

東北放射光施設(SLiT-J)の実現に向けて  
Synchrotron Light in Tohoku, Japan

～ 復興リングが牽引する東北の再生 ～  
～ 希望の東北の創造 ～

## **農水産業革新への貢献**

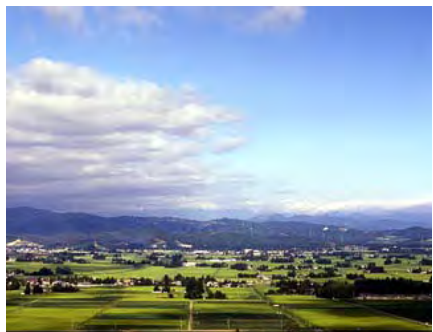
平成26年10月

**東北放射光施設推進会議/推進室/支援協議会**

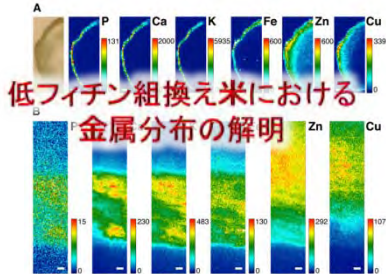
# 持続可能な農水産業の発展に貢献可能

放射光ナノアプリケーションによる食糧資源の精密分析 → 戦略的新展開に活用

安全・安心な食糧生産と高付加価値化を、高い経済性で実現する**食糧戦略**のツールとして



環境負荷低減・農水産業



低フィチン組換え米における  
金属分布の解明  
吉田薫(東京大学)



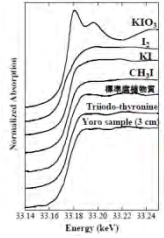
ナノ元素マッピング  
リンや金属の蓄積部位を特定  
組み替え育種の低リスク開発



安全・安心



土壌改良



ヨウ素は土壤中で  
有機ヨウ素として  
固定されている。  
嶋本洋子(産総研)

ナノ微量元素分析  
ナノX線吸収分光  
土壤中微量元素の動態解明  
土壌改良の指標提示



高生産性



TPP・国際競争



小角散乱  
食品油脂の結晶化のナノ分析  
乳製品、水産加工品などの  
高付加価値化への支援



高付加価値

# 世界総人口の爆発的増大、環境破壊が急激に進む中、様々な環境下で低エネルギー・低コストで大量に農作物を生産する技術を確立することは急務であり、東北地方で先導的に進めるべき重要課題の一つである

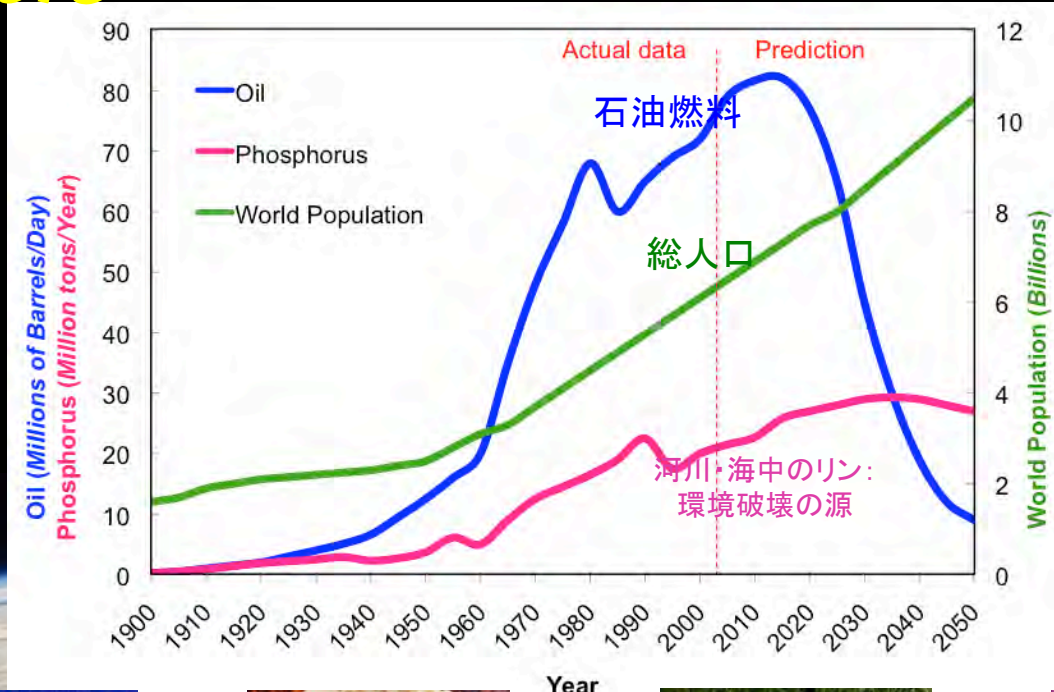
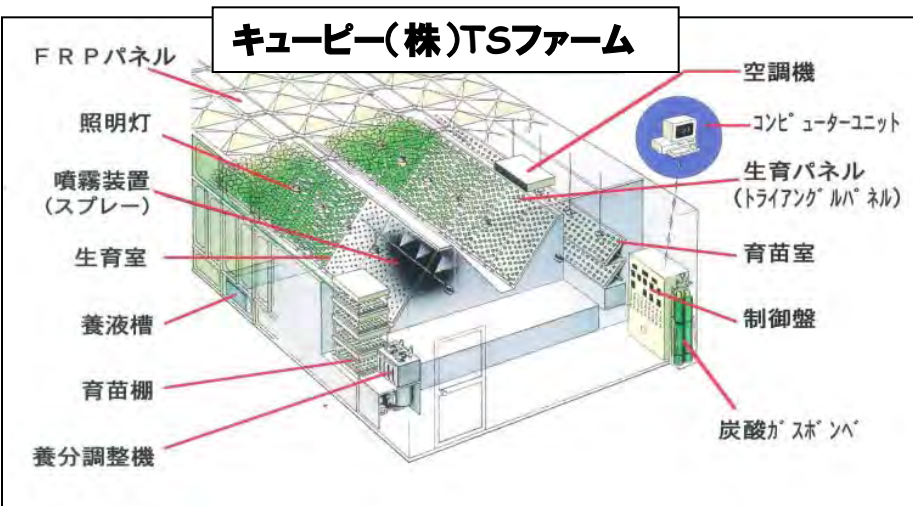


Photo courtesy [Earth Observatory](#) NASA



# 植物工場 の高効率展開のための放射光技術の利用

メリット:安心安全な食材 + 価格が安定 + 低利用農地の活用



無農薬の実現・寒冷地対応の農業ビジネスとしても有効  
完全制御型閉鎖空間植物工場

への技術的課題

- ★蛍光灯の赤青色成分強化
- ★光合成に有利なLEDの低価格化



(例:青森県産業技術センター  
旭エンジニアリング(株))

- 「シンクロトン光」を利用して誕生する素材
- 太陽電池の効率化  
Siを端目とする、各種太陽電池材料素材の開発と高効率化への挑戦
  - より明るいLEDの開発  
LEDの結晶構造をナノレベルで解明し、  
明るいLED開発を促進

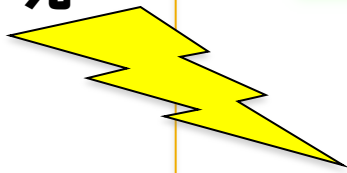


LEDメーカーのロームは、LED光源を採用した完全人工光型植物工場でのイチゴ栽培を実現。(2014.9.3)

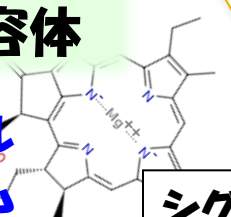
# 農作物の低コスト大量生産を目指す植物成長の分子機構解明 (1)

## 植物の光受容体

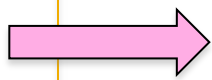
光



クロロフィル  
フィトクロム  
クロプトクローム  
フォトトロピン



シグナル伝達

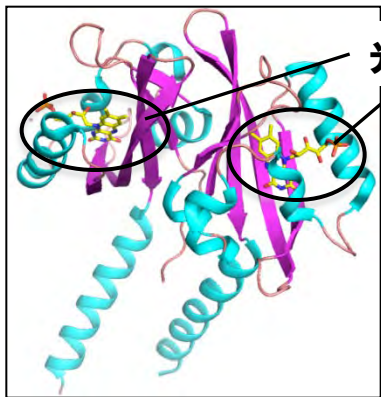


異なる波長(色)の光をセンス!

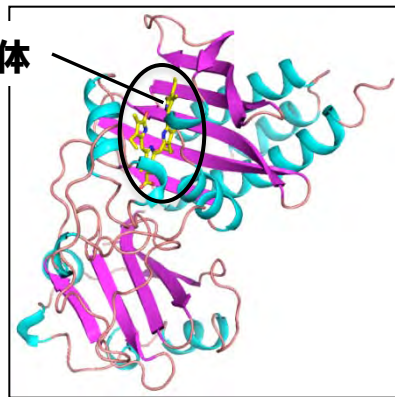
## 放射光によって決定された

フォトトロピンの立体構造

フィトクロムの立体構造



光受容体



放射光による 光センシング機構の解明  
光→シグナル変換機構の解明

## 植物の生長促進・抑制

暗所

遠赤色

赤色



WT phyB WT phyB WT phyB  
phyA phyAB phyA phyAB phyA phyAB

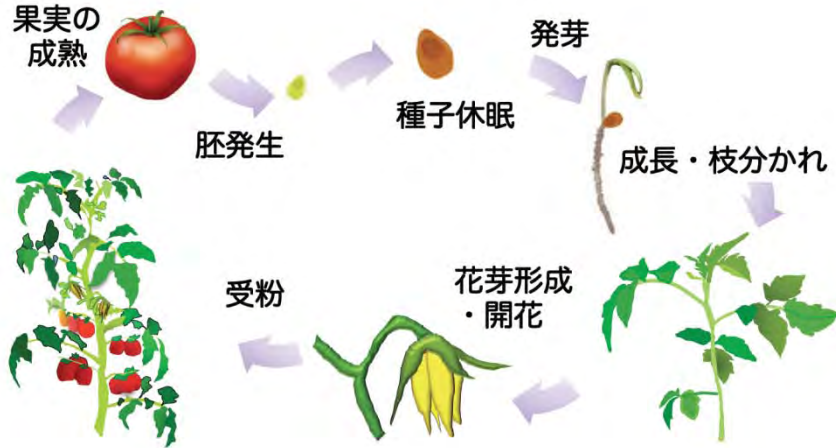
光の波長と光受容に関わる遺伝子を操作することで、茎・葉・花・種子の生長・形態が変化

省エネ発光ダイオード(LED)により、植物生長・分化をコントロール!

様々な環境下(日照時間の短い地域さらには宇宙)での低コスト農作物生産を目指す!

# 農作物の低コスト大量生産を目指す植物成長の分子機構解明 (2)

植物ホルモンは植物の成長過程のいろいろな場面ではたらく

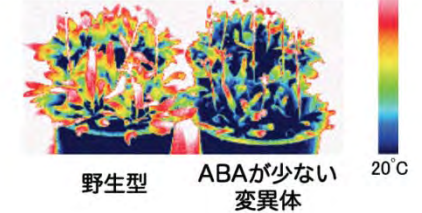


↓(例)



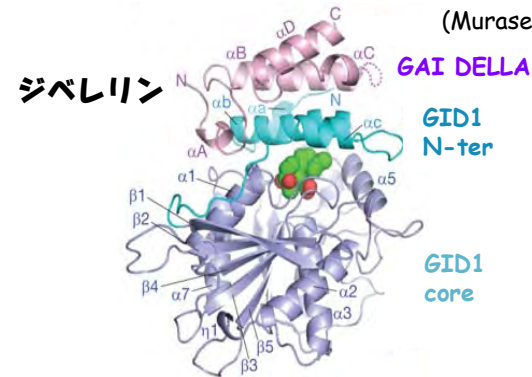
(生命科学研究所 山口信次郎教授)

アブシジン酸 (ABA) : 乾燥に耐えるために必要なホルモン



分子構造に立脚した植物ホルモンによる植物成長の原理解明は始まったばかり

ジベレリン受容体のジベレリン認識機構が解明された例 (Murase et al., Nature 2008)



これら知見をもとに、様々な環境下における低コスト農作物生産の実現を目指す!

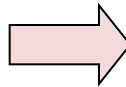
草丈が適度に低い品種の導入によりイネやコムギの収穫量が画期的に増加した → 緑の革命

ジベレリン : 植物ホルモンの一種

草丈が低い = 倒れにくい



生長



正常種

sd1

正常種

sd1

# タンパク質科学を基盤とする害虫駆除薬の開発

タンパク質の立体構造を基にした薬物設計は、新薬開発における有用な手段として、近年急速に進展している。

シンクロトロン放射光は、植物病理学・害虫駆除技術のキーテクノロジー

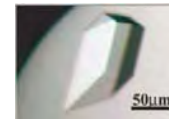


## ズッキーニ黄斑モザイクウイルスワクチン

(京都府農林水産技術センター、宇都宮大学、株式会社微生物化学研究所)

例) カスガマイシン：農業分野で広く利用されている抗生物質  
“たんぱく3000”プロジェクトにおける構造解析の結果、従来用いられてきた抗生物質のリボソームでのほたらきとは異なる新規なメカニズムで真菌・微生物の繁殖を抑えることが判明

課題：サイズが大きく、高品質のタンパク質結晶を作成することは一般的に困難。



SLIT-Jのマイクロビーム光学系で、微小・低品質単結晶の回折パターンを高いS/N比率で測定可能

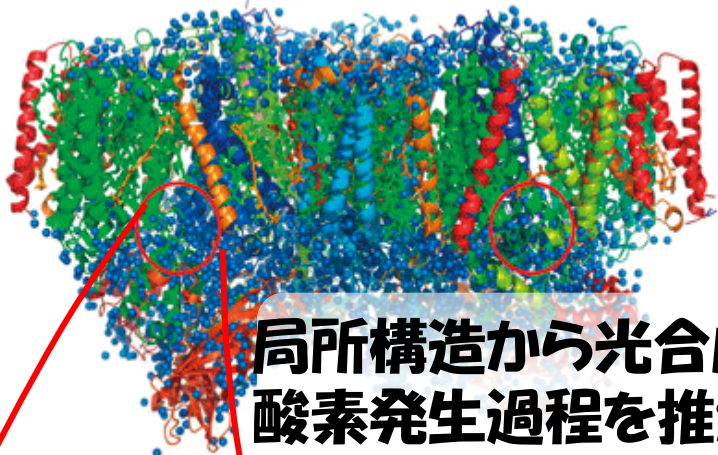
例)：様々な情報伝達物質を運ぶ害虫アリの輸送タンパク質(NPC2)をターゲットとする薬剤開発により、人体やほかの生物には悪影響を及ぼさない、環境に優しい害虫駆除薬の開発につながることを期待。  
(独立法人農業資源研究所)



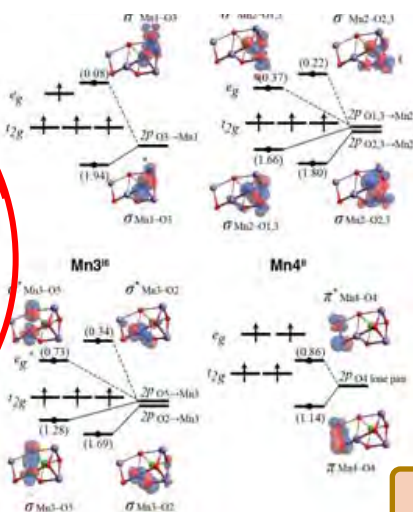
# 高輝度軟X線放射光がリードするタンパク質研究の新展開

⇒基礎生物学のみならず、自然環境保全、機能性食品の開発にも貢献  
(多元研 稲葉謙次教授)

## 硬X線結晶構造解析

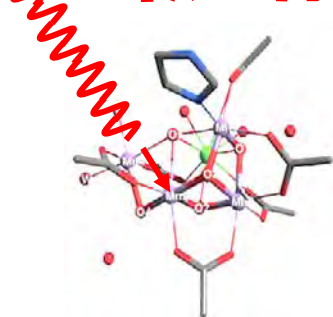


局所構造から光合成の  
酸素発生過程を推測

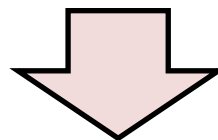


酸素発生中心4核マンガクラスタ  
大阪市立大学 神谷信夫教授

## 軟X線タンパク質機能解析

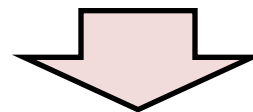


700000原子中に、4個しかない  
マンガンを狙い撃ち



電子状態の精密解析により  
タンパク質の機能を“可視化”

現状:0.0002%のタンパク質の分析  
が10時間 @ SPring-8



1000倍の輝度で30秒で分析が完了

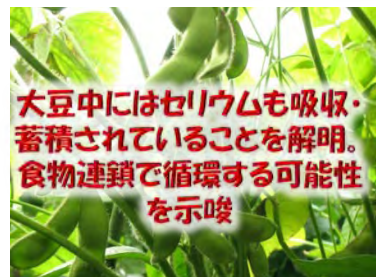
酵素反応中のタンパク質の動きを時分割で捉える!



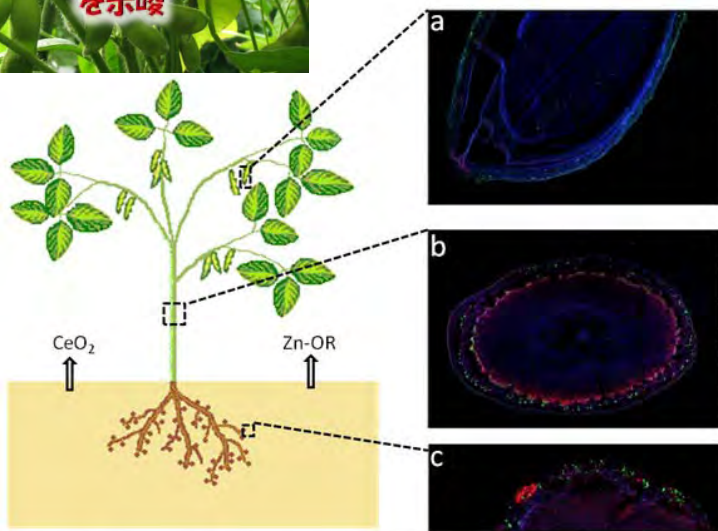
# 農作物・水産物の安全・安心に貢献

## 海外における、放射光を利用した農林水産物の健康診断の具体例

### 食物連鎖における工業ナノ粒子の循環・蓄積状況の調査



ナノ元素マッピング・XAFS分析  
亜鉛やセリウムの蓄積部位と化学形態の解明し毒性を評価



人為的に発生する有害物質のリスク評価  
安全・安心な食糧供給に向けた指針確立へ

ACS Nano. 25, (2013) 351

### 柑橘グリーンング病の早期診断法の開発

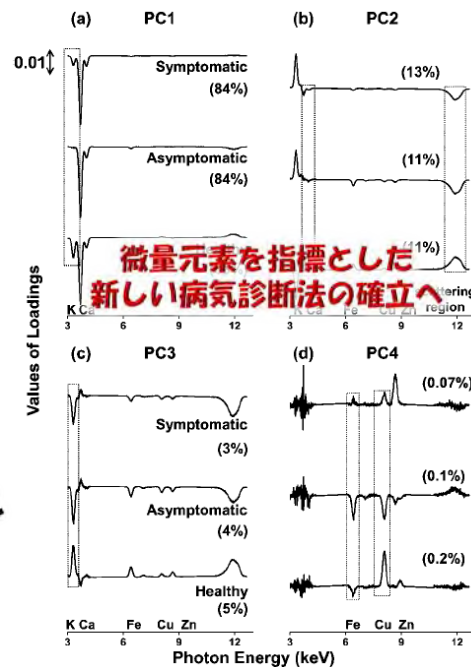
#### 柑橘グリーンング病

ブラジル・アメリカを中心に被害が拡大  
色落ちにより商品価値が低下。経済損失大



#### ナノ微量元素分析

K, Ca, Fe, Cu, Znなど、微量なミネラルの含有量が、植物の健康状態に依存することを解明。



高品位農作物の安定供給に向けた、  
病気の早期発見と予防法の確立へ

J. An. At. Spectrom. 25, (2010) 351

放射光は 農林水産業の高生産性と高い安全性の両立を実現する戦略ツール

# 最先端放射光を用いた食品の高付加価値化への貢献

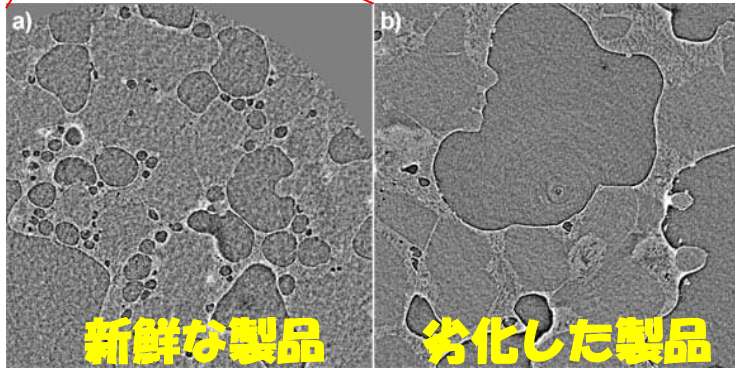
○ユニリーバ社(FRANCE): 放射光を用いた高付加価値乳製品の研究開発

○神戸大学+JASRI(JAPAN): X線トモグラフィによる評価の高いパン生地の気泡計測

アイスクリームの食感の決めては何か？ 飽和脂肪酸は血中コレステロールを増加させ、脳卒中や心臓病の原因に！



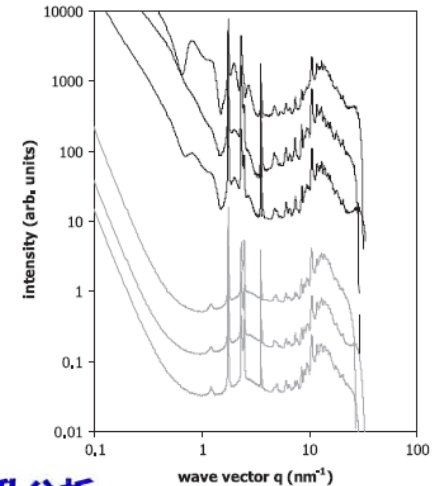
ナノマイクロトモグラフィ  
輸送等の温度変化によって  
ナノメートルサイズの氷や気泡が  
生成することを科学的に解明  
構造の変化が食感を低下させている



アイスクリームの品質向上  
高品位を維持する輸送・保存方法の確立へ



乳製品中の脂肪酸の構造分析  
トリグリセリドの代替え油脂を探索



ナノ小角広角X線散乱分析  
コレステロールを下げる働きを持つ、  
植物ステロールと類似した油脂を開発

味と健康への影響を両立した食品供給へ

放射光利用研究に基づく、食品の高品質化・高機能化メカニズムの解明と、  
“おいしく”かつ“安全”な高付加価値製品開発を担保する基礎研究

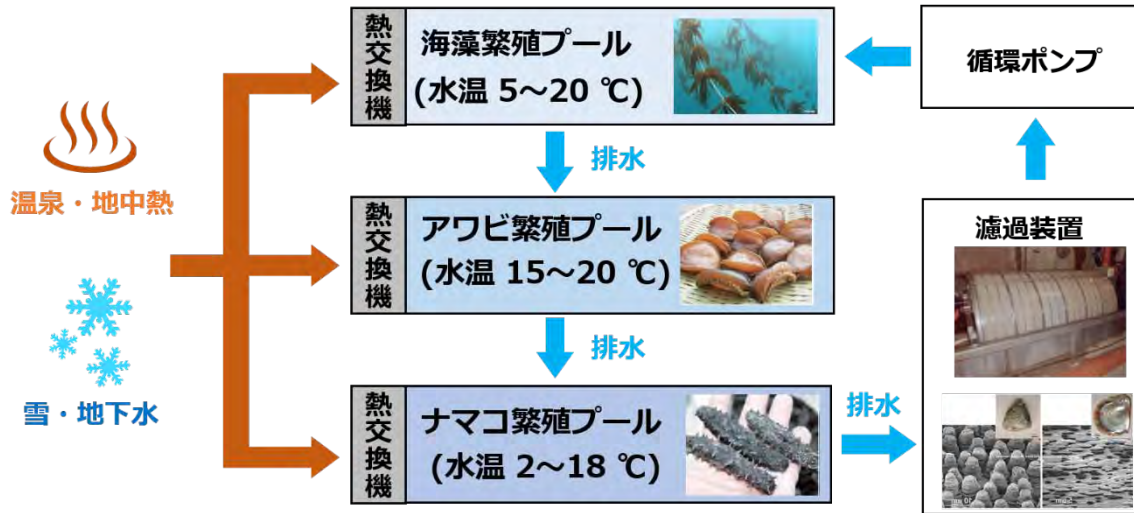
# 次世代型（閉鎖循環式）陸上養殖技術の開発



**水替えをせずに養殖水を完全に循環、不確定要素の低減**

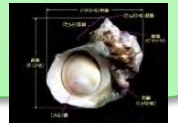
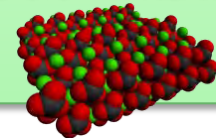


- 低環境負荷・高歩留まり（伝染病等のリスク低減）
- 安定供給・通年収入可能（設置場所の制約無し）
- 高付加価値による新ブランド化（食の安全性保証）



## 重要な研究開発要素

- ・人工海水開発  
物質同定・構造解析
- ・人工飼料開発  
素材構造解析
- ・排水（排泄物毒性）処理  
排泄物の構造・毒性解析  
海水フィルター用素材開発
- ・生育構造解析  
貝殻、海藻など海洋生物  
資源の成長構造解析



弘前大 前田健、古屋泰文

・放射光での物質十ノ構造・原子分子解析が不可欠！

**Na, Ca, Mgなどの重要な元素（低励起エネルギー）解析は SLIT-J の特性にマッチ**

**将来展望：新しいアブローチでの東北地方における水産業振興、  
育成技術の蓄積による世界的な食糧不足への対策。**

# 甲殻類・イカ由来の生体材料を用いた新素材の開発

## キチン+ノファイバー

- エビ・カニなどの甲殻類外皮やイカ中骨の構成要素.
- 生体特性(生体適合性, 生体内分解性)や力学的特性(高強度, 高弾性)に優れる.
- イカ中骨のキチン利用は産学連携プロジェクトとして現在も推進中(JST復興促進プロジェクト: 岩手県)

カニ殻



イカ中骨



廃棄部位の有効活用

## 原料からのキチンの抽出・処理方法が製品の物性に大きく影響

### ● 機能性材料素材

繊維・シート補強剤,  
重金属, 化学物質吸着  
素材など



### ● 医療・食品

人工皮膚, 錠剤, 機能  
性食品, 食品添加物  
など



## 放射光を用いた材料分析技術の応用

- 変形に伴う構造変化のリアルタイム観察
- 有機高分子の高次構造の解析
- 重金属, 化学物質の吸着メカニズムの分析

## 将来展望

水産業+マテリアルサイエンス  
が創成する新産業

# 水産食品の微量元素分析による品質保証技術の開発

## 食品に求められる安全意識の高まり\*1

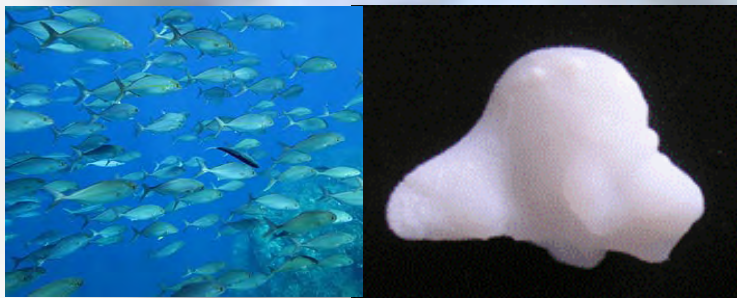
- 消費者が生鮮食品を購入する際の選定基準  
→ 安全性(61.5%), 生産地(47.9%), おいしさ(20.6%)
- 食品表示が信頼できる→半数未満 (43.8%)
- 客観的なデータから食品の安全性を保証する技術が求められる。

\*1 平成 20 年度 国民生活モニター調査結果 (内閣府)

## 放射光を用いた微量元素分析の応用

- ①非破壊・迅速・高感度
- ②優れた位置分解能
- ③存在形態を評価可能

例) 回遊魚の耳石に含まれる微量元素元素の分析



- 自然の摂理に学ぶ、固有の魚に最適な、育成環境と生産品質を総合的に管理評価する、新しい「養殖漁業」の提案。

## 農作物評価の放射光利用例



黒大豆 (兵庫)  
外皮の微量元素分析  
で中国産・国産を分別



茶葉 (京都)  
製品中の Mn, Fe の  
存在形態 (価数) 分析

将来展望: 有害元素混入や産地偽装などの不安要素を完全排除し、安心・安全を確立することで 消費・生産の両方を促進

# 水産物資源回遊ルート の 解明 と 資源 の 保全

たとえば、佐賀県玄海地区におけるケンサキイカは、高値で取引される春その水揚げ量が大きく減少している。水産資源保全のためにも、季節群の特徴や生活史を解明することが重要である (佐賀玄海水産振興センターより)

## 「シンクロトン放射光」を利用した イカの平衡石の微量化学分析

○平衡石は、イカの成長年輪のSr/Ca化学分析

生息していた環境の推定に重要情報を提供

いつどんな温度領域で生育したかの判別

○うなぎの回遊生態などの解明にも有効

「耳石微細構造の解析によるニホンウナギの

初期生態の解明」(科研費 一般研究 塚本勝巳教授より)



ケンサキイカ

研究成果:ケンサキイカの平衡石の蛍光エックス線分析の結果、ケンサキイカは、

成長期に黄海 冷水塊が張り出す東シオ海で生息していたことが判明

水揚げ量の減少は、成長する東シオ海北部で大きな漁獲圧を受けている影響の可能性

⇒ 科学的根拠を示しつつ近隣諸国と資源保全を考えた課題解決が不可欠

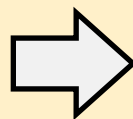
**将来展望:貴重な水産資源の成長システムを制御することによって、安定な食材提供を実現する。さらには自然生態系に倣った完全養殖技術の開発につなげる**

# 土壌の改質・農産物調査（重金属元素の高精度分析）

## ファイトレメディエーション：

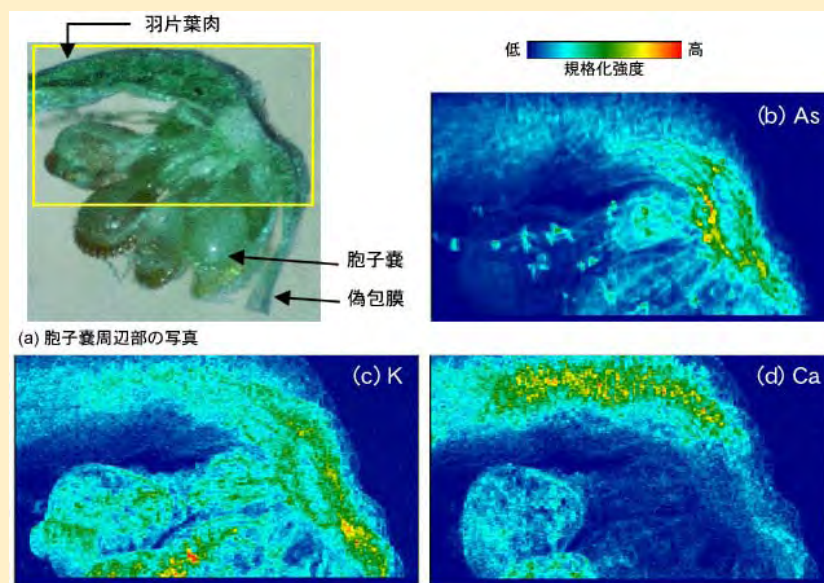
土壌中の重金属元素を濃集する植物を利用して、環境浄化を行う手法。

ヒ素、鉛、カドミウム、クロムおよび放射性重金属元素を取り込んだ植物を刈り取ること、土壌から有害な重金属元素を除去。



活用のためには、重金属が蓄積する植物の部位を特定する必要がある。

高輝度のマイクロビームを用いた蛍光X線分析による三次元定量マッピングによって、細胞単位(数ミクロンオーダー)での定量分析が可能になる。



ヒ素を取り込んだモエジマシダの元素マッピング。胞子嚢のヒ素分布量は少ないことから、濃集したヒ素が孢子とともに拡散する危険性が否定された。(KEK：BL-4A)

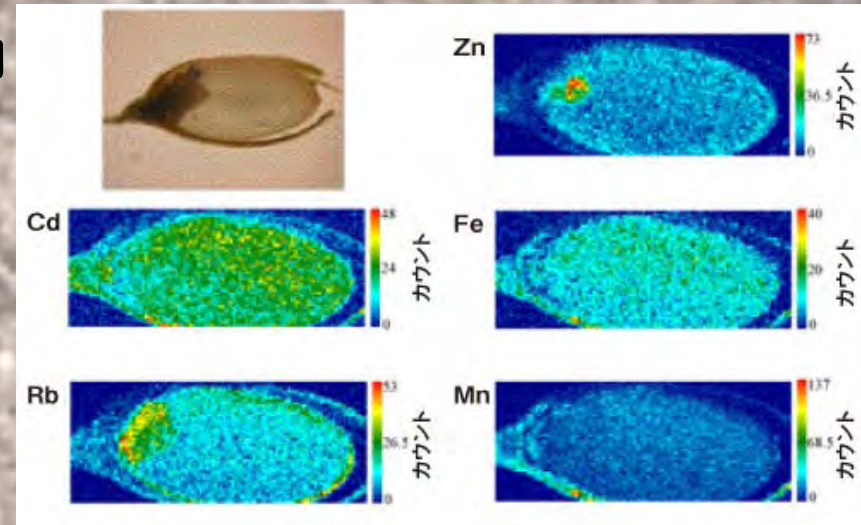
# 土壌の改質・農産物調査 (重金属元素の高精度分析) マイクロビームを用いた 蛍光X線分析による三次元定量マッピング

食品の安全性を評価する手段としても有効



例)法規制対象となる玄米中のカドミウム

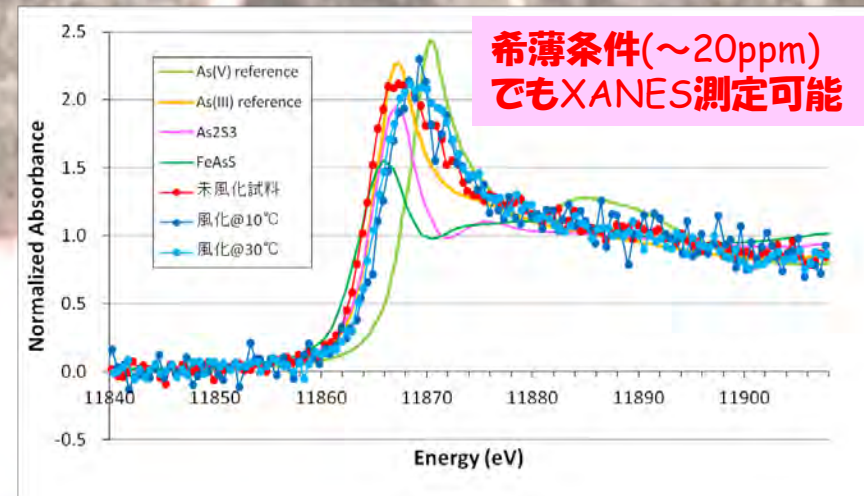
1ppmのカドミウムを添加して栽培した玄米における各元素の分布を調査. カドミウムは白米として食べている胚乳に均一に分布しているため、精米しても危険. (SPring-8 : BL37XU)



## ●土壌中の有害微量元素の分析 (蛍光XANES)

高輝度放射光を用いることにより、土壌中に存在する有害微量元素の存在状態を分析することが可能.

例)土壌に含まれるヒ素の電子状態 (毒性強  $As^{3+}$  or 毒性弱  $As^{5+}$ ) に着目した定性分析. (九州シンクロトロン光研究センター : BL11)





# 農林水産業革新を実現する農商工戦略連携の拠点(SLiT-J)

高付加価値化の課題を解決し、TPPや低価格競争による消耗からの脱却へ

生産者

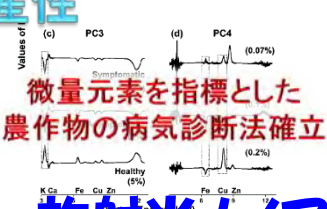


加工業者

高生産性

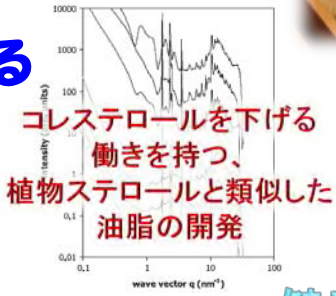
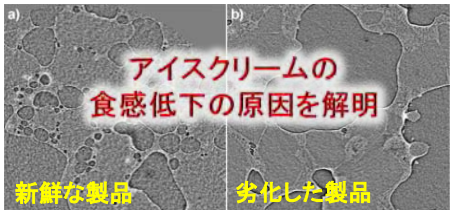
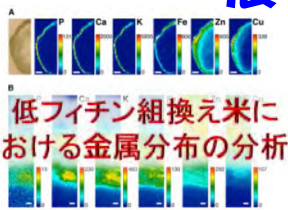
低環境負荷

廃棄物低減



人為的に放出されたナノ粒子が食物連鎖が与える影響を解明

放射光ナノアプリケーションによる農林水産資源の精密分析例



安全・安心

高品質

健康増進



販売業者

ソリューション： “東北から発信する国際ブランドを創成