



鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎
著
中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

「放射線を科学的に理解する

— 基礎からわかる東大教養の講義 —

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著

中川恵一 執筆協力

丸善出版

本体 2500円+税

- 1章 放射線とは? 《放射線入門》
 - 2章 放射線の性質 《放射線物理学 I》
 - 3章 原子力発電で生み出される放射性物質
《原子核物理学・原子力工学》
 - 4章 放射線量の評価 《放射線物理学 II》
 - 5章 放射線の測り方 《放射線計測学》
 - 6章 環境中での放射性物質 《環境放射化学》
 - 7章 放射線の細胞への影響 《放射線生物学》
 - 8章 放射線の人体への影響 《放射線医学》
 - 9章 放射性物質と農業 《植物栄養学・土壤肥料学》
 - 10章 放射線の防護と安全 《放射線防護学》
 - 11章 役に立つ放射線 《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会は非常に少ないのが実情です。

本書は東京大学教養学部で行われた講義をもとに、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kn.html>

2015年度 Aセメスター 主題科目学術フロンティア講義

放射線

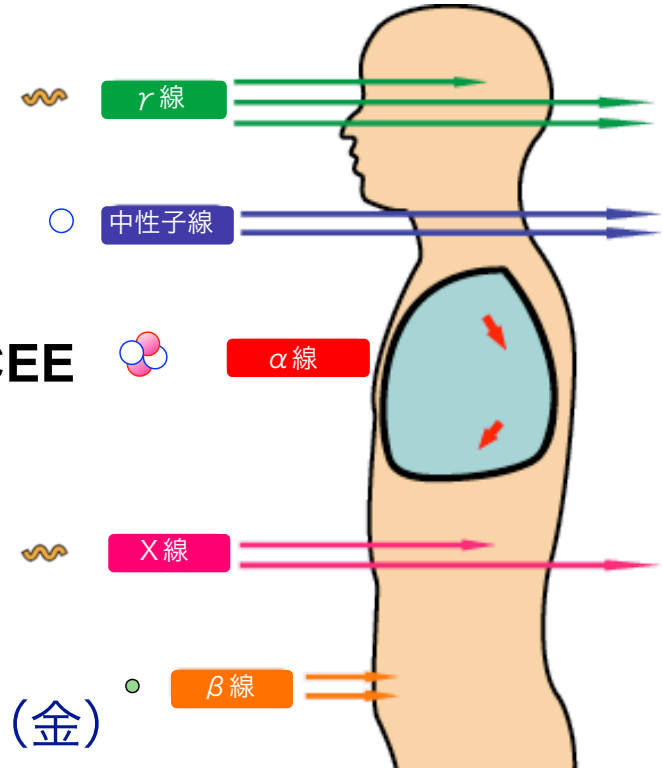
を
科学的に
理解する

金曜 5 限

@ 21 KOMCEE
(West)

K303教室

2015 / 11 / 27 (金)



第11回

放射性物質汚染と農業

植物によるセシウムの吸収と輸送

藤原 徹

東京大学 農学部 応用生命化学

放射線を科学的に理解する

- 9/18 放射線入門 【鳥居】
- 9/25 放射線物理学 【鳥居】
- 10/ 2 放射線計測学 【小豆川】
- 10/ 9 放射線物理・化学 【鳥居】
- 10/16 放射線生物学 【渡邊】
- 10/23 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 10/30 原子核物理学・原子力工学 【鳥居】
- 11/ 6 環境放射化学 【小豆川】
- 11/13 環境放射化学 【小豆川】
- 11/24 放射線医療 【芳賀】
- 11/27 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 12/ 4 放射線の利用 【渡邊】
- 12/11 加速器科学・放射線防護学 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

坪倉 正治 《医科学研究所》

芳賀 昭弘 《医学部附属病院放射線科》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師



放射性物質汚染と農業 (植物によるセシウムの吸収と輸送)

東京大学大学院農学生命科学研究科
応用生命化学専攻
植物栄養・肥料学研究室

藤原 徹

福島県川俣町 2011年5月21日

今日のお話

- 植物が土に生えて栄養を吸うということ。
(私のこれまでの研究の概説)
- セシウムの話。

自己紹介

- 藤原 徹(50歳)
- 大阪出身、植物が好き。食べるのも好き。
- 1983年理入学Ⅱ4組
- 農学部に進学
- 植物栄養・肥料学研究室に進む。
- 植物の栄養輸送の研究を通じてより沢山、より良い食べ物を作りたい。

うちの研究室はこんな感じ。



Lab trip to Shizuoka June 2010



伊豆大島
1986年11月21日噴火

Dec 12, 2012 from ANA



Nov 1, 2012



雲南省元陽 (Yuinan Sept 11, 2006)





玻璃
铝合金



快餐 米线
炒蛋 饭
炒粉 粉











OCT 29 2002

植物はどこにでも生える。

その植物に依存して私たちは生活している。

植物が育つために必要なものは？



メソポタミア文明の移動



図 I-5 メソポタミア地方

首都はウルから、バグダッド(現在)へと移動した。

中央ヨーロッパにおける穀実収穫倍率の推移(Hushofer, 1976)

1 kgの種子から得られる子実収量(kg)

	平均的土壌	最優良土壌
中世 (12-15世紀)	3~4	
16-17世紀	5~6	7~15
19世紀初頭	5~6	12~20

小學農農業書 卷一

男子用

文部省

昭和5年
文部省発行

小學農業書 男子用 卷一

第一課 農業

農業は、作物を栽培し、家畜を飼養し、樹木を仕立てて、衣食住に必要なものを産出する仕事である。

農業がなければ我等は一日も生活することが出来ず、又農業が盛でなければ商工業も榮えることが出来ない。

かやうに農業は、人類の生活及び産業の發達に必須なばかりでなく、之に従事するものは、最も堅實な精神に富み、身體強健且長壽である。實に農業は人類に缺くことの出来ないものであつて、又國家隆盛の



源泉である。

第二課 時無大根

時無大根は生で食し、又酢漬、塩漬などにして食用に供する。此の一種二十日大根は、播種してから二三十日で收められる。二十日大根の根の形には球形、圓筒形、紡錘形などがあり、色には赤、紫、白、黄などがある。

冬季を除けば何時でも播種することが出来、栽培は極

二十日大根



めて容易である。即ち土地を丁寧に耕し、下肥などを施した後に播種し、発芽後は間引、其の他の手入を行ふ。

第三課 種子の良否

種子は作物の本源である。種子が良好でなければ、良い作物を得ることが出来ない。種子は新しく、其の粒が大きく、且重いものがよい。

大きくて重い種子は、発芽がよければ、養分を含むことが多いから、芽はこれに養はれて生育が良好である。

第四課 選種

世界の人口の推移(推計)

先史時代 100万人？1000万人？

紀元の頃 2億人程度？

10世紀 2-3億人程度

1700頃 5億人

1800頃 10億人

1900頃 16億人

1940頃 23億人

1970頃 37億人

2011 10.31. 70億人

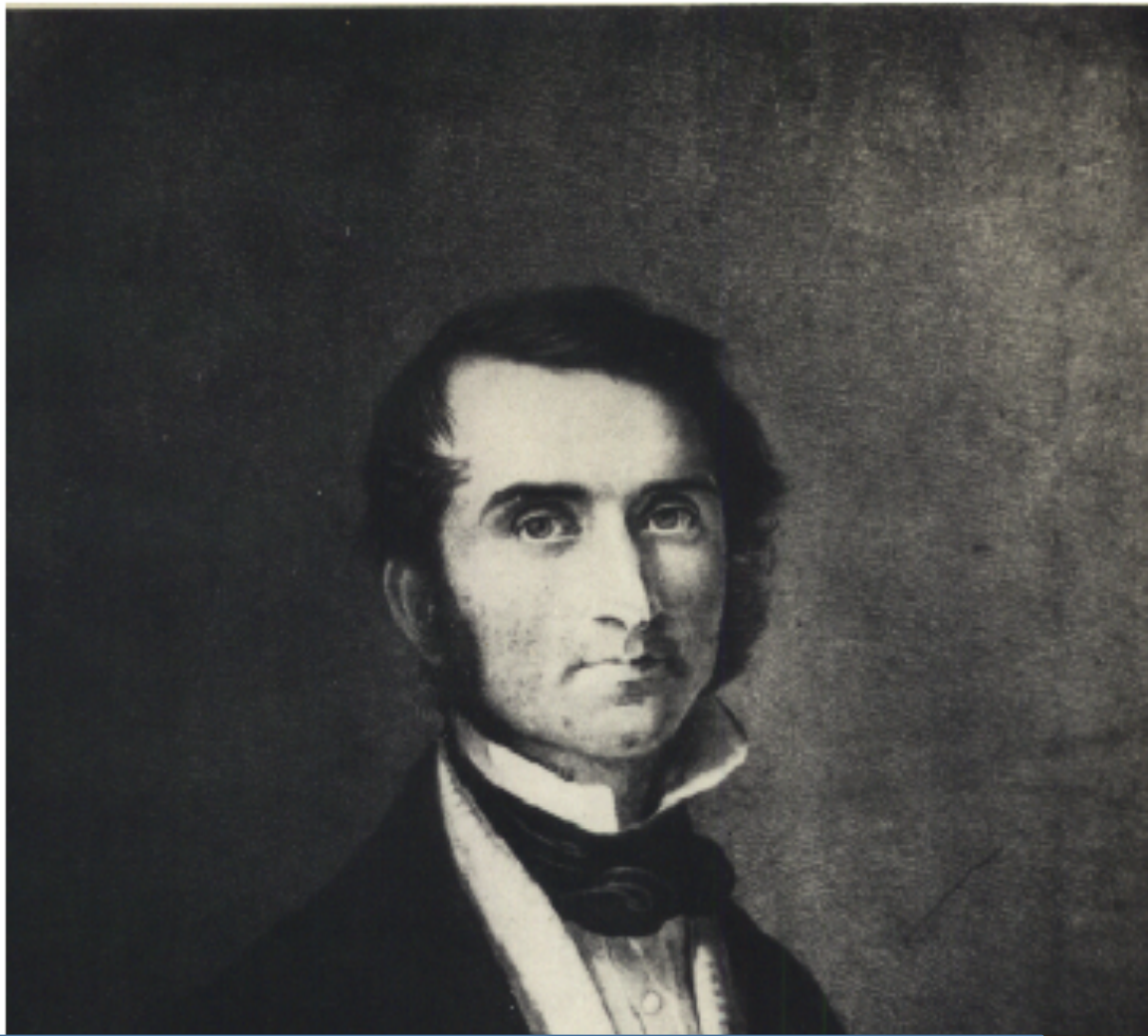
肥料による
食糧増産

緑の革命
多肥による
増産

A photograph of a rice paddy field. The rice plants are in the foreground, showing their green leaves and golden-brown panicles. The background is a dense field of similar rice plants. A yellow rectangular box is overlaid on the middle of the image, containing the text "植物は何を食べて(吸って)いるの?".

植物は何を食べて(吸って)いるの？

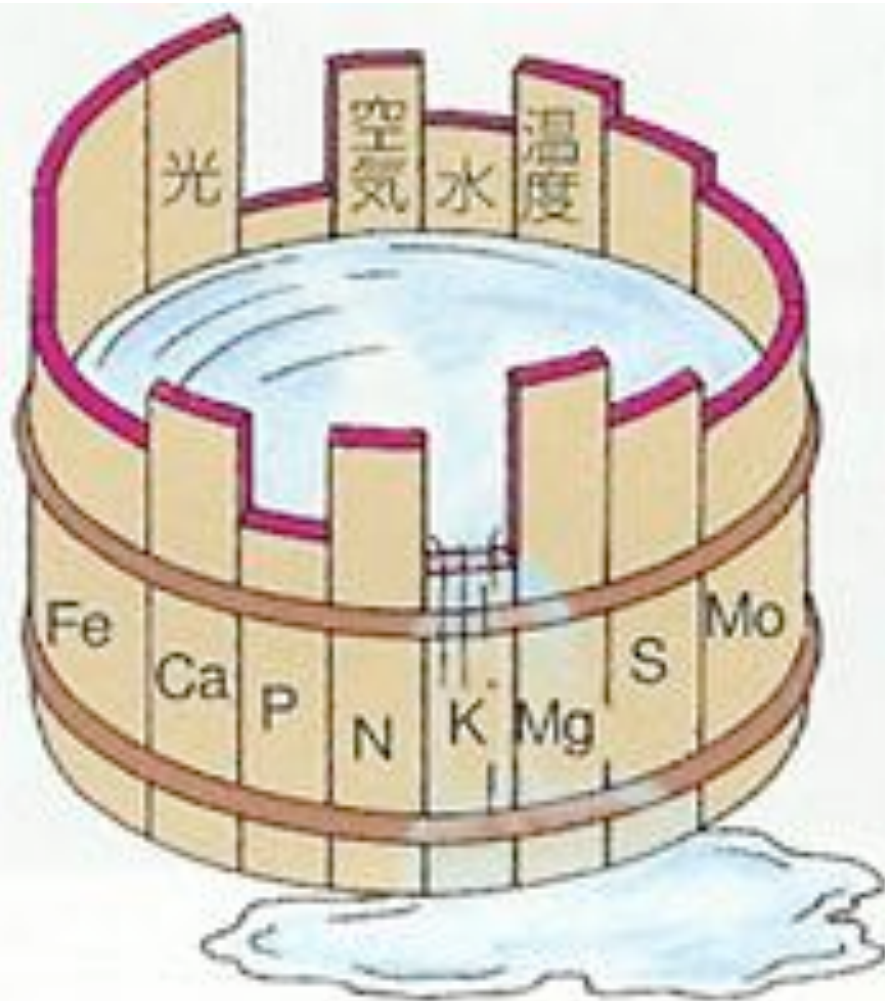
Justus von
Liebig
(1803－1875)
無機栄養説



リービッヒ冷却管

表II-1 元素の必須性の発見経過

元 素	発見者	発見年
C	De Saussure	1804
H	De Saussure	1804
O	De Saussure	1804
N	De Saussure	1804
P	Ville	1860
K	von Sachs, Knop	1860
Ca	von Sachs, Knop	1860
Mg	von Sachs, Knop	1860
Fe	von Sachs, Knop	1860
S	von Sachs, Knop	1865
Mn	McHargue	1922
B	Warington	1923
Zn	Sommer & Lipman	1926
Cu	Lipman & MacKinney	1931
Mo	Arnon & Stout	1939
Cl	Broyer et al.	1954
Ni	Brown et al.	1987

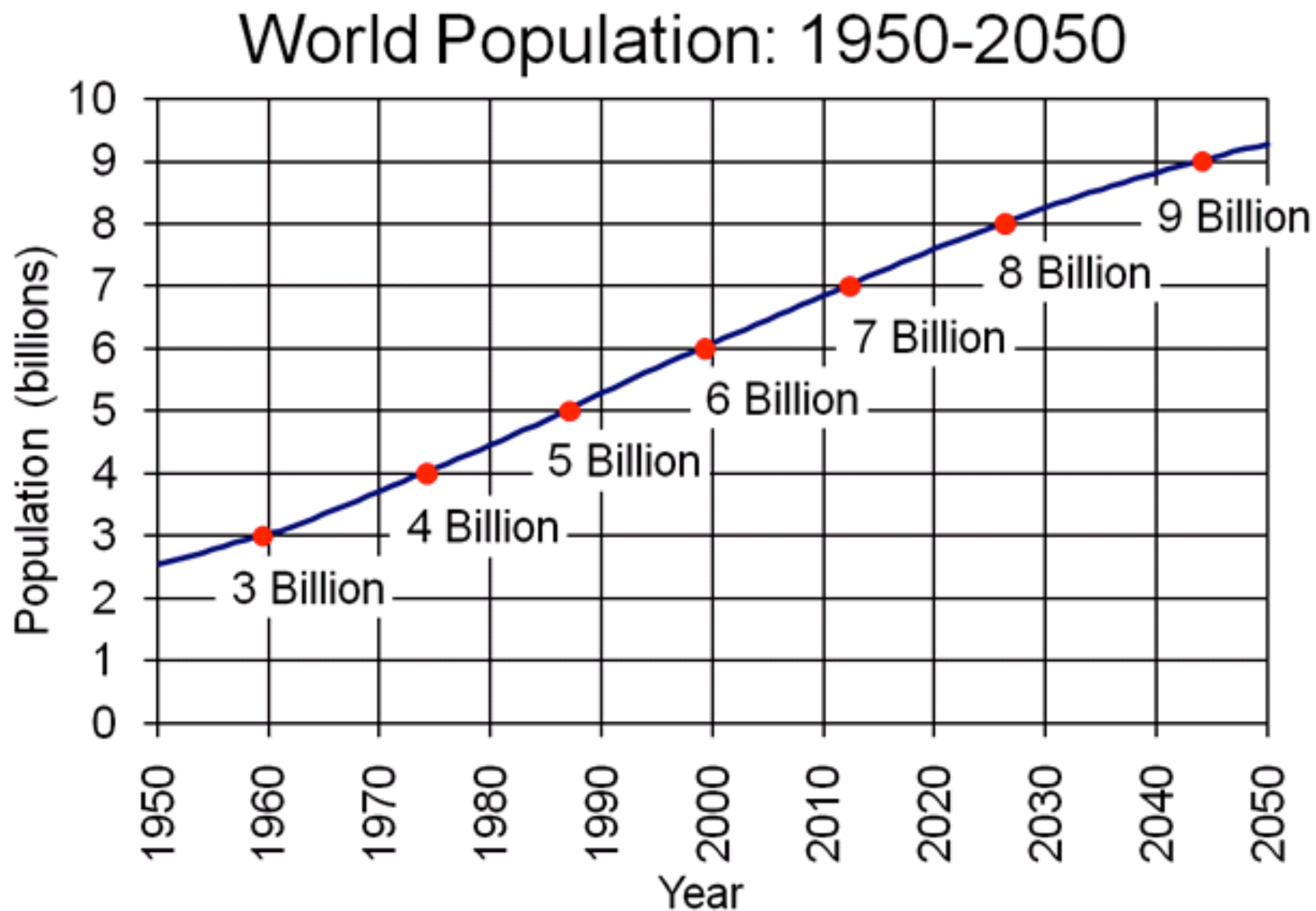


●リービッヒの最少律●

植物の生育は、必要な元素のうちで最少量のものによって制限される。

ドベネックの桶

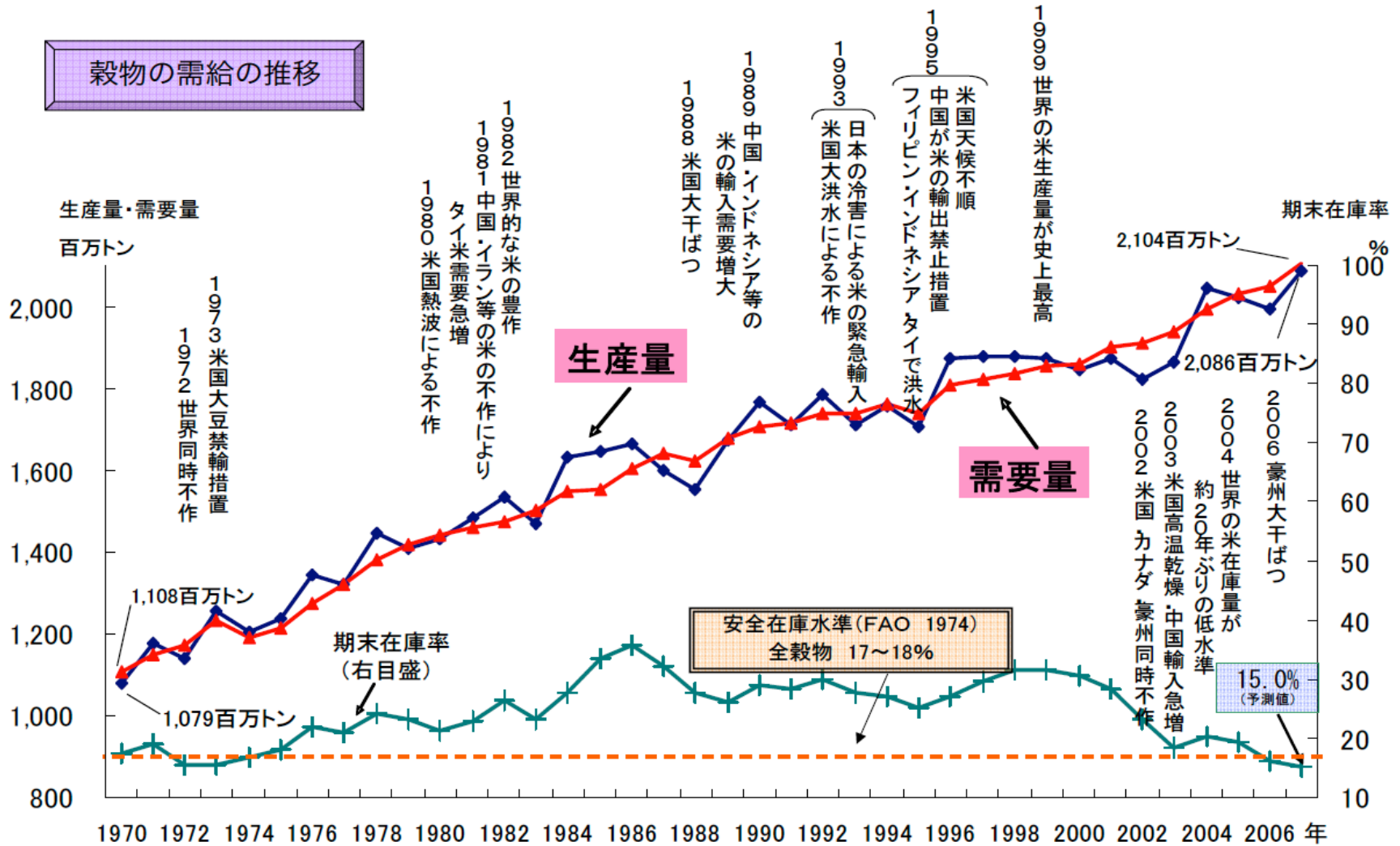
World Population: 1950-2050



Source: U.S. Census Bureau, International Data Base, June 2010 Update.

穀物需要量が増加する一方、生産量は変動を繰り返しつつ、これに対応

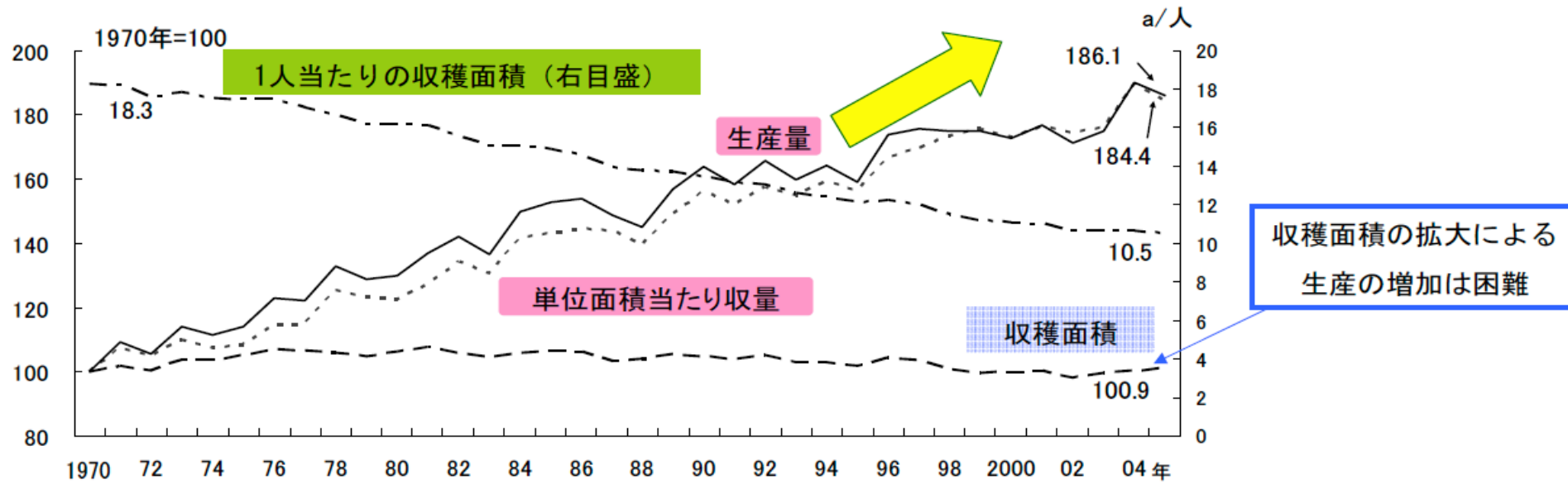
穀物の需給の推移



資料:USDA「World Agricultural Supply and Demand ESTIMATES」(September 12, 2007)、「World Markets and Trade」、「PS&D」

単位面積当たり収量の伸びにより、需要に応じた生産を実現

収穫面積及び単位面積当たり収量の推移



資料: FAO「FAOSTAT」、UNFPA「世界人口白書」

(農林水産省ホームページより)

クイズ

- 日本でイネを1ha栽培すると、何kgのお米が収穫できるでしょう？

(東大生の正答率 2%)

水陸稲（子実用）の年次別推移（全国）

年 産	水 陸 稲 計		水 稲						
	作 付 面 積 (子実用)	収 穫 量 (子実用)	作 付 面 積 (子 実 用)	10 a 当 たり 収 量	収 穫 量 (子 実 用)	参 考			
						主 食 用 作 付 面 積	収 穫 量 (主 食 用)	10 a 当 たり 平 年 収 量	作 況 指 数
	ha	t	ha	kg	t	ha	t	kg	
昭.55	2 377 000	9 751 000	2 350 000	412	9 692 000	…	…	471	87
56	2 278 000	10 259 000	2 251 000	453	10 204 000	…	…	474	96
57	2 257 000	10 270 000	2 230 000	458	10 212 000	…	…	477	96
58	2 273 000	10 366 000	2 246 000	459	10 308 000	…	…	478	96
59	2 315 000	11 878 000	2 290 000	517	11 832 000	…	…	479	108
60	2 342 000	11 662 000	2 318 000	501	11 613 000	…	…	481	104
61	2 303 000	11 647 000	2 280 000	508	11 592 000	…	…	484	105
62	2 146 000	10 627 000	2 123 000	498	10 571 000	…	…	487	102
63	2 110 000	9 935 000	2 087 000	474	9 888 000	…	…	490	97
平.元	2 097 000	10 347 000	2 076 000	496	10 297 000	…	…	492	101
2	2 074 000	10 499 000	2 055 000	509	10 463 000	…	…	494	103
3	2 049 000	9 604 000	2 033 000	470	9 565 000	…	…	497	95
4	2 106 000	10 573 000	2 092 000	504	10 546 000	…	…	498	101
5	2 139 000	7 834 000	2 127 000	367	7 811 000	…	…	499	74
6	2 212 000	11 981 000	2 200 000	544	11 961 000	…	…	499	109
7	2 118 000	10 748 000	2 106 000	509	10 724 000	…	…	501	102
8	1 977 000	10 344 000	1 967 000	525	10 328 000	…	…	502	105
9	1 953 000	10 025 000	1 944 000	515	10 004 000	…	…	504	102
10	1 801 000	8 960 000	1 793 000	499	8 939 000	…	…	507	98
11	1 788 000	9 175 000	1 780 000	515	9 159 000	…	…	512	101
12	1 770 000	9 490 000	1 763 000	537	9 472 000	…	…	518	104
13	1 706 000	9 057 000	1 700 000	532	9 048 000	…	…	518	103
14	1 688 000	8 889 000	1 683 000	527	8 876 000	…	…	522	101
15	1 665 000	7 792 000	1 660 000	469	7 779 000	…	…	524	90
16	1 701 000	8 730 000	1 697 000	514	8 721 000	…	…	525	98
17	1 706 000	9 074 000	1 702 000	532	9 062 000	…	…	527	101
18	1 688 000	8 556 000	1 684 000	507	8 546 000	…	…	529	96
19	1 673 000	8 714 000	1 669 000	522	8 705 000	…	…	529	99
20	1 627 000	8 823 000	1 624 000	543	8 815 000	1 596 000	8 658 000	530	102
21	1 624 000	8 474 000	1 621 000	522	8 466 000	1 592 000	8 309 000	530	98
22	1 628 000	8 483 000	1 625 000	522	8 478 000	1 580 000	8 239 000	530	98

資料：農林水産省統計部『作物統計』

注：1 作付面積（子実用）とは、青刈り用の面積を除いた面積である。

2 主食用作付面積とは、水稲作付面積（青刈り面積を含む。）から、需給調整の取組として取り扱う米穀等（加工用米、新規需要米等）の面積を除いた面積である。

3 「…」は事実不詳又は調査を欠くもの。

クイズ2

- あなたが1年に食べるお米を作るにはどれくらいの面積の田んぼが必要でしょう？

クイズ3

- 日本でイネを1ha栽培すると、いくら収入がえられるでしょう？

(東大生の正答率 1%)

水田を作ってどれくらいの 収入があるのか。

表 水田作経営の農業経営収支（1経営体当たり）

単位 { 金額：千円
増減率：%

区 分	全 国			都 府 県			北 海 道					
	平成21年	20	対前年 増減率	平成21年	20	対前年 増減率	平成21年	20	対前年 増減率			
農 業 粗 収 益	2 094	2 131	△ 1.7	1 922	1 944	△ 1.1	11 695	12 575	△ 7.0			
うち作物収入	1 699	1 781	△ 4.6	1 591	1 643	△ 3.2	7 593	9 542	△ 20.4			
うち稲作	1 357	1 418	△ 4.3	1 279	1 320	△ 3.1	5 696	7 008	△ 18.7			
麦類	31	33	△ 6.1	24	24	0.0	361	513	△ 29.6			
豆類	28	34	△ 17.6	23	25	△ 8.0	359	543	△ 33.9			
農 業 経 営 費	1 748	1 738	0.6	1 632	1 618	0.9	8 291	8 712	△ 4.8			
うち肥料	177	150	18.0	161	139	15.8	1 117	851	31.3			
光熱動力費	85	102	△ 16.7	79	94	△ 16.0	389	540	△ 28.0			
農 業 所 得	346	393	△ 12.0	290	326	△ 11.0	3 404	3 863	△ 11.9			
経営概況	水田作作付延べ面積 (a)			142.5	137.8	3.4	130.1	125.3	3.8	847.7	851.7	△ 0.5
	自営農業労働時間(時間)			836	852	△ 1.9	810	820	△ 1.2	2 460	2 498	△ 1.5

注：平成21年の集計経営体数は1,624経営体である。

植物は泥に育つ

デンプン、タンパク質等、

選択的な吸収と地上部への輸送

必須無機元素



植物の生育に必須な元素は17種類。

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	L	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	A	104 Unq	105 Unp	106 Unh	107 Uns	108 Uno	109 Une	110 Uun									

L	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
A	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

ホウ素とは？

生活でのホウ素の利用

- ガラス(ホウケイ酸ガラス)
- ゴキブリ駆除のホウ酸だんご、目薬
- ガン中性子捕捉療法
- 原子力発電の制御棒 など

生物にとってのホウ素

- 生物にとって必須であり、高濃度では有毒
- ヒトはホウ素を主に植物由来食品から摂取
- WHOの大人のホウ素の摂取基準1~13mg/日
- 日本の環境基準(健康項目) 1mg/L

ホウ素は植物の生育に必須

(島根県でのホウレン草のホウ素欠乏症の例)



写真55 葉身の奇形（萎縮）

ホウ素欠乏症状の発生は80カ国、132種の作物で報告。
日本でもホウ素を含む肥料が用いられている。

過剰のホウ素は植物に有害

(トマトのホウ素過剰症の例)



(Watanabe, 1985)

ホウ素が少なすぎても多すぎてもうまく生育できない。

Arabidopsis thaliana
bor1-1 mutant

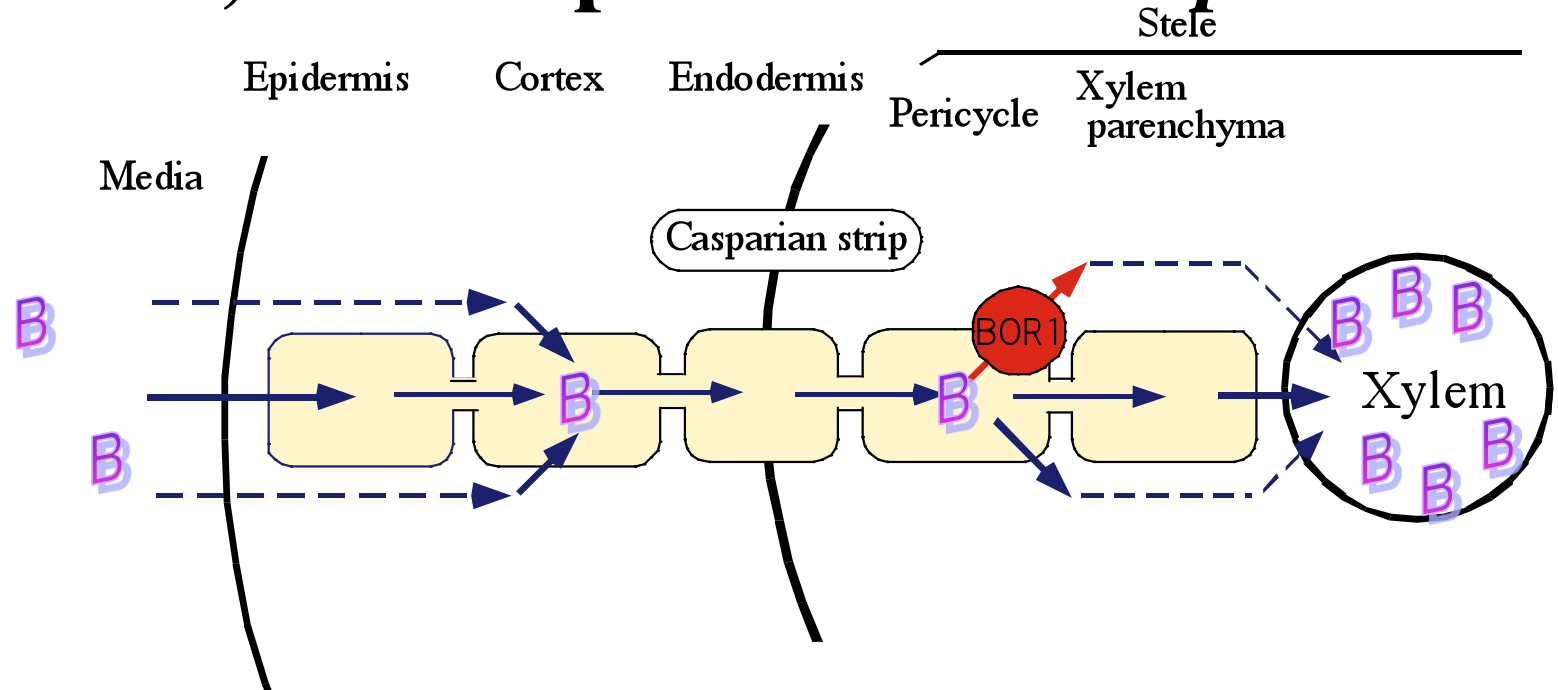
High B supply



Normal B supply



Model; B transport in *Arabidopsis* root



BOR1 は生物界で初めて同定された
ホウ素トランスポーター

(Takano et al, Nature 420, 337-340, 2002)

植物は泥に育つ

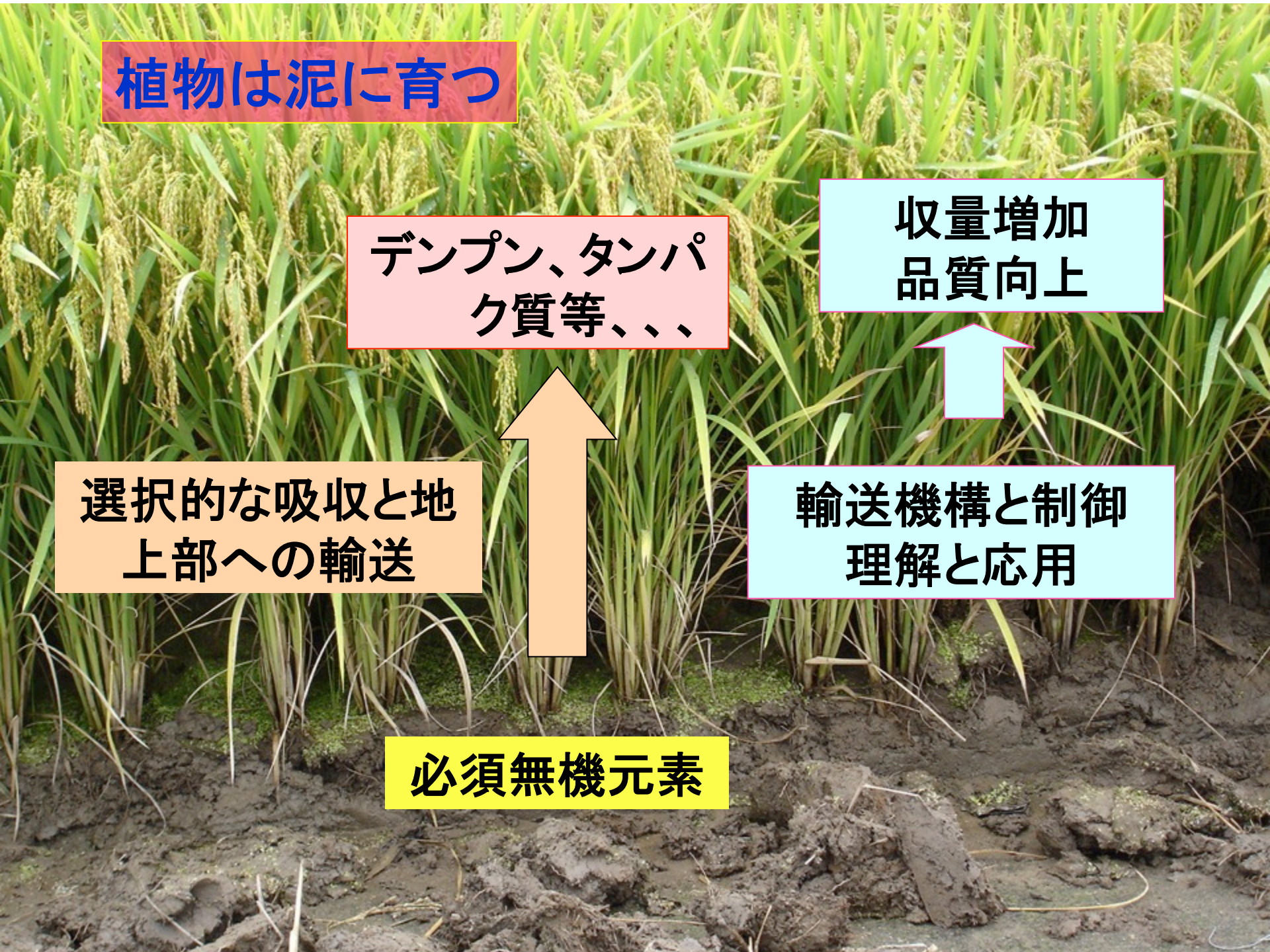
デンプン、タンパク質等、、、

収量増加
品質向上

選択的な吸収と地上部への輸送

輸送機構と制御
理解と応用

必須無機元素



BOR1を
過剰発現する植物は

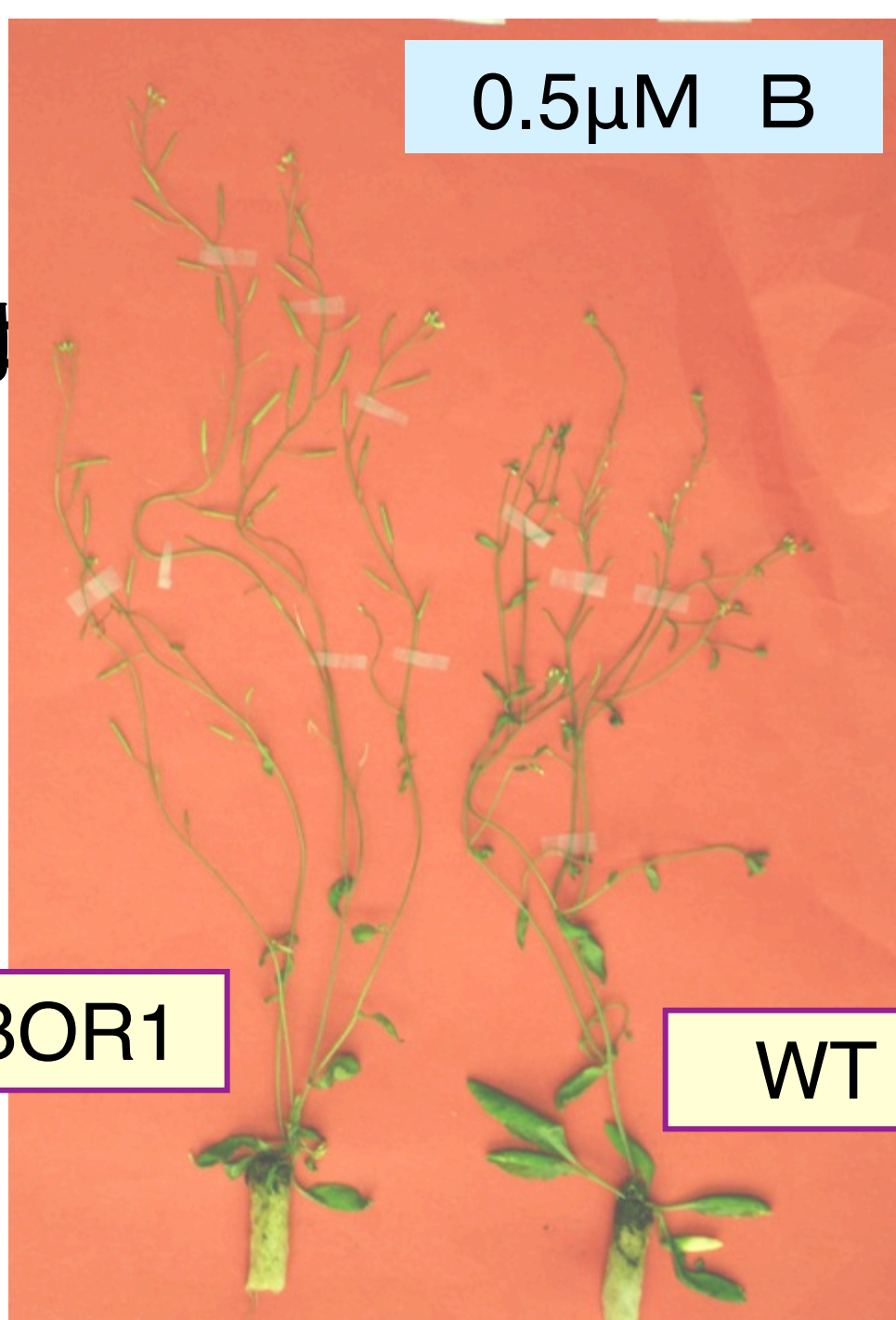
ホウ素**欠乏**耐性

になります。

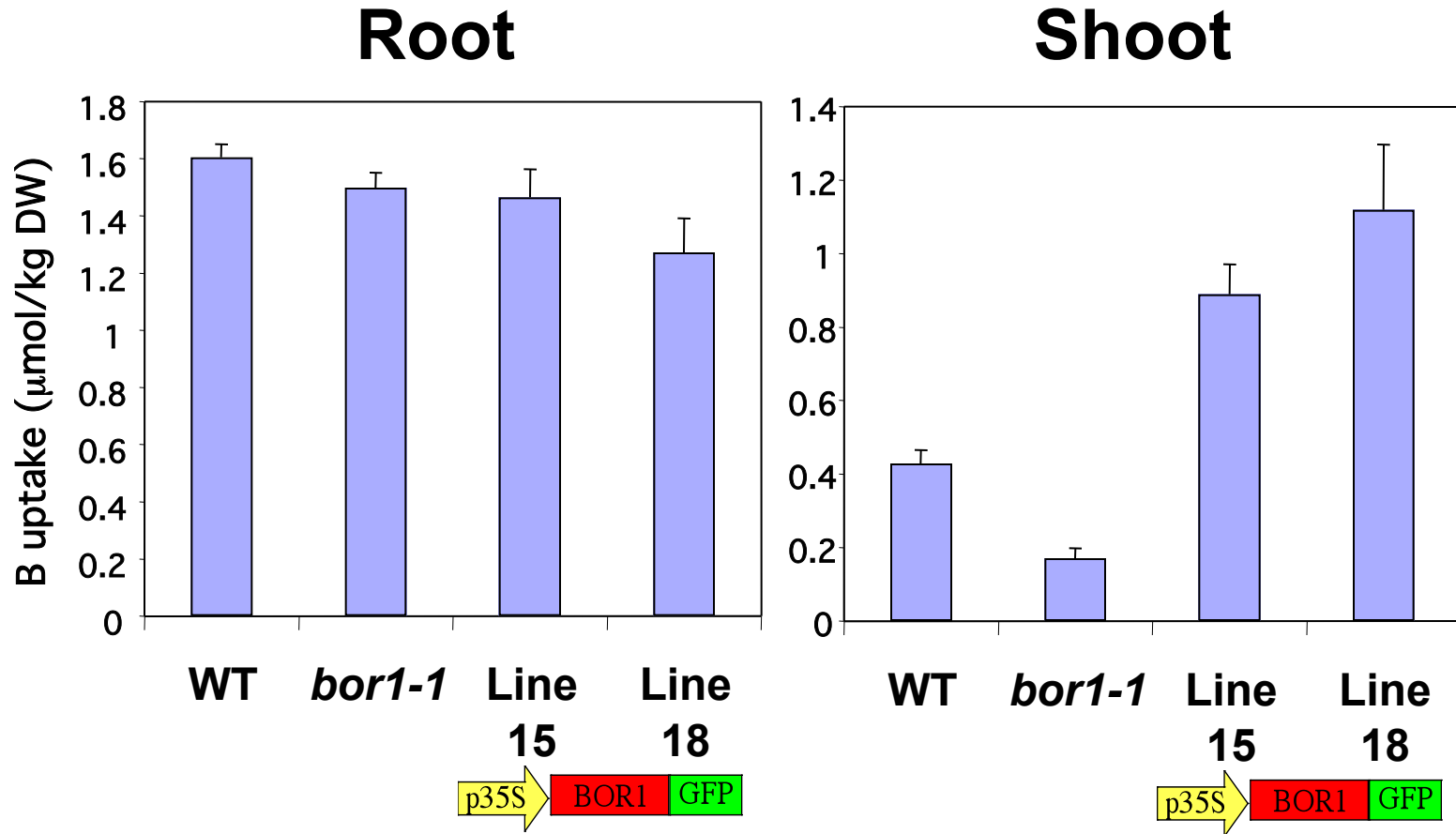
35S-BOR1

WT

(Miwa et al. Plant J. 2006)

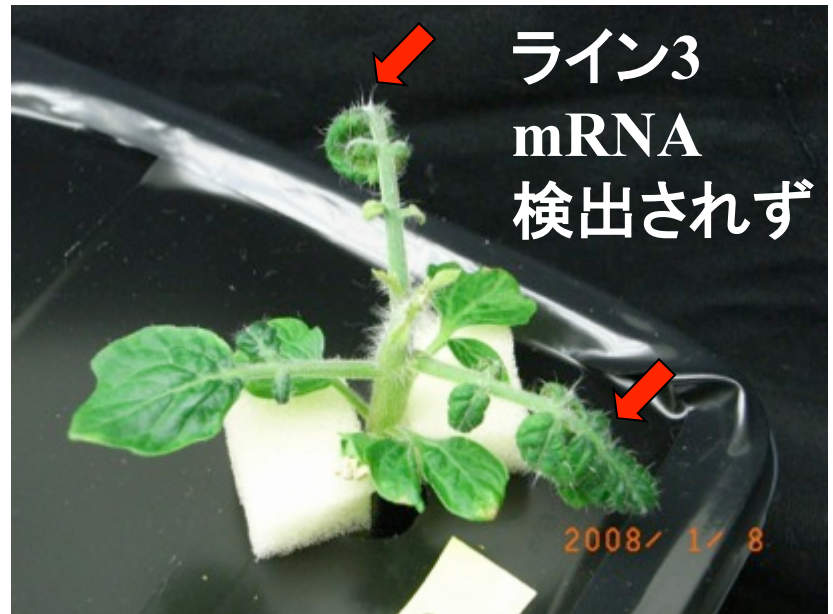


BOR1過剰発現体では、
ホウ素の根へのとりこみは変化していないが、
地上部への輸送が高まっている。



Tracer B accumulation during 2 hours

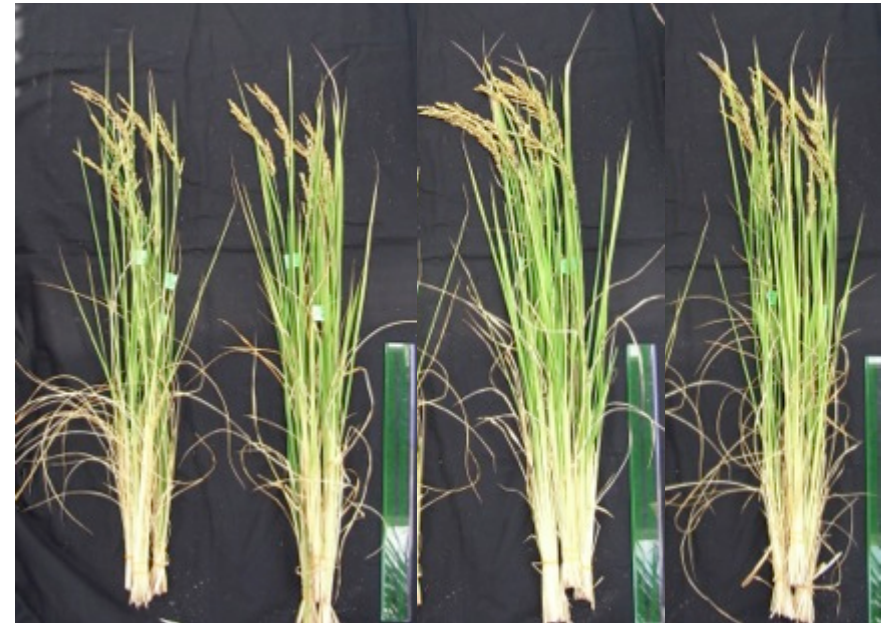
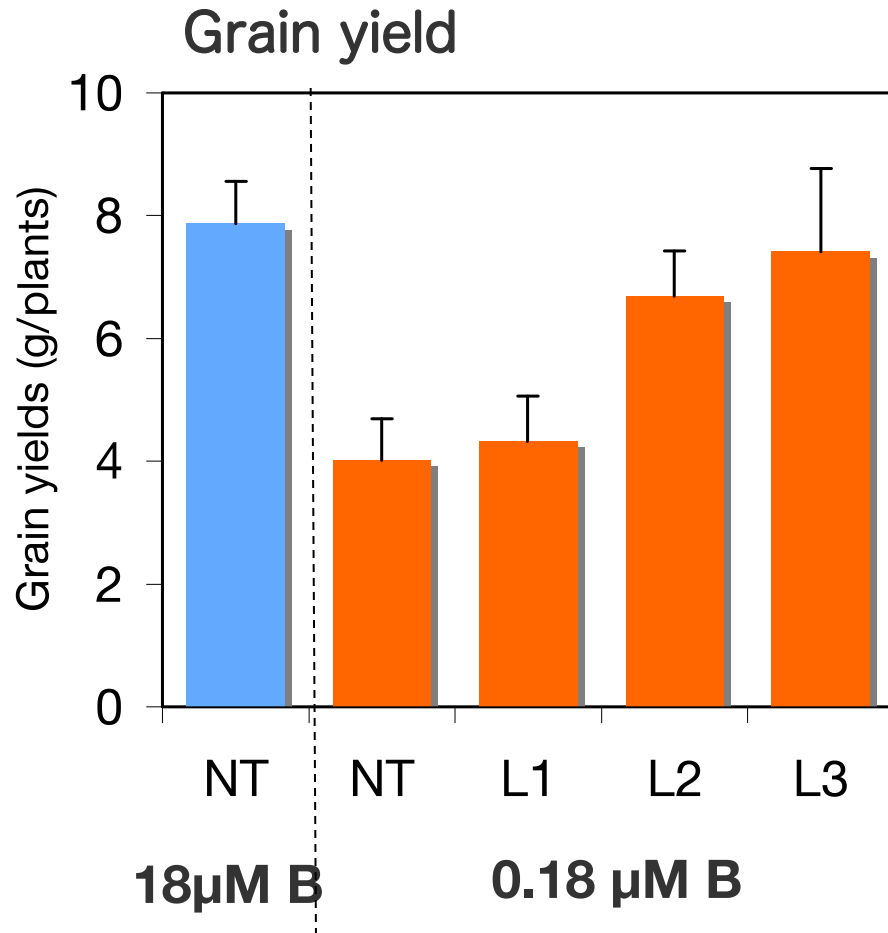
トマトでもうまうまいきました。



ホウ素欠乏条件(0.1 μ M)の水耕液で15日間栽培

(Kato Y.)

イネでもうまくいきます。



NT L1 L2 L3

0.18 µM B

(Uraguchi et al, unpublished)

+B

-B

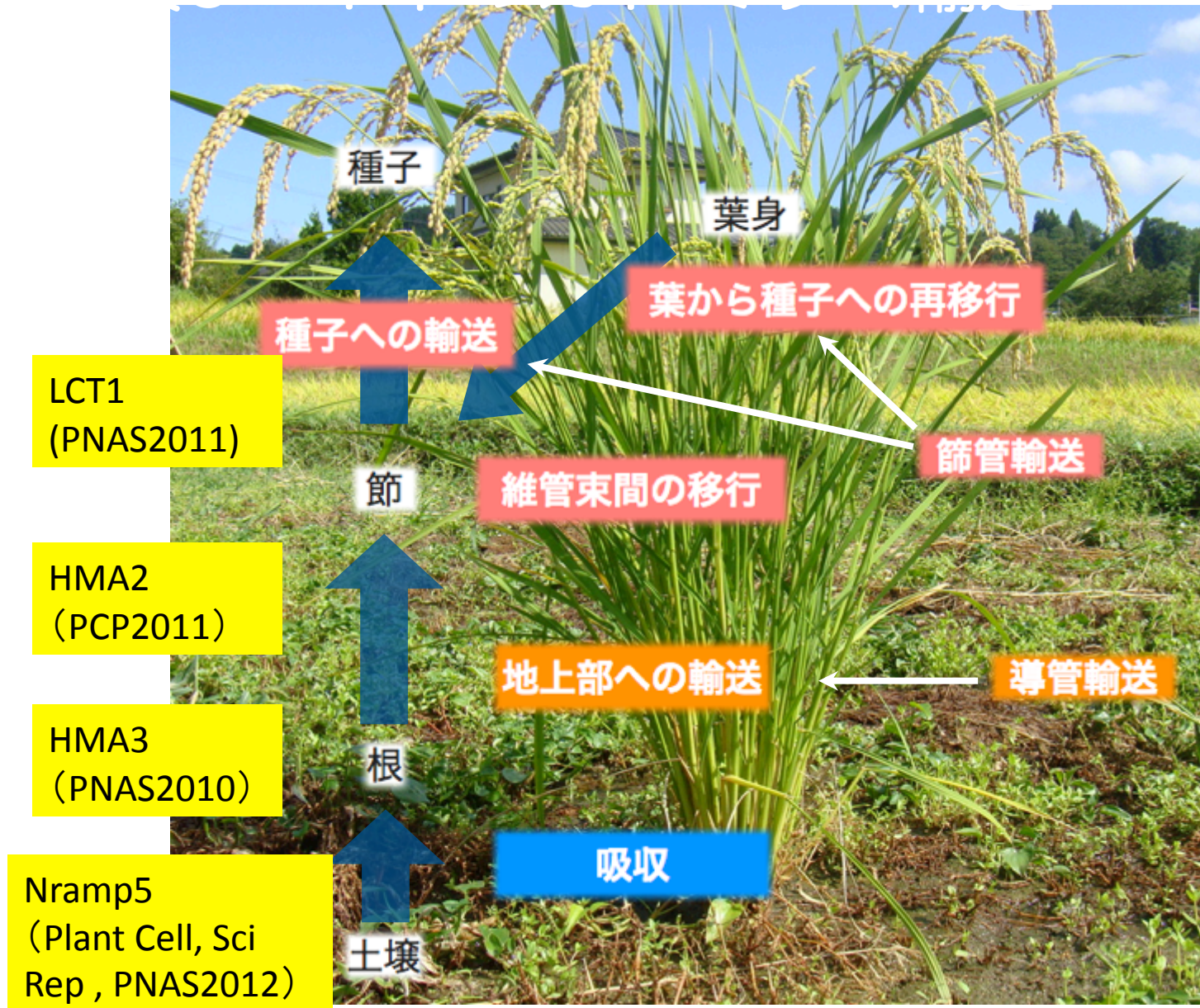
Pakistan near Lahore Oct 8, 2009

植物の生育に必須な元素は17種類。

1 H																	2 He						
3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne					
11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba	L	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra	A	104 Unq	105 Unp	106 Unh	107 Uns	108 Uno	109 Une	110 Uun														

L	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
A	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

カドミウムの輸送プロセス



イネにおけるカドミウム輸送とLCT1の発見

カドミウムの種子への輸送の3段階

種子のカドミウム

3) 茎葉から種子への移行

LCT1

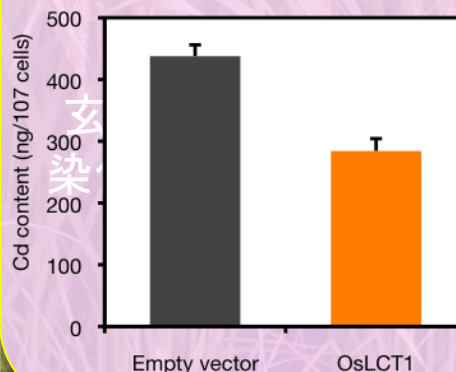
2) 茎葉への移行

1) 根による吸収

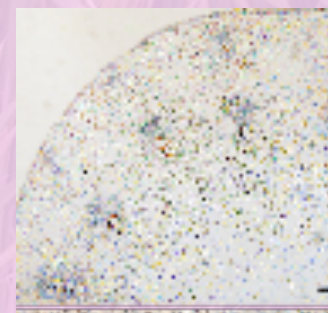
土壌のカドミウム

茎葉から種子へのCd輸送を担う遺伝子 (*LCT1*) を発見

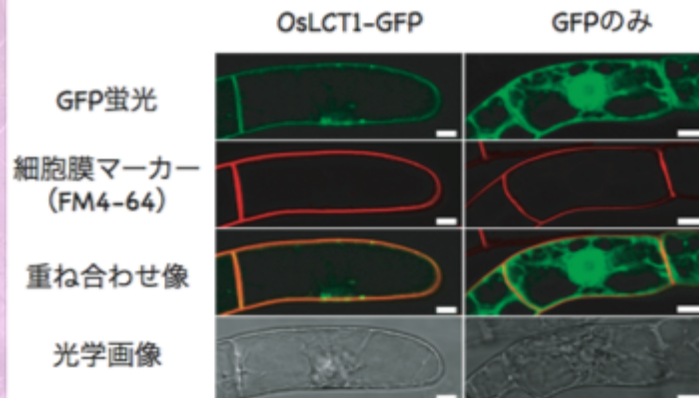
LCT1のCd輸送活性



LCT1は節の維管束で発現



LCT1は細胞膜にある。



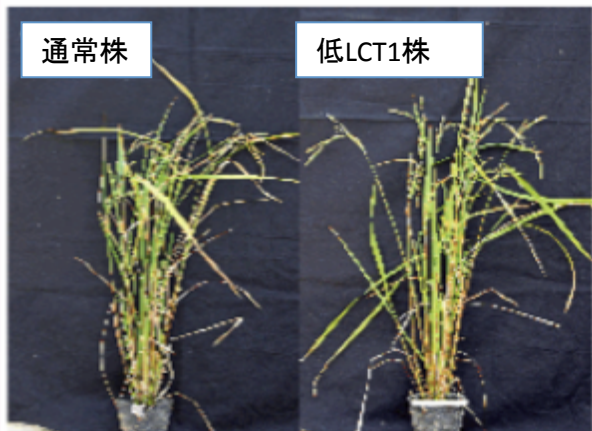
LCT1抑制によるカドミウム低減技術の開発

LCT1の発現抑制によって
種子Cdの低減を実現。

低LCT1イネをRNAiで作出

通常株

低LCT1株



成果はPNASに
発表され、新聞や
NHK, ネットで
配信された

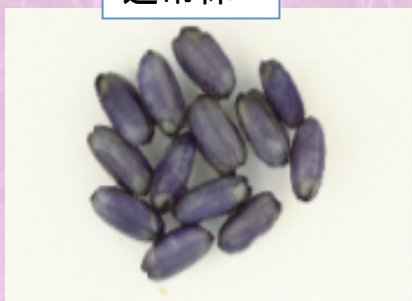
2011年12月13日
日本農業新聞



低LCT1イネでは
玄米のCdが減少

通常株

低LCT1株



2011年12月13日
NHKおはよう日本

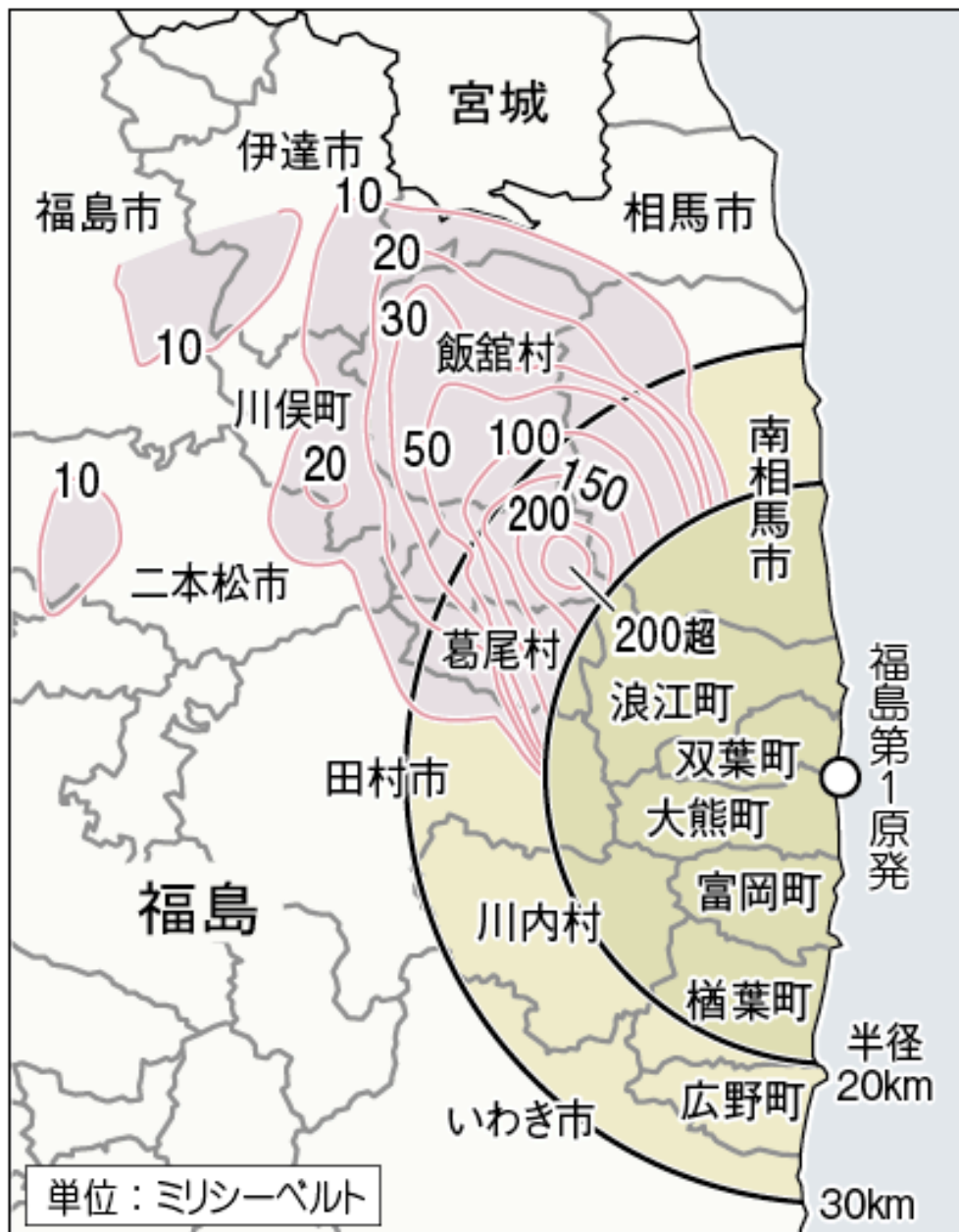
コメのカドミウム
吸収抑える遺伝子発見



2011年3月11日

放射線量(推定値)の分布図

(3月12日から1年間の積算)



植物の生育に必須な元素は17種類。

1 H																	2 He						
3 Li	4 Be												5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne					
11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba	L	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra	A	104 Unq	105 Unp	106 Unh	107 Uns	108 Uno	109 Une	110 Uun														

L	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
A	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

セシウムのトランスポーター

- 私は研究していません…以下の記述は「日本土壌肥料学会」によるものです。

ホーム

入退会案内

お知らせ

賛助会員

リンク

ホーム > お知らせ > 事務局より > 情報：放射性核種（セシウム）の土壌－作物（特に水稻）系での動きに関する基礎的知見

学会について

- 会長挨拶
- 学会概要
- 部門紹介
- 部会紹介
- 学会活動紹介
- 学会の歴史

お知らせ

- 事務局より
- 募集
- 年次大会のお知らせ
- 支部大会のお知らせ

学会誌・刊行物

- 日本土壌肥料学雑誌
- Soil Science and Plant Nutrition
- 日本土壌肥料学会年次大会講演要旨集
- 新刊図書のご案内
- 学会シンポジウム／学会監修シリーズ

事務局より

情報：放射性核種（セシウム）の土壌－作物（特に水稻）系での動きに関する基礎的知見



社団法人日本土壌肥料学会
土壌・農作物等への原発事故影響WG

1. はじめに

農地に降下した放射性核種の土壌－作物系での基本的な挙動を理解することは、原発事故の影響を理性的に判断する科学的な手だてになるだけでなく、生産者や行政機関にとっては土壌から作物に吸収移行する放射性物質を減らす等の対策の立案にも寄与すると考えられる。そこで、内外の土壌肥料分野で得られた知見を要約して紹介する。また、今般の福島第一原発事故で放出された放射性核種（セシウム、ヨウ素）のうち、半減期の長いセシウムについては、特に長期的対策が必要と思われるので、セシウムを中心に記載する。なお、作付けに関する具体的対策の立案については、個別の農地や河川の汚染状況、農地の土壌特性等を勘案して判断されるべきものであり、ここでは先ず判断の一助となるような基礎的知見についての情報提供を行うものである。

2. セシウム（Cs）の元素としての性質

Csの安定同位体は質量数133のCs-133であるが、核実験や原子炉における核分裂で生成される放射性同位体は主に質量数137のCs-137である。Cs-137の半減期は30.2年である。放射性ヨウ素（I-131）が半減期約8日であるのと比べると長期的に放射能の影響が残る。元素周期律表では、ナトリウム(Na)やカリウム(K)と同じアルカリ金属に分類され、元素としての挙動に類似性があり、この点がCsの環境中での挙動を理解する上で重要である。

3. 土壌に降下したセシウムの挙動

原子炉からCsが環境中に放出された場合、イオン態として雨に溶けた状態で土壌に降下する割合が大きいと考えられる。Csは土壌に降下するとKと同様に1価の陽イオンとしてふるまう。土壌は負の電荷を帯びてい

塚田さんの論文の紹介

イネのセシウムとカリウムの挙動を比較したもの



ELSEVIER

Environmental Pollution 117 (2002) 403–409

ENVIRONMENTAL
POLLUTION

www.elsevier.com/locate/envpol

Rice uptake and distributions of radioactive ^{137}Cs , stable ^{133}Cs and K from soil

H. Tsukada^{a,*}, H. Hasegawa^a, S. Hisamatsu^a, S. Yamasaki^b

^aDepartment of Radioecology, Institute for Environmental Sciences, 1-7 Ienomae, Obuchi, Rokkasho-mura, Kamikita-gun, Aomori 039-3212, Japan

^bGraduate School of Agricultural Science, Tohoku University, 1-1 Amamiya-cho, Tsutsumi-dori, Aoba-ku, Sendai 981-8555, Japan

Received 6 September 2000; accepted 13 July 2001

“Capsule”: Uptake and distribution of ^{137}Cs in polished rice and rice bran was similar to that of ^{133}Cs , but different than uptake by K.

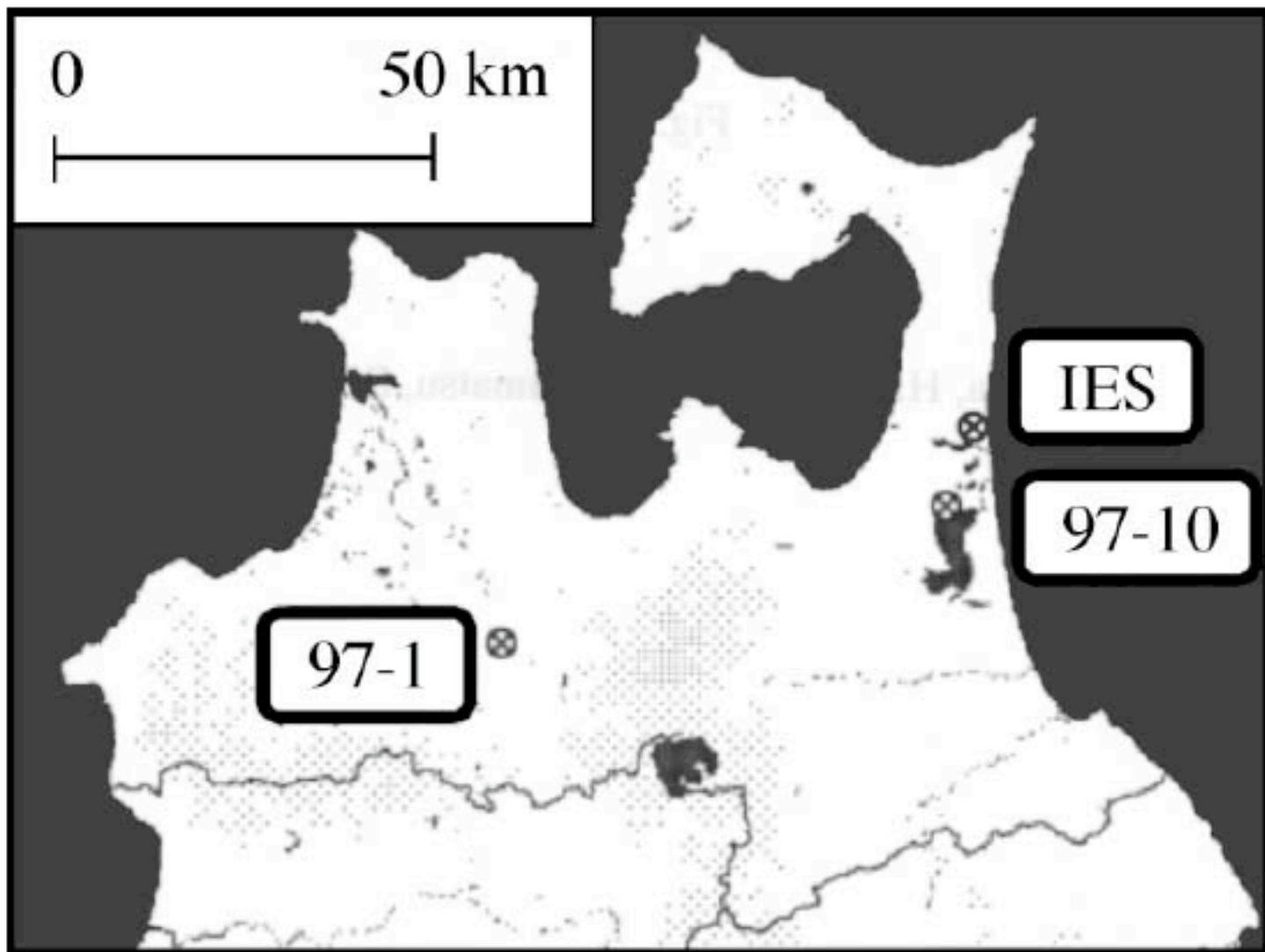


Fig. 1. Sampling sites for rice plant samples. IES, Experimental field ($40^{\circ}57'46''$ N, $141^{\circ}21'54''$ E); 97-1, Kuroishi ($40^{\circ}38'42''$ N, $140^{\circ}35'04''$ E); 97-10, Rokkasho ($40^{\circ}50'50''$ N, $141^{\circ}19'15''$ E).

Table 1

Concentrations of ^{137}Cs , ^{133}Cs and K in the surface paddy soil

Sampling site ^a	^{137}Cs (Bq kg ⁻¹)	^{133}Cs (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
IES	4.4 ± 0.4 ^b	3.4	7900
97-1	14 ± 0.8	2.4	5900
97-10	2.5 ± 0.2	2.6	6800

^a IES, Experimental field; 97-1, Kuroishi; 97-10, Rokkasho.

^b The errors indicate one standard deviation of counting statistics.

日本の土壌には“もともと”
放射性セシウムがあった。

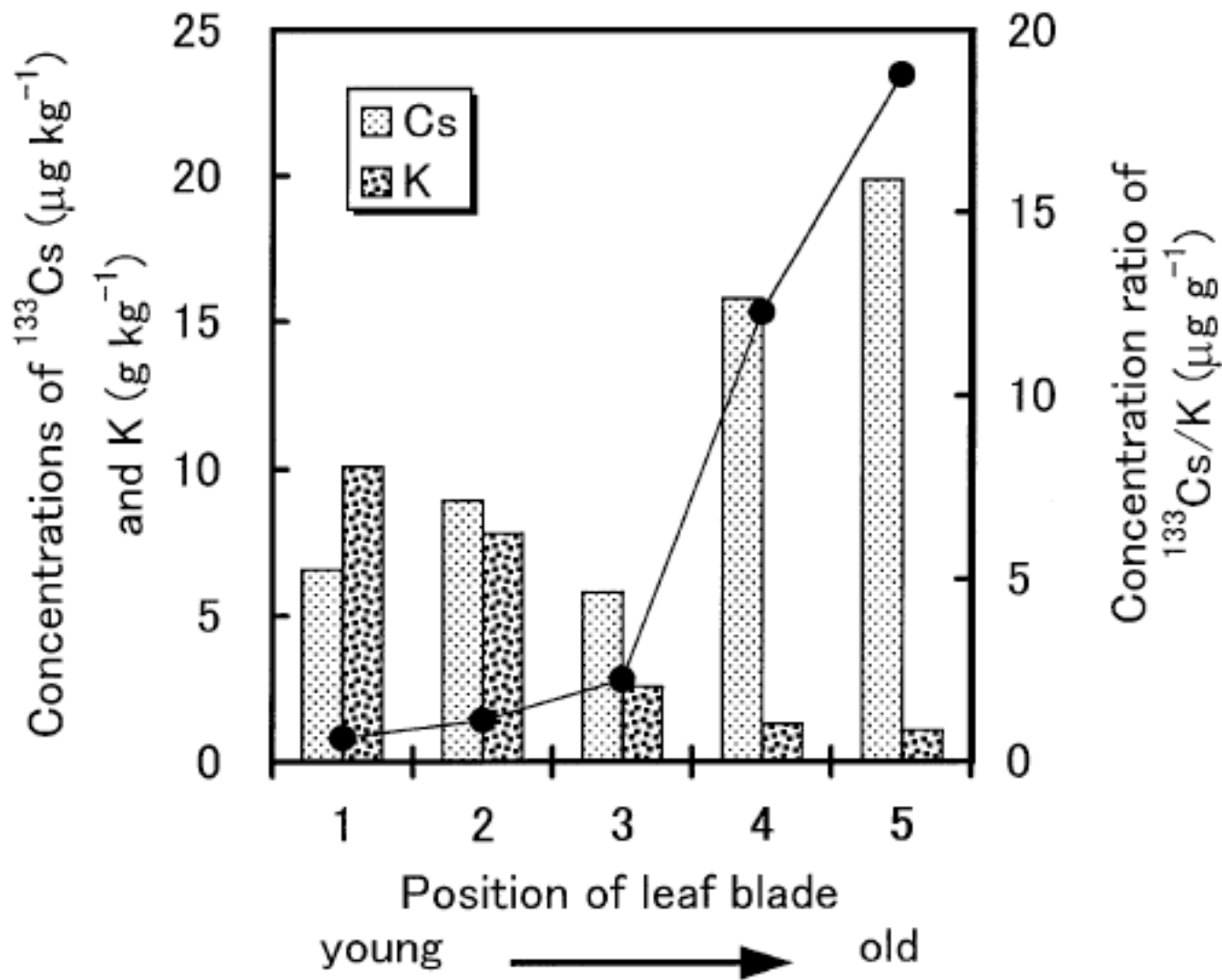
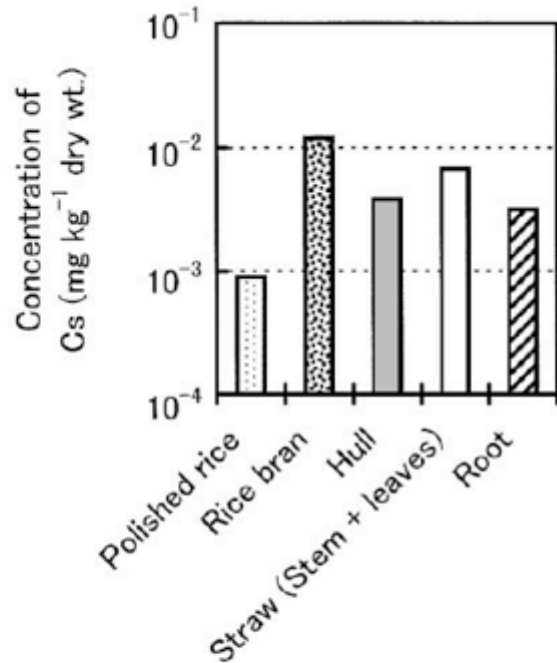


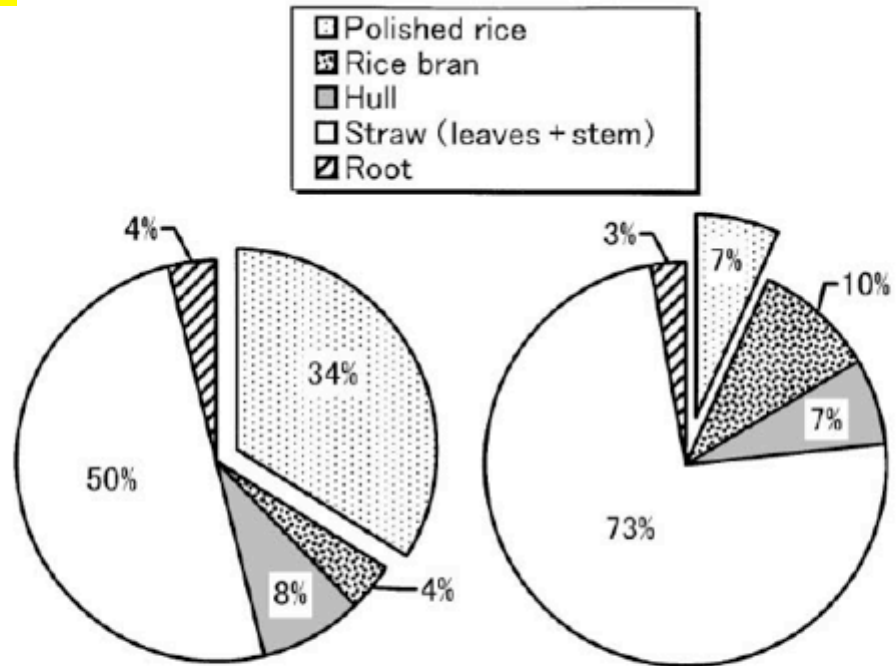
Fig. 4. Concentrations of ^{133}Cs (solid circles) in different leaf blades and ^{133}Cs and K contents in the same leaf blades. The concentration ratio of $^{133}\text{Cs}/\text{K}$ is corrected for $^{133}\text{Cs}/\text{Al}$ and K/Al .

植物体内でのセシウムとカリウムの挙動は違う。

白米はセシウム濃度が低い



(a) Concentration of ¹³³Cs in five different rice plant components



(b) Percentage dry weight distribution for each rice plant component

(c) Percentage distribution of ¹³³Cs for each rice plant component

Fig. 5. Concentration of ¹³³Cs, and percentage distribution of ¹³³Cs in rice plant components collected from an experimental field at harvest time. The subtracted ¹³³Cs content

イネの半分は
わら、1/3が白米

in rice plant components collected from an experimental field at harvest time. The subtracted ¹³³Cs content in rice plant components collected from an experimental field at harvest time. The subtracted ¹³³Cs content

Table 1 Concentrations of ^{90}Sr and ^{137}Cs in soil and rice plant components

Sample	^{90}Sr		^{137}Cs	
	Bq kg ⁻¹		Bq kg ⁻¹	
Soil	5.6 ^a	± 0.05 ^b	4.4	± 0.4
Rice plant component				
Polished rice	0.012	± 0.0004	0.0048	± 0.0011
Rice bran	0.35	± 0.005	0.041	± 0.013
Hull	0.28	± 0.006	0.021	± 0.002
Straw	1.2	± 0.01	0.022	± 0.009
Root	0.99 ^c	± 0.02	0.010 ^c	± 0.003

^a Extraction with 12M HCl after dry-ashing at 450°C.

^b One sigma counting error.

^c Estimated value.

イネの移行係数は低い。

Table 2 Transfer factors and removal percentages of ^{90}Sr and ^{137}Cs for rice plant components

Sample	Transfer factor		Removal percentage ^a	
	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs
			%	
Rice plant component				
Polished rice	0.0021	0.0011	0.00059	0.00031
Rice bran	0.062	0.0094	0.0019	0.00029
Hull	0.051	0.0049	0.0035	0.00033
Straw	0.21	0.0050	0.088	0.0021
Aboveground part	0.12	0.0038	0.094	0.0030

^a The percentage of ^{90}Sr and ^{137}Cs removed from the upper soil layer to the plants.

私たちがこれまで食べていた米にもセシウムやストロンチウムは含まれていた。

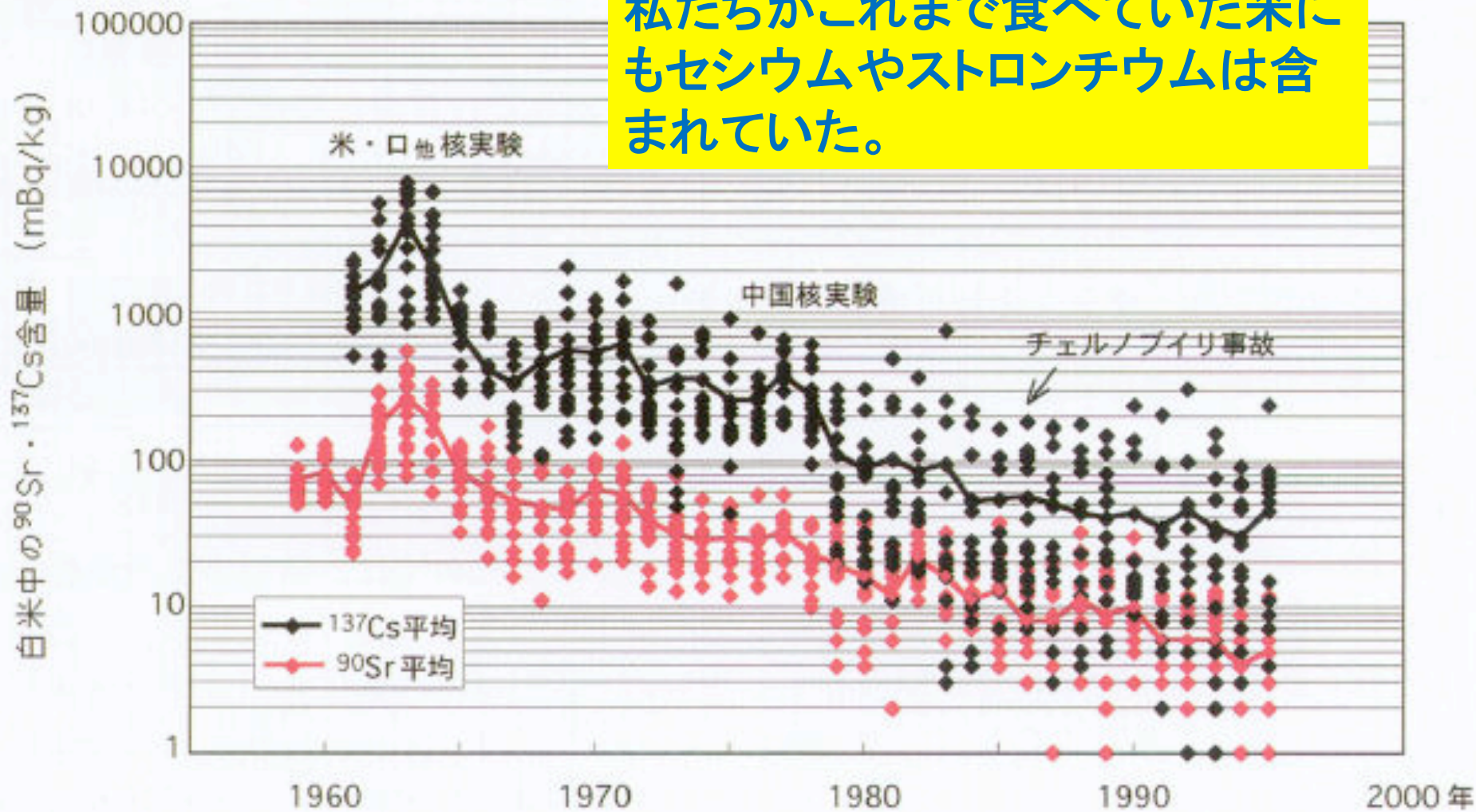
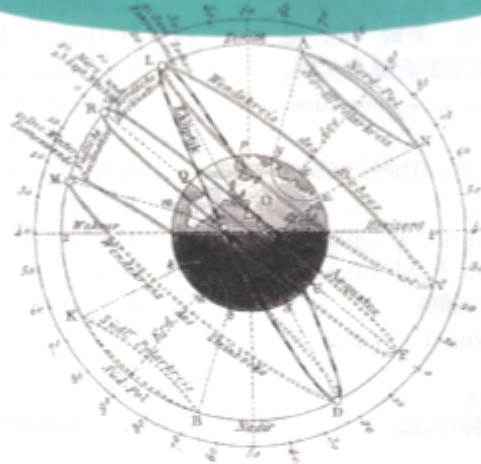


図1 わが国の白米中 ^{90}Sr と ^{137}Cs 含量の経年推移

セシウムとトランスポーター

- カリウムと共通？
- 遺伝的に支配されている。
- カリウムとセシウムの植物体での挙動は違う。
- 日本人は ^{137}Cs のある程度含まれる米をこれまで食べていた。

【解説】



土壤-作物系における放射性セシウム および放射性ストロンチウムの動態

塚田祥文*¹, 山口紀子*², 高橋知之*³

(化学と生物 2011年12月号)

二つの吸収経路

葉面吸収



経根吸収



植物根

土壤粒子

土壤水

○ 放射性核種

137Csの垂直分布 フォールアウト

137Csは比較的浅い。

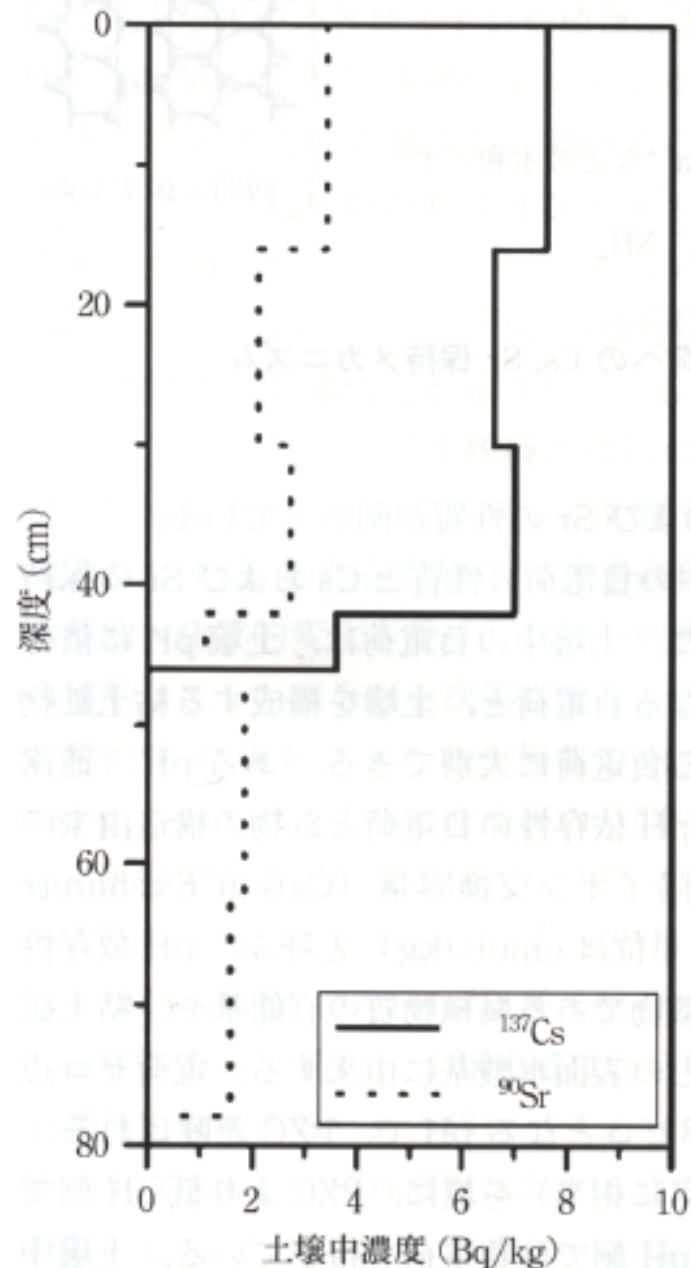


図2 ■ 畑土壌における ^{137}Cs および ^{90}Sr の鉛直分布
黒ボク土, 1998年2月採取

福島での測定例（東京大学 塩沢らによる）

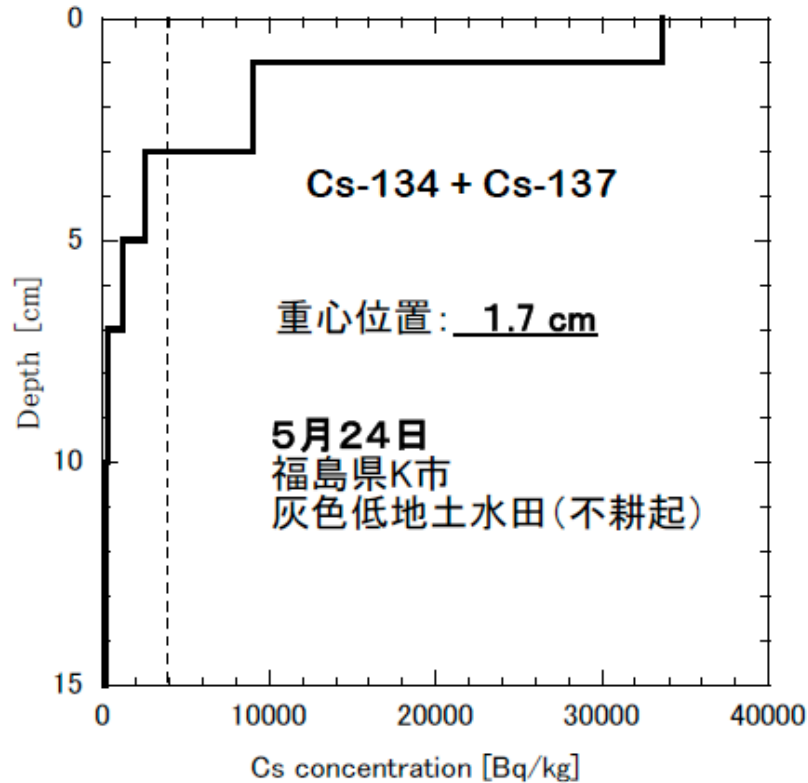


図 1 a 水田土壤の放射性 Cs の鉛直分布例 1

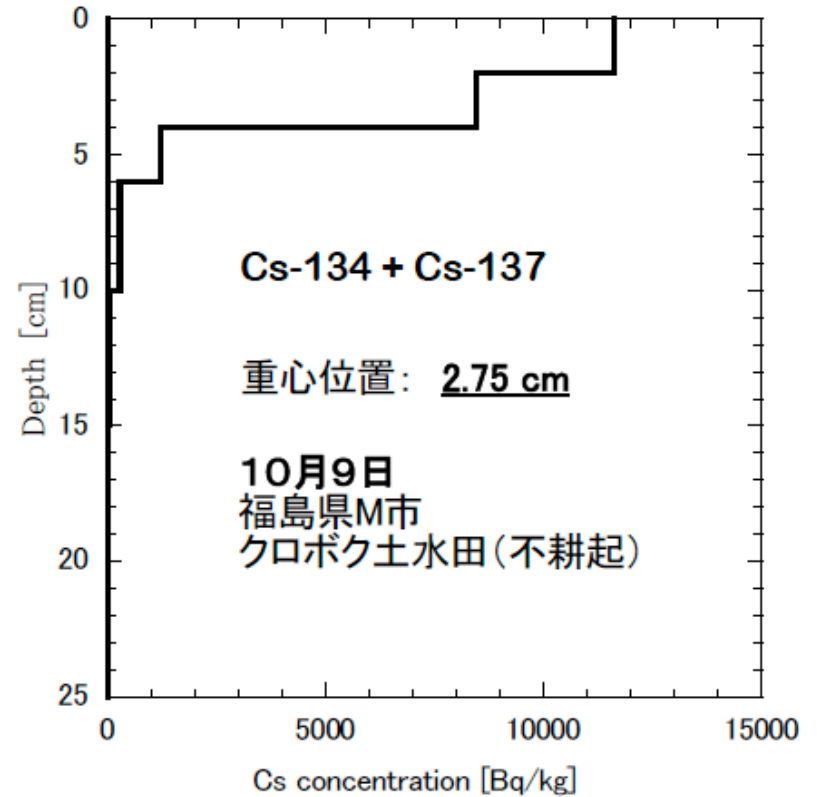


図 1-b 水田土壤の放射性 Cs の鉛直分布例 2

137Csは浅い。表土1cmにほとんどある。

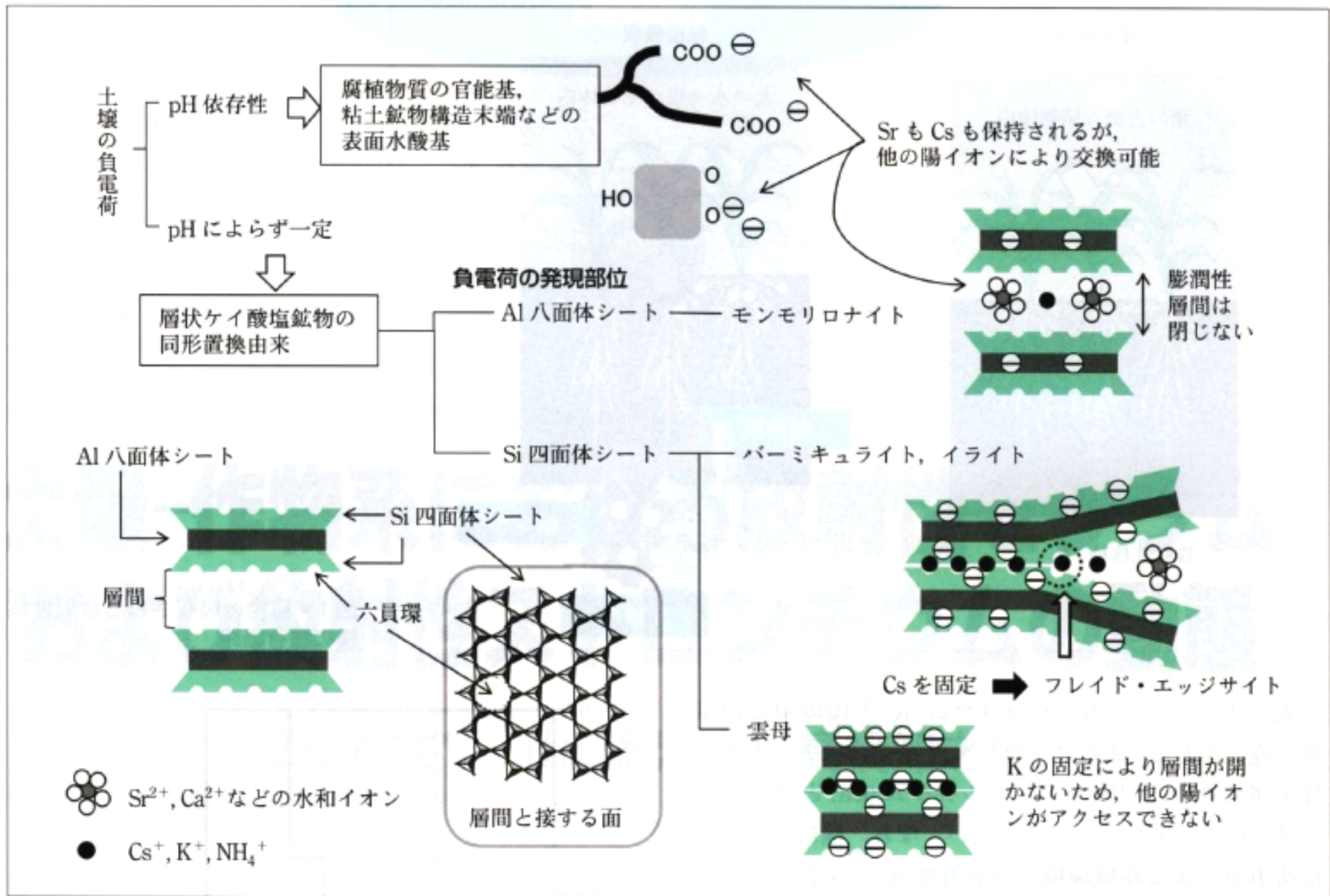


図 3 ■ 土壌の負電荷への Cs, Sr 保持メカニズム

表 1 ■ 日本における土壌からイネ（乾物）へのフォールアウト
 ^{137}Cs および ^{90}Sr の移行係数

放射性核種	作物	幾何平均値	±95% 信頼区間	文献
^{137}Cs	白米	0.0016	0.00021 ~ 0.012	14
	白米*	0.0018	0.00017 ~ 0.016	15
	玄米	0.0033		16
	玄米*	0.0047	0.00057 ~ 0.033	15
^{90}Sr	白米	0.0048	0.0021 ~ 0.0094**	17
	白米*	0.0043	0.00097 ~ 0.019	15
	玄米*	0.026	0.0049 ~ 0.15	15

*1990～2000年の測定データを用いて計算，水分12%と仮定して乾物重量に補正，**最小値と最大値

^{137}Cs

^{90}Sr

モミガラ：0.0049

モミガラ：0.051

白米：0.0011

白米：0.0021

ヌカ：0.0094

ヌカ：0.062

玄米：0.0019

玄米：0.0081

ワラ：0.0050

ワラ：0.21

根：0.0023

根：0.18

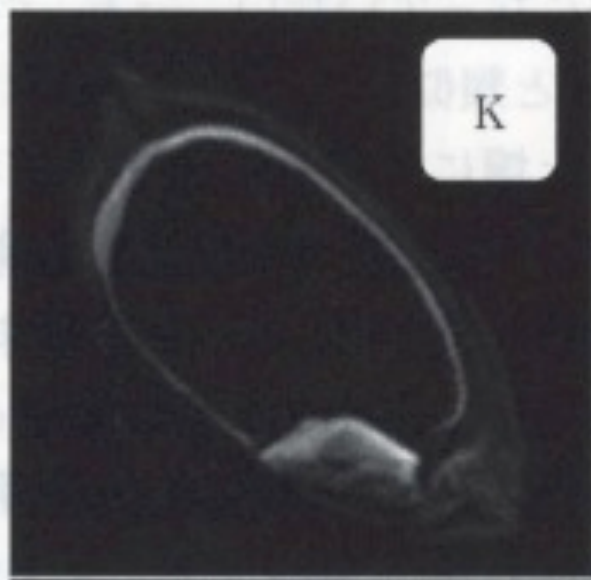
図5 ■ 土壌中濃度を1.0としたときのイネにおける部位別 ^{137}Cs および ^{90}Sr の相対濃度

X線透過図



3.2 nm

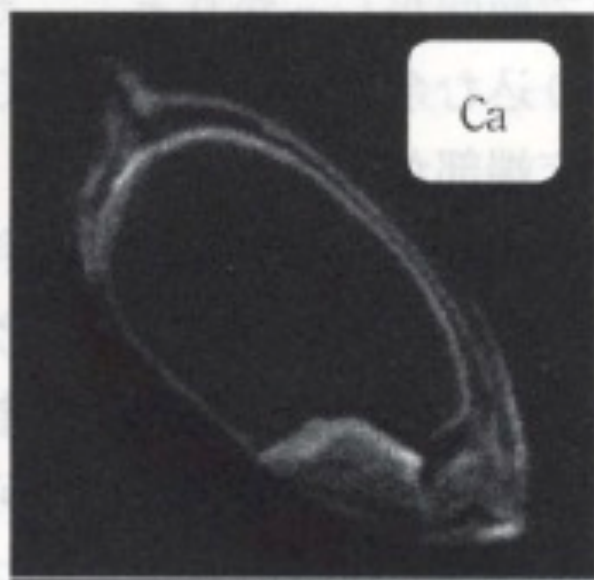
K



1.7 nm

175 cps

Ca



1.7 nm

30 cps

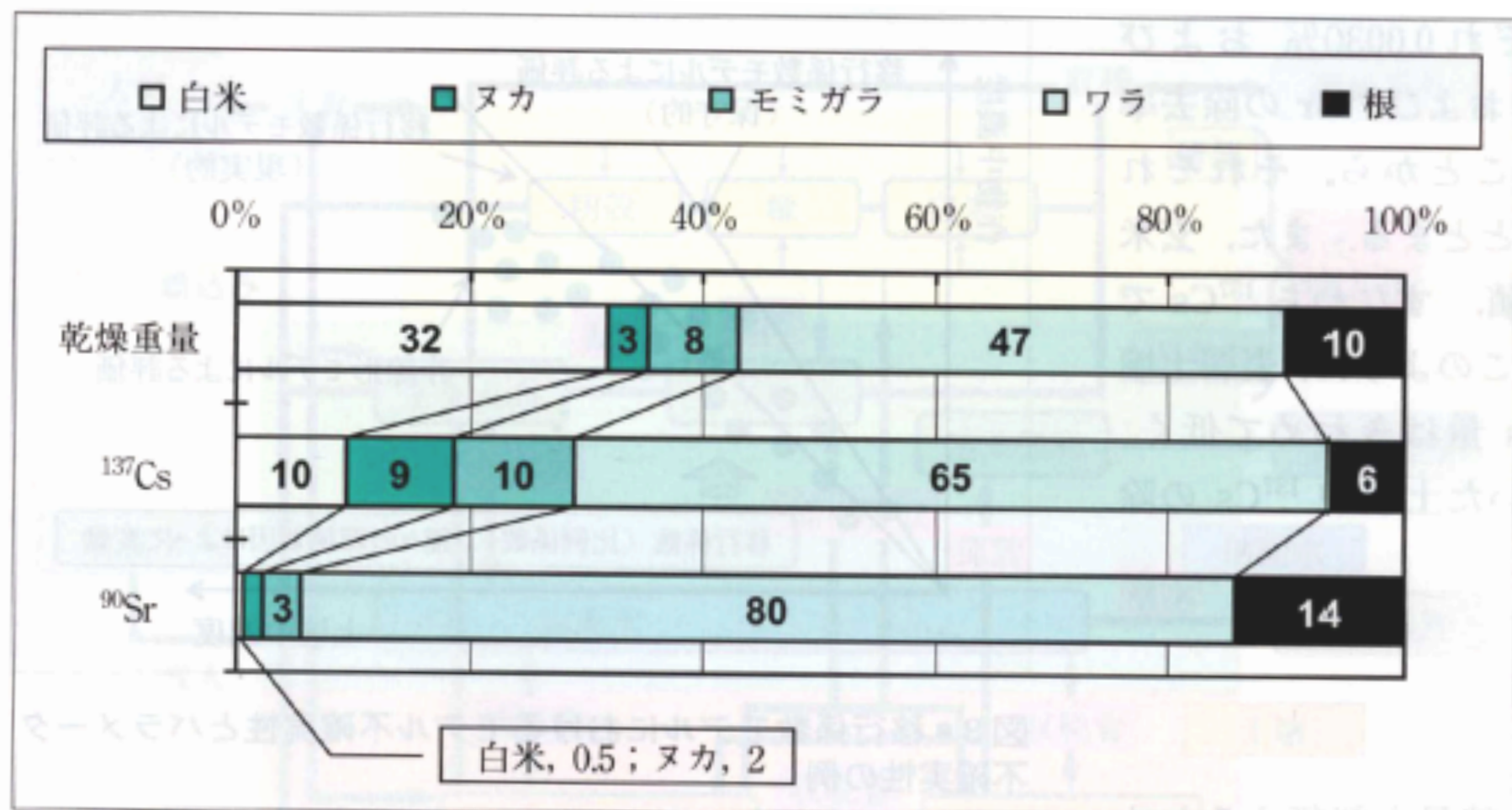


図6 ■ 収穫時におけるイネ部位別の乾物重量と¹³⁷Csおよび⁹⁰Srの存在割合

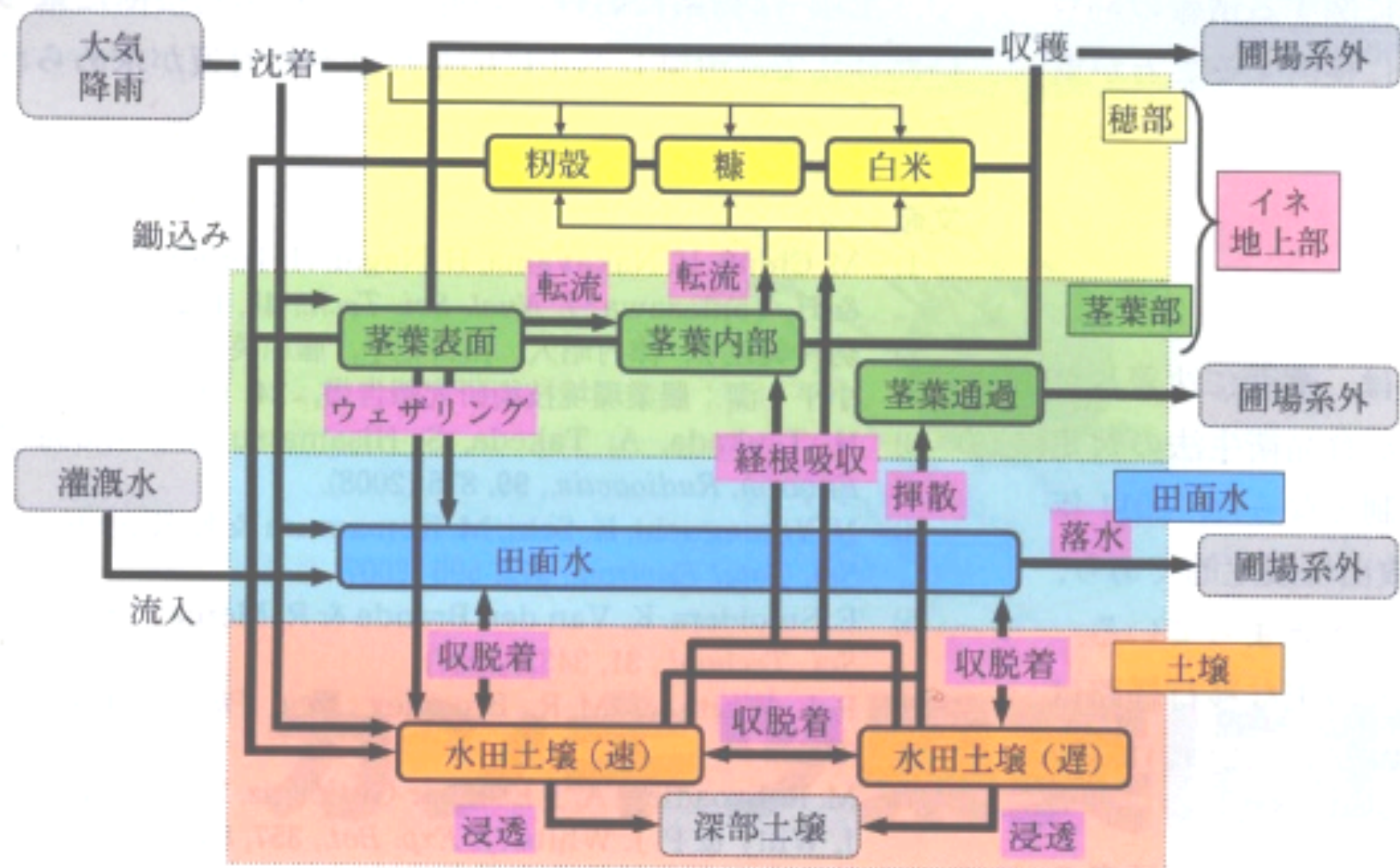


図9 ■ 放射性核種の水田圃場系内への移行に関する動的コンパートメントモデル例



川俣町自治体バス

山木屋水境

川俣町自治体バス 緑の豊ふれあい号
運行時刻表

行先	山木屋水境	川俣町	山木屋水境	川俣町	山木屋水境
6:13	○				
7:23	○				
16:30	○				
17:40	○				

※川俣町自治体バス
※山木屋水境にてバスを降りる場合は、乗車料を別途お支払いください。

浪江町営バス 時刻表
停留所名(山木屋水境)

行先	山木屋水境	浪江駅
6:00		
7:00	○	
8:00	○	
9:00		
10:00		
11:00		
12:00	○	
13:00		
14:00		
15:00		
16:00		
17:00	○	
18:00		
19:00		

※ 土、日、祝日、1月1日、1月2日は運行しない。





8月2日



10月18日



謝辞

圃場を提供していただいた農家の方々

茅野充男

神戸大学

三村 徹郎

三村 真理

筑波大学

古川 純

福島県立医科大学

小林大輔

生物研

江花 薫

農環研

石川覚

新潟大学

末吉邦

滋賀県立大学

長谷川 博

東京大学

乾(辻本)弥生

梶川昌孝

仲田 積実

笠井 光治

浦口 晋平

坂本卓也

河原 祐子

相澤 加代子

藤田 春佳

平野 朋子

李 克

佐脇 直哉

小田 紘士郎

二子石 龍一郎

津坂 宜宏

高橋 里美

反田 直之

北海道大学

高野順平

和久田真司

吉成晃

上原匡貴

高田茂樹

長野隼人

三輪京子

相原いづみ

尾島 拓也

農林水産省

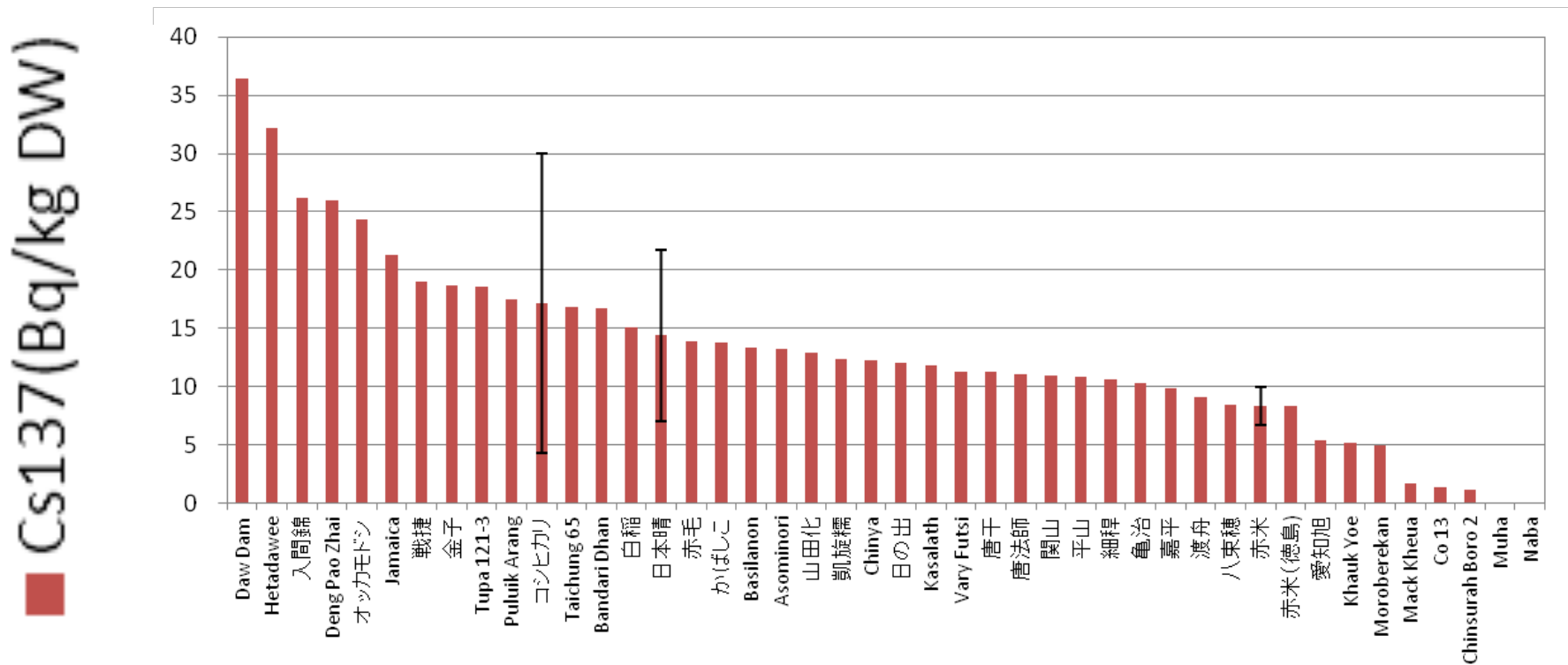
三井環境基金

栽培試験(昨年)

- 福島県内3ヶ所の水田で試験
- およそ100種類のイネを栽培
- 肥料の効果も検討

Journal of Plant Research にこれらの結果をまとめた論文が出ます。

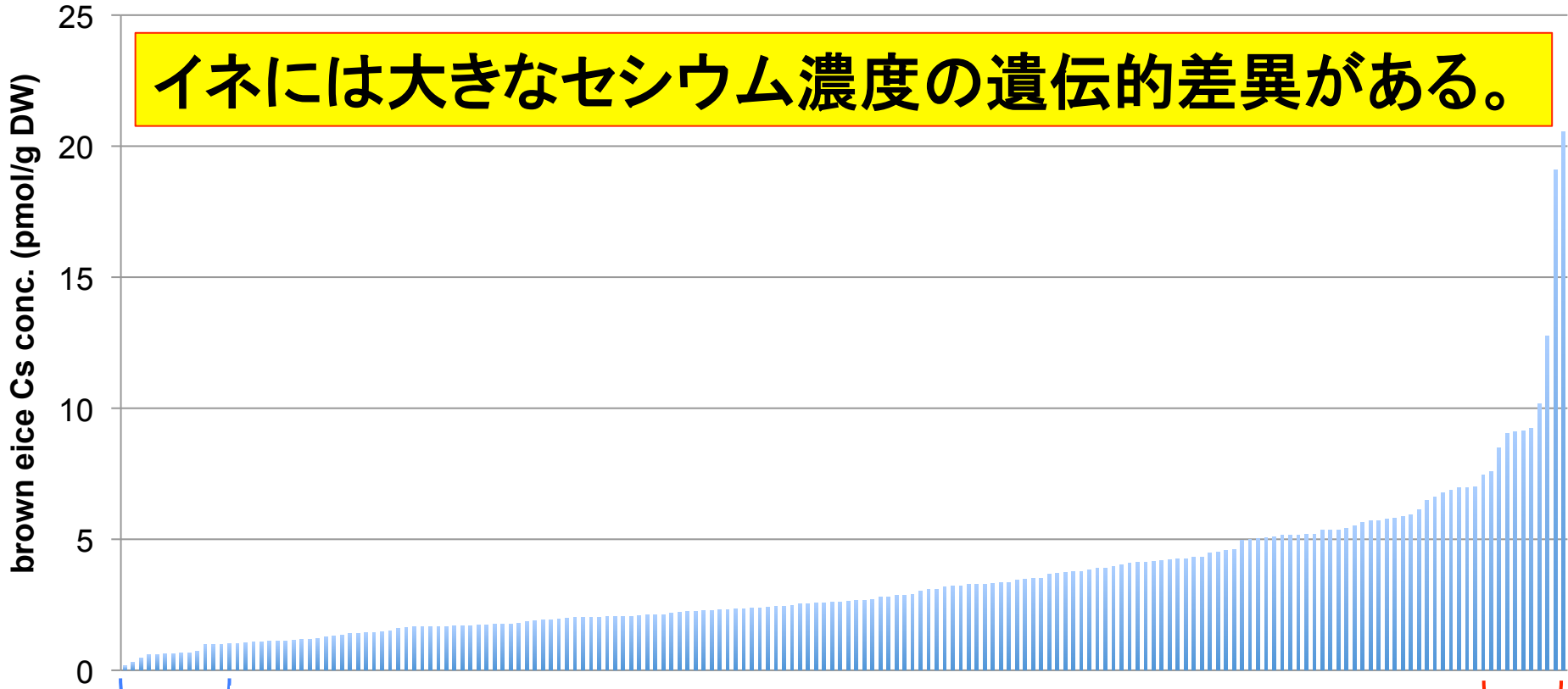
福島市圃場での玄米の¹³⁷Cs濃度



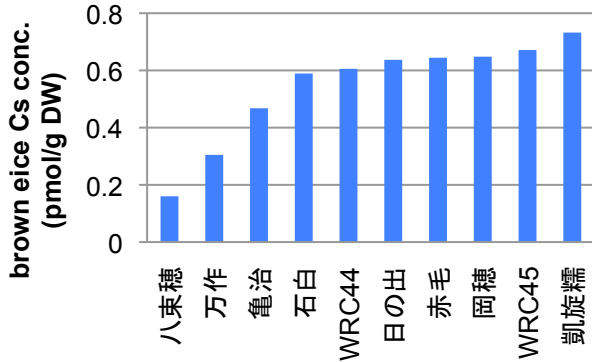
玄米のセシウム濃度は低い(想定範囲内)
品種によって違いがあるらしい。

本宮市試験区収穫180系統の玄米サンプルのcoldセシウム濃度

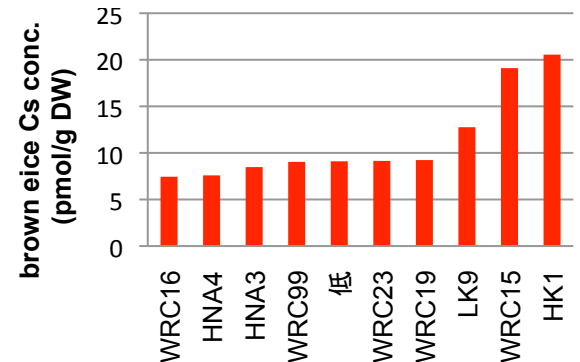
イネには大きなセシウム濃度の遺伝的差異がある。



低セシウム系統

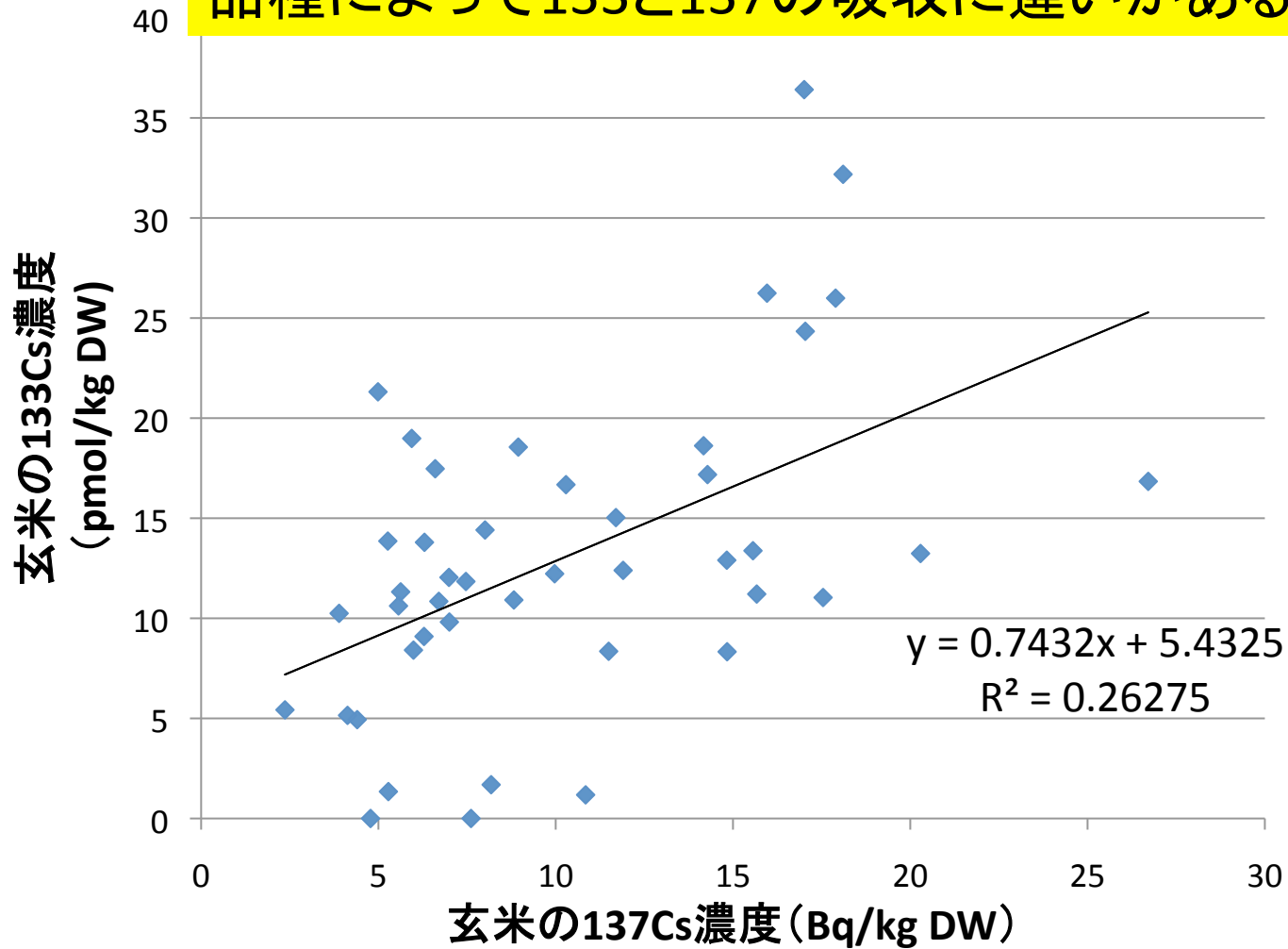


高セシウム系統



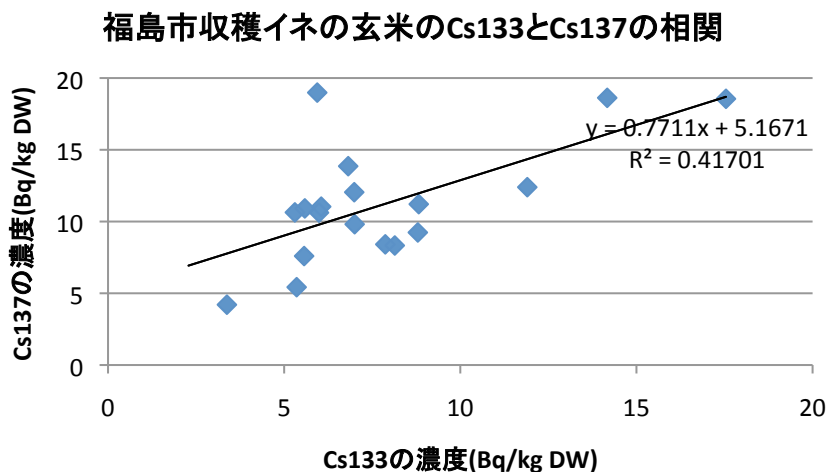
玄米の ^{133}Cs と ^{137}Cs

相関は見られるがばらつきも大きい
品種によって 133 と 137 の吸収に違いがある可能性？

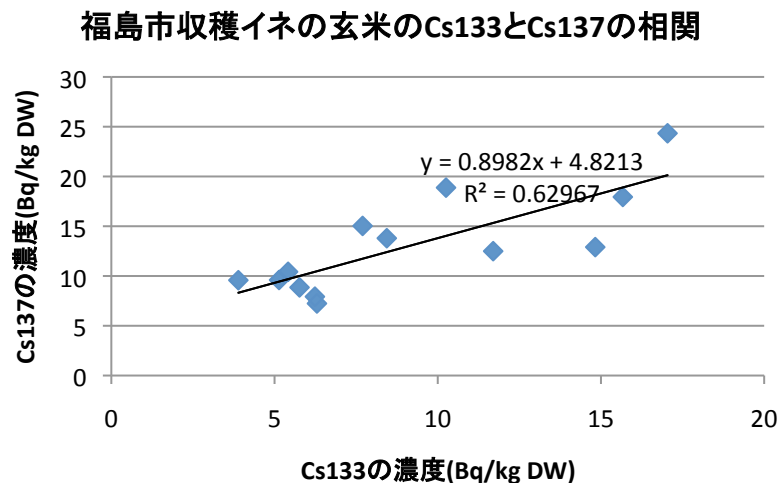


福島市圃場の玄米の放射性セシウム濃度と非放射性セシウム濃度の相関 出穂期による違い？

出穂期7/21～8/16のもの



出穂期8/22～9/7のもの

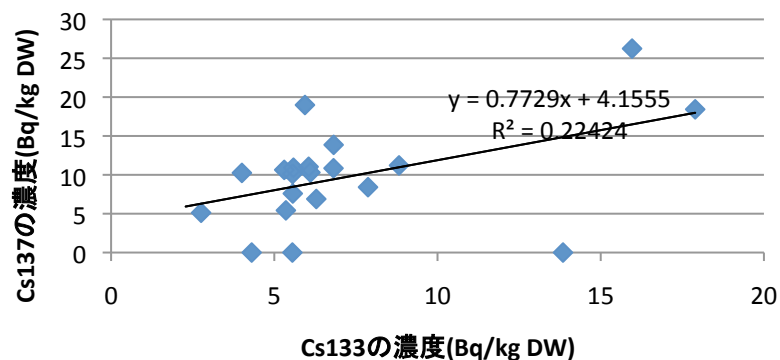


出穂期による吸収の違いはみられない
出穂期の遅いものの方がやや良い相関？

福島市収穫イネの放射性セシウム濃度と非放射性セシウム濃度の相関 草丈76.7cm～130cmものについて

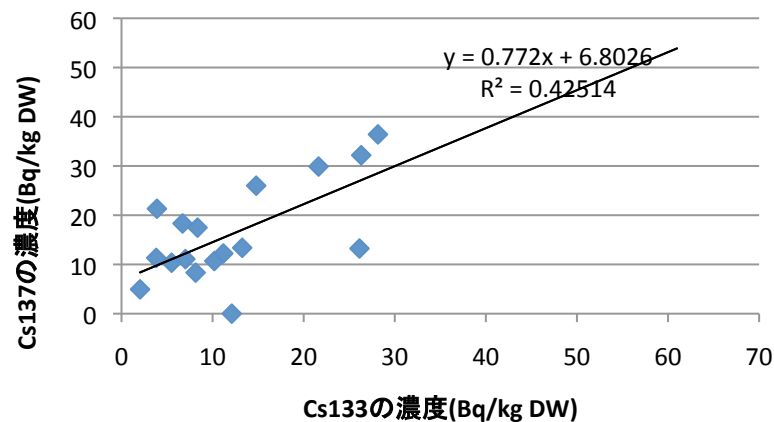
草丈76.7cm～130cm

福島市収穫イネの玄米のCs133とCs137の相関



草丈131.7cm～183.3cmもの

福島市収穫イネの玄米のCs133とCs137の相関



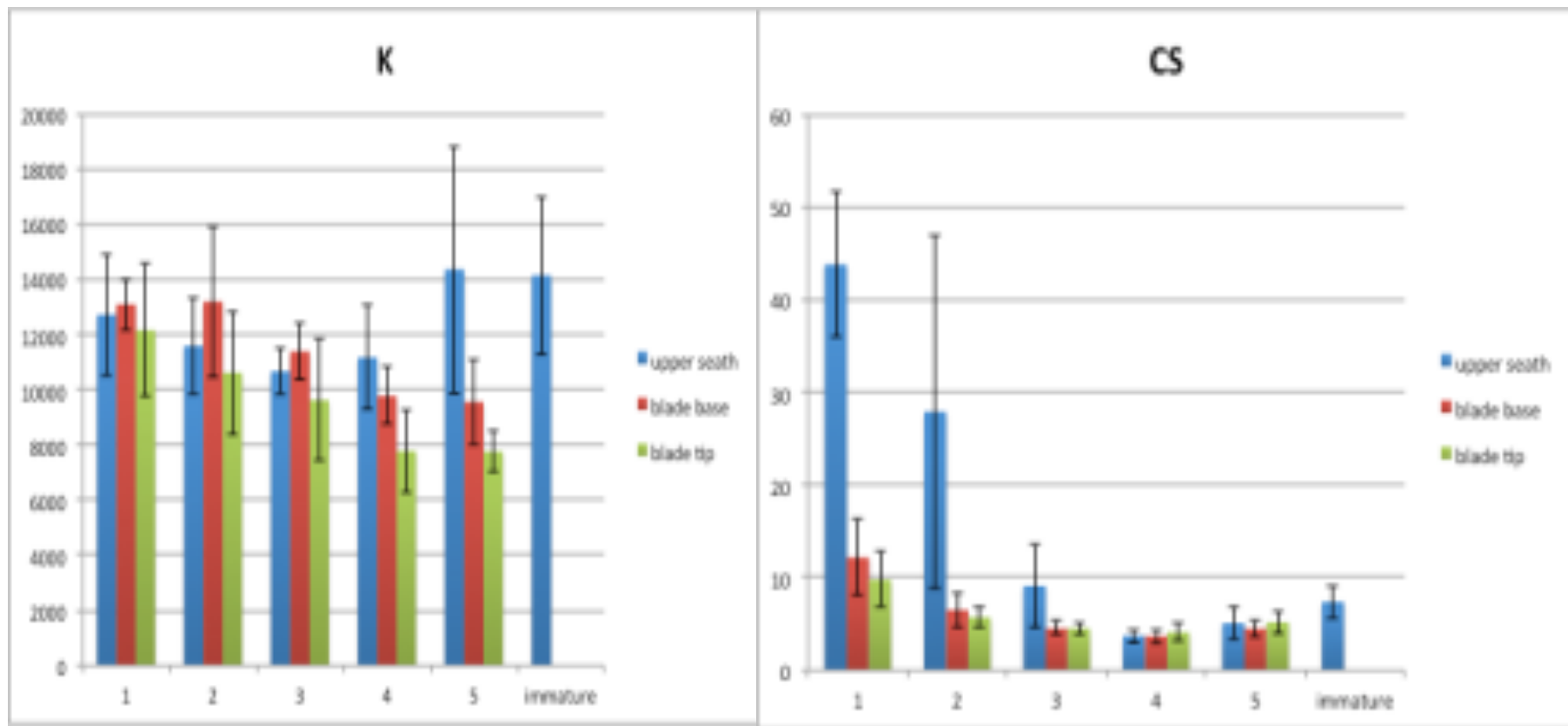
草丈による吸収の差はみられない。
草丈の長いものの方が良い相関？

本宮市試験区のセシウム低蓄積米および高蓄積米の他のミネラル濃度

Mineral concentrations of the brown rice in the low-Cs lines.																		
sample name	line name	Fe nmol/g DW	Co nmol/g DW	Ni nmol/g DW	Rb nmol/g DW	Sr nmol/g DW	Mo nmol/g DW	Cd nmol/g DW	Cs pmol/g DW	Ba nmol/g DW	Na nmol/g DW	Mg umol/g DW	K umol/g DW	Mn umol/g DW	Cu nmol/g DW	Zn nmol/g DW		
M387	八束穂	101.19	0.03	19.82	5.38	2.70	4.15	0.32	0.16	0.40	764.15	44.08	64.30	0.60	40.08	349.19		
M391	万作	155.86	0.08	22.28	7.32	2.22	8.84	0.63	0.30	1.83	749.23	60.62	82.94	0.61	60.55	412.67		
M400	亀治	116.53	0.07	30.04	7.08	2.12	5.98	0.89	0.47	0.88	819.38	52.24	69.15	0.85	44.32	337.10		
M392	石白	108.17	0.03	22.31	7.99	1.86	9.39	0.52	0.59	1.11	960.29	59.11	83.32	0.52	70.20	525.70		
M111	WRC44	25.86	0.08	21.87	6.56	3.70	4.84	1.17	0.61	2.29	1327.36	61.83	90.26	0.90	43.35	565.61		
M375	日の出	138.77	0.05	17.18	7.68	1.83	7.15	0.97	0.64	1.69	821.67	54.34	62.61	0.49	43.03	351.68		
M386	赤毛	91.31	0.04	22.80	6.81	1.89	4.83	0.72	0.64	0.87	758.58	43.19	69.94	0.48	41.17	276.52		
M416	岡穂	88.25	0.10	22.95	7.00	2.56	8.40	0.88	0.65	1.04	709.79	49.21	74.89	0.95	46.81	383.57		
M113	WRC45	134.72	0.07	30.34	6.58	4.90	14.54	0.83	0.67	2.66	1265.14	64.88	86.72	1.35	62.11	563.01		
M374	凱旋糯	91.60	0.08	20.57	7.96	3.63	7.07	0.72	0.73	1.73	855.85	51.18	83.12	1.03	48.90	394.17		
Mineral concentrations of the brown rice in the high-Cs lines.																		
sample name	line name	Fe nmol/g DW	Co nmol/g DW	Ni nmol/g DW	Rb nmol/g DW	Sr nmol/g DW	Mo nmol/g DW	Cd nmol/g DW	Cs pmol/g DW	Ba nmol/g DW	Na nmol/g DW	Mg umol/g DW	K umol/g DW	Mn umol/g DW	Cu nmol/g DW	Zn nmol/g DW		
M85	WRC16	161.40	0.14	41.56	14.98	3.03	8.51	3.16	7.44	1.41	659.06	50.98	50.89	0.71	51.70	432.03		
M45	HNA4	116.25	0.05	35.42	14.07	4.77	7.56	1.06	7.59	1.24	1240.72	67.52	92.68	1.01	67.35	605.31		
M44	HNA3	153.41	0.06	43.66	11.90	2.45	7.71	0.32	8.48	1.11	978.13	77.49	90.87	0.62	45.83	627.19		
M126	WRC99	95.16	0.10	35.17	15.90	3.05	7.28	2.95	9.04	1.53	794.94	52.86	73.16	0.76	56.03	445.08		
M131	低	182.94	0.10	28.33	13.94	4.46	6.44	1.77	9.10	2.37	770.85	52.16	70.42	0.70	60.05	371.81		
M91	WRC23	5.38	0.27	48.34	17.11	5.73	4.58	1.41	9.14	0.58	1511.97	54.39	107.43	1.20	51.10	648.59		
M88	WRC19	91.05	0.19	38.47	18.91	6.60	3.65	0.70	9.23	2.78	839.63	44.50	62.57	0.58	27.11	473.51		
M24	LK9	116.32	0.08	12.63	42.56	2.03	7.12	0.41	12.76	1.90	749.82	58.21	67.69	0.51	58.83	345.36		
M211	WRC15	98.98	0.08	53.62	22.31	3.03	7.70	2.94	19.10	2.87	655.84	47.96	51.60	0.73	48.12	370.01		
M26	HK1	221.70	0.15	65.66	10.53	3.98	4.24	1.00	20.55	3.80	1079.15	54.89	81.78	0.71	75.70	369.10		

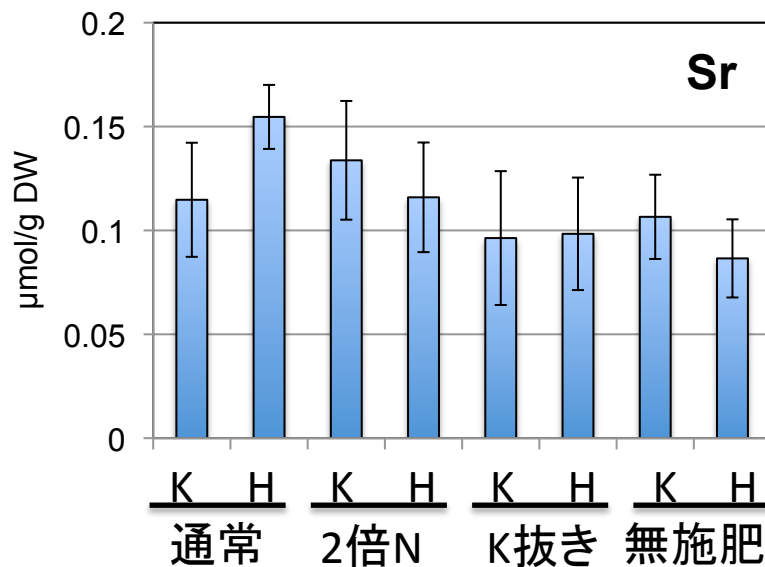
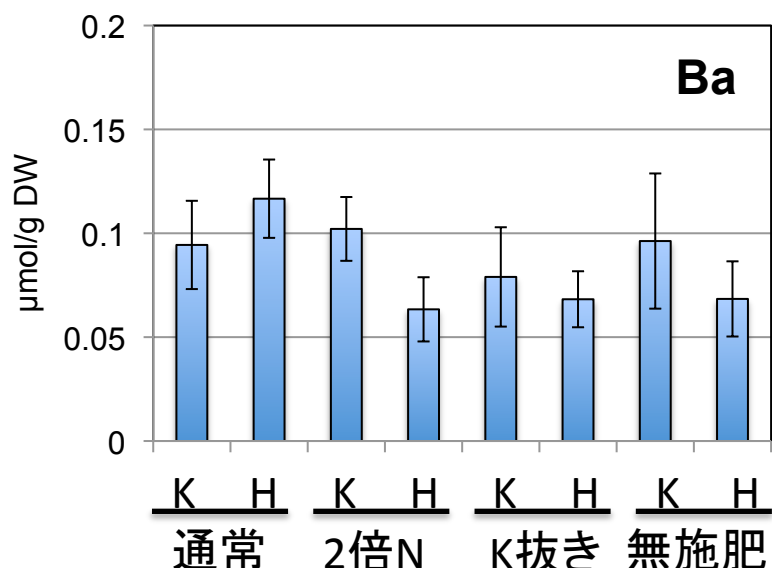
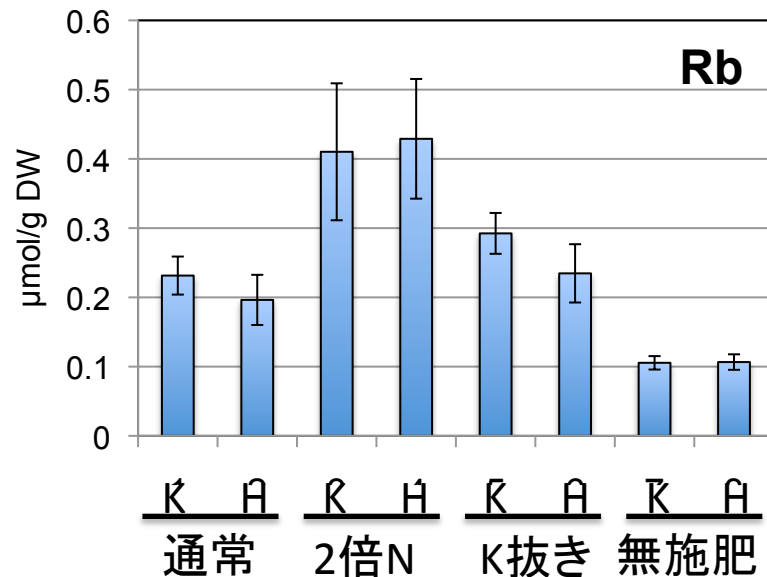
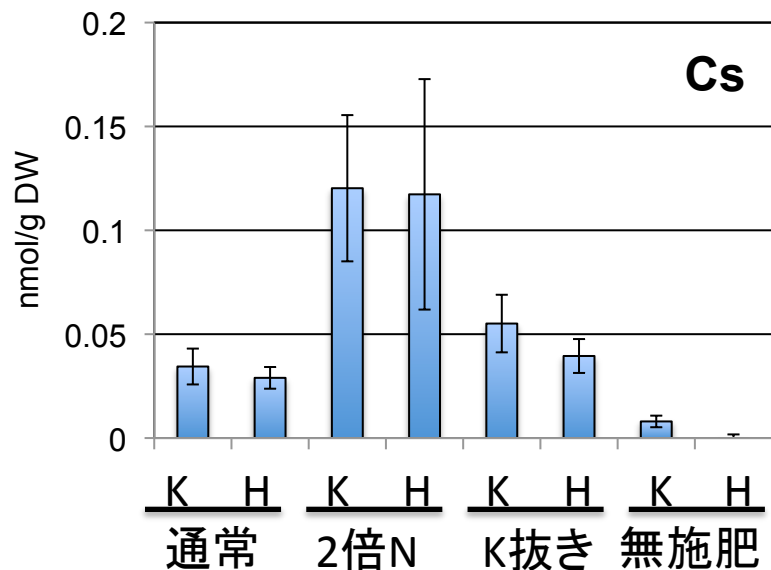
「セシウムだけ」が違っているように見えるが Rbとはある程度の相関があるか。

福島の水田で育てたイネでもKとCsの分布は違う。

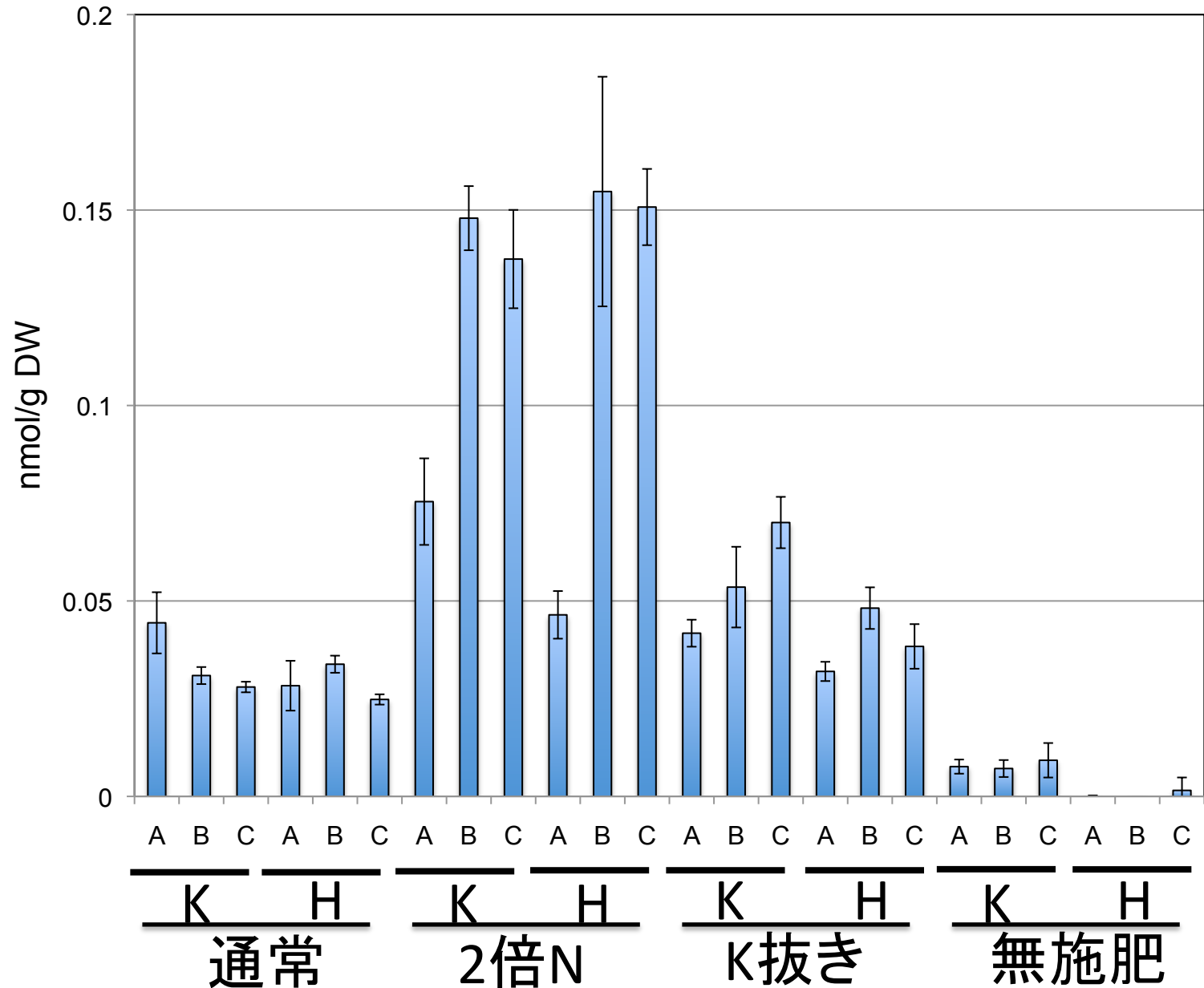


(大森 2012年栽培と測定、未発表)

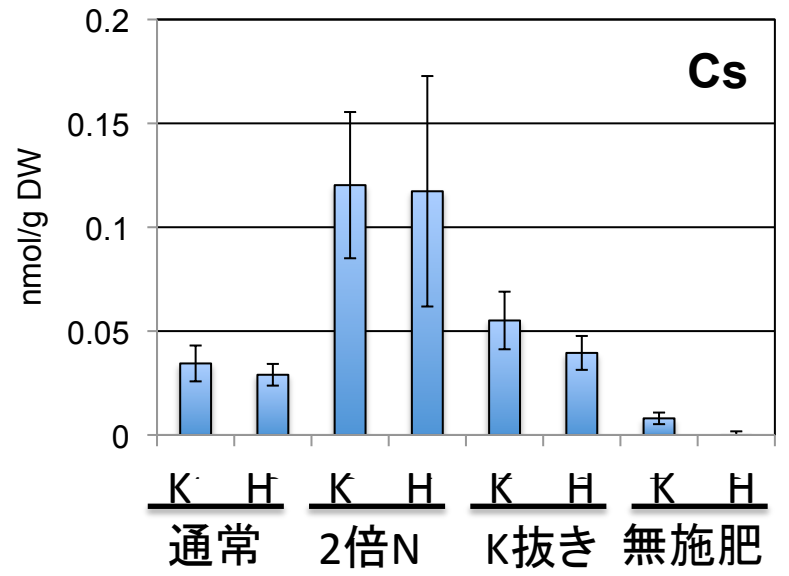
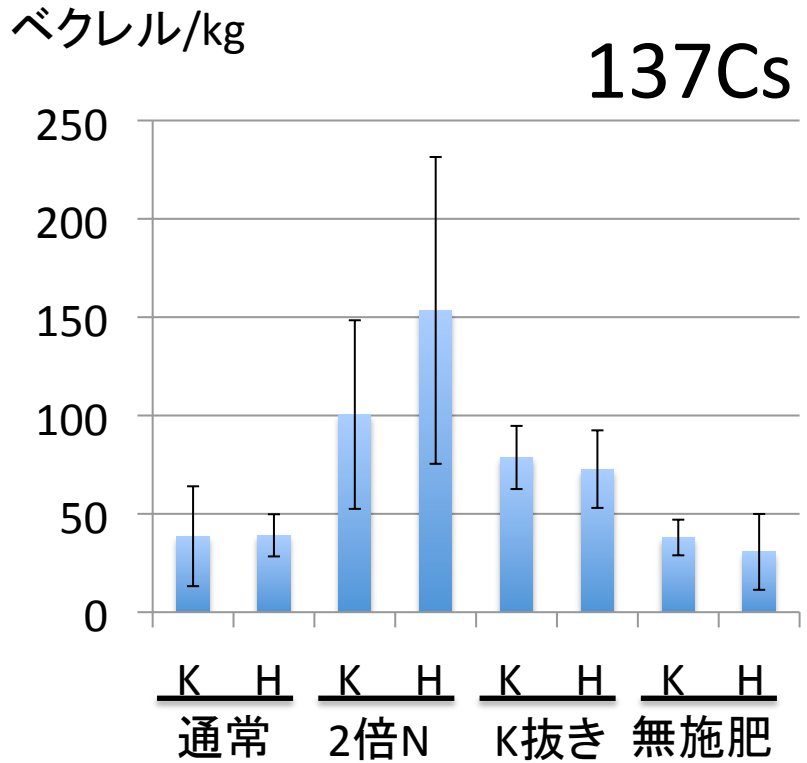
福島県川俣町水田での肥料試験(昨年8月)



福島県川俣町水田での肥料試験2-ばらつき



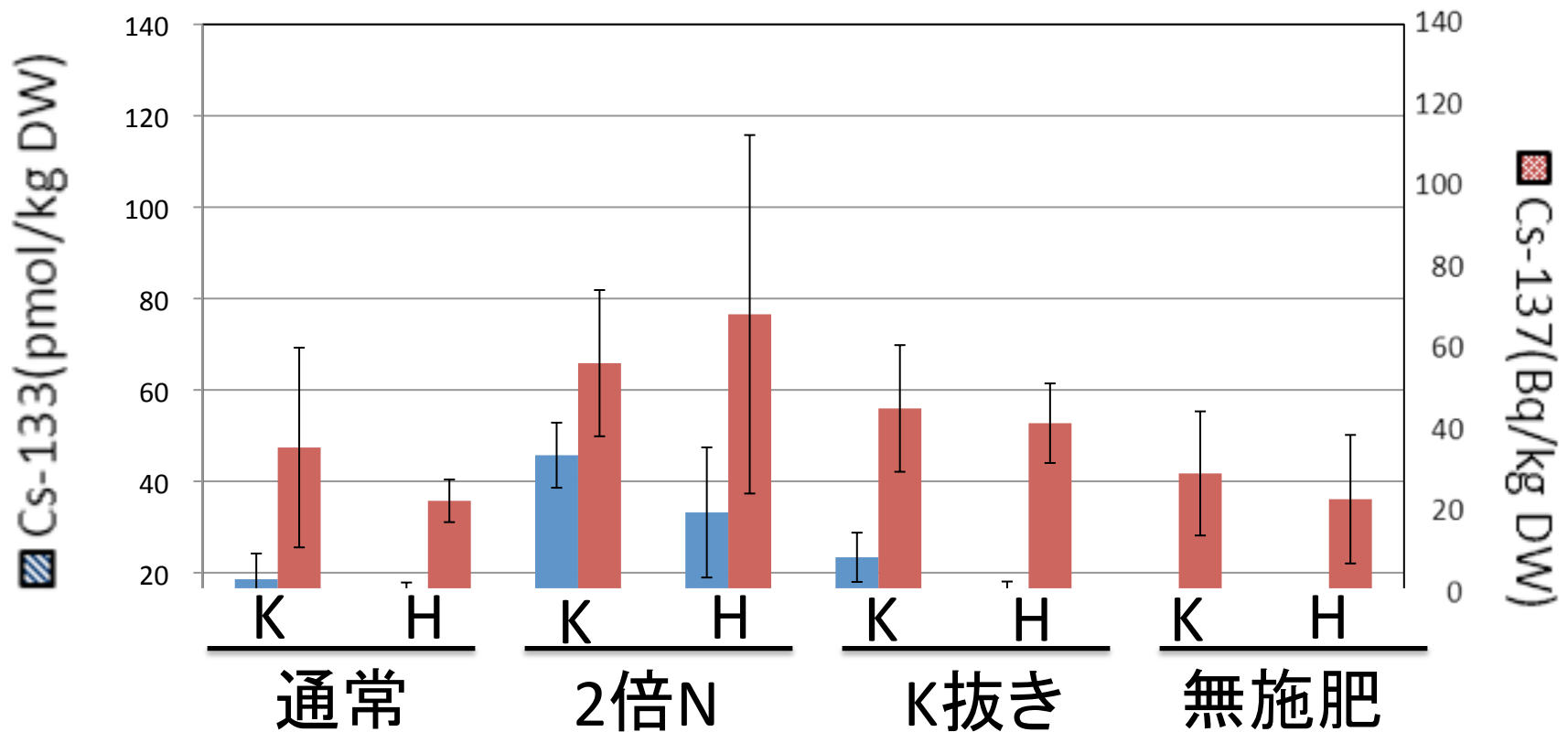
福島県川俣町水田での肥料試験 ^{137}Cs の吸収



- 肥料によって吸収が実際の農地で変化する。
- 放射性セシウム放射性セシウムにはある程度の相関がある。

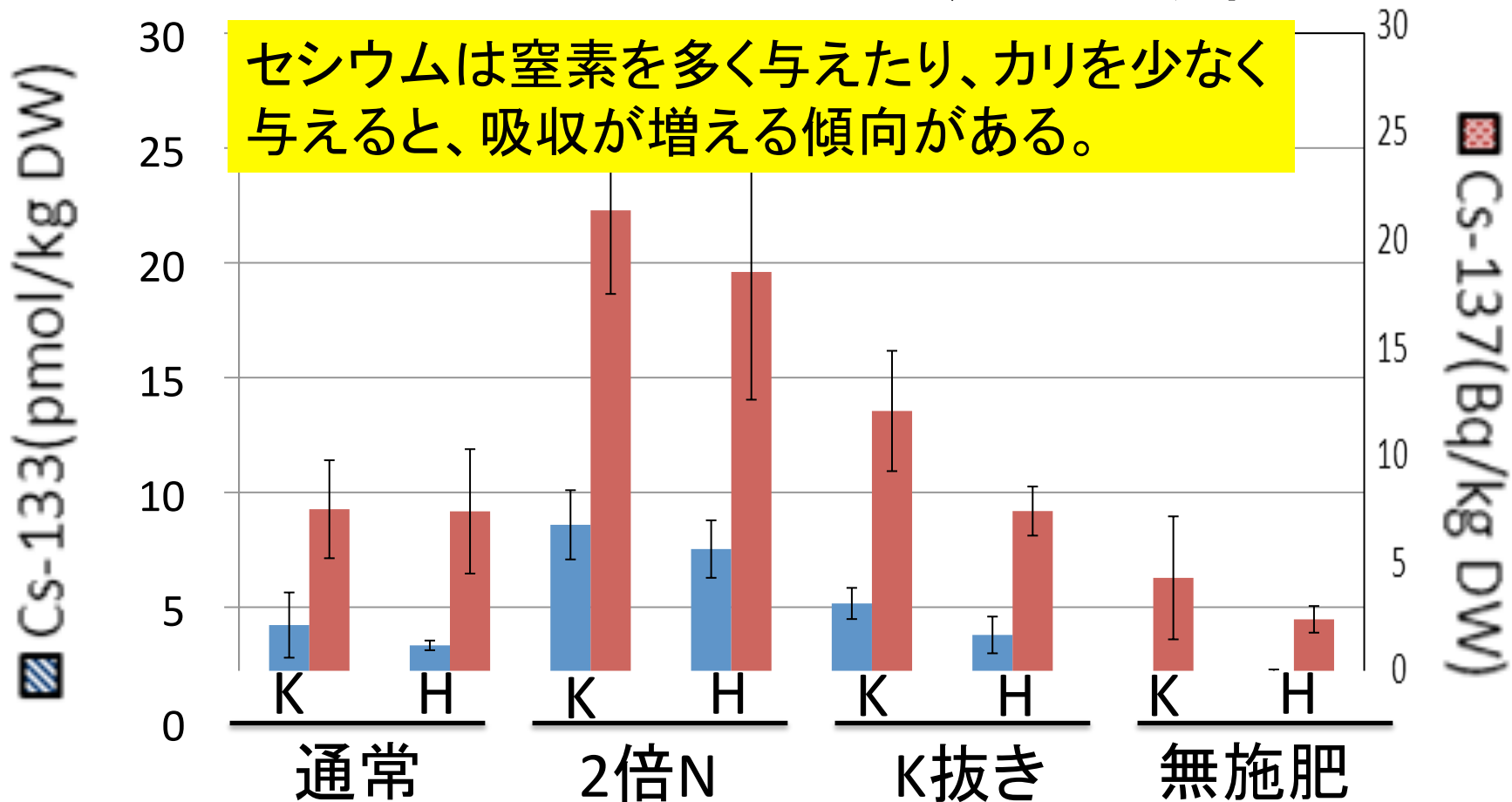
福島県川俣町水田での肥料試験 133Csと137Csの吸収

10月の葉のデータ



福島県川俣町水田での肥料試験 133Csと137Csの吸収

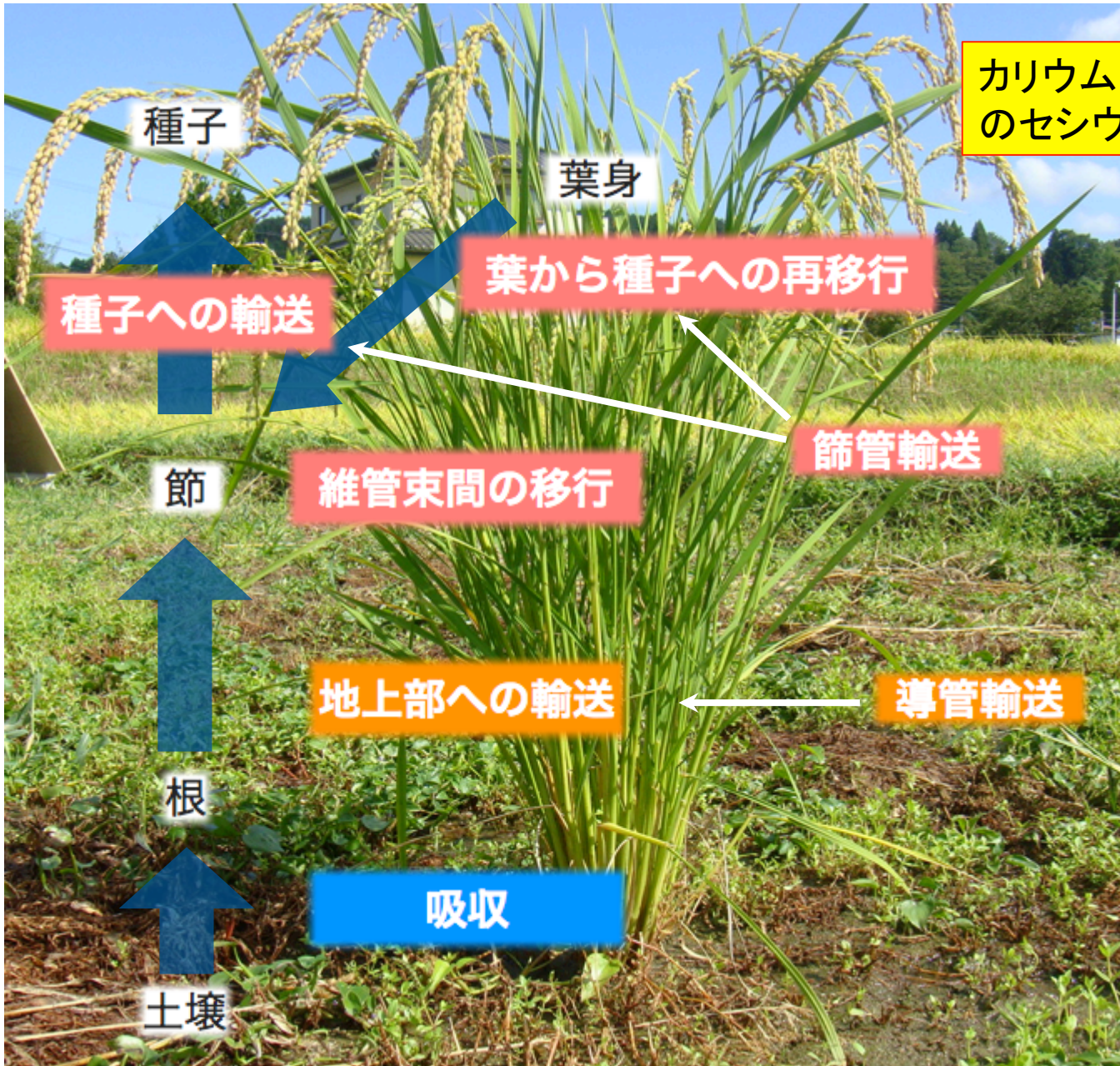
10月の玄米のデータ



これからの研究

- 品種間差異や変異系統を利用して、セシウムの輸送を制御する遺伝子(トランスポーター?)を見つける。
- セシウムを蓄積しにくいイネを開発する。

カリウムトランスポーター
のセシウム輸送への関与



これからの研究

- 品種間差異や変異系統を利用して、セシウムの輸送を制御する遺伝子(トランスポーター?)を見つける。
- セシウムを蓄積しにくいイネを開発する。

間に合いますか？

これまでの福島での試験を通じて 感じること

2011年：

時間の限られた中での判断を求められる。

誰が判断するのか？

どこまでの根拠が必要なのか？

影響をどこまで考えるのか？

どのような立場で考えるのか？

“皆さん”の理解とマスコミ。

その後：

時間の経過と意識の変化

水田の作付け基準

- 2011年は
5000ベクレル/Kg土壌以下。
米の暫定基準は500ベクレル/Kg

つまり、移行係数0.1を想定している。

実際には0.001程度なので、かなりの安全を見越している。

さらには、収穫された米についての測定もなされる。

水田の作付け基準

- 2012年は
昨年基準値超えしなかった農地。
米の基準は100ベクレル/Kg
全袋調査

表1 日本における土壌から農作物（乾物）へのフォールアウトCs-137移行係数の例

作物	幾何平均値	±95%信頼区間	乾物割合(%)	試料数	引用文献
白米	0.0016	0.00021 - 0.012		n=20	Tsukadaら, 2002b
白米	0.0030*			n=15	駒村ら, 1994
玄米	0.0033			n=12	Uchidaら, 2007
葉菜類	0.049			n=8	Kamei-Ishikawaら, 2008
キャベツ	0.026	0.0021 - 0.33	0.072	n=8	Tsukadaら, 2002c
果菜類	0.029			n=8	Kamei-Ishikawaら, 2008
パレイシヨ	0.030	0.0050 - 0.18	0.20	n=26	Tsukadaら, 1999
パレイシヨ	0.020			n=7	Kamei-Ishikawaら, 2008

*算術平均値(水分12%と仮定して乾物重量に補正)

注) ここに示す移行係数は農作物中濃度を乾燥重量として示した値である。従って、表の移行係数から農作物中生重量(新鮮重量)に換算するためには、乾物割合(例: IAEA, 1994; Tsukadaら, 1998)で換算する必要がある。

Table III-12 非葉菜の Cs の移行係数

(単位: (Bq/g-wet)/(Bq/g-dry))

Csの移行係数	データ数	対数平均値	中央値	対数 標準偏差	分布幅	
					最小値	最大値
全データ	35	3.4E-04	3.8E-04	0.68	1.0E-05	1.2E-02
ジャガイモ	6	9.0E-04	6.6E-04	0.64	1.7E-04	1.2E-02
サトイモ	2	1.1E-03	-	-	8.4E-04	1.5E-03
サツマイモ	2	7.5E-04	-	-	2.7E-04	2.1E-03
タマネギ	3	1.6E-05	1.6E-05	0.20	1.0E-05	2.6E-05
キュウリ	3	1.0E-04	1.0E-04	0.74	1.8E-05	5.5E-04
トマト	3	8.0E-04	7.8E-04	0.40	3.2E-04	2.0E-03
ナス	3	3.0E-04	3.6E-04	0.19	1.8E-04	4.2E-04
ピーマン	2	1.8E-04	-	-	1.1E-04	3.2E-04
ニガウリ	1	2.0E-03	-	-	-	-
ニンジン	2	7.1E-05	-	-	2.5E-05	2.0E-04
大根	6	3.9E-04	3.2E-04	0.28	2.2E-04	1.2E-03
大豆	1	1.8E-03	-	-	-	-
ピーナッツ	1	9.1E-04	-	-	-	-

放医研 内田らの文献(2)

TableIV-4 葉菜の Cs の移行係数

(単位: (Bq/g-wet)/(Bq/g-dry))

Csの移行係数	データ数	対数平均値	中央値	対数標準偏差	分布幅	
					最小値	最大値
全データ	154	1.8E-02	2.0E-02	0.83	2.0E-04	2.5E+00
キャベツ	44	1.6E-02	1.3E-02	0.86	6.3E-04	4.7E-01
カリフラワー	3	1.6E-02	1.7E-02	0.39	6.2E-03	3.7E-02
コマツナ	15	7.3E-02	6.2E-02	0.30	5.2E-02	8.7E-01
セロリ	4	2.6E-03	2.7E-03	0.25	1.3E-03	5.0E-03
パセリ	3	9.9E-02	1.9E-01	0.63	1.9E-02	2.7E-01
ホウレンソウ	21	5.6E-02	1.1E-01	0.75	1.9E-03	9.6E-01
レタス	42	1.4E-02	1.6E-02	0.67	3.3E-04	2.9E-01
からし菜	2	2.2E+00	-	-	2.0E+00	2.5E+00
その他	20	3.8E-03	2.8E-03	0.67	2.0E-04	7.0E-02

農作物への移行係数データの収集より評価パラメータ設定のため抽出したデータ

福島農業のこと

Csによる汚染 2011年で米で20ベクレル/kg程度
昨年は1ベクレルあるかないか。

実は、バナナ1本は20ベクレル程度。
米1kgのカリウム由来の放射能が20ベクレル/kg程度
私は7000ベクレル程度。

それでも人は福島産の農産物を買わないのではない
か？安心？安全？

その中で福島の農家が自立できる
農業と政策が必要。

私の現状認識 2012

- 検出事例は減少している。
 - “除染”され、人々が住める状況では作物への汚染は限定的
 - ゼオライトの投与
 - 流入を減少させる。
-
- 菌類への集積に注意が必要

私の現状認識 2013

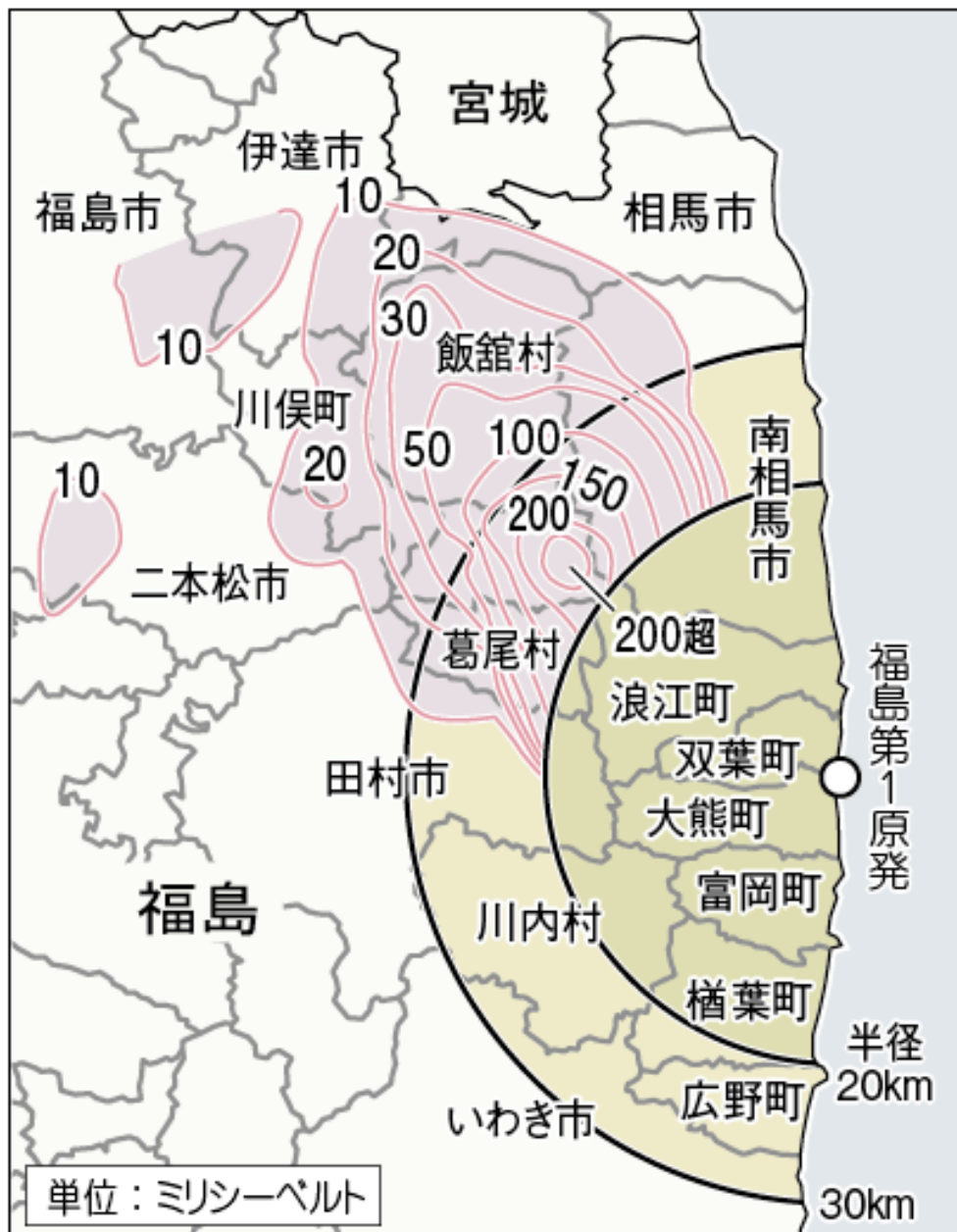
- 検出事例はさらに少ない。
- “除染“が進んでいて、農業を再開している地域が増えている。
- “汚染”は現象傾向
- しかし、福島のコメは東京のスーパーではほとんど売られていない。
- 海洋についてはさらに注意が必要

私の現状認識 2015

- 全袋検査自体が話題に上らない。
- 農業は浪江町などでも再開している地域がある。
- しかし、福島のコメは東京のスーパーではあまり売られていない。
- 海洋については継続して注意が必要

放射線量(推定値)の分布図

(3月12日から1年間の積算)



今日の課題

あなたが福島県の農家であった場合、将来の農業をどのように展開すると良いと思うか、自由に記述せよ。

質問受けます。



2012年5月25日福島市