

# 福島周辺の詳細モニタリングと マッピング

平成25年7月31日(水)

日本原子力研究開発機構 福島環境安全センター

齋藤 公明

ご紹介いただきまして、ありがとうございます。原子力機構の齋藤と申します。どうぞよろしく願いいたします。

本日、このシンポジウムの中で発表の機会をいただけたことを感謝いたします。どうもありがとうございます。この発表の中では、文科省からの委託で実施してまいりました、大規模な環境モニタリングとその結果に基づくマッピング、それに関連した調査・研究。これらの成果についてまとめて発表させていただきます。

このプロジェクトの中では、原子力機構が非常に多くの大学や研究機関と協力しながらプロジェクトを進めてまいりました。その中で恩田先生を中心とした、筑波大のグループにも非常に貴重な、大きな貢献をしていただいております。これまでの2年間に3つ、1~3次までのプロジェクトを終了いたしまして、福島周辺の汚染状況の経時変化、こういったものが明らかになりつつあります。本日はそのへんも含めて発表させていただきます。

## 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号機	3号機	合計
Xe-133	5.2 d	$3.4 \times 10^{18}$	$3.5 \times 10^{18}$	$4.4 \times 10^{18}$	$1.1 \times 10^{19}$
Cs-134	2.1 y	$7.1 \times 10^{14}$	$1.6 \times 10^{16}$	$8.2 \times 10^{14}$	$1.8 \times 10^{16}$
Cs-137	30 y	$5.9 \times 10^{14}$	$1.4 \times 10^{16}$	$7.1 \times 10^{14}$	$1.5 \times 10^{16}$
Sr-89	50.5 d	$8.2 \times 10^{13}$	$6.8 \times 10^{14}$	$1.2 \times 10^{15}$	$2.0 \times 10^{15}$
Sr-90	29.1 y	$6.1 \times 10^{12}$	$4.8 \times 10^{13}$	$8.5 \times 10^{13}$	$1.4 \times 10^{14}$
Te-129m	33.6 d	$7.2 \times 10^{14}$	$2.4 \times 10^{15}$	$2.1 \times 10^{14}$	$3.3 \times 10^{15}$
Pu-238	87.7 y	$5.8 \times 10^{08}$	$1.8 \times 10^{10}$	$2.5 \times 10^{08}$	$1.9 \times 10^{10}$
Pu-239	24065 y	$8.6 \times 10^{07}$	$3.1 \times 10^{09}$	$4.0 \times 10^{07}$	$3.2 \times 10^{09}$
Pu-240	6537 y	$8.8 \times 10^{07}$	$3.0 \times 10^{09}$	$4.0 \times 10^{07}$	$3.2 \times 10^{09}$
Pu-241	14.4 y	$3.5 \times 10^{10}$	$1.2 \times 10^{12}$	$1.6 \times 10^{10}$	$1.2 \times 10^{12}$
I-131	8 d	$1.2 \times 10^{18}$	$1.4 \times 10^{17}$	$7.0 \times 10^{15}$	$1.6 \times 10^{17}$

原子力安全保安院（平成23年6月6日）

それでは、始めさせていただきます。福島第一原子力発電所事故では、ご存じのように、非常にたくさんの核種が大量に環境中に放出されました。例えば、セシウムについて見ますと、 $10^{16}$ ベクレルという非常に多くの放射性核種が大気中に放出されたわけです。

## 放射性物質等分布状況調査(マップ調査)の経緯

- 1. 福島第一原子力発電所事故の影響を正しく評価し適切な対策を講じるために放射性物質の分布状況等に対する詳細な情報が必要**
  - 多くのモニタリングが行なわれたが手法・精度・場所・日時が様々
- 2. 文部科学省が原子力機構に信頼のおけるモニタリングデータに基づく詳細な分布マップ作成を委託**
  - 大学等の研究者によるボトムアップ的活動
  - 総合科学技術会議の指導のもと科学技術戦略推進費にて開始
- 3. 第1次～3次マップ調査を実施**
  - 多くの大学、研究機関等と協力して実施

この事故の評価、あるいは対策をするためには、信頼のおける詳細な情報というのが必要とされます。事故が起こった直後に、文科省は原子力機構に対して信頼のおけるモニタリングデータに基づいて、詳細なマップを作るように委託して、放射性物質の分布状況調査、私たちはマップ調査と呼んでいます、このプロジェクトが開始しました。プロジェクトが開始した背景としましては、事故直後から大学等の研究者と実務者が非常に積極的に動いて、ボトムアップ的な提言をした、これが1つの大きな役割を果たしております。結果として、科学技術戦略推進費という予算をいただいて、このプロジェクトがスタートしております。これまでに、1～3次までの調査を実施、終了してきております。

# マップ調査の狙い

- 1. 第1次マップ調査（2011年6月～11月）**
  - 統一した信頼のおける手法を使用
  - 短半減期核種(I-131)を検出するための迅速な調査
- 2. 第2次マップ調査（2011年12月～2012年6月）**
  - 広い地域を対象にして測定：0.2  $\mu\text{Sv/h}$ まで
  - 測定手法の最適化：in situ 測定等
- 3. 第3次マップ調査（2012年7月～2013年3月）**
  - 経時変化の調査・解析
  - 将来の状況を予測するモデルの開発

マップ調査の狙いですが、2011年6月の第1次マップ調査におきましては、統一した信頼のおける手法を使用しようということを1つの大きな狙いとししました。それまで環境でも非常に多くの環境モニタリングデータが取られてきていたのですが、その手法とか精度といったものがまちまちで、統一して系統的な情報を得るということが難しい状況にありました。そこで、ここでは統一した信頼のおける手法を用いるということを1つの大きな狙いとししました。それから、事故直後に内部被ばく等で非常に大きな線量を住民に与えた可能性があります短半減期核種のヨウ素131を検出するために、迅速な測定を行っています。それから、第2次マップ調査におきましては、このときすでに放射性物質の沈着がかなり広い地域に渡って起きているということが分かっておりましたので、0.2  $\mu\text{Sv/h}$ 程度の低い線量に至るまで、広い地域を対象とした測定を行っています。第3次マップ調査では蓄積したデータを解析しまして、経時変化を明らかにして、それを基に将来の状況を予測するためのモデルの開発といったものを開始しております。

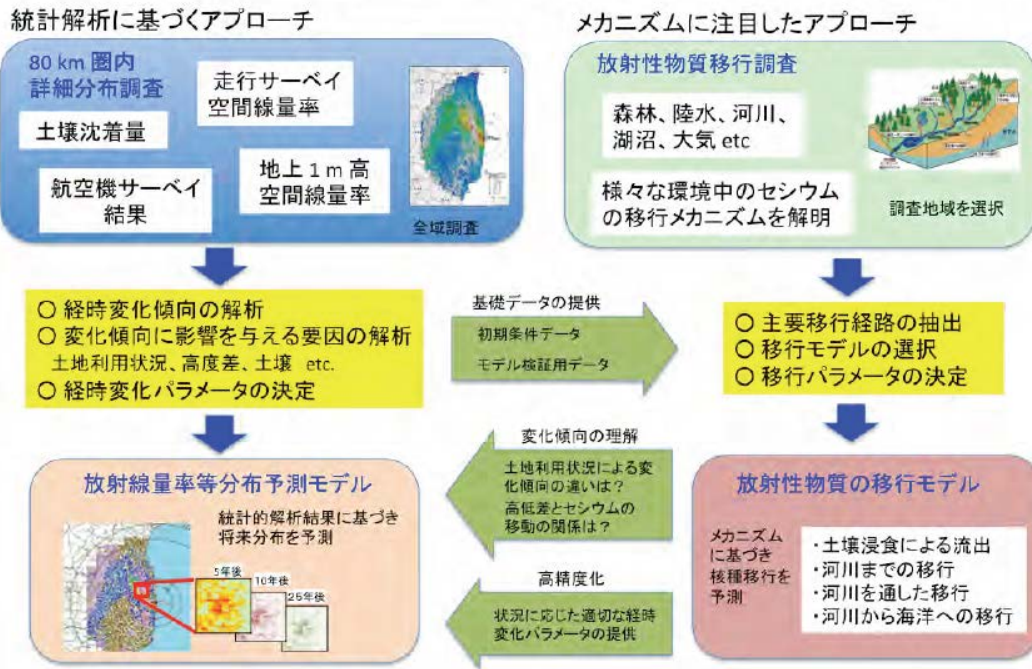


# マップ調査の内容

- 1. 放射性物質の分布状況等のマップ作成**
  - 広域にわたる詳細な作成
  - 土壌沈着量分布、空間線量率分布
- 2. 放射性セシウムの移行メカニズムの調査**
  - 地域を限定して掘り下げた調査
  - 森林、土壌、河川、湖沼、陸水 **etc.**
- 3. 分布状況の予測モデルの開発**
  - 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
- 4. データベースの開発・公開**

マップ調査の内容をここにまとめています。一番目がメインのテーマということになりますが、土壌沈着量とか空間線量率の分布に関し詳細な広域に渡るマップを作るというのが1番目のテーマです。2番目ですが、ここでは地域を限定して放射性セシウムの移行メカニズム、環境中でどういう挙動をするのかを調査するという行っています。3番目に、この1番目と2番目で得られた結果を基に、将来の空間線量率の分布状況の予測モデルの開発を行なっています。最後になりますが、この調査の中で得られたデータを保管して公開するための、データベースの開発という行っています。

## 福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立



これは、調査項目全体の位置づけを示した図ということになります。2つの流れがあります。左側のほうが統計解析に基づくアプローチということになりますが、空間線量率とか土壌沈着量に対して大量のデータを取得して、その解析を行って経時的な特徴と地域的な特徴を明らかにして、それを基に将来の空間線量率分布等の予測をしようということなのです。本日、私の話は左の流れの内容がメインになります。一方、右側に示すような、メカニズムに注目したアプローチといった調査も行っております。これは先ほども言いましたように、地域を限定して環境中のさまざまな媒体中でのセシウムの挙動のメカニズムを解明して、それをモデル化し、最終的には将来予測モデルにつなげていくといった流れの研究です。この右のほうの調査・研究については、ここの筑波大学の恩田先生に取りまとめ役をしていただいています。

# 発表の内容

## 1. 放射性核種の土壌沈着量の分布状況

- 放射性核種の沈着量分布 (Bq/m<sup>2</sup>)
- 土壌採取をして固定式Ge検出器で分析 (1次調査)
- 可搬型Ge検出器によるin situ 測定 (2次調査以降)

## 2. 空間線量率の分布状況

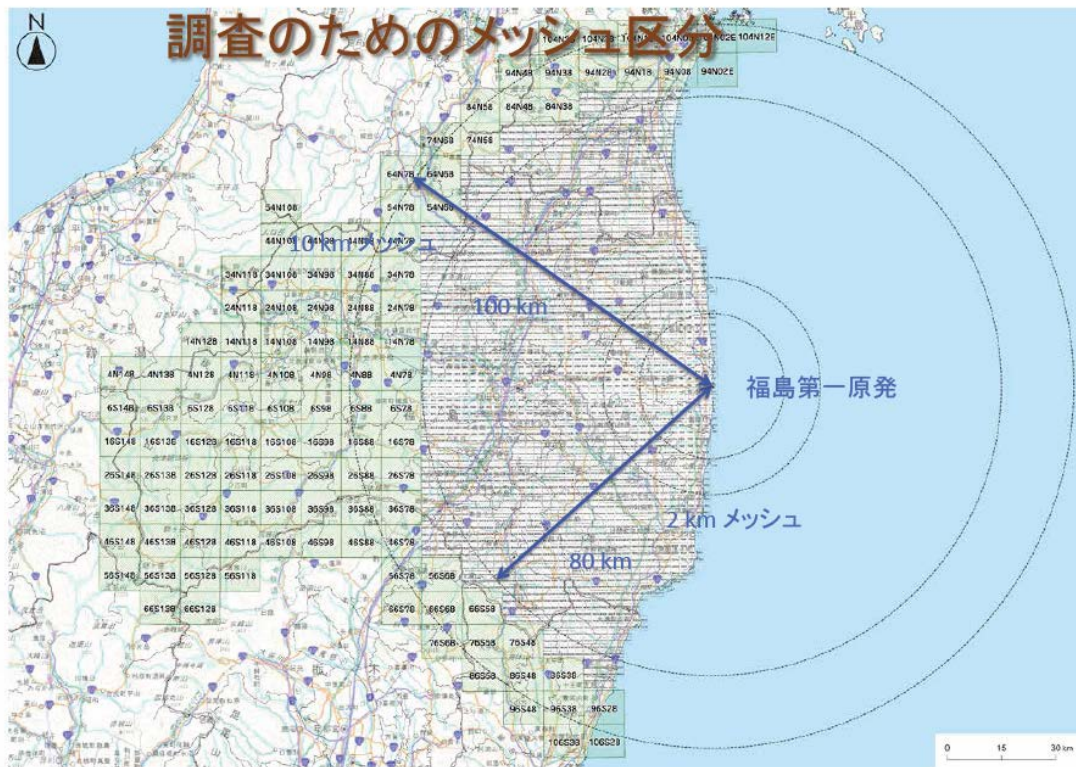
- 平坦地における地上1 m の線量率：サーベイメータ
- 広域線量率分布の連続測定：自動車に走行システムを設置

## 3. 空間線量率の分布予測モデル

- 統計データの解析結果に基づき予測
- 移行モデルの知見を参照

本日の発表の内容ですが、まず最初に土壌沈着量、1 平米当たりどれぐらいの放射性核種が沈着してそれが残っているか。平米当たりのベクレル数で表したマップの作成に関することです。それから 2 番目は、空間線量率の分布の話。最後に将来予測モデルの話を中心にさせていただきます。





まずは土壌沈着量マップの作成についてお話しします。第 1 次調査におきましては、この地図に示しますように福島原発周辺の約 2,200 の地点で土壌の採取を行いました。原発の近くは 2 キロメッシュで、遠い地点は 10 キロメッシュにつきまして、1 メッシュ 1 地点を選んで、地点ごとに 5 つずつの土壌の採取を行って分析を進めました。



## 土壌採取の手順



### 1次調査では約11,000の土壌試料を採取して分析

土壌採取の手順ですけれども、このような金属性の補助器具を用いて 5 センチまでの土壌を採取して、よく攪拌した後に U8 容器という容器に封入します。正確な測定を行うためには、よく攪拌することが大切で、どのような攪拌方法を用いてどの程度攪拌したらいいかというのを、筑波大の恩田先生に事前に検討していただき、それを基にマニュアルを作って統一した方法で土壌採取を行いました。



ミーティング



土壌採取の講習



タクシーで移動



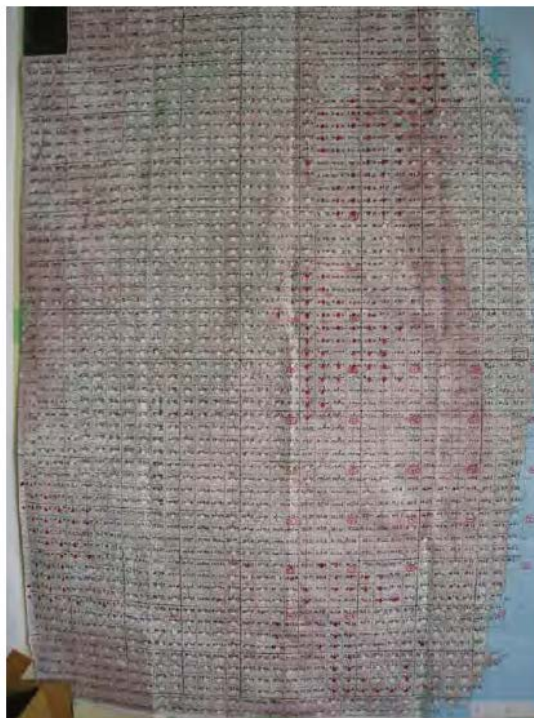
データ記録

これは、土壌採取のときの様子の写真ですけれども、朝、30 チームがこのように一箇所に集ってミーティングを行って、その後タクシーで別れて出かけて行って土壌採取をして、戻ってきて最後にその日のデータをこのように記録して電子媒体として提出して、そこで1日の調査が終了するという事です。毎日調査する人が入れ替わりますので、土壌採取方法の講習なども毎日夕方このようにやって、皆さんでなるべく同じ方法で土壌採取できるようにしました。



## 測定地点の地図

- 測定が終了した地点に印をする

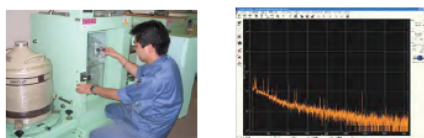


ミーティングルームにこのような地図が貼ってありまして、毎日測定が終了した時点でその地点にシールを貼ります。これを見て残りの地点をチェックしながら、また、自分たちを勇気づけながら調査を行ったというのを覚えていきます。この地図も、恐らく恩田先生に用意していただいたものだと思います。



## 土壌試料の核種分析

- 約11,000の試料のGe検出器による測定を22機関で実施
- クロスチェック等により測定信頼性をチェック



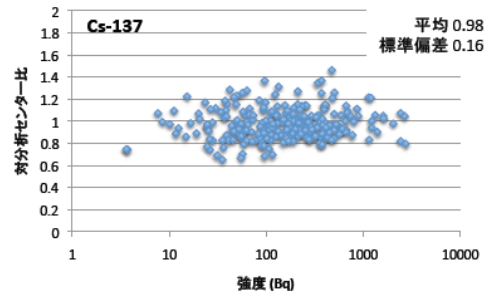
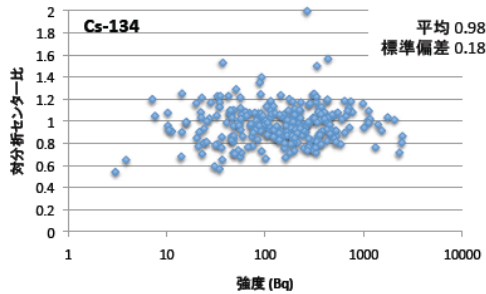
(測定結果イメージ)

No.	試料採取日	地点番号	測定日	γ線スペクトロメトリー						
				$^{131}\text{I}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{110m}\text{Ag}$	$^{136}\text{Cs}$	$^{138}\text{La}$	
1596	23. 6. 8	8N62	1	23. 6. 22 15:48	<21 8.4 ± 6.8	3100 ± 30	3300 ± 30	—	—	—
1597			2	23. 6. 22 17:10	<17 15 ± 5.4	2000 ± 30	2200 ± 20	—	—	—
1598			3	23. 6. 22 18:21	<20 0.64 ± 6.2	2600 ± 30	2900 ± 30	—	—	—
1599			4	23. 6. 23 09:13	<14 -1.5 ± 4.4	1400 ± 20	1500 ± 20	—	—	290 ± 96
1600			5	23. 6. 23 10:30	<17 4.5 ± 5.3	2000 ± 20	2300 ± 20	—	—	—

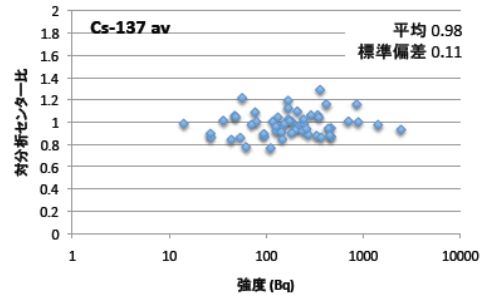
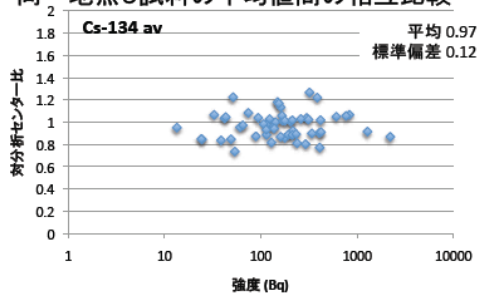
採取した土壌ですけども、約 11,000 の試料を採取しましたが、ゲルマ検出器によって 22 機関で測定をしています。この 22 機関の中には、環境試料の測定を行ったことのない機関も含まれていましたので、クロスチェックを実施して測定信頼性をチェックしながら測定を進めました。

# Ge検出器による土壌試料測定の結果の相互比較結果

## 個別試料毎の相互比較



## 同一地点5試料の平均値間の相互比較



これがその結果ですが、共通の試料を違う機関で測定しまして、信頼がおける分析センターの測定値に対しての比を示したものです。下のほうは同一地点の試料の平均濃度の相互比較ですが、全体の平均値で 0.97 とか 0.98。標準偏差 10 パーセントという、非常によい結果を得ることができました。

## ポータブル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**

第2次調査以降は、土壌試料をたくさん持ってくるのではなくて、逆に、ポータルのゲルマ検出器を環境へ持ち出して、in situ（イン・サイチュ）測定という測定を行っています。これはフランスチームの写真ですが、この手法ですと、広い領域からのガンマ線を測定することができますので、この地点の平均的な沈着量が測定できます。

# 土壌沈着量のマップ作成

## 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)

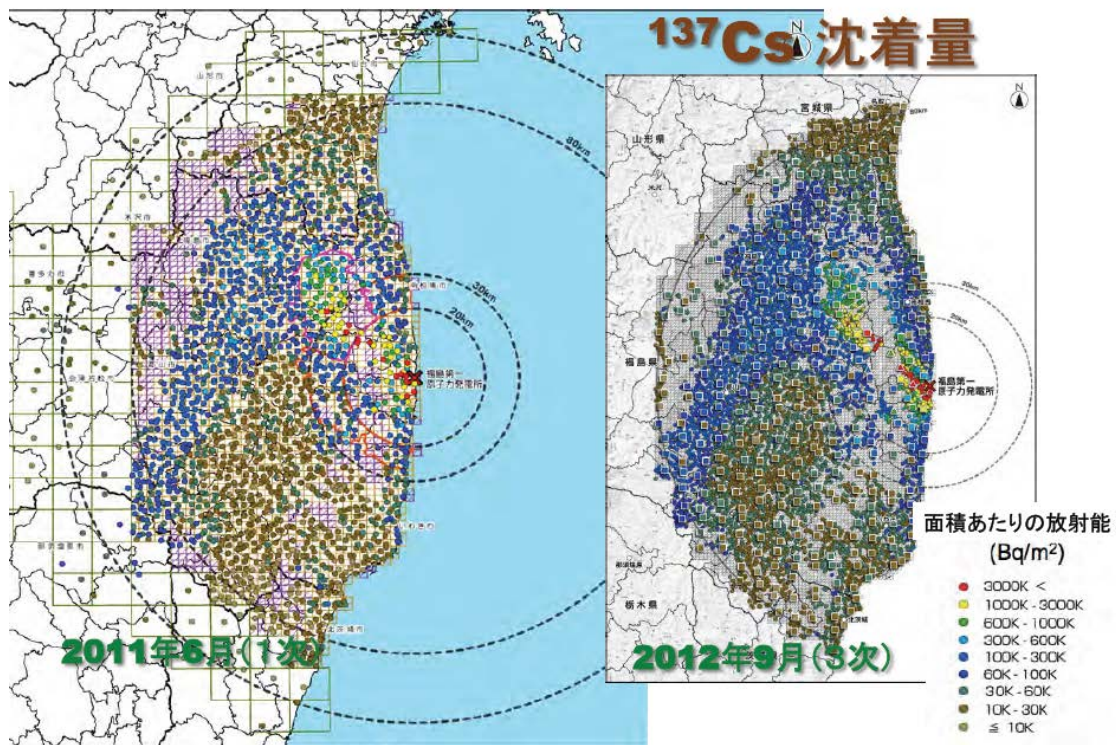
## 3. ベータ線放出核種

- Sr-89 (50.5日)
- Sr-90 (28.8年)

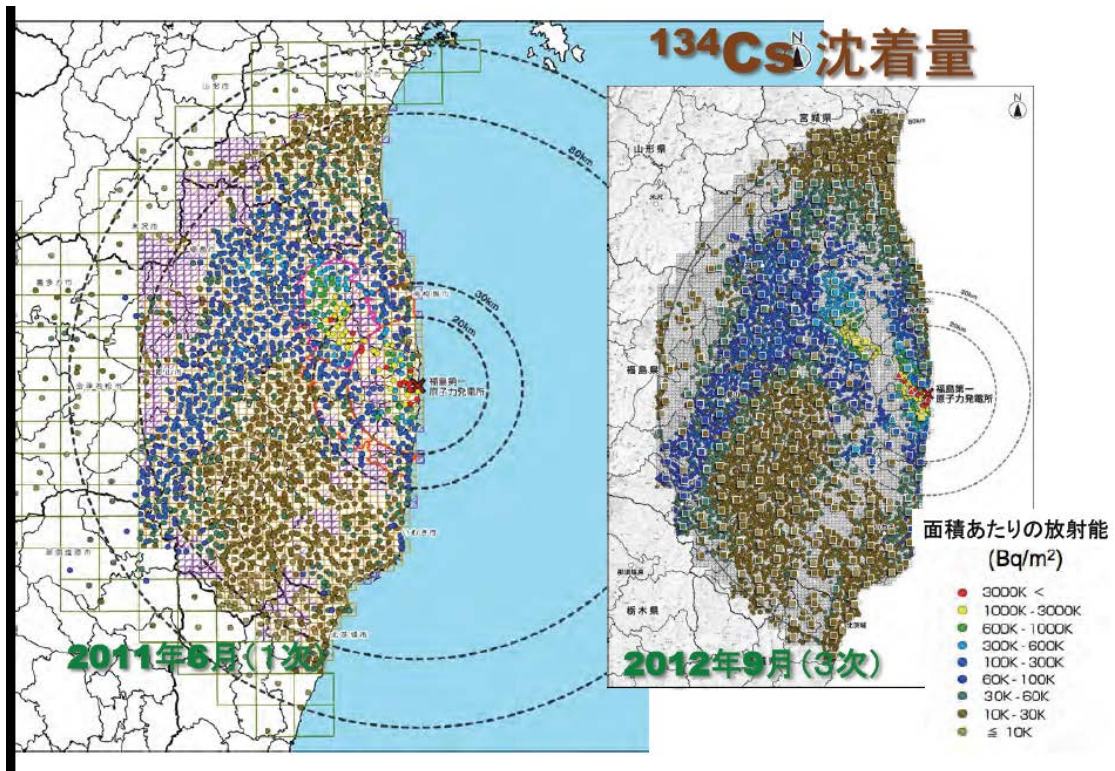
(括弧内:半減期)

こういった測定手法を用いながら、ここに示します核種に対してマップを作成してまいりました。ガンマ線の放出核種に対しては、セシウム、ヨウ素、テルル、銀に対してマップを作成しました。また、プルトニウム、ストロンチウムに対してもマップを作っています。プルトニウムとストロンチウムに関しては、測定するのに化学処理を必要としますので、毎回 100 程度の試料を選んで分析を行っています。これからその結果をお見せしていきたいと思えます。

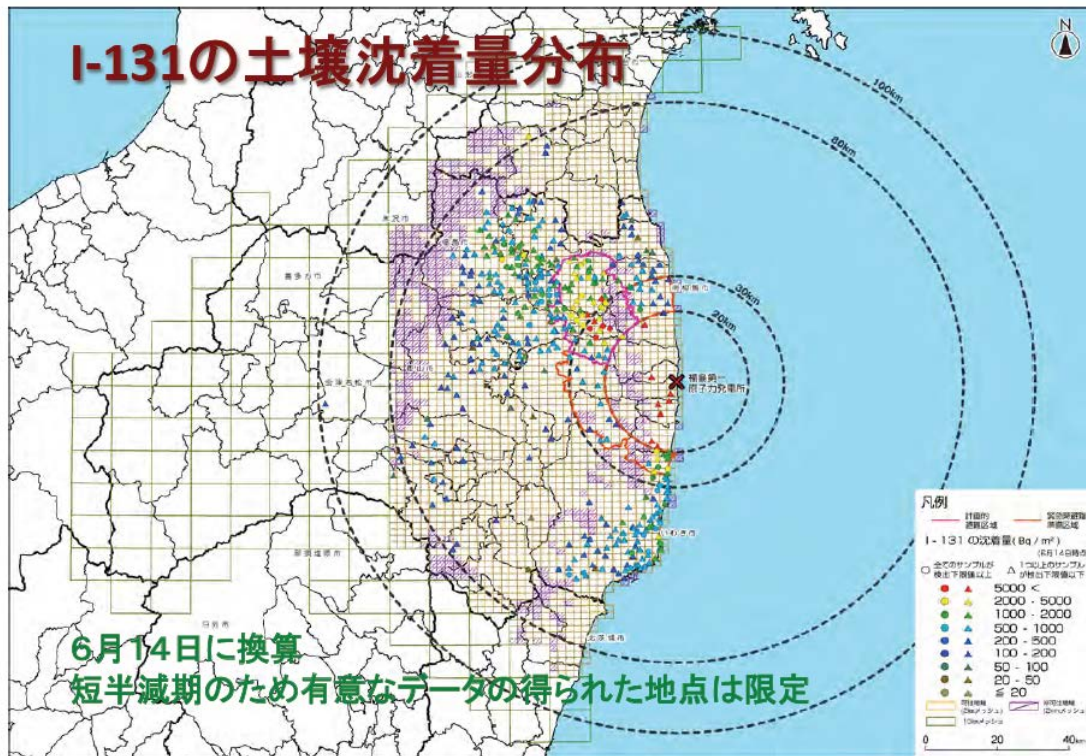




これは、セシウム 137 の沈着量マップです。面積当たりの放射能、すなわちベクレル/m<sup>2</sup> を細かい色に分けてプロットしてあります。左が 2011 年の 6 月、右が 2012 年の 9 月の結果ということになりますが、よく知られているように、原発から北西方向に高い濃度を示しています。それから福島の中通り、中央部分に相対的に高い沈着量があるということです。セシウム 137 の場合は、この 2 つの期間を比べても違いはあまり明確ではありません。

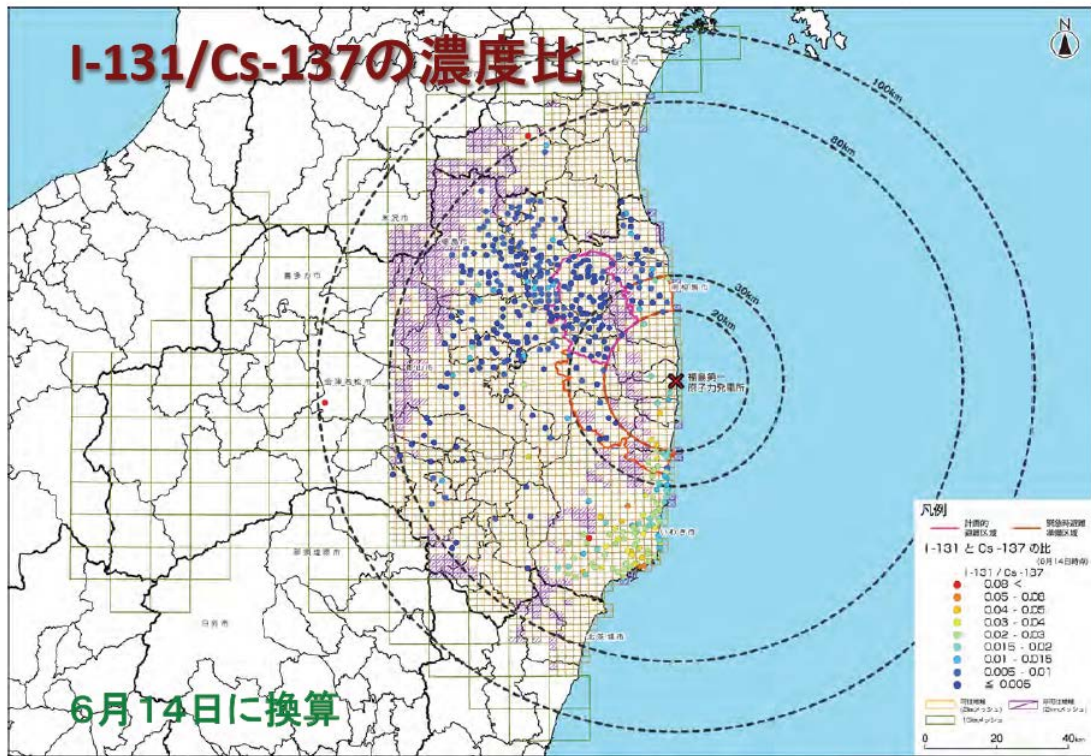


一方、セシウム 134 の場合は、明らかにこの黄色い部分、明るい部分が小さくなっています。すなわち、沈着量が減っていることがわかります。これは半減期が短いことが主な原因です。



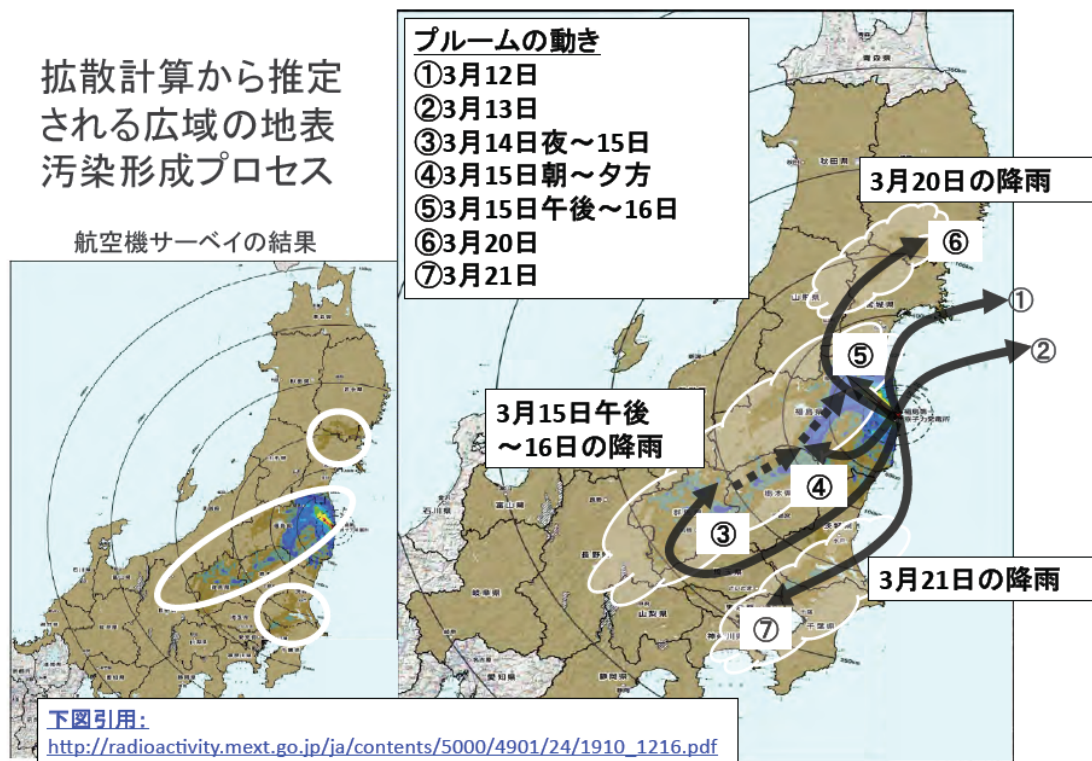
これはヨウ素 131 のマップです。6月14日に換算したものですけれども、ヨウ素は半減期が非常に短く、わずか8日という半減期ですが、調査を始めた時点で事故後既に3か月がたっていましたので、統計的に優位なデータの地点というのは、全体2,000地点のうち400地点程度ということになります。基本的にはセシウムと同じような沈着量分布が得られています。





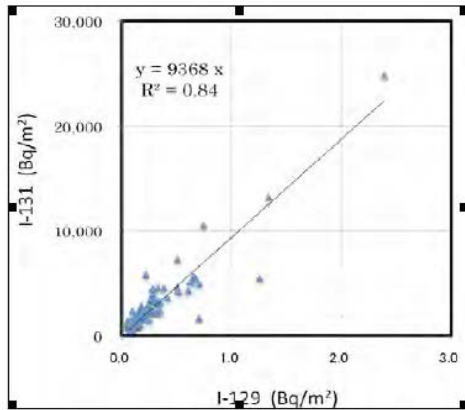
ヨウ素とセシウム 137 の濃度比を計算したマップがこれになります。そうしますと、比率は全般的に低いのですが、原発の南方の地点だけ比率が高い、この地点だけ違う経路で沈着が起こったのではないかということを感じさせる結果が得られています。





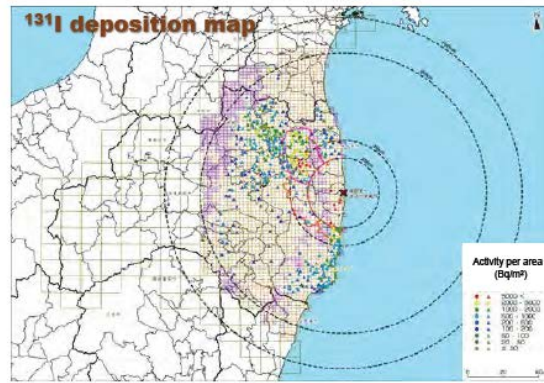
これは拡散シミュレーションによって、どのようなブルームがどのように流れたかを示している図ですけれども、これによりますと、原発の南方はブルームの3番、4番、あるいは7番、すなわち3月14～15日。あるいは20日過ぎに放出されたブルームで沈着が起きたと考えられます。このブルームの中に含まれる要素の比率が高かったことが土壌中のヨウ素の比率が高かった原因であろうと推考されます。

## AMSを用いた<sup>129</sup>I 測定による <sup>131</sup>I 沈着量マップの精緻化



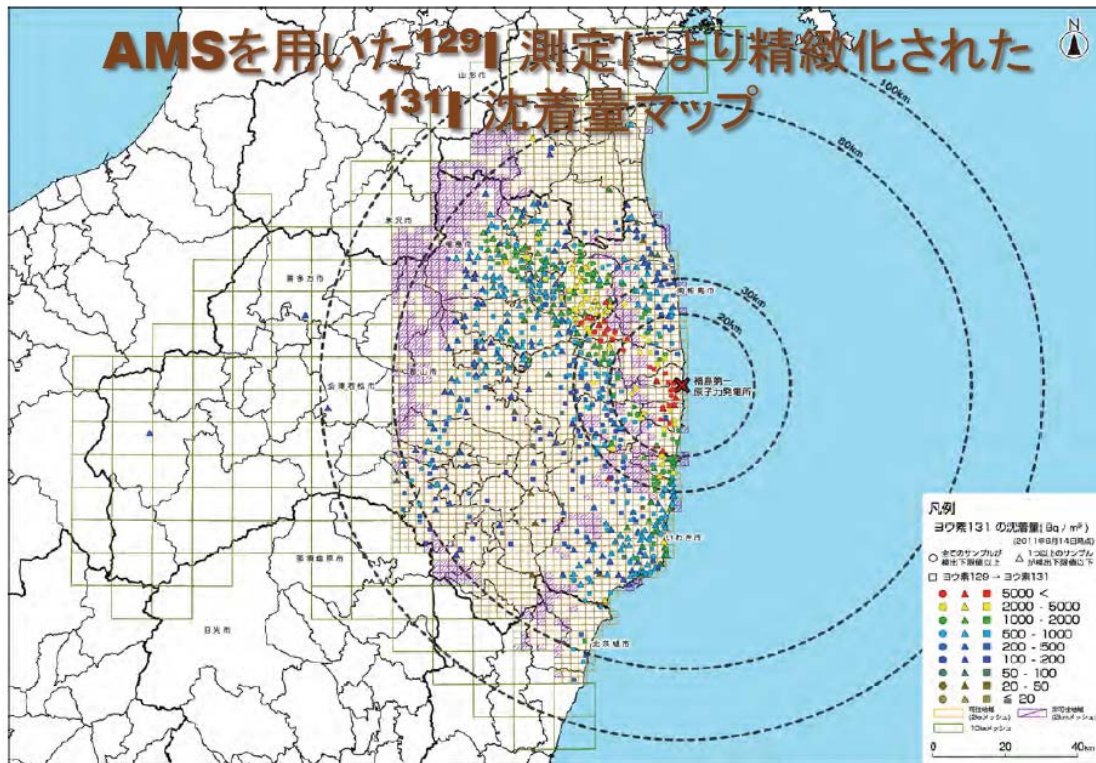
- 土壌試料中の <sup>129</sup>I 濃度と <sup>131</sup>I 濃度には明らかな相関があることが判名

(村松、松崎)

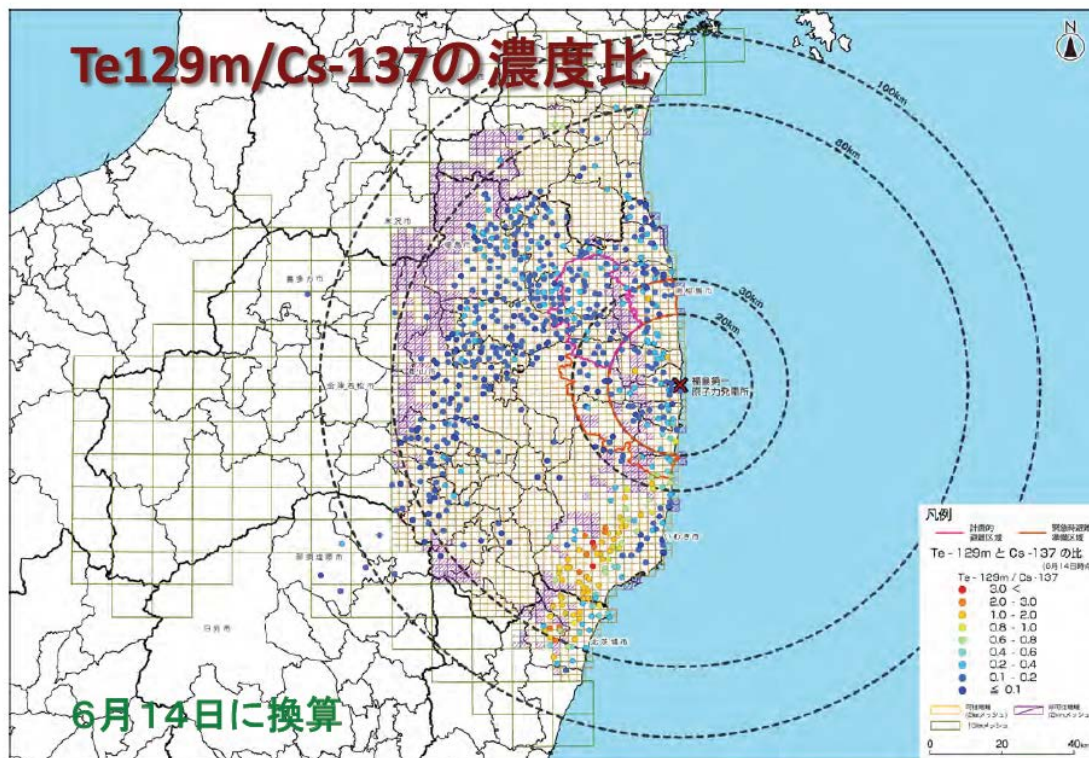


- 2011年6月に採取され <sup>131</sup>I が検出されなかった土壌試料を対象に <sup>129</sup>I の測定を行いマップを詳細化

ヨウ素は事故直後の被ばくで非常に重要な核種ですので、AMS（加速器質量分析）を用いて長半減期のヨウ素 129 を測定しまして、マップの精緻化を行なっています。この図はヨウ素 129 と 131 の相関関係になります。この関係を利用して得られたヨウ素地図を詳細化しようという試みが、学習院の村松先生らによって進められてきました。

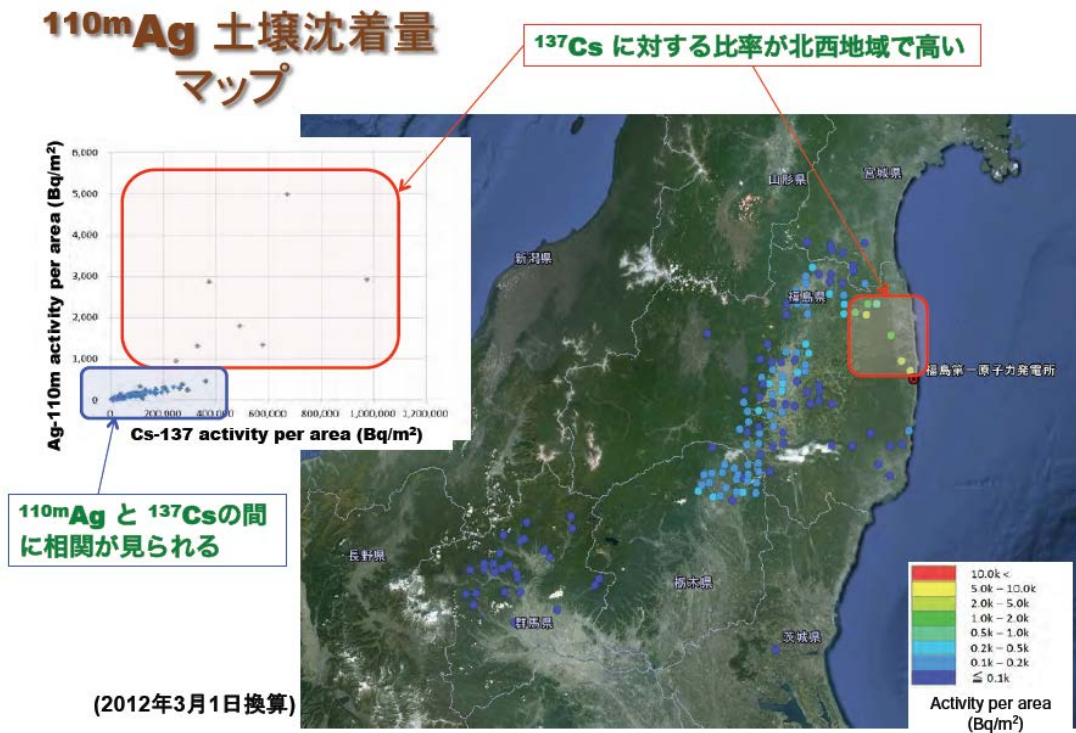


これは最近得られたそのデータですけれども、最初に得られたヨウ素のマップに比べてほぼ地点数が倍になった、このような詳細なマップが得られています。



この図はテルルとセシウムの濃度比を示した図ですが、ヨウ素とよく似ていて原発の南方地区でその比率が高いことがわかります。すなわち、ヨウ素とテルルは挙動が似ていることを示唆する結果が出ています。

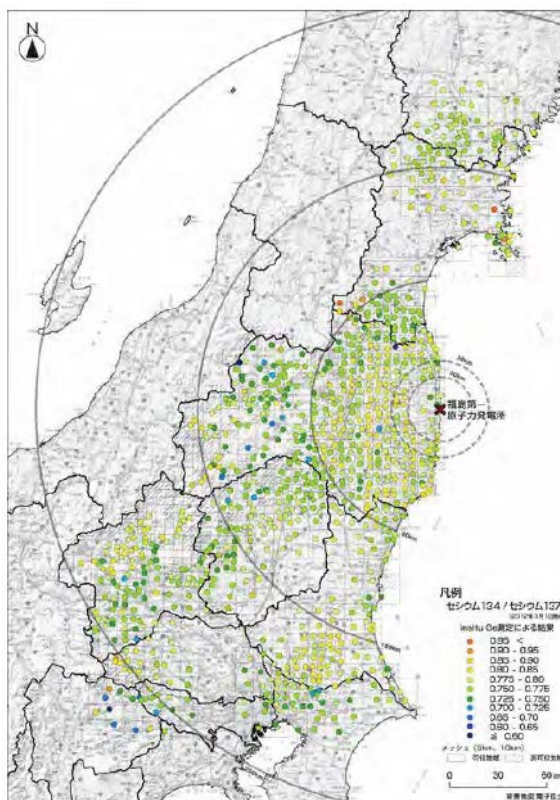




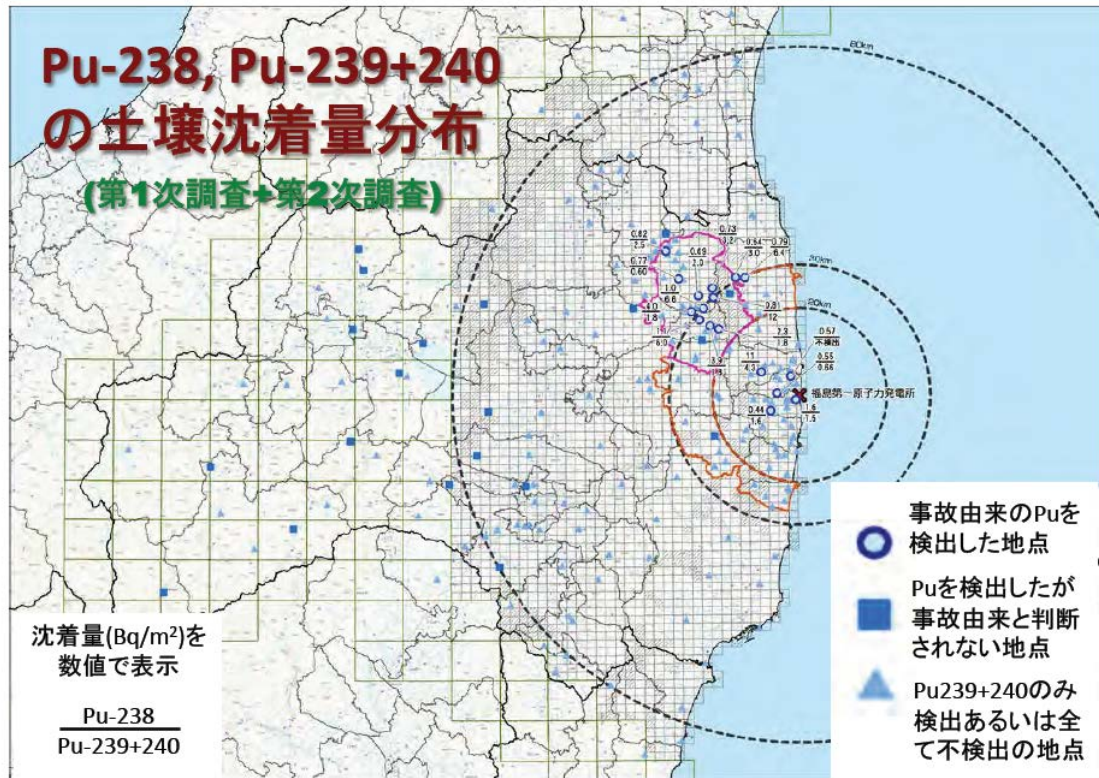
一方、銀の場合は、それと違う傾向を示しています。原発から北西方向でセシウムに対する銀の比率が大きく、その他の広い地域では比率が小さくて、しかもよい相関が見られるということがわかりました。

## Cs-134/Cs-137 の濃度比

会津、群馬、栃木方面で  
比率が低い傾向？

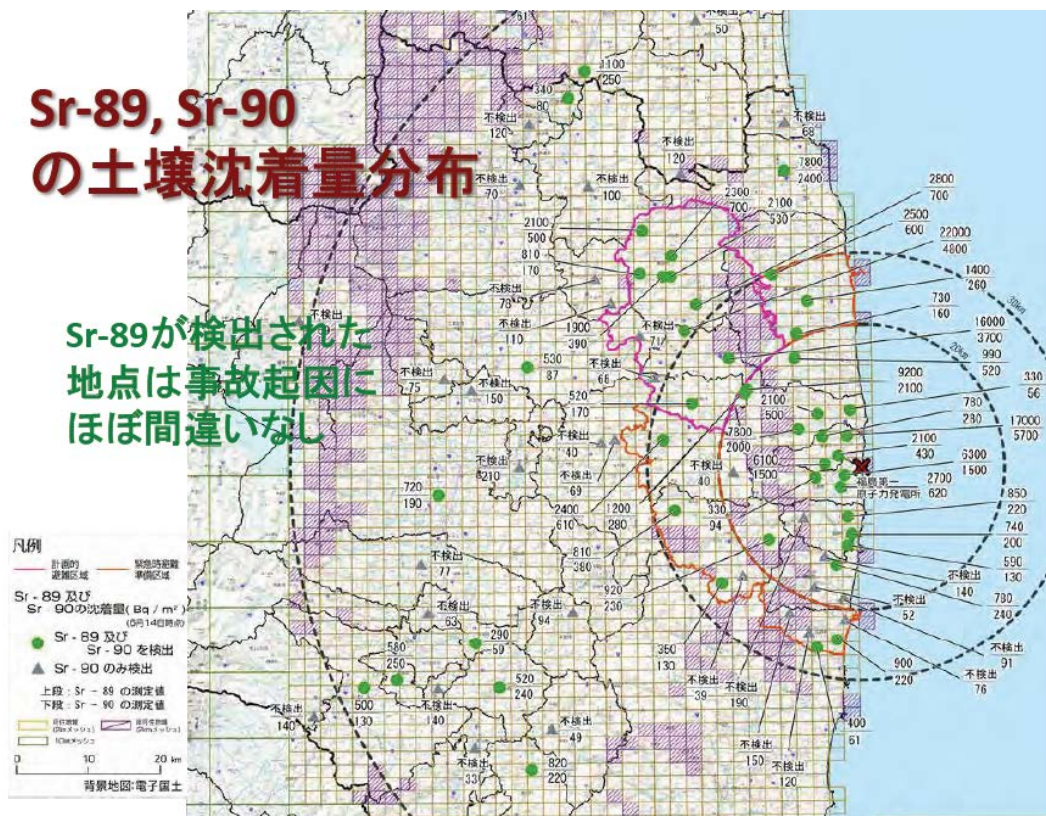


セシウム 137 と 134 というのは全般に非常によい相関が見られるのですが、非常に細かく見ていくと地域特性がありそうな傾向も見られます。これは 137 と 134 の比率ですが、会津、群馬、栃木方面で多少低めの値になっています。ただし、これが本当に統計的に有意な結果かどうかというのは、今後さらに解析を進めていく必要があります。



プルトニウムに関する結果ですが、この図では事故由来のプルトニウムを検出した地点を丸で示してあります。それから、プルトニウムを検出したけども事故由来と認識されなかった地点をその他の記号で示してあります。北西方向に明らかに事故由来のプルトニウムを検出しております。ただし、沈着量の濃度が非常に低く、核爆発実験の Fallout がまだ残っておりますけれども、それと同じレベルでやっているということがわかりました。この図では、濃度の数字が小さくて見えにくくなっています。





ストロンチウムについても状況は同じで、今回の事故由来のストロンチウムというのが明らかに発見されているんですけども、濃度自体は大きくありません。



## 被ばく線量評価

- 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

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

(TECDOC-1162の線量係数を使用)

1次調査で検出された放射性核種に対して、その最大土壌濃度を用いて過大評価側に線量評価を行ったのがこの表になります。核種、それから後ろに出された評価の結果がありますが、50年間の外部被ばくと、それから再浮遊、空気中に巻き上げられた核種を吸入することによる内部被ばくを評価しています。そうしますと、一番重要な核種としてはセシウム137で、50年間に2,000ミリシーベルト。2番目がセシウム134で710ミリシーベルト。3番目は二桁に落ちて、銀で3ミリシーベルト。ストロンチウムとプルトニウムの線量については、1ミリシーベルト以下の非常に小さい値であることがわかります。

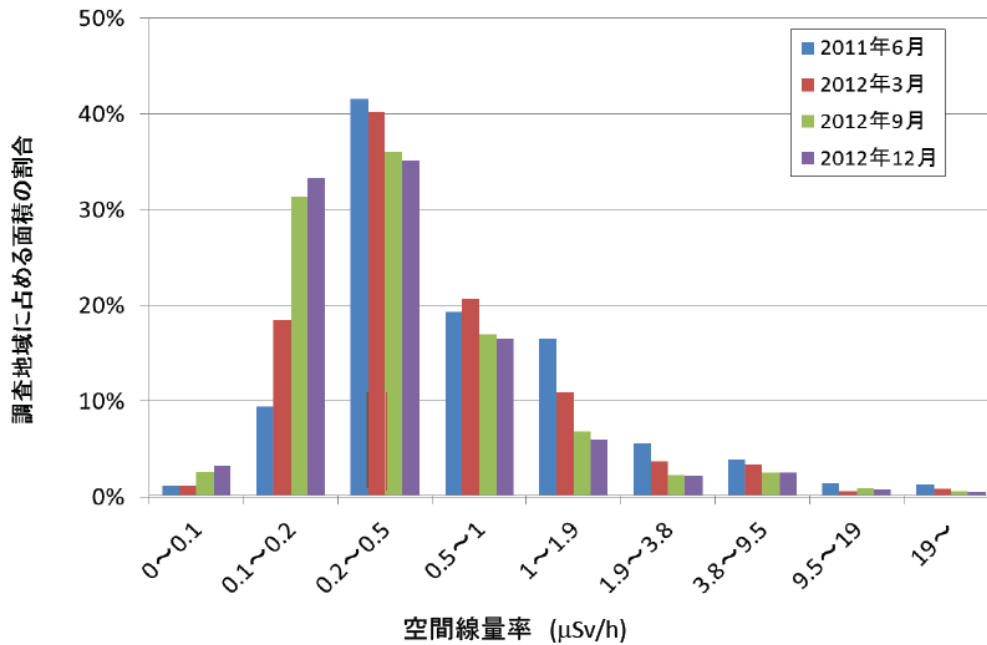
## 放射性核種の土壌沈着量に関するまとめ

1. 将来の被ばく線量の観点からは放射性セシウムが圧倒的に重要
2. 事故に起因したプルトニウムとストロンチウムが観測されたが、沈着量は非常に少ない
3. Cs-134 の沈着量は 2011年6月から確実に減少
4. I-131, Te-129m あるいは Ag-110m と Cs-137 の比率には地域依存性が存在:
  - a) I-131, Te-129mは原発から南方向で高い
  - b) Ag-110mは北西方向で高い

以上、放射性核種の土壌沈着量に関するまとめですが、将来の被ばく線量の観点からは、セシウムが圧倒的に重要です。プルトニウム、ストロンチウムも観測されていますけれども、量は非常に少ないです。セシウム 134 の沈着量は着実に減少しています。それから、ヨウ素、テルル、銀とセシウムの比率には、それぞれ独特の地域依存性が見られます。



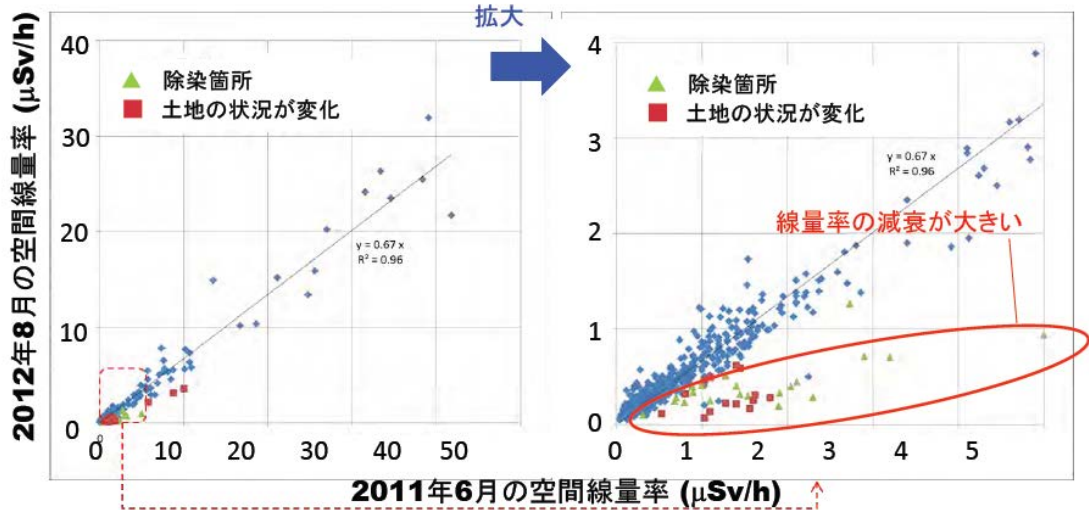
## 空間線量率毎の面積の割合 (80 km圏内)



80 キロ圏内の空間線量率ごとの面積の割合をこの図で示しています。空間線量率の範囲とその線量率の占める面積の割合を縦にパーセンテージで示しています。4 回の測定を一緒に示していますが、 $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以上の地域は、経時的にだんだん面積が減ってきていることがわかります。逆に、 $0.2$  マイクロシーベルト以下の線量率の低い地域の面積が増えてきています。現状では、 $0.5$  マイクロシーベルト以下の地域の面積が 70 パーセント程度を占めているということがわかります。



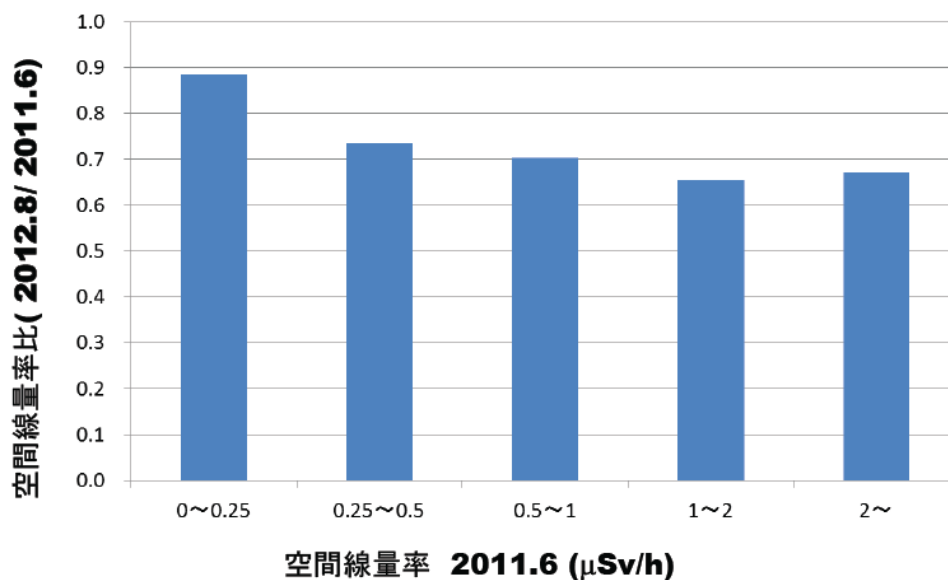
## 1次調査と3次調査の空間線量率の比較



- 空間線量率は平均で**30%以上減衰 (物理的減衰: 25%)**
- 空間線量率の減衰が大きい地点が存在: 除染、土地状況の変化

この図では、11年6月と12年8月の線量率を相関図のかたちで比べていますが、傾きが0.67です。ちょっと小さくて見にくいと思いますが、空間線量率がこの期間に平均で30パーセントちょっと減少していて、この期間の物理的減衰が25パーセントと評価されます。従って、ウエザリングによる減少というのは10パーセント以下とあまり大きくない傾向がここから確認できます。それから、一部、線量率の減衰が他に比べて明らかに大きい地点がありました。それを調べてみると、除染が行われた場所、あるいは土地の条件が変わったということで、除染により明らかに線量率が下がっていることが、こういったデータからも確認できています。

## 1次調査と3次調査の空間線量率の比較

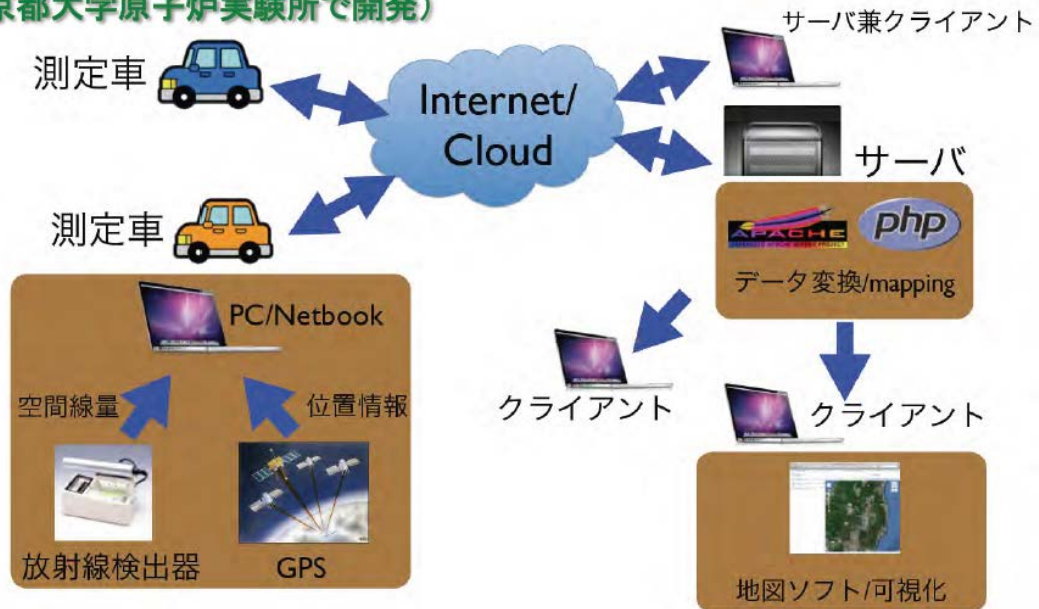


### ●空間線量率の減少傾向には線量率依存性がある

また、この図は1次と3次の空間線量率の比率を各線量率の範囲ごとに示しています。線量率が高いところではこの比率が小さい、すなわち着実に線量率が減ってきているのに対し、線量率の低いところではなかなか線量率が下がりにくい。空間線量率の減少には線量率に対する依存性があるということがわかりました。

# KURAMAシステムを用いた走行サーベイ

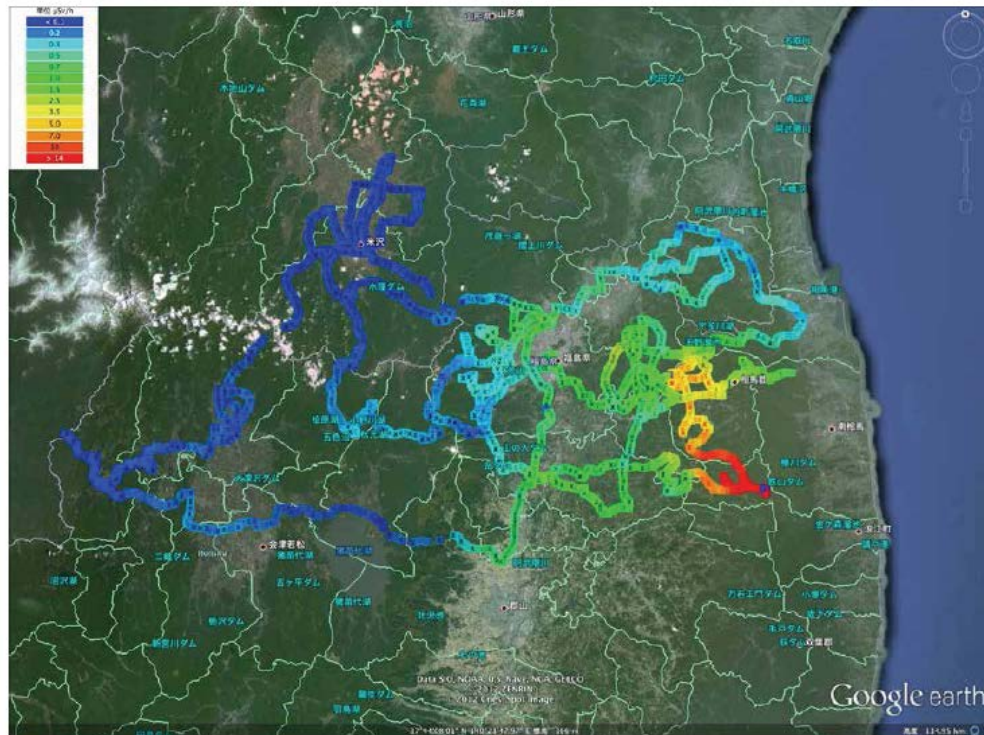
(京都大学原子炉実験所で開発)



● 携帯電話の回線で測定データを即時に転送・表示

空間線量率に関しては、京大で開発しました KURAMA というシステムを用いた走行サーベイを実施しております。このシステムは、空間線量率測定値と GPS を用いて位置情報を PC に取り込んで、リアルタイムで携帯電話の回線で飛ばして見ることができるというものです。

## 走行サーベイ結果のリアルタイム表示



これはリアルタイム表示の例ですが、ベースキャンプで走行経路及び測定結果を同時に見ることができます。例えば 10 台の車が走っていれば 10 台いっぺんにこの画像を見ることができて、もし不適切な測定が行われたらすぐに処置ができます。



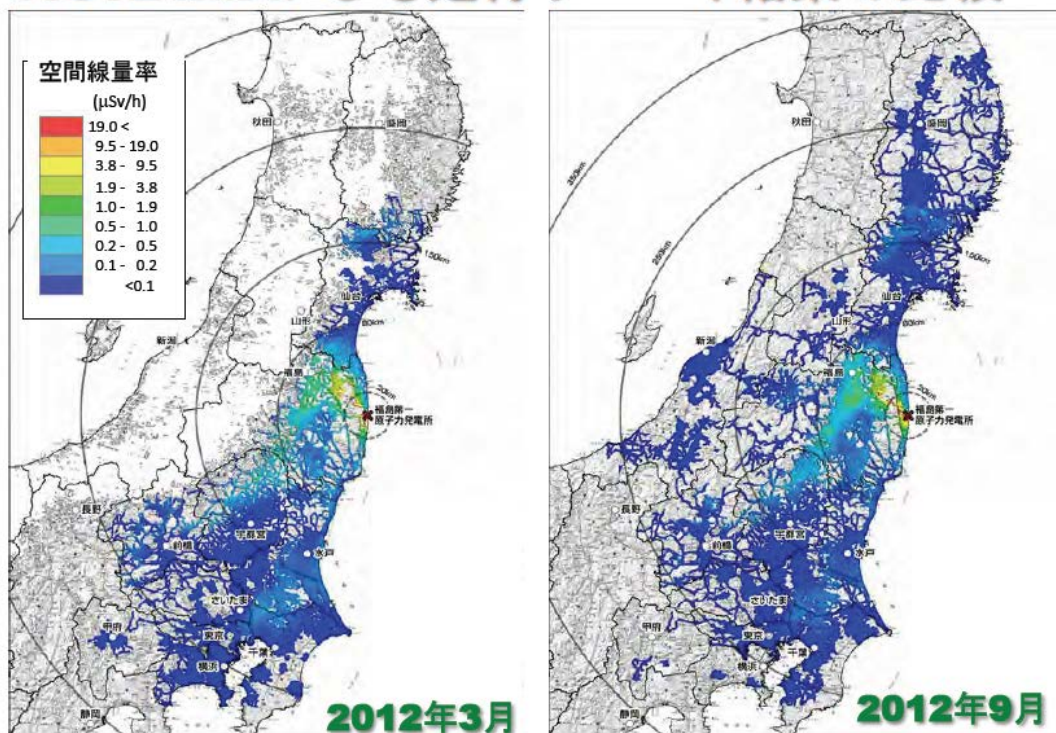
## KURAMA2 システム

- 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（2012年3月以降）



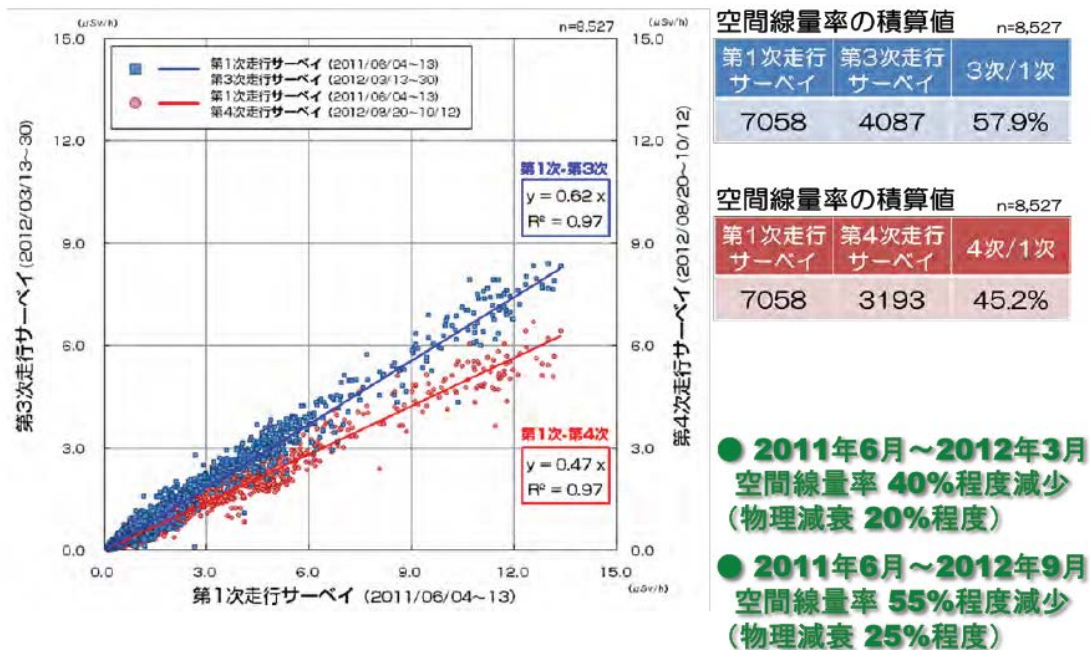
第2次調査以降は KURAMA2 システムと呼ばれる、非常にコンパクトで操作が容易なシステムを使用しました。大きさはこのくらいで、自動車のシガーソケットに電源をつなぐとすぐに測定が始まるようなシステムですので、100 台を作成しまして約 200 の地方自治体に貸与して自由に測定してもらおうということを始めました。

## KURAMAによる走行サーベイ結果の比較



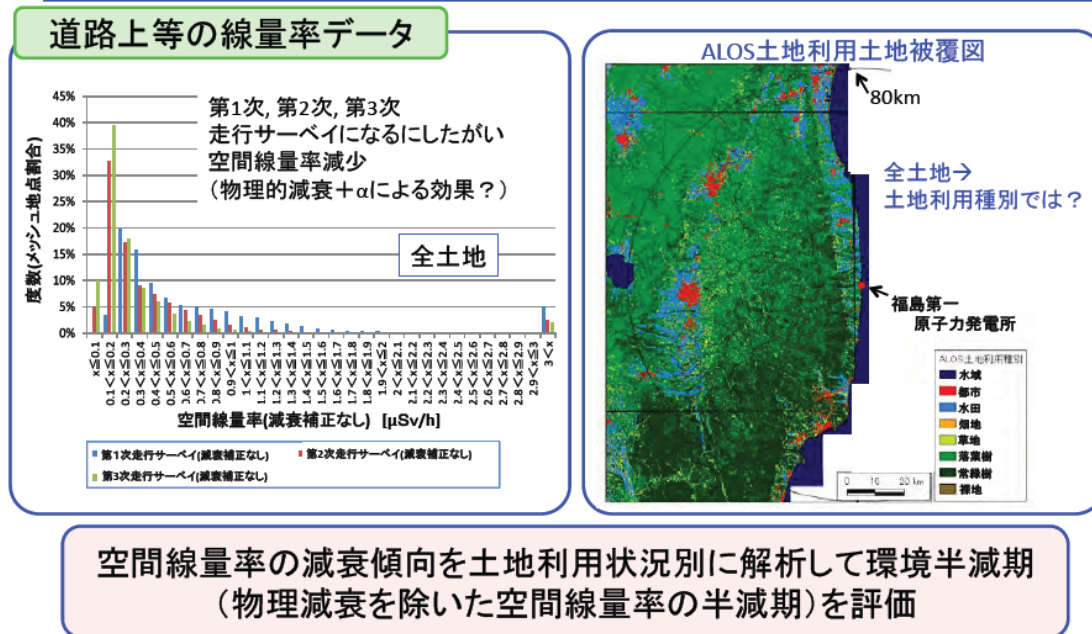
その結果、この図に示しますように、短期間で非常に詳細な広域の地図を作ることができるようになりました。左は12年の3月、それから右は12年の9月に行われた測定の実例です。例えば千葉あたりの線量率がこの半年で下がってきていることがわかるとおもいます。

## 1次と3次・4次の走行サーベイ結果の比較



この図では、走行サーベイの結果を3つの時期で比較しています。2011年の6月から2012年の3月では、この青い線になりますが、空間線量率が40パーセント程度、それから9月までの範囲ですと、この赤い線になりますが、50パーセント程度まで空間線量率が減少しています。走行サーベイに関しては、物理的な減衰に比べて非常にその減衰が大きいということが観測されています。

## 土地利用状況による線量減衰傾向の違い

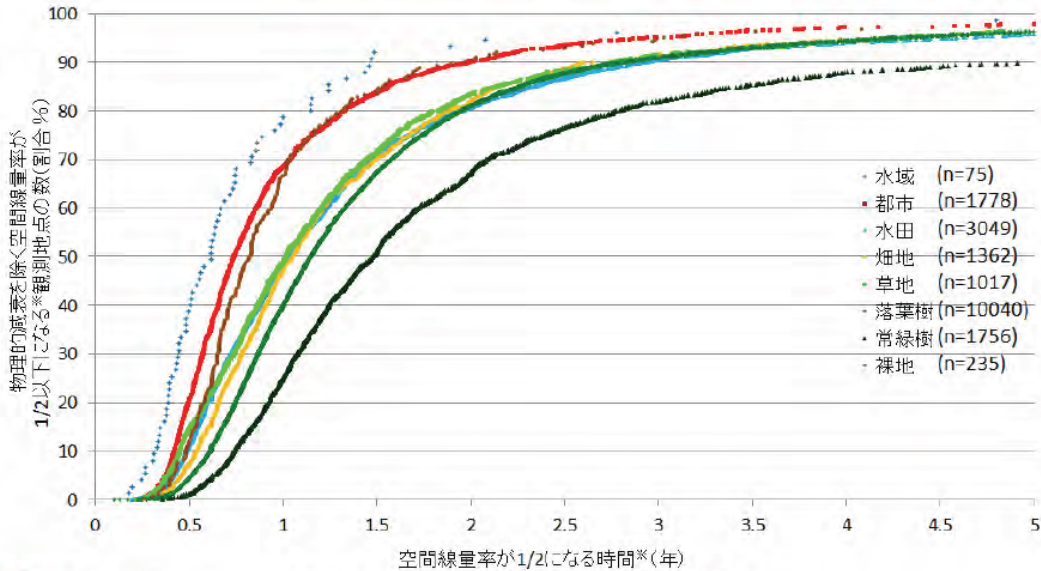


空間線量率の減衰傾向を土地利用状況別に解析して環境半減期  
 (物理減衰を除いた空間線量率の半減期)を評価

また、この図では、走行サーベイのデータと土地利用状況のデータを用いて統計的な解析を行い、空間線量率の減衰傾向を土地利用別に解析して、環境半減期、これは物理的な減衰を除いた空間線量率の半減期ですけれども、それを評価しました。



## 土地利用状況と線量減衰



(※) 第1次及び第2次走行サーベイの測定結果から導出。  
放射性物質の物理的減衰を除く

環境半減期の累積度数分布をこの図に示しています。これは、異なる土地利用状況に対して示しているのですが、水域とか都市は水色と赤ですが環境半減期が短い、すなわち水域とか都市では線量が早く減少しているのに対し、林、特に常緑樹の地域では線量率の減衰が非常に遅いという結果が明らかにされています。

## 標高差

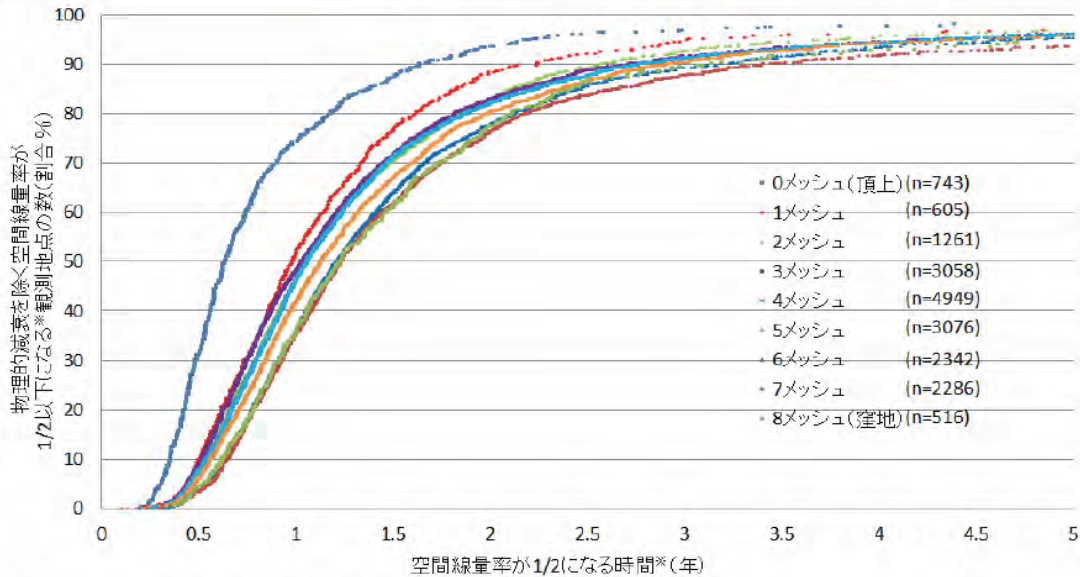


周囲の土地との標高差を、数値地図50mメッシュ(標高)(国土地理院)の標高データを用いて、メッシュ数で表した。



これは、標高差がどのように線量率の減衰に影響しているかということ調べた図です。100メートルメッシュで解析を行っているのですが、まず、注目したメッシュの周りのメッシュとの標高差がどういう関係にあるかというのを考えてみます。これは、周りに高いメッシュがいくつあるという数を示していますが、0メッシュというのは高い標高差の地域がない、すなわちここが尾根の頂上であるということです。逆に8メッシュというのは、一番低い窪地のようなところであります。

## 標高差と線量減衰



(※) 第1次及び第2次走行サーベイの測定結果から導出、放射性物質の物理的減衰は除く

この標高差ごとに、同じく環境半減期の累積をするのですが、0メッシュ、すなわち標高が一番高いところ、山の尾根部のようなところは線量の減衰が速いのにに対して、こちら（窪地）は遅い。やはり高いところから低いところへセシウムが動いていることを示す結果が得られています。

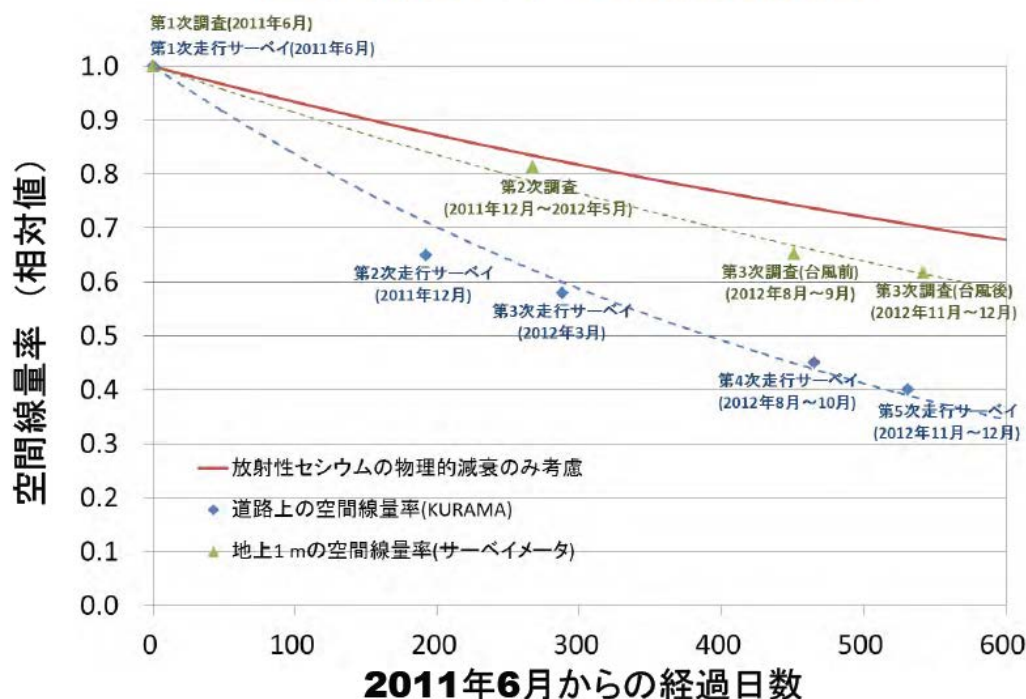
## 空間線量率に関するまとめ

- 1. 2011年6月から2012年9月までに平坦地上1 mの空間線量率が33%減少**
  - 物理壊変による減衰：25%
- 2. 2011年6月から2012年9月までに走行サーベイによる空間線量率が55%減少**
- 3. 空間線量率の減少傾向に影響する要因**
  - 線量率依存性：線量率の低いところは減少が遅い
  - 土地利用依存性：針葉樹林は遅く都市では早い
  - 高度差依存性：頂上は早く窪地は遅い
- 4. 走行サーベイ及び航空機サーベイにより詳細な線量率マップを作成するための基盤が完成**

線量率に関するまとめということになりますが、2011年6月から2012年9月まで平坦地上1メートルでは空間線量率が33パーセント、一方、走行サーベイで見ると道路上では50パーセントの減少ということで、両者には大きな違いがあります。それから、空間線量率の減少傾向に影響する要因として、土地利用状況と高度差が挙げられますが、両者に対する依存性が観測されています。



## 空間線量率の減衰傾向



これは、空間線量率の減衰傾向をまとめた図です。2011年の6月を1.0として示していますが、赤が物理減衰傾向、緑は平坦地地上1メートルの減衰傾向、青が道路上の減衰傾向ということになります。このように、非常に大きな差があります。道路のセシウムというのは流れやすいことがわかっているのですが、道路上の測定も道路のガンマ線だけではなく、周囲からのガンマ線も測っています。従ってこの大きな差というのは、道路のセシウムの状況だけでは説明できない。

これに関して、なぜこういった大きな違いがみられるのか。また、どちらのほうが実際の人間の生活に近い線量率に該当しているのかということを探るために、今、新しい調査から測定をし始めているところです。

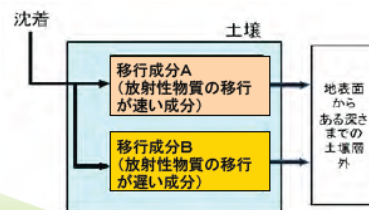
# 空間線量率の分布予測モデル

空間線量率測定値の変化傾向を統計的に解析し  
福島第一原発から80 km圏内を対象とした  
空間線量率の分布予測モデルを開発

空間線量率の分布予測モデルの開発イメージ



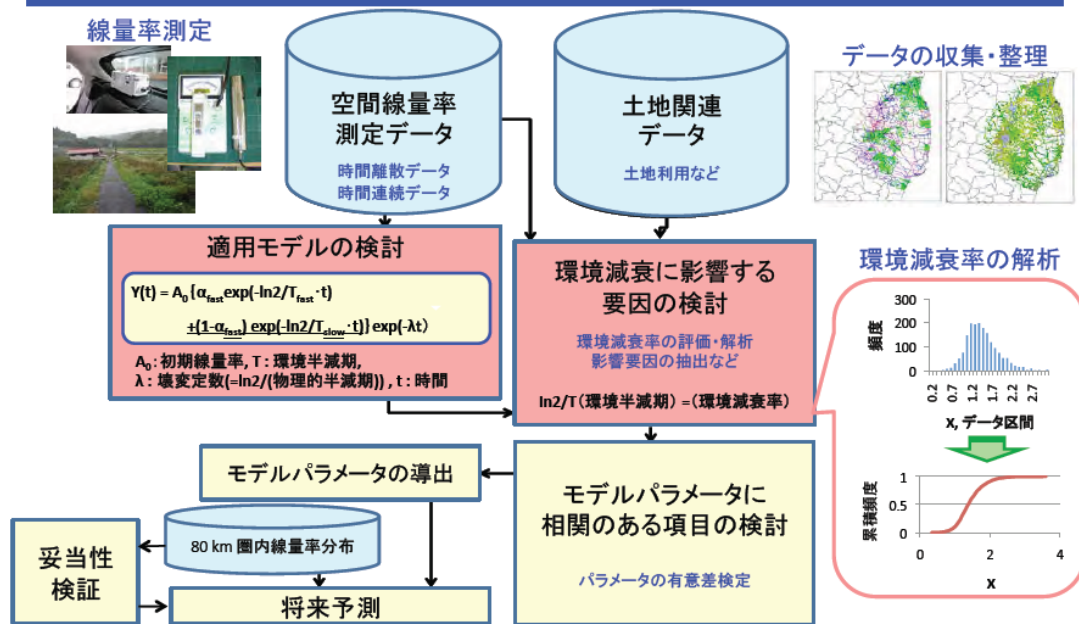
表層土壌中にあるセシウム沈着量の経時変化に対して2成分モデル(移行の速さが異なる2つの成分を仮定)を適用



福島第一原発から80km圏内で測定された、定期的に測定された空間線量率データ、連続的に測定された空間線量率データなどを解析し、移行成分の特徴を抽出

最後に、空間線量率の分布予測モデルについてお話しします。ここでは、80 キロ圏内を対象として空間線量率の予測を行おうとしています。ここで書かれているモデルは、表層土壌中にあるセシウムが 2 つの成分で土壌から外へ流れていく。すなわち移行の速い成分と遅い成分の 2 つにより流出すると想定するという事です。その結果として地上の空間線量率も変化するという事です。

# モデル作りのための解析の流れ



具体的には、2つの成分としてこのような指数関数を考えまして、その組み合わせで線量率の変化を表します。空間線量率とのデータを統計的に解析して、状況ごとに実際的なパラメータを用いて、それで将来予測を行うというものです。現在まで（当初の1年間）の解析ですと、まだ遅い成分が見られていない、指数関数的に線量率が下がってきて、今後、遅い成分がだんだん見えてきている状況にあると思います。

## 今後の予定

1. 信頼における同様の手法を用い継続して詳細測定を実施しマップを作成
2. 80 km 圏内の空間線量率、放射性セシウムの沈着量等の分布の変化を予測するための数理モデルを開発
3. 取得したデータを分かり易い形で情報発信するためのシステムの開発

今後の予定ですけれども、信頼における同様の手法を用いて継続して詳細測定を実施していく。実際に、現在、25年度の分布状況調査を開始して、1回目の測定を先日終了したところです。それから先ほどご紹介しました、予測のための数理モデルを今年度中にプロトタイプとして完成する予定です。それから3番目はやはり、取得した情報をなるべくわかりやすいかたちで発信することが必要であろうということで、現在のデータベースに加えて、さらに画像でわかりやすいかたちで情報を発信していくためのシステムを開発しているところです。

今、冒頭のごあいさつにもありましたように、避難していた住民がまさに帰還しようとしておられ、そのための除染が非常に活発に行われているという状況です。こういった帰還、あるいは除染、さらには将来の住民の生活を考えるための適切な基礎データを、今後、今回立ち上がりました環境動態研究センターと協力しながら、引き続き提供していけたらと考えております。どうもご清聴ありがとうございました。



## 質疑応答

松本：ありがとうございました。それでは少し時間がございませぬので、フロアからご質問があるようでしたらお受けしたいと思ひますが、いかがでしょうか。

会場：土壌沈着量の詳細な報告を見せていただき、非常に興味を持ったのですが、その場合、例えば森林の場合ですといわゆる臨床植生があつて、土壌表面にはリターというものがあります。そういったときに土壌というのはどこのことを語られているのでしょうか。

斎藤：私が今日ご紹介したデータというのは、なるべく植生のない平坦な地域の中で選んでやっています。ですから、森林の中で下に植生があつたところは私の調査では測定していません。逆にそのへんは、恩田先生のグループで森林の調査を詳細にしておりますので、多分、後ほどそのお話があると思ひます。

私の調査では、とにかく全体が森林と位置づけられているようなところでも周りになるべく木がなくて、植生がなくて、平坦な土地を選んで測定を行うことをしています。

会場：どうもありがとうございました。

松本：その他はいかがでしょうか。では斎藤さまのご講演、どうもありがとうございました。