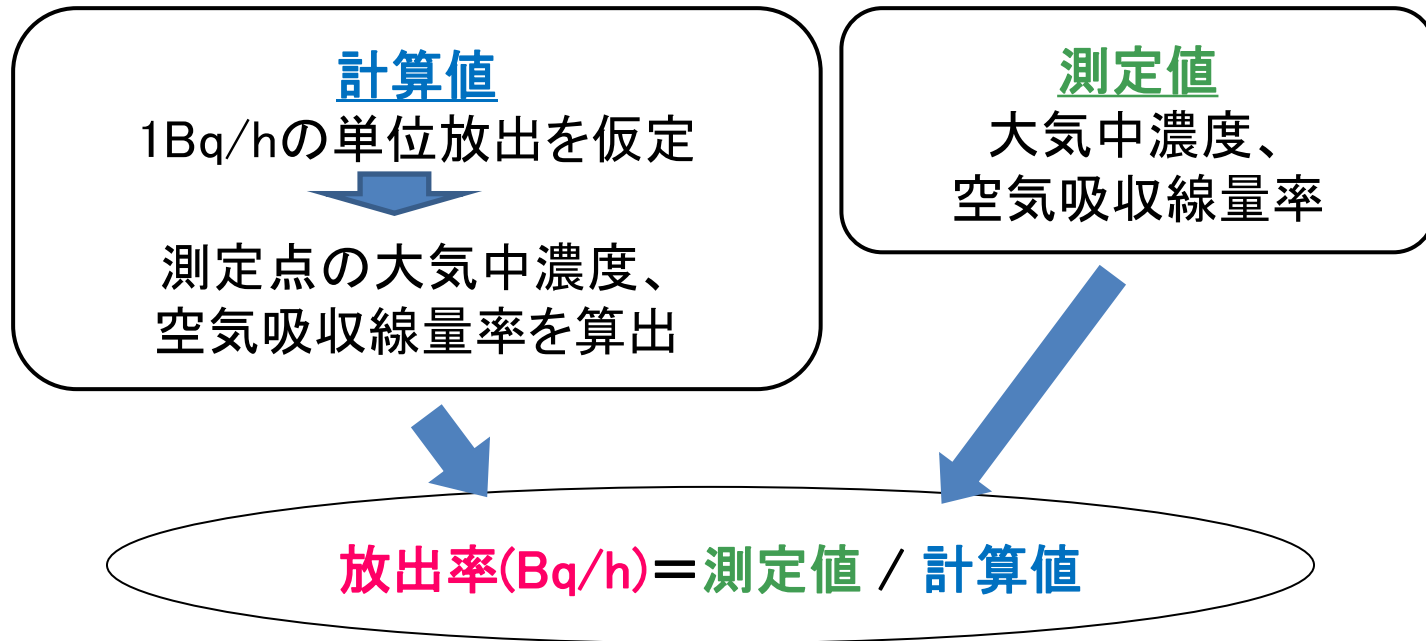


WSPEEDIによるソースターム推定と 汚染拡大プロセスの解明

1. 大気放出量の逆推定
2. 放射性物質の大気拡散・地表沈着プロセスの解明
3. 原子力緊急時における計算予測と環境モニタリングの役割

茅野 政道
日本原子力研究開発機構

1. 大気放出量の逆推定 — 推定手法の概念 —



放出量推定フロー

環境モニタリング

陸側の大気中濃度、沈着量、
空間線量率測定

拡散シミュレーション

大気拡散、地表沈着、
空間線量率計算

逆推定

プルームが陸側に流れた時
の放出量時間変動

ソースターム初期値

海表面濃度測定

大気拡散・沈着
+ フォールアウトの海洋拡散

逆推定

プルームが陸側及び海側に流れた時の
包括的な放出量時間変動結果

使用した環境モニタリングデータ

放出量推定に利用

1. 文部科学省が実施した福島県内でのダストサンプリングデータ (3/20～)
 2. JAEA 東海サイトのダストサンプリングデータ
 3. 福島県のモニタリングポストデータ(一部) (3/12～3/16)
 4. 福島県の可搬型モニタリングポストデータ(3/12～3/16)
 5. 福島第2原子力発電所でのモニタリングデータ(3/12～3/31)
 6. JAEA 東海サイトのダストサンプリングデータ
7. 海洋調査による海表面放射能濃度

検証に利用

1. JAEA 航空機サーベイによる地表沈着量分布
2. 都道府県による放射性物質の降下量調査
3. 米国等、国外での大気中放射能濃度
4. 国外の計算予測システムによる相互比較

WSPEEDIの計算フロー図

オンライン情報

気象庁数値予報
GPV (GSM, MSM)
地球規模、日本
全体の気象予報

初期条件、
境界条件

**大気力学モデルによる
予測対象範囲の詳細な
3次元気象場の予報**
(運動方程式、熱力学方程式、湿度方程式等の数値シミュレーション)

放出源情報 or
単位放出情報

**粒子拡散モデルによる
大気拡散・地表沈着計算**
(放射性物質を仮定した粒子の拡散状況をモンテカルロシミュレーション)

大気中濃度、地表沈着量、
外部及び内部被ばく線量

データベース

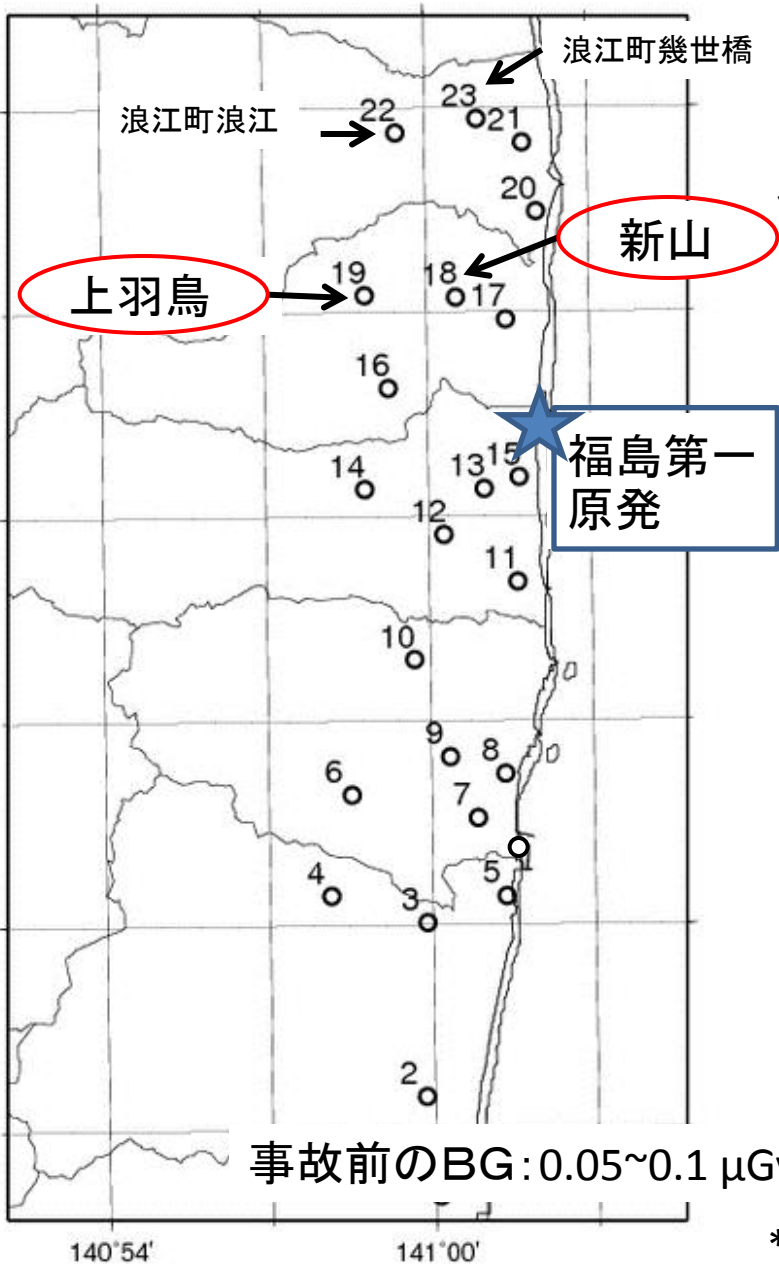
領域地形情報

発電所位置情報

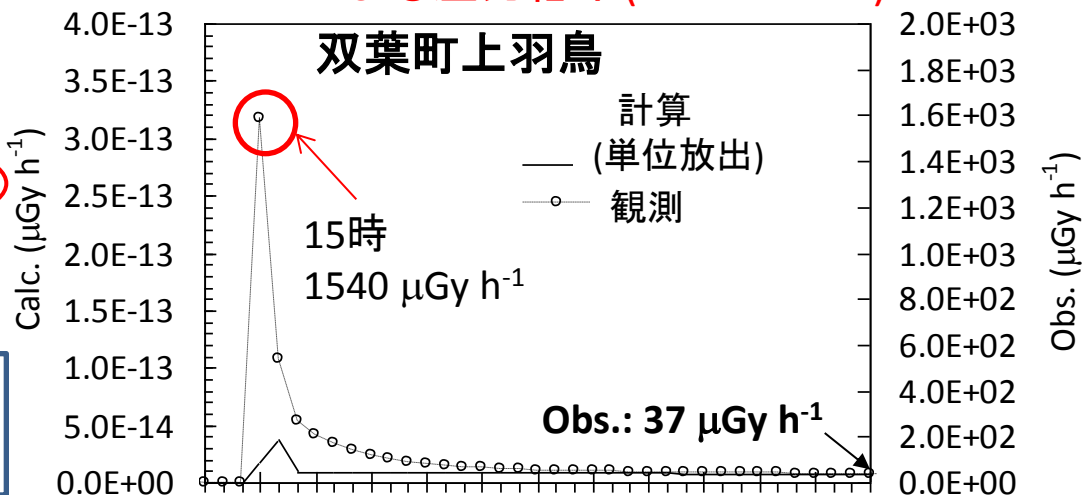
核種物理情報

核種組成比率情報

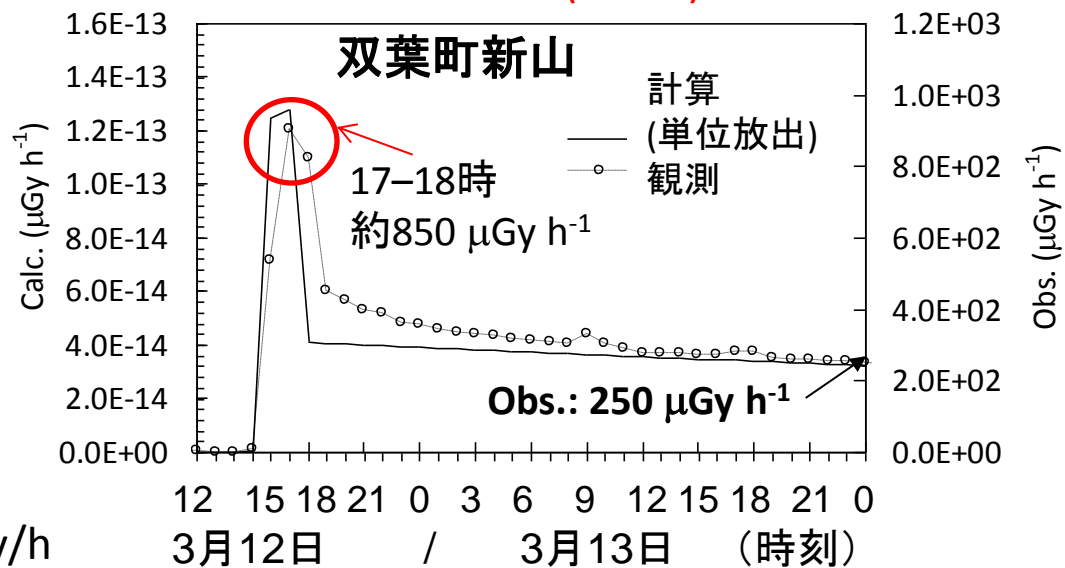
福島県モニタリングデータによる再推定* (3月12日午後)



ベントによる圧力低下(14:30-15:00)



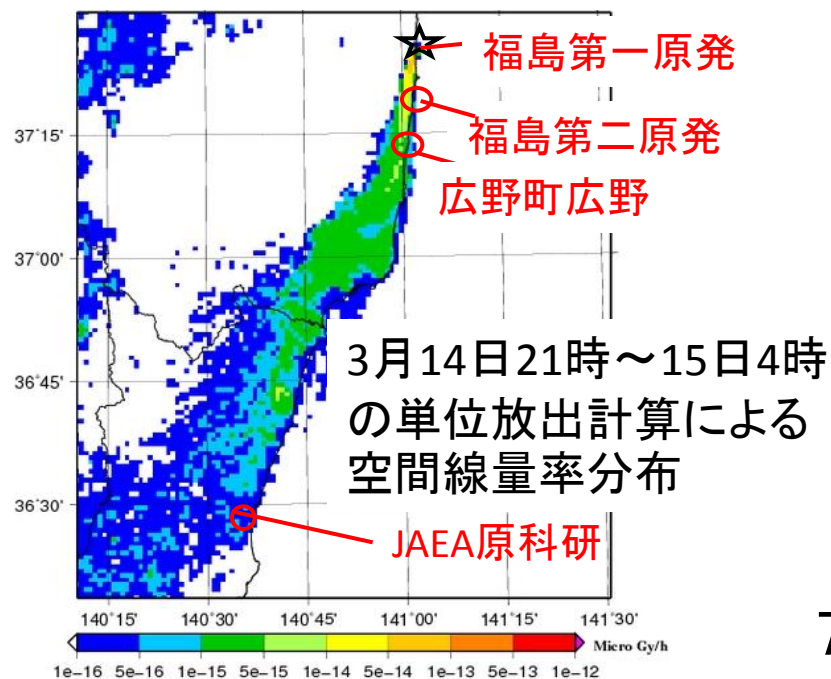
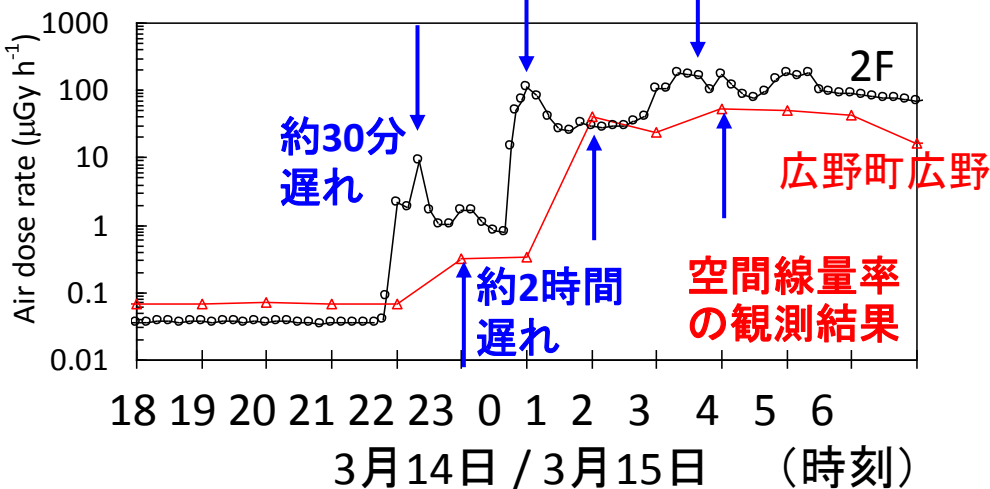
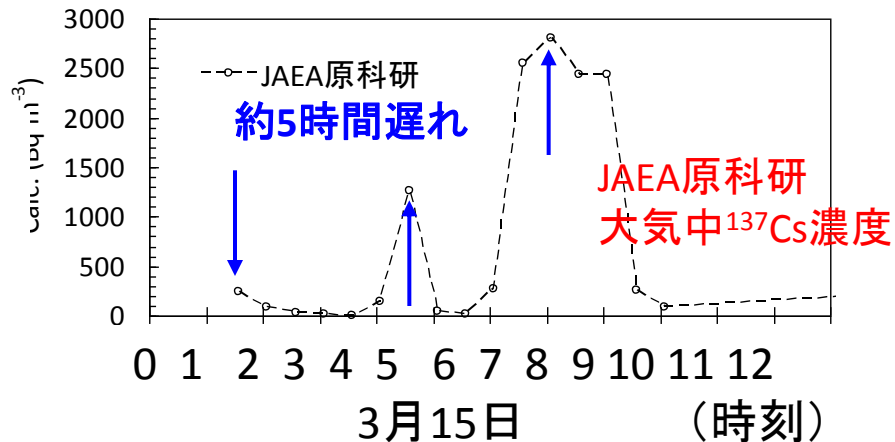
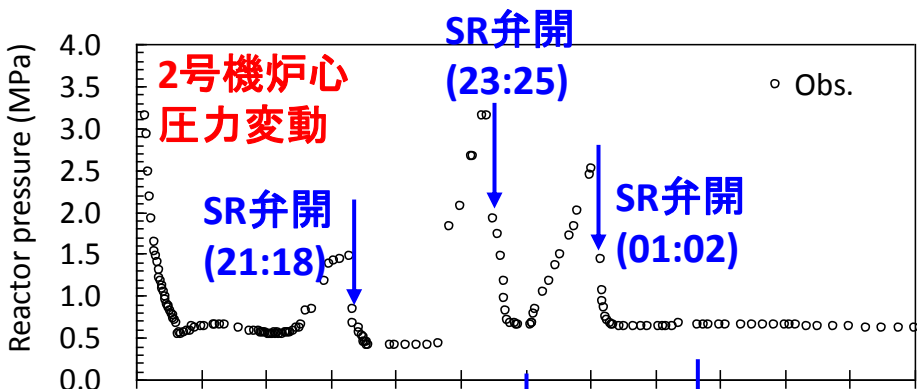
ベントや水素爆発(15:36)



* 平成24年度日本原子力学会年会口頭発表

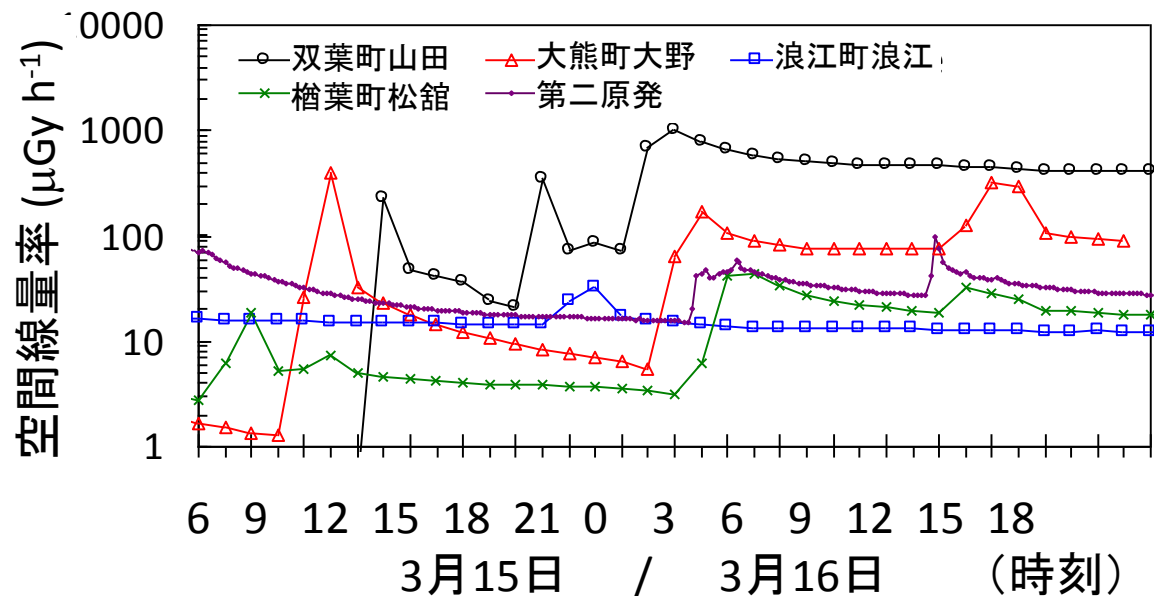
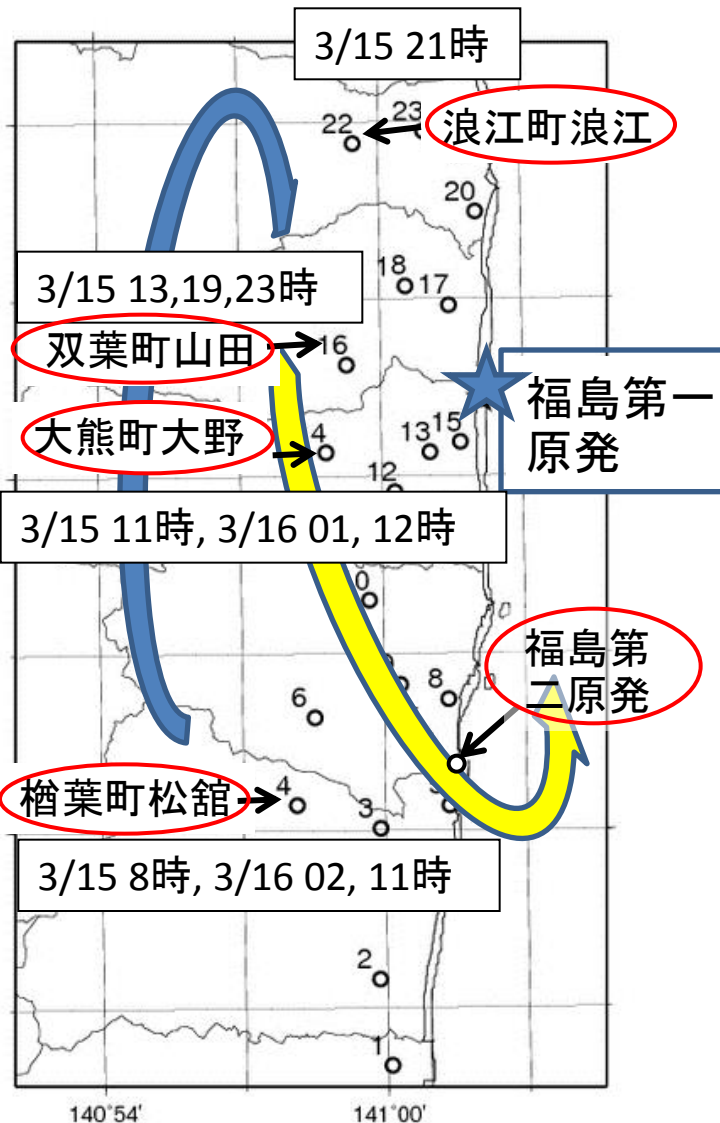
福島県モニタリングデータによる再推定

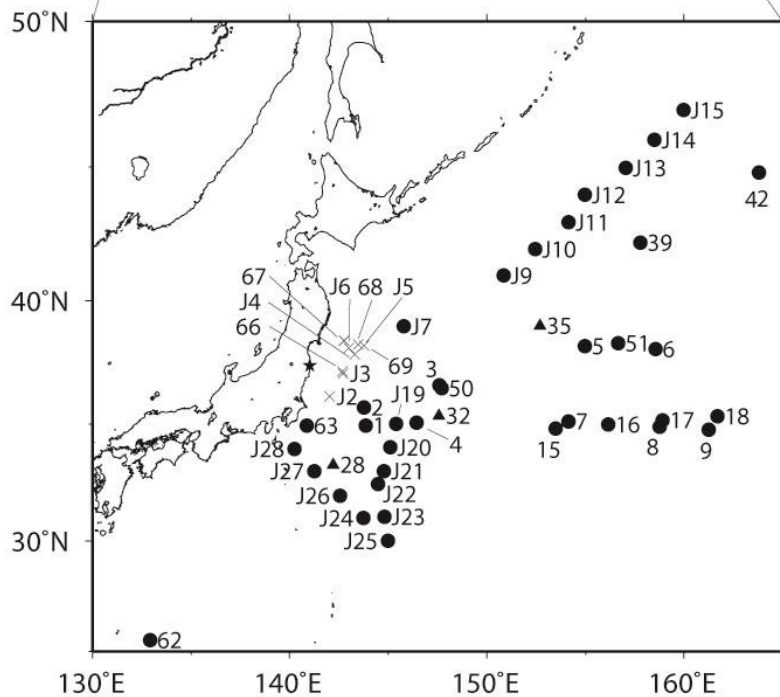
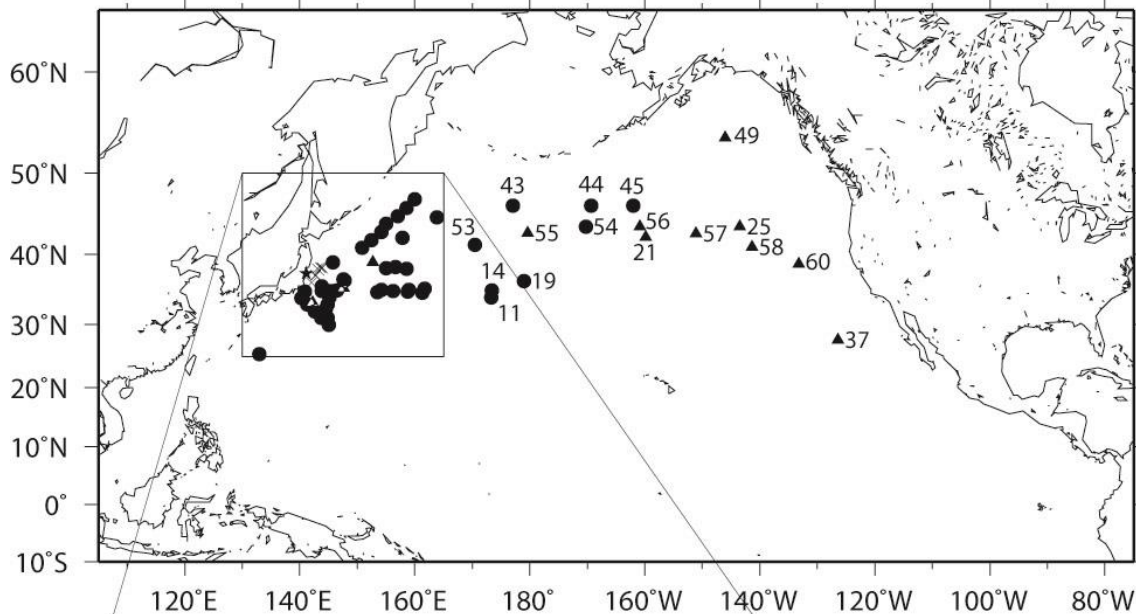
(3月14日夜間から15日未明)



福島県モニタリングデータによる再推定

(3月15日午前から16日午後)



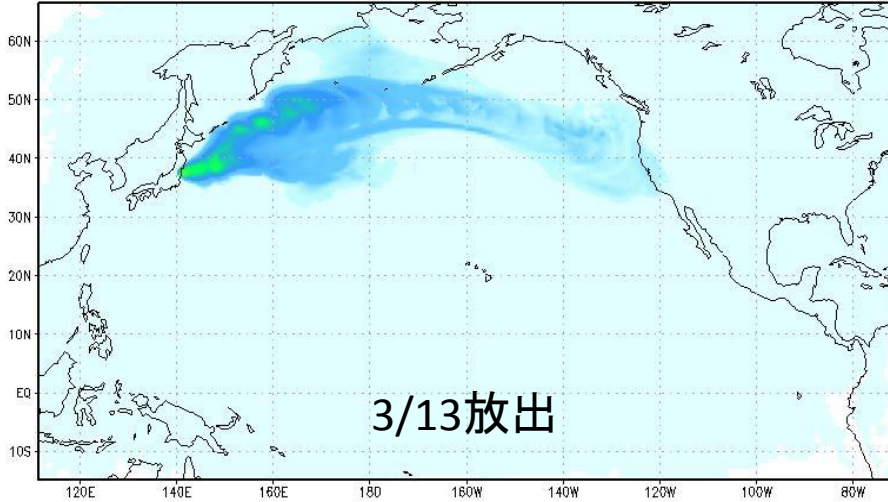


計算領域と大気放出量の再推定 に用いた海洋観測点。

×は予備計算によって海洋への直接放出の
影響が考えられる測点。
頭文字に“J”が付く測点はHonda et al. (2012)、
他は気象研の観測点を示す。

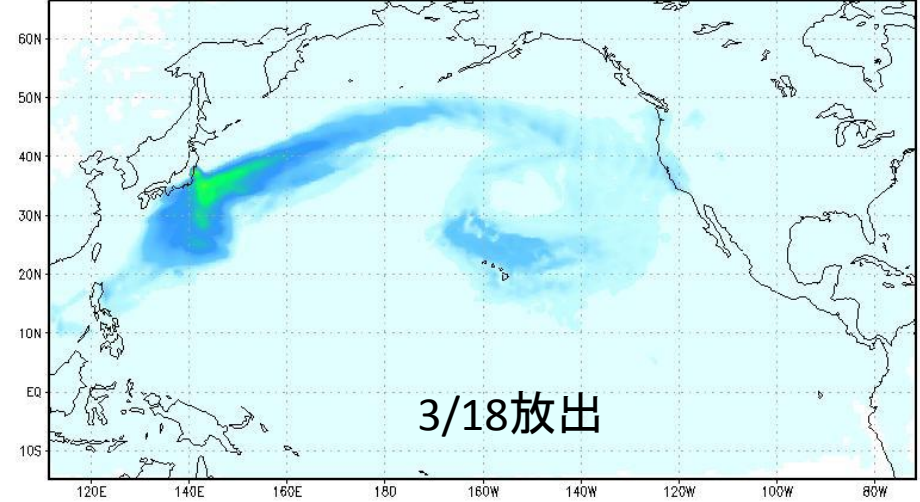
WSPEEDIで計算した積算沈着量

Total Atmospheric Deposition [Bq/m^2] r02



3/13放出

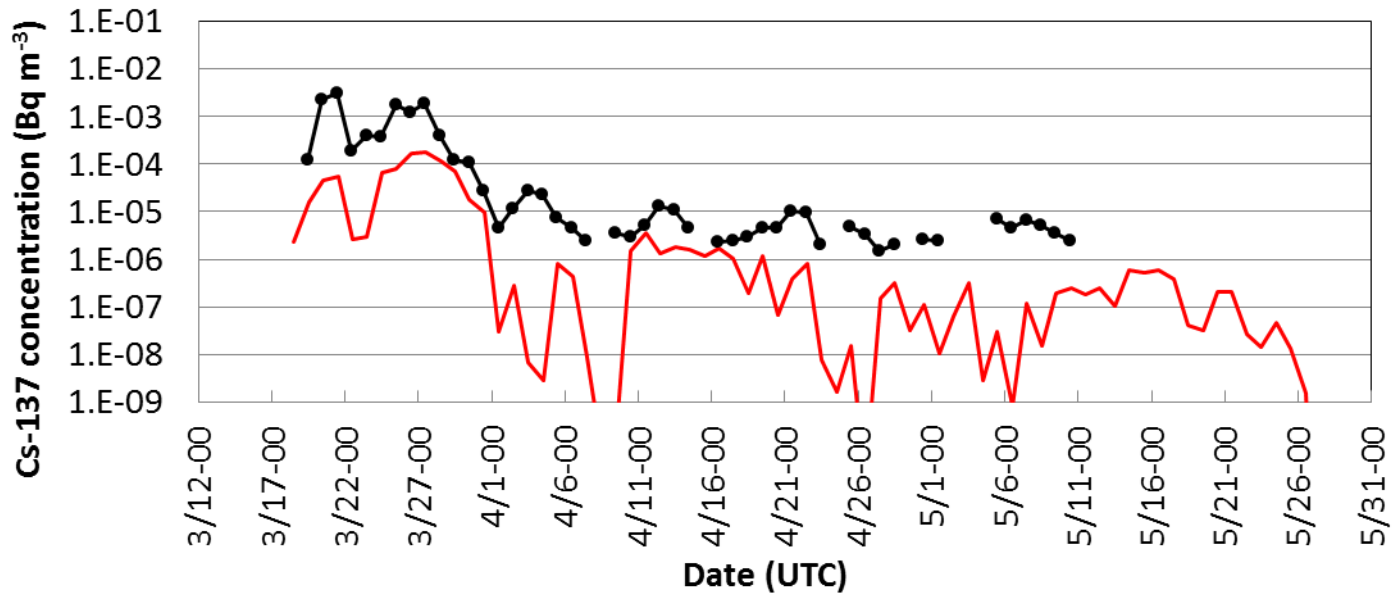
Total Atmospheric Deposition [Bq/m^2] r10



3/18放出

USP79 Oahu

— CAL ● OBS



推定結果(3月前半)

プラント事象との関連

3月12日
1号機 ベント 14:00-15:00
1号機 水素爆発 15:36

3月13日
3号機ベント
9:24, 12:30

3月14日
3号機
水素爆発
11:01

3月15日 2号機 DW圧力
低下7:00-11:25

2号機
SR弁開:
3月14日
21:30,
23:25
3月15日
01:02

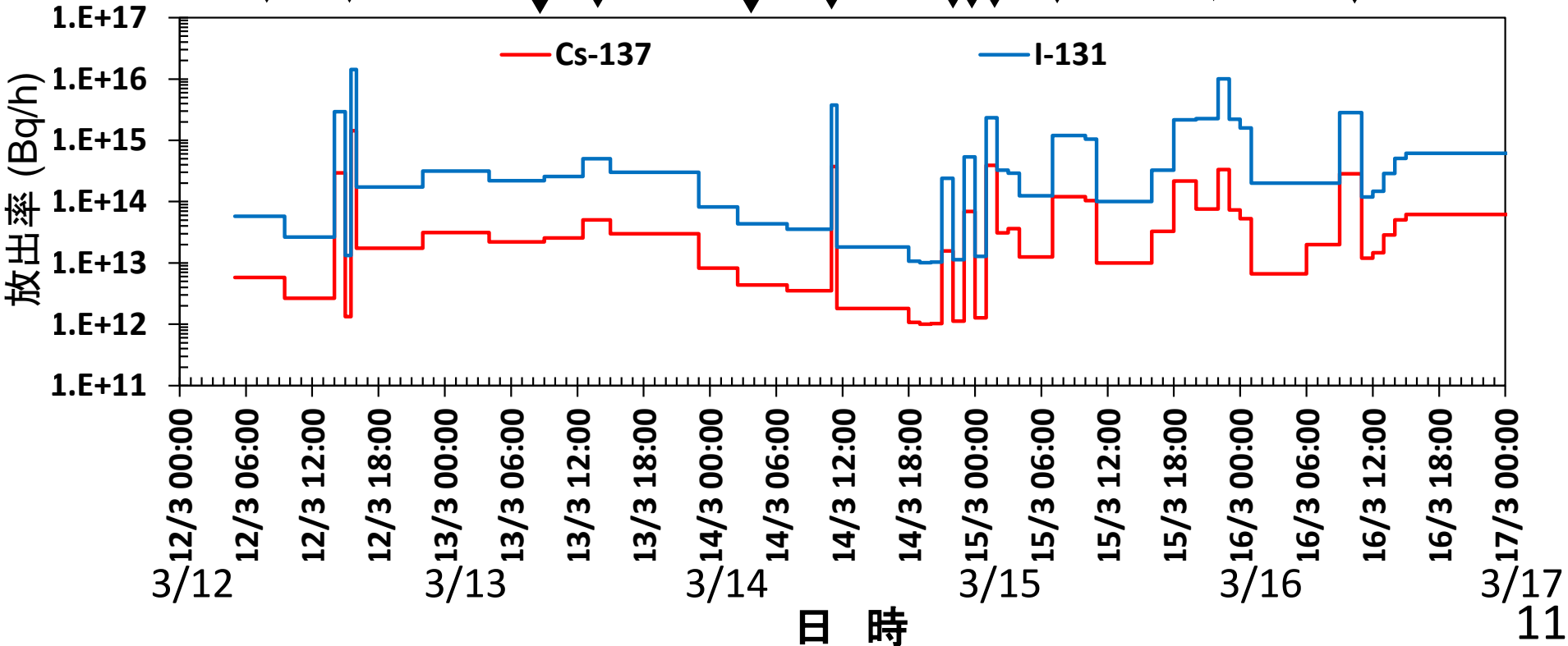
3月15日
3号機 ベント
16:05 ~
2, 3号機 DW圧
力低下
16:00-01:00

3月16日
3号機 DW
圧力低下
09:00-12:00

3月12日午前
1号機 DW
圧力上昇.

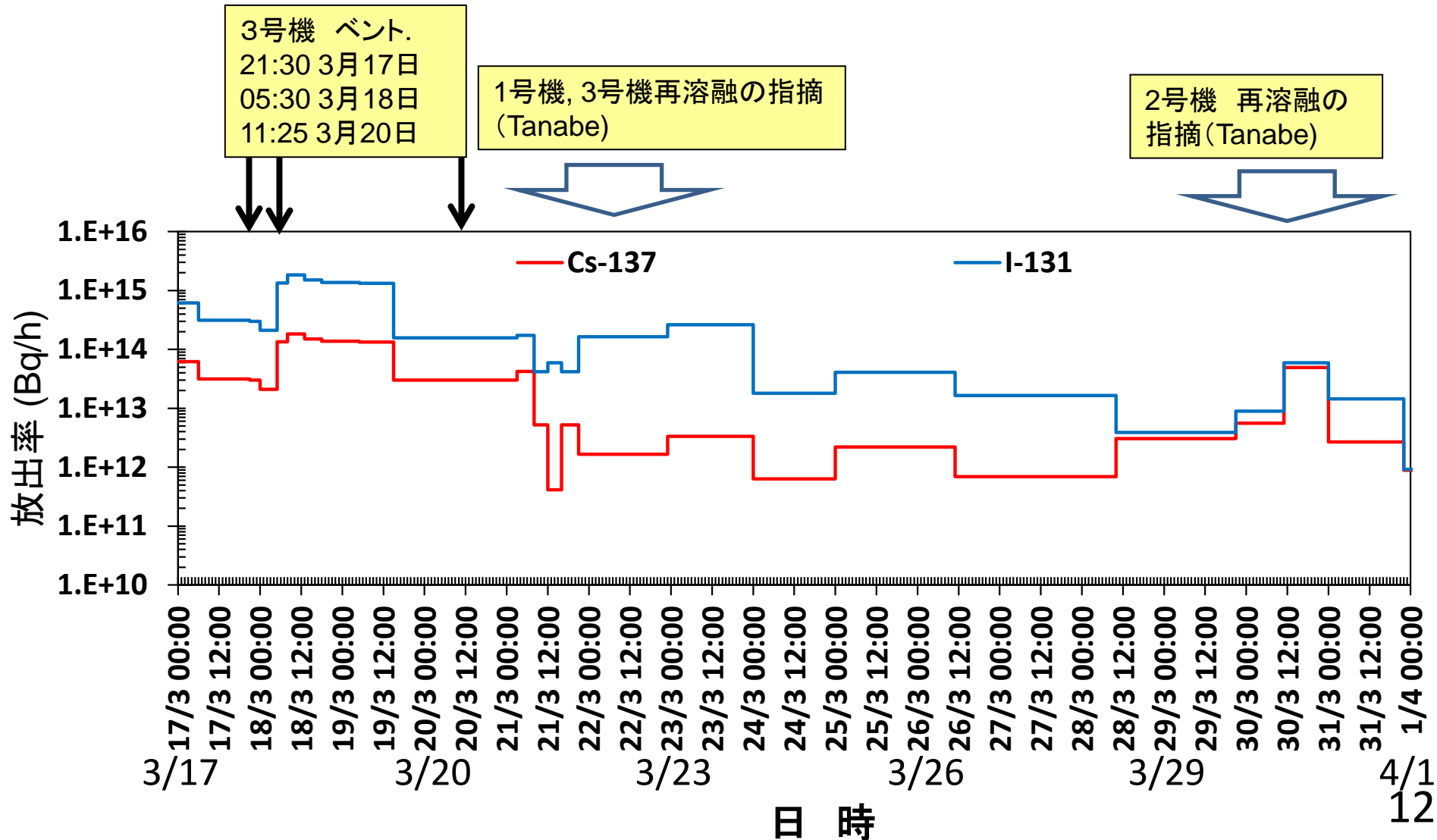
3月13日午前
3号機 DW
圧力上昇

3月14日
3号機ベント
5:20



推定結果(3月後半)

プラント事象との関連



国連科学委員会UNSCEARが線量評価に用いた大気放出量 - UNSCEAR 2013 Report -

放射性核種	総放出量(PBq)	放射性核種	総放出量(PBq)
Te-132	29	Xe-133	7300
I-131	120	Cs-134	9.0
I-132	29	Cs-136	1.8
I-133	9.6	Cs-137	8.8

¹³¹Iの「総」放出量の推定値は、約100PBqから約500PBqの範囲、¹³⁷Csは6-20 PBqの範囲にあった。これらの範囲は、事故時に稼働中だった3基の原子炉(1号機から3号機)における¹³¹Iの総インベントリの約2-8%、¹³⁷Csについては総インベントリの約1-3%を含むものである。これらは、それぞれチェルノブイリ事故における推定放出量の10%と20%であった。

放射性核種	1号機から3号機の停止時におけるインベントリ ^a (PBq)	大気中への放出 (PBq)	海洋への放出 (PBq)	
			直接的	間接的 ^b
¹³¹ I	6 000	100 to 500 ^c	10 to 20 ^e	60 to 100 ^g
¹³⁷ Cs	700	6 to 20 ^d	3 to 6 ^f	5 to 8 ^g

2. 放射性物質の大気拡散・地表沈着プロセスの解明

【入力データ】

- 地形データ
- 気象庁数値予報データGPV
- 気象観測データ:アメダスの気象データ、福島第一・第二原発の風速・風向データ

【気象場計算】

大気力学モデルMM5

-気流、乱れ、降雨、雲量等の気象変数を予測

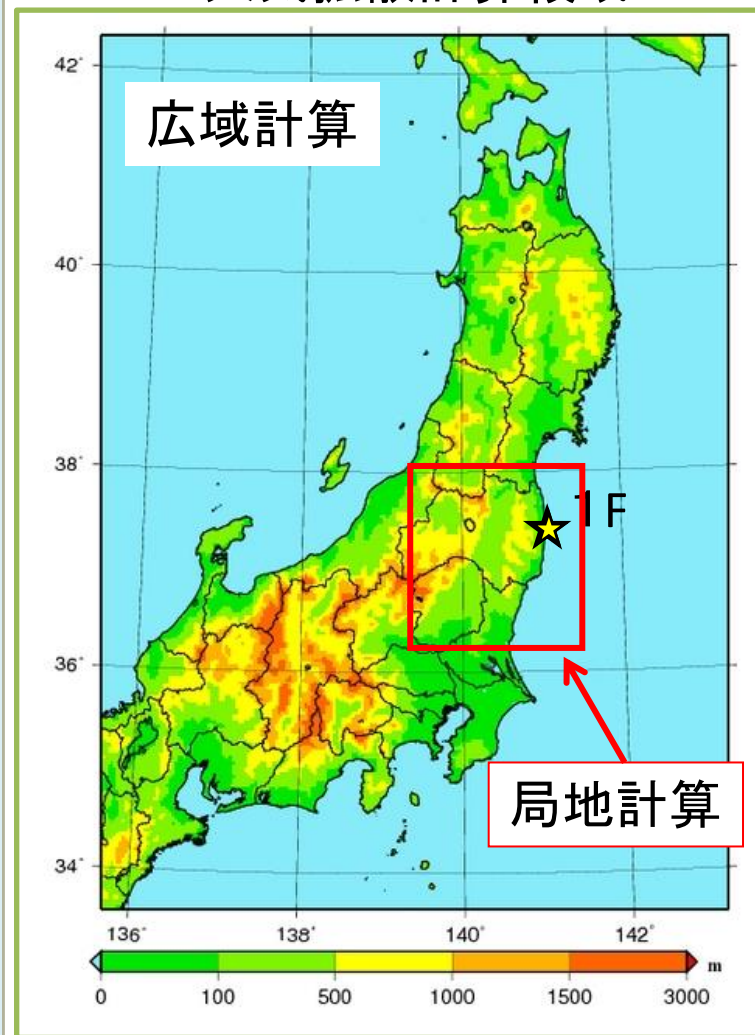
- 計算格子:3段階で高分解能化
(9km→3km→1km)

【大気拡散・線量計算】

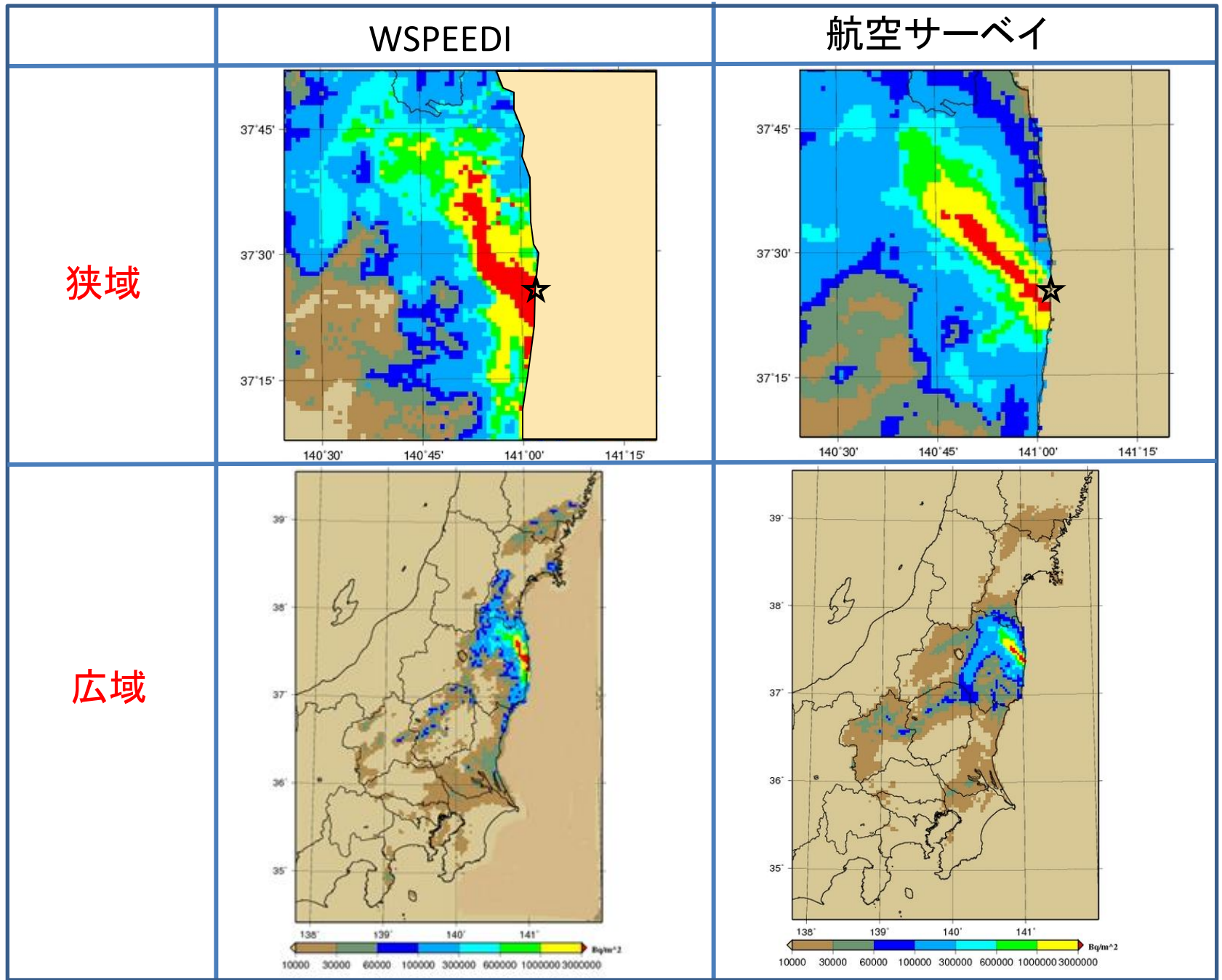
ラグランジュ型粒子拡散モデルGEARN

- 放射性核種の移流・拡散・沈着・崩壊を考慮
- 大気中濃度、地表沈着量、被ばく線量を予測
(放出核種: ^{131}I , ^{132}Te (+ ^{132}I), ^{134}Cs , ^{137}Cs)

大気拡散計算領域

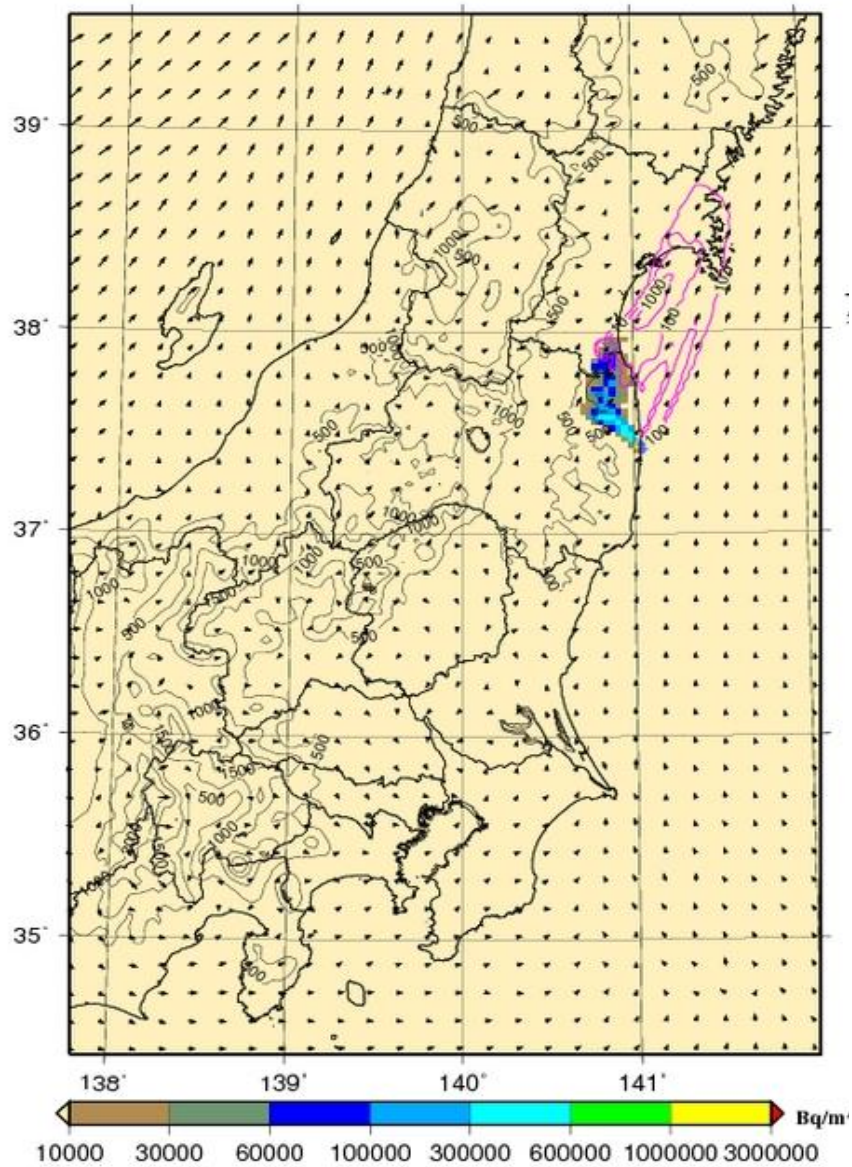


広域および狭域の積算Cs-137沈着量の再現性

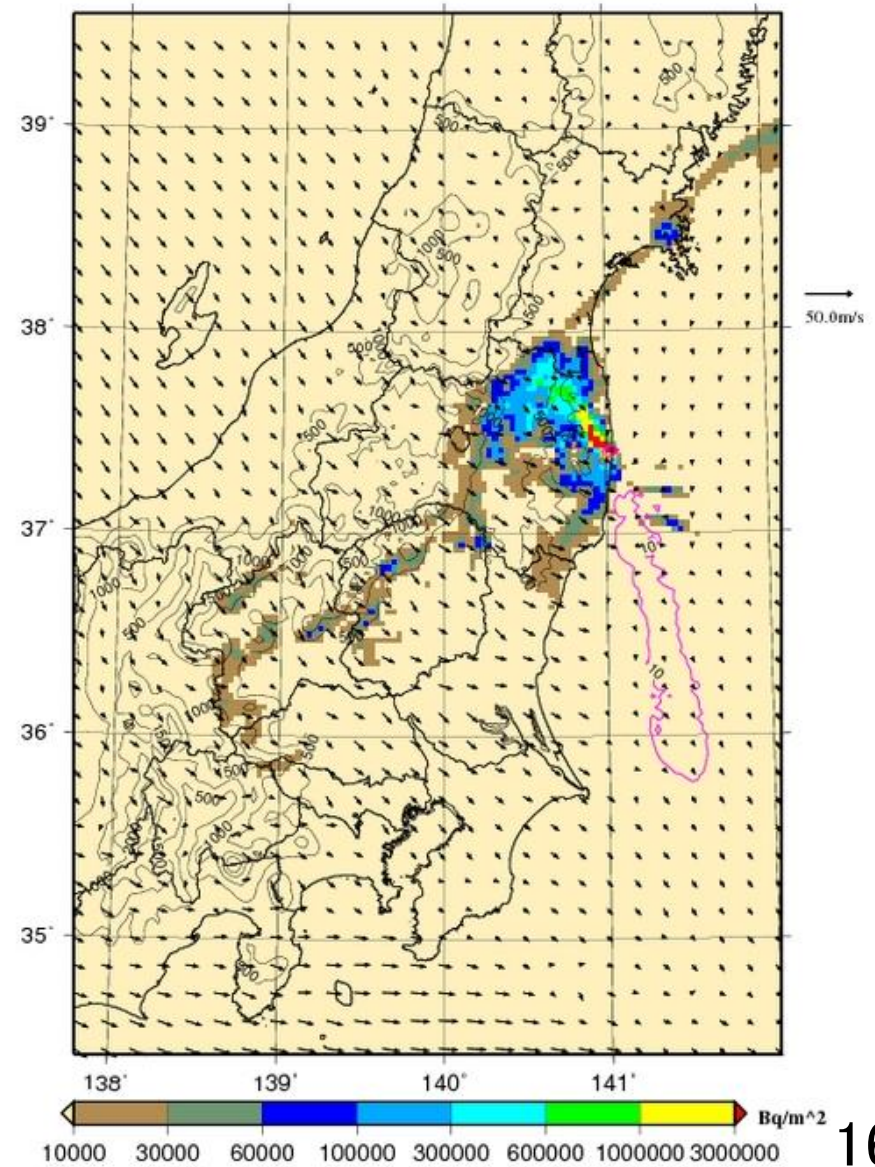


汚染の広がりの時系列(1)

Cs-137の沈着量分布予測(3/13 00 JST)

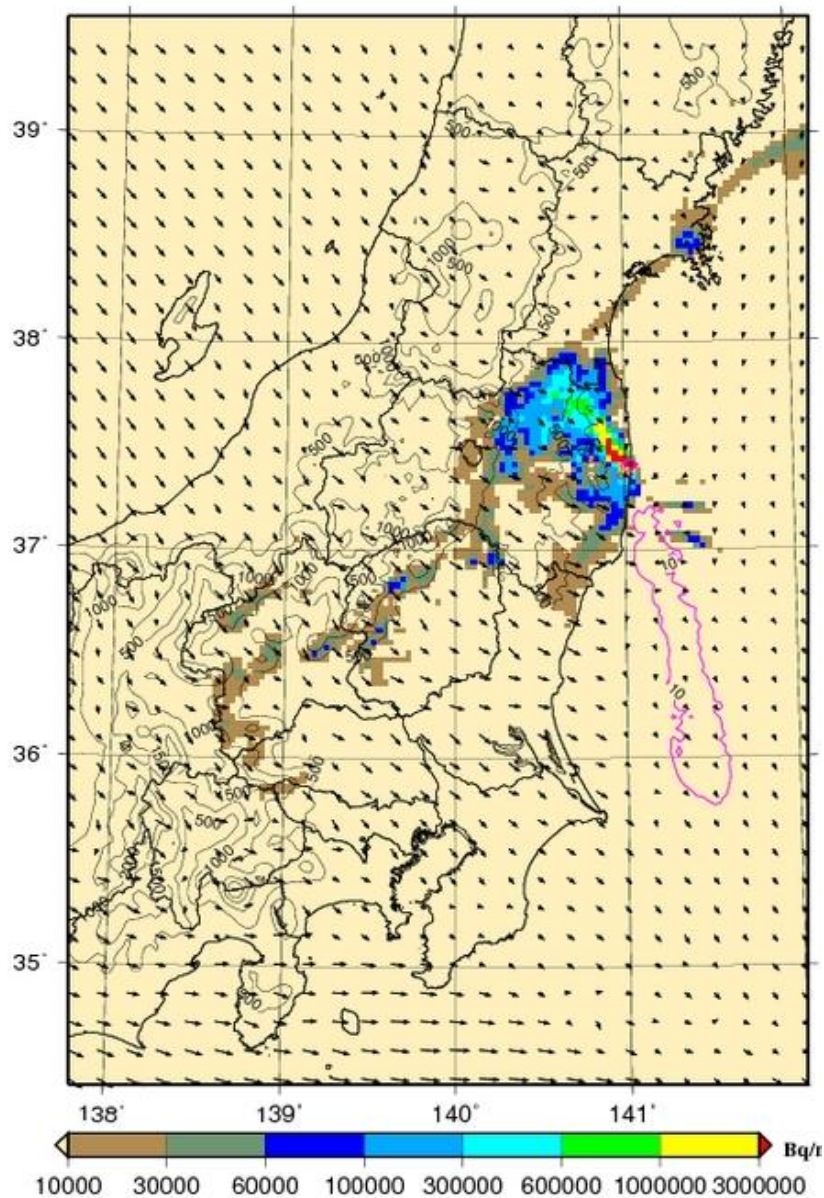


Cs-137の沈着量分布予測(3/16 12 JST)

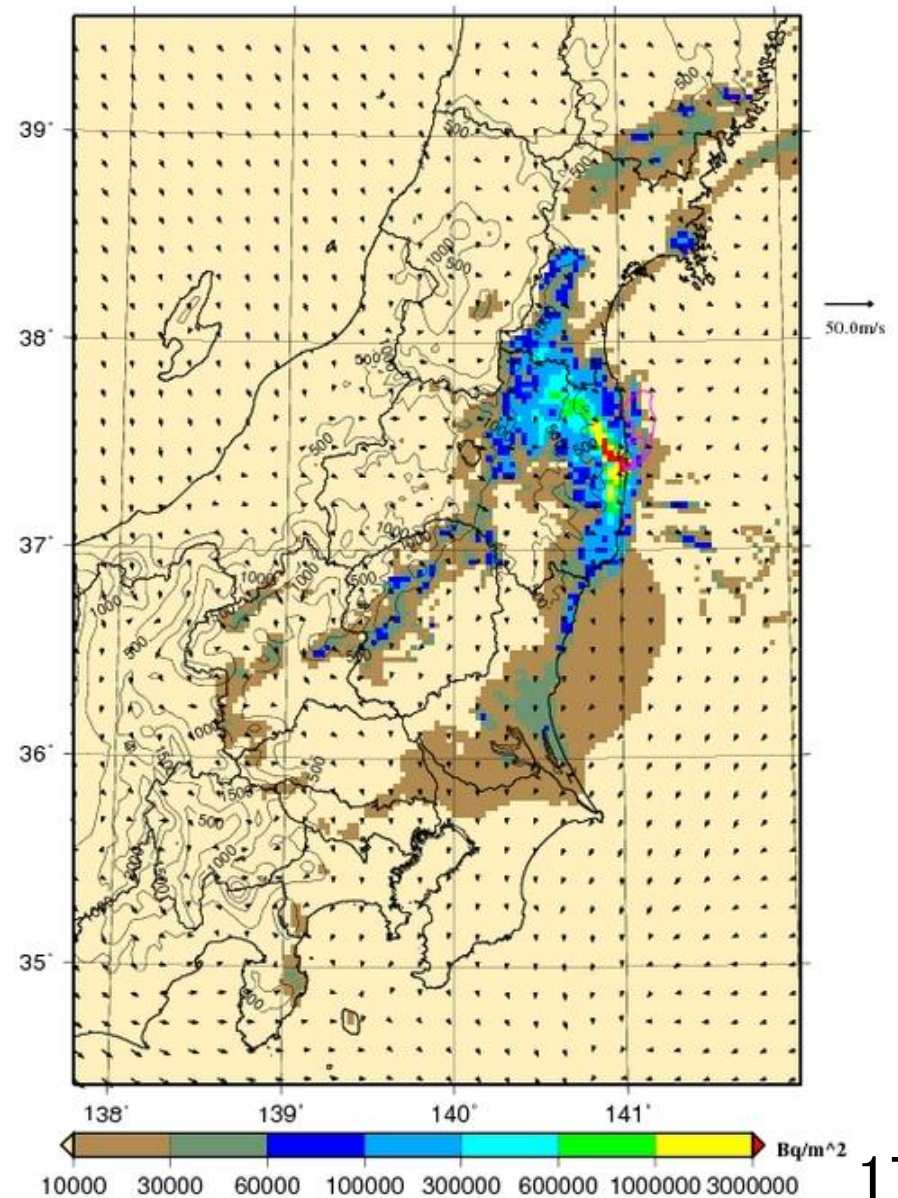


汚染の広がりの時系列(2)

Cs-137の沈着量分布予測(3/16 12 JST)

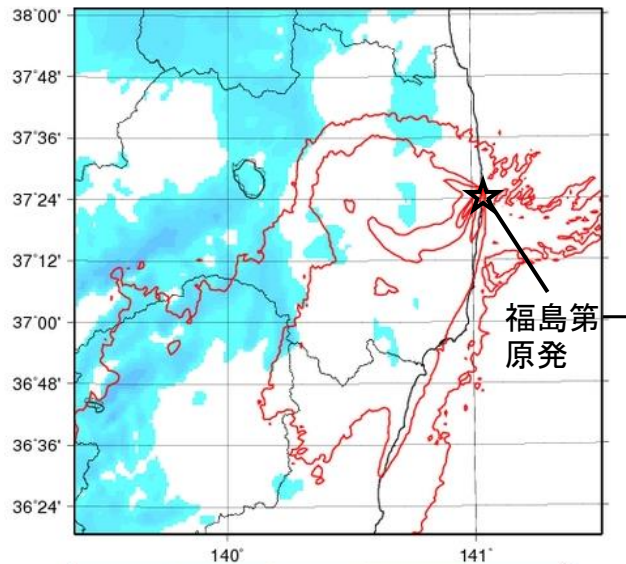


Cs-137の沈着量分布予測(3/23 00 JST)

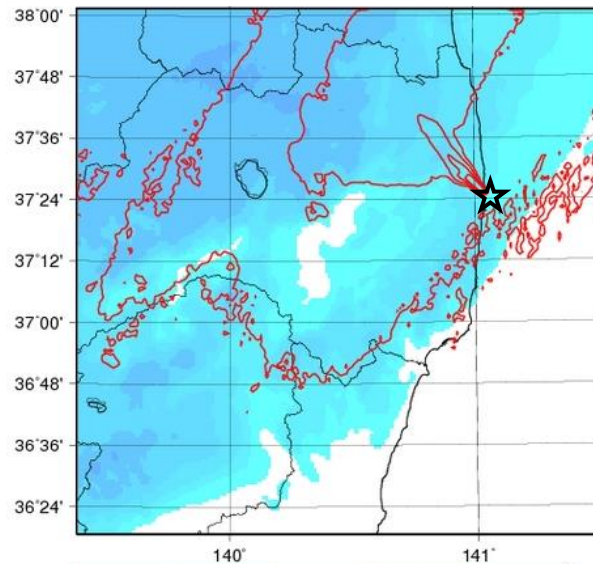


3月15日午前から16日午後の降水量と鉛直積算濃度分布

3月15日06～15時



3月15日15～21時



面塗り: 積算降水量の計算値
コンター: 各時間帯のプルーム
存在範囲(WSPPEEDI)

3月15日06～15時

- ・時計回りに移動。中通りで降雨帯と重なるが、ほとんど降雨沈着なし。

3月15日15～21時

- ・時計回りにゆっくり移動。主に北西方向で降雨帯と重なる。

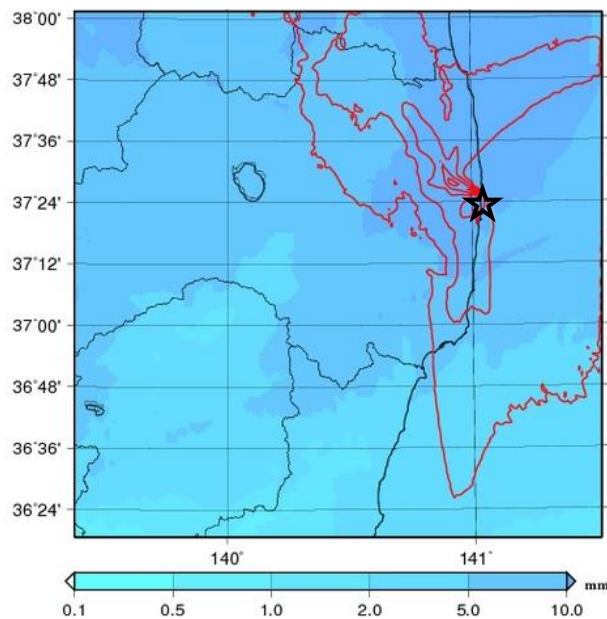
3月15日21時～16日06時

- ・降雨地域内を急速に反時計まわりに移動。

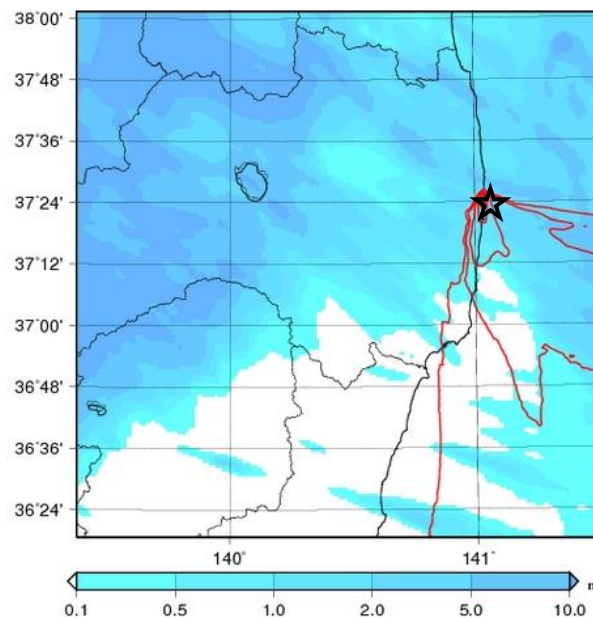
3月16日06～18時

- ・ほぼ海上だが、一時的に海岸沿いでも濃度上昇。

3月15日21時～16日06時

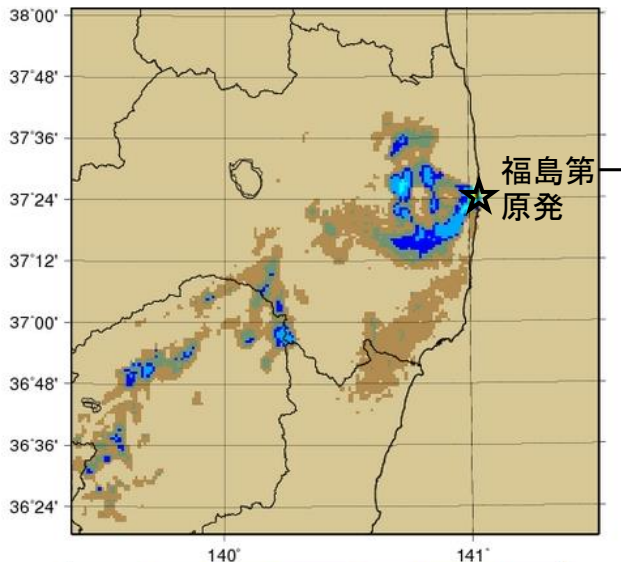


3月16日06～18時

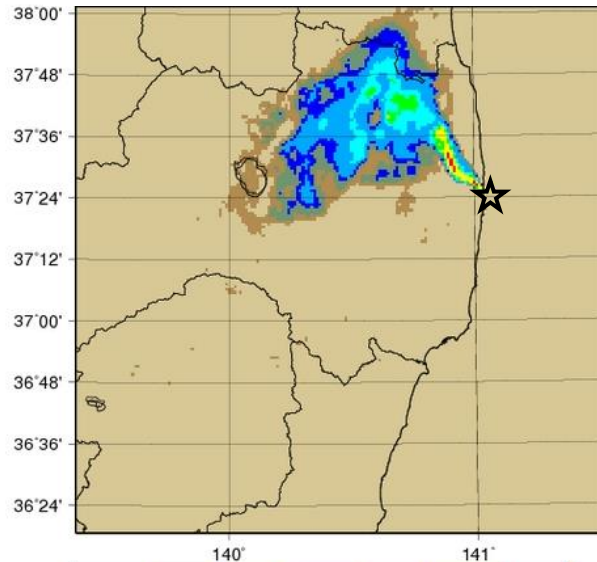


3月15日午前から16日午後の汚染地域の形成

3月15日06～15時



3月15日15～21時



面塗り: 期間中の積算Cs-137
沈着量の計算値

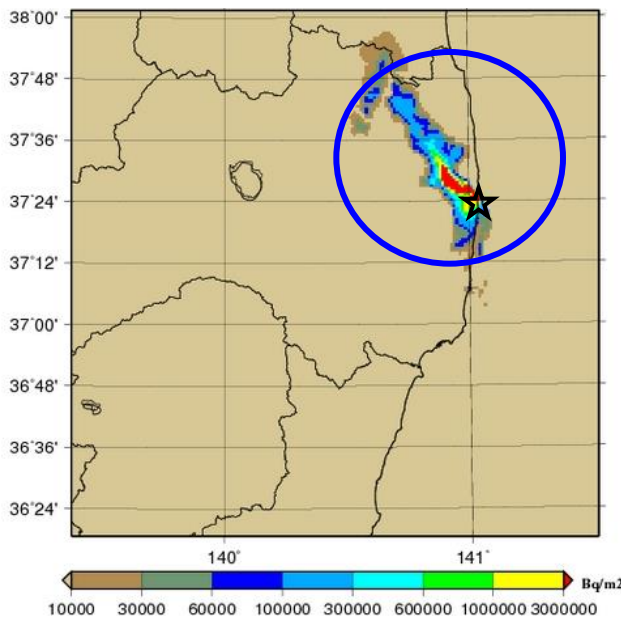
3月15日06～15時

・南南西への乾性沈着と栃木から中通り南部、サイト西部に湿性沈着を形成。

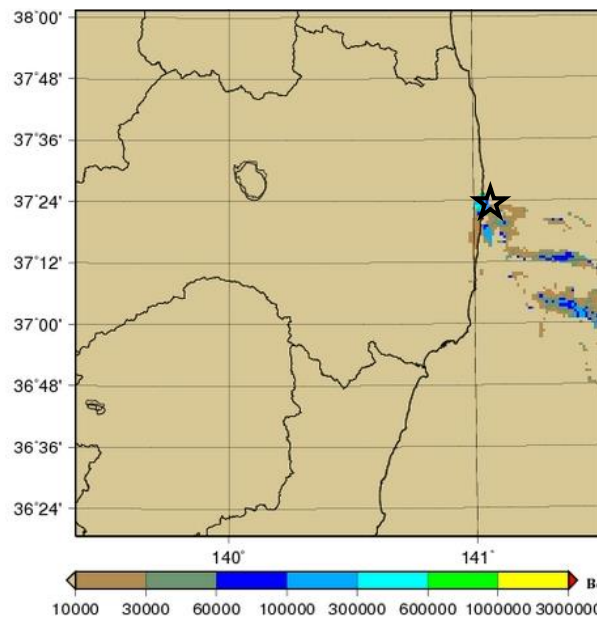
3月15日15～21時

・福島市から飯舘村、浪江方向に湿性沈着を形成。

3月15日21時～16日06時



3月16日06～18時



3月15日21時～16日06時

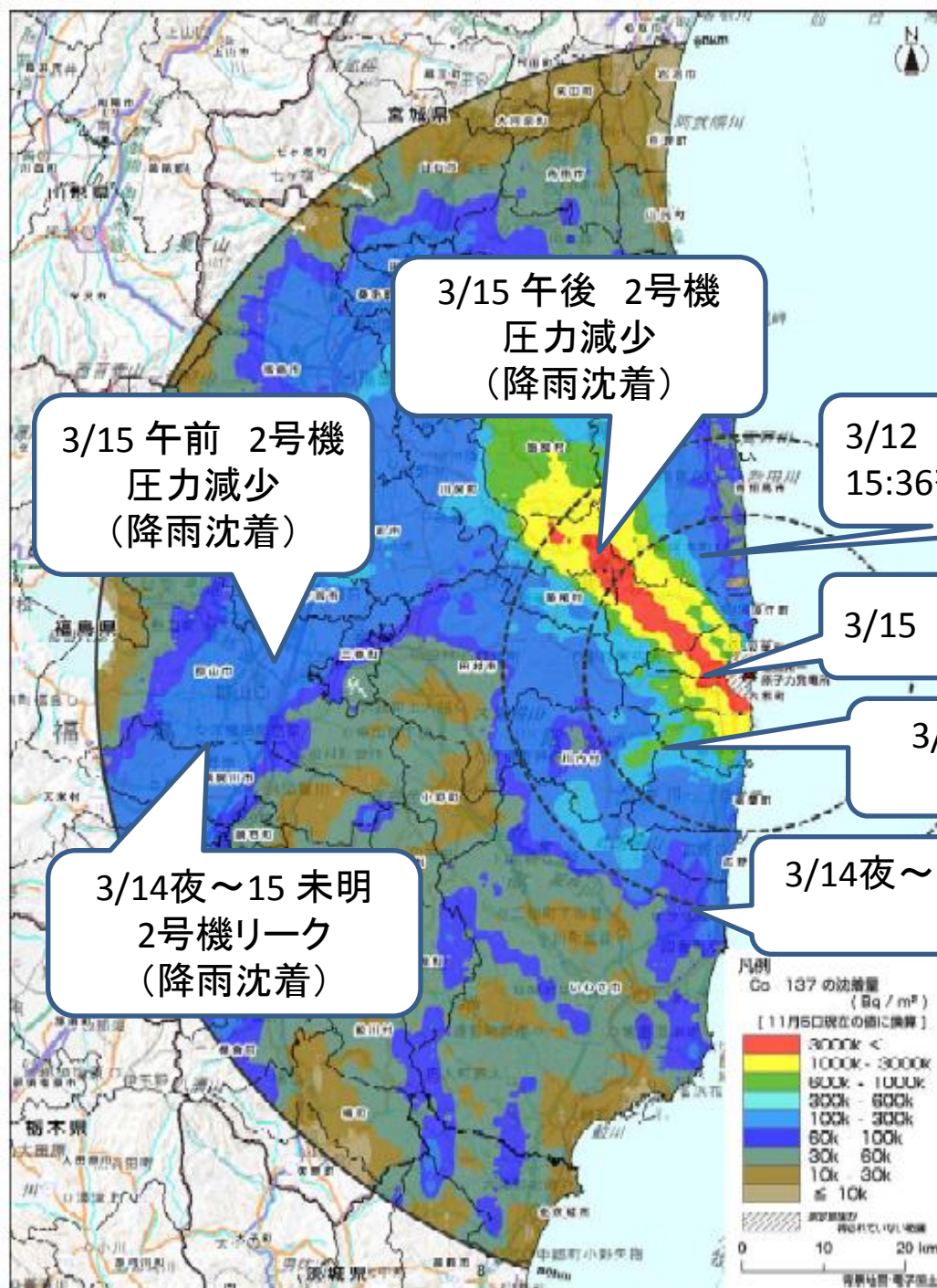
・反時計まわりの移動中にサイト近傍北西部に湿性沈着を形成。

3月16日06～18時

・ほぼ海上だが、一時的に海岸沿いでも沈着を形成。



局地域の地表汚染 形成プロセス (主な寄与)

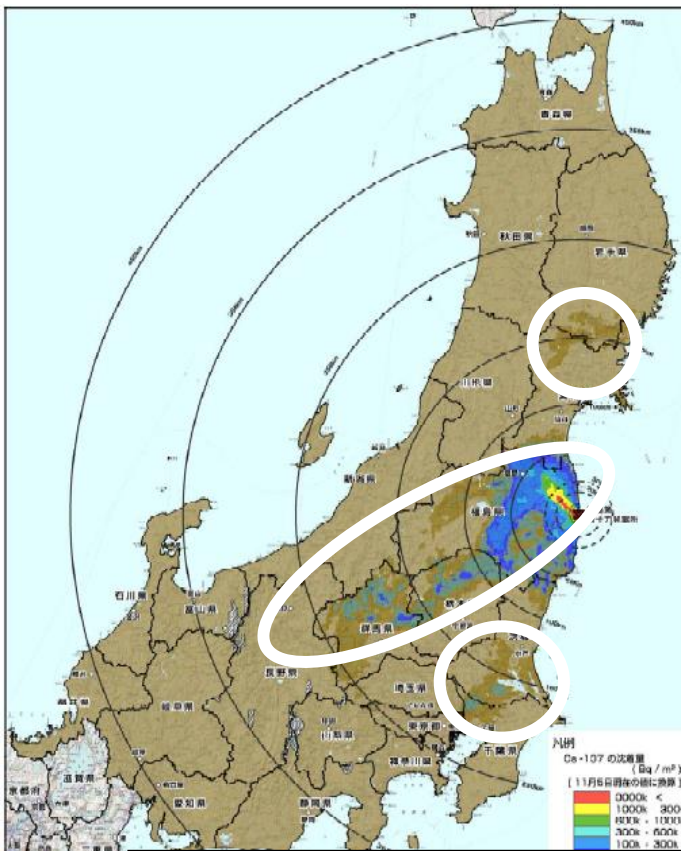


下図引用:

http://radioactivity.mext.go.jp/ja/1910/2011/12/1910_1216.pdf

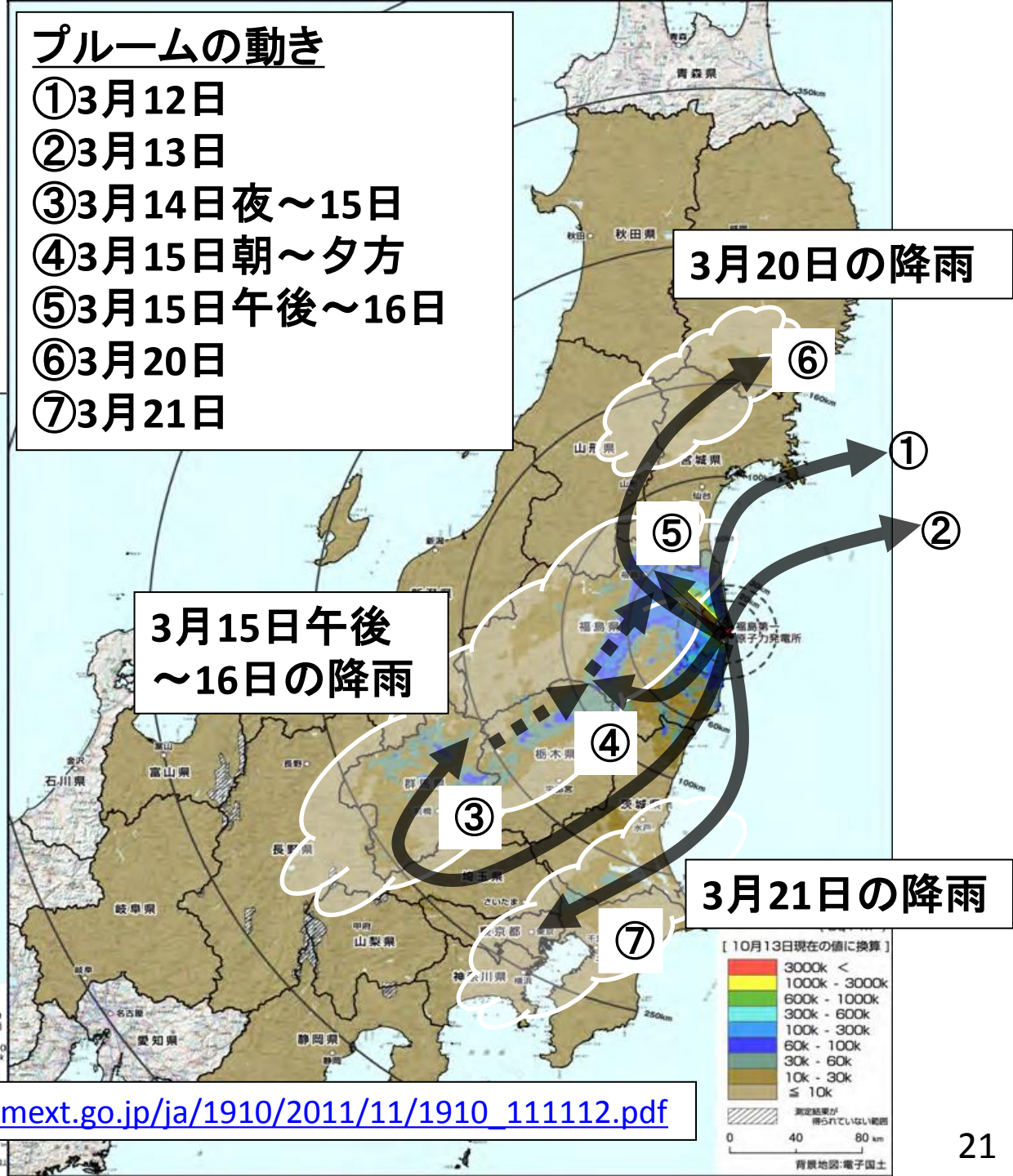
拡散計算から推定される広域の地表汚染形成プロセス

航空機サーベイの結果



プルームの動き

- ① 3月12日
- ② 3月13日
- ③ 3月14日夜～15日
- ④ 3月15日朝～夕方
- ⑤ 3月15日午後～16日
- ⑥ 3月20日
- ⑦ 3月21日



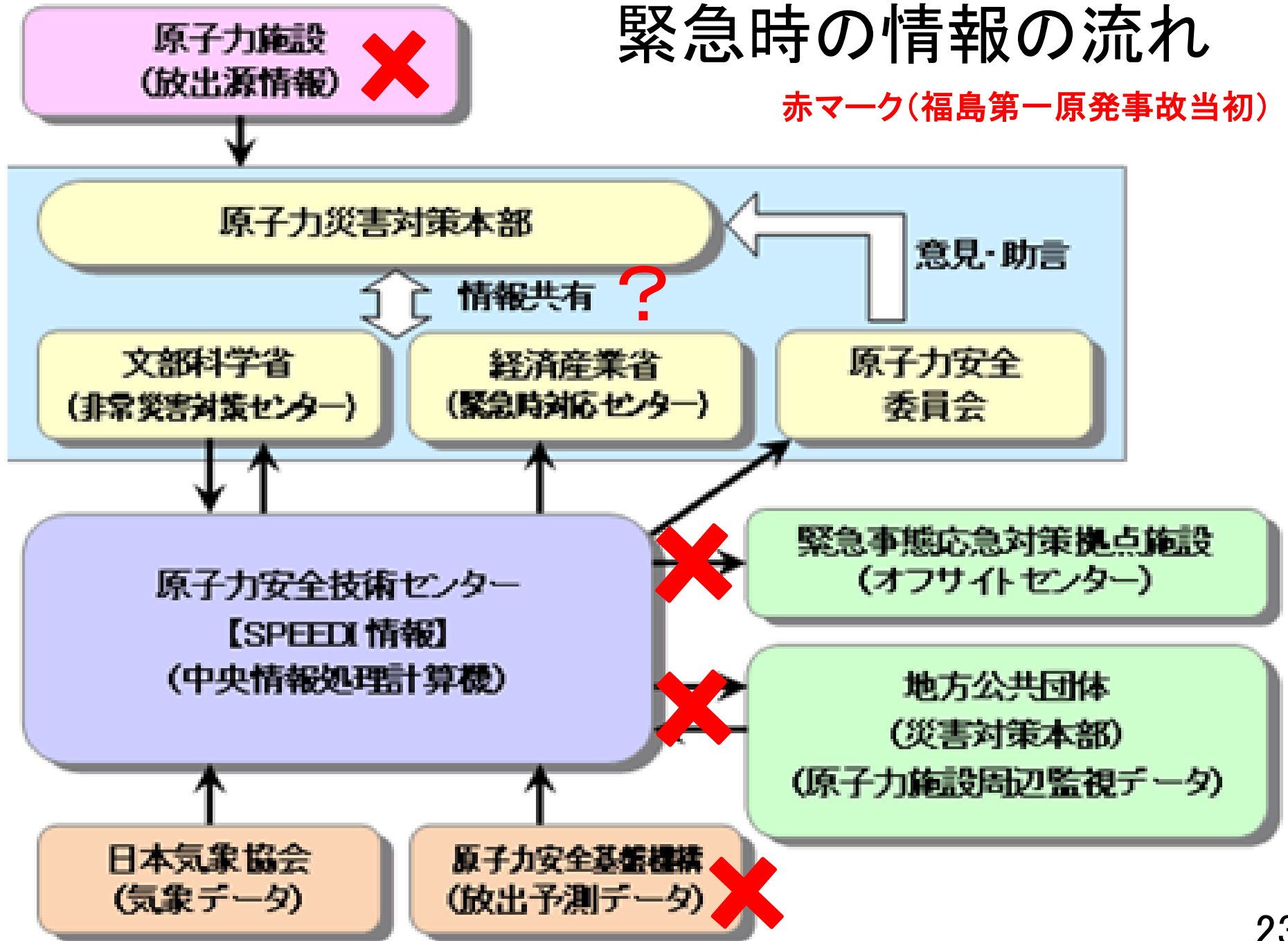
下図引用: http://radioactivity.mext.go.jp/ja/1910/2011/11/1910_111112.pdf

3. 原子力緊急時における計算予測 と環境モニタリングの役割

福島第一原子力発電所事故時の旧原子力安全委員会での対応経験から

緊急時の情報の流れ

赤マーク(福島第一原発事故当初)



大気拡散計算はどのように使われたか

利用内容	利用者
周辺の緊急時モニタリング計画 (SPEEDI)	文部科学省(事故当初) ＞高線量地域モニタリングをSPEEDIをもとに的確に指示
仮想放出による被ばく線量評価 (SPEEDI)	文科省、原子力安全保安院(事故当初) ＞内部検討の材料
放出量逆推定 (SPEEDI/WSPEEDI)	原子力安全委員会(3月) ＞被ばく線量評価、事故評価
被ばく線量評価 (SPEEDI)	原子力安全委員会(3/23) ＞甲状腺被ばく検査の指標
東日本の地表沈着量分布予測 (WSPEEDI)	厚生労働省(8月) ＞食品検査等の指標
放射性物質の詳細挙動解析 (WSPEEDI)	茨城県、他(9月) ＞線量上昇プロセスの理解
大気拡散情報(仏、独システム)	在留邦人への提供

放出量等の情報が無く、線量や濃度の絶対値までは予測できず、避難区域や屋内退避区域の設定には使われていない。

NISA/ERC 1号機ベントによる影響確認のため(3/12 13:42 配信)

外部被ばくによる実効線量






日時 = 2011/03/12 14:00 - 2011/03/12 17:00 の積算値
気象データ = GPVのみ

福島第1 1号炉 狭域図
核種名 = 全核種
対象年齢 = 成人

放出地点 : 141°02'08" - 37°25'18"
領域 : 23km × 23km

【凡例】

実効線量等値線 (mSv)

- 1 = 1.00×10^{-2} 
- 2 = 5.00×10^{-3} 
- 3 = 1.00×10^{-3} 
- 4 = 5.00×10^{-4} 
- 5 = 1.00×10^{-4} 

最大線量 = 1.94×10^{-2} mSv

放出地点から (-0.1, -0.1) km (*印)

計算モデル名 = PRWDA21

使用モデル名 = 通常モデル

【計算条件】

計算メッシュ幅 水平方向 = 0.25 km

放出高 = 120.0m

燃焼度 = 20000 MWD/MTU

原子炉停止時刻 = 2011/03/11 14:47

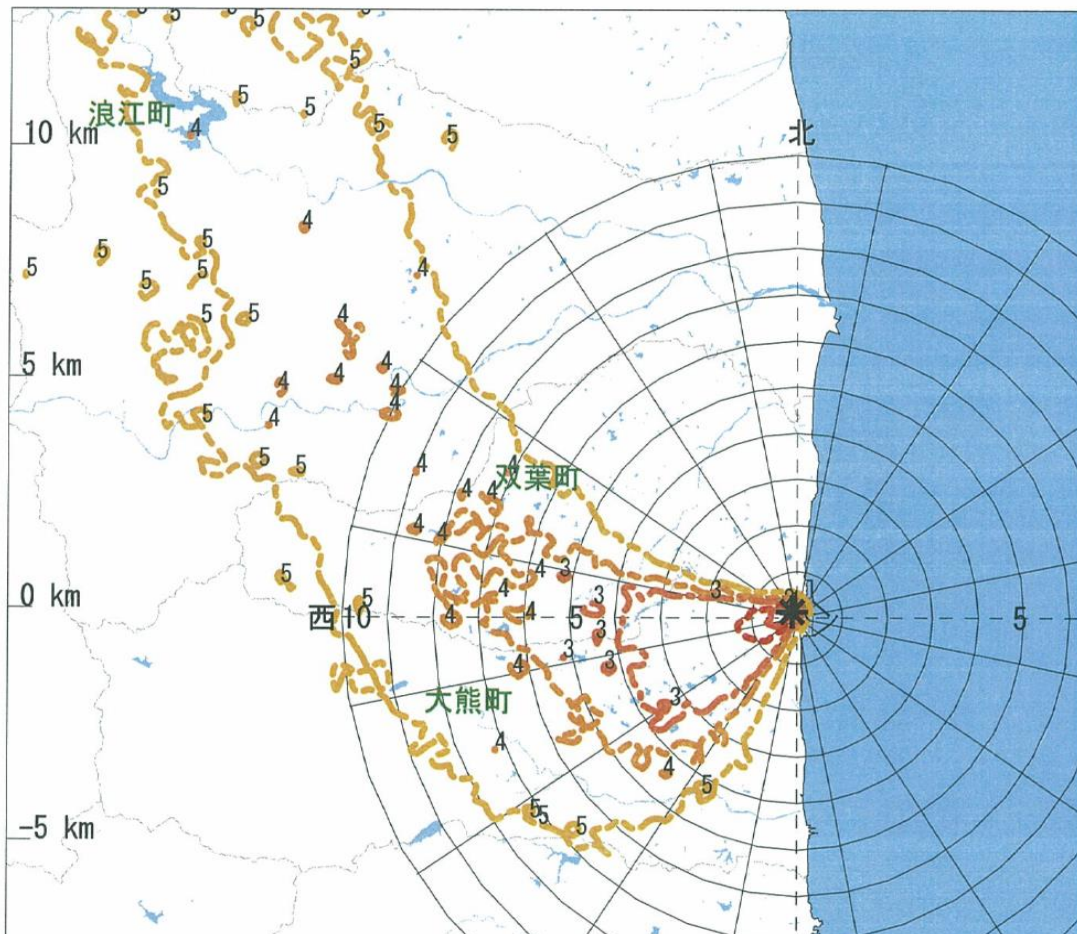
放出開始時刻 = 2011/03/12 14:00

放出モード = 変動【換】

放出核種・放出率(積算) : Bq/h (Bq)

希ガス : 2.30×10^{14} (2.30×10^{14})

ヨウ素 : 7.70×10^{12} (7.70×10^{12})



14時のベント前に影響を予測。分布は若干南にずれているが、当日、15時前に上羽鳥のモニタリングステーションで線量上昇が認められ、ほぼ予測出来ている。

No. : 006706

NISA/OFC 緊急時モニタリング計画作成の参考(3/15 02:32 配信)

外部被ばくによる実効線量

日時 = 2011/03/15 01:00 - 2011/03/16 01:00 の積算値

気象データ = GPV+観測値 (2011/03/15 02:00) まで

福島第1 2号炉 狭域図

核種名 = 全核種


対象年齢 = 成人


放出地点 : 141°02'08" - 37°25'18"


領域 : 23km × 23km


【凡例】


実効線量等値線 (mSv)

1 = 1.00×10^{-1} 

2 = 5.00×10^{-2} 

3 = 1.00×10^{-2} 

4 = 5.00×10^{-3} 

5 = 1.00×10^{-3} 

最大線量 = 4.22×10^{-1} mSv

放出地点から (-0.1, -0.1) km (*印)

計算モデル名 = PRWDA21

使用モデル名 = 通常モデル

【計算条件】

計算メッシュ幅 水平方向 = 0.25 km

放出高 = 120.0m

燃焼度 = 20000 MWD/MTU

原子炉停止時刻 = 2011/03/11 14:47

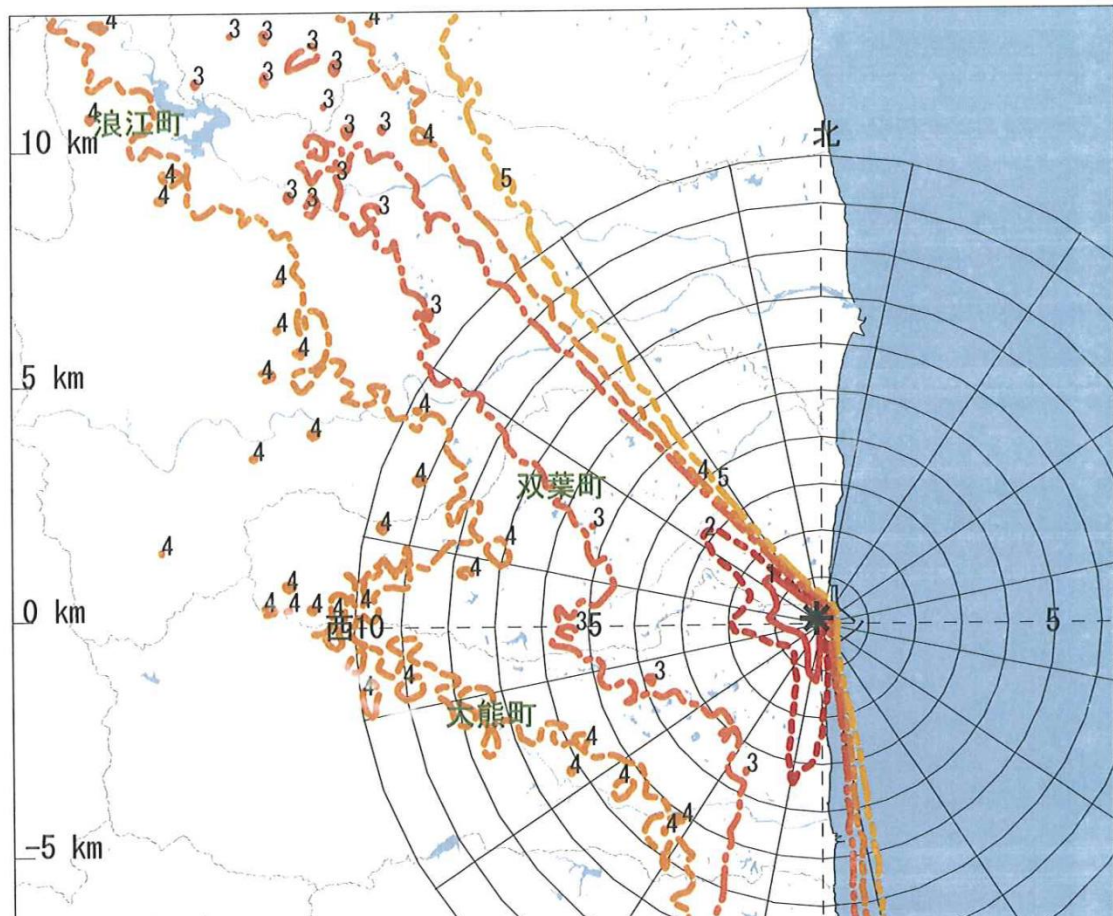
放出開始時刻 = 2011/03/15 01:00

放出モード = 変動【換】

放出核種・放出率(積算) : Bq/h (Bq)

希ガス : 8.33×10^{14} (2.00×10^{16})

ヨウ素 : 2.75×10^{13} (6.60×10^{14})



15日未明には、すでに15日夕方の北西部での線量上昇を予測出来ており、実測とほぼ一致する予報ができています。文部科学省の報告書でも、SPEEDIの予報に基づき北西部にモニタリングチームを派遣できたことが記されている。

検証結果

検証結果

- 海上に流れた期間を除き、ほとんどのケースで放射性物質の動きを時・空間的に俯瞰するための精度はあった。また、海上に流れた期間も、陸上側で線量上昇がほとんどないことを予測出来ている点では、相対的な汚染分布予測に対しては精度があるといえる。
- しかしながら、過酷事故において、放出量変動を予測することは、現在の苛酷事故解析コードでは困難であり、結果的にSPEEDIで絶対値の予報をすることは困難である。

政府事故調、国会事故調、民間事故調、文科省事故調、等の判断：

- 計算予測のみで、避難範囲や屋内退避との対策地域の設定は非現実的。モニタリング体制の充実が必要。
- 非難のタイミング等の判断には使えたはず。
- 緊急時モニタリング計画策定に有効。

原子力規制委員会の方針

- 防災対策は炉内状況とモニタリングをもとに決定するとして、計算予測の役割を防災対策指針から除外の方向。
- パブリックコメントで、気象学会や地方自治体等から、再考すべきという意見が多く出されている。

具体的改善に向けて

「All or Nothing ではなく、何に使えるのか科学的検証が必要」

放出開始以前に予め避難区域を計算で予測 > 困難。放出量の事前予測は不可能に近く、線量の絶対値のわからない状態で、避難区域は決められない。モニタリングが重視されるべき。

モニタリング計画の策定 > 汚染の恐れのある地域を予め知って、効率的な計画を作るために使える。農作物や被ばくのスクリーニング地域の策定にも有効。

避難のタイミング判断 > プルームが飛来するタイミングで避難をするのは避けるべきであり、そのための指標として有効。

モニタリング体制が整う以前の早期の利用 > 放出が始まってでもモニタリング密度が不十分な早期では、計算予測との併用による避難区域の把握が必要なケースがある。

甲状腺内部被ばくを防ぐヨウ素剤投与 > プルームが飛来する前に投与する必要があり、飛来予測は計算でしかできない。(投与が早すぎても駄目)

放出量の逆推定 > 事故規模の評価や、早期の公衆の被ばく線量評価のため、モニタリングと計算予測による放出量の逆推定は重要。

モニタリングと計算予測を統合した汚染予測体系の再構築

モニタリングと計算予測の補完的特徴

	モニタリング	計算予測
数値の精度	◎	
予報性		◎
迅速性		○
全体把握		○
安定性		○
理解の容易さ	○	

モニタリングは、数値の正確性で計算予測よりも優れるが、新指針案で対象とする30 km圏で最大線量地点や分布状況を把握できるようなモニタリング体制の構築には時間を要する。特に、甲状腺内部被ばくについては、ヨウ素の大気中濃度分布の全体像をリアルタイムで常時監視することは困難。

計算予測は不確実性があり、専門家の解釈が必要になるが、予報という計算のみが持つ大きな特徴がある。また、事故早期には非難・退避にかかる様々な判断を計算予測に頼らざるを得ない状況が生まれる(福島原発事故時に緊急時モニタリングが機能し始めたのは事故発生から4日後)。

モニタリングと計算は相補的な道具である。二者択一ではなく、両者の補完的特徴を融合して避難や退避に必要な有効な情報を創出する「1. 技術開発」と「2. 専門家集団の形成」が必要。