

国立環境研究所で進める災害環境研究 - 放射性物質の大気シミュレーションを中心として -

国立研究開発法人国立環境研究所 福島支部
研究総括 大原利真

東日本大震災直後から環境調査研究を開始

災害廃棄物・汚染廃棄物の処理処分に関する調査研究



災害廃棄物の
現地調査

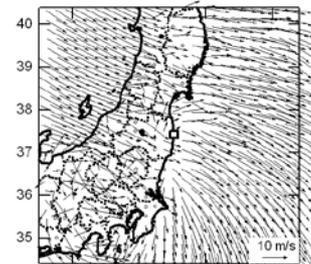
被災地廃棄物
の燃焼試験

汚染廃棄物仮置
場の現地調査

環境中(大気・水・土壌等)の放射性物質の動きの解明



森林からの放射性物質
流出状況調査



放射性物質の大気
シミュレーション

震災による環境変化が人や生物・生態系にもたらした影響の評価

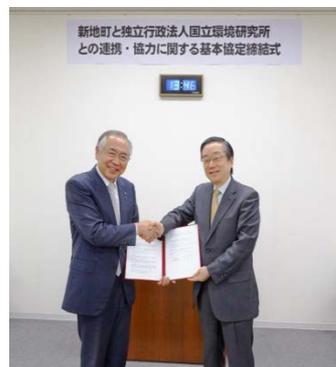


宮城県南三陸町仮置き
場での大気粉じん測定

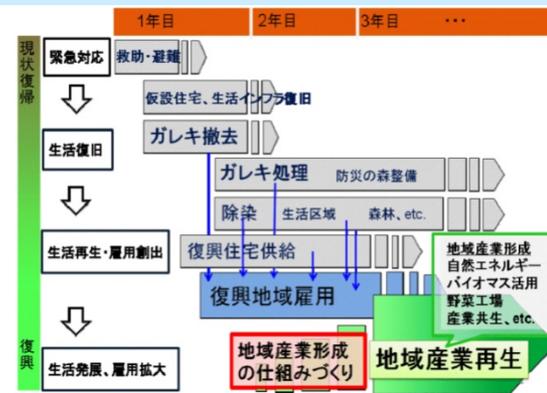


海洋の油汚染実態
把握調査

震災復興のまちづくりへの貢献

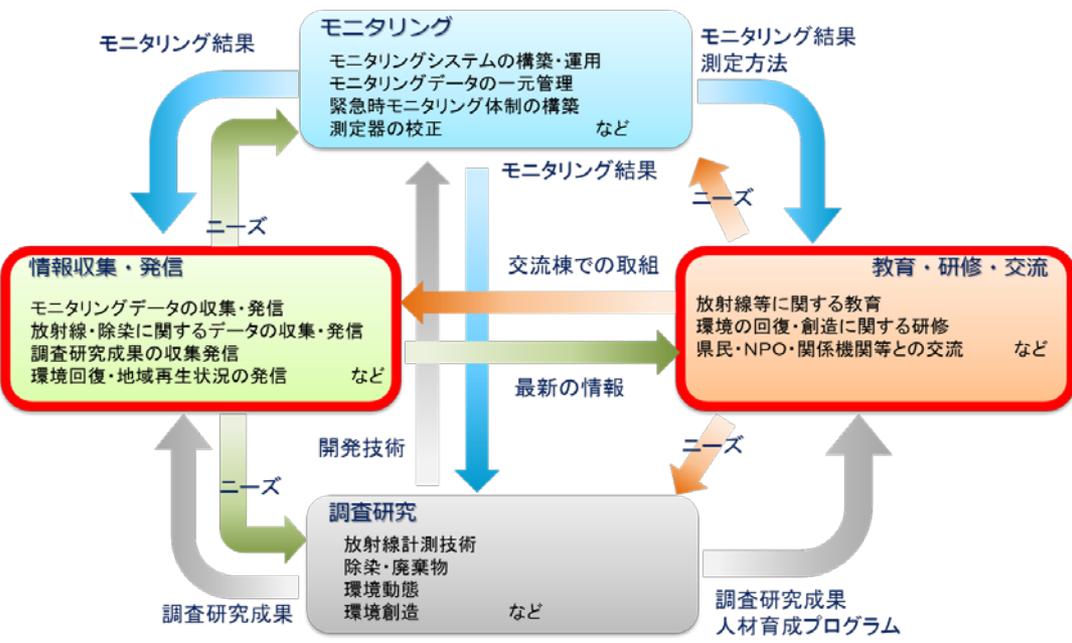


福島県新地町との
基本協定締結



復興都市づくりの
課題と展開

2016年4月、国立環境研究所福島支部を開設

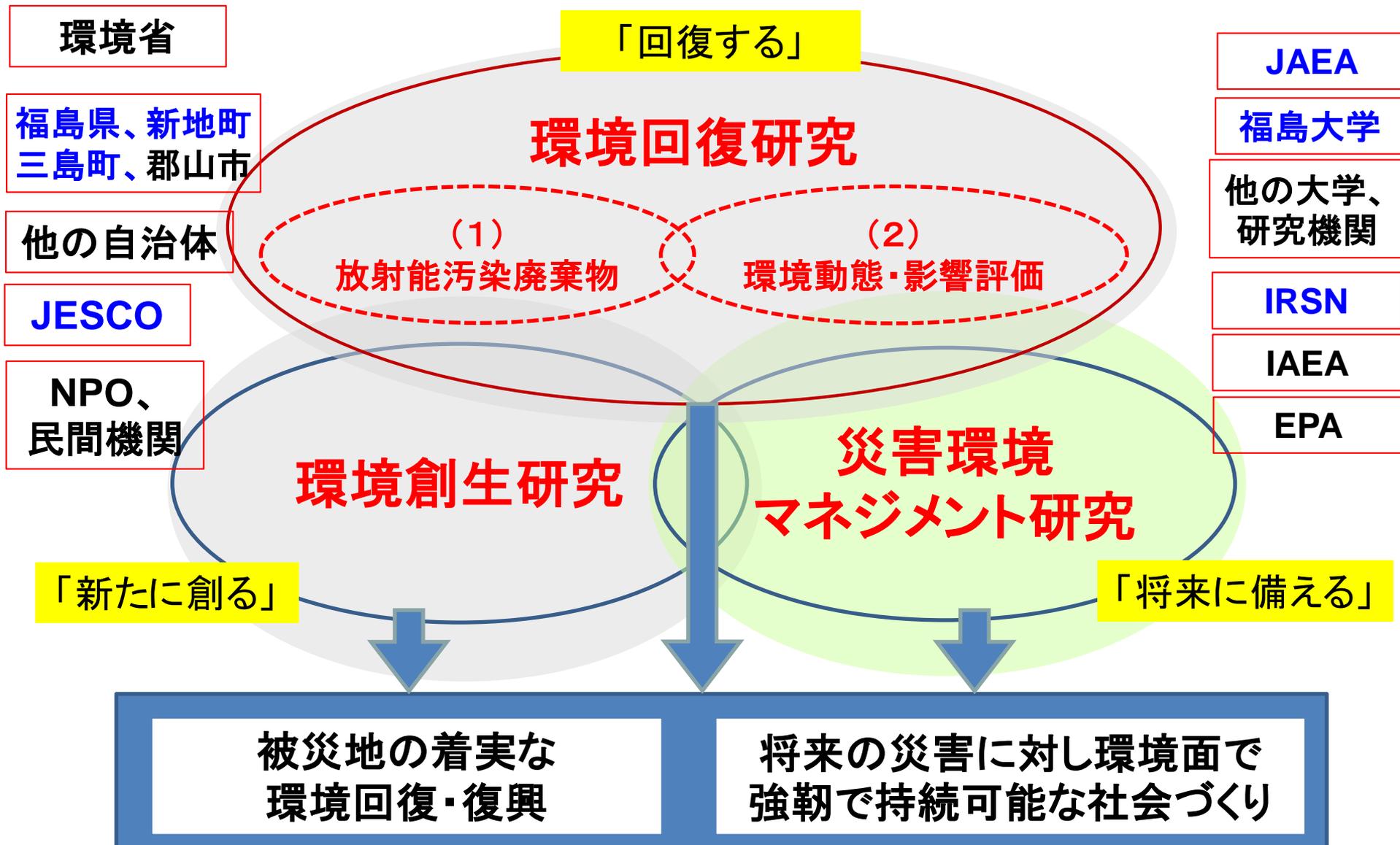


福島県が整備した福島県環境創造センターの研究棟に福島支部を開設

国立環境研究所の初めての現地研究拠点として、福島県、JAEA等と連携し、災害環境研究を展開中

福島県環境創造センターで進めている取組

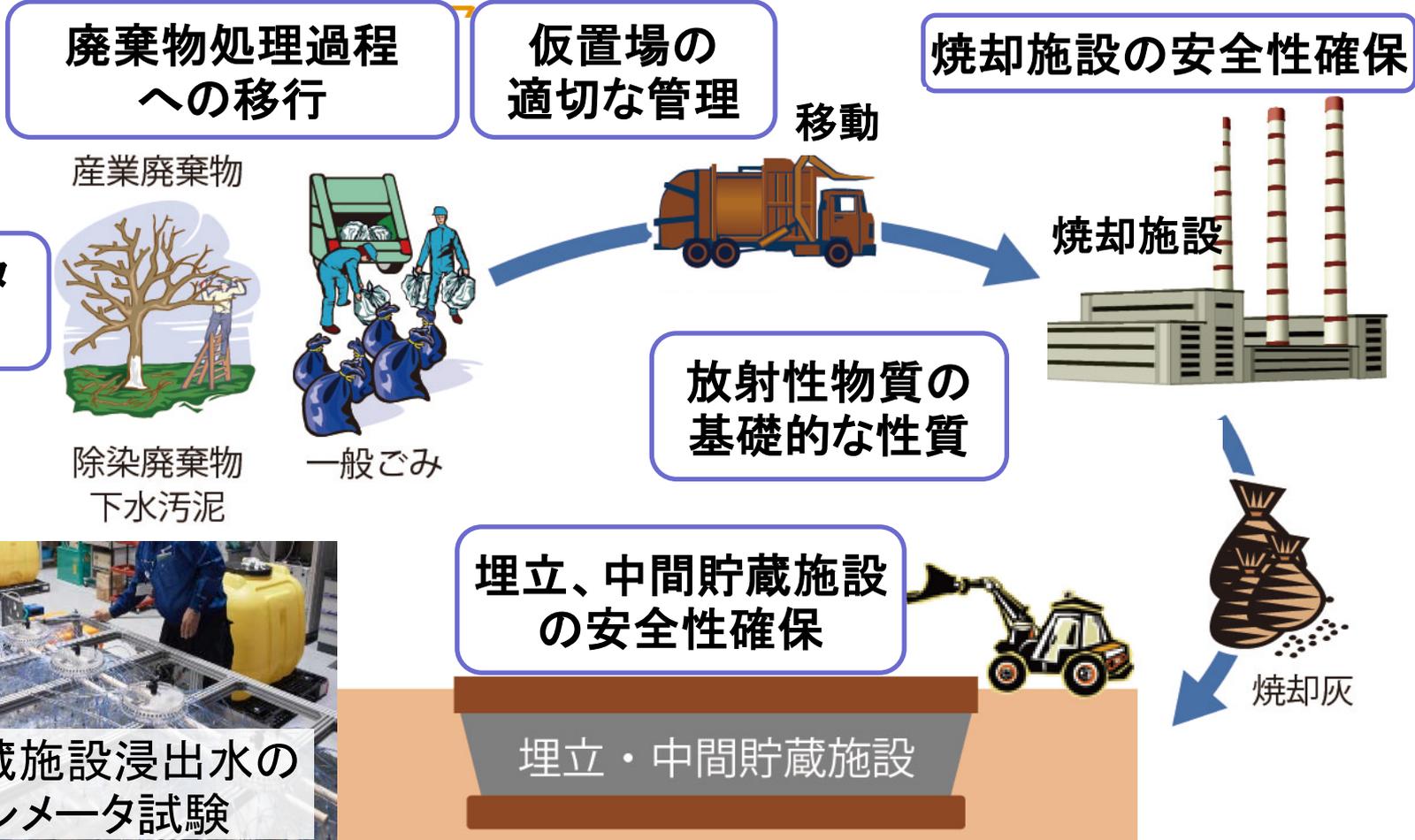
福島支部で進めている災害環境研究



1. 環境回復研究(1)

- 汚染された廃棄物を安全に処理処分するには？ -

- 廃棄物を処理する過程での放射性物質の動きは？
- 多様な汚染廃棄物を適切に管理する方法は？
- 施設を長期にわたって安全に管理するには？



測定・モニタリング手法



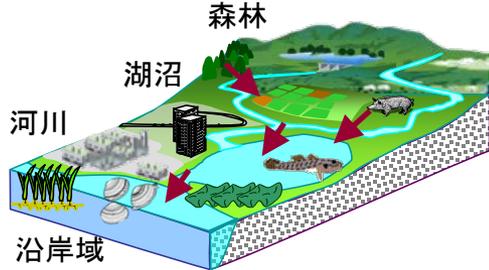
1. 環境回復研究 (2)

- 環境中の放射性物質の動きと影響は？ -

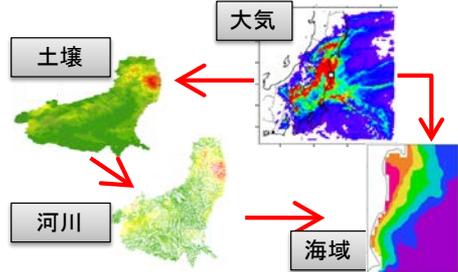
環境中の放射性物質はどれくらい残り、どのように動いているか？将来は？

環境計測 (環境中の動きを測る)

森林、河川、湖沼、沿岸海域における放射性物質の動き



環境シミュレーション (環境中の動きをシミュレーションする)

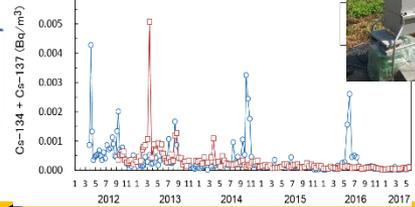
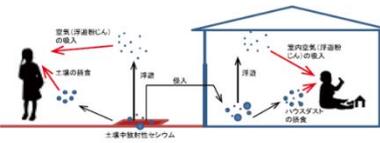


大気・陸域・沿岸海域モデルによる事後直後の動き

人の被ばく量解析 (人への被ばく量を調べる)

生活圏での被ばく量

飯館村での大気測定



生物・生態系影響調査 (生物・生態系への影響を調べる)



野生生物への放射線影響、水棲生物への影響、生態系変化の実態

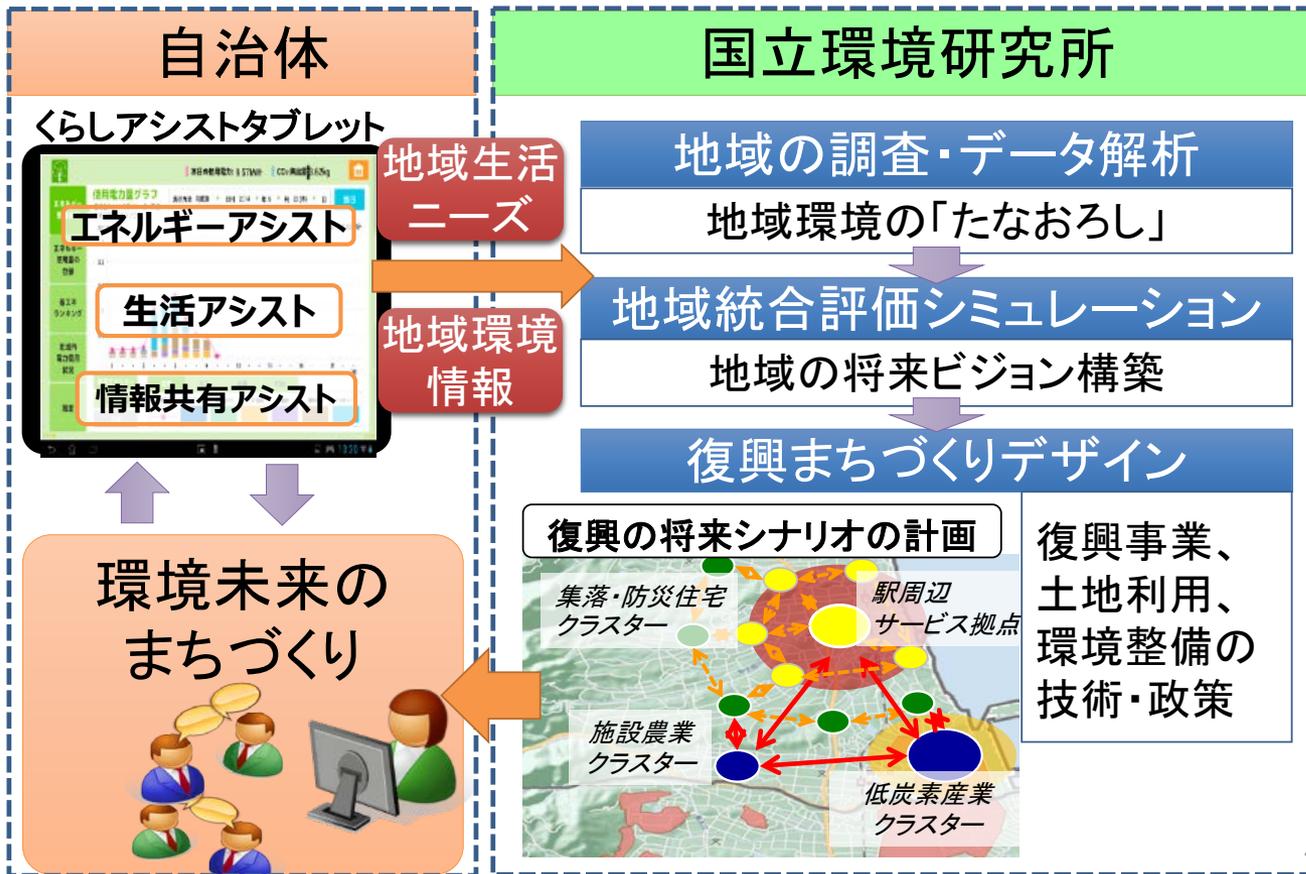
人への被ばく量は？

避難地域の野生生物や自然生態系への影響は？

2. 環境創生研究

－ 環境を考えて復興まちづくりを進めるためには？ －

- 復興を進めるために必要な地域情報をどのように収集する？
- 復興・生活・環境の共生した将来像はどんなもの？
- 地域エネルギーを活かして復興を進めるためには何が必要？



福島県新地町と連携した研究例

- ・ 環境未来都市に選定
- ・ 震災後、国立環境研究所は協定を結んで連携しています。

3. 災害環境マネジメント研究

- 今後の災害に環境面から備えるためには？ -

東日本大震災の教訓・経験を活かして、環境・安全・安心面から将来の災害に備えるための研究です。

- 円滑・適正に災害廃棄物を処理、再生利用するには？
- 災害等緊急時の環境や健康をどのように管理し、守るのか？
- 人材や情報をどう管理し、災害時の環境管理に活かすか？

資源循環・廃棄物システムの強靱化

処理・再生利用技術

| | | | |
|------|------|------|------|
| 調整 | 資源管理 | 廃務財務 | 情報作戦 |
| 標設定 | 人材 | 資金獲得 | 計画策定 |
| 広報 | 資機材 | 契約 | 情報収集 |
| 分扱 | 施設 | 支払 | 情報分析 |
| 中間処理 | | | 情報共有 |
| 最終処分 | | | 技術支援 |

マネジメント

環境・健康リスクの管理戦略

環境の計測

迅速な分析

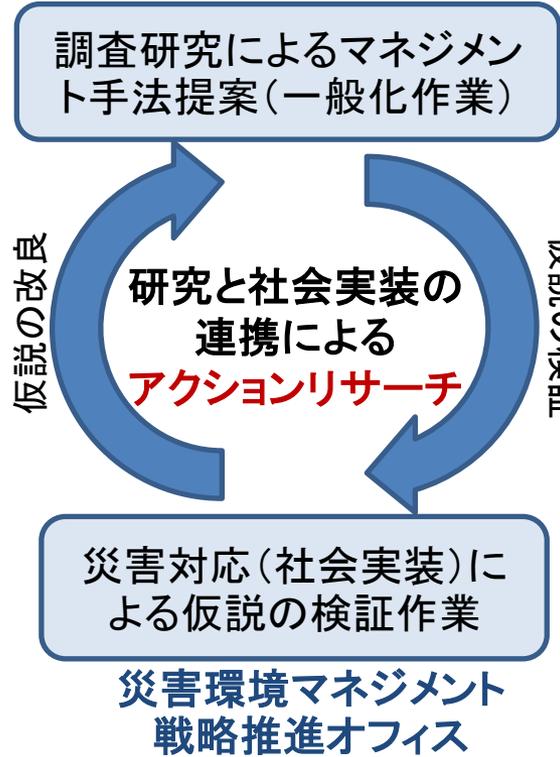
緊急調査

災害環境研究ネットワーク拠点の構築

人材

情報

連携



地域との連携

三島町との
連携協定

新地町
地域エネルギー
国際フォーラム



アウトリーチ活動

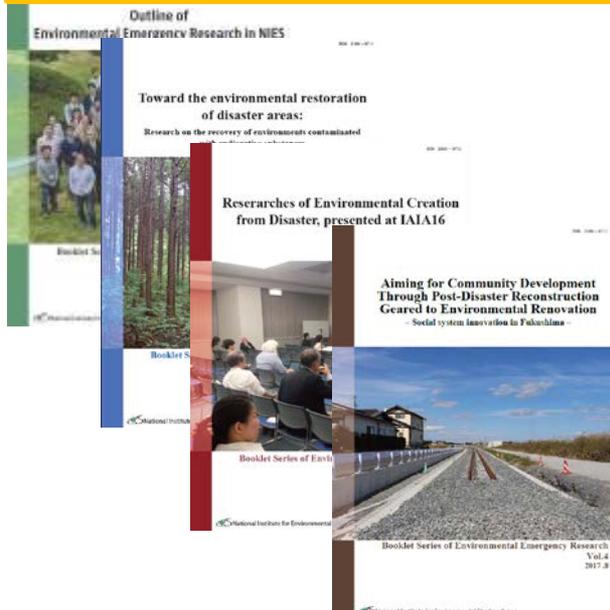
研究成果報告会
(環境創造センター
3機関連携)

サイエンスカフェ

バードデータ
チャレンジ
(白河)



英文Booklet series



・NIESレターふくしま ・災害環境研究の今



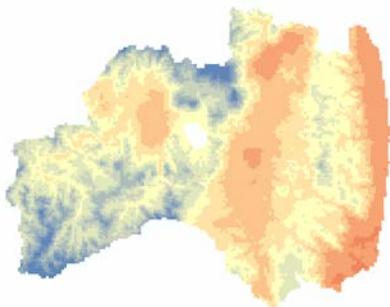
福島支部HP

<http://www.nies.go.jp/fukushima/>

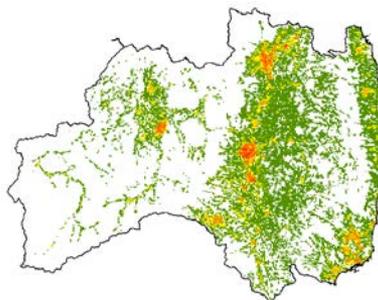


郡山市との協働 気候変動適応計画づくりの支援

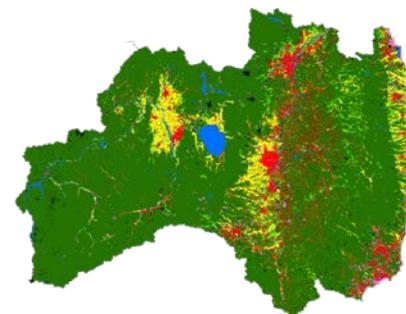
将来気候シナリオ



人口シナリオ



将来の土地利用予測



気候変動適応に関するセミナー

近年その影響が顕著となっている、温暖化をはじめとする地球規模の気候変動。この影響は、温室効果ガスの排出を最小限に抑えたとしても避けられないものと言われています。

郡山市では、国立環境研究所の支援により、気候変動の影響とその「適応」について考えるためのセミナーを開催いたします。



郡山市では、SDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標) の取組を推進しております。

「気候変動への対応」は、SDGs の 17 のグローバル目標の一つです。

日時

2018年11月26日(月) 15:00~17:00

会場

郡山市役所 本庁舎2階 特別会議室
(郡山市朝日一丁目23番7号)

テーマ
講師

第1部 「気候変動適応をめぐる動きと国立環境研究所の取組について」

講師 国立環境研究所 企画部次長 行木 美弥氏

第2部 「福島県における気候変動の現状について(仮)」

講師 福島大学 共生システム理工学類 特任教授 渡邊 明氏

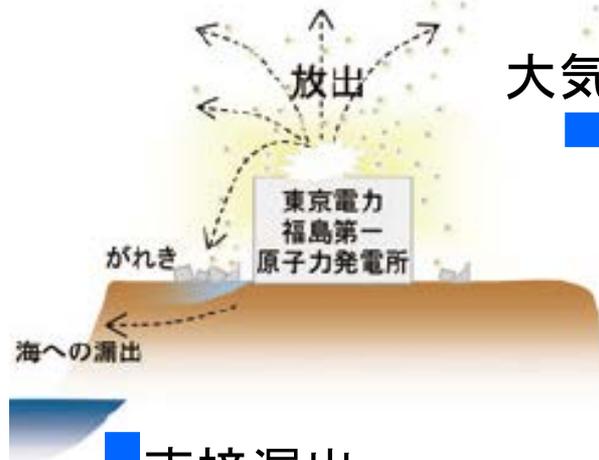
※ 入場無料、申込方法の詳細については裏面参照

主催:郡山市 共催:国立環境研究所

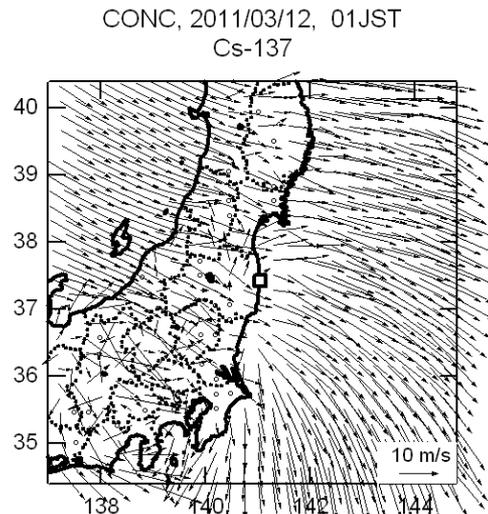
問合せ・申込み 郡山市生活環境課 TEL:024-924-2731/FAX:024-935-6790

E-mail:seikatukankyou@city.koriyama.lg.jp

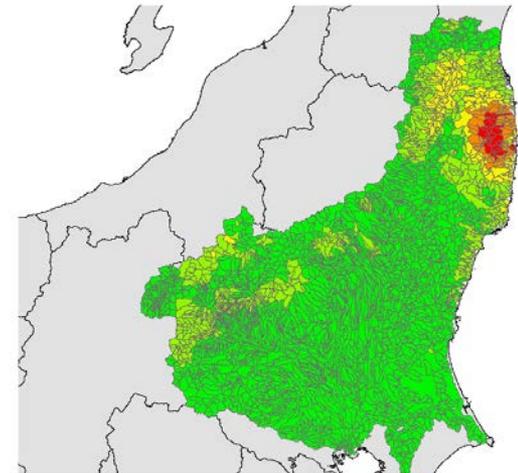
放射性物質の環境中での動き(シミュレーション結果) ¹¹



大気放出



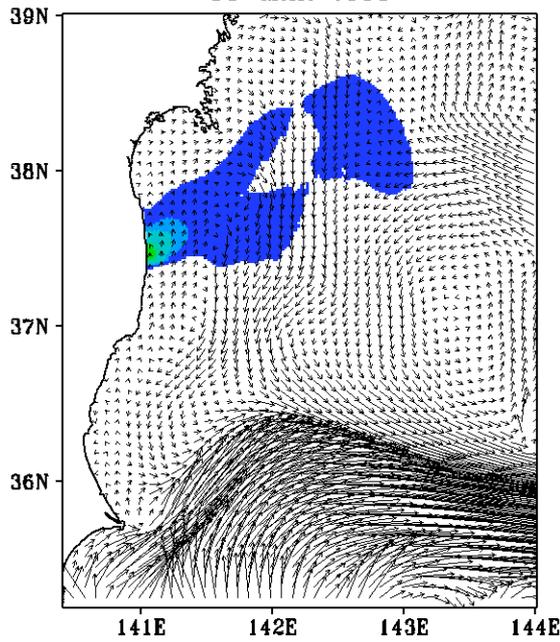
土壌



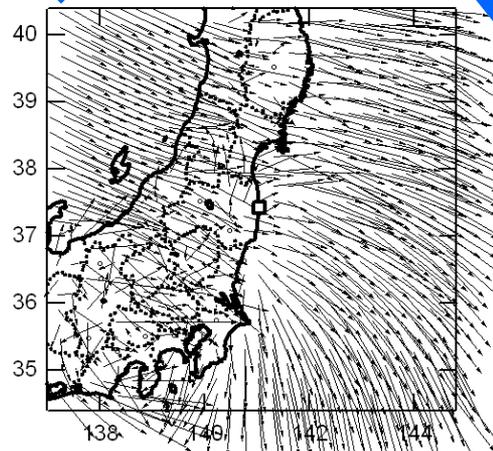
直接漏出



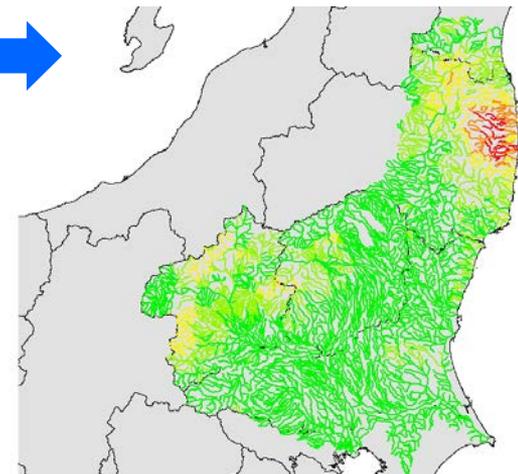
沿岸海域
13-MAR 2011



大気から陸上、
海上へ



河川

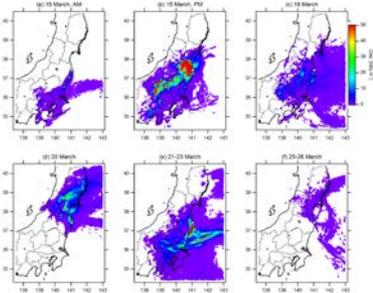


河川から海へ



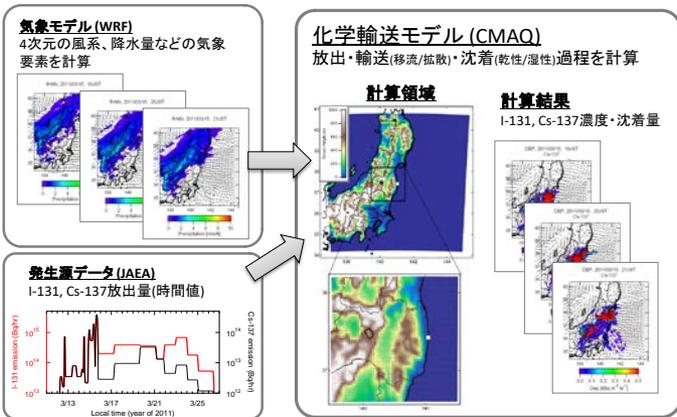
大気モデリング —放射性物質研究への活用 (NIESの事例)

動態解明・不確実性評価



Morino *ら*, GRL, 2011; Morino *ら*, EST, 2013
Nakajima *ら*, PEPS, 2017

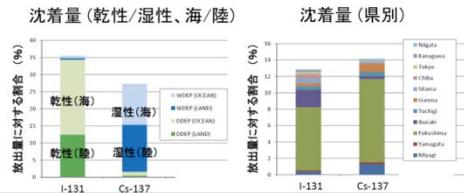
大気質モデル



行政貢献

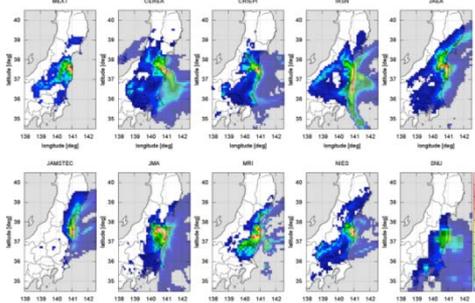
厚労省, 2011
水道水・対策検討会
食品中・モニタリング計画

3/11-29における沈着量の割合



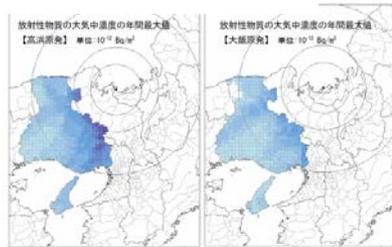
モデル相互比較

日本学術会議
報告, 2014;
Kitayama *ら*, 2018



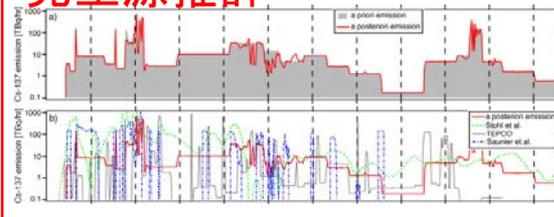
防災計画策定

兵庫県, 2013

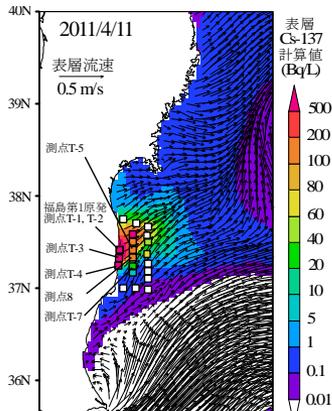


発生源推計

Yumimoto *ら*, JER, 2016



海域モデル



東 *ら*, 2014; Higashi *ら*, BG, 2015

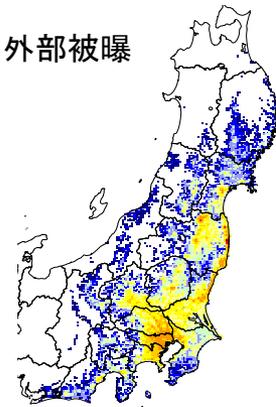
陸域モデル



河川水中濃度

健康影響評価

外部被曝



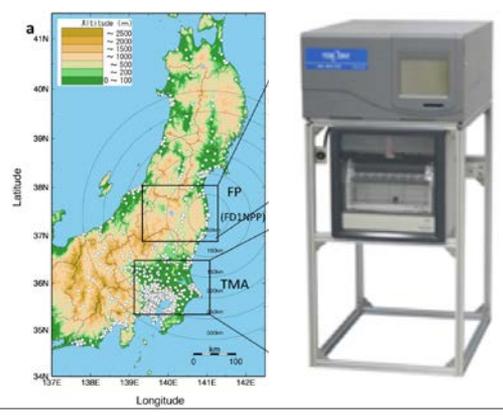
伊坪 *ら*, LCA, 2013

将来推計(再飛散)・汚染予測

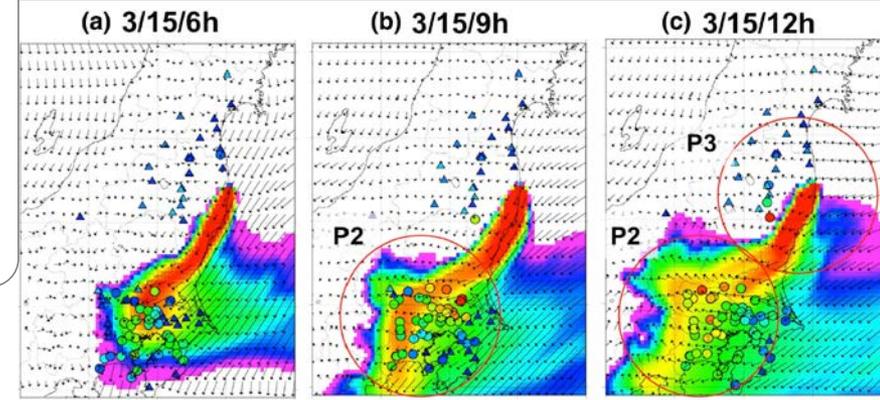
放射性物質の大気動態解析 — ^{137}Cs 大気プルーム

- ✓ 大気常時監視局・SPM計のろ紙を分析して ^{137}Cs 大気濃度を導出
- ✓ 約90地点、試料採取時間1時間

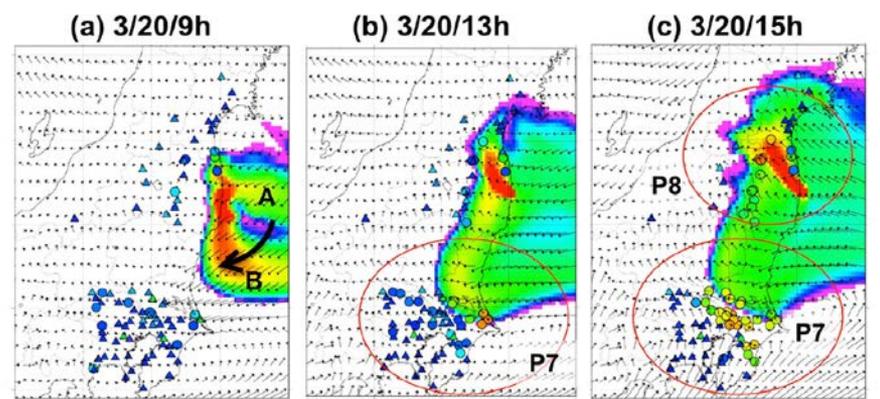
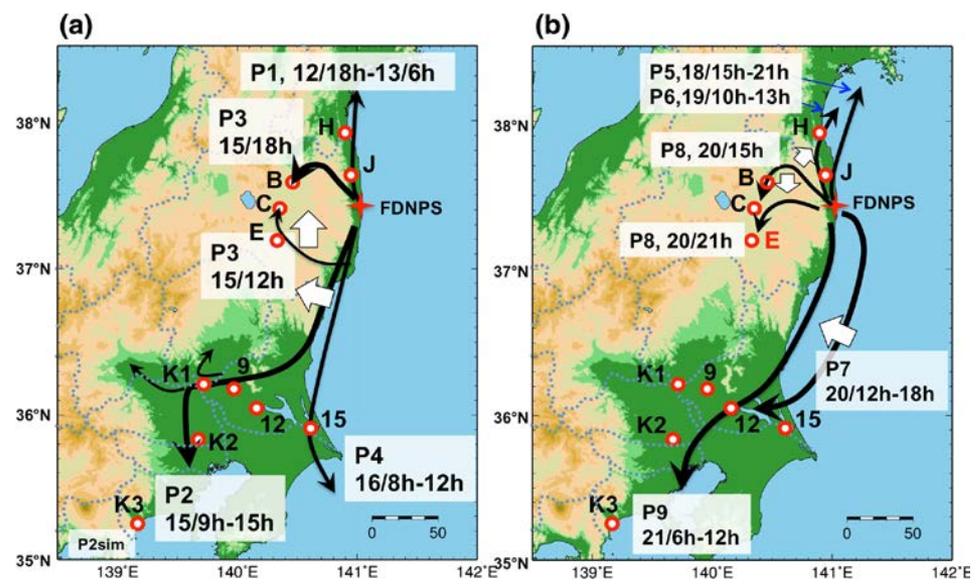
Tsuruta et al., Sci. Rep., 2014;
Oura et al., JNRS, 2015;



福島から関東への ^{137}Cs プルーム輸送過程



^{137}Cs プルームの輸送パターン



大気中での放射性物質に関する課題

事故直後に比べれば課題は減っているが..

- 大気放出量と大気モデルの不確実性の低減
- 初期被ばくの線量再構築
- 大気中における放射性物質の性状(ガス/粒子比、セシウムボールなど)
- 事故後の大気中濃度の長期的モニタリングと変動原因(再飛散、ガレキ処理、山火事など)
- 放射線・放射能測定データの収集、発掘、保全、蓄積

大気輸送沈着・ばく露評価統合モデルを用いた 呼吸由来の甲状腺被ばく線量推計

大原利眞、高木麻衣、森野 悠、五藤大輔、中山祥嗣（国立環境研究所）
 森口祐一（東京大学大学院工学系研究科）
 大浦泰嗣（首都大学東京大学院理学研究科）
 海老原充（早稲田大学教育・総合科学学術院）
 鶴田治雄（リモート・センシング技術センター）

環境研究総合推進費5-1501（研究代表者：森口祐一、2015～2017年度）で実施

10月 日曜 **Eテレ** 午後11時30分～ 午前0時00分

28日 サイエンスZERO「シリーズ原発事故（19）“被ばく量”解明への挑戦」

次回のZEROは

シリーズ原発事故⑱
“被ばく量”解明への挑戦
Eテレ 日曜 夜11:30

福島第一原発の事故で拡散したヨウ素によって子供たちは甲状腺にどれだけ被ばくしたのか？ 科学者たちは、事故当時、大気の微粒子を捕らえたフィルターの中に、放射性物質を見つけ、その分析から新たな推定値を導き出した。分析には宇宙化学の技術も使った。科学者たちのアプローチを詳しく紹介する。

【解説】東京大学大学院 教授…森口祐一、【司会】小島瑠璃子、森田洋平、【語り】川野剛稔

字幕放送





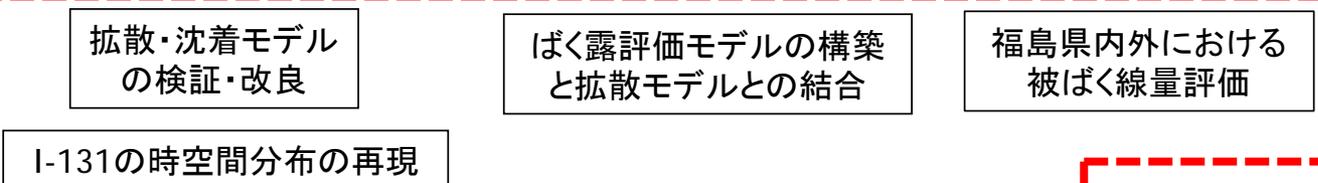

環境研究総合推進費5-1501(研究フロー)

サブ(1) 東京大学
 大気放出からばく露評価・リスク評価に至る総合解析手法の設計

サブ(3) 宇宙航空研究開発機構
 大気中放射性核種の時空間分布の再現

サブ(5) 国立環境研究所
 大気拡散・ばく露評価統合モデルの構築

炉内事象の専門家
 との情報交換



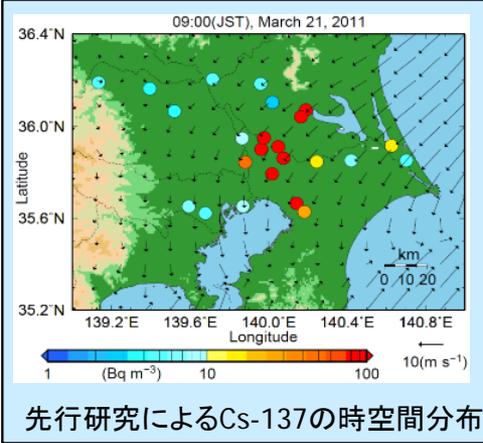
放出源
 の情報

大気中濃度
 の再現

吸入被ばく
 量の推定

被ばく線量
 評価

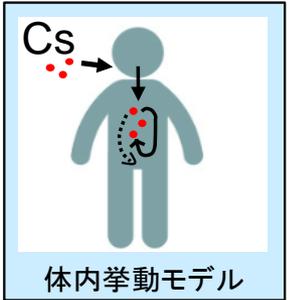
リスク
 評価



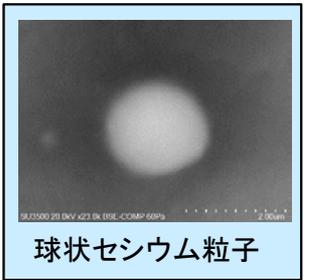
I-131/Cs-137比の再現
 のためのI-129質量分析



不溶性粒子の体内挙動
 説明、局所線量評価



不溶性セシウム粒子
 測定の研究協力

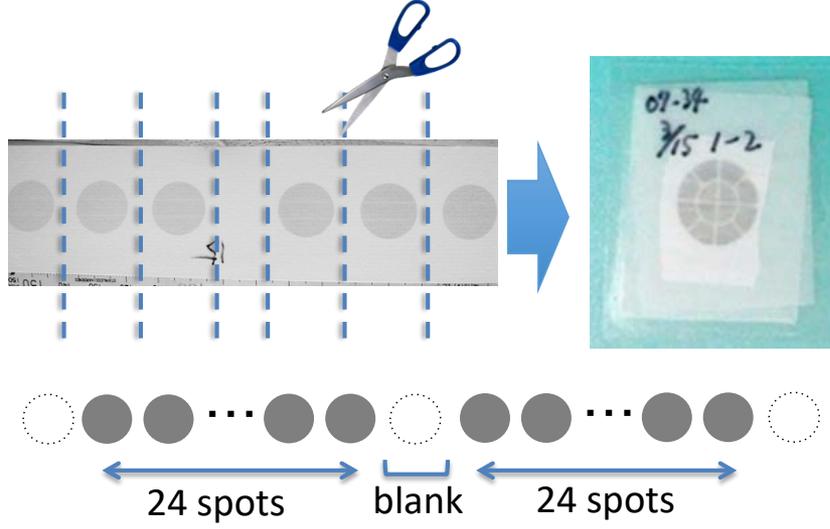


サブ(2) 首都大学東京
 ろ紙分析による放射性核種比の再現

サブ(4) 日本保健物理学会
 微粒子性状を考慮した線量評価の精緻化

本研究の強み: 大気常時監視局のSPMろ紙試料を用いた核種の時空間分布再現 17

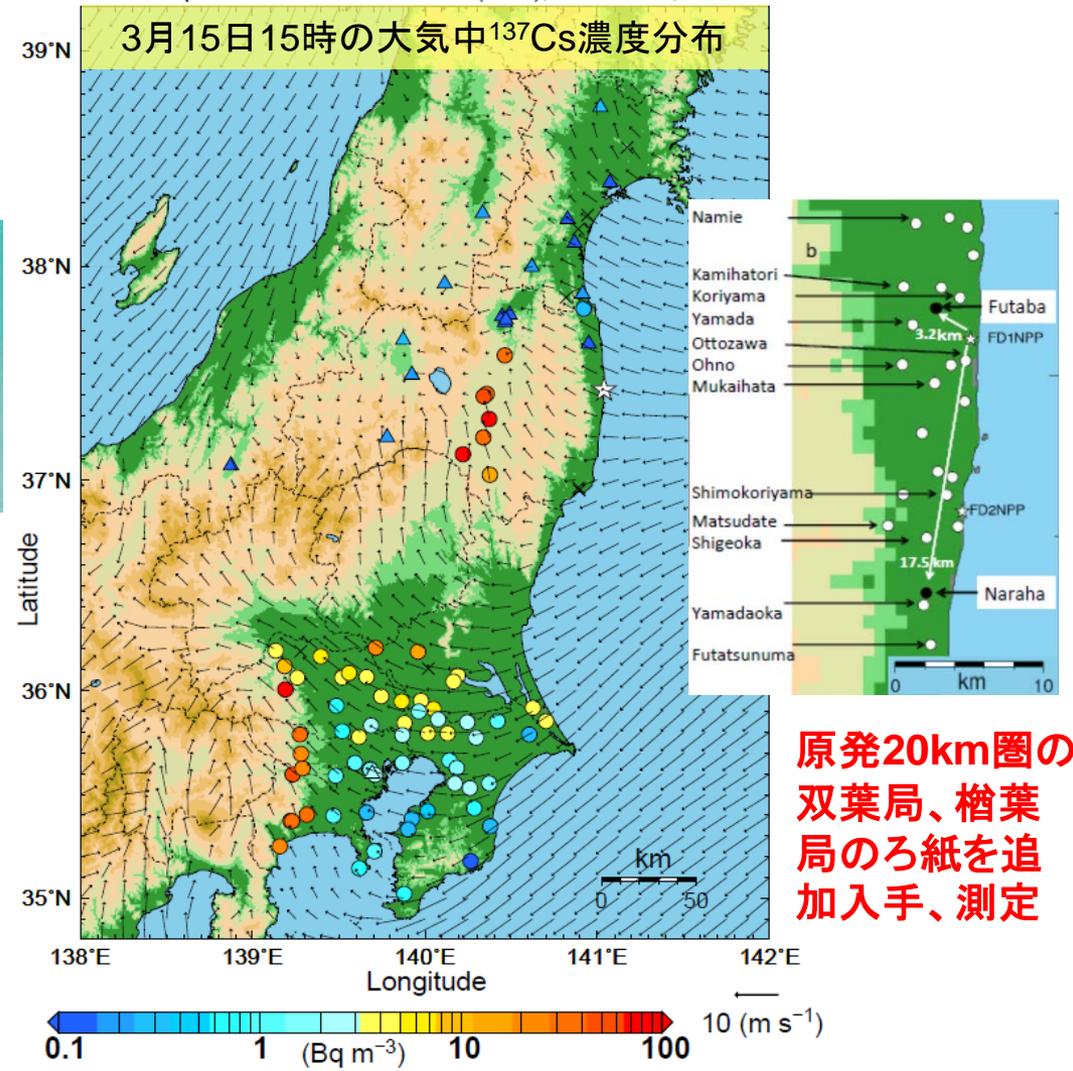
環境省の依頼により地方自治体の400地点以上の測定局から**収集**されたSPM計のろ紙を**首都大学東京**で一括保管。



β線式SPM計とテープ状ろ紙
(機器の写真提供: 株式会社堀場製作所)

先行研究の
成果:
本研究の成果:

Atmospheric Cs-137 at 15:00 (JST), March 15, 2011



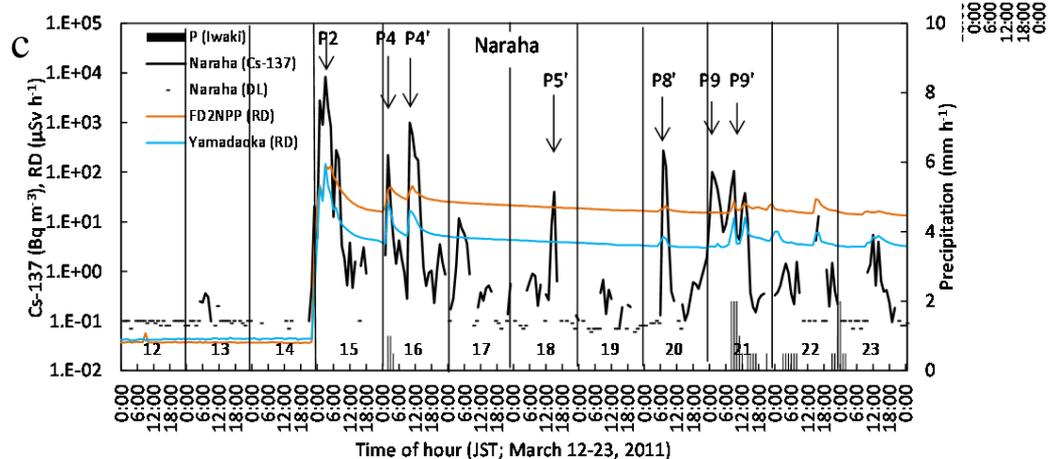
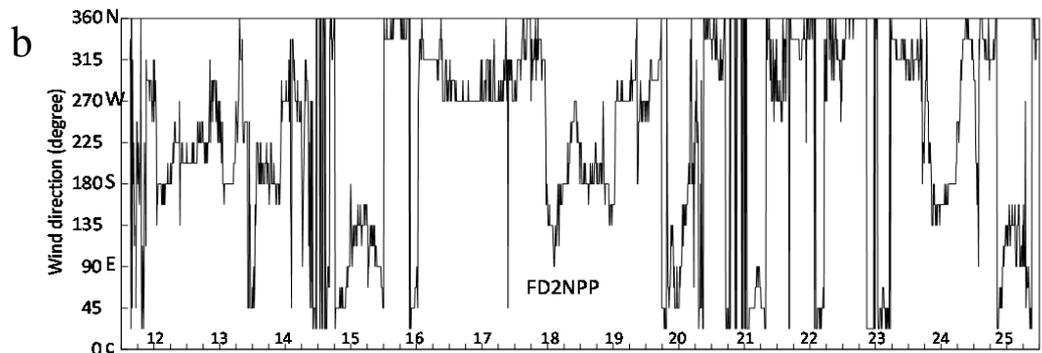
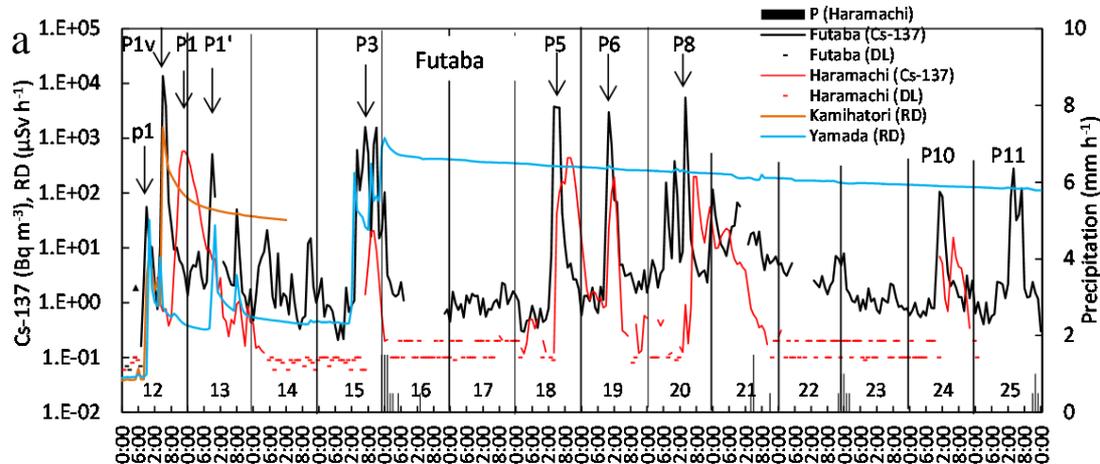
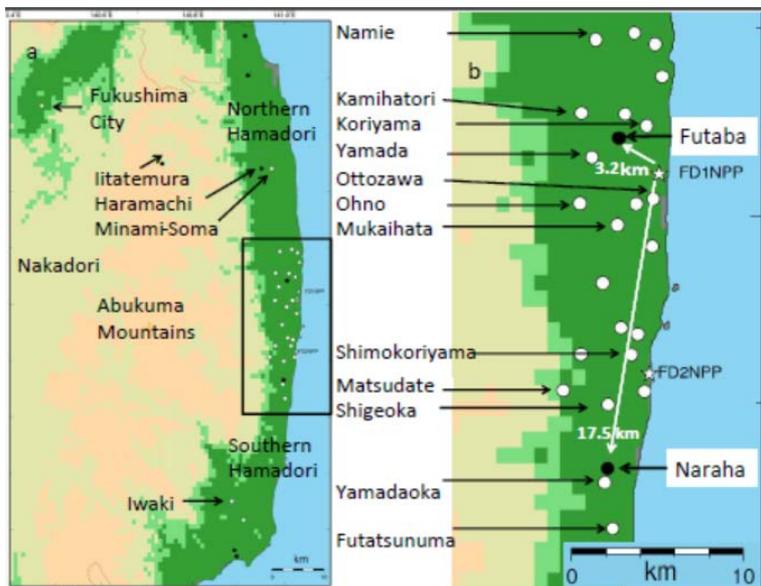
**原発20km圏の
双葉局、楢葉
局のろ紙を追
加入手、測定**

Tsuruta, H. et al. (2014) *Sci. Rep.* 4, 6717
 Oura, Y. et al. (2015) *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, 15
 Tsuruta, H. et al. (2018) *Geochem*, 52

双葉、楢葉、原町局およびその周辺のMPの測定値の解析

(Tsuruta et al., *Geochemical Journal*, 52, 2018) =2018年3月8日 論文全文・データをオープンアクセス公開

- 大気中Cs-137濃度の最大値は3月12日14-15時(水素爆発前)の双葉局の13,600Bq/m³,
→夕～夜に南相馬にも到達
- それに次ぐのは、15日未明の楢葉局の8,300Bq/m³
→首都圏、北関東、中通りへも移流
- これらはMPの線量ピークと一致。MPが測定不能となった後も含め原発北側、南側ともに断続的に多くのプルームが通過したことを解明
(MP: 福島県原子力センターのモニタリングポスト)



大気輸送・沈着モデル(ATDM)による大気中濃度を用いて、
事故初期の呼吸由来の甲状腺等価線量を評価

(1) Cs-137とI-131(粒子)実測データによって検証されたATDM計算濃度を使って2つの方法により線量評価用のI-131濃度を推計

手法A: ATDMで計算されたCs-137濃度から、実測データ解析によるI-131/Cs-137比、ガス粒子比を使って推計

(ATDMのソースタームはCs-137; ベースケースとしてI-131/Cs-137=10、ガス粒子比1:1を使用)

手法B: ATDMで計算されたI-131濃度を直接使用

(ATDMのソースタームはI-131(ガス、粒子別); I-131/Cs-137=10、ガス粒子比1:1の設定が多いが、一部の時間帯では異なる)

(2) 以下の甲状腺等価線量を評価

① 大気濃度測定地点における線量

→Cs-137実測値、ATDM計算値に基づく複数の推計結果の比較

② 市町村毎の線量頻度分布

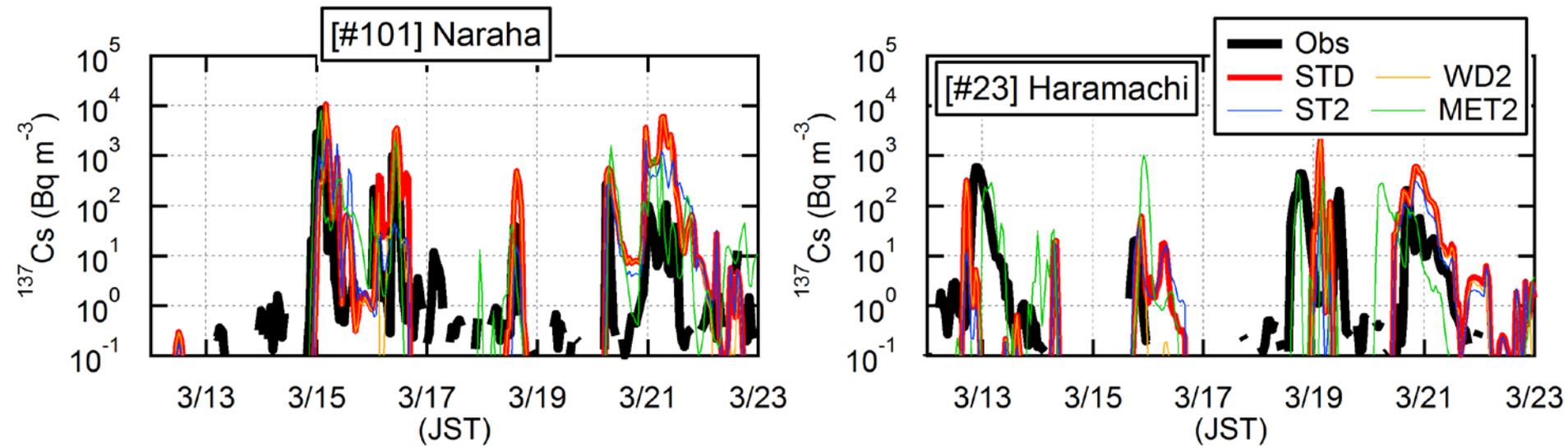
→市町村内のばらつき、甲状腺被ばく線量実測値等との比較

③ 避難パターン(放医研の設定)毎の線量、避難による回避線量

ATDM計算条件

| モデル | 化学輸送モデル CMAQ 4.6 気象モデル WRF 3.1 | NICAM |
|--------|--|--------------------------|
| 核種 | Cs-137、I-131 | Cs-137 |
| 気象条件 | Sekiyama et al. (2017) | Sekiyama et al. (2017) |
| 放出量 | Katata et al. (2015) | Katata et al. (2015) |
| 物性 | Cs-137: 粒径1 μ mの粒子 I-131 : ガスと粒径1 μ mの粒子 (*) | Cs-137: 粒径0.4 μ mの粒子 |
| 乾性沈着 | Wesely (1989) * ガス状ヨウ素はSO ₂ と同様 | SPRINTARS |
| 湿性沈着 | 粒子: Terada et al. (2012) ガス: Binkowski and Roselle (2003) * ガス状ヨウ素はSO ₂ と同様 | SPRINTARS |
| 水平メッシュ | 3km | 3km |
| 鉛直層 | 34層(最下層19m) | 40層(最下層20m) |

(*) ガス状I-131の粒子化速度(擬一次反応を仮定)による感度解析を実施。粒子化速度は、双葉と南相馬を通るプルームにおける両地点の濃度差から設定(0.04/h、0.4/h)



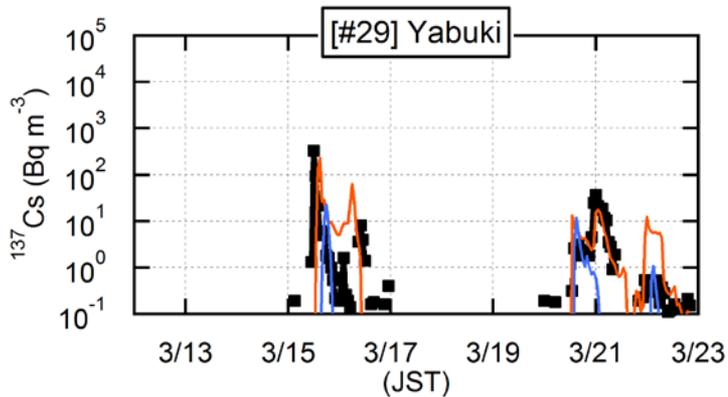
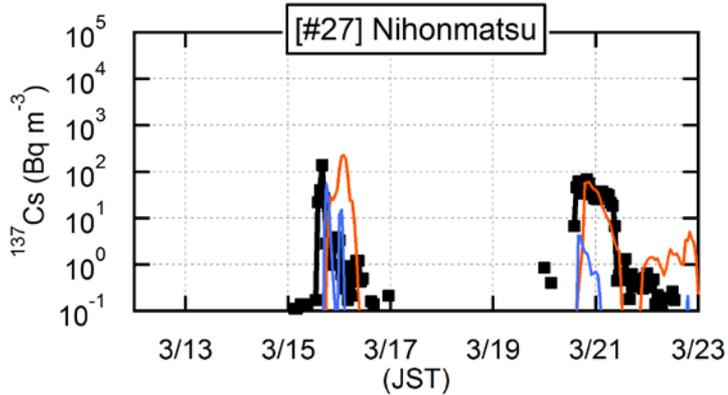
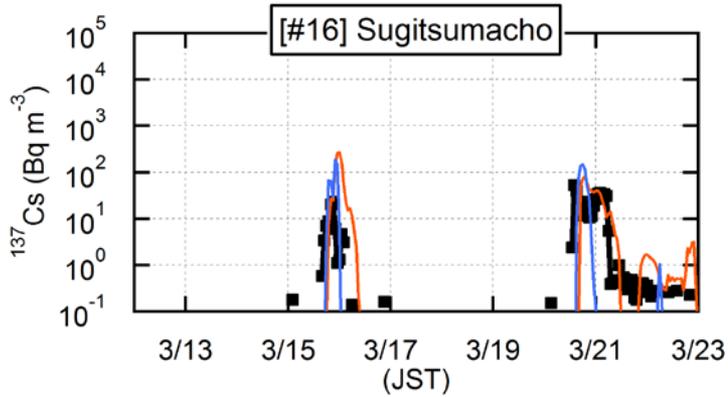
| 計算事例 | 放出量 | 湿性沈着モジュール | 気象場 |
|------|--|--------------|--------------------------------------|
| STD | Katata et al. (2015) ³⁾ 修正版 | WSPEEDIの除去係数 | Sekiyama et al. (2017) ⁴⁾ |
| WD2 | Katata et al. (2015) ³⁾ 修正版 | CMAQ | Sekiyama et al. (2017) ⁴⁾ |
| MET2 | Katata et al. (2015) ³⁾ 修正版 | WSPEEDIの除去係数 | 気象庁MSM |
| ST2 | Terada et al. (2012) ⁵⁾ | WSPEEDIの除去係数 | Sekiyama et al. (2017) ⁴⁾ |

- ✓ いずれかの設定が顕著に再現性が優れているということはない。
- ✓ これら4つのアンサンブル平均は、比較的安定にいずれの事例も再現しており、不確実性低減の方法として有用なことを示唆

Cs-137濃度の実測とATDMの比較

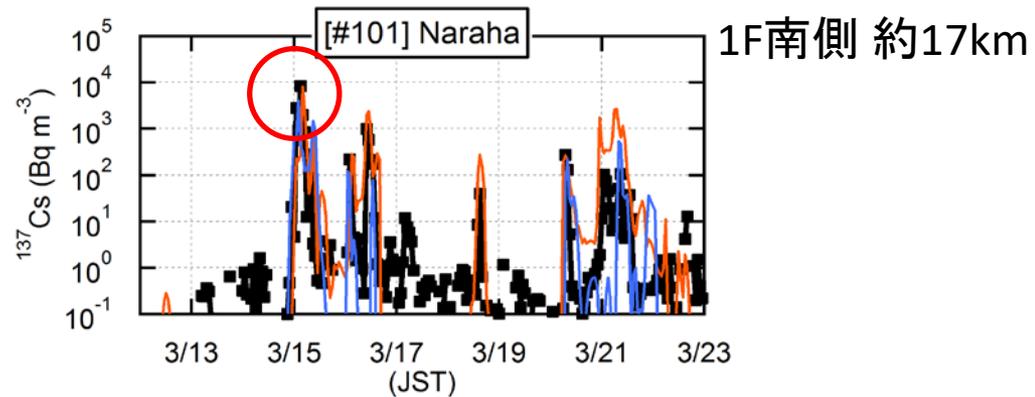
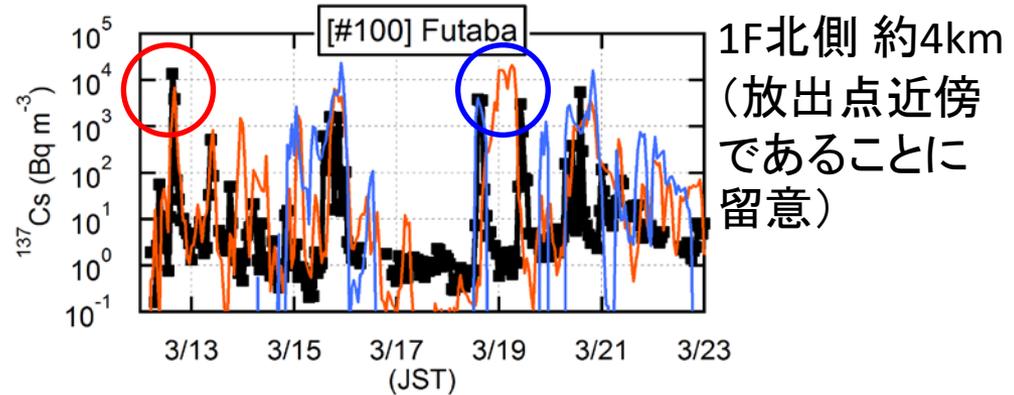
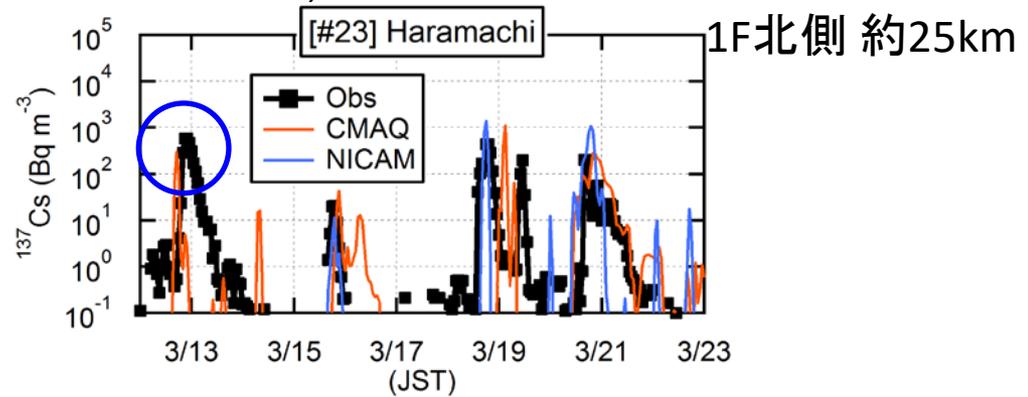
中通り

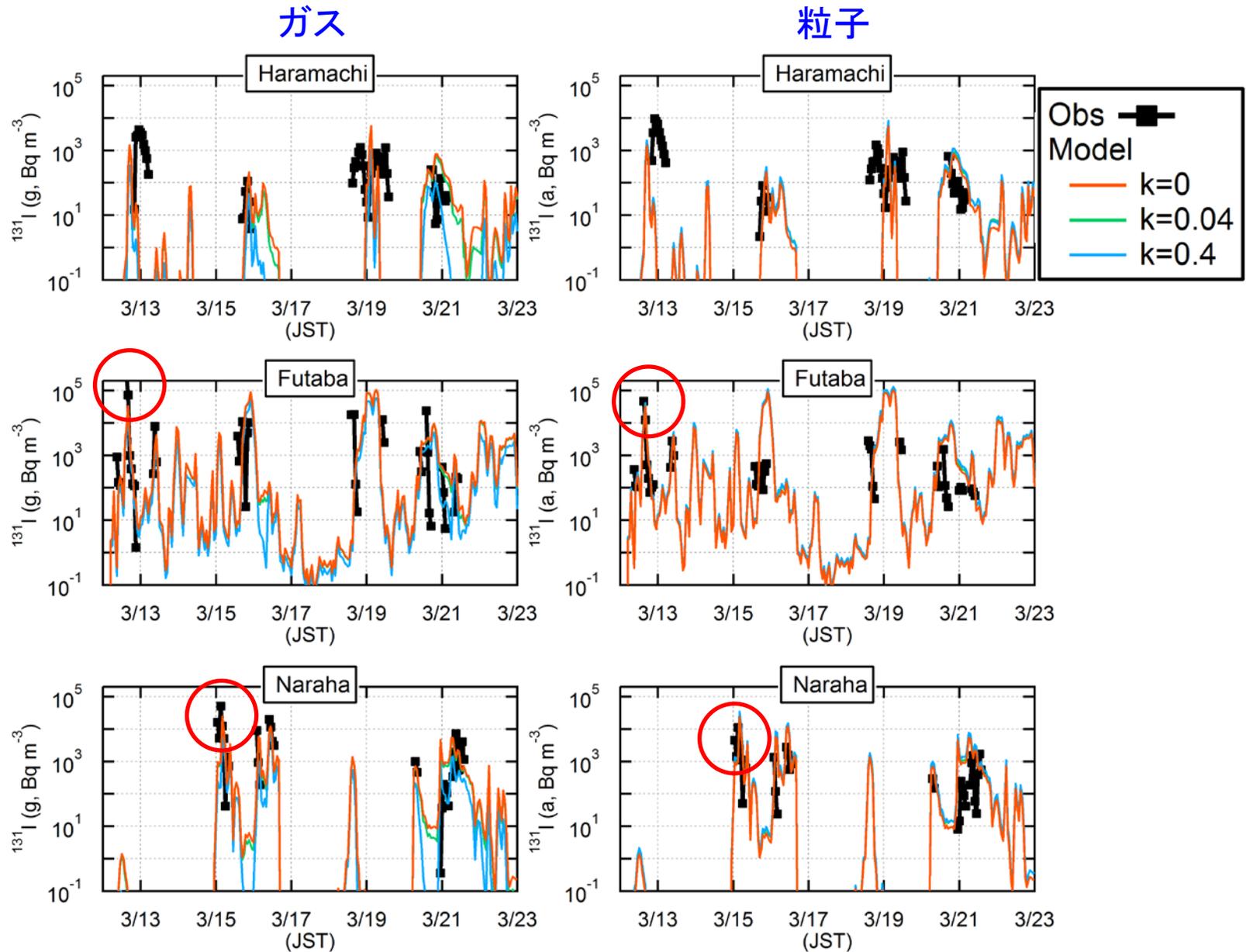
(15)(16) (20)
P2,3 P4 P8



浜通り

(3/12-13) (15)(16) (18)(19)(20)
P1 P2,3 P4 P5 P6 P8



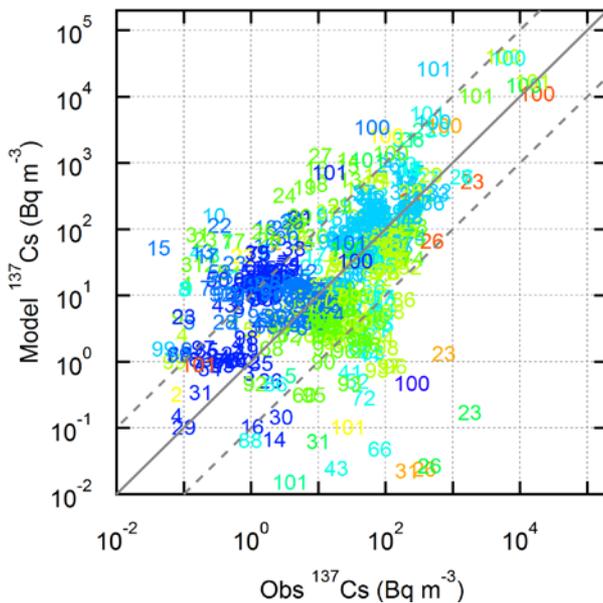


(注)ガス濃度の「実測値」は、Cs-137とI-129の実測結果に基づく推計値(鶴田ら)

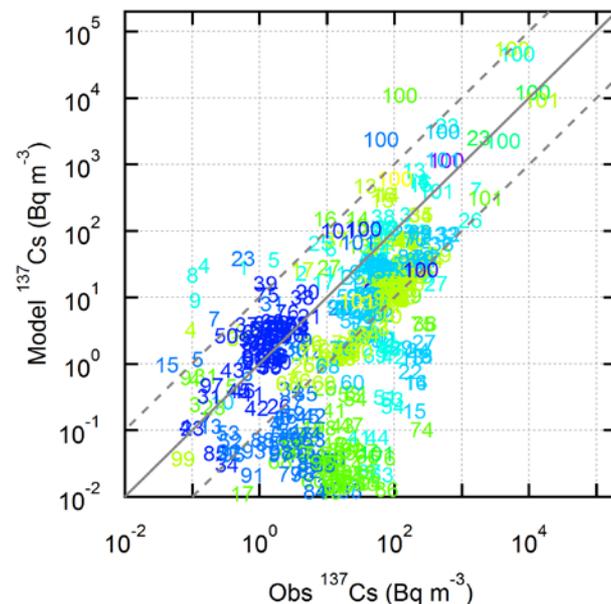
日積算濃度
= 濃度 × 時間
($\text{Bq m}^{-3} \text{ hr}$)



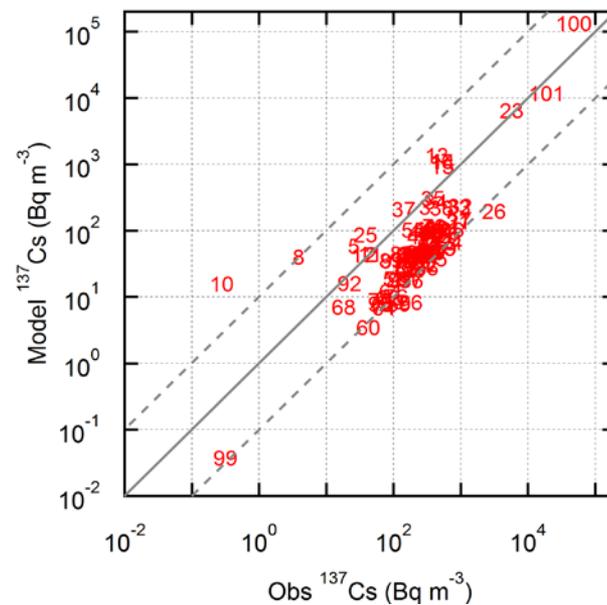
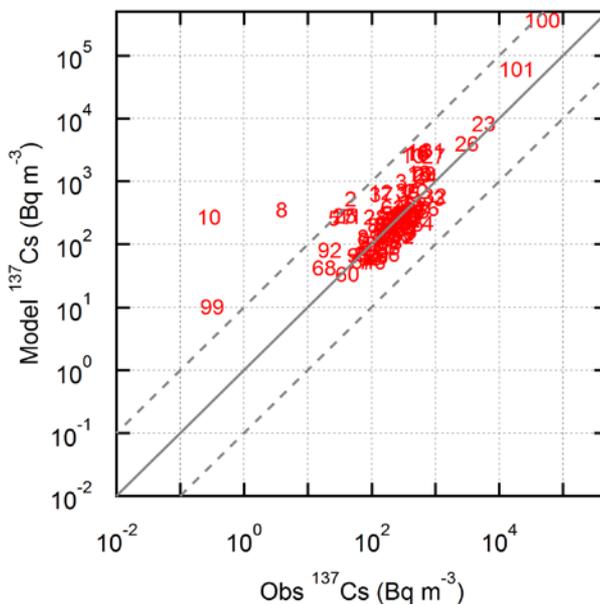
CMAQ



NICAM



期間積算濃度
= 濃度 × 時間
($\text{Bq m}^{-3} \text{ hr}$)

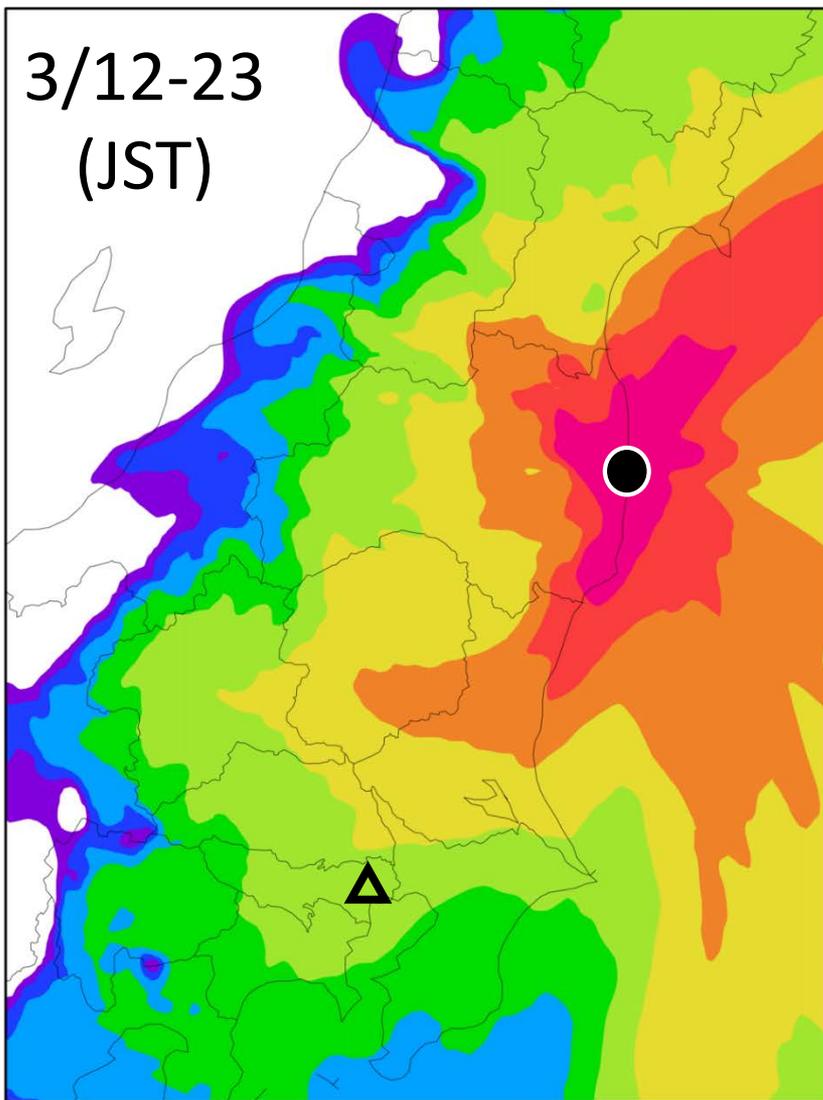


(注) 番号は地点を示す。

Cs-137期間積算濃度の地域分布(CMAQ計算結果)

accum conc_2011_3_12_00:00:00-2011_3_12_23:00:00

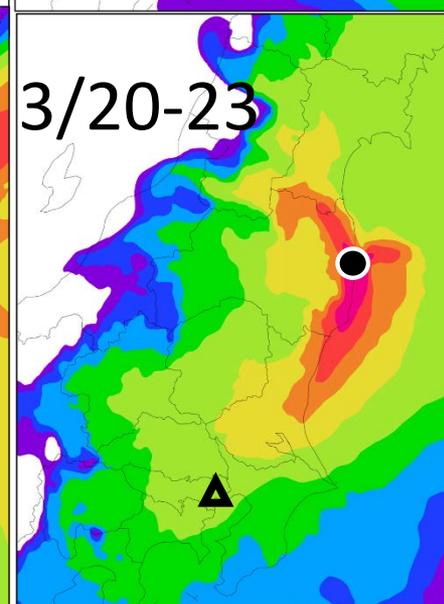
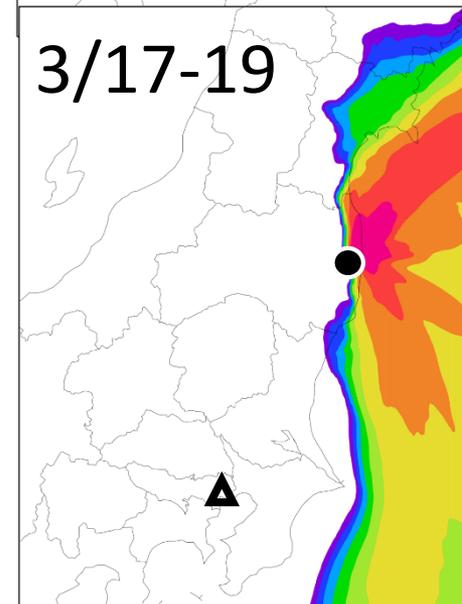
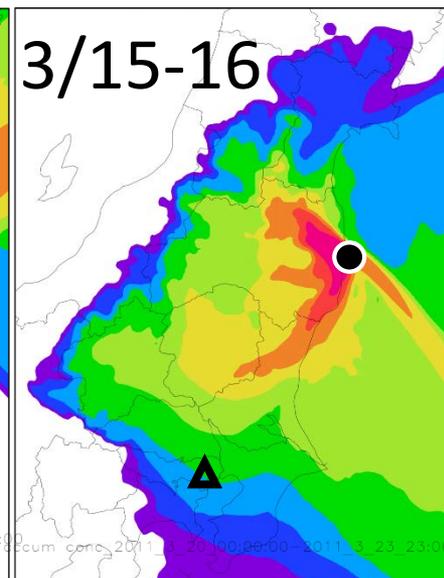
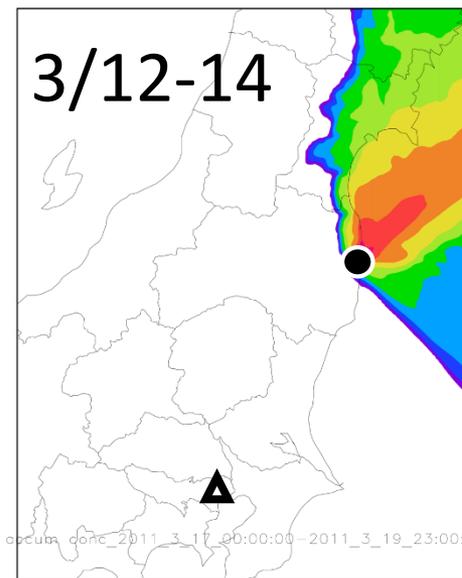
単位: $\log_{10}(\text{Bq}/\text{m}^3 \times \text{hr})$



● 福島第一原子力発電所

▲ 東京

accum conc_2011_3_12_00:00:00-2011_3_14_23:00:00



甲状腺等価線量の推計

ATDMに基づく毎時の大気中(Cs-137 or I-131)濃度1 kmメッシュデータ

頻度分布推計;人口
密度メッシュデータ
(H22国勢調査)

Cs-137計算濃度から推計する場合には、
・I-131/Cs-137=10(3プルームについて変更した感度解析)
・ガス・粒子比:1:1(4:1、9:1のケースで感度解析)

1kmメッシュ別甲状腺等価線量

$$E_{\text{inhalation}}(\text{I-131}) = \text{大気中濃度}_{\text{I-131}}(\text{Bq/m}^3) \times \text{曝露時間}(\text{day}) \times \text{呼吸率}(\text{m}^3/\text{day}) \times \text{係数}(\text{Sv/Bq})$$

3/11-3/24 屋外に滞在

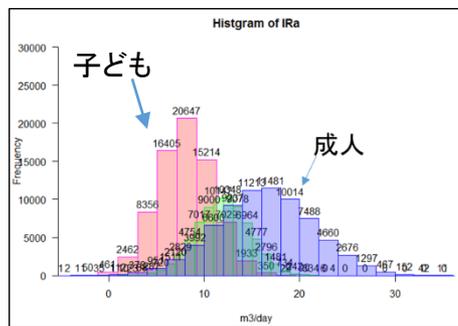
代表値 (m³/day, ICRP, Pub. 71)

| | 1歳児 | 10歳児 | 成人 |
|-----|------|------|------|
| 呼吸率 | 5.16 | 15.3 | 22.2 |

甲状腺等価線量係数
(Sv/Bq, ICRP, Pub71)

| I-131 | 1歳児 | 10歳児 | 成人 |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 甲状腺 P, 1μm, Type F | 1.4×10^{-6} | 3.7×10^{-7} | 1.5×10^{-7} |
| 甲状腺 Elemental I | 3.2×10^{-6} | 9.5×10^{-7} | 3.9×10^{-7} |

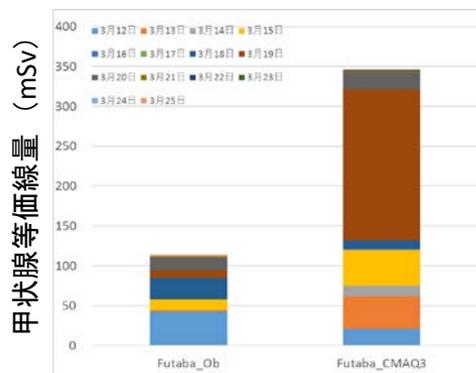
頻度分布:
(US EPA, 2011
のデータに基づ
き分布推計)



甲状腺等価線量の評価ケース

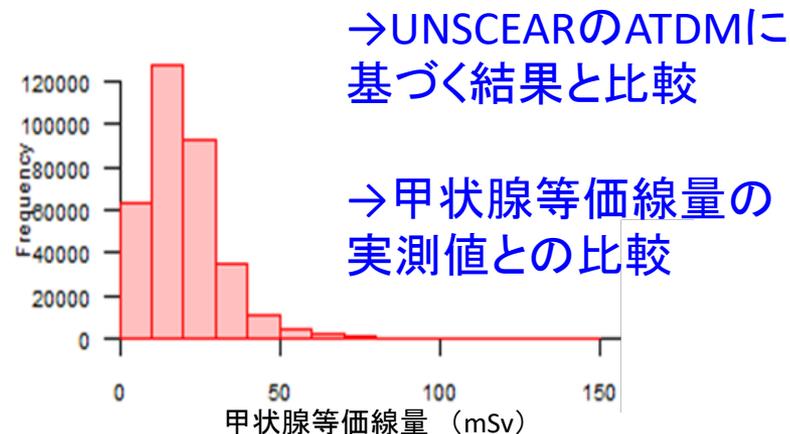
—①地点別、②市町村別、③避難パターン別—

①大気濃度測定地点における日別の線量



→Cs-137観測値に基づく結果とATDMに基づく結果とを比較

②市町村(20km圏外)別の線量ヒストグラム(地域内分布)



→UNSCEARのATDMに基づく結果と比較

→甲状腺等価線量の実測値との比較

③避難パターン別の線量、避難による回避線量

避難18パターン (放射線医学総合研究所)

| | |
|---|---|
| 1 富岡町役場(12日03時->06時)川内村役場(16日10時->16時)ビッグパレットふくしま | 10 広野町20km圏内(12日01時->08時)小野町役場 |
| 2 大熊町役場(12日10時->13時)船引就業改善センター | 11 川内村20km圏内(13日10時->11時)川内村小学校(16日10時->16時)ビッグパレットふくしま |
| 3 双葉町役場(12日03時->08時)川俣小学校(19日10時->16時)さいたまスーパーアリーナ | 12 葛尾村20km圏内(14日10時->18時)あづま総合体育館 |
| 4 双葉町役場(12日16時->21時)川俣小学校(19日10時->17時)さいたまスーパーアリーナ | 13 浪江町つしま活性化センター(23日10時->14時)安達体育館 |
| 5 檜葉町役場(12日09時->13時)いわき市役場(31日10時->12時)船引就業改善センター | 14 葛尾村役場(21日10時->12時)あづま総合体育館 |
| 6 檜葉町役場(12日09時->13時)いわき市役場(16日10時->15時)会津美里町役場 | 15 飯館村役場(5/29日10時->11時)福島市役所飯野支所 |
| 7 浪江町役場(12日12時->15時)浪江町つしま活性化センター(16日10時->14時)安達体育館 | 16 飯館村役場(6/21日10時->11時)福島市役所飯野支所 |
| 8 田村市20km圏内(12日07時->08時)デンソウ東日本 | 17 南相馬市計画避難区域(5/20日10時->10時半)南相馬市市役所 |
| 9 南相馬市20km圏内(15日10時->16時)伊達市役所 | 18 川俣町計画避難区域(6/1日10時->10時半)川俣町役場 |

→先行研究結果(WSPEDI IIに基づく推計等)と比較

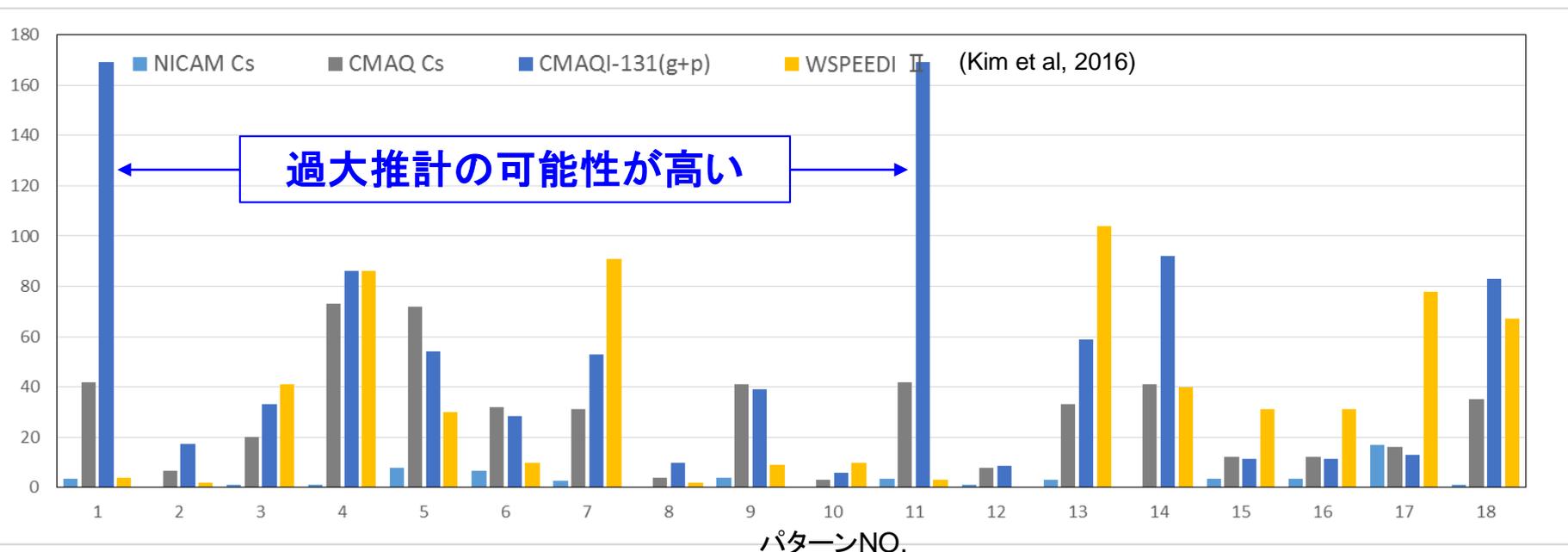
→避難による回避線量の試算

避難パターン別の甲状腺等価線量推計結果(ベースケース)

避難パターン毎の推定甲状腺等価線量(mSv)

1歳児での推計

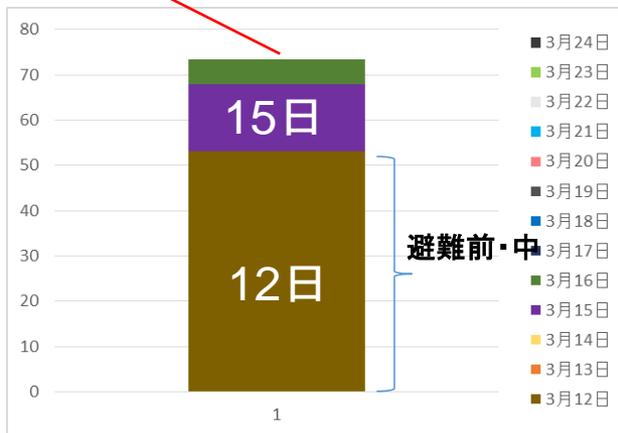
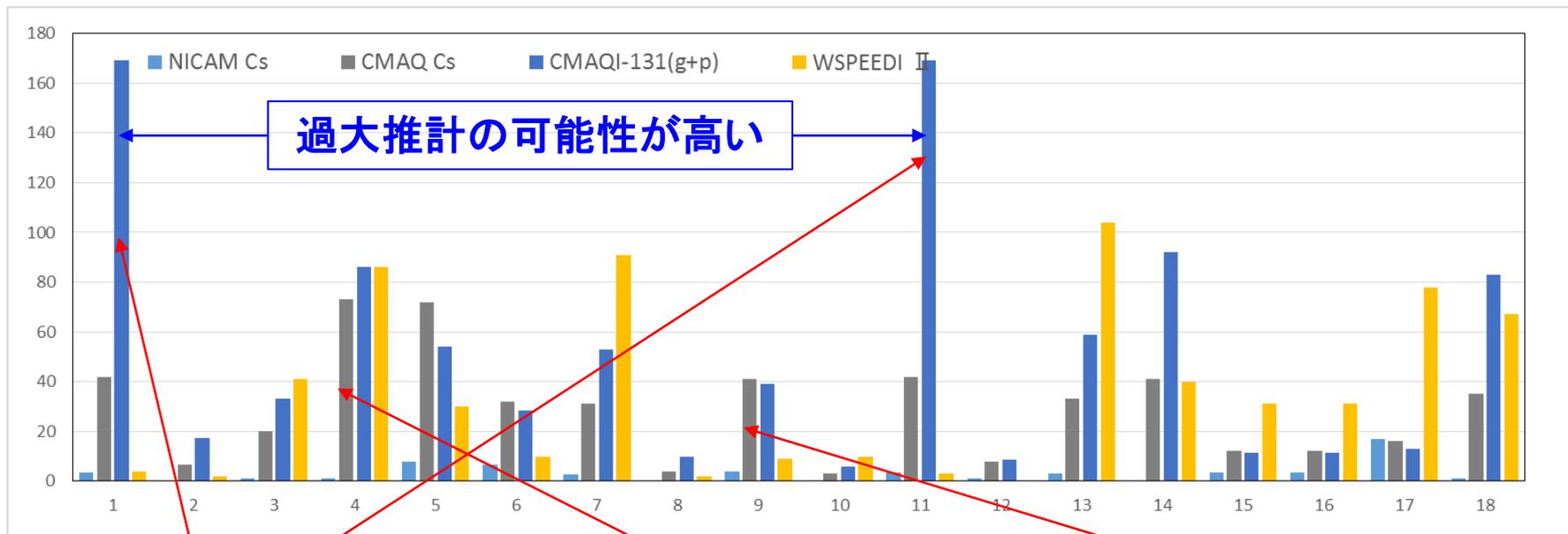
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|
| NICAM Cs | 4 | <1 | 1 | 1 | 8 | 7 | 3 | <1 | 4 | <1 | 4 | 1 | 3 | <1 | 4 | 4 | 17 | 1 |
| CMAQ Cs | 42 | 7 | 20 | 73 | 72 | 32 | 31 | 4 | 41 | 3 | 42 | 8 | 33 | 41 | 12 | 12 | 16 | 35 |
| CMAQ I-131g | 118 | 12 | 23 | 60 | 38 | 20 | 37 | 7 | 27 | 4 | 118 | 6 | 41 | 64 | 8 | 8 | 9 | 58 |
| CMAQ I-131p | 51 | 5 | 10 | 26 | 16 | 8 | 16 | 3 | 12 | 2 | 51 | 3 | 18 | 28 | 4 | 4 | 4 | 25 |
| CMAQI-131(g+p) | 169 | 17 | 33 | 86 | 54 | 28 | 53 | 10 | 39 | 6 | 169 | 9 | 59 | 92 | 12 | 12 | 13 | 83 |
| WSPEEDI II | 4 | 2 | 41 | 86 | 30 | 10 | 91 | 2 | 9 | 10 | 3 | 0 | 104 | 40 | 31 | 31 | 78 | 67 |



避難18パターン

| | |
|---|---|
| 1 富岡町役場(12日03時→06時)川内村役場(16日10時→16時)ビッグパレットふくしま | 10 広野町20km圏内(12日01時→08時)小野町役場 |
| 2 大熊町役場(12日10時→13時)船引就業改善センター | 11 川内村20km圏内(13日10時→11時)川内村小学校(16日10時→16時)ビッグパレットふくしま |
| 3 双葉町役場(12日03時→08時)川俣小学校(19日10時→16時)さいたまスーパーアリーナ | 12 葛尾村20km圏内(14日10時→18時)あづま総合体育館 |
| 4 双葉町役場(12日16時→21時)川俣小学校(19日10時→17時)さいたまスーパーアリーナ | 13 浪江町つしま活性化センター(23日10時→14時)安達体育館 |
| 5 檜葉町役場(12日09時→13時)いわき市役場(31日10時→12時)船引就業改善センター | 14 葛尾村役場(21日10時→12時)あづま総合体育館 |
| 6 檜葉町役場(12日09時→13時)いわき市役場(16日10時→15時)会津美里町役場 | 15 飯館村役場(5/29日10時→11時)福島市役所飯野支所 |
| 7 浪江町役場(12日12時→15時)浪江町つしま活性化センター(16日10時→14時)安達体育館 | 16 飯館村役場(6/21日10時→11時)福島市役所飯野支所 |
| 8 田村市20km圏内(12日07時→08時)デンソー東日本 | 17 南相馬市計画避難区域(5/20日10時→10時半)南相馬市市役所 |
| 9 南相馬市20km圏内(15日10時→16時)伊達市役所 | 18 川俣町計画避難区域(6/1日10時→10時半)川俣町役場 |

避難パターンの日別内訳の推定例



(1) 富岡(12日早朝)川内(16日昼間)郡山

(4) 双葉(12日夜)川俣(19日昼間)さいたま

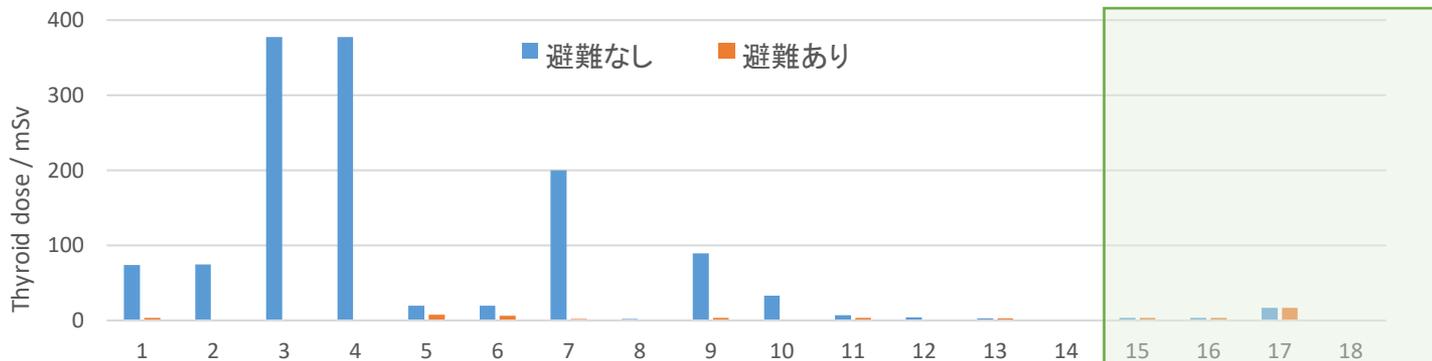
(9) 南相馬20km圏内(15日昼間)伊達

(11) 川内20km圏内(13日昼前)川内(16日昼間)郡山

(注) 屋外に滞在した場合の推計結果であり、実際には屋内滞在により線量が少ない可能性がある。
(例えば、パターン1、11において3/16未明に川内村役場・小学校で被ばくしたと考えられるケース)

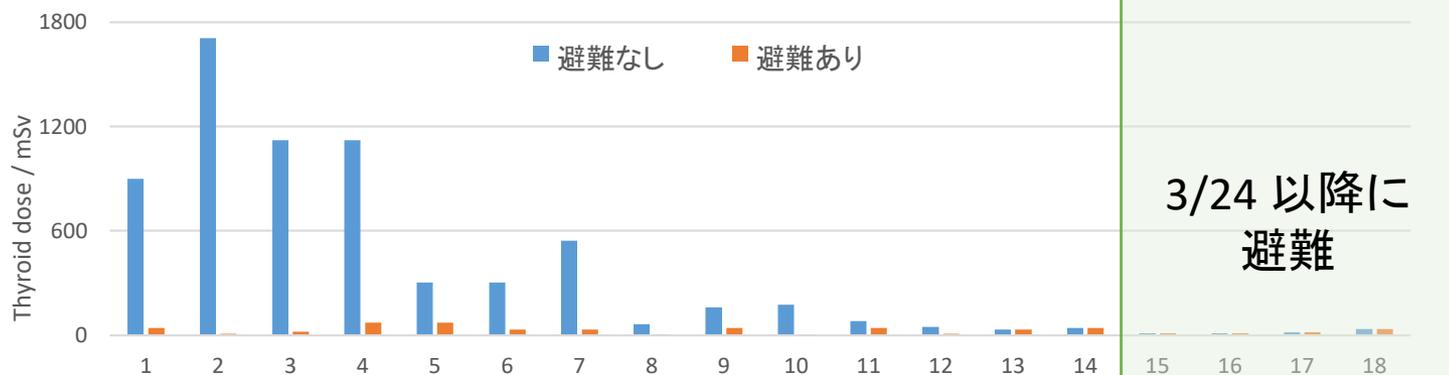
避難による回避甲状腺等価線量

NICAM
(Cs-137 based)



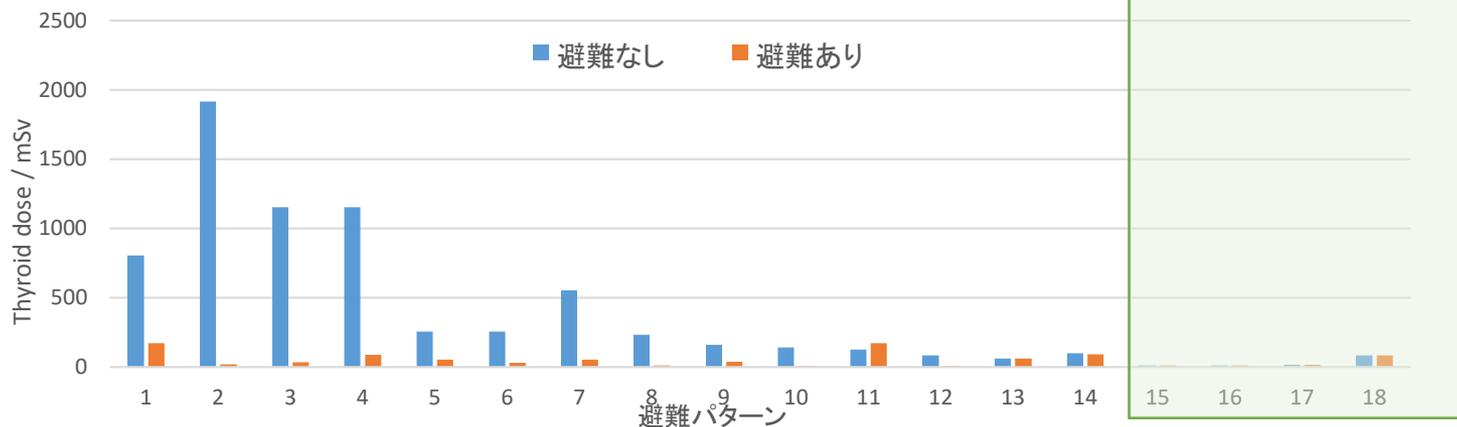
CMAQ
(Cs-137 based)

甲状腺等価線量 (mSv)



3/24 以降に
避難

CMAQ
(I-131 based)



避難パターン

初期地点： 1:富岡町役場、2:大熊町役場、3, 4:双葉町役場、5,6:楢葉町役場、7:浪江町役場、
【20km圏内(本推計では域内の最高濃度メッシュに設定)8:田村市、9:南相馬市、10:広野町、11:川内村、12:葛尾村】、
13:浪江町つしま活性化センター、14:葛尾村役場

高い被ばくを受けた可能性のある日時・地域、 不確実性の程度・要因

| 対象地域 | | プルーム到達日 | 日 (2011年3月) | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----|----|-------|------------------------------------|-----|------|
| | | プルーム番号 | 12-13 | 15 | | 16 | 18 | 19 | 20-21 | 21 | | |
| | | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P8 | P9 | P9' | |
| 福島県 浜通り | 原発北 | 12日夕方～ 13日午前 | | | 午後 | | | 午後 | 昼頃 | 20日午後～ 21日午前 | | |
| | 原発北西 | | | | 午後 | | | | | | | |
| | 原発南西 | | | 午前 | | 未明、昼頃 | | | | | | |
| | 原発南 | | | 午前 | | 未明、昼頃 | | | | 20日朝 | 未明 | 朝～午後 |
| 福島県 中通り | | | | | 午後 | | | | | 20日午後～ 21日午前 | | |
| 関東 | 茨城・千葉北西部 | | | 午前 | | | | | | | 朝 | |
| | 茨城南東・千葉北東部 | | | | | 朝、午後 | | | | | | |
| | 栃木・群馬・埼玉 | | | 午後 | | | | | | | | |
| 不確実性 の要因 | 主要な問題・課題 | プルームを再現できない | 原発近傍の再現性、山岳域での湿性沈着計算に課題 | 左記に加えて、原発北西方向の湿性沈着計算に大きな課題 | 原発北西方向への輸送の再現が困難、ソースタームの不確実性が大きい | プルームを再現できない、ソースタームの不確実性が大きい | — | | | プルームを再現できず、関東の高濃度を過小評価、浜通り南部では過大評価 | | |
| | 気流拡散場 | ○ | | | | ○ | ○ | | | | | ○ |
| | ソースターム | ○ | | | | ○ | ○ | | | | | |
| | 湿性沈着(降水を含む) | | | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ |
| | l/Cs比、l存在形態 | ○ (l/Cs比が大) | | | | ○ (l/Cs比が大) | | | | | | |

(注)プルーム番号はTsuruta et al. (2018)を参照

- ① ATDMはCs-137、I-131濃度の時間変動の特徴を再現するが、特徴を再現できないプルームもある。引き続き、改良が必要。モデルアンサンブル平均により全てのプルームを安定的に計算できる可能性を示唆。
- ② 大気濃度測定地点において、Cs-137実測値、Cs-137とI-131のATDM値をもとにした推計線量は最大で1オーダー程度異なる。また、Cs-137ベースの推計では、I/Cs比とI-131ガス粒子比によって最大でファクター2程度変化する。
- ③ 幾つかの避難パターンにおいて高線量が推計された。避難前・中あるいは避難先で、3/12、15、16に高濃度プルームに遭遇した可能性があるが、ソースタームやATDM、避難行動等の精査が必要である。
- ④ 最大の課題は、より確かな線量評価結果を示すこと
 - ✓ ATDM、I-131/Cs-137比、ガス/粒子比の更なる検討
 - ✓ I-131濃度推計方法による線量の違いの評価
 - ✓ 高線量と推計されたケースの精査
 - ✓ 避難住民の行動の把握・解析

⇒ 個人線量を評価し、県民健康調査結果と比較