



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7回）

資料2

令和5年12月27日

「令和4年度原子爆弾の投下に伴う気象及び 土壌に関する調査研究一式」 （令和3年度強化策込み）～ 報告

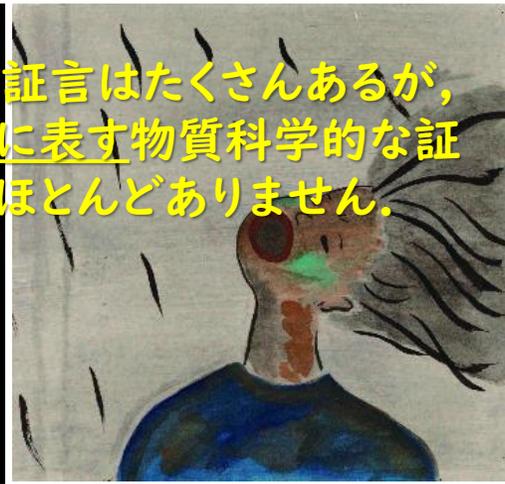
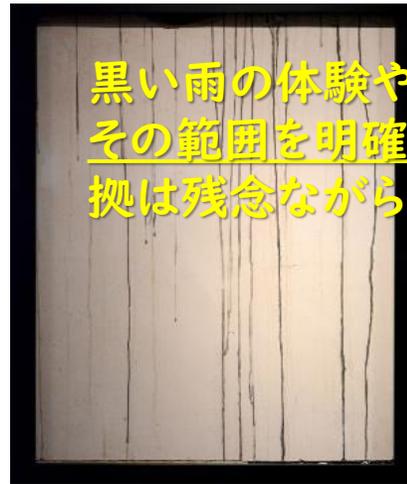
京都大学・複合原子力科学研究所・放射線管理学研究分野
五十嵐 康人

2023年12月

本資料は、検討会のみなさまへ「黒い雨」調査研究の現状をご報告する目的
で作成したものです。

©気象・土壌WG ※目的外での複製・配布は遠慮をお願いします。

調査研究の背景



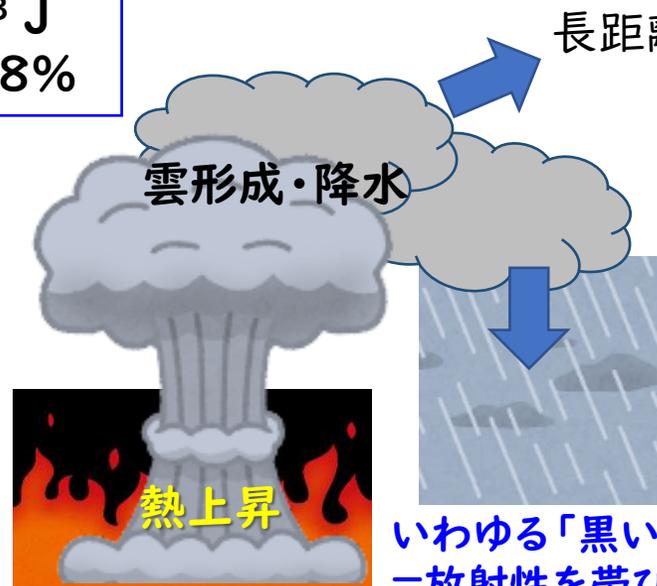
黒い雨のあとの残った白壁

喉が渇き黒い雨を口で受ける女性 広島平和記念資料館HPより

TNT換算 16 kt 6.7×10^{13} J
U-235 50 kg 燃焼率 1.8%

HiSoFの研究成果より
<http://www.hisof.jp/index.html>

火災による総熱量
 7×10^{15} J



長距離輸送 → 一部は地球全体に広がった
= グローバルフォールアウト

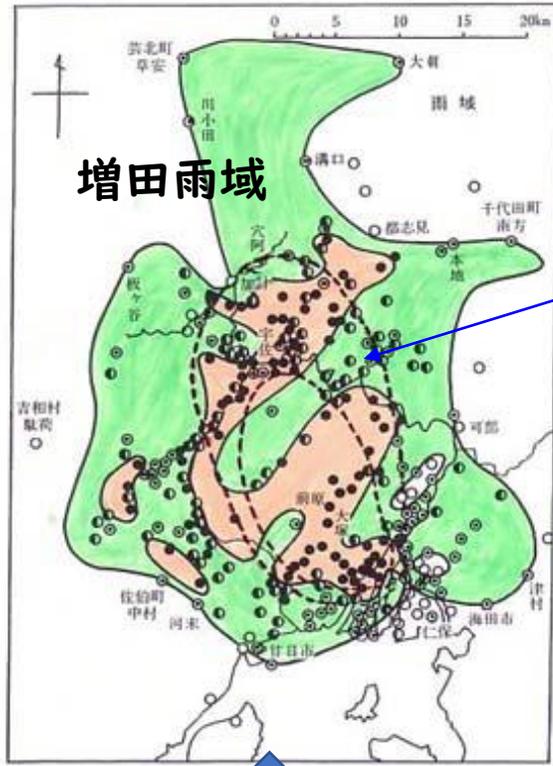
原爆雲は火災雲と共に降水をもたらす雲を形成し、原爆材料物質や核分裂生成物質、すす、炭、衝撃塵などを地上に降らせました。これらは放射性を強く帯びており、健康被害を引き起こしたか否か、どのような被害なのか議論がずっと続いてきました。

いわゆる「黒い雨」= クローズ・イン・フォールアウト
= 放射性を帯びた物質を含んだ雨が広島地域に降った

証言や体験に基づく「黒い雨」領域の推定

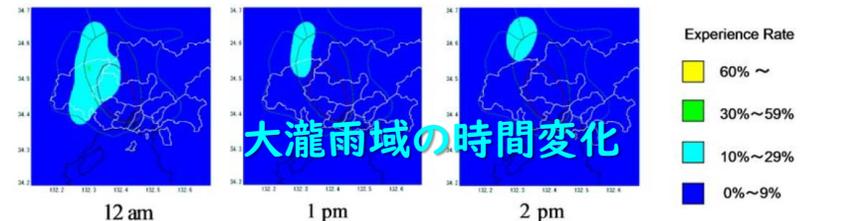
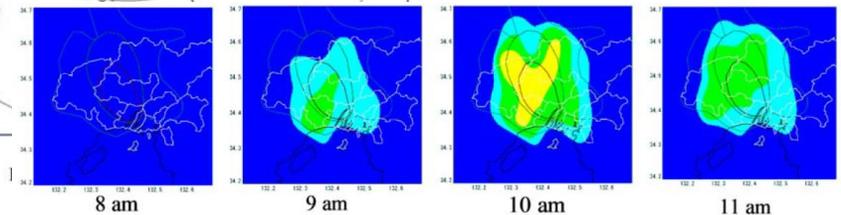
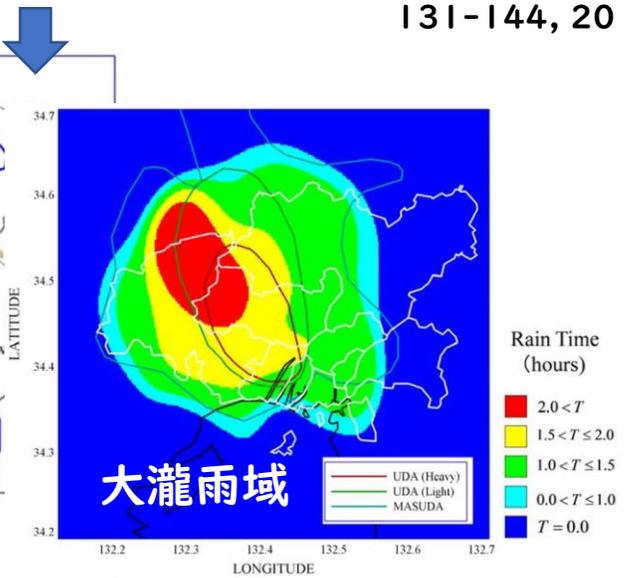
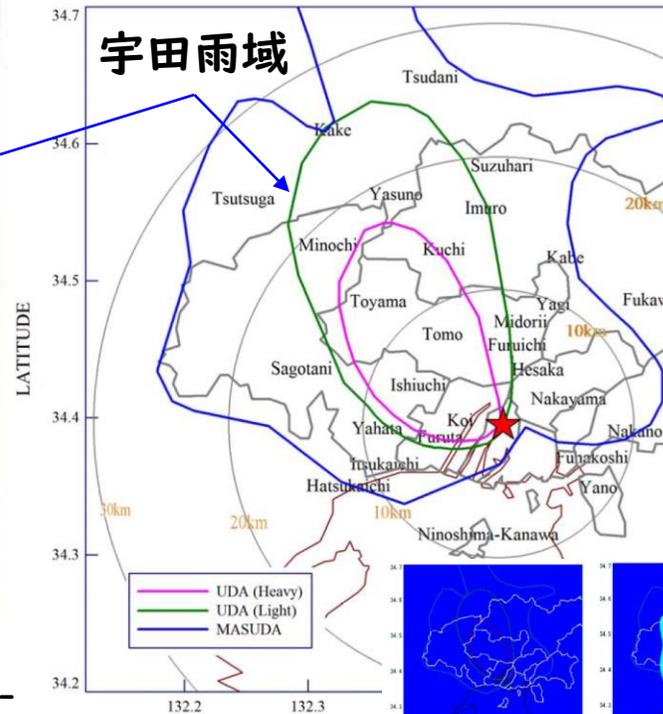
証言や体験に基づく推定以外に領域を明確に示す物質的なデータはありません

Ohtaki, Re-construction of spatial-time distribution of 'black rain' in Hiroshima based on statistical analysis of witness of survivors from atomic bomb, Revisit the Hiroshima A-bomb with Database: 131-144, 2011

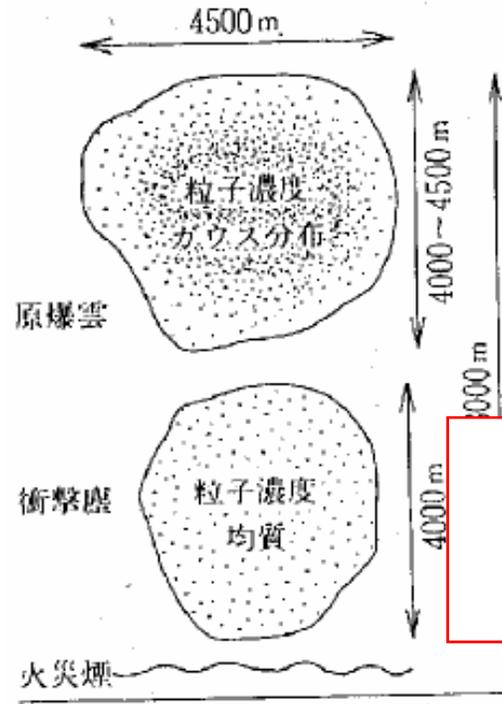


Masuda, A review of Masuda's re-investigation of 'black rain' after the Hiroshima A-bomb. Revisit the Hiroshima A-bomb with Database: 125-130

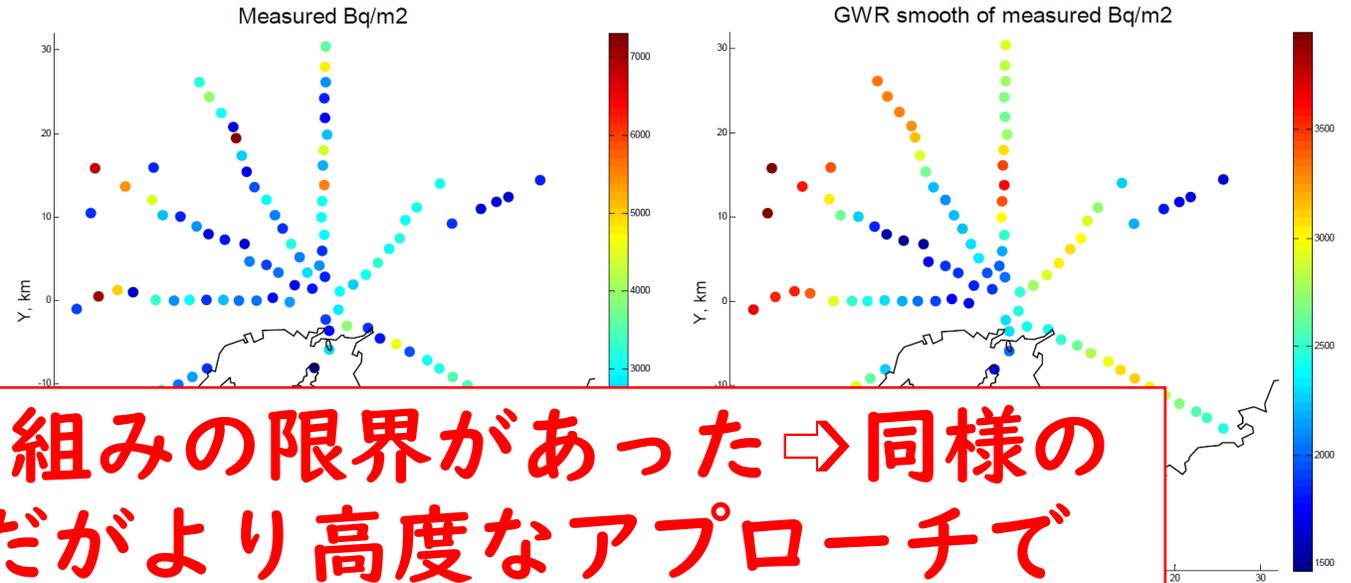
「黒い雨」に関する既存情報



過去の(1)気象モデルに関する調査研究+ (2)土壌調査によるモデル結果の検証



丸山&吉川(2005)



当時の取り組みの限界があった⇒同様の
取り組みだがより高度なアプローチで

原爆雲+衝撃塵+火災煙の3つから
放射性降下物を計算

Cullings (2011) in Revisit The Hiroshima A-bomb with a Database - Latest Scientific View on Local Fallout and Black Rain- Data: Takeshita et al. (1976); Hashizume et al. (1978); Yamamoto(1985); Sakaguchi et al.(2010)

表層土コア中¹³⁷Csインベントリから沈着パターンを求める

鉛直流項のない方程式+疎な計算

何らのパターンも見えない

R4年度の調査体制

気象・土壌WG

代表:五十嵐康人 京都大学複合原子力科学研究所・教授

年度後半から体制をさらに強化

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

土壌チーム

- 五十嵐康人 京都大学複合原子力科学研究所・教授
- 福谷 哲 同上・准教授
- 高宮幸一 同上・准教授
- 八島 浩 同上・准教授
- 池上麻衣子 同上・助教
- 芝原雄司 同上・助教
- 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
- 久保田明子 同上・助教
- 松田尚樹 長崎大学 原爆後障害医療研究所・特命教授
- 福田直子 同上・技術職員
- 横田賢一 同上・助教
- 井上 淳 大阪公立大学大学院 理学研究科・准教授
- 高橋嘉夫 東京大学大学院 理学系研究科・教授
- 向井広樹 同上・特任研究員

実施・協力機関

- ☑ 土壌採取
 - ・民間会社(3社)
- ☑ 試料分析及び解析
 - ・大学・研究機関(25大学・機関)
 - ・民間会社(4社)

- 向井 中 京都大学複合原子力科学研究所・研究員
- 栗原雄一 長岡技術科学大学・特任助教

気象チーム

- 五十嵐康人 京都大学複合原子力科学研究所・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
- 遠藤 暁 広島大学大学院先進理工系科学研究科・教授
- 今中哲二 京都大学複合原子力科学研究所・研究員
- 谷田貝亜紀代 弘前大学大学院 理工学研究科・教授

実施・協力機関

- ☑ シミュレーション開発・解析
 - ・民間会社(1社)
- ☑ データベース開発・解析
 - ・民間会社(1社)

データ提供気象庁：高層気象データ

気象・土壌WGの全体結論

- 第一種健康診断特例区域の設定について、再検討を行うため、これまで蓄積されたデータを最大限活用し、最新の科学技術を用いて可能な限りの検証を行い、(1) **気象モデルの構築**に向けた研究、(2) **放射性降下物の拡散状況**に係る調査に関する研究、(3) **文献調査及び体験記調査**を含めた**関連研究の整理**に取り組んだ。
- その結果、(1)では、原爆と街区火災により積乱雲が発達し降水が生じること、この降水により核分裂生成物の湿性沈着が生じることが最新の数値モデルで示され、**一定程度、広島における「黒い雨」の輸送・沈着状況について再現を実現できた**。しかしながら、計算結果の不確実性の評価を慎重に実施したところ不確実性は相当程度大きく、**領域判定を気象モデル計算によって行うことは、2020年代にあっても依然困難性を伴う**ことが明らかとなった。
- (2)では土壌の層序が改変されていない地点では、土壌層中に大気圏内核実験由来の ^{137}Cs だけではなく、 ^{137}Cs の濃度極大が微粒炭粒子個数濃度極大と相関することから**原爆由来の ^{137}Cs が含まれると推定され、かつ過剰 ^{210}Pb による時間指標評価でも整合性がある事例が見つかった**(長崎の事例を含む)。これは**従来の土壌調査に比べて大きな進展**とすることが出来る。つまり、その地点が戦後未改変であってかつ「黒い雨」が実際に降ったのであれば、領域判別の指標は存在し得ることが示されたからである。また、「黒い雨」の実態に迫る新規発見もあった。しかしながら、**未改変地点を探索してその地点での土壌試料を採取すること自体が本質的に極めて挑戦的な作業**であることから、**「黒い雨」領域の精度良い推定を本事業期間内で達成するのは困難**と結論された。
- なお、(3)については、精査の結果が(1)において実施された作業の基礎提供につながり、有用であったことを付記する。

気象・土壌WGの結論その1

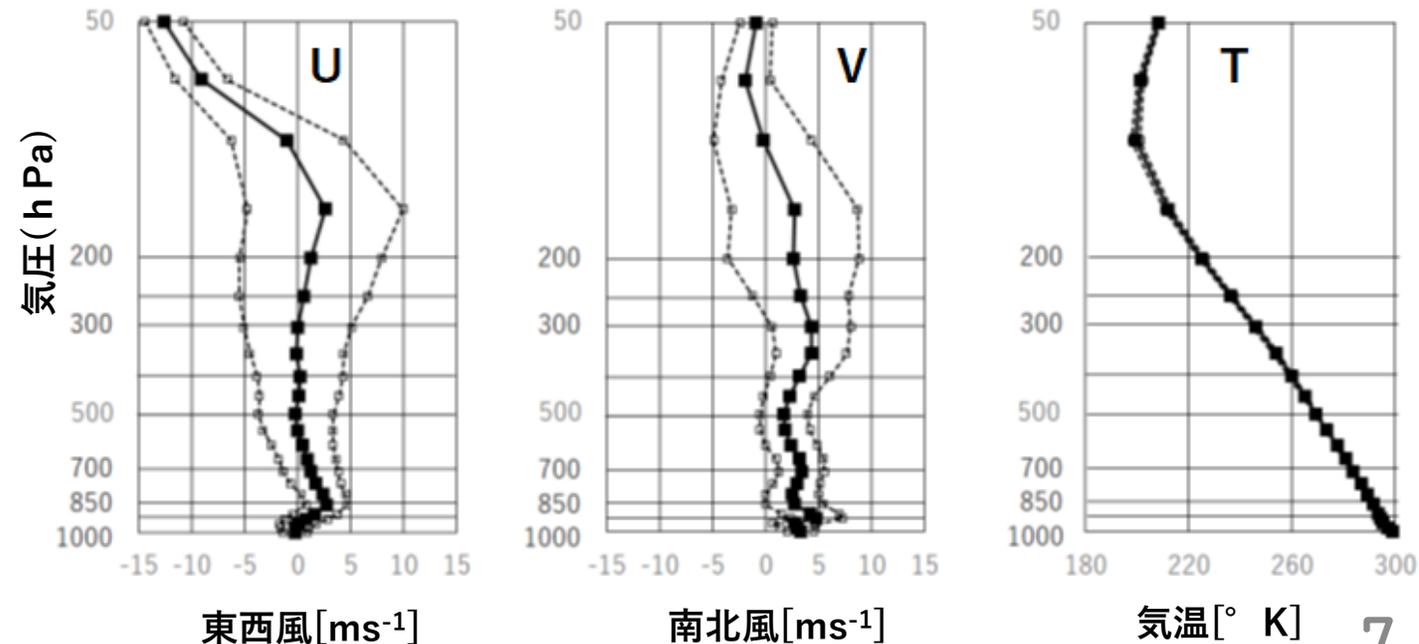
【気象モデルにおける不確実性の原因】

・米国海洋気象庁 (NOAA) が作成した20世紀歴史的再解析気象データ (20CRv3) は、ラジオゾンデによる高層気象観測が実用化する以前に遡り、**気候学的大気状態を基本に、地上観測データのみを同化して大気全層の気象状態を推定したデータセット**である。海面温度など外部条件のばらつきを反映するため、80個の異なる初期値境界値のもとで解析を進め、これら80例のアンサンブル平均と分散をプロダクトとして公開されている。分散の情報を見ると、**高層観測データが無い**ため、**大気中上層で信頼性が低下**している。

- 1) **風向風速のばらつき**が上層に発達した積乱雲の移動方向に直接影響し、降水域の地域分布に反映される、
- 2) **気温や湿度の僅かなばらつき**が大気安定度に大きく影響し、積乱雲の発達程度や降水量に反映される等で、黒い雨評価の不確実性に波及する。

・上層風の鉛直シアにより、エアロゾルおよび雲凝結核、氷晶核は降水域よりも広い範囲に輸送され、**エアロゾル-雲相互作用が降水分布推定における不確実性の要因の一つとなりうる**ことが示唆された。

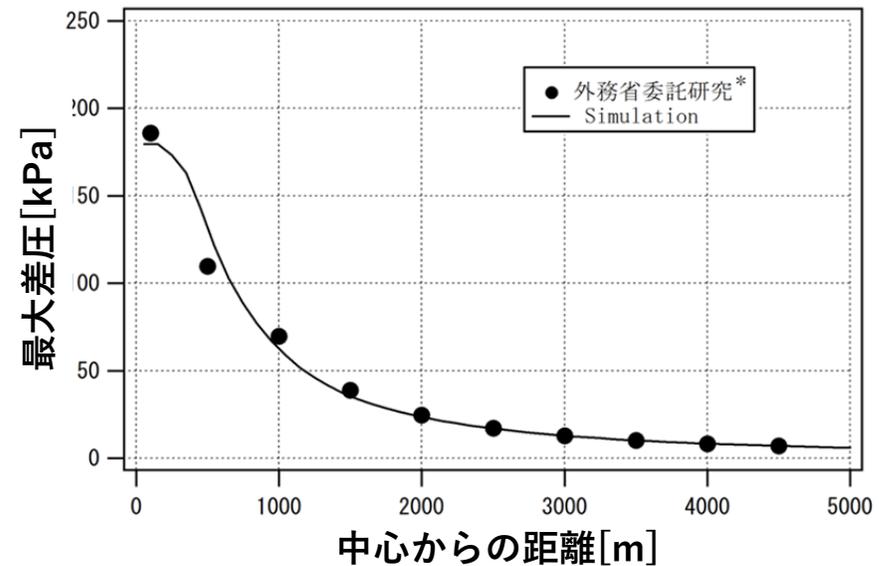
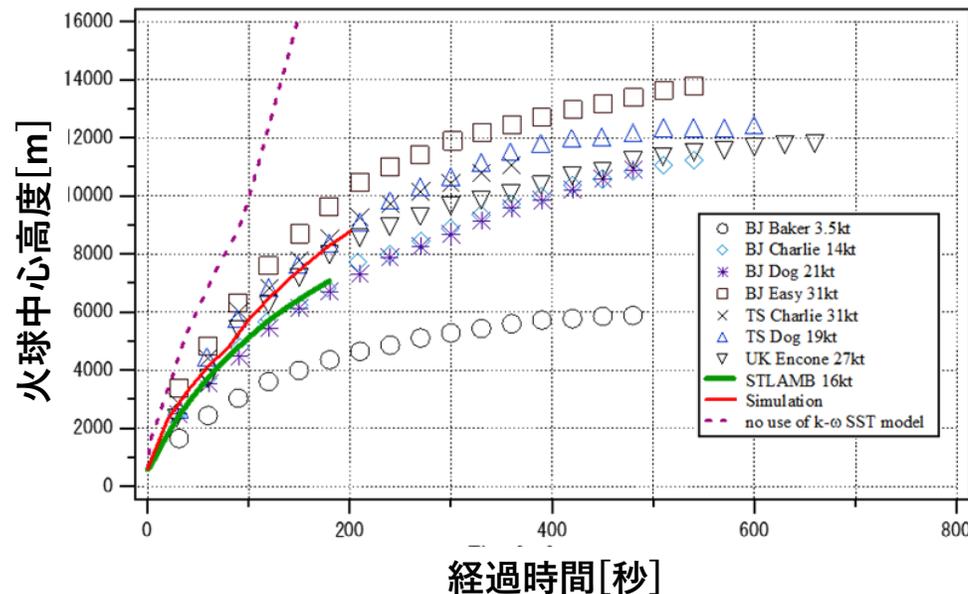
20CRv3 アンサンブル平均と分散 (原爆投下時の広島上空)



○ 爆発計算の成果（核実験との比較）

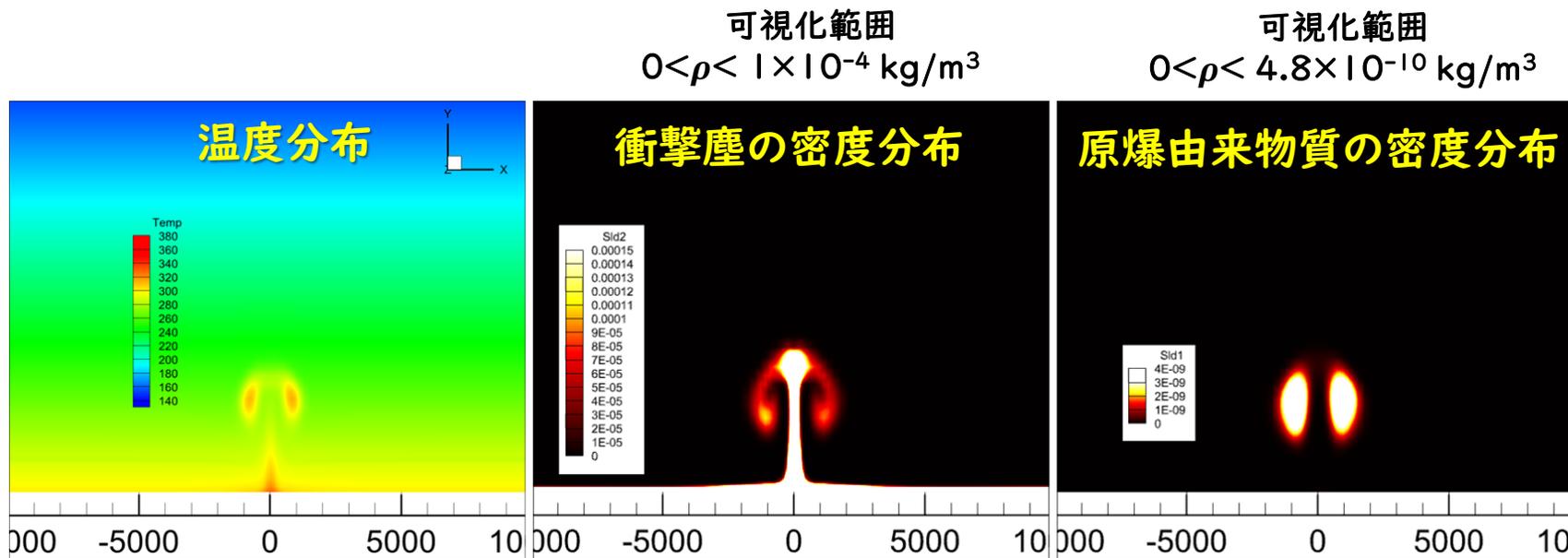
• シミュレーションと核実験との比較

- 渦粘性型乱流モデル（ $k-\omega$ SST モデル）を適用することで火球高度の時間変化を再現（左図）。
- 衝撃波が地表面を通過する際の最大圧力（大気圧との差圧）が核実験から得られる理論値と一致（右図）。

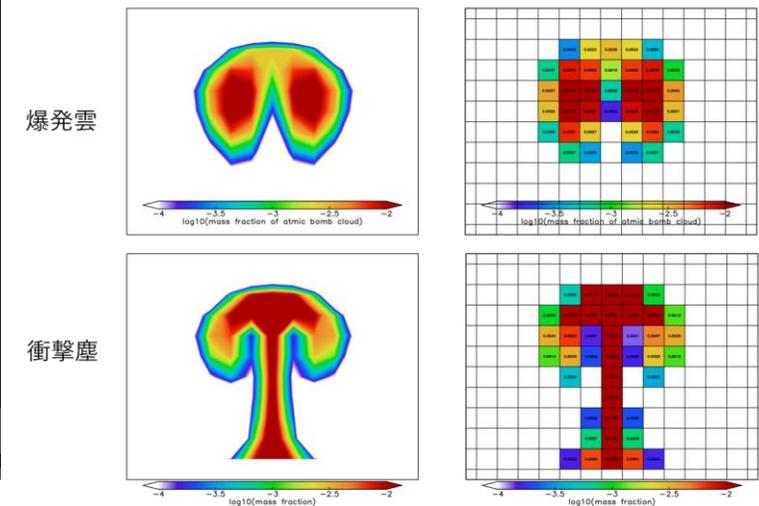


○ 爆発計算の成果と利用 (温度分布と物質拡散)

- 固気混相流の二流体モデルを簡易化したモデルを新たに導入することで、原爆由来物質と衝撃塵の物質拡散を扱えるようにモデルを改良し、原爆雲の温度分布に加えて、原爆由来物質や衝撃塵の空間分布が得られた。



爆発モデルから初期値作成



➤ 気象モデル, 拡散モデルへの導入

爆発の影響範囲が気象モデル(WRF)の計算格子スケールまで広がった爆発80秒後の温度分布を温度偏差として気象モデルに与える. 爆発で発生する物質分布を, 移流拡散モデル(FLEXPART)の初期分布として与える.

気象モデル計算領域と土地利用

3600 m (300 x 300)grid
1076.4 km x 1076.4 km

1200 m (256 x 256)grid
306 km x 306 km

400 m (238 x 238)grid
94.8 km x 94.8 km

Domain_1

Domain_2

Domain_3

Landuse category of WRF model domain d03

Landuse category of WRF model domain d03

<= 過去の航空写真と比較して戦後に埋め立て
された地域を海に戻す。

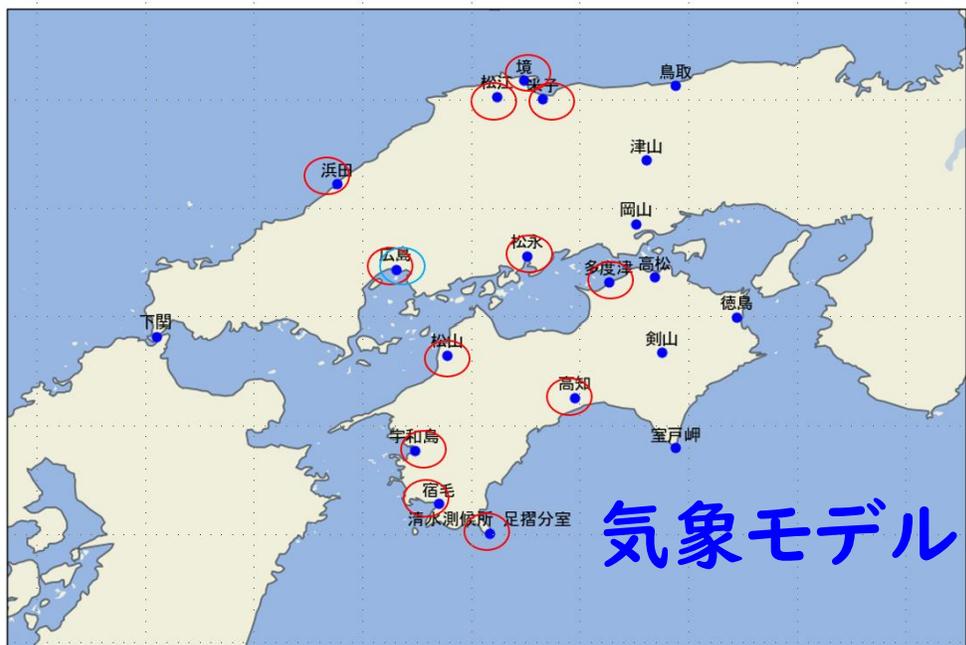
○ 気象庁観測原簿との比較による気象再現性の確認

観測原簿記載例

(13) 風向及風速 m/s

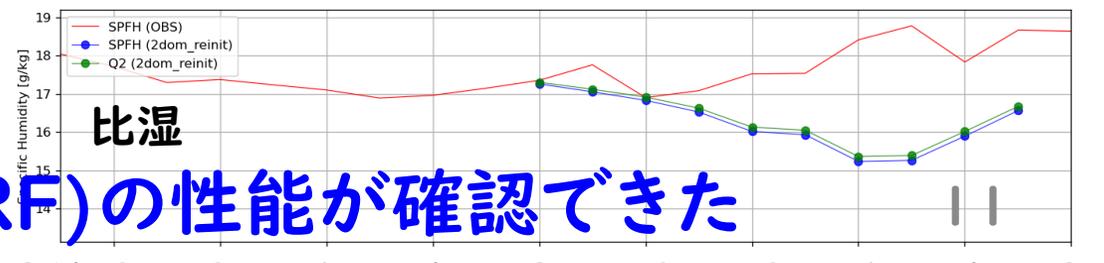
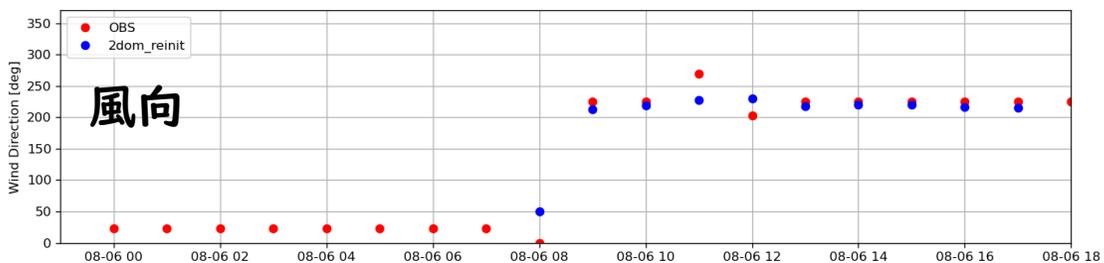
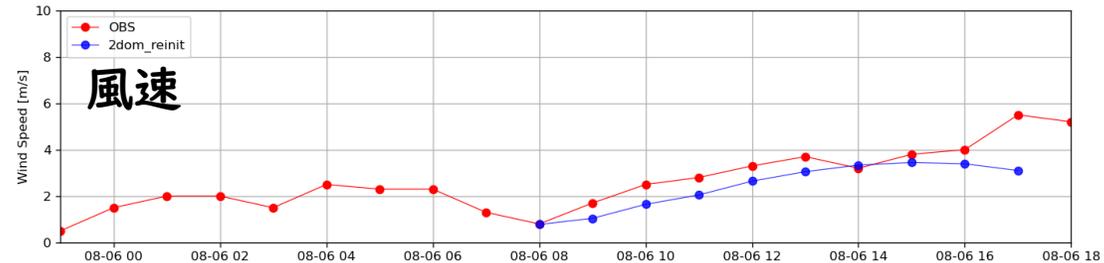
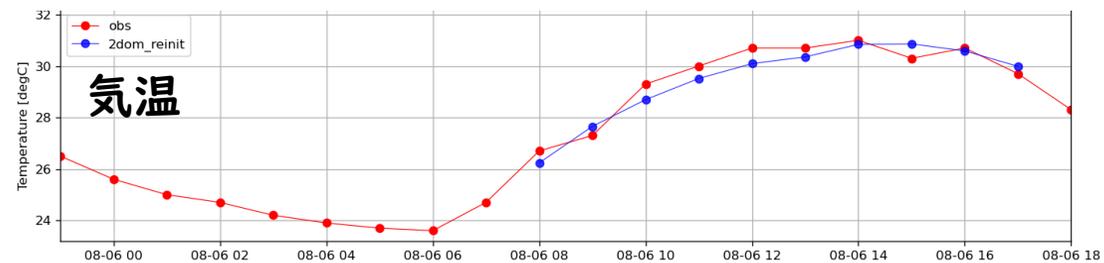
日	1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h
1	— 0.0	— 0.0	NNE 2.2	NNE 2.7	NNE 3.0	NNE 2.8	N 1.7	NNE 3.0	N 0.7	ESE 2.0	—
2	NNE 1.8	NNE 2.0	NNE 2.0	NNE 2.0	ENE 1.7	NNE 1.7	NE 2.2	E 1.7	ESE 2.5	ESE 2.5	—
3	ESE 2.8	ESE 2.3	NNE 1.0	— 0.2	N 0.7	— 0.2	E 2.2	ESE 2.7	ESE 2.7	ESE 2.7	—
4	WSW 3.5	SSW 3.2	SSE 1.5	SSE 1.3	WSW 2.7	SSW 2.0	SSW 1.0	SSW 3.6	SSW 4.2	SSW 3.0	—
5	NNE 2.0	NNE 1.2	NNE 1.7	NNE 1.2	NNE 3.0	NNE 2.0	NNE 1.7	N 1.5	E 1.2	WSW 2.8	—
6	NNE 2.0	NNE 2.0	NNE 1.5	NNE 2.5	NNE 2.3	NNE 2.3	NNE 1.2	N 0.8	SW 1.7	SW 2.8	—
7	WSW 3.0	WSW 2.3	WSW 2.3	WSW 1.2	WSW 1.3	— 0.0	— 0.0	— 0.4	SSE 2.3	SE 3.0	—
8	NNE 1.5	N 1.3	N 1.5	NNE 2.0	NNE 1.3	NNE 3.0	NNE 2.3	NNE 2.7	SSE 1.3	WSW 1.7	—
9	NNE 1.7	NNE 1.2	NNE 2.5	NNE 2.7	NNE 3.0	NNE 2.5	NNE 2.7	NNE 1.0	— 0.2	SE 2.2	—
10	NNE 1.8	NNE 2.2	NNE 2.5	NNE 1.8	NNE 2.5	NNE 3.2	NNE 2.3	— 0.3	SE 1.2	S 1.5	—
11	NNE 2.0	NNE 2.5	NNE 2.5	NNE 2.5	NNE 3.2	N 3.0	NNE 2.0	N 2.8	N 2.7	N 0.7	—
12	NNE 2.5	NNE 2.5	N 3.2	N 4.0	N 4.2	N 2.3	N 2.5	NNE 2.8	N 2.5	SE 2.2	—
13	N 3.0	N 4.0	N 3.7	N 3.2	N 3.7	N 3.3	N 4.7	N 3.5	SW 1.0	SW 1.8	—

原簿をデジタル化した観測所



気象モデル(WRF)の性能が確認できた

当時の廣島气象台(現在の江波山気象館)の観測原簿との比較例(赤が観測, 青が再現計算) 1945年8月6日



8/6 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18時

○ 街区火災デジタルデータと利用

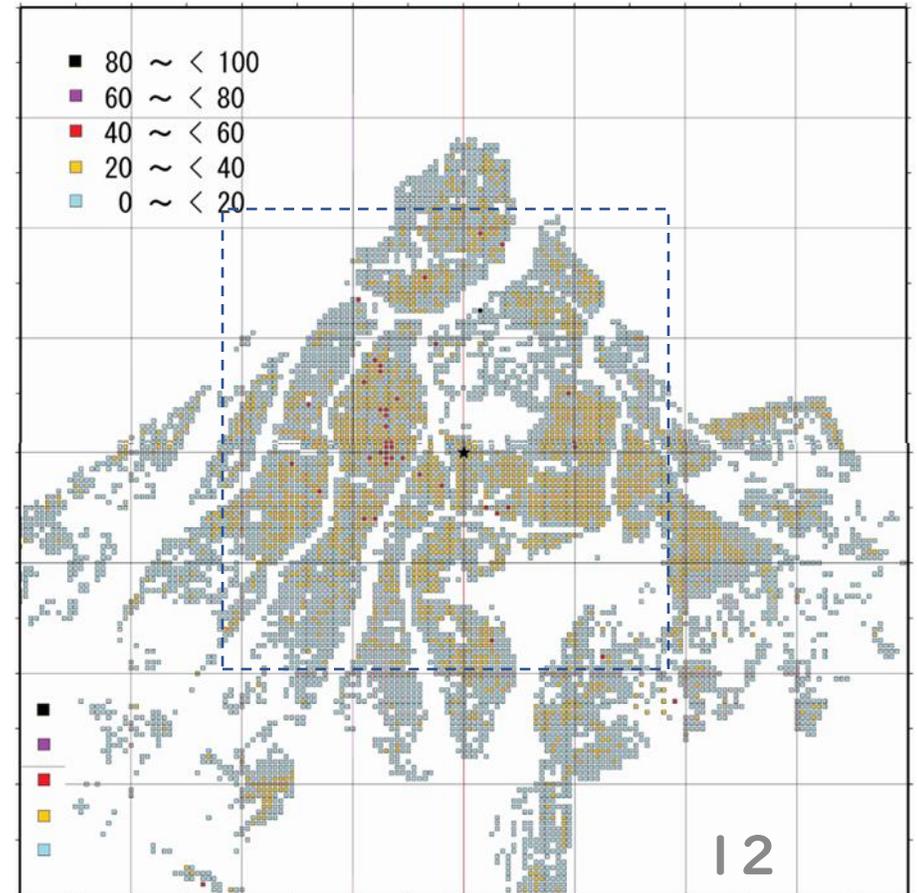
➤ 街区火災デジタルデータ

Estimation of heat, water, and black carbon fluxes during the fire induced by the Hiroshima A-bomb (Aoyama et al., HiSOF)に掲載されている、**熱源**および**水蒸気源**分布図の元となるデジタル・データを著者に要求していたが、**著者ご逝去の為**、入手の可能性が消えた。そこで、論文に掲載された図を直接読み取り、手入力で数値データを作成した。熱源は、爆心を中心とする8 km 四方の領域を50 m四方の格子に分割し、格子の発熱量が5段階の濃淡(グレートーン)で塗り分けられている。誤読を避けるため、これを画像ソフトで着色し、各格子の階級(1~5)を読み取った(右図)。読み取りデータから全体の発熱量を再度計算したところ論文に記載されている値, $14.4 \text{ [kJ s}^{-1}\text{m}^{-2}]$, よりもおおよそ10%大きい $15.9 \text{ [kJ s}^{-1}\text{m}^{-2}]$ となった。水蒸気源(潜熱)も同様に算出した。

➤ 気象モデル(WRF)への街区火災の取り込み

街区火災で発生する**顕熱(発熱量)**と**潜熱(水蒸気発生量)**は、WRFモデル内の都市キャノピーサブモデルを介して気象場に反映させる。サブモデルに街区火災の強度に対応する土地利用区分を追加し、区分ごとに上記で読み取った**発熱量(顕熱, 潜熱)**を都市の人工排熱に付加することで、街区火災の影響を**気象モデル(WRF)に反映させた**。

このとき、Aoyama論文に記載されている**発熱量の時間変化**も同時に考慮した。



○ モデル構築の達成状況 (爆発・街区火災の取り込み)

核爆発で生じる温度偏差・街区火災による潜熱・顕熱を気象モデルに組み込み、気象計算モデル内で爆発により発生した積乱雲内で降水が発生する様子が計算できるようになった。

➤ 気象データ:

米国海洋気象庁 (NOAA) が作成した20世紀再解析データ (20CRv3) のアンサンブル平均データ。

➤ 地形データ:

国土地理院10m格子データ及び経産省とNASAで共同作成した ASTER-GDEM データ。

➤ 土地利用データ:

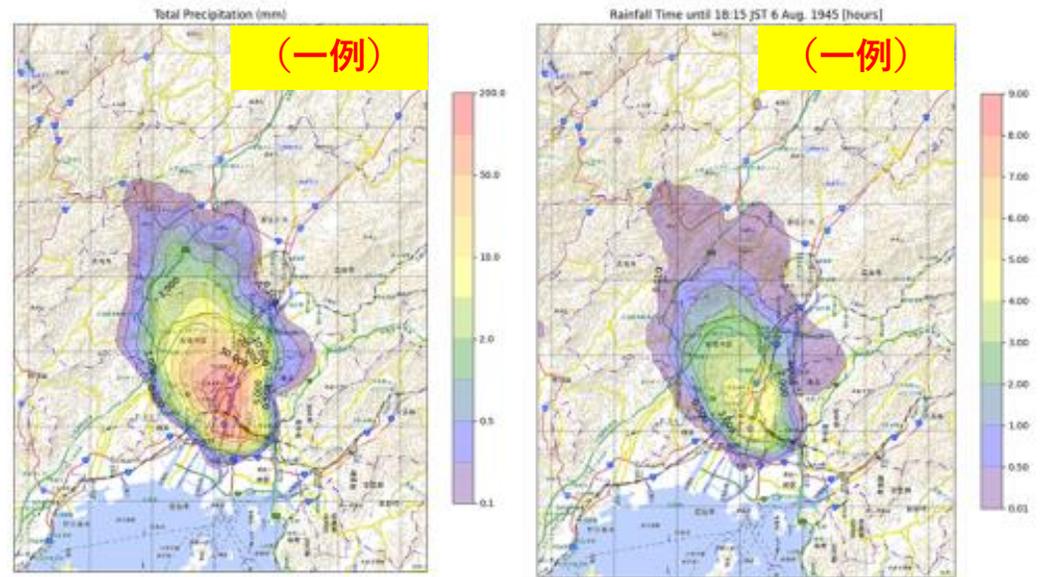
環境省 J-STREAM プロジェクトで作成されたWRF用土地利用データを基本に、戦後埋め立てが進んだ地域を海面に戻したデータ。

➤ 計算格子: 3600 m > 1200 m > 400 m

➤ モデル計算の実行方法:

- ① 前日を初期値として爆発時刻までの気象場を計算。
- ② 爆発時刻の気象場に**爆発モデルで計算された爆発80秒後の温位差** (最大48K, 中心高度5000m) を埋め込む。
- ③ 上記②を初期場とし、**火災モデルの熱源**を地面境界で与えて、爆発時刻以降の気象場の時間発展とこれに伴う降水を計算する。

原爆雲・街区火災を考慮した計算 (積算雨量と降雨時間)

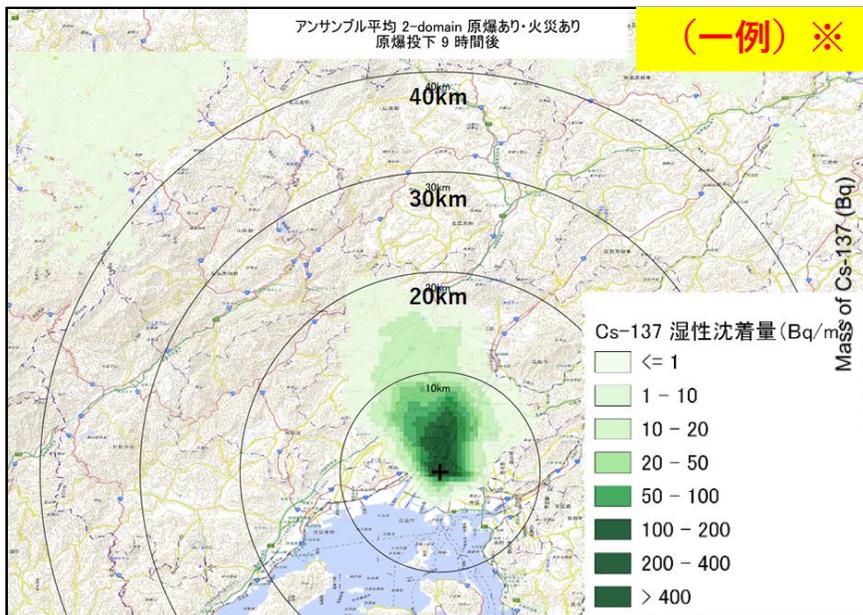


- 原爆投下9時間後までの積算雨量は多いところで100mm以上となる
- 降雨時間は多いところで4~5時間程度

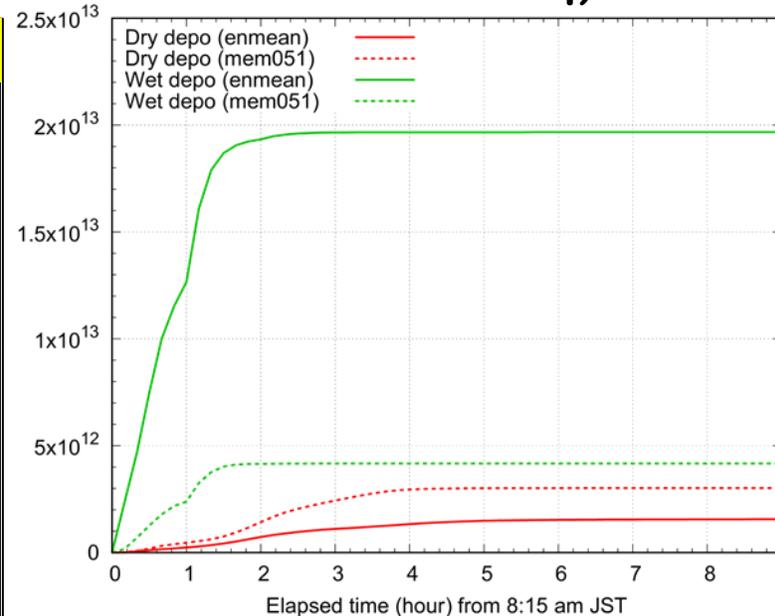
○ 粒子型モデルによる移流拡散沈着計算の結果

- 対象核種: 原爆により生成された ^{137}Cs
- 発生量: 1×10^{14} Bq, 初期分布は爆発モデル結果 (爆発80秒後)
- 乾性沈着: 地表の空力摩擦、重力沈降、粒径分布仮定
- 湿性沈着: 降雨洗浄のみ, 洗浄率, $\lambda = 10^{-4} \times I^{0.8}$ (I : 降雨強度 [mmh^{-1}])
- 粒子発生数: 1,000,000 個

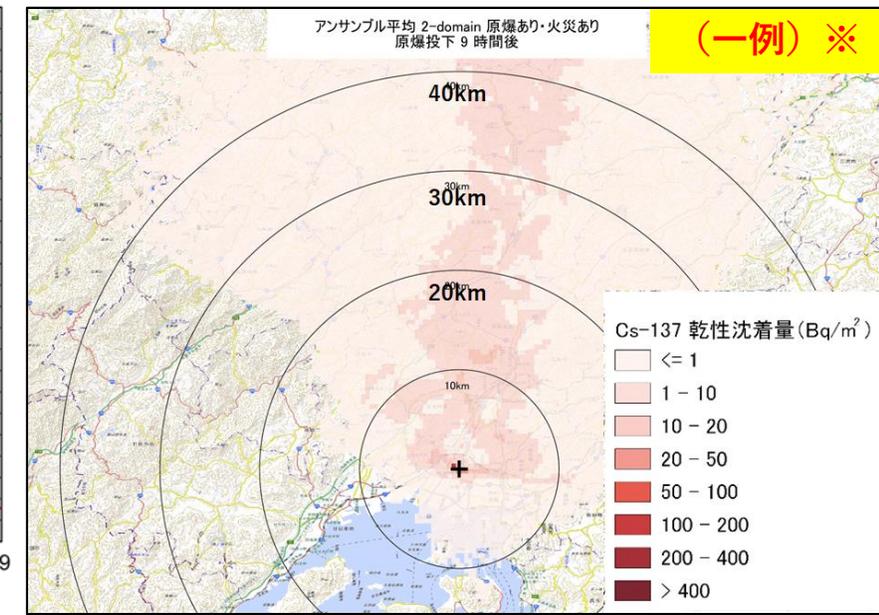
9時間後までの湿性沈着量分布
(Bq/m^2)



9時間後までの領域積算沈着量
時間変化 (Bq)



9時間後までの乾性沈着量分布
(Bq/m^2)



※ 上記の結果は、原爆投下から9時間後までに沈着した湿性降下物又は乾性降下物の有する放射能の積算値の推計の一例。
なお、当該推計から健康への影響等を推定することは不確実性が大きく困難である。

○ 気象モデル計算の到達点

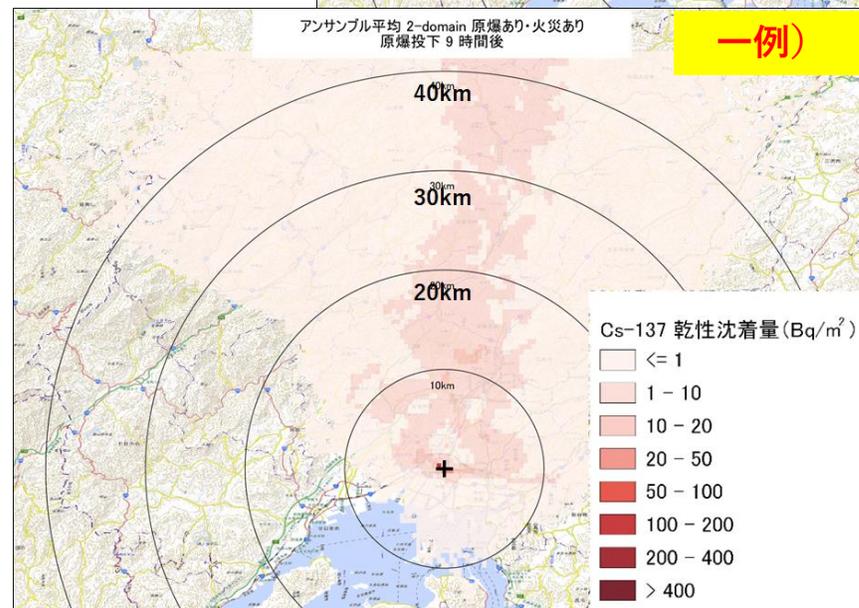
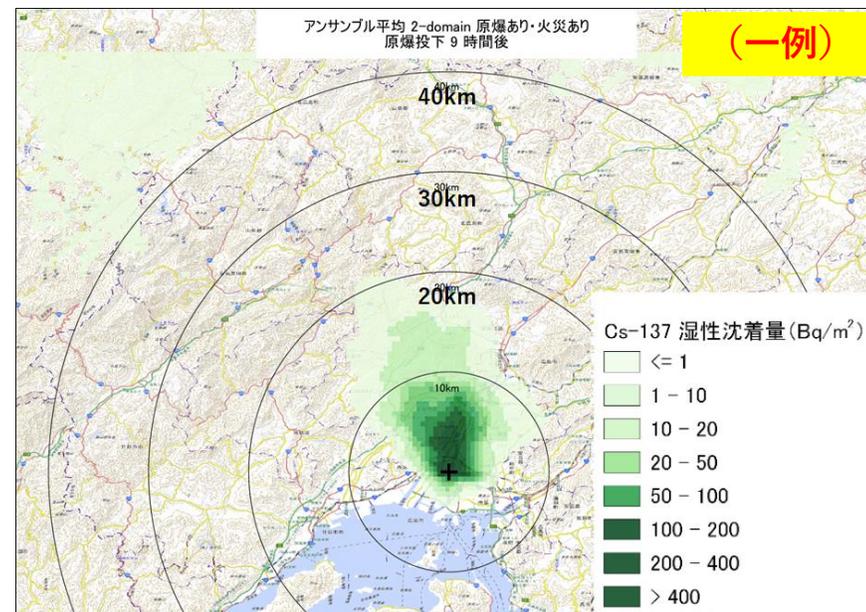
達成状況:

- 広島周辺の夏季局地循環を気象モデル(WRF)で再現できることを、近年の類似事例で確認した。
- 「爆発モデル」で計算された核爆発の熱源と市街火災の熱源を気象モデルに取り込むことが可能になった。
- 米国海洋大気庁が作製した20CRv3(20世紀再解析データv.3)を入力とする計算により、積乱雲が発生し降水が生じる様子が表現され、これによる放射性物質の移流拡散及び湿性沈着と乾性沈着を計算できた。
- 気象データの不確実性に起因し、降水状況や物質の移流、拡散、沈着に大きな不確実性がともなうことが示唆された。

不確実性の要因:

- 気象データに起因する不確実性: 20CRv3再解析データは、80の再現計算(メンバー)のアンサンブル平均で与えられている。80メンバー間には、風向や大気安定度にばらつきがあり、これが降水量や物質の拡散方向の不確実性の要因になり、決定論的な結果を確定できない。
- 降水物理へのRainout 考慮: 大気中微粒子が雲核となり雲降水生成を促進する効果の考慮が計算結果に影響する。爆発や街区火災で生じる微粒子の発生量推定が計算結果に影響を与える可能性がある。

湿性沈着の分布



乾性沈着の分布

※ 上記の結果は、原爆投下から9時間後までに沈着した湿性降水物又は乾性降水物の有する放射能の積算値の推計の一例。
なお、当該推計から健康への影響等を推定することは不確実性が大きく困難である。

参考：原爆投下時の気圧配置と類似事例

中央气象台天気図_1945080606JST



中央气象台天気図 1945080618JST

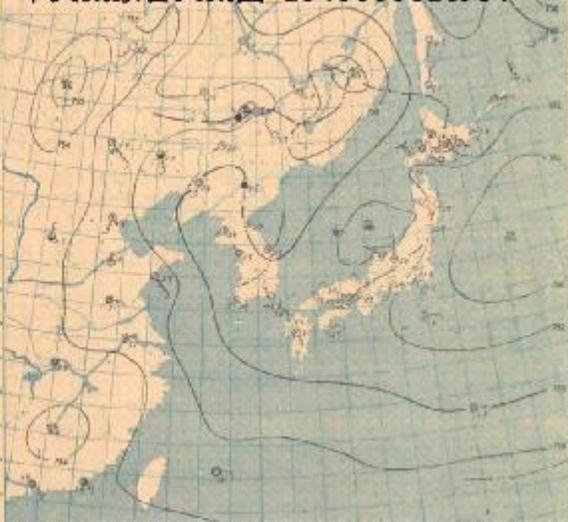
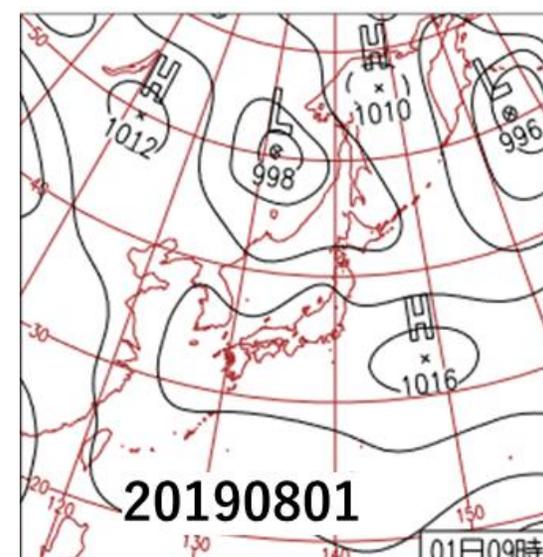
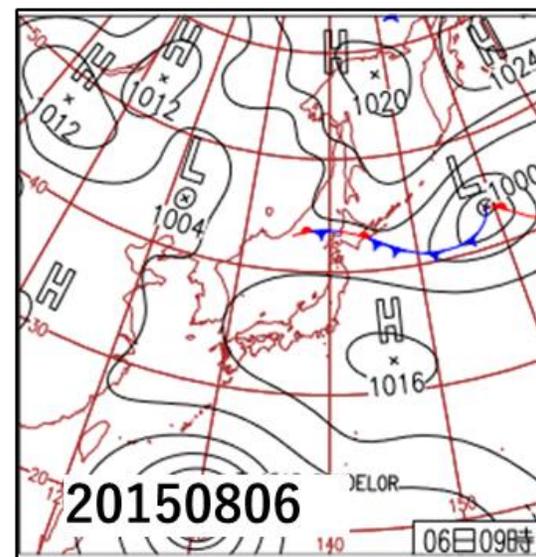
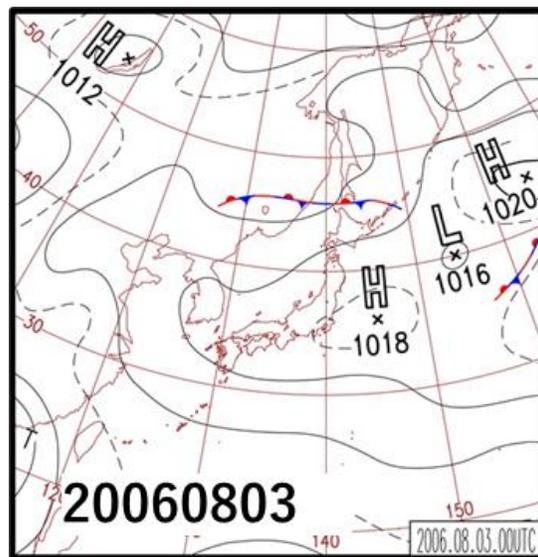
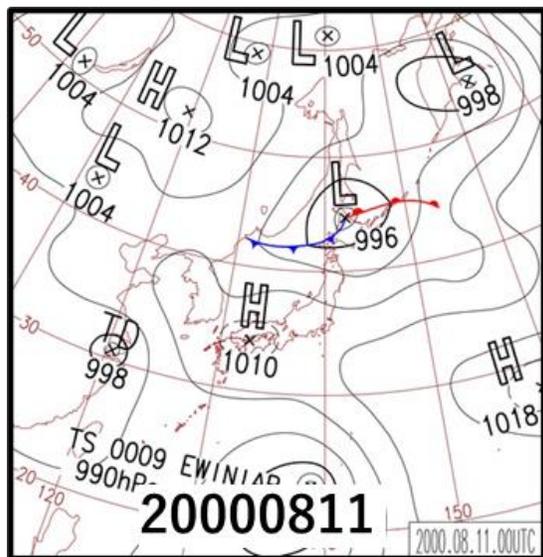


表1 類似事例と利用可能データ

ID	期間	NCEP_.25	NCEP_I	ERA-20C	20CRv3	アメダス	Wind Profiler
1	Aug. 11, 2000		○	○	○	1時間値	
2	Aug. 1, 2002		○	○	○	1時間値	
3	Aug. 3, 2002		○	○	○	1時間値	
4a	Aug. 3, 2006		○	○	○	1時間値	○_KU-RISH
4b	Aug. 4, 2006		○	○	○	1時間値	○_KU-RISH
5a	Aug. 11, 2006		○	○	○	1時間値	○_KU-RISH
5b	Aug. 12, 2006		○	○	○	1時間値	○_KU-RISH
6a	Aug. 5, 2007		○	○	○	1時間値	○_KU-RISH
6b	Aug. 6, 2007		○	○	○	1時間値	○_KU-RISH
7	Aug. 6, 2015	○	○		○	10分値	○_KU-RISH
8	Aug. 12, 2016	○	○			10分値	○_KU-RISH
9	Aug. 4, 2018	○	○			10分値	○_KU-RISH
10a	Aug. 1, 2019	○	○			10分値	○_KU-RISH
10b	Aug. 2, 2019	○	○			10分値	○_KU-RISH



参考：当時の天気図と20CRv3再解析との比較

20CRv3 ensmean 1945/8/5 JST-6
prmsl (mmHg) + RH2m

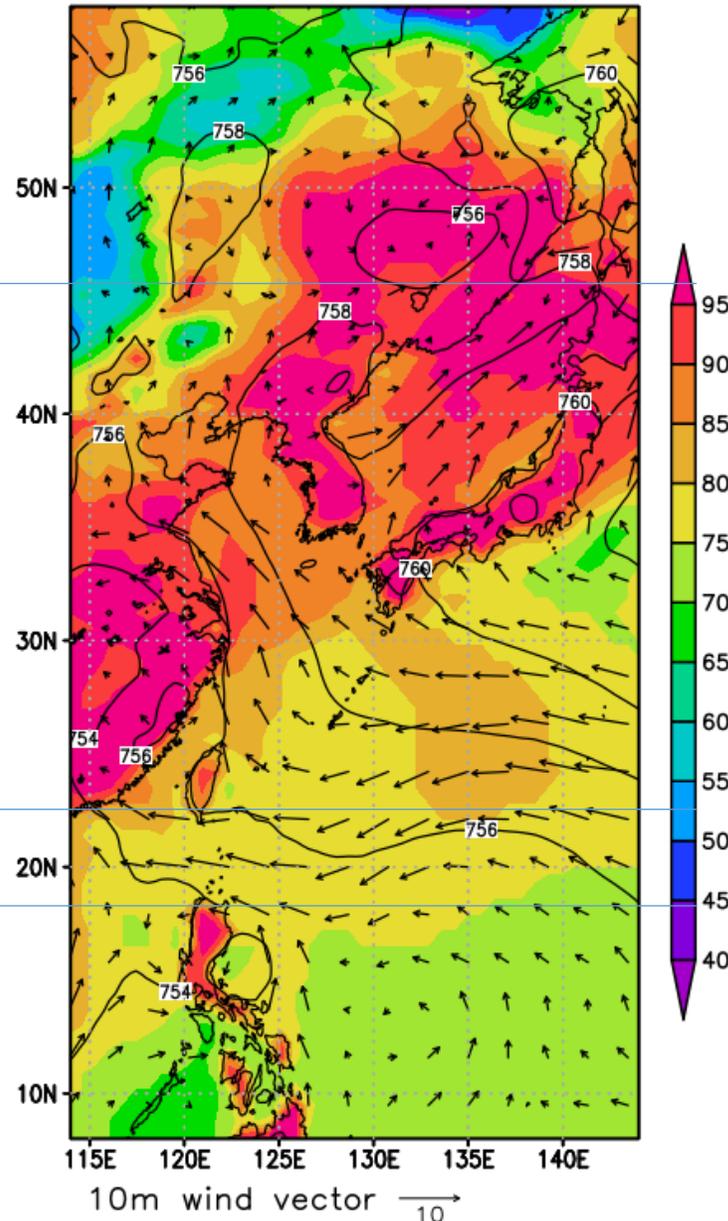
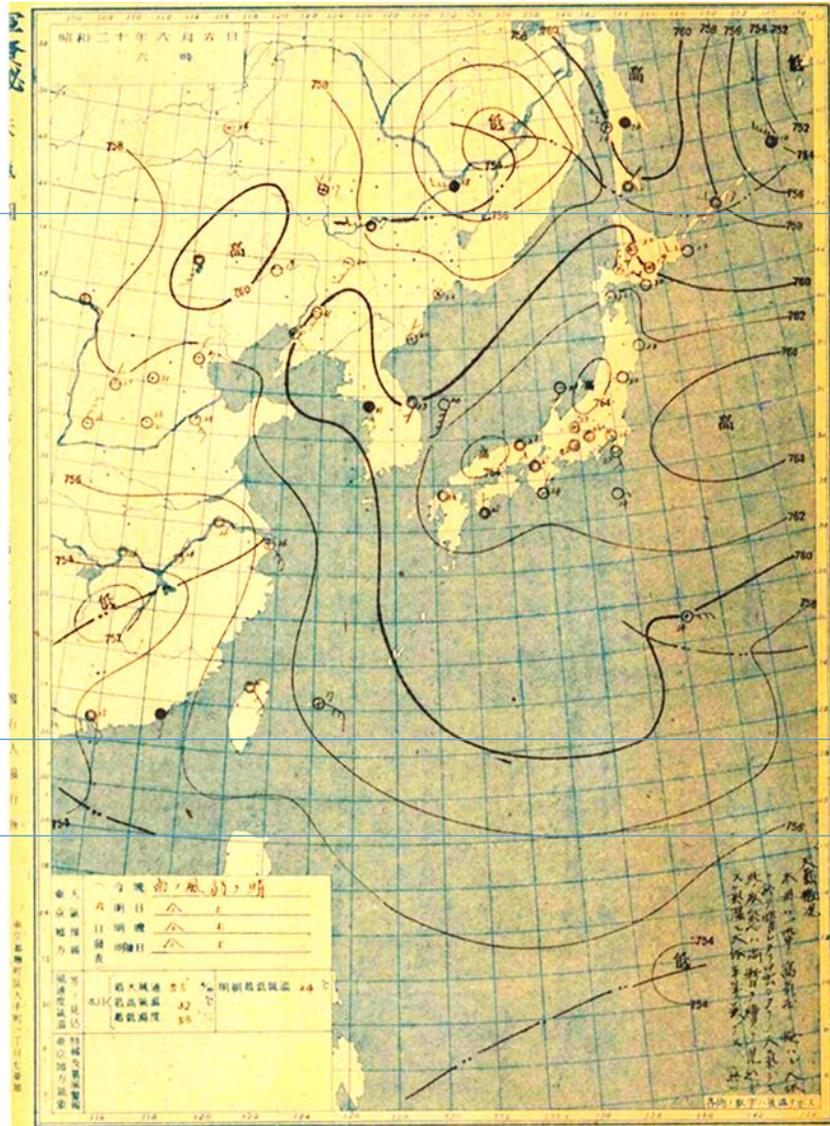
中央気象台天気図_1945080606JST

20CRv3 データをプロットした図

宗谷岬

台湾島

ルソン島



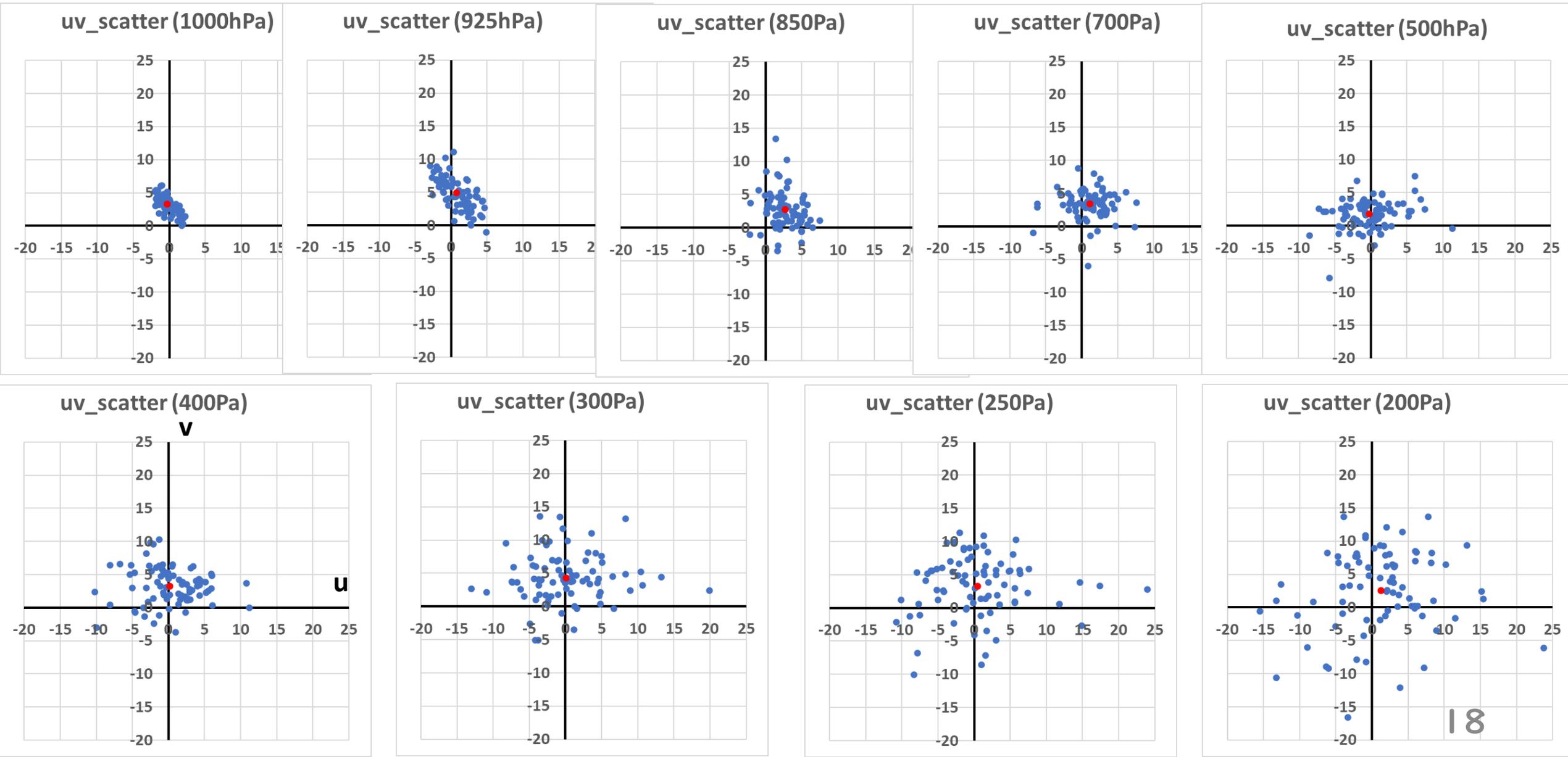
等値線：海面更正気圧
hPa を旧単位のmmHgに
変換して表示。

ベクトル：地上10m風
煩雑を割けるため、3つとば
して間引いて表示。

塗潰し：地上2m相対湿度
水蒸気情報は相対湿度で
与えられている。気象モデル
WRFの前処理プログラム
で比湿に変換されてモデル
に入力される。

参考：20CRv3広島上空の(U,V)ばらつきの様子

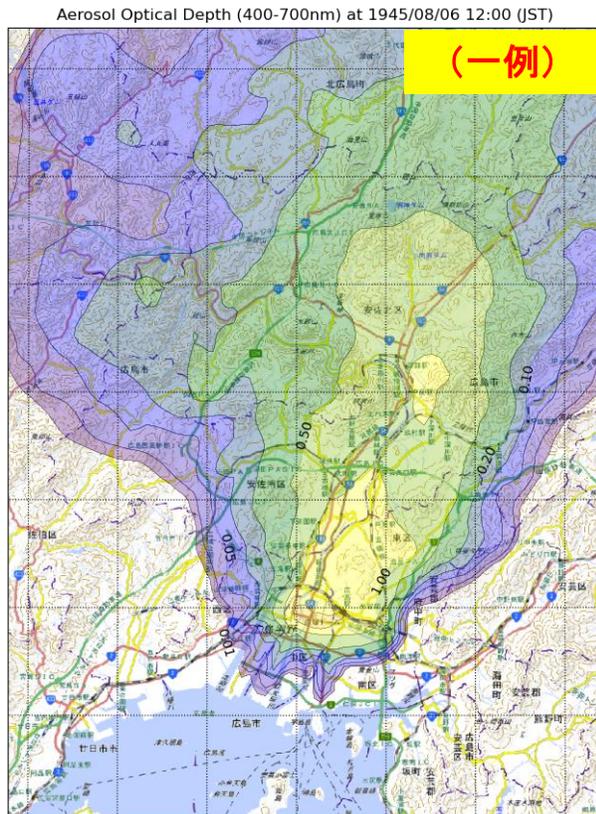
1945年8月6日09 日本時間 青はメンバー, 赤は平均



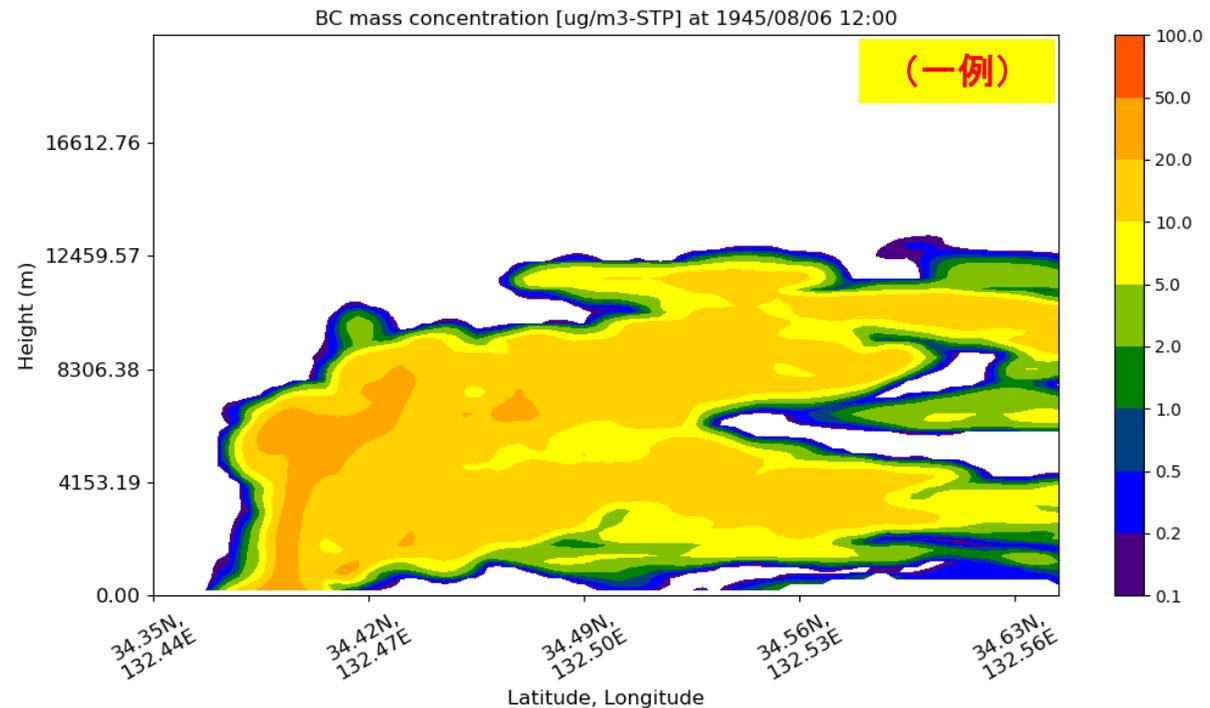
参考：火災由来微粒子が降水形成などに与える効果

- 爆発や火災で発生した微粒子が雲凝結核として作用し、雲形成や降水を変調させる効果を見積もる目的で、気象モデル(WRF)と領域化学モデルを結合したWRF-chemを用いた試計算を行った。
- 街区火災により発生する**黒色炭素粒子**および**土壌粒子エアロゾル**を考慮できるように、領域化学モデルを改変し、火災熱源を考慮した計算を行った。火災由来の黒色炭素粒子エアロゾルが、熱対流により高度12 km以上にまで輸送されていること、およびその一部が**雲凝結核**として作用している可能性があることなどが確認され、**雲-エアロゾル相互作用の重要性**が示唆された。

火災由来微粒子による光学的厚さ (8月6日 12時)



火災由来の黒色炭素粒子エアロゾルの鉛直分布 (8月6日 12時)



気象・土壌WGの結論その2

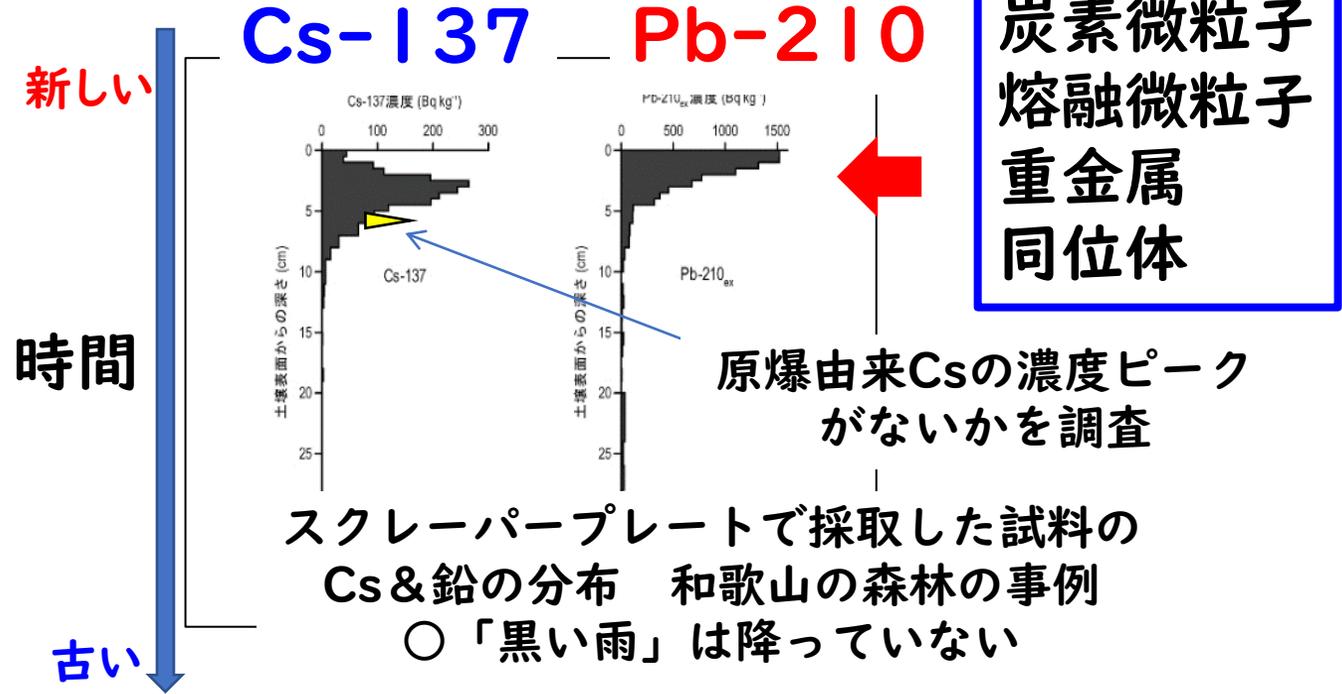
【土壌調査における困難性の原因】

- (1) **戦後77年経過し未改変の地点が少ない**。(神社仏閣, 史跡等を検討)
- (2) **地権者を探し, その了解が必要**. 事務手続きを含め作業にぼう大な手間と時間を要した.
- (3) 未改変の根拠を地権者の証言に求めたが, 証言を元に採取を進めても, ほとんどの例で, 土地は覆土・客土されていた.
- (4) 史跡(古城跡など)は戦後手つかずの状態と推測されたが, **土壌採取の許認可を得ることは原則困難**で, かつ**地権者の同定も非常に困難**であった.
- (5) 戦後77年経過して原爆由来 ^{137}Cs の放射能が17%に減衰し, 福島第一原発事故の汚染マップ作成時に比べて, 各試料の測定に~100倍の測定時間を要した. このため, **限られた時間で精度良く合計 3000試料以上の測定を実施**して, データセットを作成するだけでも大事業となった.
- (6) 土壌試料が改変地点由来と判断した場合, 再度の採取を可能な限り実施したが, **再採取実施の時間にも, 人的資源にも限界**があった.
- (7) 広島平和記念資料館より「黒い雨」資料を入手・分析し, 熔融した微粒子等の「黒い雨」領域判別の新指標確立を目指したが, **指標確立は困難**であった.
- (8) 揮発性の高い水銀や重金属, 爆弾材料の影響が期待される同位体($^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$)などにも着目し, 最先端の手法を用いて, 鋭意, 分析・測定を実施したが, **微粒炭粒子を除き, 指標物質となる新証拠はこれまでには得られなかった**.

○ モデル検証データ取得ー土壤調査の目指したこと



スクレーパープレート



Fukuyama et al., 2010 の図を改編

【改変されていない土壤層に証拠が残っていないか!?】

- ・広島市内, または長崎市内, および近傍の黒い雨地域において, 年代順に成層して当時の地層が残っていそうな地点を選定する. 候補地点は, **社寺の境内, 旧城跡(古城跡), 旧学校**など.
- ・覆土・客土の可能性を現地踏査で確認. さらに層序があるかどうかを**トレンチ試掘**で確認する.

【地層を薄く剥いで測定することで時間方向にデータを分解する】 ⇨年代指標推定も実施.

- ・**スクレーパープレート**を用いて約1 cmの分解能で層序を崩さずに試料採取を行う.

→ 時間方向に分解されたデータにより, **モデル検証データセット**を作成を目指す.

○ モデル検証データ取得－土壌調査での分析項目

調査研究項目	発生源	検出妨害の有無	性状・性質	調査目的
放射性物質				
^{137}Cs	原爆本体	あり (Global Fallout)	核分裂生成物、原爆由来の放射性物質	放射性降下物の検出
$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 同位体比	原爆本体	なし	原爆の材料物質由来	放射性降下物の検出
^{235}U 微粒子	原爆本体	なし	原爆の材料物質由来	放射性降下物の検出
過剰 ^{210}Pb	一般大気	なし	地面から発生するラドンの子孫核種、大気由来の自然の放射性物質	土壌調査地点の堆積状況、かく乱・未かく乱の判断、堆積年代の指標
非放射性物質				
微粒炭素粒子	火災(街区、森林)	あり (森林火災)	建築物等の燃焼由来、20 μm 程度でグラファイトが主成分	街区火災由来物質の検出
水銀	火災(街区)	あり(農薬、工場、ゴミ燃焼等)	温度計はじめ水銀利用製品が火災にあえば比較的低温でも揮発する	街区火災由来物質の検出
銅などの重金属	火災(街区) 熱線照射	あり (工場等)	銅瓦や電線、そのほかの日常金属・青銅製品などに使用	街区火災由来物質の検出
熔融微粒子 (球状)	原爆本体 +衝撃塵	あり (鉄道、花火、工場等)	衝撃塵由来、火球やその近傍で高温により熔融して液滴となり、その後急冷されたと考えられる	衝撃塵由来物質の検出

○土壤調査マップ作成ー領域の確定と寺社などの 適地探索ならびに採取実施

広島県での実施状況

広島地域において約110の区域(格子)で
採取⇒3,000試料以上の測定!

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

地権者調査・確認, 同意書取得, 試掘, 地点
選定, 土壤採取:
広島市, 広島県のご協力の下, 京大複合研を
中心に実施。
長崎については, 長崎市, 長崎県のご協力の下,
実施。



地図上の記載 (古地図)	地図上の記載 (国土地理院地図)
航空写真 (Google)	航空写真 (国土地理院)



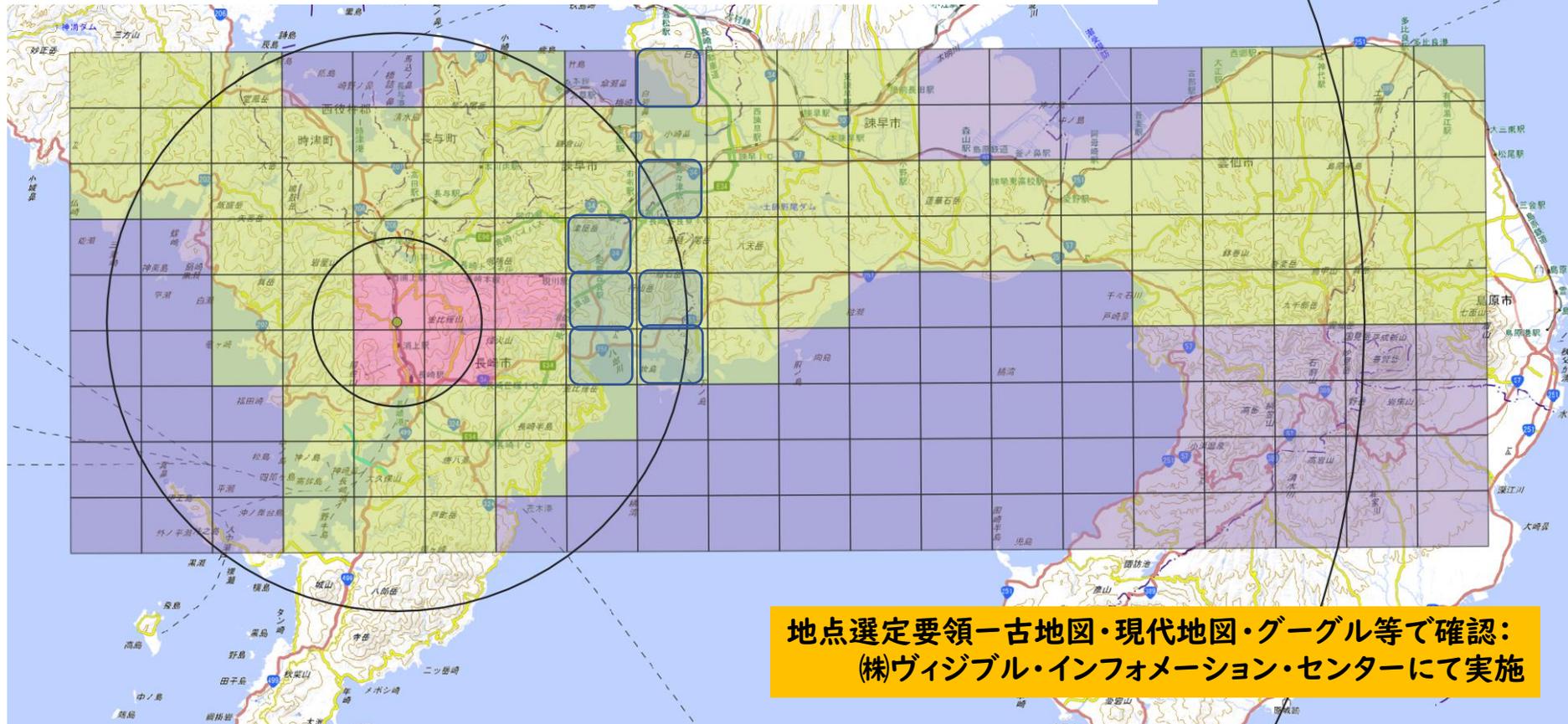
現地写真による確認: グーグル©

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

○土壤調査マップ作成ー領域の確定と寺社などの の適地探索ならびに採取実施

長崎県での調査実施状況

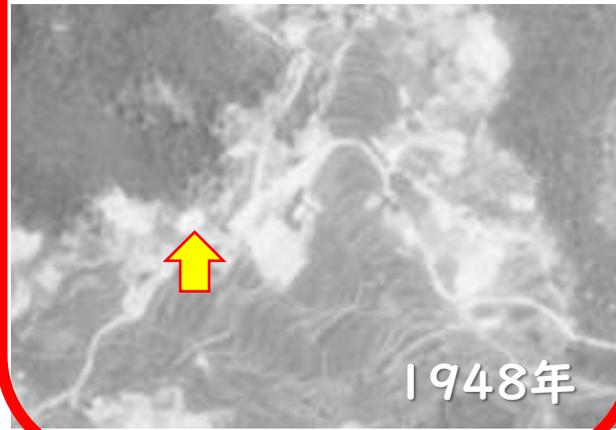
調査地域を2.5km格子20×9に区分(正味は101メッシュ)
これまでに12メッシュ(旧年度5,今年度7)採取を実施
戦前から存在し,現状確認が可能な寺社など(ロケハン済)



○ 土壌調査マップ作成-土壌サンプリング

地点名： AA寺, BB神社, CC神社 **航空写真を実地踏査の前に調査**

- 戦災後に土地改変がなく、当時の状況が残留している地点で採取する。
- そのため、地点をGoogle Map, **航空写真**を活用して選定し、実地踏査を行う地点を選定した。
- 前年度と同一箇所であっても実地踏査を前提にして実施した。
- 当初は、候補地点として、**古城跡, 寺社の境内や旧学校跡, 公共施設周辺**を検討した。



○ 土壌調査マップ作成-土壌サンプリング

地点名： CC神社 **ロケーションハンティング(実地踏査)を実施**



- 戦災後に土地改変がなく、当時の状況が残留している地点で採取する。
- 選定地点を実地踏査して現状把握を行い、現地での判断を優先して再度採取すべき地点・箇所を選定した。
- 前年度と同一場所では、実地踏査で別な地点・箇所を選択し実施した。**総計で221箇所**を実地踏査した。
- 神社の**社叢**、**寺林**を中心として採取を実施した。

○ 土壌調査マップ作成-土壌サンプリング

地点名：CC神社 地権者から同意書を取得後に採取を実施
 ※採取地点は開示しないことが採取同意条件になっています。



試掘のコア採取



第1層目の採取開始



第1層目の採取終了



試料及び色見本

260mm~270mm



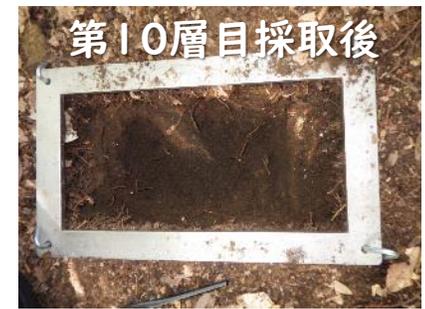
試料及び色見本

270mm~280mm



試料及び色見本

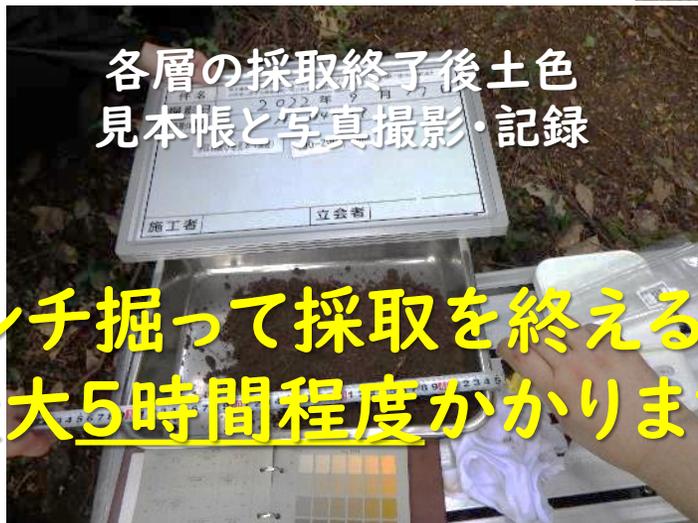
280mm~290mm



第10層目採取後



30層採取終了



各層の採取終了後土色
見本帳と写真撮影・記録

30センチ掘って採取を終えるの
には最大5時間程度かかります

全層にわたり記録

送付



京都大学複合原子力
科学研究所に到着

- 神社の社叢, 寺林を中心として90地点超にて再採取を実施した。
- スクレーパープレート法で30層にわたり表層土壌を採取した。採取作業には3~5時間を要した。
- 試料は, 滅菌・乾燥・篩分け処理をほどこし, プラ容器に封入して測定機関へ送付。
- 放射性物質(セシウム, 鉛)の鉛直の濃度分布プロファイルを得て, 原爆投下によって生じた「黒い雨」の痕跡を調べた。

○ 土壌調査マップ作成ー試料の測定前処理ー送付まで

採取業者さん等から「試料受け取り」(京都大学複合原子力科学研究所)

→「 **^{137}Cs スクリーニング測定**」(複数の層について ^{137}Cs の検出有無を簡易に確認)

→「ガンマ線滅菌(外注;**線量として20 Gy以上照射**)」→業者さんより返送 or 「オートクレーブ滅菌」

→「乾燥機を用いて45 °Cで恒量まで乾燥」→「**2 mm孔径でふるい**」*

→「ふるい通過画分を**U8容器等**に充填」→試料を測定機関に送付

*2 mm以上の物体には放射能はないと仮定

No. 385: ^{137}Cs 19.8 ± 0.6 Bq/kg



IAEA標準試料



乾燥操作



ふるい操作



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Pb **IAEA標準**にて校正を確認

(ものさしの統一)



Ge半導体検出器



秤量操作

○ Cs, Pb測定協力大学・研究機関・民間

R4年度末までに約100区画分—3,000試料以上の測定を進めました。

大学・研究機関（京大複合研含め25者）

	分析委託機関名	測定者(担当者)	年度末までの測定予定試料数
大学 研究 機関	1 広島大学 大学院先進理工系科学研究科	遠藤暁	270 試料程度
	2 長崎大学 原爆後障害医療研究所	松田尚樹 福田直子	120 試料程度
	3 東京都立大学	大浦泰嗣 末木啓介	130 試料
	4 鹿児島大学 先端科学研究推進センター	尾上昌平	210 試料
	5 弘前大学被ばく医療総合研究所	赤田尚史	90 試料
	6 大阪大学放射線科学基盤機構	吉村 崇 大江一弘	117 試料
	7 核融合科学研究所	田中将裕	150 試料
	8 九州大学アイソトープ統合安全管理センター放射線監視情報部	杉原真司	120 試料
	9 近畿大学 原子力研究所	山田崇裕	120 程度
	10 公益財団法人 環境科学技術研究所 環境影響研究部	大塚良仁	90 試料
	11 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻	高橋嘉夫 向井広樹	150 試料
	12 長岡技術科学大学	太田朋子 栗原雄一	60 試料
	13 明治大学	小池裕也	60 試料
	14 尚絅学院大学	齊藤敬	90 試料
	15 愛知医科大学	小島 貞男 緒方良至	60 試料
	16 大阪産業大学	碓隆太	30 試料
	17 福島大学環境放射能研究所	平尾茂一	60 試料
	18 東京海洋大学	伊藤友加里 神田穰太	120 試料
	19 広島大学 自然科学研究支援開発センター	中島覚	60 試料
	20 岡山大学 自然生命科学研究支援センター	寺東宏明	60 試料
	21 熊本大学 生命資源研究・支援センター	島崎達也	120 試料
	22 徳島大学 放射線総合センター	三好弘一	30 試料
	23 高知大学 海洋コア総合研究センター	新井和乃 松崎琢也	30 試料
	24 大阪公立大 放射線研究センター	秋吉優史	30 試料
	25 大阪公立大学	井上淳	炭素測定
法人・ 業者	26 いであ株式会社	長坂洋光 渡邊恵史	270 試料
	27 公益財団法人 日本分析センター	平出 功	60 試料
	28 一般財団法人 九州環境管理協会	山中潤二	30 試料
	29 日本空調サービス株式会社	伊藤憲司	270 試料
	京都大学複合原子力科学研究所測定分		90
	測定合計		3097 試料

- 機器のメーカーや性能はばらばらです。
- そのため、IAEA標準試料で共通に校正を図りました。
- 機器性能に依存するが通常、1試料あたり1日以上 of 測定時間が必要です。
- 我が国の²¹⁰Pb測定が可能な装置のほとんどを利用したと思います。

財団・民間業者4者

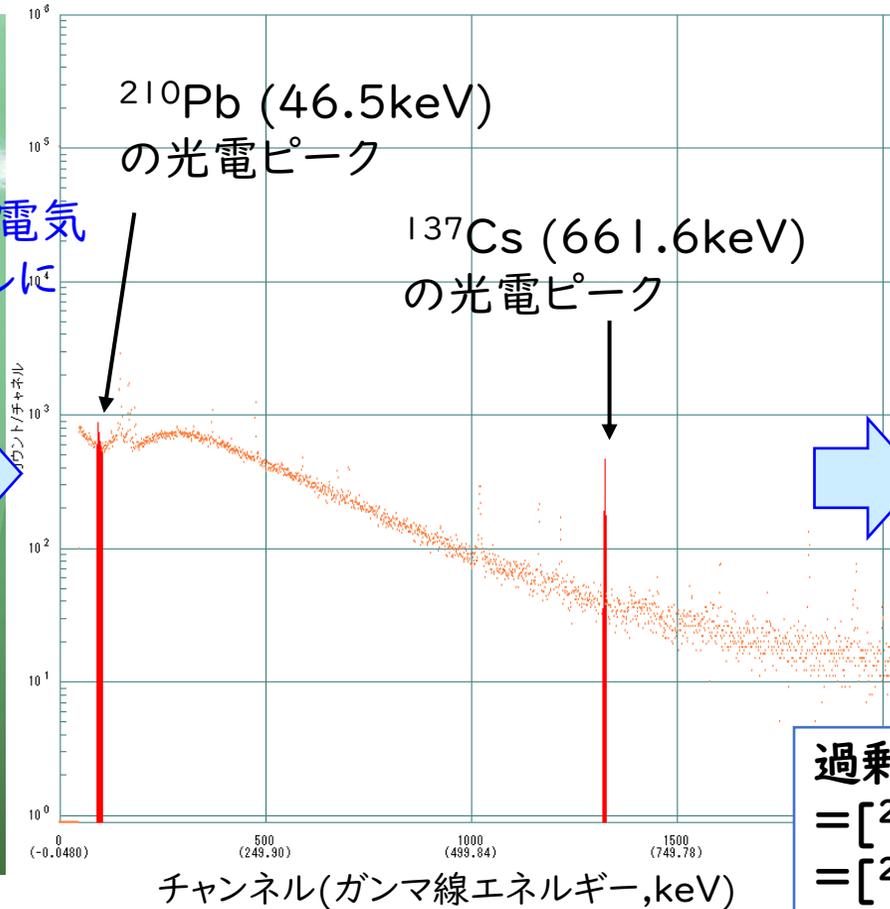
日本全国の研究者がセシウムと鉛の測定に協力してくれました。

○ γ 線スペクトルの解析— ^{137}Cs や ^{210}Pb の測定

- 土壌試料はわずかだが、 ^{137}Cs や ^{210}Pb などの人工と天然の放射性物質(放射性核種)を含んでいます。
- ^{137}Cs は主として、大気圏内核実験(グローバル・フォールアウト)由来です。
- 放射性核種はそれぞれに固有なエネルギーの放射線を放出します。⇒ γ 線スペクトルから核種分析が可能となります。



HPGe検出器による
土壌試料の測定



チャンネル(ガンマ線エネルギー, keV)
ガンマ線スペクトルの例

放射能濃度 A [Bq/g]

$$A = \frac{C}{LT \cdot \varepsilon \cdot W}$$

C : 光電ピークカウント [count]

LT : 測定時間 [s]

ε : 放射能検出効率 [cps/Bq]

W : 試料重量 [g]

$$\begin{aligned} \text{過剰}^{210}\text{Pb} &= \text{大気由来の}^{210}\text{Pb} \\ &= [\text{}^{210}\text{Pb}\text{測定値}] - [\text{土壌由来}^{210}\text{Pb}] \\ &= [\text{}^{210}\text{Pb}\text{測定値}] - [\text{}^{214}\text{Pb}\text{測定値}] \end{aligned}$$

○ γ線スペクトルデータの点検作業

(1) エネルギー校正ファイルの作成

エネルギー校正ファイルは、個々の測定器に対して一つ、合計23ファイル作成した。エネルギー校正を行う際に用いるスペクトル生データは、IAEA標準試料 (IAEA-385) とした。

(2) バックグラウンドの解析

作成したエネルギー校正ファイルを用いて、バックグラウンドの解析を行い対象核種のピークのネット面積 (N_{cnt}) を取得した (対象核種: ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{214}Pb)。

(3) 標準試料の解析

作成したエネルギー校正ファイルを用いて、標準試料データ (IAEA-385, IAEA-410) の解析を行い対象核種のピークの N_{cnt} を取得した (対象核種: ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{214}Pb)。また、上記と異なる標準試料の場合は、主要な核種のピークの N_{cnt} を取得した。

(4) 土壌試料分析データの解析

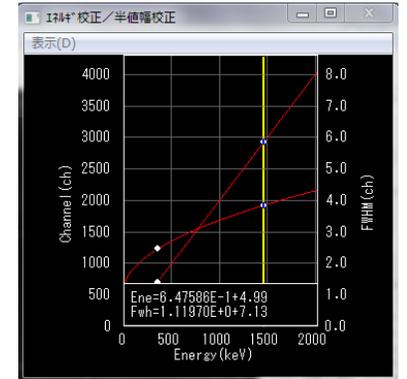
作成したエネルギー校正ファイルを用いて、土壌試料データの解析を行い対象核種のピークの N_{cnt} を取得した。

- ・ 土壌試料を採取した地点数: **50地点**
- ・ 土壌試料の深度方向への分割数: 30層
- ・ 対象核種: ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{214}Pb
- ・ 各解析ソフトウェアの出力として、ROIデータおよびスペクトルデータを保存した。スペクトルナビゲータおよびスペクトルエクスプローラーが対応するファイル形式でそれぞれ保存した。

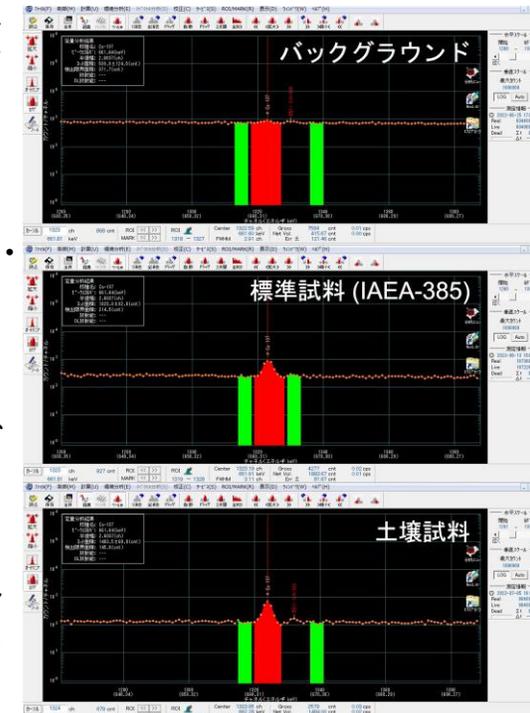
(5) 解析結果の整理

各ソフトウェアから出力される解析結果 (ネット面積, エラー等のデータ) をクリップボードにコピーし、エクセルファイルに貼り付けて解析結果を整理した。エクセルファイルは測定地点毎に作成した。また、以下の情報をあわせて整理した。

- ・ 土壌試料ID, 深度
- ・ 測定日時
- ・ 測定時間 (Live time)



ソフト (SEIKO) によるエネルギー校正例



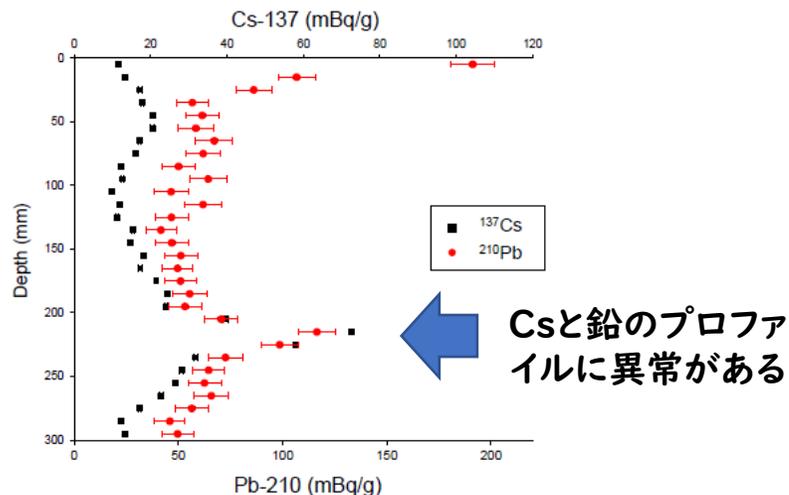
ソフト (SEIKO) による ^{137}Cs のピーク解析例

○ Cs, Pb測定に関する技術会議

日付時間	発表順	機関名	発表者名	地点	
16:00	1	京都大学	八島	土壤研究室について	
	2	愛知医科大学	小島	H-10.08 H-03.10B	
	3	いであ	渡邊	H-04.11 H-06.06B H-07.08A H-02.01B H-03.01B H-09-08-A	
	4	岡山大学	市東	H-07.01	
	5	鹿児島大学	尾上	H-04.01 H-10.07 H-06.04B	
	6	環境科学研究所	大塚	H-01.05A H-03.06 H-08.07	
	7	熊本大学	黒崎-白石	H-10.05A	
	8	筑紫学院大	賀藤	H-10.10 H-02.08 H-10.04	
	16:30	9	東京海洋大	伊藤	H-04.09B H-07.03B
		10	東京都立	大橋	H-07.06 H-04.02_A H-06.02A H-09.03
		11	東京大学	斎藤 向井	H-01.10 H-03.03A H-09.09 H-03.09 H-05-03-A
		12	高岡技術大学	太田 藤原	H-04.06 H-09.02A
		13	高崎大学	橋田	H-09.11 H-05.07B
	17:00	14	広島大学	中島	H-02.03B
		15	日本空間サービス	伊藤	H-05.01 H-10.01 H-06.01 H-09.06 H-06.07B H-08.03B
16		日本分析センター	佐藤 中野	H-01.03A H-02.06	
17		大塚大学	吉村 大江	H-06.09A H-09.05 H-05.02_B H-08.06	
18		熊本大学	三好	H-04-07-B	
19		福岡大学	平塚	H-08.01A	
20		明治大学	小池	H-10.06	
21		環境総合研	田中	H-06.03A H-05.07A H-05.09A	
22		近畿大学	山田	H-07.09 H-07.05A H-01.04	
23		九州大学	杉原	H-04.10A H-09.07 H-04.08 H-10.12	
17:15-		大塚公立大	井上		

■ 地点:H-03-03(30試料) 東京大学高橋嘉夫研による

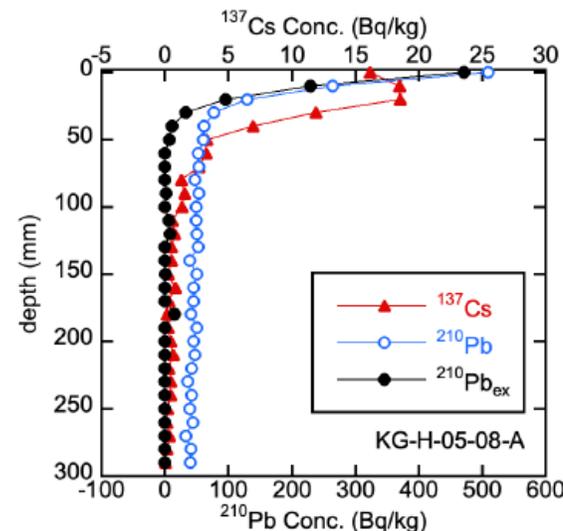
• Cs-137およびPb-210の測定結果



Csと鉛のプロファイルに異常がある

おそらく土地改変があった地点
と考えられるデータ

鹿児島大学による
H-05-08試料測定結果



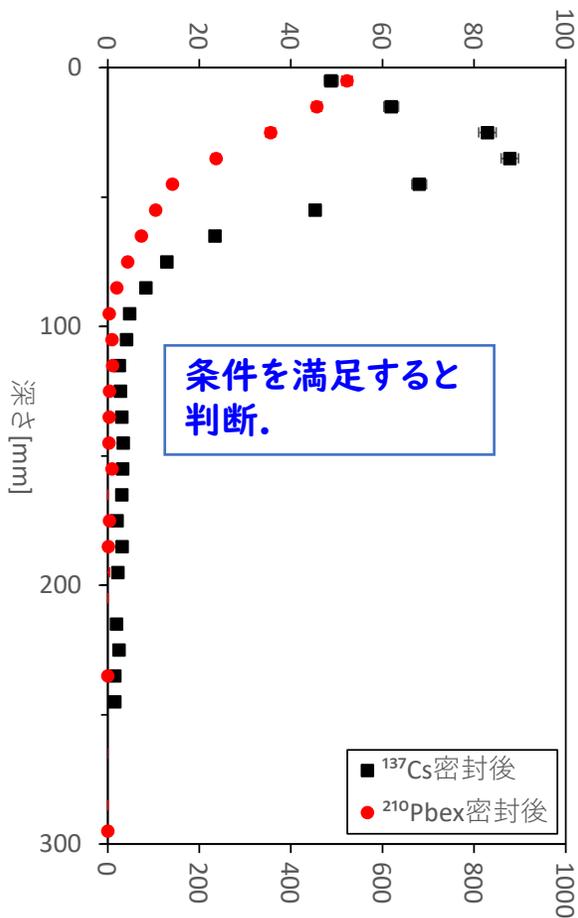
土地改変が無かった地点
と考えられるデータ

- 測定技術会議を延べ12回開催して, Ge半導体検出器を用いた測定を効率的に実施した。100区画分以上の過剰²¹⁰Pb, ¹³⁷Csデータが得られたが, 改変地点については再採取試料の測定に努めた。
- ²¹⁰Pbと¹³⁷Csの精密測定結果による土壤中での分布状態の精査から「黒い雨」領域の推定に使用可能な未改変地点を推定。⇒WGを組織して条件を決定した。
- ¹³⁷Csのインベントリ(土壤柱での存在量)を確認し, ¹³⁷Csと²¹⁰Pbの鉛直分布から, WGでかく乱・未かく乱を判断した。→ 約30地点が未かく乱。

○ 土壌改変の有無について

KG-H-03-01-B

^{137}Cs 放射能濃度[Bq/kg]

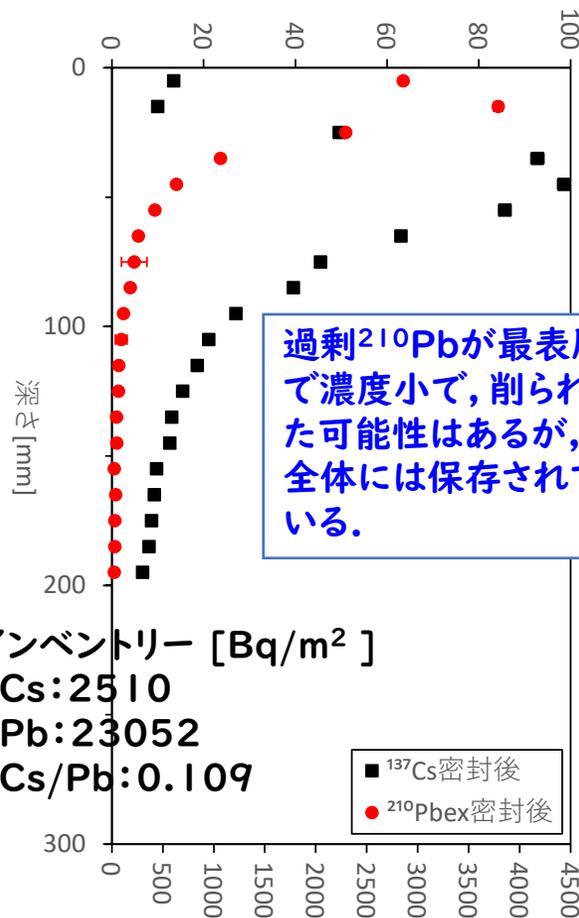


$^{210}\text{Pbex}$ 放射能濃度[Bq/kg]

インベントリー [Bq/m²]
Cs: 1720
Pb: 6338
Cs/Pb: 0.271

KG-H-04-10-B

^{137}Cs 放射能濃度[Bq/kg]



$^{210}\text{Pbex}$ 放射能濃度[Bq/kg]

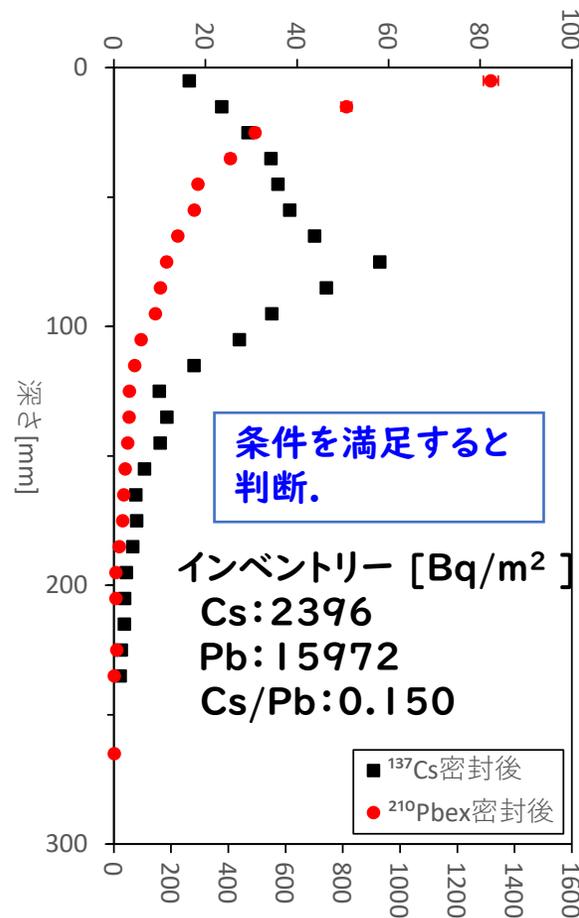
インベントリー [Bq/m²]
Cs: 2510
Pb: 23052
Cs/Pb: 0.109

- ・ $^{210}\text{Pbex}$ 放射能濃度(x軸下) : 最大値が1000Bq/kg以上のため、軸の範囲を調整した。
- ・ 試料230-240~270-280 mmは未測定であるが、インベントリーには影響はない。

未改変と判断

KG-H-06-10-B

^{137}Cs 放射能濃度[Bq/kg]



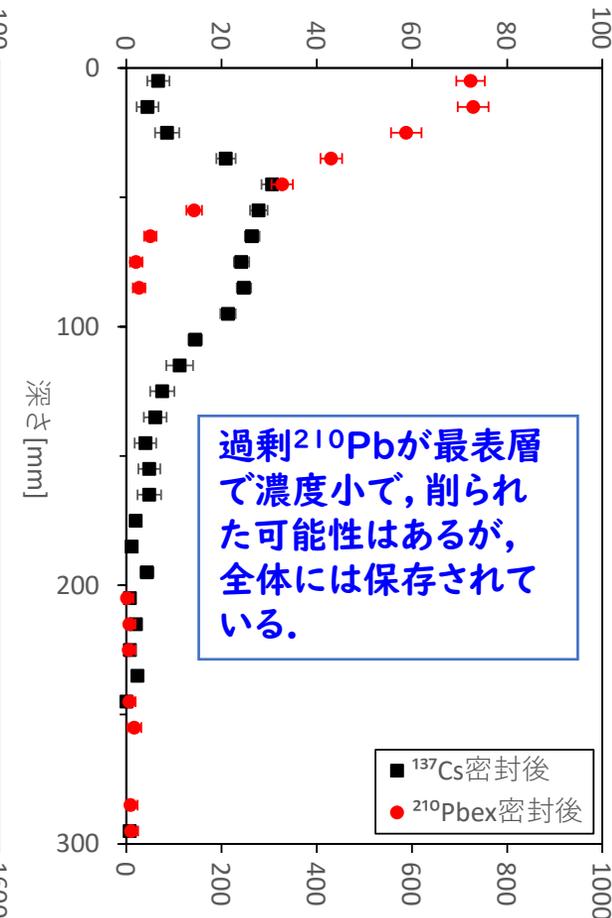
$^{210}\text{Pbex}$ 放射能濃度[Bq/kg]

インベントリー [Bq/m²]
Cs: 2396
Pb: 15972
Cs/Pb: 0.150

- ・ $^{210}\text{Pbex}$ 放射能濃度(x軸下) : 最大値が1000Bq/kg以上のため、軸の範囲を調整した。

KG-H-08-08-B

^{137}Cs 放射能濃度[Bq/kg]



$^{210}\text{Pbex}$ 放射能濃度[Bq/kg]

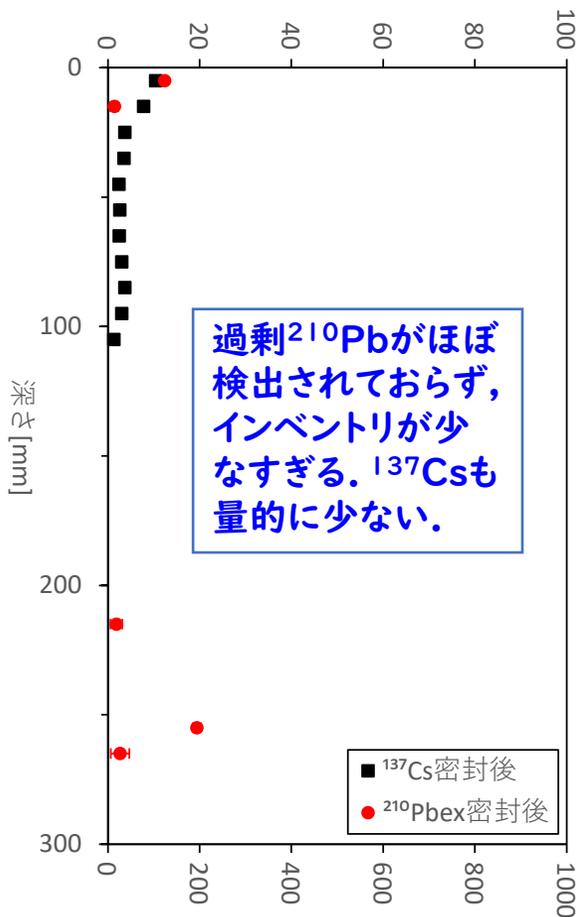
インベントリー [Bq/m²]
Cs: 1308
Pb: 5733
Cs/Pb: 0.228

○ 土壌改変の有無について

改変と判断

KG-H-01-05-A

¹³⁷Cs放射能濃度[Bq/kg]



過剰²¹⁰Pbがほぼ
検出されておらず、
インベントリが少
なすぎる。¹³⁷Csも
量的に少ない。

²¹⁰Pbex放射能濃度[Bq/kg]

インベントリー [Bq/m²]

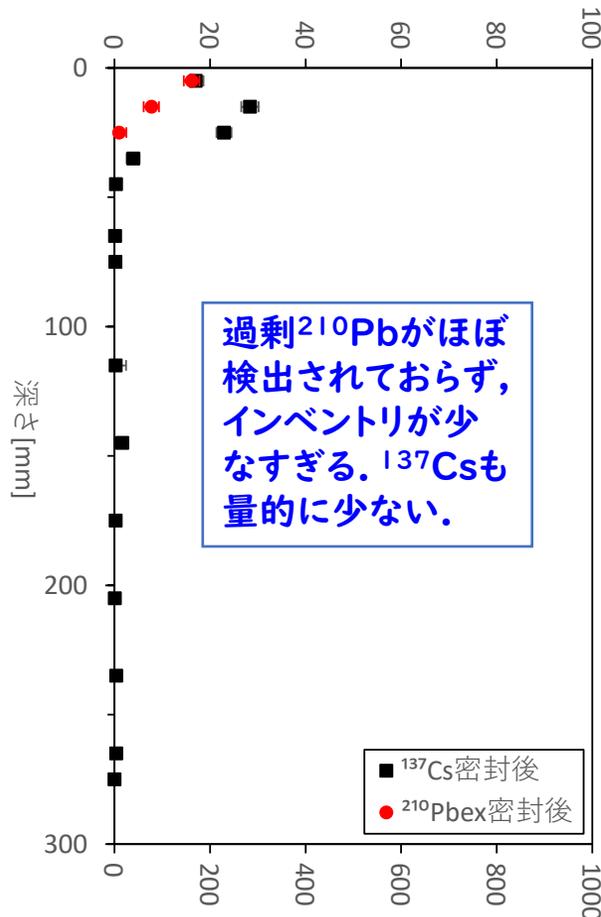
Cs:409

Pb:3071

Cs/Pb:0.133

KG-H-07-07-A

¹³⁷Cs放射能濃度[Bq/kg]



過剰²¹⁰Pbがほぼ
検出されておらず、
インベントリが少
なすぎる。¹³⁷Csも
量的に少ない。

²¹⁰Pbex放射能濃度[Bq/kg]

インベントリー [Bq/m²]

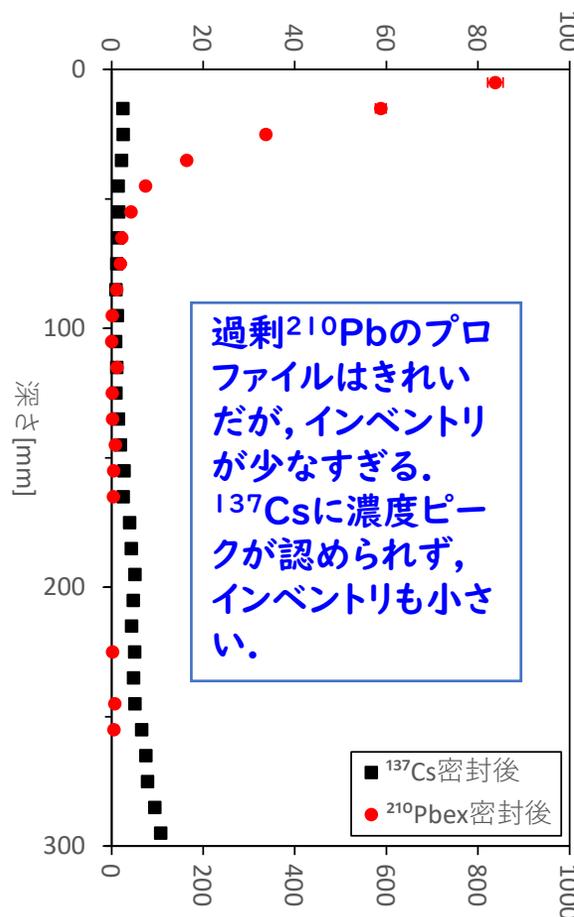
Cs:407

Pb:1508

Cs/Pb:0.270

KG-H-08-03-B

¹³⁷Cs放射能濃度[Bq/kg]



過剰²¹⁰Pbのプロ
ファイルはきれい
だが、インベントリ
が少なすぎる。
¹³⁷Csに濃度ピー
クが認められず、
インベントリも小さ
い。

²¹⁰Pbex放射能濃度[Bq/kg]

インベントリー [Bq/m²]

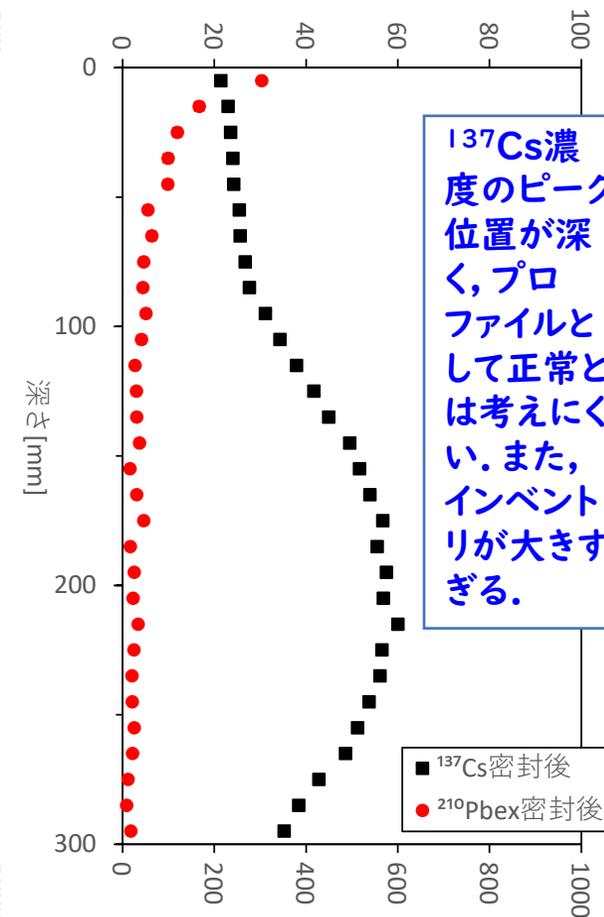
Cs:541

Pb:3844

Cs/Pb:0.141

KG-H-08-07-A

¹³⁷Cs放射能濃度[Bq/kg]



¹³⁷Cs濃
度のピーク
位置が深
く、プロ
ファイルと
して正常と
は考えにく
い。また、
インベント
リが大き
すぎる。

²¹⁰Pbex放射能濃度[Bq/kg]

インベントリー [Bq/m²]

Cs:5214

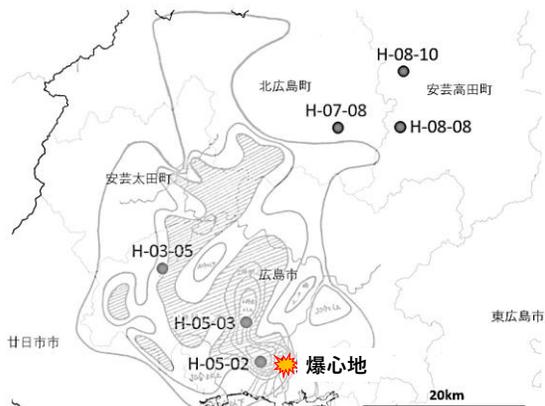
Pb:6936

Cs/Pb:0.752

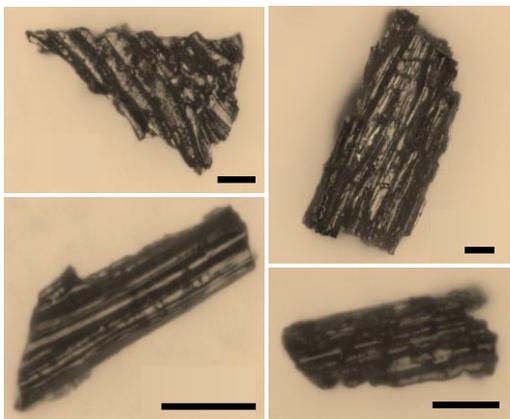
○ 「黒い雨」指標物質の探索

— 微粒炭粒子含有量と¹³⁷Cs濃度との比較

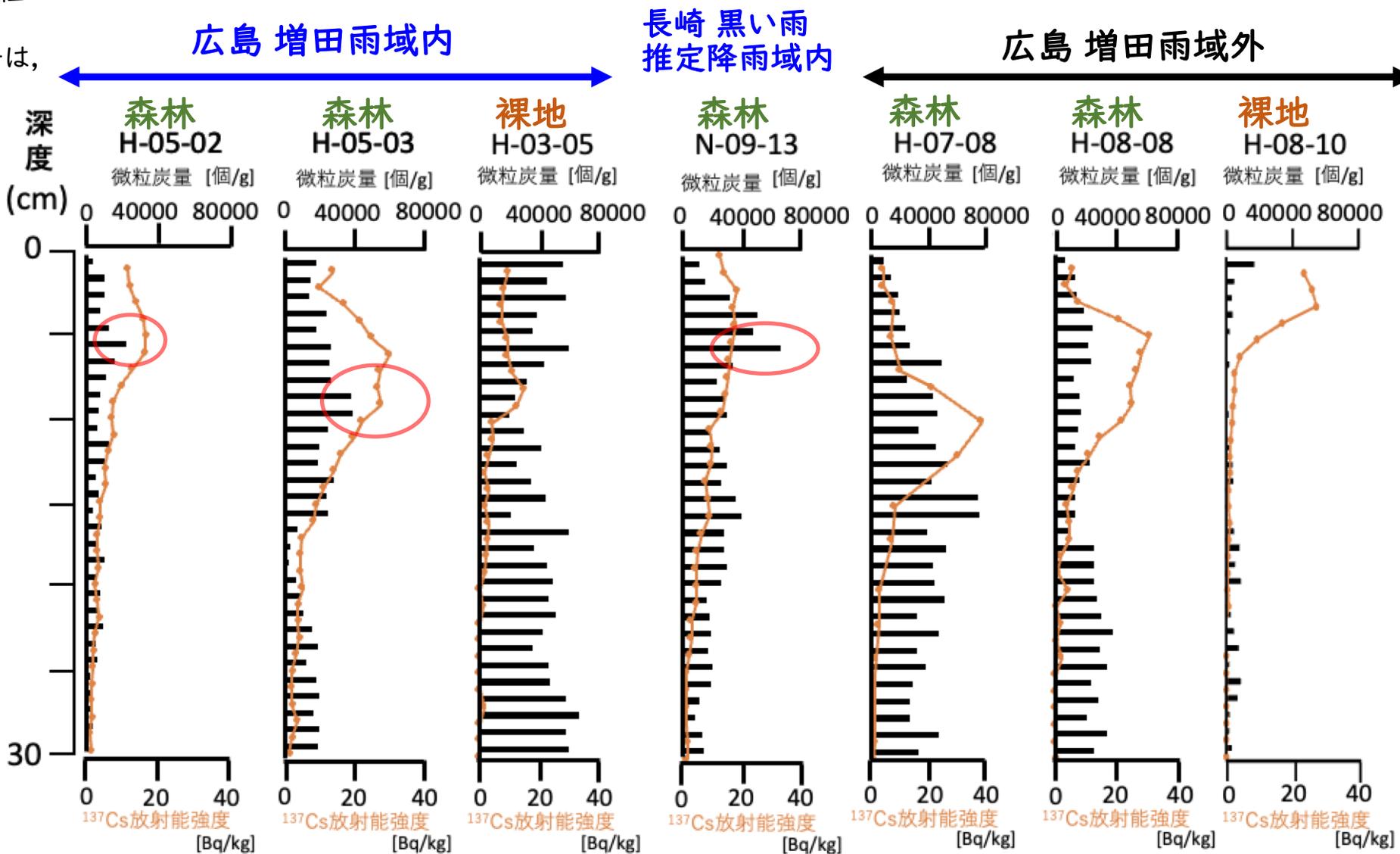
- 黒い雨には、街区火災由来の微粒炭粒子が含まれた可能性がある。
- 山火事などで生成された微粒炭粒子は、比較的長期間土壌中に保存される。



分析土壌試料採取地点

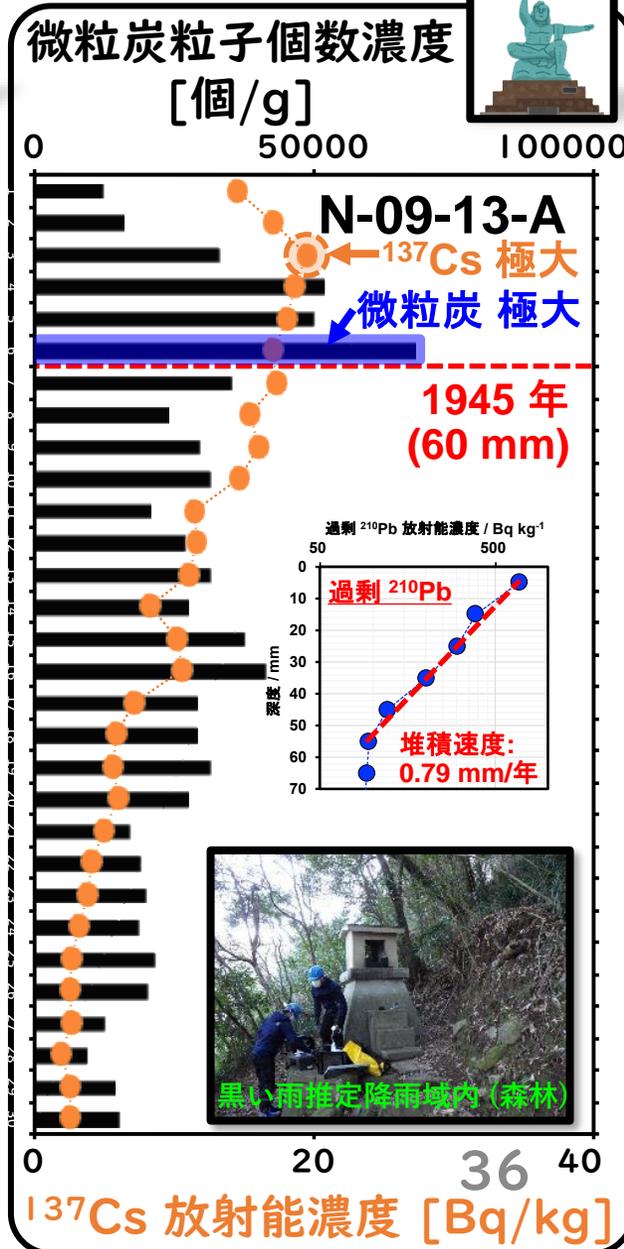
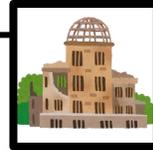
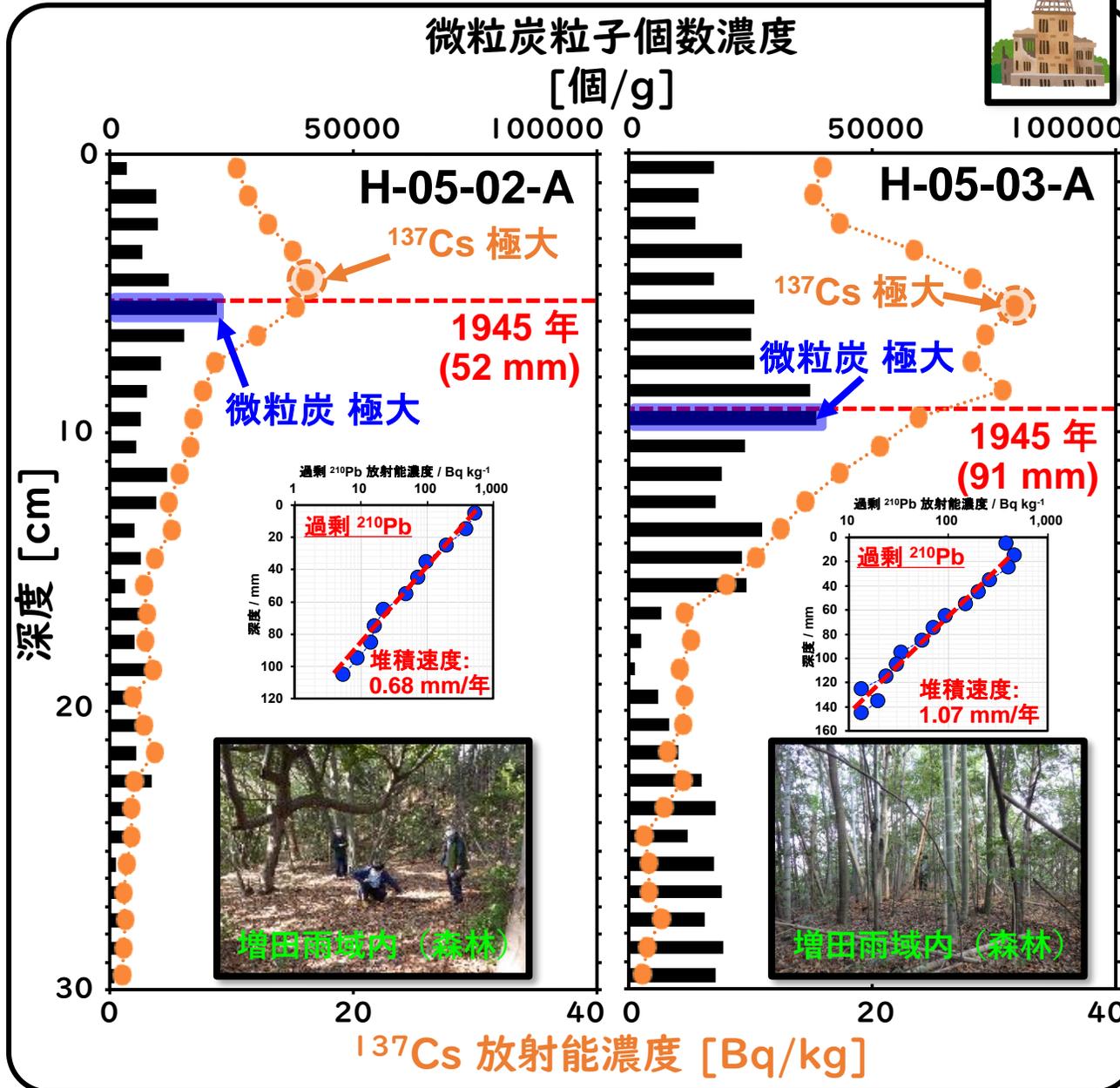


植物起源燃焼由来の炭素微粒子
スケールは20 μm



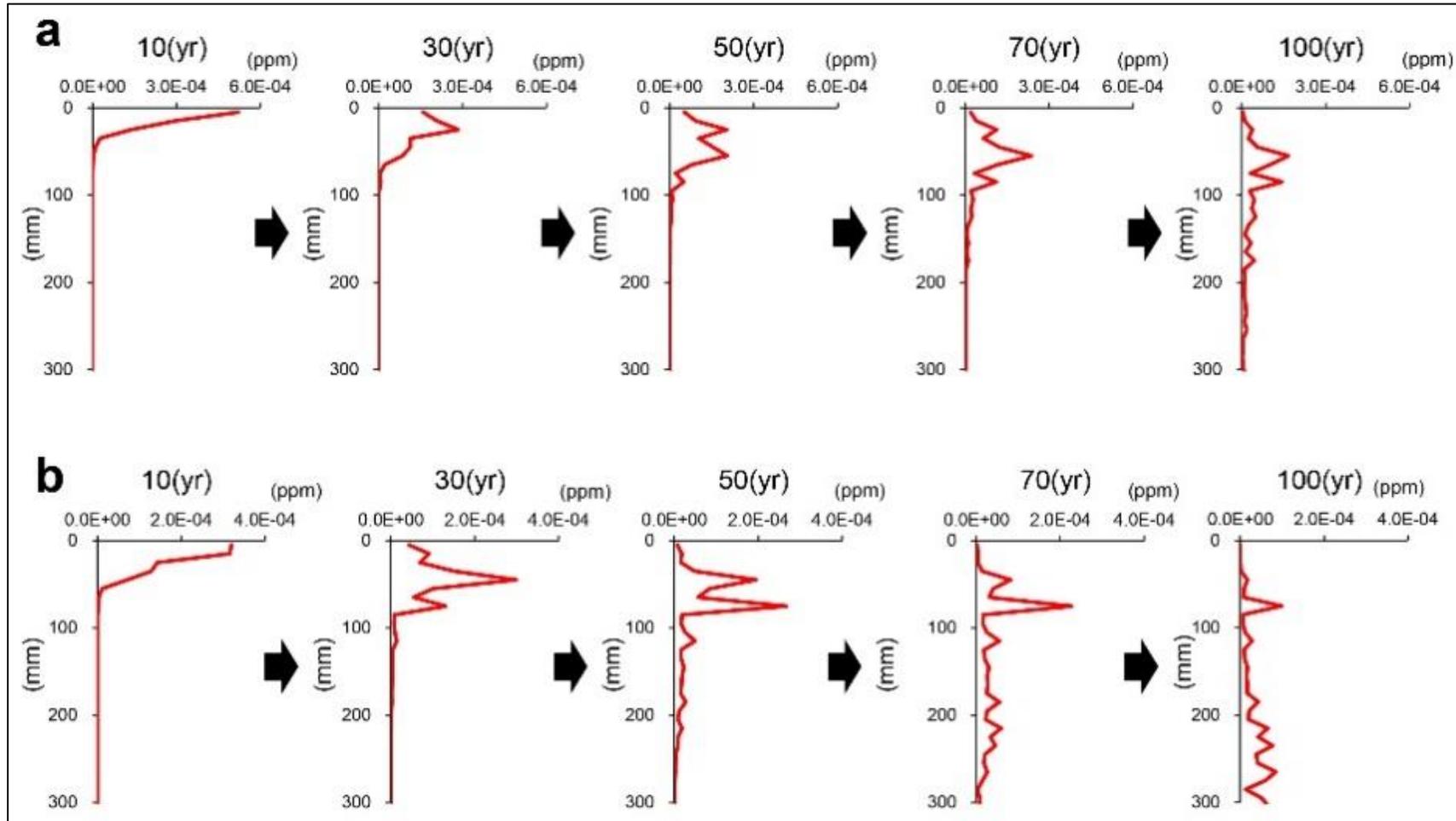
○ 改変無し (未攪乱) サンプリング地点での「黒い雨」痕跡の推定

前述の「広島及び長崎における¹³⁷Cs濃度の極大位置(1960'sの大気圏内核実験由来?)よりも下側の近傍に微粒炭粒子個数濃度の極大(原爆による火災由来?)が見られる事例」に対し、過剰²¹⁰Pbの鉛直プロファイルから**土壌の堆積速度**を算出し(土壌侵食や鉛直方向の物質移動・拡散が無いと仮定),**1945年の深度**を推定したところ、**微粒炭の極大位置**とほぼ一致した。
 → この位置に原爆由来の¹³⁷Csが含まれるとの推定と、過剰²¹⁰Pbによる時間指標評価が整合していると言えるかもしれない。



参考: Cs鉛直プロファイルの鉛直拡散・輸送の検討

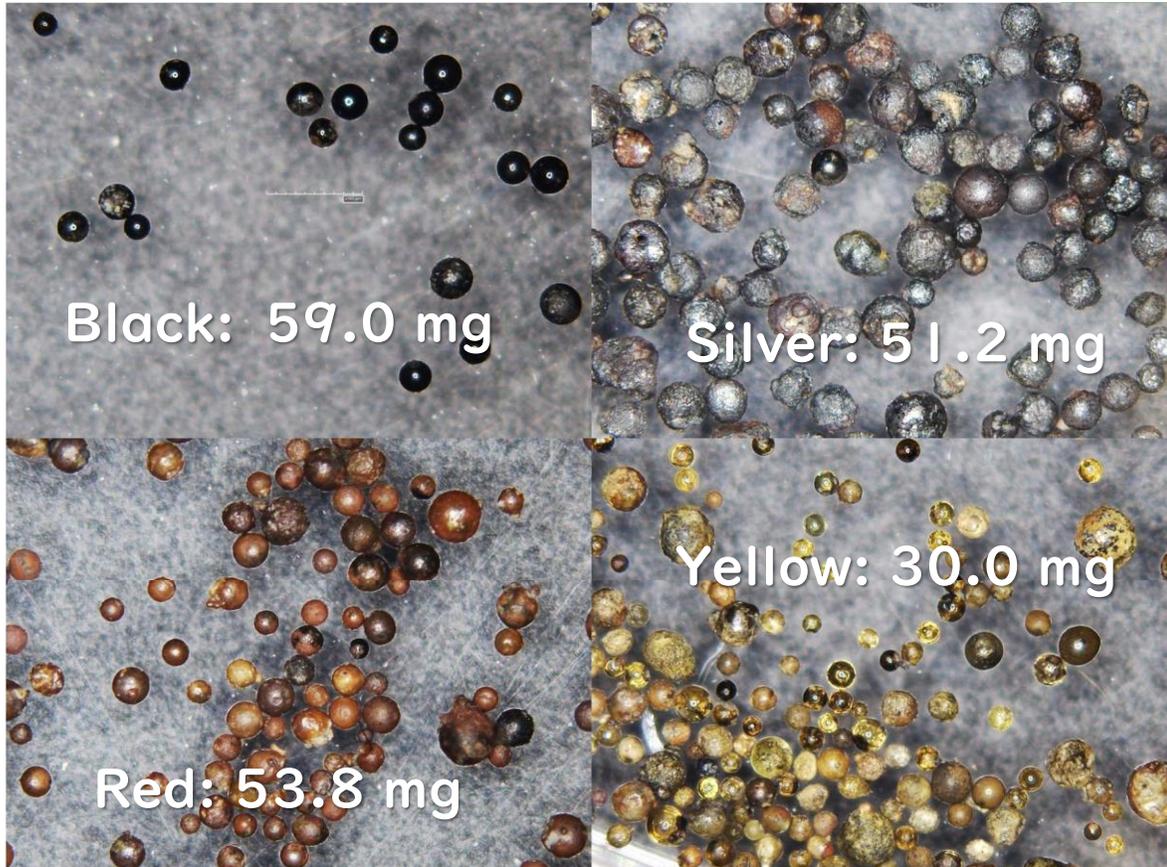
H-05-02およびH-05-03の土壌について、 ^{137}Cs トレーサーを用いて室内で吸着実験を行った。そして各深度の土壌試料について吸着実験から決定された分配係数(K_d)を基にソフトウェア(GET FLOWS)を利用しReactive transport model によって ^{137}Cs 鉛直方向移行についてのシミュレーションを行った。



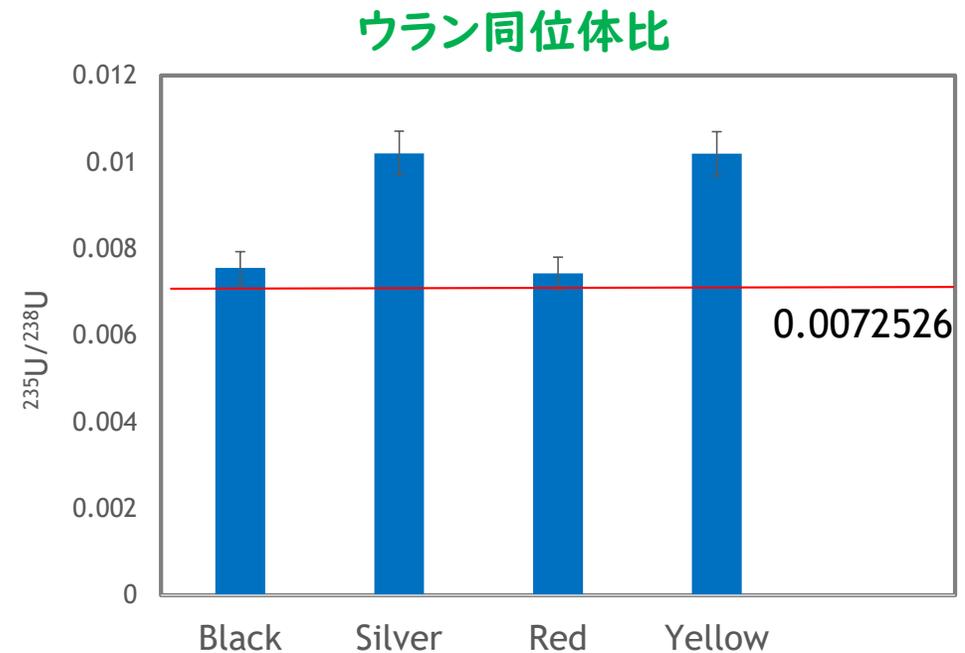
実環境下では土壌の堆積に加えて、鉛直の拡散・輸送も生じているはずであり、それらの複合した結果として、現実の鉛直プロファイルが生じている。すなわち、鉛直の拡散・輸送があっても、H-05-02やH-05-03と同様な K_d 条件を有する土壌層であれば、表層より100 mm以深に ^{137}Cs の大きな濃度ピークは形作られない。

○ 「黒い雨」指標物質の探索—広島湾で採取した熔融微粒子の分析測定—ウラン同位体

- 熔融微粒子を色によって分類し、その起原をウラン同位体比から推定した



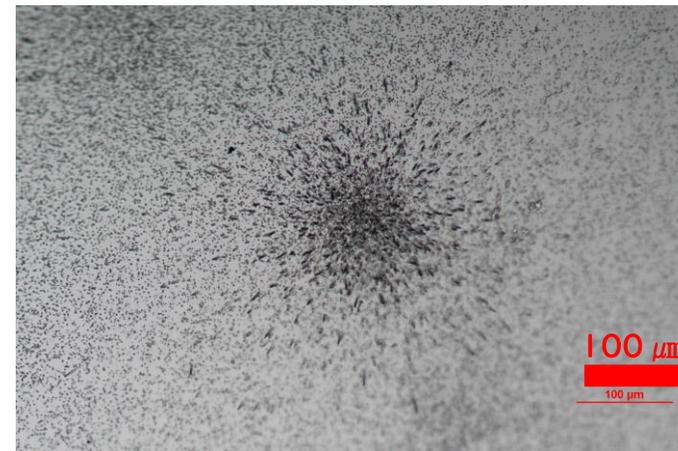
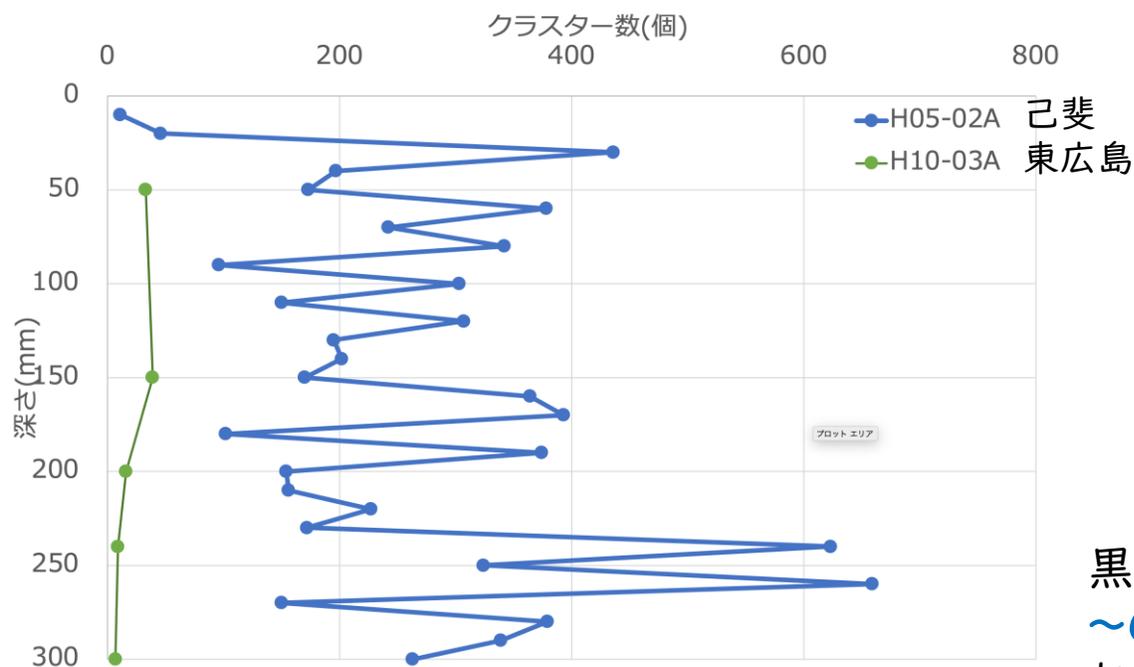
- ▶ BlackとRedは自然存在比と誤差の範囲で矛盾なし
- ▶ SilverとYellowは $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratioが高い
- ▶ **SilverとYellowは原爆由来の可能性がある**



参考：「黒い雨」指標物質の探索

— 固体飛跡検出器を用いたウラン粒子探索

- ・ 土壌中の高密度粒子を重液で分離した。
 - ・ 中性子照射し核分裂するウランのフィッシュントラック（飛跡）を観察した。
- ⇒ 飛跡のかたまり（クラスター）が観察され、クラスター数の深度分布が得られた。



観察された飛跡のクラスターの例

黒い雨の降雨エリアであるH-05-02の試料には、**約200～600個のクラスター**が見つかったが、降雨のなかったとされるH-10-03の試料では、**数十個**しかみつからなかった。

クラスターを形成する粒子をSEM/EDXによって観察することで、**ウラン含有粒子の形状、サイズ、組成等に関する詳細な性状分析**が課題。

他の地点でも深度分布を得て、ウラン粒子の乾性・湿性沈着に関する知見を得たい。

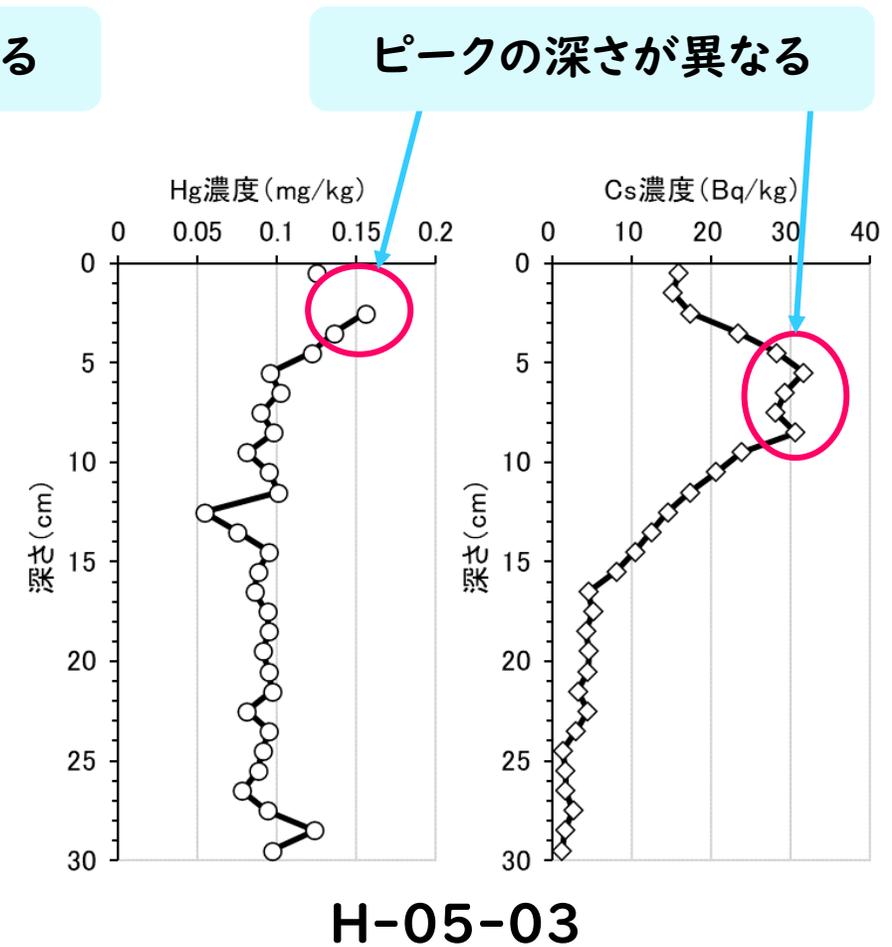
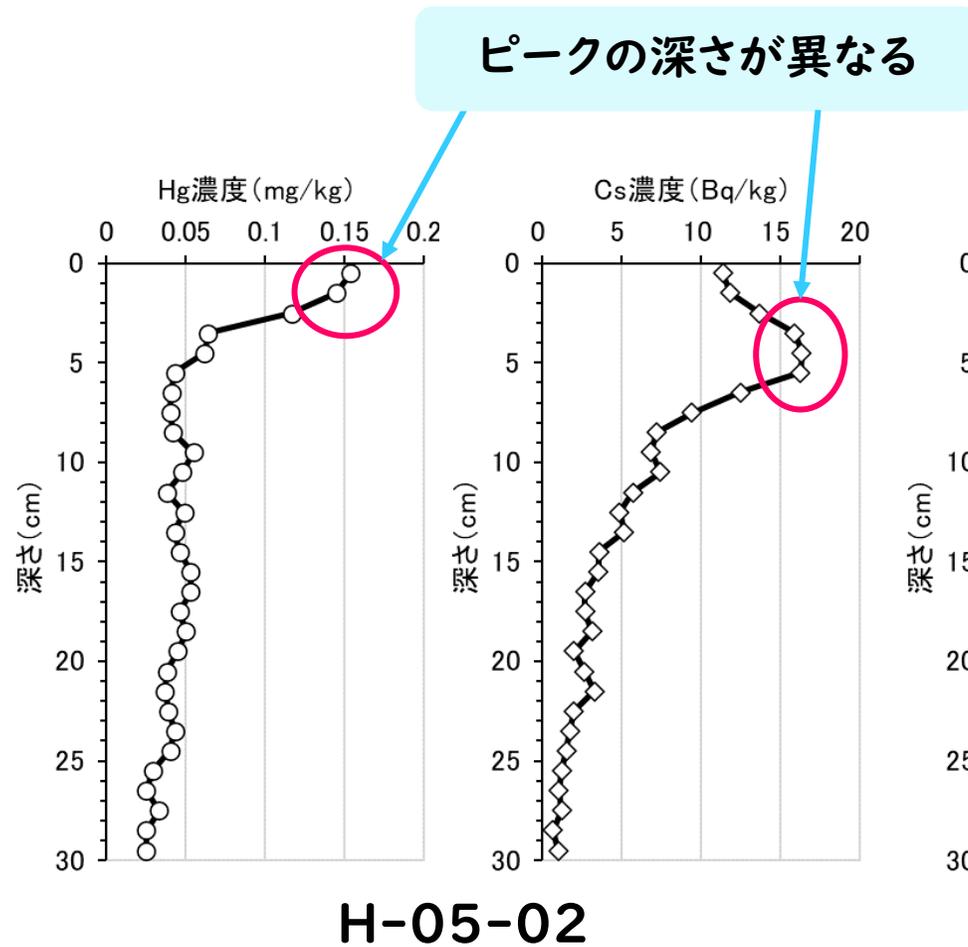
参考: 「黒い雨」指標物質の探索—水銀濃度とCs濃度

●なぜ水銀に着目したのか?

- これまでの電子顕微鏡観察によって、水銀を含む微粒子が見つかった
- 火災などによって大気中への放出が容易な重金属であり、大気中に放出された水銀は、降雨などによって地表に沈着する
- Csや炭素微粒子との相関があれば、より簡易に領域判定に使用できる可能性がある

●分析方法

- 測定装置:加熱気化水銀測定装置 MA-3000(日本インストルメンツ)



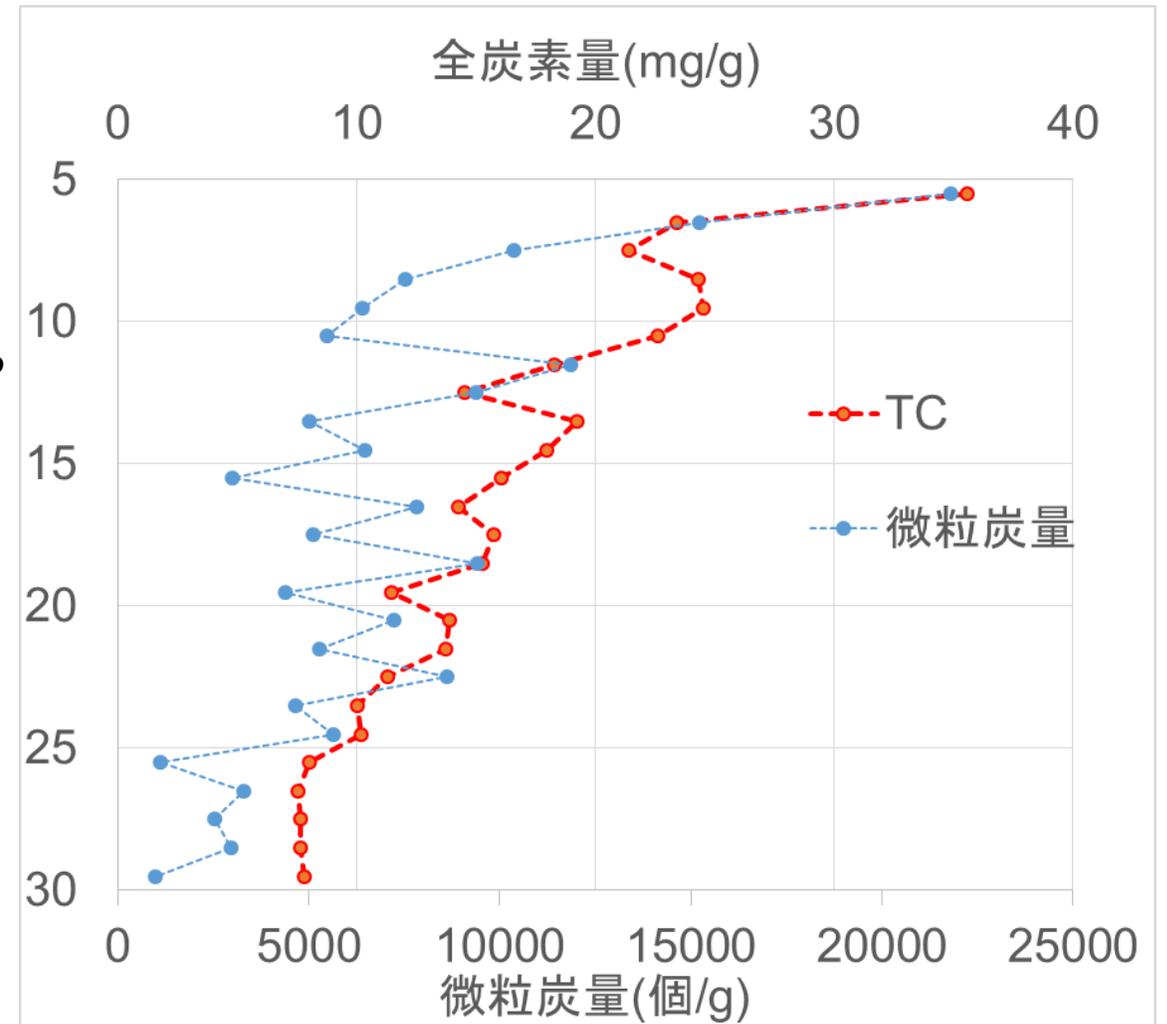
- 水銀を「黒い雨」の判別材料や指標として使用することは難しいことがわかった

参考: 「黒い雨」指標物質の探索—微粒炭素と全炭素分析

- 微粒炭素粒子分析の簡略化・迅速化の検討
 - TOC計(multi N/C 3100+HTI300, アナリティクイエナ社製)を用いて, 土壌中の全炭素重量濃度を測定した.
 - H-05-02地点での全炭素重量濃度と微粒炭量の深さ方向分布を右図に示す.
 - 5cmより深くでは両者は同様に減少している様子が見える. 前処理によって土壌中から微粒炭以外の有機物を除去すると, より相関が高くなることが期待される.



TOC計; multi N/C 3100+HTI300
(アナリティクイエナ社製)

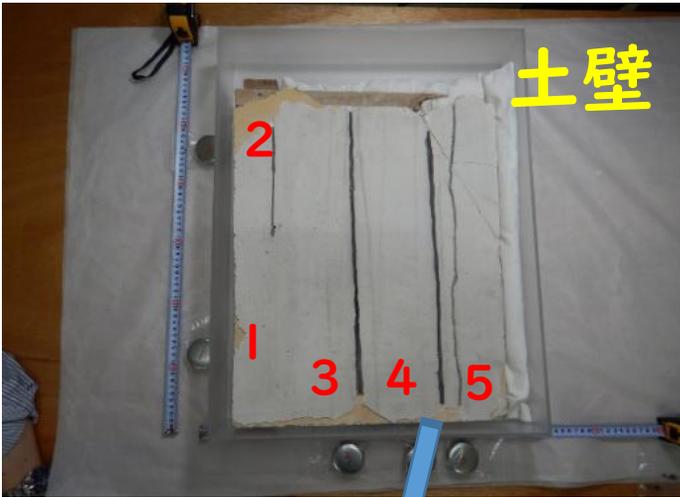


H-05-02地点での全炭素量(TC; Total Carbon)と微粒炭量の深さ方向分布

参考：「黒い雨」指標物質の探索—「黒い雨」資料

資料採取日：2022年5月25日、6月1日、7月7日、8月23日、11月24日

「黒い雨」の正体にせまるため、広島平和記念資料館の資料を採取



4 黒筋 (0.5×0.7cm) 光学顕微鏡像 ④ 黒色付着物光学顕微鏡像

○ 「黒い雨」指標物質の探索—金屏風

- 金屏風の雨痕跡部分は、丹銅（銅と亜鉛の合金、銅が主）箔が溶解し、下から光が透けている(図1,2)。
この部分に、炭・樹脂状物・硫酸銅の化合物(推定)を認める。
- 黒い雨は、硫酸等を含む強い酸性雨と推定される(硝酸も含まれていた可能性あり)。
(供給源は、海由来のDMSやアスファルト・電線被覆ゴム類に含まれた硫黄と予想)
- CsやUを含む放射性微粒子は未発見。これらは酸性雨に溶解した可能性もあるのでは？



広島平和記念資料館 2022年11月

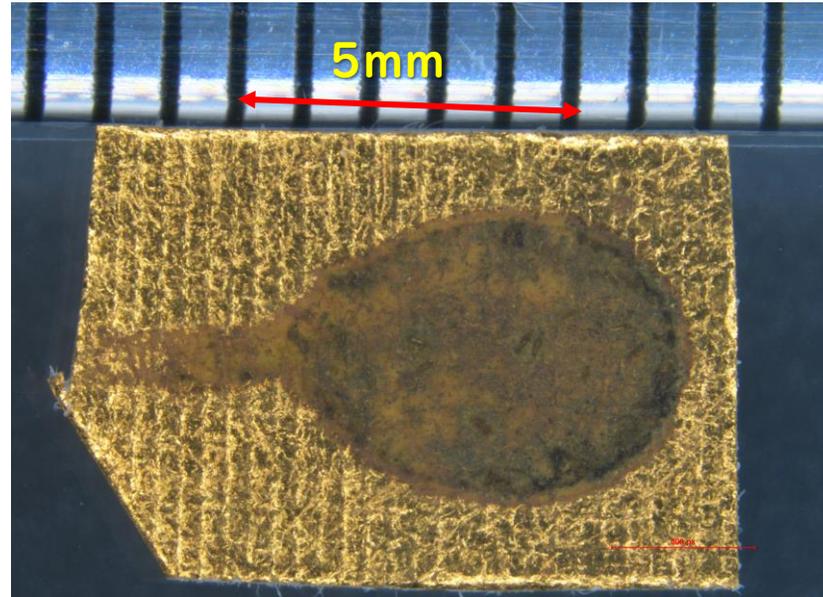


図1 雨痕跡(上から光照射)

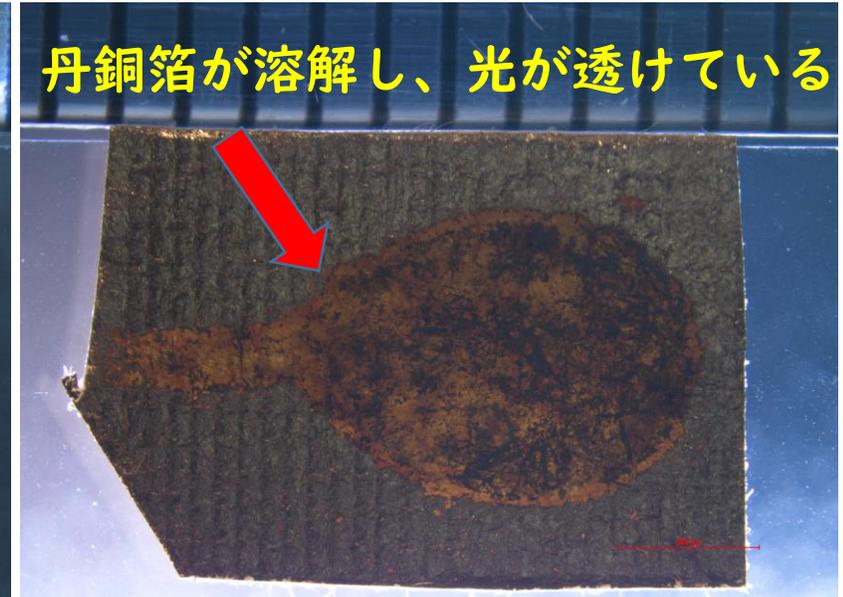
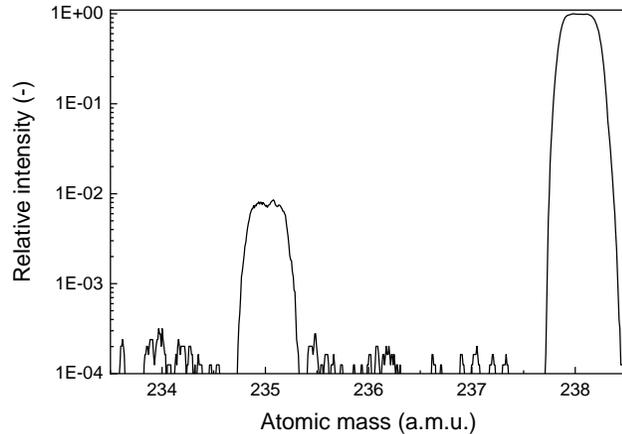


図2 雨痕跡(下から光照射)

参考：「黒い雨」指標物質の探索

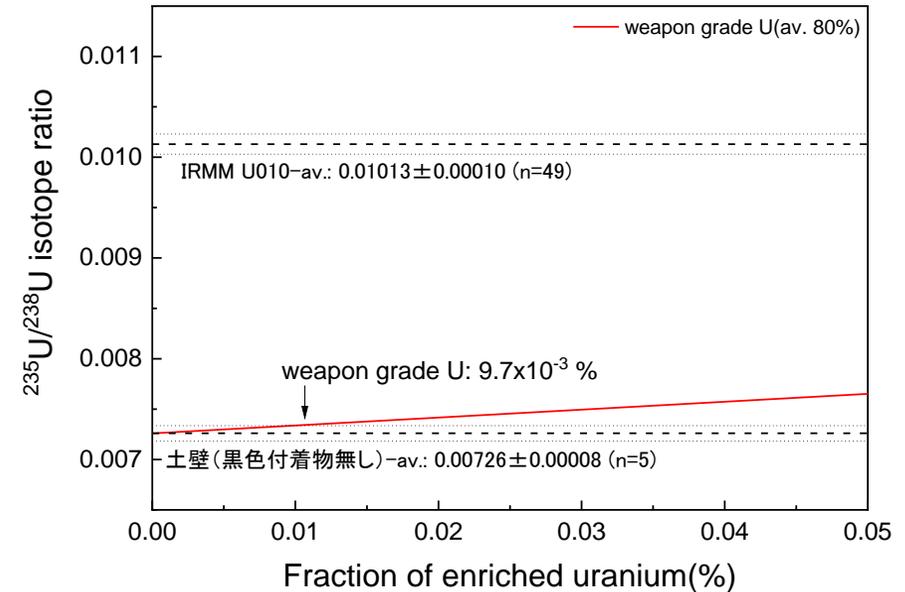
—「黒い雨」資料のウラン同位体分析



Uの質量スペクトル：土壁3

試料の分析結果

	234/238	235/238	236/238
IUPAC2013	0.000054(5)	0.007257(6)	n.d.
金屏風 黒色痕無し (n=4)	--	0.00730(14)	--
金屏風3 (n=4)	--	0.00730(06)	--
土壁 黒色痕無し (n=5)	0.00007(3)	0.00726(08)	0.00000(2)
土壁3 (n=6)	0.00007(3)	0.00729(10)	0.00001(3)



核兵器レベルのUの混入によるU同位体比の変化(土壁の場合)

- ・土壁試料・金屏風試料からUを化学分離し, 表面電離型質量分析装置でUの同位体比分析を実施.
- ・土壁試料と同様に金屏風試料もともにIUPAC2013記載の**天然Uと誤差範囲内で一致した**.
- ・土壁・金屏風ともに天然Uに $1\sim 2\times 10^{-2}\%$ 程度の濃縮U(核兵器レベル)が混入した場合, U同位体比は天然組成より外れるが, その様子は認められなかった.

データベースの構築 (I) DABS

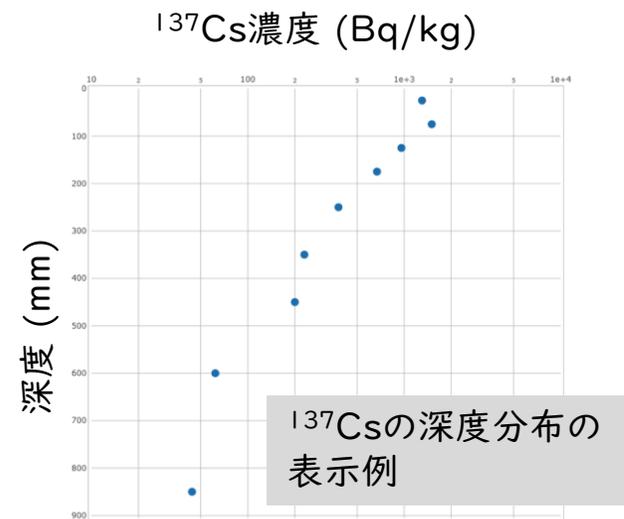
基本機能の整備

Database for Atomic Bomb Samples

福島第一原子力発電所事故後に開発された, 環境試料中の放射性物質の分析結果を位置情報とともにデータベース化し, その空間分布を地図上への描画が可能な DBMapperR をもとに, 広島・長崎において採取された土壌試料等の採取位置, 分析結果のデータベース構築に特化したシステム (DABS: Database of Atomic Bomb Samples) として開発・運用を開始した.



地図上に試料の採取位置マークを重ねて表示
マークをクリックすることで, 試料の詳細情報を表示

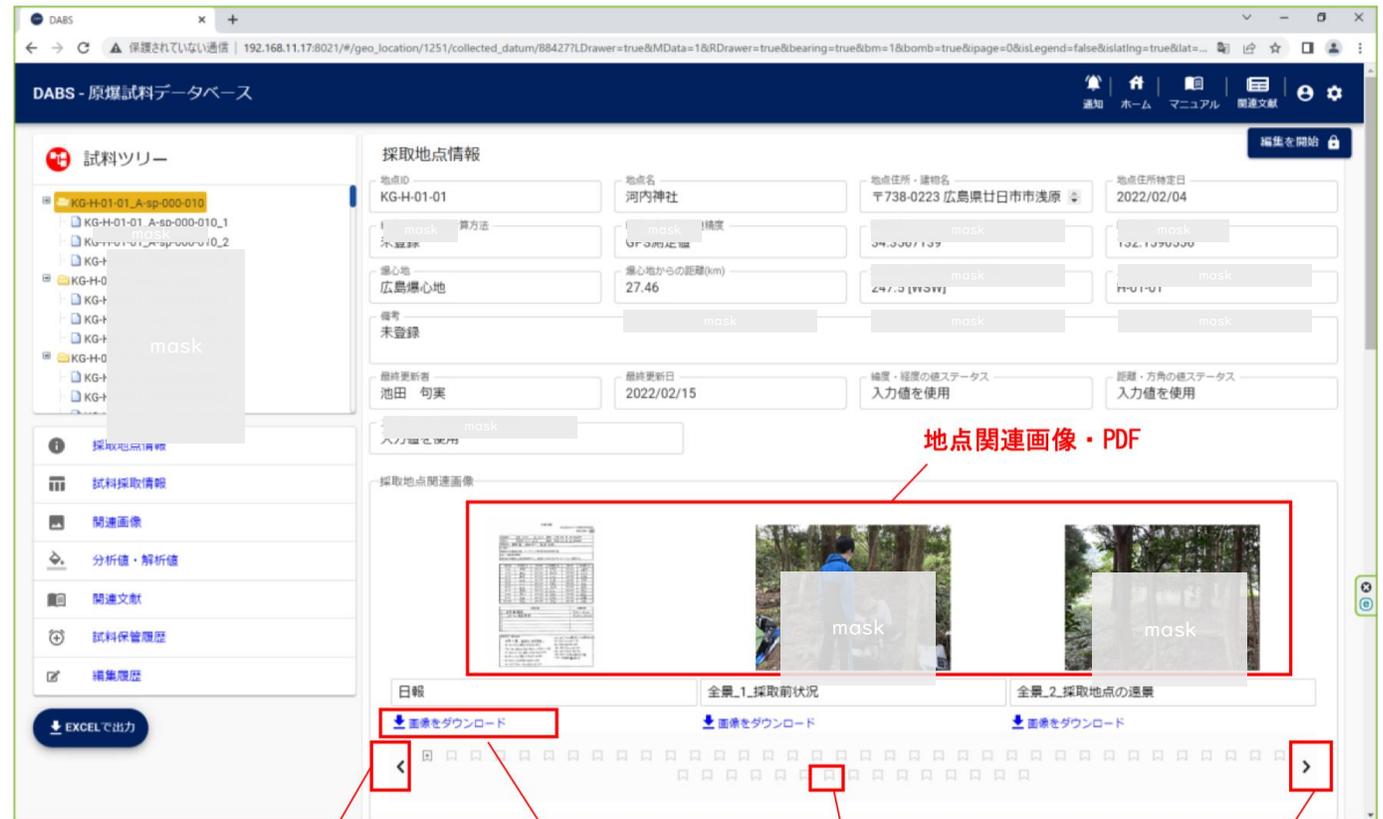


採取位置が同一で採取深度の異なる試料については, 分析値の深度分布を表示

データベースの構築 (2)

データベース機能の向上

大量データを地図上に迅速に表示する機能の強化, オンラインマニュアル閲覧機能の追加, 採取地点に関する画像ファイル等の登録機能の追加を行うことで, **情報入力・閲覧時の作業効率向上**, 分析結果の信頼性評価に必要な**採取時の周辺環境の確認等が可能**となった。



[画像スライド]ボタン

[ダウンロード]ボタン

[画像スライド]ボタン

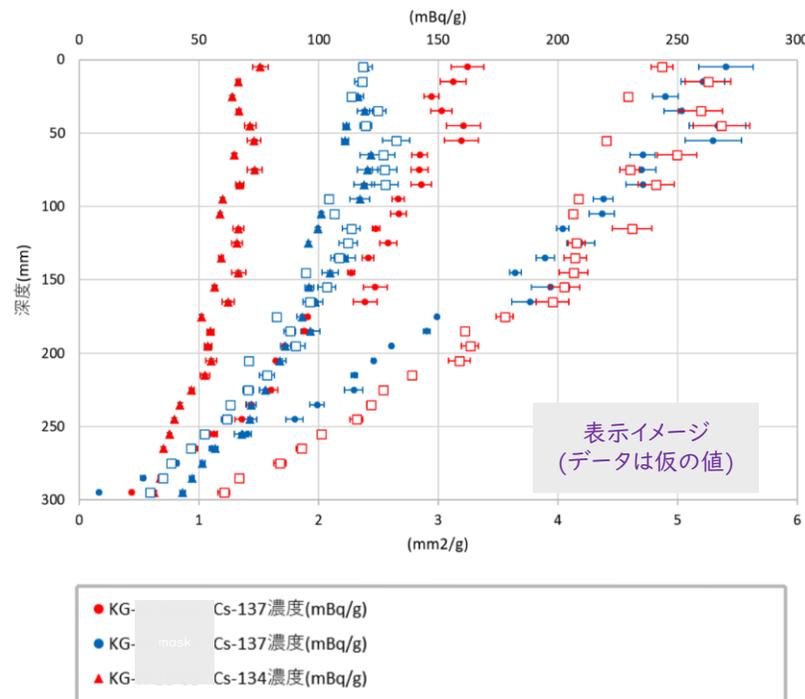
[画像ページジャンプ]ボタン

試料採取における作業日報, 採取地点周辺の写真, 過去の航空写真など, 分析結果の総合的な評価に必要な情報もデータベース化した。

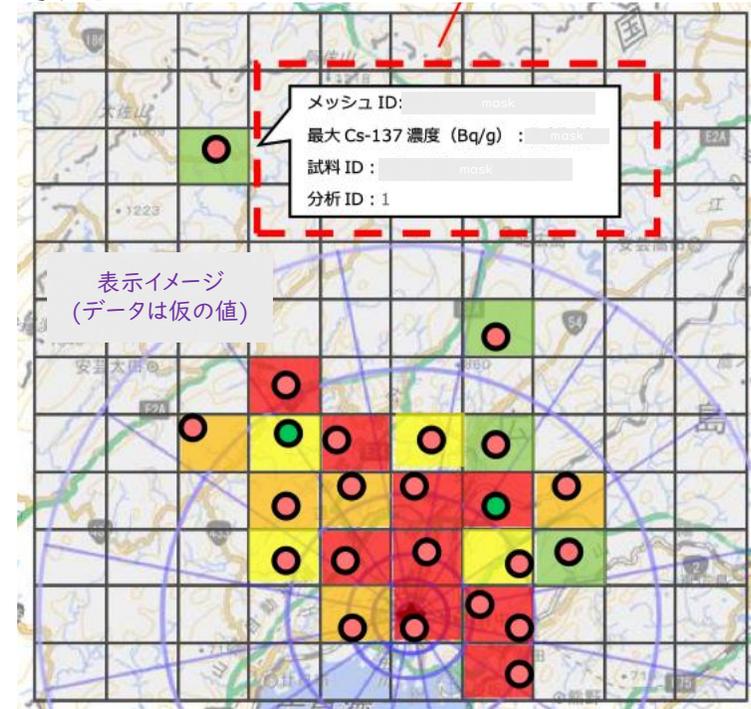
データベースの構築 (3)

分析機能の強化

測定結果の総合的な分析に向けて、分析結果の視覚的なデータ比較機能の追加、地図上での分析結果の分布表示機能の追加、データのフィルタリングとダウンロード機能を可能とするオフラインアプリケーションを開発した。



異なる地点間での深度分布の比較、
種類の異なるデータ間での深度分布の比較



メッシュごとの測定値をもとにした分析結果
を地図上にカラーマップとして表示



1. 土壌試料(日本公衆衛生協会調査試料)整備

▶ 日本公衆衛生協会調査試料…1971年と1973年の日本公衆衛生協会による調査で採取した土壌試料(広島分)に関する整備を完了(およそ150件)

(1) 環境改善(倉庫からの移動)

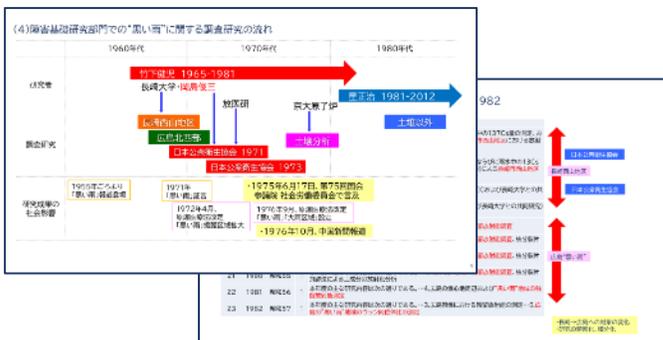


(2) 環境改善(試料ボトル詰め, メタデータ作成等)



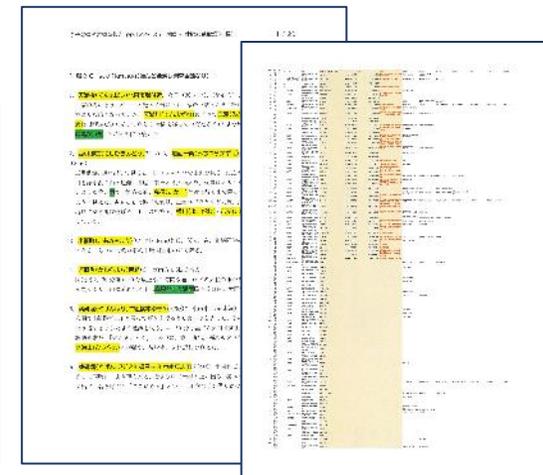
作業No	ID	カテゴリ	担当者	備考
18	N001	N	N001-01	A1-01 後
19	N002	N	N002-02	A1-01 後
20	N003	N	N003-01	A1-01 後
21	N004	N	N004-02	A1-01 後
22	N005	N	N005	A1-01 前
23	N006	N	N006	A1-01 前
24	N007	N	N007	A1-01 前
25	N008	N	N008	A1-01 前
26	N009	N	N009	A1-02 後
27	N010	N	N010	A1-02 後
28	N011	N	N011	A1-02 後
29	N012	N	N012	A1-02 後
30	N013	N	N013	A1-02 後
31	N014	N	N014	A1-02 前
32	N015	N	N015	A1-02 前
33	N016	N	N016	A1-02 前
34	N017	N	N017	A1-03 後
35	N018	N	N018	A1-03 後
36	N019	N	N019	A1-03 後
1	N020	N	N020	A1-03 後
2	N021	N	N021	A1-03 後
3	N022	N	N022	A1-03 前
4	N023	N	N023	A1-03 前
5	N024	N	N024	A1-03 前
6	N025	N	N025	A1-04 後
7	N026	N	N026	A1-04 後
8	N027	N	N027	A1-04 後
9	N028	N	N028	A1-04 後
37	N029	N	N029	A1-04 前
38	N030	N	N030	A1-04 前
39	N031	N	N031	A1-04 前
40	N032	N	N032	A1-04 前
41	N033	N	N033	A1-05 後
42	N034	N	N034	A1-05 後
43	N035	N	N035	A1-05 後
44	N036	N	N036	A1-05 前
45	N037	N	N037	A1-05 前
46	N038	N	N038	A1-05 前
47	N039	N	N039	A1-05 前
48	N040	N	N040	A1-05 前

(3) 「日本公衆衛生協会土壌調査」に関する研究



2. 体験談のデータ化

▶ 『原子爆弾災害調査報告』(日本学術振興会, 1953年刊行)記載の, 最初期(1945~1950年代前半, 原爆医療法成立以前)に収集された体験談116件についてのテキスト化および「黒い雨」記述地点の緯度経度確認



◆広島土壌試料の測定 (Pb-210, Cs-137)

✓長崎大学の担当試料(今年度計4地点, 120試料)

- ① KG-H-09-11-A(測定終了, 土地改変あり)
- ② KG-H-05-07-B(測定終了, 土地改変判定保留)
- ③ KG-H-04-10-B(測定終了, 京大にて土地改変なしと判定)
- ④ KG-H-06-08-B(測定終了, 土地改変判定保留)

①と②: 本学既設Ge半導体検出器にて測定

③と④: 新規導入Ge半導体検出器にて測定

◆新規Ge半導体検出器一式導入

ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ社製

ブロードエネルギーGe半導体検出器(BE2825)



2022
12/19 納品完了
12/19~校正実施
12/23 取扱い説明会
12/26 使用開始, BG60万秒測定

2023
1/4~ IAEA標準試料にて精度確認
1/30 H-04-10-B試料測定開始

◆広島市内土壌サンプリングキャンペーン参加(福田)

2022/7/16, 1地点(採取方法確認)

7/17, 1地点(九大・杉原先生グループと合同)

7/24, 1地点(九大・杉原先生グループと合同)

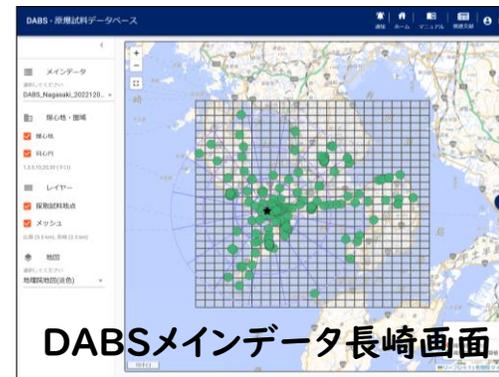


◆長崎原爆土壌アーカイブ化の継続

✓試料保管数, 計1,283試料(2023/2現在)

✓長崎データベースのDABS収録(2022/12)

✓原爆土壌試料保管室の完成・公開(2022/8)



DABSメインデータ長崎画面



長崎原爆土壌試料保管室

まとめ

- 第一種健康診断特例区域の設定について、再検討を行うため、これまで蓄積されたデータを最大限活用し、最新の科学技術を用いて可能な限りの検証を行うため、(1) **気象モデルの構築**に向けた研究、(2) **放射性降下物の拡散状況**に係る調査に関する研究、ほかに**全力で取り組んだ**。
- (1)では、原爆と街区火災により積乱雲が発達し降水が生じること、この降水により核分裂生成物の湿性沈着が生じることが最新の数値モデルで示され、**一定程度**、広島における「**黒い雨**」の輸送・沈着状況について**再現を実現できた**。しかし、計算結果の**不確実性の評価**を慎重に実施したところ不確実性は相当程度大きく、**不確実性低減の達成なしでは、精度良い評価が望めない**ことが明らかになった。
- (2)では、 ^{137}Cs の濃度極大が**微粒炭粒子個数濃度極大**と相関するため、**原爆由来の ^{137}Cs が含まれると推定出来**、かつ**過剰 ^{210}Pb による時間指標評価でも整合性がある事例**が見つかった（長崎の事例を含む）。しかし、**未改変の地点**を見つけて**土壌試料採取**を行うことは非常に**困難かつぼう大な手間と時間を要する大事業**で、**統計的に十分な数の未改変地点のデータ取得が達成できなかった**。
- (2)では、「黒い雨」領域判別の**新指標**が見つければ極めて有用と考えられることからその確立も目指したが、**指標確立は困難**であった。