



平成28年度 筑波大学
構造エネルギー工学大学院特別講義

環境回復の研究開発
—高度化する無人モニタリング技術—

2016年7月6日

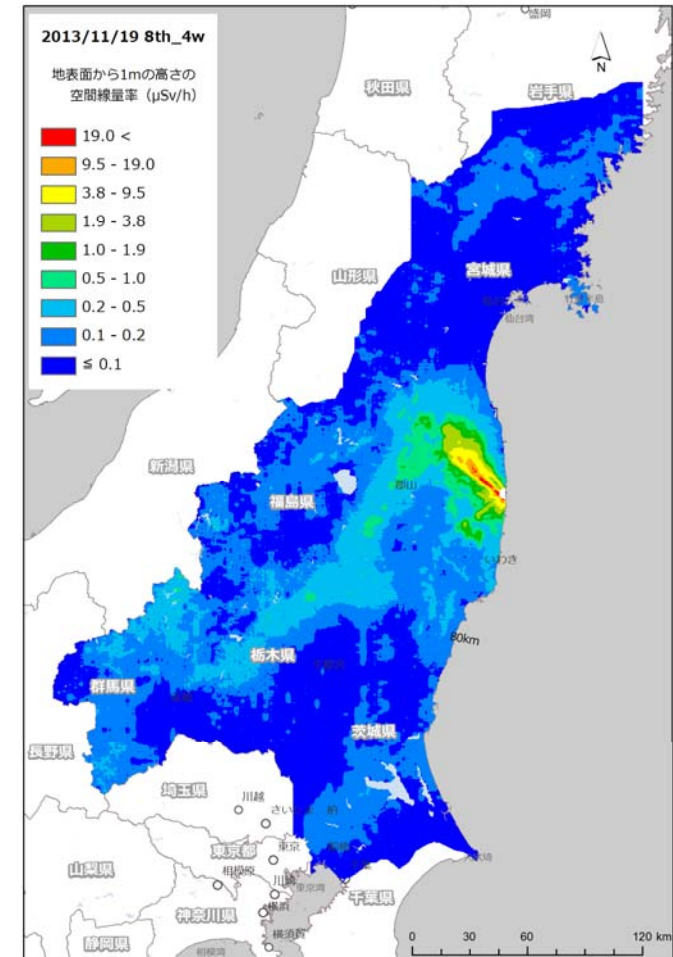
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門 福島環境安全センター
真田 幸尚

・福島第1原子力発電所事故後、周辺は放射性セシウムにより広範囲に汚染が分布。



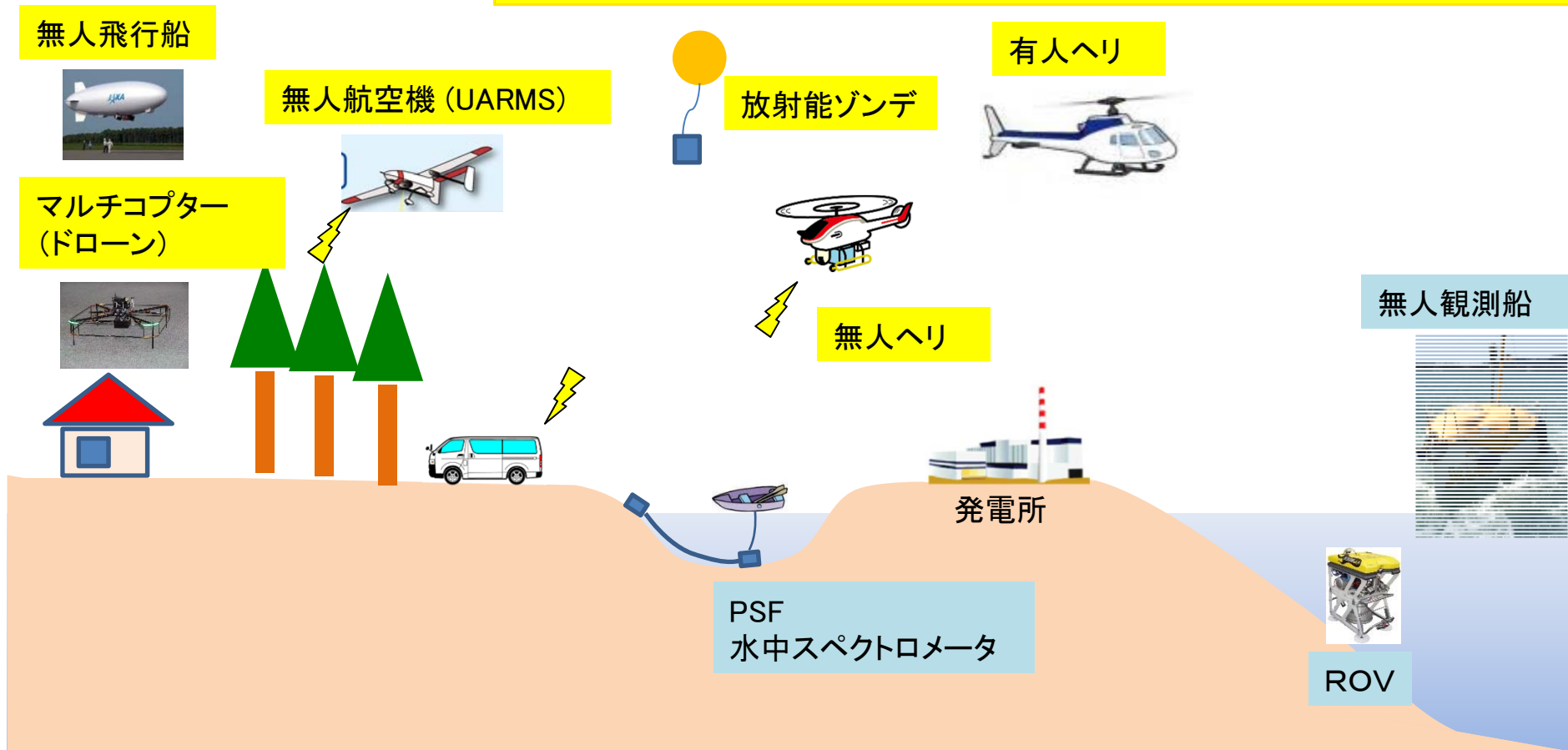
・復興、住民帰還の促進のため、迅速で正確かつ様々な特殊な場所に対応できる放射線計測方法が求められている。

(ex) 高線量、森林、水底、水中



★ 空からの遠隔・無人放射線モニタリング技術⇒発電所周辺の放射線量分布状況の把握

・避難指示区域の設定・除染区域の決定・住民帰還の加速化



★ 水底の直接モニタリング技術⇒ため池・ダム・河口域等の放射性物質濃度分布状況

・営農再開の加速化・放射性物質の挙動理解

▪ 上空からの測定技術

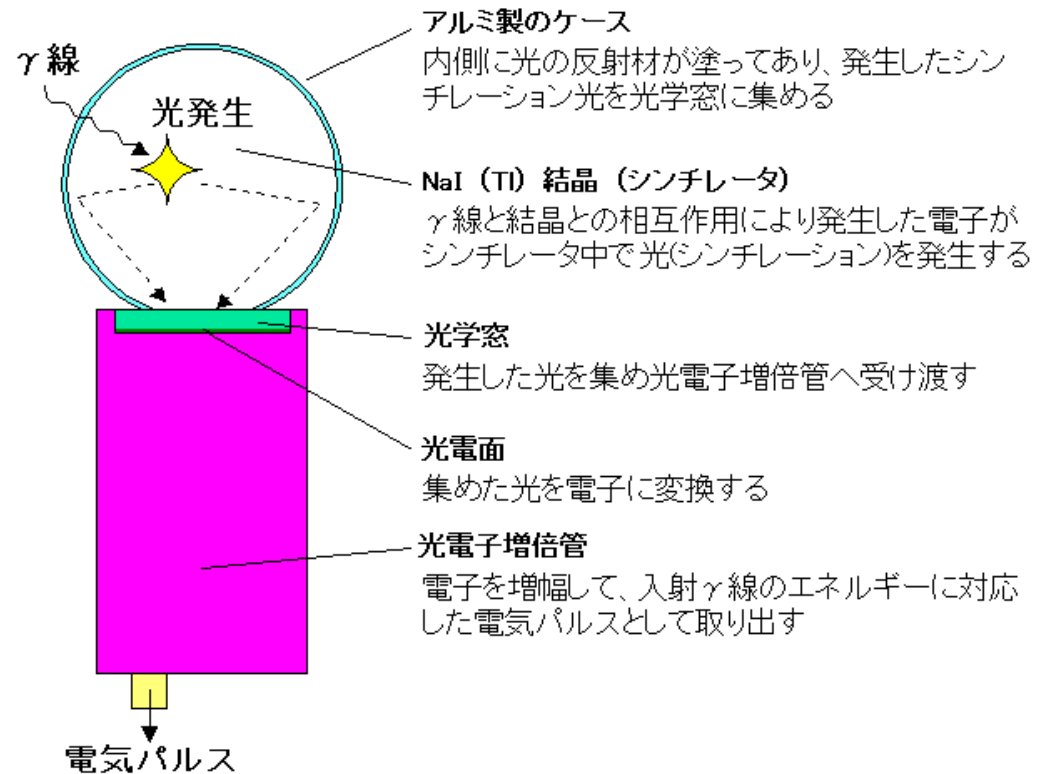
- 測定の基本的な考え方
- 有人ヘリによるモニタリング
- 無人機によるモニタリング

▪ 水底の測定技術

- プラスチックシンチレーションファイバ
- 技術の応用(ため池、汚染水検知)

▪ 終わりに

- ☆ 放射線は見えない
- ↓
- ☆ 電気信号に変換
- ↓
- ☆ 放射線は測定できる
- ↓
- ☆ 予測・管理が可能



放射線計測

・TPO (時代) に応じた放射線の計測方法を考え、最適な機器を開発し、現場に適用する

図1 NaI (TI) シンチレーション検出器の構造

<http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/08/08010205/03.gif>

3.11以前

汚染ゼロの中、汚染されている場所
(ホットスポット)を発見することが目的

➡ 高感度で点を測定
→これまでの研究開発の中心



3.11以後

周囲が広く汚染されており、
汚染分布を確認することが目的

➡ 感度よりも面を測定
→新たな分野

必要とされる測定

除染時の面測定(汚染分布の把握)









除染後のモニタリング



項目	マンサーベイ	車両サーベイ	空中サーベイ(有人ヘリ)
正確さ	◎	○	△
測定範囲	△人のいける範囲	△道路上のみ	◎どこでも
コストと時間 (1 km ² あたり)	100mメッシュ 121ポイント×15分 30時間÷6時間= 5日 5日×2名= 20万円	100mメッシュ 20本×1km=20 km 20km÷40km/h= 30分 5万円	100mメッシュ 20本×1km=20 km 20km÷140km/h= 10分 40万円
解析の困難さ	◎	◎	△



★メリット・デメリットを組み合わせ対応

	Manned helicopter	Unmanned airplane	Unmanned helicopter	Multicopter
				
Detector				
Standard altitude of ground level	300 m*	150 m	80 m	10 m
Standard air speed	185 km/h	108 km/h	28.8 km/h	7.2 km/h
Flight time	90 min	360 min	90 min	10 min
Maximum payload	100 kg*	10 kg	10 kg	3 kg
Distance of remote	-	5 km	5 km	1 km

データ取得

- 検出器: NaI (12L)、スペクトル
- GPS
- 1秒後とのデータ保存



Flight speed
70 - 80 knots

Flight height above the ground ~300m

測定範囲: 300~600m



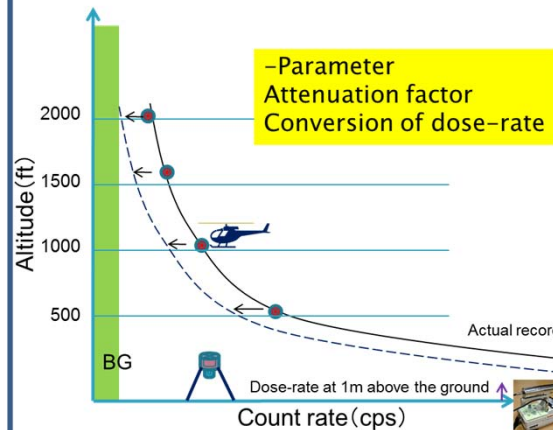
パラメータ取得

テストライン

- 線量率の勾配が小さい
- 地形がフラット

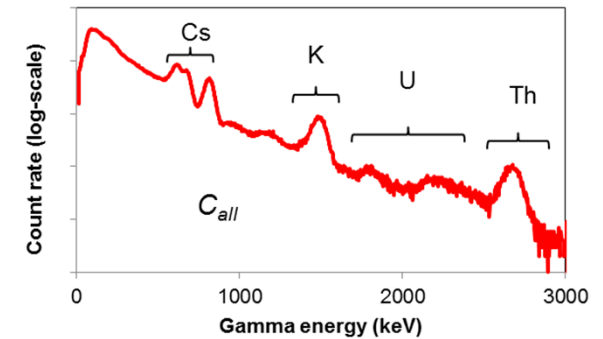
地上測定

- テストラインにおける地上の線量率を詳細に測定



解析及びマッピング

- 地上高さ1mの線量率
- 放射性セシウムの沈着量
- ガンマ線スペクトル分析

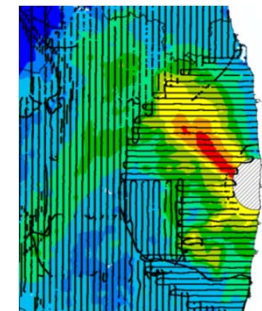


妥当性確認

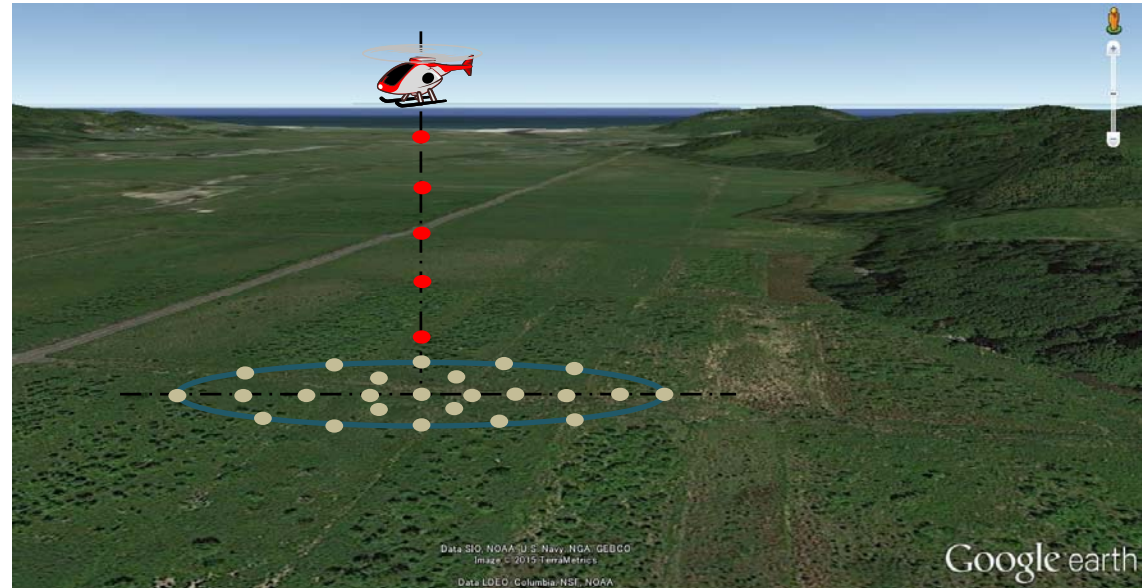
- 線量率測定結果
- 他事業の結果と比較

マッピング

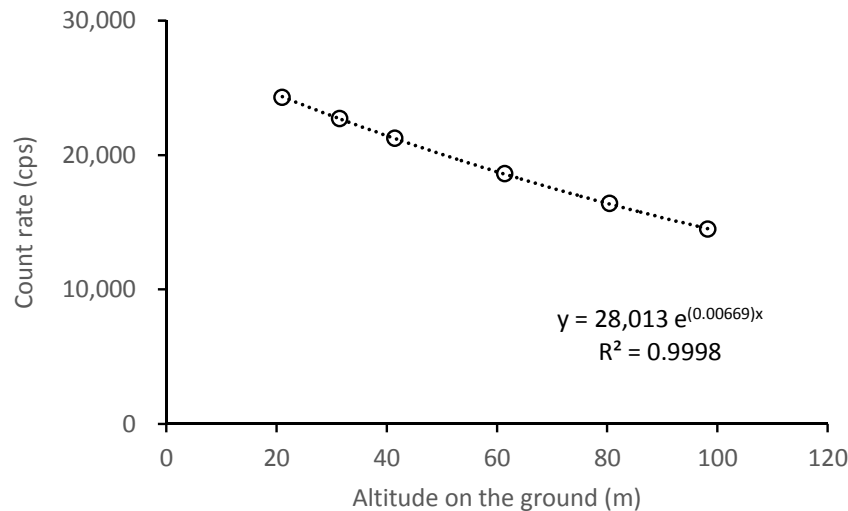
IDW: Inverse
Distance
Weighted



- ・線量率及び地形の勾配が小さい場所をキャリブレーションエリアとして選定
- ・ホバリングにより高度別のデータ取得
- ・地上値をサーベイメータで測定(30点以上)

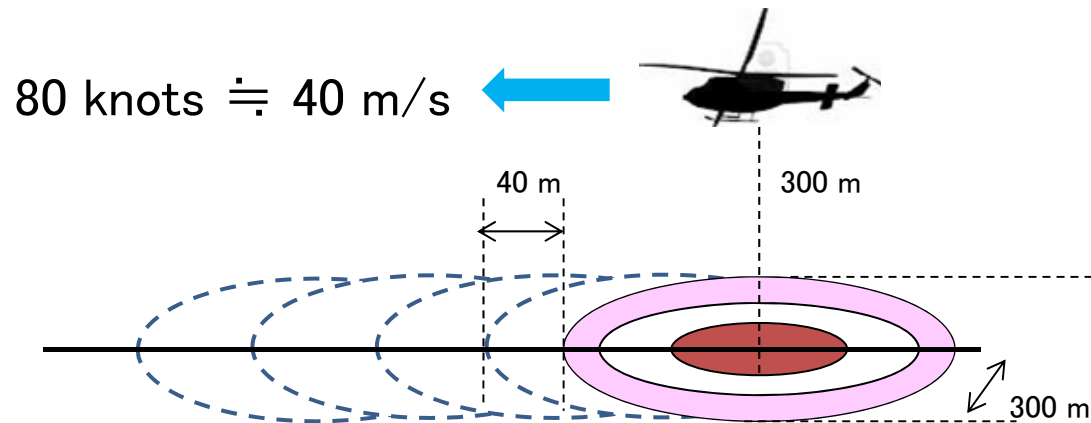
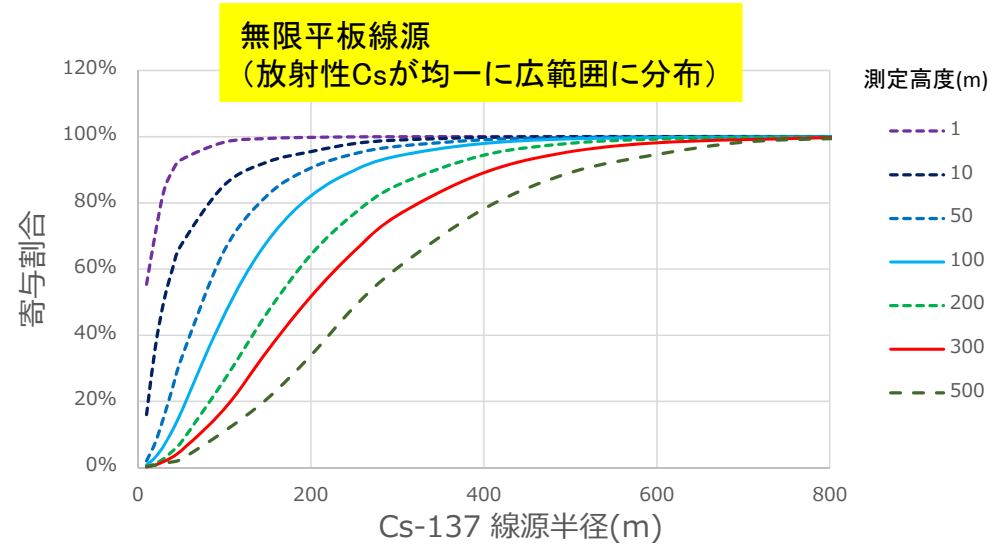
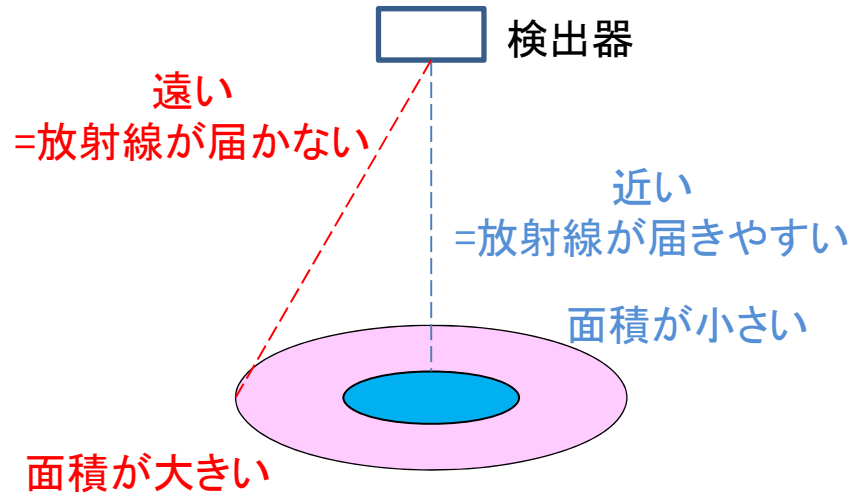


実測値例



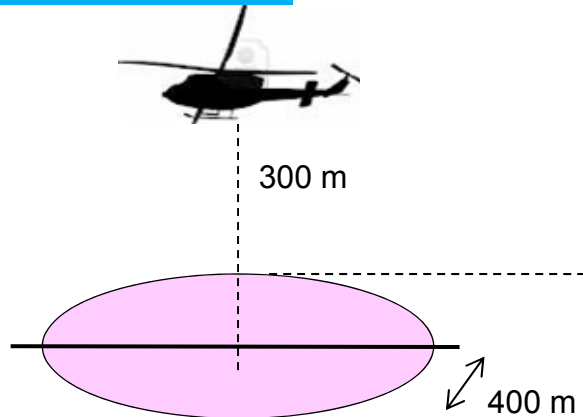
	Parameter*	n
空気減弱係数 (m ⁻¹)	-0.00606 ± 0.00067	32
線量率換算係数 (cps/μSv/h)	4140 ± 370	33
検出下限値		
線量率 (μSv/h)	0.050	
放射性セシウム沈着量 (kBq/m ²)	4.0	

* 誤差は標準偏差(σ)で表記



300 m上空からは、地上の半径300 mの円内の放射線の平均値が測定されている

空からの測定



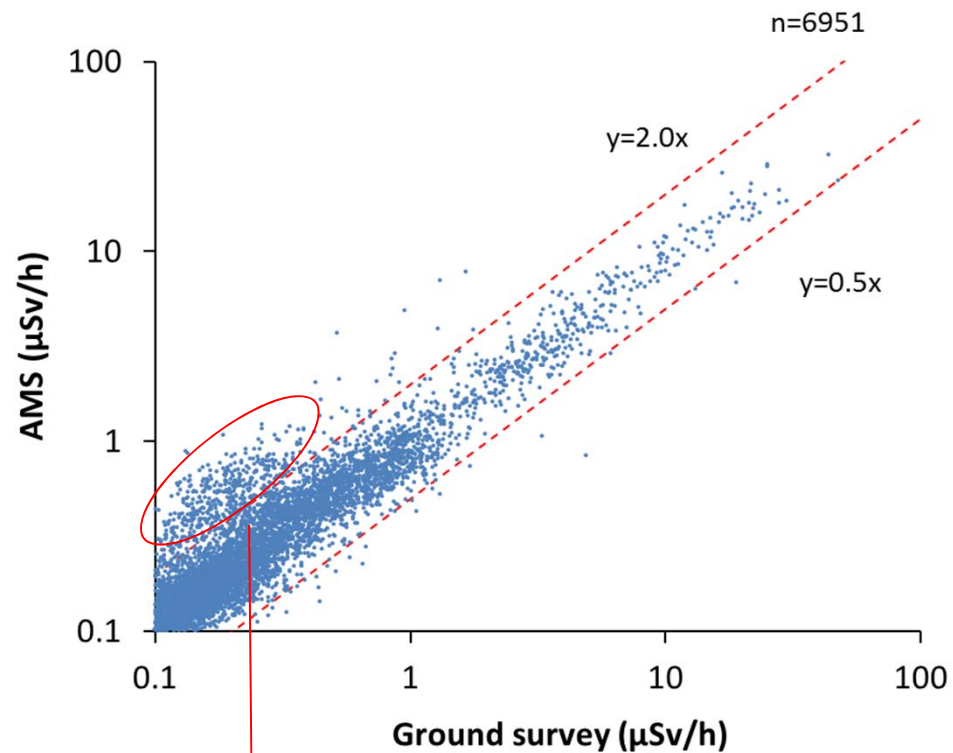
検出器を中心に半径300 mの範囲

地上の測定

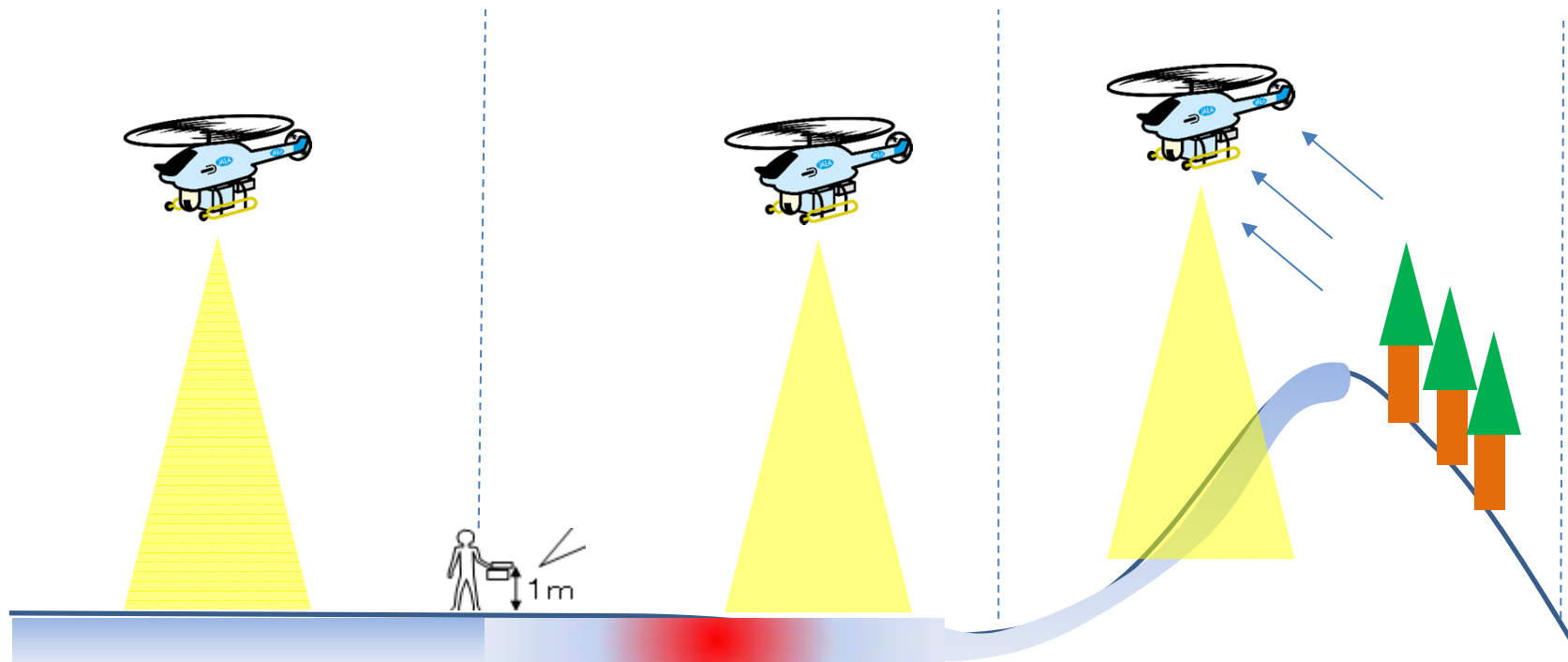


検出器を中心に半径50 mの範囲

空と地上の測定例



除染等の局所的な線量の低下した地域を捉えていない？



平面＋線量率一定

平面＋線量率勾配あり

山間部



地上値とよく整合する



地上値との整合性が悪くなる

技術開発要素

▪ 上空からの測定技術

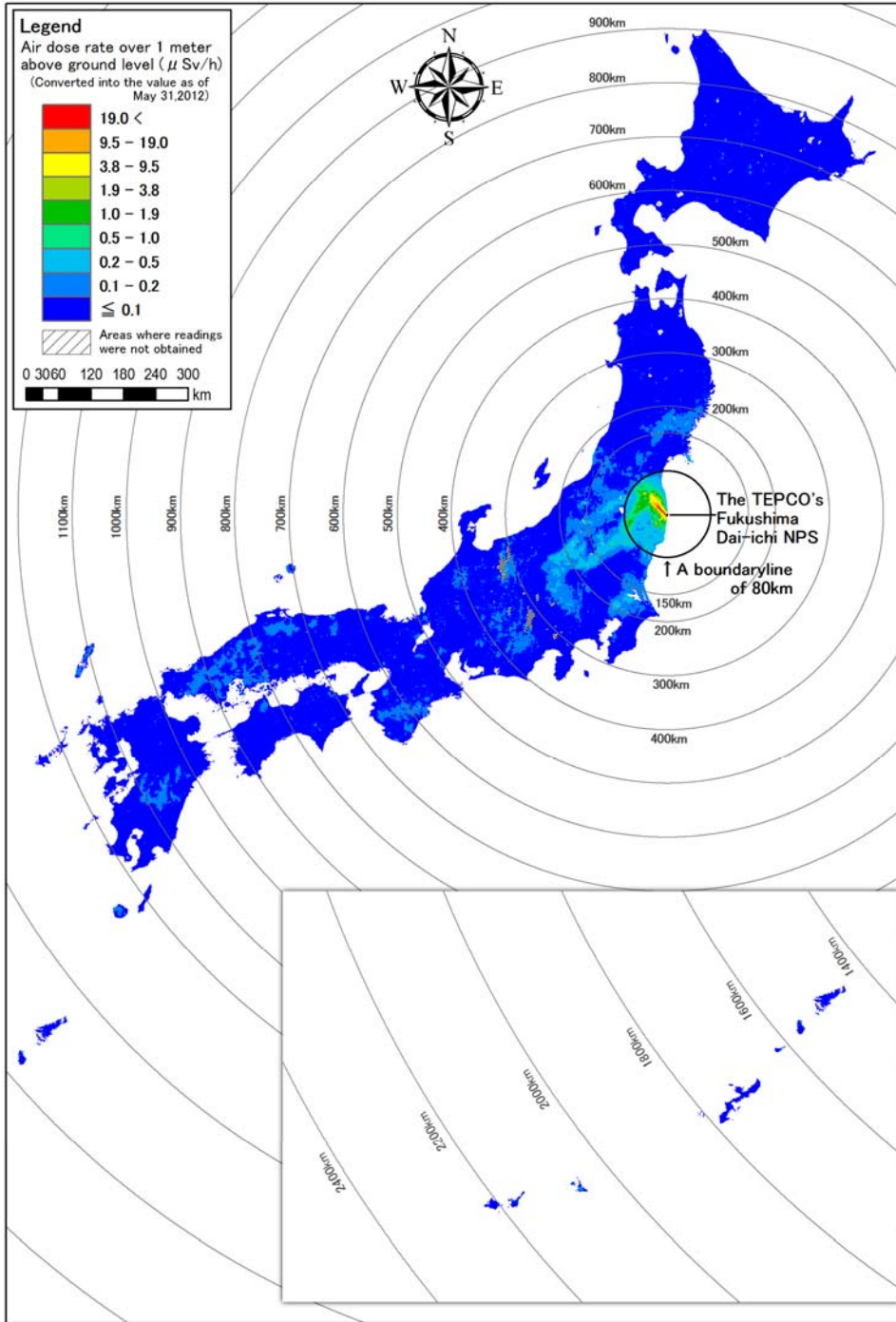
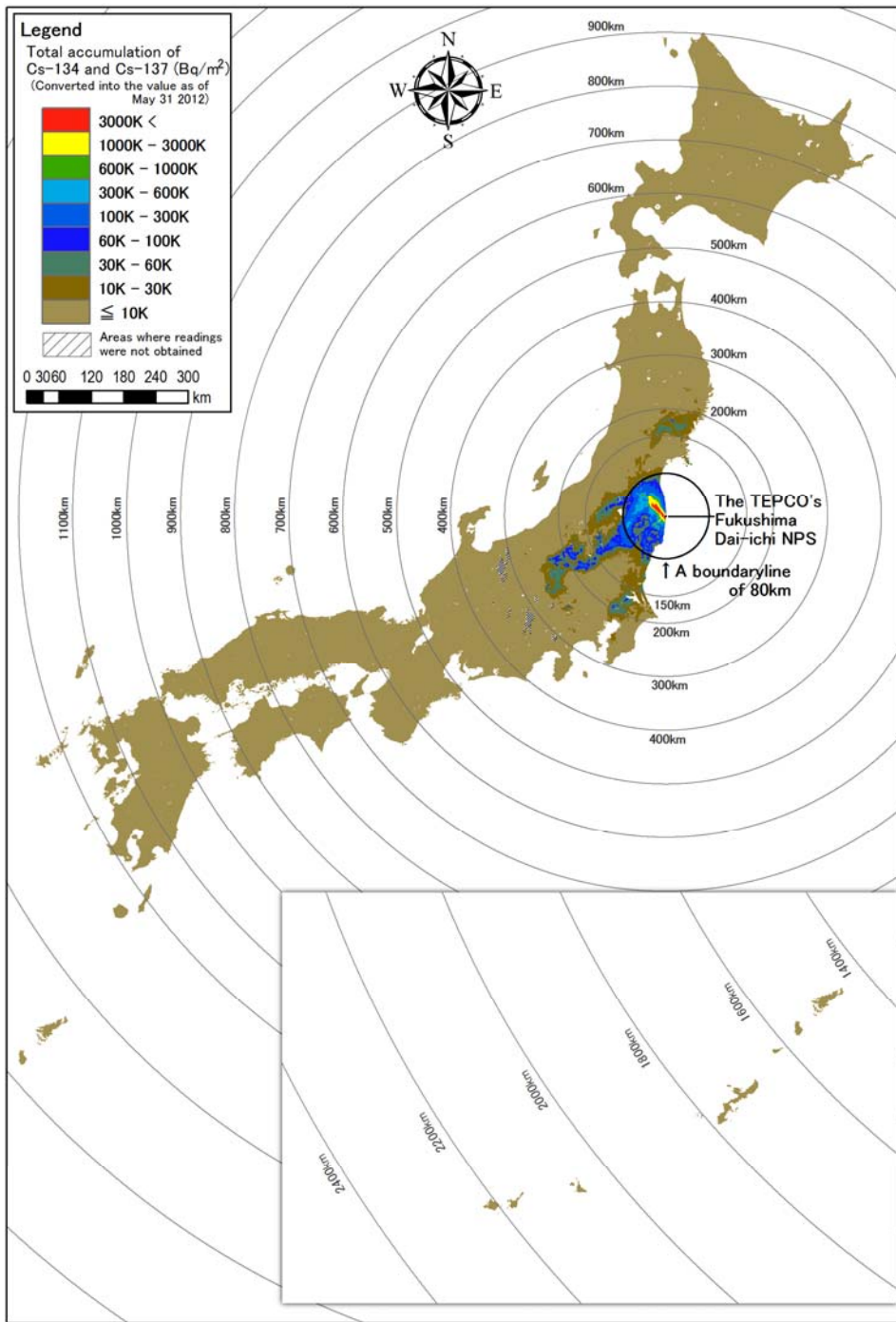
- 測定の基本的な考え方
- 有人ヘリによるモニタリング
- 無人機によるモニタリング

▪ 水底の測定技術

- プラスチックシンチレーションファイバ
- 技術の応用(ため池、汚染水検知)

▪ 終わりに

年	2011				2012				2013				2014				2015			
	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12
80 km 圏内	第1次 (4/6-4/29) 				第5次 (6/22-6/28) 				第7次 (8/27-9/28) 第8次 (11/2-11/19) 				第9次 (9/1-9/20) 				第10次 (9/12-9/30) 			
	第3次 (5/31-7/2) 第4次 (10/25-11/5) 				第6次 (10/31-11/16) 															
福島原子力発電所事故					警戒区域・計画的避難準備区域 (4.5次) (2/6-2/10) 				警戒区域・計画的避難準備区域 (6.5次) (3/4-3/11) 											
80 km 圏外	第2次 80-120km圏内 (5/18-5/26) 				西日本+北海道全域 京都・滋賀～沖縄 (1/30-5/31) 															
	東日本第1次 青森～福井・岐阜・愛知 (6/22-10/10) 				東日本第2次 (4/2～5/7) 東日本第3次 (10/31～12/28) 				東日本第4次 (9/3～11/4) 				東日本第5次 (9/21～11/7) 				東日本第6次 (10/2～11/4) 			



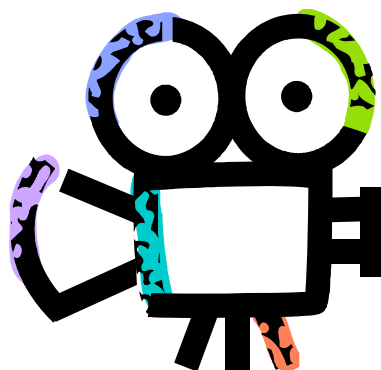
項目	仕様
製造メーカー	RSI (Canada)
検出器サイズ	2" x 4" x 16" NaI 3本で1unit x 2 (1 unit:6.3Lx 2)
MCA ch	1024 ch
測定エネルギー範囲	0.02 ~ 3 MeV
ヘリコプター	<ul style="list-style-type: none"> ・機内積み込み型 ・底に燃料タンクのない機体を選定
サンプリングタイム	1秒
国内における整備	原子力規制庁 (4式保有) 原子力機構福島 (1式保有)
測定条件	対地高度: 300m, 速度: 80ノット
検出下限値 (平均的な天然放射性核種を想定)	線量率: 0.011 μ Sv/h 放射性セシウム沈着量: 16 kBq/m ²

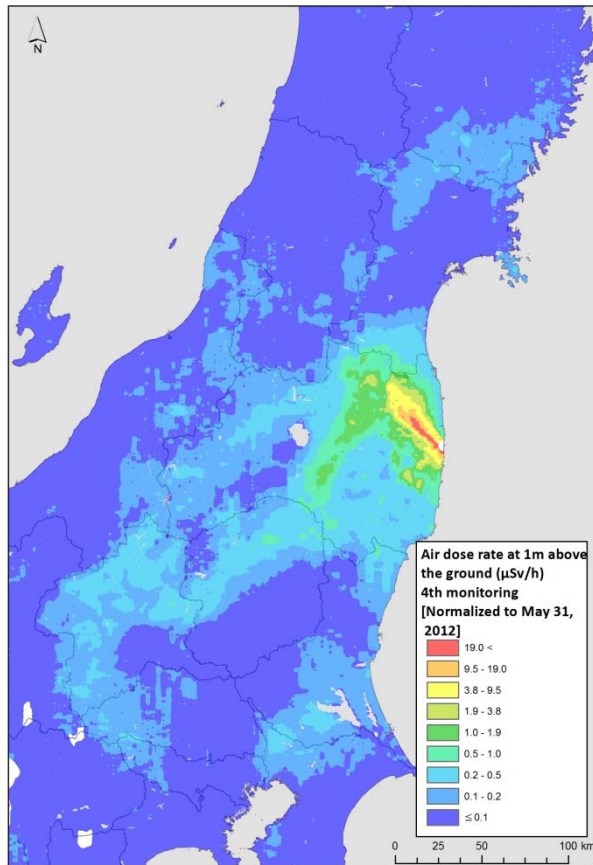
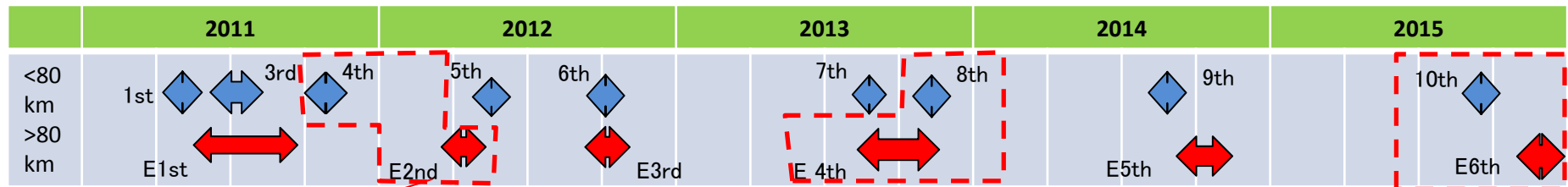


Bell 430
ベル・ヘリコプター・テキストロン社製

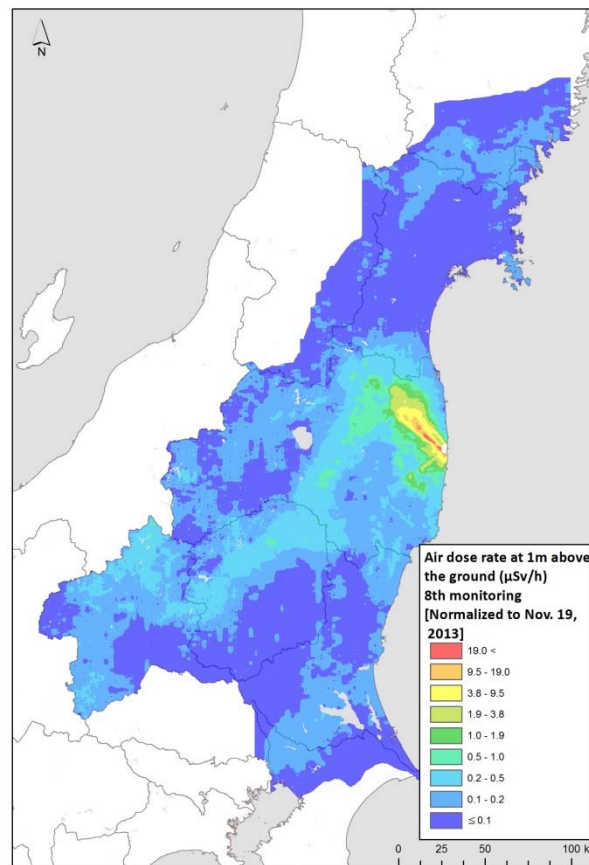


Bell 412
ベル・ヘリコプター・テキストロン社製

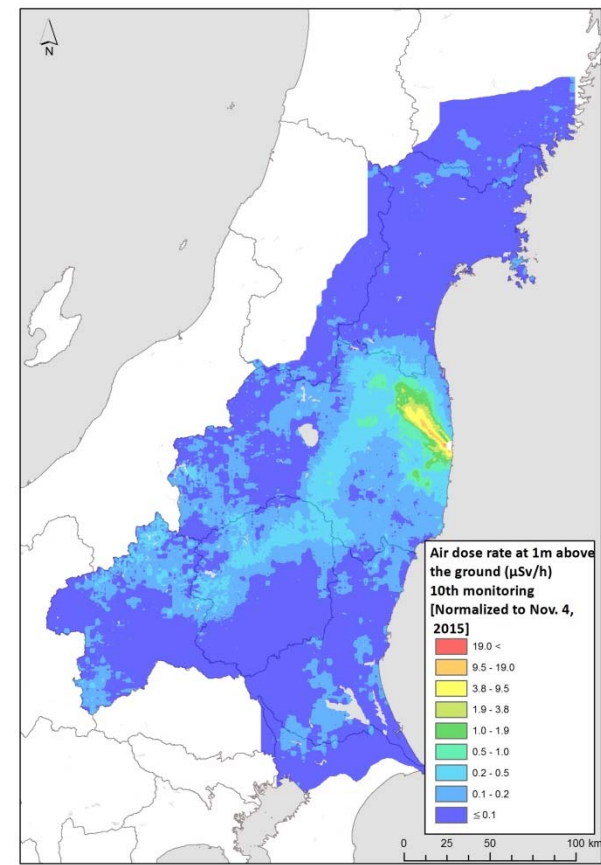




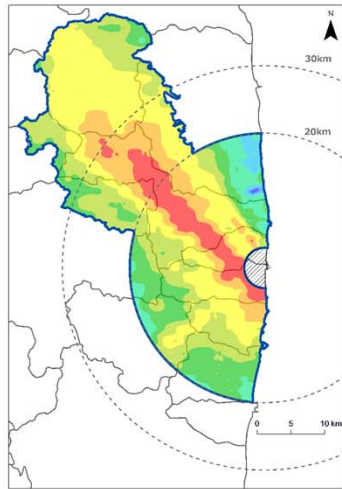
31/May/2012



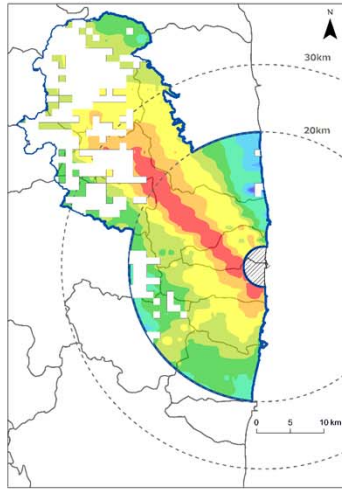
19/Nov./2013



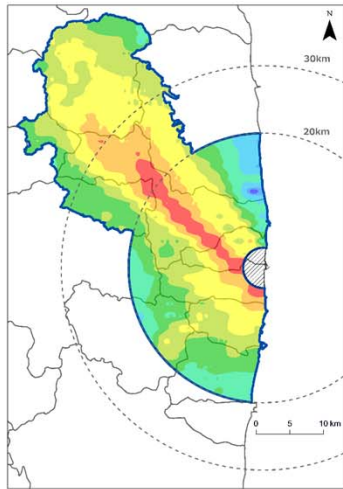
4/Nov./2015



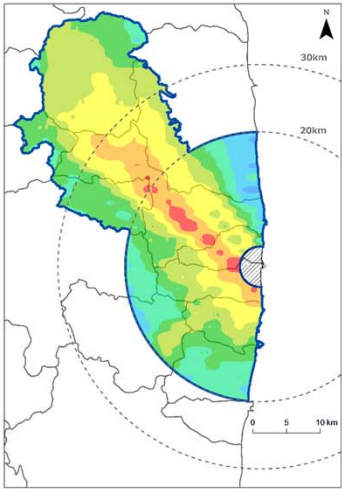
4th monitoring
7months after the accident
(5 Nov. 2011)



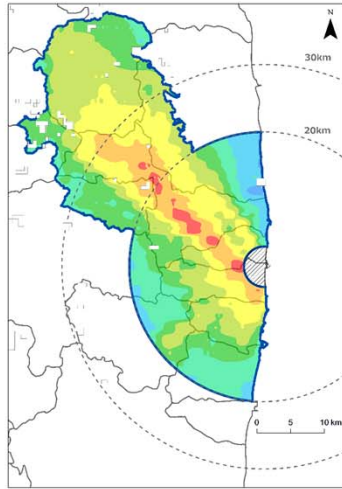
4.5th monitoring
11months after the accident
(10 Dec. 2012)



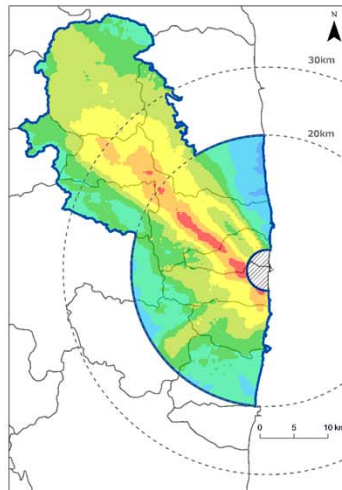
5th monitoring
15months after the accident
(28 Jun. 2012)



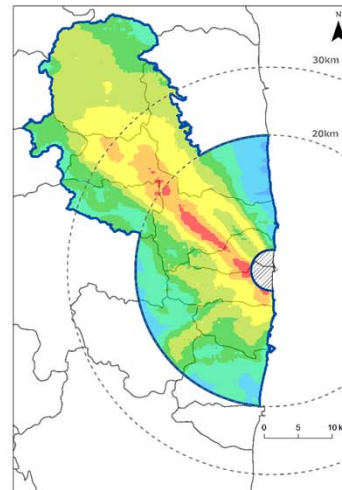
6th monitoring
20months after the accident
(16 Nov. 2012)



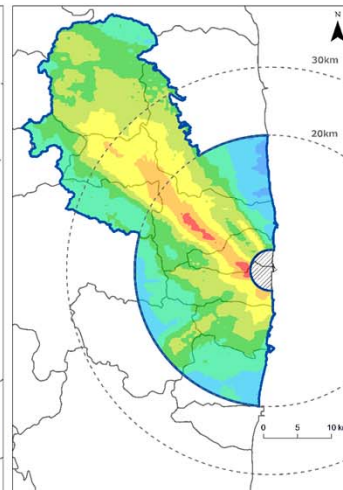
6.5th monitoring
24months after the accident
(11 Mar. 2013)



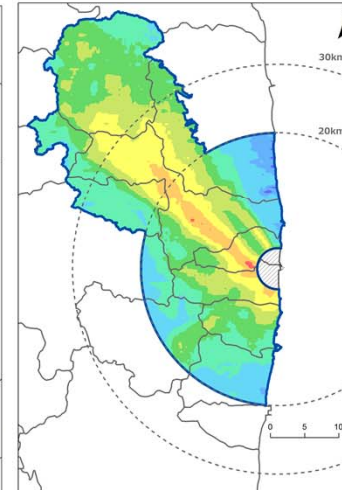
7th monitoring
30months after the accident
(28 Sep. 2013)



8th monitoring
32months after the accident
(19 Nov. 2013)



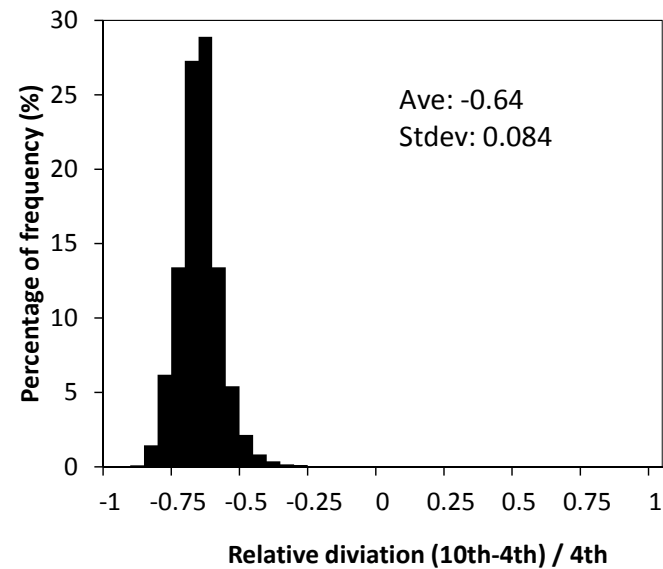
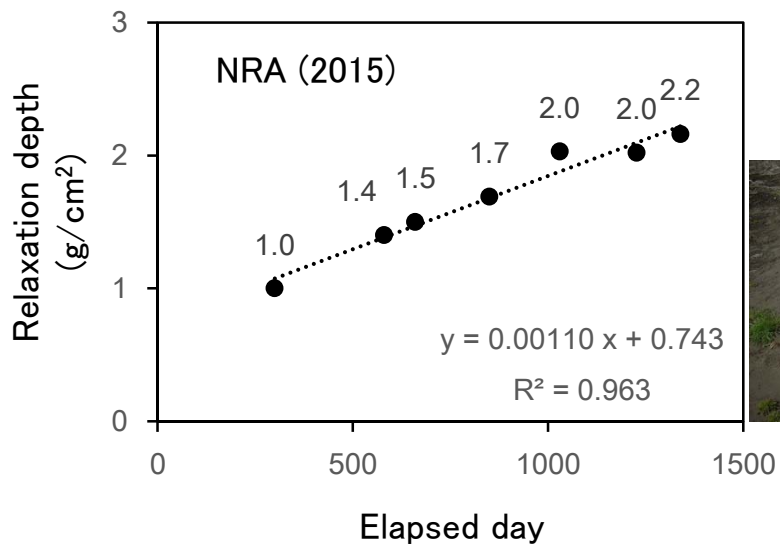
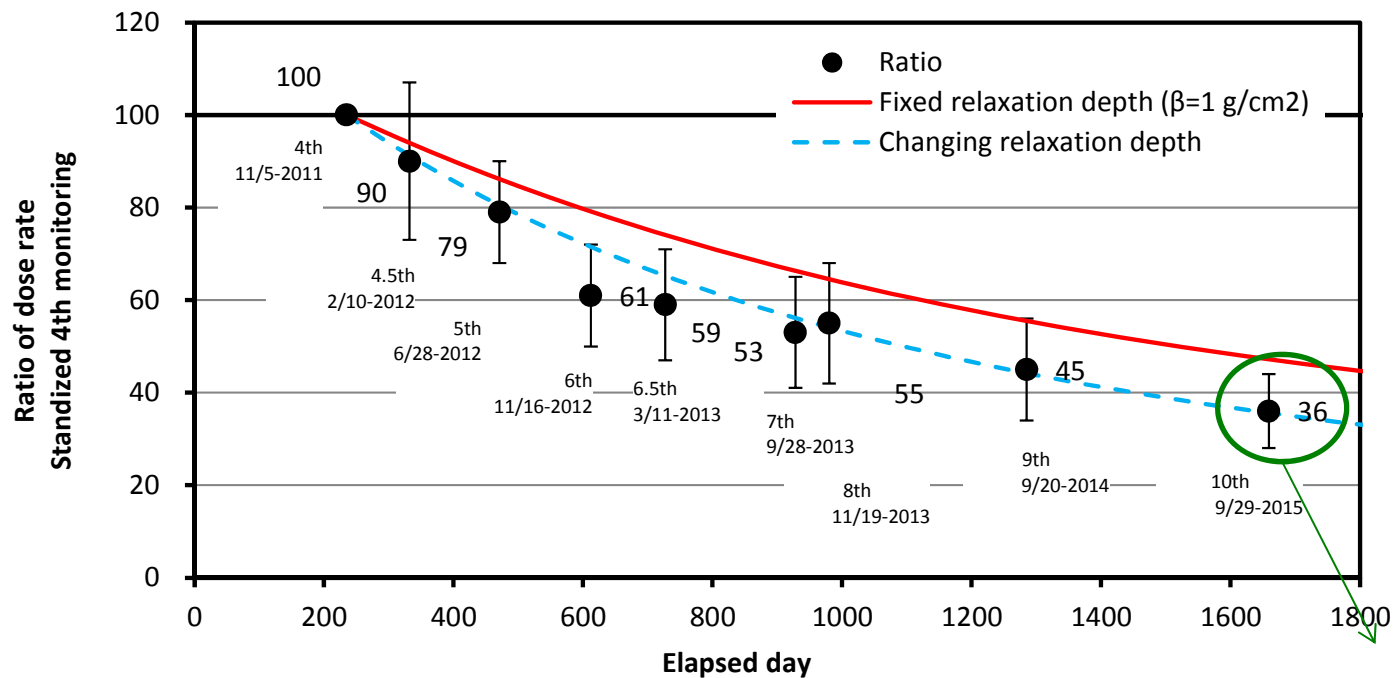
9th monitoring
41months after the accident
(20 Sep. 2014)



10th monitoring
53months after the accident
(20 Sep. 2015)

Dose rate
($\mu\text{Sv/h}$)





モニタリングの結果は規制庁
・JAEA HPで適宜公開

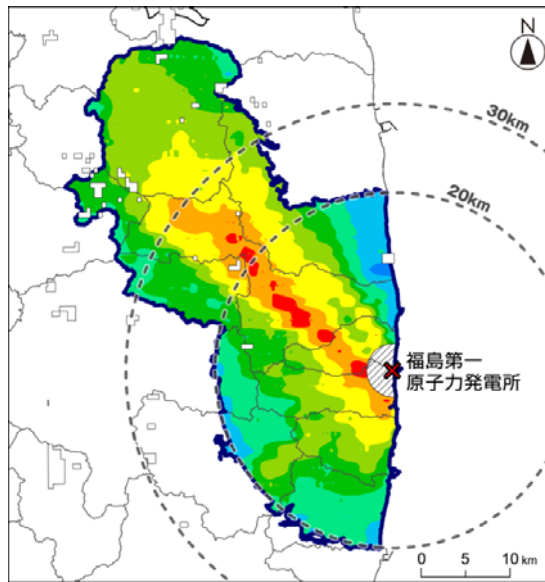


避難指示区域設定・除染範囲決定の基礎資料になっている

規制庁:放射線モニタリング情報
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/index.html>

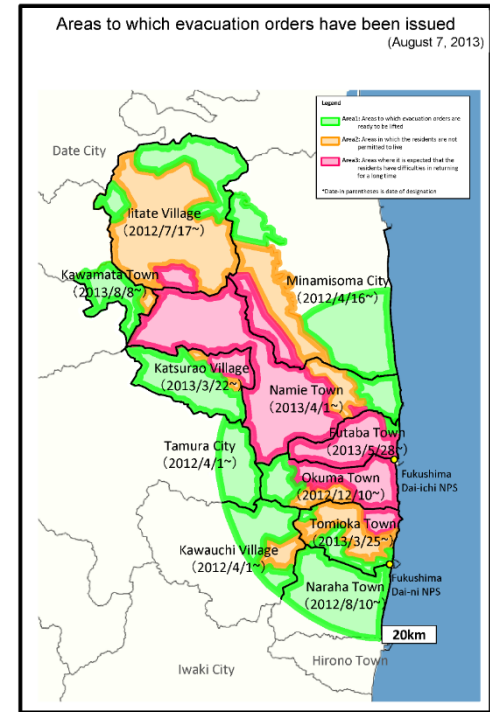


JAEA:放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト
<http://emdb.jaea.go.jp/emdb/>



例: 事故2年後 (2013.03.11)

http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20130807_01.pdf
(accessed 11 December 2013)



参考文献

Sanada et. al., The aerial radiation monitoring in Japan after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, Prog. Nuc. Sci. Tech. 4, 76-80, 2014
 鳥居ら, 航空機モニタリングによる東日本全域の空間線量率と放射性物質の沈着量調査, 日本原子力学会誌(ATOMOZ), 54, 160-165, 2012
 鳥居ら, 広域環境モニタリングのための航空機を用いた放射性物質拡散状況調査, JAEA-Technology, 2012-036, 2012

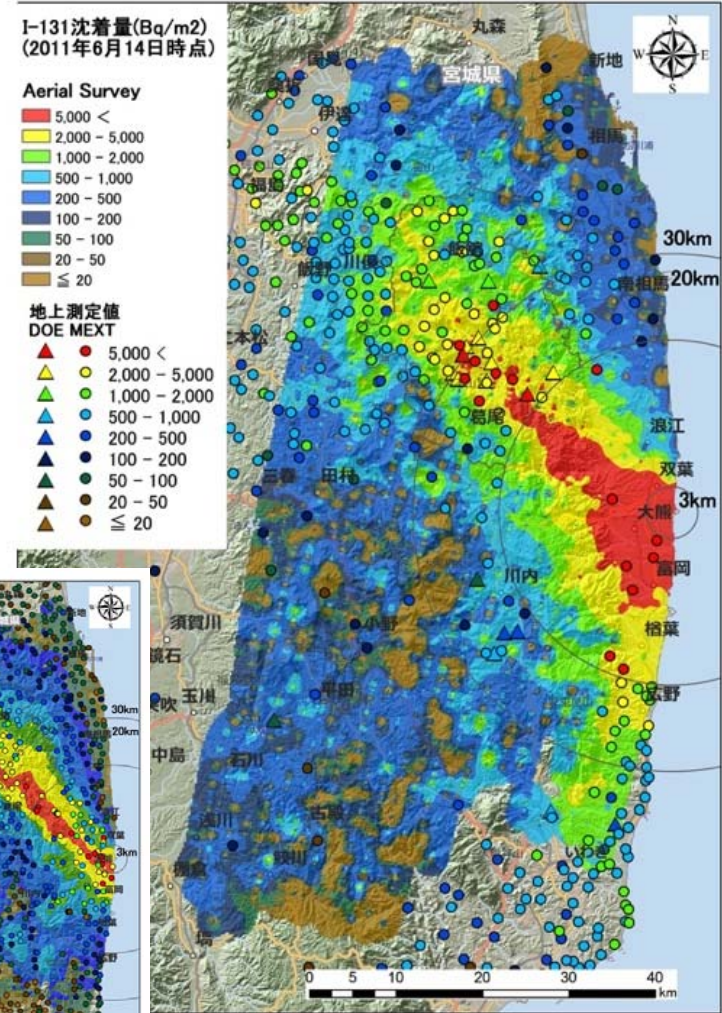
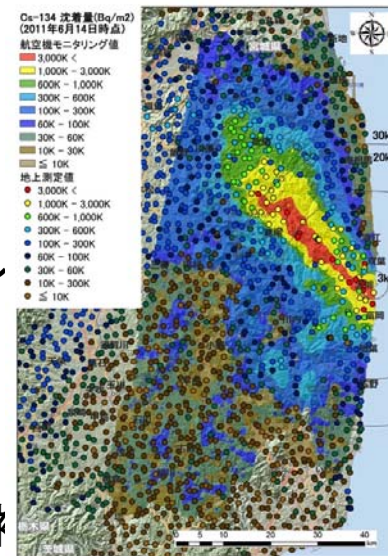


C-12



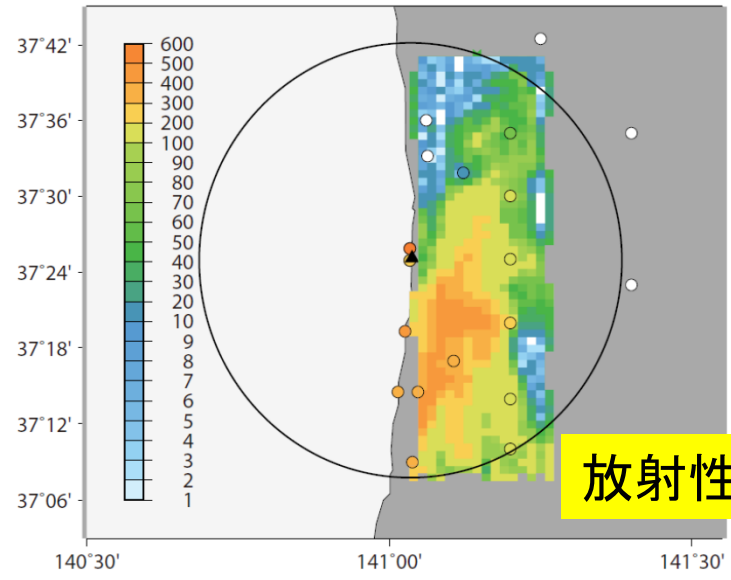
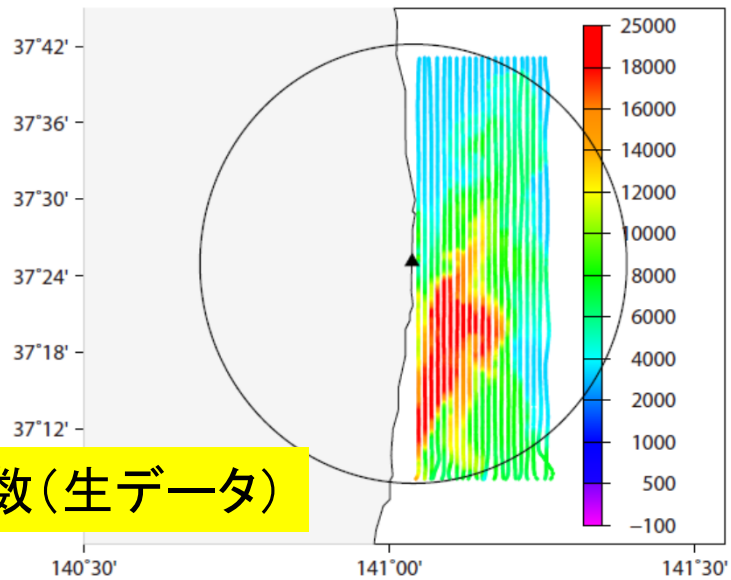
- 4月2, 3日の3フライトについて解析し4月3日時点で評価
- セシウムと同様に北西方向に高濃度
- 南部にも高濃度の広がり
- 地上測定結果(6月14日時点)と減衰修正した解析結果を比較=良く一致

Cs-134

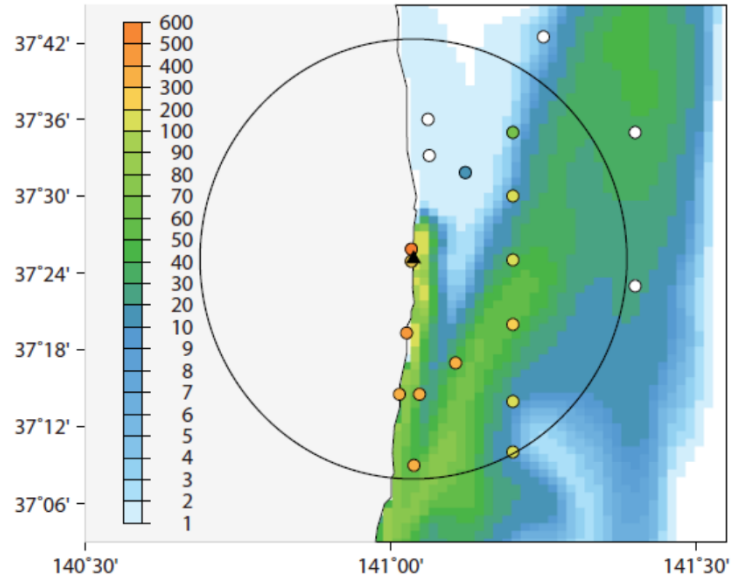


I-131

6月14日時点での解析結果との比較



Model simulation: ^{137}Cs (Bq L^{-1})



推定された最大濃度

^{131}I ; 329 Bq L^{-1}

^{134}Cs ; 650 Bq L^{-1}

^{137}Cs ; 599 Bq L^{-1}

Inomata, et al., JNST (2014)

事故直後の海洋拡散状況調査への
航空機モニタリングの適用可能性

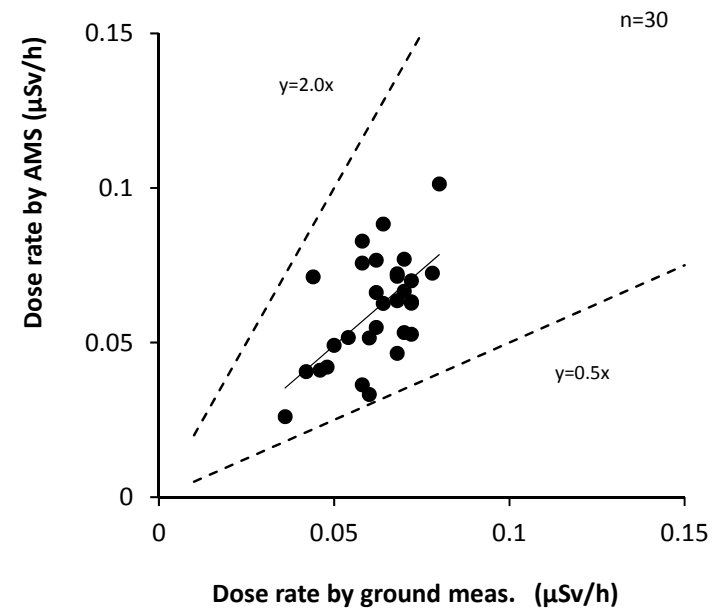
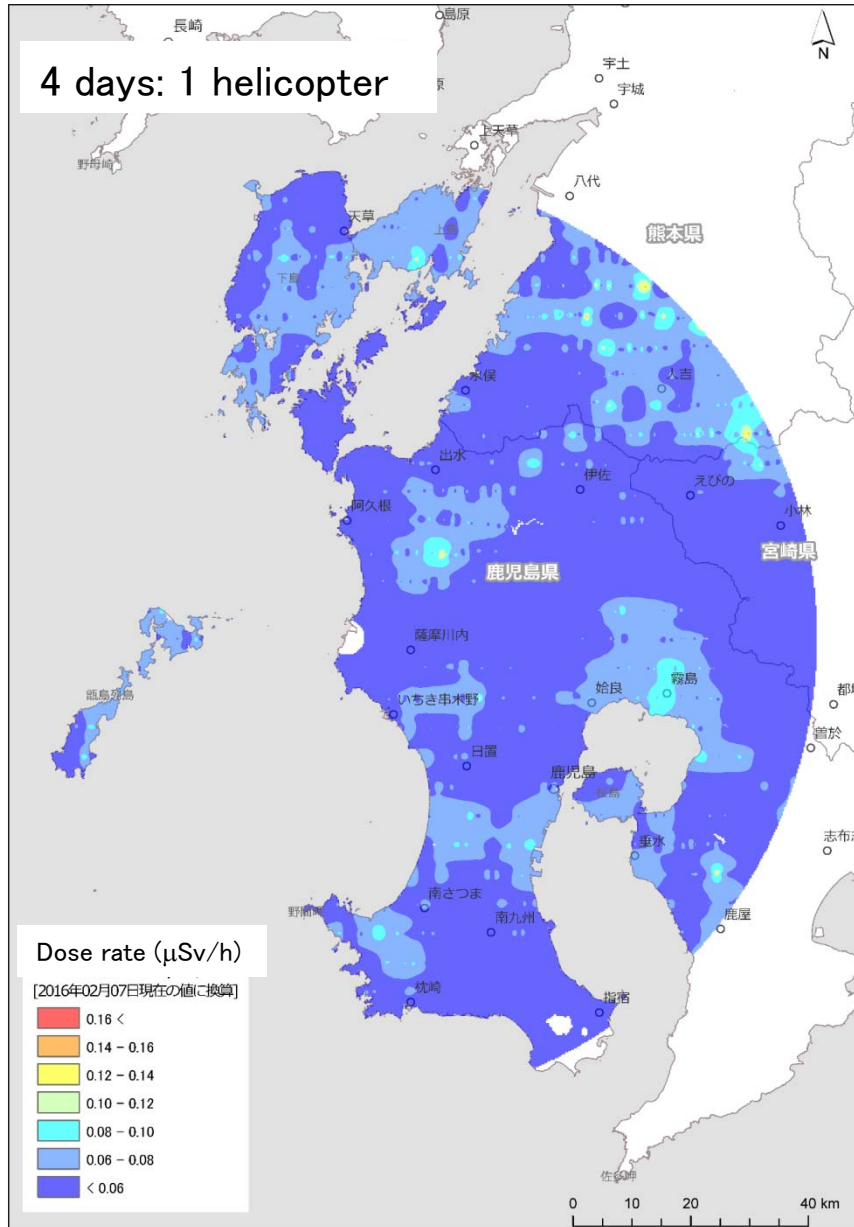
☆福島事故後の対応が認められ、「**原子力災害マニュアル**」に原子力機構が航空機モニタリングを実施することが記載される。

- ・平常時の活動として、...
- ① 福島周辺のモニタリングの継続
- ② 全国の発電所周辺のバックグラウンド(天然の放射性核種)モニタリング
- ・発電所周辺のフライトにおける技術的課題抽出
(フライト条件の最適化、モニタリングのシミュレーション)
- ・正確なBGを把握し、微少な放射線変化をとらえる
- ・技術の維持

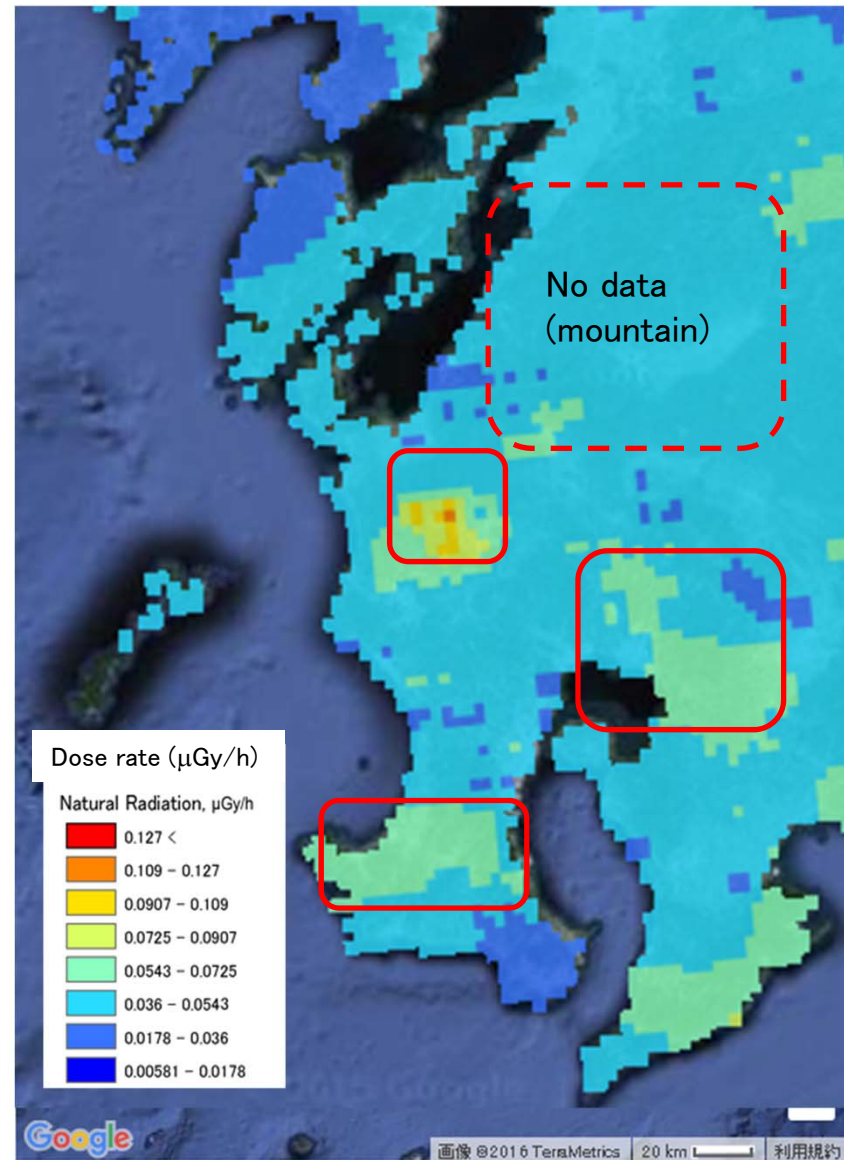
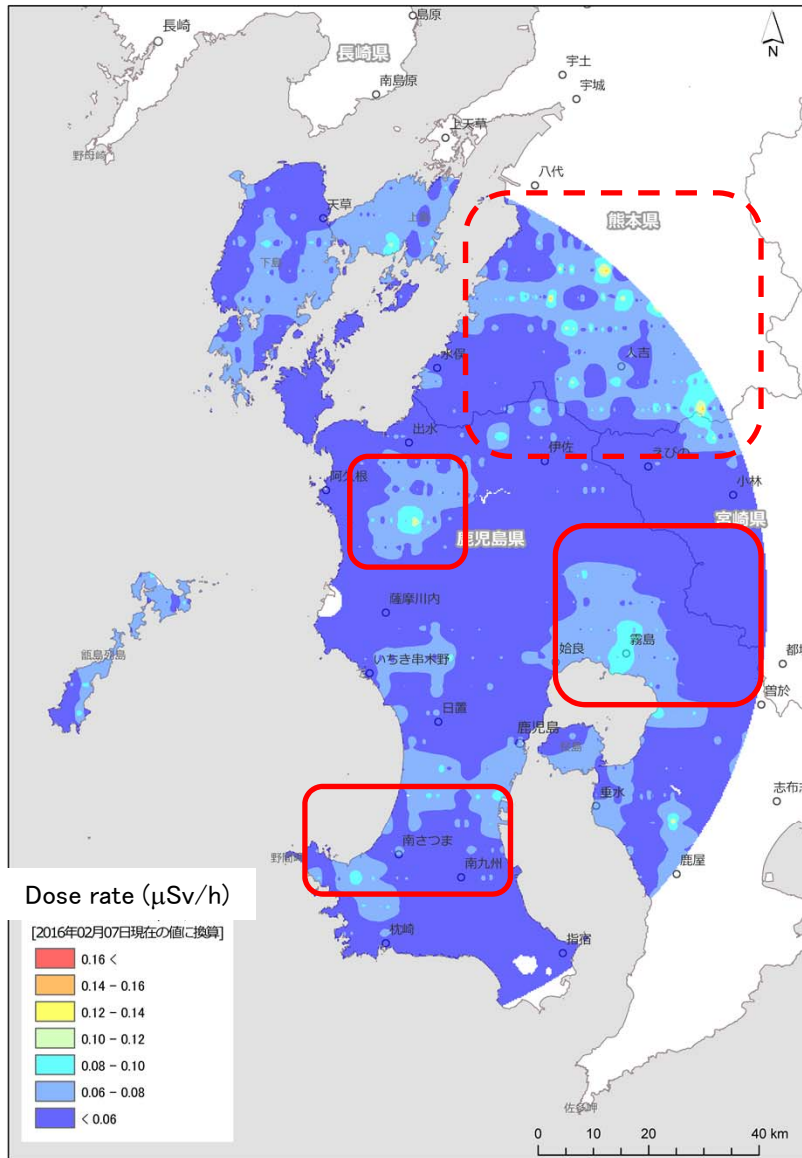


原子力緊急時支援・研修センター内に
専門のチームを整備(約10名体制)





Comparison with the ground data and the AMS data











▪ 上空からの測定技術

- 測定の基本的な考え方
- 有人ヘリによるモニタリング
- 無人機によるモニタリング

▪ 水底の測定技術

- プラスチックシンチレーションファイバ
- 技術の応用(ため池、汚染水検知)

▪ 終わりに

	Manned helicopter	Unmanned airplane	Unmanned helicopter	Multicopter
				
Detector				
Standard altitude of ground level	300 m*	150 m	80 m	10 m
Standard air speed	185 km/h	108 km/h	28.8 km/h	7.2 km/h
Flight time	90 min	360 min	90 min	10 min
Maximum payload	100 kg*	10 kg	10 kg	3 kg
Distance of remote	-	5 km	5 km	1 km



《特長》

1. 人が容易に立ち入れない場所(高線量率場、森林、田んぼ等)での測定が可能
2. 地上局を安全な場所に設置できる(眺望の良いところ; < 数 km)
3. 放射線その他、映像もリアルタイムで把握できる
4. 位置が正確に把握できる(GPS、自律飛行)
5. 事前に飛行プログラムが設定できる(定期観測が可能) - 除染前後、経時変化
6. 低高度(< 300m)での観測が可能(航空法の対象外)
7. ホバリングも可能 * モニタリング場所の周辺には人がいないこと。

ヤマハ発動機(株)自律飛行型無人ヘリコプターRMAX G1

- ・全長: 4m未満(ローター含む)
- ・最大速度: 70km/h(対地速度)
- ・飛行時間: 最大90分
- ・主要装備: CCDカメラ/GPS/方位センサー/姿勢制御装置
- ・ペイロード: 10kg
- ・線量計からのデータを通信にて基地局に転送可能
- ・事前に**飛行プログラム**が設定できる(定期観測が可能)
数cm~数十cm程度の誤差で何回でも再現フライトが可能

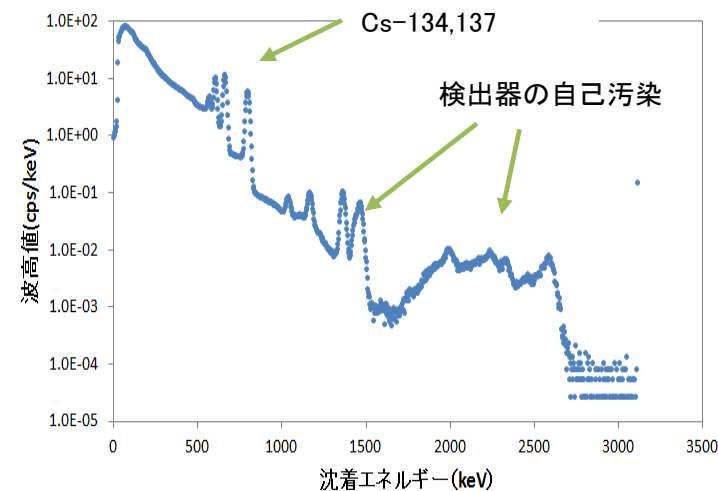


LaBr3:Ce検出器

- ・検出器サイズ: 1.5" Φ × 1.5" × 3本
- ・1秒毎のエネルギースペクトル
- ・位置情報: 機体の位置情報を共有 RTK測位
- ・**エネルギー分解能**に優れる(半値幅1.8keV-2.0keV)

測定条件

- ・飛行高度は高度**80m**を基準(安全面とデータの信頼性を考慮)
- ・飛行速度は**8m/sec** = 時速30km未満
- ・測線間隔は**80m**で実施



γ線は、放出される放射性核種によりエネルギーが異なる。
 エネルギーを弁別する測定手法
 (γ線スペクトロメトリ)

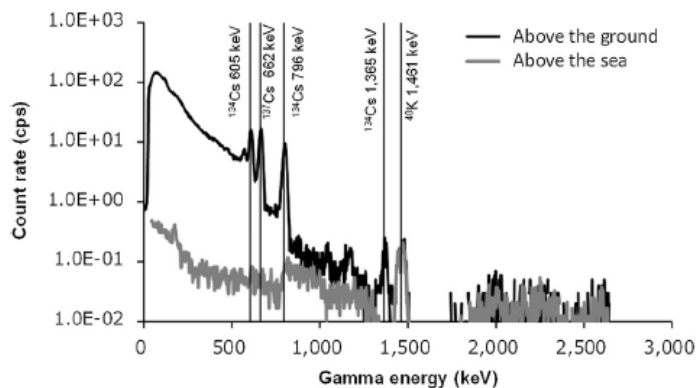
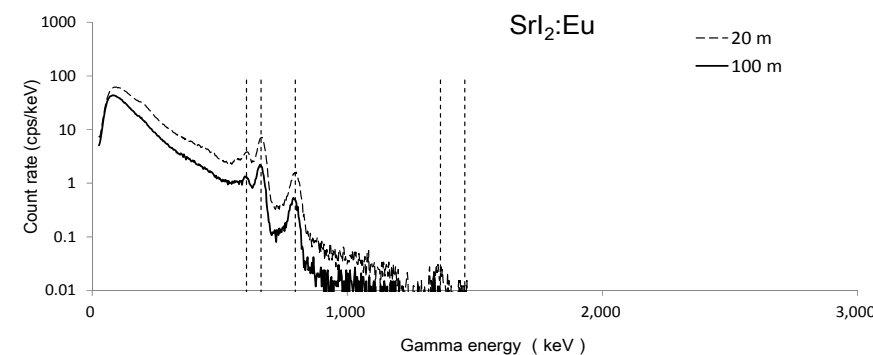
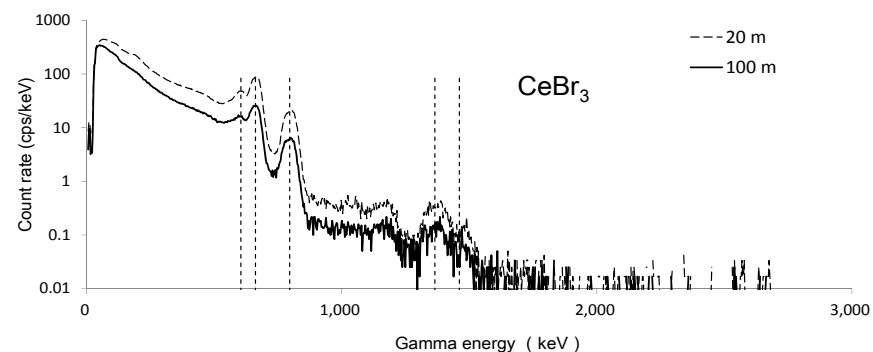
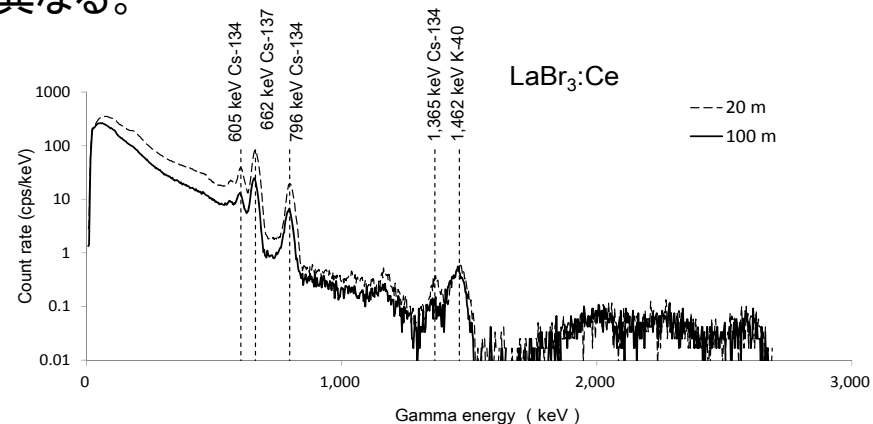
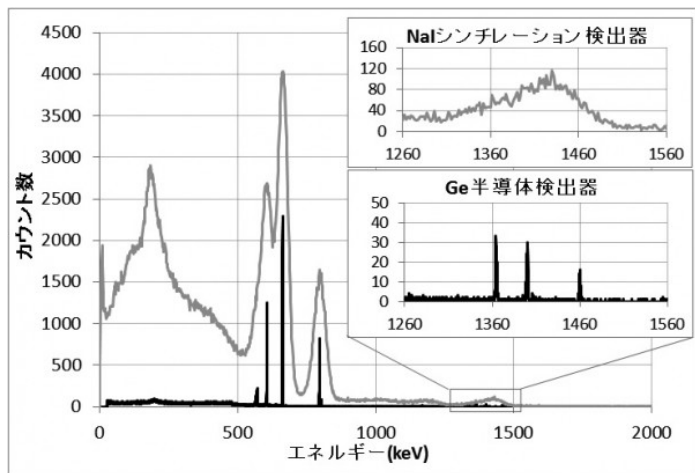
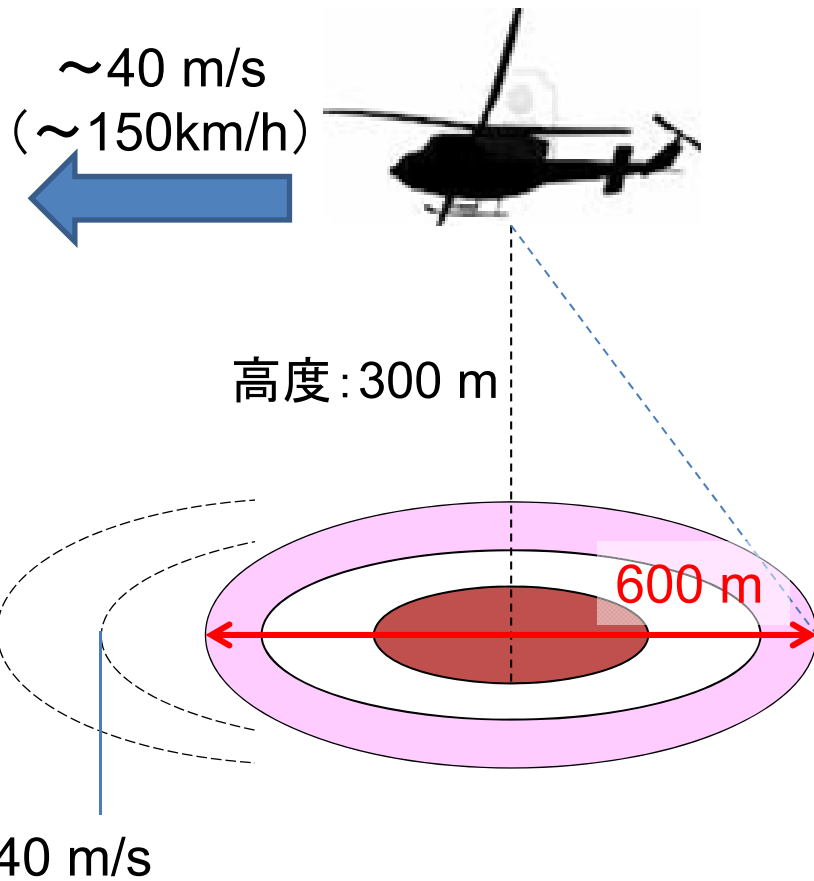


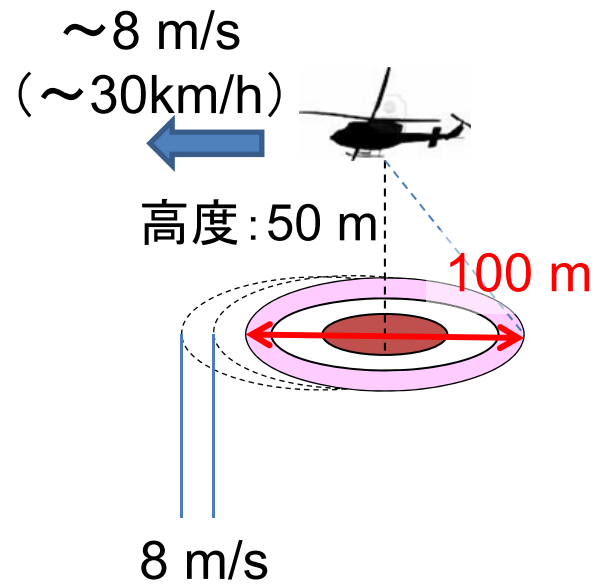
Fig. 1. Gamma spectra of the ARMS (three LaBr₃:Ce detectors) above the ground and above the sea in Futaba-machi, 5 km from the FDNPP. Measurement time was 100 s. Measurement date was 22 December 2012.



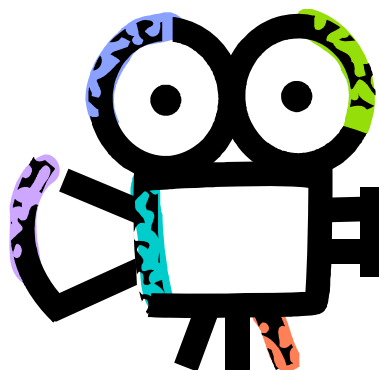


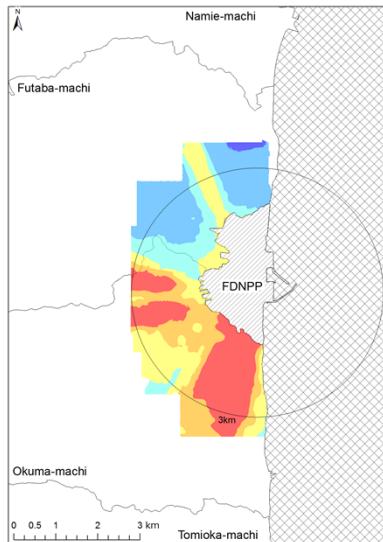
航空機(有人ヘリ)モニタリング

狭い範囲をより詳細に

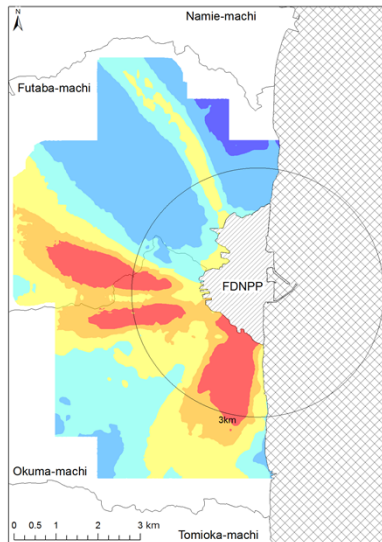


無人ヘリモニタリング

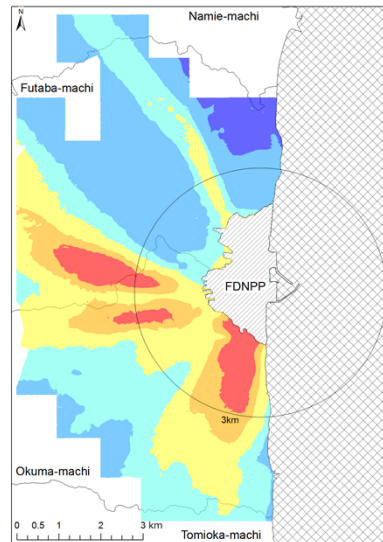




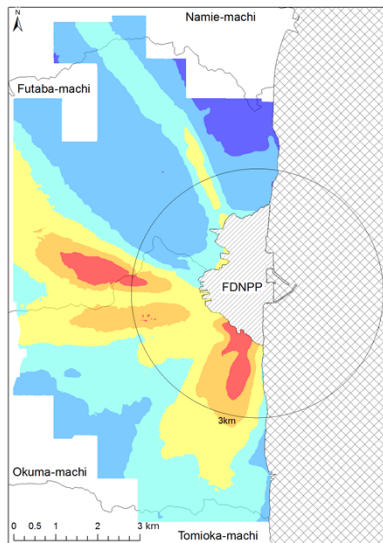
1st: 20 Oct. 2012



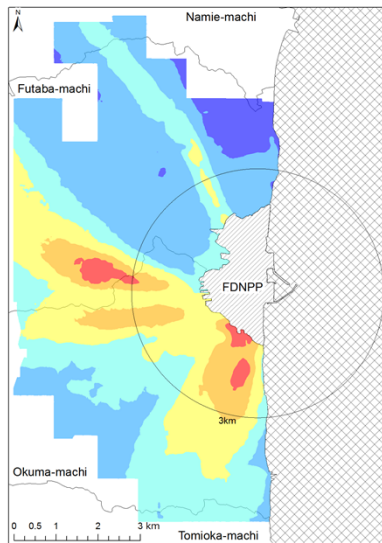
2nd: 20 Jan. 2013



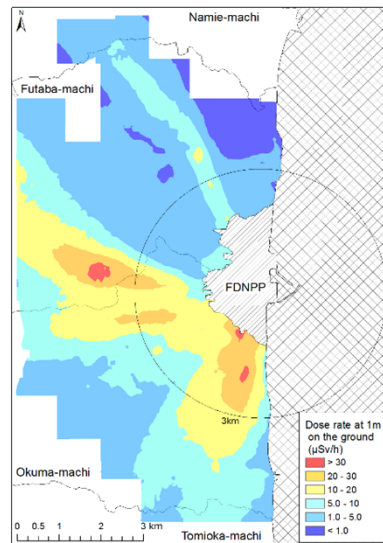
3rd: 31 Jul. 2013



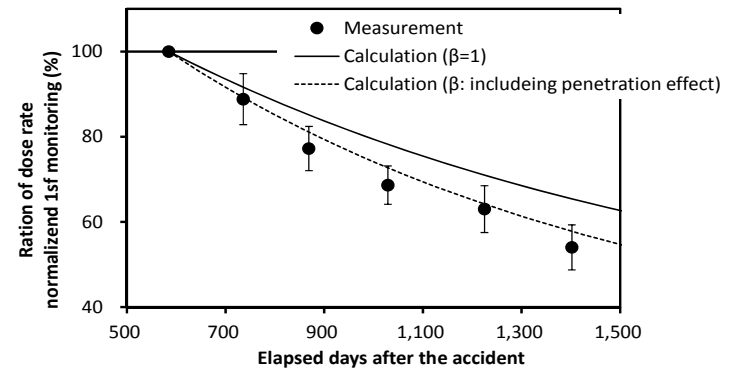
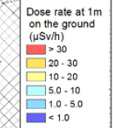
4th: 7 Jan. 2014



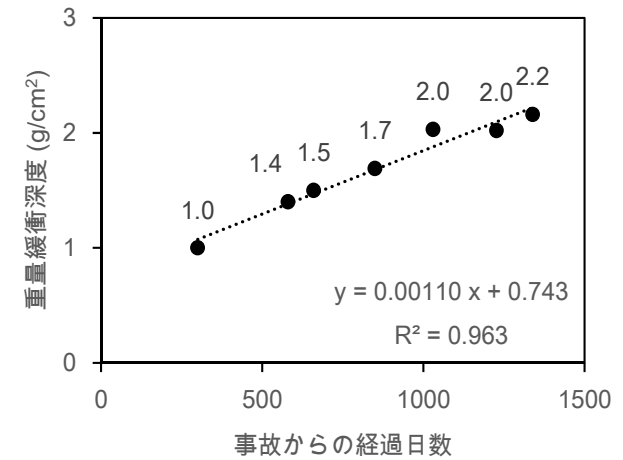
5th: 22 Jul. 2014

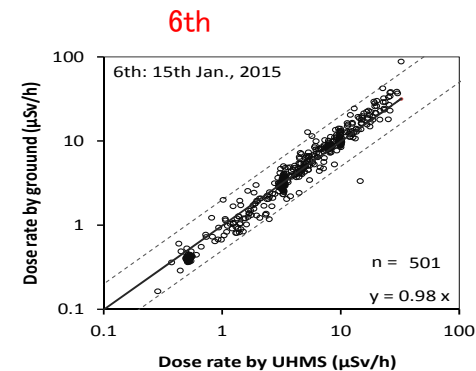
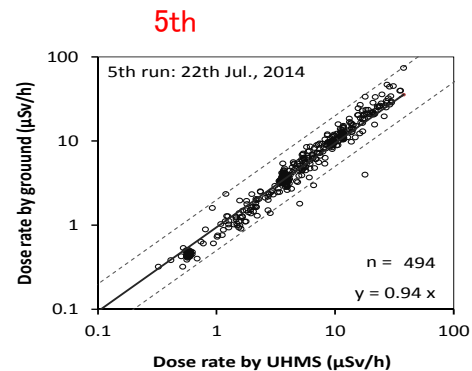
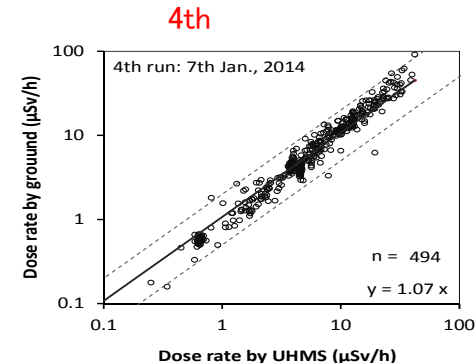
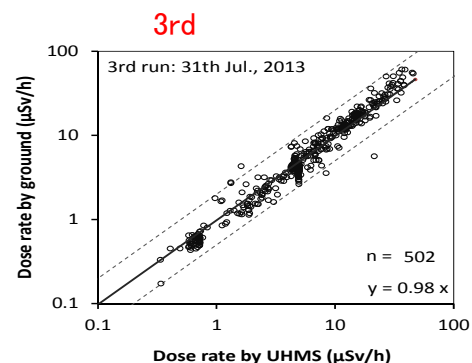
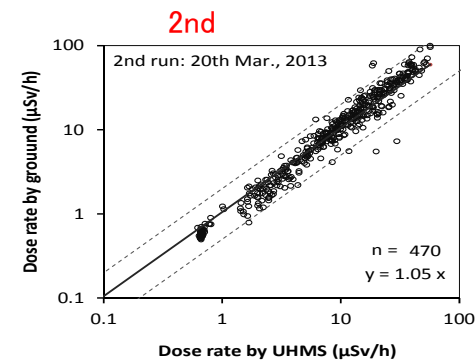
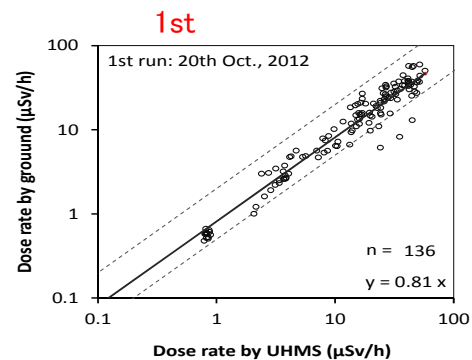
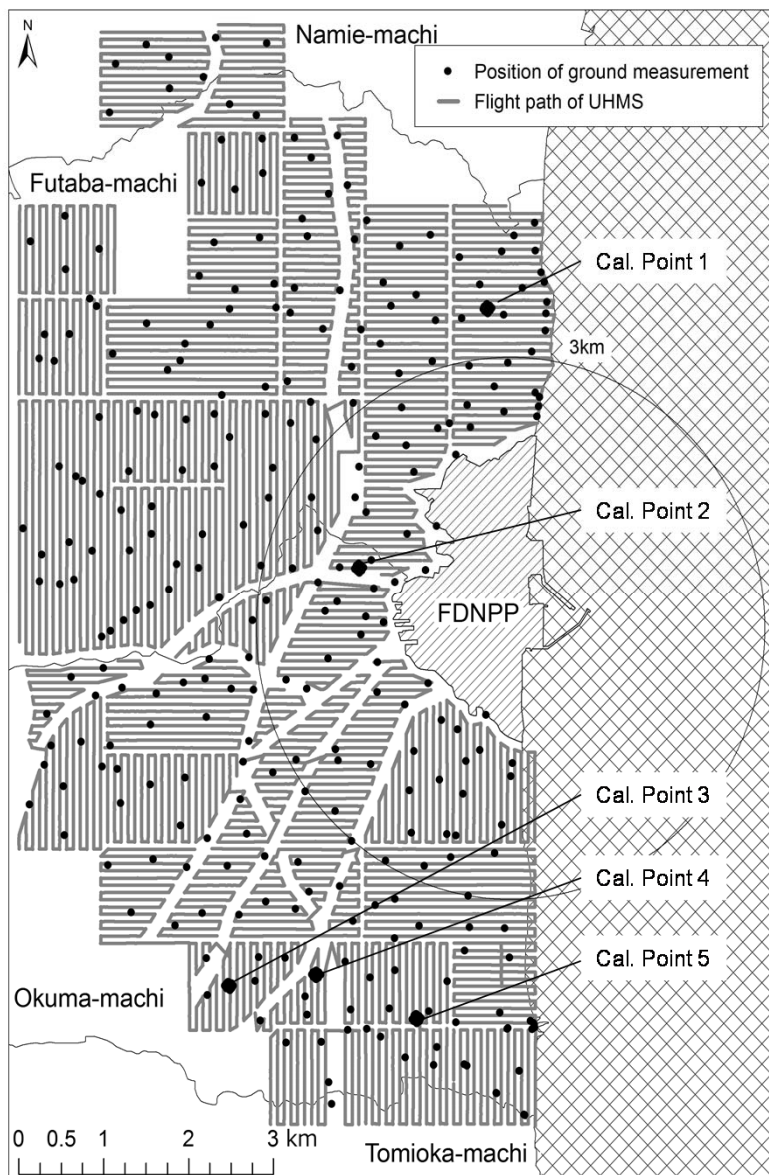


6th: 15 Jan. 2015



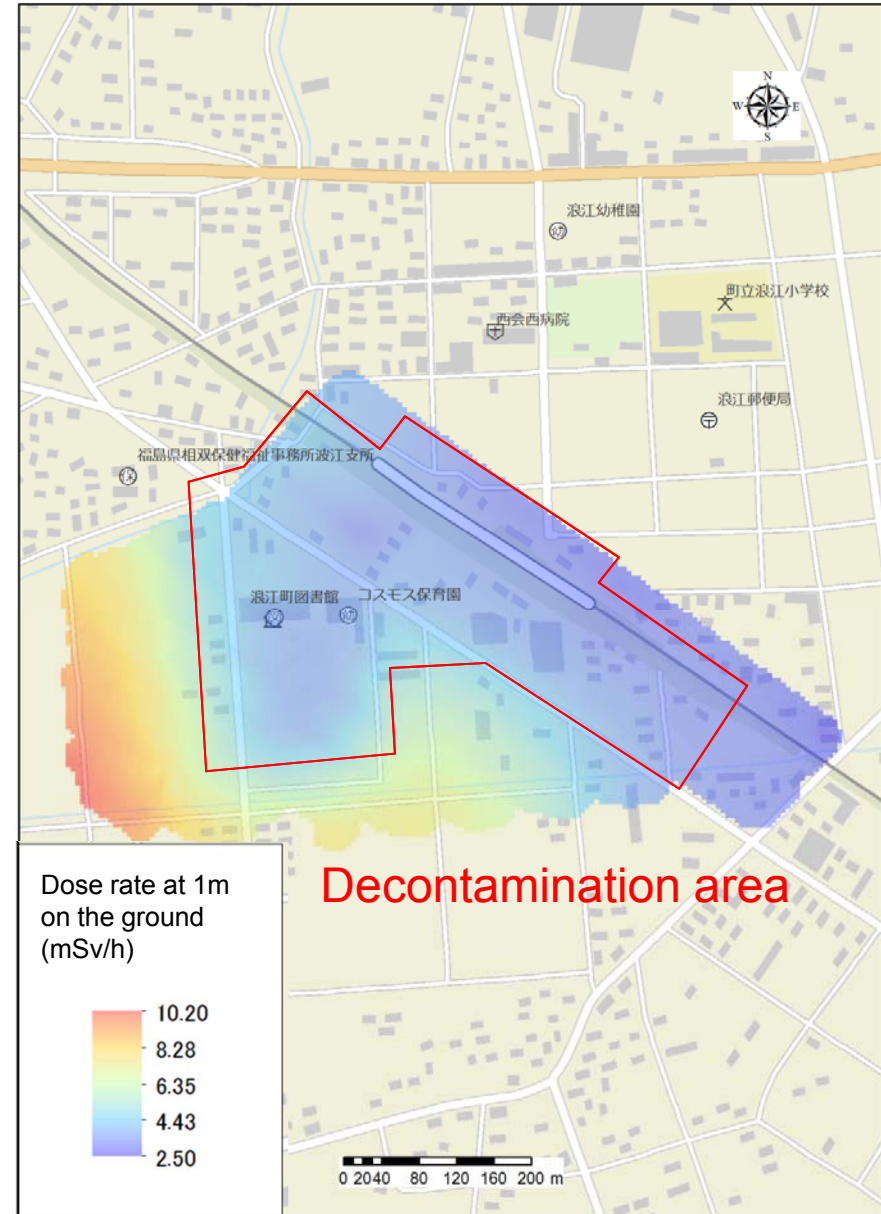
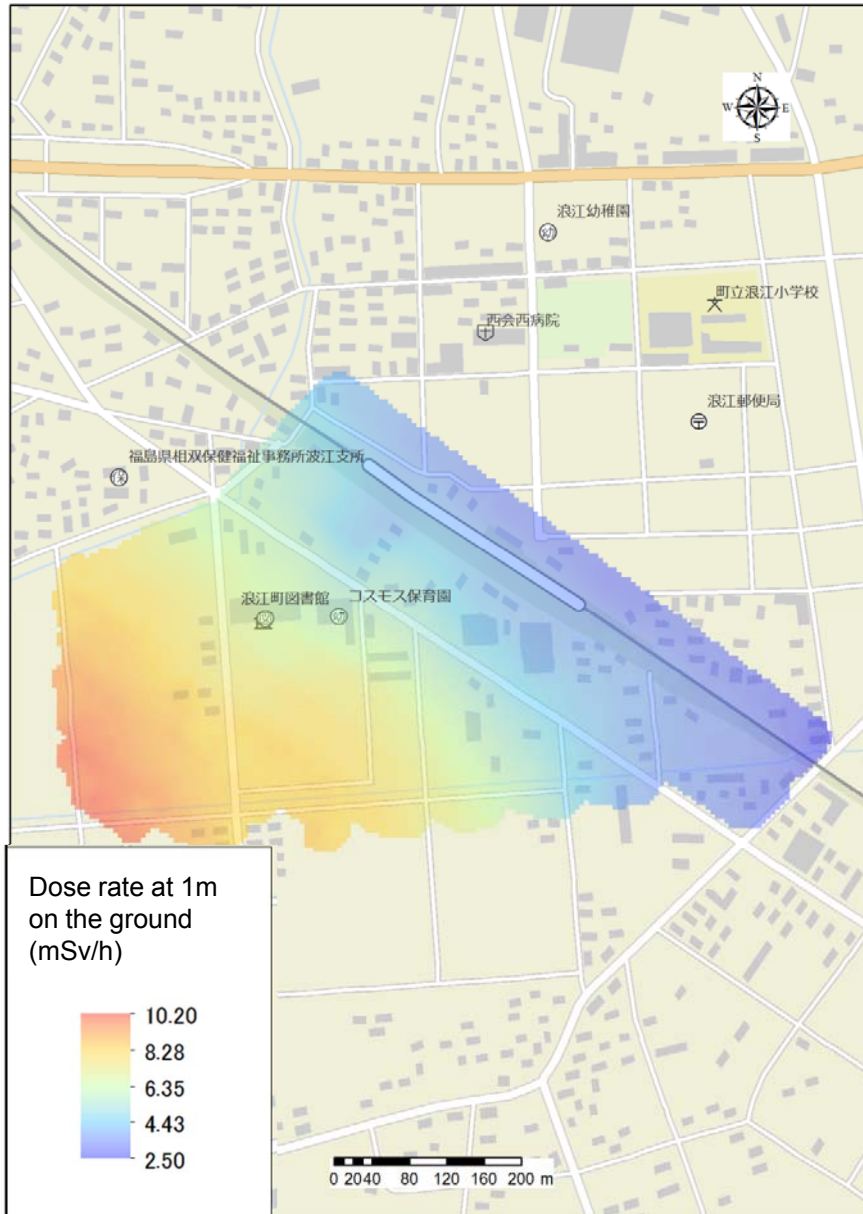
土壌の縦方向の浸透

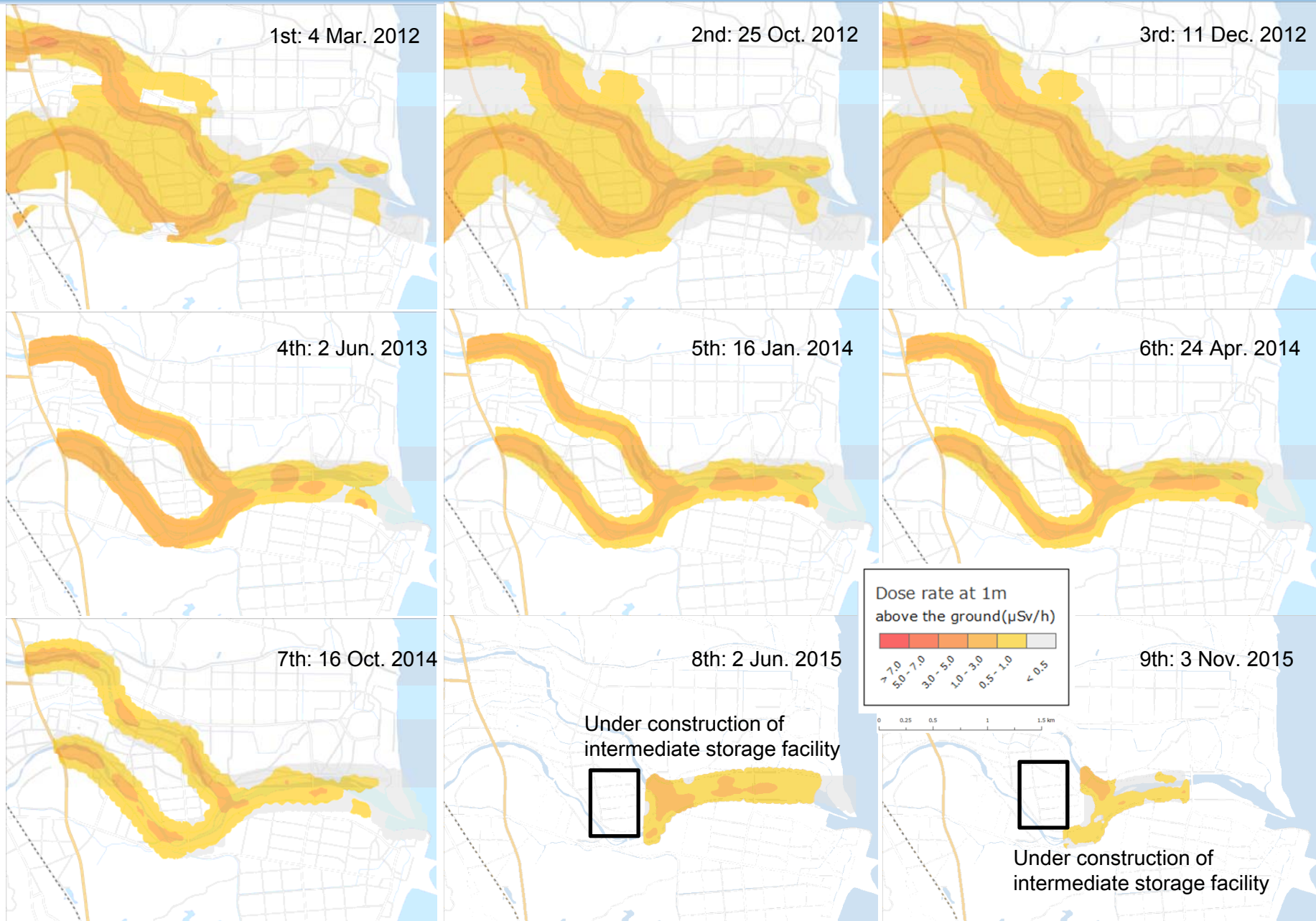












Before

After





	Manned helicopter	Unmanned airplane	Unmanned helicopter	Multicopter
				
Detector				
Standard altitude of ground level	300 m*	150 m	80 m	10 m
Standard air speed	185 km/h	108 km/h	28.8 km/h	7.2 km/h
Flight time	90 min	360 min	90 min	10 min
Maximum payload	100 kg*	10 kg	10 kg	3 kg
Distance of remote	-	5 km	5 km	1 km

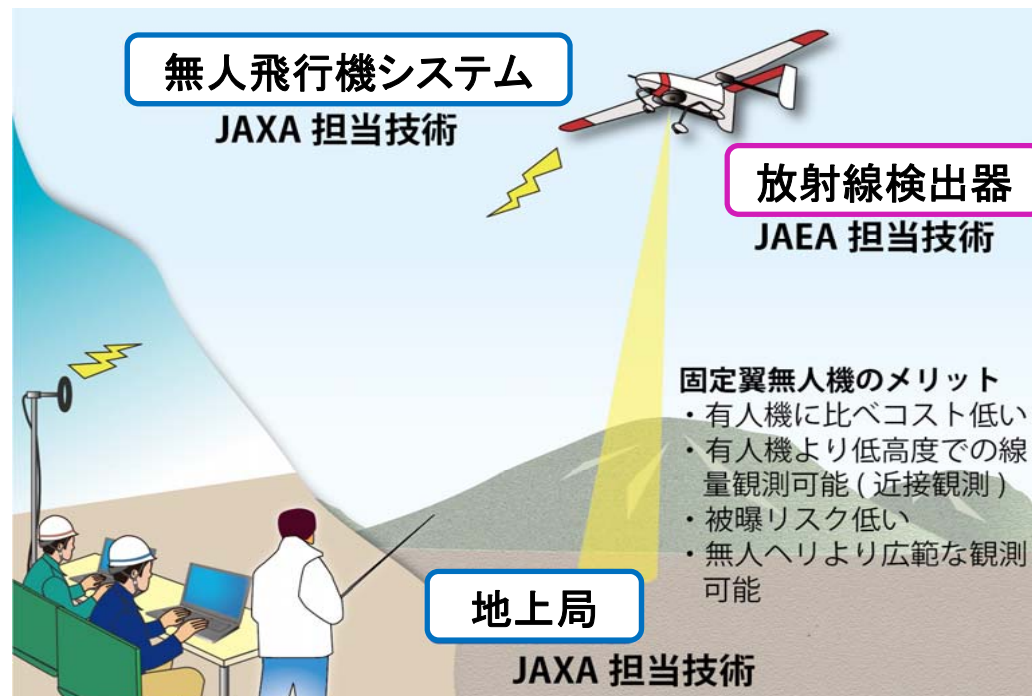
☆ 有人ヘリと無人ヘリの間の一線を埋めるツールの開発

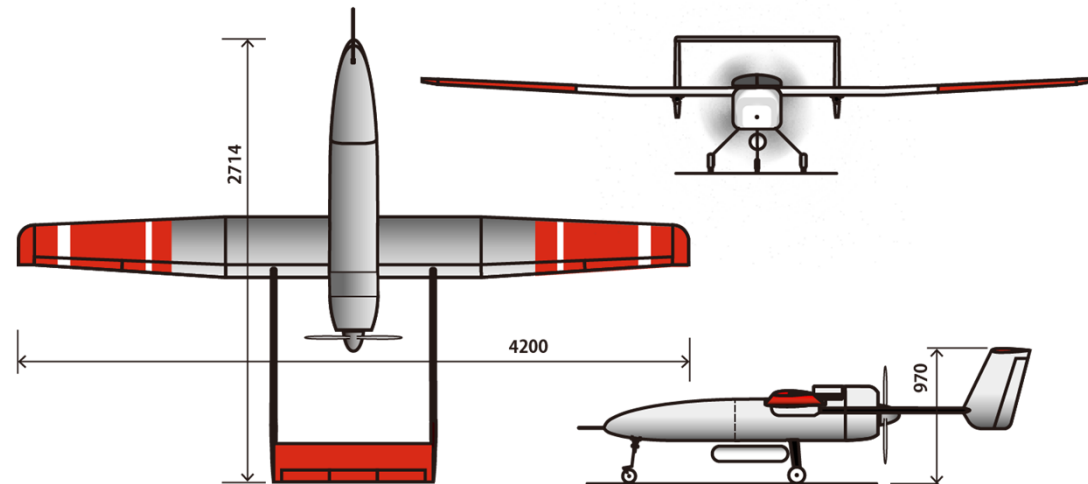
UARMS (Unmanned Airplane Radiation Monitoring System)→JAXAとの共研

- 放射線検出器を無人飛行機に搭載し、地上局より**長距離(100km程度)の遠隔操縦が可能**でかつ**長時間(6時間程度)**のフライトを可能とする「放射線測定システム」を開発する。
- 開発した無人飛行機を山間部等の広域放射能分布・移行調査研究に活用する。
- また、将来的には森林火災等の緊急時にも対応できる遠隔モニタリングツールとしての利用を目指す。

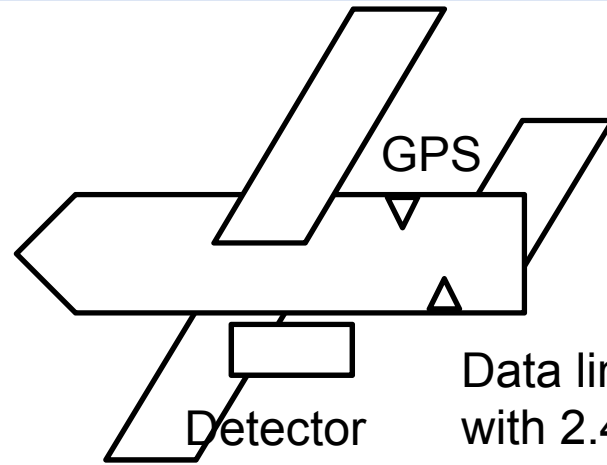
共同研究実施期間
H24～26年度

- ・JAEA: 福島研究開発部門
- ・JAXA: 航空本部

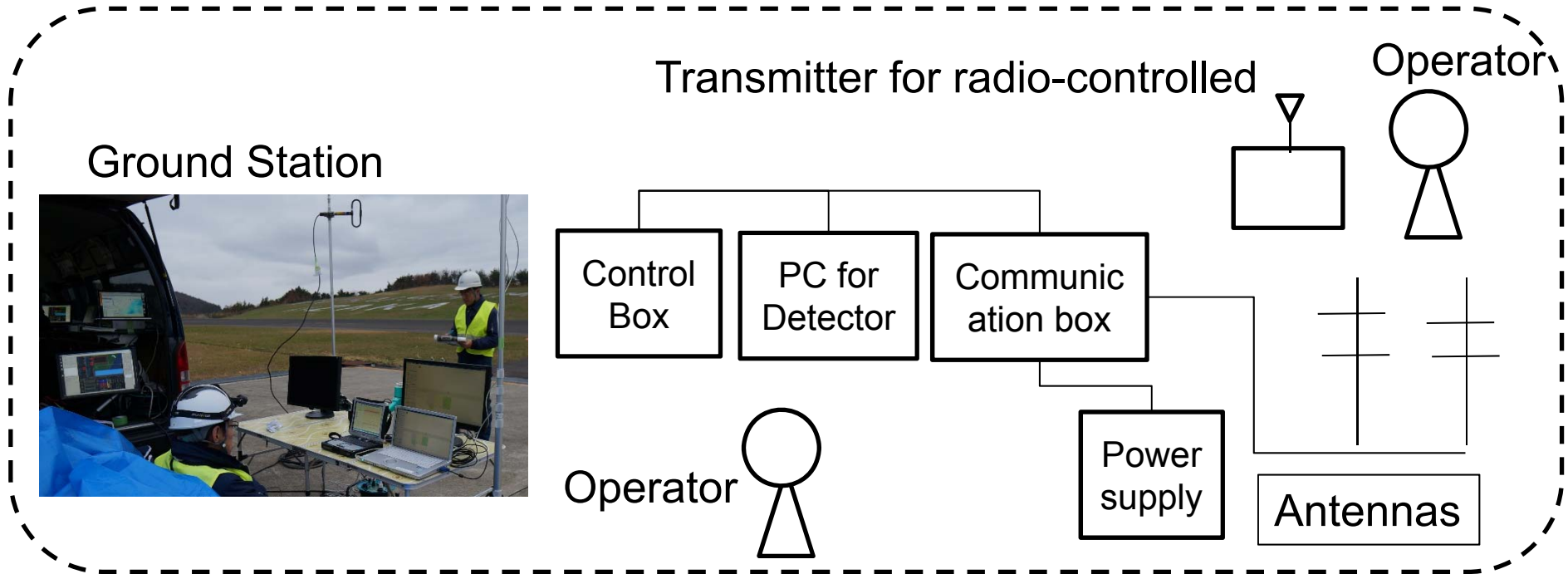




item	spec	UARMS demonstrator	Note
weight	~ 50 kg	◎	
engine	Gasoline (16 L)	◎	
Flight time	6 h	◎	6h flight test
speed	25~35m/s (90~126km/h)	◎	
Ground run	200~300m	◎	
Altitude	Around 150 m (To fly below MSA)	◎	
operation	Programmed Flight Taking-off/landing: manual operation	◎	Terrain Following
Safety	Parachute, system redundant	○ (parachute, RTB)	System redundant, etc.
payload	10 kg	○	upgrade
weather condition	Day time, even light rain is possible, wind speed: < 15 m/s	○	
Flight area	BVLOS (lightly populated area)	○ (VLOS)	BVLOS



Data link (for control) with 2.4 GHz, UHF and satellite communication



- ・ 開発のポイント
 - 1) 軽量化と高効率のトレードオフ (検出器を大きくすれば重くなる)
 - 2) 機体の傾きに対応した方向特性の小さな形状
 - 3) 機体からの電源供給、ダウンリンクを可能とする
 - 4) 地上における線量率に換算するための実測データ取得

試作機



重量: 約5.8 kg
(検出部+データ処理部)

搭載検出器:

- ・プラスチックシンチレーション検出器
(200 mm × 200 mm × 30 mm)
- ・NaI検出器 γ 線スペクトロメータ(50 mm ϕ × 50 mm)

データ

- ・測定データは内部メモリに、設定された時間間隔毎に保存

(通常1

秒)

- ・リアルタイムデータを無線モデムを介し地上PCに送信

実用機



重量: 約4.9 kg
(検出部+データ処理部)

搭載検出器:

- ・プラスチックシンチレーション検出器(76 mm ϕ × 76 mm)
- ・NaI検出器 γ 線スペクトロメータ(50 mm ϕ × 50 mm)

データ

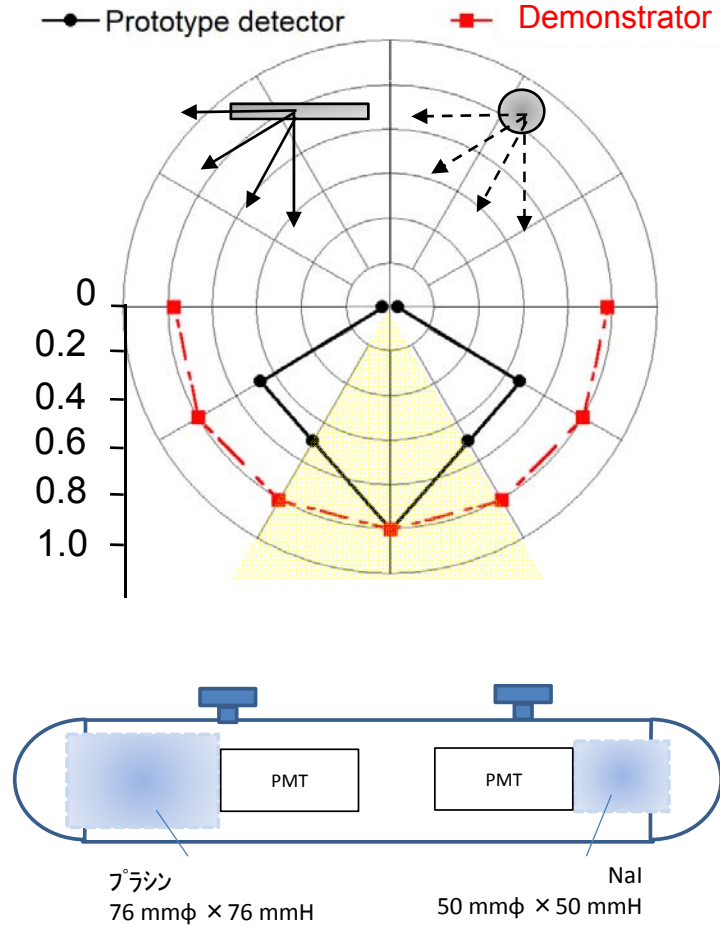
- ・測定データは内部メモリに、設定された時間間隔毎に保存

(通常1

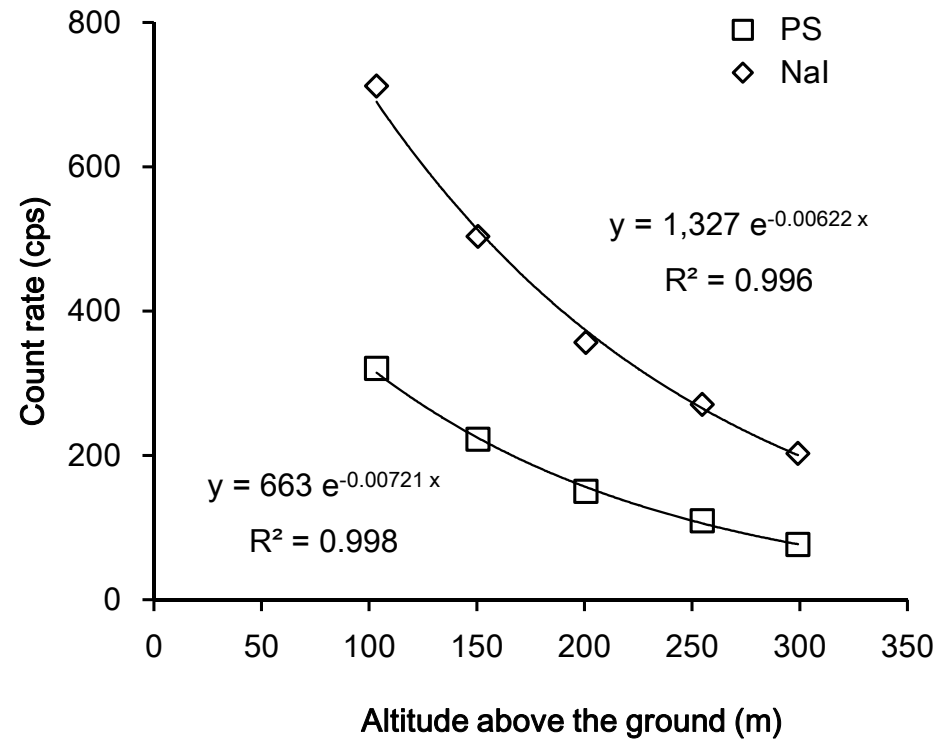
秒)

- ・リアルタイムデータを無線モデムを介し地上PCに送信

Angular response

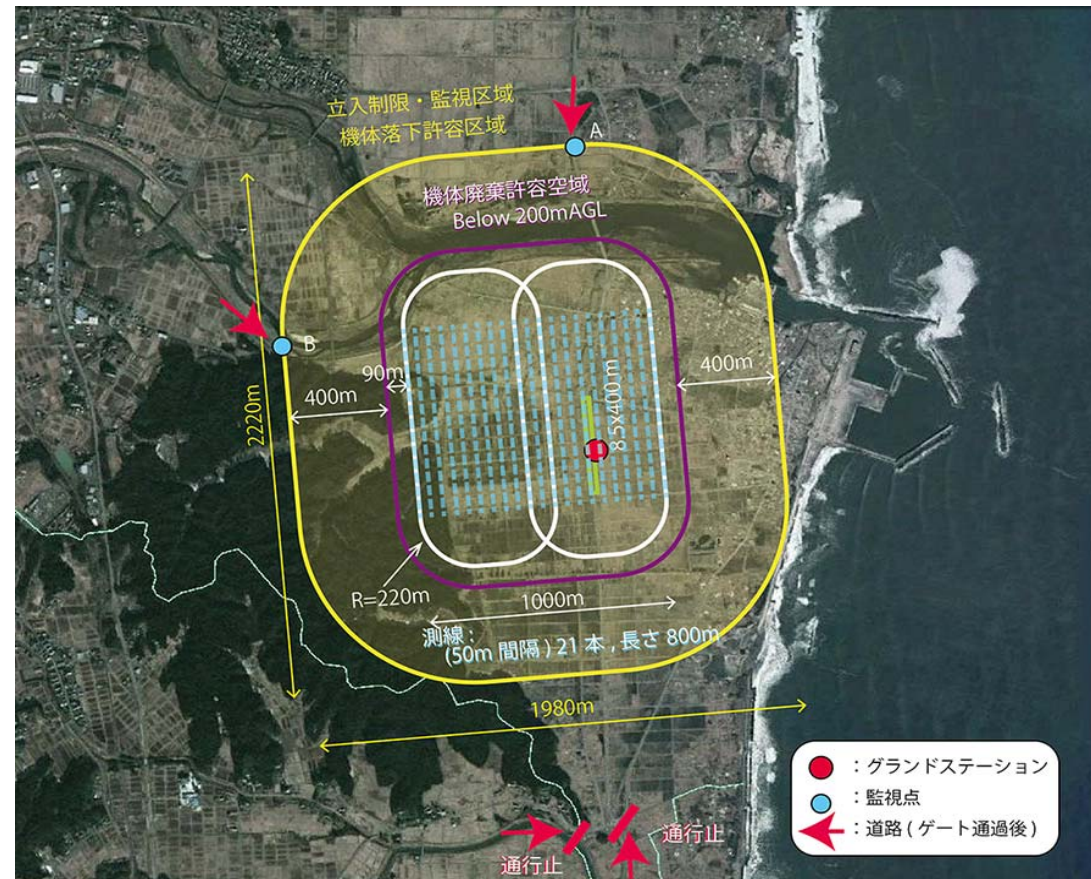


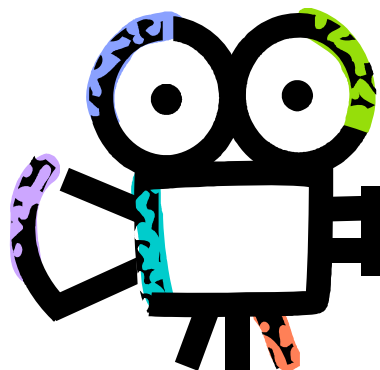
Parameter for dose rate conversion

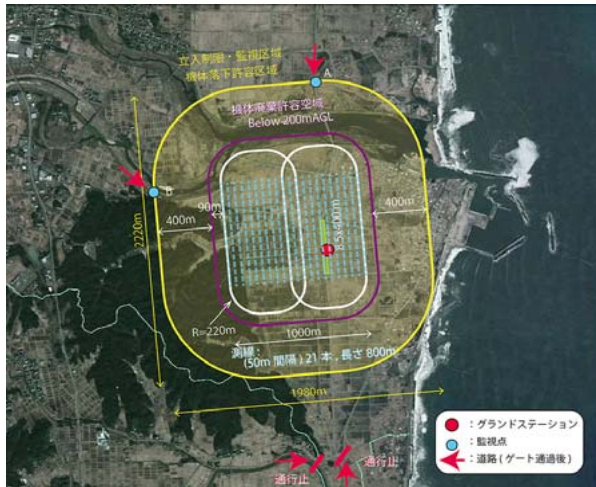


Detector	CD (cps/μSv/h)	AF (m ⁻¹)
Plactic Scin.	1,270	-0.00632
NaI Scin.	554	-0.00721

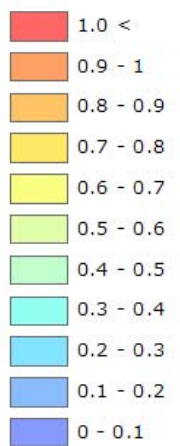
1. 試験日時 : 平成26年1月23日 7:00~12:00 (準備)
平成26年1月24日 7:00~12:00 (飛行試験)
2. 試験場所 : 浪江町請戸港付近(県道254号線を滑走路に使用)
3. 飛行距離 : キャリブレーション 800 m × 10測線(8km)
測線 800 m × 21測線(16.8km)
4. 飛行時間 : 合計1時間程度
5. 飛行高度 : 約150 m (対地)



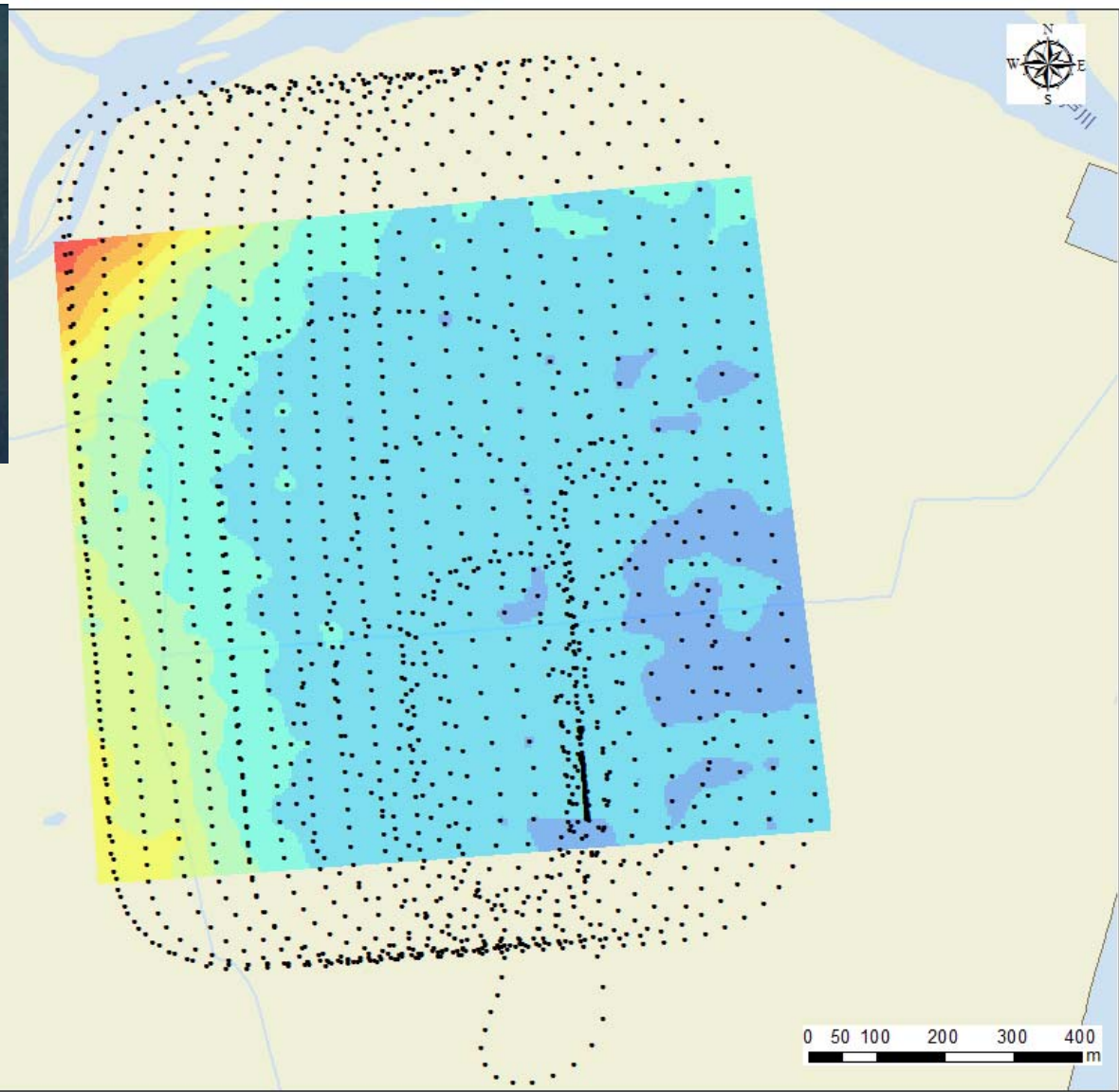


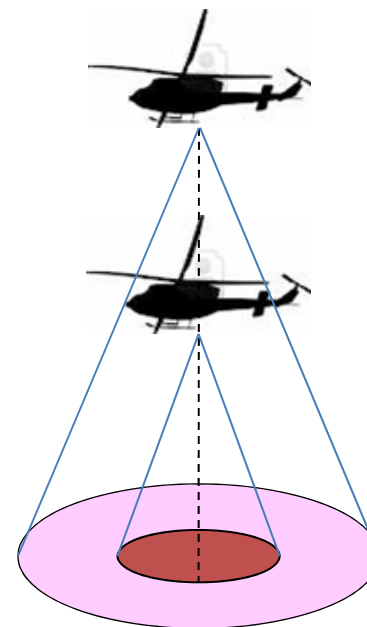
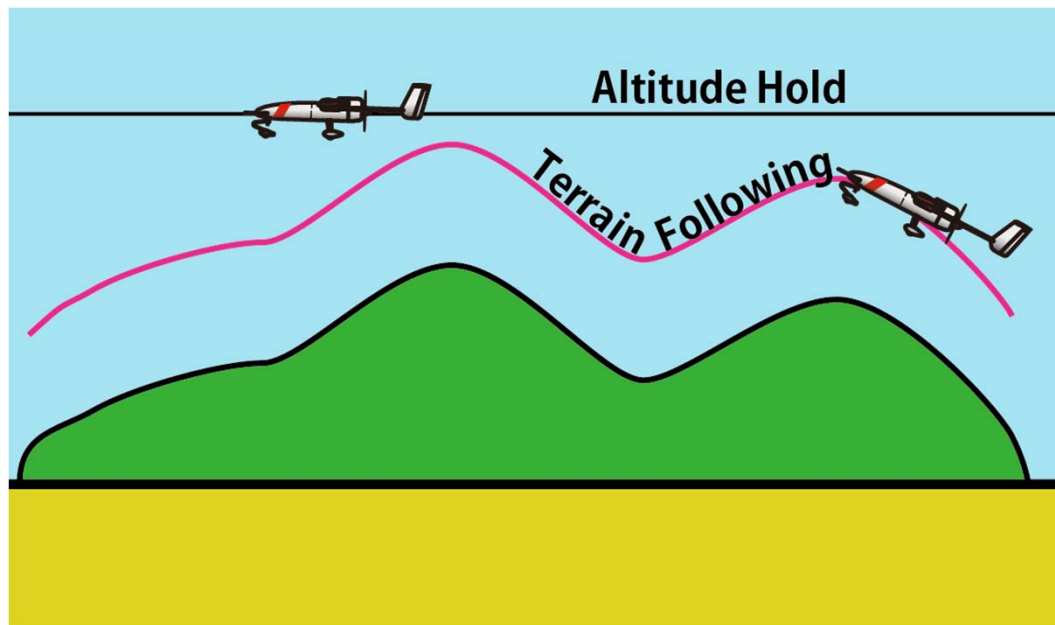


地上1m空間線量率
($\mu\text{Sv/h}$)



・ 軌跡





The measurement range changes by altitude.

Improvement of the radiation measurement accuracy is expected by the flight that followed the topography.

- 機能向上機(検出器Ver.2搭載)による飛行
- ✓ ふくしまスカイパーク周辺と同等の傾斜を模擬した経路を飛行。

飛行軌跡(水平・鉛直面内)

飛行番号:FE1009, 2014.10.19

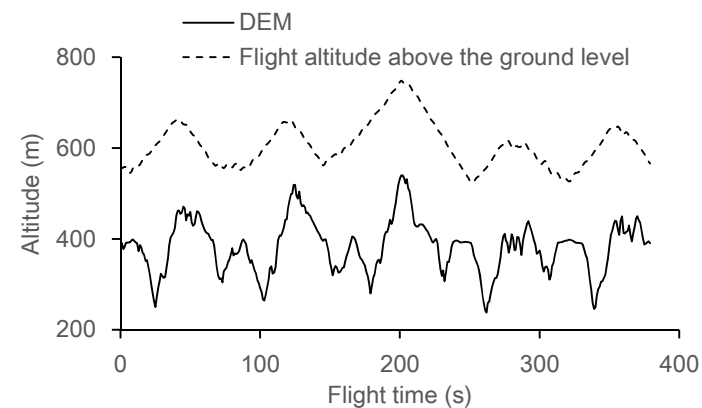
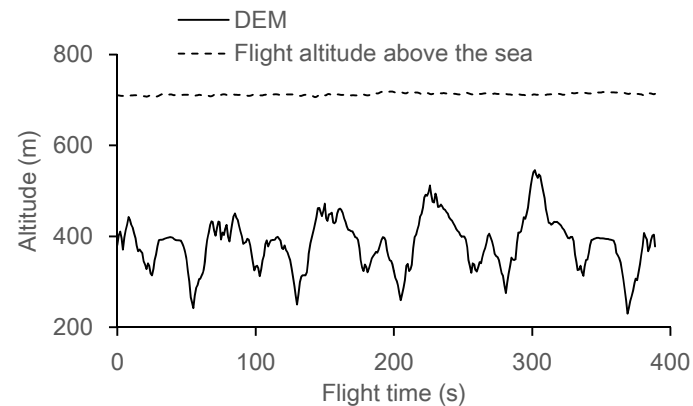
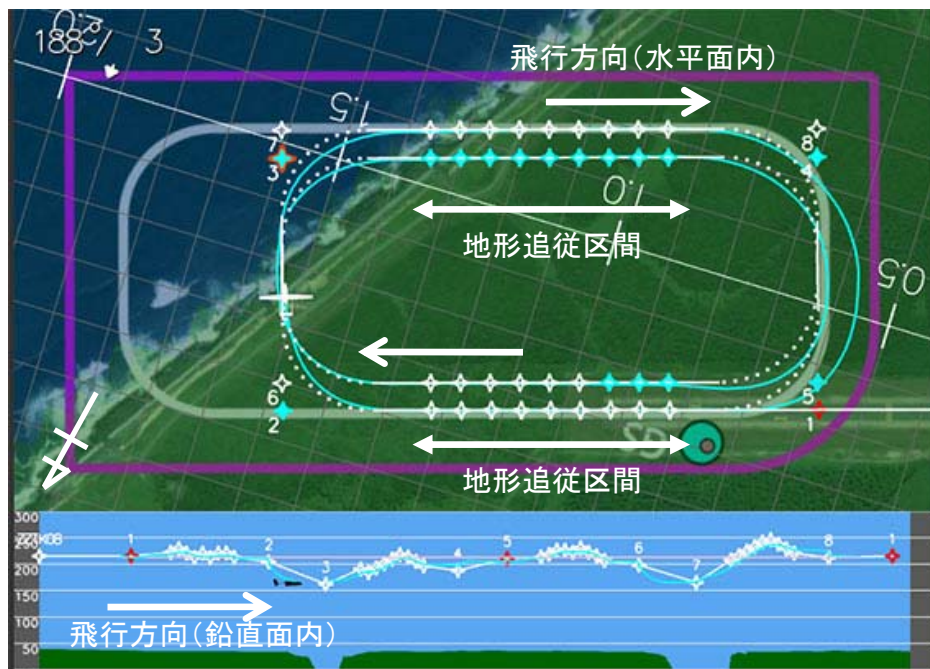
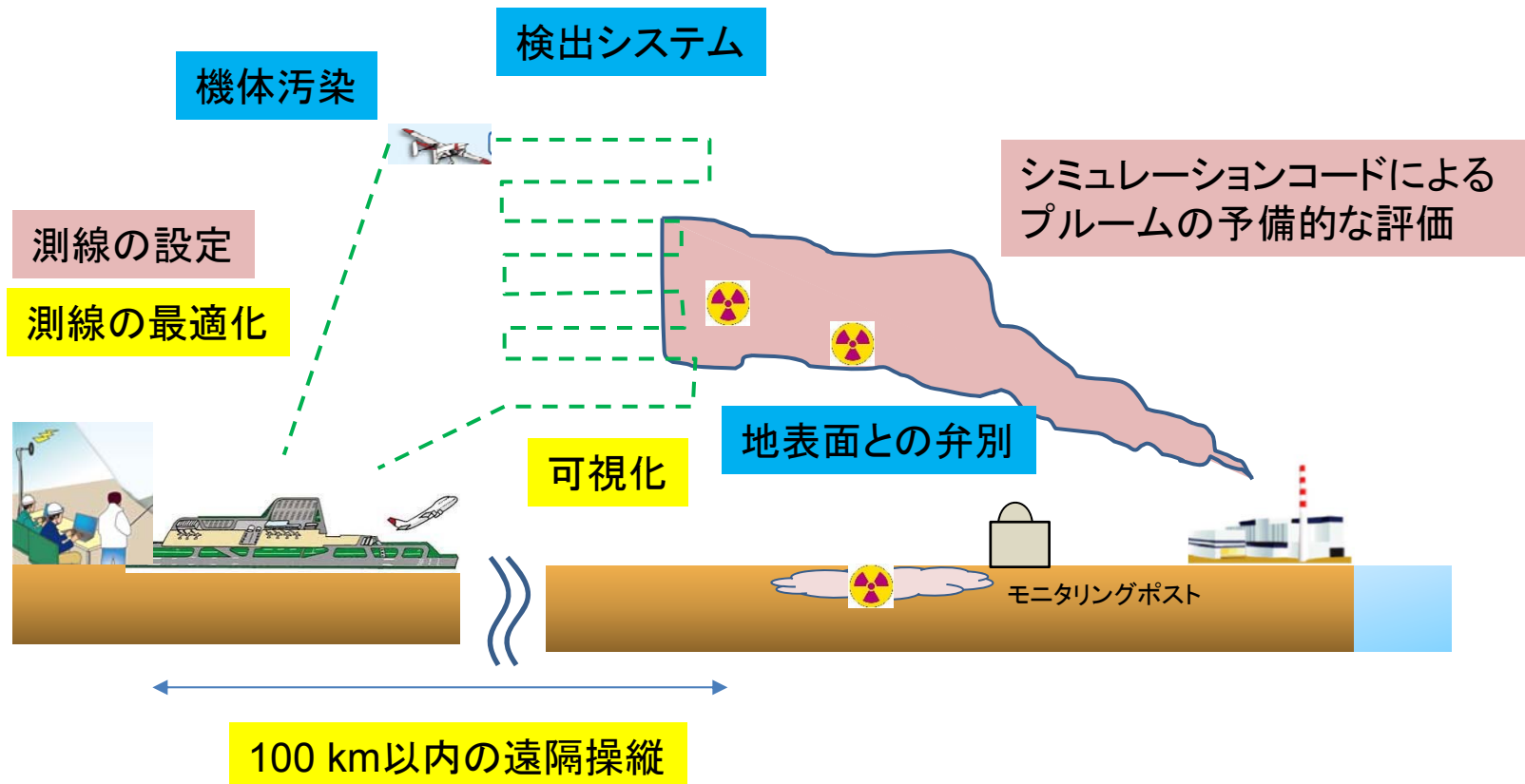


Fig. 6 Upper: Valiation of flight altitude of consant altitude above sea level. Lower: Valiation of flight altitude of consant altitude above ground level.

・空気中放射性物質濃度検出技術開発

・プルーム予測モデルとの統合による測定計画作成アルゴリズム

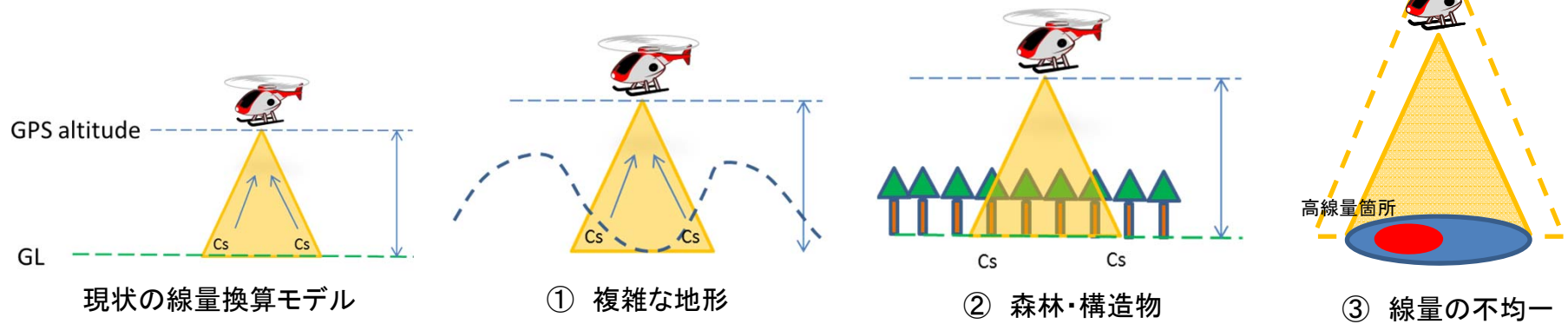
・3D評価のための無人機運用技術及び可視化



・現在の手法は、平面モデルで線量率を算出

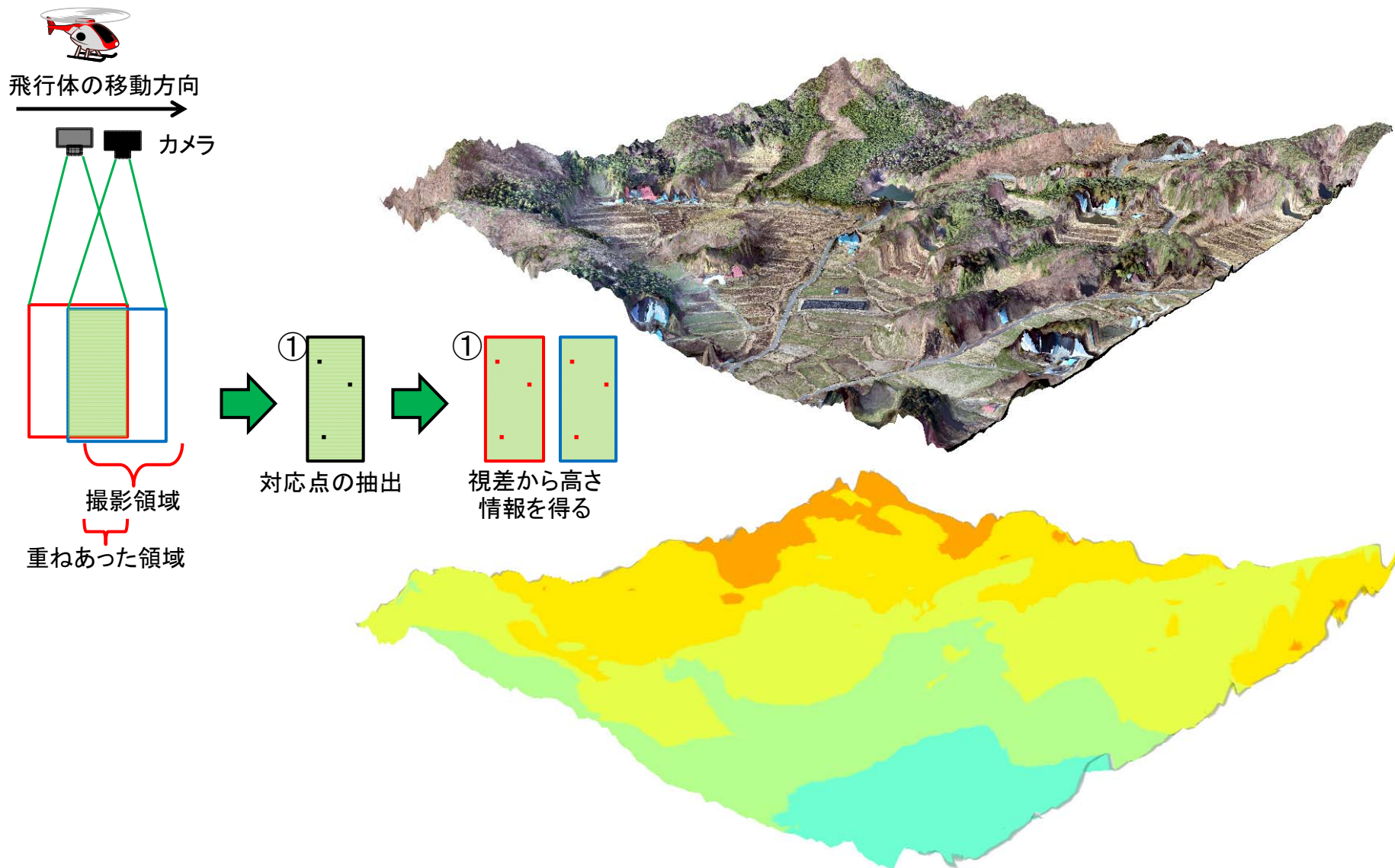


・山間部や森林部では、現手法では不確かさが生じている

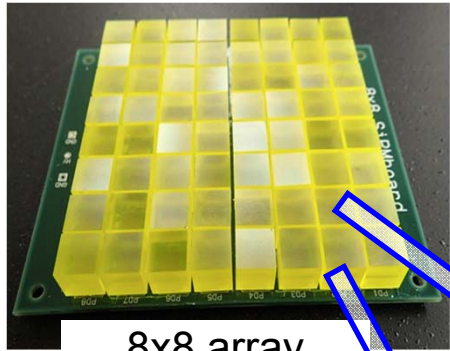
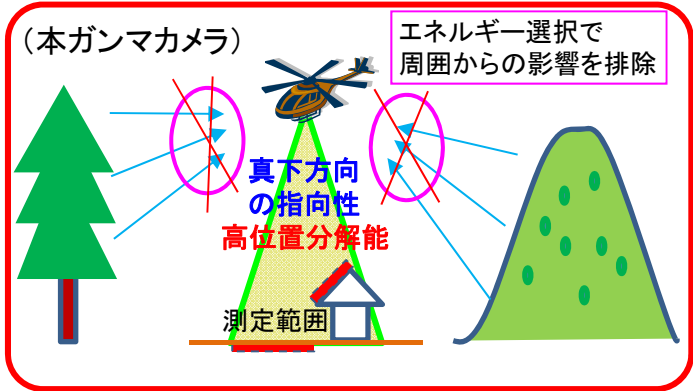
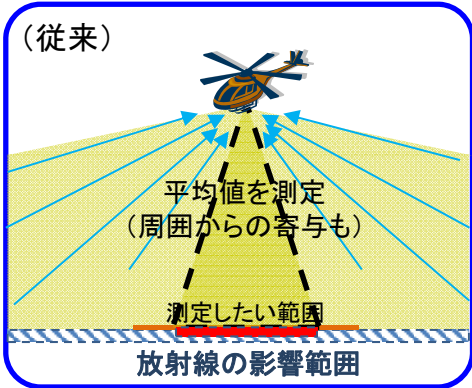


地形の情報を詳細に取得する





従来の検出器との違い
— 真下方向の指向性で高位置分解能 —



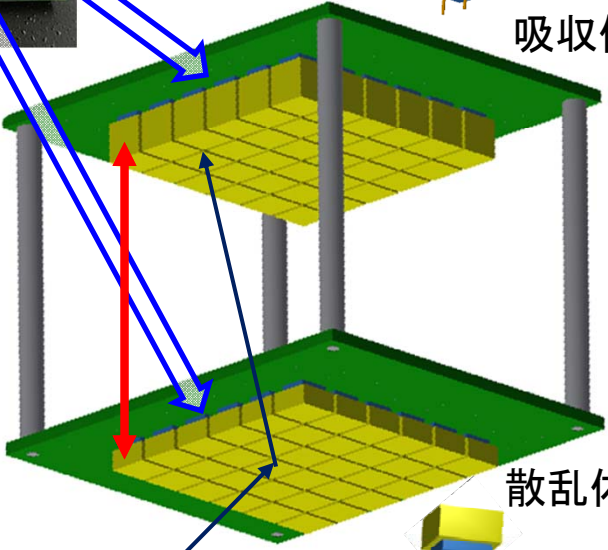
8x8 array
GAGG&SiPM

新検出器

10 mm × 10 mm × 10 mm GAGG
SiPM (PM6660)



吸収体

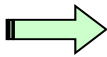


10 mm × 10 mm × 5 mm GAGG
SiPM (PM6660)

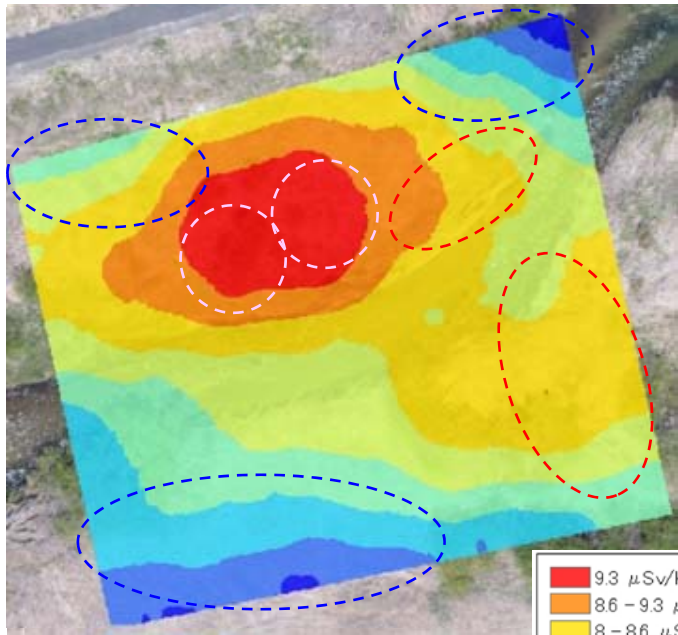


散乱体

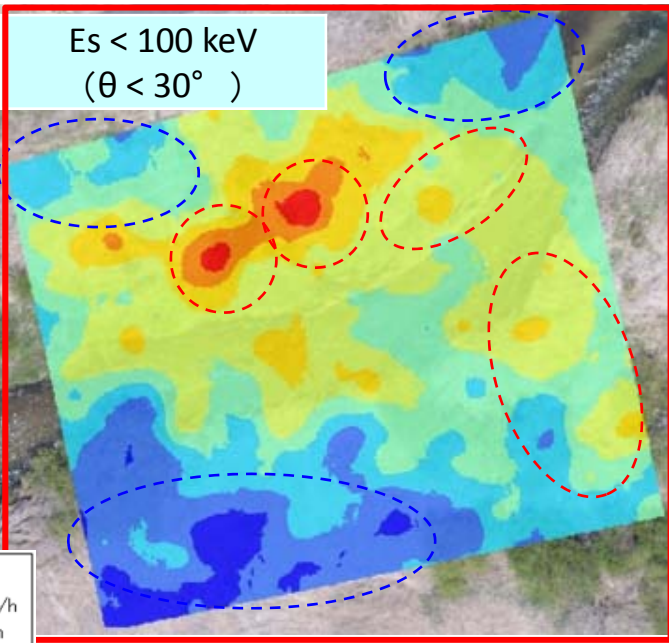
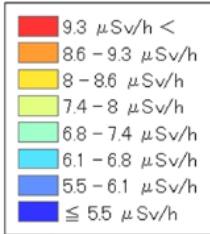
従来方式



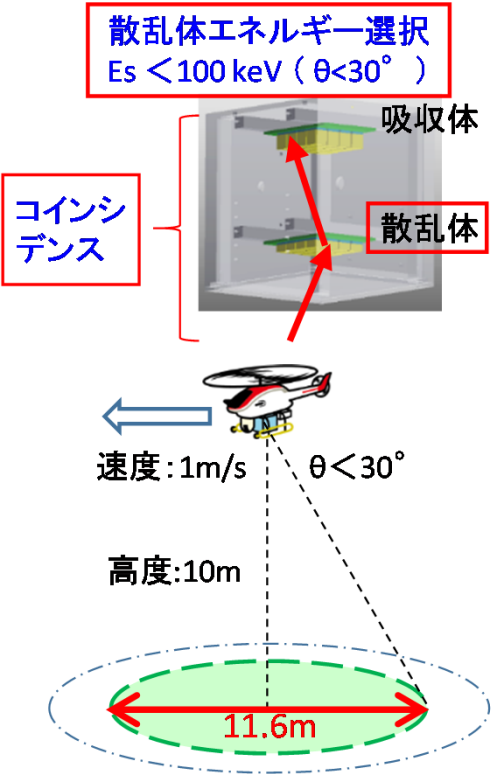
コンプトンカメラ方式











通常のシンチレータ
(コインシデンス無し)



位置分解能
11.6m



	Manned helicopter	Unmanned airplane	Unmanned helicopter	Drone
				
Detector				
Standard altitude of ground level	300 m*	150 m	80 m	10 m
Standard air speed	185 km/h	108 km/h	28.8 km/h	7.2 km/h
Flight time	90 min	360 min	90 min	10 min
Maximum payload	100 kg*	10 kg	10 kg	3 kg
Distance of remote	-	5 km	5 km	1 km

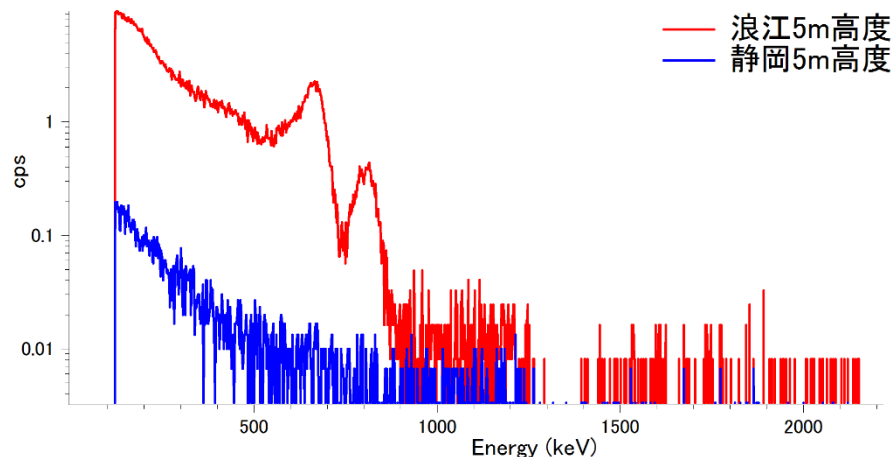


[機器]

- ・サイズ: W9000 × D9000 × H500mm
- ・重量: 5 kg (検出器含む)
- ・ペイロード: 5.0 kg
- ・飛行速度: 秒速2 m (時速7.2 km)
- ・連続飛行時間: 10分程度

[特徴]

- ・ **安全性の高い設計**
 - RTB (設定した範囲から逸脱した場合の自動帰還機能)
 - 暴走防止のための緊急動作停止機能
 - ローターを防御するガード



GAGG検出器スペクトル

[ペイロード]

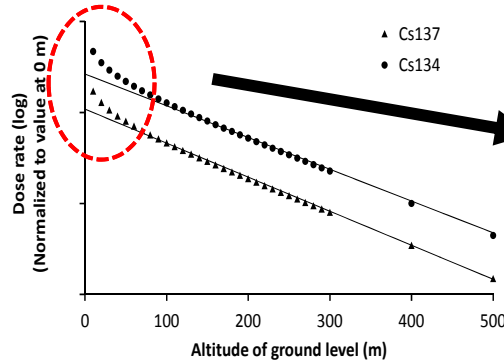
- ・検出器 (GAGG:Ce (2 × 2 × 2cm))
ガドリニウム アルミニウム ガリウム ガーネット
- ・3Dマップ作成用カメラ



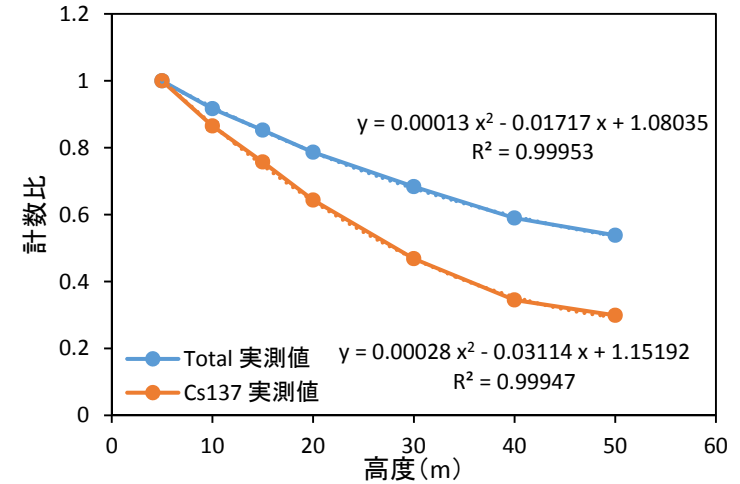
プログラム飛行時PC画面

測定データ

- ・スペクトルデータ
- ・位置情報データ
- ・GPS高度データ



⇒二次式で近似



補正

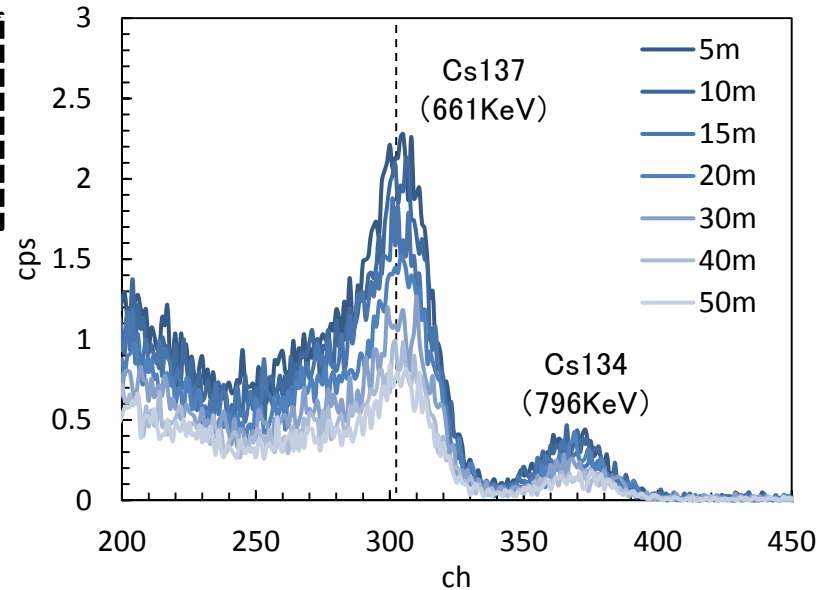
空気減弱係数

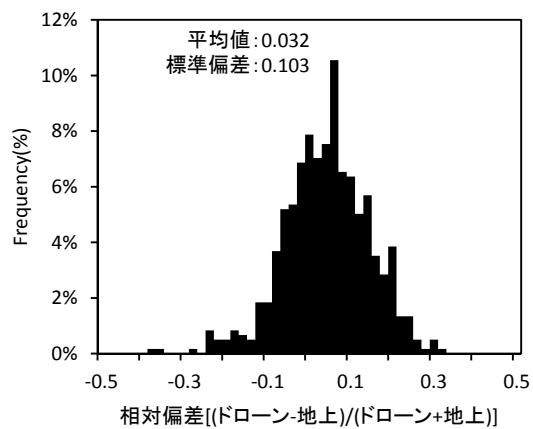
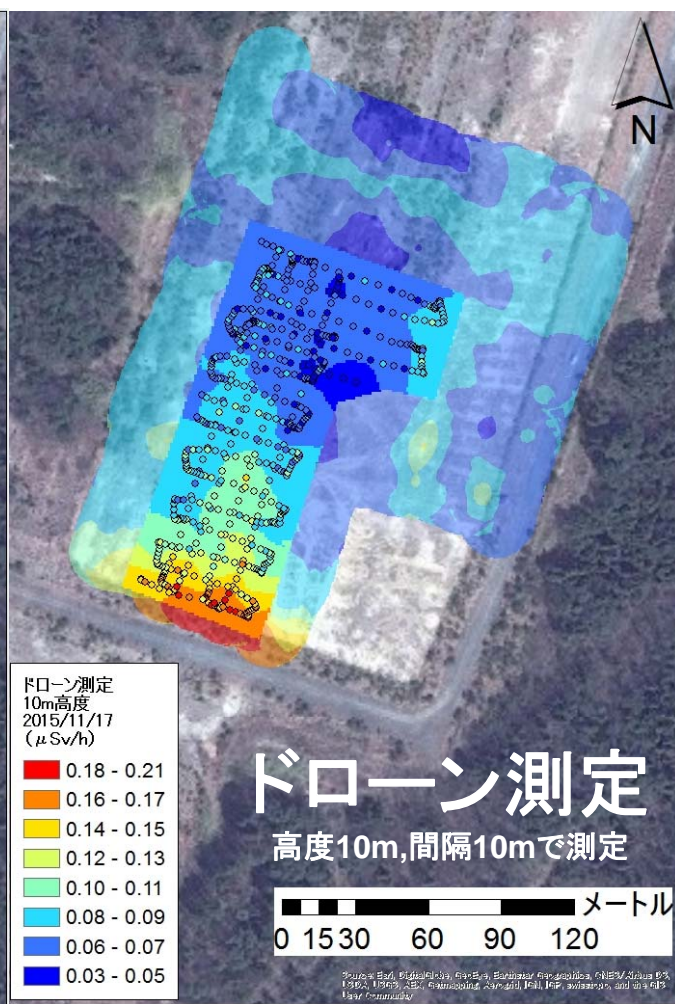
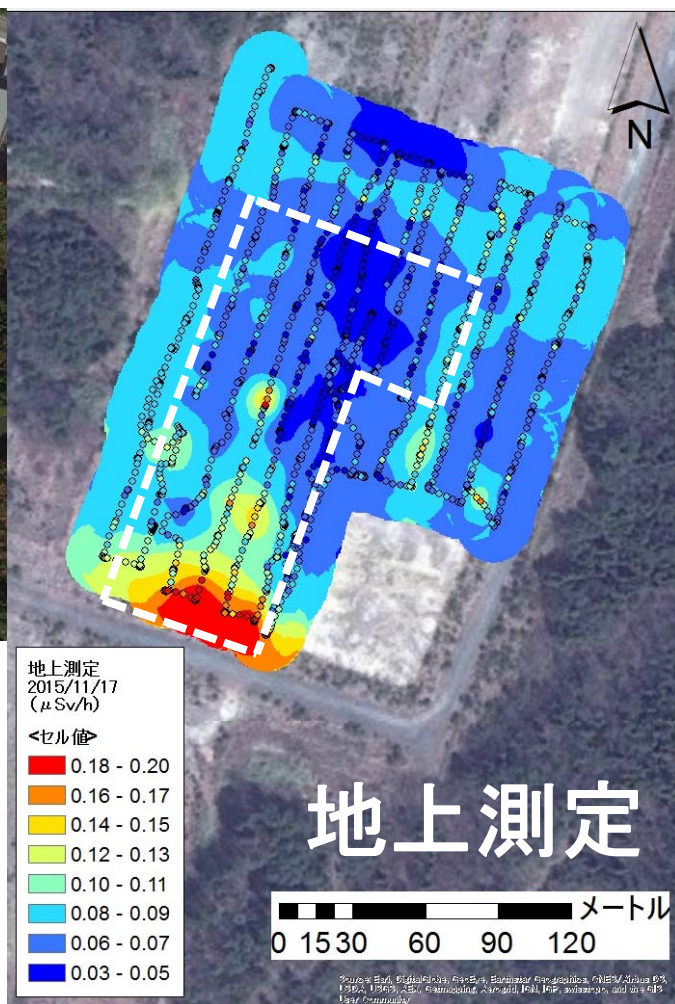
対地高度と計数率の関係式から算出

空間線量率換算係数

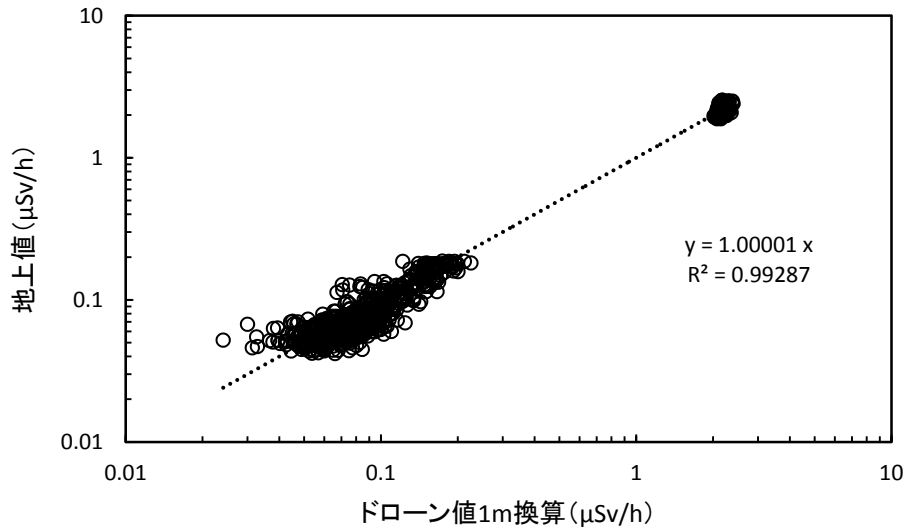
基準高度(10m)の計数率と地上サーベイの比較から算出

地上1mの空間線量率への換算

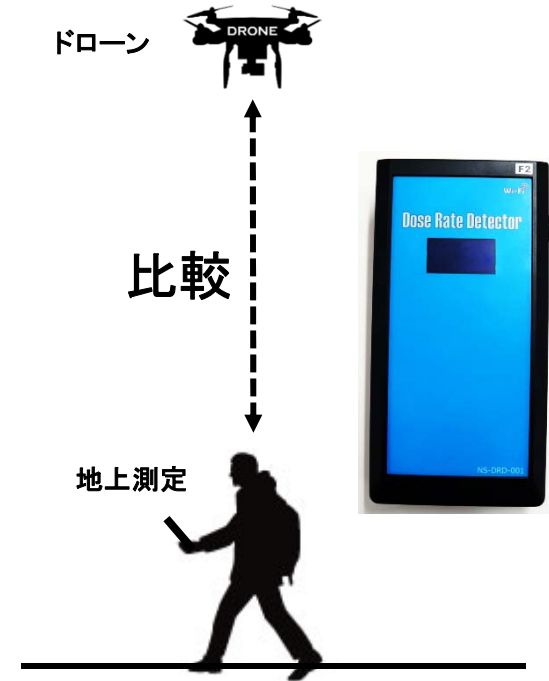
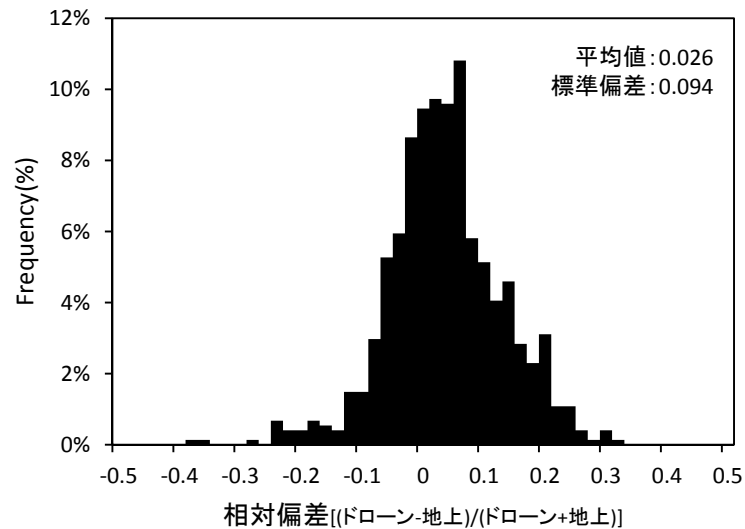




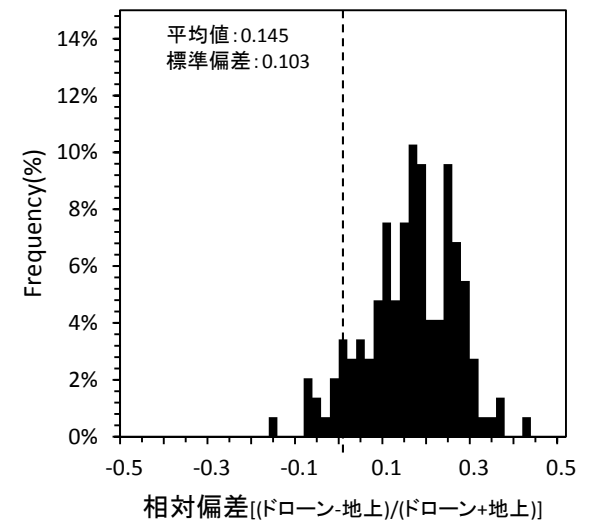
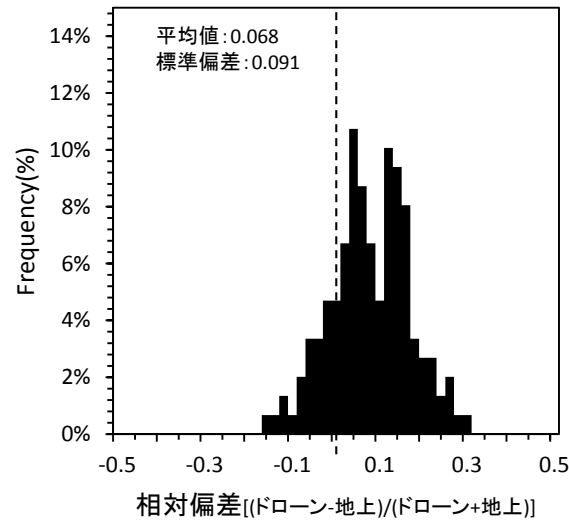
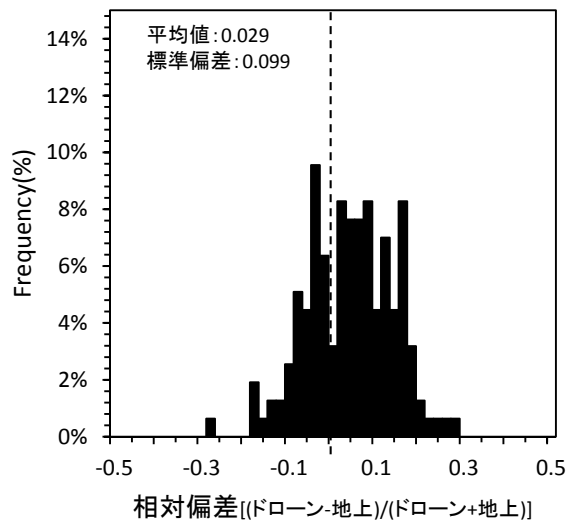
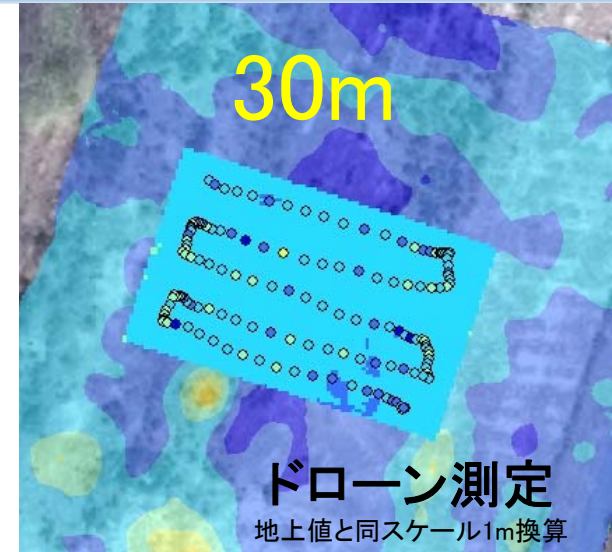
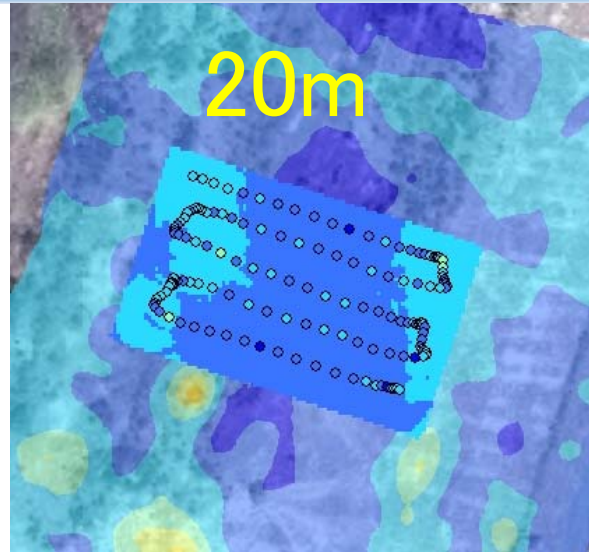
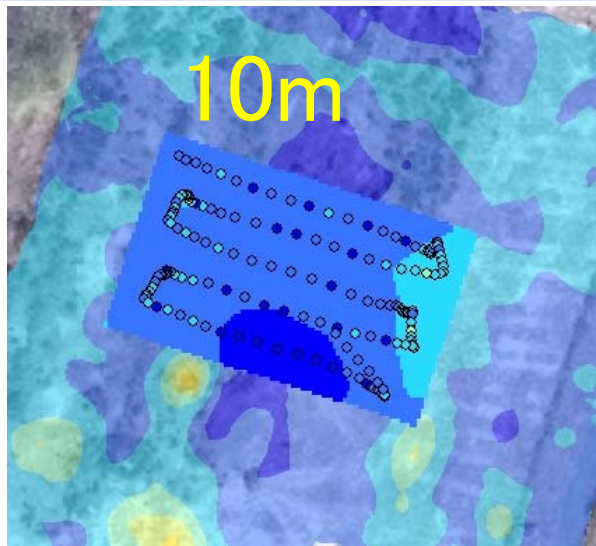
⇒地上値と良く一致してる



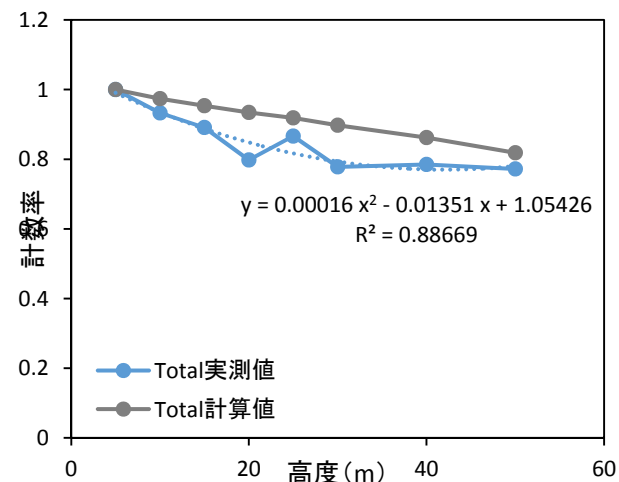
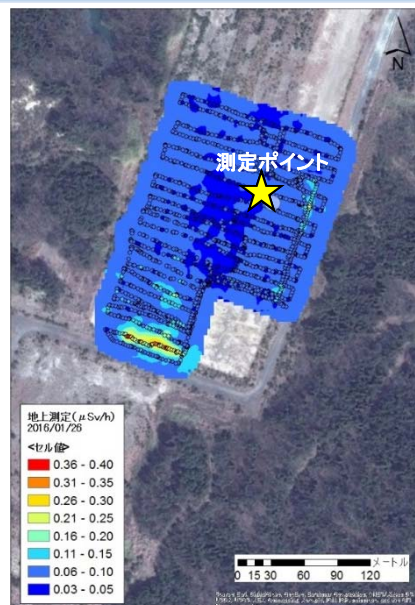
地上測定値とドローン測定値の比較



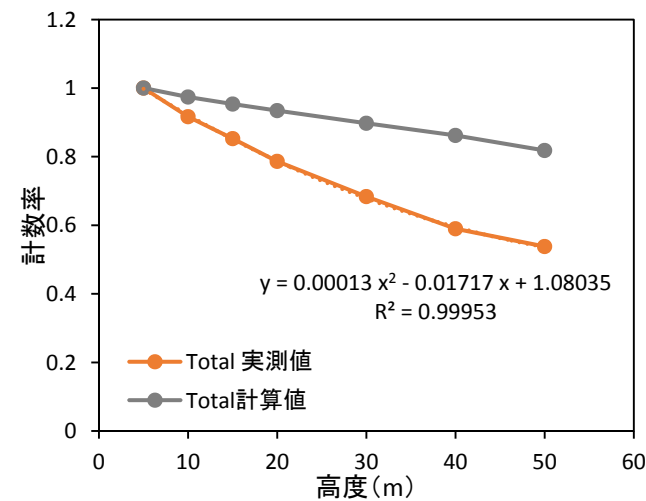
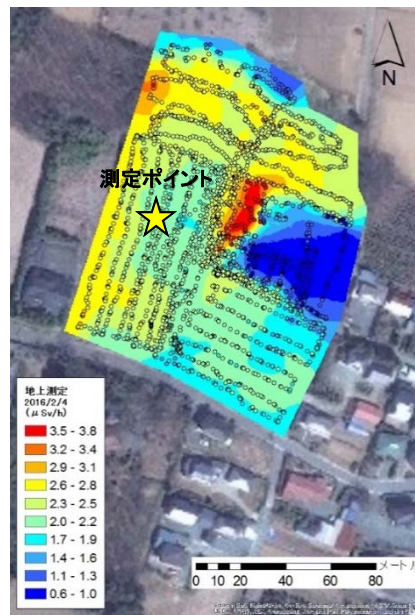
地上測定:
歩行式サーベイメータ
[CsI: 40 × 20 × 10(mm)]



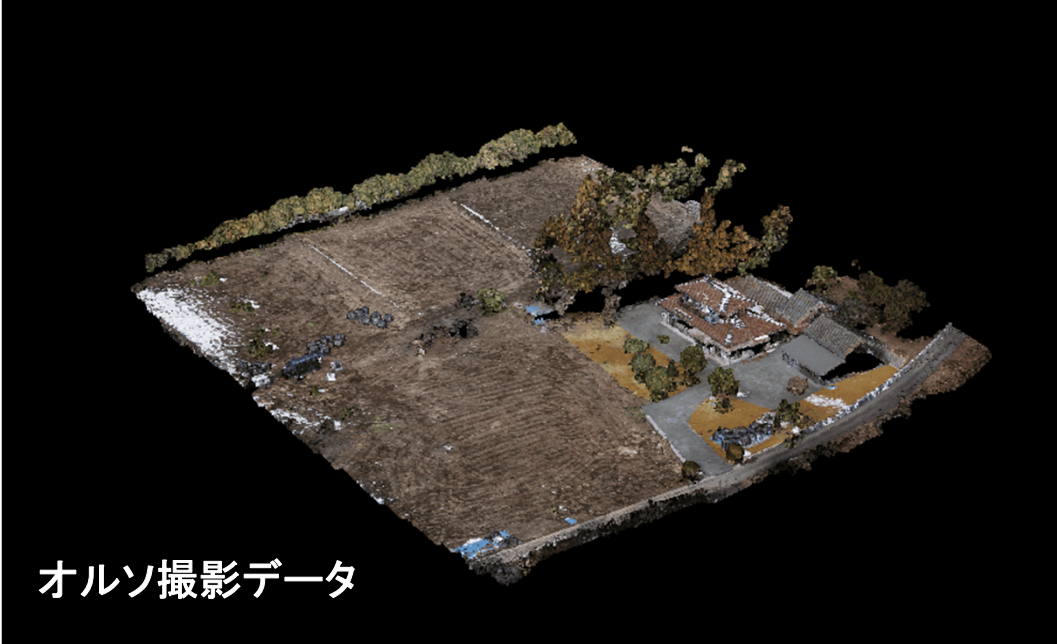
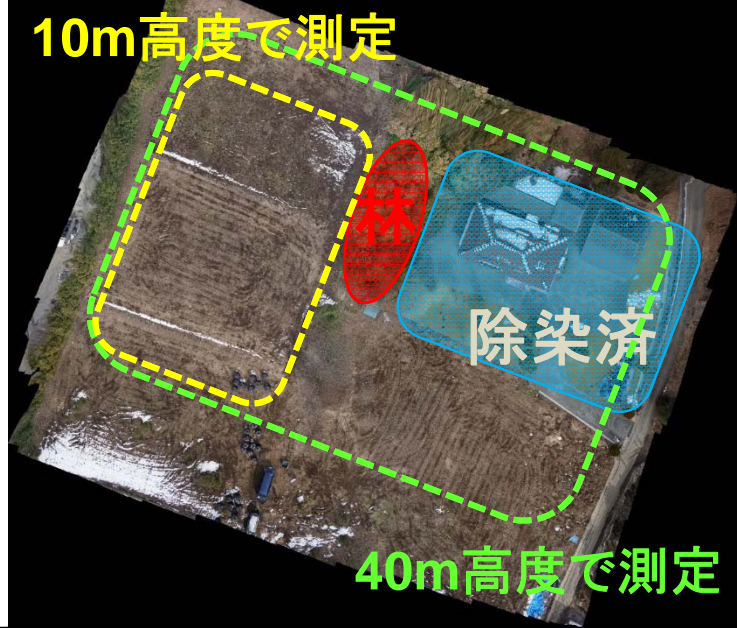
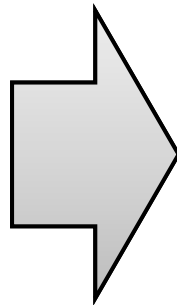
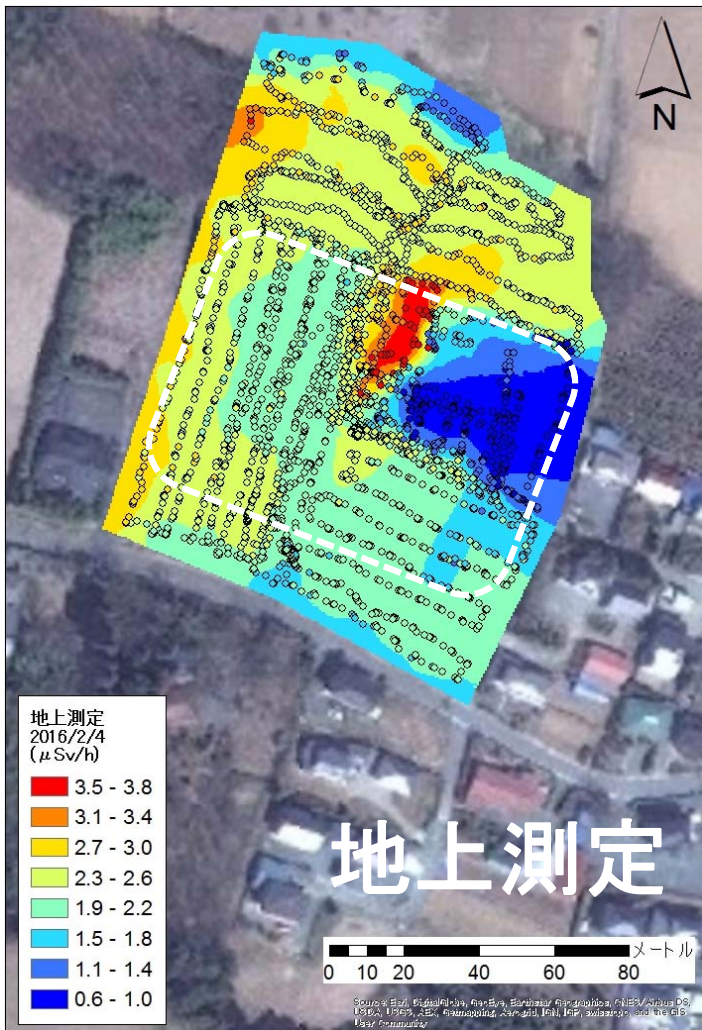
⇒高度が上がるにつれて周りからの放射線の影響を受けている

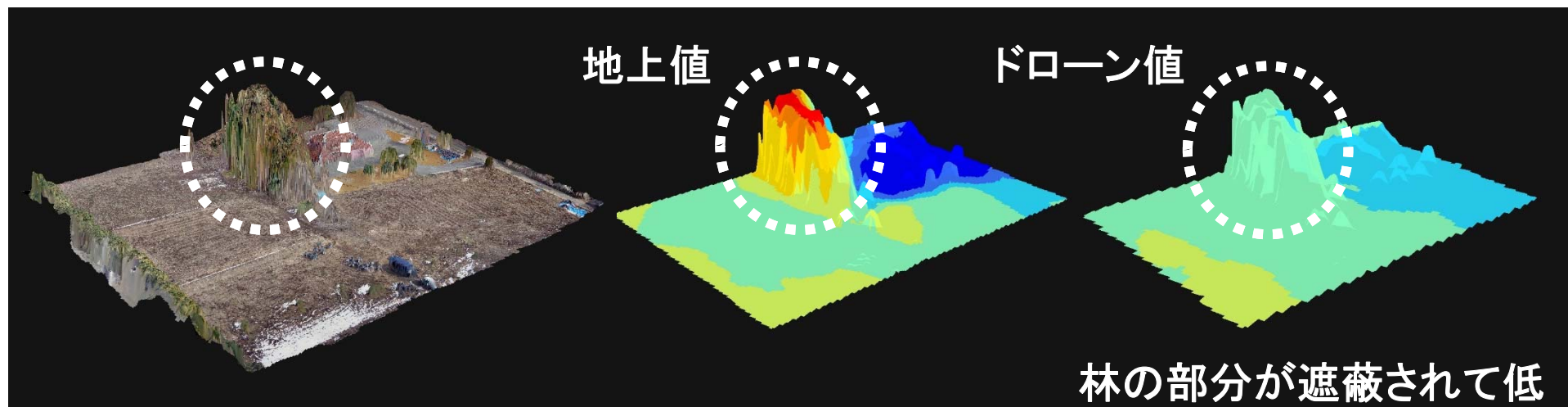
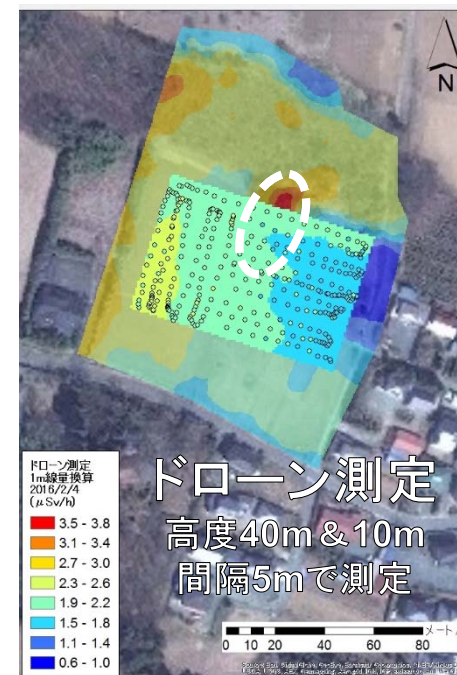
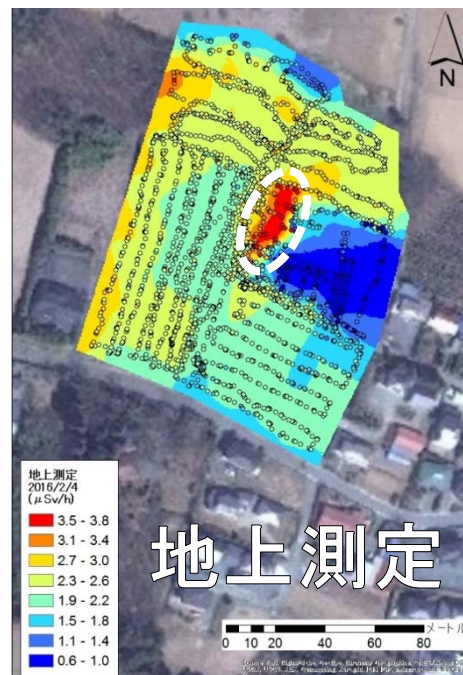


高度変化に伴う放射線計数率の変化



シミュレーションは線源が均一に広がった平面体系で計算



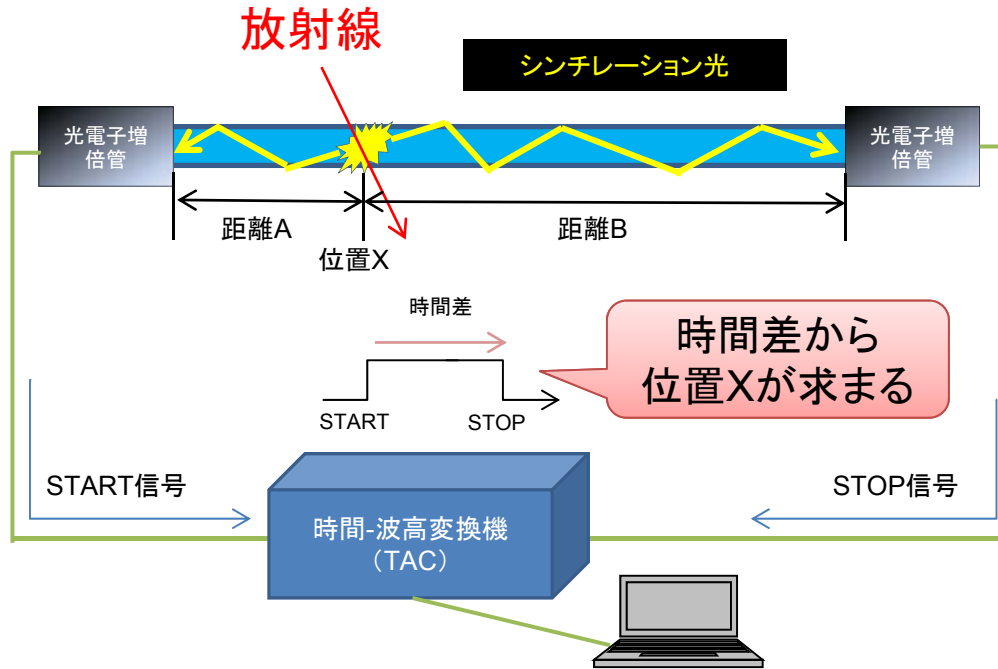


▪ 上空からの測定技術

- 測定の基本的な考え方
- 有人ヘリによるモニタリング
- 無人機によるモニタリング

▪ 水底の測定技術

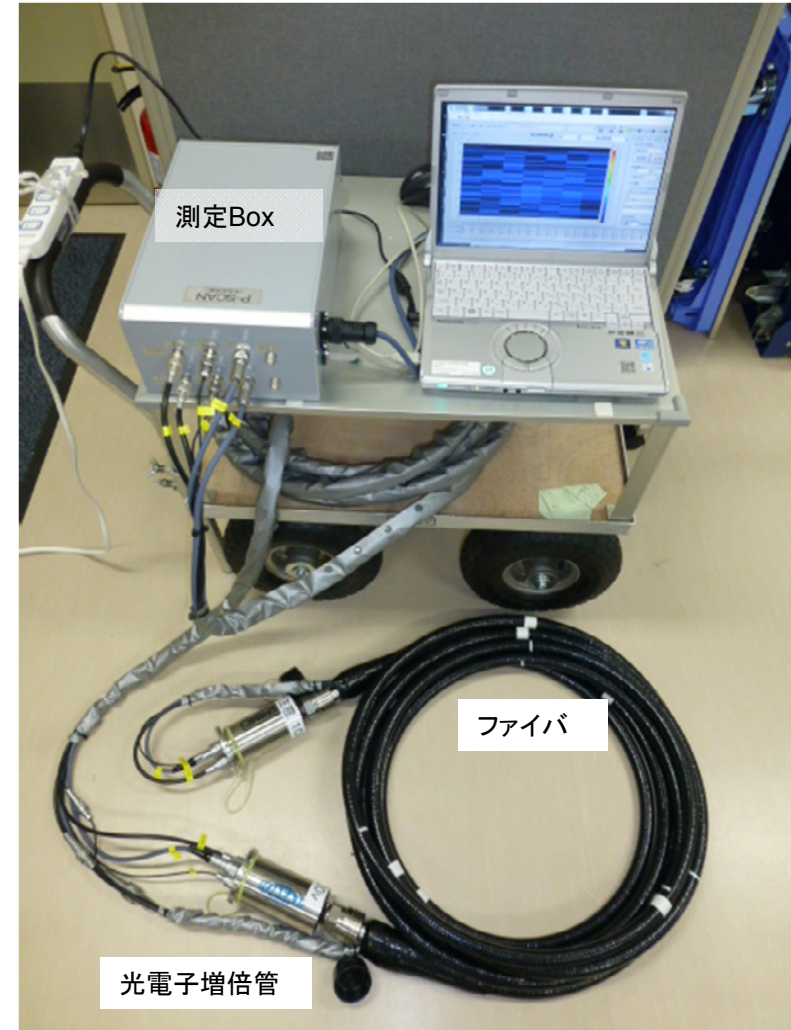
- プラスチックシンチレーションファイバ
- 技術の応用(ため池、汚染水検知)
- 今後の展開



特徴
 検出器の長さ: 5m-20m
 位置分解能: 40cm(10m)

(これまで)陸上で放射能分布の測定に使用

➡ PSFの耐水性を利用し、水中測定に使用



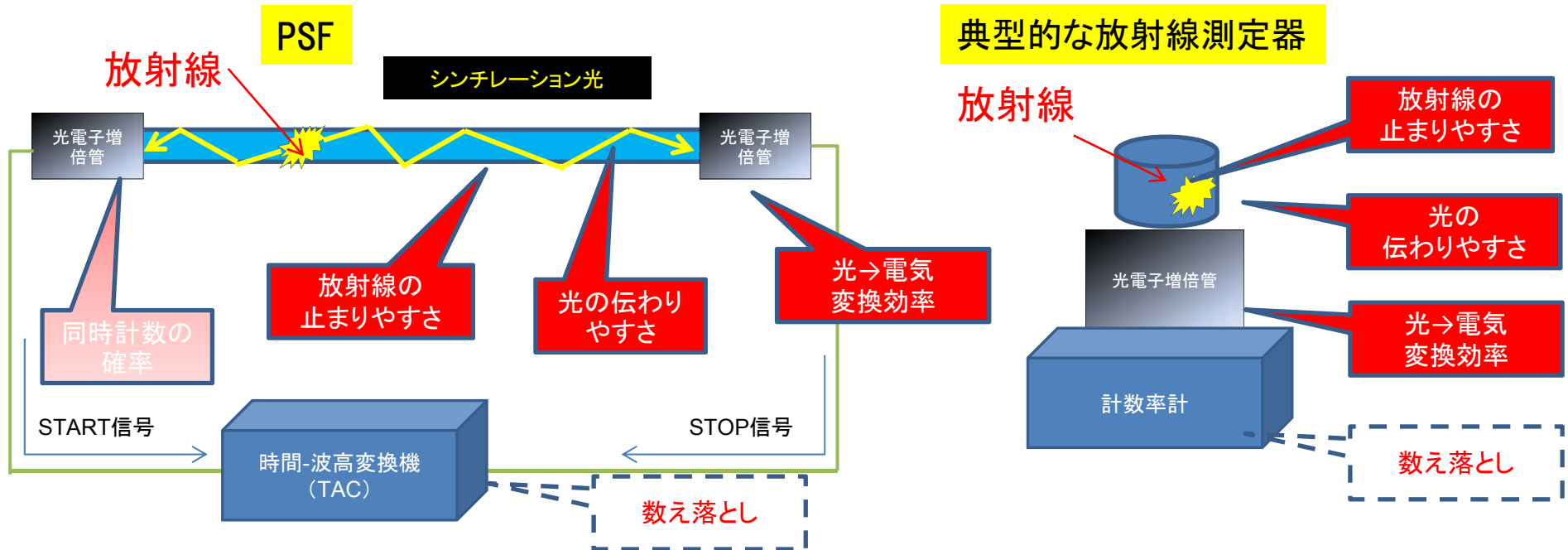
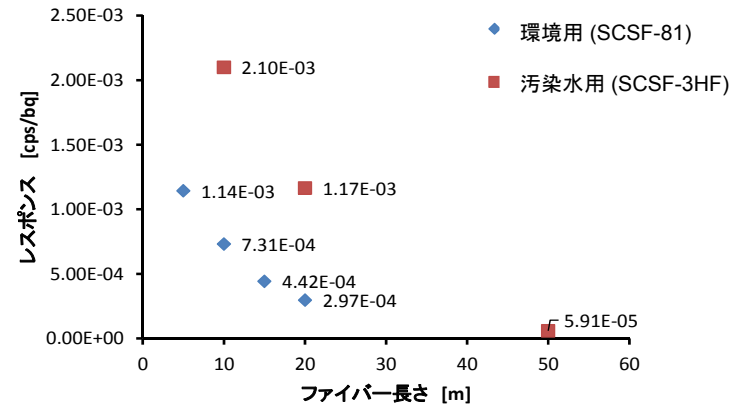
効率:放射線の入射に対する計測
できた割合

☆長さとは効率は関連がある。

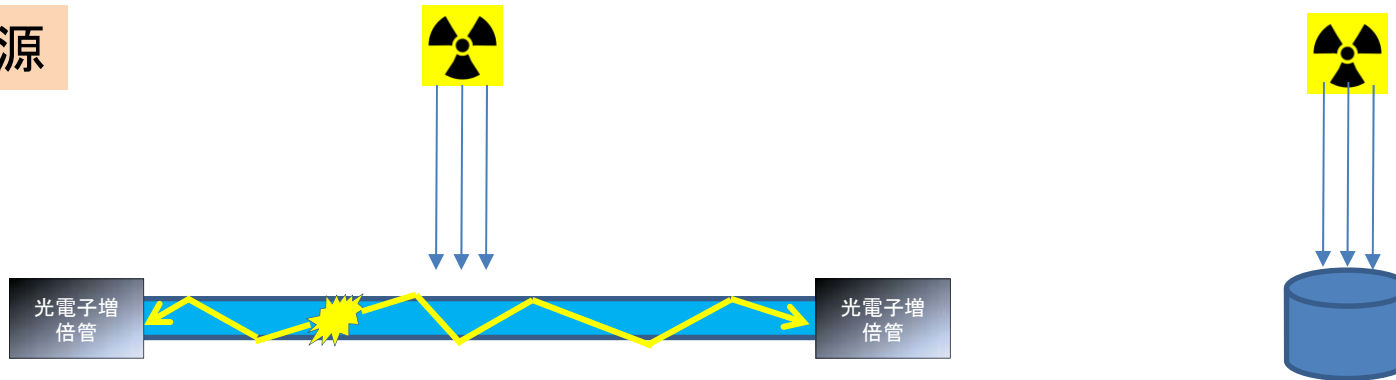


効率を向上するには、、、

- ・本数を増やす
- ・光の伝わりやすい素材を選定
- ・PSFの発光波長に合わせた光電子増倍管の選定

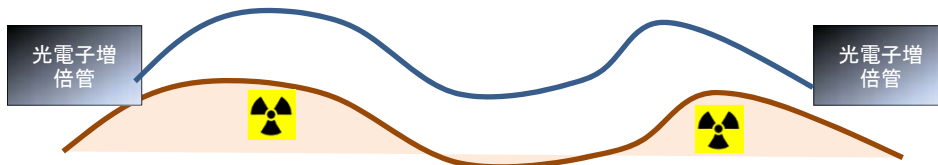
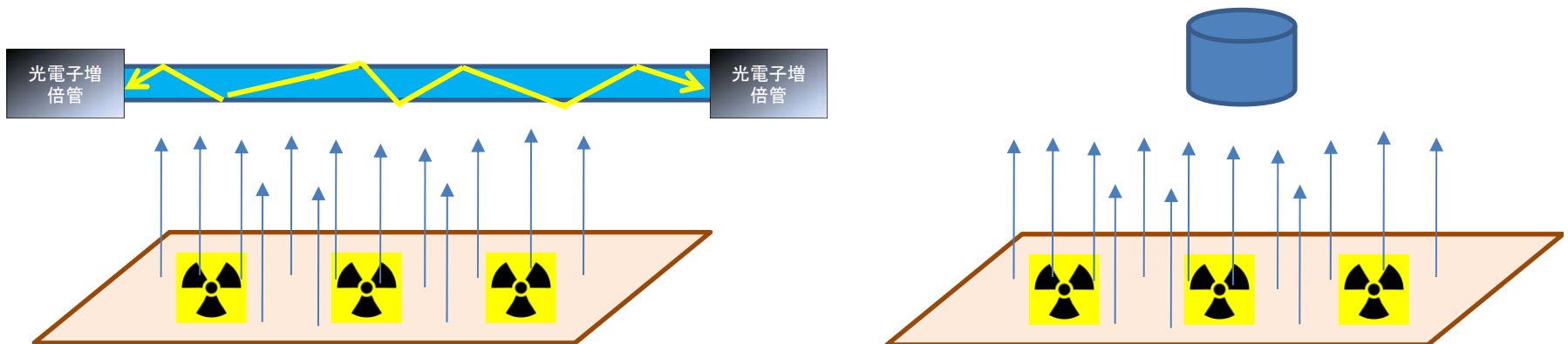


点線源



体積線源

☆点線源には効率が悪い

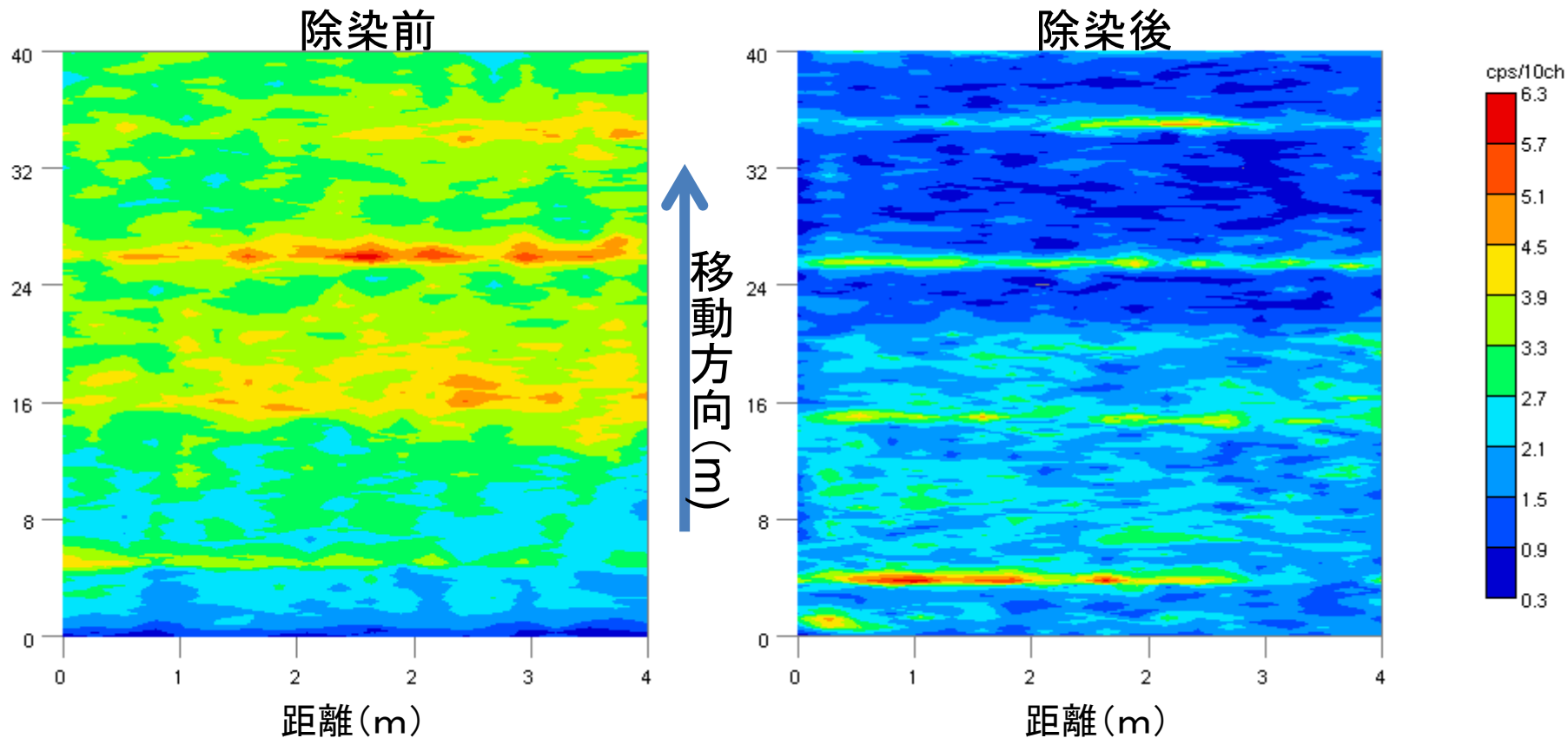


☆面線源には効率が悪い
☆形が変えやすい

1990年代に放射線分布検出器として、東大・JAEA(旧動燃)が開発し、主に原子力施設内の線量分布測定や線量監視のためのツールとして使用してきた。

ニーズ		特徴	サーベイメータ	PSF
色々な形を測定	●————●	可変性	無	有
汚染分布を知りたい	●————●	位置分解性	無	有
水中(河川や池)測定	●————●	防水性	無	有
面で測定したい	●————●	測定範囲	点	面
		コスト	低	高
		点線源感度	高	低

従来、放射線の分布を測定するニーズは一般的ではなかったが、現在の汚染地域の測定ニーズに合致する



- 上空からの測定技術
 - 測定の基本的な考え方
 - 有人ヘリによるモニタリング
 - 無人機によるモニタリング
- 水底の測定技術
 - プラスチックシンチレーションファイバ
 - 技術の応用(ため池、汚染水検知)
- 終わりに

ため池とは・・・降水量が少なく、流域の大きな河川に恵まれない地域などで、農業用水を確保するために水を貯え取水ができるよう、人工的に造成された池。全国に約21万箇所(1位兵庫、2位広島、3位香川)。

福島県→約3,700カ所(農水省所管:ため池底の放射性物質濃度を調査)

① 東北農政局・福島県の合同調査 (底質の調査件数)

2012年4月:第1回 (12カ所)

2012年4月:第2回 (14カ所)

2012年9月:第3回 (37カ所)

② 福島県の大規模調査

2013年11月:県内1941カ所の調査

☆最大値 本宮市 37万Bq/kg-dry



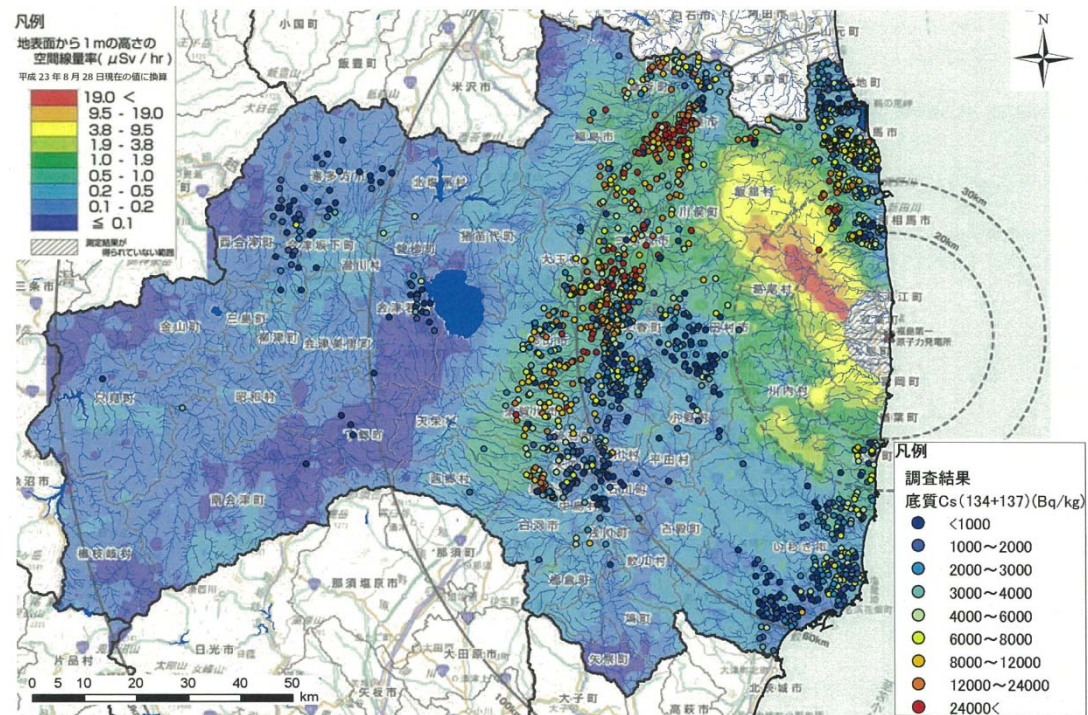
☆農地への放射性物質の流出懸念

☆浚渫時(除染目的以外)の廃棄物の取り扱い

2014年・・・

○ 大規模調査

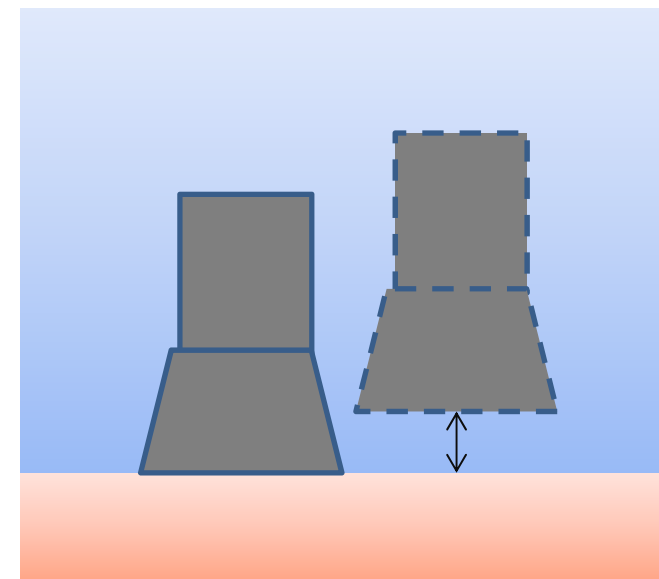
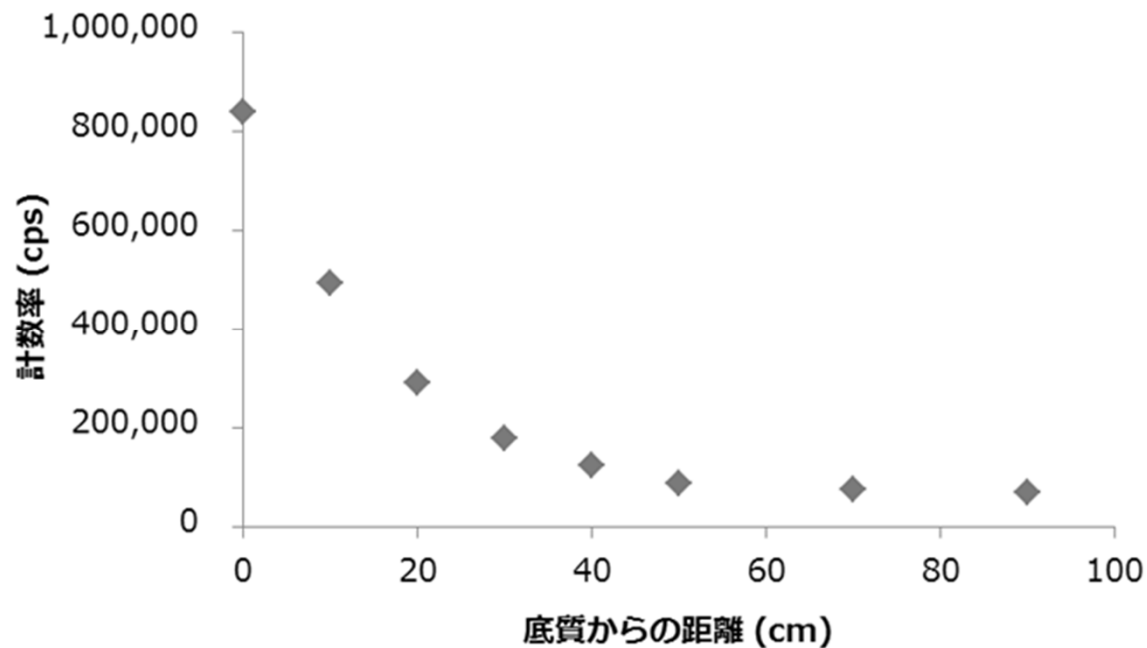
○ 浚渫の検討



出典:空間線量率「文部科学省による 福島県西部の航空機モニタリングの測定結果について」(平成23年9月12日)

底質Cs(134+137)濃度と空間線量率との関係

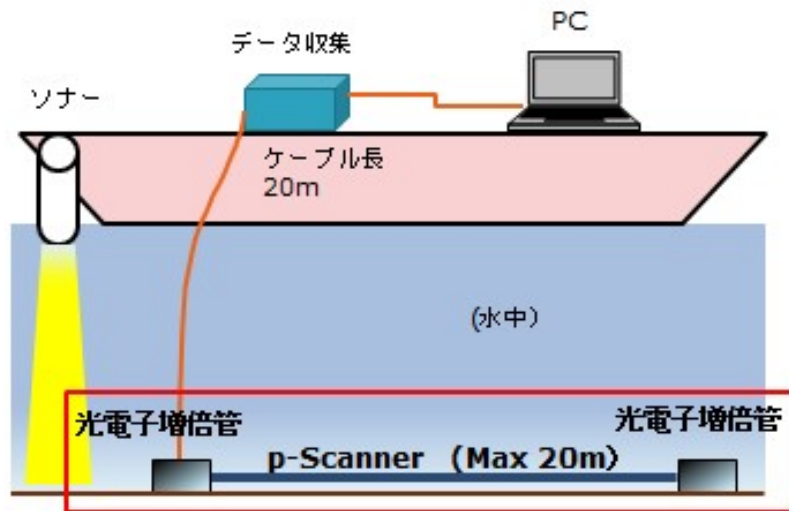
水中での実測例



水による遮蔽

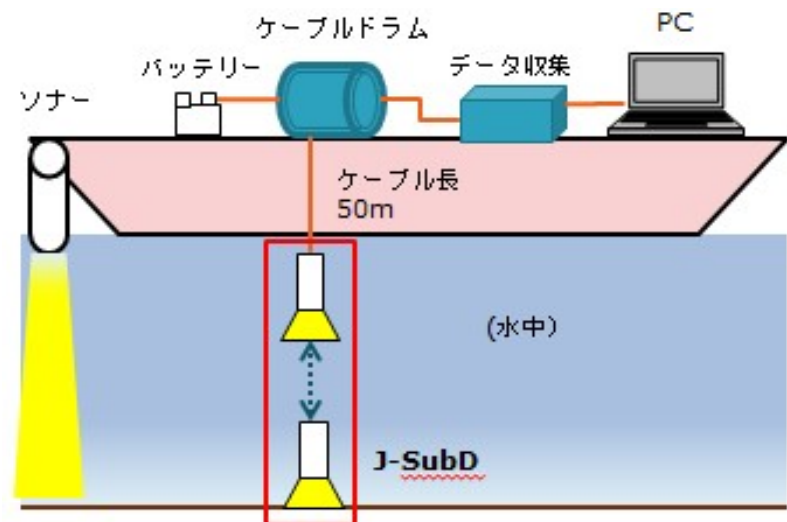
☆放射線は水中で空気中よりもよく遮蔽される(飛ばない)ので測定するには、対象物との距離を短くすることが必要。

・線測定用機器(p-Scanner)



- 検出部にファイバーのプラスチックシンチレーターを使用
- 検出部は最大20m
- 陸上で使用実績あり

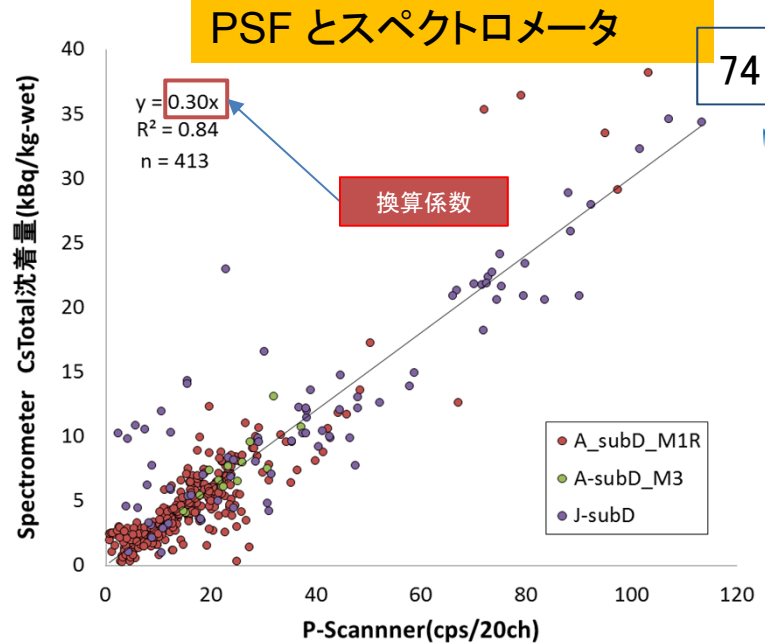
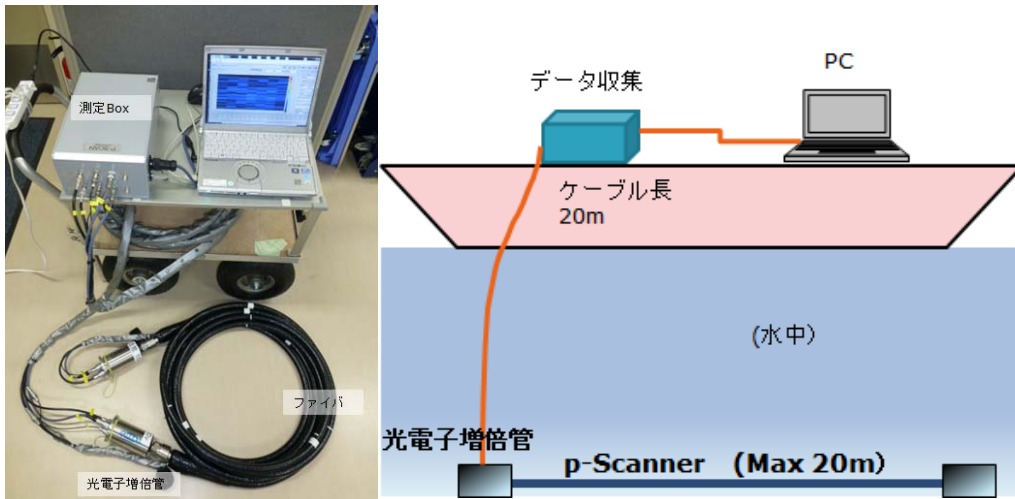
・点測定用機器(J-SubD)



- 検出部に $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーターを使用
- スペクトル分析が可能
- 検出器の応答特性を計算コードを用いて解析し、実際の水底の状況を模擬した評価が可能

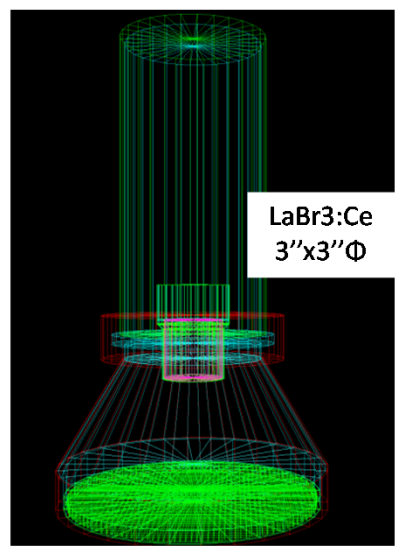
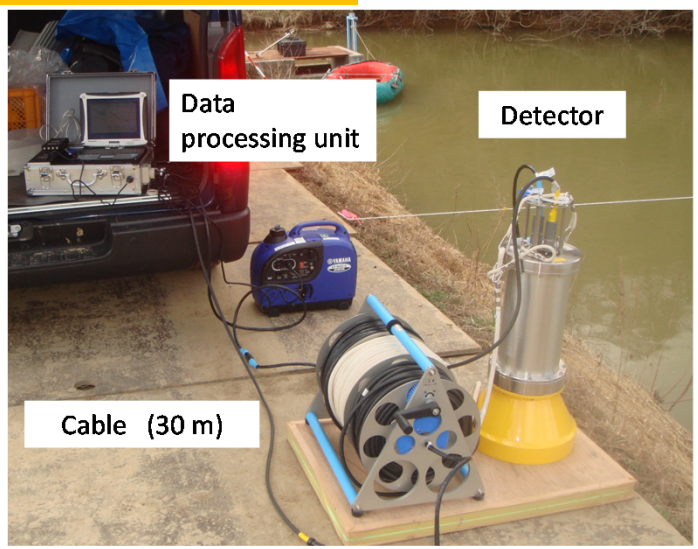
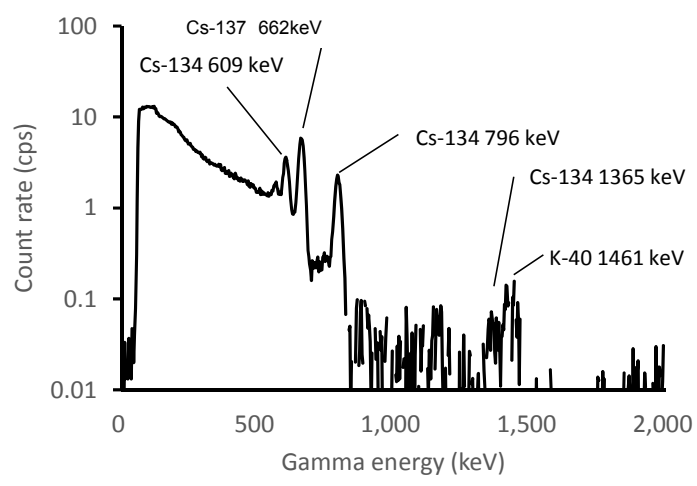
両者を併用することで、水底の放射性物質濃度のマップ化

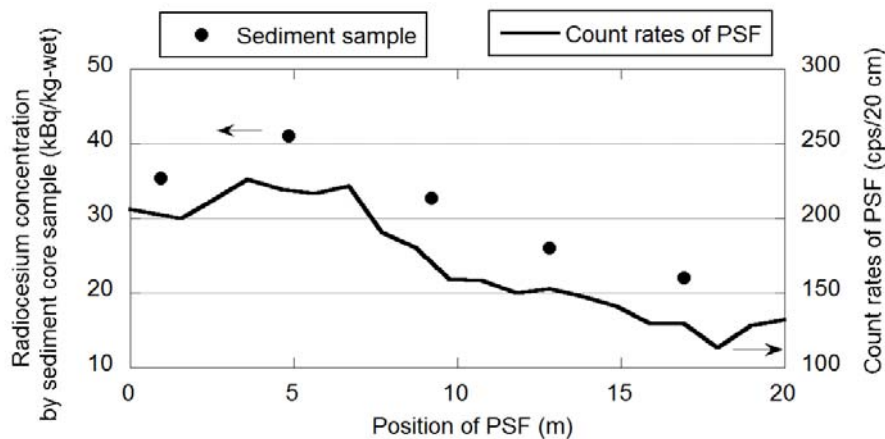
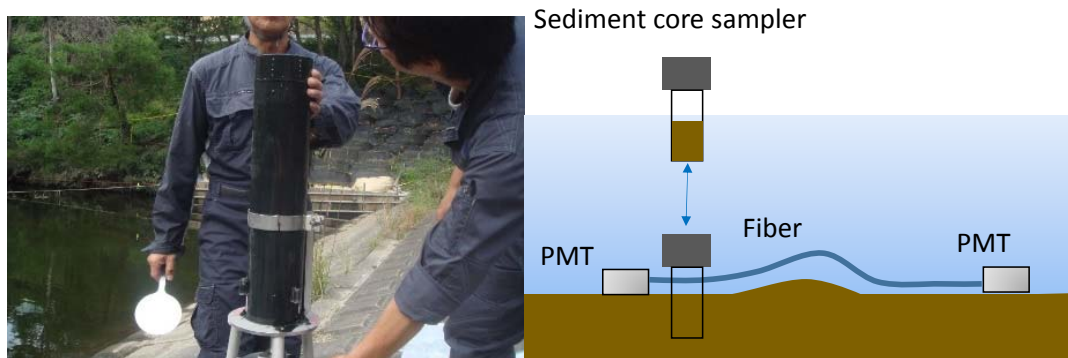
PSF



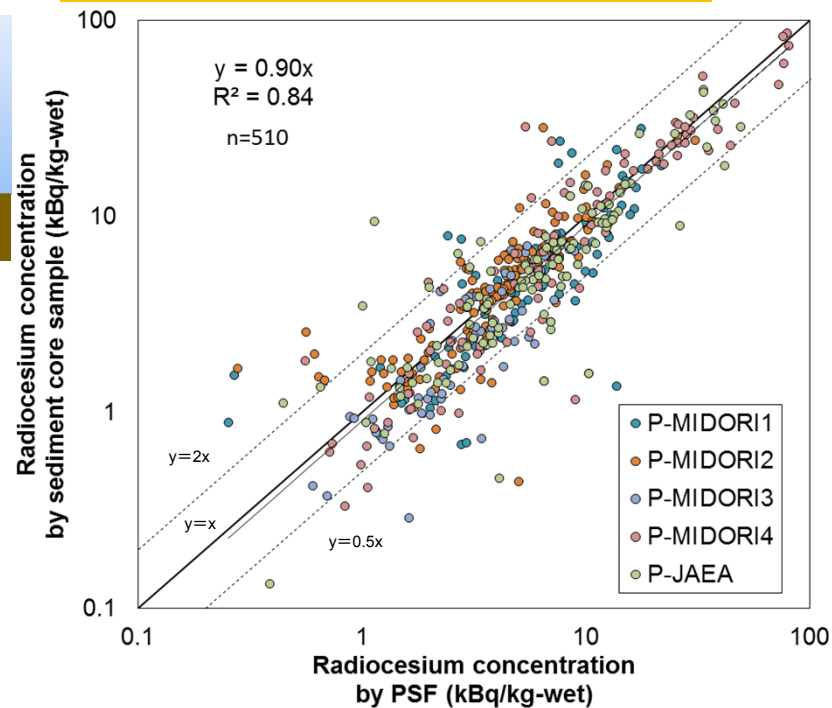
モンテカルロコードEGS5を用いた水底スペクトロメータの値を元にPSFの換算係数を求める

水底スペクトロメータ(3 in x 3 in: LaBr₃(Ce))





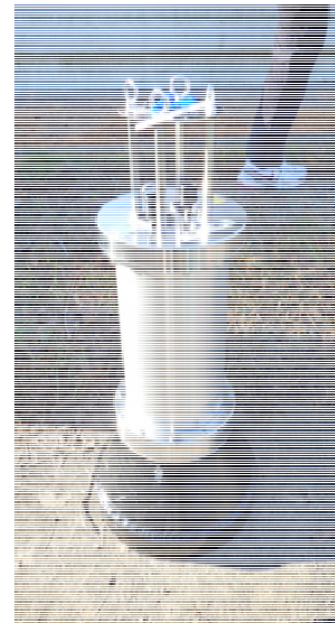
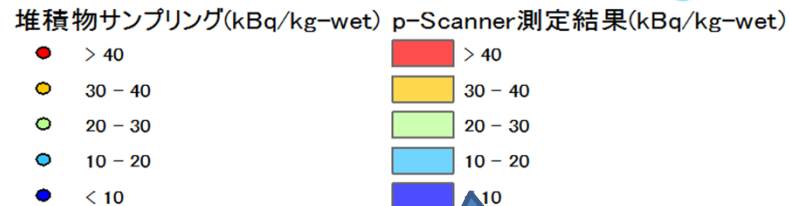
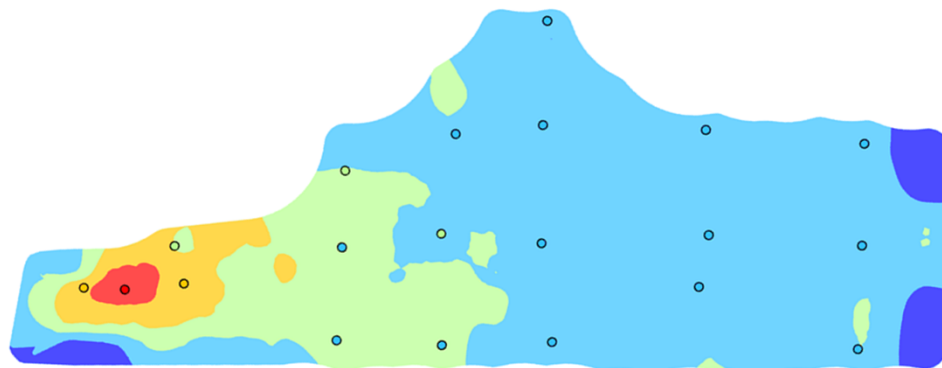
PSF換算濃度 と堆積物サンプル



・PSFの推定濃度と堆積物のコア試料とも良い相関がみられる。

直線から外れたデータについて

- 1.それぞれ同一点での採取が難しい
- 2.堆積物の鉛直方向の濃度分布が一定でない
- 3.検出器の堆積物中への沈み込みや、水草等による浮き

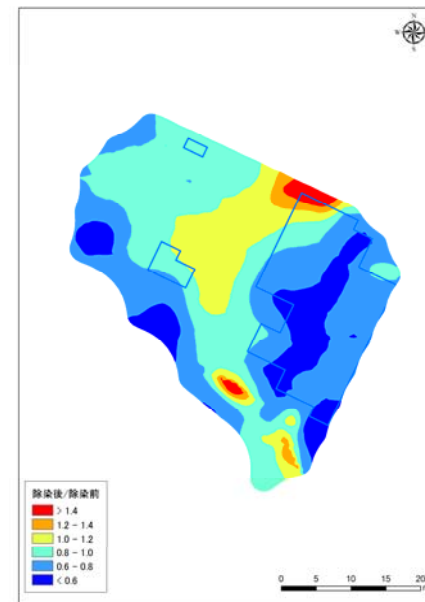


水中ガンマ線
スペクトロメー
タJ-subDと組
み合わせて放
射能(Bq/kg-
wet)を評価

PSF検出器によるコンター図
と堆積物サンプリングの傾
向が良く一致している

放射性物質の濃度
が高く出ている位置





: 浚渫エリア

・全体的に5,000Bq/kg-wetを超える部分が小さくなっている



・ため池の効率的な除染の計画をする際に有益
 ・除染効果の確認にも適用可能



・水中放射能の変動監視
 ・長尺PSF(50~100m)の開発も実施

・福島第1原子力発電所構内には、原子炉建屋から出た汚染水を一時保管するタンクが多数設置されている。

平成26年6月現在 約52万 m³ (約500基)*

平成27年7月までに約100万m³を確保予定

* 廃炉・汚染水対策現地調整会議(第11回)資料より

http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20140714_01.htm

・複数回の汚染水の漏洩事象

→ パトロール、液位計及び監視カメラ
で漏えいを管理

・堰内の雨水

→ サンプルングによる濃度管理
★人手とコストがかかっている



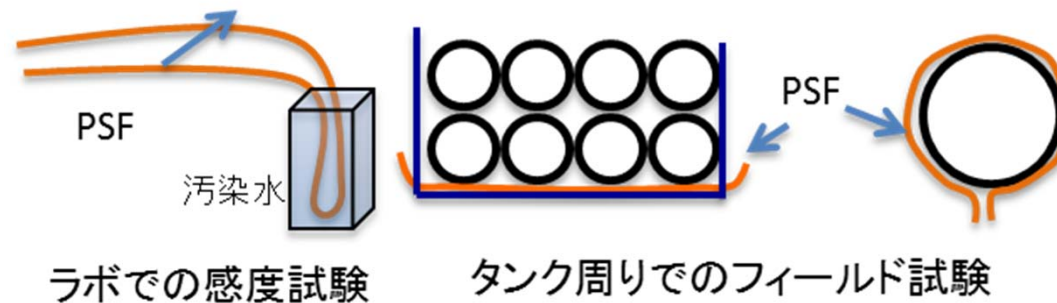
福島第1原子力発電所における汚染水タンク設置状況



- ・効率的(自動的)な、漏洩監視手法
- ・現場での濃度評価手法

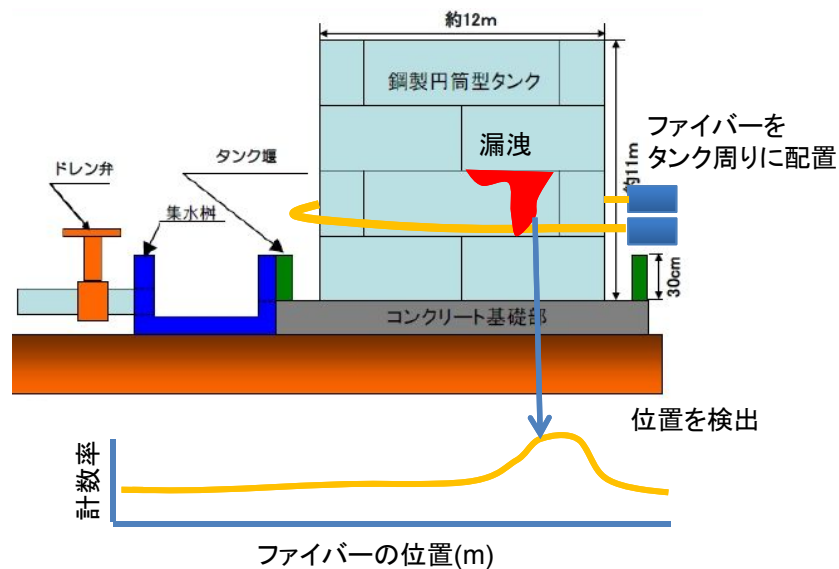
【試験概要】

- (1) 期日: 平成25年11月27日、28日
- (2) 場所: ラボ試験(11/27): 1F-5・6号機のホットラボ、
フィールド測定試験(11/28): 処理水貯槽周辺2箇所
(Bエリア: B-A5、Gエリア: G6-A6) (図1)
- (3) 実施者: 復旧技術部、福島環境安全センター(計10名)

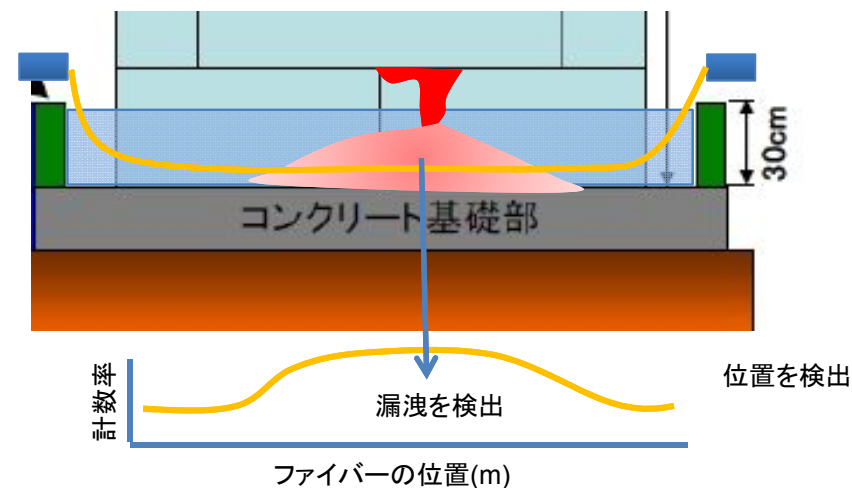


【活用例】

○ 案1: タンク周りでの迅速漏洩検知



○ 案2: 堰内雨水中の漏洩検知



○ ラボでのPSF感度試験

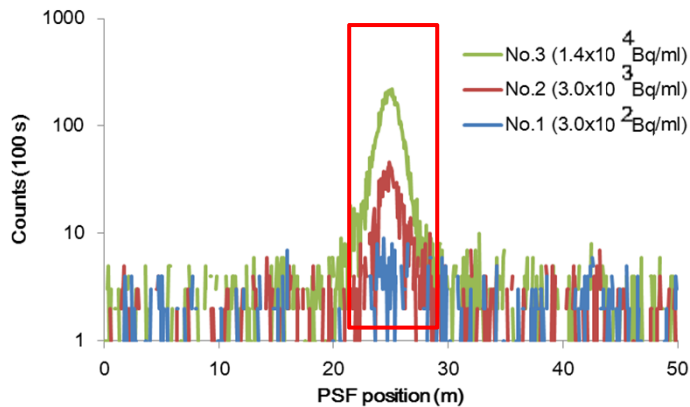
- ・既知の汚染水を用いて感度試験を実施(汚染水(RO濃縮水)の希釈率を3段階に変化させて調査)
- ・濃度と計数率のよい相関関係を確認
- ・汚染水に対する感度(cps/Bq/ml)を評価



PSFと計測機器



希釈した汚染水



*** 汚染水への接触部分の計数率が上昇**

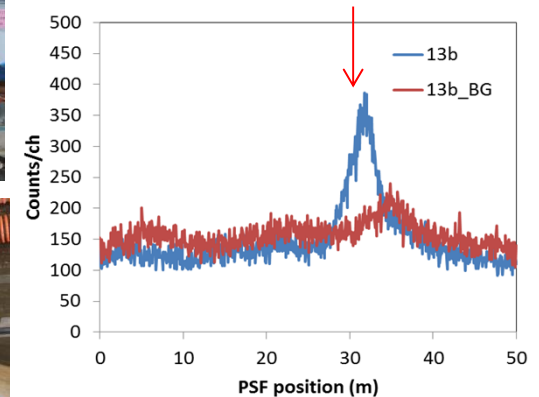
○ タンク周りでのフィールド試験

- ・汚染水漏洩タンク (B-A5貯槽)及び雨水が堰にたまっているタンク (G6-A6貯槽) を選定
- ・B-A5貯槽: 汚染水接触部の計数率上昇
- ・G6-A6貯槽: 雨水接触により計数率減少



汚染水

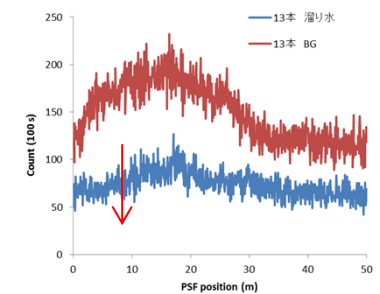
*** 汚染水への接触部分の計数率が上昇**



*** 雨水に接触後、計数率減少**



PSF



[達成目標] 1F汚染水管理へのPSFの適用

汚染水を用いた濃度直線性確認



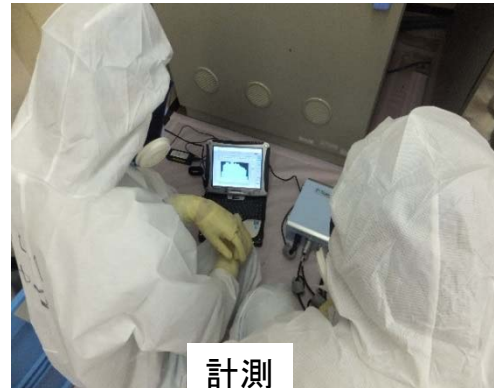
ファイバーとたらい



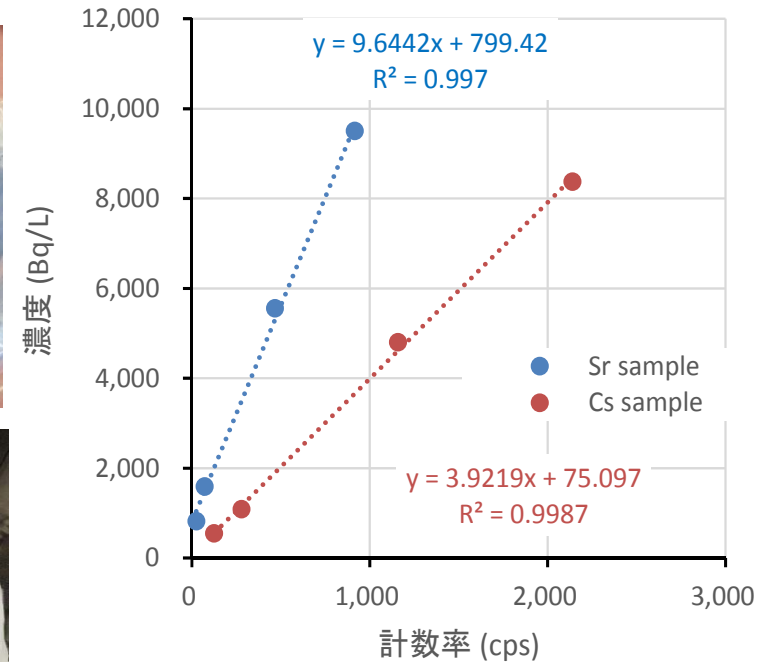
濃度調整



雨水受け入れタンク水



計測



[研究成果]

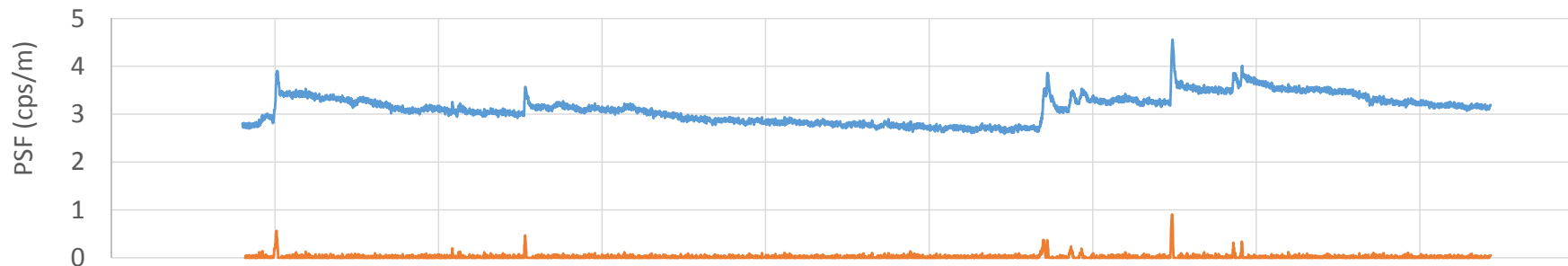
- ・今年度中のK排水路導入予定
- ・JRECへの技術移転

PSFの計数率と汚染水濃度のよい直線性
⇒導入する機器の仕様を決定

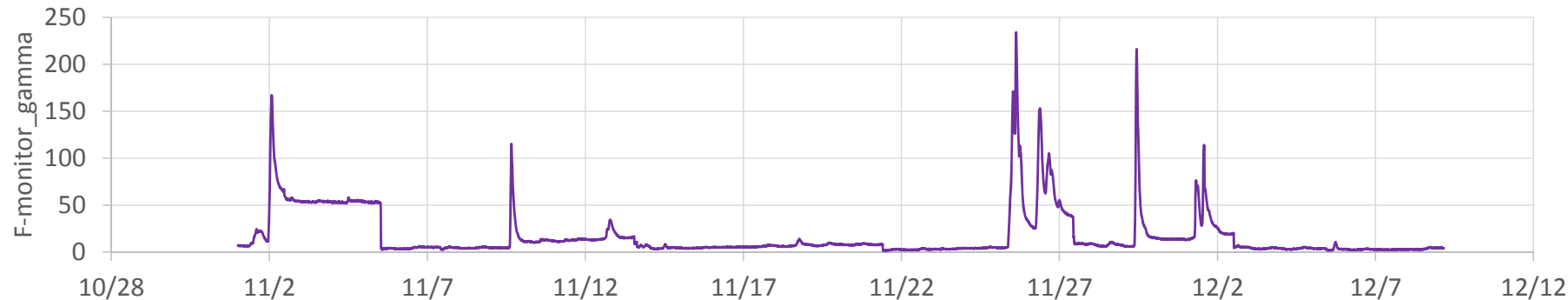
○ 排水溝におけるモニターとしての適用



PSFモニター



既存モニター



▪ 上空からの測定技術

- 測定の基本的な考え方
- 有人ヘリによるモニタリング
- 無人機によるモニタリング

▪ 水底の測定技術

- プラスチックシンチレーションファイバ
- 技術の応用(ため池、汚染水検知)

▪ 終わりに

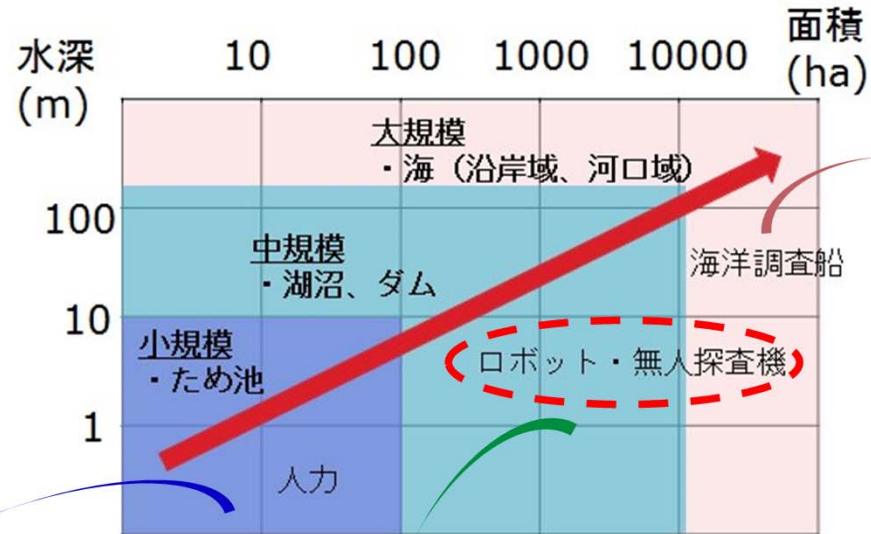
11/1より拠点移動。

- 1Fから約30km (30分程度)
- イノベーションコースト構想(ロボット実証区域)

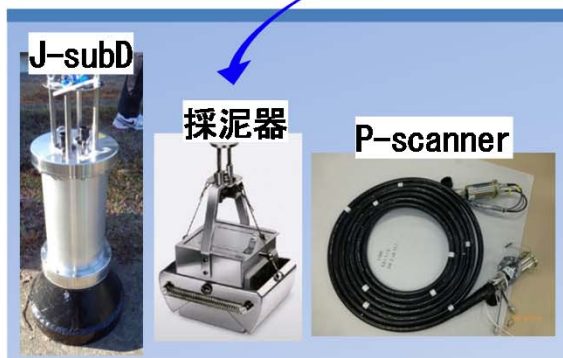


イノベーション・コースト構想の柱

<h4>1. 国際廃炉研究開発拠点 (放射性物質分析・研究施設)</h4> <ul style="list-style-type: none"> ● 廃炉研究の中核施設、1F近傍に設置 ● 高濃度放射性物質(燃料デブリ等)の分析を行い、世界の研究者を集めた研究を実施 <p>※補/JAEA出資金850億円の内数</p>	<h4>3. 国際産学連携拠点 (検討会・11/6設置)</h4> <ul style="list-style-type: none"> ● 全国の原子力関係の研究室が集結。 ● 廃炉、汚染水対策、環境修復、農林水産、医学等、現地ならではの教育研究を推進。 ● 産学連携体制を整備し、ベンチャー企業の創出促進 ● 海外原子力技術者の研修も実施。 ● 原子力災害の教訓・知見を継承、世界に発信するための情報発信拠点 (7-カブ拠点) <p>②/廃止措置等研究開発の加速プログラム38億円 ● 廃炉国際共同研究センター整備(7億) ● 廃炉研究強化(27億) ● 人材育成(5億) ※補/燃料デブリ等の分析・試験設備の高度化5億円</p>
<h4>2. ロボット開発・実証拠点</h4> <p>(1)ECCO試験施設(屋内0カ所)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 廃炉作業等屋内を想定したロボットの試験施設。楢葉町に建設中(2015年度運用開始) ● 企業や大学の研究・開発のための共用施設を整備 <p>(2)福島0カ所(屋外0カ所)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 陸海空の災害対応0カ所について官民の研究・実証施設 ● 災害対応0カ所の技術開発支援 ● 研究・実証を円滑に進めるため、電波法や航空法等の規制緩和特区とする。 <p>(3)ロボット国際競技大会</p> <p>※補/JAEA出資金850億円の内数(9月着工)</p>	<h4>4. 新たな産業集積</h4> <p>(1)スマート・コワーキング (検討会・11/12設置)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 被災地の膨大な廃棄物のリサイクルや希少金属を抽出する拠点を整備。地元雇用を創出。 <p>(2)1カ所-関連産業の集積</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 高効率石炭火力、LNG基地、洋上風力等に関連した産業の集積。 ● 産総研を核とした研究開発、避難指示区域での再1カ所の大量導入 <p>(3)農林水産業0カ所</p> <ul style="list-style-type: none"> ● スマート農業、0カ所、CLT、水産研究施設強化 <p>②/地域経済産業活性化対策等調査費1.8億円の内数(再掲)</p>
<h4>5. インフラ整備</h4> <p>(1)交通インフラ (一部予算措置)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 常盤自動車道の全線復旧 ● JR常盤線の早期復旧 ● ふくしま復興再生道路等の整備 	<p>②/地域経済産業活性化対策等調査費1.8億円の内数</p> <p>②/福島医療・福祉機器等開発事業化支援事業18億円の内数(※0カ所23億円の内数)</p> <p>※補/地域における0カ所(0カ所)基礎の構築18億円の内数(0カ所23億円)</p> <p>②/再1カ所接続保留への緊急対応744億円の内数 ②/再工不発設備等導入支援復興対策事業37億円(※50億円) ②/福島再工不次世代技術研究開発事業8億円(※8億円) ②/福島再工不研究開発拠点機能強化事業11億円(※16億円)</p> <p>②/福島再生加速化交付金1,056億円の内数</p>
<p>(2)産業・生活インフラ</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 産業用地や生産・物流施設、事務所等を浜通りに計画的に整備 ● 双葉郡の中高一貫校(2015開校) <p>②/双葉郡中高一貫校設置事業6億円</p>	



(水中)



比較的浅い水域

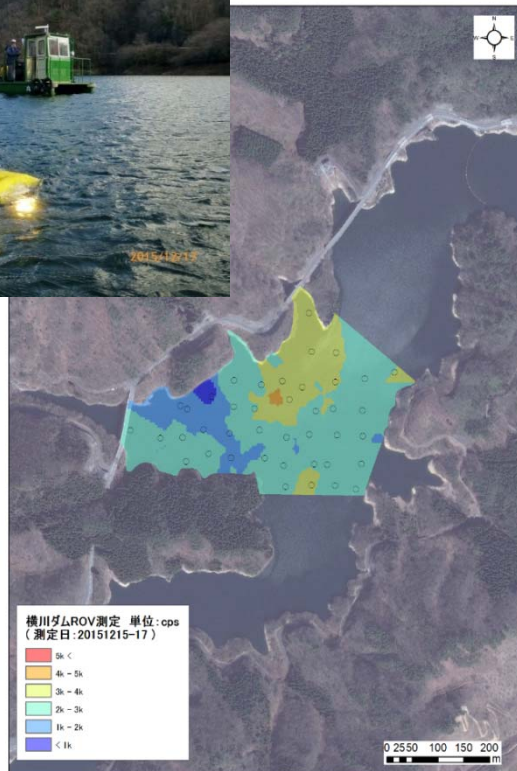


水深100メートルまで

(水底)

[達成目標] ROV, 無人観測船技術を用いたシステムの開発及びデータ取得

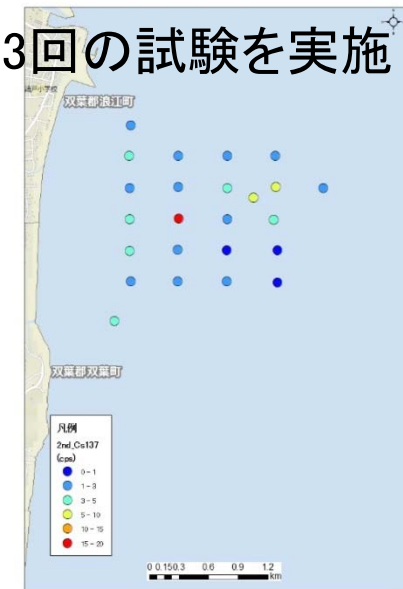
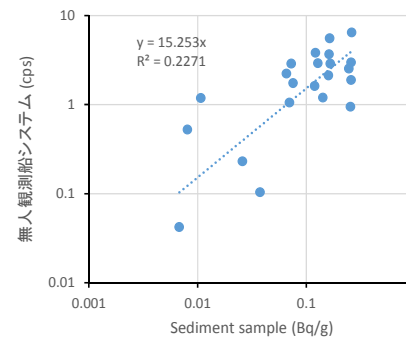
ROV



無人観測船



請戸川沖で3回の試験を実施



[研究成果]

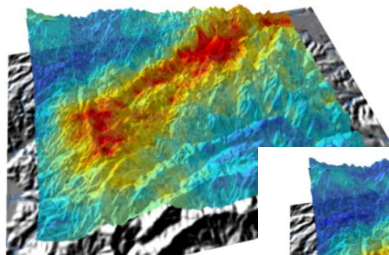
- ・ROV, 無人観測船のシステムを開発
- ・現場適用試験を実施

積極的な海外技術の取り込み (SUERC, KINS, LNBL)

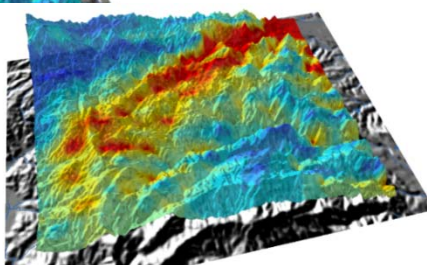
有人ヘリの比較測定 (UK: SUREC)



SUERC (高度300m)



JAEA (高度300m)



[研究成果]

- ・データ解析手法の信頼性確保
- ・コンプトンカメラの有効性確認

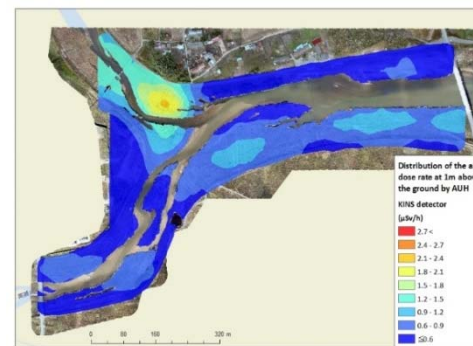
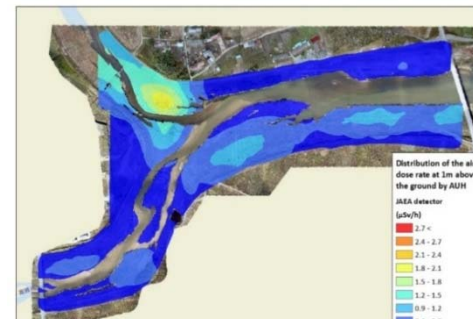
JAEA detector



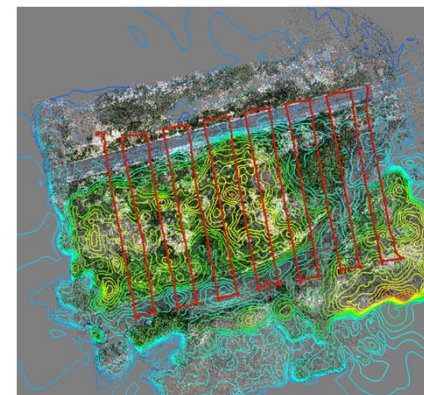
KINS detector



無人ヘリの比較測定 (Korea: KINS)

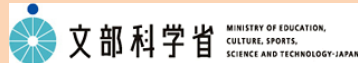


コンプトンカメラ (USA: LNBL)



Government

- Nuclear Regulation Authority (NPA)
- Ministry of the Environment
- Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
- Fukushima pref.



Fukushima Environmental Safety center,
Fukushima Radiation measurement Group



University

- Scottish Universities Environmental Research Centre (SUERC)
 - Tokyo university
 - Tokai university
- Fukushima university
- Chiba university



Manufacturer

- Yamaha Motor Co., Ltd.
- Japan Radiation Engineering Co.,Ltd.
- enRoute Co., Ltd.
- Areva NP
- Meisei electric Co., Ltd
- NESI



Etc.

- Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
- Tokyo Electric Power Company (TEPCO)
- OYO Corporation
- Aero Asahi Corporation.
- Nakanihon Air Service CO.,LTD.
- Korea Institute of Nuclear Safety (KINS)



ご静聴ありがとうございました