

文献

1. 仁科記念財団編纂「原子爆弾 広島・長崎の写真と記録」(以下、仁科財団本) 光風社書店、1973
2. 荒勝文策「爆発後数日間に行える広島市の放射能学的調査に関する報告」原災報第1分冊 p5-10
3. 山岡静三郎ほか「広島原子爆弾災害報告」原災報第1分冊 p1-4
4. 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 p75-83
5. W・バーチェット著、成田良雄・文京洙 訳「広島 TODAY」連合出版、1983
6. 高橋博子「封印されたヒロシマ・ナガサキ」凱風社、2008
7. "Hiroshima and Nagasaki occupation forces" Defense Nuclear Agency FACT SHEET 6 August 1980
8. Tybout R. A. "Section B Radiation in Hiroshima and Nagasaki" 6 April 1946
9. Pace E. and Smith R. E. "Measurement of the residual radiation intensity at the Hiroshima and Nagasaki atomic bomb sites" ABCC Technical Report 26-59, 1959
10. 日本学術会議・原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編「原子爆弾災害調査報告書 総括編」日本学術振興会 1951
11. 日本学術会議・原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編「原子爆弾災害調査報告集」(以下、原災報) 第1分冊、第2分冊、日本学術振興会 1953
12. 木村毅一「枕崎台風による遭難 回想」仁科財団本 p119-120
13. 村地孝一ほか「放射能の測定 原子爆弾(広島)調査・中間報告」仁科財団本 p59-62
14. 木村一治「ローリツェン電気計による広島爆央地付近における放射能の測定」原災報第1分冊 p40-41
15. 山崎文男「原子爆弾後、広島西方に残った放射能について」原災報第1分冊 p25-33
16. Shizuma K. et al. "Cesium-137 Concentration in Soil Samples from an Early Survey of Hiroshima Atomic Bomb and Cumulative Dose Estimation from the fallout" Health Phys. 71 (1996) 340-346.
17. 宮崎友喜雄ほか「原子爆弾により生じた広島市内およびその付近の放射能について(その1)」原災報第1分冊 p34-35
18. 宮崎友喜雄、増田時男「原子爆弾により生じた広島市内およびその付近の放射能について(その2)」原災報第1分冊 p35-38
19. Lawrence W. H. "No radioactivity in Hiroshima ruin", New York Times, September 13, 1945
20. W. McRaney, J. McGahan "Radiation dose reconstruction U.S. occupation forces in Hiroshima and Nagasaki, Japan, 1945-1946", DNA 5512F, 6 August 1980
21. Wilson R. R. "Nuclear radiation at Hiroshima and Nagasaki", Radiation Research 4 (1956)349-359
22. Imanaka T. et al. "Gamma-ray exposure from neutron-induced radionuclides in soil in Hiroshima and Nagasaki based on the DS02 calculation" Radiation Environ Biophys 47 (2008) 331-336
23. Shizuma K. "Fallout in the Hypocenter Area of the Hiroshima Atomic Bomb" Health Phys. 57 (1989) 1013- 1016.
24. 小村和久「 ^{108m}Ag を用いる新しい原爆中性子評価」放射化学ニュース No.13 (2006)11-17

これまでの黒い雨の測定結果等について

静間 清

広島大学大学院工学研究科

1. 広島原爆の初期調査およびその後の調査

初期調査については主として原子爆弾災害調査研究特別委員会の報告書¹⁾にまとめられている。この委員会は原子爆弾の災害を総合的に調査研究するために、1945年9月に文部省学術会議により設立され、物理化学地学科会をはじめ9分科会で構成された。

1945年、8月8日に理化学研究所の仁科芳雄氏は陸軍調査団とともに空路、広島に入った。8月9日には仁科氏の指導のもとに陸軍関係者により爆心から5km以内の28カ所から土壌試料が採取された²⁾。試料は使用済みの封筒などに入れられて8月10日に東京に空輸され、その日の内に理研において測定されて、銅線から放射能が検出された。これにより原爆であることが確かめられた。この他、初期調査としては8月10日に大阪調査団³⁾が入り、携帯用箔検電器を使用して西練兵場の砂から放射能を検出した。翌11日には市内の数ヶ所から砂を採取し、己斐駅付近で放射能が高いことが確かめられた。8月10日には京都大学調査団⁴⁾も入り、市内で砂を採取して11日に帰京のち放射能を検出した。そして、9月3日、4日には山崎文男氏⁵⁾(理研)がローリツェン検電器を自動車に乗せて外部放射線量の現場測定を行った。

渡辺武男氏(東京帝国大学教授)は地学班長として1945年10月11日に広島に入り、11, 12, 13日に広島の調査を行った⁶⁾。14日には長崎に向かい、15-19日に長崎の調査を行った。さらに、1946年5月7日に広島、13日に長崎を再調査した。渡辺氏の収集した資料は東京大学総合研究試料館(現、東京大学総合研究博物館)で保管されていた。これらの試料は平成16年1月24-4月12日に「石の記憶-ヒロシマ・ナガサキ」として初めて特別展示されるとともに、写真集⁷⁾にまとめられている。渡辺氏の調査のあと小島丈児氏(広島文理大)らは独自に調査を行った。実際の現地調査と試料収集は10月27日、11月4, 5, 9, 13日、12月2, 3日に当時学生であった秀敬氏(広島大学名誉教授)が行った。これらの試料は岩石学的調査のあと、広島大学理学部岩石学教室で保管されていた。

原爆後、1945年10月3日~7日には、日米合同調査団の調査⁸⁾が行われた。この調査では携帯用ガイガーミュラー計数管を用いて広島の100ヶ所、その後、長崎で900ヶ所について行われた。そして、両市の爆心地と風下にあたる広島市の西方3.2kmの高須地区、長崎市の東方2.7kmの西山地区で高いことが確かめられた。

近年の調査として、昭和51年度および53年度に厚生省は広島において爆心地から半径30kmの範囲の107地点、長崎で98地点について土壌を採取し、フォールアウトに含まれる ^{137}Cs 、 ^{90}Sr の調査を実施した⁹⁾。しかしながら、当時はすでに核実験フォールアウトの影響があり、広島原爆に起因する明らかなデータは得られなかった。また、黒い雨地域と他の地域との違いも認められなかった。

爆発の20~30分後から黒い雨が降ったことが知られている。1953年、宇田道隆氏¹⁰⁾は、雨域、降雨開始時刻、降雨継続時間などについて116のアンケート調査を行った。宇田氏は1時間ないしはそれ以上激しい降雨のあった区域は長径19km、短径11kmの楕円ないしは長卵型で、少しでも降雨のあった区域は長径29km、短径15kmの長卵型の区域であった。この降雨地域を図1に示す。その後、

1987年8月(昭和62年6月)に増田善信氏は宇田氏の調査データに加えて再度、170のアンケート調査を実施し、さらに気象データをもとに降雨地域は従来よりも広い説¹⁾を発表した。その降雨地域を図2に示す。

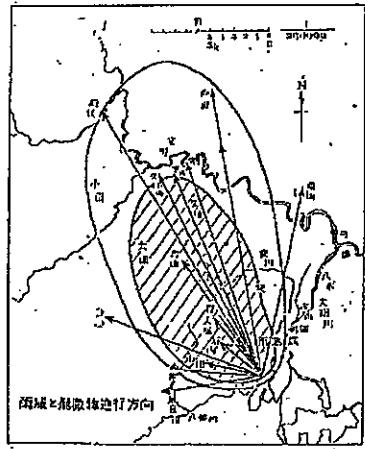


図1 宇田雨域(文献10)

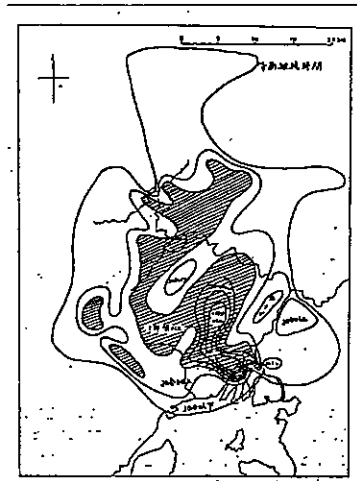


図2 増田雨域(文献11)

昭和62年6月に我々は(株)中国放送より、広島市の近郊で黒い雨にあったといわれる農具等の放射能測定を依頼された。それらは、(1)背負子(湯来町白砂)、(2)ベニヤ板(加計町穴)、(3)雨戸(広島市口田)であった。これらの測定結果は文献12に報告した。

本報告においては、1. 湯来町試料等の測定、2. 広島大学理学部岩石学教室の被爆試料、3. 理化学研究所の土壌試料、4. 広島市原爆資料館の黒い雨壁面の測定についてまとめる。

2. 湯来町試料等の測定

中国放送より提供を受けた3点の試料、背負子、ベニヤ板、雨戸の写真を図3に示す。また、それらの位置を図4に示す。

(1) 背負子(背負子1とする)(湯来町白砂)

現在の小雨地域の外にある農家の所有のものである。原爆当日、屋外にいた所有者が降り始めた雨を避けるためにこの背負子を傘代わりに使用したとのことであった。この背負子の保存状態を調べるために現地で聞き取りを行ったところ、この背負子はその後、納屋の軒先に掛けられていた。この納屋は昭和60年頃に取り壊されて、その後は倉庫の中に収められていた。

(2) ベニヤ板(加計町穴)

原爆当日、広島市内から舞い上がった紙や板切れが加計町まで飛んできたものの一つ。台枠に張りつけられて保存されていた。黒い雨をあびたかどうかについては不明。

(3) 雨戸(広島市口田)

民家の2階の雨戸で、黒い雨をあびたとされるもの。この雨戸はその後、昭和62年当時まで使

用されていたので核実験フォールアウトの影響を受けている。

図3 広島市近郊で集められたサンプル

A: 背負子1、B: ベニヤ板、C: 雨戸



Photo 1 Wooden samples. (A) Carrier #1, (B) Veneer plate, (C) Shutter

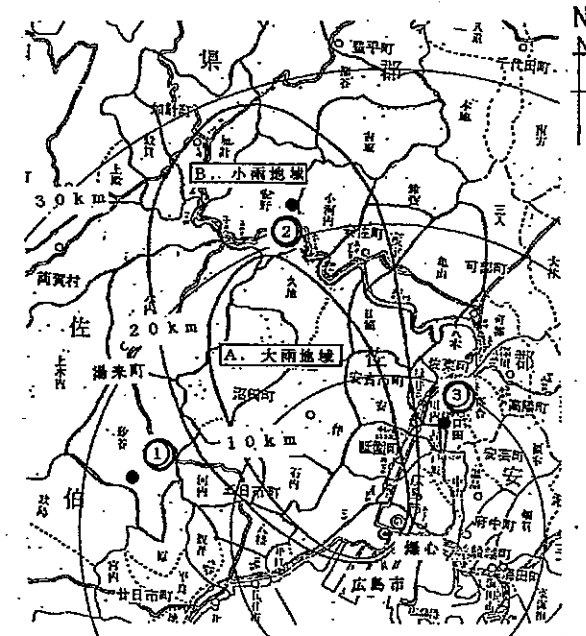


図4 黒い雨雨域(宇田雨域)と広島市近郊で集められたサンプル①: 背負子1(湯来町白砂)、②: ベニヤ板(加計町穴)、③: 雨戸(口田)

子炉事故によるものである。従って、原爆フォールアウトのみを見出すには核実験フォールアウトの影響を受けないように保存された試料でなければ困難であるといえる。

3. 広島大学理学部岩石学教室の調査試料

原爆線量の見直しが1980年頃から日米で開始された。その結果は1986年にDS86線量システム¹³⁾としてまとめられた。我々は1985年頃から原爆中性子による残留放射能の測定を行っていた。その間、1987年に、広島大学理学部岩石学教室に被爆試料が保管されていることを知った。これらの試料は倉庫のなかに14箱、別の部屋に3箱の合計17箱あった。図9に試料の一部を示す。



図9 理学部岩石学教室の原爆調査試料

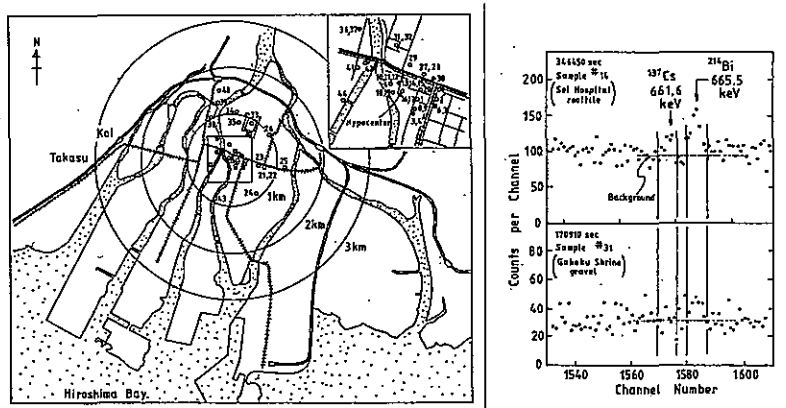


図10 理学部岩石学教室の被爆試料とガンマ線スペクトルの例¹⁴⁾

これらの試料採取を行った秀氏はフィールドノートと地図を保管されていた。フィールドノートから全サンプル115のうち、40-50個の採取場所を確認できた。これらの試料は原爆の熱線による岩石学的調査の目的のために集められたので、爆心付近の試料が多く、己斐、高須付近の試料は含まれていなかったが、現在では存在していない爆心付近にあった広島郵便局、清病院、島病院などの建物の試料が数多く含まれていた。我々はこれらの試料についてまず、非破壊のままで、試料表面に付着しているフォールアウト成分¹³⁷Csの測定を行い¹⁴⁾、続いて原爆中性子誘導放射能¹⁵²Euの測定を行った¹⁵⁾。試料の採取位置と¹³⁷Csの662keV付近のガンマ線スペクトルの例を図10に示す。¹³⁷Csが検出されたのは爆心付近の5サンプルのみであった。

4. 理化学研究所の土壌試料

我々は己斐、高須付近の被爆試料を探る中で、仁科氏により集められた土壌試料を岡野真治氏(元理研)が保管されていることを知った。これらの試料は1992年に広島市に返還された。試料の写真を図11に示し、試料の採取位置と、ガンマ線スペクトルの例を図12に示す。我々は低バックグラウンドガンマ線スペクトロメータを使用して¹³⁷Csの測定を行い、爆心から5kmの範囲内のフォールアウトの分布を調べた。そして、宇田雨域および増田雨域との比較を行い、旧広島市内の降雨域は増田雨域により近いと推定されることを示すとともに、フォールアウトによる放射線量の推定¹⁶⁾を行った。また、降雨地域との比較を図13に示す。

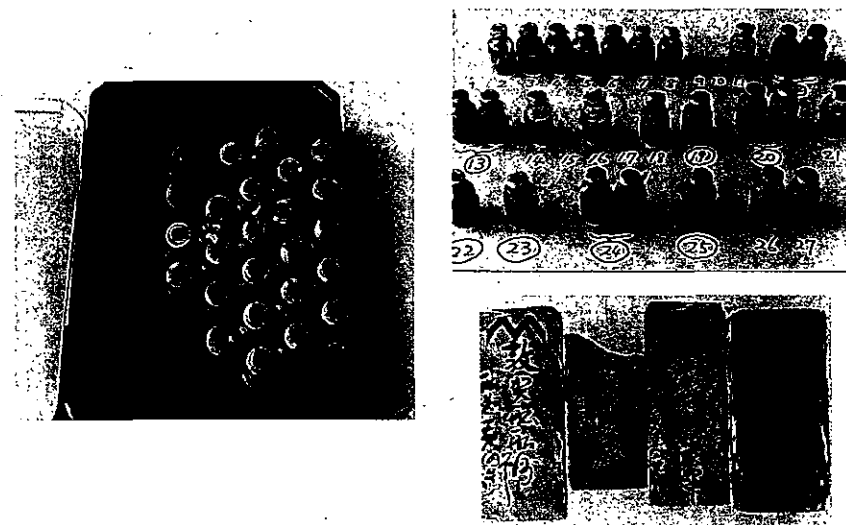


図11 理化学研究所 仁科秀雄氏らにより集められた土壌試料

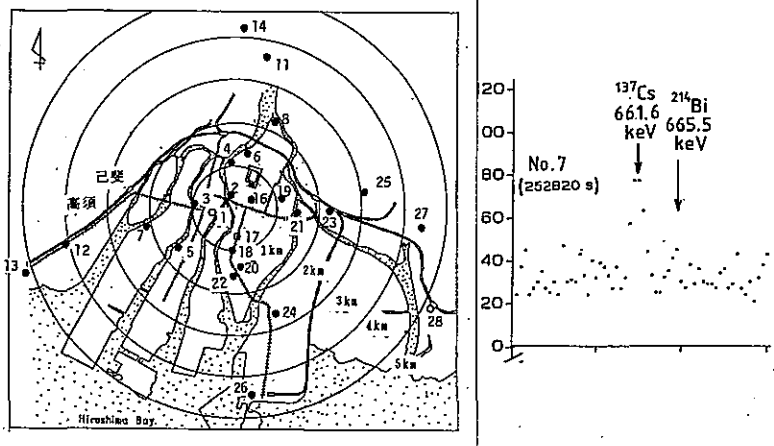


図 12 仁科芳雄氏らにより集められた土壌試料（白丸は現存しない試料）

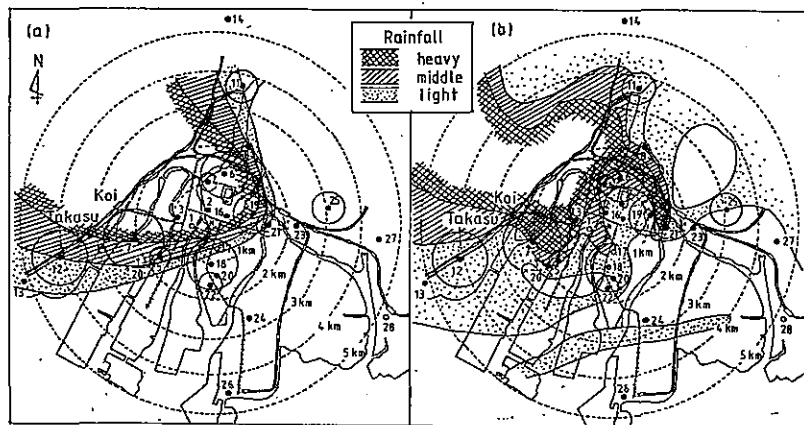


図 13 広島市内における ^{137}Cs の分布と宇田雨域（左）および増田雨域（右）との比較

しかしながら、仁科試料においても、もっともフォールアウトの激しかった、己斐、高須付近のサンプルは無かった。最も近いのは己斐橋付近（図 12 の No. 7）であったので、そこでの測定をもとに己斐、高須付近でのフォールアウトを推定した。

5. 広島市原爆資料館の「黒い雨」壁面

現在、原爆資料館（平和記念資料館）には黒い雨の痕跡の残る壁が2つ所蔵されている。いずれも広島市西区高須の八島秋次郎氏から寄贈されたものである。原爆による爆風で八島氏宅の屋根がずれ、屋根と洋間の内側の壁の間に隙間ができて、そこから黒い雨が降り込んで壁に跡が残った。雨は粘着性が強く、跡は少し厚みがあった。その跡を雑巾で拭いたので、現在は平らになっている。昭和 42 年に自宅改装の際、壁の一部が切り取られて原爆資料館に寄贈された。

その後、昭和 60 年に NHK により黒い雨の特集番組が製作・報道された。その際、壁の一部が切り取られた。八島氏宅を図 14 に示し、この壁の写真を図 15 に示す。

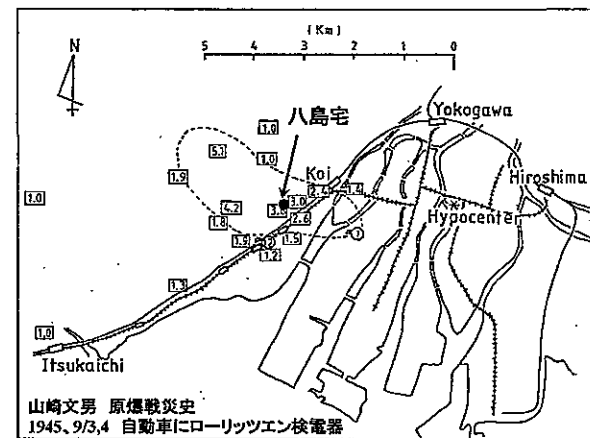


図 14 黒い雨壁面の八島宅と山崎文男氏のヒロシマ西部地域における線量測定



図 15 昭和 60 年に切り取られた壁面

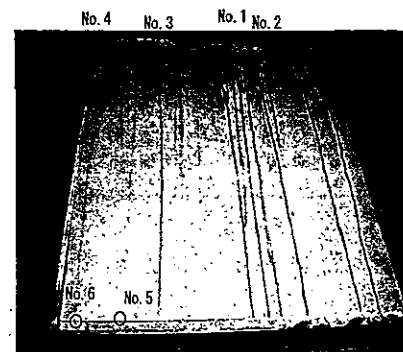


図 16 昭和 42 年に切り取られた壁面

そして、イメージングプレートを用いてオートラジオグラフィを行った結果、黒い雨に原因する放射線像が検出された¹⁶⁾。この壁は平成12年5月に原爆資料館に寄贈された。我々はこの壁について1) 高須地区の黒い雨の痕跡を残していることから、己斐・高須地区における¹³⁷Csの降下量を推定できること、2) 広島原爆に由来する濃縮ウランが検出できる可能性があることの2点を研究目的として調査を行った。広島原爆は濃縮したウラン235 (U-235) を使用した唯一の爆弾であった。使われたウランは約51kgであり、そのうち核分裂を起こしたのは1kg程度で残り約50kgは爆弾のケース、核分裂片とともにガス化し、原子雲に含まれて飛散したと考えられている。黒い雨に原爆由来のウランが含まれていれば²³⁵Uと²³⁸Uの原子数比が天然比(0.00726)よりも高くなることが予想される。ウランの原子数比を測定するには誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)が最適であるので、広島市の黒い雨地域の土壌の分析を試みていた藤川陽子氏(京都大学原子炉実験所)と共同研究を進めた。まず、この壁の端から6個の小片を採取することの許可を得て、耳掻き一杯程度の小片(重量0.017g~0.275g)を採取した。採取位置を図16に示す。これらの試料をガンマ線検出器で測定することにより、黒い雨部分から¹³⁷Csが検出された。

広島における¹³⁷Cs測定データのまとめを表1に示す。数値は原爆直後に半減期補正をした値である。理学部岩石学教室の被爆試料のうち¹³⁷Csが測定された5サンプルから推定した爆心近くでの¹³⁷Csの降下量は 0.13×10^8 Bq/km²であった。理研土壌試料のうち、己斐に近いNo.7を除く試料から推定した¹³⁷Cs降下量は 0.15×10^8 Bq/km²であり、前者とよく一致した。次に「黒い雨」壁面から求めた¹³⁷Csの平均表面密度は 4.9×10^8 Bq/km²であった。この値は理研土壌試料のうちで、己斐に近いNo.7試料から推定した¹³⁷Csの降下量とよく一致した。

表1 広島における¹³⁷Cs測定データのまとめ

サンプル	¹³⁷ Cs 濃度	強度比	
1) 爆心付近	1.3 ± 0.7 mBq/cm ²	0.13×10^8 Bq/km ²	1/37
2) 理研土壌サンプル			
・10 サンプル平均 (No.7を除く広島市内)	1.5 ± 0.2 mBq/cm ²	0.15×10^8 Bq/km ²	1/32
・No.7	49.3 ± 5.2 mBq/cm ²	4.9×10^8 Bq/km ²	1
3) 「黒い雨」壁面	48.5 ± 22.5 mBq/cm ²	4.85×10^8 Bq/km ²	1
4) 核実験フォールアウト (1980年以前、北緯30-40° UNSCEAR1982)		37×10^8 Bq/km ²	7.6

¹³⁷Cs降下量の相対的比較のために己斐・高須でのフォールアウト中の¹³⁷Cs降下量を1とすると、土壌試料のうち、No.7を除く試料から推定した旧広島市内の平均値の38倍、核実験フォールアウトの1/8である結果が得られた。

次に、ICP-MS分析によるU-235/U-238同位体比は黒い雨の部分で天然比より有意に高いことがわかった。本研究の一部は2004年に開催された京都大学原子炉実験所専門研究会¹⁸⁾で報告した。

6. まとめ

1. 広島原爆のフォールアウトの影響を調べるためには核実験フォールアウトの影響を受けていない試料が必用である。
2. 広島市内で集められた被爆土壌試料(理学部、理研)からは、降雨地域は宇田雨域よりも増田雨域に合うことが示された。
3. 原爆資料館に展示されている「黒い雨壁面」からは¹³⁷Csだけでなく、濃縮²³⁵Uが検出された。

参考文献

- 1) 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編(日本学術振興会、1953)
- 2) 「原子爆弾 広島・長崎の写真と記録」仁科記念財団(風光社、昭和48年)
- 3) 山岡静三郎、山田正明、桑田岩雄、中田、浅田常三郎、尾崎誠之助：“広島原子爆弾災害報告” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編(日本学術振興会、1953) pp.1-4.
- 4) 荒勝文策：“爆発後数日に行える広島市の放射能学的調査に関する報告” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編(日本学術振興会、1953) pp.5-10.
- 5) 山崎文男：“原子爆弾爆発後、広島西方に残った放射能について” 原子爆弾災害調査報告集 第一分冊理工学編(日本学術振興会、1953) pp.25-33.および広島原爆戦災誌、第五巻資料編(広島市、昭和46年)、p.899.
- 6) 渡辺武男、山崎正男、小島丈児、長岡省吾、平山 健：“広島および長崎両市における原子爆弾災害の地質学および岩石学的観察” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編(日本学術会議、1953) pp.143-158.
- 7) 田賀井篤平編「石の記録ーヒロシマ・ナガサキ」(東京大学出版会、2004)
- 8) N. Pace, R.E. Smith: "Measurement of the Residual Radiation Intensity at the Hiroshima and Nagasaki Bomb Sites" Hiroshima, ABCC TR26-59, 1959
- 9) 橋詰雅他：“広島、長崎の残留放射能について” 広島医学31巻4号(1978) pp.455-458.
- 10) 宇田道隆、菅原芳生、北勲：“気象関係の広島原子爆弾被害調査報告” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編(日本学術振興会、1953) pp.98-135.
- 11) 増田善信：“広島原爆の黒い雨はどこまで降ったか” 天気、Vol. 35, No.2 (1989) pp.69-79
- 12) 静間 清、岩谷和夫、葉佐井博巳、“広島原爆フォールアウト¹³⁷Csの調査：広島市近郊から集められた木製農具等について” 広島大学工学部研究報告 39 (1990) 63-72.
- 13) W.C. Roesh (ed), US-Japan Joint Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki, Final report. Hiroshima RERF, Vol.1 and 2, 1987.
- 14) K. Shizuma, K. Iwatani, H. Hasai, M. Hoshi: Fallout in the Hypocenter Area of the Hiroshima Atomic Bomb, Health Phys. 57 (1989) 1013-1016.
- 15) K. Shizuma, K. Iwatani, H. Hasai, M. Hoshi, T. Oka and M. Okano: "Cesium-137 Concentration in Soil Samples from an Early Survey of Hiroshima Atomic Bomb and Cumulative Dose Estimation from the fallout" Health Phys. 71 (1996) 340-346.
- 16) 宮原諒二：“オートラジオグラフィとラジオグラフィ” Radioisotopes, 47 (1998)143-154.
- 17) Y. Fujikawa, K. Shizuma, S. Endo and M. Fukui: "Anomalous U-235/U-238 Ratio and Metal Elements Detected in the Black Rain from the Hiroshima A-Bomb" Health Phys. 84(2003) 155-162.
- 18) “広島・長崎原爆放射線量評価システムDS02に関する専門研究会” KURRI-KR-114 (2005) 京都大学原子炉実験所 <http://hlweb.rrri.kyoto-u.ac.jp/shibata-lab/DS02/KURRIKR114.html>

長崎の黒い雨

高辻俊宏
長崎大学環境科学部

1. はじめに

広島黒い雨が最近注目されているのに比較して、長崎の黒い雨については、あまり広く知られていない。しかし、科学的文献によれば、黒い雨を含むフォールアウトによる外部被ばく線量は、広島より遙かに高かったと見積もられている。

詳しい状況を体系的にまとめた文献は見当たらないが、科学的文献やインターネットのウェブ上にある公的な記述、人々の体験談などをまとめることにより、ある程度その状況を知ることができるので、ここに示す。

2. 黒い雨の降ったところ

長崎の「黒い雨」の科学的な記録は限られている。その記録によれば、爆心地から3 km東にある西山地区には、爆発後20分後に雨が降り出した。図1に雨の降ったと報告されているところを示す。西山と本原に降った雨は、黒かったと報告されている。雨が降ったという報告は、住吉トンネル工場、川平、医大附属病院、瓊浦中学校（現「長崎西高等学校」）、穴弘法、金比羅山、寺町にあるが、色は不明である¹⁾。塩月正雄医師によると、爆心から北東方向に約20 kmはなれた大村海軍病院には、爆発10分後に晴天に無色の雨が降り始めた²⁾。また、爆発後に生じたキノコ雲は、40分後には見えなくなったとのことである。



図1. 雨が報告されている所。キノコ雲は、熊本県荒尾市と雲仙から見る事ができた。爆発時は広範囲に晴れていたと思われる。

三菱の工場の伝票が爆心から直径3 kmの範囲に散乱していたという記録がある¹⁾。

また、「黒い灰」と微軽量物が矢上、戸石、古賀、田結、江の浦などに降り、サツマイモ畑は薄くなり、サトイモの葉には、はっきり字が書けるように積もったとされている¹⁾。このことから、フォールアウトには、「黒い雨」などの降雨に伴うものと、黒い灰や微軽量物からなる乾燥したものの2種類があったことがわかる。

有馬氏の証言では、熊本県荒尾市から、キノコ雲が見えたらしい³⁾。また、雲仙岳測候所から見たキノコ雲のスケッチというものがある。このことからすれば、爆発時は広範囲に晴れ渡っていたと考えられるが、爆発をきっかけとして爆心地周囲を含めて広範囲に雨が降ったらしい。

3. 放射能濃度の測定

1990年採集の試料では、図2(a)に示すように、爆心から真東の地域の^{238,239}Puの放射能濃度は、バックグラウンドよりも有意に高かった(島崎他⁴⁾)。また、その有意に高かった地点の爆心からの距離と放射能濃度を両対数グラフ上にプロットすると図2(b)のように、ほぼ直線上に並んだ。¹³⁷Csの放射能濃度がバックグラウンド値よりも有意に大きい地点は少なかったが、^{238,239}Puと¹³⁷Csの比は図2(c)に示すような関係を示した。

黒い雨にともなう¹³⁷Csの放射能濃度を直接測定することは困難であるが、図2(b)(c)で示す関係を用いて推定することが可能である。^{238,239}Puの全放射能濃度を Pu_N 、バックグラウンド値を Pu_B 、正味の長崎原爆による値を $Pu_N = Pu_T - Pu_B$ とあらわし、¹³⁷Csの濃度を同様に Cs_T 、 Cs_B 、 Cs_N とあらわすと、爆心から x kmの地点における放射能に関しては、

$$Pu_N = f_1(x) \tag{1}$$

$$\frac{Pu_T - Pu_B}{Cs_T - Cs_B} = f_2(x) \tag{2}$$

である。(2)を変形して(1)を代入すると

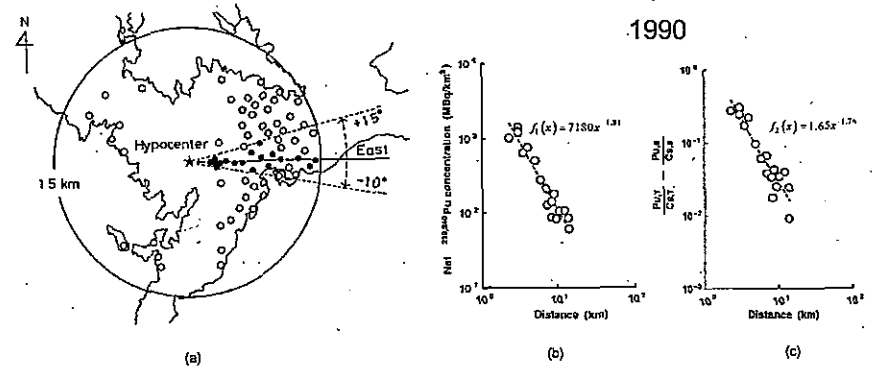


図2. (a) ^{238,239}Pu試料の採取地。●:放射能がバックグラウンドより有意に高かったところ。○放射能がバックグラウンドより有意に高くなかったところ。(b) バックグラウンドより有意に高かった地点における距離と^{238,239}Puの放射能濃度の関係。(c) 同じく距離と^{238,239}Puと¹³⁷Csの放射能濃度の比。放射能濃度は、1990年10月15日現在、バックグラウンド値は爆心地より西側の15 km以上離れた5地点の平均値を用いた。 f_1 および f_2 は、回帰直線の方程式である。いずれも、島崎他⁴⁾による。

$$Cs_T = \frac{Pu_T}{f_1(x) + \frac{Pu_B}{Cs_B}} = \frac{Pu_N + Pu_B}{f_2(x) + \frac{Pu_B}{Cs_B}} = \frac{f_1(x) + Pu_B}{f_2(x) + \frac{Pu_B}{Cs_B}} \quad (3)$$

となるから、

$$Cs_N = Cs_T - Cs_B = \frac{f_1(x) + Pu_B}{f_2(x) + \frac{Pu_B}{Cs_B}} - Cs_B \quad (4)$$

となり、 Cs_N を求めることができる。

同様の測定は、馬原、工藤(2004)⁵⁾によっても行われている。そこでは、 $^{238,239}\text{Pu}$ の放射能濃度は、爆心から東に2.8 kmのところを最大値であり、それから東に行っても西に行っても濃度が減少することが示されている。

4. 西山地区の地形と $^{238,239}\text{Pu}$ 、 ^{137}Cs の放射能濃度

西山地区は、今も昔も山林と畑が主の傾斜地の多い山間地で、長崎市中心部に比べれば人口がまばらな地域である。ここにある西山水源地は、1904年に完成したもので、原爆投下時にはすでに存在し、飲用に供されて来た。西山水源地の集水域は、西山地区のほぼ全体を覆っている。

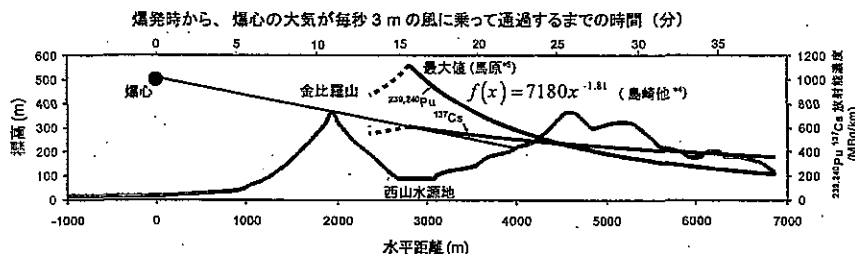


図3. 上の地図上の赤い線は、爆心と金比羅山頂上を通る直線である。下の図の緑の線は、地図上の赤い線を通る地点の爆心からの水平距離と標高をプロットしたものもある。下の図で、爆心から金比羅山山頂を通る直線(赤い線)を見ると、西山地区の大部分は、金比羅山によって、爆心からの放射線からさえぎられていたことがわかる。茶色い線は、島崎らによる $^{238,239}\text{Pu}$ の放射能濃度、紫の線は、同じく ^{137}Cs の濃度である。馬原による放射能濃度の最大値点は、爆心から2.8 kmであるが、そこから西側の地点における放射能濃度については、見積もられていないため、点線で示した。

図3で示した、爆心と金比羅山山頂を通る直線は、東西方向から少しだけ南に傾いているが、 $^{238,239}\text{Pu}$ の放射能濃度がバックグラウンドより有意に高かった地域を通っており、地形もわかりやすいので、この直線上で、爆心地から東方向に降ったフォールアウトの放射能濃度を検討する。図3のように、西山地区の大部分は爆心から金比羅山で遮られているため、爆心からの直接被ばくはない。長崎市のWebページの記述では、当時、毎秒3 mの南西の風が吹いていたとされている⁶⁾。しかしながら、この記述には、風下を「長崎市東部の矢上、戸石」(実際には爆心からほぼ東)とするなど、方角に関して混乱が見られる。 $^{238,239}\text{Pu}$ の分布からすれば、西風に近かったのではないかとと思われる。馬原らによる、フォールアウトの最大地点は、爆心から2.8 kmであり、西山水源地の西岸にあたる。風速毎秒3 mを信用すれば、この最大地点に爆心の大気が到達するのは15分後となる。西山地区に雨が降り出したとされる20分後にこの大気が到達する地点は、西山水源地の東岸にあたる。西山地区に雨が降っているときには、爆心から風で流されてきた大気が上空にあったと考えられる。黒い灰が降ったといわれている戸石にも、爆心の大気は1時間以内に到達することになる。

5. 西山地区の外部被ばく線量の評価

西山地区で線量計によって測定された外部被ばく線量率は、表1の通りである。線量率は、次式によって、爆発後1時間の値に換算されている。

$$X_t = X_1 t^{-1.2} \quad (5)$$

ここで、 X_t は、爆発後 t 時間の線量率をあらわし、 X_1 は、爆発後1時間の線量率をあらわす。この式は、フォールアウトの線量率が爆発後1時間から4000時間の間において、ほぼこの式に従って減少していくことに基づいている⁶⁾。DS86には、原爆によって放射化された土砂からの線量率の変化が計算されている⁷⁾。そこにあげられているグラフによれば、多くの放射性核種の減衰が重なり合うことによって、(5)式が大まかには成り立っていることが確かめられるが、 t の値によっては、一桁以内の誤差はある。

表2は、広島の日妻・高須地区における測定値である。西山地区の線量率は日妻・高須地区よりもかなり高いことがわかる。

(5)を積分することにより、積算線量を求めると、

$$\int X_t dt = 5X_1 \quad (6)$$

となる。表1より、西山地区の爆発後1時間の線量率(X_1)が最大約8 R/h(約0.08 Gy/h)とすると、積算外部線量は、40 R(約0.4 Gy)となる。この数値は、放射線荷重係数を1としてICRPのリスク係数($5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$)を単純に当てはめると、この放射線が原因となつてがんになって死亡する確率は、2.2%となる。(6)式で、爆発後1時間から積分していることについては、特別な理由はないようだ⁶⁾。それに、これを黒い雨が降り出したとされる20

表1. 西山地区における線量率

高さ1 mで線量計によって測定されたもの。測定日のN+53は、長崎原爆爆発後53日目を表す。線量率は、(6)式に基づき、爆発後1時間後の値に換算している。(参考文献6による)

観察者	測定日	線量率 (R/h)
Shinohara 他	N+53	0.05~0.14
Tybout	N+57	5.8
	N+48	4.7~8.5
Peace, Smith	N+73	8.4
	N+96	7.6

表2. 広島の日妻・高須地区における線量率

高さ1 mで線量計によって測定されたもの。測定日のH+188は、広島原爆爆発後188日目を表す。線量率は、(6)式に基づき、爆発後1時間後の値に換算している。(参考文献6による)

観察者	測定日	線量率 (R/h)
Miyasaki, Masuda	H+188	0.6
		0.5
Fujiwara, Takeyama	H+49	0.19
	H+920	1.8
Tybout	H+60	0.23
Pace, Smith	H+87	0.11~0.33

分(0.33時間)後からにしても、積算外部線量は25%程度増加するにすぎない。

6. 西山地区の内部被ばく線量の評価

ホールボディカウンタによる住民の¹³⁷Cs体内量や染色体検査が行われたが、高線量内部被ばくの兆候は見られなかった。しかし、この調査が始められたのは1969年であり、爆発より24年以上経過している⁹⁾。

当時の住民は西山水源地の水を毎日飲んでいたところ、1年ほどのち、のどがひどく腫れて痛くなり、なかなか治らなかったという報告がある⁹⁾。

7. 原爆認定訴訟における原告の主張とその論拠

原爆認定訴訟で、原告は、爆発直後は西山地区を含むもっと広い範囲にフォールアウトによるもっと強い放射能があったはずだと主張している。以下はその論拠の主な2つである¹⁰⁾。

1. ほとんどのフォールアウトは、測定される前に風で吹き飛ばされているはずである。
2. 黒い灰や微軽量物は、爆心から遠く離れたところに到達する。従って、強い放射能が爆心から遠いところに降った可能性がある。

8. 考察

敗戦間近の当時の状況からすれば、遠隔地から多くの飲み水や食べ物を得ることは難しいと考えられる。それならば、当時の西山地区の住民は、フォールアウトによって汚染した水を飲み、フォールアウトの降り積もった畑の野菜を食べていたことになる。西山水源地の集水域は西山地区の大部分を含んでいるので、水源地の水には多量の放射性物質が含まれていた可能性を検討しなければならない。¹³⁷Csの生物学的半減期は短く、ホールボディカウンタによる測定値は、爆発より24年も経過した後のことで、飲食物の入手経路も、汚染状況も当時の状況とは違うので、内部被ばくの実態を明らかにするものではないと考えられる。染色体検査については、高線量の被ばくがあれば、安定型染色体異常の増加が見られるはずであるが、これも爆発より年月がたっているので、有意な増加が見られないからといって、高線量の被ばくがなかったと判断するのは難しい。

チェルノブイリ発電所周辺の¹³⁷Cs汚染は、きわめて不均一であり、建物の軒下などに集中していたり、一見なんの変化もないところに複雑な分布が見られたことは著者の体験するところである¹¹⁾。これらの不均一な分布は、自然あるいは人工の要因によって次第に均一化していくはずであるから、48日目の分布と直後の分布がほとんど同じであるとは考えにくい。従って、最大の積算線量が約0.4 Gyという見積については、大きな誤差がありうると考えられる。

原爆認定訴訟における原告の主張の論拠は、市民が今までの原爆研究の問題点を明らかにしようとするものであるから、今後の原爆研究には最も参考にしなければならないものであると思う。

1. の、風に吹き飛ばされたという主張に関しては、そのようなことが起こりうるのかどうか、実験やシミュレーション、核実験のデータの解析などによって、探っていく必要があると考える。2. の、黒い灰や微軽量物によるフォールアウトの地域拡大の可能性については、考えにくい。^{238, 239}Pu、¹³⁷Csの放射能濃度は、黒い雨、黒い灰、微軽量物すべてが合わさった結果として存在しており、調査時の^{238, 239}Pu、¹³⁷Csの放射能濃度が距離に応じて連続的に変化しているからである。しかしながら、もし、1の主張のように、風で吹き飛ばされたということがあれば、可能性として否定できない。

9. 結論

- 雨は、爆発後、爆心地を取り巻く広範囲な地域に降ったらしい。
- 西山地区および本原の雨は黒く、遠く離れた大村に降った雨は無色であった。その他の雨の色は不明である。
- 黒い灰や微軽量物は爆心の東側10km以上の地域にまで降った。
- フォールアウトの放射能は主として西山地域で検出された。
- 西山地域のフォールアウトによる外部被曝線量は最大約0.4 Gyと見積もられている。これは、広島フォールアウトに対する見積より遙かに大きな値であるが、当時の住人からは、本当はもっと大きかったのではないかと疑われている。
- 西山地域での激しい内部被ばくを示す兆候は見つかっていない。しかしながら、内部被ばくの調査は爆発より24年もたった、1969年に始まったものであるから、初期の内部被ばく線量については、明らかでないと考えられる。

参考文献

1. 長崎市, 2009, 長崎市平和・原爆 原爆の記録-黒い灰、黒い雨, <http://www1.city.nagasaki.nagasaki.jp/peace/japanese/record/black.html>
2. NBC長崎放送, 被爆者の証言, 第16回, <http://www2.nbc-nagasaki.co.jp/peace/voices/no16.php>
3. 有馬富穂, 2005, 長崎の原爆雲を遠望して, 有馬富穂の自伝史 <http://blogs.yahoo.co.jp/arimatomiho2000/76007.html>
4. 島崎達也, 奥村 寛, 吉田正博, 高辻俊宏, 1994, 長崎原爆フォールアウトによるプルトニウムおよびセシウムの分布, 広島医学, 47, 418-422
5. 馬原保典, 工藤 章, 2005, 長崎原爆によるPuフォールアウトの環境中での分布と挙動-長崎でのローカルフォールアウト調査とアガシ・アイス・キャップでのグローバル・フォールアウト調査, KURRI-KR-114 「広島・長崎原爆放射線量新評価システム DS02 に関する専門研究会」報告書, 169-183
6. Okajima, S. Fujita, S. and Harley, J. H., 1987, Chapter 6 Radiation doses from residual radioactivity, DS86, Vol. 1, 205-226
7. Grinzner, M. L. and Woolson, W. A., 1987, Chapter 6 Appendix 2 Calculation of doses due to atomic bomb induced soil activation, DS86, Vol. 2, 342-351
8. 岡島俊三, 竹下健児, 安徳重敏, 塩見敏男, Russell, W. J., 藤田正一郎, 吉永春馬, 鎌石昇太郎, 河本定久, 法村俊之, 1975, 長崎における原爆の放射性降下物の影響調査, 原爆傷害調査委員会業績報告書 (ABCC Technical Report) 12-75
9. 伊藤明彦, 2008, ナガサキの「黒い雨」, 伊藤明彦 ヒロ・ナガ .com アーカイブス, http://blogs.yahoo.co.jp/ito_86_89/2507520.html
10. 高見澤 昭治他, 2008, 平成18年(行ウ)第561号外 原爆症認定申請却下処分取消等請求事件原告第3準備書面, http://shoruisouko.xsrv.jp/kntk/Tokvo_DC_080418Jun3.pdf
11. Takatsui, T., Sato, H., Takada, J., Endo, S., Hoshi, M., Sharifov, V. F., Veselkina, I. I., Pilenko, I. V., Kalimullin, W. A. F., Masyakin, V. B., Kovalev, A. I., Yoshikawa, I., Okajima, S., 2000, Relationship between the ¹³⁷Cs whole-body counting results and soil and food contamination in farms near Chernobyl, Health Physics 78, 86-89

1976年および1978年の厚生省委託の「広島・長崎の残留放射能調査」と 1991年の「黒い雨に関する専門家会議報告書」の概要

星正治

広島大学原爆放射線医学研究所

1953年の日本学術振興会編、原子爆弾災害調査報告集は、原爆被災に関する物理学的、生物学的な調査を行った結果をまとめたものである。この研究は考えられる全ての学術分野を含み総合的に行われていて、今では当時の貴重な資料となっている。この中に黒い雨に関する物理学的また気象学的な調査結果が発表されている。黒い雨の宇田雨域もここで報告されている。その後、公的な機関による研究、調査は1976年までしばらく行われなかった。その後の本格的な研究としては、1976年と1978年に厚生省委託で行われた黒い雨の残留放射能の調査と、1991年の「黒い雨に関する専門家会議」の2つの調査報告がある。ここではその2つの報告に関して概要を説明する。

(1) 1976年および1978年の厚生省委託の「広島・長崎の残留放射能調査」

厚生省委託研究による広島・長崎の残留放射能調査(文献1)である。目的は広島・長崎の原子爆弾によるセシウム137およびストロンチウムが土壌中に含まれているかどうかを調査する目的ではじめられた。30km圏では唯一の調査であり、ここから収集された広島・長崎の土壌は現在でも貴重な試料である。以下その内容の概略をまとめる。

◇ 1976年の調査

- ① 試料採取と処理にあたって、下記の点に留意して行われた。
 - 1 爆心から30km以内の範囲に注目する。
 - 2 爆心から2km間隔に同心円を描きその同心円状に6点取り出来るだけ均等に採取地点を分散させる。
 - 3 日本学術振興会編、原子爆弾災害調査報告集(文献2)に指摘された広島「黒い雨の雨域」と長崎「西山地区」には特別な地点を設ける。
 - 4 コントロール地域にも採取地点を設ける。
 - 5 結果として広島では均等に6方向を放射線状に取り「黒い雨の降雨域」に北北西と西方向を追加する。長崎は20カ所を「西山地区」に取った。
 - 6 採取地点は地図上にあらかじめ定めた地点を基準に、
 - 6-1 爆発直後から人畜によって踏み荒らされた形跡がないこと、
 - 6-2 下水や雨水など自然の力で土砂の流入や流出が無く爆発当時の状態を保っていると思われる地点から土壌を採取した。
 - 7 採取法は1976年報告書の別添資料3に詳しく記述されているが、概要は以下の通りである。まず表面の腐葉土の層を取り除き、内径10cm高さ15cmの鉄のパイプを地表面から目的の深さまで打ち込み採取する。更に30cmの深さまで採取する場合もある。30cm採取する場合は、耕地や水田の土壌の採取の時である。また、あらかじめ採取した容積と乾燥土の重量の比(容

積重)も求めておく。基本的にデータのばらつきを押さえるため、最低でも未耕地で12地点、畑地で8地点、水田で5地点の採取を原則とする。

- 8 試料処理は土壌を板の上で広げ日陰で乾燥させる。十分乾燥させた後重量を測定する。その後2mmメッシュの篩で小石を取り除く。その後残された乾燥土壌の重量を測定し全体の重量%を求める。試料はポリエチレン袋または広口瓶で保存する。
- ② 測定は15cm³のGe(Li)を用いて行った。土壌は化学処理をせずに測定した。その測定法は文献3によった。また広島・長崎の試料の一部は化学分析の後ストロンチウム90とセシウム137を測定した。
- ③ 結果は本報告書でもセシウム137の測定結果についてWhiteheadらやCullingsらとその統計解析を行っている。この調査での測定結果は、広島107地点の全平均で68.36±37.47(mCi/km²)であり、長崎98地点で平均が140.39±53.21(mCi/km²)であった。統計解析の結論として、長崎の西山地区を除き、黒い雨の内外で広島・長崎の原爆由来のセシウム137は認められなかった。これはその後の核実験によるグローバルフォールアウトの降下が大きく、明らかな広島・長崎の原爆由来の放射能を含む値として見いだせなかったことを意味する。ただいくつかの地点では大きい値があったため、2年後の1978年の再調査が行われた。

◇ 1978年の調査

- ① 1976年の調査ではその後の核実験によるグローバルフォールアウトの影響で広島・長崎の原爆のフォールアウトとしてのセシウム137は見いだせなかった。しかしながら少数の点で大きな値があったので再調査が行われた。
- ② それらは広島では、N-14, NNW-22であり、長崎ではNW-14, NW-22, E-6である。(N北の頭文字、Wは西の頭文字 NNWは北北西でその後の数字はkmで表した採取地点の距離。) また異常に低い値を取った地点も広島で2カ所、長崎で4カ所選び参考地区として同様な調査を行った。
- ③ それぞれに対して比較対象地点を選び、それぞれの地点で10地点以上のサンプリングを行った。
- ④ 1986年調査と同様にセシウム137を測定し、コントロール地域と比較し有意差はないと結論した。
- ⑤ ここでは原因として地形などの影響を可能性に上げている。最近の調査で、坂口らが本報告書で述べているように、広島原爆にはなくてグローバルフォールアウトにのみ含まれるプルトニウムとセシウム137との比が一定であることを見いだされている。これは雨量などの影響と考えると自然である。

(2) 1991年の「黒い雨に関する専門家会議報告書」

その後のもう一つの調査報告として、1991年に広島県・広島市が行った黒い雨の検討があり、黒い雨に関する専門家会議報告書(文献2)にその結果が述べられている。この検討会議が充足した経緯として、1987年増田雨域が発表され、それまでの宇田雨域より地域が約4倍に広がる(文献8)とされたことがある。この報告書によると、増田報告によりこの問題に関する関心が地域住民を中心として高

まり、被ばく地域の拡大を要望する運動が起きたことがその経緯としてあげられている。
調査報告の内容と結果は以下の通りである。

① 原爆による残留放射能

- 1) 1976年、1978年の厚生省委託の土壌調査結果の再検討
宇田雨域および増田雨域の内外でセシウム 137 の測定結果が有意に高いかどうか統計解析が行われ、セシウム 137 の結果にその内外で有意差がないと結論づけた。
- 2) $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比をもとめるため、質量分析計による測定と α 線測定を行ったが有意な結果が出なかった。
- 3) 屋根瓦を集めその表面のセシウム 137 を測定したが、有意差を見いだせなかった。
- 4) 柿の木の年輪の中のストロンチウム 90 を測定した。年輪は過去の放射能の吸収の結果を残していると考えられるからである。しかしながら黒い雨のとの関連は確定できなかった。
- 5) 結論として、その時点においては物理学的な測定からはなにも分らなかった。

② 気象シミュレーション法による降下放射能線量の推定

- 1) 広島・長崎それぞれについて気象シミュレーションによる放射性降下物の地上での分布について計算を行った。降下物の粒子の大きさを仮定した風の向きも測定結果をしらべた。降下物の原因として、原爆の核分裂生成物本体を含む「原爆雲」、衝撃波によって巻き上げられた土壌を含む「衝撃雲」、その後の火災により発生した「火災雲」の3種に分けて計算している。その結果広島では原爆雲からの塵は北西 9-22km 付近に降下し、雨の場合は北西 5-9km に降下した。衝撃雲と火災雲は北北西 3-9km に降下した。長崎についてはこれまで物理学的な測定で証明されている地域と一致した。
- 2) この結果に基づき、放射能の降下量と被ばく線量を計算した。結果は爆発から 12 時間後の値を求めている。その結果、
 - 2)-1 原爆雲からは最大の放射能密度は $1,600\text{mCi/m}^2$ 、照射線量率は 12.7R/h 、
 - 2)-2 衝撃雲からは、 ^{24}Na の計算を求め、最大の放射能密度は $270\mu\text{Ci/m}^2$ 、照射線量率は 15mR/h 、
 - 2)-3 火災雲からは、最大の放射能密度は $90\mu\text{Ci/m}^2$ 、照射線量率は 5mR/h 、
となった。また最終的な結論として、豪雨による流出を考慮し、炸裂 12 時間後で最大約 5R/h としている。また同時に無限時間の積分は約 25rad としている。これは 250mGy である。
- 3) 結論として、気象シミュレーションは風の向きなど多数の初期値や入力データなどの多くの仮定を必要とすることもあり、その結果は予想の一つであり結論とすることはできない。しかし、ここでのシミュレーションは初めての試みであること、原爆雲、衝撃雲、火災雲と 3 種に分けメカニズムの理解を助けることが出来たこと、またこの降雨地域でのだいたいのシミュレーションが可能であることを示したことで評価される。放射能の降下量と照射線量率の計算も同様であり、最大の積算線量で約 250mGy の値を出している。放射能の全てがこの地域で降下していないことなどを考慮に入れるとそれほど大きく外れていない。

③ 体細胞突然変異と染色体異常による人体への影響

黒い雨地帯の人体への影響調査としては下記の 2 種類の調査が行われた。これらは原爆被ばく者については放射線の影響が分かることが証明されている方法である。いずれの調査でも有意な差

は見られなかったが、初めての試みとして意味があり、今後のさらなる調査の可能性も示唆していると考ええる。

- 1) 赤血球の MN 型血液型決定抗原グリコフォリン A タンパク質の遺伝子に生じた突然変異の調査。
己斐町、古田町、庚午町、祇園町の降雨地域に当時いた人 40 名(男性 20 名、女性 20 名)、宇品町、翠町、皆実町、東雲町、出汐町、旭町の対照地域に当時いた人 53 名(男性 21 名、女性 32 名)について調査した。MO 型については黒い雨地帯で高かったが、NO 型は差が無く、MM 型は逆であった。結論としては明確な違いは見いだせなかった。
- 2) 染色体異常についての調査。
体細胞突然変異の調査と同様に行った。調査人数は、降雨地域 60 名(男性 29 名、女性 31 名)、対照地域 132 名(男性 65 名、女性 67 名)について検討した。これらからは、統計的有意差は証明されなかった。

(3) 終わりに

1976 年と 1978 年の調査では、はじめて 30km 圏で系統的な土壌調査が行われた。残念ながら、このときまでに大気中核実験が多数行われていたため、グローバルフォールアウトの影響が大きく有意な差は見いだせなかった。しかしながら、その後、ウラン 234、235、236 などの新しい測定方法が開発され、ここで収集された試料は現在でも貴重である。今後更に新しい測定法が開発される可能性を考えると今後も保存する必要がある。

1991 年の黒い雨専門家会議報告書では、結論としてはいずれも明確な違いは見いだされなかった。しかしながらここで注目しておくことは、はじめて、気象シミュレーションを行い、さらに人体への影響が調べられたことである。気象シミュレーションにより、原爆雲、衝撃雲、火災雲と 3 種に分けメカニズムの理解を助けることが出来たこと、また降雨地域のだいたいのシミュレーションが可能であることを示したことで評価される。また最大の積算線量で約 250mGy の値を出していることも注目すべきである。更に、人体影響について、放射線影響研究所で原爆被ばく者の人体影響として確立されている、血液型の MN 型の突然変異と染色体異常を調査したことも今後の調査の可能性などが分かり、有意な調査であった。問題点として 1983 年の高田ら(文献 6)のウラン 234 の測定が引用されていないことである。はじめて降雨地域に有意な放射能降下があった可能性を示している文献が議論の対象になっていないことは残念である。

なお、気象シミュレーションの初期条件の設定方法等、本調査報告について多くの問題点が指摘されていたことも付け加えておく。

文献

1. (財)日本公衆衛生協会編、広島、長崎の残留放射能調査報告書 昭和 51 年度、昭和 53 年度(1976、1978)。
2. 日本学術振興協会編、原子爆弾調査報告集、第一分冊。pp.98-135 1953。
3. 科学技術庁原子力局編、「Ge(Li)半導体検出器を用いた機器分析法」1979。
4. 黒い雨に関する専門家会議、黒い雨に関する専門家会議報告書および同資料編 平成 3 年 5 月 (May, 1991)。
5. 増田善信、広島原爆の「黒い雨」はどこまで降ったか。天気 36:69-79 1989。
6. Jun Takada, Masaharu Hoshi, Shozo Sawada and Masanobu Sakanoue, Uranium isotopes in Hiroshima "Black rain" soil. J. Radiat. Res. 24, 229-236 1983。

気象シミュレーションの課題と再検証の可能性について

青山 道夫

気象研究所地球化学研究部

1. はじめに

広島原爆による人工放射能の局地的な降下物の実態調査については、土壌などの試料のサンプリングとそれらの放射線測定による結果が直接的な証拠である。しかし、1945年から既に65年という長い時間を経過し、「戦後2-3年以内に建築された古い民家の床下の土壌」等の限られた試料しか入手できない状態にあることを考慮すると、コンピュータを使った放射性降下物の再現計算も黒い雨の実態解明の役に立つと考えられる。

再現の基本は、核爆発によって生じた核分裂生成物あるいは誘導放射能が風に乗って流れて、そこで雨と共に、あるいは粒子として降下する状況を計算するものである。

このような計算は、「黒い雨に関する専門家会議」(1988年～1991年)において、吉川友章博士により試みられている。この時は、当時としては最先端であると考えられたモデルを使い、降下物の再現計算と12時間後の線量率を計算しているが、時代の制約もあったと考えられる。また、初期条件の設定において、例えば増田善信博士のコメント(表1)のように雲の高さが低すぎるといったような不十分な点もある。

広島原爆による局地的な放射性降下物のモデル計算による再検証が科学として成立するかどうかは、「より良い初期条件と境界条件を設定することができるか」ということと、「モデル計算を行う人たちの協力が得られ、非静力の式を使った最新のモデルが使えるか。あるいは使えない場合の回避策があるか。」ということにかかっている。さらに、「非静力の式を使った最新のモデルが使えても、シミュレーションは初期条件と、境界条件でいくらでも変ること。」及び「モデルが変われば初期条件と、境界条件が同じでも結果は変わること。」という二つを常に意識して議論する必要がある。

2. 過去の計算とそれに対するコメント

「黒い雨に関する専門家会議」(1988年～1991年)での吉川博士のシミュレーション結果とそれに対する増田博士のコメントと要約すると表1ようになる。

表1 吉川博士のシミュレーション結果とそれに対する増田博士のコメント

✧ 黒い雨専門家会議(吉川博士のシミュレーション結果)

- ① 降雨範囲の推定では、これまでの降雨地域(宇田大雨雨域)の範囲とほぼ同程度
- ② 原爆雲の乾燥大粒子: 北西 9-22km
- ③ 原爆雲の雨: 北西 5-9km
- ④ 衝撃雲や火災雲による雨(いわゆる黒い雨): 北北西 3-9km

✧ 増田博士(元気象研究所室長)のコメント

- ① モデルの限界: 静力学の式を使用(上昇気流を無視している。)
- ② 初期条件と境界条件に問題がある。
 - A 雲の高さ: 8kmは低すぎる。
 - I 火災の燃焼率: 燃焼時間が短すぎる。
 - U 原爆雲と粉塵、火災煙: 砂漠の実験データであり適切でない。
 - E 一般流は一般的な南南東 3m/s: 実際には時計方向に回転しているはず。

3. 初期条件と境界条件の準備

今後行なう初期条件と境界条件の準備についての要点は下記のとおりである。

- A 雲の高さ・・・雲の3次元構造の再構成
⇒ 当時の写真を画像処理(広島市立大学馬場講師のグループが実施)
- I 火災の燃焼率・・・モデルで変更可能
- U 原爆雲と粉塵、火災煙・・・
放射能の正確な初期値を与えるには別な分野の専門家の助力が必要
- E 雲の3次元構造ができれば一般風もよりよい推定が可能
また、夏の平均像から作成も可能

初期条件、境界条件の一番内側の領域として下記が適当であると考ええる。

- ・水平 1 km × 1 km
- ・領域 爆心を中心に 50 km × 50 km
- ・鉛直 1 km 地表から 20 km
- ・時間間隔 10分 (600秒)
- ・緯度経度で表すときは少なくとも1分(30m)の解像度

また、初期条件及び境界条件およびモデルの検証データとして下記に掲げるデータセットが必要であろう。

1) 雲画像の解析

雲の3次元構造

水平 1 km × 1 km 領域 爆心を中心に 50 km × 50 km

鉛直 1 km 地表から 20 km

時間 10分 (600秒)

可能なら風速場 上記の時間微分

2) 核分裂生成物と誘導放射能の分布

核分裂生成物の分布

誘導放射能の分布

3) 検証データ

- 原爆由来の ^{137}Cs の分布 単位 Bq m^{-2}
原爆由来の ^{238}U の分布 単位 適切なもの
雨の降った領域
・水平 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$
・領域 爆心を中心に $50\text{ km} \times 50\text{ km}$
・30分おきに 8月6日 8時から 17時まで
・単位 mm h^{-1}
雨の化学的性状

4) その他の条件

- 可燃物の量 (原爆投下前の家屋の状態) 単位 kg m^{-2}
火災後の状態 単位 kg m^{-2}
標高 単位 m
地表面の状態

これらの準備過程で作成される規格化されたデータセットは、再現計算をやり直すかどうかは別にして、広島原爆の実体解明そのものでもある。

4、再現計算の国際共同実験

上記3で述べた初期値と境界条件が準備できたとして、再現計算をやり直すことが可能であると判断されたなら、世界中に呼びかけて希望者の中で複数のモデルによる再現計算の国際共同実験 (国際相互比較) を行なう。

これがより確からしい結果を得る上で最善の方法であると考えられるため、世界の科学者の協力を得て広島原爆による局地的な放射性降下物のモデル計算をやり直すことを広島市に対して提案している。

広島原爆きのご雲写真からの高さ推定

馬場雅志、浅田尚紀
広島市立大学大学院 情報科学研究科 知能工学専攻

概要

広島への原爆投下によって発生したきのご雲の高さについては様々な意見がある。我々は、米軍によって撮影された1枚の画像のみからきのご雲の高さを推定する試験的研究を行った。使用した写真が愛媛県松山市上空で撮影されており、画角が約55度であることを仮定している。当時の地図をスキャナで取り込み、地形データとして海岸の位置を79点取得した。これらの点を透視投影した時、写真と最も一致するカメラの位置と向きを計算することにより、この写真を撮影した位置と高度を推定することができる。その結果、撮影された場所は爆心地から東に3.3 km、南に4.5 kmの地点であり、高度は8680 mであると推定された。次に、爆心地に高さを変えた棒状の物体を仮想的に配置し、推定されたカメラ位置からの画像を生成することによりきのご雲の高さを推定した。我々の実験では、雲の高さはおよそ1.6 kmであるという結果が得られた。推定には様々な誤差を含む要因が考えられるため、推定結果の精度を増すためにはさらなる検討が必要である。

1. はじめに

広島に原爆を投下した爆撃機 (エノラ・ゲイ) や観測機の搭乗者たちの証言記録には、きのご雲の高さについての記述がある。その中には「巨大な雲はすでに8千メートルの高さに達し」、「高度1万4千メートルに達していた」、「高さは4万フィート (約12000 m) 以上にちがいない」などの記述がある。また、地上から撮影された写真から雲の高さを推定する試みも行われており、高度8 kmと推定されている。このように、きのご雲の高さには様々な意見があり、長い間議論されてきた。今回、我々は1枚の写真のみから雲の高さを推定を行った。

2. 実験内容

2.1. 撮影位置の推定

今回使用したのは、原爆投下直後に米軍によって撮影された有名な1枚の写真 (図1) である。まず、我々は広島平和記念資料館からこの写真のフィルムの提供を受け、スキャナで高解像度の画像として取り込んだ。スキャン解像度は 2900×2355 である。この画像から海岸線を構成する特徴的な場所を79ヶ所選び、その画像上での画素位置を取得した。特徴点の一部を図2に、79点の特徴点を線でつなぎ写真上に合成した結果を図3に示す。次に、当時の地図を2枚スキャンした。スキャン解像度は、 943×767 と 943×727 である。得られた地図の画像を図4に示す。そして、写真画像上の特徴点に対応する地図上の画素位置を79カ所取得した。得られた特徴点を図5に示す。地図から得られた地形データを透視投影し、写真から得られた特徴点に最もよく一致するカメラの視点位置・注視点位置を求めることで、この写真の撮影位置を求めることができる。ここで、前提知識

としてカメラの撮影画角を55度、大まかな撮影位置を松山市沿岸の上空とした。推定結果として、撮影位置は爆心地から約56km(東に33km、南に45km)の地点であり、高度は8600mという推定結果が得られた。図6に現在の地図での視点位置、注視点位置、爆心地の位置関係を示す。推定されたカメラ位置から地形データを透視投影し、写真上に合成した結果を図7に示す。

2.2. きのご雲の高さ推定

次に、きのご雲の高さを推定するために、高さを変えた棒状の物体を爆心地に配置し、写真の雲の高さとの比較を行った。その結果、高さ16kmの物体を配置した時、ほぼ雲の高さと等しくなった。高さ16kmの棒状物体を合成した結果を図8に示す。

2.3. 撮影時間に関する考察

図1の写真の撮影時間については、米軍の記録によれば1時間後となっているが、4時間後ではないかという意見もある。今回、1時間後(9:15)と4時間後(12:15)について、太陽の方位角と高度を求め、影を付加することによって撮影時間の考察を行った。1時間後と仮定した場合には、太陽の仰角は46度となり、太陽の方位角は真北を0度、東側を正の方向とすると、約102度となる。これは、太陽は東から照らしており、影は西側にできることになる。一方、4時間後と仮定した場合には、太陽の仰角は73度、方位角は179度となる。これは、太陽が高く、南から照らすことになり、影は雲のすぐ下から北側にかけてできることになる。図1の写真と比較した結果、影は西側にできており、1時間後と考えるのが妥当である。

3. まとめ

我々は、1枚の画像のみからきのご雲の高さを推定する試験的研究を行った。まず、写真をスキャナで高解像度の画像として取り込み、この画像から海岸線を構成する特徴的な場所を79ヶ所選び、その画像上での画素位置を取得した。次に、当時の地図をスキャナで取り込み、写真画像上の特徴点に対応する地図上の79点の画素位置を取得した。写真は愛媛県松山市上空で撮影されており、画角が約55度であることを仮定している。地図から得られた地形データを透視投影し、写真から得られた特徴点に最もよく一致するカメラの視点位置・注視点位置を求めることで、写真を撮影した位置と高度を推定した。その結果、撮影された場所は爆心地から約56km(東に33km、南に45km)の地点であり、高度は8680mであると推定された。次に、高さを変化させた複数の棒状の物体を爆心地に配置し、推定されたカメラ位置からの画像を生成して雲の高さと比較することできのご雲の高さを推定した。我々の実験では、雲の高さはおおよそ16kmであるという結果が得られた。また、時刻を変化させて太陽の方位角と高度を求め、影を付加した画像を生成することによって撮影時間に関する考察を行った。その結果、撮影されたのは1時間後と考えられる。今回の研究によって、きのご雲の高さは従来考えられていたよりも高いことが分かった。しかし、画像からの高さ推定には様々な誤差を含む要因が考えられるため、推定結果の精度を増すためにはさらなる検討が必要である。例えば、きのご雲の中心位置は爆心地と一致しておらず、場所が変化していれば高さも変化することになる。また、撮影画角が変化すれば、撮影位置が変化し高さの推定結果も変化する。このような様々な要因を考慮し、推定結果の幅などの誤差評価をすることも今後の課題である。



図1 使用した写真



図2 取得した特徴点の一部

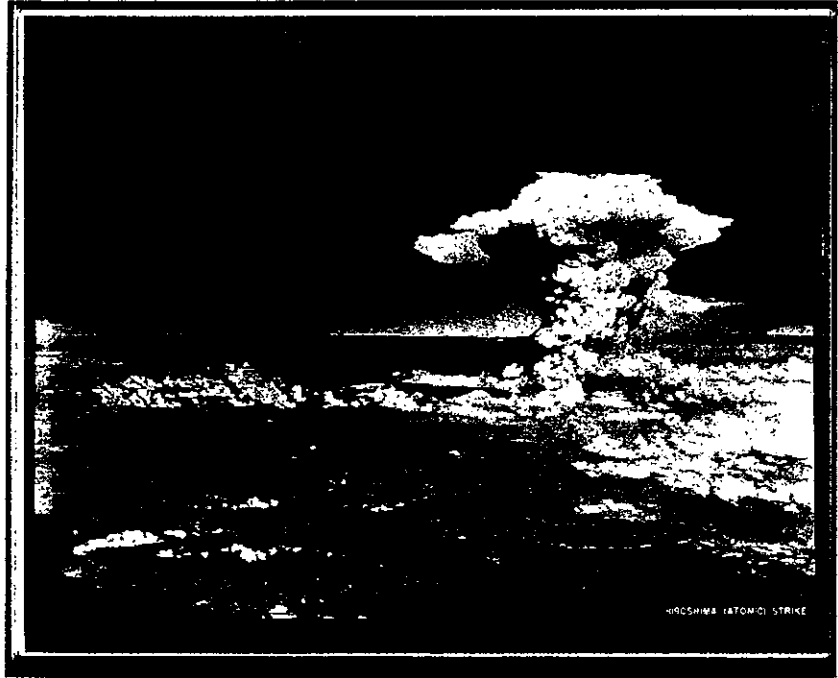


図 3 特徴点を線でつなぎ写真と合成した結果

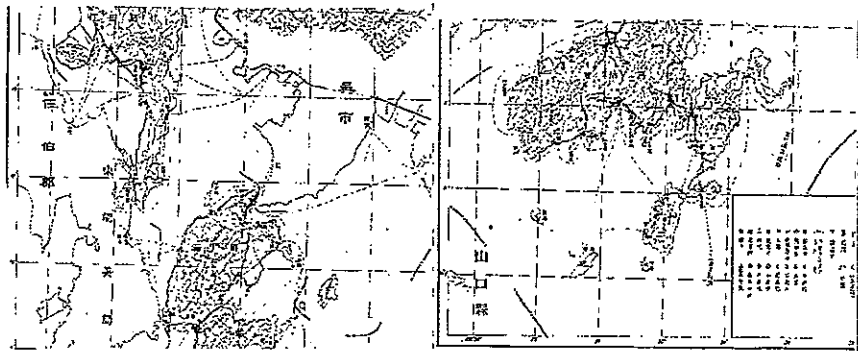


図 4 当時の地図をスキャンした画像

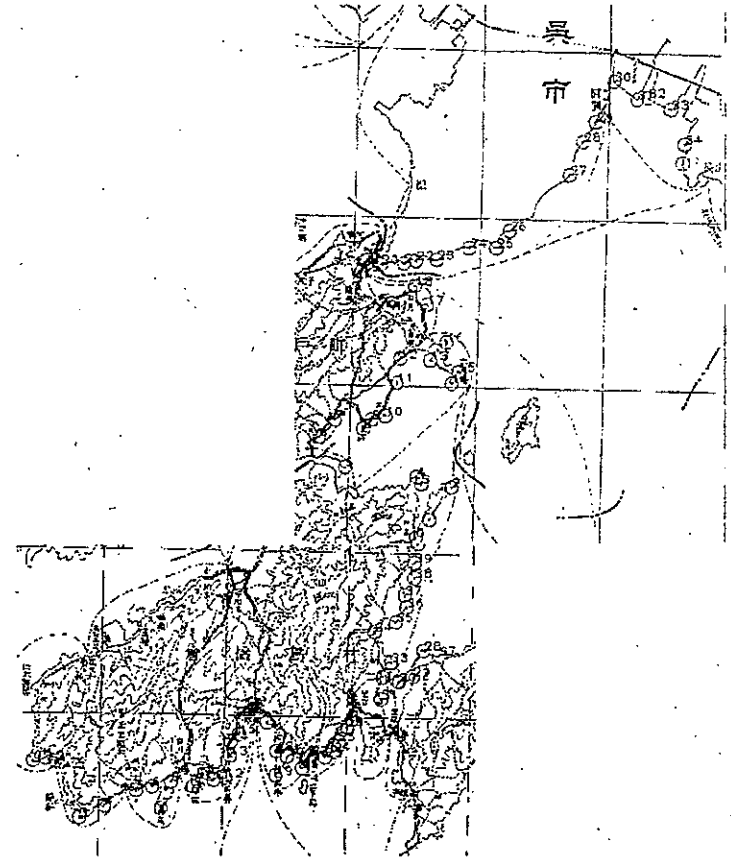


図 5 特徴点の取得結果

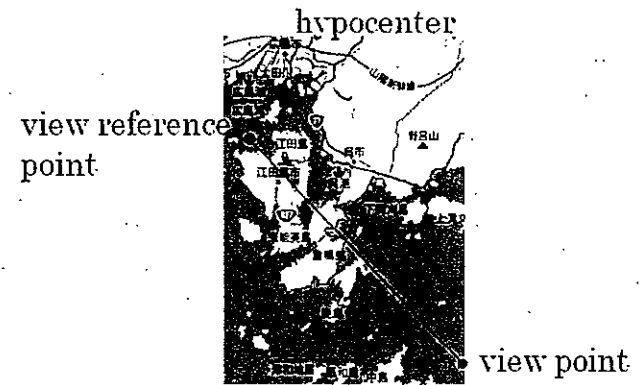


図 6 視点位置、注視点位置、爆心地の位置関係