

# 野菜や果樹における放射光利用

東北大学大学院農学研究科園芸学分野  
教授 金山喜則



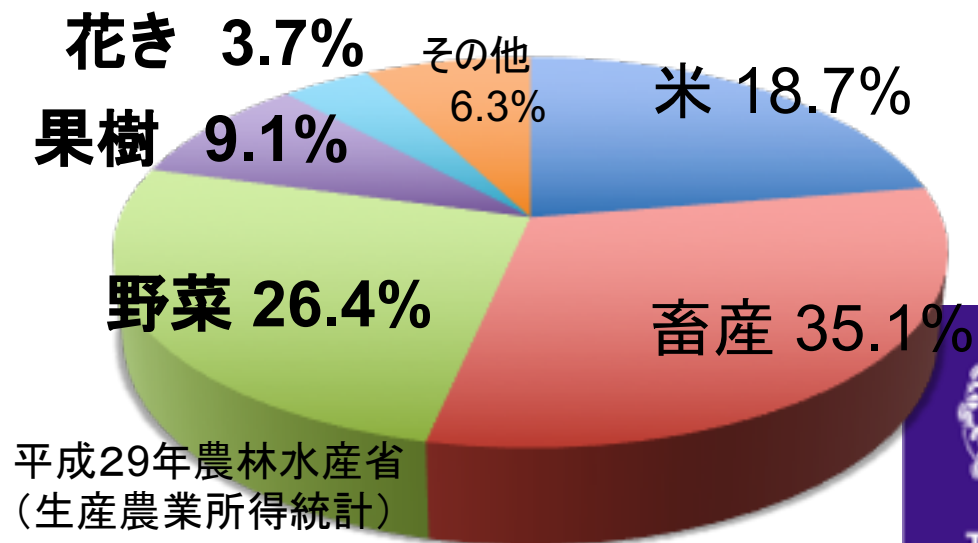
# 内 容

1. はじめに
2. エダマメの美味しさの非破壊分析
3. 野菜や果実における放射光による非破壊分析
  - 1) 内部構造の可視化（栽培、品質との関係）
  - 2) 内部傷害の検出
  - 3) 元素分布のイメージング
4. まとめ

# 1. はじめに

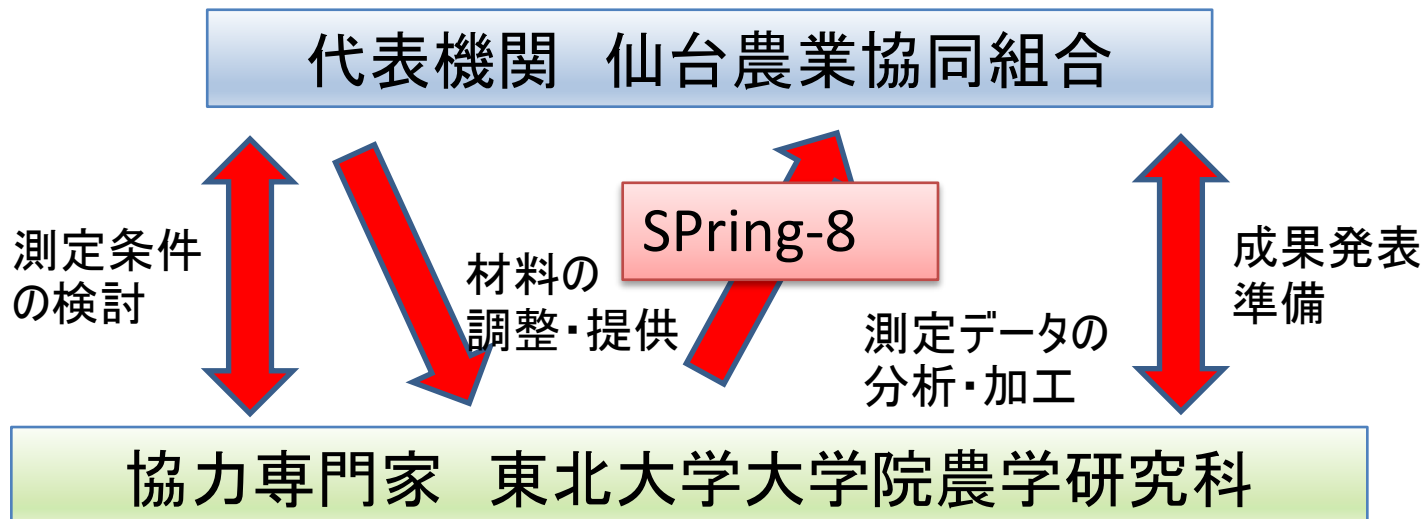
- 園芸学は農業総産出額の4割近くを占める
- 食品産業とも直結
- 省力化、産業競争力の向上が課題
- 生産と品質に関わる新たな技術の導入による

スマート技術の  
開発推進が重要  
→放射光に期待



## 2. エダマメの美味しさの非破壊分析—概要—

- 仙台市放射光施設活用事例創出事業（トライアルユース事業）：仙台産大豆及び枝豆の美味しさの要因解析
- 実施体制



# ー背景と目的ー

- ◆ 宮城県は全国有数の米どころだが、大豆も全国第2位の生産量を誇る産地であり、仙台市においても主要な農産物。
- ◆ 当組合では、震災復興と産地の認知度向上を目的に大豆のブランド化(仙大豆プロジェクト)に取り組んできた。
- ◆ 未成熟大豆である枝豆については、生産現場と消費地が近いという立地を最大限に生かすために、「仙台枝豆プロジェクト」を展開中。
- ◆ 枝豆は食味特に物理性(テクスチャー)に関する科学的指標は確立しておらず、内部構造を非破壊で観察する方法がなく限定的だった

→放射光を用いたイメージングにより内部構造が見える化し、食感との関係を検討し、美味しさの見える化のための基礎的知見を得ることを目的とした。



# 一材料および方法一

## 材料

- ◆ 仙台産の冷凍ゆで剥き枝豆  
(品種:ミヤギシロメ、2分程度  
ボイルし脱莢したもの)

## 方法

- ◆ 流水解凍後に、追加ボイルに  
より調理時間の影響を調べた
- ◆ 官能試験
- ◆ 物性試験
- ◆ 放射光分析(X線位相CT)

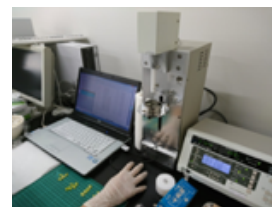
JA仙台 ゆでむき枝豆  
(2分塩ゆで後、莢をむいて冷凍)  
を流水解凍。



沸騰している4%食塩水で茹で、  
氷水にとる。以降冷蔵保存。



硬さ等の機器分  
析と官能評価



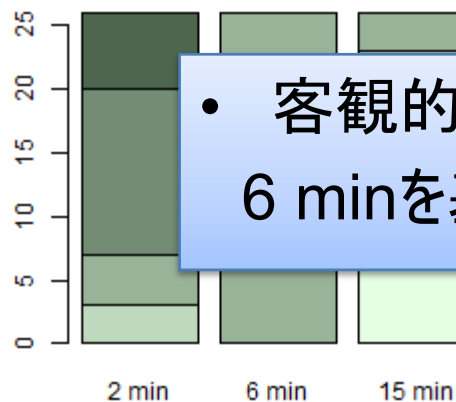
X線CT  
@SPring-8



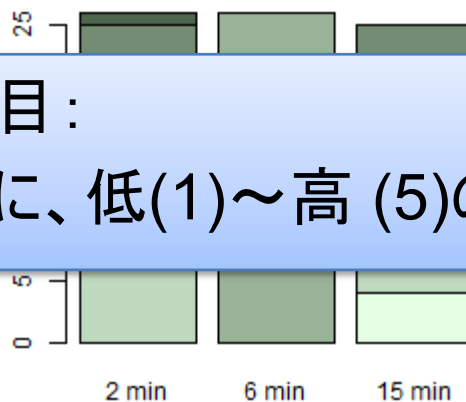
X線透過時の位相の変化をコントラストとしてイメージング(単  
純な透過より高い密度分解能)&CTは物体をさまざまな方  
向から撮影して内部構造を再構成

# —結果：官能試験—

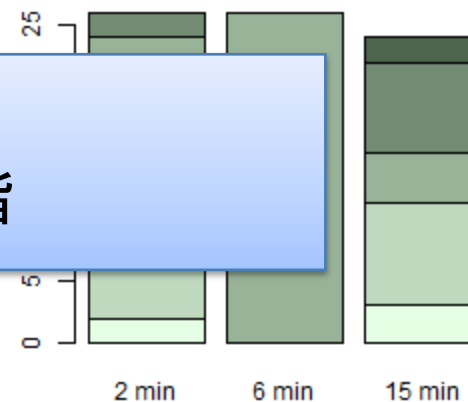
硬さ



弾力

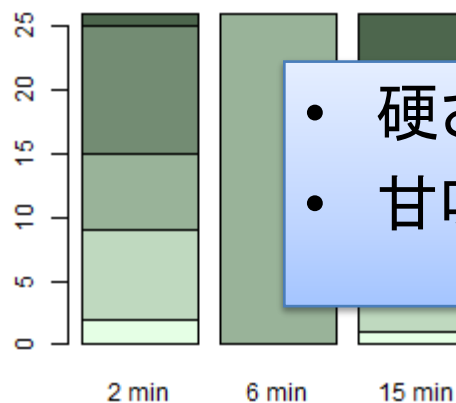


もちもち感

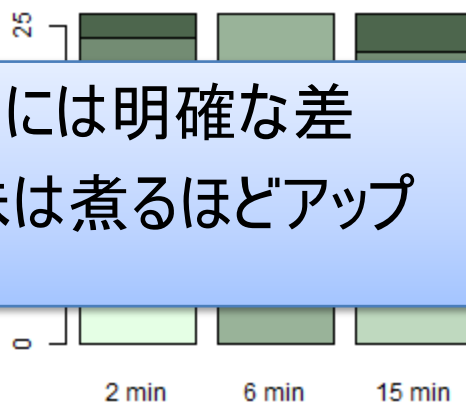


- 客観的評価項目：  
6 minを基準(3)に、低(1)～高(5)の5段階

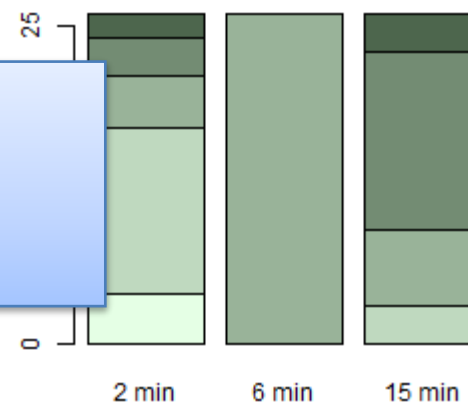
ほろほろ感



甘味

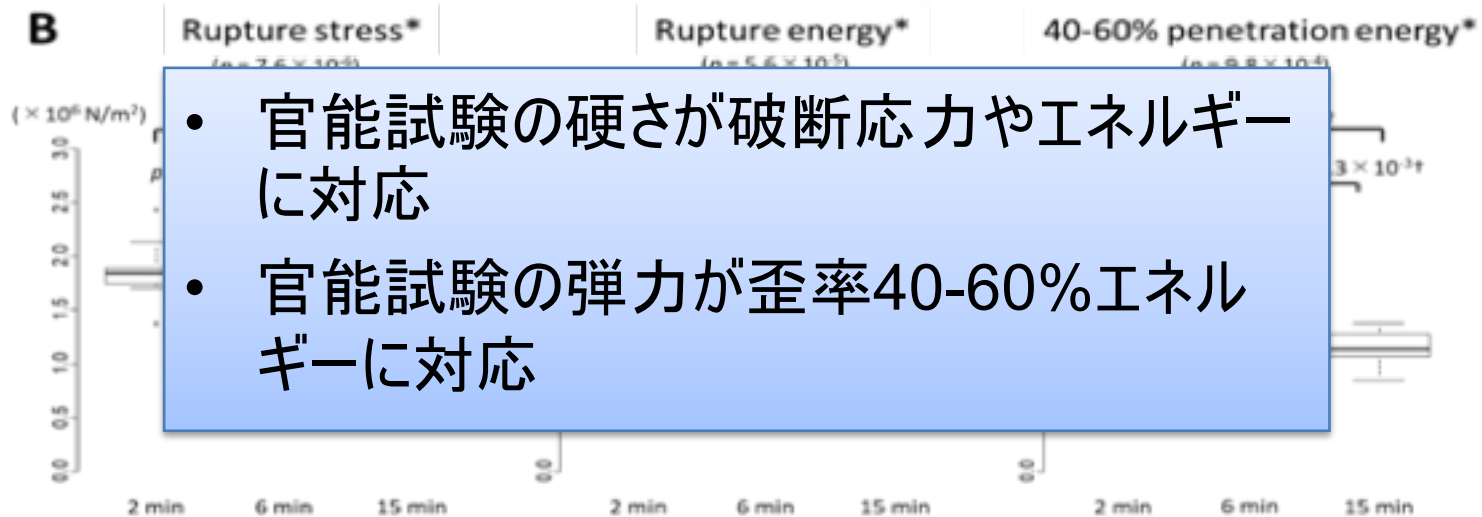
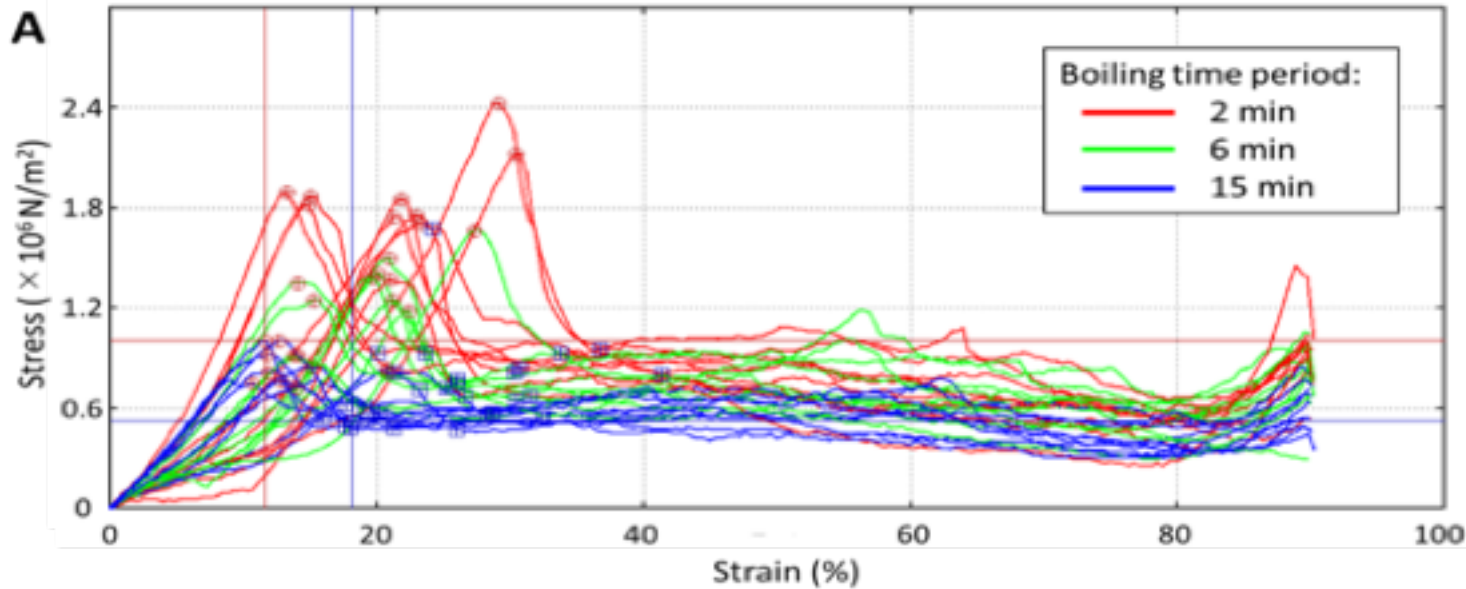


旨味



- 硬さや弾力には明確な差
- 甘味、旨味は煮るほどアップ

# —結果：物性試験—





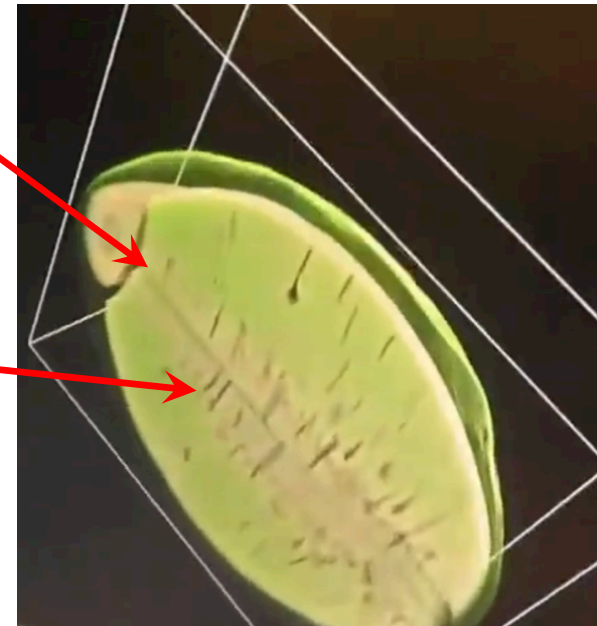
# —結果：放射光分析—

ここではウェブ掲載可能なデータのみとさせていただきます。  
セミナーでは多くの未発表画像データをお見せできますので、あしからずご了承ください。

- ◆ 2次元画像を重ね合わせて3次元画像を作成
- ◆ 子葉間の溝の広がり  
0.3mm程度、可食部の亀裂が0.04mm × 1mm程度の線状で、子葉間の溝から外側方向に生成している様子が観察

子葉間の溝の  
広がり

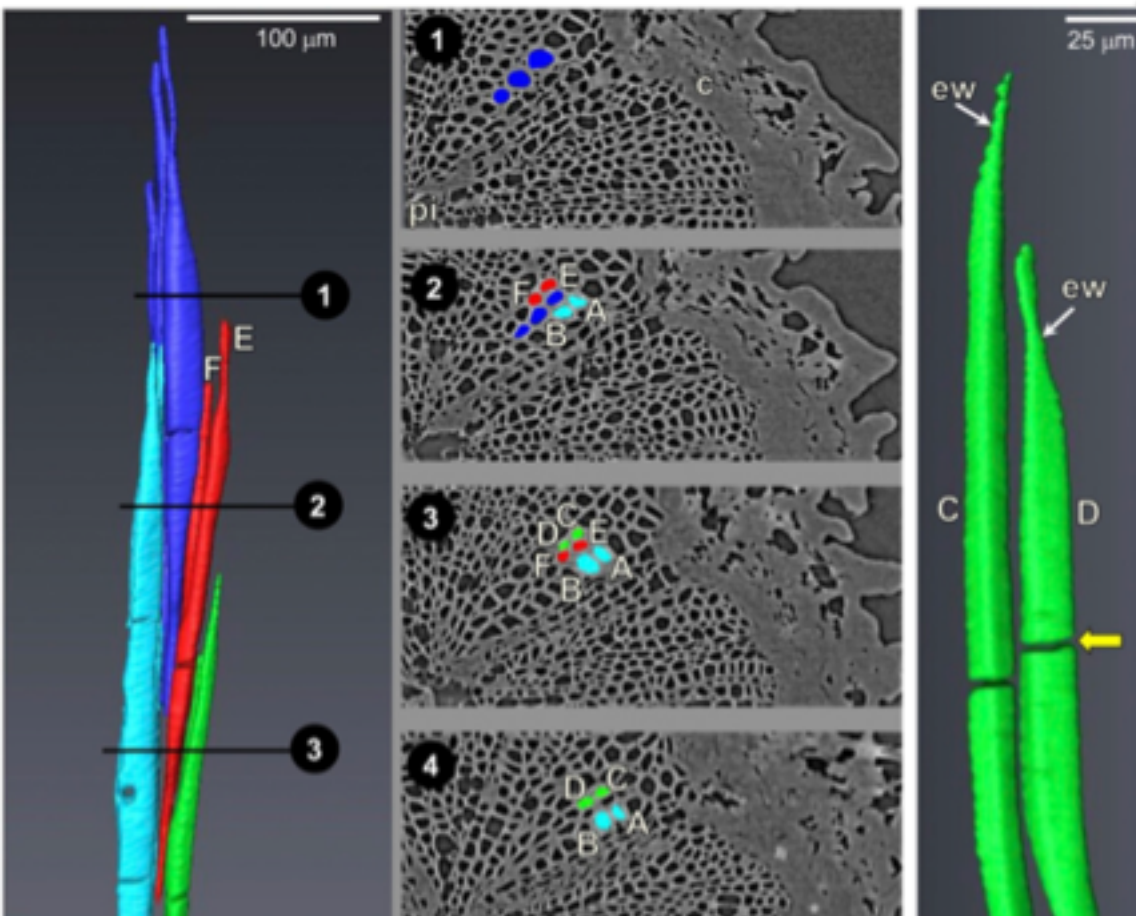
可食部の  
亀裂の増加



⇒ 子葉間の溝の広がりや可食部の亀裂が食感に影響か？

# 3. 野菜や果実における放射光による非破壊分析

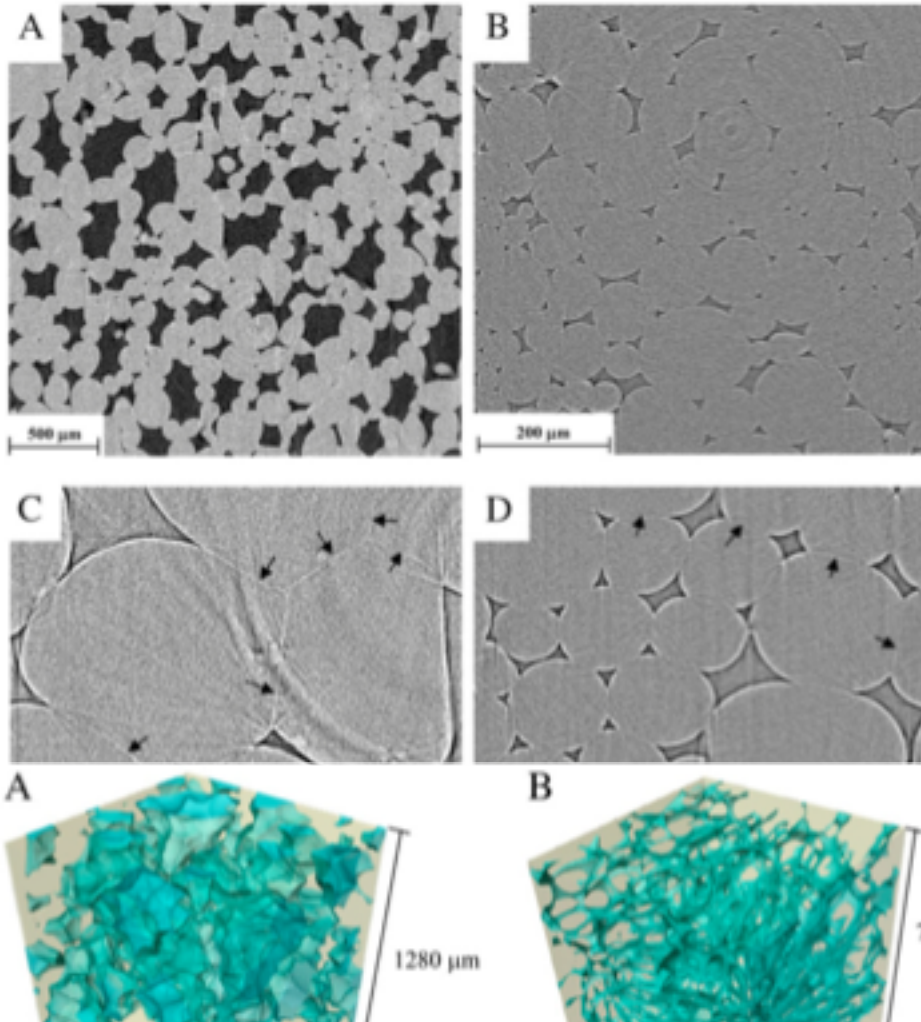
## 1) 内部構造の可視化(栽培との関係)



- ブドウの成熟に伴う水分移動の低下現象の解明
  - 果実の果軸を切り離してウェットな状態で果柄を測定 (High resolution X-ray micro-computed tomography (microCT) )
  - 細胞を可視化でき(細胞内外の水相と気相でコントラスト) 導管の「くだ」をイメージング
  - 真中の断面から導管を抽出して左の3次元へ構築／右が拡大図で切れた部分が明らかになり形態的な閉塞の証明となった
- 糖蓄積や生理障害(尻腐れ、水浸状果)と維管束系の発達との関係

Knipferら 2015 Water transport properties of the grape pedicel during fruit development: Insights into xylem anatomy and function using microtomography. *Plant Physiol* 168:1590

# 1) 内部構造の可視化(品質との関係)

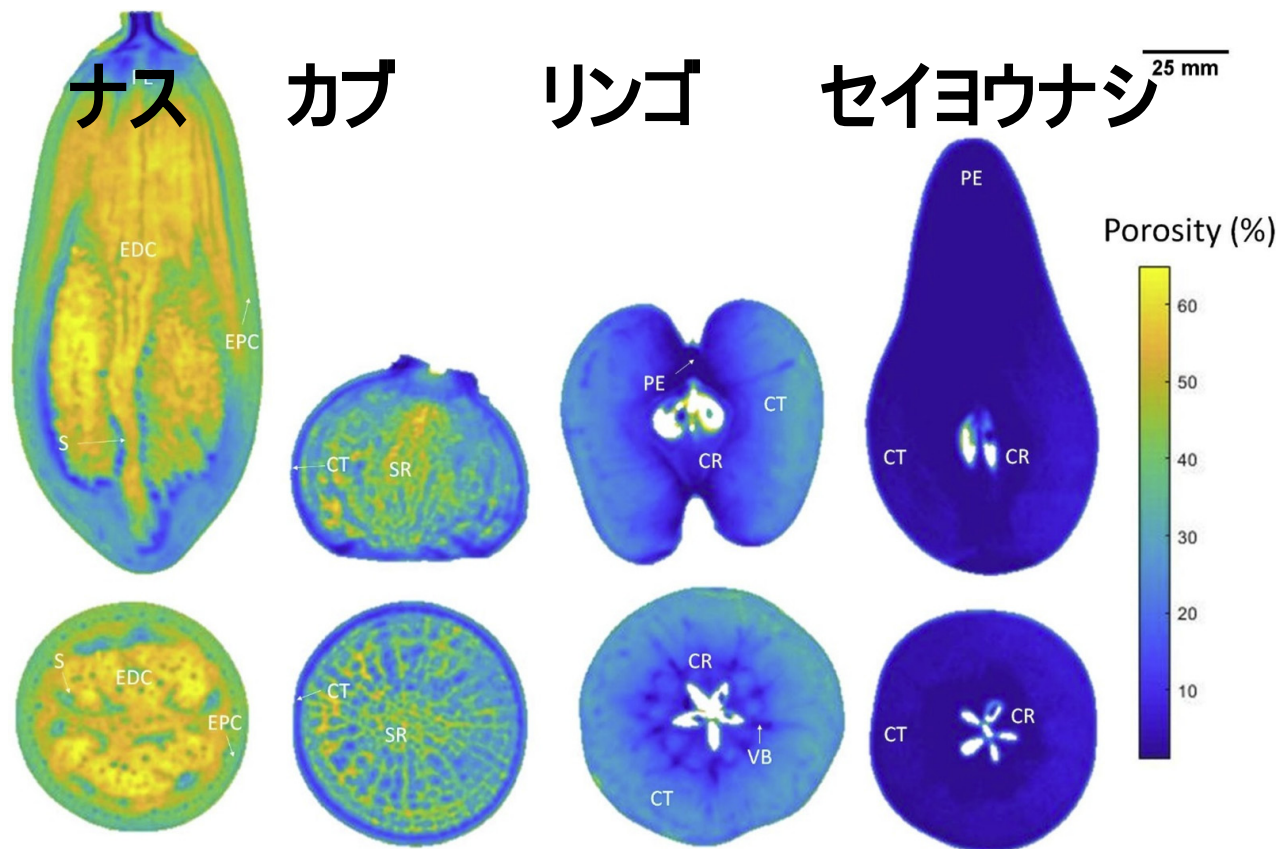


リンゴ(左列)とナシ(右列)

- 上 : は細胞内が水分で細胞外が気相とした画像
- 中 (位相CT) : phase contrastで細胞壁も検出
- 下 : 空隙を3Dにするとリンゴは空隙がそれぞれ大きいが独立しており、ナシはそれぞれが細かいがネットワークとなっている

→ ウェットな状態で測定し、細胞の状態もわかるので、これまで未知であった果肉障害の発生やテクスチャーの変化が可視化

# 1) 内部構造の可視化(品質との関係)

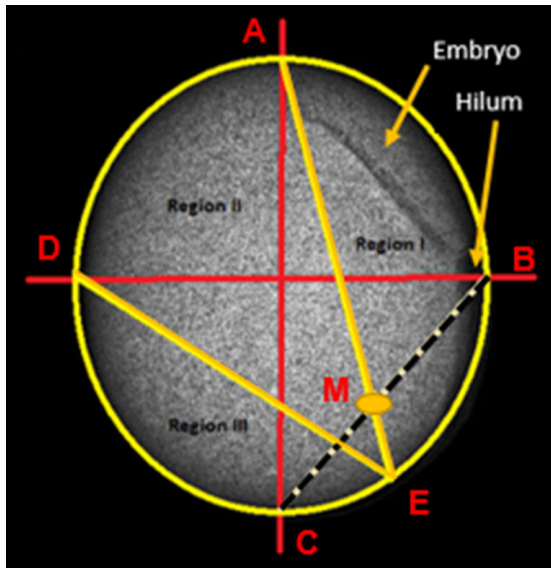


- 野菜や果実リンゴ(左)とナシ(右)と空隙率
  - 各青果物の独特の食感を反映の可能性
- これまで難しかった食感について新たな評価法の開発、数値化も可能

Nugraha<sup>A</sup> 2019 Non-destructive porosity mapping of fruit and vegetables using X-ray CT. *Postharvest Biology and Technology* 150 (2019) 80–88



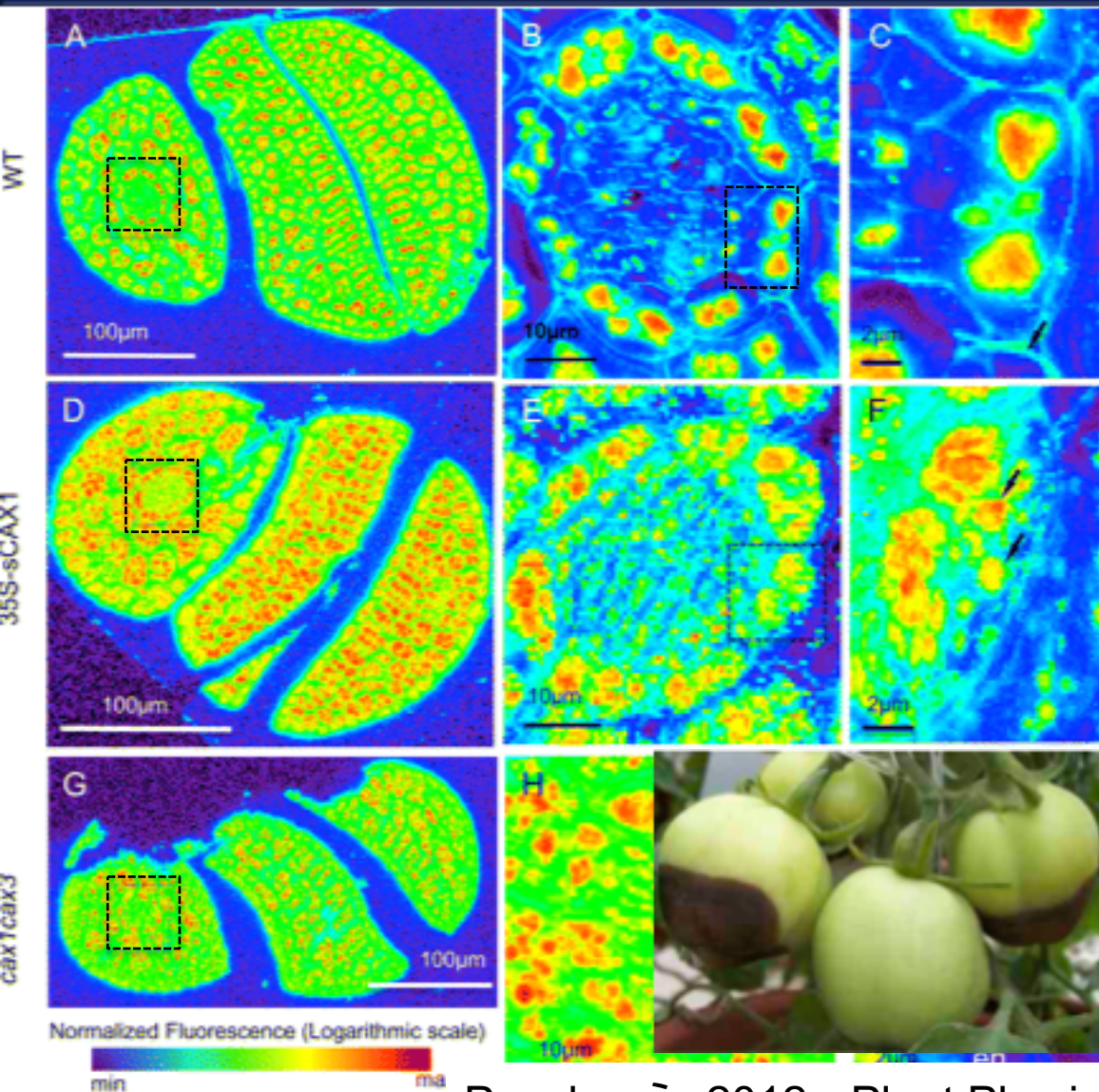
## 2) 内部傷害の検出



- 健全な種子の判別方法の開発
  - 外見上の特徴は通常のイメージセンサで内部傷害はX線で
  - 内部障害もその位置によって重み付けできる
- 得られるデータをAIで処理して迅速かつ精度良く判別
- 多くの種類、処理方法を一度に判別可能

Mahajan *et al.* 2018 Machine vision based alternative testing approach for physical purity, viability and vigour testing of soybean seeds (*Glycine max*) . *J Food Sci Technol* 55:3949–3959

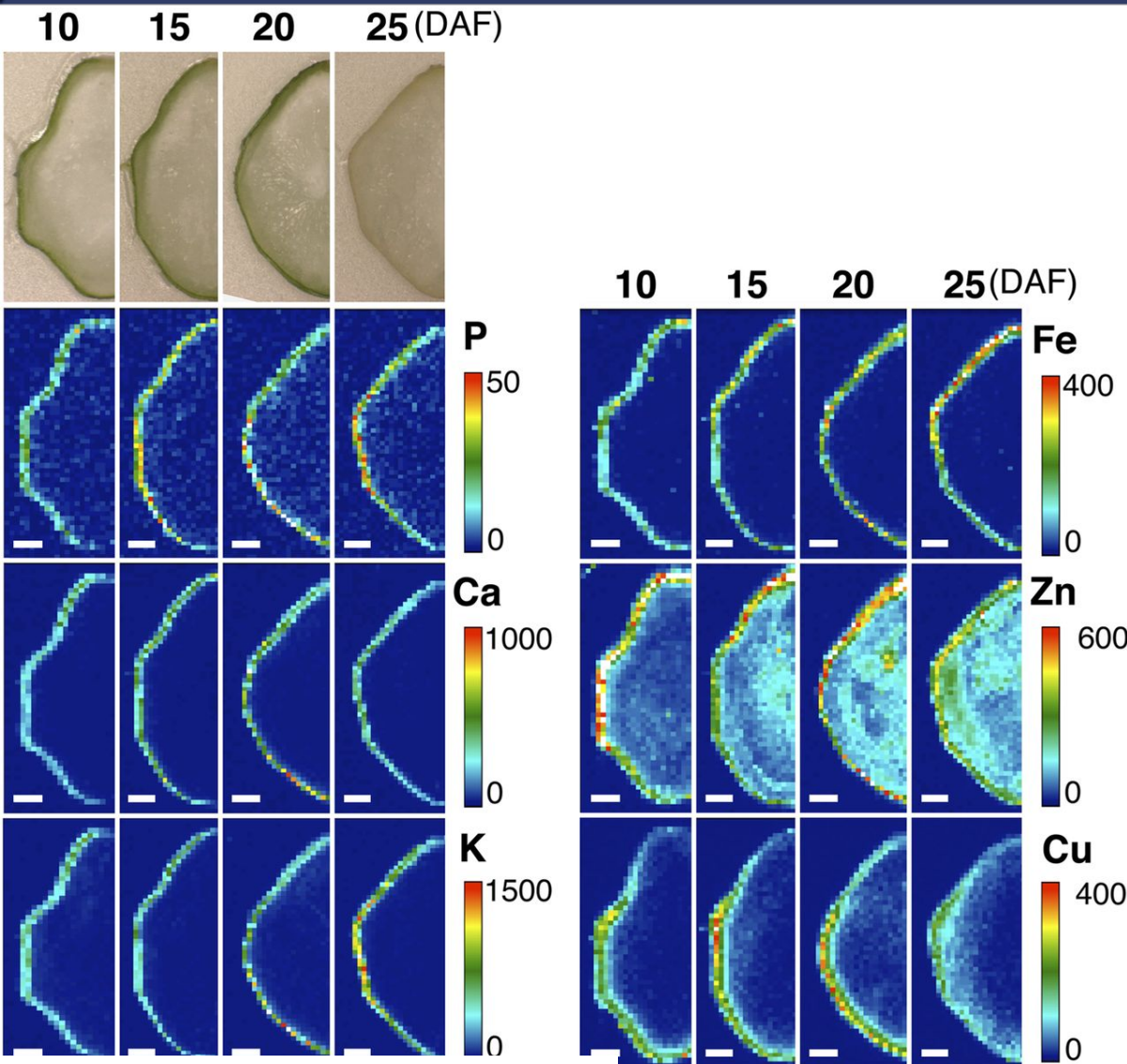
### 3) 元素分布のイメージングーCa局在性ー



- Ca輸送遺伝子の変異体におけるCa局在性の乱れを検出
  - データは0.2µm解像度で左は胚全体(右が子葉で左が胚軸)、中央カラムは胚軸の細胞、右は1細胞
  - 組織、細胞レベルでの局在性
- 作物の生理障害の研究に有効



### 3) 元素分布のイメージングー様々な元素ー

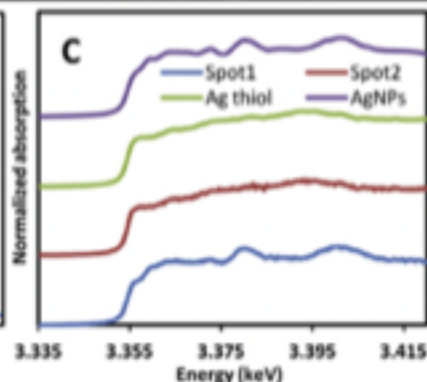
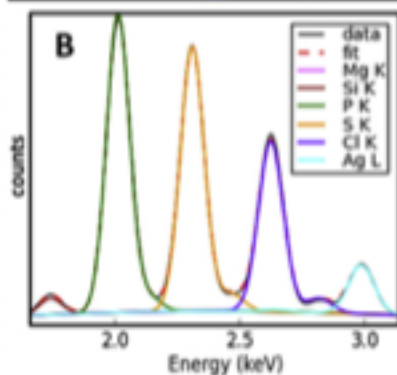
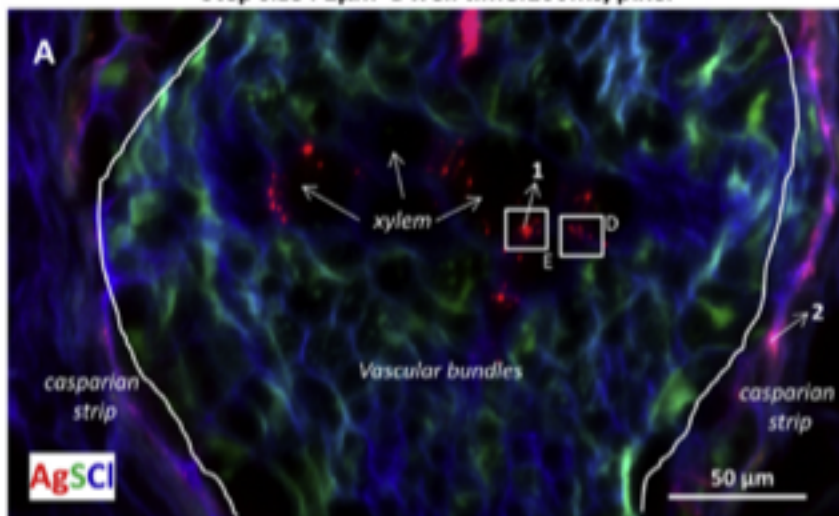


- 種々の元素と結合して貯蔵に寄与するフィチン酸と元素の分布をコメで
- 開花後の種子の発育に伴う変化 (フリーズドライ & Microスライサー &  $\mu$ XRF)
- P, Fe, Ca, Kはフィチン酸とともにアリュuron層に局在しフィチン酸と結合。亜鉛と銅は異なる蓄積機構

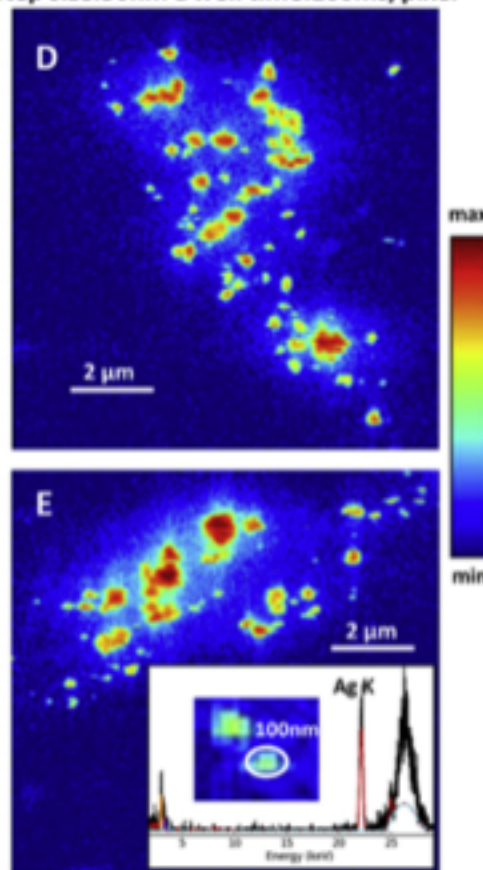
→ Ca, Znなど有用元素 (**Biofortification**)、AsやCsなど問題元素の動態の解明

# その他環境との関わりで: ナノマテリアルの検出

ESRF ID21 SR- $\mu$ XFM +  $\mu$ XAS  
 Beam size:  $0.8 \times 0.5 \mu\text{m}^2$  KB optics  
 Energy: 3.42 keV monochromatic  
 Step size:  $1 \mu\text{m}$  Dwell time: 100 ms/pixel



ESRF ID16B SR-nanoXFM  
 Beam size:  $60 \times 60 \text{ nm}^2$  KB optics  
 Energy: 29.6 keV pink beam  
 Step size: 50 nm Dwell time: 100 ms/pixel



A: AgNPを処理したヒマワリの根の維管束付近. BはAのシグナルの合計. Cは成分同定.

D, E: Aのボックスをズームしたもの (100nmのNPを検出)

→環境への広がり  
 の検査やその手法、  
 分析機器の開発



## 4. まとめ(想定される利用例)

野菜、果実、食品の新たな評価法の開発

- 非破壊分析が必要な栽培における**障害の原因解明**
- 有用元素や問題元素の動態の解析
- **食感やテクスチャ**など評価やメカニズムが困難なテーマのブレークスルー
- 高性能次世代放射光施設であれば、**スループットを上げて育種や技術開発**に使用できる(短時間、大量)
- 新たな評価法の利用により食品加工法とともにそのための製品開発に寄与
- 環境との関わりではナノマテリアルの検出

# 謝辞

- 仙台農業協同組合 小賀坂行也
- 東北大農 日高將文、宮下脩平、藤井 智幸
- 仙台市放射光トライアルユース事業
- SPring-8 八木直人