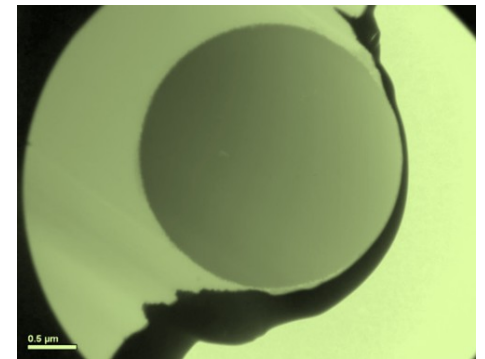
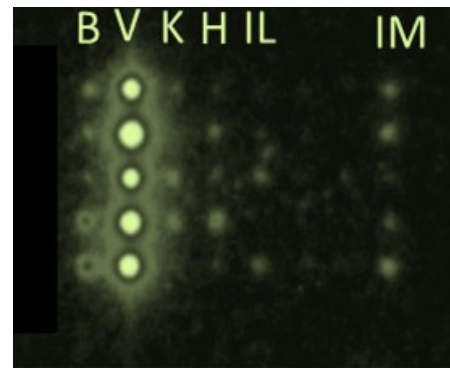
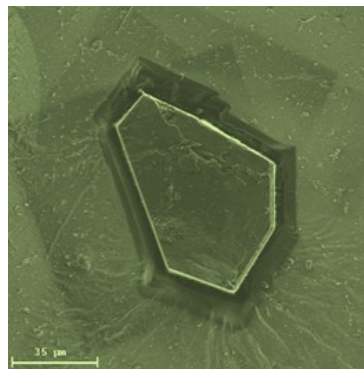


# 福島の放射性微粒子の正体は何か



小暮敏博

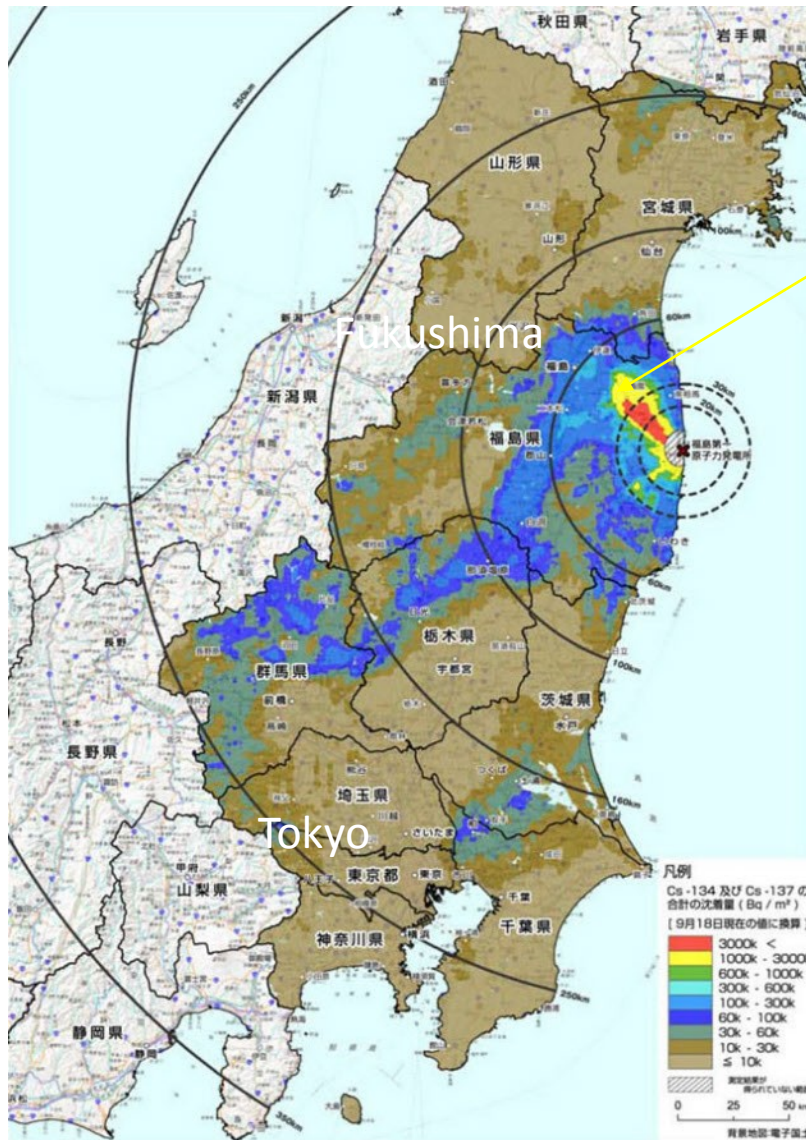
東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

# Contents

1. 福島で土壤中に放射性Csを吸着している物質は何か
2. 汚染環境を考慮した粘土鉱物への放射性Csの吸着実験
3. 風化黒雲母中のCsの固定サイトはどこか
4. いわゆる“セシウムボール”について

# Contents

1. 福島で土壤中に放射性Csを吸着している物質は何か
2. 汚染環境を考慮した粘土鉱物への放射性Csの吸着実験
3. 風化黒雲母中のCsの固定サイトはどこか
4. いわゆる“セシウムボール”について



The area where  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  more than 10,000 Bq/m<sup>2</sup> have deposited: **~ 8% of Japanese land**

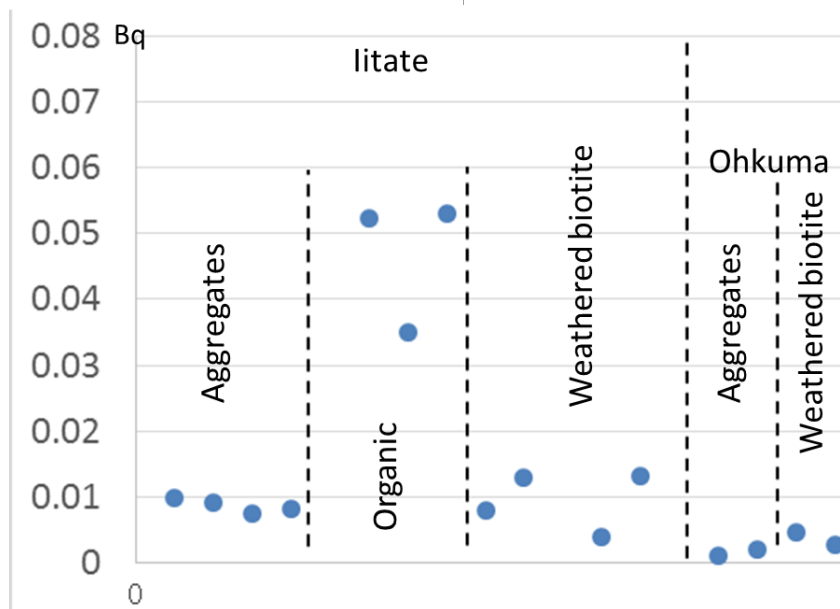
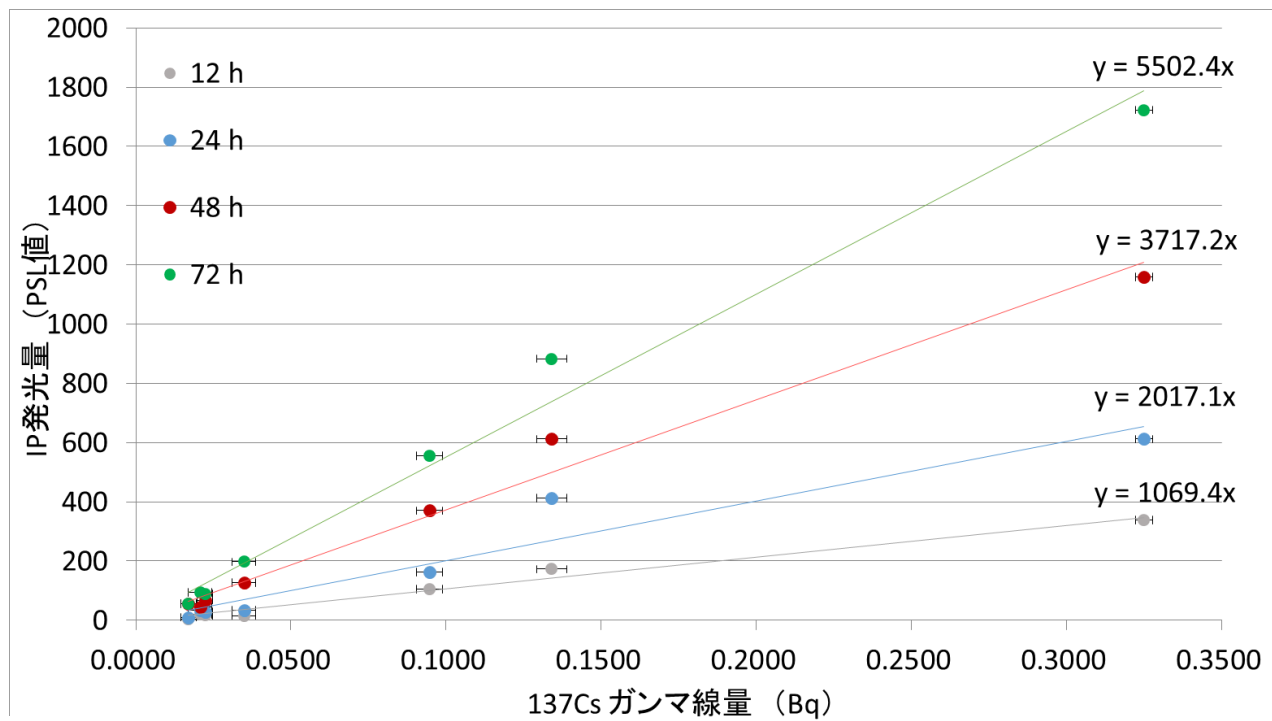
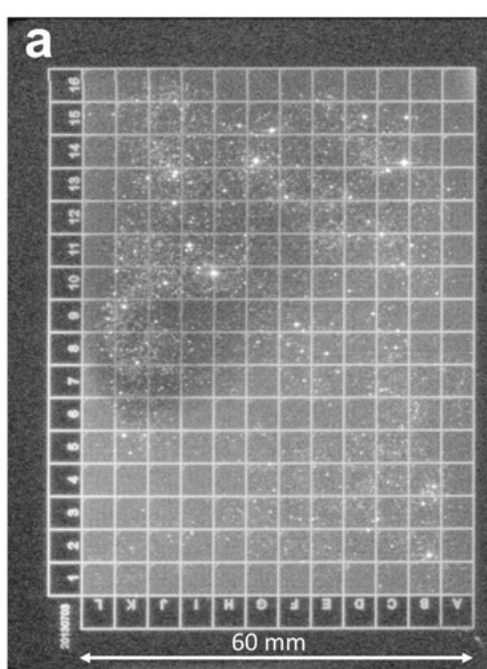
**More than 1M Bq/m<sup>2</sup>**

**Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, May, 2011**



<http://gendai.ismedia.jp/articles/-/2350>





Relationship between the radioactivity of Cs-137 and PSL of IP, measured using radioactive soil particles of  $\sim 75 \mu\text{m}$  from Fukushima

**Concentration of Cs-137 in the soil particles is only  $\sim 20 \text{ ppb}$  !**

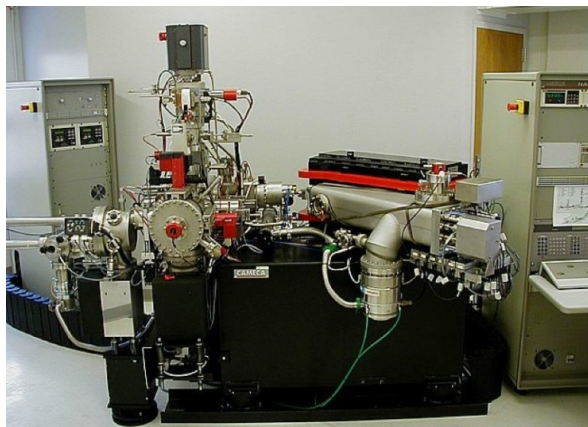
土壤中の放射性Csの濃度は、微小領域分析  
の測定限界以下



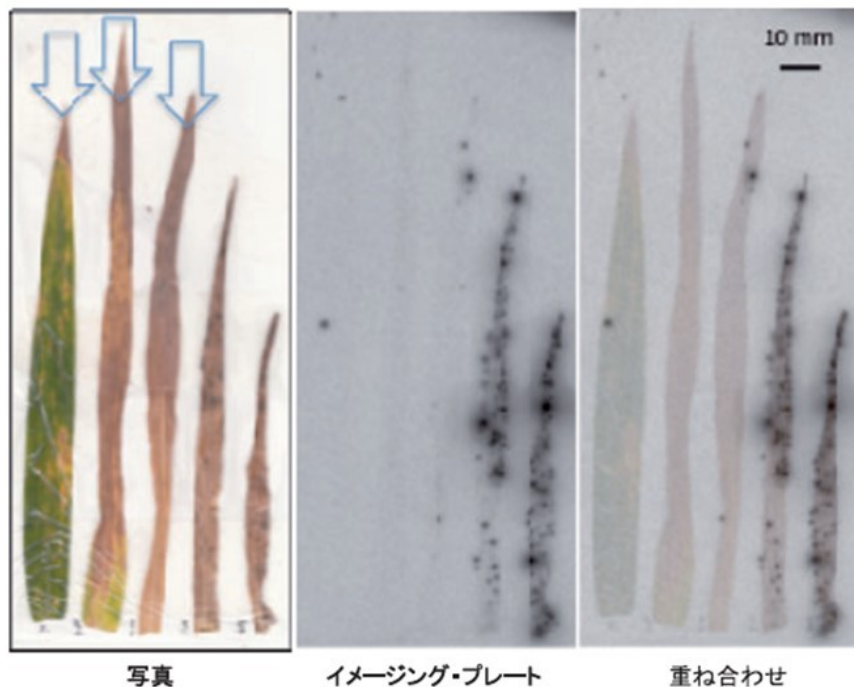
X線組成分析 (EPMA, XRF)  $\sim 1000$  ppm



SR-XRF  $\sim 10$  ppm



Nano-SIMS  $\sim 1$  ppm



田野井 他 (2011)

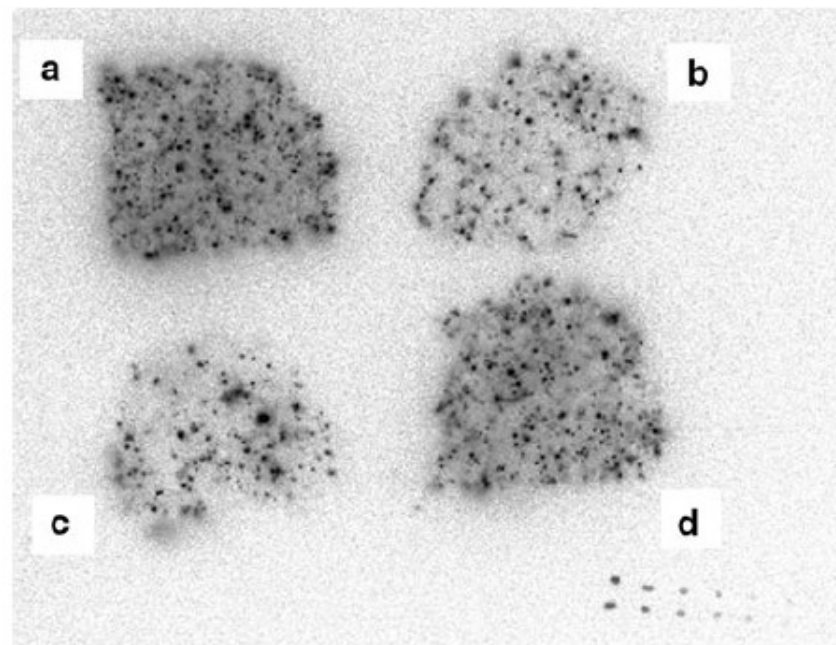


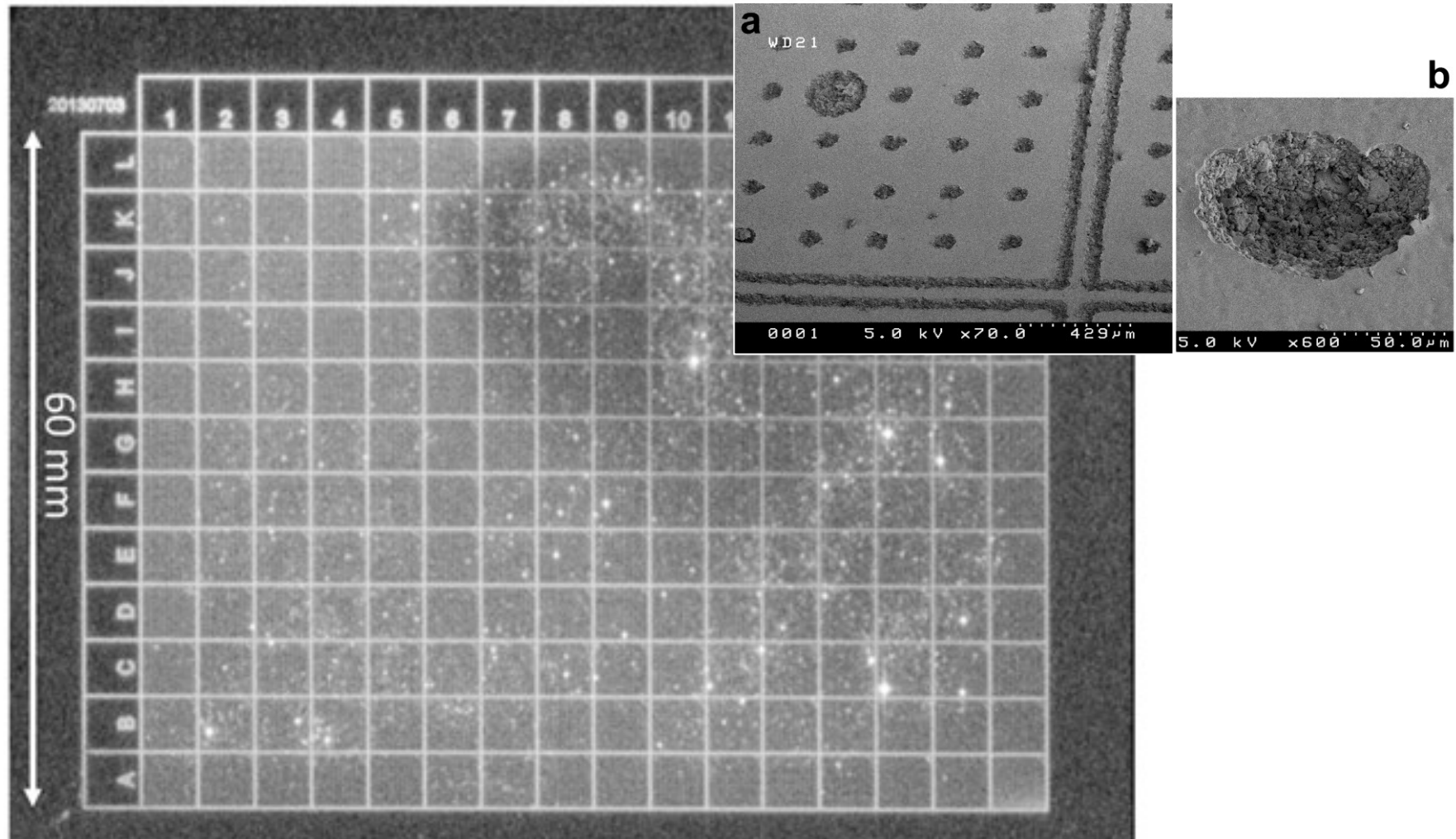
Fig. 4 Radioactivity image of the contaminated soil in Fukushima. a Farming land with high radioactivity, 50000 Bq/kg. b Soil for vegetables, Bq/kg. c Soil for wheat, 7000 Bq/kg. d Paddy soil for rice, 37000 Bq/kg

Nakanishi et al. (2013)

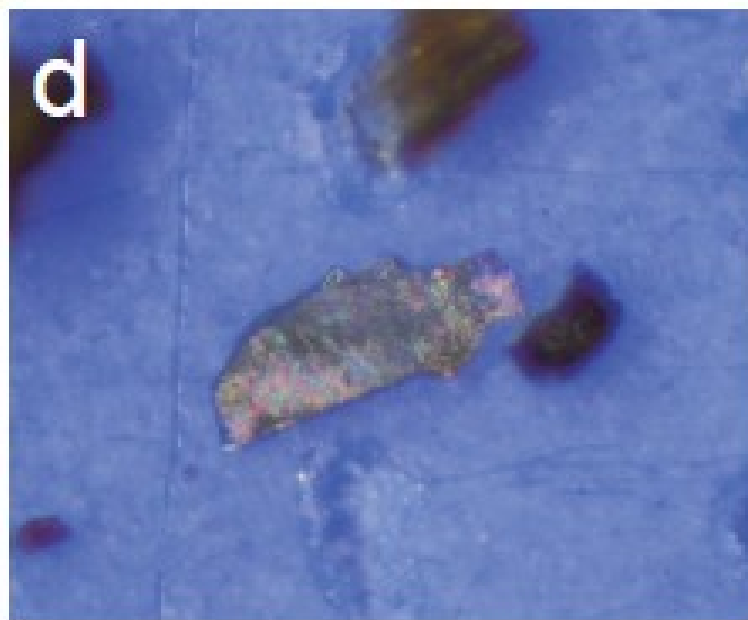
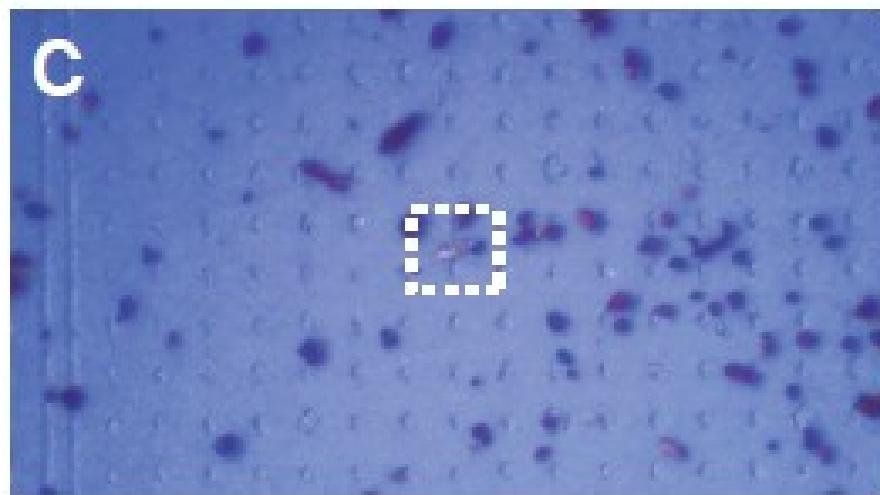
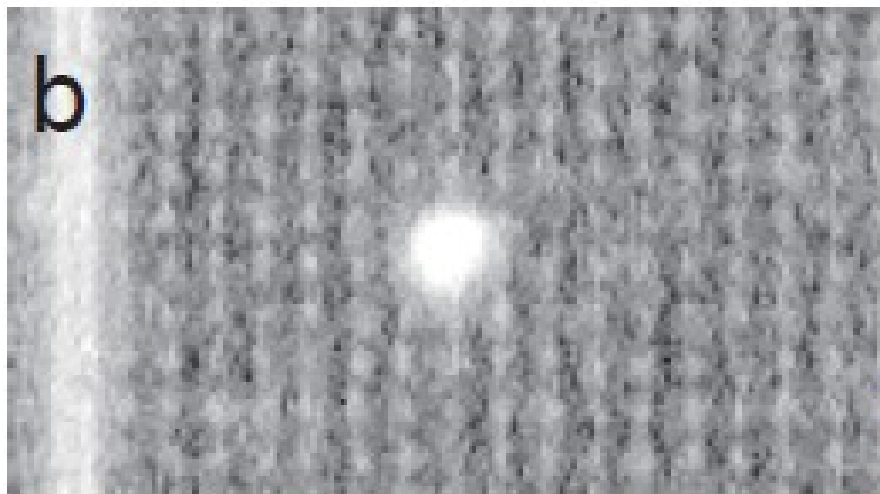
まずはオートラジオグラフィで見られる輝点に何があるかを探しに行く



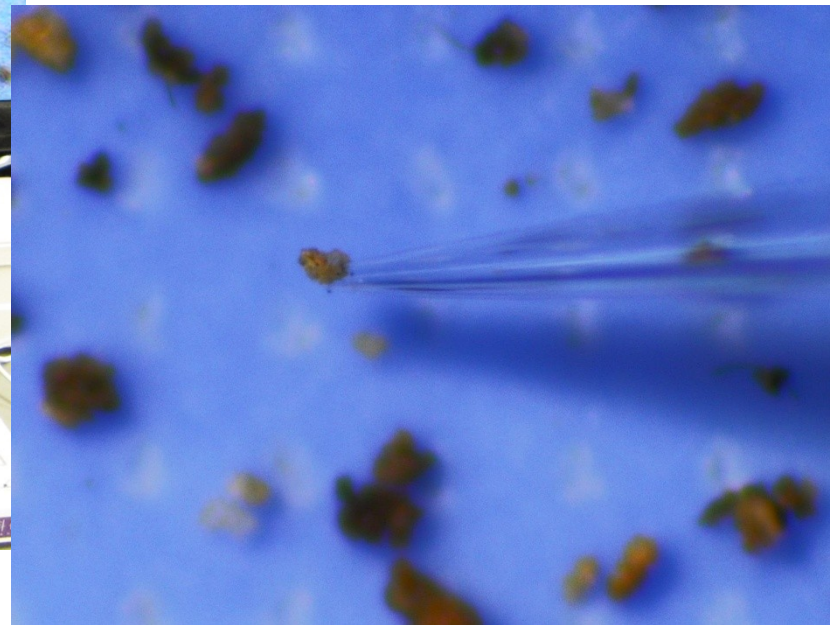
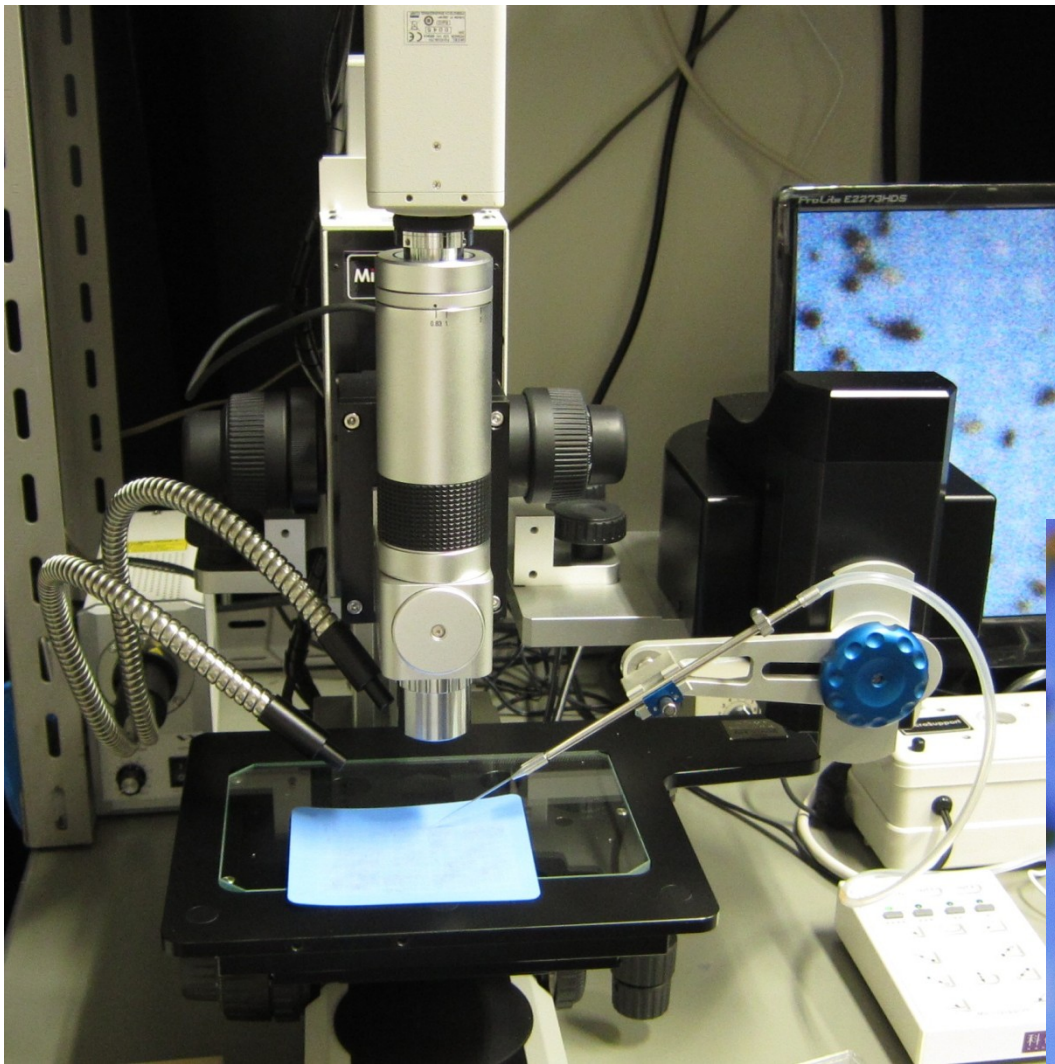
## レーザーマーカにより形成されたマイクログリッド



放射性土壌粒子をマイクログリッド付きイメージングプレート(IP)上に分散させ、数日間感光させた後の読み取り画像 (Mukai et al., 2014)



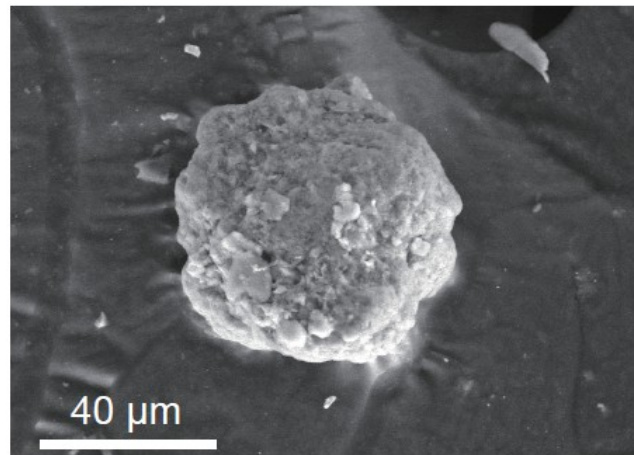




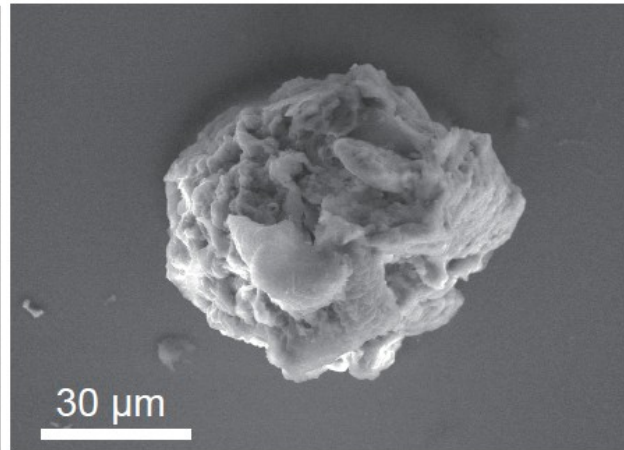
真空ピンセット付きマイクロマニピュレータ

# SEM-EDS

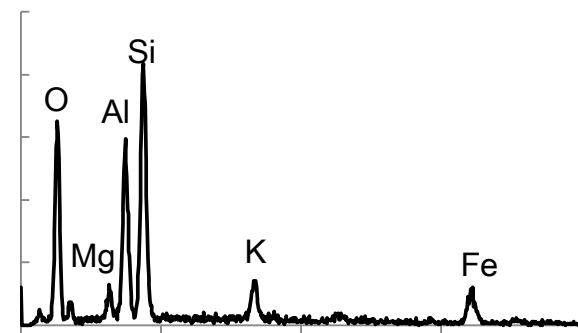
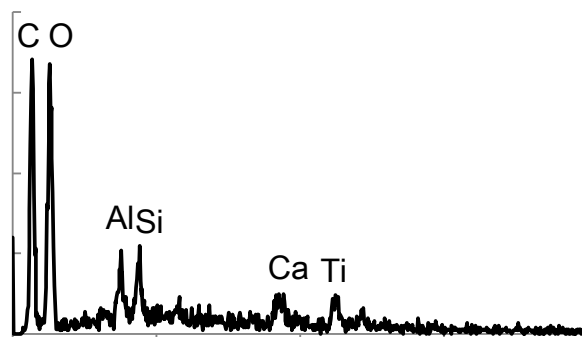
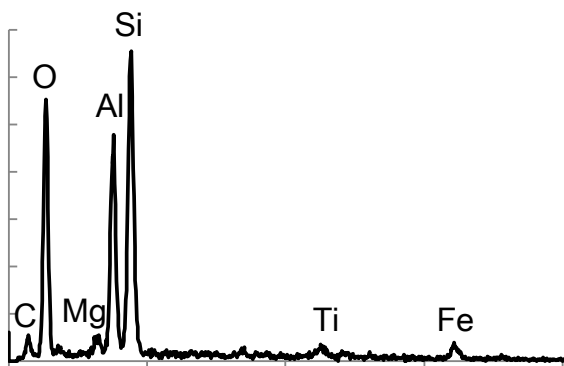
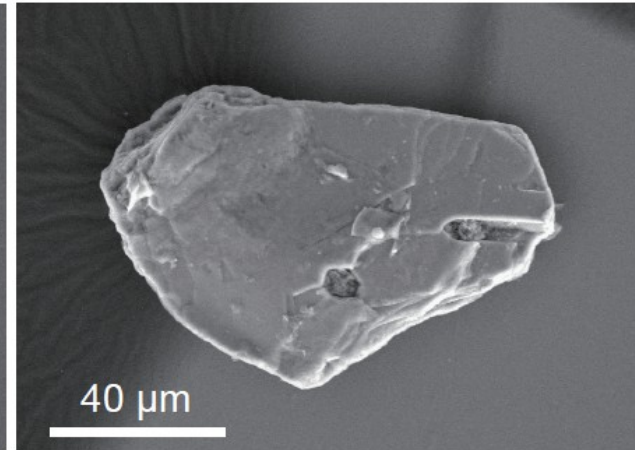
Type I  
(Fine mineral aggregate)



Type II  
(Organic-inorganic composite)

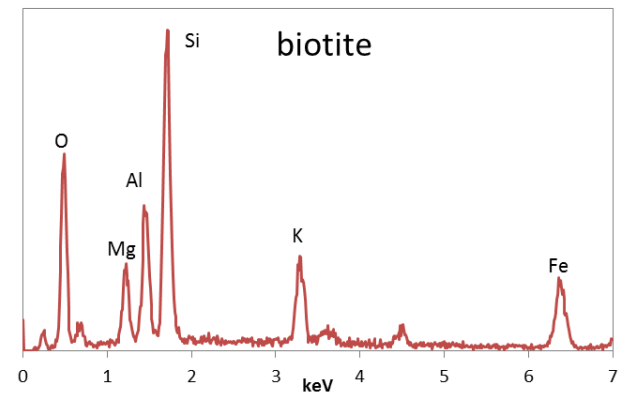
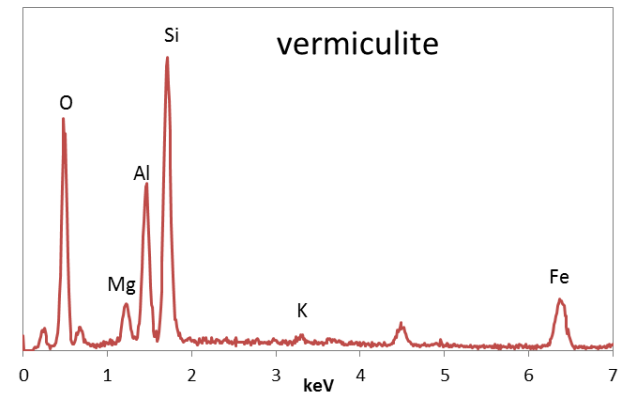
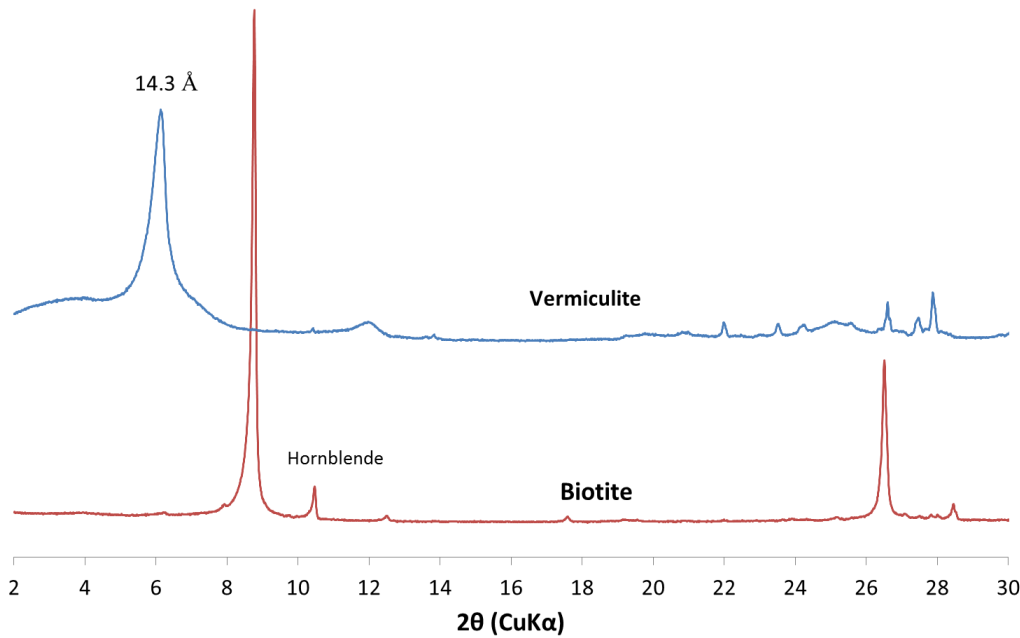
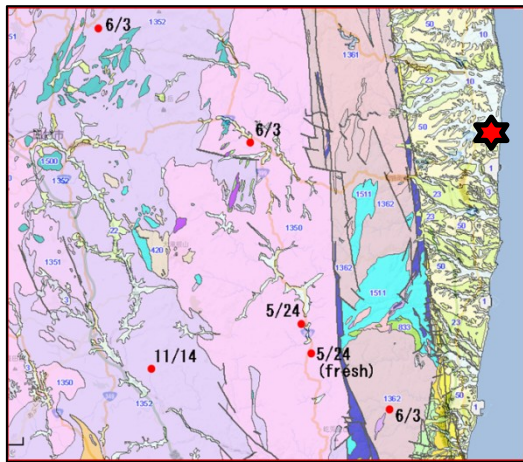


Type III  
(Weathered biotite)



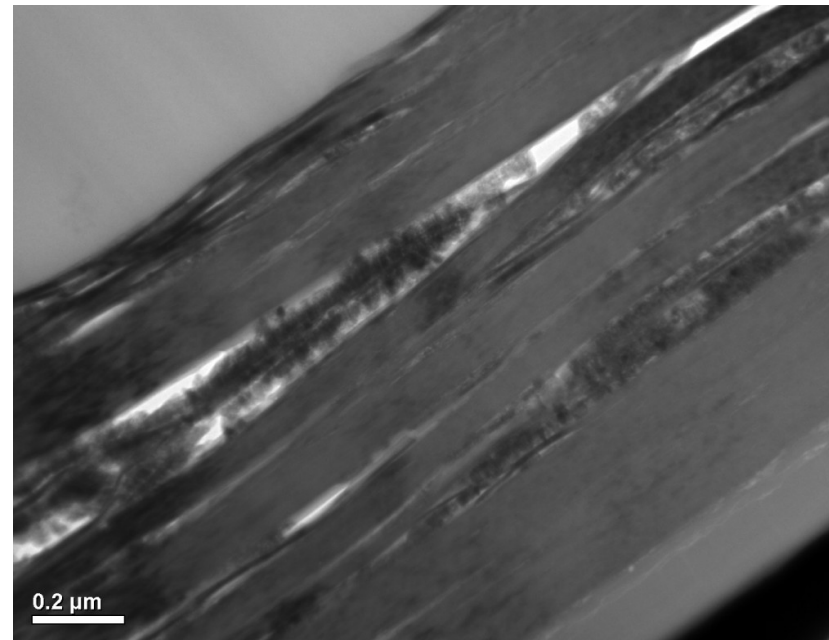
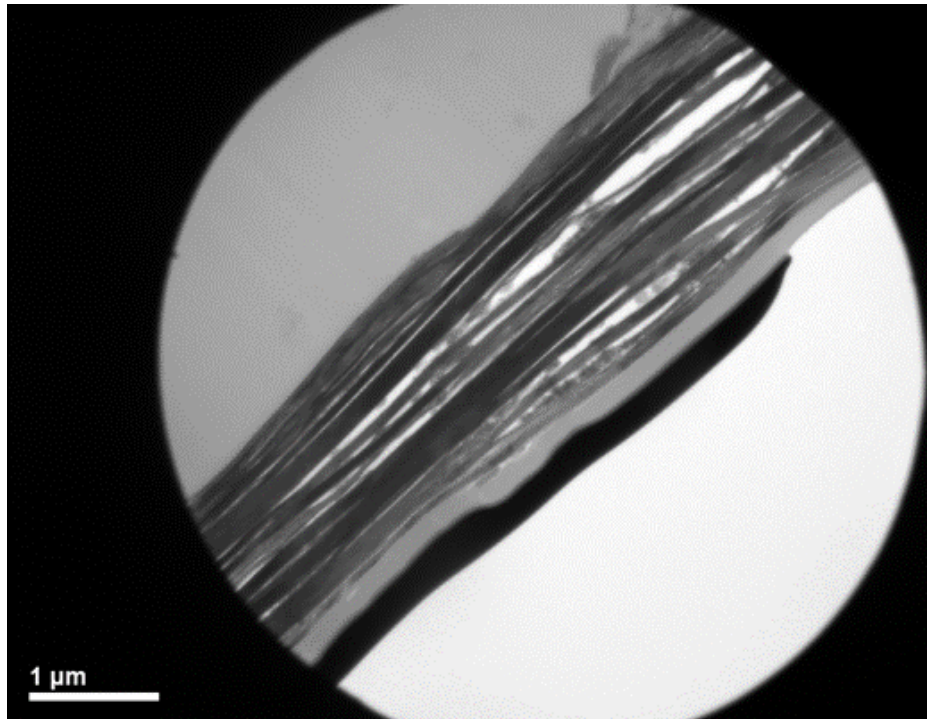
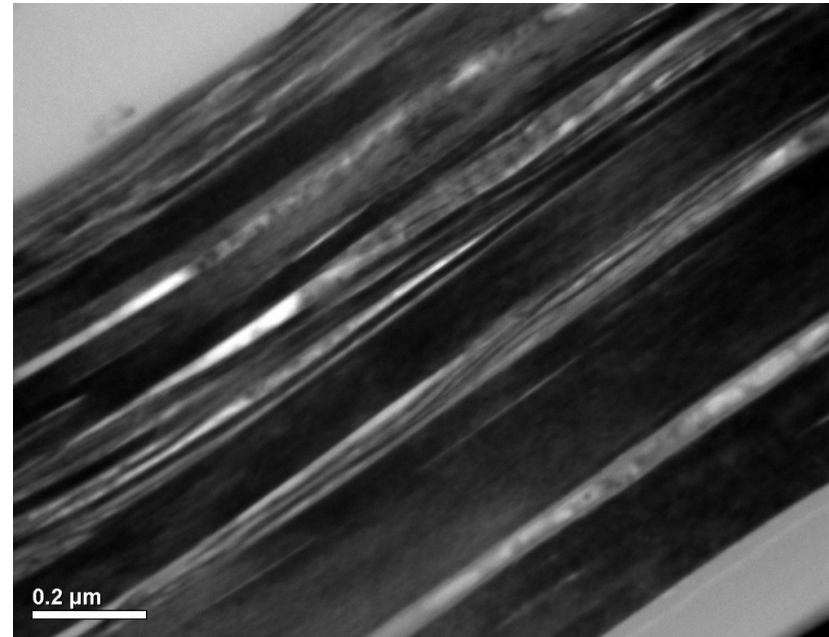
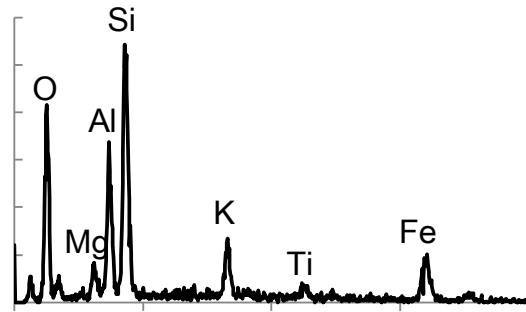
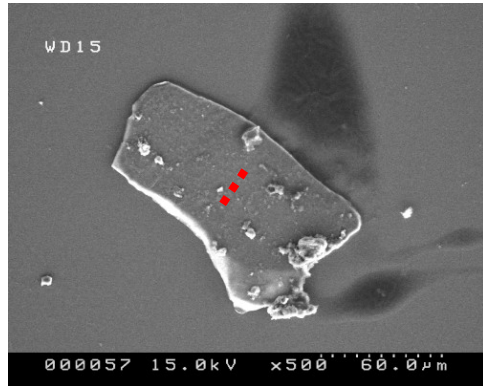
| <i>Type I</i> | <i>Type II</i> | <i>Type III</i> | <i>Total</i> |
|---------------|----------------|-----------------|--------------|
| 14            | 20             | 16              | 50           |

Mukai et al. (2014)





# TEM analyses Type III (Weathered biotite)





# Contents

1. 福島で土壤中に放射性Csを吸着している物質は何か
2. 汚染環境を考慮した粘土鉱物への放射性Csの吸着実験
3. 風化黒雲母中のCsの固定サイトはどこか
4. いわゆる“セシウムボール”について

## 福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性物質の除去・回収技術のためのデータベース

東日本大震災による福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性物質が外部に放出され周辺に甚大な影響を与えるに至った。放出された主な放射性核種は、 $^{131}\text{I}$  (半減期: 約8日)、 $^{134}\text{Cs}$  (半減期: 約2年)、 $^{90}\text{Sr}$  (半減期: 約29年)、 $^{89}\text{Sr}$  (半減期: 約50日) 等である。これら放射性物質の放出によって汚染された対象物は多岐に渡る。発電所内に溜まる炉心の冷却に使用された海水を含む汚染水や原発周辺および広域に汚染が拡大している土地 (田んぼ・畑・果樹園等)、森林、水、建物、道路等が想定される。また、汚染された水の分布も、海水、河川水、ため池や湖、プール、農業用水等非常に多様である。従って、環境中の多様な放射性物質の除去・回収技術を開発・実証し、実際の汚染除去を実現することが求められている。

| ID  | 吸着材                  | 粒径 | 水溶液    |     |             | 吸着材重量 | 溶液量 V[ml] | 振盪(1) 時間 | 溶液に添加したイオンの濃度 |                |               | Cs吸着率 | Kd(Cs)  | Kd(I) |
|-----|----------------------|----|--------|-----|-------------|-------|-----------|----------|---------------|----------------|---------------|-------|---------|-------|
|     |                      |    | 組成等    | pH  | 濾過<br>○: 有り |       |           |          | Cs<br>[ppm]   | Sr(2)<br>[ppm] | I(3)<br>[ppm] |       |         |       |
| 001 | パーミキュライト<br>(南アフリカ産) |    | イオン交換水 | 5.8 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.01          | 0              | 0             | 96.8  | 3.0E+03 |       |
| 002 | パーミキュライト<br>(南アフリカ産) |    | イオン交換水 | 5.6 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.1           | 0              | 0             | 96.0  | 2.4E+03 |       |
| 003 | パーミキュライト<br>(南アフリカ産) |    | イオン交換水 | 5.6 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 1             | 0              | 0             | 88.4  | 7.6E+02 |       |
| 004 | パーミキュライト<br>(南アフリカ産) |    | イオン交換水 | 5.5 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 10            | 0              | 0             | 92.4  | 1.2E+03 |       |
| 009 | パーミキュライト<br>(福島産)    |    | イオン交換水 | 5.5 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.1           | 0              | 0             | 97.1  | 3.3E+03 |       |
| 010 | パーミキュライト<br>(福島産)    |    | イオン交換水 | 5.8 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 1             | 0              | 0             | 93.1  | 1.3E+03 |       |
| 011 | パーミキュライト<br>(福島産)    |    | イオン交換水 | 5.5 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 10            | 0              | 0             | 93.1  | 1.4E+03 |       |
| 028 | モンモリロナイト             |    | イオン交換水 | 5.8 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.01          | 0              | 0             | 98.8  | 7.9E+03 |       |
| 029 | モンモリロナイト             |    | イオン交換水 | 5.6 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.1           | 0              | 0             | 99.2  | 1.2E+04 |       |
| 030 | モンモリロナイト             |    | イオン交換水 | 5.6 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 1             | 0              | 0             | 98.9  | 9.1E+03 |       |
| 031 | モンモリロナイト             |    | イオン交換水 | 5.5 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 10            | 0              | 0             | 97.5  | 3.8E+03 |       |
| 032 | バイデライト               |    | イオン交換水 | 5.8 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.01          | 0              | 0             | 99.6  | 2.2E+04 |       |
| 033 | バイデライト               |    | イオン交換水 | 5.6 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.1           | 0              | 0             | 98.7  | 7.5E+03 |       |
| 034 | バイデライト               |    | イオン交換水 | 5.6 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 1             | 0              | 0             | 96.4  | 2.7E+03 |       |
| 035 | バイデライト               |    | イオン交換水 | 5.5 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 10            | 0              | 0             | 89.4  | 8.4E+02 |       |
| 036 | イライト                 |    | イオン交換水 | 5.8 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.01          | 0              | 0             | 97.8  | 4.5E+03 |       |
| 037 | イライト                 |    | イオン交換水 | 5.7 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 0.1           | 0              | 0             | 99.5  | 1.9E+04 |       |
| 038 | イライト                 |    | イオン交換水 | 5.6 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 1             | 0              | 0             | 98.8  | 8.4E+03 |       |
| 039 | イライト                 |    | イオン交換水 | 5.6 | ×           | 0.300 | 30        | 24       | 11            | 0              | 0             | 87.1  | 6.8E+02 |       |

10 ppb in solution  
1 ppm in mineral

## 飯館 2011年3月(日ごとの値) 主要要素

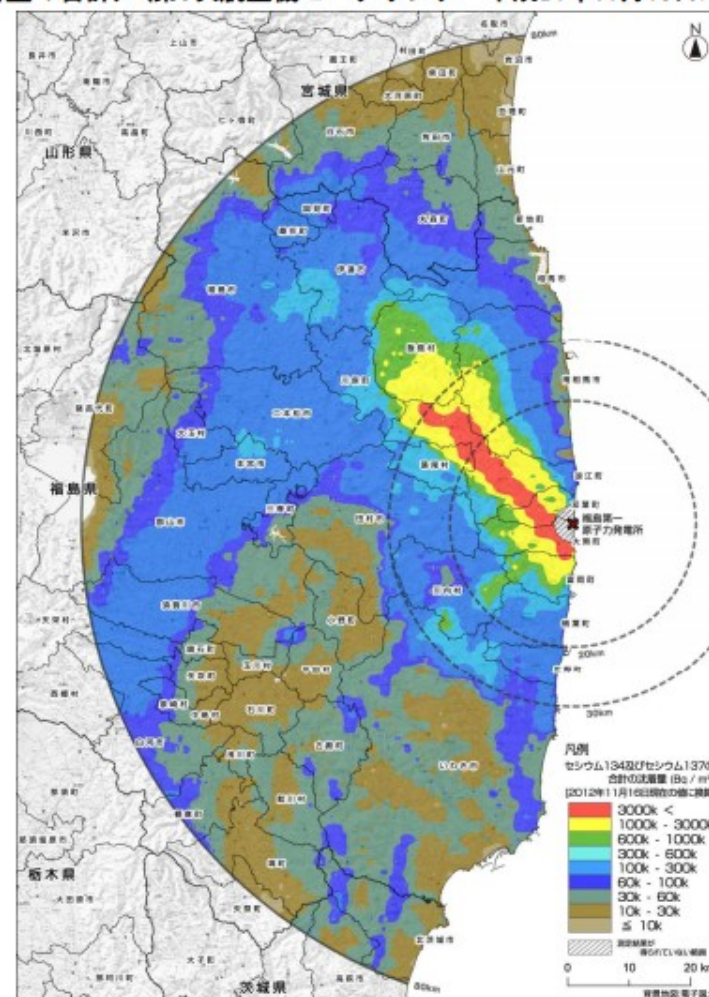
| 日  | 降水量(mm) |     |      | 気温(℃) |      |      | 風向・風速(m/s) |      |     |        |     |
|----|---------|-----|------|-------|------|------|------------|------|-----|--------|-----|
|    | 合計      | 最大  |      | 平均    | 最高   | 最低   | 平均風速       | 最大風速 |     | 最大瞬間風速 |     |
|    |         | 1時間 | 10分間 |       |      |      |            | 風速   | 風向  | 風速     | 風向  |
| 1  | 0.5     | 0.5 | 0.5  | 1.0   | 4.7  | -0.5 | 0.7        | 2.8  | 西   | 4.8    | 西   |
| 2  | 0.0     | 0.0 | 0.0  | -0.5  | 3.8  | -3.9 | 3.3        | 6.2  | 西北西 | 12.7   | 西北西 |
| 3  | 0.0     | 0.0 | 0.0  | -3.7  | -0.6 | -5.5 | 5.2        | 8.5  | 西北西 | 16.7   | 西北西 |
| 4  | 0.0     | 0.0 | 0.0  | -3.7  | -0.2 | -5.9 | 3.6        | 7.7  | 西   | 15.2   | 西北西 |
| 5  | 0.0     | 0.0 | 0.0  | -0.9  | 4.9  | -4.9 | 2.9        | 7.8  | 西   | 14.6   | 西北西 |
| 6  | 0.0     | 0.0 | 0.0  | 2.3   | 9.1  | -7.5 | 3.3        | 8.0  | 西   | 17.4   | 西   |
| 7  | 5.0     | 1.5 | 0.5  | -0.7  | 3.6  | -6.3 | 0.6        | 2.3  | 北西  | 4.0    | 北北西 |
| 8  | 0.0     | 0.0 | 0.0  | -0.6  | 4.8  | -6.5 | 2.3        | 5.2  | 西   | 11.7   | 西南西 |
| 9  | 0.5     | 0.5 | 0.5  | -0.3  | 6.9  | -3.2 | 2.8        | 4.9  | 西北西 | 9.5    | 西   |
| 10 | 0.0     | 0.0 | 0.0  | -1.9  | 3.1  | -5.5 | 3.7        | 6.4  | 西   | 12.4   | 西北西 |
| 11 | 0.5     | 0.5 | 0.5  | -0.1  | 6.1  | -4.9 | 3.2        | 7.2  | 西   | 12.7   | 西南西 |
| 12 | 0.0     | 0.0 | 0.0  | 0.7   | 7.8  | -4.1 | 2.2        | 5.3  | 西   | 12.1   | 西北西 |
| 13 | 0.0     | 0.0 | 0.0  | 5.5   | 15.1 | -2.5 | 2.1        | 5.7  | 西南西 | 10.2   | 西   |
| 14 | 0.0     | 0.0 | 0.0  | 7.6   | 18.2 | -3.3 | 2.2        | 7.4  | 西   | 14.3   | 西南西 |
| 15 | 7.0     | 2.5 | 0.5  | 1.8   | 5.1  | 0.1  | 0.8        | 2.0  | 東南東 | 3.9    | 南東  |
| 16 | 5.0     | 2.0 | 1.0  | -1.3  | 2.6  | -5.5 | 3.9        | 6.3  | 西   | 13.9   | 西   |
| 17 | 0.0     | 0.0 | 0.0  | -3.1  | 1.5  | -7.6 | 4.1        | 7.0  | 西   | 14.8   | 西北西 |
| 18 | 0.0     | 0.0 | 0.0  | -1.4  | 5.3  | -6.3 | 2.6        | 6.5  | 西   | 12.9   | 西南西 |
| 19 | 0.0     | 0.0 | 0.0  | 5.7   | 13.5 | -3.6 | 3.2        | 8.7  | 西   | 18.3   | 西南西 |
| 20 | 0.0     | 0.0 | 0.0  | 4.3   | 9.9  | -2.0 | 1.0        | 3.0  | 東   | 6.1    | 東南東 |
| 21 | 1.5     | 1.5 | 0.5  | 4.1   | 8.2  | 1.2  | 0.9        | 3.2  | 北西  | 7.1    | 北西  |
| 22 | 2.5     | 1.5 | 0.5  | 1.8   | 5.1  | 0.0  | 0.8        | 2.4  | 南東  | 4.5    | 北東  |
| 23 | 1.0     | 1.0 | 0.5  | -0.2  | 5.0  | -4.3 | 2.3        | 6.4  | 西   | 12.5   | 西   |

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>

飯館村に降った雨水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度

$1\text{E}6 \text{ Bq} / (0.012 \text{ m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}) \cong 1\text{E}5 \text{ Bq/L} = 2.3 \text{ E-}10 \text{ mol/L} = 0.23 \text{ nmol/L} = 31 \text{ ppt}$

土壌濃度マップ  
(福島第一原子力発電所から80km圏内の地表面へのセシウム134、137の沈着量の合計) (第6次航空機モニタリング 平成24年11月16日時点)



[http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/7000/6749/24/191\\_258\\_0301\\_18.pdf](http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/7000/6749/24/191_258_0301_18.pdf)

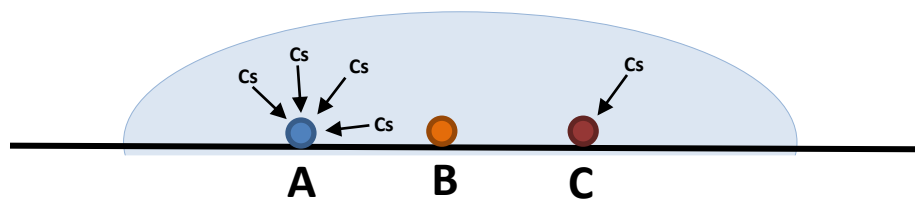
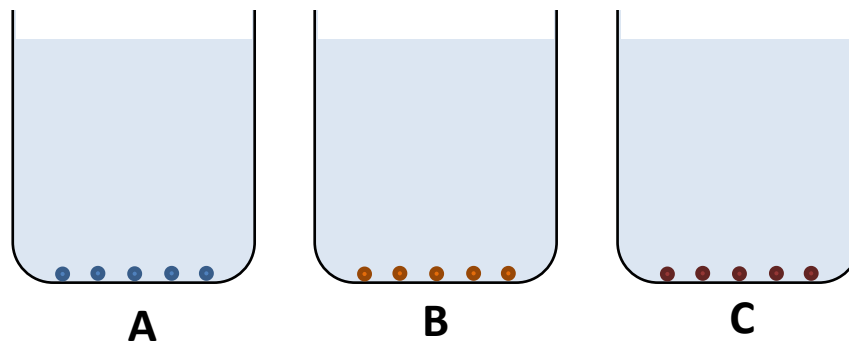


Cloud

Rain drops with  $\text{Cs}^+$

Ground

Reaction in equilibrium, between Cs solution  
and individual mineral species



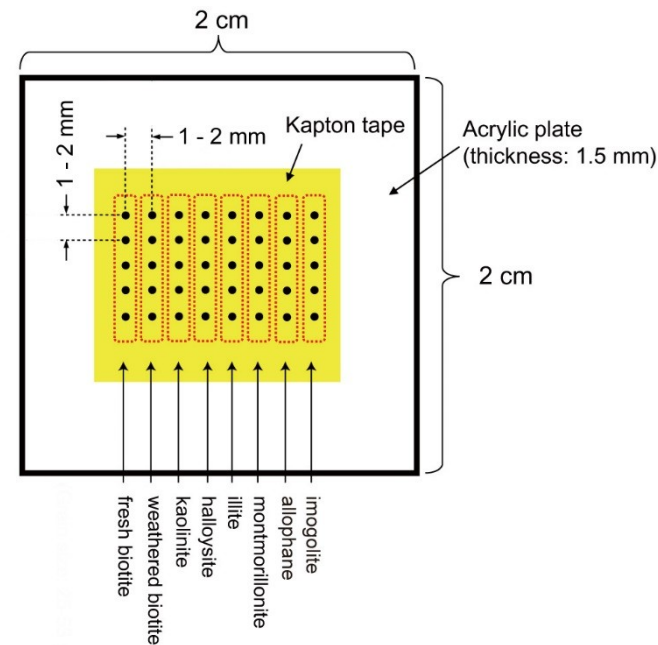
Reaction controlled by kinetics



# Cs-137 sorption experiments

## Mineral Phases (particle size: 25-53 $\mu\text{m}$ )

- biotite (in granite, Ono, Fukushima)
- vermiculite (weathered biotite, Ono, Fukushima)
- kaolinite (Oguni, Yamagata)
- halloysite (Eureka, Nevada)
- Illite (sericite, Nabeyama, Shimane)
- montmorillonite (Tsukinuno, Yamagata)
- allophane (Kitakami, Iwate)
- imogolite (Kurayoshi, Tottori)



## Cs-137 solutions

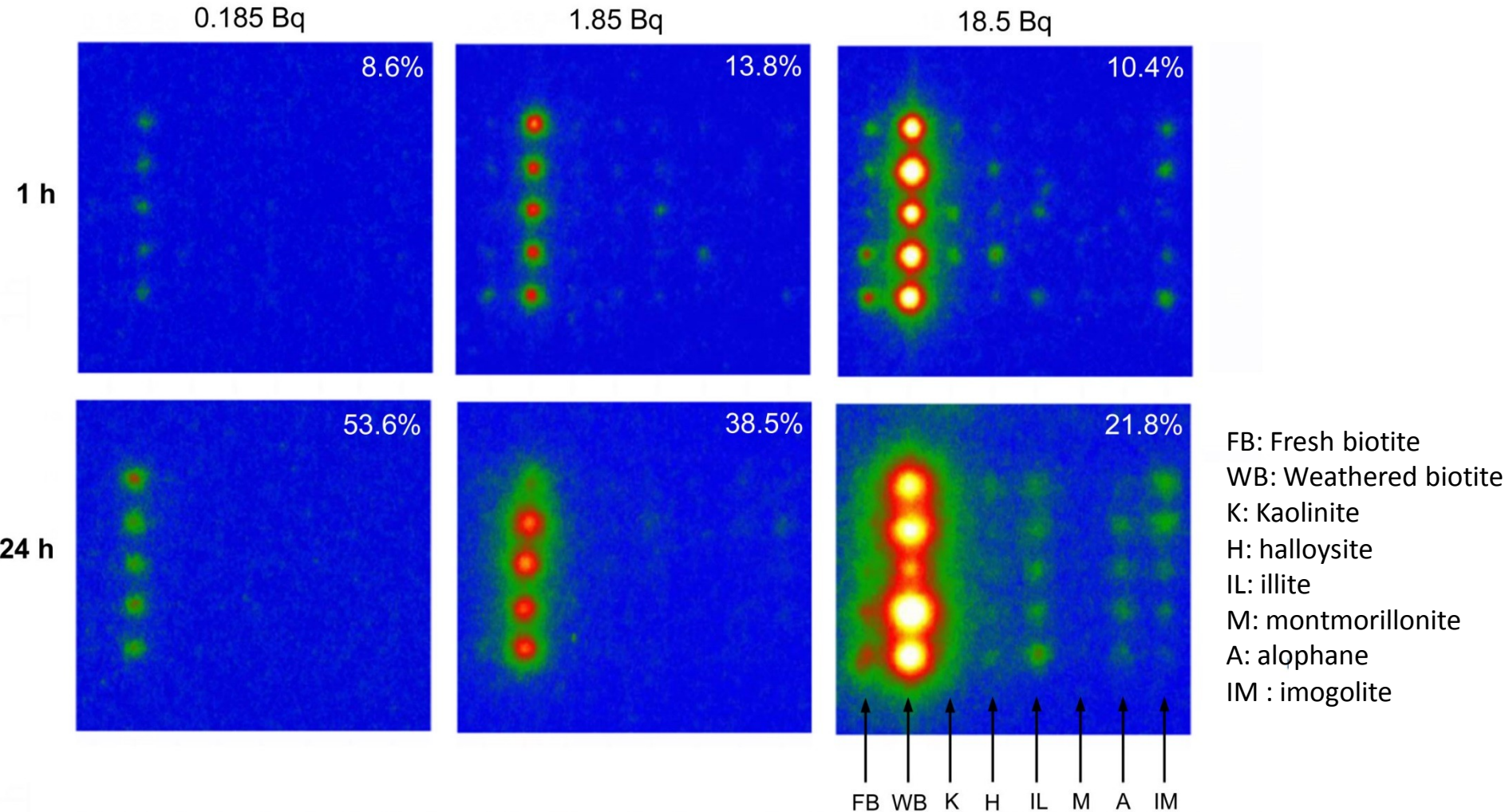
- Reagent: non-carrier-added Cs-137 (3.7MBq/mL) Eckert & Ziegler Isotope Products, Ca, USA (Cs-133: Cs-137 = 1.1 : 1.0)
- Diluted with reverse-osmosis-membrane-filtrated (RO) water  
370 Bq/ml (1E-9mol/L, 100 ppt), 37 Bq/ml (10 ppt), 3.7 Bq/ml (1 ppt)

## Sorption experiments

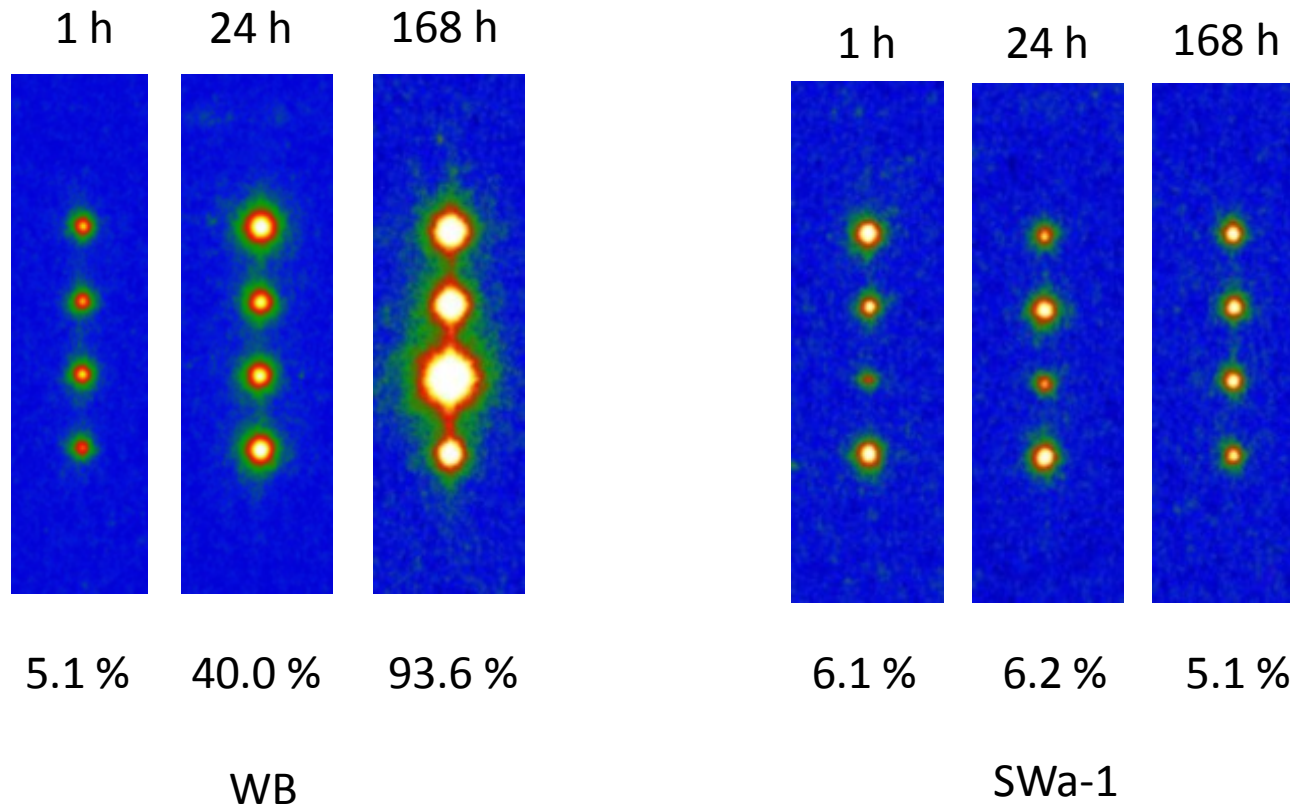
- Volume of solution: 50  $\mu\text{l}$  (18.5 Bq, 1.85 Bq, 0.185 Bq)
- Reaction time: 1h, 24h, 168h

## IP autoradiography

- IP: Fuji Film BAS-MS: Exp. Time: 24 h
- Polyphenylenesulfide (PPS, 1.2  $\mu\text{m}$ ) film was inserted between the specimens and IP
- IP Reader: Fuji Film FLA-7000



Radioactivity in solution : 1.85 Bq  
Mono-mineral on the substrate

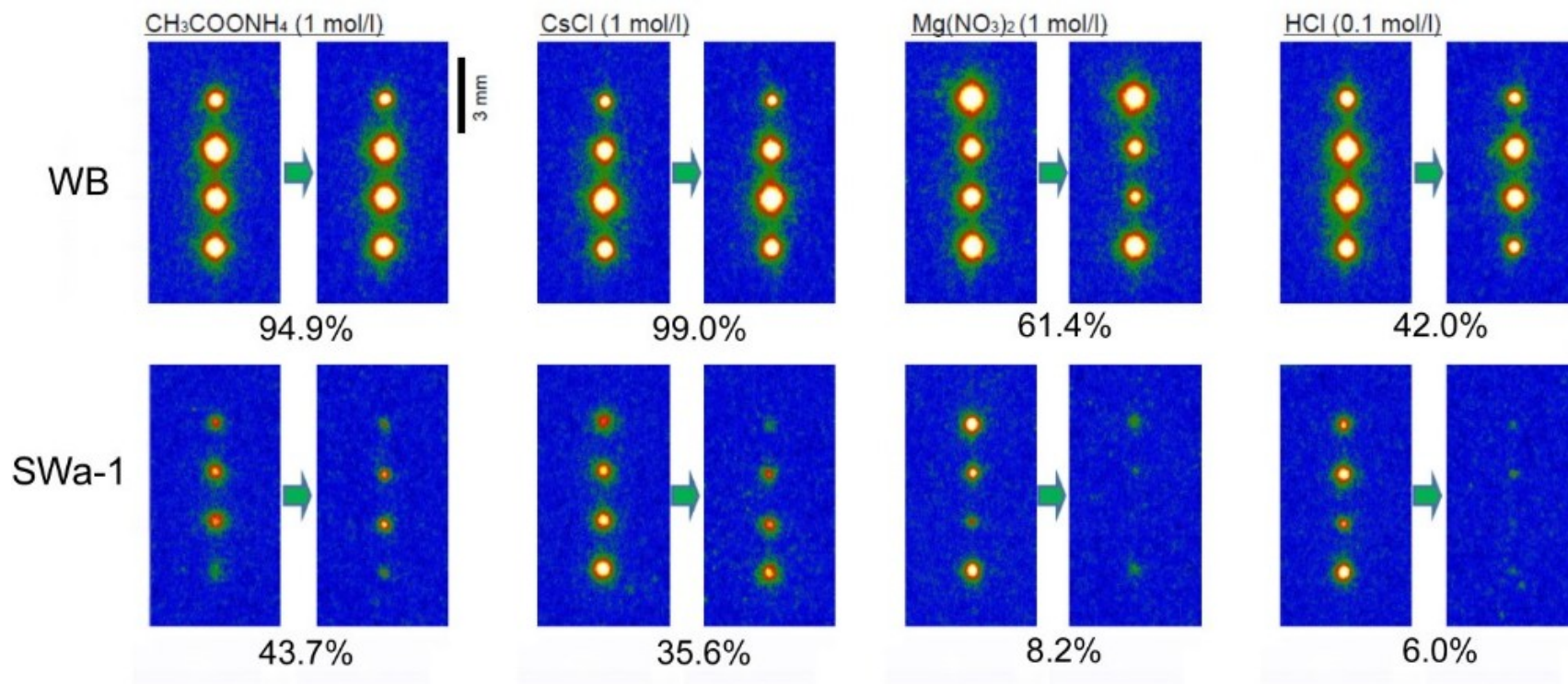


WBは長時間にわたって吸着が続くが、スメクタイトは短時間で吸着が終わる

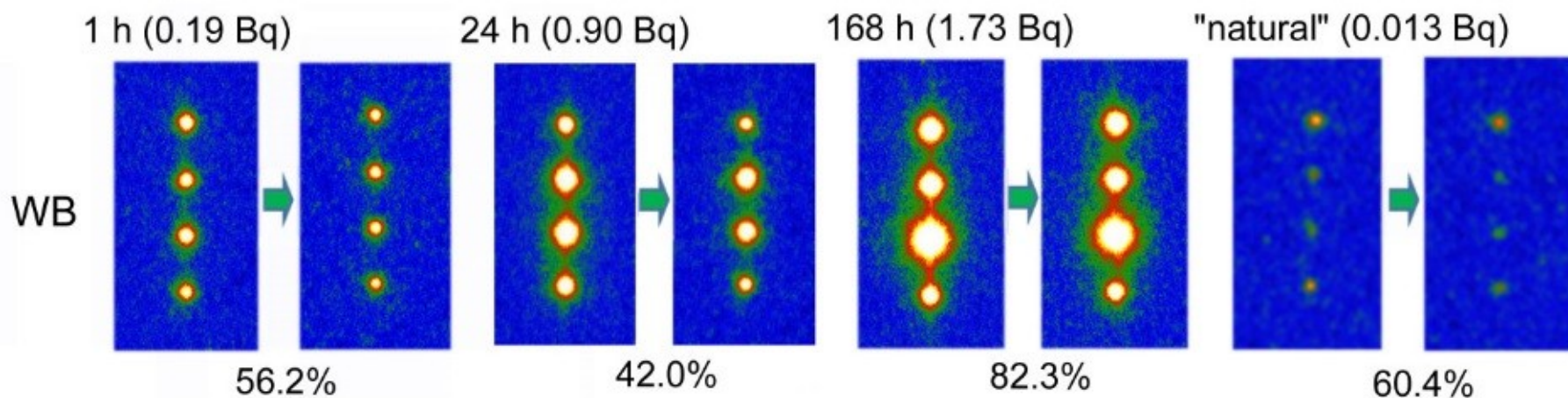
Mukai et al. (2016b)



# Desorption experiment with several electrolyte solutions



## Desorption experiment with HCl (pH1)



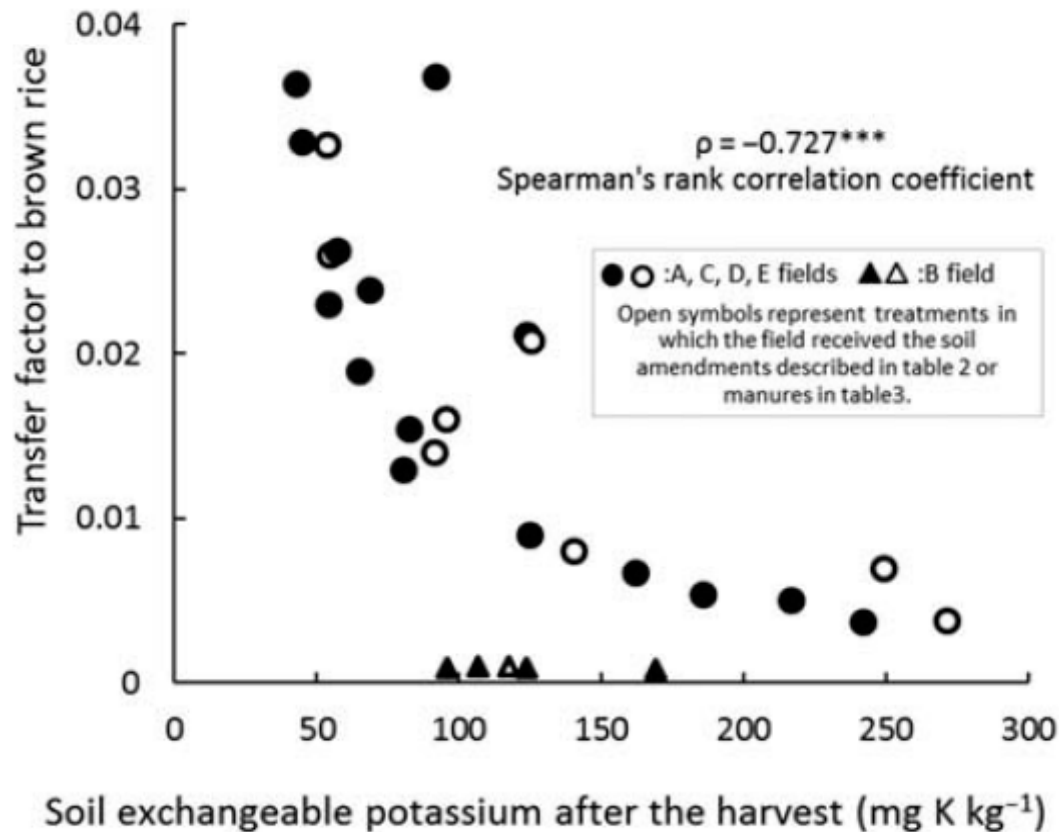


Figure 5 Relationship between the soil exchangeable potassium measured after harvest and the transfer factor (TF) for brown rice (unpolished rice grain). Data from the soil-removal treatment and the no-nitrogen treatment are not shown.

Kato et al., 2015

# Contents

1. 福島で土壤中に放射性Csを吸着している物質は何か
2. 汚染環境を考慮した粘土鉱物への放射性Csの吸着実験
3. 風化黒雲母中のCsの固定サイトはどこか
4. いわゆる“セシウムボール”について



These data are for the uptake of **extremely** high concentration !

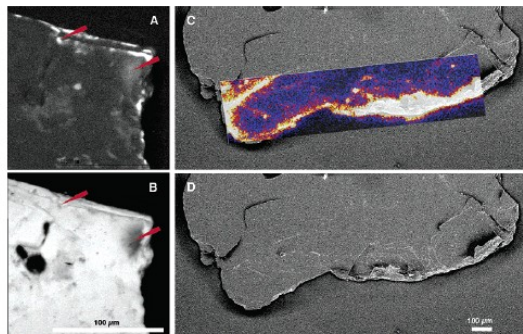


FIGURE 2. Cs on mica surfaces: left, Cs associated with biotite, elemental abundance map for Cs (A) and K (B); right, Cs associated with muscovite, superimposed secondary-electron SEM and false-color XMP image (C) and SEM image alone (D).

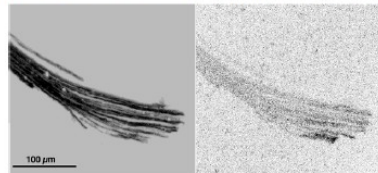


FIGURE 3. EMP elemental abundance maps for K (left) and Cs (right) on splayed muscovite. Darkness is proportional to concentration.

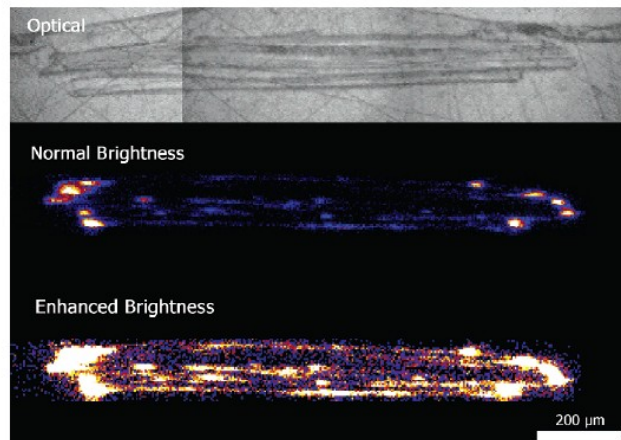


FIGURE 4. Optical image of sectioned muscovite clast with associated false-color Cs abundance. Cs is abundant at the clast ends (where FES were expected), and at the clast interior (where FES developed due to chemical weathering).

**Mckinley et al., (2004)**

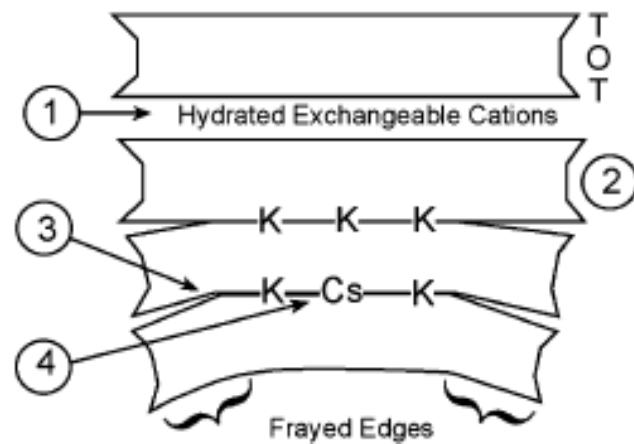
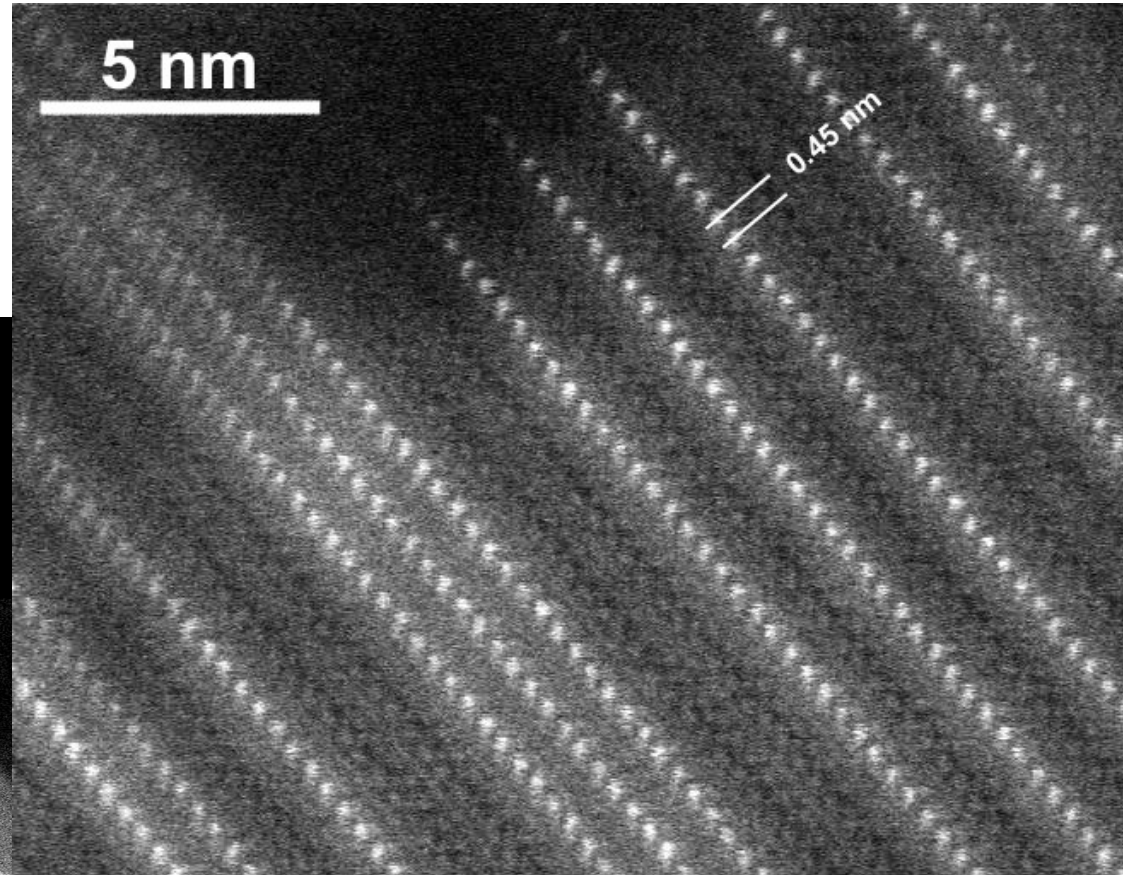
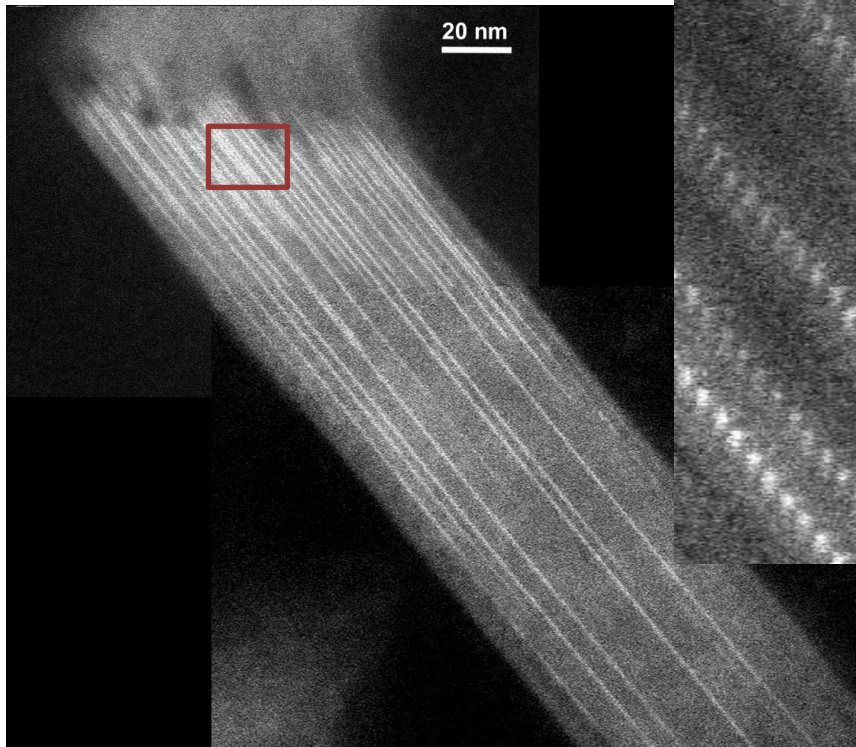


FIGURE 1. Schematic diagram of the mica structure: TOT, tetrahedral–octahedral–tetrahedral sheet structure; K and Cs, interlayer cations; edges are “frayed” by the removal of interlayer  $K^+$ . Potential sites for  $Cs^+$  sorption: (1) cation exchange sites on the basal plane, (2) edge sites, (3) frayed edge sites, (4) replacement of  $K^+$  by  $Cs^+$  in interlayer sites.

# セシウムを吸着した雲母の高分解能STEM像（輝点が雲母の層間に入ったCsに対応）

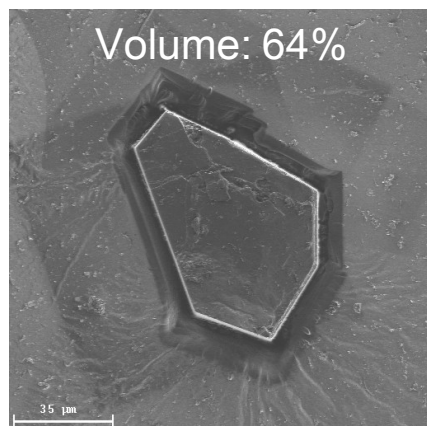
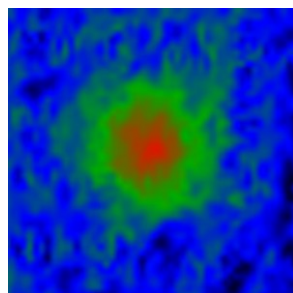
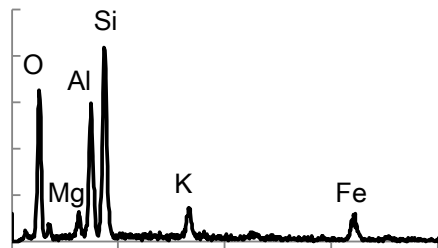
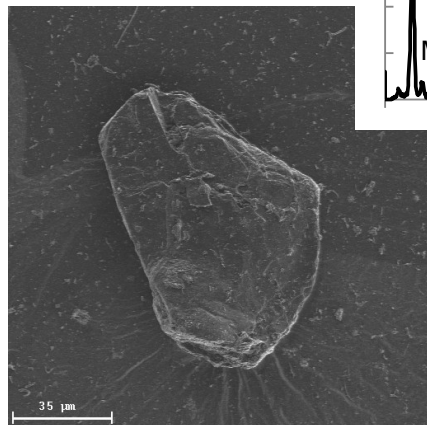


(Okumura et al., 2014)

このような高濃度での観察・実験は実際の福島汚染とはまったく対応しない

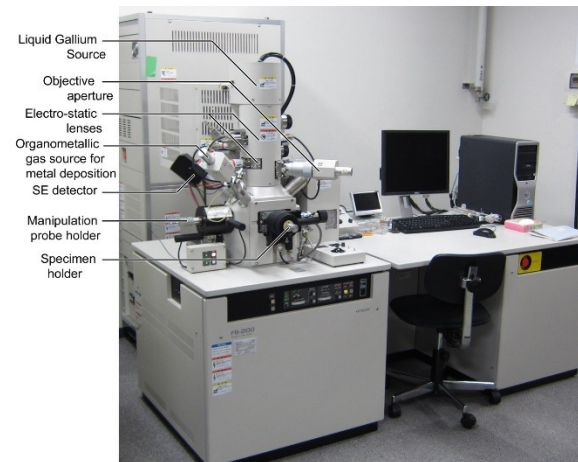
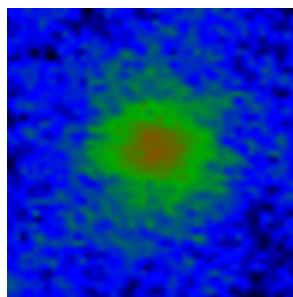


# Cutting out the edges of the grains by FIB

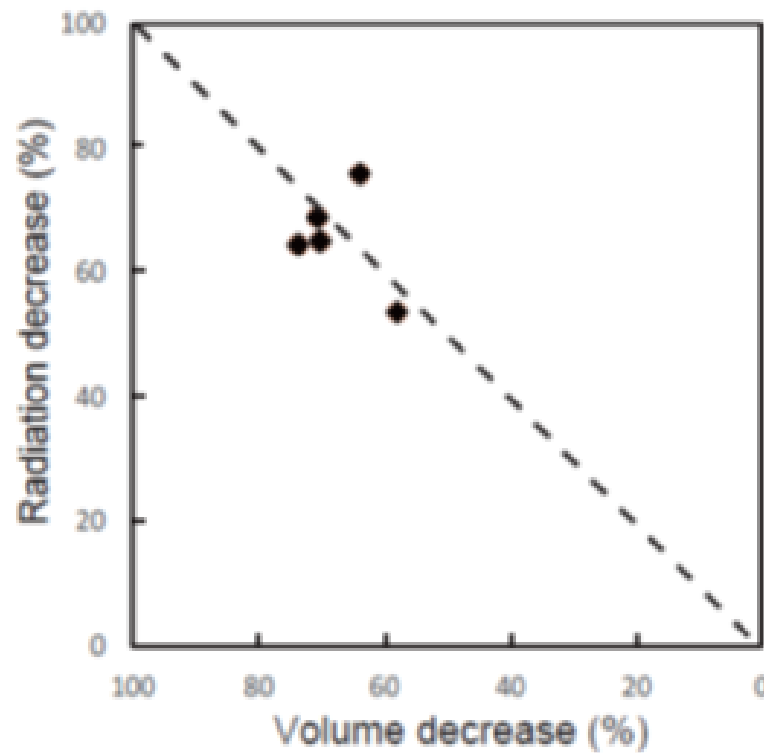


Volume: 64%

Radioactivity: 63%



Focused Ion beam



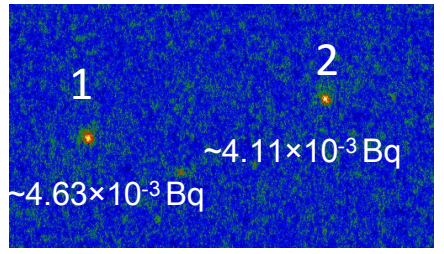
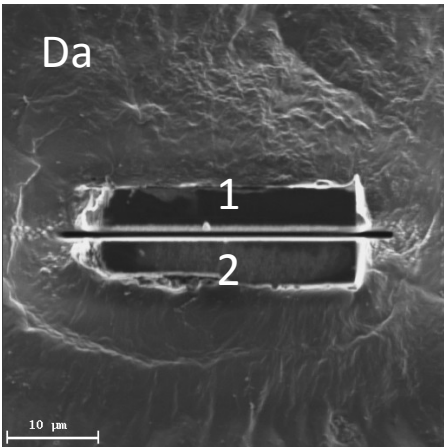
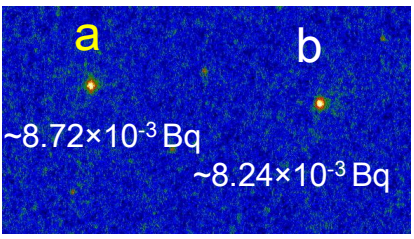
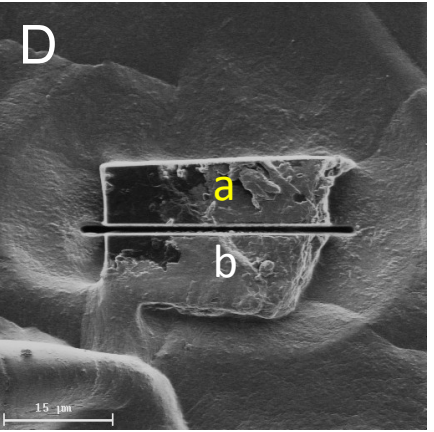
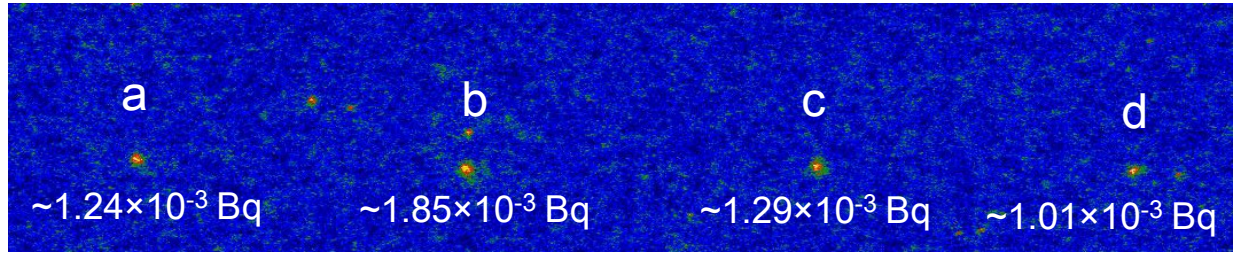
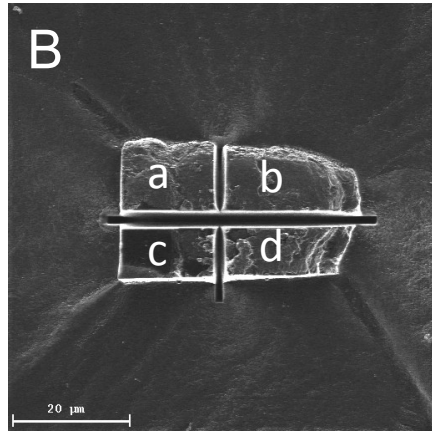
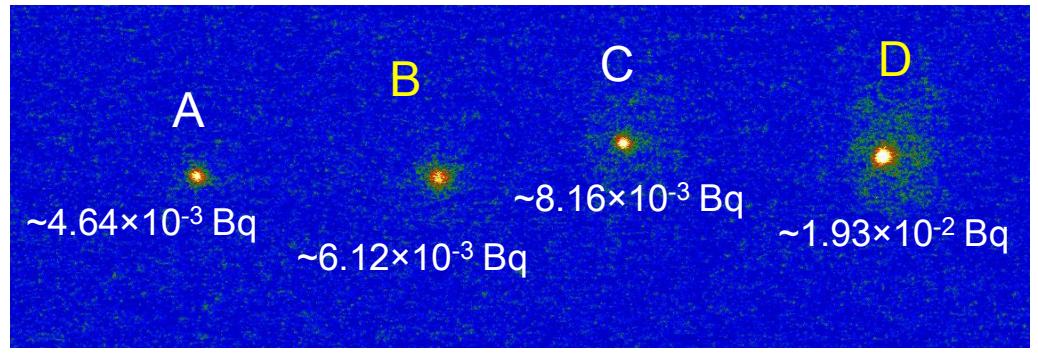
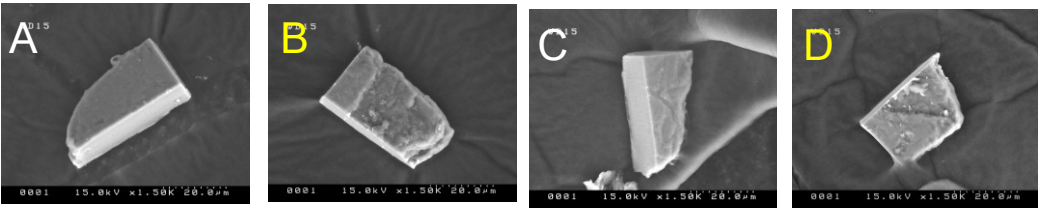
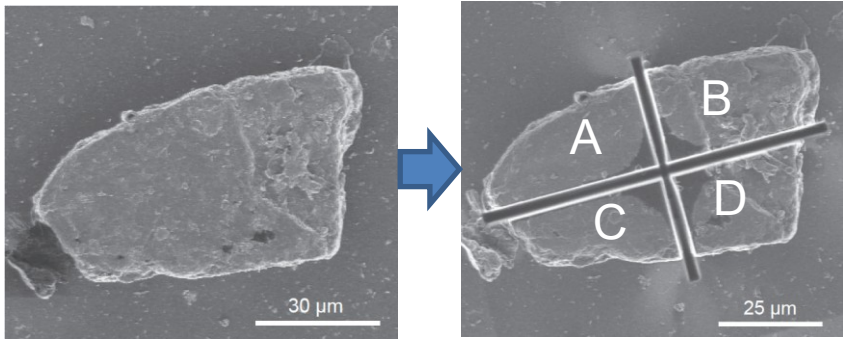
Mukai et al. (2014)



放射性Csは粒子のエッジに濃集してはいない

# Cs吸着箇所探索

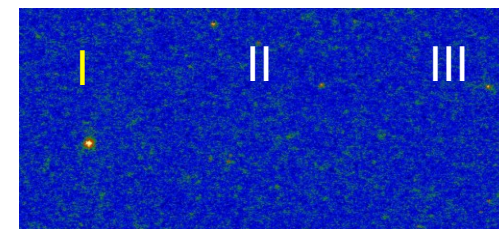
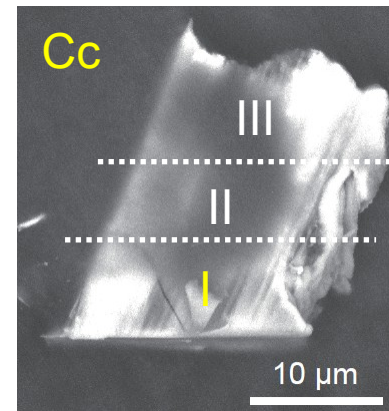
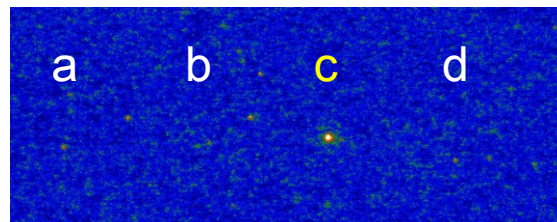
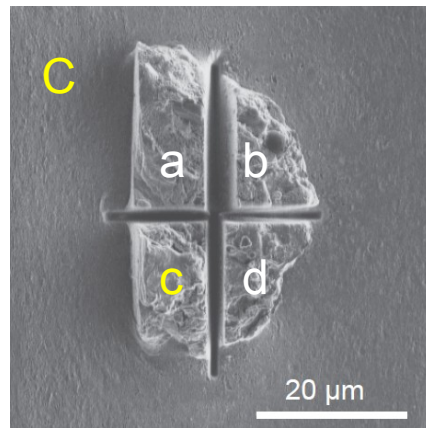
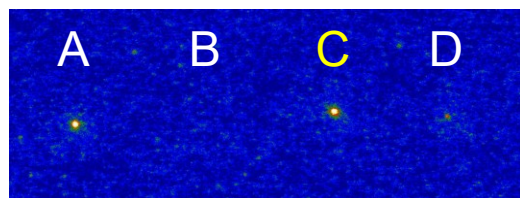
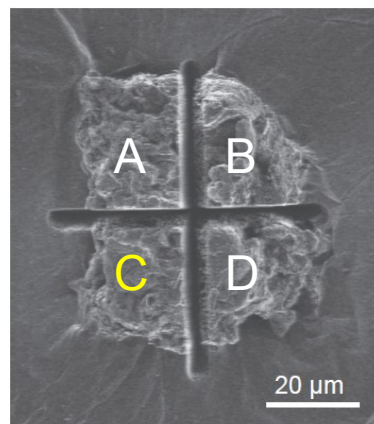
## Type III (Weathered biotite)



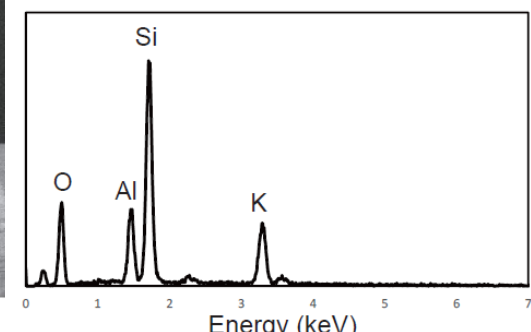
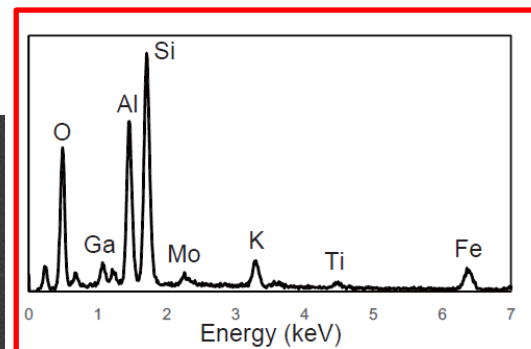
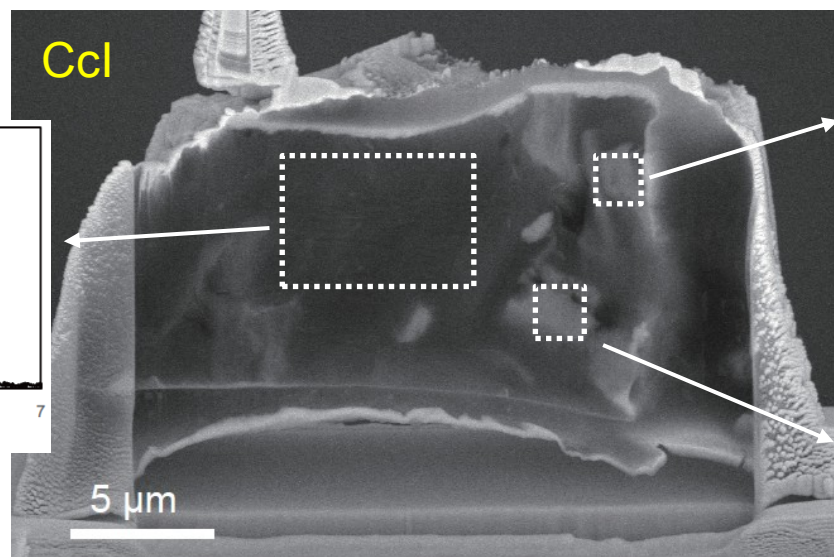
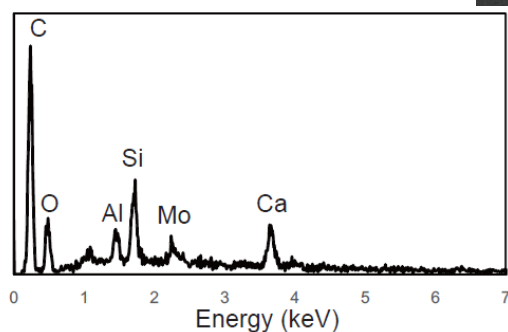
Mukai et al. (2016a)

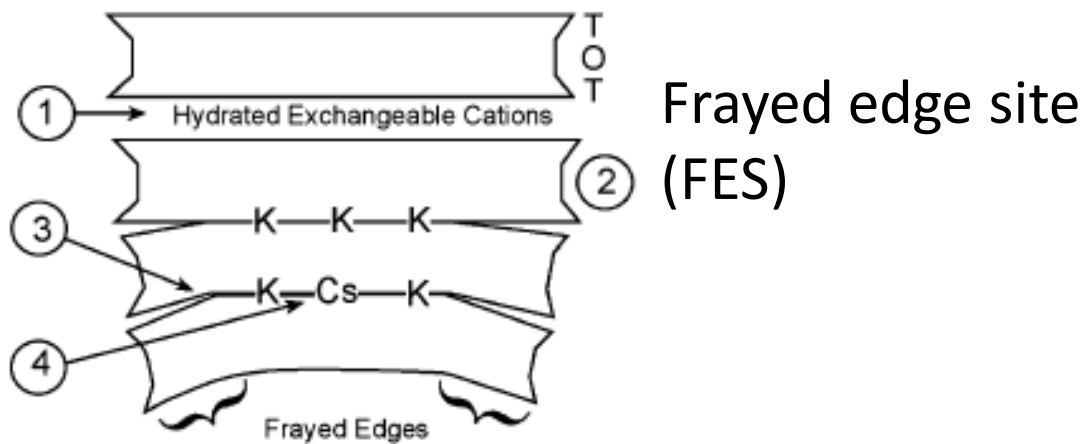


# Cs吸着箇所探索(Organic-inorganic composite\_type 2)



Mukai et al. (2016a)





**FIGURE 1.** Schematic diagram of the mica structure: TOT, tetrahedral–octahedral–tetrahedral sheet structure; K and Cs, interlayer cations; edges are "frayed" by the removal of interlayer K<sup>+</sup>. Potential sites for Cs<sup>+</sup> sorption: (1) cation exchange sites on the basal plane, (2) edge sites, (3) frayed edge sites, (4) replacement of K<sup>+</sup> by Cs<sup>+</sup> in interlayer sites.

Transition Zone  
(TZ)

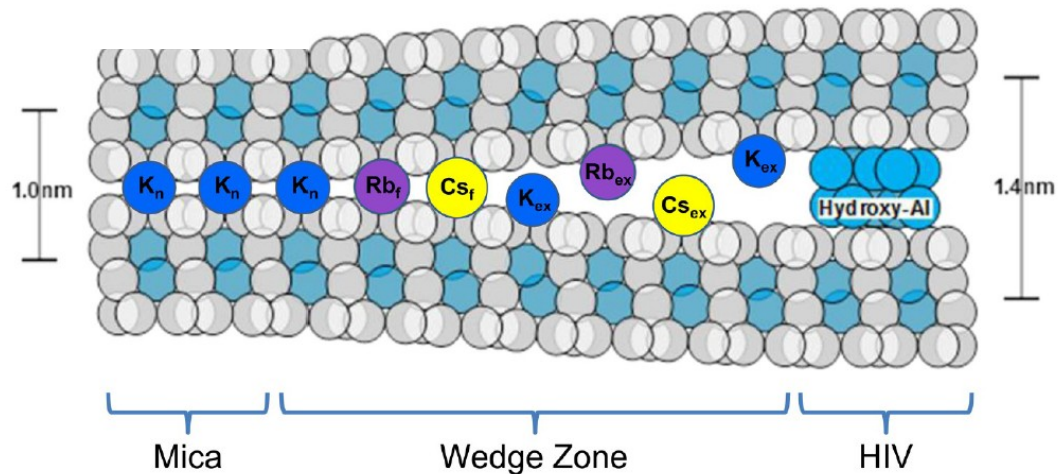
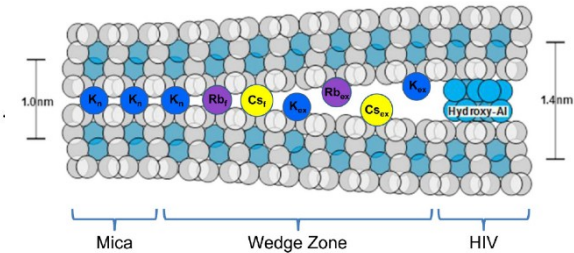
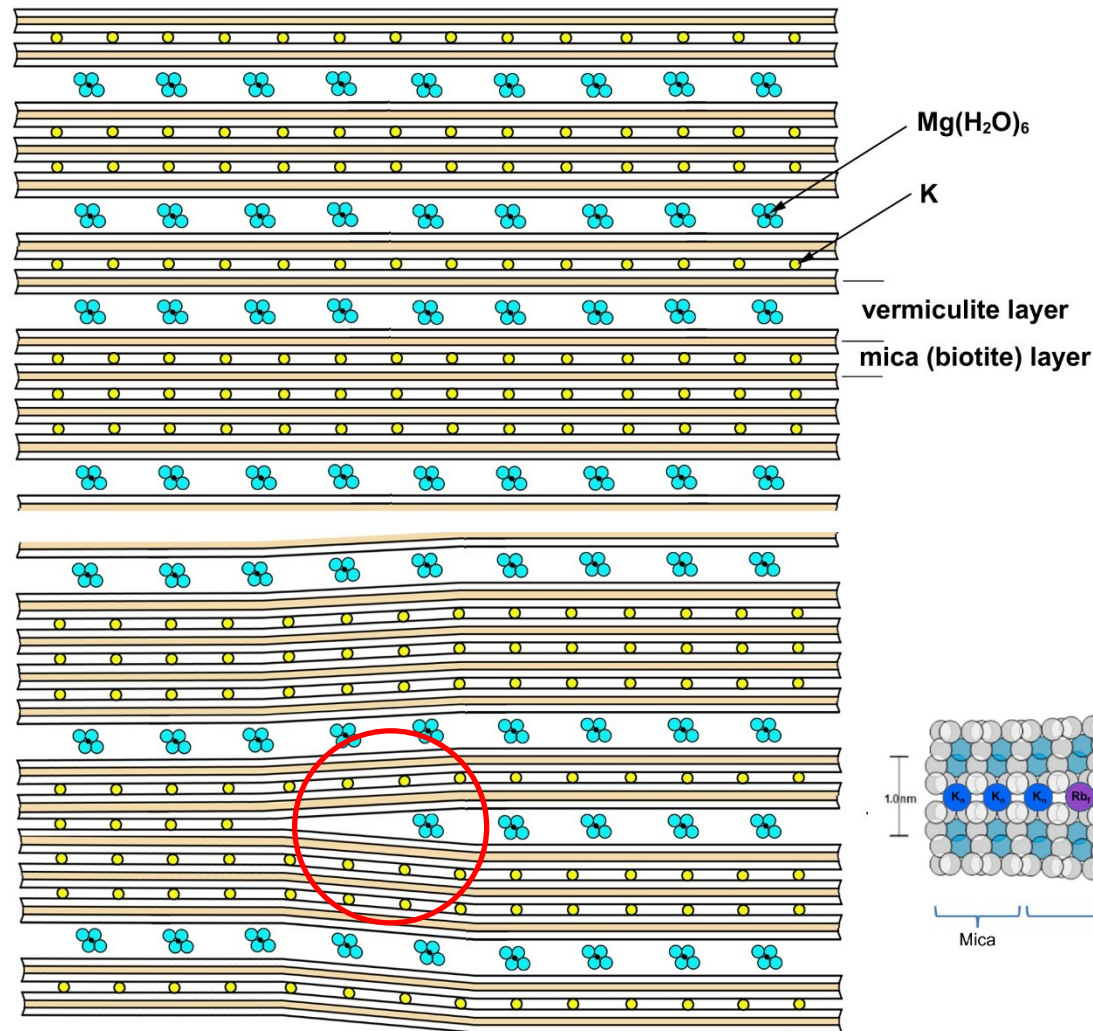


Figure 1. Conceptual view of two phyllosilicate layers comprising mica, vermiculite (HIV), and the wedge zone between mica and HIV in cross-section. This view shows a conceptualization of the transformation of mica to HIV. The fixation of Rb<sub>f</sub> and Cs<sub>f</sub> is found toward the apex of the wedge zone where subscript f denotes Rb and Cs ions effectively fixed within the layers near the apex of the wedge. K<sub>n</sub> denotes native K<sup>+</sup> in mica. Subscript ex denotes exchangeable ions. Oxygen atoms are represented by light gray circles and hydroxyl ions by light blue circles. All Cs<sup>+</sup>, Rb<sup>+</sup>, and K<sup>+</sup> are located in the center of ditrigonal cavities found in the basal surface of oxygen atoms (siloxane sheet) at the base of the two phyllosilicate layers. Water molecules, silicon atoms, and aluminum ions are not represented. Modified from Wampler et al.<sup>7</sup>

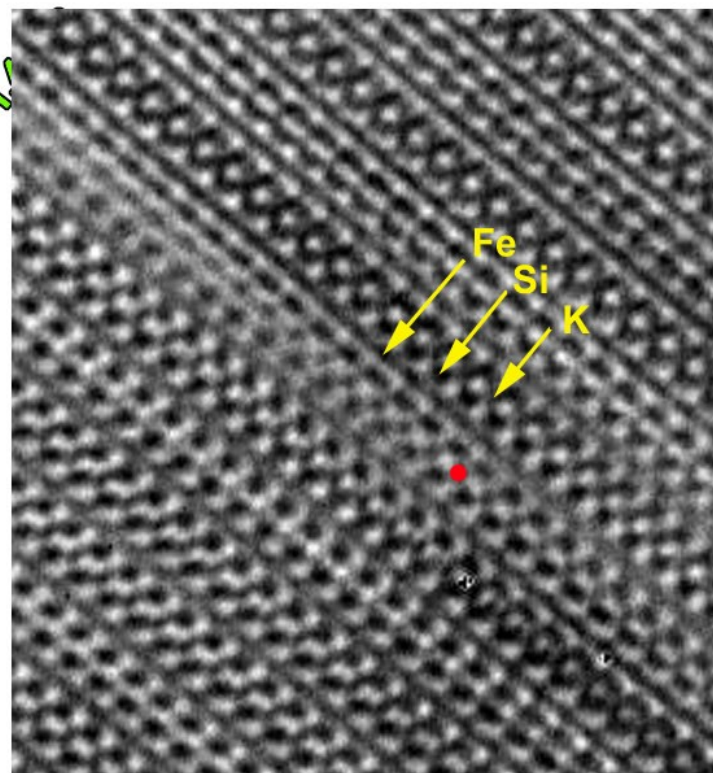
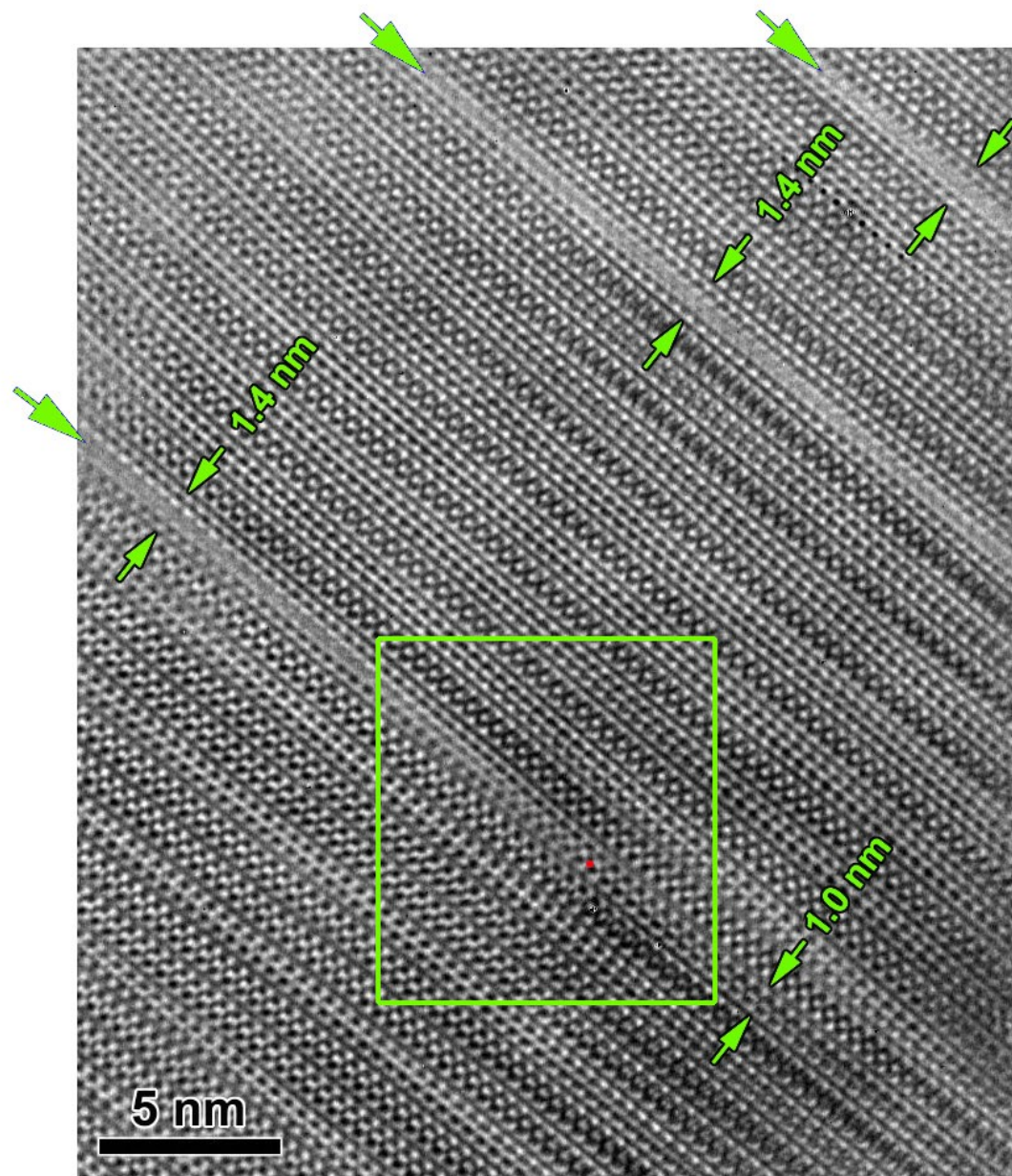
**Zaunbrecher et al. (2015)**

# 風化黒雲母 (weathered biotite) とは？

正確には黒雲母－バーミキュライト混合層鉱物 (biotite-vermiculite mixed-layer mineral)  
花崗岩中の黒雲母が地表で風化  $\text{Fe(II)} \rightarrow \text{Fe(III)}$ ,  $\text{Fe(III)}$  や  $\text{Mg}$  の溶出,  $\text{K} \rightarrow \text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6$



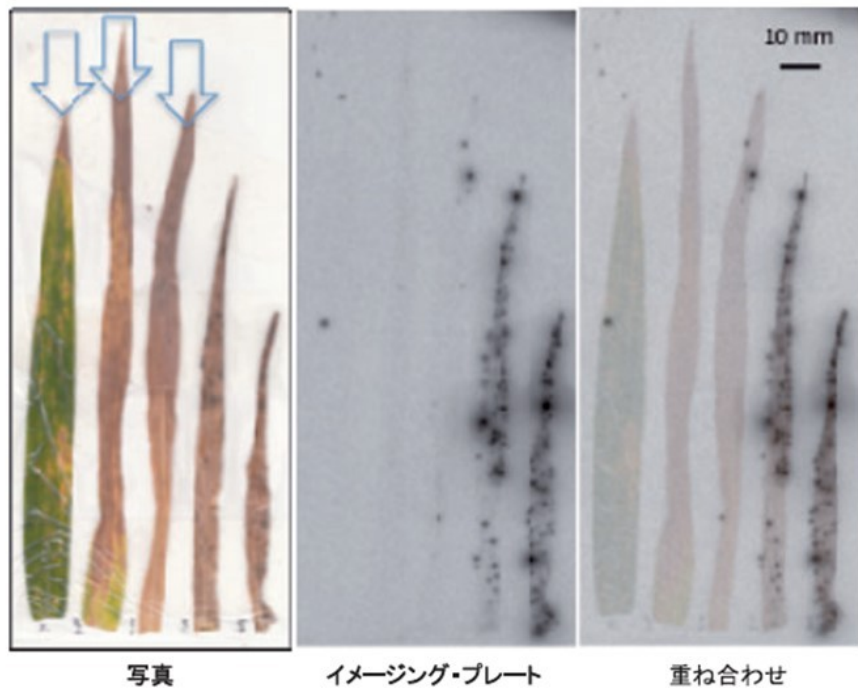






# Contents

1. 福島で土壤中で放射性Csを吸着している物質は何か
2. 汚染環境を考慮した粘土鉱物への放射性Csの吸着実験
3. 風化黒雲母中のCsの固定サイトはどこか
4. いわゆる“セシウムボール”について



田野井 他 (2011)

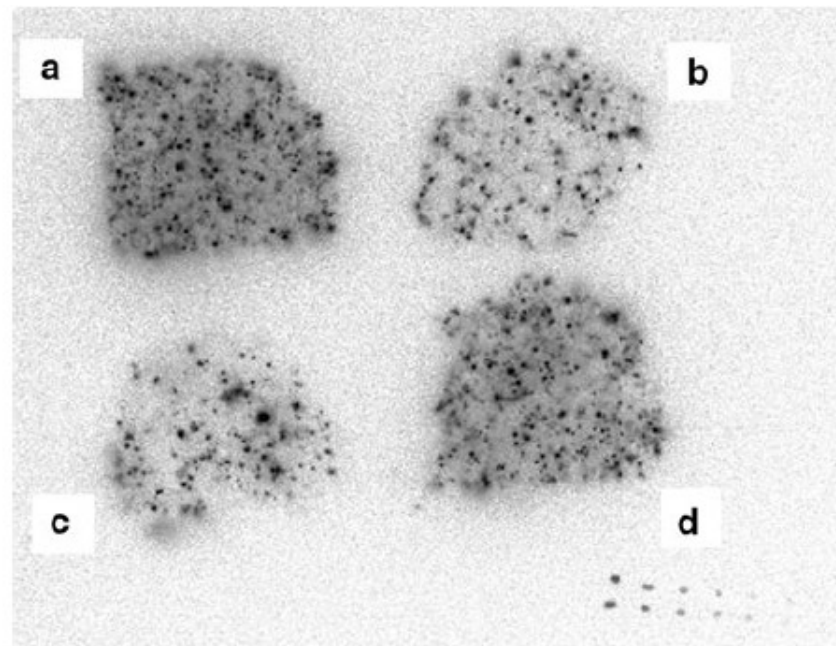


Fig. 4 Radioactivity image of the contaminated soil in Fukushima. a Farming land with high radioactivity, 50000 Bq/kg. b Soil for vegetables, Bq/kg. c Soil for wheat, 7000 Bq/kg. d Paddy soil for rice, 37000 Bq/kg

Nakanishi et al. (2013)



OPEN

## Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident

SUBJECT AREAS:

ENVIRONMENTAL  
SCIENCES

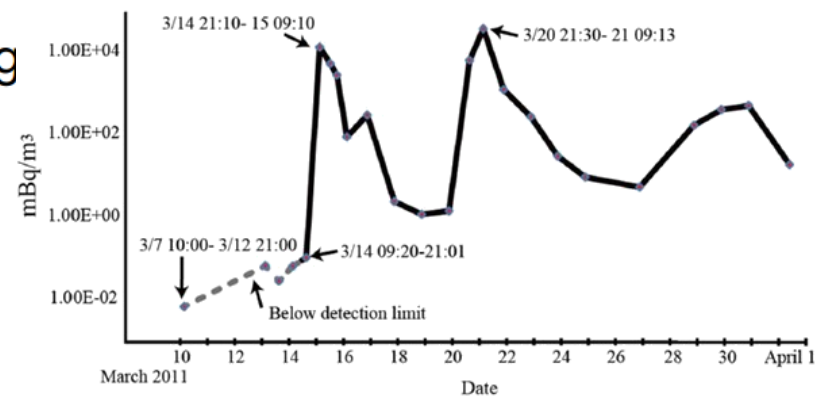
ENVIRONMENTAL MONITORING

ATMOSPHERIC CHEMISTRY

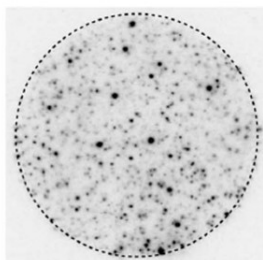
GEOCHEMISTRY

Kouji Adachi, Mizuo Kajino, Yuji Zaizen & Yasuhito Igarashi

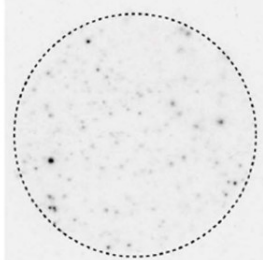
Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-0052.



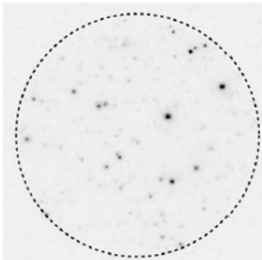
3/14 21:10- 3/15 09:10



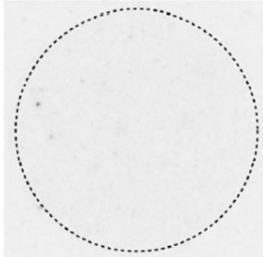
3/15 09:19- 3/15 15:22



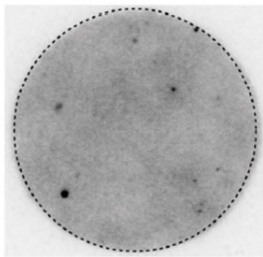
3/15 15:30- 3/15 21:02



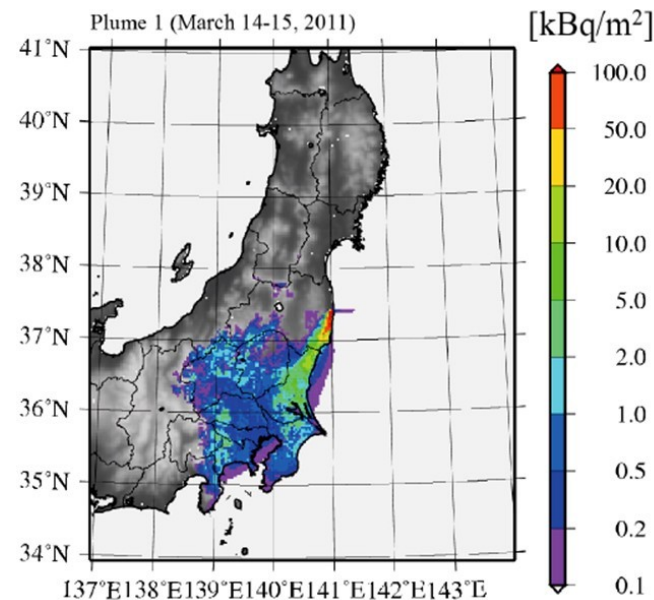
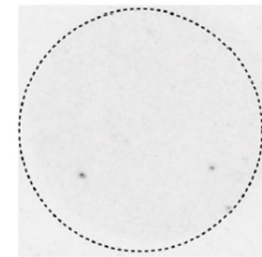
3/15 21:11- 3/16 09:00



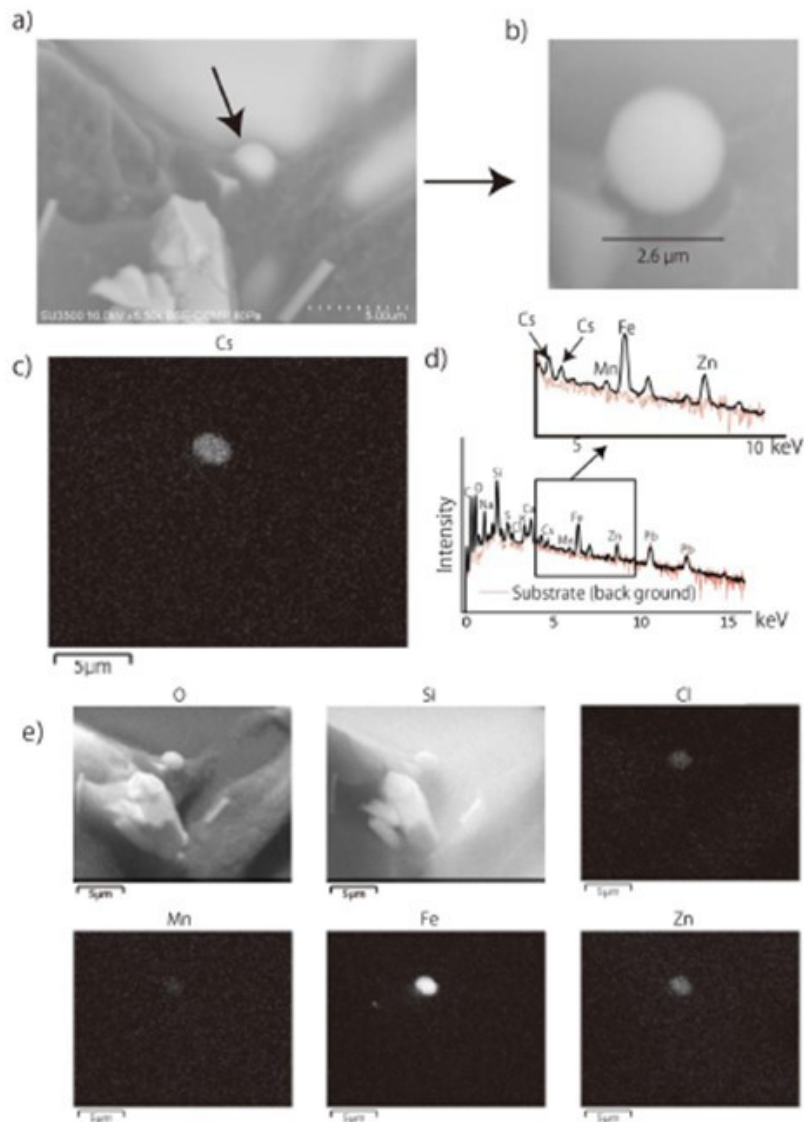
3/20 21:30- 3/21 09:13



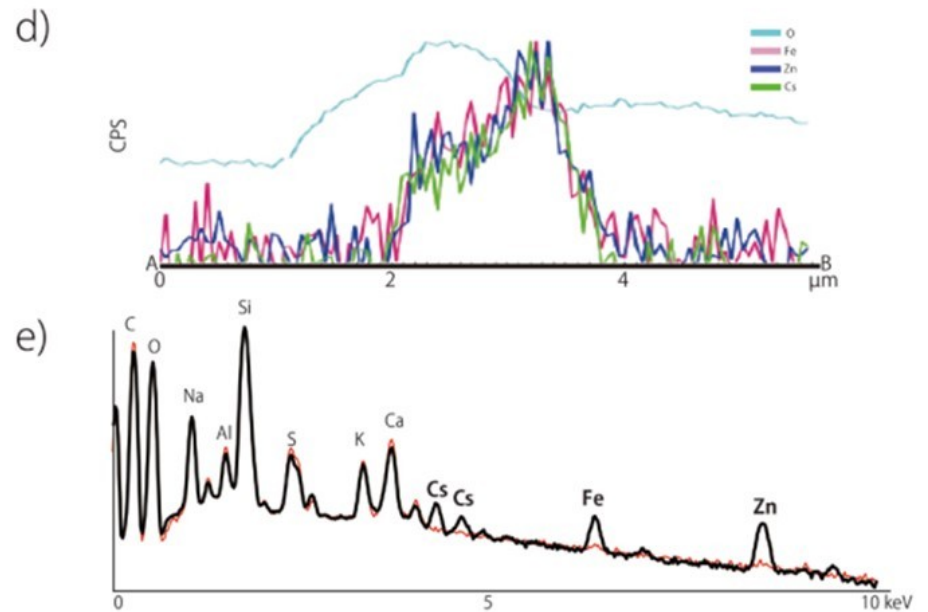
3/21 09:18- 3/21 21:20







3.27 Bq for Cs-137, 3.31 Bq for Cs-134



7

Adachi et al., 2013

# Radioactive microparticles found **on the ground** in Fukushima, by **Dr. Yamaguchi (NIAES)**

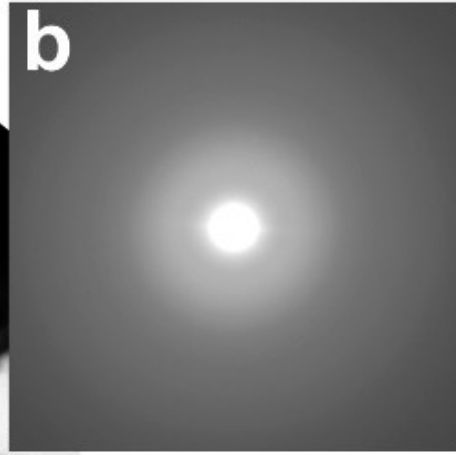
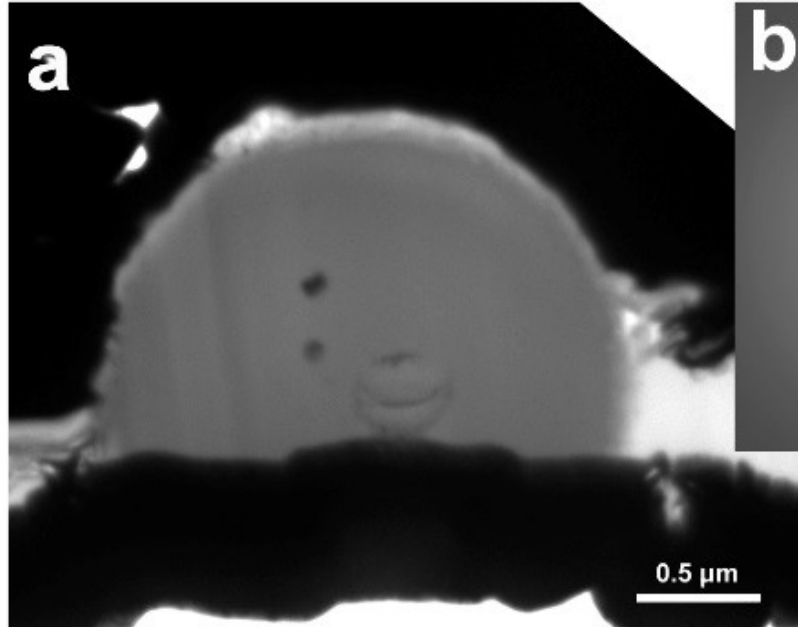
**NWC-1** (5.04 Bq for Cs-137) collected from non-woven fabric cloth (不織布), five months after the nuclear accident, before the sampling.

**CB-8** ( 3.14 Bq for Cs-137) collected from a needle of Japanese cedar, eight months after the accident and before the sampling.



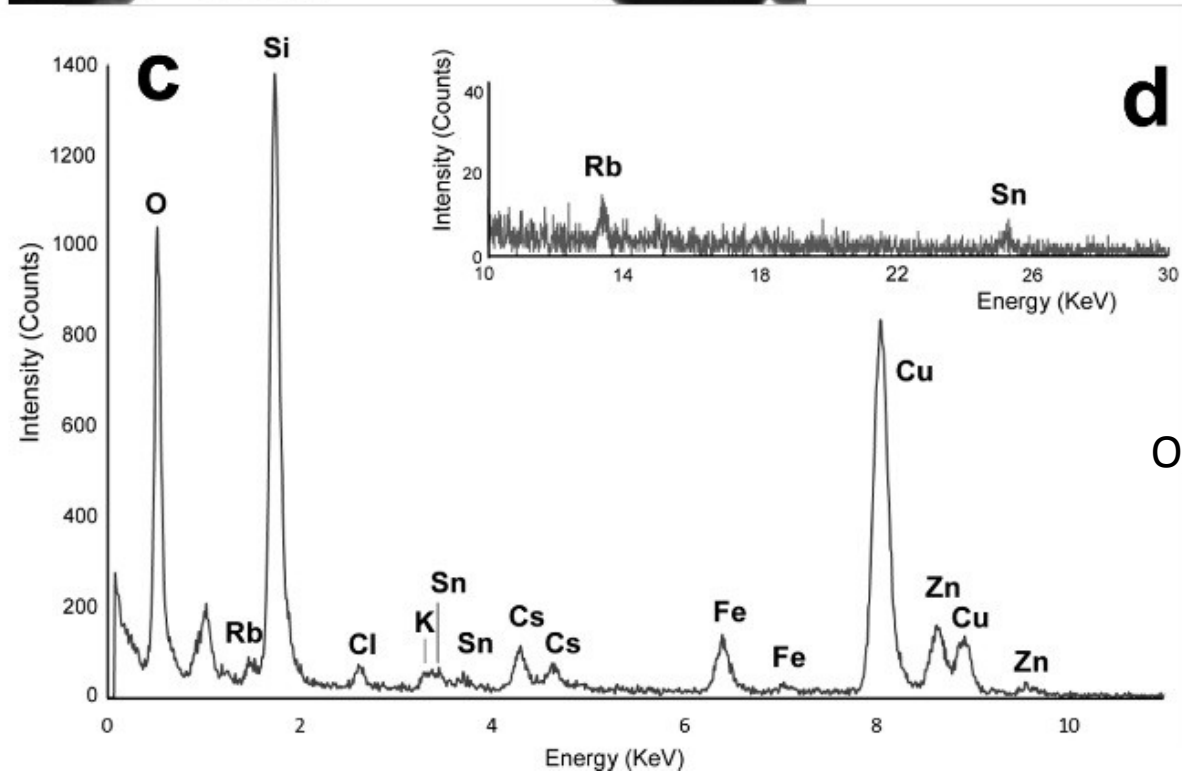
NWC-1

Yamaguchi et al. (2016)



NWC-1

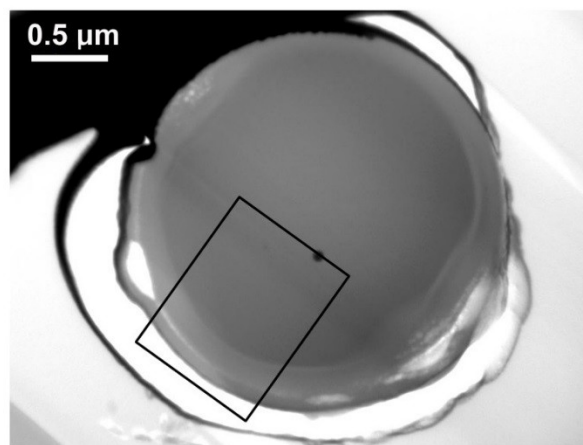
The material of the Cs-balls is silicate glass !



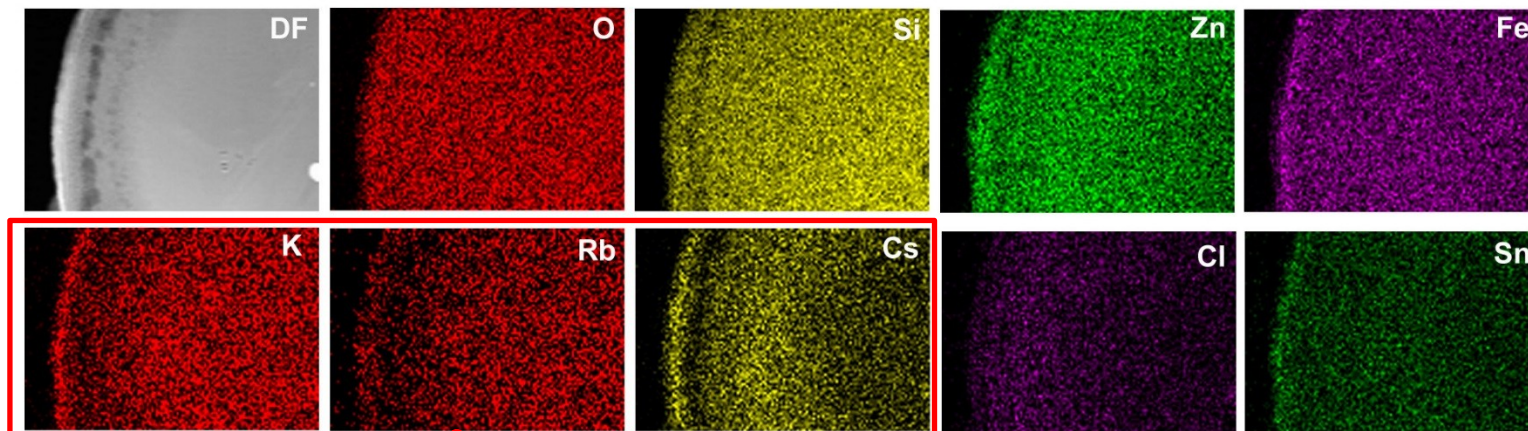
O, Si, Cl, K, Fe, Zn, Rb, Sn, Cs

Yamaguchi et al. (2016)





スギの葉から採集された放射性微粒子(8ヶ月後)



殻の部分ではアルカリがかなり減少している(最表面では多い)

Yamaguchi et al. (2016)

# 謝辞

本成果は以下の方々の共同研究・ご協力によって得られたもので、ここに感謝の意を表します。

東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

高橋 嘉夫 教授

向井 広樹 博士

甕 聡子 博士

藤井 英子氏

菊池 亮佑 氏

倉又 千咲 氏

農業環境技術研究所

山口紀子 博士

物質・材料研究機構

長谷川 琴音 氏

三留 正則 博士

原 徹 博士

田村 堅志 博士

東京大学 大学院農学生命科学研究科

中西 友子 教授

田野井 慶太郎 准教授

廣瀬 濃 特任助教

小林 南通子 助教

日本原子力研究開発機構

矢板 毅 博士

また本研究は、日本原子力研究開発機構の受託研究「土壤中で放射性セシウムを吸着している粘土鉱物種の特特定とその吸着機構の解明」及び科研費 24340133, 15H04222, 15H02149の支援のもとに行われた。