

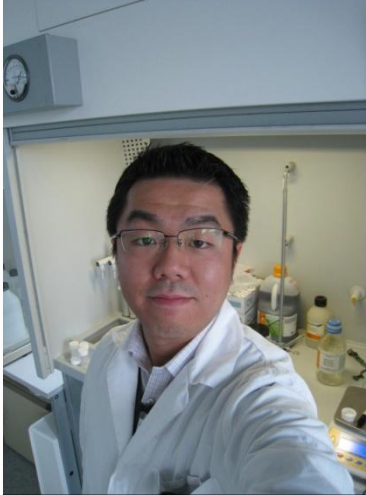
# 河川による放射性物質の移動

## -測定の現場から-

東京大学大学院 総合文化研究科  
広域科学専攻 環境分析化学研究室 助教

小豆川 勝見(しょうずがわ かつみ)

# 自己紹介-放射線を測る研究をしています

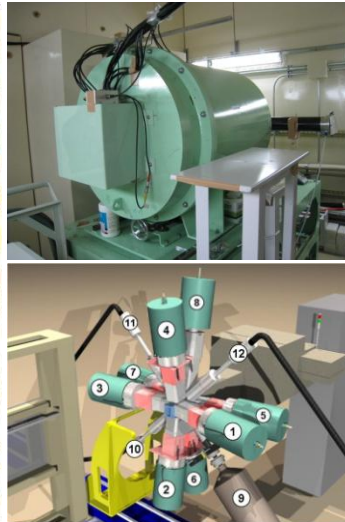


海外の研究機関で $^{90}\text{Sr}$ 測定

- ▶ 放射線を使った研究を始めて10年
- ▶ 放射線を使って環境試料の元素濃度を測ることが得意です。
- ▶ 福島事故以降は環境中のあらゆるものの放射線( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 線)を測る研究をしています。
  - 福島原発にも出かけて試料を採取・測定しています。



茨城県東海村でガンマ線測定



食品に含まれる放射性物質の定量

1)ブルーベリー, 2)鯛, 3)きゅうり, 4)トマト



# 事故以降の研究例

2013年6月 福島原発前



海外で $^{90}\text{Sr}$ +Pu測定



2011年7月 みんなで測る放射線



2012年9月 除染実験



2013年7月 小学校測定



放射性ストロンチウムやプルトニウムなどの測定も同時に行っています。



# 福島原発事故

- ▶ 普段、放射性物質に慣れている私でもこれまでに経験したことのない空間線量率
- ▶ 管理されていない放射性物質は「怖い」

福島第一原発から4.1km地点



福島第一原発から10km地点



福島第一原発正門前





# 最近の原発周辺

周辺土壌の地表面が100  $\mu\text{Sv/h}$ 程度。  
濃縮地点ではその4倍程度の濃縮が確認された。(右図は原発から1.5kmの水溜まり跡)

大規模な放出が止まっていますが、ホットスポットでの線量率は非常に高い



- 放射性物質が環境中でどのように動いているのか、このことを明らかにすることが今とても重要です。
- このことは原発周辺に限らず、どこでも大事なことです。その為の研究を進めているところです。



2013年6月 撮影

# 放射線をきちんと測ることはとても大事

- ▶ 放射線は皆さんの健康に関係するので、放射線をいい加減に測ると困っちゃうんです。
- ▶ たとえば、お医者さんに「Aさんの体温は35℃から40℃くらいかなあ」って言われたら、熱があるんだかないんだか分かりませんね。
- ▶ 体温を測るなら、例えば「Aさんの体温は36.0℃。ずれても0.1℃分」って示して欲しいでしょ？
- ▶ だからちゃんと測るって大事！



# こんな測定方法はダメ！

LAWSON

2013年3月21日  
株式会社ローソン

## ローソンの放射線検査体制変更について

株式会社ローソンは、2012年2月からローソン店舗で販売する生鮮品やオリジナル商品を中心に放射線の自主検査を実施してまいりましたが、弊社の検査方法では外部から完全に遮断しての計測は困難でした。

このたび、「東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻 環境分析化学研究室」小豆川助教のアドバイスを受け、遮断設備が整っており、より精密な測定が可能（検出限界1Bq/kg以下）な外部機関（株式会社BMLフード・サイエンス）にサンプリングを持ち込んでの検査に切り替えさせていただくことにいたしました。なお、調査品目は北海道、関東および中部地区のローソンファームで生産した農産物とする予定です。検査体制移行日等につきましては、詳細が決まり次第ご案内させていただきます。

以上

× 閉じる

# 今日のテーマ

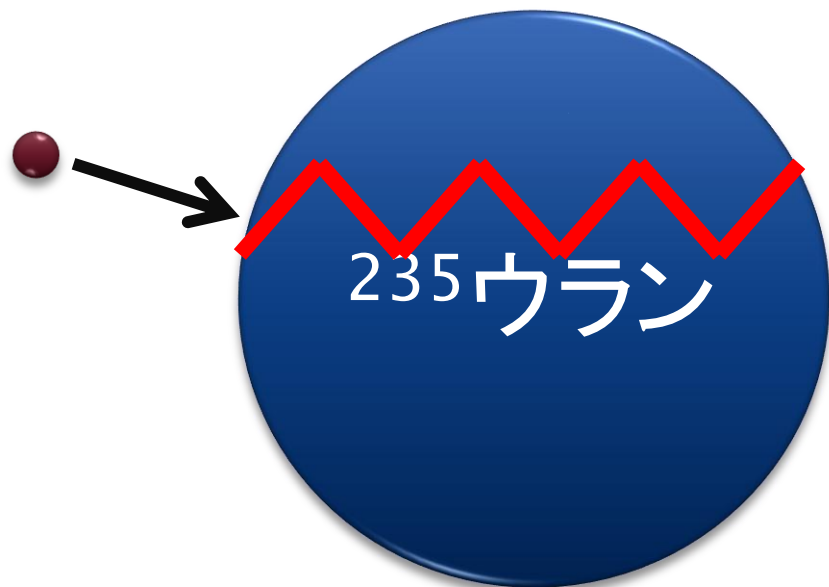
- ▶ 福島原発由来の放射性物質って？
- ▶ 放射能ってどう測っているの？
- ▶ 放射能を測ってどう活かす？
  - 放射性セシウムの移動-濃縮と拡散
  - 線量計の活用方法



# 放射性物質ってなに？

▶ ヨウ素とかセシウムとかストロンチウムとか...？

●原子炉のスイッチを押すと...



●ウランという物質がカパッと割れます。

●割れるときに凄まじいエネルギーを出します

●ウランが1gもあれば、プールの水はお湯になります

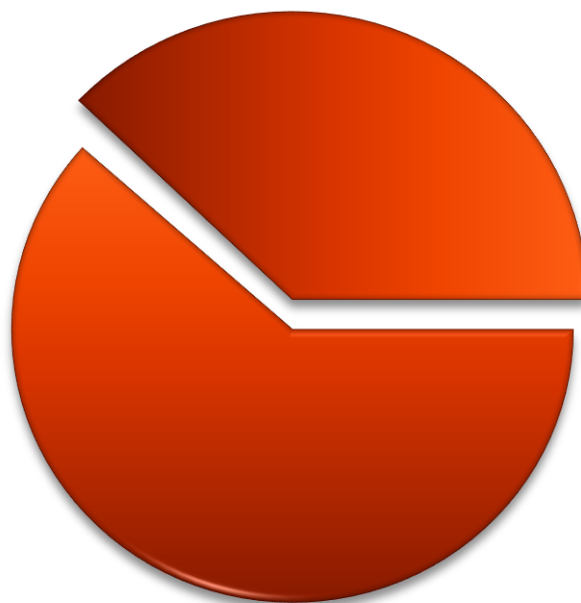
● 235というのは、その物質の重さを表します。

# ウランが割れると、カケラができます

- ▶ 大きなカケラと小さなカケラができます



カパッと割れた！



ストロンチウム

$^{90}\text{Sr}$

小さな欠片は90から  
110くらいの重さ

大きな欠片は120か  
ら140くらいの重さ

$^{131}\text{I}$

ヨウ素

$^{137}\text{Cs}$

セシウム

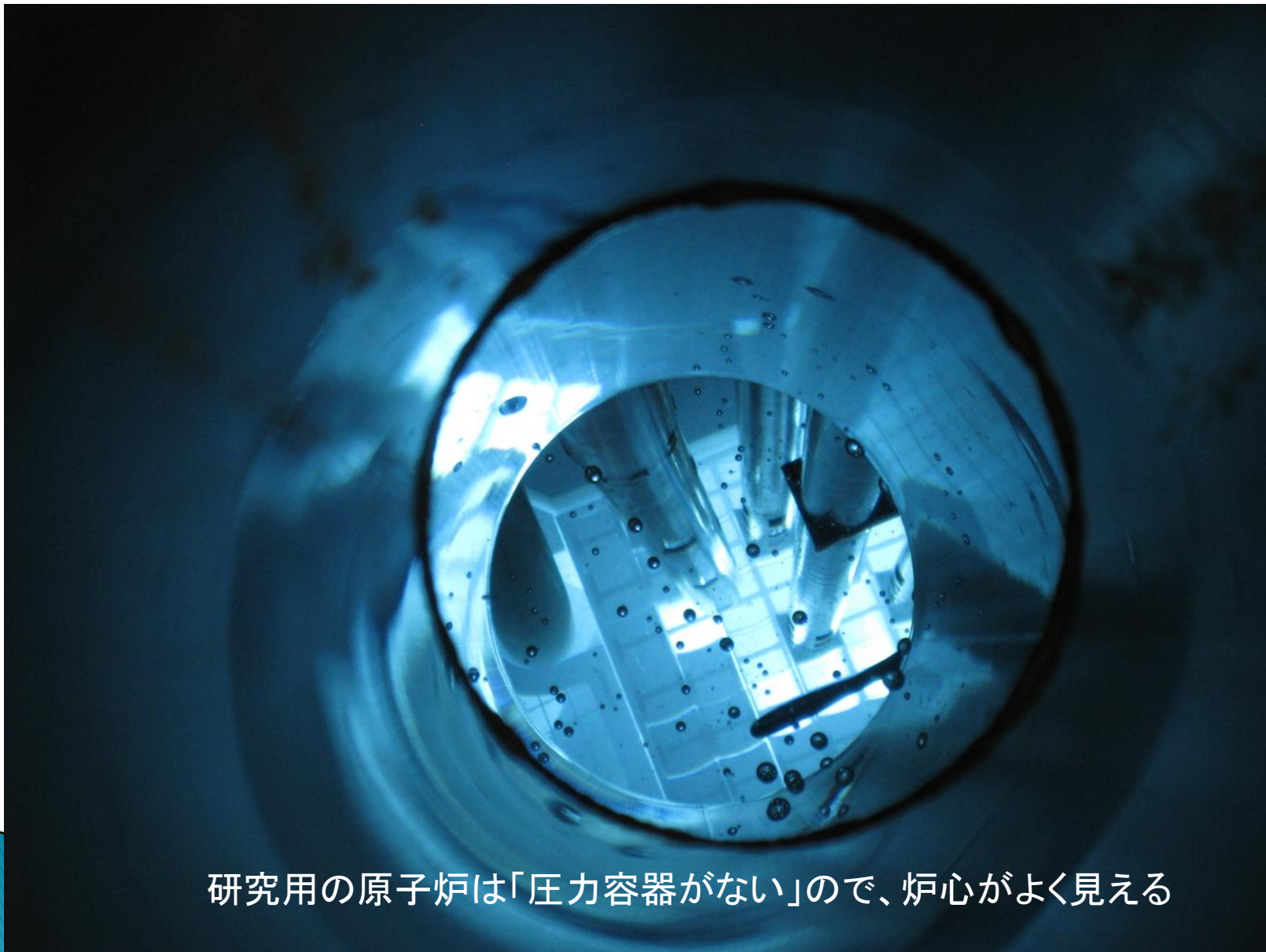
チェルノブイリ事故では  
こんなカケラがいっぱい  
でした

$^{106}\text{Ru}$

$^{144}\text{Ce}$

いろんな物質がランダムにできてしまいます  
カケラはとても不安定な物質です。なので、  
放射線を出して安定な元素に変わろうとします

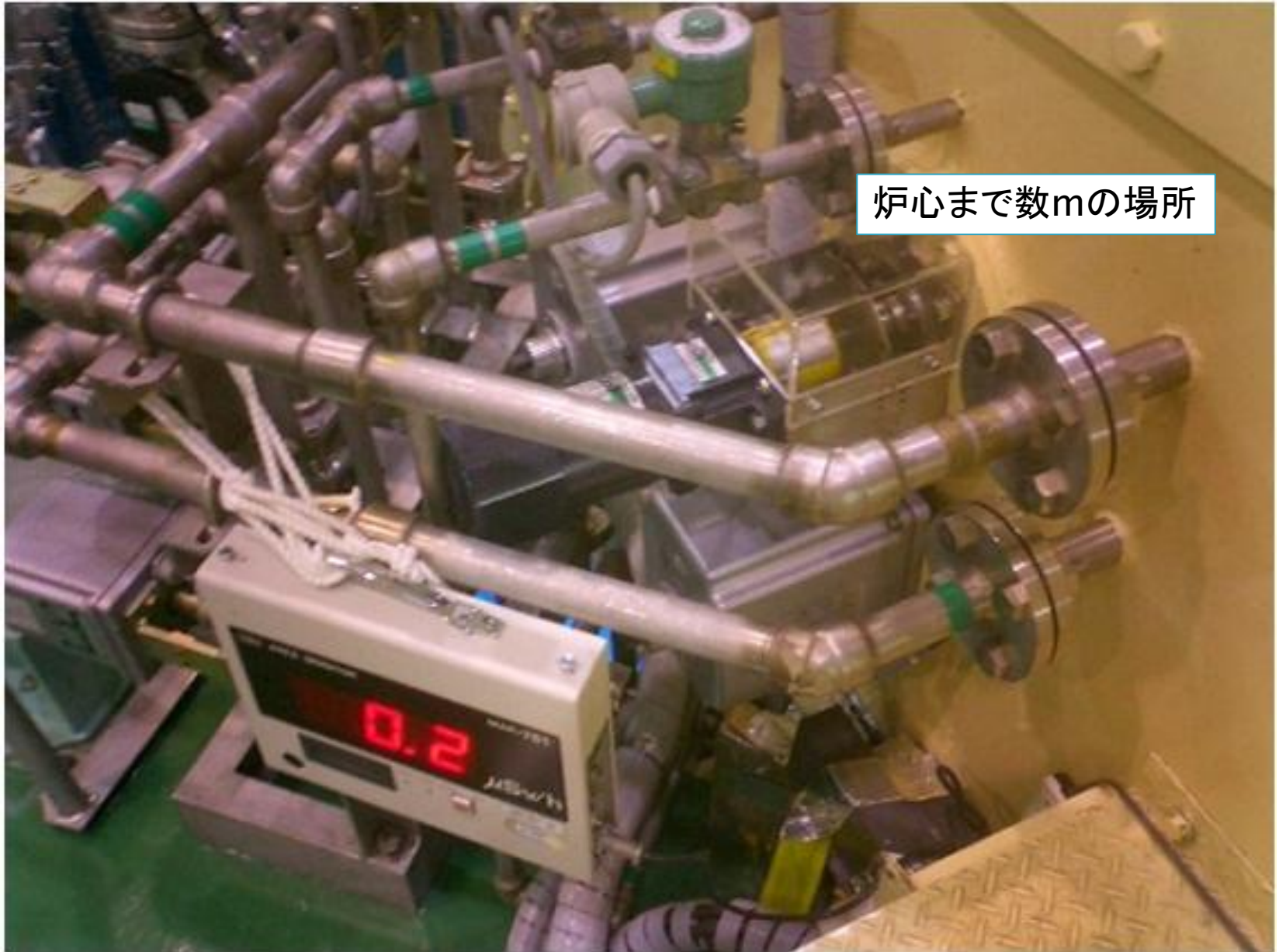
# 京都大学原子炉実験所：出力1 MW運転時(2011年10月)



研究用の原子炉は「圧力容器がない」ので、炉心がよく見える



# 健全な原子炉の炉室の空間線量率



炉心まで数mの場所

# 福島原発1-4号機まで約500mの場所





# 原発正門前の空間線量率(2011年4月10日当時)



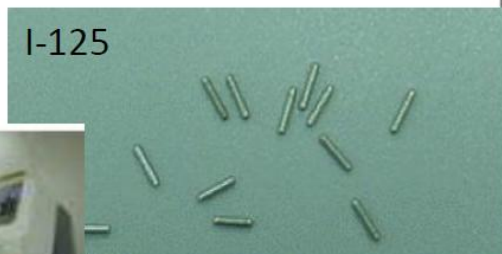
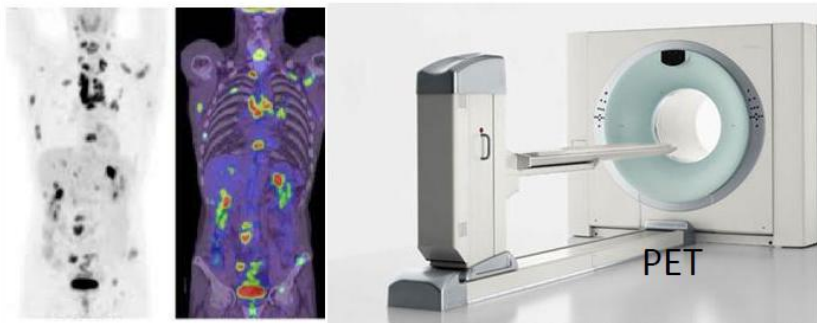


# どうしてカケラが外に出てきちゃったの？

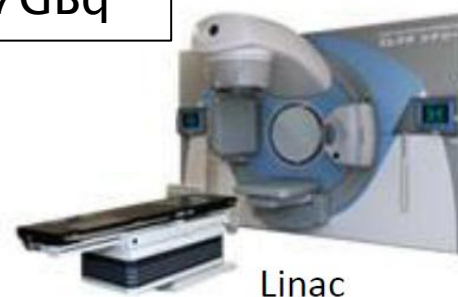
1. カケラはとても不安定な物質なので、カケラが安定するまでの間、熱を出し続けます。(崩壊熱)
2. だから原子炉のスイッチを切っても、しばらく冷やしておかなければいけません。
3. 冷却システムが壊れちゃうと、今度は熱で原子炉が溶けちゃいます。
4. 溶けた穴や緊急の弁から燃料の中にあった放射性物質が外に出てきてしまいました。

# 甲状腺がん治療用 $^{131}\text{I}$ の放射能

## 医療で使う放射線



$$100\text{mCi} = 3.7\text{GBq}$$



# 福島原子力発電所の事故による被曝

- ▶ 医療被曝は、被曝以上にメリットがある
- ▶ 福島原発由来の放射性物質による被曝は、何らメリットはない。
- ▶ 安全なのか、危険なのか様々な意見がありますが、少なくとも「無用な被曝を避けること」は重要です。
- ▶ そのためには(残念ながら)いろいろな勉強しなくちゃいけない事態になっていると思います。
- ▶ この目標に少しでもお役に立てれば幸いです。



# 放射性セシウムの測り方

## ▶ 「シンチレーションカウンタ」と「ゲルマニウム半導体検出器」

### AT1320A

#### 食品放射能(セシウム)スクリーニングシステム

食品中の放射能(セシウム)を  
3.7~1,000,000Bq/kgの範囲で測定します

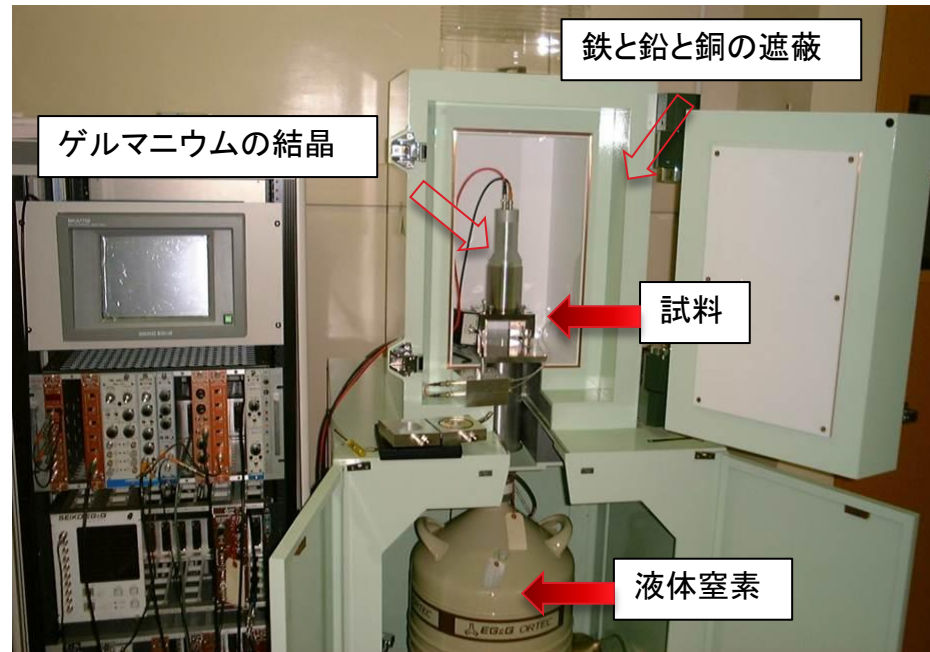
#### 特長

- 2.5" x 2.5" NaI(Tl)検出器を使用した放射線スペクトル測定
- 1リットルマリネリ容器、0.5リットルフラット容器使用
- 鉛遮蔽体装備
- 自動LEDスタビライゼーション機能装備
- 自動バックグラウンド減算機能
- "エネルギーウィンドウ"を使用したスペクトル処理
- 128x64 LCD表示部にスペクトルデータを表示
- 不揮発性メモリに300のスペクトルを保存可能
- PCインタフェース

#### アプリケーション

##### 放射能スクリーニング

- 食品(飲料水、農業製品等)
- ミネラル、建築材料、材木等
- 金属、石油化学製品、原材料、スクラップ等
- 放射性廃棄物



### ○最高の分析精度

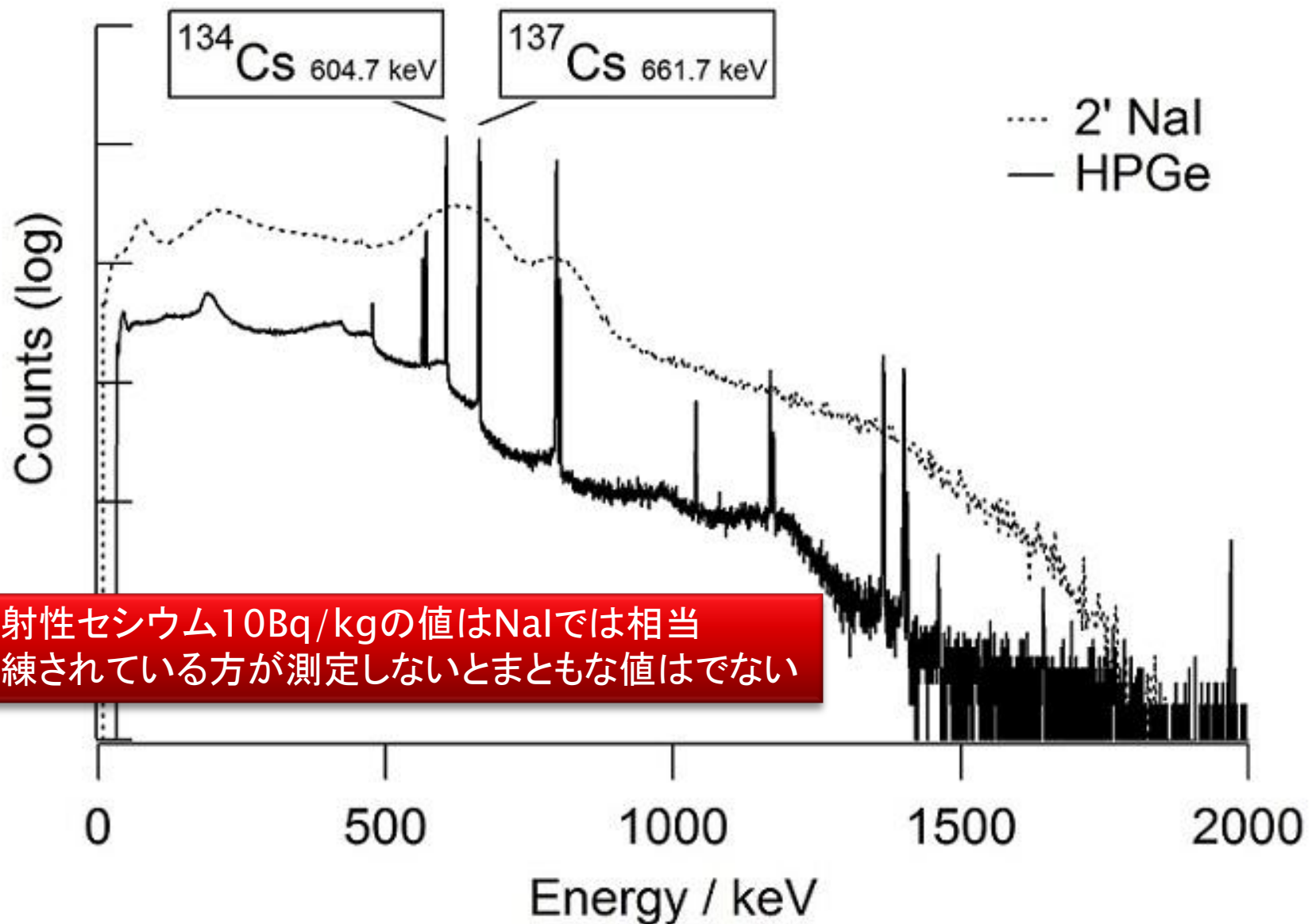
### ×ものすごく高価

- ・まともなものは1500万円以上！
- ・ゲルマニウムの結晶は世界で3社しか作っていない
- ・メンテナンスに技術と手間

### ○安価、簡単に使える

### ×低線量の放射性セシウムは測りにくい

# NaI検出器とGe半導体検出器の違い



# 原発から放出された放射性物質の量

大気中に撒かれた量



両手に載る  
くらいの量

数十PBqオーダーだ  
と言われています\*

地下水・海に撒かれた量



分かりません...

プール一杯の水に角砂糖サイズのセシウムが溶けていたら、超高濃度汚染水\*\*

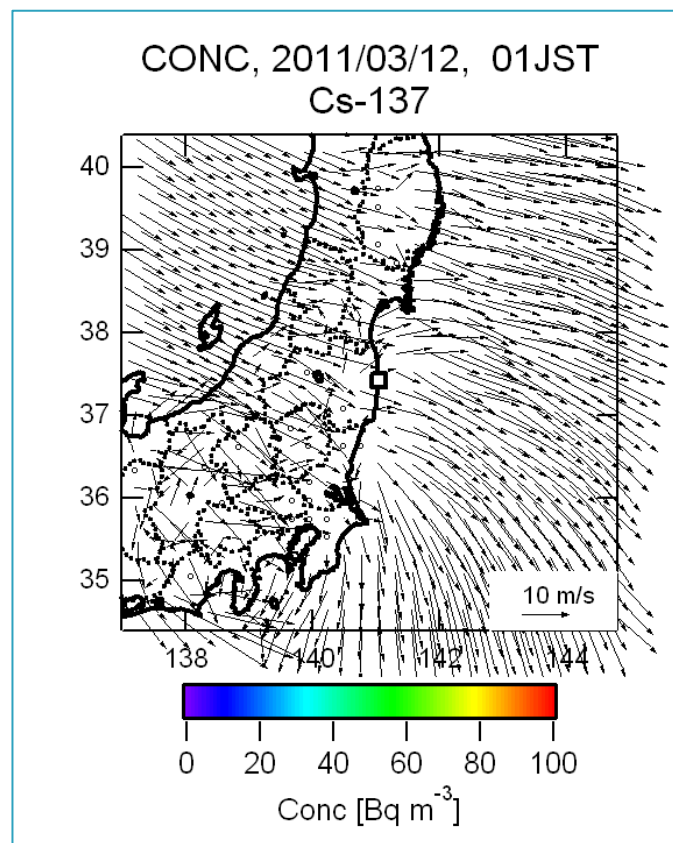
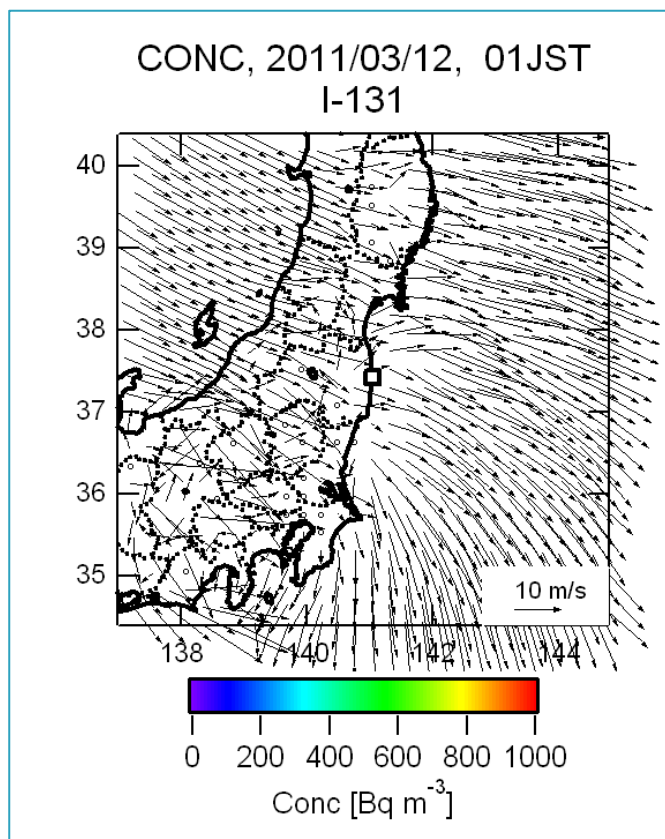
\*現在でも原発から放射性物質の放出はありますが、それよりも今日の前にある汚染対策を考えることが先です。

\*\*私が「嫌だなあ」と考えていることは、溶け落ちた燃料がどこに行ったのか分からないことです。



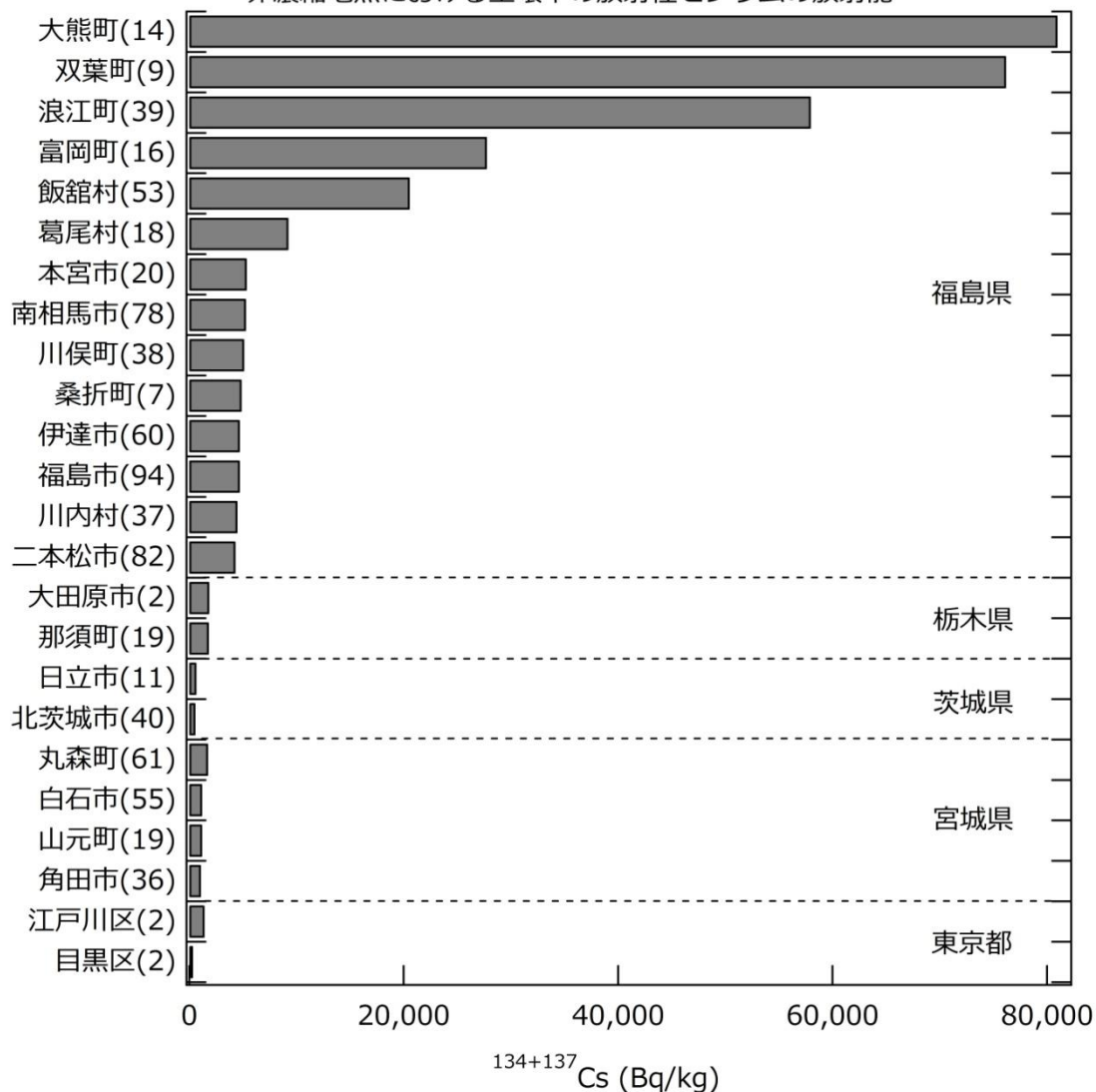
# 放射性物質の拡散

- ▶ 大半が海側に流れているが、3/15や3/20-21には南方向に放射性物質が拡散している



# 広域的な放射性セシウムの評価(文部科学省提供)+自分のデータ

非濃縮地点における土壌中の放射性セシウム放射能



- 市町村名の後の(カッコ)内の数字はサンプル数であり、ここではその平均値を示した。
- 土壌サンプルの採取は2011年6月から7月であり、採取時点で半減期補正を行っている。
- 文部科学省から提供された値に筆者の測定結果を加えた。

放射性セシウム( $^{134}+^{137}\text{Cs}$ 合算値)  
測定点はすべて非濃縮地点  
それぞれ5-40点程度の平均値



大熊町でのサンプリングの様子

# 放射性セシウムは土とともに移動

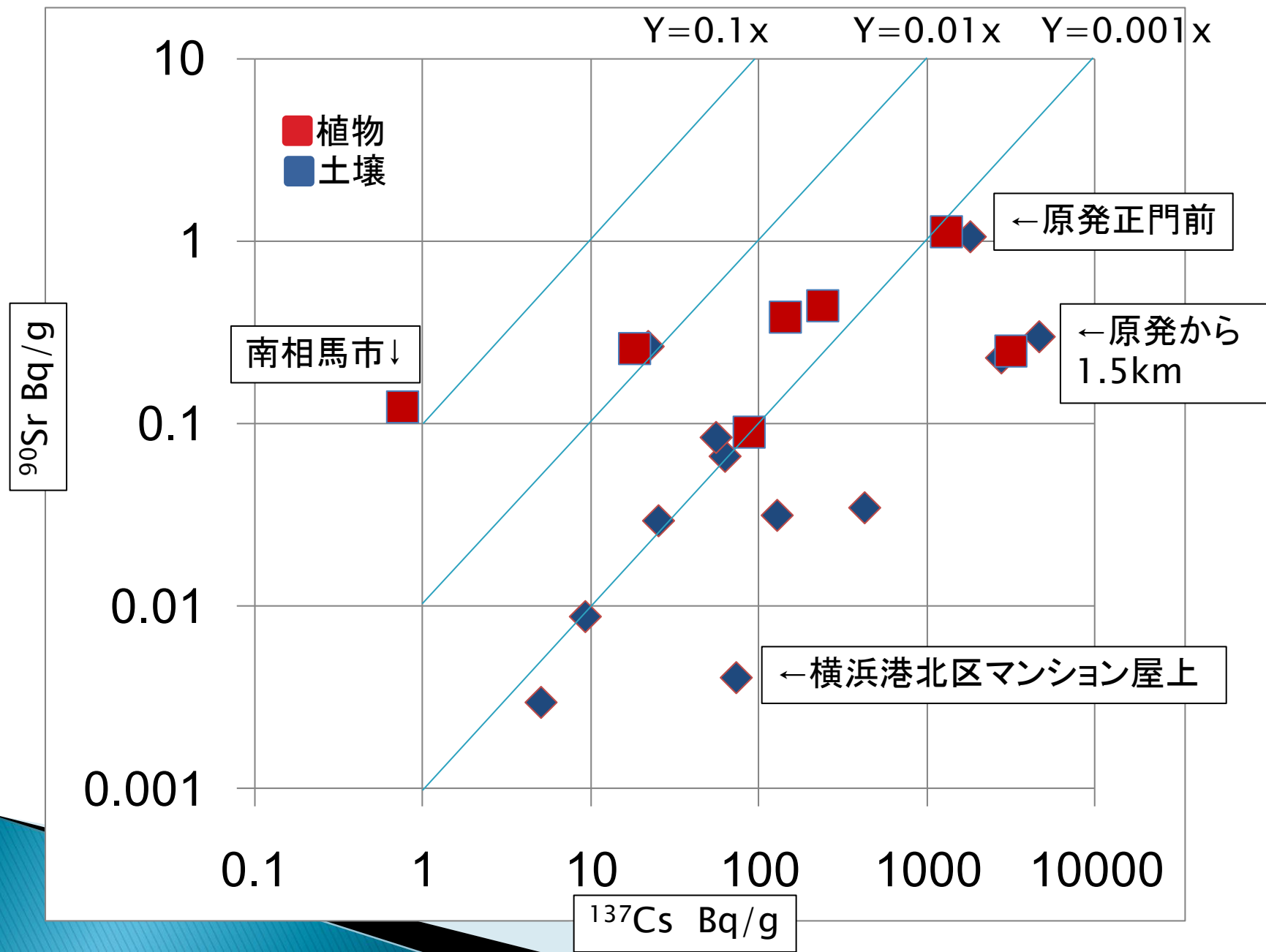
- ▶ 放射性セシウムは土壌の粒(土埃)にくっついていきます。
- ▶ 雨が降っても土埃から放射性セシウムは離れません。(=溶け出しません)
- ▶ 土埃が集まったところが高い放射線量を示します。
- ▶ 風は土埃を移動させ、雨は土埃を集めてしまいます。
- ▶ 陸上なら(いまのところ)放射性ストロンチウムよりも放射性セシウムを第一に考えるべきだと測定値から判断しています。



# 放射性ストロンチウム( $^{90}\text{Sr}$ )の測定

- ▶ 高度な化学操作が求められます。コストも高いです。
- ▶ それでも少しずつデータが集まってきました。
- ▶ すべてのサンプルの $^{90}\text{Sr}$ を測ることはとてもできません。
- ▶ 非常に大雑把ですが、陸上の試料では、「 $^{137}\text{Cs}$ が1000 Bqあると $^{90}\text{Sr}$ が1 Bqくらいあります」。(海は別)
- ▶ この程度の比であったことはとても幸運だったと思います。

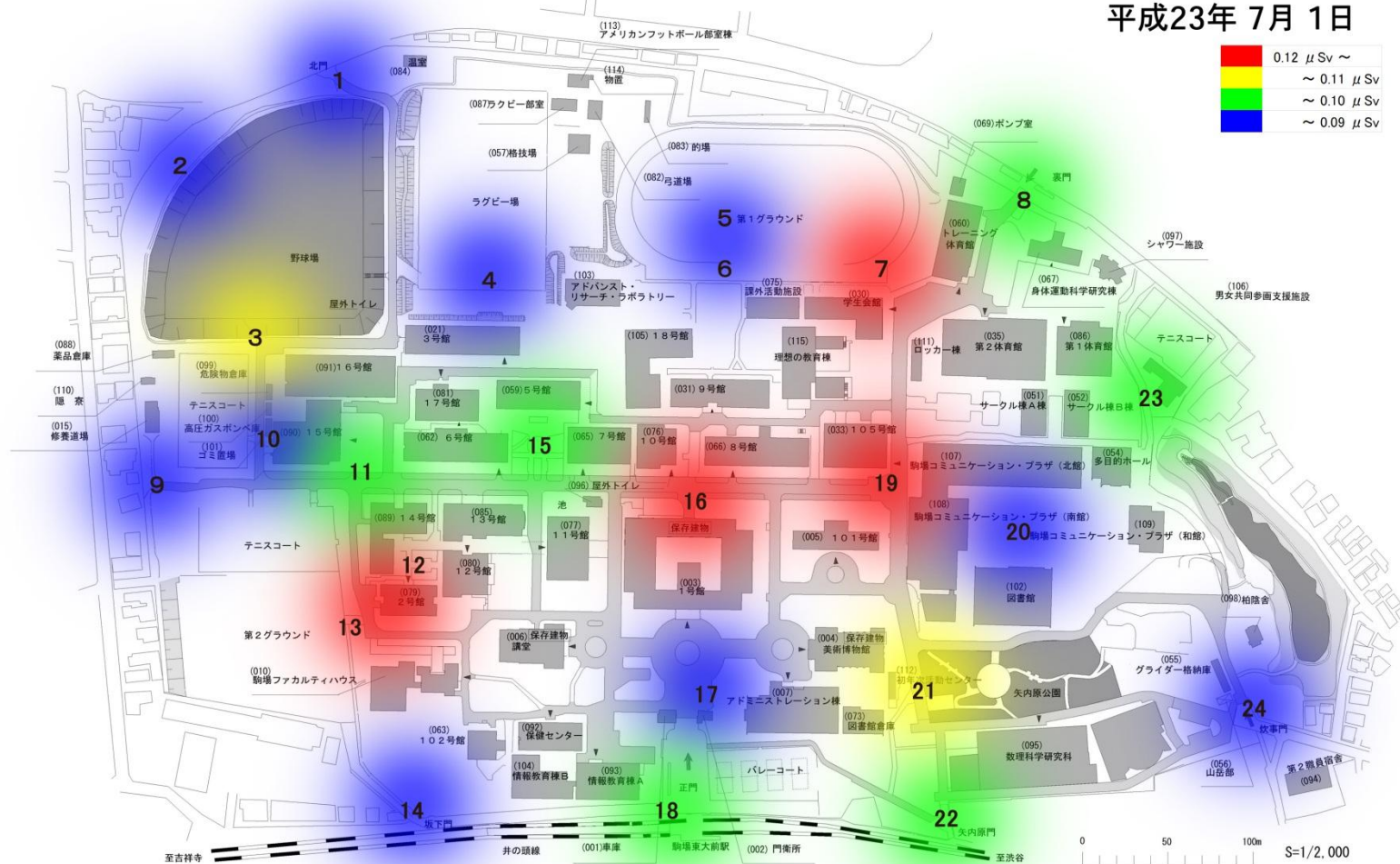
# $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比(土壌と植物片)



## 空間線量(2011年7月1日)...東京大学駒場キャンパス内の空間線量

## 駒場 | キャンパス空間線量マップ

平成23年 7月 1日

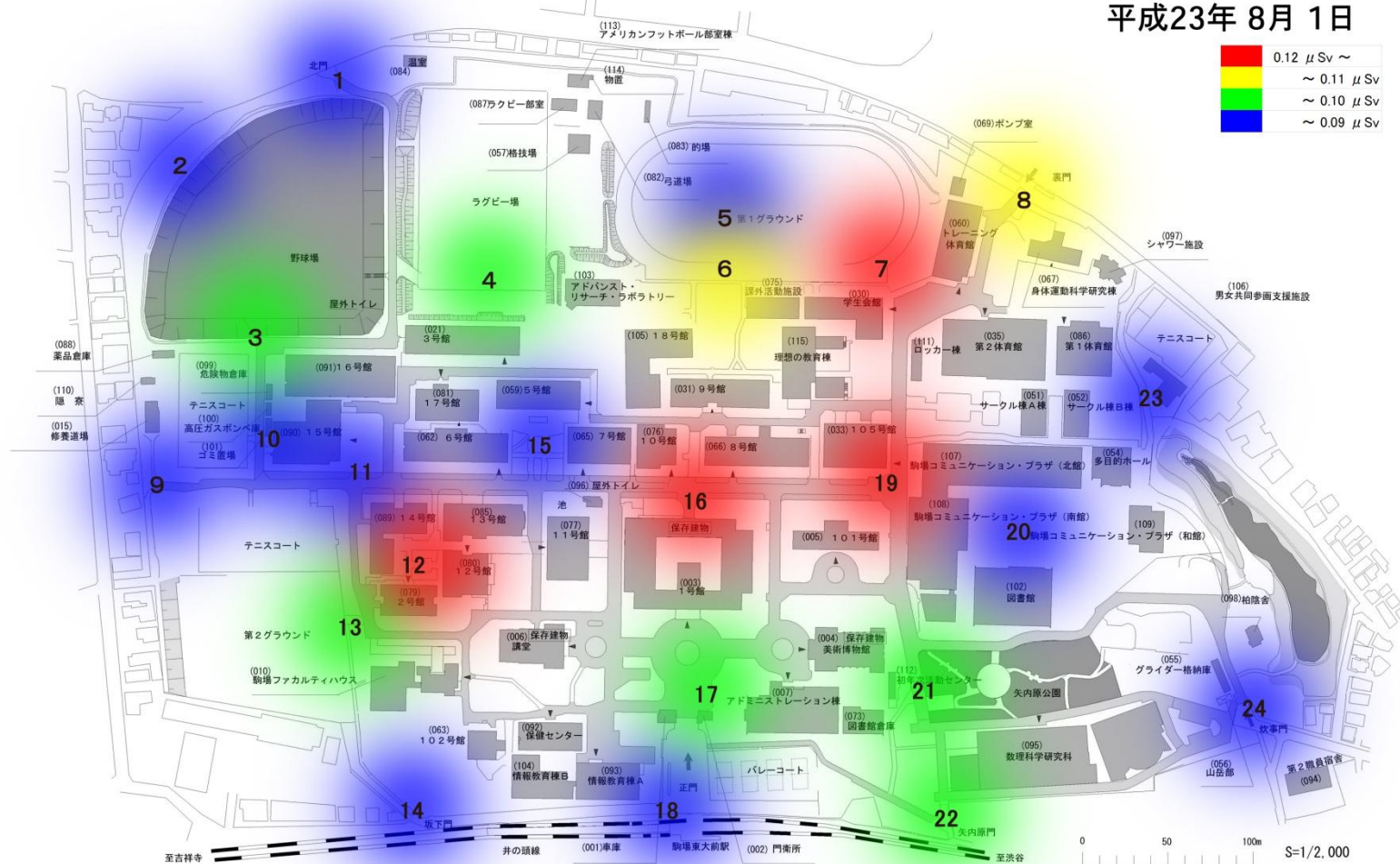




空間線量(2011年8月1日)

## 駒場 | キャンパス空間線量マップ

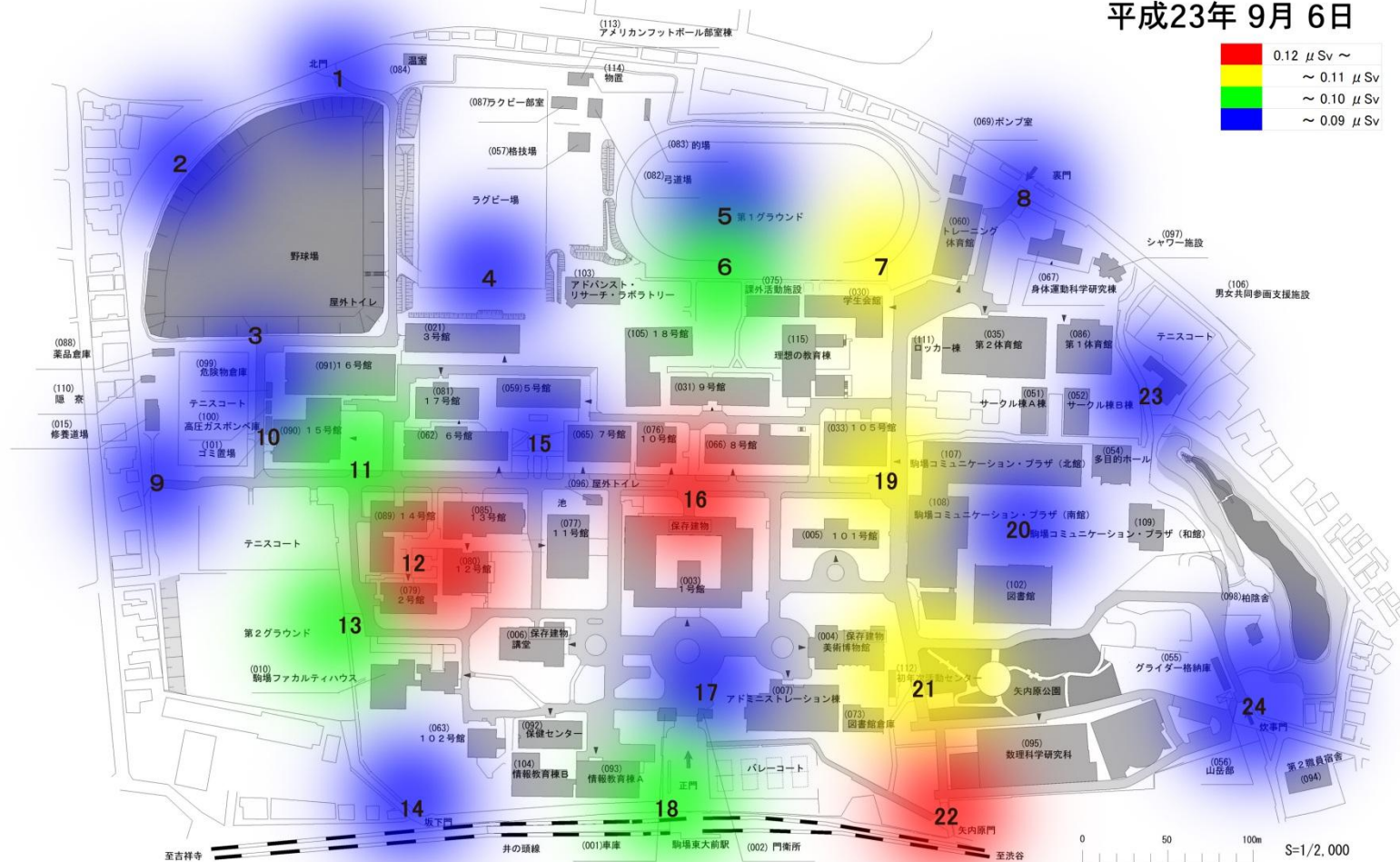
平成23年 8月 1日



空間線量(2011年9月6日)

## 駒場Ⅰキャンパス空間線量マップ

平成23年 9月 6日

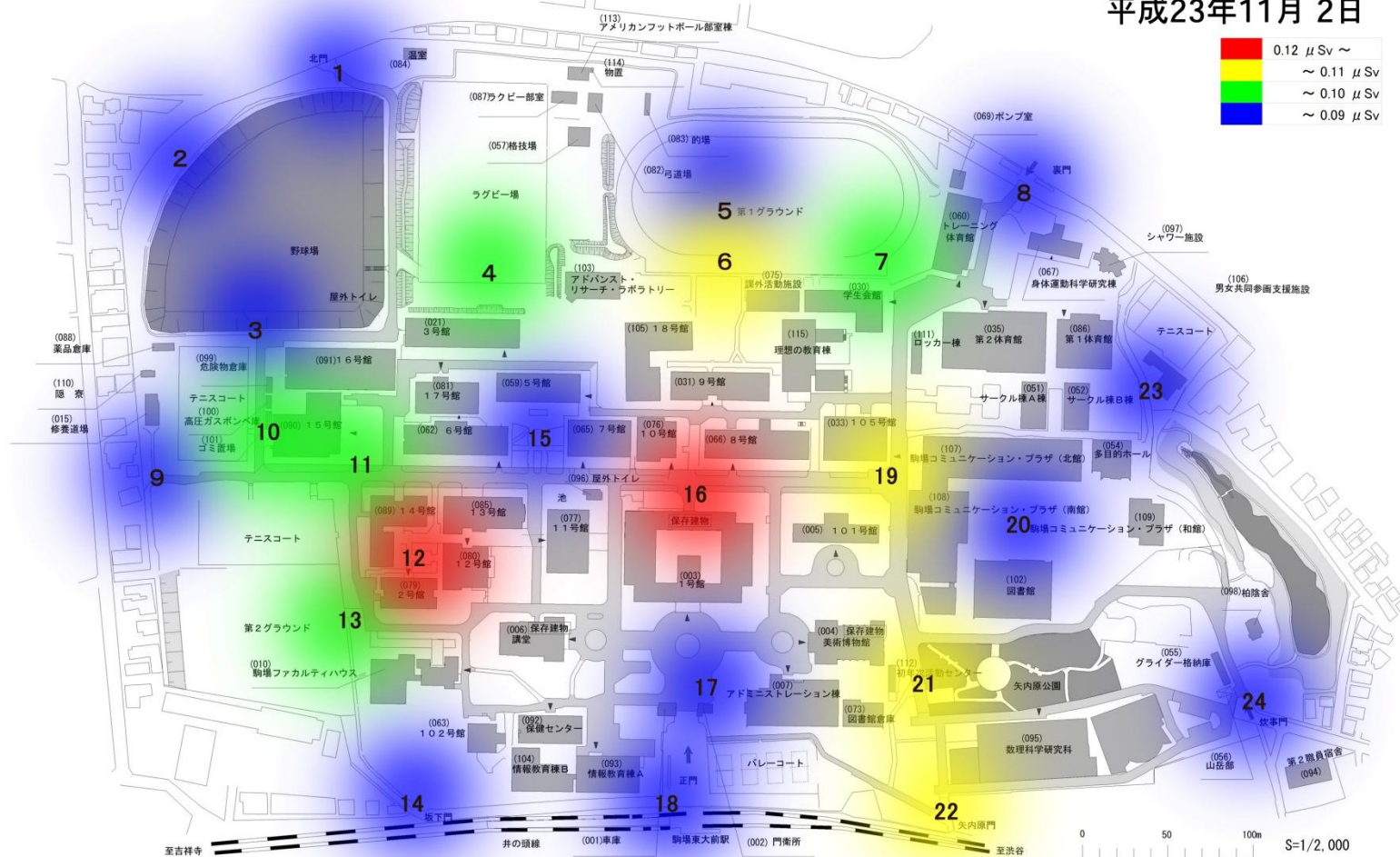




空間線量(2011年11月2日)

## 駒場 | キャンパス空間線量マップ

平成23年11月 2日

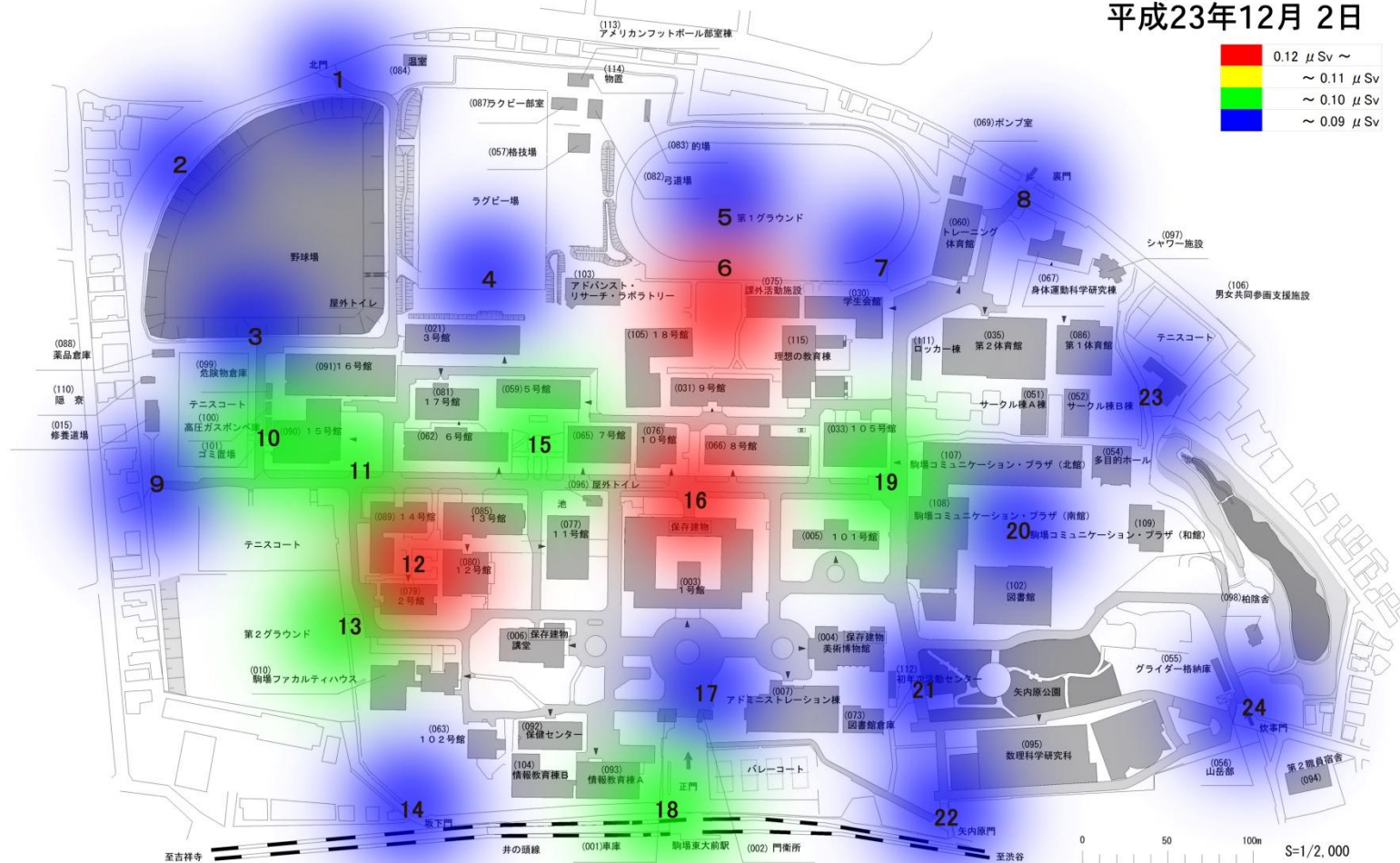




空間線量(2011年12月2日)

## 駒場Ⅰキャンパス空間線量マップ

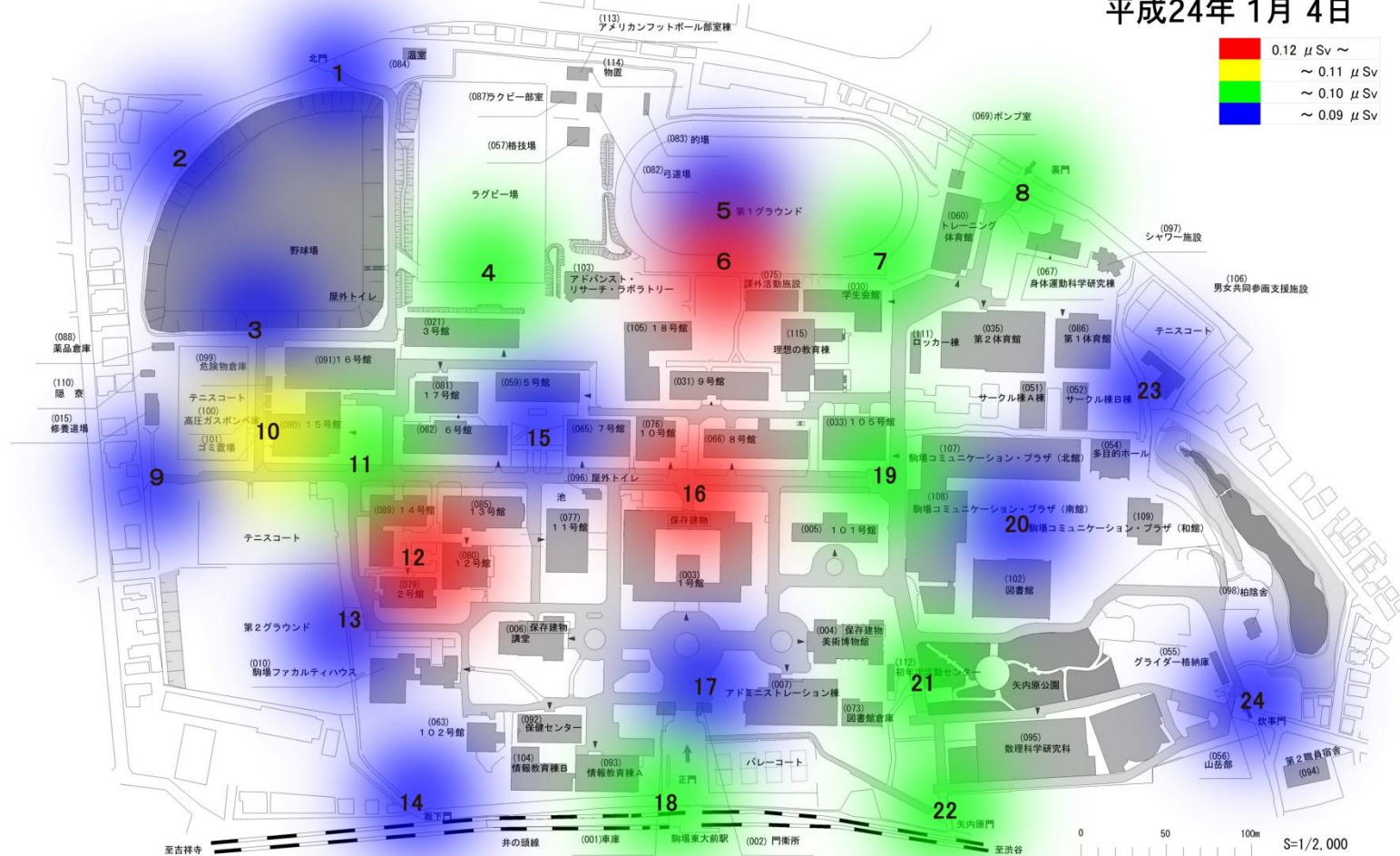
平成23年12月 2日



空間線量(2012年1月4日)

## 駒場Ⅰキャンパス空間線量マップ

平成24年 1月 4日





空間線量(2012年2月2日)

## 駒場Ⅰキャンパス空間線量マップ

平成24年 2月 2日

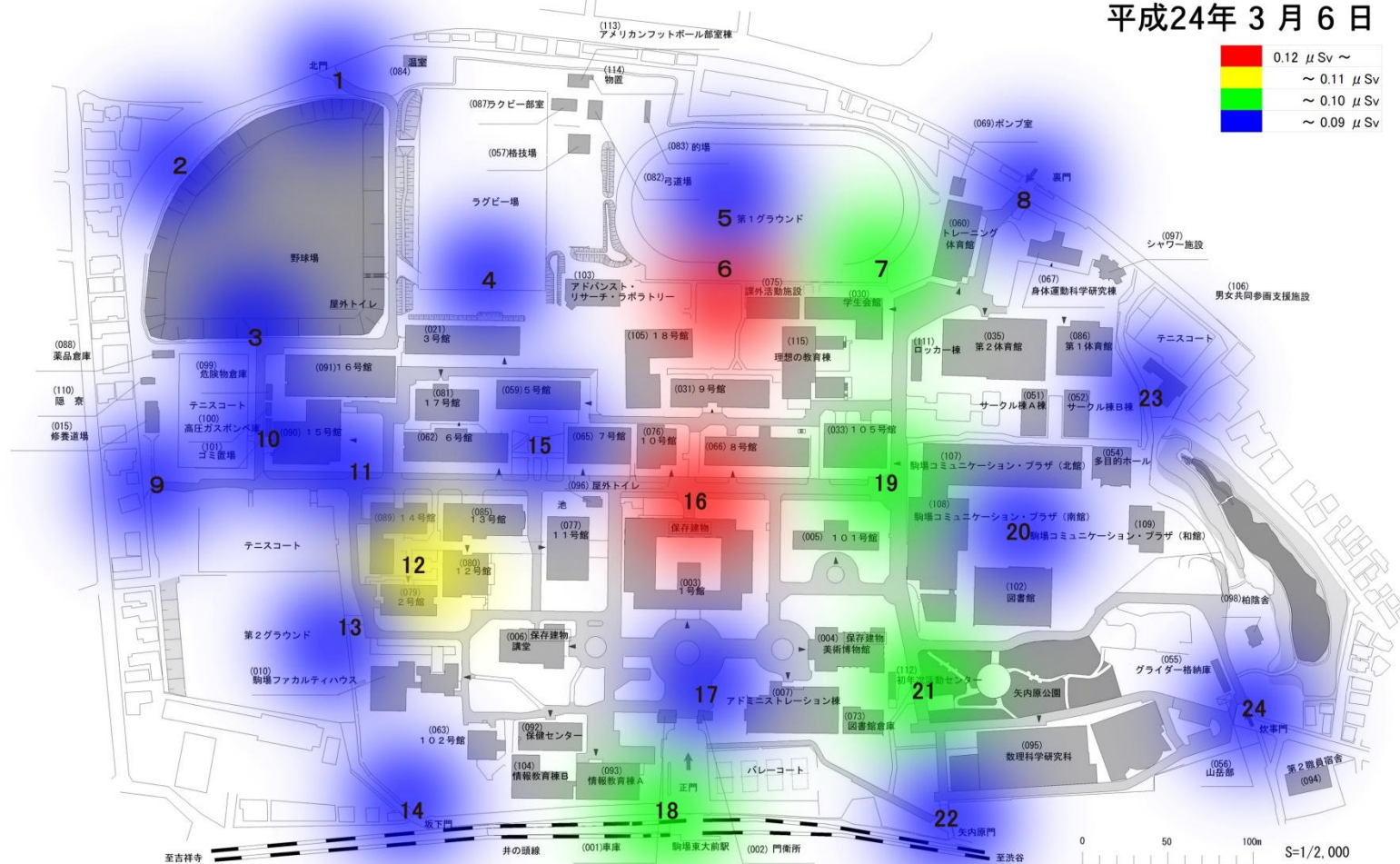




空間線量(2012年3月2日)

## 駒場Ⅰキャンパス空間線量マップ

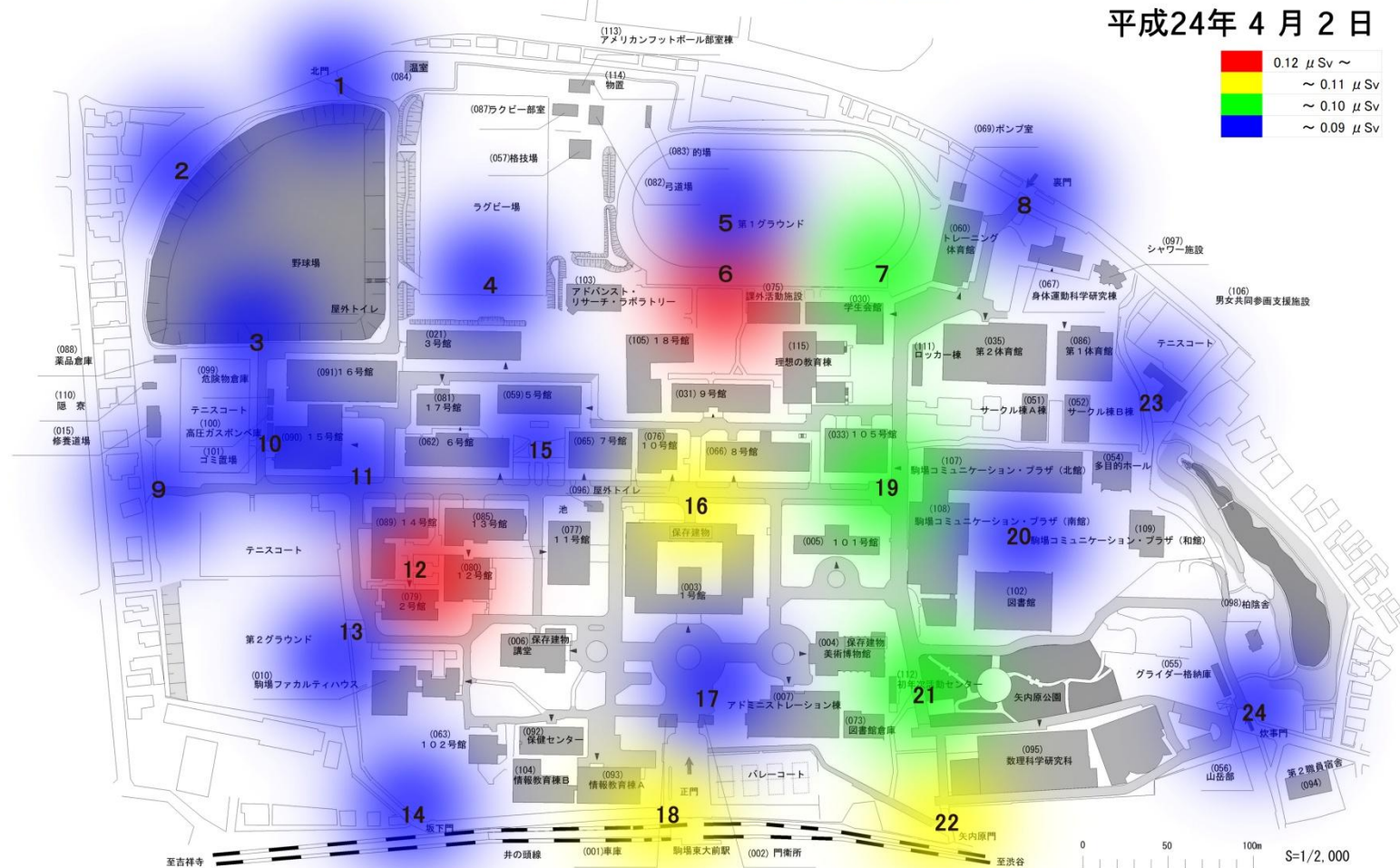
平成24年 3 月 6 日



空間線量(2012年4月2日)

## 駒場 I キャンパス空間線量マップ

平成24年 4 月 2 日

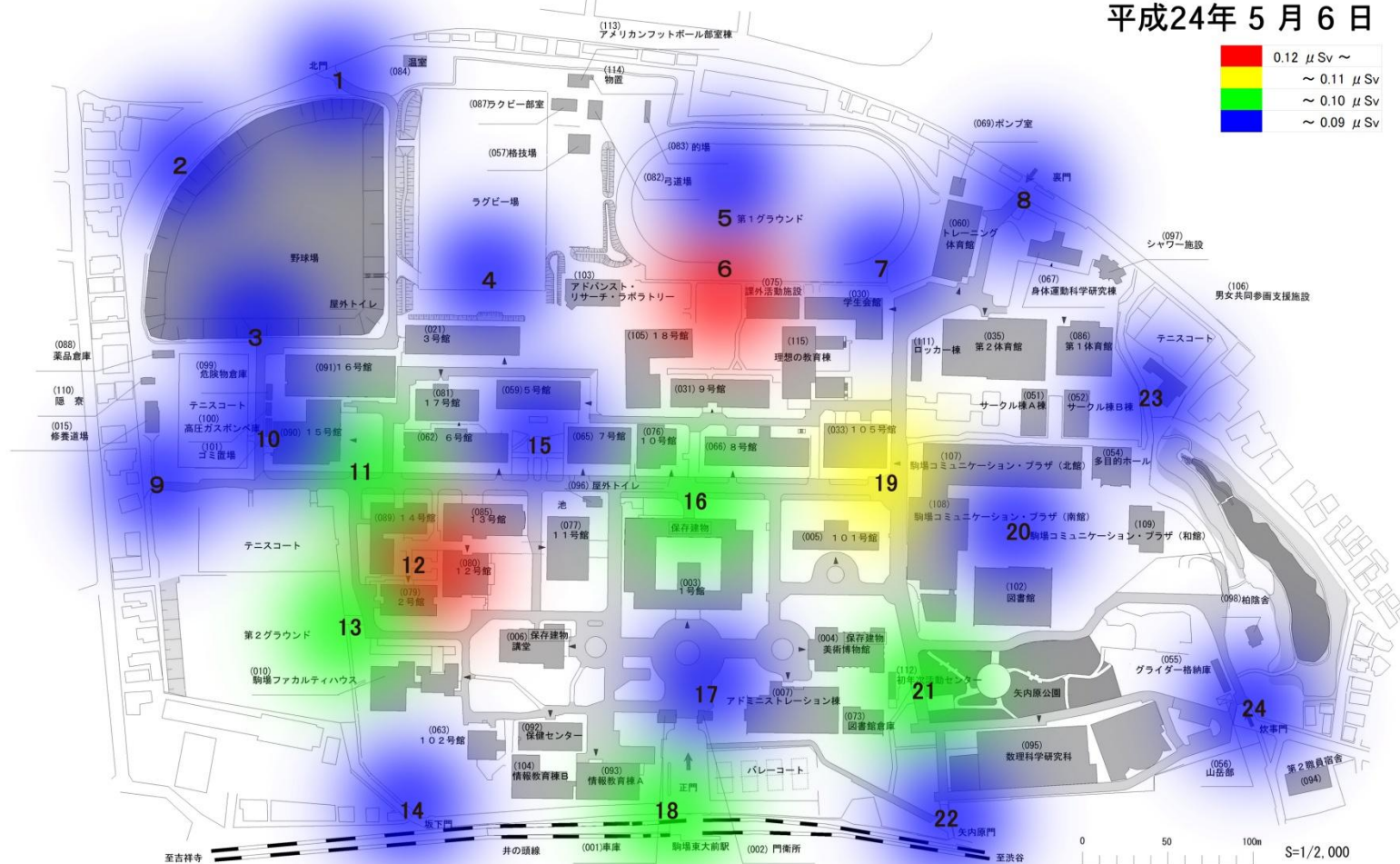




空間線量(2012年5月6日)

## 駒場 I キャンパス空間線量マップ

平成24年 5 月 6 日

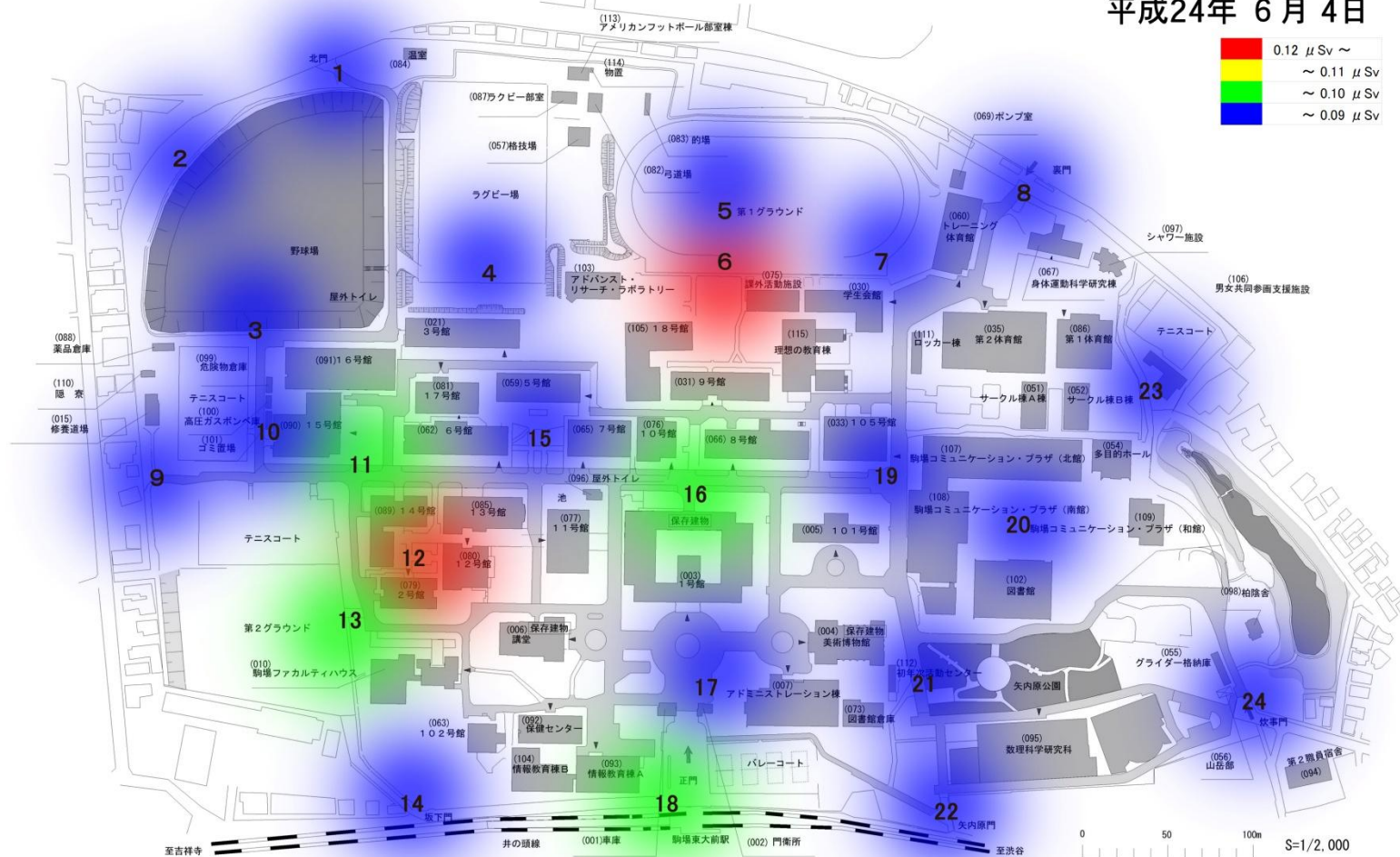




空間線量(2012年6月2日)

## 駒場 I キャンパス空間線量マップ

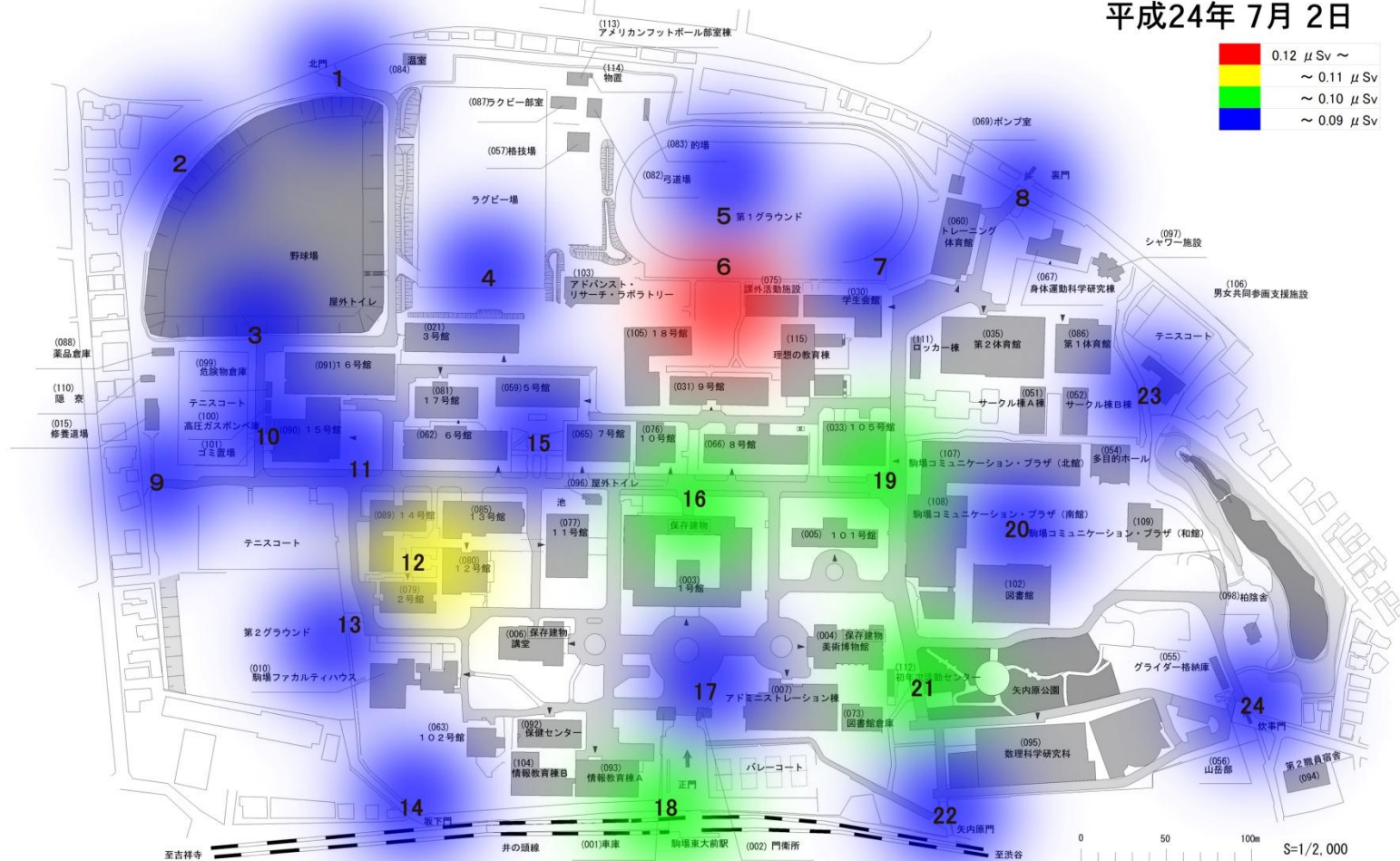
平成24年 6月 4日



空間線量(2012年7月2日)

## 駒場 I キャンパス空間線量マップ

平成24年 7月 2日





空間線量(2012年8月2日)

## 駒場 I キャンパス空間線量マップ

平成24年 8月 2日





空間線量(2012年9月2日)

## 駒場 I キャンパス空間線量マップ

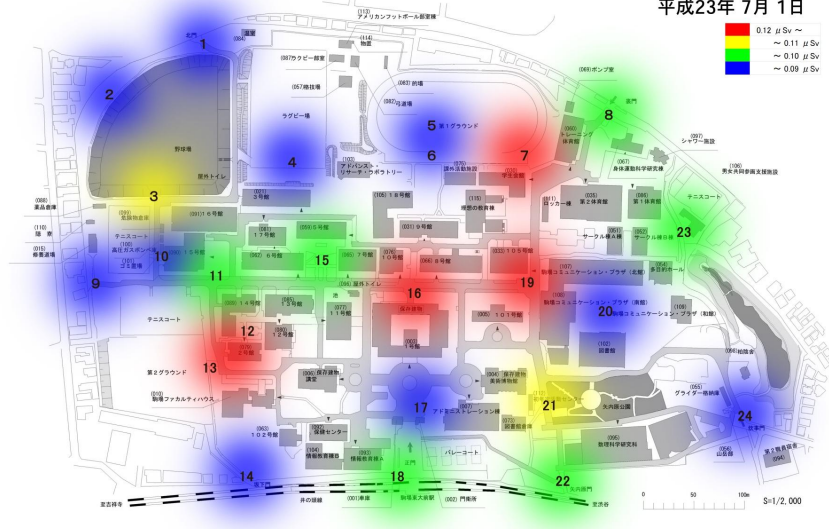
平成24年 9月 4日



# 雨風による放射性物質の移動

駒場 | キャンパス空間線量マップ

平成23年 7月 1日



事故から4ヶ月後

駒場 | キャンパス空間線量マップ

平成24年 9月 4日



事故から1年6ヶ月後

空間線量率の減衰は放射性物質(主に $^{134}\text{Cs}$ )よりも早い。

舗装されている場所は、想定以上に速く雨風によって移動している。

# マッピングの有効性

- ▶ どこが高い/低いが一目瞭然
  - 今まで気にしすぎていた場所だったかもしれないし、ノーマークだった場所が見つかるかもしれない
  - 「天然核種」と「放射性セシウム」の区別も可能
- ▶ 時系列変化を追える
  - 時間をおいて測れば、高い地点でも、放っておけばどんどん拡散していく場所なのか、あるいは隔離すべき場所なのか判定が容易

---
- ▶ 難点
  - 小型の線量計ではダメ。

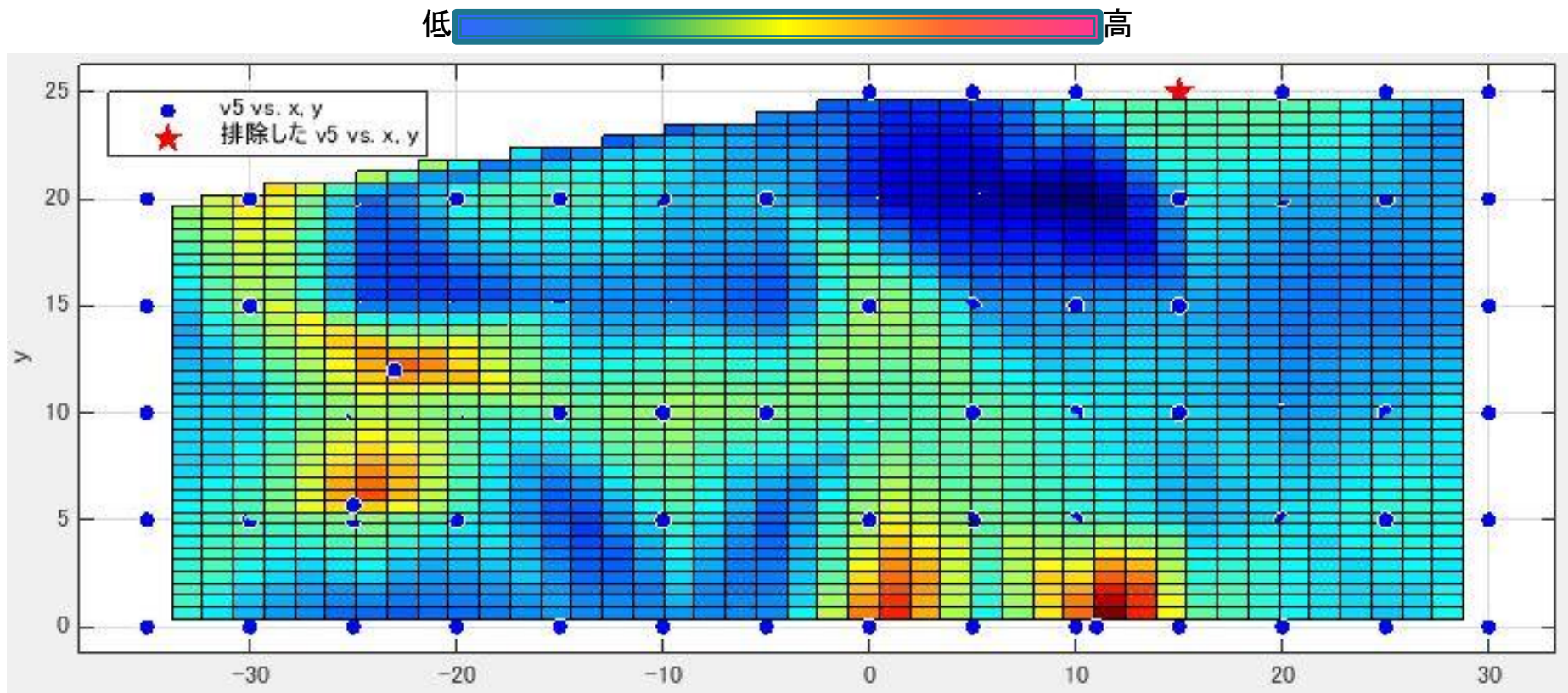


# 除染対象とした公園(茨城県守谷市)

約2500m<sup>2</sup>(濃縮などの特異性がある公園ではない)



# マッピング(2012年版)



僅かに削れている場所や  
吹き溜まりに、放射性物  
質が集積しやすい

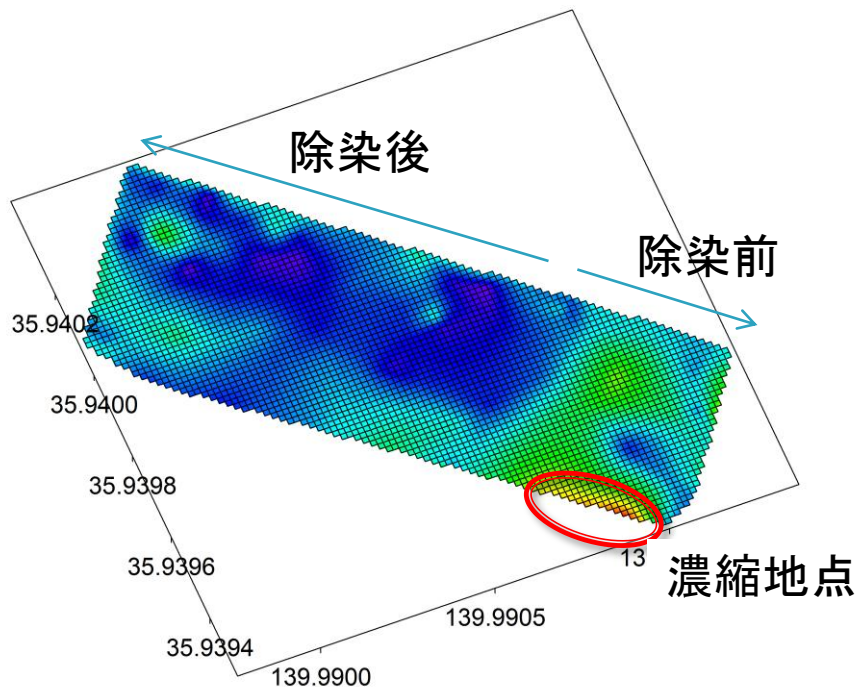




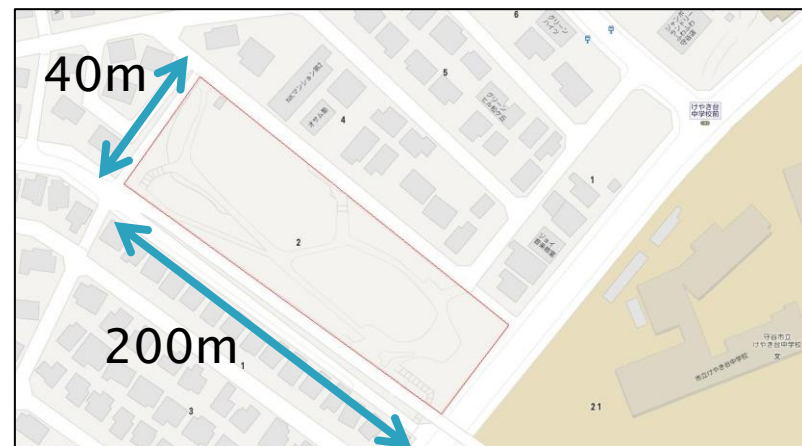
# 公園内の放射能マッピング(2013年版)

敷地内の放射性セシウムの詳細な分布を知ること、除染の優先順位を決められる

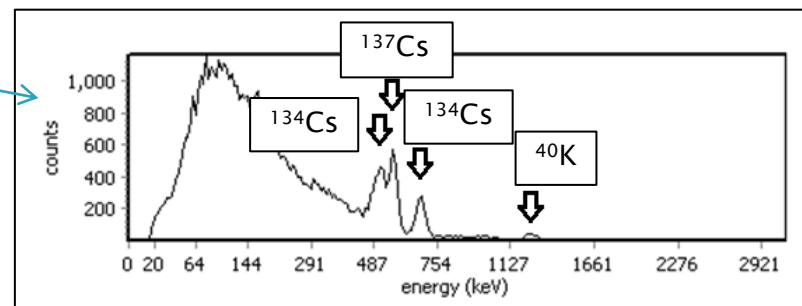
200 x 40 mの敷地なら半日で測定OK



\*2'NaIシンチレーションカウンターによる測定



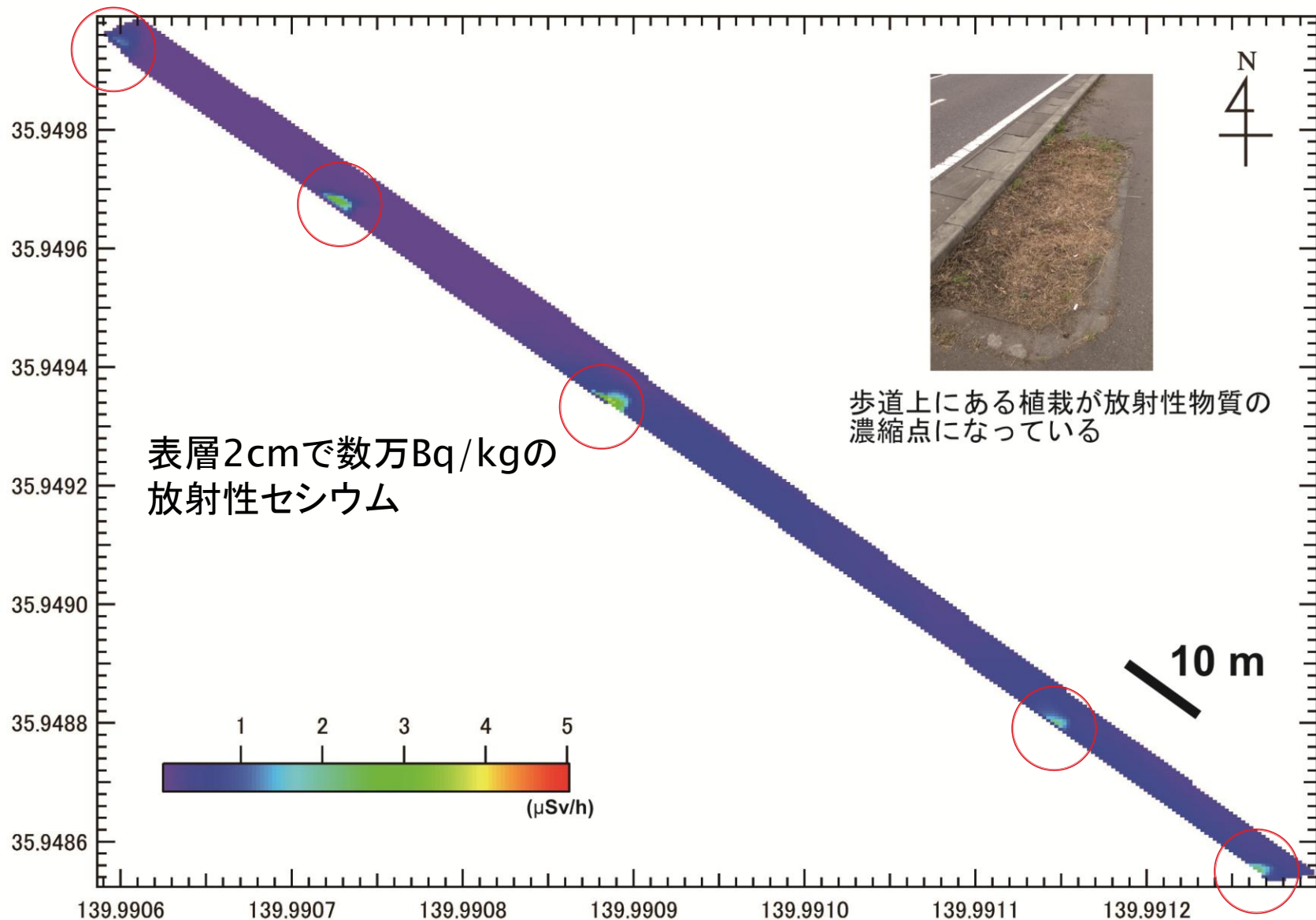
濃縮地点におけるガンマ線スペクトル



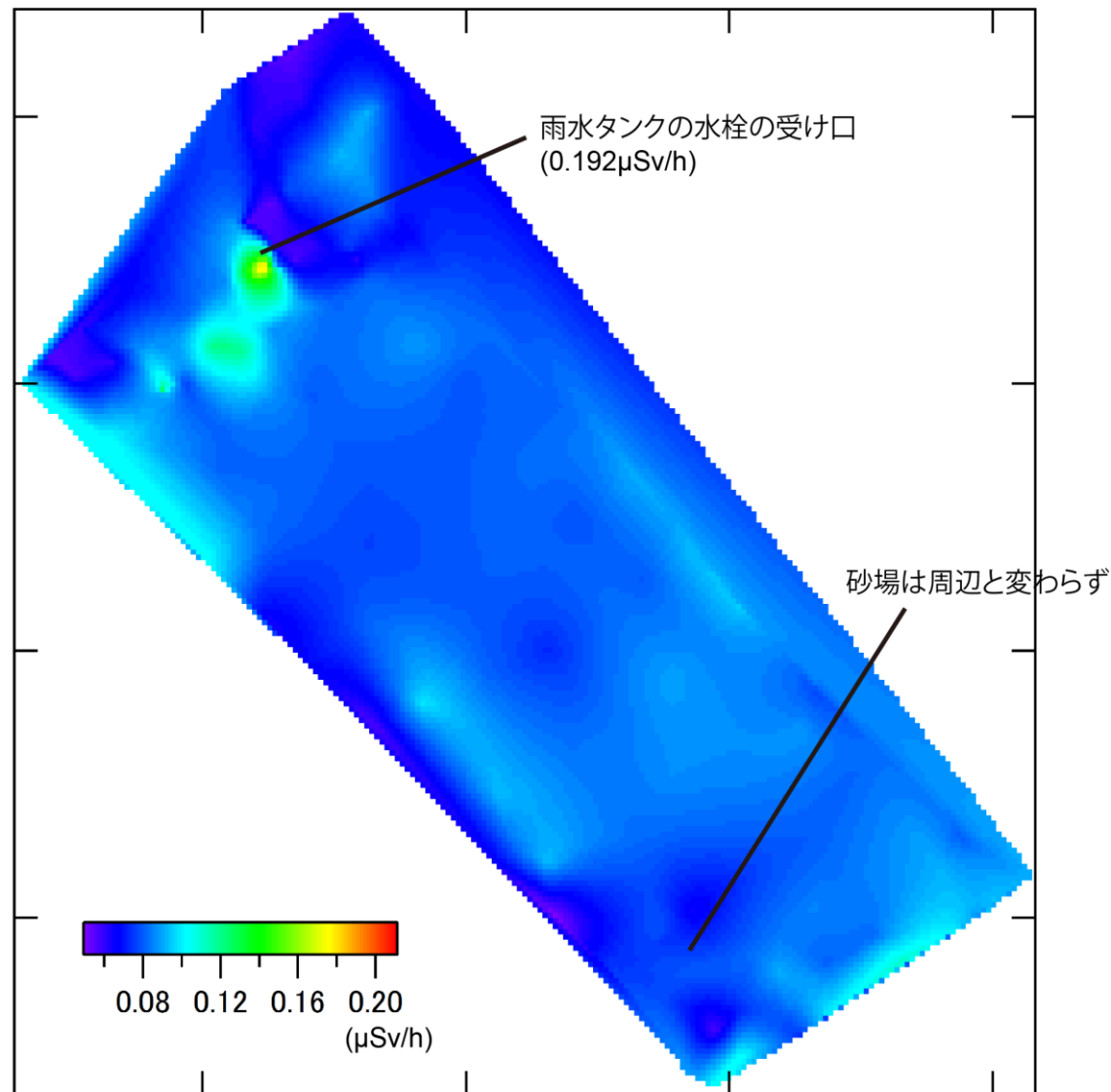
そのためには、まず測ってみませんか？



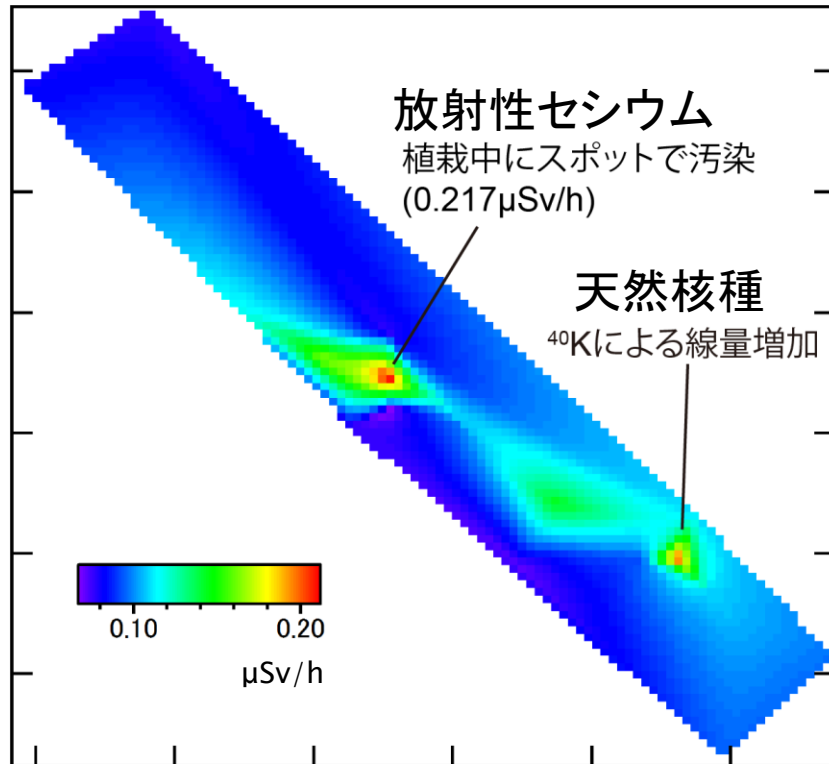
# マッピング(2013年版) 歩道上の植栽



# 小学校のグラウンド測定例



# 天然核種による影響も



敷地内中庭のマッピング

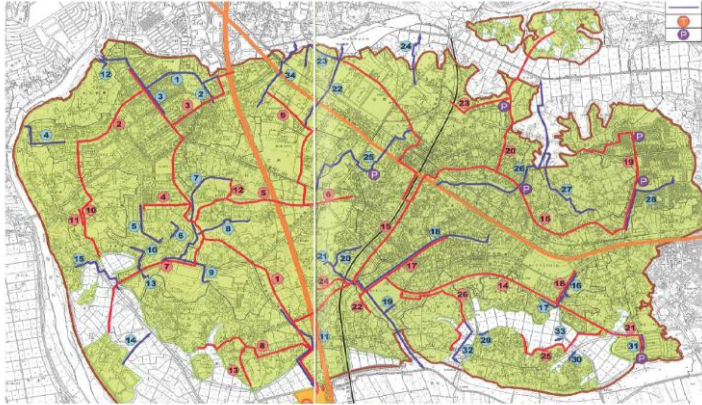
- ▶ 空間線量率が周辺よりも高い原因が100%放射性セシウムとは限らない。
- ▶ 天然核種(たとえば $^{40}\text{K}$ )による線量増加、ということもある
- ▶ 残念ながら、このことは線量計に示される数字( $\mu\text{Sv/h}$ )だけでは分からない。



# 濃縮の顕著な例-茨城県守谷市

## 守谷市雨水・下水幹線

市役所作成のパンフレットから転載



都市部に降った雨水は地下雨水幹線を通じて周辺部の河川・遊水池・水路に放出される。

【北守谷雨水幹線】

青色1, 2, 3, 12: 新守谷→鬼怒川ルート、5, 6: 北守谷野球場ルート

【南守谷雨水幹線】

青色28: 守谷郵便局ルート、27: 愛宕中学校ルートの合流先、16, 17: 南守谷野球場ルート、18-21: 松ヶ丘ルート

## 公園は雨天時の調整池として活用



## 雨天時



## 住宅地からの雨水の処理



プロムナード水路  
全長1.2km  
(地上部のみ)

プロムナード水路に雨水  
を排出する地域  
面積約1.9km<sup>2</sup>

城址公園  
水路下流に位置

雨樋下の小さな「ホットスポット」から次の  
集積場所へ移動しつつある地域



守谷市に限らずどこでも起きる現象

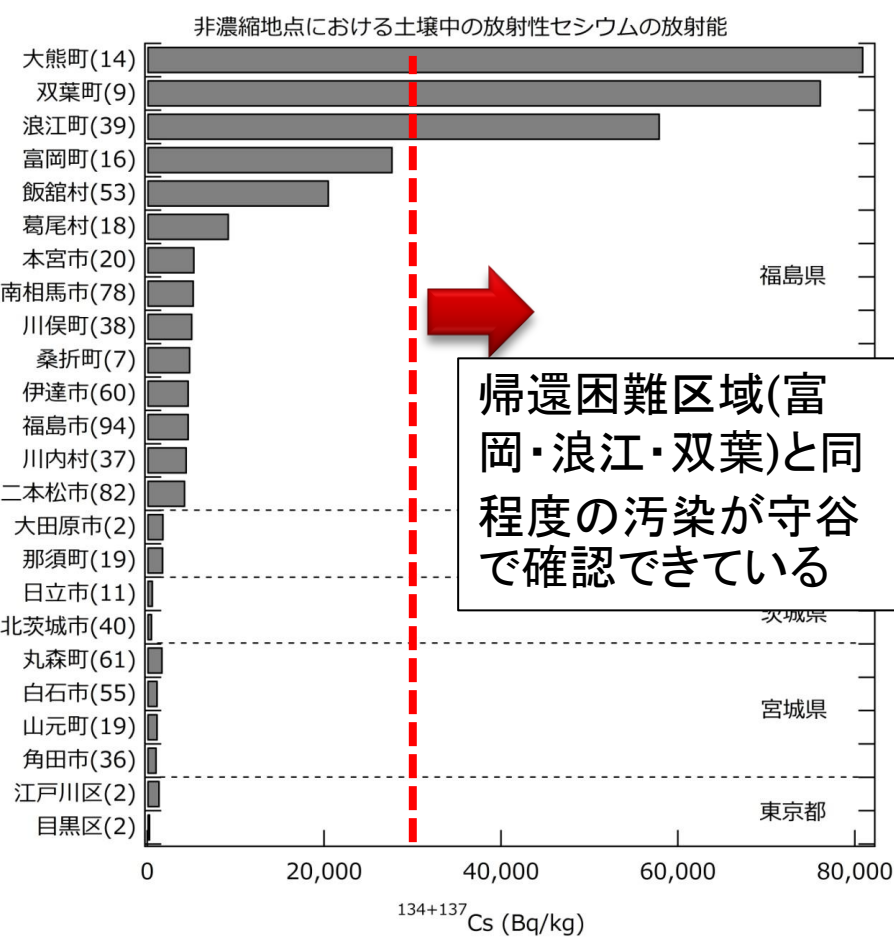


# 放射性セシウムが集積している人工河川

親水環境として整備されている



# 水路における放射性セシウムの濃縮\*



帰還困難区域(富岡・浪江・双葉)と同程度の汚染が守谷で確認できている

- 1. 市町村名の後の(カッコ)内の数字はサンプル数であり、ここではその平均値を示した。
- 2. 土壌サンプルの採取は2011年6月から7月であり、採取時点で半減期補正を行っている。
- 3. 文部科学省から提供された値に筆者の測定結果を加えた。

堆積物・表層5cm

| 濃度 (Bq/kg) | 空間線量率 (μSv/h) | 立ち入り規制  |
|------------|---------------|---------|
| 17,200     | 2.04          | 無       |
| 43,700     | 1.49          | 無       |
| 12,500     | 1.45          | 無       |
| 18,700     | 1.90          | 無       |
| 9,060      | 0.60          | 無       |
| 14,400     | 1.04          | 無       |
| 71,400     | 2.72          | 無(一部有り) |
| 14,700     | 3.25          | 無       |
| 15,200     | 1.91          | 有       |
| 30,500     | 1.75          | 有       |
| 28,200     | 3.70          | 有       |
| 13,500     | 1.30          | 無       |

\*小豆川勝見, 科学, 岩波書店, 印刷中

濃縮した場合、かなりの放射能になることがあります。せっかく食事で気をつけていても、数万Bqもあるような泥で遊んでいたら全く意味のないことになりかねない。



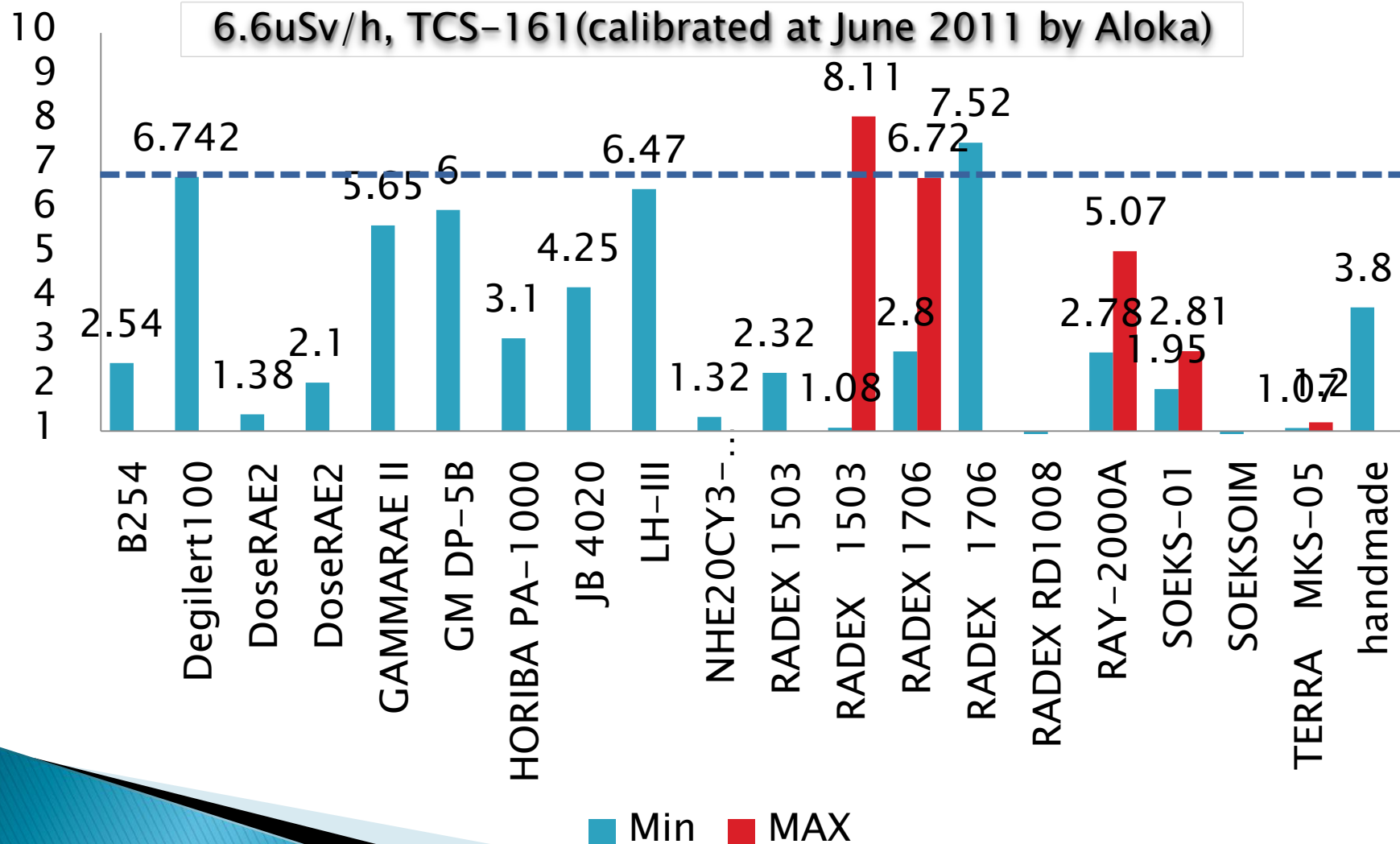
# 濃縮した放射性セシウムをこの場で測定

- ▶ 空間線量計をつかった測定。どんな特性があるのか実際に試料を測ってみましょう。



- ▶ 今回使用する測定器は各自治体の調査でも用いられる機器と同じものです。

# 簡易線量計での測定結果



# 線量計の正しい見方は

- ▶ 本来なら、『標準線源』を用いて線量値の校正を行うべきです。
  - 公的機関が使っている線量計はきちんと校正していますので、値の比較が可能です。
- ▶ でも校正作業ってコストがかかるんです…。
- ▶ だとすれば、せめて同じ線量計で、「**相対変化**」を見るべきです。
- ▶ 近づける距離や、対象を決めて、時間とともにどのように値が変化するか、を観察することが最も正しい姿勢です。**(公的機関に相談するときに非常に重要なデータになります)**



# さいごに

- ▶ 福島第一原子力発電所の1-4号機は廃止(廃炉)になりますが、事故を完全に収束させるには数十年単位の時間を要します。
- ▶ あまりに難しい課題ですが、廃炉に向けた新しい技術を研究・開発していく必要があります。
- ▶ 原発から遠く離れていても、(人体への影響はともかく)長く付き合わざるを得ない案件です。
- ▶ この講演会でお知らせしたことには、(測定原理以外は)まだまだ不確定要素が含まれています。
- ▶ ぜひ継続して関心を持ち続けて頂き、「無用な被曝を避ける」用にして頂ければと思います。