

11月13日 つくば3Eフォーラム会議

震災を経て、つくばが未来の日本に貢献できること

未来に寄与するつくばの研究開発

# 天然鉱物等の無機材料を利用した除染技術

山田裕久

環境再生材料ユニット

(独)物質・材料研究機構



# 福島第一原発事故



- 歴史上、最大強度の地震
- 10m以上の津波による破壊



2011 Google, GeoEye

Image © 2011 DigitalGlobe

©2011 Google

# 事故により発生した厄介もの

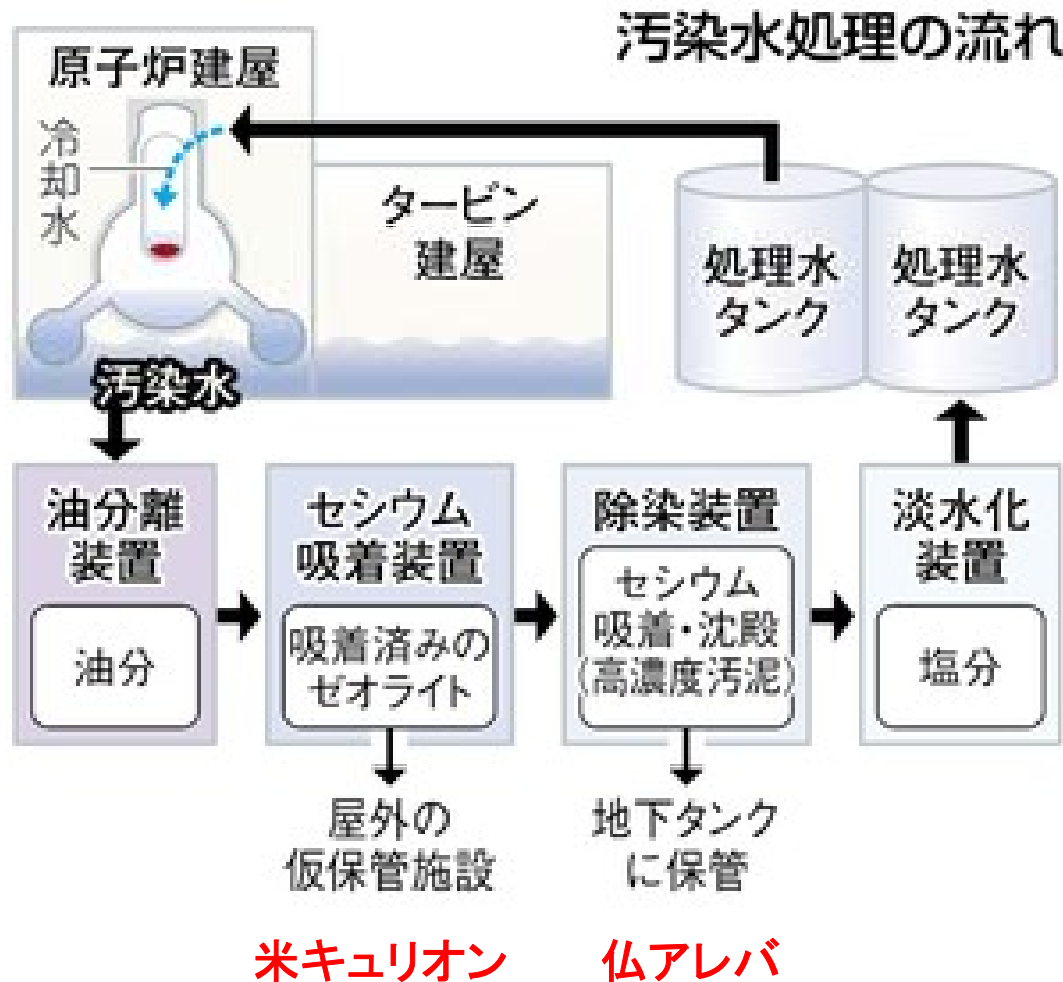
- 大量に放出された放射性核種
- 大量の汚染瓦礫
- メルトダウンした燃料(1-3号機)
- 使用済み燃料(4号機)
- 高濃度に汚染された冷却水



福島第一原発3号機(3/23)

# 汚染水浄化システム

—汚染水からのCsの除去を念頭に置いたシステム—



米キュリオン、仏アレバの二つの装置を直列につないだ浄化と、サリーによる浄化の2系統を、並行して運転



# 周辺環境に放出された主な放射性核種

$^{131}\text{I}$  (半減期 : 8.04 日)

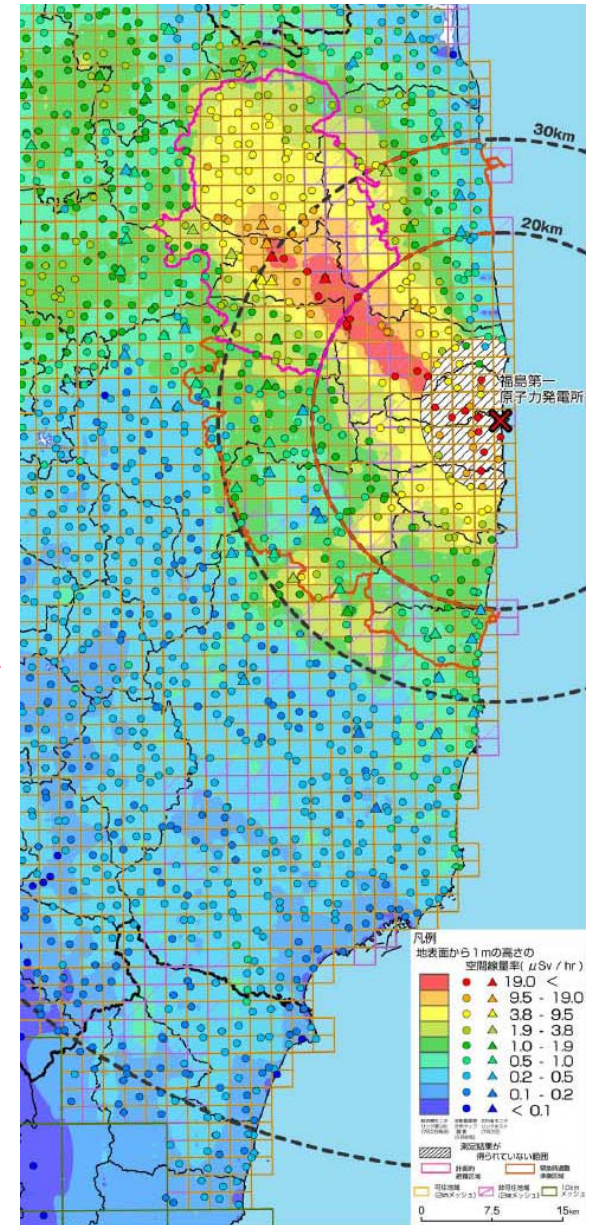
$^{137}\text{Cs}$  (半減期 : 30.2 年)

$^{134}\text{Cs}$  (半減期: 2.1年)

$^{90}\text{Sr}$  (半減期 : 28.8年)

土地(田んぼ・畑・果樹園など)、  
森林、水、建物、道路等が汚染

半減期の10倍の時間が経過すると1/1000

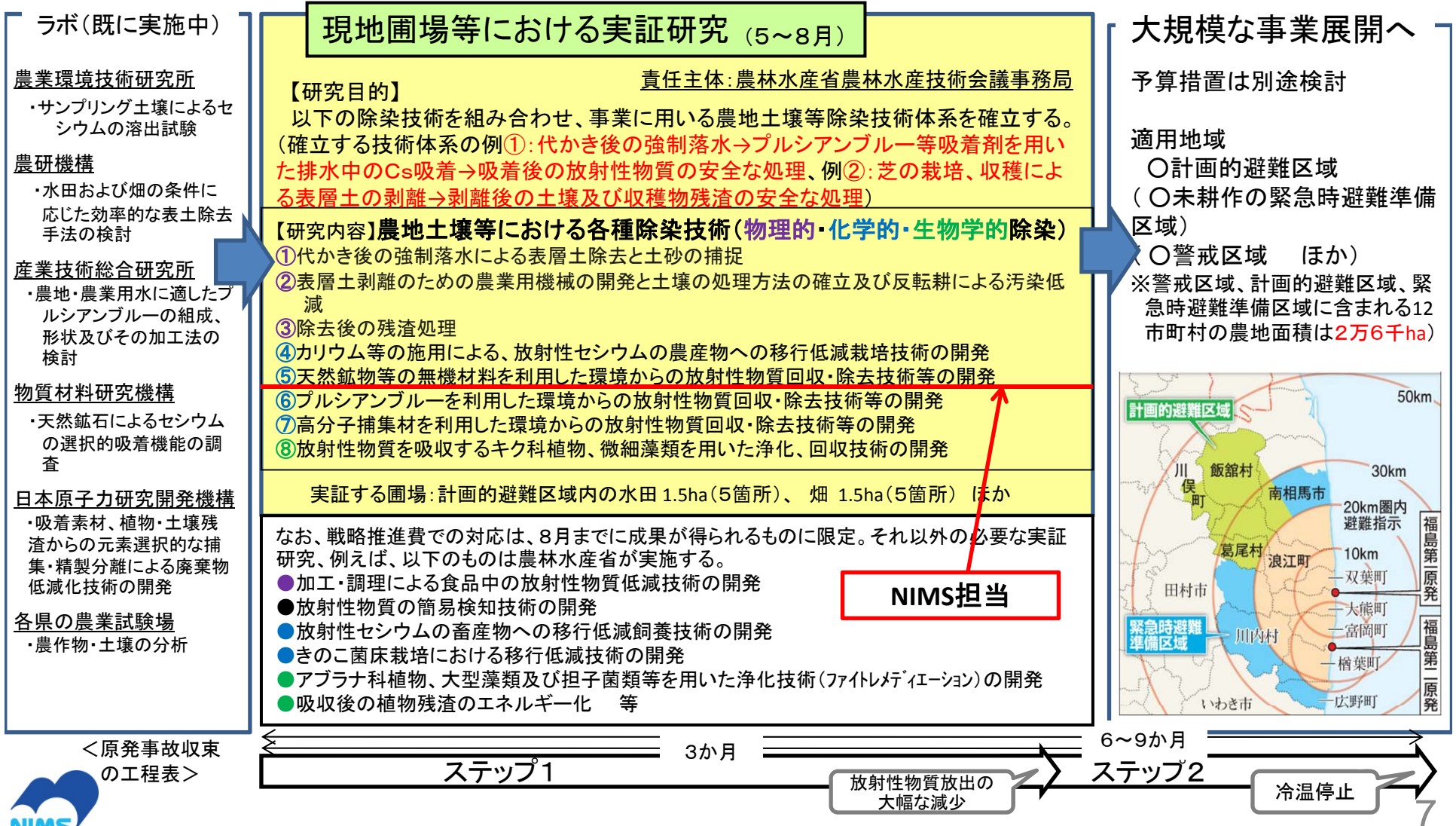


## 対処しなければならない事

- 多様な対象物と多様な状況に応じた放射性Csの除去・回収が必要であり、そのための除去材や回収材の早急な検討が希求。
- 作業から必ず発生する放射性廃棄物の処分のことも念頭において除染や回収が実施される仕組みの構築も必要。
- 除染作業で発生する放射性廃棄物は、福島第一原発内や周辺に散在する瓦礫、メルトダウンした燃料、原子炉やその建屋も含めて2011年3月11日まで想定していなかった放射性廃棄物であり、廃棄物や処理・処分の新しい枠組みの構築も必須

# 農地土壌等における放射性物質除去技術の開発の概要

- 原発事故収束後に農業者が営農を再開できるよう放射能で汚染された農地等の浄化に向けた取組が喫緊の課題。
- 環境中の放射性物質の回収・除去技術を開発・実証し、**現場での農地除染対策として適用できる除染技術体系を緊急に確立**する。既に大量に環境中に飛散しているにもかかわらず、半減期が長く、経時による減少が見込めない放射性セシウムを主たる対象として研究を行う。





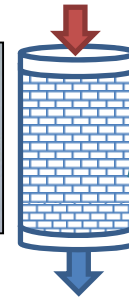
## ②化学的除染

・天然鉱物等の無機材料を利用した環境からの放射性物質回収・除去技術等の開発

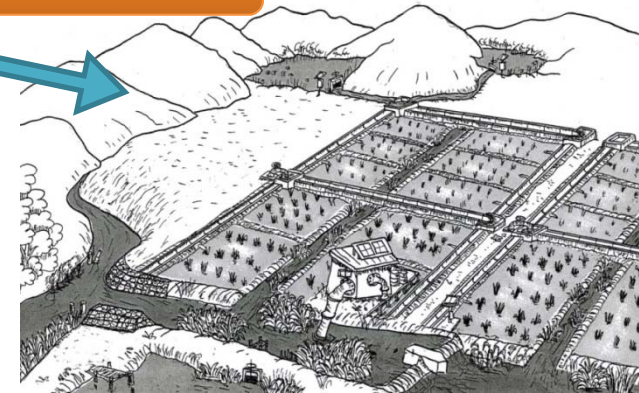
### 天然鉱物ゼオライト等の無機材料系吸着剤を用いた放射性物質の回収

フィールド検証に使用する吸着剤とその使用法・形態を提案

ゼオライト等



化学的除染



**JAEA**  
除染性能評価  
(ホット試験等)

**NIMS**

放射性物質回収・除去技術等開発

・マイクロポーラス材料  
(ゼオライト系材料)

・高秩序メゾポーラス材料

・総まとめ・フィールド検証へ

NIMSの方針・指揮下での各種吸着剤の基礎特性データ収集

農地土壌を想定した環境下(各種土壌成分の濃度、水分量、温度範囲、pH等)でのセシウム等の元素の吸着・除去特性を計測(適材適所の探索)

北海道大学

岩手大学

首都大学東京

金沢工業大学

島根大学

宮崎大学

東京工業大学

国際農林水産業研究センター

産業技術総合研究所

電力中央研究所



# なぜ天然鉱物か？

46億年の地球史で検証された「最も環境負荷の小さい自然の完璧な循環・高い機能」をサイエンスとして観、環境再生材料の要素技術の一つとして、地球を構成する主要な岩石鉱物（ジオマテリアル）およびその仕組みを模倣・技術化・利用することにより、超低環境負荷・高機能性材料の設計・開発を行う。

## 自然に学ぶ材料開発

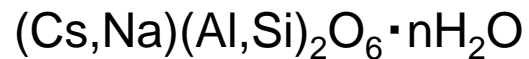
自然には、人間の力を借りずとも浄化されているケースが数多く存在する。自然から効率の良い浄化法を学び、様々な環境条件で適応可能な環境浄化資材を開発する。

# Csを含む天然鉱物



## ポルックス石(Pollucite)

沸石グループの鉱物  
1846年に発見された、セシウムを多く含む最初の鉱物  
方沸石(Analcime)のナトリウムをセシウムで置換したものに相当



茨城県久慈郡里美村妙見山に産出



## リチア雲母(Lepidolite)

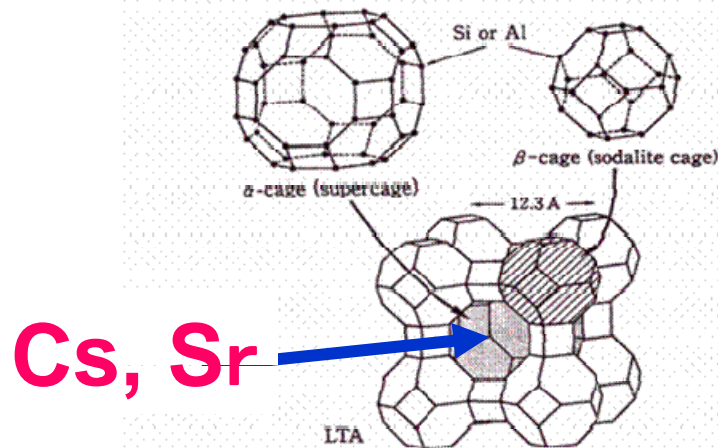


茨城県久慈郡里美村妙見山に産出

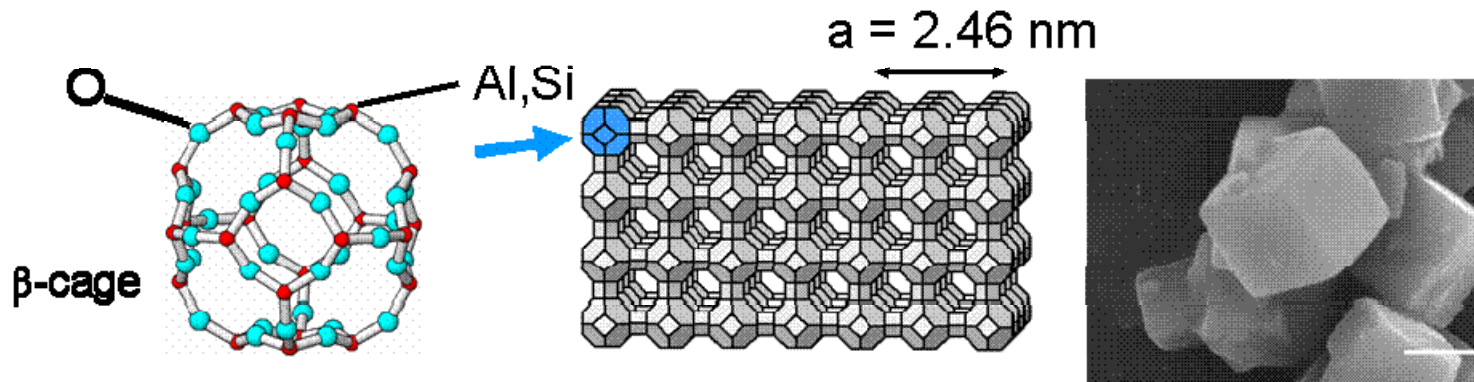
# ゼオライト(zeolite)とは

ゼオライトの語源は、1758年にスウェーデンの鉱物学者Cronstedtが透明な鉱物を加熱したところ沸騰したことから、ギリシャ語のzeo=boilとlite=stoneを意味する言葉を合成したことにはじまる。日本でもこの語源に従って「沸石」と呼ばれている。

Schematic representation of the framework structure of LTA.



ゼオライトは、構造中に**ナノメートルオーダーの規則正しい空隙構造(細孔)**を持つ縮合アルミノケイ酸塩である。その骨格は、 $\text{SiO}_4$ 、 $\text{AlO}_4$ 四面体が酸素を共有して立体的に結合し形成されている。Siは4価であるのに対して、Alは3価であるために、 $\text{AlO}_4$ 四面体は-1価の電荷を帯び、電荷補償のため1個、2個または3個の陽イオンがゼオライト骨格・細孔内に**交換性イオン**として存在する。

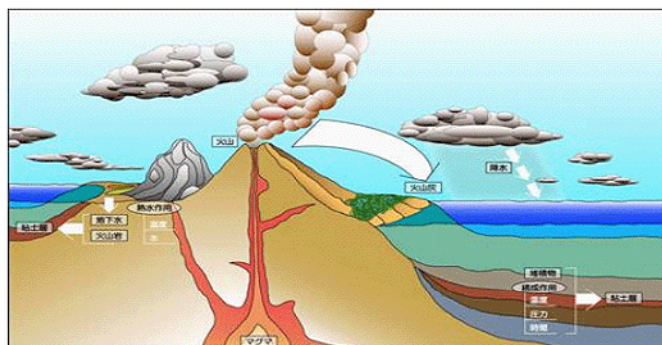




# 天然でのスメクタイトの産状

## スメクタイト

膨潤性粘土鉱物のグループ名  
英語名：石鹼 (soap) を意味する  
ギリシア語に由来



海底・湖底に堆積した火山灰や溶岩に、ある程度の温度や圧力が数千万年という長い期間にわたって加えられたことで、分子レベルでの構造変化が生じ、鉱物集合体であるベントナイトは生成される。



山形県



宮城県

クニミネ工業株式会社 HPより

# スメクタイト粘土鉱物

(1) 微粒子 (2) 可塑性 (3) 焼結固結性

層状の結晶構造をもつケイ酸塩鉱物

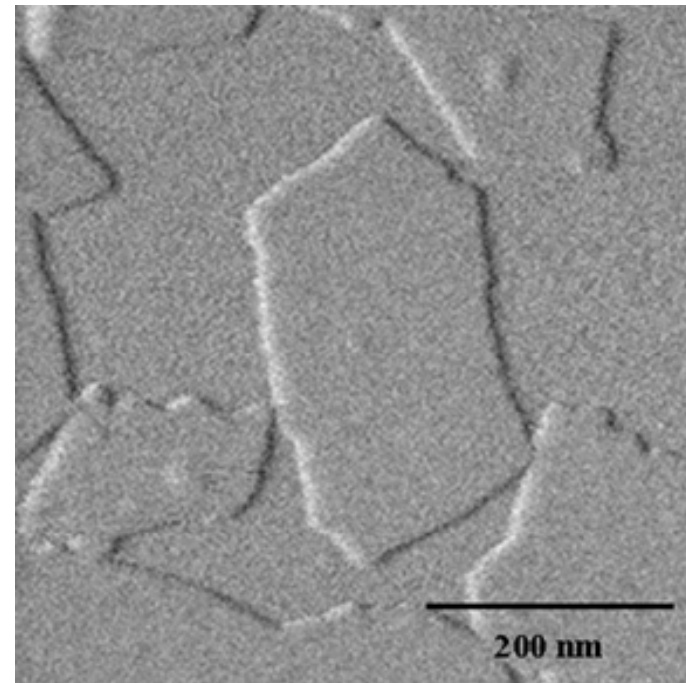
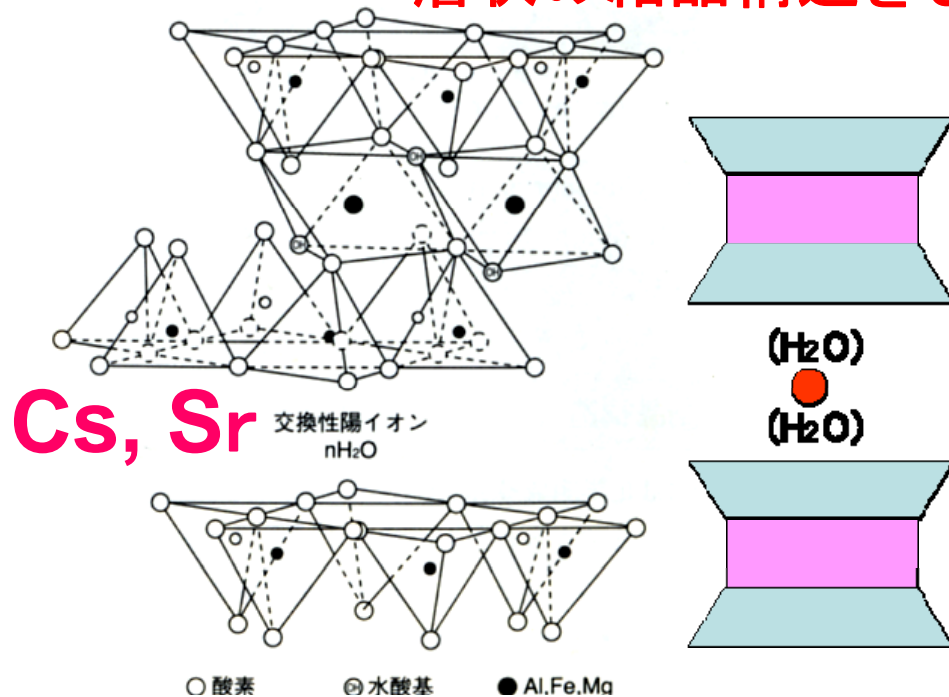


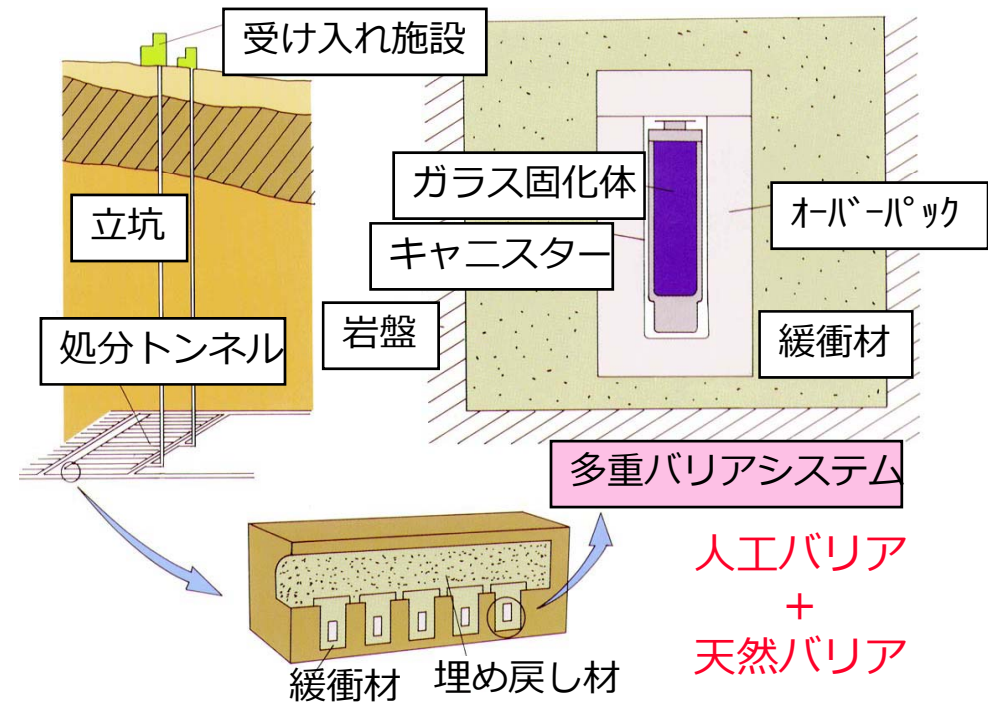
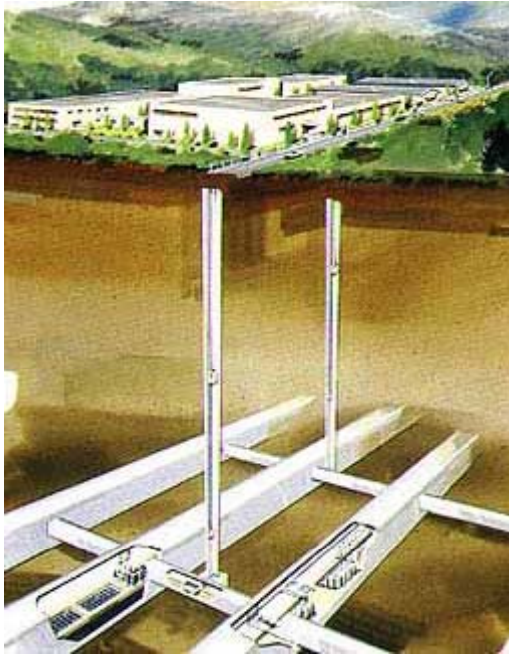
図2-1 モンモリロナイトの結晶構造<sup>1)</sup>

陽イオン交換能・固着能

膨潤性、インターカレーション能、有機物親和性・吸着能、高比表面積性

# 土木・建設工業用材料

## 放射性廃棄物処分場の緩衝材としての利用



高レベル廃棄物処分システム基本概念図

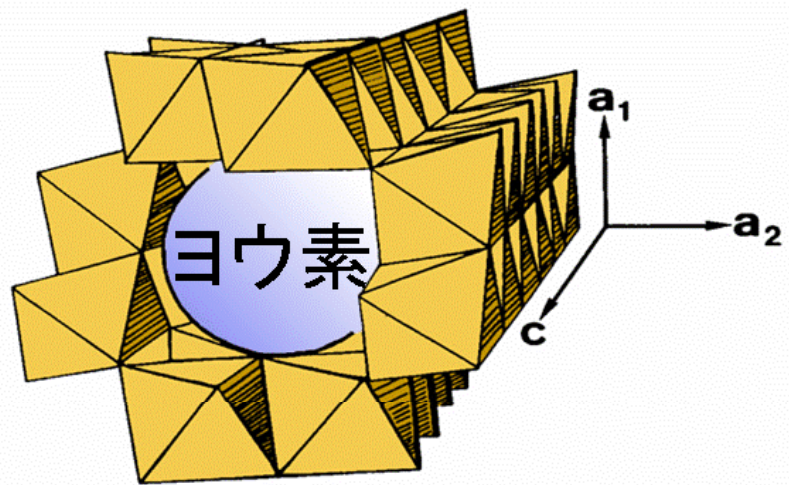
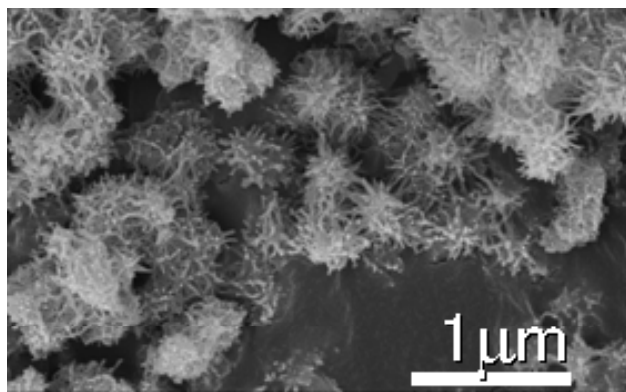
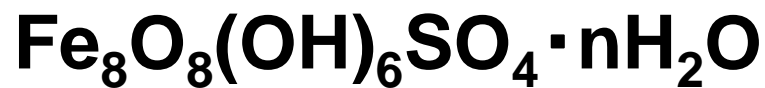
バリア材料としてベントナイト:

自己シールド性・応力緩衝性・有害物質などの吸着性

佐藤務 (2001) 粘土科学、41、26-33



# シュベルトマナイト



## 群馬県西之牧休廃止鉱山 (酸性、高硫酸濃度)



■鶏冠石  
鮮黄ともいい、オレンジ色の絵の具として利用される。同じ硫化砒素を主成分とする鉱物に石黄があり、こちらは黄色の顔料として広く使われた。

■「鶏」伊藤石沖  
若沖は江戸時代中期の日本画家。華麗な色彩で鶏をはじめ、さまざまな動物を写実的に描いた。

## 鶏冠石 ( realger ) AsS

佐藤 努 教授(北海道大学大学院工学研究院)より

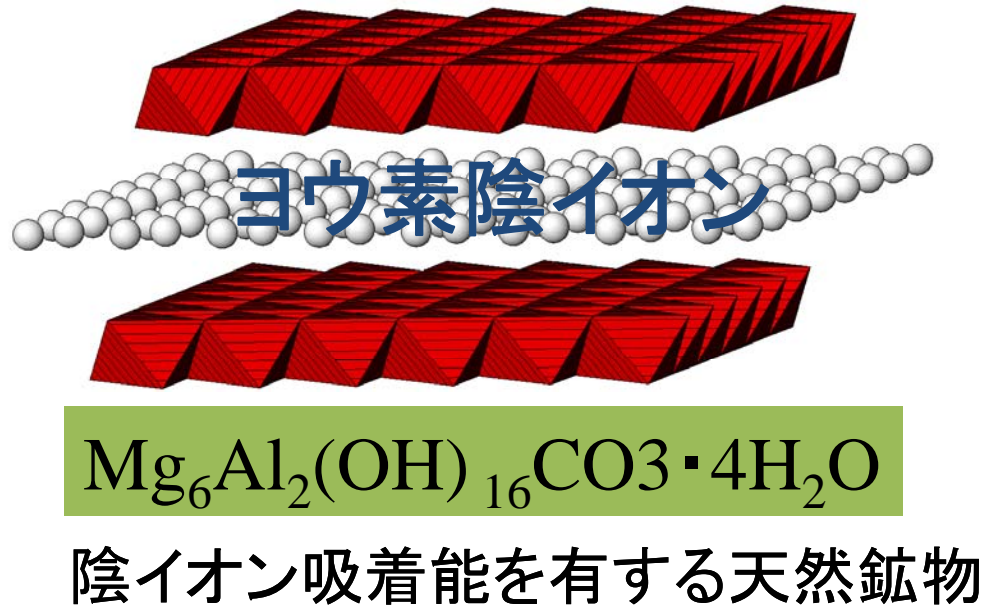


## 島根県 銅ヶ丸鉱山跡

江津市の中心部東方約35km

石見銀山東方約20km

鉱石鉱物：黄銅鉱 ( $\text{CuFeS}_2$ )、  
閃亜鉛鉱 ( $\text{ZnS}$ )



鉱山廃水(弱酸性)

$\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$

河川水  
雨水

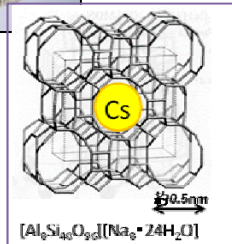
中和

層状複水酸化物沈積



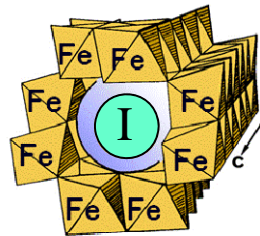
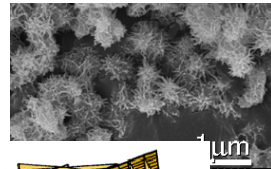
# 天然鉱物等の無機材料を利用した除染技術

モルデナイト、スメクタイトなどの天然鉱物および高秩序メゾポーラス材料: Csの選択的回収・除去



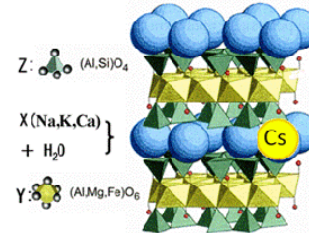
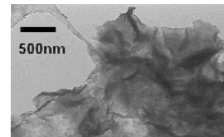
モルデナイト

ゼオライト  
ナノポーラス材料  
炭化物



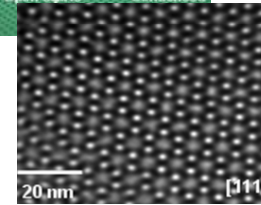
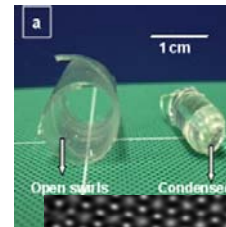
シュベルトナマイト

鉄水酸化物  
磁性体マグネタイト



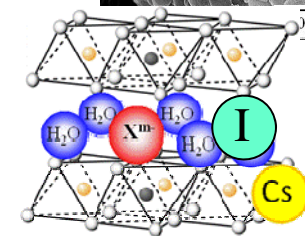
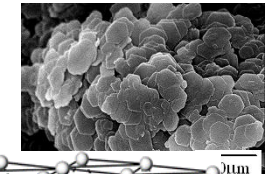
スメクタイト

層状ケイ酸塩系  
粘土鉱物



メゾポーラス材料

表面修飾Si系  
メゾポーラス材料



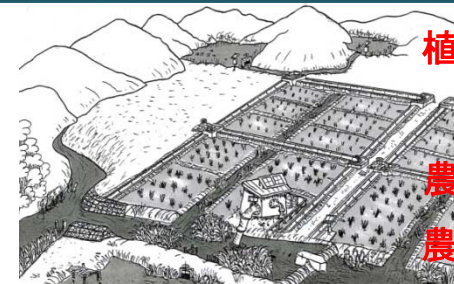
層状複水酸化物

金属水酸化物

農地土壌を想定した環境下(各種土壌成分の濃度、水分量、温度範囲、pH等)でのセシウム等の元素の吸着・除去特性を計測

形状制御・複合化などによる様々な回収・除去システムへ適用

シート状・繊維状・ビーズ状など  
磁気回収可能システムなど



植物への吸収阻害

農業排水浄化  
農業用水浄化

土壌等の環境中放射性セシウム対策に貢献



ご清聴ありがとうございました

