

# 意見書

名古屋大学名誉教授 沢田昭二

1. はじめに
2. 放射性降下物による被曝影響研究の端緒
3. 原爆被害の隠蔽
4. 放射性降下物の物理学的測定の限界
5. LSS 集団の脱毛発症率に基づく広島原爆の放射性降下物被曝の推定
6. LSS 集団以外の広島の脱毛発症率からの放射性降下物の評価
7. 3種の急性症状発症率に基づく広島原爆の放射性降下物被曝の推定
8. 3種急性症状発症率に基づく長崎原爆の放射性降下物被曝の推定
9. 放影研が遠距離被爆者を実質上コントロール集団としている問題
10. 広島遠距離被爆者の悪性新生物死亡率
11. 原爆の放射性降下物による被曝と福島原発事故の放射線被曝

## <概要>

本書面ではなぜ広島・長崎の原爆投下の問題を取り上げたのか。それは、福島原発事故による被曝に対して国が対策を決定する際、その基礎となる考え方が広島・長崎の原爆投下による被曝に対する考え方や成果に基づいているからです。福島原発事故による被曝に対する対策を決定する際、国が持ち出す論拠・基準は放射線防護委員会 (ICRP) の考え方・基準ですが、実は ICRP の考え方・基準そのものが広島・長崎の原爆投下による被曝に対する考え方や成果に基づいて形成されたものなのです。

従って、福島原発事故による被曝に対する国の対策に問題があるとすれば、その根本的な原因は、広島・長崎の原爆投下による被曝に対する考え方や成果に問題があったからです。そこで、福島原発事故による被曝に対する国の対策の問題点を明らかにする上で、広島・長崎の原爆投下による被曝に対する考え方や成果の吟味が不可欠です。本書面は、そのことを次の諸点から明らかにしようとしたものです。

- ・従来の原爆症認定基準は、原爆投下による被曝の影響は原爆の爆発 1 分以内に放出された放射線 (便宜的に初期放射線と呼ぶ) だけを考えれば足り、

それ以後に放出された放射線（便宜的に残留放射線と呼ぶ）による影響は無視してよいという立場でした。しかし、それでは、初期放射線が殆ど到達しない爆心地から離れた地域でなぜ脱毛、皮下出血による紫斑、下痢等の急性症状が発症したのか、その理由を合理的に説明することはできません。

- ・ 従来の原爆症認定基準は、原爆の放射性降下物による被曝線量を、放射性降雨に含まれて降下した放射性物質が地中に浸透し、火災による降雨や2度の台風の大雨による洪水によっても流失しないで残留したものだけに限定し、それが放出した放射線の物理学的測定結果に基づいて推定してきました。しかし、これは原爆の放射性降下物の一部に過ぎず、それ以外の流失したもの及び人体内に入ったものをそもそも物理学的方法によって求めることは不可能です。
- ・ もともと生物学の測定・実験では絶対的な物差しは存在せず、相対的な物差しを用いて行い、その結果から意味を引き出そうとするもので、相対的な物差しをコントロールと呼びます。被曝した人の健康障害を測定する場合、通常、コントロールとして全く被曝していない人を選び、その健康状態と対比します。ところが、従来の原爆症認定基準は、全く被曝していない人を選ばず、遠距離で被曝した人または入市被曝者（原爆投下後、救援活動や肉親捜しなどで被曝地に入った人）をコントロールとして選びました。その結果、被曝者と非被曝者との対比の名の下に初期放射線による被曝者と残留放射線による被曝者を対比し、被曝の危険性を過小評価する重大な誤りをおかしました。
- ・ コントロールとして、正しく、全く被曝していない人を選んだ広島大学原医研の研究によれば、遠距離被曝者または入市被曝者をコントロールとして選んだ国のやり方に比べ、過剰相対リスクは男性で3倍、女性で2.3倍、男女全体でも2.3倍となり、国が被曝の影響をいかに大きく過小評価しようとしているかが分かります。
- ・ 原爆の放射性降下物による被曝線量を、従来の物理学的測定方法ではなく、脱毛、下痢等の発症率から推定する生物学的線量評価によることが適切であり、この方法によって初めて残留放射線による被曝線量を推定することが可能となり、それは物理学的測定に基づく従来の認定基準の値の40倍および230倍となります。

- ・その推定値から、広範囲の地域の被爆者は、放射性微粒子が放出した放射線による外部被曝を受けただけでなく、呼吸や飲食を通じて体内に摂取した放射性微粒子による内部被曝が深刻な影響（爆心地から 1.2 km? 1.3 km における初期放射線の外部被曝に相当する）をもたらしたと考えられます。
- ・脱毛、下痢等の症状に対し、国は「脱毛が被曝による精神的影響の結果」「下痢は悪い衛生状態のため」と反論しました。しかし、同じ被曝線量によって脱毛、紫斑、下痢の3種の発症率を同時に説明することが可能であり、さらに下痢の発症率が脱毛に比べ、初期放射線被曝では低く、残留放射線被曝では高くなっているのは外部被曝と内部被曝による下痢の発症機構の相違によって説明することができます。
- ・以上の通り、広島・長崎の原爆投下による被曝に対する考え方の吟味が、今、放射性降下物による残留放射線による被曝とりわけ内部被曝の問題に直面している福島原発事故の対策を正しく決定する上で極めて大切なものです。

## 1. はじめに

これまで国際的に権威を持って放射線被曝の防護基準とされ、日本政府の福島第1原子力発電所（福島原発）の事故による被曝の政策決定の基礎になっているものは、放射線防護委員会（International Commission of Radiation Protection, ICRP）の基準です。ICRP は原爆被爆者の放射線被曝の影響を研究してきた放射線影響研究所（Radiation Effect Research Foundation, RERF, 放影研）の研究結果です。放影研の研究は調査規模も調査期間も他の追従を許さないもので国際的にも大きな影響力を持ってきました。しかし、この意見書において詳細に説明するように、放影研の研究は、原爆の初期放射線による被曝影響の研究に重点を置いて、放射性降下物による被曝影響を無視してきました。

ところで福島原発事故による被曝は水素爆発に際して原発から放出された放射性物質が風下に飛来して、主として呼吸や飲食を通じて体内に取込まれ、これらの放射性物質が体内において放出した放射線によって被曝する内部被曝です。これは、爆心地から離れた地域において被曝した原爆被爆者が主として放射性降下物によって内部被曝したと共通性があります。

放射線には透過力の強いガンマ線やX線があり、外部被曝で重要になります。一方、透過力の比較的弱いベータ線やアルファ線は内部被曝の場合に大きな影

響を及ぼします。こうした放射線の種類による人体影響の違いは、吸収線量と呼ばれる放射線から生体組織 1 kg 当たりが受取ったエネルギー量に生物学的効果比 (Ratio of Biological Effective-ness, RBE) を乗じたシーベルトで表されます。しかし、ICRP は放影研などの外部被曝の研究にもとづいてベータ線の RBE はガンマ線と同じく X 線と同じ人体影響であるとして、ともに RBE = 1 としています。しかし、後に原爆被爆者の下痢の発症率について典型的に見られるように、主に初期放射線の透過力の強いガンマ線による外部被曝を受けた近距離被爆者の下痢の発症率が比較的小さく、放射性降下物による主にベータ線による内部被曝を受けた遠距離被爆者の発症率が高いのは、ガンマ線とベータ線の人体影響が大きく異なることを示しており、共に RBE = 1 とする ICRP の外部被曝だけに基づいた基準の不合理性を明確に示しています。放射線のエネルギーによっても異なりますが、ガンマ線のかなりの部分は人体を透過します。これはガンマ線が人体組織の中を通過するとき生体内分子中の電子に渡して分子を切断する電離作用を比較的まばらにおこなうために、通過距離に対して電離作用によって失うエネルギー損失割合が少ないためです。これに対し、ベータ線は密度の高い電離作用をおこない、生体組織内を 1 cm ないし 2 cm 通過する間に何万カ所も電離作用をおこなってエネルギーを急速に失って静止します。この密度の高いベータ線の電離作用が放射線急性症状の下痢を引き起こしたのです。このようにガンマ線とベータ線はまったく異なる人体影響を与えることが放射性降下物による内部被曝を考慮すると示すことができます。しかし、こうした放射性降下物による被曝影響を無視して内部被曝の研究を怠ってきたために、ガンマ線とベータ線に対して同じ RBE を対応させ続けてきたと考えられます。

福島原発事故による主要な被曝は内部被曝によるもので、現在問題になる被曝量は急性症状ではなく、確率的な影響とされる晩発性障害で、白血病のように数年で発症しはじめるものもありますが大部分の晩発性障害は 20 年? 30 年あるいはさらに年月を経て現れるものが多く、しかも原発事故による被曝以外の原因で生じた障害と区別するのが困難なものが多いという問題があります。こうした障害の発症率は、ほとんどの障害について被曝線量に比例するとされています。風評被害を抑えるためだと 100 ミリシーベルト以下なら晩発性障害は起こらないと意図的に宣伝している放射線影響の専門家がありますが、これは一般の人を軽蔑していて、かえって不信感を生み出しています。放射線生物学

的には放射線による染色体 DNA の 2 重鎖切断などの頻度が高くなれば晩発性障害の発症率が強くなるとされています。その基礎資料とされているのが原爆被爆者の晩発性障害の発症率や、晩発性障害による死亡率の調査結果です。しかし、後に固形癌による死亡率に関して示すように、放影研の被爆者の寿命調査集団の疫学調査は、初期放射線のみを考慮して、放射性降下物による被曝を無視し、遠距離被爆者を実質上被曝をしていないコントロールにした疫学研究であり、その結果得られた晩発性障害の発症率は、遠距離被爆者の放射性降下物による被曝影響を正しく評価して求めた発症率の 2 分の 1 あるいは 3 分の 1 になるという大幅な過小評価になります。こうした過小評価となった結果に基づいて国際放射線防護委員会の基準は放射線による被曝影響の大幅な過小評価となっています。こうした過小評価となった放射線防護基準にしたがって子どもたちの避難計画を立てなかった郡山市の措置は問題です。

## 2 . 放射性降下物による被曝影響研究の端緒

私は 13 才のとき広島爆心地から 1.4 km の自宅で被爆した被爆者です。物理学を専門とする学生の時、水爆実験によるビキニ事件が起こり、自分の体験した原爆の 1000 倍の破壊力の水爆の出現に物理学が利用されたことに大きな衝撃を受け核兵器廃絶の運動に参加しました。素粒子物理学の研究者になっても、研究面でも指導を仰いだ湯川秀樹博士、朝永振一郎博士、坂田昌一博士らのお手伝いをしてパグウォッシュ会議や科学者京都会議などの科学者としての核兵器廃絶運動に取り組んできました。私は 1995 年に停年退職するまで、2008 年ノーベル物理学賞を受賞した益川敏英博士や小林誠博士を生み出した名古屋大学物理学教室素粒子論研究室に所属し、素粒子物理学の理論的研究に携わってきました。この素粒子物理学の研究活動の中で、従来の固定概念にとらわれるのではなく、自然が示す事実に着目して、事実に即応した新しい理論を構築することの重要性を体験してきました。

退職後、広島・長崎の原爆放射線の測定グループの研究会に参加し、日本福祉大学において統計学を担当したことを活かして、実験グループの測定結果を統計学に基づいて総合的かつ系統的に解析しました。その結果 1986 年原爆線量評価体系 (DS86) の初期放射線の線量評価が、爆心地から 1 km を超えると系統的に過小評価になることを見出しました。このことを放射線影響研究所 (以後放影研) における日米共同ワークショップにおいて報告し、放射線影

響学会においても報告しました。この研究結果を長崎の被爆者松谷英子さんの訴訟のなかで、福岡高裁に書証を提出し、判決にも引用していただきました。

この裁判にかかわった中で、長崎の爆心地から 2450 m で被爆した松谷さんも、爆心地から 2800 m で被爆されて証言に立たれた渡辺千恵子さんも脱毛されており、この被爆距離ではDS86の初期放射線の過小評価を実測値に即して是正しても彼女らの脱毛の発症を説明できず、放射性降下物による被曝以外には考えられないことに気づきました。そして、被爆直後から急性症状の発症率について多くの貴重な調査が行われており、こうした被爆実態を表している貴重な具体的事実から、放射性降下物被曝も含めた原爆放射線被曝の全線量を総合的に推定しなければならないと考えました。

そうした研究を始める中で、放射性降下物による被曝影響、とりわけ放射線による内部被曝の研究が核兵器国の核政策に大きく影響され、原爆被害の研究にも大きな影を落としていることを知りました。原爆被爆者の研究結果は放射線による被曝影響から人々を防護する国際的基準の基礎になり、東京電力福島第一原子力発電所事故による放射線被曝の防護基準の作成にも影響を与えています。

広島・長崎の原爆投下は、熱線、爆風、放射線による直接および複合作用によって人類史上かつてない「この世の地獄」をつくりだしました。しかし、核兵器国の放射線影響を隠蔽する政策に影響されて、放射性降下物による被曝影響を含む原爆放射線の影響の全体像は、2003年に始まった原爆症認定集団訴訟の中でようやく明らかにされました。集団訴訟の28の地裁と高裁の判決は、法廷における国側の否定的意見を排して、放射性降下物による主として内部被曝による被曝影響を認めています。こうした判決にもかかわらず、国側は現在もなお放射性降下物による被曝影響を否定する態度を採り続けています。例えば今年7月末に作成された厚生労働省のホームページの「原爆放射線について」を見ると、爆心地からの距離4 kmまでの同心円を描いて、初期放射線量が3.5 kmで1ミリシーベルトとなるなどとして、放射性降下物の影響を完全に無視しています。

日本だけでなく世界の放射線影響の研究者は、約12万人の原爆被爆者を寿命調査集団(Life Span Study Group, LSS)として1950年頃から原爆放射線影響を調査研究してきた原爆傷害調査委員会(Atomic Bomb Casualty Commission, ABCC)とこれを1975年から引き継いだ放射線影響研究所(放影研)の疫

学研究に大きく依存してきました。放影研の研究では、初期放射線による外部被曝の影響に重点が置かれ、そのため、初期放射線がほとんど到達しない爆心地から遠い地域で被曝した人々を原爆による放射線被曝をしていない非被曝者として、疫学研究においてきわめて重要な比較対照群（コントロール）として実質上採用してきました。そのため放射性降下物による被曝影響は全く無視され、その重要な影響である内部被曝の研究が大きく立ち後れることに繋がりました。しかし、厚生労働省に近い放射線影響の研究者は、いまだに放影研のこのような問題点についての認識に欠けたままで、原発事故の直後にはテレビなどで「直ちに影響はありません」と述べて、次第に人々の信用を失っていくことになりました。私が集団訴訟の判決にも反映された私の証言の背景となった研究成果を英文の論文にして、国内や海外の欧文の専門誌に投稿しても、私の研究結果は従来の研究と大幅に異なるとして論文掲載を拒否されてきました。後に示しますように、遠距離被曝者の放射性降下物による被曝影響を認めるかどうかで、被曝者の被曝線量はまったく異なるので、従来の研究結果と大幅な相違が生ずるのは当然のことですが、放射性降下物による被曝は無視できるとされてきた放影研の研究設計に放射線影響の多くの研究者が何十年も慣れてしまっていることが、私の研究結果を受け入れないことの背景の一つと考えられます。

原子雲の広がった広い範囲の遠距離被曝者は、後に示すように、放射線によるさまざまな急性放射線症状を発症したことが多くの調査に共通して示されています。急性症状を発症していることから、遠距離被曝者は平均で 1000 ミリシーベルト前後の被曝をしたと推定されます。この被曝線量は福島原発事故において問題になっている被曝線量 5 ミリシーベルトとか 20 ミリシーベルトに比べてきわめて深刻な被曝線量です。しかし、このような被曝を今なお認めない厚生労働省や政府の認識が、人々の被曝、とりわけ子どもたちの被曝を避けることに不十分な態度を採り続けていることにつながっています。

こうした低線量被曝、とりわけ内部被曝についての研究が立ち後れることになった経緯とその根源である放影研の研究がどのようにして放射性降下物による被曝影響や内部被曝の影響を過小評価ないし無視しているかについて以下において説明します。

### 3．原爆被害の隠蔽

米国は日本占領直後から原爆被害隠蔽政策を始めました（高橋博子「封印されたヒロシマ・ナガサキ」凱風社、2008年、参照）。放射線の影響、特に後に説明する残留放射線による影響を認めると、原爆による傷害範囲が限りなく広がり、また、放射線影響の長期継続を認めることになり、国際人道法違反が明白になって、核兵器使用の非人道性に関する国際批判が広がることを怖れたからです。この米国政府の政策が、放射線による被害影響の全体像の解明を遅らせた背景の1つです。1947年のトルーマン大統領の指示によって、米国は核戦争における放射線の人体影響を知るため、広島と長崎に原爆傷害調査委員会（ABCC）を設置し、原爆放射線が被爆者に与えた影響の研究を始めました。

#### 初期放射線と残留放射線

原爆の爆発1分以内に放出された放射線を便宜的に初期放射線と呼びます。初期放射線のほとんどは、原爆爆発時に原爆から放出されたガンマ線と中性子線が、大気中の原子核に吸収され、再び放出され、あるいは散乱されて地上に到達したものです。初期放射線は、ほぼ瞬間的に被爆者の体外から放射線を浴びせる外部被曝をもたらします。これに対し、原爆爆発1分以後に放出された放射線を便宜的に残留放射線と呼びます。残留放射線には、放射性降下物から放出された放射線と、地上に到達した初期放射線の中性子を地上周辺の物質が取込んで誘導放射化物質になり放出した放射線とがあります。後に説明するように放射性降下物は原子雲の下の広い地域に充満していたと考えられます。これに対し、誘導放射化物質は大量に中性子が到達した爆心地周辺で強い影響を与えました。

#### 残留放射線無視の研究と被爆者行政

ABCCは、残留放射線を無視し、初期放射線による人体影響のみの研究を行いました。ABCCが1975年に閉鎖され、日米共同運営の放射線影響研究所（放影研）に移行しても、残留放射線無視の研究はそのまま引き継がれました。この残留放射線の影響を無視ないし軽視する研究が、日本国内でも、また国際的にも、低線量被曝や内部被曝の影響の研究を遅らせることにつながりました。

米国の核政策に従った日本政府は被爆者がもっとも苦しんでいる時期に被爆者を放置する行政を続けました。1954年のビキニ事件をきっかけに国民的規模で原水爆禁止運動が始まり、1955年の第1回原水爆禁止世界大会は、(1)核兵器廃絶、(2)核兵器使用阻止、(3)被爆者援護連帯の3つの運動の基本目標をかかげました。こうした運動の中で日本原水爆被害者団体協議会（被団協）が誕



生し、日本政府は 12 年間の被爆者放置の後、1957 年に原爆医療法をつくり、被爆者に原爆被爆者健康手帳（原爆手帳）を支給しました。その際、当時の段階で知られていた被爆実態の状況と、便宜的に行政区画を踏まえて、1号から4号までの原爆手帳支給範囲を設定しました。さらに、原爆手帳所持者の申請した障害が原爆放射線の影響であり、現に治療を要すると厚生大臣（現在は厚生労働大臣）が認定すれば、医療費を含めた特別手当を支給する制度がつけられました。

#### 原爆症認定訴訟

核爆発実験とコンピューター技術の発展に基づいて、「1986 年原爆放射線量評価体系（DS86）」などによって初期放射線の線量推定が出来るようになると、政府の原爆症認定の審査基準は次第に厳しくなってきました。そのため原爆症認定却下の取り消しを求める裁判が相次ぎました。私が原爆症認定の問題に関わるようになったのは、厚生大臣による認定申請却下の取り消しを求める 2 つの訴訟からです。1 つは、3 歳のとき長崎の爆心地から 2450 メートルで被爆した松谷英子さんの訴訟、もう 1 つは、19 歳のとき広島爆心地から 1800 メートルで被爆した小西建男さんが始めた訴訟です。小西訴訟の中で、原爆症認定を審査する委員会が「しきい値」論と呼ばれる認定基準内規をつくっていることがわかりました。この内規で、まず認定申請被爆者の被爆地点の爆心地からの距離によって初期放射線による被曝線量を DS86 に基づいて推定し、この被曝線量が疾病ごとに定めた「しきい値」以下であれば、認定申請した疾病・障害は起こらないとして、機械的に認定申請の却下をしていました。私は実測値に基づく初期放射線の研究結果に基づいて、DS86 の線量評価を遠距離に適用すると何桁も過小評価になるという意見書を松谷訴訟の控訴審の福岡高裁に提出し、小西訴訟の京都地裁において証言を行いました。松谷訴訟は最高裁まで、小西訴訟は大阪高裁判決まで、厚生大臣が 5 連敗して決着しました。どの判決も DS86 による被曝線量の推定と「しきい値」の機械的適用に問題があることを指摘し、放射線起因性については、被爆後の被爆者の身体に起こった総合的な健康状態を踏まえて判断すべきことを判示しました。

#### 残留放射線による被曝影響解明の必要性

ところで私は、この初期放射線の DS86 の過小評価を是正しても、松谷英子さんや松谷訴訟で証言された渡辺千恵子さんが爆心地から 2800 メートルの遠距離で脱毛を発症したことを説明するのは難しく、放射性降下物による被曝影

響を考えざるを得ないことに気づきました。

一方、厚生労働省は、最高裁でも批判された「しきい値」論を引っ込める替わりに、「原因確率」論を認定基準に導入してきました。「原因確率」は、認定申請した障害を引き起こす様々な原因の中で、原爆放射線の被曝が原因である割合が何パーセントを占めるかを、放影研の統計的研究結果に基づいて計算したものです。認定基準は「原因確率」が 50 パーセント以上は認定、10 パーセント以下は却下としました。残留放射線を実質無視して算出した「原因確率」を適用すると、松谷さんも小西さんも「原因確率」が 10 パーセント以下となって申請却下とされるような、被爆実態からいっそうかけ離れたものでした。

このように松谷訴訟の最高裁判決の求める方向に逆行する認定基準による原爆症認定行政が始まり、被団協の呼びかけで 2003 年から原爆症認定申請却下処分取り消しと認定行政の抜本的転換を求める集団訴訟が始まりました。こうした事態になって、被爆実態からかけ離れた認定基準の誤りを、被爆実態という事実に基づいて科学的に明らかにする必要性が生じ、私はその解明は科学者に課せられた責任であると考えて、残留放射線による被曝影響を被爆実態を示す急性症状の発症率調査に基づく研究に取り組むことになりました。以下においてその研究によって明らかになった放射性降下物からの残留放射線による被曝影響について述べます。

#### 4 . 放射性降下物の物理学的測定の限界

##### 原子雲の形成

原爆が爆発して放出した初期放射線のガンマ線を大気中の原子核が吸収して、原爆が爆発した中心点（爆心）の周りに高温・高圧の火球?小さな太陽?がつくられます。火球が生成され始めた核分裂連鎖反応開始 100 万分の 1 秒後には、核分裂で生成された放射性原子核、放出中性子によって誘導放射化された爆弾容器と機材の原子核、核分裂しなかった放射性のウランあるいはプルトニウムの原子核など、大量の放射性物質は火球の中心部の爆弾容器の位置にありました。火球は熱線を放出し、膨張し、温度を下げて急上昇します。火球の表面には、火球の膨張によって圧縮された大気のショックフロントと呼ばれる超高压部分がつくられ、火球から離れて衝撃波となって広がり、強烈な爆風を生成しました。

火球に大量に含まれていた放射性物質は温度が下がると放射性微粒子となり、

さらに温度が下がると大気中の水分を吸着して雨滴の核となり、原子雲をつくりました。ネバダ砂漠のような乾燥地帯の核実験でも原子雲が形成されたのは、急速な上昇気流と放射性微粒子の強力な水分吸着力のためです。

#### 放射性微粒子の測定

ところで、核実験では、風下数百 km の広範な地域にあらかじめ測定装置が配置されていました。ネバダの核実験による原子雲は、大気中の水分が少ないため雨滴が小さく、放射性降雨（いわゆる「黒い雨」）は降らず、10分あまりで原子雲は消滅しました。原子雲が消失した後は、放射性降下物はすべて目に見えない放射性微粒子になって大気中に充満し、この微粒子が風に運ばれていった様子が、広い範囲にわたって測定されています。図1は高橋博子博士が入手した核爆発実験による放射性降下物の測定によって得られた放射線照射線量の米国原子力委員会（AEC）が保持していた地図の一枚です。核実験場から百数十 km 離れたラスベガスの近くまで1レントゲン（R）の照射線量の地域が伸びています。広島と長崎でも、原子雲の下の大気を放射性微粒子が充満していて、被爆者の皮膚や衣服に付着して近距離からの外部被曝を続け、また気づかないままこの微粒子を体内に摂取して体内で継続して被曝を続けました。しかし、大気中の微粒子は測定されることもなく風で運び去られました。

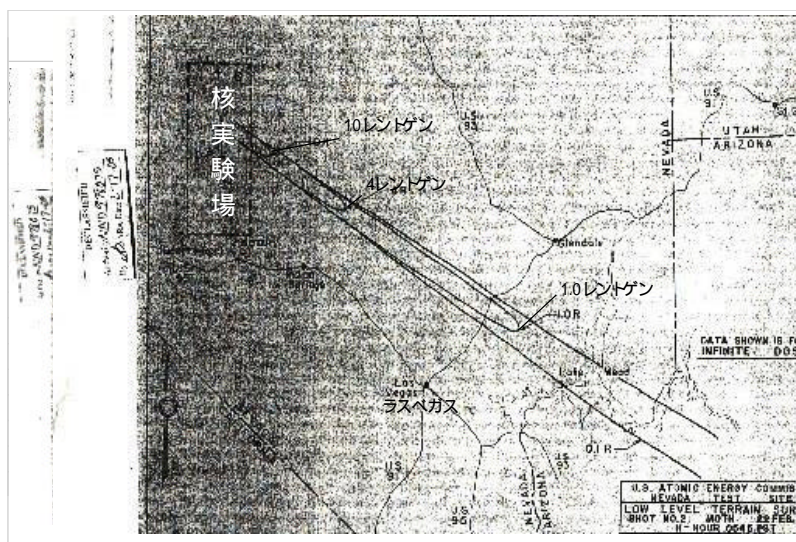


図1 ネバダ核実験場における原爆爆発実験の放射性降下物の測定地図

#### 広島・長崎原爆の放射性降下物の測定

従来の原爆症認定基準に用いられてきた広島・長崎原爆の放射性降下物によ

る被曝線量の推定は、放射性降雨に含まれて降下した放射性物質が地中に浸透し、火災による降雨や、2度の台風（1945年9月17日広島・長崎両市を直撃した枕崎台風および10月9日広島地方を襲った台風）の大雨による洪水によっても流失しないで残ったものが放出した放射線の物理学的測定結果に基づいています。その結果、放射性降下物の最大の放射線被曝線量は、広島では己斐（こい）・高須地域の0.006? 0.02 グレイ、長崎では西山・木場地域の0.12? 0.24 グレイとされ、その他の地域の放射性降下物の影響は無視できるとされてきました。グレイは放射線が生体組織などに与えたエネルギーを表す単位で、生体組織などが1 kg 当たり放射線から受け取ったエネルギーが1 ジュールであるとき1 グレイの吸収線量であるとしします。広島原爆の爆発威力が16 kt TNT、長崎原爆が22 kt TNT とすると、放射性降下物を構成する核分裂生成物質は長崎が広島の約1.4倍になるはずですが、しかし、広島で最大とされた放射性降下物の値0.006? 0.02 グレイは長崎の0.12? 0.24 グレイに比べて6分の1以下になっているのは不自然です。

長崎原爆の放射性降下物の測定値が最大になった西山・木場地域は、原子雲の中央部分が通過して実際に強い放射性降雨があった地域です。一方、広島のもっとも放射性降雨が強かった地域は、原子雲の中央部分が通過した爆心地の北西方向に伸びた地域です。己斐・高須地域は爆心地から西方2? 4kmで、原子雲の中央部分が通過した北西方向から外れており、強い放射性降雨地域の周辺部の中雨域と小雨域に位置しています。広島では、強い放射性降雨地域と大火災に伴う強い降雨地域が重なって放射性物質が洗い流されました。一方、火災による焼失面積が広島の4分の1以下の長崎では、火災による降雨が弱く放射性物質をあまり洗い流しませんでした。広島と長崎の放射性降雨による放射性物質からの放射線測定結果の違いは、広島では強い火災雨のため放射性降下物がほとんど流されたのに対し、長崎では火災雨がそれほど強くなかったためにあまり流失しなかったことによって説明できます。このことから、流失を免れた放射性物質の測定によって放射性降下物の被曝影響を推定するこれまでの方法は適当でないことがわかります。

#### 放射性微粒子の充満

放射性微粒子による放射能が測定されたネバダの核実験から推察すると、広島・長崎原爆の原子雲の中央部分から強い放射性降雨がありましたが、放射性降雨は放射性降下物の一部にしか過ぎないことがわかります。広がった原子雲

の周辺部分は微小な雨滴によって形成され、この微小な雨滴は降下するにつれて水分を蒸発させ、雨滴の芯の放射性微粒子だけになり、原子雲が覆った広い範囲の大気中に充満します。放射性微粒子が結合して目に見える「黒いすす」となって降下したとか、真っ黒い空に太陽が赤い火の玉のように見えたという長崎の被爆地域や被爆未指定地域における証言がこれを裏付けています。しかし、広島や長崎では、こうした放射性微粒子は風で運び去られ、微粒子が放出する放射線は測定されませんでした。放射性微粒子による放射線を「測定できなかった」から放射性微粒子は「存在しなかった」とすることは科学的ではありません。

原爆の放射性物質は爆発で飛散したので放射性降下物による被曝影響は無視できるという珍論が原爆症認定集団訴訟の国側の科学者から提出されました。原爆の核分裂の連鎖反応は 100 万分の 1 秒以内に終わったので爆弾容器はまだほとんどそのままの爆発位置にあり、ガンマ線や中性子線は爆弾容器を突き抜けて初期放射線として大気中を伝搬していき、ガンマ線は爆弾容器の周辺の大気原子核に吸収されて超高温・超高压のプラズマ状態の火球を生成し始めました。そのとき連鎖反応で生成された放射性の核分裂生成物は原爆容器の中に閉じ込められていました。火球が膨張してその表面に圧縮されたショックフロントと呼ばれる大気の高圧部が生成され、これが火球から離れて空気の高圧の波、すなわち衝撃波として伝搬していきます。この衝撃波の高圧部と前方の 1 気圧の大気圧力の差によって前方に向う猛烈な爆風が作り出されました。衝撃波が火球から離れた時には、大部分の放射性物質はまだ火球の中央部分にあったので、爆風によって放射性物質が飛散されることはありません。国側の意見書を書いた科学者は、原爆の爆風が通常の火薬の爆風とはまったく異なる機構によって生ずることを知らないことを露呈しています。

上昇の勢いが強い原子雲の中央部分是对流圏と成層圏の境界の約 1 万 m の高さの圏界面を突き破って 10 分余りで地上 1 万 6000 m の高度に達し、水滴は急成長して重くなって放射性降雨になって降下しました。これが「黒い雨」といわれるものです。急上昇する原子雲の周辺部分は圏界面に達すると大気温度降下がなくなり、上昇力を得られなくなり、後続する強い上昇気流に押されて圏界面に沿って時速数十 km で四方の水平方向に広がり、約 30 分で爆心地から 20 km? 30 km に達する。広がった原子雲の上部の雨滴は水分を蒸発させて微小な放射性微粒子になり、さらに微小な原子や分子になったものは成層圏に広が

り、地球全体に広がったことが両極や氷河の氷から検出されています。原子雲の下層部分は降下を始め、温度の上昇によって水分を蒸発させて放射性の微粒子になって原子雲の下の広い範囲に充満する。

こうした考察をすると、これまで放射性降下物による被曝影響を放射性降下物の一部である放射性降雨に限定してきたこと、さらに放射性降雨に含まれて地中に浸透して残留した一部の放射性物質からの放射線の測定だけから被曝影響の全体を推定していることは問題です。このように残留した放射性物質の放射線を測定する物理学的方法には限界があります。さらに体内に入った放射性物質は、それぞれの物質の性質によってきわめて多様な振る舞いをして被曝させる内部被曝の影響を物理学的方法によって引出すことはほとんど不可能です。

## 5 . LSS 集団の脱毛発症率に基づく広島原爆の放射性降下物被曝の推定 被曝実態に基づく被曝線量推定の必要性

物理学的方法ができない場合、被爆者の間に生じた様々な障害の発症率と被曝線量との関係を設定し、発症率から被曝線量を推定する「生物学的線量評価」が重要になります。これまで急性症状の発症率に関しては多くの調査が行われ、いずれも、初期放射線がほとんど到達しない爆心地から離れた地域でも、脱毛、皮下出血による紫斑、咽喉障害、下痢などの急性症状の発症が示され、原爆症認定集団訴訟やこの訴訟の多くの原告の証言によって裏付けられています。ところが厚生労働省側の書証や「科学者」の証人の証言は、遠距離の脱毛は被爆の精神的ショックによるもの、下痢は悪い衛生状態のためであると主張してきました。こうした影響もあって、多くの被曝実態を表す調査結果がありながら、こうした調査から放射性降下物の影響を明らかにする研究が行われてきませんでした。しかし、岡山地裁判決を唯一の例外として、原爆症認定集団訴訟の 27 の判決はいずれも残留放射線による被曝影響を認め、厚生労働省側の主張をしりぞけてきました。

### LSS 集団の脱毛調査

ABCC は 1950 年前後に疫学研究の対象とする寿命調査集団（LSS 集団）を設定し、LSS 集団の重度脱毛の発症率を調査しています。この調査において ABCC は被爆後 60 日以内に 67%以上の脱毛を発症したものに限りしました。図 2 の印が放影研のプレストン博士らが発表した LSS 集団の広島爆心地からの距離ごとの脱毛発症率です（長崎医学会雑誌 73, 251-253 (1998)）。

通常、放射線影響の研究においては、まったく放射線被曝をしていない非被曝のコントロール集団を設定してその平均発症率を求め、調査集団の発症率からバックグラウンドとして一定値を差し引きます。1945年当時、日本全国の都市は米軍による空襲によって焼け野原になっていましたが、脱毛、紫斑、下痢をはじめ各種の急性放射線障害と見られる症状が系統的に発症しているのは原爆投下が行われた広島と長崎だけで、こうした症状の系統的発症を原爆放射線による被曝以外には説明できません。したがって急性放射線症状の発症率から差し引くバックグラウンド発症率は一定値0%です。図2を見ると初期放射線がほとんど到達しない2.75 km以遠で発症率が2.1%、3.25 kmでは1.8%、3.75 kmで1.0%、4.25 kmで0.9%、4.75 kmと5.25 kmで0.7%、5.75 kmで0.6%と爆心地からの距離とともに系統的にゆっくり減少しています。このように爆心地からの距離によって系統的に減少する脱毛の発症は、原爆の放射性降下物による以外に合理的な説明は出来ません。

そこでLSS集団のデータに基づいて、広島原爆の初期放射線と放射性降下物による被曝線量を求めます。そのためには被曝線量と脱毛発症率の関係を必要になります。

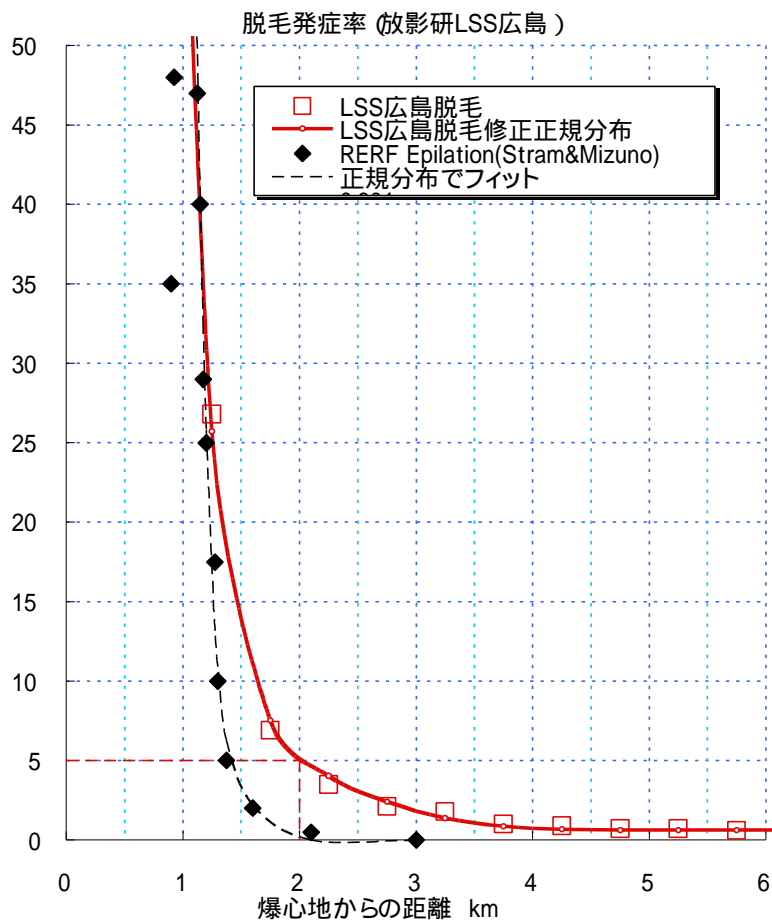


図2 LSS 集団広島での脱毛発症率

### 脱毛発症率と被曝線量の関係

動物実験では、どれだけ放射線を与えれば急性傷害によって死ぬかが調べられ、多くの実験によって被曝線量と死亡率の関係は正規分布をしていることが確かめられています(例えばJ.キーファー著『放射線生物学』シュプリンガー・フェアラク東京、1993年)。そのことから人間でも同様であると考えられ、さらに死亡原因となる急性症状の発症率も放射線被曝線量との関係は正規分布であると考えられます。しかし、人間に対しては動物のような実験をすることは許されません。こうした事情の中で、放影研の京泉博士らは免疫機能を除去したマウス(SCID hu マウス)に人の頭皮を移植し、X線を照射して被曝線量と脱毛発症率の関係を求める方法を開発しました(Kyoizumi, et.al. Radiation Research 194, 11-18 (1998))。京泉博士らはSCID マウス 22匹を用い、死亡した5体の胎児から採取した2 cm×2 cmの頭皮を移植して1グレイ、2グレイ、



3 グレイ、4.5 グレイ、および6 グレイの X 線を照射して移植片の毛髪本数に対する脱毛本数の割合を求めました。移植後1年以上にわたって人間の毛髪が成長することと、皮膚組織の正常構造の維持を確認し、一本一本の毛髪について脱毛の機序も調べました。5体の胎児からの頭皮を用いていることから、統計的に個人差も反映したものになっており、人の集団の脱毛発症率を与えると考えられます。京泉博士らが自信を持って説明しているように、人体実験が許されないヒトの急性症状発症率を実験的に研究するきわめて有用な方法であると言えます。

図3の印が京泉博士らの実験結果です。高線量で発症率が100パーセントに近づいていますので、被曝線量と脱毛発症率の関係が正規分布で与えられることを裏付けています。印を正規分布によって総合的にフィットさせると、図3の太い曲線で示した期待値あるいは平均値2.751グレイ、標準偏差0.794グレイの正規分布曲線が得られます。ここで図3の×印で示した期待値あるいは平均値は、50パーセントの人がこの被曝線量で脱毛を発症するので、半発症線量と呼ぶことにします。標準偏差は、半発症線量の周りに脱毛発症の放射線感受性のばらつきの程度を表し、標準偏差が大きいほどばらつきが大きくなります。そこでこの正規分布が被曝線量と脱毛発症率の関係を用いて、図2の印に示された脱毛発症率を再現するような初期放射線と放射性降下物による被曝線量を求めます。例えば、図2において爆心地から2kmでは赤い点線で示したように脱毛発症率は約5%です。図3の正規分布の曲線から、赤い点線で示したように、5%の脱毛発症率を与える被曝線量は約1.44グレイです。したがって爆心地から2kmにおける全被曝線量は1.44グレイと求まります。このようにそれぞれの被曝距離における脱毛の発症率から正規分布を用いて、それぞれの被曝距離における全被曝線量を求めることができます。

しかし、このような方法では全被曝線量を求めることは出来ませんが、初期放射線量と放射性降下物による被曝線量を求めることはできないので、付録1に説明したカイ二乗法を用います。全被曝線量を初期放射線による遮蔽効果を考慮した被曝線量と放射性降下物による被曝線量の和によって与えられるとし、初期放射線による被曝線量は、2002年原爆放射線量評価体系(DS02)の放射線量を用いました。具体的には被曝線量を与える理論式において、初期放射線には遮蔽効果を表すパラメータ、放射性降下物による被曝線量には、爆心地からの距離に依存して一旦増加して減少する部分の強さを表すパラメータ、爆心地

からどの距離まで広がっているかを示すパラメータ、および距離とともに変化しない被曝線量を示すパラメータを含めました。これらのパラメータをあらゆる可能な値をとらせて被曝線量の理論値をもとめ、被曝線量と脱毛発症率の正規分布の関係を用いて脱毛発症率が図2の印で示したLSS 広島集団の脱毛発症率を統計学的にもっともよく再現したと判定されるパラメータの組を求めました。図2の印を貫く太い曲線が得られた結果です。

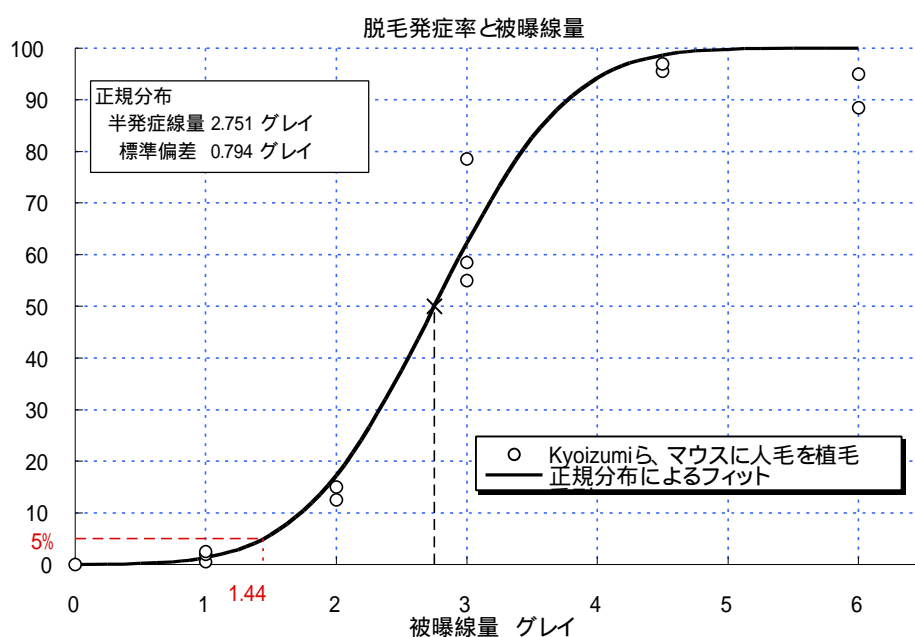


図3 LSS 集団広島での脱毛発症率と被曝線量の関係

#### LSS 集団の脱毛発症率に基づく被曝線量

このようにしてパラメータを決めて得られた広島原爆の放射線被曝線量を、図4において全被曝線量を太い破線で、初期放射線による被曝線量を細い破線で、放射性降下物による被曝線量を太い実線で示しました。さらに図4にDS02による初期放射線量を細い実線で示しました。この細い実線と細い破線の違いが遮蔽効果を表しています。図4において爆心地から1km未満で放射性降下物による被曝線量が増加しているのは、爆心地付近では上昇気流が支配的で放射性降下物による被曝線量が小さくなることを理論的に反映させた結果です。しかし、1km未満の脱毛発症率のデータは解析から外したので、1km未満の放射性降下物による被曝線量には大きな不確実性が伴っています。放射性降下物による被曝線量は、急激に減少する初期放射線による被曝線量と約1.2kmにおいて交差し、それ以降では放射性降下物の影響が支配的になることを示してい

ます。

放射性降下物による被曝は爆心地から 1.45 km 付近で最大になり、そこを越えるとゆっくり減少をはじめます。爆心地から 4 km 以遠では放射性降下物に

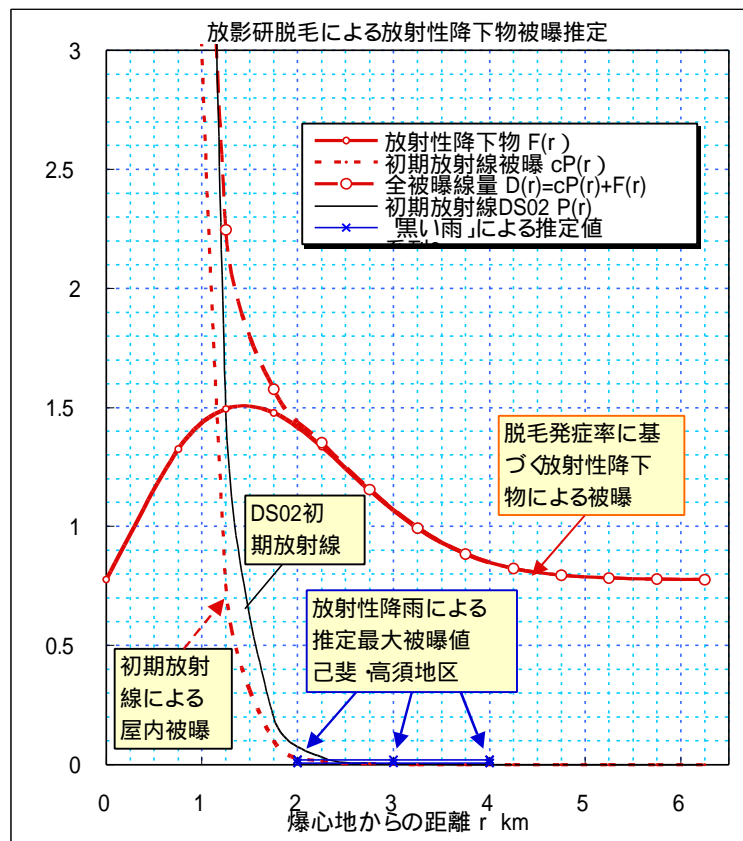


図4 LSS 集団の脱毛発症率から推定した広島原爆の放射線による被曝線量による被曝はほとんど一定値 0.79 グレイとなります。図4に見られるように、爆心地から約 1.5 km を越えると放射性降下物が主要な放射線被曝をもたらしたことがわかります。例えば、爆心地から 2.25 km および 2.75 km の距離では中性子線量はほとんど無視でき、DS02 によるガンマ線の線量は 0.0302 グレイと 0.0053 グレイであるのに対し、脱毛の発症率の 3.5%と 2.1%から推定される被曝線量は 1.34 グレイおよび 1.16 グレイとなり、遮蔽効果がなかったとしても DS02 による初期放射線被曝の 44 倍および 219 倍の被曝に相当する影響を放射性降下物によって受けていたこととなります。

図4の全被曝線量によって図2の被曝距離ごとのLSS 広島集団の脱毛発症率を図示すると図5の赤い印のようになります。図5の印は図2の脱毛発症率からDS86を用いて、初期放射線だけによる脱毛発症率を放射研のストラムと水野が求めた結果です。印から印に向う矢印の水平方向の成分が放射性

降下物による被曝線量を表し、垂直方向の成分がストラムと水野が初期放射線以外の影響として差し引いた脱毛の発症率です。印が被曝線量 3 Sv を超えると横這いになり、さらに減少しているのは、主としてストラムと水野が脱毛発症率を引きすぎたためですが、差引くのを止めた印も被曝線量が 3 Sv を超

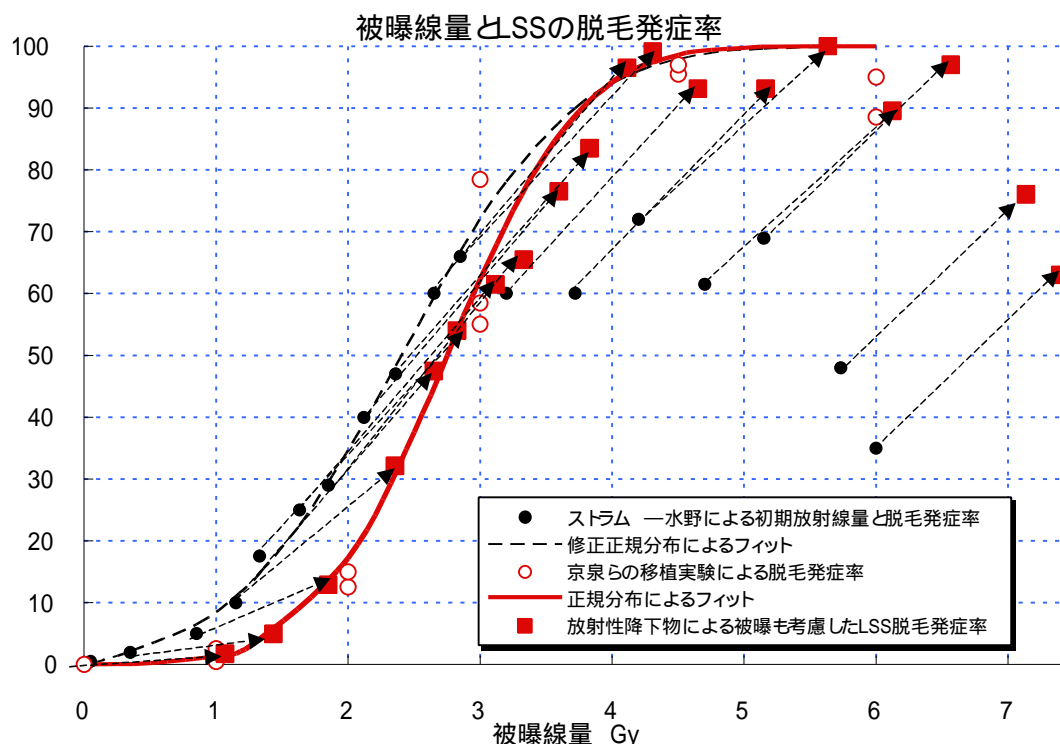


図5 初期放射線被曝線量、全被曝線量と脱毛発症率の関係

えると正規分布の曲線からはずれ、4 Sv を超えて高被曝線量になっても 100% にならなかつたり、7 Sv を超えると発症率が下がっているのは、LSS 集団の脱毛発症率を調査した 1950 年頃までに生き残ることのできた放射線抵抗力の強かった被爆者だけの調査結果のためと考えられます。

図 5 の被曝線量 3 Sv 以下の領域において、ストラムと水野の初期放射線被曝と脱毛発症率の関係は、初期放射線被曝線量に放射性降下物による被曝線量を加えるため、全被曝線量は高被曝線量側に移動するので、赤い曲線で表した京泉らの免疫機能を除去したマウスに死亡したヒトの胎児の頭皮に X 線を照射して得た結果に基づく正規分布の関係を支持しています。

先に述べたように、従来原爆症認定基準では、広島放射性降下物による被曝線量は、図 4 の×印で示した爆心地から 2 km ないし 4 km の己斐・高須地域の累積被曝線量 0.006 グレイないし 0.02 グレイが最大で、その他の地域で

はこれよりも小さいので無視できるとされてきました。放射性降下物による被曝線量の脱毛発症率からの推定値は、2 km ないし 4 km の距離におけるすべての方向の平均値で 1.4 グレイないし 0.85 グレイとなり、物理学的測定に基づく認定基準の値の 40 倍および 230 倍です。この桁違いの不一致は、物理学的に測定したものが放射性降下物の一部に過ぎないことと、測定されなかった放射性微粒子が原子雲の広がった下の広範囲の地域に大量に充満し、被曝影響をもたらしたことを示しています。この広範囲の地域の被曝者は、放射性微粒子が放出した放射線による外部被曝を受けただけでなく、呼吸や飲食を通じて体内に摂取した放射性微粒子による内部被曝が深刻な影響をもたらしたと考えられます。

#### 放射性微粒子による内部被曝

5 ミクロンメートル ( $\mu\text{m}$ ) 以下の微粒子は鼻毛に遮られることなく、肺胞に達し、 $1\mu\text{m}$  程度以下であれば肺胞の壁から血液中に浸入できます。 $1\mu\text{m}$  の大きさの微粒子でも、100 億個以上の放射性原子核を含むことが可能です。そのため、体内に摂取された微粒子が血液中の水分などに溶け込めば、放射性分子や原子はいったん身体全体に広がり、例えば、放射性ヨウ素であれば甲状腺に蓄積されるなど、元素の性質によって特定器官に蓄積し、その器官は蓄積した多数の放射性原子核から放出し続ける放射線によって深刻な被曝を受け、障害を引き起こします。非水溶性の微粒子の場合は、その微粒子のまま体内を移動し、特定の組織に固着して放射線を次々と放出し、その微粒子周辺の細胞は継続して集中的に被曝します。このような微粒子を大量に体内に取込めば、深刻な急性症状を発症し、同時に将来の様々な晩発性障害を引き起こす DNA などの損傷を受けることとなります。LSS 集団の脱毛発症率の調査結果から推定した被曝影響は、放射性降下物の放射性微粒子による内部被曝が、爆心地から 1.2 km? 1.3 km における初期放射線の外部被曝に相当する深刻な被曝影響を広範な地域にもたらしたことを示しています。こうした内部被曝の影響を物理学的な線量測定によって明らかにすることは出来ません。

#### 放射性降下物被曝の方向性

ここで得た放射性降下物による被曝線量は、爆心地からの方向による違いがないとして、爆心地からの距離が同じ円環状の地域における放射性降下物による被曝線量の平均値として求めたものです。実際には被曝時の広島では、南東から北西に秒速  $1\text{ m} ? 3\text{ m}$  の風によって原子雲が移動しているので、放射性

微粒子も移動し、放射性降下物による被曝線量も爆心地からの方角によって違う可能性があります。しかし、上記のように爆心地からの距離だけに基づいた計算結果が意味を持つのは、放射性微粒子の分布が原子雲の広がった広範な地域に急速に広がって、風による影響が大きくなかった場合です。実際に原子雲の中心部分の頂上が地上十数 km の高度に達した時間は十数分後、原子雲の水平方向の広がりも 30 分程度で十数 km に達したと考えられるので、風による放射性微粒子の移動距離に較べてはるかに広い範囲に広がったと考えられます。放射性微粒子の風による移動の影響をさらに正確に知るためには、ABCC-放影研の LSS 広島集団の急性症状発症に関するデータを、方角ごとに区分したものに再集計したデータを解析する必要があります。

## 6 . LSS 集団以外の広島の脱毛発症率からの放射性降下物の評価

日本政府や裁判などで国側の証言をする放射線影響の研究者は、急性症状の発症率調査結果は被爆者の記憶の問題などさまざまな理由を挙げて、調査結果は信頼できないとして、調査結果から得られた被曝影響は信頼できないとする主張をくり返します。しかし、多くの調査結果は調査時期が異なるにもかかわらず、統計誤差の範囲内でほぼ一致した結果を与えています。原爆放射線による急性症状の発症は、被爆者にとっては「死の前兆」で「今度は自分が死ぬ番がきた」というきわめて深刻な忘れがたい出来事であるために極めて信頼性の高いものです。ABCC 以外の多くの脱毛調査結果は、次に示すようにほぼ一致しています。

脱毛の発症率について、ABCC による調査の行われる前には、1945 年の日米合同調査、東京帝国大学調査など多くの調査があり、ABCC の後にもさまざまな調査があります。図 5 に日米合同調査と東京帝国大学調査および 1957 年の於保源作医師による屋内被爆者で 3 ヶ月以内に爆心地から 1 km 以内に入らなかった広島直爆被爆者の調査を、LSS 広島集団の脱毛発症率とともに示しました。LSS 広島集団の 1.75 km から 2.75 km までの発症率は他の調査に較べて系統的にやや小さくなっていますが、これは 60 日以内に 67% 以上の重度脱毛発症だけを採用したためと考えられます。

LSS 集団の調査結果の解析と同様に図 3 の脱毛発症率と被曝線量の関係を表す正規分布を用いて、図 6 の脱毛発症率の調査結果を再現する被曝線量を求めると、図 6 の曲線によって示したようにきわめてよく調査結果を再現できます。

その時得られた被曝線量のパラメータを用いて、全被曝線量、初期放射線による被曝線量、放射性降下物による被曝線量は、それぞれ図6の調査に対応したマークを付した図7の太い破線、細い破線、太い実線となります。図7のように、すべての脱毛発症率調査から、3 km 以遠において日米合同調査が他の調査結果に較べて小さいことを除くと、ほぼ共通の傾向を示しています。とくに爆心地から約 1.2 km 以遠では放射性降下物による被曝が初期放射線による被曝

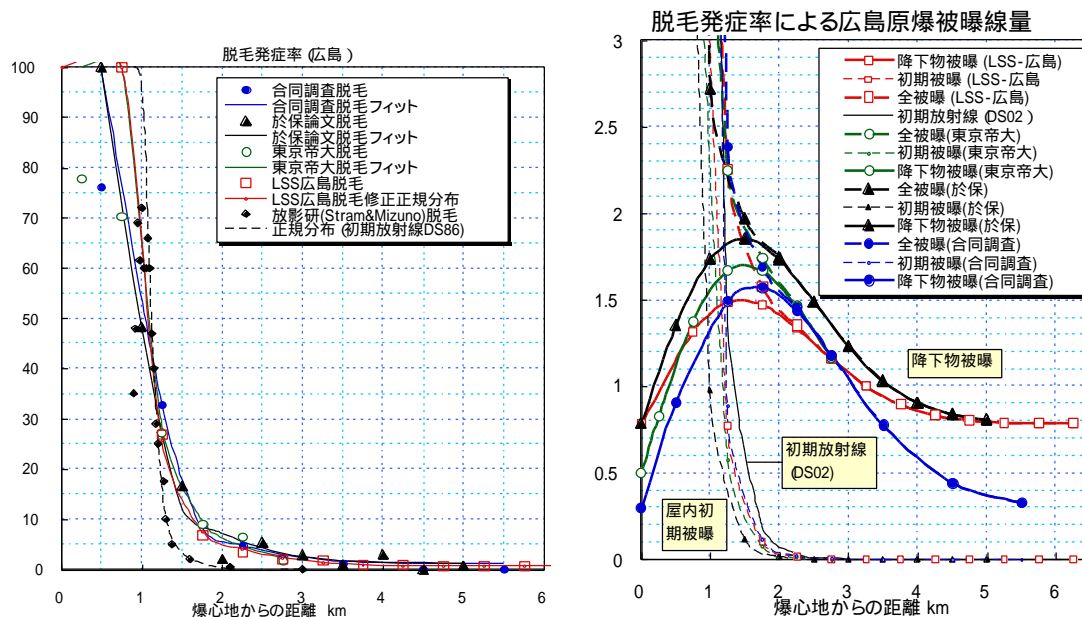


図6 さまざまな調査による広島原爆による脱毛発症率  
図7 脱毛発症率に基づく広島原爆による被曝線量評価

を上回ることは LSS 集団の調査から得られた結果と一致し、放射性降下物による被曝のピークは 1.4 ? 1.8 km で 1.5 グレイ ないし 1.85 グレイであり、4 km から 5 km 辺りで於保調査と LSS 集団の調査から得られた結果は共通の傾向を示しています。このことは、ここで採用したすべての脱毛発症率の調査は、統計的なばらつきを除いて信頼の置けるものであることを示しています。

### 7. 3種の急性症状発症率に基づく広島原爆の放射性降下物被曝の推定

次に、脱毛、紫斑、下痢という異なる 3 種の急性症状の発症率を、同じ被曝線量によって説明できることを示します。同じ被曝線量によって脱毛、紫斑、下痢の 3 種の発症率を同時に説明できれば、脱毛が被曝による精神的影響の結果であるとか、下痢が悪い衛生状態のためであるとかというこれまでの放影研や厚生労働省による詭弁も弄せなくなります。



以下で解析するのは、於保調査（日本医事新報、No.1746,21-25（1957））の 4 通りの調査の中の、屋内被爆で、かつ 3 ヶ月以内に広島爆心地から 1 km 以内に入らなかった被爆者の場合の脱毛、紫斑、下痢の発症率調査で、図 8 に示しました。屋内被爆で非中心地入市の調査結果を用いたのは、屋外被爆に多い火傷の影響と、爆心地付近の誘導放射化物質による被曝影響の混入を避けるため、この様な区分を行った調査は他にないので於保調査はきわめて貴重です。

図 8 の 印で示されているように紫斑の発症率は 印の脱毛の発症率とほぼ重なっているため、被曝線量と紫斑の発症率の関係は脱毛の場合と同じと考えられます。そこで被曝線量と紫斑の発症率の関係は脱毛について用いた、期待値が 2.751 グレイ、標準偏差 0.794 グレイの正規分布の関係を設定します。

これに対し、 印で示した下痢の発症率は、放射性降下物による影響が重要な爆心地から 1.5 km 以遠では、脱毛や紫斑の発症率よりかなり大きく、その一方で、初期放射線による外部被曝が主要な影響を与える近距離では、下痢の発症率は脱毛や紫斑に較べてむしろ小さくなっています。こうしたことを考慮すると、下痢については、初期放射線被曝については脱毛に用いた正規分布の半発症線量より大きい半発症線量の正規分布の式を用い、放射性降下物による被曝については脱毛に用いた正規分布の式より小さい半発症線量の正規分布を線量用いなければなりません。そこで、初期放射線被曝による下痢の発症率と被曝の関係には、脱毛の場合の半発症線量と標準偏差をともに 1.1 倍した半発症線量 3.026 グレイと標準偏差 0.873 グレイの正規分布を用います。これに対し、放射性降下物による下痢の発症率と被曝線量の関係には、脱毛の場合に用いた半発症線量と標準偏差をともに 0.72 倍して、半発症線量 1.981 グレイと標準偏差 0.572 グレイの正規分布を用います。こうして初期放射線被曝と放射性降下物による被曝を区別して下痢の発症率を再現する被曝線量を求めました。

於保調査の爆心地から 1 km の脱毛と紫斑の発症率を再現しようとする、初期放射線の遮蔽効果を表すパラメータの値が不自然に小さくなりました。於保調査は 1957 年に行われたので、1km の調査結果には LSS 集団においてみられた 3 グレイ以上の領域における発症率の過小評価と同様に、放射線感受性の強い人が除かれているために発症率が小さくなっている可能性が強いので、脱毛と紫斑に関しては 1 km 以内は解析から除外し、遮蔽効果を 0.5、すなわち 50% に固定して解析しました。LSS 集団の脱毛発症率の場合と同様の方法によって得られた於保調査の脱毛、紫斑および下痢の発症率に適合させた発症率曲線を



図8に示しました。この脱毛、紫斑、下痢のそれぞれの発症率曲線を与えるようにして求めた全被曝線量、初期放射線被曝線量、放射性降下物による被曝線量を、図9にそれぞれ印、印、印を付してDS02に基づく初期放射線量とともに示しました。図9に示されているように3種の異なる急性症状発症率

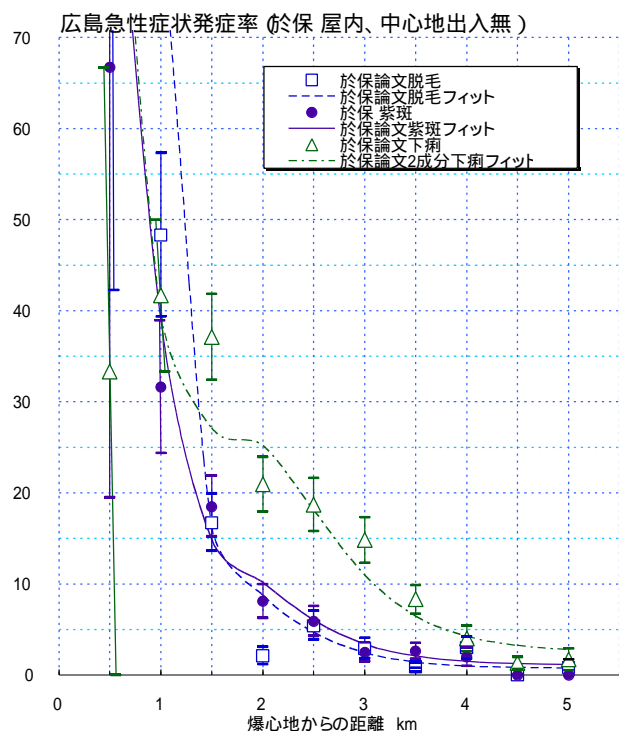


図8 広島原爆による急性症状(脱毛、紫斑、下痢)の発症率からほとんど一致する初期放射線被曝線量と放射性降下物被曝線量が得られたことは、遠距離における急性症状の発症原因が放射性降下物による被曝であることを裏付け、脱毛が精神的な影響とか、下痢が衛生状態の劣悪さとかによるものでないことを示しています。さらに、下痢の発症率と被曝線量の間を与える正規分布の半発症線量が、初期放射線被曝に対しては脱毛の正規分布の関係よりも大きく、放射性降下物に対しては小さくなったことは、以下のような外部被曝と内部被曝による下痢の発症機構の相違によって説明できます。

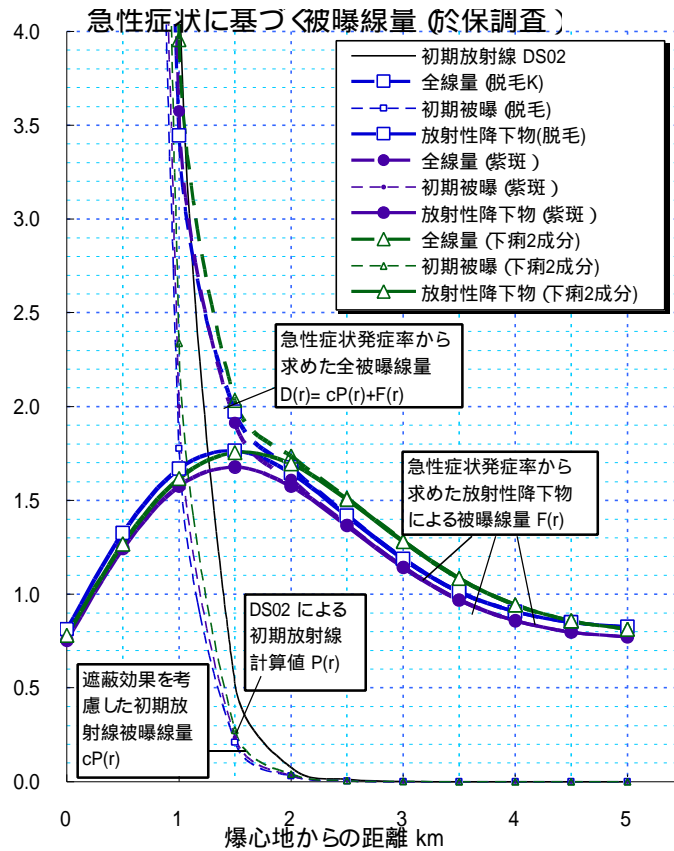


図9 3種の急性症状発症率に基づく広島原爆による被曝線量

### 放射線の透過力と電離作用の密度

一般に放射線が生体組織を通過するとき、組織を構成している DNA などの分子の電子にエネルギーを与え、分子を結合する役割を持っていた電子を分子から飛び出させて分子を切断します。これを電離作用と言います。電離作用に要するエネルギーは 10 電子ボルト以下です。ところが、通常の放射線の粒子 1 個は 1000 電子ボルトから数百万電子ボルトのエネルギーを持っていますので、1 個の放射線粒子は生体分子に数百箇所から数十万箇所の電離作用を引き起こします。電離作用によって切断された生体分子の大部分は、再び電子を取り戻して切断箇所を再結合させる修復機能によって復元します。しかし、修復できなかつたり、誤った復元を行うと、電離作用を受けた細胞が機能を失って死滅したり、障害を引き起こす原因となります。電離作用が分子の接近した箇所で行われるほど、すなわち電離作用の密度が大きいほど、誤った修復が起こりやすくなり被曝影響が大きくなります。透過力の強い初期放射線のガンマ線は、

生体内に入っても疎らな電離作用を起こすので、通過する距離が伸びてもエネルギーの損失が小さく、そのために透過力は強くなりますが、疎らな電離作用のために高線量でなければ被曝影響は小さくなります。これに対し、アルファ線は集中的に密度の高い電離作用を引き起こすので、数百万電子ボルトのエネルギーを持っていても、生体組織内ではせいぜい数十ミクロン走ってエネルギーをすべて失って静止します。ベータ線もアルファ線ほどではありませんが、比較的密度の大きい電離作用を行うので、透過力は弱くなり、生体内では数 cm 程度で止まってしまいます。

#### 内部被曝と外部被曝による下痢発症

内部被曝による下痢発症は、体内に摂取した放射性微粒子が腸の内壁に付着したり、毛細血管を通して腸壁の組織に接近して引き起こされます。放射性微粒子から放出された透過力の弱い放射線は腸壁組織に密度の濃い電離作用を引き起こし、薄い腸壁の膜に深刻な障害を与えて下痢を引き起こします。この被曝は微粒子が一定時間残留して継続的な被曝を与えるので、症状は慢性なものとなる場合もあります。これに対し、初期放射線による瞬間的な外部被曝の場合には、透過力の強いガンマ線が体外から腸壁まで到達可能ですが、到着したガンマ線は薄い腸壁の粘膜にはほとんど障害を残さないまま通過するので、初期放射線のガンマ線は致死的高線量でなければ下痢を発症させません。

#### 内部被曝影響の評価

以上のように、被曝実態から学ぼうとする謙虚な視点からの研究によって、下痢発症の内部被曝と外部被曝の機序の相異を知ることが可能になります。とりわけ、外部被曝では透過力の強い放射線が重要になりますが、内部被曝の場合には透過力が弱い放射線が密度の高い電離作用によって、局所的に深刻な被曝影響をもたらすので、これまでの厚生労働省や放影研、さらに国際放射線防護委員会のように、体重 1 kg 当たりの平均的吸収エネルギー、すなわち吸収線量のグレイによって、外部被曝と同じように内部被曝を評価すると内部被曝の深刻さを見落とすことになります。しかし、内部被曝の被曝影響を評価する適切な単位がない現状では、この意見書でこれまで用いてきたように、ガンマ線あるいは X 線による瞬間的な外部被曝による吸収線量（単位はグレイ）と同等な急性症状発症率を与えるものとしてグレイを用いて内部被曝の影響を表現する他はありません。

### 8.3 種急性症状発症率に基づく長崎原爆の放射性降下物被曝の推定

爆心地から 5 km までの急性症状発症率については、1945 年に長崎医科大学の調来助らが行った調査（「長崎ニ於ケル原子爆弾災害ノ統計的觀察」第 4 編（『長崎原爆体験?医師の証言?』（東京大学出版会、1962 年）に再掲）における脱毛、紫斑、下痢の発症率を図 10 の 印、 印および 印によって表しました。遠距離の急性症状発症率については、長崎市と長崎県が 1999 年から 2000 年にかけて実施した爆心地から 12 km 以内の「原子爆弾被爆未指定地域証言調査」（『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書』（2000 年））における設問事項の「問 9 原爆が投下された直後から 6 ヶ月（1946 年 2 月まで）の間にあらわれた症状」の中で、「毛が抜けた」、「皮膚にはんてんが

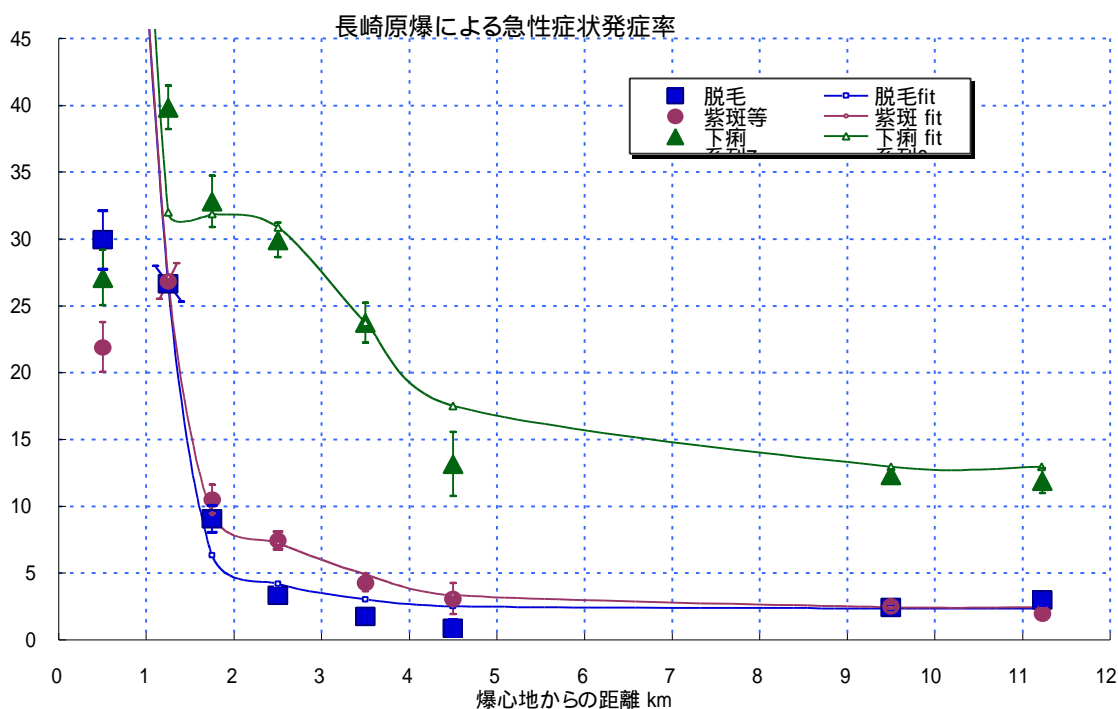


図 10 長崎原爆による急性症状（脱毛、紫斑、下痢）の発症率

出た」および「下痢」の症状を、原爆放射線による急性症状の脱毛、紫斑および下痢として長崎市の調査区域と長崎県の調査区域のそれぞれの平均発症率を求めて図 10 に示しました。長崎市が調査した現在長崎市内となっている地域（茂木、日見、矢上、石戸、古賀、式見三重、深堀）は爆心地からの平均距離 9.5 km、有効回答数 5,875 人であり、長崎県が調査した長崎市外の周辺地域（香焼、伊王島、時津子々津郷、琴海西海郷、多良見、飯盛田結）は爆心地からの平均距離 11.2 キロメートル、有効回答者数 1,211 人です。 図 10 に示されて

いるように脱毛と紫斑の発症率の爆心地からの距離による振る舞いは、山の影響を受けている可能性もある 3 km 付近を除いてほぼ一致しています。下痢の発症率は広島と同様に爆心地から 1 km 以内では発症率が小さく、爆心地から 1.5 km を超えると脱毛や紫斑の発症率を大きく上回り約 5 倍となっています。爆心地から 1 km 以内では大部分の被爆者が死亡しており、わずかに生き残った被爆者は急性症状に対する抵抗力が強かったことと、初期放射線の遮蔽効果がきわめて大きく影響したと考えられるので、爆心地から 1 km 以内は解析から外しました。そこで広島と同じ被曝線量と発症率の関係を与える正規分布を用いて、図 10 の脱毛、紫斑、および下痢の発症率に適合させるように被曝線量のパラメータの組を求めると図 10 の発症率の細かい曲線を得ます。このパラメータによって与えられる全被曝線量、初期放射線による被曝線量、放射性降下物による被曝線量を求めると図 11 に示す被曝線量を得ました。図 11 には DS02 による初期放射線量（ガンマ線および中性子線の吸収線量の合計）を細かい実線によって示してあります。広島同様に長崎原爆の放射性降下物の被曝影響は爆心地から 1.2km 辺りで初期放射線による被曝影響を上回り、脱毛による推定では 1.2? 1.3 km、紫斑と下痢では 1.7? 1.8 km で最大値になり、以後 4 km 辺りまでやや減少し、さらに調査の行われた 12 km までほぼ一定値を示します。この一定値は約 1.25 グレイないし 1.33 グレイでこの部分の被曝線量は広島原爆に較べて約 1.6 倍大きい値です。これは長崎原爆の爆発エネルギー、放射性降下物に加わった広島原爆のウランの約 3 万倍強い放射能のプルトニウム、さらに中性子によって誘導放射化された原爆機材と容器の量が広島原爆よりもかなり多かったことなどからの予想と一致しています。

#### 西山地域の測定値との比較

従来原爆症認定基準に採用されてきた長崎の爆心地から東方約 3 km の西山地域の放射性降下物による累積被曝線量 0.12 グレイないし 0.24 グレイを図 11 の×印で示しました。爆心地からの距離が西山地域と等しい円環状の地域における放射性降下物による被曝線量は 1.3 グレイないし 1.6 グレイである。これは物理学的測定に基づく降下物による最大被曝線量の西山地域に比して 5 倍ないし 13 倍の被曝線量が広い円環状の地域に広がっていることを示しています。この結果は、物理学的に測定したものは放射性降下物の一部に過ぎないことと、放射性微粒子の体内への摂取による内部被曝が重要であったことを示しています。

広島と同様、下痢の発症率の被曝線量との関係において、近距離で主な影響を受けた初期放射線による外部被曝と遠距離において主な影響を受けた放射性降下物による内部被曝とでは、脱毛や紫斑よりも前者では正規分布を被曝線量の高い側に移動させたものを用い、後者では逆に正規分布を線量被曝の低い側に移動させたものを用い、図 11 に示したように、脱毛や紫斑の発症率から求めた被曝線量とほぼ一致した結果を得ました。このことは国際放射線防護委員

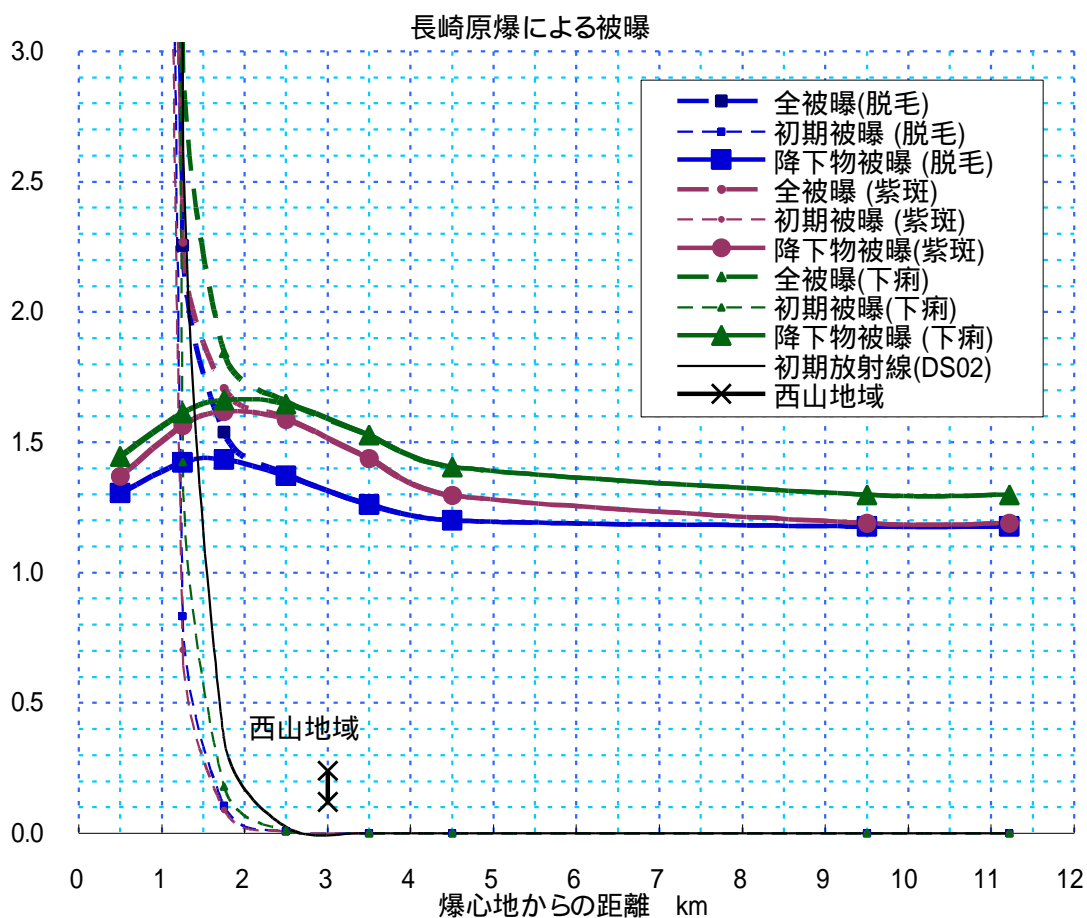


図 11 急性症状発症率に基づく長崎原爆による被曝線量評価

会が、ガンマ線とベータ線の生物学的効果比 RBE を同じ 1 として内部被曝に適用する不合理性を、長崎原爆の急性症状発症率からも裏付けることになりました。

ここで求めた放射性降下物による被曝影響は、爆心地からの方向によらないで爆心地からの距離の同じ円環状の地域についての平均値です。被曝時の長崎では、西から東に秒速 3 m の風によって原子雲が移動しているため、放射性微

粒子による被曝影響は、長崎でも広島同様に爆心地からの方角によって相違が現れる可能性があります。原子雲の形成と四方へ広がる速度が大きく、放射能が弱くなる前に放射性降下物による被曝をしたために秒速 3 m の移動の影響が急性症状の発症率の方向性に強く現れなっただと考えられます。

#### 9. 放影研が遠距離被爆者を実質上コントロール集団としている問題

ABCCとこれを引き継いだ疫学研究は被爆者どうしを比較しているので低線量被曝の影響についての研究には問題があると指摘されていました。本来、原爆放射線による被曝影響を調べる場合には全く被曝しない集団をコントロール集団として選ばなければなりません。ブレーメン大学のシュミッツ-ホイエルヘイケ教授は放影研の疫学調査において被爆者の相対リスクを求める際に遠距離被爆者または入市被爆者（NIC）をコントロール集団に用いていることに疑問を持ちました。そこで彼女は、1982年、日本人の平均死亡率あるいは発症率をコントロール集団として放影研がコントロールとした遠距離被爆者と入市被爆者の標準相対リスクを求めました（I. Schmitz-Feuerhake, Health Phys. 44, 693-695 (1983).）。その結果が図12です。

図12の中で 印がT65Dによる被曝線量 0? 0.09 グレイの遠距離被爆者（55,134人）の標準相対リスク、 印が入市被爆者（NIC、26,523人）の標準相対リスクです。標準相対リスクは遠距離被爆者あるいは入市被爆者の死亡率あるいは発症率を日本人平均の死亡率あるいは発症率で割ったものです。したがって標準相対リスクが 1 であれば日本人平均と死亡率や発症率が同じであることとなります。全死亡原因、全疾病などは 1 より小さくなっていて、放影研のコントロールとされた遠距離被爆者とNICは日本人平均より一般的には健康であることとなります。

ところで、悪性腫瘍、呼吸器系癌などの標準相対リスクは 1 よりかなり大きく、特に放射線影響が顕著な女性乳がん、甲状腺がん、白血病の発症率はかなり大きく、残留放射線による被曝影響の存在を示しています。白血病によるNICの死亡相対リスクが 1 より小さいことに疑問を持ったシュミッツ-ホイエルヘイケ教授は 1950年まで入市したNICの中から30日以内の早期入市者のみ選ぶと白血病の死亡率は図12の真ん中に小さな で示したように標準相対リスクが約 2 になることも示しています。

彼女は放影研が疫学研究のコントロールと呼ばれる比較対照群に遠距離被爆



者と入市被爆者を選んだことを批判して、放影研がこうした被爆者を日本人平均と比較して研究すれば低線量被曝の研究に大きな貢献をいただけるかと論文に述べています。

疫学研究においてコントロール集団を設定する方法を外部比較法と呼びます。外部比較法で遠距離被爆者や入市被爆者をコントロール集団に選ばば放射性降下物による被曝や誘導放射化物質からの残留放射線による影響は消し去られてしまいます。これはABCCやこれを引継いだ放影研の研究設計が初期放射線の影響だけを研究する意図と合致しています。しかし、残留放射線の影響を受けて

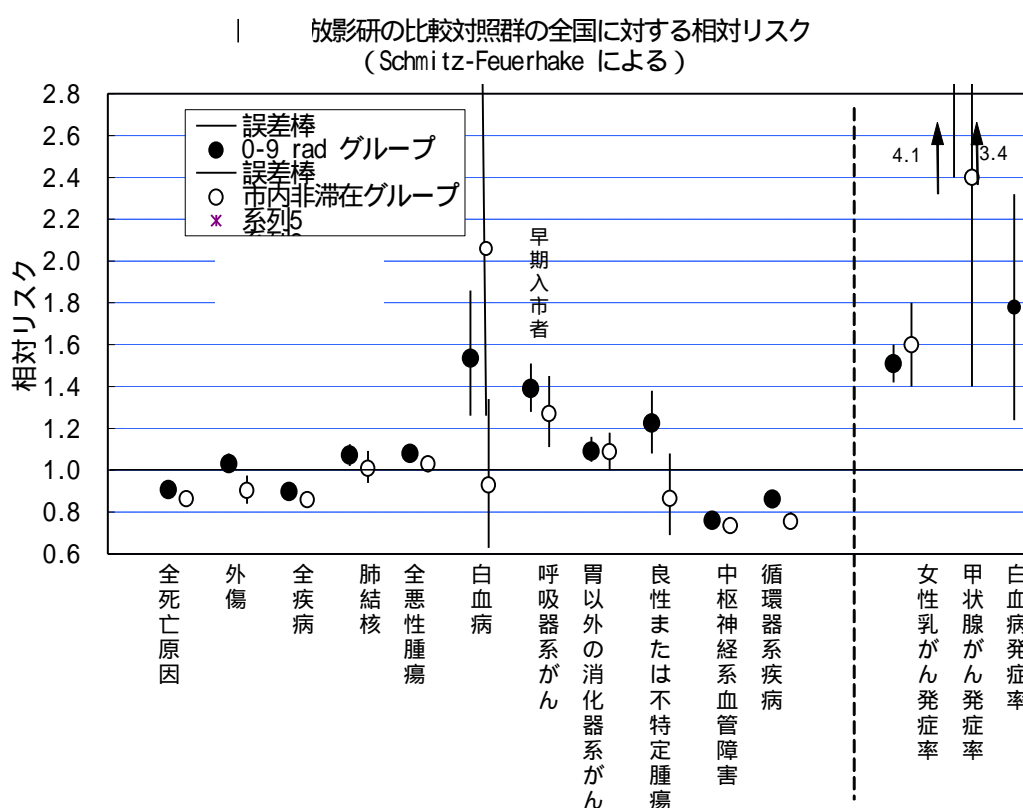


図12 放影研の比較対照群（コントロール）の全国に対する相対リスク  
 いる被爆者にこうした放影研の研究結果を適用すべきでないことは明らかです。シュミッツ-ホイエルハイケ教授の指摘の後、T65Dに替わる初期放射線による被曝線量を評価する1986年原爆放射線線量評価体系（DS86）が作成されると、放影研はDS86に基づいて、LSSの初期放射線被曝線量 0.005 グレイ未満の区分（極低線量被爆者）に属する被爆者を原爆放射線による被曝をしていない比較対照群（コントロール）として、がんを含む様々な疾病の発症率と死亡率を比較してリスクを求めていました。これに対して、残留放射線の影響を無視して



被爆者どうしを比較しているのに、初期放射線に被曝していない遠距離被爆者や入市被爆者に対する残留放射線による被曝影響がわからなくなるという批判が引き続き行われてきました。そこで1990年代に入ってから、放影研は、DS86、最近ではDS02による初期放射線被曝線量を確率変数とするポワソン回帰分析によって、初期放射線推定被曝線量 0.005 グレイ以下の区分の集団も含め、比較対照群を設定しない内部比較法によってリスクを求めています。しかし、後に示すように内部比較法の場合でも、確率変数を初期放射線とする限り、0.005 グレイ以下の区分の集団は初期放射線被曝が0の軸に接していて、ポワソン回帰分析による被曝線量ゼロの死亡率や発症率は、0.005 グレイ以下の区分の集団の死亡率や発症率と実質上等しく、残留放射線による影響を評価することは不可能です。

#### ポワソン回帰分析を用いた内部比較法

放影研は確率変数（後掲の図の横軸）として初期放射線被曝線量  $D$  シーベルト(Sv) をとって、 $0 \leq 0.005$  Sv、 $0.005$  Sv  $\leq 0.01$  Sv、 $0.01$  Sv  $\leq 0.02$  Sv、……と区分分けしています。ある事象が起こるか起こらないか 2 者択一の場合の分布はポワソン分布になることが知られています。そこで、LSS のそれぞれの区分内の調査期間内におけるがんによる死亡数はポワソン分布に従うと仮定すると、平均値  $m$  と分散（標準偏差の二乗で、データーのばらつき具合を示す指標） $m$  とは等しいというポワソン分布の特徴を利用して、区分内の被曝線量の平均値  $D$  シーベルトにおける死亡数  $m$  から分散  $m$  が求められます。平均値  $m$  の統計誤差に相当する標準偏差は分散の平方根  $\sqrt{m}$  であり、相対誤差は  $\sqrt{m} / m = 1 / \sqrt{m}$  となって相対誤差が小さいほどその区分の平均値の精度は良いこととなります。

区分に属する人数  $\times$  年数を  $n$ 、この区分に属する人が 1 年間にがんで死亡する確率を  $p$  とすると、調査した年間にこの区分の人ががんで死亡する人数の平均値は  $m = n \times p$  となります。確率  $p$  を絶対リスクと呼びますが、通常 1 万人年当たりの発症数を絶対リスク（Absolute Risk, AR）と呼んでいます。こうした精度も考慮し、区分  $0 \leq 0.005$  Sv から高線量の区分までの絶対リスク全体を統計学的にもっともよく表していると考えられる直線  $AR(D) = a \times D + AR(0)$  を求め、これを回帰直線と呼びます。 $D$  は被曝線量で  $a$  は被曝線量が 1 シーベルト増加するごとに増加する絶対リスクで  $AR(0)$  は被曝線量  $D = 0$  のときの絶対リスクで、被曝線量ゼロのところでは回帰直線が交わったところです。ポワソ

ン回帰分析では、この値を被曝していない人の絶対リスク  $AR(0)$  とします。放影研では、確率変数  $D$  を初期放射線被曝線量にとっているので、被曝線量ゼロというのはあくまで初期放射線被曝線量がゼロであり、放射性降下物による被曝線量を加えた全被曝線量がゼロではないことです。

放影研の疫学研究では初期放射線による最低被曝線量区分を  $0 \sim 0.005$  Sv としていますが、 $0.005$  Sv の区分では図に表すのが難しいので、ここでは区分を10倍粗くして  $0 \sim 0.05$  Sv の区分として、具体的に図13に示した放影研のLSSの被曝時30才の男性の1950年から1990年の固形癌の死亡絶対リスクについて説明します。図13の印は初期放射線被曝線量区分ごとの固形癌死亡絶対リスクで、初期放射線被曝線量がゼロに近いLSSの区分は人数が多いので統計精度がよいので誤差を表す縦棒は短くなっています。従来放影研が採用していた外部比較法では図13の初期放射線被曝線量が  $0 \sim 0.05$  Sv の区分に入っている遠距離被曝者を放射性降下物による被曝は無視できるとしてコントロール集団に選び、この区分の絶対リスク  $AR_{0 \sim 0.05} = 0.1054$  を被曝していない集団の絶対リスクとし、初期放射線による被曝線量の平均値が  $D$  Sv の区分の絶対リスク  $AR(D)$  を絶対リスク  $AR_{0 \sim 0.05} = 0.1054$  で割って被曝線量が  $D$  Sv のときの相対リスク  $RR(D)$  を求めていました。すなわち外部比較法では  $RR(D) = AR(D) \div 0.1054$  として求めていました。

ポワソン回帰分析による内部比較法では、絶対リスクの増加は被曝線量に比例すると仮定し、印で示された固形癌死亡絶対リスクを、統計学的に誤差棒で表された精度も考慮して、絶対リスクの全体をもっともよく再現しているとされる回帰直線を求めます。求めた回帰直線の勾配は  $a = 0.02496$ 、切片は  $AR(0) = 0.1048$  となり、図13の赤い色の直線  $AR(D) = 0.02496 \times D + 0.1048$  となります。このように回帰直線上の初期放射線被曝ゼロの絶対リスク  $AR(0) = 0.1048$  は  $0 \sim 0.05$  Sv の区分の絶対リスクの平均値  $AR(0 \sim 0.005 \text{ Sv}) = 0.1054$  とほとんど同じ値(四捨五入すると  $0.105$  と同じ値になる)、すなわち、 $AR(0) \approx AR(0 \sim 0.05 \text{ Sv})$  となります。この状況は図13の初期被曝線量が0の近くを拡大した図14を見ればいっそう明らかになります。したがって、原因確率を計算する基礎となる被曝線量  $D$  Sv の区分の相対リスク  $RR(D) = AR(D) / AR(0)$  を計算すると、内部比較法と言っても確率変数を初期放射線被曝線量にとっている限り、初期放射線の最小の区分を比較対照群にした外部比較法と実質上同じ結果になります。放影研の実際の最小区分は  $0 \sim 0.005$  Sv なので

AR(0)の値はさらに最小区分の  $AR_{0? 0.005 Sv}$  とほとんど等しくなります。このよ

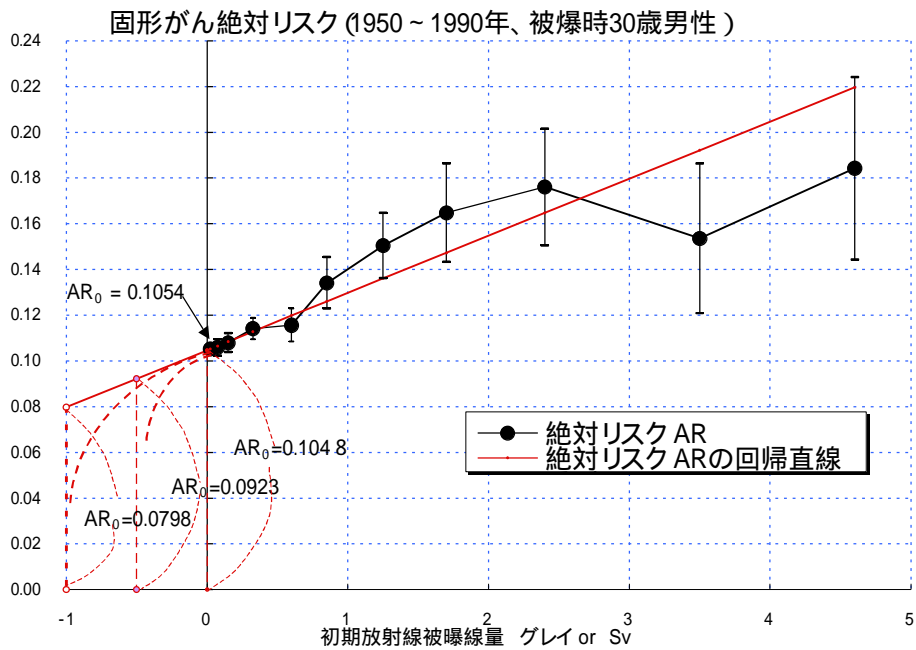


図 13 LSS の被爆時 30 才男性の固形癌の絶対リスクと回帰直線

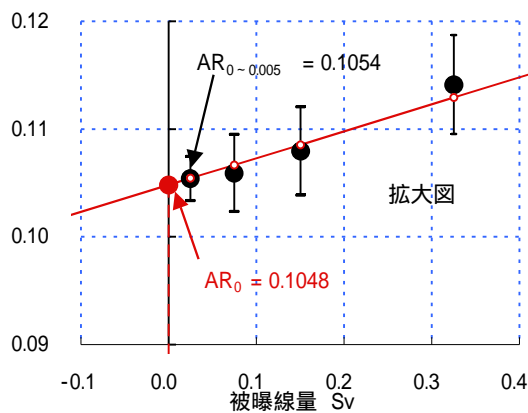


図 14 図 13 の初期放射線被曝線量 0 付近の拡大図

うに確率変数を初期放射線被曝線量にとる限り、遠距離被爆者が放射性降下物による被曝影響を受けていても、その影響を完全に無視して非被爆者として実質上コントロールとすることになります。すでに5から7に示したように、初期放射線による被曝をしていない遠距離被爆者は放射性降下物によって内部被曝を含めて広島爆心地から2 kmで1.4 Sv? 1.7 Sv、6 kmで0.8 Sv、長崎爆心地から2 kmで1.4 Sv? 1.65 Sv、12 kmで1.2 Sv? 1.3 Svの被曝をしていると推定されていますから、これら遠距離被爆者を非被爆者とするのは放影研の被曝影響の研究に深

刻な疑問を生じさせます。すなわち初期放射線による被曝線量が0とされた被曝者は放射性降下物による被曝を平均して1 Sv以上を被曝しているのに、真に被曝していない集団の絶対リスクは回帰直線を図13に示したようにさらに初期放射線被曝のマイナス側に1 Sv以上延長して求める必要があります。

また、放影研の寿命調査集団LSSには高線量被曝のため1950年まで生存した被曝者のみ含まれています。このことは、図13の3 Sv以上の絶対リスクが3 Sv以下の絶対リスクの増加傾向から外れて、横這い傾向になっていることによって示されていると考えられます。この傾向は先に図5に示した被曝線量3 Sv以上の領域における脱毛の発症率における傾向と一致しています。LSSのこの傾向を考慮して、3 Gy以下のデータだけを用いて回帰直線を求めると、回帰直線の傾きが大きくなり、実際の被曝線量0の絶対リスク $AR_0$ はさらに小さくなり、相対リスクはさらに大きくなる。このように残留放射線を無視した放影研の疫学研究による相対リスクは、これを用いた原爆症認定基準が被曝実態から大きくかけ離れる原因となっています。

#### 10. 広島遠距離被曝者の悪性新生物死亡率

放影研の研究設計では初期放射線被曝の影響だけの研究に重点が置かれ、放射性降下物による被曝を考慮していません。放射性降下物による被曝影響を考慮し、真の非被曝者をコントロールに採用した場合と比較すると、放影研の求めた固形癌の過剰相対リスクは大幅な過小評価になることを具体的に示します。

広島大学原医研は、広島県在住の被曝者（被曝者健康管理手帳所持者）のさまざまな障害による死亡率を、被曝者を除く広島県民の死亡率と比較していません（栗原ら「昭和43年?47年における広島県内居住被曝者の死亡統計」広大原医研年報22号:235-255, 1981。早川ら「昭和48年?52年における広島県内被曝者の死因別死亡統計」広大原医研年報26号:134-147, 1985。N. Hayakawa et al, Mortality Statistics of Major Causes of Death among Atomic Bomb Survivors in Hiroshima Prefecture from 1968 to 1982, Hiroshima J. Med. Sci. Vol.38, 53—67, 1989）。これらの研究の中から1968年から1972年の爆心地から1km以内、1?1.5km、1.5?2km、2km以遠の直爆被曝者と広島県民の非被曝者の男女別と男女全体について悪性新生物による死亡数と年間死亡率を取り出すと表3のようになります。被曝者を除く広島県民をコントロールにして表3の悪性新生物死亡率から、爆心地から1km以内、1km?1.5km、1.5km?2km、2km以遠の直爆被曝者、および非被曝者の男性、女性、男女全体について、相対リスク

と過剰相対リスクを求めると表4のようになります。表4には、DS02による初期放射線被曝線量、5において求めた放射性降下物による被曝線量、全被曝線量および表3の死亡率から求めた悪性新生物による過剰相対死亡リスクを示しました。

表4の過剰相対リスクを初期放射線被曝線量だけを用いて示すと図15の印になります。図15に見られるように、過剰相対リスクは、初期放射線被曝0

表3 広島大学原医研による広島県被爆者の悪性新生物年間死亡率

	直爆被爆者					被爆者計	非被爆者
	1 km 以内	1? 1.5km	1.5? 2km	2km 以内計	2km 以遠		
男性							
1968--72 年 観察人年	19,637	42,025	60,505	122,167	75,968	370,343	3,537,580
悪性新生物 死亡数	99	191	210	500	284	1,729	6,700
年間死亡率	0.504	0.454	0.347	0.409	0.374	0.467	0.189
女性							
1968--72 年 観察人年	18,968	61,222	172,919	153,109	116,992	421,266	3,884,180
悪性新生物 死亡数	58	170	153	381	276	1,037	5,451
年間死亡率	0.306	0.278	0.210	0.249	0.230	0.246	0.140
男女合計							
1968--72 年 観察人年	38,605	103,247	133,424	275,276	192,960	791,609	7,421,760
悪性新生物 死亡数	157	361	363	881	560	2,766	12,151
年間死亡率	0.407	0.350	0.272	0.320	0.290	0.349	0.164

の非被爆者の0から、爆心地から2 km 以遠の遠距離被爆者の初期放射線被曝線量0.0025 グレイにおける過剰相対リスクの値1.011まで跳び上がり、印全体を一本の直線によって近似する回帰直線を求めることは困難になります。放影研のように非被爆者をコントロールにしないで、初期放射線被曝のみを認め、過剰相対リスクが1.011の2km 以遠の遠距離被爆者を、放射線をあびていないとしてコントロールとすると、表3に示されているように年間死亡率は、爆心地から1.5 km? 2 km の直爆被爆者の方が2 km 以遠の被爆者より男女とも小さいので、爆心地から1.5 km? 2 km の直爆被爆者の過剰相対リスクが表4と図15の印に示されているようにマイナスになるという問題が生じます。この理由を合理的に説明する必要がありますが、2 km 以遠も1.5 km? 2 km のどちらの

領域においても放射性降下物による被曝が大きな影響を与えていることから地形や地域差の影響がもっとも大きいと考えられます。放影研の疫学調査のように 2 km 以遠の被曝者をコントロールとして 印全体を表す回帰直線を求めると図 15 の細い点線となり、この直線の勾配すなわち 1 シーベルト当たりの過

表 4 原医研による広島県被曝者の悪性新生物による死亡リスク

	直曝被曝者				非被曝者
	1 km 以内	1? 1.5km	1.5? 2km	2km 以遠	
初期放射線平均被曝線量	1.614	0.77	0.1	0	0
放射性降下物平均被曝線量	2.27	1.469	1.458	0.85	0
合計平均被曝線量	3.884	2.239	1.558	0.85	0
男性					
過剰相対リスク RR	1.6667	1.4021	0.8360	0.9788	0
同上放影研式 ERR	0.3476	0.2139	?0.0722	0	?
1 シーベルト当たり ERR 原医研方式 0.63、放影研方式 0.21					
女性					
過剰相対リスク ERR	1.1857	0.9857	0.5000	0.6857	0
同上放影研式 ERR	0.2966	0.1780	?0.1102	0	?
1 シーベルト当たり ERR 原医研方式 0.43、放影研方式 0.19					
男女合計					
過剰相対リスク ERR	1.4817	1.1341	0.6585	0.7683	0
同上放影研式 ERR	0.4034	0.2069	?0.0621	0	?
1 シーベルト当たり ERR 原医研方式 0.53、放影研方式 0.23					

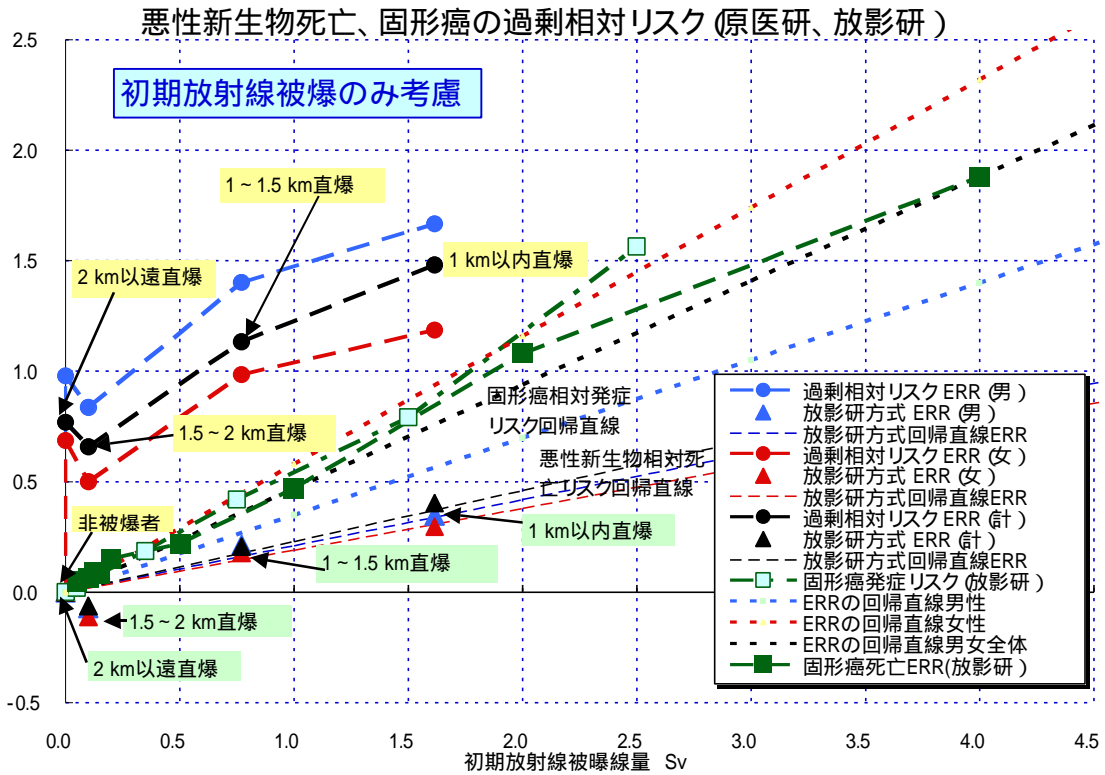


図 15 初期放射線被曝線量と悪性新生物、固形癌発症・死亡過剰相対リスク ERR

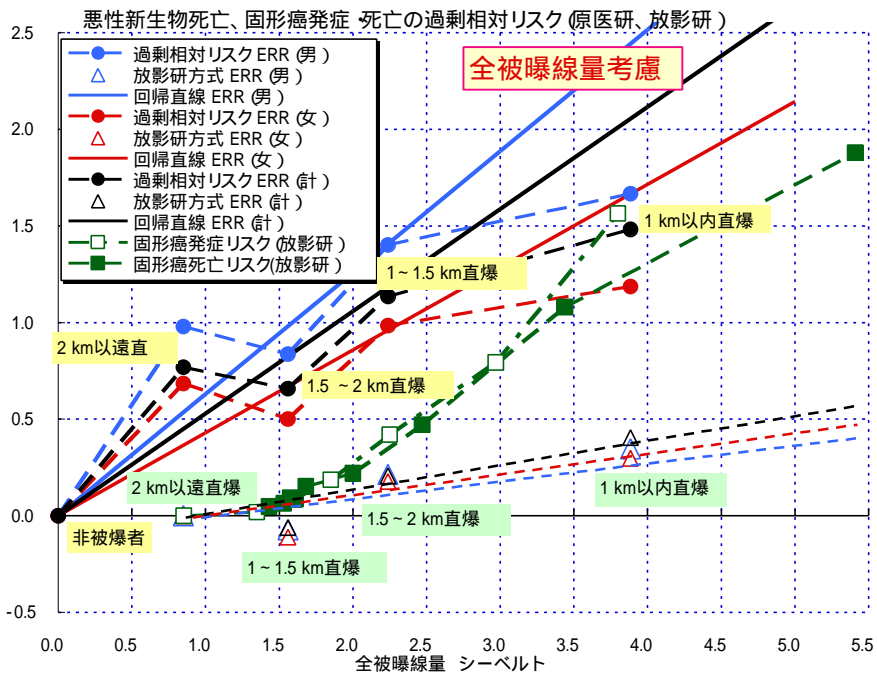


図 16 全被曝線量と悪性新生物死亡（原医研）、固形癌発症・死亡（放影研）の過剰相対リスク ERR の関係

剰相対リスク ERR の増加は男性 0.21、女性 0.19、男女全体で 0.23 となります。初期放射線被曝に放射性降下物被曝線量を加えた全被曝線量を用い、広島県民の非被爆者をコントロールとして過剰相対リスクを示すと図 16 の 印になり、図 15 に示された過剰相対リスクとまったく異なる振る舞いになります。この印を全体的に表す回帰直線を求めると図の実線になり、この実線の勾配、すなわち真の非被爆者をコントロールにした 1シーベルト当たりの過剰相対リスクは、男性で 0.63、女性で 0.43、男女合計で 0.53 となり、図 15 に示した放影研の方式に対し、男性は 3 倍、女性は 2.3 倍、男女全体でも 2.3 倍となりました。このことは、放射性降下物による内部被曝を含む被曝影響を無視したために、放影研の疫学が如何に晩発障害についても大きな過小評価をもたらすかを示しています。図 16 には爆心地から 2 km 以遠の直爆遠距離被爆者をコントロールにした放影研方式の場合の過剰相対リスクを 印で示し、 印を表す回帰直線を点線で示しました。実線で示した放射性降下物の影響を考慮した回帰直線と点線で示した放影研の疫学研究的回帰直線では 1 シーベルト当たりの過剰相対リスクの増加の大きな相違を反映して如何に大きな過小評価をしているかがわかります。

初期放射線による被曝は瞬間的な外部被曝であり、初期放射線による被曝影響のみに集中した研究を行ってきた放影研では、放射性降下物の被曝影響の研究がされてこなかったために外部被曝と内部被曝の相違や内部被曝特有の問題に関する研究がおろそかにされてきました。福島原発事故による被曝影響も内部被曝が主要な影響を与えていると考えられるので、残念ながら放影研の研究に依拠した ICRP、IAEA、UNSCEAR などの基準の適用性には大きな疑問が残ったままです。こうして従来指摘されてきた放影研、ICRP、IAEA、UNSCEAR を中心につくられた問題点を含む放射線防護基準の信頼性回復にはほど遠いことがわかります。

広島大学原医研が行ったと同様に、各種原因による死亡率と各種障害の発症率について長崎県内在住被爆者と長崎県民との比較が行われることが望まれます。長崎では、原爆被爆者として被爆者健康手帳の所持者が旧長崎市と僅かな隣接地域に限られています。しかし、7 において示したように、爆心地から 12 km まで放射性降下物による被曝線量は広島原爆の爆心地から 6 km 付近までの被曝線量の約 1.5 倍の被曝をしていると推定されることから、原爆体験者手帳を支給された爆心地から 12 km の人々を、支給されるはずであった物故者も含め



て調査することが望まれます。

#### 11．原爆の放射性降下物による被爆と福島原発事故の放射線被曝

100万kW出力の原子炉を1日運転すると核分裂の連鎖反応によって広島原爆の約3発分、1年間で約1000発分の核分裂生成物が原子炉压力容器内の燃料棒内に蓄積します。爆発事故を起こした福島第一原発の1号炉、2号炉および3号炉の出力を合計すると約200万kW、運転年数を考慮すると広島原発の数千発分の核分裂生成物が压力容器内に蓄積していたところで、冷却水を喪失して水素爆発を起こしました。爆発による压力容器や配管の損傷によって、高温で気化しやすいものが大気中に放出され、残りの核燃料や放射性物質はメルトダウンによって原子炉容器に孔をあけ格納容器内および地下水に滞留しています。経産省保安院は広島原爆の160発分のセシウム137が放出されたとし、広範囲に蓄積されたセシウム137と134からの推定では広島原爆の20発ないし30発分とされています。

このように福島原発の水素爆発によって大量の放射性物質が環境に放出されましたが、急性症状を発症したという明確な報告はまだありません。原発の事故収束のために福島第一原発の内部に入ったり、周辺部で作業した労働者が、問題のある東電と経産省保安院の放射線防護体制のために500ミリシーベルト以上の被曝をした人が十数人以上いるとされていますが、これらの人々の間に急性症状が発症したかどうかは発表されていません。さらに、作業に関わったが今なお把握できない労働者も多数存在し、これら不明者の中に急性症状を発症した人がいるかも知れません。また、子どもたちの間に鼻血が起こったと報道されていますが、これらが急性症状と見られるかどうかはまだ判然としません。こうした事情はさらに明確にされねばなりません。こうした場合を除くと、爆発直後に原発の周辺地域の避難が遅れた人々を除いて、100ミリシーベルトを超える被曝をして、急性症状の発症を懸念される人はほとんどいなかったと考えられます。

これに対し、すでに述べたように、広島・長崎原爆の放射性降下物による被曝は、広島で爆心地から6km以内で800ミリシーベルト以上、長崎では爆心地から12kmで1200?1300ミリシーベルト以上の平均的被曝線量によって、1%程度と発症率は小さいが急性症状が発症しています。福島原発に比べて放出された放射性物質が2桁?3桁も少ないにも関わらずこのようなパーセントレベ

ルの急性症状を発症する被爆をすることになったのは、原爆の場合、核分裂によって生成された放射性物質が水滴をつくって原子雲を形成して飛散・拡散を一定程度抑え、原子雲の下に大量の放射性微粒子を充満させて放射能が弱くなるまでに被爆者のところに運ばれたためと考えられます。このことは次のように説明できます。

まず原爆の核分裂の連鎖反応は 100 万分の 1 秒以内に終了し、その間に爆弾容器を貫いてガンマ線と中性子線が放出されました。ガンマ線の大部分は周辺の大気の原子核に吸収されて超高温・超高压の火球「小さな太陽」をつくりました。100 万分の 1 秒の短時間では爆弾容器は数 cm も動いていないので、核分裂生成物、連鎖反応をしなかったウランあるいはプルトニウム、中性子吸収によって誘導放射化された爆弾容器や機材などの放射性原子核は火球の中央部に残っていました。火球は膨張してその表面部の外側にショックフロントと呼ばれる大気の高圧部をつくり、火球の膨張速度よりショックフロントが広がる速度の方が大きくなると、火球から離れて秒速 1 km を超える衝撃波となって広がり、衝撃波とその前面の大気の圧力差によって爆風がつけられました。この点で火薬の爆発による爆風と原爆の爆風間に大きな違いがあり、そのため放射性物質は火薬の爆発のように飛散しないで火球の中に閉じ込められました。

火球は秒速 200 m ないし 300 m で急上昇し、温度を下げて火球の中にあつた放射性物質は大気中の水分をとらえて水滴の核になり、原子雲を形成しました。原子雲の中央部は強い上昇力で対流圏と成層圏の境界の圏界面（地上約 10 km）を突き破り、10 分余りで地上約 16 km の高度に達しましたが、水滴が急成長して重くなったために、原爆爆発後 15 分後から始まる放射性降雨になりました。

上昇する原子雲の周辺部は圏界面に達すると上昇力を失って、後ろから突き上げてくる上昇気流に押されて圏界面に沿って時速数十 km で四方に広がりました。この部分の原子雲の水滴は小さく、降下すると水分を蒸発させて放射性微粒子となりました。こうして放射能がまだ強い 30 分程度の時間内に放射性物質を爆心地から 10 km あまりの範囲に運んで被爆者に急性症状を発症させることにつながったと考えられます。

原子雲の上部や十数 km 以遠の周辺部に広がった部分の水滴の水分は蒸発して、放射性微粒子のかなりの部分は全地球レベルに飛散したことは、北極の氷を含めて世界中で確認されています。一方、周辺部の原子雲の下部の水滴は合体などを通じて大きくなり、水滴の核になった放射性微粒子も大きくなって降

下しました。降下による温度上昇で水分を蒸発させ、放射性微粒子となり、そのかなりの部分は原子雲の下の広い地域に充満して、呼吸や飲食を通じて被爆者に深刻な内部被曝をもたらしました。とりわけ、放射性微粒子の大きさが 1 ミクロン以下になると呼吸を通じて肺胞を経由して血液に入ることが可能になり、また飲食を通じて体内に入って内部被曝を引き起こしました。1 ミクロンの微粒子中に 100 億個の放射性原子核を含むことも原理的には起こりうるので、内部被曝の影響はきわめて深刻になる可能性があります。こうした事情が発症率は小さいけれども、急性症状を発症する放射線被曝を原子雲の下の広範な地域にもたらすことになりました。

福島原発の水素爆発によって放出された放射性物質はブルームと呼ばれる気塊をつくり、拡散しながら秒速数 m 程度の風に乗って風下に移動しました。そのため原発直近の地域に長期間滞在しなければ、急性放射線症状を発症するほどの被曝はしませんでした。しかし、100 ミリシーベルトの被曝線量以下では実証的に確認されていませんが、数年あるいは 10 年以上を経て癌などの晩発性障害が被曝線量に比例して確率的に発症するとされています。福島県の東部をはじめ福島県全域と関東の北東部など放射性物質がきわめて広範囲に広がったので、かなりの人数が低線量の外部及び内部被曝をしています。原爆被爆者のように急性放射線症状を発症するほどの被曝していませんが、被曝範囲が広範囲に及び被曝した人の数がきわめて多いので、晩発性障害による影響が問題になります。広島大学原医研の悪性新生物による広島県民の非被爆者の年間死亡率が表 3 のように男女全体で 0.164% であり、1 シーベルト当たりの被曝による過剰相対リスクの増加は、表 4 に示したように、男女合計で 0.53 ですから悪性新生物による年間死亡率は 0.087 % 増加します。もし 100 万人が福島原発事故による放射線によって平均 10 ミリシーベルトの被曝を受けたとすると今から約 25 年後に年平均 8.7 人が悪性新生物によって死亡することになります。1000 万人が 1 ミリシーベルトを被曝しても年間死亡人数は 8.7 人となります。子ども、とくに胎児や乳児の放射線被曝影響は数倍大きいことを考慮する必要があります。とくに子どもが成長して将来晩発性障害になった場合、その早期発見によって影響を最小限にとどめる施策が必要になります。

現在ホールボディ・カウンターによる内部被曝の推定がおこなわれています。セシウム 137 がベータ崩壊してバリウム 137 の励起状態になるとき放出するベータ線は、体内に集中した被曝影響を与えてエネルギーを失い体内に留まるの

で、ホールボディ・カウンターでは測定されません。バリウム 137 の励起状態がバリウム 137 の基底状態になるとき放出したガンマ線をホールボディ・カウンターが測定します。その結果から生物学的効果比を ICRP にしたがって 1 とすると、深刻なベータ線による内部被曝を過小評価することになります。さらに、ホールボディ・カウンターによるセシウム 137 だけで累積被曝線量を計算すると、水素爆発直後のヨウ素 131 による被曝は、ヨウ素 131 の半減期が 8 日であることから含まれないことになります。特に子どもには、半減期の短いヨウ素 131の方がセシウム 137 よりはるかに深刻な被曝影響を与えていることを考慮すべきです。

以 上