

Appendix 2.2.3 無人ヘリコプターを用いた福島第一原子力発電所敷地内からの散乱線の評価

(1) 調査目的

福島第一原発の敷地周辺は、原子炉建屋等の主要な放射線源に近いことからの直達線や散乱線（スカイシャイン含む）の影響があると考えられた。無人ヘリコプターによるモニタリングは、上空から地上の一定の面積の放射線の平均値を測定し、高度による減弱を補正し地上の線量率に換算する方法である。すなわち、直下の放射線を想定していることから、直下からの放射線よりも原子炉建屋起源の放射線の影響が強い場合には、直下の線量率を過大評価することが考えられる。

ここでは、福島第一原発から 3 km 圏内における福島第一原発の施設起因の直達線や散乱線、地表面に沈着した放射性セシウム以外からのガンマ線の影響を確認した。

(2) 調査内容

• 調査箇所

無人ヘリコプターを活用した福島第一原発起因の直達線や散乱線によるガンマ線の影響の測定：福島第一原発から 1 km 程度（海上）（図 1 参照）

• 調査機器

測定にあたっては、ヤマハ発動機(株) 自律飛行型無人ヘリコプター RMAX G1 を使用し、放射線検出器は LaBr₃(Ce) (ランタンプロマイド) シンチレーション検出器 (1.5" φ × 1.5" × 3 本) を用いた。詳細は、本編 2.2.3 章を参照のこと。

• 調査内容

海上における原子炉建屋からの水平位置と放射線の間係を明らかにするために、1 号機から 4 号機の原子炉建屋の中心から海上に向けて 900 m の地点(図 1 のポイント A)を起点として、扇状に海洋に向けて 1 km 程度フライトし、検出器のデータを採取した。フライト条件は、速度 8 m/s とし、海拔の高度は 150 m と 250 m とした。採取したデータは、GPS による位置情報（緯度、経度、高度）と 1 秒毎にサンプリングしたガンマ線スペクトルである。海上において、発電所及び陸からの放射線の影響がない地点(ポイント B)における測定結果を機体や検出器に起因するバックグラウンドとした。また、海拔高度と放射線の間係を明らかにするために、ポイント A において海拔高度 116 - 266 m まで 50 m 毎に 1 分間程度のホバリングを行い、検出器のデータを採取した。

(3) 結果と考察

• 海上における原子炉建屋からの水平位置と放射線の間係

ポイント A を中心に扇状にフライトしたデータを図 2 に示す。線量率の換算は、検出器から 1 m 地点において値付けされたセシウム 137 の線源で照射し、評価した換算係数を用いた。最大の線量率はポイント A から南方向に 200 m ほど下がった場所の海拔高度 250 m 地点であり、ここでの線量率 0.4 μSv/h であった。

図 3 にポイント A 及びポイント B におけるガンマ線スペクトルを示す。ポイント A におけるガンマ線スペクトルは、ポイント B におけるガンマ線スペクトルと比較すると、800 keV 以上の計数率が上昇していることが分かる。また、ポイント A におけるガンマ線スペクトル

には、662 keV の Cs-137 や 796 keV のセシウム 134 のピークが観測されなかった。このことから、海上におけるガンマ線は、建物や地表面、大気等によって多重散乱したスカイシャインを含む散乱線が主な成分であると考えられる。また、ポイント B におけるスペクトルには、250 keV 付近にピークが見られた。これは、検出器に使用した LaBr3 に含まれる天然核種の自己汚染の影響である[1]。ポイント A 及びポイント B のスペクトルにおける 800 keV 以上の計数率が同様であるのも、LaBr3 に含まれる天然核種の自己汚染の影響である。海拔高度 150 m と海拔高度 250 m における結果を比較すると、250 m で測定した結果が高い傾向を示した。高度と放射線量の関係については次章の結果を踏まえて考察する。

高度 150 m における測定点と原子炉建屋の中心(3号機付近: 図2の×点)との水平距離と計数率の関係を図4に示す。図に示すように、距離と計数率はよい指数関数的な相関関係にある。また、原子炉建屋から 1.2 km 以上は、バックグラウンドレベル(114 cps)以下となり、発電所起因の放射線の影響範囲は、1.2 km 程度までであると考えられる。

- 海拔の高度と放射線の関係

ポイント A における高度と計数率の関係を図5に示す。ここで、y 軸の誤差は1分間の測定データ 60 個(1分間分)の 3σ である。図に示すように、高度が上昇するとともに、計数率は上昇傾向にある。また、200 m 以上において、計数率は一定となる。これは、原子炉建屋からの上方向へ放出され散乱した散乱線の影響であると考えられる。

(4) まとめ

無人ヘリコプターによる放射線測定における原子炉建屋からの散乱線の影響について、今回の結果から以下のことが確認できた。

- 福島第一原発の東側正面の海上で最も計数率が高い。
- 海上で測定されたガンマ線のエネルギースペクトルから放射性セシウムのピーク (662 keV、796 keV 等) が見られず、低エネルギー成分 (数 10 keV - 500 keV) の計数率が大きいことから、海上で測定されたガンマ線は、放射性セシウムの直達線ではなく、建物、地面及び大気により多数回の散乱を経た散乱線である。
- 原子炉建屋からの距離が離れるにつれてガンマ線 (直達線、散乱線) の計数率は減少する傾向にある。
- この計数率の大きさは高度によるバラツキはあるにしろ、海拔高度が高くなるにつれて、ガンマ線 (直達線、散乱線) の計数率は増加する傾向にある。
- 無人ヘリコプターによる通常の測定高度は、対地高度で 80 m である。今回の海拔 150 m における最大の計数率を示した地点はポイント A から南に 200 m 程度下がった場所であり、その計数率は、約 600 cps 程度であった。福島第一原発から 3 km 圏内の無人ヘリコプターの測定において、高度 80 m でこの計数率 (600 cps) を計数したと仮定すると、地上 1 m 高さの空間線量率の値に換算すると約 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 相当になる。

上記の結果から、福島第一原子力発電所の 3 km 圏内の無人ヘリコプターの測定結果に対する福島第一原発起因の直達線や散乱線によるガンマ線の影響としては以下のことが言える。

- 今回の福島第一原発の 3 km 圏内の無人ヘリコプターの測定は、フライト高度は高くても対地高度で 80 m 程度であり、原子炉建屋から水平距離で 1 km 程度以遠において測定している。こ

の範囲において、若干の福島第一原発起因の直達線や散乱線によるガンマ線の影響は考えられる。

- 他方で、今回の調査から直達線や散乱線によるガンマ線の影響は距離が離れるほど、対地高度が低くなるほど小さくなることが確認されている。
- また、原子炉建屋から直線距離で 1 km 以遠の位置で無人ヘリコプターを活用して空間線量率を測定した場合、直達線や散乱線によるガンマ線を計測するため、地上 1 m 高さの空間線量率の値に換算して、最大で約 0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 高めに測定されているものと考えられる。福島第一原発から 3 km 圏内での無人ヘリコプターによる空間線量率の測定結果の最小値は 1.4 $\mu\text{Sv/h}$ であったことから、福島第一原発起因の直達線や散乱線によるガンマ線の影響は測定誤差の範囲内であると言える。
- このため、今回の無人ヘリコプターを活用した福島第一原発から 3 km 圏内の空間線量率、放射性セシウムの沈着量の測定結果をマップ化するにあたっては、発電所施設起因のガンマ線（直達線、散乱線）の影響を無視して考えることとした。

参考文献：

- [1] Nicolini, R. et al., investigation of the properties of a 1" x 1" LaBr3: Ce scintillator, Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A, 582, 554 - 561(2007)

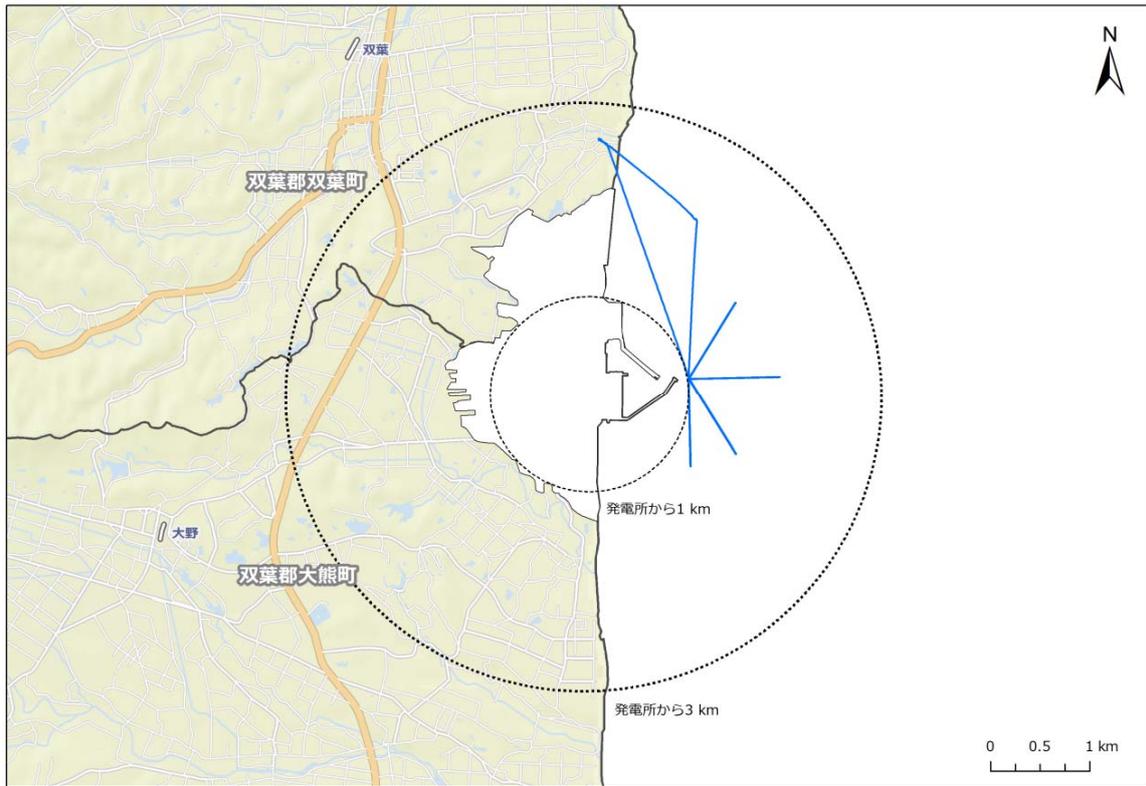


図1 海上からの福島第一原子力発電所起因の直達線や散乱線のガンマ線量（計数率）の測定における飛行軌跡(青色)

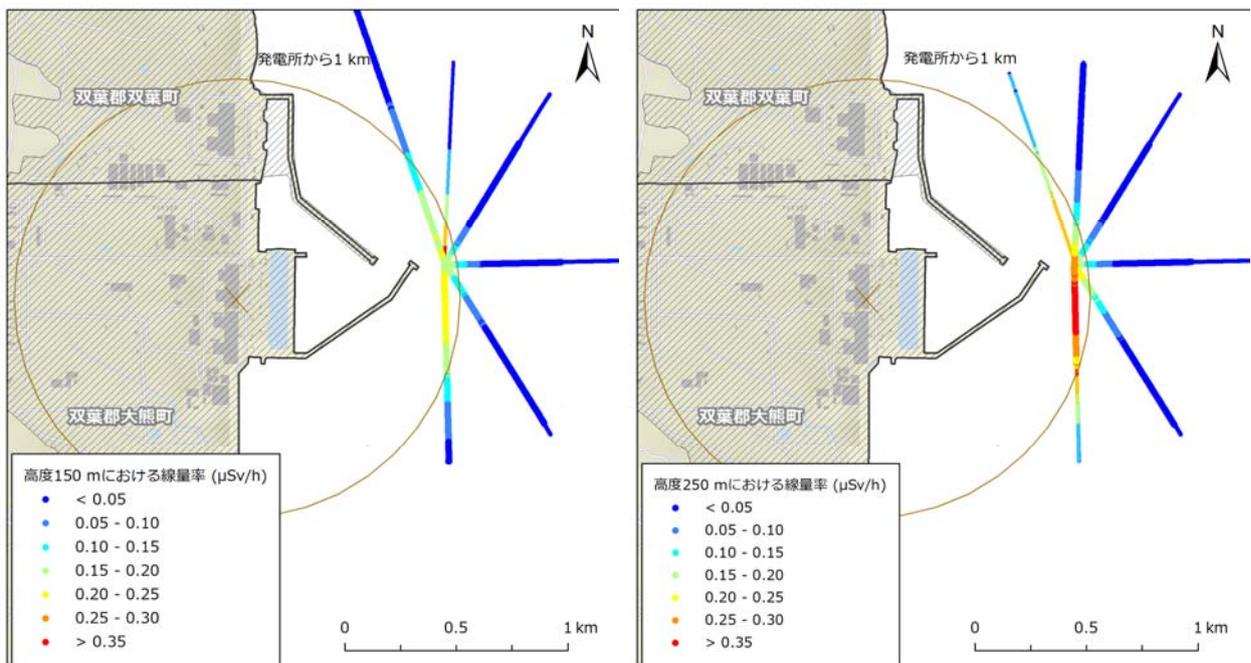


図2 高度 150 m(左)及び 250 m(右)における線量率測定結果

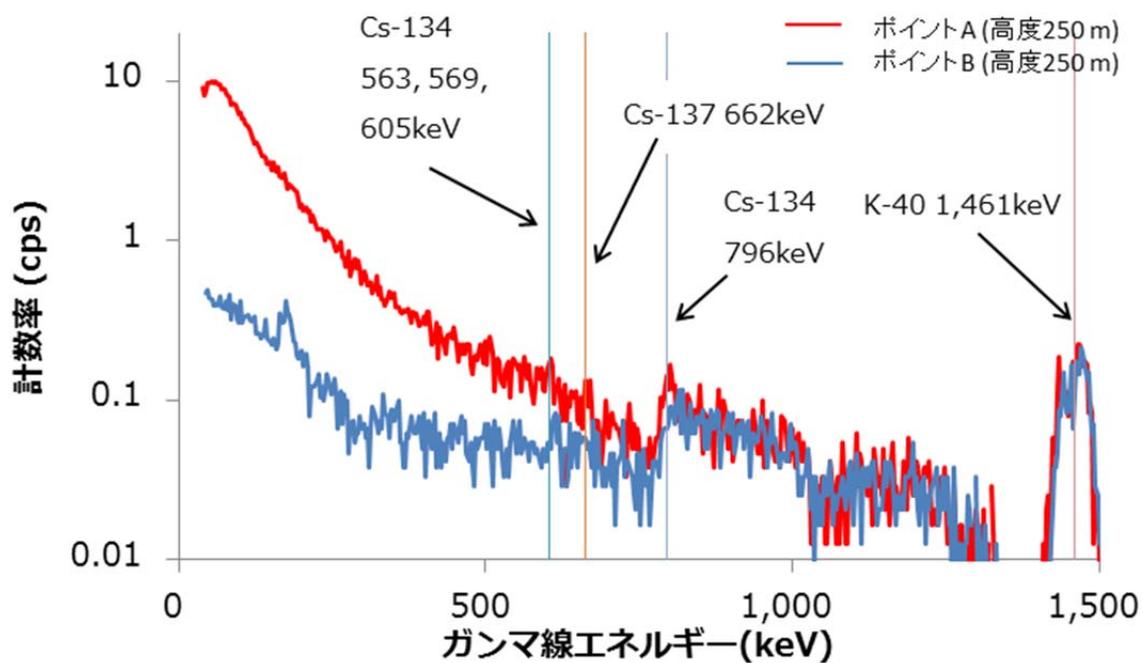


図3 海上(バックグラウンド)及びポイントA(高度250 m)における
ガンマ線スペクトル(LaBr 検出器1本分)

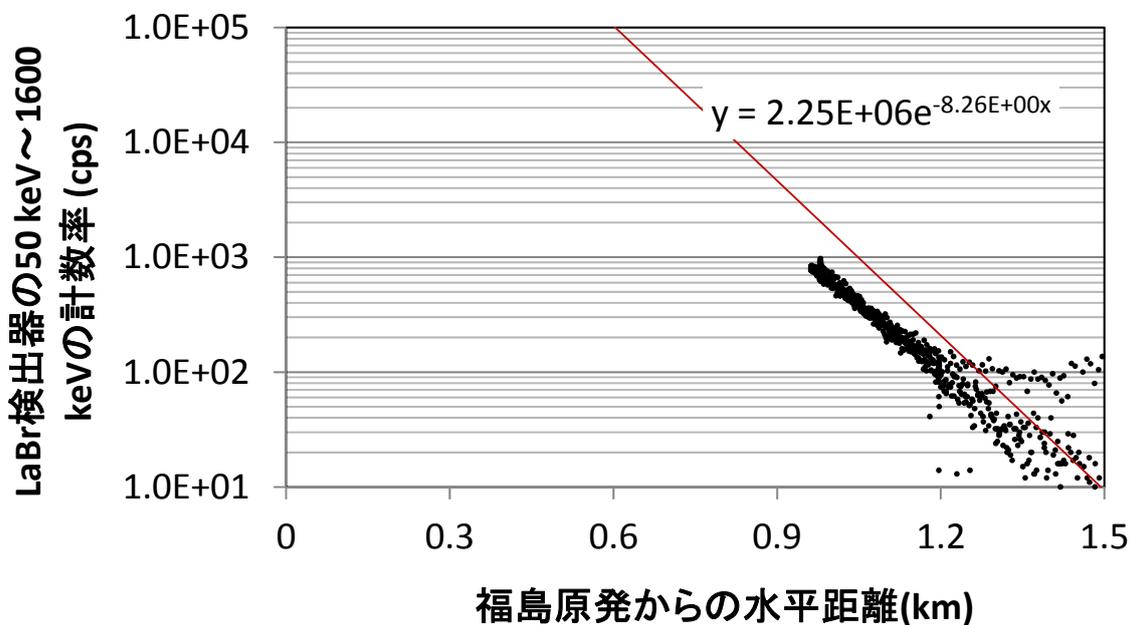


図4 福島第一原子力発電所からの水平距離とLaBrの計数率の関係
(高度150 mにおけるデータ)

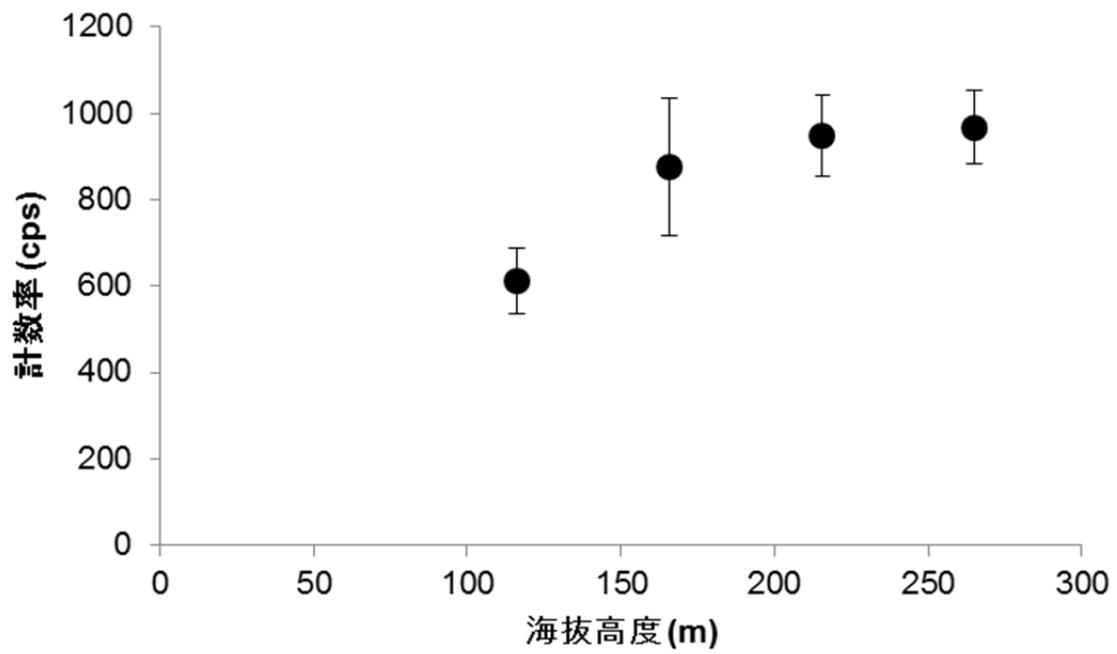


図5 ポイント A における高度と計数率の関係 (y 軸の誤差は 1 秒間の測定データ 60 個の 3σ)