筑波大学　原子力災害環境影響評価論II

高度化する
無人モニタリング技術

2020/7/6

国立研究開発行政法人日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門　廃炉環境国際共同研究センター
佐々木美雪

講義内容

12:15-13:30（75分）

・紹介

・　測定の基本的な考え方

・　上空からの測定技術

- 有人ヘリコプター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
- 無人機によるモニタリング

3.11以降の放射線測定

★原子力以外の復興事業との連携
・規制庁　原子力防災センター
・福島県原子力安全対策課（同居）
・浜地域農業再生研究センター（福島県農林水産部）
・ロボットテストフィールド（福島県産業創出課）
・各市町村復興再生拠点

環境モニタリングディビジョン

・広域モニタリング調査研究グループ
・統合解析グループ

オフサイトにおける環境動態研究
放射線モニタリングの測定・解析を実施

3.11以降の放射線測定

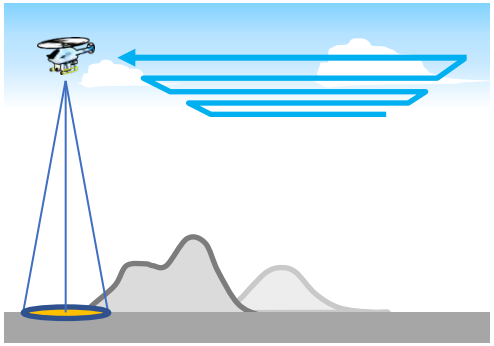
3.11以前

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



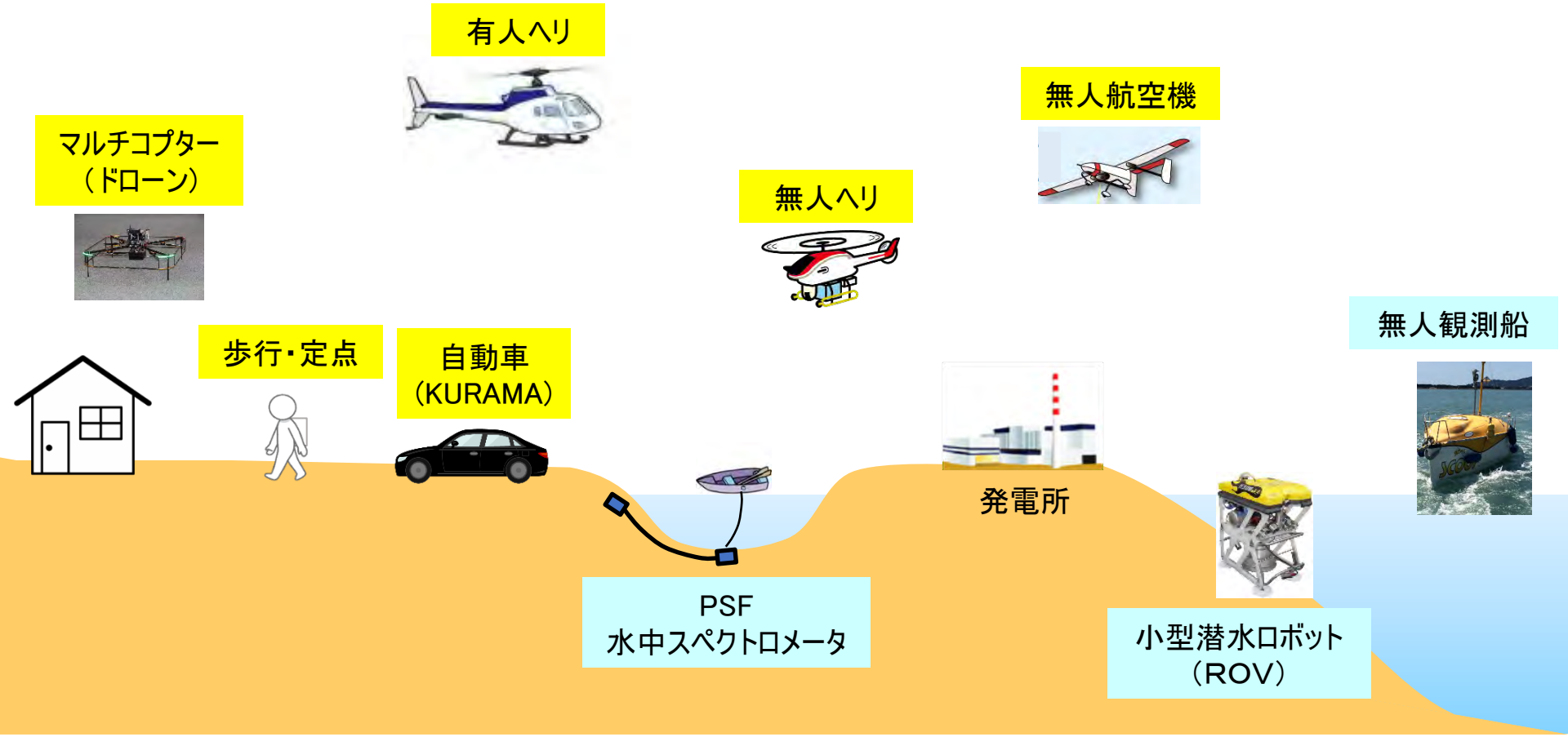
感度よりも面を測定
→新たな分野

無人機技術の発展

放射線を“面”で捉える技術とその活動

様々なツールを用いて
用途に応じて放射線分布を測定

避難指示区域の設定・除染区域の決定
住民帰還・営農再開の加速化
放射性物質の挙動理解



モニタリングの結果等は
各サイトで確認可能

文部科学省
放射線量等分布マップ拡大サイト

原子力規制委員会
放射線モニタリング情報

有人ヘリコプターによる
放射線モニタリング

講義内容

- 紹介
- 測定の基本的な考え方
- 上空からの測定技術
  - 有人ヘリコプター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
  - 無人機によるモニタリング

基本的な放射線測定の仕組み

☆ 放射線は見えない

↓

☆ 電気信号に変換

↓

☆ 放射線を測定

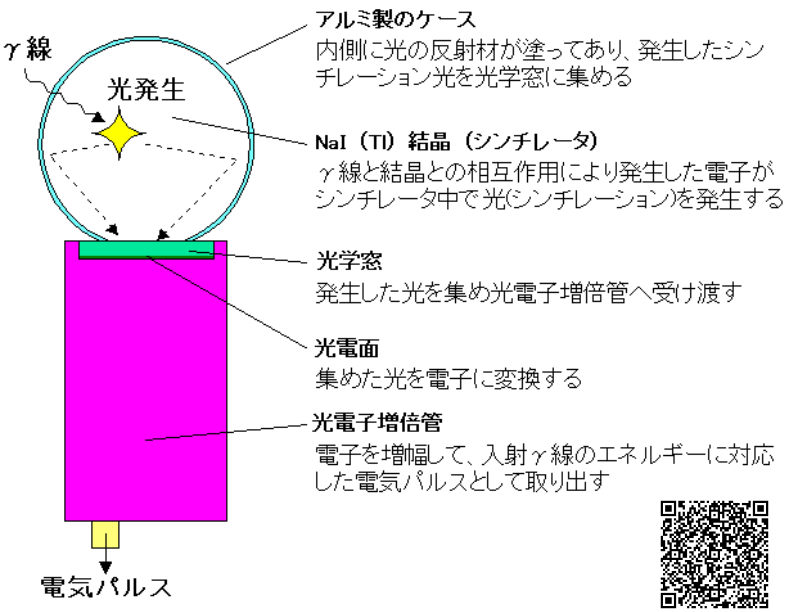
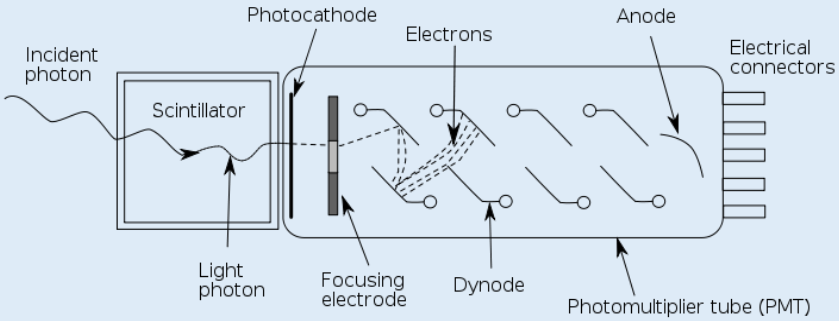


図1　NaI（Tl）シンチレーション検出器の構造

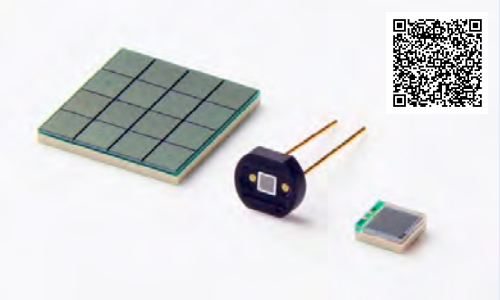
光電子増倍管

photomultiplier tube（PMT、フォトマル）
・・・光電効果を利用して光エネルギーを電気エネルギーに変換



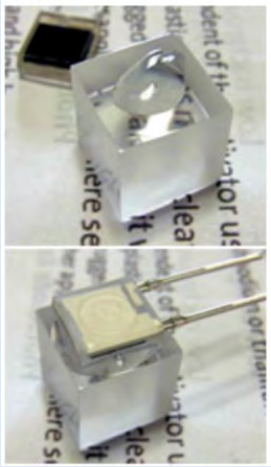
MPPC

MPPC (Multi-Pixel Photon Counter)
・・・ SiPM (Silicon Photomultiplier)と呼ばれるデバイスの1種光半導体素子



シンチレータ

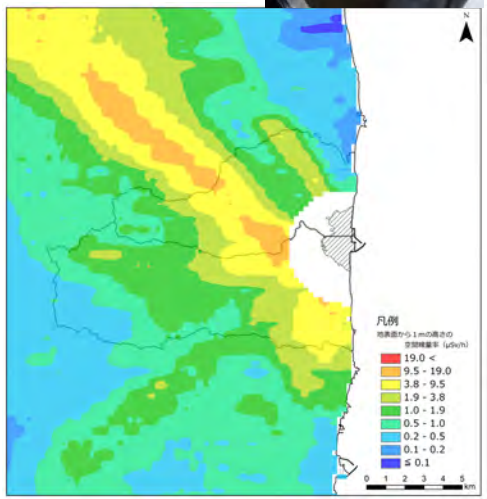
CsI結晶



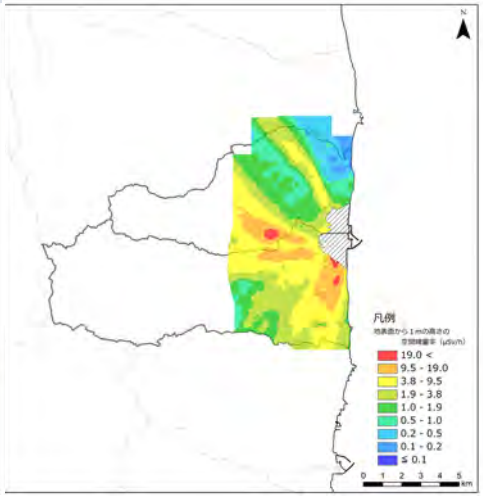
各放射線測定手法

	有人ヘリ	無人ヘリ	車両	歩行
機動性・迅速性	◎	○	△	×
精度	×	△	○	◎
コスト	△	○	○	○

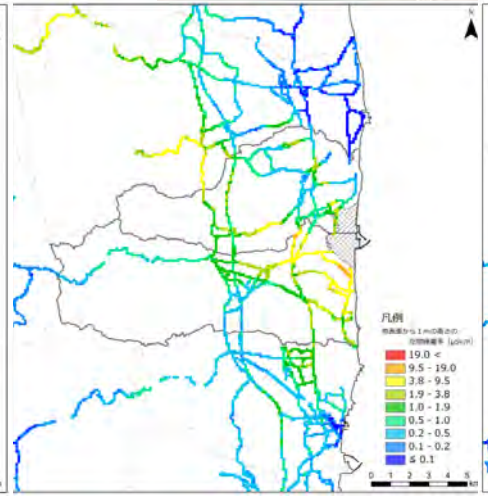
有人ヘリサーベイ



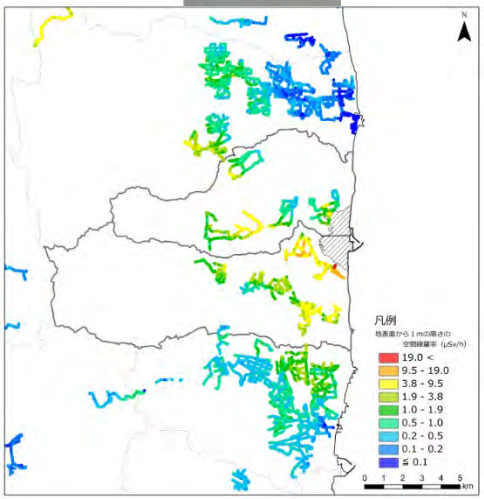
無人ヘリサーベイ



車両サーベイ



歩行サーベイ



講義内容

- 紹介
- 測定の基本的な考え方
- 上空からの測定技術
  - 有人ヘリコプター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
  - 無人機によるモニタリング

上空からの放射線モニタリングツール

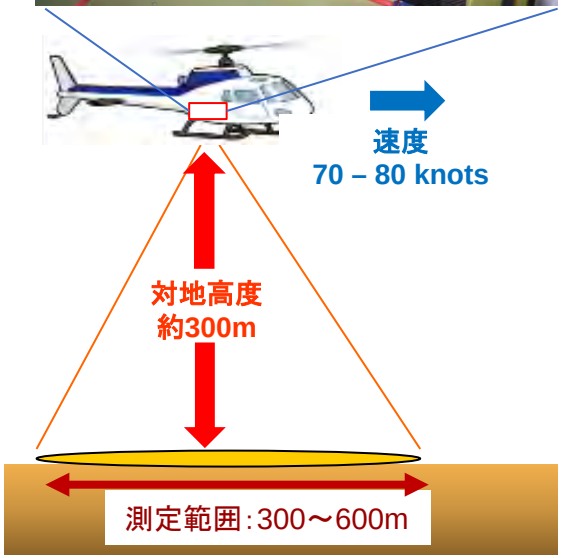
飛行エリア	>100 km	>10 km	>1 km	～100 m
機体	有人ヘリ	無人飛行機	無人ヘリ	マルチコプター
高度	～ 300m	～ 150m	～ 50m	<10m
飛行時間	90分	360分	90分	10分

測定場所や用途に応じてツールを使い分ける

上空からのモニタリングの方法

データ取得

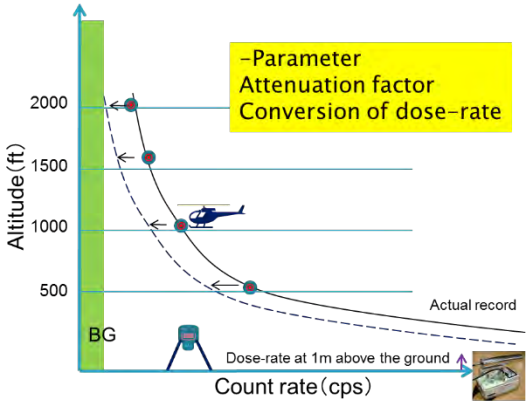
- 検出器: NaI (12L)、スペクトル
- GPS
- 1秒後とのデータ保存



パラメータ取得

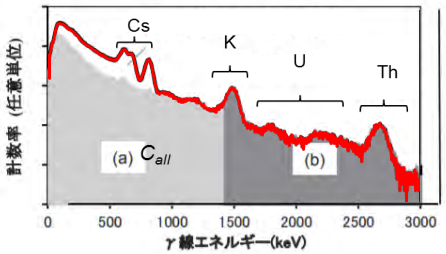
空気による減衰率の測定
-高度ごとにホバリング測定
-同エリアで地上測定
（平面線源均一エリアで測定）

バックグラウンド測定
-海上での測定
-宇宙線の測定
-ラドン測定



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



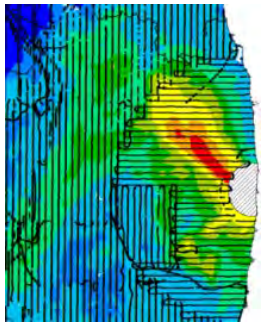
※MMGC (Man-Made Gross Count) 法を用いて天然核種の影響を差し引く

妥当性確認

- 線量率測定結果
- 他事業の結果と比較

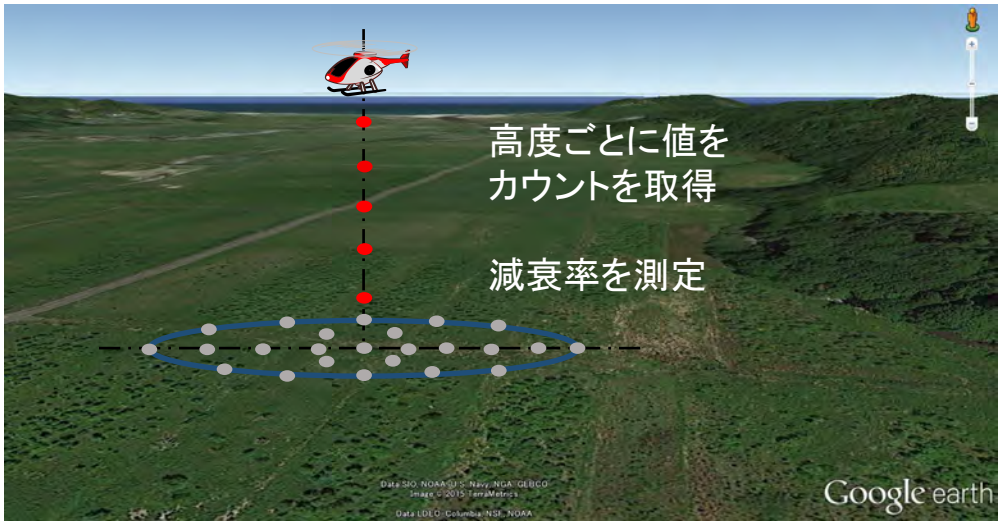
マッピング

クリギング法で
内挿補間⇒

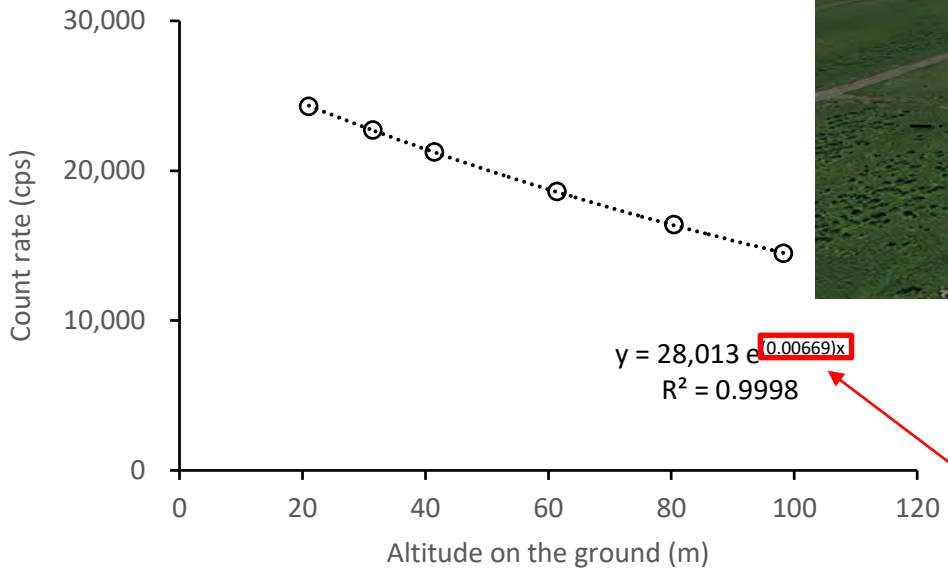


地上値への換算

- 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

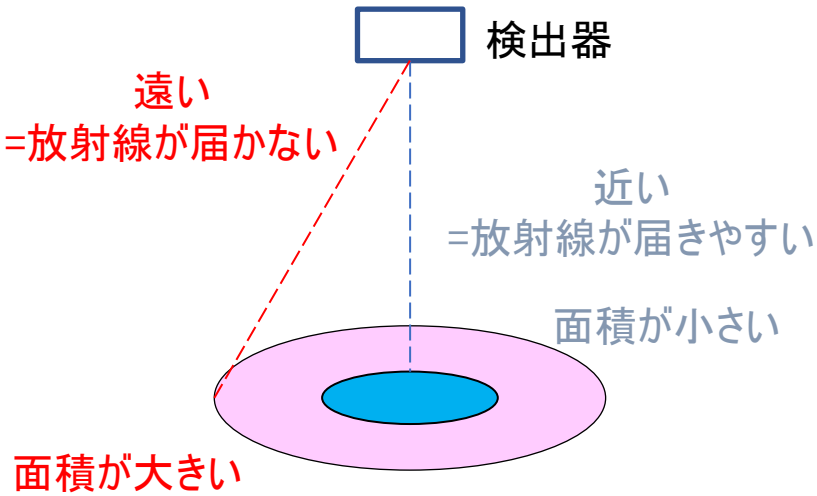


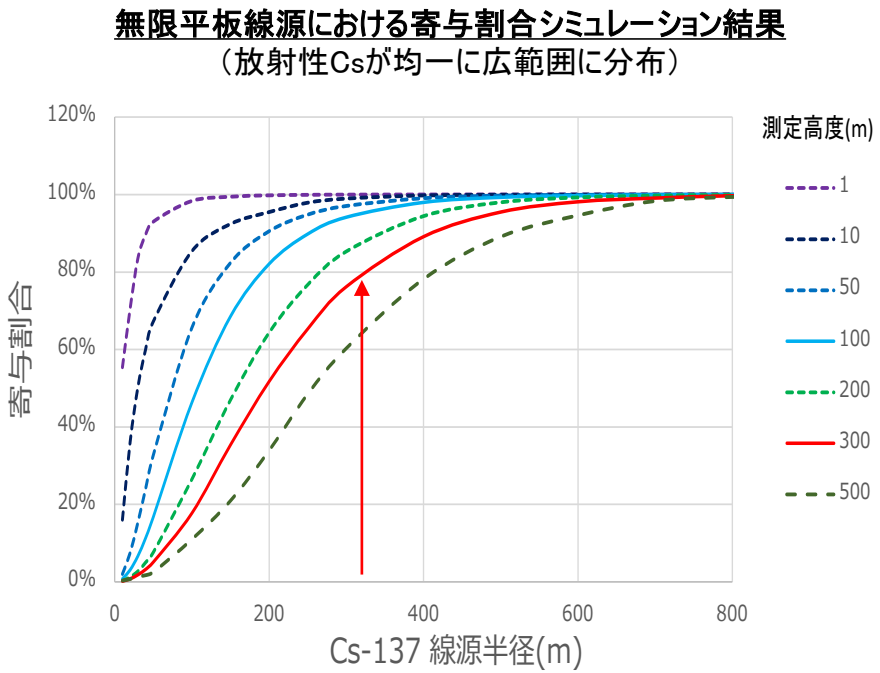
実測値例

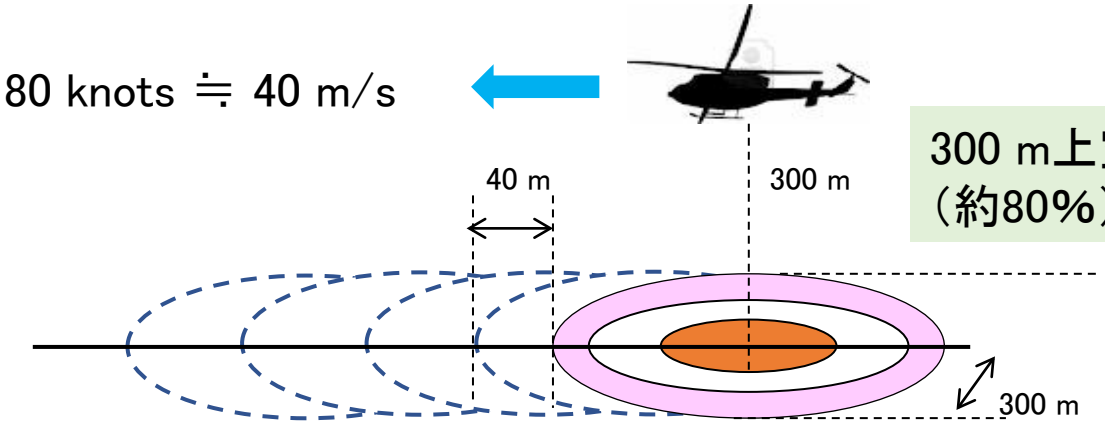


空気（対地距離）による減弱の係数

上空から何が測れているのか？



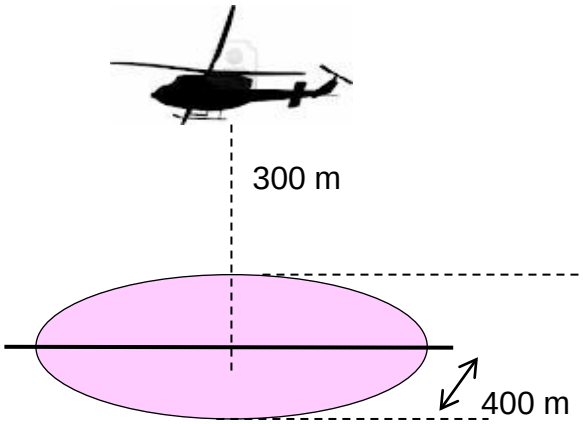




300 m上空からは、地上の半径300 mの円内（約80%）の放射線の平均値が測定されている

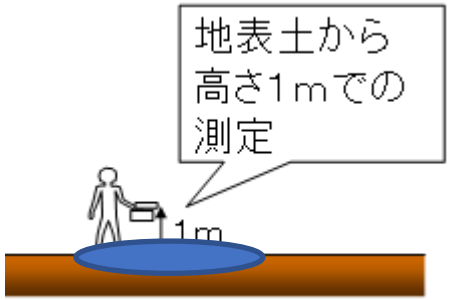
上空から何が測れているのか？

空からの測定



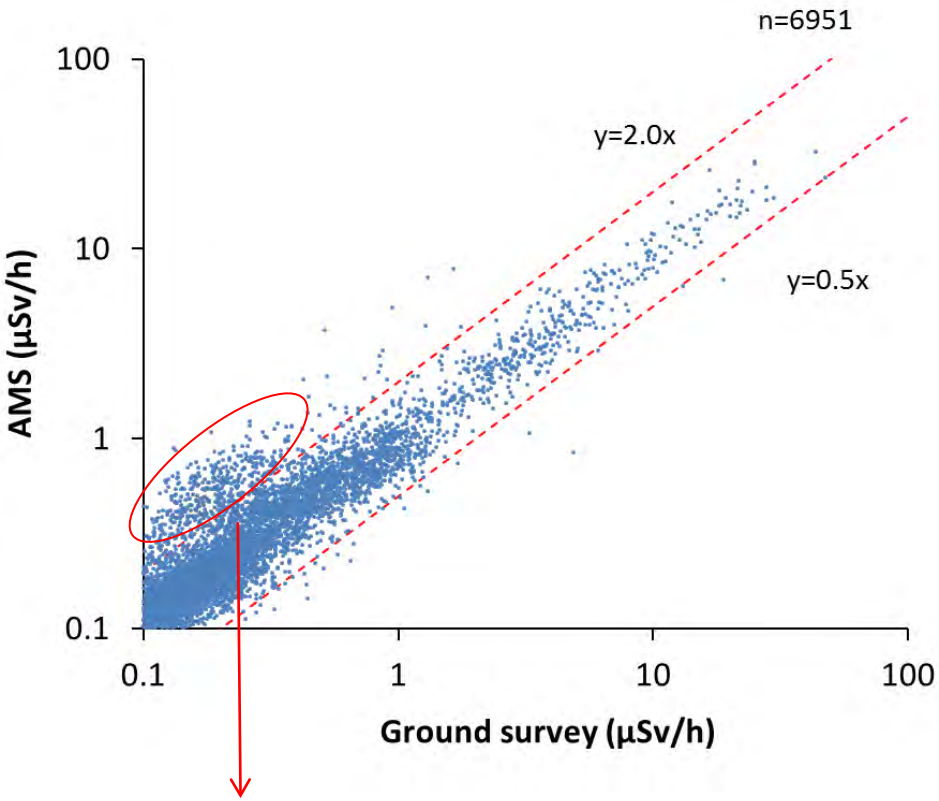
検出器を中心に半径300 mの範囲

地上の測定



検出器を中心に半径50mの範囲

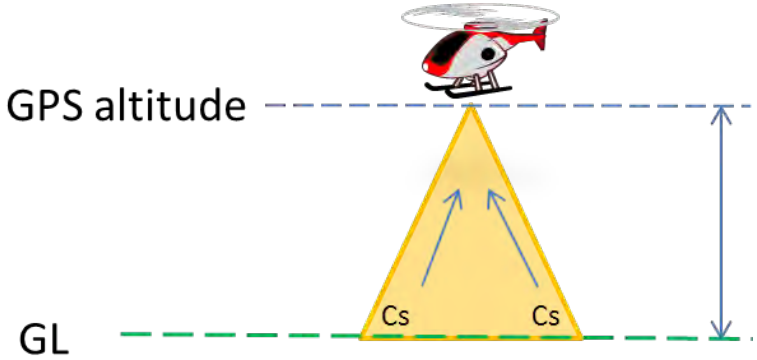
空と地上の測定例



除染等の局所的な線量の低下した地域を捉えていない

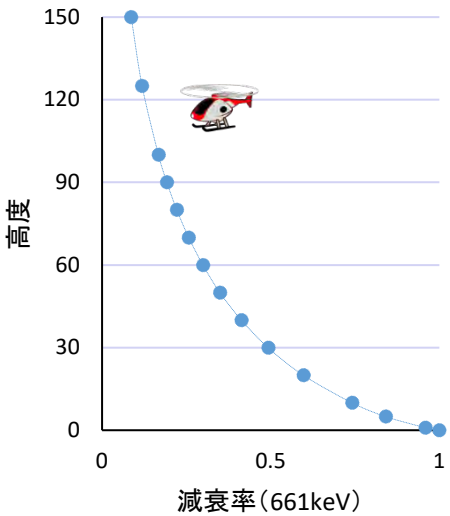
空からの測定の特徴と課題

換算方法



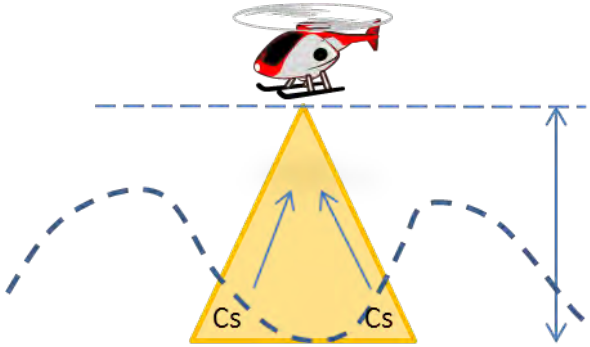
平面・線源均一の
モデルを仮定して換算

測定高度から減衰率を算出し、
地上値へ換算

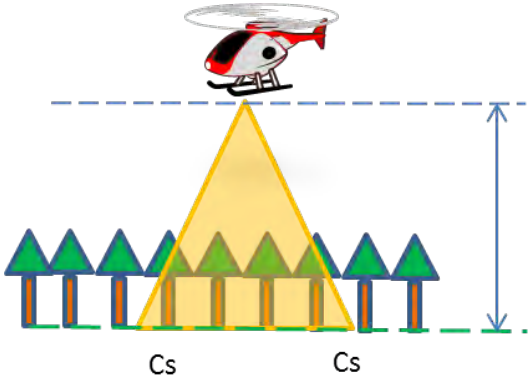


実際は…

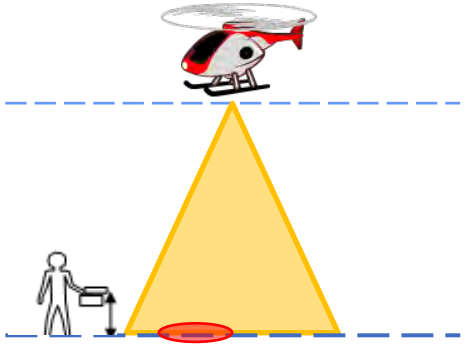
これらの影響を受けることで、地上測定値と上空測定値の間にのズレが生じる



地形の凹凸



遮蔽物（樹木等）



線量の分布

技術開発要素

講義内容

- 紹介
- 測定の基本的な考え方
- 上空からの測定技術
  - 有人ヘリコプター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
  - 無人機によるモニタリング

システムとスペック

項目	仕様
製造メーカ	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) 合計：12.6L
MCA ch	1024 ch
測定エネルギー範囲	0.02 ～ 3 MeV
ヘリコプター	・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: 0.011μSv/h 放射性セシウム沈着量 : 16 kBq/m^2

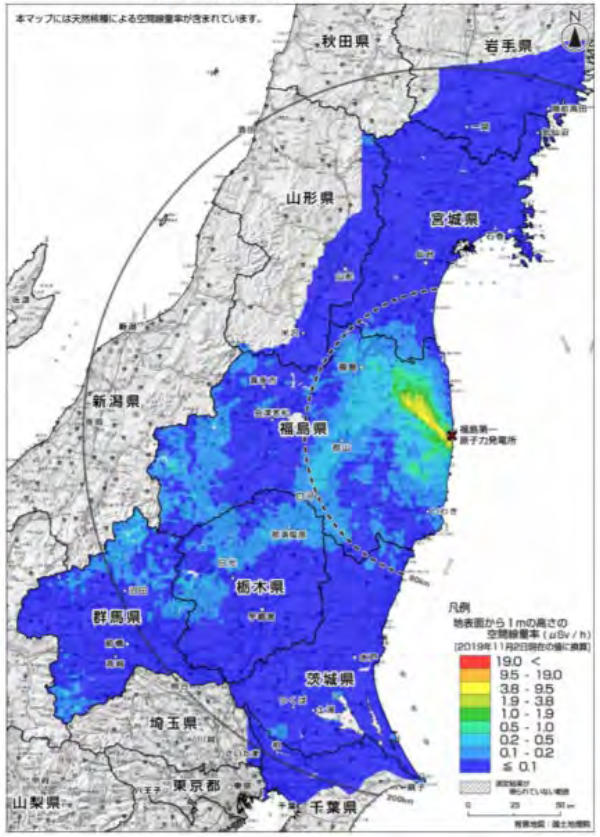
Bell 430
ベル・ヘリコプター・テキストロン社製

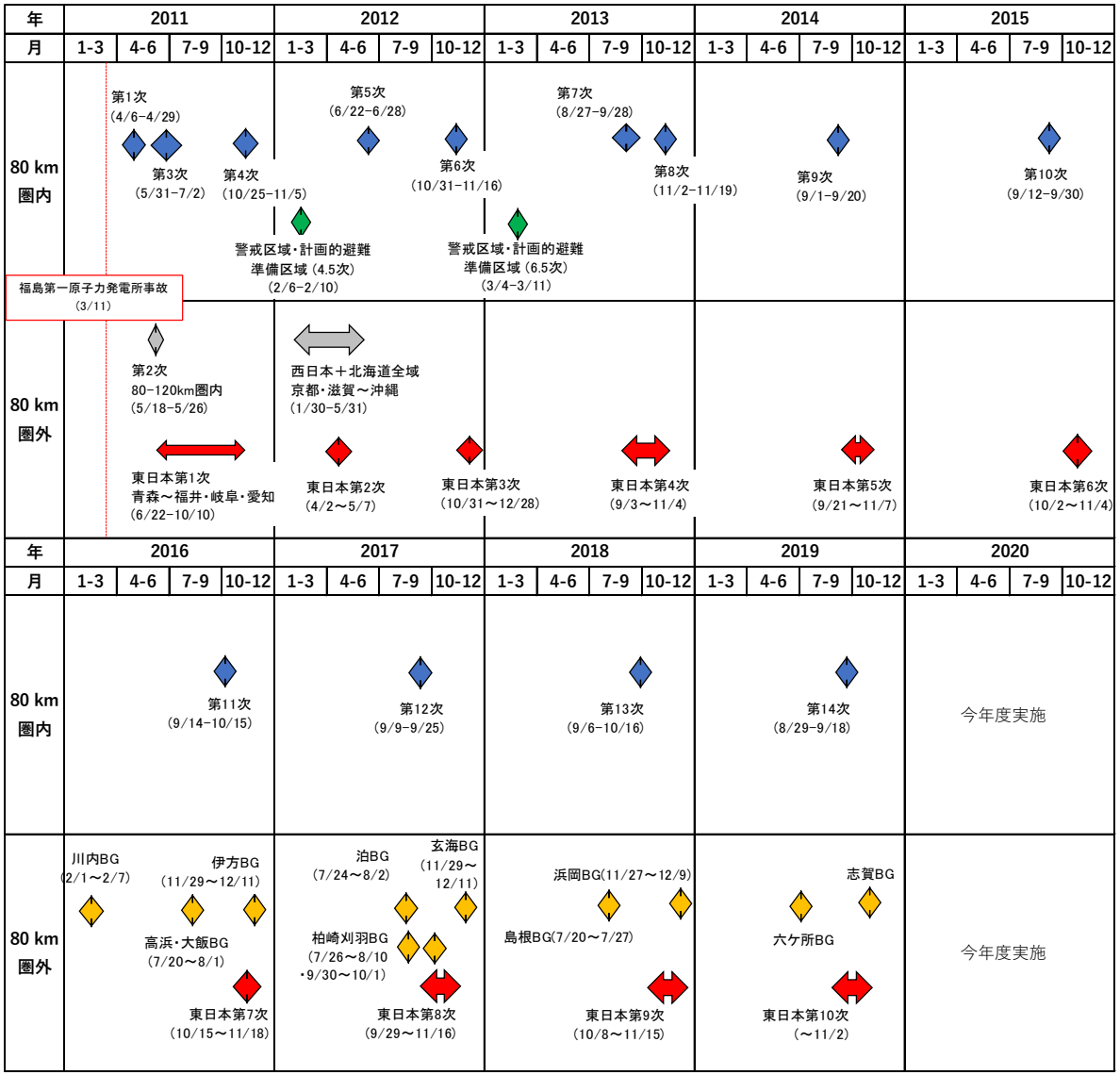
Bell 412
ベル・ヘリコプター・テキストロン社製

航空機（有人ヘリ）モニタリングの経緯

原子力規制庁受託事業
「平成３１年度原子力施設等防災対策等委託費及び放射性物質測定調査委託費（８０ｋｍ圏内外における航空機モニタリング）事業」

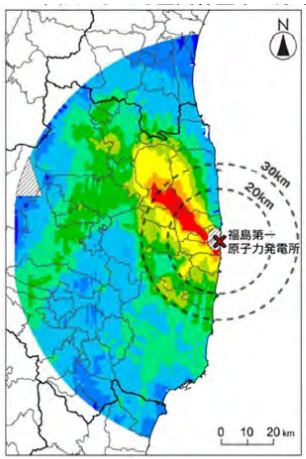
福島県及びその近隣県における空間線量率の分布マップ
（2019 年 11 月 2 日時点（事故から約 103 か月後））



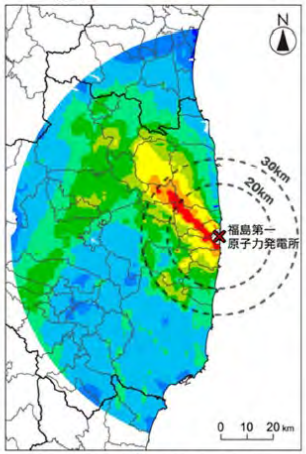


発電所周辺の放射線分布の変化

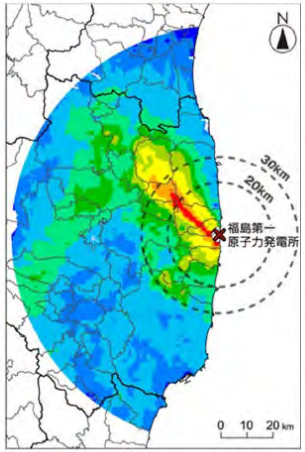
有人ヘリコプターによる発電所から半径80km圏内の空間線量率の分布



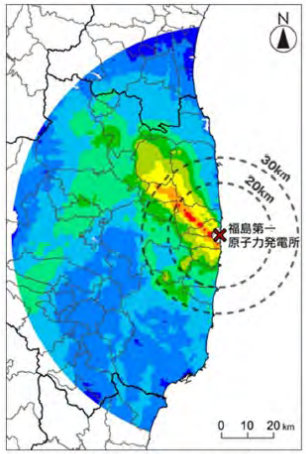
事故1か月後 (2011.04.29)



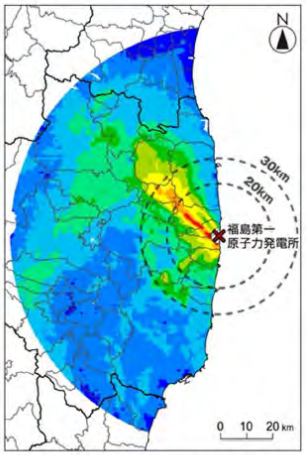
事故7か月後(2011.11.05)



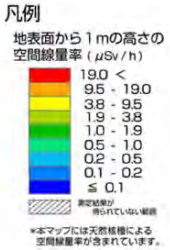
事故15か月後 (2012.06.28)

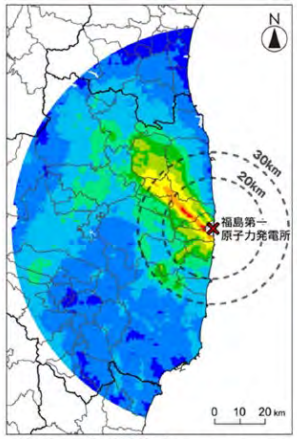


事故20か月後 (2012.11.16)

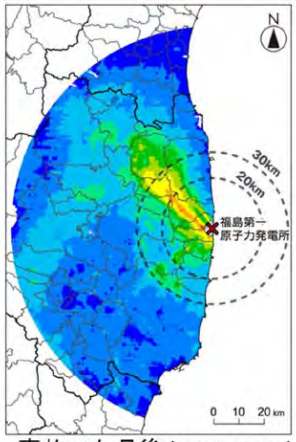


事故30か月後 (2013.09.28)

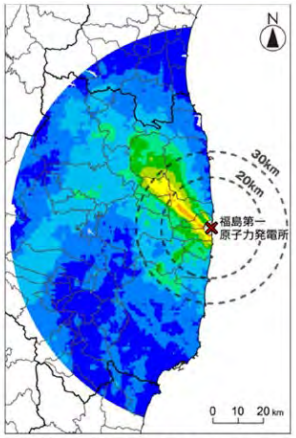




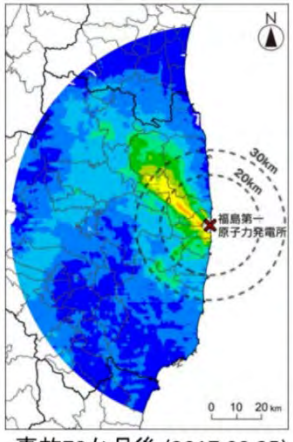
事故42か月後 (2014.09.20)



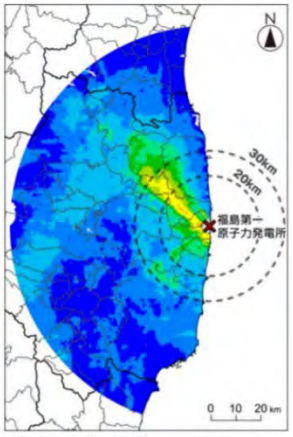
事故54か月後 (2015.09.29)



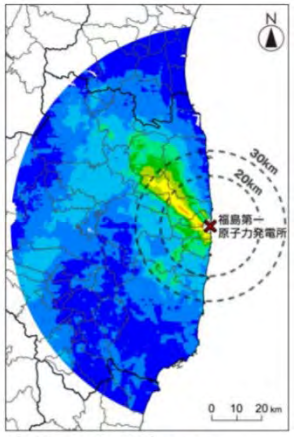
事故67か月後 (2016.10.15)



事故78か月後 (2017.09.25)



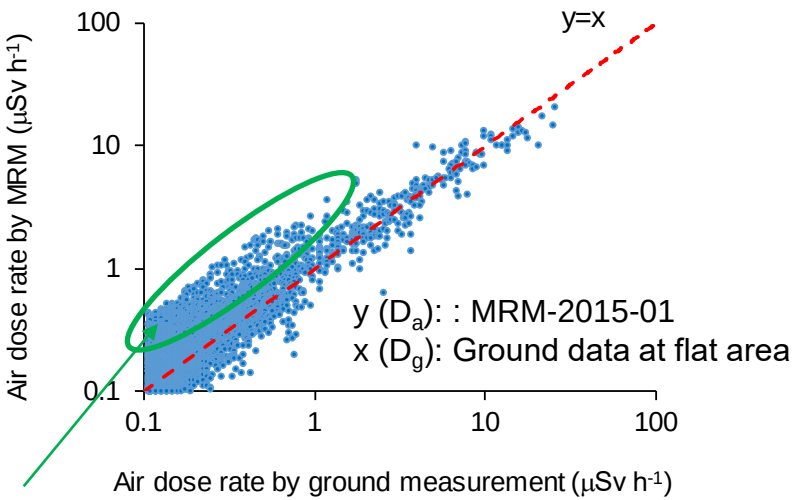
事故91か月後 (2018.10.16)



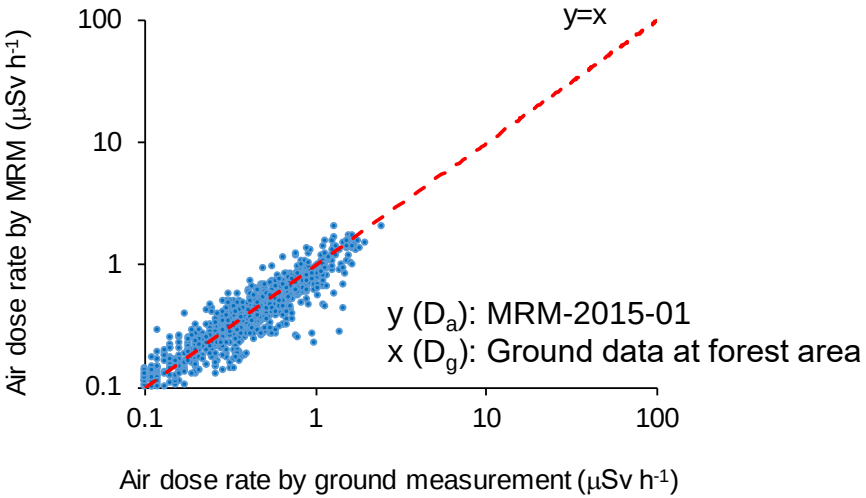
事故102か月後 (2019.09.18)

地上値との比較（妥当性の確認）

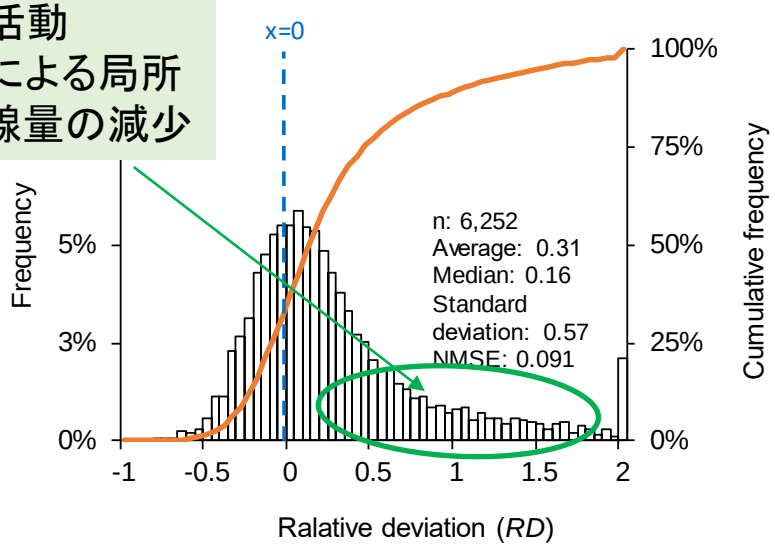
平たん地（ランダムな測定）

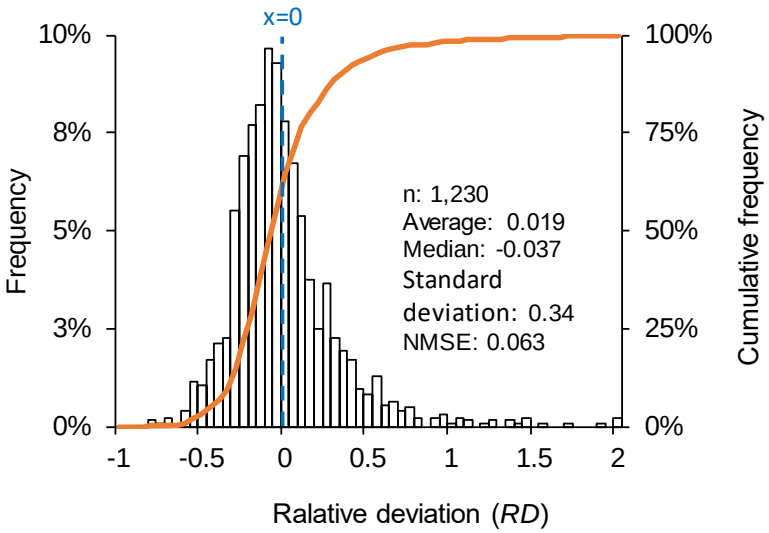


森林域



人為活動
除染による局所
的な線量の減少





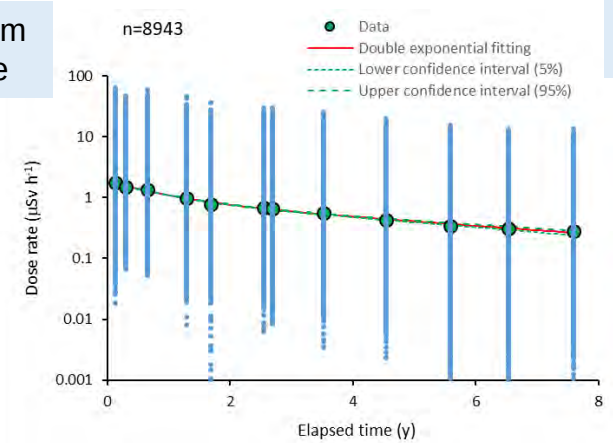
実効半減期と環境半減期

★早い成分と遅い成分の合成

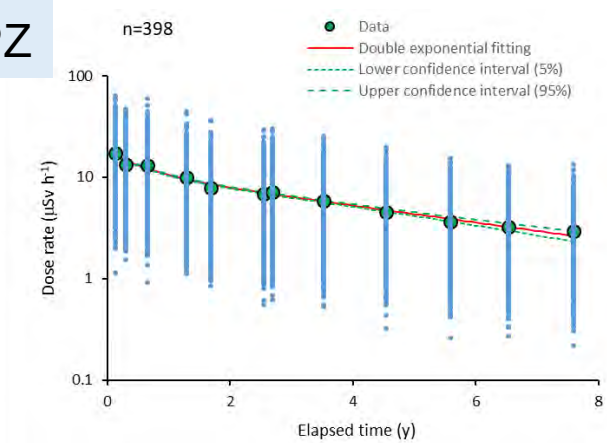
$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{eco}} + \frac{1}{T_{Phy}}$$

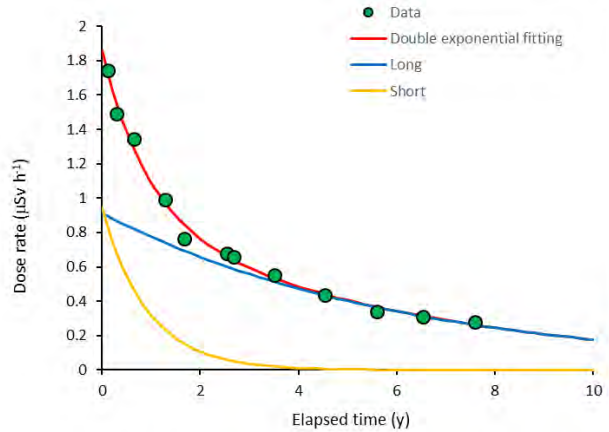
実効半減期 (T_{eff})
環境半減期 (T_{eco})
物理学的半減期 (T_{phy})

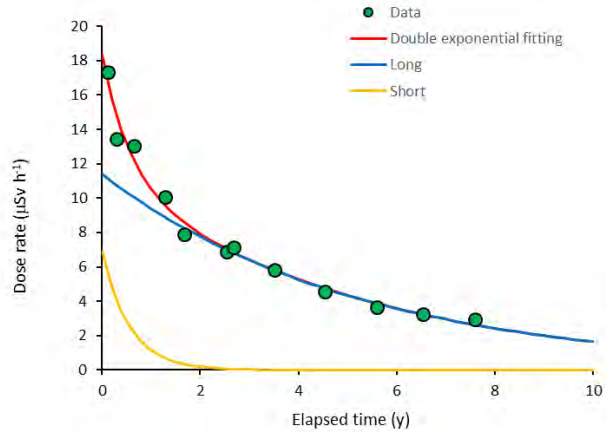
80 km zone



EPZ







近年では約4年の半減期で減衰してきていることが分かっている

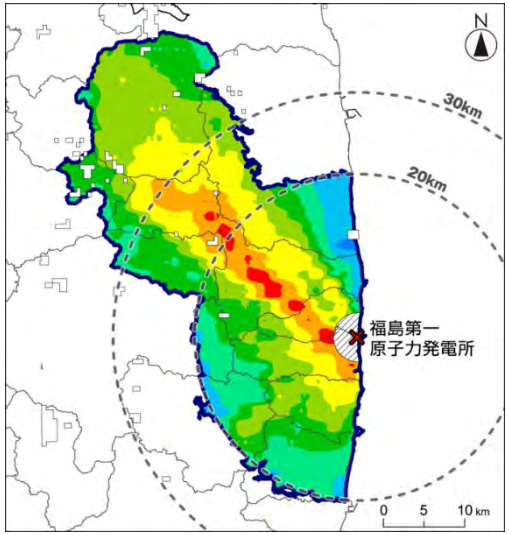
Unit: year	Short component				Long component			
	t_{short}	90% confidence level			t_{long}	90% confidence level		
80km zone	0.64	0.46	-	0.81	4.2	3.3	-	5.2
EPZ	0.38	0.23	-	0.54	3.6	3.1	-	4.1

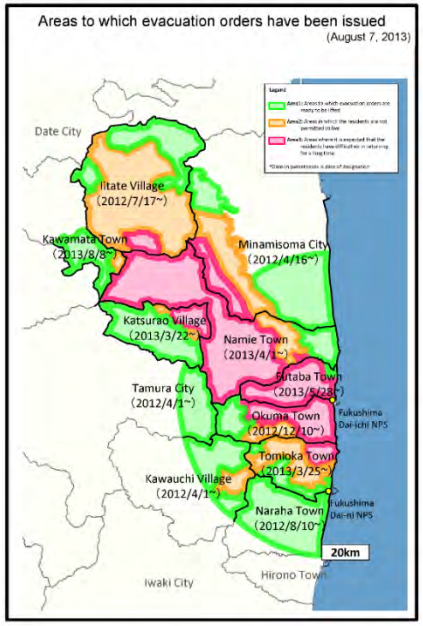
※EPZ（防災対策を重点的に充実すべき地域の範囲：10km）

航空機モニタリング結果の公開と反映

モニタリングの結果は
規制庁・JAEA の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





例: 事故2年後 (2013.03.11)

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

事故直後の測定例（ヨウ素）

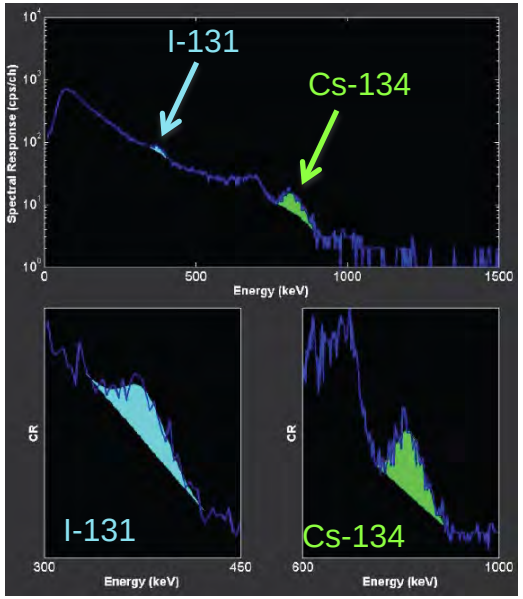
ENHANCED ANALYSIS METHODS TO DERIVE THE SPATIAL DISTRIBUTION OF ^{131}I DEPOSITION ON THE GROUND BY AIRBORNE SURVEYS AT AN EARLY STAGE AFTER THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Tatsuo Torii,* Takeshi Sugita,*† Colin E. Okada,‡ Michael S. Reed,‡ and Daniel J. Blumenthal §

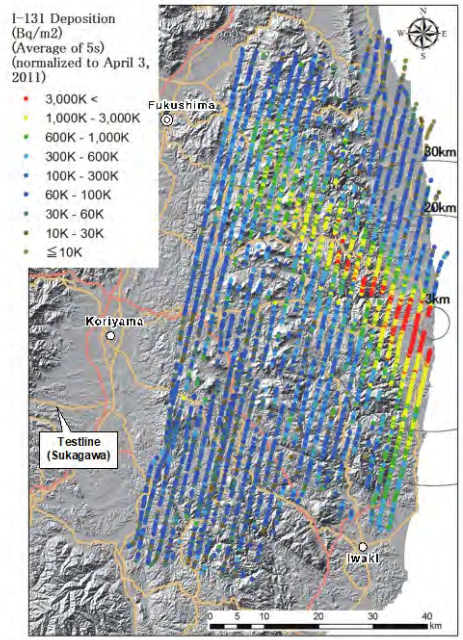
Health Phys. 105(2):192-200; 2013

Aircraft used by DOE for monitoring

Radiation Detector on the Aircraft



Extracting iodine-131peak and cesium-134 peak from spectra



A result of iodine-131 measured on April 2 and 3

事故直後の解析（汚染水の分布）

Distribution of radionuclides in surface seawater obtained by an aerial radiological survey
Yayoi Inomata, Michio Aoyama, Katsumi Hirose, Yukihisa Sanada, Tatsuo Torii, Takaki Tsubono, Daisuke Tsumune and Masatoshi Yamada, J Nucl Sci Technol 51(9-10) 1059-1063 2014

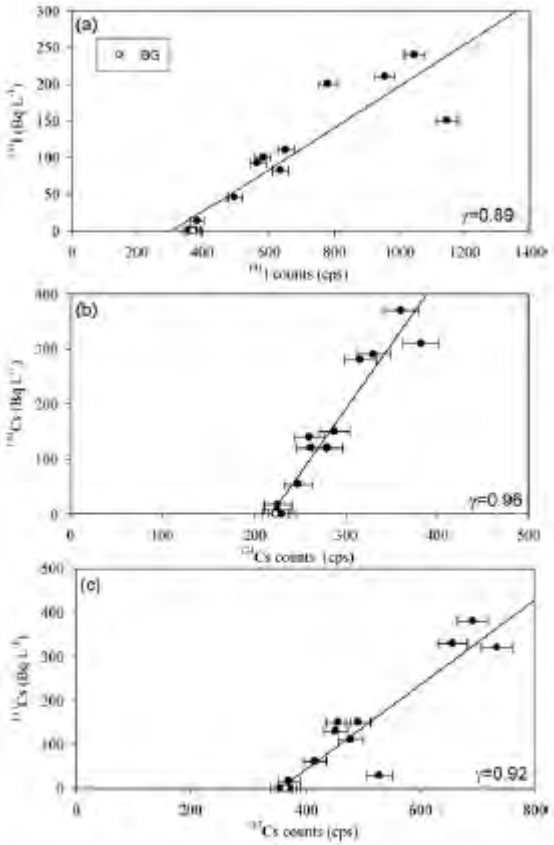


Figure 1. Relationship between gamma-ray count rates by aerial radiological survey and *in-situ* measurement of (a) ^{131}I, (b) ^{134}Cs, and (c) ^{137}Cs activities in surface seawater. White circle is the peak count rate in the background region.

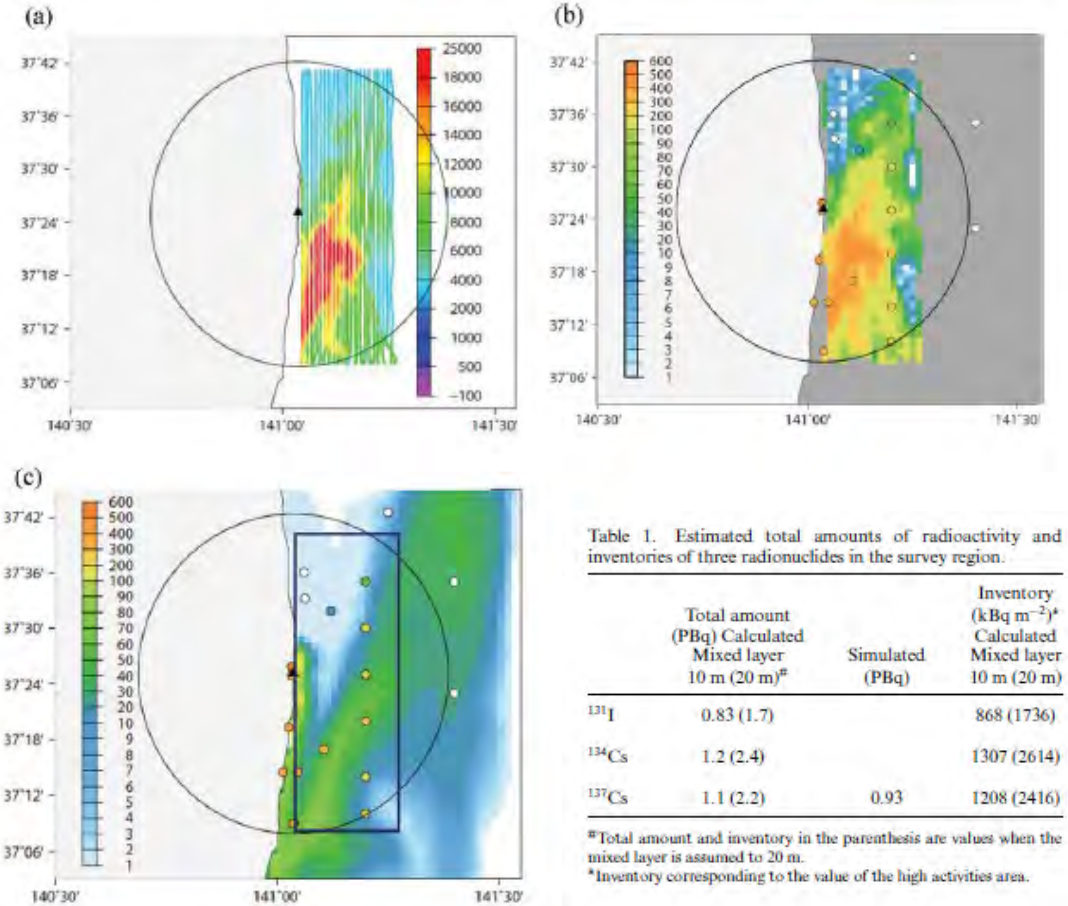


Table 1. Estimated total amounts of radioactivity and inventories of three radionuclides in the survey region.

	Total amount (PBq) Calculated Mixed layer 10 m (20 m)#	Simulated (PBq)	Inventory (kBq m^{-2})* Calculated Mixed layer 10 m (20 m)
^{131}I	0.83 (1.7)		868 (1736)
^{134}Cs	1.2 (2.4)		1307 (2614)
^{137}Cs	1.1 (2.2)	0.93	1208 (2416)

#Total amount and inventory in the parenthesis are values when the mixed layer is assumed to 20 m.
*Inventory corresponding to the value of the high activities area.

Figure 2. Distribution of (a) gamma-ray count rates (cps) from aerial radiological survey, (b) calculated ^{137}Cs activities (Bq L^{-1}), and (c) simulated ^{137}Cs activities (Bq L^{-1}) over surface seawater near the FNPP1 on 18 April 2011. The radius of the circle centered at the FNPP1 (triangle) is 30 km; the black rectangle shows the aerial radiological survey region and small circles are *in-situ* sampling points.

原子力防災への適用

☆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

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

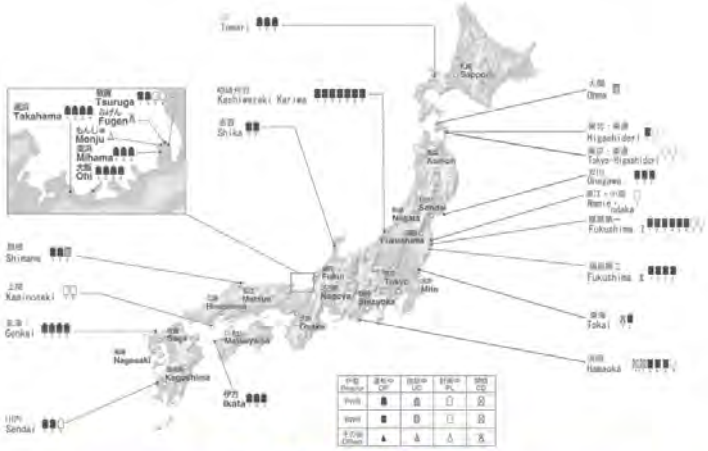
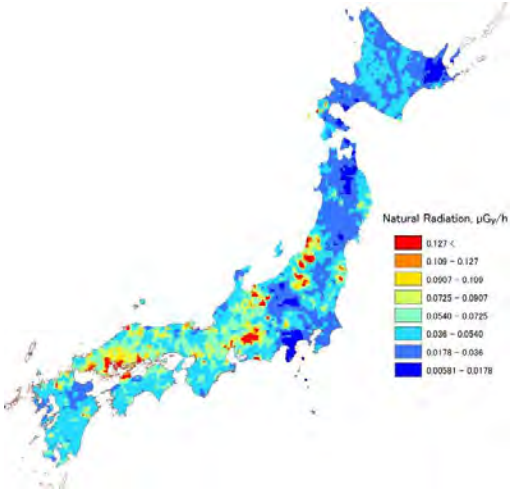


図1 原子力発電所の分布地図

[出典](社)日本原子力産業協会(編集・発行):世界の原子力発電開発の動向2011年次報告 (2011年1月)、p.55



講義内容

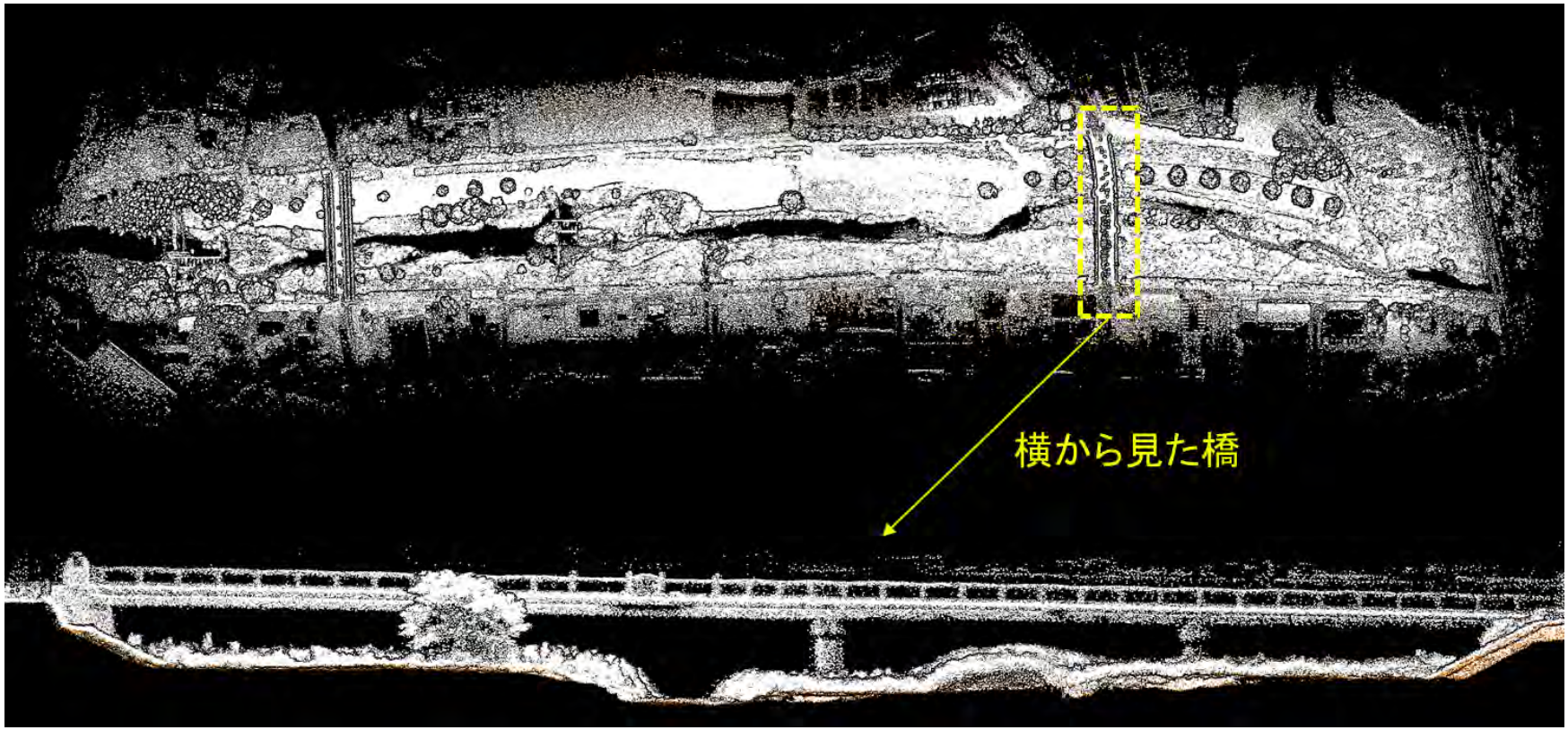
- 紹介
- 測定の基本的な考え方
- 上空からの測定技術
  - 有人ヘリコプターによるモニタリング
  - 無人ヘリコプターによるモニタリング
- 水底の測定技術
  - プラスチックシンチレーションファイバ
  - 無人機によるモニタリング

無人ヘリコプターによる遠隔モニタリング

《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）ー除染前後、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

3D-LiDARによる地形計測



無人ヘリコプターの特徴

測定は高度10～120m程度、速度1～10m/s、測線幅10～100m程度で実施。
上空で測定された値は、測定高度を用いて地上1mの高さ線量に換算される。
防災時の測定ツールとして使用できるよう、通信距離の長距離化等の開発を
現在進めている。

無人ヘリコプター
（ヤマハ発動機：FAZER-R G2）

- サイズ（機体）：W720×D2750×H1220mm
- 重量：100kg未満
- ペイロード：最大30kg
- 最高速度：72km/h（20m/s）　測定速度：1m/s～10m/s
- 燃料タンク容量：12L
- 連続飛行時間：約120分
- 飛行範囲：基地局から半径3km
- 制御信号途絶時に自動帰還可能

放射線（γ線）の測定

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ー）

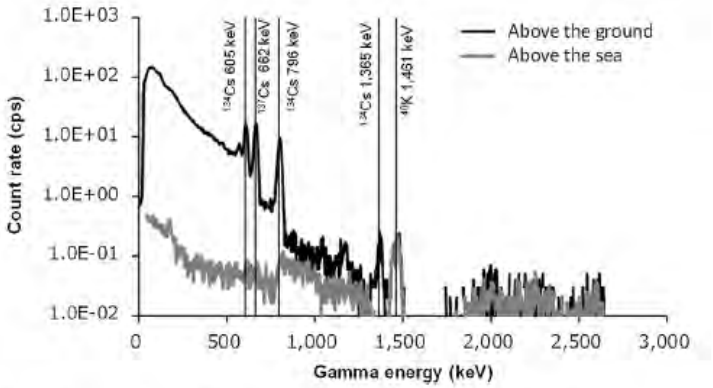
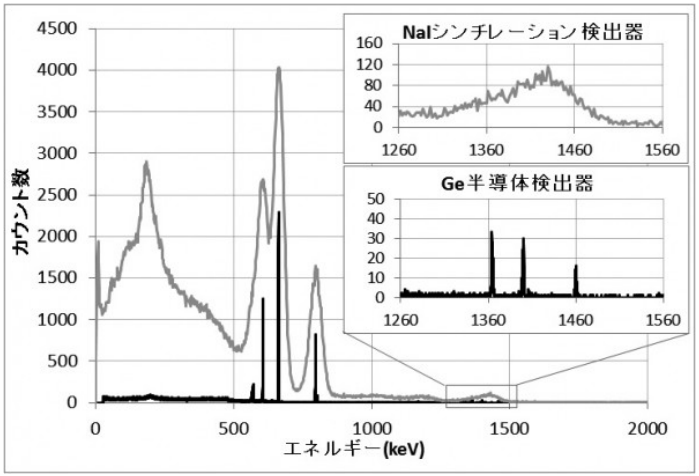
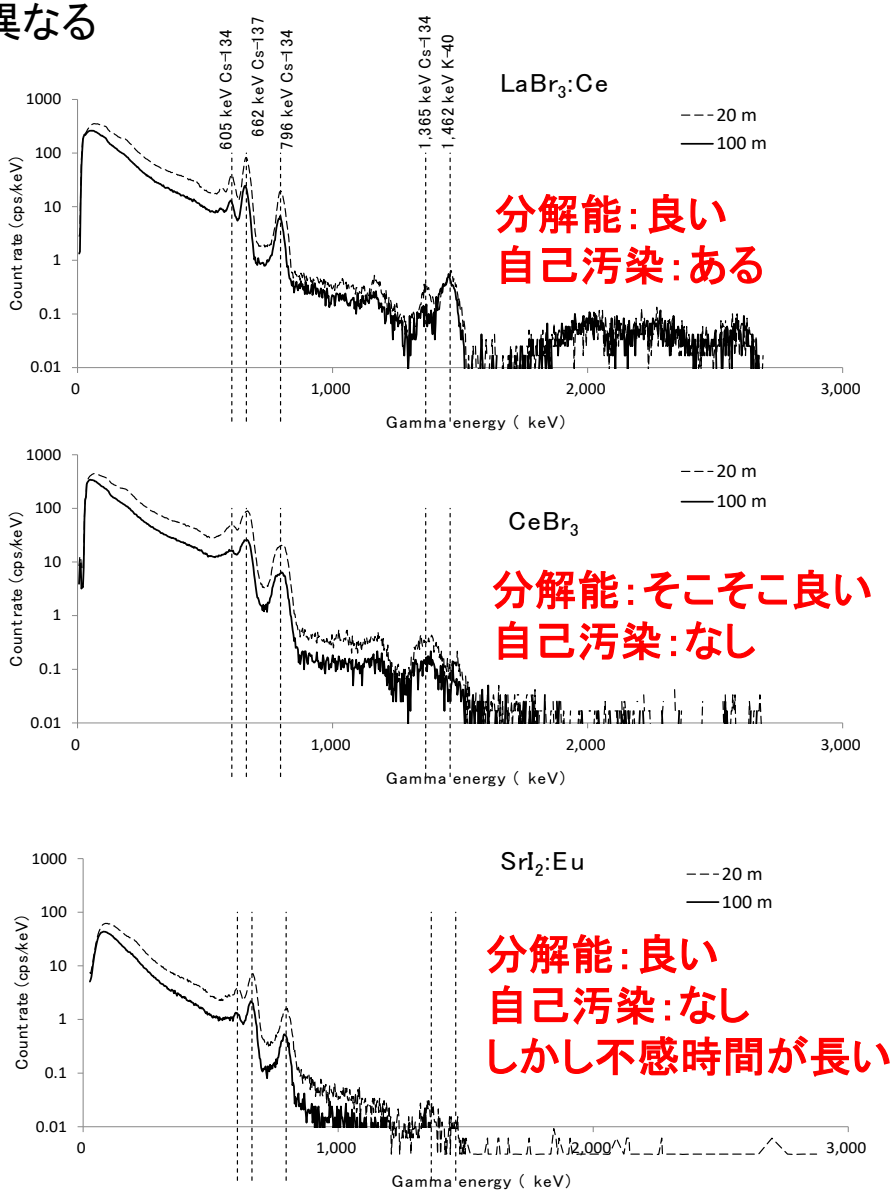


Fig. 1. Gamma spectra of the ARMS (three $LaBr_3$:Ce detectors) above the ground and above the sea in Futaba-machi, 5 km from the FDNPP. Measurement time was 100 s. Measurement date was 22 December 2012.

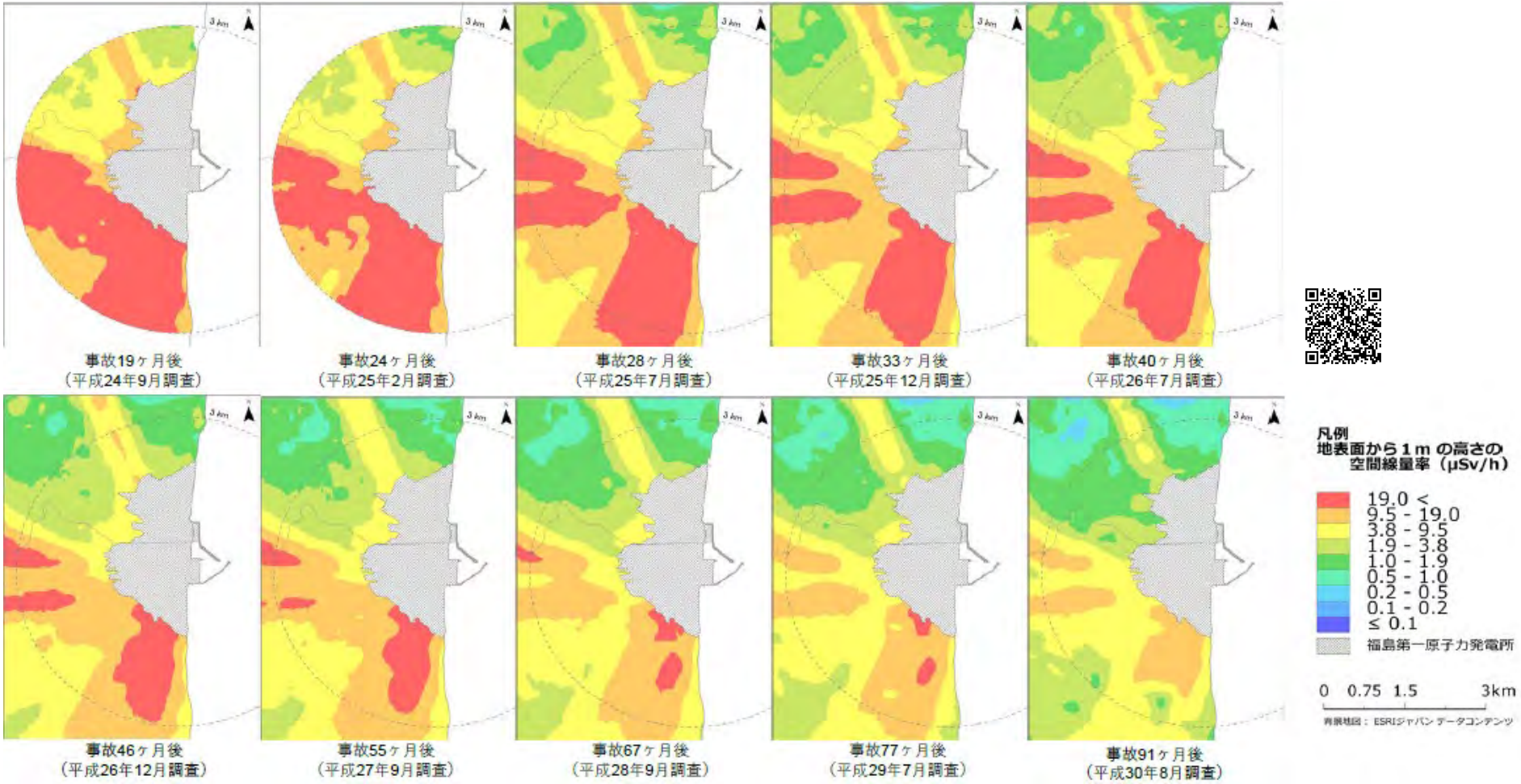


http://www.cnic.jp/5219より

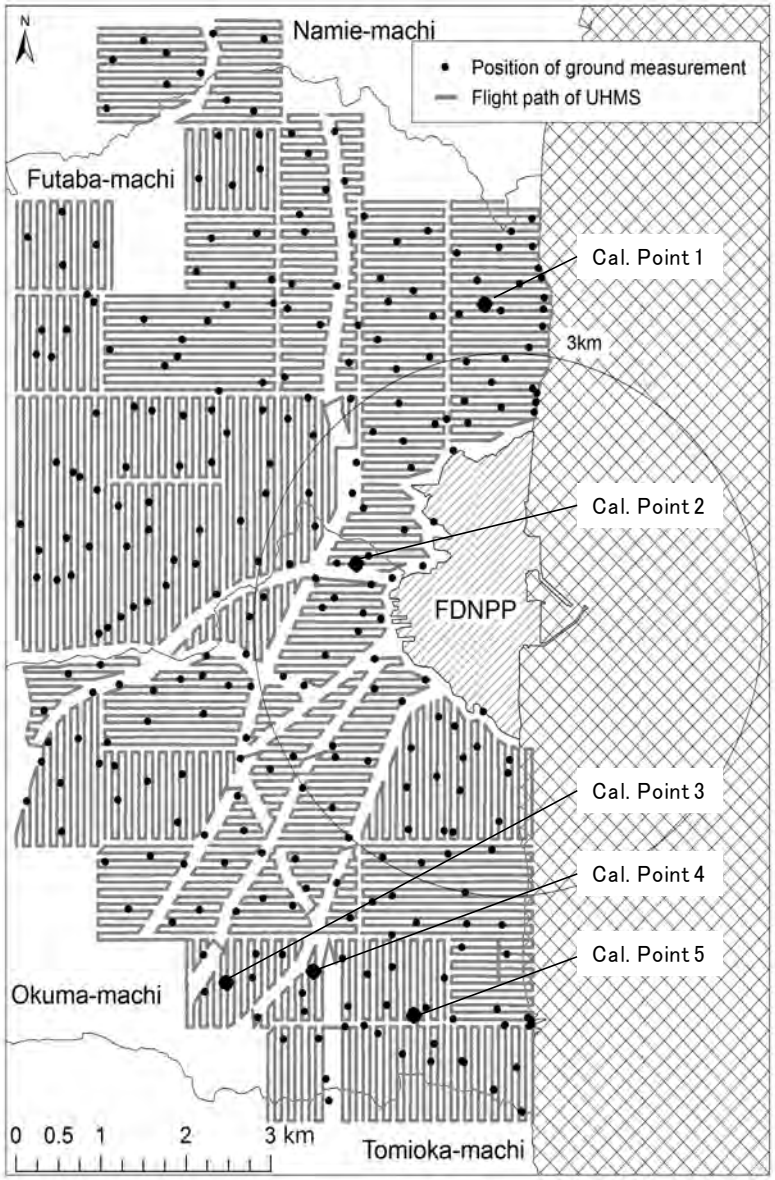


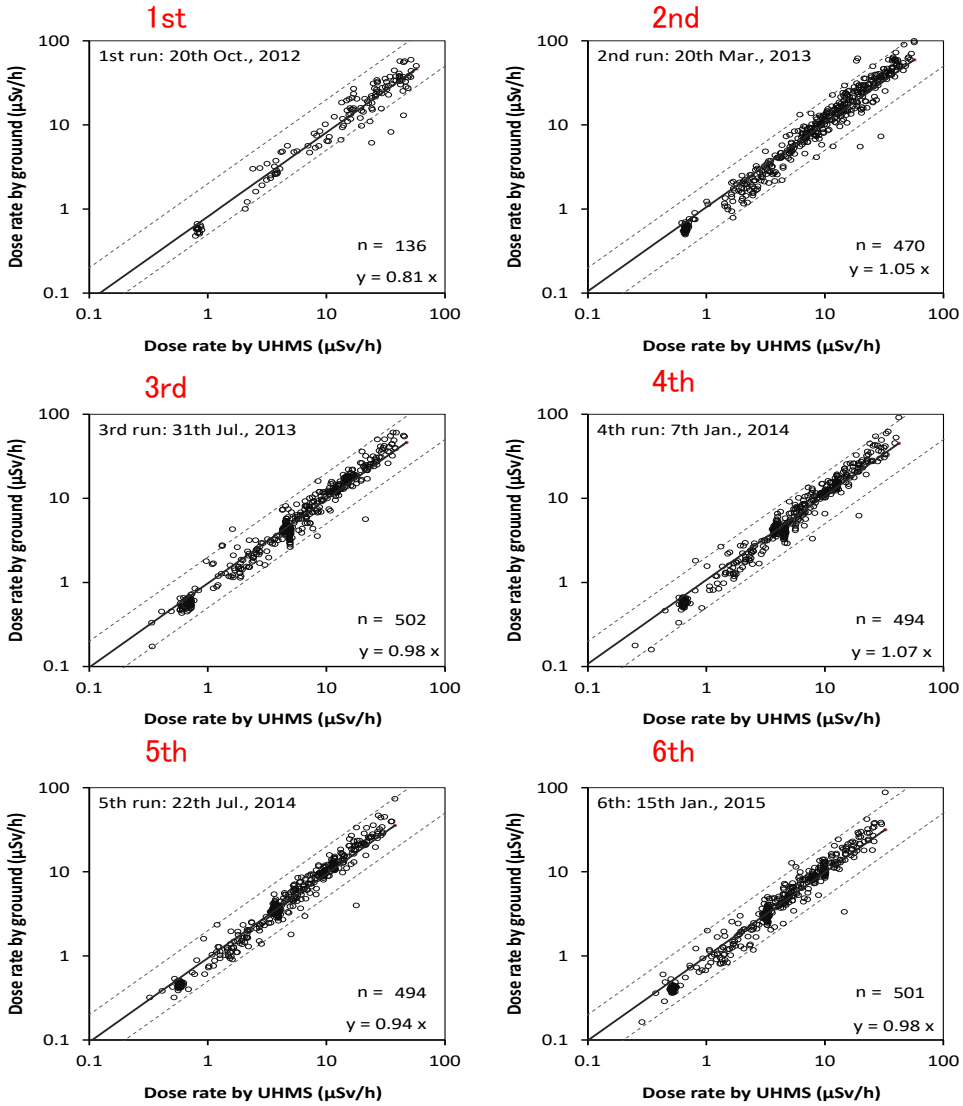
サイト内から5 km圏内の測定

無人ヘリコプターによる発電所から半径5km圏内の空間線量率の分布



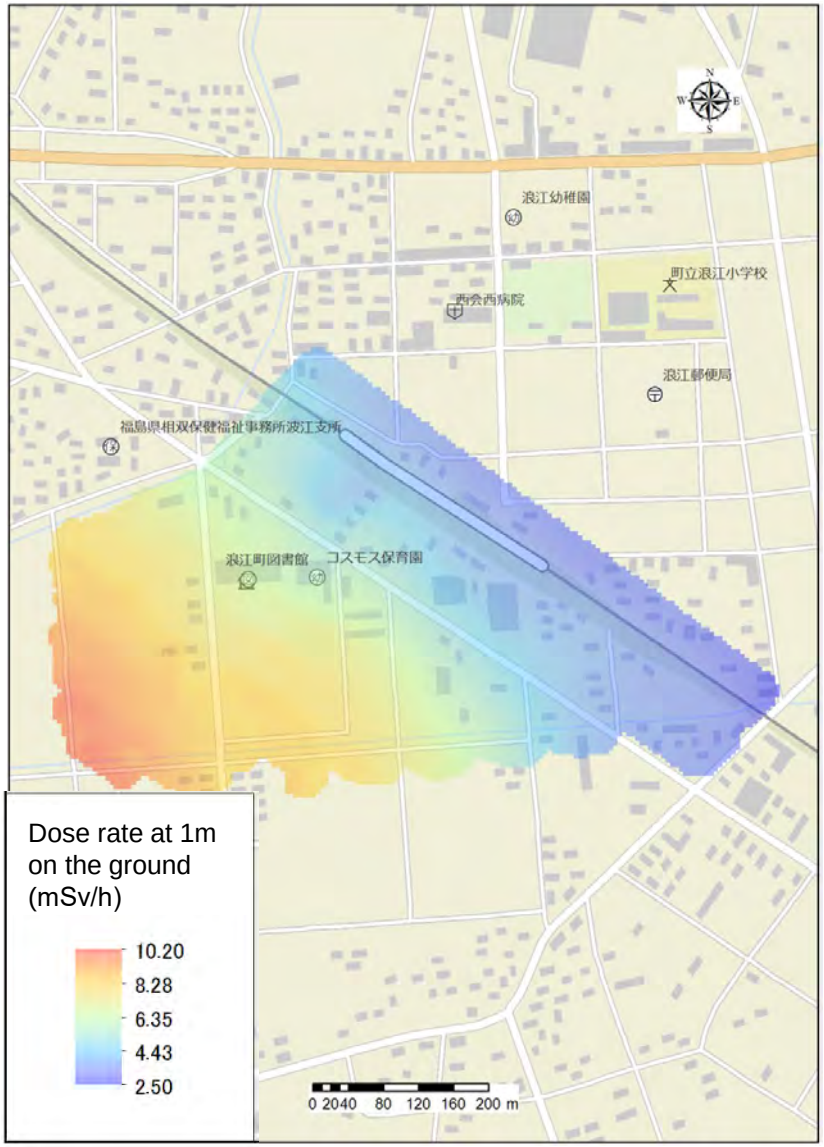
無人ヘリの妥当性


N
Namie-machi
Position of ground measurement
Flight path of UHMS
Futaba-machi
Cal. Point 1
3km
Cal. Point 2
FDNPP
Cal. Point 3
Cal. Point 4
Cal. Point 5
Okuma-machi
0 0.5 1 2 3 km
Tomioka-machi

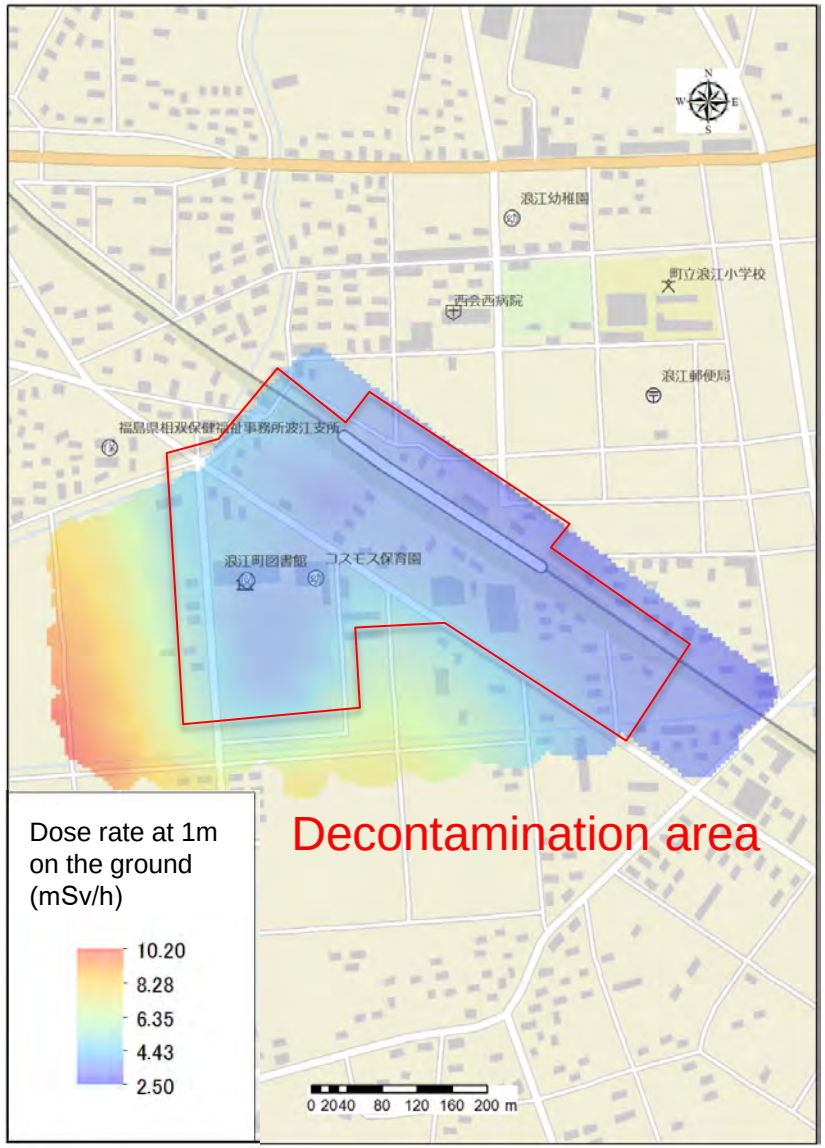

1st
1st run: 20th Oct., 2012
n = 136
y = 0.81 x
2nd
2nd run: 20th Mar., 2013
n = 470
y = 1.05 x
3rd
3rd run: 31th Jul., 2013
n = 502
y = 0.98 x
4th
4th run: 7th Jan., 2014
n = 494
y = 1.07 x
5th
5th run: 22th Jul., 2014
n = 494
y = 0.94 x
6th
6th: 15th Jan., 2015
n = 501
y = 0.98 x
Dose rate by grouund (μSv/h)
Dose rate by UHMS (μSv/h)
0.1
1
10
100

除染効果の確認

Before

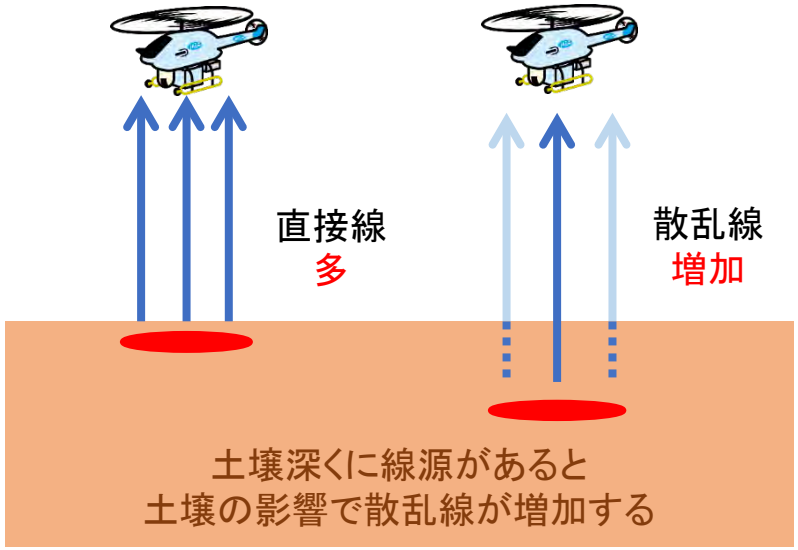


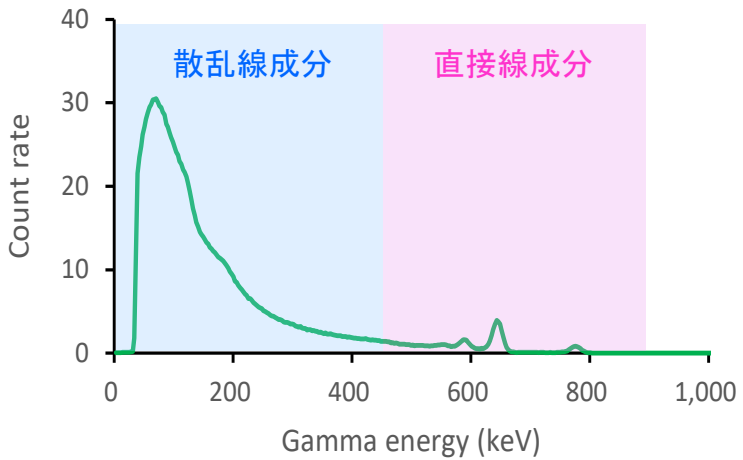
After



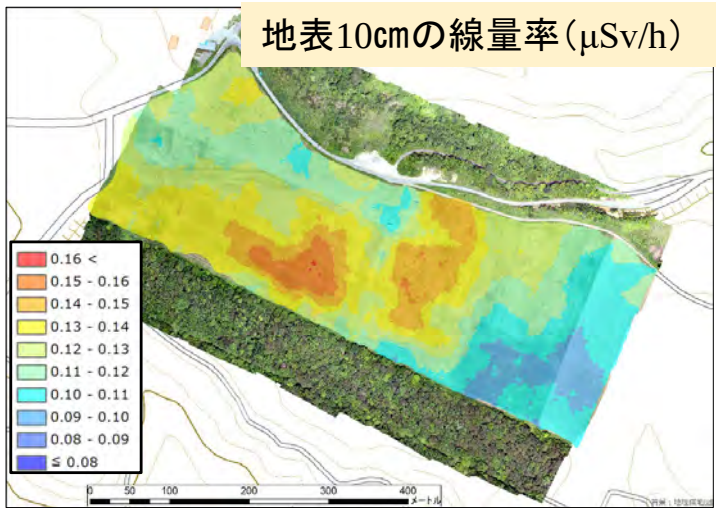
土壌中放射性セシウムの深度分布推定技術

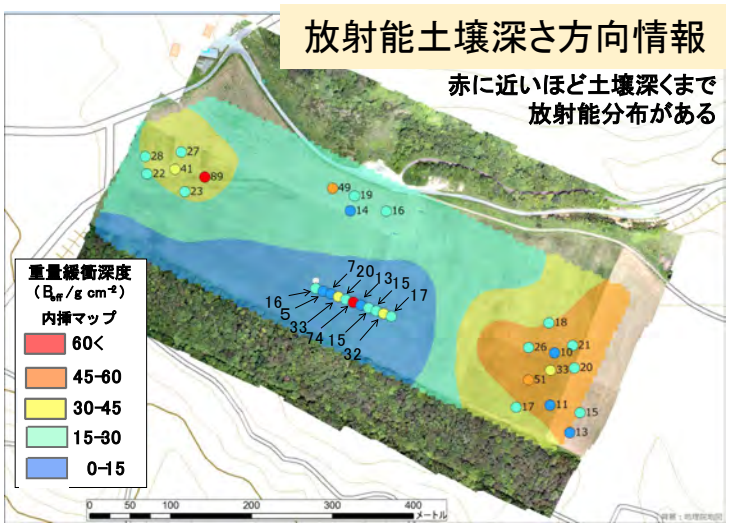
土壌深度とγ線スペクトルの関係



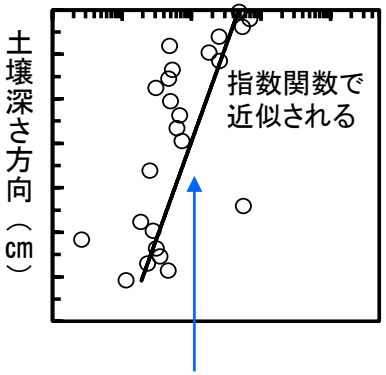


散乱線と直接線の比から
土壌深さ分布のパラメータを作成



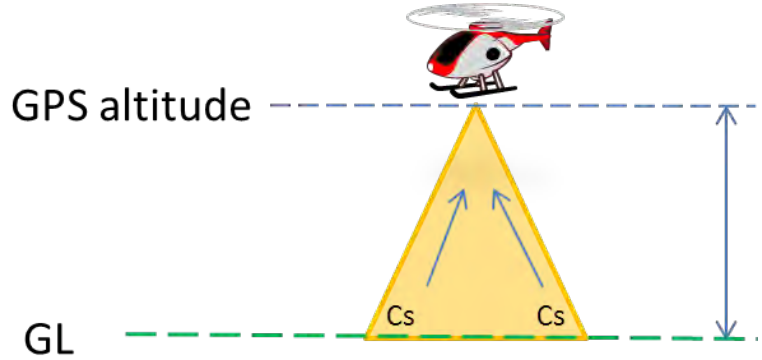


土壌の放射能（Bq kg^{-1}）



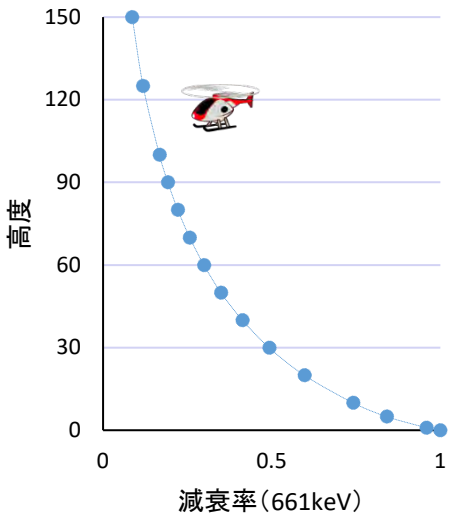
傾きが大きいほど
深く放射能が入っている

換算方法



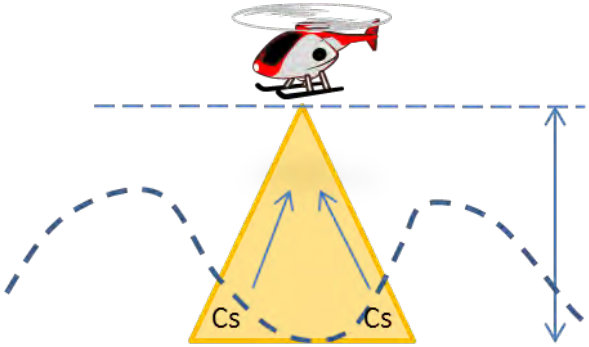
平面・線源均一の
モデルを仮定して換算

測定高度から減衰率を算出し、
地上値へ換算

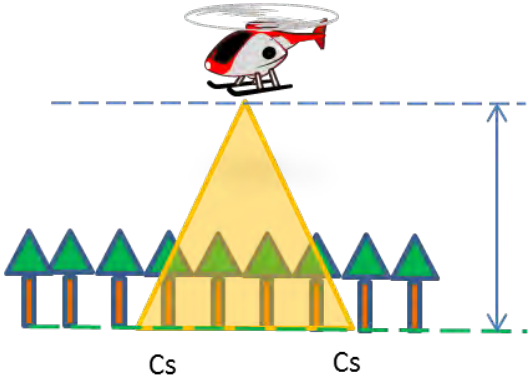


実際は…

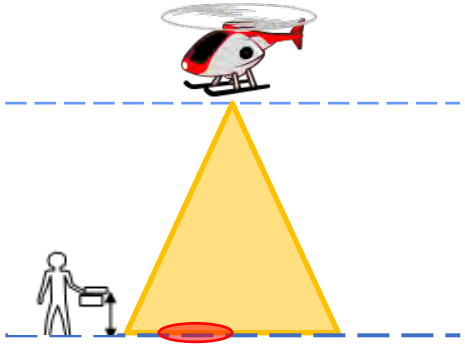
これらの影響を受けることで、地上測定値と上空測定値の間にのズレが生じる



地形の凹凸



遮蔽物（樹木等）



線量の分布

技術開発要素

➢ 遠くからの測定でより詳しい放射線源の分布を知りたい

新たな換算手法による三次元的な分布の推定

STEP-1

逆問題解析
パラメータを用いて
測定値から最適化する

パラメータ作成が必要

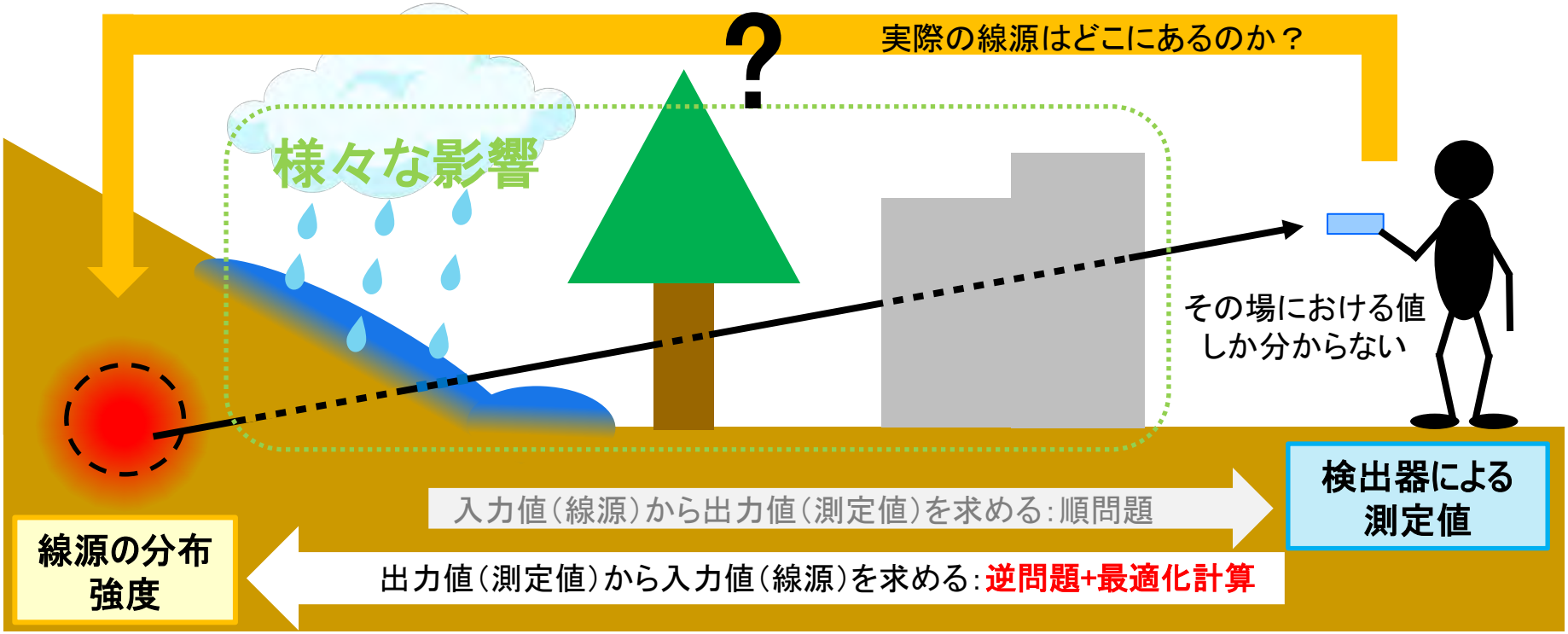
STEP-2

機械学習
多くの測定データで
学習し推定する

パラメータ作成の自動化

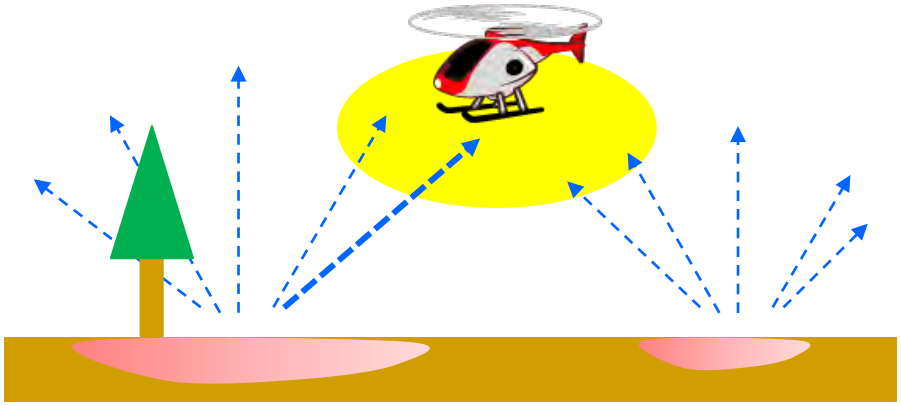
将来目標

**リアルタイムでの
分布の可視化**
放射線測定の高精度化
被ばく評価、防災ツール



逆問題解析と機械学習

逆問題解析による換算



放射線が「何によって」「どのくらい」
遮蔽され検出器まで来るのかを
一つひとつ**理論的**に計算する

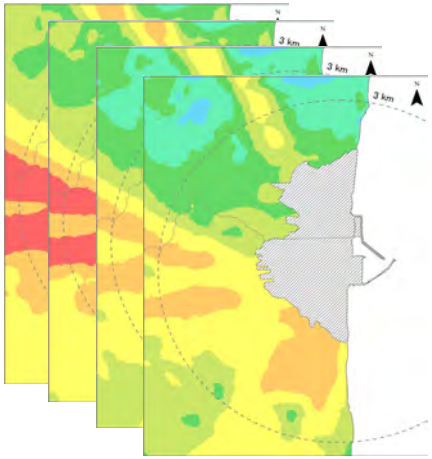
パラメータを増やすことで、換算精度の向上は期待できるが、多くのパラメータの作成には大きな労力が必要

パラメータは手動で作成

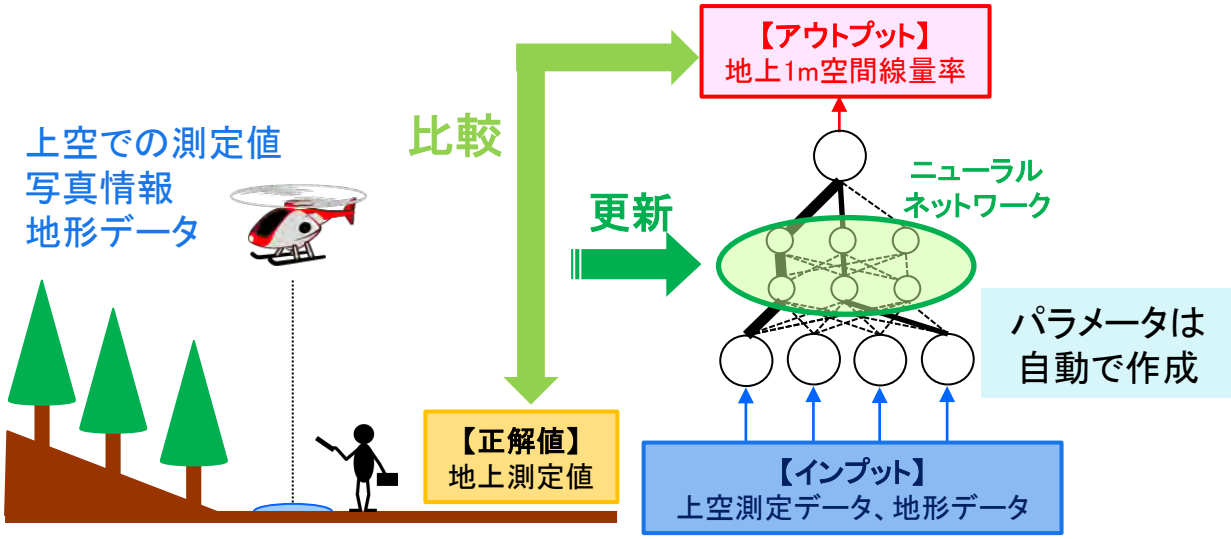
機械学習を用いた換算

統計的に得られたパラメータを用いて
多くの測定経験値より換算を行う

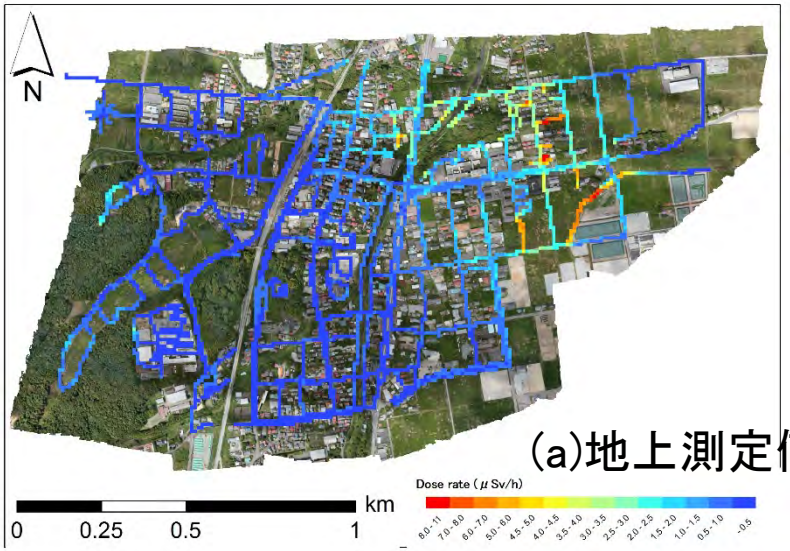
福島の環境における測定の経験



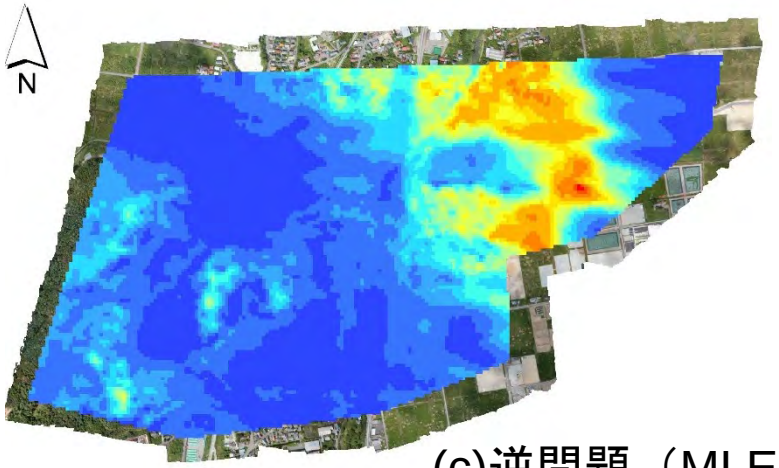
ビッグデータ



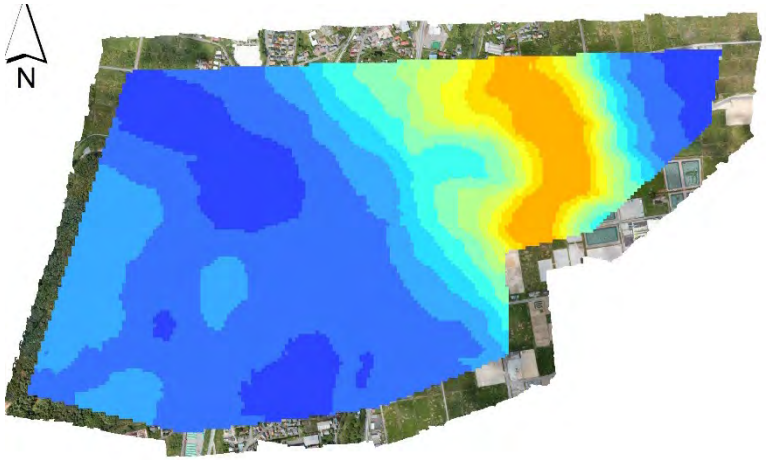
各換算手法を用いた上空からの測定値換算結果



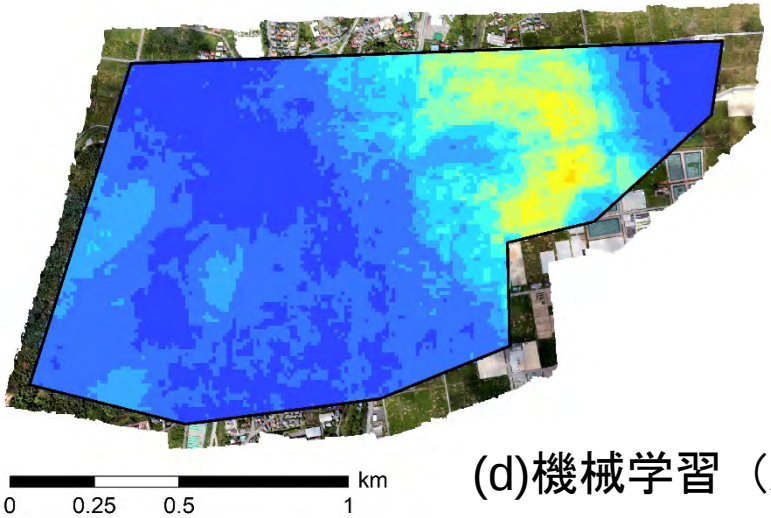
(a)地上測定値



(c)逆問題（MLEM）



(b)従来法（FSM）



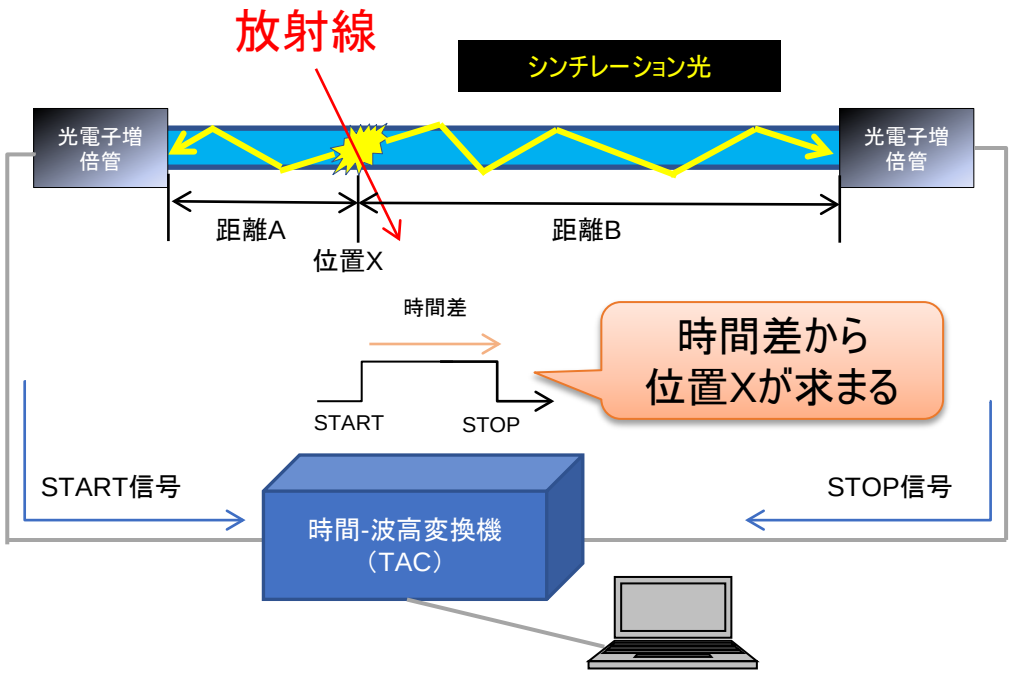
(d)機械学習（ANN）

※ArcGISを用いて作成(Environmental Systems Research Institute Inc., California, USA)

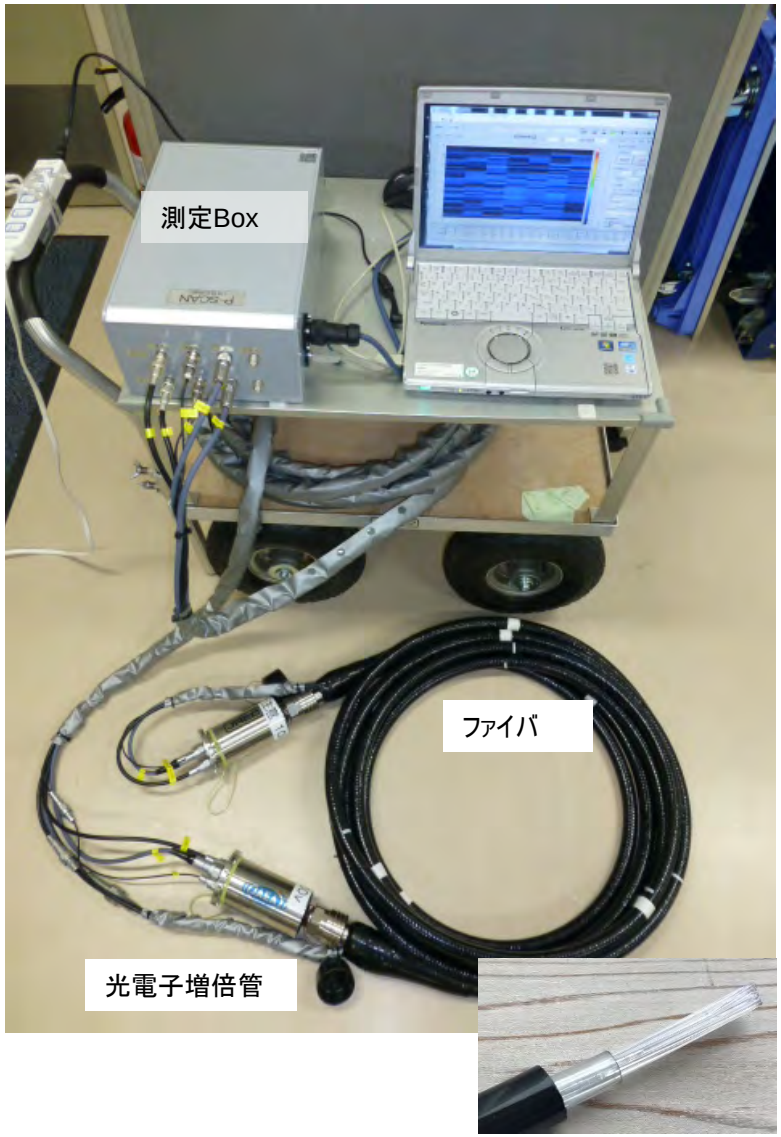
講義内容

- 紹介
- 測定の基本的な考え方
- 上空からの測定技術
  - 有人ヘリコプターによるモニタリング
  - 無人ヘリコプターによるモニタリング
  - 新たな放射線計測技術の展望
- 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
  - 無人機によるモニタリング

プラスチックシンチレーションファイバー(PSF)



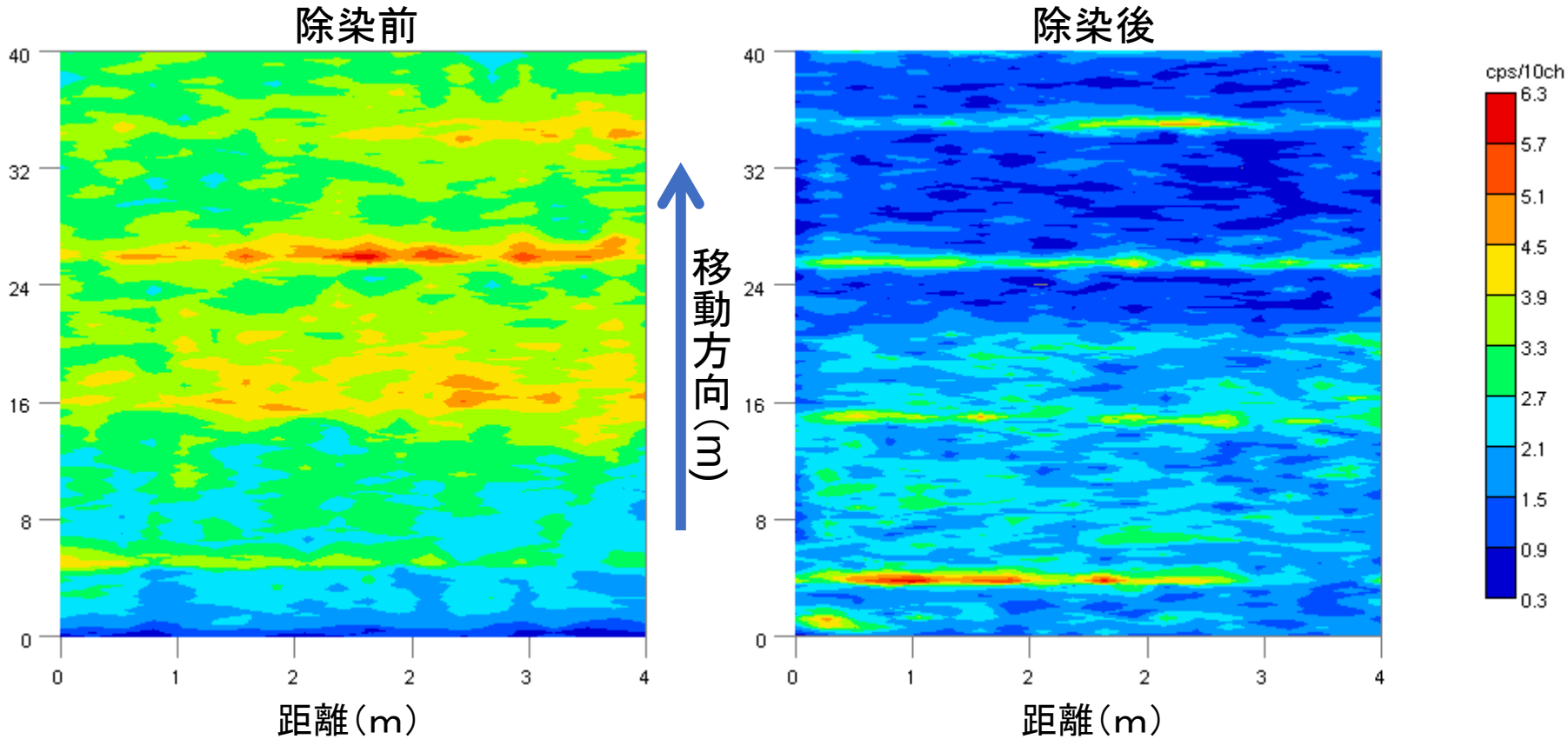
特徴
検出器の長さ:5m－100m
位置分解能:40cm(10m)

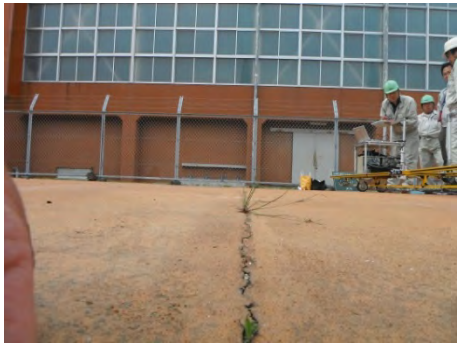


（これまで）陸上で放射能分布の測定に使用

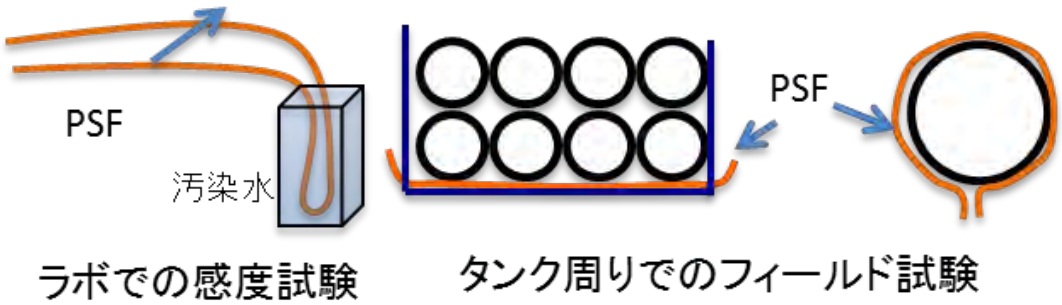
➡ PSFの耐水性を利用し、水中測定に使用

PSF測定例）学校のプールサイドにおける除染試験



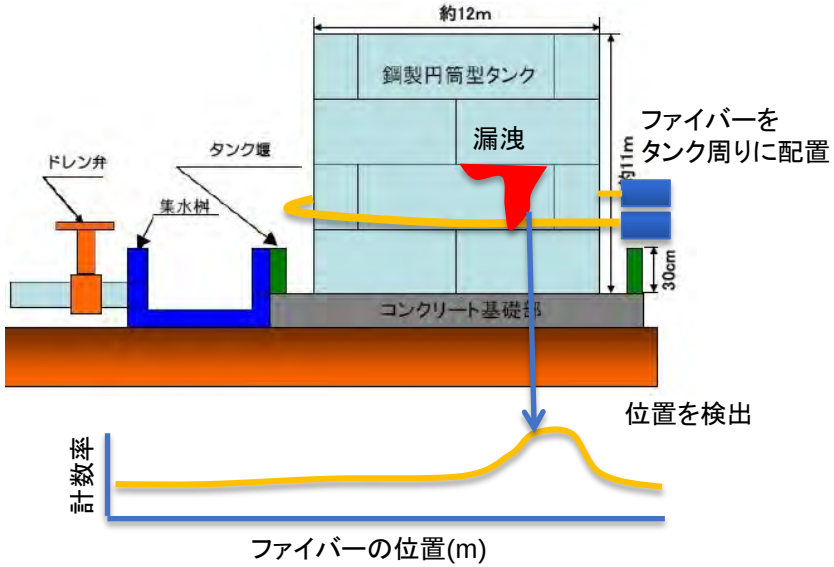


汚染水タンクへの適用

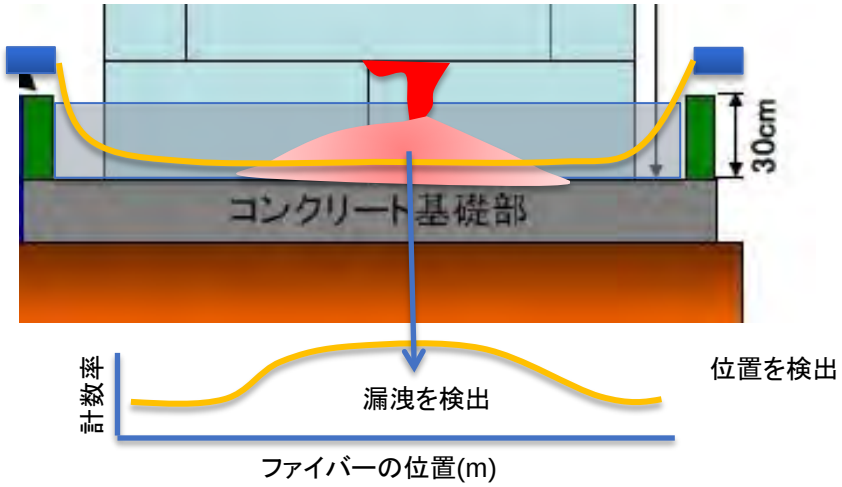


【活用案】

○ 案1:タンク周りでの迅速漏洩検知



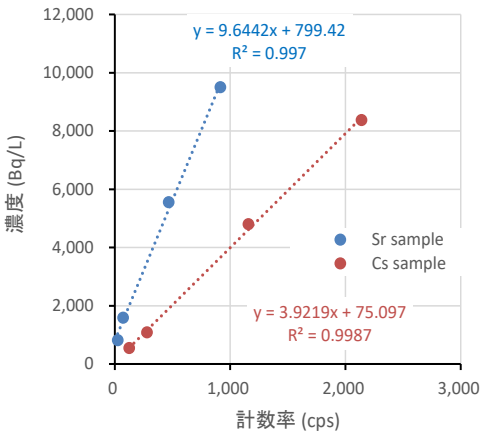
○ 案2: 堰内雨水中の漏洩検知



汚染水の漏洩監視としての応用

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
- 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

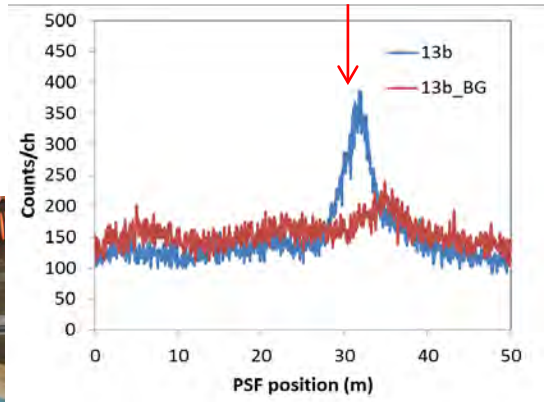


汚染水を用いて濃度直線性確認

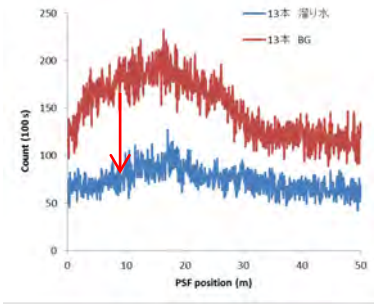
タンク周りでのフィールド試験

- 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

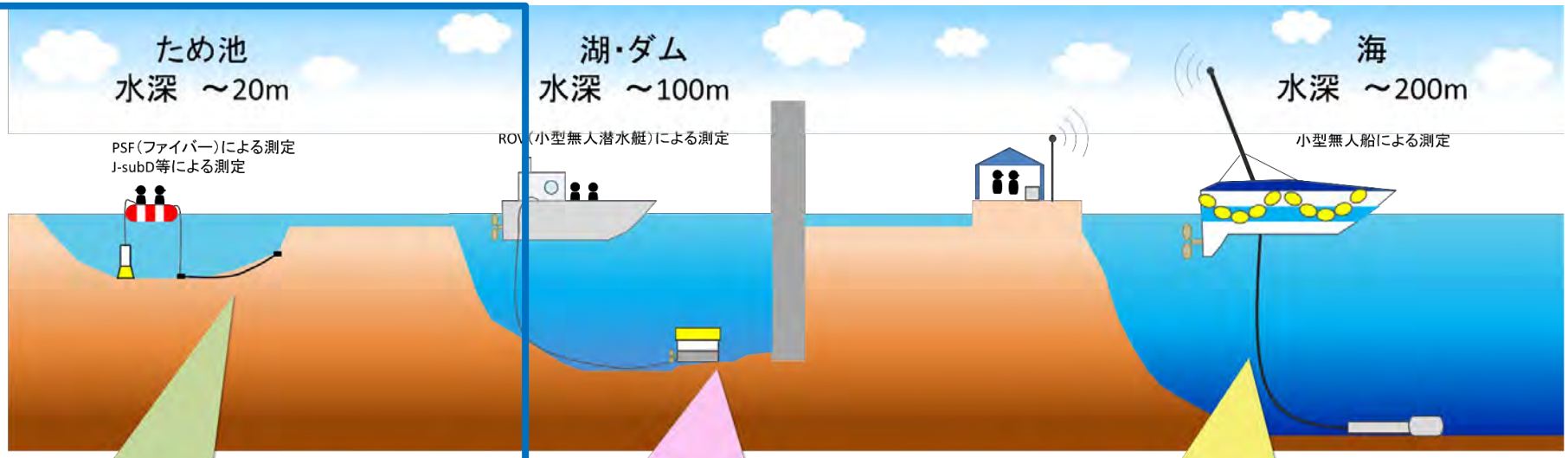
＊汚染水への接触部分の計数率が上昇



＊雨水に接触後、計数率減少



水底の広域な測定技術



プラスチックシンチレーションファイバー

ロープ状の検出器。水底に這わせて測定する。検出部が柔らかいことから、測定対象に沿って配置可能。ため池の水底放射線分布測定や、東京電力福島第1原子力発電所の汚染水管理等にも使用されている。

小型無人潜水機（ROV）

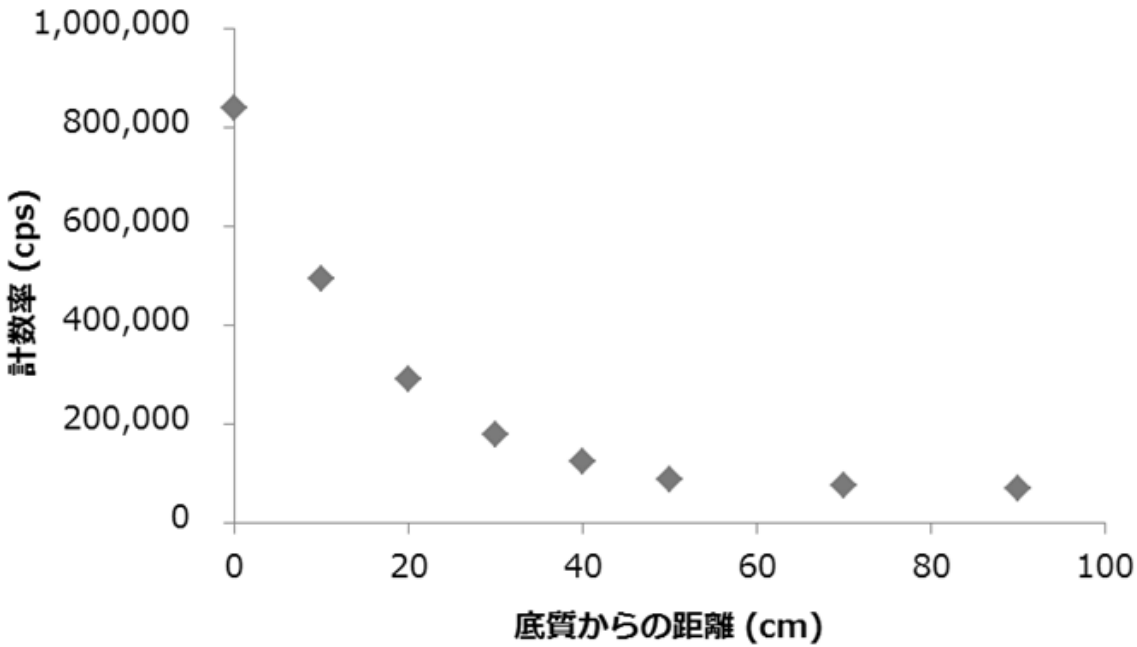
遠隔操作型の無人潜水機。下部に放射線検出器を取り付けている。遠隔操縦で水底まで潜らせ、放射線を測定する。水深100m程まで潜ることができ、湖やダムなどPSFでは測定が困難な水深の深い場所を測定できる。

無人観測船

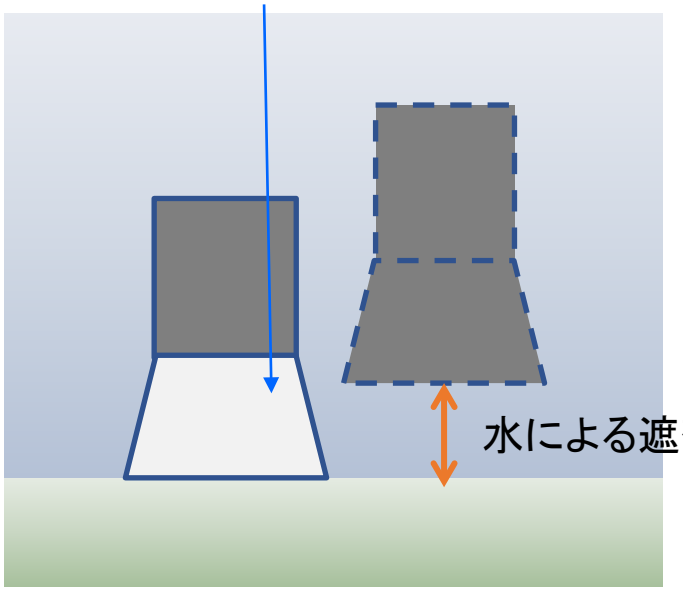
遠隔操縦型の無人船。下部に放射線検出器を取り付けており、それを海底に下ろすことで水底の放射線を測定する。航続時間最大240時間で、基地局から約5kmの範囲で操縦可能であり、広範囲の海底放射線分布を測定することが可能。

水中での放射線測定

水中での実測例



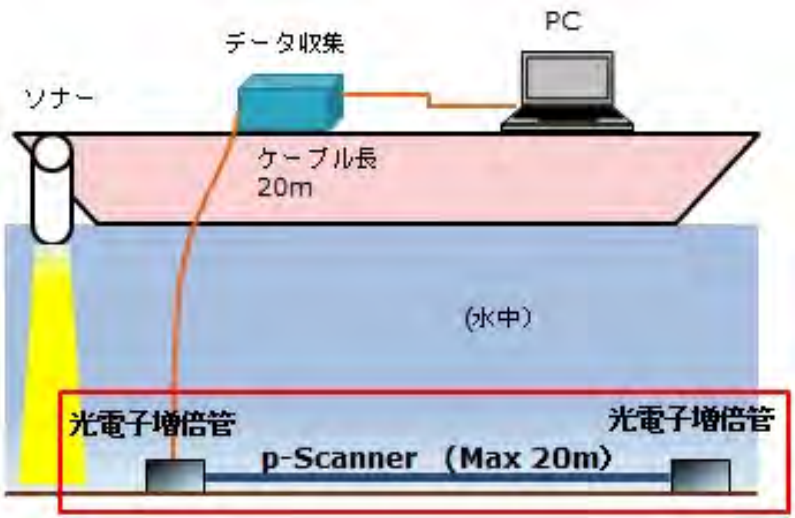
中に空洞を作ることで
放射線の飛程を伸ばす



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

水底測定用の機器

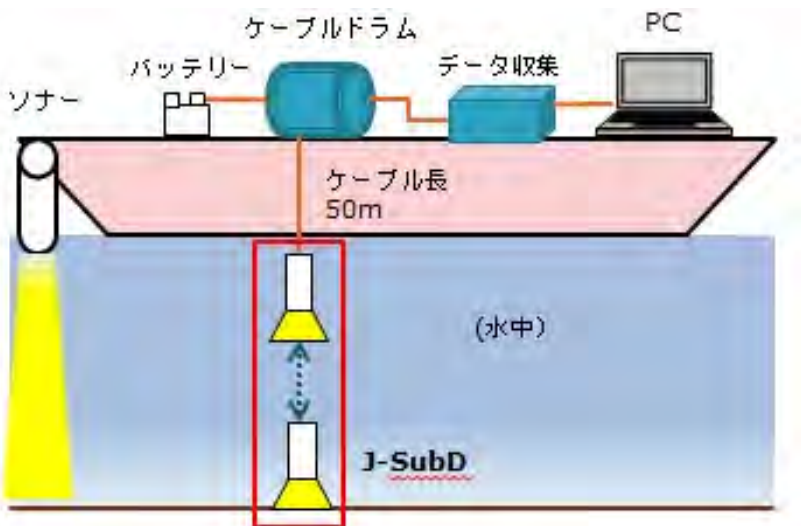
・線測定用機器(p-Scanner)



- 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

広範囲を測定できるが
取得できるのは計数率のみ

・点測定用機器(J-SubD)



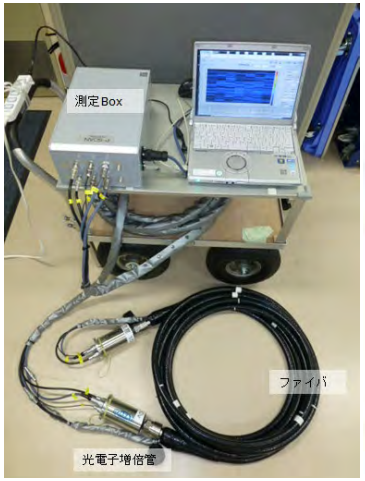
- 検出部に $LaBr_3$(Ce)シンチレーターを使用
- スペクトル分析が可能
- 検出器の応答特性を計算コードを用いて解析し、実際の水底の状況を模擬した評価が可能

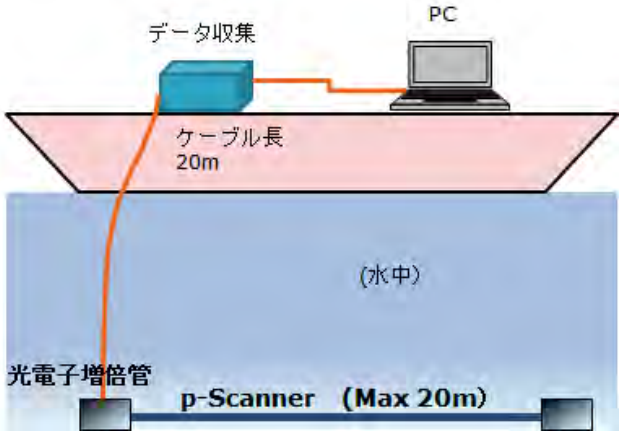
スペクトルを取得できる
スポット的な測定のみ

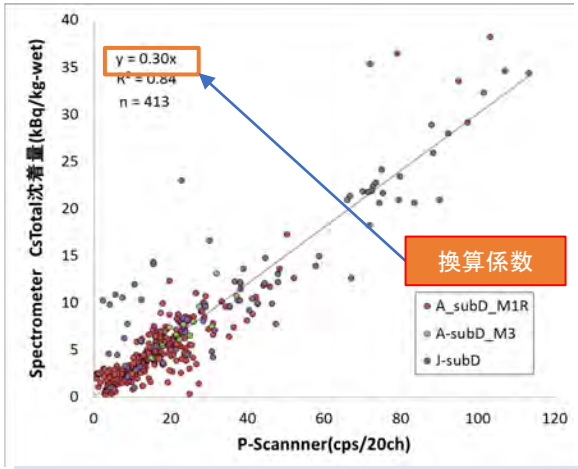
両者を併用することで、水底の放射性物質濃度のマップ化

計数率から放射能への換算

PSF

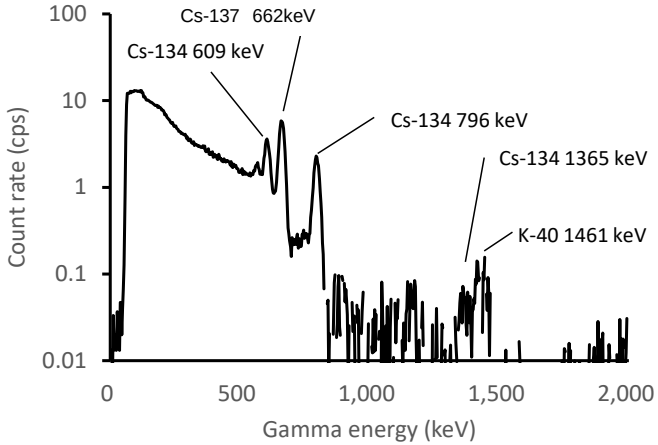


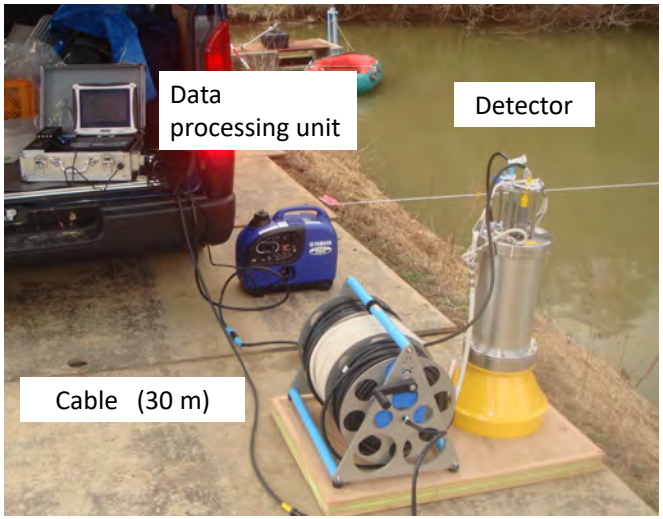


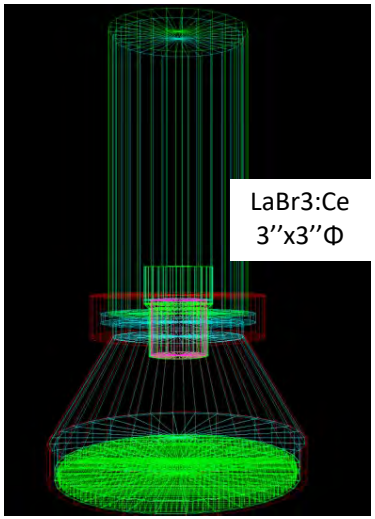


モンテカルロコードEGS5を用いた水底スペクトロメータの値を元にPSFのカウントを放射能に換算する係数を求める

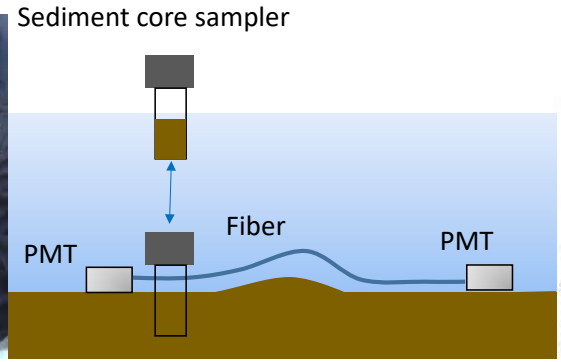
水底スペクトロメータ(3 in x 3 in: $Labr_3$(Ce))

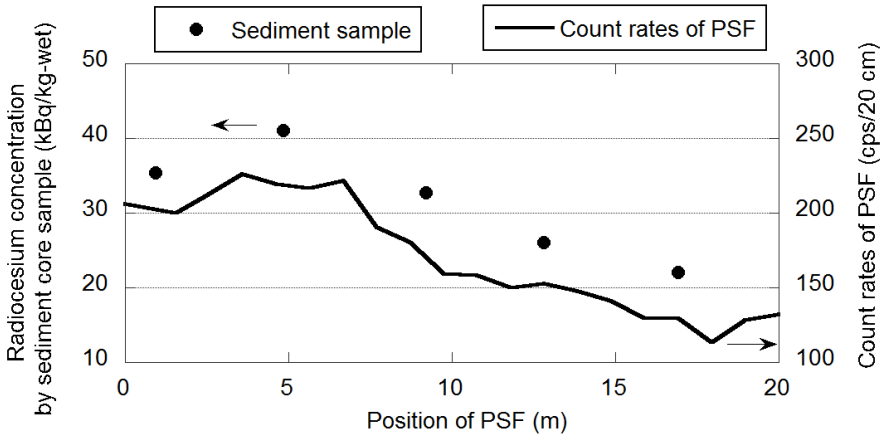




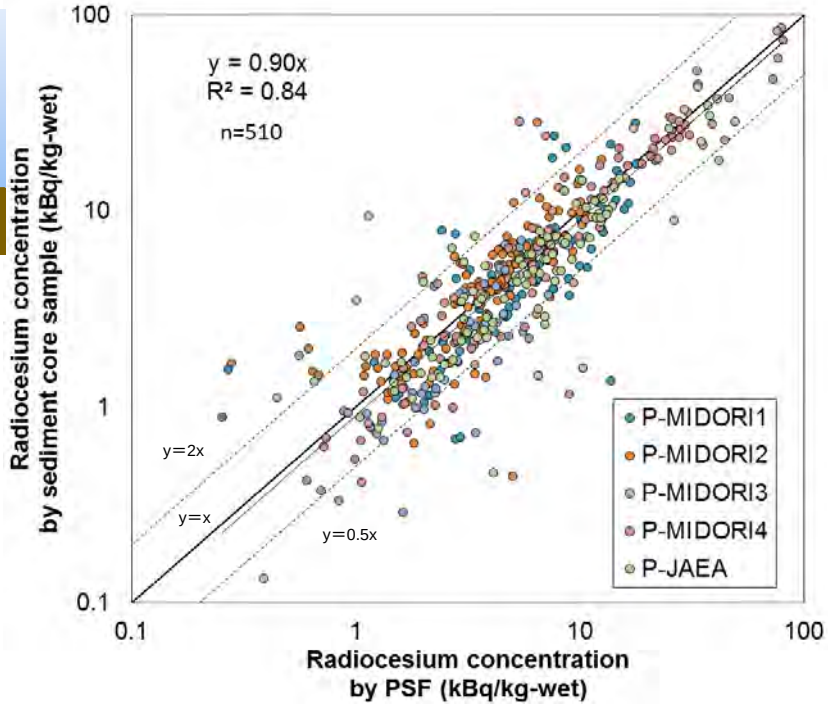


PSFと堆積物の濃度比較





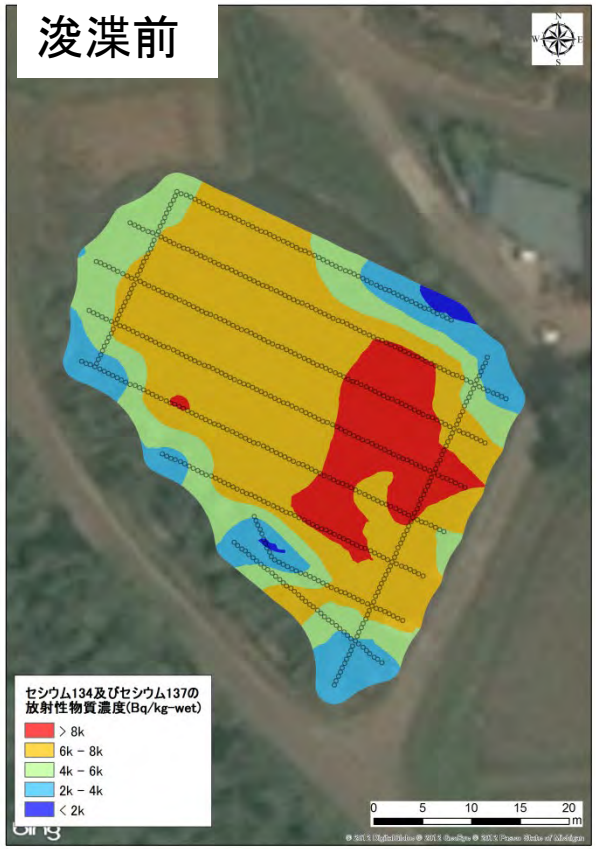
PSF換算濃度 と堆積物サンプル

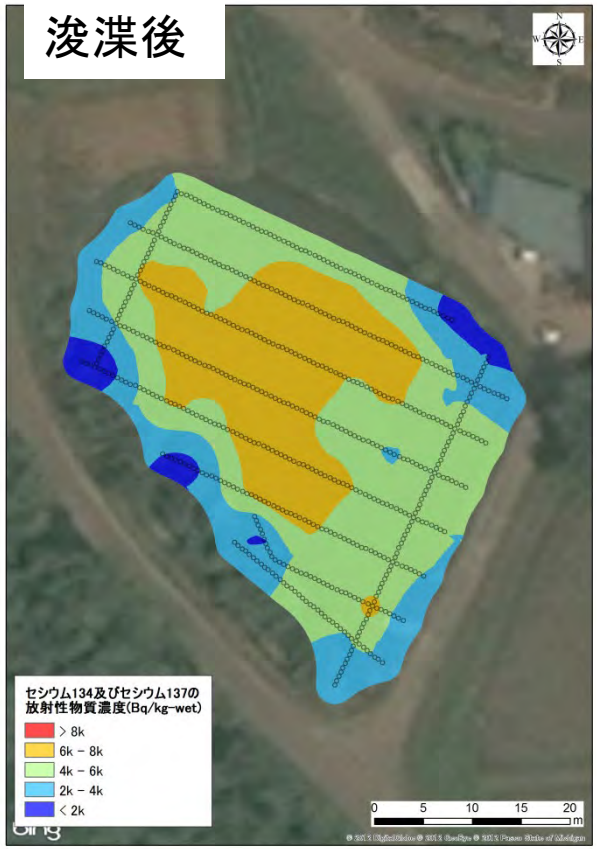


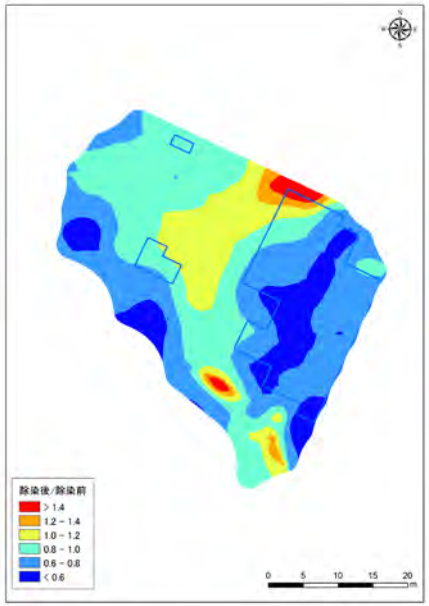
・PSFの推定濃度と堆積物のコア試料とも良い相関がみられる。

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

ため池での放射能測定結果例







: 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

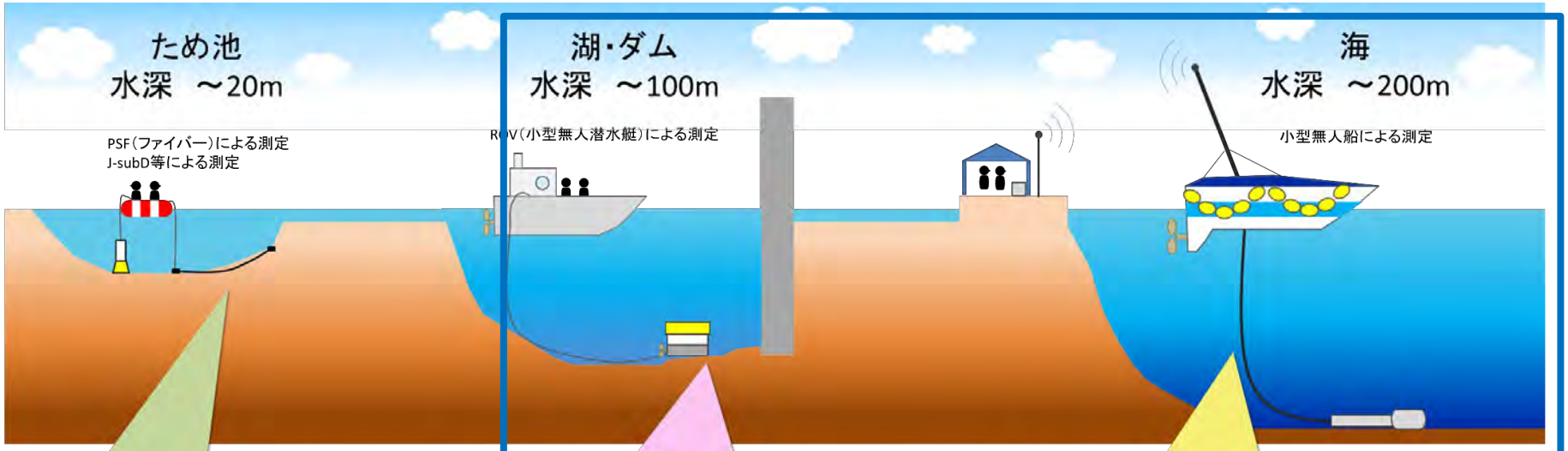
・ため池の効率的な除染の計画をする際に有益
・除染効果の確認にも適用可能

- 水中放射能の変動監視
- 長尺PSF（50～100m）の開発も実施

講義内容

- **紹介**
- **測定の基本的な考え方**
- **上空からの測定技術**
  - 有人ヘリコプターによるモニタリング
  - 無人ヘリコプターによるモニタリング
  - 新たな放射線計測技術の展望
- **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
  - **無人機によるモニタリング**

水底の広域な測定技術



プラスチックシンチレーションファイバー

ロープ状の検出器。水底に這わせて測定する。検出部が柔らかいことから、測定対象に沿って配置可能。ため池の水底放射線分布測定や、東京電力福島第1原子力発電所の汚染水管理等にも使用されている。

小型無人潜水機（ROV）

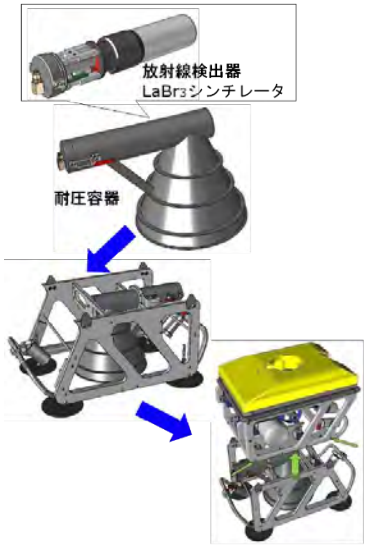
遠隔操作型の無人潜水機。下部に放射線検出器を取り付けている。遠隔操縦で水底まで潜らせ、放射線を測定する。水深100m程まで潜ることができ、湖やダムなどPSFでは測定が困難な水深の深い場所を測定できる。

無人観測船

遠隔操縦型の無人船。下部に放射線検出器を取り付けており、それを海底に下ろすことで水底の放射線を測定する。航続時間最大240時間で、基地局から約5kmの範囲で操縦可能であり、広範囲の海底放射線分布を測定することが可能。

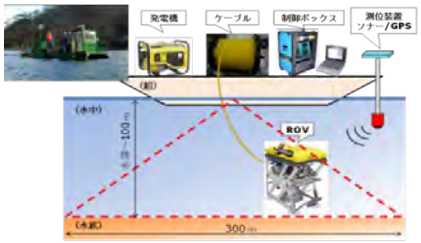
水底の広域な測定技術

小型無人潜水ロボット（ROV）

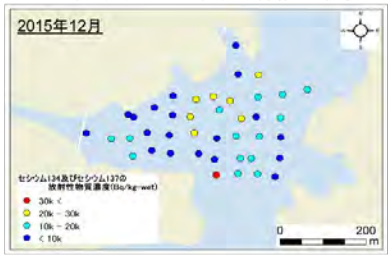


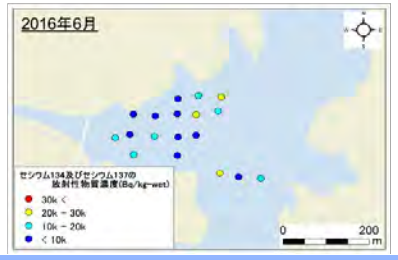
《ROV諸元》
サイズ： W60×L89cm×H105cm
重　量： 140kg以下
耐水圧： 100メートル
ケーブル長：200メートル
装　備： 推進スラスター（水平、垂直、横断）、ビデオカメラ、ハロゲンライト、LaBr3放射線検出器

AREVA製作　　ECA HYTEC社製 H800-CBRN

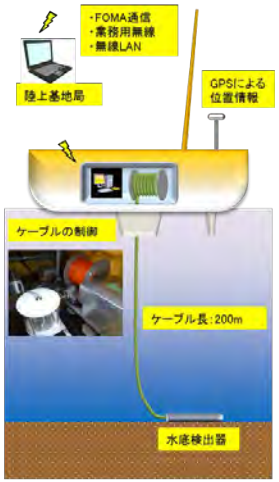


横川ダム
2015年12月及び2016年6月に現場適用試験





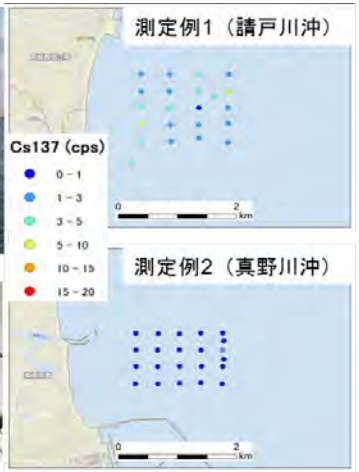
無人観測船



項目	詳細
寸法	7.99 m (L) × 2.80 m (B)
最大排水量	3.0 ton
速力	3 knot(平水時)
航続時間	240 時間(無保守)
水底検出器	ATOMTEX社製, NaI(2.5"φ×2.5"H)
通信機能	FOMA通信、業務用無線、無線LAN

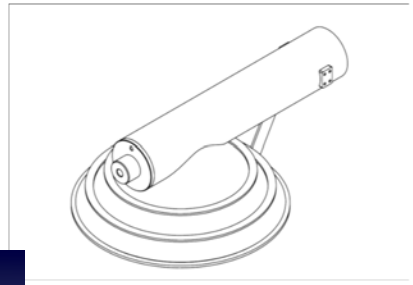
- 遠隔操作で無人観測船の操縦
- 電動ウィンチにより検出器を海底まで下ろし、放射能を観測（ケーブル長:200m）
- 観測中は検出器の傾き、深度、張力センサー及びWebカメラによるケーブル状況を監視

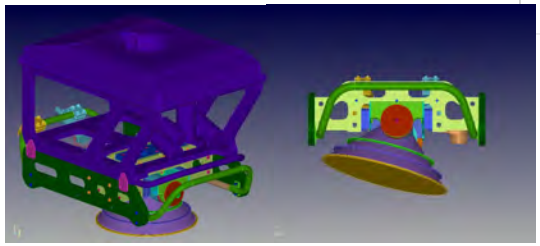
請戸川沖合と真野川沖合
2016年9月と11月に観測試験（各2回）



ROV(Remote Operated Vehicle)の概要

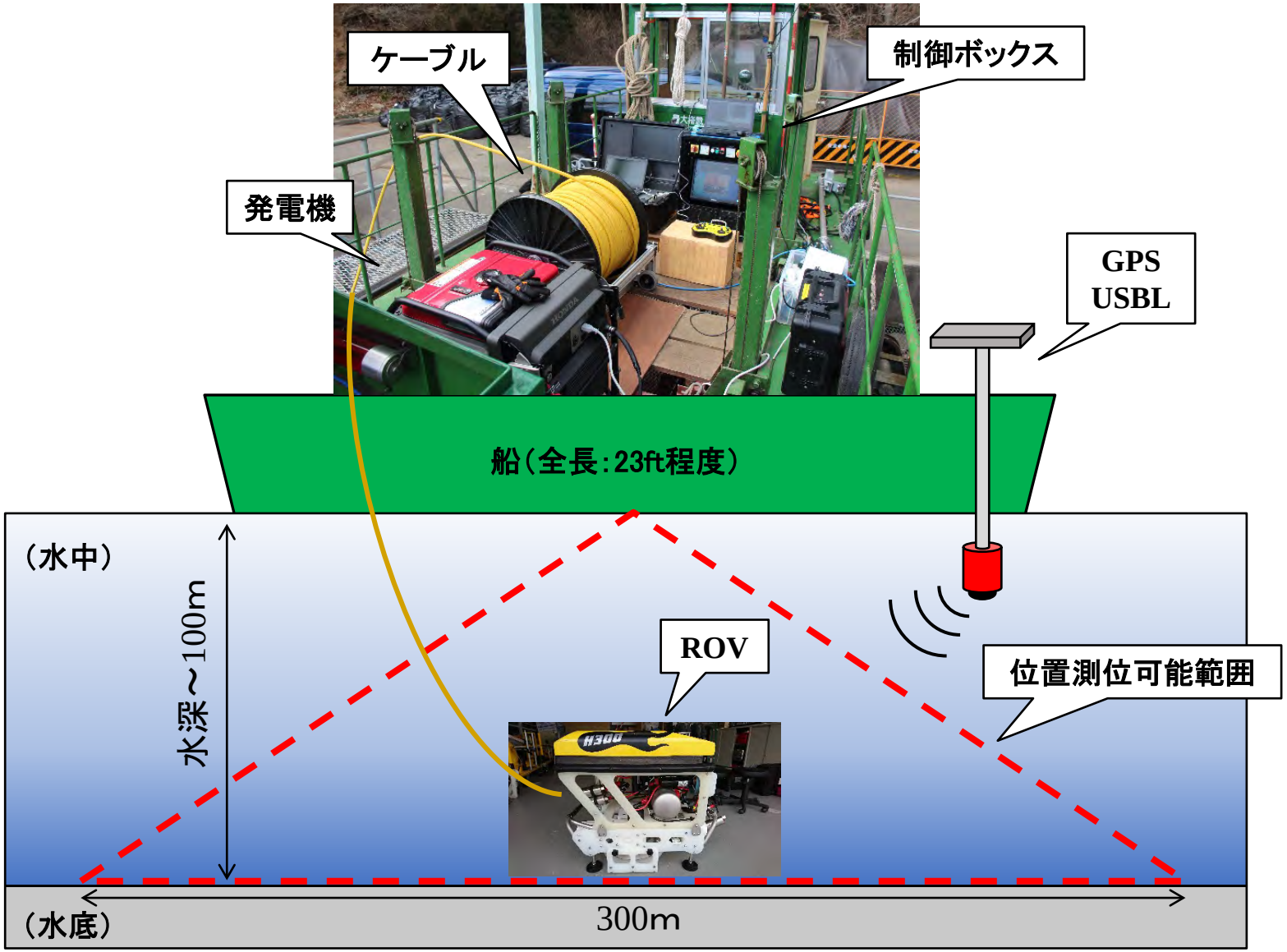
放射線検出器
LaBr3(Ce)シンチレータ





【ROV諸元】
サイズ： W60×L89cm×H80cm
重　量： 140kg以下
耐水圧： 100メートル
ケーブル長：200メートル
装　備： 推進スラスター（水平、垂直、横断）
ビデオカメラ、ハロゲンライト、
$LaBr_3$放射線検出器

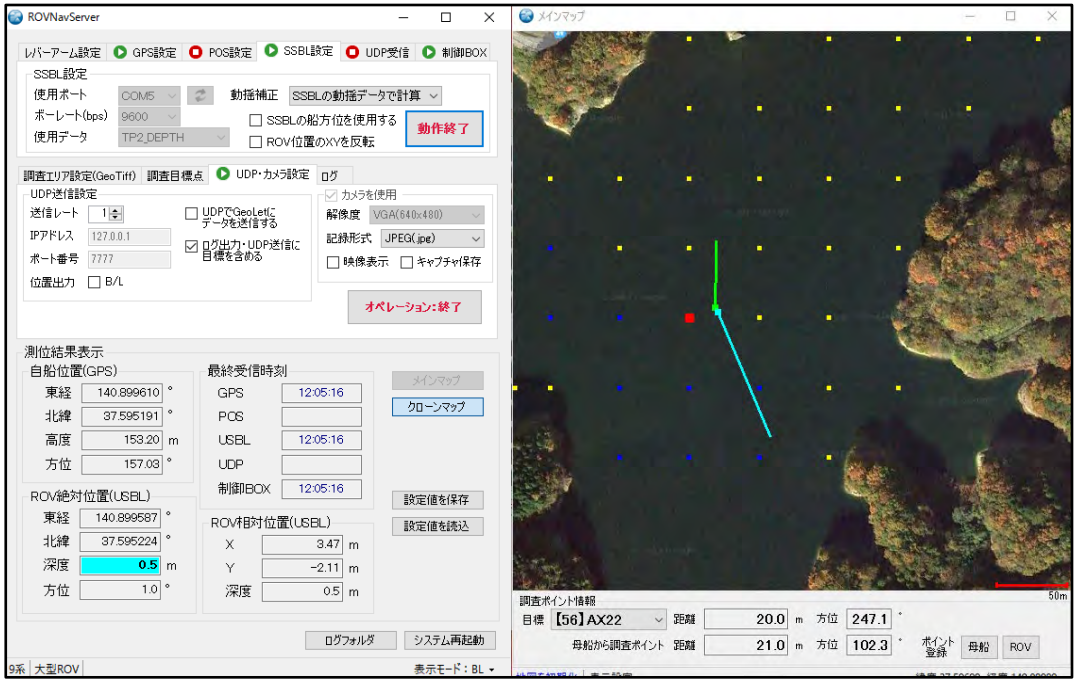
ROVを用いたモニタリングシステム

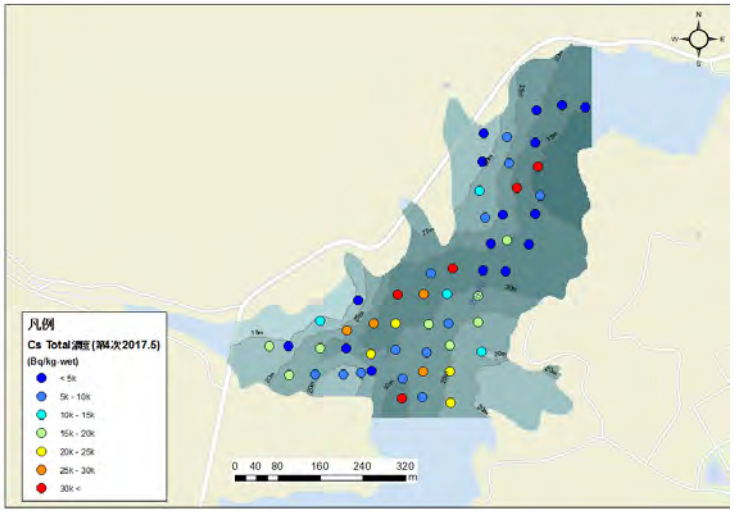


ROVを用いたモニタリングシステム

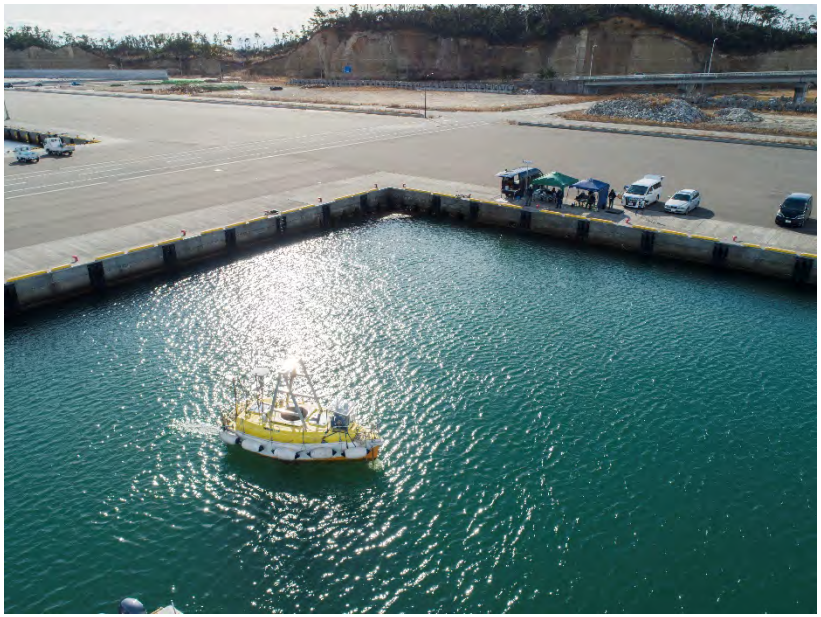
【表示機能】

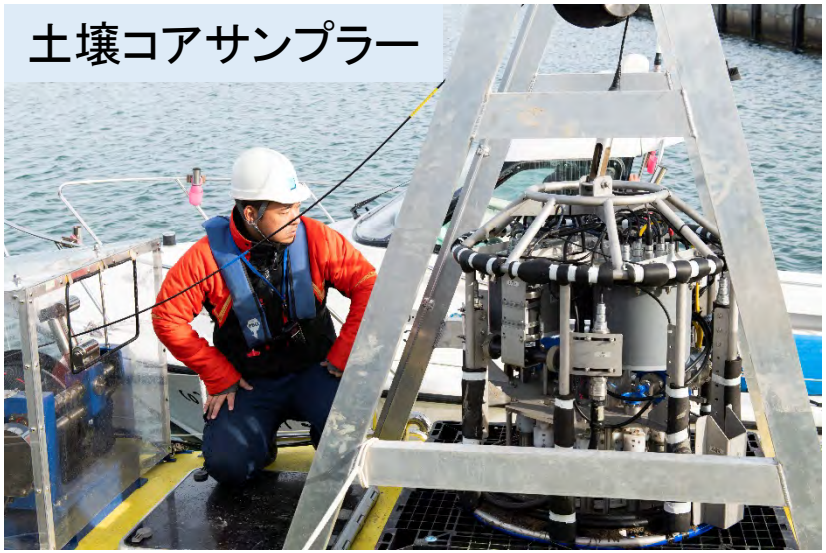
- 母船の位置、方位
- ROVの位置、方位、水深
- 観測地点までの距離、方位





無人観測船システムの概要





土壌コアサンプラー

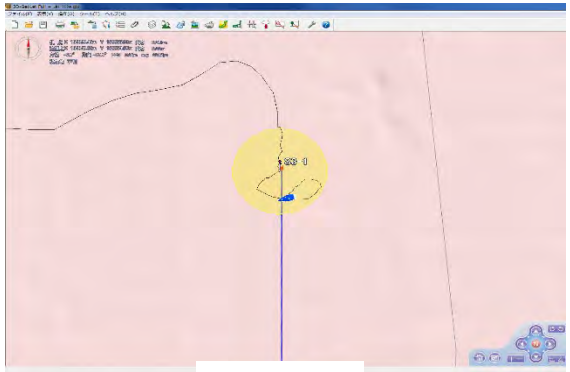
地上基地局

無人観測船システム

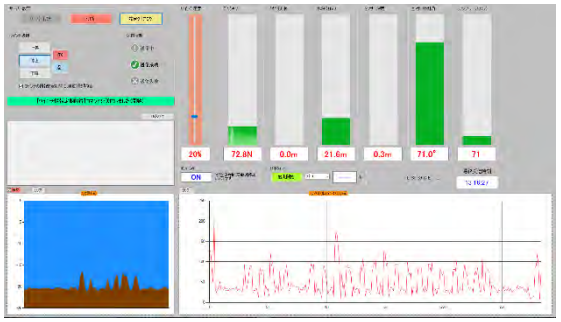
- 遠隔操作で無人観測船の操縦
- 電動ウィンチにより検出器を海底まで下ろし、放射能を観測（ケーブル長:200m）

➢ 観測中は検出器の傾き、深度、張力センサー及びWebカメラによるケーブル状況を監視

陸上基地局

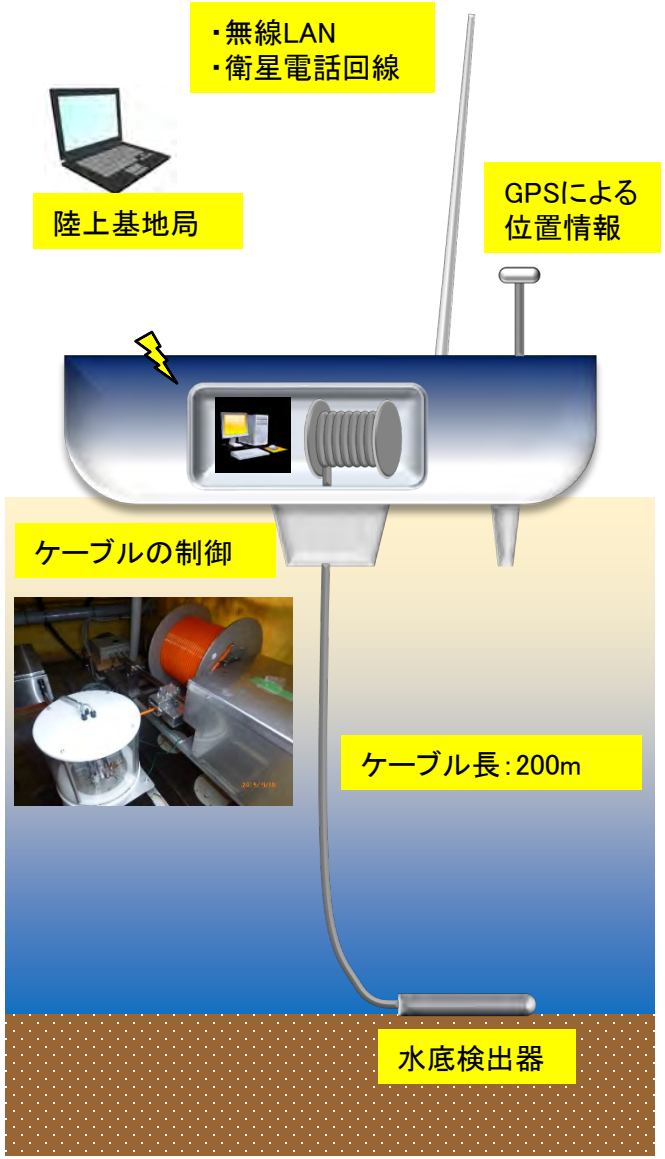


位置表示



検出器データ

船外監視、ケーブル監視



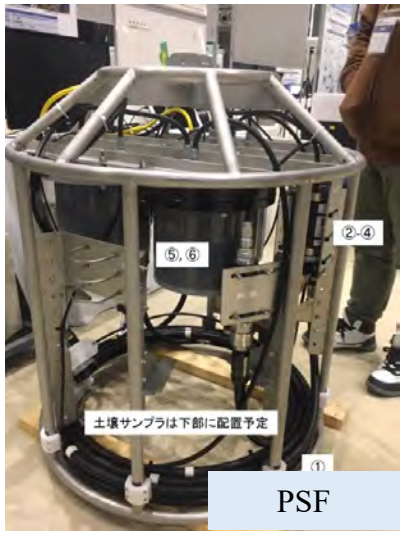
無人観測船システム　その他追加機能

➢ 定点保持機能の向上

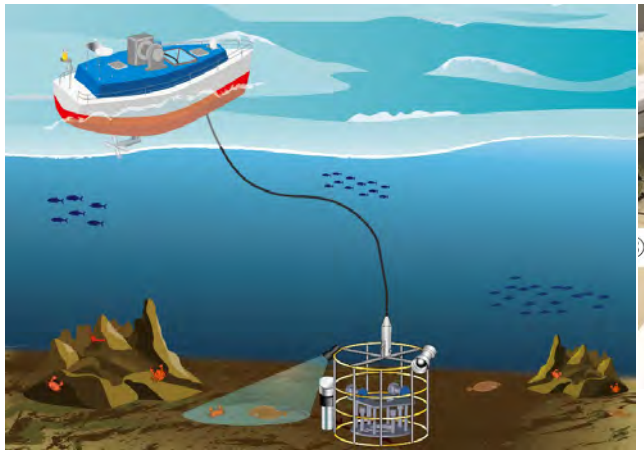
船首にスラスターを取付けることにより、
半径5m程度で定点保持が可能となった。

➢ マルチセンサーの開発

[測定項目]
① 放射線 (β+γ, β)
② 水深
③ 水温
④ 電導度
⑤ センサーの傾斜
⑥ 水底からの距離
⑦ 土壌コア採取 (最大8本)



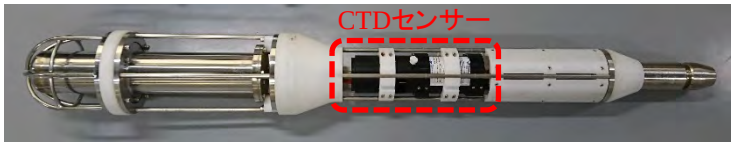
PSF



土壌コアサンプラー

➢ 塩分濃度および水温の観測

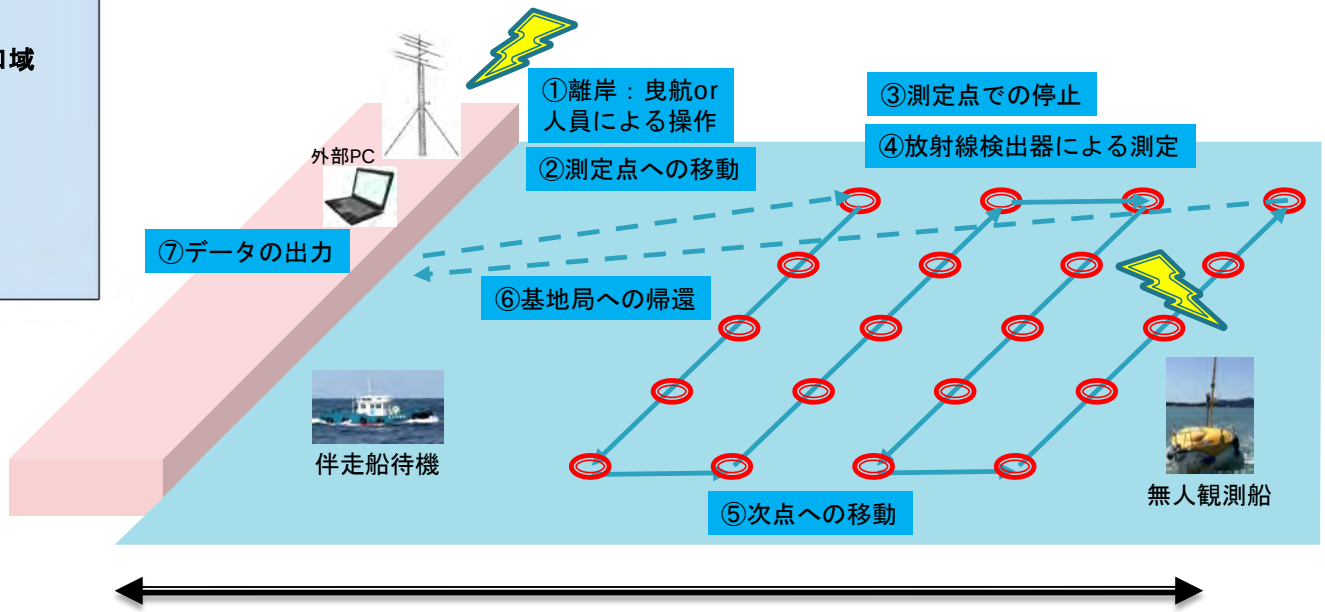
CTDセンサーを取り付けることにより、放射能と同時に
塩分、水温、水深を観測可能となった。



(TELEDINE RD INSTRUMENT社製　CITADEL CDT-NV)

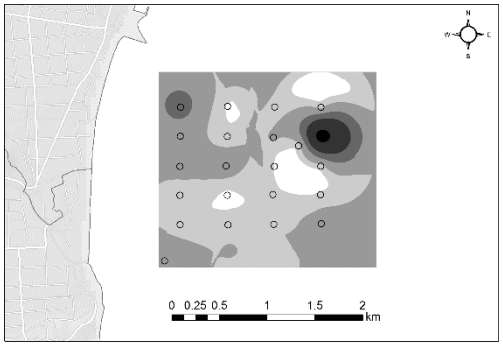
福島沖での観測試験

- 観測場所：請戸川河口域、真野川河口域
- 観測数量：40地点／1エリア
- 観測時間：3分間／1地点
- 採　　泥：観測地点と同一地点において
  エクマンバージ採泥器により採泥

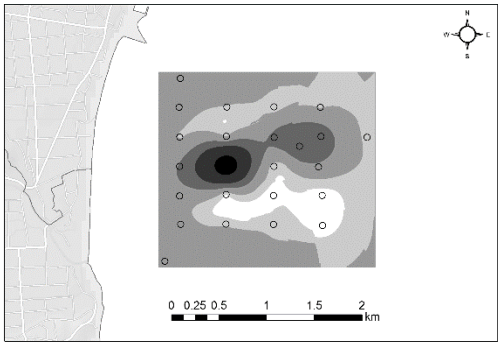


観測結果　請戸川河口域

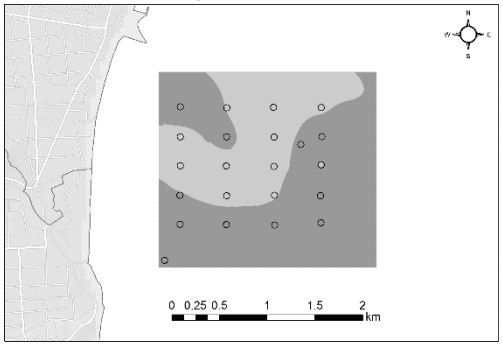
October 2015



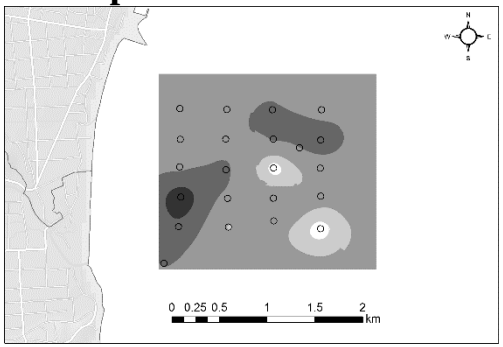
November 2015



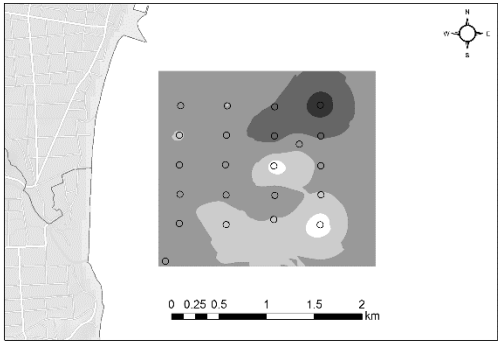
January 2016



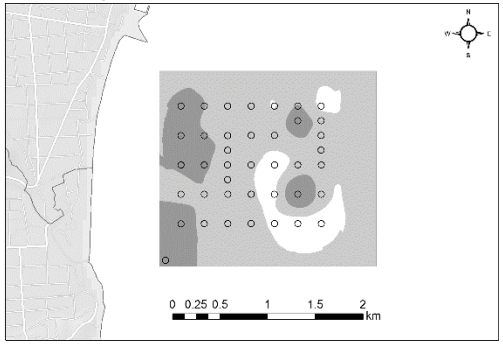
September 2016



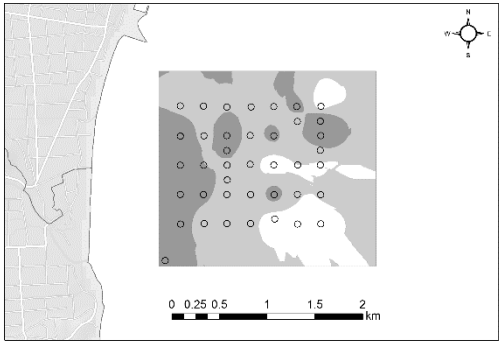
November 2016



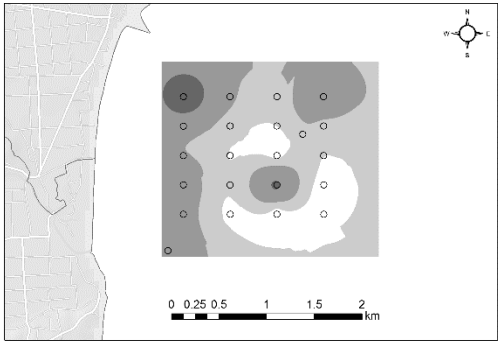
July 2017



October 2017



October 2018



○ Observation Point

^{137}Cs concentration of wet sediment weight (Bq kg^{-1})

- 500 - 1,000
- 300 - 500
- 200 - 300
- 100 - 200
- 50 - 100
- 0 - 50

国内の連携及び国際的な寄与

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

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

Fukushima Environmental Safety center,
Fukushima Radiation measurement Group

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)

ご清聴
ありがとうございました

参考文献

文部科学省
放射線量等分布マップ拡大サイト

原子力規制委員会
放射線モニタリング情報

浜松ホトニクス
光電子増倍管　その基礎と応用

原子力百科事典 ATOMICA
放射線の蛍光作用

自作シンチレーション検出器の
作り方と性能評価

平成30年度
航空機モニタリング

特定復興再生拠点区域における
モニタリング及び被ばく評価手法の検討

プラスチックシンチレーションファイバ
汚染水管理への応用

USVを用いた海底の
放射能分布測定システムの開発

ゼロから作る
Deep Learning

カスケードコリレーション
（ニューラルネットワーク）