

次世代型植物工場の “ソイルブロック”改良に向けて

<会社概要>

未来の美味しいを創る。

 BUTAIFARM

食と人と農業の未来のために、

持続可能な次世代への食糧供給システムを構築。

美味しい食の安心、安全、安定を「世界」に向けて創り続ける

未来の美味しいを創る企業です。



■所在地	仙台市若林区日辺字田中11番地
■代表取締役社長	針生 信夫
■設立	有限会社 舞台ファーム 2003年7月11日 株式会社 舞台ファーム 2004年8月20日
■売上高・資本金	売上高:31.1億円<R5年6月度見込>(グループ全体:44.7億円) 資本金:5,000万円
■従業員	112名 (グループ全体:208名)
■業務内容	野菜・お米の生産・販売 農産物加工・販売(カット野菜/ホール野菜) 農業経営に関するコンサルティング
■取得資格	全省庁統一入札参加資格(関東・甲信越地域、東北地域) 仙台市中央市場青果市場売買参加者資格(青果部 第2-111号) 米卸売販売資格、農業生産法人資格、認定農業法人資格 仙台市飲食店営業許可(仙台市(若保衛)指令 第0289号) エコファーマー認定資格
■関連会社	(株)みちさき : 水耕栽培(トマト、葉物類) (株)旬の風 : 宅配寿司「銀のさら」店舗運営 e-フレッシュ(株) : カット野菜・業務用野菜 (一社)ステージパス : 障がい者就労継続支援 舞台アグリノベーション(株) : 精米事業・玄米流通 福島舞台ファーム(株) : コメを中心とした農産物生産・流通

<沿革>

- 1720年 約300年前、初代針生家にて農業を開始
- 1982年 江戸時代から続く農家の15代目として農業をスタート
- 1988年 6次産業化に着手(地元スーパーとの直接取引を開始)
- 2003年 有限会社舞台ファーム設立。翌2004年株式会社に変更
- 2005年 業務用カット野菜の事業を開始
- 2009年 本社工場竣工。加熱用カット野菜事業、精米事業を拡大
- 2011年 東日本大震災による津波にて、備蓄米の流出など甚大な被害
- 2013年 舞台アグリノベーション株式会社を設立(アイリスオーヤマとの共同出資事業)
株式会社みちさき、障がい者支援団体「一般社団法人ステージパス」を設立
「生食用カット野菜事業」を開始
- 2014年 舞台アグリノベーション亘理精米工場竣工
- 2016年 東京農業大学生物産業学部と包括連携協定を締結
- 2017年 茨城県境町と包括連携協定を締結
- 2018年 福島県浪江町と包括連携協定を締結
- 2019年 福島県双葉町と包括連携協定を締結
福島舞台ファーム株式会社を福島県浪江町に設立
- 2021年 宮城県美里町に「美里グリーンベース」竣工
福島県浪江町に「ラック式ントリーエレベーター」竣工
福島県南相馬市と包括連携協定を締結
- 2024年(予定) 茨城県境町に集荷・物流拠点を建設予定



<美里グリーンベースについて>



- 名称： 美里グリーンベース
- 場所： 宮城県美里町中塚地区
- 面積： 建屋5.1ha / 敷地7.6ha
- 総工費： 約34億円
- 生産物： リーフレタス
- 光源： 天然光・LED併用（次世代型）
- 生産量： 最大1日3~4万株を出荷
- 竣工： 2021年10月竣工
- その他： J-GAP 2022年10月取得
持続可能な「食と農」のため
様々なSDGsの取組みを实践

宮城県美里町との連携により 地域農業を活性化することを使命に



気象要件が安定していることからハウス栽培に適しており、かつ東北自動車道も近く交通の便も良い宮城県美里町。

美里町と舞台ファームは、5年前から「集落営農組織の法人化支援事業」や農業法人の経営者を支援する「農業経営塾」などの取組を通じ、地域農業の活性化に努めてきました。BMS次世代型生産プラントの建設により、更なる農業の活性化、ひいては地域経済の好循環を図っていきます。



舞台ハイブリッド 土耕栽培とは?



「舞台ハイブリッド土耕栽培」とは、従来の土耕栽培と水耕栽培を掛け合わせた生産方法。

舞台ファーム独自の「土を使ったソイルブロック」を培地とすることで、自然栽培や有機栽培に近い環境づくりが可能となります。

根張りが良いことで肉厚で遅しい野菜を生産でき、同時にスポンジなどの異物混入リスクを軽減。

スポンジ等を使った栽培が主流である植物工場に対し、舞台ハイブリッド土耕栽培は地球環境と植物の生育環境を同時に考えた、全く新しい生産方法となります。



育苗期～初期(播種～25日)



A.ソイルブロック

B.スポンジ

初期生育では、Bの方が早く生長するもののよく見るとAの方が高さは低いものの、葉が厚く密集している。

中期(26日～40日)



A.ソイルブロック

B.スポンジ

生育丈はAとBで同程度であった。一方でBでは葉先の黄化や焼けなど生理障害が散見される結果となった。両培地の保水量・保肥量の違いにより、間断灌水に伴う水分・養分吸収の度合いが違っていると推測。

後期(41日～75日) <Gリーフ>



左:B.スポンジ 右:A.ソイルブロック

Bは黄化、焼けが見られたがAは見られない。
平均全体g数=A:433g、B:334g
平均葉のサイズ=A:21.0cm、B:18.5cm
明らかにAの方が品質良で、大きく生長。

A



B

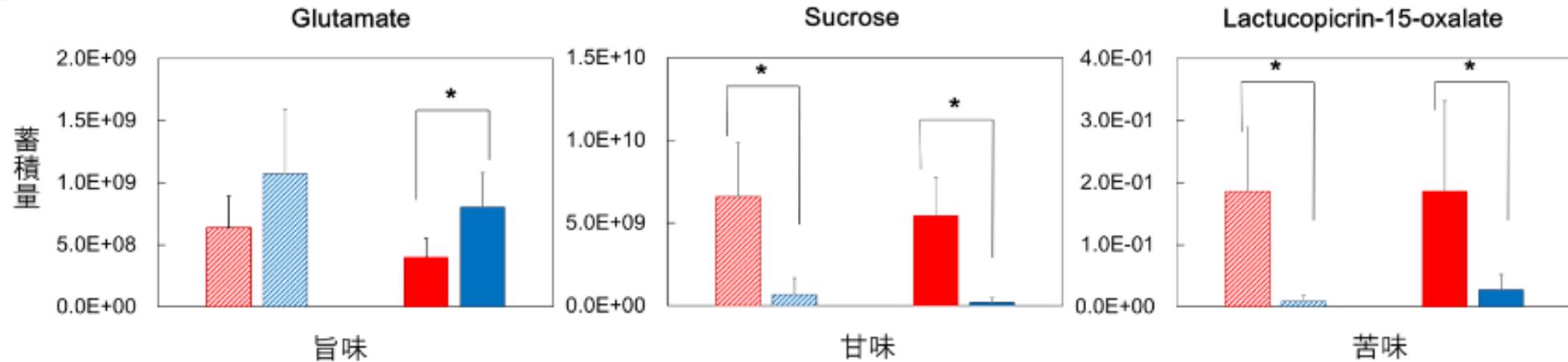


図2. 栽培環境の違いがサニーレタスの見た目や味に及ぼす影響

(A)異なる栽培環境下で栽培したサニーレタスの表現型。(B)メタボローム解析の結果から、栽培条件の違いで異なる蓄積パターンを示した味に関連した代謝物の一例を示しました。赤色の棒グラフは土壌栽培、青色の棒グラフは植物工場栽培されたサニーレタスの解析結果です。斜線がブラックローズ、塗りつぶしがレッドファイヤーを示します。縦軸は各代謝物の蓄積量となっています。

何を知りたいのか？何が分かるの良いのか？

何を知りたいのか

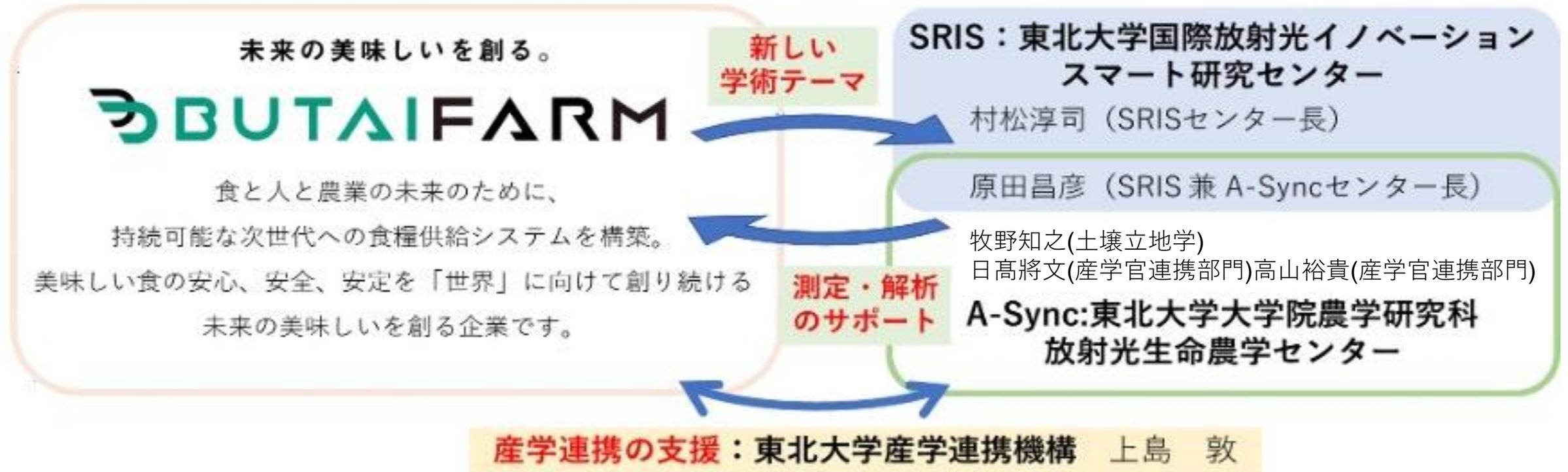
ソイルブロックの中の根の様子を調べて、
根が大きく成長する要因を科学的に解明したい。

そのためには

何が分かるよいか

ソイルブロックの中にあるままの状態で、根と土
の構造を可視化できるとよい。

<実施体制>



今回の測定で検討したポイント

- ・ サンプル側の条件検討（水分）
- ・ 放射光側の条件検討（露光時間や測定手法など）

事前検討が必要なこと

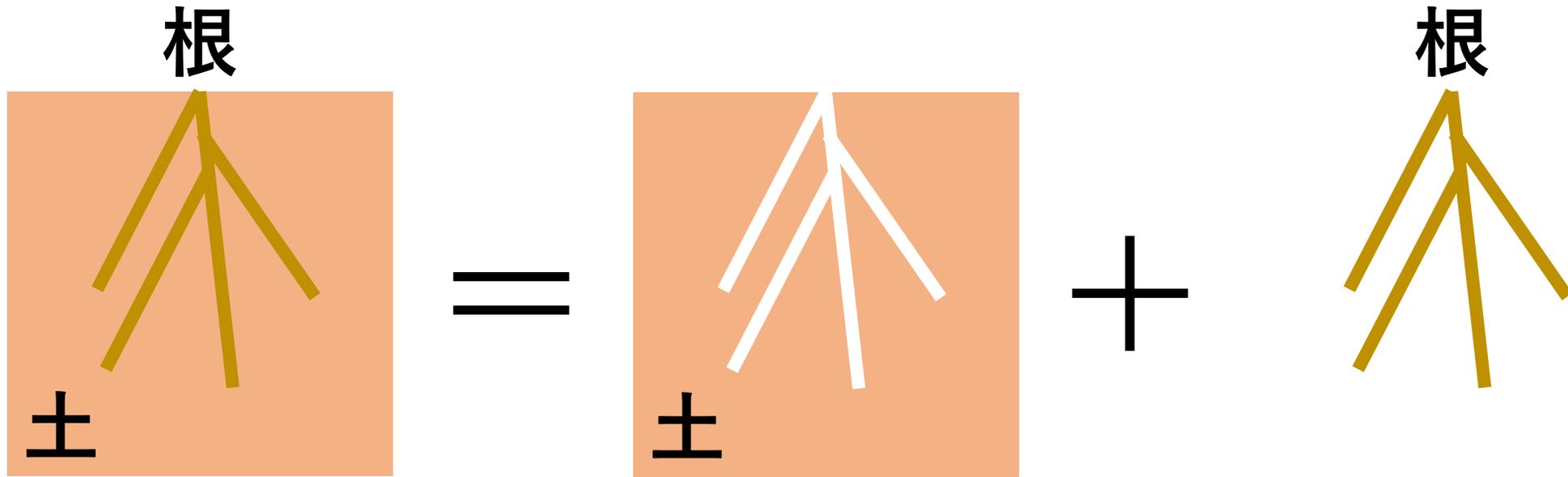
- ① 視野の大きさ（X線CTに供することができるサンプルサイズ）
- ② X線の透過率

① 視野の大きさ (X線CTに供することができるサンプルサイズ)

	SPring-8						SAGA-LS
	産業利用BL	共用BL					
	BL14B2	BL08B2	BL20B2	BL20XU	BL47XU	BL28B2	BL07
視野サイズ	10 mm	1~10 mm	5~300 mm	1 ~ 5 mm	0.1 ~ 1 mm	50 mm	13 mm
分解能*	3 μm	3.1~6.5 μm	10 μm	1 μm	0.1 μm	10~50 μm	10 μm

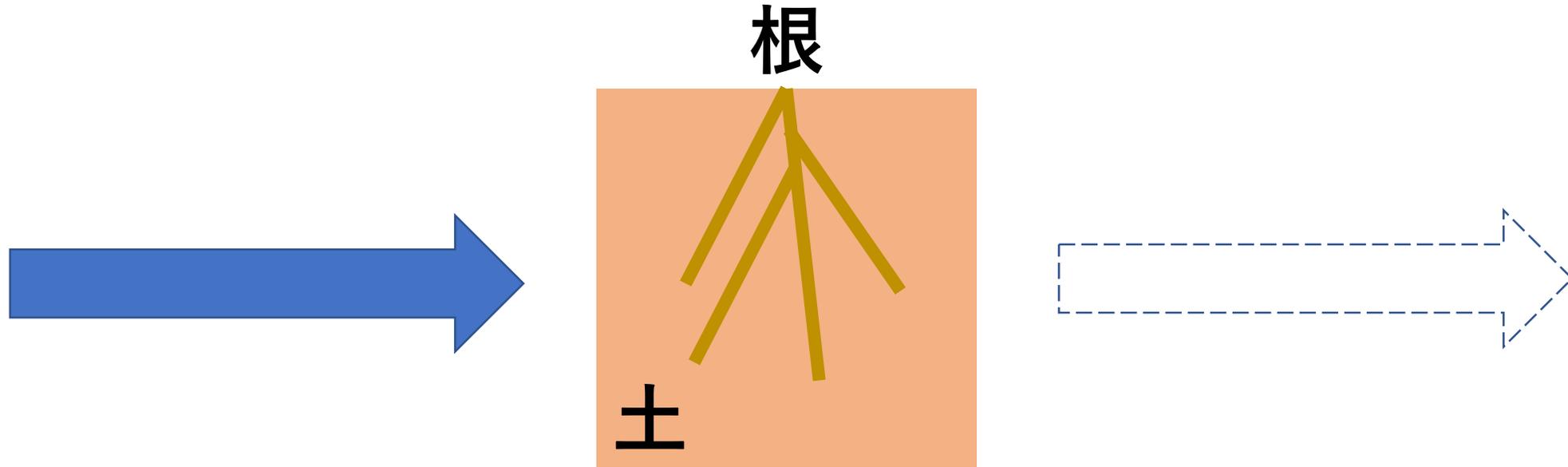
* 分解能はサンプルサイズを1/2000程度

② X線の透過率



土の根の相互作用を調べるためには、
土は土として、根は根として
画像が獲得できなければならない。

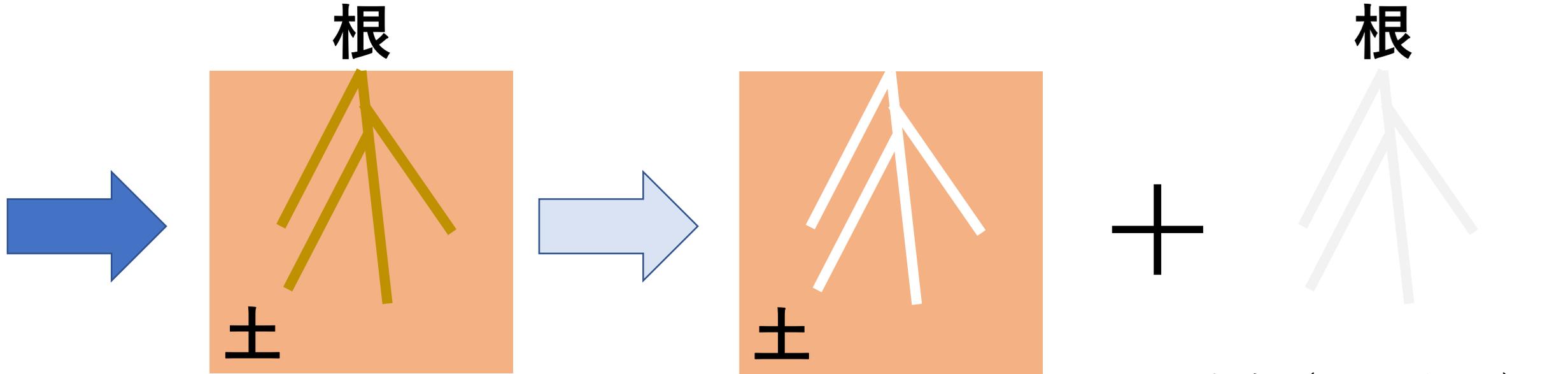
② X線の透過率の問題：土をX線が透過できない？



土の主成分であるアルミニウム（原子番号13）やケイ素（原子番号14）など、原子番号の大きな元素が存在すると、X線が遮蔽される。

② X線の透過率の問題：

高エネルギーのX線では根の画像が得られない？



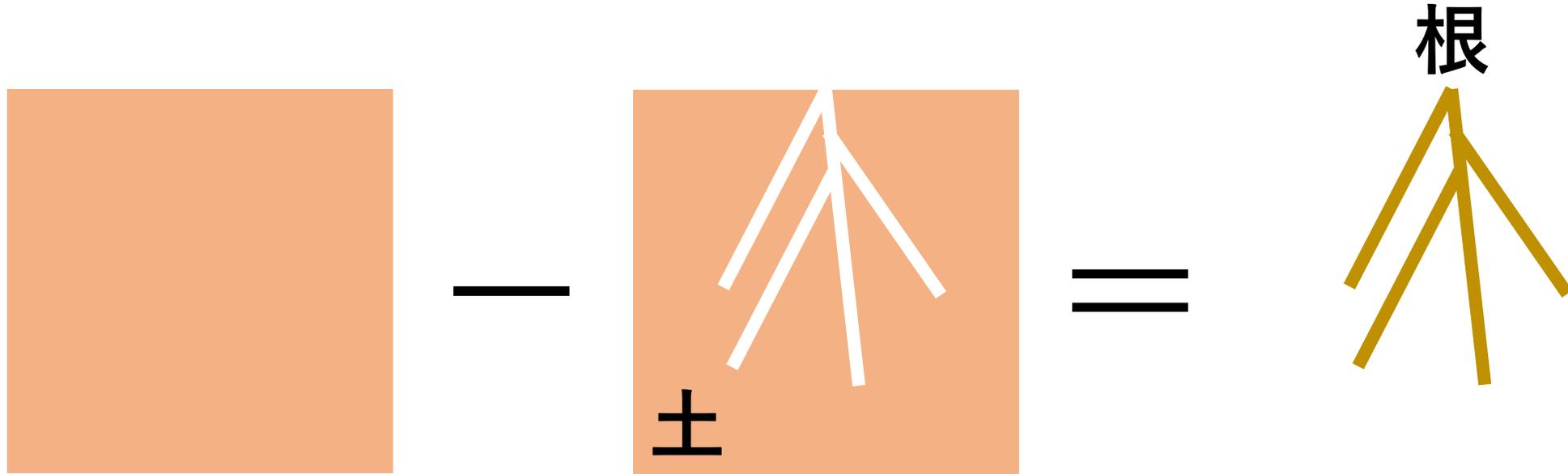
測定に使うX線のエネルギーを高くすると、土を透過できるようになる。

土の部分で吸収されたX線の量が、土の部分の画像として獲得できる。

炭素（原子番号6）
窒素（原子番号7）
酸素（原子番号8）
などの軽元素で構成される根は、X線の吸収量が少なすぎて画像にならない。

② X線の透過率の問題：

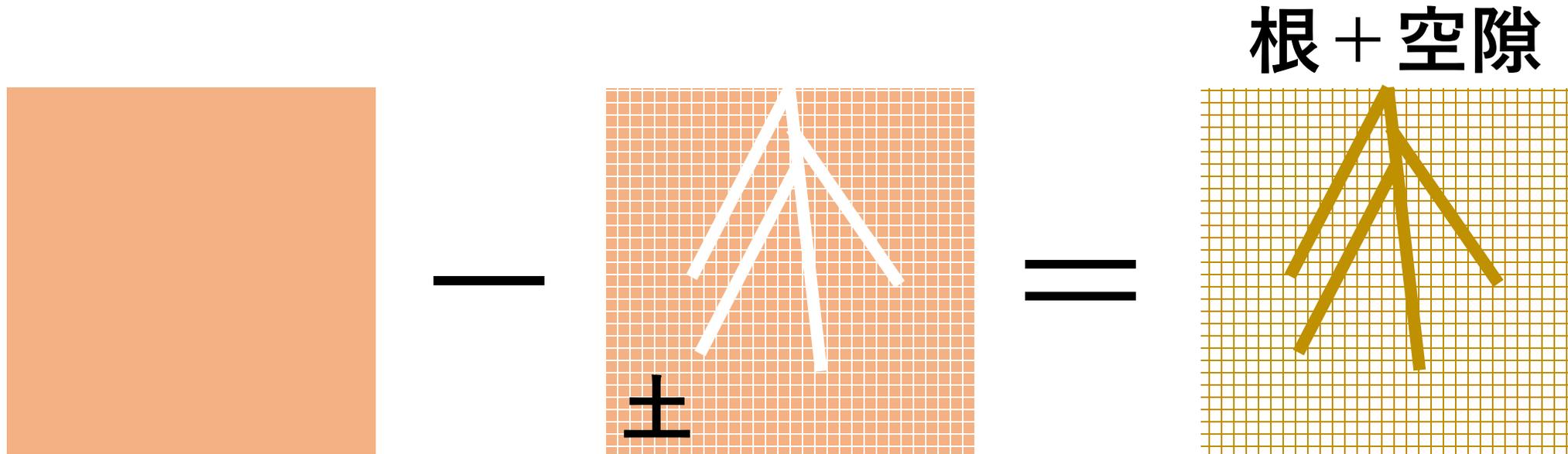
高エネルギーのX線では根の画像が得られない？



土と根が満ちていれば、差し引きで根の部分を見積もることができるかもしれないが・・・

② X線の透過率の問題：

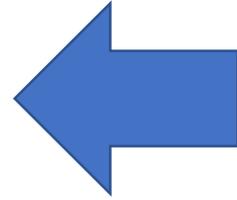
高エネルギーのX線では根の画像が得られない？



土でない部分を根として考えようとする、
土には空隙があるので、
空隙部分と根の部分の区別がつかない。

→ **土の根の相互作用解析は難しい。**

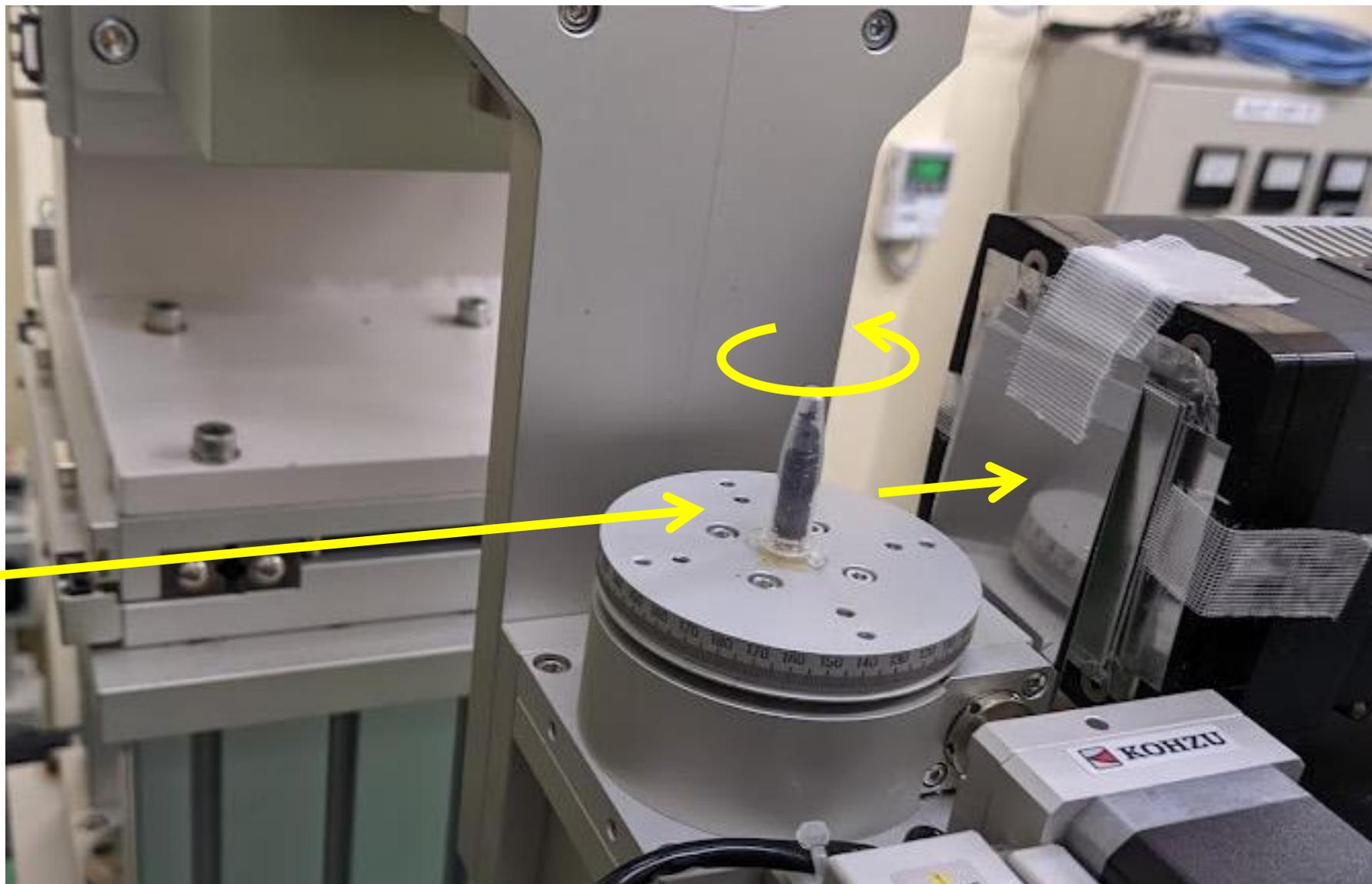
予備測定内容



ソイルブロックを崩して
根と土を充填

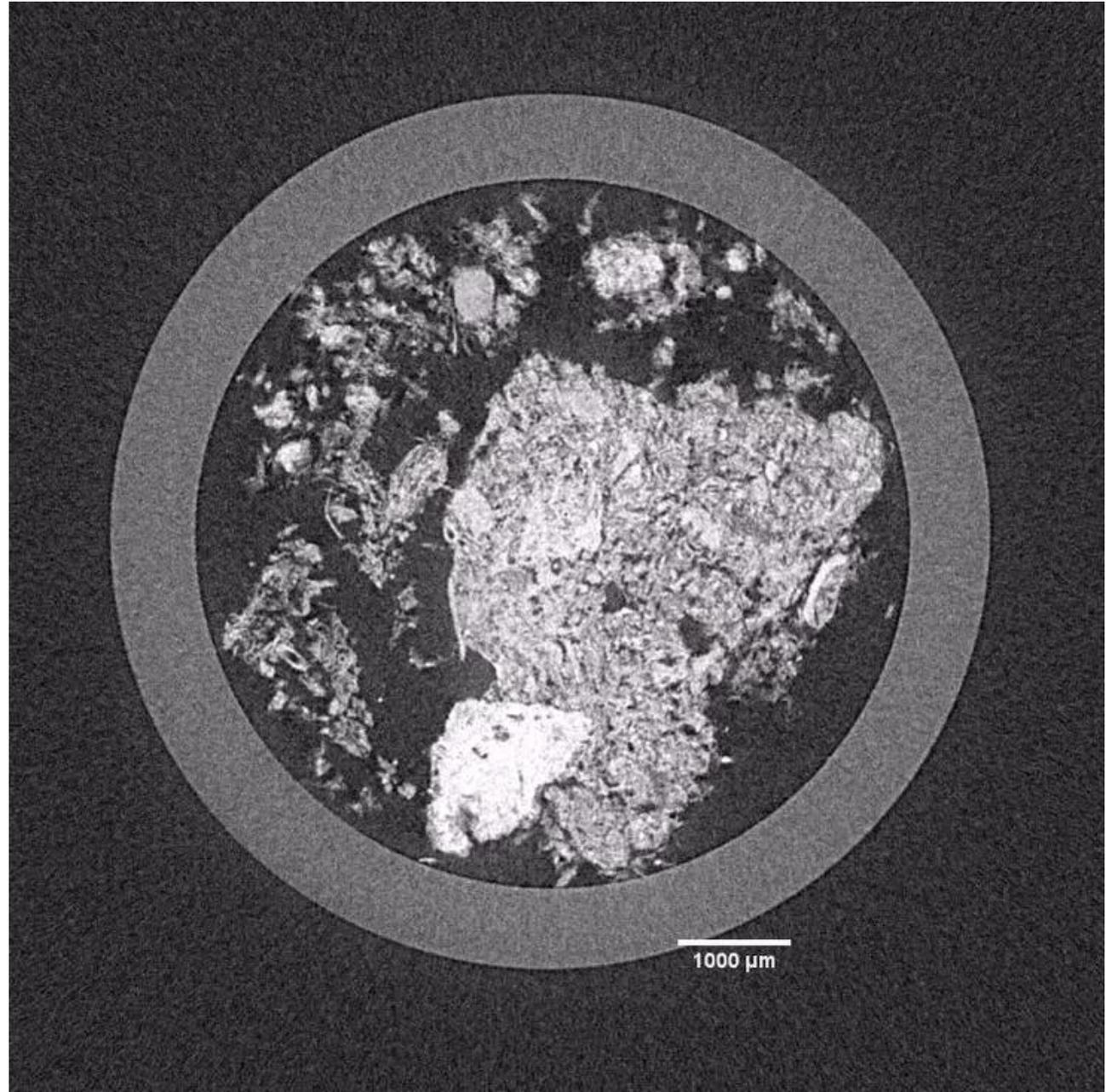
0.5mL容プラスチックチューブ
内径6.5 mm

X線

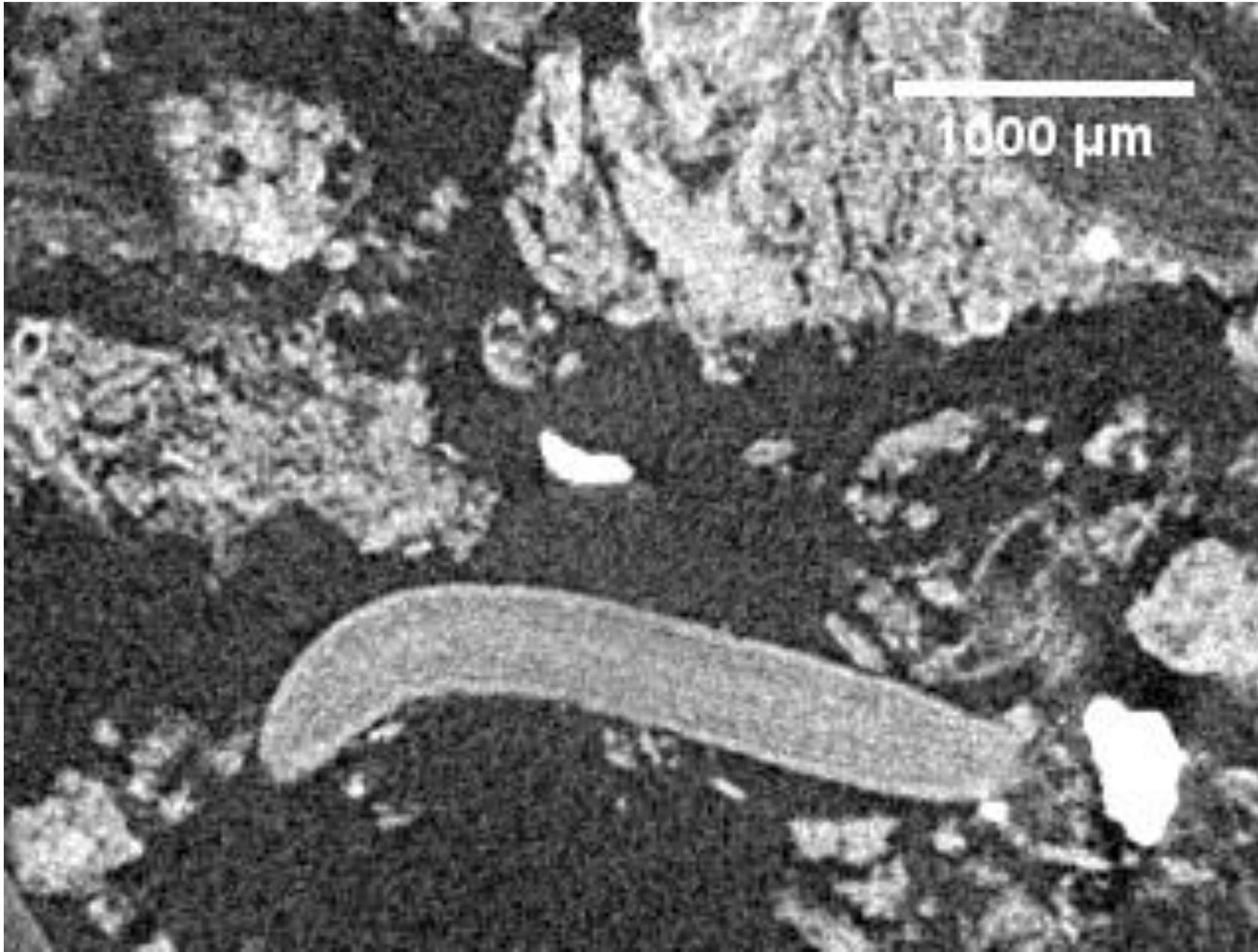


測定結果① 0.5 mLチューブ+ソイルブロック+根

測定エネルギー
20 keV



測定結果① 0.5 mLチューブ+ソイルブロック+根





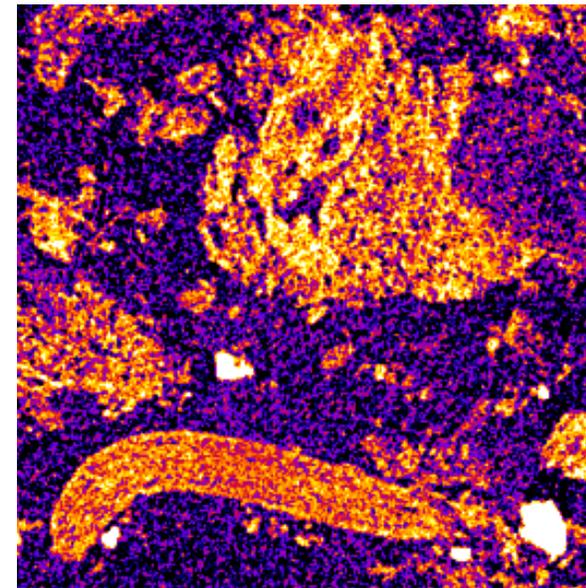
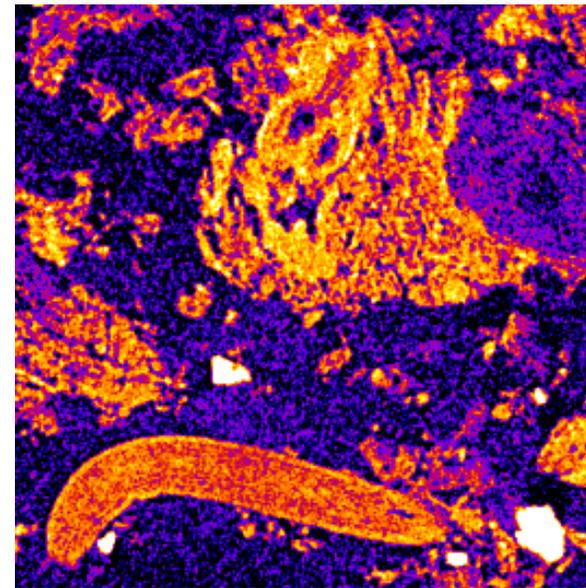
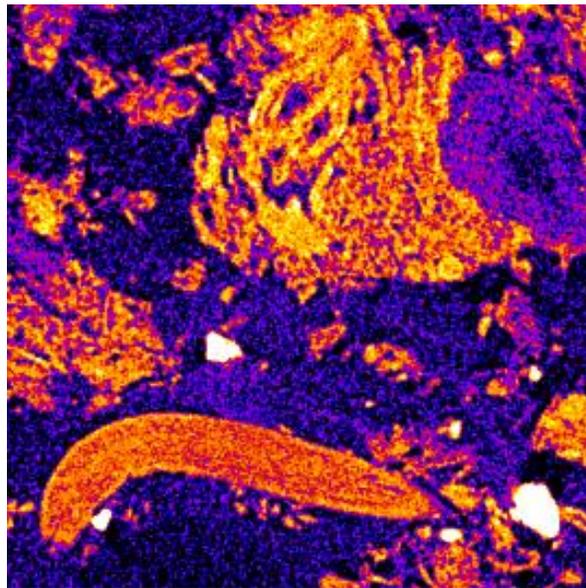
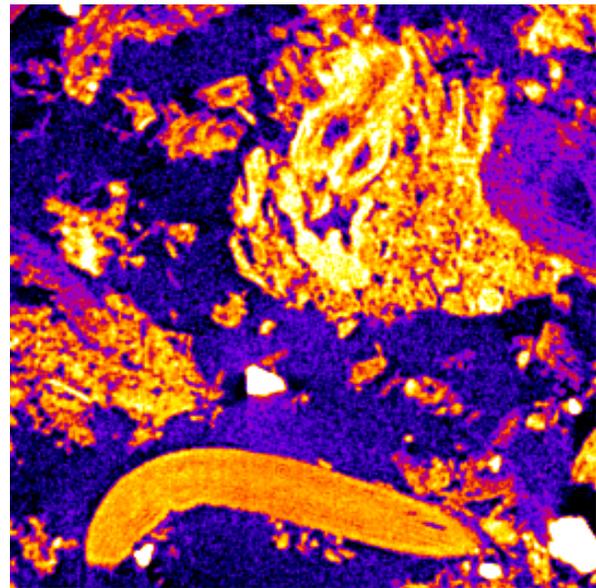
測定X線のエネルギーによる見え方の違い

コントラスト 0-2.4

コントラスト 0-1.5

コントラスト 0-0.9

コントラスト 0-0.6



15 keV

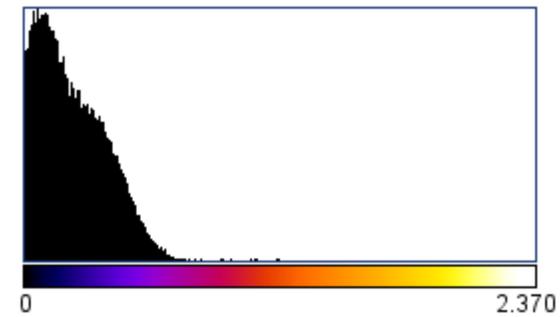
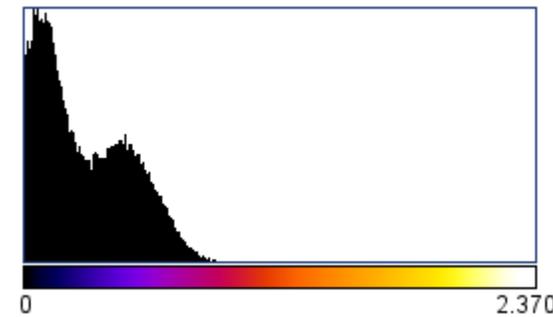
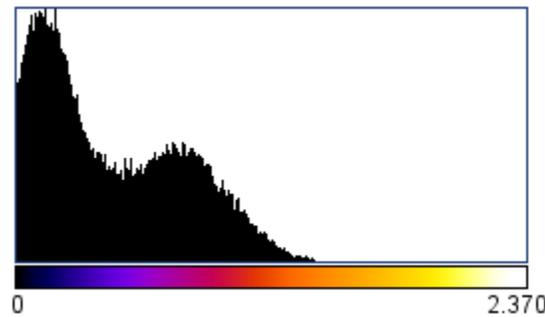
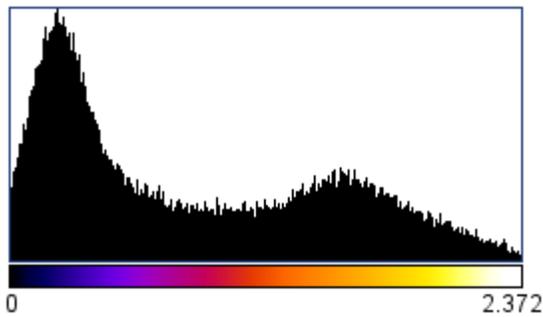
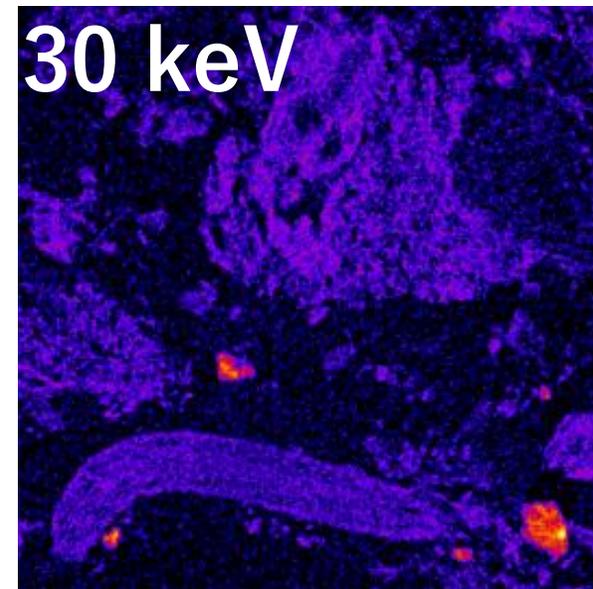
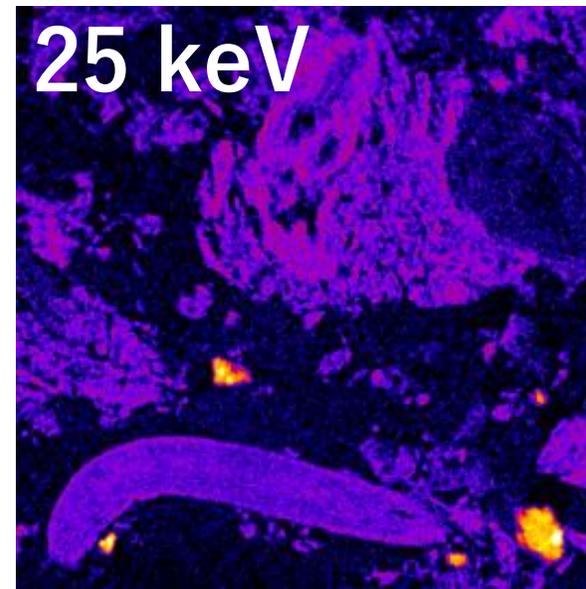
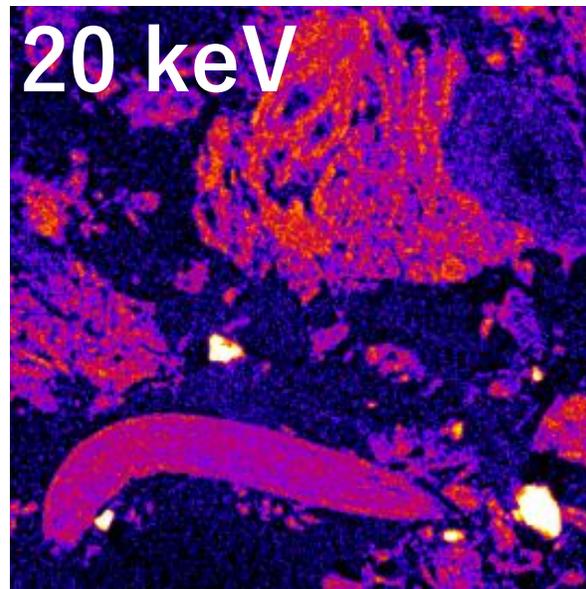
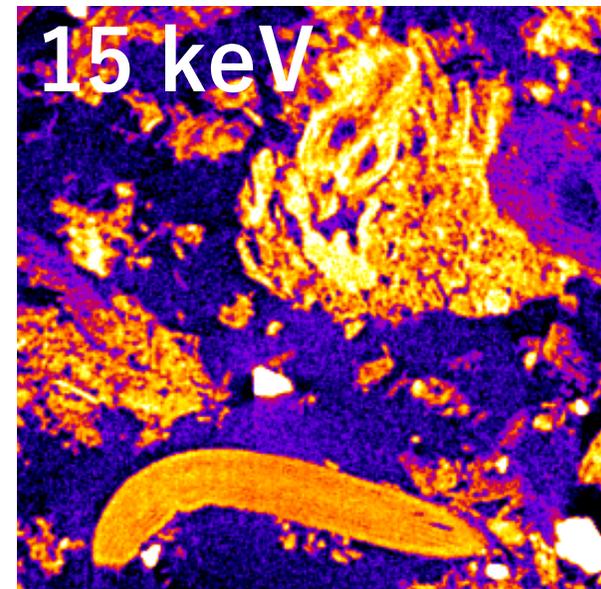
20 keV

25 keV

30 keV

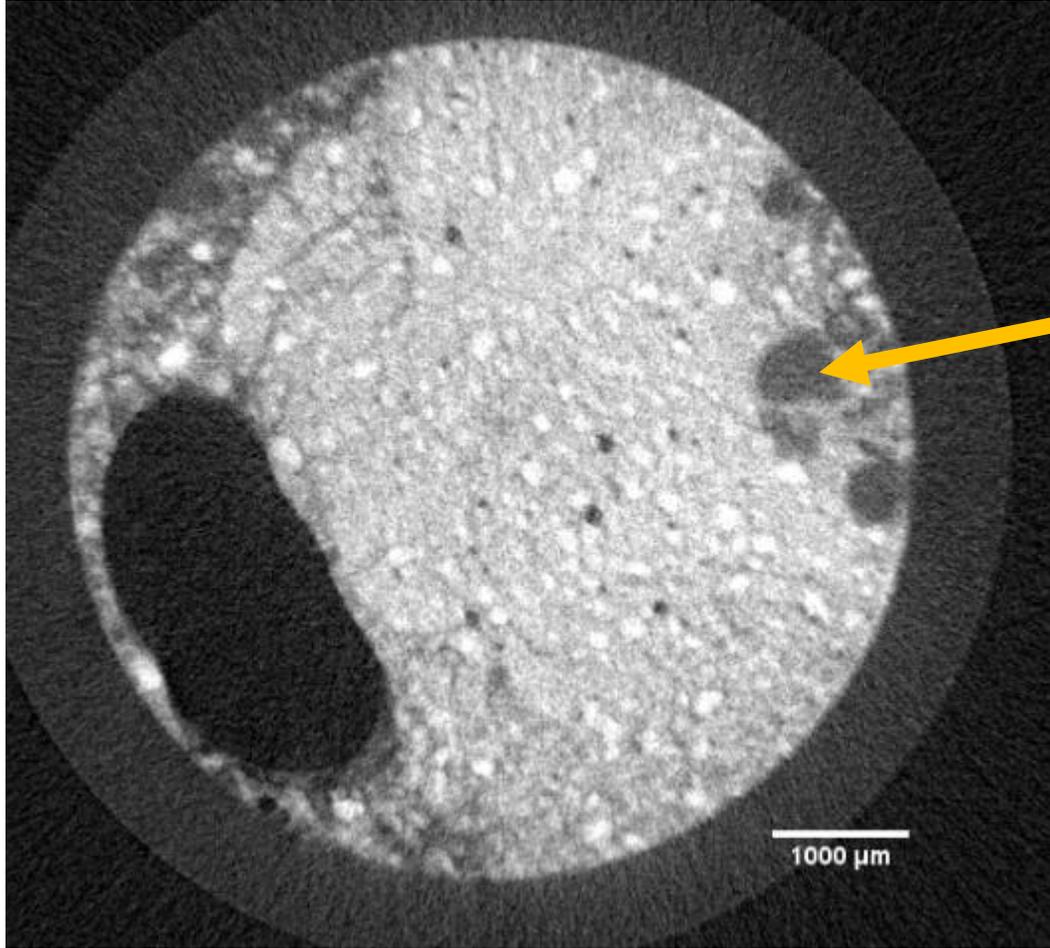
測定X線のエネルギーによる見え方の違い

コントラスト 0  2.4



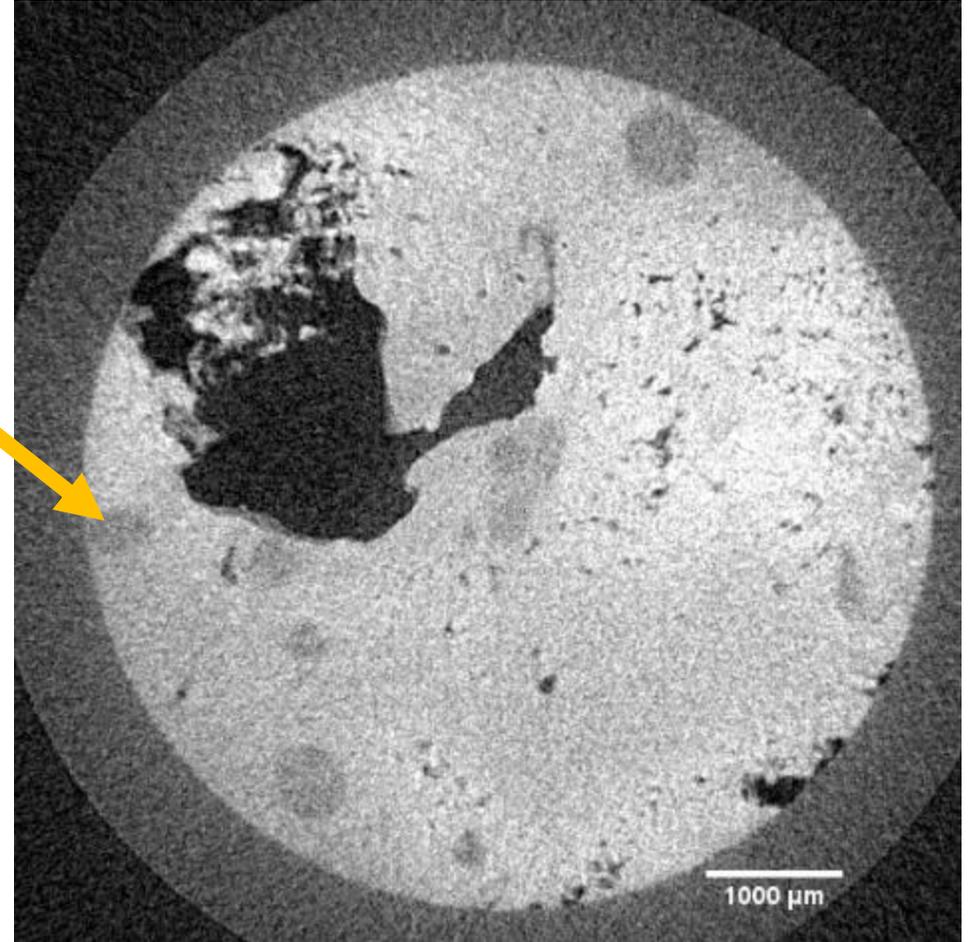
実験室X線CTのX線は30～220 kV (keV)なので、
コントラストがつかない可能性→放射光の利用が有効

予備測定



カオリナイト
(主成分：アルミニウム、ケイ素)

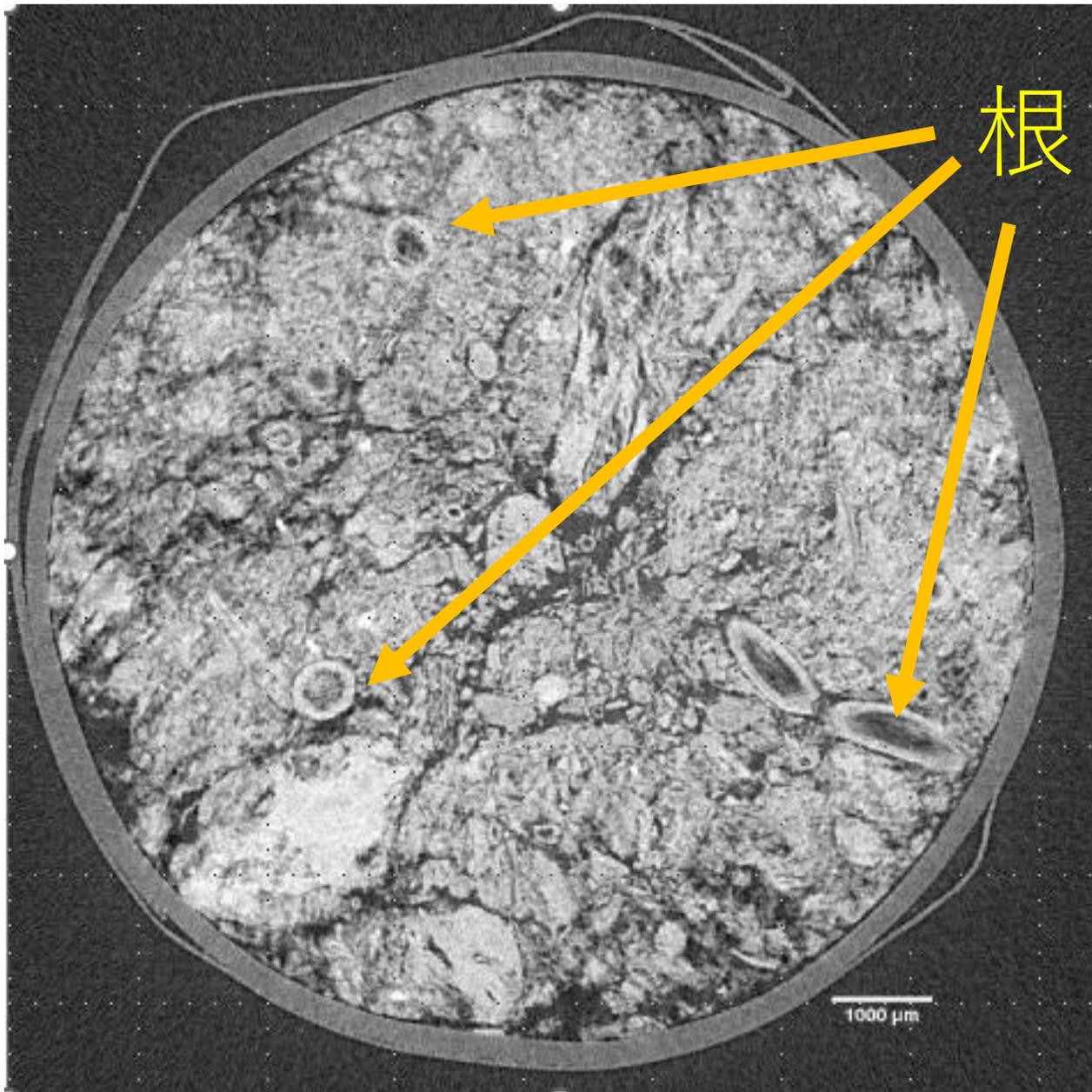
根



モンモリロナイト
(主成分：マグネシウム、アルミニウム、ケイ素)

放射光X線では、
一般的な土の中の根を可視化するのは難しそう

予備測定



ソイルブロックの中の根の構造は明瞭に可視化できた。

理由：

ソイルブロックがほぼ有機物で構成されており、X線の透過や散乱に関して大きな問題とならなかった。



ソイルブロックであれば、土自体の構造やその中にある根の構造を比較的容易に可視化可能と判明

予備測定結果

ソイルブロックがX線を透過できることがわかり、
イメージングすることができた。

<測定条件>

X線のエネルギー：	15～20 keV
露光時間：	1秒/枚
投影数：	1000枚
撮影角度：	360度
試料のサイズ：	<1 cm

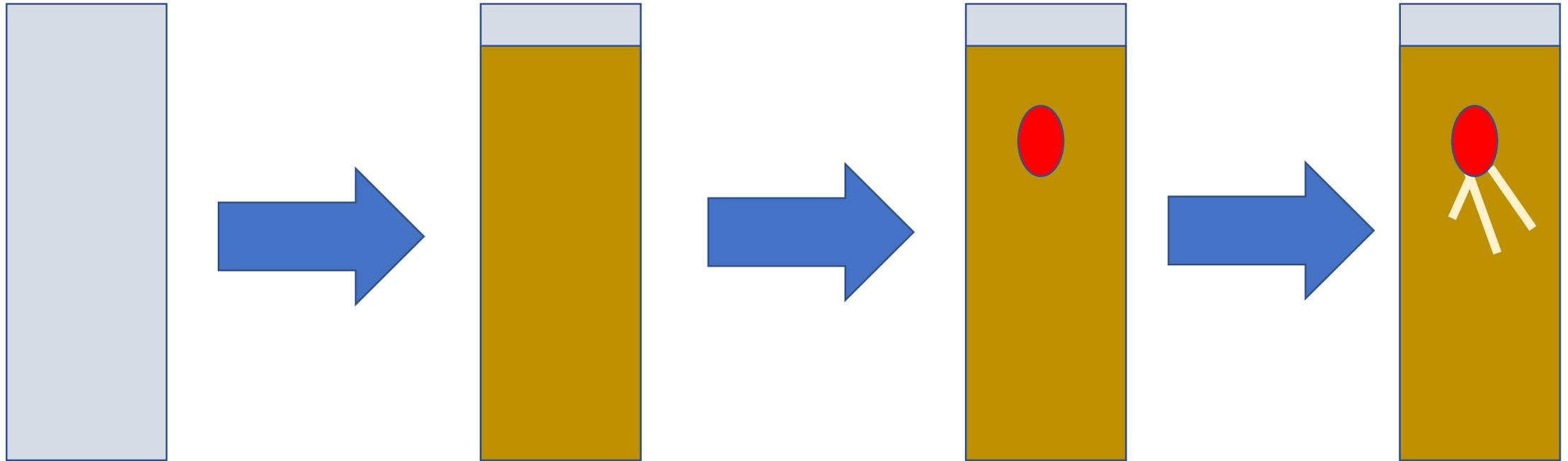
SAGA-LSのSAKASソフトウェアを用いて3次元再構成を行った



実際にソイルブロックに種を蒔いて土の中の根の様子を見る。

SAGA-SL 測定内容

ストローに実際のソイルブロックと同じ充填率でソイルブロックを詰めて
レタスの種を植え、成長初期段階（発根）の様子の違いを見る



1 cm径のストロー
またはチューブ

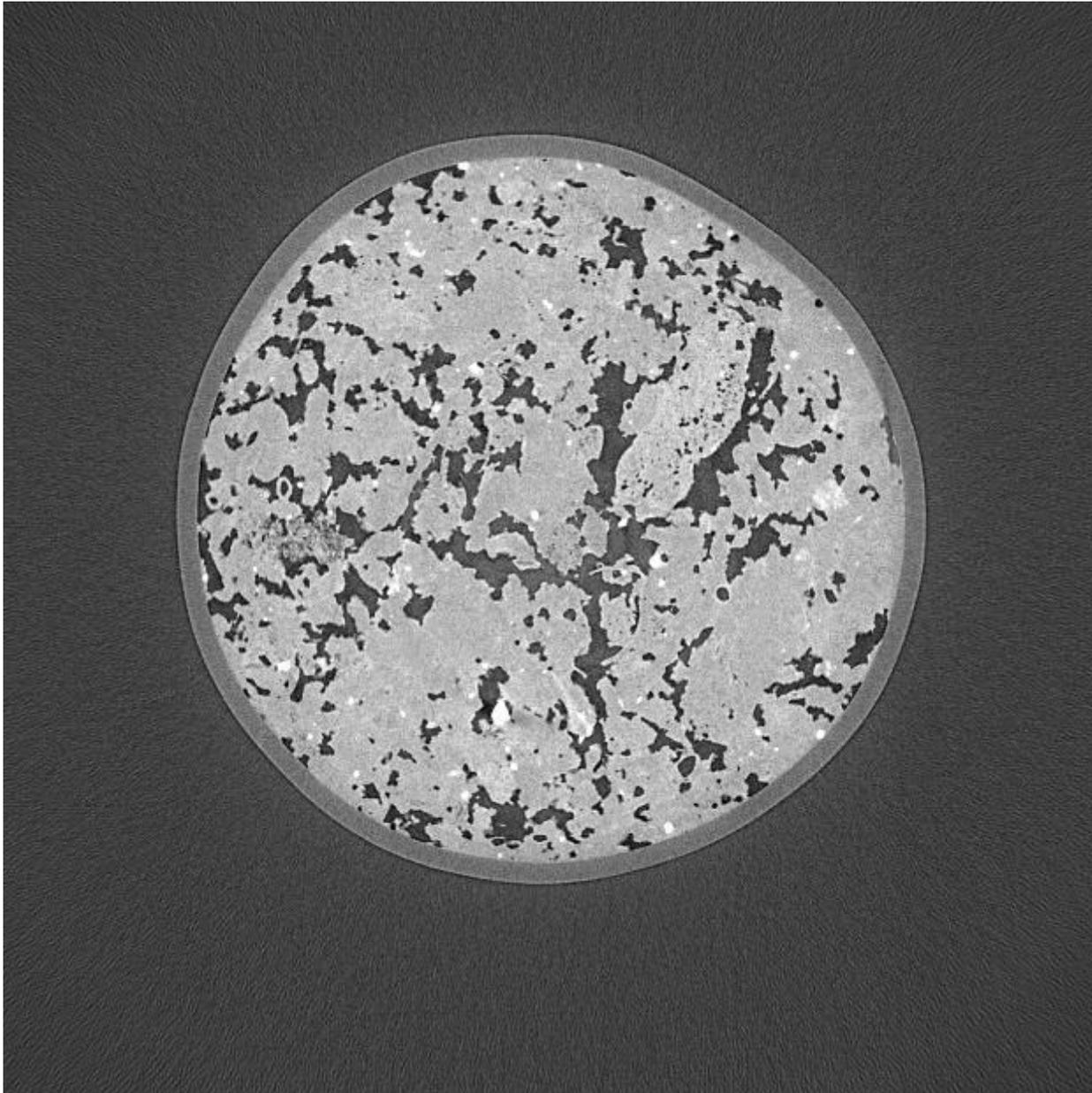
- ソイルブロック
- ウレタン
- ロックウール
- 水耕栽培液 を充填

レタスの種を蒔く

X日目の発根の様子を
可視化し、各栽培条件
と比較



水を通常量含んだ状態の土のイメージング



土も根も同一のコントラスト。

土に細孔構造は見られない。

SAGA-LS 測定結果

放射光側の測定条件は同じにも関わらず根の観察難しかった。

→サンプル側の違いが影響している可能性

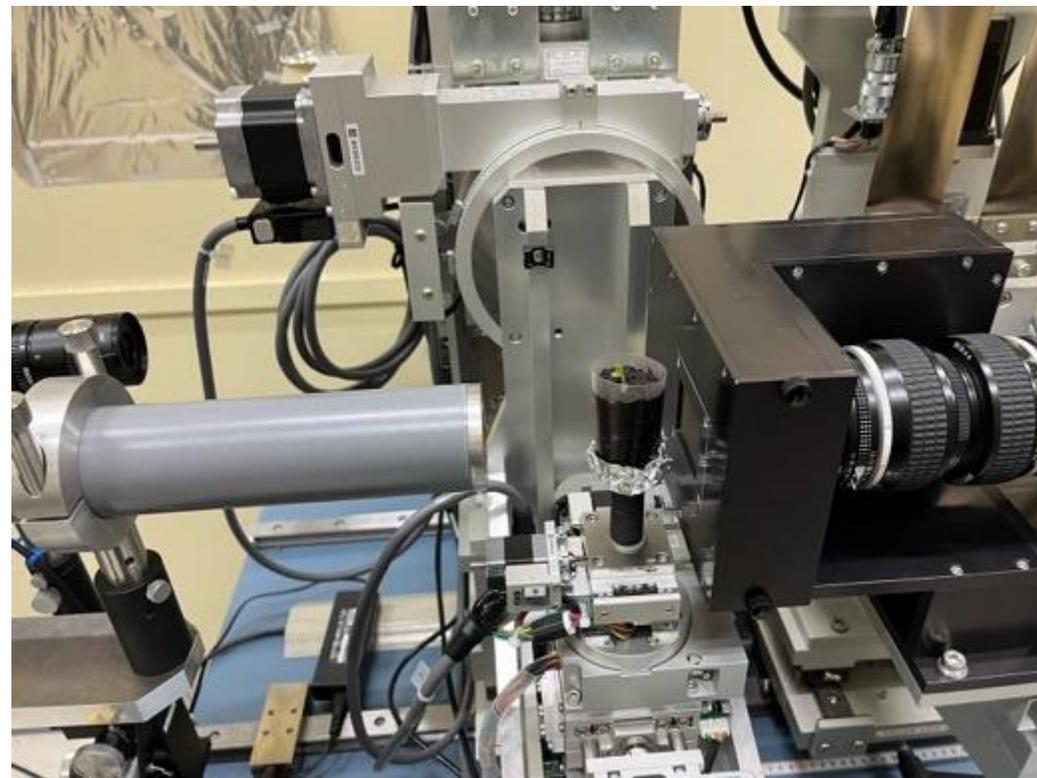


A. 土中の水分を減らすとよいのではないか？（サンプル側の検討）

B. 解像度を上げるとよいのではないか？（放射光側の検討）

SPring-8にて測定

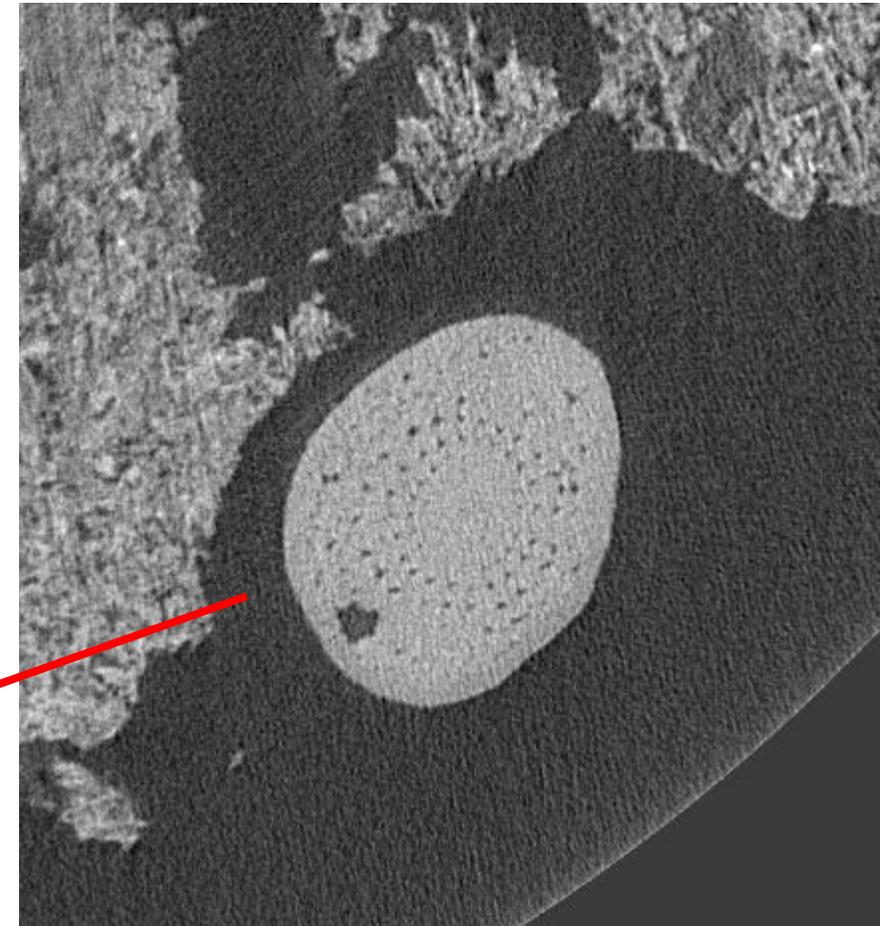
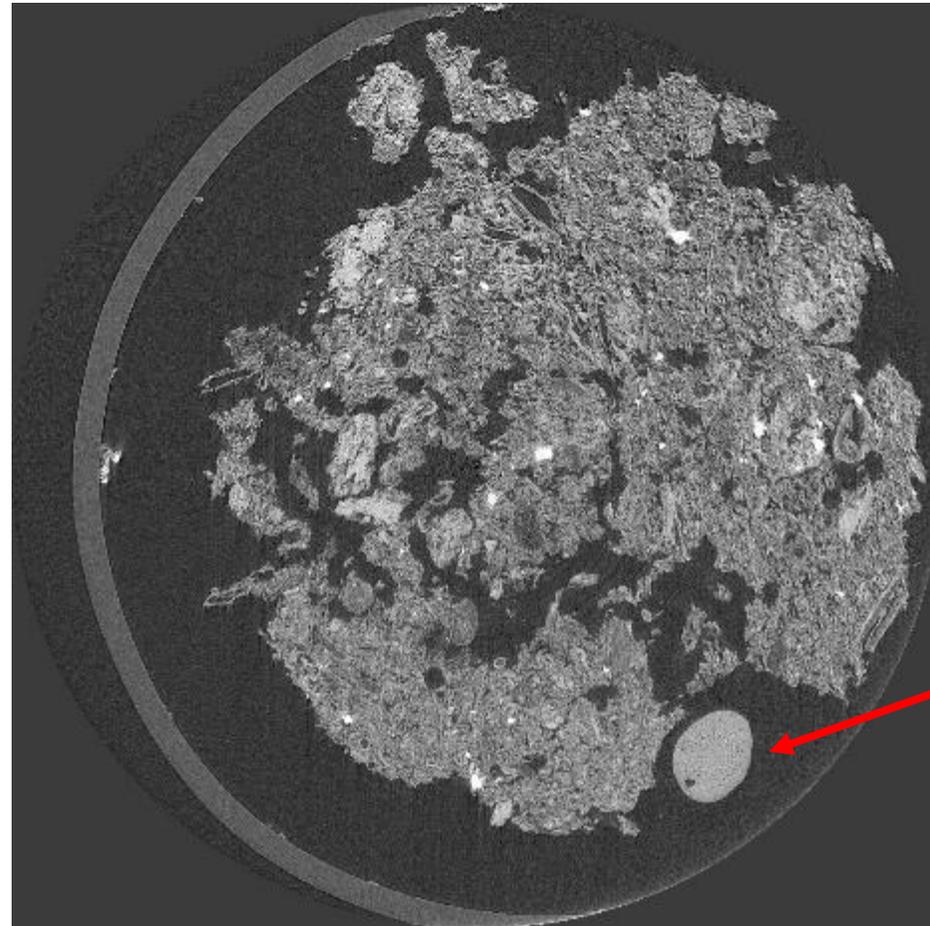
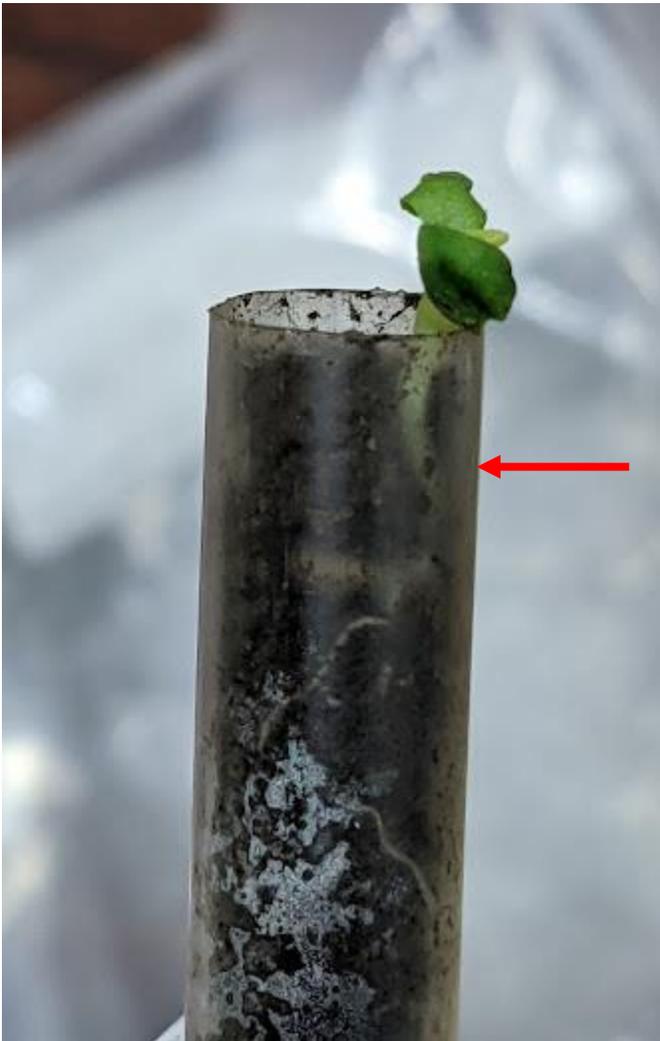
SPring-8 測定内容



径の異なるサンプル(1~3 cm)を用意し、
サンプル側と放射光側の条件を変えながら測定

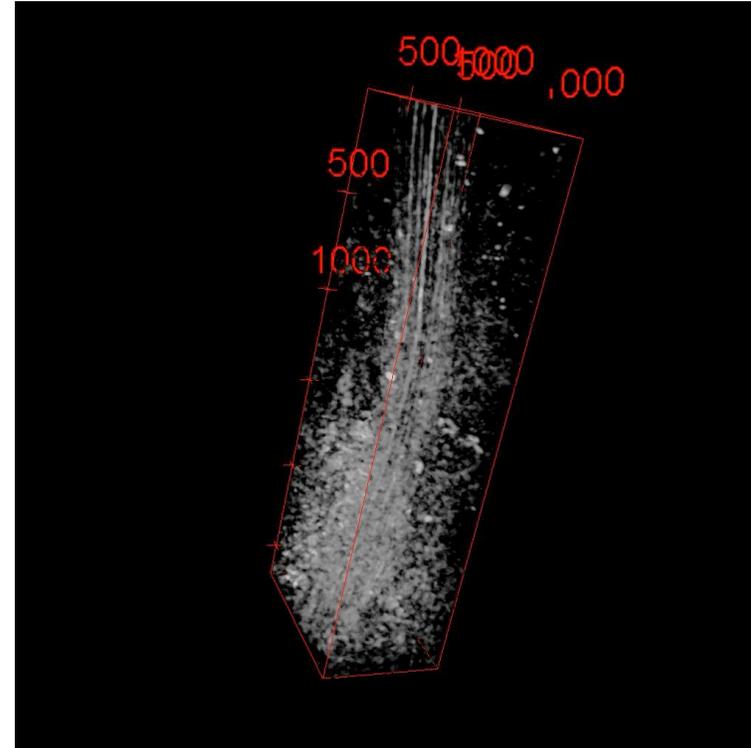
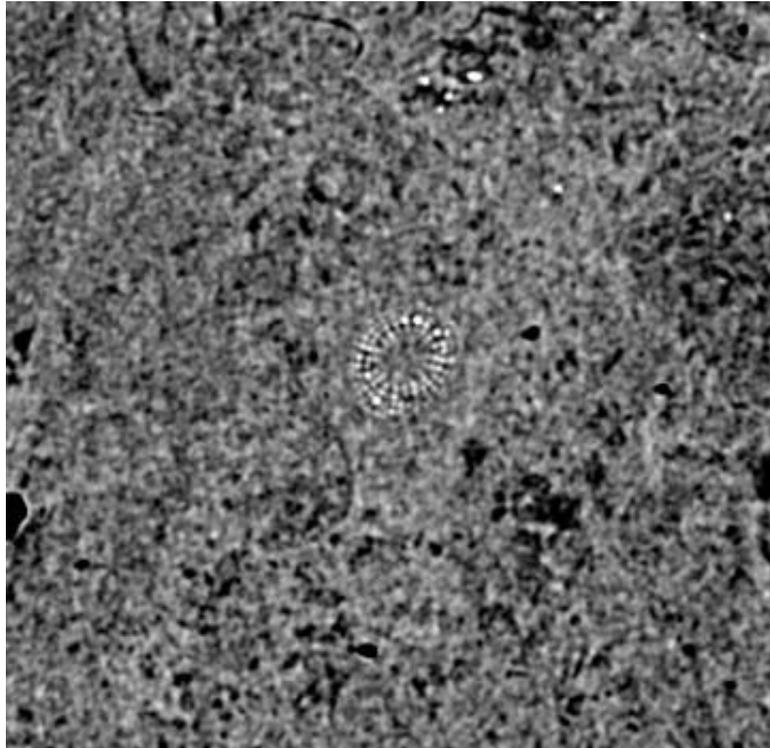
SPring-8 測定結果

乾燥が進んだ状態の土のイメージング



一方、乾燥条件下では土の細孔構造や根を分離して見ることができる。³²

SPring-8 測定結果



前回測定が難しかったソイルブロック栽培条件下の3cm径サンプルを測定に成功。

<測定条件>	X線のエネルギー :	17.8 keV
	露光時間 :	0.15秒/枚
	投影数 :	2400枚
	撮影角度 :	180度
	カメラ長 :	100 mm
試料のサイズ :	1~3 cm	

測定後の展望

本事業によりソイルブロックの根張りを観察する条件を同定することができた。

ソイルブロックの根張りの良さの要因について、

- ・ソイルブロックの空隙率などの構造的なものに由来しているのか
→充填率と根張りのよさの関係性などを調べる
- ・元素や栄養分によるのか
→ソイルブロックにいろいろな成分を加えて根張りの違いを見る。



といった学術的な要素も含めて、ソイルブロックのアドバンテージについて科学的根拠を追究したい。

また放射光を用いることでレタスの成分だけではなく分布を計測することが可能であるため、「美味しい」という定性的な概念を放射光を通して定量的に可視化する試みに挑戦したい。

謝辞

本研究は、令和4年度仙台市既存放射光施設活用事例創出事業により助成を受けて推進したものである。
ここに感謝の意を表する。