)	4.94 (2.77, 7.30)
Large intestine, except rectum	0.000	0.41 (0.20, 0.69)	0.37 (0.19, 0.58)	14.2 (7.21, 22.4)
Rectum and rectosigmoid junction	0.99	0.01 (-0.13, 0.21)	0.005 (-0.12, 0.19)	0.20 (-5.01, 7.64)
Liver	0.34	0.16 (-0.08, 0.58)	0.05 (-0.03, 0.17)	6.05 (-3.25, 20.1)
Gallbladder and bile ducts	0.055	0.27 (0.03, 0.60)	0.17 (0.02, 0.35)	8.63 (1.06, 18.1)
Pancreas	0.81	0.03 (-0.12, 0.26)	0.02 (-0.11, 0.20)	1.05 (-4.89, 9.13)
Other, unspecified	0.24	0.22 (-0.06, 0.70)	0.07 (-0.02, 0.21)	7.13 (-2.20, 20.7)
Respiratory system	0.000	0.25 (0.14, 0.38)	0.81 (0.47, 1.20)	8.99 (5.17, 13.2)
Trachea, bronchus, and lung	0.000	0.30 (0.17, 0.44)	0.83 (0.50, 1.20)	10.5 (6.29, 15.1)
Female breast†	0.000	0.83 (0.46, 1.32)	0.80 (0.48, 1.17)	24.8 (14.8, 36.0)
Cervix uteri and uterus†	0.12	0.12 (-0.01, 0.29)	0.31 (-0.02, 0.72)	4.06 (-0.20, 9.29)
Cervix uteri†	0.18	0.23 (-0.04, 0.65)	0.15 (-0.03, 0.39)	7.62 (-1.36, 20.0)
Ovary and other uterine† adnexa	0.031	0.50 (0.09, 1.10)	0.28 (0.06, 0.55)	14.9 (3.09, 29.3)
Prostate†	0.36	0.17 (-0.09, 0.66)	0.11 (-0.06, 0.37)	6.98 (-4.02, 24.2)
Bladder, other, unspecified urinary	0.001	0.61 (0.25, 1.12)	0.29 (0.13, 0.48)	19.1 (8.54, 31.7)
Malignant lymphoma	0.76	0.04 (-0.12, 0.29)	0.02 (-0.08, 0.16)	1.77 (-6.10, 12.8)
Multiple myeloma	0.016	0.70 (0.15, 1.72)	0.10 (0.02, 0.20)	21.3 (5.20, 42.8)
Other cancer	0.003	0.16 (0.06, 0.26)	0.60 (0.25, 0.99)	5.93 (2.49, 9.76)
Benign neoplasms and neoplasms of unspecified nature	0.16	0.13 (-0.02, 0.32)	0.15 (-0.02, 0.38)	4.63 (-0.73, 11.2)

See Appendix Table 11 footnotes

付表11の脚注参照

APPENDIX TABLE 14 COMPARISON OF THE DEVIANCE AMONG VARIOUS DOSE-RESPONSE MODELS BASED ON TOTAL DOSE – SHIELDED KERMA

付表14 総線量に基づく種々の線量反応モデルの偏差 (deviance) の比較-遮蔽 kerma

Site	Dose system	without cell killing			with cell killing		
		L	Q	LQ	L	Q	LQ
Leukemia	DS86	532.8	549.0	532.2	532.3	526.6	526.4
	T65	542.9	552.2	541.4	541.5	543.1	540.8
All except leukemia	DS86	1197.3	1232.9	1194.5	1194.5	1228.2	1194.5
	T65	1334.0	1354.5	1333.6	1333.6	1349.7	1333.6
Stomach	DS86	978.4	988.4	977.6	977.1	987.1	976.9
	T65	1075.3	1081.0	1075.1	1074.7	1079.8	1074.6
Colon	DS86	361.8	356.9	356.7	360.2	355.8	353.9
	T65	403.9	400.1	399.8	402.9	398.7	396.0
Lung	DS86	612.2	621.7	610.0	610.0	-	610.0
	T65	647.8	654.2	646.8	646.9	-	646.0
Female breast	DS86	297.5	303.1	297.4	297.3	299.2	-
	T65	317.9	322.6	317.6	317.5	318.5	-

-: no convergence 収束しない

APPENDIX TABLE 15 COMPARISON OF THE DEVIANCE AMONG VARIOUS DOSE-RESPONSE MODELS BASED ON GAMMA RAYS AND NEUTRONS – SHIELDED KERMA

付表15 ガンマ線及び中性子に基づく種々の線量反応モデルの偏差 (deviance) の比較-遮蔽 kerma

Site of cancer	Dose system	L-L	Q-L	LQ-L
	df	1508 (753)	1508 (753)	1507 (752)
Leukemia	DS86	530.9	537.6	530.9
	T65D	542.4	540.1	539.9
All except leukemia	DS86	1197.3	1211.4	1192.3
	T65D	1328.6	1333.8	1328.0
Stomach	DS86	977.4	986.6	977.3
	T65D	1075.1	1079.2	1074.9
Colon	DS86	349.8	351.0	349.3
	T65D	395.3	395.3	395.3
Lung	DS86	610.9	619.2	609.9
	T65D	647.4	649.8	646.8
Female breast	DS86	297.4	301.6	297.3
	T65D	317.9	321.1	317.2

Model L-L : Linear for gamma rays and neutron

ガンマ線及び中性子に対して線形

Q-L : Quadratic for gamma rays and linear for neutron

ガンマ線に対して二次, 中性子に対して線形

LQ-L : Linear and quadratic for gamma rays and linear for neutron

ガンマ線に対して線形二次, 中性子に対して線形

df : Degree of freedom, figure in the parentheses is df for breast

自由度, 括弧内の数値は乳癌の自由度

APPENDIX TABLE 16 RATIO OF THE HIROSHIMA TO NAGASAKI RISK FOR FIXED RBE VALUES
 - SHIELDED KERMA -

付表16 広島の高崎に対するリスクの比；特定の RBE 値別-遮蔽 kerma

Site of cancer	RBE	Excess relative risk in Sv		Excess deaths per 10 ⁴ PYSv	
		DS86	T65DR	DS86	T65DR
Leukemia	1	1.10	1.39	1.86	2.62**
	5	0.99	0.76	1.70	1.43
	10	0.88	0.50	1.53	0.94
	20	0.74	0.32*	1.31	0.60
	30	0.64	0.24*	1.16	0.46*
All except leukemia	1	1.40	2.00*	1.55	2.22*
	5	1.26	1.08	1.39	1.20
	10	1.13	0.71	1.24	0.79
	20	0.95	0.46*	1.05	0.51*
	30	0.85	0.36*	0.93	0.40**
Stomach	1	0.65	0.80	0.81	1.04
	5	0.57	0.42	0.72	0.55*
	10	0.51	0.28*	0.63	0.36**
	20	0.42	0.18*	0.53*	0.23**
	30	0.37	0.14*	0.46*	0.18**
Lung	1	0.87	0.80	1.02	1.60
	5	0.77	0.74	0.90	0.86
	10	0.68	0.49	0.79	0.57
	20	0.56	0.31	0.65	0.36
	30	0.49	0.24*	0.56	0.28
Female breast	1	0.56	0.91	0.67	1.11
	5	0.50	0.49	0.61	0.60
	10	0.46	0.32	0.54	0.40
	20	0.39	0.21*	0.46	0.25
	30	0.35	0.16*	0.42	0.20

* : P<0.05 **: P<0.01

APPENDIX TABLE 17 COMPARISON OF RISK COEFFICIENTS BETWEEN MODELS WITH OR WITHOUT AGE, SEX ADJUSTMENT – ORGAN-ABSORBED DOSE

付表17 放射線誘発リスクにおける年齢及び性の補正をした場合と補正をしない場合の各モデルにおけるリスク係数の比較-臓器吸収線量

Site of cancer	Dose system	Model 1: without age, sex adjustment		Model 2: with age, sex adjustment	
		Excess risk per DS86/T65D 10 ⁴ PYGy		Excess risk per DS86/T65D 10 ⁴ PYGy	
Leukemia	DS86	2.94 (2.43, 3.49)	0.95	2.92 (1.86, 4.26)	0.95
	T65DR	3.11 (2.56, 3.71)		3.08 (1.94, 4.54)	
All except leukemia	DS86	10.1 (7.96, 12.4)	0.72	10.0 (6.25, 15.4)	0.73
	T65DR	14.0 (11.1, 17.0)		13.7 (8.60, 21.0)	

$$\text{Model 1} \quad M_{ij} = M_{io}(1 + bD_{ij})$$

$$\text{Model 2} \quad M_{ij} = M_{io}(1 + bD_{ij}\exp^{a_1\text{Age}+a_2\text{Sex}})$$

i: stratum of the cross-classification of city, sex, age ATB, and follow-up interval
都市, 性, 被曝時年齢及び追跡期間の交差分類の層

j: exposure dose category
被曝線量カテゴリー