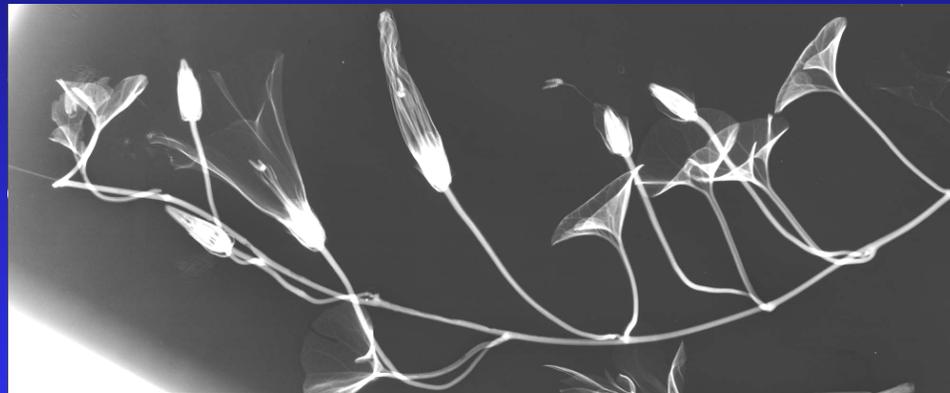


Aug. 6, 2010

植物の生命活動を見る



中西友子
東京大学大学院農学生命科学研究科

植物の活動

1. 植物は太陽からエネルギーをもらって生きている。
太陽から降り注ぐエネルギーの2/3を受け取る。
2. 植物は水と元素を吸収して生きている。
生きている植物の80%以上は水である。
植物が生きていくために絶対必要な元素は17種類ある。
3. 植物は吸収した水を主に葉から失っている。
受け取るエネルギーの1/10を使っている。
4. 植物の各箇所での活動と役割は異なる。

生きた植物中の水と元素をどうやって調べるか？

【水】

分布： 中性子線の利用

動き： アイソトープの利用

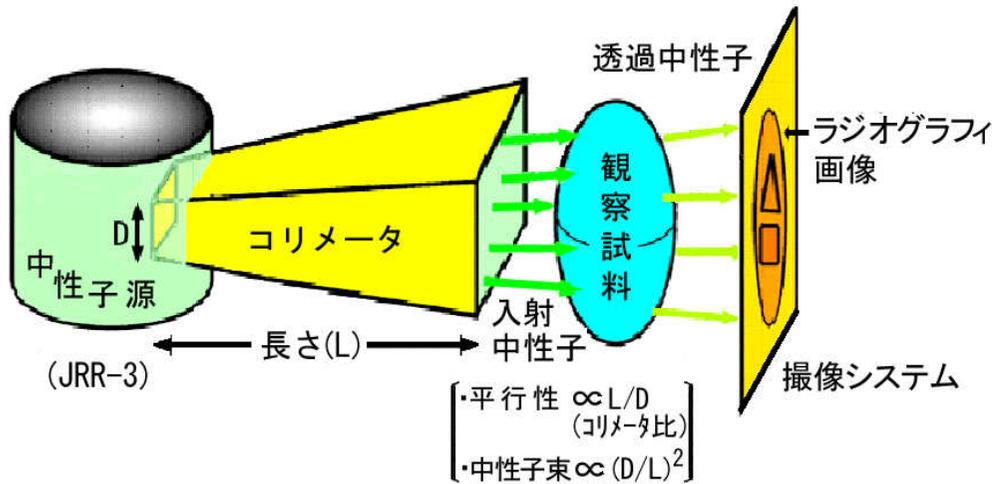
ポジトロン放出核種の利用

【元素】

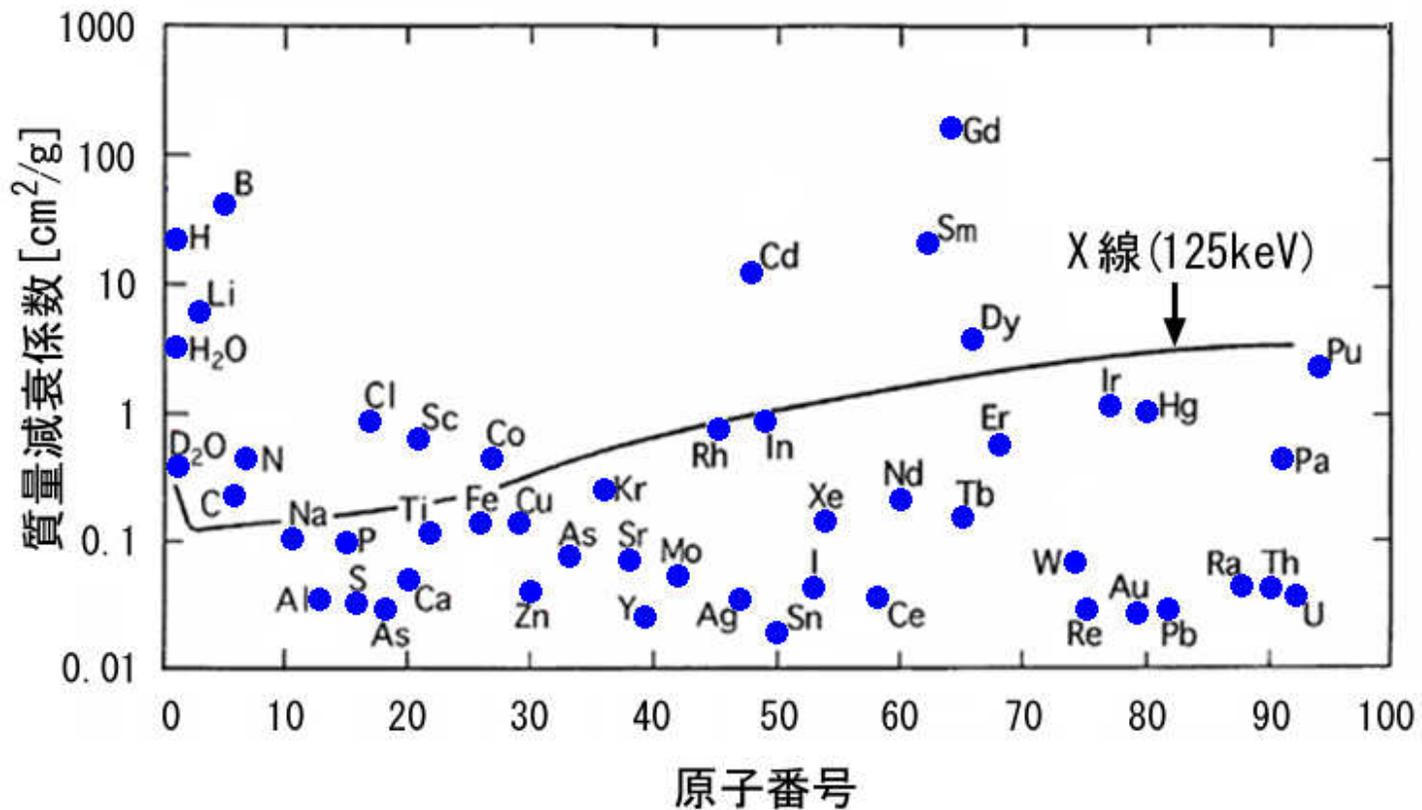
分布： 放射化分析

動き： アイソトープの利用

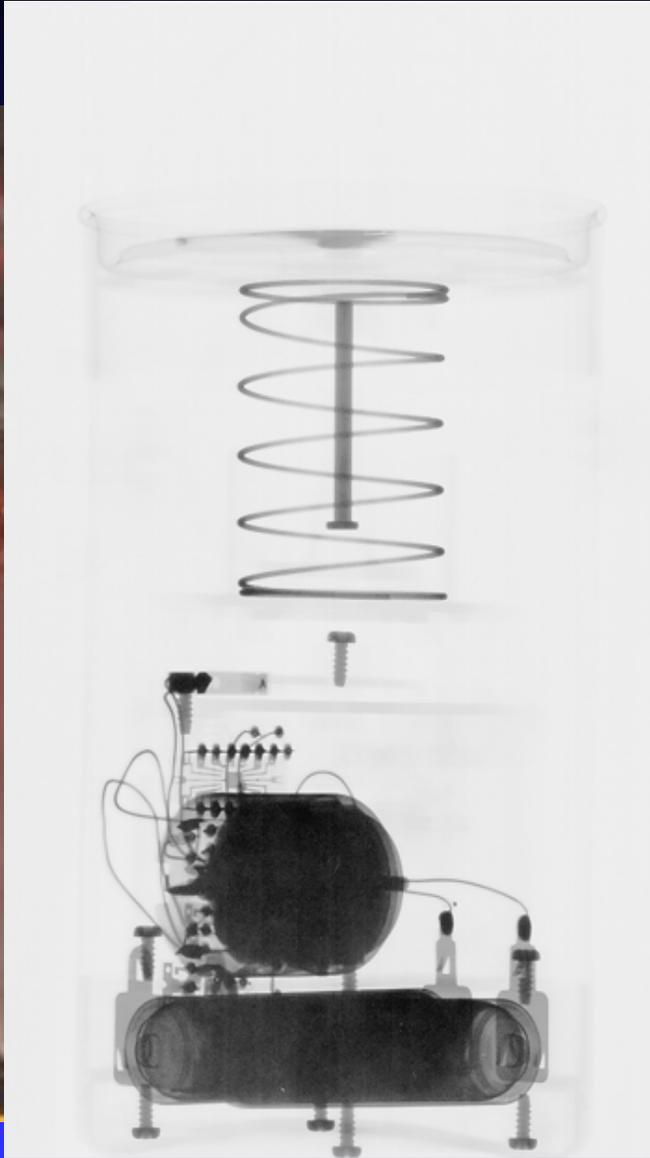
中性子ラジオグラフィの概要と特徴



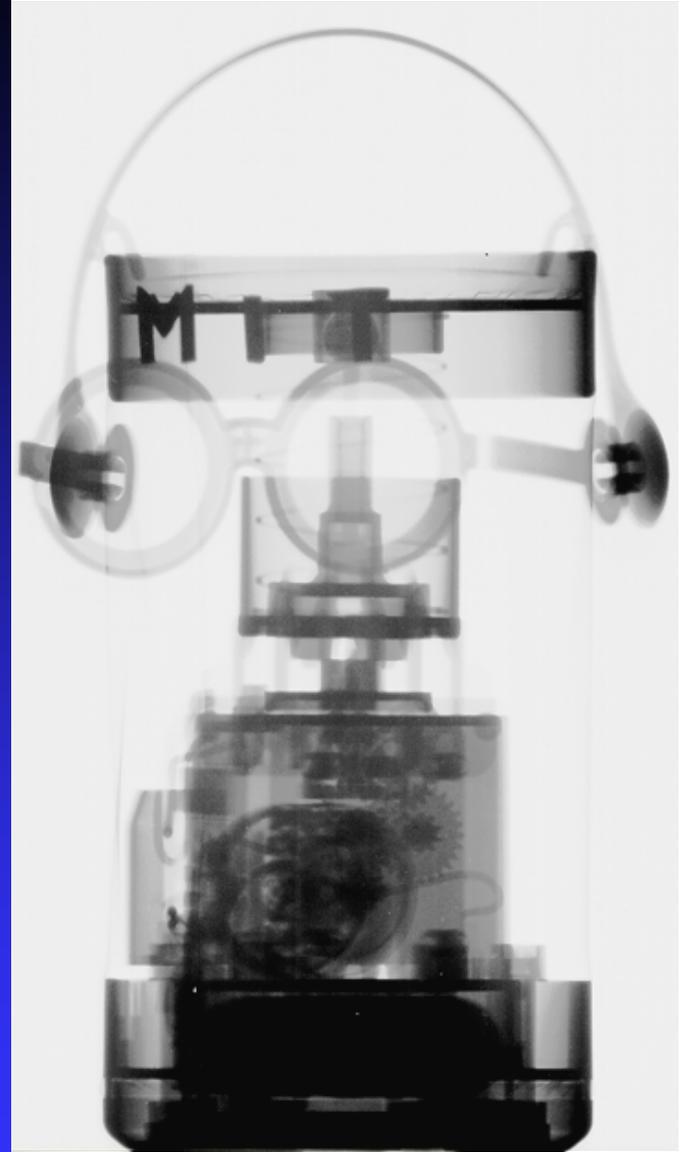
中性子ラジオグラフィ装置の概念図



質量減衰係数

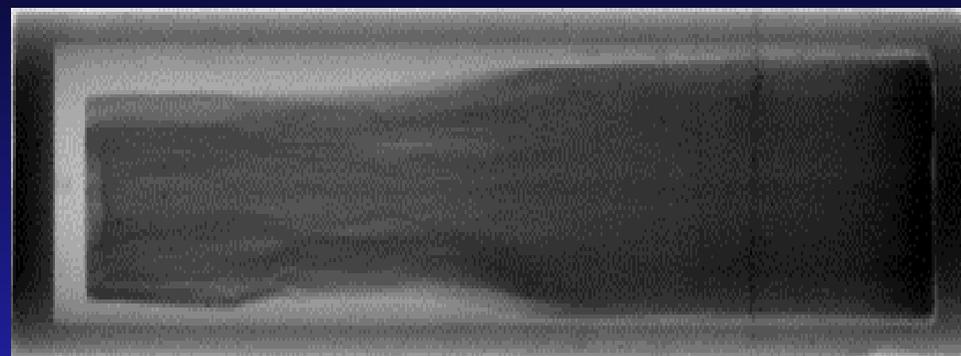
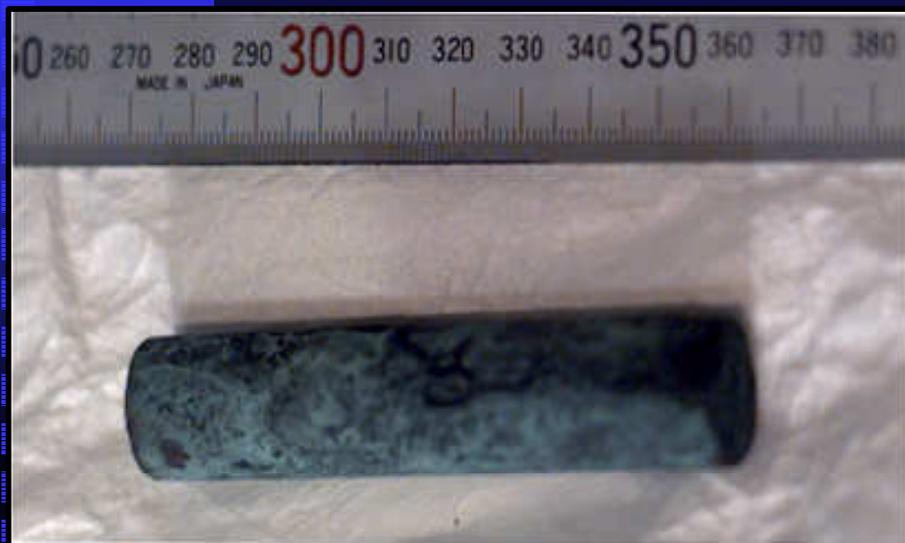


X線



中性子線

銅製経筒の内容物

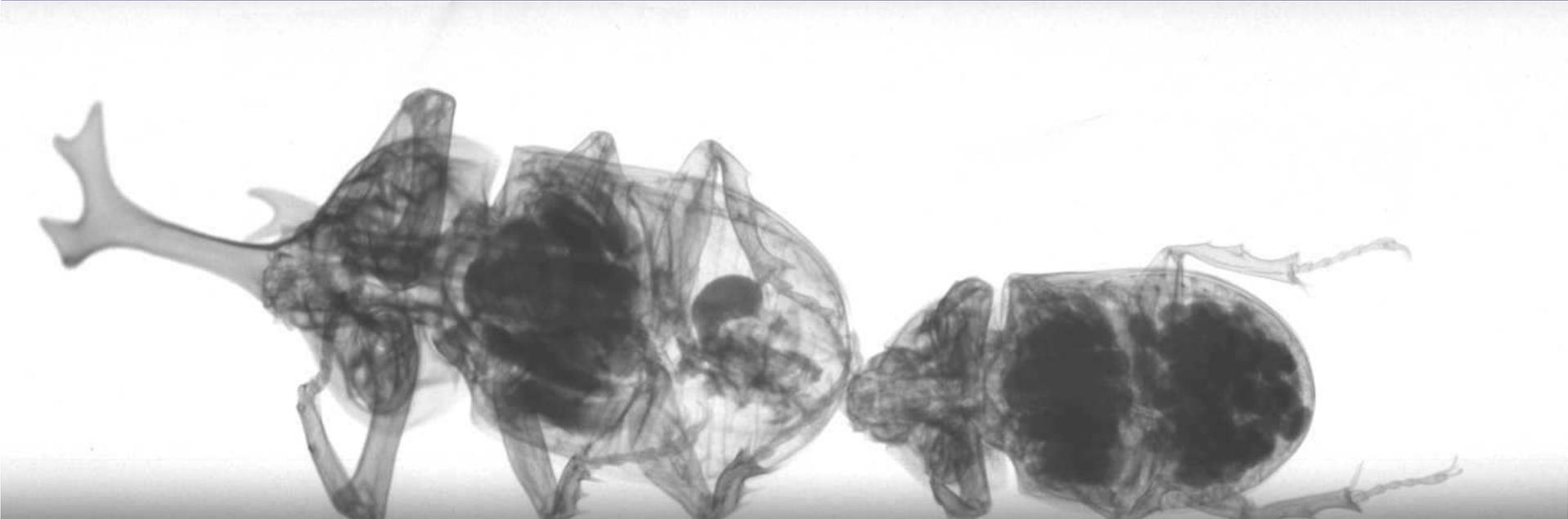
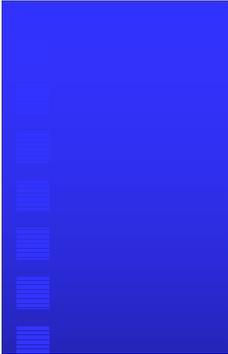


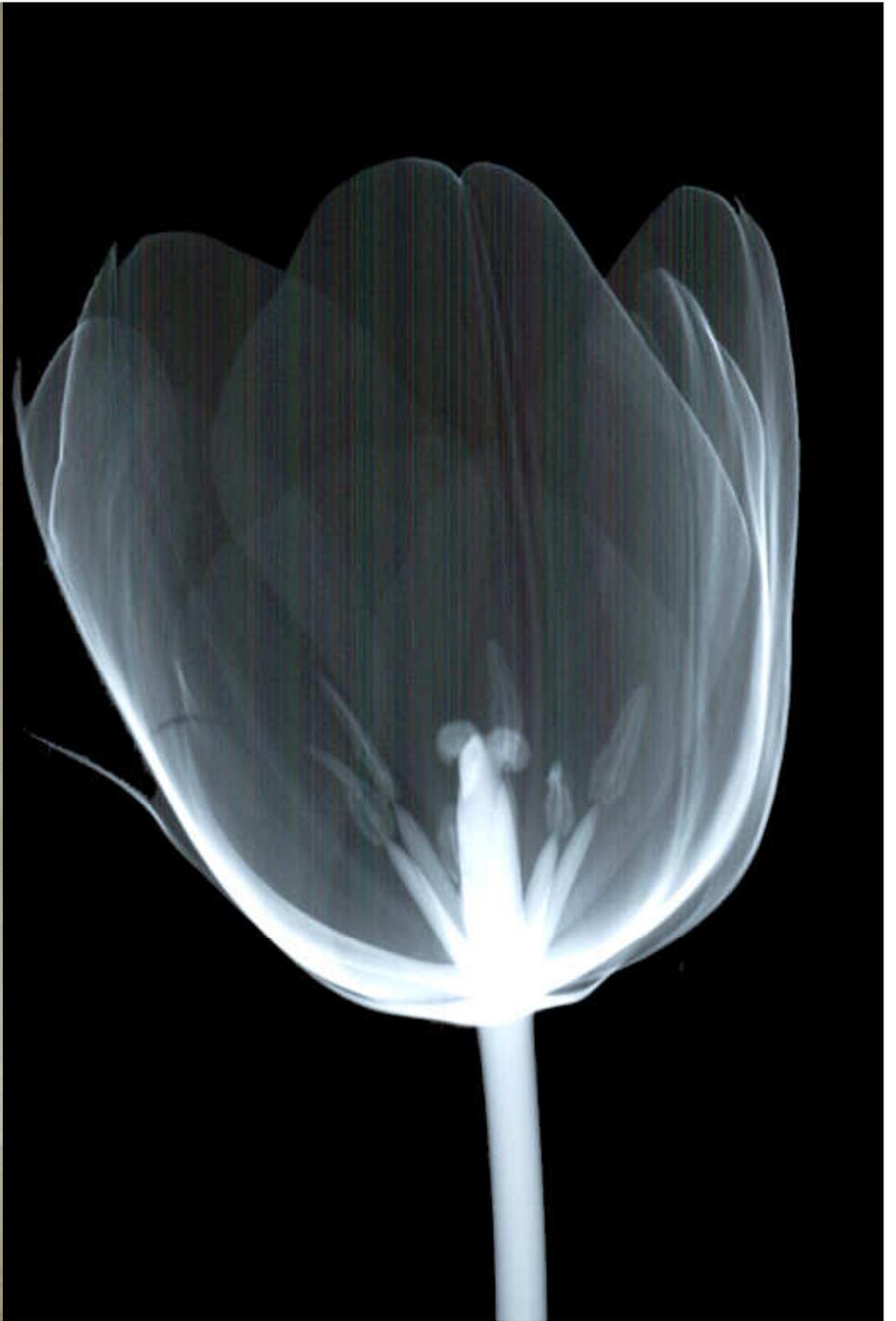
中性子による画像

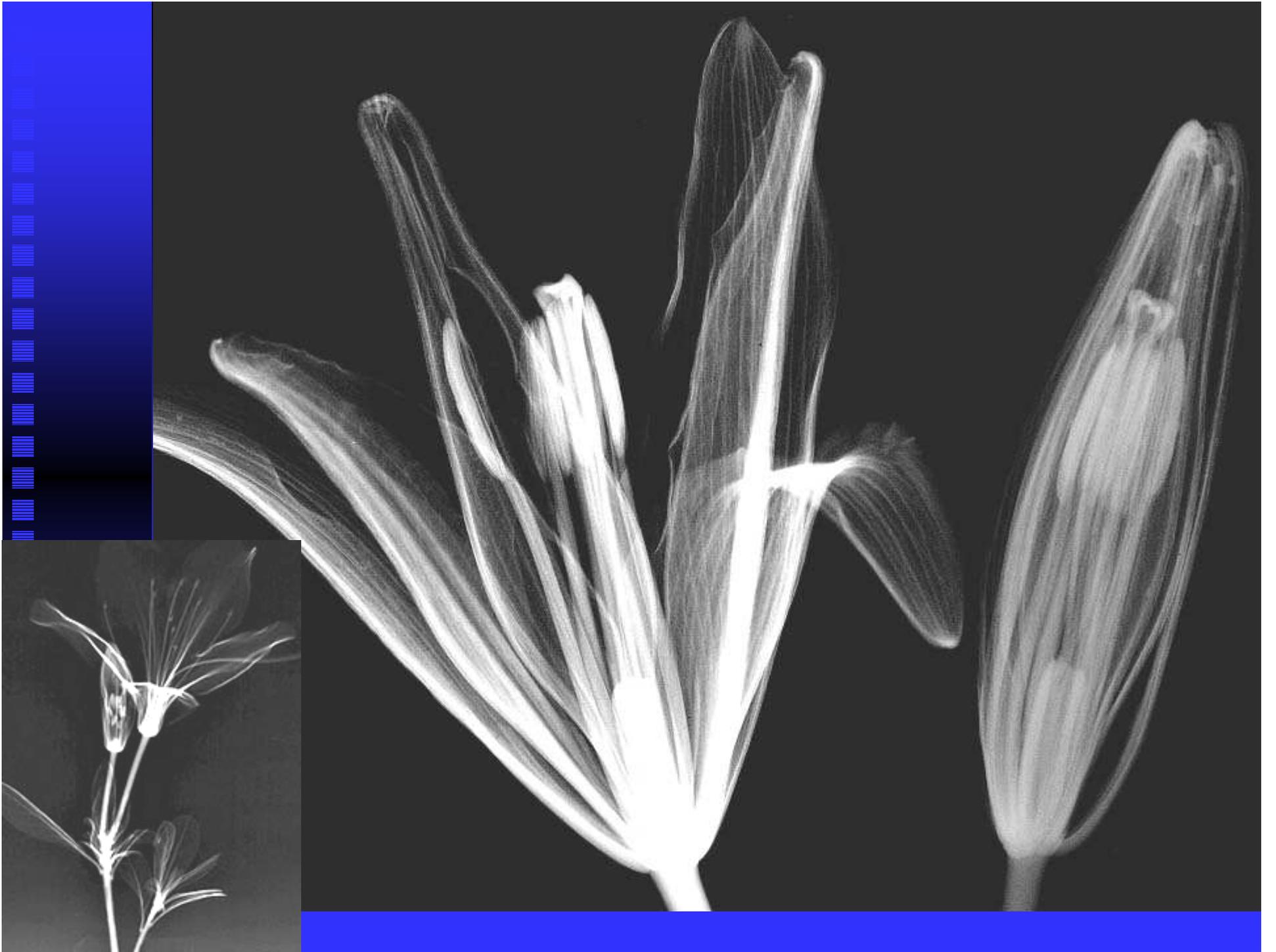


γ 線による画像

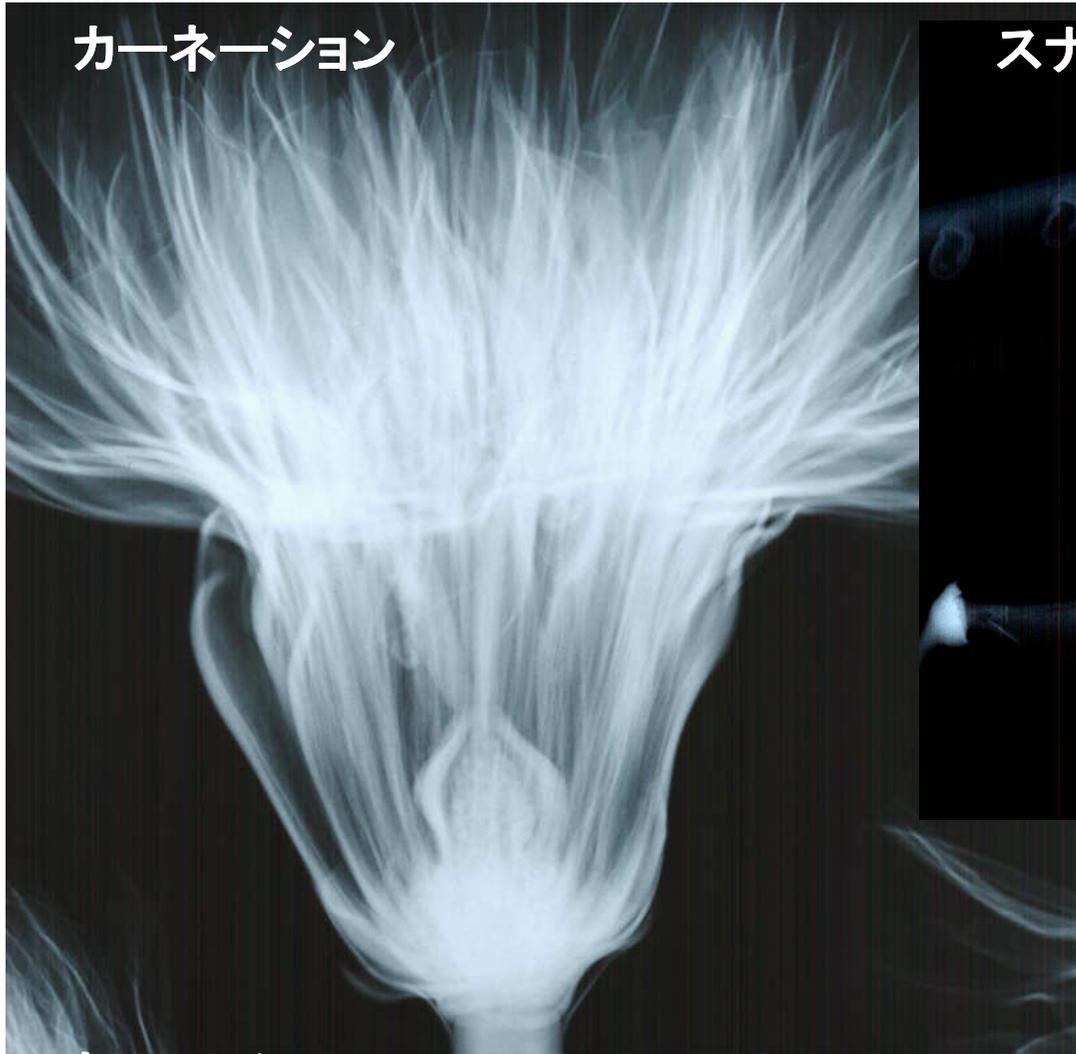
銅製経筒（外観写真）



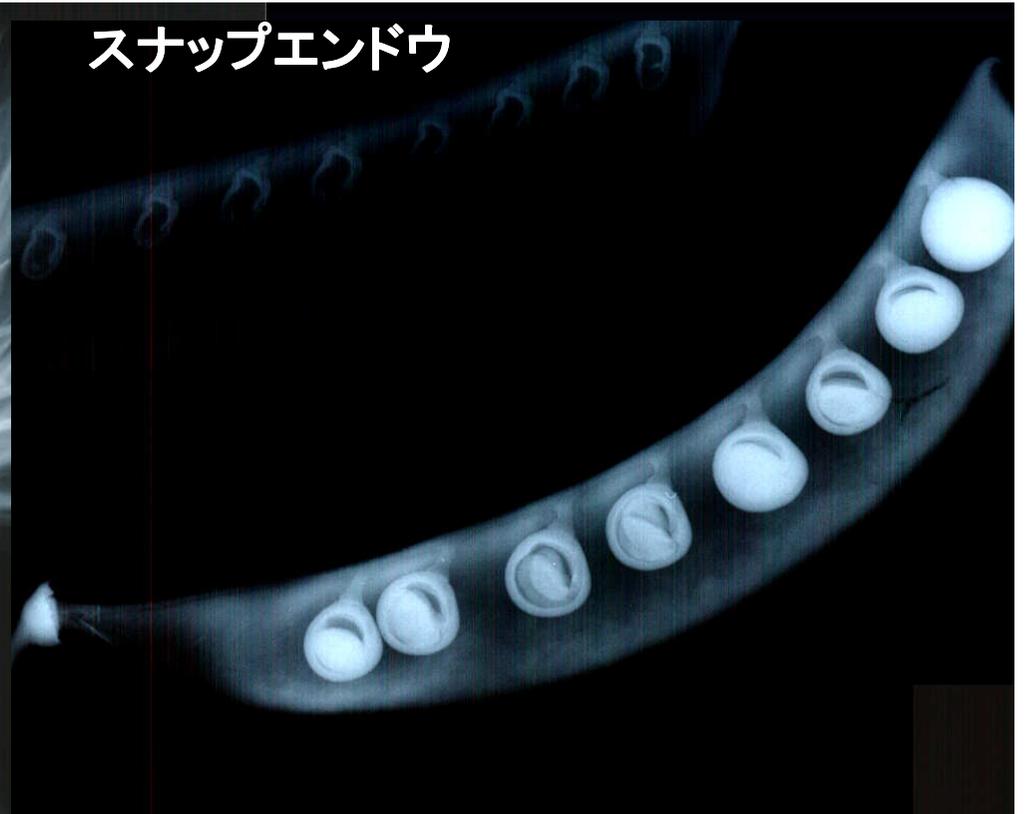




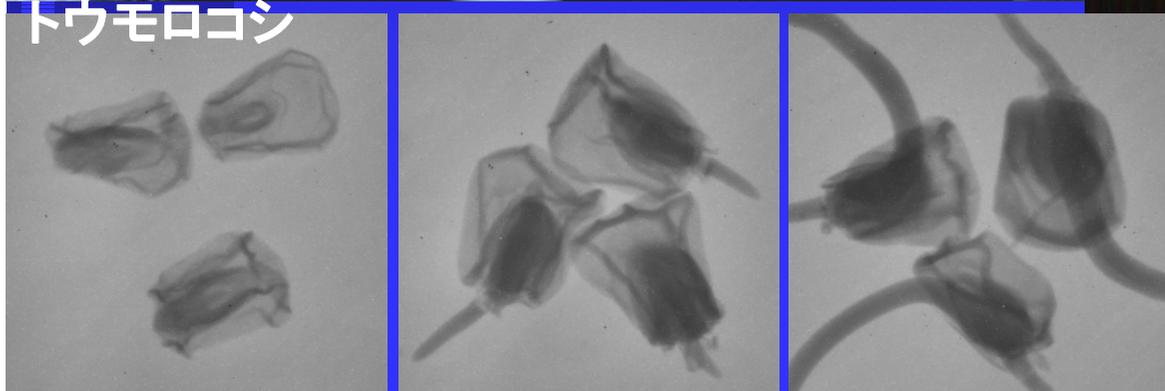
カーネーション



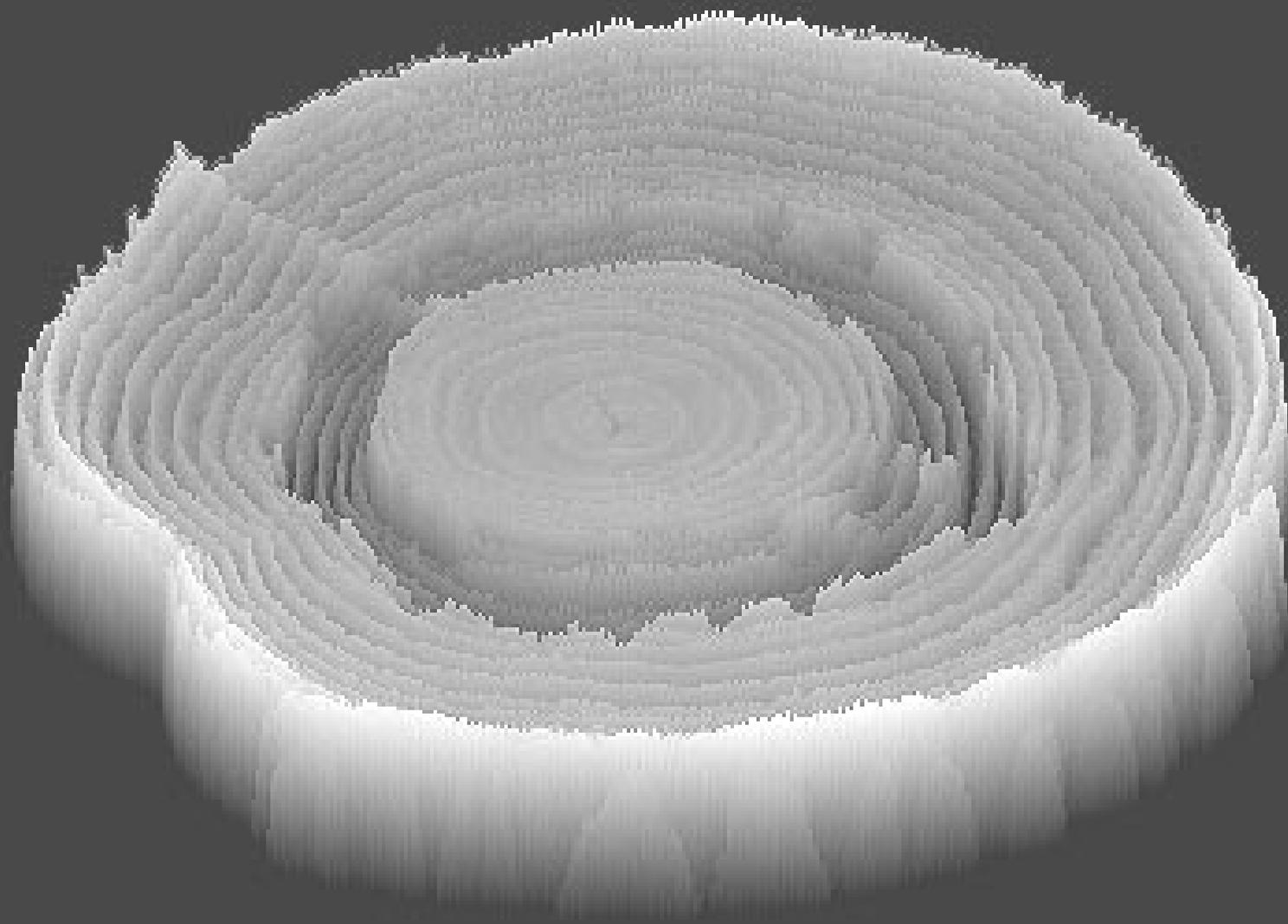
スナップエンドウ



トウモロコシ



木口材の例



植物の養分の吸収は根から→では根はどう大きくなるか



Root Development in Soil

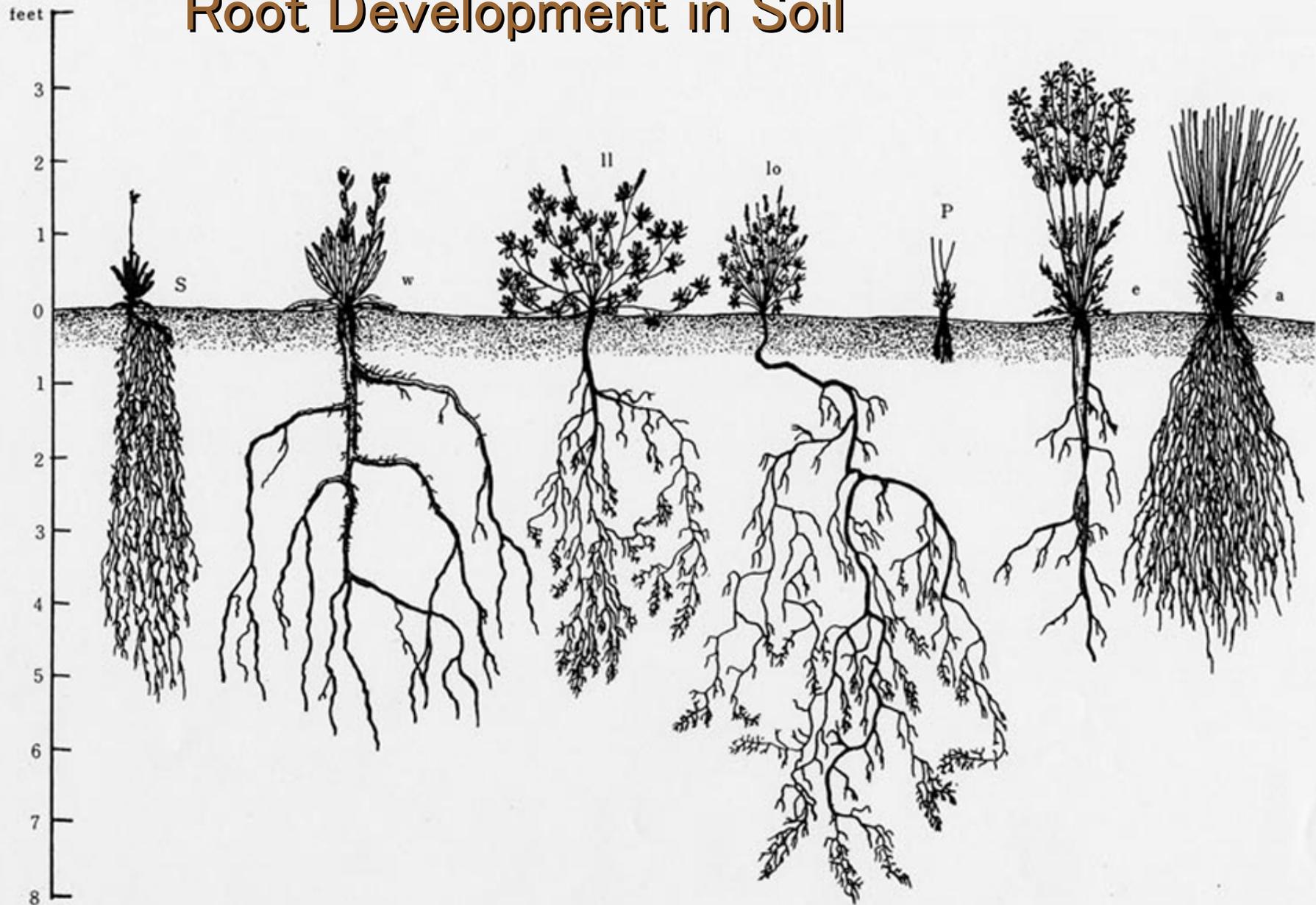
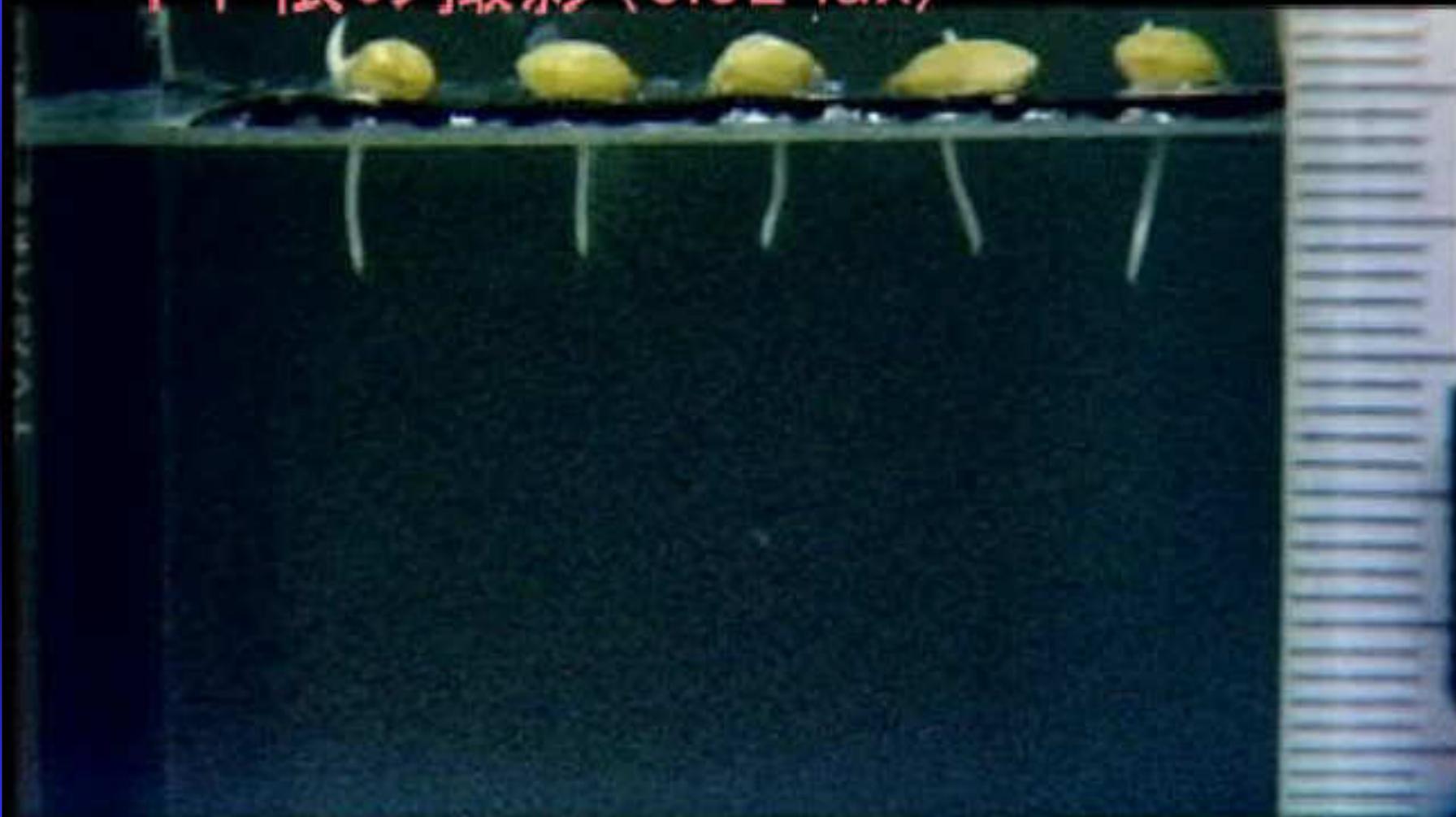
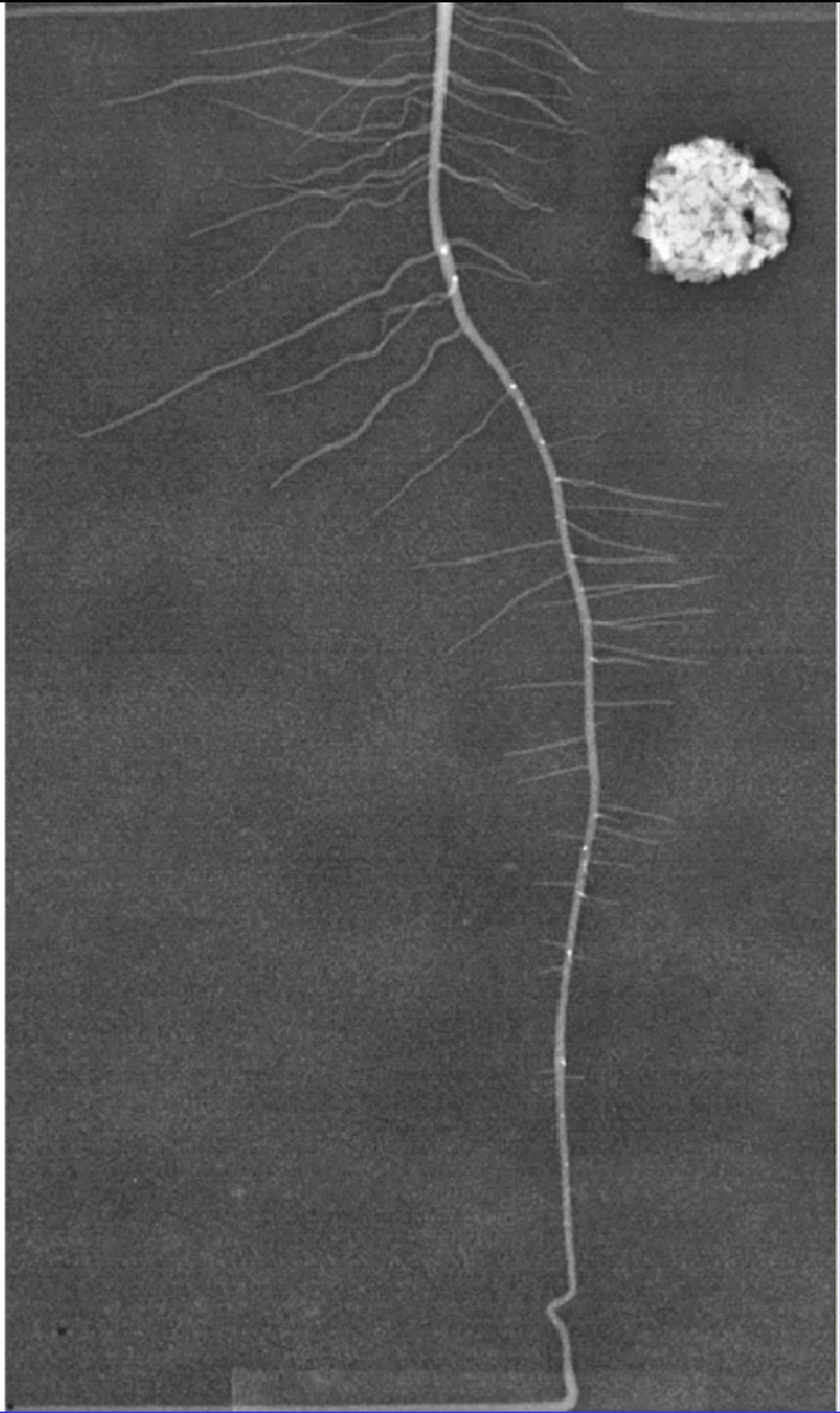
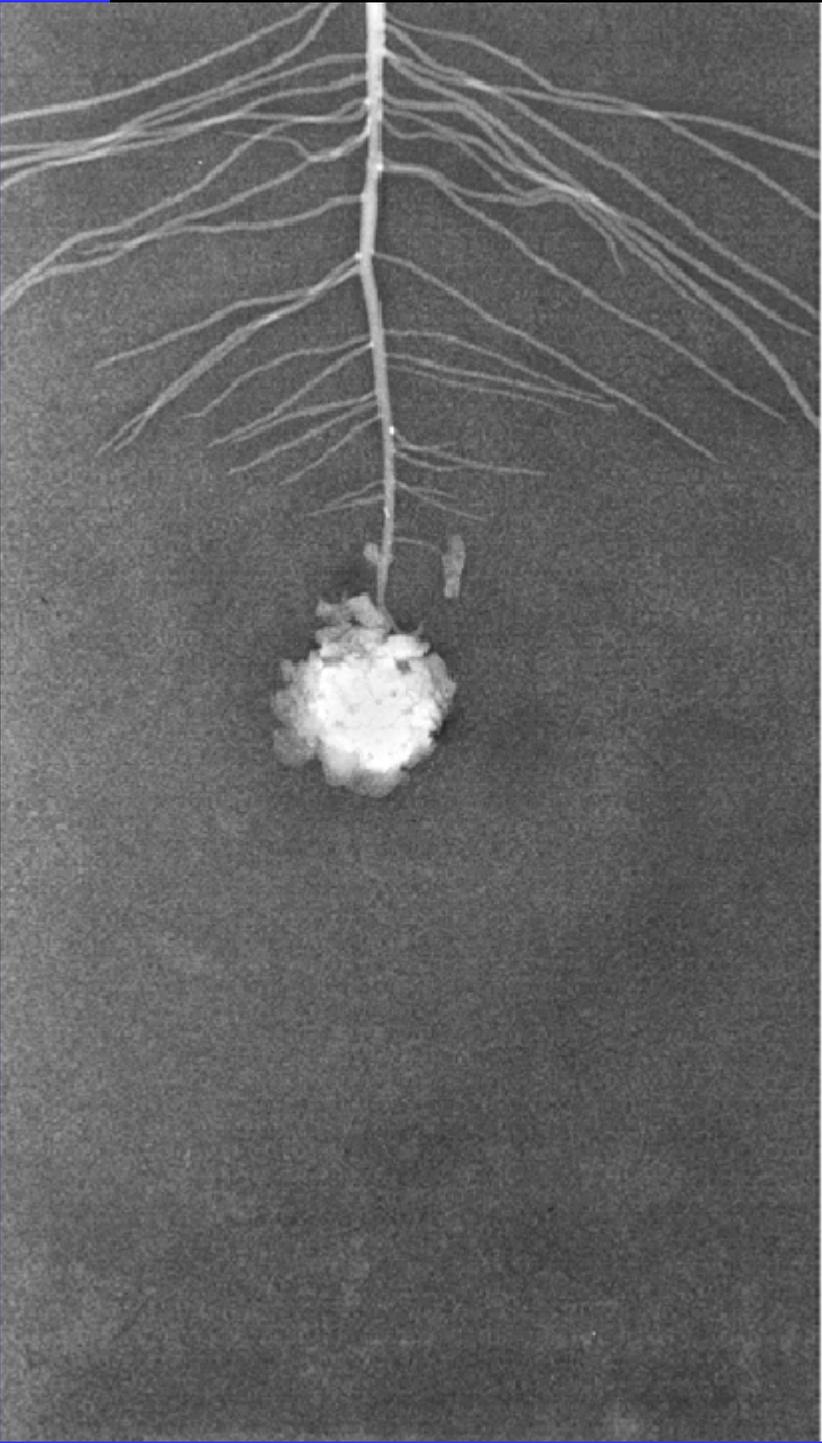


図 8-4 各種類の根系の形態 (Weaver⁵²) S : *Sieversia ciliata*, w : *Wyethia amplexicaulis*, ll : *Lupinus leucophyllus*, lo : *Lupinus ornatus*, P : *Poa sandbergii*, e : *Leptotoenia multifida*, a : *Agropyrum spicatum*.

イネ根の撮影(0.02 lux)

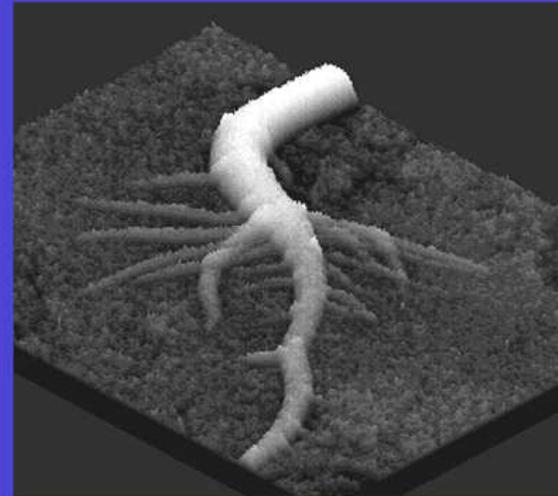
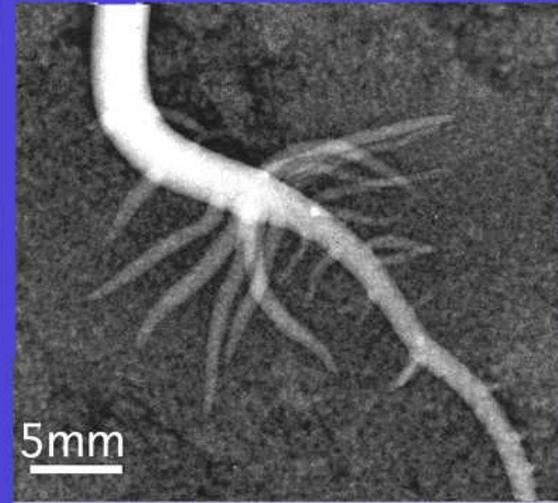


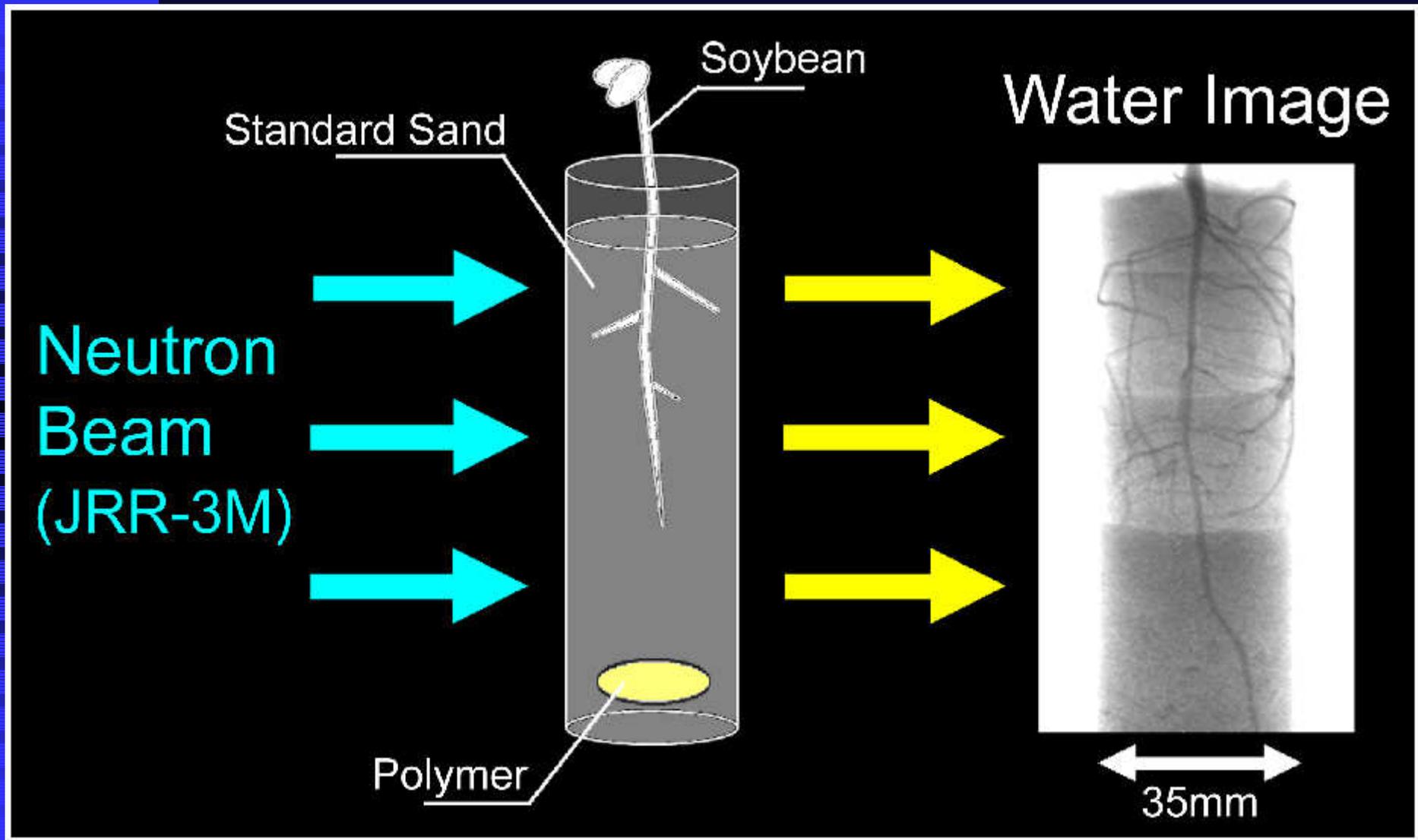


ダイズの根の水分像

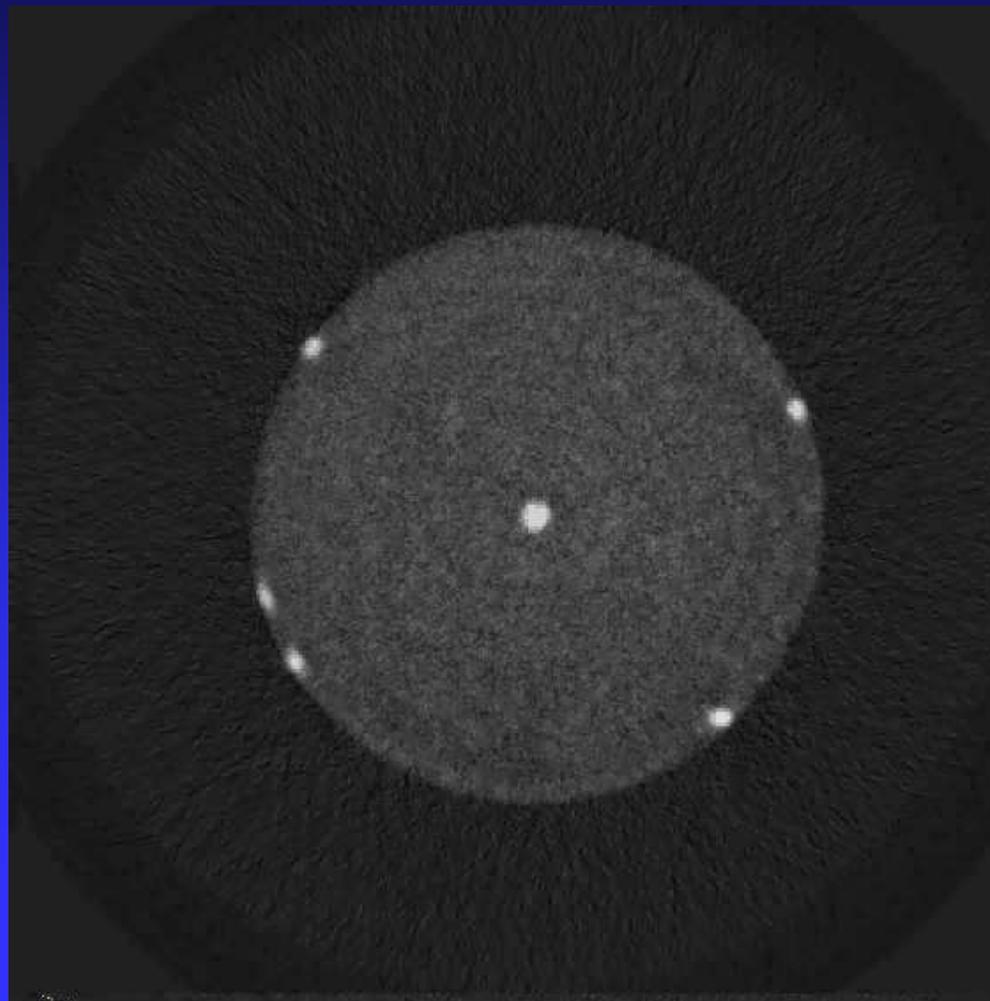
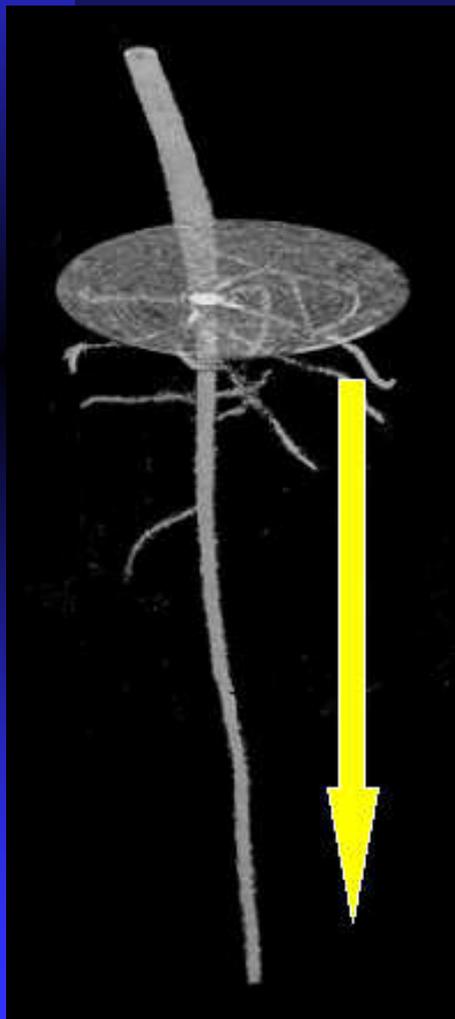


拡大した根の像





土壌中のダイズの根

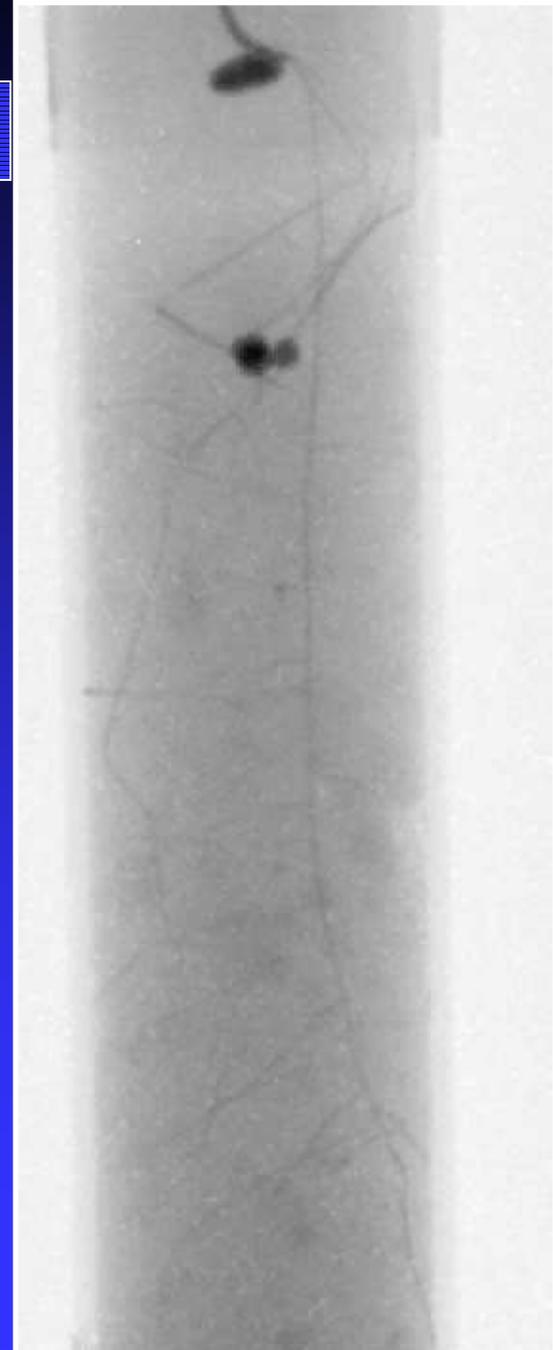


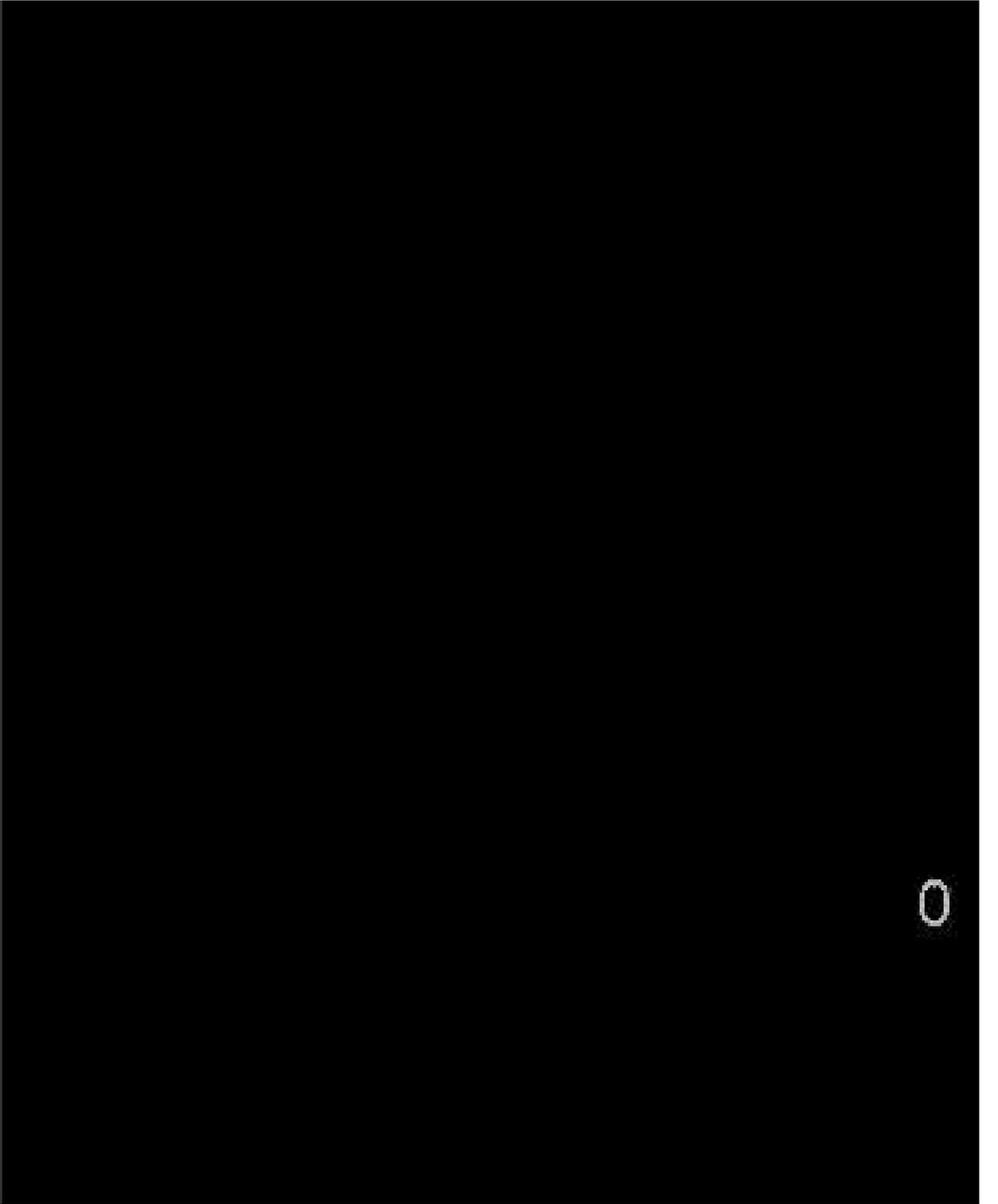
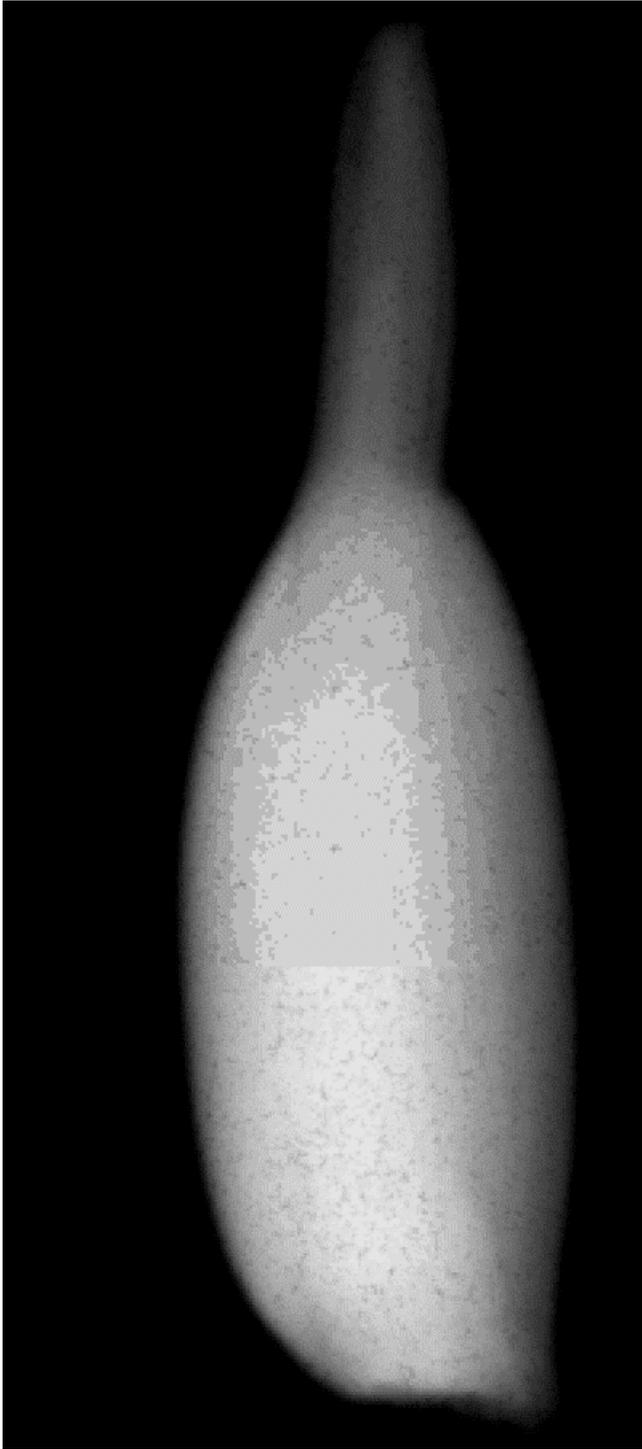
土壌中の根

ダイズ

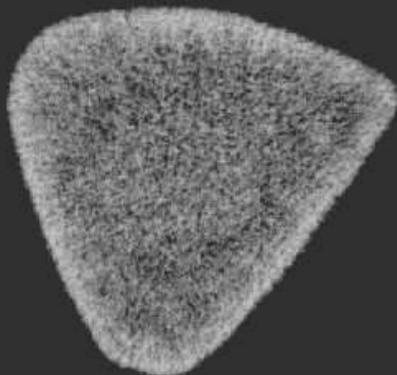


コムギ





0

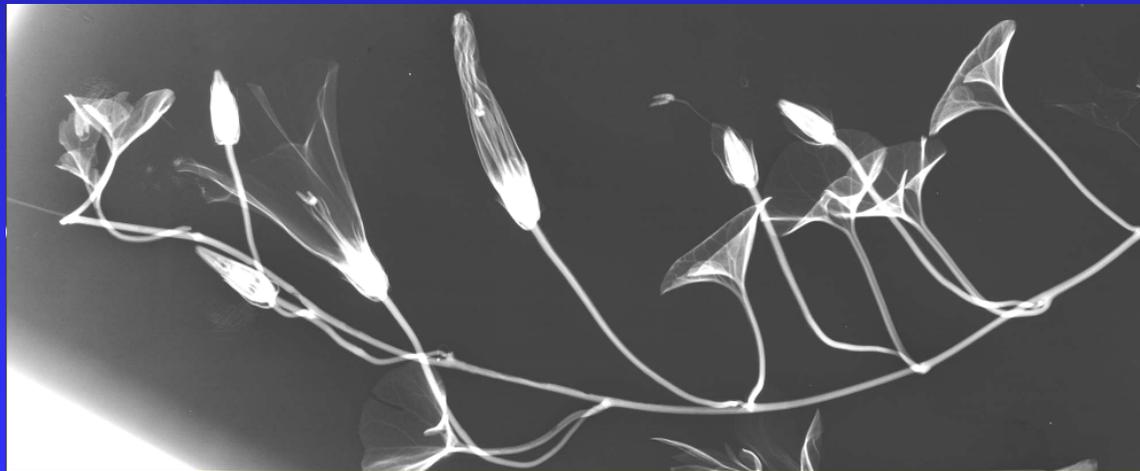


生きた植物中の水の動き

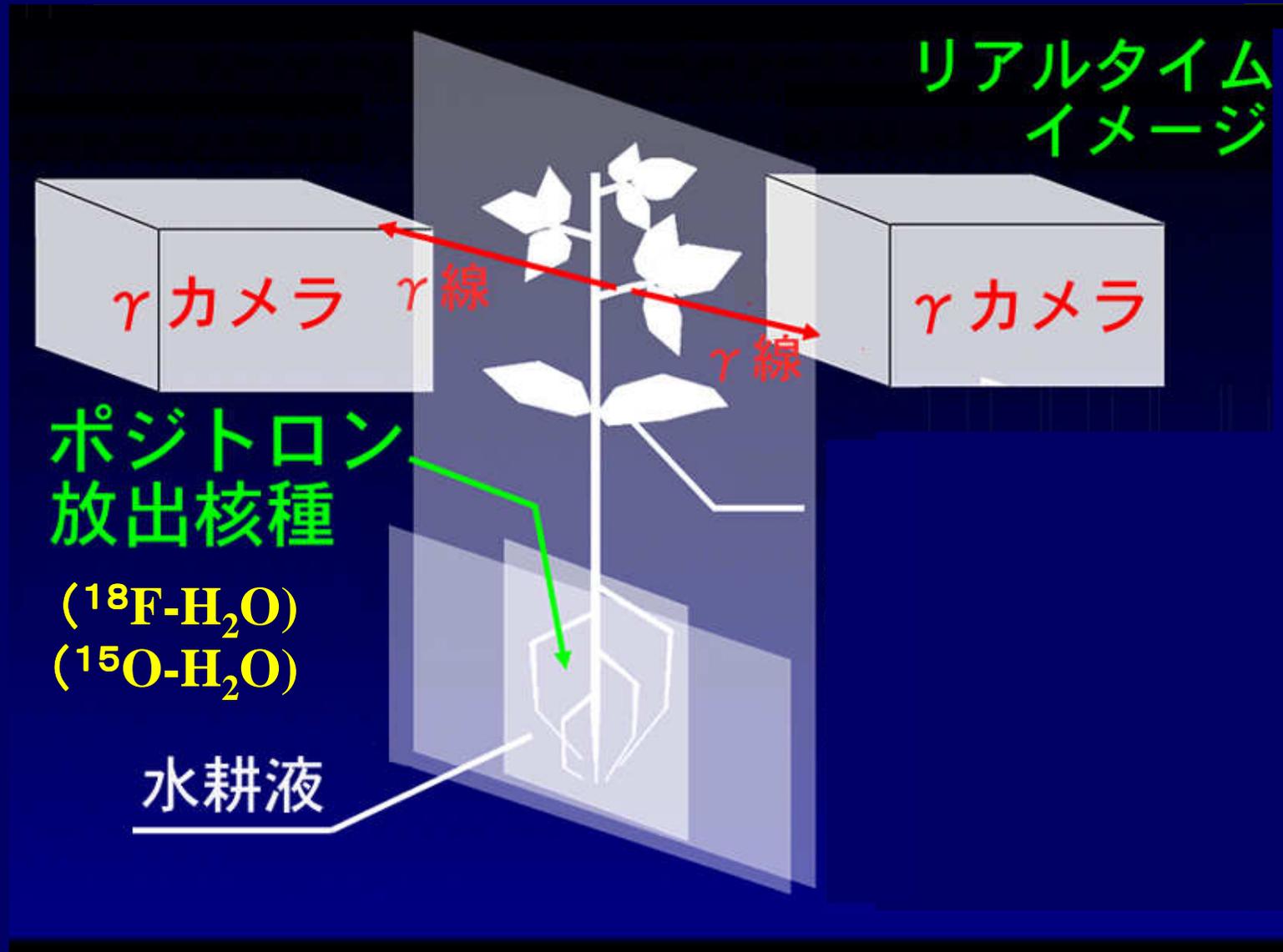
中性子線によるイメージング

静的分布 → 動き

アイソトープ(ポジトロン放出核種)

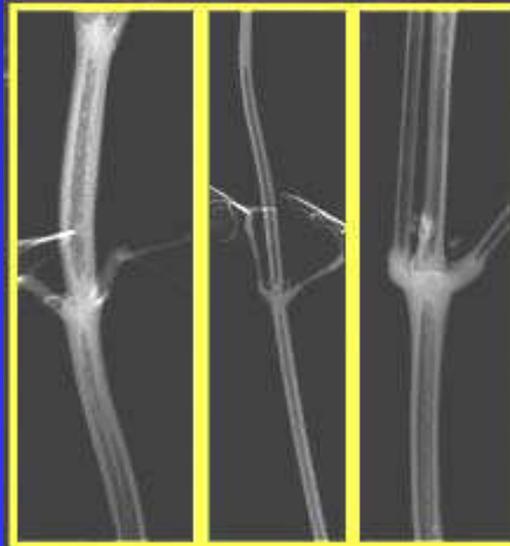
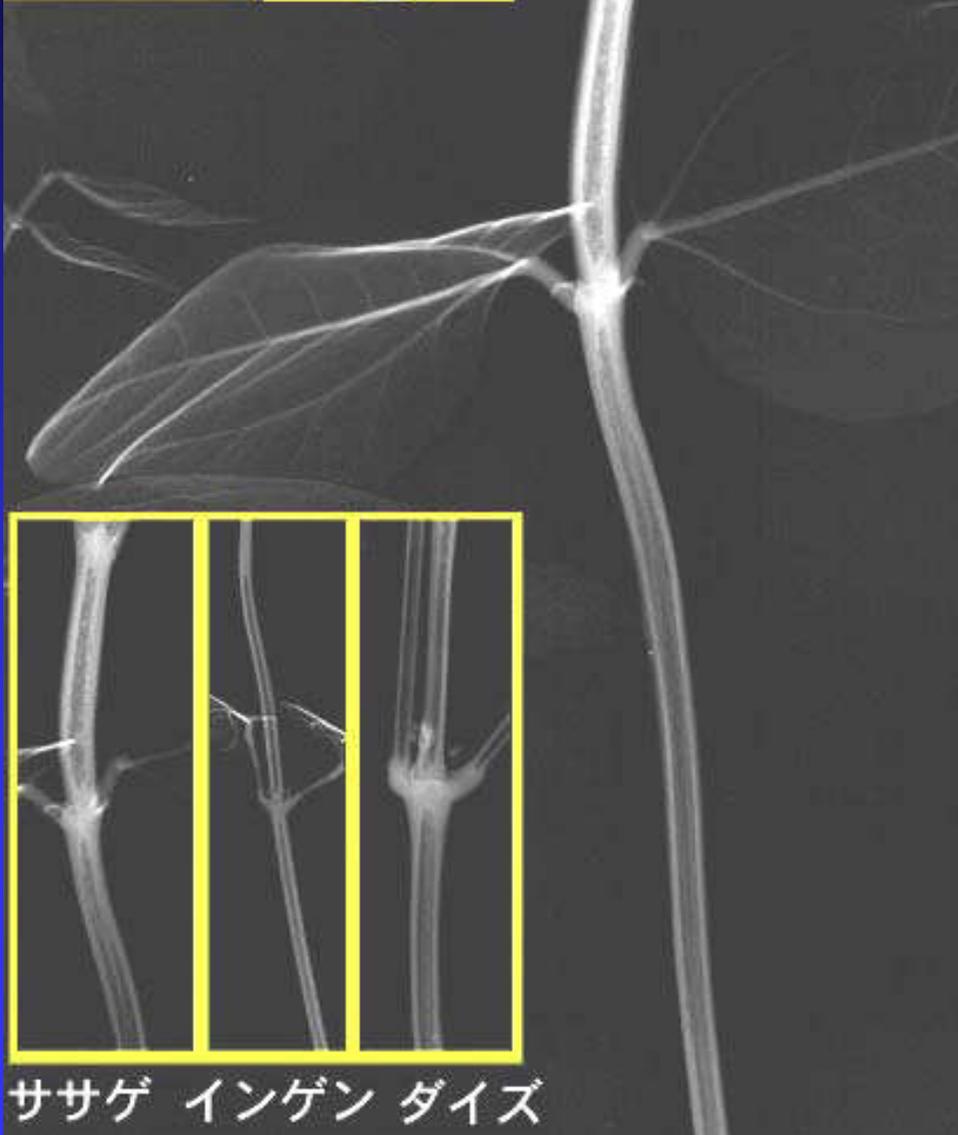
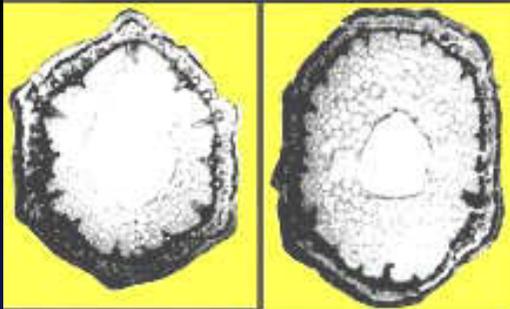


アイソトープ(ポジトロン放出核種)を利用した 水の動態観察の原理

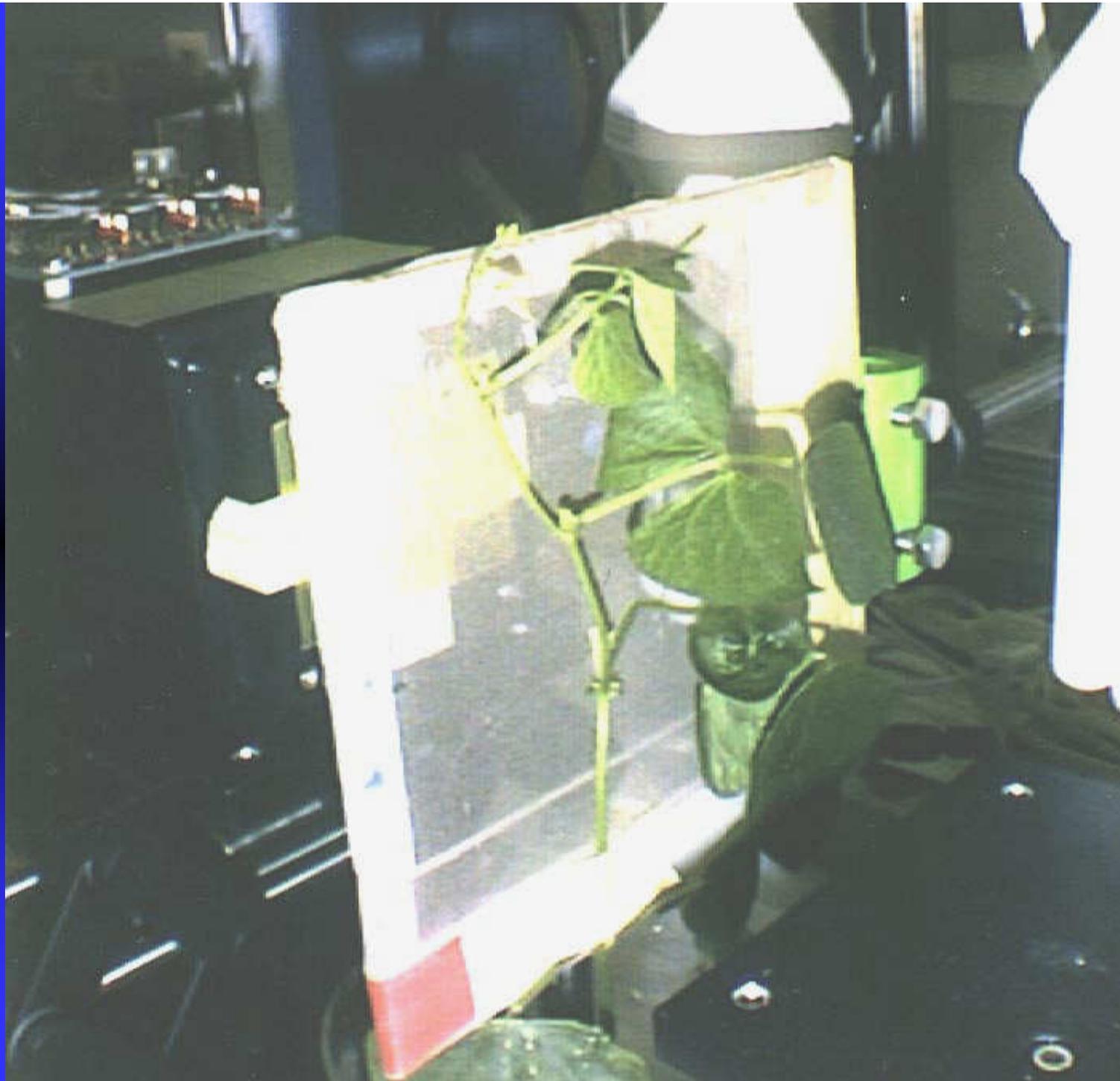


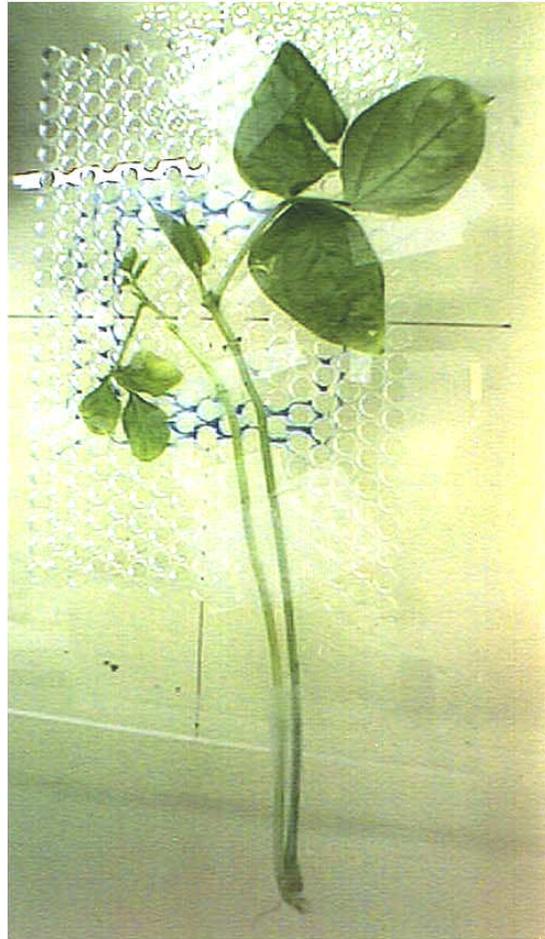
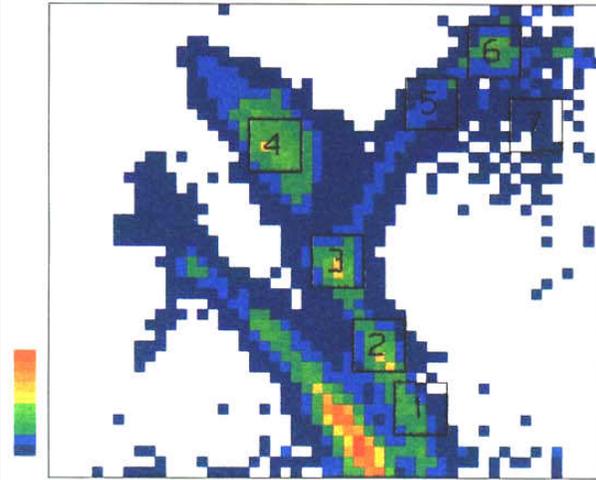
ポジトロン放出核種の製造

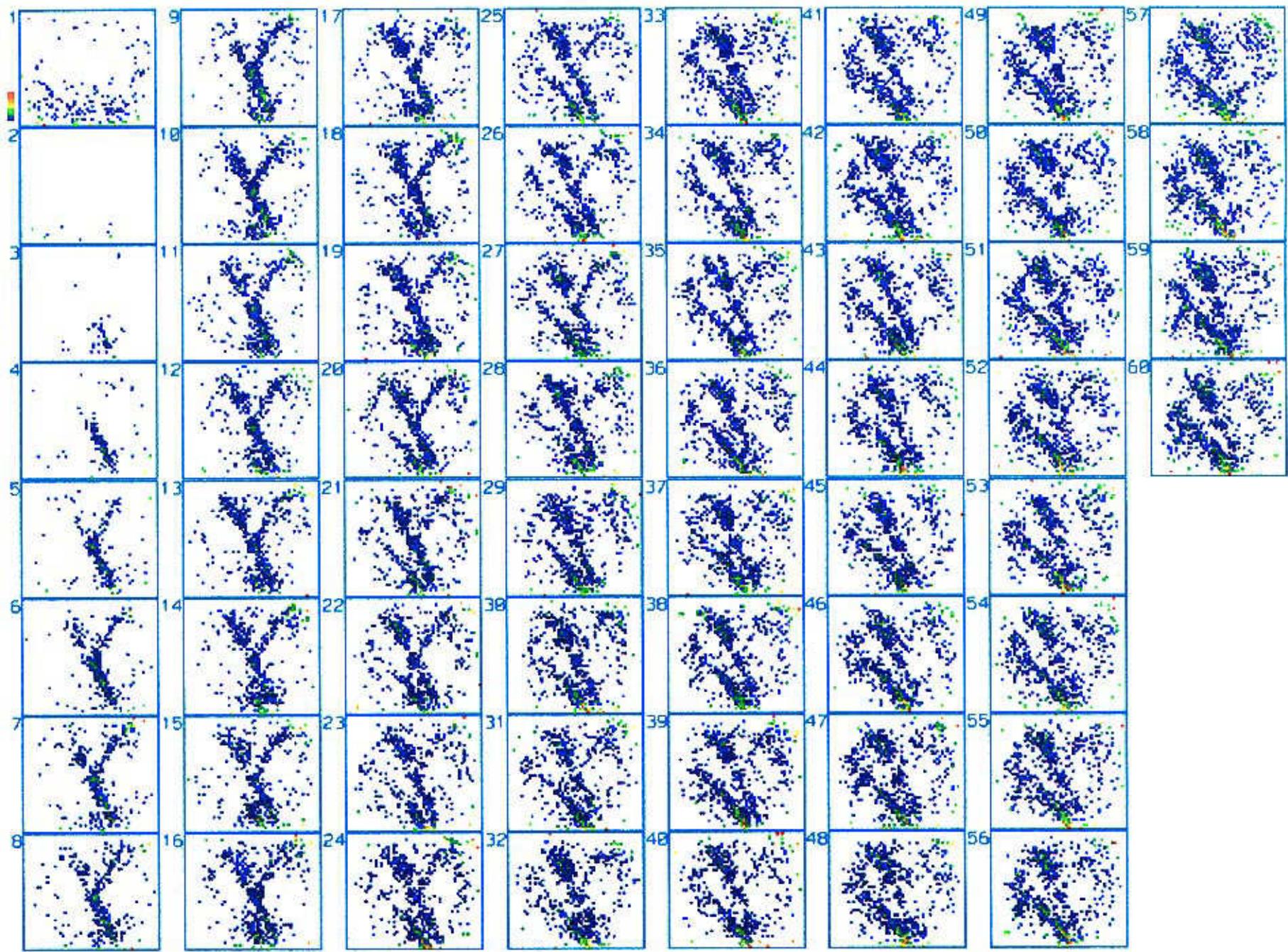
核種	半減期	e ⁺ -エネルギー	製造法	ターゲット	E _{th}
¹¹ C	20.4 (m)	0.961 MeV	¹⁴ N (p, α) ¹¹ C	N ₂	3.1 MeV
			¹⁰ B (d, n) ¹¹ C	B ₂ O ₃	3.0
¹³ N	9.97 (m)	1.20	¹⁶ O (p, α) ¹³ N	CO ₂ , H ₂ O	5.5
			¹² C (d, n) ¹³ N	CO ₂	0.3
			¹³ C (p, n) ¹³ N	¹³ CO ₂	3.2
¹⁵ O	2.04 (m)	1.73	¹³ N (p, n) ¹⁵ O	¹⁵ N ₂	3.7
			¹⁴ N (d, n) ¹⁵ O	N ₂	
¹⁸ F	110 (m)	0.634	¹⁸ O (p, n) ¹⁸ F	H ₂ ¹⁸ O, ¹⁸ O ₂	
			²⁰ Ne (d, α) ¹⁸ F	Ne ₂	2.6
			¹⁶ O (α, pn) ¹⁸ F	H ₂ O	
⁴⁸ V	15.9 (d)	0.697	Ti (p, xn) ⁴⁸ V	Ti	
			⁴⁵ Sc (α, n) ⁴⁸ V	Sc	



ササゲ インゲン ダイズ

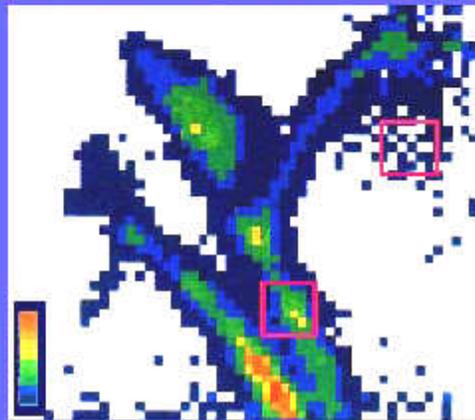




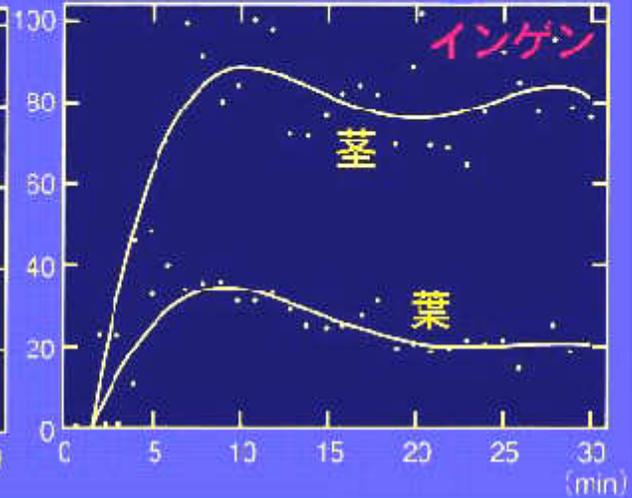
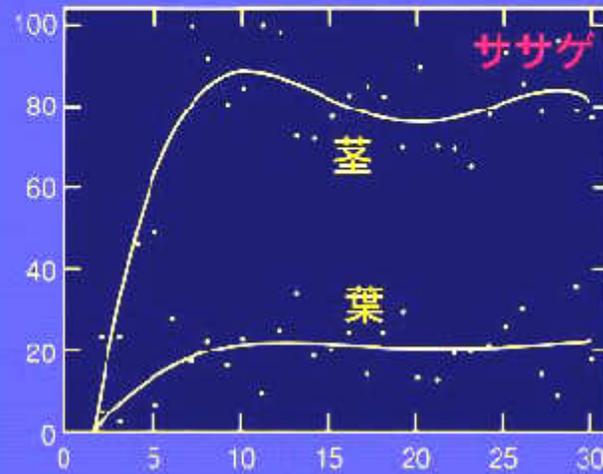


ササゲとインゲンの水分吸収能

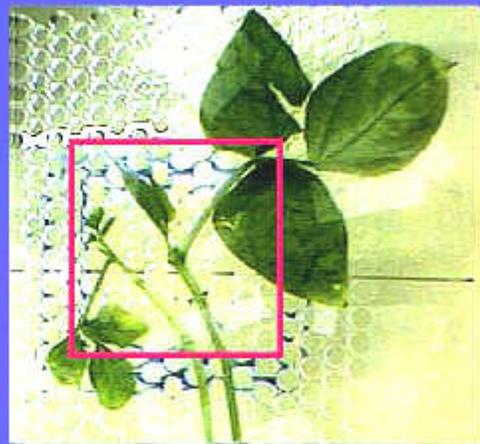
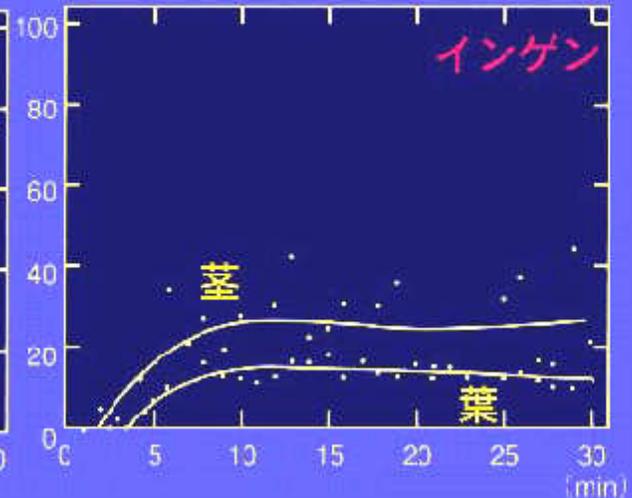
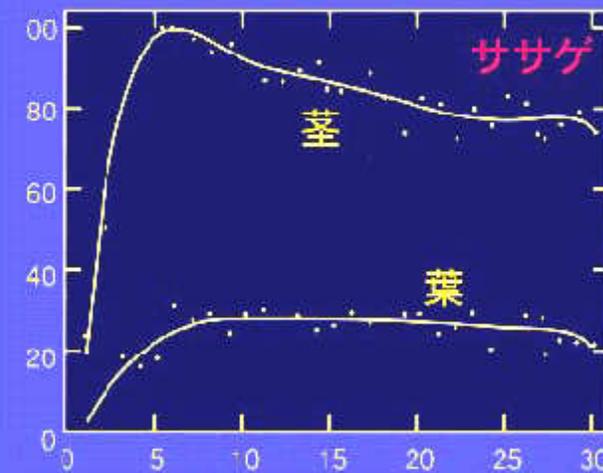
リアルタイム画像



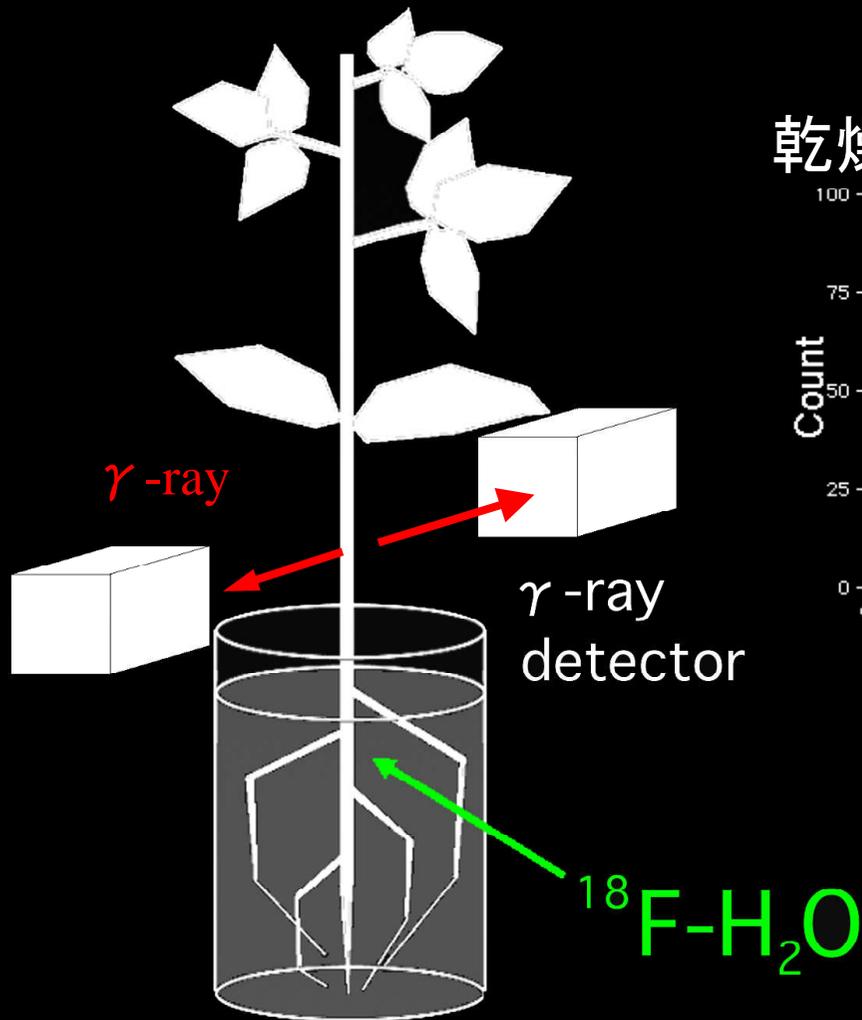
乾燥処理前



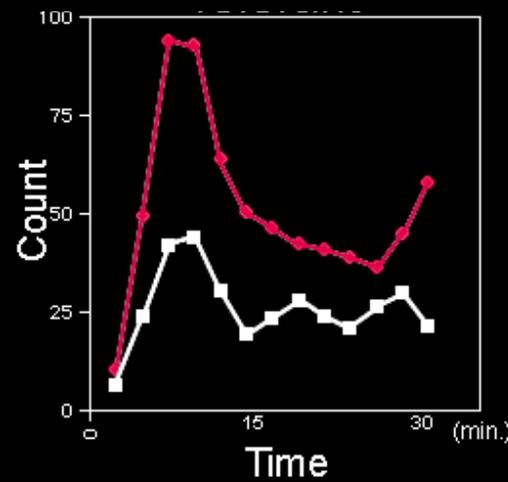
乾燥処理後



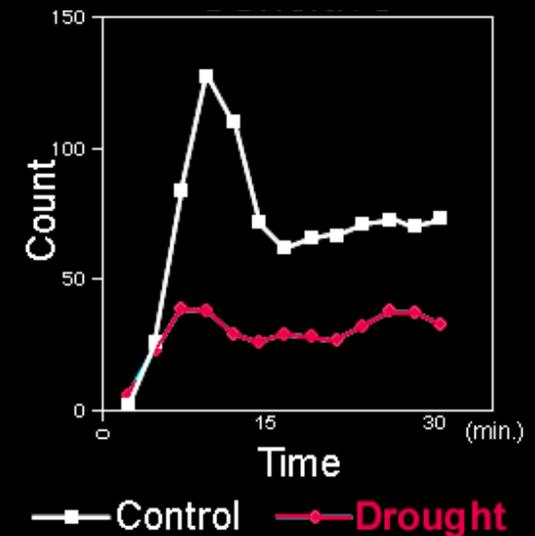
ササゲの水吸収-乾燥に強いものと弱いもの- 乾燥処理前後では？

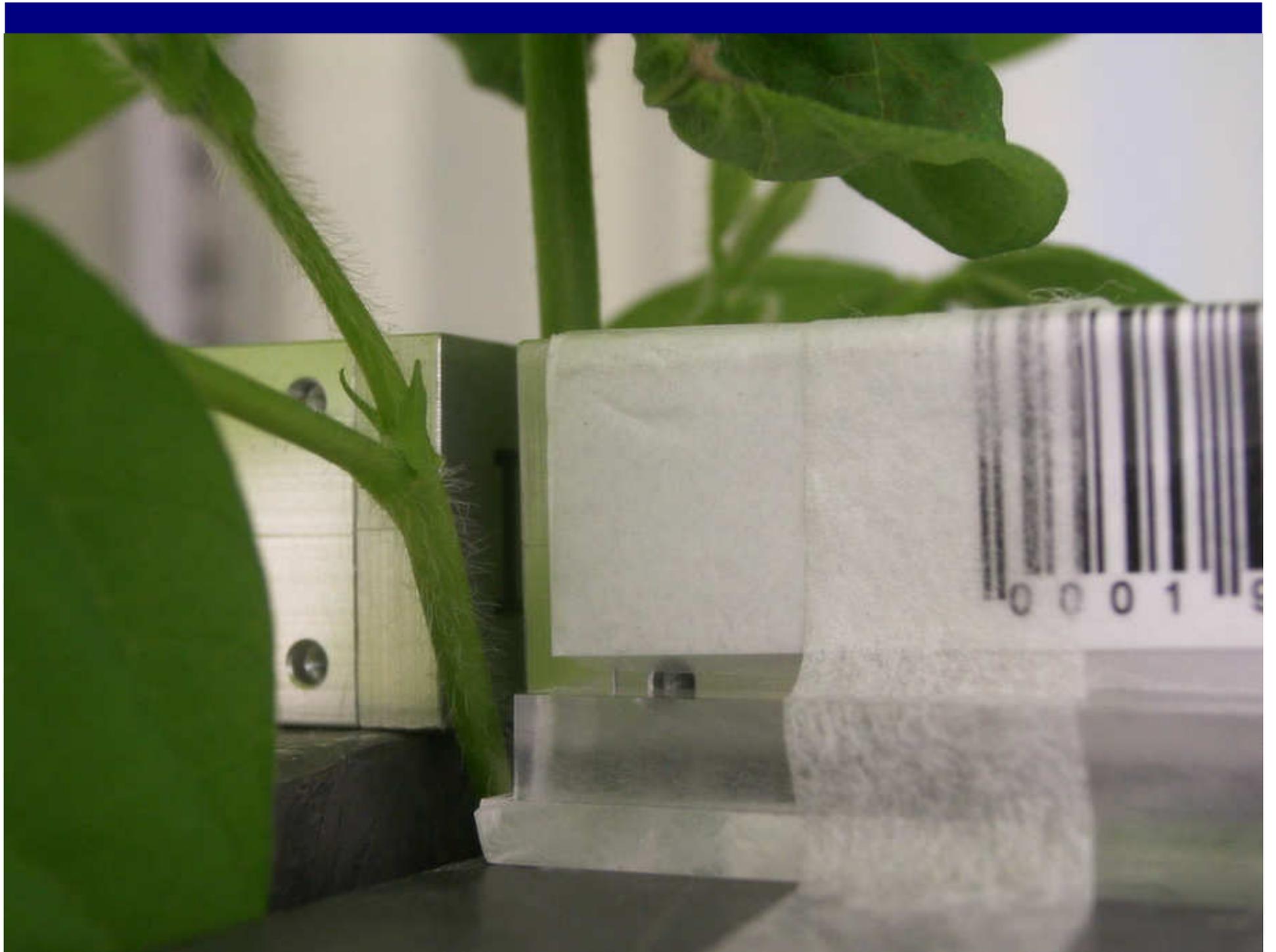


乾燥に強いササゲ

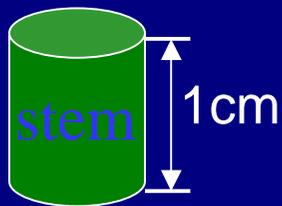
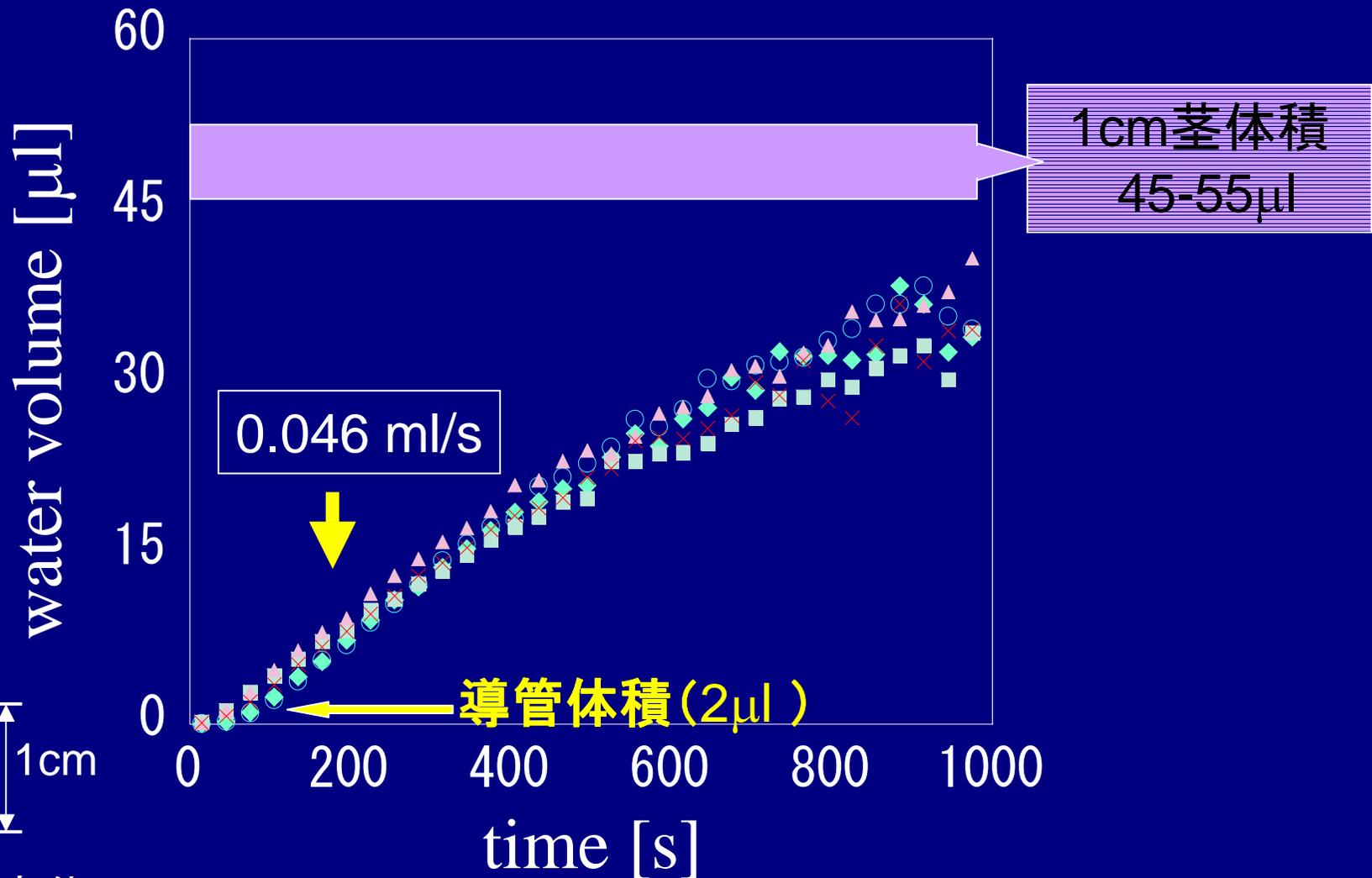


乾燥に弱いササゲ





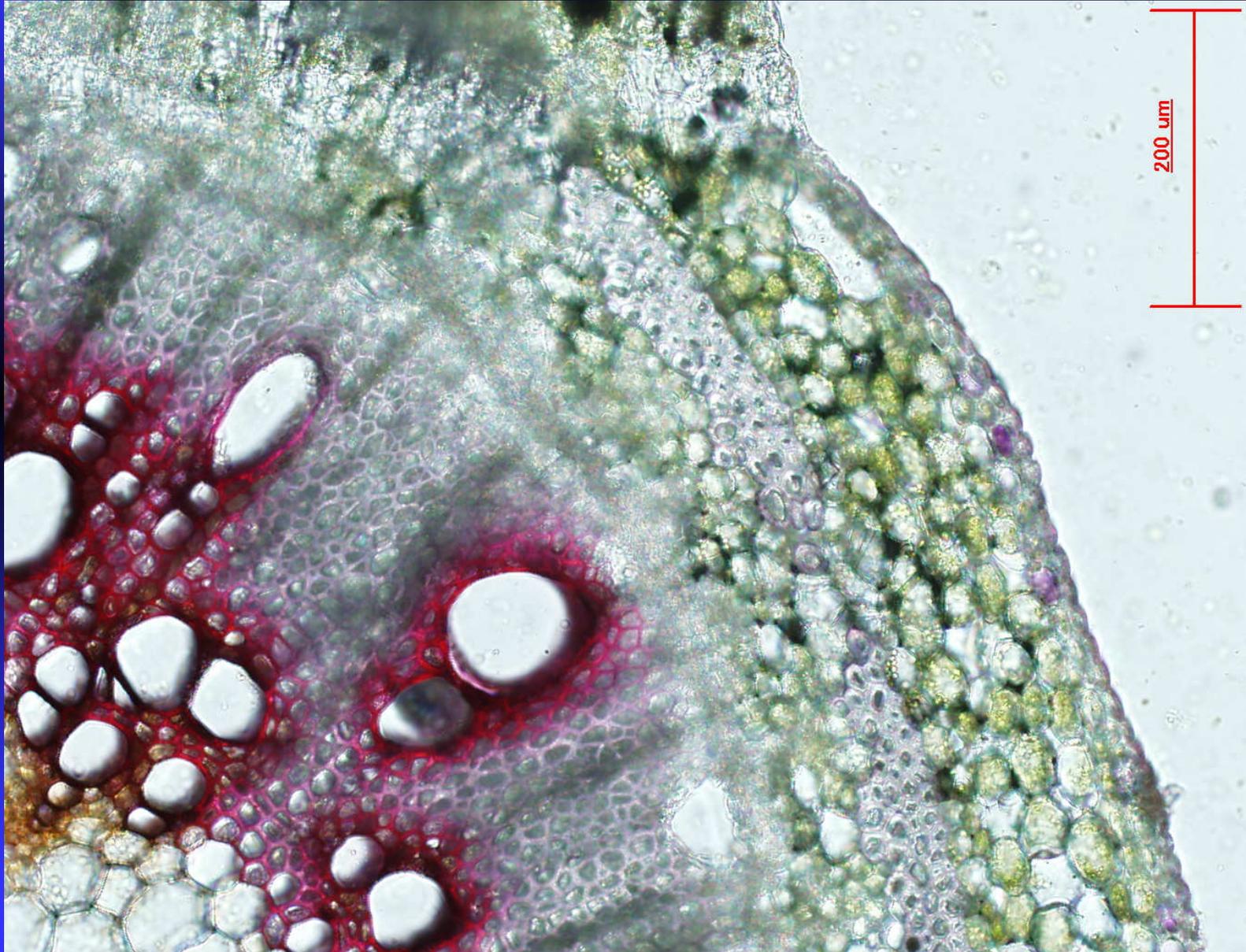
ダイズの水吸収



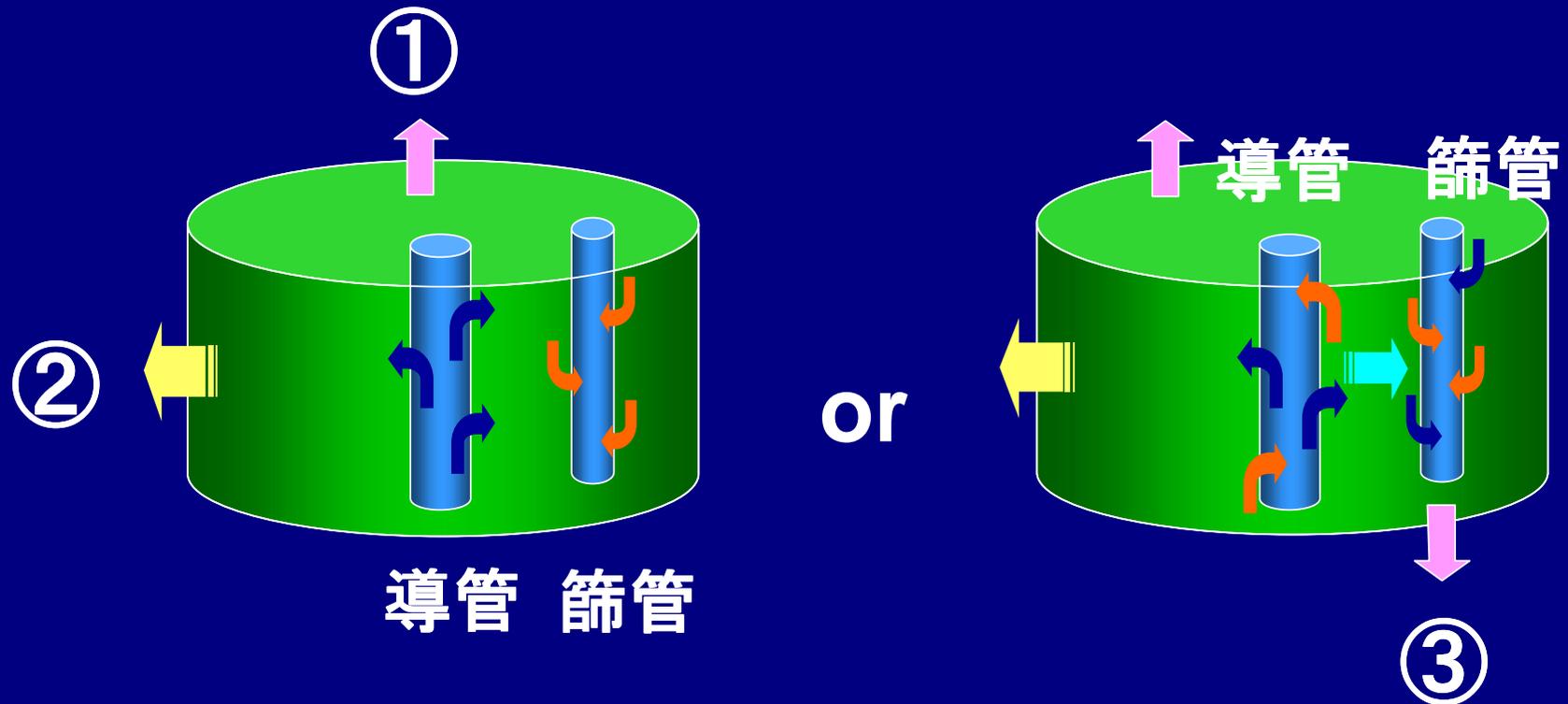
子葉上2cm部位

(N=5)

莖—木部・篩部

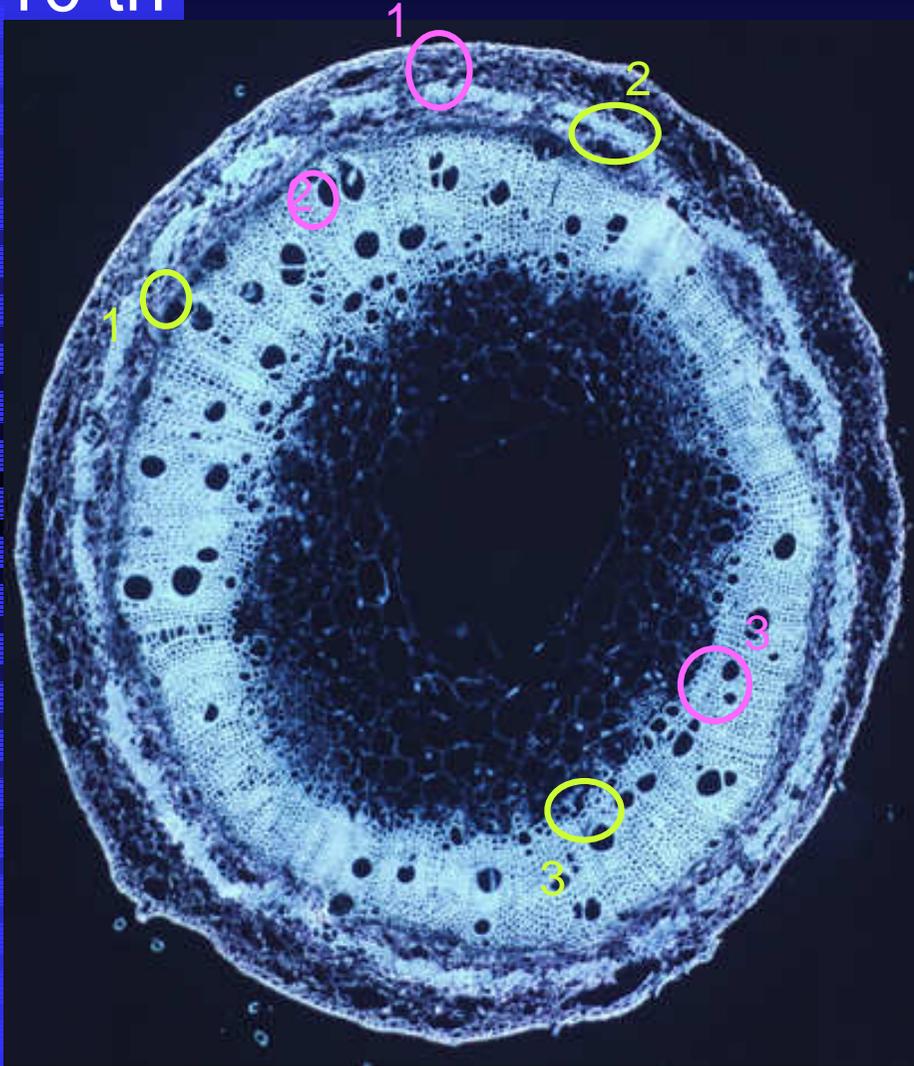


導管漏出流のその後

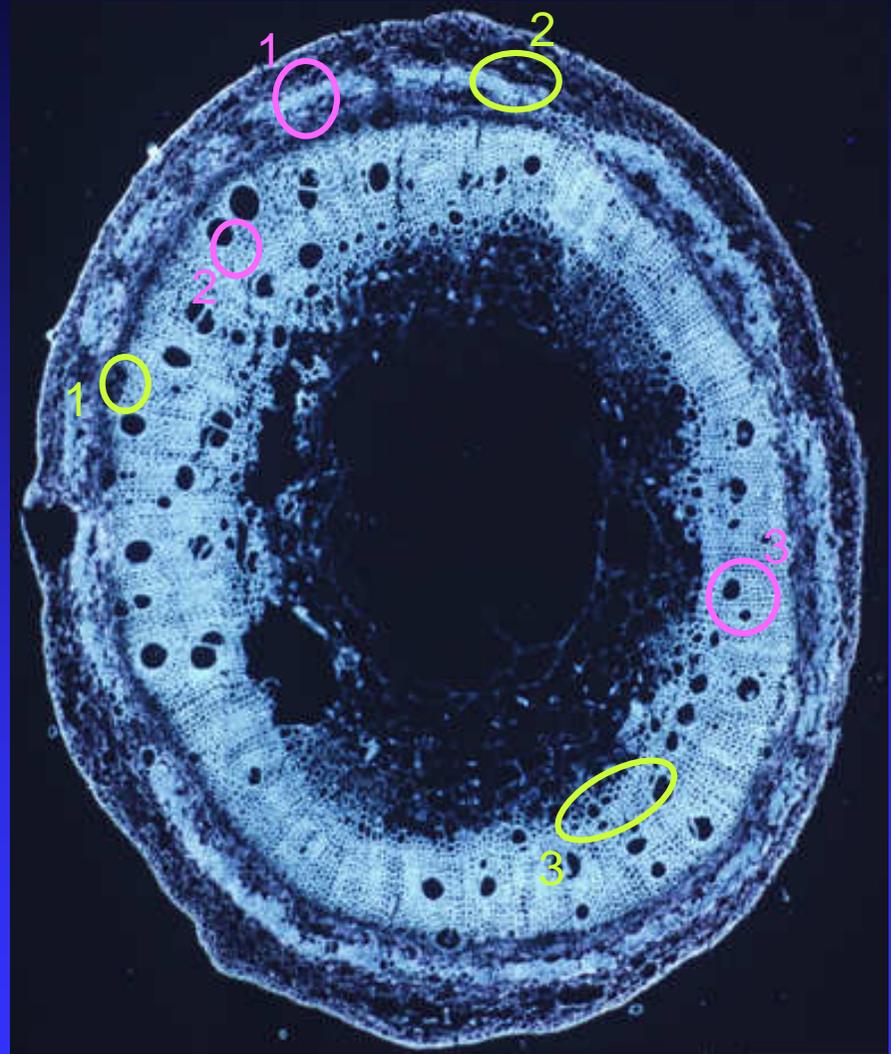


- ① 髓 (or木部等) から上部へ
- ② 茎表面から蒸散
- ③ 篩管から下部へ

10 th



200 th

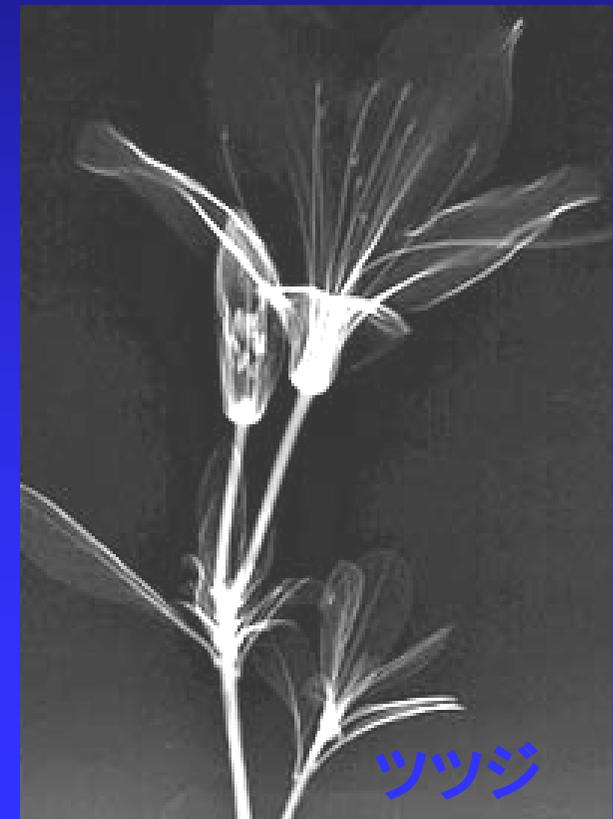


導管より漏出した水は10分程度で茎全体にいきわたる。

⇒茎内における水の移動(交換)は容易

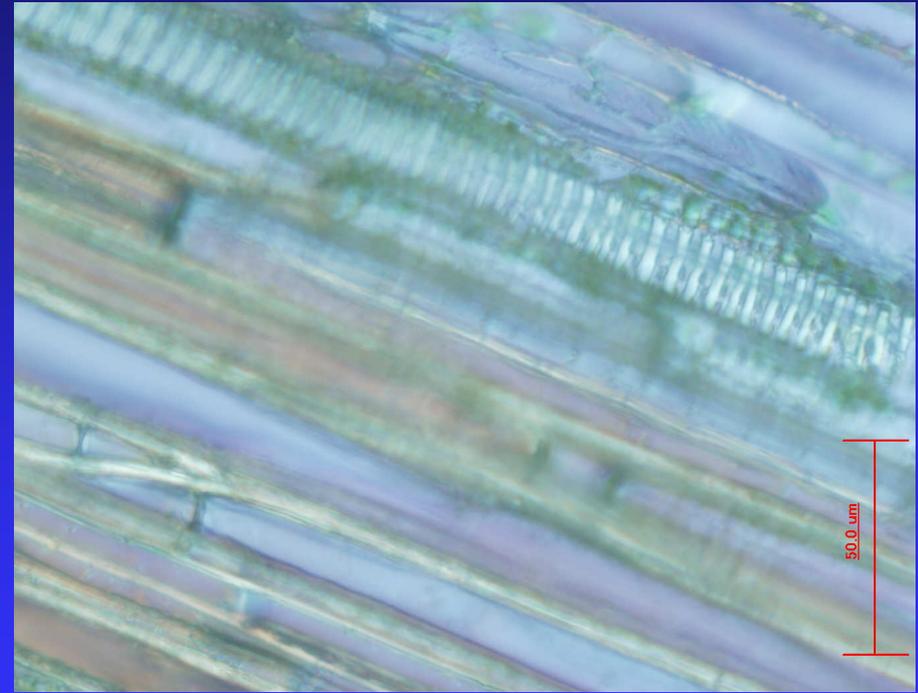
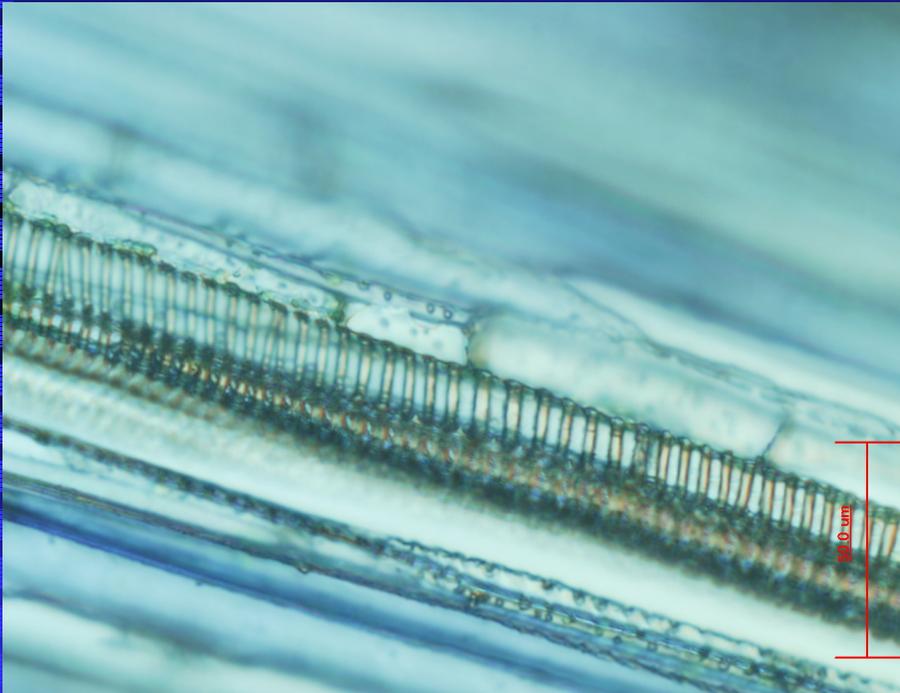
交換される水量は湿度50~80%
でほぼ一定。

⇒拡散が駆動力



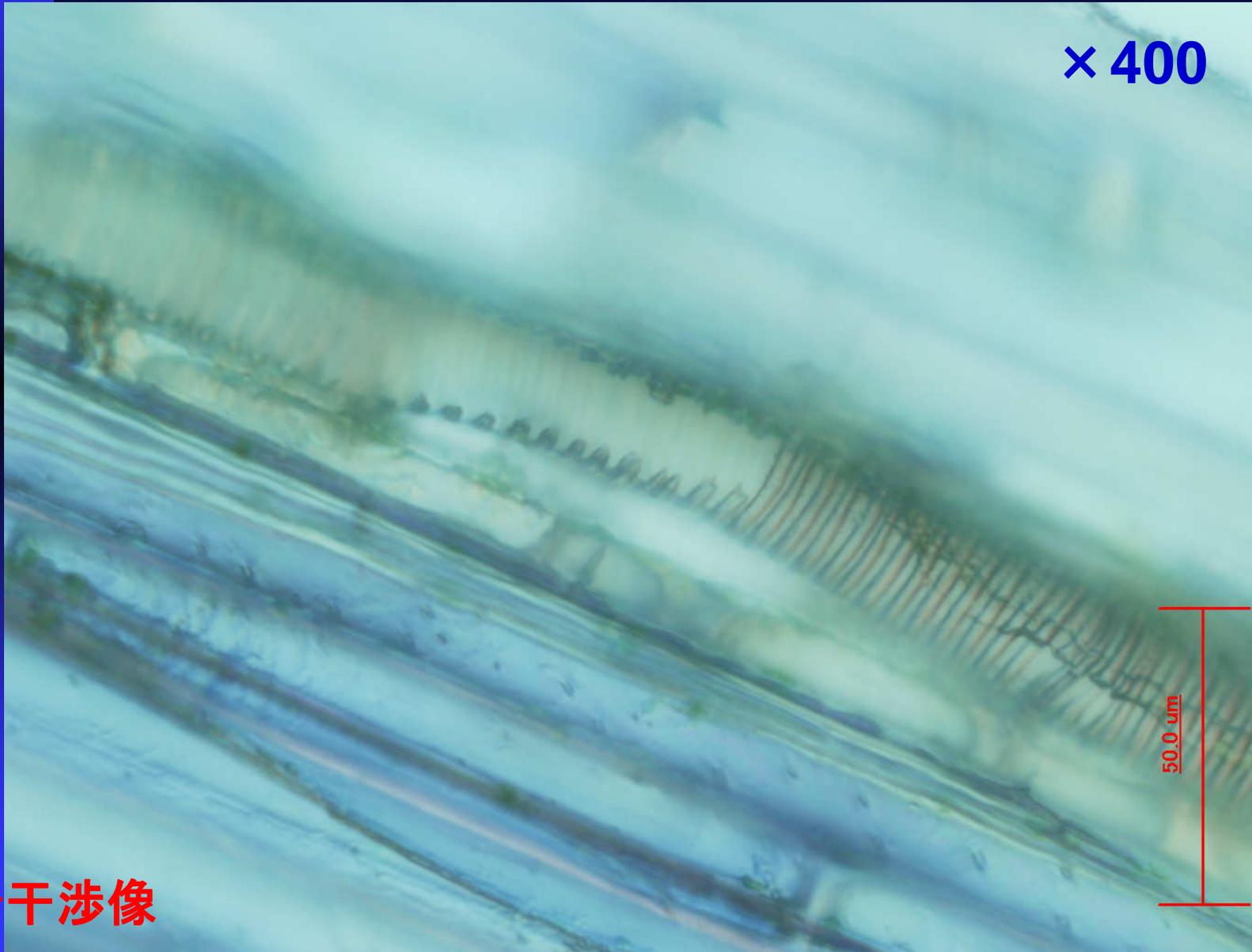
導管の構造

× 400



微分干涉像

導管の内部構造



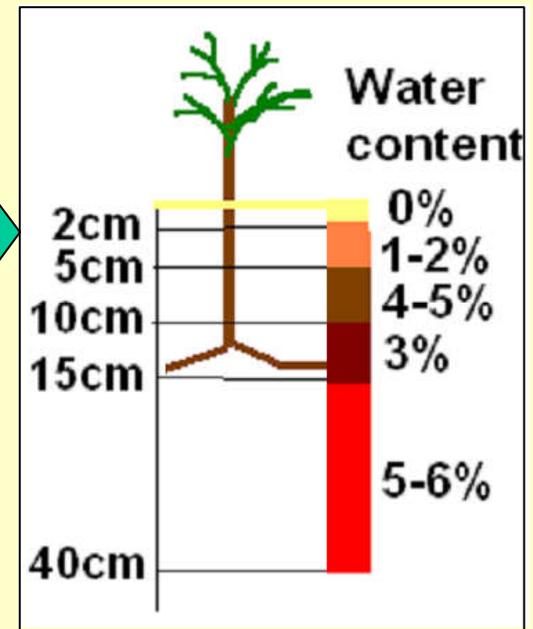
*微分干涉像

植物はどの位水が必要か？

植物生育に少なくとも10%以上は必要といわれていた。

乾燥地でも生育する植物は吸収水分量は小

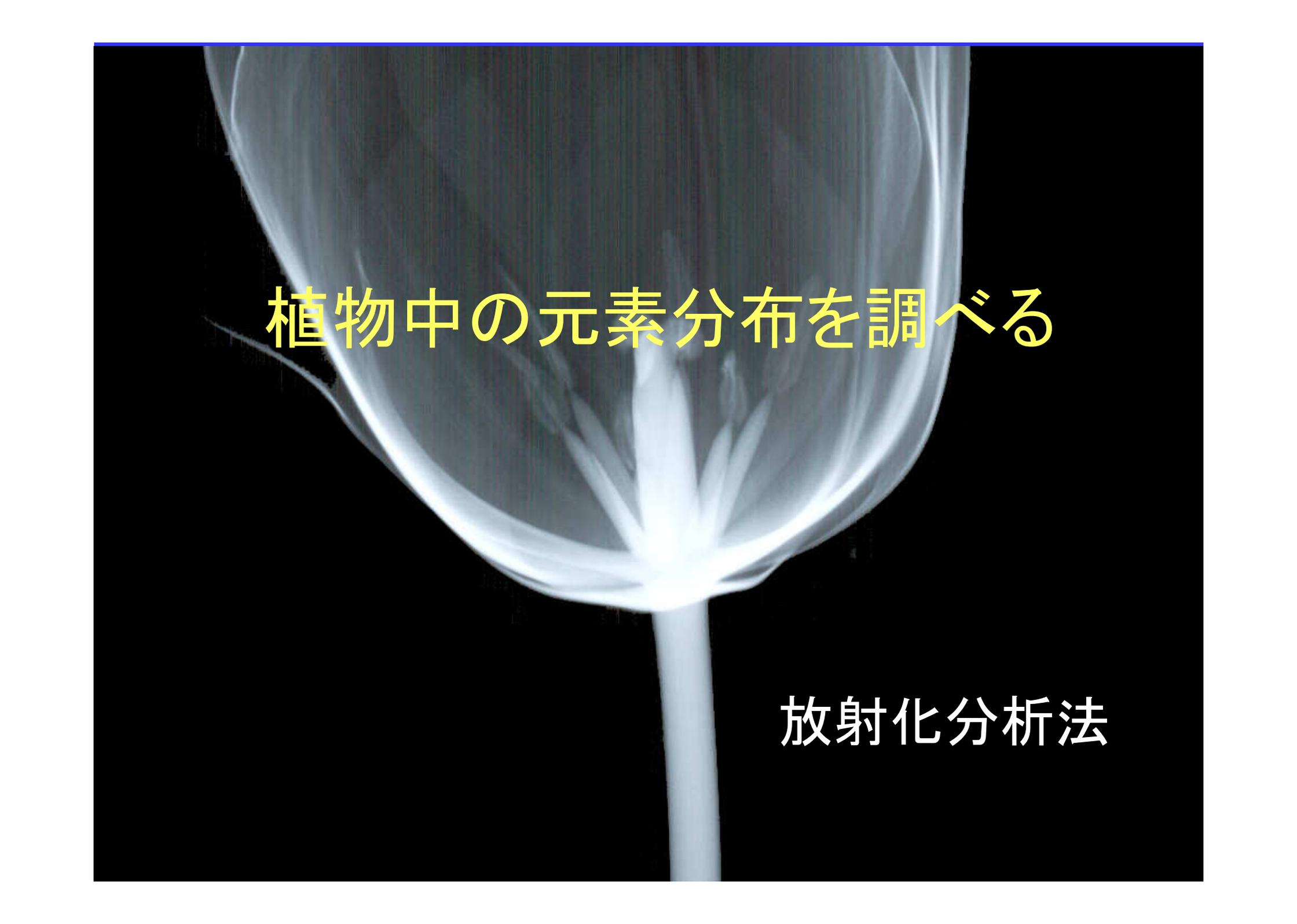
体内で必要とする水量の1000倍以上蒸散しているといわれていた。



湿度100%(蒸散は極少)でも正常に生育

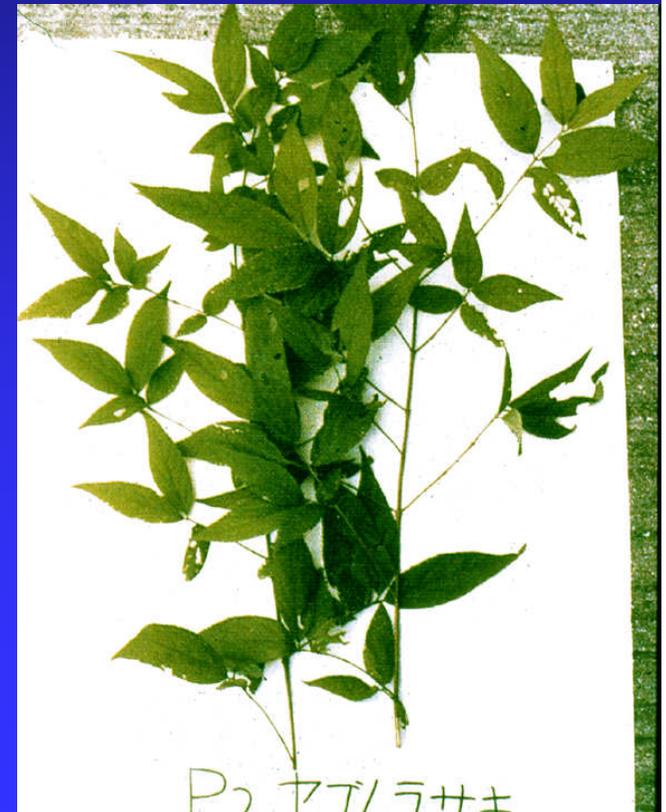
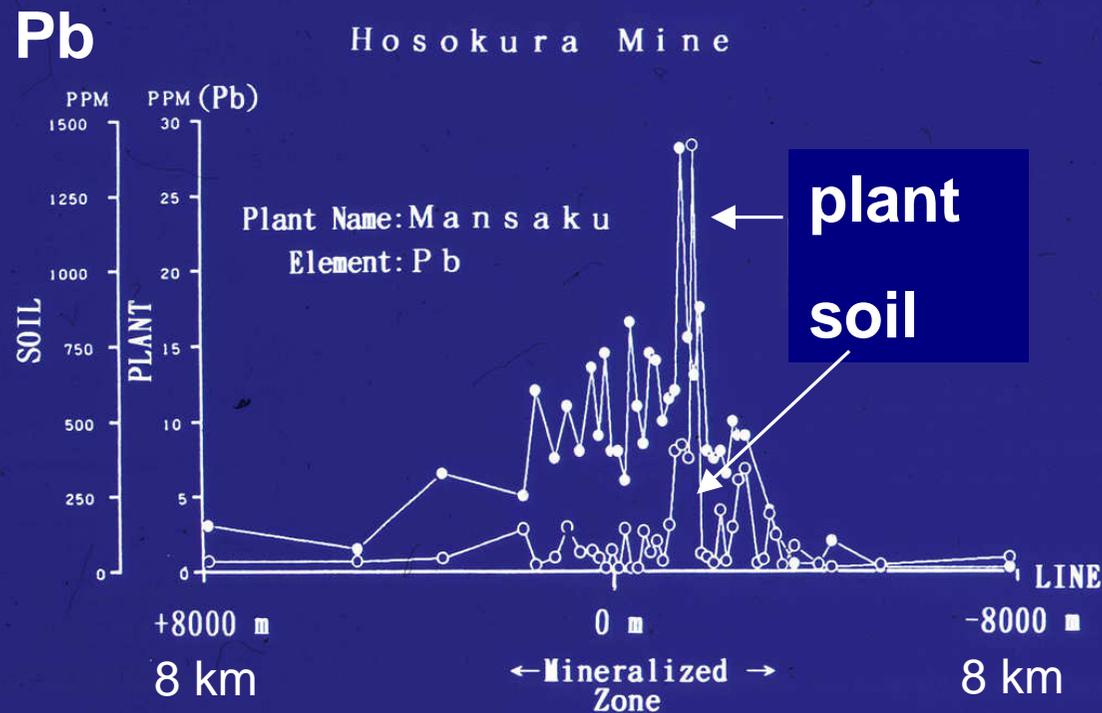
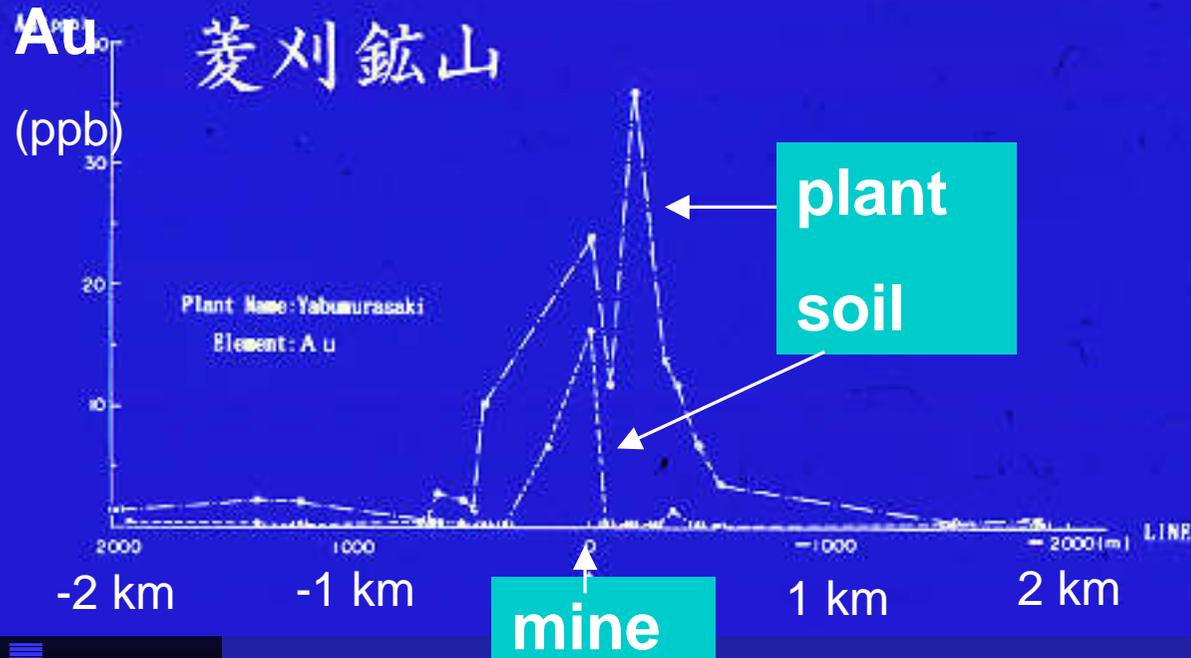
植物体内の水の動態の確保が最も大切では？

バーチャル・ウォーターって何？ 科学的根拠は？

A fluorescence image of a tulip flower, showing the internal structure of the petals and the stem. The image is in grayscale, with the flower appearing as a bright, glowing shape against a dark background. The text is overlaid on the image.

植物中の元素分布を調べる

放射化分析法



植物において

- 必須元素・・・欠乏状態では、異常生育を示すか、一生を完結できない元素
- 有用元素・・・植物の生育を促進するか、ある特殊な条件下で必要な元素

→ これらの元素が欠乏または過剰な条件では、最適な収量は得られない。

元素の周期表

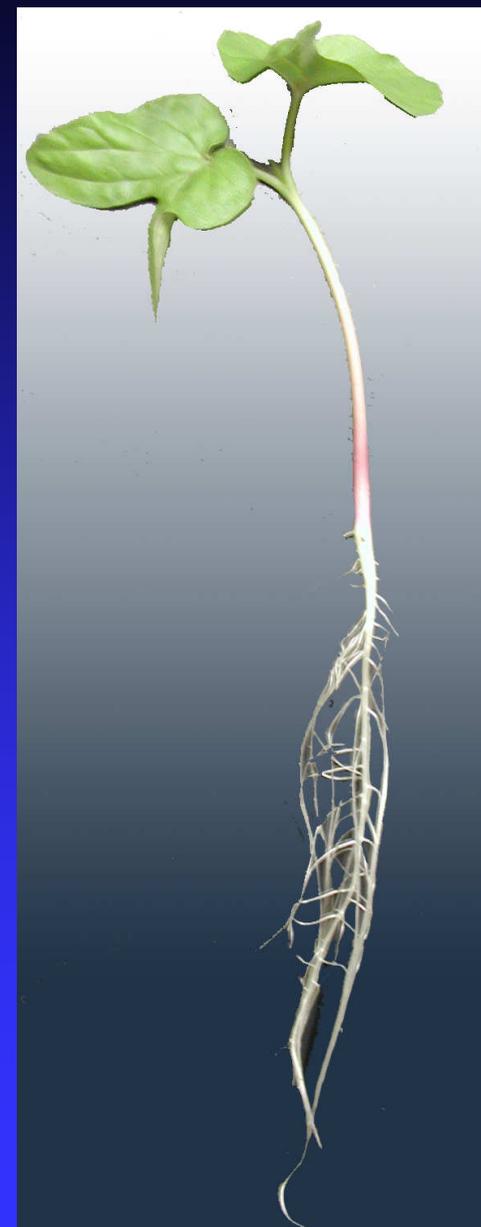
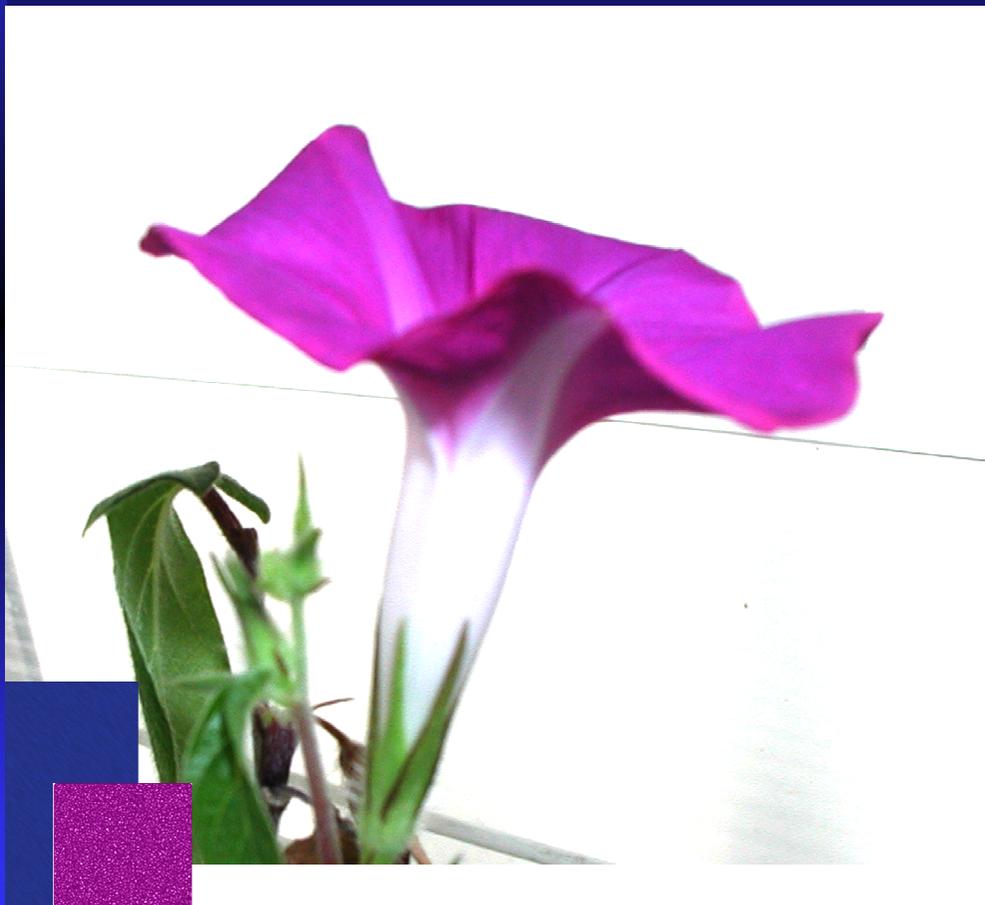
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	H																		He	1
2	Li	Be												B	C	N	O	F	Ne	2
3	Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar	3
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	4	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	5	
6	Cs	Ba	57~71 ランタノイド	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	6	
7	Fr	Ra	89~103 アクチノイド	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub		Uuq		Uuh		Uuo	7	

必須元素

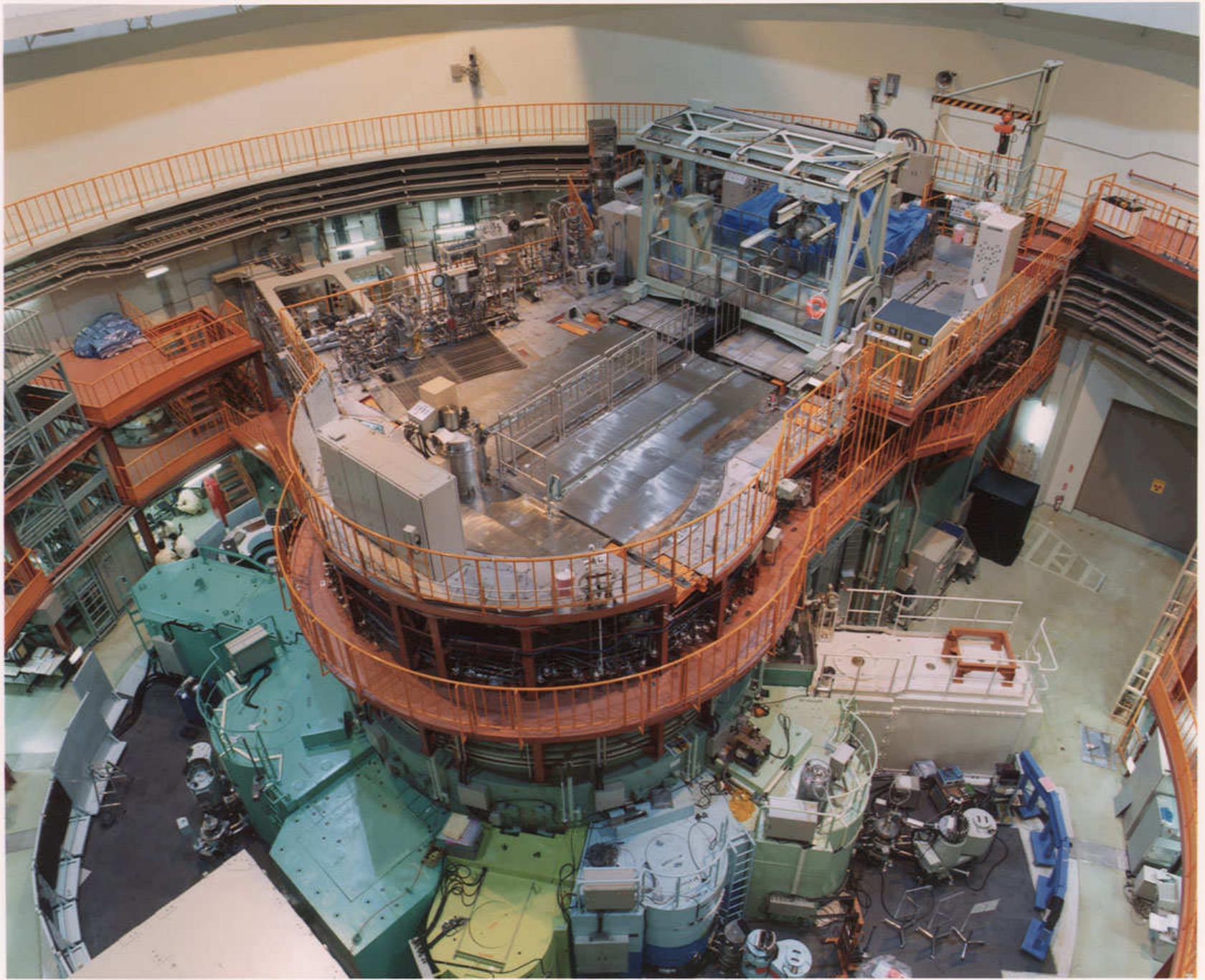
有用元素

放射化分析応用例

アサガオの中の元素の動き







中性子を利用した研究手法

標的核から散乱した中性子を利用する

中性子回折法

透過した中性子を利用する

中性子ラジオグラフィ

標的核と中性子との核反応を直接利用する

即発ガンマ線分析法

標的物質

標的核

即発 γ 線

放射性核種

壊変粒子

複合核

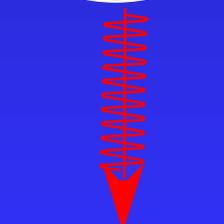
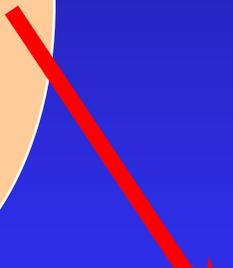
生成核

中性子

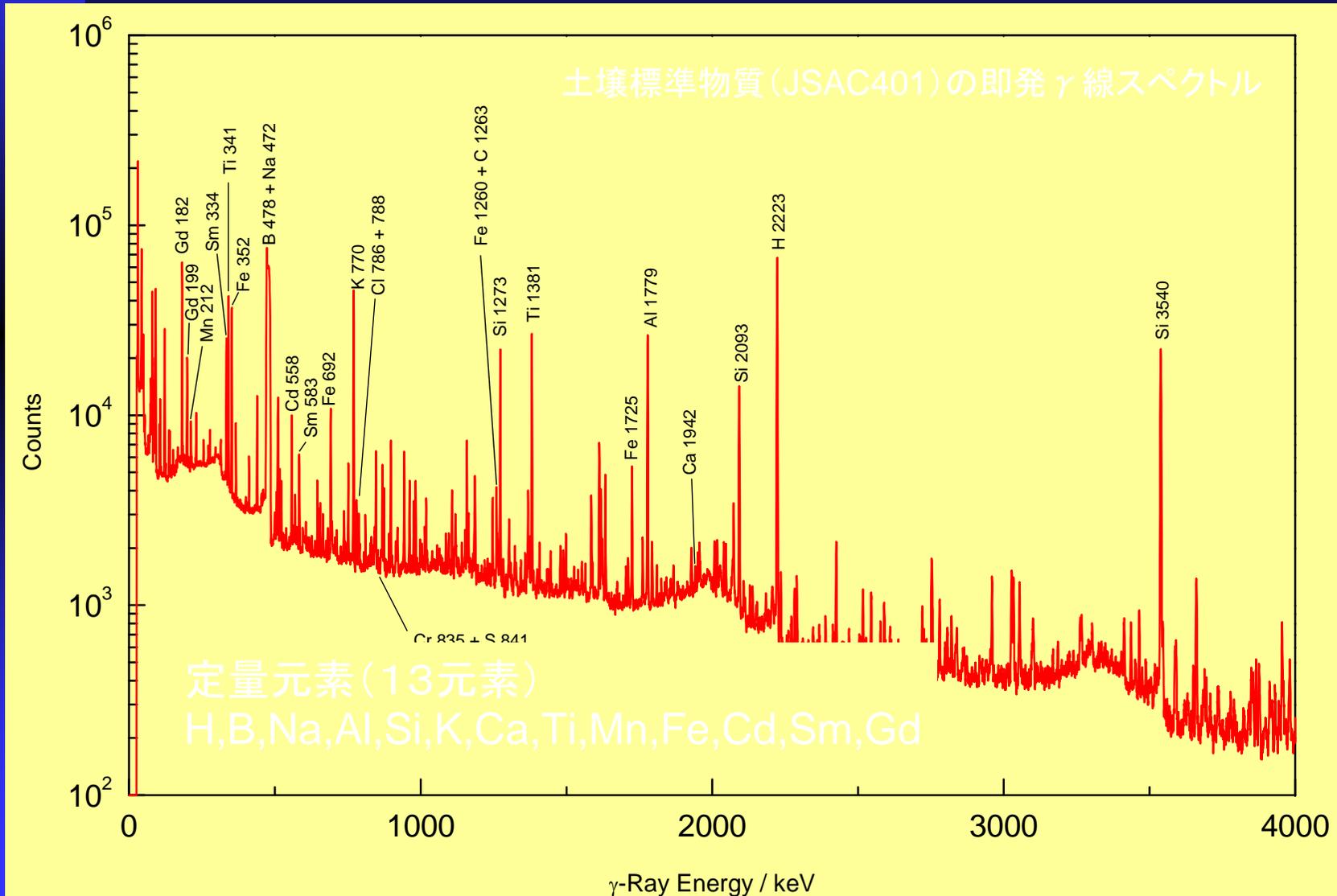
壊変 γ 線

生成した放射性核種を利用する

放射化分析法



即発 γ 線分析による標準物質の分析 (土壌標準物質の測定スペクトル)



アサガオ幼植物(発芽後7日目)

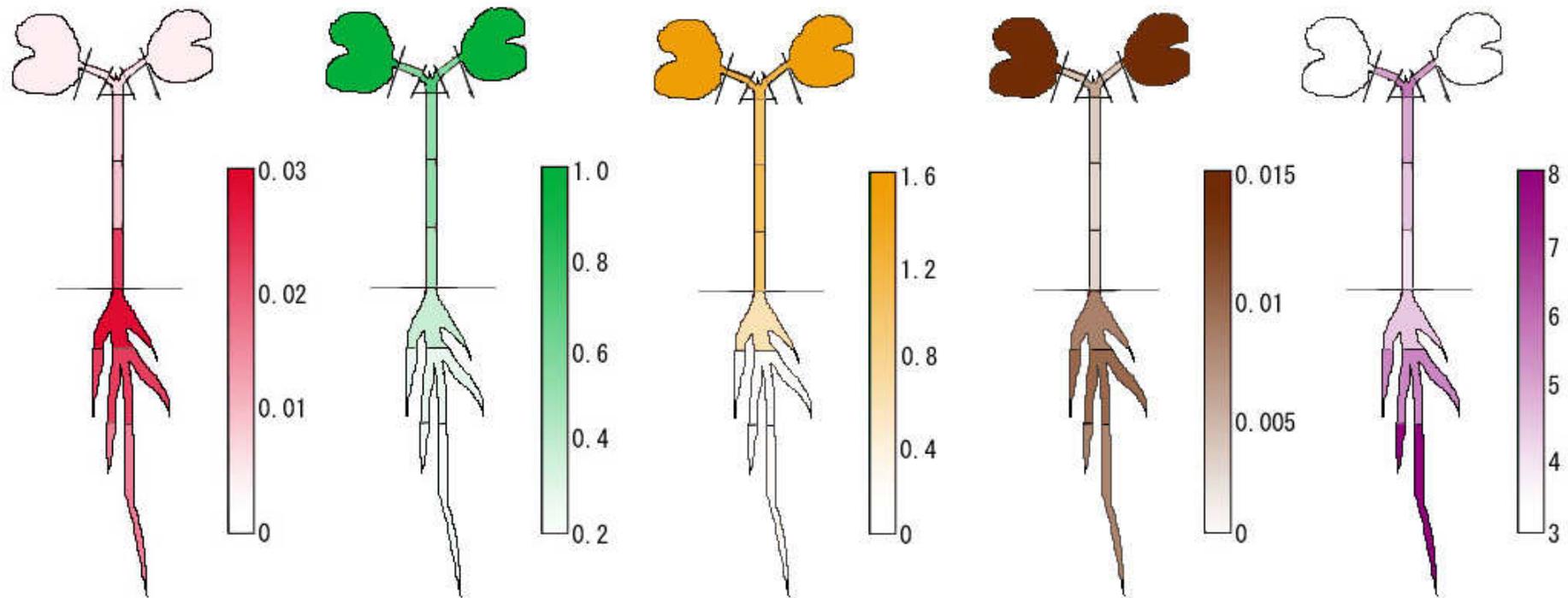
Na

Mg

Ca

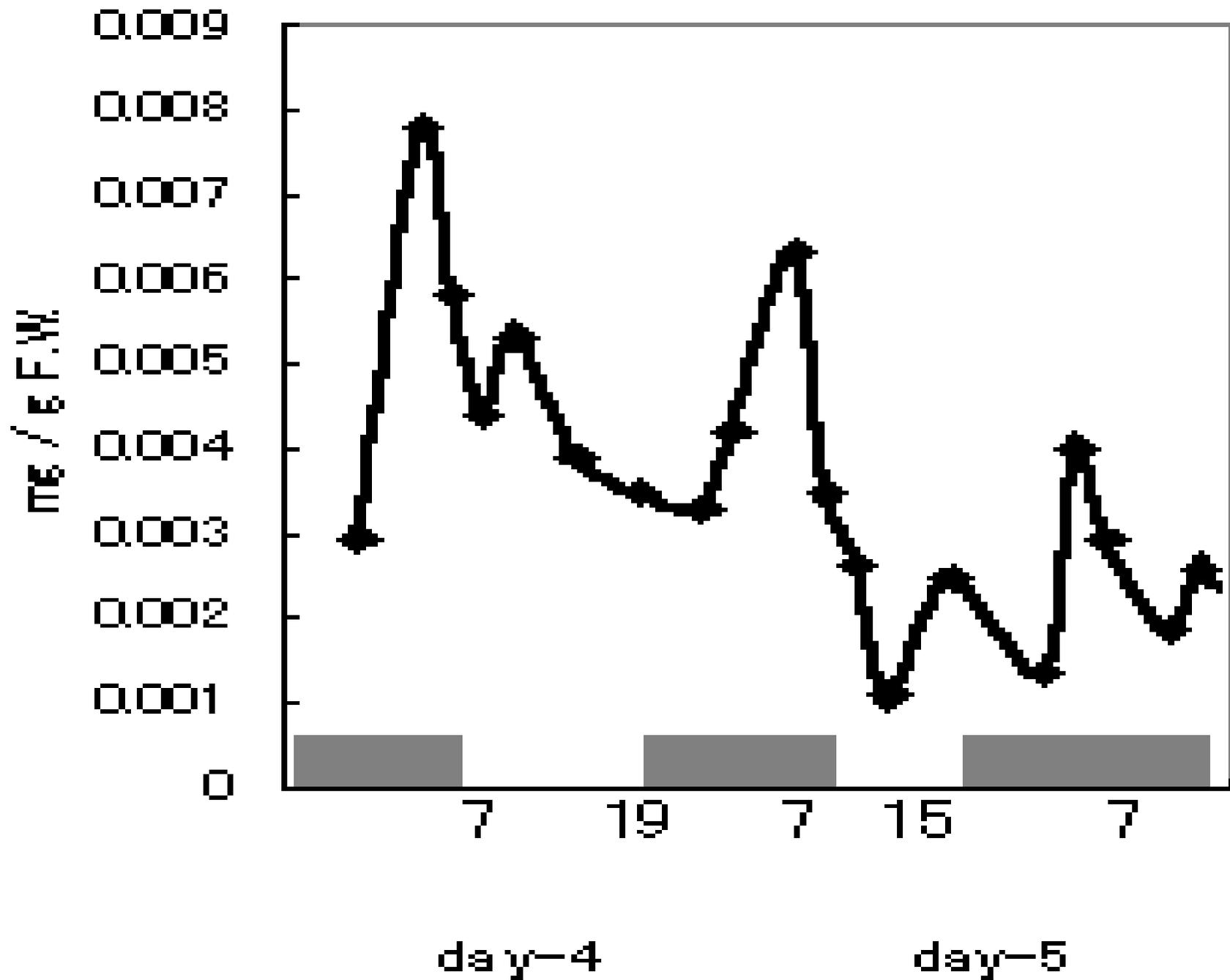
Mn

K

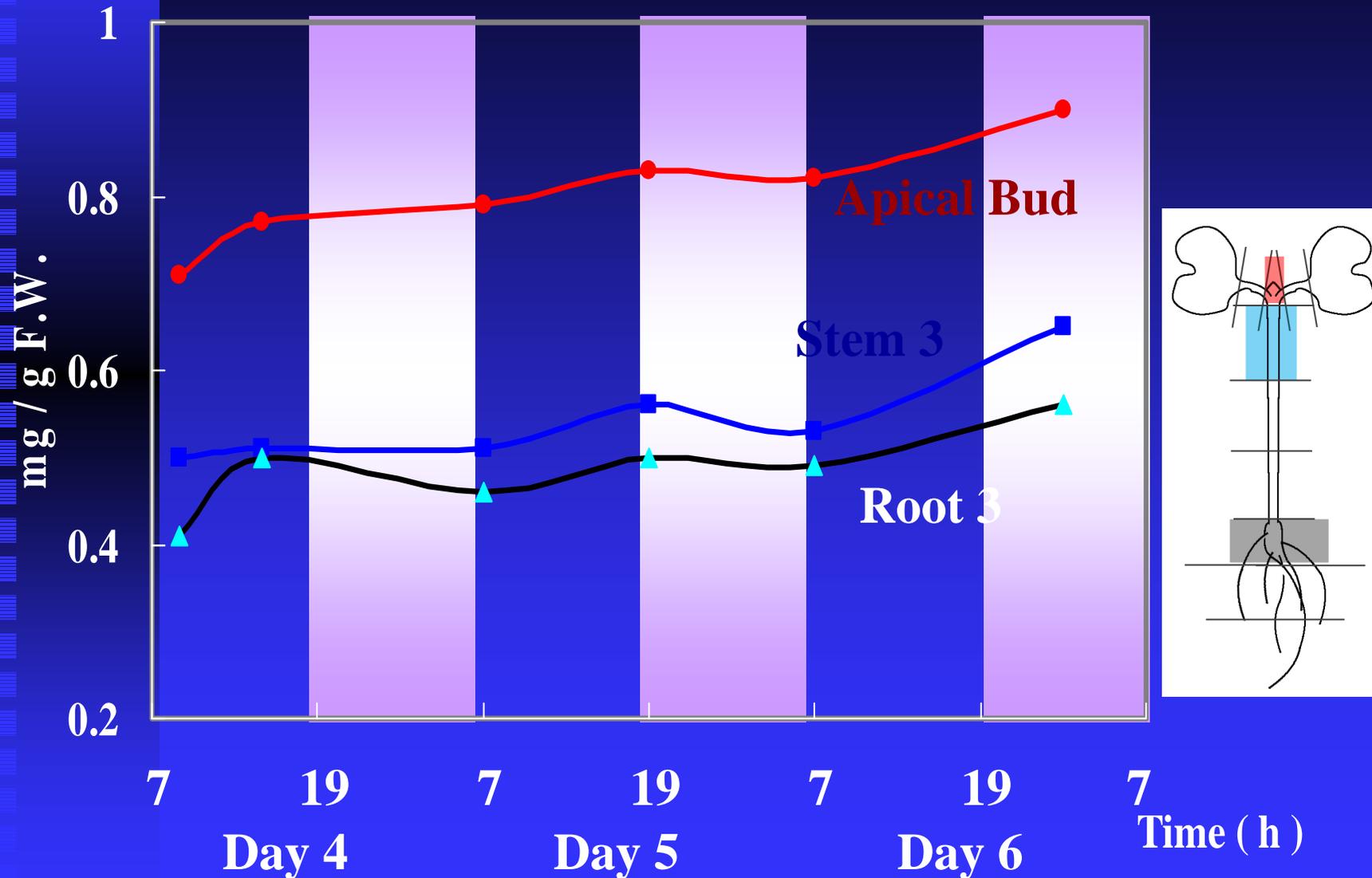


Average values through 55h to 67h were calculated and separated by colors.

Color bars : concentration (mg/g fresh weight)



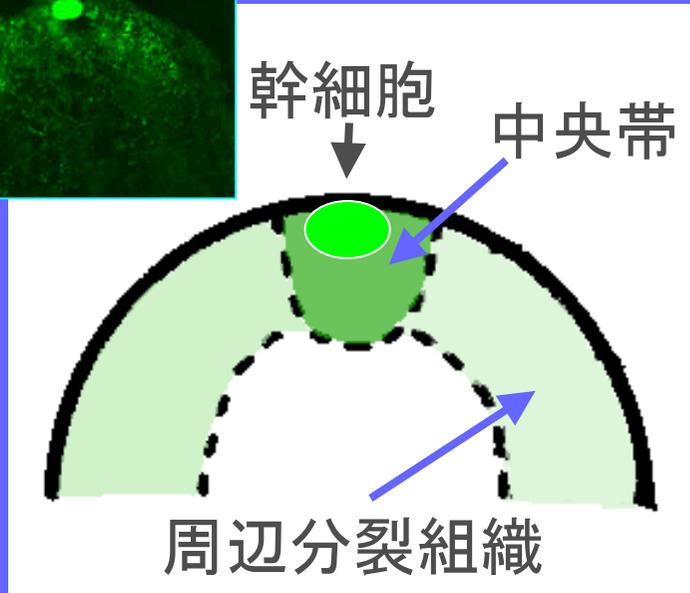
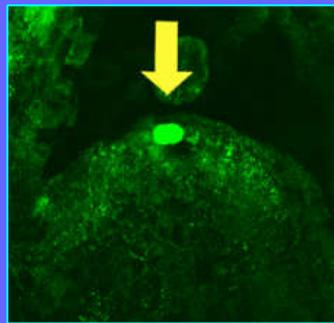
アサガオ中のMg 濃度変化



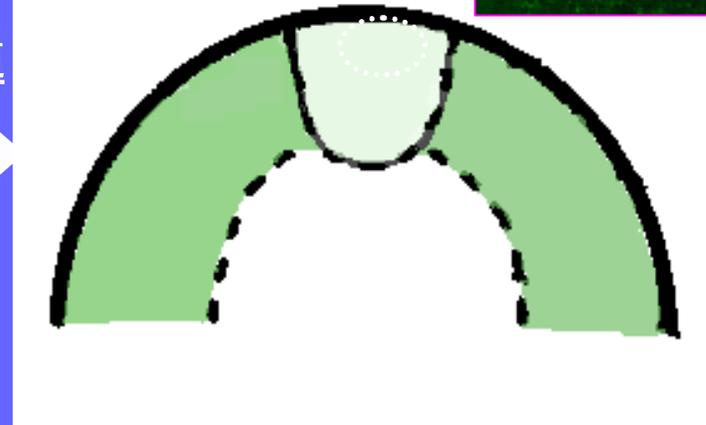
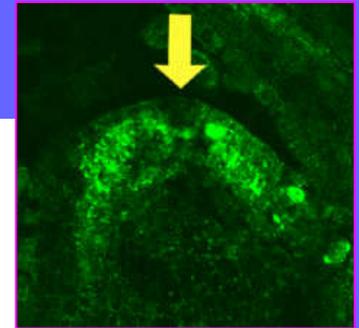
花成誘導へのMgの関与

栄養成長期

生殖成長期



花成誘導



中央帯 : 幹細胞の生成
周辺分裂組織: RNA量多い

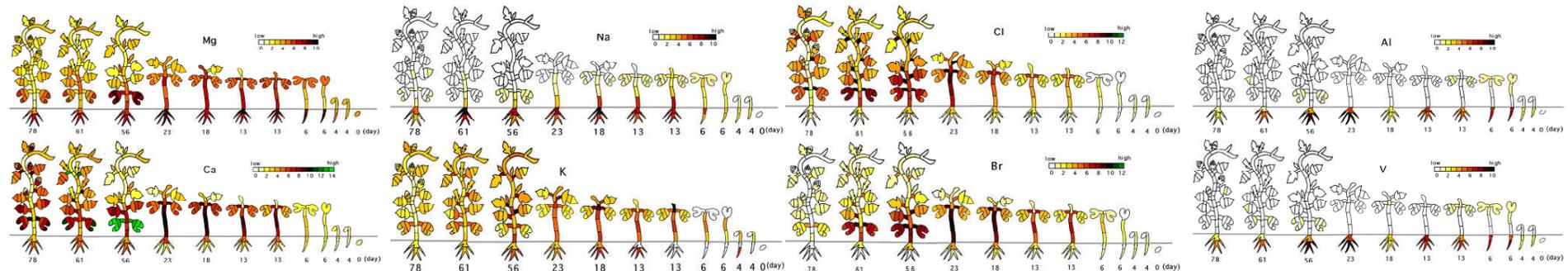
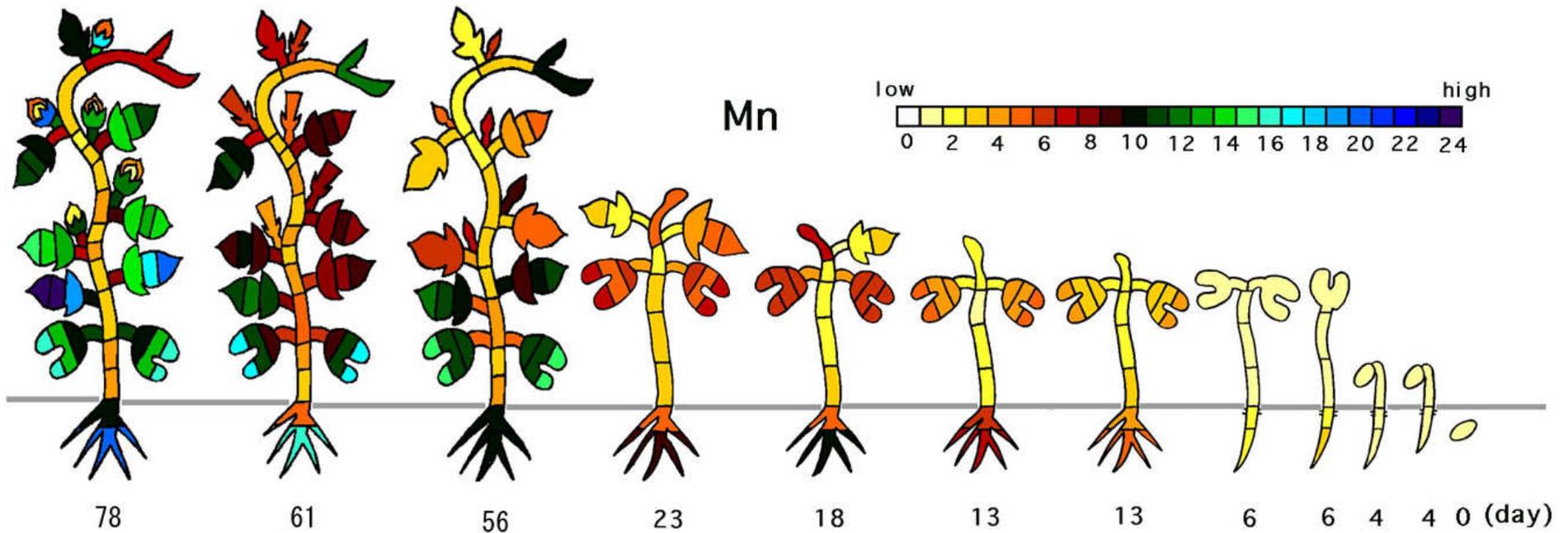
隔離、成長プログラムの変更
RNA量多い

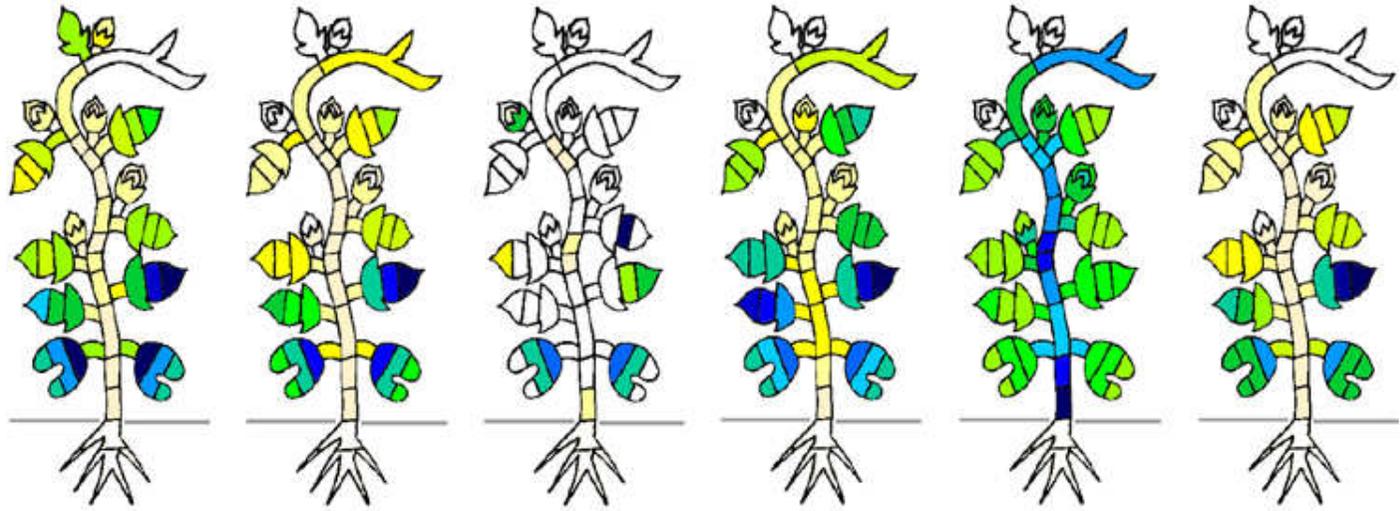
Mg 中央帯に集積し、活発な細胞生成に関与

Mg濃度の低下によって特定の花成関連遺伝子/蛋白質が活性化

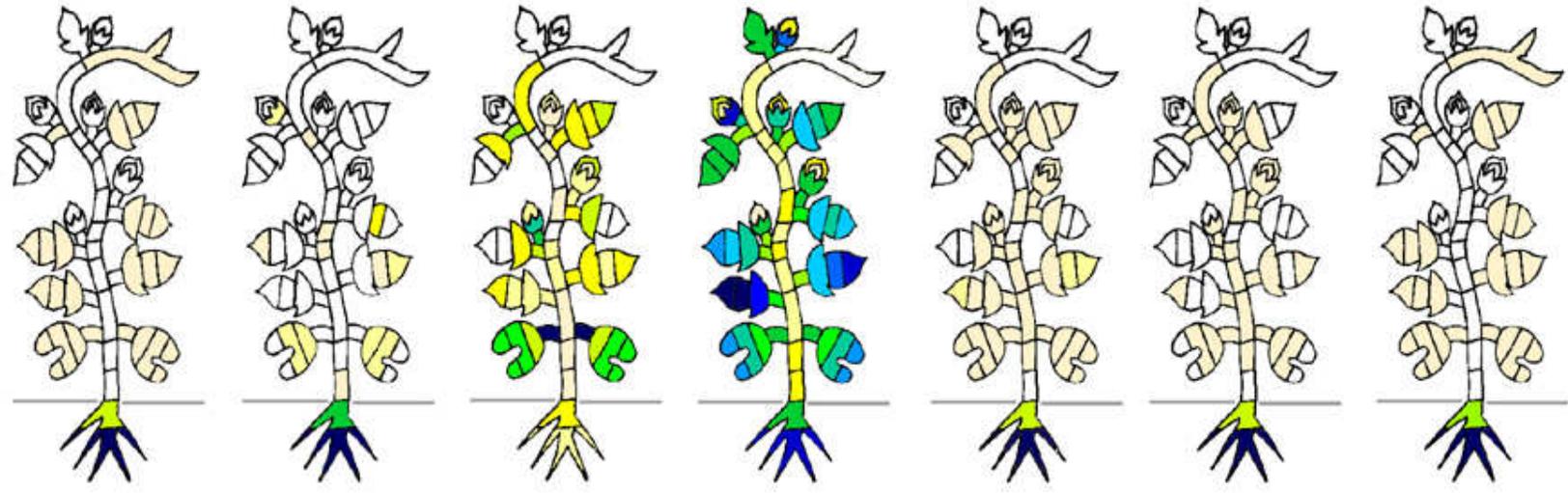
放射化分析応用例

無機元素濃度の生育ステージと変化





Al Sc V Fe Co Zn



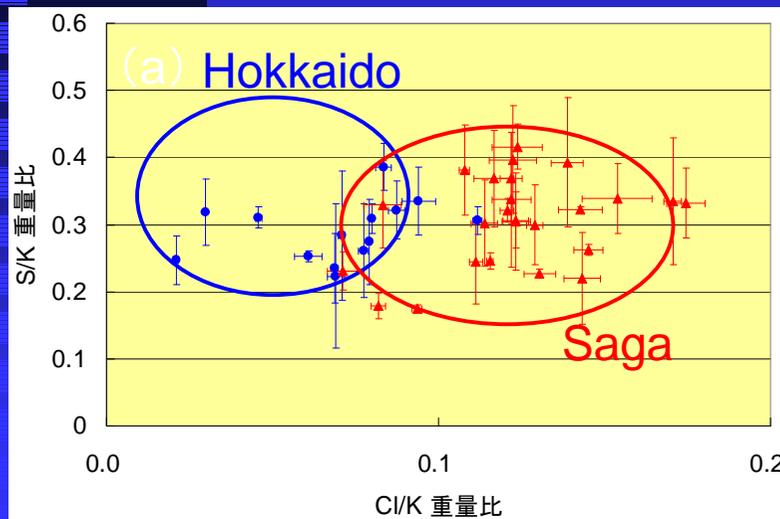
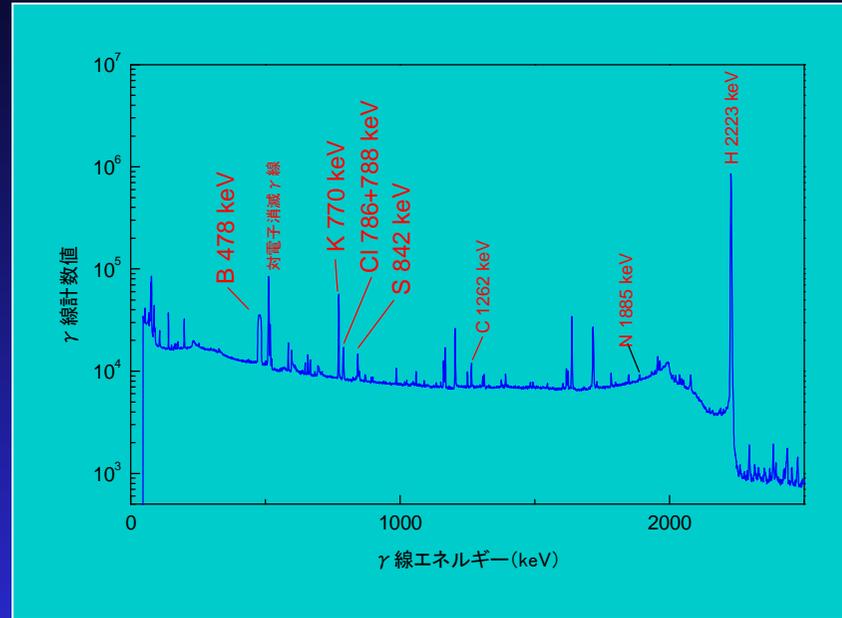
Sc V Cr Mn Fe Co Zn

中性子放射化分析例

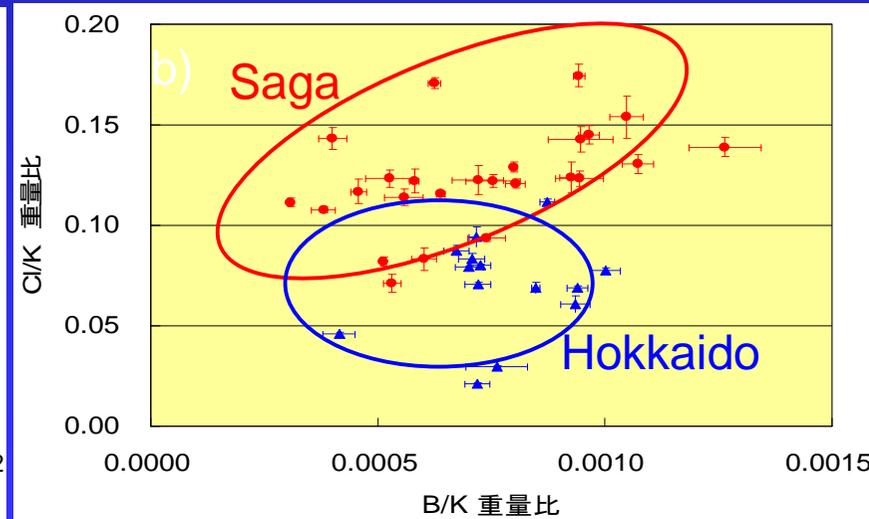
産地判別



即発 γ 線分析
(PGA)



(a) S/K - Cl/K



(b) Cl/K - B/K

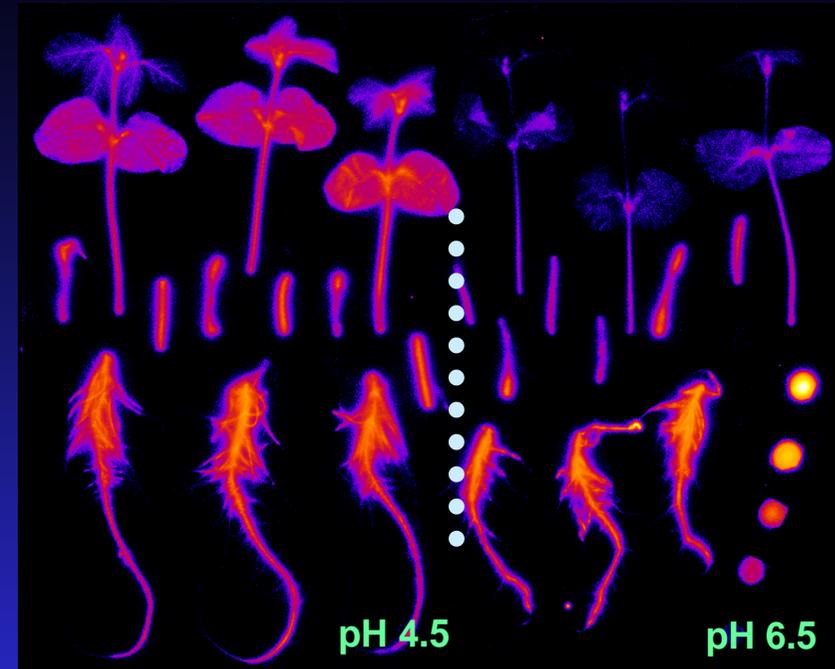
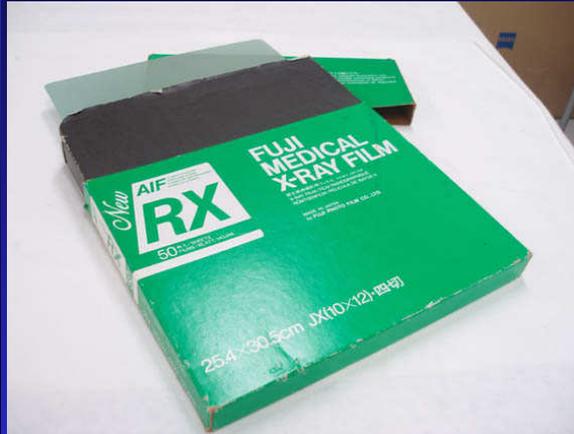
植物中の元素の動きを見る



土壌中のダイズの根

従来のイメージング技術 ラジオグラフィー(コンタクト法)

1. X線フィルムを用いた方法

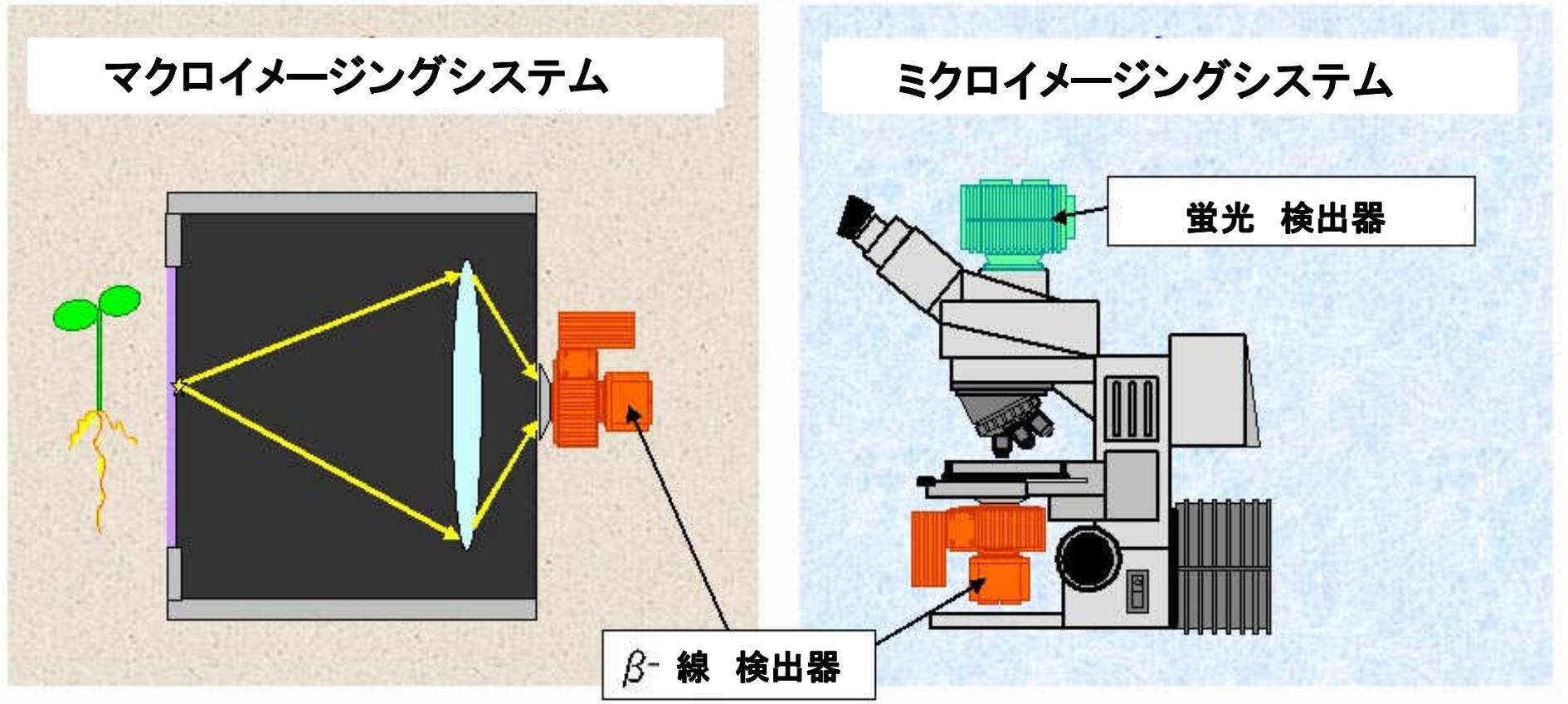


2. イメージングプレート(IP)を用いた方法



イオン動態のイメージング

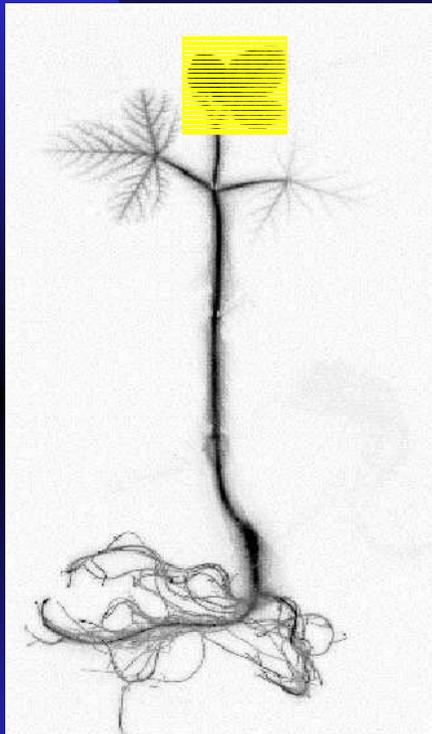
開発しているイメージングシステム



市販 β-線放出核種に適用可, ^{14}C , ^{35}S , ^{45}Ca , ^{32}P , etc.

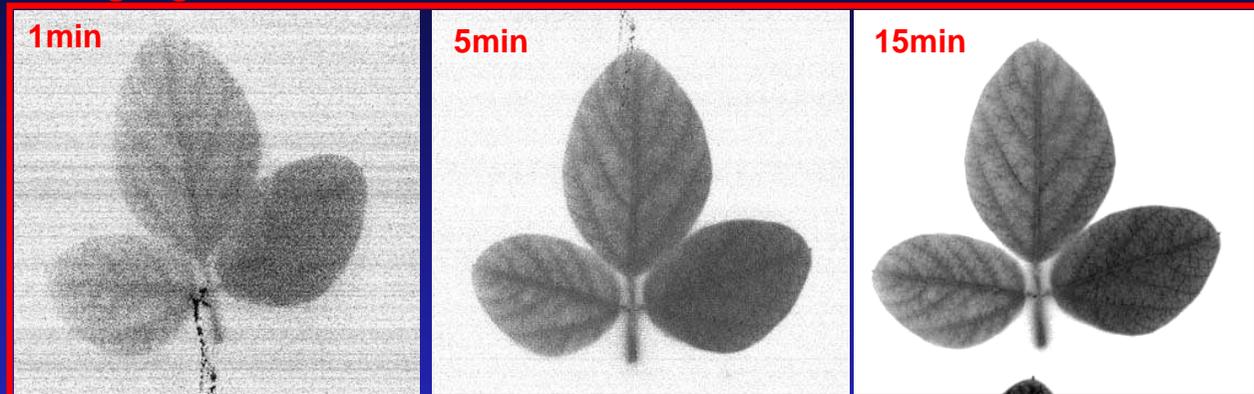
植物体に吸収された放射性同位体元素の検出

< ^{45}Ca について>

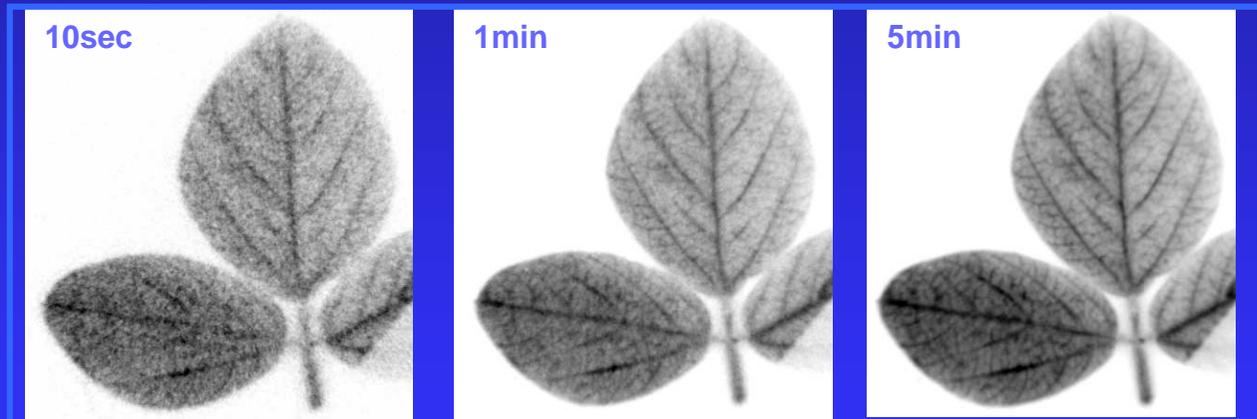


^{45}Ca Image by IP (30min.)

Imaging Plate



リアルタイムトレーサーシステム

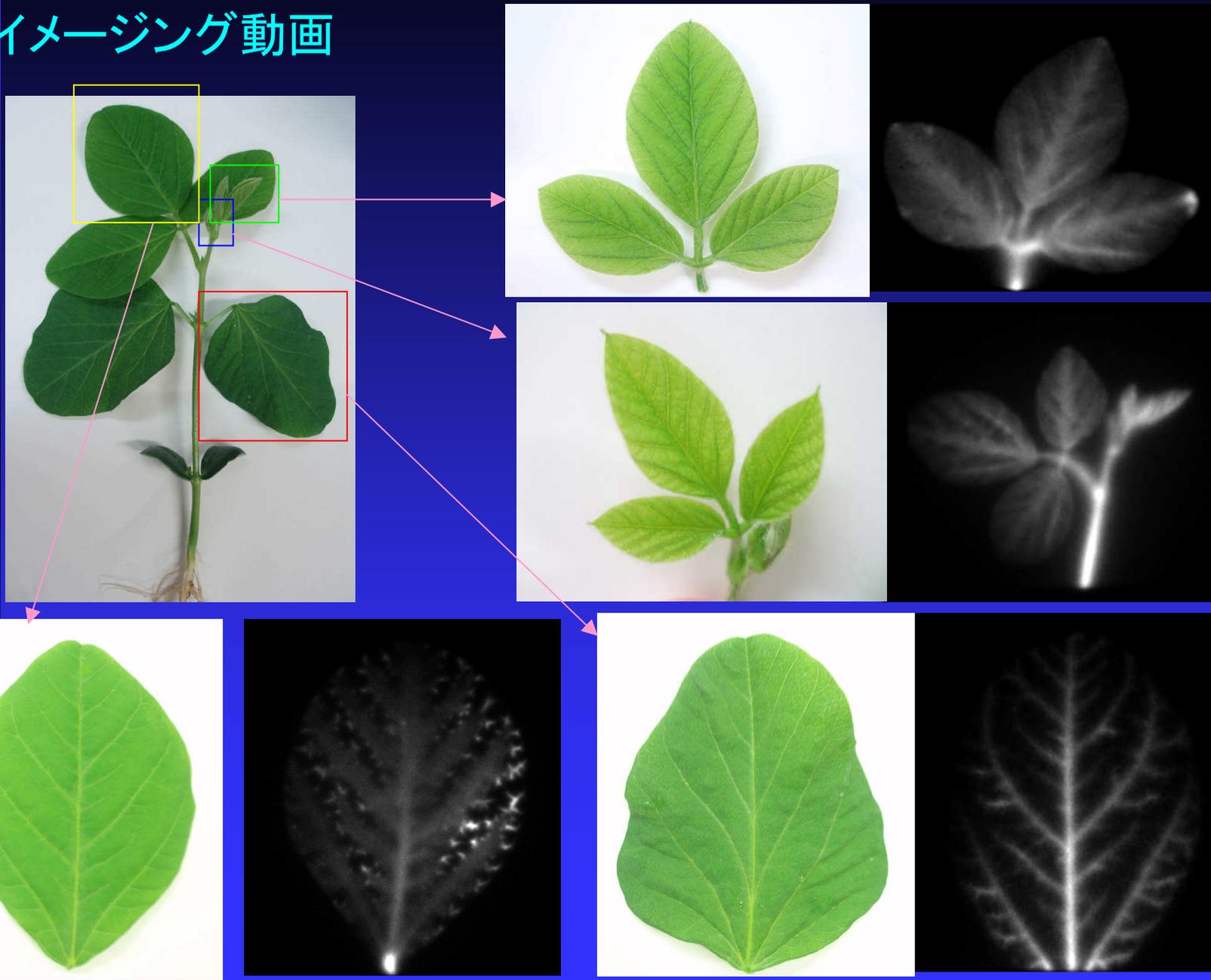


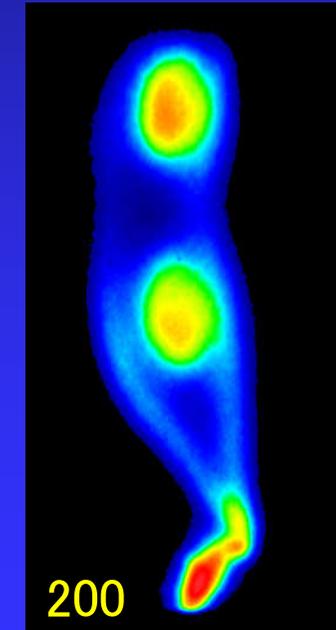
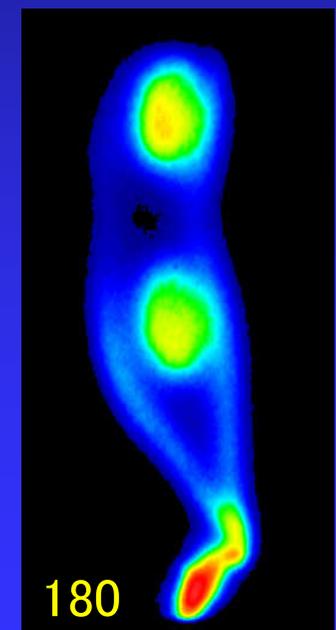
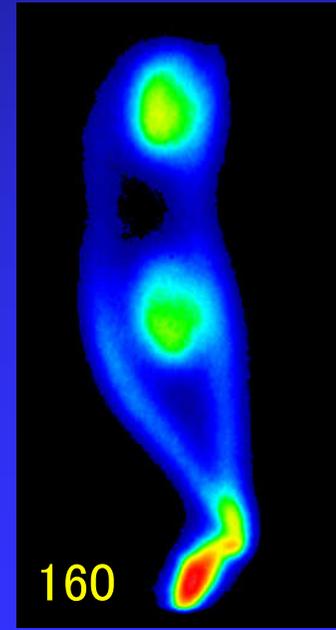
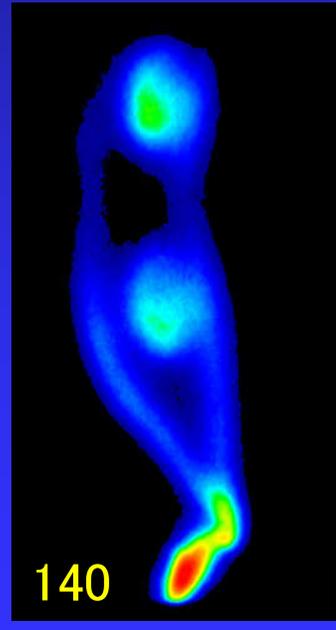
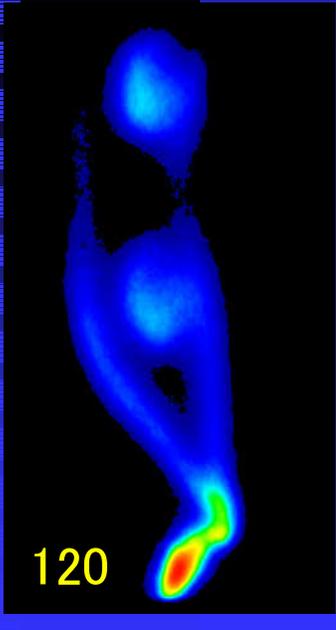
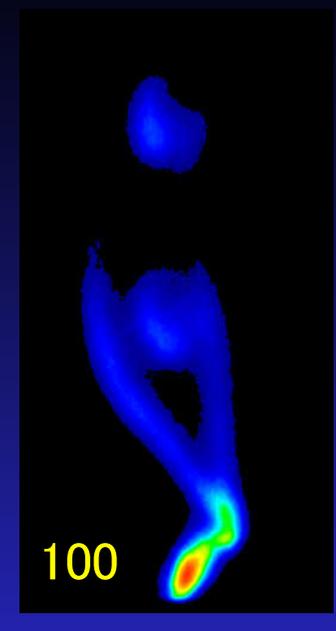
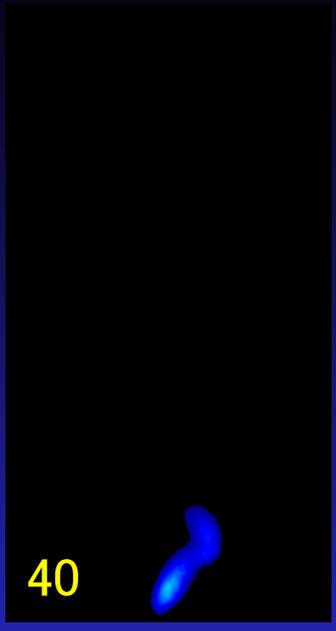
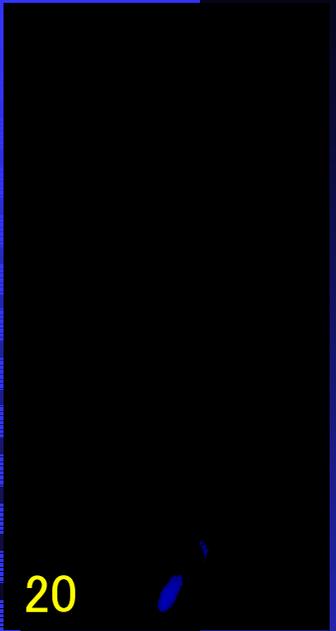
リアルタイム 1minの画像=IP 15minの画像

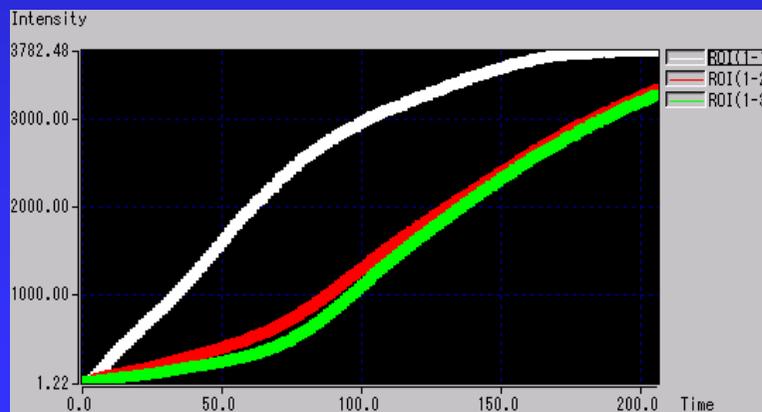
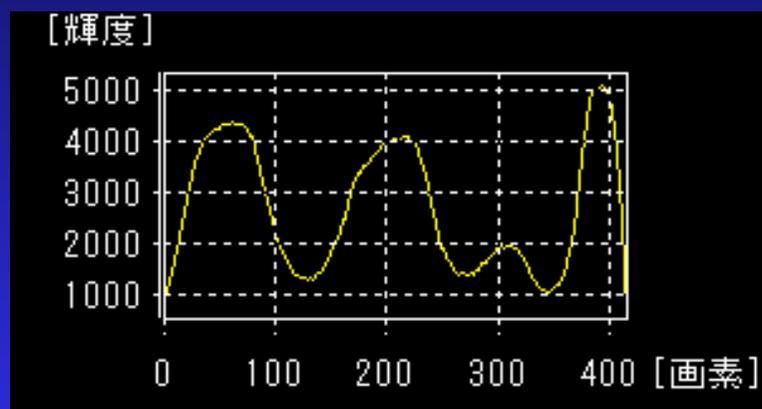
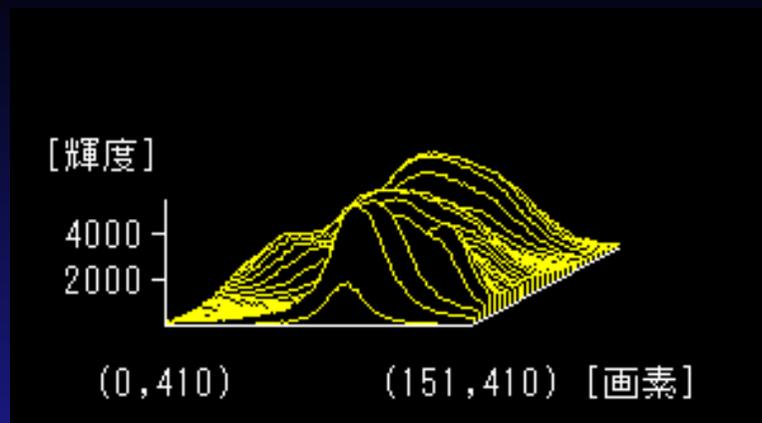
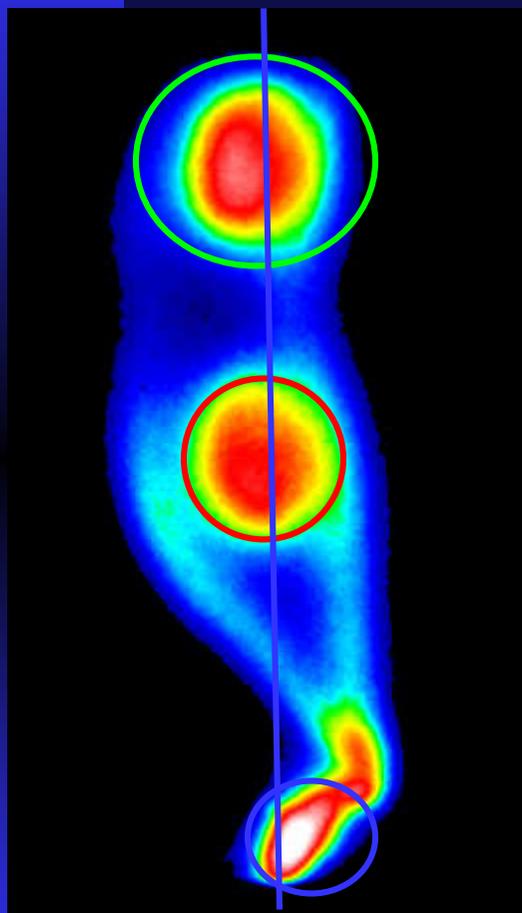
特に低エネルギー核種の検出においてはリアルタイムトレーサーシステムの検出感度が高く短時間の積算でも十分な強度情報を持った画像が得られる。

リアルタイムレーザー実験(マクروسケール)

^{32}P イメージング動画



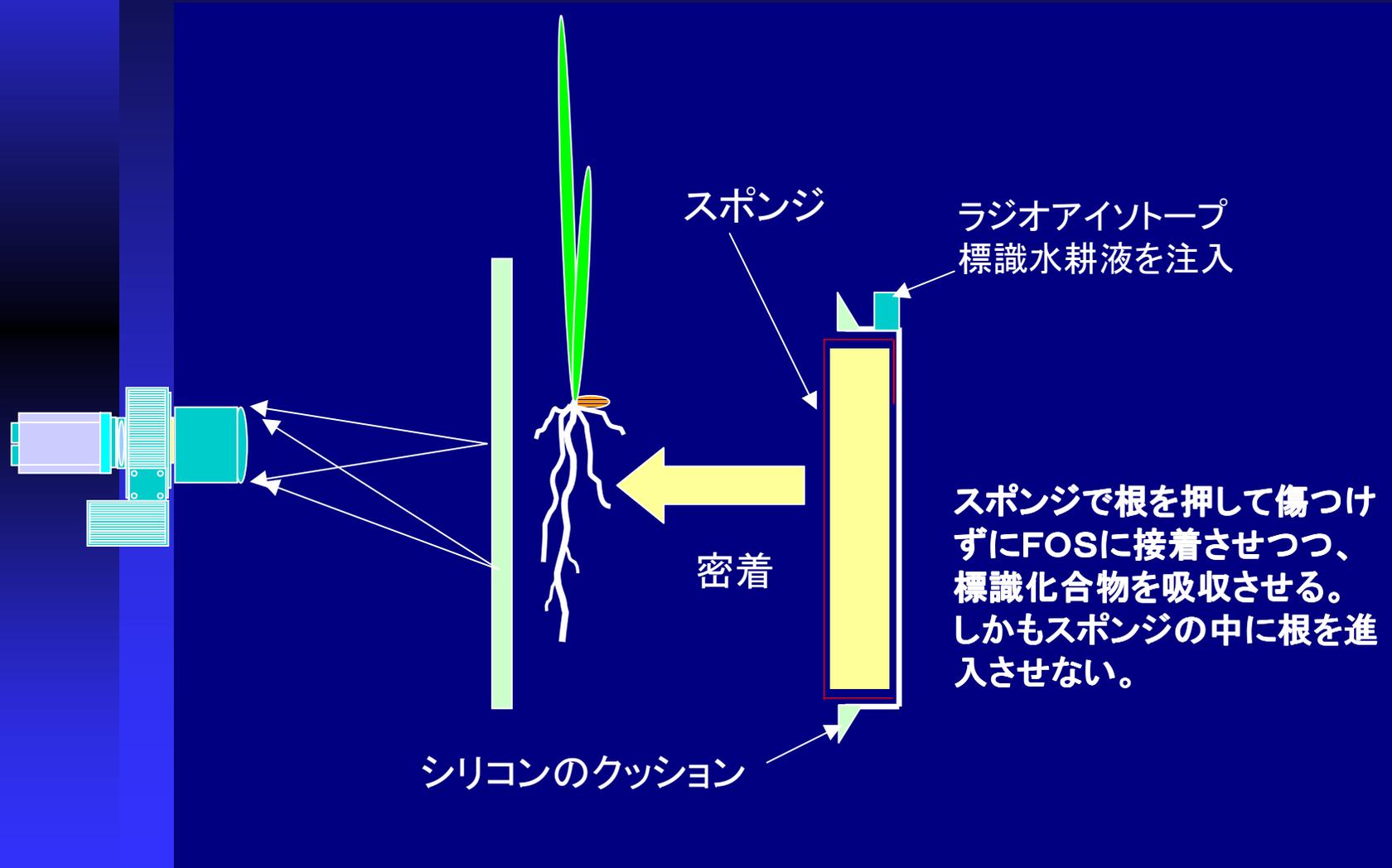




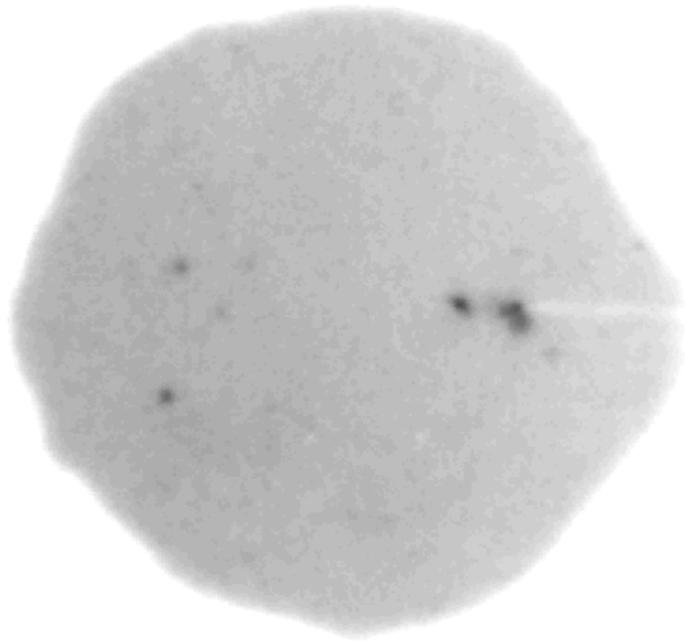
動画

稲の根のイオン吸収の解析

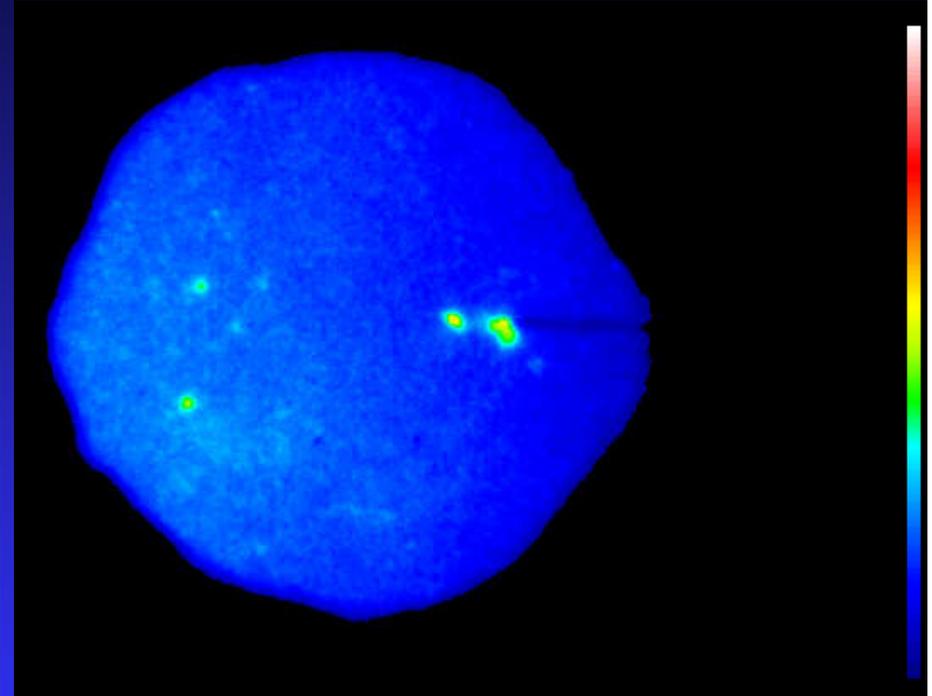
水耕液から根へ（土壌から根へ）



イネの根がどのように水耕液からリンを吸収するか リアルタイムの動態分析



モノクロ像



擬似カラー像

イネ 無機リン酸吸収
ホークランド水耕液 (1/100 orthophosphate)
5MBq / 30ml label
500枚撮影 3min integration

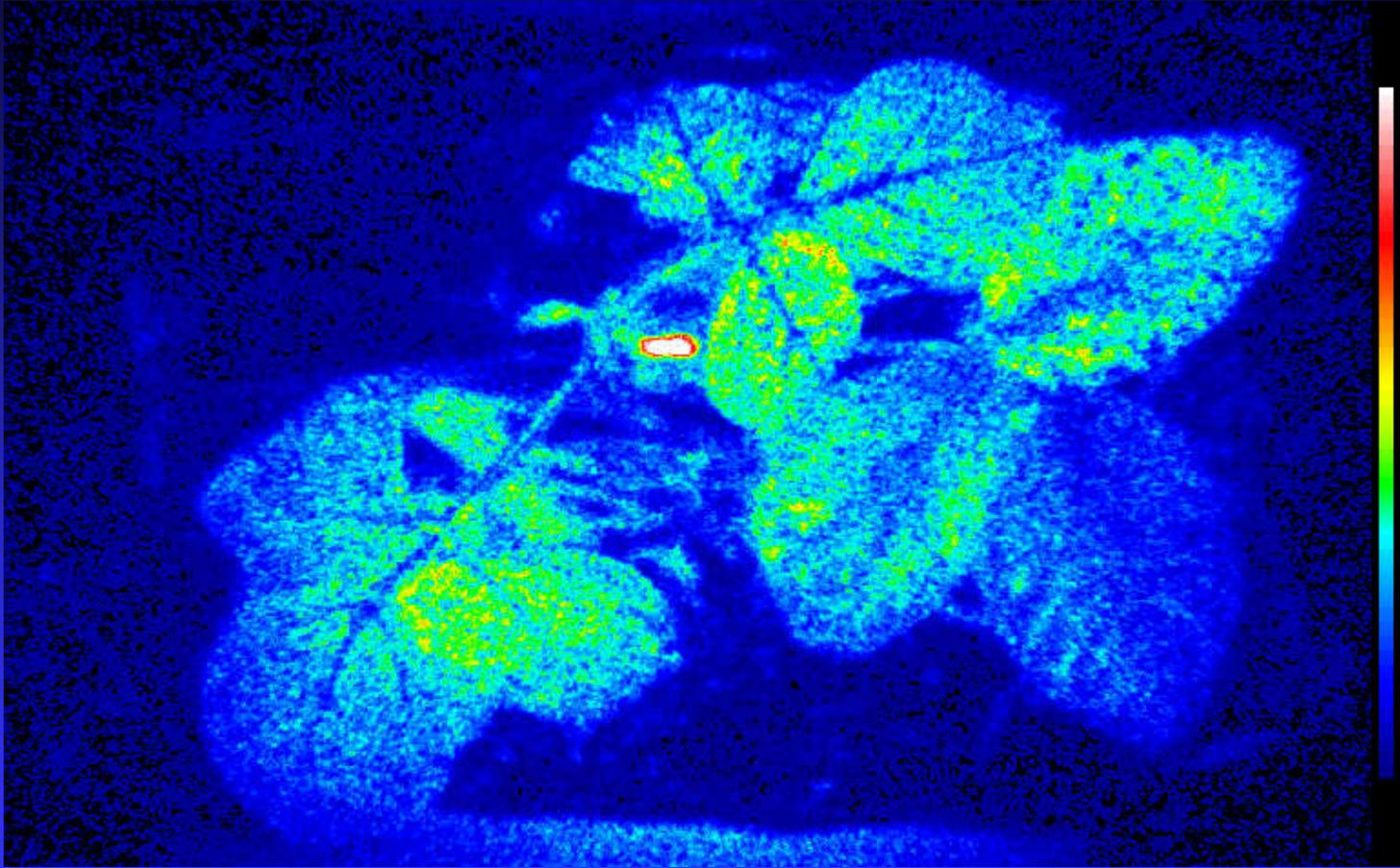
(83h→12s)

イネの根のグルタミン吸収 (^{14}C -Gln)



high

low



ラジオアイソトープ蛍光顕微鏡 システム図

GaAsPイメージンテンシファイアユニット
(フotonカウントが可能)

シンチレータ対応
対物レンズ

シンチレータ蒸着
ファイバプレート

AxioCam HRm

RI観察用カメラ

RI標識化合物の組織内
分布を細胞レベルで観察

明視野観察用CCD

植物組織の顕微鏡
像を取得

HBO 100

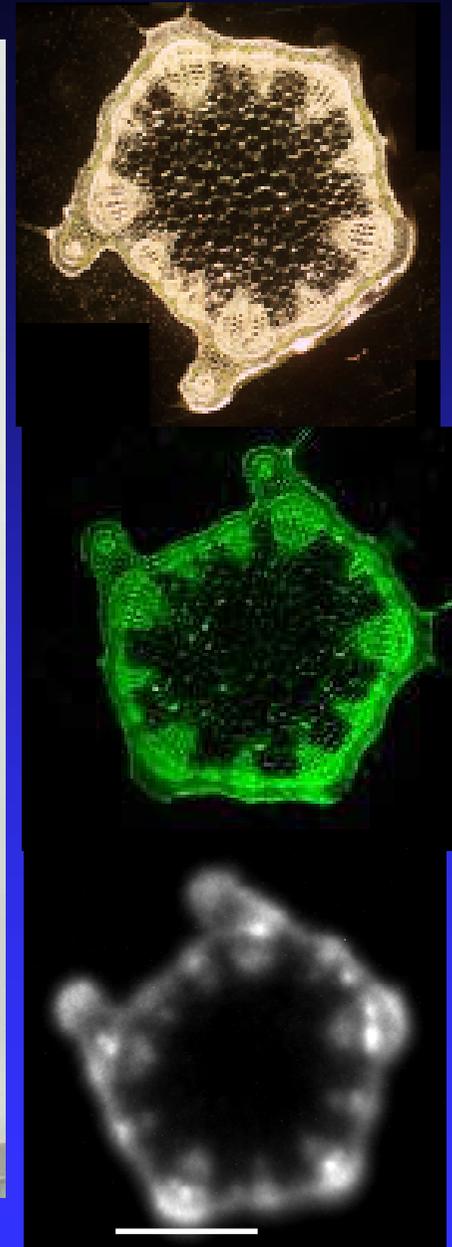
Axiovert 200M

蛍光観察用CCD

- ・GFP等蛍光タンパクによる
遺伝子発現解析
- ・蛍光色素による細胞内
の観察 (Caシグナル検出、
細胞内pH変化)

側面図

ダイズ茎中のカルシウム (^{45}Ca)



1mm

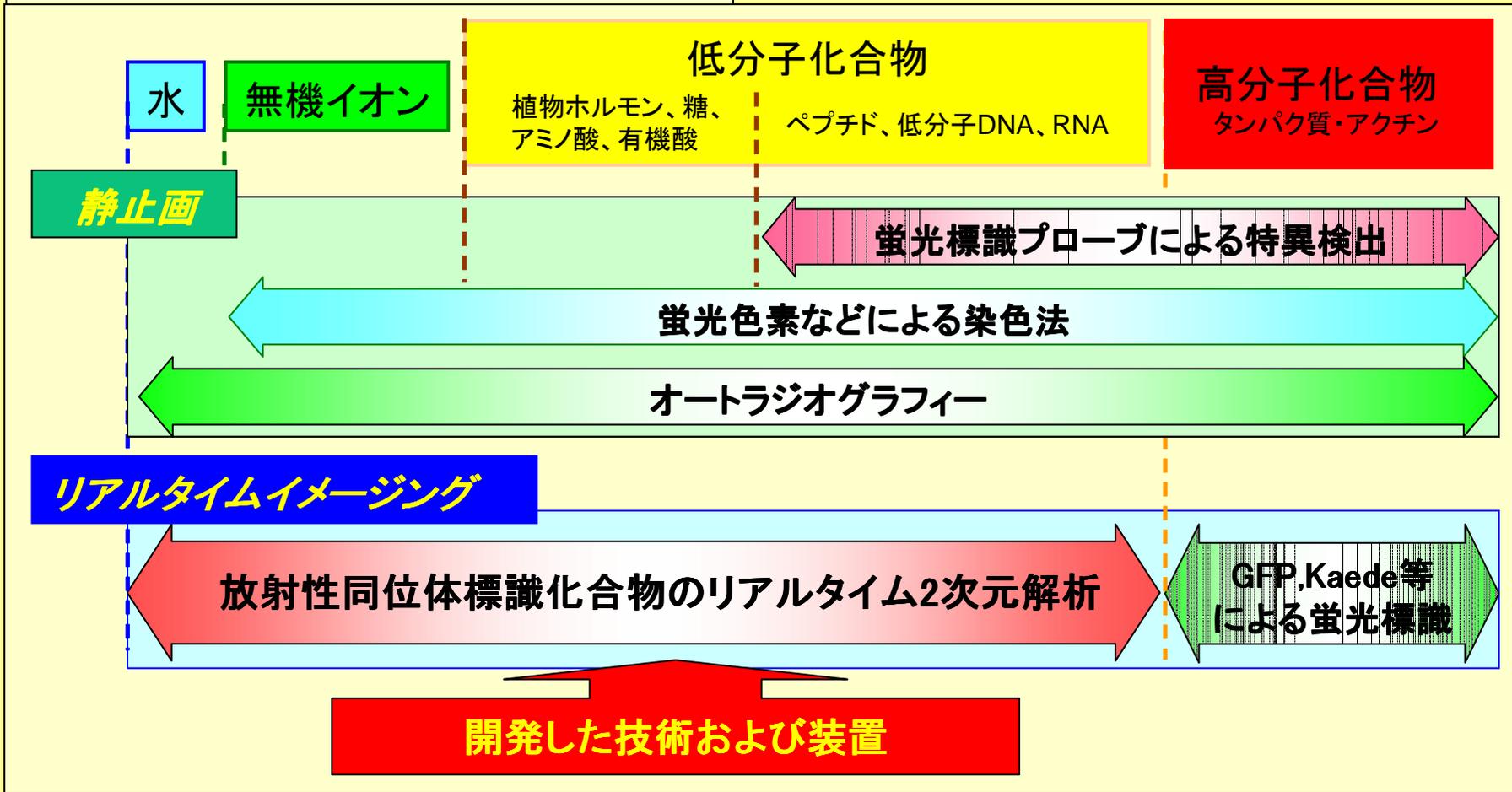
物質の分布・動態解析技術

画像解析(イメージング)

1. 静止画: 目的物質の分布解析
2. リアルタイムイメージング
: 静止画をサンプルを生きたままで経時的に取得

その他の方法

1. サンプルからの目的物質の単離を伴う
分離分析機器による定量
(原子吸光、ICP、HPLC、GC、MSなど)
2. 電極やプローブなどセンサーによる多点計測





おわり