

平成27年（行ウ）第37号 「黒い雨」被爆者健康手帳交付請求等事件

原告 高野正明 外63名

被告 広島市・広島県

参加行政庁 厚生労働大臣

第5 準備書面

2016（平成28）年8月25日

広島地方裁判所民事第2部合2係 御中

原告ら訴訟代理人弁護士	廣	島	敦	隆	
同	弁護士	足	立	修一	
同	弁護士	池	上	忍	
同	弁護士	竹	森	雅泰	
同	弁護士	端	野	真	
同	弁護士	橋	本	貴司	
同	弁護士	松	岡	幸輝	
同	弁護士	佐	々	井 真吾	

本書面では、原爆による放射性降下物の降下の機序を述べた上で、原爆投下時に原告らが現在した地域は「黒い雨」降雨地域の範囲内であり、原告らはいわゆる「黒い雨」による放射性降下物により被曝したのであるから、原告らが被爆者援護法1条3号の「身体に原子爆弾の放射能の影響を受けるような事情の下にあった者」に該当することを論ずる。

第1 原爆による放射性降下物の降下の機序

1 はじめに

本項では、原爆の炸裂とその威力（熱線、爆風、放射線）について概観した上で、原爆による放射性降下物の降下の機序について論ずる。

2 原爆の炸裂（甲A10の3頁、甲A30－『広島・長崎の原爆災害』の3～5頁）

1945年（昭和20年）8月6日午前8時15分、T字型の相生橋を照準とし、高度約9500mから投下された原子爆弾は、43秒後に原爆ドームの中心から南東約160m、細工町19番地（現：中区大手町一丁目5番）の島病院の敷地上空580m（±15m）で爆発した。

市民には寝耳に水の、まさに無警告奇襲攻撃であった。強烈な熱閃光が市街地を覆い、大爆発音が轟きわたると、一瞬のうちに広島は叩きつぶされていた。巨大な火柱が中天めがけて吹き上がり、もうもうたる爆煙が渦巻き立った。

死者、負傷者が続出し、全市が生き地獄と化した。各所に火災が発生し、たちまち猛火となり、火勢が激しさを増し強いつむじ風が吹き荒れる中を、全裸半裸のドス黒く汚れた血だるまの群衆が逃げまどい、次々と死んでいった。倒れた物の下敷きになって、生きながらに焼き殺される者も無数にあり、

肉親の名を叫ぶ声，救助を求める声が，舞い狂う火炎の中に聞こえたが，そのほとんどは今生の別れとなった。

3 原爆の威力（甲A10の6頁以下，甲A30の8頁以下）

広島に投下された原爆はウラニウム235の原子核に高速中性子を衝突させて爆発的な核分裂連鎖反応を起こさせ，それにより巨大なエネルギーを放出させたものである。長さ3m，直径0.7m，重さは4tという，その細長い外観から”リトルボーイ”という暗号がつけられていた。エネルギーはTNT火薬15ktに相当したと推定されている。TNT火薬のエネルギーは，すべてが熱線と爆風になるのに対し，原爆はその35%が熱線，50%が爆風，そして残り15%が放射線となって放出される点が，TNT火薬と根本的に異なる点である。また，原爆はその強大な熱線・爆風・放射線の相乗作用によって，瞬時に広範囲のものを破壊・殺傷する威力をもっていることも大きな特徴である。以下に，原爆の威力を詳説する。

(1) 火球と熱線（甲A10の6～7頁，甲A30の8～12頁）

広島・長崎における原爆の爆発は直接観測されてはいないが，アメリカでそれらとほぼ同じエネルギー（TNT20kt相当）をもつ原爆を用いて実験を行い，日本の場合と対比しながら報告書をまとめている。これによって原爆火球が形成される過程を述べる。

原爆が炸裂すると，大火球が発生する。原爆の特徴は，通常火薬にくらべて桁違いの高温の状態が生ずることである。通常爆弾の爆発時の最高温度が約5000℃であるのに対し，原爆の瞬間最高温度は100万℃にも達する（ちなみに，太陽の表面温度が約6000℃である。）。このような高温の状態では，爆発物やその容器など原爆を構成するすべての物質はほとんど蒸発・気化し，電離気体となり，そこから0.01～10nm（ナ

ノメートル， $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ）程度の短い波長の電磁波が放出される。それは直ちに周囲数メートル以内にある空気に吸収されてその温度を上昇させ，火球が形成される。

非常に高圧になった火球は，爆発後すぐに外の低い気圧に向けて急速に膨張を開始し，爆発後一万分の一秒（ 0.1 ミリ秒）後には半径 1.4 m にまで広がり，温度は全体が均一に約 $30\text{ 万}^{\circ}\text{C}$ 近くになる。これを約 9 km 離れた場所から観察すると，地上で見る太陽の約 100 倍の明るさに輝いて見えたという。

温度が約 $30\text{ 万}^{\circ}\text{C}$ までは，衝撃波（音速以上あるいは，同程度の速さの空気の壁）と火球の表面は同じ速さで広がるが， $30\text{ 万}^{\circ}\text{C}$ 以下になると衝撃波の方が火球より早く進行する。

その後も火球は成長を続ける。これは衝撃波が通過すると空気が非常に圧縮され，高温になり空気が白熱化するためである。爆発後 15 ミリ秒後には，一旦火球の表面温度は約 1700°C に落ちるが，その後再び上昇を続け， 0.3 秒後には約 7000°C に達した後下降する。一方，火球の中心部は爆発 1 秒後に最大半径約 140 m に達するが， 10 秒で光輝は消滅し，熱線の焼痕作用はこの間にほとんど終わっている。

原爆による熱線の特徴は，極めて巨大なエネルギーが短時間（約 3 秒間）に大量放出される点にある。このため，爆心地の表面温度は，鉄の溶解温度（ 1536°C ）をはるかに上回る $3000\sim 4000^{\circ}\text{C}$ になったと想像される。この熱線で爆心地から約 1 km 内の遮蔽物のない場所にいた人は表皮を炭化させ，場合によっては内臓まで熱傷障害を受け，ほとんどの人が即死または数日以内に死亡している。 3.5 km 範囲の人は衣服の露出部のほか，衣服を通して熱傷を負った例もあった。熱線の吸収の程度は，物質の性質と色によって差があり，着ている衣服によって熱線の反射率が大きい

白布に覆われた部分は比較的保護され、反対に黒い部分は吸収率が大きいので、皮膚に布地模様の熱傷を負ったという例や、爆心地から2.9 kmの半径内で電柱や樹木など、爆心地に向いた部分が焦げたり、発火した例もあった。

(2) 衝撃波と爆風（甲A10の7～8頁，甲A30の13～24頁）

原爆の爆発とともに、爆発点のあらゆるものは蒸発し、数十万気圧という超高圧の気体が生じ、衝撃波が発生する。衝撃波は爆風の先端を進行するが、これは台風のように空気が流動するのではなく、高圧の空気の壁が音波のように伝わっていく。衝撃波の外方に伝わる速さは、爆発点近くでは音速以上だが、遠ざかるにつれて減速し音速と等しくなる。そして、爆発から10秒後には、爆発点から約3.7 kmまで達し、窓ガラスを破壊する強さがあるが、30秒後に約1.1 kmに達する時点では、破壊力はほとんど消滅していた。

衝撃波が通過した後の空気は、高密度、高温度となり、衝撃波と同方向に衝撃波より遅い速度で移動する。この爆風の最高速度、つまり風速は衝撃波の最高圧力に依存し、爆発点から遠く隔たった地点では風速は減少する。やがて一旦吹きやみ、その後、今後は内に向かって弱い爆風が吹く。

また、原爆が空中で爆発すると、衝撃波はマッハ効果が加わり、新たな衝撃波を形成し、一般に直接波より強い水平力を作用させ、地上の物体を破壊する。マッハ効果とは、空中から地面に入射した衝撃波と、地面で反射された反射波とが干渉し合っただけで起こす効果であり、広島型の原爆の場合、地上から約600 mの高度での爆発が最も大きな破壊力をもたらすといわれている。実際に広島で投下された原爆は、高度580 m（誤差±15 m）で爆発しているので、マッハ効果が十分に働き被害が甚大となった。

原爆の全エネルギーのうち約50%が爆風のエネルギーになると考えら

れている。爆心地の最大風速は秒速440mという想像を絶するもので、約2.3km離れた市内の御幸橋付近でも秒速45mの爆風が吹き木造の建築物は倒壊し、石造りの欄干も全部倒れていた。

このような原爆の超強力な爆風によって、建造物は広範囲にわたり壊滅的な被害を被った。さらに、爆風は、構造物のみでなく、人や動物をも殺傷した。爆心地付近では、強力な爆風により、人びとは壁にたたきつけられたり、倒壊した建物の下で圧死したりした。爆心地から遠く離れた地点においても、ガラスの破片や飛散物により多くの人びとが外傷を負っている。さらに倒壊家屋からの火災発生をまねき、消火施設も破壊されて大火をもたらした。

そして実際には、熱線と爆風と火災が相乗的に作用して被害をより甚大にした。原爆による火災には、熱線によって起こる直接発火（一次的発火）と、爆風で建物が破壊され、それに伴って発生する間接発火（二次的発火）とがあるが、この大火によって空気が急激に熱せられ、四方から冷たい空気が中心に向かって吹き込む火事嵐現象が発生し、火災が一層増幅された。広島の場合、爆発から30分後には火事嵐が発生し熱風が市内を吹き荒れた。中でも、最も火勢が激しかった午前11時から午後3時にかけて、市の中心部から北半分にかけて竜巻が発生し、その結果、半径約2km以内のものをことごとく灰燼に帰し、さらに半径3km以内でも、約90%以上の建物が焼失・破壊された。

原爆の総エネルギーは、広島のものより長崎のほうが大きかったにもかかわらず、焼失面積は広島のほうが広がったのは（広島13km²、長崎6.7km²）、地形的にも、また建物の分布上からも広島のほうが火事嵐が発生しやすかったためである。

(3) 放射線（甲A10の8～11頁，甲A30の34～49頁）

原爆の空中爆発によって生ずる放射線は、爆発後1分以内に放射される初期放射線と、それ以後のある期間、地上で観測される残留放射線のふたつに大別できる。この大量の放射線を放出することこそ原爆が通常爆弾と際立って異なっている点であり、この放射線をあびた人々に深刻な放射線傷害を生じ、またこれらの人々をその後長く苦しめることとなった最大の原因である。ここでは、まず初期放射線及び残留放射線の特徴について述べ、これら放射線による人体影響については、後記第3において詳述する。

ア 初期放射線（甲A10の8～9頁，甲A30の34～35頁）

初期放射線は、爆発直後から1分以内に空中に放出される放射線であり、 α （アルファ）線、 β （ベータ）線、 γ （ガンマ）線、中性子線の4種類がある。

α 線は、核分裂しなかったウランやプルトニウムから放出され、 β 線は、爆発の際に作られた核分裂生成物から放出されるが、これらは空気中での透過力が弱いため、空気中に吸収されて地上まで到達しない。

それに対して、 γ 線と中性子線は透過力が非常に強くて地上に到達し、人体や動植物の内部にまで影響を及ぼす。

γ 線には、爆発の瞬間に生じるものと、核分裂によって作られる多種多様な放射性核分裂生成物から放出されるものがある。前者の γ 線は大部分が爆弾器材に吸収されてしまうので、地上に到達する γ 線のほとんどは核分裂生成物によるものである。

また、中性子線には、早い中性子と遅い中性子とがあり、原爆の中性子のほとんどは、核分裂と同時に放出された早い中性子であり、その一部は、爆弾器財を通過する際にこれらの物質の原子核と弾性衝突して減速されたり原子核反応をおこしたりするが、大部分が空中に放出される。空中に飛散した中性子は、空気中の窒素や酸素の原子核と衝突して減速

したり、なかには窒素の原子核に吸収されるものもあるが、吸収を免れたものはほとんど瞬時に地上に到達する。

地上に到達した中性子が原子核に衝突してそれに吸収されると、放射能を帯びる物質もある（放射化）。このようにして得られる放射能を誘導放射能とよぶ。原子爆弾から放射された中性子によって、土地や建物の成分が放射化されると、その後ある期間放射線を出し続けるので、残留放射能をもつという。

イ 残留放射線（甲A10の10～11頁，甲A30の38～42頁）

前述したように、残留放射線の線源として考えられるものには、核分裂生成物（主としてβ線とγ線を放射する）、ウランまたはプルトニウムが未分裂のまま飛び散ったもの（主としてα線とγ線を放射する）、原爆器財や空中あるいは地上の物質で中性子線により放射化されたもの（β線とγ線を放射する）などである。残留放射線の被曝には、身体の外から主としてγ線をあびる外部照射（外部被曝）と、放射性物質が体内に取り込まれてそのβ線やγ線を受ける内部照射（内部被曝）を考慮しなければならないが、この点についても後記第3で詳述する。

(7) 誘導放射能からの放射線

原子爆弾の核分裂と同時に放出された中性子は、爆風や熱線が放出されるよりも先に地上に降り注いだ。その放出された中性子は、前述のとおり、空気中の窒素の原子核に一部吸収されるが、吸収を免れて地上に到達した中性子が、地上の物質の原子核と衝突し、それに吸収されると、吸収した物質のあるものは放射能を帯びる。この放射化された物質（放射性同位元素，放射性アイソトープ）を中性子誘導放射能といい、β線を、またしばしば同時にγ線を、かなりの長期間にわたって放射し続ける。

このような中性子線による誘導放射性物質が残留放射線の重要な線源である。

(イ) 放射性降下物（フォールアウト）からの放射線

放射性降下物は、ウランやプルトニウムの核分裂生成物、またウランやプルトニウムの未分裂のもの、および原爆器財が中性子を受けて誘導放射能を帯びたものなどが含まれる。これらの微粒子は、爆発後空中高くに吹き上げられ、大気中に広く飛散し、徐々に降下するものと、特定の地域に集中的に降下するものがある。

4 原爆による放射性降下物の降下の機序

原爆投下直後から当日の夕方にかけて、広島市及びその周辺地域には「黒い雨」、すなわち原爆が炸裂してできた核分裂生成物（死の灰）が地表から巻き上がった塵（ちり）や煤（すす）とともに地表に降り注いだ。このため、降雨地域一帯にかなり広く放射能が観測されている（甲A30の41頁）。

以下では、この「黒い雨」により放射性降下物が地表に降り注いだメカニズム、すなわち原爆による放射性降下物の降下の機序について述べる。

(1) 放射性微粒子の形成（甲A31－『隠された被曝』（矢ヶ崎克馬著）の66ないし68頁）

爆発前には長さ3m、直径0.7m程度のものであった広島原爆は、爆発とともに、超高温の火球の源となった。火球は、爆発当初、膨張を続けたが、直径約200mまでに拡大すると、火球内の温度は下がり始め、火球の急速な膨張は停止した。

しかし、火球の膨張に伴って、空気が外側に押しやられて強烈に圧縮されることで、火球の周囲に壁のような高圧部が形成されたために、火球の膨張が停止しても内圧は高く保たれたままであり、空気が元の方向に戻ることができない状態となった。このことから、高圧のかたまりが、周囲に

広がる衝撃波となり、衝撃波の伝搬に伴って爆風が形成された。すなわち、衝撃波の伝搬と共にその前面と後面にすさまじい爆風が生じた。原爆の場合の衝撃波は空気の圧力差として地上を襲い、その際、衝撃波の進行する前面では進行方向に、通り過ぎた後には逆方向に、強烈な爆風が伴う。地上の圧力が急激に超高圧になりまた急激に低下するので、目の玉が飛び出したり、内臓が飛び出すような悲惨な原爆死が生じた（以上、前記3項(1)(2)参照）。

衝撃波を作った原因である直径約200mまで急激に広がった火球は、そのまま上空に保存され、地上で生じた中性子誘導放射化原子を除いて、核分裂生成物質などの一切の放射性原子は火球内にとどまったままとなった。核分裂をした際、巨大なエネルギーが解放され、核分裂生成原子核は猛烈な勢いではじき出て飛び交い、さらに高温のため全ての原子核や電子は巨大な速度を持つので、当初火球の中では、原子核と電子が結合して原子となることさえできない状態となっている（プラズマ状態）。

このように当初火球の中は、強いイオン（電荷を帯びた原子核等）で満たされている。その後、火球が電磁波などの形でエネルギーを放出すると、高温の原子・イオンが外部の温度の低い原子や分子と衝突することにより温度を下げる。冷えるにつれて粒子の速度が減少するので、火球に含まれていた核分裂生成原子核と電子が結合して原子が形成されるようになり、やがて、原子どうしが衝突・結合して、分子が形成される。さらに、分子が他の分子（酸素分子等）と衝突・結合を繰り返して、放射性微粒子（放射性的埃あるいは塵）が形成される（以上、前記3項(1)(3)参照）。

(2) 水分の凝集による原子雲の形成（甲A31の68～69頁）

放射性原子から発射される放射線は、周囲にある原子に衝突して原子の中の電子（負の電荷）を吹き飛ばす「電離」を行う。なお、放射線の電離作用については、後記第3を参照されたい。

電離された原子はプラス電荷を帯びたイオンとなる。また、放射性原子がたくさん凝集している放射性微粒子はプラス電荷を帯びることとなる。

これら電離されたイオンや電荷を帯びた放射性微粒子に、湿った空気中の水分子が引き寄せられ吸着して水滴ができ、火球周辺には巨大な雲が形成されることとなる。

これが「キノコ雲」と呼ばれる原子雲である（甲A30の3頁の図1.1の写真参照）。

(3) 原子雲と放射性降下物の降下（甲A31の68ないし72頁）

火球は膨張しながら上昇するが、巨大な原子雲の球形頭部からは上昇過程を通じて間断なく放射性微粒子が周囲に放出される。これらの微粒子は水滴の核になり雲を形成する。

によきによきと上昇しながら伸びる中心軸の周りに、大気圏と成層圏の境界の圏界面の気象的条件とが重なって、放射性物質を大量に含む原子雲が横に広がることとなる。

このようにして水平方向に広がる原子雲を形成した放射性微粒子は、その後下降気流や雨と一緒にあって地上に降り注いだ。これが「黒い雨」の実態である。なお、放射性微粒子は、水の吸着如何にかかわりなく、全ての酸素や窒素分子より重いので、やがて降下して、全地球的な規模で地球を汚染する。

原子雲から降る雨には放射性微粒子が含まれているが、地表面では雨にならなくても、雲から落下する水分が蒸発して放射性微粒子が水と分離して埃として空気中に浮いて、放射性微粒子はその重みによる自然落下と地表近くの下降気流に乗って地表に降り注ぐのである。

したがって、原子雲を形成した放射性微粒子が降り注いだ範囲は、少なくとも原子雲の広がった範囲全域であると考えられる。原子雲の広がる下では、雨が降っても降らなくても放射性微粒子が降り注いでいるのである。

(4) 火災による積乱雲と放射性降下物の降下

さらに、「黒い雨」をもたらしたのは、原子雲のみではない。原爆投下後の火災による積乱雲から降る「黒い雨」によっても放射性降下物が降下したのである。

すなわち、原爆による被害は、熱線と爆風と火災の効果が合併し、それぞれ単独のものよりも増幅されたものになっているところ、火災には、熱線によって起こる直接発火（一次的発火）と、爆風で建物が破壊され、それに伴って発生する間接発火（二次的発火）とがある。爆風と火災によって灰燼に帰した総面積は、広島で約13 km²にも及んだ（甲A30の26～27頁の図4.1の写真，28～29頁の図4.2）。

このような大火が発生すると、火災地域の空気が熱せられて急激に上昇し、四方から冷たい空気が中心部へ吹き込む現象、いわゆる火事嵐がしばしばおこり、このため火災が増幅されることがある。広島の場合、爆発から30分後には大火となって火事嵐が発生し、熱風が市内を吹き荒れた。中でも、最も火勢が激しかった午前11時から午後3時にかけて、市の中心部から北半分にかけて局所的に激しい旋風が発生した。この火事嵐の結果、爆心地から半径約2 km以内のものをことごとく灰燼に帰し、さらに半径3 km以内でも、約90%以上の建物が焼失・破壊された（以上、甲A30の25～29頁，前記3項(2)参照）。

このような大火の場合には、火災でつくられた炭素の微粒子その他が吹き上げられて上空の冷たい空気にあたり、その周りに水蒸気が凝結し積乱雲が発生する。火事嵐にはしばしば雨をとまなうというのはこのことであり、実際、広島でも放射能を帯びたいわゆる「黒い雨」が午前9時～午後4時にかけて爆心地の北部から西部にわたって移動しながら広範囲に激しく降ったのである（以上、甲A30の25頁）。

(5) 小括

以上のとおり、原爆投下により、原子雲と火災による積乱雲が発達し、これらから降る「黒い雨」により放射性降下物が降下することとなったのである。

第2 「黒い雨」降雨域の範囲について

1 はじめに

それでは、この「黒い雨」はどの範囲で降ったのか。

以下では、これまで調査・研究・発表された宇田雨域、増田雨域及び大瀧雨域の概要を紹介し、原告らの主張する「黒い雨」降雨地域の正当性について論ずる。

2 宇田雨域

宇田雨域とは、1953年（昭和28年）5月5日に日本学術会議が発行した原子爆弾災害調査報告集の第一分冊に所収されている「気象関係の広島原子爆弾被害調査報告」（宇田道隆気象技師外）と題する論文（以下「宇田論文」という。）（乙1）で報告されている、原爆投下直後に降ったいわゆる「黒い雨」の降雨域を提示したものである。

以下では、宇田論文の概要を紹介した上で、その背景事情等を指摘し、宇田雨域の評価を論じる。

(1) 宇田論文の概要

ア 都市焼夷爆撃に伴った驟雨現象との比較（乙1の105～106頁）

広島では驟雨現象が特に局部的に激烈顕著でかつ比較的広範囲で、長径19km、短径11kmの楕円形ないし長卵形の区域に相当激しい1時間ないしそれ以上も継続した驟雨を示し、少しでも雨の降った区域は長径29km、短径15kmに乃ぶ長卵形をなしている（第4図参照）。さらに

この雨水は黒色の泥雨を呈したばかりでなく、その泥塵が強烈な放射能を呈し人体に脱毛、下痢等の毒性生理作用を示し、魚類の斃死浮上その他の現象をも現わした。そしてその後も長く（2、3ヶ月も）広島西部地区の土地に高放射能性をとどめる重要原因をなした。

同じく原子爆弾攻撃を受けた長崎では広島に比し遙かに小規模な驟雨現象があったに過ぎないが、これはおそらく広島の場合の如き前線帯が現れなかったことと、火災がずっと小規模であったことが一般気象による成雨条件の他の大きな因子となったからであろう。

イ 降雨状況（乙1の106～107頁）

広島の降雨域の範囲（第4図参照）は、広島市中心の爆心付近に始まり、広島市北西部を中心に降って、北西方向の山地に延び遠く山県郡内に及んで終わる長卵形をなしている。始雨時は爆撃の閃光があった後20分後ないし1時間後に降り始めたものが多く、前線域では1時間以上2時間後も後に降っているが（白島は4時間後）（第5図参照）、これはおそらく火災によって発達した収斂性上昇気流に起因するものであろう。すなわち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現れたもので前線の存在により強化せられたものと認められる。終雨時は当日の9時～9時半から始まり、15時～16時ころまでにわたっており、夕方までに終わったが爆心から北西方向に向かって、順遅れになっていて始雨時の分布と趣を異にする（第7図参照）。

継続時20分以下数分程度に及ぶパラパラ雨の区域を小雨域、30分以上1時間に及ぶザーザー雨の区域を中雨域、1時間以上を大雨域とし、2時間以上は土砂降りの甚だしい豪雨域として特に第2図に示した。豪雨域は、白島の方から、三篠、横川、山手、広瀬、福島町を経て己斐町、

高須より石内村，伴村を越え戸山，久地村に終わる長楕円形の区域である。

降雨域（第2図，第4図），降雨継続時（第6図，第4図），始雨時（第5図），終雨時（第7図）のいずれの分布を見ても，爆心位置から北西に引いた線に対し著しく北側に偏り，前線帯を中軸とするような特殊の分布をしている。このことは爆撃および火災による円心性上昇気流が爆心付近を中心とする上空に生じ，これが上層の一般気流によって北西に流されつつ降雨を生じたと共に前線性の持続的な上昇気流による降雨によって強化されたものと考ええる。

ウ 雨水の性状（乙1の108～109頁）

始雨時の小雨の雨粒に特に黒い泥分が多かったため粘り気があり，白い衣服が縞状になったり，あるいは笹の葉などに黒焦が残ったりした。当時は「油を落とした」と騒がれたが，匂いもなく油とは異なっていた。谷川を轟々と流下する黒雨による出水は真っ白い泡を立てて流れ，流れる川水は墨を溶いたように黒かった。池の鯉や川の鰻等が黒雨水の流入によって斃死浮上したり，牛が泥雨のかかった草を食べて下痢をしたり，また，水道破壊のため井戸水，地下水を飲用したと考えられる己斐高須方面の人は，爆発後約3ヶ月にわたって下痢するものがすこぶる多数に上った。

高須で爆発当時爆風により吹き飛んで雨に打たれた雨戸から，その附着した泥分を採集し，理化学研究所調査班の佐々木・宮崎両氏に分析してもらったところ，放射能がすこぶる強大であつて，爆発後2ヶ月経過しても50Na t. と爆心地の数倍であつた。学童疎開から帰ってきた子どもが，その雨戸の傍らに寝ていたところ，脱毛が起こり，驚いてその雨戸を片付けた。

1時間～2時間黒雨の降った後は続いて白い普通の雨が降った。黒雨に含まれた泥の成分は爆撃時に黒煙として昇った泥塵と火災による煤塵を主とし、これに放射性物質体など爆弾に起源して空中に浮遊しあるいは地上に一旦落ちた物質塵をも複合したものとみられる。大気中の塵埃は1～2時間の雨により概ね除去されこれが地上に降ったため、この降下量の多い地区即ち広島市西方の高須、己斐方面に高放射性を示すに至ったのだろう。

エ 降雨の機序（乙1の109頁）

本爆撃による降雨の機序は、その著しく激しくかつ持続的な豪雨となった点から見て、単純に爆撃及び火災による旺盛なる上昇気流にのみ起因するものと異なり、これらの因子に加えて何等か原子爆弾の炸裂による放射性物質の分裂壊変に伴う放射線（β線あるいは中性子のごときもの）の射出が働いてあたかも巨大なウィルソン霧箱内におけるように大気中の塵を連続的に多数のイオンに化しこれらが凝結核となって大気中に浮遊するため引き続いて激しい降雨を呼び起こすようになったのではあるまいかと考える。

オ 雨以外の降下物（乙1の110頁）

雨以外の降下物では、五日市、八幡村、古田町北西など雨域の外周数kmの範囲まで黒い灰埃が降っており、南瓜の葉などが真っ黒く見えた。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、埃など軽重大小様々雑多のものが無数にあり、トタン板のような重い物が4km以上も北西に降ったのは一見不思議なほどである。爆風で灰神楽のように立ち昇った灰、紙片などの外に焼け焦げたものの多いのは火災の盛時に都心の旋風および上昇気流で昇騰したものであろう。

降下物の中で最も多かったのは紙片であってその範囲は30km北方ま

で拡がっており紙片の中には官庁，銀行，郵便局の伝票，帳簿の紙などが目立って多く，発源所在の明らかなものを調べると悉く爆心より1 km以内の市中心部にあり，紙屋町，八丁堀，革屋町方面のものが多い。ここから拾得された所まで直線で結ぶと約北北西の気流で流され飛散されたことが判る。紙片は山中や田圃の中へ数限りなくヒラヒラ落ちて来て農山村の人々を驚かした。

降下は概ね降雨の前から始まって降雨中にかけて見られた。これから降下物の飛行して来た速さを概算すると1～3 m/秒くらいになる。

降下物の分布区域は広島市内に少なく，爆心より3 km以上離れた市北西方山岳地帯を主として（山脈の峠を越えた所から多い）雨域よりも広く，砂谷村，八幡村，五日市，亀山村にわたる。

爆発後の高須，己斐方面の放射能の著大な分布は，降雨による持続的な放射性降下物による高放射能物質の混在と南東気流による降灰中に放射性物質を含有しそのもっとも強く高須，己斐方面に指向されたためであろう。

(2) 宇田論文の背景等

この宇田論文の背景等については，1989年（平成元年）7月11日に開催された「気象台から見た原爆・黒い雨」と題する北勲（以下「北」）いう。）の講演録（甲A32，『被爆体験記 ピカに灼かれて 第12集』7～17頁所収）に詳しい。なお，北は，当時気象技手として実際にこの宇田論文の作成に携わった人物である（乙1の冒頭参照）。

ア 調査の経緯

宇田論文は，日本学術会議に設けられた原子爆弾被害調査委員会の気象部門の調査報告の一つで，広島管区気象台の気象技師らが1945年（昭和20年）8月以降12月までに収集した資料に基づいて宇田道隆

気象技師が主となって取りまとめた成果である。

イ 調査の方法

調査報告の基になった資料は、1945年（昭和20年）12月5日が締切りとされ、東京から指示があつて直ぐに調査に取りかかった。広島管区气象台は原爆の被害にあつた直後の非常時であつたが、全部で6～7名で約半月から20日間くらい現地を歩いて調査した。古い自転車を使ってかわるがわる現地に行つたが、食糧難で現地で宿泊することができなかつたので、朝早く出て夜8時くらいに帰つても実際に現地で調査ができるのは2時間くらいしかとれなかつた。160名くらいから聴取りをして調査した。

原爆投下という大きな変動をもたらす出来事があつたときに、周囲の気象はどれだけ変化するか、どれだけの雨が降るかという調査を目的としており、そのような研究目的のために行つている調査であり、研究目的以外には使わないということを現地の人たちに説明して、聴取りを行つた。

したがつて、資料の数としては不十分であるが、事例として挙げたものは信用できるものと考えている。

ウ 宇田論文のまとめ方

上記のとおり、時間的・物理的制約があつたことに加え、調査の範囲が非常に広がつたこともあり、収集された資料の有無にばらつきがあつた。担当で議論した結果、目で見えて分かるようにしないとイケないということになり、一応、大雨域、小雨域という線引きをした。

したがつて、当時からこの線引きは暫定的なもので、これが「黒い雨」の降雨域全体を示すものではないことは当然の前提となつていた。

エ 宇田論文のGHQによる隠蔽

宇田論文は、予定通り1945年（昭和20年）12月初旬に全部東

京に集められた。当初これを印刷する計画があったが、GHQの検閲に触れ、軍事機密や人道的問題もあるという理由で、宇田論文自体が米国に没収され、米国から返還されたのは1951年（昭和26年）のことであった。

北は、気象関係のところだけでも大事な資料だから印刷する必要があると考え、1947年（昭和22年）12月15日、『広島原子爆弾被害調査報告（気象関係）』と題して500部ほどガリ版印刷により発行された（甲A33）。当初、気象関係や政府関係に配布するつもりだったが、これもGHQの網にひっかかって頓挫した。

(3) 宇田雨域の評価

ア 宇田雨域の基本的な信頼性

以上のとおり、宇田雨域のもとになっている住民からの聴取り調査は、原爆が投下された1945年（昭和20年）中になされた、気象研究目的を前提とした調査であるから、基本的にその内容は信頼できる。

イ 時間的・物理的制約の中で調査がなされたことによる限界

もともと、原爆投下直後の1945年（昭和20年）8月から12月までのごく短期間のうちに、原爆の被害を受け混乱の最中にあった広島管区气象台のわずか数名の気象技師・技手らによって、しかも広い範囲を対象に聴取り調査が行われていることから分かるように、この調査によって「黒い雨」の降雨域の全範囲を確定させたり、あるいは大雨域と小雨域を確定的に線引きするには、資料が不十分であることは明らかである。このような限界は、北も認めているところである。

このような意味で、時間的・物理的制約の中で調査がなされたことによる限界を内包していることもまた明らかであった。

ウ 小括

以上のとおりであるから、宇田論文に記載されている降雨状況、雨水

の性状、雨以外の降下物等の現象面における記載は信頼できるといえ、特に、「黒い雨」によって「人体に脱毛、下痢等の毒性生理作用を示し、魚類の斃死浮上その他の現象をも現わした」ことはまぎれもない事実である。

よって、「黒い雨」が放射能を帯びたものであり、それによって人体等への影響があった。このことは、前記のとおり、GHQが執拗な検閲によりこの宇田論文が長期間世の中に出回ることを妨害した事実からも裏付けられる。

他方で、宇田雨域は、「黒い雨」降雨域の全範囲を確定するものでは到底あり得ず、資料の不十分さからくる限界を内包したものであるから、その後の調査によりその範囲の見直し・拡大が期待されたものであった。

3 増田雨域

増田雨域とは、長年気象庁予報部電子計算室と気象研究所に勤務し数値予報の研究に携わってきた増田善信博士（以下「増田」という。）が、1989年（平成元年）に発表した「広島原爆後の“黒い雨”はどこまで降ったか」と題する論文（甲A34）（以下「増田論文」という。）によって提示された、「黒い雨」の新たな雨域である。

(1) 大がかりな調査と綿密かつ慎重な分析に基づくものであること

増田論文が基礎としたのは、宇田論文の基礎資料の他、広島県の調査資料（1万7369通回答したものの調査報告）、72人からの聴取調査結果、アンケート調査結果1188枚、手記集・記録集から358点の資料など、2000を超える豊富なデータである（増田論文14～18頁）。

増田は、調査対象者の記憶の希薄化や原爆医療法に基づく健康診断特例地域の拡大運動による影響にも配慮し、信頼性が確保されたデータの収集とそれに基づく細かな分析を試みようと、例えば、雨の降り方を3種類に

分けたり（降雨の継続時間30分以内を小雨，30分以上1時間以内を中雨，1時間以上を大雨とする），聴き取り調査に参加した人にもさらにアンケートを提出してもらうなどの工夫をこらし，こうして集められたデータを，信用度の違いに配慮しながら吟味し，調査と分析の結果を大学ノート2冊にまとめ上げた（甲A35の1，2）（以上，甲A36－証人調書（以下「増田調書」という。）の10～18頁）。

このように大がかりな資料収集と慎重な分析・とりまとめをして確定された増田雨域は，本書面別紙図のとおりであり（なお，図内に原告らが原爆投下時に現在していた場所を書き込んでいる。記載方法は，第1準備書面別紙と同様の方法によった。），爆心より北西約45km，東西方向の最大幅約36km，面積約1250km²に達するもので，宇田雨域の約4倍に値する。

さらに，増田自身が認めるように，例えば爆心地の東側や南側といった小雨域の周辺部の資料の数が極めて少ないので，今後の調査によって小雨域の範囲が一層広がる方向に変えられる可能性も否定できないものである（増田論文19，23頁）。

(2) 科学的データと符合していること

さらに，増田雨域は，以下のとおり，科学的データとも符合している。

ア 静間報告との符合

静間清博士（広島大学大学院工学研究院・特任教授・理学博士）らは，広島原爆投下3日後に仁科芳雄理化学研究所長（当時）らが爆心地から半径5km以内の地点で採取した22個の試料でセシウム137の精密測定を行い，11個のサンプルでセシウム137を検出したうえで，降雨域と比較して報告した（甲A37の1，2－「広島原爆の早期調査での土壌サンプル中のセシウム137濃度と放射性降下物の累積線量評

価」。以下、甲A37の2の訳文を「静間論文」という。)。その結果は、以下のとおり、増田雨域とよく一致した。

- (ア) セシウム137が検出されたサンプル18, 22及び25は、増田雨域には含まれているが、宇田雨域には含まれていない（静間論文2頁）。
- (イ) セシウム137が検出されたサンプル2, 3, 13, 14及び16では、セシウム137の沈着率は低いが、増田雨域の小雨域がほとんどである（静間論文2頁, 増田調書24頁）。
- (ウ) サンプル24, 26及び27は、放射能が検出されなかったが、増田雨域にも入っていない（静間論文2頁, 増田調書24頁）
- (エ) このように、静間論文による調査は爆心地から半径5キロ程度の範囲内の調査ではあるが、その範囲内においては、放射能の測定値と増田雨域の降雨域の分布は対応しており、増田雨域は、科学的データと符合していることを示している。

イ 藤原らの報告との符合

藤原武夫博士（広島文理科大学物理学教室教授・理学博士）らは、1949年（昭和24年）に旧ソ連が核実験を開始する前である1945年（昭和20年）から1948年（昭和23年）にかけて広島の残留放射能を調査した（甲A38－「広島市附近における残存放射能について」）。

この調査結果は増田雨域とよく符合し（増田調書48頁）、増田雨域と矛盾しない形で等値線を引くことが可能である（甲A39－「原爆直後の残留放射線調査に関する資料収集と分析」の9頁の「図8」、甲A40－「等値線図」）。

(3) まとめ

このように、増田雨域は、大かがりで綿密な聴き取りやアンケート調査等、精度の高い資料収集と、当該資料を基にした丁寧な分析ととりまとめの結果確定されたものであること、また、原爆投下後から世界中で核実験が開始されるまでの間に採取された貴重な科学的データとよく符合することなどから、増田雨域が、「黒い雨」が実際に降雨した範囲を示すとともに、「黒い雨」による放射性降下物の影響を受けた地域を示していることは明らかである。

3 大瀧雨域

(1) 大瀧雨域とは

大瀧雨域は、大瀧慈教授（広島大学原爆放射線医科学研究所）（以下「大瀧」という。）が、広島市の実施した原爆体験者等健康意識調査（以下「広島市調査」という。）において、その際の調査資料に基づき、統計解析を行い、「黒い雨」降雨地域の推定を行ったものであり、広島市が、2010年（平成22年）5月に公表した、「原爆体験者等健康意識調査報告書」（甲A9、以下「広島市報告書」という。）で「黒い雨」降雨地域として示されたもの（訴状別紙「黒い雨」降雨地域図の「原爆体験者等健康意識調査」で判明した地域のこと）である。

以下、広島市報告書に基づいて、その概要を紹介する。なお、広島市報告書の「黒い雨」降雨地域の推定の部分に関しては、大瀧が第2回「原爆体験者等健康意識調査報告書」等に関する検討会に提出した「体験者の証言に基づく広島での黒い雨の時空間分布の推定」（甲A41）にも、広島市報告書と同様の説明がなされているので参照されたい。

(2) 広島市調査の方法

広島市調査は、原爆体験者の心身の健康影響等を調査するため、基本調査とその結果を検証するための個別調査がなされた（甲A9の1頁）。

広島市調査の解析対象となったデータは、2008年（平成20年）に原爆投下前から現在の広島市内及び周辺部に住み続けている者3万6614人に対して実施した郵送によるアンケート調査により収集されたもので、そのうちの約74%にあたる2万7147人から得られた自書式回答である（甲A9の2～3頁）。

黒い雨関係の調査項目は、黒い雨の体験（黒い雨を浴びたり、触れたり、口にしたり、見たりしたことをいう。）の有無、体験場所、雨の降り始めと降り止んだ時刻（時単位）、雨の強さ（強い、中程度、弱い）、雨の色（真っ黒、黒っぽい、茶色、透明に近い）、飛遊物の目撃の有無である（甲A9の19頁、38～39頁の「問15」）。

解析対象者は、黒い雨を体験したと回答した者のうち、その黒い雨を体験した場所（場所情報）を回答している者で、心身の健康影響と同様に記憶の明確さを考慮して、調査時の年齢が71歳以上の者に限定した（甲A9の19頁）。

また、場所情報については、概ね旧町村単位（市内中心部については体験者が一定数集まる範囲）で統合し、その地域の代表地点（中心地の役場や学校）の位置情報（経度と緯度）に変換を行った（甲A9の19頁）。

黒い雨は、午前10時辺りをピークに1時間～2時間程度降ったと回答した者が多かった。解析の方法としては、黒い雨の体験者については、その場所毎に類別され、それぞれの調査項目について、回答結果について平均値や比率により要約を行った。さらに、その要約値に対して局所線形回帰モデルに基づいたノンパラメトリック回帰分析を適用し、黒い雨の各特性値に関する昭和20年（1945年）8月6日当時の時空間分布を推定したものである（甲A9の20頁）。

(3) 広島市報告書で判明した黒い雨の体験状況について

広島市報告書で判明した黒い雨の体験状況は以下のとおりである（甲A9

の19～23頁)。

ア 降雨時間の長さ (甲A9の19～21頁)

黒い雨体験者で、黒い雨の降り始めと降り止んだ時間を回答した者(タイプAのみ)を解析対象として、降雨時間の地理分布を求めた。なお、解析精度を保持させるため、地区別回答者数が10人以上の場所のみを解析の対象とした。(解析対象者数903人)

推定された降雨時間の長さは、「図4 推定された広島黒い雨の降雨時間の地理分布」によると、降雨があった(降雨時間>0時間)と推定された地域は、いわゆる宇田雨域よりも広く、場所によっては増田雨域の外縁部に近似する結果が得られた。

比較的長い降雨時間が推定された地域は、宇田雨域の北西部及びその周辺部であり、その時間は1時間半から2時間程度と推定された。

イ 時刻毎の降雨の状況 (甲A9の21～22頁)

黒い雨体験者で、黒い雨の降り始めについて回答した者(タイプA+B)を解析対象とした。解析精度を保持させるため、回答者数が10人以上の地区に限定した。(解析対象者数1413人)

タイプBの降り止んだ時間を回答していない者については降雨時間を降り始めから1時間として解析した。(タイプAの中では、降雨時間は1時間と回答した者が最も多かったため。)

時刻毎の黒い雨の体験率(厳密には、条件付き体験率というべき)の地理分布は、「図5 推定された黒い雨の体験率の時間空間分布」によると、黒い雨は、午前9時頃に広島市西方近郊から降り始め、その後北西に拡がり午前10時～11時頃に最も広い範囲で降り、その後縮小し、午後3時頃加計付近で消失している。

ウ 降雨の強さ (甲A9の22頁)

黒い雨体験者で、雨の強さについて回答した者を解析対象とした。解析

精度を保持させるため、回答者数が10人以上の地区に限定した。(解析対象者数1378人)

推定された降雨強度の最大値の地理分布は、「図6 推定された降雨の強さの分布図」によると、「強い雨で土砂降りに降った」と推定された地域(図6の強い雨の地域)は、宇田大雨地域のほぼ北半分を含み、さらにその北西側(湯来町東部)にも分布している。

エ 降雨の色(甲A9の22~23頁)

黒い雨体験者で、雨の色について回答した者を解析対象とした。解析精度を保持させるため、回答者数が10人以上の地区に限定した。(解析対象者数1248人)

雨の色についての地理分布は、「図7 推定された雨の色の分布図」によると、真っ黒い雨の降った領域は広島市の北西近郊(沼田地区、湯来町東部)と推定され、その範囲は「強い雨で土砂降りに降った」と推定された地域とほぼ一致している。

(4) 広島市報告書で明らかになった結果(甲A9の25頁)

広島市報告書では、「黒い雨の体験状況について」の解析は、「黒い雨を体験した」という回答に基づいており、今回の解析対象は、「『どこかの時点で黒い雨を体験した』という人から得られたという条件付きのものであることに留意する必要がある」ことを前提としている。

そのような留意に基づき、「こうした限られた情報を基にした黒い雨の降雨域の推定にあたっては、降雨時間に焦点を当て、補足的に降雨強度及び雨の色などにより解析を行った。黒い雨の降雨時間については、黒い雨の体験者にとっても降り終わりの時刻が降り始めの時刻と一致する場合(単位を「時」としているため、この状況は生じうる)、降雨時間の長さは0時間となり、黒い雨非体験者にとっての黒い雨の降雨時間(必然的に、それは0時間である)と同じ値となる。雨域と雨域外との境界付近では、降雨時間は0

時間に近い値になっているはずなので、この基本調査において黒い雨の雨域を推定するには、その降雨時間の推定値に基づくことが妥当と考えられる。」としている。

そして、広島市報告書では、「黒い雨は、従来から言われていた降雨地域（宇田雨域）よりも広範囲に降り、現在の広島市域の東側、北東側を除くほぼ全域と周辺部で降った可能性が示唆された。また、黒い雨が降った時間の長さ、時間帯、色などについては、地域によって異なっている可能性が示唆された。」と結論付けている。

(5) 小括

以上より、大瀧雨域は、広島市が実施した原爆体験者等健康意識調査に際して、「黒い雨」降雨地域を推定したものであるが、この推定は、上記の「黒い雨の降雨時間」について、雨域と雨域外との境界付近では、降雨時間は0時間に近い値になっていることを前提として、黒い雨の雨域の特定には、その降雨時間の推定値に基づくことが合理的であり、そのような基本的な考え方に基づいて、統計処理をして、黒い雨の区域を推定したものである。

この結果、「降雨があった（降雨時間>0時間）と推定された地域は、いわゆる宇田雨域よりも広く、場所によっては増田雨域の外縁部に近似する結果が得られた。」とされ、この点は、先行の研究結果である増田雨域の外縁とも近似している点が重要である。

以上から、大瀧雨域の「黒い雨」降雨地域の推定は精度が高いものといえる。

4 まとめ

宇田論文の記載によれば、「黒い雨」によって「人体に脱毛、下痢等の毒性生理作用を示し、魚類の斃死浮上その他の現象をも現わした」ことはまぎれもない事実である。

したがって、「黒い雨」が放射能を帯びたものであり、それによって人体等への影響があったことは否定すべくもない。

他方で、宇田雨域は「黒い雨」降雨域の全範囲を確定するものでは到底あり得ず、資料の不十分さからくる限界を内包したものであり、その後の調査によりその範囲の見直し・拡大が期待されていたところ、大かがりで綿密な聴き取りやアンケート調査等、精度の高い資料収集と、当該資料を基にした丁寧な分析ととりまとめをした増田雨域によって、「黒い雨」の降雨域の拡大がなされた。さらに、大瀧雨域によって、増田雨域とほぼ同一の、しかも増田が雨域の拡大の可能性を指摘していた爆心地の東側や南側の周辺地域でも「黒い雨」が降ったことが合理的に推定された。

以上より、大瀧雨域、すなわち「黒い雨」降雨地域に、原爆による放射能を帯びた「黒い雨」が降り注いだのである。

そして、原告らは、原告第1準備書面別紙「原告が原爆投下時に現在していた地点一覧地図」で示したとおり、原爆投下時に大瀧雨域、すなわち「黒い雨」降雨地域内に現在していた。原告らは、訴状別紙原告被爆状況一覧表の「被爆した時の状況」欄記載のとおり、「黒い雨」降雨地域内で、「黒い雨」とともに、あるいは「黒い雨」とは別に降り注いだ原爆による放射性降下物により被曝した。具体的には、放射性降下物を浴びて被曝すると共に、空気中に漂う放射性物質を体内に取り込んだり、あるいは放射性降下物によって汚染された畑の作物を食べたり、井戸水や川水を飲んだりすることにより、放射性物質を体内に取り込んで被曝したのである。

第3 放射線の人体影響

1 はじめに

これまで詳論してきたとおり、原爆による放射性降下物は、原爆投下当時原

告らが現在していた地域に降下し、原告らは、これらの放射性降下物から放出される放射線によって被曝をしたことは明らかである。

以下では、これらの放射性降下物による被曝によって、原告らの人体にどのような影響がありうるのかを明らかにする。

2 原子の世界（甲A42—『原発事故・・・その時、あなたは！』（瀬尾健著）の123～130頁）

放射線とは、放射性物質から出てくる非常に微小な高速の微粒子で、いくつかの種類が存在する。その主なものは、 α 線、 β 線、 γ 線、中性子線と言われるものである。ただし、 γ 線は正確に言えば、電磁波の一種であるが、電磁波が人体などに作用するときは微粒子として作用することになるため、この意味では、 α 線や β 線と同じであるが、 α 線や β 線とは異なり、質量は持たない。

放射線が、どんな影響を人体に与えるかは、こうした放射性微粒子が、人体に存在する様々な物質、分子や細胞、臓器とどのように関わるかに依存するが、これらの関わりは、物質の分子（分子を分解すれば原子）レベルにおけるものである。

(1) 極微の世界（甲A42の123～124頁）

ア 物質は、つきつめていくと、物質の最小単位としての分子というものからできており、この分子をさらに分解すると、原子にまで至る。

天然に存在する原子としては、水素、炭素、酸素、ウラン等、全部で90種類の原子があり、それらがいろんな組み合わせで結合し、この世に存在するすべてのものができている。

固体や液体状の物質は、これらの原子同士がそれ以上に近づけないくらいに密集したものであり、他方で、気体は、個々の分子がばらばらに飛び回っている状態のものを言う。

イ 1個の原子の大きさは、最も単純な水素原子から、最も重いウラン原子

まで、大きさは異なるが、おおまかにいうと、1億分の1cm程度である。つまり、1cm角の固体の中には、縦、横、高さ方向にそれぞれ1億個の原子がびっしりと詰まっていることになり、1cm角の固体には、1億×1億×1億個の原子があることになる。

これは、想像もつかない数であるであるが、面積900km²（日本の国土の25倍ほど）の世界最大のサハラ砂漠の砂粒を考えてみる。砂粒を直径0.4mmの球だとすれば、1億×1億×1億の砂粒をこのサハラ砂漠の広さに一様に広げると、実に5mの高さにもなるほどの数である。

(2) 原子核、電子（甲A42の124～125頁）

原子1個の広がり、1億分の1cm程度であるが、その中は、ほとんど何も無い空間で、中心のところに小さな原子核がぽつんとあるだけである。

この原子核の大きさは、原子の1万分の1以下であるので、原子の大きさを直径100mのグラウンドに例えると、原子核は、米粒の大きさほどしかないことになる。

その上、この原子核の中に、原子の中の重さの99.9%が詰まっているので、原子の世界では、質量に関しては極端な偏りがある。

原子の中心にある原子核はプラスの電気を持っているため、その周りの広大な空間には強力な電磁場が存在し、この電磁場に捉えられた軽い電子（水素原子核の2000分の1の重さしかない）がそこに渦巻いている。

電子は、マイナスの電気を持っており、中心の原子核のプラスの電気を打ち消すだけの数の電子がそこにあることになる。原子核とは異なり、電子のマイナス電気は、ただ1種であることがわかっている（電子1個の電気量を、便宜的に、1単位の電気量ということにする）。電子は、1億分の1cm程度の空間を、雑然と飛び回っているのではなく、量子力学の法則に従って、これに束縛される。

つまり、原子核の周りの質量のほとんどない空間は、完全な空虚な空間

ではなく、電子の整然と群れている空間であり、隣り合う原子同士の結びつきは、この電子の相互往来や相互作用によって起こる。よって、原子核と原子核の距離は、普通の場合、決して1億分の1 cm程度以下に縮まるものではない。

色々な物質の変化、例えば、水が溶ける、砂糖が水に溶けるという単純な変化から、生物の発生、成長、腐敗などの複雑な変化に至るまで、すべてこの電子の配置変化によって起こる。

このように、物質の性質というのは、これらの電子の配置に支配されるのであって、原子核が何らかの変化を引き起こす原因となっているわけではない。ただし、原子核の持っているプラス電気の大きさによって、周りの電子の数が決まるから、基本的な意味の関わりは持っているということにはなる。

(3) 陽子と中性子 (甲A42の125～126頁)

原子核は、実は単一の粒子ではなく、いくつかの陽子と中性子が集まってできている。

この2種の粒子は、重さの点ではそっくりの双子粒子と言えるが、電気的には、陽子は1単位のプラス電気を持ち、中性子は電気を持たないという違いがある。

そして、陽子の数と原子核の周りの電子の数が釣り合って、全体として中性の原子になる。単一の原子の場合、電子の数は、中心にある陽子の数によって支配されるため、原子の個性は、陽子の数によって決まる。

このように、原子核の中に陽子がいくつあるかによって、さまざまな元素に分類される。この陽子の数のことを原子番号と呼ぶ。

天然に存在する元素は、原子番号1の水素から92のウランまで90種ある（ごく微量存在するものは含めない）。92番を超える元素は、すべて、原子炉の中か加速器で人工的に作られたもので、一括して超ウラン元

素と呼ばれ、プルトニウムもその一つである。

(4) アイソトープ (甲A42の126~128頁)

原子核は、陽子と中性子によって構成されるが、中性子の数は陽子の数と同じか少し多いのが通常である。例えば、炭素の原子核には、陽子と中性子ともに6個、酸素は両者とも8個、ウラン238では、陽子が92個で中性子が146個ある。中性子と陽子は、ほとんど同じ重さであるため、両者を合わせた総数は、その原子核の重さを表す目安になり、この数は、質量数と呼ばれている。

中性子は、電気を持っていないので、その数が違っても外側の電子の数に影響は与えない。つまり、陽子の数が同じなら原子としての性質はほとんど変わらず、化学反応においてもほぼ同じ挙動を示す。

したがって、原子番号が同じ（原子としての性質がほとんど同じ）で、それでいて中性子の数の異なる（つまり、質量数が異なる）兄弟のような原子核が、それぞれの元素に存在しうる。これを同位元素（アイソトープ）と呼んでいる。

(5) 崩壊 (甲A42の128~130頁)

以上のように、原子の世界には、原子を構成する陽子、中性子、電子があり、自然に存在する原子の陽子、中性子、電子の数は決まっており、物理的な力学原理によって安定した状態にあるといえる。

例えば、コバルト（原子番号27）の場合、天然にはコバルト59ただ一種のアイソトープしか存在しないことがわかっている（つまり、陽子の数が27、中性子の数が32のものしか存在しない。）。

コバルトの場合、これより中性子の数が多くなっても少なくなっても不安定になってしまい、何らかの形で余分なエネルギーを放出し、安定した状態になろうとする。

すなわち、中性子数33のコバルト60について言えば、中性子の数が多

すぎるので、その中の一つが電子を創りだして外に放り出し、陽子に変化することで安定した状態になろうとする。電子がなくなるため、元々中性だった粒子がプラスになり、プラスになるためには、中性子自身がプラスを帯びた陽子に変化せざるを得ないのである。

このように、コバルト60は、安定になろうとして陽子が増えるため、原子番号が増えることになる。原子番号が増えると原子番号28のニッケル60に変わる（なお、中性子の数が一つ減って32となるも、陽子が増えて28となるため、質量数は60で変わらない）。

もともと、コバルト60は、ニッケル60に変化した後も、いまだ安定した状態とはなっておらず、まだ少しエネルギーが余っているため、直ちにエネルギーの塊を2回放出して、安定したニッケル60として落ち着くことになる。つまり、これ以上は、電子やエネルギーの塊を放出することはないのである。

このような現象のことを崩壊という。

コバルト60が最初に放出した電子は、時速約6億キロ（光の約半分）にも及ぶ。ちなみに、光は時速11億キロ足らずだから、実に光速の半分以上もの猛スピードである。原子核の中からこのように飛び出してくる猛スピードの電子をβ線と呼んでいる。

β線が出た後に2つ飛び出してくるエネルギーの塊というのは光のようなものであるが、光のエネルギーよりも10万～100万倍も大きいので、粒子と同じような作用を持つ。これをγ線と呼んでいる。

このように、エネルギー的に不安定な原子核は、より安定した状態になろうと崩壊を起こし、その際に放出される粒子やエネルギーのことを放射線と呼んでいる。放射線については後述する。

(6) 小括

以上のように、放射線は、原子という極微の世界より放たれた極微の粒子

やエネルギーであり，人間の目には当然見えないものであるが，この世のあらゆる物質に対して原子や分子レベルの世界で作用をすることになる。

放射線の人体への影響に関し，確立した知見が存在しないのは，このような極微の世界で起こる現象だからであることが十分留意されなければならないのである。

3 放射線に関する基礎的な知見など

- (1) 放射線の種類（甲A31の84～88頁，甲A42の129～130頁，135～137頁，甲A43－『内部被曝』（矢ヶ崎克馬，守田敏也著）の20～22頁，甲A44－『内部被曝』（肥田舜太郎著）の34～37頁）

放射性物質が放出する放射線には，大まかに， α 線， β 線， γ 線という3つの種類がある。なお，その他にも，核分裂の際に出る放射線である中性子線があるが，中性子線は，基本的には初期放射線によるものとされているため，放射性降下物による人体への健康影響を考える上では問題とならない。

ア α 線について

α 線とは，ウランやプルトニウム等，非常に重い原子核から打ち出される放射線で，重い粒子であり，電荷を持っているために，周囲の原子と衝突した場合，電氣的な相互作用が働いて，遠くまで飛ぶことができず，空気中では45mm，水中又は体内組織中では40 μ m（マイクロメートル，マイクロはミリの1000分の1なので，0.04mm）しか飛ばないとされ，飛程が短いことが特徴である。また，透過力も弱く，紙1枚で止めることができる。なお， α 線の正体は，ヘリウム4の原子核（陽子2個と中性子2子）であることがわかっている。

ただし， α 線自体のエネルギーは大きく，これを放出する物質が体内に入ると危険度が高いとされ，一本の α 線が放出されると，およそ10万個の分子切断を行ってエネルギーを全部失い，止まるとされる。細胞の大き

さは0.01mmほどだから、数個の細胞が α 線の持っていた巨大な破壊エネルギーをまともにかぶることになるのである。

このような飛程や透過力から、 α 線は外部被曝（体外にある放射線物質が発する放射線によって引き起こされる被曝）の原因とはならず、もっぱら内部被曝（放射線を発する原子が人体内に入り、体内から放射線を浴びることによって引き起こされる被曝）の原因となるとされる。

イ β 線について

β 線とは、上記のとおり、放射性物質（核分裂生成物質）の電子から放出される放射線であり、高速電子であって、電荷を持っており、飛程は数cmから数mまで様々であるが、一般に、空気中で1m、体内では1cm程度とされ、飛程は短い。また、透過力も比較的弱く、プラスチック板で止められる。一本のベータ線は、ほぼ2万5000個の分子切断を行うと止まるとされる。

このような飛程や透過力から、 β 線は、体外から影響を及ぼす外部被曝よりも、内部被曝の原因となるとされる。

ウ γ 線について

γ 線は、電磁波であるために電荷や質量がなく電子との相互作用が弱い（ α 線や β 線が粒であるのに対し、 γ 線は光のような波である）ために、飛程が長いことが特徴である。また、透過力が非常に強く、鋼鉄や鉛の板、大量の水がなければ止められない。

γ 線は、空気中では70メートルも飛ぶとされ、例えばセシウム137の線の場合、身体の厚さを20センチとすると、およそ47%の γ 線が電子をはじき飛ばして身体にダメージを与え、残りの53%は何もしないで貫通するとされる。

このような飛程や貫通力から、 γ 線は専ら外部被曝の原因となるとされる。

(2) 半減期（甲A42の131～133頁，甲A43の24～27頁，甲A44の37～40頁）

放射性物質は，放射線を出しながら原子核を崩壊させ，放射線を出す能力は減少する。なお，崩壊とは，上記のとおり，放射線を出すことにより，より安定した別の物質に変化する（原子の種類が変化する）ことをいうのであって，その放射性物質の元素が変化するだけであり，文字通り崩壊するものではない。

α 線を出しながら原子核が崩壊していく現象をアルファ崩壊， β 線を出しながら原子核が崩壊していく現象をベータ崩壊と呼ぶ。 γ 線を放出しても原子の種類は変化しないが，広い意味では γ 線を放出することも含めて崩壊という。

このような崩壊の速度は，各放射性物質によって厳密に決まっており（崩壊確率），各放射性物質ごとに決まっている放射能が半分になるまでの期間のことを（物理的）半減期という。

他方，放射性物質が人体に取り込まれた場合，その放射性物質が人体外へ排出され，人体内の放射性物質の量が半分になるまでの期間のことを生物学的半減期という。

なお，物理的半減期は，あくまでも放射能が半分になるまでの期間のことをいうのであり，半減期を過ぎたとしても，その放射性物質が半分に減るだけであり放射線の放出が止まるわけではなく，また，半減期の2倍の期間が経過したとしても，放射能がゼロとなるわけではない。

また，放射性物質によっては，複数回崩壊するものもある。例えば，セシウム137は， β 線を出しバリウム137へと崩壊するが，バリウム137は γ 線を出し安定化する。このように複数回崩壊を繰り返す放射性物質については，同時的に放射線が放たれることになるため，その後の放射性物質の崩壊確率が異なりうるため，崩壊によって単純に放射線の量が減少していく

とはいえない。

半減期が短い放射性物質は、その含まれる原子核が、それだけ高確率に放射線を放出することになるから、それだけ多くの放射線を放出することになる。一般には、 α 線を放出する放射性物質は、多くの場合、非常に長い半減期となっており、 β 線を放出する放射性物質は比較的短い半減期となっているとされる。

(3) 電離作用（甲A31の86～89頁，甲A42の135～137頁，甲A43の16～18頁，甲A44の44～47頁）

我々の周囲にある物質は、すべて原子から構成される。原子は、まん中にある原子核と、周囲を回っている電子に分かれる。原子は、ほとんどの場合、原子同士が結合した分子となっており、人体のみならず、地球上のあらゆる物質を形づくっている。水で言えば、水素原子2つと酸素原子1つが結合して水の分子になる。

この原子と原子の結合は、原子の周囲を回っている電子の軌道が重なり合うことで、電子と電子の間に相互作用が生まれ、電子がペアを組み（ペア電子）、原子と原子をつなぐ強力な結合力となっている。

このような電子に放射線があたると、放射性物質には高いエネルギーがあるため（原子と原子をつなぐ結合力よりもさらに強力なエネルギーであり、放射線1個の持っている並の大きさのエネルギーでも、生体内の化学結合を数万個破壊できるとされる）、電子にエネルギーが与えられることになり、エネルギーを得た電子は、その軌道からはじき出され、分子から飛出し、原子がプラスを持つイオンとなる。

こうした現象を電離と言い、このような電離作用を持つ放射線のことを電離放射線と言うが、上記の α 線、 β 線、及び γ 線のいずれも電離放射線である。

(4) 被爆（線）量の評価法

ア 放射線の単位（甲A44の40～43頁，甲A43の29，33頁，甲45－『放射線健康障害の真実』（西尾正道著）の17頁～23頁）

放射線は色々な単位で示されるが，主なものとして，以下のものがある。

(ア) ベクレル

ベクレルとは，放射線が放出される激しさを示す単位であり，放射性物質が1秒間あたりに放出する放射線の数を示す。

つまり，毎秒1個の放射線を出す割合が1ベクレルである。

例えば，米1kgから100ベクレルが検出されたとすると，その米1kgからは1秒間に100回放射線が放たれていることになる。

(イ) グレイ

グレイとは，放射線の量を図る単位で，吸収線量とも言われる。放射線が物質に当たり，電離を起こすが，その際，その物質がどれだけエネルギーを吸収したかを表すものである。

1グレイは，物質1kgあたり1ジュールのエネルギーを吸収した時の線量である。

なお，1ジュールは，1ワットの電力を1秒間使用したときのエネルギーであり，0.24カロリーに相当する。

(ウ) シーベルト

シーベルトとは，生物がどれだけ放射線を浴びたか，つまり被曝を表す単位であり，実効線量とも言われている。

同じ吸収線量の放射線を浴びたとしても，放射線の種類やエネルギーによって人体への影響は異なる上，人体の組織においても，放射線を浴びる場所によってその感受性が異なる。つまり同じ1グレイでも，それが α 線か β 線か γ 線か，被曝したのが皮膚になのか，肺になのか，胃なのか骨髄かなのかなどで，実際の影響は変わってくる。

そのため，放射線の種類毎に「線質係数」という値を定め，それらを

吸収線量にかけ合わせた、実際の細かな被曝線量がシーベルトで表示される。

例えば、 α 線の線質係数は20である。ということは、1グレイの α 線は20シーベルトとなる。 β 線や γ 線は係数が1なので（なお、 β 線と γ 線の係数は同じであるとされていることについて批判がある）、1グレイの β 線や γ 線は1シーベルトとなる。

これに被曝した体組織などの組織加重係数をかけていき、実効線量を出すことになる。

つまり、放射線の種類による人体への影響度を考慮して決められた放射線荷重係数を吸収線量に乗じて求められた等価線量（単位はシーベルト）により各臓器や組織の被曝線量を表し、人体の部位等による違いにより決められた組織荷重係数を等価線量に乗じた線量の総和として求められるものである。

なお、 1 Sv （シーベルト） $=1000\text{ mSv}$ （ミリシーベルト） $=100\text{ 万}\mu\text{ Sv}$ （マイクロシーベルト）である。

この実効線量（シーベルト）により、放射線の健康被害は論じられている。

イ 評価法の問題点（甲A31の38～48頁，94～95頁，甲A43の31～40頁，甲A44の42～44頁，甲45の45～47頁，57頁～60頁）

放射線防護の観点から、上記のように実効線量（シーベルト）が様々な基準の単位とされている。

しかし、実効線量（シーベルト）は、人間の肉体を直径30cmの肉球と仮定し、基本的には身体の外から放射線を浴びた場合を想定しているから、内部被曝が考慮されていない。同じ1時間あたり1mSvでも、外部被曝と内部被曝ではその影響が違ふし、さらに内部被曝でも、どの核種が

体のどの組織に沈着したか、さらにはどのくらいの時間放射線を浴びるかでかなり変わってくる。

また、「シーベルト」という単位は、実際に機械で直接測れる値、つまり実測値ではない。過去の研究に基づいてグレイに係数をかけたものであって、仮定によって成り立っているに過ぎないものである。

また、そもそも、身体（組織）の質量 1 kg 当たり 1 ジュールのエネルギーを放射線から吸収した時、この放射線の吸収線量を 1 グレイと定義するが、この吸収線量は、比較的一様に体内組織において電離作用が行われる外部被曝に対する影響評価には適しているが、局所的に被曝が起こる内部被曝の評価に対しては適切なものでない。 α 線は身体の中では 0.04 mm しか飛ばず、集中的な分子切断がもたらされるが、実効線量では外部被曝のように直径数 cm から 10 cm の臓器全体に平均化して分散していることになってしまい、0.04 mm の局所でおこなわれる高密度な分子切断の現実を無視してしまうことになるのである。

以上のとおり、内部被曝に関しては、実効線量によってその影響の有無を評価することはできない。実効線量では内部被曝の影響を評価することができないことは、原告らへの健康影響の可能性を判断する上で、十二分に留意されなければならないことである。

(5) 臓器親和性（甲 A 4 4 の 4 7 ～ 5 2 頁， 8 9 ～ 9 1 頁）

人工的に造られた放射性物質は、人体に入ると、それぞれに決まった臓器に集中し、蓄積されるという性質を持つものもある。これを臓器親和性と言う。

例えば、ストロンチウムは骨に、セシウム 137 は骨、肝臓、腎臓、肺、筋肉に、ヨウ素 131 は甲状腺に集まり沈着する。

自然界には、天然に存在する放射性物質が少量ながら存在するが、このような自然放射線核種と原爆等に起因していわば人工的に作出された人工放

放射線核種では、後者の方が生体内濃縮が起こりやすいとされる。これは、自然放射線核種の場合、生物が進化の過程で獲得した適応力が働くため、体内で代謝し、体内濃度を一定に保つというメカニズムが取得されているのに対し、人工放射線核種の場合にはそのようなメカニズムが働くことはなく、むしろ、化学的に類似した非放射性物質を濃縮するメカニズムがある場合には、そのメカニズムにより放射性物質をも濃縮させてしまうことがあるからであるとされている。

例えば、甲状腺にはヨウ素が必要であるから、人は甲状腺にヨウ素を取り込むが、人の体はそのヨウ素が放射性のものかそうでないか区別がつかないため、人工の放射性物質であるヨウ素¹³¹を体内に取り込むと、甲状腺にため込んでしまうのである。

4 放射線による人体への影響

(1) 被曝（甲A31の84～86頁，甲A43の23頁～24頁，29頁）

被曝とは、人が、放射性物質の出す放射線を浴びることをいう。この被曝の態様について、つまり、人体への影響の及ぼし方としては、大きく、外部被曝と内部被曝がある。

ア 外部被曝

外部被曝とは、体外にある放射性物質が発する放射線によって引き起こされる被曝のことを言う。

上記のとおり、放射線は、その種類により飛程が異なるため、体外からの影響としては、飛程の長いγ線による被曝であることが多い。

外部被曝の線量が高いと、人体に急性症状が起こり、最悪の場合、人を死に至らしめることになる。

イ 内部被曝

内部被曝とは、放射線を出す原子（体内に取り込まれやすい放射性微粒

子を含む) が体内に入り，例えば，血流を経て，骨，肝臓，脾臓等に沈着する等，人体が体内から放射線を浴びることをいう。

内部被曝においては， α 線や β 線といった透過力の弱い放射線による被曝のことが多いが，これらの放射線は，上記のとおり，エネルギーが大きく，危険性は高いとされている。

内部被曝は，当然，放射線を出す放射性物質が人体内へ取り込まれることが前提となるが，大気中に拡散された放射性物質が人体内へ取り込まれる態様は種々ある。例えば，大気中を漂う放射性物質を呼吸によって鼻又は口から取り込まれたり，放射性物質が食物（動植物）や水に溶け込んでいる場合には，食事の際に，食物や水と一緒に放射性物質を体内に取り込まれたり，さらには，皮膚や傷口から取り込まれたりすることさえある。

空中を浮遊する放射性物質の塊は，大きなものでも直径が1000分の1ミリメートルであり，その塊の中には1兆個ほどの原子が含まれている。当然のことながら，目に見えない大きさでしかないため，人体内へ取り込まれることを防ごうにも，それはほとんど不可能である。

このような内部被曝の線量を正確に測定するには，飲料水や食品の核種別の放射能汚染の程度，飲料水や食品の摂取量，放射性物質の体内での臓器別の分布，排泄の程度，被曝時の行動などといった因子をすべて確定させる必要があるため，不可能であり，そのような測定方法はないとされている。

このように，放射性物質が大気中に拡散されれば，様々なルートで，容易に人体内に取り込まれることになるし，拡散が広範囲に及べば，それだけ一層多数の人間が内部被曝することになる。しかも，内部被曝による線量を測定しようにもそれはできないのである。

(2) 放射線による影響（発生確率）（甲A45の12～14頁）

放射線による影響は，発生確率の観点から，低レベルの被曝でもある確率

で発生する「確率的影響」と、ある量（閾値）以上の放射線を被曝しないと起こらない「確定的影響」に大別できる。

ア 確定的影響

放射線による影響が現れる最小の線量，すなわち閾値が存在し，被曝線量が閾値を超えると影響が現れる確率が増加し，1となるような影響（つまり，かならず起こる影響）のことをいう（なお，閾値を超えない場合においても，後述のとおり，細胞などに何らの損傷も生じていないというわけではない。）。

確定的影響では，被曝線量の増加とともに影響の大きさが増すが，これは，閾値を超えて高線量になればなるほど，より多くの細胞が失われたり細胞変性を起こしたりするため，細胞によって構成される臓器や組織の障害も重くなるからである。

また，失われた細胞が他の正常な細胞の増殖によって補償されるならば，臓器や組織の障害は一時的なものとなるが，失われた細胞が他の正常な細胞の増殖によって補償できないほど大量である場合には，臓器や組織の障害は永久的となる。

急性障害は，従前から，確定的影響であると考えられており，発がんや遺伝子影響以外の放射線障害は概ね確定的影響に含まれるし，放射線を大量に浴びて死に至るといった現象も確定的影響である。

なお，閾値は，一義的に定まるものではなく，人間の放射線感受性にはばらつきがあること（年齢，遺伝，心身の状態等による）から，一般に指摘されるよりも低い線量で当該影響が生じる場合も考えられる。また，閾値は，過去に報告された症例に依拠して推定されるものにすぎないから，新たな症例が積み重なることによって閾値が変動することは十分にありうる。

閾値については，確定的影響という用語に関して用いられているにもか

かわらず、現在、国際的には、集団の中で1%ないし5%の者に影響が出る線量が閾値とされている。

イ 確率的影響

放射線によるDNAの突然変異や、染色体変異により引き起こされる影響のことを言い、発がんや遺伝的影響を含むものであるとされる。突然変異によってがんが生じる機序は明らかとなっていないが、突然変異が連続して発生し、何年もの期間をかけて蓄積する過程が必要と考えられている。

確率的影響の場合、被曝線量の増加とともに影響が現れる確率が増大し、かつ影響の程度は、被曝線量とは無関係であるとされる。つまり、閾値は存在しないということになり、確率的影響は、時間が経過した後に出る影響であることから、晩発性障害ということもできる。

(3) 人体における放射線感受性について（甲45の14頁～17頁）

ア 臓器など

人体が放射線を受けたときの影響は、放射線感受性に関するB e r g o n n i e—T r i b o n d e a uの法則として知られており、細胞分裂の盛んな未分化な細胞、及び細胞再生系臓器ほど放射線の影響を受けやすいというものである。

イ 年齢

上記のように、細胞分裂の盛んな未分化な細胞は影響を受けやすい。このことから、一般的には、大人よりも成長期にある子どもの方が、放射線による影響を受けやすい。

放射線の影響によりDNAが切断された場合、子どもの細胞は、成長期にあり、二重のらせん構造が解かれてDNAが1本となっているタイミングが大人よりも多いため、その分、後述のような異常再結合がされる可能性が高いからである。

(4) 人体への影響のメカニズムなど

ア 電離作用

前記3項記載のとおり、放射線が放出され外部または内部から人体に当たると、放射線には上記のとおり電離作用があるため、人体を構成する原子や分子が持っている電子を吹き飛ばす。

我々の周りにある物質は、すべて原子から構成されており、人体もその例外ではない。原子は、ほとんどの場合、原子同士が結合した分子となって存在し、地球上のあらゆる物質が形作られている。この場合の原子と原子の結合は、原子の周りを回っている電子の軌道が重なり合うことで、電子と電子との間に相互作用が生まれ、電子がペアを組み、原子と原子をつなぐ強力な結合力が生まれる。

放射線は、飛んできて電子にあたると、放射線の持つ強力なエネルギーによって、電子を軌道からはじき出してしまう（電離作用）。

電子が軌道からはじき出されると、電子と電子のペアが壊れてしまい、原子間の結合が解けてしまい、分子が切断される。

なお、人は生命体であり、その生命機能維持のため、人体を構成する組織や細胞等の分子が切断されると、つなぎ直そうとする修復機能が働くとされるが、後述のとおり、切断の度合いや程度、状況等によって、これが働かなかったり、不十分にしか機能しなかつたりすることがある。

イ 電離作用による人体への影響（直接作用）（甲A43の16頁～20頁、甲45の12～17頁、44頁～45頁）

電離作用により、すべての分子が放射線があたったところで切断される。人体を形成しているすべての分子は、何らかの生命活動をつかさどっているが、それらの分子が切断されると、その生命活動が機能しなくなる（分子切断による破壊効果）。

一方、人は生命体であり、その生命機能維持のため、人体を構成する組

織や細胞等の分子が切断されると、つなぎ直そうとする修復機能が働く。このような人体の修復機能が働くと、再結合などの修復がなされる。このとき、正常に再結合などがなされれば問題は生じないが、再結合が正常に行われないこともある。とりわけ、細胞内における二重らせん構造を持つDNAの鎖が、2本とも切断されてしまった場合には、断片が誤って結合したり、または、再結合されず、そのままの残ることもある（これを変性、染色体切断又は端部欠損という）。

このような細胞内のDNAにつき異常な再結合や染色体切断が生じた場合、それが細胞に対する致命的な損傷（細胞死となる）をもたらさなかったときには、増殖細胞は細胞分裂を通じて、損傷を有する子孫の細胞を生み出すことになる。そして、これらの細胞の一部は、生命防護機構によって排除されるが、一部は生き残り、がん細胞化する。

以上のような、放射線による人体組織を構成する細胞内の分子破壊効果や生命維持機能が働いた場合における細胞死・変性という効果のことを直接作用という。

多くの放射線が身体に吸収されて、多量な分子切断が生じると、それぞれの生命機能がうまく働かなくなり、脱毛・下痢・出血・紫斑などの急性症状が出る。分子切断が多量の場合は、死に至ることもある。これらの放射線による影響については、一定の症状については、それに応じた閾値が決められており、確定的影響であるとされる。

急性症状等がでない場合であっても、人体を構成する細胞や細胞内にあるDNA等に分子の結合が破壊されたという効果は生じ、場合によっては、細胞については細胞死に至ったり、DNAの変性が生じる。これらの放射線による影響は、確率的影響であるとされ、閾値はないとされている。

ウ 電離作用による人体への影響（間接作用）（甲A45の14頁）

以上のような直接作用のほかにも、放射線が人体を構成する組織の細胞

等以外の人体内にある物質に与える影響を通じて人体へ影響を与えるものとして、バイスタンダー効果や活性酸素（フリーラジカル）を生じさせるという影響もある（間接作用）。

(7) バイスタンダー効果（甲A31の92～93頁，甲A43の29～30頁）

バイスタンダー効果とは，放射線の照射による影響を受けた細胞に隣接し，自身は照射を受けていない細胞に，染色体異常，突然変異あるいは細胞がん化等の遺伝的効果を生じるというものである。当初は， α 線照射（特に低線量の照射）で確認されたものであったが，その後， α 線以外の放射線に関しても確認されたとされる。

つまり，放射線は，人体内の細胞に対し，直接照射による影響を与えなくても，直接照射による影響を与えた細胞等を通じ，間接的に染色体異常などの効果を与える。

(イ) 活性酸素（甲A44の64～68頁，甲A43の30頁）

人体内にある通常は電気を帯びていない体液などに含まれる酸素分子に放射線がぶつかると，放射線の電離作用によって電気を帯びた活性酸素（フリーラジカル）が発生する。人体内の細胞の80%以上は水で構成されているため，人体内のあらゆる場所でフリーラジカルが作られる。

細胞膜を作っている脂質の細胞とリンがくっついて作用し，電気の力で細胞内に異物が入らないようにしているところ，フリーラジカルは，マイナスの電気を帯びているため，電気化学的な力で細胞膜にひきつけられ，細胞膜の主要な構成物である脂質を攻撃する。しかも，フリーラジカルはひとたび細胞膜に達すると障害の連鎖反応を起こす。このようにして，細胞膜は損傷し，場合によっては放射性物質が壊れた穴から細胞内に入り込み，細胞の活動を阻害したり，直接遺伝子を傷つけたりす

る。

フリーラジカルは、後述のペトカウ効果を引き起こす原因であるともされ、放射線のない通常の状態でも人間の健康に影響を与えるものであり、動脈硬化、白内障、心筋梗塞後の心筋への障害、認知症、がん、肝臓・腎臓障害、炎症、免疫反応の障害、老化、慢性関節炎、多発性関節障害、肺疾患、喘息といった、実に多様な病気を起こす原因となるとされる。

(5) 低線量被曝による影響 (甲 A 4 4 の 5 8 頁～6 1 頁, 甲 A 4 3 の 3 0 頁)

上記のとおり、一般に、放射線による効果線量の単位として Sv が用いられており、それは放射線のエネルギーに着目したものである。内部被曝における被曝線量については、Sv の計算方法から、過小に見積もられていることも上記のとおりであり、このようなことから、内部被曝は低線量被曝であるとされ、その影響は無視されてきた。

しかし、これを覆す事実が発見された。これがペトカウ効果である。

カナダのアブラム・ペトカウは、低線量の放射線を長時間浴びせ続けると、高線量を短時間照射した時よりも合計の放射線量をはるかに小さい状態で、細胞膜が破れることを発見した。つまり「高線量×短時間」よりも「低線量×長時間」のほうが、細胞膜を破壊しやすいということが分かったのである。

ペトカウは、細胞がどれくらいの放射線量を浴びれば壊れるかを実験していた。その結果、X 線を毎分 260 mSv、合計 35 Sv という非常に高い線量を浴びせて細胞が壊れることを発見した。これは、従来の「高線量被曝が体に悪影響を与える」という説と一緒である。ところが、ある時、誤って試験片を少量のナトリウム 22 という放射能が混じった溶液に落としてしまった。すると、合計 7 mSv を 12 分浴びせただけで細胞膜が壊れてしまった。つまり、低レベルの長時間にわたる放射線照射の場合、高線

量率放射線のわずか5000分の1の線量で細胞膜が破壊されてしまったのである。

ペトカウは同じ実験を何度も繰り返したが、いずれも同じ結論になった。そして、放射線の照射時間を長くすればするほど、細胞膜を壊すのに必要な放射線量が低くてすむこともわかった。

こうして「低線量の慢性的な被曝は、高線量の短時間照射よりも影響が大きい」ということが証明された。これは、高線量の被曝による急性被曝とはまったく異なるメカニズムで起こるため、線量が高いほど危険だとは一概に言うことはできず、むしろ、低線量被曝に気をつけなければならないことを意味する。これを「逆線量率効果」という。

このような、ペトカウ効果によって、以前からあった死の灰や原発から出ている放射線による被害を示すデータについて、理論的に説明することができるようになったのである。

5 内部被曝の危険性について（甲 A43の28頁）

これまで述べたことからすれば、内部被曝は、外部被曝に比べ、以下のような特徴を持ち、より危険性が高いといえることができる。

- (1) 内部被曝では、外部被曝ではほとんど起こらない α 線・ β 線による被曝が生じること。
- (2) γ 線と比較すると、局所的な被曝であるために分子切断の範囲が狭く、放射線到達範囲内の被曝線量が非常に大きくなること
- (3) 高密度な被曝になるために、DNAの二重切断を多く引き起こし、DNAの死滅や、異常再結合がたくさん生じてしまうこと
- (4) 放射性物質が体内にある限り、継続して被曝すること

6 まとめ

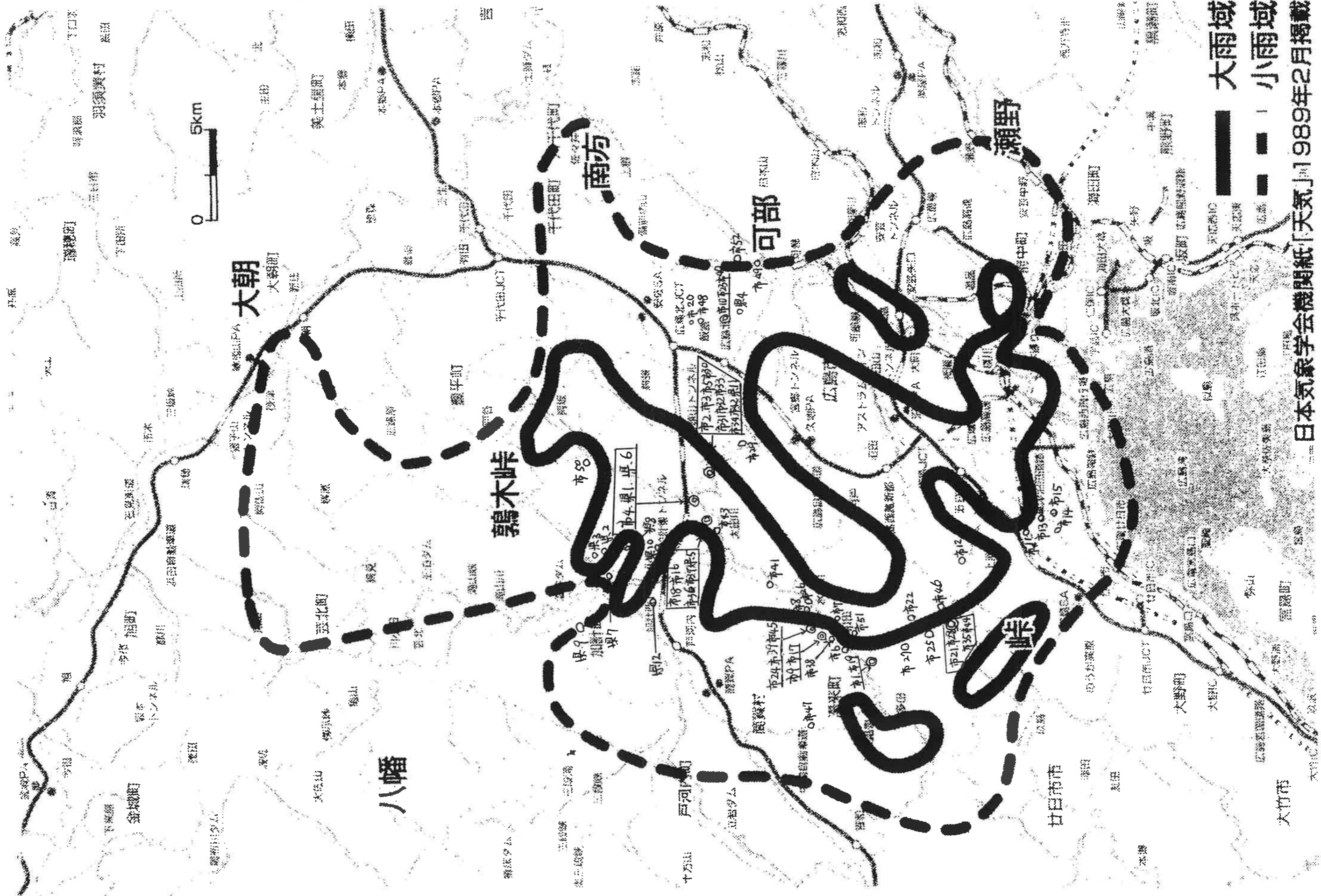
以上のように、放射線は、その電離作用により、人体の細胞の破壊、DNAの損傷・異常再結合、DNAの異常、突然変異あるいは細胞がん化等をもたらす、人に非特異的ながん等の疾患を確率的にもたらすものであるところ、内部被曝は、 α 線、 β 線による高密度な、そして局所に集中した長時間継続する被曝をその特徴とし、 γ 線による外部被曝よりも人体にとって危険性が高いことは明らかである。

そして、原爆による放射性降下物は、原告らの住んでいた地域に降下し、原告らは、これらの放射性降下物から放出される放射線によって被曝をする環境下にあった。これまで詳論してきた内部被曝に関する現在の科学的知見を考慮すると、個々の原告らが被爆者援護法1条3号の「身体に原子爆弾の放射能の影響を受けるような事情の下にあった者」に該当することは明らかであり、原告らは被爆者援護法1条3号に該当する被爆者と認められなければならないのである。

以上

第三図

増田善信博士により、新たに明かになった降雨域



日本気象学会機関紙「天気」1989年2月掲載

原告が原爆投下時にいた場所一覧地図 ◎は複数の原告がいた場所