



京都大学複合原子力科学研究所
Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science,
Kyoto University

第一種健康診断特例区域等の
検証に関する検討会（第6回）

資料 2

令和4年4月28日

厚労省による「原子爆弾の投下 に伴う放射性降下物の拡散状況 等に関する調査等一式」 強化策ならびに進捗状況

受託事業代表者： 京都大学複合原子力科学研究所
原子力基礎工学研究部門 放射線管理学研究分野
五十嵐 康人

2022年4月28日

本資料は令和3年度の調査研究の進捗状況の概況と昨夏以降の調査研究の強化対応について、その概略を示したものです。

※目的外での複製・配布は遠慮をお願いします。 |

「これまでの議論の経過及び今後の方向性について」を踏まえた研究加速化の状況について

「これまでの議論の経過及び今後の方向性について」から抜粋

1. 気象シミュレーションに関する調査・研究

有識者検討会での議論もふまえつつ、昨年度作成したレシピに基づき今年度中に、試験的な気象シミュレーション等を実施する。その結果を踏まえ、改めて必要なデータや知見などを精査しながら、最終的な放射性降下物の分布推定シミュレーションにつなげる。

強化① 気象学の専門家を新たに複数追加する等、体制を大幅に強化した。

強化② 当時の高層気象データの情報提供等をうける等、気象庁と連携を図った。

2. 土壌中の原爆由来物質に関する調査・研究

土壌調査については、新規採取地点を大幅にふやしつつ、これまでに集められた試料の解析・アーカイブ化も進め、原爆由来降下物の分離同定法の改善を図りながら調査を進める。

強化③ 年度途中に追加土壌採掘を実施。(令和3年度中に広島調査予定地域100の採取終了)

強化④ 10区域につき各採取試料を令和3年度中に分析・測定を実施。残る90区域の土壌のデータ分析についても、令和4年度中に分析・測定を鋭意実施中。

3. 研究班全体について

新たな調査を行うにしても、これまで行われた様々な調査や研究結果をできる限り網羅的に探索・整理し、専門家らが、客観的に解釈した上で報告してほしい。

強化⑤ 研究の関係者全員が参加する進捗会議を定期的で開催した。

強化⑥ このなかで、他の調査で得られた文献等の分析を担当する研究者を追加した。

強化策① 調査体制の強化

赤字が前回検討会
以降の強化部分

気象・土壌WG

代表:五十嵐康人 京都大学複合原子力研究所・教授

土壌チーム (主なメンバー)

- 五十嵐康人 京都大学複合原子力科学研究所・教授
- 福谷 哲 京都大学複合原子力科学研究所・准教授
- 高宮幸一 京都大学複合原子力科学研究所・准教授
- 高橋知之 京都大学複合原子力科学研究所・准教授
- 遠藤 暁 広島大学大学院先進理工系科学研究科・教授
- 吉永信治 広島大学 原爆放射線医科学研究所・教授
- 松田尚樹 長崎大学 原爆後障害医療研究所・教授
- 井上 淳 大阪市立大学大学院 理学研究科

実施・協力機関

- ☑ 土壌採取 ・ 民間会社 (2社)
- ☑ 試料分析・解析 ・ 民間会社 (4社)
・ 大学・研究機関 (14大学・機関)

全体

- ・ 8月以降月に1-2回全体進捗会議を開催
- ・ 他調査に関する分析も実施

気象チーム (主なメンバー)

- 五十嵐康人 京都大学複合原子力研究所・教授
- 石川 裕彦 京都大学防災研究所・名誉教授
- 大原 利真 埼玉県環境科学国際センター・研究所長
- 滝川 雅之 海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センター・グループリーダー

実施・協力機関

- ☑ シミュレーション開発・解析
・ 民間会社 (1社)

データ提供 気象庁:高層気象データ

令和3年度提案計画概要+強化策

【業務実施事業者および実施者氏名一覧】

事業者名	分担者	分担および強化策概要
京都大学・複合原子力科学研究所	五十嵐康人・教授 福谷 哲・准教授 高宮幸一・准教授 高橋知之・准教授 八島 浩・助教 石川裕彦・研究員(京大防災研究所・名誉教授) 今中哲二・研究員(京大複合原子力科学研究所・元助教)	(1) 気象モデルの構築に向けた調査研究、(2) 気象モデル計算結果の検証データセットの作成に関する調査研究 a. 土壌採取調査及び原爆由来物質の分離・測定方法の検討とb. 試料活用のための整理ならびにアーカイブ化、(3) a. 有識者会議の開催 b. 調査報告書作成 c. 文献精査
広島大学大学院・先進理工系科学研究科	遠藤 暁・教授	同上
広島大学・原爆放射線医科学研究所	吉永信治・教授 久保田明子・助教	(2) 気象モデル計算結果の検証データセットの作成に関する調査研究 b. 試料活用のための整理ならびにアーカイブ化、(3) a. 有識者会議の開催とb. 調査報告書作成
長崎大学・原爆後障害医療研究所	松田尚樹・教授 横田賢一・助教 福田直子・技術専門職員	(2) 気象モデル計算結果の検証データセットの作成に関する調査研究 a. 土壌採取調査及び原爆由来物質の分離・測定方法の検討とb. 試料活用のための整理ならびにアーカイブ化、(3) a. 有識者会議の開催とb. 調査報告書作成
大阪市立大学大学院・理学研究科	井上 淳・准教授	(2) 気象モデル計算結果の検証データセットの作成に関する調査研究a. 土壌採取調査及び原爆由来物質の分離・測定方法の検討、(3) b. 調査報告書作成

【その他分担者】 (1) 気象モデルの構築に向けた調査研究

大原 利真 埼玉県環境科学国際センター・研究所長

滝川 雅之 海洋研究開発機構・地球環境部門・北極環境変動総合研究センター・グループリーダー

1. 気象モデル調査の進捗状況

どのように原爆雲、衝撃塵、火災煙を再現するか

シミュレーションモデルの構築状況

- ✕ 原爆雲, 衝撃塵, 街区火災の3つに**気象場**を加えた構成要素に分けてシミュレーションモデル構築を進めている

	シミュレーション概要	進捗概要
1. 気象モデル	<ul style="list-style-type: none"> ①原爆投下前後の局地気象の計算 ②爆発雲に伴う降水の計算 ③街区火災による降水の計算 	<ul style="list-style-type: none"> ①モデルの性能評価 ①歴史的再解析 (ERA20C, NCEP-20CR)の調査を進めた ②WRFで爆発雲による降水を再現できることを確認した ③WRF-fire, urban-canopy 等を検討
2. 爆発モデル	起爆による爆発衝撃波の伝播を計算し、爆風通過後の流体場・粉塵巻き上げを計算する	<ul style="list-style-type: none"> ①爆風通過後の圧力場・火球上昇の履歴を再現できることを確認した ②衝撃塵の追跡法を検討した
3. 火災モデル	街区火災の範囲と熱量計算	HiSoFで与えられている発熱量の見積もりを利用する方針
4. 拡散モデル	気象場を入力として、核生成物、放射化された塵埃の拡散と沈着を計算する	FLEXPART, CMAC, WRF-Chemを調査

- ✕ 現在、各シミュレーションの個別の試験シミュレーションを実施。
- ✕ R4年度には、統合シミュレーションを実施予定。

進捗状況（気象モデル）

気象モデル_気象状況

広島原爆投下時の気象状況_「鯨の尾」型気圧配置

太平洋高気圧が日本を覆い、その西側が朝鮮半島・東シナ海で北側に張り出す。東側を向く鯨が朝鮮半島付近で尾を跳ねあげているように見える。夏の晴天が長続きし、全国的に猛暑に見舞われる。

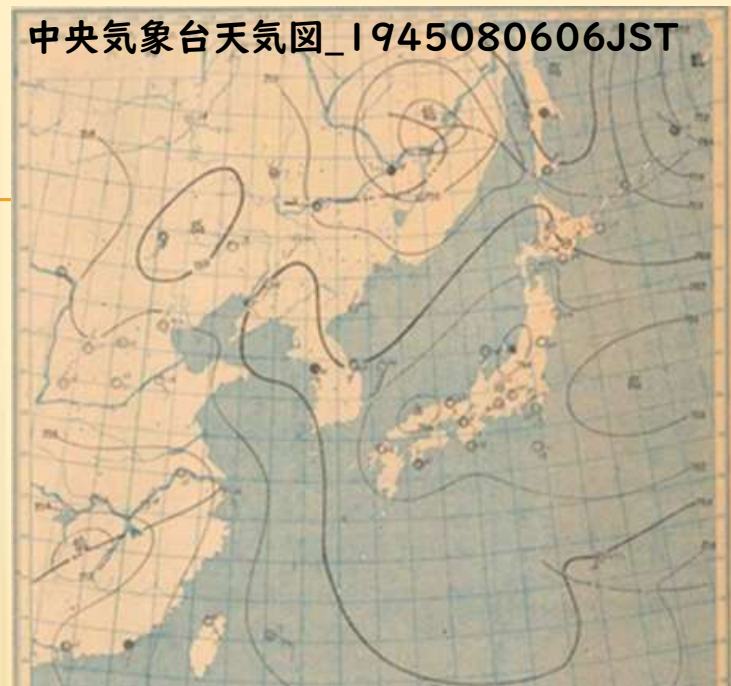
高低気圧による一般風が弱く、海陸風や山谷風などの局地循環が卓越する

=>局地気象モデルの性能が試される事例

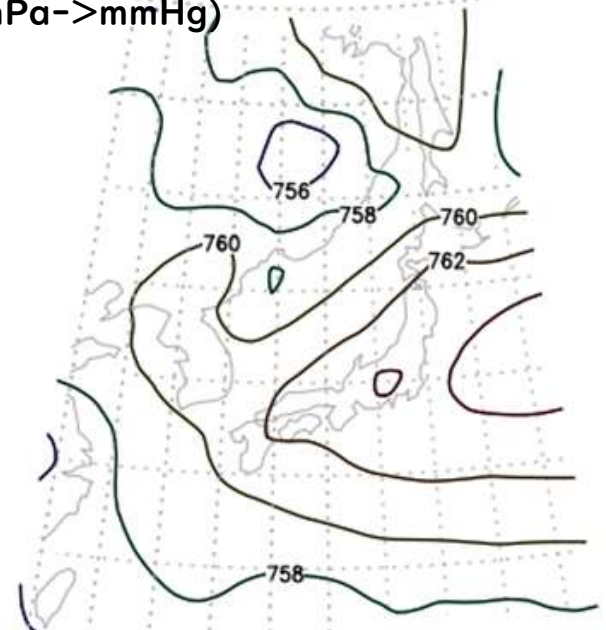
気象状況の再現可能性 歴史的再解析の利用

1980年以降の気象状況は、**地上・高層・衛星データ**観測を数値予報モデルに同化して作成した**最新再解析データ**が利用可能。それ以前の期間では、**地上気圧観測のみ**をモデルに同化した、**歴史的再解析**が作成されている。**歴史的再解析**が現実をどの程度再現するかを**最新再解析データとの比較**で検討する。(最近の「鯨の尾」型事例: '00Aug11, '02Aug1-3, '06Aug3-6, '06Aug11-12, '07Aug5-6, '15Aug5-6 ... etc.)

中央気象台天気図_1945080606JST



歴史的: ERA-20C_1945080600UTC
(hPa->mmHg)



気象モデル_歴史的再解析の検証

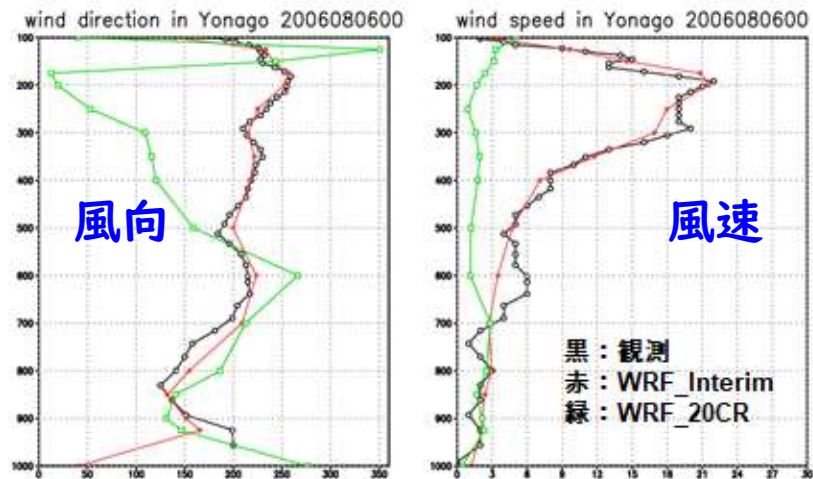
歴史的再解析データの検証

歴史的再解析 (ER-20C) と最新再解析データ (ERA_Interim) が共存する期間 (概ね1980-2010年) で、比較して**風の場**の信頼性を評価
風速場: 歴史的再解析 (緑) と最新再解析 (赤) それぞれを入力としてWRFでダウンスケール計算した
2006年8月6日00UTCの米子の風を観測と比較する (右図)。この事例では、500 hPaより上層で観測との乖離が大きい

積雲対流と降水に影響する**熱力学場**はどの程度再現されるか?

積雲対流の発達のしやすさに対応する対流有効潜在エネルギー (CAPE) を比較: 歴史的 (左) と現行 (右)

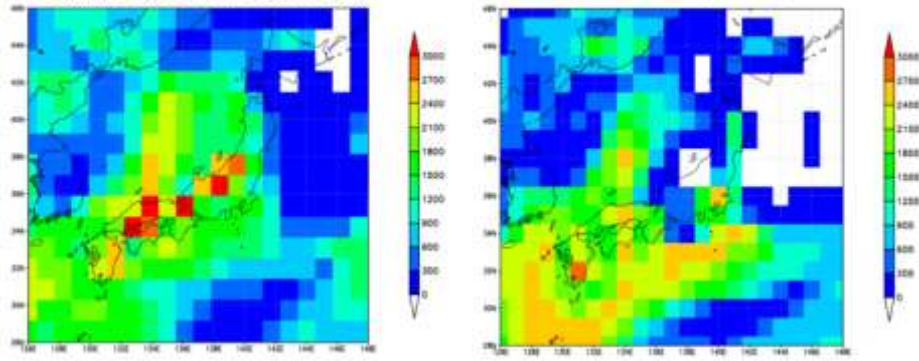
ERA-20Cの場合 (米子の高層観測との比較)



可能降水量分布 (mm). 左が歴史的、右が現行

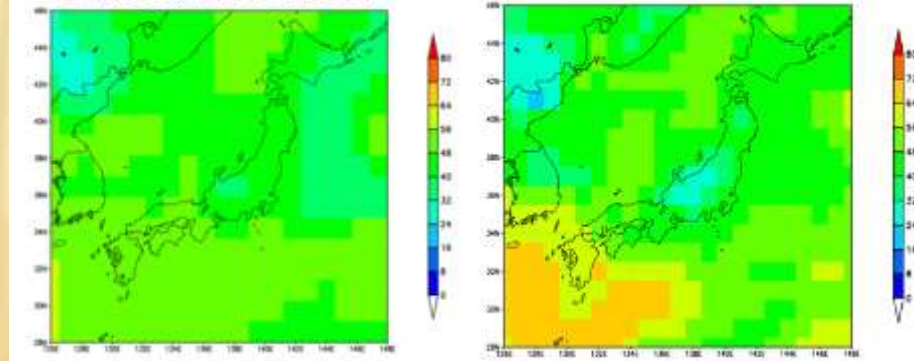
ERA20C(2006081106UT)

NCEP-FNL(ibid.)



ERA20C(2006081106UT)

NCEP-FNL(ibid.)

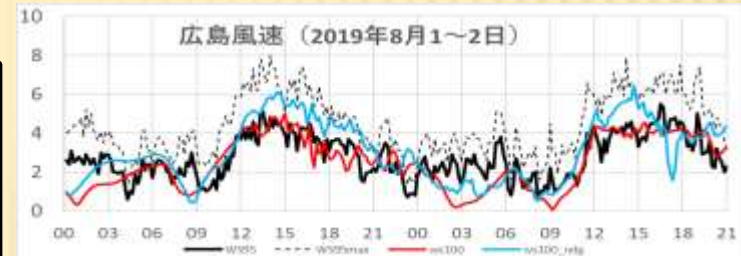
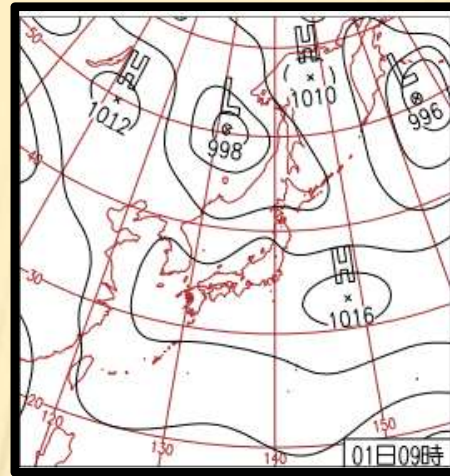


*他の類似事例について同様の比較を行い不確実性に関する情報を蓄積する必要有り

気象モデル_数値モデルの性能

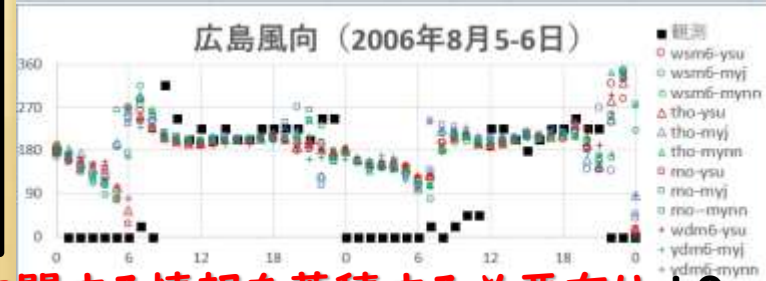
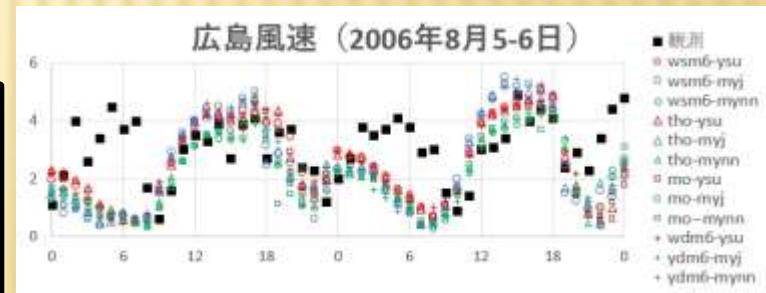
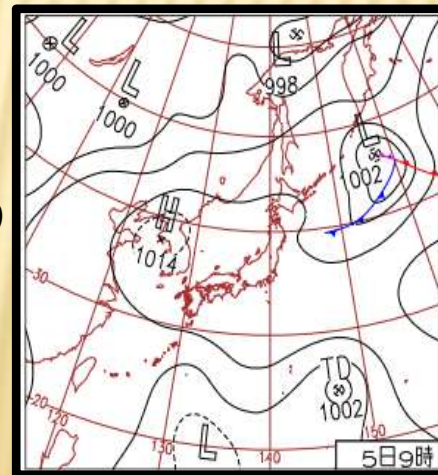
モデルは局地循環を再現できるか？(最近の事例)

2019年8月1-2日
 NCEP-FNL (1°, USA) 利用
 2700 m 格子、鉛直35層
 Thompson 雲物理、YSU境界層
 広島地方気象台の観測と比較:
 日中の海風は、風向風速とも良く一致する。陸風(夜)開始のタイミングにずれが見られる



境界層や降水物理の扱いが結果にどう影響するか？

2006年8月5-6日
 ERA-Interim (1°, ECMWF)
 2000 m 格子、鉛直41層
 雲物理 (WSM6, Tho, mo, wdm6)
 境界層 (YSU, myj, mynn)
 広島地方気象台の観測と比較:
 YSU_陸風強め、MYJ_海風強め
 MYNN_全体的に風速弱め



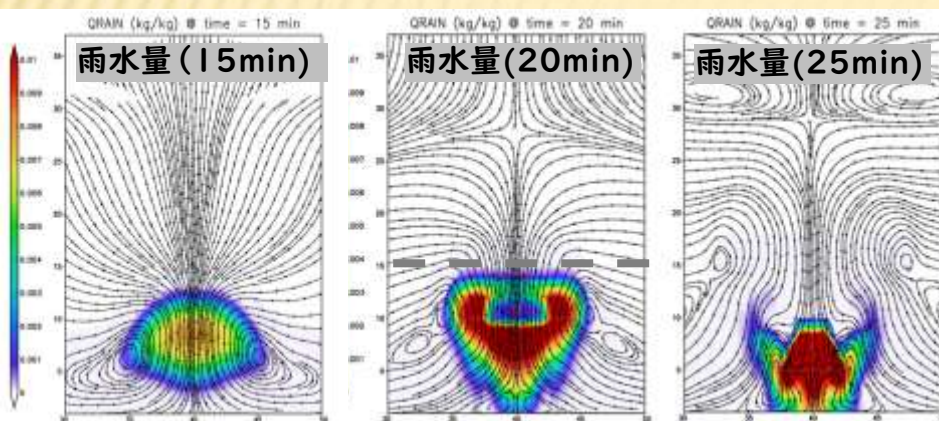
*他の類似事例について同様の比較を行い不確実性に関する情報を蓄積する必要有り 10

数値モデル_広島原爆事例への適用

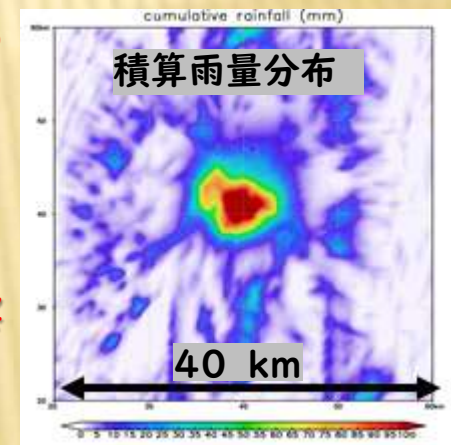
原爆雲による降水の計算…ネバダ砂漠で原爆実験しても雨は降らない!

原爆のエネルギー ($\sim 10^{15}$ [J]) 相当のバブルで原爆を近似して対流と降水を発生させる

湿潤境下でWRFの**理想実験**:原爆相当のエネルギーで積雲対流が発生し降水がもたらされる様子を確認した



- 2006年8月6日00UTCの再解析とWRFで計算した広島上空の気象場で計算した降水分布
- 水平鉛直400m格子
- 雲物理:Thompson
- 夏の広島環境で**爆発雲**とそれからの降水をWRFで計算できることを確認



街区火災による降水の計算

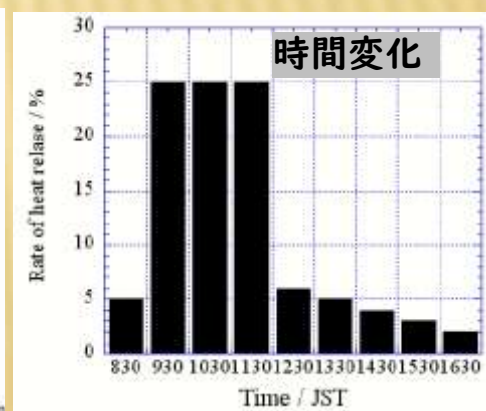
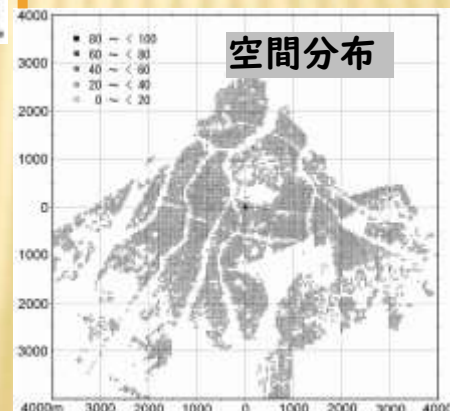
WRF_fire 利用の検討

WRF_urban canopy 利用検討

⇒ HiSoFにてAoyama et al. が見積もった顕熱フラックスを陽に与える

拡散沈着計算

粒子型拡散モデルFLEXPART, 気象研究所開発のオイラー型モデルCMAQのオフライン計算、WRF_chemを用いたオンライン計算に関して文献調査を進めた。



進捗状況（爆発モデル）

爆発モデル：爆風シミュレーションの実施と検証

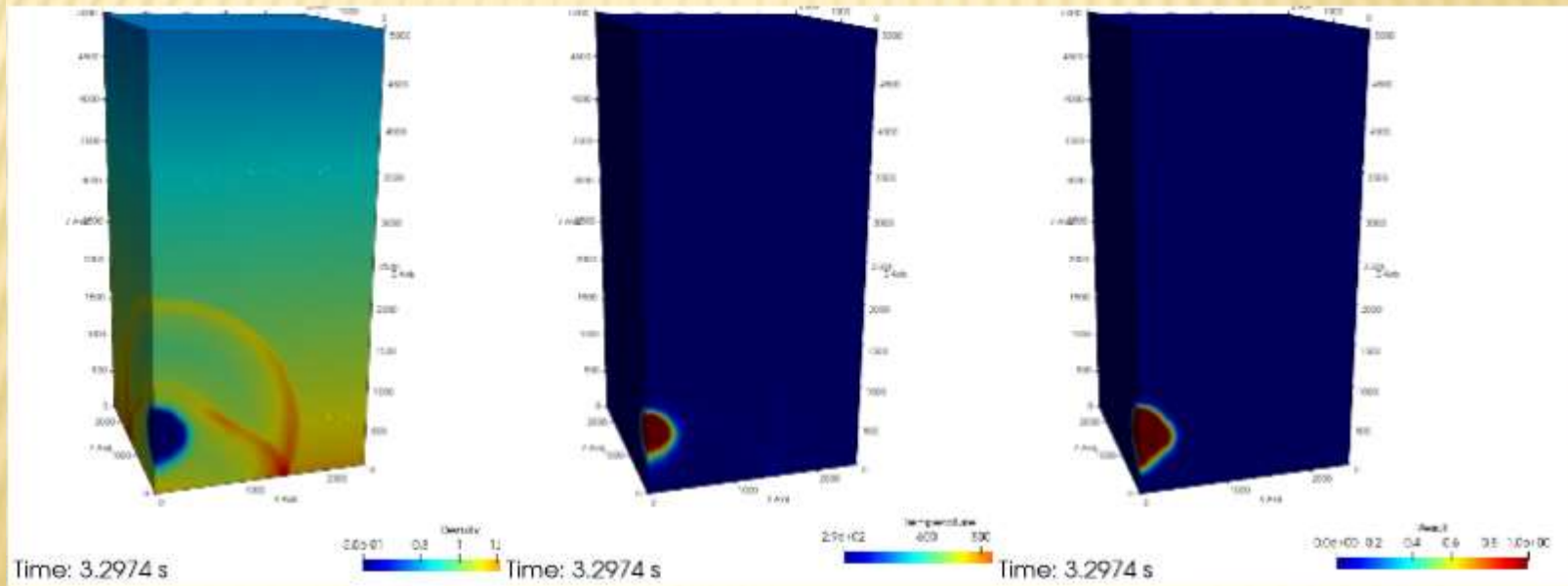
原爆による爆風シミュレーションの実施

- LA-2000の経験式・理論式によって得られた原爆の起爆から数ms経過後の状態を初期条件とした解析を実施した。~560sまでの画像を示した。1/4象限を見ている。
- 火球上昇速度について、DS86のSTLAMB、または**ネバダ核実験の観測値と同等**の結果が得られている。
- 衝撃波圧力について、外務省調査研究等と同等の結果が得られている。

全密度 (空気+粉じん)

空気温度

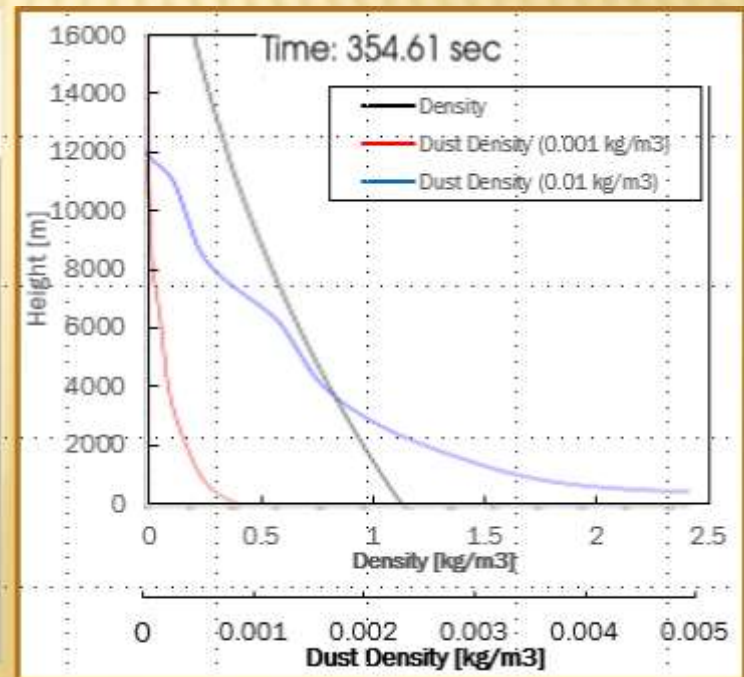
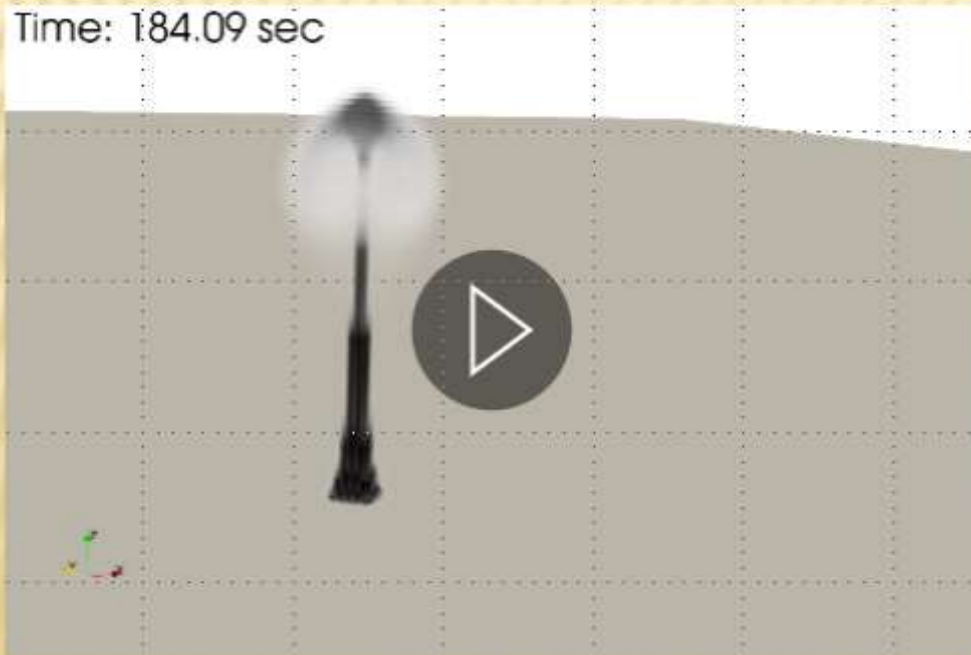
粉じん濃度



爆発モデル_地表面に配置した粉じん挙動解析

- 爆心地から周囲に配置した粉じん（衝撃塵をあらわす）がキノコ雲を形成しながら上昇する様子を再現。
- 火球の直下の地表面から発生する粉じんは、起爆直後の地表面からの強い反射衝撃波によるものであり、これがキノコ雲の初生に影響すると思われる、また、家屋の損壊等に由来する粉じんとは異なるため、発生メカニズムと発生量の推定法を考慮する必要がある。
- 気象モデルへの粉じん濃度と空間座標の受け渡し方については、見通しを得た。
- 粉じん濃度そのものに関する定量的な評価については、さらに議論が必要である。

ボリュームレンダリング手法で可視化した粉じん 起爆点を通る鉛直方向の粉じん濃度分布
挙動 (画像は～8 kmまで)



気象モデル：進捗状況と現状の問題点

モデル	進捗状況	現状の問題点
気象モデル WRF (気象場再現)	<ul style="list-style-type: none"> 近年の事例を対象に局地循環の再現性調査を進めている 歴史的再解析データの信頼性解析を、最新の客観解析とデータの重複する期間を対象に実施中 	<ul style="list-style-type: none"> 不確実性を明らかにするため、類似事例の解析を進める必要がある
(降水)	<ul style="list-style-type: none"> 原爆雲に伴う降水をWRFで計算できることを理想計算で確認し、実計算への取り込法を考案した 街区火災の効果(顕熱フラックス)をモデルに取り込む手法を検討した 	<ul style="list-style-type: none"> 街区火災の取り込みに関してWRFコードの改変が必要 街区火災に伴う降水計算に関しては、参考となる先行研究が見つからない
爆発モデル (原爆雲)	<ul style="list-style-type: none"> 爆発モデルの初期場となる、起爆から数ms後の状態を模擬するモデルを作成した 爆発モデル計算により衝撃波圧力・火球上昇を定量的に再現できた 	<ul style="list-style-type: none"> 解析で得られる原爆雲の定量的な評価には測定データ・評価法の検討が必要である
(衝撃塵)	<ul style="list-style-type: none"> 一定量の粉塵を地表に配置することで、キノコ雲の形成を定性的に再現できることを確認した 	<ul style="list-style-type: none"> 衝撃塵の定量的な評価には測定データ・評価法の検討が必要である
火災モデル	<ul style="list-style-type: none"> WRF-fire, WRF(都市キャノピー)などを用いる手法を検討した 不明パラメータが多いため、HiSoFによる熱源の見積もりを直接WRFに組み込むことにした 	<ul style="list-style-type: none"> データを計算格子に準拠するように変換する必要がある
拡散モデル	<ul style="list-style-type: none"> FLEXPART, CMAQを、WRFで計算された気象場をオフライン入力で使用する方法を検討した 	<ul style="list-style-type: none"> WRFchemの利用を検討する

2. 土壌調査の進捗状況

気象モデル計算結果の検証にむけて

検証の加速化について（地域の土壌調査）

放射性物質の有無に関する検証のステップ

進捗状況

STEP1 採取箇所の選定



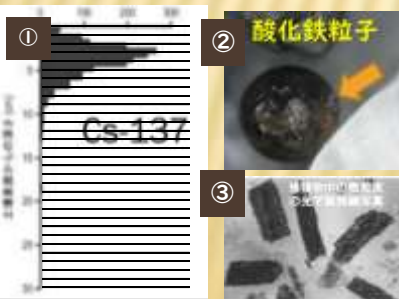
- ✓ 広島市の爆心地を中心に縦60km横50kmの地域を5km×5kmの格子で区切り、その内100区域を選定
- ✓ R3年度は、爆心地からの距離に応じた10区域を早期データ解析地点に想定

STEP2 表土の採取



- ✓ 地権者と交渉（1区域3箇所程度）
- ✓ 表土の採取
（3箇所中から、最適な1箇所を選定し30cmの深さで採掘⇒1cmを1試料とする）

STEP3 表土の成分分析



- ✓ 原爆地層の放射能測定
 - ① 地層毎に¹³⁷Cs:セシウム（半減期30年）等を測定
- ✓ 原爆・黒雨由来物質の検出
 - ② 原爆由来物質（鉄等）
 - ③ 黒雨由来物質（炭素）

- 採取区域は、過去に「黒い雨」領域として報告された地域全体を出来る限り包含するという観点から検討。ただし、土壌採取の困難性（山岳地域）や放射性物質等測定のリソース・人材に限りがあることから、100区域の採取を想定。
- 早期データ解析地点については、爆心地の距離に応じた10区域を選定。

- 令和3年度中に予定した100区域の表土を採取完了。

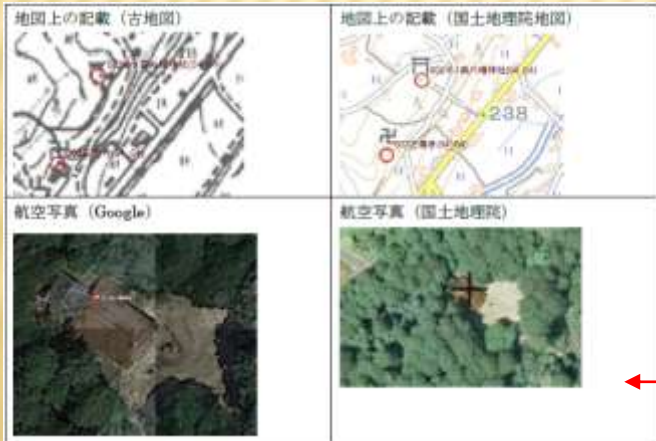
- セシウム137を分析し、その鉛直分布により原爆由来放射性降下物の降下状況を把握。
- 同時に自然核種の鉛210（半減期22年）により土壌未かく乱の確認を行う。
- 民間機関や大学研究機関等（約15者）の協力を得て、10の区域の放射性物質分析を実施済。
- 炭素の鉛直分布の測定、熔融物質（鉄等）についても分析を実施した。

土壌調査のためのマップ作成ー調査領域の 確定と寺社などの適地探索

広島県での実施状況

地権者調査・確認、同意書取得、
試掘、地点選定、土壌採取：
広島市、広島県土地家屋調査
士会のご協力の下、(株)復建調
査設計、(株)GSユアサ環境科学
研究所にて実施

調査地域を5km格子10×12に区分
戦前から存在し、現状確認が可能な寺社など



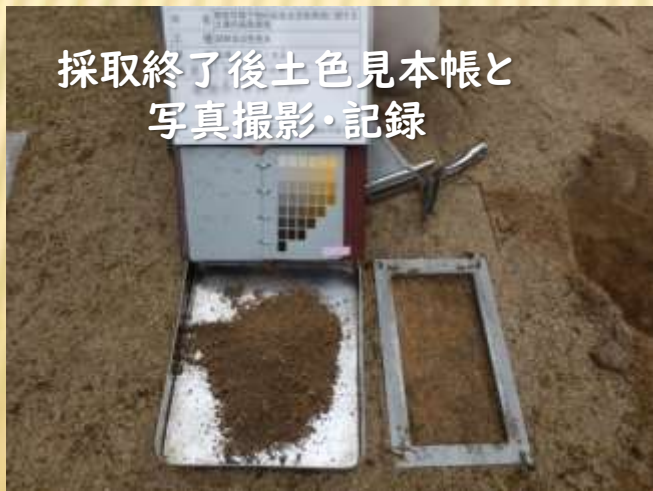
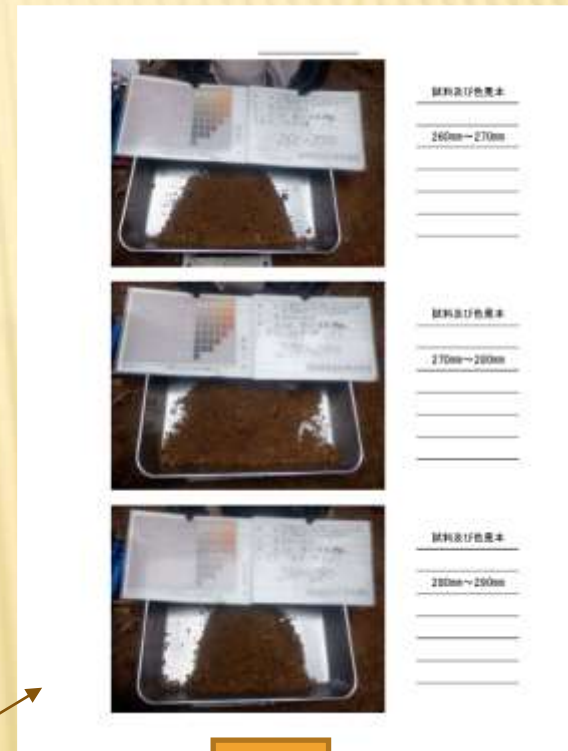
現地写真による確認：
グーグル©

地点選定要領ー古地図・現代地図・グーグル等で確認：
(株)ヴィジブル・インフォメーション・センターにて実施

土壌サンプリング実施状況の例

住所: 広島県〇〇市 地点名: CC寺 土地家屋調査士により地権者から同意書を取得

※採取地点は開示しないことが採取同意条件



全層にわたり記録

送付



土壌サンプリング実施例及び概要状況

採取場所: [] [] [] [] [] []

作業日: 令和 3 年 10 月 11 日

候補順位: 1

施設名: []

緯度: 北緯 [] 度 [] 分 [] 秒

経度: 東経 [] 度 [] 分 [] 秒

作業日報

現場位置図

まとめのカルテ



採取地点の状況



備考

・本調査用は改変の可能性があることから、本調査棟から距離を取り、敷地内

- 各採取地点について、土壌試料採取後の前処理情報を収集
- エクセルで一覧を作成→見える化を図った
- 再委託や外注による放射性物質の測定状況の進捗を管理



- 各土壌採取地点について情報を収集→データシートを作成
- エクセルで一覧を作成=見える化→進捗管理
- 土壌採取地点についてまとめのカルテを作成



進捗状況一覧 (2022年4月)

土壌試料の測定前処理—送付まで

採取業者さんから「試料受け取り」(京都大学複合原子力研究所)

→「ガンマ線滅菌(外注;線量として20Gy以上照射)」→業者さんより返送

→「乾燥機を用いて45℃で恒量まで乾燥」→「2mm孔径でふるい」

→「ふるい通過画分をU8容器に充填」

→試料を測定機関に送付

No. 385: ^{137}Cs 19.8 ± 0.6 Bq/kg



IAEA標準試料



乾燥操作



ふるい操作



秤量操作



試料発送

No. 410: ^{210}Pb 211 ± 10 Bq/kg

各機関にて試料をGe半導体検出器で測定

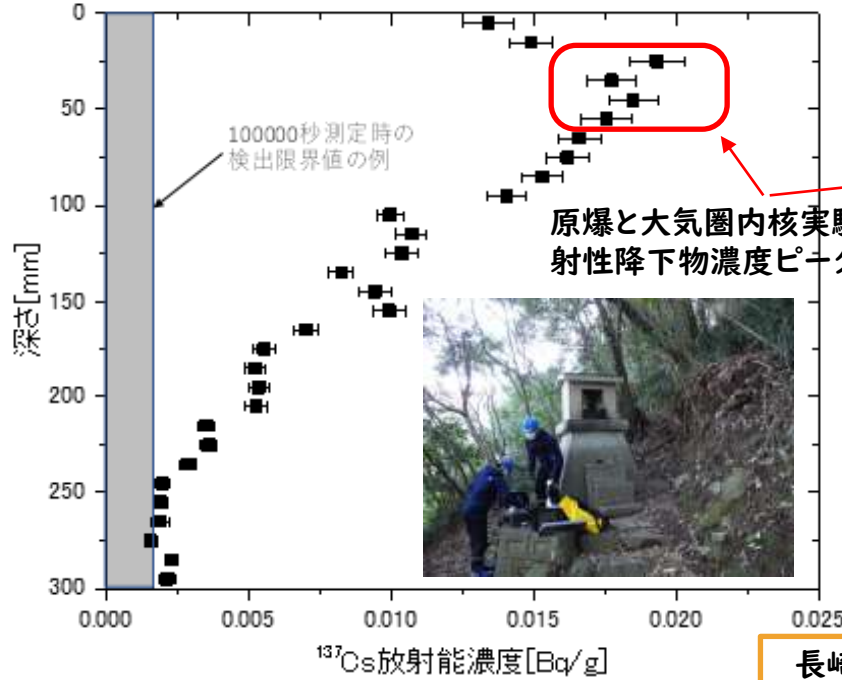
→Csと鉛 IAEA標準にて校正を確認



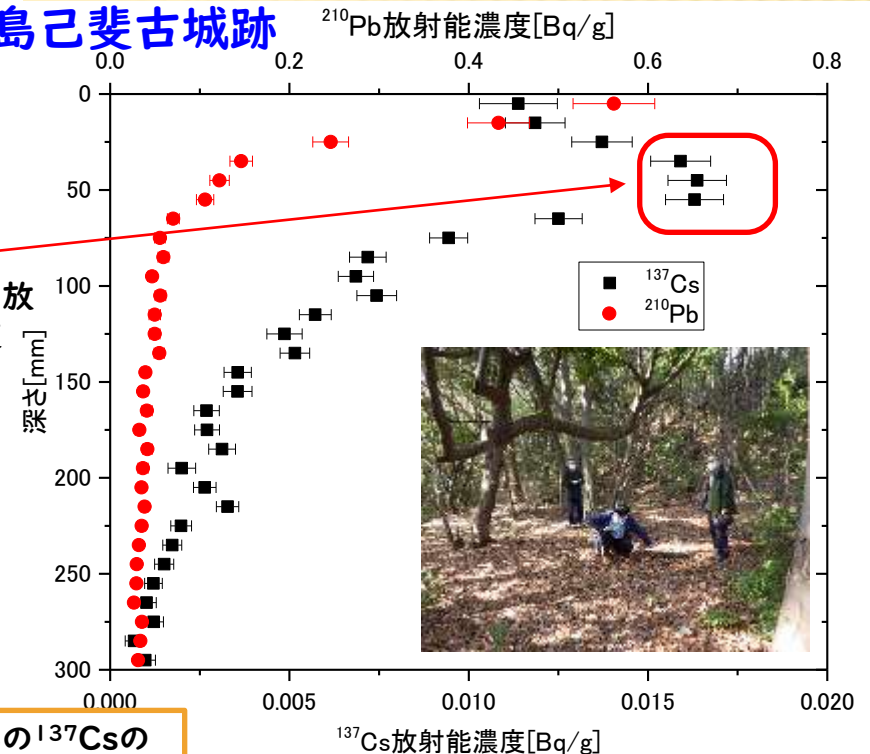
Ge半導体検出器

土壌測定事例：長崎・広島各1地点でのCs及び鉛の鉛直分布の測定事例

長崎水神宮



広島己斐古城跡

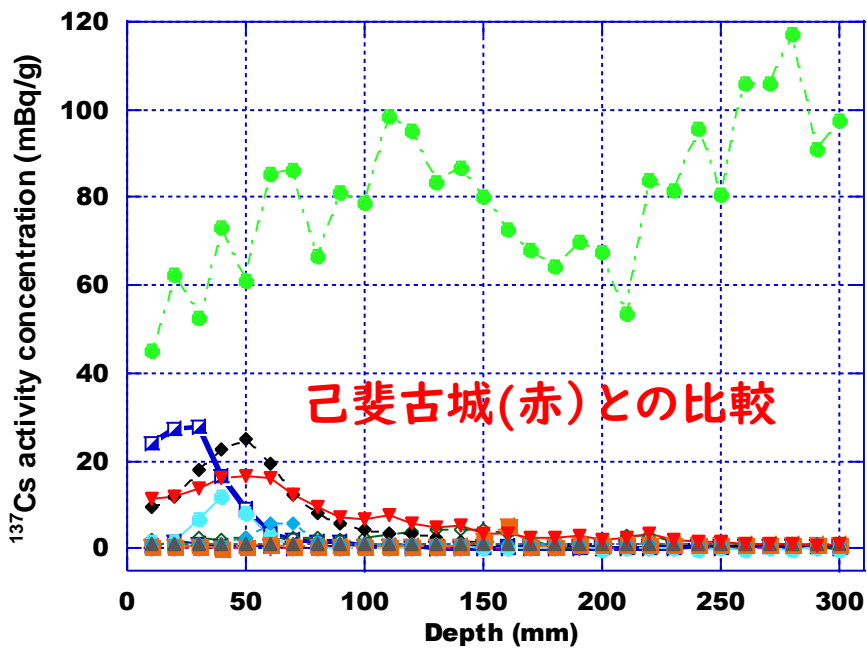


長崎と広島での¹³⁷Csの鉛直分布は似ている

- 長崎水神宮土壌試料中の²¹⁰Pbデータは2022年4月現在、**取得中**である。
- ²¹⁰Pbデータが得られた広島己斐古城跡での試料は、表層で濃度ピークを示すことから、未かく乱の地点から採取されたことを示唆。
- 土地改変が行われずに層序が残っている地点においては、土壌表層近くに濃度ピークとなる¹³⁷Csの残留の様相が見取れ、**土壌中の鉛直プロファイルが確認**できる。
- しかし、**可溶性成分**と**非可溶性成分**との少なくとも二つ以上の¹³⁷Csの成分が存在し、どの濃度ピークが原爆由来かの判別には、炭素や微量元素など複数成分による解析などが**必要**と考えられる。

土壤測定＝先行10区域－Cs鉛直分布

^{137}Cs の測定結果



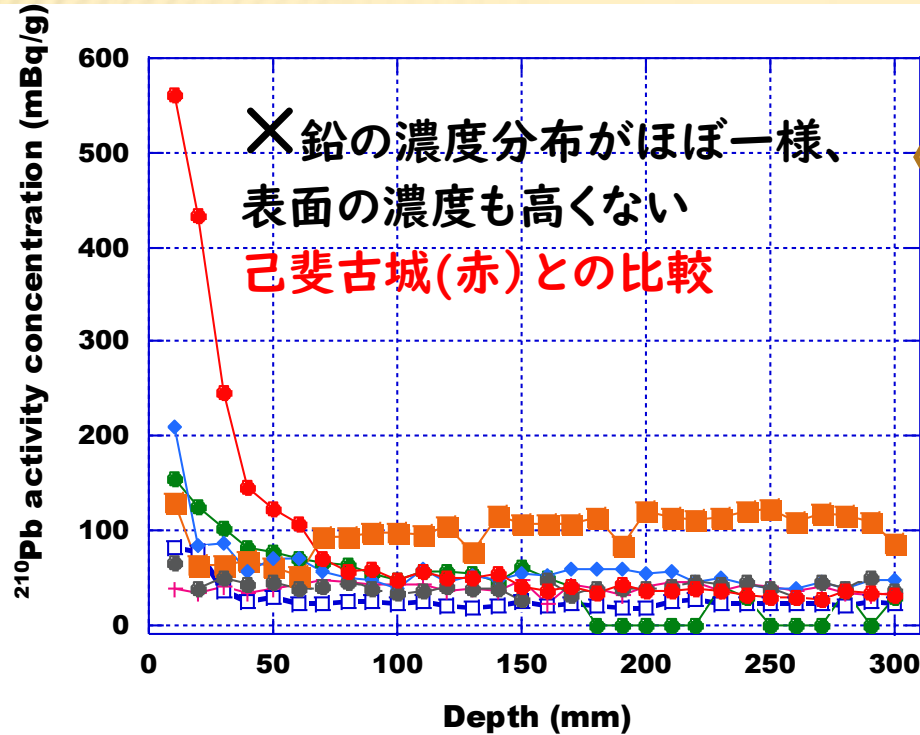
【10区域分の結果】－己斐古城(赤)との比較

- 大学・民間機関等の協力を得て、All Japanに近い陣容で10区域のデータ測定を進めたが、現時点では、精査不十分であり、科学的な検証にはさらに時間が必要。
- 300試料のうち133試料は検出限界以下(ND)の濃度→鉛の鉛直分布情報(次ページ)と併せると、多くの採取地点が土地改変を受けていたと推測される。
- 表層に濃度ピークをもつ分布パターンは3区域分。セシウム137には、**原爆由来成分**と1950-70年代に実施された**大気圏内核実験由来の成分**があり、現状の解析では成分の分離は出来ていない。

- 原爆由来か大気圏内核実験由来かの分別はできていないため、特に原爆由来成分の水平方向の分布を推定や議論することは時期尚早。少なくとも数十地点でのデータ取得を待つ解析したい。
- なお今後は、土壤カラムでのセシウムの鉛直輸送モデルも検討し、上述の2成分の分離も検討していく。

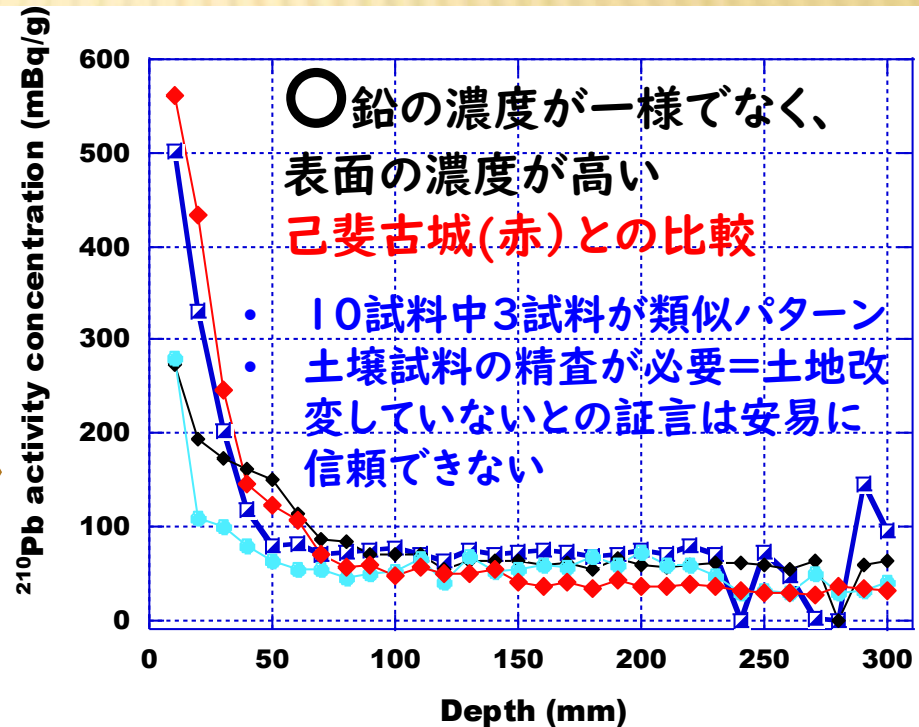
土壌測定＝先行10区域－鉛の鉛直分布

^{210}Pb (層序の指標) 測定結果 ^{210}Pb は大気から常時供給→地表付近が高濃度



- ^{210}Pb の鉛直分布－ ^{137}Cs 鉛直分布が適正ではない(土地改変を受けている)と推測される地点のデータ
- 広島己斐古城跡試料を参照とする(赤で表示)

- ^{210}Pb の鉛直分布－ ^{137}Cs 鉛直分布が適正(土地改変を受けていない)と推測される地点のデータ
- 広島己斐古城跡試料を参照とする(赤で表示)
- 鉛 210 は層序指標として有効!



O鉛の濃度が一様でなく、表面の濃度が高い
己斐古城(赤)との比較

- 10試料中3試料が類似パターン
- 土壌試料の精査が必要＝土地改変していないとの証言は安易に信頼できない

土壤測定ーリフラクトリ炭素の鉛直分布の測定

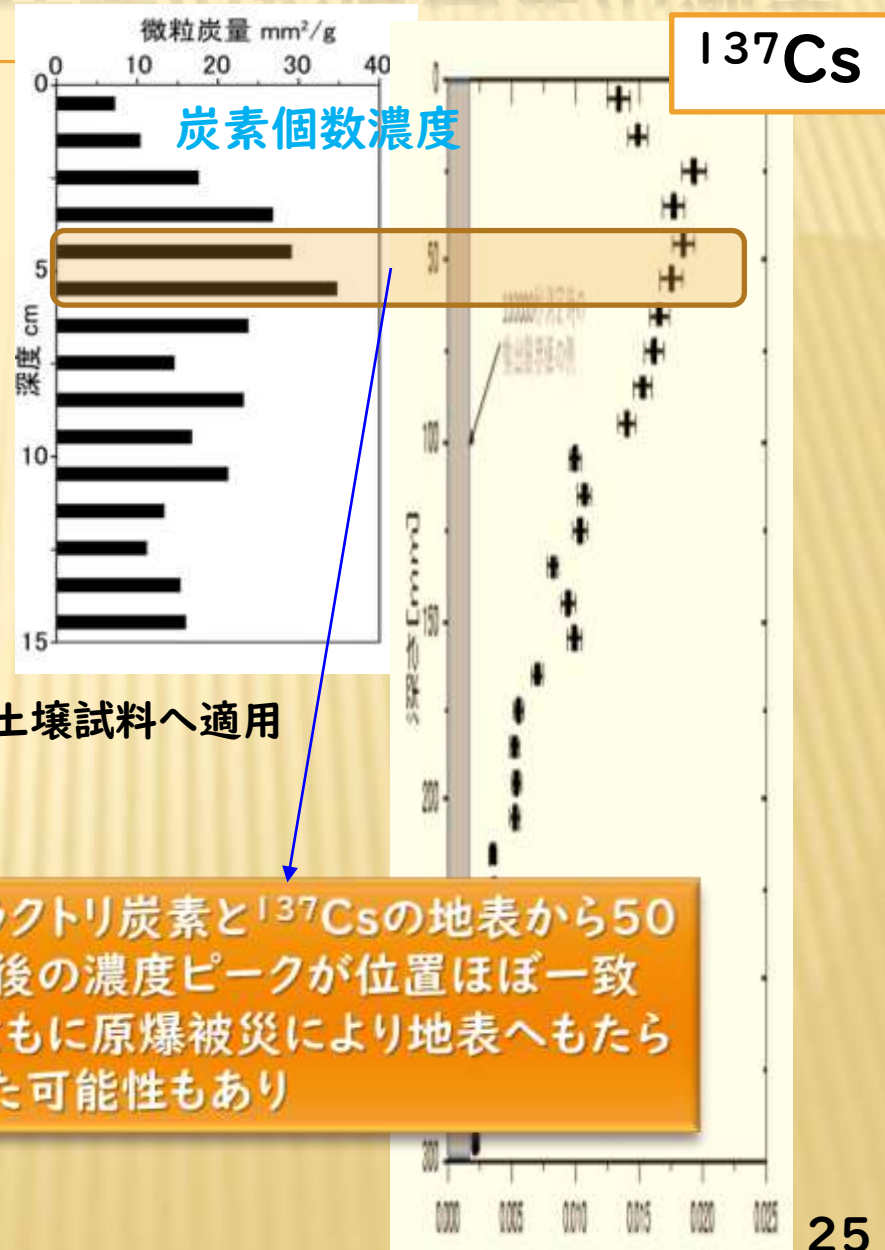
大阪公立大学における測定

風乾土壤試料を250 μ mメッシュで篩分け
↓
250 μ m以下粒子画分をKOH水溶液を加え泥化
↓
フッ化水素酸で軽鉱物粒子を除去
↓
プラスチックビーズ約15万個を滴定
↓
残留物粒子を5 μ mメッシュを用いて回収
↓
顕微鏡観察

微粒炭粒子の分析の流れ

長崎水神宮の土壤試料へ適用

上記プロセスによって抽出された微粒炭粒子の一例(落射光下で撮影)



リフラクトリ炭素と¹³⁷Csの地表から50 mm前後の濃度ピークが位置ほぼ一致
⇒ ともに原爆被災により地表へもたらされた可能性もあり

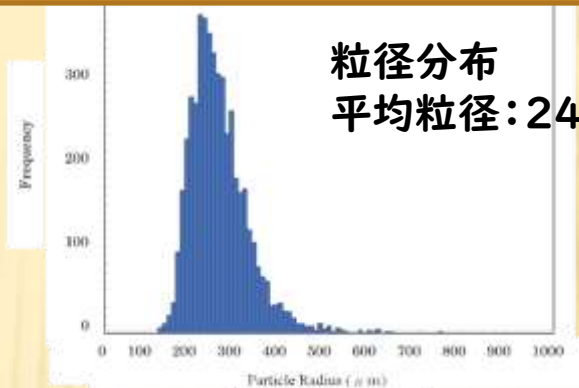
土壌測定－熔融微粒子の分析・測定

広島大学による分析・測定

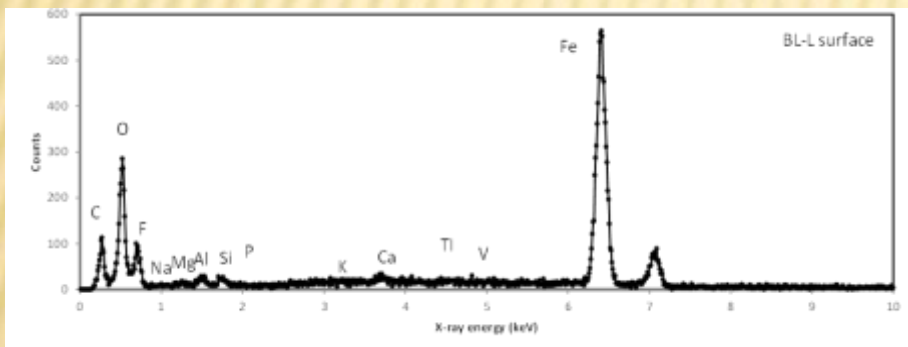
原爆爆発によって生成されたと明確に断定できない



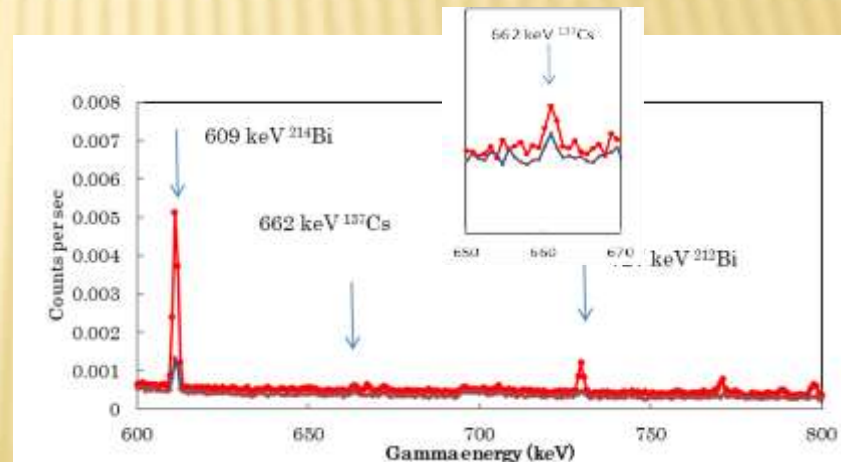
元宇品の海岸砂試料から磁石を用いて抽出された球状粒子の写真



元宇品海岸周辺の粒径1 mm以下の砂に対して、 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ 程度の割合で球状粒子が回収された



球状粒子の走査型電顕-EDX分析結果例：同定された元素は、C、O、F、Na、Mg、Al、Si、P、K、Ca、Ti、V、Feの13種類 主に土壌由来



5.86 gの球状粒子とバックグラウンドのγ線スペクトル→ ^{137}Cs : 1.3 ± 0.5 mBq/g
微量のThやUが含まれる

土壌調査における進捗・課題と対応

- ・ 広島で100区域以上での採取を達成 セシウム・鉛の測定を合計10区域分で達成
- ・ 土地改変を受けた地点からの試料では、セシウム・鉛の適正な測定値が得られない
- ・ 土壌試料が適正かどうかすみやかに判断を行う ⇨ Ge半導体検出器によりスクリーニングを行う = ^{137}Cs が検出されるか否か、前処理なしに測定を実施
- ・ より適切な地点（隣接地点）での再度のサンプリングを可能な限り実施したい
- ・ 複数の測定項目（セシウム、鉛測定、リフラクトリ炭素（微粒炭）測定、微量元素やウランなどの同位体測定、と云った複数の成分の鉛直分布から、被爆面を推定→指標を評価
- ・ セシウムの鉛直分布から原爆由来成分の推定を目指す（鉛直輸送モデルの適応を想定）
- ・ 粒径分離や密度差を利用した分離法をセシウムの鉛直分布が明瞭な試料に適用し、「黒い雨」シグナルを追求する
- ・ 「黒い雨」試料を入手し、その実態解明を進め、指標の明瞭化をめざしたい



ある地点での試掘

目視ではなかなか土地改変の有無確認は困難：

当該地点は左の写真のように見た目も地権者の証言からも改変が無さそうではあったが、実際には、セシウムも鉛も濃度が非常に低かった（Csデータは2/3が検出限界以下の濃度（ND）、鉛は検出されたが低濃度でほぼ一様であった）。鉛は自然核種なので、常時土壌に大気から沈着しているため、改変されていない地点の表層で濃度ピークとなる。したがって、この地点は、戦後のある時期に土地改変を受けたと判断される。

3.レビュー会議、アドバイザー会議 ほか

レビュー会議・アドバイザー会議、進捗会合等

「原子爆弾の投下に伴う気象シミュレーションモデルの構築及び放射性降下物の拡散状況の分析等に関する調査研究一式」開始にあたって
アドバイザー会議 プログラム 敬称略

令和3年9月29日(水)

13:00-13:15

趣旨説明(全体計画概要) 五十嵐康人(京大複合研)

13:15-13:30

「サンプリングポイントの選定及びデータベース構築—進捗報告」 高橋知之(京大複合研)

13:30-13:40

「表層土壌試料の γ 線計測—進捗報告(仮題)」 八島浩(京大複合研)

13:40-13:55

「放射性降下物の拡散評価にかかる気象シミュレーションモデルの構築—進捗報告(仮題)」 高橋邦生(アドバンスソフト)

13:55-14:15

「広島沿岸で見つかった熔融粒子の分析—進捗報告(仮題)」 遠藤暁(広島大学)

14:15-14:45

「大気輸送沈着モデルによる放射性物質のシミュレーションについて(仮題)」
大原利真(環境科学国際センター研究所長)

(5分休憩)

14:50-15:50

「静止大気中の積雲発達(仮題)」 石川裕彦(京大名誉教授)

15:50-16:30

総合討論

- 全体進捗会合等全8回実施
- 気象モデル、土壌調査及び測定会合全12回実施
- アドバイザリ、レビュー等全3回を年度内に実施

多数の会合を設けて研究調査の進捗管理を実施

令和3年9月29日開催

- 全体の進捗を報告し、コメント頂く
- 大気輸送沈着モデルおよび積雲対流のモデル化に関する講演(大原先生、石川先生) ➡その後、分担者をお願い

令和3年度強化策への対応

令和3年度 調査研究計画

原子爆弾の投下に伴う気象シミュレーションモデルの構築及び放射性降下物の拡散状況の分析等に関する調査研究一式

- (1) 気象モデルの構築に向けた調査研究
 - 1) 爆発再現計算、2) 気象再現計算
- (2) 気象モデル計算結果の検証データセットの作成に関する調査研究
 - a. 土壌採取調査及び原爆由来物質の分離・測定方法の検討
当面、広島35地点+長崎5地点程度のサンプリング
→10箇所分程度の ^{137}Cs 、 ^{210}Pb の計測
→熔融粒子の分離・探索、微粒炭の分離・探索(予備調査)
 - b. 試料活用のための整理ならびにアーカイブ化
- (3)
 - a. 有識者会議の開催
 - b. 調査報告書の作成

調査研究強化

α. 土壌採取調査及び原爆由来物質の分離・測定方法の検討
広島100地点+長崎25地点?程度のサンプリング
→10+α箇所分程度の ^{137}Cs 、 ^{210}Pb の計測
→熔融粒子の分離・探索、微粒炭の分離・探索
(より本格的な調査)

文献調査一事例

まとめられた有用な文献の一例

21/12/29 今中

文献番号：11 OSTI_0028 著者：C. R. Molenkamp, LLNL

タイトル：An Introduction to Self-induced Rainout (February 1979)

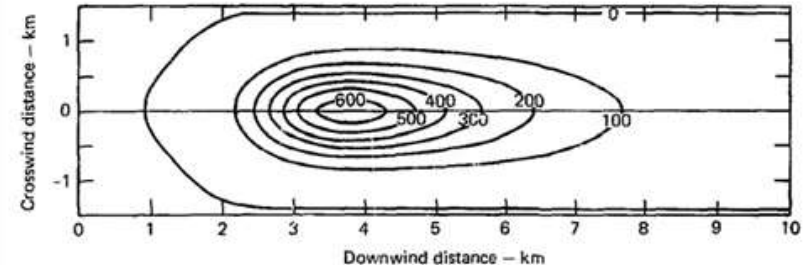
<文献の背景（推測を含む）>

1960年代までの米国の核戦略は「メガトン級が飛び交う核戦争」が中心で、戦場での local fallout への関心はあまりなかった。1970年代に入り、ヨーロッパでの限定核戦争への対応が必要となり、戦術核（数～10kton）にともなう local fallout と rainout の研究が始まったと思われる。また、原発事故での wet deposition を評価する必要も出てきた。著者の Molenkamp は Lawrence Livermore の気象モデル屋さんで、原爆雲を input として組み込む気象モデルによる降雨沈着シミュレーションを始めたようだ。

<概略>（全体5ページの短い報告）

- 欧州で核兵器が使われると、そのうちの10%で重量的に有意な放射能沈着が生じるので、核兵器の2次的効果として rainout の研究を（1979年の）6年前からはじめた。（計算方法についての記述を pick up すると）
- “To investigate the consequences of such an occurrence, which we call self-induced rainout, we used a convective cloud scavenging model that we had developed to study scavenging by naturally occurring convective clouds.”
- “Development of precipitation is included by solving mass-conservation equations for water vapor and liquid water in several drop-size categories.”
- “Interactions of debris particles with drops are represented in the model by a similar set of mass-conservation equations for radioactive debris.”
- “Initial conditions used to start the model include a motionless, conditionally unstable atmosphere perturbed with a local bubble of warm air.”

シミュレーション結果：



上の図は計算例で、1ktonの空中爆発（高さ不明）の時の、風下（風速5m/s）での wet deposition にともなう爆発1時間後の地表の空間放射線量率（rad/h）。600rad/h = 6Sv/hで、1時間浴びると致死線量。

シミュレーションをチェックするのに核実験データを調べたが、使えるような、rainoutの観測結果はなかった。この報告書の前年に、広島・長崎で rainout による local fallout があったことを知ったそうで、MED（マンハッタン工区）調査団の広島・長崎残留放射線 map が引用してある。

Ref 1. UCRL-76109 (1974) <https://www.osti.gov/servlets/purl/4251754>

参考：長崎のシミュレーション例(1980) <https://www.osti.gov/servlets/purl/5415718>

<Molenkampによる以降の似たような仕事は見つからなかった>

- 精度はよくないが1980年頃に長崎での原爆由来放射性降下物の再現計算が実施されていた（右上の図）ことが判明した。
- ただし、シミュレーション手法は最新のものとは言えないため、ただちに有用とは言えず。

文献調査—事例

22/1/26 今中

まとめられた有用な文献の一例

文献番号：8 OSTI_0012LLNL-TR-814785 著者：G. D. Spriggs(LLNL) & S.D. Egbert (SAIC)
 タイトル：Total Residual Radiation Source Term Produced by the Hiroshima Detonation Feb 2017 529 ページ

<文献の背景（推測を含む）>

SAIC の Egbert 氏は、DS86 の頃から原爆放射線評価に関わり、DS02 では遮蔽効果や放射化量計算を行って計算と測定を比較する作業などを担当した。LLNL の Spriggs 氏は DS02 には直接関わっていないが Egbert 氏の相談相手である。DS02 策定後に Egbert 氏は、広島ガンマ線について、計算結果と TL 測定値とが合わない場所があることを指摘し、中性子放射化粉塵の影響などの可能性を検討していた (REB2012: DOI 10.1007/s00411-012-0411-3)。本レポートでは、広島原爆の炸裂にともなう放射能生成を詳細に計算し、土壌放射化による残留放射線被曝をシンプルなモデルで評価している。

<概略>

全体 529 ページと大部なレポートだが、本文は 24 ページだけで残りは計算結果の打ち出し。広島原爆で生成した放射能を、核分裂生成物、アクチノイド、爆弾構造物放射化、空気中物質放射化、地表土壌放射化の5つに分けて計算。核分裂生成物とアクチノイドの計算には fission 中性子スペクトル、空気と地面の放射化には DS02 の中性子スペクトルを用いた。核実験データから (rainout がなければ) 核分裂生成物やアクチノイドは local fallout にならないので無視し、地表土壌放射化にともなう残留放射線被曝を、地面からの直接被曝と、爆風で舞上がった土壌が沈着してからの被曝とをザックリと評価している。

地面からの被曝は、爆弾炸裂1時間後から爆心地にずっと居続けた人で約 20R となった。地面放射化量の1%が舞い上がって1平方 km に均一に沈着したとすると爆心地の約 500 分の1程度の被曝をもたらす、となっている。

レポートの本筋ではないが、LLNL で開発中の OVERCAST コードを使って、広島原爆の原爆雲高さの推移を計算したプロットがあったので以下に示す。(HiSoF の今中報告では、12 分後に 12km なのでまずまずの一致。)

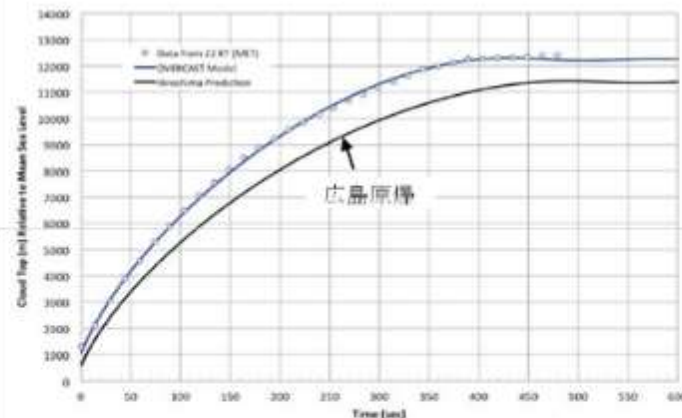
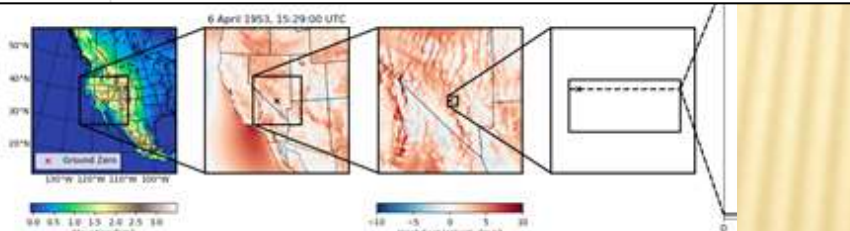
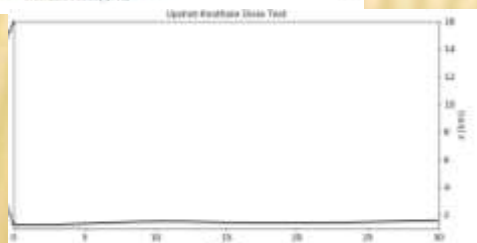


Figure 18. Predicted cloud rise for Hiroshima detonation assuming a standard atmosphere and a 16 KT yield.

- Spriggs 氏の仕事をチェックして見つけた次の2つが原爆雲シミュレーションの参考になりそう：
 - Spriggs 他 “Fallout cloud regimes” 2020. <https://www.osti.gov/pages/serviets/purl/1771428>
 - Aut hur 他 “Simulating nuclear cloud rise within a realistic atmosphere using the Weather Research and Forecasting model” Atmosph Environ 2021 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118363>



有用な参考事例



- 最近原爆雲再現の計算に関する論文が出版
- WRFモデルを使用 ⇨ 数段階のネスティング
- 米国での核実験事例再現—爆発雲再現

令和3年度調査の総括

1. 原子雲（爆発雲、巻き上がった衝撃塵、火災煙を含む）・黒い雨の再現計算に取り組むため、その必要条件の詳細につき検討し、気象データセットの準備を進め、可能な範囲で予備的な計算実験を実施した。1945年当時の気象データを含む20世紀気象再解析データの品質やこれを用いたダウンスケール計算の再現性や堅牢性を、近年の類似事例を対象に最新の気象再解析データを用いた場合と比較して、評価した。原爆の熱源、街区火災等の人工熱源に対する気象モデルの応答を理想化計算で精査し、令和4年度本格計算への取り込みの準備をすすめた。検討を加速化するため、メンバー強化も図った。
2. モデルによる放射性降下物の計算結果を検証するデータセットを作成するため、土壌調査を実施した。そのため、1) 調査地点設定、試掘または、土壌採取を実施。2) 放射性降下物、火災煙由来の物質の分離・測定の見直しと実施、3) 広島における広域100区域での土壌採取実施と長崎での試掘調査を行った。4) 放射性降下物 (^{137}Cs など)、層序指標物 (^{210}Pb) の測定、火災煙由来物質（微粒炭）の分離・測定について、リソースの拡大を図りながら数値的な目標値（測定数）を定め、実施した。また、熔融粒子の分離・測定について手法を含め、その検討を実施した。
3. 計算結果検証データセット作成のため、過去に採取され、長崎大学原爆後障害医療研究所、広島大学原爆放射線医科学研究所で保管された試料を整理した。試料を横断的に利活用可能とすべくアーカイブ化を図り、今般採取した土壌試料と同じ仕組みで管理できるようデータベースを制作した。新規採取の広島表土試料100区域分をこの仕組みで整理・管理する予定である。
4. レビュー会議を実施し、従来研究の総括と利用可能な文献・データなどの収集を行い、1. および2. の取り組み戦略を確認し、明確化を図った。
5. 検討会の中間とりまとめを受け、他の調査事業で収集した文献内容を精査し読み解く作業を、本調査研究にて活用し、検討会に報告することを目的として、強化策の一環として実施した。