



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4回）

資料5

令和3年7月2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」

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

2021年7月2日

検討会資料一五十嵐

※目的外の複製・配布は遠慮をお願いします

# 令和3年度提案計画概要

## (1) 気象モデルの構築に向けた調査研究 (五十嵐、遠藤 (広島大) + 役務業者)

国立試験研究機関、国立研究法人、大学法人等の協力を追求

- ・爆発シミュレーションについての検討と予備計算
- ・気象シミュレーションについての検討と予備計算
- ・両シミュレーションの結合可能性についての検討
- ・具体的に利用可能なモデルと結合条件につき、次年度以降の最終的な計算に関する要領の作成

## (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 (五十嵐、高宮、福谷、高橋、八島 (京大)、遠藤、吉永、久保田 (広島大)、松田、横田、福田 (長崎大) + 役務業者)

### 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

- ・採取地点の検討、試掘、試料採取の実施
- ・酸化ウラン、リフラクトリ炭素、熔融微粒子などの分離法と同定法の検討
- ・光学顕微鏡、電子顕微鏡、同位体測定、Fission Track法などの検討 レシピの作成

### b. 試料活用のための整理ならびにアーカイブ化

- ・各所に保管された試料を整理し、適切な命名法を採用してラベル (RFタグ等を活用) を付与し、データとの紐づけを行い、本調査研究で活用

## (3) アドバイザリ会議の開催と調査報告書の作成 (全員で担当)

- a. レビューおよびアドバイザリ会議の開催 過去研究の総括と進行中の研究の点検
- b. 調査報告書の作成

# 令和3年度提案計画概要

## 【業務実施事業者名】

事業者名	住所	業務の範囲
京都大学複合原子力科学研究所	〒 590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西2丁目	(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、b. 試料活用のための整理ならびにアーカイブ化、(3) 調査報告書の作成
広島大学大学院先進理工系科学研究科	〒 739-8527 東広島市鏡山一丁目4番1号	同上
長崎大学 原爆後障害医療研究所	〒 852-8523 長崎市坂本1丁目12-4	(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、b. 試料活用のための整理ならびにアーカイブ化、(3) 調査報告書の作成
広島大学 原爆放射線医科学研究所	〒 734-8553 広島市南区霞1丁目2-3	(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) 調査報告書の作成

## 【業務実施者構成】

メンバーを増強

とりまとめ：五十嵐康人 京都大学複合原子力研究所・教授

分担：高宮幸一 同上・准教授； 分担：福谷 哲 同上・准教授； 分担：高橋知之 同上・准教授； 分担：八島 浩 同上・助教； 分担：遠藤 暁 広島大学大学院先進理工系科学研究科・教授； 分担：松田尚樹 長崎大学 原爆後障害医療研究所・教授； 分担：横田賢一 同上・助教； 分担：福田直子 同上・技術専門職員； 分担：吉永信治 広島大学 原爆放射線医科学研究所・教授； 分担：久保田明子 同上・助教

# (1) 気象モデルに関する調査・数理モデル— 長期的な戦略を踏まえたレシピの構築・計算

## 1) 爆発再現計算 取り組みの戦略

- ・超音速流体まで取り扱える圧縮性流体解析プログラムを使用し、モデルを構築する。気象シミュレーションの初期条件となる爆発雲の分布状態を再現する目的で、爆発開始から爆発雲の形成・発達についてシミュレーションを行う。
- ・気象モデルへの衝撃塵の分布データ引き渡しを目指し、a)状態式の検討と追加変更、b)衝撃塵(土煙)の再現のための固相質量方程式の実装と検証、c)固相質量方程式に代入する土煙の地表面近傍での設定、d)気象モデルとの連成手法としての気流と固相濃度分布の気象計算への内挿処理、等の設定を調整し、スキーム案を明示する。

## 2) 気象計算 取り組みの戦略

- ・計算を複数のプロセスに分割して実施する。原子雲(爆発雲、巻き上がった衝撃塵、火災煙を含む)の再現とその時間発展に関する計算の個別の実施可能性について検討、可能な範囲で予備的な計算に着手する。
- ・計算は、米国気象局傘下の大気研究センター(NCAR)国立環境予測センター(NCEP)、ならびにオクラホマ大学などが作成したWeather Research and Forecasting Model(WRF;力学コアはARW-WRF)を利用する。10日間程度の計算を2段階のネスト(10 km, 2.5 km)により実施することを想定。
  - (A)基本計算 ERA-20C or NOAA-CIRES 20Cより1945年8月の気象を再現。
  - (B)気象モデルパラメータに関する感度実験
  - (C)気象モデルへの諸過程の取込み ①原爆の影響を大気場に与えた気象計算(物質輸送なし)、②原爆による火災の影響を大気場に与えた計算(物質輸送なし)、③化学輸送モデルによる物質輸送を考慮したオンラインの気象計算
  - (D)試行計算 (C)①~④に沿って計算を実施。

# (1) 気象モデルに関する調査・数理モデルー 長期的な戦略を踏まえたレシピの構築

ECMWF

ヨーロッパ中期予報センター

検索サイト...



ホーム

約

予測

コンピューティング

研究

学習

チャート

データセット

予測の質

ドキュメンテーション

予測

ERA-20C

レシピ構築

アーカイブデータセットへの  
アクセス

再分析データセット

ERA5

ERA-暫定

ERA-暫定/土地

CERA-SAT

ERA-20Cは、1900年から2010年までの20世紀におけるECMWFの最初の大気再分析です。これは、地表気圧と地表の海風のみ  
の観測を同化します。これはERA-CLIMプロジェクトの成果で  
す。

製品説明

ERA-20C再分析の構成は、Poli et al. に記載  
(2016)。

ERA-20CはIFSバージョンCy38r1で製造され  
ERA-20CMの最終バージョンと同じ表面お

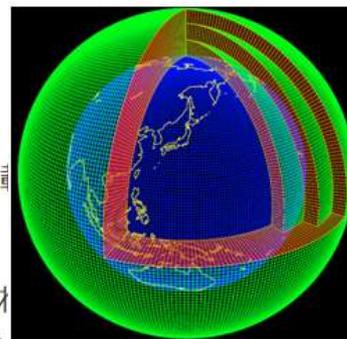


図1 数値予報に使う全球の格子

気象場のデータ  
セット



1945年8月上旬  
の地球全体の気  
象場を再現一数  
10 km 程度の格  
子

# (1) 気象モデルの構築に向けた研究— 予備的な計算とレシピの構築

## 気象庁メソモデル・局地モデル(非静力学モデル)

局地モデル： 水平格子間隔 5 km, 3時間ごと

メソモデル： 水平格子間隔 2 km, 毎時

粗い格子の中に細かい格子を置く=ネスティングと呼ばれる手法でより微小な領域を表現→モデルだけではなく、ネストしたデータセットが必要

**NHM and/or WRF**



SRFANL 2017/08/06 18:10Z FT= 0:00

RR10M

LEMFST 2017/08/06 18:00Z FT= 0:10

RR10M

MSMFST 2017/08/06 18:00Z FT= 0:10

RR10M

実際の観測

メソモデル

局地モデル

詳細化

2017年8月7日の計算結果

気象庁ホームページより



# 令和3年度

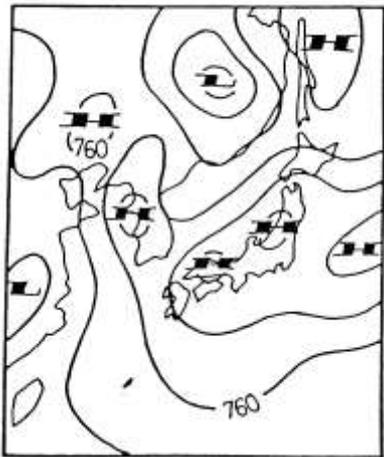
## (1) 気象モデルの構築に向けた調査研究

### 気象モデルの不確実性の評価

爆発前の気象場に対して、気象モデルが持つ不確実性を定量化する。→モデルパラメータだけではなく、初期値・境界条件の影響も大きい。

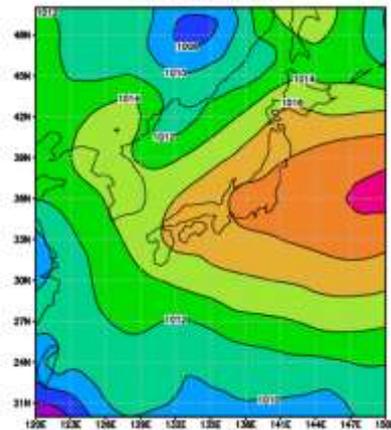
地上天気図比較  
高層天気図比較  
降水分布比較

0900 JST 6 Aug. 1945



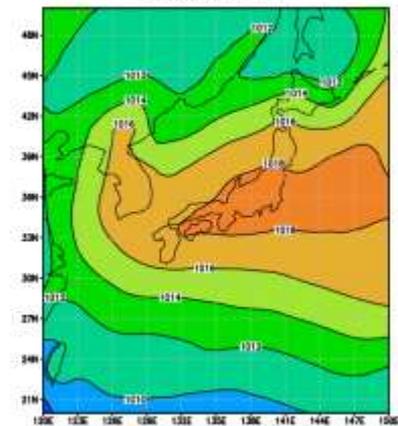
Hoshi et al., Health Phys., 1992

19450806 msl



1945年8月6日0時  
ERA-20C海面更正気圧

20060803 msl



2006年8月3日0時  
ERA-20C海面更正気圧

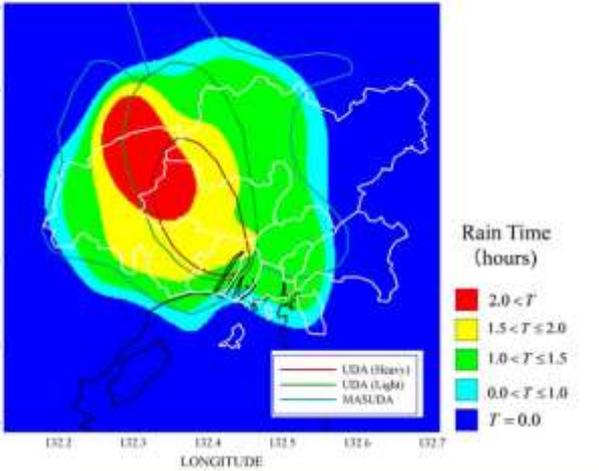
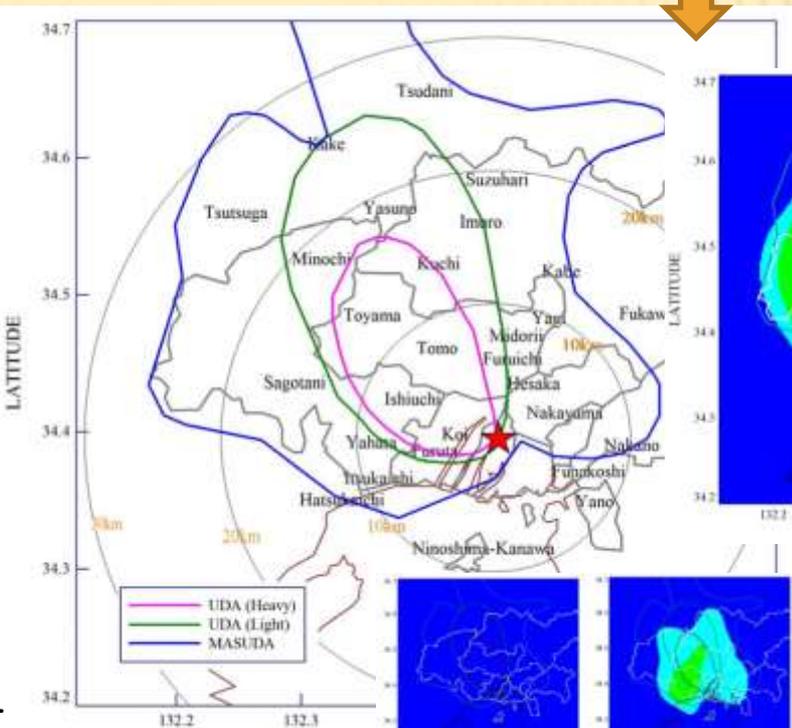
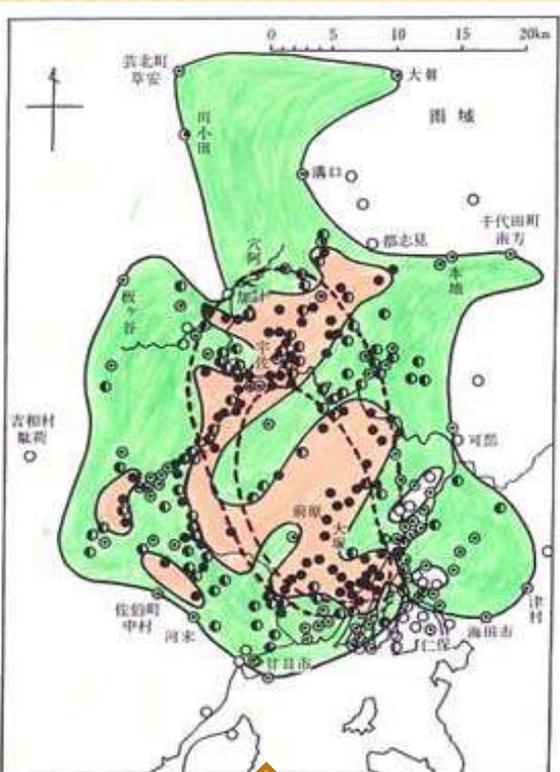
観測データや気象庁の予報データが利用可能で1945年8月6日とよく似た気圧配置の日も解析対象とする(温暖化の影響には注意が必要)。また、アナログアンサンブル等の確率気象予測の考え方も考慮する。

得られた気象場に対して、原爆雲・衝撃塵・火災煙のそれぞれをアノマリーとして与えて気象場の応答を評価する(今年度は検討のみ)

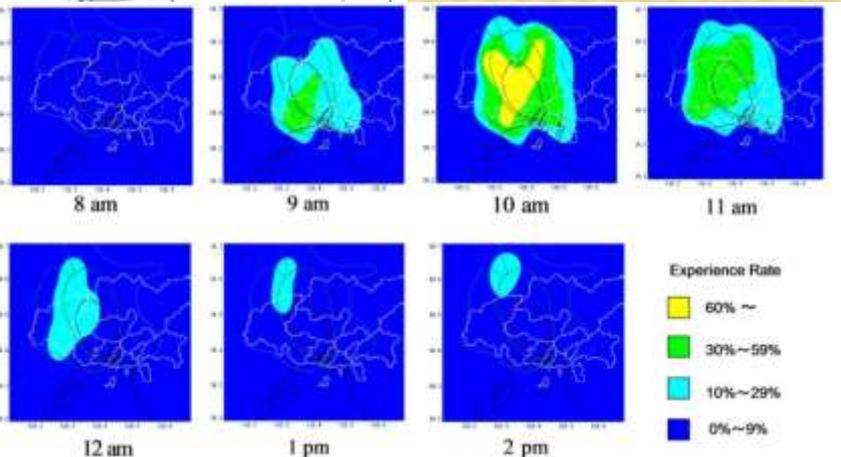
# 令和3年度

## (1) 気象モデルの構築に向けた調査研究

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



## 降水に関する既存情報

# (1) 気象モデルに関する調査・数理モデルー 長期的な戦略を踏まえたレシピの構築



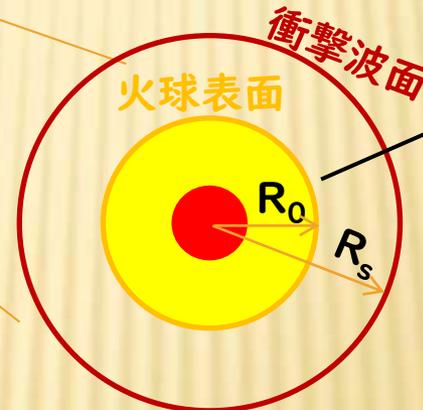
## 爆発モデル

Nevada test  
Buster-Jangle Charlie, 1950.10.30から引用

## レシピ構築

①起爆前の周囲の密度、圧力、気温の分布  
⇒DS86, Vol.1, p.73, Table 2等を参照可能

②ある程度拡大した火球を初期値とした衝撃波伝播と火球の膨張・上昇のシミュレーション⇒LOS ALAMOSのBetheらによるLA-1020report(1947)等を参照



(10kt爆発の初期値例)  
・密度=0.04kg/m<sup>3</sup>  
・圧力37気圧  
・温度49,000ケルビン  
・速度は衝撃波前後の関係式で計算  
・R<sub>0</sub>=60m、R<sub>s</sub>=79m  
(LA-1020を参照)

④キノコ雲を形成する粉塵の追跡には、火山の噴煙のシミュレーション等で用いられる固気混相流の手法を用いる ⇒例えば鈴木“火山噴煙挙動の数値的研究”京都大学数理解析研究所講究録(2012)

③数値解法は、衝撃波を含む強い圧縮性と高温気体による実在気体効果を扱うため、高速流体の解析で多用される衝撃波捕獲法でシミュレーションを実施

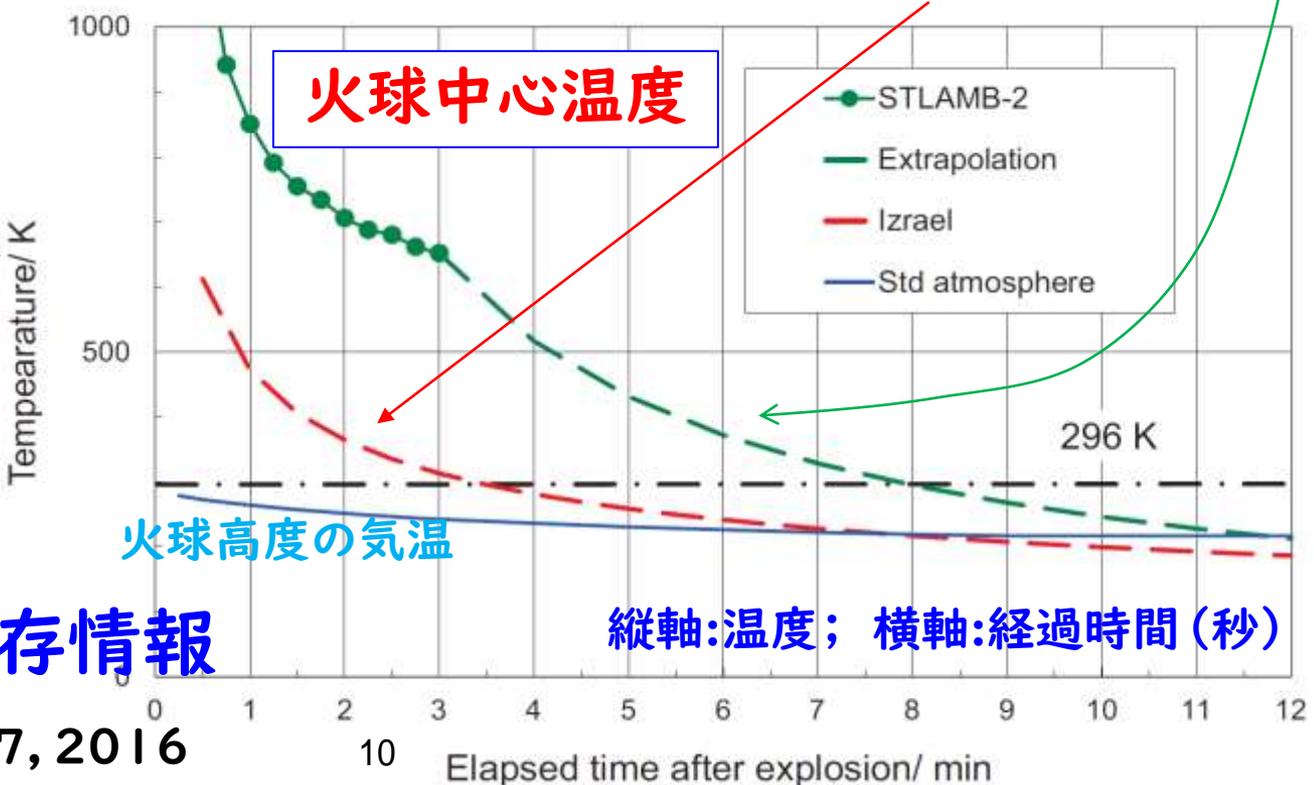
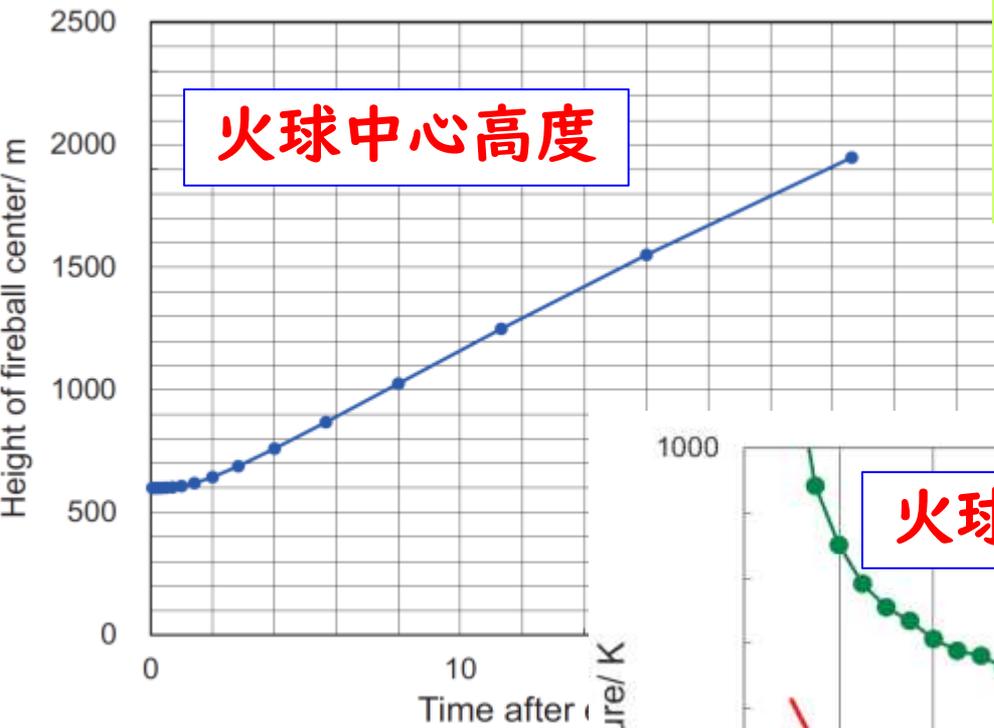
⑤爆発モデルのアウトプットである、成長したキノコ雲における微粒子分布を気象モデルに受け渡し、雨雲の評価解析につなげる

# 令和3年度（1）気象モデルの構築に向けた調査研究

## DS86 でのLittle Boy STLAMB 計算結果

3min 後の652度Kから、『12分後に12kmの高度で原爆雲の上昇が止まる、つまり原爆温度は周辺温度と同じになる』と考えて、Izraelの式と同じ“ $T(t) = a \cdot t^{-b}$ ”を使ってSTLAMB-2を外挿

**Izrael's equation (1996)**  
 $T(t) = 4000t^{-0.588} \quad (t < 40\text{sec})$   
 or  $2183t^{-0.374} \quad (t > 40\text{sec})$



縦軸: 高度  
 横軸: 経過時間 (秒)

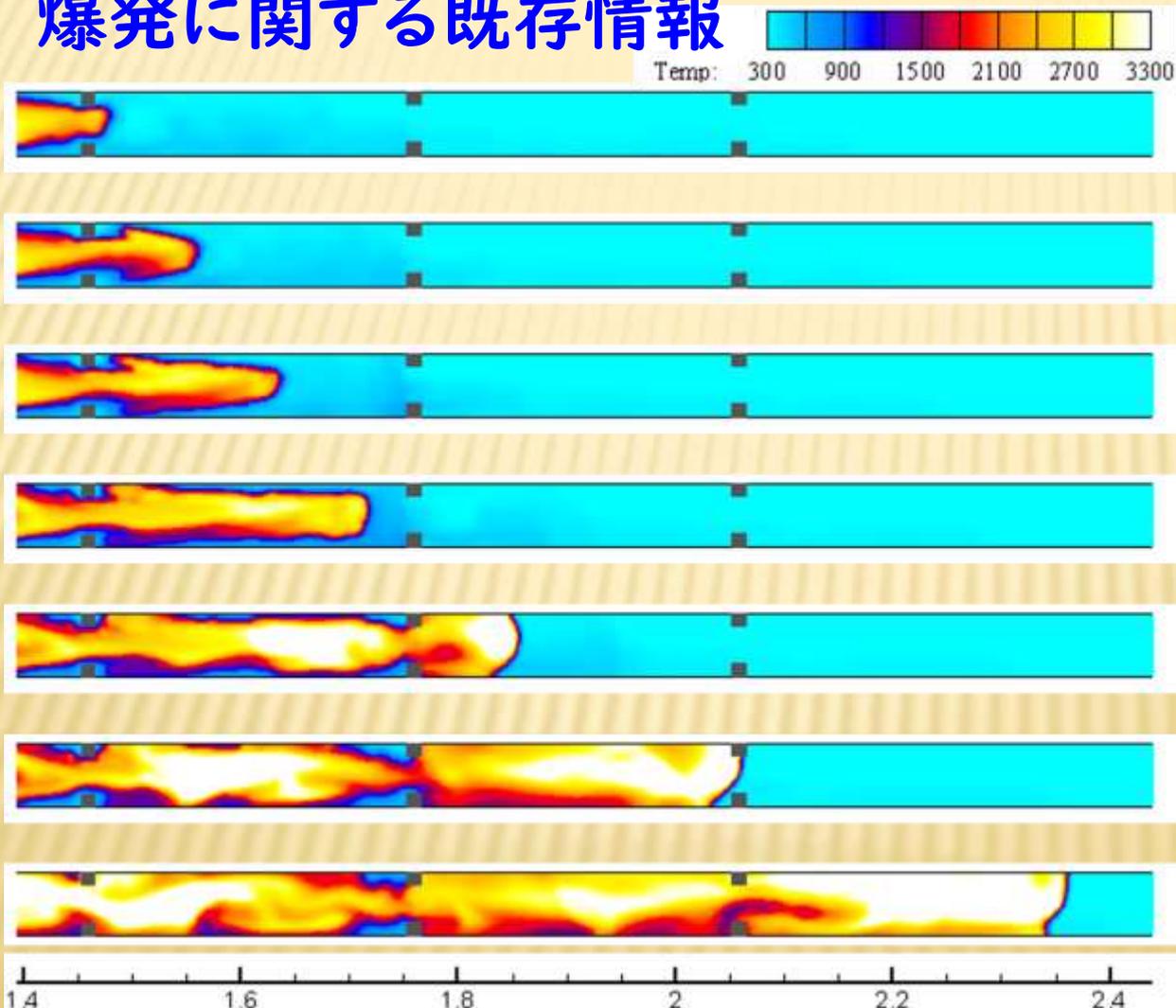
縦軸: 温度; 横軸: 経過時間 (秒)

## 爆発に関する既存情報

# 令和3年度（1）気象モデルの構築に向けた調査研究

アドバンスソフト社のCFDソフトによる爆轟遷移 (Deflagration to Detonation Transition, DDT) に関する検証計算

## 爆発に関する既存情報



空気に対して水素濃度25%で点火した場合のDDTの可視化

- 上から下への順で各時刻の温度分布を時系列で可視化
- Ettnerの手法に倣って予め作成された着火遅れ時間のデータベースを用いることにより、格子サイズは4mmと非常に粗いにも拘らず、層流火炎から乱流火炎を経て爆轟へ遷移する様子を再現することが確認された
- 爆轟へ遷移した後は、3000K以上の温度を有した爆轟波が右に向かって伝播している様子が見てとれる

# 令和3年度（1）気象モデルの構築に向けた調査研究

NCAR | Research Applications Laboratory  
UCAR | 2018 Annual Report

NCAR is sponsored by  
National Science Foundation



Search

Search

Home » 2018 RAL Annual Report » New and Emerging Applications » Wildland Fire Modeling and Prediction

## WILDLAND FIRE MODELING AND PREDICTION

2018 RAL ANNUAL REPORT

Directo

Next G

New an

Surfa

Weat

Reve

Weat

Learn

Stabi

Fore

Wild

Pred

Nation

Numer

Evalu

Hydro

2018 LAB

Atmosp

火災煙に関する既存情報

<https://nar.ucar.edu/2018/ral/wildland-fire-modeling-and-prediction>

**Numerical simulation of the Cold Springs fire near Nederland, Colorado in July 2016 using WRF-Fire coupled atmosphere – wildland fire behavior model.**

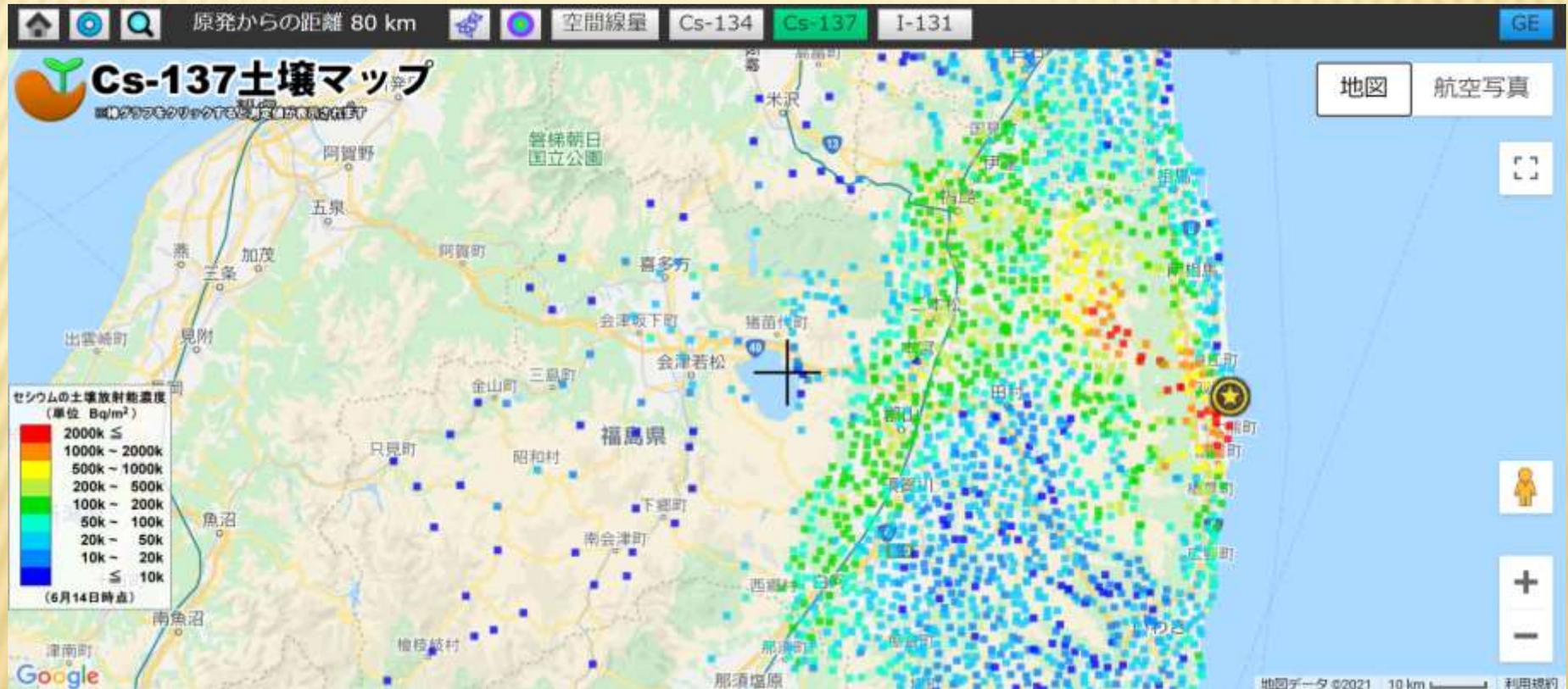
**WRF-Fire  
モデル**

# (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 目指すものは地図—福島原発事故の例

## 福島土壌調査

～ Google earth、Google mapで見る放射線地図 ～

昨年度は地図作成へおける準備—予備調査を実施  
大阪大学福島土壌調査 サイトより

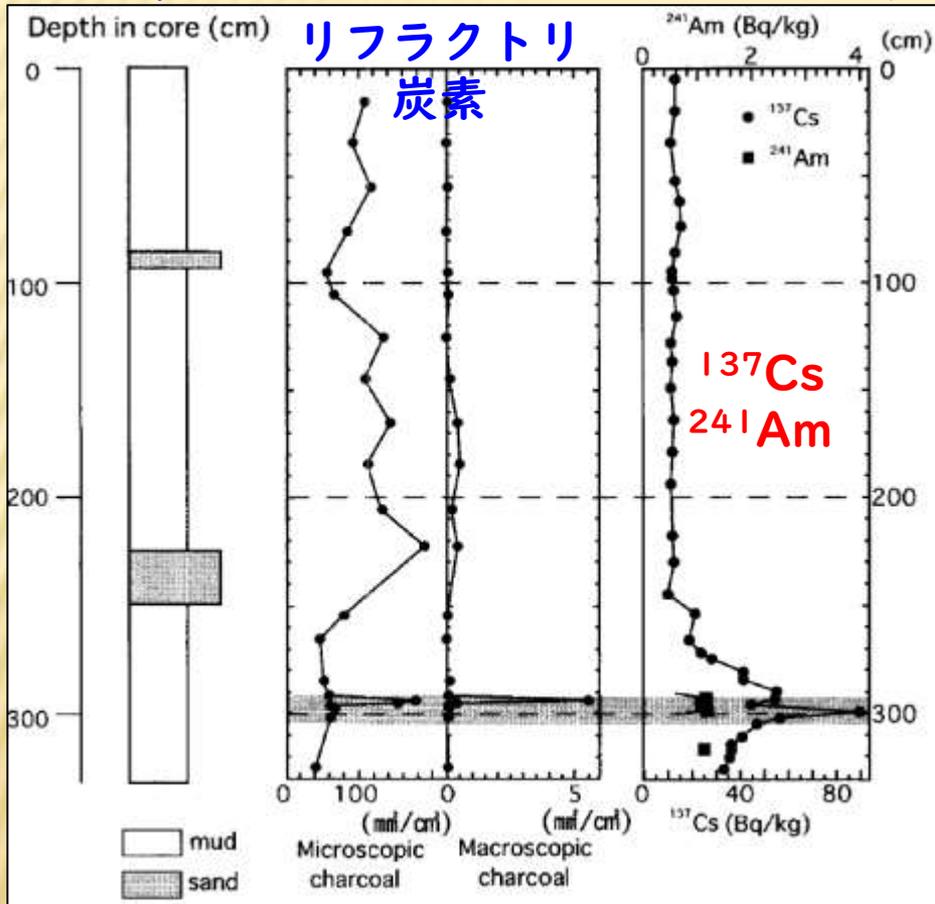


文科省 EOCの環境モニタリング班の一事業として行われた、福島第一原子力発電所周辺の「放射線量等分布マップ作成」プロジェクトにおいて採集されたデータの一部を表示したもの—本調査ではこのようなマップの作成における準備を行う。

[https://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/dojo/GM\\_dose.php](https://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/dojo/GM_dose.php)

# (2) 放射性降下物の分布調査—予備土壌調査

## 土壌調査に関する既存情報



・ 広島型原爆では90%濃縮 $^{235}\text{U}$ 、およそ65kgが使用されたが、反応したのは数百gで残りは核分裂反応に関与せず、核爆発由来の熱により気化、その後の急激な断熱膨張と冷却でエアロゾル態（**ウラン酸化物微粒子?**）となって、飛散・輸送され、重力沈降と雲・降水過程によって地表面へ沈着したと考えられる。

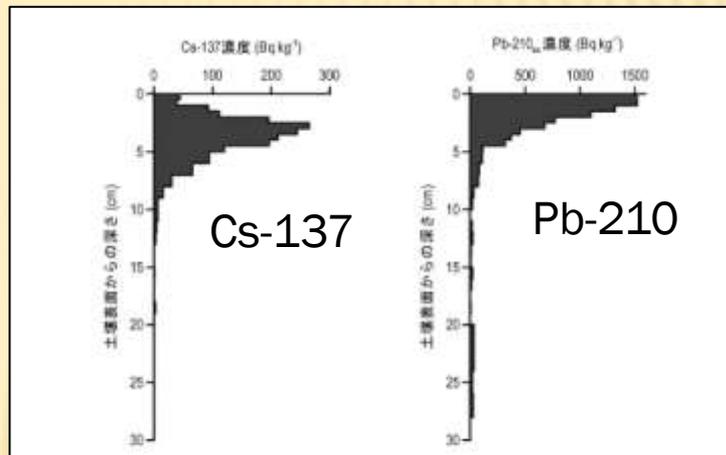
・ 熱線照射によって木造が主体であった建造物は火災を生じ、黒煙を大量に発生させた。黒煙は**衝撃塵—放射化物**と混合しながら、ともに原子雲に取り込まれ、発生源は異なるものの共通したプロセスで地表面へ沈着したと考えられる。黒煙には多量のすすが含まれ、その一部は反応性の低い（酸化されにくく、アルカリにも溶解しない）リフラクトリな状態で存在すると推定される。

長崎市西山地区で採取された底質コアにおけるリフラクトリ炭素およびCs、Amの濃度分布（吉川ほか，2001）

## (2) 放射性降下物の分布調査—予備土壌調査 土壌調査に関する既存情報



スクレーパープレート



スクレーパープレートで採取した試料のCs&Pb分布 和歌山の森林の事例

<https://www.tukahara-ss.co.jp/labo->

・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、当時の地層が残っているような地点を数か所選定する。候補地点としては、**社寺の境内、同庭園、旧城跡、ため池、社寺の庭園池**など。

・事前に調査許可を関係機関、利害関係者から得ておき、a)社寺境内などの地点では層序が地層として残っているかどうかを**トレンチ試掘**で確認する。B)ため池等については、柱状採泥器を用いて**堆積物コア**を採取する。

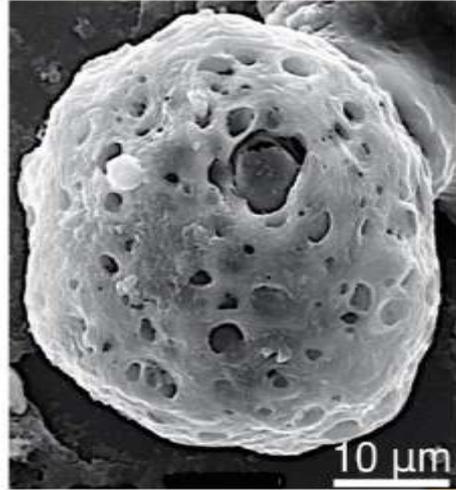
・**スクレーパープレート**を用いて5 mmまたは10 mm程度の分解能で層序を崩さずに試料採取を行い、**被爆層**を放射能測定やイメージングプレート測定等で特定し、**リフラクトリ炭素微粒子**や**ウラン酸化物微粒子**の分離・同定を進める→**モデル検証データ**

# (2) 放射性降下物の分布調査—予備土壌調査

## 土壌調査に関する既存情報

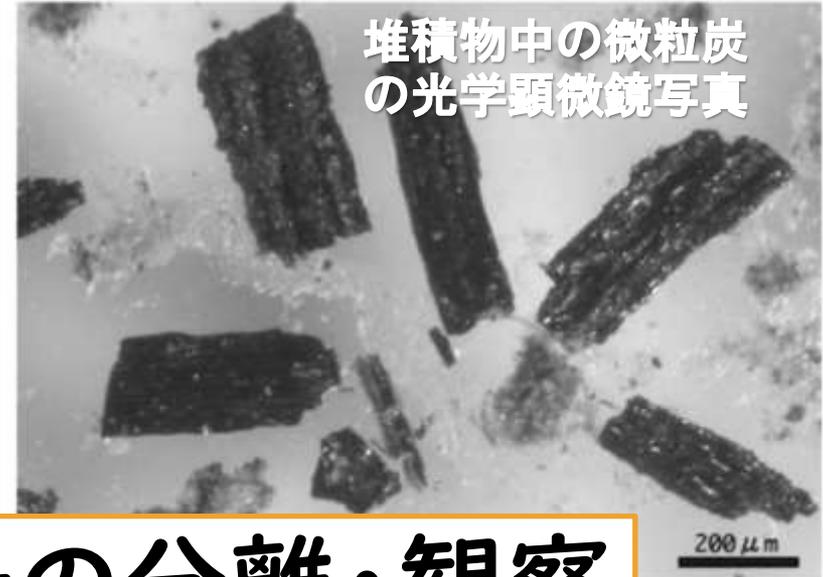
酸やアルカリにも耐える炭素の微粒子

球状炭化粒子の電子顕微鏡写真



石炭・石油燃烧起源

大規模森林火災起源

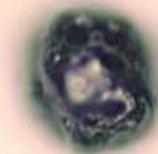
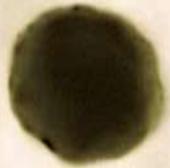


堆積物中の微粒炭の光学顕微鏡写真

井上ほか、2014

### 炭素微粒子の分離・観察 技術を応用する

(a)



50 μm

球状炭化粒子の光学顕微鏡写真

井上、北瀬(村上)、2010

湖底堆積物等には種々の燃烧起源炭素微粒子が存在

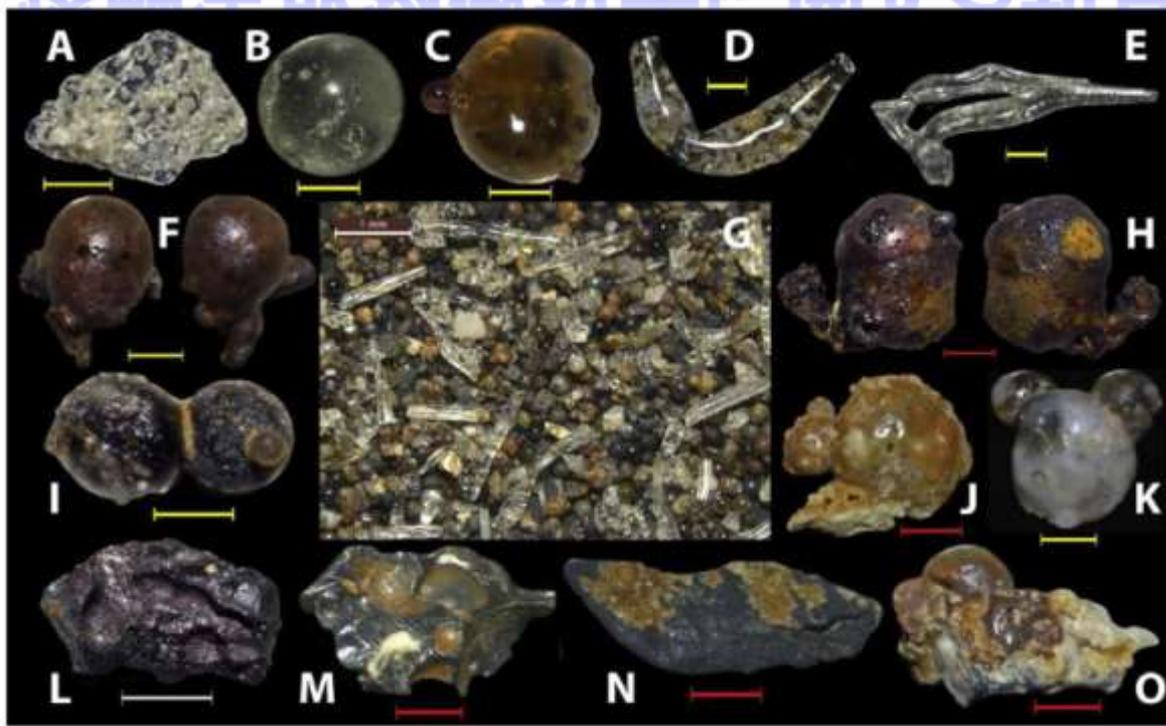
# (2) 放射性降下物の分布調査—予備土壌調査

## 熔融生成物微粒子に関する知見

球状のガラス、球状の鉄  
など金属、複雑な混合物



- 本当に原爆による熔融生成物なのか
- このような微粒子は他の地点でも見つかるのか
- 衝撃塵のトレーサー?



熔融過程で生成したと推定される微粒子の光学顕微鏡写真

Wannier, M. M., et al. Fallout melt debris and aerodynamically-shaped glasses in beach sands of Hiroshima Bay, Japan. Anthropocene, 2019.



# (2) 放射性降下物の分布調査—予備土壌調査

## a. 土壌採取調査及び原爆由来物質の分離測定法の検討

× 2021年3月4日長崎



スクレーパープレートによる採取



方法論検討中

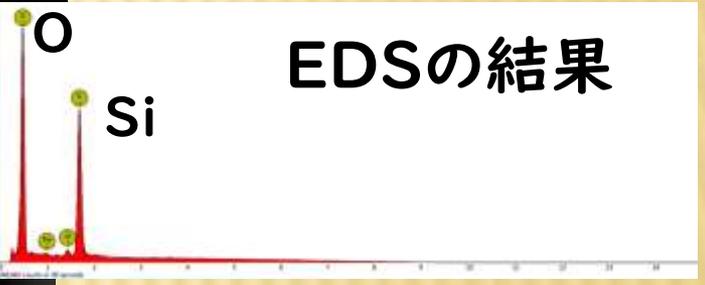
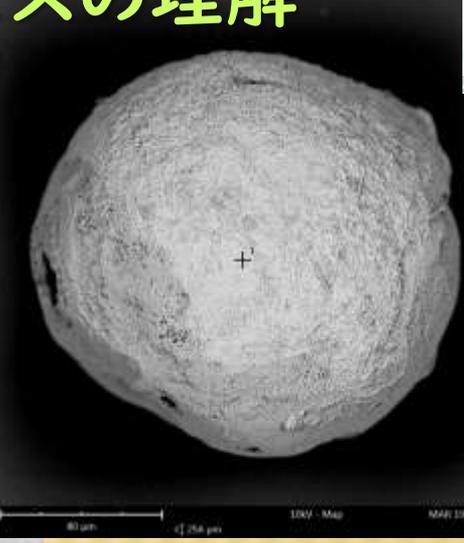
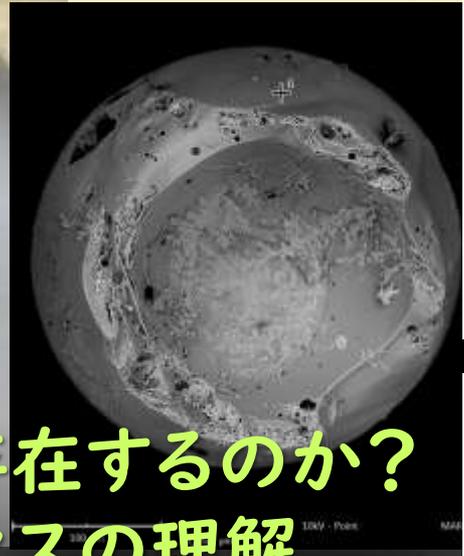
× 2021年3月10日広島



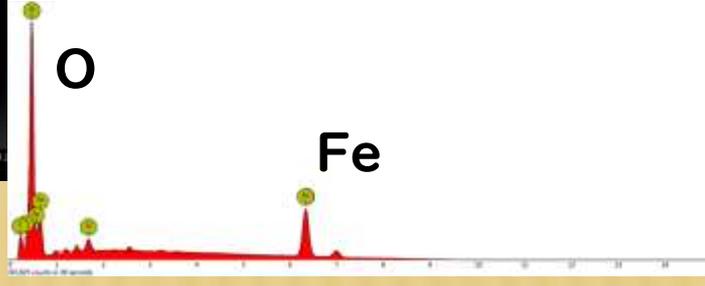
コアサンプラーによる採取



# (2)a.分離・測定方法の検討例



熔融微粒子  
精査開始



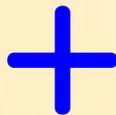
# 令和3年度(2) 検証データセットの作成

## b. 試料活用のための整理ならびにアーカイブ化

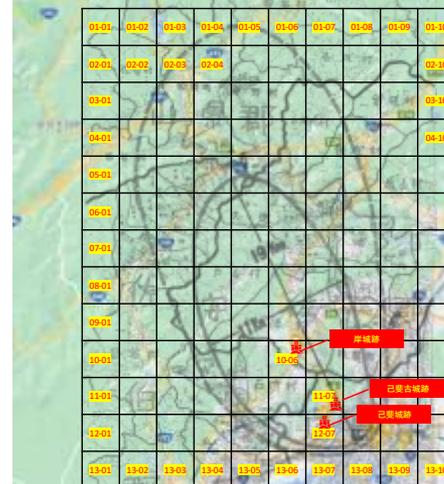
過去に採取された試料

新規に採取された試料

例：広島で2.5 km メッシュで区分けした場合



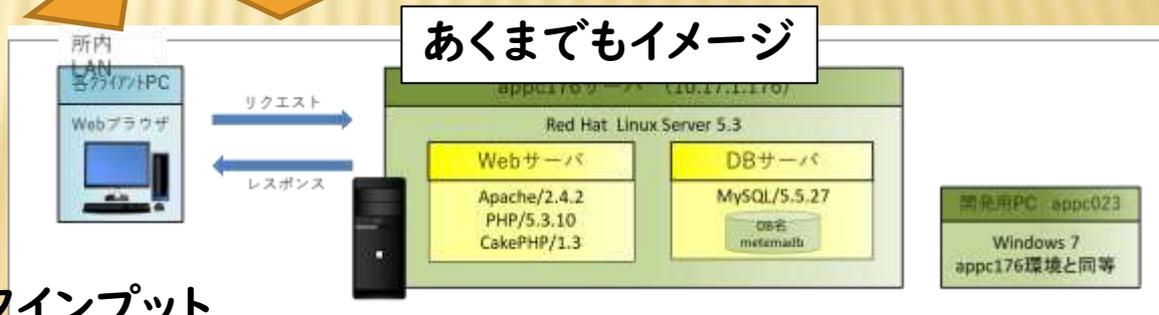
百地点以上での試料採取



データ・試料



データ入力



分析やデータ解析を行うユーザー

サンプルデータベース