

令和4年度  
原子力規制庁技術基盤グループ-原子力機構安全研究・防災支援部門  
合同研究成果報告会

# 無人ヘリ搭載コンプトンカメラによる ホットスポット検知技術の向上

令和4年11月22日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
安全研究・防災支援部門 原子力緊急時支援・研修センター  
モニタリング技術開発グループ

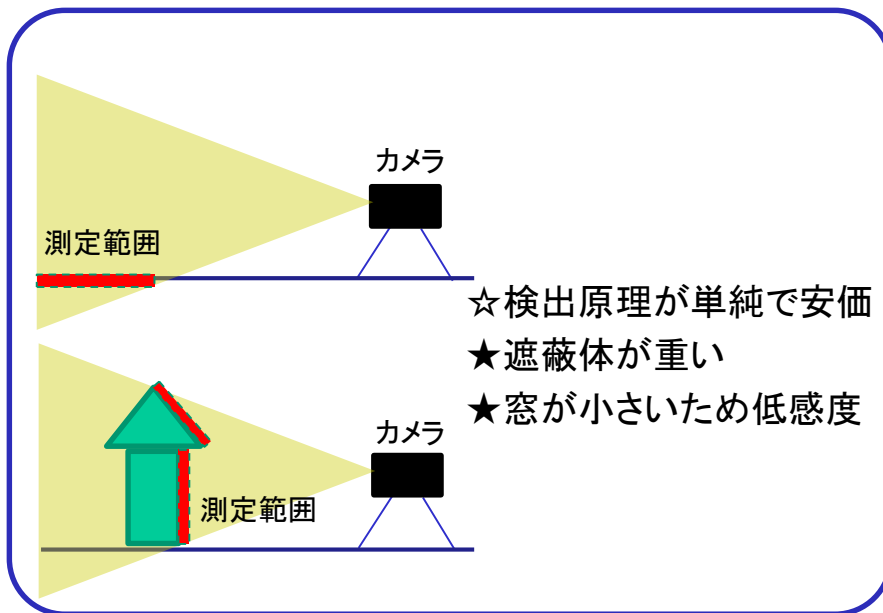
志風 義明

本研究の一部は、JST先端計測分析技術・機器開発プログラム(放射線計測領域)の開発課題「無人ヘリ搭載用散乱エネルギー認識型高位置分解能ガンマカメラの実用化開発」で得られた成果である

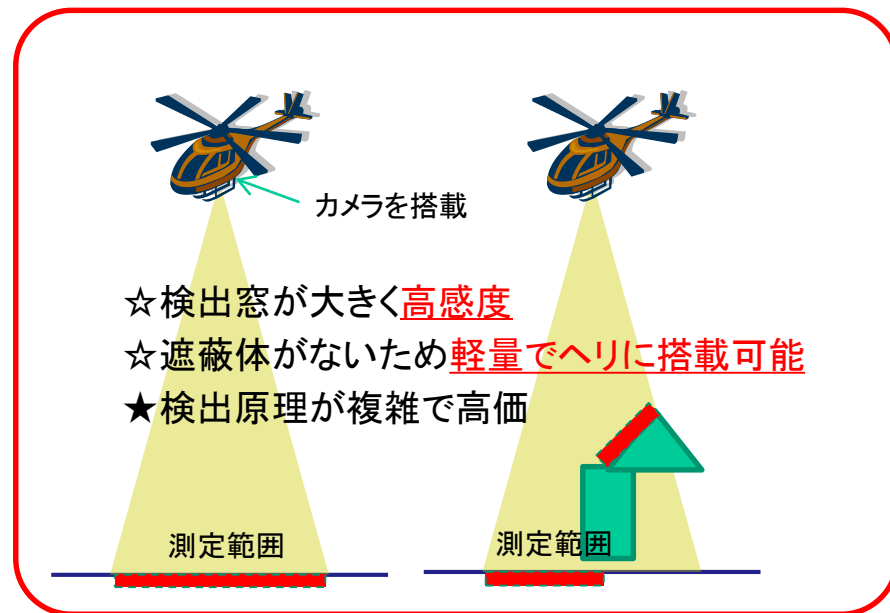
# 無人ヘリ搭載コンプトンカメラ(従来品との違い)

## ○従来のガンマカメラと本コンプトンカメラの違い

### ○ガンマカメラによる地上での測定



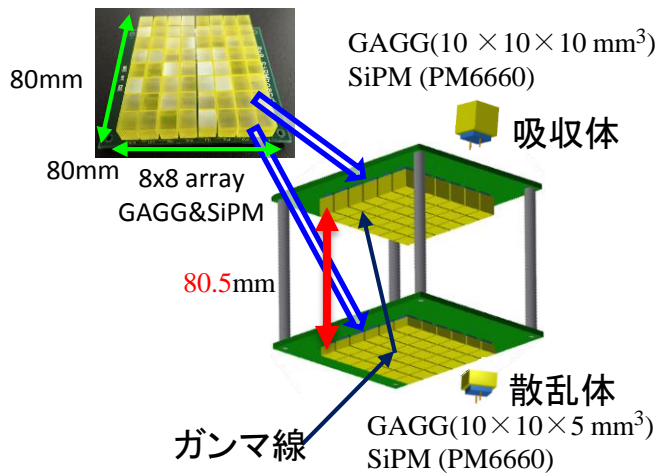
### ○無人ヘリ搭載型コンプトンカメラによる空中測定



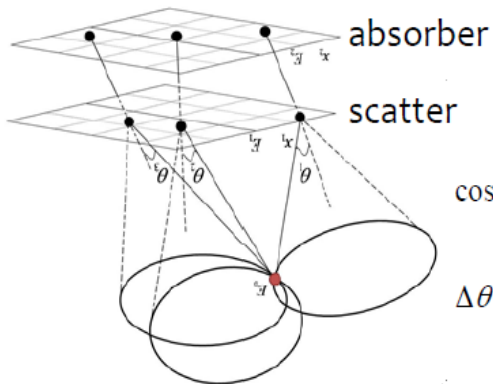
地上から測定のため、

- ・ 広い範囲の迅速な測定
- ・ 地図情報の活用(重ね合わせて表示等)に不向き

# コンプトンカメラ (検出器、検出原理)

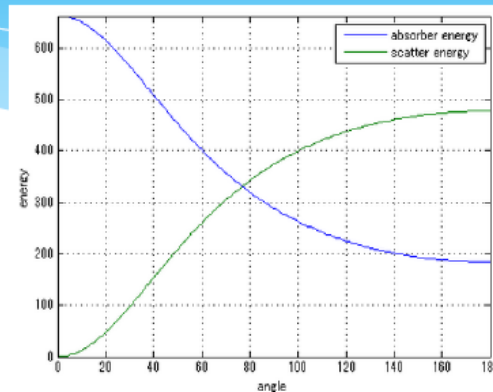


使用エネルギーの範囲:  
散乱体エネルギーで50~450keV  
(コンプトン散乱角 $\theta = 20^\circ \sim 130^\circ$ )



$$\cos \theta = 1 + m_0 c^2 \left( \frac{1}{E_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma - E_1} \right)$$

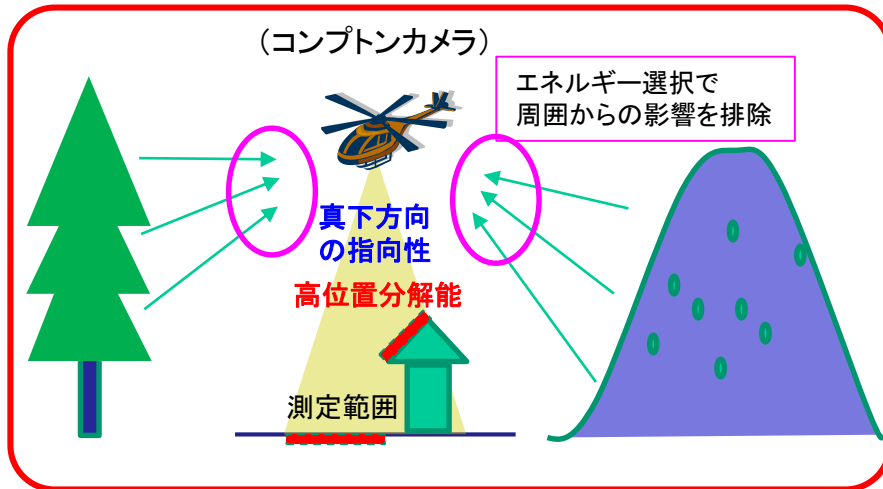
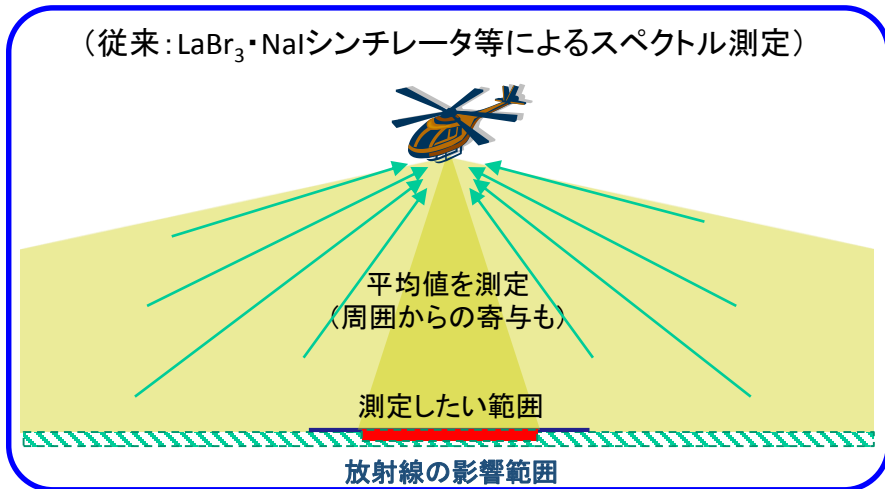
$$\Delta \theta = \frac{m_0 c^2}{\sin \theta (E_\gamma - E_1)^2} \Delta E_1$$



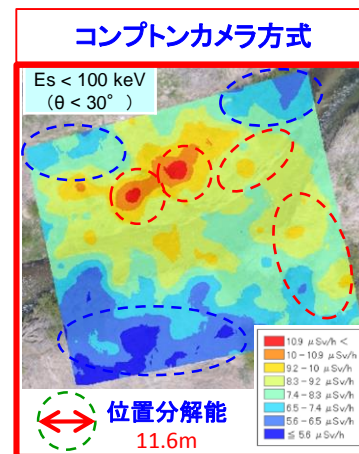
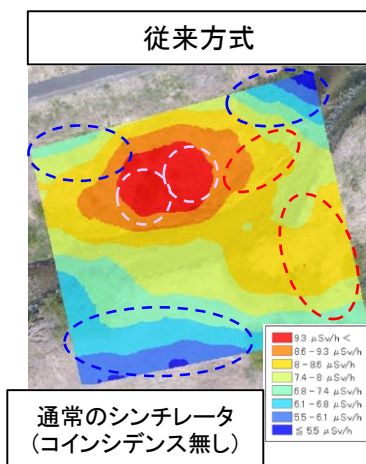
662keV エネルギーと散乱角

# コンプトンカメラ（真下方向の指向性）

## ○無人ヘリ搭載型ガンマカメラによる空中測定 — 真下方向の指向性で高位置分解能 —

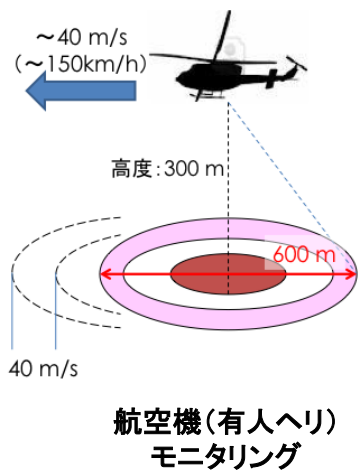


### 測線フライトによる結果の比較

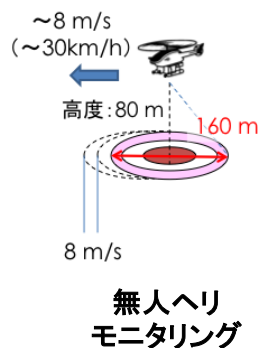


# ヘリコプター搭載型検出器の比較(位置分解能)

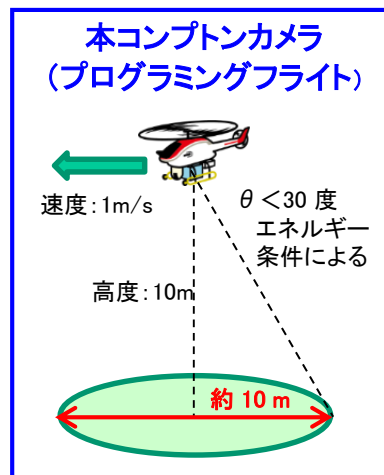
## ○ヘリコプターを用いた放射線モニタリングの位置分解能 — 今回の性能及び今後 —



600m



160m



約10m

今後

検出素子の増加  
4×4配列  
⇒ 8×8配列

感度と位置分解能  
の向上

さらに

計測回路の高集積化  
検出素子の高精細化

指向性と検出効率の向上  
1m以内の位置分解能へ

1m以内

位置分解能

# 目的・改善点

**目的:** JST受託研究終了後、DAQシステムが完成  
安定運用のため、機能(以下5つ)を追加

→ **ホットスポット検出性能の向上**  
**追加機能による測定結果の改善**  
**を確認すること**

## 追加機能

- ① 温度センサー
- ② 小型カメラ
- ③ レーザー距離計
- ④ モニタソフトの改良
- ⑤ 姿勢角センサー

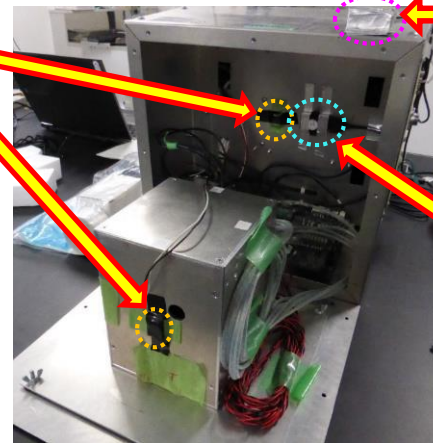
① 温度データロガー



② 小型カメラ

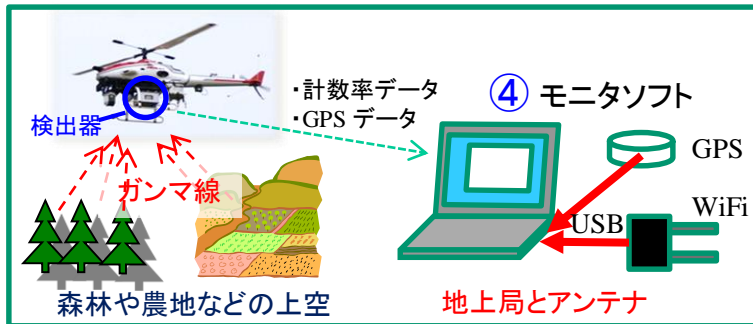


③ レーザー距離計



特に、ホバリング時の傾斜・ブレの記録

⑤ 3軸角度センサ  
(3DM-GX3-25,  
LORD MicroStrain  
社製)





# 測定

測定日 : 2018年3月19日

実施場所: 大熊町夫沢(常磐線大野駅から北東)

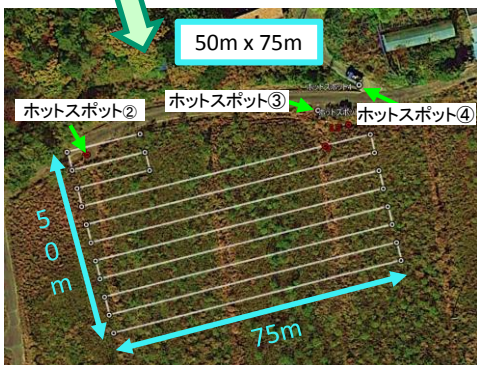


## 測線フライト: 50m x 75m エリア

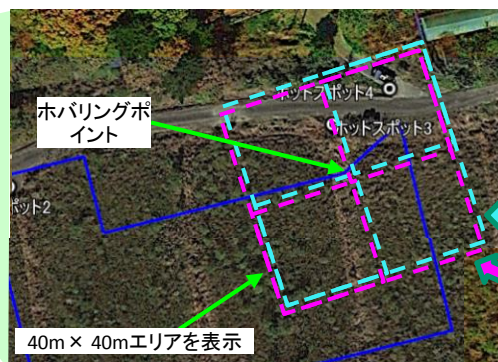
- ・速度: 1.0m/s
- ・測線間隔: 5m
- ・高度: 16.5m(平均)
- ・フライト時間: 約15分(910秒)

## ホバリングフライト: ホットスポット付近のエリア

- ・ホバリングポイント: フライトNo.4[水色], No.5[ピンク]
- ・高度: 約20m
- ・ホバリング時間: 順に、約1分(78秒)、約15分(928秒)



測線フライトの飛行経路



ホバリングフライトの測定エリア

## 地上測定: 空間線量率の測定

- ・測定器...ガンマプロッターH  
(地上5cm, 1m高さの空間線量率[ $\mu\text{Sv/h}$ ])

フライト  
No.4  
フライトNo.5

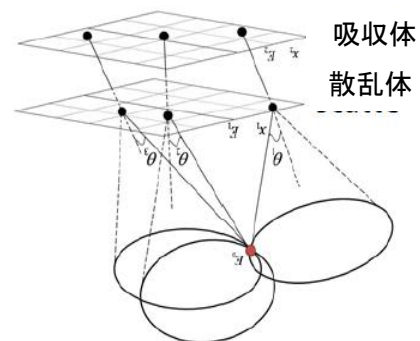
# 解析方法:ホバリングフライト

定位置で測定

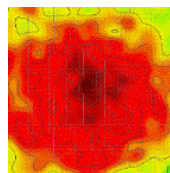


- ① **イベント選択:**  
エネルギー・姿勢角で選択  
各イベントの**散乱体・吸収体の位置とエネルギー**

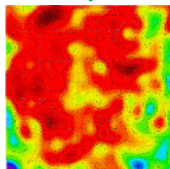
$$\cos \theta = 1 + m_0 c^2 \left( \frac{1}{E_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma - E_1} \right)$$



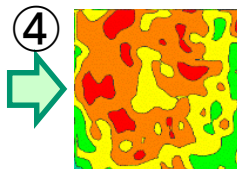
- ② **画像再構成ソフト:** ②  
地表面での**相対強度分布**



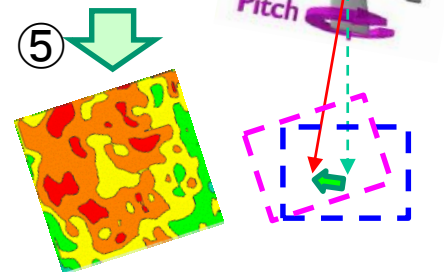
- ③ **検出効率の補正:** ③  
線源データを基に  
**入射角度依存性を補正**



- ④ **線量換算:**  
測定エリア内の地上値との相関  
**空間線量率へ換算**



- ⑤ **地上面に投影:**  
測定位置・傾斜を基に  
**地上の中心位置・向き**の補正





# 解析手法の改善 (ホバリングフライト)

・上空の風による位置や向きのバラつき

→ 長い時間のフライトで影響を受けやすい

- ・ホバリングフライトNo.4(約1分)では安定
- ・ホバリングフライトNo.5(約15分)では影響して分解能が劣化

そこで、  
解析方法の改善

- (改善1) 安定した時間帯の選択  
位置(緯度、経度、高度)、  
姿勢角(head. pitch, roll)が安定  
した時間帯(1分区間)のデータ  
を選択
- (改善2) 姿勢角の制限  
3姿勢角の安定した部分  
(mean±1σ以内)のデータ  
を選択

## Roll角の選択の例



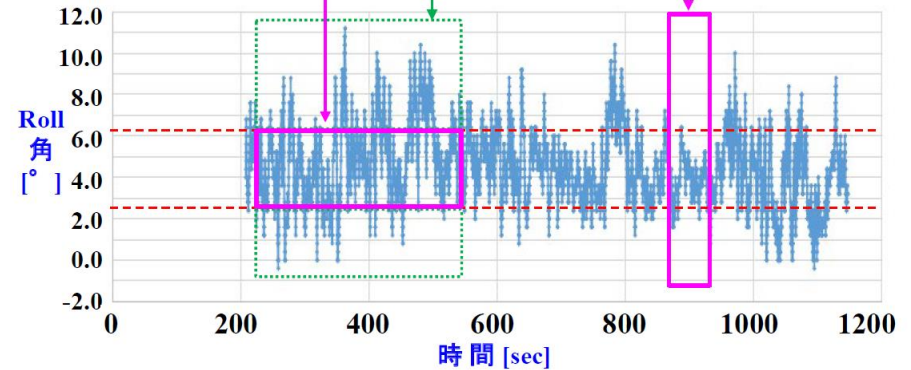
姿勢角センサー  
(3DM-GX3-25,  
LORD MicroStrain)

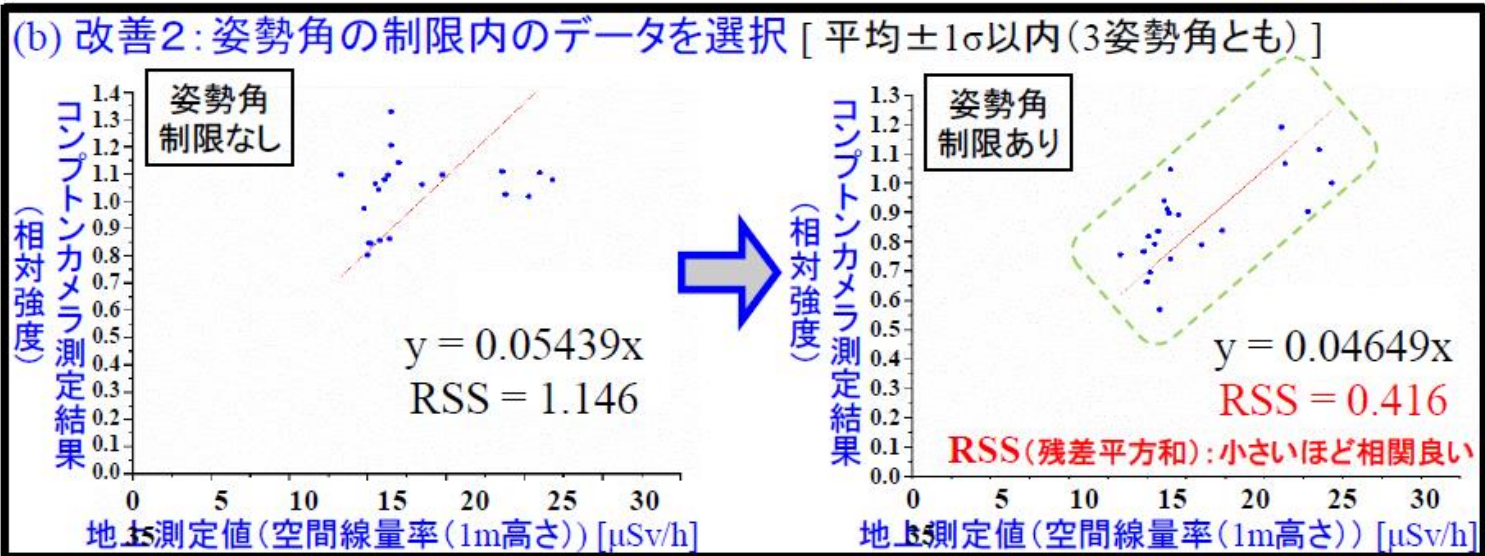
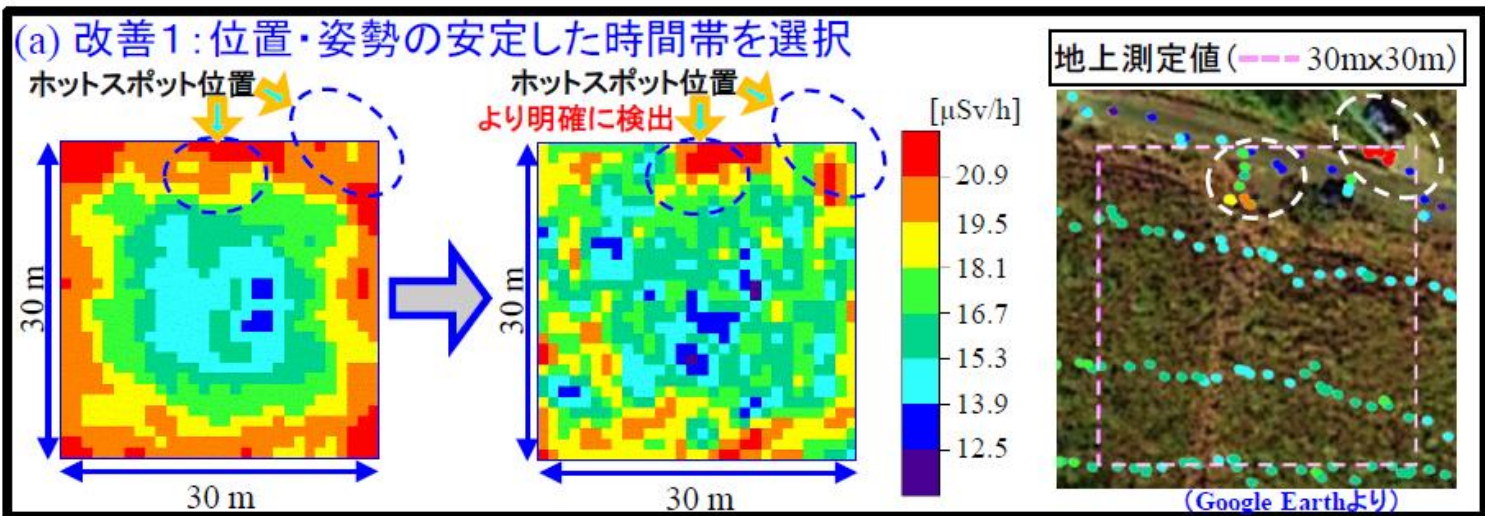


Roll角が6.3度を上回る、  
または、2.7度を下回る  
姿勢変動を示す  
時間帯のデータを  
解析から排除(改善2)



改善2(姿勢角の制限) 改善1(安定した時間帯の選択)





## まとめ

ホットスポット検出精度等の測定精度の改善のために  
コンプトンカメラシステムに追加機能を装備し、  
福島県内の野外で無人ヘリに搭載しての測定試験を実施した。

＜データ解析＞ — ホバリングフライト —

(改善1) 無人ヘリの安定性の良い時間帯の選択によって、  
測定結果が改善することを確認できた。

(改善2) 無人ヘリの姿勢角の制限の仕方によって、  
地上値との相関の状況が改善する様子が得られた。

このように、飛行条件を考慮したデータ選択を解析に取り入れる  
ことで、ホットスポットの検出精度や周辺線量当量率分布の測定  
精度が改善されることが分かった。

これらの成果は今後の上空からのホットスポット検出や汚染分布  
測定において活用が期待される。

### 【参考文献】

- Shikaze, Y. et al., Improvement of Analysis Results from the GAGG Scintillator Compton Camera Operated on an Unmanned Helicopter by Selecting Stable Flight Conditions, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.59, no.1, 2022, p.44-54

---

---

ご清聴、ありがとうございました。