

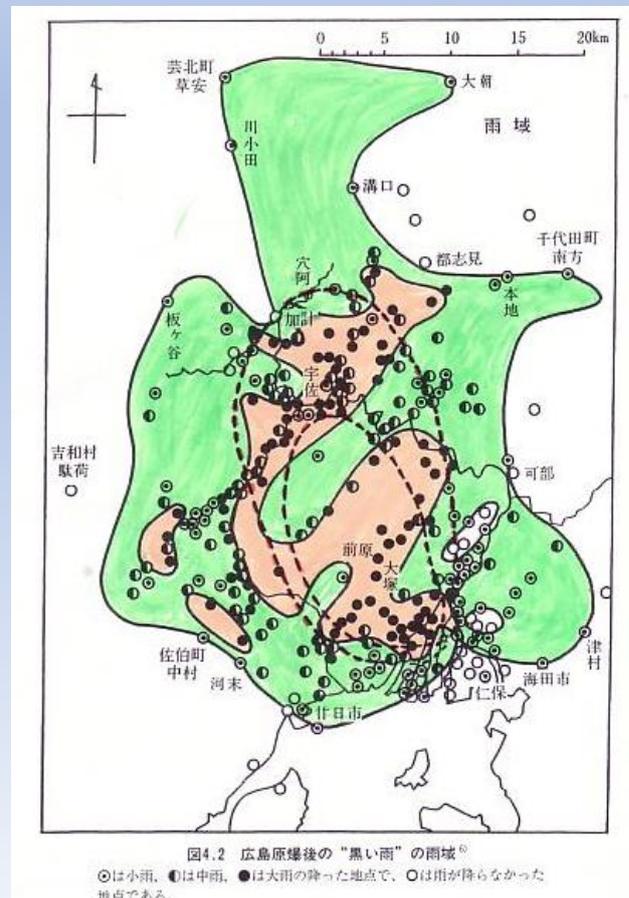
2021年11月1日号

一般社団法人 被曝と健康研究プロジェクト

<http://hibakutokenkou.net/>

# 「黒い雨」 はこうして 形成された

増田 善信  
元気象庁室長  
渾身の論文  
3～16頁に掲載



同封の振替用紙は、年会費用とご寄付用を兼ねています。よろしくお願いいたします。

## 一般社団法人「被曝と健康研究プロジェクト」役員

顧問

有馬理恵 劇団俳優座女優

石塚 健 医師

沢田昭二 名古屋大学名誉教授、理論物理、内部被曝研究者

曾根のぶひと 九州工業大学名誉教授

玉田文子 医師

西尾正道 北海道がんセンター名誉院長

本行忠志 大阪大学医学系研究科教授

益川敏英 ノーベル物理学賞受賞、名古屋大学特別教授・素粒子研究機構長、  
京都大学名誉教授（2021年7月ご逝去）

松崎道幸 北海道旭川北医院院長

矢ヶ崎克馬 琉球大学名誉教授

代表理事 田代真人 ジャーナリスト

理事 浅野真理、住田ふじえ

監事 三宅 敏文



「LETTER」の内容についてのご意見は下記へお寄せください。

一般社団法人 被曝と健康研究プロジェクト 代表 田代真人

〒325-0302 栃木県那須町高久丙4 0 7 - 9 9 7

Eメール：masa03to@gmail.com

## 広島原爆後の「黒い雨」はどのようにして形成されたか

増田 善信（元気象研究所室長）

### はじめに

2015年11月、第1種健康診断特例区域（宇田黒い雨域の大雨域）の外に住み、宇田大雨域住民と同じように黒い雨を浴びた住民84名が原告になって、広島県知事と広島市長を相手に、被爆者健康手帳の交付を求めて起こした、いわゆる「黒い雨」訴訟で、2020年7月29日、広島地裁は画期的な判決理由で、全員勝訴の判決を下した。

これを不服として、広島県知事、広島市長及び厚生労働大臣が広島高等裁判所に上告していた裁判でも、広島高裁は2021年7月14日に、地裁判決を上回る判決理由で全員勝訴の判決となった。

菅政権は、これを不服として上告を画策し、広島県知事、市長を説得したが、なかなか賛成が得られない膠着状態が続いていた。一方、原告団、弁護団、広島市民をはじめとした多くの国民、さらに私が立ち上げたChange.orgの「上告するな」の署名運動まで加わって、大きな「上告反対」の世論が形成される中で、ついに7月26日午後、菅首相が「上告断念」の記者会見を行って、裁判が終結し、8月上旬には、すべての原告に被爆者健康手帳が交付された。もちろん、原告と同じ条件の被爆者の問題など、未解決の問題が残ってはいるが、裁判としての「黒い雨」訴訟は原告勝利の中で終わった。

しかし、これらの裁判だけでなく、「黒い雨」に関する解説は、ほとんどが不十分で、中には正確さを欠くものも散見される。そこで、核爆弾の連鎖反応による「原爆の火球、熱線、爆風、放射線」の形成と関連して、キノコ雲はどのようにして成長し、「黒い雨」に象徴される放射線物質を含んだ雨やチリなどフォールアウト（放射性降下物）は、どのようにして拡散し、どのように環境を汚染し、内部被ばくの危険をもたらすまでになったか、そして、キノコ雲はどのようにして消え、火災積乱雲はどのようにして「黒い雨」を降らせたか、について詳論しようと思う。

ただし、本論に入る前に、「原爆の火球、熱線、爆風、放射線の形成」の問題は、「核物理」の問題であるので、その専門の沢田昭二名古屋大学名誉教授ら『広島・長崎原爆被害の実相』<sup>(1)</sup>や『広島・長崎の原爆災害』<sup>(2)</sup>を参考に解説する。原爆の「火の玉」が大気中に放出されてからキノコ雲が形成され、どのようにして「黒い雨」が降ったかは、「気象学」の問題であるので、増田が解説をし、その後で、主題の原爆のキノコ雲の形成と黒い雨の降雨域や残留放射線の問題など、この論説の主題を述べる。

### 原爆の火球、熱線、爆風、放射線の形成は、超短時間の現象

原爆が爆発すると、ウラン235、あるいはプルトニウム239の連鎖反応によって、ガンマ線と中性子が放出される。このガンマ線によって、爆弾容器の周辺の空気は高温・高圧のプラズマ状態の

火球を形成する、この火球の中には、核分裂で形成された核分裂生成物と、中性子によって誘導放射化された爆弾の容器や機材及び核分裂しなかったウランあるいはプルトニウムなどの放射性物質が閉じ込められている。また、中性子によって、爆心近くの土壌や建築物などすべての物体が誘導放射化されるのである。

しかし、それだけではない。核爆発によって、最も危険な現象－熱線、爆風、放射線、電離作用などが、わずか数分以内という超短時間の中に起こるのである。

図1の「爆発エネルギー放出の時間経過」<sup>(1)</sup>を参考にする。まず、10億分の1秒という短い

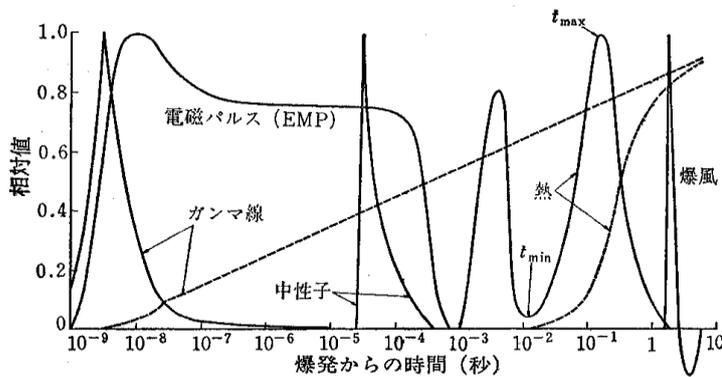


図1 爆発エネルギー放出の時間経過

時間に、光速でガンマ線が最初に放出される。しかし、これは10万分の1秒後には終わる。このガンマ線とほとんど同時に発生した電磁パルスは0.001秒まで続くが、そこで消えてしまう。核分裂によって、ガンマ線と同時に発生した中性子線は光速より遅いので、10万分の1秒後に観測者のところに到達する。次いで、火球表面からでる熱線が0.001秒後に来るが、この熱線は二つの山を持っていて、その第2の山で我々は激しい障害を受けるのであるが、この

熱線は数秒間持続する。さて、最初はほとんど見えないような小さな火球は、急膨張すると、その表面の空気が圧縮され、ショックフロントと呼ばれる超高压の空気の層、いわゆる衝撃波が作られ、0.01秒後に火球を離れて広がり、爆心地付近の地面にあたって反射し、他の衝撃波と絡み合って巨大な爆風を形成し、衝撃波・爆風一体となって進行する。その伝播速度は速いと言っても光速よりずっと遅いので、1秒以上もたってから到着する。この衝撃破と爆風によって、コンクリートの強固な部分を除くあらゆる建造物が粉々の粉塵にされ、さらに熱線による大火災で住宅が燃え大量のススがつくられるのである。

この火球の中に閉じ込められていた核分裂生成物、中性子によって誘導放射化された爆弾の容器や機材、核分裂しなかったウランあるいはプルトニウム、衝撃破と爆風によってつくられた粉塵、大火災によってつくられたスス、これら放射能を含んだ物質が降ってきたもの、それがフォールアウト（放射性降下物）で、それが地面に残ったものが残留放射能である。

### 雲はどうしてでき、雨はどうして降るか

一般には、空気が上昇して気温が下がり、空気中に含んでいた水蒸気の温度が飽和水蒸気圧の温度以下になると凝結して、まず小さい雨粒や氷の粒ができる。この雨粒や氷の粒は上昇気流に支えられてだんだん大きくなり雲ができ、肉眼で見えるようになる。雲粒がさらに大きくなって、上昇気流で支えきれなくなると、雨となって降ってくる。通常、私たちが経験する雨はこうして降ってくるのである。

しかし、普通の雲でも、特に積乱雲のように高いところまで成長する雲では、気温が0℃以下になる場合は少し状況が違って来る。気温が0℃以下であるので雨粒以外にも氷の粒ができる。ところが、雨粒のまわりと、氷粒の周りの飽和水蒸気圧は、例えば-10℃では、水に対する過飽和水蒸

気圧は 2.862hPa、氷に対しては 2.597hPa、氷の方が約 10%も過飽和の状態なのである。従って、例えば直径 10 μmの場合、氷粒は水滴より約 10 倍も早く成長する。その結果、最初は水滴と氷粒が混在していても、最終的に全部が氷粒になる。しかも、その分だけ凝結熱が多く空気に与えられるので雲のその分だけ発達するのである。

積乱雲の中で、発達して高所まで達する巨大積乱雲ほど大雨を降らすのはこのためである。その典型が雹<sup>ひょう</sup>で、小さな氷粒が雹になるまでに成長する間に空気に与えられる凝結のエネルギーは莫大なもので、そのエネルギーによって積乱雲が、雹を降らせるような巨大積乱雲に成長し、しかも氷粒を支える上昇気流も強いのでさらに大きな氷の塊、雹に成長するのである。

この氷の塊が十分大きくなって、上昇気流で支えきれなくなると落下をはじめ、気温の高いところを通過して落下する途中で雨粒になって降ってくるが、時には氷のままで降ってくる。これが雹で、雹が降るような時ほど大粒の雨が降り豪雨が降るのはこのためである。宇田ら『気象関係の広島原子爆弾被害調査報告書』<sup>(3)</sup>は、広島原爆の後の「黒い雨」に当たった人が「雹の如き大粒の雨、裸の身体には痛いほど粗い粒の雨が土砂降りに降った」と伝えている。おそらくこの雨は、上述の巨大積乱雲から降ってきたものであろう。

今一つ重要なことは、空気が上昇した後は真空にはならないので、必ずそのあとを補う空気が必要であることである。逆にいえば、空気が集まってきて上昇気流をつくり、雲ができることである。前線に沿って雨が降るのはこのためで、特に梅雨前線のように大量の水蒸気を含んだ空気が集まってきて（風が収れんして）上昇気流をつくるような場合は、雨が何時までも続くのである。線状降水帯は、局地的に非常に強い風の収れんが起こるような状況がつくられ、少なくとも数時間はその状態が続く場合に発生する。

一言でまとめると、雲は上昇気流がなければ生まれえないし、存在もできない。また、上昇気流が強ければ強いほど、また雲の高さが高ければ高いほど大雨になる。さらに、その上昇気流を維持する風の収れんする状況が続けば、長雨になり、その収れんが強ければ強いほど大雨になるのである。

## 頭型爆発とキノコ型爆発

キノコ雲は、核爆発が起こった土地や、地上爆発か、空中爆発かでも違ってくる。例えば、空中爆発や、高い塔の上での爆発では、爆発した高度で小さな火球ができる。この火球は最初は極めて小さいが、超高温であるので、すぐ膨張しながら上昇を始める。火球の外側の温度が冷えてくると雲ができるが、この雲の中心部は火球の中心であったので、依然として周辺より温度が高い。その

ため上昇速度は周辺より大きい。その結果、雲の形がキノコ型になり、そのあとを埋めるために上昇してきた空気が凝結して雲をつくり、キノコの柄ができてキノコ雲が完成する。

写真1の左はネバダで行われたティーポット作戦の実験名メットのキノコ雲で、121mの塔の上で爆発させたときの写真である。

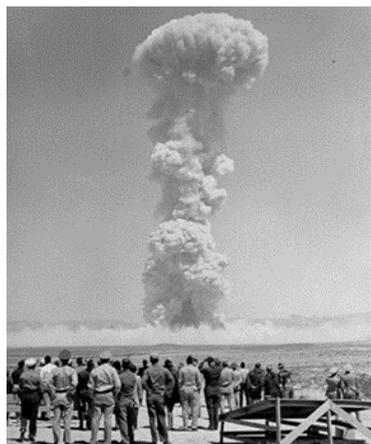


写真1 キノコ型爆発(左)と饅頭型爆発(右)  
左:ネバダ・実験名メッド、右:トリニティ実験



旧ソ連の最初の原爆は高さ 37m という低い塔の上の爆発だった。最下部は少し横に広がったが、すぐ中心部が上昇してキノコ雲になった。水中爆発の場合は、超高温の水柱が上がり、そこが中心になってキノコ雲ができる。

では、地上爆発はどうか。爆発点の温度は超高温であるが、それが地上にあるので、熱線は地面に沿って四方に広がる。しかも、この熱線の密度は周辺に行くほど小さくなるので、地面に与えられる熱は、爆心からの距離に比例して小さくなる。丁度、爆心ほど温度が高く、爆心から遠ざかるほど温度が低くなる円盤を置いたようなものだから、その温度に比例して空気が上昇し雲ができるので、饅頭型の雲になるのである。有名な 1954 年 3 月 1 日のビキニの水爆実験や、1945 年のアメリカの最初のトリニティ実験は、地上爆発であったので、写真 1 右のような饅頭型になる。

同じキノコ型でも、湿度の違いによって、大きな違いが生まれる。そのことを示すために、先ず、ネバダと広島・長崎で湿度がどれだけ違うか比較してみよう。

表 1 ラスベガスと広島・長崎の水蒸気量の平年値と原爆投下時の値

	8 月平均値 (1981-2010)			原爆投下時の 値	
	ラスベ ガス	広島	長崎	広島 8:15	長崎 11:00
気温(°C)	32.2	28.2	27.9	26.8	28.8
飽和水蒸気圧(h Pa)	48.14	38.28	37.62	35.27	39.63
飽和水蒸気量(g/ m <sup>3</sup> )	34.21	27.56	27.11	25.52	28.48
相対湿度(%)	25.6	71	75	80	71
水蒸気量(g/m <sup>3</sup> )	8.76	19.57	20.34	20.41	20.22

表 1 はラスベガスと広島・長崎の 8 月の水蒸気量の平年値と、広島・長崎の原爆投下日の値を示したものである。ラスベガスは気温が高いため、飽和水蒸気量は広島・長崎より約 3 割多いが、湿度が極端に低いので。水蒸気量は広島・長崎の半分以下である。ネバダの核実験場はラスベガスからさらに 130 km 内陸の砂漠の中心であるから、さらに水蒸気量は少なく、正確な値はわからないが広島・長崎の 5 分の 1 くらいであろう。

このように水蒸気量の違いがあると、キノコ雲の継続時間もキノコ雲の高さも違ってくる。例えば、ネバダでの最大級の核爆発コード名 Ivy Mike は空中爆発で、米連邦政府のガイドブック『核弾

頭の効果』には、「典型的なキノコ雲は約 10 分後に、最高高度に達するが、キノコ雲は風によって消散するのに、1 時間と少々かかる」と書かれている。

一方、湿度の高い広島・長崎では、キノコ雲のもとになる火球の後を埋める空気、それは地面付近の水蒸気をたくさん含んだ空気であるので、上昇すると間もなく凝結をはじめ、凝結の潜熱を放出する。従って、火球の高温のエネルギーに、凝結熱という新しいエネルギーが加わるので、さらに上昇速度を強め、最終的には成層圏まで達する巨大なキノコ雲に成長し、Ivy Mike と比べても超小型の広島原爆でも、1 時間半以上、おそらく 2 時間近く存在したであろう。

### 広島・長崎原爆のキノコ雲はどのように形成されたか

このように、キノコ雲自体が核爆弾の使用された場所によって大きな違いがあるが、これ以後は、広島と長崎、主として広島でのキノコ雲の形成について述べる。「原爆の火球、熱線、爆風、放射線の超短時間の形成」の項で述べたように、核爆発に伴う現象は、ウラン 235、プルトニウム 239 の連鎖反応からわずか数分間で終わる。ここでは、最初は豆粒のような小さな火球がどのように成長し、キノコ雲になり、黒い雨や放射能を含んだチリを降らせ、どのようにして水、空気、地面を

汚染するか、について述べよう。

長崎へ原爆を投下したボックスカーの機長チャールズ・スウィーニーはその手記に、時間経過に合わせた原子雲の高度を記録している。これをもとにつくったのが図2と図3で、長崎のキノコ雲

図2 長崎原爆キノコ雲の成長高度

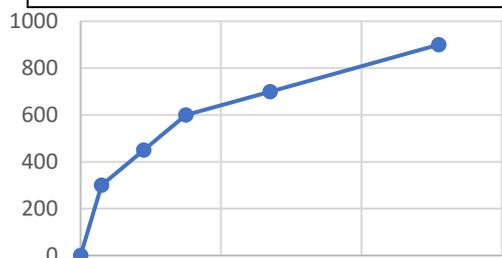
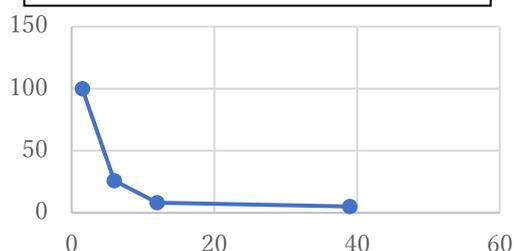


図3 長崎原爆キノコ雲の成長速度



の成長高度と成長速度の時間経過のグラフである。横軸は、10秒単位の時間、縦軸は10m単位のキノコ雲の高度(図2)と、上昇速度m/s(図3)である。このグラフと、ボックスカーが撮影したカラーの動画を参照にしながら、原爆の火の玉がどのようにキノコ雲に成長していったかを描写してみよう。

まず、豆粒のような火の玉は、非常に高温であるので、急激に膨張しながら上昇する。その上昇速度は100m/s以上の速度で上昇し、30秒後には3km、1分30秒後に4.5kmの高度に達した。

爆発10秒を越えたころから火の玉の上面を真っ白な雲が蔽い饅頭のような形になり、しばらくすると、その底の中央部から、牛のしっぽのような小さな雲が垂れ下

がったかと思うと、あっという間に長く、太くなり、キノコ雲の柄の上の部分ができる。この時はキノコ雲の柄の部分の最上端は赤く染まって見えるので、饅頭の中央部にはまだ火の玉が残っていたのではないかと思われる。やがて、雲の形が饅頭から、やや扁平なマッシュルームのような形になり、大きくなりながらさらに上昇し、3.5~4kmくらいになると、火の玉が上昇した後の空気を補うために、地上から空気の柱が上昇してくる。その先頭に衝撃塵の雲を持ち、後にキノコ雲の柄になる空気の柱が登ってきて、高度が4.5~5kmくらいの高さで、キノコ雲の柄になる上部の部分と、下から登ってきたキノコ雲の柄の下部分が合体して、不完全だがキノコ雲の柄ができる。

増田は以前からキノコ雲の柄は、火球と、火球が変化したマッシュルームが上昇した後を埋めるために爆心に集まってきた空気が上昇する過程でつくられ、そのままマッシュルームの後を追って上昇し、その先端が圏界面でマッシュルームに追いつき、そこで合体して形成されるものと思っていたので、マッシュルーム中央から下がってきた雲と、下から登ってきた雲が合体してできるのは、全く想像外であった。

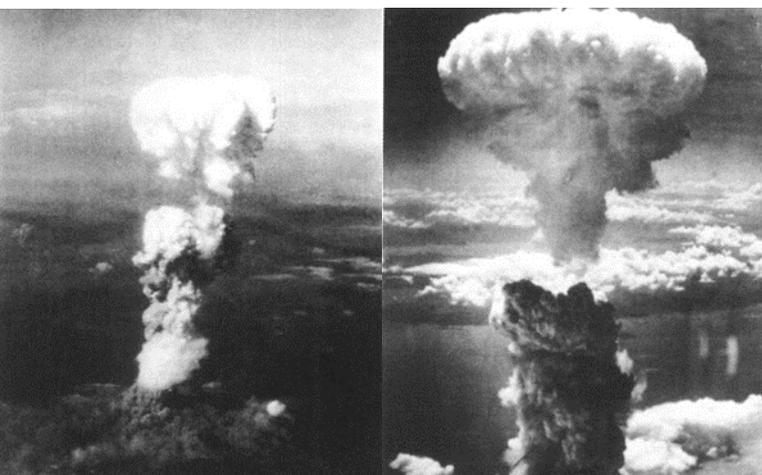


写真2 原爆投下後約6分後のキノコ雲 左;広島 右;長崎

ではなぜ、下から上昇してきた柄の部分の上昇気流が大きいのか。一つは火球の上昇した後を補うために、地面付近で周囲から集まってきた風の運動量をもって上昇してくるからであり、今一つは、水蒸気の凝結エネルギーをもらうからである。空気が上昇して凝結高度以上になると、水蒸気は凝結して水滴、あるいは氷滴になる。この時に多量な気化熱が出て、それが空気に与えられるので、下から登ってきたキノコ雲の柄になる部分の上昇速度が大きいのである。写真2右の長崎写真は、

丁度そのころの写真であろう。下の柄の部分が太く、上の部分が細いので、下からの空気がそのままでは上の柄の部分に吸い込まれて行かない。その結果、余分な空気があふれ、雲をつくる。左の広島では、雲はできていないが、上から降りてきた柄の部分と、下から登ってきた柄の部分に食い違いがあることがわかる。

この食い違いや、雲ができていることを取り上げて、第2圏界面など言っている科学者がいるが、圏界面が高度6~7km付近にできることはなく、この雲もすぐ消えてしまう。明らかな間違いである。

この下の柄の部分の先端には、放射性物質を大量に含んだ衝撃塵が含まれているので、写真2のように、明らかに区別ができる。その時間は、核爆発約4分30秒後、高度は約7kmであったであろう。ボックスカーの機長チャールズ・スウィーニーは、高度7.5kmで白い雲がキノコ上状に膨らみ、さらに加速しながら上へ噴出をつづけ、9kmのところにいる我々の飛行機を追い越し、少なくとも、14kmに達しただろうと述べている。

このキノコ雲の上昇速度は8m/sにまで落ち、9~10分後に約高度10kmの圏界面に達する。恐らく、この時に上の柄の部分と、下の柄の部分が完全に合体し、太く大きいキノコ雲の柄が完成したと思う。

さて、圏界面の上の成層圏は、下層ほど温度が低く、上層ほど温度が高いため、非常に安定な層である。マッシュルームはその安定な層に入るので上昇速度が遅くなる。そのため、衝撃雲を先頭にして上昇してきた雲の柱が、完全にマッシュルームに追いつき、一体となって成層圏に入る。

その結果、マッシュルームに含まれていた、ウラン235やプルトニウム238の連鎖反応でできた放射性元素、核分裂しなかったウランやプルトニウム、中性子線やガンマ線で放射化された爆弾の容器や機材などと、衝撃雲の中に含まれていた中性子線で放射化されたコンクリート以外の建造物の残骸、家屋、樹木、草木、土壌など微細な塵が一体となって成層圏に入り、マッシュルームはさらに巨大な放射性物質の貯蔵庫になるのである。しかも、その後火災が盛んになり、放射能を含んだススも加えられるので、最初は褐色の泥雨だったのが、徐々に黒い雨になり、間もなくすべてが黒い雨になるのである。

成層圏に入ったマッシュルームは、その中心部は依然として周囲より高温であるので成層圏の安定成層を突き破って上昇を続け、その温度が周囲の大気的气温と等しくなる高度15~16kmまで達して止まる。マッシュルームの中心部以外の空気は、周辺に行くほど低いので、その温度が成層圏のその場の気温と等しくなる高さまでしか上昇できず、その高さで止まってしまふ。しかし、下からは次々とマッシュルームの柄を通して空気が補給されてくるので、どこかへ逃げなければならない。中心部は下から補給されてくる空気が次々と溜まってくるので外へ逃げるしかない。その結果、外へ向かう空気の速度のベクトルと、その空気が持っていた上昇気流の速度のベクトルの方向へ広がる。マッシュルームの一番外側の雲は、外気的气温と同じ温度であるので、ほとんど上昇流がない。その結果、圏界面に沿って一番外側まで広がる。この外へ向かう空気の速度は非常に大きいので、上空の一般風とは無関係にほぼ同心円状に広がる。このようにしてキノコ雲の傘が完成する。もちろん、成層圏の中にも空気の乱れがあるので、絵に描かれたような傘ではなく、傘の上面には凹凸がたくさんあったこの傘は地上付近の放射性物質を次々とキノコ雲に送り込む太い柄

を持ち、爆心から半径約 25～30 kmものほぼ円形に広がった巨大なキノコ雲ができたのである。

なお、写真2左の広島キノコ雲は、マッシュルームの中心部から降りてきたキノコ雲の柄の部分

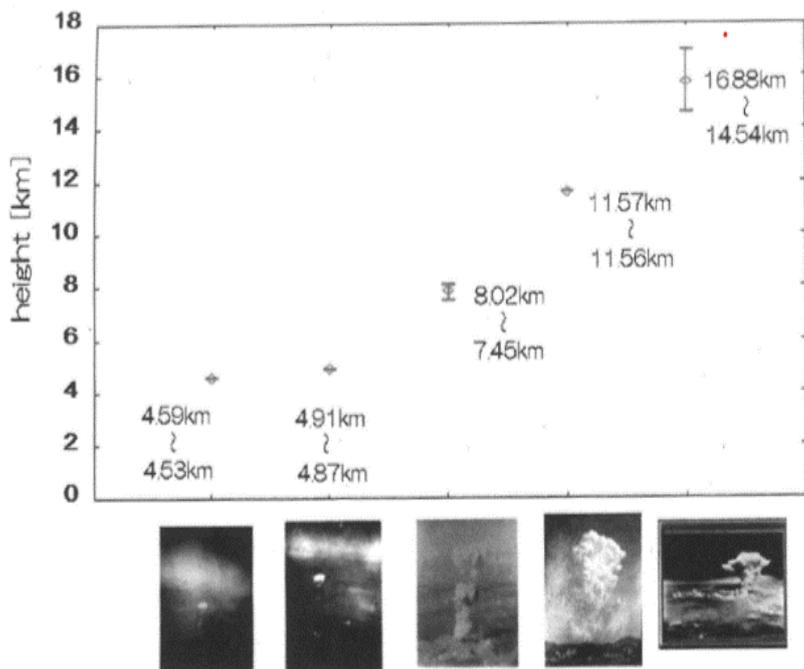


図4 広島原爆のキノコ雲の成長過程の写真(下)と5%の誤差をつけた推定高度

と、衝撃雲を先頭にした下から登ってきたキノコ雲の柄の部分が合体する直前の状況を示している。長崎のキノコ雲に比べて広島キノコ雲が小さいのは 27.9 kmも北東に離れたところから撮影したからであるが、少し北に傾いているように見える。その問題については後述する。

この章の最後に、広島原爆のキノコ雲が小さな火の玉からどのように成長していったかを、数少ない写真から推定した研究を紹介しよう。

図4はキノコ雲の成長過程を含めた写真と、その高さの推定高度で、これは、Babaら<sup>(4)</sup>が推定したものである。彼らは原爆を投下したエノラ・ゲイ及び随伴

機の乗員が機上から撮影した写真4枚と、唯一山の稜線が入っている爆心から南南東 17.7 kmの呉市若葉町の海軍工廠で尾木正己氏が爆発 40 分後に撮影した写真1枚を用いて、各段階のキノコ雲

表2 広島原爆の高度と横幅の平均  
「写真の番号」は図3の 写真の左からの順

	広島原爆の高度と横幅				
写真の番号	1	2	3	4	5
原爆雲の高度(km)	4.5	4.9	7.8	11.6	15.7
原爆雲の横幅(km)	2.1	2.2	3.1	5.6	15.5

の高度を推定したものである。

図4には5%の誤差の範囲のキノコ雲の高度が示してある。表2は、Babaらが図4の左から番号をつけたキノコ雲の高度と、横幅の平均値である。写真の撮影時間がわからないので、どのような速度で成長していったかはわからない。Babaらは、雲の形を評価した図から、キノ

コ雲の高度が一定の割合で増加していると考えている。そうすると、最後の図はまだ成長段階、あるいは最盛期ということになる。しかし、その時の横幅は 15.5 km、キノコ雲はほぼ同心円であるので、半径にすると 8 km弱で、あまりにも小さすぎるか、衰退期にあったと考えるのが至当であろう。何故なら、エノラ・ゲイの飛行記録から松山沖の撮影時間は約 50 分後と推定されており、増田の調査によると、キノコ雲からの「泥雨」は爆発 15～30 分後に、爆心から 20 km以上も離れたところで降っていたという事実から、爆発直後の原子雲は 20 km以上に広がっていたと考えるのが至当であるからである。

### 原爆のキノコ雲から降る雨は2種類

原爆投下後に降る雨には2種類ある。一つは原爆のキノコ雲から、原爆の爆心を中心に、上空の風とは無関係にほぼ同心円状に降る雨と、今一つは、原爆による大火災によってつくられたススを含んだ火災積乱雲から、上空の風に流されて風下に降る「黒い雨」である。ただし、同心円状に降る雨には火災によるススが含まれることがあるので「黒い雨」になるときがある。この同心円状に

降る雨を第1の雨、主に火災積乱雲から降る黒い雨を第2の雨とする。

広島では、この第2の黒い雨が顕著で、しかも広範囲に降り、さらに、被爆者健康手帳交付の問題も関連していたので、この黒い雨だけが強調されていた。しかし、宇田らは「今回の降雨は爆撃による直接的な上昇気流による降雨と、爆撃から起こった火災による間接的な作用に基づく上昇気流のための降雨の重なってあらわれたもの」と指摘し、増田自身も論文「広島原爆後の”黒い雨”はどこまで降ったか」でこれを追認していながら、あまり強調してこなかったことを反省している。

特に、この論文で、「この図に入らない、呉、江田島向側部落、倉橋島袋内部落でも弱い雨が降ったことが報告されている。倉橋島袋内は爆心から南南東約30 km離れている」と記述している。この2カ所は、増田が1987年5月に、日本気象学会春季大会で「暫定的」として初めてこの黒い雨問題を発表もした直後に、多くの方が「自分の住んでいた地域でも降雨があった」ことを知らせてくれたが、その中の2人の情報であった。

しかし、このような遠隔地での報告は極めて少ない。恐らく、もっと多くの地域で第1のキノコ雲からの雨が降っていると思うが、その後に降った第2の雨と重なって区別ができない。増田の原論文の中の「降雨開始時刻」の図に、降雨開始が2回あった地域も区別して描いてあり、「爆心から20 kmも離れた湯来町字宇佐付近でも、爆発後20分以内あるいは30分ないし1時間以内に雨が降り出しているという事実」を指摘している。図5はその事実をより鮮明に示したのである。

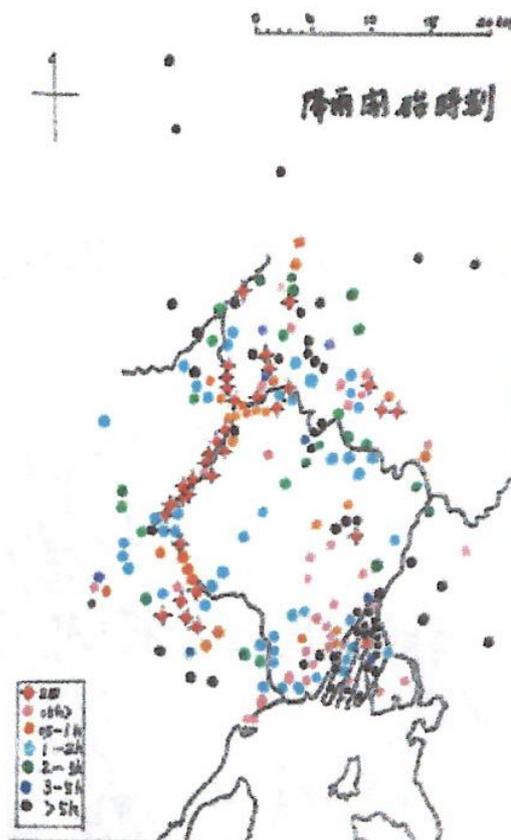
図5 「増田雨域」に使われた地点の降雨開始時刻の図

この事実から広島原爆のキノコ雲は爆心から半径25~30 kmまで広がっていたことが推定

## 二つの黒い雨の証拠

### 降雨開始時刻の分布図 (増田(1989年論文))

- ★ 2回降雨開始時刻があった地点
- 降雨開始が30分以内
- 降雨開始が30分~1時間
- 降雨開始が1~2時間
- 降雨開始が2~3時間
- 降雨開始が3~4時間
- 降雨開始が5時間以後



される。馬場らの推定では、約50分後に松山沖で撮影したキノコ雲の幅は半径約8 kmであったので、明らかにこのころのキノコ雲は衰退の途中であったと考えられる。一方、長崎原爆のキノコ雲は温泉岳測候所の見取り図から、その南の先端が彼杵半島の南端野母岬に達しているので半径約25 kmのキノコ雲と考えていいであろう。

この第1の雨については、増田自身があまり強調してこなかった点で反省しているが、この円形に広がったキノコ雲からの放射性降下物の問題についても、もっ

と注意しておかねばならないと思う。

藤原武夫・竹内晴夫「広島市付近における残留放射能について(1953)<sup>(5)</sup>」は、被爆直後の1945年9月、1946年8月及び1948年1~6月に、かなり広範な地域の残留放射線を測定した数少ない測定結果を報告したものであるが、爆心の南東2.8 kmないし南南東4.2 kmの南段原町、皆実町、宇

品、及び東 4.5 kmないし 5.1 kmの大洲町蓮田、長尾町、市外府中町字市では、かなり高濃度の残留放射線の測定値が報告されている。特に、蓮田、長尾町では、「近傍の蓮の葉が焼けた如くなって枯れていた」と特記されている。これらの地域は雨の報告はないが、同心円状に四方へ広がったキノコ雲から、かなり高濃度の放射性チリが落下したことが推定される。

### 広島市の黒い雨はどの範囲に降ったか

では、豆粒のような火球が、急上昇しながら膨張し、成層圏に入ってキノコ雲になり、泥雨や黒い雨を降らし、約 2 時間近くもキノコ雲を維持していた空気は、どのようにして集まってきたのであろう。

図6 宇田らがつくった「風流線と前線」の図

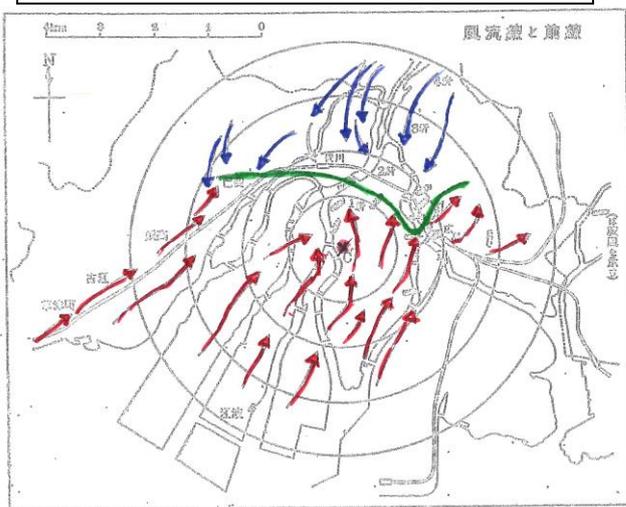


図6は、宇田らがつくった「風流線と前線の図」である。原図は白黒であるが、ここでは見やすくするためにカラーにした。爆心は円の中心で×の印しで示してあり、C'と書いてある。海陸風の境界線が緑色で、南寄りの海風を赤色で、陸風を紺色で着色してある。宇田らは、太田川とその支流で、多くの竜巻が発生したことを問題にしているが、「黒い雨」との関係ではそれほど重要と思われないので、ここでは触れないことにする。

ここでは、この図を使って、宇田氏らの記述に沿って地上付近の風の動きを推測してみた。宇田らによると、爆発当時は海陸風の交代時期の朝凧で、市の北方は北寄りの風、市の中心部以南は南寄りの風が吹き、その海陸風前線（緑の線）が広島駅～横川駅～己斐駅の鉄道線路に沿って存在していた。その前線上で、南風と北風が収れんしていた。爆心はこの前線の少し南方 C' に位置していたので、中心部付近の上昇気流を補うために、全体としては南寄りの風が一層強められ、それが上昇気流を補っていた。この南西風系は北上するにつれて南風から南東風、東風と次第に爆心に対して北偏風系とともに反時計廻りの旋風気流をつくる傾向が見られたと記されている。爆心 C' の北と南で、風向が西向きになっていることから、「反時計廻りの旋風気流」と言っているのであろう。

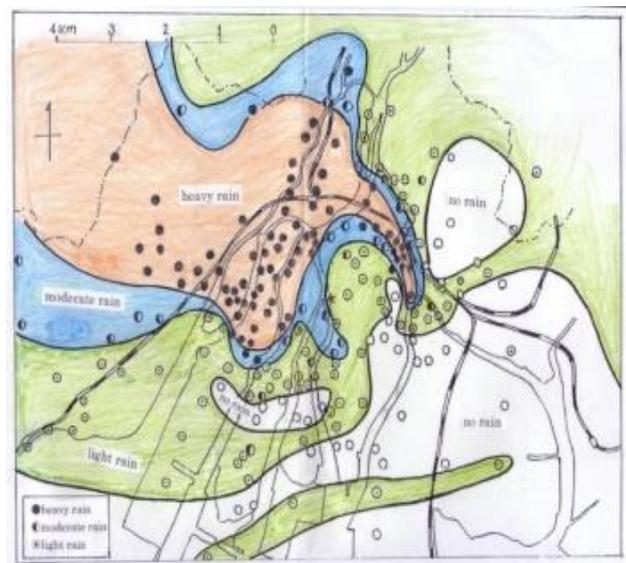


図7 旧広島市内の「増田雨域」

図7は増田<sup>(6)</sup>がつくった爆心から約 4 km 以内の旧広島市内の「黒い雨」の雨域を示したものである。この図で最も大きな特徴は爆心のすぐ東側の直径 1 km くらいの全く雨が降らなかったか、わずかしかな降らなかった地域があり、その地域を中雨域、大雨域が馬蹄形に取り囲んでいることだ。なぜ、降雨域がこのような特異な形をしたのか。宇田らは「南風が一層強められ、それが上昇気

流を補っていた」と述べている。実はこの強い南風が、キノコ雲の上昇気流を補っていることが、図7の爆心の東のほとんど雨の降らない地域をつくり、それを囲む馬蹄形の中雨域、大雨域をつかったのであると思う。

すなわち、キノコ雲の上昇気流を補うために、爆心から遠く離れた南西の地域では南西の風であったが、爆心に近づくとつれて強い南風になる。一方爆心の東側では南東の風が爆心に近づくとつれて強い南風になり、南西から来た南風と一体になって、キノコ雲の上昇気流を補うために、爆心のキノコの柄を通して上昇する。この上昇気流は南風の運動量を持っているので、上に行くほどキノコの柄を北の方に押すので、写真2の左の写真のように、北の方に少し傾いているのである。その結果、図7のように、爆心の北半分だけに雨が降るといふ、通常のキノコ雲とは違った雨の降り方になったのである。

通常のキノコ雲は、その上昇気流を補う風は、周りから一様に集まってきて、低気圧性の回転をしながら爆心のキノコ雲の柄を通して上昇する。すなわち、左右対称の風で補われているので、写真2の右の長崎の例のように、ほぼ垂直のキノコ雲ができたのである。しかし、広島原爆は、海陸風前線の南に投下されたため、周りの風はすべて南風で、キノコ雲の上昇気流を補う風は対称ではない。その結果、南の運動量を持った風に押されて、キノコ雲が少し北に傾いたのである。極めて珍しいキノコ雲と言わねばならない。

では、キノコ雲はいつ消えたか。増田が調べた結果ではあるが、不思議なことに広島原爆のキノコ雲がいつ消えたかについての目撃談は報告されていない。おそらく、余りにも原爆の惨禍が厳しく、ほとんどの人が自分独り身体の維持さえ困難で、空を見上げる暇さえなかったからであると思う。増田は火災が最も激しくなった10時ごろではないかと思う。なぜかというところ、火災が最も激しかったのは10時～14時<sup>(3)</sup>で、10時ころになると、市内各地で火災積乱雲が発生し、その火災積乱雲を維持するための風が必要になり、今までキノコ雲を維持するために使われていた空気を、火災積乱雲の方に回したためではないかと思う。まさに、“糧道を絶たれたように”、キノコ雲はだんだん収縮して行って、消えていったと思われる。

### 主に爆心の北西から北にかけて広範囲に降った「黒い雨」

では、火災積乱雲からどのようにして「黒い雨」が降ったのであろう。宇田らによると、火災は10時～14時ごろ最も盛んで、延焼は風向によって左右される。当時は海陸風前線があったので、市の北側では北風が吹いていたので、北への延焼が抑えられた。一方、市の南部では、南風が吹い

ていたので、南への延焼が抑えられた。その結果、この海陸風前線に沿って、東西方向に延びる火災前線ができ、その前線に沿って巨大な火災積乱雲の壁がつけられた、と考えられる。

写真3は、木村権一氏（当時陸軍船舶練習部に所属）が原爆投下1時間後に、爆心から3.9 km離れ、戦後マツダ宇品西工場となり現存する倉庫三階屋上の西端から撮った三枚の組写真である。猛火の煙が、右端の比治山（南区）から左端の鈴ヶ峰（西区）の



写真3 木村権一氏撮影の原爆投下1時間後の比治山から鈴ヶ峰までのキノコ雲の柄と火災雲

上空に迫る様子が鮮明に収められている。

注目すべき点は、写真のほぼ中央より少し右寄りのところに、爆心のキノコ雲の柄が写っていることである。時間的には松山市沖からエノラ・ゲイの乗務員が撮ったあの有名なキノコ雲の写真と、ほぼ同時刻のものであろう。キノコ雲の柄は高度 8 km 付近から圏界面に向かって幅を広げていたと考えられるので、この写真は高度 8 km 以下の空を撮ったものと考えていいであろう。

巨大なキノコ雲の柄の両側に、キノコ雲の中心より少し北に寄りに、火災積乱雲がほぼ直線上に集まり、おそらく「黒い雨」の豪雨を降らせていたであろう。その結果、火災積乱雲を維持する空気が増え、キノコ雲を維持する空気が減って、キノコ雲は徐々に衰退、最終的に消えていったのであろう。

図8 爆心から北の地域を蔽う「増田雨域」の全体

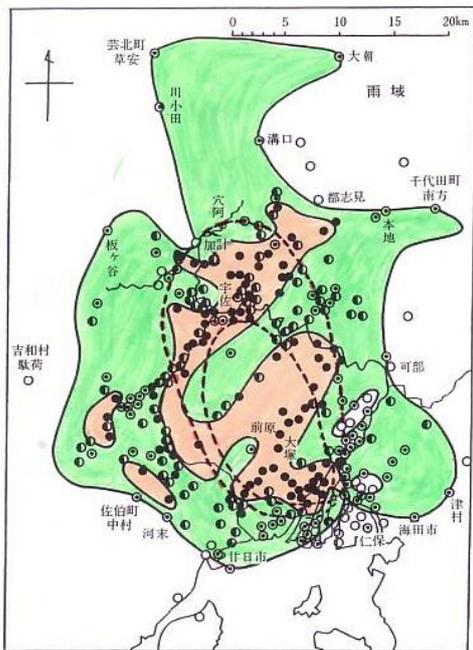


図8は、「増田雨域」の全体を示したものである。ただし、爆心付近と、爆心の南の地域は、正確な図4がつくられており、図が煩雑になるので割愛してある。

この図で小雨域は緑色で、大雨域は褐色で塗りつぶしてあり、宇田雨域の小雨域、大雨域は点線で示してある。増田雨域では、少しでも雨が降った地域は、爆心から北北西約 45 km の広島県と島根県の県境近くまで及び、東西方向の最大幅は約 36 km に及び、その面積は約 1,250 平方kmで、宇田雨域の小雨域の約 4 倍になる。

最も大きな特徴は、村上経行さんが指摘したように、宇田雨域のような綺麗な卵型ではなく、非常に複雑な形をしていることである。特にその特徴が顕著なのは大雨域で、おそらく地形の影響もあるであろうが、極めて複雑な形をしているだけでなく、その面積も広く、宇田雨域の小雨域に匹敵する広さであった。この事実からしても、宇田大雨域だけを「第1種健康診断特例区域」に指定していることが、いかに「科学的・合理的根拠」がないかがわかる。ただし、この調査でも小雨域の周辺部の資料の数は極めて少ない。従って、さらに調査が進めば、より一層正確な雨域が得られるであろう。しかも、おそらくこの増田雨域はさらに拡大されるであろう。

現在、厚労省主催で「第一種健康診断特例区域等の検証に関する検討会」が開かれており、増田の提案で、被爆者の手記集の電子化と雨による検索が進められている。この調査によって、より精度の高い雨域が得られることを期待している。

### 放射性降下物のチリや飛散降下物の分布

「黒い雨」問題以外にも放射性降下物（フォールアウト）の問題も重要である。この点では、必ずしも放射性降下物と断定できるものではないが、広島・長崎原爆の後には、かなり広範な範囲で、チリや紙切れなどが大量に降ってきた。

宇田ら<sup>(3)</sup>は「五日市、八幡村、古田町北西など雨域の外周数軒の範囲まで黒い灰埃が降っており、南瓜の葉など真っ黒に見えた」と記し、さらに、「降下物は焼トタン板、屋根のソギ板、蚊帳片、綿片、布片、紙片、切符名刺、紙幣、債券、埃など、軽重大小種々雑多なものが無数にあり、



キノコ雲の大きさは、温泉岳測候所長石田泰治「雲仙より見たる原子爆弾投下によって発生した雲について」<sup>(7)</sup>によって推測できる。ただし、当時は、高層観測はまだなく、成層圏の存在すらあまり知られていなかった時代ですからやむを得ないが、温泉岳測候所から望見した見取り図の鉄（かな）とこ雲\*は、雲底 1.2~1.3 kmであった。石田は、温泉岳測候所を通過したキノコ雲の積乱雲から類推して、キノコ雲の雲底は 1.2~1.3 km、雲頂は 4~5km としている。しかし、水平方向の規模は、南端が彼杵半島の先端、野母岬まで達しているので、半径 25~30 kmの同心円状に広がっていたことが推定される。（\*鍛冶屋が金属棒を金槌でたたいて平らにするときに使う下の金属台のこと。積乱雲のトップ雲が風になびいた時の様子が、金とこに似ていることから名づけられた。）

そして、そのキノコ雲の下でも所々で「雨」が降っていた。増田は長崎市が発刊した『聞いてください！私たちの心のいたで』<sup>(8)</sup>の被爆体験者の手記集から選んだ「雨」の調査でも、10 数点で降雨が記録され、最も南は爆心から約 12 kmの香焼島であった。

しかし、これらはすべてキノコ雲の傘の部分から降った「雨」である。長崎原爆の中心部から高濃度の放射能を含んだいわゆる「黒い雨」は、爆発の 20 分後に、爆心から東約 2.5 kmの西山貯水池付近と、約 7.5 kmの間の瀬地区付近に降っただけである。これらの地域の西には高度 366m の金毘羅山があり、原爆爆発による中性子線やガンマ線の影響は全く受けていない。

この地域の「黒い雨」による残留放射線は詳しく調査されている。特に、長崎原爆はプルトニウム爆弾で、広島・長崎原爆以後はプルトニウム原爆が核爆弾の主流になったので、日米共同という形にはなっているが、アメリカが詳しく調査している。

1945 年 9~10 月、篠原健一ら<sup>(9)</sup>は、米軍の S.W.Warron 大佐から「爆心地付近のほかに、西山貯水池付近の土地も放射能をもつようになった」ことを知らされ、この地域の測定を始めた。

その結果を「西山地区の放射能を持った地域は 10 km<sup>2</sup>以上も広がり、またその強度も爆心地の放射能よりはるかに大きい。1945 年 10 月 1 日の測定値は自然放電の 200 倍以上にもなり、爆心地の 9 月 10 日の測定値が 8 倍であったのに比べ、その 25 倍以上にもなっている」と報告した。

さらに、長崎大学岡島俊三教授（当時）<sup>(10)</sup>は、1968 年 4 月から長崎大学、ABCC、広島大学共同で西山地域の住人を対象にホールボディカウンターの測定を行っている。この測定は、この地域の住民 50 人と、年齢と性が同一の非被爆者、早期入市者、及び原爆時に 200 ラド以上を直接被爆したもの、各 50 人、計 200 人の体内のセシウム 137 を測定したほか、未耕地、耕作地の地面からの深度ごとの土壌の放射能、コメ、麦、夏みかん、大根、ちしゃ、キュウリなどの農作物の放射能まで測定している。この調査に ABCC が加わっていることを考えると、いかにアメリカが残留放射能や内部被ばくに注目していたかが類推できる。

その測定結果によると、西山地区住民の体内のセシウム 137 は、米国やソ連の核実験の影響の放射能汚染を差し引いても、他の比較群と比べて明らかに高いことが判明した。最終的には、西山住民の年間のセシウム 137 の内部照射線量はベータ線とガンマ線を合計して算出され、1969 年及び 1970 年における男子の総線量はそれぞれ年間当たり 0.292 および 0.198 ミリラド、女子は 0.187 および 0.169 ミリラドであった。ICRP（国際放射線防護委員会）による年間線量限度は 170 ミリレムである。自然の放射線量は年間 100 ミリレムである。本調査で測定されたセシウム 137 の線量は、ICRP の限度の 500 分の 1 未満であった、と報告されている。いずれにしろ、ラドとレム

は直接には比較できないが 100 ラド = 1 Gy を考えると、0.169 ミリラドは極めて少ない量であることは確実である。(注)

注) この表現は報告書のままだが、ラドは吸収線量のことであり、レムは等価線量のことで、本来は直接比較できないものである。参考に放射能の単位を示しておく。  
グレイ (Gy) : 吸収線量のことで、ある物質 1 kg が吸収したエネルギーで示される  
シーベルト (Sv) : 線量当量のことで、人間がどれだけの放射線を吸集したかを表わす単位。放射線の種類や確率的な影響も考慮して、Gy から次の式でもとめる  
等価線量 (Sv) = 吸収線量 (Gy) × 線量係数 × 補正係数  
ラド (rad) : 吸収線量の単位 100 rad = 1 Gy  
従って、ある程度比例しているが必ずしも同じものではない・

しかし、余りにも、ICRP の値に比べて小さすぎる。2021年8月9日、NHKスペシャル『原爆初動調査 隠された真実』で、マンハッタン計

画の責任者グローブス少将が、アメリカ駐留軍の兵士に安心感を与えるため、残留放射線を少なくするように命令していた事実が放映された。番組では「データの隠蔽」と放送されたが、「データの隠蔽」ではなく、「データの改ざん」が行われていたのではないか、いよいよ疑いが濃厚になった気がする。

この後このキノコ雲はどうなったであろう。先の温泉岳測候所長の石田はキノコ雲の雲塊が雲仙のすぐ北を通過していった状況を克明に記録している。その報告を抜粋すると次のようになる。

雲塊は西南西の風に流されて、雲仙のすぐ北を通過した。13時30分頃より北、北西方が真っ黒となり、雲底は積乱雲のそれよりも凄い様相を呈してきた。その速度は割合遅かった。雲形は手前より、巻雲、巻積雲、巻層雲、乱雲、又は層積雲、巻層雲の順序で当地を通過した。火災の煤煙が多分に含まれている関係か、太陽は赤褐色を呈し、肉眼でもその輪郭がはっきりと見ることができた。13時50分頃より乱雲、層積雲になり太陽は見えつ隠れつしていた。13時50分頃より14時00分の間、雨数滴があった。14時2,30分頃より前と同様な巻層雲状の雲に入ったが、太陽は橙色となっていたが輪郭ははっきりしていた。この状態が日没まで続いた、日没後もこの雲は空を蔽って22時に至って、晴れ快晴となった。

おそらく、原爆雲の本体が通過した後も、火災雲が続いていたのであろう。

(2021・10・11)

## 参考文献

- (1) 沢田昭二ほか『広島・長崎原爆被害の実相 (新日本出版社、1999)
- (2) 広島市・長崎市 原爆災害誌編集委員会編『広島・長崎の原爆災害』((株)岩波書店、1979)
- (3) 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書』(日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編『原子爆弾災害報告書』第1冊、1953)
- (4) Masashi Baba・Fumio Ogawa・Shinsaku Hiura・Naoki Asada 'Hight Estimation of Hiroshima A-bomb Mushroom Cloud from Photos' Revisit The Hiroshima A-bomb with a Database 2011)
- (5) 藤原武夫・竹内晴夫「広島市付近における残留放射能について (1953) (日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編『原子爆弾災害報告書』第1冊、1953)
- (6) 増田善信『広島原爆後の“黒い雨”はどこまで降ったか』『天気』36 (2) (1989)
- (7) 石田泰治『雲仙より見たる原子爆弾投下によって発生したくもについて』(日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編『原子爆弾災害報告書』第1冊 (1953)
- (8) 長崎市原爆被爆対策部調査課『聞いて下さい! 私たちの心のいたで 原子爆弾被爆未指定地域証言調査報告』(2000)
- (9) 篠原健一、森田 右、高良和武、河井直幸、横田昌広『長崎市及びその近傍に於ける土地の放射能 第二部 西山貯水池付近の放射能』(日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会編『原子爆弾災害報告書』第1冊 (1953)
- (10) 岡島俊三『広島原爆“黒い雨”にともなう放射性降下物に関する研究の現状 (2010)