

埼玉県における農産物の放射能調査

茂木美砂子* 三宅 定明*
大沢 尚* 中澤 清明*

過去、大気圏での核爆発実験が頻繁に行われたために、大気圏への放射性物質の拡散、放射性降下物（フォールアウト）による環境汚染が生じた。この大気圏内核爆発実験による環境汚染のため、農産物においても放射性物質による汚染が長く続いている。農産物の放射能汚染は、放射性降下物が大気・水・土壌を経て農産物に吸収・吸着することから引き起こされる。

今回、埼玉県農産物の放射能汚染レベルを把握する目的で県主要農産物のうち、ほうれん草、枝豆、干し椎茸、ねぎの4品目を選びその放射能濃度（Bq/kg）をガンマ線スペクトロメトリーならびに放射化学分析により調査した。その結果、人工放射性核種セシウム—137 (^{137}Cs) およびストロンチウム—90 (^{90}Sr) の濃度は、放射性降下物の影響と考えられる範囲であった。また、調理加工による農産物の放射能濃度への影響について検討するため、農産物を茹で、その放射能濃度を原材料である農産物と比較すると放射能濃度は低下する傾向が認められた。

Key words : セシウム—137 (^{137}Cs)、ストロンチウム—90 (^{90}Sr)、埼玉県、農産物、放射性降下物、調理加工

I 緒 言

過去の核爆発実験等により大気圏へ放出された放射性物質は、各地で放射性降下物として大気・水・土壌を汚染し続けてきた。こうした放射性物質は、大気・水・土壌を経て農産物の根部や葉部に吸収・吸着され、農産物を汚染した^{1,2)}。

従来、農産物を含む食品の放射能調査は国公立の機関で行われてきたが、埼玉県でも平成元年度から県内流通食品の調査^{3,4)}を実施してきた。今回、新たに、平成6年度より県の主要農産物の放射能レベルを把握することを目的として、調査を実施した。また、実際に私たちが摂取する食品（可食部）からの放射性物質の摂取量を推定するため、可食部における調理加工前後の放射能濃度（単位 Bq/kg 生・乾：ベクレル/キログラム生重量・乾燥重量）を調べ、比較・検討を行った。

今回は、平成6年度に採取した県の主要農産物について環境放射能汚染の重要な指標となる人工放射性核種セシウム—137 (^{137}Cs) とストロンチウム—90 (^{90}Sr) の検出結果を報告する。なお、

今日の農産物中 ^{137}Cs 濃度はきわめて微量で^{3,4)}検出も困難になってきているため、参考までにセシウムと化学的に類似の挙動を示すカリウムの自然放射性同位元素カリウム—40 (^{40}K) についても検出結果を報告する。

II 試料と測定方法

1. 試料

埼玉県の主要農産物の中から、その収穫量において全国順位で上位を占めるほうれん草、枝豆、干し椎茸、ねぎの4品目、計27検体を選び、測定対象とした（表1）。

ほうれん草とねぎは水洗いした生の状態を原材料とし、枝豆は水洗い後、さやから取り出したものを原材料とした。干し椎茸は水洗いをせずに原材料とした。また、ほうれん草、枝豆、干し椎茸は以下の方法で調理加工したものを調理加工品とした。ほうれん草は、2 kg を沸騰した2%食塩水14 l 中で3分間茹で、水4 l にとり、流水中で5分間あくぬき後、軽くしぼった。枝豆は、1.4 kg を沸騰した3%の食塩水14 l 中で20分間茹で、水気を取り、さやから取り出した。干し椎茸は、0.5 kg を40~50°Cの湯5 l に約30分つけて戻した。戻した椎茸を軽くしぼり、重量を測定（元の約4

* 埼玉県衛生研究所
連絡先：〒338 埼玉県浦和市上大久保639-1
埼玉県衛生研究所 茂木美砂子

表1 農産物の種類・採取場所および検体数

品目	採取場所	γ線スペクトロメトリ用		放射化学分析用	
		r. ¹⁾	c.p. ²⁾	r.	c.p.
ほうれん草	県北部	3	3	3	3
ほうれん草	県西部	3	3	0	0
枝豆	県東部	3	3	3	3
干し椎茸	秩父	3	3	3	3
ねぎ	県北部	3	0	3	0

* 前処理方法 ¹⁾ 水洗い (原材料: r.=raw)

²⁾ 食塩を加え茹でる (調理加工品: c.p.=culinary processing)

倍の重量) 後、沸騰した2%の食塩水4l中で10分間茹で、軽くしぼった⁵⁾。

測定試料の調製は、科学技術庁のマニュアル⁶⁾に準じ、前処理⁷⁾として可食部を灰化してU8容器に詰めた。

2. 測定方法

上記各前処理試料4品目、計27検体につき、ガンマ線放出核種 (¹³⁷Cs, ⁴⁰K) を検出するため、キャンベラ社の高純度 Ge 半導体検出器 GC2519-7500 (相対効率25%) と、同社の波高分析器 MCA3503T 8KCH シリーズ35PLUS を用いた。測定時間は79,200秒 (22時間) とし、データ解析は東陽テクニカ社の PC/GAMMA を用いて行った。

また、上記各前処理試料のうち、原材料としてほうれん草 (県北部)、枝豆、干し椎茸、ねぎの4品目、計12検体と、調理加工品としてほうれん草 (県北部)、枝豆、干し椎茸の3品目、計9検体につき、ベータ線放出核種 (⁹⁰Sr) を検出するため、科学技術庁の放射能測定法シリーズ⁸⁾に従い、発煙硝酸法により放射化学分析を行った。

III 結 果

1. ¹³⁷Cs, ⁴⁰K の検出

核爆発実験等に由来する人工放射性核種 ¹³⁷Cs の品目別検出結果を表2に示した。原材料では、ほうれん草で1検体 (0.052 Bq/kg 生)、干し椎茸で3検体 (3.7~5.5 Bq/kg 乾) すべてから ¹³⁷Cs が検出された。また、枝豆、ねぎでは、いずれの検体からも検出されなかった。調理加工品では、干し椎茸で3検体 (1.7~1.8 Bq/kg 乾) すべてから検出された。また、ほうれん草、枝豆では、いずれの検体からも検出されなかった。

なお、自然放射性核種 ⁴⁰K は、原材料および調理加工品のすべての試料から検出され、表2に示すように、その放射能濃度は原材料で62.5 Bq/kg 生~555 Bq/kg 乾、調理加工品で143 Bq/kg 生~218 Bq/kg 乾であった。

2. ⁹⁰Sr の検出

¹³⁷Cs と同様に核爆発実験等に由来する人工放射性核種 ⁹⁰Sr の品目別検出結果を表3に示した。原材料では、すべての試料、12検体 (0.033 Bq/kg 生~0.34 Bq/kg 乾) から ⁹⁰Sr が検出された。

調理加工品では、枝豆1検体、干し椎茸1検体を除く計7検体 (0.063 Bq/kg 生~0.36 Bq/kg 乾) から検出された。

IV 考 察

核爆発実験等に由来する人工放射性核種 ¹³⁷Cs (半減期30年) および ⁹⁰Sr (半減期28.8年) は比較的長い半減期をもつ核種であり、今日までも、1960年代を中心に頻繁に行われていた大気圏内核爆発実験や1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故の影響により、降下物から検出され続けている⁹⁾。

今回の調査結果では、¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr とも、チェルノブイリ原子力発電所の事故直後~1年後をピークとした農産物放射能レベル^{10,11)}に比べ、他機関の報告例^{12~15)}とほぼ同様に低い水準で検出された。

1. 農産物の放射能濃度

今回、¹³⁷Cs 濃度 (Bq/kg 生・乾) が4品目中最も高い値を示したのは干し椎茸 (原材料) の4.6 Bq/kg 乾であった。平成3年度の(財)日本分析センターによる食品の放射能水準調査結果¹²⁾では、干し椎茸 (原材料) の ¹³⁷Cs 濃度は29 Bq/kg

表2 農産物の¹³⁷Cs, ⁴⁰K濃度

核種	No.	ほうれん草 (県北部) (Bq/kg 生)		ほうれん草 (県西部) (Bq/kg 生)		枝豆 (Bq/kg 生)		干し椎茸 (Bq/kg 乾)		ねぎ (Bq/kg 生)
		r. ¹⁾	c.p. ²⁾	r.	c.p.	r.	c.p.	r.	c.p.	r.
¹³⁷ Cs	1.	ND(0.034) ⁵⁾	ND(0.024)	ND(0.028)	ND(0.021)	ND(0.033)	ND(0.027)	5.5	1.7	ND(0.010)
	2.	0.052	ND(0.022)	ND(0.028)	ND(0.021)	ND(0.029)	ND(0.035)	3.7	1.7	ND(0.011)
	3.	ND(0.031)	ND(0.020)	ND(0.027)	ND(0.022)	ND(0.030)	ND(0.029)	4.5	1.8	ND(0.011)
	平均	0.039	0.022	0.028	0.021	0.031	0.030	4.6	1.7	0.011
	+SE ³⁾	±0.0066	±0.0012	±0.00033	±0.00033	±0.0012	±0.0024	±0.52	±0.033	±0.00033
	DL ⁴⁾	0.049 ~0.069	0.039 ~0.048	0.054 ~0.055	0.041 ~0.043	0.057 ~0.065	0.053 ~0.069	0.16 ~0.17	0.13 ~0.15	0.020 ~0.022
⁴⁰ K	1.	204	166	244	156	215	169	542	218	63.2
	2.	186	159	245	163	191	172	555	191	67.2
	3.	208	143	220	167	230	173	553	205	62.5
	平均	199	156	236	162	212	171	550	205	64.3
	±SE	±6.77	±6.81	±8.17	±3.21	±11.4	±1.20	±4.04	±7.80	±1.46
	DL	0.424 ~0.557	0.344 ~0.408	0.442 ~0.466	0.342 ~0.361	0.516 ~0.584	0.460 ~0.494	1.34 ~1.38	1.29 ~1.50	0.177 ~0.189

1) 水洗い (原材料: r.=raw)

2) 食塩を加え茹でる (調理加工品: c.p.=culinary processing)

3) 標準誤差: Standard Error

4) 検出下限値: Detectable Limit

5) 検出限界以下: Not Detected. (検出下限値×1/2)

表3 農産物の⁹⁰Sr濃度

核種	No.	ほうれん草 (県北部) (Bq/kg 生)		枝豆 (Bq/kg 生)		干し椎茸 (Bq/kg 乾)		ねぎ (Bq/kg 生)
		r. ¹⁾	c.p. ²⁾	r.	c.p.	r.	c.p.	r.
⁹⁰ Sr	1.	0.14	0.11	0.077	0.077	0.34	0.30	0.11
	2.	0.15	0.074	0.060	0.063	0.27	ND(0.21)	0.033
	3.	0.14	0.067	0.052	ND(0.025) ⁵⁾	0.28	0.36	0.085
	平均	0.14	0.083	0.063	0.055	0.30	0.29	0.077
	±SE ³⁾	±0.0032	±0.013	±0.0073	±0.016	±0.022	±0.044	±0.023
	DL ⁴⁾	0.053 ~0.077	0.037 ~0.057	0.029 ~0.036	0.049~0.050	0.12 ~0.14	0.23~0.41	0.0079 ~0.010

1) 水洗い (原材料: r.=raw)

2) 食塩を加え茹でる (調理加工品: c.p.=culinary processing)

3) 標準誤差: Standard Error

4) 検出下限値: Detectable Limit

5) 検出限界以下: Not Detected. (検出下限×1/2)

乾であり、今回の結果は同センターの結果より低い値を示した。

一方、⁹⁰Sr濃度 (Bq/kg 生・乾) が4品目中最も高い値を示したのは干し椎茸 (原材料) の0.3 Bq/kg 乾であった。平成5年度の同センターの結

果¹³⁾は、生椎茸 (原材料) で0.084 Bq/kg 生であった。今回の結果を水に戻した時の重量 (元の約4倍) あたりに換算して比較すると、同センターの値とほぼ同程度であった。

表4 農産物摂取による成人1人あたりの¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr 預託実効線量当量 (単位 mSv)

核種 (換算係数*)	干し椎茸		ほうれん草 (県北部)		枝豆		ねぎ
	10.1(g/日) × 365(日) **		11.2 × 365		36.4 × 365		36.4 × 365
	r. ¹⁾	c.p. ²⁾	r.	c.p.	r.	c.p.	r.
¹³⁷ Cs (1.4 × 10 ⁻⁵)	17(Bq)***	6.3	0.16	0.090	0.41	0.40	0.15
	2.4 × 10 ⁻⁴ (mSv)	8.8 × 10 ⁻⁵	2.2 × 10 ⁻⁶	1.3 × 10 ⁻⁶	5.8 × 10 ⁻⁶	5.6 × 10 ⁻⁶	2.0 × 10 ⁻⁶
⁹⁰ Sr (3.6 × 10 ⁻⁵)	1.1(Bq)***	1.1	0.59	0.34	0.84	0.73	1.0
	4.0 × 10 ⁻⁵ (mSv)	4.0 × 10 ⁻⁵	2.1 × 10 ⁻⁵	1.2 × 10 ⁻⁵	3.0 × 10 ⁻⁵	2.6 × 10 ⁻⁵	3.7 × 10 ⁻⁵

1) 水洗い、(原材料：r.=raw)

2) 食塩で加え茹でる (調理加工品：c.p.=culinary processing)

* 線量当量換算係数 (mSv/Bq) : ¹³⁷Cs 1.4 × 10⁻⁵, ⁹⁰Sr 3.6 × 10⁻⁵(経口摂取)

** 年間の農産物摂取量 (g):1日の摂取量 (g/日) × 365(日)

*** 年間¹³⁷Cs, ⁹⁰Srの摂取量 (Bq):1日の摂取量 (g/日) × 365(日) × RI濃度 (Bq/g)

2. 農産物摂取による預託実効線量当量

今回の結果から、原子力安全委員会の「環境放射線モニタリングに関する指針」¹⁶⁾の換算係数を用いて、仮に成人が各農産物を1年間摂取した場合にこうむる¹³⁷Csおよび⁹⁰Srによる内部被ばく線量(預託実効線量当量:単位mSv:ミリシーベルト)を推定するため、品目別に平均値(ただし、不検出の品目については検出下限値の1/2の値を用いた)から算出し、表4に示した。食品の1日の摂取量は「平成5年版国民栄養の現状」¹⁷⁾の食品群別摂取量(関東I)から、ほうれん草11.2g/日、枝豆、ねぎはその他の野菜36.4g/日、干し椎茸はきのこ類10.1g/日をそれぞれ計算に用いた。

¹³⁷Cs濃度で最も高い値を示した干し椎茸の¹³⁷Cs預託実効線量当量は、原材料で2.4 × 10⁻⁴ mSv、調理加工後で8.8 × 10⁻⁵ mSvであった。

一方、⁹⁰Sr濃度で最も高い値を示した干し椎茸の⁹⁰Sr預託実効線量当量は、原材料で4.0 × 10⁻⁵ mSv、調理加工後で4.0 × 10⁻⁵ mSvであった。

算出された¹³⁷Csおよび⁹⁰Sr預託実効線量当量は、国際放射線防護委員会勧告の公衆における線量当量限度(年間1mSv)^{18,19)}を十分に下回る結果となった。

3. 調理加工後の農産物(可食部)の放射能濃度

農産物の放射能濃度への調理加工の影響については、調理加工前後の放射能濃度を比較した「放

射性核種の除去率」として、数多く報告されている^{20~23)}。

今回の調査結果では、水洗いのみの調理加工前をもとに(干し椎茸は水洗いせず)食塩を加え、茹でた調理加工後の除去率を次式²¹⁾により算出した。

$$\text{除去率(\%)} = \frac{{}^{137}\text{Cs (前)} - {}^{137}\text{Cs (後)}}{{}^{137}\text{Cs (前)}} \times 100$$

(前)は、調理加工前の放射能濃度を、(後)は、調理加工後の放射能濃度を表す。以下、⁹⁰Sr、⁴⁰Kも同様に算出した。

¹³⁷Csについて、干し椎茸では調理加工(2%食塩水で10分間煮沸)後、除去率63%であった。Rantavaara A.ら²²⁾(1987)は、生きのこ(ジャグマアミガサダケ)を水洗いし、食塩を加えて5~10分間加熱後の除去率70%を報告している。報告例と比べ、今回は原材料の状態(生物と乾物)が異なっているが、食塩を加え茹でるという共通の調理法により、同程度の除去効果が認められたと考えられた。

⁹⁰Srについて、ほうれん草では調理加工(2%食塩水3分間煮沸後あくぬぎ)後、水洗いのみの調理加工前と比べ、除去率41%であった。Ralls, J. W.ら²³⁾(1969)は、ほうれん草の水洗いで72.5%、煮沸およびあくぬぎで80%の除去率を報告している。この値を今回と同様の方法で計算すると、調理加工前後にみる除去率は27%であり、今回の結果は報告値に比べ、ほうれん草で調理加

工による除去効果が高かった。これは、調理法の違いが一因となっていると考えられた。すなわち報告例では、何も加えずにほうれん草を茹でており、今回は2%の食塩を加え茹でていることから食塩の添加が除去率の違いに影響を与えたものと考えられた。今回、枝豆、干し椎茸では調理加工前後に放射能濃度差が認められなかった。今後、水洗いによる除去効果の検討、調理加工法の検討を行い、さらに数多く調査する予定である。

なお、 ^{40}K は、調理加工後、ほうれん草（県北部）で22%、ほうれん草（県西部）で31%、干し椎茸で63%、枝豆で19%の除去率がそれぞれ算出された。干し椎茸では、 ^{137}Cs と同様に60%以上の高い除去率が認められた。

V 結 語

今回の調査で検出された人工放射性核種 ^{137}Cs および ^{90}Sr は、過去の大気圏内核爆発実験やチェルノブイリ原子力発電所事故の影響によるものと考えられた。

今後、埼玉県の特産品と呼ばれる主な農産物を対象として放射能調査を継続し、農産物および調理加工後の食品の各放射能レベルを把握していきたいと考えている。また、私たちが、実際に農産物から摂取する放射性物質の量を推定するには、農産物毎に調理加工前後の放射能濃度を比較・検討していく必要性が認められた。

稿を終えるにあたり、本調査の検体採取に御協力いただいた埼玉県生活衛生課、大宮保健所の皆様に深く感謝致します。

(受付 '96. 2. 2)
(採用 '97. 8. 25)

文 献

- 1) 放射線医学総合研究所編. 環境放射能—挙動・生物濃縮・人体被曝線量評価—. 東京. 1984.
- 2) 原子力安全研究協会編. 環境放射線モニタリング. 東京. 1987.
- 3) 三宅定明, 他. 埼玉県内の流通食品の放射性セシウム調査. RADIOISOTOPES. 1991; 40: 49-52.
- 4) 茂木美砂子, 他. 埼玉県内流通食品の放射能調

査. 埼玉県衛生研究所報. 1994; 28: 57-59.

- 5) 下田吉人編. 調理実習—技術と理論— I・II. 東京. 光生館. 1979.
- 6) 科学技術庁編. ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー 2訂. 千葉. (財)日本分析センター. 1990.
- 7) 科学技術庁編. ゲルマニウム半導体検出器を用いる機器分析のための試料の前処理法. 千葉. (財)日本分析センター. 1982.
- 8) 科学技術庁編. 放射性ストロンチウム分析法 3訂. 千葉. (財)日本分析センター. 1982.
- 9) 五十嵐康人, 広瀬勝己. 第37回環境放射能調査研究成果論文抄録集. 1995; 19-20.
- 10) (財)日本分析センター. 日本における環境放射能レベルの推移. 1991; 13-16.
- 11) 川名孝雄, 他. ソ連原発事故に係る環境放射能調査. 埼玉県衛生研究所報. 1987; 21: 93-96.
- 12) (財)日本分析センター. 第34回環境放射能調査研究成果論文抄録集 (平成3年度). 1992; 81-84.
- 13) (財)日本分析センター. 第36回環境放射能調査研究成果論文抄録集 (平成5年度). 1994; 93-97.
- 14) 茨城県公害技術センター. 茨城県における放射能調査 (第35報). 1992.
- 15) 茨城県公害技術センター. 茨城県における放射能調査 (第37報). 1994.
- 16) 原子力安全委員会編. 環境放射線モニタリングに関する指針. 1989; 42-47.
- 17) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編. 平成5年版国民栄養の現状. 東京. 第一出版. 1993; 68-69.
- 18) 日本アイソトープ協会. 国際放射線防護委員会の1990年勧告. 1991; 53-57.
- 19) 草間朋子編. ICRP 1990年勧告—その要点と考え方—. 東京. 日刊工業新聞社. 1991.
- 20) 原子力環境整備センター編. 環境パラメータ・シリーズ食品の調理・加工による放射性核種の除去率. 東京. 1994.
- 21) 佐々木理喜子. 第8回環境放射能調査研究成果論文抄録集. 1966; 62-63.
- 22) Rantavaara A. Radioactivity of vegetables and mushrooms in Finland after the Chernobyl accident in 1986. Report STUK-A59. Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety. 1897.
- 23) Ralls, J. W., Maagdenberg, H. J., Guckeen, T. R., Mercer, W. A. Removal of radioactive Strontium and Cesium from certain vegetables and fruits during normal preparation for preservation. Isotopes and Radiat. Technol. 6. 1969. 146-149.

A SURVEY OF RADIOACTIVE LEVELS OF AGRICULTURAL PRODUCTS IN SAITAMA PREFECTURE

Misako MOTEGI*, Sadaaki MIYAKE*, Takashi OOSAWA*, Kiyooki NAKAZAWA*

Key words: Cesium-137 (^{137}Cs), Strontium-90 (^{90}Sr), Saitama prefecture, Agricultural products, Radioactive fallout, Culinary processing

Past atmospheric nuclear testing which have been conducted frequently, have caused environmental pollution due to the diffusion of radioactive substances into the atmosphere and from the radioactive fallout. The environmental pollution from nuclear testing into the atmosphere has resulted in the radioactive contamination in agricultural products and has continued for a long time. The radioactive contamination of agricultural products occurs through air, water and soil which were contaminated by radioactive fallout.

In this paper, for the purpose of analyzing the extent of the radioactive contamination levels in the agricultural products of Saitama Prefecture, spinach, green soybeans, dried shiitake and welsh onion, were selected among products, as the amount of the harvest is abundant in all of Japan. Radioactivity concentration was investigated by gamma ray spectrometry and radiochemical analysis.

The radioactivity concentrations of artificial radioactive nuclides, cesium-137 (^{137}Cs) and strontium-90 (^{90}Sr), were detected in the range which is considered to be the result of radioactive fallout. Moreover, in order to examine the effect on radioactivity concentrations in agricultural products by culinary processing, the raw agricultural products were boiled, and their radioactivity concentrations were compared with the raw produce. The radioactivity concentrations in the boiled were lower than those in the raw produce.

* Saitama Institute of Public Health