

# ヨシはなぜ塩水でも育つのか

根の中でナトリウムを送り返す動きを  
ポジトロンイメージングで観ることに世界初成功

平成27年12月1日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター  
バイオ・医療応用研究ディビジョン  
植物RIイメージング研究グループリーダー  
藤巻 秀

# 量子ビームの農業・植物科学分野への貢献

## 量子ビーム応用研究センター・ウェブサイト

### 量子ビームの3つの重要な機能

	観る	創る	治す
中性子			
荷電粒子・RI・電子・ガンマ			
高強度レーザー			
放射光			

**観る** 原子・分子レベルで物質を観察する  
**創る** 原子・分子レベルで物質を加工する  
**治す** 細胞レベルでがん等を治療する

### 農業・植物科学分野では

創る: 「イオンビームを使って植物の新しい品種を創りたい」

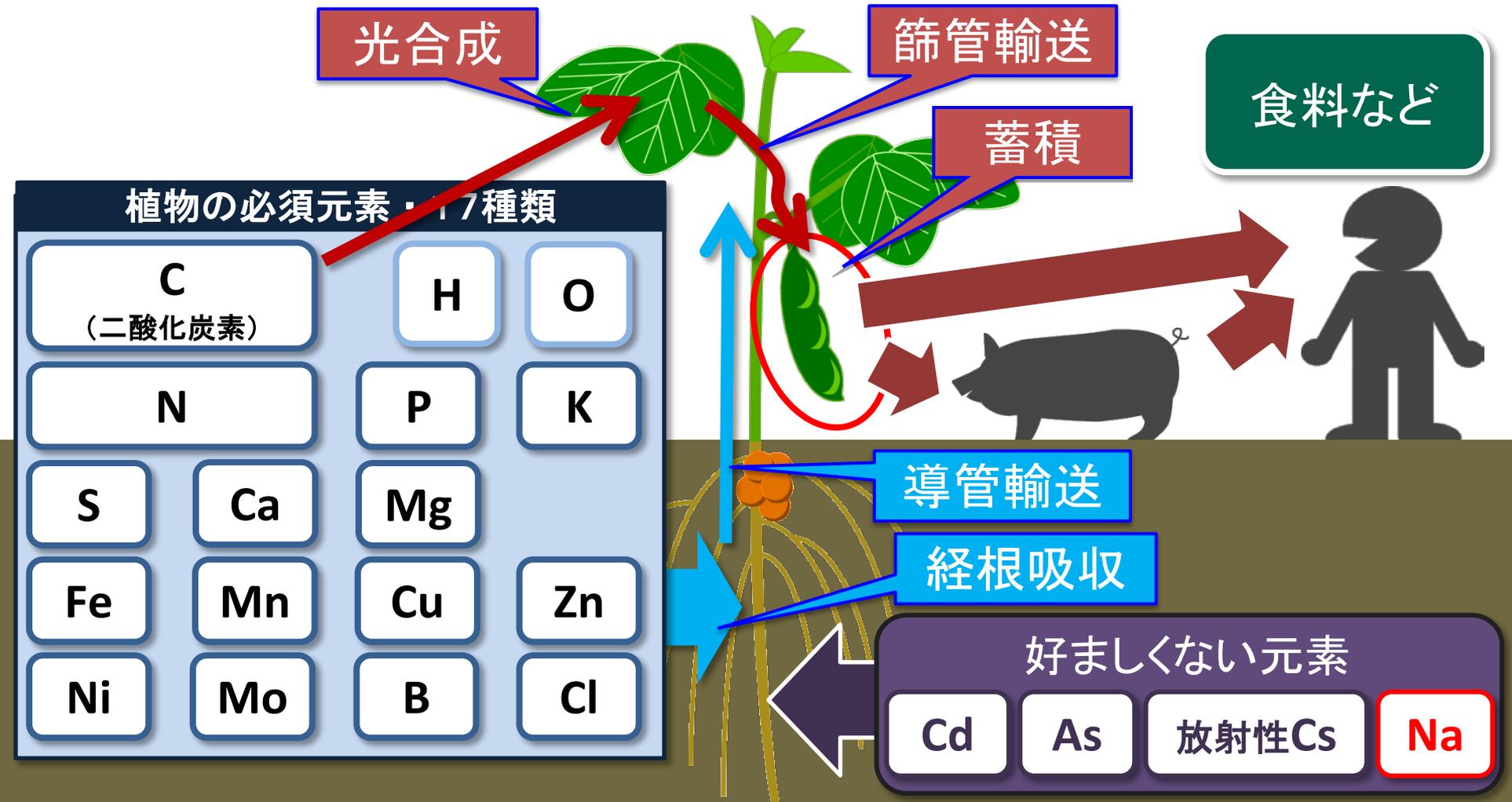
➡ 『イオンビーム育種』

観る: 「植物の物質吸収／移行／蓄積機能を観たい」

➡ 『植物RIイメージング』・・・

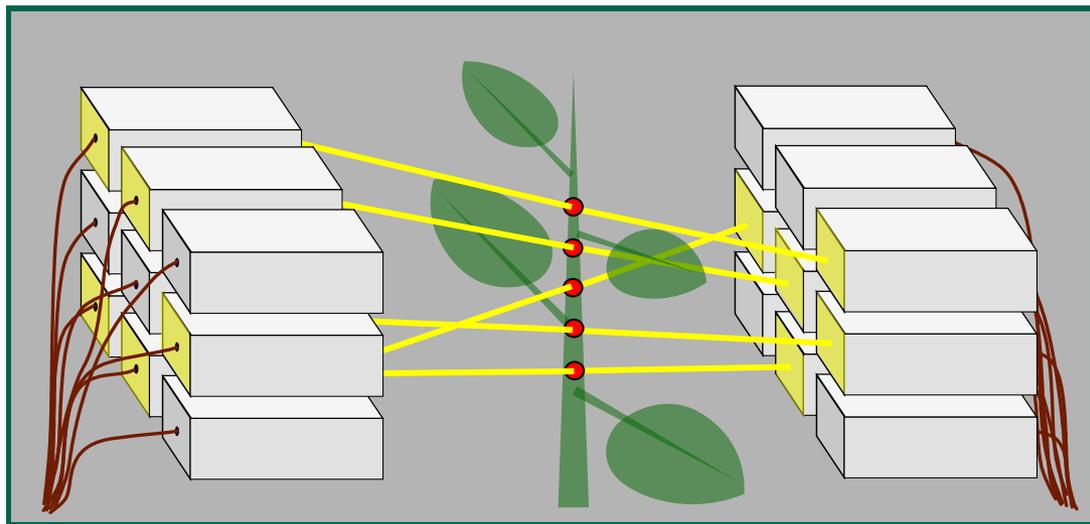
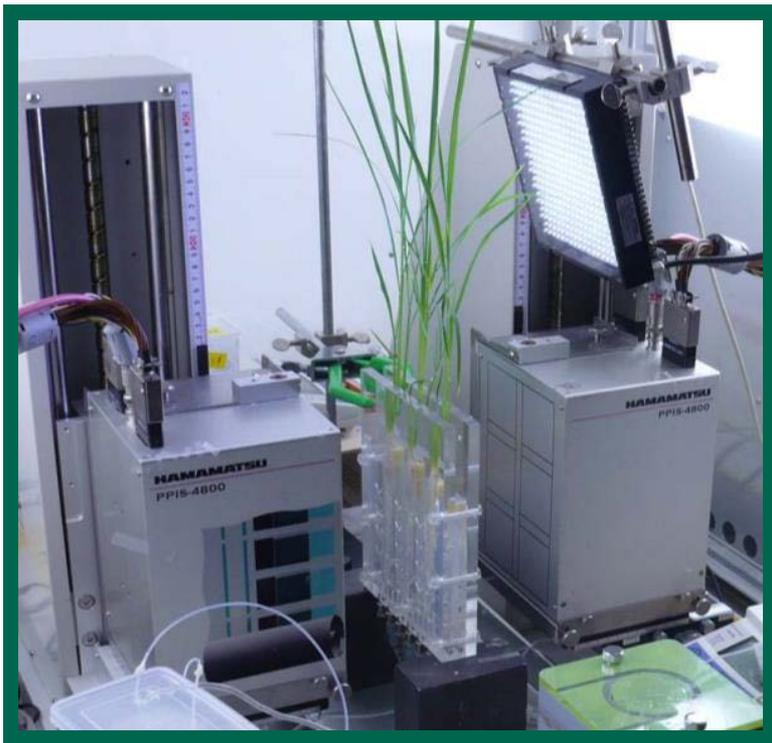


# 植物が環境中から集めた元素で 人は生きている

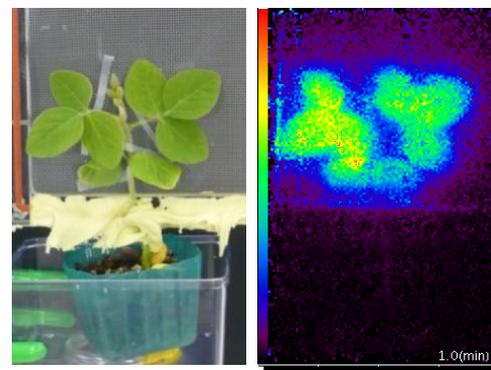


植物における元素の動きを解析し、輸送機能を解明・制御して、  
「安全な生産物の安定的な収穫」を目指す。

## Positron-emitting Tracer Imaging System (PETIS)



画素 1.1 mm × 1.1 mm  
視野 12.0 cm × 18.7 cm



- ◆ 医療用PETと同じ計測原理。
- ◆ 光・温度・湿度の制御等、植物研究に特化されたシステム。
- ◆ 過去15年ほどの間に、多様なRIの製造・投与技術、画像解析技術等を開発。
- ◆ 様々な農学・植物科学研究で成果。

# 身近な元素による世界的問題 ナトリウム (Na)

- ほとんどの植物にとってNaは有害
- 高潮などで海水を被った田畑では塩害が発生
- 世界の乾燥地域では、塩類集積土壌の拡大により  
**耕地減少と砂漠化が進行**



塩害による作物の生育障害・枯死  
出典: 農林水産省HP

- 世界の淡水資源の不足は年々深刻化
- 河川や湖沼に存在する淡水の量は地球上の水のわずか0.008%
- 世界の淡水使用量の約70%は農業用水  
**塩水でも農業に利用できるようにならないか？**

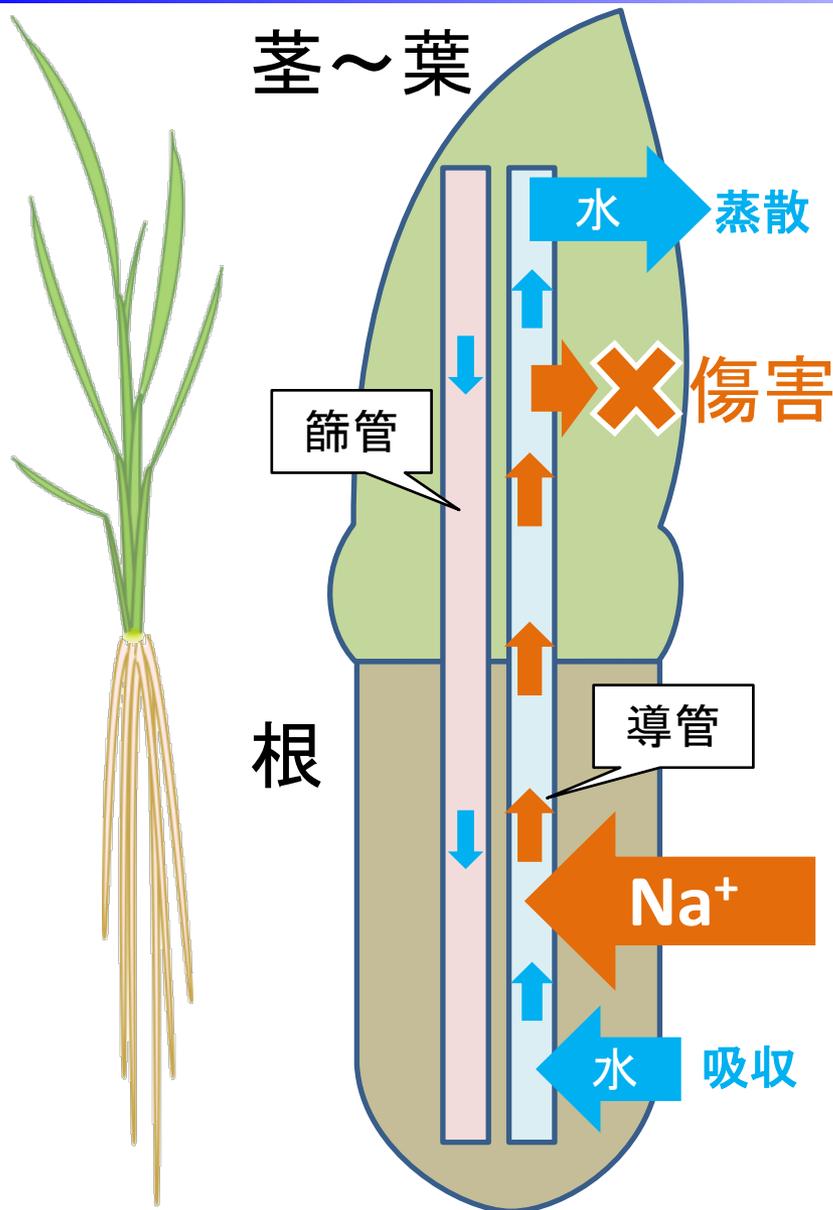


水不足人口の増加

出典: 国土交通省HP

Naに耐える作物があれば理想的

# イネはNaに弱い



イネは世界人口の半数が主食とする  
最も重要な作物

根の中心部を通る導管に入った  
 $\text{Na}^+$ は、水とともに茎へ移行し、  
葉に届く。

$\text{Na}^+$ は葉のイオンバランスを崩し、  
光合成などの働きを阻害する。

品種改良等でNaに強いイネを  
作るには、どうしたらよいだらうか？

# イネに近縁の耐塩性植物に着目

共同研究: 東京農業大学・樋口恭子教授

ヨシ *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.

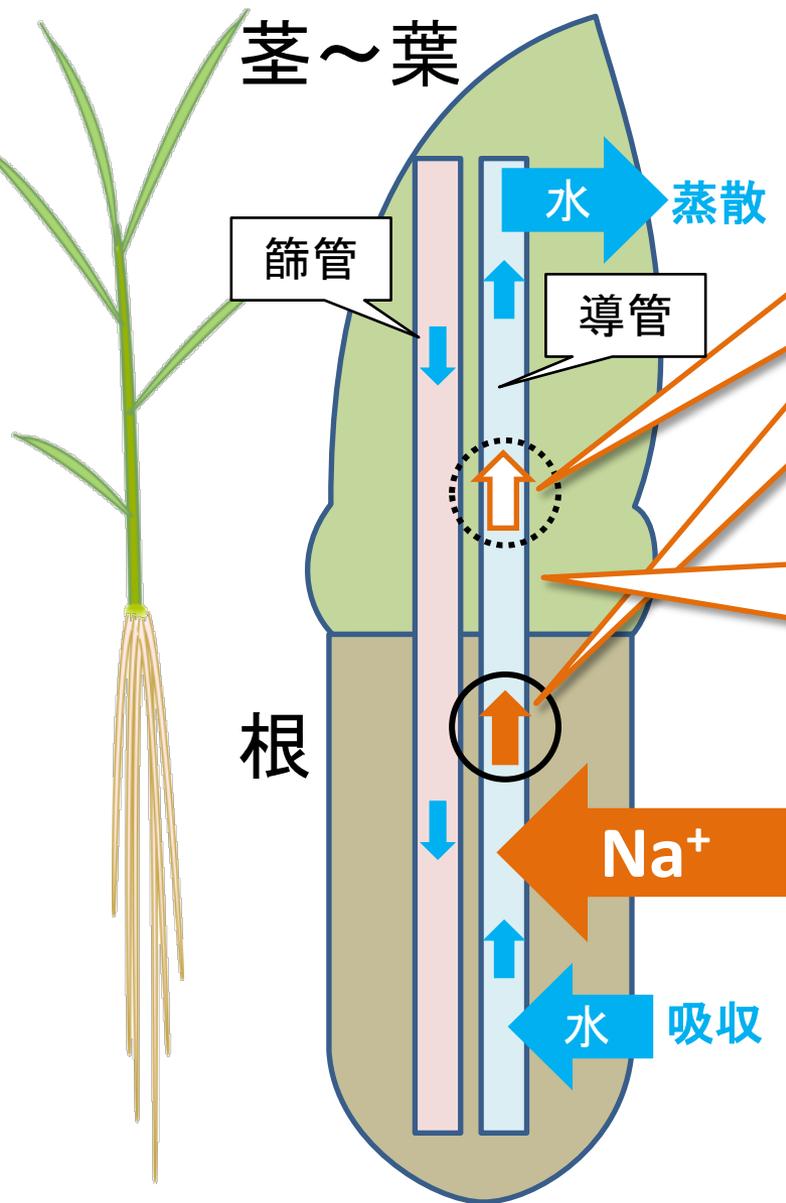


- ◆ 世界の乾燥地や湿地に自生
- ◆ 海水の混じる河口近くでも育つほど耐塩性が高い

同じイネ科でありながら、  
イネと違って、  
なぜヨシはNaに強いのか？



# ヨシの中でNa<sup>+</sup>はどう動いているか



先行研究:

ヨシの地上部の導管液には、  
根の導管液に比べ、  
ごく低濃度のNa<sup>+</sup>しか含まれない。

Kanai et al. *New Phytologist* (2007)

ヨシの茎のつけねを熱処理すると  
地上部へのNa<sup>+</sup>移行量が上昇する。

Matsushita and Match *Soil. Sci. Plant Nutr.* (1992)

【研究者らの仮説】

導管内のNa<sup>+</sup>を積極的に  
「どこかに」排除しているらしい

PETISによる検証に挑戦

# イネとヨシにおける $\text{Na}^+$ 動態の解析

植物を一定の塩条件に置いたまま、目に見えない $\text{Na}^+$ の流れをRIで追跡

$^{22}\text{Na}$  (半減期2.6年) を利用、イネとヨシ6個体ずつを供試

海水の10分の1程度の非放射性 $\text{Na}^+$ を含む水耕液

極微量の $^{22}\text{Na}$ を添加  
食塩約10億分の5グラムに相当

$^{22}\text{Na}$ を含まない  
水耕液に交換

水耕液から植物体への  
 $^{22}\text{Na}$ の移行を観察

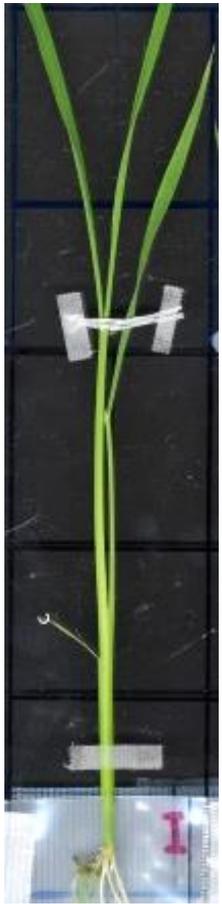
体内に吸収された後の  
 $^{22}\text{Na}$ の移行を追跡

「撮像前半」 24時間

「撮像後半」 18時間

# イメージングの結果（撮像前半）

1.0(hour)



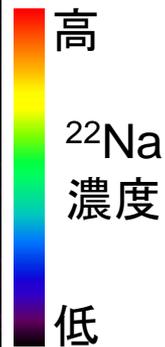
## ◆ イネ

1, 2時間で $^{22}\text{Na}$ が葉に到達し、その後も葉に移行し続ける。

## ◆ ヨシ

根から茎のつけねまで到達したところで、 $^{22}\text{Na}$ が強く集積する。

それより上方の茎葉部にはほとんど移行しない。

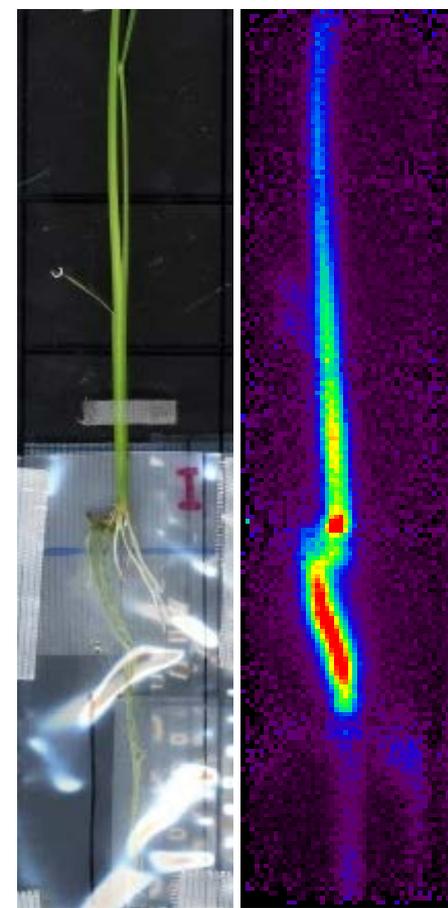


イネ

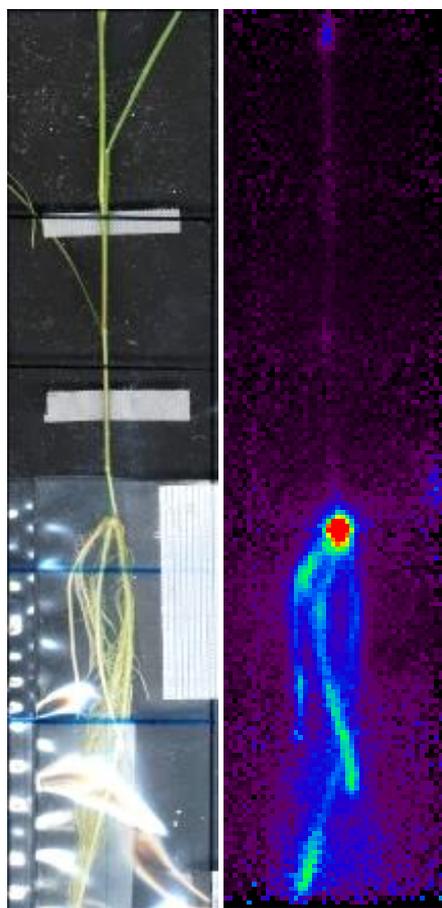
ヨシ

# イメージングの結果（撮像後半）

1.0(hour)



イネ



ヨシ

## ◆ イネ

根の内部の $^{22}\text{Na}$ が葉へと移行していく。

## ◆ ヨシ

根から茎のつけねに集積した $^{22}\text{Na}$ の動きは目視では判然としない。

少なくとも明らかなこと

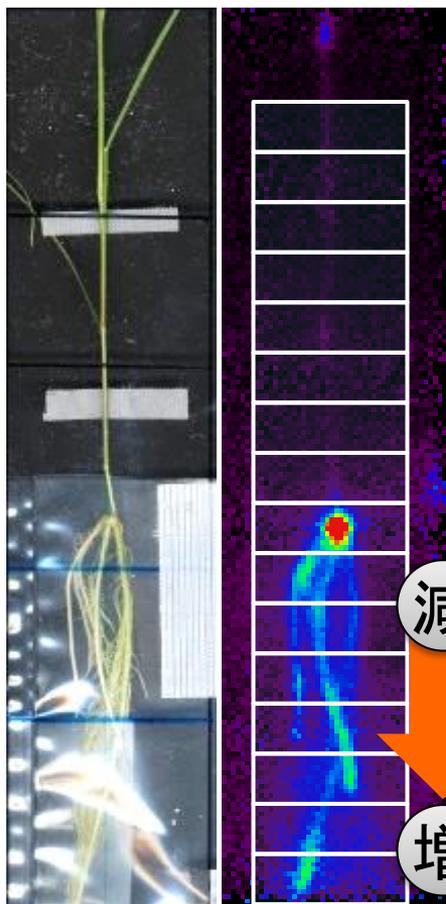
- 茎や葉への移行はほとんど見えない
- 水耕液中に $^{22}\text{Na}$ が「排泄」されている

ヨシでは「下向き」に移行しているはず。

証明には画像の数値的解析が必要。

# 動画像データをどう解析するか

撮像後半、植物体内の $^{22}\text{Na}$ が移行していく方向を明らかにする。

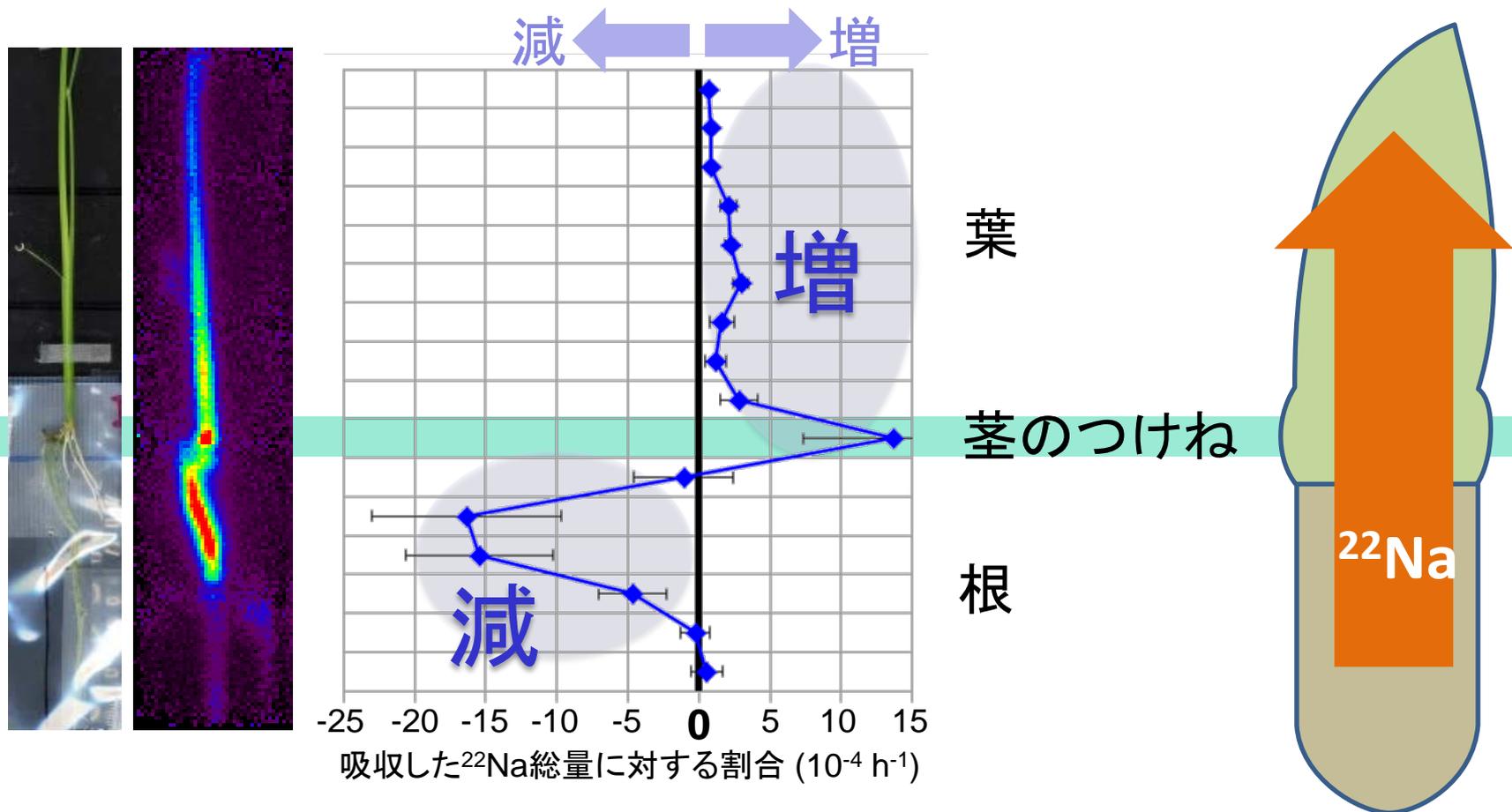


画像上に植物体軸に沿ってセクションを細かく設定  
各セクション内の $^{22}\text{Na}$ の増加率・減少率を定量

$^{22}\text{Na}$ の減少部位から増加部位に  
移行があったと考えられる。

# 「撮像後半」画像の解析結果：イネ

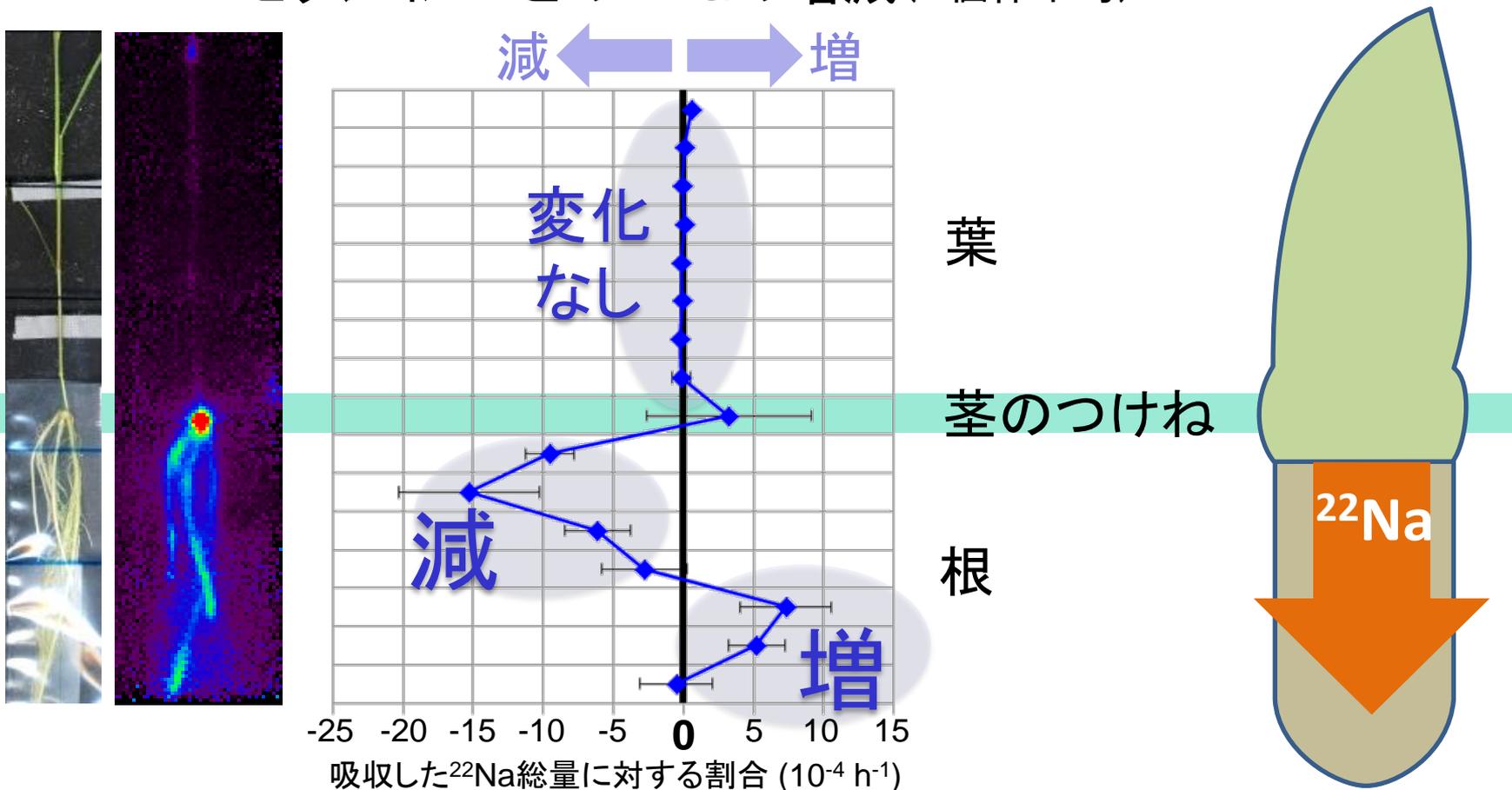
セクションごとの $^{22}\text{Na}$ の増減(6個体平均)



イネでは根の中の $^{22}\text{Na}$ は上方の葉に移行

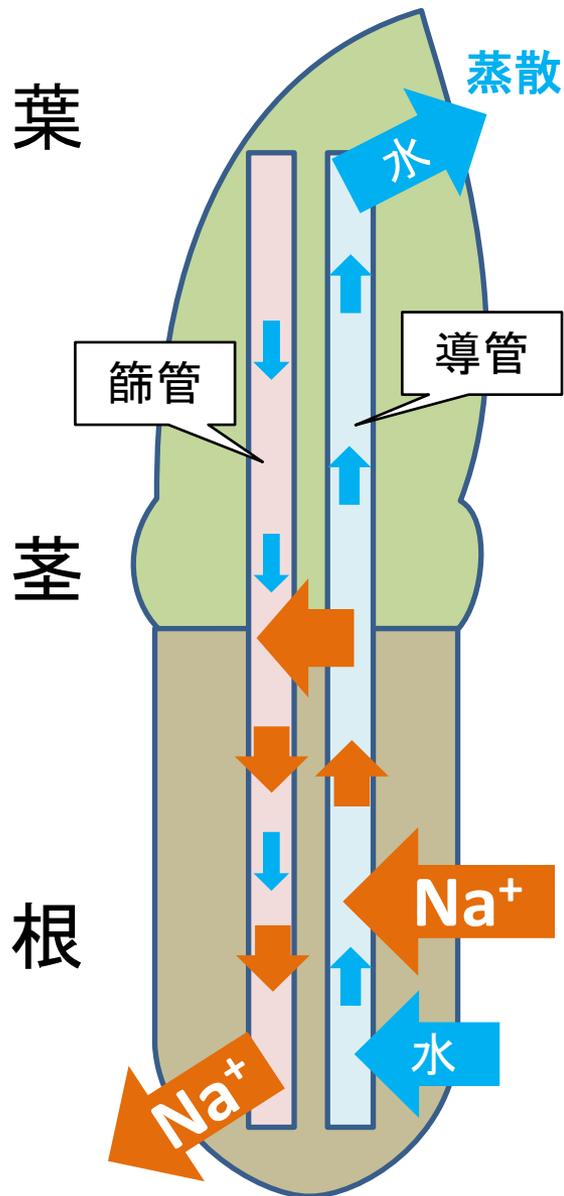
# 「撮像後半」画像の解析結果:ヨシ

セクションごとの $^{22}\text{Na}$ の増減(6個体平均)



ヨシでは根の中の $^{22}\text{Na}$ は下方に移行

# ヨシの根が「吐き戻す」耐塩性のしくみ



ヨシの根は  
高濃度の $\text{Na}^+$ にさらされている間  
吸収した $\text{Na}^+$ を下方に「Uターン」させ  
排除している。

Fujimaki et al. *Plant Cell Physiol.* (2015)

- 日本経済新聞、毎日新聞、読売新聞、朝日新聞等  
9紙に掲載
- NHK サイエンスZERO  
「食糧危機の切り札!?耐塩性作物」

現在、ヨシの遺伝子を探索中。

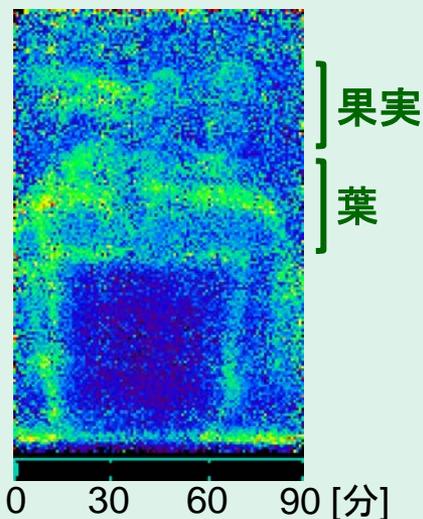
将来的にはイネを改変し、  
ナトリウム濃度の高い土地での栽培や、  
究極的には海水での栽培を可能にしたい。

# PETISによる農学・植物科学研究の展開

## 近年の研究例

$^{11}\text{CO}_2$

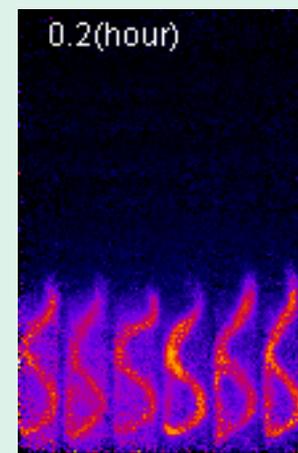
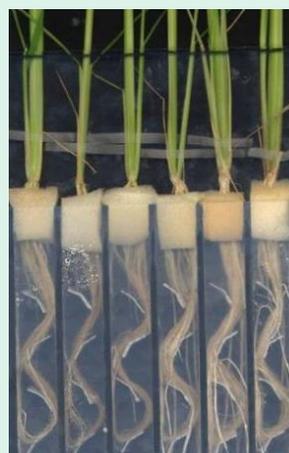
「トマトの温室内 $\text{CO}_2$ 濃度を上げていくと葉の光合成は盛んになるが、光合成産物の果実への移行効率が低下し、生産性は頭打ちになる」



東京理科大学との共同研究  
Yamazaki et al. *Plant Biotech.* (2015)

$^{107}\text{Cd}$

「カドミウム汚染水田を浄化するための高吸収イネの候補品種は、カドミウムを地上部に運び上げる能力が通常品種より2~3倍以上高い」



A B C D E F  
通常品種 候補品種

農業環境技術研究所との共同研究  
Ishikawa et al. *BMC Plant Biol.* (2011)

# イメージング手法の多様化

## ガンマカメラ

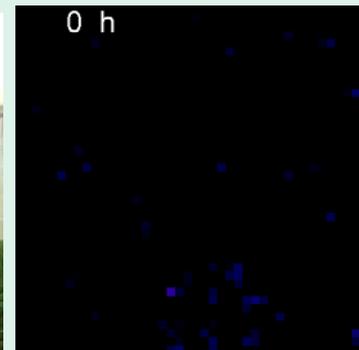
$^{137}\text{Cs}$ などの  
ガンマ線放出核種に対応

名古屋大学、東北大学との  
共同開発

Kawachi et al. *J. Environ. Radioact.* in press



ダイズ子実への $^{137}\text{Cs}$ の移行



## コンプトンカメラ

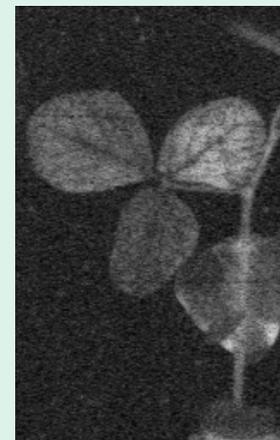
複数元素を同時に弁別撮像

## チェレンコフ光イメージング

非接触ながら高い解像度を実現

名古屋大学との共同開発

Yamamoto et al. *NIM A* (2015)



ダイズ葉での  
 $^{137}\text{Cs}$ の分布

# 新しい分野「核農学」の確立へ

## 医学用RIイメージング



人体内の薬剤分布の解析

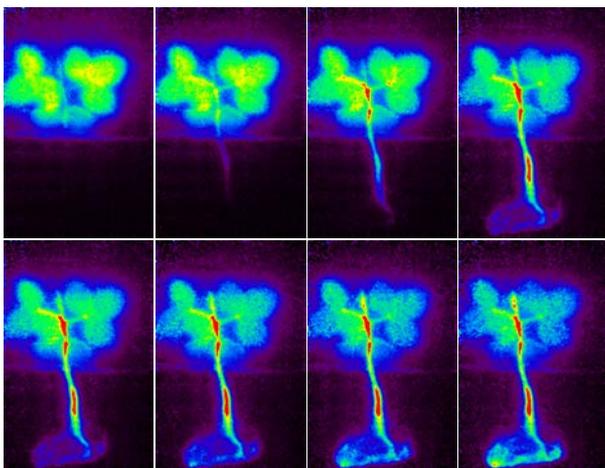
核医学

## 医療



診断と治療

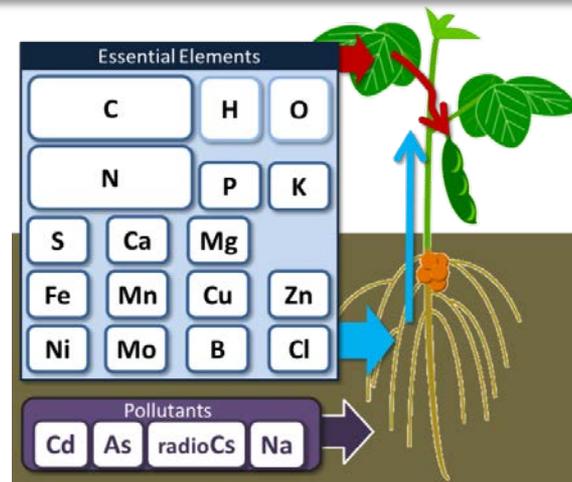
## 植物RIイメージング



植物体内の元素動態の解析

核農学

## 農業



農法の評価と改良

- 読売新聞掲載「核農学 植物の中を見る」(平成27年8月20日)

- 植物RIイメージング技術を用いて、ヨシ特有の耐塩性機構を証明。  
(東京農業大学との共同研究)
- 今後、高耐塩性イネの作出を進める。
- 今後、植物RIイメージング技術は「核農学」の確立を目指して展開。