

研究開発成果報告会
～環境回復に向けての取り組み～

遠隔放射線モニタリング技術の高度化

平成25年3月22日

独立行政法人日本原子力研究開発機構
鳥居 建男

放射線を“面”で捉える技術とその活動

空からのアプローチ(広域を迅速に！)

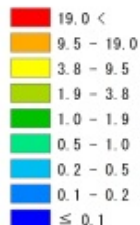
・航空機モニタリング

・無人ヘリモニタリング

・無人機システム

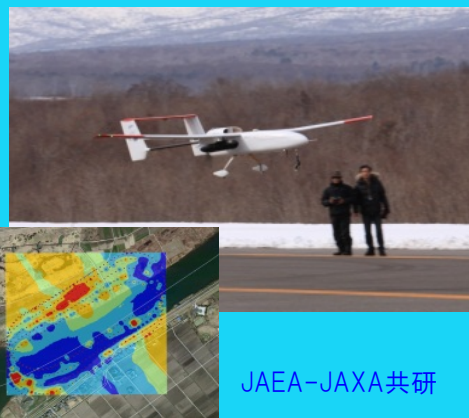
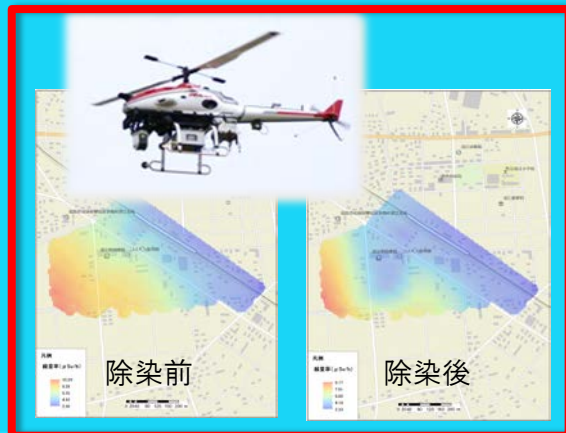
・コンプトンカメラ

地上1m高さにおける
空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
2012年5月31日時点に補正

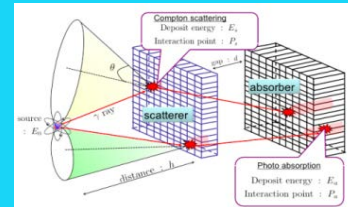


放射線の全国マップ
を作成

0 50 100 200 300 400 500 Km



JAEA-JAXA共研



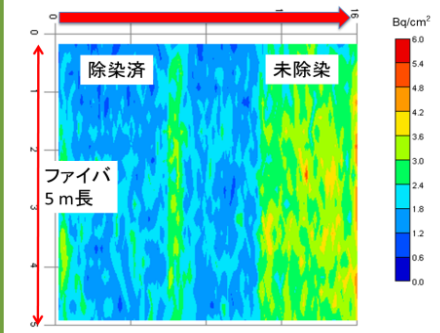
無人ヘリで上空から
詳細な放射線分布測定

JST公募研究採択
古河機器金属・東大・東北大

陸のアプローチ(除染効果を面的に)

・PSFを用いた表面汚染2次元マッピング

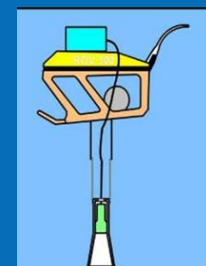
測定結果例(左から右へ移動しながら測定)



JST公募研究採択
JREC/JAEA

その他

・水中測定システムの
開発研究



本研究の目的

福島第一原発の事故により、多量の放射性物質が環境中の広い範囲に放出され、サーベイメータ等での“点”の測定では全体像の把握や防護策の検討には十分とは言えない。

このため、国、自治体、地域住民等から、放射線量率や放射性セシウムの沈着量について①“面”的な分かりやすい情報提供が求められている。さらに、放射性物質の減衰、降雨、除染等により線量率等が大幅に変化していることから、適宜②放射性物質の広域な移行評価が求められている。

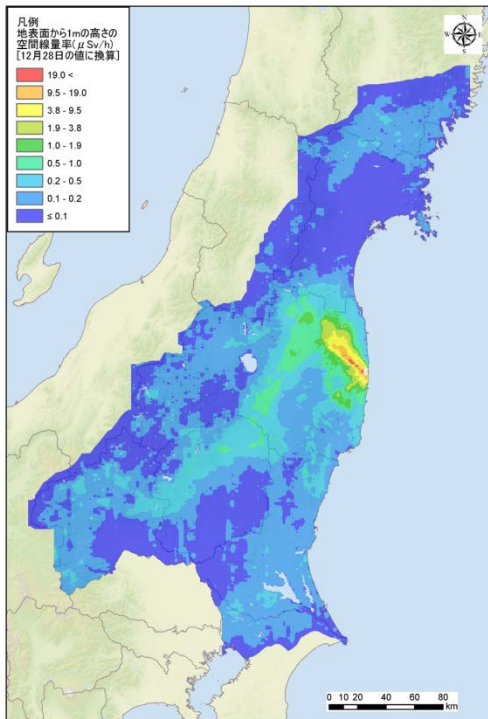
このことから、対象に応じた広域の放射線モニタリング・マッピング技術を開発し、その集約を行うことにより、放射線防護、セシウムの拡散抑制、及び効率的な除染技術への適用を目的として行う。

航空機モニタリング

	H24	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
全国		→				★ 公開							
80 km 圏内				↔ 5次			★ 公開		↔ 6次				★ ↔ 警戒区域*
80 km 圏外		→					★ 公開		→				★

80km圏内(6次)+80km圏外の結果

* 警戒区域を含む40km圏内



- ・H23年度から行っていた日本全国のモニタリングは終了
- ・実施する中で天然核種弁別法を開発(現在のマップは反映済み)
 - * 当初は米国DOE法を踏襲。その後、JAEAは西日本データ等を用いてセシウム弁別法を開発し、それを使用して全国マップを作成。
- ・H24年度も線量率の変化傾向を確認するため、80km圏内とその周辺各県(80km圏外)の航空機モニタリングを実施(JAEAは80km圏外の解析実施)

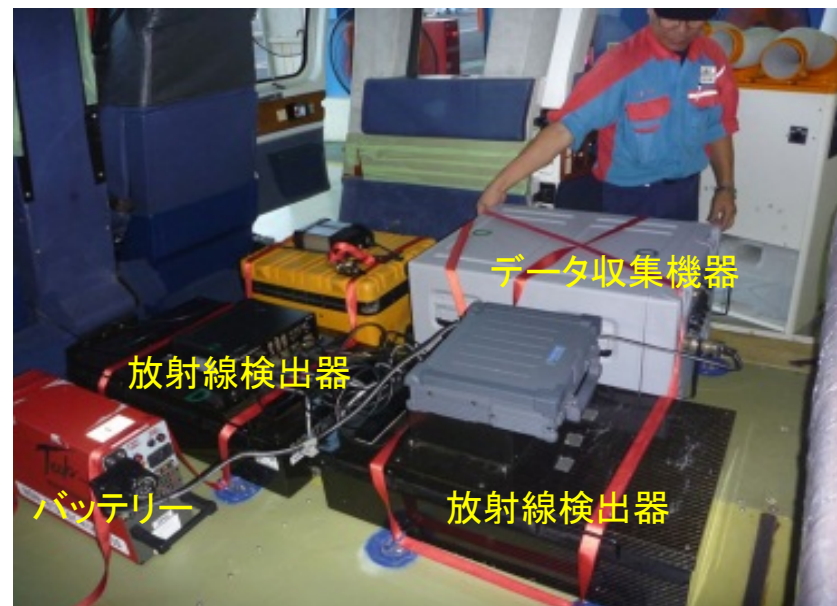
モニタリング時期	線量率の変化傾向	半減期
4次/5次	-23%	-14%
5次/6次	-21%	-8%

・H25年度は規制庁が継続的に実施の予定

航空機モニタリング

- 測定器：大型NaI検出器
(検出器サイズ：～12 l)
- 測定高度：～300 m

大型
大容量
高感度



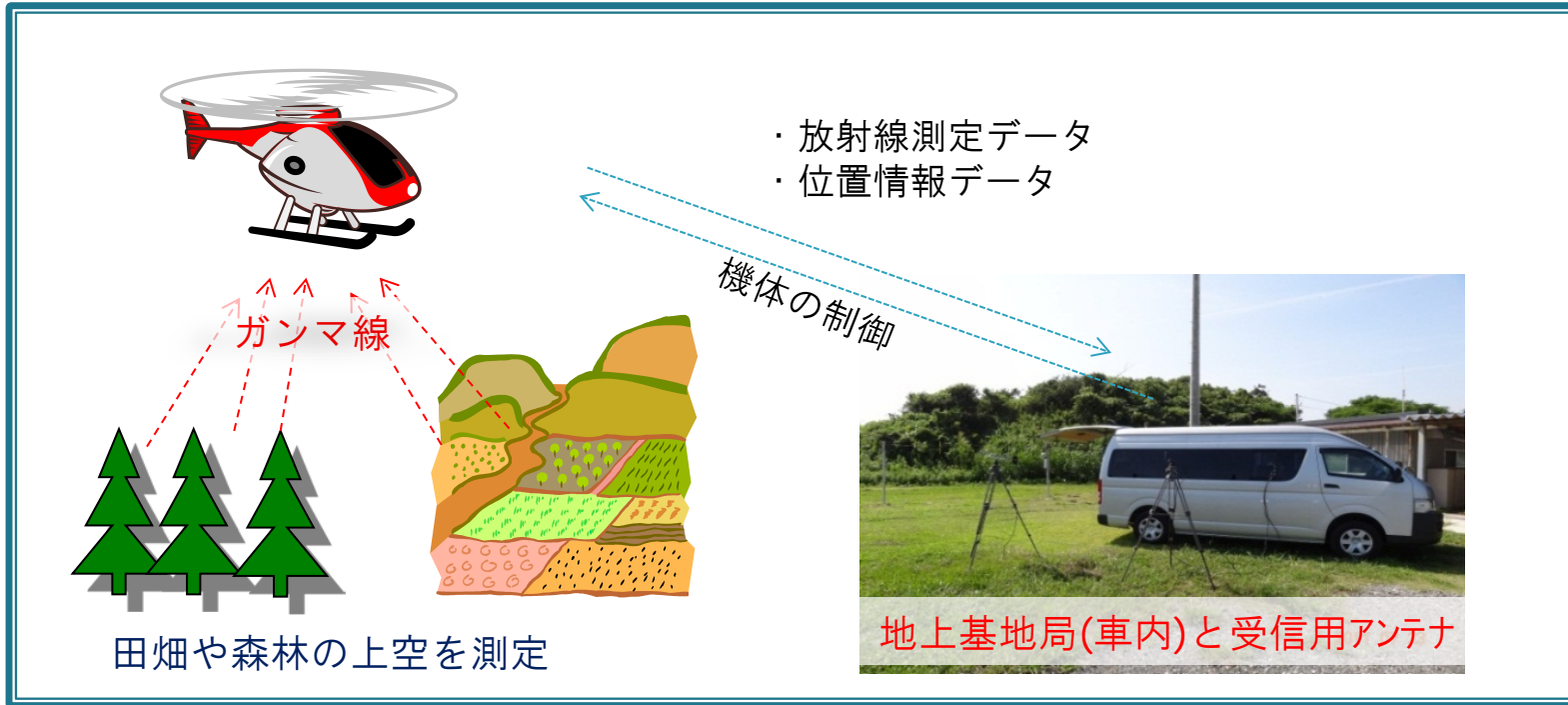
無人ヘリ測定

- 測定器：プラスチックシンチレータ(従来)
(30cm X 30cm X 2cm)
LaBr3検出器(現在)
(1.5" φ X 1.5", 3本)
- 測定高度：50～100 m程度

高エネルギー
分解能



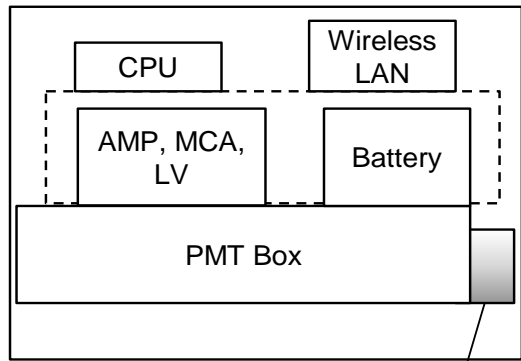
自律飛行型無人ヘリによる遠隔放射線モニタリングの特徴



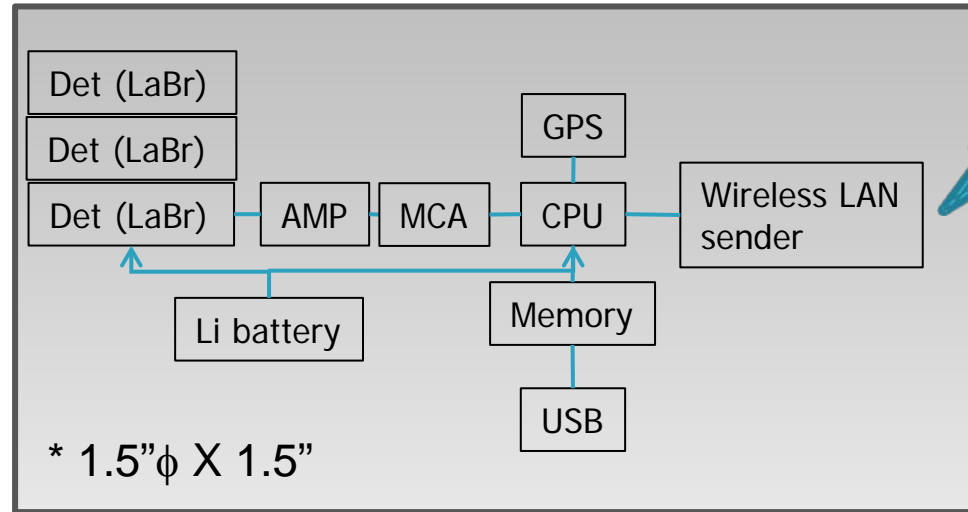
《特長》

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（< 300 m）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。

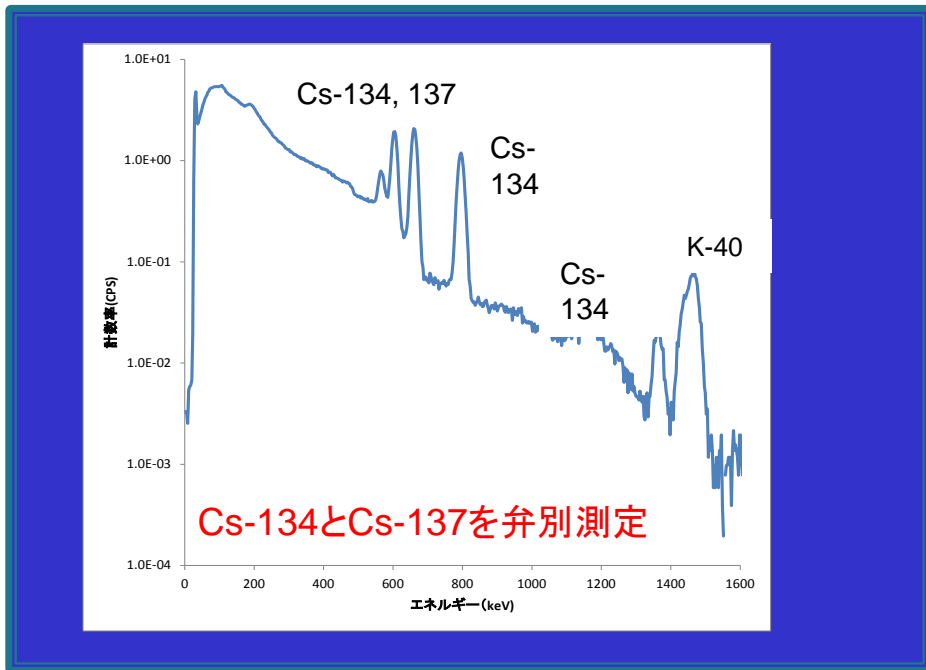
無人ヘリモニタリングシステム 1



1.5" LaBr3検出器 × 3



* 1.5"φ X 1.5"



- ・ 検出器内部でのGPS/計数率データ保存
- ・ 位置情報は、機体制御情報から
- ・ 独立した無線LANによりダウンリンク

ヤマハ発動機(株)自律飛行型無人ヘリコプターRMAX G1

①機体全長及び重量

- ・ 全長：4m未満（ローターを含む）
- ・ 重量：100kg未満

②飛行性能

- ・ 測定時の速度：5 - 8 m/s
- ・ 連続時間：60分以上
- ・ 最高高度：150m以上
- ・ ホバリング精度：3m以下
- ・ 飛行範囲：～3km
- ・ 制御信号途絶時に自動帰還可能

③制御性能

- ・ 座標指定によるプログラム飛行が可能
- ・ 姿勢が安定した状態で空中停止/前後/左右/上下に移動可
- ・ 飛行用カメラを搭載している

④搭載性能

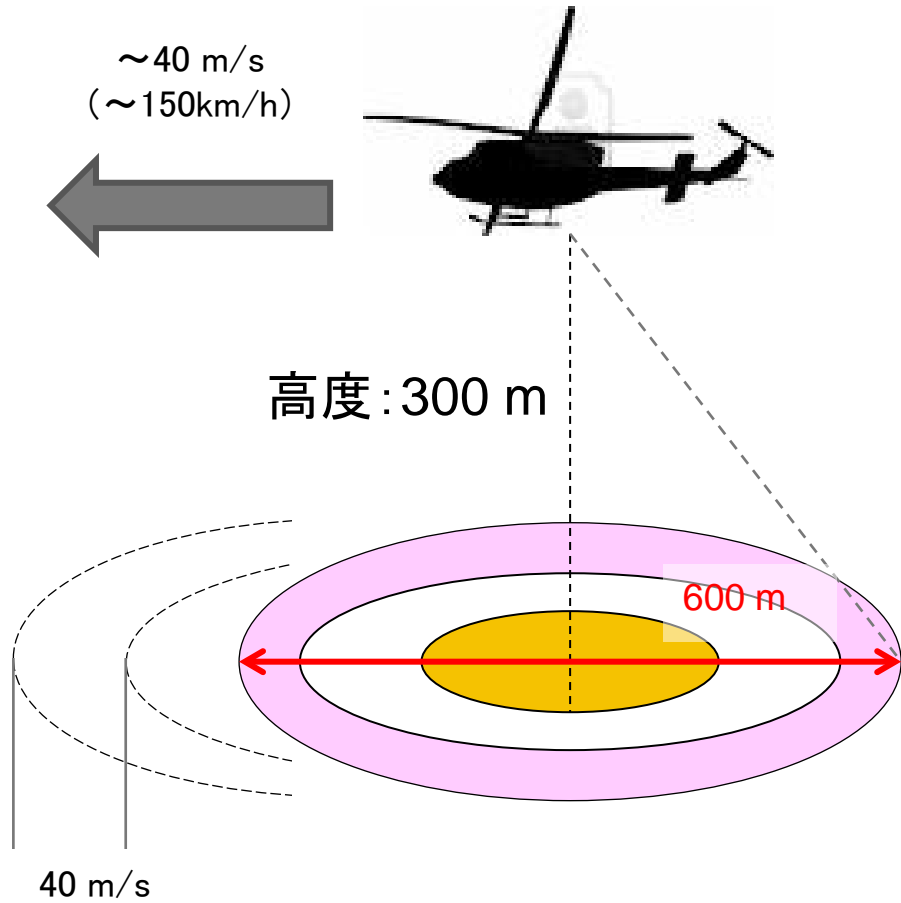
- ・ 搭載重量：10kg以上（標高：0m）

⑤情報伝達

- ・ ヘリからの映像入力装置（地上からコントロール）
- ・ ヘリの飛行制御用通信以外に機体と地上局の双方向の外部通信機能を備え地上局にて表示可能

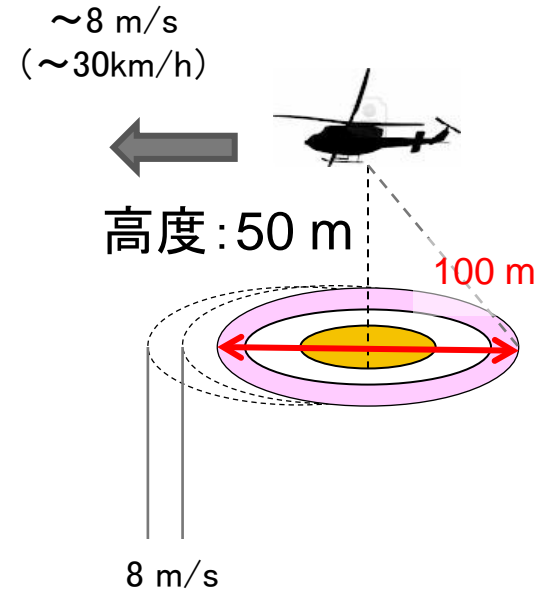


有人ヘリと無人ヘリの測定範囲



航空機(有人ヘリ)モニタリング

狭い範囲をより詳細に

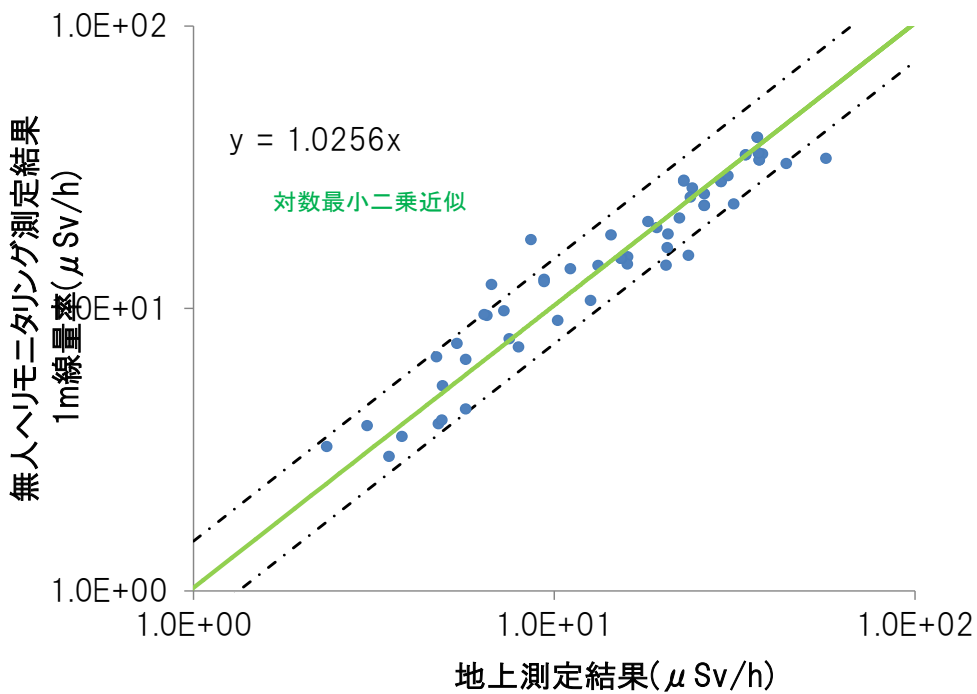


無人ヘリモニタリング

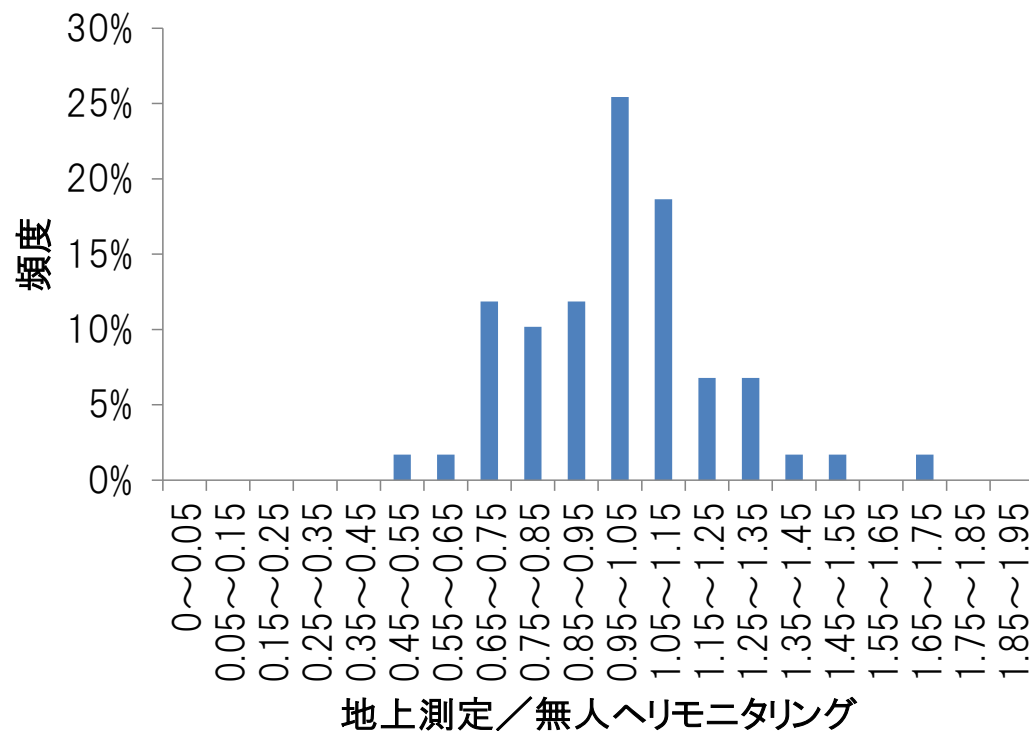
地上における測定値との比較

地上におけるNaIサーベイメータの測定値と比較

➡ 0.75-1.5の範囲でよく一致



無人ヘリモニタリング測定結果抽出値と地上測定結果の相関図



無人ヘリモニタリング測定結果抽出値と地上測定結果の相関図

無人ヘリモニタリング(測定風景)

自律機



マニュアル機



地上局

無人ヘリモニタリング(3km圏内の測定)

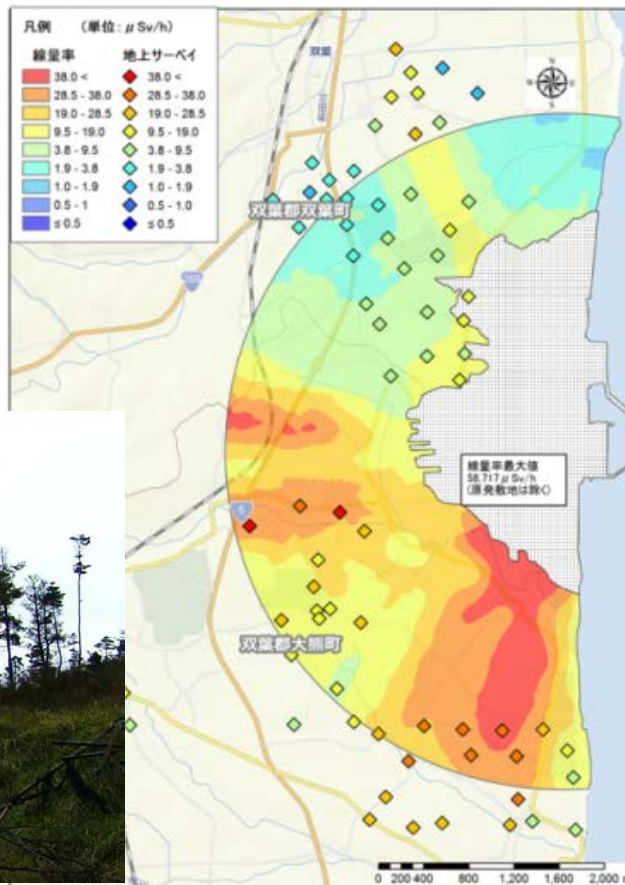
これまで測定されていない3km圏内の空間線量率、セシウム沈着量分布を測定評価する

モニタリング風景

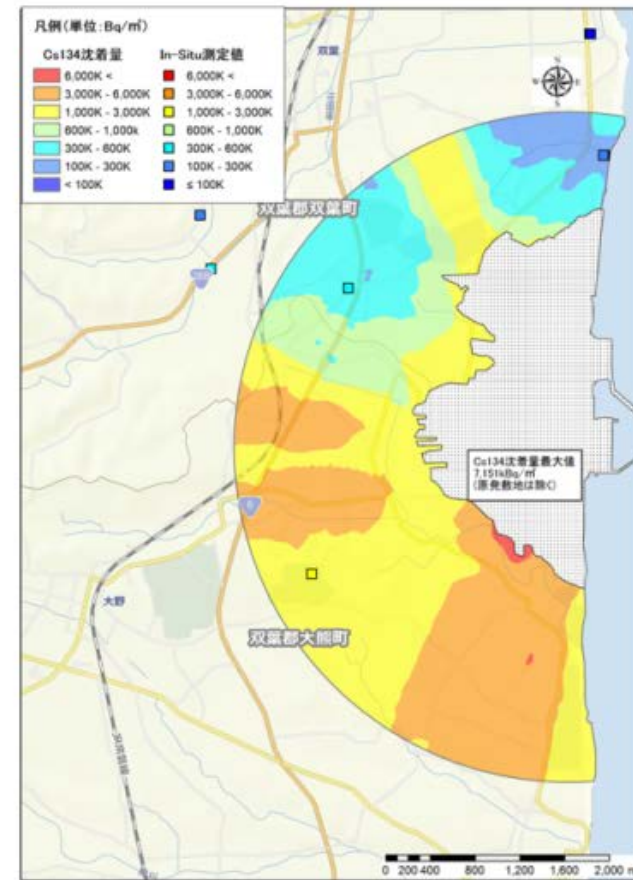
無人ヘリコプター



福島第一原子力発電所



地上高さ1mの空間線量率(μSv/h)

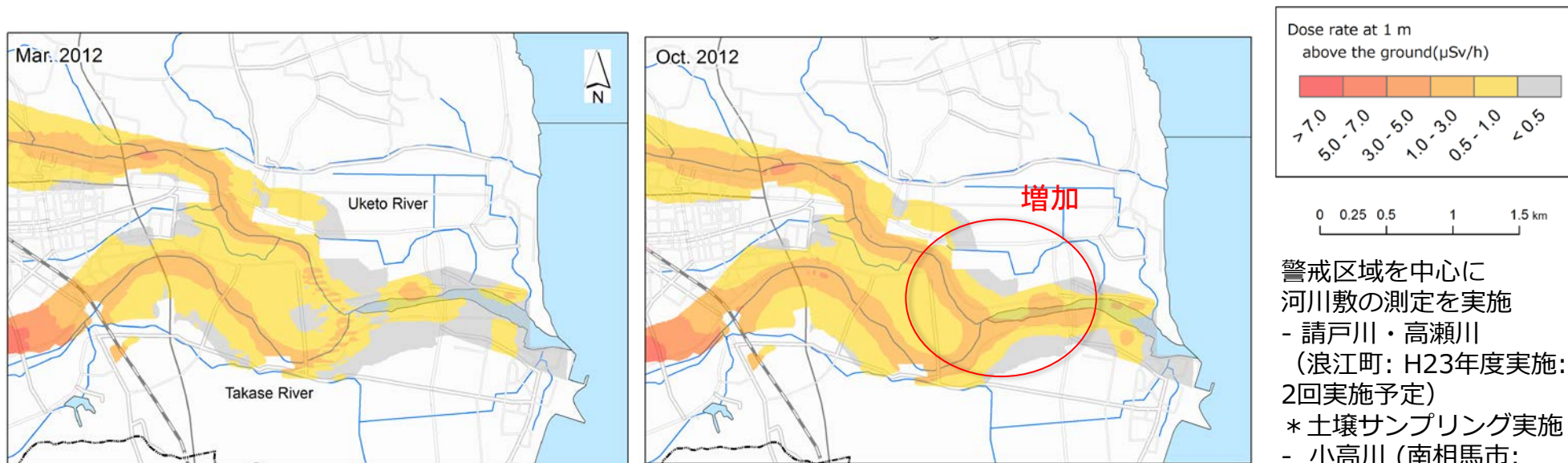


Cs-134の沈着量(Bq/m²)

- 発電所から敷地外の3km圏内について測定を実施し、空間線量率と放射線Csの分布を求めた。
- 航空機モニタリングでは測定できなかった**3km圏内の詳細な分布が明らかになった。**
- 初めて発電所近傍の**ブルームの道筋がトレース**され、放出経路の解析に重要なデータを提供した。
- 飛行条件を整備し、広い範囲を短時間で測定(約1km²/h)することが可能となった。

無人ヘリモニタリング(河川敷の測定結果)

河川を通して放射性セシウムの移行を河川流域の上空から無人ヘリにより実測定で明らかにする

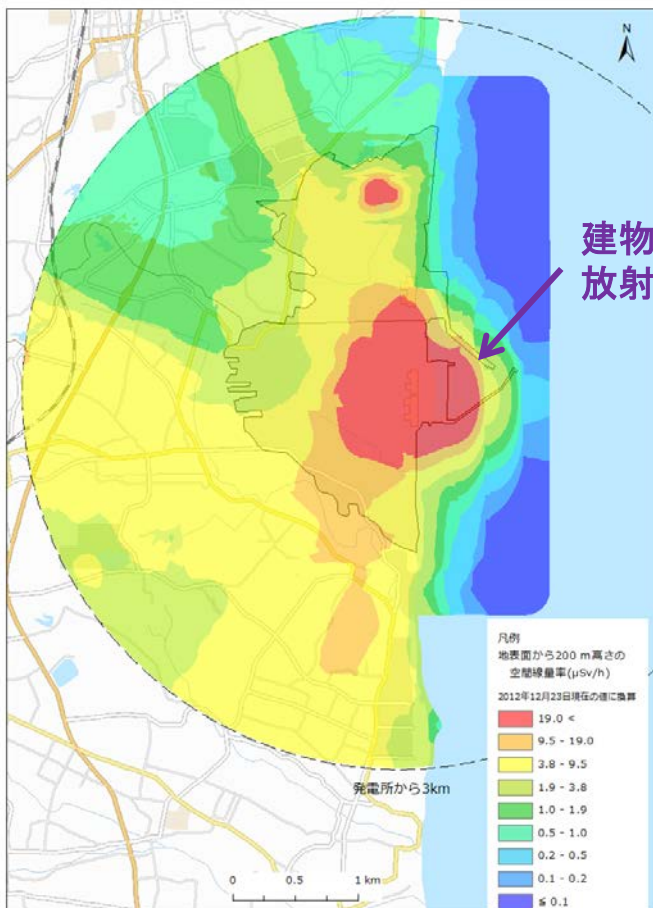


- 警戒区域を中心に
河川敷の測定を実施
- 請戸川・高瀬川
(浪江町: H23年度実施:
2回実施予定)
 - * 土壌サンプリング実施
 - 小高川 (南相馬市:
H23年度実施)
 - 前田川 (大熊・双葉町)
 - 真野川 (南相馬市)
 - 新田川 (南相馬市)
 - 太田川 (南相馬市)

- ・ 請戸川流域等において河川敷に放射性セシウムの有意な沈着が確認された。
- ・ 請戸川流域では2012年3月から半年後(10月)の測定により下流域、特に合流箇所での増加が確認。
- ・ 放射性セシウムの移行評価研究に定量的なデータを提供した(移行シミュレーションに反映)。

無人ヘリモニタリング (発電所敷地内上空200mの線量測定)

国交省の依頼により発電所上空の線量率分布を無人ヘリで測定し、高度1500mの線量率を評価する



*本マップには天然核種による空間線量率が含まれている。

高度200mでの空間線量率分布

国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

東京電力福島第一原子力発電所周辺の飛行禁止区域の
制限緩和について 平成25年
5月5日

航空局安全部運航安全課

東京電力福島第一原子力発電所については、現在、半径3 km圏内に高度無制限の飛行禁止区域を設定していますが、最近実施された放射線モニタリングの結果と当該結果に基づく上空での空間線量率の推計(注)を踏まえ、2月6日0時をもって、高度方向の制限を緩和し、高度1,500m(5,000ft)までの飛行制限区域に変更する旨を、航空情報(ノータム)により周知するとともに、関係団体に対して通知しました。

(注) 航空局の依頼に基づき独立行政法人日本原子力研究開発機構が実施した、無人ヘリコプターによる放射線モニタリングと上空での空間線量率の推計では、地上からの放射線による高

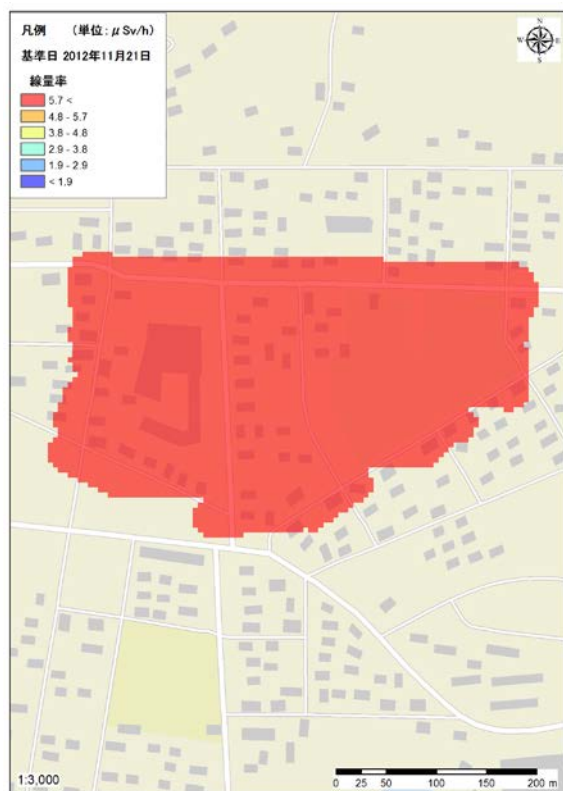
高度1500m以上の飛行禁止区域解除を告知する
国交省プレス文(2013.2.5)

- 発電所上空200mを無人ヘリで空間線量率を測定した。
- 発電所上空を含む3km圏内の高度200mの線量率分布を求め、1500mの最大線量率が飛行禁止基準をクリアしていることを解析により確認した。
- 2月5日、国交省はこの結果を受けて、高度1500m以上の飛行禁止を解除し、夏ダイヤ(3月末)からの北米路線の増便、飛行時間、燃料代の削減につながる事となった。

無人ヘリモニタリング (除染後のフォローモニタリング)

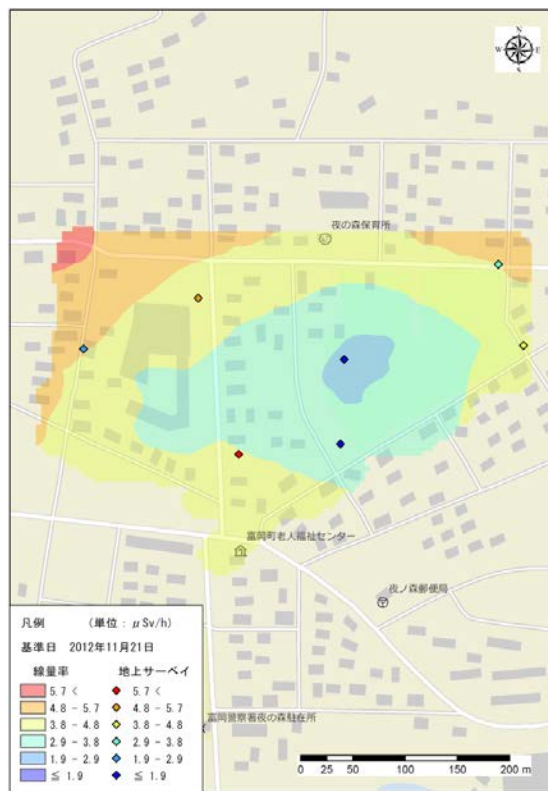
モデル実証事業で無人ヘリを用いて測定した場所の線量率分布の変動を測定する

富岡町 夜の森地区の例



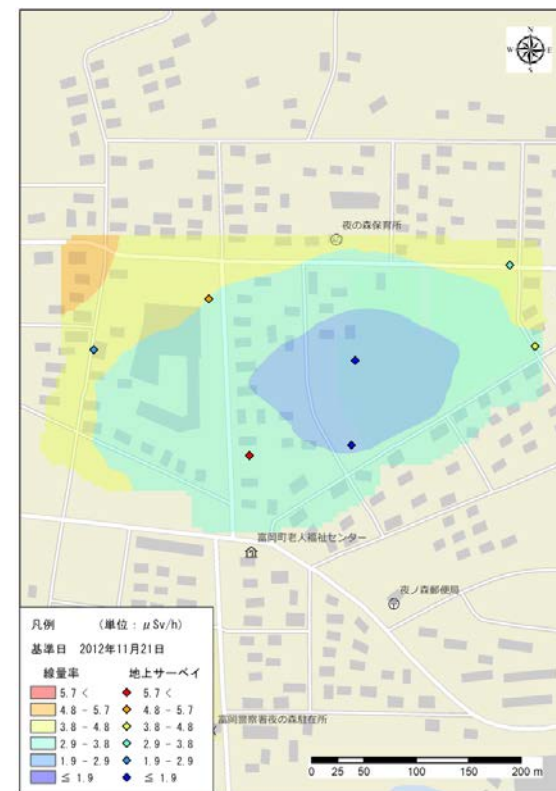
富岡町夜ノ森公園 1m線量率分布図 (ブラシン検出器 2011年12月14日測定)

2011/12/5: 除染前



富岡町夜の森公園 1m線量率分布図 (ブラシン検出器 2012年 2月24日測定)

2012/2/27: 除染後



富岡町夜の森公園 1m線量率分布図 (ブラシン検出器 2012年10月26日測定)

2012/11/28: 除染から1年後

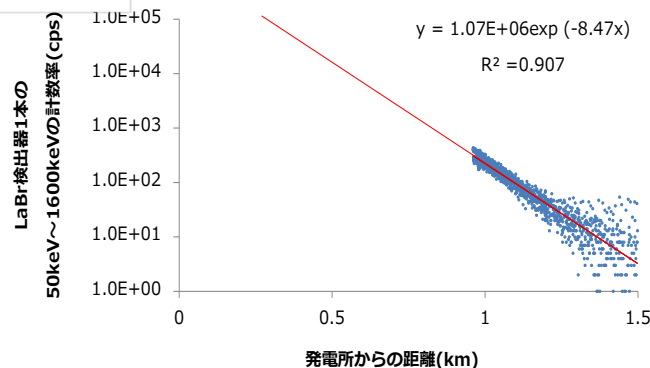
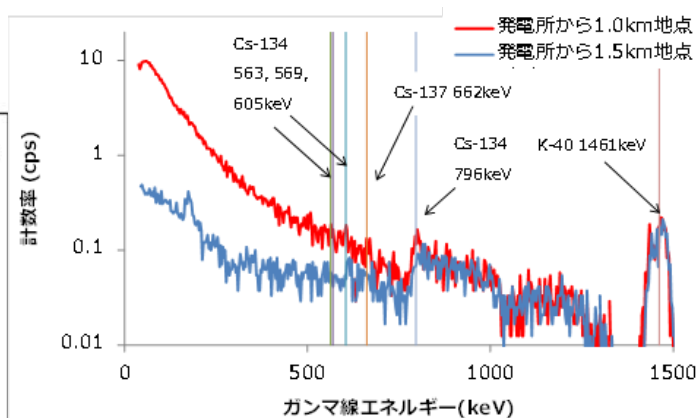
- プログラム飛行により、除染前後(14カ所)及び1年後(8カ所)を同一飛行ルートで測定した。
- 除染により線量率が下がった後も減少していることが確認できた。
- 1年後の結果については、半減期分の物理的減衰よりも多く減少する傾向があった。

無人ヘリモニタリング (散乱線(スカイシャイン含む)の測定・評価)

散乱線 (スカイシャイン含む) の測定による評価

地表面のセシウム沈着量を評価する上で、原子炉建家からの直達線・散乱線の影響を測定解析

* 無人ヘリによる測定結果



- 海上上空での実測により発電所からの影響は1.5km程度までであった。
- 低エネルギー成分が多く、原子炉建家から多重散乱されたγ線の寄与と推定される。

その他の“面”で捉える技術

<無人航空機システム>

目的・範囲

- ・ JAEA開発の放射線観測器をJAXAの小型無人航空機に搭載した放射線モニタリングシステムを構築する。
- ・ 福島第1原発周辺等における緊急時遠隔モニタリングを将来の目標とし、有人機、無人ヘリ観測を小型固定翼機により補完し広域観測を実施可能にする技術を開発する。
- ・ 放射線モニタリングに必要な機器の搭載や地形追従飛行モードの開発および非高密度空域での飛行を可能にするための信頼性向上を図り、飛行試験および運用試験を実施し、有効性を確認する。

放射線モニタリングシステム

無人航空機システム

放射線検出器
(ペイロード)

地上局
(グランドステーション)

基本となる無人機技術



宇宙オープンラボ機
(2007-2010)
昼夜連続20hr滞空を達成

主要要求性能(案)

・質量/搭載	最大50kg/3~10kg
・推進	エンジン(ガソリン25L)
・飛行時間	8時間(日中) (オープンラボ20.5hr)
・速度/高度	25~30m/s / 250m未満
・操縦	プログラム飛行(地形追従モード)、離着陸は手動
・安全対策	操縦&電気系統冗長化、 長距離通信(多重化) 、パラシュートなど
・気象条件	日中、雨天(小雨)可、地上風速15m/sec以下
・飛行区域	立入制限・監視 非高密度区域

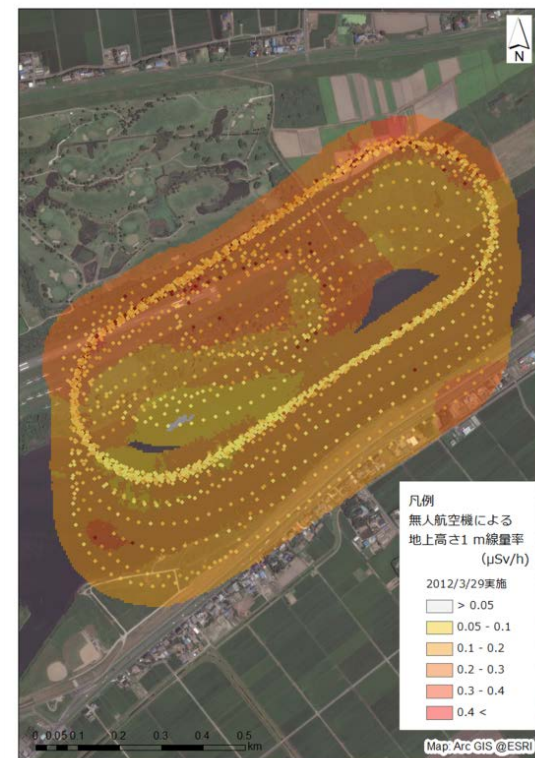
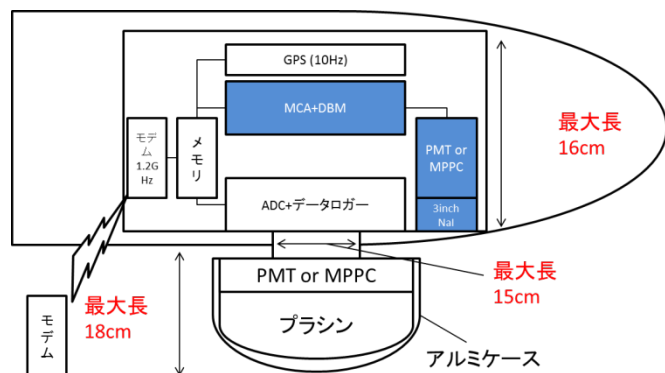
黒字：宇宙オープンラボ機で実証済み技術

赤字：宇宙オープンラボ機と異なる仕様 **16**

その他の“面”で捉える技術

<無人航空機システム>

数10kmの広域遠隔モニタリングが可能な無人航空機モニタリングシステムをJAXAとの共同研究により開発する

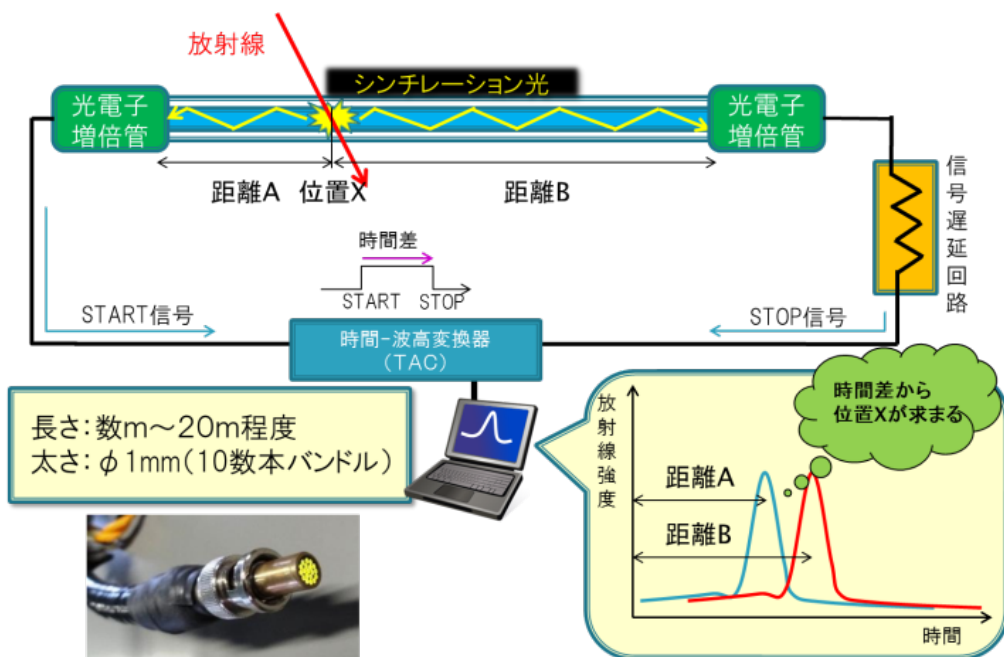


- JAXAと共同研究を締結（2012年6月）し、無人航空機システムの試作機を分担して製作
- 緊急時に遠隔で広域測定を行うことを目的
- モデル機と試作検出器で試験飛行を行い地表の放射能を測定できることを確認
- 2013年4月に試作機のテスト飛行測定（長距離データ伝送試験）の予定

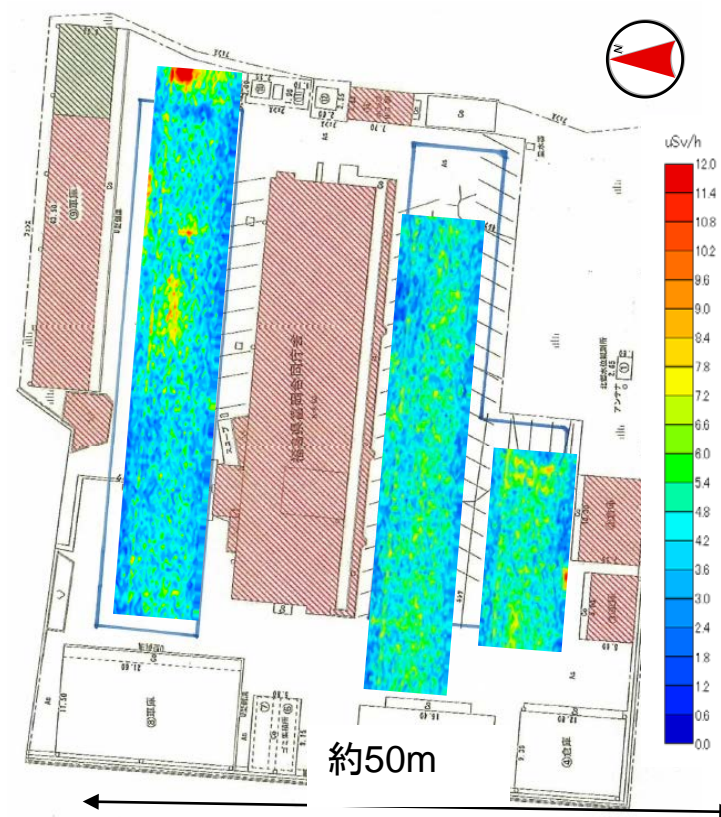
その他の“面”で捉える技術 <p-Scanner>

PSF（シンチレーションファイバー検出器）を用いた2次元放射能分布測定装置p-Scannerを開発

PSF測定原理



測定結果の例



- 学校、公園等で除染前後の汚染状況の確認測定に適用
- 2次元マッピング化を行い、測定結果の視覚化を図る
- 民間ベースで様々なフィールド(田畑、森林等)で応用

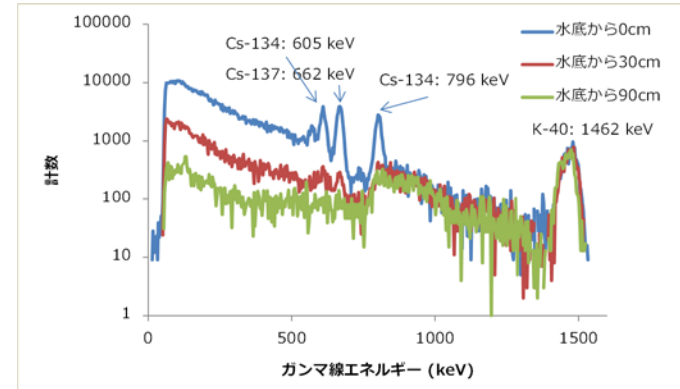
その他の“面”で捉える技術 <水底モニタリング技術>

ため池・湖底等の放射能分布を明らかにするため、LaBr検出器を用いた測定装置を開発する

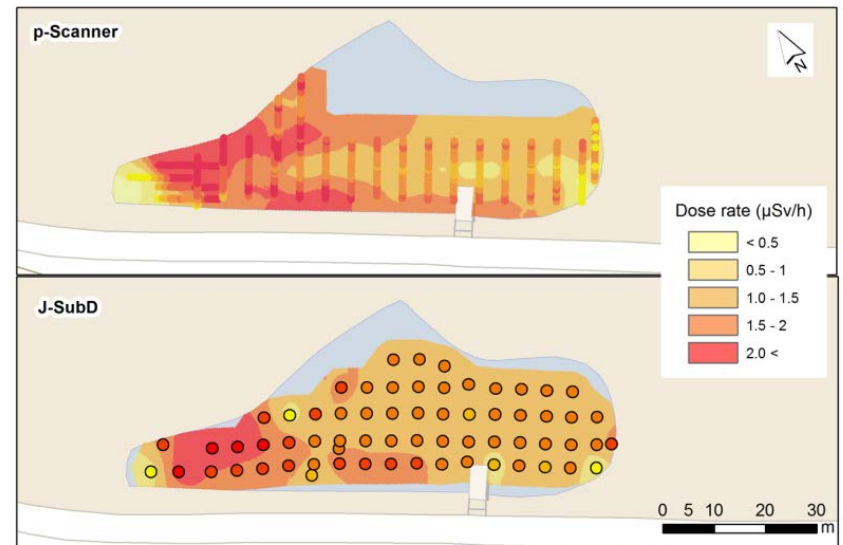
水中スペクトロメータJ-subD



福島大調整池での測定結果

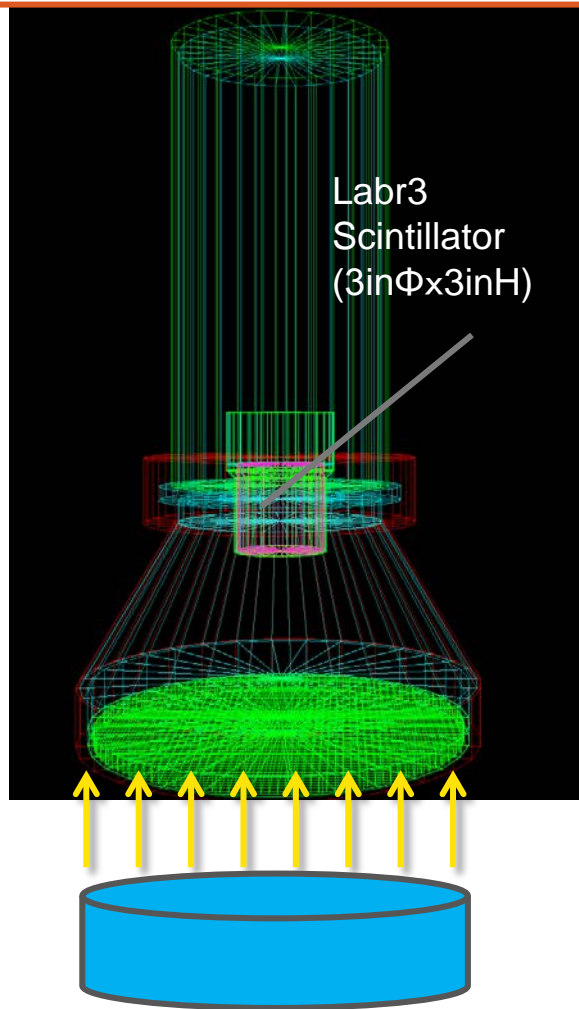


- 3インチLaBr検出器を用いた高分解能の測定システムを設計・製作した。
- 福島大学調整池において、LaBr検出器及びPSF検出器を用いてセシウム分布測定を行い、検出器の特性試験を行った。
- 上記測定により、池内のセシウム濃度分布が明らかになり、流入口の濃度が高いことが分かった。



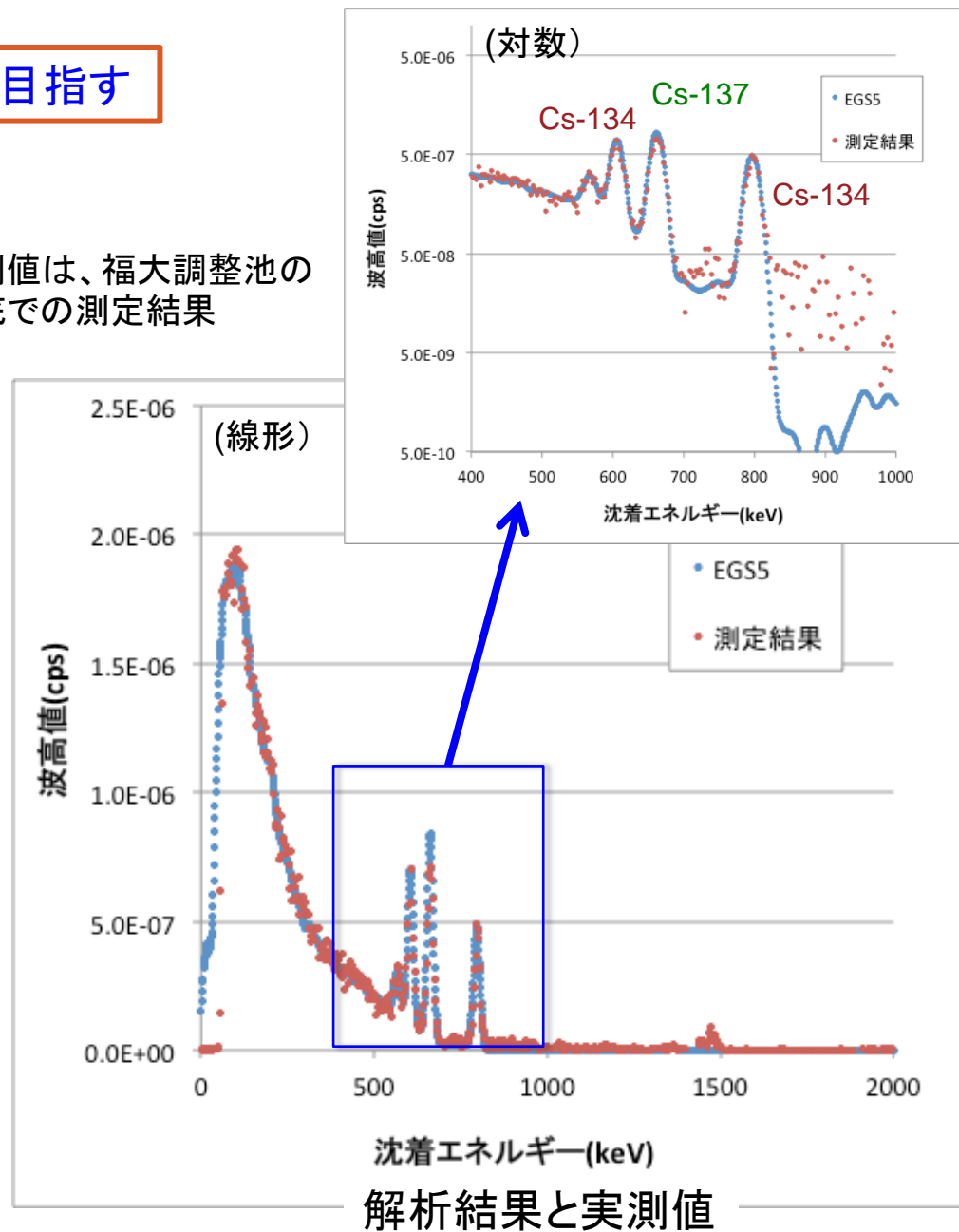
モンテカルロ計算による検出器の応答解析 (EGS5コード)

直接水底のセシウム濃度の推定評価を目指す



円筒状の水 (20cmH)の体積線源を仮定
計算モデル

* 実測値は、福大調整池の水底での測定結果



まとめと今後の展開

事故後、空間線量率やセシウム沈着量の分布を面的に捉え、その変動を調査するため、無人ヘリコプターによる遠隔モニタリング技術の開発と現場への適用を図ってきた。

その結果、遠隔モニタリング手法は有用であることが実証できた。

たとえば、

無人ヘリコプターによるモニタリングは、

- 人や車が容易に立ち入れない場所（山、森等）の測定が可能。
- 短時間で広い面積の測定が可能。
- 同じ場所を飛べるため、経時変化がとらえやすい。



今後の展開

- 遠隔測定システムの安全性と測定精度の向上
- 他のツールの開発（水中測定システム等）
- 定期的なモニタリングと測定評価の基準化