

## 福島県における農産物の モニタリング検査と ダイズの放射性 Cs 吸収

二瓶 直登

Nihei Naoto

### 1. 農産物のモニタリング検査

#### 1.1 検査概要

2011年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力(株)福島第一原発事故により、地震や津波の被害とともに、広大な農地が放射性物質により汚染された<sup>1,2)</sup>。農産物の安全性を確保するため、最大の放射能汚染被災地である福島県では、事故直後から原子力災害特別措置法に基づく緊急時環境放射線モニタリング(以下、モニタリング検査)をスタートさせている。検査対象は、福島県内で生産・採取される農林水産物のうち販売に供されるもので、出荷が始まる直前から出荷期にかけ、生産量や出荷額、摂取量が多い品目等に留意して検査品目を決定している。採取したサンプルは水道水により洗浄を行い、可食部を細かく裁断し容器に詰め、Ge半導体検出器で分析を行っている(図1)。

厚生労働省は、原発事故直後に食品衛生法上の放射性物質の暫定規制値として、野菜類、魚介類の放射性Iが2,000 Bq/kg、穀類、野菜、肉、魚介類等の放射性Csが500 Bq/kg、2012年4月からは一般食品の放射性Cs濃度の基準値として100 Bq/kgに定めている。モニタリング検査の結果、放射性Csの基準値を超えた品目は、自治体ごとに出荷が止められ、その後のモニタリング検査で少なくとも3回、基準値を超えないことが確認されなければ、出荷停止が解除されない。

福島県では、2014年3月までの3年間で、

モニタリング検査を約450品目、約67,000点(米、牧草等除く)実施している(図2)。モニタリング調査結果は、福島県及び厚生労働省のホームページ等で公表されている。

・福島県：<http://www.new-fukushima.jp/monitoring.php>

・厚生労働省：<http://www.mhlw.go.jp/stf/>

[houdou/2r985200001m9tl.html](http://houdou/2r985200001m9tl.html)

ここでは、事故後3年間の汚染状況の変化とともに、農産物のうち、比較的高い傾向を示すダイズについて栽培データを基にCs吸収等について説明する。

#### 1.2 検査結果

農産物(米を除く穀類、野菜、果樹等)のモニタリング検査の結果を図3に示した<sup>3,4)</sup>。原発事故直後の2011年3月~2011年6月までに現在の基準値である100 Bq/kgを超えた放射性Cs濃度割合は18%で、最大値は82,000 Bq/kgであった。主な品目ごとの検査結果(表1)を見ると、ホウレンソウ、コマツナ、ウメなどが高く、キュウリは低いなど品目により差がみられる。農産物の放射能汚染の経路は、原発事故により降下した放射性物質の農作物への沈着による直接汚染と、土壤に沈着した放射性物質が根を通して吸収する間接汚染に分けられる。直接汚染は、原発事故で放出された放射性物質が農作物に直接付着するため、土壤から根を通じて放射性物質を吸収する間接汚染より汚染の影響は大きい。ホウレンソウ、コマツナなどは、



図1 モニタリングサンプルの分析  
 (a) サンプルを細かく刻む, (b) 容器に詰める,  
 (c) Ge半導体検出器で測定  
 (福島県農業総合センターのホームページより)

原発事故時に圃場に栽培されており、放射性Csが葉に直接降り注いだため、可食部を測定するモニタリング検査では、ほかの品目と比べ調査結果が高くなったと推察される。ウメは原発事故時開花期で直接果実に放射性Csは付着していないが、樹木に加え花にも放射性Csが降り注いだことが要因と考えられる。一方、

キュウリも事故時に圃場に生育していたが、測定する部位(可食部)の果実は葉の下にあったため、放射性物質が直接付着する割合は少なく、ホウレンソウやコマツナより濃度が低かったものと考えられる。

2011年7月以降、農産物、畜産物では100 Bq/kgを超過するサンプルは大幅に減少している。原発事故時に生育していた穀類及び野菜は収穫され、事故後に作付された作物が検査対象となり、土壌を介した間接汚染が主な経路となったためと考えられる。事故直後の $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の割合はほぼ1:1であり<sup>5)</sup>、 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の半減期を2年と30年とすると、1年後の物理的な放射能濃度減少は約15%見込まれる。この物理的半減期による放射能濃度の低下に加え、粘土鉱物への放射性Csの固定、K施肥の徹底、反転耕などによる除染の効果によりサンプルの放射能濃度が減少したものと推察される。なお、農産物のうち2012年以降で100 Bq/kgを超えた数点のサンプルの多くは、土壌から農作物への吸収、移行によるものではなく、栽培時に使用した資材が放射性物質に汚染していたことが原因であると判明している。そのため、福島県では、農業資材や農業機械の利用には十分注意するように行政上の指導も図られている。

## 2. ダイズの放射性Cs吸収

### 2.1 ダイズのモニタリング検査結果

モニタリング検査結果においてダイズの放射性Cs濃度が100 Bq/kgを超えた割合は、事故直後の2011年度では5.7%、2012年は2.6%、2013年は1.9%であった。一方、イネでは2.6%、0.0007%、0.0003%となり、100 Bq/kg以上の放射性Cs割合はイネよりダイズの方が高く、また、放射性Cs濃度の減少傾向はイネよりも低い。原発事故後、日本の主食であるイネに関しては詳細な検討が進められているが、良質のタンパク質を多く含み、日本国内では豆腐、納豆、味噌醤油として古くから利用されて

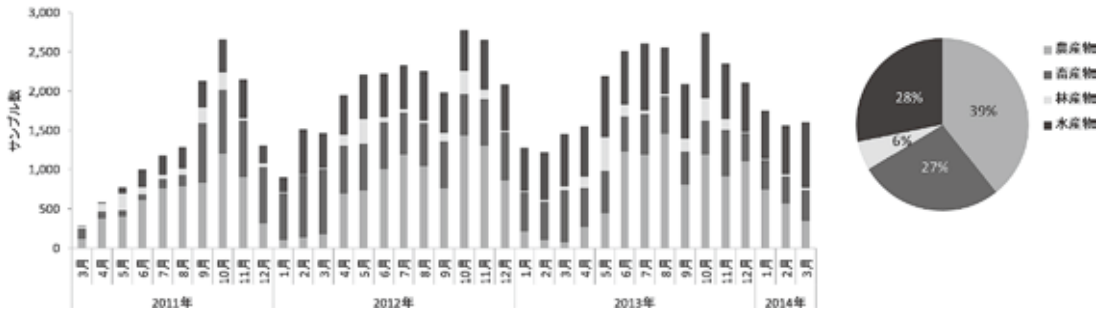


図2 月別のモニタリング点数と全体割合

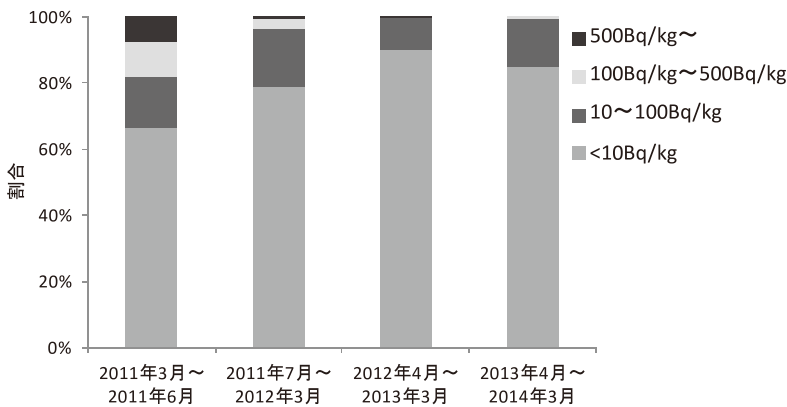


図3 農作物のモニタリング結果

葉≒葉柄≒莢 > 茎≒主根で、Csと同族元素であるK濃度は葉柄 > 莢 > 葉≒茎 > 主根≒側根であり、部位間で放射性Cs濃度とK濃度間に相関はなかった。作物体内での放射性Csの移動、蓄積についてはまだ不明な点も多いが、放射性CsとKの植物体内での分布が異なることは、

いるダイズでは、イネほど研究は進んでいない。ダイズは、全世界での生産量はコムギ、イネ、トウモロコシに次ぐ作物で、福島県でも主要な農産物の1つである。放射性物質で汚染された地域の農業の復旧・復興に努め、我が国の食料の安定供給に大きく寄与するため、ダイズの吸収経過や蓄積の解析を、汚染地域での栽培や<sup>137</sup>Csを用いたトレーサ試験等で検討した。

### 2.2 放射性Csの吸収

ダイズの吸収経過を検討するため、福島県飯舘村でダイズを無施肥で栽培した。ダイズの放射性Cs吸収は生育初期から観察され、地上部の重量とともに9月中旬（最大繁茂期）まで増加した（図4）。ダイズは8月中旬（開花期相当）以降も栄養成長を続けるが、栄養成長の続く期間も放射性Csを吸収していると考えられる。9月中旬の部位別放射性Cs濃度は側根 >

イネでも指摘<sup>6)</sup>されている。今後は、他元素の動態も考慮し、放射性Cs吸収、蓄積の解明に取り組んでいく予定である。

### 2.3 品種間差

品種間で放射性Cs吸収に差があれば、汚染地域で導入可能な低減技術になるとともに、Cs吸収のメカニズム解明にもつながることが期待される。イネなどでは品種間差に関する報告はある<sup>7)</sup>が、ダイズではない。ここでは福島県飯舘村の圃場でダイズ10品種間の放射性Csの移行係数を検討した<sup>8)</sup>。供試した品種は、福島県内で栽培可能な品種（A~I）及び交配後代を持つ親系統（品種Jと品種K（ツルマメ）、ナショナルバイオリソースから入手）を用いた。

図5に子実への移行係数（子実の放射性Cs濃度/土壌の放射性Cs濃度）を示した。福島県内で栽培可能な品種間（品種A~I）の移行

表 1 品目別のモニタリング検査結果

品目	2011年3月～2011年6月				2011年7月～2012年3月			
	～10 Bq/kg	10～ 100 Bq/kg	100～ 500 Bq/kg	500 Bq/kg ～	～10 Bq/kg	10～ 100 Bq/kg	100～ 500 Bq/kg	500 Bq/kg ～
	%	%	%	%	%	%	%	%
穀類	ダイズ	—	—	—	65	29	6	0
	コムギ	—	—	—	54	35	10	1
	ソバ	—	—	—	87	11	2	0
	イネ*	—	—	—	80	19	1	0
野菜	ホウレンソウ	51	21	13	15	99	1	0
	コマツナ	25	13	13	50	100	0	0
	キュウリ	100	0	0	0	97	3	0
	トマト	—	—	—	—	100	0	0
	ニンジン	100	0	0	0	97	3	0
	ジャガイモ	89	11	0	0	91	9	0
果樹	モモ	33	67	0	0	38	61	1
	リンゴ	—	—	—	—	57	43	0
	ブドウ	—	—	—	—	61	38	1
	カキ	—	—	—	—	41	52	7
	ウメ	2	20	65	13	0	44	56
品目	2012年4月～2013年3月				2013年4月～2014年3月			
	～10 Bq/kg	10～ 100 Bq/kg	100～ 500 Bq/kg	500 Bq/kg ～	～10 Bq/kg	10～ 100 Bq/kg	100～ 500 Bq/kg	500 Bq/kg ～
	%	%	%	%	%	%	%	%
穀類	ダイズ	57	40	3	0	65	33	2
	コムギ	96	4	0	0	93	7	0
	ソバ	83	17	0	0	91	9	1
	イネ*	100	0	0	0	100	0	0
野菜	ホウレンソウ	95	5	0	0	100	0	0
	コマツナ	97	2	2	0	100	0	0
	キュウリ	100	0	0	0	100	0	0
	トマト	100	0	0	0	100	0	0
	ニンジン	98	2	0	0	100	0	0
	ジャガイモ	99	1	0	0	100	0	0
果樹	モモ	96	4	0	0	100	0	0
	リンゴ	95	5	0	0	99	1	0
	ブドウ	99	1	0	0	100	0	0
	カキ	67	33	0	0	81	19	0
	ウメ	53	46	1	0	59	41	0

\*イネの検査結果は、2011年は予備調査、本調査、2012年、2013年は全量全袋検査によるものを用いた。

係数に大きな差はなかった。また、子実のK濃度や粒大と明確な相関はみられなかった。一方、交配後代を持つ親系統の1つである品種Kは栽培品種であるAと比較すると約5倍、交配相手である品種Jと比較すると約2倍移行係数が高かった。福島県内の栽培品種間差で大き

な差はなかったが、移行係数の差が大きい品種Jと品種Kを掛け合わせた交配後代を用いて、放射性Cs吸収に関与する遺伝子座等の解明を目指した検討を予定している。

#### 2.4 ダイズ子実内のCs分布

ダイズ子実内の放射性Cs分布を検討するた

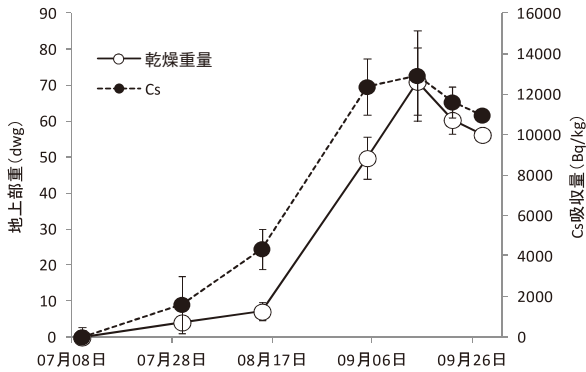


図4 生育期間における地上部重と放射性Cs吸収量

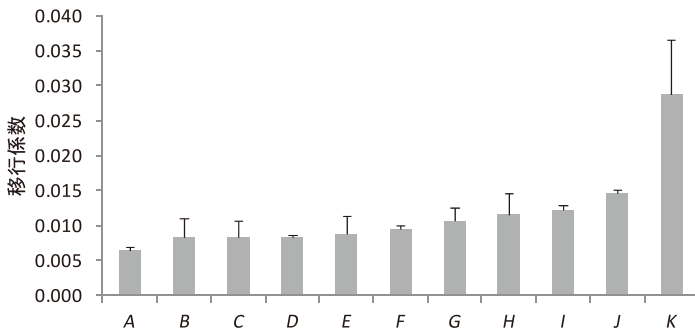


図5 品種別のダイズ子実の移行係数

め、放射性Cs ( $^{137}\text{Cs}$ ) を添加した水耕液でダイズを栽培し、子実の切片のオートラジオグラフィを撮影した<sup>9)</sup>。その結果、ダイズ子実内の放射性Csは子実全体にほぼ均一に分布していることが明らかとなった。イネ子実の放射性Csは、胚と糊粉層に局所的に多いことが報告されており<sup>10)</sup>、ダイズとイネの子実内の放射性Cs分布は異なっている。イネの子実は、栄養成分を貯める胚と、デンプンやタンパク質を蓄積する胚乳から構成される。放射性Csの動態には不明な点が多いが、Kなどの栄養成分とともに子実に蓄積すると仮定すれば、胚乳ではなく、胚に局所的に蓄積することは理解できる。一方、ダイズの子実に胚乳はなく(無胚乳種子といわれている)、子実内の子葉にデンプンやタンパク質、栄養成分を蓄積している。子葉は子実内の大部分を占めており、放射性Csの分

布もほかの栄養成分と同様に子実内に均一な分布となったと推察される。また、イネとダイズでは栄養成分量に差があり、食品成分分析表によるとダイズはイネの約5倍である。放射性Csの体内での移動については今後解明しなければならないが、子実内に多くの栄養成分を蓄積することも、ダイズがCsを多く蓄積する作物の要因の1つと考えられる。

### 2.5 K, Nの影響

これまでの知見からKの過剰施肥が農作物の放射性Cs濃度抑制に有効であることが明らかになっている。一方、Kとともに作物生育に大きな影響を及ぼすNが放射性Cs吸収に与える影響については、ほとんど報告はない。そこで、N施肥が、ダイズ幼植物の放射性Cs吸収に与える影響を、KとNを用いて育苗用セルトレイを用いた幼植物で検討した<sup>11)</sup>。

K(硫酸K)施肥によりダイズの放射性Cs濃度は減少したが、K施肥量が増加してもその低下割合は変化しなかった。一方、N(硝酸アンモニウム)施肥により、放射性Cs濃度は増加し、N施肥量が多いほど放射性Csの濃度は増加した。1N酢酸アンモニウム液で抽出した放射性Csは、N施肥で高まることは確認しており、N(アンモニア態窒素)が土壤に吸着している放射性Csを溶出したことなどが放射性Csの吸収を促進した要因と考えられる。また、硝酸態Nを施肥しても放射性Cs濃度が高まることもあり、休耕田や、転換畑初年目などの通常より多くのNが土壤中に存在している可能性がある場での栽培には注意が必要であると考えられる。

事故から4年が経過し、今後、避難地域でも農業が順次再開されると考えられる。林産物、

水産物では 100 Bq/kg を超過するサンプルがいまだに検出されていることもあり、安全な農産物を提供するためにも、モニタリング調査の継続は必要であると考えられる。さらに、原発事故で汚染された地域の農業の復旧・復興のため、作物の放射性 Cs 吸収メカニズムや吸収を抑制する栽培法の開発など、努める研究を続けたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) Yasunari, T.J., Stohl, A., Hayano, R.S., Burkhart, J.F., Eckhardt, S., and Yasunari, T., Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident, *Proc Natl Acad Sci USA*, **108**, 19530–19534 (2011)
- 2) Zheng, J., Tagami, K., Bu, W., Uchida, S., Watanabe, Y., Kubota, Y., Fuma, S., and Ihara, S.,  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  Isotopic Ratio as a New Tracer of Radiocesium Released from the Fukushima Nuclear Accident, *Environ Sci. Technol.*, **48**, 5433–5438 (2014)
- 3) Nihei, N., Radioactivity in agricultural products in Fukushima, Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident, pp.73–85, Springer (2013)
- 4) 二瓶直登, 第七回放射能の農畜水産物等への影響についての研究報告会—東日本大震災に関する救援・復興に係る農学生命科学研究科の取組み—, 東京大学農学部弥生講堂 (2013), <http://www.a.u-tokyo.ac.jp/rpjt/event/20130810.html>
- 5) Merz, S., Steinhäuser, G., and Hamada, N., Anthropogenic Radionuclides in Japanese Food: Environmental and Legal Implications, *Environ Sci. Technol.*, **47**, 1248 (2013)
- 6) Tsukada, H., Hasegawa, H., Hisamitsu, S., and Yamasaki, S., Rice uptake and distributions of radioactive  $^{137}\text{Cs}$ , stable  $^{133}\text{Cs}$  and K from soil, *Environmental Pollution*, **117**, 403–409 (2002)
- 7) Y., Ohmori, *et al.*, Difference in cesium accumulation rice cultivars grown in the paddy field in Fukushima Prefecture in 2011 and 2012, *J. Plant Res.*, **127**, 57–66 (2014)
- 8) 二瓶直登, 廣瀬農, 田野井慶太郎, 中西友子, 放射性 Cs 吸収に関するダイズ品種間差, 日本作物学会紀事, **83**(別 1), 94–95 (2014a)
- 9) 二瓶直登, 2014 第九回放射能の農畜水産物等への影響についての研究報告会—東日本大震災に関する救援・復興に係る農学生命科学研究科の取組み—, 東京大学農学部弥生講堂 (2014), <http://www.a.u-tokyo.ac.jp/rpjt/event/20140614.html>
- 10) 廣瀬農, 田野井慶太郎, 中西友子, 経根吸収された Cs-137 の玄米内部における三次元分布—登熟過程におけるカリウム分布との対比—, 日本土壤肥料学会 2014 年度東京大会 (2014)
- 11) 二瓶直登, 廣瀬農, 森美穂子, 大前芳美, 田野井慶太郎, 中西友子, ダイズの放射性セシウム吸収に及ぼす窒素施肥の影響, 日本土壤肥料学会 2014 年度東京大会 (2014)

(東京大学大学院農学生命科学研究科)