

〔短 報〕

白菜中のストロンチウム-90

石川県保健環境センター 環境科学部 内田 賢吾・鳥屋子やまと
石川県生活環境部 資源循環推進課 宮竹 智代・内川 慎互・川畑 俊之

〔和文要旨〕

本県では、1990年度から志賀原子力発電所周辺の白菜中のSr-90調査を行っている。

2018年11月志賀町百浦で採取した白菜から過去の調査結果を超過するSr-90が検出され、過去の調査結果に比べ、白菜中Sr濃度及びSr比放射能が高いことがわかった。

白菜中Sr濃度が高かった原因は土壌からの移行係数が大きかったためであり、Sr比放射能が高かった原因は土壌中でSr比放射能が高い深度が存在し、その土壌を用いて畝が作られればSr比放射能が高くなることもあり得ると考えられた。

キーワード：白菜，ストロンチウム-90，移行係数，比放射能

1 はじめに

本県では、1990年度より北陸電力(株)志賀原子力発電所（以下、「発電所」という。）周辺環境放射線監視年度計画¹⁾に基づき、周辺放射線監視（以下、「原電監視」という。）を行っている²⁾。その中で、環境試料中の放射能調査の1つとして発電所周辺3か所で採取した白菜を調査対象とし、ガンマ線核種分析のほかストロンチウム-90（以下、「Sr-90」という。）（半減期28.79年³⁾）の分析を行ってきた。2018年、新たな調査地点とした志賀町百浦（以下、「百浦」という。）で採取した白菜から調査開始以降の濃度範囲（以下、「過去の範囲」という。）を超過するSr-90が検出された。

Sr-90は核爆発実験や原子力発電所事故の際、環境中に放出される放射性核種として調査を行っているものであるが、今回検出されたSr-90は他の人工放射性核種が検出されていないこと等から、過去の核爆発実験等の影響であると推定された。

調査開始以降、Sr-90の1半減期が過ぎたにも関わらず、過去の範囲を超過した値が検出されたことから、原因の調査を行ったので、結果を報告する。

2 調査方法

2・1 試料採取

白菜中のSr-90は土壌から移行したものであるため、白菜及びその生育土壌を試料とした。試料採取地点を図1に示す。採取方法はいずれも放射能測定法シリーズ⁴⁾に準じた。

白菜は、調査開始以降、発電所の南南東約1kmに位置する志賀町赤住（以下、「赤住」という。）、東約5kmに位置する志賀町直海（以下、「直海」という。）、北約2.5kmに位置する志賀町福浦港（以下、「福浦港」という。）の3地点で採取していたが、赤住での採取が困難となったことから2018年度からは赤住に代わり南南東約2kmに位置する百浦で採取している。試料採取量は1地点あたり8～16kgである。

生育土壌は、2018年度は百浦で白菜を栽培している畝の表層0～5cmから2検体採取した。2019年度は百浦、直海、福浦港の3地点で、畝及び畝合の表層0～5cm（8地点分面積353cm²）、下層5～25cm（2地点分面積88.3cm²）の2つの深度から採取した。2019年度試料採取を行った地点のイメージ図及び畝の大きさを図2

Strontium-90 in Chinese Cabbage.

by UCHIDA Kengo, TOYANAGO Yamato (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science), MIYATAKE Tomoyo, UCHIKAWA Shingo and KAWABATA Toshiyuki (Resource Recycling Promotion Division, Living and Environment Department, Ishikawa Prefecture)

Key words : Chinese Cabbage, Strontium-90, Transfer Factor, Radioactivity Ratio

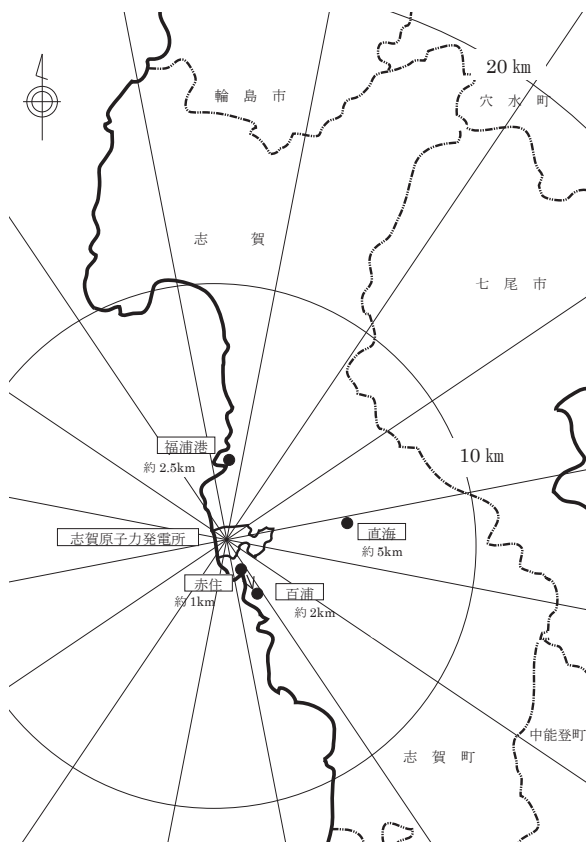


図1 試料採取地点図

に示す。今回、畝の上から25cmの深さ、畝合の下まで合わせると34～43cmの深さで土壌採取を行ったことになる。

2・2 測定方法

(1) 試料前処理

白菜及び土壌の前処理は放射能測定法シリーズ⁵⁾に準じた。採取した白菜は付着している土壌等を除去した後、外葉を外し内葉を細断して磁性皿に入れ、乾燥機により105℃で24時間以上乾燥後、灰化炉により450℃で24時間以上灰化し、Sr-90分析用試料とした。土壌は乾燥機

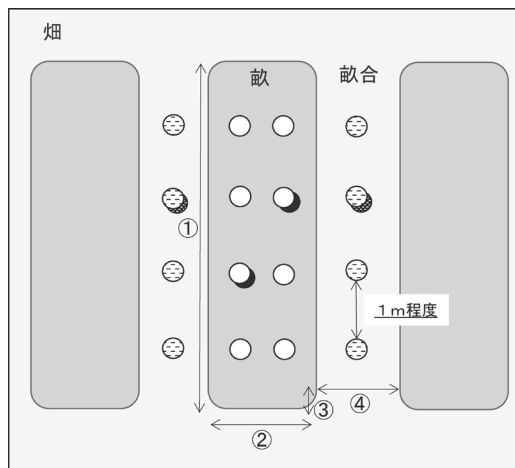


図2 土壌試料採取場所イメージ図及び畝の形状

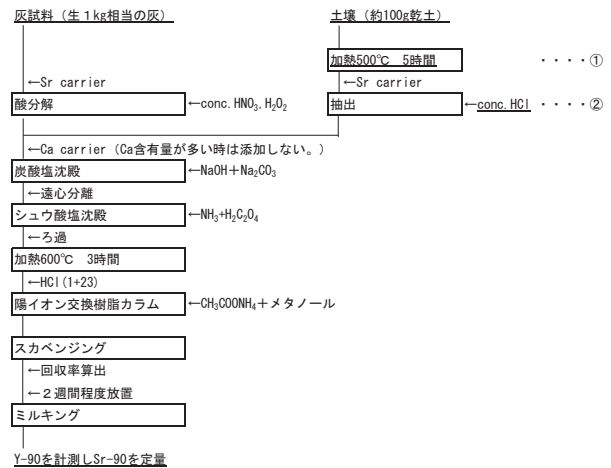


図3 Sr-90分析方法

により105℃で24時間以上乾燥後、2mmメッシュのふるいで、ふるい分けし、2mmメッシュ以下のものをSr-90分析用試料とした。

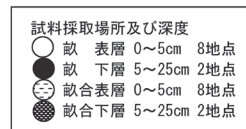
(2) 放射能分析

Sr-90分析方法を図3に示す。白菜及び土壌、いずれも放射能測定法シリーズ⁶⁾に準じ、イオン交換法により精製したSr-90から壊変したイットリウム-90(半減期64.00時間³⁾)を分離した後、低バックグラウンドベータ線測定装置(Aloka社製SCE-203)を用いて3,600秒測定を行った。

3 調査結果

3・1 白菜中Sr-90の調査結果

2018～2021年度の白菜中Sr-90の調査結果及び1990～2017年度の調査結果の範囲を表1に示す。百浦は、2018年度から調査を開始した地点であるが、初年度に原電監視開始以降最高値となる0.27Bq/kg生が検出された。その後、濃度は徐々に低下し、2021年度には0.051Bq/kg生となり、2018年度に比べ1/5以下となった。直海は、



畝の形状

	百浦	直海	福浦港
①畝の長さ	1,210cm	1,320cm	600cm
②畝の幅	72cm	49cm	45cm
③畝の高さ	9cm	18cm	9cm
④畝合の長さ	37cm	49cm	20cm
⑤特徴	粘土質 (含水率22%)	砂地 (含水率10%)	粘土質 (含水率27%)
⑥畑地利用前	田んぼ	田んぼ	雑木林
⑦客土の有無	なし	あり(砂)	なし

表 1 白菜の Sr-90 濃度調査結果

採取地点	Sr-90 濃度				過去の調査結果	
	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	1990.7~2011.2 (福島第一原発事故前)	2011.3~2018.3 (福島第一原発事故後)
	百浦	0.27 ± 0.01	0.108 ± 0.006	0.049 ± 0.004	0.051 ± 0.004	--*1
赤住	--*2	--*2	--*2	--*2	0.028~0.17	0.040~0.102
直海	0.017 ± 0.003	ND (0.004 ± 0.003)	ND (0.005 ± 0.002)	ND (0.006 ± 0.002)	0.012~0.26 <small>1991年度,1994年度検出</small>	ND~0.035
福浦港	0.054 ± 0.006	0.019 ± 0.003	0.018 ± 0.003	0.020 ± 0.003	0.053~0.25	0.019~0.189

*1 2018 年度より調査開始
*2 2017 年度で調査終了

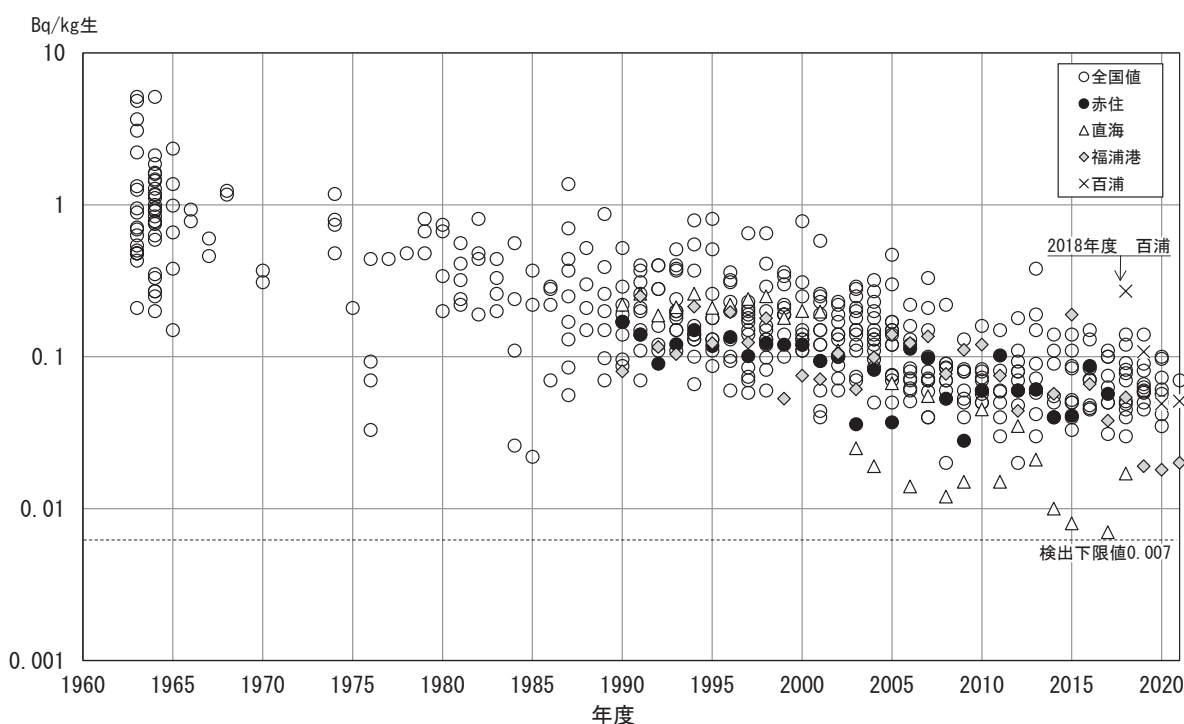


図 4 全国及び原電監視における白菜中の Sr-90 濃度

2018 年度に 0.017Bq/kg 生が検出されたが、その後 3 年間は ND (検出下限値 (0.007Bq/kg 生) 未満) であった。福浦港は、2018 年度に 0.054Bq/kg 生が検出されたが、その後濃度は低下し、2021 年度には 0.020Bq/kg 生となり、2018 年度に比べ 1/2 以下となった。

図 4 に赤住、直海、福浦港、百浦の調査結果に加え、全国で行われている環境放射能水準調査及び原子力発電所等周辺環境放射能モニタリング (以下、「全国調査」という。) における白菜中 Sr-90 の結果⁷⁾ を示す。全国調査では、調査開始当初には核爆発実験の影響により 1964 年度に最高値 5.15Bq/kg 生 (平均値 1.09Bq/kg 生) が検出されていたが、その後、濃度は低下し、2020 年度には 14 件中 6 件が検出下限値未満となり、検出された 8 件の平均は 0.066Bq/kg 生と 1964 年度の 1/20 程度となっている。

百浦の調査結果は、2018 年度は全国調査 (調査件数 13 件。濃度範囲: 検出下限値未満 (2 件) ~ 0.14Bq/kg 生) よりも高い値であったが、2019 年度以降は全国調査の範囲内となっている。一方、直海、福浦港は全国調査と比較しても低い濃度であった。

Sr-90 濃度はストロンチウム (以下、「Sr」という。) 濃度 (g/kg 生) 及び Sr 比放射能 (Bq/g: 安定元素単位重量当たりの放射エネルギー) の積で表される。2009 年度以降原電監視で調査を行った白菜中の Sr 濃度及び Sr 比放射能の関係を図 5 に示す。Sr-90 濃度は 2020 年度を基準年として補正した。

Sr 濃度については、2018 年度の百浦は 0.0028g/kg 生であり、他の地点や他の年度に比べて高い濃度であった。2018 年度の百浦の結果を除くと、平均 0.0009g/kg 生 (0.0003 ~ 0.0018g/kg 生) であった。Sr 比放射能につい

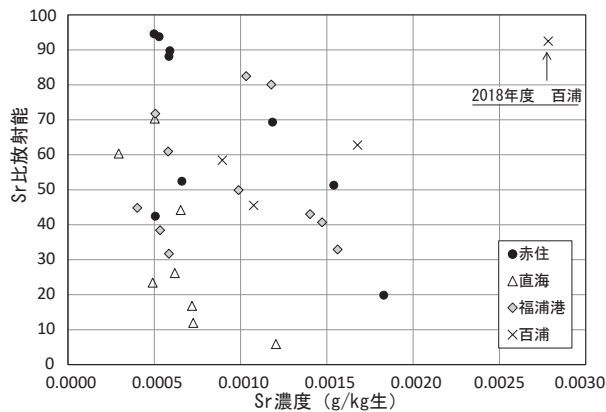


図5 白菜中Sr濃度及びSr比放射能

※ Sr比放射能算出時のSr-90は2020年度を基準年として補正

では、平均51.8(5.9～94.6)で、2018年度の百浦は92.5と高めであった。

これらの結果から、2018年度の百浦の白菜はSr濃度及びSr比放射能の両方が高いため、Sr-90濃度が高くなったことが分かった。

3・2 土壤中Sr-90の調査結果

2018年度及び2019年度に採取した土壤の調査結果を表2に示す。2018年度に百浦で採取した土壤は2検体とも検出下限値未満 (<0.24Bq/kg乾土)であった。

Sr-90が検出されなかったのは、2018年度の調査が畝の表層(0～5cm)のみであったためではないかと考え、2019年度には畝及び畝合で表層0～5cm及び下層5～25cmで採取し分析を行ったが、検出されたのは12件中3件のみであった。原電監視において、北陸電力(株)が発

表2 土壤のSr-90濃度調査結果

単位: Bq/kg 乾土				
採取年度	地点	採取場所	深度	Sr-90
2018	百浦	畝	表層 0-5cm	① ND
				② ND
	百浦	畝	表層 0-5cm	ND
			下層 5-25cm	0.34 ± 0.08
		畝合	表層 0-5cm	ND
			下層 5-25cm	ND
2019	直海	畝	表層 0-5cm	ND
			下層 5-25cm	ND
	畝合	表層 0-5cm	ND	
		下層 5-25cm	ND	
	福浦港	畝	表層 0-5cm	ND
			下層 5-25cm	ND
畝合		表層 0-5cm	1.0 ± 0.1	
		下層 5-25cm	0.4 ± 0.1	

※ ND: 0.24Bq/kg 乾土未満

表3 土壤中放射性核種調査結果

単位: Bq/kg 乾土						
採取年度	地点	採取場所	深度	Sr-90	Cs-137	K-40
2019	百浦	畝	表層 0-5cm	0.18 ± 0.03	4.2 ± 0.3	532 ± 8
			下層 5-25cm	0.23 ± 0.03	4.4 ± 0.3	524 ± 8
2019	直海	畝	表層 0-5cm	0.11 ± 0.03	ND (<0.8)	771 ± 9
			下層 5-25cm	0.19 ± 0.03	ND (<0.8)	774 ± 9
2019	福浦港	畝	表層 0-5cm	0.49 ± 0.03	5.3 ± 0.3	417 ± 7
			下層 5-25cm	0.60 ± 0.04	6.2 ± 0.3	420 ± 7

※ Cs-137, K-40 はガンマ線分析で計測

電所敷地内(赤住)及び赤住において土壤の調査を行っており、2020年度の結果はそれぞれ0.9～1.4Bq/kg乾土、0.6～0.9Bq/kg乾土と全てから検出されている²⁾。百浦の白菜が全国で最高値となったことから、土壤のSr-90濃度は赤住や発電所敷地内と同程度或いは高い濃度になると思われたが、検出下限値～0.34Bq/kg乾土と低い濃度であった。

調査結果のほとんどが検出下限値未満であったことから、分析試料量を放射能測定法シリーズ⁶⁾の5倍(約100g×5件)で分析。スカベンジング前に試料を併せ1件として取り扱う)に増やし、分析を行った。その結果を表3に示す。分析を行ったのは3地点の畝の表層0～5cm及び下層5～25cmである。この結果、3地点の畝の表層、下層の計6検体全てからSr-90が検出された。百浦及び直海では土壤約100gを用い分析を行った際の検出下限値(0.24Bq/kg乾土)よりも低い値となった。一方、福浦港では100gで分析を行った際には検出下限値(0.24Bq/kg乾土)未満であったが、試料量を増やし分析を行った結果、検出下限値よりも高い値が検出され、採取した土壤内ではばらつきがあることを示唆する結果となった。

全国調査⁷⁾の土壤中Sr-90濃度の頻度分布を図6に示す。約80%の地点でSr-90が検出されている。今回調査を行った百浦、直海、福浦港の3地点の土壤の結果は1.0Bq/kg乾土未満であり、頻度分布では低い濃度の範囲に分類された。

百浦における白菜と土壤のSr-90濃度を全国調査と比較すると、白菜が2018年度に全国調査で最高値であったのに対し、土壤は全国調査で低い濃度の範囲となった。また、白菜のSr-90濃度は百浦>福浦港>直海であるのに対し、土壤のSr-90濃度は福浦港>百浦>直海であり、白菜と土壤で異なる傾向となった。このことから、土壤から白菜への移行は土壤中の濃度以外の要因が関係していると考えられた。

なお、表3には検出された人工放射性核種セシウム-137(半減期30.08年。以下、「Cs-137」という。)及び自然

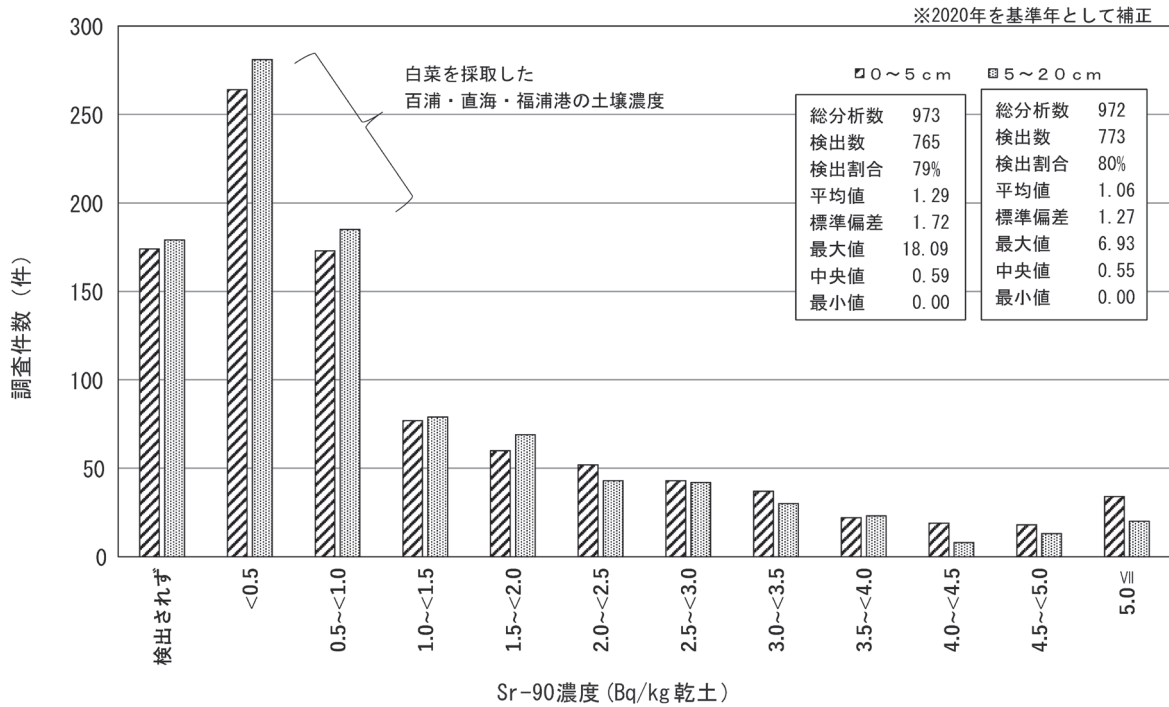


図 6 土壌中の Sr-90 濃度 (全国調査 1999-2018)

放射性核種カリウム-40 (半減期 1.248×10^9 年。以下、「K-40」という。)の結果を参考に掲載した。原電監視²⁾において2021年度の赤住、発電所敷地内、直海(白菜採取地点とは異なる地点)の土壌中 Cs-137 濃度の約 30Bq/kg 乾土と比較すると、今回の3地点の結果は低くなっている。これは、畑地として利用されるため土地の改変が行われたことによると思われる。また、K-40 は表層と下層において同程度の濃度となっており、表層と下層で土質に大きな違いがないことが確認できる。

4 考 察

2018年度の百浦の白菜中 Sr-90 の高濃度は、3・1において Sr 濃度及び Sr 比放射能の両方が高くなったためと考えられたことから、原因について検討を行った。

4・1 Sr濃度が高くなった原因

Sr 濃度が高くなった原因について、土壌から白菜への移行係数に着目し検討を行った。

(1) 移行係数

移行係数は以下により求めた。

$$\text{移行係数} = \frac{\text{白菜中物質濃度}}{\text{土壌中物質濃度}}$$

土壌の Sr 濃度・Sr-90 濃度及び白菜の Sr 濃度・Sr-90 濃度、土壌から白菜への移行係数を表 4 に示す。直海については2019年度の白菜の Sr-90 濃度が検出下限値未満となったことから、2018年度の白菜の結果から移行係数を算出した。(直海の土壌は砂を客土した土地であり、

年度による違いはあまりないと考え、2019年度採取の土壌の結果を利用)また、参考に Sr と同じアルカリ土類金属のカルシウム(以下、「Ca」という。)濃度も示す。土壌中濃度は表層・下層の濃度及びそれぞれの単位面積当たりの乾燥重量から重み付き濃度を求め、それをもとに、白菜への移行係数を求めた。移行係数は生重量換算と乾燥重量換算の2種類である。

Sr と Sr-90 の移行係数(生重量換算)について比較すると、調査を行った3地点とも Sr-90 の移行係数が Sr よりも大きくなった。地点別で見ると、Sr の移行係数は直海>百浦>福浦港で、Sr-90 については百浦>直海>福浦港であり、Sr と Sr-90 で異なる傾向となった。

Sr の移行係数は福浦港が最も小さくなった。福浦港の土壌は Sr と同じアルカリ土類金属の Ca 濃度が他の2地点に比べ10倍以上高く、白菜への Sr の移行に影響を与えたことが考えられたが、白菜中の Sr 濃度は土壌中の Ca 及び Sr 濃度が最も低い直海と同程度であった。このことから、3・2で述べたように土壌から白菜への移行は土壌中の濃度以外の要因が関係していると考えられた。

なお、Sr の移行係数は乾燥重量換算で0.32~1.2(2019年度値)であり、文献⁸⁾⁻¹⁰⁾の0.28~0.94と同程度であった。

(2) Sr と Sr-90 の移行係数の違い

Sr と Sr-90 は、化学的挙動は同様と考えられるが、今回、移行係数が異なる結果となった。この原因は土壌中での存在形態が異なるためと考え検討を行った。

表 4 土壌から白菜への移行係数

採取年度	採取地点	採取場所	深度	単位面積 当たりの 採取重量 (kg 乾土 / m ²)	土壌					
					Ca (g/kg 乾土)	Sr (g/kg 乾土)	Sr-90 (Bq/kg 乾土)	重み付き濃度		
								Ca (g/kg 乾土)	Sr (g/kg 乾土)	Sr-90 (Bq/kg 乾土)
2019	百浦	畝	表層 0~5cm	46.1	1.7	0.030	0.18	1.8	0.031	0.22
			下層 5~25cm	203.7	1.8	0.031	0.23			
2019	直海	畝	表層 0~5cm	53.8	0.93	0.0076	0.11	1.0	0.0068	0.17
			下層 5~25cm	226.5	1.1	0.0075	0.19			
2019	福浦港	畝	表層 0~5cm	54.8	23	0.050	0.49	17	0.046	0.58
			下層 5~25cm	228.4	16	0.045	0.60			

採取年度	採取地点	白菜 (生重量換算)					
		Ca (g/kg 生)	Sr (g/kg 生)	Sr-90 (Bq/kg 生)	移行係数 (土壌⇒白菜)		
					Ca	Sr	Sr-90
2019	百浦	1.0	0.0017	0.11	0.58	0.054	0.50
2018*	直海	0.31	0.00062	0.017	0.31	0.092	0.10
2019	直海	0.23	0.00039	ND (0.004 ± 0.003)	0.23	0.057	--
2019	福浦港	0.62	0.00058	0.019	0.035	0.013	0.033

採取年度	採取地点	白菜 (乾燥重量換算)					
		Ca (g/kg 乾)	Sr (g/kg 乾)	Sr-90 (Bq/kg 乾)	移行係数 (土壌⇒白菜)		
					Ca	Sr	Sr-90
2019	百浦	19	0.031	2.0	11	1.0	9.2
2018*	直海	5.5	0.011	0.29	5.3	1.6	1.7
2019	直海	4.9	0.008	ND (0.08 ± 0.06)	4.8	1.2	--
2019	福浦港	15	0.015	0.48	0.88	0.32	0.82

※ 2019 年度採取の土壌の結果を利用

土壌から植物への物質の移行については、植物に吸収されやすい形態、つまり土壌中で水により溶出しやすいもの（以下、「可給態」という。）及び吸収されにくい形態、つまり水により溶出しにくい土壌中の鉱物の一部など（以下、「非可給態」という。）が存在し、その存在割合は土壌の pH などにより変動すると言われている¹¹⁾¹²⁾。このことから、土壌中の Sr については、可給態と非可給態が混在しているものと考えられる。

一方、Sr-90 については、過去の核爆発実験によるフォールアウト起源であり、沈着後の時間の経過によっても存在形態の割合に大きな変化はなく、植物への移行率の変化も少ないとされていること¹³⁾や、土壌中で地下

浸透しやすい¹⁴⁾ことから、ほとんどが可給態として存在しているものと考えられる。

土壌から白菜への移行に関係するのは土壌中の可給態の Sr と Sr-90 であり、両者の白菜への移行係数は同じになると考えられるが、実際には異なる結果となった。このことについて、分析方法から検討を行った。

土壌中の Sr 及び Sr-90 を分析する際には、図 3 の分析方法に示す前処理操作（① 500℃ で 5 時間の加熱、② 加熱後に濃塩酸による抽出）を行っている。この操作によって土壌中に非可給態として存在する Sr の一部の化学形や存在形態が変化し可給態となり、可給態濃度が実際よりも大きくなったため、Sr の移行係数が小さくなった

ものと考えられた。このため、Sr と Sr-90 で移行係数が異なってきたものと思われた。

(3) 可給態と非可給態

土壌中の可給態と非可給態の割合について、内田ら¹¹⁾が用いた「比放射能をキーパラメータとする修正モデル」¹¹⁾に検討を加えた以下の方法により求めた。

$$\begin{aligned} \text{土壌中 Sr 比放射能} &= \frac{\text{土壌中 Sr-90}}{\text{土壌中 Sr}} \\ &= \frac{\text{非可給態 Sr-90} + \text{可給態 Sr-90}}{\text{非可給態 Sr} + \text{可給態 Sr}} = \mathbf{A} \end{aligned} \quad \dots \textcircled{1}$$

白菜中の Sr や Sr-90 は土壌から移行したものであり、可給態と考えられる。このことを踏まえ、白菜中 Sr 比放射能は次のとおり表される。

$$\begin{aligned} \text{白菜中 Sr 比放射能} &= \frac{\text{白菜中 Sr-90}}{\text{白菜中 Sr}} \\ &= \frac{\text{可給態 Sr-90}}{\text{可給態 Sr}} = \mathbf{B} \end{aligned} \quad \dots \textcircled{2}$$

白菜中 Sr 比放射能は土壌中の可給態 Sr の比放射能と同じであり、文献^{11) 12)}より土壌中 Sr-90 はほとんどが可給態であると仮定 (土壌中非可給態 Sr-90 ≒ 0) し、①②の式から土壌中可給態 Sr の割合を以下により求めた。

$$\begin{aligned} \text{非可給態 Sr} &= \frac{\mathbf{B} - \mathbf{A}}{\mathbf{A}} \times \text{可給態 Sr} \\ \text{土壌中 Sr} &= \text{非可給態 Sr} + \text{可給態 Sr} \\ &= \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{A}} \times \text{可給態 Sr} \\ \text{土壌中可給態 Sr の割合} &= \frac{\text{可給態 Sr}}{\text{土壌中 Sr}} = \frac{\mathbf{A}}{\mathbf{B}} \end{aligned}$$

表5にSr比放射能並びにこの式より求めた土壌中の可給態Sr、非可給態Srの割合及び量、可給態Srの白菜への移行係数を示す。

土壌中の可給態Sr濃度は福浦港>直海>百浦で、白菜中Sr濃度は表4に示すとおり百浦>直海≒福浦港である。一方、表5に示すように可給態Srの移行係数は百浦>直海>福浦港となっており、土壌中濃度の低い方が白菜中濃度が高く、移行係数が大きくなっている。

白菜中のSr濃度は土壌中の可給態Srの濃度と移行係数の積であり、今回調査を行った3地点の土壌中の可給態Srの濃度幅が5倍程度、移行係数の幅が15倍程度であるのに対し、白菜中のSrの濃度幅は3倍程度と小さい幅であった。図5に見られるように白菜中Sr濃度は平均0.0009g/kg生(0.0003~0.0018g/kg生)であり、ばらつきが少ないことを踏まえると、植物としてSrの取り込み量に上限があり、このことが4・1(1)で土壌中Ca濃度が高い福浦港と土壌中Ca及びSr濃度が低い直海とで白菜中のSr濃度が同程度になった原因ではないかと考えられた。

百浦は土壌中の可給態Sr濃度が3地点で最も低いことから、2018年度の百浦の白菜のSr濃度が高くなった原因は移行係数が他の地点に比べ大きかったと考えられるが、今回の調査で原因の解明には至らなかった。

4・2 Sr比放射能が高くなった原因

白菜中のSr比放射能は、表5にあるように百浦>福浦港≒直海であった。この比放射能は土壌中の可給態Srの比放射能を反映したものである。土壌中の可給態Srの比放射能が高くなるのは、①土壌中の可給態Sr濃度が低い(比放射能の分母)、②土壌中Sr-90濃度が高いため(比放射能の分子)の2とおりが考えられる。

①の土壌中の可給態Sr濃度については、前項にあるように福浦港>直海>百浦となっており、百浦が3地点では最も低くなっている。

②の土壌中Sr-90については、フォールアウトとして降下したSr-90が地下へ浸透していく中で、表3に見られるような下層で濃度が高くなる可能性がある。

表 5 土壌中 Sr の非可給態・可給態の割合及び白菜への移行係数

採取地点	土壌中 Sr 比放射能 (Bq/g)	白菜中 Sr 比放射能 (Bq/g)	土壌中割合		土壌			白菜	
	A	B	非可給態 Sr 1-A/B	可給態 Sr A/B	Sr (g/kg 乾土) ※表4再掲	非可給態 Sr (g/kg 乾土)	可給態 Sr (g/kg 乾土)	Sr (g/kg 生) ※表4再掲	可給態 Sr の 土壌から白菜 への移行係数
百浦	7.1	64	0.89	0.11	0.031	0.028	0.0034	0.0017	0.50
直海*	25	27	0.06	0.94	0.0068	0.00040	0.0064	0.00062	0.10
福浦港	13	33	0.61	0.39	0.046	0.028	0.018	0.00058	0.033

*直海の白菜は2018年度の結果を使用。

このような理由から2018年度の百浦では、土壌中のある深度において高いSr比放射能が存在し、その土壌を用いて白菜の生育土壌である畝が作られれば白菜中のSr比放射能が高くなることもあり得ると考えられた。

5 ま と め

2018年11月、百浦で採取した白菜から過去の調査結果を超過するSr-90が検出されたため、原因調査を行った。

- (1) 白菜中Sr-90濃度は白菜中Sr濃度及びSr比放射能の積で表される。2018年度に採取した百浦の白菜は他の地点及び年度に比べSr濃度及びSr比放射能が高かった。
- (2) Sr濃度が高かった原因は土壌から白菜への移行係数が大きかったためである。今回の調査において移行係数が大きくなった原因の解明には至らなかった。
- (3) Sr比放射能が高かった原因はフォールアウトとして降下したSr-90が地下へ浸透していく中でSr比放射能が高い深度が存在し、その土壌を用いて畝が作られれば白菜のSr比放射能が高くなることもあり得ると考えられた。

文 献

- 1) 石川県：志賀原子力発電所周辺環境放射線監視年度計画（平成2年度～令和3年度）
- 2) 石川県：志賀原子力発電所周辺環境放射線監視結果報告書（平成2年度～令和3年度）
- 3) 公益社団法人日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳，改訂12版，丸善（2020）
- 4) 文部科学省：環境試料採取法，放射能測定法シリーズ16（昭和58年7月）
- 5) 文部科学省：ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法，放射能測定法シリーズ13（昭和57年12月）
- 6) 文部科学省：放射性ストロンチウム分析法，放射能測定法シリーズ2（平成15年改訂）
- 7) 日本分析センター：“日本の環境放射能と放射線”，<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/>, (参照2022-04-01)
- 8) Shigeo UCHIDA, Keiko TAGAMI and Ikuko HIRAI: Soil-to-Plant Transfer Factors of Stable Elements and Naturally Occurring Radionuclides (1) Upland Field Crops Collected in Japan, *J.Nucl. Sci.Tecnol.*, **44**, 628-640 (2007)
- 9) T.Ban-nai, Y.Muramatsu, K.Yanagisawa: Transfer factors of some selected radionuclides from soil to leave vegetables, *J.Radiat. Res.*, **36**, 143-154 (1995)
- 10) H.Tsukada, Y.Nakamura: Transfer factors of 31 elements in several agricultural plants collected from 150 farm fields in Aomori, Japan, *J.Radioanal. Nucl.Chem.*, **236**, 123-131 (1998)
- 11) 内田滋夫, 大桃洋一郎, 鎌田博, 佐伯誠道: 土壌から農作物への放射性核種の移行に関する計算モデル, *日本原子力学会誌*, **26**, 11, 935-941 (1984)
- 12) 内田滋夫, 鎌田博, 横須賀節子, 大桃洋一郎: 移行係数(土壌-農作物)の変動について, *保健物理*, **22**, 511-522 (1987)
- 13) 塚田祥文, 山口紀子, 高橋知之: 土壌-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, *化学と生物*, **49**, 12, 834-842 (2011)
- 14) 藤井明洋, 小谷口久美子, 浜道啓太, 横山暢, 酒井道則, 柿本均: 石川県内土壌中の¹³⁷Cs及び⁹⁰Srの分布状況及び移行挙動に関する調査, 石川県保健環境センター研究報告書, **49**, 21-26 (2012)