

消費者の不安に農学者が答える

《大震災・原発事故・食の安全》

「農地、農作物の放射線汚染をどうみるか」

元 農業環境技術研究所 放射性同位元素 研究室長

結田 康一

日 時 平成 23 年 6 月 1 日 (水)

場 所 東京大学農学部 弥生講堂一条ホール

主 催 財団法人農学会・日本農学アカデミー

共 催 東京大学大学院農学生命科学研究科

話でとりあげる放射性物質

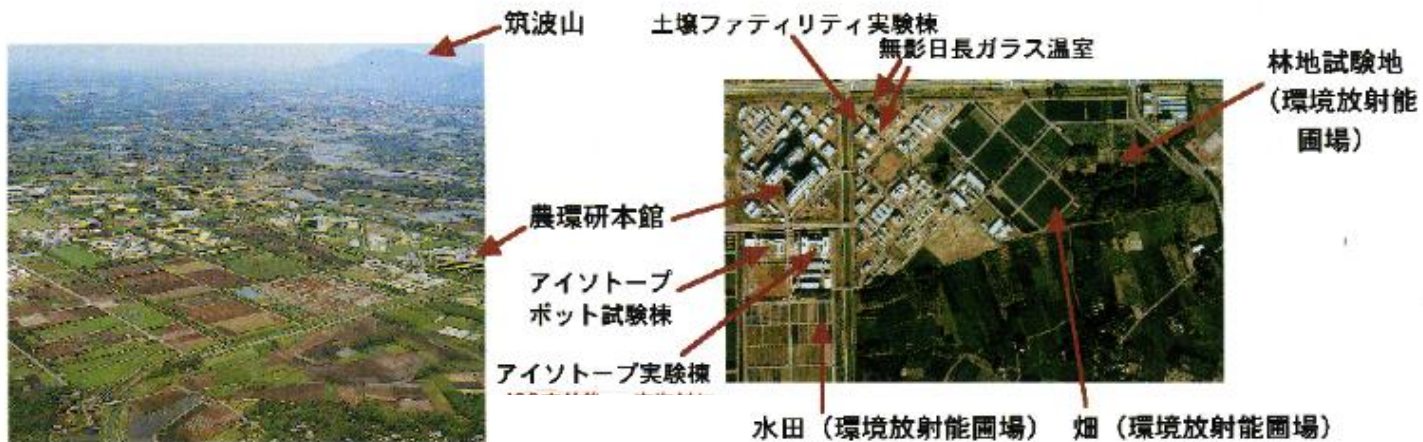
元素	同位体	物理的半減期	沸点	原子炉事故に伴う 大気への放出形態	人体内分布	暫定基準 値 Bq/kg
ヨウ素	I-131	8日	184℃	ガス状(有機、無機)	甲状腺 (ヒトの必須元 素)	2000
	I-129	1600万年				
	I-127	安定				
セシウム	Cs-137	30年	690℃	粒子状	全身	500
	Cs-138	2年				
ストロンチウム	Sr90	28年	1384℃	粒子状	骨	
カリウム*	K-40	14.8億年	774℃		全身(赤血球)	
鉛**	Pb-210	22年	1750℃		肺	

* 天然の放射性物質 **天然の放射性物質、ウラン-238の娘核種

岩石、土壌および野菜中の安定ヨウ素および安定セシウムの存在濃度
Bowenらによる

	元素濃度*1、mg/kg		
	ヨウ素	セシウム	カリウム
地殻(岩石)	0.14	3	21000
土壌	5	4	14000
野菜	0.45	<0.001~0.08	1000~68000

*1中央値



つくば学園都市東端に位置する
農林研究団地

農環研環境放射能調査研究施設配置図



農環研本館



ゲルマニウム検出器・ガンマスベクトロメトリーシステム
(アイソトープポット試験棟内)



環境放射能観測圃場
(農環研構内D-4畑圃場)のガイド板



左同圃場の土壌浸透水採水システム



同上圃場での地下水採水風景



JCO事故を受け、 ^{137}Cs を集積する
シイタケの栽培を開始 (水田防風林内)

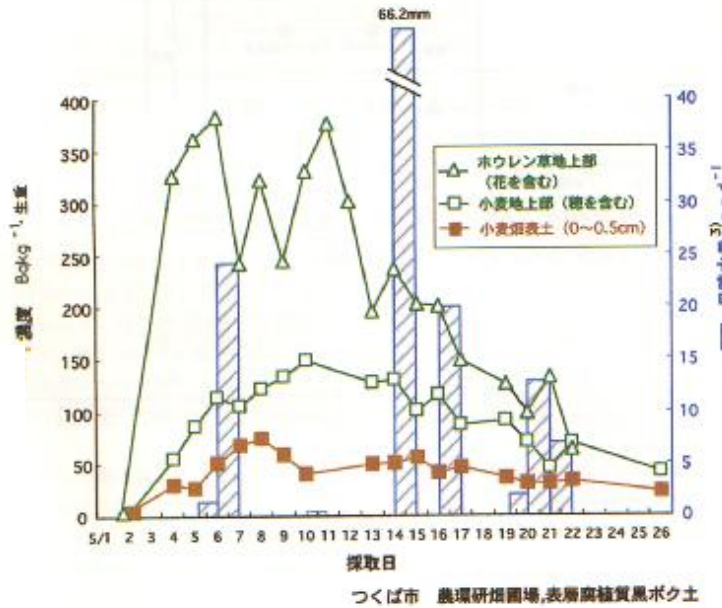


図1-1 作物地上部と表土¹⁾中の¹³¹I濃度²⁾の経日変化
¹⁾ 0~0.5 cm, ²⁾ 採取時 (9時頃), ³⁾ 前日9時より当日9時までの降水量。

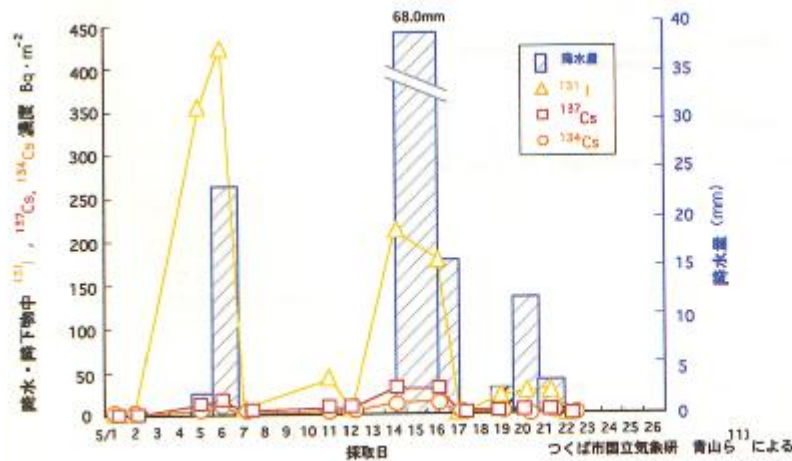


図1-2 降水・降下物中の¹³¹I, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs濃度の経日変化

チェルノブイリ事故とコムギの生長時期が玄麦の放射性セシウム濃度に及ぼす影響 — 高降下地と低降下地の比較からの推測

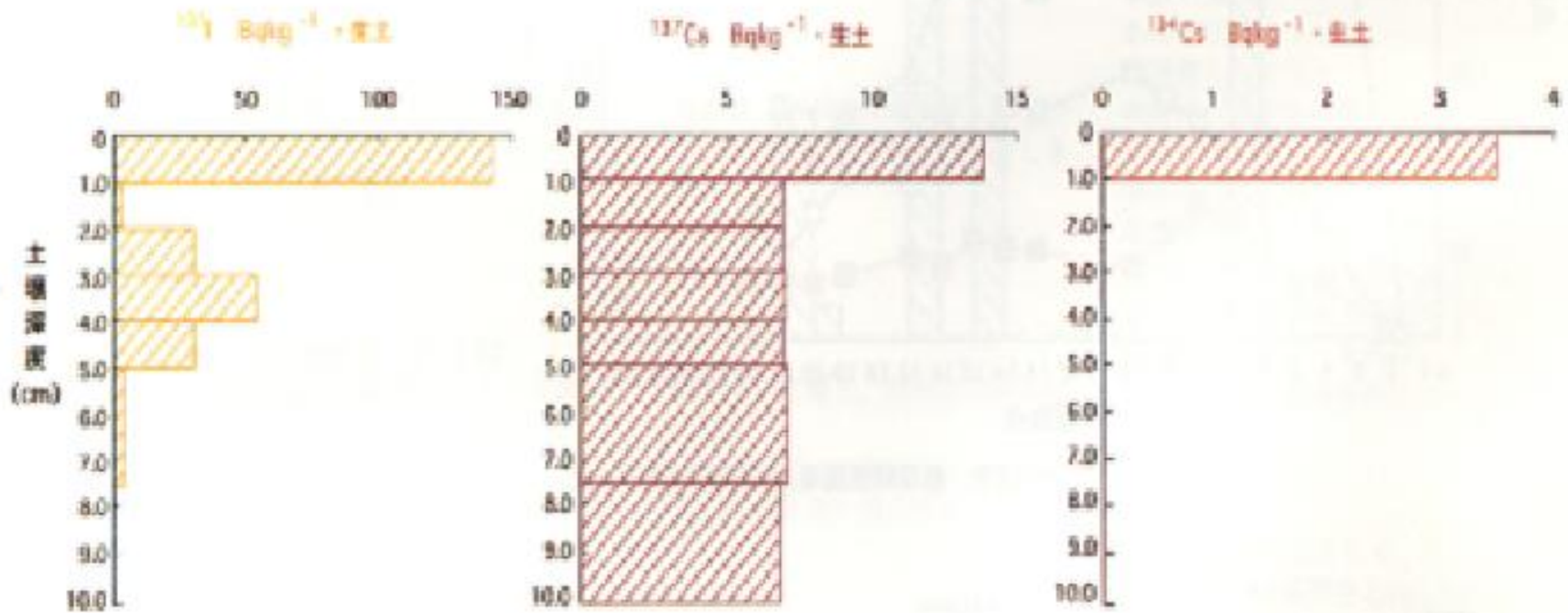
		Cs-137とCs-134をあわせた濃度 (Bq/乾物kg)			
採取地点	時期(小麦生長レベル)	作土	茎葉	種皮	玄麦
ドイツ、ミュンヘン 北方約50km畑	1086/8/4(収穫期) 事故 4/26直後は出穂どころか 20-30cmの草丈?	388	91.6(100)	75.4(82.3)	39.4(10.2)
つくば農環研畑圃場	1986/6/24(収穫期) 4/26直後は出穂し始めて いた	13.5	22.8(100)	71.3(313)	12(52.6)
ドイツ/つくば		29	4.1	1.1	3.3

同一畑(農環研圃場)に栽培した野菜中の放射能濃度(種類別)

種類	栽培年(測定数)	放射能濃度 (Bq/生重kg) 平均値(最小～最大)			非放射性ヨウ素-127濃度 (μ g/生重kg)
		セシウム-137	カリウム-40	鉛-210	
非結球茎葉野菜 (5種類)	1989-1996(21)	0.0056 (不検出～0.014)	116 (72～209)	1.1 (不検出～2.6)	27 (12.5-34.8)
結球葉菜 (3種類)	1989-1996(7)	0.0055 (不検出～0.0064)	56 (43～74)	0.069 (不検出～0.21)	2.8 (1.4～5.9)
果菜 (9種類)	1989-1996(13)	0.00040 (不検出～0.021)	70 (22～175)	0.18 (不検出～0.99)	4.8 (0.3～2.5)
根菜類 (7種類)	1989-1996(31)	0.0070 (不検出～0.0048)	97 (33～228)	0.25 (不検出～0.96)	3.5 (0.62～5.2)
参考 暫定基準値		500			
チェルノブイリ事故 年玄麦	1986(1)	5.6			
チェルノブイリ事故 翌年度コムギ	1987(1)	0.035			
土壌(畑の作土)	1987(7)	10.1 ^{*1} (9.3～11.4)	243 ^{*1} (232～258)	31.8 ^{*1} (20.7～48.4)	43000 ^{*1}
移行係数 ^{*3} (非結球茎葉菜)		0.00055	0.48	0.035	0.00063

*1 Bq/乾土1kg当たり

*2 非結球茎葉菜中放射能濃度 (Bq/生重kg) / 土壌中放射能濃度 (Bq/乾土kg)



5月2日の¹³⁷I地下漏れ時の(Bq/kg)・生土に平均値を示す

1.0cm以下は7.0(Bq/kg)・生土濃度とほぼ一定で、これは福島県産の¹³⁷Csである。

5月2日～6月20日までで226mmの降雨あり。

福島県内小笠原作土（表層土壌質黒ボク土、土性II、飽和透水係数 $3.4 \times 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）

チェルノブイリ事故後の放射性物質の土層内分布 1986年6月20日 事故後56日

チェルノブイリ事故4年後(1990年)の水田および畑土壌(作土)における放射性Cs, K, Pbの放射能濃度
 —福島県内 7地点の事例*—

場所	土地利用	放射能濃度 (Bq/乾土kg)		
		Cs-137	K40	Pb(鉛)210
大熊町東台 福島第一原発より2.5km	水田	12	372	41
富岡町波倉浜 福島第1原発より1-1.5km	水田	15	377	4.9
富岡町波倉浜 福島第2原発より1-1.5km	畑	18	352	50
高津戸	水田	7	404	38
小野町 (太平洋岸より35km)	水田	5	542	27
小野町 (太平洋岸より35km)	畑(草地)	8	259	60
伊苗代町(猪苗代盆地) 太平洋岸より80km	水田	3	418	34
1983年全国各地(14地点)	水田	19.2(6.6-37.4)	—	—
1983年全国各地(8地点)	畑	16.7(7.9-34.4)	—	—

*7地点すべてCs-134、I-131は不検出

チェルノブイリ原発事故後100日の森林の植物・土壌系における放射性セシウムと非放射性ヨウ素の垂直分布

ドイツ(チェルノブイリの西南西, 約1400km)の森林(放牧地)

採取地点	土地利用	気候	採取日
ミュンヘンの南約 50km (グルンダレン) 標高 960m	森林(夏期牛放牧)、緩やかな東斜面 苦石灰岩岩屑土(レンジナ)	平均年降水量1700mm 平均気温 4.5°C	1986/3/3 (事故後約100日)

植物名・器官	放射性セシウム濃度 (Bq/乾物kg)			非放射性ヨウ素 (mg/乾物kg)
	Cs-137	Cs-134	¹³⁷ Cs/ ¹³⁴ Cs	
地上部 ハリモミ葉	3110	1280	2.4	0.049
西洋ブナ葉	850	350	2.4	0.086
下草(単子葉)葉*1	2810	1330	2.1	0.078
下草(双子葉)葉*1	1040	500	2.1	0.086
土壌層	深度(cm)			
新鮮落葉枝層(L)	-12~-10		9790 4480 (2.2)	3.4
かなり細かく分解された層(Of)	-10~-6		4790 1960 (2.4)	6.3
十分に分解され腐食化(Oh)	-6~0		1150*2 260 (4.4)	13
腐食と無機質が混じる層(Ah)	0~9		200*3 0.002 1x10 ⁶	16
腐食と無機質が混じる層(Ahc)	9~20		0.017 不検出 -	16
母材の岩石が風化した層(C)	20~45		0.0063 不検出 -	1.1

*1 放牧牛のえさとなる牧草である。農水省は家畜に与える牧草や飼料の放射性セシウムの基準値として300Bq/kg, 乳牛については放射性ヨウ素の基準値として70Bq/kgとした。

*2 1150Bq/kg の約1/2の600Bqほどがチェルノブイリ事故以前の核実験由来のものと推定される

*3 200Bqすべてが核実験由来のものと推定される

Cs-137濃度 (Bq/乾土kg)

チェルノブイリ事故4年後(1990年)の隣地土壌における放射性セシウムの深度分布

	大農長東台	富岡町波倉浜	小野町羽生	磐梯町石延
土壌深度	福島第一原発より2.5km 雑木林(赤松、ブナ) 淡色黒ボク土、褐色森林土	福島第一原発より2.5km 赤松林 淡色黒ボク土	太平洋岸より35km 雑木林(赤松、クヌギ他) 褐色森林土	太平洋岸より約90km会津盆地内 スギ林 褐色森林土、黒ボク土火山灰混合
0-1	19	4.8	27	0
1-2	20	39	63	50
2-3 3-4	70	73 77	69 89	230
4-5	54	70	44	144
5-7	46	60	25	57
7-9	22	41	14	20
9-11	11	13	9.7	8
11-14	不検出	7.0	5.4	2.3
14-17	不検出	1.1	1.8	1.3
17-20	不検出	1.0	1.2	1.2
20-25	不検出	不検出	1.2	不検出
25-30	不検出	1.7	不検出	不検出
30-35	不検出	0.4	0.8	不検出
35-40	不検出	不検出	3.8	不検出
40-45	不検出	0.8	1.1	不検出
45-50	不検出	不検出	1.3	不検出

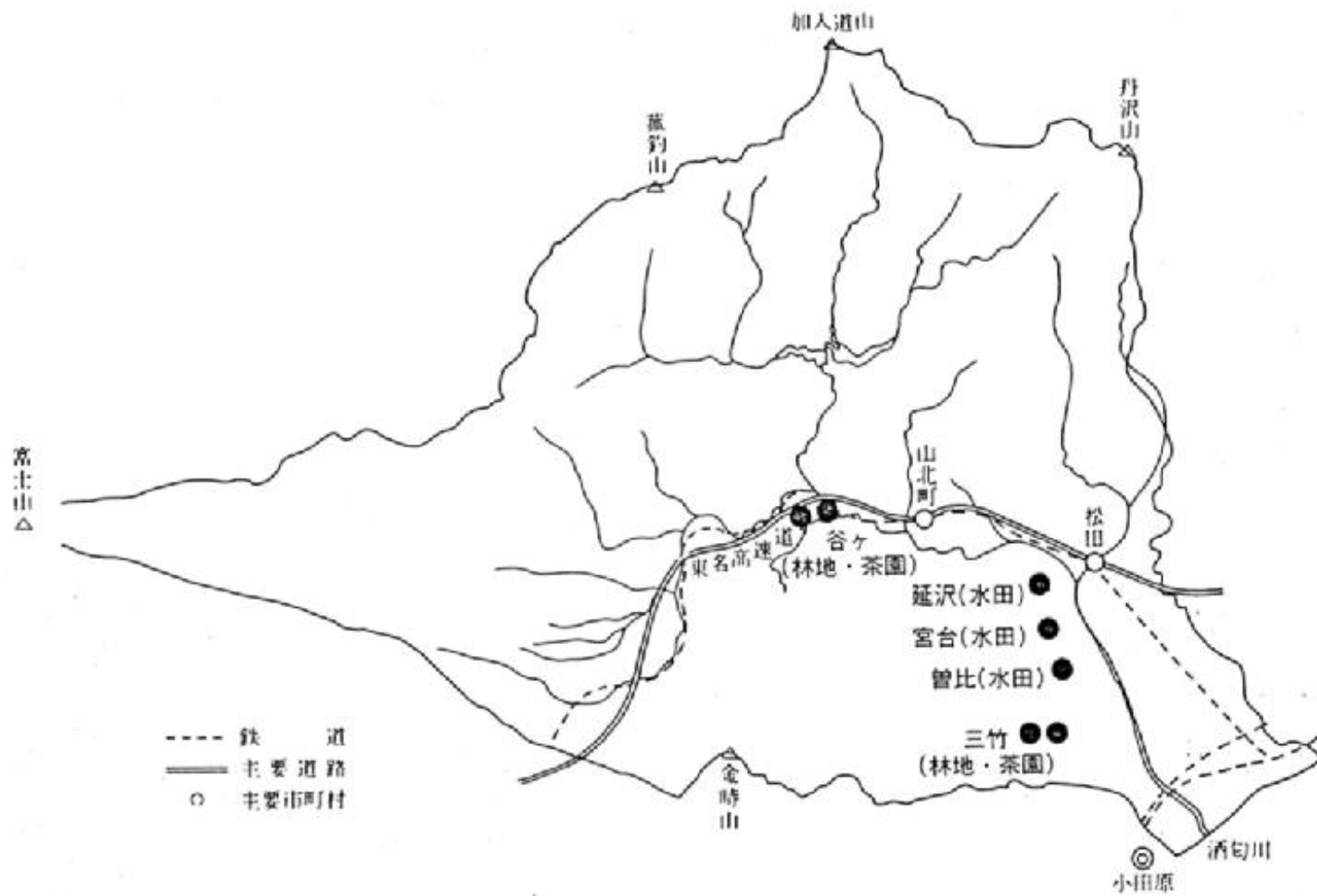
4地点共、¹³⁴Cs(半減期年)、¹³¹I(半減期8日)は検出されず

牧草と表土からのウシのヨウ素摂食量

地点	表土中ヨウ素濃度が高い		表土中ヨウ素濃度が低い
	福島県三春町 (阿武隈高原、中通り、 太平洋より45km)	福島県沼尻 (沼尻高原、会津、 太平洋より67km)	宮城県黒川郡大里 (浜通り、太平洋より 8km)
土壌型	黒ボク土(植壤質)	黒ボク土(壤質)	褐色森林土(砂質)
摂食量(kg・L/頭/日/乾物) 草	15(100)	15(100)	15(100)
	0.097(0.65)	0.055(0.37)	0.154(1.0)
ヨウ素濃度(mg/乾物kg)	0.24(1.0)	0.12(1.0)	0.24(1.0)
	43.8(183)	60.8(507)	3.7(15.4)
移行係数 (牧草のヨウ素濃度/土壌のヨウ素濃度)	0.0055	0.002	0.065
ヨウ素摂食量(mg/頭)	3.6(45.9)	1.8(35.0)	3.6(86.3)
	4.25(54.1)	3.34(65.0)	0.57(13.7)
計	7.85(100)	5.14(100)	4.17(100)

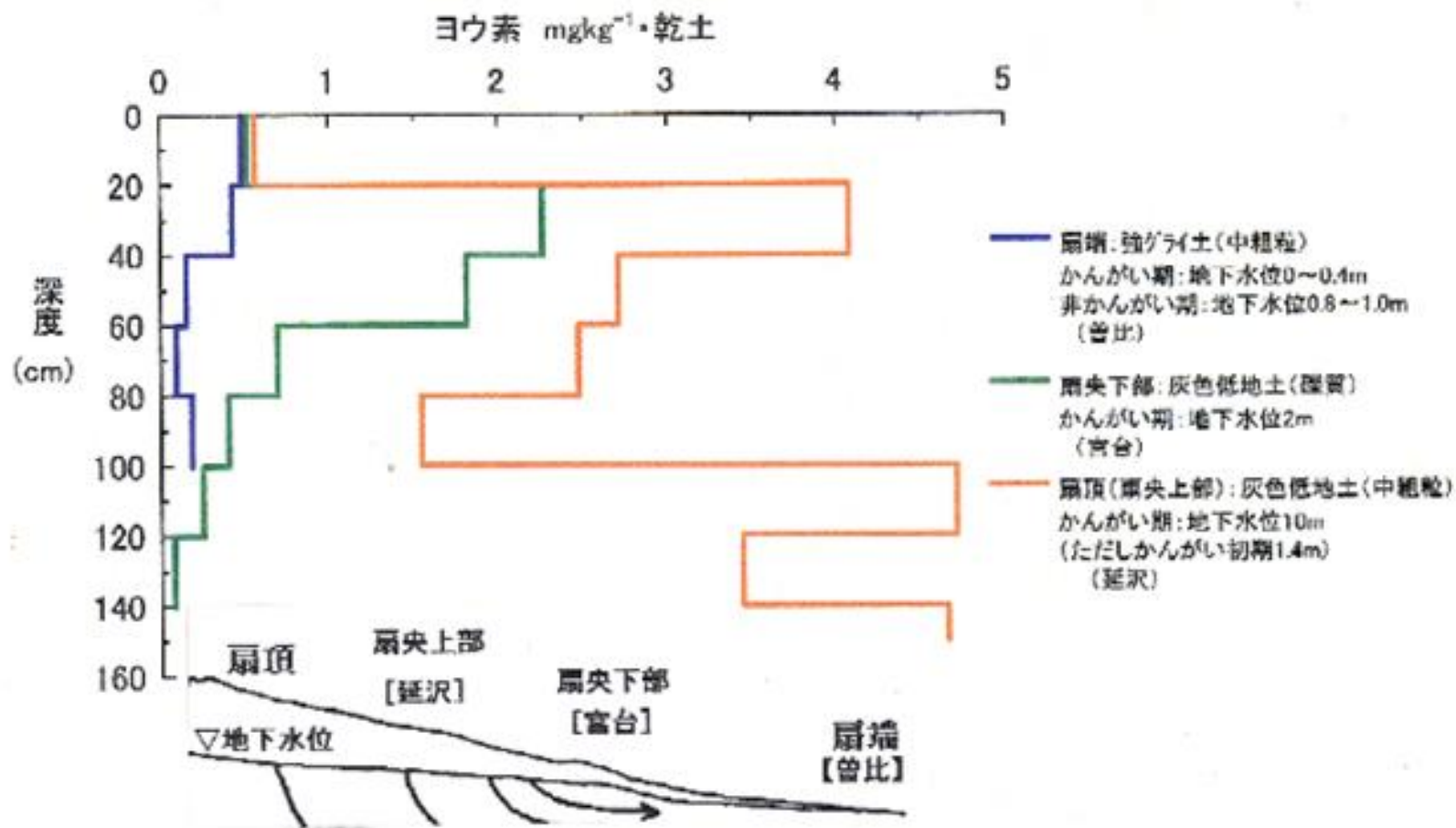
牧草と表土からのヨウ素の牛体消化器官からの吸収率

地点	表土中ヨウ素濃度が高い		表土中ヨウ素濃度が低い
	福島県三春町 (阿武隈高原、中通り、 太平洋より45km)	福島県沼尻 (沼尻高原、会津、 太平洋より67km)	宮城県黒川郡大里 (浜通り、太平洋より8km)
ヨウ素摂食量(mg/頭)	7.85(100)	5.14(100)	4.17(100)
排泄量(kg・L/頭/日) ふん	3.6kg	3.6kg	3.6kg
尿	14L	14L	14L
ヨウ素濃度(mg/kg) ふん	0.56	0.39	0.51
尿	0.079	0.076	0.071
ヨウ素排泄量(mg/頭)	2.02	1.4	1.84
ヨウ素吸収量(mg/頭)	5.83	3.74	2.33
ヨウ素吸収率(%)	74.3	72.8	55.9



アクチバブルレーザー試験区の設定地点

水田でヨウ素は

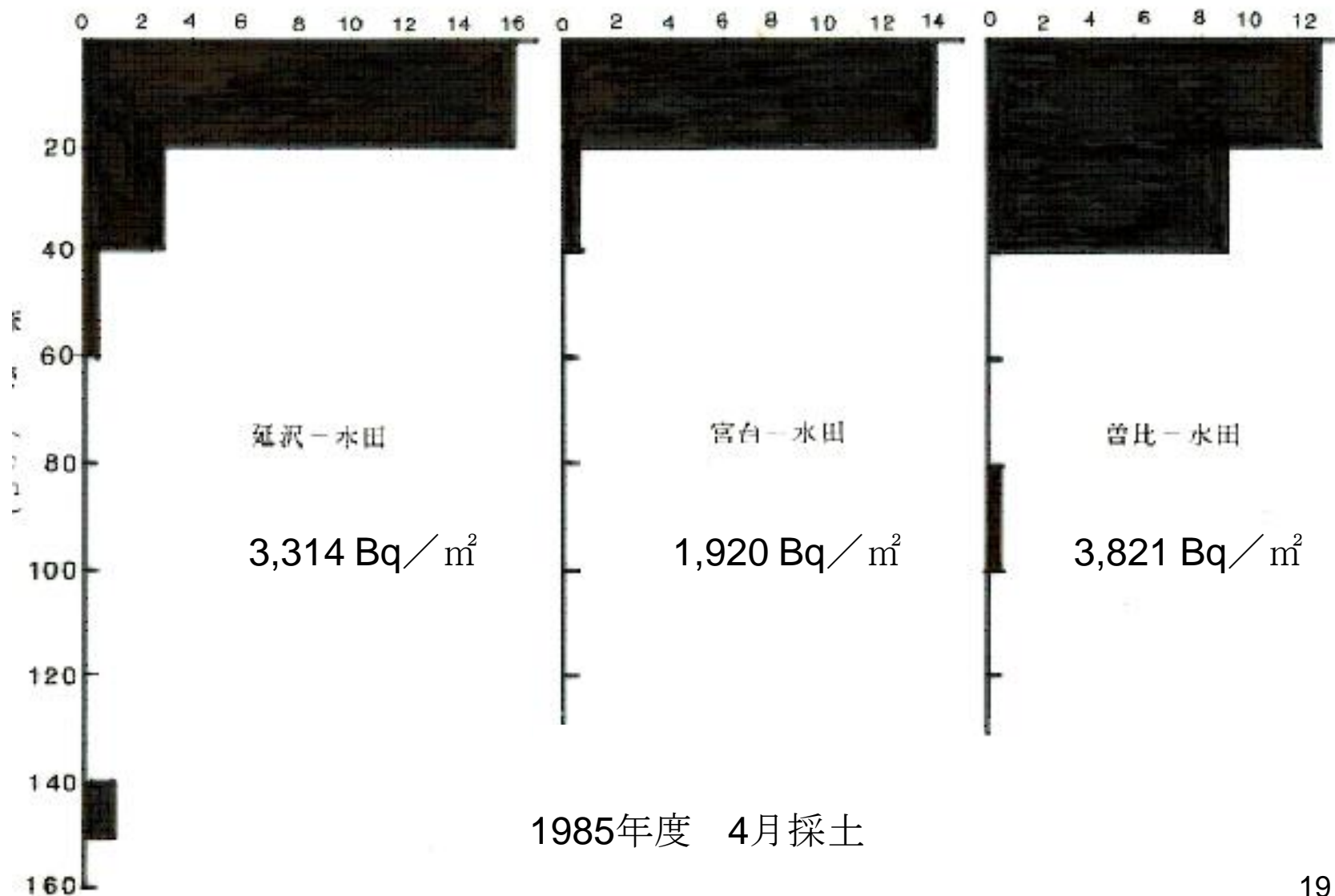


神奈川県開成町(足柄平野)

扇状地上の水田土壌(沖積層)におけるヨウ素の深度分布
 - 地下水位の高低による差異 -

水田でセシウムは

Cs-137放射能濃度 (Bq/Kg-風乾土)

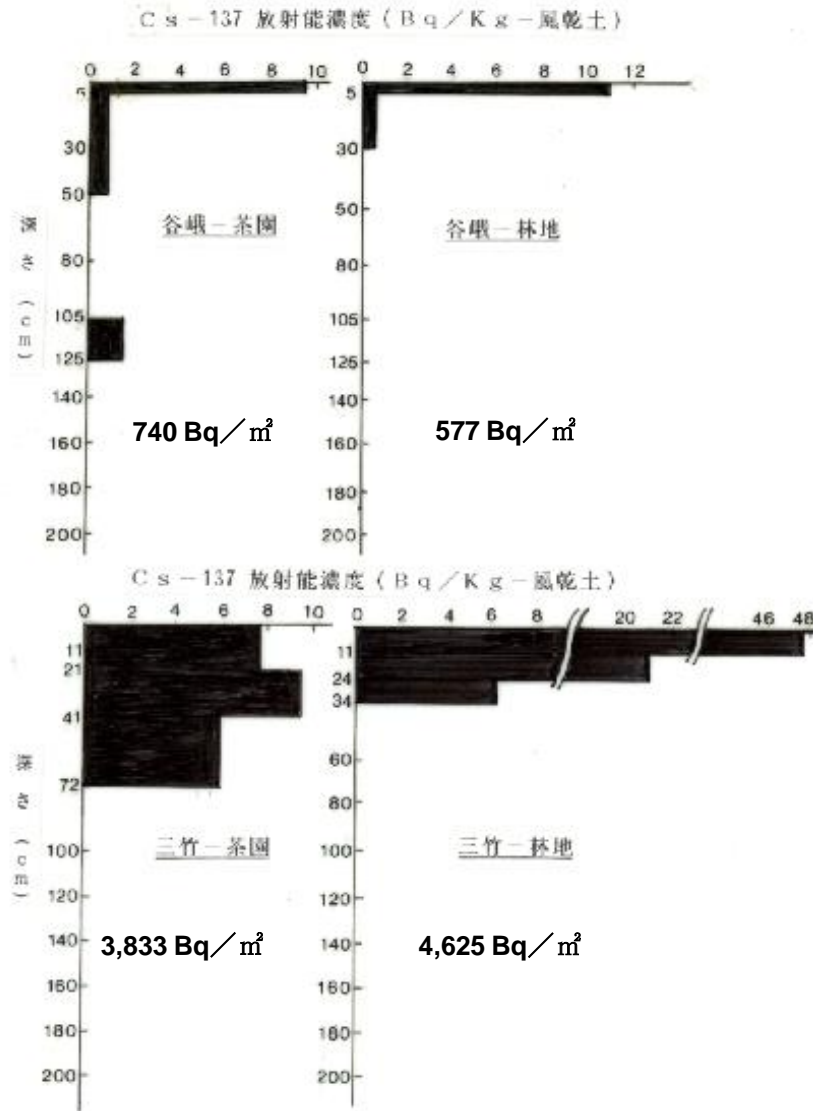


林地、茶園、畑では

降水の土壌浸透速度、浸透水量、浸透率（林地、茶園、畑）

試験圃場地点	土 壤	透水係数 cm/sec	土地利 用形態	浸透速度 cm/期間	左計測期間中 降水量 mm	土壌浸透水 量 mm *	土壌浸透 率 %
三 竹 (南足柄市)	単色黒ボク 土 (壤質)	$10^{-1} \sim 10^{-4}$	茶 園	200/1年	1,754 ('83.9.12~ '84.8.16)	980	56
三 竹 (同上隣接地)	〃	〃	ヒノキ林	250/1年	(〃)	1,200	68
谷 城 (山北町)	単色黒ボク 土 (礫質)	$10^{-2} >$	茶 園	200/50日	518 ('83.9.12~ '83.10.31)	590**	114**
谷 城 (同上隣接地)	〃	〃	梅 園	〃	(〃)	520**	100**
農環研 (筑波)	表層腐植質 黒ボク土 (壤粘質)	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	畑	80/1年	1,254 ('82.9.29~ '83.9.21)	460	37

畑土壤 セシウム



1983年7月採土
土壌深さ別のCs-137濃度

畑で ヨウ素とセシウムの比較

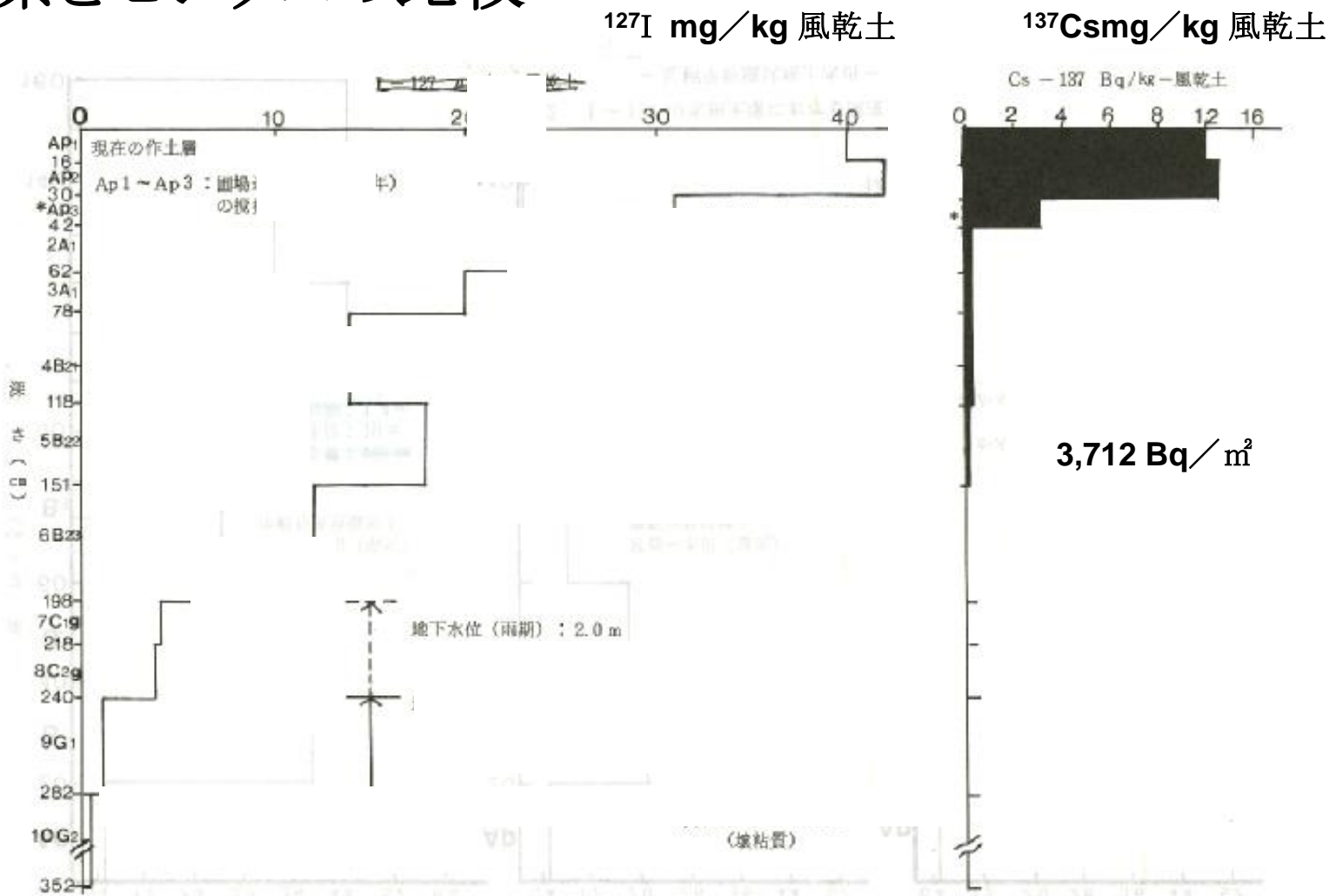


図1-127, Cs-137のつくば農環研知圃場における土壌深度別濃度

1985年10月採土

カリウム-40の農産物・食品中の放射能濃度*1

—100Bq/kgを超えるもの—

種類	品目	放射能濃度 (Bq/kg)	種類	品目	放射能濃度 (Bq/kg)	
豆類	エダマメ	130	野菜類	ホウレンソウ	160	
	ダイズ	420		フダンソウ	310	
	ソラマメ(未熟)	110		コマツナ	100	
	ソラマメ(完熟)	240		シュンギク	130	
	アズキ(完熟)	330		ニラ	100	
	ラッカセイ(完熟)	160		ブロッコリー	120	
イモ類	乾燥サツマイモ	220		カリフラワー	160	
	サツマイモ(生)	73		野菜各種94点平均つくば	100	
	ジャガイモ	100		キノコ類	シイタケ(乾)	460
	ポテトチップス	260			生シイタケ	37
	サトイモ	120	海藻	コンブ(素干し)	1650	
穀類	コムギ	103		ワカメ(生)	160	
	ソバ	103		ワカメ(乾燥)	1250	
牧草	イネ科牧草(干し草)*2	540				
	マメ科牧草(干し草)	560				
参考	ヒト成人	70				
	成人体内総量	4200Bq/60kg*3				
	粉乳	400				

*1 食品成分表などのカリウム含量より算出(カリウム1gは放射性カリウム-40を22Bqを含むとして)

*2 牧草など家畜に与える飼料の放射性セシウムの農水省の暫定基準値は300Bq/kg(乳牛・肉牛とも)、乳牛用

*3 内部被ばく線量でいうとおよそ03ミリシーベルトとなる。胃のX線集団検診1回は0.6ミリシーベルト

代表的肥料に含まれる天然放射性のウラン-238とカリウム-40の放射能

	濃度 (Bq/kg)	
	ウラン-238	カリウム-40
リン鉱石(フロリダ、堆積型鉱床)	1440	56
過リン酸石灰	910	90
溶成リン肥	1310	38
カリ鉱石	不検出	14950
塩化カリ	不検出	15000
硫酸カリ	不検出	12440
複合肥料(N14-P ₂ O ₅ 14-K ₂ O14)	555	4300
牛ふん堆肥(N2.2-P ₂ O ₅ 1.4-K ₂ O3.0)	未測	920*
草木灰(N3.4-P ₂ O ₅ 7~8-K ₂ O11)	未測	3400*

*カリの保証値より算出

葉菜類の老若・部位の違いによるヨウ素-127濃度

—平常時のつくばの畑—

作物	老若・部位など	ヨウ素-127濃度 ($\mu\text{g}/\text{生重kg}$)
ホウレンソウ	若い葉(4/5収穫)	30.8
	老葉(6/6収穫) (老/若)	109.6 (3.6)
ブロッコリ	若い花らい(11/27収穫)	0.24
	過熟した花らい(12/22収穫) (過熟/若)	9.4 (39.2)
キャベツ	結球部(若い黄白色部)	1.8
	外葉(展開した下葉、緑色部) (外葉/結球部)	40.3 (22.4)
タマネギ	葉鞘(リン茎、可食部)	0.87
	葉身(青色葉)	25.3
	(葉身/葉鞘)	29.1

野菜体内、特に茎葉から可食部(根菜では地下部)への移行性(平常時、つくば畑圃場)

作物 (計測日時)	器官(点数)	放射能(Bq/風乾物kg) ()内数値は相対値			濃度mg/風乾物kg
		¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	¹²⁷ I
長ネギ (1996/9/20)	白色部(土中)	0.0087(100)	51(100)	0.034(100)	4.1(100)
	緑色部(地上部)	0.0061(100)	47(92)	0.0170(500)	19.6(478)
ジャガイモ (1996/6/19)	塊茎(土中・可食部)	0.010(100)	134(100)	0.38(100)	4.2(100)
	茎葉部(地上部)	0.006(60)	65(49)	1.7(447)	42.6(1.014)
サツマイモ (1991/10/9)	塊根(土中・可食部)	0.035(100)	117(100)	0.44(100)	4.8
	茎葉部(地上部)	0.039(111)	115(98)	8.5(1.932)	未測
ダイコン (1992/11/26)	塊根(土中・可食部)	不検出	33(100)	0.21(100)	1.6(100)
	茎葉部(地上部)	不検出	68(206)	0.80(381)	25.2(1580)
ニンジン (1995/12/5)	塊根(土中・可食部)	不検出	77(100)	0.12(100)	0.71(100)
	茎葉部(地上部)	不検出	225(292)	2.0(1667)	33.7(4746)
エダマメ (1994/8/25)	豆(地上部・鞘中)	0.021(100)	175(100)	不検出	5.0(100)
	茎葉部(地上部)	0.031(148)	155(89)	15	253(5060)

ヨウ素の作物への移行

果菜類の葉・茎と果実・未熟種子のヨウ素-127濃度

—平常時のつくばの畑—

ヨウ素-127濃度(μg/生重kg)

作物	部位別 ヨウ素			
	トマト	葉	完熟果実	
24.3		1.4		0.058
エダマメ	葉	サヤ	未熟種子	未熟種子/葉
	253	63	5	0.02
スイートコーン	葉	茎	未熟種子	未熟種子/葉
	84	8.3	0.69	0.0082

ヨウ素の作物への移行

穀類・豆類の茎葉と子実の非放射性ヨウ素-127濃度

—平常時のつくばの畑—

ヨウ素-127濃度(mg/風乾物kg)

作物	茎葉	完熟子実	子実/茎葉
リクトウ	0.5	0.008	0.016
ソバ	0.22	0.02	0.0091
アズキ	0.96	0.008	0.0083
コムギ	0.29	0.008	0.028
スイトウ	1.8	0.011	0.0061

根菜類の土壌環境(酸化・還元)の差異が塊根、塊茎のヨウ素-127濃度に及ぼす影響

—平常時のつくばの畑(酸化状態)と霞ヶ浦周辺の蓮田(還元状態)で栽培—

作物	器官	栽培地	ヨウ素-127濃度 (平均、 $\mu\text{g}/\text{生重kg}$)
レンコンと クワイ	塊茎	土浦市蓮田	45.3
ジャガイモ サトイモ ショウガ	塊茎	つくば市畑	4.0
サツマイモ ヤマイモ	塊根	つくば市畑	5.0
直根類 ダイコン ニンジン ゴボウ カブ	塊根	つくば市畑	2.3



トレーサ試験地（茂原ヨウ素工場隣接地）
降雨の影響に注目（ビニール屋根の内と外）



大気中ヨウ素の捕集



大気から土壌表面へ降下したヨウ素
の下層への浸透実験



ヨウ素工場の排気筒とトレーサ試験地の
大気捕集孔

ヨウ素工場排気筒放出ヨウ素による野外トレーサ試験

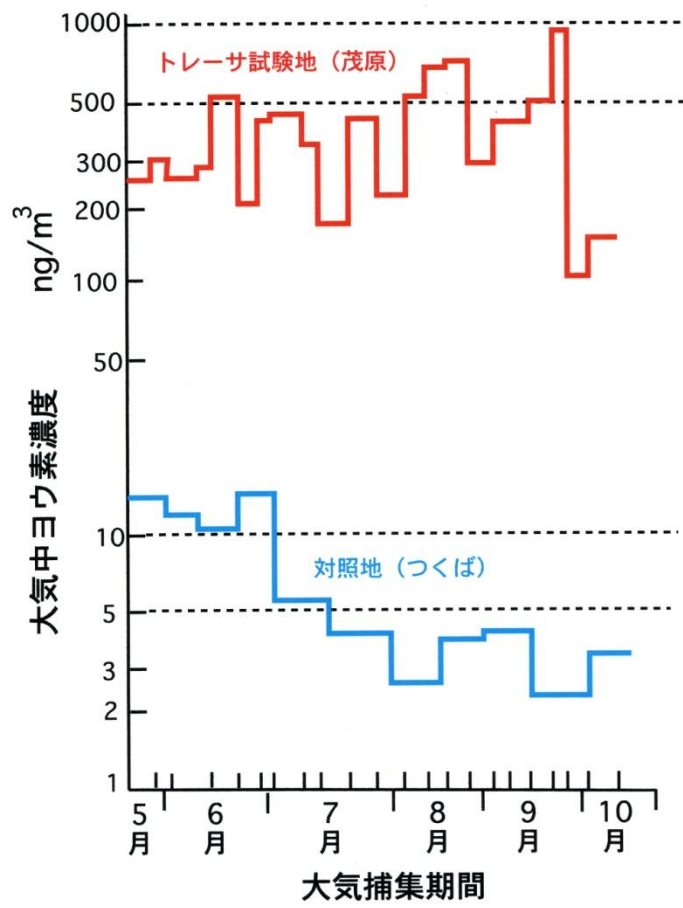


トレーサ試験地（茂原農業高校）
大気から水稻地上部へ直接沈着するヨウ素量
に及ぼす降雨の影響をみる

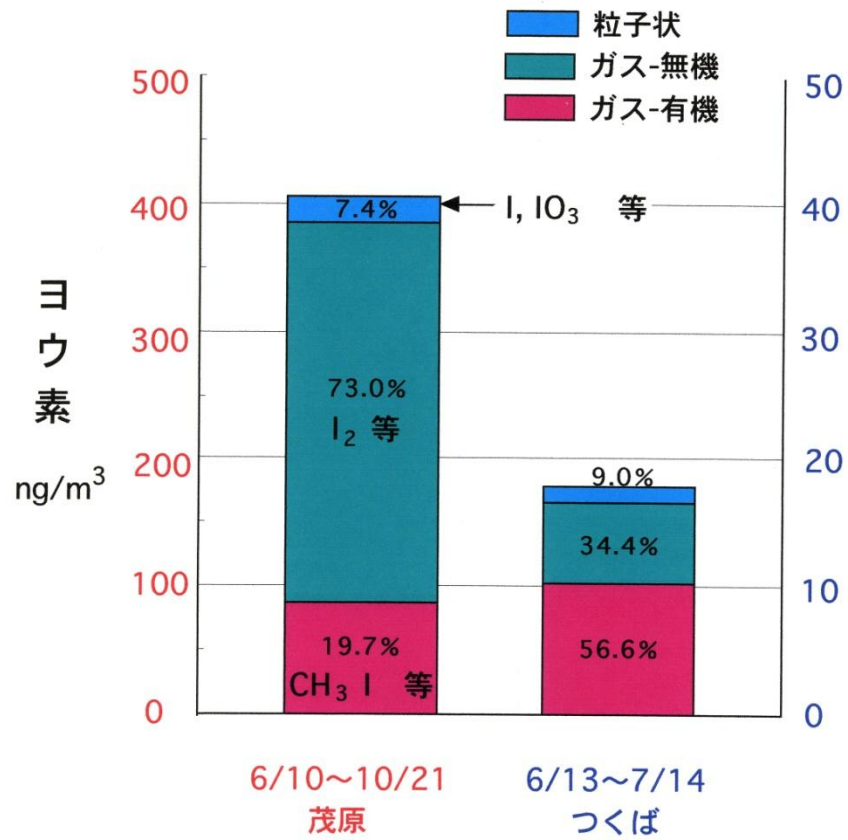


降雨時ビニール屋根の下の水稻
には降雨がかからない

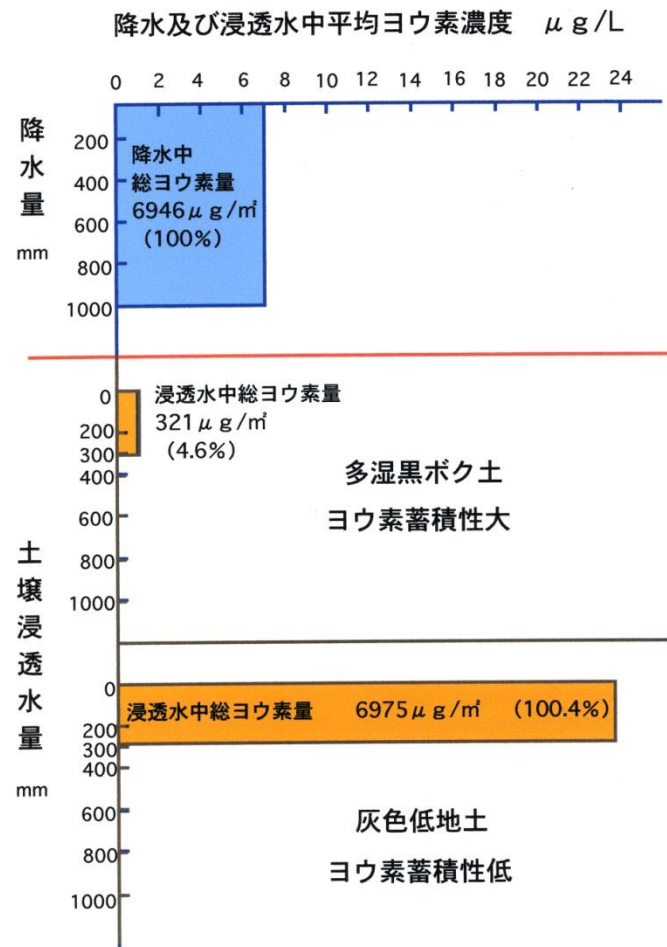
環境放出ヨウ素を利用する野外トレーサ試験



トレーサ試験地（茂原）および対照地（つくば）の大気中ヨウ素濃度の経時変化



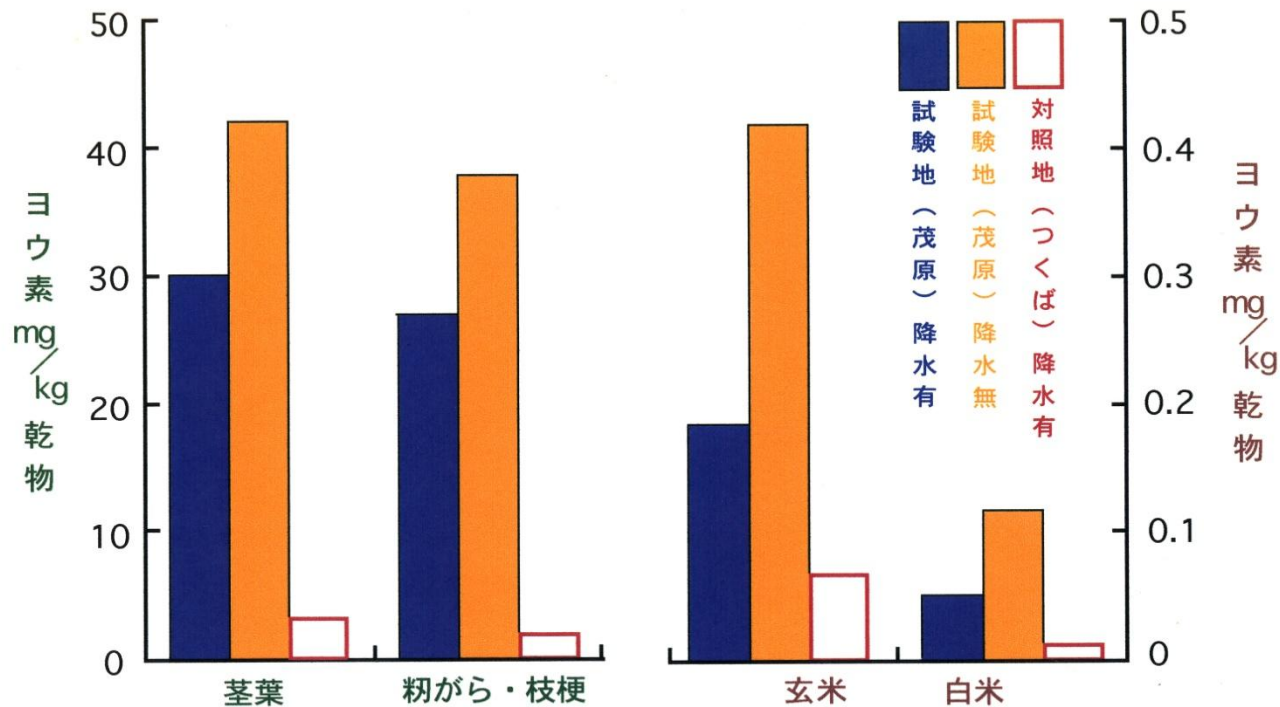
大気中ヨウ素の物理的・化学的形態



土壤 (雨量計充てん) 配置地点: 千葉県立茂原農業高等学校
(ヨウ素工場隣接地)

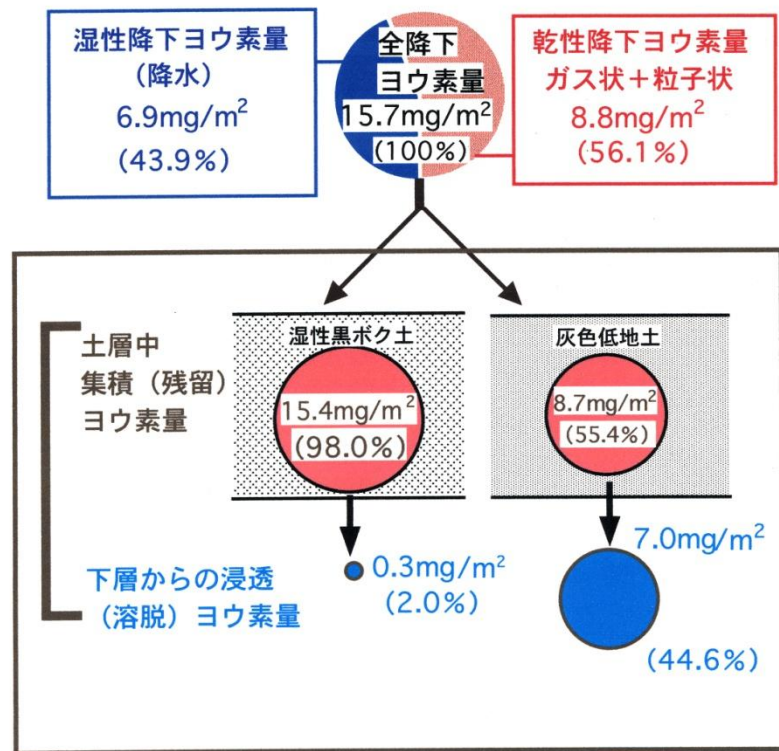
配置期間: 6/10~10/21の133日間

土壤浸透水中ヨウ素量と降水中ヨウ素量との関係



試験地と対照地の降水有無別の水稻器官別ヨウ素濃度

どの器官も試験地が対照地より1桁前後高く、この分が大気中ヨウ素の水稻地上部への直接沈着の寄与分である。降水が当たらない無区は降水が当たる有区より高く、降水は直接沈着量を減少させる効果があることがわかる。

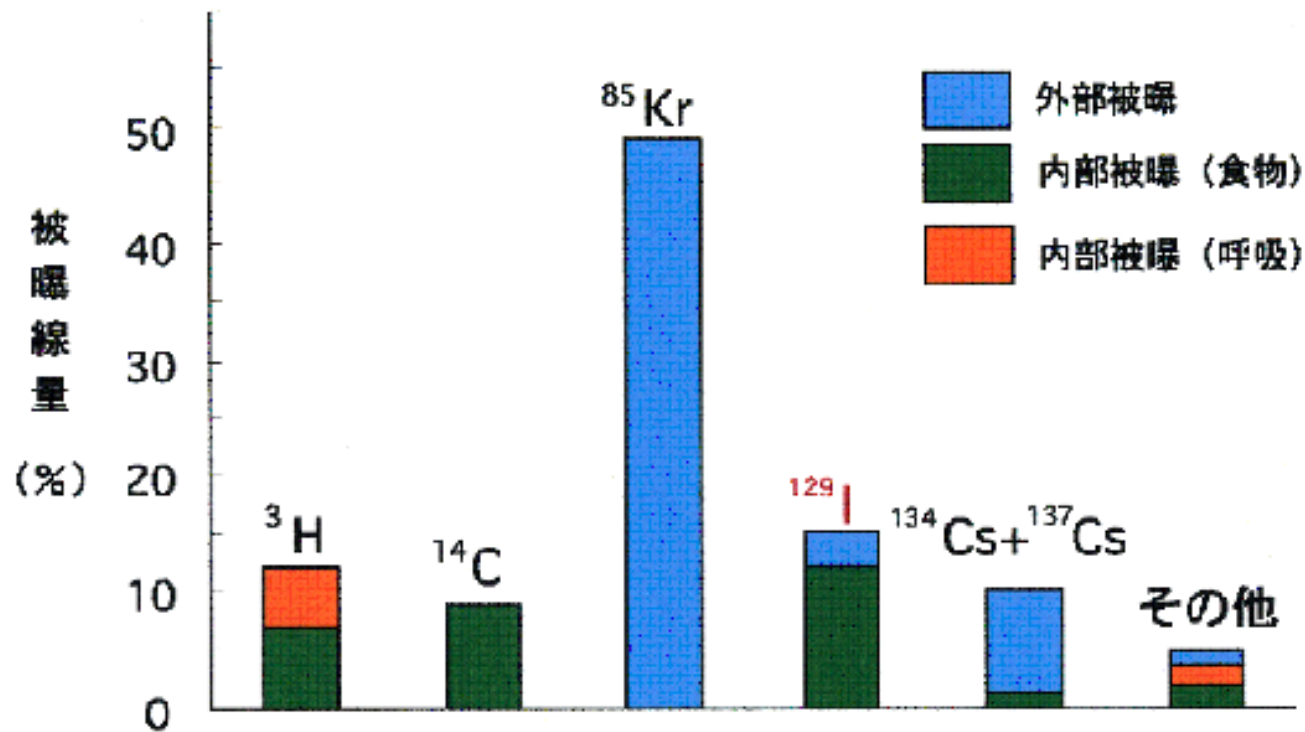


土壌は雨量計に充てんし、試験地の野外環境下に配置。

試験地：茂原市千葉県立茂原農業高等学校農場
(ヨウ素工場隣接地)

配置期間：133日 (6月6日～10月21日)

降下性ヨウ素の土層中集積 (残留) 率と浸透率



再処理施設平常運転時における公衆の被曝線量
(気体廃棄物、個人の年間最大線量)

原研 飯島 敏哲 による

長寿命ヨウ素-129の土壤中濃度と再処理工場からの距離の関係

—再処理施設稼動開始(1977年)後4-5年—

放射性医学研究所 村松ら

採取地	処理施設からの距離(km)	採取年・月	土壌深度(cm)	土壌中ヨウ素-129濃度(mBq/kg)
東海村	1	1981/9	0~5	35
		1981/9	10~15	1.5
		1981/9	20~25	0.41

-----3km圏-----

ひたちなか市	8	1983/7	0~10	14
水戸市	15	1981/11	0~5	11

-----20km圏-----

つくば市	60	1999/6	0~6	1.9
東京都府中市	130	1981/10	0~5	0.78
長野県戸隠村	230	1982/8	0~5	0.13

長寿命ヨウ素-129、セシウム-137の土壌深度分布

—核燃料再処理施設*運転開始(1977年)後13年の施設周辺の林地—

地点と概況

東海村緑ヶ丘、施設の排気筒から約1km。採取日：1990/11/6(チェルノブイリ事故後4.5年)
土地利用＝林地(赤松・スギ)、土壌＝淡色黒ボク土

土壌層	深度 (cm)	I-129 (mBq/kg)	I-127(安定) (mg/kg)	Cs-137 Bq/kg
落葉枝堆～粗腐植層	-5～0	23	9.7	1.3
A層 無機質層、腐植がまじる	0～1	72	45	83
	1～25	70	47	80
	2.5～4	50	59	92
	4～5	35	64	95
	5～6	15	77	69
	6～8	9.9	79	48
	8～10	5.1	78	14
	10～12	不検出	89	6.7
AB層 無機質層 多少腐植がまじる	12～15	1.5	91	1.8
	15～18	不検出	51	2.2
	18～21	—	42	1.8
	21～26	—	45	3.0
	26～31	—	35	1.6
Ab層 かつての土壌表層 のA層(埋没腐植層)	31～36	—	35	不検出
	36～41	—	29	不検出
	41～46	—	30	不検出
	46～51	—	29	不検出

*原子炉の使用済みウラン燃料棒を切断・溶解化学分離し、生成したプルトニウムとウラン、核分裂生成物に分ける作業を行う施設(日本原子力研究開発機構)

再処理施設周辺の畑と水田作土中のI-129とI-127濃度

運転開始（1977年）13年後

地点	土地利用	深度 (cm)	I-129 (mBq/kg)	I-127 (mg/kg)	I-127/I- 129
ひたちなか市長 砂 (施設より3km)	畑 (淡色黒ボク 土)	0-15	14.2	23	1.6
同上	水田 (淡色黒ボク 土)	0-15	3.4	5.3	1.6
ひたちなか市寺 崎 (施設より4km)	水田 (灰色低地 土)	0-15	1	1.6	1.6

ご清聴ありがとうございました。