

# 水田や畑の放射性物質を どう処理するべきか

～農地工学のアプローチ～



生物・環境工学専攻

農地環境工学研究室

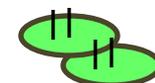
准教授 吉田修一郎

# 農地工学とは・・・

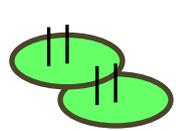


## ●生産性の高い水田・畑の整備のための技術を支える学問体系

- 肥沃な土壌と安定した土層基盤
- 作物を育む十分なかんがい用水と適度な排水性
- 効率的な作業に適した区画や道路

 農地を科学する

農地環境工学研究室



# 放射性物質の農産物への影響は どのように及ぶか

事故による降下  
放射性物質



事故時に作付けられて  
いた作物の「直接汚染」



出荷停止



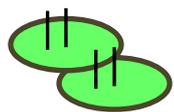
事故時に非作付状態だった  
水田・畑の汚染



作付禁止

作付  
すると

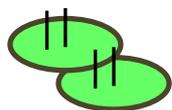
作物の根による吸収  
「間接汚染」



# 直接汚染の影響～冬作物～

茨城県の公表データ

品目	市町村	放射性ヨウ素	放射性セシウム	公表日
		暫定規制値: なし	暫定規制値: 500Bq/kg以下	
小麦	ひたちなか市	—	112	7/8
	笠間市・城里町（旧七会村）	—	103	7/14
	東海村	—	82	7/8
	茨城町	—	46	7/8
		—	44	7/14
	石岡市（旧八郷町）	—	72	7/14
	守谷市	—	48	7/14
	稲敷市・河内町	—	13	7/14
	鹿嶋市・神栖市	—	22	7/8
	筑西市・桜川市・結城市	—	50	7/8
	下妻市・常総市・八千代町	—	27	7/8
	坂東市（旧岩井市）	—	13	7/14
	古河市・境町・五霞町・坂東市（旧猿島町のみ）	—	11	7/8



# 直接汚染の影響

茨城県の公表データ

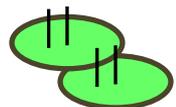
品目	市町村	放射性ヨウ素	放射性セシウム	公表日
		暫定規制値: 2,000Bq/kg以下	暫定規制値: 500Bq/kg以下	
ホウレンソウ	〇〇市	7,710	407	3/20
		1,900	71	3/20
		2,600	111	3/31
		1,000	444	4/7
		140	43	4/12
		75	22	4/17
		8	検出せず	5/2
		5	検出せず	5/7
		検出せず	検出せず	5/13
		検出せず	検出せず	5/20
		検出せず	検出せず	5/27
		2	検出せず	6/3
		検出せず	検出せず	6/10
		検出せず	検出せず	6/17
		検出せず	検出せず	6/24
検出せず	検出せず	7/1		

# II II 土壌の汚染が収穫物にどの程度及ぶか

元素の植物(全地上部)への移行係数 R. G. Menzel 1965

移行係数	10-1000	1-100	0.1-10	0.01-1	<0.01
元 素	K	Mg	Ba	Cs	Sc
	Rb	Ca	Ra	Be	Y
	N	Sr	Si	Fe	Zr
	P	B	F	Ru	Ta
	S	Se	I		W
	Cl	Te	Co		Ce
	Br	Mn	Ni		Pm
	Na	Zn	Cu		Pb
	Li	Mo			Pu
					Sb

$$\text{移行係数} = \frac{\text{植物体中の元素濃度(乾燥試料1kgあたり)}}{\text{土壌中の元素濃度(乾土1kgあたり)}}$$



# 土壌中のセシウムは可食部に どの程度移行するとされているか

	文献	移行係数
US NRC	農作物の可食部	0.01
IAEA1987	農作物の可食部	0.03
DOE	農作物の可食部	0.011
原子力環境整備 センター1988	米	0.04~0.6
	米以外の穀類	0.0003~0.06
	イモ類	0.002~0.008
	根菜類	0.008~0.1
	葉菜類	0.001~0.8
	種実類	0.005~0.1

原子力環境整備センター 1988 より引用

今回の事故では、米については移行係数**0.1**、米の流通暫定基準値**500Bq/kg**と設定されたので、作土の土壌の汚染が**5,000Bq/kg**までならば作付け可(問題なし)と判断された。

(参考)

# 食品中の放射性物質による内部被曝量はどのように評価されるか

放射性同位元素	実効線量係数(経口摂取) mSv/Bq
C <sup>14</sup>	$5.8 \times 10^{-7}$
K <sup>40</sup>	$6.2 \times 10^{-6}$
I <sup>131</sup>	$2.2 \times 10^{-5}$
Cs <sup>134</sup>	$1.9 \times 10^{-5}$
Cs <sup>137</sup>	$1.3 \times 10^{-5}$

国際放射線防護委員会(ICRP)  
緊急時基準20~100mSv/年、  
事故収束後基準:1~20mSv/年

(主に外部被曝量の目安に  
用いられている)

例えば、500Bq/kgのCs<sup>137</sup>を含む米50kgを1年間で摂取。

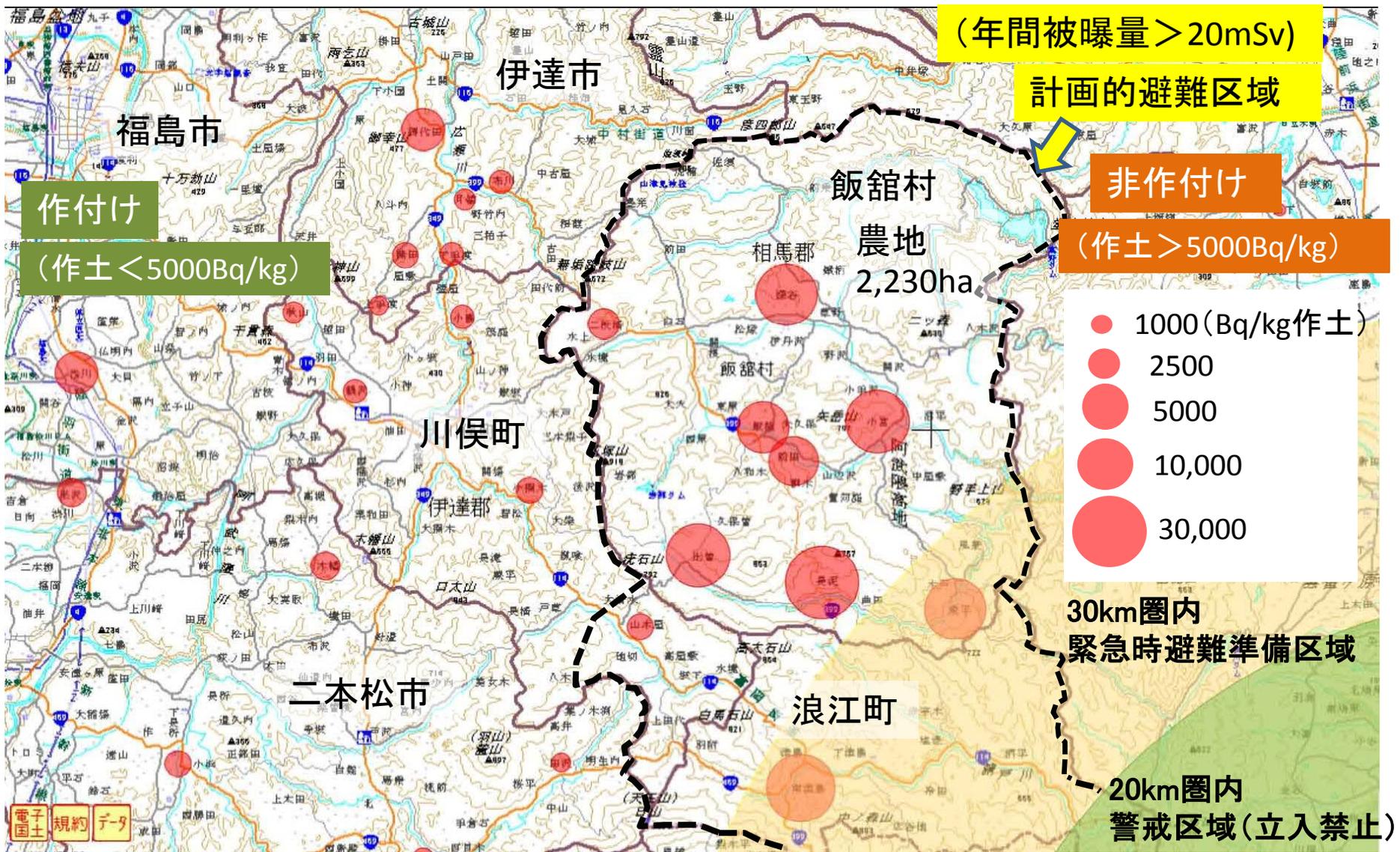
$$50\text{kg} \times 500\text{Bq} \times 1.3 \times 10^{-5} = \underline{0.325\text{mSv/年}}$$

1000Bq/kgのCs<sup>137</sup>を含む和牛の200gのステーキを週一  
で1年間食べ続ける。

$$0.2\text{kg} \times 52 \times 1000\text{Bq} \times 1.3 \times 10^{-5} = \underline{0.135\text{mSv/年}}$$

# 問題になる水田や畑は、どの程度存在するのか

福島県の公表値をマップ化



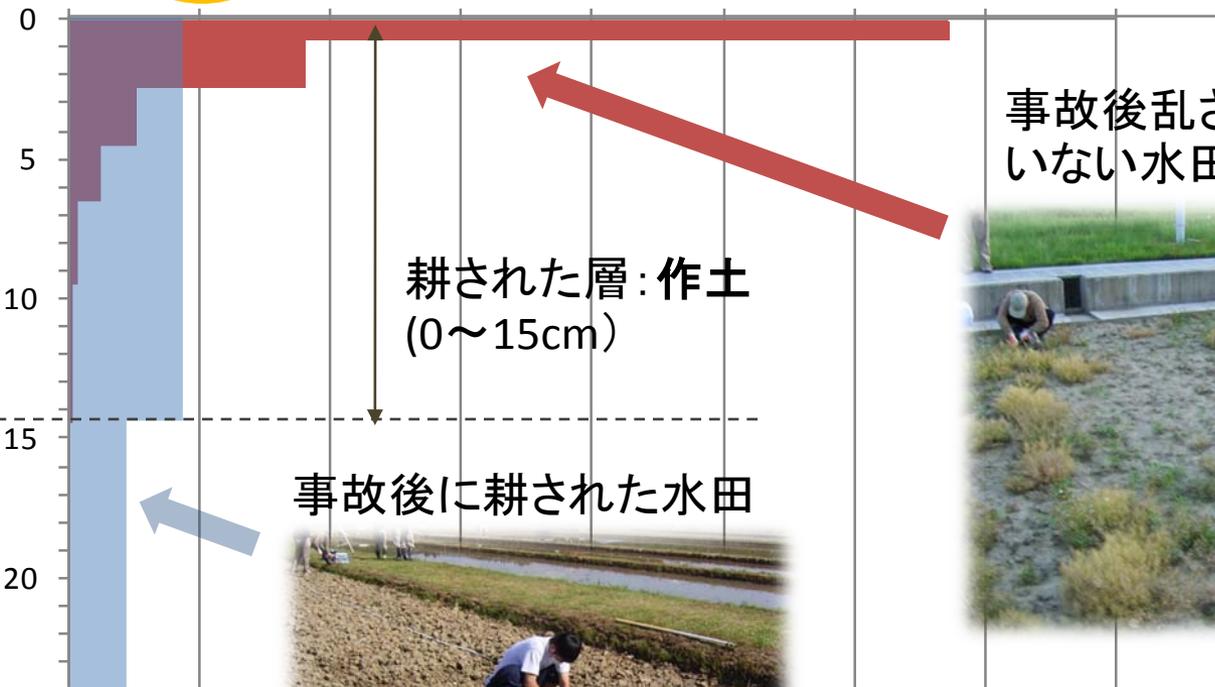
# 土壤はどこまで汚染されているのか —放射性物質の鉛直分布—

0.01 $\mu\text{g}$ の $\text{Cs}^{137}$ が30,000Bq  
に相当！

セシウム濃度 (Bq/kg乾燥土)

0 5000 10000 15000 20000 25000 30000 35000 40000

地表からの深さ  
(cm)



事故後乱されて  
いない水田



事故後に耕された水田



郡山市内の水田で  
の調査結果

# 放射性セシウムによる農地土壌汚染に対する二つの技術ニーズ

## 安全を確保するための技術

＜基準値5,000[Bq/kg作土]を超え作付禁止＞  
セシウムを除去することで、作付を可能にし、  
3.8 $\mu$ Sv/h以上の空間線量率も下げられないか？

- 表層の汚染土を剥ぎ取り、処分する技術
- 除染による空間線量率低減効果の予測

## 安心を担保する技術

＜基準値5,000[Bq/kg作土]以下で既に作付＞。  
しかし、収穫される米や稲わらにセシウムが移行しないか心配。

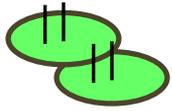
- 作土全体に混和したセシウムを営農的に除去する技術
- 水稲への移行を少しでも軽減する技術



人の気配のない放置されたままの飯舘村の水田



福島市の  
水稲作付け田



# 地表の放射性物質の影響はどこまで及ぶのか

γ線強度(光子フラックス)  $I$  の減衰

$$\frac{dI(x)}{dx} = -\mu I(x)$$

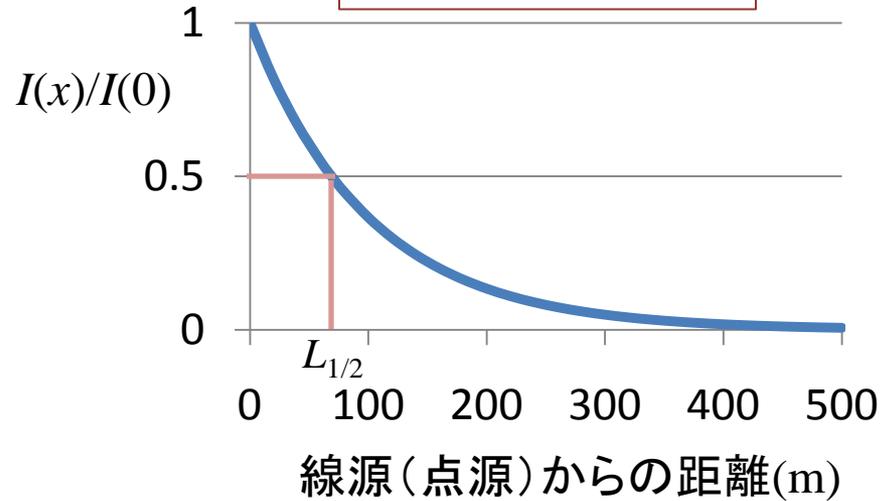


$$I(x) = I(0) \exp(-\mu x)$$

$L_{1/2} = \frac{I(0)}{2}$  となる半減距離  $L_{1/2}$  は

$$L_{1/2} = \frac{\log 2}{\mu}$$

空気中での減衰

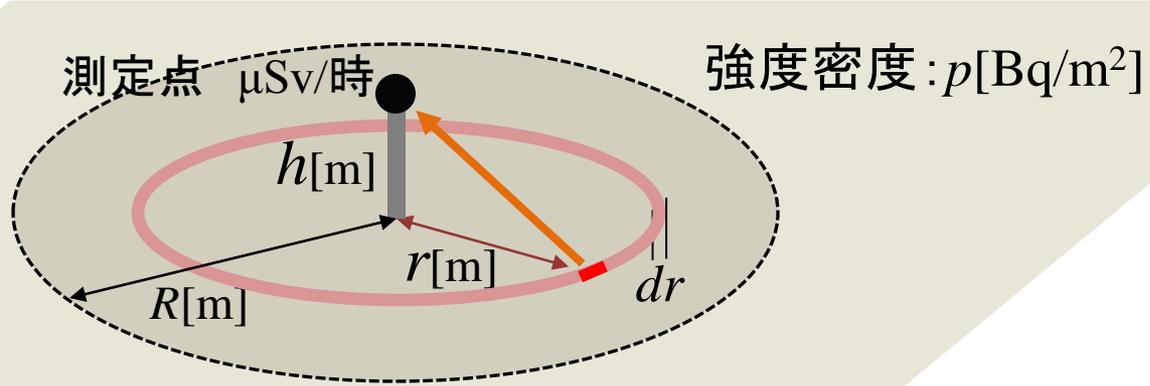


$\text{Cs}^{137}$ が発するγ線の半減距離と減衰長 (IAEA TECDOC1162)

	鉛	水	空気	コンクリート	土
半減距離 $L_{1/2}$	0.5cm	8.2cm	69m	3.8cm	4.9cm
減衰長 $1/\mu$	0.7cm	11.8cm	100m	5.5cm	7.1cm

土については概算値(密度1.8g/cm<sup>3</sup>)

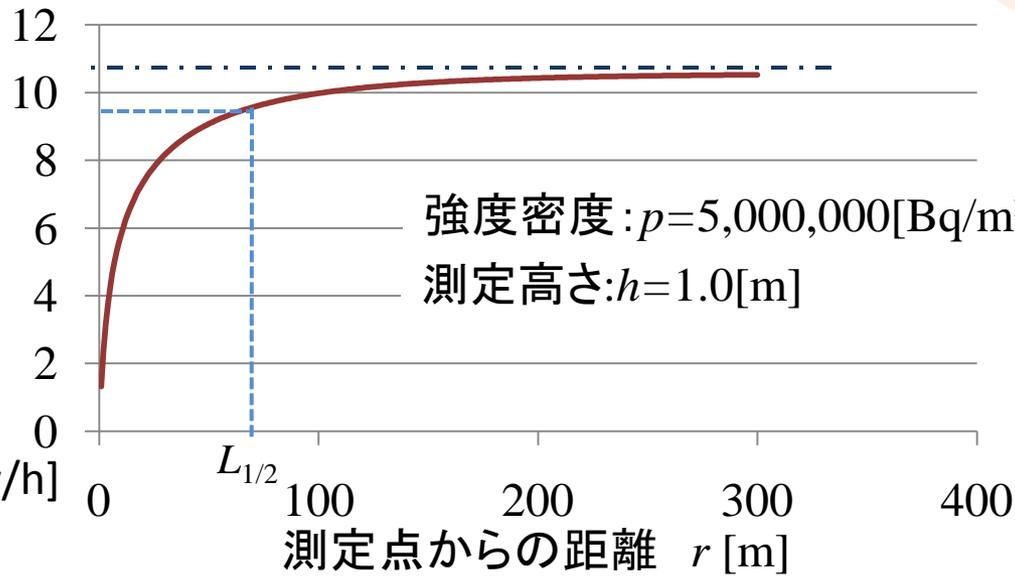
# 汚染源が面で広がっている場合は？

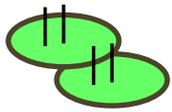


吸収線量率の測定点●から距離 $r$ の円周上の地表の線源の寄与 =  $\frac{3.5 \times 10^{-16} \times 0.85 \times p}{4\pi(r^2 + h^2)} e^{-\mu\sqrt{r^2 + h^2}} 2\pi r dr$  [Sv/s]

(同心球面上に広がる)      (媒質による減衰)

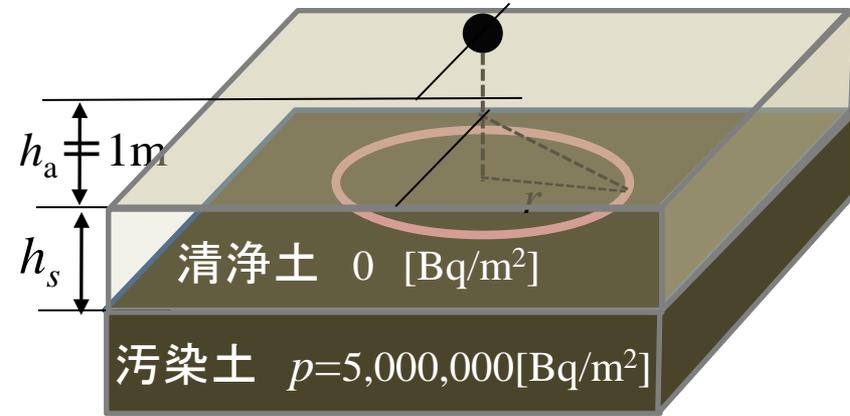
(上式の積分値です)  
 空間放射線量率に占める  
 距離0から $R$ までの線源の寄与  
 [μSv/h]





# 汚染土を下層に広く埋め込むと？

地上1mの測定点



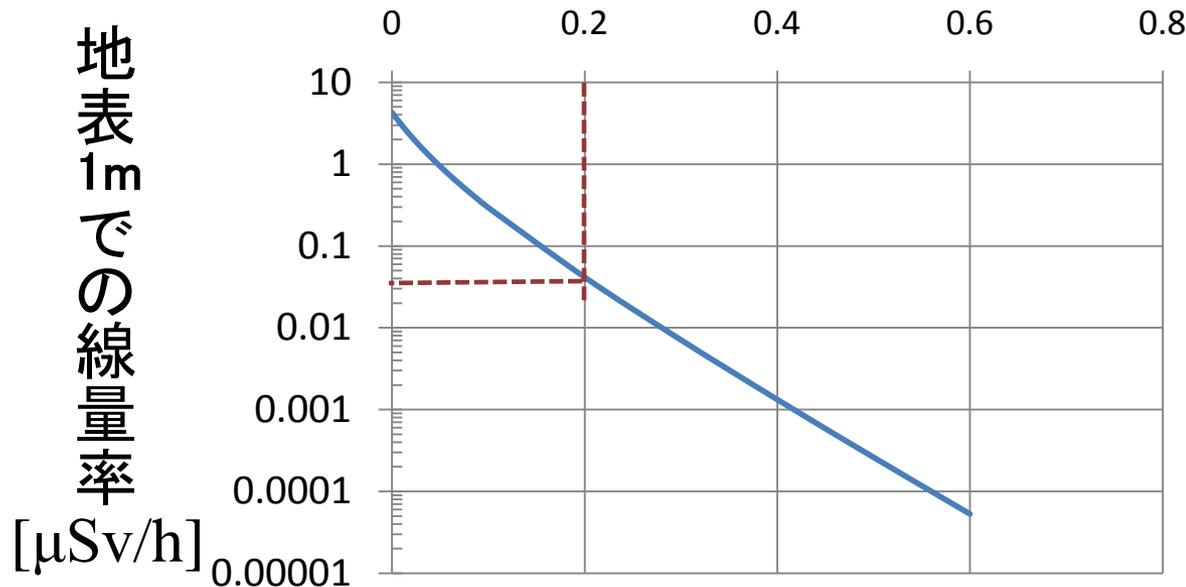
$$\int_0^{\infty} \frac{3.5 \times 10^{-16} \times 0.85 \times p}{4\pi(r^2 + h^2)} \left( e^{-\sqrt{r^2 + h^2}(\mu_a h_a / h + \mu_s h_s / h)} \right) 2\pi r dr$$

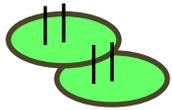
○土の減衰長  $1/\mu: 7\text{cm}$

○測定点からの距離 $r$ について

0~ $\infty$ まで積分

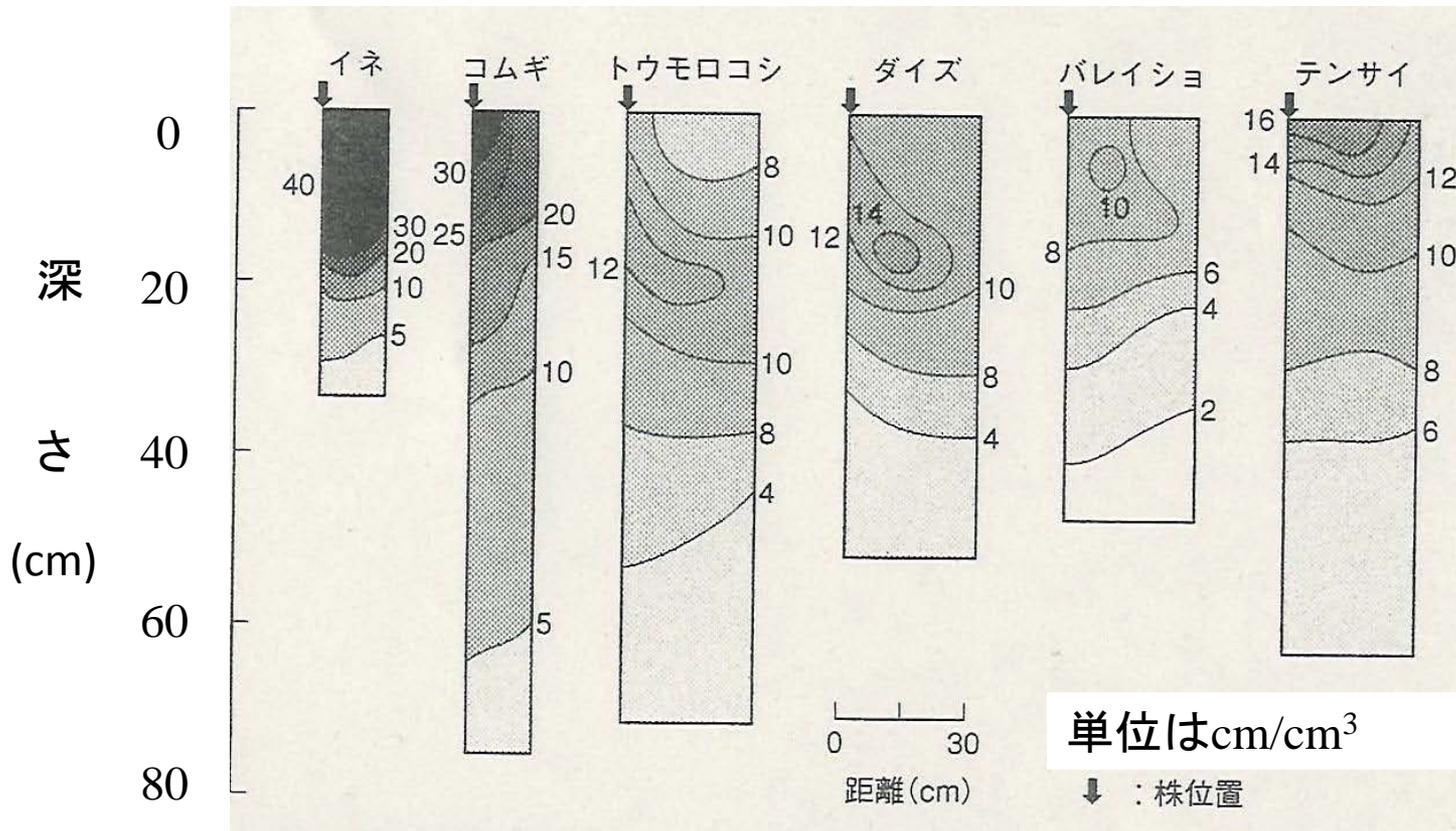
埋め込み深さ  $h_s$  (m)





# 作物根はどのくらいまで伸張するのか 汚染土を埋め込んでも問題ない深さは？

茎葉最大期における根長密度の土層内分布  
(Yamaguchi and Tanaka 1990)



# 汚染土の剥ぎ取りとその処理

剥ぎ取った土壌は埋めれば大丈夫^^。

## ●放射線が十分に遮蔽される深さは？

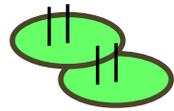
汚染土を20cmまで埋め込めば、地表に野ざらしにしている場合の1/100まで地上1mでの線量率は低下

## ●作物が吸えない深さは？

水稻の場合には30cmあれば十分。畑作物でも水分が十分にあれば50cm以深の根の寄与はわずか。

## ●外にしみ出したりしないか？

土中でセシウムは粘土粒子に強く吸着している。土粒子ごと移動しない限り浸透による流出は心配ない。地表に汚染土を放置することの方がよほど問題→浸食で流亡



# 剥ぎ取りと埋め込みを効率的に行う方法は？



中央農業総合研究センターによる  
表土剥ぎ取り実証試験(飯舘村)

剥ぎ取った土は現状では保  
管。→今後処分が問題



チェルノブイリ事故への対応を念頭に  
開発された「表層埋没耕プラウ」 Roedら1998

表層の土を50cm以下に1工程で潜り込ませるこ  
とができるが、100馬力以上のパワーが必要。

下層の状況(礫の有無)や区画に応じた掘削・埋め込み  
方法の検討が急務 (コストも重要)

# 農地土壌の汚染除去は農村の空間放射線量率の低減にどのくらいの効果があるか

GIS(地理情報システム)を活用した  
空間線量率低減効果のシミュレーション



# 放射能汚染への今後のアプローチ

- 科学的な知見に基づく実態の把握と継続的なモニタリング ～簡易なモニタリング手法の開発～
- 対策技術の現場スケールでの実証とその効果の客観的な評価  
～農地の造成や整備でこれまで培った理論やノウハウをかたちに～



**農地**を科学する

農地環境工学研究室