### 原子力災害環境影響評価論||

# 放射能マップはこうしてできあがる

### 令和2年7月6日(月) 講師

### 国立研究開発法人 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 阿部 智久



### JAEA's base in Fukushima prefecture



### 福島県境創造センター(南相馬)の地理的特徴







- 1. はじめに
- 2. 放射性物質の土壌沈着量マップの作成
- 3. 空間線量率マップの作成
- 4. 土壌沈着量と空間線量率の経時変化
- 5. 空間線量率予測モデルの開発
- 6. 空間線量率マップの統合
- 7. 情報の公開



福島原子力発電所事故による環境汚染





### Fukushima Regional Contamination



Contaminated land map around Fukushima NPP1 shown at the same scale



Source: Additional Report of the Japanese Government to the IAEA (September, 2011)

### 福島第一原子力発電所の事故による大気中 への放射性物質の放出量の推定値(Bq)

核種	半減期	1号機	2 <del>号</del> 機	3号機	合計
Xe-133	5.2 d	3. 4 × 10 <sup>18</sup>	3. 5 × 10 <sup>18</sup>	4. 4 × 10 <sup>18</sup>	1. 1 × 10 <sup>19</sup>
Cs-134	2.1 y	7. 1 × 10 <sup>14</sup>	1.6×10 <sup>16</sup>	8. 2 × 10 <sup>14</sup>	1.8×10 <sup>16</sup>
Cs-137	30 y	5. 9 × 10 <sup>14</sup>	1.4×10 <sup>16</sup>	7. 1 × 10 <sup>14</sup>	1.5×10 <sup>16</sup>
Sr-89	50.5 d	8. 2 × 10 <sup>13</sup>	6. 8 × 10 <sup>14</sup>	1. 2 × 10 <sup>15</sup>	2. 0 × 10 <sup>15</sup>
Sr-90	29.1 y	6. 1 × 10 <sup>12</sup>	4. 8 × 10 <sup>13</sup>	8. 5 × 10 <sup>13</sup>	1. 4 × 10 <sup>14</sup>
Te-129m	33.6 d	7. 2 × 10 <sup>14</sup>	2. 4 × 10 <sup>15</sup>	2. 1 × 10 <sup>14</sup>	3. 3 × 10 <sup>15</sup>
Pu-238	87.7 y	5. 8 × 10 <sup>08</sup>	1.8×10 <sup>10</sup>	2. 5 × 10 <sup>08</sup>	1.9×10 <sup>10</sup>
Pu-239	24065 y	8. 6 × 10 <sup>07</sup>	3. 1 × 10 <sup>09</sup>	4. 0 × 10 <sup>07</sup>	3. 2 × 10 <sup>09</sup>
Pu-240	6537 y	8. 8 × 10 <sup>07</sup>	3. 0 × 10 <sup>09</sup>	4. 0 × 10 <sup>07</sup>	3. 2 × 10 <sup>09</sup>
Pu-241	14.4 y	3. 5 × 10 <sup>10</sup>	1. 2 × 10 <sup>12</sup>	1.6×10 <sup>10</sup>	1. 2 × 10 <sup>12</sup>
I-131	8 d	1. 2 × 10 <sup>16</sup>	1. 4 × 10 <sup>17</sup>	7. 0 × 10 <sup>15</sup>	1.6×10 <sup>17</sup>

原子力安全·保安院 (平成23年6月6日)



## 放射性物質の広域の拡散状況を確認

Annex 1



- ・ 文科省と米国DOEによる航空機
   モニタリング
- 福島第一原子力発電所から半径 80km圏内
- 測定対象:
   地上1mにおける空間線量率、
   <sup>134</sup>Cs,<sup>137</sup>Csの土壌沈着量
- 測定:2011年4月6日~29日



### Significant release periods



(Chino, M. et al. Sci. Rep. 6, 31376)

### (4) 詳細な分布状況調査(マップ調査)の必要性

- 1. 福島第一原子力発電所事故の影響を正しく評価する
  - ●放射性物質がどのくらい沈着したのか?
  - ●住民の被ばく線量の評価:外部被ばく、内部被ばく、事故直後の被 ばく、長期被ばく
  - ●環境中の様々な生物への影響
- 2. 適切な対策を講じる
  - ●住民の避難、屋内退避、ヨウ素剤の投与(事故直後)
  - ・避難した住民の帰還の判断:帰還困難区域、居住制限区域、避難 指示解除準備区域
  - ●除染の判断:どの地域をどのような方針で除染するか?
- 3.福島第一原子力発電所事故後に様々な機関が様々な測定 データを取得
  - ●データを取得した手法·精度·場所·日時が様々
  - ●データを集約して系統的な情報を得ることは困難



# マップ調査開始までの経緯

- 1. 文科省等では事故後から継続的にモニタリングを実施
  - ●4/22 原子力災害対策本部長の指示により警戒区域等の設定
  - ●同日 原子力災害対策本部が緊急時モニタリング強化策を決定
  - ●環境モニタリングデータのとりまとめを文科省が担当
  - ●5/11 文科省はモニタリング強化策の一環としてマップ作成事業案を 提示
- 2. 大学関係者、研究機関関係者の活動
  - ●事故直後からスクリーニングやモニタリング活動に従事
  - ●環境放射線核物理・地球科学合同会議を結成し早期大規模調査に 向けて活動
  - ●4/4 日本学術会議は詳細調査の必要性について緊急提言
- 3. 総合科学技術会議
  - ●5/19 平成23年度 科学技術戦略推進費によるプロジェクト「放射性 物質による環境影響への対策基盤の確立」構想を発表



2013年10月15日発行(毎月1回15日発行) RAISAB 62 (10) 703~818 ISSN 0033-8303 2011年3月30日 学術刊行物指定



#### 2013 October Volume 62 Number 10 PES

A Journal of Radioisotopes and Radiation Researches, basic and applied, in the natural, biological and medical sciences including environmental radioactivity and radiation protection

### RADIOISOTOPES 第62巻 第10号



### 東京電力福島第一原子力発電所事故に伴 う土壌汚染に関する文部科学省大規模調 査プロジェクトに関する資料





Japan Radioisotope Association





- 1. 放射性物質の土壌沈着量と空間線量率の分布状況マップの作成
   広域にわたる詳細な作成
- 2. データベースの開発・公開
   マップ ●数値データ
- 3. 放射性セシウムの移行メカニズムの調査(~2014年度)
  - 地域を限定して掘り下げた調査
  - 森林、土壤、河川、湖沼、陸水 etc.
- 4. 分布状況の予測モデルの開発(2012-2015年度)
  - 統計解析結果に基づくモデル ●移行メカニズムに基づくモデル
- 5. 空間線量率の統合評価(2016年度~)
  - 異なる測定法で得られた分布マップの統合
- 6. モニタリングポイントの最適化(2018年度~)





- 1. はじめに
- 2. 放射性物質の土壌沈着量マップの作成
- 3. 空間線量率マップの作成
- 4. 土壌沈着量と空間線量率の経時変化
- 5. 空間線量率予測モデルの開発
- 6. 空間線量率マップの統合
- 7. 情報の公開



# 土壌中の放射性核種の調査

### 1. 土壤沈着量測定 (Bq/m<sup>2</sup>)

# (1次調査) ●1地点5個の土壌試料採取と分析 ●場所による濃度のばらつきが大





(2次調査以降)
 ●可搬型Ge検出器による in situ 測定
 ●その場の平均的な沈着量を測定





### 2. 深度分布測定 (深さ毎のBq/kg)

# (1次調査) ●鉄パイプを用いた土壌コア試料 ●定性的な分析のみ

# (2次調査以降) ●スクレーパープレートを用いた 層別土壌試料の採取 ●詳細な深度分布測定







## 第1次の土壌調査

### 1. 土壤採取

- ・面積あたりの放射能量 (Bq/m<sup>2</sup>):初期沈着の適切な指標
- ・原則1メッシュ内1地点にて5個の試料採取
- **U8**容器を用いて5 cmまでの土壌を採取:良く撹拌
- ・GPSにより位置測定
- ・11,000以上の試料を2,200地点で採取
- 2. 土壤測定
  - ・Ge検出器等で核種分析
  - ・22機関で分担して測定
  - ・異なる機関の間でクロスチェックを実施
- 3. 空間線量率測定
  - ・土壌採取地点で同時に地上1mの空間線量率測定 (µSv/h)
  - ・Nal(TI)サーベメータ、電離箱サーベイメータ





- 1. 広い地域を詳細に調査
  - ●放射性核種の沈着が相当量ある地域をカバー
  - ●航空機モニタリング結果等を参照
- 2. できるだけ早期に測定
  - ●短半減期の放射性核種(I-131)の検出
  - ●梅雨による降雨が本格化する前
- 3. 信頼のおける統一した手法
  - ●土壌採取法等の事前検討
  - ●マニュアル類の整備:定期的に講習を実施
  - ●測定器の校正、クロスチェックの実施







# 土壌採取の手順















# 11,000以上の試料を2,200地点で採取 22の機関でGe検出器による分析を実施 クロスチェック等により測定の信頼性をチェック





(測定結果イメージ)

N.	。 就料拉班日 地方来号			測空日	y 線スペクトロメトリー					
100.	武州和太山口	地尽备方		例足口	$^{131}I$	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>110m</sup> Ag	<sup>136</sup> Cs	<sup>129m</sup> Te
1596			1	23.6.22 15:48	<21 8.4 ± 6.8	$3100 \pm 30$	$3300 \pm 30$			
1597	23. 6. 8 8N62	2	23.6.22 17:10	<17 15 ± 5.4	$2000 \pm 30$	$2200 \pm 20$				
1598		8N62	3	23.6.22 18:21	<20 0.64 ± 6.2	$2600 \pm 30$	$2900 \pm 30$			
1599		4	23.6.23 09:13	< 14 -1.5 ± 4.4	$1400 \pm 20$	$1500 \pm 20$	_	_	$290 \pm 96$	
1600			5	23.6.23 10:30	<17 4.5 ± 5.3	$2000 \pm 20$	$2300 \pm 20$			

### (ALL) Ge検出器による土壌試料測定の相互比較結果

#### 個別試料毎の相互比較



# (ADD) 可搬型Ge検出器による in situ 測定



### 土壌採取にかわり2次調査以降に使用:平均的な沈着量を評価可能











重量緩衝深度 β:鉛直分布を表すパラメータ
 ※放射能濃度が地表面の1/e(=1/2.7)になる重量深度



調査箇所:85箇所(かく乱のない地点)

重量緩衝深度 $\beta(g/cm^2)$ の評価

**土壤採取**:地表面(0 cm)~0.5、0.5~1.0、1.0~1.5、1.5~2.0、2.0~3.0、3.0~4.0、4.0~5.0、5.0~7.0、7.0~10.0 cm(計9層)

→ 採取土壌を層ごとに重量計測し、よく攪拌の後、U8容器に封入し、 層ごとの放射能定量(Cs137に着目)

- → 各地点の深度分布を評価
- → 幾何平均値をin-situ測定 における緩衝深度 $\beta$ とした。





 測定に参加する全ての機関が同一地点で測定し 結果を比較することにより測定の信頼性を確認



(Mikami et al., Jpn J Health Phys, 2015)

(Mikami et al., J Environ. Radioact., in press)





1. ガンマ線放出核種 ●Cs-137 (30.2年) ●Cs-134 (2.06年) ●I-131 (8.02日) •Te-129m (33.6日) •Ag-110m (250日) 2. アルファ線放出核種 •Pu-238 (87.7年) •Pu-239 (24,100年) + Pu-240 (6,564年) 3. ベータ線放出核種 •Sr-89 (50.5日) •Sr-90 (28.8年)

(括弧内:半減期)





Cs-134 - Cs-137 相関図



Cs-134 濃度 (Bq/m<sup>2</sup>)



# 137Cs 土壌沈着量 マップ

### ● 2011年12月~2012年5月 まで測定

● 2012年3月1日に換算





# Pu-238, Pu-239+24 の土壌沈着量分

### Pu-238が検出され た地点は事故起因 の可能性大



不検出 0.93

# @ Pu-238と Pu-239+240の濃度の比率

### ●平成11~21年度までの環境放射能水準調査結果

















### ●観測された最大土壌濃度(Bq/m<sup>2</sup>)を用いて過大側に線量評価 ●50年間の外部被ばくと再浮遊核種の吸入による内部被ばく

出在方	VV \	最大濃度	50年間の積算実効線量		
核種名	半减期	(Bq/m2)	換算係数	計算結果	
			$(\mu SV/n)/(Bq/mZ)$	(mSV)	
Cs-134	2.065年	1.4×10 <sup>7</sup>	5.1 × 10 <sup>-2</sup>	710	
Cs-137	30.167年	1.5×10 <sup>7</sup>	1.3×10 <sup>-1</sup>	2000(2.0Sv)	
I-131	8.02日	5.5×10 <sup>4</sup>	2.7×10 <sup>-4</sup>	0.015	
Sr-89	50.53日	2.2×10 <sup>4</sup>	2.8×10 <sup>-5</sup>	0.00061 (0.61 μSv)	
Sr-90	28.79年	5.7×10 <sup>3</sup>	2.1×10 <sup>-2</sup>	0.12	
Pu-238	87.7年	4	6.6	0.027	
Pu-239+240	2.411×10 <sup>4</sup> 年	15	8.5	0.12	
Ag-110m	249.95日	8.3×10 <sup>4</sup>	3.9×10 <sup>-2</sup>	3.2	
Te-129m	33.6日	2.7×10 <sup>6</sup>	2.2×10 <sup>-4</sup>	0.6	

(TECDOC-1162の線量係数を使用)


#### 空間線量率と沈着量の相関関係を利用した <sup>137</sup>Cs 沈着量マップの詳細化



可搬型 Ge 検出器による in situ 測定に基づくマップ 空間線量率と沈着量の関係を利用して 詳細化されたマップ



#### 加速器質量分析法 (AMS) を用いた 129 | 測定に基づく<sup>131</sup> | マップの詳細化





## 129 のAMS測定結果 に基づき詳細化された 131 マップ

(村松、松崎) http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/pdf06/1-9.pdf

## (ADD) 福島第一原発から80 km 圏内の土地利用状況



(国土交通省国土数値情報土地利用3次メッシュデータ)





#### ● 70%: 森林, 20%: 農業用地, 5%: 建物用地



④ 土壌沈着したセシウムの<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs 比

<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs ratios by *in situ* gamma spectrometry indicated specific distributions (Mikami et al., 2015)

Spatial distribution



Frequency distribution

Red areas were mainly contaminated by Unit 2, blue areas by Unit 3 (Chino et al, 2016)



- 多くの調査参加者の協力により信頼のおける 詳細な土壌沈着量マップを作成した
- 2. 長期的な被ばくの観点からは放射性セシウムが圧倒的に重要
- 3. 空間線量率や同位体を利用した土壌沈着量 マップの詳細化
- 4. 土地利用状況毎の沈着量の評価
- 5. 異なる核種の沈着量比率を利用した汚染経路 の推定の試み





- 1. はじめに
- 2. 放射性物質の土壌沈着量マップの作成
- 3. 空間線量率マップの作成
- 4. 土壌沈着量と空間線量率の経時変化
- 5. 空間線量率予測モデルの開発
- 6. 空間線量率マップの統合
- 7. 情報の公開



## 空間線量率分布の調査

#### 1. 定点測定 ●かく乱のない平坦な土地 ●状況が変化しにくい似た環境







80 km 圏内 約6,500地点





東日本広域 20,000~ 80,000 km

3. **歩行サーベイ** ●生活環境で**連続的な測定** ●様々な環境が含まれる



KURAMA-IIを測定員が携行

80 km 圏内 約600地点 4.無人へリ・有人へリ測定 ●福島第一原発の近傍 ●様々な環境が含まれる



5 km 圏内 80 m 間隔

LaBrスペクトル測定器を無人へリコプターに搭載













KURAMA-I システム

- コンパクト ●操作が容易
- 100台を約200 の地方自治体へ貸与
- 各自治体が自由に測定を実施
- 詳細なマップを短期間に作成可能に





((AEA)) 走行サー **ベイ結果のリアルタイム表示** 





画像取得日: 2010/5/21 2009

緯度 37.156181°経度 140.223427°標高 0 m

高度 \_\_\_\_\_.13.89 km



# 補正係数の測定結果

- ・放射性核種が均一に沈着した地点で車内と車
   かの線量率を測定
- ●ほぼ比例関係にあるが 線量率が低い部分でず れる
- ●線量率に応じた補正係 数を使用(1.3が基本)





測定結果 (2011年6月)

●走行距離 約17,000 km

●不適切なデータの除去 ノイズ、トンネル等

●国土地理院のデータに重ね て表示















航空機モニタリングの方法(測定)

〇高感度の放射線検出器(Nalシンチレータ)を搭載した航空機 (ヘリコプター)で対地高度約300m上空を600m~5km間隔で飛行 しながら地上からのガンマ線の情報を1秒間隔で連続して測定。



(小) ヘリコプターサーベイによる空間線量率マップ







		評価		牛曲						
	データ精度	位置分解能	機動性	1寸1圦						
定点測定	5	5	1	高精度の標準値						
歩行サーベイ	4	4	2	生活環境に関連したデータ						
走行サーベイ	3	3	4	地上における大量のデータ						
無人ヘリモニタリング	2	2	4	航空機モニタリングを補完						
航空機モニタリング	1	1	5+	広域をカバー						

それぞれの測定手法が異なる特徴を有し異なる情報を取得
 複数の測定手法を必要に応じて組み合わせて使用することが必要

事故を契機に詳細な空間線量率マップを作成するための技術基盤が確立





- 1. はじめに
- 2. 放射性物質の土壌沈着量マップの作成
- 3. 空間線量率マップの作成
- 4. 土壌沈着量と空間線量率の経時変化
- 5. 空間線量率予測モデルの開発
- 6. 空間線量率マップの統合
- 7. 情報の公開

## ( マップ調査における大規模環境測定の実施時期 。

調査時期	म	平成23年(2011年) 平成24年(2012年)					F)	平成25年(2013年)				平成26年(2014年)			平成27年(2015年)				平成28年(2016年)				平成29年(2017年)				平成30年(2018年)					
離項目	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12	1~3	4~~6	7~9	10~12	1~3	4~6	7~9	10~12
定点測定		<b>★</b> 第13 (2011/6/4	► 4-7/8)	(2011	<b>第2次</b> /12/13-2012/5/	29)	<b>★→</b> ( <u>第</u> 3次前期 )12/8/14-9/7)	★★ 意3次後期 2012/11/5-12/7	1	<b>第4次航期</b> (2013/6/3-7,	<b>N</b> /4) (2	▲→ 第4次後期 2013/10/28-12/4	a)	(20	<b>◆◆</b> 高5次前期 14/7/15-9/5)	<b>★→</b> 第5次前期 <sup>(2014/11/4-12/1</sup>	5)		<b>第6次</b> [2015/8/3-9/8]				第7岁 (2016/8/21	¢ -10/4)			▲ 憲章 (2017/8/28	<b>X</b> -10/10)			<b>第</b> 9; (2017/8/2)	<b>次</b> 8-10/26)
走行サーベイ		<b>★★</b> 窩1次 (2011/6/6-6/12	3) (2	<b>奮2次</b> 011/12/5-12/2	★★ 8) <u>\$3次</u> (2012/3/13-3/3	0)	<b>唐4次</b> (2012/8/20-1) (2	0/12) 第5次 1012/11/5-12/1	0)	<b>第6次</b> (2013/6/12-8	3/8) (2	<b>第7次</b> 2013/11/5-12/12	)	<b>★</b> (2014/6	► 3次 /23-8/8)	<b>▲→</b> 第9次 (2014/11/4-12/)	5)	<b>★</b> (2015/6)	▶ ○次 /29-8/4)	<b>第11次</b> (2015/11/2-12/	(18)	(2016/t	► /2次 /27-8/5)	<b>★→→</b> 第13次 2016/10/31-12/	16)	(2017	★→ 第14次 (/7/3-7/21) 第 (2017/10)	◆→ (15次 )/24-11/27)		(2	★★ 第16次 017/7/30-8/24 (2017)	↓ 1) 17次 /11/1-)
歩行サーベイ										第4次前期 (2013/6/10-7	<b>A</b> 7/5) (;	▲→ 第4次使期 2013/11/5-12/4)		(20)	<b>◆◆◆</b> 第5 <b>次前期</b> (4/7/28-9/12) (21	▲→ 第5次透明 014/10/30-12/1	(6)	★ 唐6次 (2015/6)	▶ (前期 (29-8/5) (21	★→→ 高6次後期 015/10/26-12/4		章73 (2016/4	► 大航期 /29-8/5)	<b>▲→</b> 窟7次凌期 2016/10/27-12;	/13)		(2017/1	● 8次 0/30-12/1)			<b>ja</b> (2018	₩ <b>X</b> /11/1-)
無人ヘリ モニタリング							第1回 (2012/8/30-	➡ 10/20) (2	<b>€2回</b> 013/1/27-3/20)	<b>18</b> 30 (2013/6/6-	► 7/31)	<b>₩</b> 4 <b>@</b> 2013/11/19-2014	4/1/7)	<b>★</b> (2014/6/23-7)	/22)	<b>第</b> 6日 [2014/11/14-201	15/1/15)		富7 (2015/9/:	e 2-10/22)			<b>€</b> (2016/9/1	-10/13)		3 (2017/	5/12-9/8)				<b>★</b> 第10回 (2018/7/10-10	s/16)
土壤沈着量		第1次 ※± (2011/6/4	▲ 現存取 +-7/8)	(2011/	<b>第2次</b> 12/13-2012/5/	29) (20	<b>▲→</b> 唐3次時期 012/8/14-9/7)	★★★ 富3次後期 2012/11/5-12/7	1	<b>第</b> 4次航期 (2013/6/3-7/	<b>d</b> (10) (2	★→ 第4次後期 2013/10/28-12/6	6	\$55 (2014/6	<b>→</b> R <b>BT</b> (24-7/31)	★→ 第5次後期 2014/10/27-12/	(5)		<b>新</b> 版 (2015/8/24-)	10/7)			<b>●</b> 第7次 (2016/8/24-	10/6}			▲ 第53 (2017/8/30	<b>X</b> -10/11}			\$ (2018/9/1)	▼ 3-10/25)
土壤深度分布				(2011/12	<b>第2次</b> /12-12/22,2012	(2012	(2012) 第3次前期 (8/21-9/5, 9/26	<b>★→</b> 第3次後期 (11/26-12/7, 12	(21)	<b>●●●</b> 第4次前期 (2013/6/3-6/	N (27) (20	★★★ 第4次後期 013/10/28-11/29	9)	8 (201	<b>↔</b> 85次航期 4/7/14-7/24)	★★ 憲5次波期 2014/11/4-11/1	13)		<b>美</b> 第6次 (2015/8/24-9/	25)			第73 (2016/8/23	► 10/11)			<b>★★</b> 憲8次 (2017/8/24-9	/13)			★★ 第9次 (2018/9/13-1	0/11)



## <sup>134</sup>Cs沈着量分布の経時変化





## <sup>137</sup>Cs沈着量分布の経時変化





#### ☆バックグラウンド減算なしにトレンドを表現



● 放射性セシウムの実効半減期は、物理半減期より速い
 ⇒ 測定場所の人為的な変化、深度方向への沈み込み等の可能性

#### 





● ピークを持つ分布の割合が時間とともに増加



90%深度の経時変化

(放射性セシウムの90%が含まれる深度)

80 km 圏内の 85地点で測定



● 時間とともに地中へ浸透してきたが、令和元年度9月時点の90% 深度の平均値はまだ 5 cm 以内



- 1. 撹乱のない平坦地上では土壌沈着量は、物理的減衰より 早く減少する傾向にある
- 2. 深度方向へは放射性セシウムは徐々に浸透しつつある が、まだ放射性セシウムの相当部分は5cm 以内に存在 する
- 3. ある深度に濃度ピークを持つ分布の割合が増えてきてい る

### (AEA) 定点測定による空間線量率分布の経時変化(1 km メッシュ)



## (2011.6と2012.8の平坦地上の空間線量率の比較)





#### 80km圏内の平坦地上における空間線量率の 頻度分布(定点測定)



平坦地上における空間線量率の平均値は5年間で1/5に減少。
 2017年10月では0.5 μSv/h以下の地点が約90%

### ( 走行サーベイにより 測定した 空間線量率分布の変化


## ( 走行サーベイにより 測定した 空間線量率分布の変化



## ( 歩 歩 行 サ ー べ イ に よ り 測 定 し た 空 間 線 量 率 分 布 の 変 化 35



## (45) 定点サーベイ結果と歩行・走行サーベイ結果の比較(2017)









## 除染前後の比較(無人ヘリサーベイ)



H30年度との比画像(令和元年度/H30年度)



1

0.8

0.6

0.4

0.2

Elapsed time (y)

Dose rate (µSv h<sup>1</sup>)

## 空間線量率の実効半減期評価

すべての期間においてデータがあるメッシュを抽出し (データセット)、2重指数関数でフィッティング

$$D = a \exp\left(-\frac{0.693}{t_{short}} \times t\right) + b \exp\left(-\frac{0.693}{t_{long}} \times t\right)$$
Ex.)
$$f_{absorb} = b_{absorb} = b_{a$$



10



## 道路・歩道・1F周辺の実効半減期評価

82





## 避難区域内外での実効半減期



• 実効半減期は区域外で速く、区域内で遅い傾向



## 生活圏における空間線量率の比較

同一メッシュ状にすべてのデータがある1000エリアを抽出し変化傾向を算出





- 事故の起こったH23年、林野庁は福島県内の森林内の多地点において空間線量率の測定を実施した。
- 筑波大学は同地点でH26年に空間線量率を測定し減少傾向を解析した。



樹木の種類により多少の傾向の違いがあるが、全体的に森林内の空間線量率は半減期による物理減衰に従って減少してきた。
 放射性セシウムのほとんどは森林内に留まっており、外部への移行の割合は小さい。



## 空間線量率経時変化のまとめ

#### 速い

#### 遅い

## 空間線量率の減少







- 1. 森林内の空間線量率はほぼ物理的減衰に従って減少
- 2. 撹乱のない平坦地上の空間線量率は物理的減衰に比べてわずかに速く減少:主に放射性セシウムの地中への浸透の影響
- 3. 走行サーベイにより測定した道路上の空間線量率は主 変エリアの線量率に比べてかなり速く減少:道路周辺の 環境の放射性セシウムは除去され易い
- 空間線量率の平均的な大きさの順(減少の遅い順)
   道路<生活環境 ≤平坦地<森林</li>
- 5. 平坦地や道路上では平均の空間線量率は事故直後の 1/5 程度に減少している。



## 空間線量率の経時変化のまとめ

- 6. 森林と平坦地は単調に減少: 道路は2成分に近い形で 減少
- 7. 空間線量率の減少傾向と関連のある要因
   土地利用状況:都市域・水域で速く、森林域で遅い
   避難区域内外:区域外で速く、区域内で遅い





- 1. はじめに
- 2. 放射性物質の土壌沈着量マップの作成
- 3. 空間線量率マップの作成
- 4. 土壌沈着量と空間線量率の経時変化
- 5. 空間線量率予測モデルの開発
- 6. 空間線量率マップの統合
- 7. 情報の公開



# 概要

## ● 基本的な考え方

放射性セシウムの環境中での動きは複雑であるため、移行メカニズムに基づき 現実的な将来予測を行なうことは難しい。ここでは、過去に得られた信頼のおけ る大量の環境モニタリングデータを統計的に解析して空間線量率の変化傾向を 明らかにし、その結果に基づいて予測を行なう。移行モデルは変化の傾向を定 性的に理解するために役立てる。

## ● 使用するモデル

空間線量率の減衰傾向が、減衰の速い成分と遅い成分を表す指数関数の組合 せで近似できるとする、半経験的な2成分モデルを使用する(半減期による物理 的な減衰は別に考慮する)。過去、2成分モデルはチェルノブイル事故等で用い られ、汚染状況の経時変化を適切に近似してきた。

## ● 予測の手順

- 1.80 km 圏内を 100 m 四方のメッシュに分割
- 2. 各メッシュの空間線量率の減衰傾向をモデル式でフィッティング
- 3. 統計的な解析により状況に応じた最適なパラメータを決定

4. 各メッシュ毎に空間線量率の初期値とパラメータをもとに将来の空間線量率を 予測



# 空間線量率減衰の2成分モデル



#### ここで、 D(t):経過時間t[y]における空間線量率 [ $\mu$ Sv/h] $D_0$ :初期空間線量率 [ $\mu$ Sv/h] $D_{BG}$ :バックグラウンド空間線量率 [ $\mu$ Sv/h] $f_{fast}$ :減衰が速い成分の割合 [-] $T_{fast}$ :減衰が速い成分の環境半減期 [y] $T_{slow}$ :減衰が遅い成分の環境半減期 [y] k:<sup>134</sup>Csの<sup>137</sup>Csに対する初期空間線量率比 [-] $\lambda_{134}$ :<sup>134</sup>Csの壊変定数 [ $y^{-1}$ ] $\lambda_{137}$ :<sup>137</sup>Csの壊変定数 [ $y^{-1}$ ] $\sigma$ 50。

- ・走行サーベイのデータを基にパラメータを決定
- ・データの不足している部分について航空機サーベイの結果を利用
- ・生活環境の空間線量率への換算に歩行サーベイの結果を利用

#### ALOS土地利用 土地被覆図





## 第1~8次走行サーベイ測定結果を用いて,最小二乗法フィットにより導出 累積頻度分布



落葉樹と常緑樹の半減期は他の土地利用形態と明らかに異なる

(木名瀬他:福島復興シンポ,2015)



## 予測モデルの妥当性検証

避難指示区域外について第8次行サーベイによる実測値との比較



モデル推定値と実測値は概ね係数2の範囲で一致 (木名瀬他: 福島復興シンポ, 2015)



## 空間線量率の予測例



## 2成分モデルを用い避難区域内のパラメータを使用して予測

原子力規制庁からの委託で開発したモデルを用いて原子力機構が作成

(木名瀬他:福島復興シンポ,2015)





- 1. はじめに
- 2. 放射性物質の土壌沈着量マップの作成
- 3. 空間線量率マップの作成
- 4. 土壌沈着量と空間線量率の経時変化
- 5. 空間線量率予測モデルの開発
- 6. 空間線量率マップの統合
- 7. 情報の公開

## (41) 異なる測定手法により作成された空間線量率マップの統合化

- それぞれの測定手法の特徴を引き継いだ、高い測定精度と位置分解能を兼 ね備えたマップを作る。
- ベイズ地球統計学的手法を応用、信頼区間を提供



# Integrated map for evacuation zone



High dose rate areas are reduced
Fine structures are reproduced





- 1. はじめに
- 2. 放射性物質の土壌沈着量マップの作成
- 3. 空間線量率マップの作成
- 4. 土壌沈着量と空間線量率の経時変化
- 5. 空間線量率予測モデルの開発
- 6. 空間線量率マップの統合
- 7. 情報の公開





- 1. 事故後に蓄積された知識を福島の環境回復、復興に役 立てることが最も重要である。
- 今回の事故で確立された技術、手順、体制、得られた データ、知見、経験を集約・公開するとともに、後世に継 承し役立てることが重要である。
- 知識の集約・公開・継承の対象者として、住民、地方自治 体、国、研究者、海外機関(IAEA, UNSCEAR等)等があり、 要求される情報の内容や形態が異なる。
- 4. 住民にはマップ等の分かり易い形の情報が、研究者には 数値情報等のより正確な情報が、海外機関には英語の 情報が必要とされる。



知識の集約・公開・継承

- 5. 住民に対しては、個別の事情も考慮したきめ細かな情報 提供が必要である:相談員制度の活用等
- ジ術的な成果については、学術論文や学術報告書とし 成果をまとめて広く公表する。
- 7. 学術的な知見を集約した国際機関等の報告書に貢献する:国際原子力機関(IAEA)、国連科学委員会(UNSCEAR)、国際放射線防護委員会(ICRP)、等
- 8. 実用的な観点から貴重な情報についてもマニュアルやガ イドライン、その他の報告書の形で集約・公開する。
- 10. 測定データについては、データベースや汚染マップ等の 形で詳細な情報の公開を行う。
- 11. その他、得られた技術を情報公開に応用する。



# マップ事業の報告書

## ある程度の技術的な基礎知識を持つ一般読者を想定

- 文部科学省:第1次分布状況調査報告書 <u>http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5235/view.html</u>
- 文部科学省:第2次分布状況等調査 <u>http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/entry02.html</u>
- 文部科学省:第3次分布状況調査報告書 <u>http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/entry05.html</u>
- 原子力規制庁:平成25年度分布状況調査報告書 <u>http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/504/list-1.html</u>
- 原子力規制庁: 平成26年度分布状況調査報告書 http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/560/list-1.html
- 原子力規制庁:平成27年度分布状況調査報告書 http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/564/list-1.html
- 原子力規制庁:平成28年度分布状況調査報告書 http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/14000/13159/view.html
- 原子力規制庁:平成29年度分布状況調査報告書 <u>https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/574/list-1.html</u>







#### JAEAのHPより

## 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト

日本原子力研究開発機構(JAEA)は、原子力規制庁、福島県等が公開している東京電力福島第一原子力発電所事故に起因する福島県及び近隣県における 空間線量率の測定結果、陸域土壌(土壌表面及び土中)、海域(海水、海底土)及び河川(河川水、河底土)・地下水、食品(農・林・畜・水産物等)などの放 射性物質濃度の分析結果を収集し、それら大量のデータを見える化し利用者が直感的に状況把握できるよう公開しています。また、放射性物質の分布 や経時変化の解析を支援するため、それらに影響を与える標高、土壌、植生、土地利用、積雪等の地理的情報も併せて公開いたしました。

### 放射性物質モニタリングデータ

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴って大気中に放出された放射性物質はやがて日本各地に降下し、 土壌・森林・海洋・河川を汚 染しました。その拡散状況を調査するため国、地方自治体、電力会社等さまざまな組織が 放射性物質のモニタリング調査を実施し、ま とめた蕃積・分析データです。

#### 空間線量率

対象とする空間の単位時間当たりの放射線量である空間線量 率(空気吸収線量率[nGy/h]及び周辺線量当量率[µSv/h])測 定結果です。空間線量率は放射性物質の漏出などの異常が 発生していないか監視するために、原子力施設の周辺では常 時測定されています。

- »サーベイメータ(周辺線量当量率)
- » 走行サーベイ
- » 航空機モニタリング [空間線量率]
- » モニタリングポスト・リアルタイム線量計

#### ・陸水関連の状況

河川・湖沼水、浮遊砂、河底土、水生生物、森林内樹幹流等 の放射性物質濃度の調査結果です。

- » 河川、湖沼、森林内樹幹流等
- » 陸水の水生生物

#### ) 土壌の状況

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴って自然環境中に放 出された放射性物質の土壌表面への沈若量、土壌試料、環 境試料の放射性物質濃度、また放射性物質の土壌中の深度分 布を示した調査結果です。

#### » in-situ测定

- » 航空機モニタリング [セシウム沈着量]
- » 土壤試料·環境試料分析
- » 土壤深度分布調查

#### ●食物の状況

私たちの食の安全と安心を確保するために検査されている農 産物、畜産物、水産物、加工食品、飲料水などに含まれる 放射性物質濃度の調査結果です。

◎初めてご利用される方へ
◎マッピングツール
更新履歴
2019年12月6日
2件の調査結果を更新しました。
2019年1月25日
放射性物質の分布状況等調査による航空機モ ニタリングのダウンロードデータを修正しまし た。
2018年12月20日
2件の調査結果を更新しました。
2018年12月19日
マッピングツール v2.0.1.8 を公開しまし た。
2018年11月7日
2件の調査結果を更新しました。
<sup>2018年10月</sup> JAEAのHPより

2件の調整

#### Q1 放射性物質と空間線量率

#### 全般

Q1-1-1)放出された放射性核種はどこにどれくらい沈着したのか。

(Q1-1-2) 大気中にどのような放射性核種がどれくらい放出されたのか。

#### 放射性物質

(Q1-2-1)半減期から予想される以上に空間線量率が減少した攪乱のない平坦地では、放射性セシウムはどこに行ったのか。

Q1-2-2 放射性物質の分布状況は、時間とともにどのように変わってきたのか。

#### 空間線量率

(Q1-3-1) 将来の生活圏の空間線量率がどう減衰するのか予測できるか。

(Q1-3-2) 生活環境における空間線量率は走行サーベイや定点での測定結果とどのような関係にあるのか。

(Q1-3-3) 森林内における空間線量率はどのように減少してきたのか。

Q1-3-4) 空間線量率の減少の特徴は。土地利用状況や人間活動等の影響はあるのか。

Q1-3-5 空間線量率の分布状況は時間とともにどのように変わってきたのか。

#### JAEAのHPより

~



#### ■背景

- 今後の原子力災害に対応すべく、環境モニタリング 情報を収集・管理・解析・公開するための一連のシ ステムを構築するIAEAのプロジェクトに参画し、こ れまでに環境モニタリングデータを国際的に共有 や相互比較可能な標準形式を策定した。
- 東京電力(株)福島第一原子力発電所事故後から 関係省庁や地方自治体によって測定されている環 境モニタリングデータは、主に表や数値の公開だ けでわかりにくいという声があった。

#### 福島県 規制庁 経産省 文科省 厚労省 内閣府 農水省 環境省 玉 交省 標準形式 総合情報データベース マップ化データ グラフ化データ ダウンロードファイル 測定関連資料 標準形式 可視化支援ツール



策定した環境モニタリングデータの標準形式をベ ースに、環境モニタリングデータをわかりやすい情 報に変換して提供し、利用者の状況把握や対策 立案を支援するソフトウェア基盤を構築する。



#### ■現状

データを直観的に把握しやすい情報(地図、グラフ等)で提供する総合情報データベースを構築
 利用者自身が目的とする地図やグラフの作成を支援する可視化支援ツールを開発

(関他:原子力学会,2015)



## 可視化支援ツールの利用例





# JOURNAL OF ENVIRONMENTAL BADIOACTIVIT

SPECIAL ISSUE WMO TASK TEAM ON METEOROLOGICAL ANALYSES FOR FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

GUEST EDITOR GERHARD WOTAWA

> International Union of Radioecology Affiliated to the International Union of Radioecology

SPECIAL ISSUE JAPANESE NATIONAL PROJECTS ON LARGE-SCALE ENVIRONMENTAL MONITORING AND MAPPING IN FUKUSHIMA VOLUME 1

GUEST EDITORS KIMIAKI SAITO, YUICHI ONDA AND SHUN'ICHI HISAMATSU

EDITOR-IN-CHIEF S.C. SHEPPARD

ASSOCIATE EDITORS N. BERESFORD, F. BRECHIGNA

- HISAMATSU, S. LANDSBERGER,
- P. MARTIN, G. SHAW, J. TWINING, G. VOIGT

## 学術論文としてのまとめ

学術面での成果を広く後世に残 すためには、適切な査読システ ムを持つ学術雑誌の英文論文の 形で成果をまとめることが必須

Japanese national project on large-scale environmental monitoring and mapping in Fukushima Volume 1 JER 139, 240-434(2015) Volume 2 JER 166, 417-474(2017) Volume 3 领售中





## 規制庁マニュアルへの寄与



ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法

> 平成 29 年 3 月改訂 原子力規制庁監視情報課

## マップ事業でのモニタリング経 験や開発された評価技術を盛 り込み、平成29年3月に改定







## 国際機関の報告書への寄与

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

# SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION

#### Volume I

REPORT TO THE GENERAL ASSEMBLY

SCIENTIFIC ANNEX A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami

## 国連科学委員会 (UNSCEAR)の福島事故に 関する報告書









- 事故以前には広範囲の長期にわたる汚染を対象とした 環境モニタリングや被ばく線量評価の技術、手順、体 制は確立されていなかった。事故後、多くの人の努力 によりこれらが整備され、継続して実施されてきた。
- 2. これらの活動により、事故時における汚染の詳細な状況や経時変化の特徴、放射性セシウムの環境中移行、除染の効果等について貴重な知見が得られつつある。
- 3. これらの活動を継続して行い、環境影響に関する長期 的な知見を蓄積していくことが必要である。
- 4. 得られた知識を福島の環境回復、復興に役立てること が不可欠である。
- 5. 今回の事故で確立された技術、手順、体制、得られた 知見、経験を後世に伝え役立てることが重要である。



# ご清聴ありがとうございました。
