

# タンパク質を利用したセシウム回収技術の開発

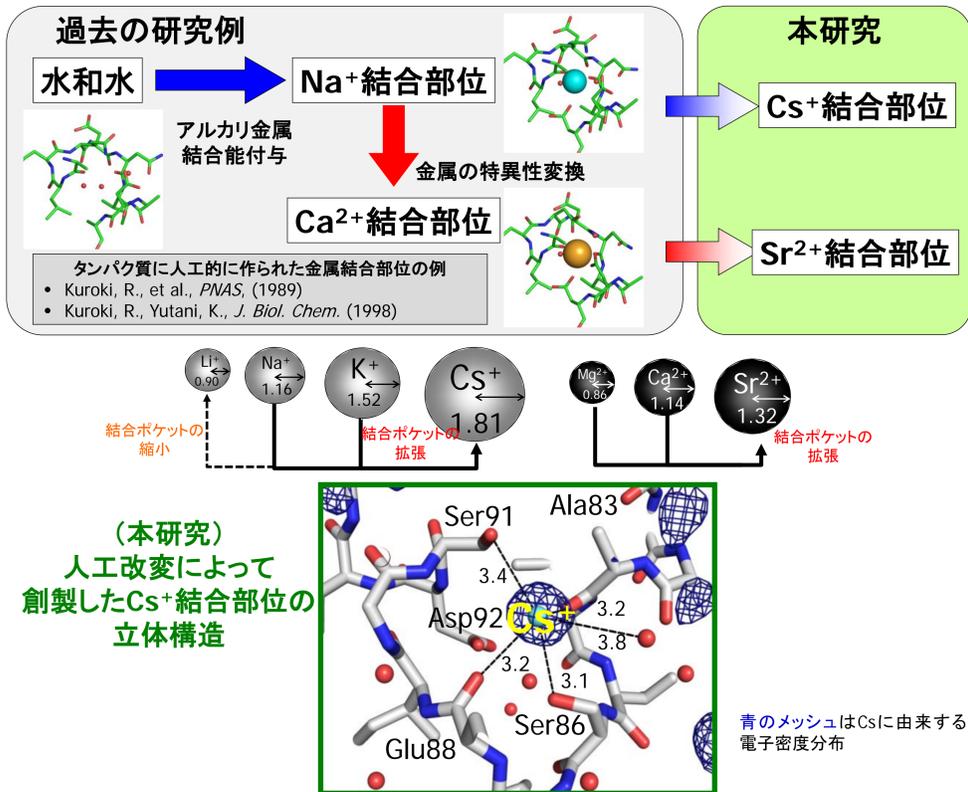
量子ビーム応用研究センター、新井栄揮・柴崎千枝・清水瑠美・安達基泰

## 【緒言】

タンパク質は分子表面に電荷をもったアミノ酸が分布しており、金属イオンと相互作用しやすい性質がある。また、タンパク質は緻密な原子・分子認識機構を有し、金属イオンの電荷数の違いやイオン半径のわずかな違い( $\text{Na}^+ \sim 1.16 \text{ \AA}$ ,  $\text{K}^+ \sim 1.52 \text{ \AA}$ ,  $\text{Mg}^{2+} \sim 0.86 \text{ \AA}$ ,  $\text{Ca}^{2+} \sim 1.14 \text{ \AA}$ など)を識別できる。更に、タンパク質は変異導入により、構造・機能・基質特異性などを改変することができる。我々は、タンパク質が有する上記の性質に着目し、タンパク質を利用したセシウム回収技術の開発を行っている。

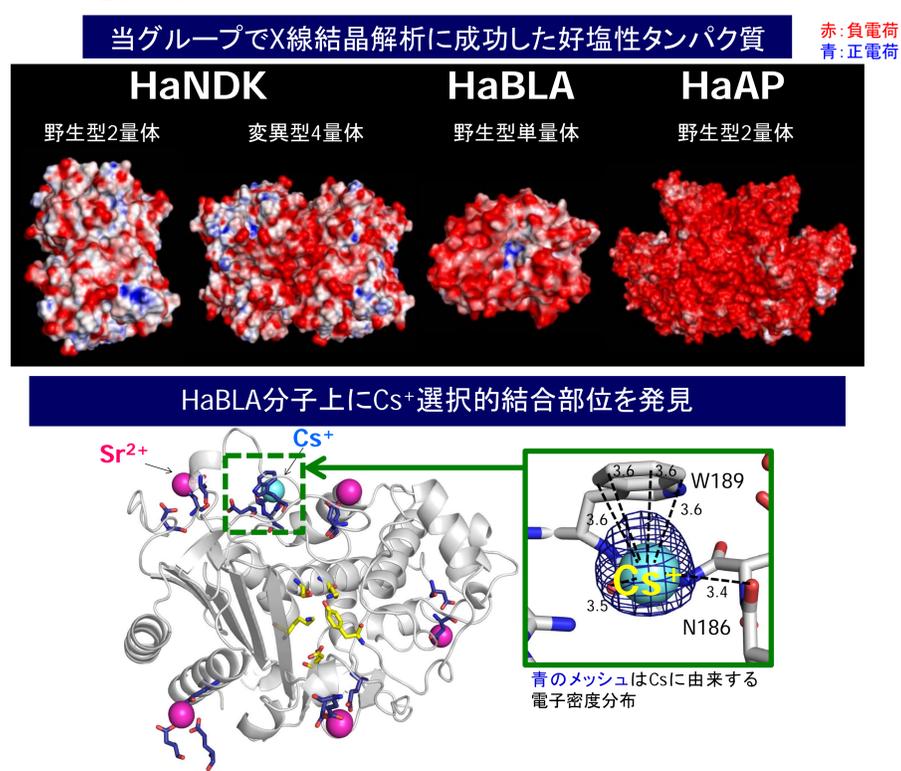
### ① セシウムを吸着する人工改変タンパク質の創製

天然に存在するタンパク質の $\text{Na}^+$ や $\text{Ca}^{2+}$ に対する金属イオン結合部位を人工的に改変し、 $\text{Cs}^+$ を結合する人工改変タンパク質の創製に成功した。ただし、その親和性を向上させるために、さらなる改良が望ましい。



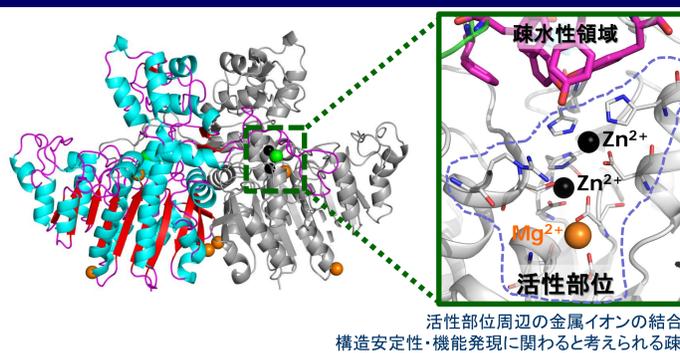
### ② 好塩性タンパク質とセシウムイオンの相互作用解明

好塩性タンパク質は、分子表面に多数の負電荷を有するため、 $\text{Cs}^+$ をはじめ多くの金属イオンと相互作用する可能性がある。これまでに我々は、好塩性タンパク質HaNDK, HaBLA, HaAPのX線結晶構造を解明した。



発見した $\text{Cs}^+$ 結合部位は、競合する $\text{Na}^+$ が $\text{Cs}^+$ の9倍量( $\text{Na}^+ : \text{Cs}^+ = 90\text{mM} : 10\text{mM}$ )で混在する条件下でも $\text{Cs}^+$ を選択的に結合することを明らかにした。本結果は $\text{Cs}^+$ の認識機構(配位構造)の特徴を与えるとともに、 $\text{Cs}$ 吸着材料としての可能性も示唆する。

### 金属イオンとの相互作用に関わるHaAPの構造的特徴を解明

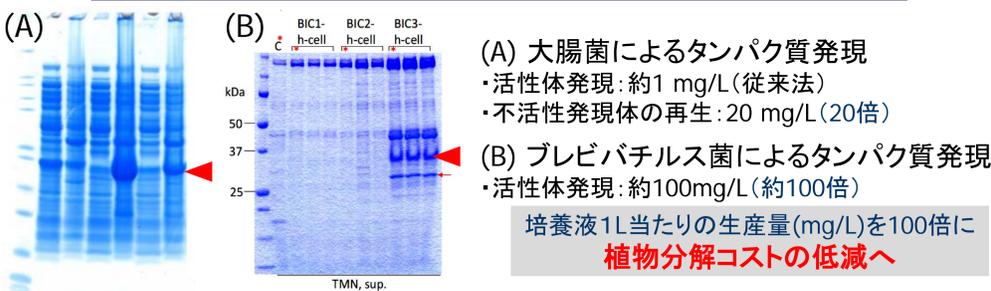


金属イオンとの相互作用や好塩性タンパク質独自の分子的性質(高塩濃度適合)に関わる構造的特徴(分子表面の高い負電荷密度や分子内の豊富な疎水性アミノ酸・疎水性領域の存在など)を解明した。また、野生型2量体上に6つの $\text{Mg}^{2+}$ 、4つの $\text{Zn}^{2+}$ の結合を観測した。現在、 $\text{Cs}^+$ や $\text{Sr}^{2+}$ 結合の可能性について調査中。

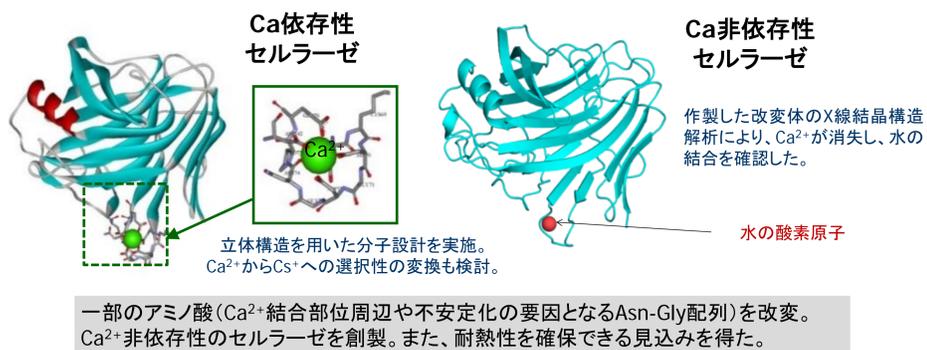
### ③ セシウム汚染植物からのセシウム回収を目指した高機能セルロース分解酵素の開発

植物体の主要成分であるセルロースを効果的に加水分解する酵素・耐熱性セルラーゼを高機能化(酵素活性向上・ $\text{Cs}^+$ 結合能の付与)し、汚染植物を温和な条件下で分解・可溶化して、 $\text{Cs}^+$ を効果的に回収する技術の開発を行っている。

#### 耐熱性セルラーゼの大量発現系の構築に成功

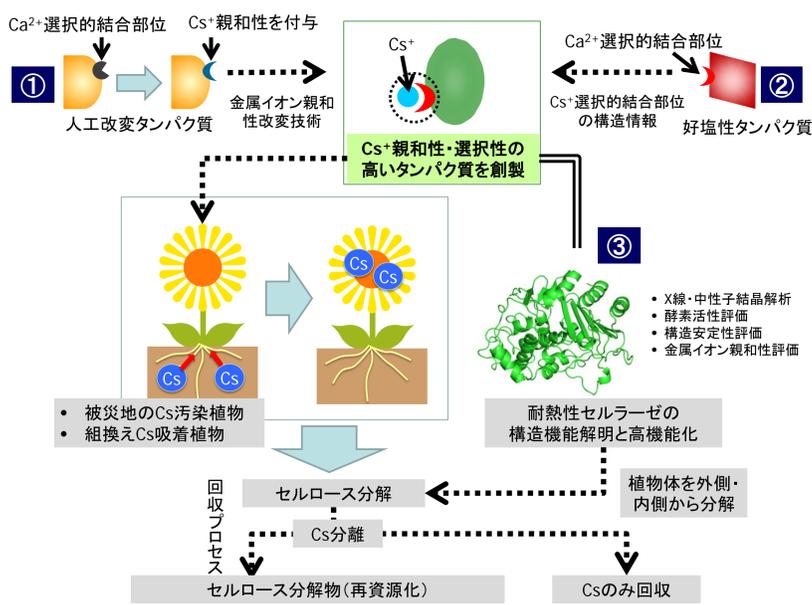


#### $\text{Ca}^{2+}$ 非依存性の安定なセルラーゼの創製



## 期待される効果

- ①タンパク質の金属イオン親和性を改変する技術、および、② $\text{Cs}^+$ 結合部位の構造学的知見を利用することで、 $\text{Cs}^+$ 親和性・選択性の高いタンパク質を創製できる。また、そのタンパク質を植物の特定の部位(花卉・種子等)に発現させれば、 $\text{Cs}^+$ の濃縮・回収が容易化される。
- ③酵素活性を向上させた耐熱性セルラーゼを用いることで、汚染物質を含む植物体を効果的に加水分解・液化し、植物を焼却せず液体のまま減容することが可能になる。また、セルラーゼに $\text{Cs}^+$ 結合能を付与して、上記A)のように利用すれば、 $\text{Cs}^+$ 回収効率が向上する。



## 主要な成果

- 【査読付論文】
- [1] Y. Yonezawa, *The Protein Journal*, 34, 275-283 (2015)
  - [2] S. Arai et al., *Acta Crystallogr D*, 71, 541-554 (2015)
  - [3] S. Arai et al., *Acta Crystallogr D*, 70, 811-820 (2014)
  - [4] S. Arai et al., *Protein Sci*, 21, 498-510 (2012)

【表彰・受賞】  
平成24年度 日本原子力研究開発機構理事長表彰  
新井栄揮、黒木良太

- 【招待講演】
- 第11回日本蛋白質科学会年会・緊急討論会(2011)  
新井栄揮、松本富美子、清水瑠美、安達基泰、黒木良太
  - 九州大学先端物質化学研究所  
九州シンクロtron光研究センター合同シンポジウム(2015)  
新井栄揮

## 連携組織

- 量子ビーム応用研究センター 分子シミュレーションGr
  - 鹿児島大学 農学部
  - 産総研産業技術総合研究所 中国センター
  - 石川県立大学 生物資源工学研究所
- 好塩性タンパク質の研究は鹿児島大学、耐熱性セルラーゼの研究は産総研産業技術総合研究所と共同で実施した。  
 $\text{Cs}^+$ 結合部位の設計は分子シミュレーション研究Grと共同で行った。