

土壌中のガンマ線放出核種分析による 福島周辺放射線マップ

東京大学理学系研究科附属
原子核科学研究センター(CNS)
下浦 享

大震災復興へ向けての活動

- ・ 原子核物理実験で用いている放射線モニター、測定器の活用
- ・ 原子炉事故で放出された放射性物質の調査
 - スクリーニング作業
 - 土壌中の放射性物質の分析

放射線マップ

多くの方々の協力（ボトムアップ）による

土壌調査へ

- 緊急
 - I-131 (半減期8日)が減衰する前に! (2ヶ月半で1/500 以下)
- 規模：～100 km 圏、～2000地点

「梅雨入り前の大規模土壌調査」

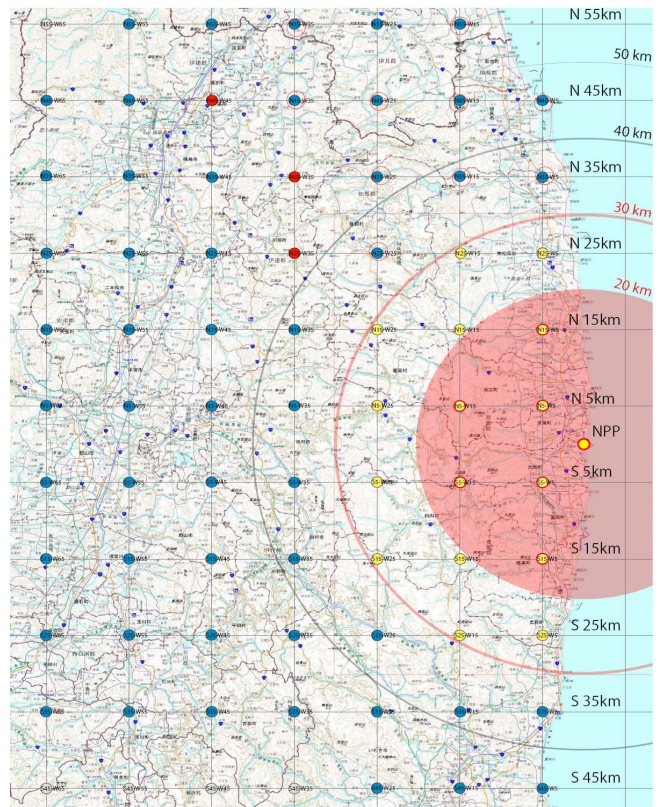
- 4月11日 緊急集会@RCNP：
 - 東日本大震災に対応する第二次緊急提言(4月4日 日本学術会議東日本大震災対策委員会)
 - 地表の土壌調査に関する提案(阪大、広島大)
 - 地球環境分野
- 4月13日 核物理分野と地球環境分野との会合@本郷
- 4月20日 福島土壌調査のための検討会@本郷
 - 4月末に最初の土壌採取(CNSと首都大で測定)

土壌調査へ (つづき)

- 5月2日 核物理分野と地球環境分野との会合@本郷
 - 「環境放射線核物理・地球科学合同会議」発足
 - 「福島環境安心確認プロジェクト」
 - パイロット採取および測定(CNS、首都大、阪大理、RCNP、JAEA)
- 5月初旬 核物理・核化学分野へGe検出器の調査依頼
- 5月10日 文科省の委員会にて国としての活動における位置づけ
- 5月12日 作業グループ打ち合わせ(サンプル数、日程案)
 - 土壌採取参加者のよびかけ
- 5月16日から 文科省予算折衝
- 5月19日 総合科学技術会議(CSTP) 戦略推進費
 - 放射性物質による環境影響への対策基盤の確立
- 5月26日 文科省「放射線量等分布マップの作成等に係る検討会」
- 6月3日 東大、阪大総長から各大学へのお願い
- 6月4日から 予備調査(訓練) 6月6日 予算(戦略推進費)内定
- 6月8日以降 Geによる測定開始

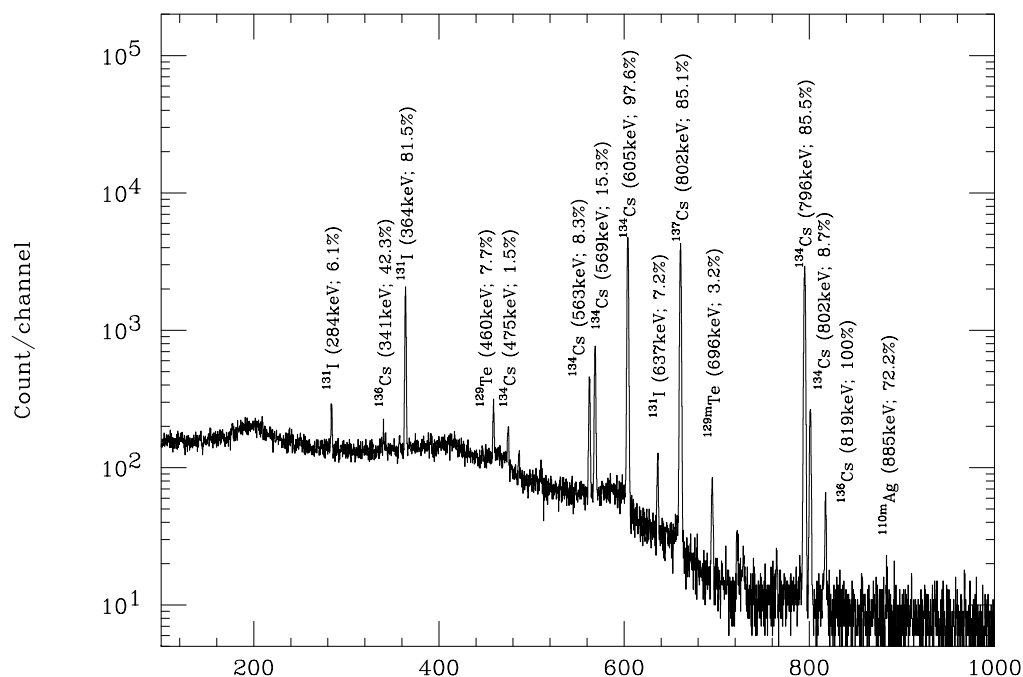
5月はじめのパイロット調査

- 10 km メッシュ
 - 1地点につき、5カ所(3m x 3m)から土壌採取
- CNS, RCNP, JAEA, 首都大、阪大理で測定
- 試料内濃度のばらつき
 - 攪拌の必要性
- 同地点土壌中の濃度のばらつき
 - 代表値
- 大規模調査手法への情報



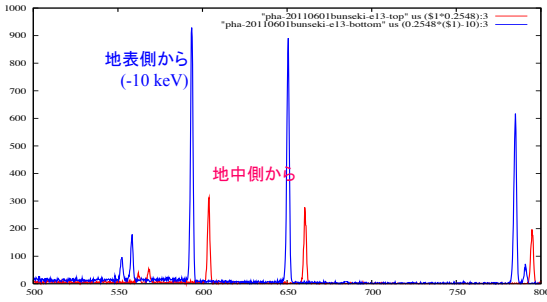
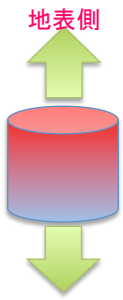
Ge半導体検出器を用いた γ 線測定による核種分析

Soil A (May 9)



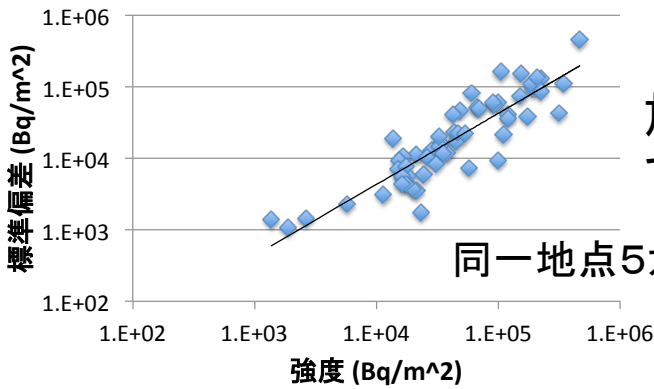
γ 線がGeに与えたエネルギー (keV)

測定する向きによる計数率の違い(底(地表)側の濃度が高い)



#	Isotope	Energy (keV)	bottom/top	error
#13	134Cs	604keV	3.18	0.48
	137Cs	661keV	3.31	0.51
	134Cs	795keV	3.15	0.52
#14	134Cs	604keV	3.74	0.72
	137Cs	661keV	4.25	0.83
	134Cs	795keV	3.83	0.81
#15	134Cs	604keV	3.90	0.51
	137Cs	661keV	4.28	0.58
	134Cs	795keV	3.86	0.56

Cs-137 ばらつき vs 強度

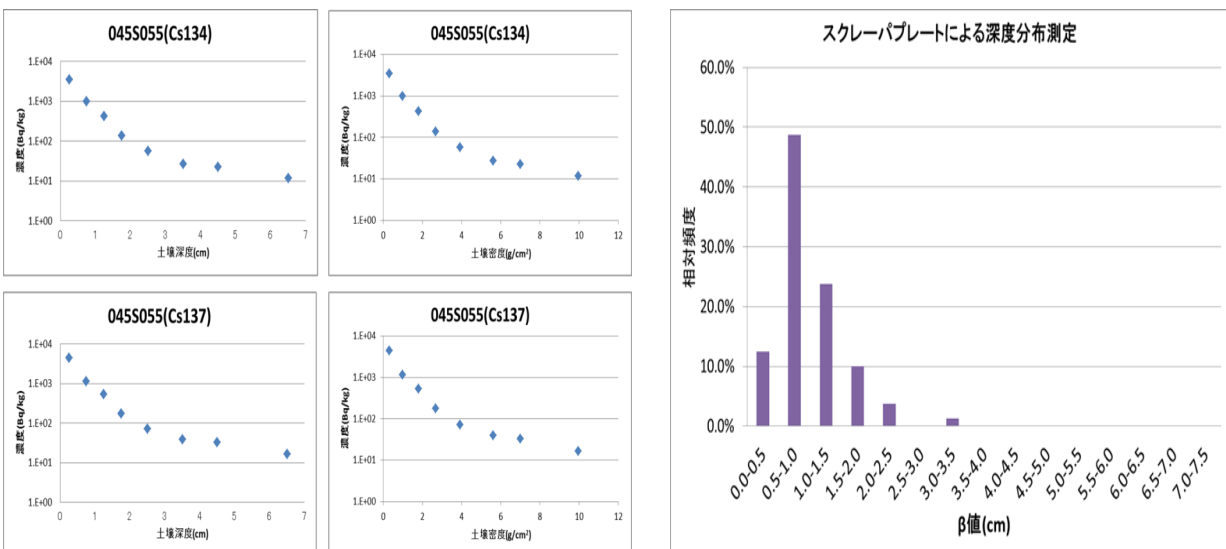


放射性物質は非一様に分布している(大きなばらつき)

同一地点5カ所のデータの平均値とばらつき

標準偏差/強度 ~ 0.45

深度分布(2011.12 採取土壌)



放射線量等分布マップの作成に向けた空間線量率測定及び土壌調査の開始について

平成23年6月3日 文部科学省

1. 放射線量等分布マップの作成に向けた空間線量率の測定・土壌調査について

マップ作成検討会において、統一的な調査方法が決定されたことから、空間線量率の測定及び、土壌調査を開始する。

測定参加者に対する訓練を6月4日、5日に現地で実施した上で調査を開始する予定である。

2. 調査の概要

○測定実施日：6月6日から測定対象区域の調査が終了するまで

※天候等の影響により、開始日の変更あり。

○測定地域：①空間線量率測定：福島県全域及びその近隣域

※走行サーベイによる空間線量率の測定(別紙1参照)、及び土壌調査測定箇所において、空間線量率を測定。

②土壌調査：自治体との調整を終えた地域から開始

※測定箇所は、福島第一原子力発電所から80km圏内は2kmメッシュ、

80km以遠は10kmメッシュ。(別紙2参照)

※各測定地点において、5箇所で土壌採取を実施。

○測定機関：①土壌採取・空間線量率測定：全国35機関(大学・大学共同利用機関(31)、独立行政法人(3)、財団法人(1))

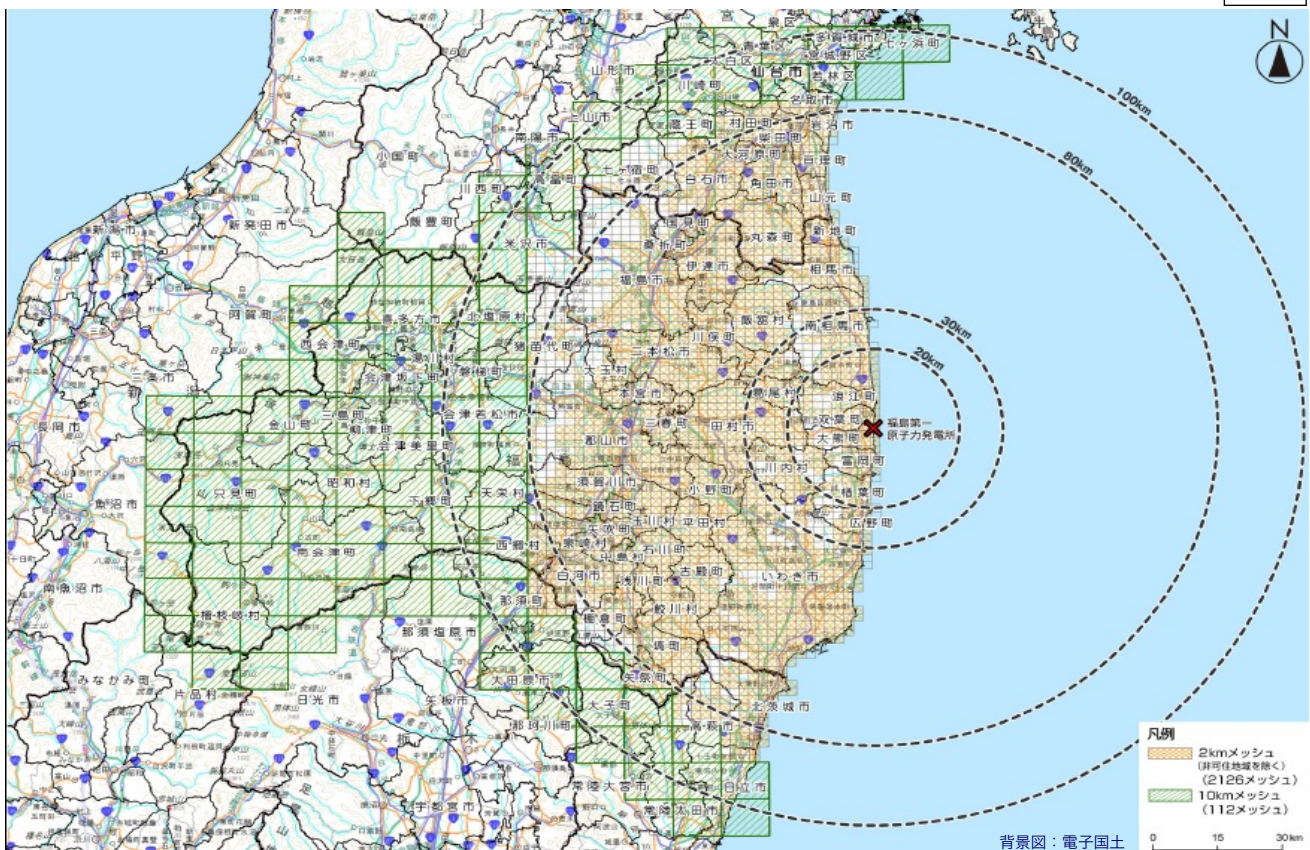
②核種分析：全国19機関(大学・大学共同利用機関(17)、独立行政法人(1)、財団法人(1))

○測定項目：地表面から1mの高さの空間線量率及び地表面における放射性物質の蓄積状況

○公表方法：マップ作成検討会において測定結果の確認をした上で、文部科学省より公表。(8月初旬にマップを公表)

放射線量等分布マップにおける土壌採取地点

別紙2



※測定範囲及び測定メッシュの間隔については、今後の自治体との調整の中で変更あり

土壌採取: 6/6-14, 6/27-7/8

約2,200地点、約10,000試料

94の大学等研究協力機関と民間企業3社から409名が参加

Geによる測定、分析: 6-8月

約6,000試料を大学等18研究機関(24測定グループ)、

約4,000試料を日本分析センター

計340名が参加



図 3.3 (a) 柔らかい土壌での採取方法



図 3.3 (b) 固い土壌での採取方法

異なる測定器システムでの分析

• 共通のプロトコル(分析手法)

– 放射能強度の絶対値の較正

- 土壌試料と同じ容器(U8)に格納した標準線源試料(IAEA444: Cs-134, 137 を含む体積試料)を各グループに配布、較正
- Cs-134 のサム効果
- Cs-134/Cs-137 比

– 測定時間: 1時間、一部は長時間(10時間程度以上: I-131)

– 同一試料を異なるグループで測定(相互比較)

– 検証のために、スペクトルデータ、測定システムの写真などを集約

– 測定下限値の導出

$$S \pm \sqrt{S+2B}$$

$$S \geq 3\sqrt{S+2B} \Rightarrow S_{\text{lim}} = \frac{9}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{8}{9}B} \right) \approx 3\sqrt{2B}$$

== 測定プロトコル ==

(1) 測定器毎の情報

(1-1) 測定装置の概略図(寸法)、Ge 検出器の仕様等を記録、写真をとる

(1-2) 絶対値較正用の試料に対して

- スペクトルデータ(テキストデータ。チャンネルとカウント数の関係がわかるもの形式は自由)
- 試料核種とそれらの強度(Bq)
- エネルギー較正関数(一次関数または多項式またはテーブル)
- ピーク毎の絶対効率、エネルギー分解能

(1-3) バックグラウンドのスペクトルデータ(汚染の有無や変化の確認も含め、土壌測定の前後の時期に測定する)

これらの情報を、CNS および RCNP に送付し、両組織はそのデータを管理する。

-----個々の測定に関するプロトコル-----

(2) 試料の前処理

(2-1) 取り扱いには、汚染に注意し、可能な測定器とは別の場所で、出来れば複数名でおこなう。

(2-2) 試料のラベル内容を確認、土壌の均一性チェック。目で見て明らかに不均一の場合は、振り混ぜる。

(2-3) 袋に入ったままの U8 容器試料をさらに新しい袋に入れる。このときできるだけ空気を抜く。

(2-4) 土壌の量の確認(高さ: 5cm 以上、5cm、4cm、3cm 以下少量)、袋および容器込みの重量を測定(0.1g 程度の精度で可)し、記録する。

(3) 測定

(3-1) 測定にあたり、試料のセット、取出しにおいて、取違えを起こさないように記録簿(別添え)を用いる。Ge の台数が複数台の施設は、作業を複数名で行うことが望ましい。

(3-2) ガンマ線測定にあたり、採取場所一カ所の 5 試料の内 1 試料について試料をセットする方向(上下あるいは前後)を変えたときに計数率が大幅に変わらないことを確認。もし変わる場合は、その地点の試料を全部よく振り混ぜる。

(3-3) 測定時間は、15分～60分とする

60分測定を上限とするが、I-131 のピークが 300 カウントを超える場合、測定時間を短くしても良い。

(3-4) 測定ごとに必要な内容:

(3-4-1) 試料の名前(枝番を含む)

(3-4-2) 測定時刻(開始、終了)、Dead Time または Live Time

(3-4-3a) スペクトルデータ(チャンネル vs カウント、テキストファイル)

(3-4-3b) I-131, Cs-134, Cs-137 からの以下のピークのカウント数および誤差
I-131: 364.489 (81.5%)

Cs-134: 604.721 (97.62%)

Cs-137: 661.657 (85.1%)

定量にはこれらのガンマ線を使う。

(4) 最終結果

分岐比および検出効率を補正して、I-131, Cs-134, Cs-137 について、測定時刻における放射能強度(Bq)にし、測定時刻とセットで最終結果とする。検出限界以下と判断する場合は、当該スペクトルの当該ピーク領域のカウント数を報告する。

図および写真以外のデータファイルの内容はすべてテキストでお願いします。

送付するときに複数のファイルを zip, tar などまとめても構いません。

データの送付先: fukushima-ge@ens.s.u-tokyo.ac.jp

送るべきデータのサマリー

- 実験セットアップ(図、写真)

- 標準試料の情報およびスペクトルデータ(含測定時間、エネルギー較正の情報)

➢ スペクトル毎に 1 ファイル

➢ 標準試料の情報、測定時間等は、スペクトルファイルのヘッダー部分に記述するか、表としてまとめ、別ファイルにしてもよい。

- 各試料の情報およびスペクトルデータ(含測定時間、エネルギー較正の情報)

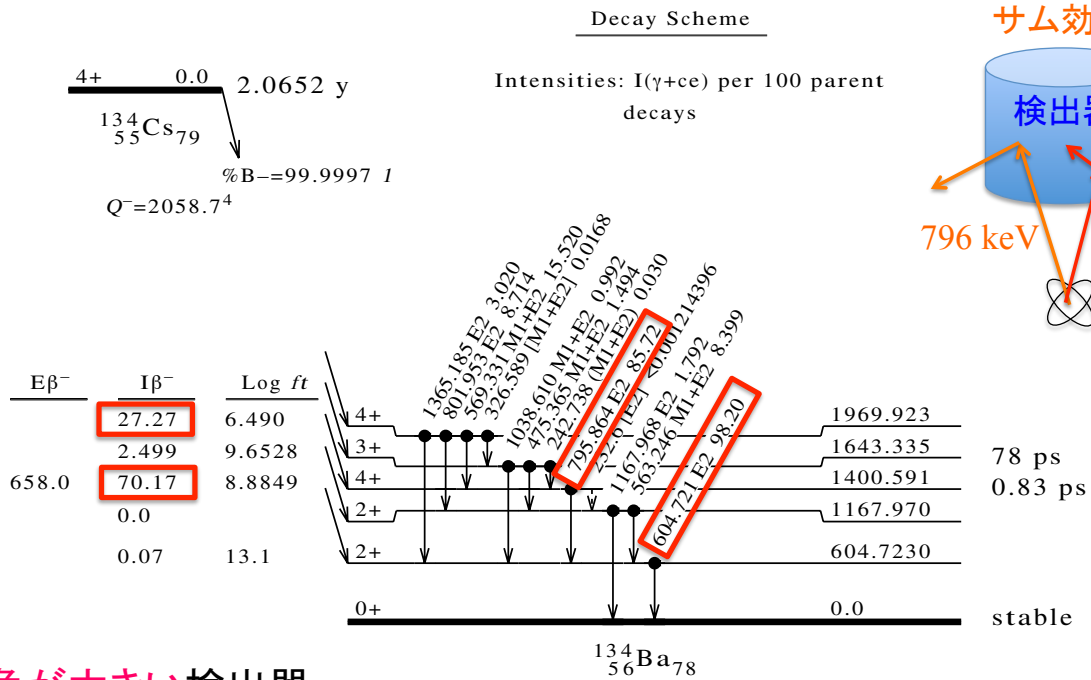
➢ スペクトル毎に 1 ファイル

➢ 試料の情報、測定時間等は、スペクトルファイルのヘッダー部分に記述するか、表としてまとめ、別ファイルにしてもよい。

- 試料名、I-131, Cs-134, Cs-137 の放射能強度(Bq)および測定時刻を表としてまとめたもの(区切りは、スペース、Tab、または Comma)

- 測定記録簿のコピー(手書きの場合、スキャンしたものまたは郵送)

^{134}Cs β^- Decay (2.0652 y)

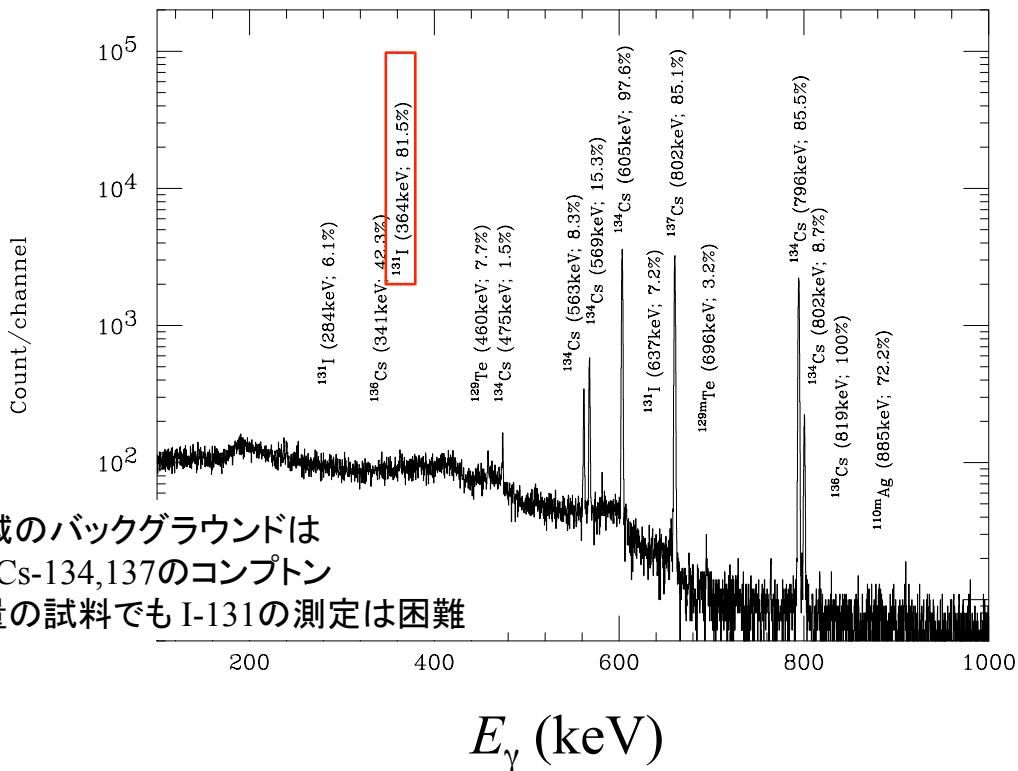


立体角が大きい検出器:

(604keV Full energy)+(796 keVのCompton)が 604keV peakでなくなる
(^{60}Co でも起こる)

核種分析

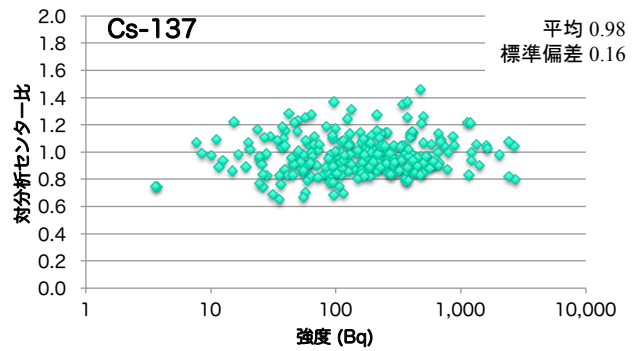
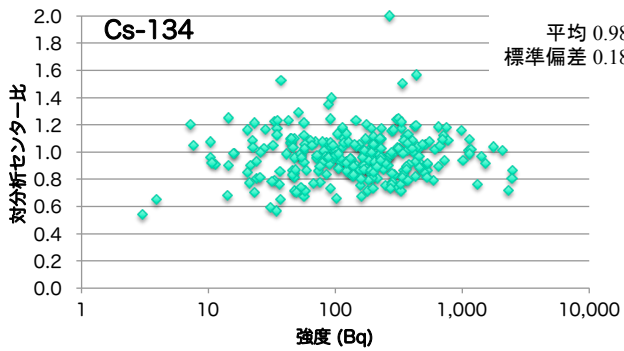
Soil B (Jun. 9)



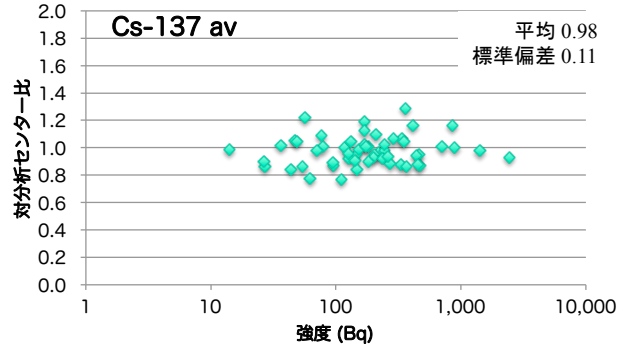
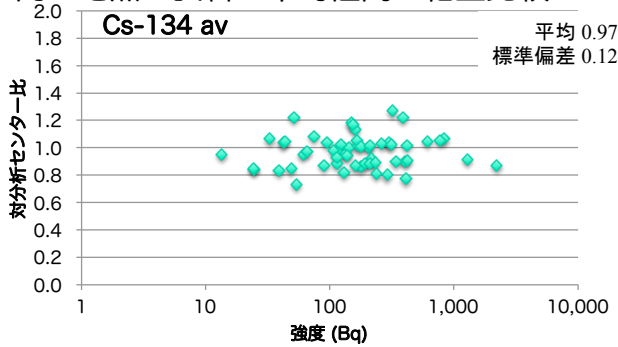
I-131領域のバックグラウンドは
Cs-134,137のコンプトン
→高線量の試料でも I-131の測定は困難

測定機関間の相互比較

分析センターと各大学、東大と各大学で同一試料を測定 (275試料を比較)



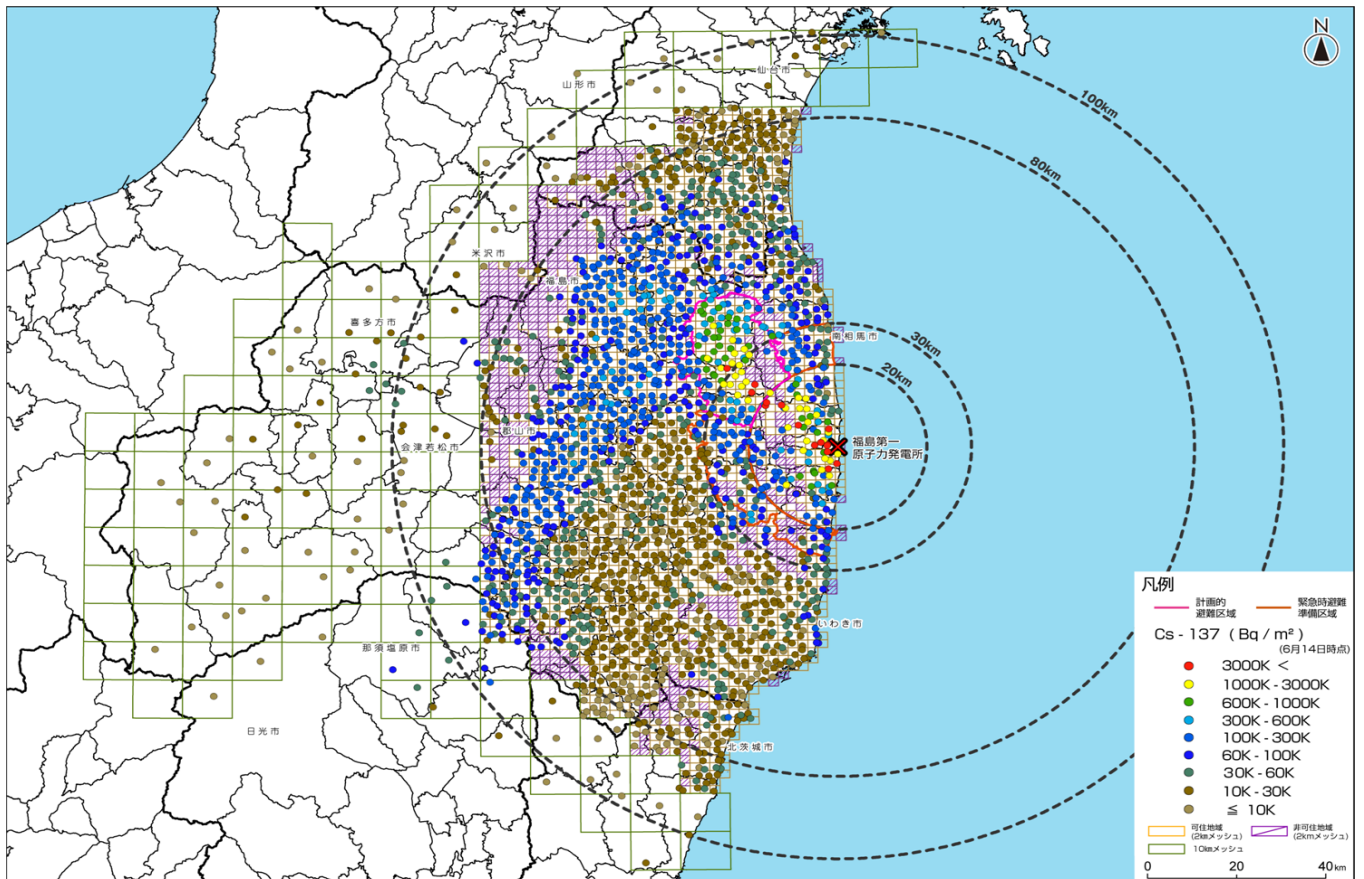
同一地点5試料の平均値間の相互比較



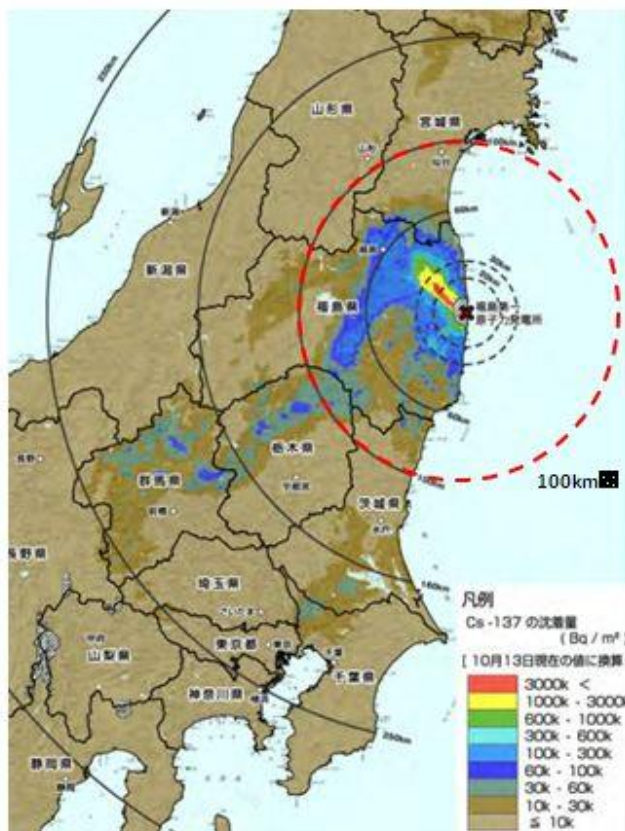
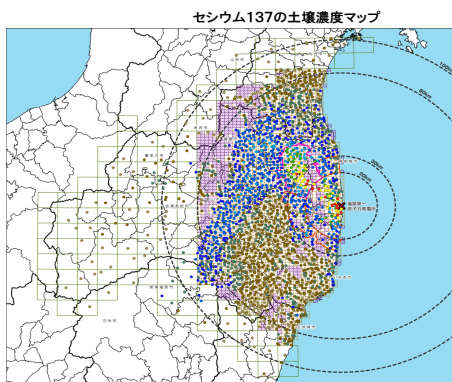
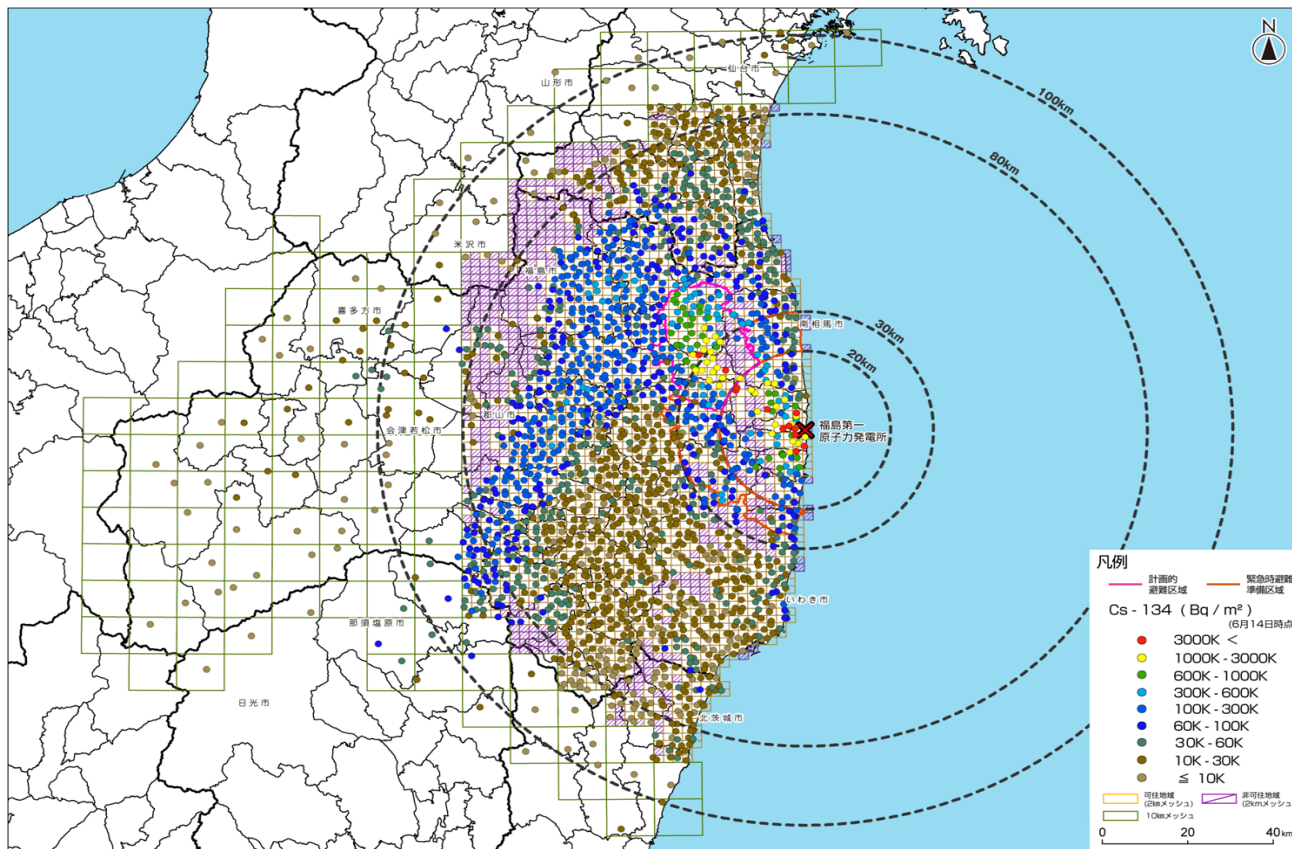
- 個々の試料の比較で、20%以内のばらつき（僅かに2倍程度のずれあり）
- マップに用いる5試料の平均値では、12%程度のばらつき、最大のずれも30%程度

セシウム137の土壤濃度マップ

別紙4-2



セシウム134の土壌濃度マップ

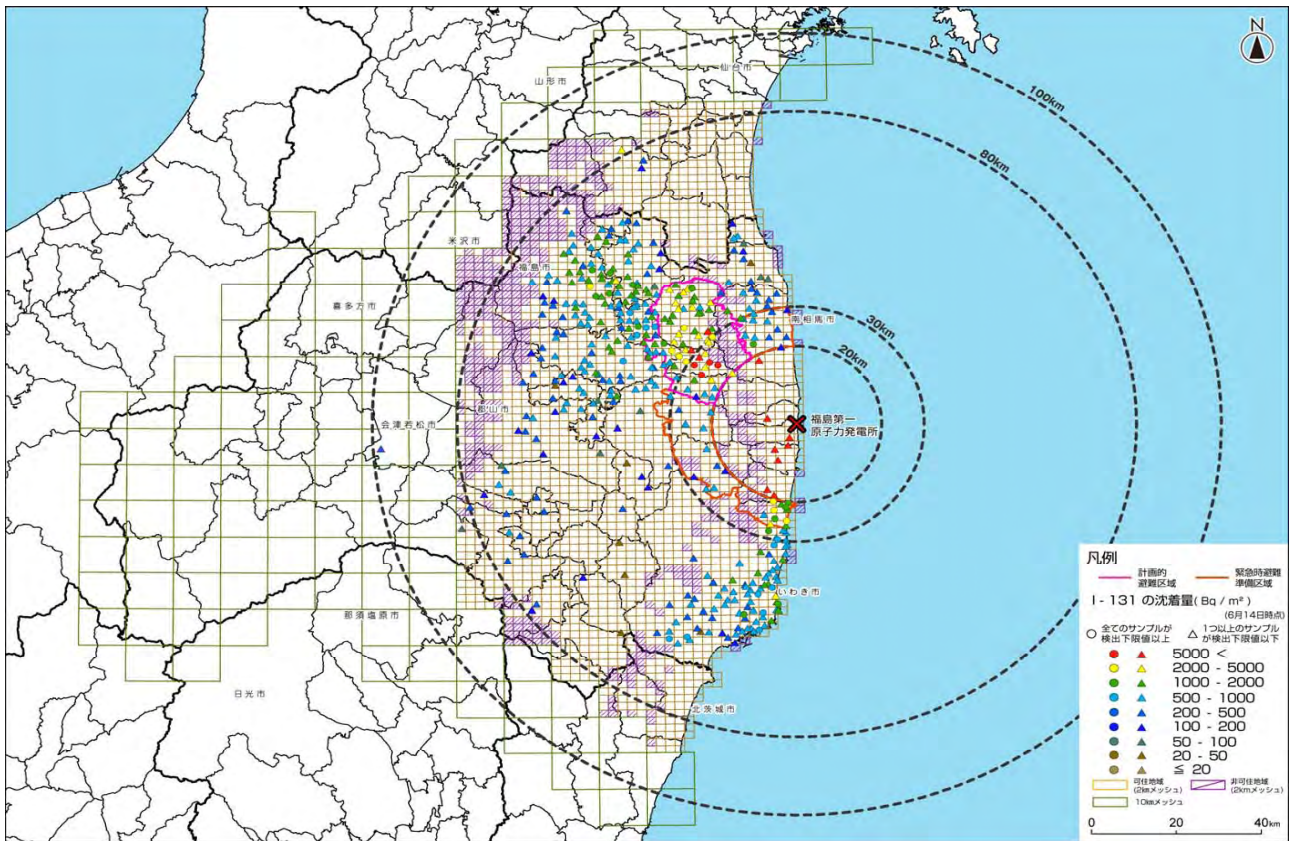


航空機による空間 線量分布の較正

図 4-29 航空機モニタリングによる地表の Cs-137 沈着量マップ

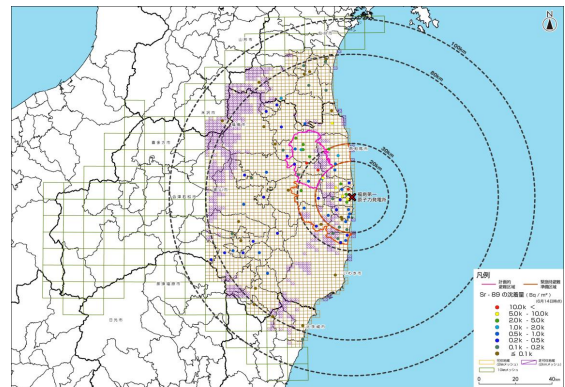
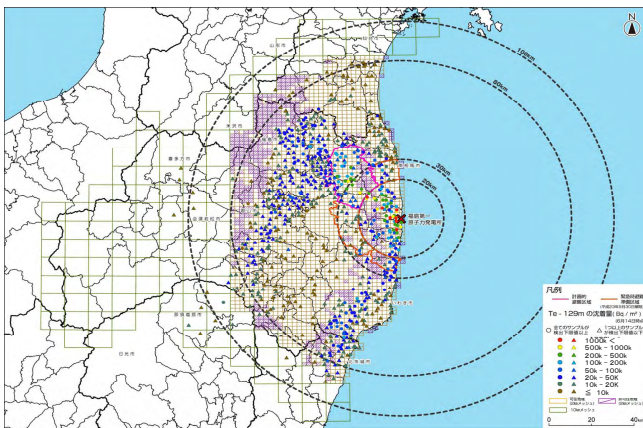
ヨウ素131の土壤濃度マップ

別紙2



テルル129mの土壤濃度マップ

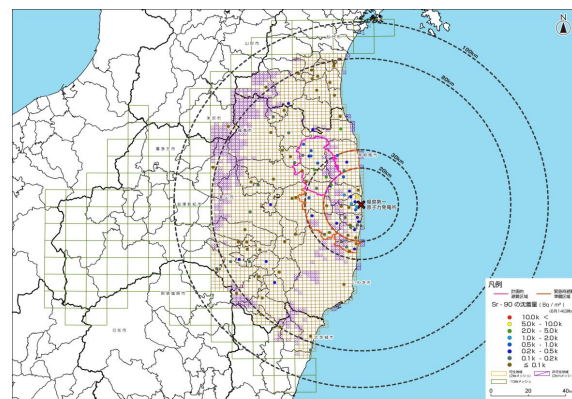
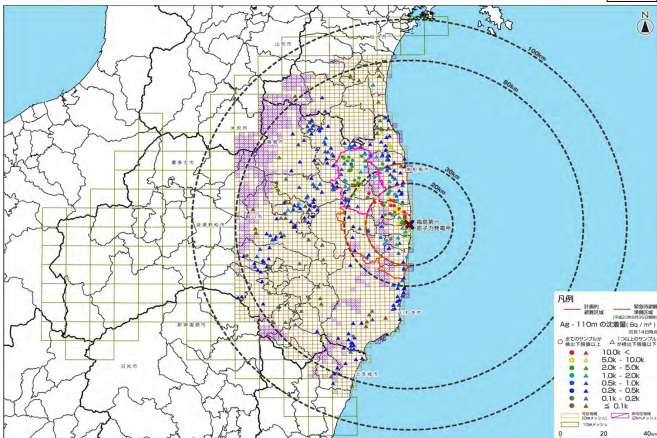
別紙2-1



(a) Sr-89

銀110mの土壤濃度マップ

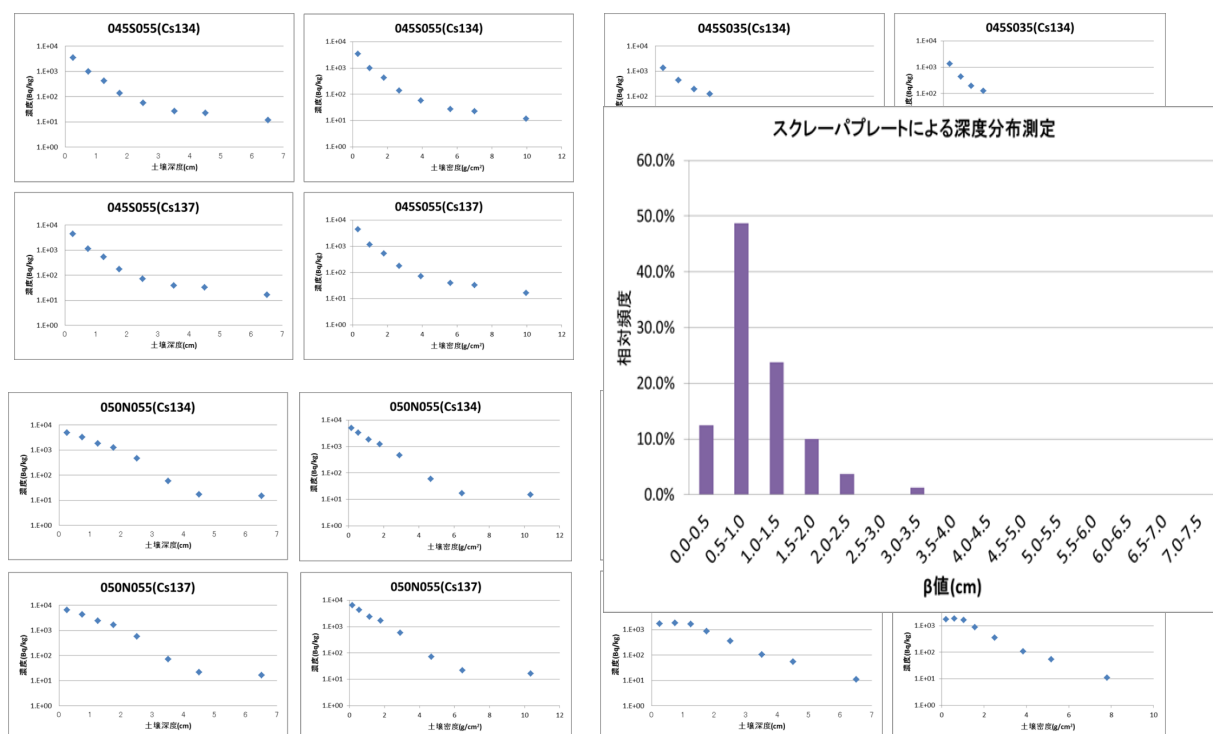
別紙2-2



(b) Sr-90

図 4-25 放射性ストロンチウムの土壤濃度マップ

深度分布(2011.12 採取土壌)



まとめ

- ・ ボトムアップ、ボランティアベースのコラボレーション
 - 核物理、核化学、地球環境科学
 - スクリーニング作業
 - 福島周辺放射線マップ
 - ・ 94機関 409名による土壌採取
 - ・ 21機関 340名によるガンマ線核種分析
- ・ 得られたマップが活用されることを期待
 - 文科省(JAEA): <http://ramap.jaea.go.jp/map/>
 - RCNP: <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/dojo/>
- ・ 2次調査、3次調査
 - 放射性物質の深度分布・様々な環境下における移行、...
- ・ データベース
 - <http://radb.jaea.go.jp/>