

福島事故・第1次航空機モニタリングによる 放射線量データの再現

第2班

會澤 拓也 角屋 貴則 齋藤 愛美 佐野 亨

アドバイザー教員：羽田野 祐子

1 背景

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震によって東京電力福島第一原子力発電所(福島第一原発)事故が発生、大量の放射性物質が流出した。放射性物質が拡散したことにより、土地や作物が汚染され、周辺住民が避難を余儀なくされる事態となった。この事故がもたらした被害は甚大であり、今日の震災復興の大きな障害となっている。放射性物質の被害を認知・把握するために事故発生直後から様々な放射線量モニタリングが行われてきた。

現在、各機関が行ったモニタリングの結果を Web ページで目に見ることができる [1]。公開されているデータは地表面や海域といった周辺環境に留まらず、水道水や食品の検査結果など様々である。大量のデータが公開されているものの、単位や表示方法が統一されていないものが多い。また、グラフ等は用いず、数値のみで結果を表示したものが大半を占めているため、一般の人々にとって直感的にわかりにくい。これらの提示方法では放射性物質の被害状況を認識し難いと思われる。

ところで、モニタリング手法の一つとして「航空機モニタリング」がある。航空機モニタリングは放射線検出器を搭載した航空機で測定を行い、高度情報等を用いて地表の放射線量を算出する手法である。この手法では他のモニタリングに比べ、広範囲かつ分解能が高いデータが得られる。また、得られたデータを活かして算出結果をマップ化することができる利点を持つ。マップ化によって各地点もしくは特定の範囲での線量を視覚的かつ直観的に把握することが容易となる。

航空機モニタリングは2011年4月に第1次調査が行われ、現在第7次調査まで行われてきた。しかし、

第1次調査が行われた当時は事故発生から間もなく、米軍航空機による調査であり、一部の計測条件が明らかにされていないと言われている。そこで本研究では、自分らの手で高度補正や放射性崩壊の補正を改めて行い、公表されているデータとの比較を試みた。

2 航空機モニタリングとは

航空機モニタリングは、放射線検出器を搭載した航空機により対象エリア上空を飛行し、地上に蓄積した放射性物質から放出される放射線を面的に測定する手法である。広範囲の測定を短時間で実施することが可能であり、また、サンプリングレートを大きく設定することで空間分解能の高いデータを得ることが可能である。このことから緊急時におけるモニタリング手段として重要視されている。

航空機は図 2.2 に示すような蛇行状の軌道で飛行する。この軌道は離陸点から目的地までの移動時や周回時、また重なり合う軌跡を含めない直線的なデータのみを使用する [5]。直線的な軌跡を描き、調査対象エリアを網羅するようにモニタリングを行う。航空機モニタリングによって直接得られるデータは、航空機の飛行高度における計測結果であり、高度による減弱等を考慮した後述の補正計算によって地表付近の線量率を算出する。

3 研究目的

本研究では、現在確立されている航空機モニタリングの解析手法を用いて第1次航空機モニタリングの算出結果の再現を検討する。具体的には第1次航空機モ

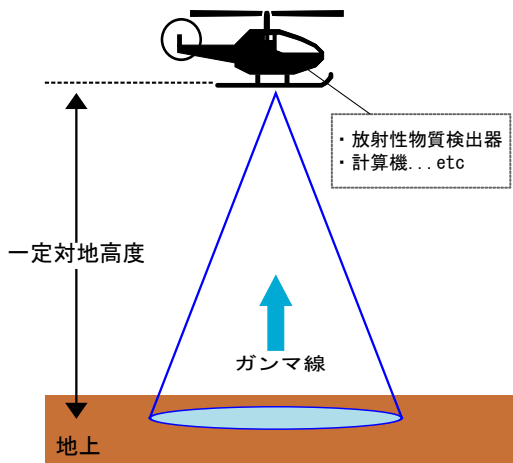


図 2.1: 航空機モニタリング模式図

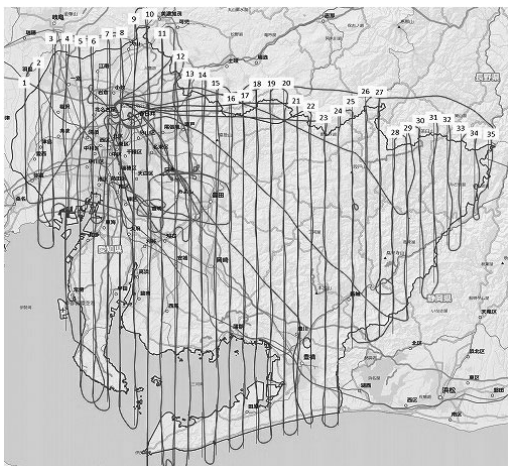


図 2.2: 愛知県での飛行軌跡図 (出典 [5] より掲載)

モニタリングの測定データにおいて、高度データの補正を加えて再現していく。第1次調査のデータを今後の解析や研究に容易に利用できるようになることは、この先の調査の正確性向上に繋がると考える。

なお、本研究では高度のみの補正を改めて行ったものであり、他の要因も検討する必要があることから、現在公開されているデータ結果を否定するものではない。

4 航空機モニタリングデータの解析と補正

本研究の解析と補正では、独立行政法人日本原子力研究開発機構 (JAEA) に提供していただいたデータとツールを用いた。また、2014年8月7日に福島大学にて直接ご指導いただいた。

航空機モニタリングの測定データから、地表における放射線量率を求めるために主に図 4.1 の流れで行う。

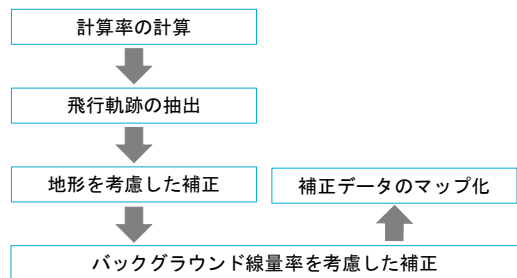


図 4.1: 線量率換算の流れ

4.1 計数率の計算

計数率とは放射線を計測装置で測定した時の単位時間当たりのカウント数である。航空機モニタリングでは、上空で計測された線量率を地上 1m の高さの線量率に換算するためにこの値が必要となる。本研究では JAEA に提供して頂いた解析ツールを利用し、補正に利用した。

4.2 飛行軌跡の抽出

前述の通り、調査エリアを網羅するように航空機の軌跡を直線的な軌跡のみにしなければならない。また、

修復する軌跡においても後にマップ化を行うため、図 4.2 のように排除した。この動作においてはジオデータベースを扱うソフトウェアである Arc GIS¹ を利用し、サンプリングデータの削除と結合を行った。

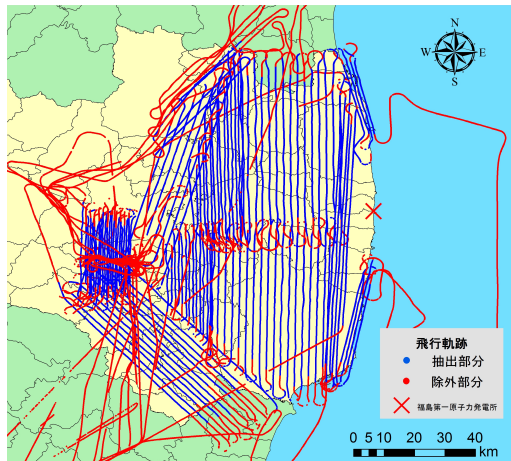


図 4.2: 飛行軌跡の抽出

4.3 高度を考慮した補正

地表 1m における放射線量率を求めるにあたり、航空機に搭載された計測器により計測されたデータに対して航空機の飛行経路の直下における地形を考慮した補正を行う必要がある。地表 1m における放射線量率 D [Sv/h] は航空機上で計測された計数率 C [cps] と飛行経路直下の地表に対する航空機の飛行高度 H [m] を変数として以下の式で補正を行うことで求められる。

$$D = \frac{Ce^{-\mu H}}{Cd} \quad (4.1)$$

ここで μ は空気減弱定数、 Cd は線量率換算係数である。空気減弱定数とは放射線量が空気を伝わることでどの程度減衰するかを示す定数であり、この値は地域により異なる。第 1 次モニタリングは福島県を対象とした航空機モニタリングであるので、今回は福島県における空気減弱定数の基準値 $\mu = 7.8 \times 10^{-3}$ を採用した。また、線量率換算係数は放射線核種量 [Bq] から放射線量率 [Sv/h] に換算する係数である。これは測定器の種類により異なる値を持ち、第一次モニタリングで使用した測定器の線量率換算係数は $Cd = 2.55 \times 10^4$ [cps/(μ Sv/h)] であった [4]。

¹©2002-2014 Esri Japan Corporation.

4.4 バックグラウンド線量率を考慮した補正

一般にどの地表においても微弱ではあるが宇宙線や天然核種による放射線量が常に存在していることが知られており、これらはバックグラウンド線量率と呼ばれている。またバックグラウンド線量率は各地域により異なることも観測されている。そこで本研究では原発事故により放出された放射線量率を求めるにあたり、各計測地点におけるバックグラウンド線量率を各地点で計測された放射線量率から差し引いた解析 [4] を行った。

5 再現結果

第 1 次航空機モニタリングの測定データを前節の通りに解析・適用を行った。

5.1 既存の第 1 次調査データとの比較

既存の算出結果を図 5.1 に、高度データの補正を加えて再現した結果を図 5.2 に示す。この図はそれぞれ航空機モニタリングで算出された、セシウム (Cs-137) の地表 1m の空間線量率である。Cs-137 が測定値として採用される理由としては、Cs-137 が他の核種より比較的容易に計測可能で、かつ広域への拡散と長期沈着が懸念される放射性核種のためである。

図 5.2 の再現データにおいて、何も色が付いていない点が目立つ。これはモニタリングを行った際の測定データの欠損である。データの欠損に関しては主に「測定データ自体が得られなかったもの」と「線量率算出において適切でない高度のもの」の二つである。これらは線量率が算出できなかった部分であり、マップ上では表示することはできない。

この二つの図を比較すると、福島第一原発から流出した放射性物質が原発から北西の方角に向かって集中的に沈着している点は共通している。事故直後、煙状の放射性物質 (放射性プルーム) の発生が確認されている。放射性プルームは降雨のタイミングによって流れる方向が決定されることで知られている。今回の事故直後では降雨によって北西の方向に流れ、放射性物質が集中的に沈着してしまったと考えられる。

また、今回の結果では原発から西の方角に既存データには存在しない、放射線量率が水色の分布が見られ

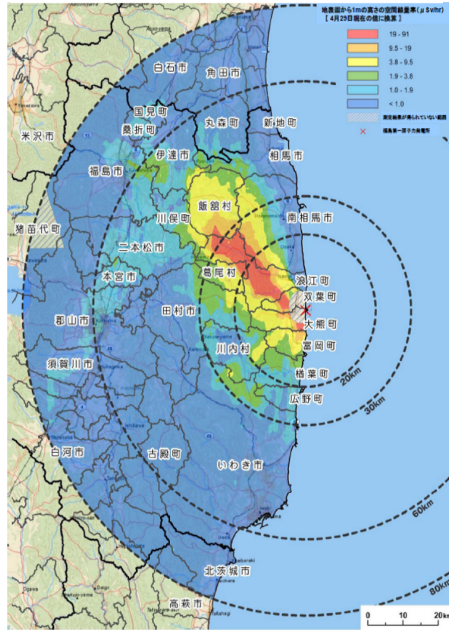


図 5.1: 既存の第 1 次航空機モニタリングの空間線量率マップ (出典 [6] より抜粋)

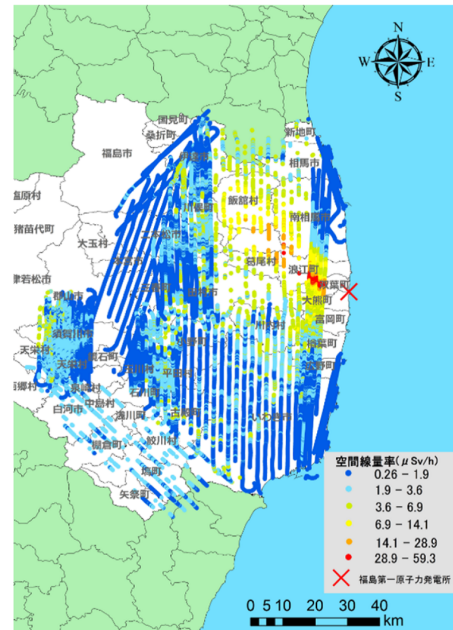


図 5.2: 再現後の第 1 次航空機モニタリングの空間線量率マップ

る。この範囲の地形は谷を形成しており、このことは平地と比べて多く蓄積したことを意味している。

5.2 第 4 次調査データの推測値とその比較

放射性核種は時間経過 (各核種の半減期) に伴って放射線量が減衰する。この特性を踏まえた減衰シミュレーションを利用し、前述の第 1 次再現データから第 4 次調査時の放射線量を推測する。なお、作成したシミュレーションの中から Cs-137 の崩壊のみを考慮して推測を行った。また、減衰シミュレーションに関しては減衰の様子を指数関数で近似したものを利用する。時刻 t における放射性核種量を $N(t)$ 、初期核種量を N_0 、減衰定数を γ として減衰の様子を式 (5.1)・図 5.3 に示す。

$$N(t) = N_0 \exp(-\gamma t) \quad (5.1)$$

第 1 次再現データから第 4 次調査時の放射線量を推測したデータを図 5.5 に示す。一般に発表されている第 4 次調査データ (図 5.4) と比較すると、推測データは全体的に放射線量が高く示されている。これは半減期以外の要因を考慮しなかったことが大きな原因と考

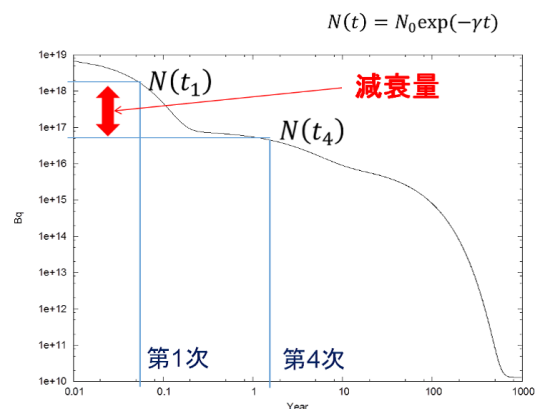


図 5.3: 炉内核種構成から推算した放射性崩壊による減衰シミュレーションの一例

表 5.1: 図 5.3 の構成核種

物質名	半減期	初期核種量 N_0
Cs-134	2.06[y]	4.8×10^{16} [Bq]
Cs-137	30.17[y]	3.2×10^{15} [Bq]
Sr-90	29.1[y]	5.0×10^{15} [Bq]
Ce-144	285[d]	1.1×10^{16} [Bq]
Ru-106	1[y]	1.2×10^{16} [Bq]
Kr-85	10.76[y]	1.4×10^{15} [Bq]
Ru-106	1.57×10^8 [y]	1.3×10^{10} [Bq]
Ru-106	8[d]	9.2×10^{18} [Bq]

えられる。実際、放射性核種は半減期による減衰のみでなく、以下のような要因によって変動することが知られている。

- 空気の流れや降雨による拡散
- 地中浸透
- 除染作業による放射線量の低下

今回の手法ではこれらを考慮しなかったため、減衰量が小さく、結果的に放射線量が大きく見積もられてしまったと考えられる。

6 今後の課題

本研究の課題を以下に挙げる。

まず、第1次航空機モニタリングのデータ欠陥の対処である。今回の結果ではマップ表示の際にデータ欠陥の穴が目立った。この穴を埋めるために周辺のデータから情報を得て補間する作業が必要である。

また、今回は平面以外の地形の考慮を行っていない。山や谷といった地形は傾斜面となっており、航空機モニタリングの特性上、測定データと実際の空間線量に差異が生まれる。よって地形に合わせた高度補正の計算が必要となる。

減衰シミュレーションを用いた第4次調査データの推測では、前述の通り半減期による減衰以外の変動要素を考慮していない。より正確な放射線量の推移を算出するためには拡散・地中浸透・除染作業といった他の変動要素を模擬する計算を行う必要がある。

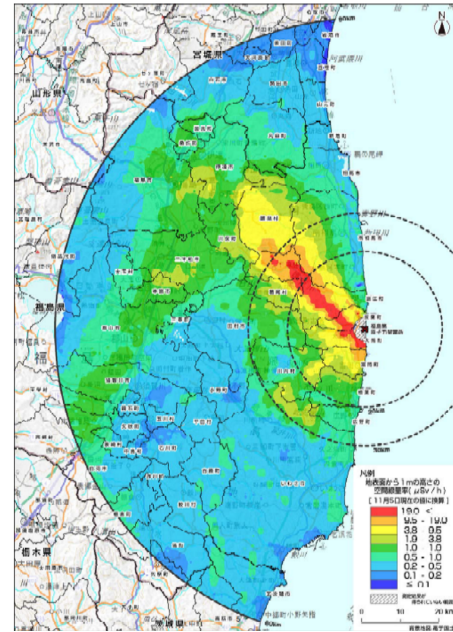


図 5.4: 既存の第4次航空機モニタリングの空間線量率マップ (出典 [6] より抜粋)

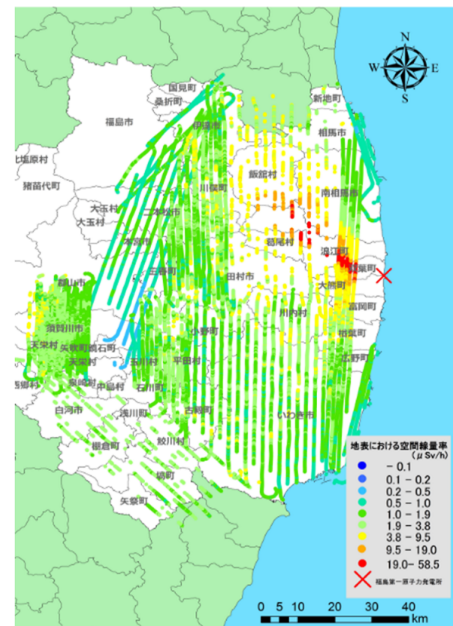


図 5.5: 再現後のデータから推測した第4次航空機モニタリングの空間線量率マップ

7 謝辞

本研究を進めるにあたって、日本原子力研究開発機構 眞田幸尚氏、西澤幸康氏には本研究の主幹となる第1次航空機モニタリングデータの提供をはじめ、解析方法や解析ツールの利用法など多くのご指導を頂きました。心より感謝致します。

アドバイザー教員である羽田野祐子准教授には問題設定はじめ初歩的な知識から応用までご指導・ご助言頂きました。感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 原子力規制委員会 HP、<http://www.nsr.go.jp/>、最終閲覧日 2014 年 5 月 29 日
- [2] 原子力規制委員会原子力ネットワーク環境防災 N ネット、<http://www.bousai.ne.jp/vis/index.php>、最終閲覧日 2014 年 5 月 29 日
- [3] 原子力規制委員会 HP、放射線モニタリング情報、<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/index.html>、最終閲覧日 2014 年 6 月 26 日
- [4] 日本原子力研究開発機構：“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報告書”、日本原子力研究開発機構報告、2012 年 6 月
- [5] 鳥居健男、眞田幸尚、杉田武志、田中圭：“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、Vol.54、No.3、2012 年
- [6] 原子力規制委員会：“文部科学省及び米国エネルギー省航空機による航空機モニタリングの測定結果について”、原子力規制委員会報告、2011 年 5 月
- [7] 大原利眞、森野悠、田中敦：“福島第一原子力発電所から放出された放射性物質の大気中の挙動”、保険医療科学、Vol.60、No.4、p.292-299、2011 年
- [8] 鳥居健男、眞田幸尚、杉田武志、近藤敦哉、志風義明、高橋昌樹、石田睦司、西澤幸康、卜部嘉：“広域モニタリングのための航空機を用いた放射性物質拡散調査”、原子力規制委員会報告、2012 年
- [9] 眞田幸尚、西澤幸康、山田勉、池田和隆、松井雅士、土田清文、佐藤義治、平山弘克、高村善英、西原克哉、伊村光生、石田睦司、卜部嘉、志風義明、杉田武志、近藤敦哉、鳥居健男：“原子力発電所事故後の無人ヘリコプターを用いた放射線測定”、原子力規制委員会報告、2013 年
- [10] 経済産業省原子力安全・保安院：“東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る 1 号機、2 号機および 3 号機の炉心の状態に関する評価について”、経済産業省原子力安全・保安院報告、2011 年 6 月
- [11] 経済産業省原子力安全・保安院：“東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の事故・トラブルに対する I N E S（国際原子力・放射線事象評価尺度）の適用について”、経済産業省原子力安全・保安院報告、2011 年 4 月