

事故収束と復旧に向けた 研究活動

平成23年11月24日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

原子力基礎工学研究部門

部門長 小川 徹



東京電力福島第一原子力発電所事故 に対応した主な研究活動

1. 放射性物質の環境拡散評価
2. サイト内滞留水分析及び処理支援
3. 環境修復に関する技術、解析ツール開発
4. 多様な土壌環境での浸透・拡散測定/評価
5. 事故進展に関わる解析

- ・緊急時環境線量情報予測システムSPEEDIの開発(1980～1985)
⇒ 原子力安全技術センターが運用
- ・世界版SPEEDI(WSPEEDI)の開発(1987～)
- ・大気-海洋-陸域の包括的移行予測システムSPEEDI-MPの開発
(1999～)

東京電力福島第一原子力発電所事故への適用

1. 大気放出量の推定
2. WSPEEDIによる大気拡散解析
3. SPEEDI-MPIによる海洋拡散解析

I-1. 大気放出量の推定

- 事故の規模や公衆の被ばく線量評価のために**放出量推移の評価**が喫緊の課題となった。
- 原子力安全委員会に協力して、SPEEDI/WSPEEDIによる拡散シミュレーションと環境モニタリングデータから放出量を逆推定。

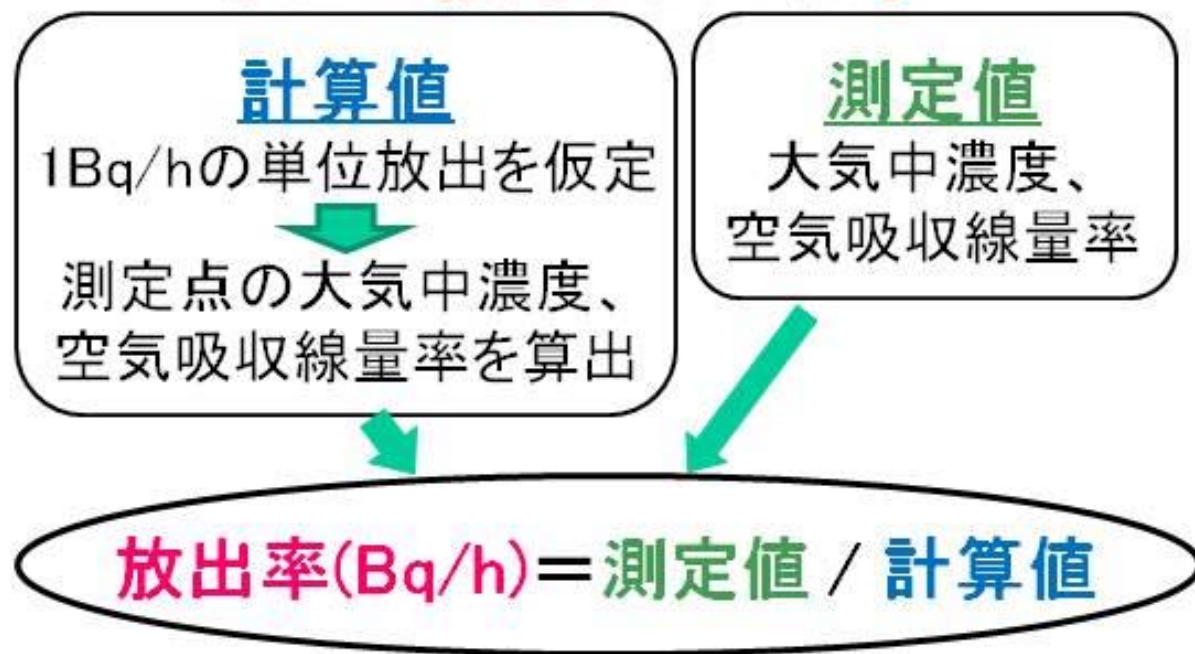
[暫定放出量推定]:

4月5日までの暫定放出量推移を早期に推定。

[放出量再推定]:

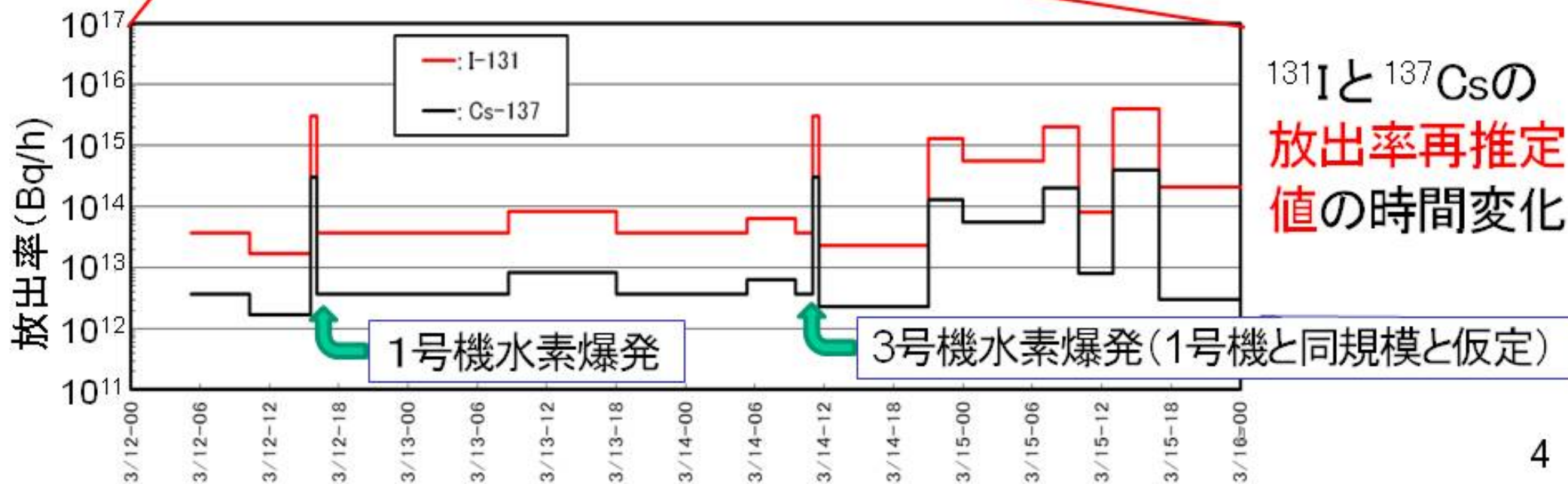
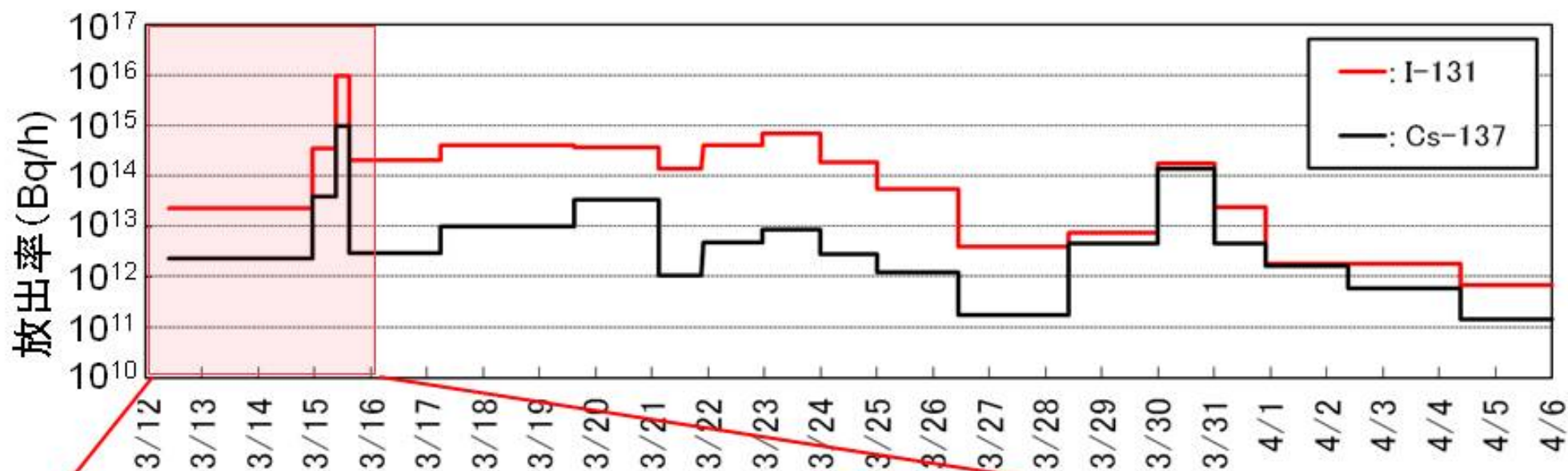
6月に公開された環境モニタリングデータから、3月12～15日の放出量を再推定。

放出量推定手法の概念



大気放出量推移の推定結果

^{131}I と ^{137}Cs の暫定放出率推定値の時間変化



利用機関	利用内容
日本政府	<ul style="list-style-type: none"> ■IAEAに対する日本政府の報告書に暫定推定値を記載(6月) ■IAEAに対する追加報告書に再推定値を記載(9月)
原子力安全委員会	<ul style="list-style-type: none"> ■推定値を用いたSPEEDIの甲状腺被ばく線量試算を公表(3/23) ■推定値を用いたSPEEDIの外部被ばく線量試算を公表(4/10) ■総放出量を発表(保安院のINESレベル7 参考データ)(4/12)
WHO	<ul style="list-style-type: none"> ■被ばく線量評価のための大気拡散解析の入力データ(9月末)
研究機関、大学、等	<ul style="list-style-type: none"> ■国立環境研究所、名古屋大学、等が、大気拡散シミュレーションのための入力データとして活用

JAEA

WSPEEDIによる大気拡散解析

- 原発北西部の線量上昇解明(6/13プレス発表)
- 日本全国の2ヶ月間の被ばく線量試算(6/15HP公開)
- 東日本域の降下量の解析(9/6HP公開)

■ 環境モニタリングの課題

- 細かい時間・空間分解能で、短時間に広範囲のモニタリングを達成することは困難



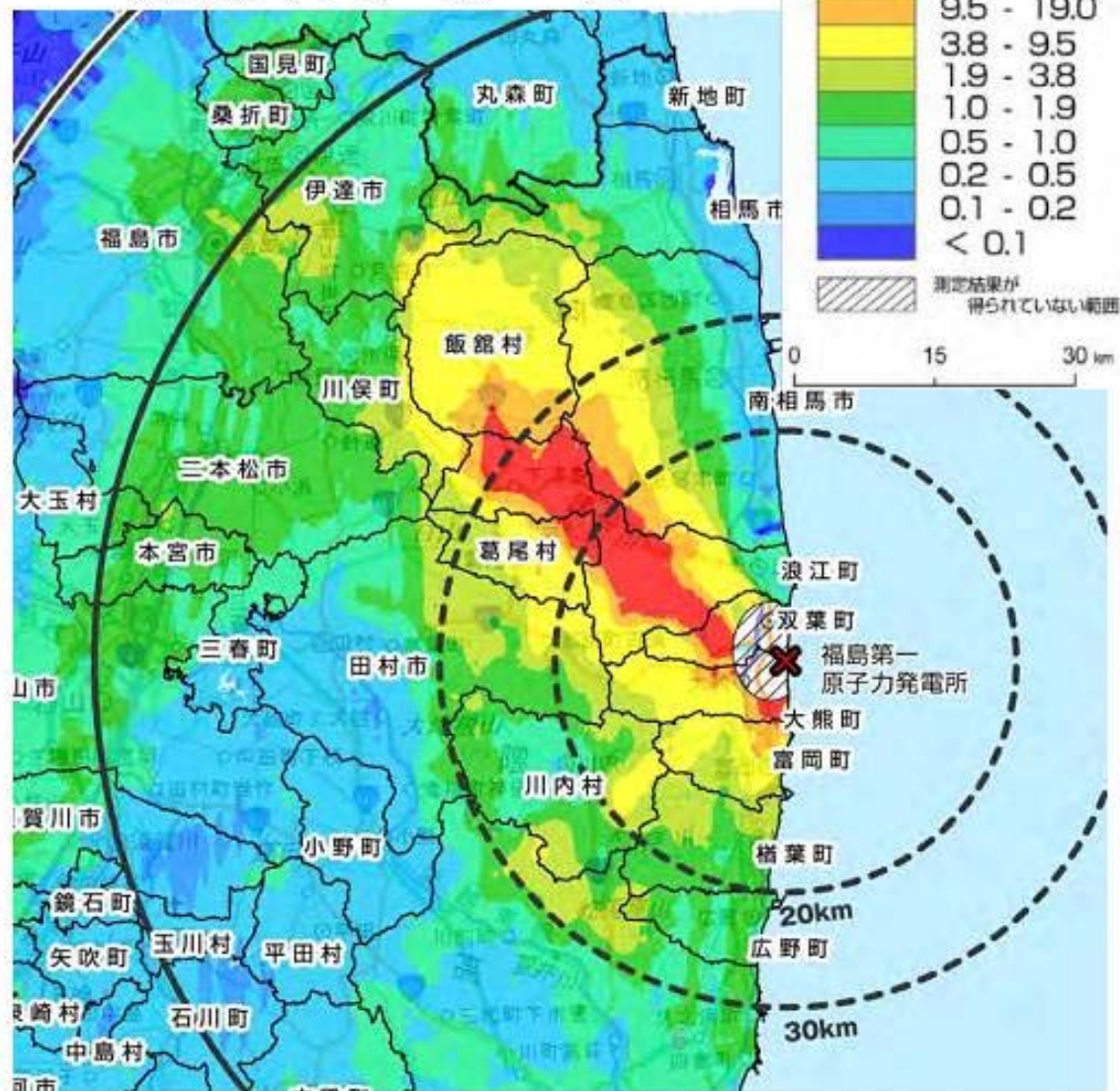
被ばく線量評価やモニタリング計画検討には、分布形成過程の解明と分布予測が必要

■ WSPEEDIシミュレーションによる分布形成過程の評価と広域降下量分布予測を実施

- 原発周辺の線量上昇の解明
- 東日本の¹³⁷Cs降下量増加の解析
- 茨城県の線量上昇過程の解析

航空機モニタリングによる空間線量率の分布

(文部科学省ホームページ)



【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、東電福島第一・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)

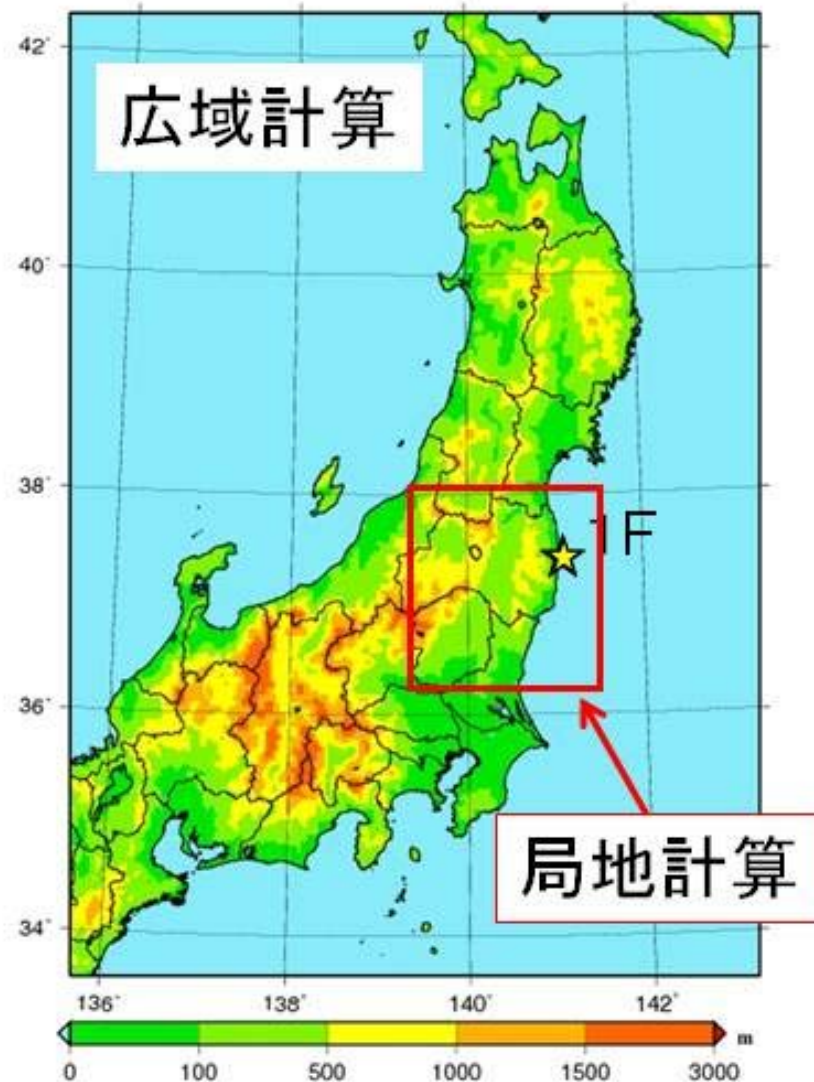
【大気拡散・線量計算】

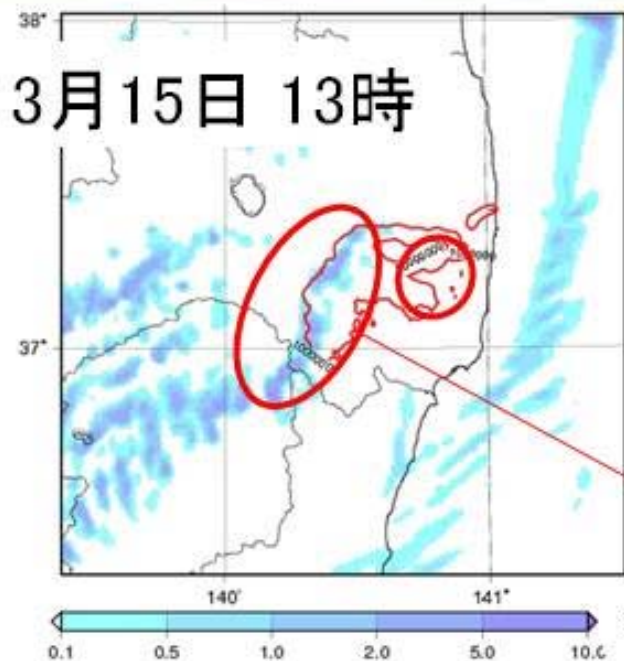
ラグランジュ型粒子拡散モデルGEARN

-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



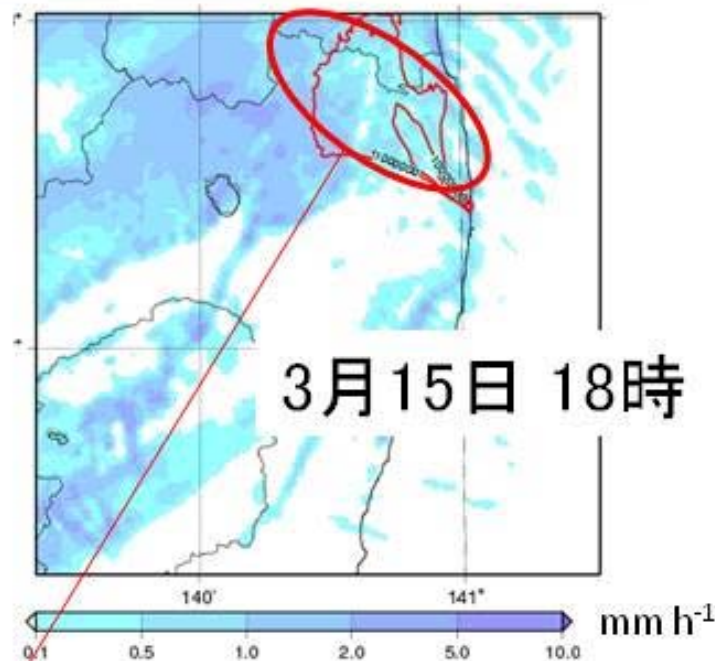


¹³¹I大気中濃度と 降水分布

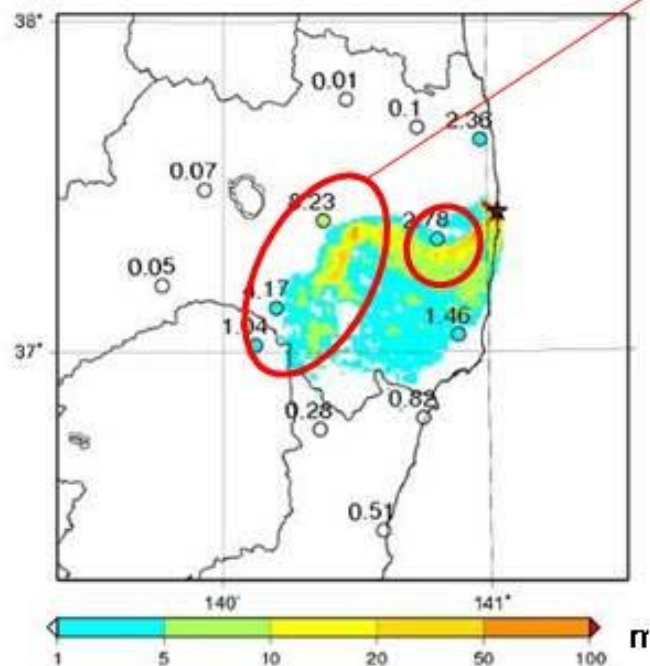
赤等値線:地上から上空
までの積算濃度
[Bq m⁻²]

カラー面塗り:降水量

中通りでの
線量上昇



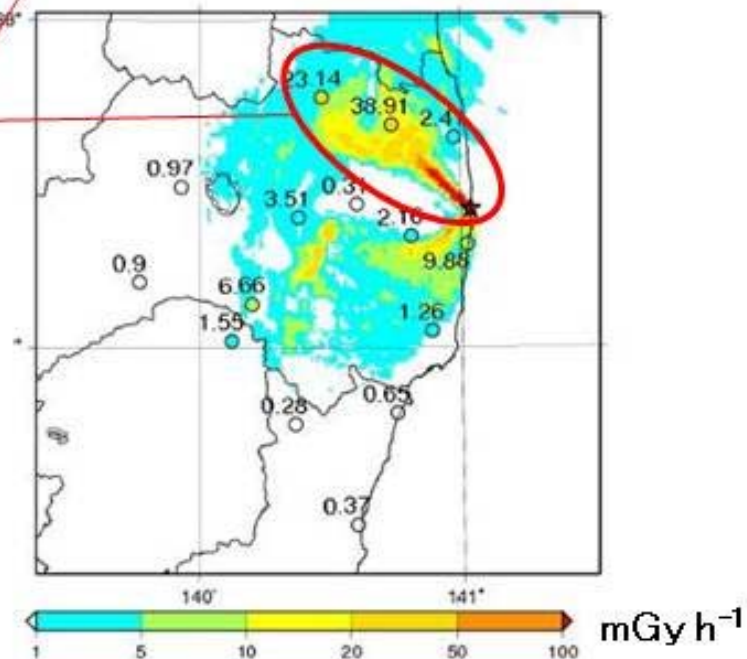
北西方向での
線量上昇

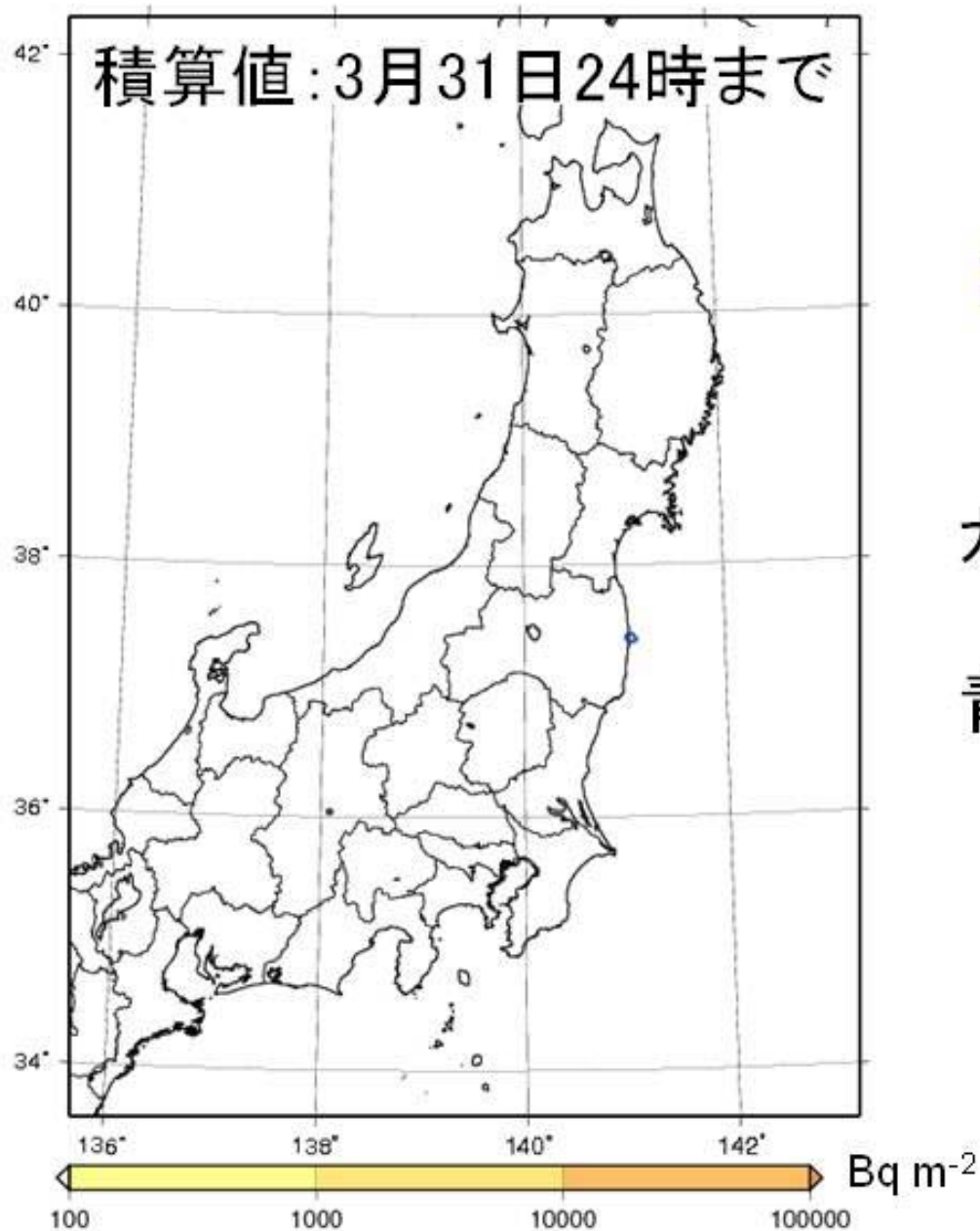


空間線量率分布

カラー面塗り:空間線量率

○・数値:空間線量率の
モニタリング
データ

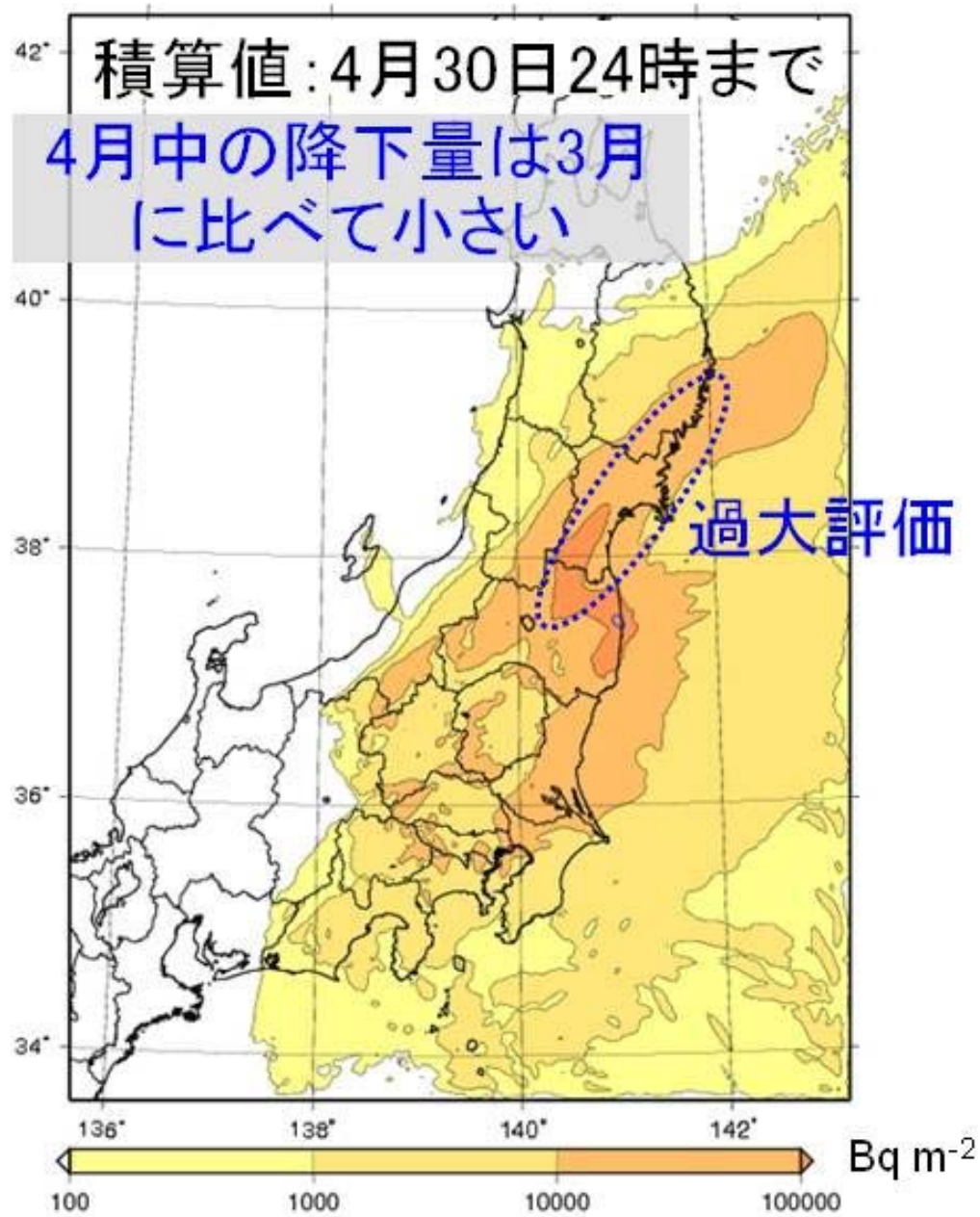
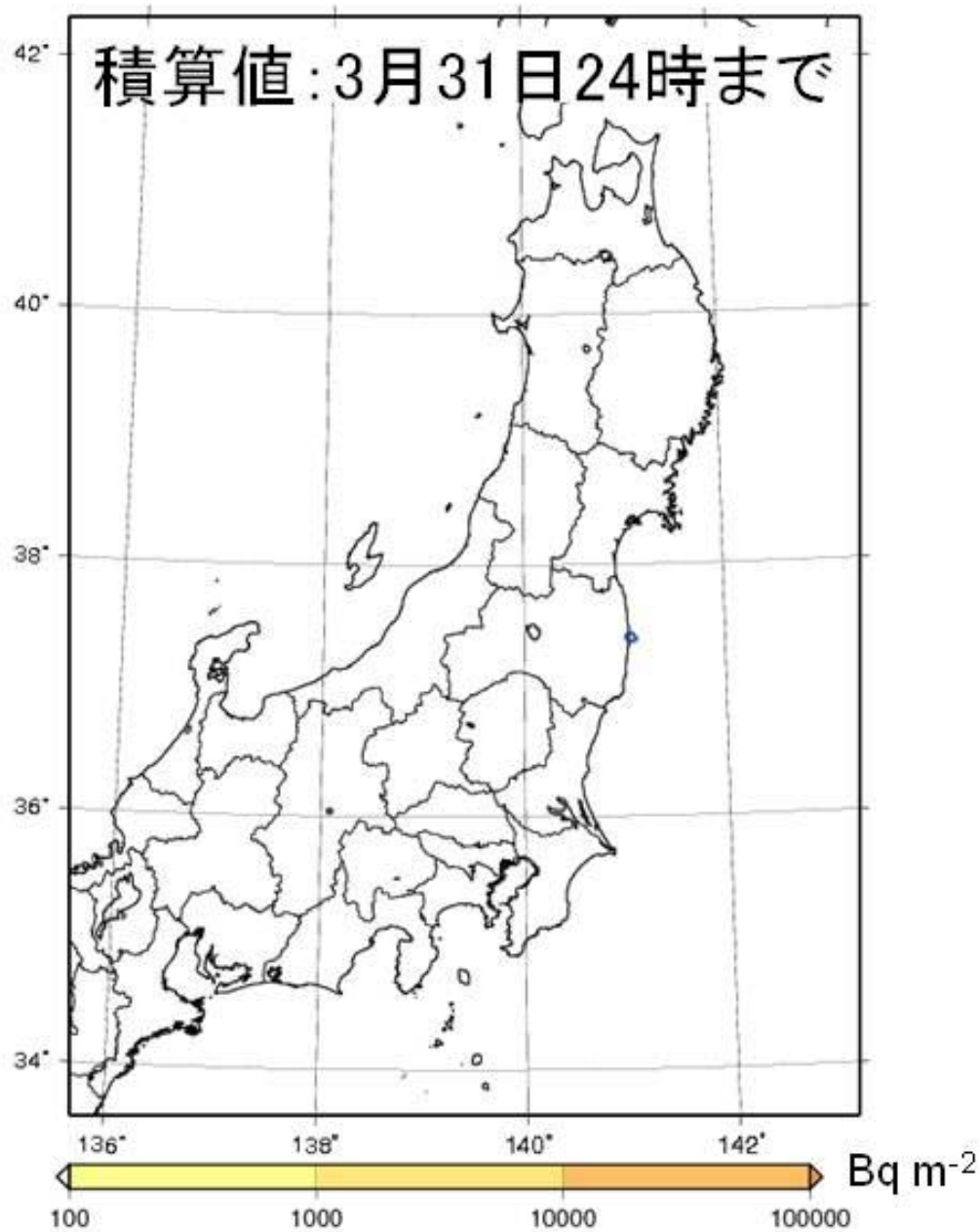




3月中の ^{137}Cs 積算降下量 時間変化

カラ一面塗り： ^{137}Cs 積算降下量

青色等値線： ^{137}Cs 地上濃度
[Bq m⁻³]



解明された事項

- 福島県中通りの線量上昇とサイト北西方向の高線量地帯は、3月15日午前と午後に放出された高濃度プルームの湿性沈着で形成
- 関東での降水量・線量分布は、3月15～16日の乾性沈着と3月21日の湿性沈着の寄与が大きく、湿性沈着が不均一分布を形成
- 放出点周辺のダストサンプリングデータや空間線量率から推定した放出率の妥当性を確認

成果の利用

利用機関	利用内容
厚生労働省	食品モニタリングの参考情報として、当時、広域航空機サーベイが終了していなかった地域の降水量予測結果を公開(8/31)
茨城県	県南部の空間線量率上昇過程を解明し、JAEAから報告(9/2環境放射線監視委員会)

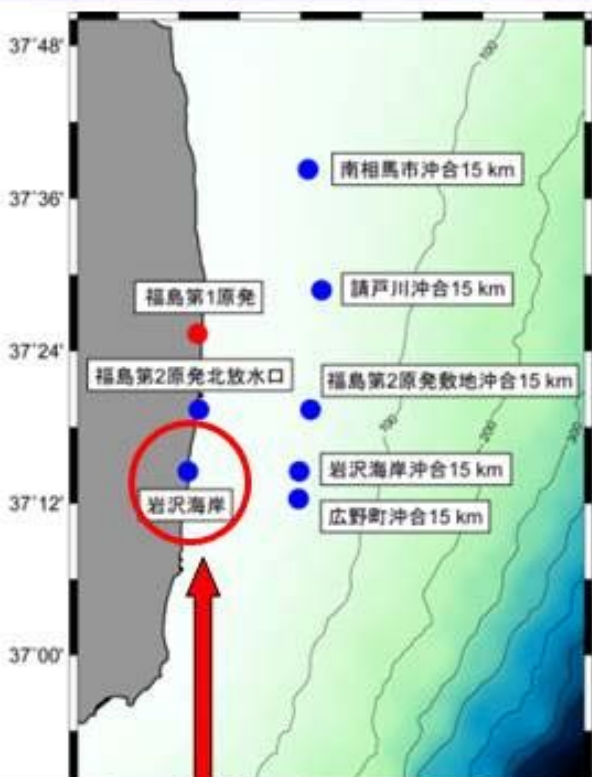
【目的】

東京電力福島第一原発から海洋に放出された放射性核種の移行・拡散を、福島沖海域近傍から日本近海域で詳細に解析することで、長期的な監視と今後の海洋放出対策に資する。

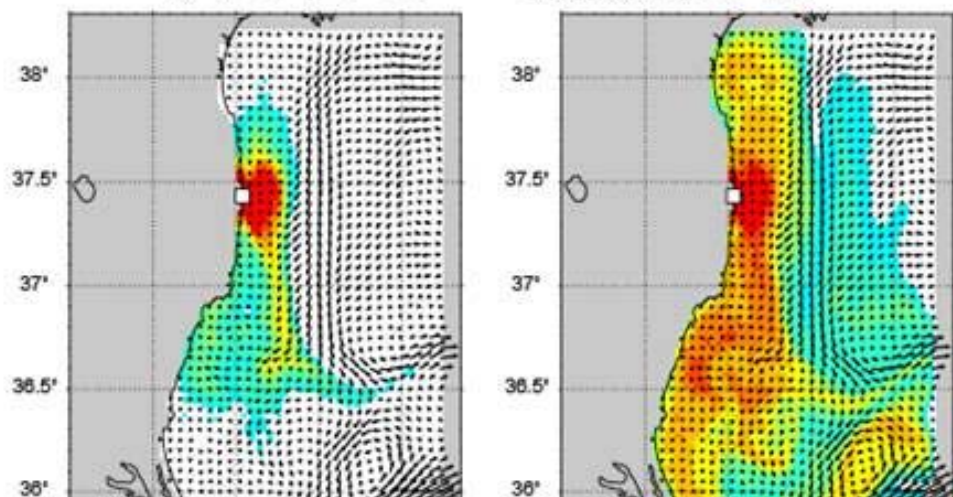
【解析モデルの特徴】

- 海洋場の計算： 3次元海洋力学モデル(京都大学が提供)
 - 人工衛星の海面水温及び海面高度データ、現場観測データ
 - 計算格子を3段階で高分解能化
太平洋広域(約18km)→日本近海(約6km)→福島沖(約2km)
- 海洋拡散計算：ラグランジュ型粒子拡散モデル SEA-GEAR
 - 対象核種： ^{131}I , ^{137}Cs
- 大気放出物質の海洋への供給を考慮： WSPEEDI計算と結合

福島沖計算とモニタリングの比較

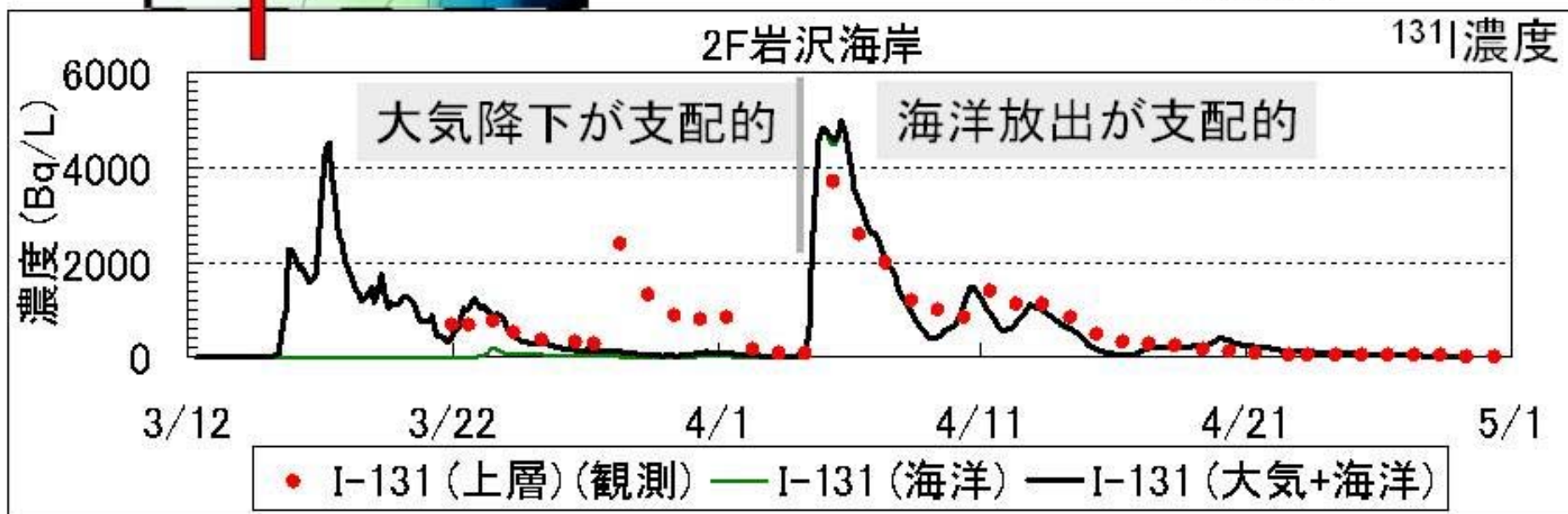


4月3日の¹³¹I濃度分布

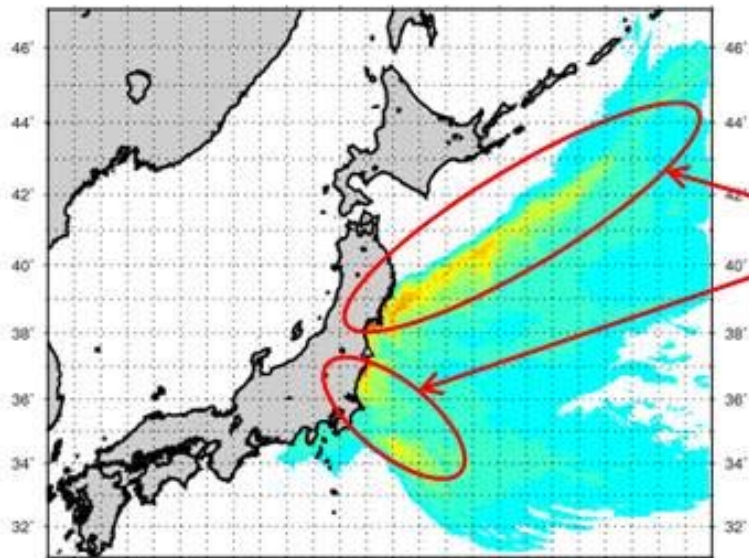


海洋放出のみ

大気降水量も使用



131I 表層濃度分布



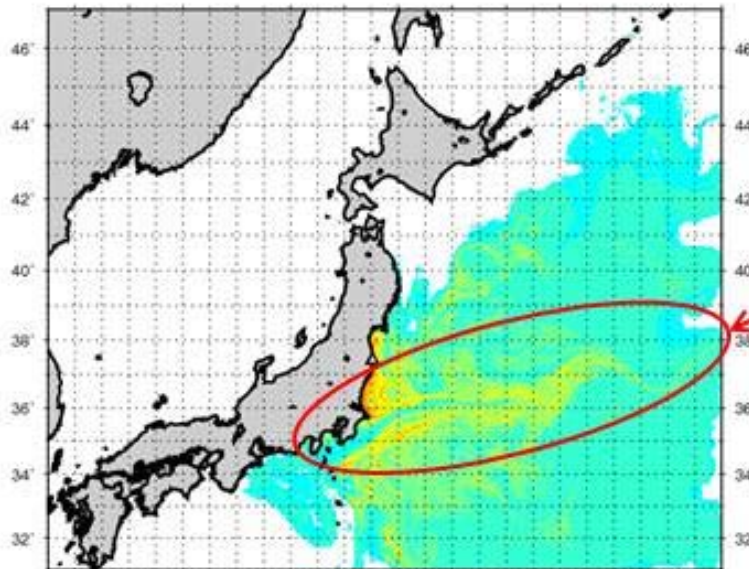
3月17日

3月12-16日の降雨沈着
3月16日の降雨沈着

← 大気沈着のみ

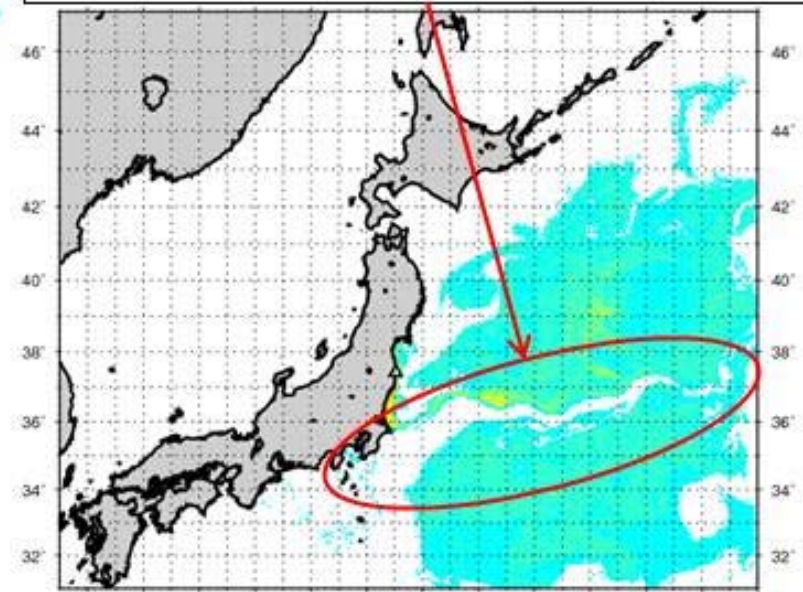
4月30日

黒潮続流による速やかな希釈効果が顕著



4月1日

黒潮続流により東方へ
輸送



Concentration[Bq/L]

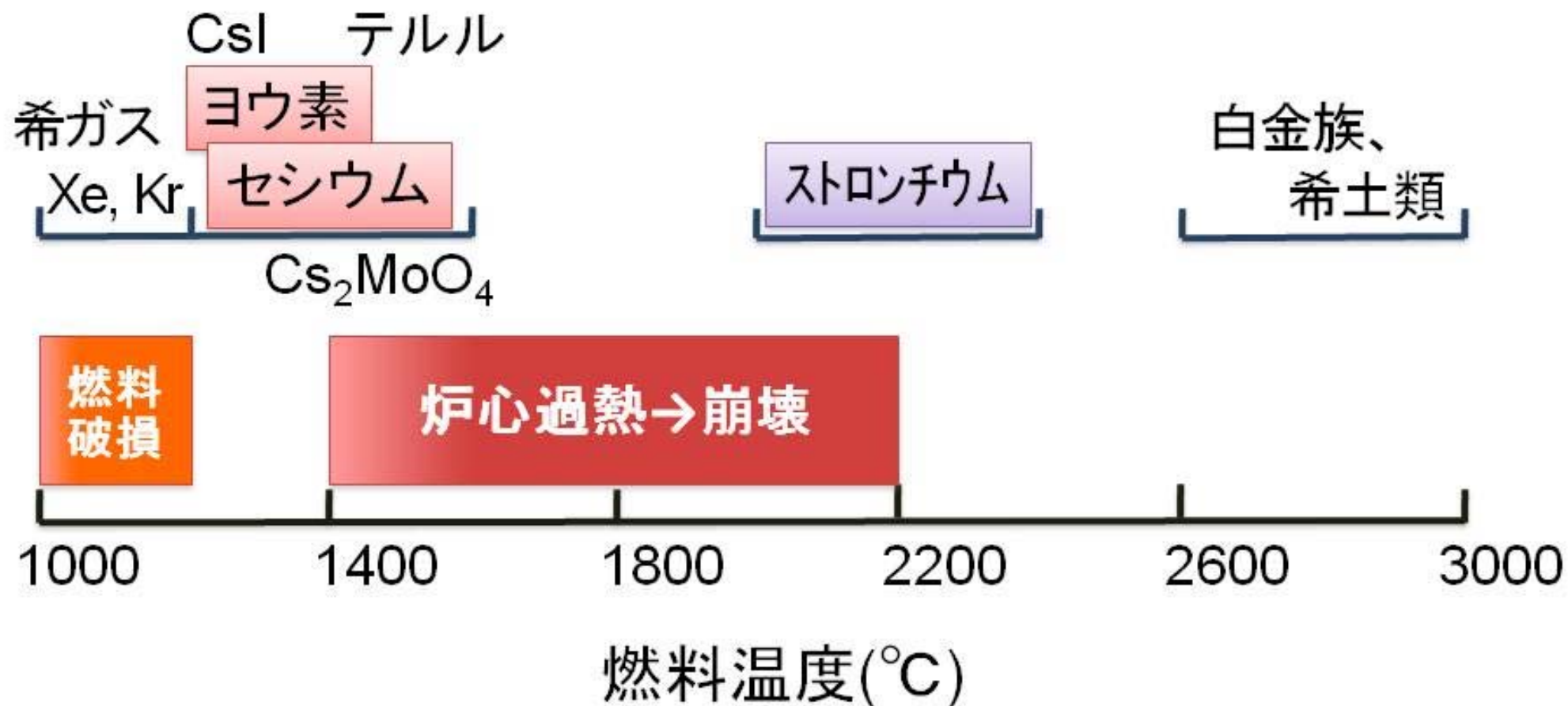
Concentration[Bq/L]

1. 滞留水分析

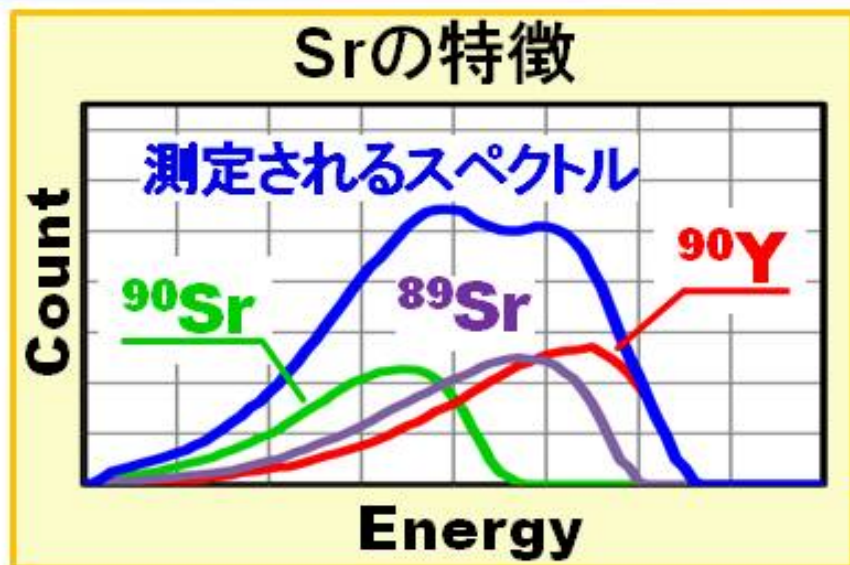
2. 滞留水処理の支援

化学分析の重要性

- 何が起きたか、今どうなっているかを考える重要な手がかり
 - 事故収束のための作業方針立案
 - 将来の過酷事故対策

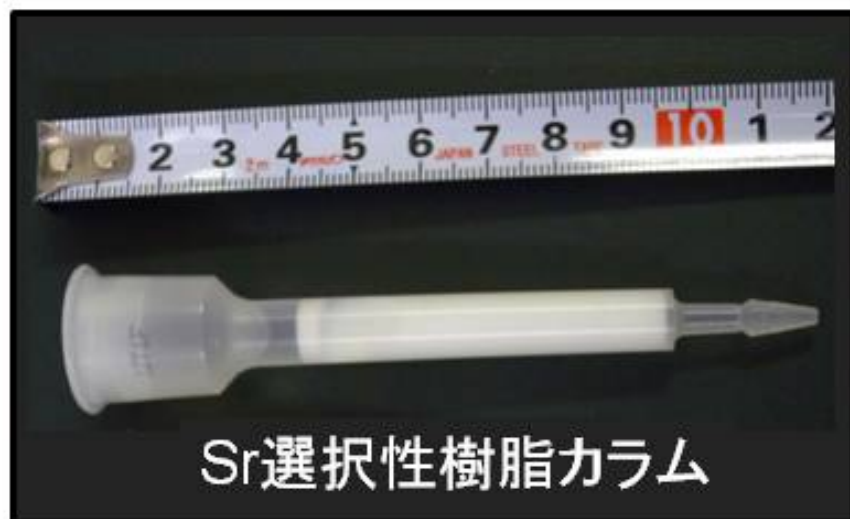


出典: IAEA Training in Level 2 PSA

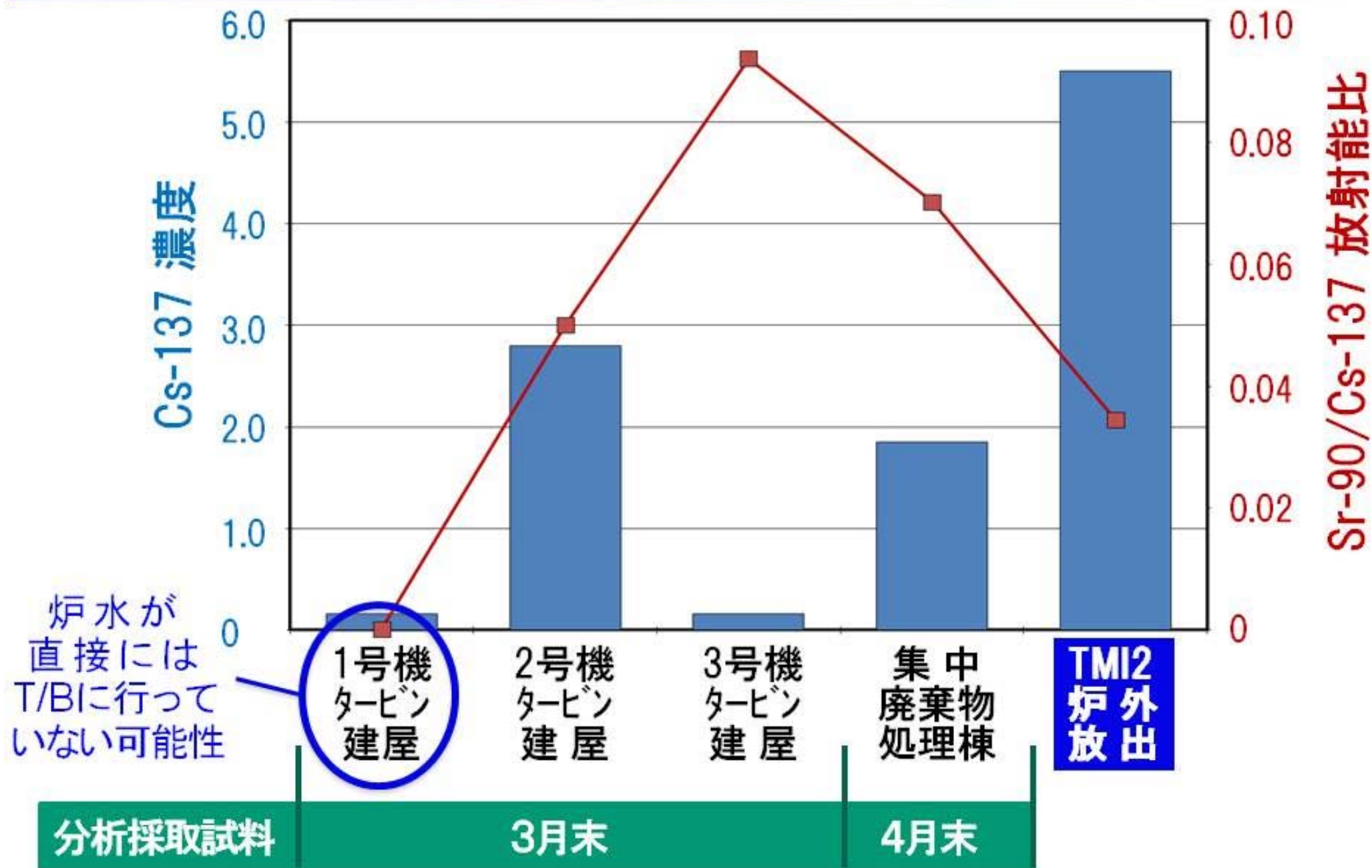


通常分離操作では、複数のベータ線放出核種が混在。正確、迅速な定量が困難

- 高濃度の放射性物質と海水組成に近い高濃度の塩成分
- 沈殿分離操作を不要とする
- 沈殿分離を含まない小規模なカラム操作のみで構成することを基本方針として、迅速に分析データを提供



汚染水中ストロンチウム分析結果



	福島	TMI-2	単位
	2号機 T/B	平均	
H-3	-	3.3E+04	Bq/ml
Sr-90	1.4E+05	1.9E+05	
I-131	2.0E+06	-	
Cs-134	2.6E+06	8.9E+05	
Cs-137	2.8E+06	5.5E+06	
pH	7.1	8.2~8.6	
Na	7,300	1,223	mg/L
K	300	-	
Mg+Ca	1,250	-	
Sr	5	0.1	
Cl	14,000	-	
SO4	2,000	-	

10月21日 3,700 mg/L

放射能濃度：同程度

海水

★Na、K濃度高→Cs分離困難

★安定Srが5ppm (TMIの数十倍)
かつSrと似たCaとMgが多量に
存在

→ Sr-90の分離困難

★塩分による容器腐食の懸念

汚染水発生量

福島滞留水量10万~20万m³は、
TMIの30倍以上

- 海水/無機吸着剤データベース:
原子力学会有志活動と連携
- 実廃液を用いた分離予備試験
- 放射線分解水素
- ヨウ素の挙動 ヨウ化物イオン/ヨウ素酸イオン

原子力学会有志チーム

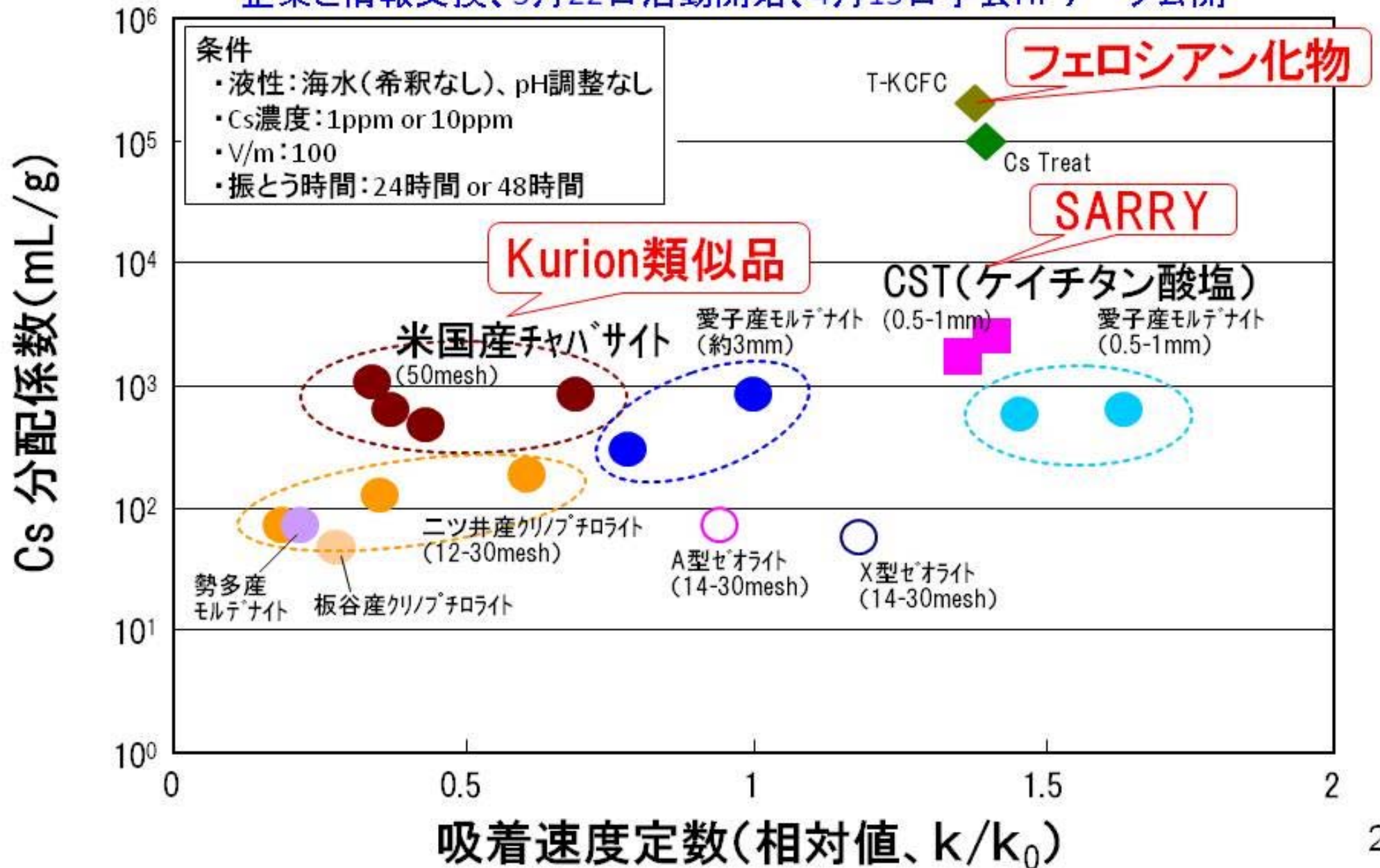
北大、東北大、東工大、京大、九大、JAEA

約60名(学生含む)、企業と情報交換

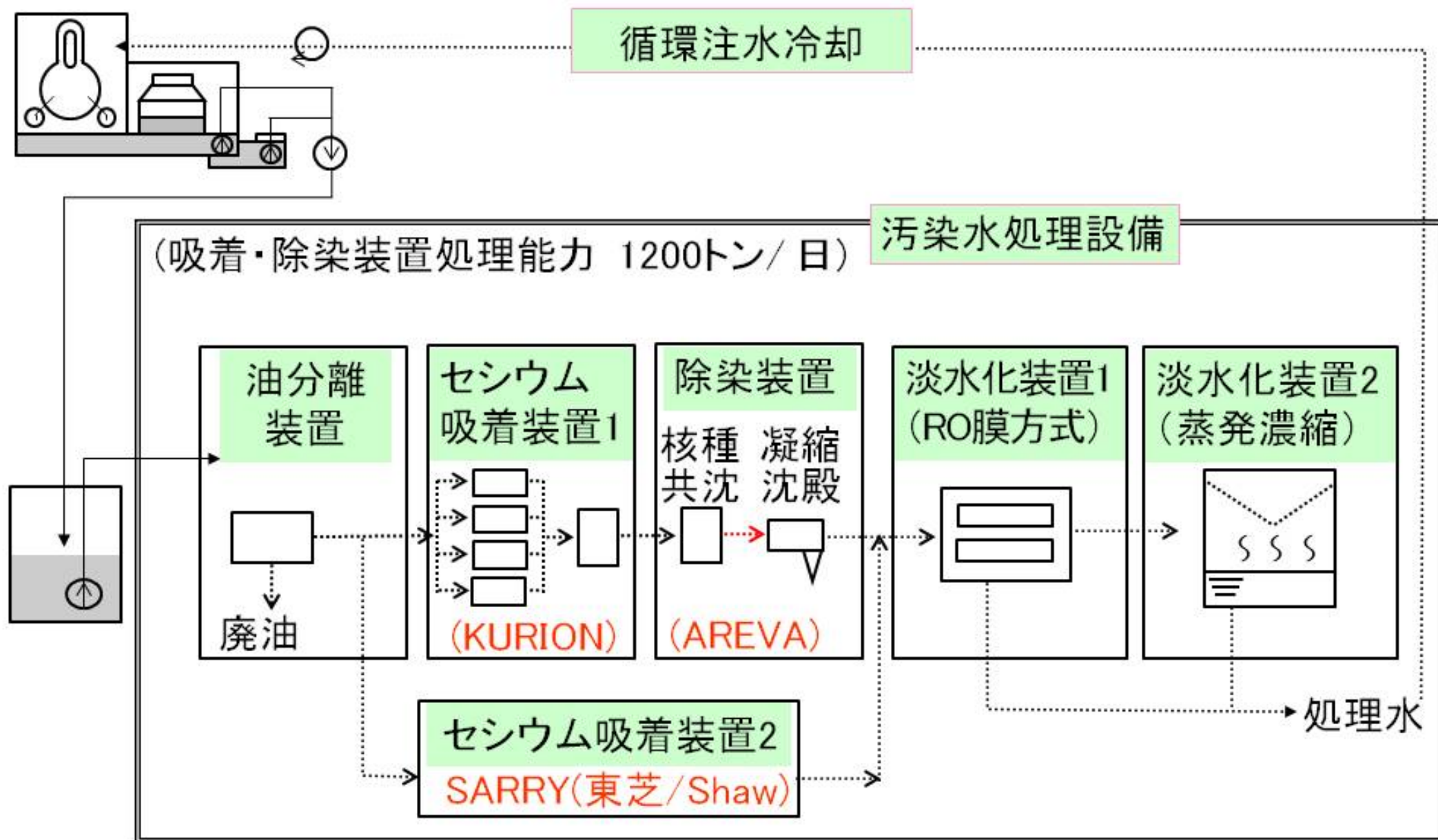
- 遠隔操作設備要求のほとんどない簡易な設備
- 大量資材の短期調達可能性
- 処理システム自体の高い安全性(放射線耐性):
 - × 有機溶媒、樹脂
- 海水を対象として所定の除染係数が得られること

原子力学会有志チーム

北大、東北大、東工大、京大、九大、JAEA、約60名(学生含む)
 企業と情報交換、3月22日活動開始、4月15日学会HPデータ公開

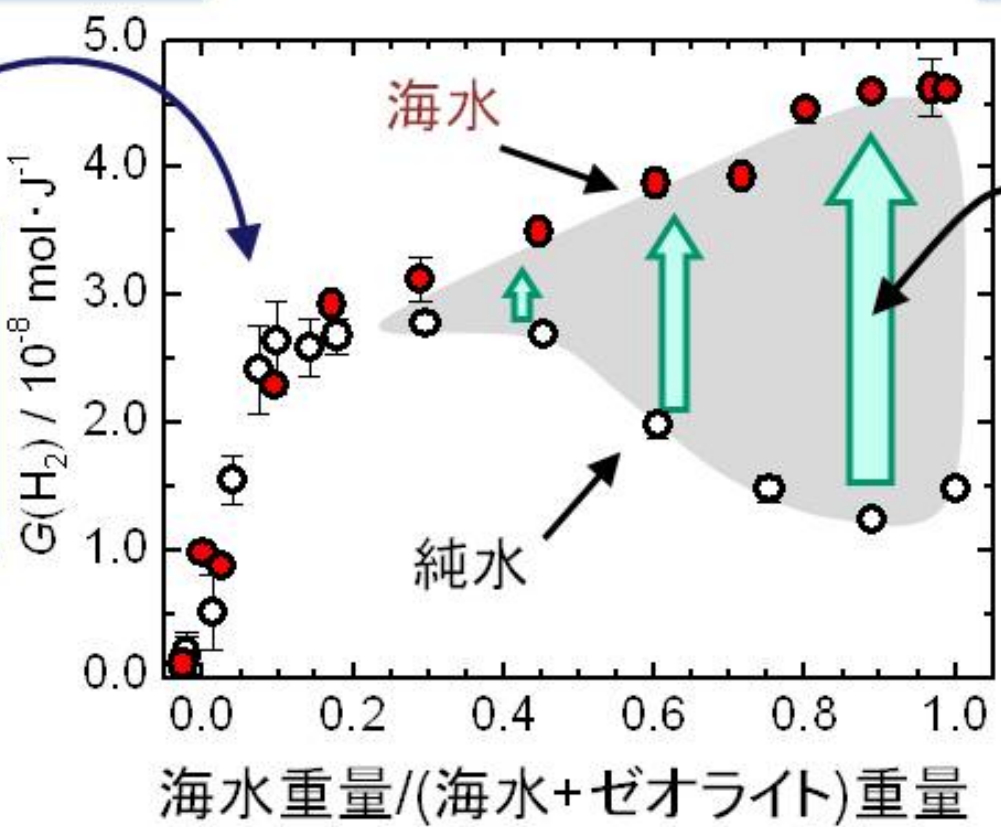


循環注水冷却と汚染水処理システム

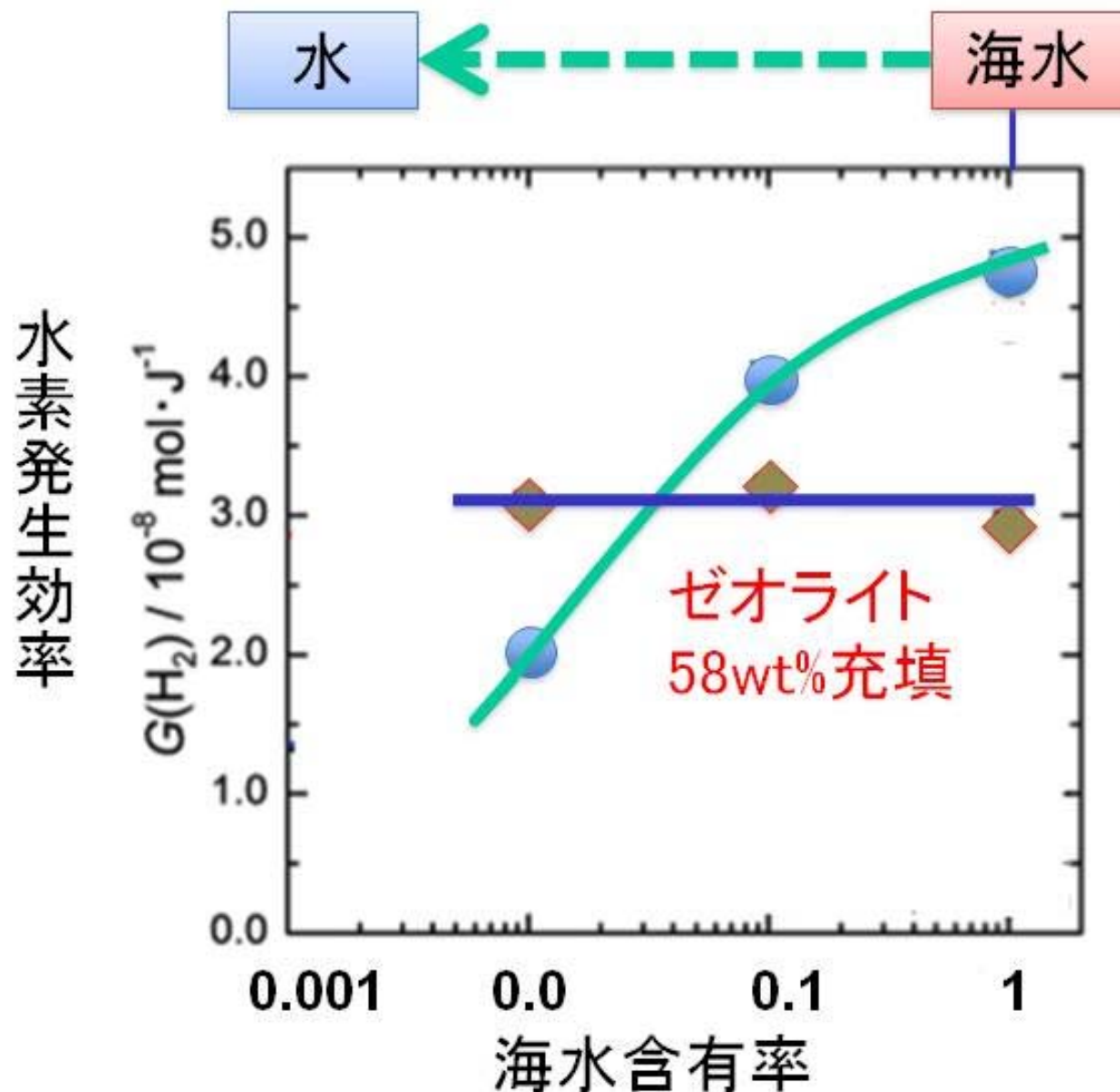


水分少 ← 水分多

ゼオライトによる触媒効果で水素発生率低下しない



海水塩分の影響により水素再酸化反応が阻害され、水素発生が顕著になる



ゼオライト充填層では海水濃度を希釈しても、水素発生量の抑制はあまり期待できない



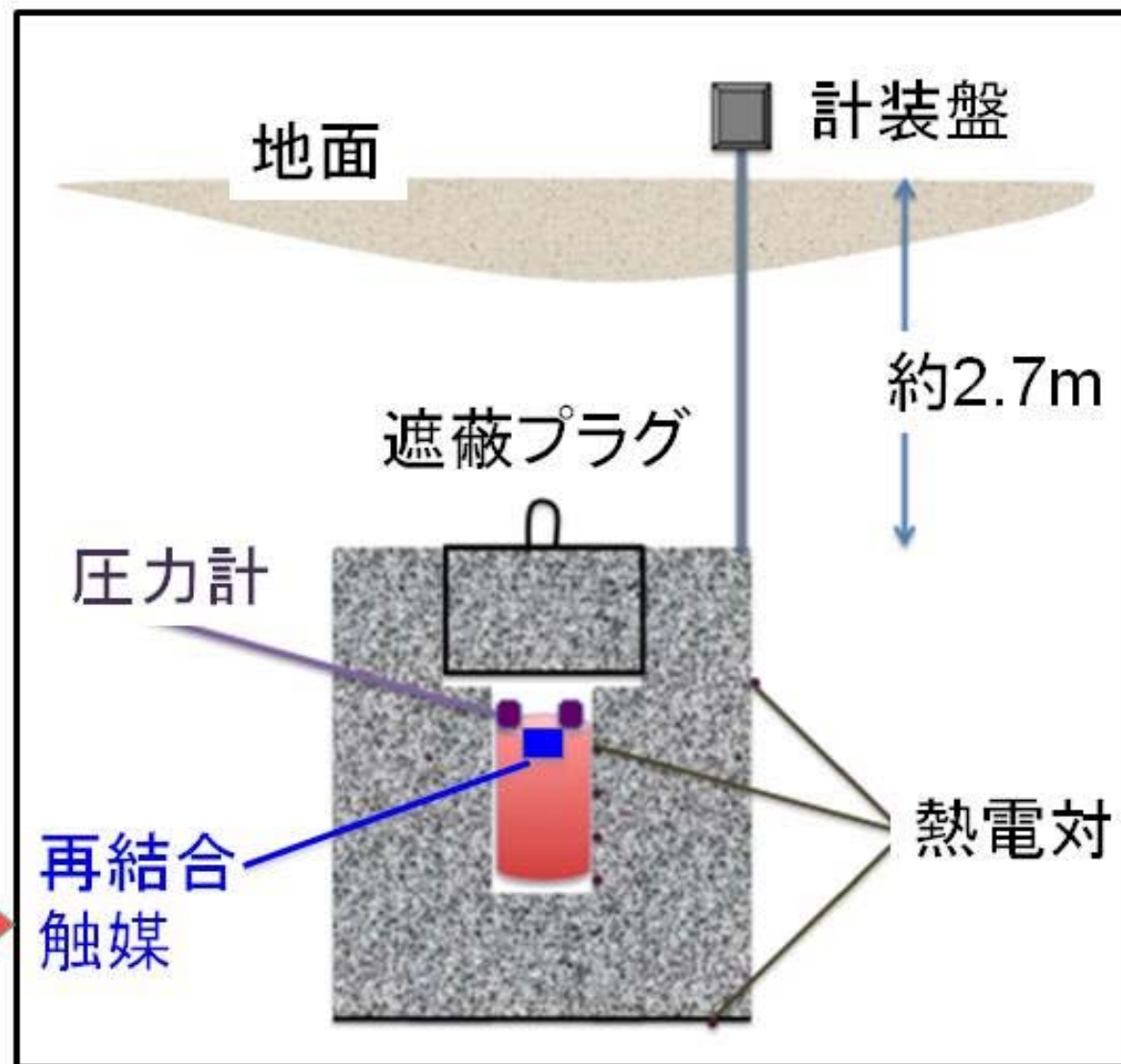
水抜き、掃気、再結合触媒装着等の対策が必要

水分を含む高放射性廃棄物の取扱、移送、保管

19個の吸着塔使用

- ・3個:
ガラス化試験に使用
- ・16個:
ワシントン州ハンフォード施設に、コンクリート・オーバーパックし、埋設保管。

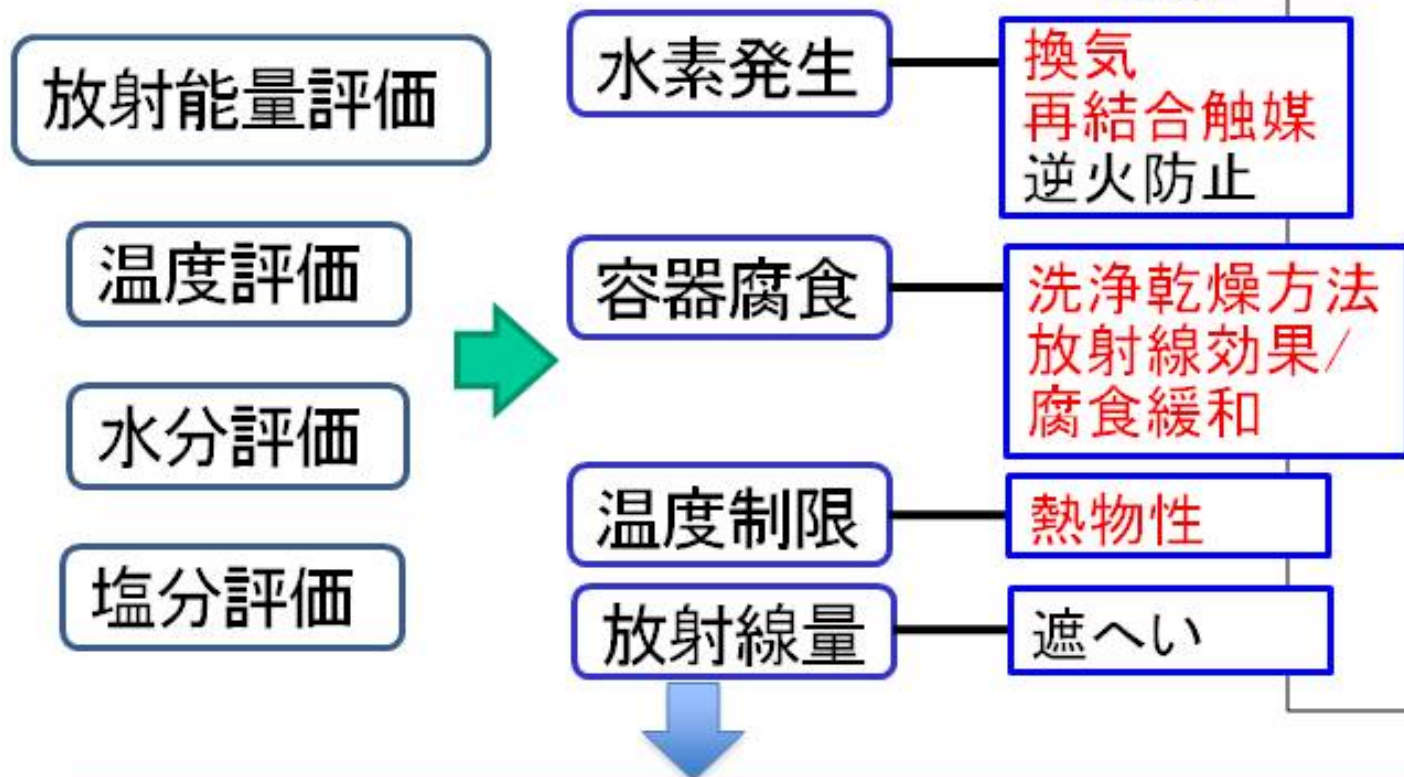
うち1個の内圧等を
長期監視。



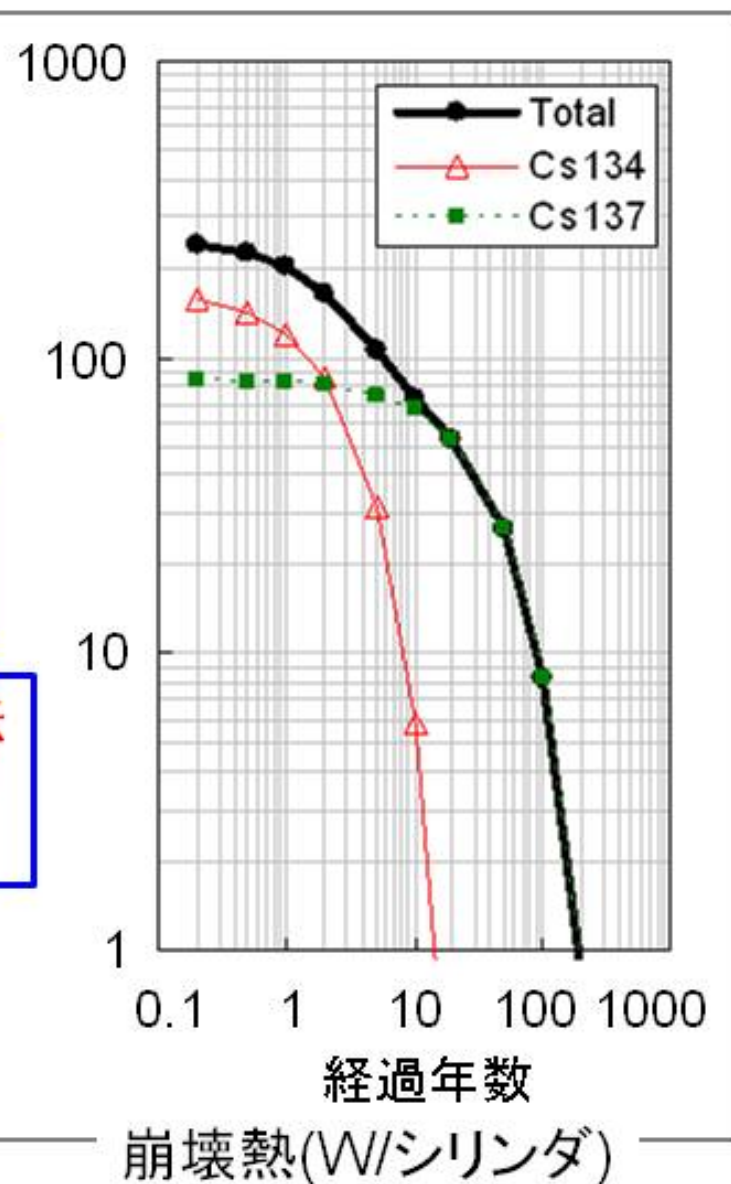
7/28	処理前液	KURION	AREVA
Cs-134	100%	0.21%	0.00%
Cs-137	100%	0.21%	0.00%

汚染水の99%以上のCsは吸着剤中

対策



長期保管・処理・処分オプションのリスク・コスト評価

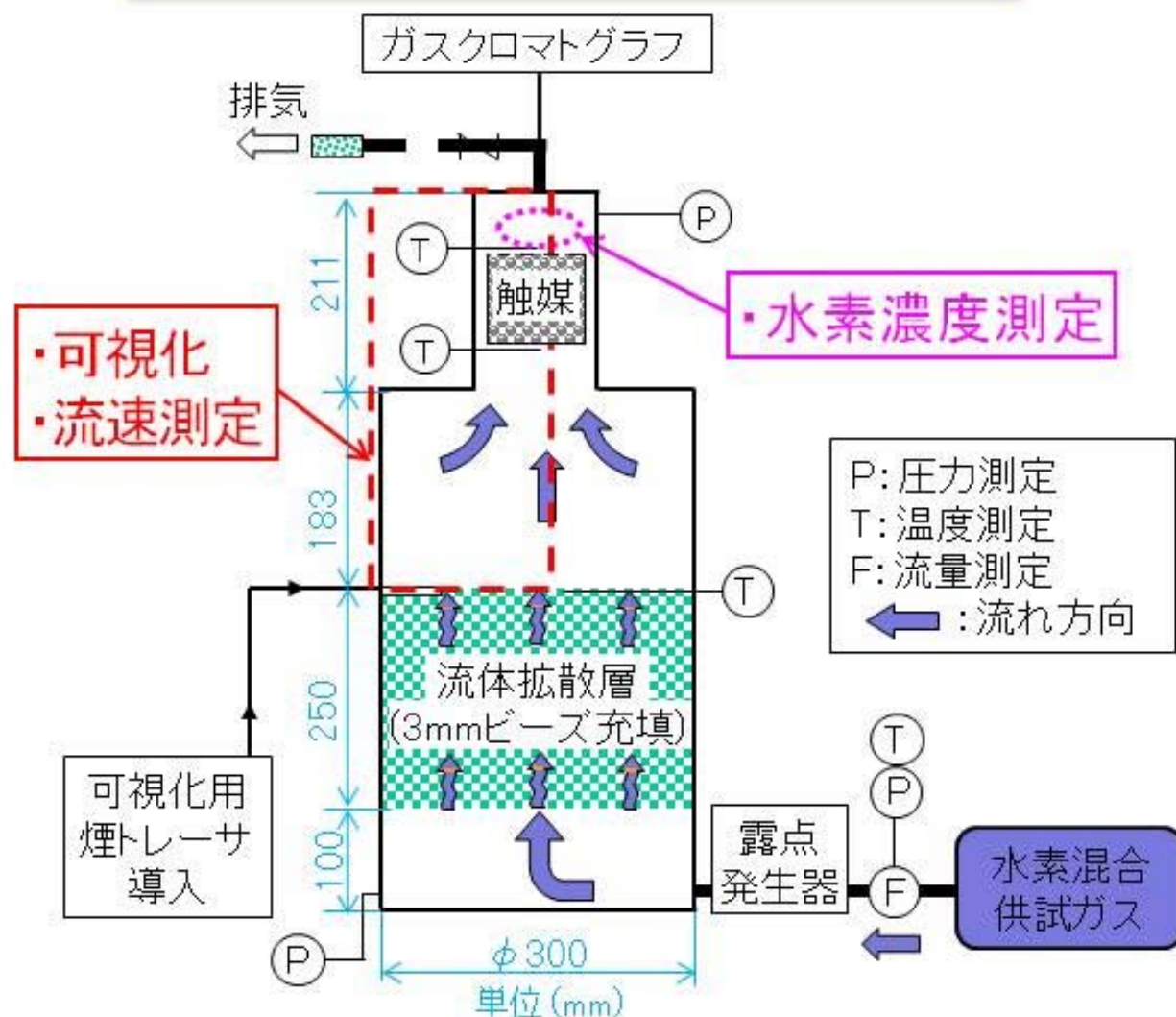


原子力事故対応や
含水廃棄物管理

CFD解析の保証

水素混入系のCFD
(数値流体力学)と流動
試験の組み合わせ

水素流動試験システム
大洗研究開発センターに設置



水素拡散試験装置の系統

- ポリイオン利用による土壌剥離技術
- 学校プール水除染(ゼオライト利用、新規捕集剤試験)
- 除染効果評価システム開発

III-1. ポリイオン

ポリイオン=電荷を持った水溶性ポリマー
低毒性物質による環境除染

	陽イオン	陰イオン
天然ポリイオン	<p>カチオン性セルロース</p> <p>木材の繊維から作られる</p>	<p>カルボキシ メチルセルロース</p> <p>増粘剤、安定剤。アイスクリーム、シャーベット、めん類、ソース等に添加。</p>
合成ポリイオン	<p>ポリダドマック (poly-DADMAC)</p> <p>飲料水の処理剤として、大量に使われている</p>	<p>ポリアクリル酸Na塩</p> <p>高吸水性高分子として、紙おむつ、ローション等に利用</p>

※ 塩(NaCl)等を分散剤として加えることがあるが、塩害が生じるほどの量ではない

研究協力

茨城大学 熊沢 紀之 准教授
北海道大学 佐藤 努 教授

(正)ポリイオン+(負)ポリイオン

⇒ ゲル状の複合体

乾燥すると縮んで硬くなり、
土壌粒子飛散を防止

環境に負荷を与えず、作業員
の内部被ばくも防止

乾燥したポリイオン
安価: 150円/m²散布



水溶液散布後乾燥固化



伊達市土壤の除染試験(上小国)

面積: 22 m × 22 m

散布: 5 t

小国ふれあいセンター

H23年7月



剥ぎ取りの深さ: 約 2 cm

廃土 9.7m³、表面線量 6.8 μSv/h

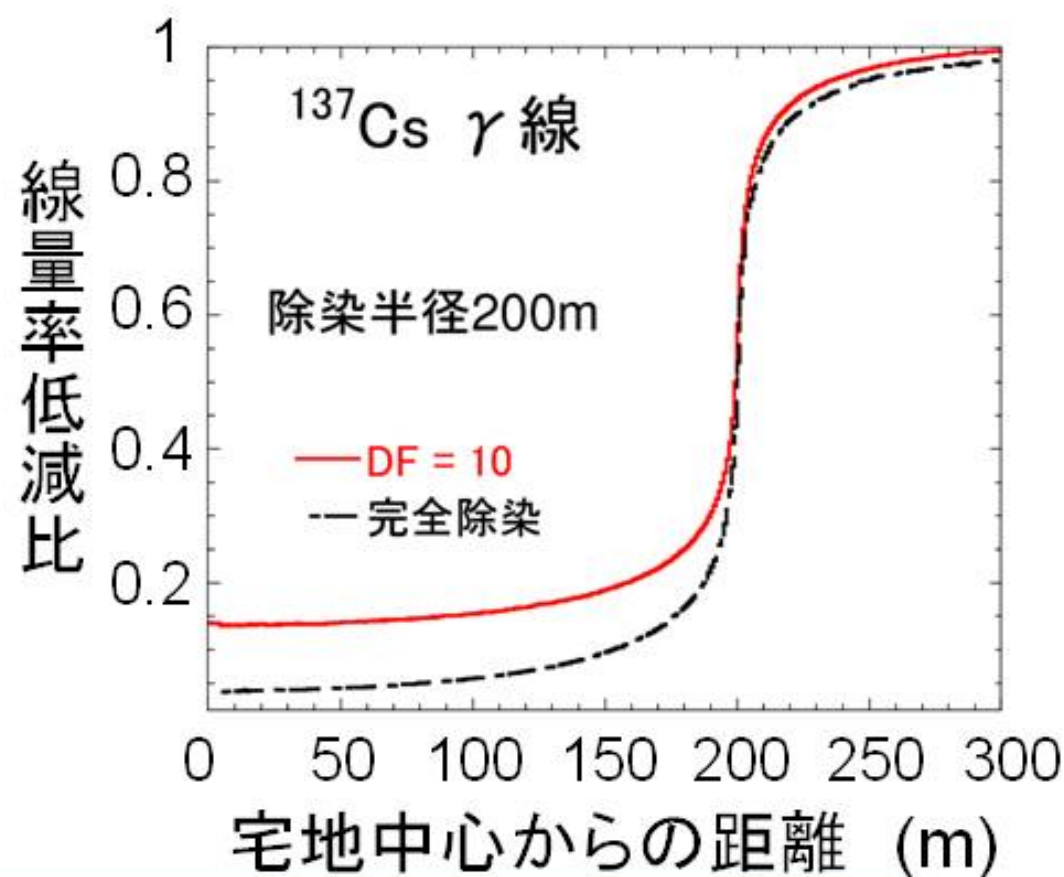
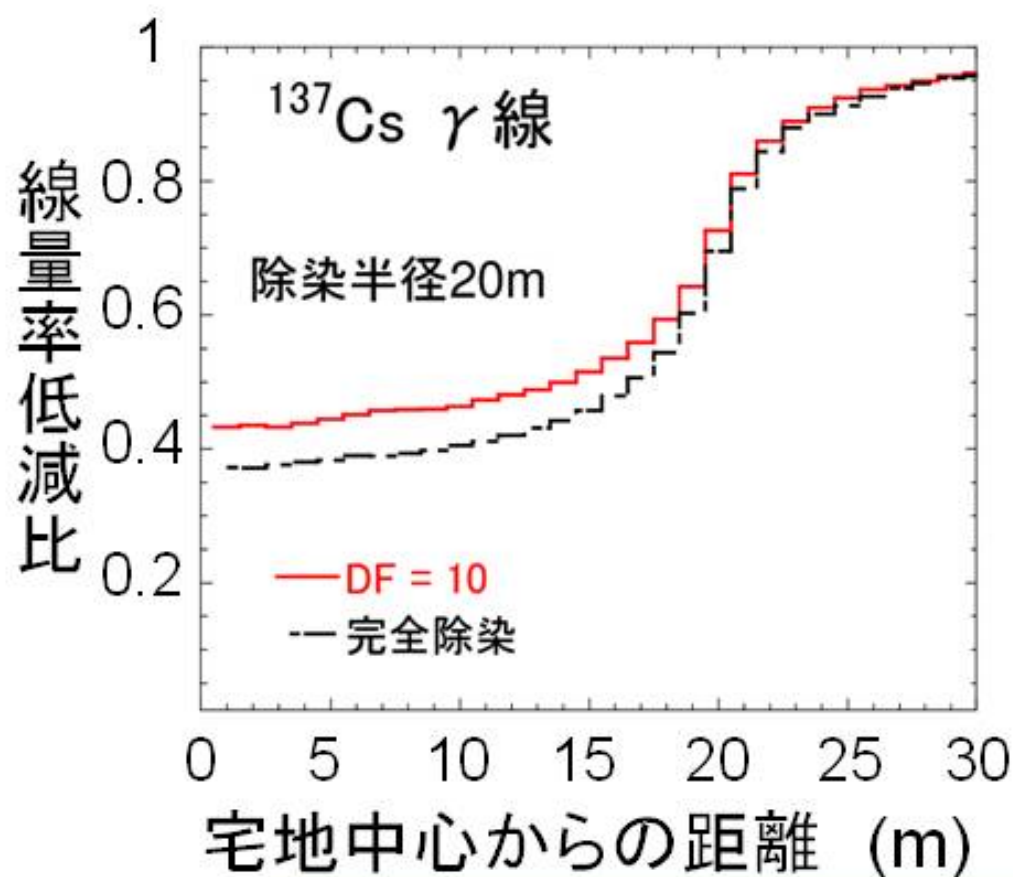
除去率: 85 % 以上



ポリイオンにより
固まった表土

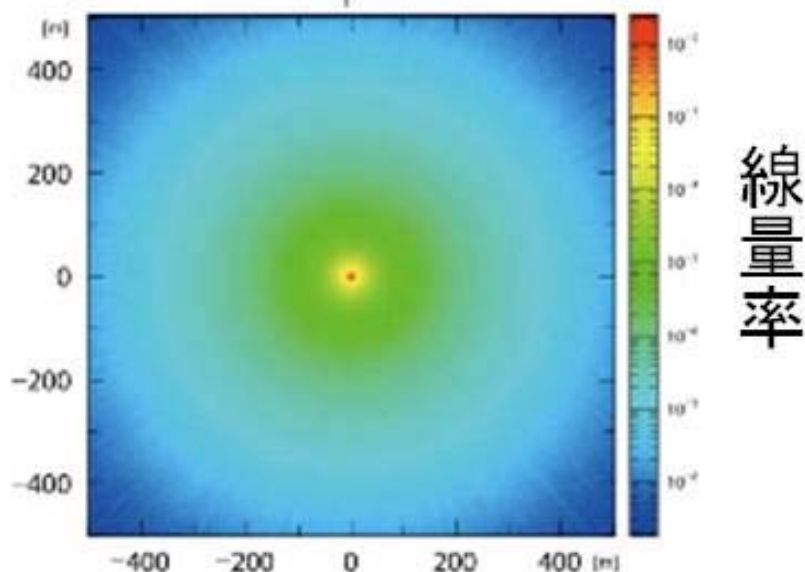
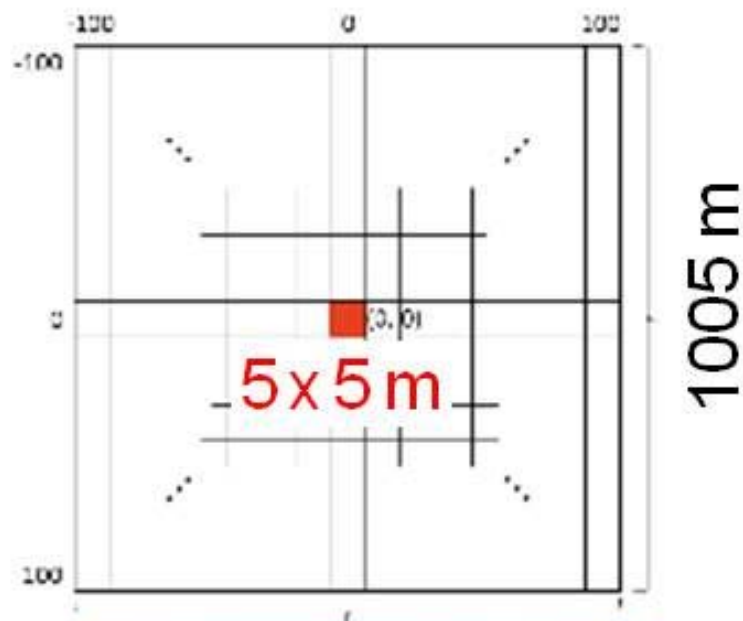
平成23年7月27日 技術報告公開

広域を除染しないと、除染係数から期待されるほどには線量率は低下しない



除染効果に関する簡易式: 内閣府原子力被災者生活支援チームで利用

除染計画立案のためのツールの提供



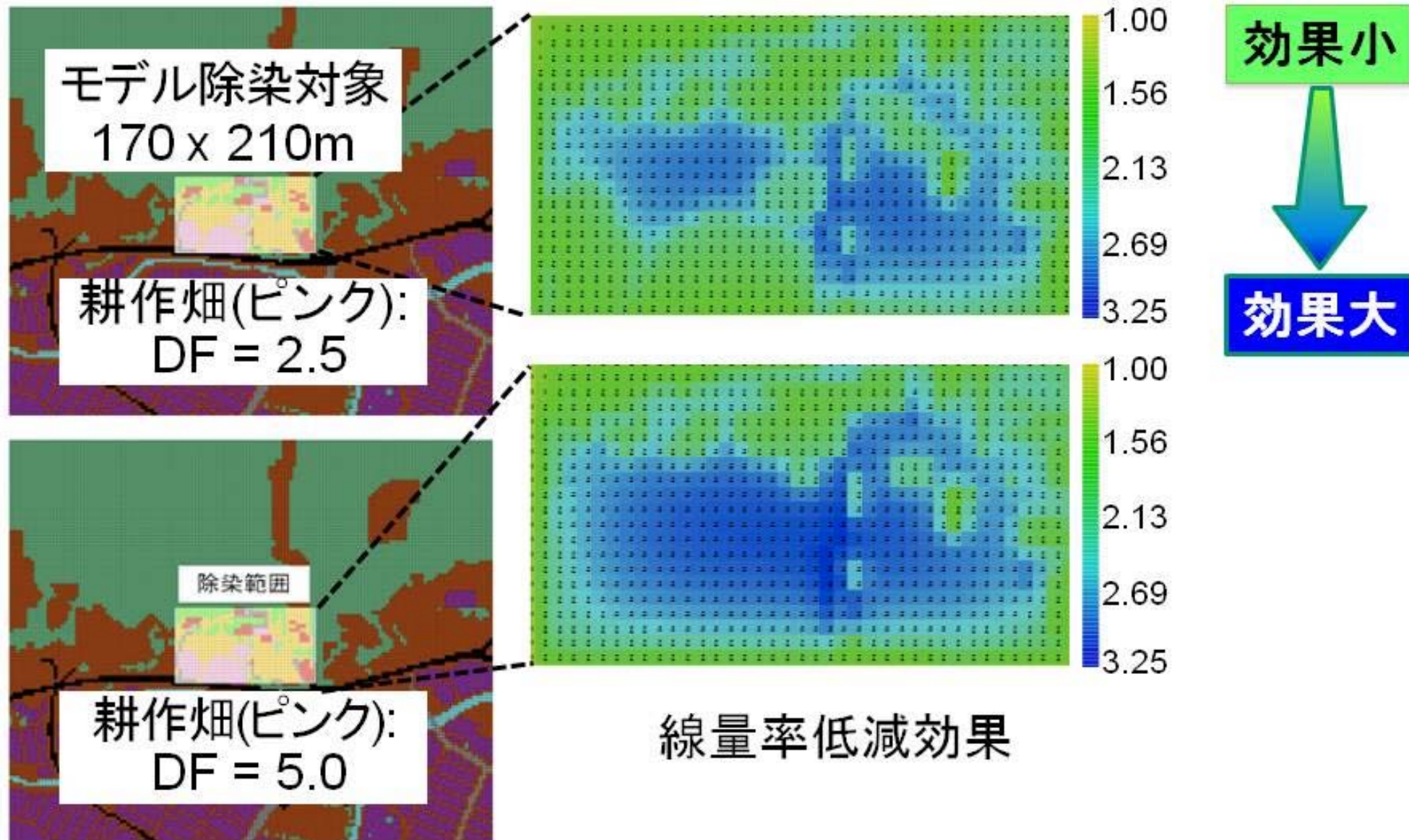
PHITS

連続エネルギー・モンテカルロによる三次元粒子輸送計算コード

近隣、遠方の汚染からの直接線、散乱線による線量率応答マトリックス生成



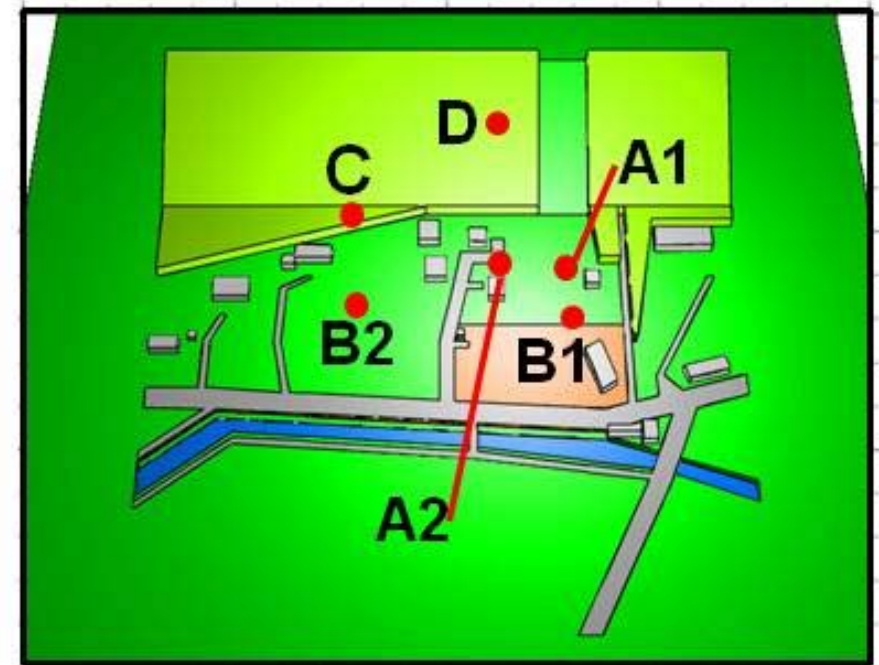
地形情報
土地利用状況
汚染分布
区画ごとの除染係数



PHITSによる3次元詳細計算と比較

単位: $\mu\text{Sv/hr}$

	実測値	CDE	PHITS
グラウンド東側 (除染済) A1	1.0	1.1	0.8
グラウンド西側 (未除染) A2	3.1	2.1	2.0
国道東側 B1	1.6	1.6	1.5
国道西側 B2	2.0	1.9	1.7
牧草地 C	2.0	2.0	2.0
民家裏 D	1.7	1.8	1.7



PHITSに組み込んだ体系

- CDEの結果は概ね良好であることを確認
(A2:グラウンド東側を除染した土壌を一時保管中であった)
- PHITSに比べて計算結果を迅速に確認することが可能
(CDE:数秒程度、PHITS:100時間以上)

設定した地形データで地図を塗絵
マウス操作で入力 (GUI入力支援)

ホームページ上で
11月2日より無償公開

<http://nsed.jaea.go.jp>

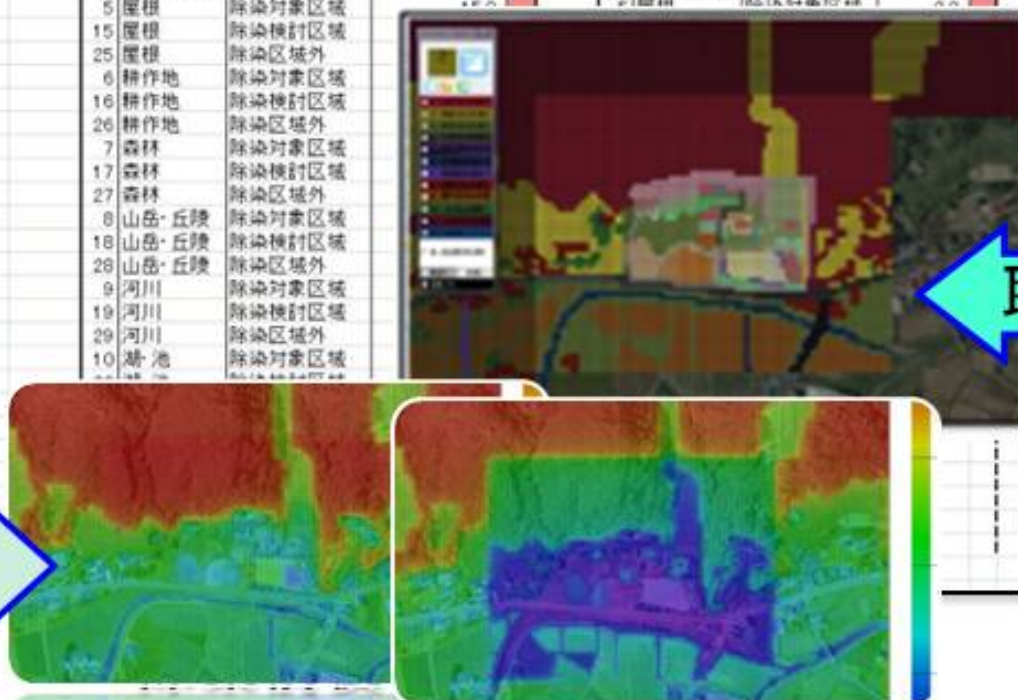
メッシュ数		地形データ				除染係数データ					
縦方向	横方向	ID	ラベル1	ラベル2	表面密度 (Eq/平方cm)	色	ID	ラベル1	ラベル2	除染係数	色
120 行	140 列	0	バックグラウンド		15.0		0	バックグラウンド		1.0	
メッシュ幅		1	土壌	除染対象区域	8.0		1	土壌	除染対象区域	5.0	
5 m		11	土壌	除染検討区域	8.0		11	土壌	除染検討区域	1.0	
応答行列メッシュ数		21	土壌	除染区域外	8.0		21	土壌	除染区域外	1.0	
201 行/列		2	草地	除染対象区域	12.0		2	草地	除染対象区域	2.0	
地形画像ファイル名		12	草地	除染検討区域	12.0		12	草地	除染検討区域	1.0	
version_011\images\SaMde.jp		22	草地	除染区域外	12.0		22	草地	除染区域外	1.0	
		3	舗装道路	除染対象区域	9.0		3	舗装道路	除染対象区域	10.0	
		13	舗装道路	除染検討区域	9.0		13	舗装道路	除染検討区域	1.0	
		23	舗装道路	除染区域外	9.0		23	舗装道路	除染区域外	1.0	
		4	未舗装道路	除染対象区域	18.0		4	未舗装道路	除染対象区域	10.0	
		14	未舗装道路	除染検討区域	18.0		14	未舗装道路	除染検討区域	1.0	
		24	未舗装道路	除染区域外	18.0		24	未舗装道路	除染区域外	1.0	
		5	屋根	除染対象区域	15.0		5	屋根	除染対象区域	1.0	
		15	屋根	除染検討区域	15.0		15	屋根	除染検討区域	1.0	
		25	屋根	除染区域外	15.0		25	屋根	除染区域外	1.0	
		6	耕作地	除染対象区域	12.0		6	耕作地	除染対象区域	1.0	
		16	耕作地	除染検討区域	12.0		16	耕作地	除染検討区域	1.0	
		26	耕作地	除染区域外	12.0		26	耕作地	除染区域外	1.0	
		7	森林	除染対象区域	12.0		7	森林	除染対象区域	1.0	
		17	森林	除染検討区域	12.0		17	森林	除染検討区域	1.0	
		27	森林	除染区域外	12.0		27	森林	除染区域外	1.0	
		8	山岳・丘陵	除染対象区域	12.0		8	山岳・丘陵	除染対象区域	1.0	
		18	山岳・丘陵	除染検討区域	12.0		18	山岳・丘陵	除染検討区域	1.0	
		28	山岳・丘陵	除染区域外	12.0		28	山岳・丘陵	除染区域外	1.0	
		9	河川	除染対象区域	12.0		9	河川	除染対象区域	1.0	
		19	河川	除染検討区域	12.0		19	河川	除染検討区域	1.0	
		29	河川	除染区域外	12.0		29	河川	除染区域外	1.0	
		10	湖・池	除染対象区域	12.0		10	湖・池	除染対象区域	1.0	
		20	湖・池	除染検討区域	12.0		20	湖・池	除染検討区域	1.0	
		30	湖・池	除染区域外	12.0		30	湖・池	除染区域外	1.0	

地図情報

- ・地図をスキャン
- ・地図サイトの画像を保存

実行結果

取込



IV. 原子力基礎・基盤研究の今後

盲点の洗い出しと体系化

損傷炉心 + 海水（「最終的な水源」の位置づけ）

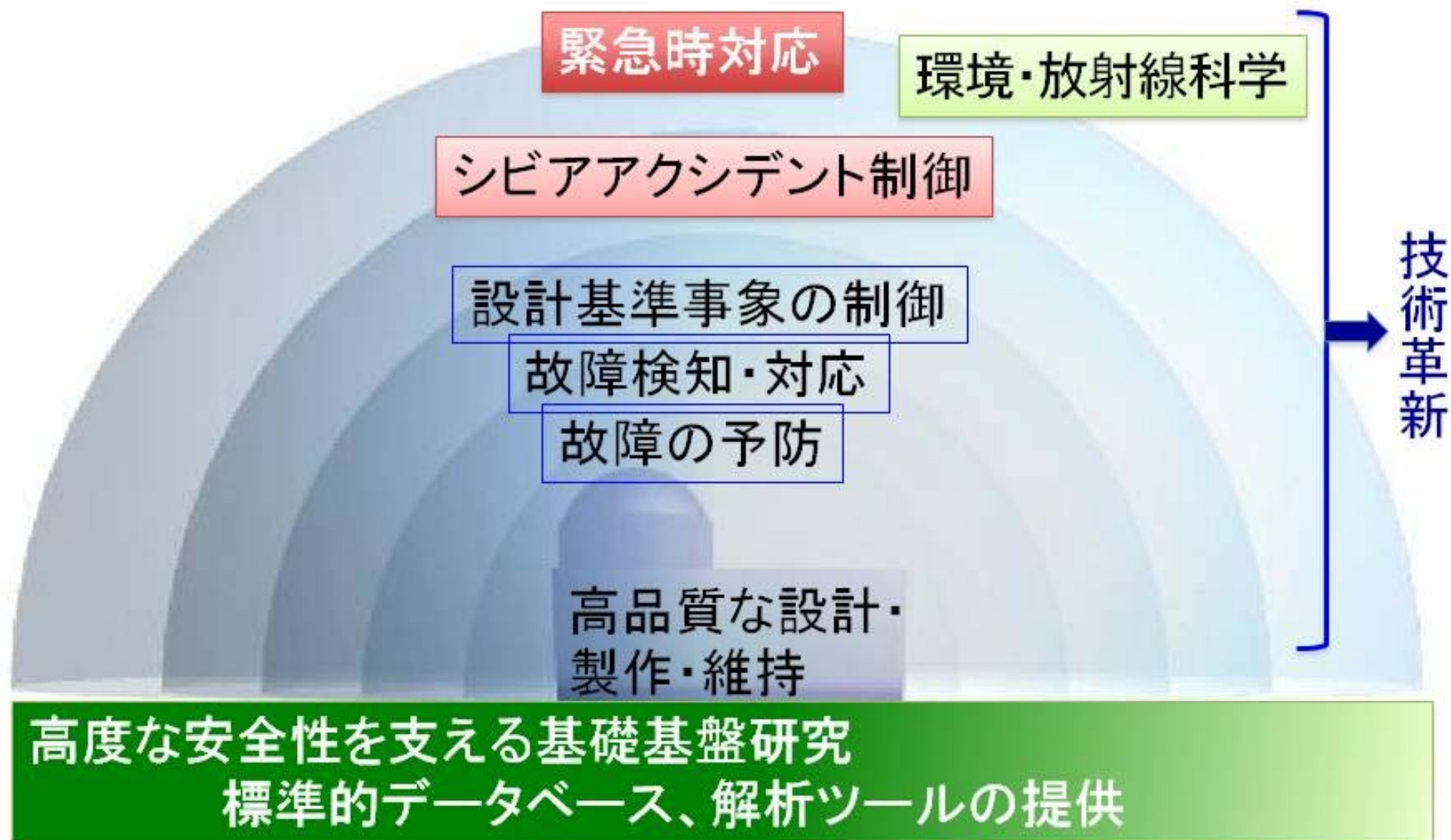
水素混合系熱流動

放射線 + 化学複合事象

廃止措置関連基礎データ

環境/放射線安全の科学的高度化

リスク評価とコミュニケーション ⇨ バックエンド



- 東電福島第一原子力発電所事故は過去に前例のない様々な課題を提起した。迅速な対応が求められる中で、学会活動とも連携しつつ、有効な貢献のあり方を探って来た。
- 放射性物質の環境挙動の解明、汚染水の安定処理への基礎的データ提供、国や自治体による環境修復活動のためのツール(除染技術、除染効果評価システム等)の提供といった活動を進めて来た。今後も発電所内の安定化、廃棄物処理・処分、環境修復に向けて、基礎的なデータや基盤的な技術を提供する活動を継続する。
- 原子力の最高度の安全性の実現のために、体系的・持続的な研究活動に根ざし、直面する諸課題に即応出来る体制を整えたい。