

# 植物が放射性物質を蓄積する仕組みを 明らかにする

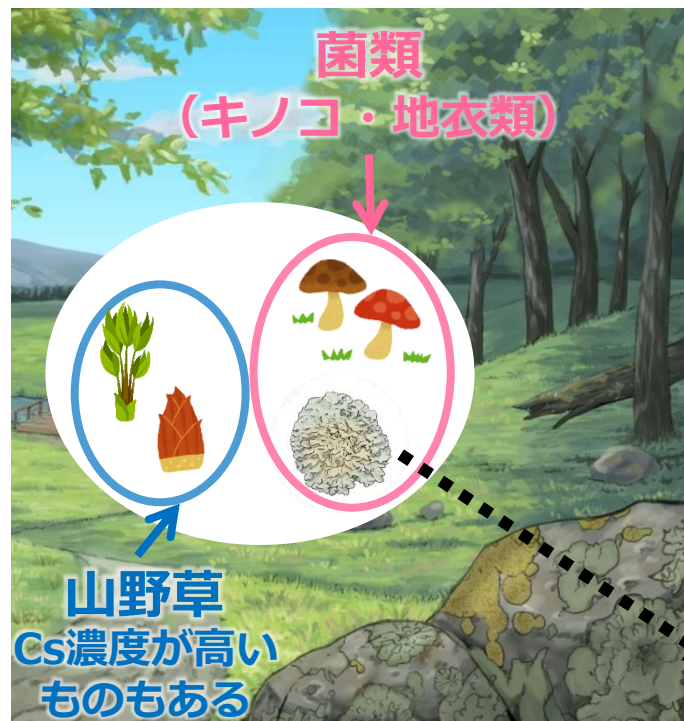
**土肥 輝美**

廃炉環境国際共同研究センター(CLADS)  
環境影響研究ディビジョン 環境分析研究グループ

一部のキノコや山野草の放射性セシウム濃度が下がらないのはなぜか。  
キノコと同じ菌類「地衣類」中の放射性セシウムが保持されるメカニズムを調べた。

## キノコや山野草の研究がなぜ難しいのか？

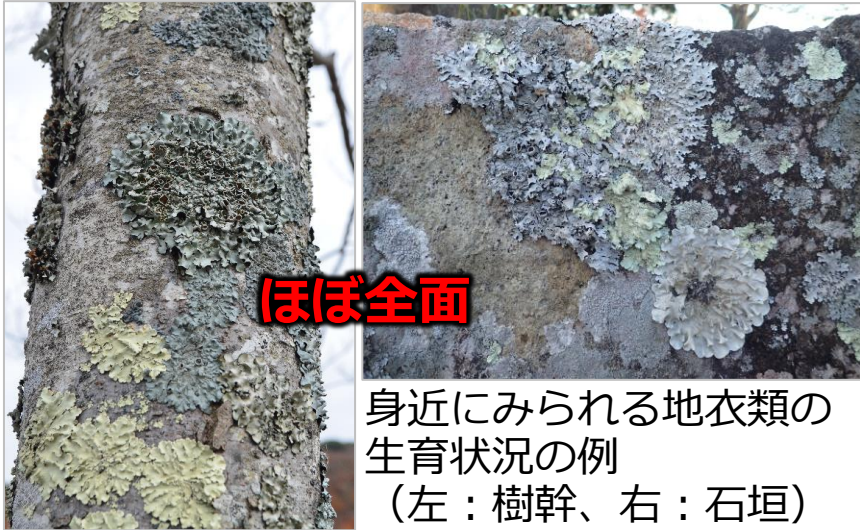
	山野草 (維管束植物)	キノコ (子実体)	地衣類
系統	緑色植物	菌類	菌類
採取時期	目的による	種・環境条件による	通年
保管方法	冷蔵 / 冷凍	冷蔵 / 冷凍	常温可



木の幹や石碑など身近に生育し、  
試料の取扱いが簡単

地衣類 (ウメノキゴケの仲間) に着目

地衣類は、世界中でみられる身近な生き物で、寿命が長い。  
水分や無機物の取り込み経路がシンプルで調べやすい。



身近にみられる地衣類の  
生育状況の例  
(左：樹幹、右：石垣)

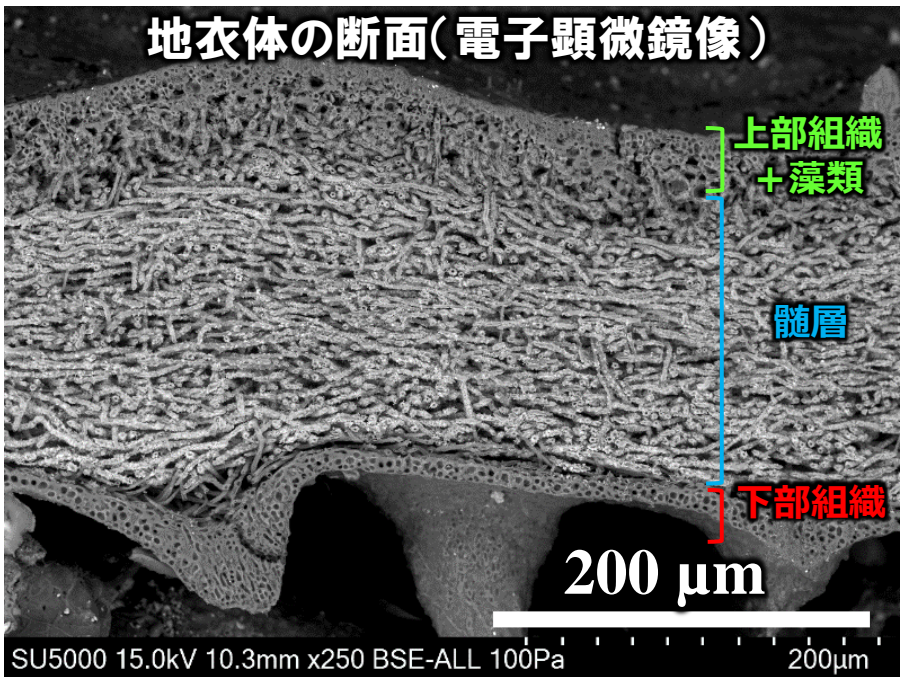
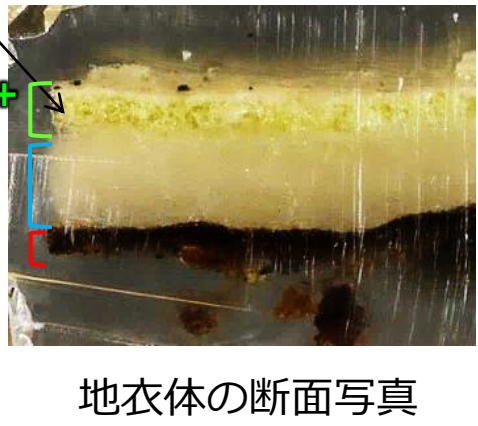
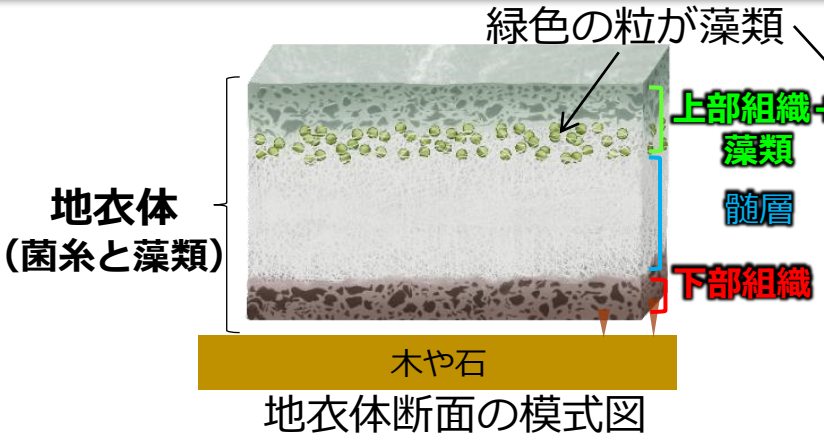
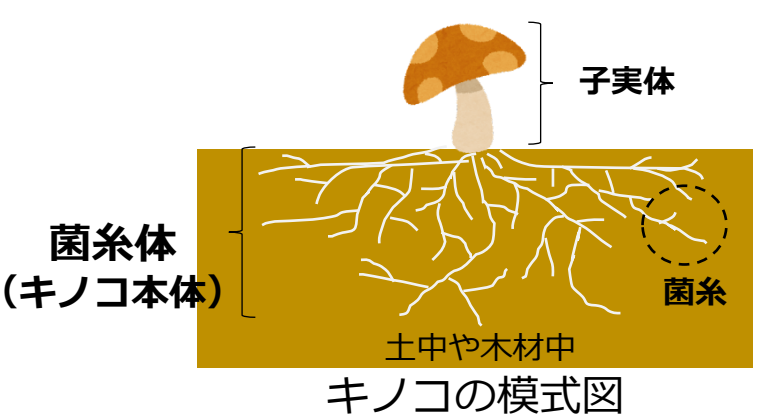
地衣類は、視界に（ほぼ）必ず入っている。

- ・「地衣類」とは、藻類と共生する菌類。
- ・ゆっくり成長する（年間数mm程度）。



	キノコ（子実体）	地衣類
寿命	> 1年 ( > 1週間)	数十年以上
生命単位	菌糸細胞	菌糸細胞
水分、無機物の取り込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土中から吸収（菌根菌）</li> <li>・枯れ木等を分解、吸収（腐生菌）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大気中から吸収</li> </ul>

取り扱える部分全体（地衣体）が菌糸（と藻類）で構成されている。  
 チョルノービリ事故後までに放射性セシウムを蓄積しやすいことが明らかになった。



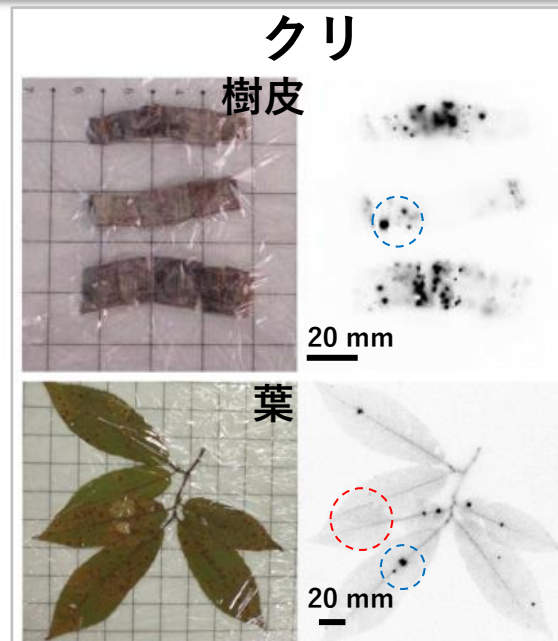
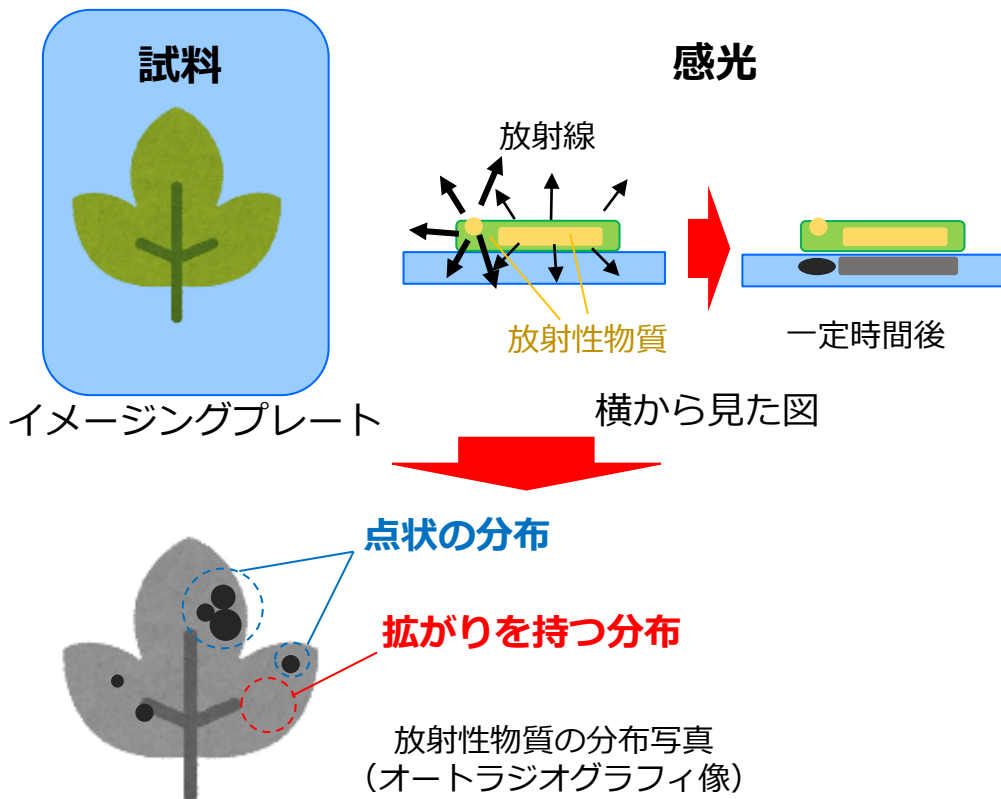
- ・キノコも地衣類も、放射性セシウム濃度が高い。
- ・同じ菌類の地衣類が、「どこ」で「どのように」放射性セシウムを保持するかを調べる。

地衣類を通してセシウム蓄積を理解するための  
 手法開発 (本発表)

キノコ等のセシウム蓄積の理解へ繋げる (将来)

オートラジオグラフィーで、福島県内の植物や地衣類中の放射性セシウムの分布を調べたところ、「点状の分布」と「拡がりを持つ分布」が示された。

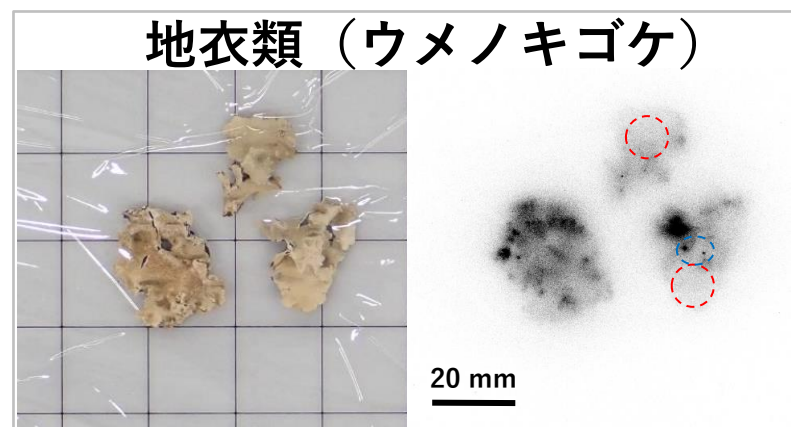
## 放射性セシウムの分布を調べる方法 (オートラジオグラフィ)



(上) 2014年 2月に採取された試料

(下) 2013年 10月に採取された試料

[Sasaki Y. *et al.*, 2016] から転載・編集



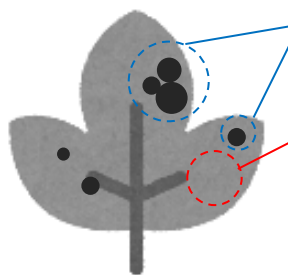
2013年 2月に採取された試料 [Dohi T. *et al.*, 2022]

オートラジオグラフィーで、福島県内の植物や地衣類中の放射性セシウムの分布を調べたところ、「点状の分布」と「拡がりを持つ分布」が示された。

## 放射性セシウムの分布を調べる方法 (オートラジオグラフィ)



イメージングプレート



**少なくとも2つの分布**

**点状の分布**  
粒子状



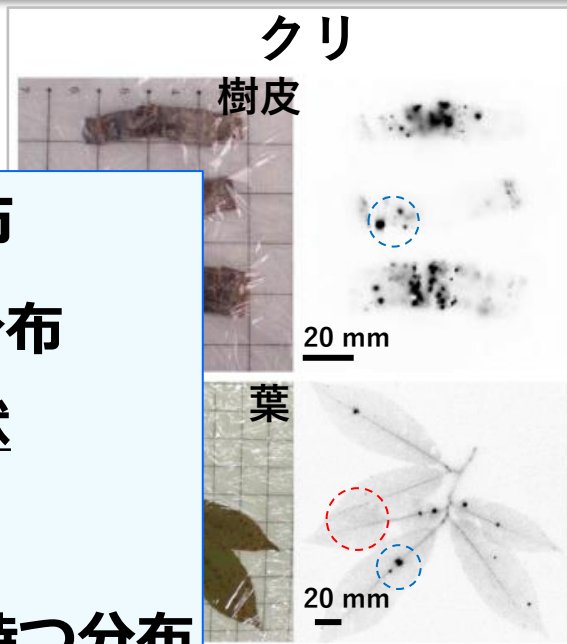
[Dohi et al., 2019]から転載・編集

**拡がりを持つ分布**  
イオン状



[Soudek et al., 2006]から転載・編集

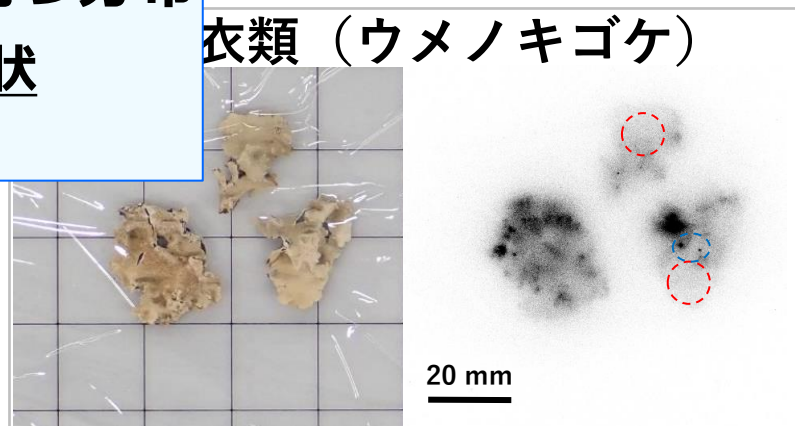
放射性物質の分布写真  
(オートラジオグラフィ像)



(上) 2014年 2月に採取された試料

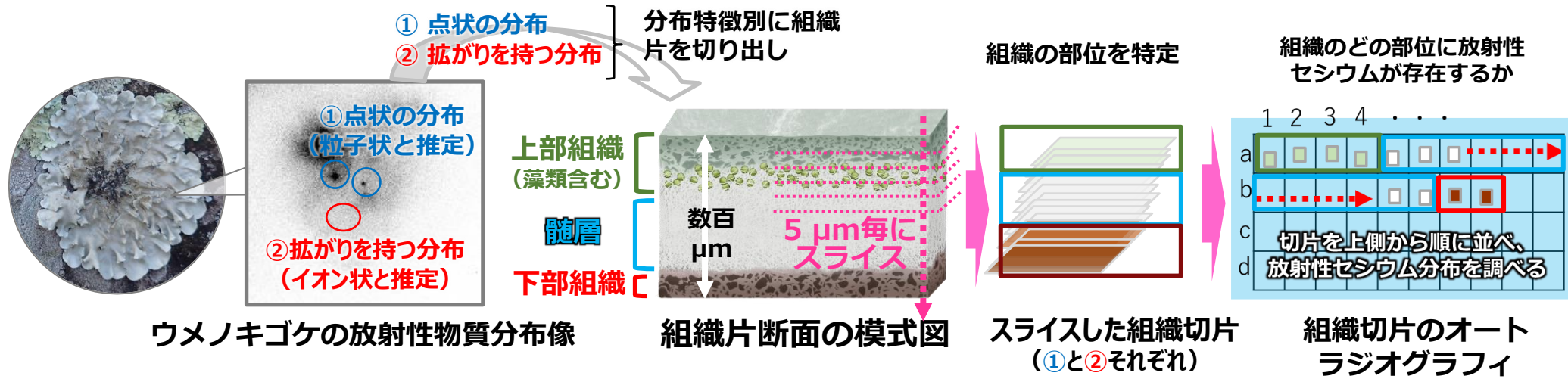
(下) 2013年 10月に採取された試料

[Sasaki Y. et al., 2016]から転載・編集



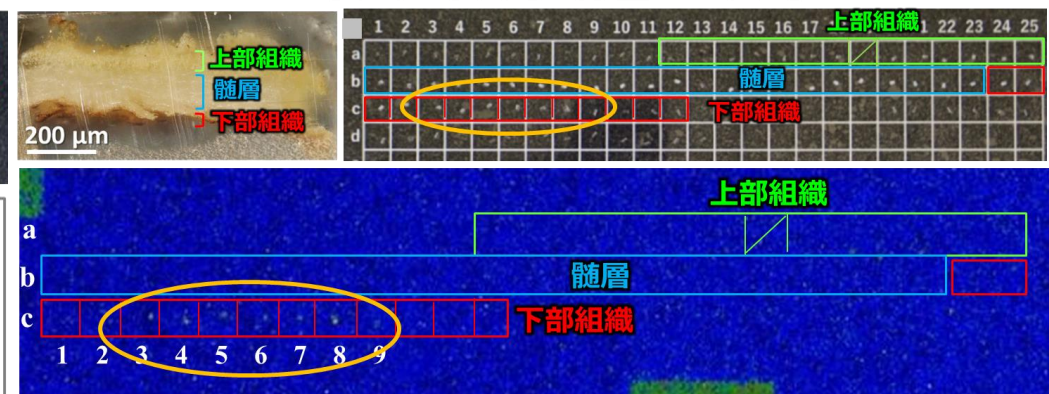
2013年 2月に採取された試料 [Dohi T. et al., 2022]

前処理法を工夫し、オートラジオグラフィと色の違いも識別できるデジタルマイクロスコープを組み合わせて、生体組織中の放射性セシウムの詳細位置を明らかにした。

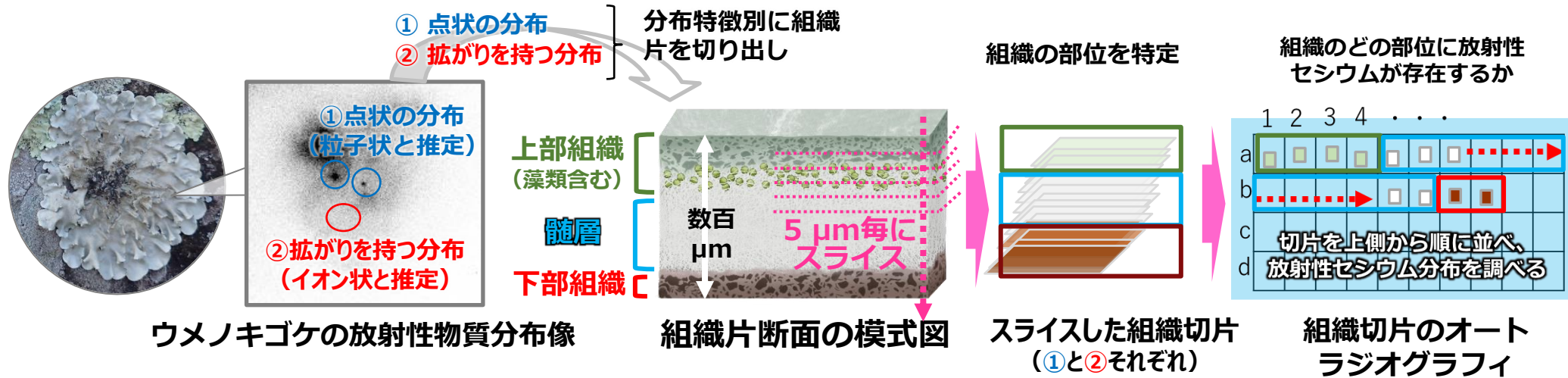


## 「①点状の分布」が存在した場所 (粒子状の放射性セシウム)

## 「②拡がりを持つ分布」が存在した場所 (イオン状の放射性セシウム)

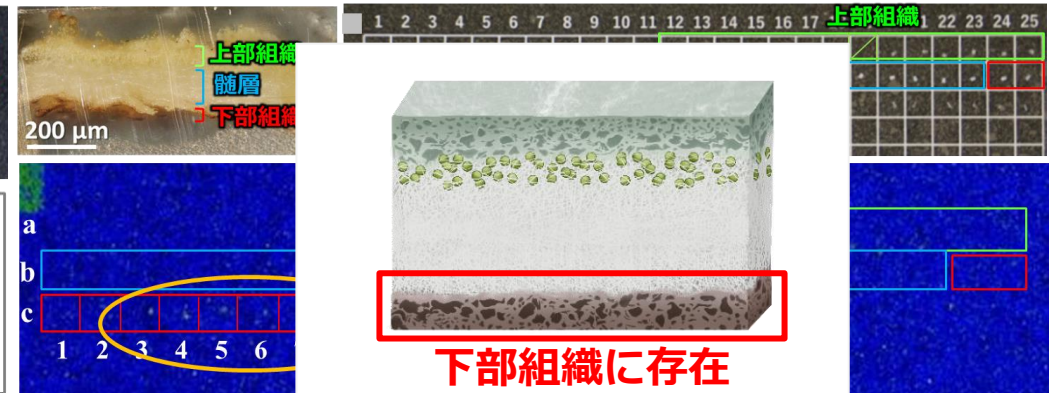
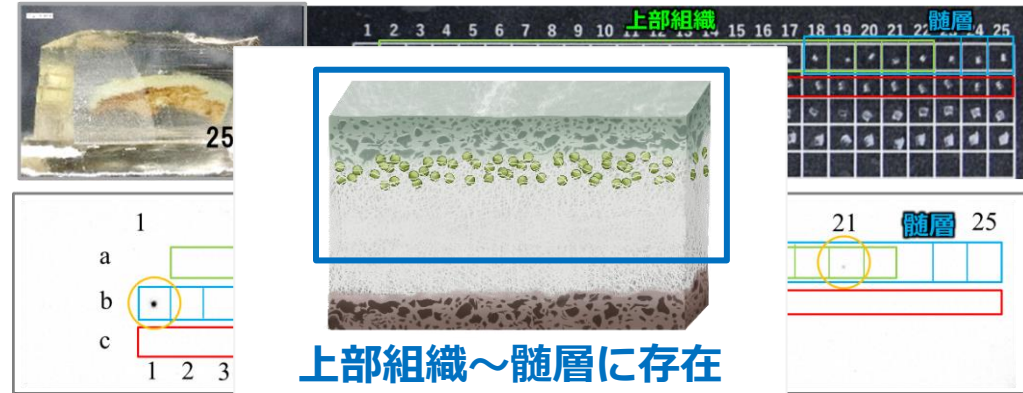


前処理法を工夫し、オートラジオグラフィと色の違いも識別できるデジタルマイクロスコープを組み合わせて、生体組織中の放射性セシウムの詳細位置を明らかにした。



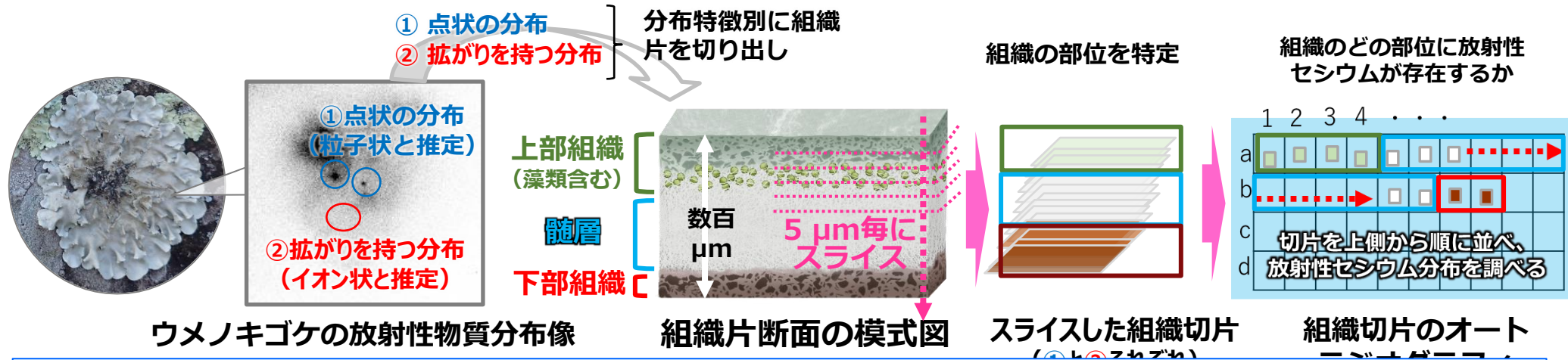
「①点状の分布」が存在した場所 (粒子状の放射性セシウム)

「②拡がりを持つ分布」が存在した場所 (イオン状の放射性セシウム)





前処理法を工夫し、オートラジオグラフィと色の違いも識別できるデジタルマイクロスコープを組み合わせて、生体組織中の放射性セシウムの詳細位置を明らかにした。

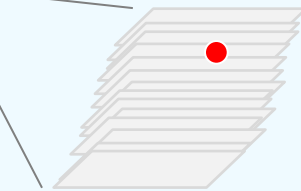


## 例えるなら・・・

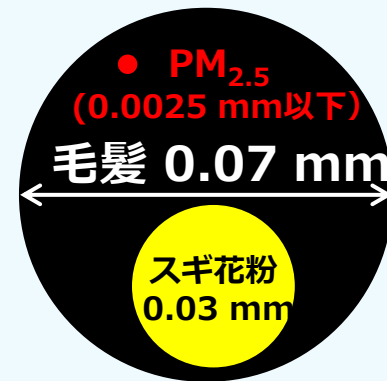
- 名刺の内部からPM<sub>2.5</sub>を見つけ出す



名刺 (厚さ 0.2 mm)

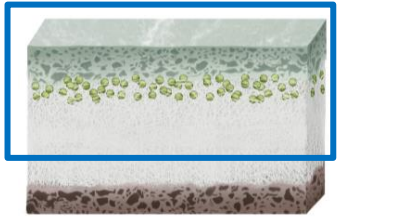


40枚にスライスしてPM<sub>2.5</sub>を見つける

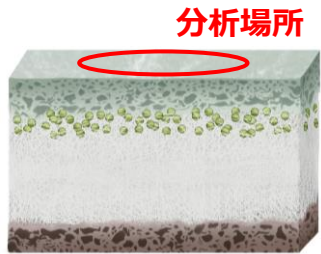


[参考：環境再生保全機構ウェブサイト]

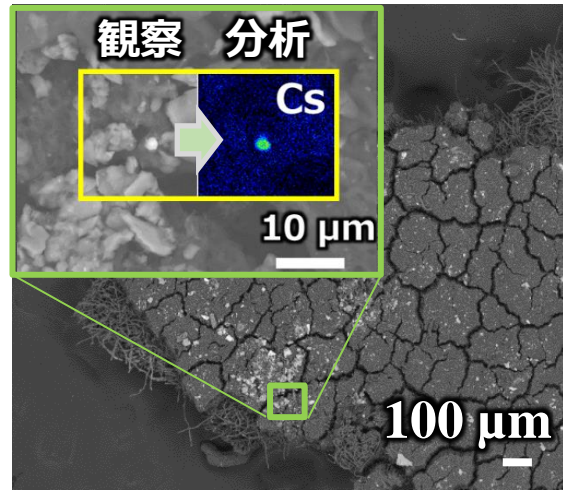
更に電子顕微鏡も活用することで、粒子状の放射性セシウムは、地衣類の成長にともなって表面組織への埋没や組織内部への侵入が起こり、長期間保持されると推定された。



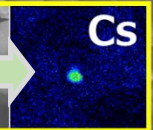
上部組織～髓層に存在



分析場所

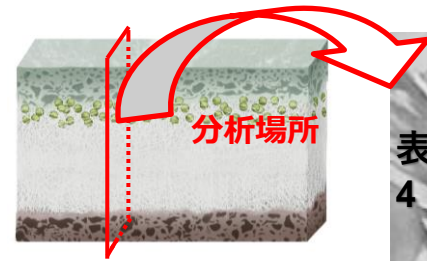


観察 分析

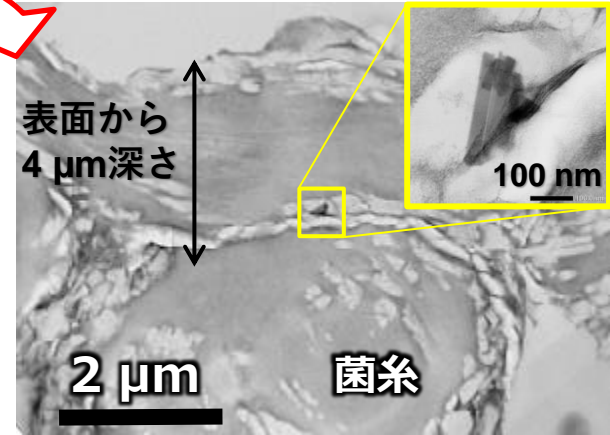


10 μm

100 μm



分析場所



表面から  
4 μm深さ

2 μm

菌糸

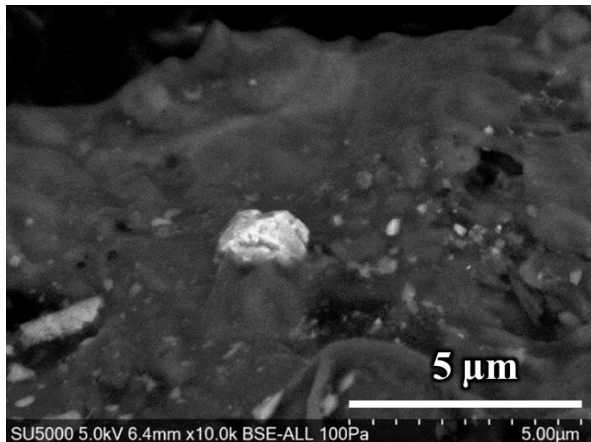
100 nm

組織内部に微小粒子が存在  
[Dohi T. et al., 2023]

電子顕微鏡で分析した地衣類表面と粒子状セシウム

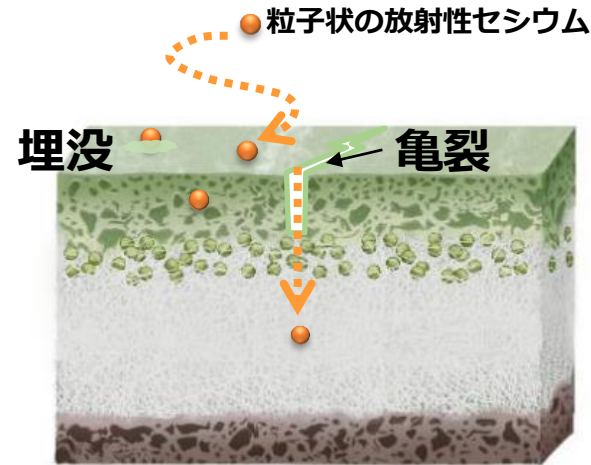


同程度の大きさの土壌系粒子が組織に埋没した様子



5 μm

[Dohi T. et al., 2022]

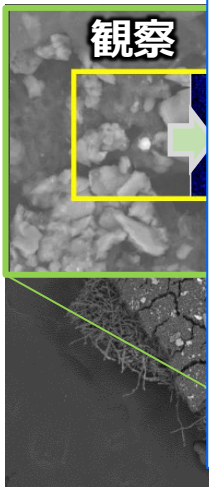
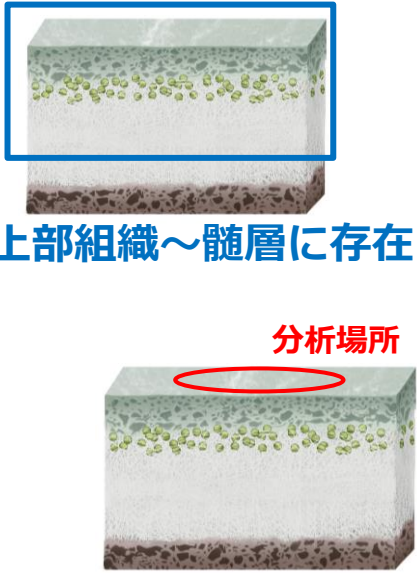


● 粒子状の放射性セシウム

埋没

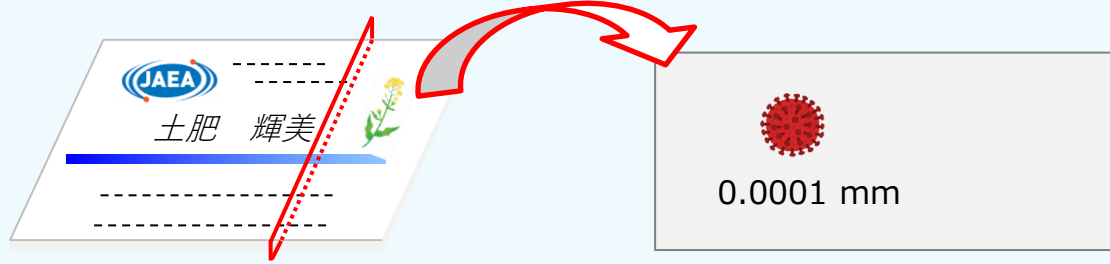
亀裂

更に電子顕微鏡も活用することで、粒子状の放射性セシウムは、地衣類の成長にともなって表面組織への埋没や組織内部への侵入が起こり、長期間保持されると推定された。



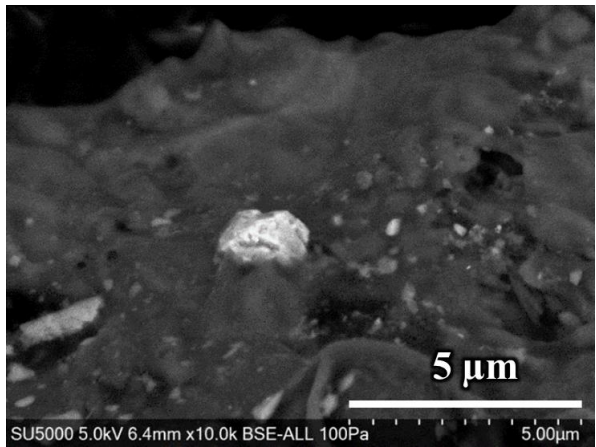
例えるなら・・・

- 名刺断面中の新型コロナウイルスを分析する



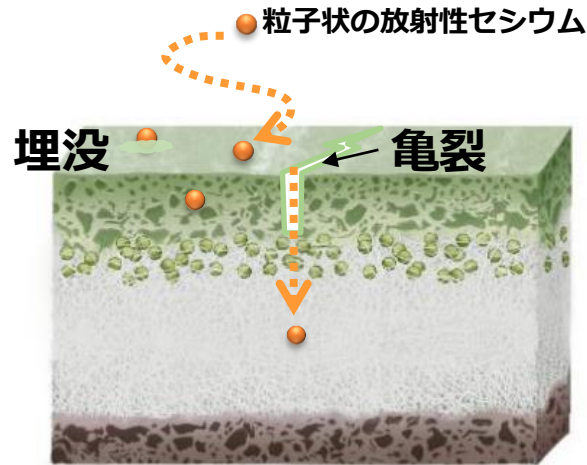
[Dohi T. et al., 2023]

電子顕微鏡で分析した地衣類表面と粒子状セシウム

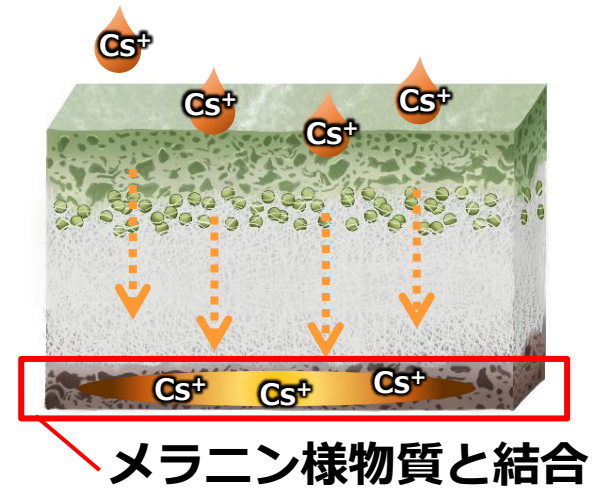
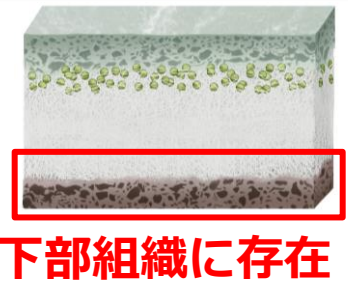


同程度の大きさの土壌系粒子が組織に埋没した様子

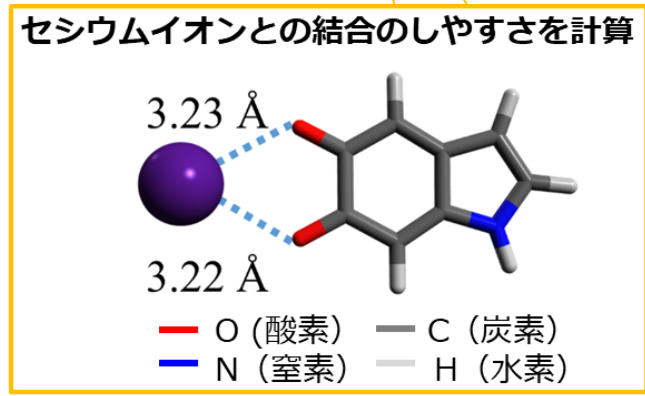
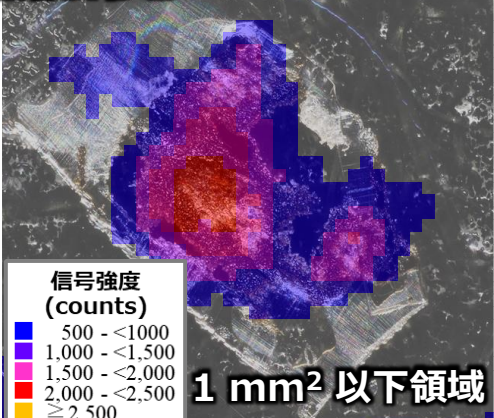
[Dohi T. et al., 2022]



微細領域のオートラジオグラフィ像から得られた情報と計算化学を活用し、イオン状の放射性セシウムは、下部組織のメラニン様物質に安定的に保持されていると推定された。

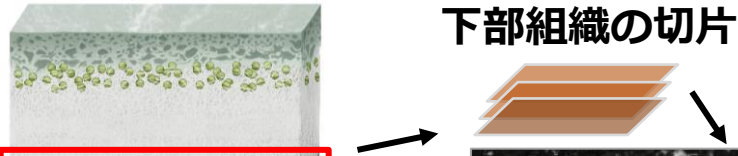


放射性セシウムの分布像との重ね合わせ



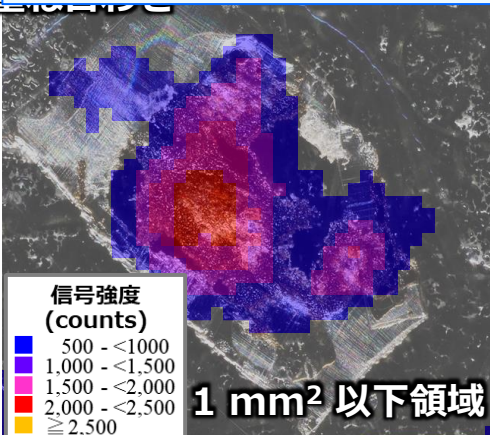
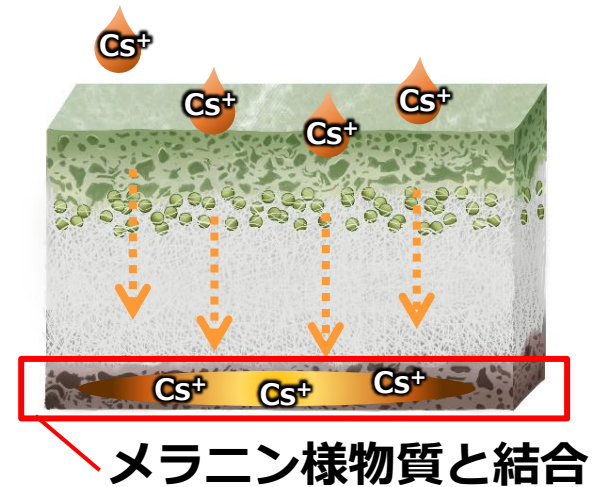
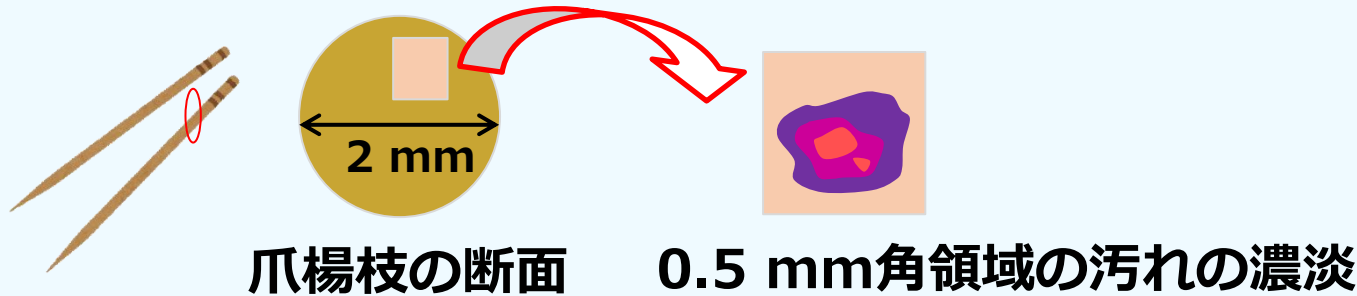
メラニン (基本構造) の一部とセシウムの結合の模式図

微細領域のオートラジオグラフィ像から得られた情報と計算化学を活用し、イオン状の放射性セシウムは、下部組織のメラニン様物質に安定的に保持されていると推定された。

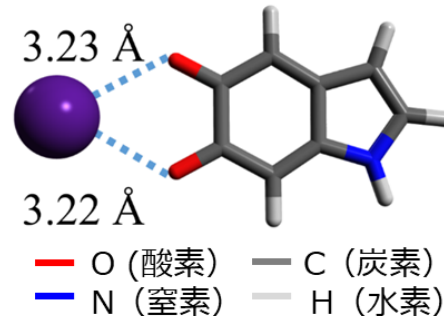


例えるなら・・・

- 爪楊枝断面の一部分の汚れの塩分濃度を視る

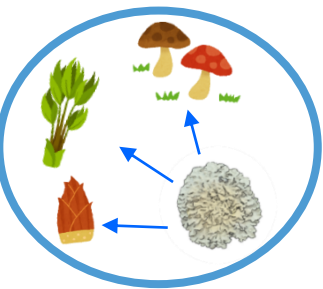


セシウムイオンとの結合のしやすさを計算



メラニン（基本構造）の一部とセシウムの結合の模式図

地衣類を例に、生体組織中の微小な領域での放射性セシウムが、「どこ」で「どのように」保持されているかを調べられるようになった。



## どこ？

ミクロな領域での放射性セシウムを分析する技術

- 菌糸、組織中やその周辺でセシウムはどこに存在するか？

## どのように？

メラニン様色素とセシウムが結合している可能性

- 類似した物質を持つか？
- セシウムとの関連性は？

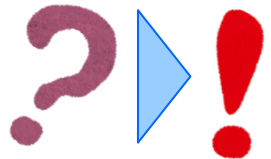
キノコや山野草中の放射性セシウム濃度が下がらない原因究明へ貢献したい。

- ・ 放射性物質の保持の仕組みの理解
- ・ 放射性物質を**保持させない仕組み**の開発
- ・ **微小な物質** (PM<sub>2.5</sub>やウイルスレベル) **の特徴**を調べる技術
- ・ 材料としての地衣類の活用

環境動態・廃棄物分野での放射性物質移行の課題解決へ。

地衣類をレコーダーとして、微小物質の特性や起源を調べる学術的課題への挑戦へ。

「なぜ？」から「そうだ！」へ変わる瞬間に立ち会えることが魅力。





ご清聴有難うございました



*Thank you for your attention!*