

「原爆許すまじ」への連絡 澤田昭二

目下以下のような広島・長崎原爆の放射性降下物による内部被曝を含めた研究論文(英文)を書いて専門誌“Radiation Research”に投稿する準備をしています。

急性放射線症状の地域分布に基づく内部被曝を含めた広島・長崎原爆投下による被曝線量

沢田 昭二 名古屋大学名誉教授

要旨

広島と長崎の原爆投下の放射線による外部被曝と内部被曝の両方について被曝者の急性放射線症状発症率と被曝線量との正規分布の関係を求め、これを用いて爆心地からの距離ごとの内部被曝を含めた被曝線量を求めた。被曝影響の基礎として被曝者の急性症状の脱毛、下痢および皮下出血による紫斑の発症率を用いた。

原爆爆発1分以内に到達した初期放射線と呼ばれる放射線は外部被曝をもたらした広島と長崎の爆心地から1.2 km以内で主要な被曝影響を与えた。初期放射線は爆心地からの距離とともに急激に減少し、1.2 kmの点において約1.5 グレイないし1.6 グレイになり、広島も長崎も原子雲から降下した放射性降下物の中の放射性微粒子による内部被曝と同じ値になった。

爆心地から1.2 kmを越えた地域における主要な被曝影響は原子雲からの放射性降下物

を呼吸などによって体内に摂取した放射性微粒子による内部被曝である。こうした内部被曝は広島では爆心地から 1.3 km～1.5 km 付近で、長崎では爆心地から 1.6 km～2.0 km 付近で最大値 1.5 グレイ～1.7 グレイとなり、それ以遠では距離とともにゆっくり減少する。爆心地から 4 km を越えると爆心地から等距離の輪環領域の放射性降下物の放射性微粒子による内部被曝の平均値は広島で調査の行われた 6.5 km までほぼ一定値の約 0.8 グレイ、長崎では調査された 12 km までほぼ一定値 1.2 グレイ～1.3 グレイとなった。長崎の調査した降下領域は広島よりも 4 倍広いにもかかわらず、長崎のほぼ一定値になった内部被曝線量は広島の約 1.6 倍であった。このことは（1）長崎原爆の爆発威力が広島の 1.4 倍であったこと（2）原爆で放出された中性子が広島より多く爆弾容器に吸収されて誘導放射化された放射性物質を多くつくり原子雲に取り込まれこと、さらに（3）長崎の原子雲の周辺部は広島原爆の原子雲より 4 倍速く広がり放射能が弱くなる前に放射性物質を運んだことなどによって説明される。

キーワード：原爆の爆心地、放射性微粒子、外部被曝、内部被曝、急性放射線症状

1. はじめに

1945年8月6日、広島市の地上600mで原爆が爆発させられた。0.8kgのウラニウム235の核分裂の連鎖反応によってTNT15キロトン（高性能火薬1万5千トン）に相当する63兆ジュールの爆発力が放出された。3日後の8月9日、長崎市の上空500mで第2の原爆が爆発させられ約1.2kgのプルトニウム239の核分裂の連鎖反応によってTNT22キロトン（高性能火薬2万2千トン）に相当する95兆ジュールの爆発力が放出された。

この広島と長崎への原爆投下によって爆撃された人々は熱線と爆風とともに初期放射線によって殺され障害を受けた。これらの影響に加えて、原子雲の下にいた被爆者は「黒い雨」と呼ばれる放射性降雨と原子雲の下の大気中に充満していた放射性降下物の放射性微粒子を吸入するなどして被曝した。これら微粒子は移動する大気で運ばれて広島と長崎では測定されていない。

永い間、土壌に含まれた降下物からの放射線の物理的測定だけに基づいて、原爆の放射性降下物による内部被曝の影響は無視されてきた。しかし、後に示すように放射性降下物による被曝は放射性微粒子を体内に摂取することによる内部被曝が主要なもので、この影響は生物学的な方法によってしか評価できない。この報告では脱毛、紫斑、および下痢の急性症状発症率と被曝線量との関係を表す正規分布を求めて被曝線量を明らかにする。

得られた原爆投下による被曝線量は以下の通りである。

- (1) 広島と長崎の爆心地から1.2km以内の領域では主な被曝は初期放射線による外部被曝で、爆心地からの距離とともに急速に減少して1.2kmでは1.4グレイと1.6グレイの間の被曝線量になる。

- (2) 広島も長崎も爆心地から 1.2 km を越えた領域では主な被曝は原子雲から降下した放射性降下物の中の放射性微粒子を体内に摂取したことによる内部被曝である。急性症状発症率から推定した放射性降下物の最大線量は広島では爆心地から 1.3 km から 1.5 km の間の 1.6 グレイから 1.7 グレイ、長崎では 1.7 km から 2.4 km の 1.5 グレイから 1.7 グレイとなった。
- (3) 爆心地から 2 km を越えると放射性降下物による被曝線量は次第に減少し、4 km を越えると広島ではデータのある 6.5 km まで 0.8 グレイのほぼ一定値が、長崎では 12 km まで 1.2 グレイあるいは 1.3 グレイのほぼ一定値が続く。この一定値は雲仙岳からのスケッチに描かれた原子雲の厚さから推定すると、長崎ではデータのないところまで伸びている可能性がある。
- (4) ここで、被曝線量の単位のグレイ (Gray) は、組織 1 kg 当たりが放射線から摂取するエネルギーが 1 ジュール (joule, 熱エネルギー0.239 カロリーに相当) の強さ、生物学的方法によって得られた内部被曝放射線量は外部被曝による放射線障害と同じ急性症状の発症率を与えるものとしている。

2. 広島の被爆者の脱毛発症率の被曝線量に対する分布

1950 年、放射線影響研究所 (放影研) (Radiation Effects Research Foundation, RERF) の前身の原爆傷害調査委員会 (Atomic Bomb Casualty Commission, ABCC) は、占領軍の立場から広島と長崎の被爆者の健康状態、特に 1950 年国勢調査から選定した 94,000 人の

被爆者と、27,000 人の非被爆者を選んだ 120,000 人の寿命調査集団(Life-Span-Study group, LSS) を設定して健康状態を詳しく調査した。LSS の健康調査は放影研が継続し、調査結果を保存している。これらの内で 1950 年に調査された脱毛の発症率が 1998 年長崎の医学会においてプレストンらによって報告され、その報告が長崎医学会誌に掲載されていた(文献 1)) ことを、名古屋大学医学部図書館の雑誌を調査していて発見した、この報告から LSS 群の広島脱毛発症率の爆心地からの距離依存性を表 I に示し図 1 の四角印□で表した。

表 I LSS 群の広島被爆者の脱毛発症率

爆心地から 距離 (km)	発症率 (%)	DS02 の 初期放射線 (グレイ)	放射性降下物 被曝 線量 (グレイ)	全被曝線量 (グレイ)
0	--	159.811	0.777	82.080
0.75	100	13.973	1.324	8.433
1.25	26.8	1.482	1.495	2.248
1.75	6.9	0.196	1.478	1.578
2.25	3.5	0.031	1.335	1.351
2.75	2.1	0.005	1.152	1.155
3.25	1.8	0.001	0.993	0.994
3.75	1.0		0.885	0.885
4.25	0.9		0.824	0.824
4.75	0.7		0.795	0.795
5.25	0.7		0.783	0.783
5.75	0.6		0.779	0.779
6.25	0.6		0.778	0.778

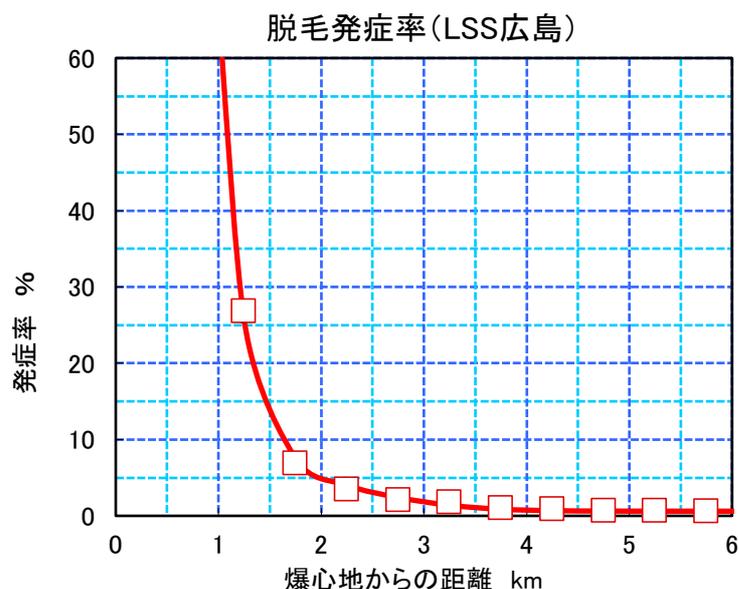


図1 ABCC 調査による寿命調査集団 LSS 広島被爆者の脱毛発症率

文献 1 には長崎市の被爆者の脱毛発症率のデータも報告されているが、長崎データは山の影響のためか広島に比べて不安定で、脱毛発症率のデータの内部被曝も含めた被曝線量との関係を見出すために広島市のデータを用いる。

急性症状の発症率を距離依存性から被曝線量依存性に転換することから始める。差し当たり放射性降下物による被曝を無視して、DS02 (線量評価システム 2002 : 広島および長崎における原子爆弾放射線被曝線量の再評価 (文献 2)) を用いて、発症率の距離依存性を初期放射線量依存性に変換する。変換した結果を図 2 の四角形枠で示す。

急性症状の発症率は動物実験に基づいてほぼ被曝線量の正規分布で分布することが知られている。さらに放影研の京泉らの免疫機能を除去したネズミに人の頭皮を移植して X 線を照射した実験でも脱毛は近似的に正規分布で表せることが示されている (文献 3))。

しかし図 2 に示した四角形枠の分布は正規分布と全く違う。脱毛は確定的影響とされ、被曝線量の増加で発症率は 100% に近づかなければならないが、図 2 の四角形印 □ は 2.5 グ

レイ以上では増加していない。この LSS 群の高被曝線量領域の脱毛発症率の不自然な振る舞いは、LSS 群が原爆投下から 5 年以上を経た 1950 年の 10 月に設定されたため大量に被曝をした被曝者のほとんどは LSS 群設定の前に死亡したためである（文献 4）。

図 2 の四角形の分布のもう一つの不自然な振る舞いは 0.05 グレイから 1.33 グレイの極めて低線量領域の急激な立ち上りである。この振る舞いは、図 1 の脱毛発症率が初期放射線の到達しないところまで続いていることから放射性降下物の影響を考慮すれば取り除かれる。

正規分布は平均値と標準偏差の 2 つのパラメータがあり、被曝線量と脱毛発症率の関係を記述する正規分布は発症率が 50% 辺りの振る舞いが重要になる。これは爆心地から 1.3 km から 2.1 km に対応し、ここで初期放射線は 1.33 グレイから 0.05 グレイと変わる。放射性降下物による被曝線量を得るためにこの狭い領域で降下物による被曝線量は一定値と近似し、この一定値を初期放射線量に加えて発症率がこの領域で正規分布になると仮定する。

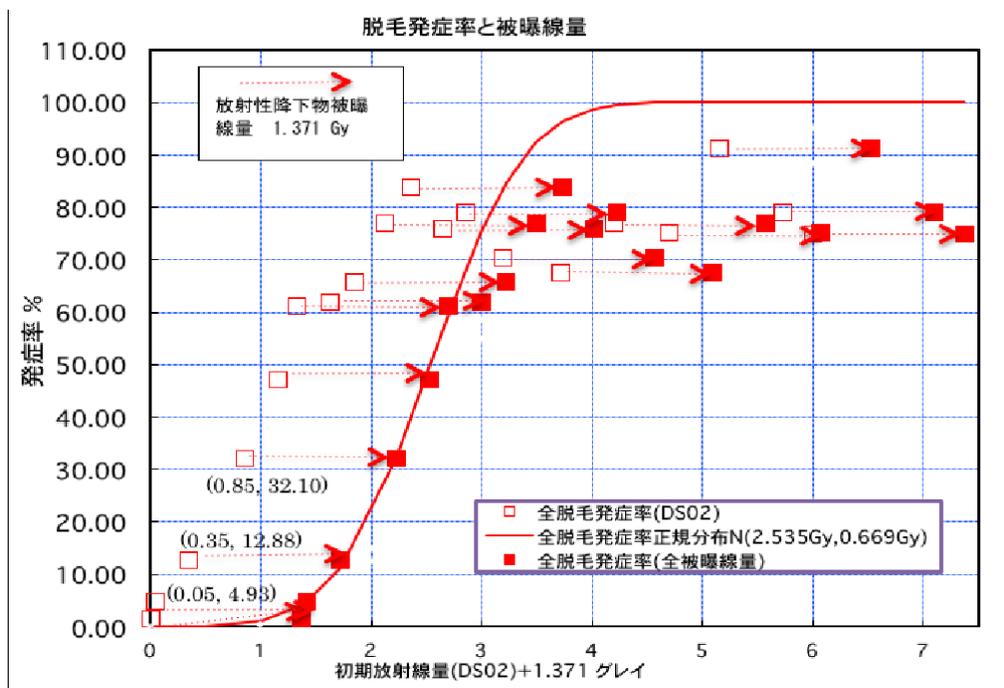


図 2. 被曝線量と脱毛発症率の関係の正規分布を求める

LSS 群の死亡者のバイアスのない領域で最小二乗法を用いて正規分布を与える放射性降下物の一定値は 1.371 グレイと求まった。この一定値を初期放射線に加えると図 2 に矢印で示したように□印は■印に移動する。得られた脱毛発症率の正規分布は期待値 2.535 グレイ、分散 $(0.669 \text{ グレイ})^2$ で $N(2.535 \text{ Gray}, 0.669^2 \text{ Gray}^2)$ となり、図 2 に赤い曲線で示したものになった。

被曝線量と脱毛発症率の関係を与える全領域の正規分布を用いると、次節で求める放射性降下物の全領域の理論式を用いて全領域の被曝線量を評価することができる。

3. 広島原爆投下による被曝線量

原爆投下による爆心地から r km の初期放射線量の最近の値 $P(r)$ は線量評価体系 DS02(文献 2)によって与えられる。ビルや建造物による初期放射線の平均的遮蔽効果のパラメータを c とすると初期放射線被曝線量は $cP(r)$ で与えられる。

試行錯誤の結果、距離 r の地点での放射性降下物による被曝線量の理論式 $F(r)$ は

$$F(r) = ar \exp(-r^2/b^2) + d$$

となった。パラメータ a と b は放射性降下物の山型になった近距離部分の大きさと広がりを表し、パラメータ d は調査範囲で一定値になる部分を表す。ここで $x = -r^2/b^2$ とし指数関数 $\exp(x) = e^x$ の前に r を乗じたのは爆心地領域では強い上昇気流のため降下物が抑制された効果を表している。全被曝線量 $D(r)$ は初期放射線と放射性降下物の放射線との和 $D(r) = cP(r) + F(r)$ によって与えられる。

被曝線量と脱毛発症率の関係を表す正規分布 $N(2.535 \text{ Gray}, 0.669^2 \text{ Gray}^2)$ の被曝線量として $D(r)$ の値を代入すると、表 1 と図 1 に示した地点 r における脱毛発症率の ABCC 調査値と比較する理論値になる。理論式の 4 個のパラメーター a 、 b 、 c および d の全てを変化させて表 1 に与えた 0.75 km から 6.25 km の間の 12 地点の脱毛発症の理論度数と調査度数のカイ自乗の値を最小にするパラメーターのセットを求めた。カイ自乗は調査した領域で理論発症率が調査発症率を全体としてどの程度表現しているかを表す。図 1 に示した脱毛発症率の赤い理論曲線は調査発症率の□印を良く再現している。

得られた広島原爆投下の被曝線量を図 3 に示す。全被曝線量 $D(r)$ は赤く塗りつぶした■印を付した破線で示した。表 1 と図 3 に細く黒い曲線で示した DS02 による初期放射線 $P(r)$ は爆心地から 1 km で急激に減少している。初期放射線による被曝線量 $cP(r)$ は、平均的遮蔽効果のパラメーターが $c=0.53$ となったので赤く細い破線で示したように $P(r)$ の約半分になった。得られた遮蔽効果の値 0.53 は日本家屋を用いた ABCC の実験で得た 0.7 に比べて小さい。これは爆心地近くで被曝して 5 年以上生きた人たちがやや強い遮蔽効果によって助けられたことを反映しているかも知れない。得られた放射性降下物による被曝線量 $F(r)$ は○印を付した赤い実線で示した。

図 3 に見られるように、爆心地から 1.2 km 以内では主な被曝線量は初期放射線による外部被曝であり、1.2 km 以遠では主に放射性降下物による内部被曝である。同様の結果が広島大学原爆放射線医科学研究所の大滝慈名誉教授らの広島県の被曝者の固形がん死亡率の研究からも得られている（文献 6）。

ABCC とこれを引き継いだ放射線影響研究所は広島における放射性降下物の最大線量

は土壌の放射線の物理学的測定結果に基づいて図3に青い線を結んだ×印で示した爆心地から南西方向 2km~4 km の己斐-高須地域の 0.006 グレイ乃至 0.02 グレイであると固執してきた。原爆による広島への降雨域は爆心地の北西方向であるが放射性降雨によってもたらされた放射性物質は原爆によって引き起こされた全市の大火災の強い火災雨によって洗い流されたことが知られている。図3に示された爆心地から 3km 半径の円周地域の降下物の平均被曝線量は約 1 グレイで、図3に示した物理的測定値より何桁も大きい。このことは降下物中の放射性微粒子を摂取したことによって起こされた内部被曝の重要性を意味しており、次節で考察するように内部被曝線量は生物学的方法によってのみ明らかにできる。

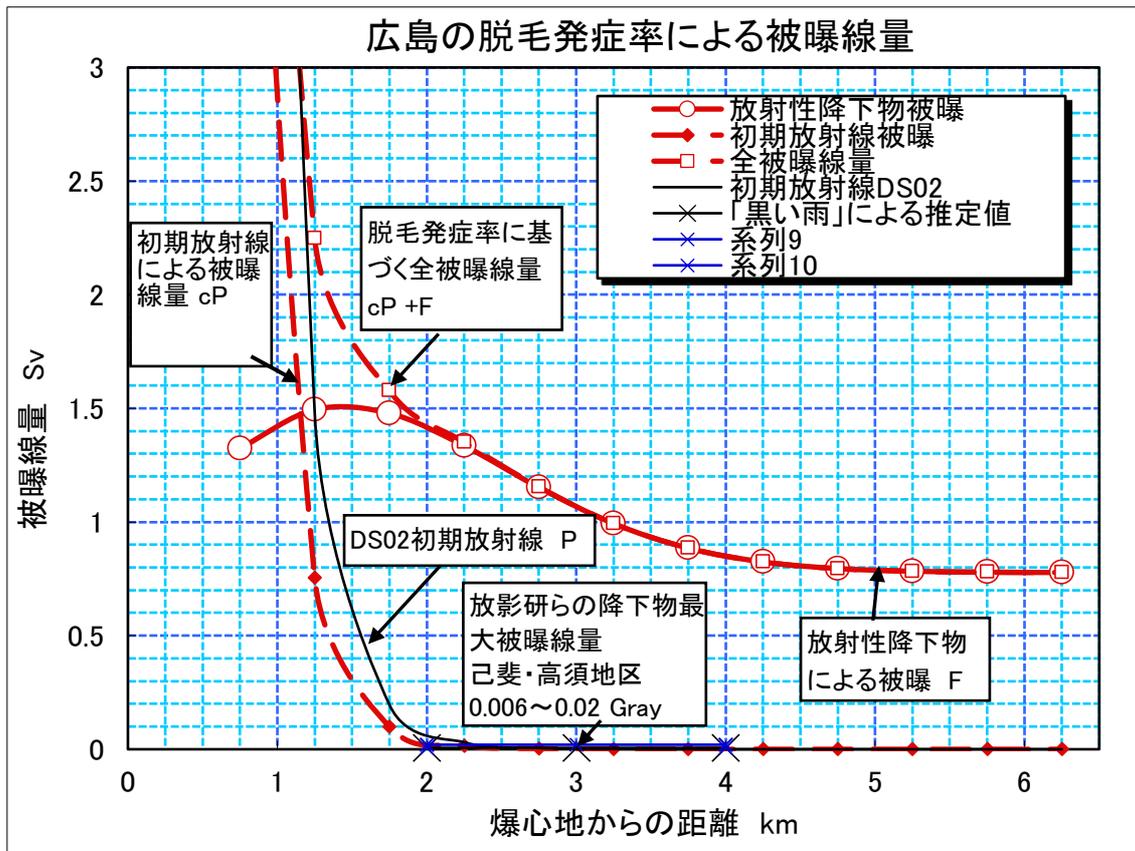


図3 ABCC 調査の脱毛発症率から求めた広島原爆による放射線被曝線量

放射線影響研究所は広島原爆の放射性降下物の最大線量は土壤の放射能を物理学的に測定して図3の×印を結んだ青い線で示された爆心地から西方2 km乃至4 kmの己斐-高須地域の0.006 グレイ乃至0.02 グレイであると固執してきた。広島で『黒い雨』と呼ばれる放射性降雨が強く降ったのは爆心地の北西方向の地域で、放射性降雨によってもたらされた放射性物質は原爆による広島全市の大火災による強い火災雨によって洗い流された。図3に示された爆心地から半径3 kmの円周上の平均的被曝線量は約1 グレイで放影研の主張する測定値の何桁も大きい。このことは放射性降下物から放射性微粒子を摂取して引き起こした内部被曝の重要性を示しており生物学的方法によってのみ明らかにできる。

4. 放射性降下物の被曝は内部被曝の証明

放射性降下物による被曝は主に内部被曝であることは下痢の発症率を脱毛と紫斑の発症率と比較することによって証明できる。

広島の開業医於保源作医師は広島の下痢患者を、屋内被曝か屋外被曝か、原爆投下の日から3ヶ月以内に爆心地から1000 m以内の中心地域に入ったかどうかを区別し、それぞれの様々な急性症状の発症率を調べた(文献7)。残留放射線の影響のない屋内被曝で中心地に出入りしなかった被曝者の脱毛、紫斑および下痢の発症率を表IIと図4に示した。

図4に示すように爆心地から1 km以内の下痢の発症率は誤差が極めて大きいが発症率は約30%で脱毛の発症率約100%に比べて極めて小さい。被曝による下痢は腸壁細胞が被曝によって死滅して剥離することで起きる。爆心地から1 km以内の領域では初期放射線による外部被曝が主な被曝である。初期放射線のガンマ線と中性子線の強い透過力は腸壁に

到達可能であるが、強い透過力は疎らな電離作用のためで、大量の初期放射線でない限り腸壁細胞にほとんど障害を与えないで通過してしまう。

表 II 於保源作による広島の被爆者の急性症状発症率（文献 7）

距離 (km)	調査対象者数	脱毛 (%)	紫斑 (%)	下痢 (%)
0.5	3	100.0	66.7	33.3
1.0	60	48.3	81.6	41.6
1.5	157	18.7	18.5	37.1
2.0	234	2.1	8.1	20.9
2.5	219	5.4	5.9	18.7
3.0	235	2.9	2.5	14.8
3.5	337	0.9	2.6	8.4
4.0	200	3.0	2.0	4.0
4.5	305	0	0	1.3
≥5.0	117	0.8	0	1.7
合計	1878	5.8	5.7	13.5

図4に見られるように1.2 km以遠は逆に下痢の発症率は脱毛や紫斑よりも大きくなっている。この領域では初期放射線は弱くなっているため唯一の下痢の原因は放射性降下物による内部被曝である。ほとんどの被爆者が降下物の放射性微粒子に気付かないで呼吸や飲食によって体内に摂取した。放射性微粒子は微粒子でも何千万個もの放射性原子核を含む可能性がある。もし放射性微粒子が腸壁に付着すると、ベータ線の透過力が弱いのは集中的な電離作用を起こすため、ベータ線によって長時間連続的に被曝を受けると腸壁細胞は容易に下痢を引き起こす。図4の示すことから下痢については被曝線量と発症率の間に2種類の関係が要求される。すなわち、一つは長い透過距離で腸壁まで到達することを反映して初期放射線による外部被曝による下痢の発症は50%の発症率を与える半発症線量が脱

毛よりも可成り高線量被曝の領域に移動した正規分布によって表されるが、爆心地から 1 km 以内のデータが少なく誤差も大きいので正確な正規分布の値は決められない。

腸壁細胞に付着した放射性微粒子による内部被曝は下痢を発症しやすく、脱毛よりも低線量被曝の方に移動した正規分布で表される。図 4 に示したように、下痢の発症率と内部被曝線量の間関係を表す正規分布は爆心地から 1.2 km 以遠の下痢の調査結果から脱毛と紫斑と同じようにして求めることができる。ABCC の脱毛発症率を求めた方法と同様にし求めた脱毛の全領域に対する正規分布は平均値 2.535 グレイ、標準偏差 0.669 グレイの $N(2.535 \text{ Gray}, 0.669^2 \text{ Gray}^2)$ となり、紫斑に対する正規分布は平均値 2.572 グレイ、標準偏差 0.712 グレイの $N(2.572 \text{ Gray}, 0.712^2 \text{ Gray}^2)$ となった。内部被曝に対する下痢の正規分布は平均値 1.274 グレイ、標準偏差 0.544 グレイの $N(1.274 \text{ Gray}, 0.544^2 \text{ Gray}^2)$ となった。

下痢の爆心地から 1.2 km 以内の地域の外部被曝のデータは少なく、被曝後 12 年を経て多くの被曝者が死亡したという大きなバイアスの影響もある。そこで外部被曝による下痢の発症率の正規分布は脱毛や紫斑よりもかなり大きい期待値と標準偏差をもった正規分布であるとしただけである。初期放射線被曝については脱毛や紫斑から得られたものと同じと仮定する。得られた正規分布を用いて脱毛、紫斑および下痢の発症率に合う降下物による被曝線量を求めたときの曲線を脱毛は破線、紫斑は実線、下痢は鎖線で図 4 に示した。

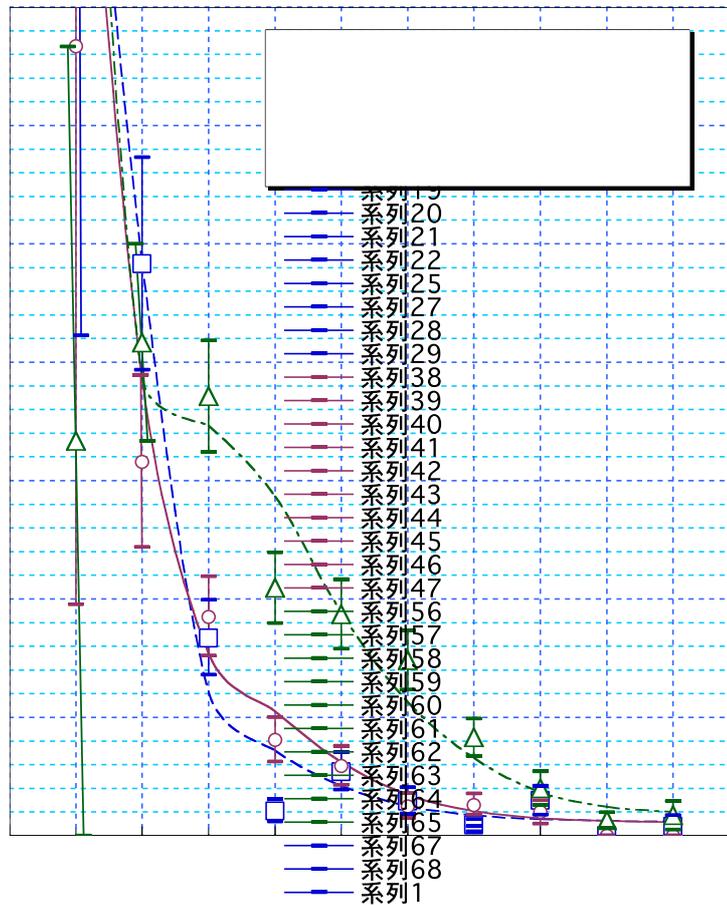


図4 於保源作医師による広島屋内、中心地域に入らなかった被爆者の急性症状発症率

於保源作医師の脱毛、紫斑および下痢の内部被曝から求めた広島原爆の被曝線量を図5に示す。図5に見られるように3つの異なる急性症状の発症率からほとんど同じ放射性降下物領域の被曝線量が得られた。これらの線量はABCCが調査した脱毛から得られたものより約1.3倍乃至1.6倍大きい。遠距離における下痢は明らかに内部被曝によるので、脱毛と紫斑から求めた被曝線量との一致は、脱毛と紫斑も放射性降下物による内部被曝によって引き起こされたことになる。

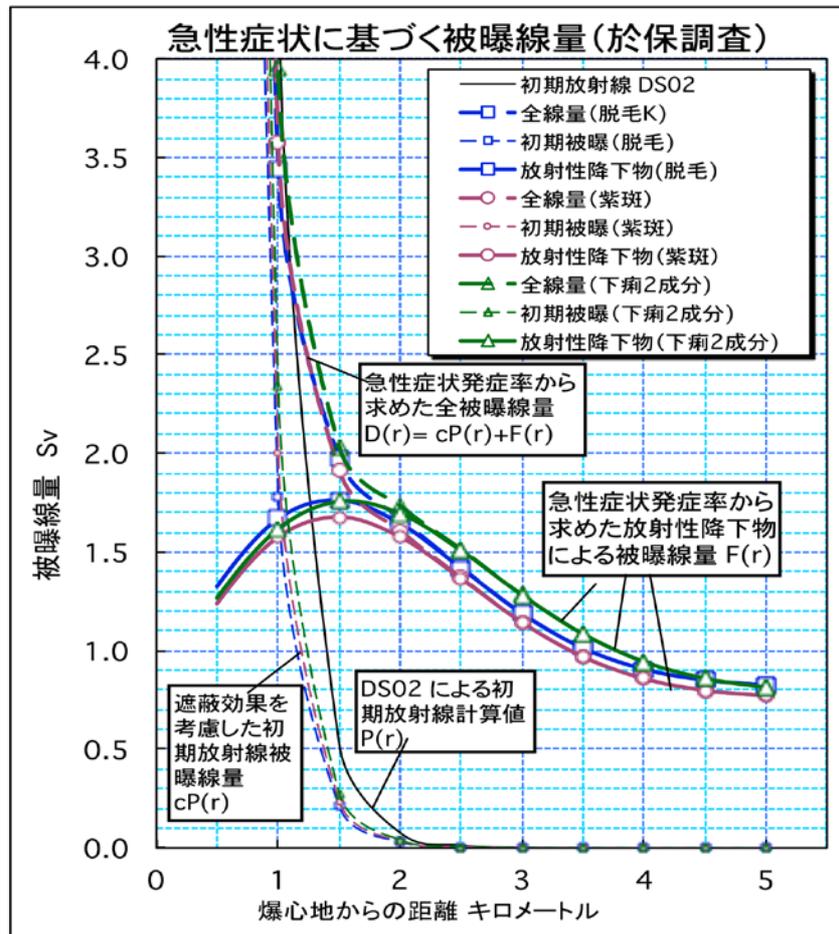


図5 於保調査による急性症状発症率から求めた広島に被曝者の被曝線量

6 長崎原爆の被曝線量

長崎原爆の爆発力は広島原爆の約 1.4 倍であったので、つくられた放射性原子核数も 1.4 倍である。長崎原爆は爆縮式であったために放出された中性子はプルトニウム球を取り囲んだ火薬と爆弾容器や装置の原子核にほとんど吸収されて核反応で放射性原子核をつくりだした。連鎖反応をしないで残ったプルトニウム 239 はウラニウム 235 より放射能が強

い。こうして長崎原爆の火球に取り込まれた放射性原子核の放射能は広島原爆よりもかなり強かった。さらに長崎の原子雲の周辺部が対流圏と成層圏の境界の圏界面に沿って広がる速さは広島原爆より約4倍速かった。図6の写真は爆発およそ1時間後に米軍機から撮影した広島原爆の原子雲である。原子雲の周辺部の端は原子雲の中軸から10 km以内である。図7は爆発約40分後に長崎原爆の原子雲を東方向からスケッチしたもので、原子雲の周辺部の南端は爆心地から南27 kmの野母崎の先端に到達している。このように長崎原爆の原子雲の周辺部の広がる速さは広島の原子雲より約4倍速かった。このことは原子雲の下の遠距離の被爆者に放射能が弱くなる前に放射性物質を到達させたことになる。長崎の原子雲が速い速度で広がった理由は、広島原爆より1.4倍の爆発力であったこと、爆弾が爆縮式であったために放出された中性子や原子核が爆弾容器に吸収されたこと、爆弾投下地域が山に囲まれた地形であったために山に反射した衝撃波が原子雲の上昇を加速させたこと、そして正午近くで大気温度が高かったことなどが考えられる。

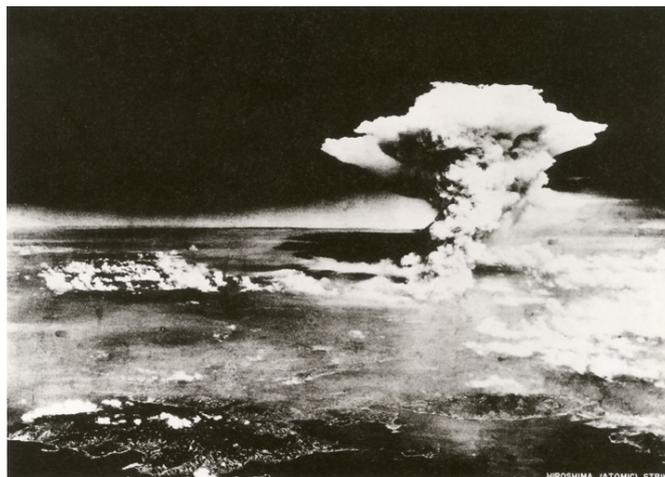


図6 広島原爆原子雲。米軍機から爆発1時間後の撮影。

雲仙岳測候所（爆心地東方45 km）から見た原子雲のスケッチ。午前11時40分。

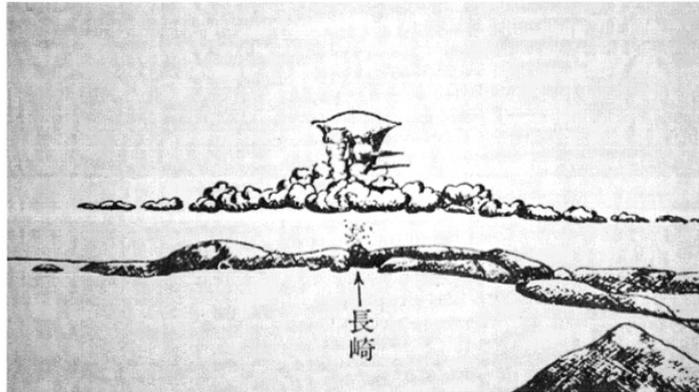


図7 長崎の原子雲。爆発40分後に爆心地から東45 kmの雲仙岳の麓から。

長崎市の爆心地から5 km以内の地域の被曝線量評価は長崎医科大学の調来助による調査が参考になる。調来助による脱毛、紫斑および下痢の発症率調査を表 III と図8 に大きい○、□および△で示した。

2000年に長崎市と長崎県が当時の長崎市外地域を調査した結果を長崎市出版の『原子爆弾被爆未指定地域証言調査報告書 聞いてください！私たちの心のいたで』に掲載した。その中の脱毛、紫斑および下痢の自治体ごとの発症者数と発症率を表 IV に記した。図8に表 IV の被爆未指定地域の脱毛、紫斑および下痢の発症率を小さい○、□および△印で表したが、発症率は自治体ごとによりバラついている。長崎の原爆投下による平均的被曝線量を得るために、長崎市の調査区域（*印）と長崎県の調査区域についての発症率の平均値を求めて表 V に掲げ、図8に大きい○、□および△印で示した。表 IV の自治体の被爆者は原爆手帳が支給されている旧長崎市内と同じ爆心地から4.5 km～12 kmの距離なので、被爆地域を拡大・是正して原爆手帳を支給してほしいと要望してきた。

表 III 調来助ら調査による長崎の被爆者の脱毛、紫斑および下痢の発症者数

爆心地からの距離 (km)	調査数	脱毛	紫斑	下痢
0.5	635	190	139	172
1.25	1506	401	404	600
1.75	884	80	93	290
2.5	1749	58	130	523
3.5	1079	19	46	256
4.5	228	2	7	30

表 IV 長崎市の周辺の被爆地未指定地域の急性放射線症の発症者数と発症率

地域	方向	爆心地からの 平均距離 (km)	回答 者数 (人)	脱毛 (人)	脱毛発 症率 (%)	紫斑 (人)	紫斑発 症率 (%)	下痢 (人)	下痢発 症率 (%)
多良見	北東	8~12 (11)	533	11	2.1	8	1.5	55	10.3
古賀*	東北東	8.5~11.5 (10)	503	17	3.4	14	2.8	100	19.9
矢上*	東	4.5~9.5 (8)	792	29	3.7	37	4.7	134	16.9
戸石*	東	10.5~11.5 (10.7)	801	22	2.7	24	3.0	90	11.2
飯盛	東	12 (12)	84	1	1.2	1	1.2	12	14.3
日見*	東南東	6~9.5 (7.5)	400	10	2.5	8	2.0	57	14.3
茂木*	南南東	6~12 (8.7)	1602	47	2.9	39	2.4	245	15.3
深堀*	南南西	10~12 (11)	651	10	1.5	22	3.4	52	8.0
香焼	南南西	8~11 (10.8)	266	11	4.1	5	1.9	24	9.0
伊王島	南西	11~12 (11.4)	166	7	4.2	8	4.8	28	16.9
式見*	西北西	4~9.5 (9)	618	27	4.4	19	3.1	104	16.8
三重*	北西	6~12 (10)	508	7	1.4	12	2.4	78	15.4
琴海	北西	9~12 (12)	112	5	4.5	4	3.6	31	27.7
時津	北北西	9~12 (11)	50	6	12.0	1	2.0	14	28.0
合計			7086	210	2.96	202	2.85	1024	14.45

*印は古賀、矢上、戸石、日見、茂木、深堀、式見、三重は長崎市調査、その他は長崎県調査。

政府は被曝を初期放射線に限定し、『原子爆弾被爆未指定地域証言調査報告書』に記さ

れた脱毛、紫斑、下痢などの症状は原爆の被爆体験によるトラウマであると精神的影響のみを認めて原爆手帳を求める被爆者を原爆体験者と名付けて原爆手帳は支給しない。脱毛、紫斑および下痢などの急性症状の発症をトラウマとするのは不自然である。表 V には原爆手帳を支給されない長崎市周辺の自治体の爆心地からの方向と距離および被爆したと答えた

	長崎市調査地域		長崎県調査地域		両地域合計	
	発症率	被曝線量	発症率	被曝線量	発症率	被曝線量
平均距離	9.31 km		11.22 km		9.63 km	
脱毛	2.88 %	1.26 グレイ	3.37%	1.31 グレイ	2.96%	1.27 グレイ
紫斑	2.98 %	1.28 グレイ	2.22%	1.19 グレイ	2.85%	1.26 グレイ
下痢	14.64 %	1.32 グレイ	13.50%	1.29 グレイ	14.45%	1.31 グレイ

人数と脱毛、紫斑および下痢の発症者数を掲げた。

表 V 爆心地からの距離 4.5 km～12 km で被爆して被爆者と認知されない人の脱毛、紫斑および下痢の発症率と推定平均被曝線量

於保のデータ解析によって得られた内部被曝による脱毛、紫斑および下痢に対する正規分布 $N(2.535 \text{ Gy}, 0.669^2 \text{ Gy}^2)$ 、 $N(2.572 \text{ Gy}, 0.712^2 \text{ Gy}^2)$ および $N(1.274 \text{ Gy}, 0.544^2 \text{ Gy}^2)$ を用いて求めた長崎原爆による被曝線量を図 9 に示す。爆心地から 1.2 km 以内の領域では主として被曝は初期放射線、1.2 km 以遠では主に放射性降下物という点で広島と同じで

あった。放射性降下物の最大被曝線量は脱毛からは爆心地からおよそ 1.5 km で広島と同じだったが紫斑と下痢からは爆心地から約 2 km となった。2 km を越えると放射性降下物による被曝線量はゆっくり減少し、4 km を越えるとほとんど一定値 1.2 グレイないし 1.3 グレイとなり広島の場合のおよそ 1.6 倍となった。図 7 のスケッチでは原子雲の厚さは 12 km を越えて 16 km まで厚いので放射性降下物の被曝線量が 1.2 グレイないし 1.3 グレイの領域は 12 km を越えた地域にまで続くと考えられる。

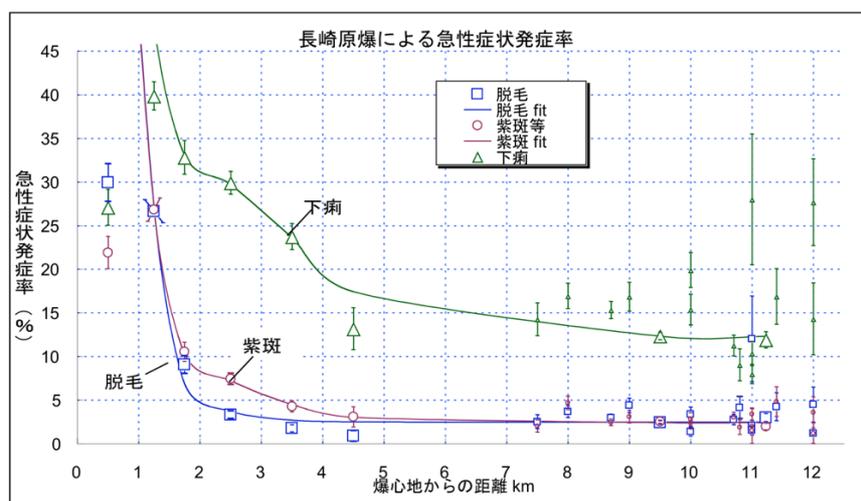


図 8 長崎で被爆した被爆者（5 km 以内）と被爆体験者（7 km 以遠）の急性症状

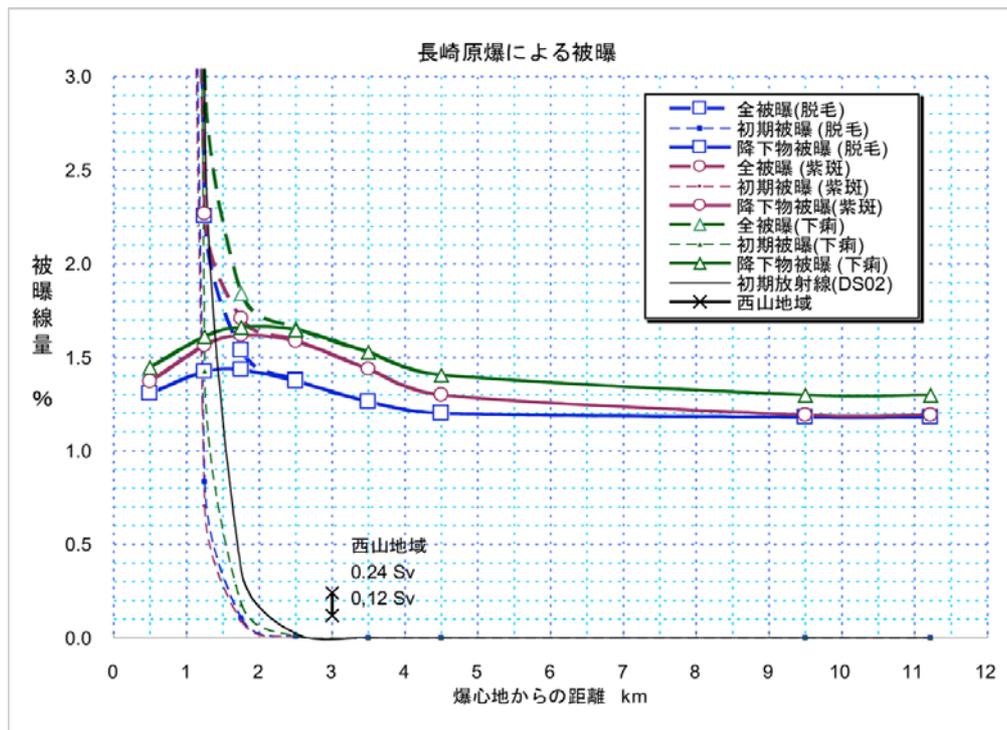


図9 急性症状発症率に基づく長崎原爆による被曝線量

7. おわりに

広島と長崎の原爆被爆者の間に発症した急性放射線障害の脱毛、紫斑および下痢の発症率と被曝線量との関係を表す正規分布を求めて、原爆による放射線量を求めた。その結果、広島も長崎も爆心地から 1.2 km までは原爆から直接放出された初期放射線（ガンマ線と中性子線）による外部被曝が主要な被曝を与え、1.2 km を越えると原子雲から降下した放射性降下物の放射性微粒子を呼吸などで体内に摂取した内部被曝が主要な被曝を与えたことが明らかになった。初期放射線線量は DS02 によって爆心地から 1.5 km 以内についてガンマ線も中性子線も実測値に合致する線量が求められている。放射性降下物による被

曝は内部被曝が主要な影響を与えており、急性症状発症率を用いる生物学的な方法によって初めて明らかにすることができた。

その結果、広島では ABCC の脱毛発症率から爆心地から 1.2 km と 1.4 km の間で最大値 1.6 グレイとなり、それ以遠は爆心地から 4 km までゆっくり減少し、データのある 6.5 km まで一定値 0.8 グレイであった。また於保源作医師の脱毛、紫斑、下痢のデータからは爆心地から 1.5 km において最大値 1.6 グレイないし 1.75 グレイになり、4.5 km までゆっくり減少して 5 km で 0.9 グレイとなった。

長崎での放射性降下物による被曝線量は、脱毛の発症率からは爆心地から 1.5 km で最大値約 1.5 グレイになり、4.5 km までゆっくり減少して 12 km まで一定値 1.2 グレイが続いた。紫斑と下痢の発症率からは 2.0 km で最大値 1.7 グレイとなり、やはり 4.5 km までゆっくり減少し、紫斑からは 1.25 グレイから僅かに減少して 12 km で 1.2 グレイになり、下痢は 1.35 グレイかゆっくり減少して 12 km で 1.3 グレイとなった。図 7 の原子雲のスケッチでは原子雲の厚さの厚い部分が十数 km まで続いているので調査データのない 12 km 以遠も一定値が続いている可能性がある。

これまで長い間 ABCC とその後継の放射線影響研究所は、物理学的測定結果に基づいて放射性降下物による被曝は無視できるとして被爆者の調査を行い、その結果を国際放射線防護委員会 (ICRP, International Commission on Radiological Protection) に送るなどしてきた。その結果日本政府を含む各国政府は内部被曝を軽視した ICRP の放射線防護基準を作ってきた。原爆症認定訴訟においても被爆者は被爆実態に基づいて訴えたのに対し日本政府は ICRP の内部被曝軽視の立場の主張を繰り返した。私は 1990 年代後半から原爆

症認定訴訟に関わり、被爆者の被爆実態から学んで放射性降下物による内部被曝を科学的に解明することになって、この論文のところにまで到達できた。

原爆の放射性降下物の内部被曝の問題は原発の事故で大気中に放出された放射性物質による被曝の問題とも密接に関連している。さらに広島・長崎原爆の後 1963 年の部分的核実験禁止条約まで、核兵器国が爆発威力の大きい原爆や水爆の大気圏内での核実験を 502 回も行っており爆発威力を総計すると 440 メガトン TNT となり広島原爆の 3 万 5 千発分に相当する。私は 2016 年 6 月、英国の内部被曝問題研究者のクリス・バスビー博士に依頼されて、1950 年代の終わり頃に英国が南太平洋で行なった核実験に参加した元従軍兵士約 1000 人が原告で英国政府を相手取って起こした裁判のロンドン高等裁判所における控訴審において証言した。原告の内約 600 人は本人が死亡しているため家族が原告で、本人の原告は約 400 人であった。平均年齢は 70 代半ばであるから核実験の放射性降下物による被曝影響での死亡率は 57% 程度となり、極めて被曝影響は深刻である。核実験をした政府は核実験に参加した兵士や、核実験場周辺の住民の健康状態の調査をほとんど行っておらず、深刻な事態が予想されるので、核兵器国は調査を行って核兵器禁止条約第 6 条に従って救援する必要がある。

2017 年 7 月 7 日に核兵器禁止条約が制定され、やがて 50 カ国以上が批准して 2020 年には発効すると期待している。この条約の第 6 条は核兵器の使用や核実験によって被害を受けた人を、核兵器を使用し核実験をした国は援助しなければならないとしている。そのためには原爆使用や核実験による被害を核兵器国が調査して明らかにする必要がある。英国と同じように核兵器国は自国の核実験に参加した兵士たち多数を放射性降下物によって被

曝させている可能性が大きい。核兵器国は核兵器禁止条約に反対するのではなく、自国の兵士や核実験場周辺の住民を放射性降下物によって内部被曝させていることを調べて、核兵器の非人道性を明らかにして核兵器禁止条約に加盟すべきである。2020 年を、核兵器のない地球で「国際紛争において武力を使用したり武力で威嚇しない」という国連憲章の原則に基づき、さらに日本国憲法第 9 条の世界化によって、人類が平和で豊かな暮らしが世界中に広がる出発点の年にしたい。