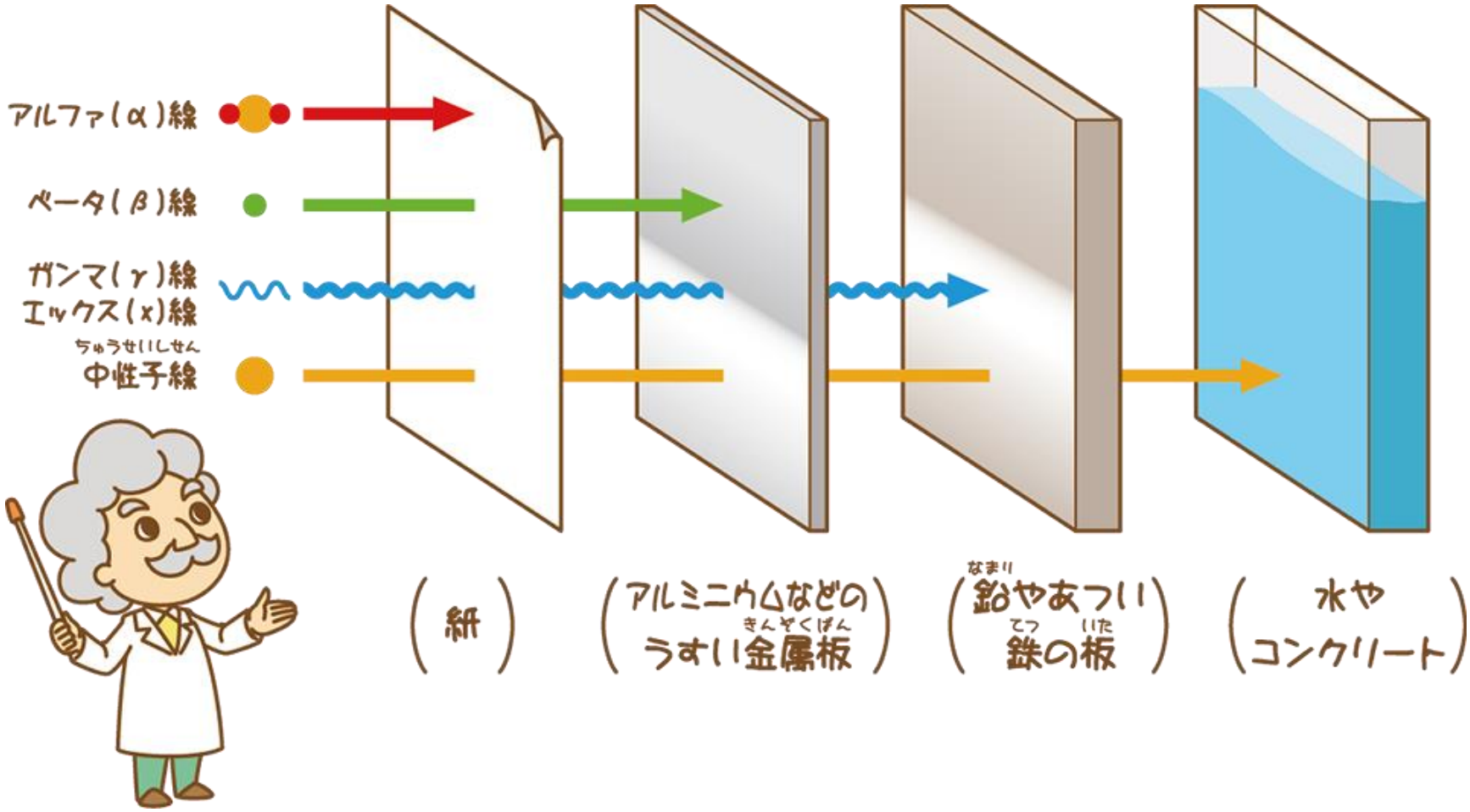
NPO法人放射線教育フォーラム、2021年度第1回勉強会
令和3年6月13日（日）13:40～14:20
オンライン開催

講演1. 放射線の魅力

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
高崎量子応用研究所
放射線生物応用研究部
石岡 典子

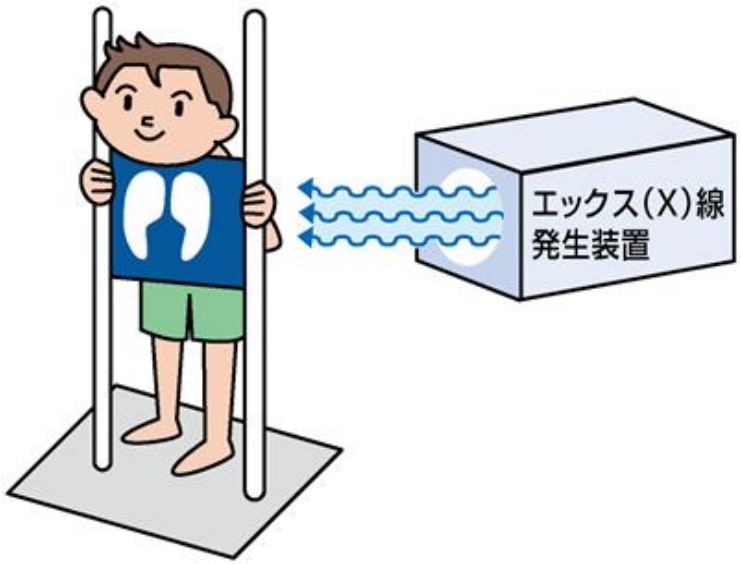
放射線の種類



出典：関西電力株式会社Webサイト
https://www.kepco.co.jp/brand/for_kids/teach/2016_10/detail1.html

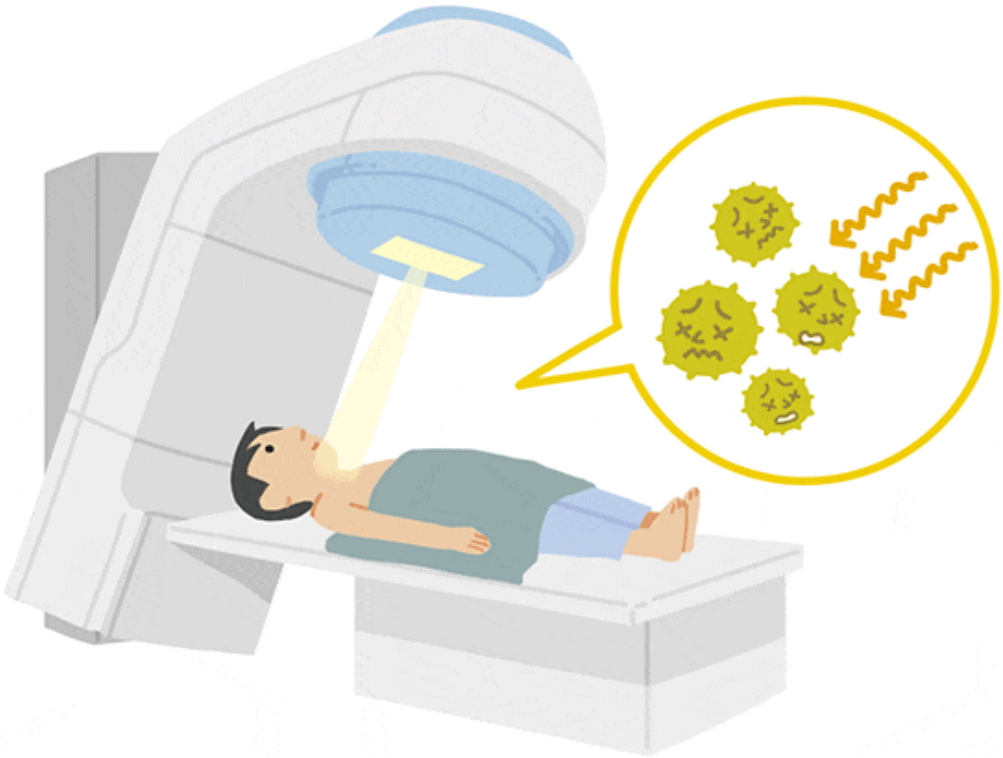
放射線の医学利用

診 断



出典：文部科学省ホームページ
（http://www.mext.go.jp/）

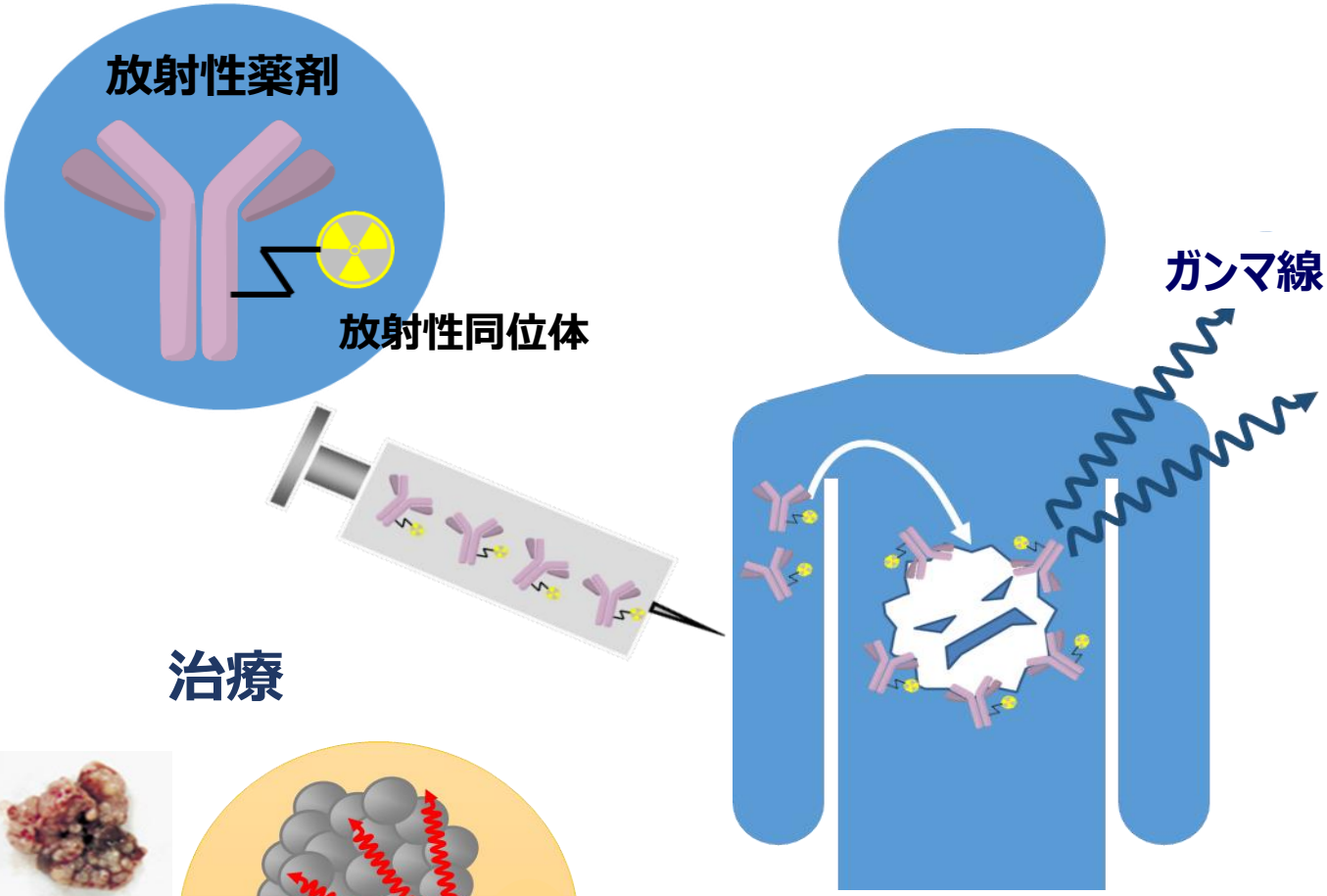
治 療



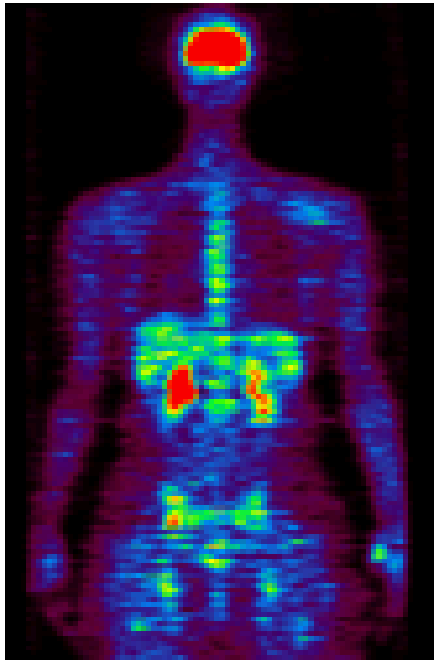
出典：小野薬品工業株式会社Webサイト
https://www.ono-oncology.jp/contents/patient/

からだの外から放射線をあてる

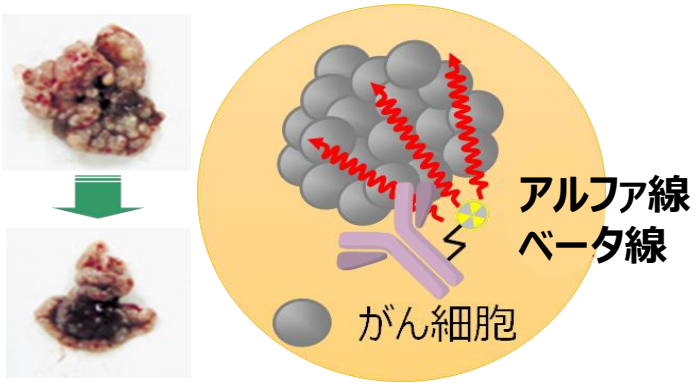
放射性薬剤によるがん診断と治療



診断



治療



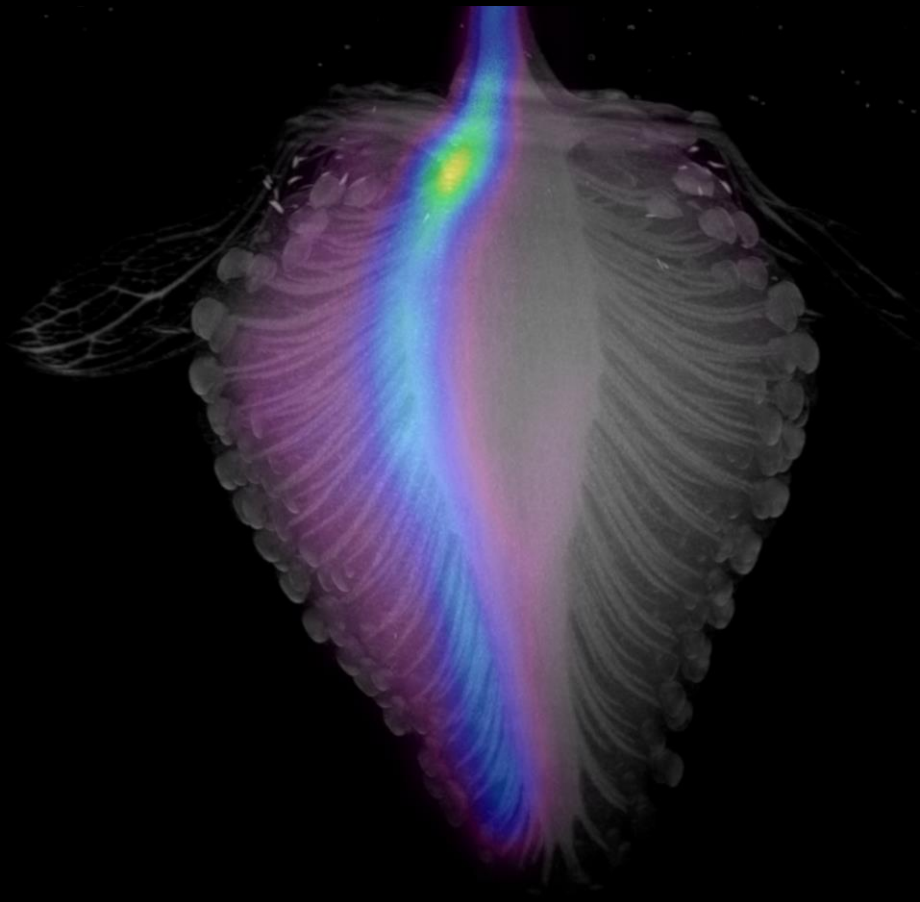
資料提供：金沢大学、群馬大学

本日の内容

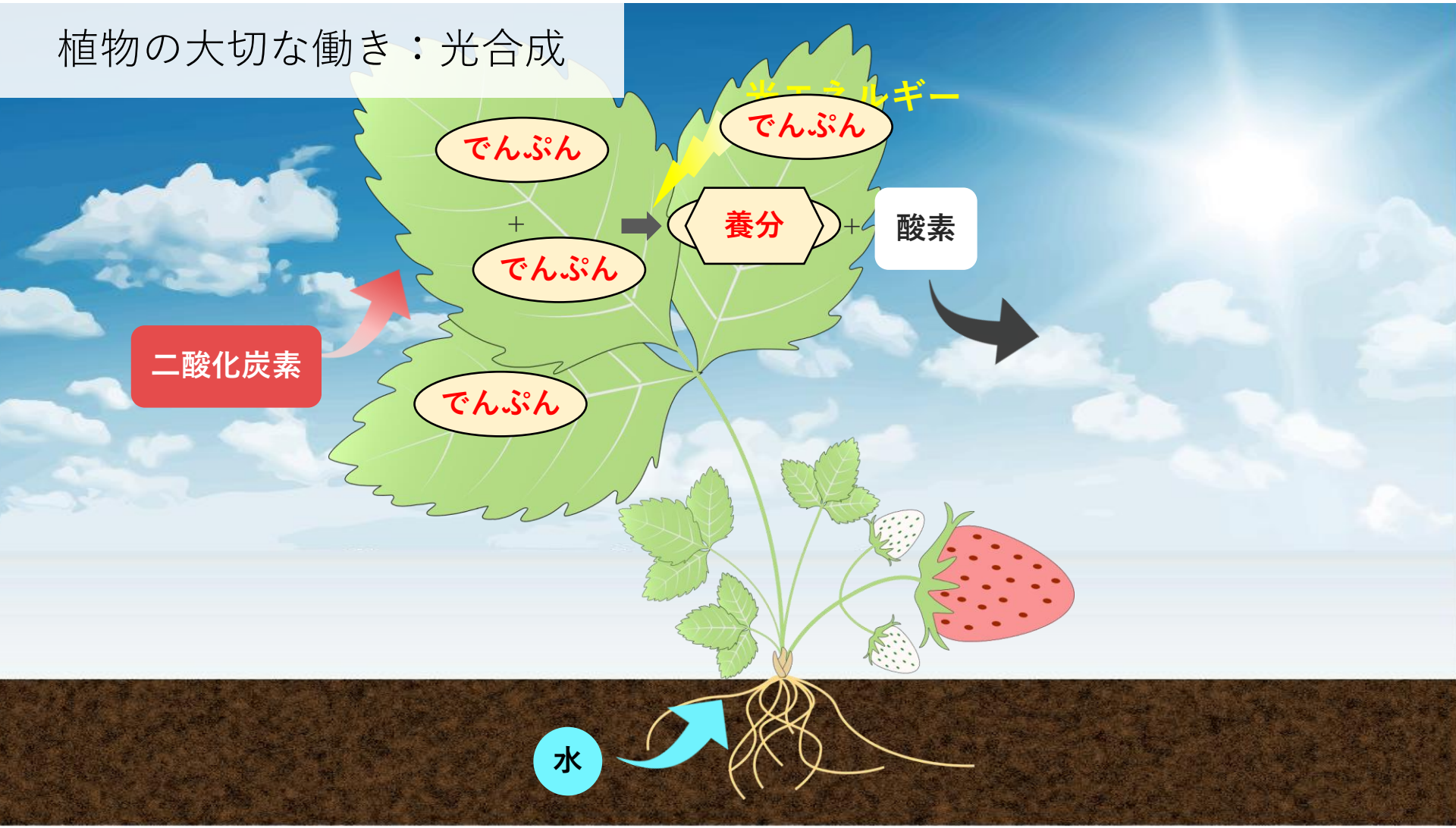
１．放射線でイチゴの中の様子を観る
２．アルファ線でがん細胞を壊す

果実の中に運ばれる糖：

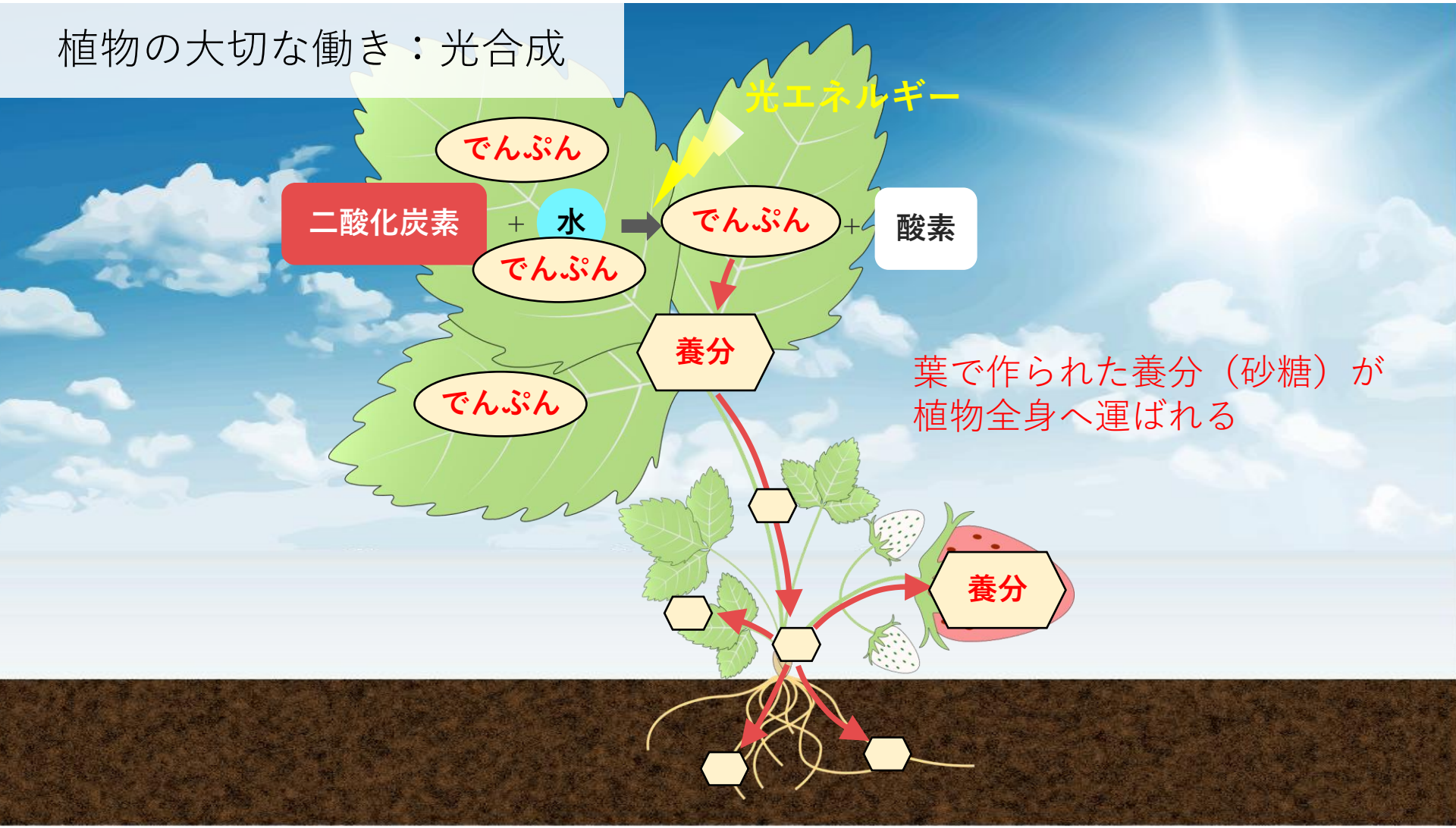
イチゴが甘くなる仕組み



植物の大切な働き：光合成

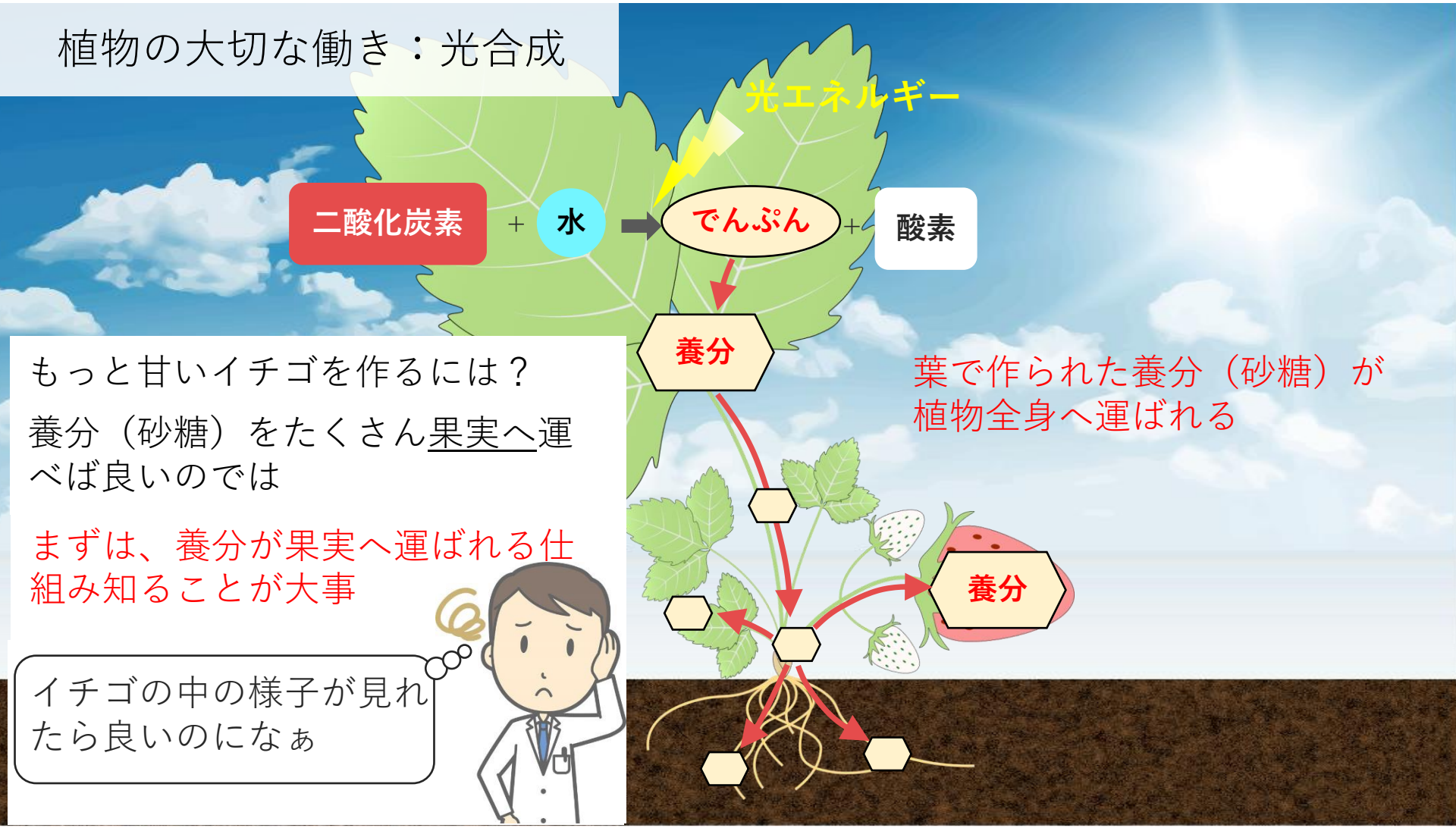


植物の大切な働き：光合成



葉で作られた養分（砂糖）が
植物全身へ運ばれる

植物の大切な働き：光合成



葉で作られた養分（砂糖）が
植物全身へ運ばれる

もっと甘いイチゴを作るには？

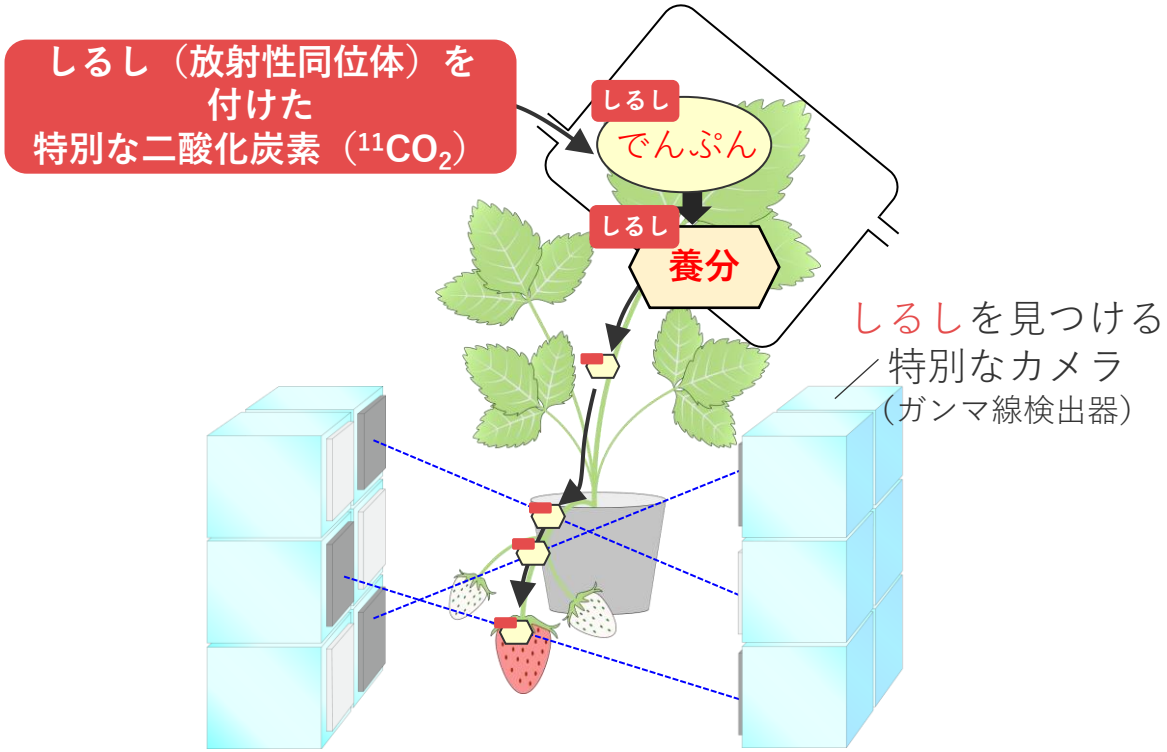
養分（砂糖）をたくさん果実へ運べば良いのでは

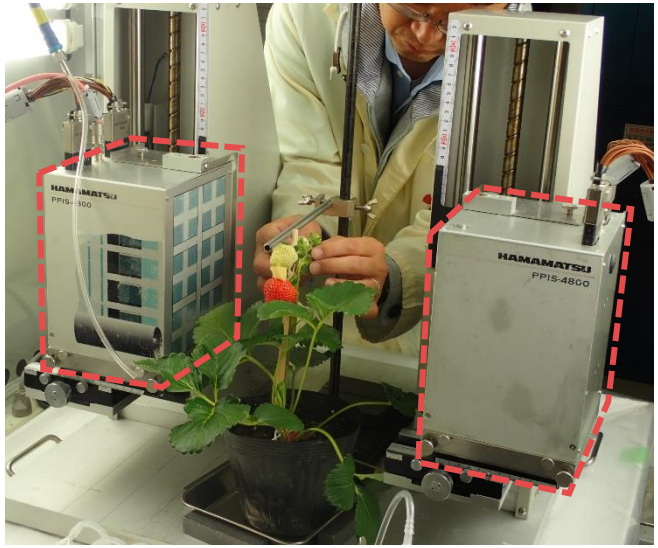
まずは、養分が果実へ運ばれる仕組み知ることが大事

イチゴの中の様子が見れたら良いのになぁ

イチゴの中の様子を見る特別なカメラ

特別なカメラ：PETIS (Positron Emitting Tracer Imaging System)





しるしの付いた養分が、植物の中を流れる様子を観察できる

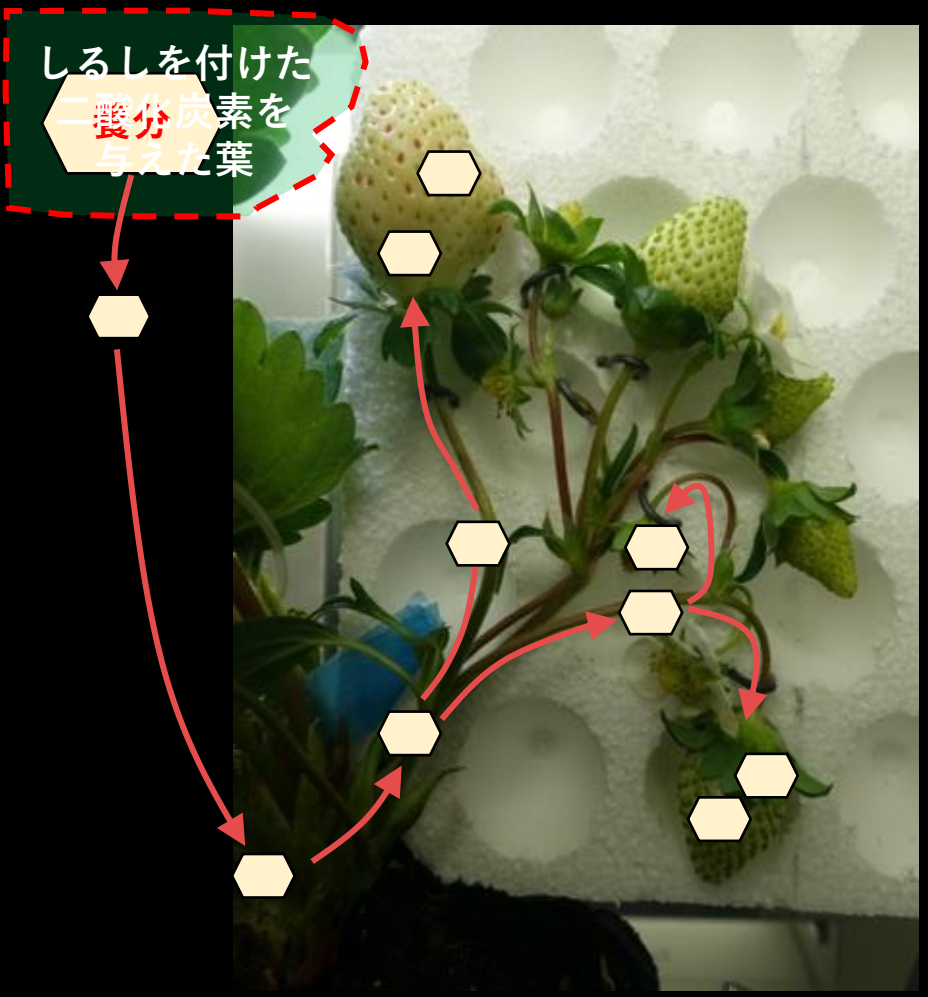
この葉にしるしを付けた二酸化炭素を与えました

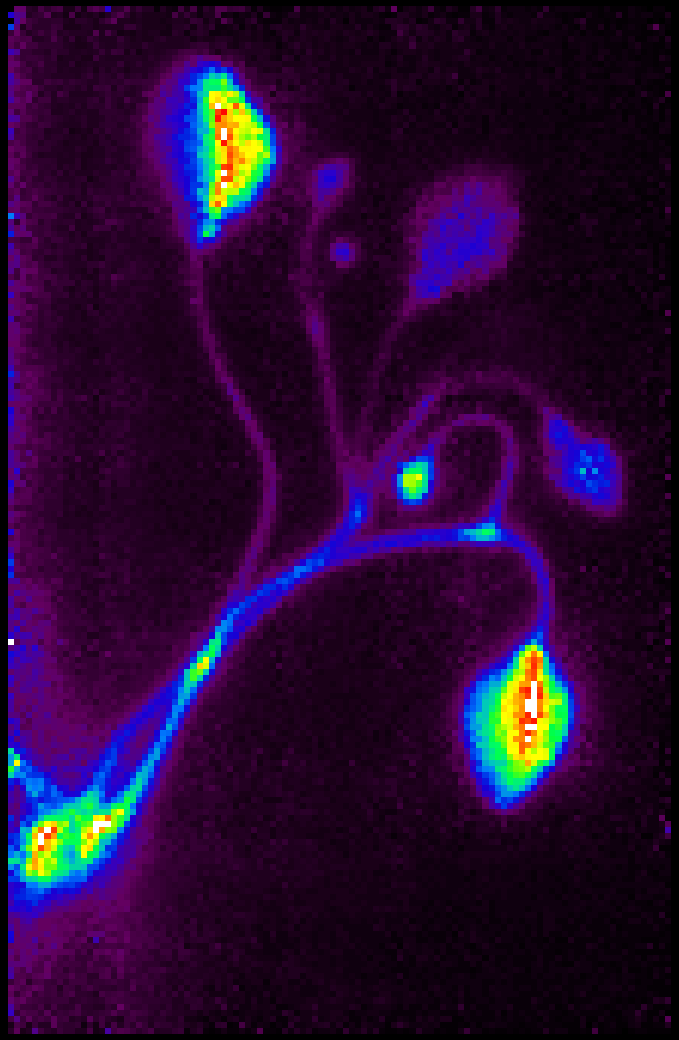
果実に養分が入ってくる様子を観察しました

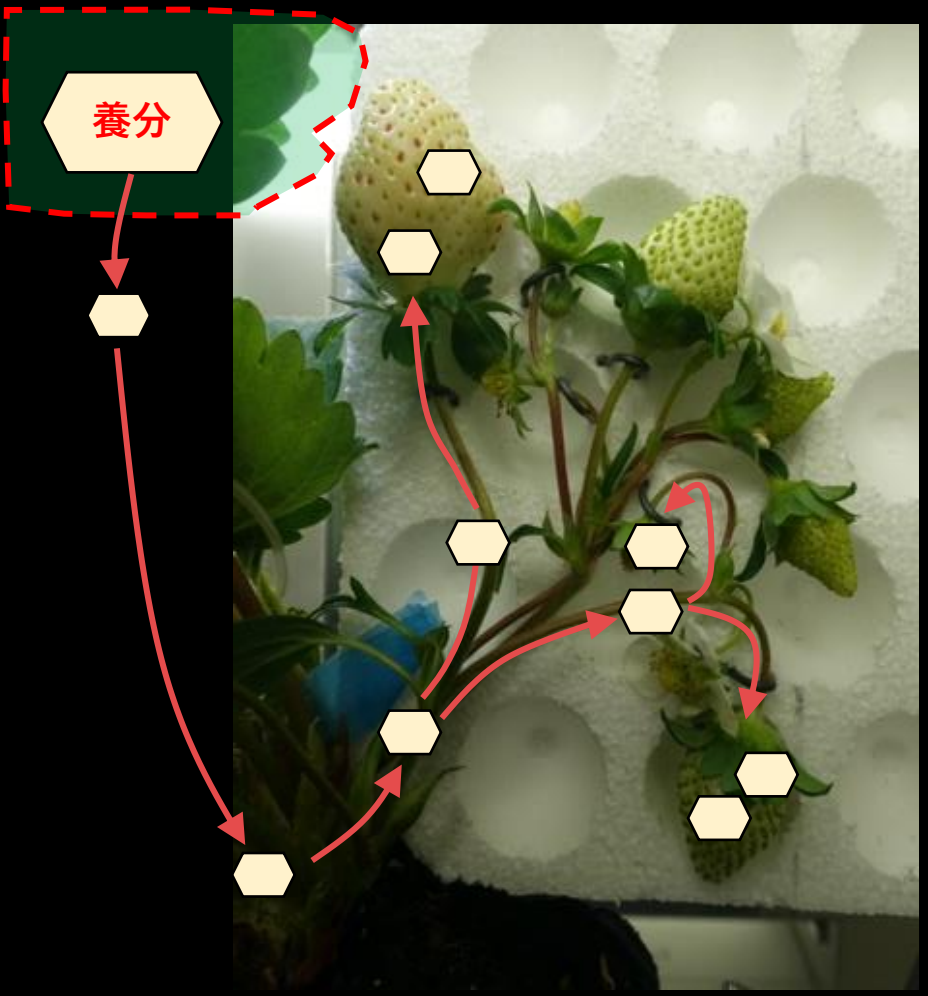
しるしを付けた
二酸化炭素を
与えた葉

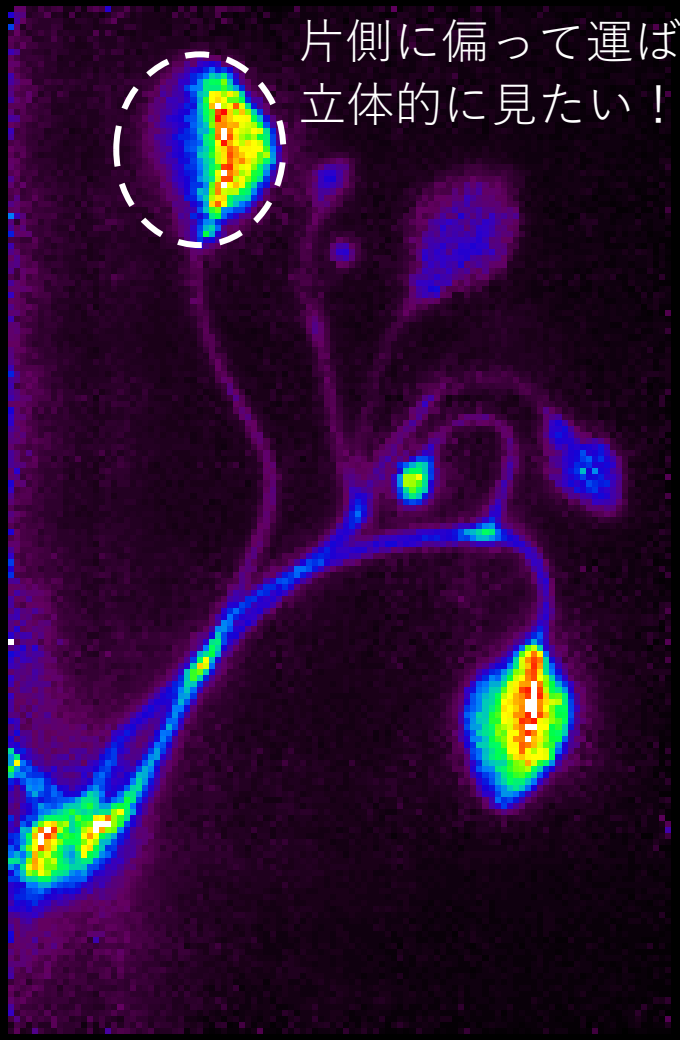
ここに映像が出ます

1.0(min)


しるしを付けた
二酸化炭素を
与えた葉



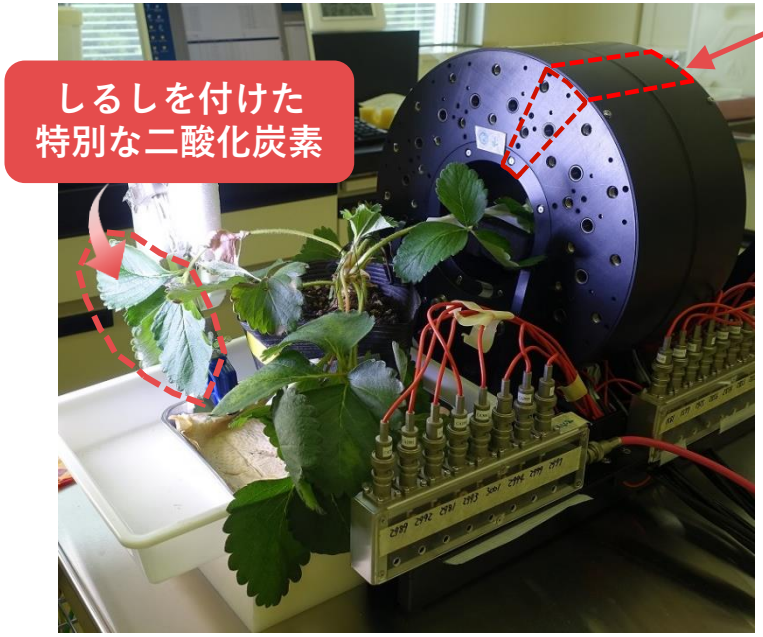




片側に偏って運ばれている
立体的に見たい！

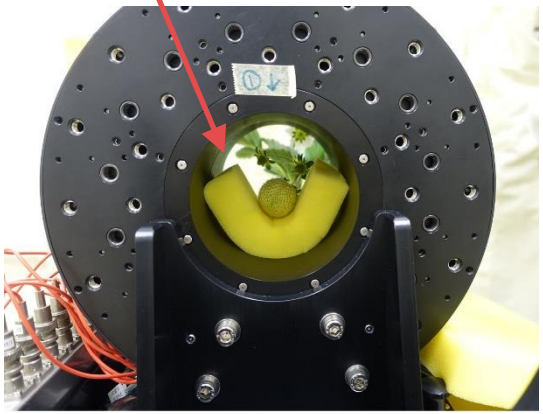
養分が運ばれる様子を立体的に見る特別なカメラ

特別なカメラ：PET (Positron Emission Tomography)



しるしを見つける特別なカメラを360度配置

リング中央に設置した果実に養分が運ばれる様子を立体的に撮影

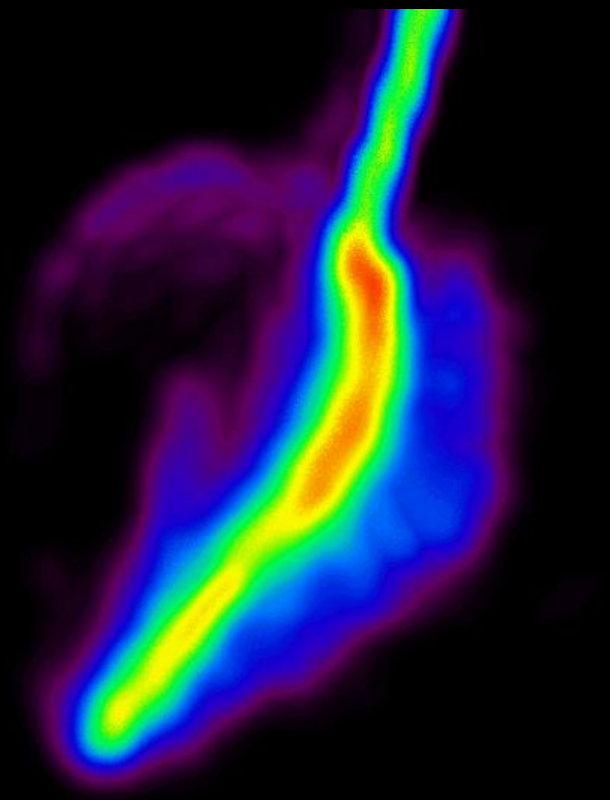


果実の内部構造を立体的に見る特別なカメラ

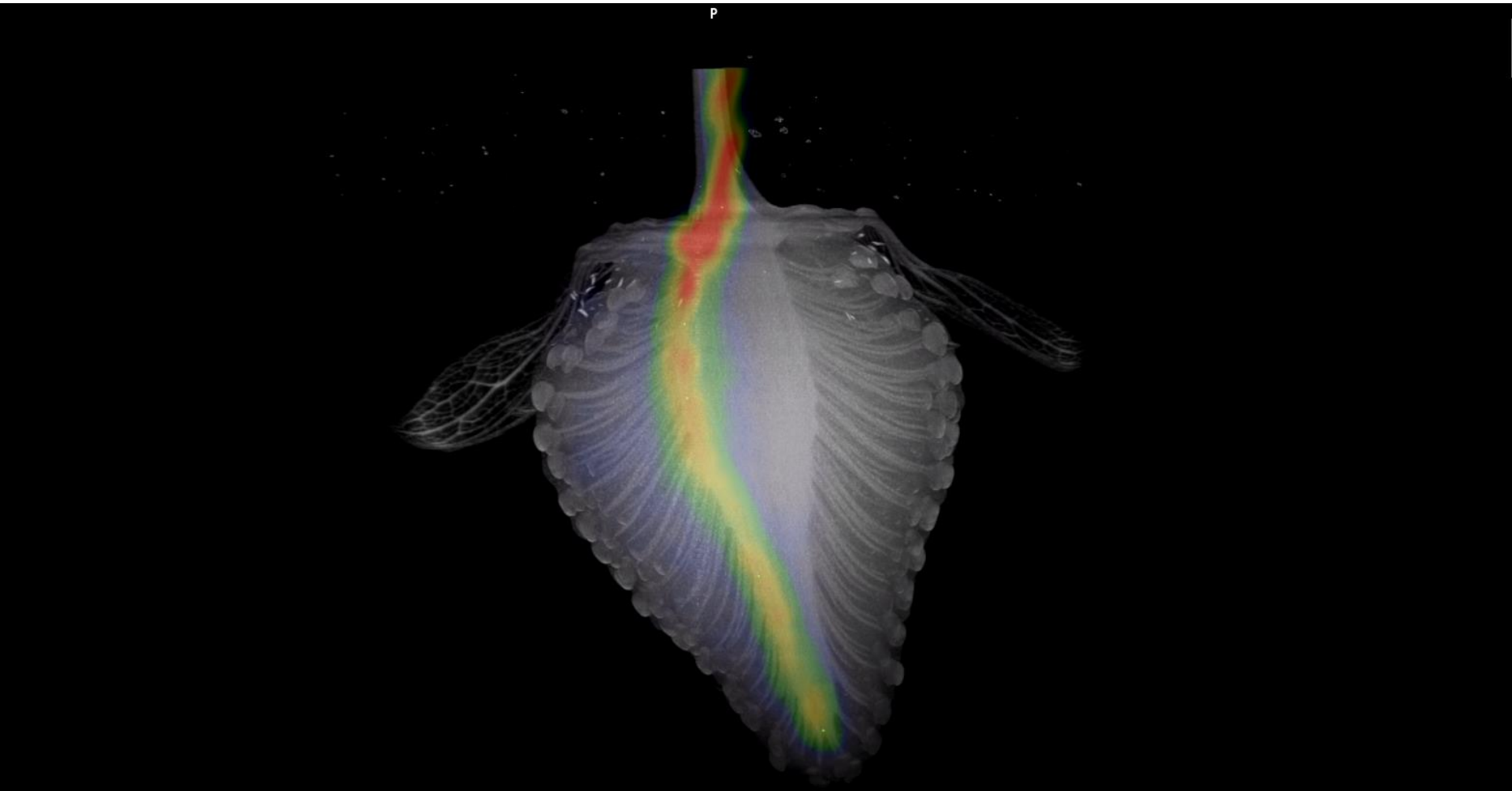
特別なカメラ：X線CT装置（レントゲンを撮る機械と同じ）

イチゴ果実にX線を照射し、果実の内部構造を撮影する

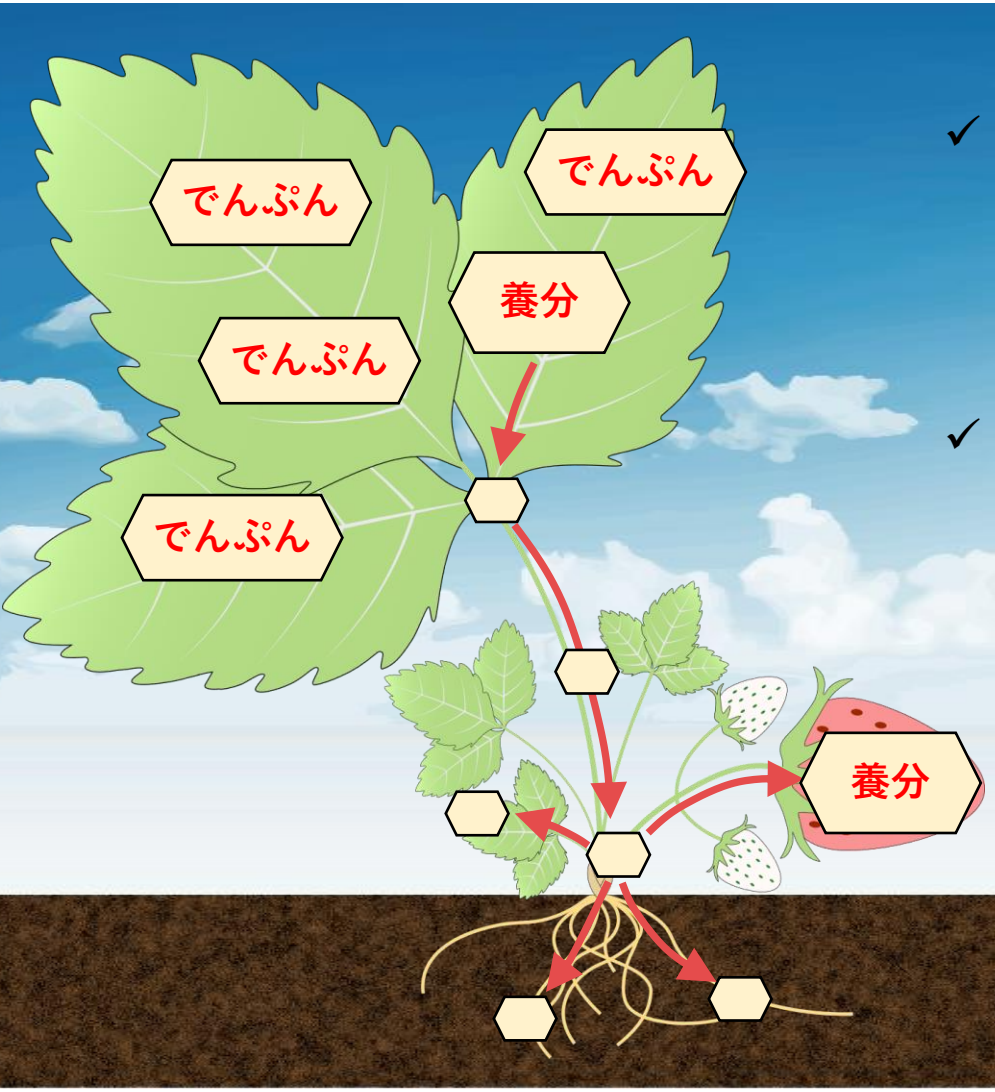
イチゴ果実の内部構造（レントゲン）



1枚の葉から果実へ運ばれてきた養分の様子



養分が維管束（養分の通り道）に沿って果実の中に運ばれる様子を撮影



✓ 分かったこと

植物の中で養分が運ばれる様子を
特別なカメラで見ることができる！

✓ これからのこと

どのような処理をしたら果実へたくさん
養分が運ばれる？

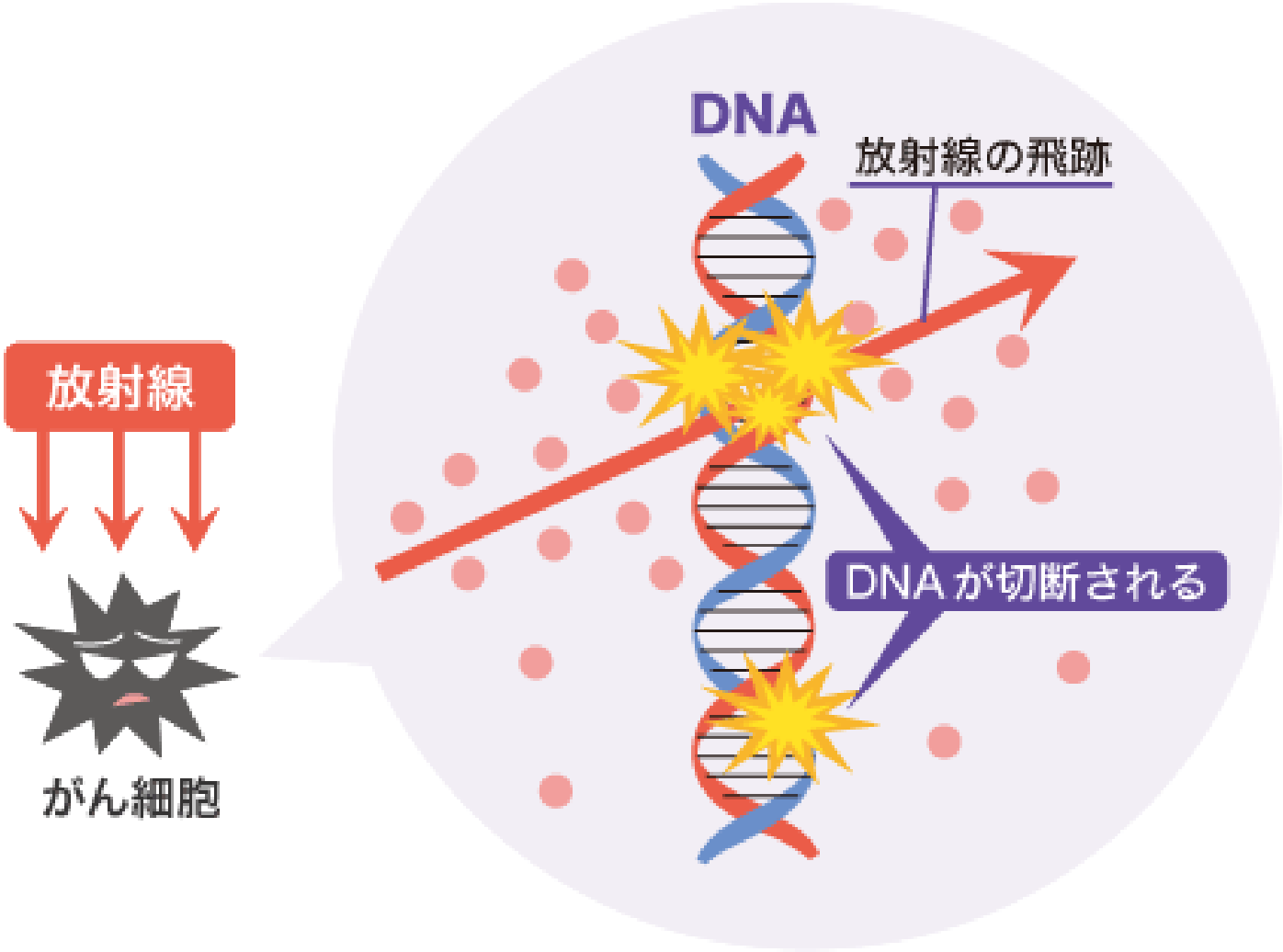
その方法を特別なカメラで見つける！

本日の内容

1．放射線でイチゴの中の様子を観る

2．アルファ線でがん細胞を壊す

放射線治療のしくみ



Copyright © 2016 University of Tsukuba Hospital,All Rights Reserved.

国内承認薬

1952年

ヨウ化ナトリウム
(^{131}I)

β

2007年

塩化ストロンチウム
(^{89}Sr)

β

2008年

^{90}Y標識抗体
(^{90}Y)

β

2016年

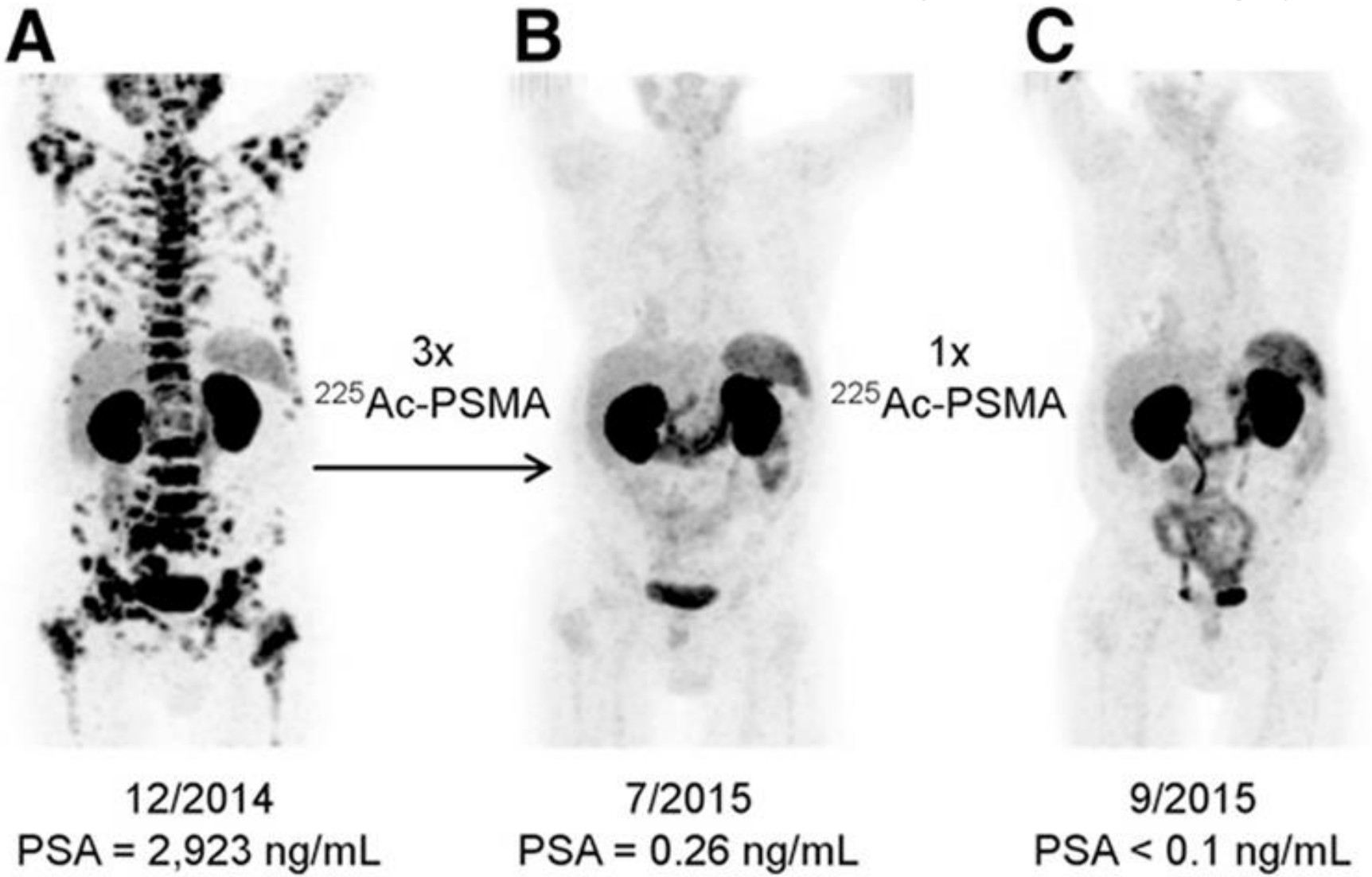
塩化ラジウム
(^{223}Ra)

α

α線を放出する放射性薬剤によるがん治療の一例

去勢抵抗性前立腺がん患者に対する^{225}Ac-PSMAによる治療効果

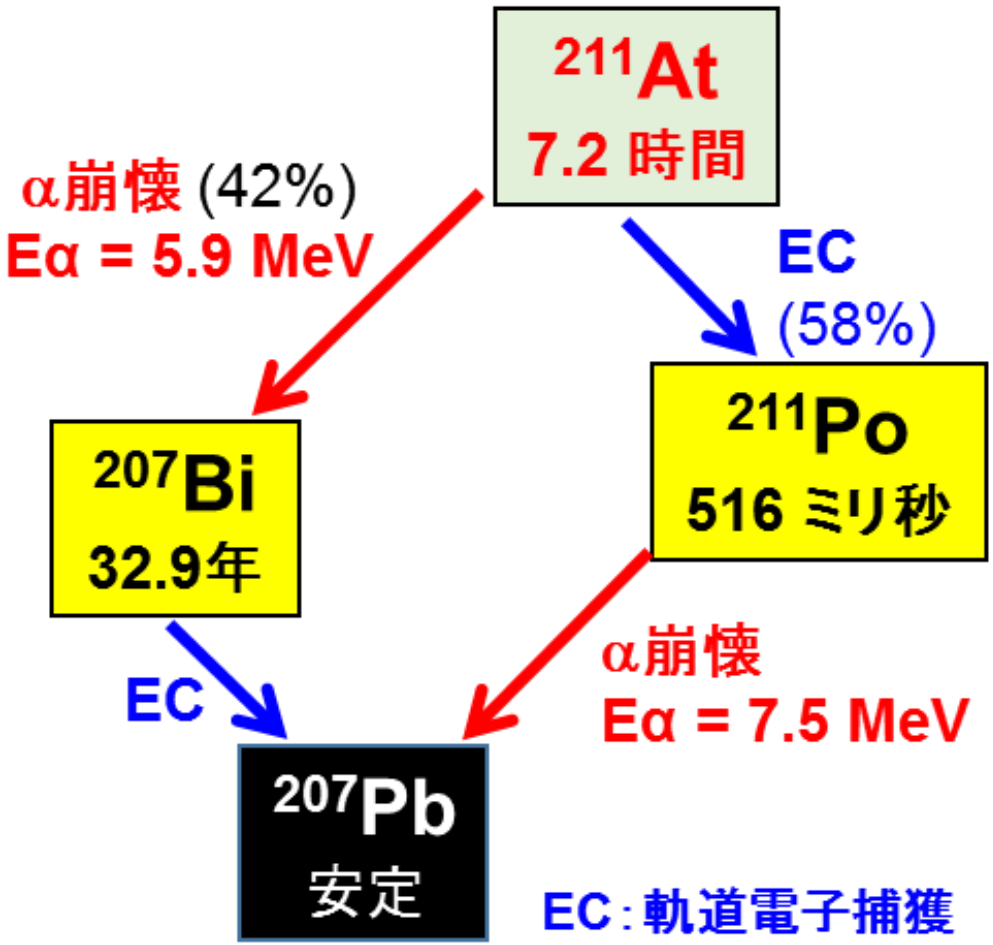
（ドイツハイデルベルク大学病院、患者A）



参考文献　C. Kratochwil, *et al.*, *J Nucl Med* 2016;**57**:1–4.

アスタチン211（^{211}At）の特長

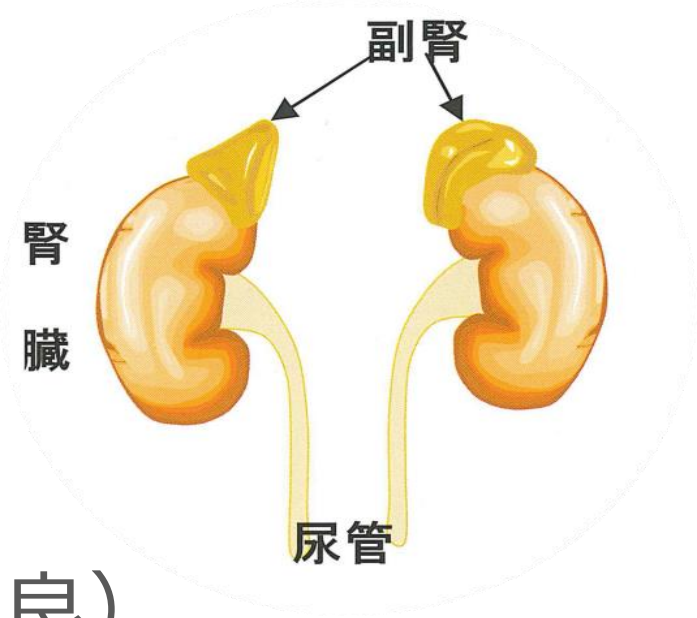
【^{211}Atの壊変】



褐色細胞腫

＜特徴＞

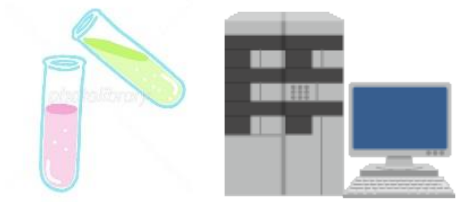
- 副腎など発生する腫瘍
- 国内～3000人
- 良性80～90%、手術で根治
- 悪性（転移）10～20%
- 5年生存率50%未満（予後不良）
- 診断困難
- ^{131}I-MIBGによる治療



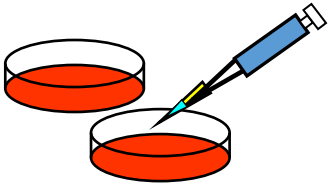
^{211}At-治療薬の開発

^{211}At製造

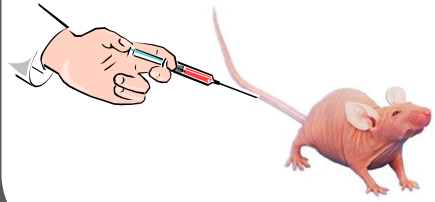
^{211}At-治療薬の合成



治療効果の検証-1
がん細胞

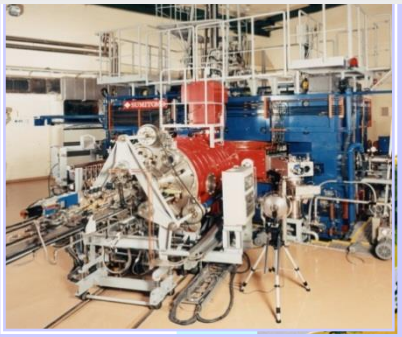


治療効果の検証-2
動物モデル

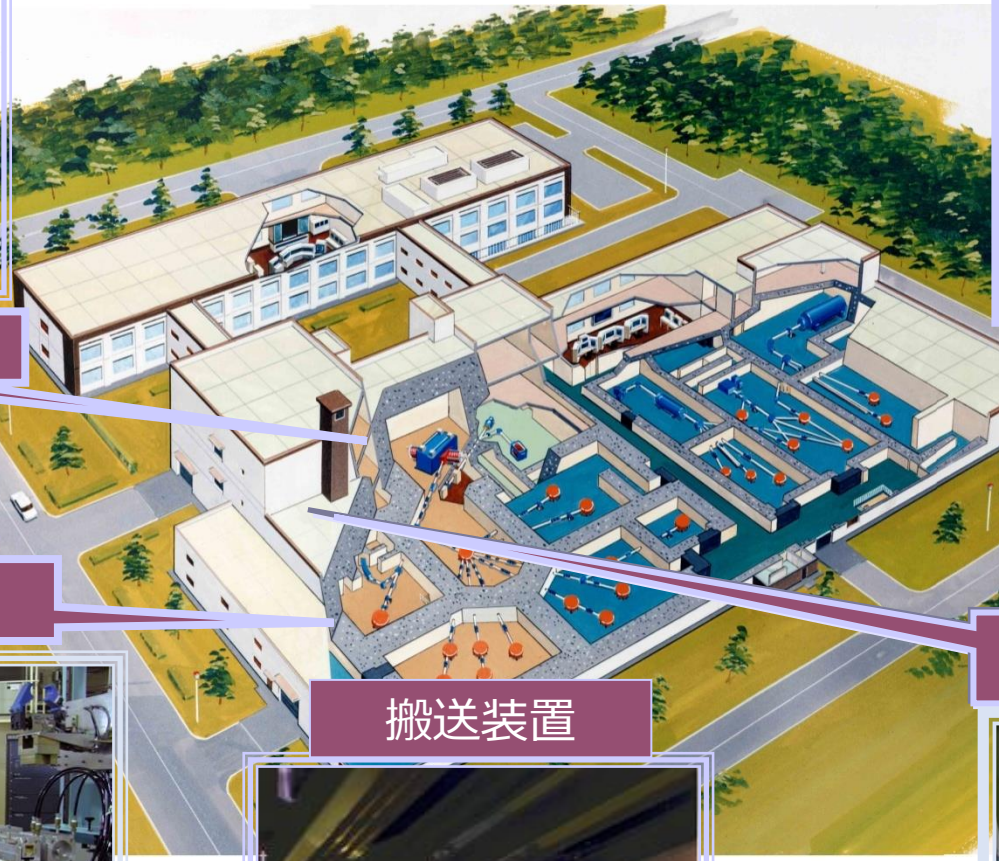


イオン照射研究施設の放射性薬剤開発設備

イオンビームの生成

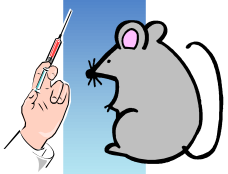


動物実験室



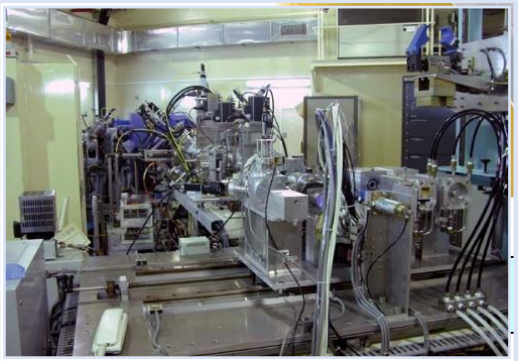
加速器

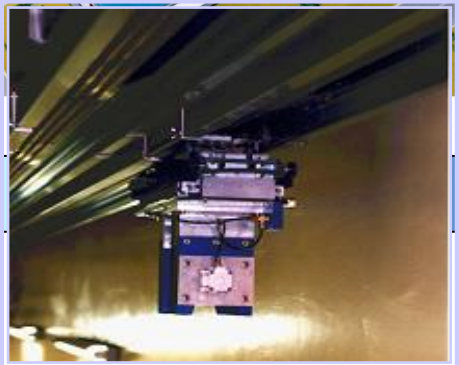
照射装置



遮蔽セル・フード

搬送装置





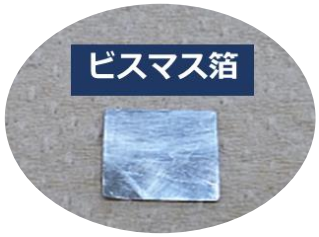
ターゲットへの照射
➡放射性同位体の生成

RI精製・標識化合物合成

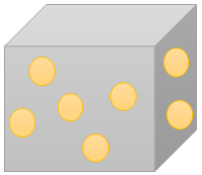
原料製造(^{211}At)から薬剤合成(^{211}At-MABG)まで

^{211}At製造

サイクロトロンで
He原子核を加速



Bi箔に
Heビーム照射
(28 MeV)

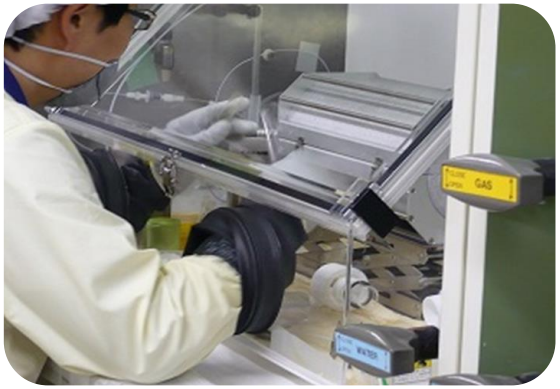


Biの中に
^{211}Atが生成

生成率：~15 MBq/μA·h

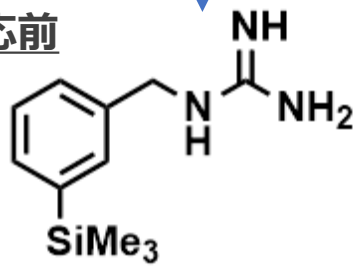
核反応生成
^{209}Bi(α,2n)^{211}At

^{211}At-MABGの合成



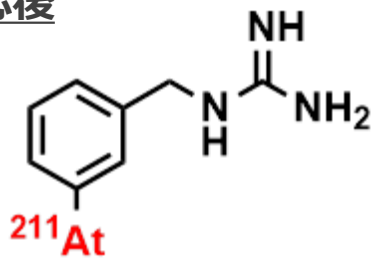
乾式蒸留により
^{211}Atを取り出し
合成に使用

反応前



反応基質と
^{211}Atを混合
70℃,10分間反応

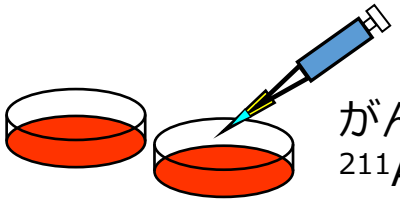
反応後



^{211}At-MABG

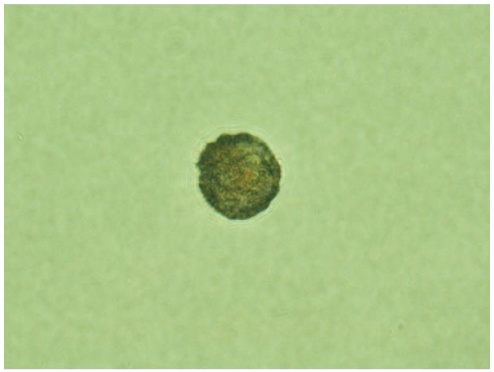
合成収率
65.8±13.7%
純度
97.0%以上

細胞増殖は抑制できるか



がん細胞
^{211}At-MABG
培養

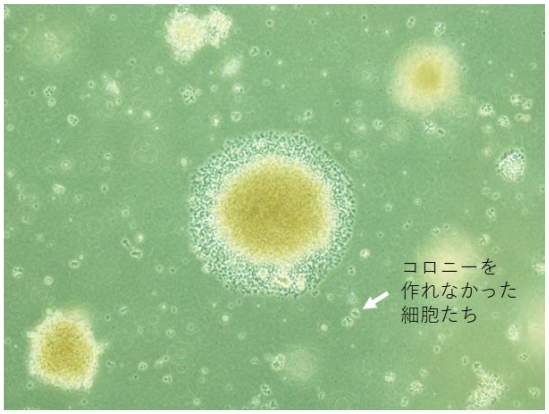
がん治療薬なし



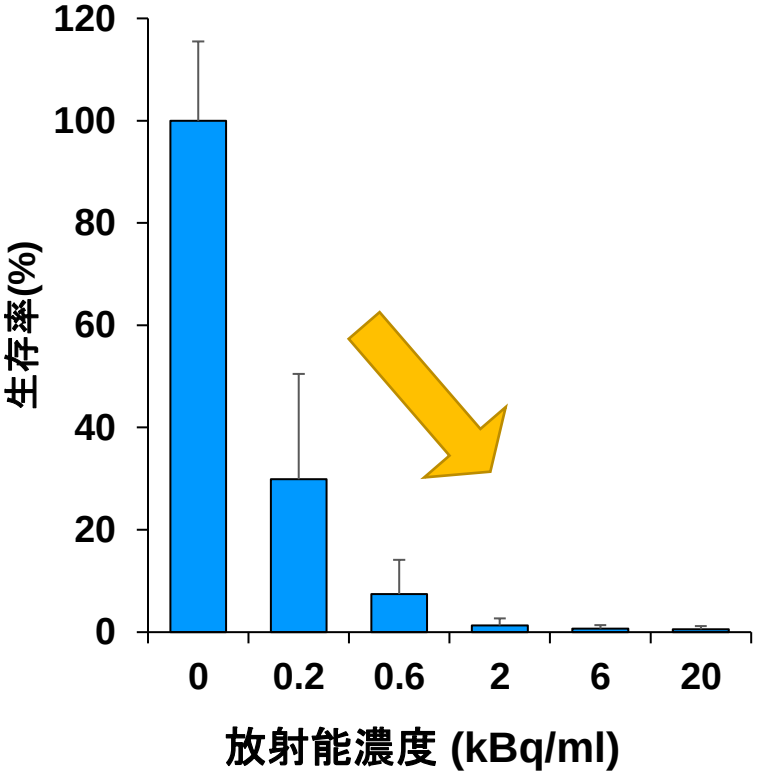
コンパクトでぎゅっと
詰まった感じのコロニー

※コロニー：
細胞が分裂を繰り返すことに
よって形成された細胞集団の塊

がん治療薬あり

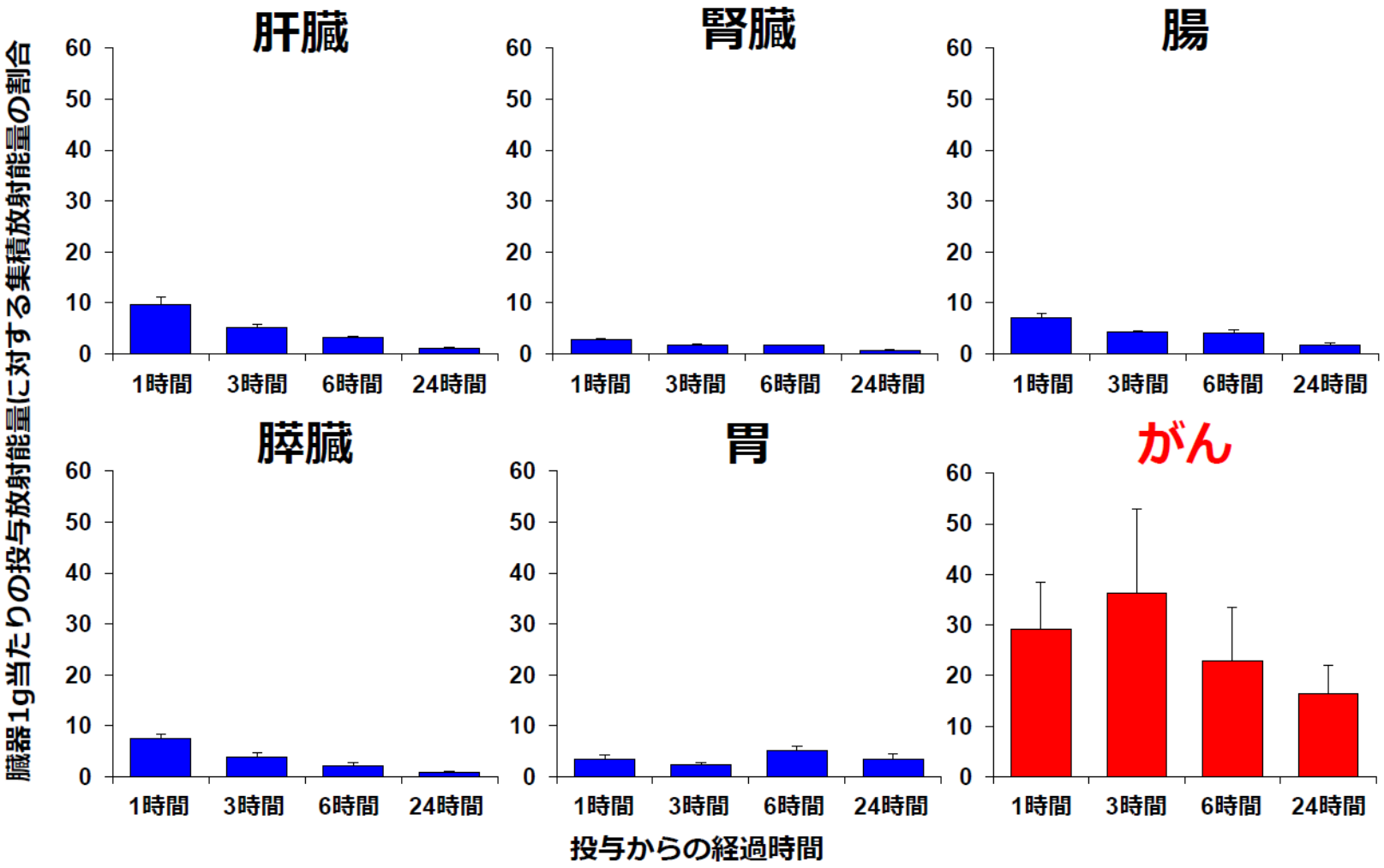


ほとんどが、コロニーを作れなかった
細胞たちの中で、コロニーを作ること
ができた細胞が、時々存在する。



MABGは褐色細胞腫の増殖を強力に抑制

がんに集まるか（がん移植マウスで確認）

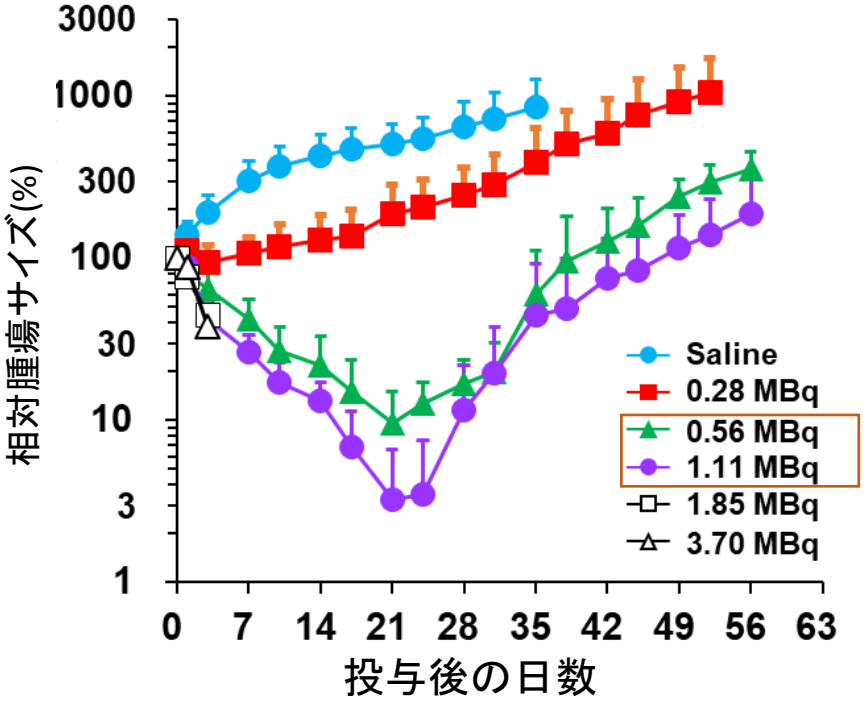


MABGはがんに高く集まり、滞留する

治療効果はあるのか

観察開始日に1回だけ静脈内注射

投与量を変えた時の腫瘍の大きさを比較



0.56 MBq以上: 腫瘍サイズを顕著に縮小

投与21日後のマウス

PBS

MABG 1.11 MBq

MABGは腫瘍サイズを顕著に縮小

^{211}At-MABGの臨床応用に向けて

基礎 → 前臨床 → 臨床

高崎研

放医研

福島県立医科大

プレスリリース

がん治療効果の予測と向上に役立つ指標遺伝子を発見！―全遺伝子の発現量変化を測定し、α線治療薬に特異的に応答する4遺伝子を特定―

掲載日：2019年2月28日更新　　印刷用ページを表示

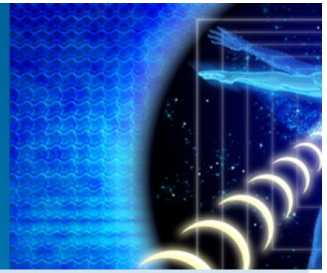
発表のポイント

- α線がん治療薬に対して特異的に応答するがん細胞の遺伝子を発見
- これらの遺伝子の応答を手掛かりに、より正確で効果的な診断・治療が可能に
- 診断と治療を融合した効率的ながん治療法「セラノスティクス」の発展に貢献

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（理事長　平野俊夫、以下「量研」）量子ビーム科学研究部門高崎量子応用研究所の坂下哲哉上席研究員・大島康宏主任研究員・横田裕一郎主幹研究員、慶應義塾大学先端生命科学研究所（所長　冨田勝）の荒川和晴准教授・河野暢明特任講師らは共同で、α線がん治療薬^{211}At-Mabg（アスタチン211-メタアスタトベンジルグアニジン）[1)]の治療や診断の新たな指標となる遺伝子候補を世界で初めて発見しました。

α線がん治療は、全身に転移したがんにも威力を発揮するがん治療法として注目されています。量研では、ヒトへの臨床応用を目指して、α線がん治療薬の開発を進めています。2016年には加速器で製造した^{211}Atで標識したノルアドレナリン類似体^{211}At-Mabgの開発に成功しました（2016年6月プレスリリース）。本研究チームは、この新しいα線がん治療薬が悪性褐色細胞腫がん細胞に高い治療効果を示すことをマウス実験により確認し、その治療メカニズムの解明に役立つ生体指標（バイオマーカー[2)]）の探索に取り組み

量子医学・医療部門



悪性褐色細胞腫に対する新しいアルファ線治療薬候補の安全性をマウスで評価-新しいアルファ線治療薬候補アスタチン211-MABGの臨床試験に向けて一歩前進-

掲載日：2019年5月9日更新　　印刷用ページを表示

概要

放射線医学総合研究所分子イメージング診断治療研究部の須藤仁美主任研究員、東達也部長等は、量子ビーム科学部門高崎量子応用研究所、公立大学法人福島県立医科大学と共同で、悪性褐色細胞腫（がん）に対するアルファ線を放出する治療薬候補の安全性評価をマウスで実施し、予想外の副作用がないことを示し、臨床試験実施に向け一歩前進しました。

悪性褐色細胞腫は副腎髄質に発生する腫瘍で、治療法が未確立であり、新たな治療法が望まれています。QSTでは、がん細胞を殺傷する能力が高いアルファ線を放出する核種アスタチン211（^{211}At）を結合させた薬剤^{211}At-MABGが高い治療効果を示すことをマウ

アウトリーチ活動

2020年 6月26日
高崎市内の小学校で
出張授業の様子

ご清聴ありがとうございました。