

# 植物のセシウムおよびカリウムの 吸収メカニズム

放射性同位元素施設  
小林 奈通子

# 食事に由来する無機元素

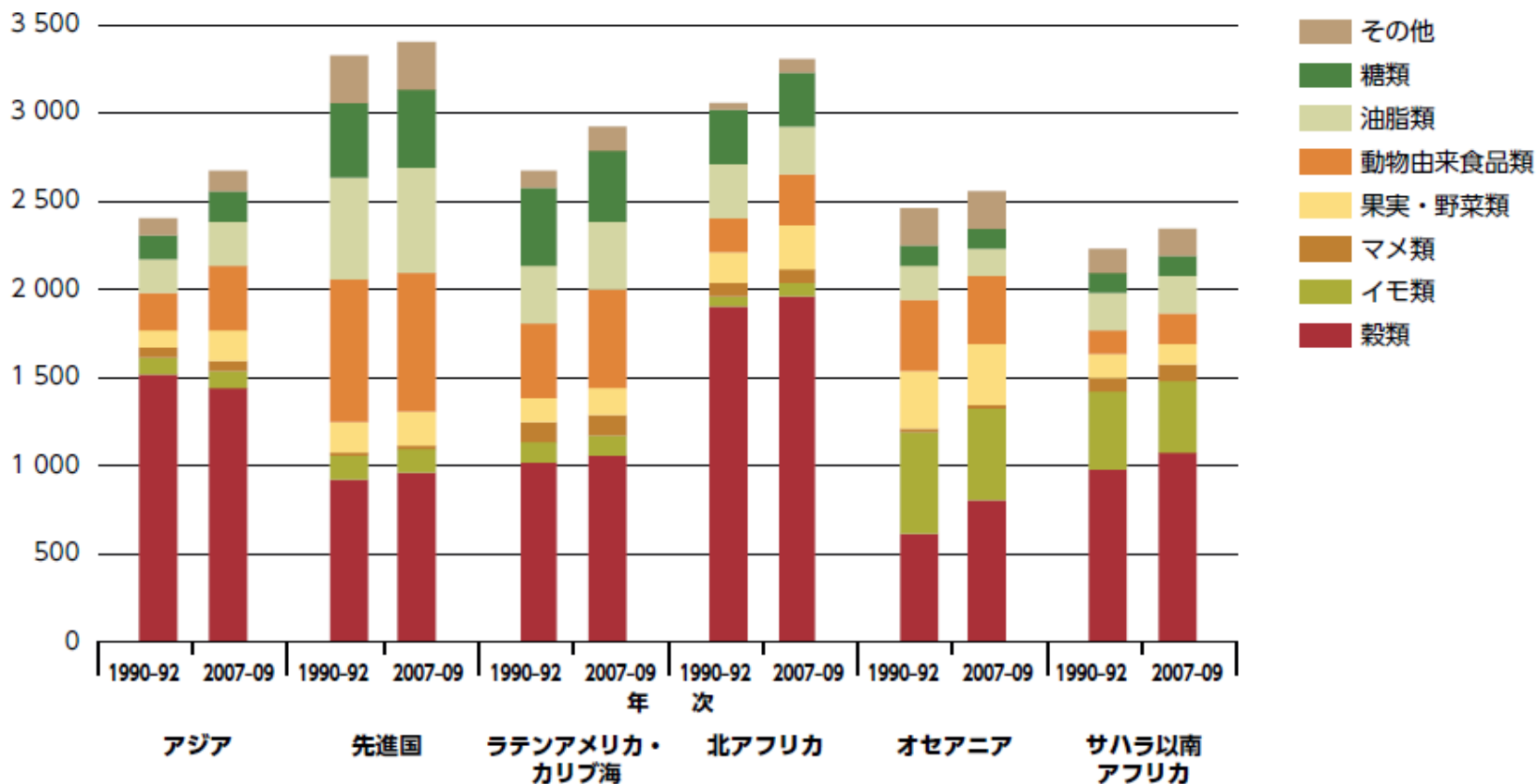
- 植物の汚染低減は人の放射性セシウム汚染低減に直結する。



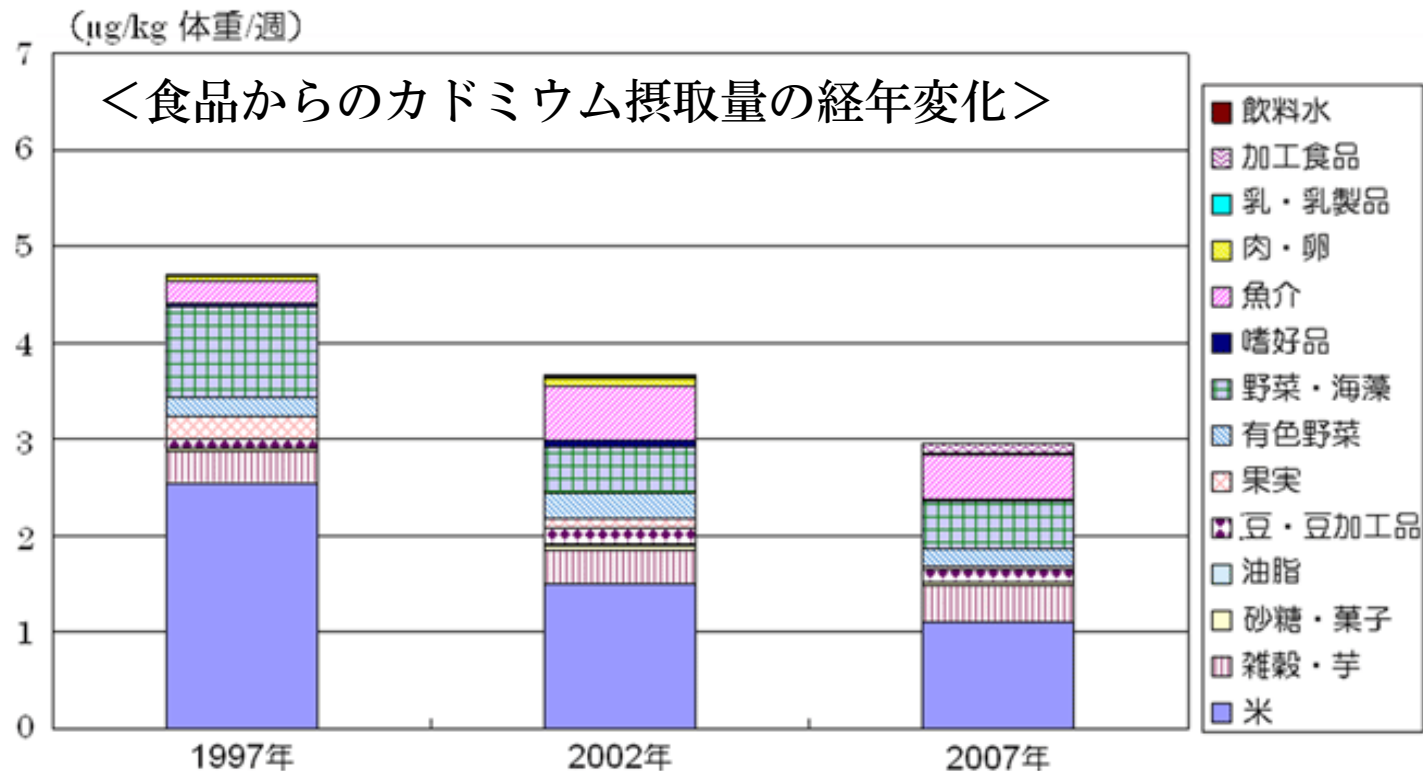
# 特に穀物の汚染低減が大事

## ● 三大穀物

総食事エネルギー供給量への貢献 (kcal)



# カドミウムの場合



＜厚生労働省ホームページより＞

厚生労働省の研究機関である国立医薬品食品衛生研究所は、昭和52（1977）年度から毎年、日常食の汚染物質の摂取量調査を行っています。

平成19（2007）年度の調査結果によれば、日本人の日常食からのカドミウムの1日摂取量は、 $21.1\mu\text{g}$ （成人の平均体重を $53.3\text{kg}$ とすると $2.8\mu\text{g}/\text{kg}$  体重/週）であり、調査開始以降、経年変化はあるものの米の摂食量の低下などにより減少してきています。

# コメの放射性Cs含量を下げる

- 環境要因の探索とともに、イネそのものの性質を追究

栽培方法



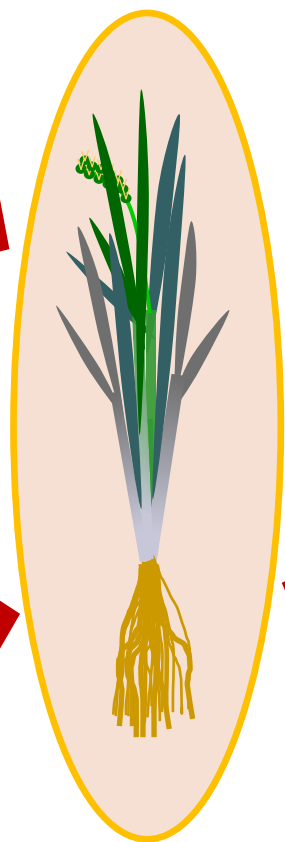
土壌の性質



季節・天候



用水



# Csはカリウムと似た挙動を示す

- 動物の場合

カリウム：全身に分布する →

1 H						
3 Li	4 Be					
11 Na	12 Mg					
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	
55 Cs	56 Ba	57~71 La-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re
87 Fr	88 Ra	89~103 Ac-Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U

カルシウム：骨に集積する



- 植物の根は、カリウムと共にCsを吸収する？

# カリウムの関与を示す状況証拠

- 土壌中のカリウムが少ない水田で収穫される玄米には、放射性セシウムが多く含まれる傾向がみられた（2011年秋）。

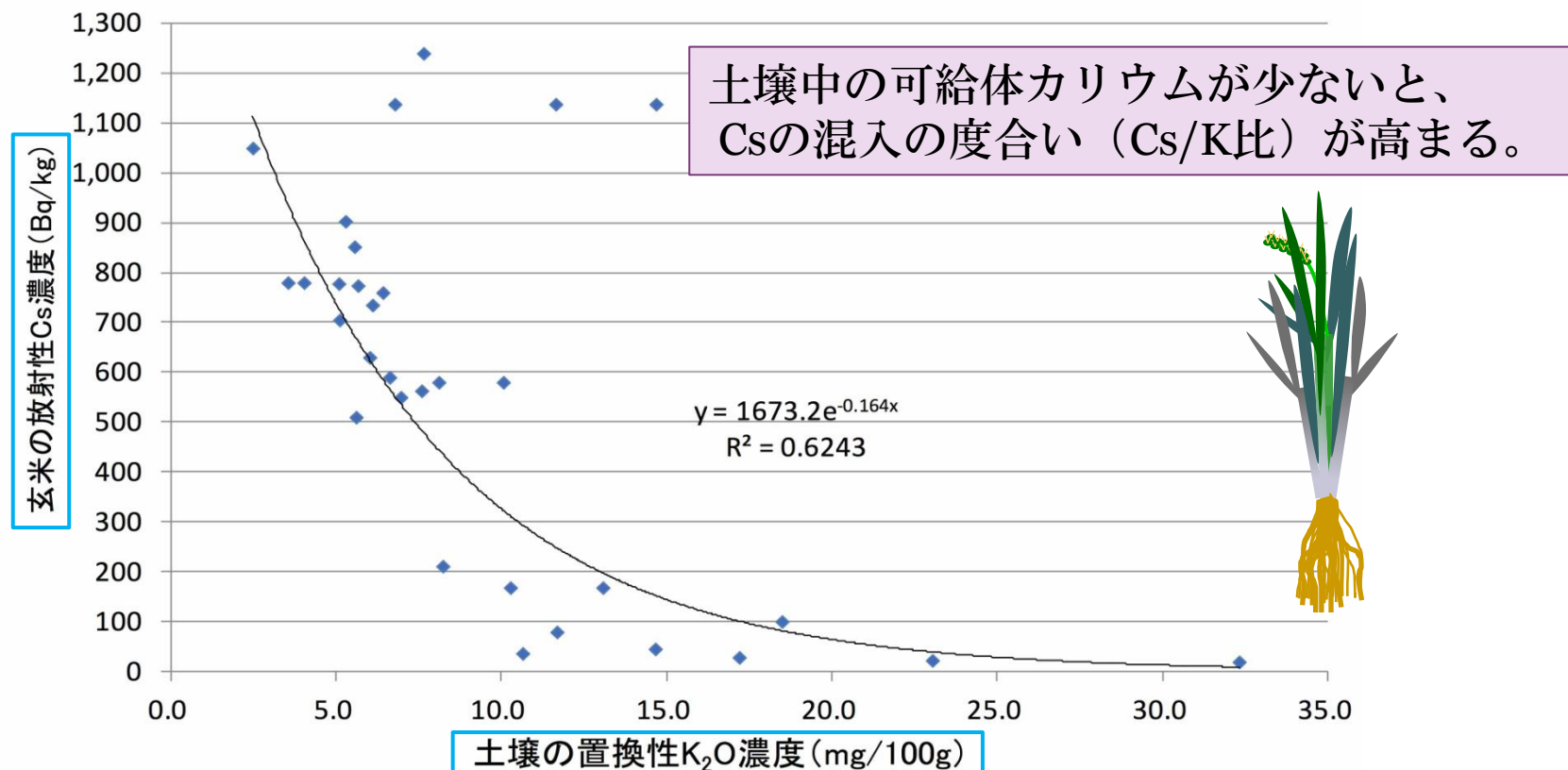
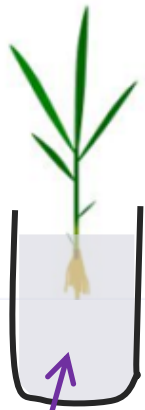


図4 土壌の置換性カリウム濃度と玄米の放射性セシウム濃度との関係

# イネの根によるCsとKの吸収

- 根圏にKが少ないと、Csを多く吸収する性質がある（競合）。

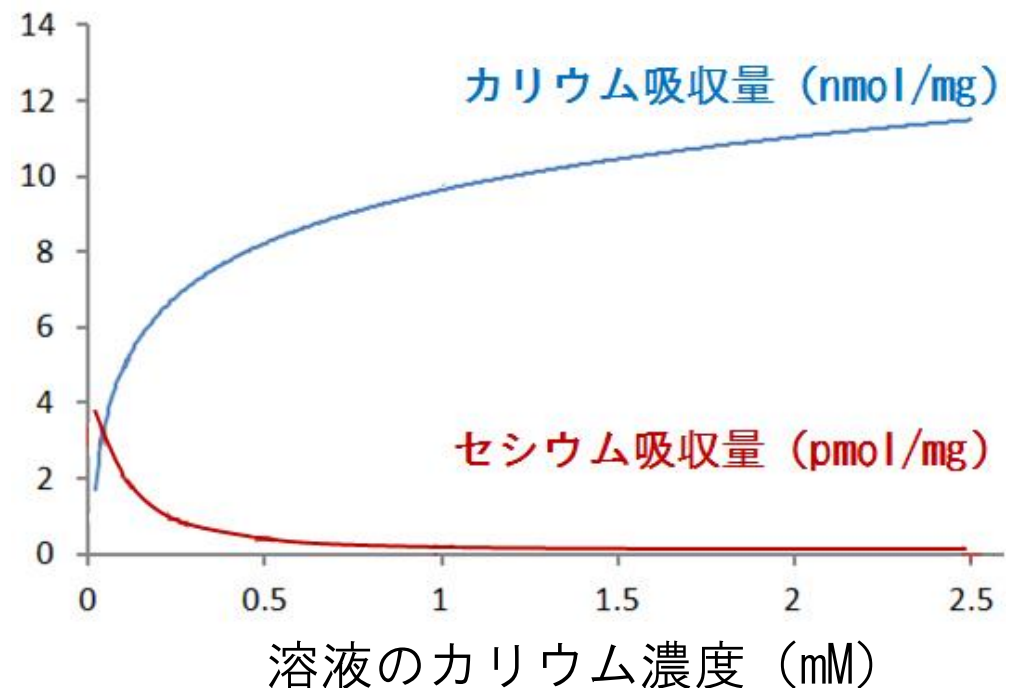
水耕栽培



溶液

いろいろなカリウム濃度

\*セシウムは一定量 (0.1 $\mu$ M) を含む



- Kが高濃度 (1mM以上) の時には、KとCsの吸収量はほぼ一定になる。

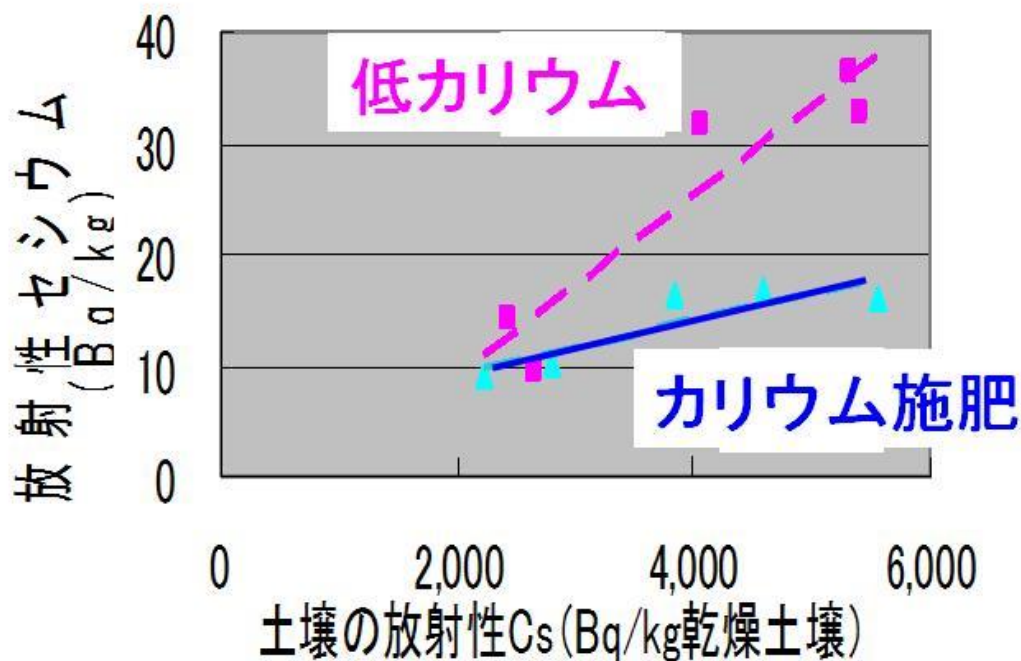


# カリウム施肥のCs低減効果

1つの水田での試験



## 土壌の放射性Csと玄米の放射性Cs



## Cs吸収に対するカリウム不足の影響

- Csの混入の度合い（Cs/K比）を高めてしまう。
- K欠乏下でK吸収を担うK輸送体は、  
K選択性が比較的低い。

# 多様なカリウム輸送体

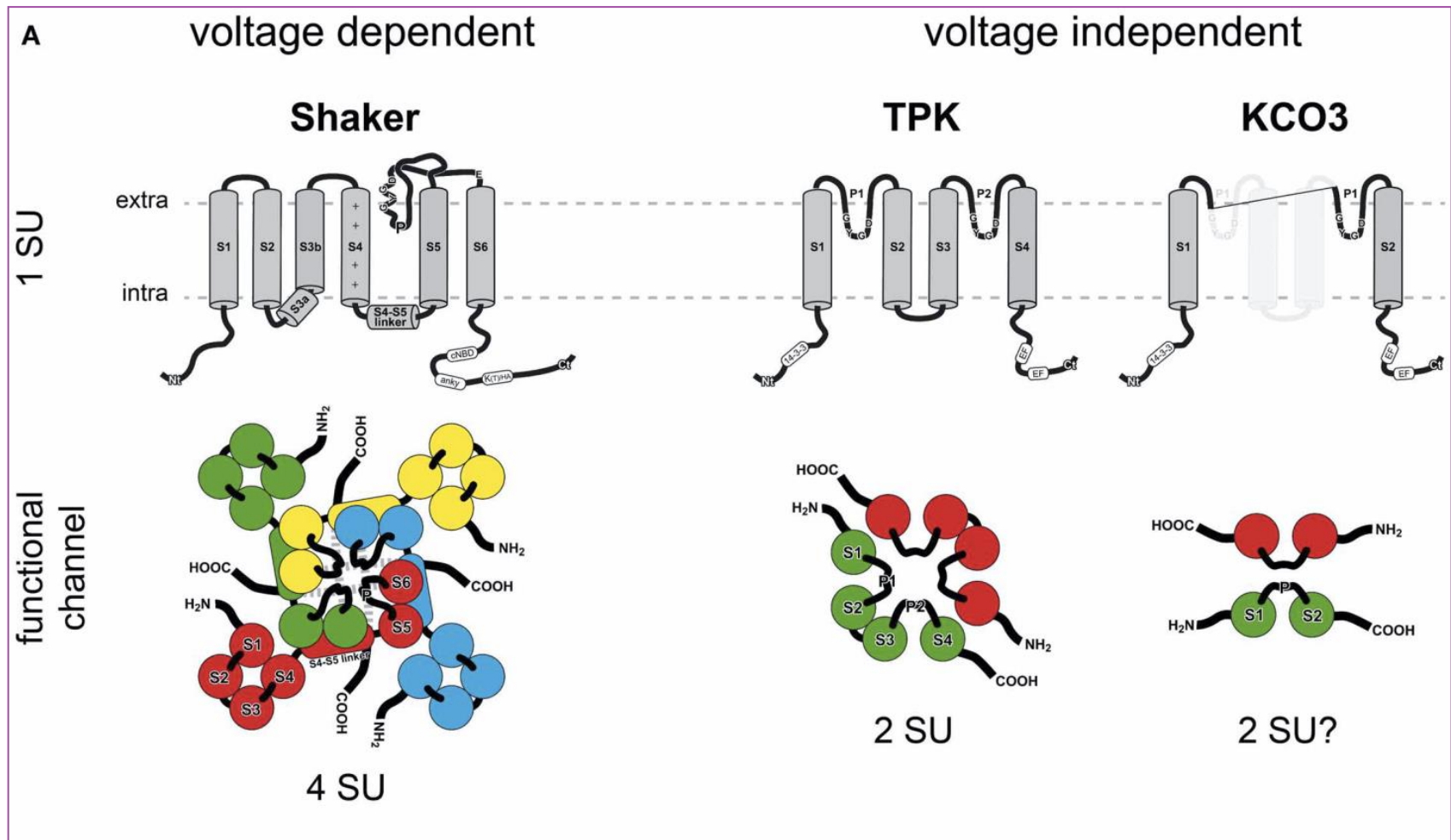
**Table 1.** Potassium ( $K^+$ ) transporters identified in root cells from their gene expression pattern and/or presence in root cell cDNA libraries, or electrophysiologically

Identification method	Transporter	Mechanism	Function	Expression	$Cs^+$ permeability	Reference	
Pattern/presence	AKT1	Channel	$K^+$ uptake	Epidermis, cortex, endodermis	Probably?	Gaymard <i>et al.</i> (1996); Lagarde <i>et al.</i> (1996); Bertl <i>et al.</i> (1997); Hirsch <i>et al.</i> (1998)	
	SKT1	Channel	$K^+$ uptake	Root	Not known	Zimmermann <i>et al.</i> (1998)	
	SKT2			Vasculature	Not known	Czempinski <i>et al.</i> (1999)	
	SKT3			Root	Not known	"	
	KAT1	Channel	$K^+$ uptake	Vasculature	Yes	Schachtman <i>et al.</i> (1992); Nakamura <i>et al.</i> (1995)	
	AtKC1	Channel	$K^+$ uptake	Root	Not known	Dreyer <i>et al.</i> (1997)	
	SKOR1	Channel	$K^+$ efflux to xylem	Stele	$P_{Cs}/P_K = 0.15$	Gaymard <i>et al.</i> (1998)	
	KCO1	Channel	$K^+$ efflux	Root	Not known	Czempinski <i>et al.</i> (1997, 1999)	
	AtKUP1	$K^+/H^+$ symport?	$K^+$ uptake	Root	Probably?	Fu & Luan (1998); Kim <i>et al.</i> (1998)	
	AtKUP2	$K^+/H^+$ symport?	$K^+$ uptake	Root	Probably?	"	
	AtKUP3	$K^+/H^+$ symport?	$K^+$ uptake	Root	Probably?	"	
	AtKUP4	$K^+/H^+$ symport?	$K^+$ uptake	Root	Probably?	"	
	HvHAK1	$K^+/H^+$ symport?	$K^+$ uptake	Root	Probably?	Santa-Maria <i>et al.</i> (1997)	
	HKT1	$K^+/Na^+$ symport	$K^+$ uptake	Cortex	No	Schachtman & Schroeder (1994); Gassmann <i>et al.</i> (1996)	
	KEA1	$K^+/H^+$ antiport?	$K^+$ efflux?	Root	Not known	Yao <i>et al.</i> (1997)	
	LCT1	Not known	Not known	Root	Probably?	Schachtman <i>et al.</i> (1997)	
	Electrophysiology	$K^+/H^+$ symport		$K^+$ uptake		Not known	Maathuis & Sanders (1994)
		KIR	Channel	$K^+$ uptake		$P_{Cs}/P_K = 0.39-0.43$	Wegner & Raschke (1994)
		KORC	Channel	$K^+$ efflux		$P_{Cs}/P_K = 0.07$ $P_{Cs}/P_K = 0.12$	Maathuis & Sanders (1995) "
NORC		Channel	Cation efflux		$P_{Cs}/P_K = 0.31$	Roberts & Tester (1997b)	
VIC		Channel	Cation uptake		$P_{Cs} = P_K$ $P_{Cs}/P_K = 0.85$	Wegner & Raschke (1994) White & Tester (1992); White (1997, 1999)	
DACC		Channel	$Ca^{2+}$ influx		$P_{Cs}/P_K = 0.85$	White (1998, 2000)	
HACC		Channel	$Ca^{2+}$ influx		Not known	White (2000)	

A question mark indicates a putative mechanism or function.

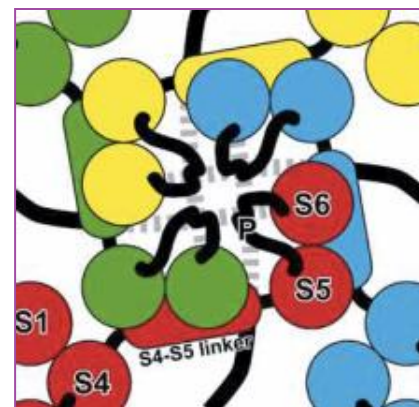
White and Broadley, 2000, *New Phytologist* 147:p241-256.より

# 多様なカリウム輸送体

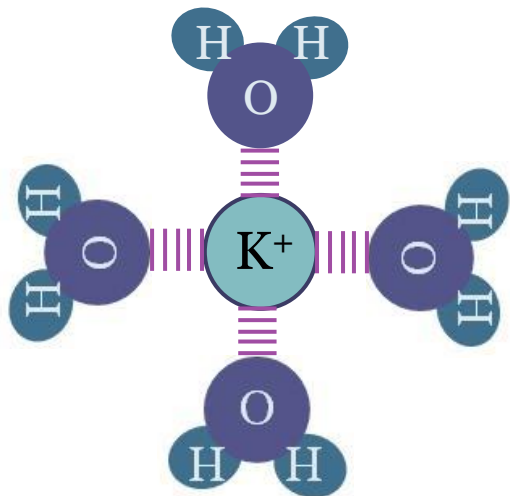


# 輸送体の選択性の違い

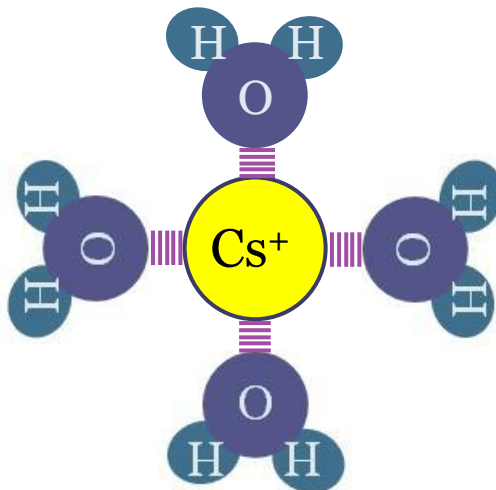
- イオン半径の違いが輸送体の孔の通過に影響



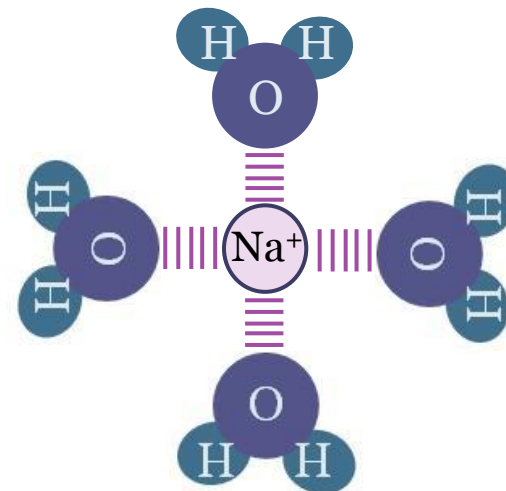
0.133nm



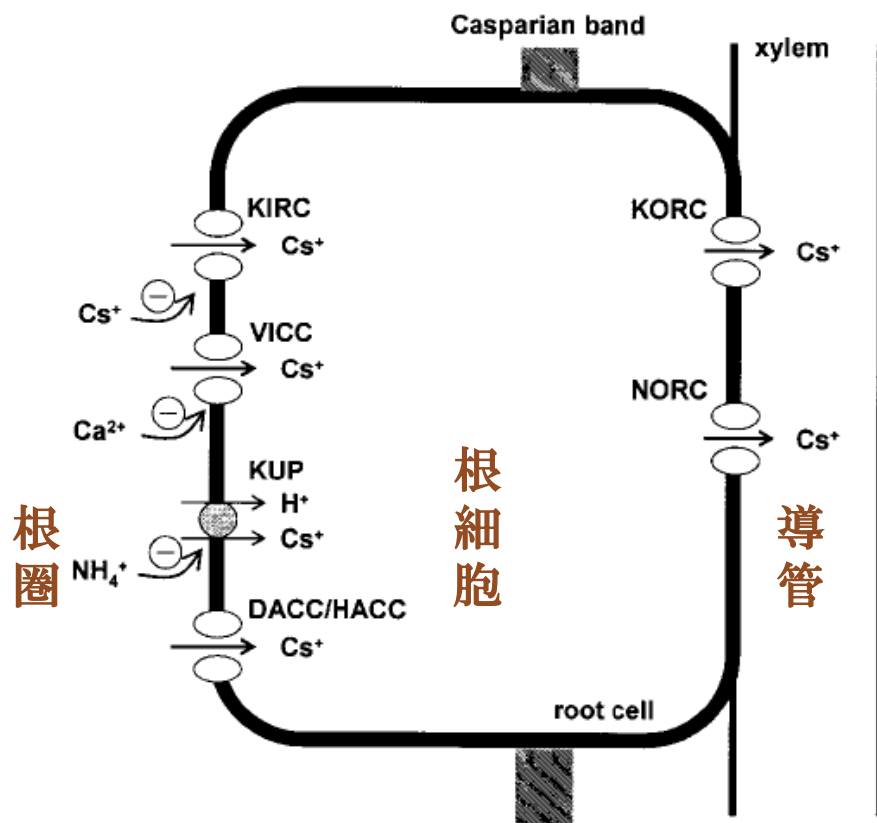
0.169nm



0.095nm



# Cs吸収に関与するカリウム輸送体



輸送体の孔に存在するK選択性フィルターの主要4アミノ酸配列と、各欠損体中の元素濃度( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ )。

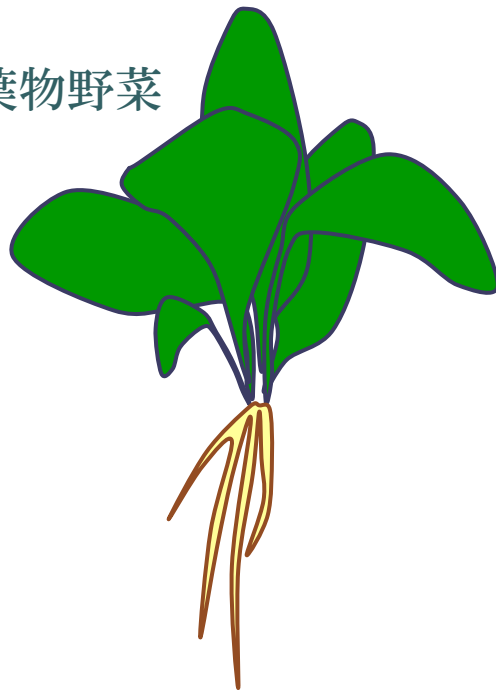
	CNGC	Cs	K	Ca
	12	4.50 <sup>U</sup>	256	29.3
	11	5.36	335	38.1
	3	3.80 <sup>D</sup>	222	28.3
	13	3.98	193	24.9
	10	5.01 <sup>U</sup>	217	26.0
	1	5.22 <sup>U</sup>	67.4 <sup>D</sup>	6.98
	6	4.05	189	18.5
	9	4.43 <sup>U</sup>	179	18.8
	5	3.98	196	21.9
	8	4.80	278	36.5
	7	4.41	189	22.6
	15	4.30	147	70.6

\* CNGC: cyclic nucleotide gated channel  
Hampton *et al*, 2005, *Nukleonika* 50:pp s3-s8より

## Csの玄米への移行に対するカリウム不足の影響

- 穀物では、根によるCsの吸収と地上部への移行に加え、種子へのCsの再移行（転流）も検討しなければならない。

葉物野菜

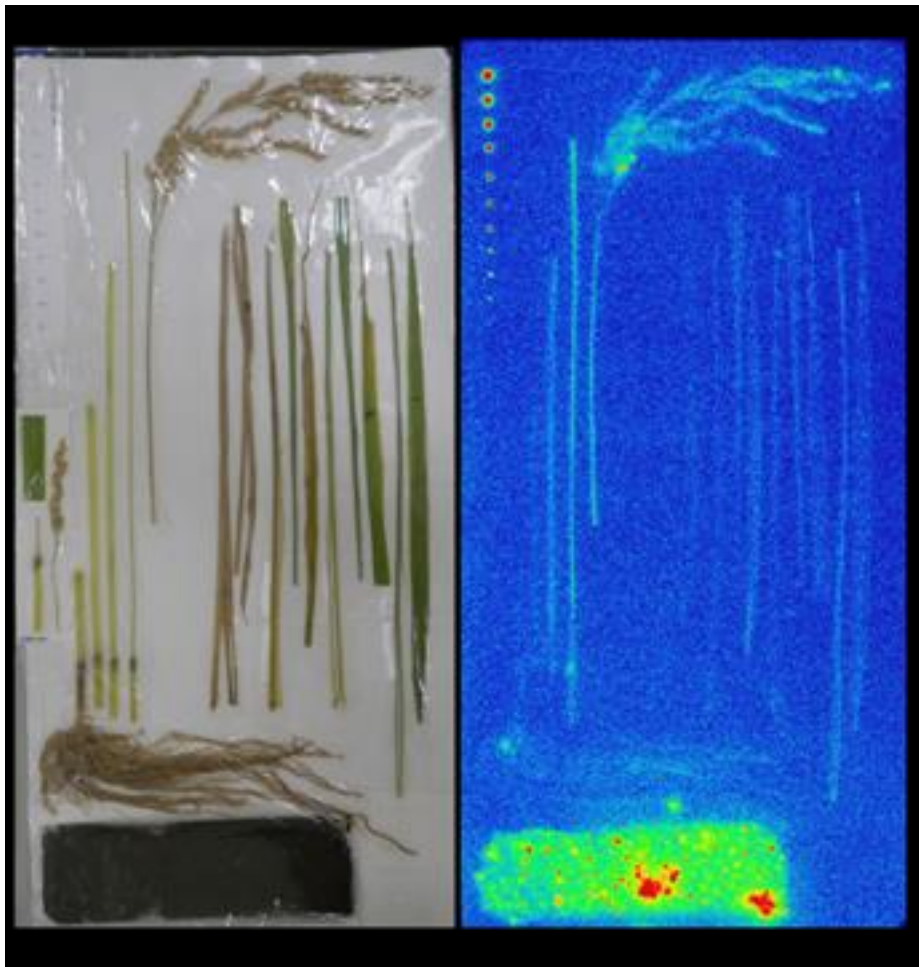


穀物



# 穂に放射性Csが集積する現象

- 2011年秋に福島県内で収穫されたイネ



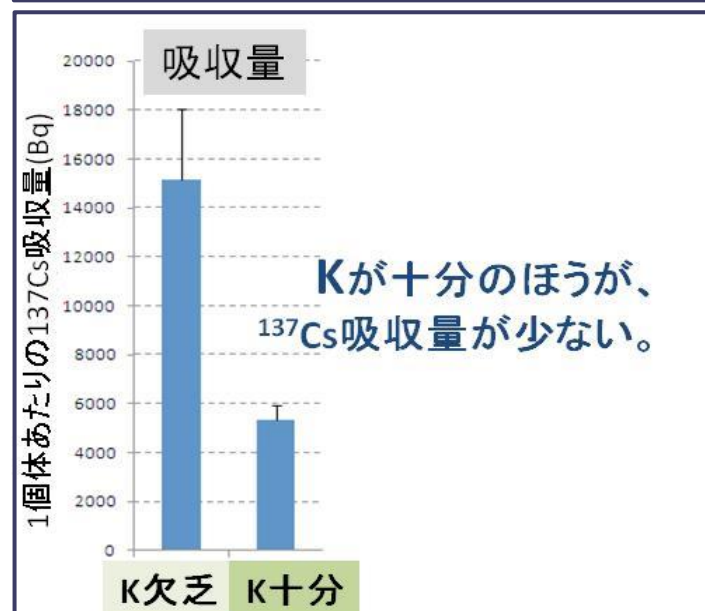
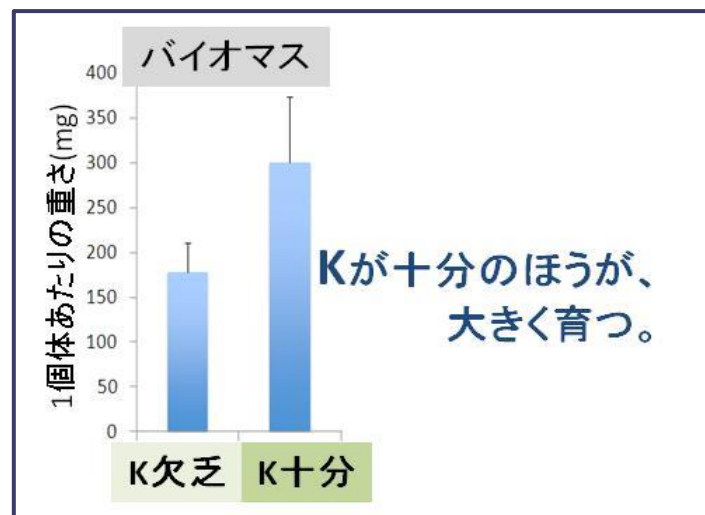
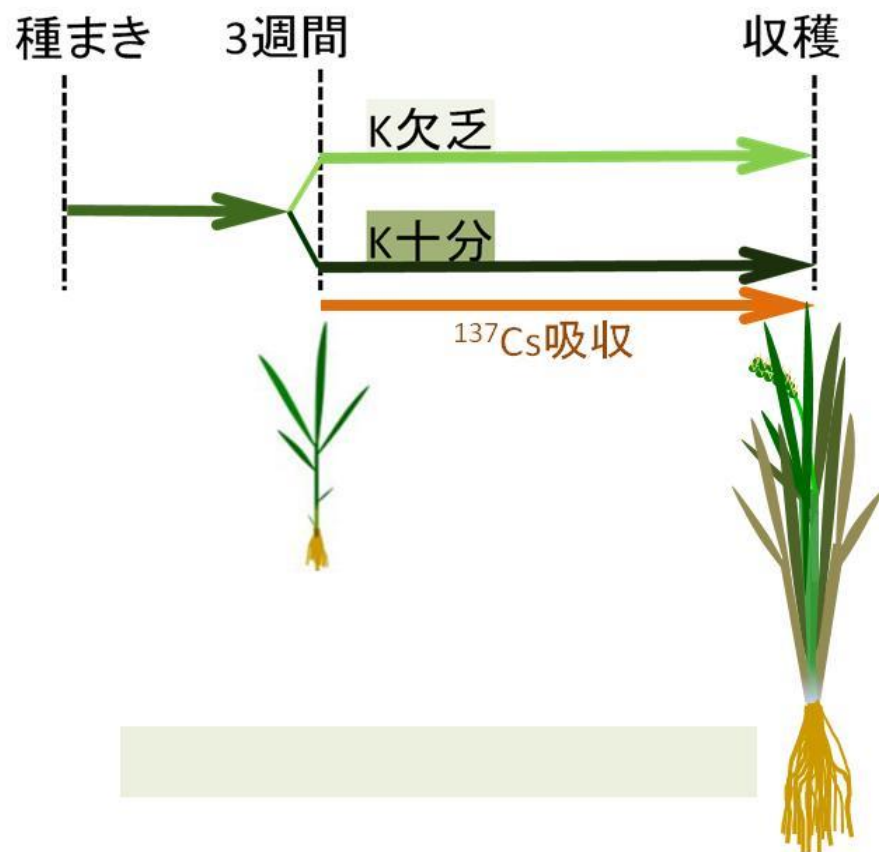
穂が成長する時期（夏以降）に放射性Csが多く供給された？

カリウム不足時にカリウムが新しい組織に集積する（転流）動きに放射性Csが混入した？

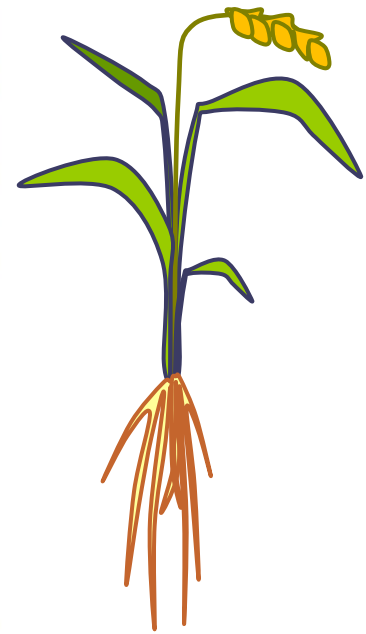
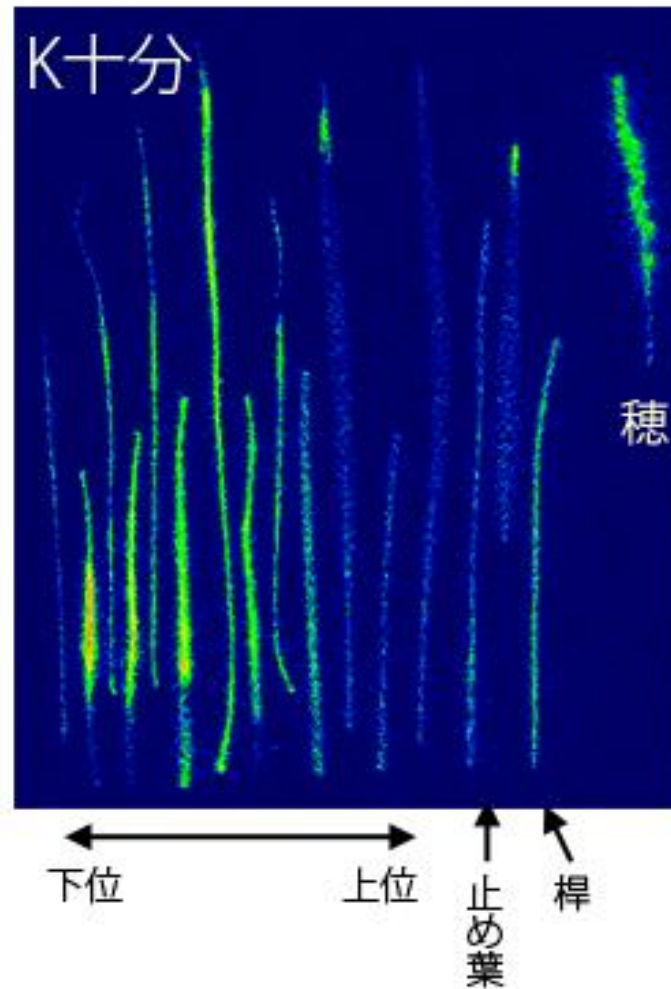
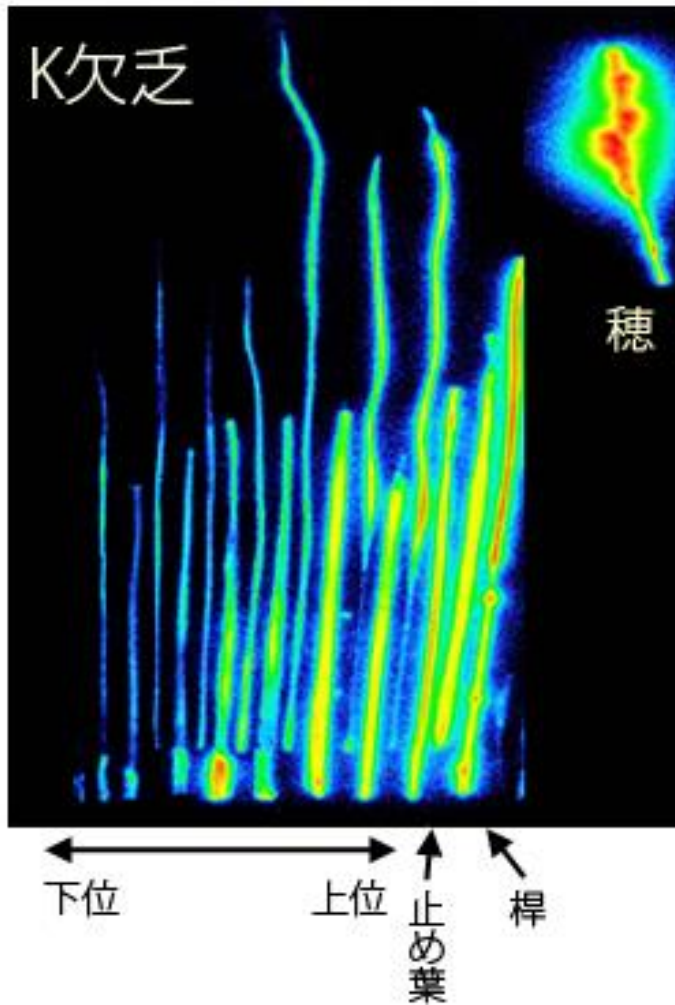


# Csの分布に対するカリウム不足の影響

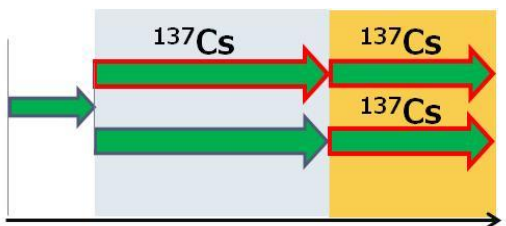
カリウム(K)が十分にある、  
あるいは欠乏した環境で、穂が実るまで栽培。



# カリウム条件によって $^{137}\text{Cs}$ の体内分布が変わる



収穫期の穂に含まれるCsは、  
出穂期以前に吸収されたものである



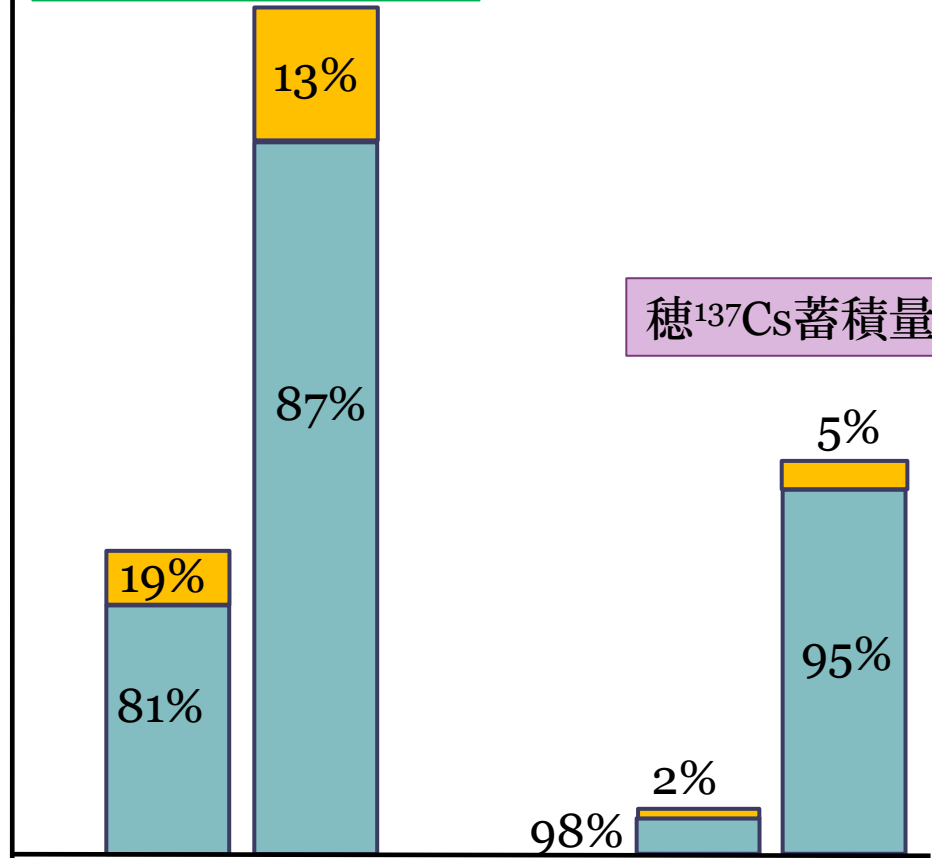
種まき 3週目

出穂  
(8-9週目)

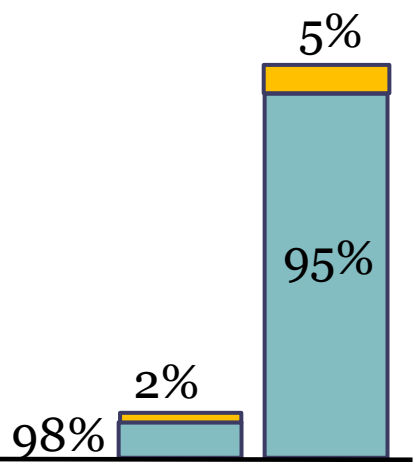
収穫



地上部<sup>137</sup>Cs蓄積量



穂<sup>137</sup>Cs蓄積量



十分

欠乏

十分

欠乏

# カリウム条件によって変化する無機元素の体内分布

\*色の濃淡は、部位ごとの元素濃度の高低を示す。

## 部位別カリウム濃度

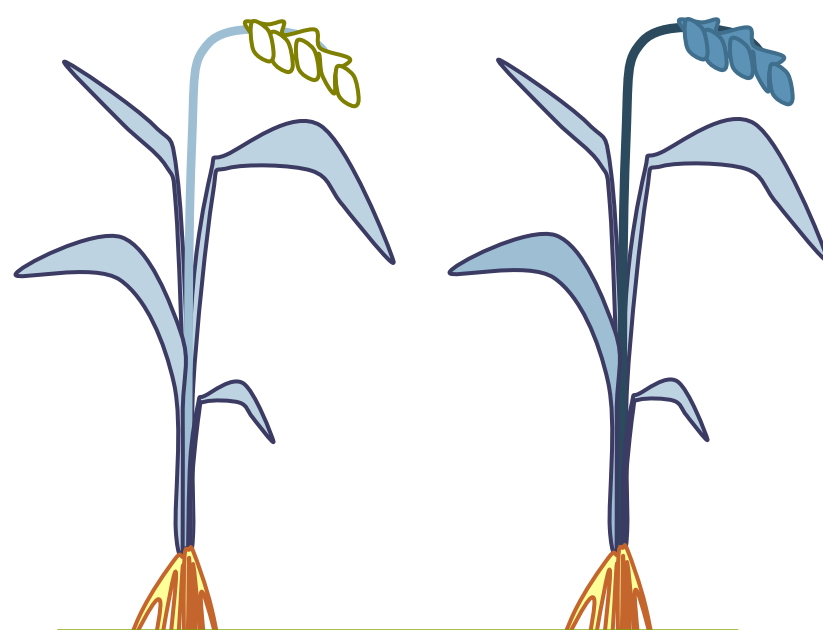
## 部位別<sup>137</sup>Cs濃度

カリウム十分

カリウム欠乏

カリウム十分

カリウム欠乏



カリウムが欠乏しても  
穂と秆のカリウム濃度は維持されるが、  
葉のカリウム濃度は著しく低下する。

カリウム十分では 葉>穂、  
カリウム欠乏では 葉<穂 となる。

カリウムが十分であれば  
セシウム濃度は 葉>穂 だが、  
カリウム欠乏では 葉<穂 となる。  
特に、カリウム欠乏によって  
秆のセシウム濃度が上昇する。

# カリウム条件によって変化する無機元素の体内分布

- カリウム欠乏はセシウム以外の元素濃度にも影響を与えるが、それらの体内濃度分布はカリウムに似ていない。

## 部位別マグネシウム濃度

カリウム十分

カリウム欠乏



カリウムが欠乏すると  
マグネシウム濃度は全体的に  
上昇する傾向にあるが、  
部位ごとの濃度分布に変化はない。

## 部位別ナトリウム濃度

カリウム十分

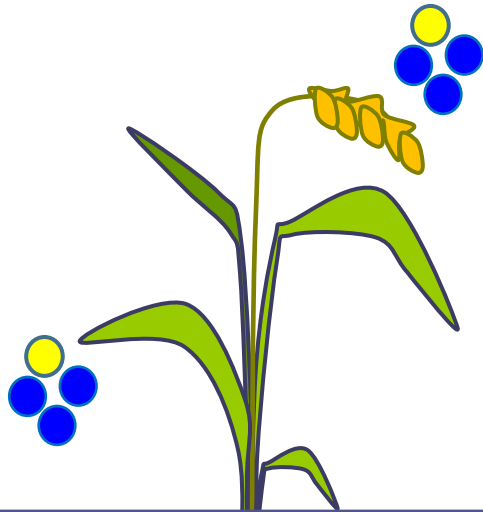
カリウム欠乏



カリウムが欠乏すると  
ナトリウム濃度は全体的に大きく上昇するが、  
穂のナトリウム濃度についてはほとんど変化が無い。  
ナトリウム濃度はカリウム条件によらず  
穂<葉 である。

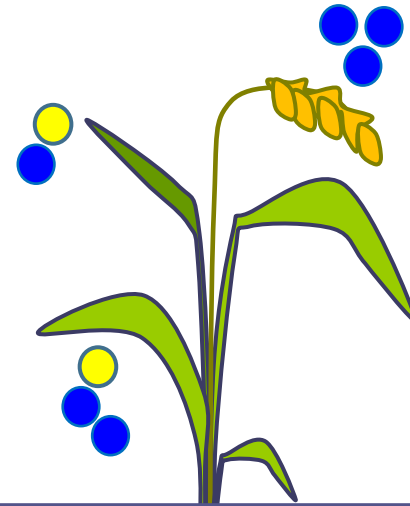
# カリウムとセシウムの動きの違い

- セシウムの動きはカリウムに似ているが、異なる点もある。



カリウムとセシウムが植物体内を常に同様に移行するならば、両元素の濃度比 (K/Cs比) はどの部位でも同じ値になるはず。

しかし



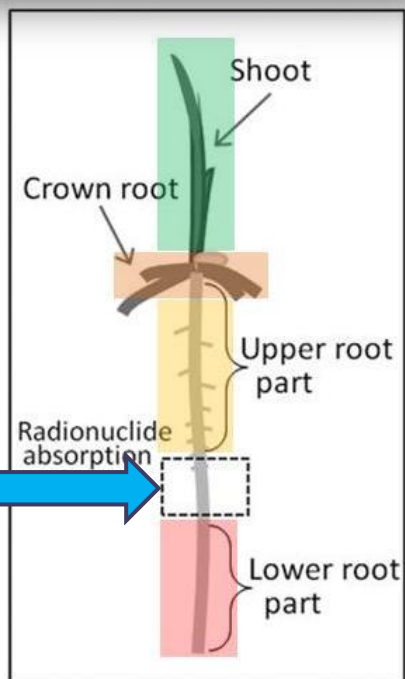
実際には、K/Cs比は部位によって異なり、特に穂での比が高い。つまり、穂にはカリウムが優先的に運ばれている。

# カリウムとセシウムの動きの違い

- 根から入った直後にも、異なる動きが観察される。



コンパートメントBoxを使用して根を、根端から1cmごとの区画に分け、任意の区画から $^{137}\text{Cs}$ や $^{42}\text{K}$ を吸収させる。



$^{137}\text{Cs}$ あるいは  
 $^{42}\text{K}$ を  
1時間吸収

## <違い①>

吸収したカリウムの30%が、吸収した区画以外に輸送されるのに対し、セシウムは95%が区画内にとどまる。

## <違い②>

吸収区画の外に輸送されたもののうち、カリウムは60%がUpper root partに分布するが、セシウムは80%がShootに分布する。

- 植物体内でのセシウムの動きが  
どのようにコントロールされているのかが分かれば、  
可食部へのセシウムの移行を防ぐ方策がたてられる。



# まとめ

- 環境中には多くの放射性セシウムが残されている。
- 植物によるセシウムの吸収や移行を制御する仕組みを知ることによって、的確な低減対策を講じることができる。
- 慣例的に行われている農業施策に科学的根拠を与えると同時に、施策の効果を得られる条件、得られない条件を明確にできる。

山に積もった落ち葉

