

CIRCULAR ASYMMETRY OF CANCER MORTALITY IN HIROSHIMA AND
NAGASAKI ATOMIC BOMB SURVIVORS

広島・長崎原爆被爆者における癌死亡率の円形非対称性

ARTHUR V. PETERSON, Jr., Ph.D.

ROSS L. PRENTICE, Ph.D.

TORANOSUKE ISHIMARU, M.D. 石丸寅之助

HIROO KATO, M.D. 加藤寛夫

MARK MASON, B.Eng.



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

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、日米研究職員、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術院の補助金とをもって運営されている。



CIRCULAR ASYMMETRY OF CANCER MORTALITY IN HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SURVIVORS

広島・長崎原爆被爆者における癌死亡率の円形非対称性

ARTHUR V. PETERSON, Jr., Ph.D.; ROSS L. PRENTICE, Ph.D.;
 TORANOSUKE ISHIMARU, M.D. (石丸寅之助); HIROO KATO, M.D. (加藤寛夫);
 MARK MASON, B.Eng.

Department of Epidemiology & Statistics

疫学統計部

SUMMARY

Data on Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors are used to investigate, for each city, possible circular asymmetry of cancer mortality around the hypocenter. Using the Cox regression method, and controlling for age at the time of the bomb, sex, follow-up year, distance from hypocenter, and type of shielding, it is found that cancer mortality in Hiroshima was significantly higher in the westerly direction from the hypocenter. Mortality from stomach cancer, leukemia, and colon cancer was higher in the westerly direction. In Nagasaki also cancer mortality, notably lung cancer mortality, was significantly higher in the westerly direction. Discussed are possible sources of the asymmetry, particularly the possibilities of asymmetry of epidemiologic variables and of radiation exposure, and indications for future work.

INTRODUCTION

Knowledge of the individual dose received by the Hiroshima and Nagasaki A-bomb survivors is crucial for the RERF continuing investigation of the relationship between radiation dose and late health effects and mortality. The T65 dose calculation¹ has provided estimated individual gamma and neutron dose, based in part on a calculated kerma-in-air dose vs distance relationship²⁻⁵ and estimated shielding factors⁶ for houses and surrounding buildings. Recently, Kerr^{7,8} and Loewe and Mendelsohn⁹ suggested that the estimates of both gamma and neutron

要約

広島及び長崎の原爆被爆者の資料を用いて、両市の癌死亡率が爆心地を中心として円形非対称性を示すか否かを調べた。Cox 回帰解析を用い原爆時年齢、性、観察年数、爆心地からの距離及び遮蔽状態を補正して調べたところ、広島での癌死亡率が爆心地の西の方向で有意に高いことが判明した。胃癌、白血病及び結腸癌の死亡率が西の方向で高かった。長崎においても癌死亡率は、特に肺癌の場合西の方向で有意に高かった。非対称性、特に疫学的変数及び放射線量の非対称の可能性を検討し、併せて今後の調査の必要性について考察した。

緒言

広島・長崎の原爆被爆者が受けた個人線量に関する情報は、放射線影響研究所が放射線量の健康に対する影響や死亡率との関係を継続して調査していく上で重要である。T65線量計算¹により、計測された空気中 kerma 線量対距離の関係²⁻⁵並びに家屋と隣接建築物の遮蔽因子の推定⁶に基づき、個人のガンマ線と中性子線の線量が計算されている。近年、Kerr^{7,8}及び Loewe と Mendelsohn⁹ がこれらガンマ線及び

dose should be modified, and Loewe and Mendelsohn⁹ have presented suggested new air dose vs distance curves for neutrons and gammas.

Both the Milton and Shohoji¹ and Loewe and Mendelsohn⁹ air dose estimates for gamma and neutron radiation are symmetric about the epicenter (location of bomb at time of explosion); that is, depend just on the distance from the epicenter to location at the time of the bomb (ATB) and not on the direction from the epicenter. It has been recently suggested by Kerr,¹⁰ however, that the distribution of leakage neutrons from the Hiroshima bomb was not symmetric. In particular, Kerr states that evidence that at the time of the explosion the axis of the cylindrical Hiroshima bomb was tilted 10% to the WSW with respect to vertical¹¹ raises the possibility that, if neutron leakage depends on the angle with respect to the bomb axis, individual air dose may not be symmetric with respect to the direction from the epicenter. In particular, Kerr suggests a neutron "blind" spot, along the axis of the bomb, toward the WSW. Recalculation of the angular distribution of leakage neutrons from the Hiroshima bomb is underway. Kerr cites some direct experimental evidence of gamma radiation from neutron-activated sulfur,¹² from neutron-activated sand and ground,^{4,13} and from neutron-activated cobalt¹⁴ in Hiroshima that may tend to support an asymmetry of leakage neutrons from the Hiroshima bomb. The current judgment, however, is that any asymmetry in neutron dose asymmetry would be expected to exist only within a few hundred meters of the hypocenter (location on the ground directly below the epicenter), because of the neutron scattering in air, and thus that beyond this distance the neutron dose would be expected to be symmetric. Concerning gamma asymmetry, however, since almost all the prompt gamma radiation (e.g., not including that from the fireball) is a result of neutron-interactions that produce gamma rays, it would seem that a possibility of gamma dose asymmetry could arise as well from considerations of bomb tilt.

Also, asymmetry of gamma radiation originating from the fission products in the fireball may be indirectly implicated by the residual radiation measurements taken in the suburbs of both Hiroshima and Nagasaki during the three months following the explosions. It is well established by several investigators that residual radiation was notably present at a location (Takasu area)

中性子線量推定値の変更を示唆しており、Loewe と Mendelsohn⁹ は中性子線とガンマ線の新しい空気線量対距離曲線を提示した。

Milton と正法地,¹ Loewe と Mendelsohn⁹ が推定したガンマ線と中性子線の空気線量推定値はともに爆央(炸裂時の爆弾の位置)を中心として対称である。すなわち、原爆時(ATB)の爆央から被爆地点までの距離のみに依存するのであり、爆央からの方向に依存するのではない。しかしながら最近 Kerr¹⁰ が広島原爆からの漏洩中性子線の分布は対称形ではなかったと示唆した。特に、Kerr によれば、広島に投下された円柱型爆弾の軸が炸裂時において垂直方向に対して西南西に10%傾斜していたという証拠¹¹ は、もし中性子線の漏洩が爆弾の軸の角度に依存しているのであれば、個人空気線量は爆央からの方向という点から見ると対称ではないと思われる。特に、Kerr は、西南西の方角に爆弾の軸に沿って中性子の"盲角"があることを示唆している。広島原爆からの漏洩中性子の角度分布の再計算が進行中である。Kerr は、広島における中性子活性化硫黄¹²、中性子活性化砂及び土壌、^{4,13} 中性子活性化コバルト¹⁴ からガンマ線が得られるという直接的な実験的証拠を挙げ、これが、広島原爆からの漏洩中性子の非対称性の根拠となるとしている。しかしながら、現在の判断としては、中性子線量の非対称性におけるいかなる非対称性も、空気中での中性子分散のため、爆心地(爆央直下の地上点)から数百メートル以内のみ存在するものと思われ、故に、この距離を超えると中性子線量は対称性を示すと思われる。しかしながらガンマ線量の非対称性に関しては、即発ガンマ線(例えば火球からのガンマ線は含まない)のほとんどすべてはガンマ線を発生させる中性子相互作用の結果発生するので爆弾の傾きを考慮に入れるかぎり、ガンマ線量非対称性の可能性も考えられるであろう。

また、火球の分裂生成物から発生するガンマ線の非対称性は、原爆投下後3か月間に広島・長崎の郊外で測定された残留放射能の値と間接的に関係があると思われる。残留放射能は、広島では爆心地の

3,200m to the west of the hypocenter in Hiroshima^{13,15,16} and at a location (Nishiyama) 2,700m to the east of the hypocenter in Nagasaki.¹⁷ Except for locally around the hypocenter, in Hiroshima¹⁵ and apparently also in Nagasaki,¹⁸ other locations did not have appreciable residual radiation. By chemical analysis and measurements of the energy spectra and half-life of the radiation, it was determined^{16,18-20} that, unlike the residual radiation found near the hypocenter, the residual radiation found in the suburbs to the west in Hiroshima and to the east in Nagasaki was from fission products from the bomb. Atmospheric condition (wind toward the west in Hiroshima, toward the east in Nagasaki) at the time of the explosions,^{2,16,21} and the post-bomb "black" rain observed to the west of Hiroshima and to the east of Nagasaki,²² reinforced the current conclusion^{16,19,20} that the residual radiation in the suburbs resulted from radioactive fission products, from the fireball, that were blown by the wind to the outlying location and then deposited on the ground. At the time of the measurements (ranging from several days to several months after the explosions) the radioactivity was relatively small. However, because the fission products in the fireball were highly radioactive immediately after the explosion, their contribution to the total gamma dose is substantial; both the T65¹ and Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)⁹ gamma dose estimates attribute approximately half of the individual gamma dose to gamma radiation from the fission products in the fireball. Thus, it seems possible that the short-term direction of the fireball, if the same as the known long-term direction of the movement of fission products, could conceivably have resulted in a higher gamma dose to individuals in this direction. The directional effect seems likely to be small, however, due to the very short half-life of the most radioactive fission products, and due to the fact²³ that immediately after the explosion the fireball rose very quickly (76-107 m/sec), and any directional effect would tend to be localized around the hypocenter. In any case, the possibility provides some additional motivation for investigating circular asymmetry of effects known to be related to radiation.

Finally, although the possibility that immediate fallout of radioactive particles may have occurred is without evidence and is currently judged to be remote, it has not been entirely dismissed as a

西3,200mの地点(高須地区),^{13,15,16}長崎では爆心地の東2,700mの地点(西山)¹⁷で高い値を示したことが、数名の研究者により明らかにされている。広島¹⁵及び明らかに長崎¹⁸においても、爆心地周辺の幾つかの地点、すなわち上記の地点を除いては顕著な残留放射能は認められなかった。放射線のエネルギースペクトルと半減期を化学的に分析、測定することにより、爆心地付近で発見された残留放射能とは異なり、広島市の西方向及び長崎市の東方向の郊外で観察された残留放射能は、爆弾の分裂生成物から発生したものであることが明らかにされた。^{16,18-20}爆発時の気象条件(広島-西向きの風、長崎-東向きの風)^{2,16,21}並びに広島市の西方向及び長崎市の東方向で観察された爆発後の"黒い"雨²²の両者によって、郊外における残留放射能は風によって両市の周辺地点に運ばれ、地上に沈着した火球からの放射性分裂生成物により発生したものであるという現在の結論^{16,19,20}が補強された。測定時(爆発後数日ないし数か月)における放射能値は比較的低い。しかしながら、爆発直後の火球中の分裂生成物の放射能は非常に高いので、総ガンマ線量に対する分裂生成物の寄与は大きい。すなわち、T65ガンマ線量推定値¹並びに Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)⁹のガンマ線量推定値の両者ともに、個人ガンマ線量の約半分は火球中の分裂生成物に由来するとしている。このことから、火球の短期的な方向が分裂生成物の動きの既に知られている長期的な方向と同じであれば、恐らくこの方向において、結果的に個人のガンマ線量が高くなったと考えられる。しかし、大部分の放射性分裂生成物の半減期が非常に短いことから、また、爆発直後、火球が高速(76-107m/sec)で上昇したという事実²³から、方向の影響は小さいと思われる。また、方向の影響はどんなものでも、爆心地周辺に限定されることになる。ともかく、このような可能性が放射線と関連のある影響の円形非対称性を調査することに対し、新たな動機付けとなっている。

最後に、放射性粒子の即時降下が起こった可能性は、証拠がないため現在ではわずかな可能性でしかないと判断されているが、もう一つの放射線因子²⁴として

possible additional radiation factor.²⁴ Since wind direction and rainfall are known to be factors that influence the pattern of deposition of fission products, and since, ingestion or inhalation of fission products could, if it occurred, be a serious source of internal radiation, the uncertainty about the distribution of fission products also provides some motivation for studying circular symmetry of cancer mortality. Unlike the other possible sources of dose asymmetry, this source could result in dose asymmetries either near or far from the hypocenter.

It has been well established from the follow-up of cohorts of Hiroshima and Nagasaki A-bomb survivors that radiation dose is related to cancer mortality.²⁵ Also, as a result of the Japanese family registration system,²⁶ mortality data in these cohorts is virtually complete. Thus, it seems appropriate and timely, especially in light of the recent suggestions of dose asymmetry and the current interest in reviewing again the Hiroshima and Nagasaki dose estimates, to use the cancer mortality data on Hiroshima and Nagasaki A-bomb survivors to investigate possible asymmetry of cancer mortality in these cohorts.

MATERIALS AND METHODS

A cohort of 61,911 Hiroshima A-bomb survivors and 20,331 Nagasaki A-bomb survivors (Life Span Study, LSS) was selected from the 1 October 1950 Census Supplementary Schedules, and has been followed by ABCC/RERF to determine possible A-bomb effects on mortality. The selection of the cohort is described elsewhere.²⁶⁻²⁹ The survival experience for this cohort has been ascertained from the Japanese family registration system²⁶; date and cause of death are obtained from transcripts of death certificates for virtually all deaths in the cohort. From periodic analysis of these data, the latest²⁵ covering the period through 31 December 1978, positive relationships between radiation dose and cancer mortality have been established for several cancers, including leukemia, lung cancer, stomach cancer, breast cancer, and colon cancer.

The analyses given below were restricted to those survivors (60,482 in Hiroshima and 19,374 in Nagasaki) for whom shielding and location ATB data were available. The distribution of the location of these survivors by octant around the hypocenter is shown for each city in Figure 1. It is noteworthy that, due to geographical

全く退けられたわけではない。風向き及び降雨は分裂生成物の降下の型に影響する因子として知られており、また分裂生成物の摂取又は吸入は(もしそれが起こっていたとすれば)体内放射線の重要な原因となり得るので、分裂生成物の分布に関する不確実性もまた、癌死亡の円形対称性を研究する上で幾らか動機を与えるものである。線量非対称性を起こすその他の考えられる原因とは異なり、この原因は爆心地付近、あるいは遠隔地のいずれかで線量非対称性を起こし得る。

広島・長崎原爆被爆者群に対する追跡調査により、放射線量は癌死亡率と関係があることが確認されている。²⁵ また、日本の戸籍制度²⁶の結果、これら被爆者群の死亡資料はほぼ完全である。故に、特に最近における線量非対称性を示唆する意見と、広島・長崎の線量推定値の再評価に対する関心を考え併せると、広島・長崎の原爆被爆者に関する癌死亡率資料を用いて被爆者群の癌死亡率の非対称性を調査することは、適切でありかつ時宜にかなうものと思われる。

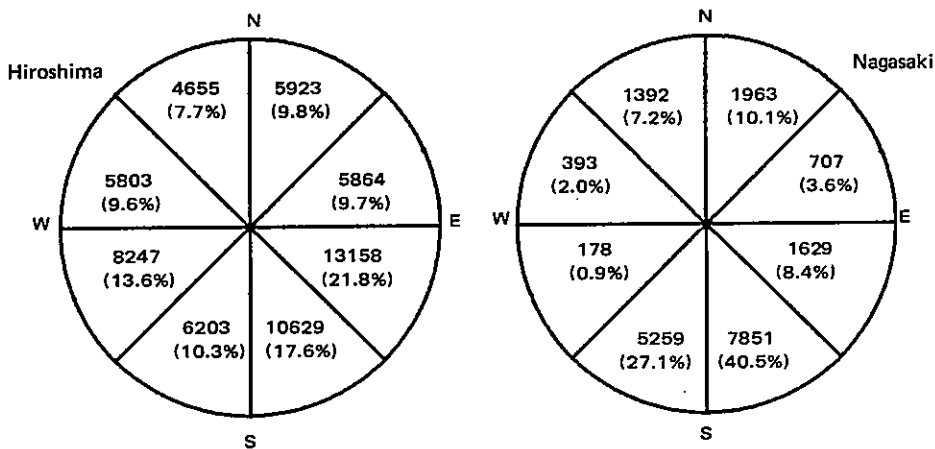
材料及び方法

広島原爆被爆者61,911名及び長崎の被爆者20,331名からなる群(寿命調査対象者)を1950年10月1日付の国勢調査付帯票から選び、ABCC-放影研で死亡率に対する原爆の影響を決定するための追跡調査が行われている。この対象群の抽出については別途に報告されている。²⁶⁻²⁹ 対象群の生死は日本の戸籍制度から確認されており、²⁶ 対象群のほとんどすべての死亡例の死亡年月日及び死因が、死亡診断書の写しから得られている。これらの資料を定期的に解析することにより(最近²⁵では1978年12月31日までの期間)、白血病、肺癌、胃癌、乳癌、結腸癌を含む幾つかの癌で放射線量と癌死亡率の関係が確認された。

下記の解析は、原爆時の遮蔽及び被爆地点に関する資料が入手されている被爆者(広島60,482名、長崎19,374名)に限定したものである。爆心地を中心とした八分円別による被爆者の被爆地点の分布を市別に図1に示した。長崎の地理的特徴(東西を山で囲

FIGURE 1. DISTRIBUTION OF LSS SURVIVORS BY LOCATION ATB WITH RESPECT TO THE HYPOCENTER

図1 寿命調査対象者の爆心地から見た被爆地点別分布



Number of survivors in each octant around the hypocenter. Percent of total in parentheses.
 爆心地を中心とした各八分円における被爆者数。括弧内は全体に対する割合。

features of Nagasaki (located in a north-south valley with mountains to the east and west), the distribution of survivor locations in Nagasaki is far from uniform around the hypocenter. In particular, there were relatively few LSS survivors in the three octants; WNW, WSW, and ENE.

In this group of 60,482 and 19,374 survivors in Hiroshima and Nagasaki, respectively, there have been during the follow-up period from 1 October 1950 to 31 December 1978, 18,471 and 5,031 deaths in Hiroshima and Nagasaki, respectively, of which 3,800 and 956 have been cancer deaths.

For both Hiroshima and Nagasaki, the Cox³⁰ proportional hazards regression methodology was used to investigate whether cancer mortality from various sites depends on the direction from the hypocenter to the location ATB (Figure 2). To specify the Cox regression model, consider the site-*j* specific (e.g., stomach cancer) cancer mortality rate $\lambda_j(t; z)$, defined formally as

$$\lambda_j(t; z) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} P(t \leq T < t + \Delta t, J=j | T \geq t, z) / \Delta t,$$

where *T* denotes the follow-up time (years since 1950) at death, *J* denotes the cause of death,

また南北に延びる谷に位置)から、長崎では、被爆地点の分布が爆心地を中心として一様になっていない。特に西北西、西南西、東北東の三つの八分円では寿命調査対象の被爆者は比較的小さい。

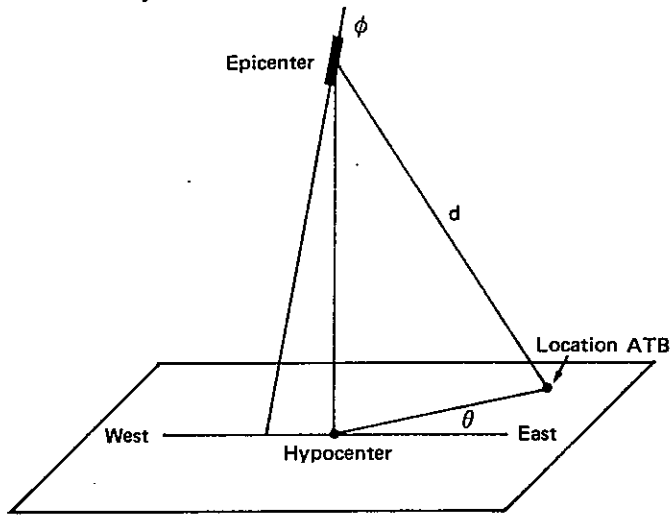
広島60,482名、長崎19,374名の被爆者からなるこの対象群においては、1950年10月1日から1978年12月31日までの追跡調査期間中、広島では18,471名、長崎では5,031名の死亡が認められ、このうち広島3,800名、長崎956名は癌死亡例であった。

広島・長崎ともに、Cox³⁰ 比例危険回帰解析法を用いて、種々の部位の癌死亡率が爆心地から被爆地点への方向に依存するか否かを調べた(図2)。Cox回帰モデルを指定するため、特定部位 *j* (例:胃癌) の癌死亡率 $\lambda_j(t; z)$ を考えると、その公式は、

となる。ここで、*T* は死亡時の追跡調査期間(1950年

FIGURE 2. ESTABLISHMENT OF NOMENCLATURE FOR LOCATION ATB WITH RESPECT TO THE EPICENTER & HYPOCENTER

図2 爆央及び爆心地から見た被爆地点に対する用語



- d Slant distance - Epicenter to location ATB 爆央から被爆地点までの(直線)距離
- θ Direction - Hypocenter to location ATB 爆心地から被爆地点への方向
- ϕ Angle (10°) - Axis of bomb 爆弾の円柱軸に対する角度(10°)

and $\underline{z} = (z_1, \dots, z_p)$ denotes a vector of covariate information. The function $\lambda_j(t; \underline{z})$ is the rate of site- j cancer deaths, at follow-up time t , per unit of time for persons alive at t . The notation emphasizes that $\lambda_j(t; \underline{z})$ is allowed to depend on both the follow-up time t and covariate vector \underline{z} .

The Cox³⁰ proportional hazards regression model as applied to type-specific mortality rates³¹ specifies that

$$\lambda_j(t; \underline{z}) = \lambda_{0j}(t) \cdot \exp(\underline{z} \underline{\beta}), \quad [1]$$

where $\lambda_{0j}(\cdot) \geq 0$ is a completely unspecified underlying type- j cancer mortality rate, and where $\underline{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_p)$ is a vector of regression coefficients to be estimated from the data.

Relative mortality rate (relative risk) is conveniently expressed in terms of $\underline{\beta}$; the relative risk of an individual with covariate value \underline{z} relative to an individual with some standard covariate value \underline{z}_0 is simply $\exp(\underline{z} - \underline{z}_0) \underline{\beta}$.

The results reported below use a generalization of [1] that permits an arbitrary function $\lambda_{0j}(\cdot)$

以後の年数)を表し、 j は死因を、 $\underline{z} = (z_1, \dots, z_p)$ は共変数のベクトルを示す。関数 $\lambda_j(t; \underline{z})$ は、追跡調査期間 t における生存者の部位 j 癌死亡の割合を t 時において単位時間当たりで示したものである。この表記では、 $\lambda_j(t; \underline{z})$ が追跡調査期間 t と共変数ベクトル \underline{z} の両方に依存できることを強調している。

型別の死亡率³¹に適用された Cox³⁰ 比例危険回帰モデルによれば、

である。ここで、 $\lambda_{0j}(\cdot) \geq 0$ は完全に不特定の基本 j 型癌死亡率であり、 $\underline{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_p)$ はデータから推定される回帰係数のベクトルである。

相対的死亡率(相対的リスク)は便宜上 $\underline{\beta}$ で表す。ほぼ標準的な共変数値 \underline{z}_0 を示す対象者に対して、共変数値 \underline{z} を示す対象者の相対的リスクは単純 $\exp(\underline{z} - \underline{z}_0) \underline{\beta}$ である。

後述の結果は [1]を一般化したものを用いている。

for each of a possibly large number of strata denoted by $s=1,2,\dots$. The type- j cancer mortality rate for an individual in stratum s with covariate vector \underline{z} can then be written:

$$\lambda_j(t; \underline{z}, s) = \lambda_{0j}^s(t) \cdot \exp(\underline{z}\beta), \quad [2]$$

where $\lambda_{0j}^s(\cdot)$, $s=1,2,\dots$ denote arbitrary underlying type- j cancer rates for each of the strata. The fact that the analysis uses only within-strata information provides a nonparametric control for factors included in the stratum definition. A complete description of the Cox proportional hazards regression model, including how the parameters β were estimated, is given by Kalbfleisch and Prentice.³²

Since in both the T65D and LLNL dose computations the (slant) distance d from the epicenter and shielding determine the dose estimates, these variables were controlled in all analyses, as were age ATB, year of follow-up, and sex. Year of follow-up was controlled by specifying it to be the argument t of the mortality rate function; age ATB was controlled by including linear and quadratic terms in age ATB as covariates in the regression vector \underline{z} ; distance, type of shielding, and sex were controlled by stratification. Specifically, individuals were stratified on the basis of:

a). 17 distance categories: < 700m, 700-800m, . . . , 2100-2200m and 2200+m. The cutoff 700m was chosen because there were few LSS survivors within 700m (fewer than 50 in Hiroshima, and fewer than 100 in Nagasaki). The cutoff 2,200m was chosen because the estimated doses were very low at that distance (less than 1 rad in Hiroshima, and less than 10 rad in Nagasaki, according to the T65 system).

b). 10 shielding categories determined from the LSS shielding survey³³: 1) In open and unshielded; 2) In or behind some building or shelter, but unshielded or partially unshielded; 3) In open but totally shielded by terrain; 4) In open but totally shielded by building; 5) Shielded totally by concrete building; 6) Shielded totally by Japanese type house or by wooden or light frame building; 7) Shielded totally by factory building; 8) In air raid shelter; 9) Miscellaneous; and 10) No shielding history taken (1600+m in Hiroshima, 2000+m in Nagasaki).

これによって $s=1,2,\dots$ で表される多数の部分母集団に任意の関数 $\lambda_{0j}^s(\cdot)$ をあてはめることができる。共変数ベクトル \underline{z} をもつ部分母集団 s 内の対象者における j 型癌死亡率は、

と示される。ここで、 $\lambda_{0j}^s(\cdot)$, $s=1,2,\dots$ は、各部分母集団における任意の基本 j 型癌死亡率を示す。この解析では部分母集団内の資料のみを使用するので、部分母集団の定義に含まれる因子のノンパラメトリックコントロールが可能である。パラメーター β の推定法を含めて、Cox 比例危険回帰モデルに関する完全な説明が Kalbfleisch と Prentice³² によって行われている。

T65線量推定及び LLNL 線量推定の両者において、爆央からの(直線)距離 d 及び遮蔽状況が線量推定値を決定するので、これらの変数はすべての解析の中で原爆時年齢、追跡調査年度、性などと同様コントロールされている。追跡調査年度は、それを死亡率関数の独立変数 t とすることでコントロールされ、原爆時年齢は、回帰ベクトル \underline{z} の共変数として原爆時年齢に一次項及び二次項を含めることによりコントロールされている。また距離、遮蔽状態、性に関しては、層化することによりコントロールしている。特に対象者は次の基準に基づき層化されている。

a) 17種の距離分類: < 700m, 700-800m, . . . , 2100-2200m, 2200+m. 700m以下を切り捨てたのは、700m以内には寿命調査対象の被爆者が少ないからである(広島では50人以下、長崎では100人以下)。2,200m以遠を切り捨てたのは、その距離での推定線量値が非常に低いからである(T65線量推定によると広島では1rad以下、長崎では10rad以下)。

b) 寿命調査対象の遮蔽調査³³から決定した10種の遮蔽分類: 1) 戸外にいて、遮蔽されていなかった者; 2) 何らかの建物又は避難所の内部、又は背後にいたが遮蔽されていなかったか、部分的にしか遮蔽されていなかった者; 3) 戸外にいたが地形によって完全に遮蔽されていた者; 4) 戸外にいたが建物によって完全に遮蔽されていた者; 5) コンクリート製の建物によって完全に遮蔽されていた者; 6) 日本式家屋、又は木造や軽構造の建物によって完全に遮蔽された者; 7) 工場の建物によって完全に遮蔽された者; 8) 防空壕の内部にいた者; 9) その他; 10) 遮蔽歴を入手しなかった者(広島1600m以遠、長崎2000m以遠)。

c). Sex, for a total of $17 \times 10 \times 2 = 340$ strata.

Two kinds of analyses were used to investigate the relationship between cancer mortality and the direction from the hypocenter to the location ATB. In the first, the relative risk in each of eight octants around the hypocenter was investigated for purposes of describing the relative cancer mortality as a function of direction in a descriptive fashion. The choice of eight segments was largely arbitrary. In this analysis the first seven components z_1, z_2, \dots, z_7 of the covariate vector \underline{z} were specified to be octant-indicators:

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{if individual location ATB is in octant, } i=1, 2, \dots, 7 \\ & \text{被爆地点が } i=1, 2, \dots, 7 \text{ の八分円内の場合} \\ 0 & \text{otherwise} \\ & \text{その他} \end{cases}$$

For an individual in the reference octant, chosen in our analyses to be from 0° to 45° , all z_i are zero. The quantities e^{β_i} , $i=1, 2, \dots, 7$, are then the relative cancer mortality rates, with respect to the reference octant, in each of the octants $i=1, 2, \dots, 7$. We emphasize, especially when interpreting the octant relative risk estimators e^{β_i} reported below, that these relative risks are all relative to the same reference quadrant (and thus all depend on the level of cancer mortality in the reference quadrant). In particular, this means that, for purposes of understanding the pattern of cancer mortality as a function of octant, the values of octant relative risks in comparison to each other are just as important as the values themselves.

In the second kind of analysis, the direction (θ) of location ATB entered the analysis only through one covariate component (z) defined to be absolute relative direction, $|\theta - 22\frac{1}{2}^\circ|$ (in radians). The reference angle $22\frac{1}{2}^\circ$ was chosen on the basis of suggestions (from measures of both neutron-activated gamma radiation near the hypocenter and fission product residual radiation in the suburbs in Hiroshima, and from fission product residual gamma radiation in the suburbs in Nagasaki) of possible dose bias in the ENE or WSW directions. The quantity e^β in this analysis is a measure of the relative cancer mortality per radian of direction of location ATB, going from ENE to WSW. A positive β coefficient thus indicates that cancer mortality rate is increasing from ENE to WSW, and a negative β coefficient indicates that cancer mortality rate is decreasing from ENE to WSW.

c) 性別 (合計 $17 \times 10 \times 2 = 340$ 部分母集団)

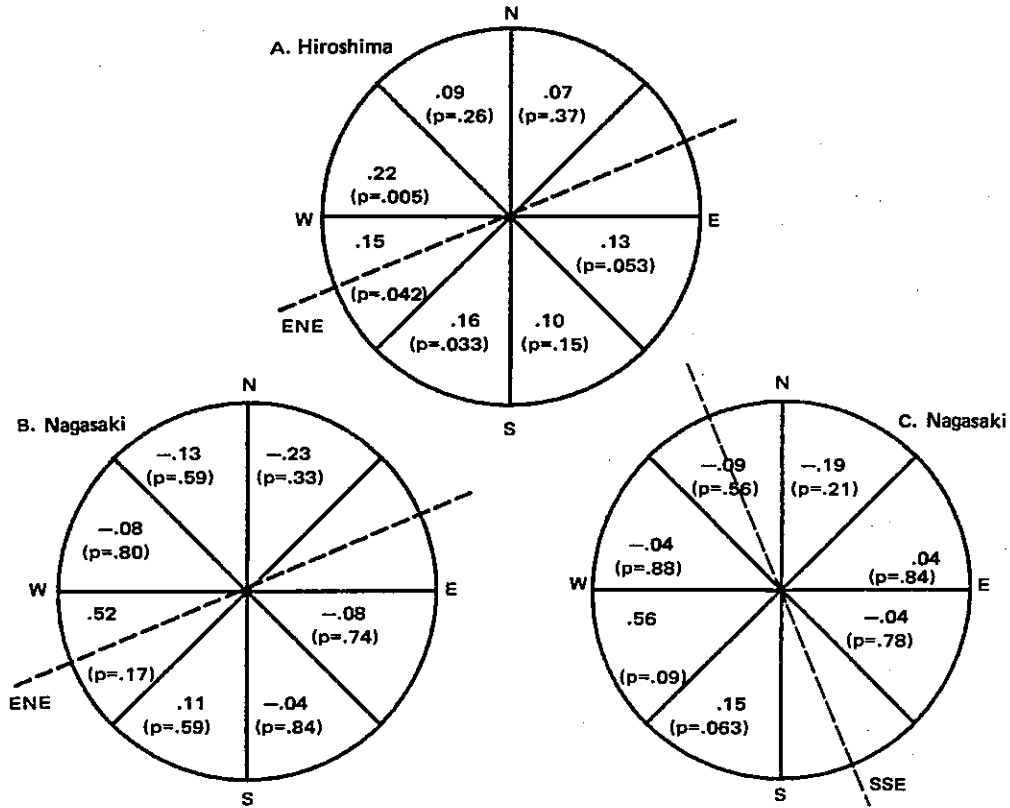
2種類の解析を用いて、癌死亡率と爆心地から被爆地点の方向との関係を調べた。まず、爆心地を中心とした八つの八分円それぞれにおける相対的リスクを調査し、相対的癌死亡率を方向の関数として記述的に述べた。この8区分の選択は概して任意であった。この解析では、共変数ベクトル \underline{z} の最初の七つの構成要素である z_1, z_2, \dots, z_7 が八分円を示すものとした。

基準八分円 (この解析では $0^\circ - 45^\circ$) にいた者の場合、 z_i はすべて0となる。したがって基準八分円に関しては量 e^{β_i} , $i=1, 2, \dots, 7$ は、 $i=1, 2, \dots, 7$ の各八分円における相対的死亡率である。後述の八分円相対的リスク推定量 e^{β_i} を解釈する場合には特に、これらの相対的リスクはすべて同一の基準四分円に関連している (すなわち、すべてが基準四分円における癌死亡率の水準に依存している) ことを強調しておきたい。特にこのことは、八分円の関数として癌死亡率の型を理解するためには、互いに比較する八分円相対的リスクの値がこの値自身と同じくらい重要であることを意味する。

もう一方の解析においては、被爆地点の方向(θ)は、相対的方向の絶対値 $|\theta - 22\frac{1}{2}^\circ|$ (ラジアン) と定義される一つの共変数成分(z)によってのみ解析に含めた。基準角度 $22\frac{1}{2}^\circ$ は、東北東又は西南西の方向において考えられる線量の偏りを示唆する資料 (広島の場合、爆心地付近の中性子活性化ガンマ線並びに市近郊における分裂生成残留放射線の測定結果、長崎の場合、市近郊における分裂生成残留ガンマ線の測定結果) を基にして選んだ。本解析における量 e^β は、被爆地点の方向 (東北東から西南西) のラジアン当たりの相対的癌死亡率の尺度である。故に、正の β 係数は癌死亡率が東北東から西南西へと増加していることを示し、負の β 係数は死亡率が同方向へと減少していることを示している。

FIGURE 3. OCTANT & RELATIVE ANGLE COEFFICIENTS, ESTIMATED FROM COX PROPORTIONAL HAZARDS REGRESSION ANALYSIS, FOR ALL CANCER MORTALITY

図3 全癌の死亡率に対し、Cox 比例危険回帰分析から推定した八分円及び相対的角度係数



Results of proportional hazards analyses for relationship between angle from hypocenter to location ATB & mortality. Shown in octants are estimated coefficients (significance level in parentheses) for mortality relative to the ENE octant. Estimated coefficient of absolute angle $|\theta - 22\frac{1}{2}^\circ|$, in radians, relative to ENE direction, confidence interval, & p value: A. Hiroshima All Cancer .043 (.007, .079) $p=.021$, B. Nagasaki All Cancer .148 (.013, .283) $p=.032$, C. Same as B except that the most populated octant (SSE) is reference octant.

爆心地から被爆地点の角度と死亡率の関係に対する比例式危険分析の結果。八分円内に示したのは東北東八分円に対する死亡率の推定係数(有意水準を括弧内に示した)。東北東方向に対するラジアンで示した絶対角 $|\theta - 22\frac{1}{2}^\circ|$ の推定係数, 信頼区間及び p 値: A. 広島, 全癌.043(.007, .079) $p=.021$, B. 長崎, 全癌.148(.013, .283) $p=.032$ C. 基準八分円が人口の最も多い南南東八分円であることを除き B 図と同じ。

RESULTS

The results of analyses on overall mortality are shown in Figure 3. The individual estimated octant parameters $\hat{\beta}_i, i=1,2,\dots,7$ are given inside each octant with corresponding significance levels for testing $\beta_i=0$ in parentheses, and the estimated coefficient of the ENE to WSW directional covariate is also given (with confidence interval and p value).

結果

全体的な死亡率に関する解析結果を図3に示した。各八分円内の個人推定八分円パラメーター $\hat{\beta}_i, i=1,2,\dots,7$ を示し, また, これに対応した $\beta_i=0$ を検定するための有意水準を括弧内に示した。また, 東北東から西南西方向の共変数の推定係数も(信頼区間及び p 値とともに)示した。

The results for Hiroshima (Figure 3A) indicate a significantly ($p < .05$) higher mortality in the three octants nearest the WSW direction as compared with the ENE octant. For example, in the WSW octant, the overall cancer mortality rate is $\exp(.15) = 1.16$ ($p = .042$) times that in the ENE octant. The overall suggestion from the seven estimated octant coefficients is that mortality rate increases from the ENE direction toward the W or WSW direction. The analysis using the covariate $z = |\theta - 22\frac{1}{2}^\circ| \cdot \pi / 180$ that is linear in angle (in radians) relative to ENE gave similar results: a significant ($p = .021$) and positive estimated coefficient $\hat{\beta} = .043$, which corresponds to an estimated relative risk of $\exp(.043 \times z)$. For directions of NNW (or SSE) and WSW, respectively, this estimated relative risk is $\exp(.043 \times \pi/2) = 1.07$ and $\exp(.043 \times \pi) = 1.145$.

None of the octant coefficients for Nagasaki (Figure 3B) shows evidence of significant difference in cancer mortality relative to the ENE octant. However, the ENE octant in Nagasaki, which is largely mountainous a short distance from the hypocenter, contains less than 4% of the Nagasaki cohort, so that comparisons with respect to the sparse ENE octant are not sensitive. Therefore, these results are presented again in Figure 3C with respect to the SSE octant which contains over 40% of the Nagasaki LSS survivors. Both Figures 3B and 3C suggest a westerly excess in cancer mortality. This is confirmed by the single directional covariate analysis (in which data on all individuals is used to estimate the coefficient). The estimated coefficient is large and positive ($\hat{\beta} = .148$) and significant ($p = .032$). Thus, in Nagasaki as well as in Hiroshima, there is evidence of an excess of cancer in the westerly direction. The estimated coefficient for the directional covariate z is large ($\hat{\beta} = .148$) and significant ($p = .032$), thus providing evidence of a WSW cancer mortality bias in Nagasaki as well.

The analyses for Hiroshima were repeated restricted to the 11,063 persons shielded totally by a Japanese type house or by a wooden or light frame building. The results (Figure 4) are consistent with those (Figure 3) for all persons. The estimated ENE to WSW coefficient $\hat{\beta}_1 = .065$ is higher than that for all persons; however, there is no evidence that the coefficient is different for persons living in Japanese type houses from that for all persons.

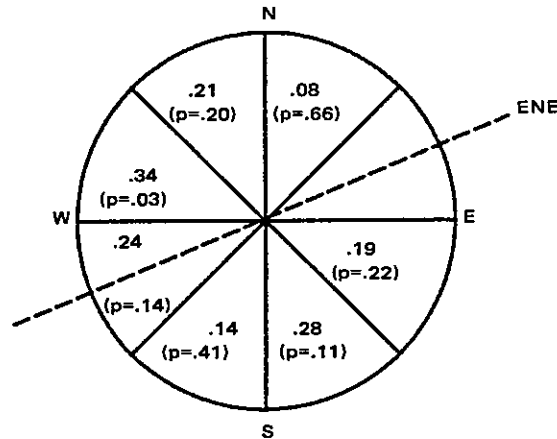
広島調査結果(図3A)では、東北東と比較して、西南西に最も近い三つの八分円において有意に高い($p < .05$)死亡率を示した。例えば西南西の八分円における癌死亡率は、全体で東北東の八分円の $\exp(.15) = 1.16$ ($p = .042$) 倍である。七つの推定八分円係数から全体的に言えることは、死亡率は東北東方向から西あるいは西南西方向へと増加していくということである。東北東に関連する角度(ラジアン)で線形を示す共変数 $z = |\theta - 22\frac{1}{2}^\circ| \cdot \pi / 180$ を用いた解析も同様の結果となった。すなわち、有意な($p = .021$)正の推定係数 $\hat{\beta} = .043$ で、これは推定相対的リスク $\exp(.043 \times z)$ に対応する。北北西(あるいは南南東)及び西南西では、この推定相対的リスクはそれぞれ $\exp(.043 \times \pi/2) = 1.07$, $\exp(.043 \times \pi) = 1.145$ である。

長崎の八分円係数(図3B)はいずれも、東北東の八分円に関しては癌死亡率に有意差は見られない。しかしながら長崎の東北東八分円には、爆心地の近くでは山が多く、長崎の対象群の4%以下しか含まれていないので、この人口の希薄な東北東八分円に関する比較は感度が低い。故に、これらの結果は長崎寿命調査対象者の40%以上を含む南南東八分円に関する図3Cに再掲した。図3B及び3Cは、癌死亡率が西方向で増加していることを示唆する。これは単一方向共変数解析(ここでは、全対象者の資料を係数を推定するのに使った)で確認された。推定係数は大きな値で、正($\hat{\beta} = .148$)であり有意($p = .032$)である。このように、広島と同様長崎においても西方向において癌の増加が見られる。方向の共変数 z に対する推定係数は大きく($\hat{\beta} = .148$)、有意($p = .032$)である。故に、長崎においても西南西の方向に癌死亡率の偏りが見られることを裏付けている。

広島での解析は、日本式家屋又は木造や軽構造の建物によって完全に遮蔽された者11,063名に限定して、繰り返して行った。その結果(図4)は、対象者全員の解析結果(図3)と一致している。東北東から西南西にかけての推定係数 $\hat{\beta}_1 = .065$ は対象者全員の係数より高いが、日本式家屋に住んでいた人の係数と全体的な係数が異なっているという証拠はない。

FIGURE 4. OCTANT & RELATIVE ANGLE COEFFICIENTS, ESTIMATED FROM COX PROPORTIONAL HAZARDS REGRESSION ANALYSIS, FOR ALL CANCER MORTALITY OF PERSONS IN JAPANESE TYPE HOUSE ATB, HIROSHIMA

図4 被爆時に日本式家屋内にいた者の全癌の死亡率に対し、Cox 比例危険回帰分析から推定した八分円及び相対的角度係数、広島



See footnote Figure 3. Estimated coefficient, .065 (-.011, .141) p=.093

図3の脚注を見よ。推定係数 .065 (-.011, .141) p = .093

To check whether the observation of an ENE to WSW cancer mortality gradient is consistent for specific cancer sites, the analyses were repeated for several cancer sites that have been shown to be associated with radiation (stomach, lung, leukemia, colon, and breast).²⁵ The results are shown in Table 1. In Hiroshima the estimated angle coefficients are significantly positive for stomach cancer, leukemia, and colon cancer mortality (p values .006, .002, and .003, respectively), indicating greater mortality as direction goes from ENE to WSW. The estimated coefficients for leukemia and colon cancer are particularly large ($\hat{\beta}=.308$ and $\hat{\beta}=.295$, respectively). The estimated angle coefficient for breast cancer mortality is significantly negative, indicating lower mortality from ENE to WSW. There is also the suggestion (p=.086) that non-cancer mortality increases slightly ($\hat{\beta}=.016$) from ENE to WSW. In Nagasaki, lung cancer mortality shows a large ($\hat{\beta}=.537$) and significant (p=.018) directional gradient toward the WSW. There is little evidence (p=.15) however, that in Nagasaki mortality from all cancers combined other than lung cancer have a WSW or ENE excess ($\hat{\beta}=.105$). Finally, there is no suggestion (p=.47) in Nagasaki of any directional gradient in noncancer mortality.

東北東から西南西への癌死亡率勾配が、特定の癌部位で一致しているか否かを調べるため、放射線に関連があることが示されている幾つかの癌部位(胃、肺、白血病、結腸及び乳房)²⁵ に関し解析を繰り返した。結果は表1に示した。広島においては胃癌、白血病、結腸癌の死亡率(p値はそれぞれ.006, .002, .003)の推定角度係数は有意な正の値となり、このことは、東北東から西南西に向かうにつれ死亡率が増加することを示す。白血病及び結腸癌の推定係数は特に大きい(それぞれ $\hat{\beta}=.308$, $\hat{\beta}=.295$)。乳癌死亡率の推定角度係数は有意な負の値となり、東北東から西南西に向かうにつれ死亡率が低下することを示している。東北東から西南西方向にかけて、非癌死亡率がわずかに増加している($\hat{\beta}=.016$)ということも示唆されている(p=.086)。長崎における肺癌死亡率は、西南西方向に大きく($\hat{\beta}=.537$)、有意な(p=.018)方向勾配を示している。しかし長崎においては、肺癌を除いた全癌の死亡率が西南西あるいは東北東方向に増加を見せている($\hat{\beta}=.105$)という証拠はほとんどない(p=.15)。最後に、長崎では非癌死亡率の方向勾配は見られない(p=.47)。

TABLE 1 RESULTS OF COX PROPORTIONAL HAZARDS REGRESSION ANALYSIS FOR
 CANCER MORTALITIES OF SEVERAL SITES, AND FOR NONCANCER MORTALITY
 表1 幾つかの部位における癌死亡率及び非癌死亡率に対する Cox 比例危険回帰解析の結果

Cancer	Hiroshima		Nagasaki	
	Deaths	$\hat{\beta}$	Deaths	$\hat{\beta}$
All	3800	.043 (.007, .079) p=.021	955	.148 (.012, .283) p=.032
Stomach	1443	.082 (.024, .141) p=.006	311	.089 (-.146, .325) p=.46
Lung	353	-.070 (-.189, .050) p=.25	106	.537 (.092, .982) p=.018
Leukemia	141	.308 (.114, .502) p=.002	38	.253 (-.387, .893) p=.44
Colon	133	.295 (.105, .487) p=.003	24	-.225 (-.994, .544) p=.57
Breast	100	-.282 (-.510, -.053) p=.016	28	-.144 (-.825, .537) p=.68
Noncancer	14671	.016 (-.002, .034) p=.086	4075	.024 (-.041, .090) p=.47

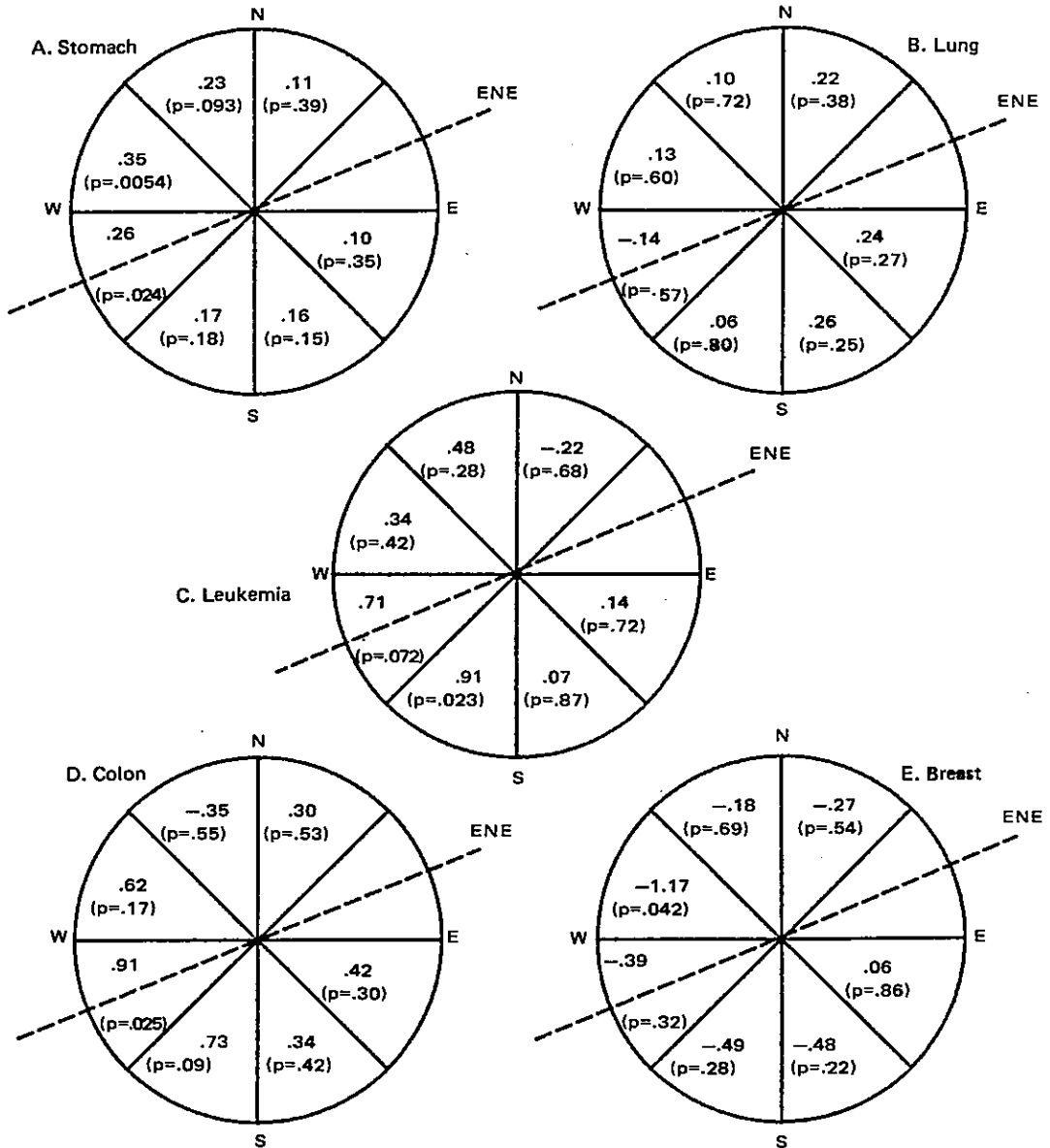
Shown for each city are the number of deaths, and the estimated coefficients (with 95% confidence interval and p value) for the linear angle covariate $z = |\theta - 22\frac{1}{2}^\circ|$, in radians.
 市別に死亡数並びにラジアンで示した線形角度共変数 $z = |\theta - 22\frac{1}{2}^\circ|$ の推定係数(95%信頼区間及びp値)を示した。

A closer look at asymmetry in cancer mortality of specific sites for specific octants is provided for Hiroshima in Figure 5. Stomach cancer mortality (Figure 5A) is markedly and significantly higher (than in the ENE octant) in both the WSW and WNW octants. There is no evidence (Figure 5B) of an excess in lung cancer mortality in the WSW direction. Leukemia mortality (Figure 5C) is much higher (than in the ENE octant) in both the WSW and SSW octants; estimated relative risks are $\exp(.71)=2.03$ ($p=.072$) and $\exp(.91)=2.48$ ($p=.023$), respectively. Colon cancer mortality (Figure 5D) is

広島の特定八分円における特定部位の癌死亡率の非対称性に関する詳細な観察結果を図5に示した。胃癌死亡率(図5A)は、(東北東八分円よりも)西南西及び西北西八分円における方が顕著にかつ有意に高い。西南西の方向には肺癌死亡率の増加の証拠は見られない(図5B)。白血病死亡率(図5C)は、(東北東八分円よりも)西南西及び南南西八分円で高い値を示す。相対的リスク推定値はそれぞれ $\exp(.71)=2.03$ ($p=.072$)、 $\exp(.91)=2.48$ ($p=.023$)である。結腸癌死亡率(図5D)もまた西南西及び南南西

FIGURE 5. OCTANT & RELATIVE ANGLE COEFFICIENTS, ESTIMATED FROM COX PROPORTIONAL HAZARDS REGRESSION ANALYSIS, FOR STOMACH, LUNG, COLON, & BREAST CANCER, & LEUKEMIA MORTALITY, HIROSHIMA

図5 Cox 比例危険回帰分析から胃癌、肺癌、結腸癌、乳癌及び白血病の各死亡率に対して推定した八分円及び相対的角度係数、広島

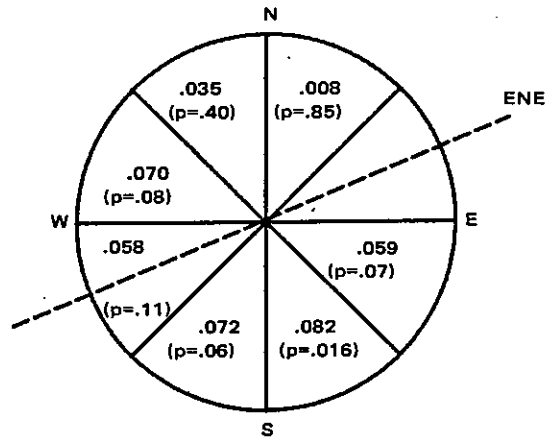


See footnote Figure 3. Estimated coefficients, A. Stomach .082 (.024, .141) $p=0.0056$, B. Lung $-0.070 (-.189, .050)$ $p=.25$, C. Leukemia .308 (.114, .502) $p=0.0018$, D. Colon .295 (.105, .487) $p=0.0026$, E. Breast $-0.282 (-.510, -.053)$ $p=0.016$

図3の脚注を見よ。指定係数, A. 胃癌.082(.024, .141) $p=0.0056$, B. 肺癌 $-0.070(-.189, .050)$ $p=.25$, C. 白血病.308(.114, .502) $p=0.0018$, D. 結腸癌.295(.105, .487) $p=0.0026$, E. 乳癌 $-0.282(-.510, -.053)$ $p=.016$

FIGURE 6. OCTANT & RELATIVE ANGLE COEFFICIENTS, ESTIMATED FROM COX PROPORTIONAL HAZARDS REGRESSION ANALYSIS, FOR NONCANCER MORTALITY, HIROSHIMA

図6 Cox 比例危険回帰分析により推定した癌以外の死亡率の八分円及び相対的角度係数, 広島



See footnote Figure 3. Estimated coefficient, Noncancer .016 (-.002, .034) p=.086

図3の脚注を見よ。推定係数, 癌以外の死亡 .016 (-.002, .034) p=.086

also much higher in the WSW and SSW directions, with estimated relative risks of $\exp(.91)=2.48$ and $\exp(.73)=2.08$, and p values .025 and .09, respectively. Breast cancer mortality (Figure 5E) is, contrary to the other sites, sharply lower in the WNW direction: $\hat{\beta}=-1.17$ (p=.042). Figure 6 suggests a modest increase in noncancer mortality ($\hat{\beta}=.016$) in the WNW, WSW, and SSW directions.

Because breast cancer is often not fatal, and because of availability of breast cancer incidence data,³⁴ the breast cancer analyses were repeated for Hiroshima using breast cancer incidence data. The results shown in Figure 7 show that, contrary to the determination for breast cancer mortality, for breast cancer incidence there is no evidence of a WSW or ENE excess.

Finally, for each city and for each cancer site, analyses were repeated twice, first restricted to

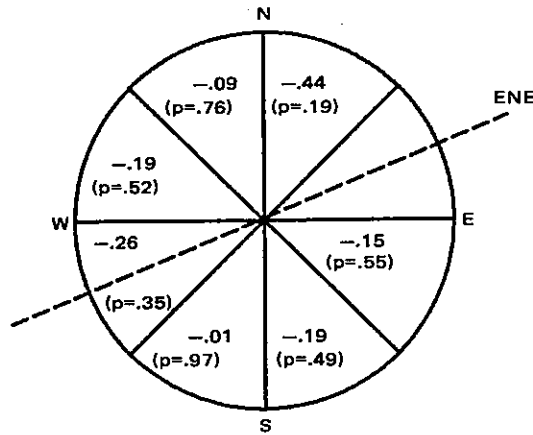
の方向で高く, 相対的リスク推定値はそれぞれ $\exp(.91)=2.48$ と $\exp(.73)=2.08$ であり, p 値はそれぞれ .025, .09 である。乳癌死亡率(図5E)は, その他の部位とは逆に西北西の方向で著しく低く, $\hat{\beta}=-1.17$ (p=.042) である。図6に示すように西北西, 西南西, 南南西の方向で, 非癌死亡率は軽微な増加を見せている ($\hat{\beta}=.016$)。

乳癌は多くの場合致死的ではなく, 乳癌発生に関する資料を入手することも可能なので,³⁴ この資料を用いて広島における乳癌の解析を繰り返して行った。図7に示した結果は乳癌死亡率とは逆に, 乳癌発生率の場合は西南西あるいは東北東に増加する証拠はないことを示している。

最後に, 各市別及び各癌部位別に2回解析した。

FIGURE 7. OCTANT & RELATIVE ANGLE COEFFICIENTS, ESTIMATED FROM COX PROPORTIONAL HAZARDS REGRESSION ANALYSIS, FOR BREAST CANCER INCIDENCE, HIROSHIMA

図7 Cox 比例危険回帰分析により推定した乳癌発生率の八分円及び相対的角度係数，広島



Results of proportional hazards analyses for relationship between angle from hypocenter to location ATB & incidence. Shown in octants are estimated coefficients (significance level in parentheses) for incidence relative to the ENE octant. Estimated coefficient of absolute angle $|\theta - 22\frac{1}{2}^\circ|$, in radians, relative to ENE direction, confidence interval, & p value: Breast cancer incidence -0.044 ($-.193, .106$) $p=.57$ (Tokunaga³⁴ series).

爆心地から被爆地点の角度と発生率の関係に対する比例危険分析の結果。八分円に示したのは東北東八分円に対する発生率の推定係数(有意水準を括弧内に示した)。東北東方向に対するラジアンで示した絶対角 $|\theta - 22\frac{1}{2}^\circ|$ の推定係数、信頼区間及び p 値: 乳癌発生率 -0.044 ($-.193, .106$) $p=.57$ (徳永例³⁴)

Hiroshima persons within 1,600m (Nagasaki persons within 2,000m) from the hypocenter, and then restricted to Hiroshima persons outside 1,600m (Nagasaki persons outside 2,000m). The results (Table 2) show that within 1,600m in Hiroshima the estimated coefficient for the directional covariate z was almost twice as large ($\hat{\beta}=.080$) as for all Hiroshima persons, and marginally significant ($p=.054$). Also, within 1,600m in Hiroshima stomach cancer and leukemia mortality are significantly greater in the WSW direction. Although analyses of all Hiroshima persons showed colon cancer mortality to be significantly greater in the WSW direction, the analyses restricted to Hiroshima persons within 1,600m of the hypocenter was inconclusive (only 27 colon cancer cases). Despite 1,225 noncancer deaths in the within 1,600m Hiroshima cohort, no evidence ($p=.22$) of an ENE-WSW directional dependence was apparent. Interestingly, outside 1,600m in Hiroshima both leukemia and colon cancer mortality were significantly greater in the WSW direction.

第1回目は爆心地から1,600m以内の広島の被爆者(長崎の場合2,000m以内)に限定し、第2回目は爆心地から1,600m以遠の広島の被爆者(長崎の場合2,000m以遠)に限定した。その結果(表2)から見ると、広島の1,600m以内の場合方向の共変数 z の推定係数は、広島の被爆者全員の場合のほぼ2倍($\hat{\beta}=.080$)であり、わずかに有意であった($p=.054$)。また、広島の1,600m以内における胃癌死亡率及び白血病死亡率は、西南西の方向で有意に高い値を示した。広島の被爆者全員に対する解析の結果、結腸癌死亡率は西南西の方向で有意に高いことが示されたが、爆心地から1,600m以内の広島の被爆者に限定して行った解析でははっきりした結論は出なかった(結腸癌の症例は27例のみ)。広島の1,600m以内群では1,225例の非癌死亡が認められているにもかかわらず、東北東-西南西の方向依存性の証拠は明確ではない($p=.22$)。興味深いことに、広島の1,600m以遠では、白血病及び結腸癌の死亡率が西南西の方向で有意に高い。

TABLE 2 RESULTS OF COX PROPORTIONAL HAZARDS REGRESSION ANALYSIS FOR PERSONS INSIDE AND OUTSIDE A SPECIFIED DISTANCE FROM THE HYPOCENTER

表2 爆心地から一定の距離以上及びそれ以下にいた者の Cox 比例危険回帰解析の結果

Cancer	Hiroshima				Nagasaki			
	(9,727) <1600m		(50,755) 1600+m		(6,180) <2000m		(13,192) 2000+m	
	Deaths	$\hat{\beta}$	Deaths	$\hat{\beta}$	Deaths	$\hat{\beta}$	Deaths	$\hat{\beta}$
All	777	.080 (-.001, .160) p=.054	3023	.033 (-.008, .073) p=.11	338	.146 (-.070, .361) p=.18	617	.159 (-.014, .332) p=.072
Stomach	268	.218 (.076, .359) p=.003	1175	.053 (-.011, .118) p=.11	95	.138 (-.262, .537) p=.50	216	.083 (-.206, .371) p=.57
Lung	81	.018 (-.227, .263) p=.89	272	-.098 (-.236, .040) p=.16	39	.684 (-.047, 1.42) p=.066	67	.456 (-.100, 1.012) p=.108
Leukemia	71	.293 (.010, .577) p=.042	70	.318 (.051, .585) p=.002	23	.345 (-.403, 1.09) p=.37	15	-.029 (-1.19, 1.13) p=.96
Colon	27	.081 (-.348, .509) p=.71	106	.344 (.130, .558) p=.002	8 (too few cases)		16	-.509 (-1.48, .46) p=.31
Breast	26	-.462 (-.897, -.027) p=.037	74	-.210 (-.476, .056) p=.12	13	.300 (-.700, 1.27) p=.54	15	-.593 (-1.52, 0.33) p=.21
Noncancer	2408	.013 (-.007, .033) p=.22	12263	.034 (-.012, .080) p=.15	1225	-.019 (-.138, .101) p=.76	2850	.043 (-.035, .122) p=.28

Shown are the number of deaths, and the estimated coefficients (with 95% confidence interval and p value) for the linear angle covariate $z = |0 - 22\frac{1}{2}^\circ|$, in radians.

死亡数並びにラジアンで示した線形角度共変数 $z = |0 - 22\frac{1}{2}^\circ|$ の推定係数 (95%信頼区間及び p 値) を示した。

Unlike in Hiroshima, in Nagasaki there is no suggestion from Table 2 that the WSW excess for all cancer mortality is stronger within than outside the specified distance. Likewise for lung cancer mortality, in Nagasaki there is no suggestion that the WSW excess is stronger within than outside.

DISCUSSION

The results show for Nagasaki a large (estimated relative risk per radian of $\exp(.148) = 1.16$) and significant ($p=.032$) directional excess in cancer mortality toward the WSW direction. This is largely due to a large (estimated relative risk per

広島とは異なり、長崎では全癌死亡率が西南西の方向で増加するという傾向が、特定の距離以遠よりも特定の距離以内において強く現れるという示唆は、表2からは得られない。同様に肺癌死亡率の場合も、長崎においては西南西の増加傾向が特定距離以遠よりも、特定距離以内で強く現れるということとは言えない。

考 察

長崎の解析結果によると、西南西の方向に癌死亡率が大幅に(ラジアン当たりの相対的リスク推定値 $\exp(.148) = 1.16$)、有意な ($p=.032$) 方向的増加を示すことが認められる。これは、大部分肺癌死亡率

radian of $\exp(.537) = 1.71$) directional excess in lung cancer mortality. There is no suggestion that the observed directional excess of cancer mortality in Nagasaki differs between within 2,000m and outside 2,000m.

In Hiroshima there is also strong evidence ($p=.021$) that cancer mortality is moderately higher (estimated relative risk per radian of $\exp(.043) = 1.04$) in the WSW than in the ENE. A WSW excess in stomach cancer mortality (relative risk per radian = 1.09), leukemia (relative risk = 1.36), and colon cancer (relative risk = 1.34) are the significant contributors. Unlike in Nagasaki, the estimated directional effect for all cancer mortality is larger within 1,600m ($\hat{\beta}=.080$) than outside 1,600m ($\hat{\beta}=.033$). This is largely due only to stomach cancer mortality however; leukemia and colon cancer mortality are substantially higher to the WSW outside 1,600m as well.

A determination of the explanation for the observed asymmetries in cancer mortality would be important, both for suggesting possible directions in the ongoing review of dose determination (if dose asymmetry was suggested), and for suggesting control for confounding epidemiologic variables in future analyses on dose-mortality relationships (if epidemiologic cancer risk factor asymmetry was suggested).

Although suggestions of possible dose asymmetry motivated this investigation, these analyses address directly only the directional dependence of cancer mortality. The explanation for the observed asymmetry in cancer mortality of several different sites could involve any of several possibilities. Specifically discussed here, in general terms, are the possibility of an asymmetry in epidemiologic cancer risk factors, and the possibility of an asymmetry in dose. The latter possibility could arise from either a) an asymmetry in prompt dose as suggested for Hiroshima by Kerr,¹⁰ b) an asymmetry in delayed (fireball fission product gamma radiation) dose due to latent movement of the fireball in the wind direction, or c) fission product contamination from fallout known to occur on a directional basis (in the direction of wind, and depending on weather). From the discussion above, any dose asymmetry from a) or b) would likely be more pronounced near than far from the hypocenter, while any dose asymmetry from c) may be in effect at larger distances.

における大幅な(ラジアン当たりの推定相対的リスク $\exp(.537) = 1.71$) 方向的増加のためである。長崎における癌死亡率の観察された方向的増加が、2,000 m以内と2,000 m以遠とで異なることを示唆するものはない。

広島においても、西南西の方が東北東よりも癌死亡率がやや高い(ラジアン当たりの推定相対的リスクは $\exp(.043) = 1.04$) ことが明確に示されている($p=.021$)。胃癌死亡率の西南西における増加(ラジアン当たりの相対的リスク=1.09)、白血病(相対的リスク=1.36)並びに結腸癌(相対的リスク=1.34)が有意な寄与因子となっている。長崎とは異なり、全癌死亡率に対する方向による効果の推定値は、1,600 m以遠($\hat{\beta}=.033$)よりも1,600 m以内($\hat{\beta}=.080$)の方が大きい。しかしこれは大部分、胃癌死亡率のみによるものである。白血病及び結腸癌の死亡率は、1,600 m以遠の西南西方向でも実質的に高い。

現在進行中の線量決定の検討(線量非対称性が示唆された場合)に可能な方向を示唆するために、また、将来の線量・死亡率関係に関する解析において疫学的変数に混同が起こった場合(疫学的癌リスク因子非対称性が示唆された場合)それにコントロールを与えるようにするために、癌死亡率において観察された非対称性の解釈を確定しておくことは重要であろうと思われる。

線量非対称性を示唆するデータがこの調査の動機付けとなったけれども、これらの解析では、癌死亡率の方向に対する依存性のみ取り組んだ。幾つかの異なる部位の癌死亡率において観察された非対称性に対し、幾つかの説明が可能である。全般的に見て、ここで特に考察したのは疫学的な癌リスク因子の非対称性の可能性、並びに線量の非対称性の可能性である。後者の可能性は、a) Kerr¹⁰が広島に関して示唆したような即時線量の非対称性、b) 火球の、風向きに沿った潜在的な動きによって発生する遅発性(火球分裂生成ガンマ線)線量の非対称性、c) 方向によって起きた(風向きに沿っており、天候に左右される)降下物からの分裂生成物による汚染等、によって起こり得る。上述の考察からa)あるいはb)による線量非対称性は、爆心地から遠い地点よりは近い地点でより多く認められると思われる。一方、c)による線量非対称性は遠隔地で起こると思われる。

In Nagasaki there has never been any suggestion of dose asymmetry, except in the easterly direction because of the presence of a wind blowing toward the east and the deposition of fission products in Nishiyama to the east. The results of the Nagasaki analyses reported here do not seem to suggest a dose asymmetry in Nagasaki, for several reasons. First, the cancer mortality excess in Nagasaki was observed to the WSW, thus ruling out any dose asymmetry related to the wind direction. Second, there was no evidence that the WSW excess in Nagasaki was more pronounced inside than outside 2,000m from the hypocenter. Lastly, only for lung cancer was an excess WSW mortality evident. (For leukemia, known to be highly related to radiation dose, there were too few cases (23) to enable detection of any WSW excess in leukemia mortality.)

In Hiroshima the possibility of a ENE-WSW dose asymmetry due to bomb tilt has been suggested by Kerr,¹⁰ but one whose magnitude apparently decreases rapidly with distance from the epicenter. The presence of a westerly wind in Hiroshima also raises the mild possibility of dose asymmetry, as discussed earlier, either from the fission products in a wind-displaced fireball, or from fallout. The finding that there is an excess in cancer mortality in Hiroshima to the WSW suggests the possibility of a dose asymmetry related either to bomb tilt or to wind direction, which were both also to the west. Furthermore, the observations that the cancer mortality excess is to the WSW, and that the WSW excess is more pronounced inside 1,600m ($\hat{\beta}=.080$) than outside ($\hat{\beta}=.033$) would seem to suggest that a dose asymmetry of a local nature might be present. However, only for stomach cancer mortality is there the suggestion that the WSW excess is greater inside than outside 1,600m; even for lung cancer and especially leukemia, whose association with radiation is considerably greater than stomach cancer, no such distinction between within 1,600m and outside 1,600m mortality is observed. Thus, local dose asymmetry does not seem strongly implicated, which argues against the possibilities of dose asymmetry from either bomb tilt or fireball asymmetry. (Furthermore, the finding that in Nagasaki the excess mortality was found in the opposite direction from the wind, provides further evidence against the fireball asymmetry possibility.) The finding of excess cancer mortality, both within and outside 1,600m in Hiroshima, in the same

長崎においては東方向に風が吹いており、西山地区で東方向に分裂生成物が降下したので、東方向を除いては線量非対称性を示唆するものはなかった。ここに報告した長崎の解析結果は、幾つかの理由で長崎における線量非対称性を示唆するものではないと思われる。第一に、長崎における癌死亡率の増加は西南西の方向に見られたので、風向きに関連する線量非対称性は除かれることになる。第二に、長崎における西南西方向の増加傾向が、爆心地から2,000m以遠よりも以内でより多く認められるという証拠はなかった。最後に、肺癌についてのみ西南西に死亡率の増加が認められた。(放射線量と高い関連性があると知られている白血病の場合、白血病死亡率における西南西方向の増加を調べるには症例が少な過ぎる(23例).)

広島においては、爆弾の傾きによる東北東-西南西の線量非対称性の可能性が Kerr¹⁰ によって示唆されたが、この大きさは爆心から離れるに従い、明らかに急速に減少する。広島に西風が吹いていたということから、既に述べたごとく風によって移動した火球中の分裂生成物、又は降下物により線量非対称性が生じた可能性が多少ある。広島の癌死亡率が西南西方向で増加しているという所見は、線量非対称性が爆弾の傾きあるいは風向き(両方とも西方向)に関連しているという可能性を示すものである。更に、癌死亡率の増加が西南西の方向であり、また、西南西方向の増加が1,600m以遠($\hat{\beta}=.033$)でよりもそれ以内($\hat{\beta}=.080$)でより多く認められるという観察結果は、局所的な線量非対称性が存在することを示唆するものかもしれない。しかしながら胃癌死亡率に関してのみ、西南西の増加が1,600m以遠より以内で高いという示唆がある。放射線との関連性が胃癌よりもはるかに大きい肺癌、及び特に白血病の場合も1,600m以内と1,600m以遠で死亡率の間に差異は見られない。このように、局所的な線量非対称性が強く示されているとは思われないので、爆弾の傾き又は火球の非対称性による線量非対称性の可能性には疑問が生じる。(更に、長崎における死亡率の増加は風と逆方向に認められることから、火球非対称性の可能性は更に薄くなる。)しかしながら広島1,600m以内及び以遠において、風と同じ方向

direction as the wind does raise, however, the possibility of fission product asymmetry, since fission products can be deposited both near and far from the hypocenter. In Hiroshima the WSW excess in cancer mortality found for cancer of the digestive system (stomach and colon), and also for leukemia, a cancer of the blood-forming organs of the bone, a site which certain elements are well-known to seek, suggests the possibility of a radiation asymmetry due to fission product contamination. However, since no widespread fission product contamination has been demonstrated in Hiroshima, such an explanation would seem much less likely to play the major role in explaining the observed asymmetry in cancer mortality than do asymmetries in nondose risk factors, discussed next.

Explanations in terms of risk factors other than dose asymmetry (and other than distance, shielding category, sex, and age ATB, which were controlled in all analyses reported above) seem implicated as most likely to explain the observed cancer mortality asymmetry. In Nagasaki such asymmetry was observed outside 2,000m as well as inside, and asymmetry in lung cancer mortality accounted for most of it. In light of the strong relationship between smoking and lung cancer, an investigation of smoking asymmetry in Nagasaki, and additional cancer mortality asymmetry analyses in which smoking is controlled for, seem indicated as possible future work to attempt to help to explain the observed Nagasaki WSW excess cancer mortality. Also indicated would be an investigation of asymmetry of occupation, especially shipyard working with associated asbestos exposure, since the Nagasaki shipyards are located to the southwest of the hypocenter.

In Hiroshima also, risk factors other than dose asymmetry, sex, and age ATB seem implicated as the major explanation for the observed WSW excess in cancer mortality. The evidence that the excess WSW cancer mortality for all sites is greater inside than outside 1,600m is weak, and furthermore it is observed only for stomach cancer. Also, both leukemia and colon cancer mortality show a strong WSW excess outside 1,600m. Since in Hiroshima socioeconomic status and occupation tend to be different to the west than to the east of the hypocenter, additional cancer mortality asymmetry analyses in which these factors are controlled for seem indicated.

に癌死亡率が増加していることから、分裂生成物非対称性の可能性が出てくる。なぜなら、分裂生成物は爆心地に近い地点にも遠い地点にも降下するのである。広島において消化器系(胃及び結腸)の癌、白血病、骨の造血組織(ある種の元素が集まろうとする部位)の癌による死亡率が西南西で増加していることは、分裂生成物汚染による放射線非対称性の可能性を示すものである。しかしながら広島では、広域にわたる分裂生成物汚染が認められないので、このような説明が、癌死亡率で観察された非対称性を説明するのに重要な役割を演ずる可能性は次に考察する非線量リスク因子の非対称性の説明に比べるともっと少ないと思われる。

線量非対称性以外の(また、上述の全解析においてコントロールされた距離、遮蔽分類、性及び原爆時年齢以外の)リスク因子に基づいた説明は、観察された癌死亡率の非対称性を最もよく説明すると思われる。長崎では、そのような非対称性が2,000m以内でも以遠でも観察されているが、肺癌の死亡率の非対称性がその大きな原因となっている。喫煙と肺癌に強い関係があることから、長崎における喫煙の非対称性の調査と、それに加えて、喫煙をコントロールした癌死亡率非対称性解析を行うことが、観察された長崎の西南西方向における癌死亡率増加を説明する一助として将来の可能な研究となるであろう。また、職業の非対称性の調査も挙げられる。特に、長崎の造船所は爆心地の南西に位置しているので、石棉被曝と関連のある造船作業の調査を行うことが示唆されるであろう。

広島においてもまた、線量非対称性、性及び原爆時年齢以外のリスク因子が、西南西で観察された癌死亡率の増加に対する主要な説明となるものと思われる。西南西方向における全部位の癌死亡率の増加が1,600m以遠よりもそれ以内で高いという証拠は弱いものであり、更に、それは胃癌にしか認められない。また、白血病及び結腸癌の死亡率は1,600m以遠で強い西南西方向の増加を示す。広島では、爆心地の西と東で社会経済的状態及び職業が異なる場合が多いので、これらの因子をコントロールした癌死亡率非対称性解析を加える必要がある。

In light of the fact that these results show a clear asymmetry in cancer mortality in both cities, but are not conclusive with respect to explanation, additional work seems to be indicated as follows:

Investigation into whether various epidemiologic factors not already considered could explain the observed WSW excess in cancer mortality. Such factors might include smoking and occupation, especially for investigating its role for explaining the observed lung cancer asymmetry in Nagasaki, and socioeconomic status and occupation, especially for investigating its role for explaining cancer asymmetry in Hiroshima. In particular, an explanation for the large leukemia excess to the WSW in Hiroshima should be sought.

Investigation of circular symmetry, in both Hiroshima and Nagasaki, for other endpoints that are known effects of radiation, including acute symptoms, chromosome aberrations, and lens opacities.

Continuing investigation, using basic physical considerations, into identifying the magnitude of possible asymmetry in radiation emanating from either the nuclear explosion (prompt radiation) or from the fission products (delayed radiation).

Finally, pending determination of the explanation of the observed asymmetry of cancer mortality in Hiroshima and Nagasaki, the opportunity exists to use the information on cancer mortality asymmetry to aid in the continuing analyses of the relationship between cancer mortality and radiation dose. In particular, even without knowing the identity of asymmetric risk factors that account for the observed cancer mortality asymmetry, or even if data on some relevant risk factors are unavailable for the LSS cohort, the opportunity exists to control in part for such risk factors by controlling for direction ATB with respect to the hypocenter. Since the association between direction ATB and dose is very low for the LSS cohort, such control would be unlikely to noticeably reduce precision in estimating the relationships between radiation dose and cancer mortality, while control for risk factors with asymmetric distributions may avoid bias in dose-response estimation.

これらの結果は両市における癌死亡率の明瞭な非対称性を示すけれども、これに対する説明は不完全であるので、下記のような調査が必要であろうと思われる。

これまでに考察を加えていない種々の疫学的因子が、癌死亡率に見られる西南西方向の増加を説明できるか否かを調査する。この因子には、喫煙及び職業(特に、長崎で観察された肺癌の非対称性を説明する上でのそれぞれの役割を調査するため)並びに社会経済的地位と職業(特に、広島における癌非対称性を説明する上でのそれぞれの役割を調査するため)などが含まれると思われる。特に、広島における白血病の西南西方向の著しい増加に対する説明を究明すべきである。

広島・長崎両市において急性症状、染色体異常及び水晶体混濁を含めた放射線後影響として知られているその他の効果に対する円形対称性について調査する。

基本的物理学的方法を用いて核爆発から発生する放射線(即時放射線)、あるいは分裂生成物から発生する放射線(遅延性放射線)における非対称性の程度を確認するための調査を継続する。

最後に、広島・長崎における癌死亡率の観察された非対称性の説明が決まるまで、癌死亡率の非対称性に関する資料を、癌死亡率と放射線量との関係のみを継続中の解析に役立てるため使用することができる。特に、観察された癌死亡率非対称性の原因となる非対称性リスク因子の原因が明確でない場合も、また、適当なリスク因子に関するデータが寿命調査集団では入手できない場合でも、原爆時の爆心地からの方向をコントロールすることにより、部分的にはそのようなリスク因子をコントロールすることができる。原爆時の方向と線量との関係は寿命調査対象群においては非常に低いので、このようなコントロールが放射線量と癌死亡率との関係を推定する際、精度を著しく低下させることはないであろう。また一方では非対称性の分布を示すリスク因子のコントロールは、線量-反応の推定における偏りを避けるものと思われる。

REFERENCES

参考文献

1. MILTON RC, SHOHOJI T: Tentative 1965 radiation dose estimation for atomic bomb survivors. ABCC TR 1-68
2. RITCHIE RH, HURST GS: Penetration of weapons radiation. Application to the Hiroshima-Nagasaki studies. Health Phys 1:390-404, 1959 (ABCC TR 26-59)
3. AUXIER JA, CHEKA JS, HAYWOOD FF, JONES TD, THORNGATE JH: Free-field radiation dose distributions from the Hiroshima and Nagasaki bombings. Health Phys 12:425-9, 1966
4. PACE N, SMITH RE: Measurement of the residual radiation intensity at the Hiroshima and Nagasaki atomic bomb sites. Naval Medical Research Institute, National Naval Center, Bethesda, Maryland, 1946 (ABCC TR 26-59)
5. AUXIER JA: Ichiban: Radiation dosimetry for the survivors of the bombings of Hiroshima and Nagasaki. ERDA Technical Report, Oak Ridge, 1977
6. CHEKA JS, SANDERS FW, JONES TD, SHINPAUGH WH: Distribution of weapons radiation in Japanese residential structures, USAEC Report CEX-62.11, Oak Ridge National Laboratory, 1965
7. KERR GD: Letter to C.W. Edington, 18 August 1980
8. KERR GD: Review of dosimetry for the atomic bomb survivors. Fourth Symposium on Neutron Dosimetry, Gesellschaft für Strahlen-und Umweltforschung, Munich-Neuherberg, 1-5 June 1981
9. LOEWE WE, MENDELSON E: Revised dose estimates at Hiroshima and Nagasaki. Health Phys 41: 663-6, 1981
10. KERR GD: Letter to C.W. Edington, 8 October 1980
11. United States Naval Ordinance Laboratory Report. NOLTR 65-143, 1965
12. YAMASAKI F, SUGIMOTO A: Radioactive ^{32}P produced in sulfur in Hiroshima. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Japan Science Council, 1953. pp18-19
13. MIYASAKI T, SASAKI T, IKEDA M, MASUDA T: A-bomb radiation in Hiroshima City and vicinity - Reports (1) and (2). In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Japan Science Council, 1953. pp34-38
14. HASHIZUME T, MARUYAMA T, SHIRAGAI A, TANAKA E, IZAWA M, KAWAMURA S, NAGAOKA S: Estimation of the air dose from the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. Health Phys 13:149-61, 1967
15. ARAKATSU B: Report on radiological investigation of Hiroshima city conducted for several days after the bombing. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Japan Science Council, 1953. pp5-10
16. YAMASAKI F: On residual radiation in west Hiroshima following the A-bomb explosion. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Japan Science Council, 1953. pp25-53
17. ARAKATSU B: Residual radiation in Nagasaki city. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Japan Science Council, 1953. pp11-15
18. SHINOHARA K, MORITA A, KORA K, KAWAI N, YOKOTA M: Radioactivity of the ground in Nagasaki City and vicinity; Part II. Radioactivity near the Nishiyama Reservoir. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Japan Science Council, 1953. pp45-53

19. KIMURA K, OHASHI S, SAITO K, YAMADERA H: Artificial radioactive elements found in mud collected at Nishiyama, Nagasaki. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Japan Science Council, 1953. p53
20. KIMURA K, MURAKAMI Y: Artificial radioactive elements found in mud collected at Takasu, Hiroshima In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Japan Science Council, 1953. pp54-58
21. HARNESBERGER HF, McKNIGHT FG, WHEELER OR: Daily weather data, Nagasaki City, 11 July – 31 August 1945, Naval Medical Research Institute and Naval Technical Mission to Japan, Series of Japanese Reports on the Atomic Bomb, Report No. 29, 1 September 1945
22. TAKESHITA K: Dose estimation from residual and fallout radioactivity. 1. Areal surveys. *J Radiat Res (Tokyo)* 16(Suppl): 24-31, 1975
23. GLASSTONE S (Ed): *The Effect of Nuclear Weapons*. United States Atomic Energy Commission, US Department of Deference, 1962
24. HOLLINGSWORTH JW, ARAKAWA E, STONE RS, RUSSELL WJ: Measurement of whole-body burden of gamma emitting isotopes in subjects from the fallout areas of Hiroshima and Nagasaki, 24 Nov. (1959). RERF Department of Epidemiology & Statistics file
25. KATO H, SCHULL WJ: Life Span Study Report 9. Part 1 Cancer mortality among A-bomb survivors, 1950-78. RERF TR 12-80
26. BEEBE GW, ISHIDA M, JABLON S: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 1. Plan of study and mortality in the medical subsample (Selection 1), 1950-58. *Radiat Res* 16:253-80, 1962 (ABCC TR 5-61)
27. JABLON S, ISHIDA M, YAMASAKI M: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 3. Description of the sample and mortality, 1950-60. *Radiat Res* 25:25-52, 1965 (ABCC TR 15-63)
28. BEEBE GW, KATO H, LAND CE: Studies of the mortality of A-bomb survivors. 4. Mortality and radiation dose, 1950-66. *Radiat Res* 48:613-49, 1971 (ABCC TR 11-70)
29. BEEBE GW, USAGAWA M: The major ABCC samples. ABCC TR 12-68
30. COX DR: Regression models and life tables (with discussion). *J Roy Statist Soc B* 34:187-220, 1972
31. PRENTICE RL, KALBFLEISCH JD, PETERSON AV, FLOURNEY N, FAREWELL VT, BRESLOW NE: The analysis of failure times in the presence of competing risks. *Biometrics* 34:541-54, 1978
32. KALBFLEISCH JD, PRENTICE RL: *The statistical Analysis of Failure Time Data*. New York, John Wiley and Sons Inc., 1980
33. NOBLE KB (Ed): *Shielding survey and radiation dosimetry study plan, Hiroshima-Nagasaki*. ABCC TR 7-67
34. TOKUNAGA M, NORMAN JE Jr, ASANO M, TOKUOKA S, EZAKI H, NISHIMORI I, TSUJI Y: Malignant breast tumors among atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki, 1950-74. *J Natl Cancer Inst* 62:1347-59, 1979 (RERF TR 17-77)