

気象・土壌ワーキンググループ（五十嵐WG）（報告）

1 これまでの経緯

令和2年（2020年）に、第一種健康診断特例区域の在り方を科学的・合理的な観点から再検証するため、厚生労働省健康局長（当時）の下に第一種健康診断特例区域等の検証に関する検討会（以下「検討会」という。）が設置された。

広島黒い雨に関する土壌調査については、昭和51年（1976年）と昭和53年（1978年）に実施されたが、1960年代に行われた大気圏内核実験による放射性降下物の影響により、黒い雨に由来する残留放射線の検出は困難であった¹⁾。また、平成3年（1991年）には気象シミュレーションによる黒い雨の雨域の再現が試みられたが、入力可能な気象データが不十分であったことや、シミュレーションモデルの限界もあり、局所的な対流や雲などを十分に表現することができなかった²⁾。さらに、平成24年（2012年）にも科学的検証が行われたが、気象シミュレーションは実施されなかった³⁾。

近年、気象学や環境科学の領域の技術は大きく進歩した。気象学の研究領域においては、各種の気象観測情報を用いて地球全体の気象データを計算することで、過去の気象を再現する研究が進み、原子爆弾が投下された昭和20年（1945年）当時の気象を再構築できるようになった。また、環境科学の研究領域においては、放射性核種を用いて高い精度で土壌サンプルの年代推定が可能になるとともに、微量元素・同位体比解析についてもその精度は以前に比べて格段に高いものとなった。

検討会では、こうした最新の技術を活用することにより、広島黒い雨に関する新たな知見が得られる可能性があるのではないかと考えから、五十嵐康人特任教授（京都大学）を中心とした気象・土壌ワーキンググループ（以下、WG）において、前例のないほど大規模で斬新な手法も採用した調査研究を実施した。WGは、（1）気象モデルによる原爆投下時の気象再現と爆発雲・衝撃塵・火災で発生した物質の地表面への沈着再現（以下「気象シミュレーション」という。）及び（2）土壌調査による実証データ取得で構成され、環境放射線学、原子力科学、地球環境科学の各専門家が最新の知見を踏まえて実施したものであり、今日の科学の到達点といえる。

¹⁾ 広島、長崎の残留放射能調査報告書（昭和51年、53年）（財）日本公衆衛生協会

²⁾ 黒い雨専門家会議報告書（平成3年5月）

³⁾ 原爆体験者等健康意識調査報告書等に関する検討会（厚生労働省）

本報告書は、令和2年度（2020年度）の予備的調査を踏まえ、令和3年度から本格的に5年間にわたり実施された調査の成果をまとめたものである。

2 気象シミュレーション

（シミュレーションの手法）

広島に原爆が投下された当時の気象については、長期再解析データ⁴⁾を初期および側面境界条件⁵⁾とした領域気象モデル⁶⁾を用いて、広島市を中心とした降水域、放射性物質、衝撃塵および黒色炭素粒子の輸送・拡散・沈着のシミュレーションを行なった。こうしたシミュレーションは1990年代以降にデータ同化技術⁷⁾が進展し再解析データが整備されるとともにアンサンブル計算⁸⁾を用いた統計的な誤差評価手法が確立されたこと、および大気汚染問題で使用される物質輸送モデル・化学輸送モデル⁹⁾が開発されたことではじめて可能となった。再解析データの高層気象を含めた現実大気の再現性、および放射性物質や黒色炭素粒子の大気中動態の再現性については広域的・長期的な観測データなどで確認を行ったうえで本シミュレーションを実施した。

計算の結果、広島においては核爆発熱源により積乱雲が発生し最初の降雨が生じていると考えられた。加えて大規模な街区火災が原爆投下直後から発生し、これが積乱雲群を形成する主な熱源となり、主要な降水をもたらしたと考えられた。なお、本研究では過去の研究成果にもとづき、核爆発熱源の100倍以上の街区火災による熱エネルギーを与えて

⁴⁾ 欧州中期気象予報センター（ECMWF）第5世代のグローバル再解析ERA5は、各種気象観測情報を用いて数値モデルの予測情報を補正し、より現実に近い気象データを構築する。地表・海上観測とゾンデなどの高層観測を取り込んだ、1940年以降のデータが2024年に公開された。

また推定精度検証のため、同化対象期間の各日について1日2回、18時間のアンサンブル計算を行っており、本課題における気象場の不確実性が降雨域推定に与える影響評価についてはこちらを使用している。

⁵⁾ 気温、湿度、風向・地上気圧、海面温度、地形などの条件のこと。

⁶⁾ 高解像度での非静力学気象モデル Weather Research and Forecasting Model (WRF)。米国NCAR(大気研究センター)を中心に開発されているコミュニティモデルで、各国の研究機関や気象予報分野で用いられている。本課題では2022年に公開されたバージョン4.4を基に、対流雲を解像しうる水平スケールにおいて都市キャノピーモデルの人工排熱に火災熱源を与える形で火災影響等の評価を行った。

⁷⁾ 観測では現実の気象状態を得ることが出来るが、地点や高度、あるいはデータの種類が限定されるとともに観測誤差を含んでいる。他方、気象モデルでは全ての計算点での推定値が得られるが、使用した仮定などに基づく推定誤差を含んでいる。各々の不確かさを考慮しつつモデル推定値に対して観測値を用いて統計学的にもっとも確からしい状態を推定することをデータ同化と呼ぶ。

⁸⁾ 気象現象の予測は、わずかな初期値の違いによっても結果が大きく異なるカオス的な性質がある。従って1つの計算結果（決定論的予報）だけでは把握できない予報誤差が発生するため、これを評価するために導入された手法。初期条件を少しずつ変化させて複数の計算を行う。個々の計算をアンサンブルメンバーと呼ぶ。

⁹⁾ 本WGでは、Cs-137と衝撃塵には幅広い大気中の輸送・拡散・沈着過程の再現に適したFlexible Particle Dispersion Model (FLEXPART)を用い、黒色炭素粒子には化学の反応と輸送過程を組み合わせたモデルであるWRF/Chemを用いてシミュレーションを行った。

計算している¹⁰⁾。

シミュレーションの結果、当該積乱雲群は、爆心地から北西～北北西方向地域における降水をもたらしたと考えられた。この降水域のシミュレーションは、過去の「宇田雨域（強雨）」と概ね整合していた。一方で、広島市街を取り囲む周辺山間地で計算された降水域は原爆に由来する熱源をすべて除外した計算でも出現したため、夏の午後にはしばしば発生する局所的な驟雨（以下、にわか雨）と推定された（図1）。

引き続き、気象計算結果を用いて原爆で生じる放射性物質のCs-137、衝撃波により地上で発生する塵および街区火災で発生する黒色炭素粒子の流れと地表面への沈着を、物質輸送・化学輸送モデルにより計算した。地表付近を漂う物質が地表面に付着する乾性沈着と、降水に起因する湿性沈着の両者を計算し合算したが、物質の性状（粒径分布、親水性など）の与え方により結果が変動し、安定した結果を得ることができなかった。

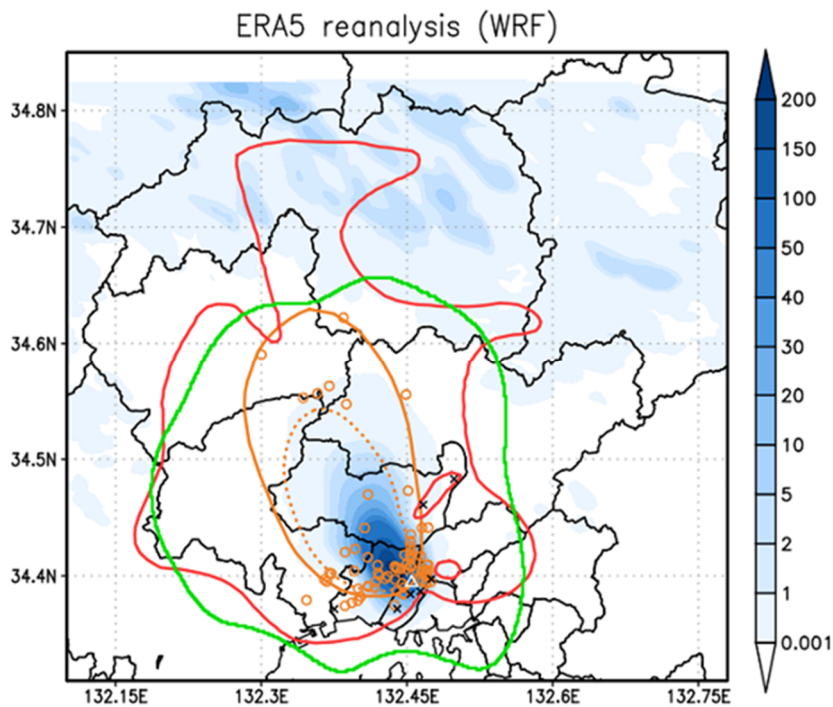


図1 ERA5 再解析データを用いてシミュレーションした爆発後9時間の積算降水量 [mm] 橙色は宇田雨域（実線は小雨域、点線は強雨域）、赤色実線は増田雨域、緑色実線は大瀧雨域を示す。△は爆心地で、宇田らの住民に対する聞き取り調査結果の降雨証言に基づき、降雨証言があった地点を橙色の○、降雨証言がなかった地域を黒色の×で示している。

（気象シミュレーションに含まれる不確実性）

一般に、実際の気象現象はさまざまな要因が複雑に絡み合っているため、気象シミュ

¹⁰⁾ 広島原爆のエネルギーが 6.7×10^{13} ジュールと見積もられているのに対して先行調査研究 (Hisof) では街区火災の総熱源を 7×10^{15} ジュールと見積もっている。

レーションには限界がある。これを気象シミュレーションがはらむ不確実性という。本WGにおいては、不確実性評価の目的で実施した10事例のアンサンブル計算では、例えば、街区火災が盛んであった8月6日正午の爆心地の約10 km上空で、最大で90度を越える風向差（標準偏差約30度）が事例間でみられ、風速には7.8 m/sの平均に対して標準偏差2.3 m/sのばらつきが見られた。

また、街区火災から排出される黒色炭素粒子の気象場との相互作用を考慮する精緻なシミュレーションを実施した。その結果、相互作用を考慮しない場合と比較して、爆心地周辺において積算降雨量50 mm以上降雨が減少することが示された。この降雨量の減少は、上層に存在する黒色炭素粒子が太陽熱を吸収し、周囲の空気を暖めることで上昇流を弱め、雲の発達を抑制する作用に起因すると考えられた。

なお、本WGのシミュレーションにより得られた結果について、当時の地上観測値である風向、風速、気温、湿度と比較したところ大きな差異は認められなかった。しかしながら、当時の高高度における気象観測が乏しかったため、積乱雲の移動を決める上層風に関して、広島上空における当時の実測値との比較を行うことができなかった。したがって、積乱雲の移動速度や方向に大きく左右される雨域に関しては、本シミュレーションで得られた結果についても一定の不確実性が依然として存在することには留意しなければならない。

3 土壌調査

（採取と分析の方法）

土壌調査においては、約5 km四方に120区域を設定し、広島県に該当する110区域について、戦後に改変がなかった可能性のある地点を探索・選定した。これらの地点において、図2に示すスクレーパー法¹¹⁾を用い、深さ約1 cmごとに土壌採取を行った。採取した土壌については、滅菌、乾燥、篩分けの前処理を行った後、土壌層の年代推定指標と考えられるPb-210（鉛）¹²⁾、原爆由来の放射性降下物の指標と考えられるCs-1

¹¹⁾ 地表の薄い土層を一定の厚さごとに削り取る手法を用いた。試料は、覆土や客土が施されていない神社仏閣、史跡、国有林等の土地のうち、戦後一貫して植生が維持され、腐葉土層の厚い堆積が認められる地点において採取した。さらに、その後の分析により、土壌プロファイル中にCs-137のグローバルフォールアウトに対応するピークが確認され、かつPb-210プロファイルに乱れが認められないことなど、複数の条件を満たすことを前提として評価を行った。

¹²⁾ Pb-210（鉛）は一定の割合で大気から降下し続ける天然放射性核種で、深さごとに規則的な減衰分布を作るため年代推定に使え、その分布の乱れから土壌の攪乱も判断できると考えられている。

37 (セシウム)¹³⁾、および街区火災由来の指標と考えられる微粒炭¹⁴⁾を測定した¹⁵⁾。

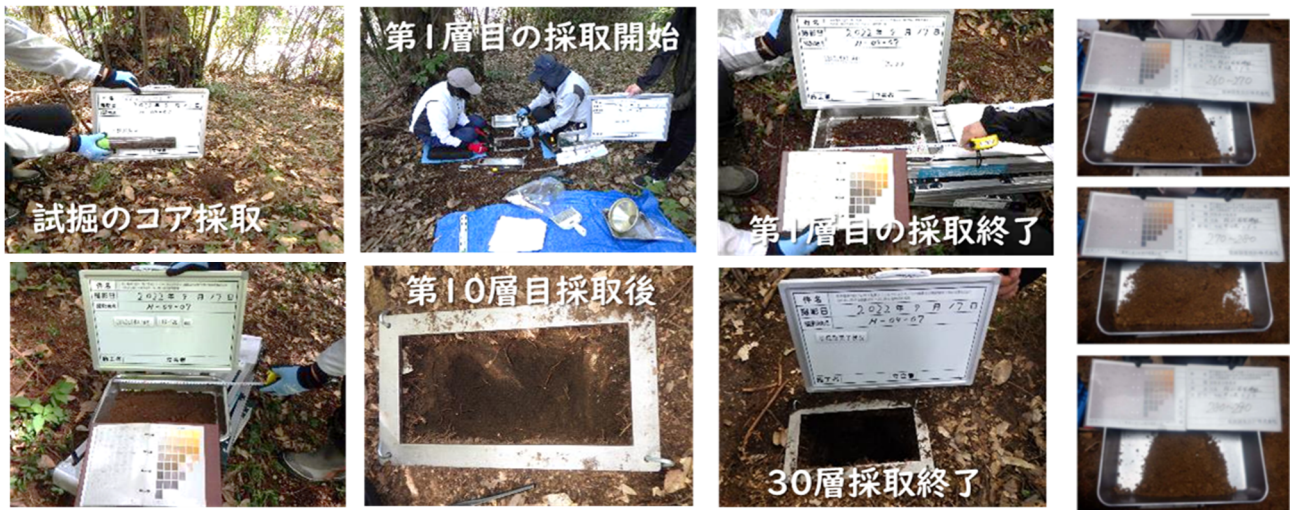


図2 スクレーパー法による層別土壌採取の手順

試掘坑において表層土壌のコア採取を実施した後、第1層から第30層まで、スクレーパー法を用いて土壌採取を行った。植物の根があること等により、第30層まで採取できなかった場合は、採取可能な深度までの土壌を採取した。

測定値については、本WGで検証を行い、深さ方向の分布を示すグラフを採取地点ごとに作成した（以下「プロフィール」という。）。なお、これまでに水底堆積物を対象とした研究では、「Cs-137の深度分布は1945年の原爆由来の沈着と1960年代の大気中核実験由来の沈着で層序が異なるため両者を識別し得るとする報告」（Kokubu et al. 2008）や「微粒炭は自然火災のみならず、大規模な街区火災から放出されること」を示した報告（村上ら, 2004）がある。本WGで取り扱う試料は水底堆積物ではないものの、陸上土壌においてもこれらの特徴が認められる可能性を期待して、Cs-137や微粒炭に着目した分析を行うこととした。以下に、土壌調査のフローを示す（図3）。

¹³⁾ Cs-137 (セシウム) は原爆のみならずウランなどの重い元素の核分裂反応を利用する核兵器や原子炉が使用された際、同反応によって大量に生成される放射性核種である。
¹⁴⁾ 微粒炭は、化学的にきわめて安定していて、堆積物中に良好に保存されるため堆積物中の微粒炭を用いた森林火災史の研究が世界各地で行われてきた。
¹⁵⁾ Cs-137 (セシウム) やPb-210 (鉛) はGe半導体検出器を用いたγ線分光法によりIAEA (国際原子力機関) の標準試料を共通の標準として用いて定量した。合計で7000近くの試料を計測するため国内30を超える機関・測定装置により実施した。各機関で各核種の測定誤差が±10%程度を目安として、測定時間などの条件を調整して計測した。全体のばらつきは同一の試料を各機関で順番に計測する方法 (ラウンドロビン測定) により評価し、そのばらつき (標準偏差) は±20%以内であった。微粒炭は土壌試料を酸やアルカリで処理した後、標準となるマーカー粒子を添加の上、光学顕微鏡を用いて計数した。計数の誤差が5%以下となるように微粒炭粒子の計数が200以上となるように計測した。

110区域から採取された計314サンプル（1つの区域から複数サンプルを採取している箇所がある。）のうち、1960年代の大気中核実験由来と考えられるCs-137のピークが明瞭に認められた113サンプルを「土壌改変なし」と判定した（図3）。このうち、Pb-210、Cs-137、微粒炭の3項目について測定できたのは64サンプルであった（図3）。また、1960年代の大気中核実験由来と考えられるCs-137のピークよりやや下方の深い部分において、Cs-137の濃度が一度上昇したのちに直ちに再び低下する所見を「下方ショルダー」と定義した（図3）。64サンプルのうちこうした下方ショルダーは19サンプルに認められた（図3）。このうち下方ショルダーと一致した層に、微粒炭のピークが存在したものは2サンプルであった（図3）。このうち1サンプルについては、1945年の沈着として矛盾しない層に、Cs-137の下方ショルダーと微粒炭の両方が存在していた（図3）。

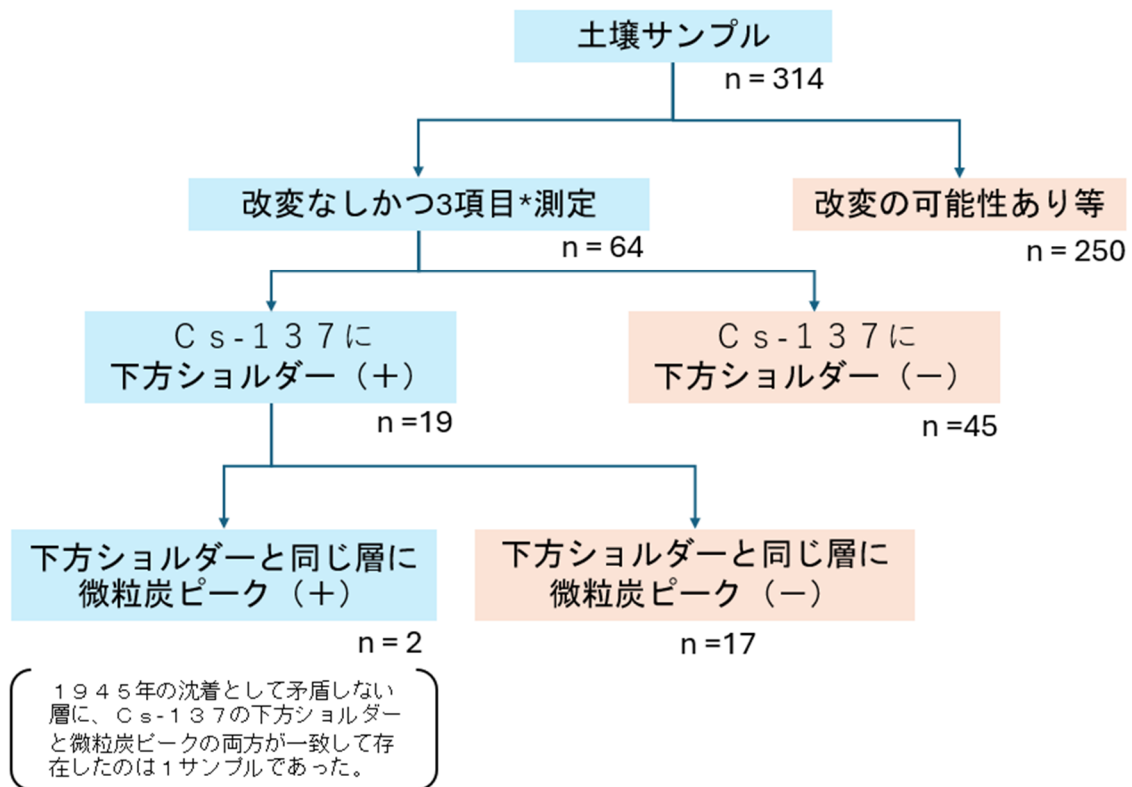


図3 土壌サンプルの分類の流れ

*3項目とはPb-210、Cs-137、微粒炭を指す。

（土壌の改変状況の判別）

図4に土壌の改変状況の判別を示す。図4（a）は「改変なし」と判断された土壌で、1

1960年代の大気中核実験由来と考えられるCs-137のピークが明瞭に認められるとともにPb-210のプロファイルが表層から指数関数的に減少している。これに対して図4(b)はPb-210のプロファイルは規則性を有するが、Cs-137放射能濃度で規格化したプロファイルは不規則である。本WGでは変更がないと判断した土壌サンプルを対象として、さらに詳細な分析を行った。

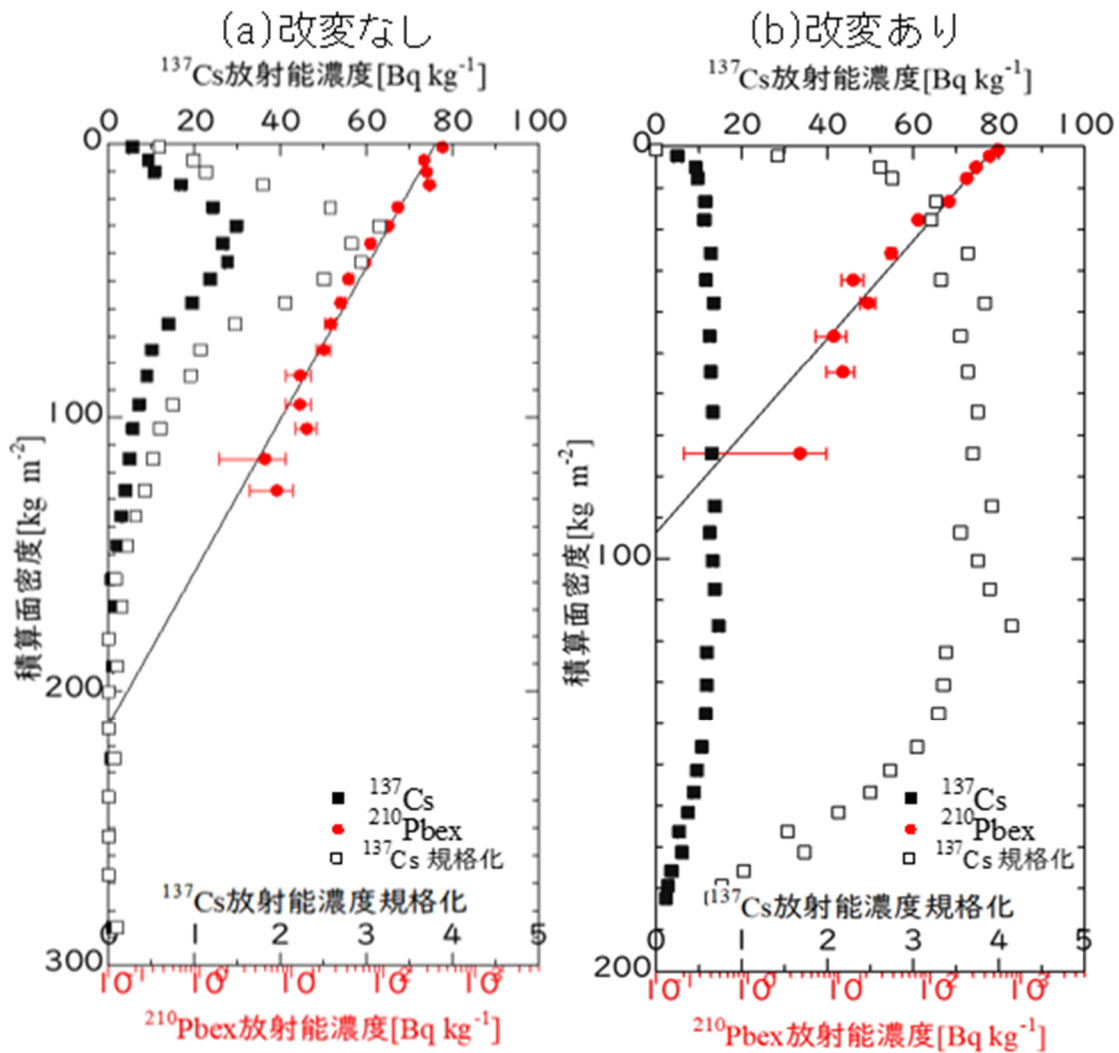


図4 変更なしと変更の可能性のある土壌中のCs-137とPb-210のプロファイル
(a) 変更なしの土壌プロファイル (b) 変更の可能性ありと判断された土壌試料のプロファイル

(Cs-137とその土壌プロファイルについて)

1960年代に実施された大気中核実験により、Cs-137は地球規模で降下しているため、Cs-137が存在することのみをもって黒い雨の痕跡と解釈することはできない。このため、本WGではその一手法として、土壌中におけるCs-137の放射能濃度の深度分布を測定した。測定の結果、変更がなかったと判断された地点の土壌のうち19サン

プルにおいて、下方ショルダーが認められた（図5）。上方のピークは1960年代に実施された大気中核実験に由来するもの、下方のショルダーは1945年の原子爆弾に由来する可能性があると考えられた（図5）。

なお、上方のピークと下方のショルダーの両方が認められたほとんどの地点について、参考としてPb-210の深度分布データと照合したところ、上方のピークは1960年頃、下方のショルダーは1945年頃に対応すると解釈しても、大きな矛盾は認められなかった。ただし、この年代指標には数年～10年程度の不確実性が伴う。一方で、土壌調査にはこのような不確実性が伴うことから、これらの深度分布の解釈については、本WG内でも複数の見解が存在している。他方、残りの45箇所では、下方ショルダーを検知できなかった（図3）。下方ショルダーについては、上方のピークに比べて極めて小さく、これは約80年の経過により黒い雨由来のCs-137は当時の約15%まで減衰しており、沈着量が少なかったり、下層への移流・拡散などで検知が困難な濃度水準となっていたりする可能性も考えられる。

また、Cs-137の濃度が一度上昇したのちに直ちに再び低下するという「下方ショルダー」の定義には当てはまらないものの、低下の角度が緩やかになる「変曲点」を認めたサンプルもあった。そうした変曲点が、上記下方ショルダーが不明瞭化したものなのか、Cs-137の濃度の不均一性によるものかは明らかでない。

（微粒炭と土壌プロファイルの評価について）

Cs-137の下方ショルダーが認められた19サンプルのうち、下方ショルダーと微粒炭のピークの層が一致したのは2サンプルであった。このうち1サンプルについては、1945年の沈着として矛盾しない層に、Cs-137の下方ショルダーと微粒炭の両方が存在した（図5）。後述するように、このサンプルが採取された地点が黒い雨が降ったとされる宇田雨域（強雨）であったことを踏まえると、こうした所見は原爆由来の層を特定する際の貴重な手がかりとなり得、今後の研究を考えるうえで意義深いと考えられた。

なお、Pb-210による年代推計の不確実性を踏まえつつ、変曲点の意味付けがより明確になれば、原爆由来の土壌の層を特定する際の貴重な手がかりになり得るサンプル数が増える可能性がある。

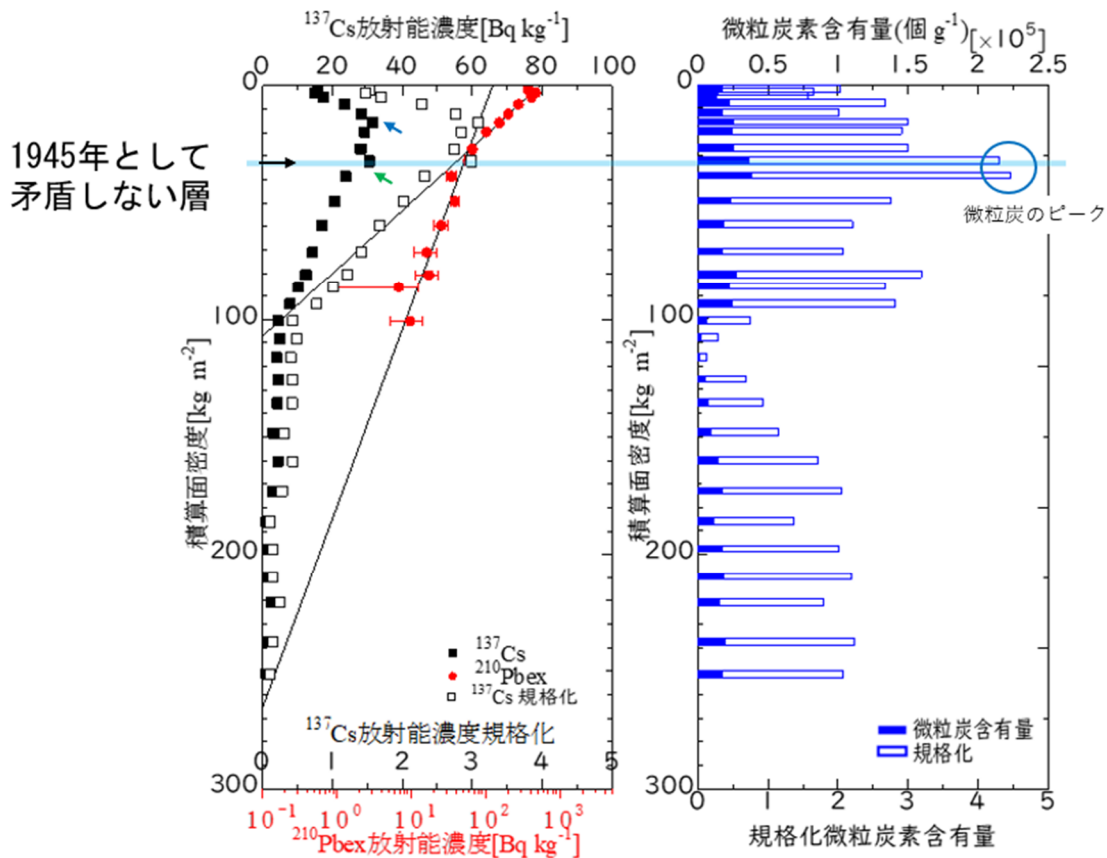


図5 1945年として矛盾しない層にCs-137のショルダーと微粒炭のピークが見られる土壌

左のプロファイル中の青色矢印は1960年代の核実験由来と考えられるCs-137のピーク、緑色矢印はCs-137の下方ショルダーを示す。

一方で、Cs-137の下方ショルダーが認められたものの、同じ層に微粒炭のピークが認められなかった箇所もあった。その理由としては、微粒炭が流出した可能性や、Cs-137と微粒炭の発生源の違い（放出高度および継続時間、発生源自体の位置や空間的な拡がりなど）に起因している可能性も考えられた。たとえば地表から放出された黒色炭素粒子は対流により上層に達したのち上層風で輸送されるものと地表付近を下層風で輸送されるものに分かれ、輸送方向は一致しない。その結果として「黒い雨」の沈着は複雑な分布となり、その含有成分やそれらの物質濃度も一定ではなかった可能性はあり得る。

なお、微粒炭は野焼きや自然火災等といった他の要因の影響によってもバックグラウンドとして蓄積され得る。したがって、微粒炭が存在することのみをもって黒い雨の痕跡と解釈することは現段階では困難である点に留意しなければならない。

4 気象シミュレーションと土壌調査から得られた黒い雨の痕跡の考察

土壌調査の結果と気象シミュレーションで得られた降水物の沈着域と重ね合わせて、さらなる検証を行った。なお、土壌調査と気象シミュレーションの結果を比較するに当たっては、土壌調査で認められる沈着物は、理論的には湿性沈着だけではなく乾性沈着も含み得る点に注意しなければならない。

前述のように、土壌調査から1945年として矛盾しない深さのサンプルにCs-137のショルダーおよび微粒炭のピークが認められた地点1箇所は、気象シミュレーションにおいて認められた爆心地から北西～北北西方向地域の積乱雲群による降水域（いわゆる宇田雨域の強雨地域）に存在した（図6の*印の区画）。

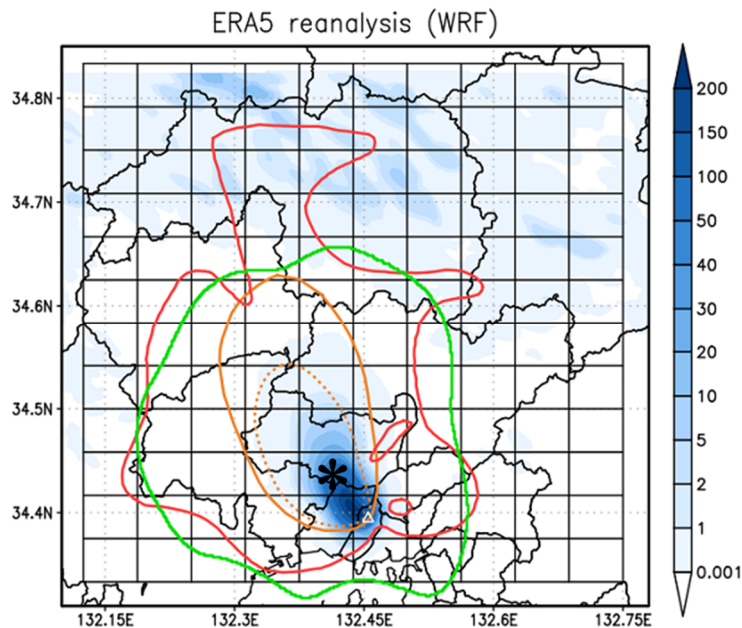


図6 1945年の地層にCs-137と微粒炭が検出された位置

ERA5再解析（WRF）による降雨分布に、土壌サンプルにおけるCs-137と微粒炭が検出された位置（*）を示した。降雨分布と土壌中核種検出状況の空間的対応関係を示す。

一方で、図6の*印以外の区画であっても、気象シミュレーションで雨が降ったという結果が得られた地点もあった。

黒い雨に含まれるCs-137や微粒炭は、これらの物質を含む雨が集中的に降った場所に多く落下・沈着すると考えられる。これらの物質は広い範囲に均一ではなく、一般に特定の範囲に偏って沈着する可能性が高い。この点、土壌調査ではおよそ5km四方における一地点のみの調査であり、空間代表性が低い。すなわち「空振り」があり得る。一方で、気象シミュレーションで再現される降雨域は0.4km格子の空間分解能をもつ。こうした気象シミュレーションと土壌調査の空間分解能の差異が、両者の結果の違いに影響している可能性がある。

また、Pb-210による年代推計の不確実性や変曲点の意味付けがより明確になることで、将来的に土壌調査と気象シミュレーションの結果の違いを説明できるようになる可能性がある。

なお、入力可能な気象情報が格段に豊富な現在の局地気象予報においてさえ、ピンポイントの降水予測は非常に困難であることが認識されている。今回の気象シミュレーションでは、こうした当時の降雨の局所的特性までを捉えているとはいえ、土壌調査結果との比較では、そうした気象シミュレーションの限界に留意しなければならない。

こうした結果を総合的に踏まえると、本WGで得られたデータから、現時点での科学技術をもってしても、黒い雨が降った範囲を正確に特定するにはいたらなかった。

5 その他、明らかになった科学的事実

本WGでは、気象シミュレーションや土壌調査を行う過程で、黒い雨の痕跡の特定に寄与する可能性のあるものを中心に、当時の広島原爆に係るいくつかの重要なデータが得られた。

第一に、黒い雨の痕跡とされている金屏風や白壁の黒色部分を分析した結果、微粒炭、硫酸塩ならびに硝酸塩が検出された。この結果は、黒い雨に煤とともに微粒炭、酸性成分が含まれていたことを示唆する。

第二に、改変のない土壌の深度別元素分布の調査から、黒い雨の降雨域と考えられる土壌において、タングステン、亜鉛といった金属元素の極大ピークが認められた。タングステンについては原爆の中性子反射材由来、亜鉛は金属の中では揮発性が高く原爆の高温環境で気化後、黒い雨とともに沈着したものである可能性はあるが、分析点数が少ないため断定は困難であった。

第三に、原爆由来であると指摘されている熔融粒子¹⁶⁾が実際に降下物の指標として有効であるかについて検証した。熔融粒子は、花火など他起源の粒子とも形状や組成が類似する場合があります、必ずしも原爆由来と断定できないことから黒い雨の指標としての利用は適切ではないと考える。なお、特定の種類の熔融粒子において同位体比の異常が認められたものの、分析点数が限られているため、断定するには至らなかった。

第四に、爆発シミュレーションにおいては、火球形成過程を対象とした流体力学モデル¹⁷⁾を用い、気温・気圧・密度・風速等の物理量を物理法則に整合する形で計算した。火球

¹⁶⁾ 原爆のような極めて高温の事象で、鉱物・金属・ガラスなどが一度熔融し、急冷して固まった粒子のこと。

¹⁷⁾ 原爆のような極端に高温・高圧の爆発で生じる空気の動きを物理法則に基づいて再現するための数値モデル。

の上昇挙動については、ネバダ実験場における核実験データとの比較により検証を行い、また衝撃波の強度については文献値との比較により妥当性を確認した。

第五に、原爆投下直後に仁科博士らによって採取された土壌試料の分析値と戦後間もなく測定された放射線量率のデータについて、改めてデータ解析を行った。その結果、線量の高い地点と低い地点の2群に分類されることが明らかとなった。この違いが湿性沈着と乾性沈着の差異に起因するものであるか否かについて検討するためには、今後さらなる研究が重要であると考えられる。

6 まとめ

約80年前の原爆投下当時の状況について、気象シミュレーションと土壌調査の双方を最新かつ斬新な手法を取り入れて実施した。具体的には、アンサンブル計算など最新手法を取り入れたかつてない精度でのシミュレーション計算を達成することができた。また、土壌調査では地域の土壌を採取し、放射性物質のCs-137と共に新たに微粒炭にも着目し土壌深度方向の分析を実施した。

気象シミュレーションの結果、激しい降雨があったと推定された地域から採取された土壌サンプルからCs-137の下方ショルダーや微粒炭のピークが検出された。このような知見は原爆由来の土壌の層を特定する際の貴重な手がかりとなり得、今後の研究を考えるうえで意義深いものであった。一方、気象シミュレーションと土壌調査の結果が一致しなかった地点も相当数存在しており、現時点の科学技術をもってしても黒い雨が降った範囲を正確に特定するにはいたらなかった。また、広島に投下された原爆以外にも発生源のあるCs-137や微粒炭、気象シミュレーションといった単一指標や手法をもって、黒い雨の範囲を推定することは現段階では困難であった。

将来的に、気象シミュレーションのさらなる高精度化や土壌年代推定手法や微量物質の分析手法とデータ解析手法、土壌での物質分布モデルなどの発展により、これらの測定結果の意味づけや解釈がより明確になることが望まれる。本WGで収集したデータや土壌試料を含む諸資料は、今後の研究を進めるうえで極めて重要な基礎となるものである。

7 参考文献

The Hiroshima Study Group on Re-construction of Local Fallout from A-bomb in 1945 (HiSoF) (<https://www.hisof.jp/#>) (2026年3月26日閲覧)

宇田道隆ほか(2011). 気象関係の広島原子爆弾被害調査報告(日本学術振興会による1953

年刊行の「原子爆弾災害調査報告集 第一分冊」の復刻版）。日本学術会議原子爆弾災害調査報告書刊行委員会:98-135.

増田善信.(1989). 広島原爆後の“黒い雨”はどこまで降ったか. 天気; 36(2):p69-79.

日本公衆衛生協会.(1976). 広島、長崎の残留放射能調査報告書.

日本公衆衛生協会.(1978). 広島、長崎の残留放射能調査報告書.

黒い雨専門家会議(1991) 黒い雨専門家会議報告書

吉川周作ほか(2001). 長崎県西山水源池堆積物に記録された原爆の「黒い雨」. 地質学雑誌; 107(8):535-538.

Saito-Kokubu Y, et. al., (2008) Depositional records of plutonium and Cs-137 released from Nagasaki atomic bomb in sediment of Nishiyama reservoir at Nagasaki. Journal of Environmental Radioactivity; 99(1): 211-217.

丸山隆司ほか(2005) 広島原爆の黒い雨による残留放射能と被ばく線量、184-195、「広島・長崎原爆放射線量新線量評価システムDSO2に関する専門研究会」報告書、葉佐井博巳、星正治、柴田誠一、今中哲二編、ISSN 2189-7107、KURRI-EKR-11

Ohtaki M (2011) Re-construction of spatial-time distribution of ‘black rain’ in Hiroshima based on statistical analysis of witness of survivors from atomic bomb. City (including the hypocenter), 1, 35.

村上晶子ほか(2024年) 大阪城堀堆積物の球状炭化粒子と微粒炭からみた化石燃料燃焼史および火災史、地質学雑誌 第110巻 第1号 2004年1月

8 メンバー

(◎は全体と土壌調査グループとりまとめ、○は気象グループとりまとめ、以下50音順)

◎ 五十嵐 康人 (京都大学複合原子力科学研究所)

○ 石川 裕彦 (京都大学複合原子力科学研究所)

池上 麻衣子 (京都大学大学院)

井上 淳 (大阪公立大学大学院)

猪股 弥生 (金沢大学環日本海域環境研究センター)

遠藤 暁 (広島大学大学院)

長田 直之 (京都大学複合原子力科学研究所)

恩田 裕一 (筑波大学大学院)

坂本 哲夫 (工学院大学大学院)

高宮 幸一（京都大学複合原子力科学研究所）
滝川 雅之（海洋研究開発機構）
羽田野 祐子（筑波大学大学院）
馬場 浩司（農業・食品産業技術総合研究機構）
福田 直子（長崎大学原爆後障害医療研究所）
福谷 哲（京都大学複合原子力科学研究所）
藤原 英司（農業・食品産業技術総合研究機構）
向井 中（京都大学複合原子力科学研究所）
八島 浩（京都大学複合原子力科学研究所）
谷田貝 亜紀代（弘前大学大学院）
横山 須美（長崎大学原爆後障害医療研究所）