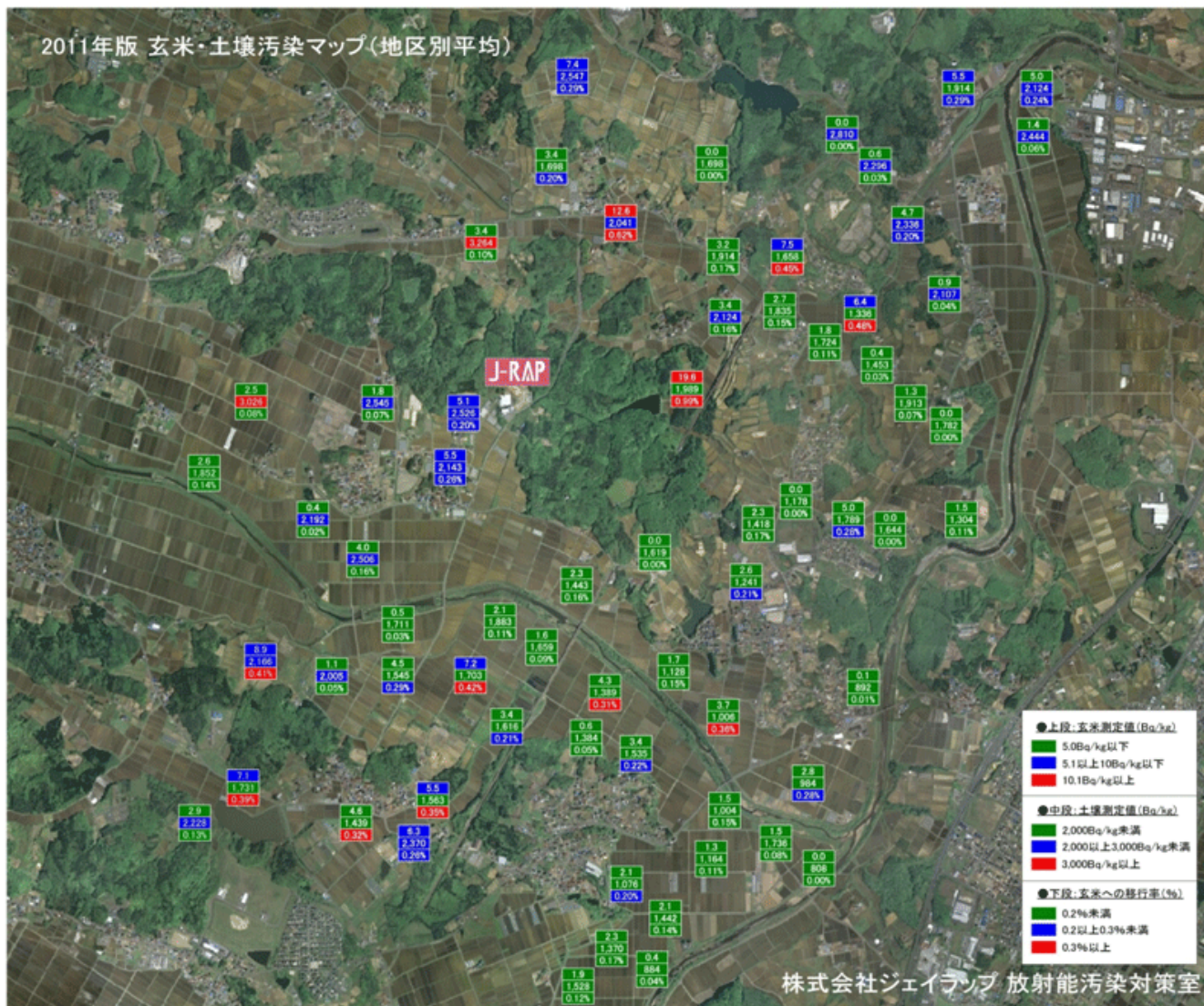


原子力災害から学んだこと



【生物の放射線に対する感受性】

30日間で半数が死亡する放射線量 (Svは、mSvの1,000倍・ μ Svの1,000,000倍)

生 物	被曝線量 Sv ($\times 100$ レム)
植 物	10~1,500
アメーバー	1,000
カタツムリ	200
へ び	80~200
昆 虫	10~100
魚・鳥・ねずみ	6~20
さ る	2.5~6
人 間	4
モルモット	4
犬	2.5~4
山 羊	3.5
ロ バ	3
羊	2

「チェルノブイリ：放射能と栄養」より
V.N.コルズン/I.P.ロス/O.P.チェストフ 著
白石久二雄 訳

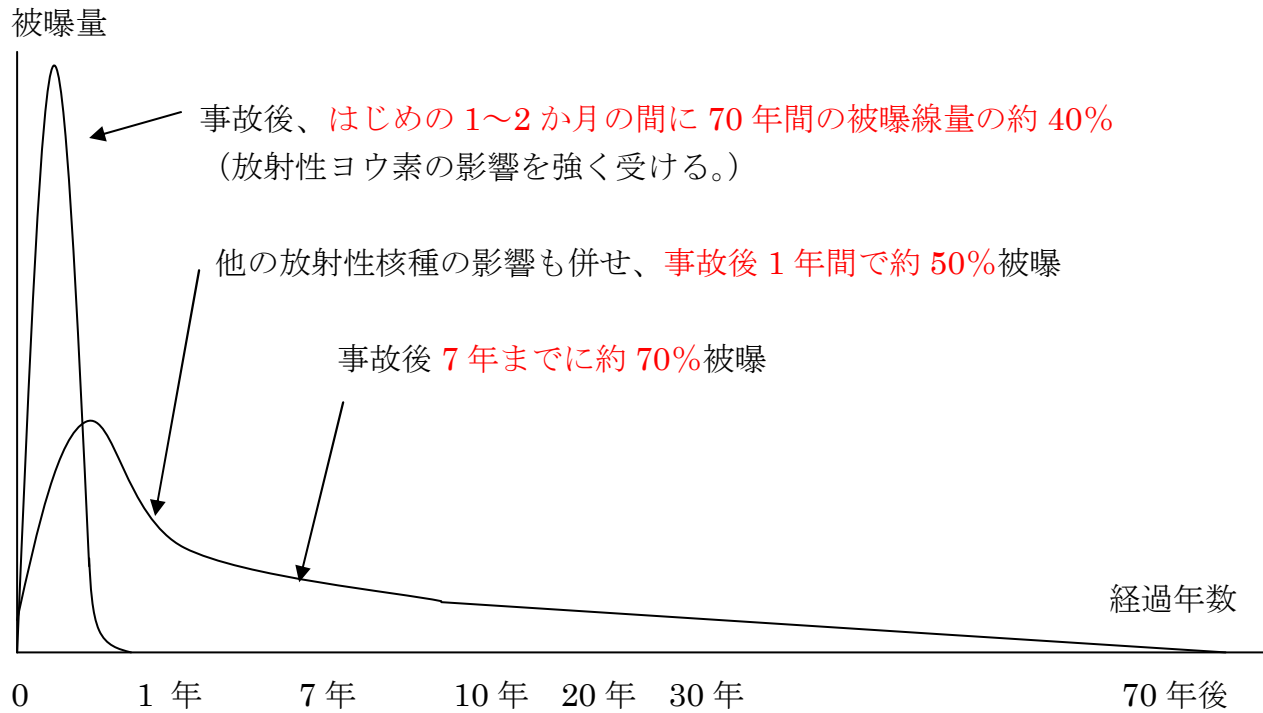
元(独)放射線医学総合研究所 緊急被曝研究センター
被曝線量評価部 内部被曝評価室長

*放射性物質の食品一人体系における挙動と国民の内部
被曝研究に従事。

2011年9月13日に、白石久二雄 著書として
福島原発事故「放射能と栄養」を出版しています。

- 生物組織の放射線に対する感受性は、そのサイズや進化のレベルによって異なります。
- 「孢子」は最も耐性があり、植物も比較的耐性があります。
- 「動物」が最も耐性がなく、感受性が高く放射線による影響を受け易い。

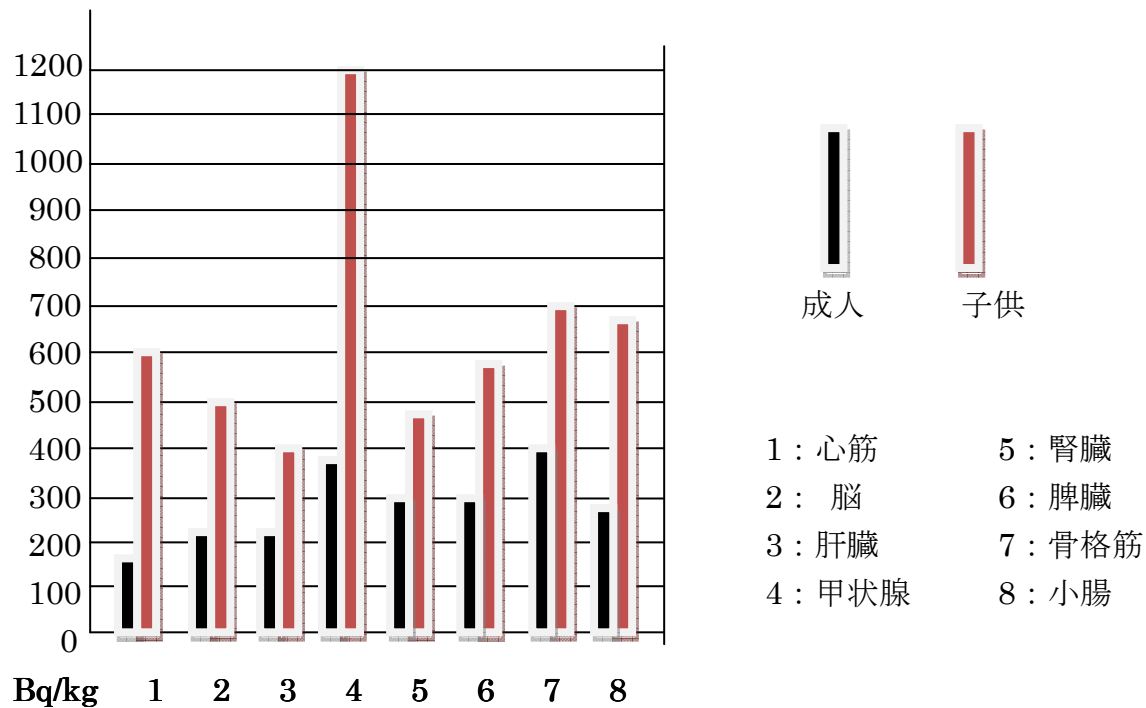
【チェルノブイリ原発事故後 70 年間の被曝線量推移予測】



白石久二雄 著 福島原発事故「放射能と栄養」より

*原子力災害が発生した場合、初動対策がいかに大切であることを認識しなければならないことが読み取れます。

【1997年に死亡した成人と子供の臓器別放射性元素濃度】



「放射性セシウムが人体に与える医学的・生物学的影響」より
 <チェルノブイリ原発事故被曝の病理データ>
 ユーリー・I・バンダジェフスキー 著 (元ゴメリ医科大学学長)
 久保田護 訳 (チェルノブイリの子供を救おう会代表)

【2011年3月15日～3月16日 緊急モニタリングチームが測定した放射能測定値】

日	時	場 所	サ ン プ ル	放射線量測定値 (Bq/kg)	
				I-131	Cs-137
3/15	17:28	川内村付近	葉菜	862,000	106,000
3/15	17:58	浪江町付近	葉菜	1,230,000	107,000
3/15	18:21	飯館村付近	葉菜	1,190,000	169,000
3/16	8:00	川俣町付近	上水	177	33

1kg 当たり 119 万ベクレルというヨウ素 131 汚染の野菜を、仮に 40 g ほど幼児が食べたとするとその子の甲状腺被曝は 100 ミリシーベルトとなる。

【飯館村とキエフ市の汚染の比較 (土壌汚染密度 Bq/m²)】

		セシウム 137	ストロンチウム 90	プルトニウム 239・240
飯館村：	その 1	1,000,000	390	0.01
原発から北西へ	その 2	590,000	300	0.07
30～40 km	その 3	2,200,000	790	0.20
キエフ市：原発から南へ				
110 km 市内 6 か所平均		25,000	5,800	160.00

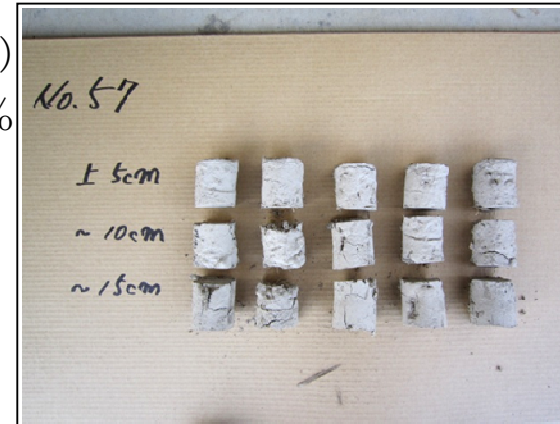
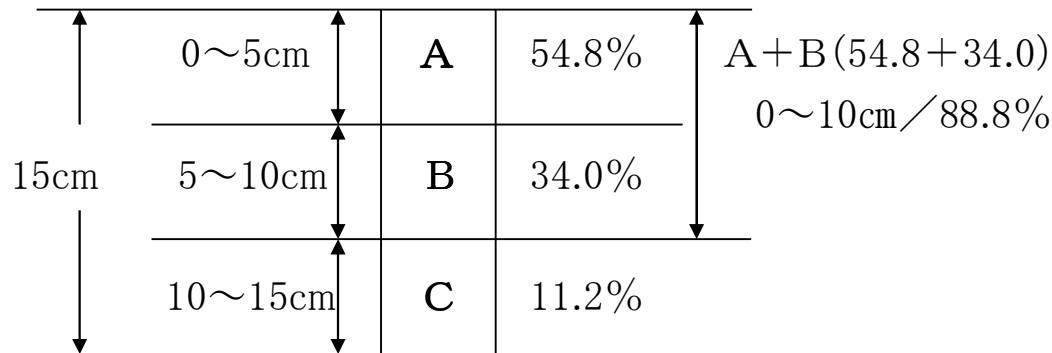
【水田における放射性物質分布】

圃場 NO	採取	5cm (Bq/kg)			5~10cm (Bq/kg)			10~15cm (Bq/kg)			平均値
		Cs137	Cs134	Cs計	Cs137	Cs134	Cs計	Cs137	Cs134	Cs計	Cs計
53	8/16	866.0	681.8	1,547.8	851.6	488.5	1,340.1	344.1	269.9	614.0	1,167.3
54	8/23	919.2	780.3	1,699.5	525.0	448.4	973.4	370.7	300.1	670.8	1,114.6
55	8/26	1467.8	1083.6	2,551.4	804.0	629.8	1,433.8	43.7	40.7	84.4	1,356.5
56	8/26	1070.2	820.6	1,890.8	566.5	454.7	1,021.2	116.0	85.9	201.9	1,038.0
平均				1,922.4			1,192.1			392.8	1,212.8
対比				100%			62.0%			20.4%	
構成				54.8%			34.0%			11.2%	

【考察-1】

今期作付した水田において、表層～5cmまでに54.8%、表層～10cmまでに88.8%の放射性Csが残存していることが分析の結果で解った。水田における代掻き作業時に水中で土壌粒子の比重選別が行われることで、軽比重で表面積の大きい微粒子から順に表層から下層へと分布する現象が再現される。また、表面積の大きい微粒子ほど多くの放射性Csが吸着していることも明らかになった。通常の稲作作業機による作業では、代掻き作業によってリセットされ、この分布が大きく変成することは考え難い。

【今期耕作水田における放射性物質汚染の 深度別分布状況図】



【考察-2】

- 以上の測定結果から、水田の場合「代掻き作業時」に土壌が水中で攪拌されることで比重選別がかかり、高比重の大きな土壌粒子から順に沈降して栽培土層が再編成される。
- 放射性物質(Cs134・137)は、沈降速度の遅い微粒子(主にゼオライト系の粒子)に多く付着しており、高濃度に汚染された土壌粒子は、表層近くから順に法則的に集積形成される。(表層に向かうほど高線量化していく。)
- 稲作作業において一般的に使用されるロータリーやパワーハローの作業深度が約15cm以下であることから、水田土壌における放射性物質の分布は表層から約15cmの範囲の地層において、同様の傾向が繰り返し再現されることが予測される。
- 上記考察から、高い空中線量が問題になる水田地帯においては、何らかの除染対策を企てない限り、飛躍的な空中線量の低減は望めないのかもしれない。

【水田土壌処理概念／代掻き作業後の再現状態】

- ・ 軽比重で表面積の大きい微細土壌に多くの放射性Csが付いていることが確認できる。土壌からの効率的な除染方法の知見として活用できるのかもしれない。
- ・ 雨上がりなど、土の粒子に付着した放射性物質は、水と共に容易に移動していくことが予想される。
- ・ 微細土壌に多く付着しているということは、風に舞う土埃の危険性も示唆している。

A 原土 7.7万Bq/kg

B浮遊物質 5.9万Bq/kg
回収率10.9%

C懸濁物質 99.3万Bq/kg
回収率4.2%

D沈殿物 2.9万Bq/kg
回収率84.3%

1. 攪拌後60mesh on

2. 懸濁液の攪拌、凝集処理

3. 沈殿物と水の分離

実験:(株)ジェイラップ 放射能汚染対策室

The diagram illustrates a soil treatment process. It starts with 'A' (original soil) with 7.7万Bq/kg. This is followed by 'B' (suspended matter) with 5.9万Bq/kg and a 10.9% recovery rate. 'C' (suspension) has 99.3万Bq/kg and a 4.2% recovery rate. Finally, 'D' (precipitate) has 2.9万Bq/kg and an 84.3% recovery rate. The process involves three steps: 1. stirring with a 60-mesh sieve, 2. stirring and coagulation of the suspension, and 3. separation of precipitate and water. The experiment was conducted by (株)ジェイラップ (Jeirapp Co., Ltd.) in the Radiation Contamination Countermeasures Room.

【水田における放射能吸収抑制対策】

今季における汚染実態に関する所感

(1) 今期における放射性物質の吸収抑制対策

今期における対策については数少ない知見から、大量に放出された放射性核種Cs134・137の特性として、Kとの類似からK不足環境において植物への吸収移行が活性化されることを知り、稲の栄養周期上最もK吸収が旺盛化する時期を狙い6月24日～7月5日までに、341圃場、約97haに10a/6kgのKを施用した。

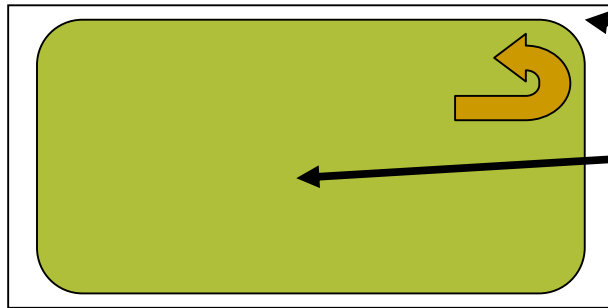
使用資材については、「SiO₂+K」を使用。

土壌中のKが充分満たされていれば、Csの吸収抑制効果が得られるという知見に基づいて実行した。



【K施用による効果検証】

○未施用圃場との比較については明確な検証はできていないが、K施用によるCs吸収抑制効果については、下記の観察結果によって予測される。



圃場4隅を【A】、以外を【B】とした。



○K散布作業は、97ha規模に適期散布を実行するために、ビークル(乗用肥料散布機)による作業とした為、旋回時に【A】領域への散布が達せられない。

○実収穫前に【A】4か所、【B】2か所、計6か所からの坪刈で、玄米検査サンプルを確保して測定した。(全圃場対象、341検体)

○「坪刈サンプル検体」と「実収穫サンプル検体」それぞれの測定値を数点比較した結果、測定差は一定ではないが明らかな差が生じていることが観察された。

○「坪刈サンプル検体」の方が「実収穫サンプル検体」に比較して、ほとんどが統計的に高い測定値を示した。

○上記の結果に基づき、同一圃場において【A】地点、【B】地点における測定値比較をしてみると、「土壌汚染度比較」では大きな差は見られない。しかし、玄米移行は【B】に比較して【A】が明らかに高い傾向にあることが解った。

◆上記の結果から、K施用の効果について認められるのではないか。ただし、4隅には稲わら残渣などが集積するため、アンモニアや硫化水素が発生し易い環境にあることが、高い移行率に関係しているとも考えられる。



稲わらなどが集積し易い

【除染対策とその狙い】

プラウ耕による反転策

↑	↑	0~5cm	A	54.8%	D「プラウ耕前の表層」
		5~10cm	B	34.0%	
↓	↓	10~15cm	C	11.2%	不変位置
				B'	
↓	↓			A'	A(54.8%)をこの位置に移動
				D'「プラウ耕後の表層」	



- C位置を中心に放射性物質の多くが集積しているA+B層(10cm)をスキープラウによる反転耕によって、一般的な稲作作業機械では届かない表層から15cm~25cmの位置への移動を作業目標とする。
- 高汚染土層(A・B/0cm~10cm位置)が代掻き作業によって起こる比重選別の影響を受け難い、表層15cm以下の位置に固定化する物理的環境を確保する。
- 稲の根部が集中する土層から放射性物資残存度の高い土層(A・B)を遠ざけることで稲体への移行低減を図る。
- 低線量の土壌A'B'を表層に移動させることでこれを遮蔽体機能とし、空中線量の大幅な低減化を図る。

農地除染

- 反転耕による除染作業工程
- 平成24年度120ha実施 平成25年度350ha実施中

①放射線測定



10aに1箇所(2地点)

②土壌分析



1箇所5点採取し混和

③資材散布



10a 100kgゼオライト散布

④反転プラウ耕



5連プラウで耕起

⑤バッチカル



乾燥後にバッチカルで均す

⑥土壌分析 (2回目)



CECなど13項目分析

⑦レベラー均平



レベラーで均平処理

⑧資材散布 (2回目)



10a 200kgゼオライト散布

⑨ロータリー耕



仕上げとしてロータリ耕

⑩放射線測定



放射線測定して終了

放射能検査体制

■ 放射能検査工程

23年産の「稲田米」を出荷するにあたり、放射能検査体制を4回の工程とし、更に24年産では全袋検査を加えた5回の工程とし、安全確認を徹底しています。

① 田んぼ毎

- 収穫前に、田んぼ毎の坪刈りによる収穫前の測定。



② 全袋検査

- ふくしま恵み安全・安心推進事業による30kg全袋検査。



③ パレット毎

- 農産物検査後のパレット49袋からランダムに採取し1検体測定。



④ 精米原料

- 精米時の原料からサンプルを採取し1検体測定。

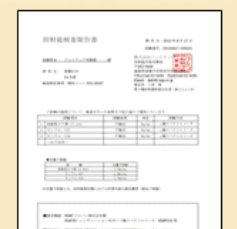


⑤ 出荷商品毎

- 精米後の白米商品からサンプル採取し測定。



測定報告書を
添付して発送



放射能検査室

- 放射能検査体制の確立

23年産米の生育が進む中、収穫前に放射能検査体制を確立するため、放射能対策室を設けて放射能測定器の導入を図る。

放射能測定器



Naiシンチレーション式γ線測定器 (EMFジャパン社製)

放射能測定室



温度・湿度を一定に保つ測定室



【米全袋検査実施中】

30kg 詰めの米がベルトコンベアー式の放射能測定機で全てチェックされる。



【23年産・24年産・25年産比較 全作付品種対象】

項目	25年度	24年度	23年度	備考
圃場数	328	339	341	<ul style="list-style-type: none"> ●25年産の値が上昇していることの要因として考えられること。(仮説) *カリウム資材が「ケイ酸カリウム」から「塩化カリウム」に変更された。 *カリウムの散布時期が、出穂-45日目標から基肥施用に変更された。 *一部、耕作放棄状態だった圃場の複田地が含まれている。
平均値	2.62Bq/kg	2.61Bq/kg	3.11Bq/kg	
10Bq/kg超の圃場数	2	3	16	
最大測定値	12.30Bq/kg	11.80Bq/kg	19.90Bq/kg	

【24年産 カリウム施用：未対策地】

項目	反転耕対策地	除染対策地	未対策地	備考
圃場数	50	321	378	<ul style="list-style-type: none"> ●未対策地は、稲作研究会以外の隣接圃場との比較。 ●隣接圃場において、対策の有無による差が明確に確認された。
平均値	2.14Bq/kg	2.61Bq/kg	6.71Bq/kg	
10Bq/kg超の圃場数	0	3	66	
最大測定値	6.80Bq/kg	11.80Bq/kg	22.20Bq/kg	

【23年産・24年産 反転耕実施圃場：未対策地】

項目		対策地 (24年産)	未対策地 (23年産)	備考
圃場数		50	50	<ul style="list-style-type: none"> ●同一圃場における対策前後比較。 ●カリウム資材散布については、対策地も未対策地も同様。
平均値		2.14Bq/kg	3.18Bq/kg	
10Bq/kg超の圃場数		0	6	
最大測定値		6.80Bq/kg	16.80Bq/kg	

【平成23年・24年・25年産米における放射能汚染実態および米全袋検査結果】

単位：Bq/kg

地域比較	稲作研究会詳細【自主検査参考値／Nai シンプレション式／10】							福島県 放射能全袋検査情報より (H25.01.28 現在)				
放射性 Cs 測定値 (Bq/kg)		1 未満 Bq/kg	1~3 Bq/kg	3~5 Bq/kg	5~10 Bq/kg	10~15 Bq/kg	15~20 Bq/kg	25 未満 Bq/kg	25~50 Bq/kg	50~75 Bq/kg	75~100 Bq/kg	100 以上 Bq/kg
3,615,584 袋 会津地方	25 年産							99.999%	0.001%			
	24 年産							99.994%	0.006%			
6,399,523 袋 中通地方	25 年産							99.939%	0.060%	0.001%	0.001% >	0.001% >
	24 年産							99.669%	0.295%	0.027%	0.007%	0.001% >
803,020 袋 浜通地方	25 年産							99.612%	0.292%	0.053%	0.040%	0.003%
	24 年産							99.679%	0.308%	0.005%	0.001%	0.001% >
(844,413 袋) (須賀川市)	25 年産							(99.990%)	0.010%			
	24 年産							(99.711%)	(0.246%)	(0.034%)	(0.009%)	0.001% >
25 年産 福島県合計								99.934%	0.058%	0.005%	0.003%	0.001% >
10,818,127 袋×30 kg								10,811,027	6,259	490	323	28
24 年産 福島県合計								99.763%	0.214%	0.017%	0.004%	0.0004%
10,116,588 袋×30 kg								10,094,355	4,082	1,676	404	71
生産量 30 万 t ~ 33 万 t												
稲作研究会 作付圃場	25 年産	32.0%	26.5%	25.0%	15.9%	0.6%		(100%)				
	328 圃場	(105)	(87)	(82)	(52)	(2)		2.62Bq/kg				
	24 年産	27.4%	37.6%	23.2%	10.9%	0.9%		(100%)				
	340 圃場	(93)	(128)	(79)	(37)	(3)		3.11Bq/kg				
23 年産	341 圃場	39.9%	19.3%	11.2%	24.9%	3.8%	3.8%	(100%)				
		(136)	(66)	(38)	(85)	(13)	(3)	3.11Bq/kg				
反転耕実施 水田 50 圃場	24 年産米	42.0%	30.0%	22.0%	6.0%			(100%)				
		(21)	(15)	(11)	(3)							

*2013年10月の新米出荷から月間2~3回、カタログハウスが理研分析センターに外部委託し、ゲルマによる精密測定をかけてクロスチェックしています。 17

【主食米に関する放射性 Cs 残存量の推移変化】

【玄米 ⇨ 白米 ⇨ ごはん の放射性物質残存率シュミレーション】

玄米汚染度 Bq/kg	洗米後 Bq/kg	炊飯汚染度 Bq/kg	年間内部被曝線量（玄米基準）		年間内部被曝量 (1mSv 基準対比)
			mSv	玄米対比平均 38%以下	
20	15.00	7.50	0.014	$7.5 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	100 / 1.4mSv
10	7.50	3.75	0.0072	$3.75 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	1,000 / 7.2mSv
5	3.75	1.88	0.0036	$1.88 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	1,000 / 3.6mSv
3	2.25	1.13	0.0022	$1.13 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	1,000 / 2.2mSv
1	0.75	0.38	0.0007	$0.38 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	10,000 / 7.0mSv
玄米汚染度 Bq/kg	白米汚染度 Bq/kg	炊飯汚染度 Bq/kg	年間内部被曝線量（ごはん基準）		年間内部被曝量 (1mSv 基準対比)
			mSv	玄米対比平均 12%以下	
20	6.0	2.25	0.00576	$3.0 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	1,000 / 5.8mSv
10	3.0	1.13	0.00288	$1.5 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	1,000 / 2.9mSv
5	1.5	0.56	0.00144	$0.75 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	1,000 / 1.4mSv
3	0.9	0.34	0.00086	$0.45 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	10,000 / 8.6mSv
1	0.3	0.11	0.00021	$0.11 \times 1.6 \times 10^{-5} \times 120$	10,000 / 2.1mSv

●世界一厳しいとされる“ウクライナ基準”との比較【パンとごはんでは対比すべき】

ウクライナ基準では主食のパンで 20Bq/kg 以下としている。日本基準では玄米で 100Bq/kg 以下としているので、単純に比較できない。「パン」と「ごはん」との相対で比較すると以下のとおりとなる。

○100 Bq/kg の玄米は精米すると 30 Bq/kg 程度になる。

○洗米すると比較的線量の高い糠部分が離脱するため、更に 25%程度減少して 23Bq/kg 程度になる。

○炊飯では白米とほぼ同量の水を加えるので約 2 分の 1 の 12 Bq/kg 以下となる。

○よって、世界一厳しいとされるウクライナ基準（主食基準）に比較して、より厳しい日本基準は世界一厳しい主食基準（白米ごはん対象）ということになる。

●2012 年以降、ここ福島で 1Bq/kg 以下を目標にした低線量玄米の安定生産に取り組む考え。

玄米は、“ペクチン” “セルロース・ヘミセルロース” “フィチン酸” など、内部被曝対策に有効とされる機能性要素を複数含んでいます。

【放射能の体外排出を促す食物】

福島原発事故 放射能と栄養／白石久二雄 著 参照

	食品名	ペクチン	セルロースと ヘミセルロース	備 考
果物類 果実的野菜(含)	りんご	1.0	1.0	○ペクチン含量の多い果物として、“かりん”や“アボガド”も知られています。 ○ビタミン・ミネラル類の供給源でもあり、内部被ばくに対する“免疫力”の向上にも有効とされています。 ○ビタミン類の豊富な果物は、野菜や穀類と食べ合わせることで、有効な栄養素の代謝・吸収を促進させることも知られています。 ○食物繊維やペクチンは、糞の造形成分として欠かせません。有害物質や若干の放射性物質を便と一緒に排泄する手助けをしてくれます。 ○対策に有効な、カリウム供給源でもあります。
	あんず	0.9	0.6	
	もも	0.7	1.1	
	いちご	0.7	4.2	
	なし	0.6	0.8	
	ぶどう	0.6	1.2	
	オレンジ	0.6	1.6	
	レモン	0.5	1.4	
	すいか	0.5	0.6	
	さくらんぼ	0.4	0.6	
メロン	0.4	0.8		
野菜類	いんげん	3.7	3.9	○ビタミン・ミネラル・酵素・繊維質などによって、放射能の体外代謝を促進させる機能のほか、“免疫力”の向上には欠かせない栄養要素の供給源でもあります。 ○今回の原発事故後における放射能汚染の状況について注視してきましたが、セシウム 134・137 合計で 10Bq/kg を超える汚染野菜は、現状の検査ではほとんど見当たりません。 ○セシウムの 100 分の 1 以下の放出量とされるストロンチウムについてはあまり心配しなくてもよさそうです。(検証は必要と思いますが。)
	えんどうまめ	3.0	10.1	
	にんじん	0.6	1.5	
	キャベツ	0.6	1.5	
	じゃがいも	0.5	1.3	
	きゅうり	0.4	0.8	
	なす	0.4	1.4	
	たまねぎ	0.4	0.9	
	トマト	0.3	0.9	
	かぼちゃ	0.3	1.4	

穀類	ライ麦	2.0	11.0	○玄米の胚芽には“フィチン酸”があつて金属類と結合して体外排出する働きがあります。 ○黒米には“ポリフェノール”“アントシアニン”などの抗酸化物質が多く含まれています。 ○赤米には“タンニン”があつて金属類と結合し易いことが知られています。 ○米・大豆の発酵食品も対策食として注目です。
	大麦	1.2	9.5	
	玄米	1.0	13.1	
	小麦	0.5	7.7	
	雑穀米		0.4	
	雑穀		4.6	

【ペクチン】

不溶性と水溶性の2種に分類されます。不溶性のペクチンは未成熟果実に含まれ、熟成するにつれて水溶性に変わる特徴があります。腸内の有害物質を吸着し、便秘や大腸癌予防のほか放射性物質を吸着・排泄するはたらきがあります。

【セルロース・ヘミセルロース】：不溶性食物繊維

穀物の外皮などに多く含まれ糞の造形に利用されるほか、便秘対策・大腸癌予防・有害物質の排泄などの効果があります。機能性は同じですが、“セルロースの約半分の機能にあるものをヘミセルロース”としています。（“水溶性の食物繊維をデキストリン”といいます。／トウモロコシやじゃがいも由来の食品添加物が知られています。）