

# 水洗浄による放射性セシウム汚染土壌の 除染方法について

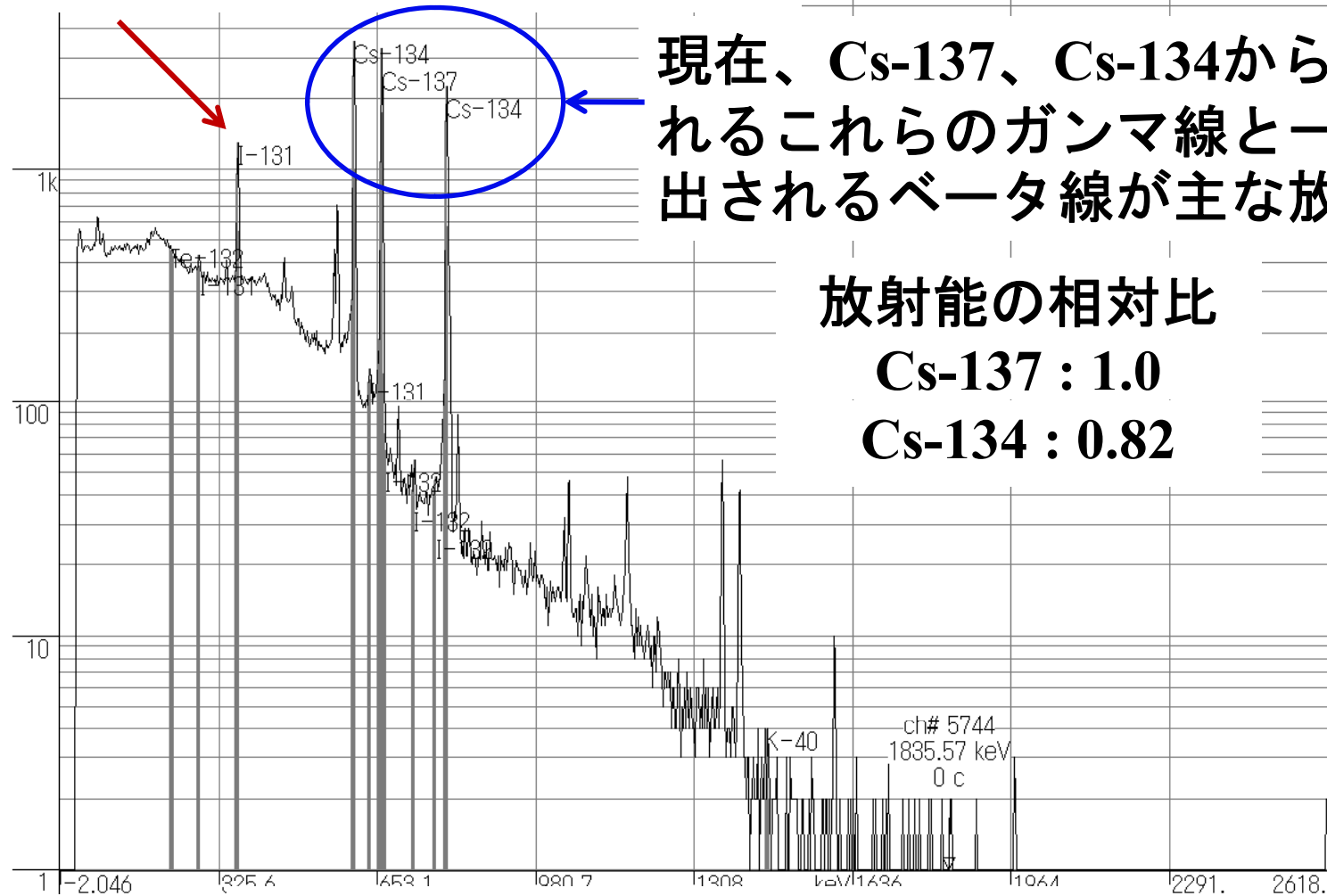
原子力委員会定例会議  
平成23年9月6日 10:00～

東北大学大学院工学研究科

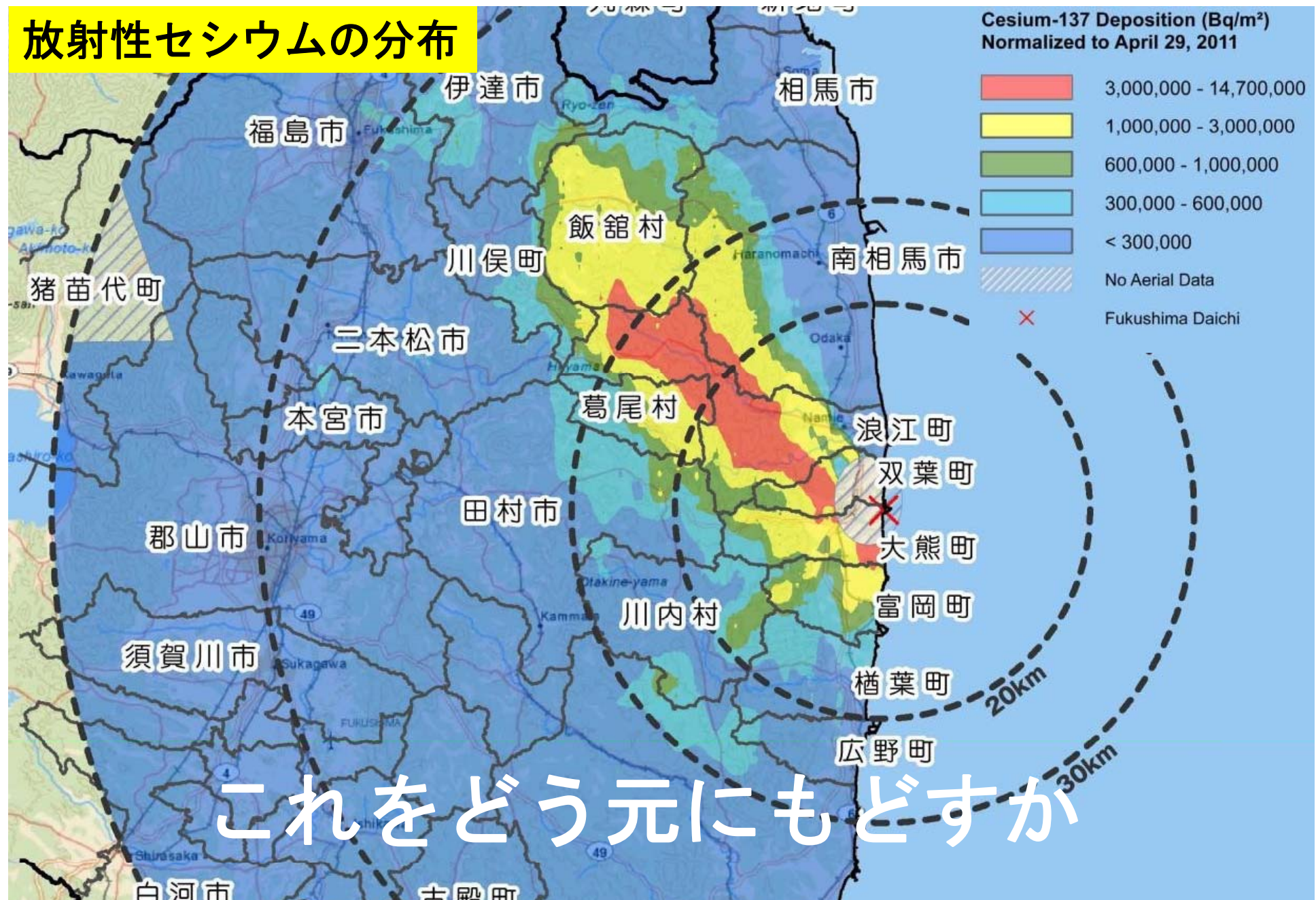
石井慶造

## 2 地表面から主に出ている放射線

I-131は現在かなり減っている  
8日で半分の割合で減少している

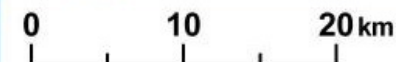


# 放射性セシウムの分布



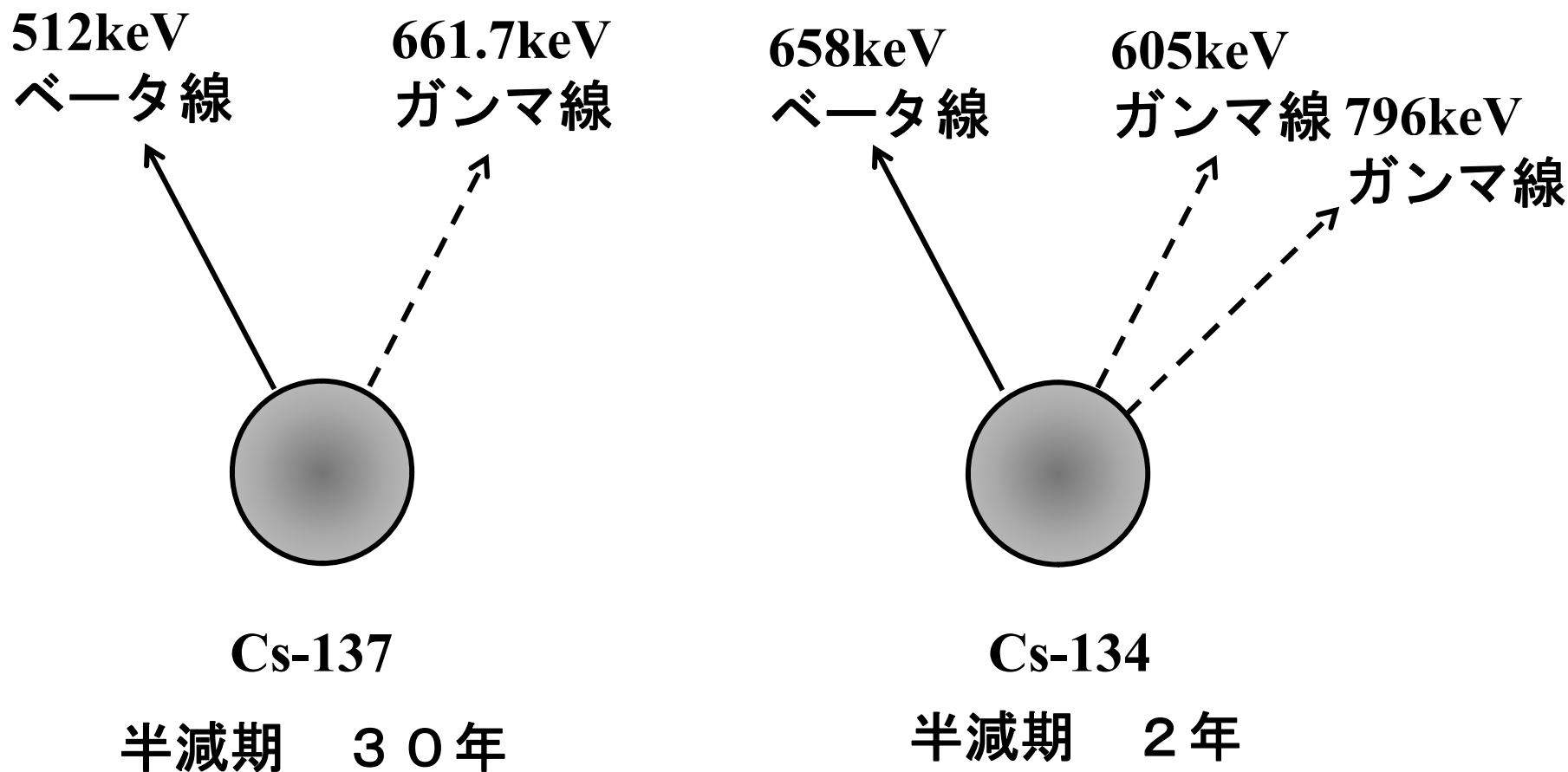
これをどう元にもどすか

文部科学省及び米国DOEによる航空機モニタリングの結果  
(福島第一原子力発電所から80km圏内のセシウム137の地表面への蓄積量)



4

## 放射性セシウムからの放射線



存在比 約 1 : 1

4年後 放射能は約 2 分の 1 になる。

6年後 放射能は約 3 分の 1 になる。

**粘土が福島・宮城を救った！**

## Csの土壤中の挙動

土壤中の $^{137}\text{Cs}$ の分布を粘土、シルト、砂に分けて調べた例では、半分以上の $^{137}\text{Cs}$ が粘土画分に存在していた。

土壌への吸着の強さや様式で分けると、

K,  $\text{NH}_4$ 等の陽イオンと置き換わることが出来るイオン交換体：10% （植物へ移行しやすい）

有機物との結合体：20% （植物へ移行しやすい）

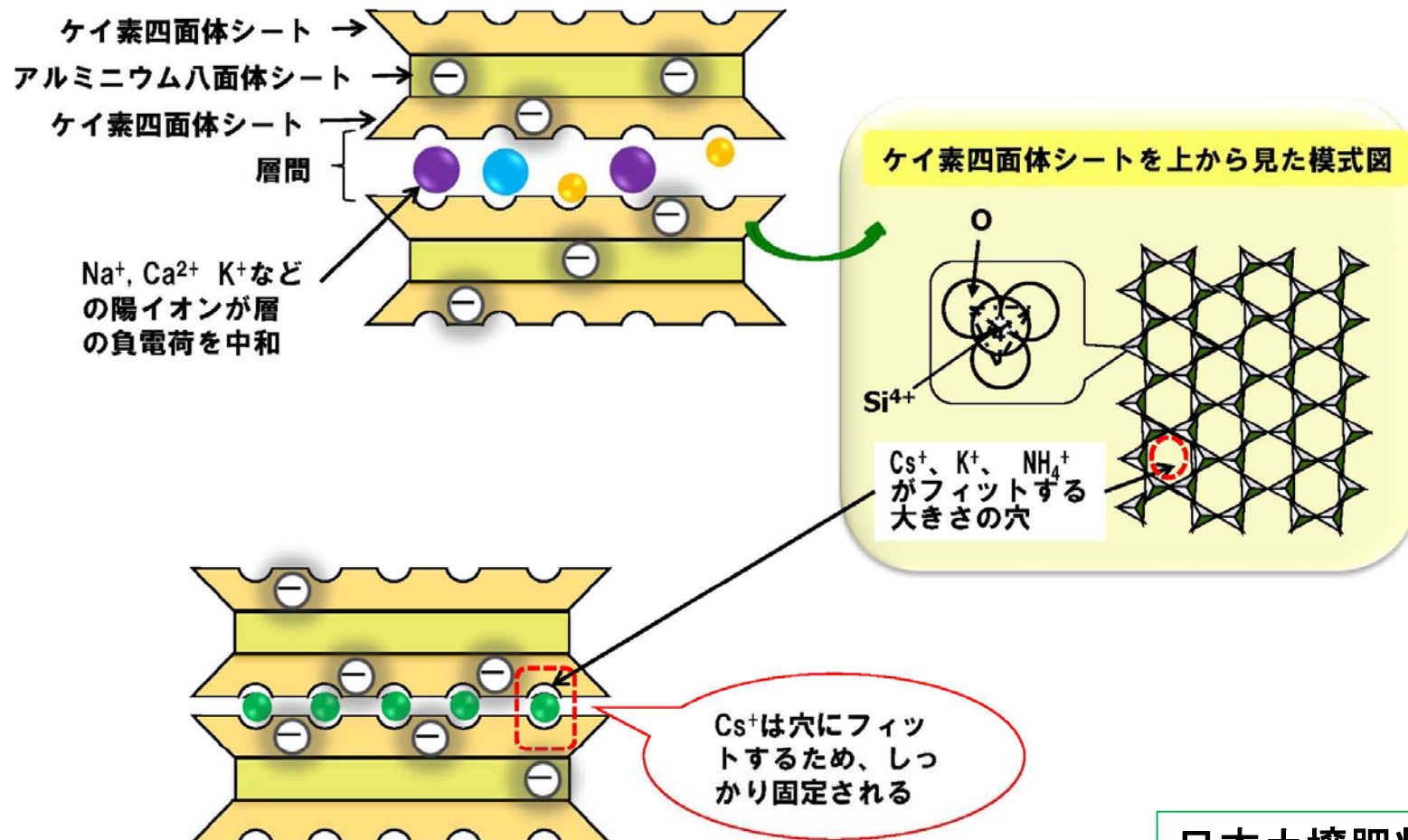
粘土等の強固な結合体：70% （植物へ移行困難）

土壌の負電荷は、有機物や粘土鉱物に由来している。有機物に由来する負電荷に保持された $\text{Cs}^+$ は他の陽イオンによって容易に置き換えられる（イオン交換反応）。しかしある種の粘土鉱物のもつ負電荷に、 $\text{Cs}^+$ はきわめて強く「固定」され、他の陽イオンによって簡単に置き換えることができない。このような性質を持つ粘土鉱物は、2：1型層状ケイ酸塩と呼ばれ、薄いシート状の層が積み重なり、層と層の間に負電荷を持つ。2：1型層状ケイ酸塩の層間の負電荷がある場所は、 $\text{Cs}^+$ を閉じ込めるのにちょうどいい大きさの穴のようになっている。この穴は $\text{Cs}^+$ の他に、 $\text{K}^+$ や $\text{NH}_4^+$ を閉じ込めるのにもちょうどいい大きさであるため、通常はこれらの陽イオンの中で最も存在量が豊富な $\text{K}^+$ がこの場所を埋めている。だが、この場所との結合力は $\text{K}^+ < \text{NH}_4^+ \ll \text{Cs}^+$ の順に大きくなるため、 $\text{Cs}^+$ は $\text{K}^+$ を追い出してこの場所を埋めることができる。



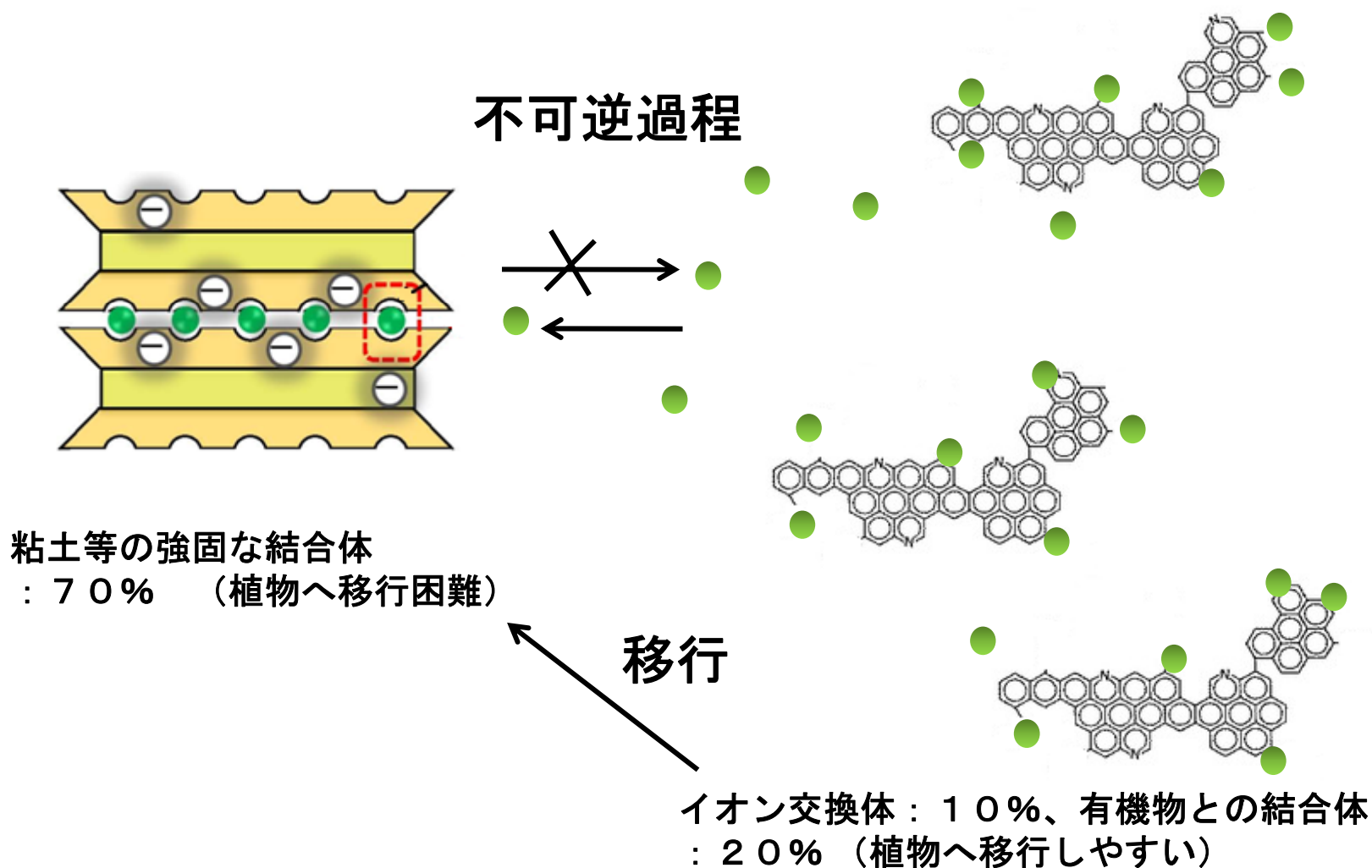
# 7 セシウムは粘土質にしっかり吸着される

**2:1型層状ケイ酸塩鉱物**は、ケイ素と酸素からなるシート（ケイ素四面体シート）が、アルミニウムと酸素からなるシート（アルミニウム八面体シート）をはさんだ構造をもつ層を一単位とし、これらの層が積み重なってできている。ケイ素四面体シートのケイ素の一部がアルミニウムに置き換わる、又はアルミニウム八面体シートのアルミニウムの一部がMgなどと置き換わることでシートが負電荷を持つ（同型置換）。



8

イオン交換体、有機物に結合したセシウムイオンが粘土質に吸着されていく。





9

# ほうれん草 分析結果 (Bq/ k g)

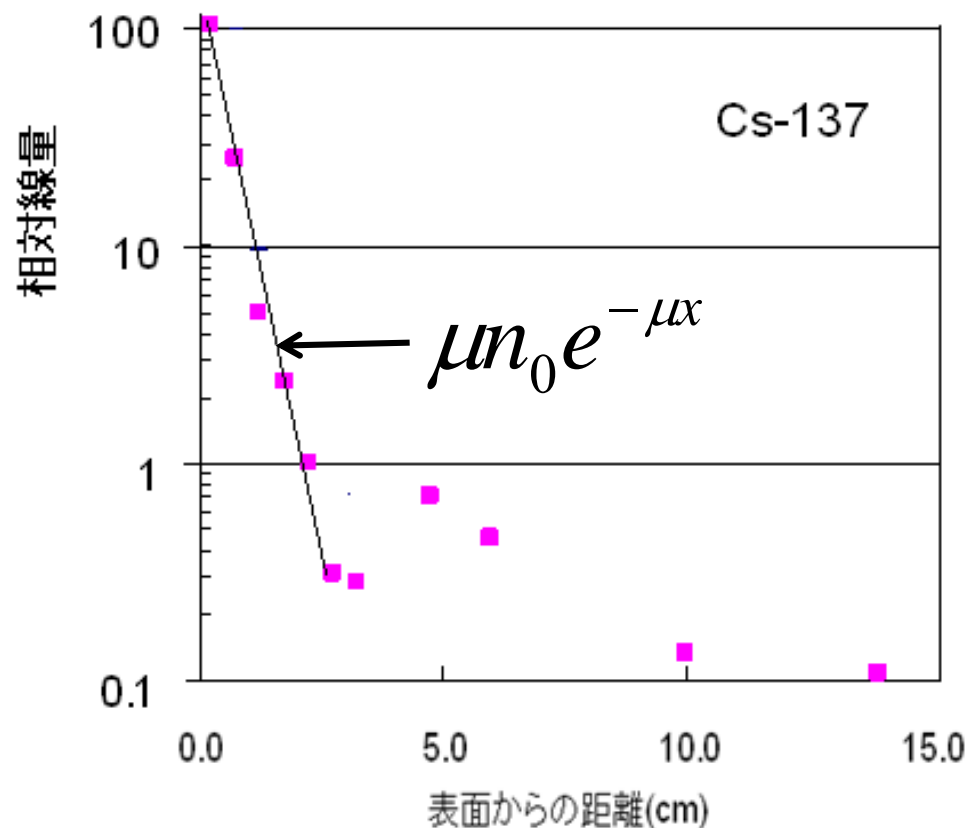
 $^{131}\text{I}$  $^{134}, ^{137}\text{Cs}$ 

3月28日	333	<2000	491	<500
3月31日	357	<2000	407	<500
4月18日	89	<2000	349	<500
5月19日	ND	<2000	20	<500
5月23日	ND	<2000	ND	<500

農作物は現在、ほとんどND（1ベクレル/k g 以下）であり、福島、宮城の野菜は安心して食べられる状況にある。

# <sup>137</sup>Cs 放射性セシウムは、ほとんど土の表面に分布

表面から約5mmの厚さにほとんど放射能は分布している。分布は表面からの距離の指数関数で減少している（理論的に予想される。）。



従って、校庭、庭に降った放射性セシウムはほとんど表面の粘土に吸着されている。

→ 表面の汚染土を取り去れば、空間線量は減る。

## 1 1 粘土質に固定されたセシウムの性質

### 1. 水に溶けない。

——→ 川の水を浄化して得られる水道水には、セシウムは含まれない。——→ お陰様で、水道水が飲めた。

### 2. 酸およびアルカリ溶液にも溶けない。

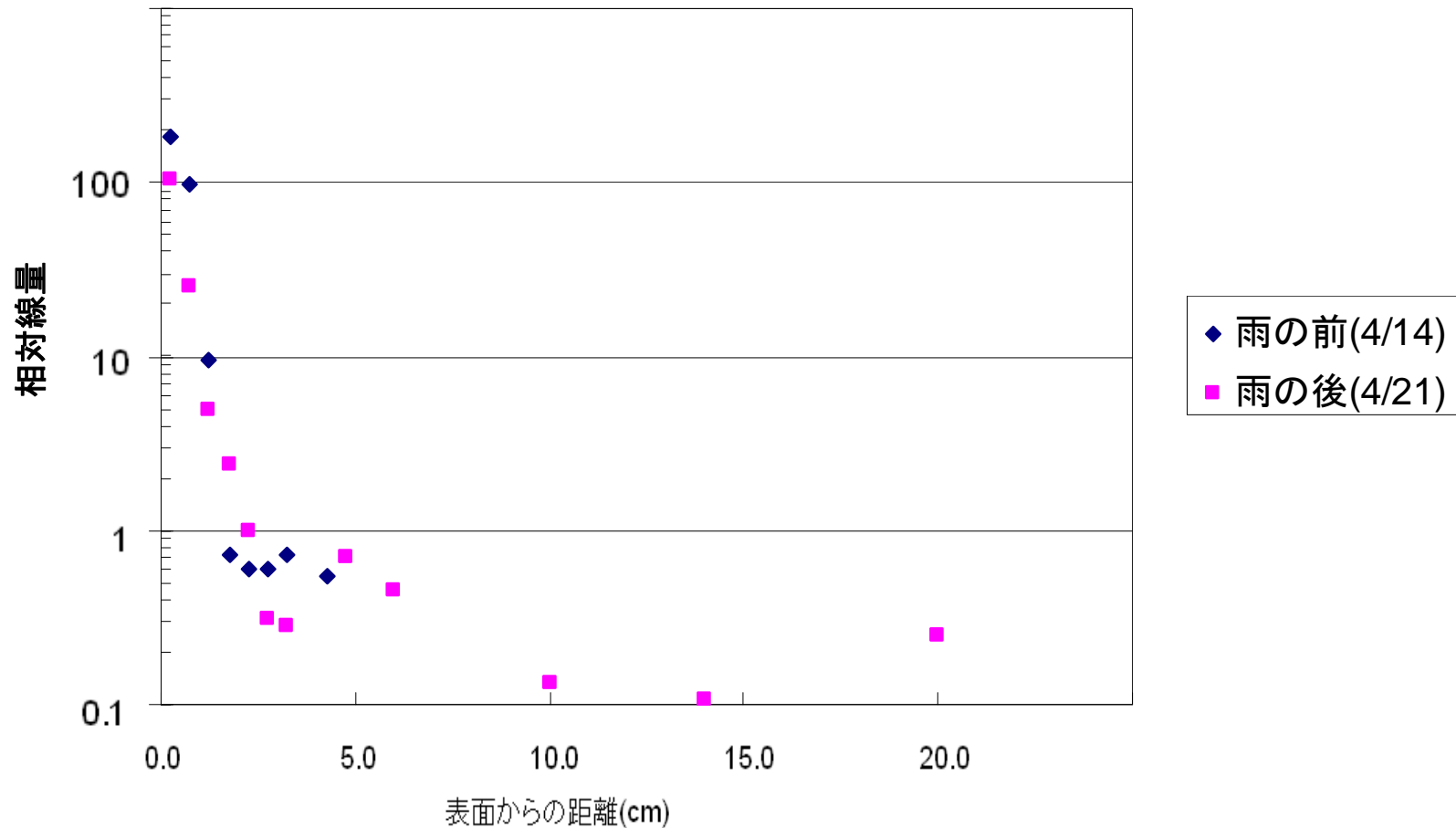
——→ 粘土を食べても、体に吸収されない。  
——→ 糞となって、排出されるだけ。

### 3. 粘土質に固定されたセシウムは植物にも吸収されない。

——→ 耕作することにより、土中に含まれている溶解性セシウムを粘土質に吸着させることにより、植物がセシウムを摂取しないようにできる。

## 1 2 雨が降ると土壌中のセシウムの含有量は減る。

Cs-137



雨水とともに非常に細かい汚染粘土が土の表面を流れるので、雨が降ると、空間線量は減る。

# 1 3

## 溶解性Csの土壌中での挙動

一方、土壌に含まれるイオン交換体、有機物に結合した放射性セシウムは、水に溶けて、植物へ移行する。

従って、タケノコ、椎茸、などは表面に根を這わせているのでセシウムを他の植物より、多く吸収することが考えられる。

植物は、セシウムをカリウムと同じように吸収し、朝露と共に排出するようだ。排出されたセシウムは洗えば落ちる。例えば、牧草中のセシウムは、洗浄前後でセシウム濃度は約半分に減った。

				放射能 (Bq/kg)			
測定月日	No.	検体		I-131	Cs-134	Cs-137	Cs合計
5/26		牧草(オーチャード)	無洗浄	n.d.	194	210	404
5/26		牧草(オーチャード)	水洗後	n.d.	106	136	242

また、福島市で桃・梨・りんごの木の下に草が生えているので、草の根に放射性セシウムが保持されているため、桃・梨・りんごに含まれるセシウムの量は、NDがほとんどで、あっても数ベクレル/kg以下となって、安心して食べられる状況にある。



## 汚染土壌の除染とその処理



福島市聖心三育保育園



除去した土の量 : 6 5 5 9    kg

深さ 5 mm を除去した面積 : 7 0 0 m<sup>2</sup>

校庭の線量率 : 除染後、約3分の1に下がった。



1 6

# 5 mmの層を取った土



除染前の土  
(30,000Bq/kg)

17

水を加えて、かき回し、粘土が沈殿する前に、そして荒い粒子が先に沈殿した後（約30秒後）に上澄み液を取り去った土は、放射能が、元の土の4分の1になった。

さらに、2回洗浄したところ、25分の1になった。



攪拌5分

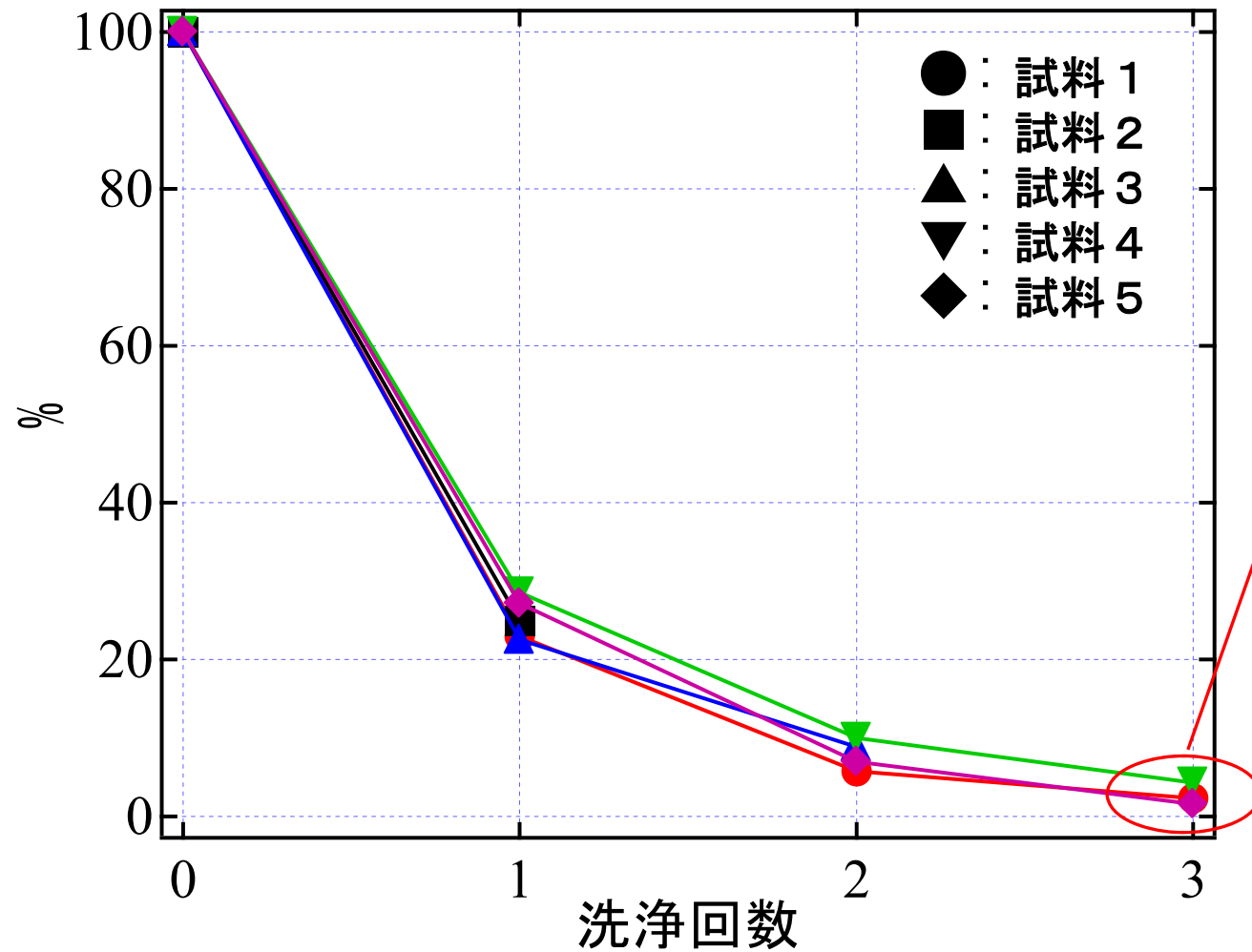


ろ過  
210 $\mu$ mメッシュ使用



# 土壌の水洗浄の除染効果

相対線量率



土壌の放射能 : 100%

1回洗浄後 : 28%

2回洗浄後 : 10%

3回洗浄後 : 3.9%

土壌の重量 : 100.06g

1回洗浄後 : 90.57g

2回洗浄後 : 88.5g

3回洗浄後 : 87.14g

粘土重量 : 16.12g



## 洗浄された土の放射能



放射能が低い汚染土壌の場合は、この土はそのまま元の場所に戻せる。

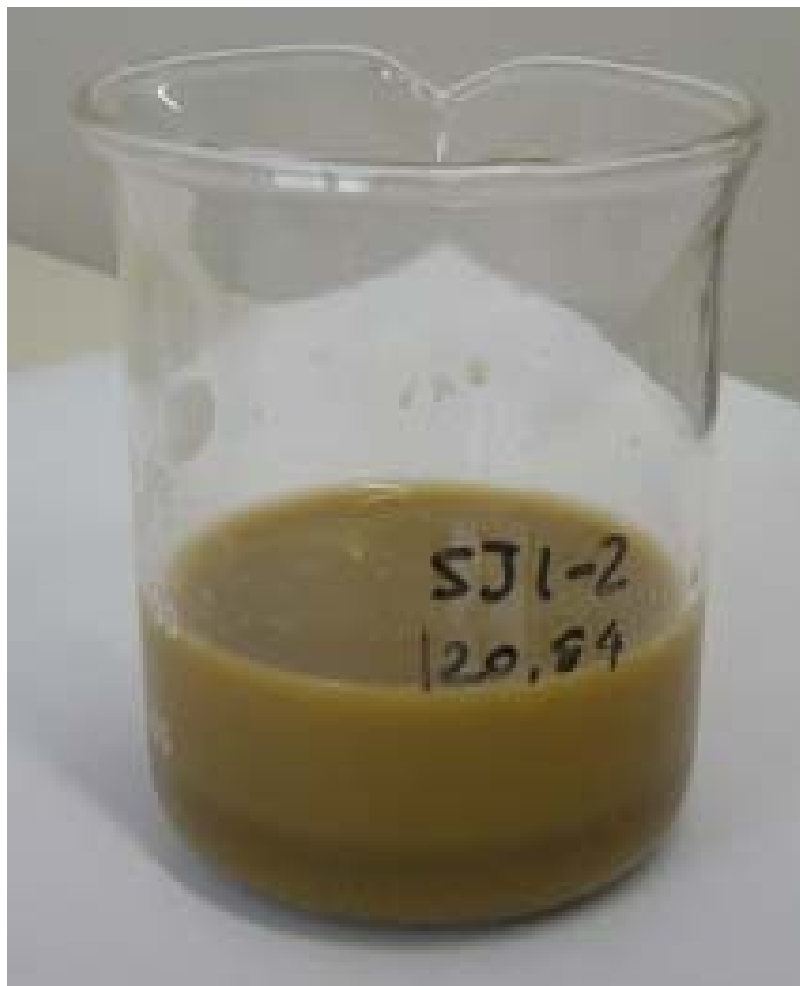
しかし、非常に、放射能が高い汚染土壌の場合、土中の砂の粒子の表面に $^{137,134}\text{Cs}$ がまだ付いている。

これを、砂粒子同士擦り合わせて、表面を削りとることにより、放射性セシウムを落とせる。

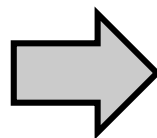
それでも落ちない場合は、希硝酸で表面を処理し、懸濁液を回収し、それをろ過することにより除去できる。

20

## 上澄み液とそれに解けていた粘土



放置中

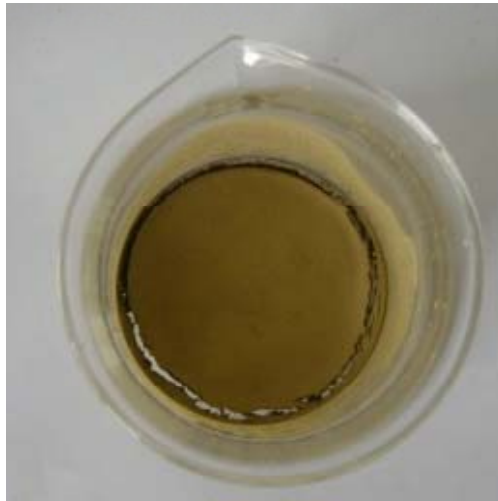


15分放置

粘土が沈殿して分離した上澄み液には、放射能は含まれて居なかった。

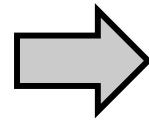
2 1

分離された粘土の重量は、  
元の汚染土壌の量の約 1 0 0 分の 8 になった。



1 0 5℃で乾燥  
させた粘土の量  
が2分の1にな  
った。

更に減容



ペレット化（小型化）

保管が容易

## 2 2 粘土の2次電子顕微鏡写真

### 粘土の組成

Si	55.4%
Al	30.0%
Fe	7.4%
Ca	3.6%
K	2.5%
Ti	0.8%
Mn	0.2%
Zn	0.02%
Sr	0.010%
Rb	0.008%
(元素%)	

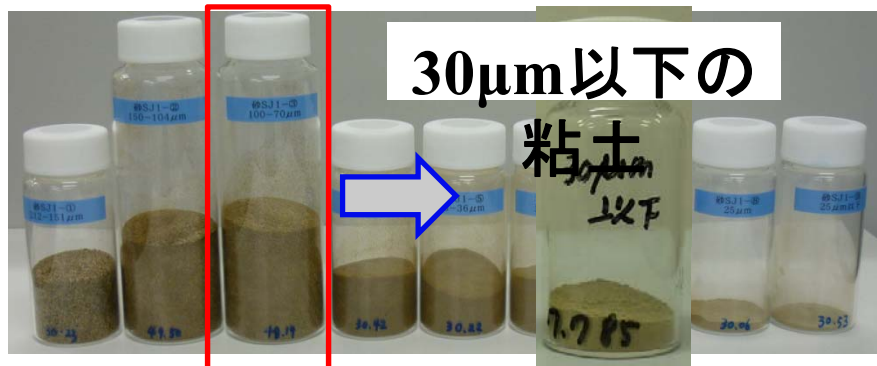
SiとAlが主成分。

数 $\mu\text{m}$ ～30 $\mu\text{m}$ サイズの粒子が多い。

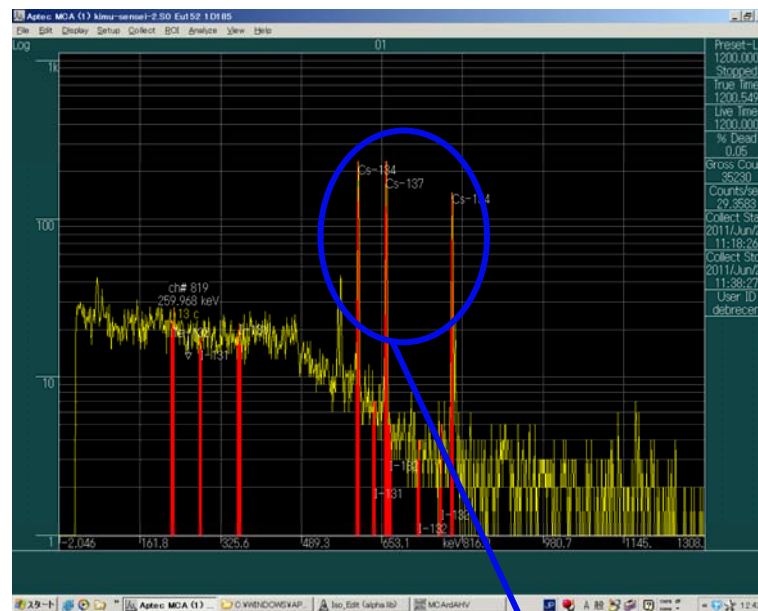
10 $\mu\text{m}$

# 粒径を細かく分類

## 粘土の粒径による分類



粒径100-70 $\mu$ mを30 $\mu$ m以下に細かく分ける



Ge半導体検出器によるガンマ線スペクトル

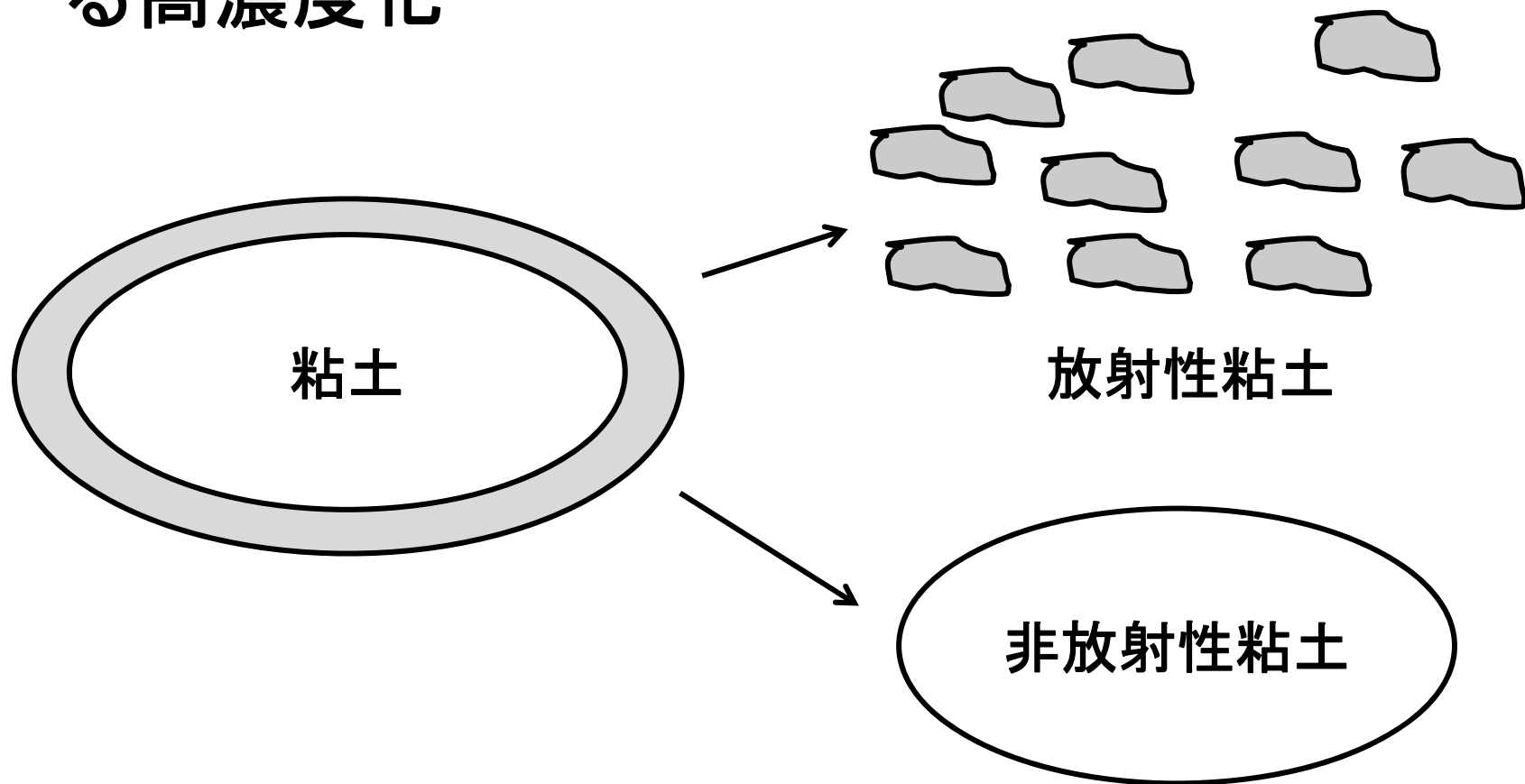
粒径	重量/g	$\mu$ Sv/h	BG( $\mu$ Sv/h)	実線量( $\mu$ Sv/h)	( $\mu$ Sv/h)/g	Bq / g
100-70 $\mu$ m	3.5	0.12	0.03	0.09	0.03	89.54
<b>30<math>\mu</math>m以下</b>	<b>1.0(28.6%)</b>	<b>0.07</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>152.97</b>
$\gamma$ 線 Survey Meter 測定値						Ge半導体検出器

径が30 $\mu$ m以下の粘土に多くセシウムは付いている。



2 4

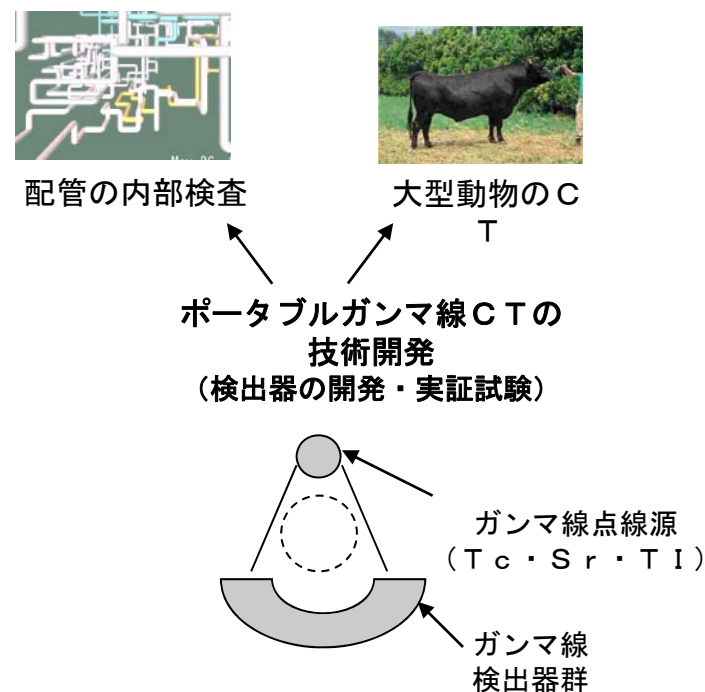
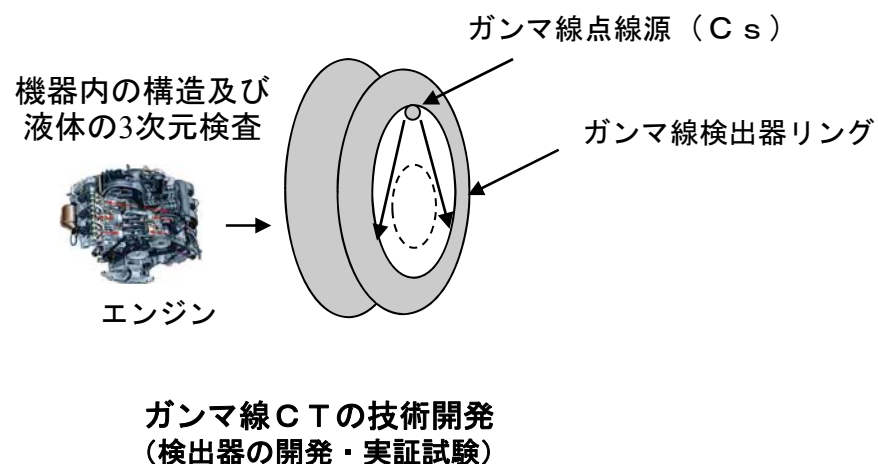
放射性セシウムは粘土の表面に付着しているらしい。粘土の細分化による、非放射性粘土と放射性粘土の分離による高濃度化



この方法を一般の民家に適用すれば、家が一番、安全・安心な場所になる。これを福島でシステム化すれば、人の雇用にも貢献できる。そして、先ず、自分の周りから、福島を元に戻すことができる。

## 今後の開発

現在、さらに、高レベル放射性粘土から放射性セシウムを取り出す方法（熱膨張収縮に基づく濃縮化等）を開発している。最終的には、工業製品内部検査用ガンマ線CTのライン線源（1本：約1ギガベクレル）にしたい。



## Csの有効利用

## 汚染土の除染の実践

平成23年 6月29日～7月14日

丸森町の2小学校と2保育園の校庭の除染をこの除染方法で行った。

学校名	校庭面積(約)
耕野小学校	2,500m <sup>2</sup>
耕野保育園	400 m <sup>2</sup>
筆甫小学校	3,500m <sup>2</sup>
筆甫保育所	400m <sup>2</sup>



28

汚染土除去用器具







汚染土を除去した後の校庭



30



除去した汚染土の一部



3 1

泥水

水洗浄した土





3 2



上澄み水の除去



3 3

放射性粘土





3 4

テトロン濾布





35



粘土を脱水



3 6

污染粘土





### 3 7

耕野小学校（ $2500\text{m}^2$ ）＋耕野保育園（ $400\text{m}^2$ ）

取り除いた汚染土：概算 約 $40\text{m}^3$

抽出した汚染粘土（含む水）：概算 約 $9\text{m}^3$   $\xrightarrow{\text{脱水}}$  約 $6\text{m}^3$

耕野小学校の校庭は、粘土を比較的多く含んでいた。



バケツの数 130個 （脱水したもの11個）

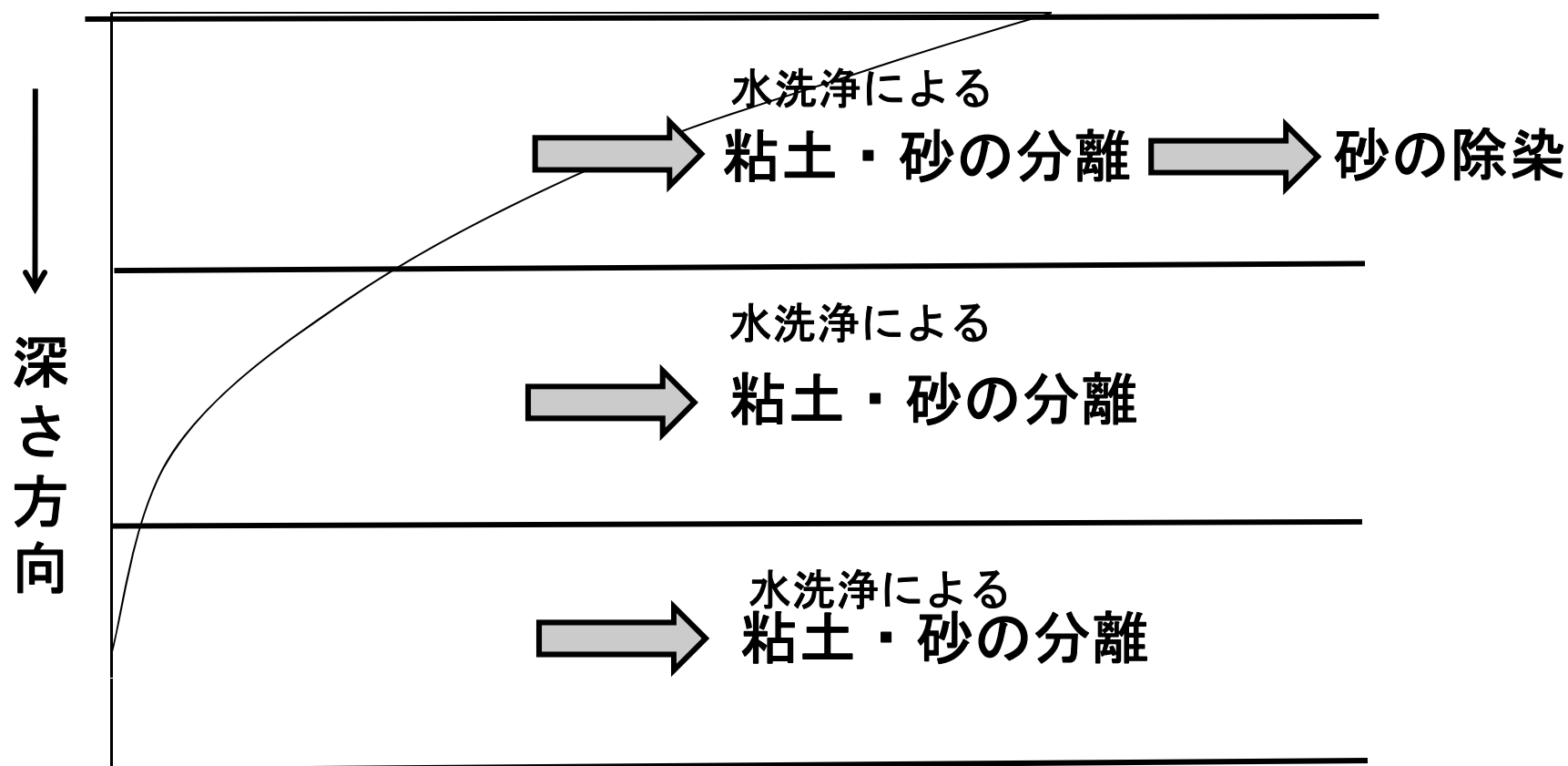
バケツの容量（90リットル）

バケツ充満度（約80% 持ち運びのため）

3 8

非常に、放射能が高い汚染土壌の場合は、土を除去する場合、深さごとに除去し、汚染土壌は層ごとに区別して、除染することが好ましい。

### セシウム濃度分布





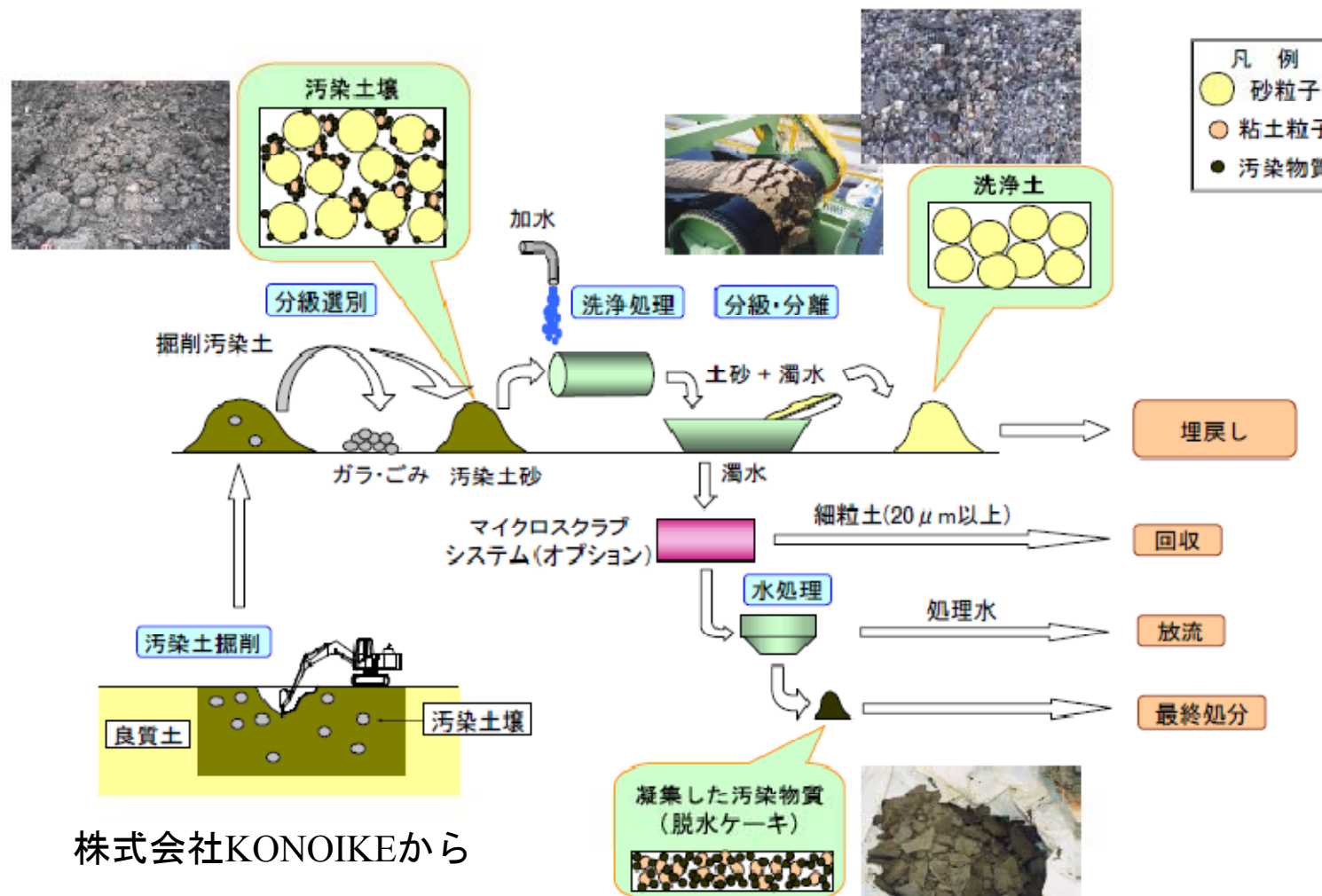
土壤洗浄設備全景（処理能力 30m³/Hr + 10m³/Hr）



洗浄機と分離装置

# 洗浄システムのプラント化

## 土壌の粒別と洗浄



株式会社KONOIKEから

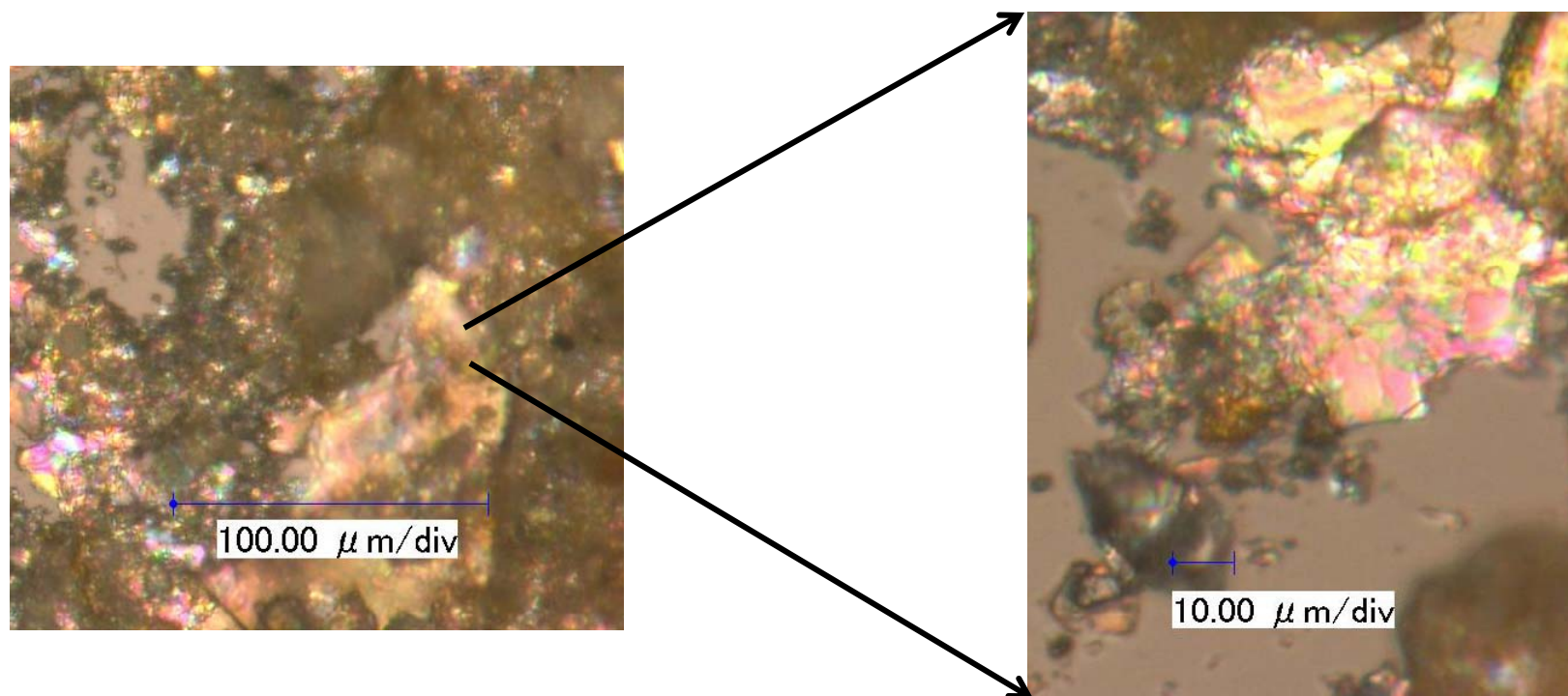
# 山及び平原に降った放射性物質の除去 降雨による洗浄効果





4 1

昼夜の温度差による膨張収縮を繰り返して、大きな粘土の表面についたセシウムが小さな粘土に割れていき、これが雨によって流され、川へと流れ、最終的に砂防ダムに捉われるか、河口の付近に沈殿していくものと思われる。



これら粘土についたセシウムは、基本的に安定である。

## 4 2

大雨が降った時に、川の水をサンプリングして放射能を測定

### 5/30 河川水サンプリング調査



1: 八反田川

$^{134}\text{Cs}$  : 8.2Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$  : 11.4Bq/リットル

2: 松川(水源米沢)

$^{134}\text{Cs}$  : 1.6Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$  : 3.0Bq/リットル

3: 阿武隈川(下流)

$^{134}\text{Cs}$  : 6.4Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$  : 8.6Bq/リットル

5: 阿武隈川(上流)

$^{134}\text{Cs}$  : 4.7Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$  : 6.6Bq/リットル

4: 阿武隈川支流

$^{134}\text{Cs}$  : 15.0Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$  : 19.6Bq/リットル



11 : 広瀬川(石田川合流後)

$^{134}\text{Cs}$  : 29.5Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$  : 33.6Bq/リットル

12:石田川(広瀬川へ)

$^{134}\text{Cs}$  : 27.5Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$  : 32.9Bq/リットル

雨でかなり流れてきている。

自然の浄化もかなり期待できる。



# 河川水(5/30採取)の全体と上澄み部分の放射能濃度の比較 上澄み部分は検出限界以下(1.5ベクレル/リットル以下)

No.	採取場所	Cs-137	Cs-134	I-131
3	福島 阿武隈川	8.55	6.4	ND
3	福島 阿武隈川 上澄液	ND	ND	ND
11	福島広瀬川(115号霊山町山戸田付近)	33.55	29.48	1.44
11	福島広瀬川 上澄液	ND	ND	ND
12	福島 石田川(115号,霊山町石田付近)	32.95	27.48	ND
12	福島 石田川 上澄液	ND	ND	ND

単位：ベクレル/リットル

阿武隈川の水の沈殿土の成分： Al 22.3%、Fe 24.4%、Si 53.3%

(校庭の粘土の成分： Al 30.0%、Fe 7.4%、Si 55.4%)

成分はほとんど同じ

4 5

## 通常時に、川の水をサンプリングして放射能を測定

### 6/6 河川水サンプリング調査



1: 八反田川

$^{134}\text{Cs}$ : 5.0Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$ : 3.5Bq/リットル

2: 松川(水源米沢)

$^{134}\text{Cs}$ : ND

$^{137}\text{Cs}$ : ND

3: 阿武隈川(下流)

$^{134}\text{Cs}$ : ND

$^{137}\text{Cs}$ : ND

5: 阿武隈川(上流)

$^{134}\text{Cs}$ : ND

$^{137}\text{Cs}$ : ND

4: 阿武隈川支流

$^{134}\text{Cs}$ : 6.7Bq/リットル

$^{137}\text{Cs}$ : 3.4Bq/リットル



11 : 広瀬川(石田川合流後)

$^{134}\text{Cs}$  : ND

$^{137}\text{Cs}$  : ND

12:石田川(広瀬川へ)

$^{134}\text{Cs}$  : ND

$^{137}\text{Cs}$  : ND

雨が降らないと流れない。

## 4<sup>7</sup> 砂防ダムが汚染粘土を保持してくれる。

日本は雨が良く降ることと粘土についてのセシウムが水に溶けないことを利用できる。

山に降って粘土についての放射能は、川によって集まり、ダムの底に沈殿する。100年ぐらい持つダムならば、放射能は100年後にほとんど消える。

