

THE EPICENTERS OF THE ATOMIC BOMBS

原 子 爆 弾 の 炸 裂 点

2. REEVALUATION OF ALL AVAILABLE PHYSICAL DATA WITH RECOMMENDED VALUES

2. 入 手 し た 全 物 理 学 的 資 料 の 再 評 価 お よ び 提 案 数 値

HARRY H. HUBBELL, Jr., Ph.D.

TROYCE D. JONES, M.S.

JOSEPH S. CHEKA, B.A.



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION

国立予防衛生研究所 - 原爆傷害調査委員会

JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH OF THE MINISTRY OF HEALTH AND WELFARE

TECHNICAL REPORT SERIES

業 績 報 告 書 集

The ABCC Technical Reports provide the official bilingual statements required to meet the needs of Japanese and American staff members, consultants, advisory councils, and affiliated government and private organizations. The Technical Report Series is in no way intended to supplant regular journal publication.

ABCC 業績報告書は、ABCC の日本人および米人専門職員、顧問、評議会、政府ならびに民間の関係諸団体の要求に応じるための日英両語による記録である。業績報告書集は決して通例の誌上発表に代るものではない。

Approved 承認 19 February 1969

THE EPICENTERS OF THE ATOMIC BOMBS

原 子 爆 弾 の 炸 裂 点

2. REEVALUATION OF ALL AVAILABLE PHYSICAL DATA WITH RECOMMENDED VALUES

2. 入 手 し た 全 物 理 学 的 資 料 の 再 評 価 お よ び 提 案 数 値

HARRY H. HUBBELL, Jr., Ph.D.

TROYCE D. JONES, M.S.

JOSEPH S. CHEKA, B.A.

*Health Physics Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37830, U.S.A.,
operated by Union Carbide Corporation for the U.S. Atomic Energy Commission; Consultants to ABCC*
Oak Ridge National Laboratory (米国原子力委員会の委嘱により Union Carbide 社が運営)保健物理部, ABCC顧問



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
HIROSHIMA AND NAGASAKI, JAPAN

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

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

原 爆 傷 害 調 査 委 員 会

広島および長崎

米 国 学 士 院 - 学 術 会 議 と 厚 生 省 国 立 予 防 衛 生 研 究 所
と の 日 米 共 同 調 査 研 究 機 関

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

Authors' Note

Many of the reports and other information cited in this report have been very difficult to find and are nearly inaccessible to other persons interested in the problem. Therefore, in order to supply adequate documentation, the original reports are copied, often by photographic methods and included in the Appendix. Since measurements on these figures are the only source of some of the estimates of the epicenter coordinates, it was very important to reproduce the original or the best copy available, and not redraft the figure. For the poor quality of such reproductions the authors apologize, but a redrafted copy would be worthless for this purpose.

著者注

この報告書に引用した多くの報告や資料は、発見するのがかなり困難であり、この問題に関心を持つ他の人々には入手しにくいものである。したがって、該当文献を提示するために、原資料を写して、この付録に収録した。入手した図にある測定値は炸裂点座標推定値の唯一の資料源である観点から、原本または入手できる最良の写しを複製し、図を描き直さないことがきわめて重要なことであった。複製が質的にふじゅうぶんであることについてはおわびする。しかし、描き直したのではこの調査の目的からすれば価値がない。

Editor's Note

All the figures in this report were copied photographically from originals supplied by the authors or, for use in the Appendix, from material previously published. However translations were added before processing.

編集者注

本報告におけるすべての図は、著者が用意した原図、あるいは、付録に使用したものは既発表文献から写真撮影によって複製したものである。ただし、訳文はその後付け加えた。

CONTENTS

目 次

Introduction 緒 言	1
Maps, Coordinates, and Method of Calculation	
地図, 座標, および算定法	4
Maps and map coordinates 地図および地図座標	5
Method of calculation 算定方法	6
Data with Resulting Hypocenter and Burst Height Estimates	
資料ならびにそれに基づく爆心地および炸裂点高度の推定値	
Hypocenter and height of burst in Hiroshima	
広島における爆心地および炸裂点の高度	14
Hypocenter and height of burst in Nagasaki	
長崎における爆心地および炸裂点高度	30
Results and Recommended Hypocenters and Heights of Burst	
算定結果ならびに著者らの提案する爆心地および炸裂点高度	39
Alternative Calculation of Hypocenters and Heights of Burst	
爆心地および炸裂点高度に関する別の算定法	42
Summary 要 約	44
References 参考文献	46
Appendix 1: Letter from Dr. Land on an alternative method of combining the epicenter estimates	
付録 種々炸裂点推定位置を総合する別の方法に関するDr. Landの手紙	48
2: Location of A-bomb explosion and site of fireball — Kimura and Tajima	
原子爆弾の爆発地点および火球の大きさ—木村および田島	50
3: Epicenter of A-bomb in Hiroshima — Kanai	
広島における原子爆弾の爆心地—金井	57
4: The effects of the atomic bomb on Hiroshima, Japan — U.S. Strategic Bombing Survey	
広島における原子爆弾の影響—米国戦略爆撃隊調査団	61
5: Report of the U.S. Navy Bureau of Yards and Docks Mission to Japan 1945	
1945年日本派遣米海軍造船所・ドック局調査団の報告	65
6: Report on investigation of atomic bomb casualties in Nagasaki City — Nakamura	
長崎市原子爆弾被害調査報告—中村	67
7: Radiation from atomic bomb in Nagasaki and neighboring areas — Masuda, Sakata, and Nakane	
長崎およびその隣接地区における原子爆弾による放射能—増田, 坂田, および中根	70
8: The effects of the atomic bomb on Nagasaki, Japan — U.S. Strategic Bombing Survey	
長崎における原子爆弾の影響—米国戦略爆撃隊調査団	71
9: Measurement of the residual radiation intensity at the Hiroshima and Nagasaki atomic bomb sites — U.S. Naval Medical Research Institute, National Naval Medical Center	
広島および長崎の原子爆弾被爆被爆地域における残留放射能の強さの測定—米国海軍医学研究所 米国海軍医学センター	74

Table	1. Summary of epicenters, Hiroshima	
表	炸裂点の一覧表, 広島	11
	2. Summary of epicenters, Nagasaki	
	炸裂点の一覧表, 長崎	12
	3. Kanai's data on hypocenter and height of burst, Hiroshima	
	爆心地および炸裂点高度に関する金井の資料, 広島	20
	4. U.S. Strategic Bombing Survey, height of burst data, Hiroshima	
	米国戦略爆撃隊調査, 炸裂点高度の資料, 広島	25
	5. Nakamura's data on hypocenter, Nagasaki	
	爆心地に関する中村の資料, 長崎	31
	6. Nakamura's data on height of burst, Nagasaki	
	中村の炸裂点高度に関する資料, 長崎	33
	7. Alternative combined epicenter coordinate estimates, Hiroshima	
	別の総合推定法に基づく炸裂点座標, 広島	42
	8. Alternative combined epicenter coordinate estimates, Nagasaki	
	別の総合推定法に基づく炸裂点座標, 長崎	43
	9. Various epicenter coordinate estimates, Hiroshima & Nagasaki	
	種々炸裂点座標の推定値, 広島・長崎	45

Figure	1. Hypocenter area ATB - Hiroshima, showing various hypocenter location estimates	
図	広島-原爆時の爆心地付近におけるいろいろの推定爆心地点を示す	7
	2. Hypocenter area ATB - Nagasaki, showing various hypocenter location estimates	
	長崎-原爆時の爆心地付近におけるいろいろの推定爆心地点を示す	8
	3. Correction of calculated height of burst for finite size of fireball	
	有限の大きさの火球について算定された炸裂点高度の補正	9
	4. Hypocenter shadow measurements at the Jisen temple from ABCC TR 12-59	
	慈仙寺における爆心地残影計測 - ABCC TR 12-59	29

APPENDIX Tables & Figures 付録図表

Location of hypocenter, Hiroshima Kimura ¹⁵	
爆心地の位置, 広島(木村 ¹⁵)	53
Location of hypocenter, Nagasaki Kimura ¹⁵	
爆心地の位置, 長崎(木村 ¹⁵)	54
Shadows at postal savings bureau Kimura ¹⁵	
貯金局の影(木村 ¹⁵)	55
Location of epicenter, Hiroshima Kimura ¹⁵	
爆発点の位置(木村 ¹⁵)	56
Location of epicenter, Nagasaki Kimura ¹⁵	
爆発点の位置(木村 ¹⁵)	56
Map of Hiroshima Kanai ¹⁸	
広島市地図(金井 ¹⁸)	58
Location of epicenter, Hiroshima Kanai ¹⁸	
爆心の位置(金中 ¹⁸)	59

Determination of zero points, Hiroshima <i>U.S. S.B.S. Survey</i> ⁵ 原点の測定, 広島 (米国戦略爆撃隊調査団 ⁵)	63
Location of zero point, Hiroshima <i>U.S. Navy</i> ²⁴ 原点の位置, 広島 (米国海軍 ²⁴)	65
Location of zero point, Nagasaki <i>U.S. Navy</i> ²⁴ 原点の位置, 長崎 (米国海軍 ²⁴)	66
Direction of inclined or bent objects, Nagasaki <i>Nakamura</i> ¹⁰ 倒壊, 傾斜物件の方向測定, 長崎 (中村 ¹⁰)	67
Place of measurement, Nagasaki <i>Nakamura</i> ¹⁰ 測定場所, 長崎 (中村 ¹⁰)	69
Location of hypocenter, Nagasaki <i>Masuda</i> ²¹ 爆心地の位置, 長崎 (増田 ²¹)	70
Determination of ground zero, Nagasaki <i>U.S. S.B.S. Survey</i> ²³ 地上原点の位置, 長崎 (米国戦略爆撃隊調査団 ²³)	72
Residual radioactivity, Nagasaki <i>U.S. Navy</i> ⁴ 長崎市の残留放射能 (米国海軍 ⁴)	75

THE EPICENTERS OF THE ATOMIC BOMBS

原子爆弾の炸裂点

2. REEVALUATION OF ALL AVAILABLE PHYSICAL DATA WITH RECOMMENDED VALUES

2. 入手した全物理学的資料の再評価および提案数値

INTRODUCTION

An earlier ABCC report¹ considered the location of the epicenter (the "air zero" or burst point) of the atomic bomb in Hiroshima as determined from shadows, mostly on stone. Part 1 of the present report² gave a similar discussion and results for Nagasaki. The errors inherent in the data in those two reports and the discovery of other older reports, some containing original data, led us to reexamine all available data and estimates of epicenter and hypocenter (the point on the ground beneath the epicenter, or "ground zero") locations. This report presents an analysis of all known available data and new estimates of the most probable hypocenter and Height Of Burst (HOB) in each city. The epicenter location is used to determine the distance of each survivor from the explosion. From this and a shielding factor the survivor's radiation dose is calculated by ABCC.

The newness of the atomic bombs in 1945 and the uniqueness of their effects caused many groups to be interested in studying the damage. At least six Japanese teams, five or more from the United States, two from the United Kingdom, and perhaps several others, visited Hiroshima and Nagasaki during the first 6 months after the bombs. Each group found that to correlate effects with the cause, they had to determine the epicenter for each city. There seems to have been little communication between teams, and even less effort to reconcile conflicting estimates. Some of the resulting reports were highly classified, had limited distribution, or became buried in files where they are exceedingly difficult to locate at this time, 24 years later.

Furthermore, few workers realized the necessity of locating the epicenters as precisely as possible. In

緒言

以前にABCCから発表された報告書¹では、主として石の表面に残った影に基づいて決定した広島における原子爆弾の炸裂点(空中原点)の位置について、考察が加えられている。本報告書の第1部²では、同様の考察を長崎について行ない、その結果を示した。これら二つの報告書の資料に固有の誤差があること、および他に古い報告書(その中には原資料のあるものもあった)が発見されたことによって、すべての入手資料ならびに炸裂点および爆心地点(炸裂点直下の地点、すなわち「地上原点」)の推定位置を再検討することになった。本報告書では、判明しているすべての入手可能資料の解析と、両市において最も正確と思われる爆心地および炸裂点高度(HOB)についての新しい推定位置を示す。炸裂点の位置は、各被爆者の爆発点からの距離を決定するために用いられる。ABCCでは、この位置と遮蔽要因とに基づいて被爆者の被曝放射線量を算定している。

1945年当時は原子爆弾は新しい兵器であり、その効果も比類のないものであったから、多くの研究者が関心を寄せ、その被害の調査に乗り出した。原爆直後の6か月間に、日本からは少なくとも六つ、米国からは五つ以上、英国からは二つ、その他にもおそらくいくつかの調査団が広島および長崎を訪れた。各調査団とも、結果と原因との相関を求めるためには、両市の炸裂点を決定する必要があることを認めた。調査団相互の連絡はほとんどなく、相反する推定値について調整する努力すら行なわれなかったようである。まとめられた結果報告のうちのものは極秘に付され、配布が制限されたり、他の記録類の中に深く埋もれたりして、24年後の今日その所在をつきとめるのが至難になっている状態である。

なお、炸裂点の位置をできる限り正確に求める必要のあることを理解していた調査員はほとんどいなかった。あ

some instances, their data were plotted on inadequate maps. Sometimes, only the result of the final analysis was reported, and this was often vaguely described with reference to poorly defined locations. The difficulties and confusion in specifying locations is increased by the old Japanese custom of naming blocks or areas (machi or cho) and not naming streets, and of numbering houses in order of their erection rather than in order of their location.

For Hiroshima, two U.S. Army Map Service maps have been used which have similar coordinate grids printed on them. Coordinates on the second map were rotated, with respect to those on the earlier map, about a point near the left edge of the map. This added to the confusion of describing locations in that city. The coordinates on these maps are not oriented to true north or magnetic north.

Directions were probably measured with magnetic compasses, but few reports mention correcting magnetic bearings to true north or grid north. If a compass was not mentioned, one must assume a compass was used and surmise whether magnetic corrections were made.

It would be desirable to find all original data from which hypocenters and burst heights were calculated. However, much of the early Japanese work has not been found; it may have been destroyed. Only small amounts of the data taken by U.S. teams have been found.

A few early workers used the direction of fall of trees, chimneys, etc., which were pushed over by the blast, to determine the direction of the hypocenter. Most teams, however, used thermal shadows produced by the fireball. These thermal shadows are far better because blast waves often reflect from obstructions and may exert pressure in directions other than directly away from the epicenter. The clearest thermal shadows were those formed on wooden objects or painted surfaces, but these objects were often moved by the blast or early reconstruction efforts. Some shadows on stone remained visible for more than 20 years, but one can seldom be certain that the stone has remained unmoved so that it is impossible to make useful measurements at this time. Weathering has obliterated most shadow edges, especially in Nagasaki. Existing measurements on the shadows cannot be used to locate the epicenters precisely because, according to Glasstone, the fireballs were about 200 m in diameter when the shadows were formed.³ Therefore, the shadow edges were fuzzy and did not point toward the epicenter, but rather toward points nearer the edge of the fireball.

場合には、資料は精度ふじゅうぶんな地図に記入されていた。また、ときには、最終的な解析の結果のみが報告され、しかも多くの場合、場所の明示がなく、ばく然と記述されていた。日本の古い習慣によって、街区または地区名は「マチ」または「チョウ」と呼称されていたが、「通り」には名称がなく、家屋番号も家屋の所在の順番によらず建築順に従ってつけられていたために、位置を確認する上で多くの困難や混乱があった。

広島における調査では、米国陸軍測量部作成の二つの地図が使用されていた。それぞれ同様の座標が印刷されていたが、一つの地図の座標は、初期に使用されたものに対して左端近くの1点を中心に回転した形に描かれていた。このことは、広島市における位置の報告をますます混乱させた。また、この二つの地図の座標は、真北にも磁北にも向いていない。

方角はおそらく磁気コンパスによって測定したものであろうが、磁針の方位を真北または地図上の北極の方向へ補正したと述べている報告はほとんどない。コンパスに関する記述がない場合は、コンパスが使用されたものと仮定し、コンパスに対する補正が行われたかどうかについては推測する必要がある。

爆心地および炸裂点の高度に関する算定のもととなった原資料をこごとく発見することが望ましいが、日本人による初期調査の資料の多くは発見されておらず、破棄されてしまったのかもしれない。わずかに米国調査班による調査資料がいくつか発見されているにすぎない。

初期の二、三の調査員は、爆風で倒された樹木、煙突などの方向を利用して、爆心地の方向を決定した。しかし、大部分の調査団は火球がもたらした熱線残影を利用した。爆風波はしばしば障害物から反射され、炸裂点以外の方向から圧力が加えられたこともありうるので、熱線残影を利用する方がはるかに有用である。最も鮮明な熱線残影は、木材や塗装面にしるされたものであるが、これらは爆風または初期の再建作業のために移動していることが多い。石上の残影のいくつかは20年以上たってもまだ見えるが、その石がその間に動かされなかったと確信できるものはほとんどないので、現在有効な計測を行なうことは不可能である。さらに風化によってほとんどの残影の境界線が消えており、特に長崎においてそれが著しい。現存する残影の計測値は、炸裂点の位置を正確につきとめる目的には利用できない。なぜなら、Glasstoneによれば、影が形成されたときには火球は直径約200m大のものになっていたからである。³したがって、残影の境界線はぼやけていて、炸裂点の方向よりもむしろ火球の端に近い部分の方向を示していた。

Several reports* list the hypocenter as determined by measurements of radioactivity induced in the ground by neutrons from the bomb. Consideration of the HOB clearly shows that such a measurement cannot be used to determine the hypocenter with any degree of accuracy. This can be seen as follows: The neutron fluence $N(S)$ as a function of slant distance S from the epicenter of a nuclear weapon may be approximated by the following equation, the form of which is precisely correct at distances greater than about 500 m from a point source in a homogeneous, infinite medium:

$$N(S) = N_0(1/S^2)\exp(-S/L_n) \dots (1)$$

where N_0 is the apparent fluence at 1 m from the source, and L_n is the relaxation length** for neutrons (198 m in these two cases). The slope of this equation, dN/dR , expressed as a function of distance R , where $R^2 = S^2 - HOB^2$, along the ground from the hypocenter is zero for $R = 0$ (hypocenter). Therefore, the hypocenter location cannot be estimated accurately from the gradient of fluence near $R = 0$.

The HOB is known to have been approximately 575 m in Hiroshima and 500 m in Nagasaki (from fuse settings of the bombs mentioned in the communication to Ramsey from Brode included later in this report). As an example, let us calculate the ratio of the neutron fluence $N(HOB, 0)$ at the hypocenter to the fluence $N(HOB, 50)$ at a radius R of 50 m from the hypocenter: The slant distance S at 50 m for Nagasaki is

$$S = \sqrt{(HOB)^2 + R^2} = \sqrt{500^2 + 50^2} = 503 \text{ m} \dots (2)$$

Therefore,

$$N(HOB, 0) / N(HOB, 50) = (503/500)^2 \exp[(503-500)/198] = 1.027 \dots (3)$$

This shows the variation of induced activity in soil would have been only 2.7% at a radius of 50 m from the true hypocenter if the assumptions were made that the ground was of uniform composition, was level, and activated soil was undisturbed. Of course, this was not necessarily the case, i.e., there may have been houses, bridges, buildings, etc., of various chemical compositions in addition

若干の報告書*では、爆心地は原爆の中性子線による地中の誘導放射能を計測して決定したと述べている。しかし、炸裂点の高度を考えると、このような計測値は、正確度のある爆心地を決定するのに使用することはできない。これは次のことによってわかる。すなわち、核爆弾の炸裂点からの直線距離 S の関数である中性子 Fluence (フルーエンス) $N(S)$ は、下記の方程式によってその近似値が得られる。この方程式は、均質の無限媒質内における点源から約 500 m 以遠の距離においては、精度は非常によい。

ただし、 N_0 は線源から 1 m の距離における見掛けの Fluence であり、 L_n は中性子の弛緩距離** (これら二つの場合においては 198 m) である。この方程式の勾配 dN/dR は、 $R^2 = S^2 - HOB^2$ の場合、爆心地からの地上距離 R の関数として表わされるが、これは $R = 0$ (爆心地) の場合は 0 である。したがって、爆心地の位置は、 $R = 0$ に近い Fluence の勾配によっては正確に推定することはできない。

炸裂点の高度は、広島では約 575 m、長崎では約 500 m であることがわかっている (これについては、本報告書に含めた Brode から Ramsey への原爆の信管装置に関する書信に述べられている)。たとえば爆心地における中性子 Fluence $N(HOB, 0)$ に対する爆心地から半径 50 m の距離における中性子 Fluence $N(HOB, 50)$ の比率を算定するならば、長崎の炸裂点からの直線距離 S は次のようになる。

これにより、土壌が均質のものから成り、地面が平坦で放射化された土がかき乱されなかったものと仮定した場合、真の爆心地から半径 50 m の距離においては、土壌中の誘導放射能の変動はわずか 2.7% であったろうということがわかる。もちろん、実際には必ずしもこのようなものではなかった。すなわち、爆心地周辺の地形にはでこぼこがあり、種々の化学的構成物からなる家屋、橋梁、

*The authors are indebted to Dr. Edward T. Arakawa for this discussion, and for his extensive efforts in the early phases of this work.

著者らは、Dr. Edward T. Arakawa のこの問題についての意見およびこの作業の初期のころに私われた多大の努力に対して謝意を表する。

**The relaxation length is the distance in which the number of neutrons per square centimeter, multiplied by the square of the distance to the source, S^2 , falls by $1/e$ ($e = 2.718 \dots$, the base of natural logarithms).

弛緩距離とは、1 cm² あたりの中性子数に、線源までの距離の 2 乗 (S^2) を掛けたものが $1/e$ ($e =$ 自然対数の基数, 2.718.....) だけ減少する距離である。

to uneven terrain around the hypocenter, and activated debris from them was undoubtedly present.

When nuclear weapons explode in the air neutrons reach the ground and cause activation almost simultaneously with the explosion. About a second after the explosion the blast wave stirs up the surface near the hypocenter and raises much dust. The rise of a fireball for the Hiroshima-Nagasaki type bombs (initially approximately 90 m per second) causes violent afterwinds to flow radially from all directions toward the hypocenter and up the mushroom stem, carrying some induced activity into the cloud.³ Thus a hypocenter determination from radioactivity measurements may merely be a stagnation point of this wind system with more induced activity remaining there than at other points. This stagnation point may not be directly below the epicenter. Some radioactive dirt may have been carried and deposited someplace other than the hypocenter. The net effect is difficult to predict. It seems likely that the residual activity decreased more rapidly as the distance from the hypocenter increased than the calculation above indicates, and observations confirmed this. However, the point of highest activity might still have been appreciably displaced from the true hypocenter.

There were several heavy rainstorms between the bombs in August and radioactivity measurements in October, November, and December, hence some activity was probably moved or washed away. For all these reasons, the induced activity measurements, which may have contained an inherent error of more than 5% due to instrumental effects alone, could not be used, by themselves, to determine the hypocenter with the degree of accuracy required for the ABCC dosimetric program. Data and results from studies of this type are listed in this report, but were given little weight in the final estimate. The isodose contours observed by Pace and Smith⁴ were not circular, especially those in Nagasaki so the "center" cannot be determined from them with enough accuracy to be useful.

MAPS, COORDINATES, AND METHOD OF CALCULATION

This section indicates the method of specifying locations in the cities, the method of analysis used on data, and the weighting system used for combining results. In the following section are tabulated original data based on the interpretations given below. Each investigator's data, when they are given, his estimate of the epicenter, and the present estimate from his data are discussed. The final section summarizes results.

建造物などがあって、放射化されたそれらの破片が存在していたにちがいない。

核爆弾が空中で爆発する時、爆発とほとんど同時に中性子は地上に達して放射化を起こさせる。爆発の約1秒後に、爆風波は爆心地周辺の地面をたたき、大量の塵埃を巻き上げる。広島-長崎型の爆弾の場合は、火球の上昇（最初は1秒間に約90m）のあとで激しい風が起こり、各方向から爆心地へ向かって放射状に吹きこみ、きのこ雲の柄に沿って上昇した。その際、ある程度の誘導放射能を雲の中にまで運び上げた。³したがって、放射能測定による爆心地の決定は、この風により、誘導放射能のほかの地点よりも多く滞留していた地点で行なわれた可能性もある。この滞留地点も炸裂点の直下ではないかもしれない。放射性塵埃は、爆心地以外の場所へ運ばれたとも考えられる。実際の影響は予測しがたい。残留放射能は、爆心地からの距離が増加するにつれて、上記の算定値よりも急速に減少することを示すようであり、これは観測によって確認された。しかし、放射能が最も高い地点でさえも、真の爆心地からかなり離れていたのではないと思われる。

8月の原爆投下から放射能測定の行なわれた10、11、12月までの間には豪雨が幾度か来襲しているので、放射能もおそらく移動したか、洗い流されたものと思われる。これらの理由に加えて、測定機械だけでも5%以上の固有誤差を含んでいるかもしれないので、誘導放射能測定値のみを利用して、ABCC線量計画が必要とする精度で爆心地を決定することができなかった。この種の調査による資料や結果は本報告に収録されているが、最終的な推定段階ではほとんど重要視されなかった。Pace および Smith⁴ によって得られた等量曲線は、環状ではなく、特に長崎のものにその傾向が強かったので、それらをもとにして、利用できるほどじゅうぶんな精度で「爆心地」を決定することができない。

地図、座標、および算定法

この項では、両市における場所の明記方法、資料の解析方法、および結果を総合する方法について述べる。次の項では、以下の説明に基づいて行なった原資料の集計を示す。すなわち各調査者の資料が明示してある場合は、その資料、各調査者の炸裂点の推定値、および各調査者の資料に基づく本報告による推定値について考察を行なった。最後の項では結果を要約する。

Maps and Map Coordinates

Hiroshima: The most accurate maps now available for both cities at the time of the bombs (ATB) are the U.S. Army Map Service maps, series AMS L902. The Hiroshima map is dated 9-46 and bears plate number 138,449. Grid north is $1^{\circ}26'$ west of true north, and magnetic north in 1945 was $4^{\circ}15'$ west of grid north. All locations used at ABCC and points discussed in this report are described in terms of this map and these coordinates.

Azimuthal data, as quoted for both cities, were assumed to have been measured with respect to magnetic north and so were corrected here to angles from grid north.

Because the largest collections of data, those of Shogo Nagaoka, retired director of Hiroshima Peace Museum, were originally recorded as angles measured east or west from north or south, all data for both cities have been reduced to this form before tabulation. For example, an angle recorded as "SE 40" is interpreted as 140° clockwise from magnetic north, or $135^{\circ}45'$ from grid north.

When the United States Strategic Bombing Survey (USSBS) teams were in Hiroshima from 14 October to 26 November 1945, map 138,449 was apparently not available, or available only in preliminary form without the coordinate grid. The authors recently discovered that the coordinate system used by USSBS and reported in its three-volume study⁵ differs slightly from map 138,449. For example, the southern end of the T-shaped Aioi Bridge has coordinates $744.05 \times 1261.87^*$ on AMS L902 maps (At ABCC it is customary to omit the first digits of these numbers, viz: 44.05×61.87). On USSBS maps this same point has coordinates 44.000×62.000 . To make the coordinates of this and other points coincide in the two systems, one must rotate the USSBS coordinates by 1.6° counterclockwise with respect to the terrain, about a point near the left edge of the map (39.000×60.000). Magnetic variation appears to be the same on both maps, $5^{\circ}41'$ west of true north. Perhaps the USSBS oriented the coordinates to true north instead of AMS grid north, since the error equals this rotation in both magnitude and direction within the accuracy of measurement on the map. Another U.S. Army Map Service map was used by several groups. It is essentially the same as map 138,449 but without the coordinate grid. This map is marked "Prelimi-

地図および地図座標

広島：原爆時の両市について現在入手されている最も正確な地図は、米国陸軍測量部のAMS-L902地図である。その広島版は1946年9月づけのもので、地図番号は第138,449号である。地図の北極は真北の西 $1^{\circ}26'$ に位置し、1945年の磁北は地図上の北極の西 $4^{\circ}15'$ であった。ABCCで用いているすべての観測地点および本報告書で論ずる地点は、この地図およびそれに記入された座標に基づいて述べたものである。

ここで引用した両市の方角角資料は、磁北に基づいて測定されたものと思われるので、ここでは地図上の北極からの角度に補正して用いた。

前広島原爆資料館館長岡省吾氏の収集になる資料が最も多いが、この原資料では北または南を基準にして東または西に測定した角度を記録しているので、両市に関する資料はことごとく製表前にこの形に直した。たとえば、「SE 40」と記録されている角度は、磁北から時計方向に 140° 、または地図上の北極から $135^{\circ}45'$ とした。

米国戦略爆撃隊調査班 (USSBS) は1945年10月14日から11月26日まで広島に滞在したが、当時はまだ地図第138,449号は入手されていなかったか、あるいは入手されていたにしても座標の記入のない暫定的なものであったと思われる。最近著者らは、USSBSの3巻にわたる調査報告書⁵の中で用いた座標方式は、地図第138,449号とやや異なることを発見した。たとえば、T字型の相生橋の南端は、AMS-L902地図では座標が $744.05 \times 1261.87^*$ になっている (ABCCでは通例これらの数字の前のけたを省略して、 44.05×61.87 と表示している)。USSBS地図では、この同一地点の座標は 44.000×62.000 である。この二つの方式のもとで、この地点やその他の地点を一致させるためには、USSBS地図の左端近くの1地点 (39.000×60.000) を中心に、座標を反時計方向に 1.6° 回転させる必要がある。磁北の変動は両地図とも真北の西 $5^{\circ}41'$ で、同一のように思われる。二つの地図の間の誤差は、地図上における測定の正確度範囲内で上記の回転方向と大きさに等しいので、おそらくUSSBSでは、AMS地図上の北極の代わりに真北を基準に座標の方向を定めたと思われる。いくつかの調査団は、別の米国陸軍測量部地図を使用している。それは本質的には地図第138,449号と同であるが、座標図線が記入されていない。

*In this report the coordinates are expressed in the form $xx.xxx \times yy.yyy$ with the east-west coordinate given first. This is similar to the convention used in References 1 and 2 and in common use at ABCC.

本報告書では、座標は $xx.xxx \times yy.yyy$ の形で表わし、最初に東西の座標を記入している。これは参考文献1および2、ならびにABCCで一般的に用いられている方法と同様である。

nary Edition, August 1945” and bears the plate number 340,460. It was used by several of the authors cited here.⁶⁻⁹

The map shown in Figure 1 was traced from the AMS map 138,449 and checked against an aerial photograph, made by the U.S. Air Force, marked “1422 STRS · M · 460 · 5315 CW · 6 July 47 (S No. 21).”

Nagasaki For Nagasaki, the AMS L902 series map, plate number 138,353, is dated 8-45. Otherwise it is similar to the Hiroshima map. Figure 2 was traced from a post-bomb aerial photograph identified as “2V 3PR 5M421 20AF 9-7-45 F/24 10000.” The coordinate system is of the same type as that used in Hiroshima, but the rotational error does not occur on the Nagasaki map.

There was a vacant lot used as a tennis court in Matsuyama-cho, Nagasaki. It is shown as an irregular four-sided area in Figure 2. Most estimates of the hypocenter placed it within this lot. The hypocenter certainly was close to the lot if not inside it because after the blast tree trunks and power poles were still standing within a radius of about 50-100 m from this lot.¹⁰ These trees and poles were left standing because directly below the bomb burst, the blast wave pressure was vertical and such pole-like objects could withstand large vertical forces. In some cases such items were knocked over out to a distance of 2000 m.

Method of Calculation

The azimuthal angles of the shadows have been recorded here as angles east or west (0° to 90°) of magnetic north or south, because much of the original data was found in that form. Unless the original authors specified otherwise, the angles were assumed to be measured to magnetic north or south.

For each available set of data the method of calculation was similar to that described previously,² except each shadow measurement, rather than each location, was given unit weight, and, for HOB calculations, a ball-of-fire “size correction factor” was included to permit the use of all shadow data. If this correction factor had not been included, it would have been necessary to have selected shadows from opposing pairs of measurements (top and bottom), thus excluding much data. Most of the data do not specify whether upper or lower shadows were measured.

The calculations of the HOB were corrected as follows (see Figure 3): Using the final estimate of

い、この地図には「暫定版、1945年8月」と記入されており、地図番号は第340,460号である。この地図は本報告で紹介する著者のうちの何人かが利用している。⁶⁻⁹

図1に示す地図は、AMS地図第138,449号から透写したもので、“1422 STRS · M · 460 · 5315 CW. 1947年7月6日 (S.No.21)”の記号が示されている米国空軍作成の航空写真と照合したものである。

長崎：長崎版の地図は、AMS-L902集のうち地図番号138,353号を有するもので、1945年8月の日づけになっている。これを除けば他は広島版の地図と同様である。図2は、原爆後の航空写真で、“2V 3PR 5M421 20AF 9-7-45 F/24 10000”の記号のあるものから透写した。座標方式は広島で用いたものと同じものであるが、地図の回転による誤差は長崎版の地図では生じていない。

長崎市松山町にはテニスコートとして使用された空地があった。それは不規則な四辺形の土地で、図2に示されている。ほとんどの爆心地推定点は、この空地内にある。爆発後、この空地を中心として50~100mの半径内では樹木や電柱はいぜんとして立っていたので、爆心地がこの空地内になかったとしても、それに近かったことは確かである。¹⁰これらの樹木や電柱が立ったまま残っていたのは、それらが爆発点の直下にあつて、爆風波の圧力が垂直に働き、それら柱状の物体が大きい垂直圧力に耐えることができたためである。同種の物体が、2000m離れた距離で押し倒されていた例が若干ある。

算定方法

残影の方位角は、本報告では磁北または磁南の東または西(0° から 90°)の角度として記載しているが、それは原資料の多くがその形式で発見されているためである。原著者らが他の方法を用いたと特記していない場合は、角度は磁北または磁南をもとにして計測されたものとした。

入手されている各種資料の算定方法は、単位加重を、各観測地点にではなく、各残影の計測値に与えたこと、および炸裂点高度の算定の場合、すべての残影資料が利用できるように火球の大きさの「補正因子」を含めたことを除けば、既報²のものと同様であった。もし火球の補正因子を含めなかったら、対応する二つの計測値(上端と下端)から残影を選定することが必要となり、そのため多くの資料を除外することになったであろう。ほとんどの資料には、計測されたものが上部の残影であるか下部の残影であるかが明示されていない。

炸裂点の高度算定は次のように補正した(図3参照)。爆心地に関する座標の最終推定値を用いて、第1部²と同

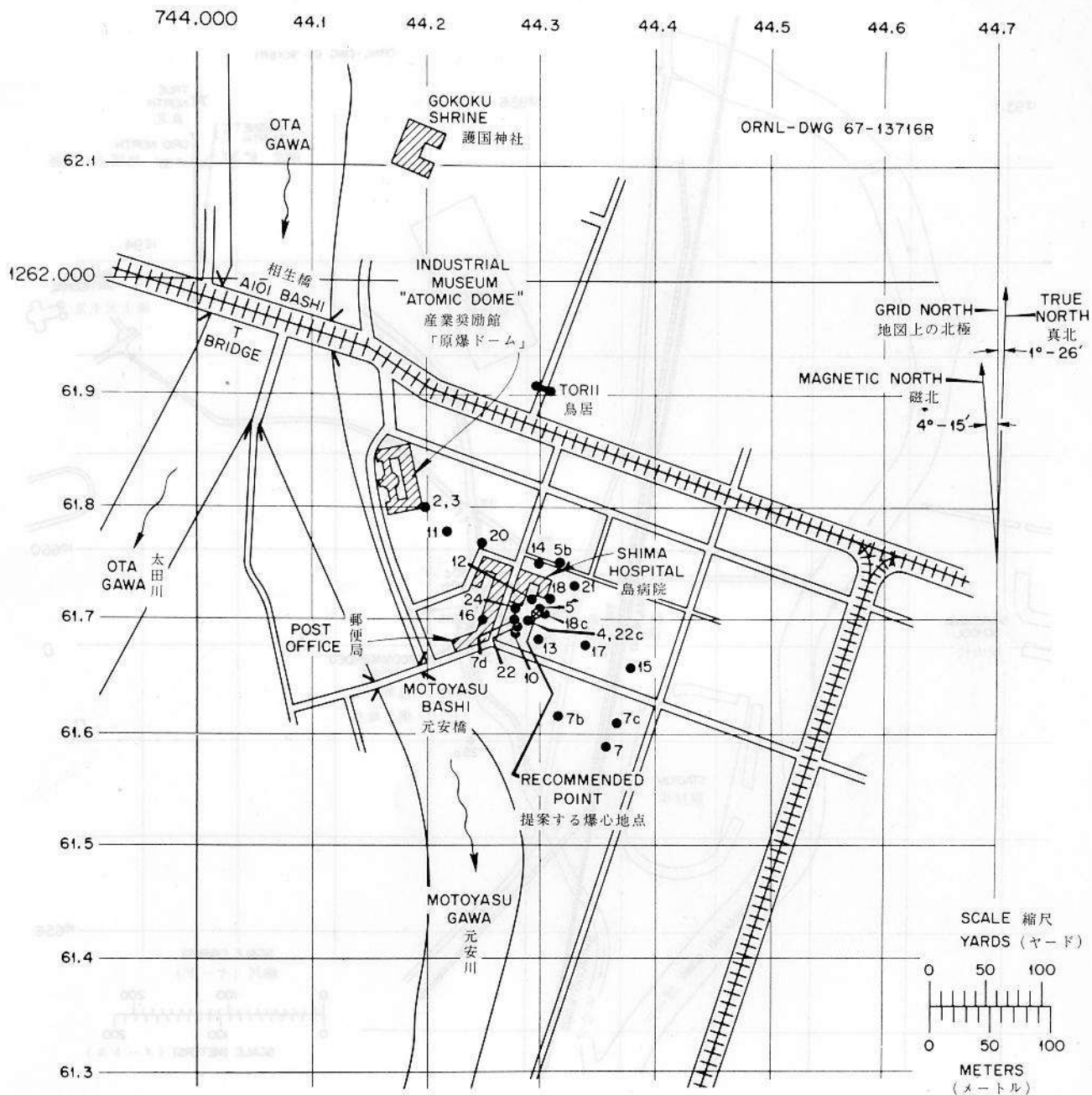


FIGURE 1 HYPOCENTER AREA ATB - HIROSHIMA, SHOWING VARIOUS HYPOCENTER LOCATION ESTIMATES

図1. 広島-原爆時の爆心地付近におけるいろいろの推定爆心地点を示す

There are many small discrepancies in distances and locations of objects between this map and the AMS map, and between the AMS map and recent Japanese city maps. For ABCC purposes, the AMS maps should probably be considered authoritative, since all ABCC data are based on them.

注：この地図と米陸軍測量部地図、また同測量部地図と最近の日本製の地図との間には、距離および物体の位置にわずかな差のあるものが多い。ABCCの資料はすべて米陸軍測量部(AMS)の地図に基づいているので、ABCCの用途から考えれば、AMS地図に重きをおくべきであろうと考える。

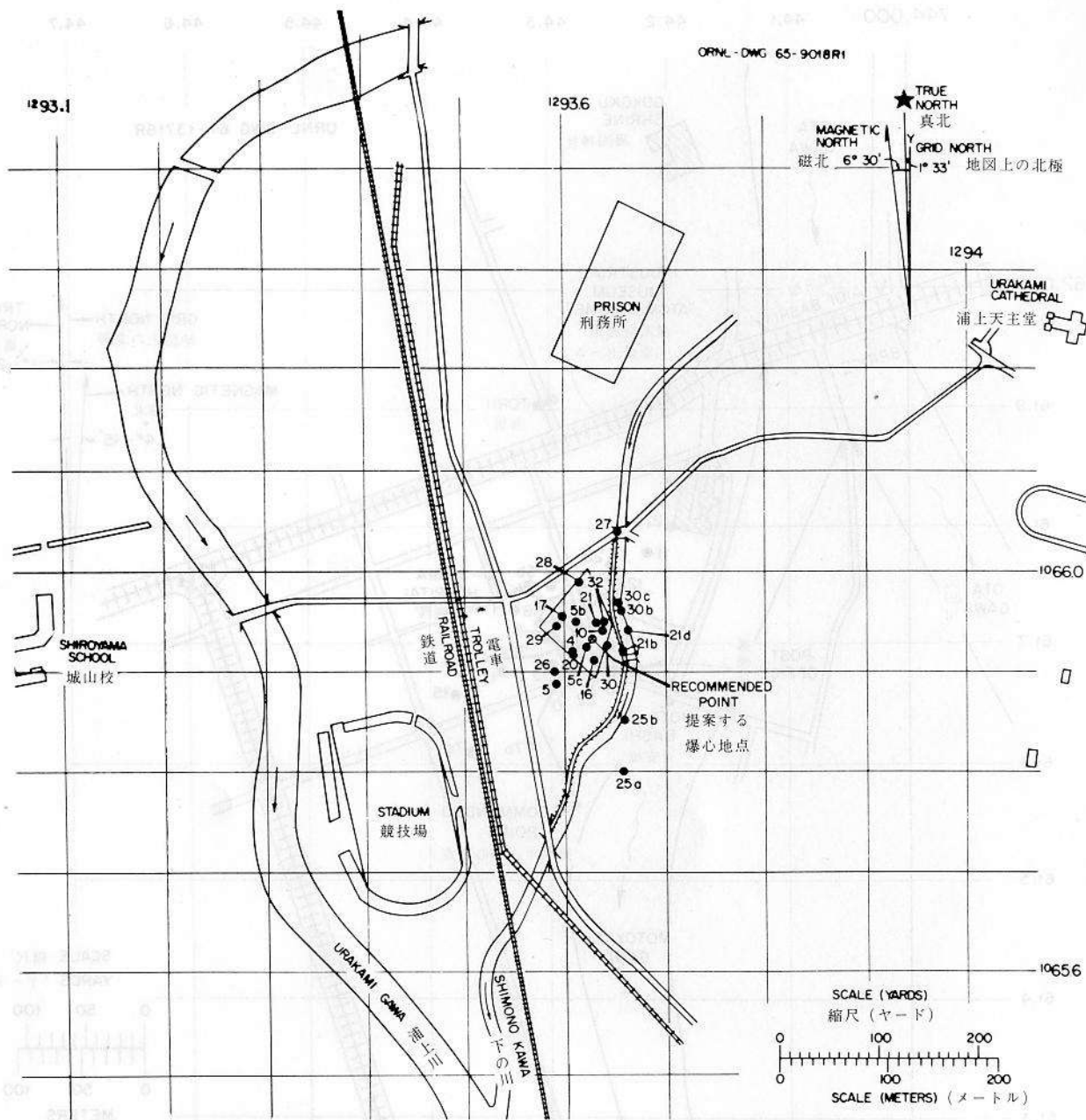


FIGURE 2 HYPOCENTER AREA ATB - NAGASAKI, SHOWING VARIOUS HYPOCENTER LOCATION ESTIMATES

図2. 長崎-原爆時の爆心地付近におけるいろいろの推定爆心地点を示す

(See footnote Figure 1)

(図1の注参照)

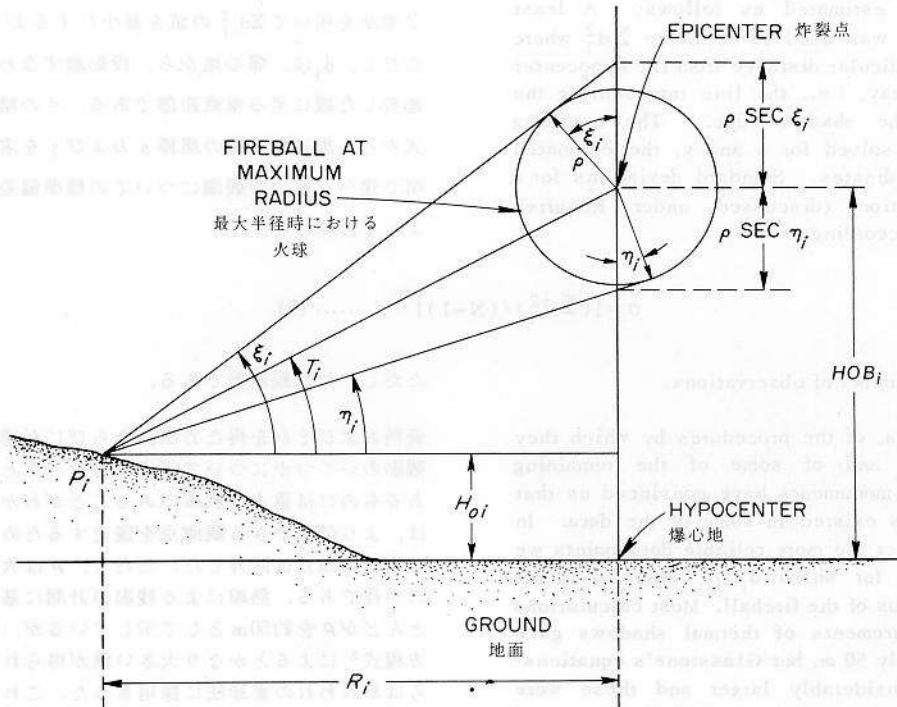


FIGURE 3 CORRECTION OF CALCULATED HEIGHT OF BURST FOR FINITE SIZE OF FIREBALL

図3. 有限の大きさの火球について算定された炸裂点高度の補正

coordinates for the hypocenter, the estimates of HOB were computed for each individual measurement as in Part I of this report.²

$$HOB_i = H_{oi} + R_i \tan T_i, \dots (4)$$

where H_{oi} is the altitude of the observation point relative to the hypocenter, R_i is the horizontal distance from the observation point P_i to the mean hypocenter. T_i is the observed angle of elevation from the true horizon up to the ball of fire, as measured from the shadow on the object possessing the burn. For this first approximation, T_i was assumed to be the angle to the center of the fireball. These estimates were compared to the height used for the fuse setting (575 m in Hiroshima, 503 m in Nagasaki) and then corrected using the following criteria:

$$\text{Upper shadows: } HOB_i = H_{oi} + R_i \tan \xi_i - \rho \sec \xi_i$$

上部残影

$$\text{Lower shadows: } HOB_i = H_{oi} + R_i \tan \eta_i + \rho \sec \eta_i$$

下部残影

ξ and η are the observed angles, assumed to be to the top and bottom of the fireball, respectively.

様に、個々の計測値について炸裂点高度の推定値を計算した。

ただし、 H_{oi} は爆心地に対する観測地点の高度、 R_i は観測地点 P_i から平均算定値で示した爆心地点までの水平距離、 T_i は焦痕の認められる物体の残影からの計測によって求めた火球までの真の水平線からの仰角を表す。この最初の近似計算では、 T_i は火球の中心に対する角度とした。これらの推定値は、爆発高度を定めるための信管調節に用いた高度（広島 575 m、長崎 503 m）と比較し、次のような基準を使って補正した：

ただし、 ξ および η は、それぞれ水平線と火球の上部および下部との間の観察角度である。

As in Part 1 of this report,² the hypocenter coordinates were estimated as follows: A least squares method was used to minimize $\sum d_i^2$ where d_i is the perpendicular distance from the hypocenter to the angular ray, i.e., the line representing the extension of the shadow edge. The resulting equations were solved for x and y , the estimated hypocenter coordinates. Standard deviations for a single observation (discussed under Results) were computed according to

$$\sigma = [(\sum d_i^2)/(N-1)]^{1/2}, \dots (5)$$

where N is the number of observations.

Study of the data, of the procedures by which they were obtained, and of some of the remaining shadows on the monuments have convinced us that serious mistakes existed in some of the data. In an effort to select the more reliable data points we excluded points for which $d_i > \rho$, where ρ is the approximate radius of the fireball. Most calculations based on measurements of thermal shadows gave ρ as approximately 50 m, but Glasstone's equations³ give values considerably larger and these were used in our rejection technique. This is discussed later. All available data were reanalyzed and the results appear in Tables 1 and 2.

Because of the large size of the fireball at the time the shadows were completed, one would like to know on which side of each obstruction the shadow appeared, on what material the shadow was formed, how many calories/cm² were required to form a scorched surface for each material, and what was the inclination of the surface normal to the direction of the fireball. From such data one could calculate the apparent size of the fireball necessary to form a shadow on each material, that is, how much of the fireball had to "shine" on the material to form a scorched region. This would permit an estimation of the correction to be made to each shadow line to obtain the direction to the center of the fireball. Since none of these data were available, a different approach was taken which is discussed later. The fireball size correction method could not be used on hypocenter data because there was no way of deciding on which side of the obstruction the measured shadow edge appeared.

The various estimates of the hypocenter location and HOB to be discussed below will be combined into a single result. Inevitably, a subjective judgment must enter into any weighting scheme for combining them, since they are obviously not of equal accuracy. Two types of error estimates and

本報告書の第1部²の場合と同様、爆心地の座標は最小2乗法を用いて $\sum d_i^2$ の値を最小にするように推定した。ただし、 d_i は、爆心地から、投影線すなわち残影の端を延長した線に至る垂直距離である。その結果できた方程式から、推定爆心地の座標 x および y を求めた。結果の項で述べる単一の観測についての標準偏差は、次の式によって計算した。

ただし、 N は観測数である。

資料およびそれを得た方法、ならびに石碑に認められる残影のいくつかについて調査を行なったところ、資料のあるものには重大な誤謬のあることがわかった。著者らは、より信頼できる観測点を選定するために、 $d_i > \rho$ である場合の地点は除外した。ただし、 ρ は火球のおおよその半径である。熱線による残影の計測に基づく算定のほとんどが ρ を約50mとして示しているが、Glasstoneの方程式³によるとかなり大きい値が得られており、これらはわれわれの棄却法に採用された。これについてはあとで述べる。入手資料はことごとく再検討を行ない、その結果を表1および表2に示した。

残影が形成された時の火球が大きかったので、各遮蔽物のどちら側に影が生じたか、どのような物体に影が形成されたか、各物体について熱焦ができるためにはどの程度のカロリー/cm²が必要であったか、また火球の方向に対する表面の傾斜はどの程度であったかなどについて知る必要がある。このような資料から、各物体に残影を形成するのに必要な火球の大きさ、すなわち、熱焦部を形成するには火球のどの程度が物体を照射する必要があるかを算定することができる。これにより、各投影線に対する補正の推定を行ない、火球の中心への方向を求めることができる。これらの資料のうち入手できるものは全くなかったため、後に述べるような別の方法を用いた。物体のどちら側に残影ができたかを決定する方法がなかったため、爆心地資料については火球の大きさの補正法を適用することができなかった。

以下に述べる爆心地の位置および炸裂点の高度に関する各種の推定値は、一つの結果として総合する。それらは明らかに同等の正確度のものではないので、当然、それらを総合するために主観的判断のもとでなんらかの加重方法を講ずる必要がある。2種類の誤差の推定値およびその結果得られた加重因子を計算で求めることばできる

TABLE 1 SUMMARY OF EPICENTERS, HIROSHIMA

表1 炸裂点の一覧表, 広島

Author 測定者	Hypocenter Coordinates 炸裂点座標		Error or σ 誤差 すなわち σ yards (ヤード)	Number of Points 観測地点数	Estimated Accuracy of Angles 角度の 推定精度 degrees (度)	Weight w Append 加重値およ び付加数 $\times 10^{-2}$	HOB 炸裂点 の高度 meter	Error or σ 誤差す なわち σ meter	Number of Points 観測地点数	Estimated Accuracy of Angles 角度の 推定精度 degrees (度)	Weight w Append 加重値およ び付加数 $\times 10^{-2}$
	X	Y									
2. Kure Naval Base 呉鎮守府	44.20	61.80	50A	3A	3A	1.15	550	30	2	2A	2.36
3. Arakatsu 荒勝	44.20	61.80	50A	3A	3A	1.15	550	100A	5A	5A	0.45
4. Watanabe et al 渡辺ら	44.29	61.70	30A	3A	3A	1.93	570	20A	5A	1A	11.20
5. Kimura and Tajima 木村および田島	44.30	61.71	16	10A	1A	19.8	577	20	10A	0.5A	31.60
5b. Kimura and Tajima quoted by Nishina 木村および田島 (仁科による引用)	44.32	61.75	10	10A	1A	10.0	586	15	4	0.5A	26.70
5c. Kimura and Tajima recalculated by present authors 木村および田島 (本著者らによる再算定)							598	15	4	0.5A	26.70
7. Kanai 金井	44.36	61.59	88	14	1A	4.3	570	35	11	1A	9.48
7b. Kanai recalculated by present authors 金井 (本著者らによる再算定)	44.318	61.617	88	14	1A	4.3	580	24	11	1A	13.80
7c. Kanai quoted by Woodbury and Mizuki in TR 12-59 金井 (TR12-59におけるWoodburyおよび水木による引用)	44.37	61.61	88	14	1A	4.3					
7d. Kanai estimated by present authors 金井 (本著者らによる推定)	44.28	61.70	88	11	1.5A	2.5					
10. Tanaka 田中	44.28	61.69	100A	5A	1A	2.24	570	20	5A	1A	11.20
11. U.S. Army Manhattan Engineer District 米陸軍Manhattan Engineer District	44.22	61.78	50A	5A	1A	4.48	549	50A	5A	1A	4.48
12. "Japanese" quoted by USSBS (probably Kimura & Tajima's point) USSBS引用の「日本人による調査」(おそらく木村・田島のもの)	44.293	61.720	20A	5A	1A	11.2	550	50A	5A	1A	4.48
13. British quoted by USSBS USSBS引用の「英国人による調査」	44.300	61.685	50A	5A	1A	4.48	609	50A	5A	1A	4.48
14. Oughterson-Warren Report Oughterson-Warren 報告	44.30	61.75	50A	5A	1A	4.48	555	50A	5A	1A	4.48
15. Manhattan District, quoted by Woodbury and Mizuki Manhattan District (Woodburyおよび水木による引用)	44.38	61.66	100A	5A	1A	2.24					
16. USSBS	44.25	61.70	16	6	1A	15.3	610	61	7	1A	4.34
16b. USSBS recalculated by present authors USSBS (本著者らによる再算定)							607	66	14	1A	5.67
17. U.S. Navy Bureau of Yards & Docks 米海軍造船所・ドック局	44.34	61.68	20A	5A	1A	11.2					
18. Woodbury and Mizuki Woodburyおよび水木	44.31	61.72	20	150	1A	61.2	600	20	10A	1A	15.80
18b. Woodbury & Mizuki preferred value Woodburyおよび水木・採択値							580	20	10A	1A	15.80
18c. Woodbury & Mizuki, Arakawa's estimate Woodburyおよび水木, Arakawaの推定	44.305	61.705	20	14	1A	18.7					
20. 1st ABCC hypocenter, Wright & Brewer 最初のABCC爆心地, WrightおよびBrewer	44.25	61.77	80A	5A	1A	2.79					

Author 著者	Hypocenter Coordinates 炸裂点座標		Error or σ すなわち σ yards (ヤード)	Number of Points 観測地点数	Estimated Accuracy of Angles 角度の 推定精度 degrees (度)	Weight w Append 加重値およ び付加数 $\times 10^{-2}$	HOB 炸裂点 の高度 meter	Error or σ 誤差す なわち σ meter	Number of Points 観測地 点数	Estimated Accuracy of Angles 角度の 推定精度 degrees (度)	Weight w Append 加重値およ び付加数 $\times 10^{-2}$
	X	Y									
21. Nagaoka (1953?) 長岡 (1953年?)	44.33	61.73	50A	1000A	5A	12.6	570	50A	1000A	5A	12.60
22. Arakawa and Nagaoka Arakawaおよび長岡	44.281	61.696	43	1169	5A	15.9	606	74	1172	3A	15.40
22b. Arakawa & Nagaoka recalculated by present authors Arakawaおよび長岡 (本著者らによる再算定)	44.278	61.695	43	1169	5A	15.9	576	42	844	3A	23.10
23. Bombardier's fuse setting 爆撃手の信管装置							575	15	100A	1A	66.70
24. Fujiwara "Collection ..." p. 75 藤原「原爆災害調査報告集」p. 75	44.28A	61.71A	50A	3A	1A	3.48	550	50A	3	1A	3.46
25. Penney et al Penneyら							573	20A	6	0.5A	24.4
Recommended values, weighted average 提案する値, 加重平均				44.298	61.707	16	580	15			

"A" indicates values assumed by present authors. "A"は本報告の著者らの推定値を示す.

TABLE 2 SUMMARY OF EPICENTERS, NAGASAKI

表2 炸裂点の一覧表, 長崎

Author 著者	Hypocenter Coordinates 炸裂点座標		Error or σ すなわち σ yards (ヤード)	Number of Points 観測地点数	Estimated Accuracy of Angles 角度の 推定精度 degrees (度)	Weight w Append 加重値およ び付加数 $\times 10^{-2}$	HOB 炸裂点 の高度 meter	Error or σ 誤差す なわち σ meter	Number of Points 観測地 点数	Estimated Accuracy of Angles 角度の 推定精度 degrees (度)	Weight w Append 加重値およ び付加数 $\times 10^{-2}$
	X	Y									
4. Watanabe et al 渡辺ら	93.61	65.92	50A	3A	5A	0.69	490	30	5A	1A	7.45
5. Kimura and Tajima (first description) 木村および田島 (最初の記述)	93.59	65.89	25	4	1A	8.00					
5b. Kimura and Tajima "center of vacant lot" 木村および田島「空地の中心」	93.61	65.95	25	4	1A	8.00					
5c. Kimura and Tajima map location 木村および田島の地図上の位置	93.623	65.926	33	4	1A	6.06	490	25	5	0.5A	17.90
10. Tanaka 田中	93.638	65.942	50	5A	1A	4.48	490	20	5A	1A	11.20
13. British 英国側							533	50	5A	1A	4.47
16. USSBS	93.63	65.91	30	5	1A	7.45	518	10	5	1A	22.36
17. U.S. Navy Bureau of Yards and Docks 米海軍造船所・ドック局	93.596	65.955	30	5A	1A	7.45					

Author 著者	Hypocenter Coordinates 炸裂点座標 X Y	Error or σ すなわち σ yards (ヤード)	Number of Points 観測地点数	Estimated Accuracy of Angles 角の 推定精度 degrees (度)	Weight w Append 加重値お よび付加数 $\times 10^{-2}$	HOB 炸裂点 の高度 meter	Error or σ 誤差す なわち σ meter	Number of Points 観測地 点数	Estimated Accuracy of Angles 角の 推定精度 degrees (度)	Weight w Append 加重値お よび付加数 $\times 10^{-2}$
20. Wright, ABCC (1952) (City Gov. Nagasaki) Wright, ABCC (1952) (長崎市役所)	93.61 65.92	100A	5A	3A	0.75	490	25	5A	1A	8.94
21. Nagaoka 1961 (Shohoji, ABCC, memo 1 April 1966) 長岡, 1961年 (1966年4月1日づけ, ABCC正法地覚書)	93.63 65.95	80	100A	5A	2.50	500	17	100A	5A	11.80
21b. Nagaoka 1961 (Shohoji memo 1 April 1966) 長岡, 1961年 (1966年4月1日づけ, ABCC正法地覚書)	93.66 65.92	80	100A	5A	2.50					
21c. Nagaoka 1961 (Shohoji memo 1 April 1966) recalculated by Shohoji 長岡, 1961年 (1966年4月1日づけ, ABCC正法地覚書) 正法地により再算定	93.742* 65.945	85	100A	5A	2.35	507	15	100A	5A	13.30
21d. Nagaoka 1961 (Shohoji memo 1 April 1966) recalculated by Shohoji 長岡, 1961年 (1966年4月1日づけ, ABCC正法地覚書) 正法地により再算定	93.665 65.943	96	100A	5A	2.08	505 503	14 15	100A 100A	5A 1A	14.30 66.67
23. Bombardier's fuse setting 爆撃手による信管装置	93.66 65.80	99	13	3A	1.21	538	90	11	1A	3.68
25a. Nakamura 中村	93.664 65.852	90	11	3A	1.23	571	90	11	1A	3.68
25b. Nakamura, recalculated 中村, 再算定	93.59 65.90	50	3A	2A	1.73					
26. Masuda, Sakata, and Nakane 増田, 坂田, 中根										
27. Pace and Smith "Sight Center" (16 April 1946) Pace および Smith 「見通し法による炸裂点」 (1946年4月16日)	93.653 66.034	100	1A	1A	1.00					
28. Pace and Smith "Shinohara Center" Pace および Smith 「篠原の炸裂点」	93.618 65.988	100	1A	1A	1.00					
29. Pace and Smith "Japanese Center" (Kimura & Tajima?) Pace および Smith 「日本人による調査の炸裂点」 (木村および田島?)	93.592 65.946	100	1A	1A	1.00					
30. Hubbell et al, ABCC TR 5-66 Hubbellら, ABCC TR5-66	93.644 65.927	73	139	5A	3.23	500	50	201	5	5.68
30b. ABCC calculated from data in ABCC TR 5-66 (used in T65D dose calculations) ABCCによるABCC TR 5-66の資料から算定したもの (T65D線量算定に利用)	93.656 65.960	74	139	5A	3.18	507	50	201	5	5.68
30c. Present authors recalculation of TR 5-66 本著者らによる, TR5-66の再算定	93.653 65.967	58	128	5A	3.90	497	50	73	5	3.41
32. Warren - radioactivity Warren-放射能	93.64 65.95	50A	3A	3A	1.15					
Recommended values, weighted average 提案値, 加重平均	93.626 65.932	25				504	10			

*We believe this number is a misprint or mistake in the original memo. 注: この数字は原覚え書きにおける誤値が誤りであると思われる
 A indicates values assumed by present authors. "A"は本報告の著者らの推定値を示す。

resulting weight factors may be calculated and both are important: A statistical weighting factor can be used, depending on the number of measurements in each set and their relative consistency, and a weighting factor arising from the physics of the situation. The latter depends on the accuracy and precision of the measuring devices used, the degree of definition of the shadow, and the observer's care and skill in obtaining the measurement. The weighted average of each of the three coordinates of the epicenter was calculated from

$$\bar{x} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i} \quad \dots (6)$$

In order to account for both types of error, the weighting factors w_i were defined by

$$w_i = \frac{\sqrt{N_i}}{\sigma_i \Delta \theta_i} \quad \dots (7)$$

In this expression, N_i is the number of measurements from the i -th observer's set of data, σ_i is the standard deviation of the set, as defined in Equation 5, or the original authors' estimation of the error when σ_i could not be calculated because the data are unavailable, and $\Delta \theta_i$ is the present authors' estimate of the angular uncertainty of each measurement of the set, taking into account the kind of shadow, the instruments used, and the biases evident in the data. In some cases the original data were not available and only an estimate of the weighting factor could be used. Unfortunately, most of the reports did not give the data, so the present authors' assumed data for evaluating w_i were included in the final tabulation.

An alternative method of weighting was suggested by Dr. Charles Land and is discussed under Results and described in Appendix 1.

DATA WITH RESULTING HYPOCENTER AND BURST HEIGHT ESTIMATES

Hypocenter and Height of Burst in Hiroshima

Since Hiroshima was the first atomic bombed city, and was closer to Tokyo and other Japanese centers than Nagasaki, more study seems to have been given to the effects there.

Antiaircraft Searchlight Battery Observations. In May 1965, M. Niizuma told J. S. Cheka that an

が、これらはともに重要である。すなわち、各計測における計測値の数とその計測値間の相対的一致性により、統計的加重因子および物理的状況から生ずる加重因子を使用することができる。後者は、使用した計測装置の正確度および精度、残影の鮮明度、ならびに観察者の計測値を求める際の注意力および技能に応じて変化する。炸裂点の三つの座標のそれぞれに関する加重平均は、次の式から算定した。

両種類の誤差を考慮するために、加重因子 w_i は次のように定義した。

この場合、 N_i は、 i 番目の観察者の資料における計測値の数であり、 σ_i は、方程式⁵に定義されているようにその資料の標準偏差、または原資料が入手できないために算定ができなかった場合の原著者らの誤差推定値であり、 $\Delta \theta_i$ は、残影の種類、使用した器具、および資料における明らかなたよりを考慮して本報告の著者らが得たその資料の各計測値における角度の不明確さの推定値である。ある場合においては原資料が入手されておらず、加重因子の推定値のみが用いられている。残念なことに、ほとんどの報告書に資料が示されていないので、著者らは w_i を評価するために仮定した資料を最終的集計に含めた。

別の加重法が Dr. Charles Land によって示唆されているので、結果の項で考察を加え、その方法については付録1に述べる。

資料ならびにそれに基づく爆心地および炸裂点高度の推定値

広島における爆心地および炸裂点の高度

広島は最初原爆被爆都市であり、長崎よりも東京その他の日本の大都会に距離的に近いので、原爆の影響については長崎よりも多くの調査が行なわれたようである。

対空探照灯隊による観察：1965年5月、新妻は、J. S. Cheka に、宇品港域の対空探照灯隊が炸裂点の高度を

antiaircraft battery in Ujina port area observed the burst at 550 m height. It was also reported to Cheka that a group under Prof. Fujiwara of Hiroshima University determined the HOB on 8 August 1945, from three sharp shadows, and got 550 m (see also Reference 11). The only indication of his hypocenter estimate in that report is his listing of his Point 1 at "Front entrance of former Hiroshima Post Office, Saiku-machi." He tabulates this point as "NNW 15 m from the hypocenter." We guess that his point is the same as Kimura and Tajima's point discussed below (Point 5, Figure 1).

Kure Naval Base Team A team from the nearby naval base at Kure¹² was sent into Hiroshima in the late afternoon of the day of the bomb, 6 August 1945, and the same and other teams studied the damage on the 7th, 8th, and 10th. About nine reports were made, and a summary is available dated September 1945.¹² From studies of blast effects they placed the hypocenter "approximately 300 m south of the Gokoku Shrine." The exact point in the shrine they measured from was not specified, so this description may possibly have covered an area of 50 m radius.

From flash burns on wooden timbers "in the vicinity of Ushita and the Hiroshima University of Literature and Science" (currently Hiroshima University) they calculated two figures for the HOB, getting 580 m and 510 m. They averaged these and rounded this off to 550 m, and stated that "these figures agree with the report of the lookout station." Probably the report mentioned by Niizuma above was meant.

If one measured from the apparent center of the shrine, as it appeared on the map and the aerial photo from which Figure 1 was made, the coordinates of the point 300 m due south were 44.20×61.80 (Point 2, Figure 1). The torii gate of the shrine, to which some other workers referred, was about 100 m east and 200 m south of the shrine center.

Arakatsu Prof. B. Arakatsu¹³ of Kyoto University led teams which visited Hiroshima three times in the first month or so after the bomb. Concerning the hypocenter, they stated as follows:

"Hypocenter and Center of Neutron Production"

"Sulphur in cup insulators of telephone poles, which were believed to meet comparatively simple geometric conditions, were collected. The relationship between location of samples and radiation was determined by measurement of beta rays and the results are as shown.

550 m と観測していると語った。Cheka はまた、1945 年 8 月 8 日に広島大学藤原教授指導の調査団が三つの鮮明な残影から炸裂点の高度を測定し、550 m の値を得ているとの報告をも受けた(参考文献11を参照)。同教授がその報告書で行なっている爆心地推定に関する記述は、第1観測点としてあげた「細工町、元広島郵便局の玄関」のみである。この地点を「爆心地から北北西15m」として示している。この地点は、あとに述べる木村および田島の地点と同じであると思われる(図1、地点5)。

呉鎮守府調査隊：1945年8月6日、原爆投下の日の午後おそく、近くの呉鎮守府から調査隊が広島に派遣され¹²、また7、8および10日には同隊その他の調査隊が被害状況の調査を行なった。約9件の報告書が作成され、その総括は、1945年9月づけとして入手されている。¹²これらの調査隊は、爆風の影響に関する調査において、爆心地を「護国神社の南方約300m」の地点としている。護国神社のどの点から測定したか、その正確な位置は明示されていないので、この説明では半径約50mの地域がこれに該当すると考えられる。

この調査隊は、「牛田町および広島文理科大学(現広島大学)周辺」の木材に認められた閃光熱焦痕によって、炸裂点の高度を計測し、それぞれ580mおよび510mの二つの数値を得た。調査隊はこれらの数字の平均を出して550mに丸め、「この数値は防空監視所の報告と一致する」と述べている。これはおそらく前述の新妻の報告したものをいっていると思われる。

地図、および図1の源となった航空写真に示されている護国神社の中心から計測したとすれば、そこから300m真南の地点の座標は、 44.20×61.80 である(図1、地点2)。他の数人の調査者が言及している同神社の鳥居は、同神社の中心から東約100m、南200mにあった。

荒勝：原爆後の1か月前後の期間に、京都大学荒勝文策教授のひきいる調査隊が3度広島を訪れている¹³。同隊は爆心地について次のように報告している。

「爆心と中性子発生中心」

比較的簡単な幾何学的条件に置かれたと思われる試料として、街路に並ぶ電柱上の碍子内に充填されていた硫黄を採集し、それにつき β 放射能を測定することによって、採取地点の位置と、その放射能との関係につき調べた。その結果は第3表に示す通りである。

“According to this, if the hypocenter were about 300 m to the south of the Gokoku Shrine and 500-600 m above the ground as observed ATB, the intensity distribution of samples agreed in general, that is, it was found that the hypocenter was simultaneously the center of fast neutron production.”

This method of determining the hypocenter, in our opinion, was not accurate for several reasons. The attenuation of the neutrons in each case was probably not precisely known. Also, as pointed out earlier, the neutron flux fell off very slowly with distance from the hypocenter. Since Arakatsu accompanied the team of physicists and military people who visited Hiroshima on 10 August, as listed in the Kure report¹², this hypocenter probably represented their estimate from blast effects, and the radioactivity measurements merely served to confirm the locations. The coordinates were as given above, 44.20×61.80 (Point 3, Figure 1).

A very small scale and rather inaccurate map was given in this report, with the hypocenter marked as southeast of the Motoyasu Bridge, at a point whose coordinates we estimated to be 44.4×61.4 . This was not the point Arakatsu described, and probably was a drafting error, since practically all other estimates, including his, placed the hypocenter north of the bridge.

The team was investigating a completely novel phenomenon. They had to discover whether there was one bomb or more, whether it exploded on the ground or in the air, whether it was actually an atomic bomb or simply a large high-explosive bomb which incidentally scattered radioactive material, whether the blast, heat, and neutron radiations all originated from the same point or different ones, and many similar questions. In view of all these questions, and the terrible destruction and suffering in the area where they worked, their findings were remarkably accurate in nearly every respect.

Japanese Geologists' Determination, Watanabe et al.
The following is quoted from the report.¹⁴

“In September 1945, a special investigation committee was organized in the National Research Council of Japan in order to study exactly the results of damages caused by the atomic bombs at Hiroshima and Nagasaki. Together with physicists and chemists of this committee, field observations were carried out by some geologists and geographers ...”

It is not clear who made the actual hypocenter and HOB determinations of this team, but we may

これによって見ると、爆発当時観測されている如く、爆心が護国神社南方約300mの上空数百mとすれば、これら試料の強度分布は略々調和して説明せられる。即ち爆心は同時に速中性子発生の中心であることが判る。」

著者らの意見では、この爆心地測定法は正確でない。それにはいくつかの理由があげられる。各標本における中性子の減弱については、おそらく正確に知られていなかったものと思われる。また前述のように、中性子束は爆心地からの距離に応じて、きわめてゆるやかに減弱した。呉鎮守府の報告¹²に記述されているように、荒勝は8月10日に広島を訪れた物理学者や軍人から成る調査隊に同行しているので、この爆心地はおそらく爆風の影響に基づくかれらの推定であって、放射能測定は単にその位置を確認するのに用いられたにすぎないと考えられる。その座標は、上記のように 44.20×61.80 であった（図1、地点3）。

この報告書には縮尺のきわめて小さい比較的不正確な地図が示されており、爆心地は元安橋南東、すなわち、われわれの推定では座標 44.4×61.4 にあたる地点として示されている。これは荒勝の述べた地点ではなく、かれの爆心推定地点をはじめ他のすべての推定地点が元安橋の北にあることから考えると、おそらくそれは作図上の誤りによったものであろう。

この調査隊が調査の対象としていた現象はまったく新しいものであった。投下された爆弾は1発であるかそれ以上であったか、それが炸裂したのは地上であるか空中であるか、それは実際に原子爆弾であるか、それとも単なる大型の高性能爆弾で付随的に放射性物質をまき散らしたものであるか、その熱風、熱、および中性子放射線はすべて同じ源から生じたものであるか、別々のところから発生したものであるか、などこれに類した多くの問題について、かれらは調査しなければならなかった。これらすべての疑問点、ならびにかれらが調査を行なった地域におけるすさまじい破壊や被害から考えると、かれらの得た結果はほとんどあらゆる点で驚くほど正確なものであった。

日本の地質学者による測定、渡辺ら
次の一節はこの報告書¹⁴からの引用である。

「昭和20年9月原子爆弾災害調査特別委員会が設立されるや、我々地質学者および地理学者も、物理学者および化学者とともに現地調査に赴くこととなった。……」

爆心地および炸裂点高度に関する実際の測定が、この調査隊のうちのどれによって行なわれたかは明らかでない

assume that only one such center was measured. They measured shadow lines and concluded that in Hiroshima the hypocenter was "380 m south of the Gokoku Shrine ...", and "the height of the epicenter is also estimated at about 570 m above the hypocenter." The coordinates of this point were approximately 44.29×61.70 (Point 4, Figure 1). Their map showed the hypocenter as somewhat east of a line running due south from the Shrine, though they stated that the location was "approximate." It seems probable that this was the same epicenter position which was determined by Kimura and Tajima. This result is discussed below.

Kimura and Tajima. Another early determination was made by Kazuharu Kimura and Eizo Tajima¹⁵ of the Physical and Chemical Research Institute, Tokyo. They described their observations as follows:

"Radiant rays released by bombs at the time of explosion scorched and burned lumber, induced changes on surface of concrete and exfoliated the surface of granite. If there are objects to shield these rays, their shadows would remain. Thus, the hypocenter can be located on lines extended from the boundary line of the shadow. Various localities were visited to obtain such data and determine the direction of the hypocenter. These data were entered on a map and lines extended from these shadows will converge at one point. This point is the hypocenter.

"The direction is determined by sticking two sewing needles along the boundary line and taking a sight. A suitable object is obtained along this sight line. However, actually speaking the boundary lines of the shadows are not very clear and spread out considerably. When the bomb exploded, a considerably large size fireball which had incendiary power spread out producing the half tone shadows. Therefore, in order to rule out such inaccuracies, pole-like objects were selected and direction determined by setting boundary lines along the area with the same extent of scorches and burns on both sides of the object. Then the hypocenter was determined by the average values. Furthermore, when using this method, more accurate data can be obtained from objects closer to the hypocenter than from those comparatively distant. In studies at Hiroshima, objects close to the hypocenter were used in most cases. However, in Nagasaki no objects close to the hypocenter were available so we were forced to use distant objects. Therefore, accuracy in the latter case is not high.

が、このような爆心地および炸裂点の計測はそれぞれ一つだけ行なわれたものと思われる。かれらは投影線を計測して、広島では爆心地は「護国神社の南方380m」で、「炸裂点の高度は爆心地上空約570mと推定される」と結論した。この地点の座標はほぼ 44.29×61.70 であった(図1, 地点4)。かれらは爆心地の位置を示すのに「ほぼ」と書いているが、その地図によれば、護国神社から真南に向かう線よりいくらか東寄りであることが認められる。これは、木村および田島が測定した炸裂点と同じ位置であったように思われる。この結果については以下に述べる。

木村および田島: 初期のもう一つの測定としては、理化学研究所の木村一治および田島英三の行なったものがある。¹⁵ 両氏はその観測結果を次のように述べている。

「爆発に際し爆弾から出る放射線によって木材などに焼け焦げが生じたり、コンクリートの表面が変化したり、花崗岩の表面が剝離したりするが、その物体の前面に放射線の遮蔽物があると、その影が印される。爆央(注: hypocenter — 爆心地, 以下同じ)はその影の境界線の延長上になければならないから、かような資料を各地に求めて、その方向を決定してこれを地図の上を書くところらの線は一点において会する。その点がすなわち爆央である。

方向を決定するには、境界線に二本の縫針を立てて之を見通して、その延長上に適当な目標物を求めるのである。しかし実際には影の境界線はそれ程判然としているものでなくて、相当な拡がりを持っている。この拡がりの出来るのは、爆弾が爆発した次の瞬間に相当な大きさの火球に拡がっても、なお焼夷力を有するので、半影の部分が生ずるためと思われる。そこでその不正確を除く意味から、なるべく柱状の遮蔽物の左及び右にできた二つの影について、同じ程度の焼け焦げの所を境界線として方向を決定し、その平均を爆央方面とする。なお、この方法によると、爆央から比較的遠い距離にある資料によるよりも、近い距離にある資料による方が精度がよいので、広島の場合には主に近い資料を用いた。しかし、長崎の場合は近い資料が得られなかったので、止むを得ず遠い資料を用いた。したがってそれだけ精度はよくない。

"The hypocenter in Hiroshima was 19 Saikumachi. In other words about 125 m south of the Gokoku Shrine street car stop and about 25 m southeast of the main entrance of the Shima Hospital."

The coordinates of this point on our map are 44.30×61.71 (Point 5, Figure 1). These authors estimated that "the average error in Hiroshima is within a radius of 15 m, and about 30 m in Nagasaki." In TR 12-59 Part 2, Woodbury and Mizuki gave the coordinates of Kimura and Tajima's hypocenter as 44.30×61.73 , but Arakawa and Nagaoka in Part 1 of TR 12-59 gave the coordinates 44.30×61.71 for Kimura and Tajima's hypocenter.

For the HOB Kimura and Tajima gave 577 ± 20 m, from calculations based on thermal shadows, chiefly at distances greater than 500 m from the hypocenter. Since they recognized the importance of measuring shadows on both sides of an object to allow for the large size of the fireball, their result seems far more reliable than most of the other measurements, where apparently no such allowances were made.

A motion picture¹⁶ made by the Japanese shortly after the bombs, illustrated, among other things, the care with which Kimura and Tajima's measurements were made. Well defined shadows were shown, and a transit and large compass were visible. These were in contrast with the small and probably less accurate compass and clinometer, and old and fuzzy shadows from which most of the data of TR 12-59¹ and TR 5-66² were derived. Therefore, from these movies and the discussion of their work the present authors are inclined to put considerable confidence in Kimura and Tajima's results both in Nagasaki and in Hiroshima, even though their original data are not available.

Another version of Kimura and Tajima's results was quoted in a report of an interview with Dr. Yoshio Nishina, the Japanese team leader, by Commander Richard Reeve of the G-2 section of USSBS on 10 November 1945. The report quoted Kimura and Tajima as having said that the fireball did not move upward during its expansion; that the hypocenter in Hiroshima was at or near the Shima Hospital, 120 m south and 20 m east of the torii gate of the Gokoku Shrine, at a height of 586 ± 15 m. The coordinates of this point are 44.32×61.75 (Point 5b, Figure 1). They claimed an accuracy of ± 10 m in the hypocenter. The diameter of the fireball "which produced a scorched shadow on wood at a distance of 1.5 km from the hypocenter was 150 m."

For Nagasaki, Nishina quoted Kimura and Tajima as saying that the hypocenter was "at the center of the

広島の場合は細工町19番地、即ち護国神社前の電車通りの南方約125mの島病院の玄関の東南方約25mの地点に位する。」

われわれの地図におけるこの地点の座標は 44.30×61.71 である(図1, 地点5)。かれらは、「広島の場合には平均誤差は半径約15m, 長崎の場合には約30m程度と思われる」と推定している。Woodbury および水木はTR12-59第2部で、木村および田島の爆心地の座標を 44.30×61.73 としているが、Arakawa および長岡はTR12-59第1部で、木村および田島の爆心地の座標は 44.30×61.71 であるとしている。

炸裂点の高さについては、木村および田島は、主として爆心地から500m以遠の距離における熱線残影に基づいた計算によって、 577 ± 20 mの数値を示した。かれらは、火球が大型であることを考慮して対象物の両面の残影を計測することの重要性を認識していたので、かれらの得た結果は、そのような考慮が払われなかったと思われるその他のほとんどの計測値よりも信頼できるように思われる。

原爆後まもなく日本人によって撮影された映画¹⁶は、木村および田島の測定が慎重に行なわれた様子を特によく示している。明確な残影が示されており、トランジットや大型コンパスもみられた。これらは、小型でおそらく精度の低いコンパスや地質学用傾斜儀(クリノメーター)、ならびにTR12-59¹やTR 5-66²に述べられているほとんどの資料の源になっている古い判然としない残影と対照的であった。したがって、本報告の著者らは、これらの映画やかれらの調査についての考察に基づき、たとえ原資料は入手されていないにせよ、木村および田島の長崎および広島における成果に相当の信頼をおきたいと思う。

木村および田島の成果に関する記述はまた、USSBS G-2部のRichard Reeve 中佐が1945年11月10日に報告した日本の調査団団長仁科芳雄博士との対談にも引用された。この報告では、木村および田島の説として、火球は膨張時には上昇しなかった、広島爆心地は護国神社の鳥居の南方120m, 東方20mにあたる島病院またはその付近にあり、炸裂点の高度は 586 ± 15 mであった、と述べている。この地点の座標は 44.32×61.75 である(図1, 地点5b)。かれらは爆心地の正確度は ± 10 mであるとしており、「爆心地から1.5kmの距離における木材に熱焦残影を生じさせた火球の直径は150mであった」と述べている。

長崎については、仁科は木村および田島のことばを引用して、爆心地は、「松山町170番地にあるテニスコート

tennis court at 170 Matsuyama-cho, at a height of 487 ± 20 m." The size of the fireball, "which produced a scorched shadow on a concrete wall at 700 m from the hypocenter, was 140 m." The present authors feel that because of the different amounts of heat necessary to produce scorching on different materials, and the unknown orientation of the surfaces mentioned, these estimates of fireball size are not comparable from one city to the other. The HOB given differed slightly from the figure given in the report quoted above and in Appendix 2 (490 m) but this quoted value was probably just rounded.

One further calculation of the HOB was made from Kimura and Tajima's data given in their Table 1. This table gave angles of altitude for shadows (illustrated elsewhere)¹⁷ on wall board in a room on the third floor (numbered European style or fourth floor American style) in the northwest corner of the Postal Savings Bureau (USSBS Building No. 33). The average angle θ of the shadow is $22^\circ 27'$ above the horizon. They stated that the Bureau was a distance $R = 1600$ m from their hypocenter, and we estimated that the room was 14 m above the ground. We estimated also that a vector, normal to the face of the building (i.e., the plane of the wall board) made an angle α of 28.0° to the direction to the hypocenter. The HOB is given by

$$\text{HOB} = R \tan \theta \cos \alpha + 14 \quad \dots (8)$$

which evaluated to 598 m. Note that since these authors made the same number of measurements on the upper and lower sides of shadows, the fireball size effect canceled. The same shadows were measured by W. G. Penney and a team from the Manhattan Engineer District. This is discussed later.

Kanai. Kiyoshi Kanai¹⁸ of the Earthquake Research Institute of Tokyo University visited Hiroshima and Nagasaki from 17 October to 11 November 1945, and made a number of measurements on thermal shadows to locate the hypocenter and HOB. His report was nearly unique in that it gave the locations of the measurements and the angles of azimuth and altitude. These were tabulated in Appendix 3 and our Table 3, (his Table 1), together with our estimates of the coordinates, and the measurements recorded in TR 12-59 for comparison. His epicenter was considerably south and east of all other estimates, at a point he described as "170 m west of the Kawayacho street car stop and 570 ± 20 m above the ground." The coordinates are approximately 44.36×61.59 (Point 7, Figure 1). His map, as given in the

の中心に位し、炸裂高度は 48.7 ± 20 m であり、爆心地から 700 m の地点におけるコンクリート壁に熱焦残影を生じさせた火球の大きさは、140 m であった」と述べている。物質によって熱焦を生じさせるに必要な熱量は異なっており、また上記物体の表面の方向が明らかでないで、本報告の著者らは、これら火球の大きさの推定値については、一方の都市のものを他方の都市のものと比較することはできないと考える。炸裂点の高度は、上記報告中で引用したものや付録 2 (490 m) にみられる数字とはやや異なるが、引用されたこの数値はおそらくただ 4 捨 5 入したものにすぎないのであろう。

木村および田島の資料(かれらの表 1)に基づき、炸裂点の高度についての再算定を行なった。この表では、貯金局(USSBS 建造物番号第 33 号)北西隅の 3 階(欧州式数え方。米国式に言えば 4 階)のへやの壁における残影の仰角(他の文献に図示されている)¹⁷を示している。この残影の平均角度 θ は水平線上 $22^\circ 27'$ である。かれらは、貯金局がかれのいう爆心地から距離 $R = 1600$ m の地点に位したと述べており、われわれはそのへやが地上 14 m にあったものと推定した。われわれはまた、その建物の面(すなわち壁面)に垂直なベクトルが、爆心地の方向に対してなす角度 α は 28° であると推定した。炸裂点の高度は、

によって、598 m となる。この著者らは、残影の上端および下端について同数の測定を行なっているので、火球の大きさによる影響は相殺されたことに注目する必要がある。この同じ残影については、W.G. Penney および Manhattan Engineer District の調査隊も測定を行なっている。これについては後に述べる。

金井: 東京大学地震研究所の金井清は、1945 年 10 月 17 日から 11 月 11 日まで広島および長崎を訪れ、爆心地の位置および炸裂点の高度を決定するために熱線残影に関する測定をいくつか行なった。¹⁸ その報告は、観測の地点ならびに方位角および仰角を示しているという点でほぼ独自なものであった。これらの測定値は、われわれの推定座標および、比較のため TR 12-59 に記載された測定値とともに、付録 3 と本報告の表 3 (金井の表 1) に示した。金井の炸裂点は、「革屋町電車停留所西方約 170 m で地上 570 ± 20 m」として示されており、ほかのすべての推定よりもかなり南東に位していた。その座標はほぼ 44.36×61.59 である(図 1, 地点 7)。

TABLE 3 KANAI'S DATA ON HYPOCENTER AND HEIGHT OF BURST, HIROSHIMA

表3 爆心地および炸裂点高度に関する金井の資料、広島

Kanai's Point Number 金井の 観測点番号	Location 観測点	USSBS Building Number USSBS 建物番号	Present Authors Estimate of Coordinates 本著者の 座標推定値 X Y		Kanai's Azimuth Angle 金井の 方位角	Kanai's Altitude Angle 金井の仰角	Kanai's Distance from His HC 金井の爆心地 からの距離 meter	Distance from Recalculated HC 再算定した爆心 地からの距離 meter	TR 12-59	
									Azimuth Angle 方位角	Altitude Angle 仰角
									average (平均)	
1	Branch office, Sanwa Bank	三和銀行支店	8	44.40	61.61	S83° W	84° 42'	50	75	N25W
4	Bankers Club	銀行集会所	10	44.37	61.52		84 42	70	100	N5W
7	Branch, Chiyoda Insurance Co.	千代田生命中国営業所 ..	6	44.44	61.72	S55 W	79 03	160	146	S81.2W
10	Branch, Sumitomo Bank	住友銀行支店	19	44.58	61.63	S82 W	73 37	190	240	
13	Seiyoken	精養軒	23	44.50	61.40	N45 W	70 28	220	258	
14	Industrial Museum, south side	産業奨励館南側	4	44.18	61.80	S50 E		240	208	
17	Chamber of Commerce and Industry	商工会議所	2	44.19	61.95	S23 E		320	244	
20	Fukuro-machi Primary School	袋町小学校	41	44.62	61.30	N42 W		370	400	
23	Hiroshima Central Telephone Bureau	広島中央電話局	43	44.74	61.30	N35 W	55 42	440	483	
24	Branch office, Yasuda Bank	安田銀行支店	45	44.82	61.47	N76 W	51 21	450	478	N64.0W 45.4°
25	Honkawa Primary School	本川小学校	95	43.95	61.89	S56 E	51 33	480	419	S62.0E 58.5
29	Chugoku Electric Co.	中国配電	26	44.36	60.95	N2 W	45	600	610	
30	Bank of Commerce and Industry Assn.	商工組合中央金庫	38?	44.96	61.60	S88 W	41 21	600	587	
35	Hiroshima City Office	広島市役所	28	44.27	60.58	N2 E	31 30	940	949	
36	Shin-ohashi Bridge	新大橋	Bridge 30 橋梁30号	43.72	61.35	N65 E		600	599	

Grid north is 4.25° west of magnetic north. We assume the azimuth angles were measured to magnetic north.地図の北は磁北の西方 4.25° である。方位角は磁北に対して計測されたものと思われる。

"Collection",* was a copy of an old Japanese map, which was quite inaccurate and did not even show Aioi Bridge. Kanai twice remarked that the hypocenter could not have been at points "100 m south of the Gokoku Shrine torii gate, nor near the west(?) end of the Moroyasu Bridge," because of the angles of the shadows at the Sumitomo Bank, and at the Industrial Museum (the "Atomic Dome" which is still standing). The present authors feel that there were two misprints in the original Japanese text in the "Collection" (and in the translation at ABCC). Kanai must have meant the "east end of the Moroyasu Bridge," and that the "point 100 m south of the Gokoku Shrine torii gate was due east of the Industrial Museum," though the original Japanese text stated west in both cases. Using Kanai's angles of altitude and azimuth, and coordinates for the buildings from map AMS L902 as determined for the building locations given in the USSBS report (but not the USSBS coordinates), we calculated Kanai's center to be at 44.318×61.617 , (Point 7b, Figure 1), and his HOB to be 580 m.

It is not clear why Kanai's estimate of the hypocenter was so far from all other estimates, while his HOB agreed so well. Woodbury and Mizuki, in discussing the fact that Kanai's center was far south and east of all other determinations, attributed the difference to Kanai's use of shadows on very different materials, such as granite and asphalt. The present authors feel that the error arose instead, from the fact that so many of his points were very close to the hypocenter, so that they were actually under the fireball (maximum diameter around 200 m).³ At these close distances the blast wave would have hit the ground in about 0.7 second and been reflected before all the thermal radiation had been received (nearly 3 seconds). Hence, the dust raised by the blast wave may have obscured part of the fireball, and shadows might not have lain in directions away from the exact center of explosion at all.

Kanai's measurement of the azimuth of the shadows at the Sanwa Bank, about 150 m from our hypocenter, was $S 83^\circ W$, whereas the figure at the same place given in TR 12-59 was $N 24^\circ W$. It is not known if the same shadows were measured.

Kanai stated that he made measurements at 37 places, but he gave angles of azimuth at 14 and

原子爆弾災害調査報告集*に掲載された金井の地図は、古い日本製地図で、相当不正確なものであり、相生橋さえも記入されていない。金井は、住友銀行や産業奨励館（現存の原爆ドーム）における残影の角度から、爆心地は「元安橋西(?)詰付近でも、護国神社鳥居南方 100m 付近でもない」と重ねて述べている。原爆災害調査報告集の原文（および ABCC の翻訳）には誤植が二つあったものと本報告の著者らは思う。その日本語原文には、「元安橋西詰」および「護国神社鳥居南方 100m の地点は産業奨励館の真西であった」と述べてあるが、金井は、そのいずれの場合にも「東」というつもりであったにちがいない。金井の仰角および方位角を用い、また USSBS 報告に示された建造物の位置を決定するための AMS-L902 地図の座標（ただし、USSBS 座標ではない）を用いて計算すると、金井の爆心地は 44.318×61.617 （図 1、地点 7b）であり、その炸裂高度は 580m であった。

金井の炸裂点の高度は他のすべての調査隊のものと非常によく一致しているのに、その爆心地推定が他のものと非常にかけ離れていた理由は明らかでない。Woodbury および水木は、金井の爆心地が他のすべての測定値よりもはるかに南東である事実について、その差異は金井が花崗岩やアスファルトのようなまったく異質な物体上の残影を利用したこと起因するとした。しかし、われわれはむしろ、その誤差は、金井の使用した観測点の多くが爆心地に至近なものであって、それらが火球（最大直径 200m くらい）³ の下にあったことから生じたものと思う。このような至近距離においては、爆風波は爆発の約 0.7 秒後に地上に達して、熱放射線のすべてが到達する（約 3 秒後）より前に反射されていたであろう。したがって、爆風波によって吹き上げられた塵埃が火球の一部分をおおい、残影は正確な炸裂中心点の反対方向には生じなかったかもしれない。

われわれの爆心地から約 150m に位置する三和銀行における残影の方位角についての金井の測定値は、 $S 83^\circ W$ であったが、TR 12-59 に示された同一場所における数値は $N 24^\circ W$ であった。同一残影が測定の対象とされたかどうかは不明である。

金井は、37か所において測定を行なったと述べているが、方位角は14か所、仰角は11か所にのみ示されていたので、

*Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster, published by Japan Science Promotion Society in 1953 in Japanese in two volumes. This is an extremely valuable reference concerning nearly all the early effects of the two nuclear bombs. Translations into English of scattered sections of the book exist at ABCC and ORNL.

原子爆弾災害調査報告集、日本学術振興会1953年発行、日本文、全2冊。これは、二つの核爆弾による初期の影響のほとんどすべてに関するもので、きわめて貴重な参考文献である。本書のうち一部は英訳され、ABCCおよびORNLにある。

altitude at 11, so we could calculate only from these. He also claimed that "the fireball size could not have been larger than 30 m in radius." Kimura and Tajima got a diameter of 100 m. Glasstone³ indicated that the final diameter was near 200 m, and that most of the thermal radiation was emitted when the fireball had nearly attained its full size, in the so-called "second maximum." These underestimates of the size may have arisen from the partial shielding of the fireball by dust and by clouds of nitrogen dioxide formed by the explosion. Also, it must be noted that since a considerable amount of heat must shine on a surface, especially of stone, to cause the burning and shadow effects, the edge of the shadow would not be in line with the edge of the fireball, but rather in such a direction that beyond it not enough of the fireball shone on the surface to deliver this necessary amount of heat. This would explain why all estimates of the fireball size from shadows were much smaller than the size as determined photographically at bomb tests by high speed cameras, and referred to by Glasstone.

A plot of Kanai's shadow lines on the map, after correcting for magnetic variation showed that most of his shadow lines were tangent on the south side of a circle of radius about 100 m around a hypocenter at 44.28×61.70 (Point 7d, Figure 1). This effect showed again the importance of noting on which side of an obstruction the scorched area appeared, and allowing for the fireball size in calculations.

In TR 12-59, Woodbury and Mizuki quoted Kanai's hypocenter as 44.37×61.61 (Point 7c, Figure 1). This point was close to our measurement and probably within the errors of measurement on the map.

Tanaka. Prof. Yutaka Tanaka¹⁹ of Tokyo University was chief of one team which visited Hiroshima and Nagasaki in October and November 1945. They noted that the railings on the sides of Motoyasu Bridge fell away in opposite directions. From this they concluded that the hypocenter must have been nearly along the center line of the bridge. From thermal shadows, etc., they decided the most probable location was on this alignment, 100 m northeast of the east abutment, and the HOB was 570 ± 20 m. The coordinates of this point on our map are 44.28×61.69 (Point 10, Figure 1). It is not clear whether their measurements were independent of the other Japanese teams, such as Kimura and Tajima. Tanaka's report makes use of another copy of the old and rather inaccurate map that Kanai used. It seems likely that his measurements and hypocenter location determination were

われわれはこれらの数値のみを用いて算定を行なった。金井はまた、「火の玉の大きさは半径30mより大になり得ない」とも主張した。木村および田島は直径100mの値を得ている。Glasstone³は、最終直径は約200mであり、また火球がほとんど最大の大きさ、すなわち、いわゆる「2次最大」の時期には、熱放射線のほとんどが放出されていたと述べた。火球の大きさに関するこれらの過少評価は、ほこりや爆発によって生じた二酸化窒素の雲によって部分的に遮蔽されたことによるものかもしれない。また、熱焦や残影効果をもたらすためには、物体、特に石の表面に相当量の熱が照射されなければならない。したがって、残影の境界線が火球の線端と一直線にはならず、むしろ残影の境界線の反対側は火球からの照射がじゅうぶんでないので、必要量の熱が得られなかったということにも注目する必要がある。このことは、残影に基づいて推定された火球の大きさが、原爆実験の際に高速度撮影によって測定され、また Glasstone によっても述べられている大きさよりもはるかに小さいことの説明になる。

磁気変動の補正を行なったのち、地図上に金井の残影線を描いたところ、その残影線のほとんどが、 44.28×61.70 (図1, 地点7d)の爆心地を中心とした半径約100mの円周の南側に接していることがわかった。これによっても、障害物のどちら側に熱焦部分が現われたかを注意し、算定時に火球の大きさを考慮に入れることの重要性が示された。

TR12-59 では、Woodbury および水木は金井の爆心地を 44.37×61.61 (図1, 地点7c) として引用した。この地点はわれわれの測定値に近く、おそらく地図上の測定誤差の範囲内にあったと思われる。

田中: 東京大学田中豊教授¹⁹は、1945年10月および11月に広島と長崎を訪れた一つの調査隊の隊長であった。かれらは、元安橋の欄干が左右に分かれて倒れていることに注目した。これによってかれらは、爆心地が同橋のほとんど中心線に沿った位置にあったにちがいないと結論した。熱線残影などから、かれらは、最も確からしい爆心地は、この一直線上で橋の東詰から北東100mの地点にあり、炸裂点の高度は 570 ± 20 m であると決定した。この地点の座標は、われわれの地図では 44.28×61.69 (図1, 地点10) になる。この計測が、木村および田島その他の日本側調査隊のそれとは別に行なわれたものかどうかは明らかでない。田中の報告書は、金井が用いたのと同じく古くて多少不正確な地図の写しを利用している。かれの測定や爆心地決定は、木村および田島の場合

made on the ground, as Kimura and Tajima's were, and only the result transferred to the map.

Manhattan Engineer District. One of the first teams to reach the two cities was sent by the Manhattan Engineer District.⁸ On this team were W. G. Penney (now Lord Penney) from the United Kingdom, and R. Serber and Ensign G. T. Reynolds from the U.S. Their work, especially on the yields of the bombs, has been restudied and reported recently.¹⁷ They measured the same shadows as Kimura and Tajima in the Postal Savings Bureau Building (USSBS Building No. 33), but with slightly different results. The average shadow angle θ they gave as $22^{\circ}23'$, which was essentially the same as Kimura and Tajima's figure ($22^{\circ}27'$). But they gave the distance to the hypocenter as 5040 feet (1533 m) instead of 1600 m, the angle α as 27° instead of 28° , and the height of the room as 30 feet (9.3 m) above the ground (third floor European style) instead of 14 m. Their calculated HOB was 1880 feet (573 m), instead of 577 ± 20 m given by Kimura and Tajima, or the 598 m calculated from their data.

One presently extant report of the Manhattan District group, apparently obtained from the work of this team, was written by Maj. Noland Varley. He quoted measurements of R. Serber which gave a hypocenter "984 feet south of the Gokoku Shrine (300 m)" and "1800 feet high (549 m)." The coordinates of this point are as given previously by the Kure Naval Base team, 44.20×61.80 (Point 2, Figure 1). Varley quoted a Japanese HOB figure of "1804 feet high (550 m)." Serber was also quoted as finding that "the size of the fireball at the time of maximum charring was 300 feet in diameter (about 100 m)."

Another report of this team was the so-called "Oughterson-Warren Report" (concerning medical effects), by Cols. A. W. Oughterson and S. L. Warren of the U.S. Marine Corps.⁷ Copies of the AMS maps of Hiroshima and Nagasaki were given in the covers of this book, with the hypocenters marked by very large crosses, so the exact points are difficult to locate. For Hiroshima, the hypocenter seemed to be essentially that of Kimura and Tajima at 44.30×61.75 (Point 5b, Figure 1).

In TR 12-59, Woodbury and Mizuki referred to the "First Technical Service Group of the Manhattan Engineering District", and quoted their hypocenter as 44.38×61.66 . Again the reason for the discrepancy is not clear.

A careful study of the Manhattan District report⁸ and its photographic supplement indicated a further problem in locating the hypocenter as

合と同様に地面上で行なわれたようであり、その結果のみが地図に転記されていた。

マンハッタン技術管区 (Manhattan Engineer District): 両市へ最初に到着した調査隊の一つは、Manhattan Engineer District から派遣されたものである。⁸ この隊には、英国から W.G. Penney (現 Penney 卿)、米国から R. Serber および G.T. Reynolds 海軍少尉が参加していた。かれらの調査のうち、特に原爆の収量に関する箇所が再検討され、最近報告された。¹⁷ かれらは木村および田島が用いたと同じ貯金局ビル (USSBS 建造物番号第33号) 内の残影を測定したが、その結果はやや異なるものとなった。かれらが算出した平均投影角度 θ は $22^{\circ}23'$ であって、木村および田島の数値 ($22^{\circ}27'$) と本質的には同じであったが、爆心地からの距離は木村らの 1600 m に対して 5040 フィート (1533 m) で、角度 α は 28° に対して 27° 、またへやの地上からの高さ (ヨーロッパ式には 3 階) は 14 m に対して 30 フィート (9.3 m) であった。かれらが算出した炸裂点の高度は、1880 フィート (573 m) であって、木村および田島が示した 577 ± 20 m およびその資料をもとに算出して得た値 598 m ではなかった。

この調査隊の資料に基づくものと思われる Manhattan District 調査団の現存報告書は、Noland Varley 少佐によって作成された。この中で少佐は、R. Serber の測定値である「爆心地は護国神社南方 984 フィート (300 m)」で「高度は 1800 フィート (549 m)」を引用している。この地点の座標は、以前に呉鎮守府調査隊が示した 44.20×61.80 (図 1, 地点 2) と同じである。Varley は日本側の炸裂点高度「550 m (1804 フィート)」をも引用した。さらに、「最大熱熟時の火球の大きさは直径 300 フィート (約 100 m)」であったという Serber の数値も引用されている。

この調査隊によるもう一つの報告書は、米国海兵隊の A.W. Oughterson 大佐および S.L. Warren 大佐共著の (医学的影響に関する) いわゆる「Oughterson-Warren 報告」である。⁷ この本の裏表の見返しには米国陸軍測量部の広島および長崎の地図の写しが表示してあるが、その爆心地は非常に太い×印で記されているので、正確な地点をつきとめることは困難である。広島爆心地については、本質的には木村および田島の 44.30×61.75 (図 1, 地点 5b) と同じであるように思われる。

Woodbury および水木は、TR12-59において、「Manhattan Engineering District 第1技術調査班」に言及し、その爆心地座標を 44.38×61.66 として示した。この場合にも、爆心地地点の不一致の理由については説明されていない。

Manhattan District 報告⁸ およびその付属写真集を慎重に検討すると、後の長崎の項で述べるように爆心地の位置の決定にはなお問題のあることが認められた。同報告

mentioned in the section on Nagasaki. In the same report three aerial photographs of the hypocenter area after the bomb were given, with the hypocenter marked in three different places. Their Figure 19 indicated a point close to, or the same as our point 15, Figure 1 which Woodbury and Mizuki called the "Manhattan District Point." Figure 20 of this same report indicated a point close to our point 18c, Figure 1; while Figure 7 of the same report marked the hypocenter as about halfway between the points indicated in their Figures 19, 20. Again we must conclude that the authors did not know very precisely where the best hypocenter was, and did not think it of much importance.

U.S. Strategic Bombing Survey. The most thorough study of Hiroshima and Nagasaki was made by the USSBS.⁵ Their Physical Damage Division Team 1 in Hiroshima included about 40 officers and enlisted men, and collaborated, to a certain extent, with a team from the U.S. Navy Bureau of Yards and Docks, and the British Mission to Japan. Unfortunately, this collaboration stopped short of choosing a single, most probable hypocenter and HOB while the data were still fresh and plentiful.

The hypocenter was located on the ground by sighting in the direction of flash burn shadows. Only six such lines were used, but the center found was said to have been checked by sighting along other shadow lines (no original data have been found). The hypocenter chosen is shown in Appendix 4 (their Figure 1-VII) which was copied from the USSBS report. Note that two other hypocenters were also shown, one designated "Japanese", and the other "British" (Point 13, Figure 1). No attempt was made to reconcile the differences, except to say that they were within the errors of measurement. Note also that the coordinates were not those of the AMS maps currently in use at ABCC, as explained earlier in this report. The coordinates of this USSBS hypocenter on AMS maps are 44.25×61.70 (Point 16, Figure 1).

The original data for the HOB determination have been found and are shown in Appendix 4 and our Table 4. It is probable from the results given that four of the shadows were formed primarily by radiant heat from the top of the fireball, and three by that from the bottom. The report quoted in Appendix 4 mentions that the fireball was not a point, but a large sphere. No attempt seems to have been made to correct for this.

These workers concluded from their data that the apparent HOB was not important when compared with the distance from the hypocenter of the

には原爆投下後の爆心地付近の航空写真が3枚掲げられており、爆心地はそれぞれ三つの異なる箇所に示されている。かれらの図19は、われわれの図1、地点15に近い地点ないしは同一の地点を示しているが、これはWoodburyおよび水木がManhattan District Pointと称したものである。また同報告の図20はわれわれの図1、地点18cに近い地点を示しているが、同報告書の図7では爆心地は図19、20に示された地点の中間あたりに置いている。そこでわれわれは、再びこの著者らが、どこが最も正確な爆心地であったかわからず、またそれをさほど重要には考えていなかったものと結論しなければならない。

米国戦略爆撃隊調査：広島および長崎で最も徹底した調査を実施したのは、USSBSである。⁵ 広島に派遣されたその物理的損害調査第1班は将校と下士官の約40人から成り、米国海軍造船所ドック局の調査隊および英国の日本派遣調査団とある程度まで共同して調査に当たった。しかしながら、資料がなお新しく、量的にもじゅうぶんであったその時期に、最も確実性の大きい爆心地および炸裂点高度を一つだけ選定するまでに至らないまま、共同作業が終わったことは残念である。

爆心地の位置は、閃光熱焦残影の方向を見通して決定された。そのような線は6本しか用いられなかったが、爆心地は他の投影線に沿って見通し、照合を行なったといわれている（原資料は発見できない）。選定された爆心地は、本報告の付録4に示したが、これはUSSBS報告書の図1-VIIから複写された。このほかにも爆心地が二つ、すなわちその一つは「日本人によるもの」、もう一つは「英国人によるもの」として示されている（図1、地点13）。それらの間の差異は測定誤差の範囲内であったという以外、調整を行なう操作はなされていなかった。また、その座標も、本報告書の初めに述べたようにABCCで現在使用中の陸軍測量部（AMS）地図のものではなかったということにも注目する必要がある。このUSSBS爆心地の座標は、AMS地図では 44.25×61.70 （図1、地点16）である。

炸裂点高度の決定に関する原資料が発見されているので、付録4および本報告の表4に示す結果から考えると、影の四つは主として火球の上端からの放射熱によって形成され、三つは下端からの放射熱によるものと思われる。付録4の報告では、火球は点でなく大きな球状のものであったと記述している。これを補正する試みはなされていないようである。

得られた資料から、この調査隊は調べようとしていた影響に対して炸裂点の明確な高度は爆心地からの距離ほど重要ではないと結論した。かれらは、炸裂点高度の調査

TABLE 4 U.S. STRATEGIC BOMBING SURVEY, HEIGHT OF BURST DATA, HIROSHIMA

表4 米国戦略爆撃隊調査、炸裂点高度の資料、広島

Point No. 観測点 番号	Location 観測点	USSBS	X'	Y'	USSBS	Present Authors 本報告の著者らの計測値					
		"Base Line" = Distance to HC	Length of Horizontal Shadow	Height of Edge Casting Shadow	HOB	Coordinates 座 標	Groundrange 地上距離	HOB 炸裂点 高度	HOB 炸裂点高度 火球補正	HOB FBL Corr**	HOB FBL Corr**
		USSBS「基線」 = 爆心地からの距離 (フィート) feet	水平残影の 長さ (インチ) inch	影を投じた物体 の辺縁の高さ (インチ) inch	USSBS 炸裂点高度 meter						
1.	Entrance to shrine (Torii?)	神社入口 (鳥居?)	610	7.5	22.25	551	44.30 61.92	232	212	636	521
2.	Bridge No. 20 (Bantai or Yorozuyo)	橋梁第20号 (万代橋)	2810	12.5	9.8	672	43.85 60.85	950	867	680	633
3.	Chugoku Electric Bldg. 26	中国配電, 建物第26号	2300	12	7.9	487***	44.37 60.97	779	711	494	537
4.	Bridge No. 30 (Shin-ohashi)	橋梁第30号 (新大橋)	1810	28.75	36.25	696	43.72 61.35	660	603	760	713
5.	Communications Bldg. No. 85	西電話局, 建物第85号	3320	12.25	6.75	558	43.25 62.17	1139	1040	574	574*
6.	Electro-Technical Lab Bldg. 74	日本電気計器検定所広島試験所, 建物第74号	5900	84.9	31.3	664	44.21 63.72	2039	1863	686	647
7.	Gas holder (far one) USSBS Vol. 3, p. 300	広島ガスタンク (遠い方のもの)	6600	14.6 ft.	4.9 ft.	676	45.41 59.72	2275	2078	697	658
8a.	Bridge 20, upper	橋梁第20号, 上部	2900	26	19	646	43.85 60.85	949	867	634	589
b.	Bridge 20, upper	橋梁第20号, 上部		50.6	35		43.85 60.85			600	555
c.	Bridge 20, lower (?) diagram not clear	橋梁第20号, 下部? 図面不鮮明		20	16	575	43.85 60.85			694	741
d.	Bridge 20, lower (?) diagram not clear	橋梁第20号, 下部? 図面不鮮明		23	13		43.85 60.85			491	533
e.	Bridge 20, lower (?) diagram not clear	橋梁第20号, 下部? 図面不鮮明		46	29		43.85 60.85			546	589
f.	Bridge 20, center	橋梁第20号, 中央		23	16	615	43.85 60.85			603	603*
g.	Bridge 20, center	橋梁第20号, 中央		46	32	615	43.85 60.85			603	603*
Average Height of Burst 621 ± 79 m. Corrected for fireball radius, 607 ± 66 m.											
平均炸裂点高度: 621 ± 79 m 平均炸裂点高度 (火球半径について補正を行なったもの): 607 ± 66 m											

*Average of upper and lower shadows. No correction needed. 上部および下部の残影の平均, 補正不要

**Corrected for assumed radius of fireball, 40 yards. 推測火球半径について補正を行なったもの, 40ヤード

***462 m plus height of building (25 m) = 487 m. 462 m + 建物の高さ (25 m) = 487 m

effects to be studied. They gave their result for the HOB as "slightly over 2000 feet. This result was believed to be correct within 200 feet" (610 ± 61 m).

U.S. Navy Bureau of Yards and Docks. Physical Damage Team 4 of USSBS apparently consisted mostly of officers and enlisted men from the Navy Bureau of Yards and Docks.²⁰ They were in Hiroshima from 8 to 24 November 1945. Whether they made independent measurements for locating the hypocenter was not stated in their report, but the map included (Appendix 5), placed it at quite a different spot from that given in the USSBS report. The coordinates of this point are 44.34×61.68 (Point 17, Figure 1) and no explanation was offered for this discrepancy. No HOB figure was given.

Woodbury and Mizuki. Woodbury and Mizuki¹ in Part 2 of TR 12-59 summarized very well the work of many people on the burst point location problem. They also made a number of measurements of their own, and used considerable care to average shadow angles of azimuth from shadows created on both sides of shadow producing objects. This eliminated the fireball size error which seriously reduced the accuracy and trustworthiness of practically all other results on the problem except those of Kimura and Tajima. Unfortunately, their original data have not been available for recalculating or checking, nor could any estimate of the error be calculated. One could measure the angles and coordinates in their manuscript copy of their Figure 3, and calculate a hypocenter from these data. This might answer Arakawa and Nagaoka's criticism in Part 1 of TR 12-59 that "The hypocenter calculated by Woodbury and Mizuki does not appear to be at the center of their plotted data." However, the accuracy of such a process of measuring on a plot would be poor, and it is possible that they had many more points than are plotted.

They gave their hypocenter location coordinates as 44.31×61.72 (Point 18, Figure 1) and their HOB as "about 600 m." However, they felt that Kimura and Tajima's estimate was more reliable (580 m) and gave that as their final value. They remarked that it was not possible to get shadows in equal numbers from above and below objects, so they thought that their height result was too high.

Woodbury and Mizuki also listed two additional hypocenters, the "first ABCC hypocenter" of Wright and Brewer at 44.25×61.77 (Point 20, Figure 1) and one calculated by Shogo Nagaoka at 44.33×61.73 (Point 21, Figure 1). It is not clear

の結果として、「2000フィートよりやや高く、200フィートの誤差範囲内で正しいと考えた」(610 ± 61 m)と発表している。

米国海軍造船所およびドック局：USSBSの物理的損害調査、第4班は、ほとんど海軍造船所およびドック局の将校と下士官とで編成されていた。²⁰かれらは1945年11月8日から24日まで広島に滞在した。かれらが爆心地の位置を求めるために独自の測定を行なったかどうかは、その報告に述べられていないが、添付された地図(付録5)にはUSSBS報告にある爆心地点とはまったく別のものが示されている。この地点の座標は 44.34×61.68 (図1, 地点17)であり、この差異についての説明はない。炸裂点高度の数値は示されていない。

Woodbury および水木：Woodbury および水木¹は、TR12-59第2部で、炸裂点の位置の問題について多数の人々が行なった調査の結果を実に要領よく要約している。また、自身でもいくつかの測定を行ない、物体の両側に認められた影の角度の平均値を求めることに相当の注意を払った。その結果、木村および田島の調査以外のほとんどすべての他の調査結果の正確度や信頼度をひどく損なっていた火球の大きさによる誤差を除去することができた。残念ながら、かれらの原資料が入手できなかったのも、再算定や確認もできなければ誤差の推定値も計算できなかった。しかし、かれらの原稿の図3に示してある角度や座標をもとに計測し、爆心地を算出することはできる。このことは、TR12-59、第1部でArakawa および長岡が、「Woodbury および水木両氏が算定した爆心地点は、両氏が図示した資料の中心からはずれているように見受けられる」と述べた批判の説明になるかもしれない。しかし、図面をもとにしてそのような方法で測定を行なうと正確度は悪い。かれらは図示しているよりも多くの地点を用いたとも考えられる。

かれらは爆心地点の座標を 44.31×61.72 (図1, 地点18)、炸裂点の高度を「約600m」としている。しかし、かれらは木村および田島の推定値(580m)の方が信頼度が高いとみなし、それを最終的な値として発表した。また、かれらは、物体の上と下から同数の影を入手することができなかったのも、自分たちの高度は高すぎると考える、と述べている。

Woodbury および水木は、そのほかにも二つの爆心地をあげている。すなわち、その一つはWright および Brewer による「ABCCの最初の爆心地」 44.25×61.77 (図1, 地点20)であり、もう一つは長岡が計算した 44.33×61.73

if this last point was derived from the same data used by Arakawa and Nagaoka in Part 1 of TR 12-59. Part 1 implied that the coordinates of the cemeteries where the shadows were found were corrected before the calculation was made.

Weaponers' Estimate of HOB. Many dummy bombs were dropped in the course of the development of the atomic bombs themselves, at Wendover Field in Utah, at places near Tinian Island and later over Japan itself during crew training flights. Many of these devices were identical in weight and aerodynamic structure with the actual bombs, except for the lack of nuclear material. They released puffs of smoke at the instant of detonation, and the HOB was observed (Utah and Tinian) with accurate optical instruments on the ground. These HOB figures were then compared with the setting of the proximity fuses which detonated the bombs. Data were apparently available from about 100 tests for each type of bomb, thus errors of estimate were calculated. The following cable was sent:

28 September 1945

To: Norman F. Ramsey From: R. B. Brode
Subject: Units L-11 and F-31 - Height of Operation

The estimated altitude of operation of Unit L-11 was 1885 feet, ± 50 feet (575 ± 15 m).

The estimated height of operation of F-31 was 1650 feet, ± 50 feet (503 ± 15 m).

These height estimates are made on the basis of data obtained both at Tinian and at Utah. These values may differ slightly from previous estimates due to the fact that we have included here more recent data than was available to the crew at Tinian.

(L-11 was the "Little Boy" bomb dropped on Hiroshima; F-31 was the "Fat Man" bomb dropped on Nagasaki.)

Arakawa and Nagaoka. Arakawa¹ in Part 1 of TR 12-59 made a very extensive study of the hypocenter problem during 1958-60. He rejected all estimates of the location, other than his own, for reasons which he stated in detail, and used only the extensive data of Nagaoka to recalculate the hypocenter and HOB. The present authors feel that all extant estimates of the burst point should be influential in the determination of the most likely epicenter.

(図1, 地点21)である。後者の爆心地が, TR12-59第1部で長岡およびArakawaが用いた資料と同一のものから得られたものかどうかは明らかでない。第1部では, 残影が認められた墓地の座標は, 算定が行なわれる前に補正されたことを示唆している。

原爆投下員による炸裂点高度の推定: 原子爆弾の開発過程においては, 多くの模擬爆弾がUtah州のWendover平原やTinian島の近辺に投下され, 塔乗員の訓練飛行中に日本にも投下された。これらの爆弾の多くは, 核物質が装填されていなかったことを除けば, 重量においても気体力学的構造においても実際の原爆となら変わりはない。これらは爆発の瞬間にパッと煙を放出し, その爆発高度は地上に備えた正確な光学機械によって観測された。次に, これらの炸裂点高度の数値と, 爆弾を爆発させた近接電波信管装置の数値との比較が行なわれた。2種類の原爆について約100回の試験を行ない, データを入手したものと思われる。それに基づいて推定値の誤差の算定が行なわれ, 次のような電信が送られた。

1945年9月28日

R.B.BrodeからNorman F.Ramsey へ電信

主題: L-11およびF-31の作動高度

装置L-11の作動推定高度は1885 \pm 50フィート(575 \pm 15 m)であった。

F-31の作動推定高度は1650 \pm 50フィート(503 \pm 15 m)であった。

これらの高度推定は, Tinian およびUtahの双方で得られたデータに基づいて行なわれたものである。これらの数値は前のものとやや異なるかもしれない。それは, Tinian における塔乗員が入手していたものよりも新しいデータを今回含めたためである。

(L-11は広島に投下された"Little Boy" であり, F-31は長崎に投下された"Fat Man" のことである。)

Arakawaおよび長岡: Arakawa¹はTR12-59, 第1部によれば1958-60年の間爆心地の問題について非常に広範な調査を行なっている。かれは自身で詳述しているような理由により, 爆心地に関する自分以外の推定値はことごとく退ぞけ, 長岡の広範な資料のみを利用して, 爆心地および炸裂点高度の算定を行なった。われわれは, 現存する推定炸裂点のすべてが, 最も確実性の強い炸裂点の決定に影響を与えるはずであると考えている。

In TR 12-59, several errors in graveyard coordinates occurred in Table 1 on Page 7 (see memo, H. Yamada, ABCC to R. Milton, ABCC 13 October 1965, and letter, R. Milton to J. S. Cheka, 13 October 1965). The best values seem to be:

1. Shokaku Temple 45.24×61.89
2. Joen Temple 44.00×61.36
11. Ryuko Temple 44.24×61.04 , 8° from mag. north
13. Dempuku Temple 43.86×61.42

The present authors have recalculated using the data as given in the report, but with the corrections noted, and obtained essentially the same results as Arakawa, but feel that the data are not good. In the first place, the compass and clinometer used to obtain the shadow angles were very small and probably not very precise. The compass scale was calibrated only at 5 degree intervals, and it was extremely difficult to read as close as 2 degrees. The data in the report gave no indication of whether the shadows were to the left or right of the obstruction, or whether above or below for HOB shadows, yet our correction is quite large for this effect. If one could assume that in every cemetery approximately the same number of measurements were made on left side shadows and right side shadows, the errors would indeed cancel; however one has no assurance nor data to indicate that this was the case. The type of shadows measured for HOB calculations, some of which the present authors have examined, were nearly all "looking" at the top of the fireball, so that it is not surprising that the HOB figure of 606 m was well above most other estimates.

We have plotted the data given for all the cemeteries where many shadows were measured, and find that the observer seemed to have had many biases in recording his data, which could seriously prejudice the reliability of the results. One such case is shown in Figure 4. It seems that the observer had a bias against measurements ending in an odd digit, and that something else was also wrong because he got 97 measurements of 90 degrees and none at all larger than that (or in the next quadrant). Other plots showed a strong preference for angles ending in 0 or 5. None of those distributions resembled a normal or Gaussian curve of error.

The statement by Woodbury and Mizuki that 6500 shadows were measured seems to have arisen from a misunderstanding, since only 1172 angle measurements were given for the hypocenter and 1232 for the HOB. Arakawa told us that he used *all* the measurements he could get; there were *no more usable ones* in the data books.

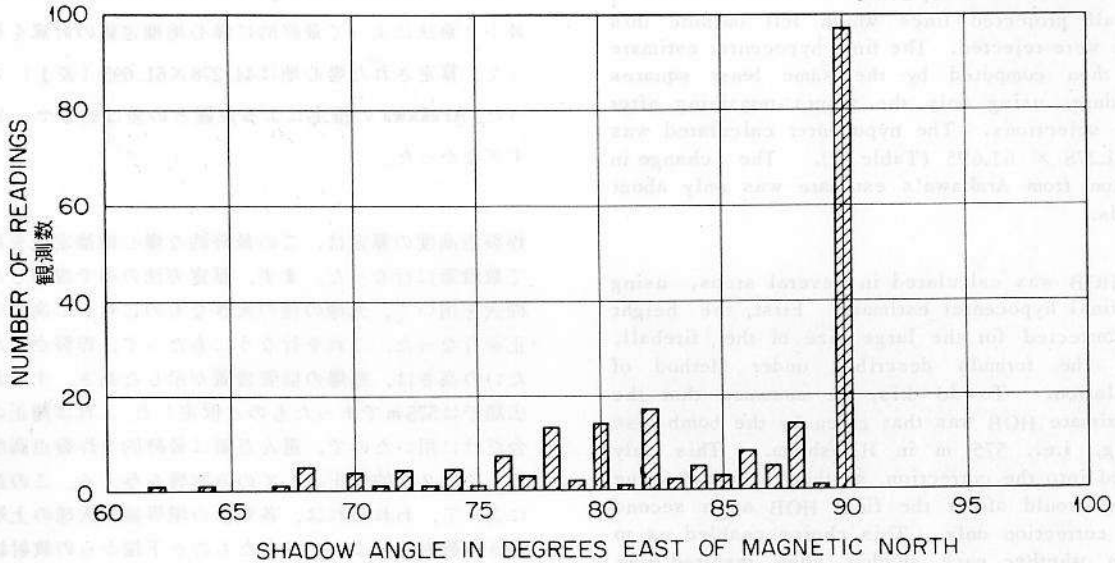
TR12-59では、7ページ、表1における墓地の座標に若干の誤差が生じている。(1965年10月13日づけ ABCC, 山田広明から ABCC, R. Milton へて覚え書き、および1965年10月13日づけ R. Milton から J. S. Cheka へて書簡参照)。最良の値は次の各項に示してあるものと思われる。

- | | |
|---------|---------------------------------------|
| 1. 正覚寺 | 45.24×61.89 |
| 2. 浄円寺 | 44.00×61.36 |
| 11. 隆向寺 | 44.24×61.04 , 磁北から 8° |
| 13. 伝福寺 | 43.86×61.42 |

本報告の著者らは、この報告書に示された資料を補正して再算定を行ない、本質的には Arakawa と同じ結果を得たが、この資料は満足のいくものではないと思う。第1に、投影角を得るために用いたコンパスや測斜計(クリノメーター)はごく小型のもので、おそらくさほど精度のよいものではなかったと考えられる。コンパスの目盛りは5度間隔で刻まれてあるだけであり、2度くらいの目盛りを正確に読むことは非常に困難であった。その報告書のデータは、影が障害物の左側にあったか右側にあったか、また炸裂点高度を測定するための残影が火球上端のものであったか下端のものであったかを示していない。しかし、これらの影響については、われわれは相当大きな補正を行なっている。もし各墓地で左側の影と右側の影についてほぼ同数の測定が行なわれたと仮定することができたならば、誤差は相殺されたであろう。しかし、このような状況であったという確証も資料もない。炸裂点高度の算定のために計測された各種の残影は(そのうちのあるものについては本報告の著者らも検討を行なったが)、ほとんどが火球の上端を「望んで」いるため、606m という炸裂点高度の数値がその他のほとんどの推定値よりもかなり高かったということは、驚くにはあたらない。

われわれは多くの残影測定が行なわれた墓地のすべてについて、発表されているデータをもとに、地点の記入をない、観測者が、資料を記入する際に結果の信頼性がひどくそこなわれるようなかたよりを多く含めたと思われるふしを発見した。その1例を図4に示した。この観測者は奇数で終わる計測値に対してかたよりをもっていたようであり、また他にも何か誤りがあると思わせるのは90度の計測値が97個もあってそれより大きい値(すなわち次の象限にわたる数値)が全然なかったことである。その他にも、0または5で終わる角度に強い偏好が認められた。これらの分布のうち誤差に対して正規または Gauss 曲線を示したものはなかった。

Woodbury および水木の報告には、6500個の影について測定が行なわれたと述べてあるが、これは誤解によるものと思われる。なぜなら、爆心地については1172件、炸裂点高度については1232件の角度測定が報告されているのみであるからである。Arakawa は、入手できる計測値は残らず利用し、資料の記録には利用できるものはもう全然ない、とわれわれに語った。



磁北の東側における角度別観測残影数

FIGURE 4 HYPOCENTER SHADOW MEASUREMENTS AT THE JISEN TEMPLE FROM ABCC TR 12-59

図4. 慈仙寺における爆心地残影計測 - ABCC TR12-59

The hypocenter calculated in Part 1 of TR 12-59 was at 44.281×61.696 (Point 22, Figure 1), and the HOB was 606 m. There are apparently many inconsistencies in the data, so that we do not have much confidence that the results are as good as many of the others discussed above.

The present authors wrote a computer code in an effort to reduce some of the more obvious errors. The procedure was first to compute a hypocenter from all of the data, by minimizing the sum of the squares of the perpendicular distances d_i from the projected shadow lines to the hypocenter. The average value of these distances and its standard deviation were then calculated. Next, all data points were rejected for which the distance d_i exceeded the maximum fireball radius (Glasstone³).

TR12-59 第1部で算定された爆心地は 44.281×61.696 , 炸裂点の高度は606mであった(図1, 地点22). この資料には矛盾が多いようであるから, この結果が上述した他の多くの結果と同じくらいに満足すべきものであるという確信はあまりもてない.

われわれは, 明白な誤差の若干を減少させるために計算機のコードを作った. そしてまず, すべての資料を用いて, 爆心地への投影線からの垂距離 d_i の2乗和を最小限にする方法で爆心地を求めた. つぎに, これらの距離の平均値とその標準偏差とを算定した. さらに, 距離 d_i が火球の最大半径を越える場合の資料地点はことごとく除外した (Glasstone³). * この半径と各距離 d_i とを比較し, この円外に出た投影線はすべて除外した.

*On Page 77 of Reference 3, the radius of the fireball in feet at "break-away" is given as approximately $= 110 W^{0.4}$, where W is the total energy yield in kilotons TNT equivalent. Figure 2.111 on Page 74 combined with Figure 7.95 on Page 360 indicate that the fireball was about twice this large by 2 seconds after burst when more than 80% of the thermal energy had been radiated. Therefore, we get $R = 200$ yards for Hiroshima and about 260 yards for Nagasaki. When the computer calculation was run some years ago, rougher estimates were used based on an early edition of Glasstone's book. These were 142 yards for Hiroshima and 180 yards for Nagasaki. The selection rejected only about 45 points out of 1132 listed in TR 12-59. Changes in these fireball radii, by rejecting more or less points, make very small to negligible changes in hypocenter location.

参考文献3の77ページでは, 「消散」時における火球の半径(フィート単位)は約 $= 110 W^{0.4}$ と示されている. この場合WはTNT火薬相当における総エネルギー収量(キロトン)である. 74ページの図2.111と360ページの図7.95を合わせると, 火球は炸裂から2秒後にはこの大きさの約2倍となり, 熱エネルギーの80%が放射されていたことがわかる. したがって, 広島でR=200ヤード, 長崎では約260ヤードの値が得られる. 数年前に計算機によって算定を行なったときには, Glasstoneの著者の初期版をもとに大まかな推定値を用いた. このときの値は広島で142ヤード, 長崎で180ヤードであった. TR12-59に記載された1132の観測のうち, 選択の際に除外されたのは約45にすぎなかった. これらの火球半径における変化によって, 観測数を多少除外しても, 爆心地の位置における差は, きわめてわずかなものか, 無視できる程度のものである.

This radius was compared with each distance d_i and all projected lines which fell outside this circle were rejected. The final hypocenter estimate was then computed by the same least squares procedure, using only the points remaining after these selections. The hypocenter calculated was at 44.278×61.695 (Table 1). The change in location from Arakawa's estimate was only about 3 yards.

The HOB was calculated in several steps, using this final hypocenter estimate. First, the height was corrected for the large size of the fireball, using the formula described under Method of Calculation. To do this, we assumed that the approximate HOB was that given by the bomb fuse setting, i.e., 575 m in Hiroshima. This only entered into the correction, so that the exact value chosen would affect the final HOB as a second order correction only. This choice enabled us to decide whether each shadow edge resulted from rays that had come from the top or from the bottom of the fireball.

The average HOB, corrected for fireball size and its standard deviation was then calculated. Next, all points giving heights of burst exceeding the average by plus or minus three times the standard deviation were rejected. From the remaining points a new HOB was calculated, and this was considered the best estimate. The results are given in Table 1. Our preferred value is 576 m. The complete program in FORTRAN is available on request.

Hypocenter and Height of Burst in Nagasaki

Nakamura. Apparently the first determination of the hypocenter was made by Katsuji Nakamura,¹⁰ Director of the Nagasaki Meteorological Observatory. In the reference note, he stated that he explored the area a few days after 9 August and noted the direction of inclination of "buildings, stone torii, stone shrine lanterns, trees, etc., that were not affected by geographical features or other objects..." (This probably refers to trees, etc., which were deflected in falling by hitting other objects, or were initially leaning downhill, so that their final positions obviously did not point directly away from the hypocenter.)

His data are presented in Appendix 6 and Table 5, with the present authors' estimates of coordinates for his points. He also measured several thermal shadows to determine the HOB, using a magnetic compass, level, ruler, and tape measure. His method of analysis was:

これらの選択操作後に残った観測点のみを用いて、同じ最小2乗法によって最終的に爆心地推定値の計算を行なった。算定された爆心地は 44.278×61.695 (表1)であった。Arakawaの推定による位置との差は約3ヤードにすぎなかった。

炸裂点高度の算定は、この最終的な爆心地推定値を用いて数段階に行なった。まず、算定方法の項で説明した方程式を用いて、火球の径の大きなものに対して高度の補正を行なった。これを行なうにあたって、炸裂点のだいたいの高さは、原爆の信管装置が示した高さ、すなわち広島では575mであったものと仮定した。これは補正の場合だけに用いたので、選んだ値は最終的な炸裂点高度に対しては2次の補正としてのみ影響を与える。この選択によって、われわれは、各残影の境界線が火球の上端からきた放射線によってできたものか下端からの放射線によるものかを決定することができた。

ついで、火球の大きさに対して補正を行なった炸裂点高度の平均値、ならびにその標準偏差の算定を行なった。それから、平均値のずれが標準偏差の±3倍以上の炸裂点高度を示す観測点は、ことごとく除外した。残った観測点から新しい炸裂点高度を算定し、これを最良の推定値と考えた。その結果は表1に示す。われわれの提案する値は576mである。Fortranによる完全なプログラムは、要望があれば提示することができる。

長崎における爆心地および炸裂点高度

中村：爆心地の測定を最初に行なったのは、長崎測候所長中村勝次のようなのである。¹⁰かれは原爆災害調査報告書の中で、8月9日から数日後に爆心地付近を探索し、「建造物、石鳥居、石灯籠、樹木などの倒壊、傾斜または屈折したものうち、地形や地物の影響を受けていないと認めたものの、倒れたまたは傾斜した方向」をのみ記録したと述べている。(これはおそらく樹木などのことで、倒れる際に他のものに当たって向きがそれたか、またはもともと坂の下方へ傾いていたため、最後の位置が明らかに爆心地と正反対の方向を指していなかったものをいっていると思われる。)

かれの資料は、付録6および表5に、その観測点に関するわれわれの座標推定値とともに示した。中村はまた、炸裂点の高度を測定するために、磁気コンパス、水準器、定規、および巻尺を用いて、数個の熱線残影も計測した。解析方法は次のようなものであった。

TABLE 5 NAKAMURA'S DATA ON HYPOCENTER, NAGASAKI

表5 爆心地に関する中村の資料, 長崎

Point Number 観測点番号	Present Authors Estimate of Coordinates 本著者の座標推定値		Azimuth 方位角	Location 観測点	
	X	Y			
1	94.22	65.85	S85° E	Pine tree near Department of Anatomy, Nagasaki Medical College	長崎医科大学解剖学教室付近の松樹
2	94.26	65.73	S80 E	Tree on Hill, east side of Nagasaki Medical College	長崎医科大学東隣丘上の樹木
3	94.08	65.53	S45 E	Pine tree northwest of attached hospital, Nagasaki Medical College	長崎医科大学付属病院構内北西部の松樹
4	94.23	65.35	S45 E	Chimney, Nagasaki Medical College (Direction bent)	長崎医科大学 煙突 (屈曲方向)
5	94.24	65.19	S40 E	Stone lantern within premises of Sanno Shrine	山王神社境内の石灯籠
6	94.24	65.13	S32 E	Stone lantern beyond second torii of Sanno Shrine	山王神社二の鳥居上の庭園内の雪見灯籠
7	93.60	64.87	S	Steel-framed building of Nagasaki Steel Works west of Urakami Station (inclined)	浦上駅の西隣の長崎製鋼所の鉄骨建築物 (傾斜)
8	93.30	64.97	S20 W	Pine tree near Keiho Prefectural Middle School	長崎県立瓊浦中学校付近の松樹
9	93.34	66.36	N40 W	Chimney in Komaba-cho	駒場町の煙突
10	93.61	66.25	N	Ferroconcrete wall (west side of Urakami Prison)	長崎浦上刑務所の鉄筋コンクリート塀 (西側の分)
11	93.60	66.25	N	Tree outside ferroconcrete wall (west wall?) of Urakami Prison	浦上刑務所の鉄筋コンクリート塀 (西壁?) 外側の樹木
12	93.46	66.98	N12 W	Gas tank in Ohashi-machi	大橋町のガスタンク
13	93.75	67.48	N	Steel-framed building in industrial area of Ieno-machi (inclined)	家野町工場地帯の鉄骨建築物 (傾斜)

The angles of azimuth (to magnetic north?) here are measured to lines pointing away from the hypocenter, just as Nakamura gave them. Other tables list angles to lines toward the hypocenter. This change does not alter the coordinates calculated for the hypocenter.

この方位角 (磁北に対して?) は, 中村が示したように爆心地からの反対方向に対して計測したものである。ほかの表では, 爆心地方向の線に対する角度を示す。この違いによって, 爆心地の座標算定が変わることはない。

“Lines were extrapolated and extended in opposite direction from which the objects had collapsed, inclined or been bent. Most of these lines converged about 450 m west of the Nagasaki Medical College, about 400 m south of the Nagasaki Urakami Prison, about 900 m north of Urakami Station and about 550 m east of Shiroyama Primary School.”

The region he defined as “the hypocenter” was about 100 m south southeast of the vacant lot in Matsuyama-cho assuming that he measured from the center of each region which he lists. The hypocenter which he determined (Point 25a, Figure 2) has AMS map coordinates 93.66×65.80 .

Using our estimates of coordinates for Nakamura's observation points, and his azimuthal angles, and assuming he did not make corrections for magnetic variation when recording his points, we calculated the coordinates of his hypocenter (Point 25b, Figure 2) to be: $X = 93.664 \pm .090$, $Y = 65.852 \pm .090$ (The range given is one standard deviation). Two points were rejected as giving perpendicular distances d_i outside 3 times the standard deviation.

Nakamura also measured about nine shadow angles of elevation to determine the HOB. His data, with our estimates of the coordinates of his points are given in Appendix 6 and Table 6.

Since the HOB calculations all presuppose a certain hypocenter, one gets different HOB figures for each hypocenter chosen. Using his hypocenter, Nakamura gets an average HOB of 538 m. Using a hypocenter at 93.625×65.927 , we get a HOB of 605 ± 99 m. The fireball correction process lowers it to 571 ± 90 m. This is still much higher than any other estimate for Nagasaki, and is very unlikely to be accurate. Perhaps the coordinates we estimated for his points are not accurate.

Since Nakamura's hypocenter determination depended on the action of the blast wave, which was notably capricious, it is not surprising that his point lay far from those of most other investigators. It is more surprising that using a better estimate for the hypocenter and his data to calculate the HOB, we got the highest value of any, because he measured his thermal shadows for the HOB with considerable care. Even making the fireball size correction did not bring this estimate in line with the others. All his points for calculating the HOB lay to the south of the hypocenter, but the angles showed a considerable range in magnitude, even for points close together. Perhaps the objects causing

「各地点から倒向線を逆に引き延ばせば、ほとんど全部長崎医科大学の西方約450m、長崎浦上刑務所の南方約400m、浦上駅の北方約900m、城山国民学校の東方約550mの地域に集まる。」

中村が列記している各地域の中心から測定を行なったものと仮定すれば、かれが「爆心地」と定めた地点は、松山町の空地の南南東約100mである。中村が爆心地と定めた地点(図2、地点25a)の座標は、米陸軍測量部の地図によれば 93.66×65.80 である。

中村の観測地点について、われわれが行なった座標推定やかれの方位角を用い、またかれが観測点記録の際に変化磁場に対する補正を行なわなかったものと仮定して、われわれは中村の爆心地の座標を次のように算定した(図2、地点25b): $X = 93.664 \pm .090$, $Y = 65.852 \pm .090$ (その範囲は1標準偏差を示す)。垂直距離 d_i が標準偏差の3倍以上あった観測点二つは削除した。

中村は、炸裂点高度を定めるために約9個の残影の仰角も測定している。中村の資料、ならびに観測点に関するわれわれの推定座標は、付録6および表6に示した。

炸裂点高度の算定ではすべてある特定の爆心地の推定が前提条件となるので、選定する爆心地ごとに炸裂点高度の数値も異なったものとなる。中村は自身の爆心地を用いた場合の平均炸裂点高度として538mを得ている。われわれが、座標 93.625×65.927 を爆心地として用いた場合求め得た炸裂点高度は 605 ± 99 mである。火球の補正によって、これは 571 ± 90 mに下がる。それでもなお、長崎に関する他の推定値よりもはるかに高く、正確である可能性はほとんどない。あるいは、中村の観測点としてわれわれが推定した座標が正確でないのかもしれない。

中村の爆心地決定は、著しく予測しにくい爆風波の作用に基づいて行なわれたことを考えれば、観測点がほかのほとんどの調査者たちのものとはかなりはなれていることを驚くにはあたらない。むしろ、中村が炸裂点高度に関する熱線残影を相当注意深く測定しているので爆心地についてのよりよい推定値とかれが炸裂点高度算定に使用した資料とを用いてわれわれが計算した結果、他のいずれの値よりも高いものを得たということは、意外なことであった。火球の大きさを補正しても、中村の推定値を他の調査者のものに合わせることはできなかった。かれが炸裂点高度の算定に用いた観測点はことごとく爆心地の南側にあったが、互いに接近した点の場合でさえその角度には相当な開きが認められた。あるいは、残影を形

TABLE 6 NAKAMURA'S DATA ON HEIGHT OF BURST, NAGASAKI

表6 中村の炸裂点高度に関する資料, 長崎

Point Number 観測点番号	Present Authors Estimate of Coordinates 本著者の座標推定値 X Y	Elevation 仰角	Altitude Above Sea Level 海面よりの高さ yards ヤード	Location 観測点
1	94.32 x 63.83	19°02'	4	Western Gas Co. (Kyushu), Gas tank, shadow of frame on NE side 西部ガス会社(九州)のガスタンク, 北東側フレームの影
2	94.32 63.83	19 25	4	Same, NW side 同 北西側
3	94.30 63.85	17 30	1	Same, gas generator, shadow of cylinder 同 ガス発生装置円筒の影
4	94.30 63.85	15 00	4	Same, shadow of 10th step of ladder on cylinder 同 円筒上はしごの10段目の影
5A	94.30 63.85	17 14	3	Same, shadow of 8th step upper edge 同 8段目(上際)の影
5B	94.30 63.85	18 49	3	Same, shadow of 8th step lower edge 同 8段目(下際)の影
6	94.32 63.83	17 45	5	Same, metal holder at center (vertically) of frame of gas tank 同 ガスタンクフレーム中段の座金
7A	94.05 65.43	39 48	39	Yamasato-machi, Nagasaki Medical College, shadow of eaves of roof on west side of dissecting room 山里町, 長崎医科大学, 解剖学教室西庇の影
7B	94.05 65.43	43 53	39	Same 同上
8	93.40 64.85	19 50	3	Takenokubo-machi, Kyushu Electricity distribution substation. Shadow of frame of oil circuit breaker 竹之久保町, 九州配電変電所, 油入遮断器側面のフレームの影
9	93.40 64.85	30 32	3	Same 同上

the shadows to be formed were moved by the blast. Another curious discrepancy between this hypocenter and others is discussed below in the "Pace and Smith" section.

Kimura and Tajima. Kimura and Tajima's¹⁵ method of estimating the epicenter has been quoted in the section on Hiroshima. They located pole-like objects which cast shadows from heat rays of the bomb. The present authors think that their work was very carefully done in comparison to other investigators and probably constituted one of the best estimates of hypocenter location and HOB.

Kimura and Tajima summarized their findings as follows:

"The hypocenter in Nagasaki was 40 m east and 70 m south of the intersection at the road leading up to the Urakami Cathedral in Matsuyama-cho. In other words, approximately in the center of the vacant lot used for a tennis court."

This description of the location illustrates another problem encountered in a survey of the hypocenter determinations. The point 40 m due east and 70 m due south of the intersection was definitely outside of the vacant lot and to the southwest, and was 50 m away from its center. The coordinates of the point they first described were 93.59×65.89 (Point 5, Figure 2). The position at the "center of the vacant lot" agreed much more closely with other determinations and has coordinates 93.61×65.95 (Point 5b, Figure 2).

From the drawing of the location of this hypocenter given in the "Collection ...,"¹⁵ (Appendix 2, their Figure 2) it was determined to be at 93.623×65.926 (Point 5c, Figure 2). The description "40 m east and 70 m south of the intersection" was inaccurate. The center of the vacant lot could be reached by going 40 m from the center of the intersection along the center of the road running in the northeasterly direction from the Matsuyama-cho intersection toward the Urakami Cathedral, then at this point turning right, perpendicular to the road and going 70 m southeasterly.

Unfortunately, Kimura and Tajima's original data were not given. Their estimates of distances from their points to the hypocenter were not very accurate, but their map (see Appendix 2) was quite accurate when compared with the AMS maps, a recent (March 1960) Japanese map, and prebomb aerial photographs.

They made a number of measurements of thermal shadows to obtain the HOB, and gave their best

成させた物体が爆風によって移動したためかもしれない。この爆心地と他の調査者のそれとの間におけるもう一つの奇妙な差異については、後の "Pace および Smith" の項で述べる。

木村および田島：木村および田島¹⁵の炸裂点推定法は広島に関する報告に引用されている。かれらは、原爆の熱線によって影を生じた柱状の物体を探し出して観測を行った。その調査は、ほかの者の調査に比べると実に慎重に行なわれていて、爆心地の位置および炸裂点高度の推定値としてはおそらく最良のものの一つであったと思われる。

木村および田島は、自分たちの調査結果を次のように要約している。

「長崎の爆心地は松山町の浦上天主堂に上る道路の交叉点の東方に40m、更に南方に70m、即ちテニスコートらしき空地の大体中央に位する。」

爆心地の位置に関するこの説明は、爆心地決定の調査中に遭遇したもう一つの問題を提示している。交叉点の真東40m真南70mの地点は、明らかに空地の外であって、その南西に位し、空地の中心から50m離れた場所であった。かれらが最初に示した地点の座標は 93.59×65.89 (図2, 地点5)であった。「空地の中心」の地点は他の推定位置に近接しており、その座標は 93.61×65.95 (図2, 地点5b)である。

原子爆弾災害調査報告集¹⁵に示されているこの爆心地の位置の図(付録2, 木村・田島の図2)によれば、座標は 93.623×65.926 である(図2, 地点5c)。「交叉点の東方に40m、さらに南方に70m」という説明は正確ではなかった。空地の中心は、松山町の交叉点の中心から浦上天主堂へ向かって北東方向に走る道路の中央線に沿って40mのばり、この地点で道路と直角に右に折れ、さらに南東へ70mいった所にあった。

残念なことに、木村および田島の実資料は示されていない。自身の各観測点から爆心地までの距離について行なったかれらの推定はあまり正確ではなかったが、その地図(付録2参照)は、米陸軍測量部地図、最近(1960年3月)の日本製地図および原爆以前の航空写真と比較しても相当正確なものであった。

木村および田島は炸裂点の高度を求めるために熱線残影の測定をいくつか行ない、最良の推定値として 490 ± 25 m

estimate as 490 ± 25 m. It seems very likely, from their discussion, that many more shadows were measured than those shown on their map. It is interesting that they concluded from the shadows that most of the thermal radiation was given off after the fireball had expanded. This agreed with a statement by Glasstone³ (pp 44-5, 74-8).

Masuda, Sakata, and Nakane. In "Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster" Masuda et al²¹ state:

"The hypocenter was determined to be at a point 40 m east and 60 m south of the intersection at Matsuyama-cho. This point coincides, within limits allowed for measurement errors, with the location determined through shadow studies by Kimura and Tajima of Physical and Chemical Research Institute."

Another English version of this report gives the figures as "60 m east and 40 m south of the intersection at Matsuyama-cho" (see Reference 22). Since the Japanese version in the "Collection ..." gives "40 m east and 60 m south," we are inclined to feel the interchange of numbers in Reference 22 is a misprint. Our estimate of these coordinates is 93.59×65.90 (Point 26, Figure 2).

These authors gave a schematic and not very accurate sketch of the hypocenter, showing the distances measured perpendicular to the north-south prefectural highway and parallel to it (Appendix 7).

None of the authors state whether they measured to the center of the intersection or to one of the corners. The center must be assumed in default of other information, though Masuda et al indicated a measurement to the southeast corner. Probably none of the workers was sure of the hypocenter location within a distance equal to the width of the street (about 10 m).

U.S. Strategic Bombing Survey. The Physical Damage Division team of USSBS²³ was in Nagasaki from 13 October to 20 November 1945. They made five measurements of shadow angles to determine the hypocenter, and six for the HOB, of which only five were considered good. Their report, part of which is reproduced in Appendix 8, listed the azimuths of the points, and the measurements of shadows for the HOB. Unfortunately, the locations of the points were not given, and are impossible to identify on the photographs or maps given. Hence the hypocenter and HOB could not be recalculated, nor could any statistical error estimate be made for their estimates of the hypocenter coordinates.

を報告している。この報告からすると、その地図に示されたものよりも多くの残影が測定されているらしく思われる。残影から判断して、熱線のほとんどは火球の拡大後に放出されたものであると結論していることは興味あることである。これはGlasstone³の報告 (pp 44 - 5, 74 - 8) と一致していた。

増田, 坂田, および中根: 災害調査報告集において増田らは次のように述べている。²¹

「爆央は松山町十字路の東40m南60mの地点に存在し、これは先に理化学研究所木村一治氏及び田島英三氏が影から決定された位置と測定誤差の範囲内でよく一致していた。」

この報告に関するもう一つの英訳には、「松山町十字路の東60m南40m」となっている (参考文献32参照)。原子爆弾災害報告集では「東40m南60m」となっているので、参考文献22での数字が入れかわっているのは誤植によるものと考えられる。これらの地点に対するわれわれの推定座標は、 93.59×65.90 (図2, 地点26) である。

この著者らは、概略的であり正確でない爆心地の略図を示しており、それによると南北に通じる県道に対して直角な線と平行な線とで測定して得た距離を示している (付録7)。

測定を行なったのが十字路の中心からであったか、いずれのかどから行なったものであるかについては述べられていない。増田らはその測定が南東のかどから行なわれたとしているが、ほかに資料がないので中心からであったと仮定する必要がある。おそらくこの調査者らは、道路幅に相当する距離範囲内 (約10m) に爆心地を決定する確信はなかったと思う。

米国戦略爆撃隊調査: 米国戦略爆撃隊調査²³の物理的損害調査班は、1945年10月13日から11月20日まで長崎に滞在した。かれらは爆心地を決定するために五つの残影について角度測定を行なった。また炸裂点高度を決定するために六つの測定を行なっているが、そのうち五つだけが満足すべきものであると考えられた。その報告書には、各観測点の方位角ならびに炸裂点に関する残影の測定について記述されており、本報告書では付録8としてその一部を掲載した。残念なことには、観測点の位置は示されておらず、その報告に掲載されている写真や地図の上でそれを確認することができない。したがって、爆心地や炸裂点高度について再算定を行なうこともできず、爆心地の座標に対するかれらの推定位置について統計的誤

Their hypocenter was located, on the maps and photographs in the reference, at 93.63×65.91 (Point 16, Figure 2). The HOB given was 1700 feet (518 m). They claimed that "The diameter of a circle including all the ground zeros found was 600 feet, a circle including the three most reliable ground zeros 80 feet." The standard deviation of their five HOB values was 34 feet, or 10 m, though we wonder if the accuracy was really that good.

They attempted to measure the angles to the center of the penumbra of the shadow, in order to reduce the error due to the large size of the fireball. The shadows measured were apparently all on wooden objects, though at considerable distances from the hypocenter. While such choices reduced the errors from later movement of the objects by the blast, it exaggerated the effects of any errors in angle measurements.

Manhattan Engineer District. A team selected from those in the Manhattan Engineer District^{6,8} led by Brig. Gen. T. F. Farrell, reached Hiroshima on 7 September 1945, and went on to Nagasaki about 17 September. Their report contained a copy of the same AMS map discussed above, with the hypocenter marked at a point whose coordinates we estimate to be the same as those of Kimura and Tajima (93.592×65.946) as indicated by Pace and Smith (Point 29, Figure 2), and discussed in the "Pace and Smith" Section below. However, an aerial photograph, (Figure 44 in the same report) had the hypocenter marked on the other (west) side of the north-south prefectural highway from the "vacant lot in Matsuyama-cho, used as a tennis court." These coordinates were about 93.52×65.95 , and the point was nearly 50 yards west of all the other estimates. It is evident that the authors did not know the location very accurately, and did not think it important. For their purposes a rough location (within 100 yards or so) was close enough. Most of the Japanese workers seem to have made considerably more effort to locate the hypocenter as closely as possible.

Joint Commission Study. A Joint Commission^{7,9} was appointed from several of the U.S. armed service groups and several Japanese groups to study especially the medical effects of the atomic bombs. They issued a six volume preliminary report, and later Cols. A. W. Oughterson and S. L. Warren wrote a book for the National Nuclear Energy Series summarizing the results. Copies of the maps of Hiroshima and Nagasaki mentioned earlier were given inside the covers of this book, with a hypocenter marked with a large cross for each city. It is difficult to estimate the exact locations from these crosses, but for Nagasaki the

差の推定を行なうこともできなかった。参考文献に掲載されている地図や写真によれば、かれらの爆心地の位置は、 93.63×65.91 (図2, 地点16) であった。また、炸裂点の高度は1700フィート(518m)であった。報告は、「求めたすべての地上原点を含む円の直径は600フィートで、最も信頼のおける三つの地上原点を含む円の直径は80フィートであった。」と述べている。かれらの五つの炸裂点高度の標準偏差は34フィート、すなわち10mであったが、実際にそれほどの正確度があったかどうかは疑問である。

かれらは、火球が大きいために生じた誤差を減少させるために、残影の半影の中央部に対する角度の測定を試みた。測定された残影は、すべて木質の物体に印されていたものと思われるが、爆心地からは相当の距離にあった。このような物体を選んだことは、爆風による移動に起因する誤差を減少させたが、角度測定における誤差の影響を大きくした。

マンハッタン技術管区 (Manhattan Engineer District): Manhattan Engineer District^{6,8} から選ばれ、T. F. Farrell 準将に率いられた調査隊は、1945年9月7日に広島に到着し、9月17日ごろ長崎に行っている。かれらの報告書には上述のものと同一米陸軍測量部の地図の写しが含まれており、爆心地は本報告の著者らの推定座標である 93.592×65.946 の地点にしるされている。これは、Pace および Smith の報告にも示され (図2, 地点29)、後の "Pace および Smith" の項でも述べている木村および田島の場合と同じである。しかし、航空写真 (同報告書、図44) では、爆心地は、南北に走る県道をはきんで、「テニスコートに使用された松山町の空地」の反対側 (県道の西側) にしるされている。ここの座標はだいたい 93.52×65.95 であり、その地点は他のどの推定よりも約50ヤード西寄りであった。この著者らは爆心地位置をきほど正確には知らず、それを重要に思ってもいなかったということは明らかである。かれらの目的としては、大まかな位置 (約100ヤード以内) でじゅうぶんであった。日本の調査者らのほとんどは、できるだけ正確な爆心地をつきとめようとして、かれらよりも相当多くの努力を払ったように思われる。

合同調査団による調査: 合同調査団^{7,9} には米国軍人からなる数班と日本人からなる数班が任命され、特に原子爆弾の医学的影響について調査を行なった。6巻の予備報告を作成し、その後 A. W. Oughterson および S. W. Warren 両大佐は、その結果をまとめて米国核エネルギー叢書の1冊として発表している。この本の見返しには前述の広島、長崎の地図の写しが収められ、両市の爆心地にはそれぞれ大きな×が印されている。この×印から正確な場所を推定するのは困難であるが、長崎の場合は、その地点は松山町交差点から浦上天主堂へ行く道路上で、交叉点と

point seems to be on the road from the Matsuyama-cho intersection toward the Urakami Cathedral, about half way from the intersection to the bridge across the brook "Shimono Kawa". The coordinates would be about 93.60×66.00 . This point is north of all except one other estimate, but there may be some inaccuracy in our reading of the position of the cross on the map.

Warren also noted the point of highest residual radioactivity was at a place whose coordinates were about 93.64×65.95 (Point 32, Figure 2). It is not clear whether this was intended to indicate the same point as that mentioned in the previous paragraph.

Tanaka. Yutaka Tanaka¹⁹ stated that after a careful investigation by the Physical Committee the center of explosion was found to be 60 m east along the road from the Matsuyama-cho intersection toward the Urakami Cathedral, then 50 m perpendicular in the southeasterly direction. These coordinates are 93.638×65.942 (Point 10, Figure 2). Tanaka also gave an HOB value of 490 ± 20 m. It is not clear whether this was his own figure, or Kimura and Tajima's.

U.S. Navy Bureau of Yards and Docks. The discussion in the report of the U.S. Navy Bureau of Yards and Docks²⁴ was limited, consisting of the statement: "The location of zero point (according to the best information available at the time of the inspection) and of the various incidents is shown on the map" (see Appendix 5). These coordinates were 93.596×65.955 (Point 17, Figure 2). The map was not very accurate, but the measurements were given. It is not clear in what direction their eastward measurement was made. Probably it was along the side street.

Pace and Smith. Concerning the hypocenters in Nagasaki, Pace and Smith⁴ stated:

"Shown in the figure are also the various estimates of the exact location of the hypocenter, and these may be seen to fall within a reasonable cluster. The "sight center" was located by sighting along fallen tree trunks around the periphery of the explosion area, and plotting the intersection of the cross bearings obtained by means of a transit. This hypocenter falls within the zone of highest residual activity. The Japanese group from Kyushu Imperial University estimated the "Shinohara center" from their residual activity measurements, and the "Japanese center" was estimated by a

「下の川」という小川にかかる橋とのほぼ中間であるように思われる。その地点の座標はだいたい 93.60×66.00 となる。この地点は、1例を除くほかのすべての推定値よりも北に寄っているが、この地図上の×印の位置に対するわれわれの読み方に不正確な点がいづらかあるのかもしれない。

Warrenはまた、残留放射能が最高である地点は座標がだいたい 93.64×65.95 (図2, 地点32) の場所であったとしるしている。これが上述の地点と同一のものをさすつもりであったかどうかは明らかでない。

田中：田中豊¹⁹は、物理委員会の慎重な調査により、爆発の中心は、松山町交差点から浦上天主堂に至る道路に沿って60m東行し、そこから東南へ直角に50m下がった地点であることが認められたと述べている。この座標は 93.638×65.942 である(図2, 地点10)。田中はまた炸裂点高度の値を 490 ± 20 mとして示した。これがかれ自身の数値であるか、木村および田島の値であるかは明らかでない。

米国海軍造船所およびドック局：米国海軍造船所およびドック局の報告内容は限られたもので、次のように述べている。²⁴「原点(調査時に入手し得た最良の資料による)および諸地標の位置は地図に示した。」(付録5参照)。この座標は 93.596×65.955 であった(図2, 地点17)。この地図はあまり正確ではなかったが、測定値が示されている。かれらは東の方向に向かって測定を行なっているが正確にどの方向であったか明らかでない。おそらく小路に沿った方向であろう。

PaceおよびSmith：長崎の爆心地について、PaceおよびSmith⁴は次のように述べている。

「図には、いくつかの調査で求められた爆心地の正確な位置の推定が示してある。これらの推定位置はかなり一致している。転鏡儀を用いて爆心地周辺の倒れた樹木の幹に沿って観測を行ない、これによって求められた方向線の交点を「測量による爆心地」としたが、これは最大の残留放射能のあった地域内にある。九州帝国大学より派遣された日本側調査団は残留放射能を測定して「篠原爆心地」を推定し、東京からの調査団は物理的損害の三角調査を行なった

Tokyo group from triangulation studies of the physical damage. These hypocenters also fall within the area of highest residual activity."

An attempt is made here to reproduce Pace and Smith's map (Appendix 9) though the best copy available at present is not good. Several points may be noted. The "sight center" was located at the west end of the bridge carrying the road to the Urakami Cathedral across the little brook "Shimono Kawa" just east of the hypocenter area. Since the method was the same as Nakamura's, discussed above, it is surprising that the hypocenters should be so far apart. This illustrates the capriciousness of the actions of the blast wave.

The "sight center" was about 90 m northeast of the "Shinohara center", and the latter was about 45 m north of the "Japanese center". Apparently this accuracy was considered adequate at that time.

It was not possible to determine coordinates with any accuracy from this work, but our estimates are as follows:

"Sight center" 93.653×66.034 (Point 27, Figure 2)

"Shinohara center" 93.618×65.988 (Point 28, Figure 2)

"Japanese center" 93.592×65.946 (Point 29, Figure 2. Probably Kimura and Tajima's point)

The errors in our estimates of these figures are of the order ± 0.100 (100 yards).

Hubbell, et al. The data given in Part 1 of this report² have been subjected to extensive study and reanalysis, both at ABCC and at ORNL.* Various methods have been tried for weighting the different shadow measurements, and for attempting to eliminate readings which are seriously inconsistent with the rest of the data, or with other physical phenomena associated with nuclear bomb bursts, such as the size of the fireball. About the only conclusions one can draw from these studies are that the data are very inaccurate, probably because the shadows measured were old (the stones were weathered before they were measured), and because

結果、「日本側調査団の爆心地」を推定した。これらの爆心地も最強度の残留放射能のあった区域内にある

PaceおよびSmithの地図(付録9)の再現を試みたが、現在入手されている写しの最良のものでさえ満足すべきものではない。いくつかの観測点がみられる。「測量(見通し法)による爆心地」の位置は、浦上天主堂に至る道路に沿って、爆心地域のすぐ東側の「下の川」に架かる橋の西詰であった。用いた方法は上述の中村のものと同じであったから、爆心地がこれほど離れていたことは意外である。これは爆風波の作用がいかに予測できないものであるかを示している。

「測量による爆心地」は「篠原の爆心地」よりも約90m北東であり、後者は「日本側の爆心地」より約45m北方であった。当時はこの程度の正確度でじゅうぶんと考えられていたようである。

この調査結果をもとにしての正確な座標を決定することは不可能であったが、われわれの推定値を示すと次のとおりである。

「測量による爆心地」 93.653×66.034 (図2, 地点27)

「篠原の爆心地」 93.618×65.988 (図2, 地点28)

「日本側の爆心地」 93.592×65.946 (図2, 地点29)

(おそらく木村・田島の地点と思われる。)

これらの数値についてのわれわれの推定値の誤差の大きさは ± 0.100 (100ヤード)である。

Hubbellら:本報告第1部²に示された資料について、ABCCおよびORNL*の双方で広範な再検討が行われた。個々の残影測定値に加重値を与えるため、また火球の大きさのように核爆弾の爆発に関連のある他の物理的現象全体の資料とはなはだしく矛盾した結果を除外するため、いろいろな方法が試みられた。これらの調査から引き出さる結果は、資料がきわめて不正確なものであるということだけのようである。これはおそらく、計測された残影が古く(石は計測前に風蝕されていた)、使用したコンパスや小測斜計もじゅうぶんな正確度のあるものでなかったためであろう。いろいろ表面上妥当と思われる方法

*The statement in a "Memorandum for the Record" by R. C. Milton at ABCC, dated 11 April 1966 is incorrect. All the data which Nagaoka gave us were recorded in the Appendix to TR 5-66. These data came from a memo by Nagaoka and Tanaka dated 4 May 1960, which is on file at ABCC. The only "selection" made before the calculation was the rejection of four readings which we believed to be in error for reasons given in the Appendix to TR 5-66.

1966年4月11日づけABCC, R.C.Miltonの「記録のための覚え書き」における記述は正しくない。長岡がわれわれに示した資料はことごとくTR5-66の付録に収録してある。これらの資料は、ABCCで保管している1960年5月4日づけ長岡および田中の覚え書きより入手したものである。算定の前に行った唯一の「選択」は、TR5-66の付録に示した理由から、まちがっていると考えられた四つの観測値を除外したことである。

the compass and clinometer used were not accurate enough. One can obtain a hypocenter at almost any point within a radius of 50 to 75 m from the center of the "vacant lot in Matsuyama-cho, formerly used as a tennis court", by weighting the points in various plausible ways, or by throwing out certain points which do not satisfy some reasonable physical or statistical criteria.² The unweighted or equal weighted calculation used by ABCC for T65D doses gives a point on the east side of the little brook "Shimono Kawa" which flows just east of the present Peace Park. The coordinates are 93.656×65.960 (Point 30b, Figure 2). Nearly all other observers gave points which were to the west of this, so this hypocenter seems very unlikely to be accurate. A study of the shadow lines which were plotted in Figure 3 of TR 5-66 indicated one reason why these data gave an estimate of the hypocenter so far from all others: There were only two groups of points to the north of the hypocenter area, and none to the south, so that if angles measured at these northern points were in error, there would be a large error in the east-west coordinate of the resulting center. The hypocenter given in TR 5-66 was at 93.644×65.927 (Point 30, Figure 2).

The computer program written by the present authors to carry out the analysis has been discussed under "Method of Calculation", both for the hypocenter and for the HOB. HOB estimate was quite sensitive to the exact hypocenter chosen. The recalculation did not seem to improve on the HOB given in TR 5-66, namely 500 ± 9 m. We concluded that the data contain serious mistakes, particularly in failing to indicate whether the shadow was formed looking over the top or under the bottom of each obstruction. We believe any result calculated from them should be given little weight.

RESULTS AND RECOMMENDED HYPOCENTERS AND HEIGHTS OF BURST

In attempting to choose the most likely coordinates for the epicenters from all these sometimes conflicting results, we were faced with a dilemma. We could combine all the results, with subjectively chosen weighting factors, into a final estimate which would seem likely to be much better than any single estimate. Or alternatively, we could have used only those estimates for which the original data were still available so that the epicenter coordinates could be recalculated as was done by Milton and Shohoji in setting up the T65D dose calculation system. We believe the first method would yield a more reliable result for the epicenter

で加重値を与えたり、いくつかの適当な物理的または統計的基準を満たさない観測点を除外したりすれば、「以前テニスコートとして使用された松山町の空地」の中心から半径50~75m以内のほとんどの地点に爆心地を求めることができる。²T65D線量についてABCCが用いた無加重算定または等加重算定では、現在の平和公園のすぐ東方を流れる「下の川」の東側の1地点を示している。その座標は 93.656×65.960 (図2, 地点30b)である。その他のほとんどすべての観測者はこれより西方の地点を得ているので、この爆心地が正確である可能性は非常に少ないと思われる。TR 5-66の図3に示されている投影線を検討したところ、これらの資料から得られた推定爆心地が他のすべてからどんな理由でそのようにかけ離れていたかということがわかった。すなわち爆心地の北側には二つの観測地点群しかなく、南側には一つもないので、北方の地点で計測された角度に誤りがあったとすれば、その結果として得られる爆心地の東西座標には大きな誤差が生じる。TR 5-66に示される爆心地は 93.644×65.927 (図2, 地点30)であった。

われわれが、爆心地および炸裂点高度の解析用として書いた計算機プログラムについては、「算定法」の項で説明してある。炸裂点高度の推定値は、選択された爆心地に対して相当敏感であった。TR 5-66に示された炸裂点高度、すなわち 500 ± 9 mは、再計算によっても改善されなかったようである。われわれは、この資料には重大な誤りがあるという結論に達した。それは特に、残影が各障害物の上部を見通す線によって形成されたか、下部を見通す線によって形成されたかが記録されていないという点にある。われわれは、これらの資料に基づいて計算された結果を重要視する必要はほとんどないと思う。

算定結果ならびに著者らの提案する爆心地および炸裂点高度

ときには相矛盾するこれらすべての結果から、炸裂点に関する座標として最も可能性の強いものを選定しようとして、われわれは非常に困難に直面した。主観的に加重因子を選定し、すべての算定結果を総合して、どの単独な推定値よりもはるかによいと思われる最終的な推定値にするという方法をとることはできる。あるいはその代わりに、T65Dの線量計算の際にMiltonおよび正法地が行なったように、原資料が現在でも入手できて炸裂点座標の再算定が可能である推定値のみを利用することもできた。われわれは、炸裂点の位置については最初の方法によるほうがより信頼性のある結果が得られると思う。座

location. Only a rough estimate could be made of the range within which the coordinates should lie. The second method produced small estimates of the errors, but probably less reliable figures for the coordinates because we mistrust much of the data on which it is based. We greatly prefer an answer based on carefully taken data, and feel that using the results of a considerable number of conscientious observers will give more accurate answers than using only the results of one or two observers for reasons discussed earlier as well as the ones noted in TR 5-66.

The results discussed here are summarized in Tables 1 and 2 and plotted in Figures 1 and 2. Also tabulated are the quantities which entered our weighting factor discussed already. The letter "A" beside any number means that we have had to assume a value in default of any information in the original work. Estimates of a specific author are given by the same number in both cities, so not all numbers are used in either city. The weighted average coordinates are as follows:

Hiroshima 広島 744.298×1261.707 HOB 炸裂点高度 580 m

Nagasaki 長崎 1293.626×1065.932 HOB 炸裂点高度 504 m

The recommended hypocenter points are indicated in the figures. Where there were several different descriptions of the same hypocenter as determined by one group of authors, apparently locating different points, or where several calculations based on the same data give different hypocenter coordinates, we have included all and averaged them together, sometimes with different weights. The reason is that this is more akin to a historical problem than to a scientific one: while there was but one precise geometrical center at which the explosion occurred, all we have now is a series of impressions and approximate data on the effects. In default of any knowledge of the "true" epicenters, we can only combine all available information in accordance with our judgment of its reliability and accuracy, and there will be more ways of doing this than the number of people who will study the data. Fortunately, the changes in coordinates, with further analysis, rapidly become small enough to make negligible changes in the radiation doses to survivors at distances beyond 500 m. Other factors in the dose calculations may contain larger errors.

Since so much of the weighting of the various estimates rests on subjective judgment, it seems nearly useless to obtain an estimate of the errors in the coordinates by ordinary procedures. Any decision to throw out all but one set of data as

標値のおさまるべき範囲については大まかな推定しか行なうことができなかった。第2の方法では誤差の小さい推定値は得られたが、その基礎となる資料には信用のかけないものが多いので、おそらく座標に関する数字は信頼度が劣ると思われる。われわれは慎重に集められた資料に基づく答のほうを選ぶのであって、先に述べたような理由やTR 5-66に示した理由から、一、二の観測者の結果のみを利用するよりも、相当数の良心的な観測者の成果を用いるほうがより正確な答を得られるものと思う。

ここで述べた結果は表1および表2に要約し、また図1および図2にも示した。また、既述の加重因子に入れた数値についても集計した。数値の横に“A”の文字がついているのは、原資料がなくてわれわれのほうで値を仮定する必要があったということを示している。特定の著者の推定値は両市とも同じ記号番号で示してあるので、両市とも必ずしもすべての記号番号が用いられているわけではない。加重平均値の座標は次のとおりである。

提案する爆心地点は図に示した。1組の著者らによって測定された同一爆心地についても異なった記述がいくつかあって、それぞれ別の地点を示している場合、もしくは同一資料についていくつかの算定が行なわれ異なる爆心地座標が示されている場合は、それらのすべてを含め、ときには異なる加重値を与えて平均を出した。その理由は、この問題が科学的なものであるよりも歴史的なものに近いことにある。爆発の起こった場所には正確な幾何学的中心はただ一つしかなかったのであるが、われわれが現在入手しているものは、いろいろな印象や影響に関する概略的なデータだけである。「真の」炸裂点についての知識がない場合は、われわれにできることはただ、入手されている全資料の信頼性と正確性を判断してそれらを総合することであり、これを行なう方法はその資料を検討する人々の数よりも多いであろう。幸いに座標の変化は、さらに検討を加えたところ、500m以遠の距離にいた被爆者の受けた放射線量における変化を無視できるほど急速に小さくなっていく。線量計算におけるその他の要因には、それよりもさらに大きい誤差が含まれているかもしれない。

各推定値の加重は主観的判断に基づくことがあまりにも多いので、通常の方法で座標における誤差の推定値を求めるのはほとんど無駄なことのように思われる。資料がいまなお現存するというだけの理由で、T65D線量算定法を設定した際のように1組の資料以外のものはことごと

was done in setting up the T65D dose calculations, simply because that set is still available, is just as subjective a decision. Therefore, we take as an estimate of the errors, the errors of the determinations which we feel are most reliable:

く排除するということは、上とまったく同様の主観的な決定である。したがって、われわれは最も信頼できると思われる測定値の誤差を誤差の推定値として採用する。

Error Estimates 誤差の推定	
Hypocenter coordinates 爆心地の座標	Hiroshima ± 0.016 (16 yards or 15 m) 広島 Nagasaki ± 0.025 (25 yards or 23 m) 長崎
HOB 炸裂点の高度	Hiroshima ± 15 m 広島 Nagasaki ± 10 m 長崎

For the same reason, it is useless to attempt to compute separate error estimates for the X and Y coordinates.

同様の理由で、XおよびY座標について別々の誤差推定値を計算する試みは無駄なことである。

It may also be noted that the standard deviations we have computed for individual sets of data, where that was possible, are what is called "standard deviations of a single observation." This was used because it seemed to be more comparable with either the range of errors stated by the original authors, or with the error estimated from results for which the data were not available. The corresponding coordinates used for the T65D dose estimates were:

また、われわれが可能な場合に個々のデータについて計算した標準誤差は、「一つの観察における標準偏差」と呼ばれるものであるということにも注目されたい。原著者らが述べた誤差の範囲、または資料が入手されていない結果をもとに推定された誤差のいずれに対しても、より多くの比較性があるように思われたので、この方法を用いた。T65D線量推定に使用した該当座標は次のとおりである。

Hiroshima 広島 744.285 \times 1261.697 HOB 577 m

Nagasaki 長崎 1293.656 \times 1065.960 HOB 507 m

The differences in Hiroshima (15 m between epicenters) do not seem to us sufficient to warrant any dose recalculations. In Nagasaki, however, the T65D coordinates were chosen on the basis of a calculation from one set of data which we feel could contain serious errors. That hypocenter is well outside the region where most other estimates of the hypocenter fall, and is unlikely to be close to the "best" point. Our epicenter point and the T65D point are about 35 m apart, so a recalculation of doses would seem to be justified in Nagasaki, since such a difference would make a change in estimated dose of the order of about 10% at 1000 m from the hypocenter, and even more change closer to the hypocenter.¹ In correlating medical effects this could be magnified to 20% when comparing cases in opposite directions with respect to the hypocenter.

広島における差（各炸裂点間で15m）は小さいので、線量の再算定を行なう必要はないと思われる。しかし長崎では、T65D座標は、重大な誤差が含まれている可能性があると考えられる1組の資料の計算をもとに選定されている。この爆心地は、ほかのほとんどの爆心推定地点のある地域から相当外側にあって、「最良の」地点に近いものである可能性はなさそうと思われる。われわれの炸裂点とT65Dのそれとは35m離れており、このような差では、爆心地から1000mの地点で推定線量に約10%の差が生じ、爆心地により近いところではさらに大きくなるので、長崎の場合は、線量の再算定を行なう根拠はじゅうぶんにあるように思われる。¹ 医学的影響との相関を求めるにあたって爆心地を中心にして互いに反対方向にある症例の比較を行なうときは、この差は20%に増大することもありうる。

TABLE 7 ALTERNATIVE COMBINED EPICENTER COORDINATE ESTIMATES, HIROSHIMA

表7 別の総合推定法に基づく炸裂点座標, 広島

Estimate 推定	Combines Points in Table 1 Numbered 総合された表1 中の観測点	Hypocenter Coordinates 爆心地座標 X_i Y_i	New Weight 新しい 加重値 u_i^* %	HOB 炸裂点の 高度 (m)	New Weight 新しい 加重値 u_i^* %	Designation 略称	
HA	1						
HB	2	44.200 61.800	0.0203	550	0.0281	Kure	呉
HC	3	44.200 61.800	0.0203	550	0.0010	Arakatsu	荒勝
HD	4	44.290 61.700	0.0572	570	0.6332	Watanabe et al	渡辺ら
HE	5,5b,5c,12, 18b, 24	44.301 61.722	30.3799	580	55.9526	Kimura & Tajima	木村および田島
HF	7,7b,7c,7d	44.388 61.621	3.6416	576	2.7389	Kanai	金井
HG	10	44.280 61.690	0.0770	570	0.6332	Tanaka	田中
HH	11, 15	44.273 61.740	0.6934	549	0.1013	Manhattan	
HI	13	44.300 61.685	0.3082	609	0.1013	British	英国側
HJ	14	44.300 61.750	0.3082	555	0.1013	Oughterson & Warren	
HK	16, 16b	44.250 61.700	3.5945	608	0.5058	USSBS	
HL	17	44.340 61.680	1.9262			US Navy	米海軍
HM	18	44.307 61.713	21.4783	600	1.2602	TR 12-59 Part 2	TR12-59 第2部
HN	20	44.250 61.770	0.1195			ABCC Wright & Brewer	
HO	21	44.330 61.730	2.4378	570	0.8014	Nagaoka 1953	長岡1953年
HP	22,22b,22c	44.281 61.696	34.9376	585	14.6658	TR 12-59 Part 1	TR12-59 第1部
HQ	23			575	22.4585	Fuse	信管
Alternative Estimates 別の推定値							
		X	Y	HOB			
		44.298	61.706	579.6			
Variances 分散 (Land)		0.0059	0.0056	2.0			

*Only the first one or two digits are significant. 最初の1,2桁のみが有意である。

ALTERNATIVE CALCULATION OF HYPOCENTERS AND HEIGHTS OF BURST

The first author discussed this paper with several statisticians at ABCC in February 1968. Some expressed dissatisfaction with the tabulations as given in Tables 1 and 2, because several different estimates are given for the epicenter coordinates derived from the same sets of observations (see Appendix 1). Tables 7 and 8 were therefore calculated to give the single combined estimate of the coordinates from each observer's data. The weight w_i for each combined estimate is simply the sum of the individual weights given in Tables 1 and 2.

爆心地および炸裂点高度に関する別の算定法

1968年2月, 筆頭著者はABCCにおいて数人の統計学者と本報告に関する討議を行なった。同じ観察資料から数種の異なる炸裂点座標推定値が得られているので, ある者は表1および表2の集計に対して不満を表明した(付録1参照)。したがって, 各観察者ごとの資料による座標を総合して一つの推定値として表わすために, 表7および表8の算定が行なわれた。各総合推定値の加重値 w_i は, 表1および表2に示された各加重値の合計にすぎない。

TABLE 8 ALTERNATIVE COMBINED EPICENTER COORDINATE ESTIMATES, NAGASAKI

表8 別の総合推定法に基づく炸裂点座標, 長崎

Estimate 推定	Combines Points in Table 2 Numbered 総合された表 2中の観測点	Hypocenter Coordinates 爆心地座標		New Weight 新しい 加重値 u_i^*	HOB 炸裂点の 高度 meter	New Weight 新しい 加重値 u_i^*	Designation 略称	
		X_i	Y_i	%		%		
NA	4	93.610	65.920	0.0546	490	0.7530	Watanabe et al	渡辺ら
NB	5, 5b, 5c, 29	93.606	65.923	61.0263	490	4.3470	Kimura & Tajima	木村および田島
NC	10	93.638	65.942	2.3033	490	1.7019	Tanaka	田中
ND	13				533	0.2711	British	英国側
NE	16	93.630	65.910	6.3696	518	6.7831	USSBS	
NF	17	93.596	65.955	6.3696			US Navy	米海軍
NG	20	93.610	65.920	0.0646	490	1.0843	Wright ABCC	
NH	21, 21b, 21c, 21d	93.674	65.939	10.2052	504	21.0609	Nagaoka 1961	長岡1961年
NI	23				503	60.3040	Fuse Setting	信管装置
NJ	25a, 25b	93.662	65.826	0.6832	545	0.7349	Nakamura	中村
NK	26	93.590	65.900	0.3435			Masuda et al	増田ら
NL	27	93.653	66.034	0.1148			Sight Center	見通し法による中心
NM	28	93.618	65.988	0.1148			Shinohara	篠原
NN	30, 30b, 30c	93.651	65.952	12.1988	502	2.9597	TR 5-66	
NO	32	93.640	65.950	0.1518			Warren	
Alternative Estimates 別の推定値								
		X	Y		HOB			
		93.621	65.929		503.6			
Variances 分散 (Land)		0.013	0.0026		1.6			

*Only the first one or two digits are significant. 最初の1,2桁のみが有意である。

It was also felt by these statisticians that it was more desirable to use w_i^2 as a weighting factor rather than w_i , because in a few cases the error estimate σ was computed by equation (5) and is a standard deviation. In many of the cases we did not have the original data and could only guess at an error figure. $(1/w_i)$ does represent our guess at the relative error of each estimate of the epicenter coordinates, but note that to obtain w_i by equation (7), σ is multiplied by two factors which could be determined only subjectively, in all but one or two cases, and the w_i are therefore essentially arbitrary. They could just as well have been chosen so that each w_i value was numerically the square root of the value in Table 1 or 2. Squaring these would

これらの統計学者たちはまた、二、三の例では誤差の推定値 σ は方程式(5)によって計算されており、標準偏差でもあるので、加重因子としては w_i よりも w_i^2 を用いる方がより望ましいとも考えていた。多くの場合、われわれは原資料を入手していなかったので、誤差の数値については推測することしかできなかった。 $(1/w_i)$ は、われわれが炸裂点座標の各推定値の相対的誤差として推測した値を表わすが、方程式(7)によって w_i を求めるためには、一、二の例外を除いたすべての場合、主観的にのみ決められる二つの要因を σ に掛けなければならないので、 w_i は本質的には任意的なものである、ということに留意する必要がある。それらは、各 w_i の値が表1または表2における値の平方根であるような数字を選んだとし

give the weight numbers in Tables 1 and 2, but now these would be Dr. Land's weight factors U_i , except for normalization so their sum is unity. So we do not see why squaring our weight factors as originally given endows them with the statistical significance of variances.

However, to satisfy this request, we have calculated new weight factors u_i for hypocenter coordinates and u'_i for heights of burst:

$$u_i = \frac{w_i^2}{\sum w_i^2}$$

and similarly for u'_i . The u_i and u'_i are thus normalized so that their sum is unity. The values of u_i and u'_i are also given in Tables 7 and 8. Using these, we have calculated new estimates for the epicenter coordinates. What this process essentially does is to reject, or at least make negligible the effect on the final estimates of all but the two or three estimates with the highest weight. We do not think this is a wise or justifiable procedure; however, the argument is academic because the new estimates of the final epicenter coordinates differ very little from the recommended values. Dr. Land suggested this procedure, and we are indebted to him for this discussion.

Following Dr. Land's suggestion further, we also calculated in each case the quantity he defines as the "Variance of the estimate" of the coordinate, as explained in his letter. These are given in Tables 7 and 8.

As a matter of interest, we have listed in Table 9 several estimates of the epicenter coordinates, including those derived according to the immediately preceding discussion. It is again evident that the T65D hypocenter coordinates for Nagasaki differ significantly from all other estimates which have been used by ABCC. We think the method used to obtain the T65D hypocenter coordinates for Nagasaki was unjustified and should be corrected. The arguments for this, both physical and statistical are given at length in References 2, 25, and 26.

SUMMARY

The location of the epicenters or burst points of the atomic bombs of 6 and 9 August 1945, are among the primary data used to determine the radiation doses estimated for survivors. These doses are being correlated with medical effects by

でも同じである。これらを2乗すれば表1および表2の加重値が得られるが、その合計が1となるように標準化されることを除けば、これらはDr. Landの加重因子 u_i と同じものとなる。したがって、最初に示したわれわれの加重因子を2乗することが、なぜそれらに統計学的に有意な分散を与えるというのであるか理解できない。

しかし、この要求を満たすために、われわれは、爆心地座標については新しい加重因子 u_i を、炸裂点高度については u'_i を計算した。

なお、 u'_i についても同様の計算を行なうことができる。したがって、 u_i および u'_i は合計が1となるように標準化される。表7および8にも u_i および u'_i の値を示した。これらを用いて炸裂点座標の新しい推定値を算定した。この方法によって、本質的には、最高の加重値を有する二、三の推定値を除いた残りすべての最終推定値への影響を排除するか、または少なくとも無視できる程度のものにする。われわれは、これが賢明なまたは合理的な方法だとは思わないが、最終的な炸裂点座標の新しい推定値はわれわれの提案する値とほとんど違わないので、この議論は理論的なものである。この方法を提案したDr. Landに感謝している。

さらにDr. Landの提案に従い、われわれは、かれの手紙に述べられているように、各件ごとに座標の「推定値の分算」としてかれが定義した量も計量した。これらの値は表7および8に示した。

興味ある問題として、上記の討議で得られた推定炸裂点座標を含む数個の推定値を表9に示した。長崎についてのT65D爆心地座標は、ABCCで用いられてきたその他のすべての推定値とは有意に異なっているということが再度明らかにされた。長崎のT65D爆心地座標の算定に用いられた方法は合理的なものではないので、修正する必要があると思う。この物理学および統計学的理由は、参考文献2、25および26に詳細に述べてある。

要約

1945年8月6日および9日に投下された原子爆弾の炸裂点の位置は、被爆者についての放射線被曝推定線量を求めるための主要資料の一つである。被曝線量と医学的影響との相関関係は、広島・長崎のABCCによって現在求

TABLE 9 VARIOUS EPICENTER COORDINATE ESTIMATES, HIROSHIMA & NAGASAKI

表9 種々炸裂点座標の推定値, 広島・長崎

Source 出所		Hypocenter Coordinates 爆心地座標		HOB 炸裂点の高度
		X	Y	
HIROSHIMA 広島				
Old ABCC (Wright)	古いABCC資料 (Wright)	44.250	61.770	580?m
T57D (Woodbury & Mizuki)	T57D (Woodburyおよび水木)	44.310	61.720	580
T65D (Milton & Shohoji)	T65D (Miltonおよび正法地)	44.285	61.697	576
TR 12-59 (Arakawa)	44.281	61.696	606
Our Recommended Values	本著者らの提案値	44.298	61.707	580
Alternative (Land) Calculation	別の算定法 (Land)	44.298	61.706	579.6
NAGASAKI 長崎				
T57D Old ABCC	T57D 古いABCC資料	93.610	65.920	490
T65D (Milton & Shohoji)	T65D (Miltonおよび正法地)	93.656	65.960	507
TR 5-66 (Hubbell et al)	TR5-66 (Hubbellら)	93.644	65.927	500
Our Recommended Values	本著者らの提案値	93.626	65.932	504
Alternative (Land) Calculation	別の算定法 (Land)	93.621	65.929	503.6

ABCC in Hiroshima and Nagasaki. About 25 reports from 1945-68, and many old maps have been restudied in an effort to find the best estimates of the coordinates and heights of the epicenters. All original data which were found and which had not previously been published by ABCC are recorded in this report. Parts of several reports on the subject which are difficult to obtain are also reproduced. Original data were recalculated where possible, and all the estimates are combined to get weighted averages of the coordinates. In this report the recommended coordinates in terms of the U.S. Army Maps of Hiroshima and Nagasaki Series AMS L902, No. 138449 Hiroshima 1946, and No. 138353 Nagasaki 1945 are as follows:

Hiroshima 広島 744.298×1261.707, Height of burst 炸裂点の高度 580 m

Nagasaki 長崎 1293.626×1065.932, Height of burst 炸裂点の高度 504 m

The error in each of the coordinates in Hiroshima is estimated as ± 15 m. For Nagasaki, the errors in the hypocenter coordinates are estimated as ± 23 m, and ± 10 m in the height of burst.

For Hiroshima, the recommended epicenter is within about 15 m of the point used for the T65D dose calculations, so no recalculation of doses is desirable. For Nagasaki, the recommended epicenter is about 35 m from that used for T65D, so a recalculation of Nagasaki survivors doses is recommended.

められている。炸裂点の座標および高度の最もよい推定値を求めるため、1945年より1968年までの間に入手した約25の報告書および多くの古い地図について再検討を加えた。発見されたすべての原資料で、今までABCCによって掲載されていないものもこの報告書に収録されている。また原文が入手できない数種の報告書については主題に関する部分だけを収録した。可能な場合には、原資料の再計算を行ない、すべての推定値を総合して座標の加重平均値を求めた。広島および長崎に関する米国陸軍地図AMS L902・138449号(広島1946年)および138353号(長崎1945年)に基づく著者提案の座標は次のとおりである。

広島における座標の誤差はそれぞれ ± 15 mと推定され、長崎の爆心地座標の誤差は ± 23 mで、炸裂点の高度では誤差は ± 10 mと推定されている。

このたび提案した広島の炸裂点は、1965年暫定推定線量(T65D)に使用されたもののほぼ15 m以内であるので、線量の再計算の必要はないと考える。しかし、長崎の提案炸裂点は、1965年暫定推定線量に用いられたものよりも約35 m離れているので、同市の被爆者の線量を再計算することを勧告する。

REFERENCES

参考文献

1. ARAKAWA ET, NAGAOKA S, et al: Determination of the burst point and hypocenter of the atomic bomb in Hiroshima. ABCC TR 12-59 (広島における原子爆弾の炸裂点および爆心地点の決定)
2. HUBBELL HH JR, ARAKAWA ET, et al: The epicenter of the atomic bombs. 1. An estimate based on thermal ray shadows, Nagasaki. ABCC TR 5-66 (原子爆弾の炸裂点, 熱線による残影に基づく推定, 長崎)
3. GLASSTONES(ed): The Effects of Nuclear Weapons. US Atomic Energy Commission (revised ed 1962, reprinted 1964). pp 31-5 (核兵器の効果)
4. PACE N, SMITH RE: Measurement of the residual radiation intensity at the Hiroshima and Nagasaki atomic bomb sites. US Naval Medical Research Institute, NMRI-160A, 16 April 1946; ABCC TR 26-59 (The relevant pages and figures are included herein as Appendix 9) (広島および長崎の原子爆弾被爆地域における残留放射能の強さの測定) (注: 関係箇所や図は本報告の付録9に示した)
5. US STRATEGIC BOMBING SURVEY, PHYSICAL DAMAGE DIVISION: The Effect of the Atomic Bomb in Hiroshima, Japan. Washington DC, US Gov Print Off, 1947 (広島における原子爆弾の影響)
6. VARLEY N: Physical damage, Hiroshima, Japan. Vol. 1. USAEC WO-172 (広島における物理的損害)
7. OUGHTERSON AW, WARREN S: Medical Effects of the Atomic Bomb in Japan. National Nuclear Energy Series, New York, McGraw Hill, 1956 (日本における原子爆弾の医学的影響)
8. MANHATTAN ENGINEER DISTRICT: The atomic bombing of Hiroshima and Nagasaki. (1945?). Oak Ridge National Laboratory Library (広島および長崎の原子爆弾投下)
9. OUGHTERSON AW, BARNETT HL, et al: Medical Effects of Atomic Bombs. The Report of the Joint Commission for the Investigation of the Effects of the Atomic Bombs in Japan. Vols 1-6. USAEC NP-3036 through NP 3041, 1951 (This was apparently the preliminary report and source material for Reference 7) (原子爆弾の医学的影響) (注: これは明らかに参考文献7の予報であり元資料と思われる)
10. (NAKAMURA K: Report on investigation of atomic bomb casualty in Nagasaki City. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Ed by Committee for the Publication of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster, Japan Science Council. Tokyo, Japan Science Promotion Society, 1953. Vol 1, pp 177-83 (Included herein as Appendix 6) 中村勝次: 長崎市原子爆弾被害調査報告, 原子爆弾災害調査報告集, 日本学術会議原子爆弾災害調査報告集刊行委員会編, 東京, 日本学術振興会, 1953年, 第1分冊, pp 177-83 (注: 付録6として本報告に添付した)
11. (FUJIWARA T, TAKEYAMA H: Residual radiation around Hiroshima City. Ibid. pp 75-83) 藤原武夫, 竹山晴夫: 広島市付近における残存放射能について, 同上, pp 75-83
12. (KURE NAVAL STATION: Investigation of atomic bomb attack on Hiroshima. Ibid. pp 413-23) 呉鎮守府: 広島市における原子爆弾に関する調査(一般的調査) 同上, pp 413-23
13. (ARAKATSU B: Report of radiological investigation of Hiroshima City conducted for several days after the explosion. Ibid. pp 5-11) 荒勝文策: 爆発後数日間に行なえる広島市の放射能学的調査に関する報告, 同上, pp 5-11
14. (WATANABE T, YAMASAKI M, et al: Geological study of damage caused by atomic bomb. Ibid. pp 143-58) 渡辺武男, 山崎正男, ほか: 広島および長崎両市における原子爆弾災害物の地質学および岩石学的観察, 同上, pp 143-58
15. (KIMURA K, TAJIMA E: Location of atomic bomb explosion and size of fireball. Ibid. pp 83-8) (Included herein as Appendix 2) 木村一治, 田島英三: 原子爆弾の爆発地点および火球の大きさ, 同上, pp 83-8 (注: 付録2として本報告に添付した)

16. Japanese films of Hiroshima and Nagasaki, edited with English sound track by US Air Force: 16 mm, 19 reels, G-783-1, USAF 17679 (See especially reels R2, R3, R4, R5, R13, R14, R15, R16)
(日本人が撮影した広島および長崎の映画)
(特に次のリールを見よ。R2, R3, R4, R5, R13, R14, R15, R16)
17. PENNEY WG, SAMUELS DEJ, SCORGIE GC: The nuclear explosive yields at Hiroshima and Nagasaki. Roy Soc Lond Phil Trans A266:357-424. 1970
(広島および長崎における核爆弾の収量)
18. (KANAI K: Epicenter of atomic bomb in Hiroshima. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Ed by Committee for the Publication of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster, Japan Science Council. Tokyo, Japan Science Promotion Society, 1953. Vol I, pp 92-8) (see Appendix 3)
金井 清: 広島における原子爆弾の爆心地。原子爆弾災害調査報告集。日本学術会議原子爆弾災害調査報告集刊行委員会編。東京、日本学術振興会、1953年。第1分冊, pp92-8 (注: 付録3参照)
19. TANAKA Y: Preliminary report on destructive effects of A-bombs with one photo album, 10 March 1946. Draft in Oak Ridge National Laboratory Files, CF 46-3-503
(原爆の破壊的影響に関する予備的報告および写真帳1冊, 1946年3月10日)
20. US NAVY, BUREAU OF YARDS AND DOCKS: Report of the Bureau of Yards and Docks, Mission to Japan 1945. Part 3. Sec 1. Incidents in Hiroshima (The relevant pages included herein as Appendix 5)
(1945年に日本に派遣された造船所・ドック局の報告。第3部, 第1節。広島の状態) (注: 関係箇所は本報告の付録5として示した)
21. (MASUDA T, SAKATA T, NAKANE R: Radiation due to the atomic bomb in Nagasaki and adjacent areas. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Ed by Committee for the Publication of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster, Japan Science Council. Tokyo, Japan Science Promotion Society, 1953. Vol I, pp 38-40) (Included herein as Appendix 7)
増田時男, 坂田民雄, 中根良平: 長崎およびその隣接地区における原子爆弾による放射能。原子爆弾災害調査報告集。日本学術会議原子爆弾災害調査報告集刊行委員会編。東京、日本学術振興会、1953年。第1分冊, pp38-40 (注: 付録7として本報告に添付した)
22. TYBOUT RA: Radiation in Hiroshima and Nagasaki. USAEC WO-170, 1946. Sec B
(広島および長崎における放射線)
23. US STRATEGIC BOMBING SURVEY, PHYSICAL DAMAGE DIVISION: The Effects of the Atomic Bomb on Nagasaki, Japan. Washington DC. US Gov Print Off, 1947. Vols 1-3 (The relevant parts included herein as Appendix 8)
(長崎における原子爆弾の影響)(関係部分は本報告の付録8に示した)
24. US NAVY, BUREAU OF YARDS AND DOCKS: Report of the Bureau of Yards and Docks, Mission to Japan 1945. Part 4. Incidents in Nagasaki (see Appendix 5)
(1945年に日本へ派遣された造船所・ドック局の報告。第4部。長崎の状態)(付録5参照)
25. UEDA S: Nagasaki hypocenter computation. Memorandum to HH Hubbell, 3 July 1960. ABCC Department of Statistics Files
(長崎の爆心地の算定)
26. UEDA S: Nagasaki hypocenter determination. Memorandum to HH Hubbell, 17 August 1960. ABCC Department of Statistics Files
(長崎の爆心地の決定)

APPENDIX 1 : LETTER FROM DR. CHARLES LAND OF ABCC ON AN ALTERNATIVE METHOD
OF COMBINING THE EPICENTER ESTIMATES

付録 1 : 種々炸裂点推定位置を総合する別の方法に関する ABCC の Dr. Charles Land の手紙

17 February 1968

Dear Dr. Hubbell,

Since the meeting yesterday morning I have been thinking, off and on, about a way of expressing your estimation scheme in an "orthodox" statistical manner. I think I have one that is defensible on statistical grounds, and with your permission I propose to write up the method and do the calculations when I return to ABCC, perhaps for an ABCC footnote to your report.

Briefly, the method is as follows:

(1) It bothers me to think of the w_i 's as inverse standard deviations, and I seem to recall that you mentioned that you didn't really think of them in this way either. I think that $1/w_i$ would more properly be termed an expression of relative error. That is, if x_1 is considered to be twice as accurate as x_2 , then $1/w_1 = 1/2 \times 1/w_2$. All the w_i 's could be multiplied by the same constant, and it wouldn't make any difference. We might say, rather, that an unknown constant, σ , exists such that the standard deviation of x_1 is σ/w , etc., or in terms of variances, the variance of x_1 is σ^2/w_1^2 . The nice thing about this is that σ^2 can be estimated as a by-product of the procedure for getting a weighted estimate of x , and thus we will have estimated variances for each of the separate estimates, and more important, a variance estimate for the final estimate.

(2) As I mentioned on Friday, I'd prefer to get a separate estimate for each set of data, by taking averages of all the equally plausible calculations from the data.

(3) Given that (1) and (2) are followed, the customary estimate would be

$$\hat{x} = \frac{\sum w_i^2 x_i}{\sum w_i^2},$$

and the estimated variance of this estimate is

$$\hat{\sigma}_{\hat{x}}^2 = \frac{\sum w_i^4 (x_i - \hat{x})^2}{[\sum w_i^2]^2}$$

1968年2月17日

拝 啓

昨日の朝の会議以来、いろいろとあなたの推定計画を「正統な」統計学的手法によって表現する方法について考えました。一応、統計学的立場から擁護できる一案を得ましたので、ABCCへ帰任の際その方法を詳述し、それに基づく算定を行なって、ご承諾を得た上であなたの報告書へのABCC脚注としてでも挿入したいと考えています。

その方法は概略次のようなものです。

(1) 私は、 w_i を逆標準偏差と考えることには懸念をもっており、またあなたご自身も実はそんなふうには考えていないといわれたように記憶しています。私は $1/w_i$ は相対的誤差の表現と呼んだほうがよいと思います。すなわち、 x_1 が x_2 の2倍も正確であると考えた場合、 $1/w_1 = 1/2 \times 1/w_2$ となります。すべての w_i には同じ定数をかけることができ、それによってなんら差は生じません。言い変えるなら、未知の定数 σ があつて、それにより x_i の標準偏差は σ/w となり、これを分散で表現するならば x_i の分散は σ^2/w_i^2 となります。この方法の利点は、 σ^2 は x の加重推定値を得る手段としての副産物として推定できるということであり、これによって個々の推定値について推定分散が得られ、さらに重要なことは最終的推定のための分散推定値が得られることであります。

(2) 金曜日に述べましたように、資料から同程度に妥当と思われる算定のすべてについて平均値を求め、各資料それぞれについて別々の推定値を求める方がよいと思います。

(3) (1)および(2)が実施されるとして、通常の推定値は、

となり、この推定値の推定分散は次のようになります。

There is a good reason for using \hat{x} . Let u_1, \dots, u_n be an arbitrary system of weights, and define $\tilde{x} = \sum u_i x_i$, where we assume $\sum u_i = 1$. The variance of \tilde{x} is

$$\text{Var}(\tilde{x}) = \sum u_i^2 \text{Var}(x_i) = \sum u_i^2 \times \frac{1}{w_i^2} \sigma^2,$$

where σ^2 is an unknown constant.

If we assume that each of the methods used to produce the estimate x_1, \dots, x_n were unbiased (and if we don't we should be able to say something about this bias), the accuracy of \tilde{x} as an estimate of the true coordinate is expressed by its variance. We should, if possible, select the weights u_1, \dots, u_n to minimize $\text{Var}(\tilde{x})$.

Using calculus and a Lagrange multiplier, we have

$$\frac{\partial}{\partial u_i} [\text{Var}(\tilde{x}) + \lambda (\sum u_i - 1)] = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} [\text{Var}(\tilde{x}) + \lambda (\sum u_i - 1)] = 0,$$

so that

$$(1) 2u_i \cdot \frac{1}{w_i^2} \sigma^2 + \lambda = 0,$$

$$(2) \sum u_i = 1.$$

This gives $u_i = \frac{w_i^2}{\sum w_i^2}$, and it does minimize $\text{Var} \tilde{x}$.

Charles Land

\hat{x} を用いることについてはりっぱな理由があります. u_1, \dots, u_n を任意な形式の加重値とし, $\tilde{x} = \sum u_i x_i$ を求めます. ただしこの場合 $\sum u_i = 1$ と仮定します. \tilde{x} の分散は

ただし, σ^2 は未知の定数であります.

推定値 x_1, \dots, x_n を得るために用いた方法がかたよったものでないと仮定すれば(もしそう仮定しなかったとしてもこのかたよりについては説明できる), 真の座標推定値としての \tilde{x} の精度はその分散によって表わされます. できれば分散(\tilde{x})を最小にする加重値 u_1, \dots, u_n を選定すべきであります.

微積分およびLagrangeの乗法を用いれば,

となります. したがって,

これによって $u_i = \frac{w_i^2}{\sum w_i^2}$ の式が得られ, これは $\text{Var} \tilde{x}$ を最小にします.

Charles Land

APPENDIX 2 : LOCATION OF A-BOMB EXPLOSION AND SITE OF FIREBALL¹⁵

付録 2 : 原子爆弾の爆発地点および火球の大きさ¹⁵

Kazubaru Kimura, Research Assistant and Eizo Tajima, Assistant, Physical and Chemical Research Institute

理化学研究所 副研究員 木村 一 治 助手 田 島 英 三

The location of the A-bomb explosions in Hiroshima and Nagasaki were roughly determined immediately after the bombs. These determinations were based upon the following factors:

Trees had been toppled by the blast in all directions away from the center of the explosion;

In Hiroshima, both railings of many bridges toppled in one direction, but the railings of the Motoyasu Bridge toppled in opposite directions. Therefore, it was surmised that the hypocenter must have been on a line extended from the bridge;

According to a report made by an army anti-aircraft unit which was making observations at the time, the altitude of the bomb was about 550 m.

In order to accurately determine these values and the diameter of the fireball, that is, the size of the bomb the instant it exploded for it had considerable incendiary power, an on-the-spot study was made. The results are given hereunder.

First, to avoid confusion, definitions were made for the following terms: Epicenter - point in midair where the bomb exploded; Hypocenter - point on ground directly under the epicenter.

Radiant rays released by bombs at the time of explosion scorched and burned lumber, induced changes on surfaces of concrete, and exfoliated the surface of granite. If there were objects to shield these rays, their shadows remain. Thus the hypocenter can be located on lines extended from

原子爆弾の爆発地点は広島においても長崎においても爆発直後現地においてだいたいの決定はなされていた。それは次のような事実に基づくものである。

即ち樹木が爆風のために爆発地点を中心にして外側に向って四方に倒れておること、

また広島においては多くの橋の欄干は二つとも一方方向に倒れているのに、元安橋の欄干のみは左右に別れて倒れている、したがって中心はこの橋の延長上になければならないということ等である。

高度に関しては当時観測中であった陸軍高射砲隊の報告によって約550米であることが知られておった。

我々はこれらの値の精確な決定と火球の直径即ち爆発した瞬間に爆弾が膨脹してなお相当な焦夷力を有するが、その時の大きさの決定とをするために現地調査を行なった。ここにその結果を述べる。

先ず混乱を避けるために次の言葉を定義する、爆源 (Epicenter) : 爆弾が炸裂した空中の位置をいう。爆央 (Hypocenter) : 爆源の直下の地上の点をいう。

これらを決定する方法は、爆発に際し爆弾から出る輻射線によって木材等に焼け焦げが生じたり、コンクリートの表面が変化したり、花崗岩の表面が剝離したりするが、その物体の前面に輻射線の遮蔽物があると、その影が印

15. (KIMURA K, TAJIMA E: Location of atomic bomb explosion and size of fireball. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Ed by Committee for the Publication of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster, Japan Science Council. Tokyo, Japan Science Promotion Society, 1953. Vol 1, pp 83-8)

木村一治、田島英三：原子爆弾の爆発地点および火球の大きさ、原子爆弾災害調査報告集、日本学術会議原子爆弾災害調査報告集刊行委員会編、東京、日本学術振興会、1953年。第1分冊、PP 83-8

the boundary line of the shadow. Various localities were visited to obtain such data and determine the direction of the hypocenter. These data are entered on a map and lines extended from these shadows converge at one point. This is the hypocenter.

The direction is determined by sticking two sewing needles along the boundary line and taking a sight. A suitable object is obtained along this sight line. However, actually speaking the boundary lines of the shadows are not very clear and spread out considerably. When the bomb exploded, a considerably large size fireball which had incendiary power spread out producing the halftone shadows. Therefore, in order to rule out such inaccuracies, pole-like objects were selected and direction determined by setting boundary lines along the area with the same extent of scorches and burns on both sides of the object. Then the hypocenter was determined by the average values. Furthermore, when using this method, more accurate data can be obtained from objects closer to the hypocenter than from those comparatively distant. In studies at Hiroshima, objects close to the hypocenter were used in most cases. However, in Nagasaki no objects close to the hypocenter were available so we were forced to use distant objects. Therefore, accuracy in the latter case is not high. The objects used are as follows (distances from the hypocenter are given within the brackets):

Hiroshima

1. Right-most stone lantern in front of Gokoku Shrine (350 m);
2. Lion Statue in front of above shrine (350 m);
3. Fence of above shrine (350 m);
4. Window on top floor of Chamber of Commerce and Industry Building;
5. Stone foundation of Sino-Japanese War Monument (232 m);
6. Others.

Nagasaki

1. Monument for War Deceased at foot of Urakami Cathedral (450 m);
2. Monument in front of Cathedral (450 m);
3. Window frame of Attached Hospital, Nagasaki Medical College (650 m);
4. Policebox in front of Ibinokuchi streetcar stop (~1470 m).

The following results were obtained from these data:

The hypocenter in Hiroshima was 19 Saiku-machi. In other words, about 125 m south of the Gokoku Shrine streetcar stop and about 25 m southeast of the main entrance of the Shima Hospital (Illustration 1).

される、爆央はその影の境界線の延長上になければならないから、かような資料を各地に求めて、その方向を決定してこれを地図の上に書くとこれらの線は一点において会する、その点が即ち爆央である。

方向を決定するには、境界線に二本の縫針を立てて之を目で見通して、その延長上に適当な目標物を求めるのである。しかし実際には影の境界線はそれ程判然としていたものでなくて、相当な拡がりを持っている。この拡がりの出来るのは、爆弾が爆発した次の瞬間に相当な大きさの火球に拡がっても、なお焦夷力を有するので、半影の部分が生ずるためと思われる。そこでその不正確を除く意味から、なるべく柱状の遮蔽物の左及右に出来た二つの影について、同じ程度の焼け焦げの所を境界線として方向を決定し、その平均を爆央方面とする。なおこの方法によると爆央から比較的遠い距離にある資料によるよりも、近い距離にある資料による方が精度がよいので広島の場合には主に近い資料に用いた。しかし長崎の場合には近い資料が得られなかったので止むを得ず遠い資料を用いた。したがってそれだけ精度はよくない。使用した資料をあげると次の通りである。(弧内は爆央からの距離)

広島の場合

1. 護国神社前の最右の石灯籠(350米)
2. 同神社口前の唐獅子(350米)
3. 同神社の玉垣(350米)
4. 商工会議所最上階の窓
5. 日清石碑の石台(232米)
6. その他

長崎の場合

1. 浦上天主堂下の忠魂碑(450米)
2. 天主堂前の記念碑(450米)
3. 長崎医大附属病院の窓枠(650米)
4. 井樋の口電停前の交番(~1470米)

之等の資料を用いて決定された結果は次の通りである。

即ち広島の場合は細工町19番地、即ち護国神社前の電車通りの南方約125米の島病院の玄関の東南方約25米の地点。(第1図)。

The hypocenter in Nagasaki was 40 m east and 70 m south of the intersection at the road leading up to the Urakami Cathedral in Matsuyama-cho. In other words, approximately in the center of a vacant lot used for a tennis court (Illustration 2).

From the state of the dispersed directional lines on the maps, it is believed that the average error in Hiroshima is within a radius of about 15 m and about 30 m in Nagasaki.

The angles of incidence of radiant rays are determined from the shadows of eaves produced on the walls behind and the shadows of ladder rungs on the sides of chimneys. Then, the height of the epicenter was determined by the angle of incidence and the distance from the hypocenter.

Suitable objects were not available near the hypocenter and when the angle of incidence was near 90° , errors in angular measurements are greatly affected. Therefore, values obtained from distant studies were used. The results are as given in Tables 2 and 3. In Hiroshima the height was 577 ± 20 m and 490 ± 25 m in Nagasaki.

Next, the size of the fireball was determined by the spread out area of the halftone shadows and the distances from the hypocenter. However, it is necessary to make further studies to determine whether these values give the radius or the diameter of the ball.

Immediately after the explosion of the bomb when the fireball is still small, if its temperature is extremely high and the incendiary power much greater than after the fireball had expanded, the visual angle of the half scorched and burnt area will correspond with the radius of the fireball. The location of the center of the fireball should be on the extended line which forms the boundary between the scorched and burnt areas and the half scorched and burnt areas. This is because about half of the area burnt after the fireball expanded will include areas already burnt once and it is believed that the additional burning will not make this area any darker (Illustration 3-A not included here).

On the other hand, if the integrated incendiary power of the fireball immediately after the explosion is smaller when compared to the power after the fireball has expanded, the spread out halftone shadow will correspond to the diameter (Illustration 3-B not included here).

In order to determine whether it was the former or latter case, the studies made at the Postal Savings Bureau are cited. In this case, the shadows of the

長崎では松山町の浦上天主堂に上る道路の交叉点の東方に40m, 更に南方に70m即ちテニスコートらしき空地の大体中央に位する(第2図).

測定の精度は地図の上の方向線の分散の様子から、広島の場合には平均誤差で半径約15米、長崎の場合には、30米程度と思われる。

爆源の高さを決定するには、ひさしの影がその後の壁に出来ている場合や、煙突の梯子の踏み棒が煙突の側面の影を作った資料が得られると輻射線の仰角を知ることができるので、これと爆央距離とから爆源の高さが分る。

この資料は近距離においては良い資料が得られなかったことと仰角が 90° に近くなると角測定における誤差が大きくなり影響して来るので、遠距離から得た値を用いた。その結果は第2及び第3表に示す通りであって、広島の場合は 577 ± 20 m、長崎の場合は 490 ± 25 mである。

次に火球の大きさの決定であるが、半影の拡りと爆央までの距離とからその大きさを決定することができる。しかしその値が火球の半径を与えるものか、あるいは直径に相当するものかは一応検討して見る必要がある。

爆弾が爆発した直後火球の未だ小さかった時その温度が非常に高くその瞬間の焦夷力はその後の火球が相当大きくなった後の焦夷力に比較して非常に大であるとすれば、半こげの視角は火球の半径に対応することになり焦げた部分と半こげの部分との境の線を延長した線上に火球の中心があるはずである。何となれば火球が拡大した後に焦夷する面積の約半分は充分焦げてしまっている領域を焼くことになるので、それ以上黒くならないということが考えられるからである。(第3図Aの場合ここには採録しない)

これに反し爆発直後小さい火球でいる間の積分された焦夷力がその後火球が大きくなってからの積分焦夷力に比較して小さいとすれば、半影の拡りは直径に対応する。(第3図Bの場合ここには採録しない)

このいずれかを決定する一例として貯金支局の場合をあげることができる。この場合水平な窓枠Sの上縁及び下縁がテックスを張った壁に印せられている。上縁の本影

upper and lower ledges of a level window frame were left on a wall. The boundary lines between the main shadow and halftone shadow of the upper ledge were coded A and B, and those of the lower ledge C and D. The dip angles of A, B, C and D will be $\theta_A, \theta_B, \theta_C, \theta_D$. The values for these angles are indicated in Table 1.

および半影の境界線を夫々 A, B, とし下縁の夫等を C, D, とする. A, B, C, D, の傾斜角を夫々 $\theta_A, \theta_B, \theta_C, \theta_D$, とすれば, 之等の値は第 1 表の様に測定された.

TABLE 1 SHADOWS AT POSTAL SAVINGS BUREAU

第 1 表 貯金支局の影

		θ_A	θ_B	$\theta_B - \theta_A$	$\frac{1}{2}(\theta_A + \theta_B)$	θ_C	θ_D	$\theta_D - \theta_C$	$\frac{1}{2}(\theta_C + \theta_D)$
Window 窓	1	21° 2'	23° 31'	2° 27'	22° 16'	21° 7'	23° 22'	2° 15'	22° 15'
Window 窓	2	21 30	24 39	3 9	23 4	20 58	23 28	2 30	22 13
Average 平均		21 16	24 5	2 49	22 40	21 2	23 25	2 22	22 14

In the former case, the following formula would be in effect, $\theta_A = \theta_D$, in other words, $A // D$.

もし第 1 の場合ならば $\theta_A = \theta_D$ 即ち $(A // D)$ でなければならない.

On the other hand, in the latter case, the following formula would be in effect, $\theta_A = \theta_C$ ($A // C$) $\theta_B = \theta_D$, $\frac{1}{2}(\theta_A + \theta_B) = \frac{1}{2}(\theta_C + \theta_D)$. The above table, therefore, proves the latter case to be correct. However, the shadows on both sides of the object providing shielding, show a slight tendency to draw closer to each other, in other words,

これに反し第 2 の場合ならば $\theta_A = \theta_C$ ($A // C$) $\theta_B = \theta_D$, $\frac{1}{2}(\theta_A + \theta_B) = \frac{1}{2}(\theta_C + \theta_D)$ でなければならない.

表をみると第 2 の場合が正しいということが分る. ただし遮蔽物の両側に出来た影が多少お互に寄り合ってくる傾向, 即ち

$$\theta_A < \theta_C, \theta_B < \theta_D, \frac{1}{2}(\theta_A + \theta_B) > \frac{1}{2}(\theta_C + \theta_D)$$

The degree of darkening is not in proportion to the integral energy of rays and the main burnt area may be considered as having already exceeded the permissible limit. Therefore, it is believed that the visual angle of the measured halftone shadow $\theta_B - \theta_A$ or $\theta_D - \theta_C$, must give a value slightly smaller than the diameter of the fireball.

なる傾向がみられる. これは壁の黒化度が焦夷する光線の積分エネルギーに比例せず本焦の部分では既に許容度の範囲を出ているものと解釈すればよい. したがって測定された半影の視角 $\theta_B - \theta_A$ 又は $\theta_D - \theta_C$ は火球の直径より多少小さい値を示すと考えなければならない. これに反し $\theta_B - \theta_C$ は直接之を示すものと考えられる.

The value obtained for the former case was 77 m and 99 m for the latter. Therefore, for objects from which only one halftone shadow could be obtained, it would be necessary to provide the following corrections, $99/77 = 1.28$ times. This correction can also be applied to Nagasaki.

前者から得られた値は, この場合に 77 米で後者からは 99 米である故に片方の半影しか得られない他の資料から求めた値は $99/77 = 1.28$ 倍の補正を行なう必要がある. この補正は長崎の場合にも適用できるものとする.

The results obtained from such observations are as shown in Tables 2 and 3. It is believed that the diameters of the fireballs of the A-bombs dropped on both Hiroshima and Nagasaki were about 100 m.

かような考察から得られた結果は第 2 表及第 3 表の通りであって, 広島の場合も長崎の場合も火球の直径は約 100 米と考えられる.

Before ending this report, we wish to express our appreciations to the Japan Science Council for the assistance extended in the preparation of this report.

終りに臨み, 本調査報告に援助を与えられた日本学術研究会議に感謝の意を表する.

TABLE 2 HIROSHIMA

第2表 広島

Place of Observation 観測場所	Distance from Hypocenter 爆央からの距離	Object 資料	Material on which shadow was left 影の出来ている 物の材質	Height of Epicenter 爆源の高さ	Diameter of fireball 火球の直径
Chugoku Power Distribution Co. (Ko-machi) 中国配電株式会社 (小町)	730 m	Window frame of dome on top of roof 屋上ドームの窓枠の影	Wood 木	560 m 585	
Chugoku Power Distribution Co. (Ko-machi) 中国配電株式会社 (小町)	730	Post of shrine on top of roof 屋上にあるお宮の柱の影	Wood 木	—	
Chugoku Power Distribution Co. (Ko-machi) 中国配電株式会社 (小町)	730	Same as above 屋上にあるお宮の柱の影	Wood 木	581 571	
Communications Bureau (Higashi Hakushima) 通信局 (東白島町)	1350	Post of air raid shelter on top of roof 屋上の防空壕の柱	Wood 木	594 589 540	
Postal Savings Bureau (2-chome, Senda-machi) 貯金支局 (千田町2丁目)	1600	Shadow of window frame 窓枠の影	Texture テクス	—	
Trust Association (Enko-bashi) 信用組合 (猿猴橋)	1860	Air raid shelter on roof 屋上の防空壕	Wood 木	599	
Average 平均				577*	78, corrected value 補正值100
Gokoku Shrine 護国神社	350	Stone lantern 石燈籠	Granite 花崗岩	550 546	
Gokoku Shrine 護国神社	350	Lion statue 唐獅子	Granite 花崗岩	517 493	
Gokoku Shrine 護国神社	350	Shrine fence 玉垣	Granite 花崗岩	—	70 51
Sino-Japanese War Monument 日清役碑	230	Foundation stone 台石	Granite 花崗岩	525 452 630	
Average 平均				556*	

*It was finally decided to adopt 577 m for the height. 高度の最後の結果としては 577 m の方を採用する。

TABLE 3 NAGASAKI

第3表 長崎

Place of Observation 観測場所	Distance from Hypocenter 爆央からの距離	Object 資料	Material on which shadow was left 影の出来ている 物の材質	Height of Epicenter 爆源の高さ	Diameter of fireball 火球の直径
Attached Hospital Nagasaki University 長崎医大附属病院	650 m	Window frame 窓枠	Concrete コンクリートの変色	—	80
Attached Hospital Nagasaki University 長崎医大附属病院	650	Shadow of eaves 庇の影	Concrete コンクリートの変色	485	
Urakami Cathedral 浦上天主堂	450	Monument for war deceased 忠魂碑	Andesite 安山岩	—	61
Mitsubishi Ordnance Factory 三菱兵器工場	1400	Rungs of ladder for chimney 煙突の梯子の横棒	Paint on steel plate 鉄板上の塗料の変色	515 515 472 472	Average 平均 497, 492
Mitsubishi Steel Works Research Section 三菱製鋼所研究課	1150	Shadow of rungs of iron ladder 鉄梯子の横棒の影	Concrete コンクリートの変色		

APPENDIX 3 : EPICENTER OF A-BOMB IN HIROSHIMA¹⁸

付録3：広島における原子爆弾の爆心地¹⁸

Kiyoshi Kanai, *Earthquake Research Institute, Tokyo University*

東京大学地震研究所 金井 清

I visited the A-bombed cities of Hiroshima and Nagasaki from 17 October to 11 November 1945 and conducted detailed study on materials necessary for the estimation of the location of the epicenter which should be the basis of study and investigations on the A-bomb explosion.

To determine the epicenter, the following investigation was conducted on as many remaining structures as possible. In other words, the border between parts burned or singed by thermal heat and the parts shielded by some objects were investigated and the point of intersection of the plane formed by these borders and edges of shielding objects was obtained to determine the epicenter.

As the A-bomb exploded over the center of Hiroshima City, several scores of remaining structures such as buildings, bridges, and walls were available within the radius of 1000 m from the hypocenter. Detailed investigation showed 37 places to have well-defined border lines caused by thermal heat. In Figure 1 which is a map of Hiroshima City, circles have been entered to indicate the locations of buildings investigated and the numbers are the numbers of buildings shown in Table 1. Of the 37 places 7 typical ones were selected and their photographs are shown in Figures 2-8 (not included here). Brief description of each photograph is given below. House numbers in parentheses correspond with the numbers of structures in Figure 1 and Table 1.

Figure 2, Sanwa Bank(1), shows the shadow remaining on the steps at the base of a concrete parapet on the west side of the roof. The epicenter calculated from this shadow was at an angle of $84^{\circ}42'$ and the direction was $S\ 83^{\circ}\ W$.

Figure 3, Chiyoda Building (7), shows the shadow made by a tower on the ornamental tile roof of the

昭和20年10月17日から11月11日までの間、広島、長崎の原子爆弾の被害地に出張し、原子爆弾の爆発現象に関する研究調査の基礎となるべき爆心の推定に必要な資料を綿密に探査した。

爆心の推定は、熱線により焼けまたは焦げた部分と障害物で熱線の影になった部分との境界線を、できるだけ多くの残存した構造物について探査し、その境界線と障害物の縁線とを含む面の交点を求める方法によった。

広島市の場合、爆心地が市街地の中心部であったので、爆心地から半径約1 km以内の地域に数十の残存建造物、即ち、建物、橋梁、柵等があり、それらを全部しらみつぶしに調べて歩いた結果、熱線の影による境界線がはつきり残っている箇所を37ヶ所見付けることができた。第1図の広島市の地図の中で、○印は踏査した建造物の所在地で、数字は第1表の建造物の番号にあたる。37ヶ所の中の代表的なもの7ヶ所の写真を第2～8図（ここには採録しない）に示し、これらの写真の一つ一つについて簡単な説明を加える。説明中の括弧内の番地は第1図及び第1表中の建造物の番号にあたっている。

第2図 三和銀行(1) 屋上西側バラベットのコンクリート踏台に残った影、この影から爆心は当所より高度 $84^{\circ}42'$ 、方向 $S\ 83^{\circ}\ W$ となる。

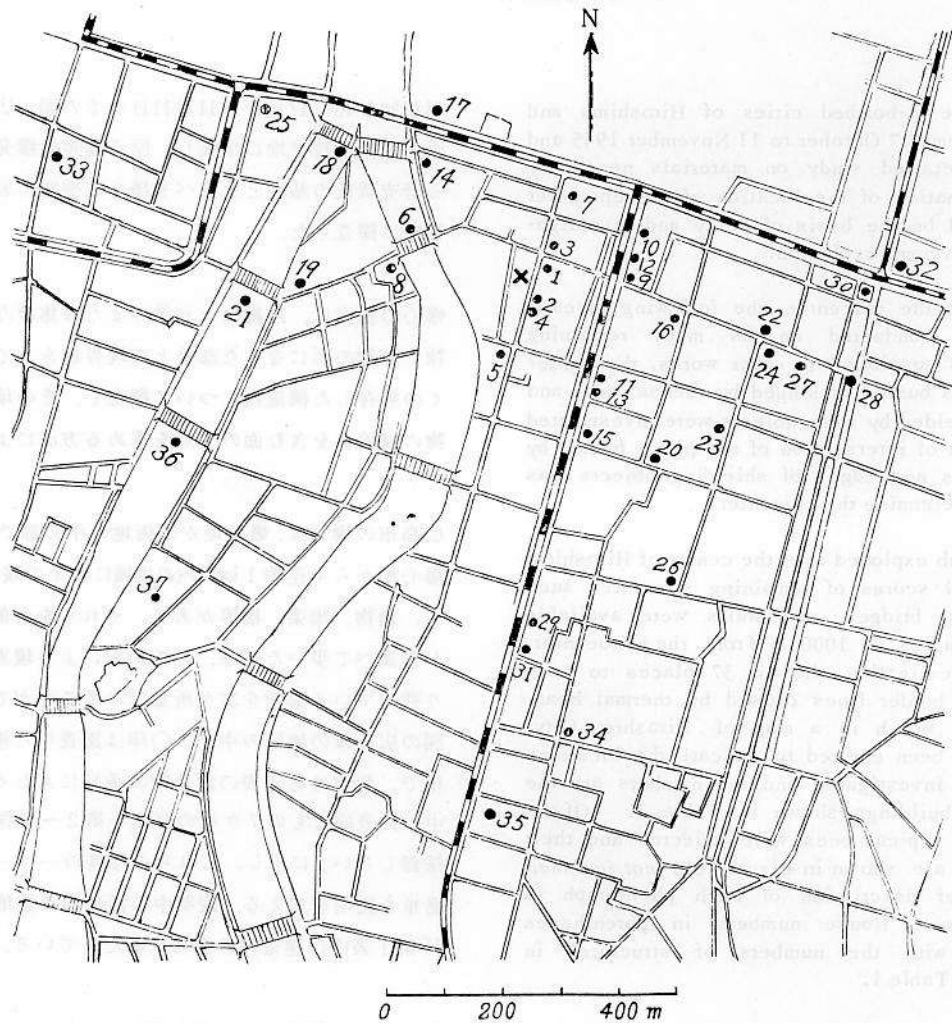
第3図 千代田ビル(7) 屋上化粧練瓦床上に現われた塔

18. (KANAI K: Epicenter of atomic bomb in Hiroshima. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Ed by Committee for the Publication of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster, Japan Science Council. Tokyo, Japan Science Promotion Society, 1953. Vol 1, pp 92-8)

金井清：広島における原子爆弾の爆心地。原子爆弾災害調査報告集。日本学術会議原子爆弾災害調査報告集刊行委員会編。東京、日本学術振興会、1953年。第1分冊、pp 92-8

HYPOCENTER OF THE ATOMIC BOMB IN HIROSHIMA

広島における原子爆弾の爆心地



Kanai¹⁸
金井¹⁸

FIGURE 1 MAP OF HIROSHIMA CITY

第1図 広島市地図

TABLE 1

第 1 表

Number 番 号	Name of Building 建造物名称	Direction of Epicenter 爆心方向	Altitude of Epicenter 爆心高度	Distance from Hypocenter 爆心地よりの距離
1	Sanwa Bank 三和銀行支店	S 83° W	84° 42'	50 m
2	Nihon Insurance Co. 日本生命支店			60
3	Daiichi Bank 第一銀行支店			70
4	Bank Club House 銀行集会所		84 42	70
5	Hiroshima Gas Co. 広島瓦斯			110
6	Motoyasu Bridge 元安橋			160
7	Chiyoda Insurance Co. 千代田生命中国営業所	S 55° W	79 03	160
8	Prefecture Fuel Corp. 県燃料配給統制組合支部			190
9	Yasuda Insurance Co. 安田生命支店			190
10	Sumitomo Bank 住友銀行支店	S 82° W	73 37	190
11	Meiji Insurance Co. 明治生命支店			200
12	Geibi Bank 芸備銀行			220
13	Seiyoken 精養軒	N 45° W	70 28	220
14	Industrial Museum 商品陳列館	S 50° E		240
15	Bank of Japan 日本銀行支店			270
16	Teikoku Bank 帝国銀行支店			270
17	Chamber of Commerce & Industry 商工会議所	S 23° E		320
18	Aioi Bridge 相生橋			320
19	Nihon Kan-i Fire Insurance Co. 日本簡易火災支店			350
20	Fukuro-machi Primary School 袋町小学校	N 42° W		370
21	Honkawa Bridge 本川橋			440
22	Old Building of Obayashi-gumi Construction Co. 元大林組			440
23	Hiroshima Central Telephone Bureau 広島中央電話局	N 35° W	55 42	440
24	Yasuda Bank 安田銀行支店	N 76° W	51 21	450
25	Honkawa Primary School 本川小学校	S 56° E	51 33	480
26	Girls Middle School 広島県女			520
27	Shimomura Jewelry Store 下村時計店			590
28	Kirin Beer Hall キリンビヤホール			590
29	Chugoku Electric Power Supply Co. 中国配電	N 2° W	45	600
30	Bank of Commerce & Industry Association 商工組合中央金庫	S 88° W	41 21	600
31	Asano Library 浅野図書館			640
32	Fukuya Department Store 元福屋百貨店			670
33	Sotoku Middle School 崇徳中学			780
34	First Middle School 広島一中			780
35	City Office 市庁舎	N 2° E	31 30	940
36	Shin-Ohashi Bridge 新大橋	N 65° E		600
37	Old Building Bank of Japan 元日本銀行			1000

Kanai¹⁸

金井 18

Chiyoda Building. The height of the epicenter calculated from this shadow was at an angle of $79^{\circ}03'$ and the direction was $S 55^{\circ} W$.

Figure 4, Branch Office of the Sumitomo Bank(10), shows a shadow made by a parapet on the west side of the roof. A similarly clear shadow was seen on the south side. This is definite evidence that the hypocenter was not near the west end of the Motoyasu Bridge or 100 m south of the Gokoku Shrine gate. The epicenter calculated from this shadow is at an angle of $73^{\circ}37'$ and $S 82^{\circ} W$ in direction.

Figure 5, Seiyoken(13), shows the shadow made by a parapet on the ornamental tiles on the west side of the roof. The epicenter calculated from this shadow is $N 45^{\circ} W$ in direction.

Figure 6, Industrial Museum (14), shows a well-defined shadow on the concrete window frame on the south side on the first floor. The epicenter calculated from this is $S 50^{\circ} E$ in direction. The west end of the Motoyasu Bridge and the spot about 100 m in south of the Gokoku Shrine gate are due south and due west from this point respectively. These places far exceed the range of permissible error in the estimation of the hypocenter by shadows.

Figure 7, Hiroshima Central Telephone Bureau (23), shows the shadow made by a parapet on the west side of the concrete roof. The epicenter calculated from this shadow is at an angle of $20^{\circ}24'$. A shadow of the tower on the roof was seen on both the east and south side.

Figure 8, Shin-Ohashi Bridge(36), shows the marks on the asphalt road due to thermal heat which passed through the interstices of the railing. The epicenter calculated from these marks is $N 65^{\circ} E$ in direction.

As is evident from Figures 2-8 and the description, the epicenter can be calculated with considerable accuracy from thermal heat marks or the border between thermal heat marks and shielded portions. The hypocenter calculated from data obtained from the investigation of the 37 places is marked by X in Figure 1. It is estimated to be about 170 m west of the Kawayama-cho streetcar stop and 570 ± 20 m above ground. The size of the so-called fireball could not have been larger than 30 m in radius. The results of investigation are summarized in Table 1.

In case of Nagasaki, the A-bomb fell outside of the center of the city and few structures remain in the vicinity. Therefore, there were only 2 or 3 places that had shadows suitable for the purpose of this study.

の影、この影から爆心は当所より高度 $79^{\circ}03'$ 、方向 $S 55^{\circ} W$ となる。

第4図 住友銀行支店(10) 屋上西側パラベットのためにコンクリート床にできた影。南側にもこの写真程度に明瞭な影が見られ、この資料は、爆心地が元安橋西詰附近とか、護国神社鳥居南方100m附近とかではない大きな証明になる。この影から爆心は当所より高度 $73^{\circ}37'$ 、方向 $S 82^{\circ} W$ となる。

第5図 精養軒(13) 屋上化粧タイル床に見られる西側パラベットの影。この影から爆心方向は $N 45^{\circ} W$ となる。

第6図 商品陳列館(14) 南側1階コンクリート窓枠にはっきりと浮き出た小壁による影。この影から爆心方向は $S 50^{\circ} E$ となる。元安橋西詰または護国神社鳥居南方100m附近は当所よりそれぞれほぼ真南および真西に当り、第6図の影から求めた爆心方向の誤差範囲をはるかに越えている。

第7図 広島中央電話局(23) 屋上コンクリート床に投じた西側パラベットの影。この影から爆心は当所より高度 $20^{\circ}24'$ となる。なお屋上の塔の影が東と南の両面に認められた。

第8図 新大橋(36) 欄干隙間を通った熱線がアスファルトを焼いた跡。この焼跡境界線より爆心方向は $N 65^{\circ} E$ と算定される。

以上第2～8図の写真ならびにその説明から明らかなように、熱線による焼跡または焦げ跡とその影との境界線から、爆心はかなり精確に推定することができる。37ヶ所の踏査資料からこのようにして求めた爆心は第1図の×印の地点、即ち、草屋町電車停留所西方約170m上570m ± 20 mと推定された。なお、いわゆる“火の玉”の大きさは半径30mより大になり得ないことになる。調査結果をまとめて第1表に示す。

長崎の場合は爆心地が市街地を外れていたためその附近に残存した建造物が少く、ただ今の目的に適うような満足な熱線の影は2、3しか得られなかった。

APPENDIX 4 : THE EFFECTS OF THE ATOMIC BOMB ON HIROSHIMA, JAPAN⁵

付録 4 広島における原子爆弾の影響⁵

U.S. STRATEGIC BOMBING SURVEY

米国戦略爆撃隊調査団

Summary. The point of burst of the atomic bomb is referred to as "zero", a point determined to be in grid 5H approximately 700 feet southeast of the T-bridge, at an elevation of slightly over 2000 feet. The location of zero in both plan and elevation was developed from flash marks found on surfaces readily scorched or spalled by radiation of heat from the explosion. Marks or unscorched areas which were delineated by "shadows" on surfaces that were shielded by some object in the path of the radiation or heat wave afforded directions and elevations for the location of the point of detonation.

Definition. The zero point may be defined as the point of detonation of the atomic bomb. The point had location in both plan and elevation, inasmuch as the bomb burst in the air. Throughout this report the ground location of the point immediately under the burst is designated as ground zero, abbreviated to GZ, and the actual point of detonation in the air is designated as air zero, abbreviated to AZ.

Location and Elevation. GZ was found to be in grid 5H at coordinates 744,200-1,261,850. Air zero, determined from an average of seven computations, was found to be slightly over 2000 feet.

Method. Both AZ and GZ were determined from flash marks found on buildings, bridges, and other structures or objects. The flash marks resulted from the scorching of surfaces such as wood, asphalt, paint, or the spalling of granite from radiation of the intense heat of explosion. Objects obstructing the path of the heat wave cast their "shadows" which were actually unscorched areas. The edges of the "shadows" upon horizontal surfaces led to the location of GZ, and upon vertical surfaces permitted the computation of AZ. Photos 1-4 (not included here), show typical flash marks.

Ground zero was located by extending to an intersection the lines formed by various flash marks on

1. 要約 原子爆弾の炸裂点は「原点」と称せられ、測定の結果これは地図上ではグリッド5H内にあって「T字橋」の南東約700フィート、高度2000フィートよりやや高い点と定められた。平面と仰角によるこの原点の位置は、爆発の熱線によって容易に熱焦または剥離された物体の表面に発見された閃光残影をもとにして得られた。放射線または熱風波の進路にあった物体で遮蔽された面にできた「残影」によって描出された境界および非熱焦部分により、爆発点の位置の方向や高度を求めた。

2. 定義 原点は原子爆弾の炸裂点と定義してよいと思う。爆弾は空中で爆発しているので、原点の位置は平面・ど高度の両方を有する。本報告書では一貫して炸裂点直下の地点は地上原点と称し、略してGZとした。また、空中における実際の爆発点は空中原点と称し、その略としてAZを用いた。

3. 位置および高度 GZはグリッド5H内にあって、座標は744,200—1,261,850であった。七つの算定値の平均から決定された空中原点は、2000フィートよりやや高かった。

4. 方法 AZおよびGZは、いずれも建物、橋梁、およびその他の建造物または物体上に認められた閃光痕跡に基づいて決定した。閃光痕跡は、木、アスファルト、ペンキなどの表面の熱焦や強烈な爆発熱の輻射による花崗岩の剥離によって生じたものである。熱風波の進路にあった障害物が投じた「残影」は、実際に焼け焦げていない部分である。平面上の「残影」の境界線によってGZの位置が求められ、垂直面上の残影によってAZの算定ができた。収録した写真1〜4（ここには採録しない）は典型的な閃光痕跡を示す。

A. 地上原点の位置は、平面上の種々の閃光焦痕でできた直線を互いに交差する点まで延長して求めた。これら

5. UNITED STATES STRATEGIC BOMBING SURVEY: The Effects of the Atomic Bomb on Hiroshima, Japan. Washington DC, US Gov Print Off, 1947. Vol 1, pp 92-4

(米国戦略爆撃隊調査団：広島における原子爆弾の影響。ワシントンDC、米国政府印刷局、1947年。第1巻、pp 92-4)

horizontal surfaces. The lines were extended by sighting by eye across objects placed at two points along the mark and alining stakes ahead to a point of intersection with other lines similarly extended. Six such lines were run from flash marks found on the granite door sill of a building 6600 feet east of GZ; on granite objects in the shrine, approximately 800 feet north of GZ; on the granite shrine, 900 feet northeast of GZ; on the asphalt roadway, 250 feet west of GZ; on the ornamental granite work on building 11, 800 feet southeast of GZ; and on bridge 22, 250 feet southwest of GZ. Other marks were used to check the point obtained by intersection of the lines listed above.

Air zero was determined from marks made on vertical surfaces, usually outlined by overhanging objects or members which "shadowed" portions of the surfaces. The legs of the triangle formed a and b in Figure 1, were measured with a scale or steel tape, and the horizontal distance (base line) to GZ was scaled from the map. The base line was checked, where practicable, by actual measurement on the ground. Thus, similar triangles were formed which permitted simple calculation of the height of burst, or AZ. Seven such computations were made with base lines ranging from 600 to 6600 feet. The marks actually used in determining AZ were on a granite lantern post at entrance to shrine, 600 feet north of GZ; asphalt surface of bridge 20, 2900 feet southwest of GZ; wooden window frame of penthouse on Electric Building 26, 2300 feet south of GZ; tile wall surface of Electro-Technical Laboratory Building 74, 6000 feet north of GZ; asphalt surface of bridge 30, 1900 feet southwest of GZ; asphalt roof of Communications Building 85, 3300 feet northwest of GZ; and Gas Holder, 6600 feet south of GZ.

Accuracy. The degree of accuracy attained in locating GZ and AZ was limited by circumstance, but it is believed to be adequate for the purpose of evaluating effects of the bomb. All measurements were made from flash marks, which, although easy to see, were not sharply defined along the edges. This lack of sharp delineation was probably caused by the fact that the source was not actually a point but an oblate sphere of fire in which the major axis was vertical. Elevation measurements therefore, could not be made with precision and minor inaccuracies were inevitable.

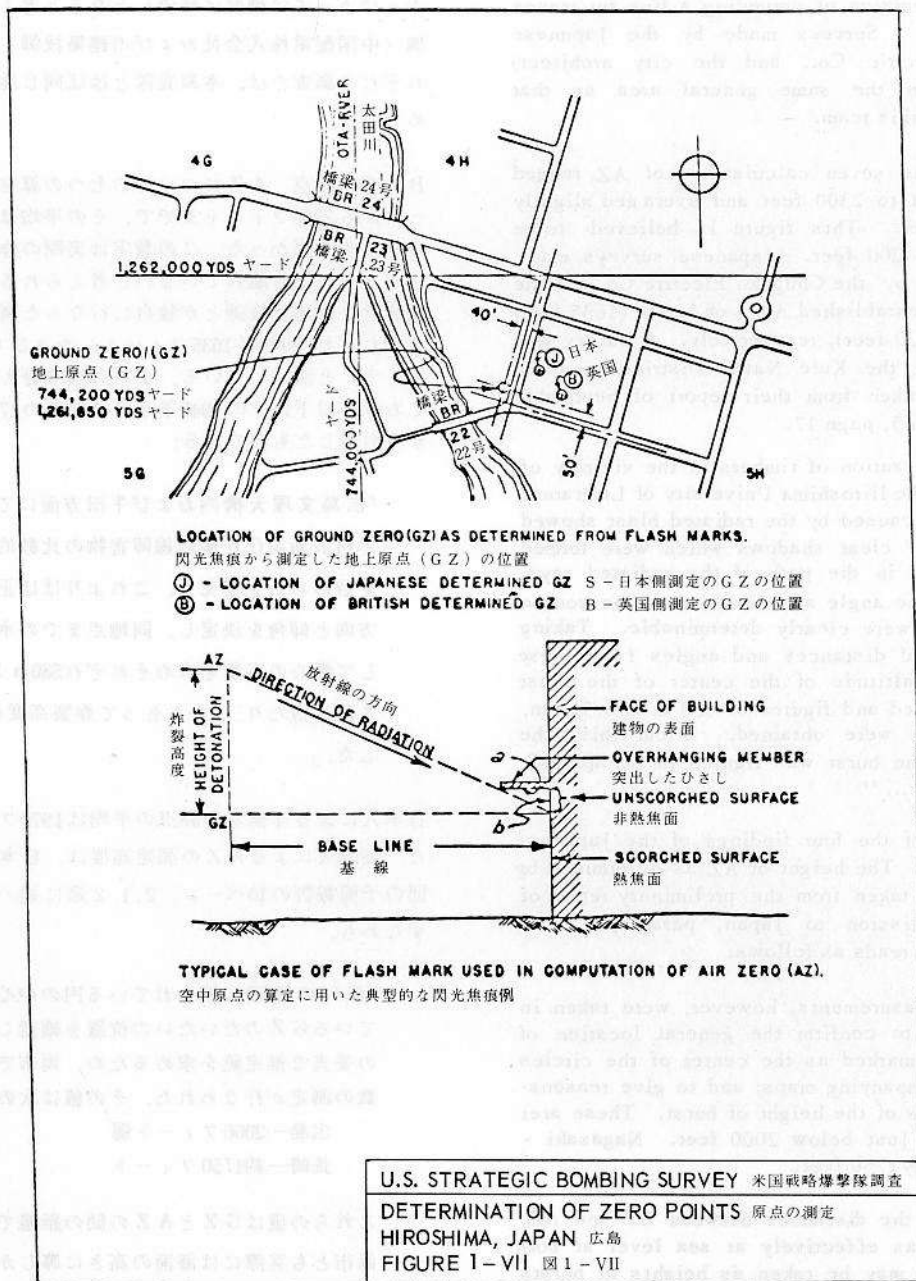
Ground Zero. All points of intersection of the lines extended from the six flash marks fell well within a circle of 50-foot radius. Although the method used in the determination may appear inaccurate, it must be pointed out that more precise methods (such as use of a transit and tape traverse) would

の直線は、焦痕に沿った二つの点に置かれた物体を眼で見通して延長し、同様にして延長された他の直線との交差点まで杭を立てた。このような直線は6本ひかれ、それぞれ次の各物体上に認められた閃光焦痕から延長したものである。すなわち、GZの東方6600フィートにあった建物の花崗岩のしきい、GZの北方約800フィートの神社にあった花崗岩の物体、GZの北東900フィートの花崗岩でできていた神社、GZの西方250フィートのアスファルト道路、GZの南東11,800フィートの建物上にあった花崗岩製装飾品、およびGZの南西22,250フィートにあった橋。上記の各直線の交差点から得られた地点を照合するために他の焦痕も用いた。

B. 空中原点の決定は、通常垂直な面に「影」を作った突出状の物体または建材によって描かれた焦痕の輪郭をもとになされた。図1のaおよびbの部分をなす三角形の2辺は物差しまたは鋼鉄製巻尺によって測定し、GZまでの水平距離(基線)は地図によって計測した。可能的場合は地上の実測を行なって基線と照合した。このように同様の三角形を作って、炸裂点高度すなわちAZの算定を簡単に行なうことができた。基線の長さが600から6600フィートまでの範囲内で、このような算定を7種類行なった。AZの測定に実際に用いた焦痕は次のものである。すなわち、GZの北方600フィートの神社入口にある花崗岩の燈籠上の焦痕、GZの南西2900フィートにある橋梁番号20のアスファルト路面のもの、GZの南方2300フィートにある電力会社(建物番号26)の屋上小屋の木製窓枠のもの、GZの北方6000フィートにある電気計器検定所(建物番号74)のタイル壁面のもの、GZの南西1900フィートにある橋梁番号30上のアスファルト路面のもの、GZの北西3300フィートにある西電話局(建物番号85)のアスファルトの屋根上のもの、およびGZの南方6600フィートにあるガスタンクのもの。

5. 精度 GZおよびAZの位置決定の精度は状況によって限定されたが、原爆の影響を評価するためにはじゅうぶんなものと考えられる。計測はすべて容易にみえるけれども境界線が明確でない閃光焦痕に基づいて行なった。明確な輪郭が得られなかった理由は、おそらく、線源は実際には点でなく、主軸が垂直である扁円火球であったことによるものと思われる。したがって高度測定は正確には行なうことができず、小さな誤りを免れえない。

A. 地上原点 6個の閃光焦痕からの延長線が交差する点はすべて半径50フィートの円内にじゅうぶん納まった。測定に用いた方法は正確でないように思われるかもしれないが、閃光焦痕の境界線は明確でなかったのもっと精密な方法(トランジットやテープ・トラバース等)



U.S. Strategic Bombing Survey⁵

have attained no greater degree of accuracy inasmuch as the edges of the flash marks were not sharp lines. The selection of the edge of the "shadow" was a matter of judgment which could nullify the precision of extending a line by means of a transit. Surveys made by the Japanese (Chugoku Electric Co., and the city architect) placed GZ in the same general area as that determined by this team.

Air Zero. The seven calculations of AZ ranged from 1600 feet to 2300 feet and averaged slightly over 2000 feet. This figure is believed to be correct within 200 feet. Japanese surveys made independently by the Chugoku Electric Co. and the city architect established AZ's of 500 m (1635 feet) and 800 m (2620 feet), respectively. A survey was also made by the Kure Naval District, and the following is taken from their report of September 1945, paragraph 5, page 17.

"The carbonization of timbers in the vicinity of Ushita and the Hiroshima University of Literature and Science caused by the radiated blast showed comparatively clear shadows which were formed by obstacles in the path of the radiated rays. From this, the angle and direction of the source of the rays were clearly determinable. Taking the horizontal distances and angles from these points, the altitude of the center of the blast was calculated and figures of 580 m and 510 m, respectively, were obtained. From this, the altitude of the burst was figured to be approximately 550 m ..."

The average of the four findings of the Japanese was 1970 feet. The height of AZ as determined by the British is taken from the preliminary report of the British Mission to Japan, paragraph 2.1.2, page 10, which reads as follows:

"Enough measurements, however, were taken in each place to confirm the general location of GZ as that marked as the center of the circles on the accompanying maps; and to give reasonable estimates of the height of burst. These are: Hiroshima - Just below 2000 feet. Nagasaki - Approximately 1750 feet.

"These are the distances between GZ and AZ. Since GZ was effectively at sea level at both places, they may be taken as heights of bursts above sea level."

The calculations of the British and Japanese surveys placed AZ slightly under 2000 feet, which closely approximates the result obtained by calculations of this team.

を用いても、より正確な値は得られなかったであろう。「残影」の境界線の選定は判断に基づいて決められるもので、トランジットを用いて直線を延長しても判断いかによっては精度は帳消しとなると考えられる。日本側（中国配電株式会社および市建築技師）が行なったそれぞれの調査では、本調査隊とほぼ同じ地域にGZを定めている。

B. 空中原点 AZについての七つの算定値は1600フィートから2300フィートまでで、その平均は2000フィートよりもやや高かった。この数字は実際の炸裂点とは200フィート以上も離れていないと考えられる。中国配電株式会社と市建築技師とが独自に行なった調査では、AZをそれぞれ500m(1635フィート)および800m(2620フィート)と決定している。また呉鎮守府も調査を行っており、以下はその1945年9月の報告の17ページ第5節から引用したものである:

「広島文理大構内および牛田方面にて熱輻射による木材表面炭化が輻射線障害物の比較的明瞭なる陰影を留めおるを発見し、これよりほぼ正確に輻射線の方角と仰角を決定し、同地点までの水平距離を仮定して爆心の高度を求めそれぞれ580mおよび510mなる値を得たり。これをもって炸裂高度約550mと判定した。」

日本人による4推定炸裂点の平均は1970フィートであった。英国人によるAZの測定高度は、日本派遣英国使節団の予備報告の10ページ、2.1.2節に述べられている。すなわち、

「添付の地図に描かれている円の中心として示されているGZのだいたいの位置を確認し、炸裂点高度の妥当な推定値を求めるため、両市でじゅうぶんな数の測定が行なわれた。その値は次のとおりである。

広島—2000フィート弱

長崎—約1750フィート

これらの値はGZとAZの間の距離である。GZは両市とも実際には海面の高さに等しかったので、炸裂点高度は海面上の高さと考えてもよい。」

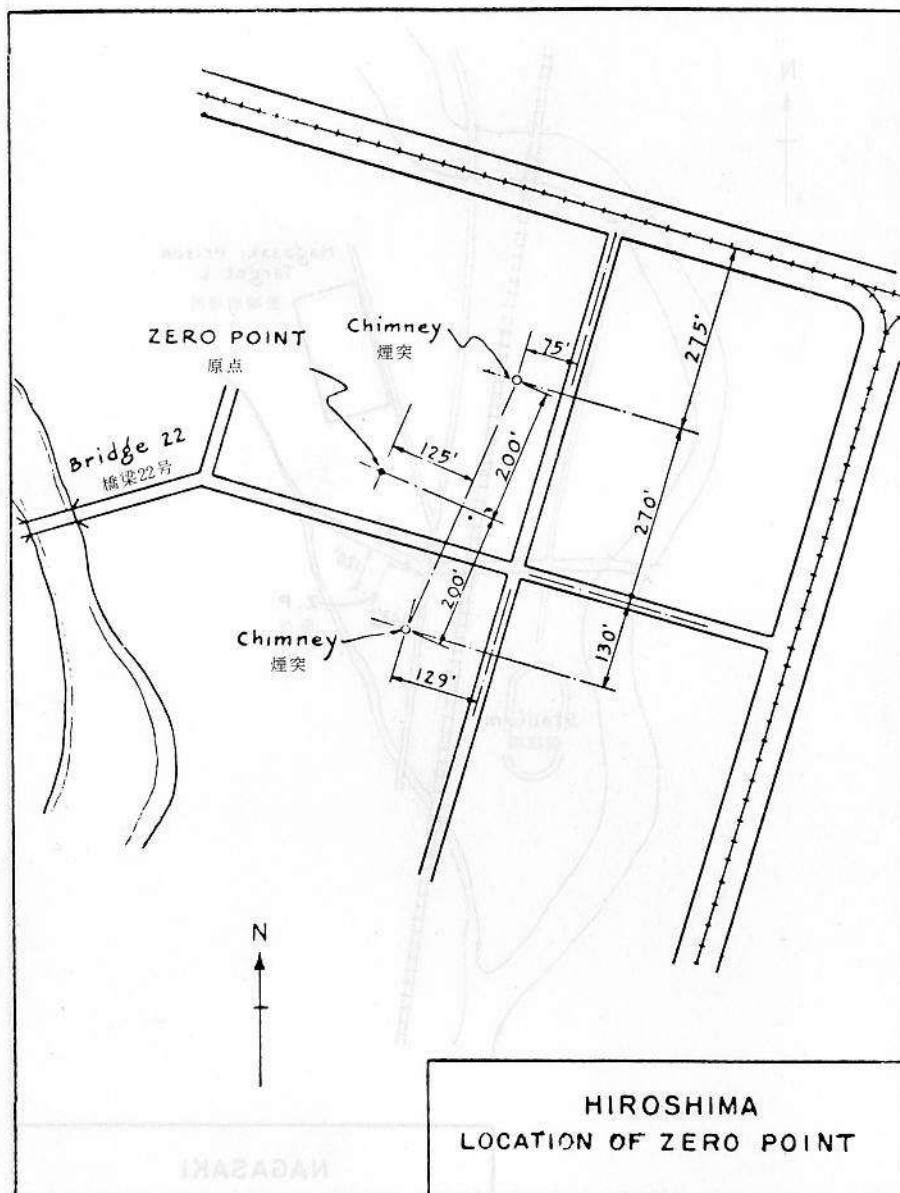
英国側および日本側の調査による算定は、いずれもAZを2000フィート弱としており、本調査隊の算定結果にきわめて近い。

APPENDIX 5 : REPORT OF THE U.S. NAVY BUREAU OF YARDS AND DOCKS
MISSION TO JAPAN 1945^{20,24}

付録 5. : 1945年日本派遣米海軍造船所・ドック局調査団の報告 20,24

LOCATION OF ZERO POINT, HIROSHIMA

原点の位置, 広島



Measurements in feet. Zero point is point 17 in Figure 1 of the text.

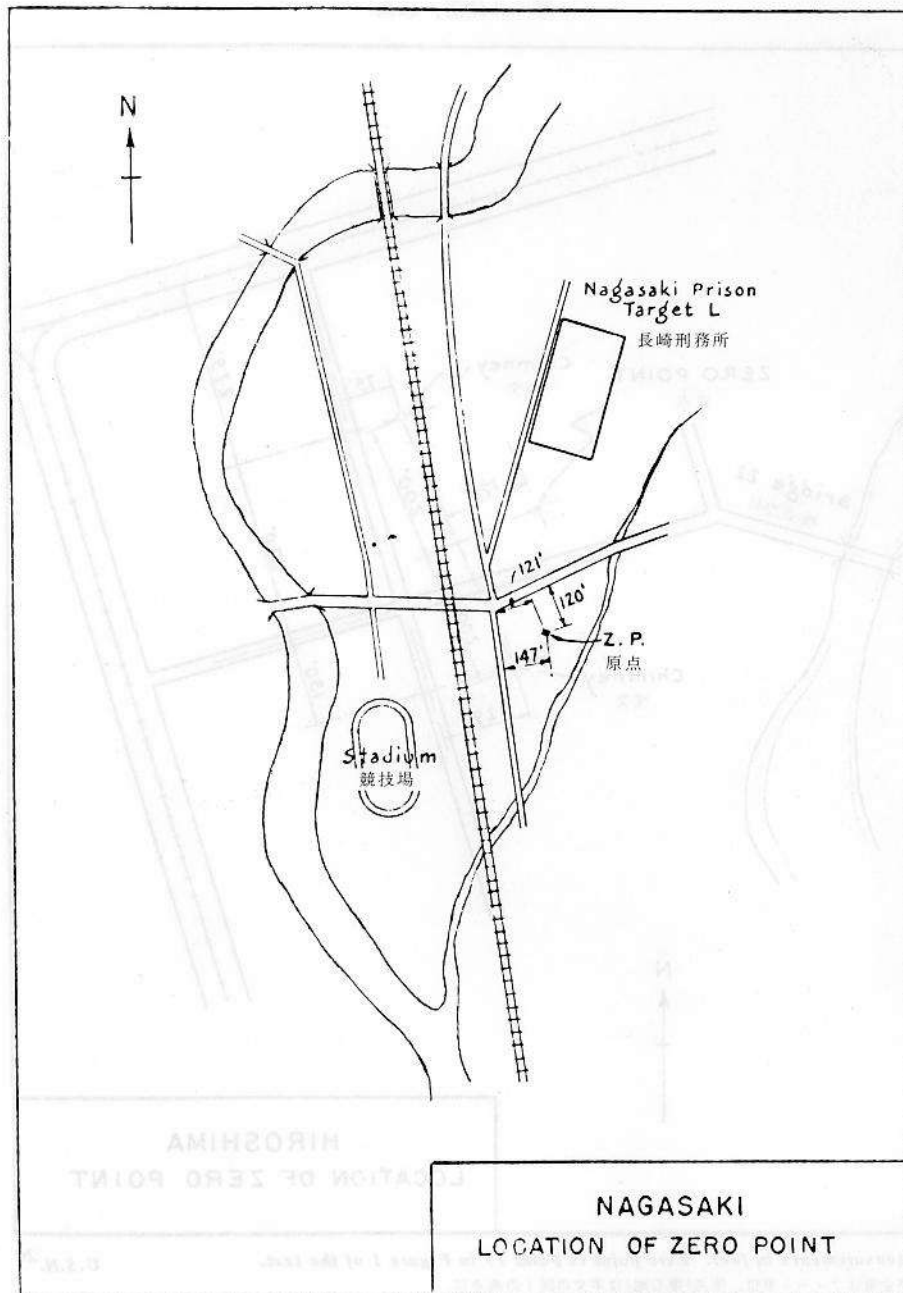
測定値はフィート単位。原点(爆心地)は本文の図1の地点17。

U.S.N.²⁰

20,24 US NAVY BUREAU OF YARDS AND DOCKS: Report of the Bureau of Yards and Docks, Mission to Japan 1945. Part 3. Incidents in Hiroshima. p H-7; Part 4. Incidents in Nagasaki. p N-5.

(米国海軍造船所・ドック局：1945年日本派遣の米国海軍造船所・ドック局調査団の報告。第3部。広島の状態。pH-7;第4部。長崎の状態 pN-5)

LOCATION OF ZERO POINT, NAGASAKI
原点の位置、長崎



Measurements in feet. Zero point is point 17 in Figure 2 of the text.

U.S.N. 24

測定値はフィート単位。原点(爆心地)は本文の図2の地点17。

APPENDIX 6: REPORT ON INVESTIGATION OF ATOMIC BOMB CASUALTIES IN NAGASAKI CITY¹⁰

付録6: 長崎市原子爆弾被害調査報告¹⁰

Katsuji Nakamura, Director, Nagasaki Weather Station

当時長崎測候所所長 中 村 勝 次

Hypocenter

The direction towards which the buildings, stone "torii", stone shrine lanterns, trees, etc. that were not affected by geographical features or other objects had collapsed, inclined or been bent are as follows:

爆 心 地

建造物、石鳥居、石灯籠、樹木等の倒壊、傾斜または曲折したものの中地形や地物の影響を受けていないと認められたものの倒れた又は傾斜した方向は次の通りである。

Pine tree near Department of Anatomy, Nagasaki University 長崎医科大学構内解剖学教室附近の松樹	S 85° E
Tree on hill on east side of Nagasaki University 長崎医科大学東隣丘上の樹木	S 80 E
Pine tree northwest of Attached Hospital, Nagasaki University 長崎医科大学附属病院構内北西部の松樹	S 45 E
Chimney, Nagasaki University (direction bent) 長崎医科大学煙突（屈曲方向）	S 45 E
Stone lantern within premises of Sanno Shrine 山王神社境内石灯籠	S 40 E
Stone lantern in garden beyond second torii of Sanno Shrine 山王神社二の鳥居上の庭園内の雪見灯籠	S 32 E
Steel framed building of Nagasaki Steel Works, west of Urakami Station (inclined) 浦上駅西隣の長崎製鋼所の鉄骨建築物（傾斜）	S
Pine tree near Keiho Prefectural Middle School 長崎県立瓊浦中学校附近の松樹	S 20 W
Chimney in Komaba-cho 駒場町の煙突	N 40 W
Ferroconcrete wall (west side) of Urakami Prison 長崎浦上刑務所の鉄骨コンクリート塙（西側の分）	N
Tree outside of ferroconcrete wall of Urakami Prison 長崎浦上刑務所の鉄骨コンクリート塙外の樹木	N
Gas tank in Ohashi-cho 大橋町の瓦斯タンク	N 12 W
Steel framed building in industrial area of Ieno-machi (inclined) 家野町の工場地帯の鉄骨建築物（傾斜）	N

Lines were extrapolated and extended in opposite directions from which the objects had collapsed, inclined or been bent. Most of these lines con-

以上により各地点から倒向線を逆に引き延ばせばほとんど全部長崎医科大学の西方約450m, 長崎浦上刑務所の南

¹⁰ NAKAMURA K: Report on investigation of atomic bomb casualties in Nagasaki City. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Ed by Committee for Publication of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster, Japan Science Council. Tokyo, Japan Science Promotion Society, 1953. Vol 1, pp 177-83) (Sec 3 and 4 only, pp 178-9)

中村勝次: 長崎市原子爆弾被害調査報告, 原子爆弾災害調査報告集, 日本学術会議原子爆弾災害調査報告集刊行委員会編, 東京, 日本学術振興会, 1953年, 第1分冊, pp 177-83 (第4-5節のみ採録, pp 178-9)

verged about 450 m west of the Nagasaki Medical College, about 400 m south of the Nagasaki Urakami Prison, about 900 m north of Urakami Station and about 550 m east of Shiroyama Primary School. In other words, the A-bomb had exploded in the air above this area and energy was released downward in a megaphone-like shape. It was decided to call this area the A-bomb hypocenter. The diameter of the hypocenter was about 100 m and hardly any trees broke or toppled. A number of trees with diameters of about 30 cm were left standing on the plateau at Hamaguchi-cho and on the south side of the plateau where the prison was located. All trees with diameters less than 20 cm were left standing. This was because the pressure of the blast was received from directly above and because young trees can withstand wind and blast pressure.

Almost all trees had toppled or broken in the area between 300 to 1000 m from the hypocenter.

Power poles (large long poles with transformers) within the hypocenter which lined the prefectural highway were left standing. However, a ferro-concrete chimney about 20 m from this area had toppled toward ENE direction. The reason why this chimney toppled in this direction and the reason why the chimney of the candy factory in Saiwai-cho inclined in the NW direction are unknown, but these are noteworthy findings.

Height of Burst

The height of the burst point of the A-bomb as calculated from the shadows which were produced by the flash of the bomb was about 600 m. The great difference in height between the values obtained from observations located less than 10 m apart made at Takenokubo Power Substation is felt not to be due to measurement error, but some other special reason. Generally, the angle of elevation is larger as the distance from the hypocenter decreases, but when observed in close detail, this is not necessarily the case. It may be that the umbra was produced by a combination of other shadows. Thus, calculations based on such measurements would also cause considerable difference in the height from the ground.

The place where the measurements were made, object measured, angle of elevation, horizontal distance from the hypocenter, and height of burst point from the ground are as shown in the following table.

方約400m, 浦上駅の北方約900m, 城山国民学校の東方約550mの地域に集まる。すなわちこの地域の上空において原子爆弾が破裂し下方へメガホン形に迸出されたのである。この地域を爆心地と称することにする。爆心地は直径約100mあって樹木は折れたり倒れたりしたものは極めて少く浜口町の台地や刑務所のある台地の南部には直径30cm余の樹木が倒れずに立っているのがかなり沢山あり、直径20cm以下の樹は全部立っている、これは真上より爆圧を受けたためと壮樹は風圧、爆圧に対して強いためとである。

爆心地より300~1000m離れた所では樹木はほとんど全部倒れあるいは折れている。

爆心地内県道沿いの電灯柱(変圧器の取付けてある太く高い電柱)は倒れずに立っていた。しかしその両方20mくらいの所にある鉄筋コンクリートの煙突はENEへ折れて墜倒していた。この煙突の墜倒方向と幸町にある製鉛会社の煙突の曲れる方向(NWへ)とはその原因は判明しないが共に注目に値する。

爆発した高さ(爆発点)

原子爆弾の閃光に因り生じた陰影に拠り算出した爆発点の高さは600mくらいであろう。竹之久保町の変電所構内における資料は10mも離れていないのに大きな差異のあるのは測定誤差のためではなく他に何か特別の原因があるのではなからうか。仰角はだいたい爆心地に近いほど大となっているが仔細に観れば必ずしも、そうとは限らない。これは本陰影は陰影のために生じたのではなからうか、したがってこれに拠て算出した地上の高さも相当の差異を生ずるに至ったのであろう。

今測定場所、測定資料、仰角、爆心地迄の水平距離、爆発点地上の高さを表示すると次の通りである。

Place of Measurement 測定場所	Object Measured 測定資料	Angle of Elevation 仰 角	Horizontal Distance from Hypocenter 爆心地迄の 水平距離	Height of Burst 爆発点地 上の高さ
Seibu Gas Co. Yachiyo-cho 八千代町西部瓦斯会社	Shadow of frame on NE side of gas tank 瓦斯タンクNE側フレームの影	19°02'	1875 m	647 m
"	Shadow of frame on NW side of gas tank 瓦斯タンクNW側フレームの影	19 25	1875	661
"	Shadow of cylinder of gas producing unit 瓦斯発生装置円筒の影	17 30	1860	586
"	Shadows of 10th step of ladder on cylinder 瓦斯発生装置円筒上梯子10段目の影	15 00	1860	498
"	Shadow of 8th step of ladder on cylinder 瓦斯発生装置円筒上梯子8段目の影	17 14 upper 18 49 lower	1860	634 577
"	Washer at middle section of gas tank frame 瓦斯タンクフレーム中段の座金	17 45	1875	600
Nagasaki Medical College Yamasato-cho 山里町長崎医科大学	Shadow of eaves on west side of Anatomy Department 解剖学教室西庇の影	39 48 43 53	450	375 433
Power substation of Kyushu Electric Power Co. Takenokubo-cho 竹之久保町九州配電変電所	Shadow of frame on the side of oil-filled circuit breaker 油入遮断器側面のフレームの影	19 50 30 32	950 950	343 562

As the only instruments available were a compass, balance level, collapsable ruler, measuring tape, and strings, more precise measurement could not be done.

備考 測定用具は磁石、水準器、折尺、巻尺、紐等に過ぎなかったので精密な測定はこれ以上できなかった。

APPENDIX 7: RADIATION FROM ATOMIC BOMB IN NAGASAKI AND NEIGHBORING AREAS²¹

付録7：長崎およびその隣接地区における原子爆弾による放射能²¹

Tokio Masuda, Assistant; Tamio Sakata, Assistant; Ryobei Nakane, Assistant
Physical and Chemical Research Institute

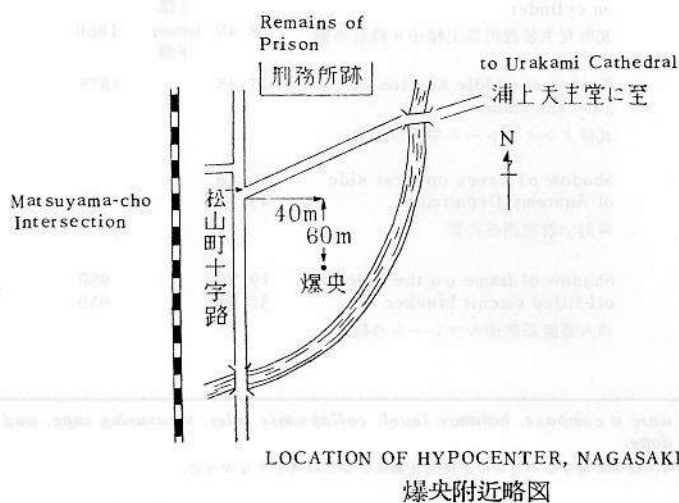
理化学研究所 助手 増 田 時 男, 助手 坂 田 民 雄, 助手 中 根 良 平

Determination of Hypocenter of the Atomic Bomb

The hypocenter was determined to be at a point 40 m east and 60 m south of the intersection at Matsuyama-cho. This point coincides, within limits allowed for measurement errors, with the location determined through shadow studies by Kimura and Tajima of the Physical and Chemical Research Institute.

爆央の決定

爆央は松山町十字路の東40m 南60mの地点に存在しこれは先に理化学研究所木村一治氏及び田島英三氏が影から決定された位置と測定誤差の範囲内でよく一致していた。



21 (MASUDA T, SAKATA T, NAKANE R: Radiation from atomic bomb in Nagasaki and neighboring areas. In *Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster*. Ed by Committee for the Publication of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster, Japan Science Council. Tokyo, Japan Science Promotion Society, 1953. Vol I, pp 38-40)(Page 38 only)

増田時男, 坂田民雄, 中根良平：長崎およびその隣接地区における原子爆弾による放射能原子爆弾災害調査報告集。日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編。東京，日本学術振興会，1953年。第1分冊，pp38-40（P38のみ採録）

APPENDIX 8 : THE EFFECTS OF THE ATOMIC BOMB ON NAGASAKI, JAPAN²³

付録8：長崎における原子爆弾の影響²³

U.S. STRATEGIC BOMBING SURVEY

米国戦略爆撃隊調査団

Location of Point of Explosion. The horizontal location of the explosion, or ground zero (GZ), was determined by the measurement of the angles of flash burn and shadow, and by extending lines through these angles to the point where they intersected. It was calculated that the bomb exploded above the district called Matsuyama-cho, as shown in the figure.

The heat radiated from the bomb at the time of its explosion was sufficient to cause a slight charring of exposed, unpainted wood within a radius of approximately $1\frac{3}{4}$ miles. This charring action will be called "flash burn". There was no flash burn in areas where the wood was shielded from the bomb by screening objects. These areas will be called "shadow".

All suitable flash burns which were located were used in determining GZ. Because the flash causing the burns was followed by the blast of the bomb most of the objects receiving the flash burns were displaced. Stable points not affected by the blast were usually found at distances of 1 to $1\frac{1}{2}$ miles from GZ.

A total of five suitable points was found. The angle from these points to the zero point was measured with an Army lensatic compass. The point selected on the object receiving the flash burn was taken at the center of the penumbra. The azimuth was measured from the point through the edge of the object casting the shadow. The purpose in selecting the center of the penumbra was to measure the angle to the center of the explosion rather than to an edge, as would be the case if the shadow were measured from the edge of the umbra.

The points used and results obtained are listed below:

原点の決定

炸裂点の位置——爆発の水平位置、すなわち地上原点は、閃光熱焦および残影の角度を計測し、これらの角度を見通した直線が交差するまで延長して決定した。その計測によると爆弾は図で示すように松山町の上空で爆発したことになる。

爆発時に爆弾から放射された熱は、半径約 $1\frac{3}{4}$ マイル以内で塗装の施されていなかった木材に軽い熱焼を起こしたほどのものであった。この熱焦作用を「閃光熱焦」と称することにする。木材が物体によって原爆放射線から遮蔽された部分には、閃光熱焦はなかった。これらの部分を「残影」と称することにする。

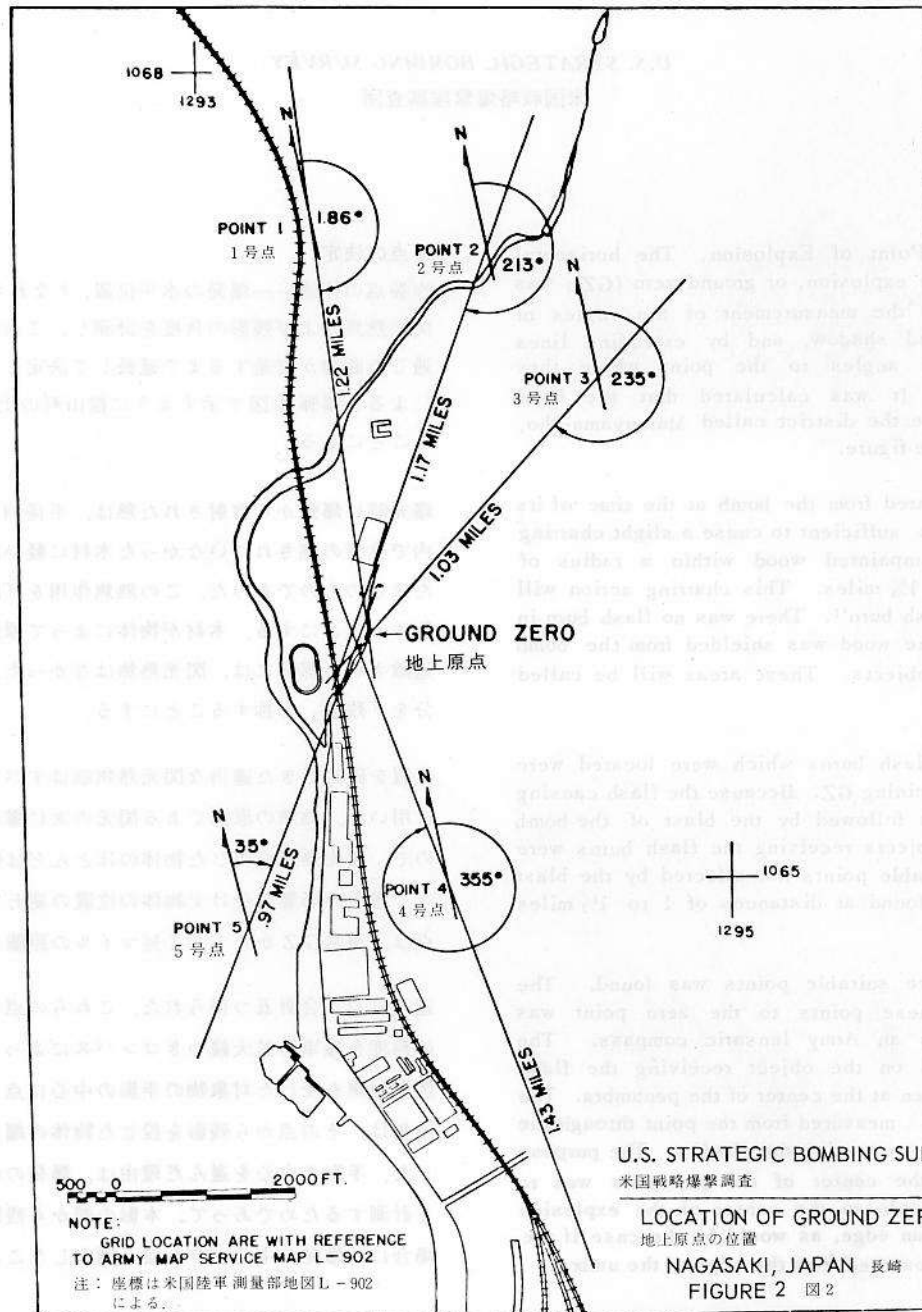
位置を確定できた適当な閃光熱焦痕はすべてGZの測定に用いた。熱焦の原因である閃光の次に爆風が起こったので、閃光熱焦を生じた物体のほとんどは位置が変わった。爆風の影響を受けず物体の位置の変わらなかった地点は、通常GZから $1\sim 1\frac{1}{2}$ マイルの距離であった。

適当な点が合計五つ得られた。これらの点から原点までの角度を陸軍の拡大鏡つきコンパスによって計測した。閃光熱焦を受けた対象物の半影の中心に点を選んだ。方位角は、その点から残影を投じた物体の端を通して計測した。半影の中心を選んだ理由は、爆発の中心への角度を計測するためであって、本影の端から残影を計測した場合には爆発の中心よりも端を測定したことになる。

利用した点および入手した結果は次のとおりである。

23 US STRATEGIC BOMBING SURVEY: Effects of the Atomic Bomb on Nagasaki, Japan. Washington DC, US Gov Print Off, 1947. Vol 1-3 (Vol 1, pp 31-3 only)

(米国戦略爆撃隊調査団：長崎における原子爆弾の影響、ワシントンDC、米国政府印刷局、1947年、第1-3巻(第1巻、pp31-3のみ採録)



NOTE: Scale has been added to original of this drawing and points numbered.

この図面の原図に縮尺を加付し、各点に番号をつけた。

U.S. Strategic Bombing Survey 23

Point No. 観測点番号	Distance from zero 原点からの距離	Azimuth 方位角	Photo No. 写真番号
1	1.22 miles	186 degrees	1
2	1.17	213	2
3	1.03	235	
4	1.43	355	
5	.97	35	

It will be noted that the points chosen do not give an intersection of 90° . This was not possible due to the limited number of suitable flash burns available. Points 1, 3, and 5 were considered the most reliable points used for determining the location of GZ; Points 2 and 4 less reliable. The diameter of a circle including all the ground zero's found was 600 feet, a circle including the three most reliable ground zeros 80 feet. The center of this 80-foot circle was considered GZ. Before the arrival of Physical Damage Division Team 2, Japanese engineers had established a location and set up a marker at a point which they estimated to be directly below the point of detonation. They made similar use of flash burns in determining the location of their point, which was approximately 150 feet northwest of GZ as established by the Bombing Survey Team. Members of British parties investigating damage at Nagasaki accepted the Bombing Survey GZ as accurate.

The elevation of the explosion of the atomic bomb was determined from flash burns and shadow by the comparison of similar triangles. The average for the measurements taken was 1700 feet. As in the measurements to determine GZ, places had to be chosen which were not affected by the blast. Also, the greater the distance between the object casting the shadow and the object burned, the more accurate were the results obtained. Two points were located where this distance was in excess of 50 feet. The distance from the top of the object casting the shadow to the object burned was measured along a horizontal line. This horizontal line was determined through the use of a level and measured with a tape. A vertical line was established from the middle of the penumbra and measured with a tape to the place where it intercepted the horizontal line previously established. The length of this horizontal line will be called X and the vertical line Y. The distance from the object upon which the shadow was cast to the zero point was determined from the map. This distance will be called X'.

選んだ点は 90° の角度で交差していないものであった。入手されている適当な閃光熱焦の数には限られていたため 90° で交わるものを得ることができなかった。点1、3および5はGZの位置決定に用いた点の中で最も信頼できるものであり、点2および4は信頼度が劣ると考えた。観測された地上原点のすべてを含めた円の直径は600フィートであり、最も信頼のおける地上原点三つを含めた円の直径は80フィートであった。この直径80フィートの円の中心をGZと考えた。物理的損害調査部第2調査隊の到着以前に、日本の技術者たちは原点の位置を求め、炸裂点の直下であると推定した地点に標識を立てた。けれども同様に閃光熱焦痕を利用して原点の位置を決定したが、それは戦略爆撃調査隊が求めたGZの北西約150フィートの地点であった。長崎の損害状況を調査していた英国調査団は米戦略爆撃隊調査のGZを正確なものとして認めた。

原子爆弾の炸裂高度は、同様の三角形を比較して、閃光熱焦痕や残影から決定した。測定値の平均は、1700フィートであった。GZを決定するための計測におけるように、爆風の影響がなかった場所を選定する必要があった。また残影を投じている物体と焼けた物体との間の距離が大きいほど、得られた結果は正確であった。この距離が50フィート以上あった事例は二つあった。残影を投じた物体の上端から焼けた物体までの距離を水平な線に沿って測定した。この水平な線は水準器を用いて決定し、巻尺で計測した。半影の中央部から垂直線を定め、それが前に定めた水平な線をさえぎるところまで巻尺で測定した。この水平な線の長さをXとし、垂直線をYとする。影を投じた物体から原点までの距離を地図によって決定し

The altitude at which the bomb exploded will be called Y' . た、この距離を X' とし、原爆の炸裂高度を Y' とすれば、

Therefore

$$\frac{X}{Y} = \frac{X'}{Y'}$$

These determinations are listed below. All distances are in feet,

これらの測定値は次の表に示す。距離はすべてフィート単位である。

X	Y	X'	Y'	Photo 写真
1.45	.40	6180	1660	3
1.50	.40	6180	1650	
76.70	15.00	8660	1690	
55.80	15.00	6180	1700	
1.97	.43	7880	1720	4
6.06	3.25	4650	2500	5

The last determination is not considered reliable because of the probability that the gate post was shifted by the blast. This determination was included because the flash burn clearly shows the method used in determining the altitude of the explosion. From the determinations above it was estimated that the altitude of the explosion was approximately 1700 feet.

最後の測定値は、門柱が爆風で移動している可能性があるため、信頼できないと考える。この測定値を含めたのは、閃光熱焦が炸裂高度の測定に用いられた方法を明示しているからである。上記の測定値により、炸裂点の高度は約1700フィートと推定された。

APPENDIX 9 : MEASUREMENT OF THE RESIDUAL RADIATION INTENSITY AT THE HIROSHIMA AND NAGASAKI ATOMIC BOMB SITES⁴

付録9：広島および長崎の原子爆弾被爆地域における残留放射能の強さの測定⁴

U.S. Naval Medical Research Institute, National Naval Medical Center

米国海軍医学研究所 米海軍医学センター

Shown in the figure are also the various estimates of the exact location of the hypocenter, and these may be seen to fall within a reasonable cluster. The "sight center" was located by sighting along

図にはいくつかの調査で求められた爆心地の正確な位置の推定が示してある。これらの推定位置はかなり一致している。転鏡儀を用いて爆心地周辺の倒れた樹木の幹

4 PACE N, SMITH RE: Measurement of the residual radiation intensity at the Hiroshima and Nagasaki atomic bomb sites. Bethesda, Maryland, US Naval Medical Research Institute National Naval Medical Center, NMRI-160A, 16 April 1946 (One paragraph on p 7 and Figure 4 only. See also ABCC TR 26-59)

(PACE N, SMITH RE: 広島および長崎の原子爆弾被爆地域における残留放射能の強さの測定。メリーランド州ベセスダ市、米国海軍医学研究所 米海軍医学センター、NMRI-160A, 1946年4月16日 (p7の一節および図4のみを採録) ABCC TR 26-59も参照せよ)

fallen tree trunks around the periphery of the explosion area, and plotting the intersection of the cross bearings obtained by means of a transit. This hypocenter falls within the zone of highest residual activity. The Japanese group from the Kyushu Imperial University estimated the "Shinohara center" from their residual activity measurements, and the "Japanese center" was estimated by a Tokyo group from triangulation studies of the physical damage. These hypocenters also fall within the area of highest residual activity.

に沿って観測を行ない、これによって求められた方向線の交点を「測量による爆心地」としたがこれは最大の残留放射能のあった地域内にある。九州帝国大学より派遣された日本側調査団は残留放射能を測定して「篠原爆心地」を推定し、東京よりの調査団は物理的損害の三角調査の結果「日本側調査団の爆心地」を推定した、これらの爆心地も最強度の残留放射能のあった区域内にある。

