

**DETERMINATION OF THE BURST POINT AND HYPOCENTER
OF THE ATOMIC BOMB IN HIROSHIMA**

広島における原子爆弾の炸裂点及び爆心地点の決定

I Edward T. Arakawa, Ph.D., Shogo Nagaoka (長岡省吾)

II Lowell A. Woodbury Ph.D., Mikiso Mizuki (水木幹三)



THE ABCC TECHNICAL REPORT SERIES

A B C C 業績報告集

The ABCC Technical Reports provide a focal reference for the work of the Atomic Bomb Casualty Commission. They provide the authorized bilingual statements required to meet the needs of both Japanese and American components of the staff, consultants, advisory councils, and affiliated governmental and private organizations. The reports are designed to facilitate discussion of work in progress preparatory to publication, to record the results of studies of limited interest unsuitable for publication, to furnish data of general reference value, and to register the finished work of the Commission. As they are not for bibliographic reference, copies of Technical Reports are numbered and distribution is limited to the staff of the Commission and to allied scientific groups.

この業績報告書は、ABCCの今後の活動に対して重点的の参考資料を提供しようとするものであって、ABCC職員・顧問・協議会・政府及び民間の関係諸団体等の要求に応ずるための記録である。これは、実施中で未発表の研究の検討に役立たせ、学問的に興味限定せられていて発表に適しない研究の成果を収録し、或は広く参考になるような資料を提供し、又 ABCCに於て完成せられた業績を記録するために計画されたものである。論文は文献としての引用を目的とするものではないから、この業績報告書各冊には一連番号を付して ABCC 職員及び関係方面にのみ配布する。

**DETERMINATION OF THE BURST POINT AND HYPOCENTER
OF THE ATOMIC BOMB IN HIROSHIMA**

広島における原子爆弾の炸裂点及び爆心地点の決定

I Edward T. Arakawa Ph.D.,¹ Shogo Nagaoka² (長岡省吾)

II Lowell A. Woodbury Ph.D.,³ Mikiso Mizuki⁴ (水木幹三)

From the ABCC Department of Statistics¹ (assigned from ORNL) 3,4 and
Director, Hiroshima Peace Memorial Museum, Consultant to ABCC²

ABCC統計部¹ (ORNLより派遣) 3,4

及び広島市平和記念資料館長, ABCC顧問²



ATOMIC BOMB CASUALTY COMMISSION
Hiroshima - Nagasaki, Japan

A Research Agency of the
U.S. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - NATIONAL RESEARCH COUNCIL
under a grant from
U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION
administered in cooperation with the
JAPANESE NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH of the MINISTRY OF HEALTH & WELFARE

原爆傷害調査委員会
広島一長崎

厚生省国立予防衛生研究所
と共同運営される
米国学士院一学術会議の在日調査研究機関
(米国原子力委員会研究費に依る)

EDITOR'S NOTE

編集者の註

As both papers concern the location of the hypocenter (ground zero) and epicenter (burst point) of the Hiroshima atomic bomb with frequent reference to the data tabulated in the Woodbury-Mizuki paper being made by Arakawa and Nagaoka, they are published simultaneously as Part I and Part II of the same report. The manuscript for Part I was prepared during 1959 and that for Part II during 1954.

之等2つの研究報告はともに広島原爆投下の爆心地点（零地点）及び炸裂点の位置決定に関するものであり、且つ著者 Arakawa 一長岡は Woodbury 一水木報告の資料を屢々引用しているので、之等は本研究報告の第I部及び第II部として同時に上梓することにした。尚、第I部の原稿は1959年に、又第II部の原稿は1954年に作られたものである。

TABLE OF CONTENTS

目 次

PART I: DETERMINATION OF THE BURST POINT OF THE HIROSHIMA ATOMIC BOMB- DOSIMETRIC SIGNIFICANCE

第 I 部 広島における原子爆弾の炸裂点の決定 - 線量測定から見た意義

	<i>Page</i>
Introduction	1
緒言	
Method	4
測定の方法	
Determination of the Hypocenter	6
爆心地点の決定	
Determination of the Height of Burst	10
炸裂点の高度の決定	
Summary and Discussion	11
総括及び考按	
Appendix I	15
付録 I	
Appendix II	22
付録 II	
References	26
参考文献	

PART II: THE LOCATION OF THE HYPOCENTER AND EPICENTER OF THE ATOMIC BOMB IN HIROSHIMA

第 II 部 広島における爆心地点と炸裂点の位置

Introduction	27
緒言	
Historical	28
歴史的背景	
Review of Location of Hypocenter	31
爆心地点の位置についての再検討	
Methods and Materials	31
調査の方法及び資料	
Computation	33
計算	
Computation of Hypocenter	33
爆心地点の計算	
Estimate of Error of Locations	36
位置の誤差の推定	
General Notes	37
総括	
References	39
参考文献	

List of Tables and Figures

挿入図表一覧表

PART I 第I部

	<i>Page</i>
Figure 1 Plot of data obtained by Woodbury and Mizuki Woodbury・水木両氏の資料の図表	3
Figure 2 Photograph showing shadows produced by thermal rays of the atomic bomb 写真は原子爆弾の熱線により生じた影を示す	4
Figure 3 Plot of averaged measurements from all locations すべての地点からの測量(平均)図	5
Figure 4 Individual readings at Keizō, Myōren and Shōjun temples showing spread of readings 測量値の拡がりを示すための慶蔵院, 妙蓮寺, 勝順寺における個々の計測	6
Table 1 Hypocenter measurements 爆心地点を求めるための測量	7
Figure 5 Procedure used for calculating location of the hypo- center 爆心地点の計算に用いられた方法	8
Figure 6 Map of the hypocenter area showing the various deter- minations 各決定値を示す爆心地付近の地図	9
Figure 7 Frequency distribution of calculated height of burst 算出された炸裂高度の度数分布	10

PART II 第II部

Figure 1 Location of the various hypocenters 各爆心地点の位置	28
Figure 2 Gravestone in cemetery 墓地内の墓石	32
Figure 3 Average direction of shadow - left and right side 左辺及び右辺の影の平均方向	34
Figure 4 Approximate location co-ordinates of the various hypocenters 夫々の爆心地点の大体の位置に対する座標	38

PART II: THE LOCATION OF THE HYPOCENTER AND EPICENTER OF THE ATOMIC BOMB IN HIROSHIMA

第II部 広島における爆心地点と炸裂点の位置

Lowell A. Woodbury Ph.D., Mikiso Mizuki (水木幹三)

Introduction

One of the prime requirements of ABCC in studying the effects of the atomic bomb explosion is knowing the distance of patients under study from the center of explosion of the bomb. This distance provides a crude measure of the relative dose of radiation received, and in the absence of other information, is the only available measure of such dose. When shielding information is available, the combination of distance and shielding gives a much more accurate estimate of the relative dosage received.

In most instances, it is possible to determine the location of an individual patient at the time of bombing with fair accuracy, so that, if the position of the bomb at the moment of explosion is known, the distance can be readily computed.

As a matter of convention, the point on the ground directly below the exploding bomb is used as the point of reference. In ABCC terminology, this is known as the *hypocenter*, and the point in space at which the bomb exploded is the *epicenter*. The term "hypocenter" is equivalent to the "ground zero" of the Army and Navy reports.

緒言

原子爆弾爆発による影響を調査するに当り原爆傷害調査委員会 (A B C C) にとつて最も必要なものの1つは、調査の対象となる被爆者の原爆炸裂点よりの距離を知ることである。この距離が判れば、受けた相対的放射線線量がほぼ推定出来るが、この他には別に資料がないので、これが線量測定上の唯一の尺度となる訳である。遮蔽についての資料を入手すれば、距離と遮蔽の2つの資料を組合せることにより、受けた相対的線量をより正確に推定することが出来る。

個々の調査対象者の被爆位置は、その殆んどが可成り正確に調査出来るので原子爆弾炸裂の位置が判れば、その距離は簡単に算出し得るのである。

従来、炸裂した爆弾の直下の地点が起点として用いられている。A B C C の用語としては之を爆心地点、又、爆弾が炸裂した空中の個所を炸裂点と称している。“爆心地点”は米国陸海軍報告書の“原点”に当る。

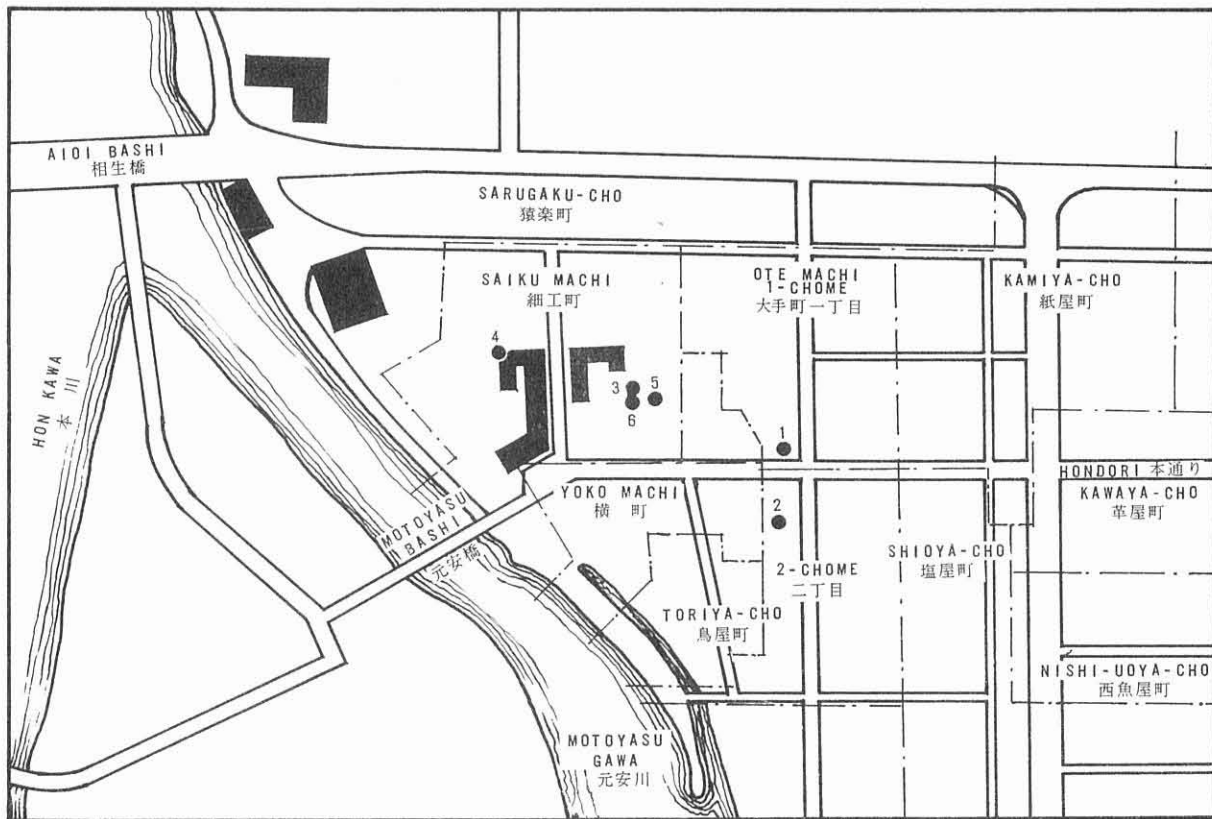
Historical

The exact location of the hypocenter has never been settled with any degree of finality. Several reports by Japanese investigators have been made.^{1,2,4-6} All agree on the general location, but disagree in detail. There is general agreement that the hypocenter was southeast of the famous T-bridge (Aioi Bashi) and somewhere in the general area shown in Figure 1. But there the agreement stops.

歴史的背景

爆心地点の精確な位置についてはこれ迄何等最終的な決定がなされていなかった。日本人の行った調査の報告書が数種出ている。^{1,2,4-6}それらの報ずる位置は大体一致しているが、詳細には一致していない。即ち、爆心地点は添付の略図にある有名なT型橋（相生橋）の南東付近にあること迄は略々一致しているが、それから先はまちまちである。

FIGURE 1 LOCATION OF THE VARIOUS HYPOCENTERS
各爆心地点の位置



- 1 FIRST TECHNICAL SERVICE GROUP
- 2 KANAI 金井
- 3 KIMURA AND TAJIMA 木村・田島

- 4 FIRST ABCC HYPOCENTER 第1次ABCC爆心地点
- 5 NAGAOKA 長岡
- 6 SECOND ABCC HYPOCENTER 第2次ABCC爆心地点

Estimates of the location of the hypocenter were made in three ways:

1. Noting the direction of building collapse and then projecting back to the center of explosion.
2. Measurements of residual induced radioactivity.
3. Measurements of shadows cast by the fireball on various objects.

The first estimate of the location of the hypocenter for which a written record is available at ABCC was made August 6-8, 1945; it was based upon the direction in which buildings were pushed by the blast.¹ The authors concluded that there was only one center of explosion, and that it was located between the AIOI BASHI and KAMIYA CHO at a point 300 meters south of the GOKOKU Shrine. (See Page 38 for coordinates.) They determined the height of explosion from shadows burned on two wooden boards. For each board, measurements of the angles and distances made possible calculation of the height. The two values thereby yielded were 580 meters and 510 meters.

Dr. Fujiwara² gives the hypocenter as being 15 meters south southeast of the front door of the former post office in SAIKU MACHI. This is the point where he recorded his highest level of radioactivity.

A group of American investigators determined a series of isodose contour lines of residual radioactivity.³ The highest isodose line enclosed an area which included all other hypocenter determinations. These investigators indicated on their map of isodose lines the hypocenter which they used. The latter was placed near the intersection of the HON DORI and OTE MACHI DORI (streets). (Figure 1)

Kanai, Kiyoshi⁴ of the Tokyo University Seismological Laboratory located the hypocenter by measurements of shadows cast on various objects. His computations

爆心地点の推定は次の3つの方法で行なつた。

1. 建物が崩壊した方向を逆に延長して爆発の中心を求める。
2. 残存誘発放射能の測定
3. 火球が各種の物体に投じた影の測定

ABCCの記録にある爆心地点の最初の推定は1945年8月6日から8日までに行なわれたものである。これは建物が爆風によつて押された方向を基として行なつたものである。¹ 著者は爆心地点は1個所のみであり、その位置は相生橋と紙屋町の中間の護国神社の南方300mの地点であるとの結論に達した。(各参考地点については38頁を参照) 著者は2個の木板に灼付いた影から炸裂点の高さを測定した。各々の板について仰角と距離を測定した結果炸裂点の高さの計算が可能になつた。それによつて得た2つの値は、夫々580mと510mであつた。

藤原²は爆心地点を細工町の元郵便局の正面玄関の南南東15mとしている。この地点において同氏は最大の放射能を記録した。

米国の一調査班が残存放射能について等線量曲線を決定した。³ 最大等線量の域内には他の人の測定した爆心地点が含まれる。これ等の調査班員は等線量曲線の地図上に彼等の用いた爆心地点を図示した。その地点は、添付図1に示す如く、本通りと大手町通りの交叉した付近となつている。

東京大学地震学研究室の金井 清⁴は各種物体に残つた影を測定して爆心地点を決めた。同氏の計算では、爆心地点が他の人々の推定位置より

placed the hypocenter a considerable distance south of the other estimates. The reason for the discrepancy is not known but could be due to his use of shadows outlined on such varying substances as granite and asphalt. Since these have different melting points, the outline left would fall in different parts of the penumbra and could lead to error. His estimate of the height of the bomb was given as 570 ± 20 meters. His location of the hypocenter is shown in Figure 1.

Kimura and Tajima⁵ by measurement of numerous shadows cast by various objects, estimated the locations of both hypocenter and epicenter. To avoid the penumbra error they employed shadows where a right and left side could be measured simultaneously. The approximate location of their hypocenter is shown in Figure 1. They estimated the height as 577 ± 20 meters. Their work is probably the most accurate published in the Japanese literature. It is based on numerous measurements and advantage was taken of shadows cast by both sides of an object to reduce the error. They estimated the diameter of the fireball as 100 meters.

Mr. Shogo Nagaoka⁶ made numerous measurements of shadows cast on granite tombstones and located the hypocenter as shown in Figure 1. He calculated the height to be about 570 meters. Mr. Nagaoka has done by far the most extensive job of measuring shadows cast on granite by the bomb. He states that he measured over 6500 shadows.

ABCC has used for many years a hypocenter located as shown in Figure 1. This differs from the Kimura and Nagaoka hypocenters by about 80 meters. The origin of the location of this particular hypocenter is obscure. Mr. Wright,⁷ chief field supervisor for ABCC, 1949-1953, said that he and Mr. Brewer, head of the Department of Vital Statistics at that time, determined the point on the basis of what reports were then available to them. It was felt that this point was not necessarily the true hypocenter but was in the general neighborhood. Since some

も遙か南方にある。このような誤差が如何にして出たかは不明であるが、これは花崗岩やアスファルトなど数種の異つた物質上に残つた影を用いたことによるのかも知れない。これらの物質は溶解点が夫々異なるので、残された影は半影部の色々に異つた個所に印されており、そのために誤差を生むことがあり得るのである。同氏の炸裂点の高さは 570 ± 20 m となつている。爆心地点の位置は添付の図1に示してある。

木村・田島⁵ は各種の物体の投影を多数測定して炸裂点と爆心地点を推定した。半影部の誤差を避けるために、左右の端が同時に測定出来るような影を用いた。両氏の爆心地点は添付の地図に大体の位置が示してある。両氏は炸裂点の高さを 577 ± 20 m とした。日本の文献に発表されているもののうちでは両氏の測定したものが最も精確であると思われる。これは多数の測定値に基づいて行なつたもので、誤差を少なくするために、物体の両端に出来た影を利用している。両氏の推定した火球の直径は 100m である。

長岡省吾⁶ は花崗岩に残された影を多数測定して、添付の図1に示す如き爆心地点を得た。同氏は炸裂点の高さを 570m と算定した。長岡は原爆により花崗岩に印された影を最も広範囲に測定した。同氏の話では6500個以上の影を測定した由である。

ABCC では多年に亘り添付の図1に示す如き爆心地点を用いて来た。これは木村及び長岡のものより約80m 離れている。ABCC の爆心地点が、どのようにして求められたかは明白でない。1949年より1953年までABCC の調査課長であつたWright⁷ の話によれば、同氏は当時人口動態統計部長であつたBrewerと共に、その当時入手し得た報告書に基づいて爆心地点を設定した由である。これは必ずしも正しい爆心地点ではないが、概ねそれに近いものであると考えられていた。当時と

hypocenter was badly needed this was employed for the purpose of estimating the distances. This is the hypocenter upon which all ABCC records are based. It is defined in terms of co-ordinates of the U.S. Army Map Service map number AMS L902, Japan city plans 1:12,500, Hiroshima shi. In terms of this map the ABCC hypocenter is located at the intersection of co-ordinates 44.25 x 61.77.

Review of Location of Hypocenter

With the development of the shielding program in Hiroshima the question of the hypocenter location arose again. For general analyses where patients are grouped by 200 to 500 meter intervals an error in the hypocenter location of about 80 meters while undesirable may not be too serious. However, for estimating shielding of a single patient an error of this kind is too large. It was therefore decided to review the evidence presented by the Japanese workers and to take supplementary measurements of our own to check the work of other investigators.

Methods and Materials

At the time of explosion of the bomb the fireball was at an extremely high temperature. Inflammable material near it was burned or scorched. Polished granite was chipped by the unequal expansion of the constituent minerals and roofing tiles were blistered. When material was protected by an intervening object a shadow was cast in which the protected areas remained unchanged and the exposed areas were burned or chipped. These "shadows" remained visible for a long period of time, particularly on lasting material like granite where they can be readily detected today.

There were in Hiroshima at the time of the explosion several graveyards within 800 meters of the hypocenter. The grave-stones in these yards are of highly polished granite. When they were exposed to heat radiation from the fireball the

しては一応爆心地点を設定しておく必要があつたので、この地点が距離の推定に用いられることとなつたのである。ABCCの記録はすべてこの爆心地点に基づいたものである。ABCCの爆心地点は米陸軍測量班作成の地図番号AMS L902, 12,500分の1の日本都市地図広島版の座標44.25×61.77の点に置かれている。

爆心地点の位置についての再検討

広島における遮蔽物調査計画の進展に伴い、爆心地点の位置が再び問題となつた。200m乃至500m間隔毎に纏められた調査対象者の一般的解析には爆心地点の位置に約80mの誤差が出ることは、望ましいことではないにしても、別にさほど重大な問題とはならないが、個々の対象者の遮蔽推定にはこのような誤差は大き過ぎるのである。そこで、日本人の調査したものを再検討すること及び、他の人々の調査したものと照合するため、ABCC自体で補足的に測定を行なうことになつたのである。

調査の方法及び資料

原爆炸裂時における火球の温度は極めて高いものであつた。その付近にあつた可燃性物質は或いは焼かれ或いは焦がされた。磨かれた花崗岩はそれを構成する種々の鉱物の膨脹率の不同により表面が削剝し、屋根瓦は表面に火ぶくれを生じた物質が他の何等かの物体により遮蔽されていた場合には、その遮蔽された部分には変化がなく、曝された部分は焦げるか剝離した。特に、今日容易に検索出来る花崗岩の如き寿命の長い物質においてはこれらの“影”は長期間に亘り視認することが出来た。

原爆炸裂時に広島では爆心地点から800m以内には数ヶ所の墓地があつた。その墓地の墓石は高度に磨いた花崗岩であつた。それらの墓地が火

exposed polished granite spalled or chipped while the shadowed granite remained smooth. Many of these "shadowed" gravestones remained undisturbed by the following blast so that their "shadows" can be used to indicate the direction of the fireball.

The line of demarcation between the exposed and shadowed areas on the gravestone is quite irregular and is difficult to see though easy to feel. To take a measurement of a particular shadow a piece of paper was placed on the grave stone and after marking lines orienting it with the stone (Figure 2), a soft pencil was rubbed over the paper along the shadow line. This produced a clear picture of the demarcation of the line. The orientation of the stone with regard to north was then determined and the paper returned to the laboratory.

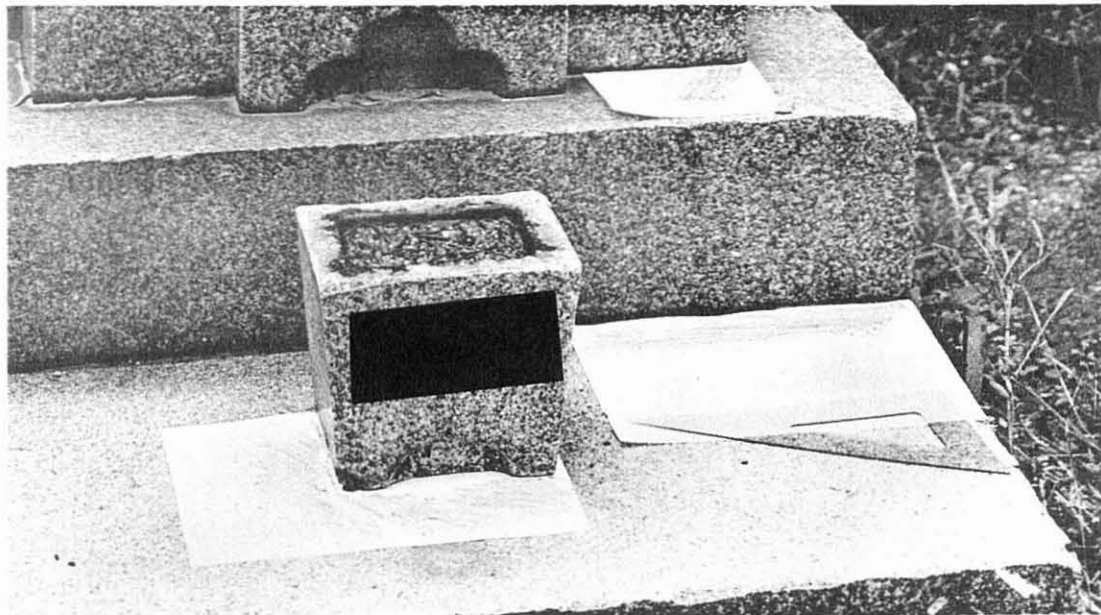
Where possible, measurements were made on both the left and right hand sides of the same gravestone to allow for parallax due to the fireball's diameter of some 100 meters.

球より発した熱線に曝された際に、磨かれた花崗岩の曝された部分は、荒肌となるか剝離したが、影になった部分は滑かなままで残った。このような“影が残った”墓石の多くは、続いて襲った爆風にも破壊されないで残ったので、その“影”は火球の方向を示すのに用いることが出来た。

墓石の曝された部分と影になった部分との境界線は極めて不規則であり、触れば容易に識別出来るが、眼は困難である。ある1つの影を測定するには墓石の上に1枚の紙を置き、墓石の辺縁の線を記した上(図2)、影の線に沿って紙の上を柔らかい鉛筆でこすつた。このようにして、線の境界が明瞭に写し出された。その際北の方位に基づいて墓石の向きを測量した上でその紙をABCCに持ち帰つた。

火球の直径は約100mあり、これによる視差が考えられるので、可能な限り墓石の左右両端の影を測定した。

FIGURE 2 GRAVESTONE IN CEMETERY
図2 墓地内の墓石



EPICENTER OF ATOMIC BOMB BEHIND AND TO THE RIGHT. SMOOTH AND SPALLED GRANITE AREAS SHOWN BY DIFFERENCES IN SHADING ON THE PAPERS. SHADING MADE BY RUBBING A SOFT PENCIL OVER THE PAPER.

炸裂点の位置はその右後方。花崗岩表面の滑かな部分と荒くなつた部分は紙の上の写り方の濃淡の差で示される。この濃淡は紙の上を鉛筆でこすつて作つたもの。

Computation

At the laboratory the locations of the shadow lines were estimated and reduced to standard lines of bearing. Two groups of lines were formed (1) those cast by a vertical object and serving to indicate direction of the fireball in the horizontal plane and (2) those cast by a horizontal edge and serving to indicate the altitude of the fireball. Very few satisfactory cases were found where the shadow of a corner was cast that would indicate altitude and azimuth simultaneously.

Computation was in two steps; first location of the hypocenter in the horizontal plane and second computation of the height of the epicenter above this point.

Computation of Hypocenter

Each line of bearing had an origin given in map co-ordinates and a bearing given in degrees relative to north. When these were plotted on a map the majority of the intersections occurred in an irregular area about 200-300 meters across with no clear confinement made apparent. (Figure 3) The area containing the majority of intersections of the lines was too large to serve as a satisfactory location of the hypocenter and a more precise localization was desired. For purposes of calculation it was assumed that:

1. The line drawn along the demarcation between the shadowed and unshadowed zones pointed to the center of the fireball. This assumption is not quite correct. Measurements made of the shadows cast on the left and right side of a vertical shaft indicated that the lines pointed to a spot to the left or right of the center of the fireball. However, any other assumption would have made the calculations extremely difficult. The error involved was minimized by using balanced left and right observations whenever possible.

計算

ABCCではこれらの影の線の位置を推定して、これから標準方向線を求めた。これらの線を次の2種類に分別した。即ち、(1)垂直体による影で、水平面における火球の方向を示すものと(2)水平面の辺縁による影で、火球の高さを示すものである。稜に当る部分による影で高さと同方向を同時に示すような好適な影は極めて僅少であった。

計算は次の2段階により行なつた。先ず水平面における爆心地点の位置を決め、次いで、この地点の上に炸裂点の高さを計算した。

爆心地点の計算

各方向線の起点は地図の座標により、又、方向は北よりの角度で示されている。地図の上にこれらを表わすと、交点の大部分は差し渡し 200m 乃至 300m 位の不規則な形をした域にあることになるが、これらを一見明瞭な輪郭内に収めることは出来ない。(図3) 線の交点の大部分が含まれる範囲は爆心地点の正しい位置とするには広過ぎるので、もつと精確に爆心地点の位置を決定することが望まれた。計算は次の仮定のもとに行なつた。

1. 影になつた部分と、ならない部分との境界線は火球の中心を指向する。この仮定は余り正確とはいえない。何故ならば、垂直体の左端と右端の影の測定では、それらの影の線が火球の中心より左側か右側の点を指すことになるからである。もしこの他に仮定を設けると計算が極めて困難なものになつたであろうと思われる。この仮定によつて生ずる誤差は出来るだけ左側と右側の測定値を平均して最小に留めた。

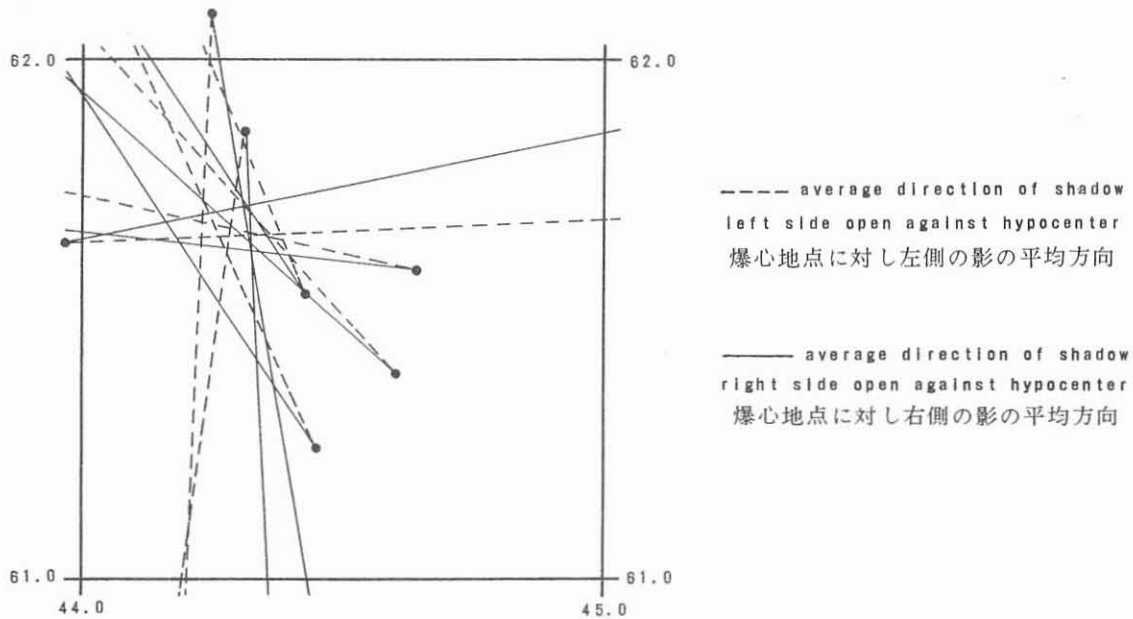
2. The gravestones on which the shadows were measured were in the same position as at the time they were cast. This seems to be reasonable as special care was taken to select apparently undisturbed stones for measuring.
3. The map used for locating the selected gravestones was accurate. This map was Army Map Service map AMS L902 (1945) Japan city plans, Hiroshima.

2. 影を測定した墓石そのものは、その影が出来た時と同じ位置にあつた。測定を行なうに当つては位置が移動しなかつたと思われる墓石を選ぶよう特に留意したので、この仮定は当を得ていると思われる。

3. 選ばれた墓石の位置づけに用いた地図は正確なものであつた。この地図は米陸軍測量部作製のAMS L902 (1945年)の日本都市地図広島版である。

FIGURE 3 AVERAGE DIRECTION OF SHADOW - LEFT AND RIGHT SIDE

図3 左辺及び右辺の影の平均方向



The lines of bearing estimated from the "shadows" were in the form of origin and direction. These were transformed to the slope-intercept form:

$$y = a_1 + b_1x$$

where y is the north-south axis of the map measured in map co-ordinate units

x is the east-west axis measured in map co-ordinate units

b is the slope

a is the intercept.

“影”から推定された方向線は起点と方向で表わされている。これらを一次方程式の形に表わすと、

但し、yは地図の座標目盛りで測つた縦軸

xは地図の座標目盛りで測つた横軸

bは勾配

aは切片とする。

If only two lines of bearing had been used, the intersection of these two lines would be a possible location of the hypocenter. With three lines a small "triangle of position" would result whose center would be the best estimate. With four or more lines the problem becomes the standard least squares problem of more equations than there are unknown variables. In this instance a_1 and b_1 are known for line and the solution of the normal equations,

$$\sum a = ny - x\sum b$$

$$\sum ab = y\sum b - x\sum b^2$$

for x and y should yield the least squares solution for the location of the hypocenter.

There are two possible sets of equations, one minimizing the sum of squared residuals of a and another minimizing the sum of squared residuals of b . These two solutions yield different values depending on the coefficient of correlation. Both sets were computed and the two values for x and y were averaged. This was a practical expedient to solve the problem of estimation when both variables are in error. This procedure yielded co-ordinates of 44.31×61.72 in terms of the standard map previously referred to. The previous co-ordinates were 44.25×61.77 . The linear distance between these two points is about 71 meters.

This position is very close to the one determined by Kimura and Tajima³ and is within 10 meters of the one determined by Mr. Nagaoka.

The height of the epicenter was estimated using the previously calculated location of the hypocenter and the vertical angle measurements. The penumbra of half shadow area introduced a bias. In the case of the horizontal measurements it was possible to cancel out the bias by using measurements from both sides of the object. In the vertical angle measurements this was not possible. It is felt that the bias was

今、方向線を2つだけ用いたとするとこれら2つの線の交りが爆心地点と考えられる。3つの線を用いると小さな“位置の三角形”が出来、その中心が最も妥当な推定位置と考えられる。4つ以上の線を用いると、上記の未知変数の個数よりも多くの方程式の標準最小二乗法の問題となつてくる。この場合 a_1 と b_1 は夫々の線について知られているので、 x と y について次の正規方程式

を解くと、爆心地点の位置に対する最小二乗法の解が出る。

方程式は2組考えられる。その1つは a の残差の平方和を最小にすることで、他の1つは b の残差の平方和を最小にすることである。これら2つの方程式の解は x と y の相関係数によつて異なる。 x 及び y の値はこの2組の方程式の解を平均して求めた。これは両変数が誤差を伴うような推定問題を解くための実際的な便法である。この方法によつて前に述べた標準地図で座標 44.31×61.72 の点を得た。以前の座標は 44.25×61.77 であつた。これら2つの地点間の直線距離は約71mある。

この位置は木村・田島³の測定した位置に極めて近く、長岡の位置との差は10m以内である。

炸裂点の高さは事前に計算された爆心地点の位置と垂直体の仰角の測定値を用いて推定された。半影の部位は偏りを導入した。水平面における計測では物体の両端を測定することで偏りを消去することが出来た。垂直体の仰角の測定ではこれは出来なかつた。その偏りは推定炸裂点が正しい位置の上になるような性質のものであつたと思われる。著者の推定した高さは約600mであつた。

such as to place the estimated epicenter above the true position. Our estimate was about 600 meters.

Kimura and Tajima⁵ used shadows cast upon wooden areas from which the penumbra area could be more readily estimated and allowed for. They obtained a value of 577 ± 20 meters. It was felt that the estimate of Kimura and Tajima was the more accurate one; consequently it was adopted as the most probable values.

The final values for the location of the hypocenter and the height of the epicenter are as follows:

hypocenter co-ordinates: 44.31×61.72
epicenter height: 580 meters.

Estimate of Error of Locations

Figure 3 shows the intersections of the measured lines from the shadows cast by the right and left sides of the gravestones. The square enclosing the area represents one square of the major map co-ordinates and is 1000 yards on a side. The scatter of the intersections of the various lines gives an indication of the error of the determination. A circle 100 meters in diameter does not cover the majority of the intersections. A purely statistical estimate of error is of little value here. There are too many sources of error extrinsic to the purely statistical components.

For the sake of gaining an appreciation of the error involved, the possible contributing sources should be reviewed. These are:

1. Determination of line of bearing. The line of bearing was taken as the demarcation between the spalled and the unspalled granite. As can be seen from Figure 2 this is quite indefinite and the exact line drawn may be in error by several degrees. In the end these errors should average out when many measurements are used.

木村・田島⁵は木質の部分に投影された影を用いた。これによると半影の境界はより一層容易に測定が出来た。両氏の得た測定値は 577 ± 20 m であつた。両氏の推定値は他のものより更に正確なものと思われたので、最近似値としてこれが採用されたのである。

爆心地点の位置及び炸裂点の高さの最終的な値は夫々次の如くである。

爆心地点の座標: 44.31×61.72
炸裂点の高さ : 580m

位置の誤差の推定

図3は墓石の右端と左端の影から測定した線の交点を示す。この地域を囲んでいる四角形は地図の主座標の1区画を示しその1辺は1000ヤードである。色々の線の交点が散在することは、それだけ測定誤差があることを示唆する。交点の大部分は直径100mの円内に入りきらない。純粹に統計学的な誤差の推定はここでは殆んど役に立たない。純粹に統計学的なもの以外の誤差の原因が余りに多いからである。

誤差の評価に資するため、その原因と考えられるものを再検討する必要がある。それらを列挙すると次の如くである。

1. 方向線の決定

方向線は花崗岩の剝離した部分と、していない部分との境界線と考えられた。図2に見られる如く、これは極めてあいまいなものであり、精密に描いてある線でも或いは数度の誤差があるかも知れない。最終的にはこれらの誤差は多くの測定値を用いれば平均されるものである。

2. Measurement of bearing.

The direction of line or bearing from true north was of necessity determined by a magnetic compass. The maximum accuracy in this set of measurements was within ± 0.5 degrees.

3. Penumbra or half shadow error.

The granite completely exposed to the fireball spalled or chipped; that not exposed remained smooth. That partially exposed to the fireball chipped but the partial exposure that produced chipping is unknown so that the exact relation of a line of bearing to the fireball is unknown except that it lies between the center and the edge.

The results of these various errors are not readily determined. Many of them will cancel each other in solving the equations for the hypocenter location. In our judgment, the hypocenter location given above is accurate within 20 meters. This is based on the observation that three sets of measurements done by three different groups of people at different times agree with each other within 10 meters.

General Notes

Since the fireball was about 100 meters in diameter, the location of its hypocenter to within 20 meters seems about all that can be expected. In some respects, this seems more refined than is necessary; but a cruder estimate leads to errors of rounding off which when combined with similar errors in the location of an individual may amount to more than 100 meters.

2. 方向の測定

正北を基準とした方向線の方向は当然ながら羅針儀によつて定められた。この1組の計測の最大誤差は ± 0.5 度以内であつた。

3. 半影の誤差

火球に完全に曝された花崗岩は剝離したが、曝されなかつた全影の部分は滑かなままで残つた。火球に部分的に曝された半影の部分は剝離しているが、その半影の部分は不明確なので、火球に対する方向線の角度は正確には決定出来ない。但しこの方向線は半影部分の中心と物体の端を結ぶ線上にあると考えられる。

これら多様な誤差のもたらす結果についてはその判定が容易には出来なかつた。それらの多くは爆心地点の位置を求める方程式を解くとき相殺される筈である。著者の判断では、前述の爆心地点の位置は誤差20m以内で正確なものであると思う。これは3つの調査班が各々異つた時期に行なつた3組の計測の結果が互いに10m以内で一致しているという事実に基づくものである。

総括

火球の直径は約100mであるから、爆心地点の位置が誤差20m以内になるなら、それが恐らく最良のものであらうと思う。ある意味では、それ程迄に精確でなくてもよいようにも思われるが、他方、これよりも雑な推定では四捨五入による誤差が生じ、個々の被爆者の被爆位置を決める際にそのような誤差と合わせると、開きが100m以上にも達するかも知れないのである。

FIGURE 4 APPROXIMATE LOCATION CO-ORDINATES OF THE VARIOUS HYPOCENTERS

図4 夫々の爆心地点の大体の位置に対する座標

AUTHOR OR ORGANIZATION & REFERENCE 著者又は団体名, 及び参考文献番号	CO-ORDINATES 座 標
1. First Technical Service Group (Manhattan Engineering district) ³	44.38x61.66
2. KANAI ⁴ 金井 ⁴	44.37x61.61
3. KIMURA and TAJIMA ⁵ 木村・田島 ⁵	44.30x61.73
4. First ABCC Hypocenter ⁷ 第1次A B C C爆心地点 ⁷	44.25x61.77
5. NAGAOKA ⁶ 長岡 ⁶	44.33x61.73
6. Second ABCC Hypocenter 第2次A B C C爆心地点	44.31x61.72

REFERENCES

参考文献

1. 三井再男, (Mitsui, M.) 神津幸直, (Kozu, Y.) and 西田亀久夫 (Nishida, K.)
広島市における原子爆弾に関する調査. 呉鎮守府 1945年9月 ABCC図書室蔵.
(The inquiry into the Atomic Bomb at Hiroshima. Typewritten translation of report by Kure Ammunition Depot of Kure Naval Yard. Sept. 1945. Based on observations made Aug. 6 to Aug. 8, 1945, Pamphlet file, ABCC Library.)
2. 藤原武夫 (Fujiwara, T.) 竹山晴夫 (Takeyama, H.)
広島市付近における残存放射能について. 原子爆弾災害調査報告集. 東京, 日本学術振興会, 1953. 第1分冊, pp.75-83.
(Radiation remaining in and around Hiroshima city. Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster. Tokyo, Nihon Gakujutsu Shinko Kai, 1953. Vol. I. pp. 75-83.)
3. 1st Technical Service Detachment (1945). Preliminary report of findings of atomic bomb investigating groups at Hiroshima and Nagasaki. Typewritten report to General Groves (Now declassified).
(広島及び長崎における原子爆弾調査班の調査結果に関する予報.)
4. 金井 清 (Kanai, K.)
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. 東京, 日本学術振興会, 1953. 第1分冊, pp. 92-98.
(The hypocenter of the atomic bomb in Hiroshima. Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster. Tokyo, Nihon Gakujutsu Shinko Kai. 1953. Vol. I. pp. 92-98.)
5. 木村一治 (Kimura, K.) 田島英三 (Tajima, E.)
原子爆弾の爆発地点及び火球の大きさ. 原子爆弾災害調査報告集. 東京, 日本学術振興会, 1953. 第1分冊, pp. 83-88.
(The location of atomic bomb explosion and size of the fire ball. Collection of Investigation Reports on Atomic Bomb Disaster. Tokyo, Nihon Gakujutsu Shinko Kai, 1953. Vol. I, pp. 83-88.)
6. Nagaoka, Shogo (長岡省吾): Personal communication. 1954.
(私信)
7. Wright, Arthur: Personal communication. 1952.
(私信)
8. Wilson, R. R.: Nuclear Radiation at Hiroshima and Nagasaki. Radiation Research 4: 349-359, 1956.
(広島および長崎における核放射線)