

【報文】2009~2013年度の群馬県における 環境放射能水準調査

齊藤由倫 木村信也 田子博

Radioactivity Monitoring in Gunma Prefecture from 2009 to 2013

Yoshinori SAITOH Shinya KIMURA Hiroshi TAGO

環境中の放射能レベルを監視するため、群馬県では環境放射能水準調査を1990年から行っている。本報では、2011年に発生した福島第一原子力発電所の事故を中心に、2009~2013年度の調査結果をとりまとめた。事故前、全調査項目の観測値は不検出か微量なレベルであったが、事故後は全調査項目で過去最高の値を観測するなど事故によって放出された放射性物質の影響が顕著に見られた。ただし、最高値であっても飲食物中の放射性物質濃度が、飲用・食用基準を超過したものは本調査においてはなかった。降水物や上水など、年間の調査回数が多い項目では、事故後から観測値が経時的に減少する傾向が確認された。ただし、降水物中のCsは、2012年以降は春先に若干増え、夏に下がる季節的な変動を繰り返した。 ^{40}K の解析結果からこれは風による周辺土壌の巻き上がりの影響と考えられた。一方、食品及び土壌の調査は年間1回のみであり、データ数がまだ少なく経時的な傾向を判断するのは困難であった。各環境試料中の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は、事故直後の1.0から徐々に減少する状況が見られ、その挙動は ^{134}Cs と ^{137}Cs の半減期(2年と30年)の差による理論的な減衰曲線に沿っていた。このことから、改めて各環境試料中のCsが福島原発由来であることが確認された。

Key words : 放射性物質、原発事故、空間放射線量率、全ベータ放射能、
ガンマ線放出核種

1. はじめに

現在、わが国では全ての都道府県で環境放射能水準調査が行われている(内閣府, 2015)。これは国からの委託(2012年までは文部科学省、2013年度からは原子力規制庁)に基づく調査で、その目的は国民の被ばく線量の推定・評価に資する放射線(能)レベルを把握することにある(原子力安全委員会, 2009)。群馬県では本調査を1990年に開始し、現在(執筆時の2015年8月)まで継続的に実施している。通常の調査項目は、空間放射線量率、降水物の全ベータ(以後、 β と記す)放射能、及び降水物、水道水等に含まれる放射性核種の測定と多

岐にわたっている。さらに、原子力施設の事故や核実験等の有事の際には、いくつかの調査項目においてその測定頻度を上げるなど監視(モニタリング)体制が強化される。2011年3月に福島第一原子力発電所(以後、福島原発という)の事故が発生し、大量の放射性物質が環境中へと放出された。これに伴い、モニタリング強化として空間放射線量率の監視強化と追加調査、及び降水物と上水(蛇口水)における核種の測定強化(高頻度化)が行われた(一部の調査は現在も継続中)。この事故直後は、当該調査においてそれまでにない高レベルの値が検出されたが、それから4年経過した現在では、概ね事故前のレベルに戻りつつある。

本調査の結果は単年度ごとに国に報告し、一般に公開されているが、福島原発事故前までは、人工放射性核種は検出されないか、検出されてもごくわずかであったため特に解析等は行ってこなかった。しかし、この事故により群馬県も少なからず放射性物質に関して影響を受けたため、その影響の程度と現在までの状況を複数年にわたり取りまとめておくことは、本調査の目的に照らして重要と考えられる。そこで本報では、群馬県の環境放射能水準調査の結果を、福島原発事故の前後数年の状況について取りまとめた。

2. 調査方法

2.1 環境放射能水準調査の概要と測定装置

表1に2009~2013年度に行った環境放射能水準調査の概要を示す。調査項目は、空間放射線量率、降水中の全β放射能、及び各環境試料中（降下物、上水（蛇口水）、大気浮遊じん、食品（精米、だいこん、ほうれん草、生乳（牛

乳）、土壌）の放射性核種の状況についてである。この間、モニタリング強化としては福島原発事故に伴うもの（一部は現在も継続中）と、2009年5月と2013年2月に発生した北朝鮮の地下核実験に伴うもの（いずれも異常が見られないことから約2週間で終了）が行われた。

上水（蛇口水）の通常調査は、例年6月頃に蛇口水100Lを一度に採取し、加熱濃縮して乾固させたものを測定する。この方法は迅速性は劣るものの高感度で低レベルの放射能を把握することに適する。これに加えて、2011年3月18日~2011年12月27日に実施したモニタリング強化では、毎日2Lの上水（蛇口水）を採取して、未処理のまま毎日測定した。この方法は感度が劣り低レベルの放射能は検出できないものの、迅速な測定ができ、飲料水基準（2012年3月までの暫定基準は放射性Cs 200 Bq/kg、放射性I 300 Bq/kg（乳児は100 Bq/kg）、2012年4月からは放射性Csのみ10 Bq/kg）に適合するかどうかの判断には十分な精度が確保され

表1 環境放射能水準調査の概要(2009~2013年度)

調査業務	細目	測定装置	調査/採取の場所	調査/採取の時期と頻度
空間放射線量率測定	固定型モニタリングポスト	日立アロカ社製MAR-22	前橋市(当研究所)、太田市、富岡市、草津町、川場村	連続測定(前橋市以外の4地点は2012年3月から測定開始)
	サーベイメータ ¹ (モニタリング強化)	日立アロカ社製TCS-151(～2011年8月)、日立アロカ社製TCS-171B(2011年8月～2012年3月)、富士電機社製NHC710B1-AYYYY-S(2012年4月～)	前橋市(当研究所)	2011年6月～12月は毎日1回、2012年1月以降は毎月1回
全β放射能測定	定時降水	日立アロカ社製JDC-163	前橋市(当研究所)	降雨ごと(午前9時に採取)
	大気浮遊じん(通常)		前橋市(当研究所)	四半期毎で年間4回
	大気浮遊じん ² (モニタリング強化)		前橋市(当研究所)	2009年5月26日～同年6月5日及び2013年2月12日～同年2月21日の毎日1回
	月間降下物(通常)		前橋市(当研究所)	毎月で年間12回
Ge半導体検出器によるγ線放出核種の測定	定時降下物 ^{1,2} (モニタリング強化)	セイコーEG&G社製GEM-20190-S(～2013年3月)、	前橋市(当研究所)	2009年5月25日～同年6月4日、2011年3月18日～同年12月27日及び2013年2月12日～同年2月21日の毎日1回
	上水(通常)	セイコーEG&G社製GEM25-70(2012年3月～)、	前橋市(当研究所)	6月で年間1回
	上水 ¹ (モニタリング強化)	セイコーEG&G社製GEM2-70-S(2013年3月～)	前橋市(当研究所)	2011年3月18日～同年12月27日までは毎日1回、2012年1月からは四半期毎で年間4回
	精米		前橋市内	12月～1月頃で年間1回
	だいこん		前橋市内	12月～1月頃で年間1回
	ほうれん草		前橋市内	12月～1月頃で年間1回
	生乳(牛乳)		前橋市内	8月頃で年間1回
表層土壌(0-5cm)		前橋市(当研究所)	梅雨明け頃で年間1回	
深層土壌(5-20cm)				

*1: 福島原発事故(2011年3月)に対するモニタリング強化

*2: 北朝鮮の地下核実験(2009年5月及び2013年2月)に対するモニタリング強化

ている。その後、モニタリング強化の測定精度を上げる目的から、2012年1月からは平日の毎日1.5Lの蛇口水を3か月間採取し続け、溜まった水およそ100Lを通常調査と同様に加熱濃縮してから測定した。

γ 線放出核種の測定結果は、試料の採取終了日に減衰補正をしたものである。その他、詳細な試料採取や調査方法については、原子力規制庁の「環境放射能水準調査委託実施計画書」に準拠した。

2.2 解析対象データ

解析対象の期間は、原則、福島原発事故前の2009年度から2013年度とした。これは現時点において、環境放射線データベース（原子力規制庁(a), 2015）において全調査項目の結果が公開済みになっているのが、2013年度までであるためである。ただし、月間降下物と上水（蛇口水、モニタリング強化分）については、原子力規制委員会のホームページ（原子力規制委員会, 2015）において2014年度の結果までが公開済み（2015年8月時点）であるためこれも解析対象とした。

放射性核種の解析対象は、主要な人工放射性核種（以下、特別にことわらない限り単に「核種」という）の ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs とした。なお、通常の測定試料は、当研究所でガンマ（以後、 γ と記す）線放出核種の測定が終了した後、試料を日本分析センターに送付して、そこで放射化学分析による ^{90}Sr （ β 線放出核種）の測定が行われる。この ^{90}Sr についても公開済み

のデータは解析対象とした。なお、本調査の実施計画書上、モニタリング強化の測定試料については ^{90}Sr の測定は行われないことになっている。

3. 結果及び考察

3.1 空間放射線量率

表2に2009~2013年度の空間放射線量率の測定結果を示した。また、2011年3月の福島原発の事故直後から同年4月までの前橋のモニタリングポストにおける測定結果を図1に示した。数値シミュレーション（国立環境研究所, 2011）によれば、主として3月15日と3月22日に福島原発から群馬県に放射性物質を含む気塊（放射性プルーム）が流入したと考えられている。前橋のモニタリングポストではこの放射性プルームの流入を検知し、3月15日は過去最高の562 nGy/hを記録し、3月22日もわずかではあるが空間放射線量率が急上昇した（図1）。3月15日は隣県の栃木、埼玉、茨城県においても同じように高い空間放射線量率が観測された（原子力規制庁(a), 2015）。前橋では3月23日以降、空間放射線量率の急上昇は見られず、大規模な放射性プルームの流入は確認されていない。前橋における事故前の空間放射線量率（2009~2010年度（3月11日まで））と比べると、2013年度ではまだわずかに高かったが、そのレベルは経年的に減少していることがわかる。さらに2015年8月には0.020 nGy/h程度（原子力規制庁(a), 2015）とほぼ事故前

表2 空間放射線量率(2009~2013)

測定地点	前橋モニタリングポスト			太田モニタリングポスト ^{*1}			富岡モニタリングポスト ^{*1}			草津モニタリングポスト ^{*1}			川場モニタリングポスト ^{*1}			前橋サーベイメータ ^{*2}		
測定高さ(m)	21.8			1.0			1.0			1.0			1.0			1.0		
測定値(nGy/h)	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
調査年度																		
2009	16	45	19															
2010 (3/11まで)	16	41	19															
2010 (3/12~3/31)	18	562	79															
2011	25	55	30	68	87	71	75	94	77	56	70	60	152	168	157	71	103	90
2012	22	50	25	53	110	66	62	107	70	34	90	67	57	164	85	0.07	0.08	0.08
2013	14	54	23	35	106	60	30	97	61	19	78	55	12	105	64	0.06	0.08	0.07
連続2日以上 の欠測期間 (年/月/日)				*2012.9/1~ 同年9/5						*2013.1/1~同年1/5 *2014.3/5~同年 3/18(馬舎移設工事)								

*1: 太田、富岡、草津、川場での測定は2012年3月から開始

*2: サーベイメータの測定は2011年6月から開始し、2012年度からは測定機器の変更に伴い(表1)測定結果は $\mu\text{Sv/h}$ である

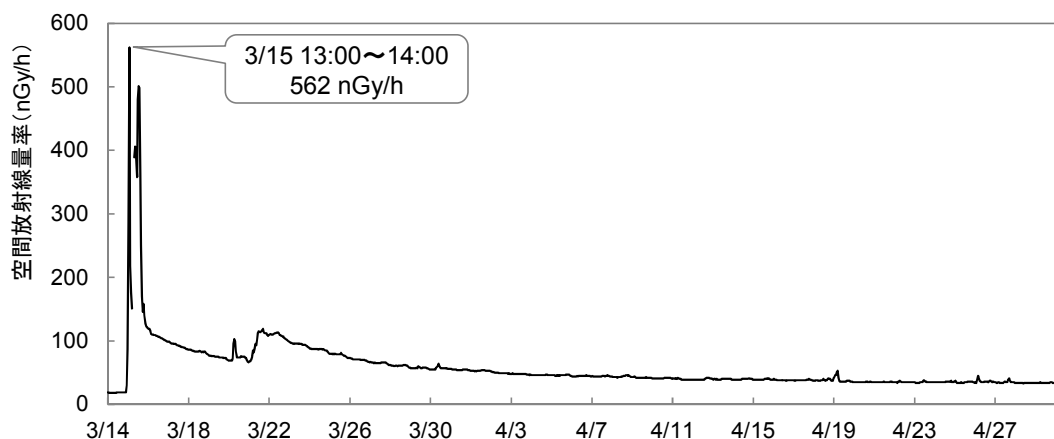


図1 前橋モニタリングポストにおける2011年3月～4月の空間放射線量率

のレベルに戻っている。

その他の4地点は2012年3月から測定を開始したが、川場を除けば顕著に高い結果は見られていない(表2)。川場は、国及び県による航空機モニタリング調査(原子力規制庁(b), 2015))の結果から、放射性物質の沈着が多かったことがわかっており、それが反映されたと考えられる。しかし、川場では空間放射線量率の年平均値が2011年度から2012年度にかけて約半分に下がっている。これは除染の効果と考えられる。川場村の計画では、除染開始が2012年5月からであり、空間放射線量率(1日平均)は2012年5月7日までが150 nGy/h程度であったのに対し、同年5月26日には88 nGy/hにまで低下した(原子力規制庁(a), 2015)。2013年度には他の4地点との差はほぼ見られなくなっている。

前橋のモニタリングポストの測定結果が、他の地点のそれよりも低いのは、検出部の高さが21.8 mと高く、地上や周辺建物からの放射線の影響が低いためである。文部科学省のマニュアル(文部科学省, 1996)では、モニタリングポストの検出部は地上高10 m以上で屋上から

の高さ3 m以上とされている。これは、地上や周辺建物からの放射線の影響をできるだけ排除し、バックグラウンドを低く抑え、放射性プルームの到来を迅速かつ正確に検知するためである。放射性プルームから発せられる放射線を監視対象として、その他のものをバックグラウンドとすれば、たしかに前橋のバックグラウンドは他の4地点よりも低い。一方、同地点の高さ1.0 mにおいてサーベイメータで測定した空間放射線量率は、他の地点のそれと同程度である。前橋以外のモニタリングポストはすべて地上高1.0 mであるが、これは福島原発事故後の放射線被ばくに対する高い社会的関心の中で、文部科学省が地上1.0 mの設置を指示したためである。つまり、前橋とそれ以外のモニタリングポストは、把握したい状況が放射性プルームの到来か、日常の外部被ばく線量かという点で設置目的が異なる。

3.2 全β放射能

表3に2009~2013年度の定時降水試料中の全β放射能の測定結果を示した。2010年度の最高値は29000 MBq/km²と非常に高いが、これは3.1で述べたとおり、3月15日に放射性

表3 定時降水試料中の全β放射能

調査年度	降水量	総試料数	全β放射能 検出試料数	降下量(MBq/km ²) 最小～最大
2009 ^{*1}	986.5	75	1	N.D. ~ 10
2010 ^{*2}	1360.0	80	1	N.D. ~ 29000
2011 ^{*2}	166.5	22	0	N.D.
2012 ^{*3}	964.5	73	0	N.D.
2013	1144.0	88	2	N.D. ~ 36

*1: 5月の北朝鮮の地下核実験に伴うモニタリング強化により、5月25日～6月4日は未調査

*2: 福島原発の事故に伴うモニタリング強化により、3月18日～12月27日は未調査

*3: 2月の北朝鮮の地下核実験に伴うモニタリング強化により、2月12日～2月22日は未調査

(注)「N.D.」は不検出を意味する

ブルームが県内に流入した直後の3月16日0:00~2:00にかけて前橋に降った降水(3.0 mm)(気象庁, 2015)のものである。全β放射能測定では、放射性核種の判別まではできないため、「環境放射能水準調査委託実施計画書」では全β放射能が特に高いときはGe半導体検出器によるγ線放出核種の測定を行い、そこに含まれる核種の推定を行うこととされている。これに従い、3月16日の降水試料から10 mLを分取し、Ge半導体検出器を用いて核種の推定を行った(なお本法では ^{90}Sr は測定できない)。その結果、 ^{131}I が24000 MBq/km²、 ^{134}Cs が5500 MBq/km²、 ^{137}Cs が5700 MBq/km²と高濃度で検出され、その他にも多数の核種が検出された(原子力規制庁(a), 2015)。これらの核種の多くがβ線も放出することから、全β放射能の測定結果はこれらに起因したと言えよう。なお、検出された個々の核種の放射能を積算すると、全β放射能よりも高くなる。これは、Ge半導体検出器による測定では、それぞれの核種の放射能を半減期補正するのに対し、全β放射能の測定では核種の特定はできず、半減期が不明なために半減期補正をしないことが一因と考えられる。

当時、β線放出核種として社会的関心の高かった ^{90}Sr に関しては、後述するとおり2011年3月の月間降下物において1.9 MBq/km²の降下量が測定された(図3)。事故以前の ^{90}Sr の降下量(例えば2006年4月に0.055 MBq/km²、2009年3月に0.052 MBq/km²など主に春季に

検出)に比べれば2011年3月のそれは明らかに高く福島原発の影響と考えられる。しかしながら、 ^{90}Sr の月間降下量1.9 MBq/km²は、3月16日の僅か1日の全β放射能が29000 MBq/km²であったことを考えれば僅かであり、当時、社会的関心は高かったもののデータからすれば意外と少なかったと言えよう。

他県の状況に目を向けると、降水の状況に応じて、3月15日に山形県(50719 MBq/km²)と栃木県(42082 MBq/km²)で、3月18日に千葉県(47000 MBq/km²)で群馬県の3月16日と同等以上の全β放射能が観測された(原子力規制庁(a), 2015)。環境放射線データベースでは、これらの降水試料に対する核種推定の結果がないため、確定的なことは言えないが、群馬県と同様に福島原発事故の影響で多くのβ線放出核種が各地にも降下した状況が推察される。

なお、2011年3月18日~2011年12月27日は降水試料の採取器を、モニタリング強化における定時降下物の採取に利用したため(表1)、全β放射能の調査は実施していない。2011年12月28日から全β放射能調査を再開した以降は、2013年度に2件の全β放射能の検出があった(表3)が、いずれもGe半導体検出器を用いた核種推定で人工放射性核種は検出されなかった。

3.3 各環境試料中の放射性核種

3.3.1 定時降下物

定時降下物の測定結果を図2に示す。3月21日は大きなピーク(図中に数値を記載した)を

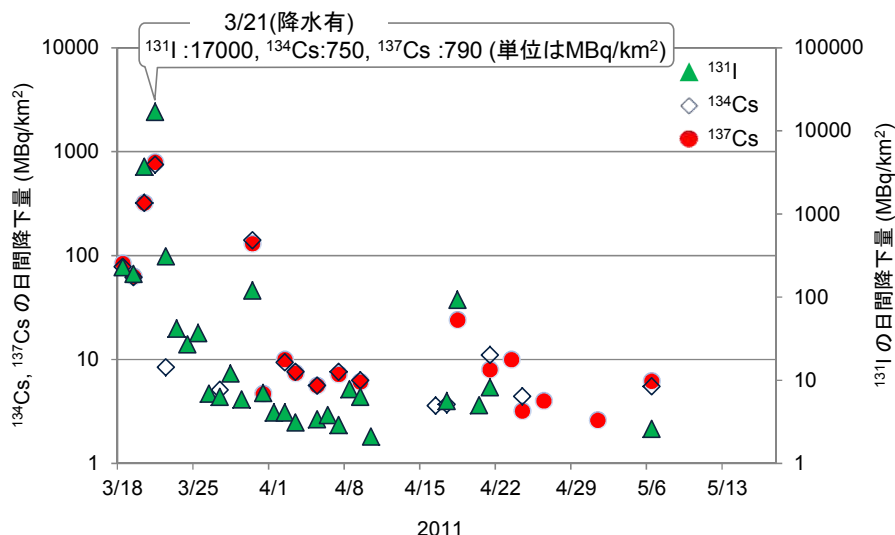


図2 定時(日間)降下物における核種降下量(モニタリング強化)

*プロットが無い日はその核種が不検出だったことを意味する

示し核種の降下量が多かったことがわかる。この試料のサンプリング中は降水（17 mm（気象庁，2015））があったことから、その影響で上空に漂っていた核種が降下したと考えられる。一方、3.1 で述べたとおり、3月22日は2回目の放射性プルームの流入があったと考えられる（図1）が、この日のサンプリング中は降水量が0.0 mmであったため、核種の降下量はそれほど多くなかった（図2）。3月20日の降下量が多いが、このサンプリング中には降水（5.5 mm）があった。このように、降水に伴って特に3月中に核種が多く降下した。しかし、徐々にそのレベルは低下していき、2011年5月6日の試料で検出された以降は不検出が続いた。10月10日の試料で ^{137}Cs のみが僅かに検出（7.8 MBq/km²、図には示していない）されたが、この試料のサンプリングでは、小さい羽虫が採取容器内に大量に入っていたことを確認している。それまでも、小さい羽虫が採取装置付近で発生し、採取容器内に混入したことはあったが、このときほど大量に混入したことはなかった。つまり、10月10日の試料で検出された ^{137}Cs は、この大量の羽虫に付着していた可能性が考えられた。なお、10月10日以降このモニタリング強化が終了する12月27日までは不検出続きであり、10月10日ほどの羽虫の大量混入もなかった。

3.3.2 月間降下物(主に福島原発事故後の挙動)

2011年1月からの月間降下物の結果を図3に示す。定時降下物の状況と同様に、月間降下物も2011年3月の降下量が最も多く、 ^{137}Cs において4700 MBq/km²を観測した。直前の2011年2月の ^{137}Cs が0.049 MBq/km²なので、約10

万倍増加したことになる。しかし、その後は徐々に減少し2011年10月には10 MBq/km²以下まで下がった。しかし、2012年度の春季に再び上昇してからは、夏季に低く再び春季に高くなる季節的な変化が見られた。同様の状況は東京都でも報告されている（富士栄ら，2014）。以下ではこの変動について考察する。

まずは土壤に普遍的に含まれる天然放射性核種 ^{40}K について、月間降下物における降下量（2011年3月から、データが公開されている2014年4月まで）とその月間降下物の供試料量（g）の関係を図4に示した。両者には強い相関関係（相関係数0.97）があることがわかる。月間降下物の供試料とは、試料を加熱濃縮して残った残渣であり、その多くは風で舞い上がって降下した土壤粒子あるいはそれに類する塵埃が主と考えられる。そのため、両者に強い相関関係が認められるのであろう。このことを踏まえて、同じように ^{137}Cs についても月間降下量と供試料量の関係を見てみる（図5）。ただし、図5では期間を事故直後の2011年3月～2013年2月までと、さらにその後の2013年3月～2015年3月までに分けた。2013年3月～2015年3月の期間における供試料量と ^{137}Cs 降下量には強い正の相関（相関係数0.95）があることがわかる。一方、2011年3月～2013年2月の相関は低い（相関係数0.18（ ^{137}Cs 降下量が比較的多かった2011年3～5月を除いても相関係数0.23））。これが示唆することは、原発事故の後しばらくは、上空に漂う核種が直接降下する影響が強かったが、それが落ち着いてくると、降下して土壤に吸着された ^{137}Cs が、土壤とともに風で舞い上がり再降下する影響が

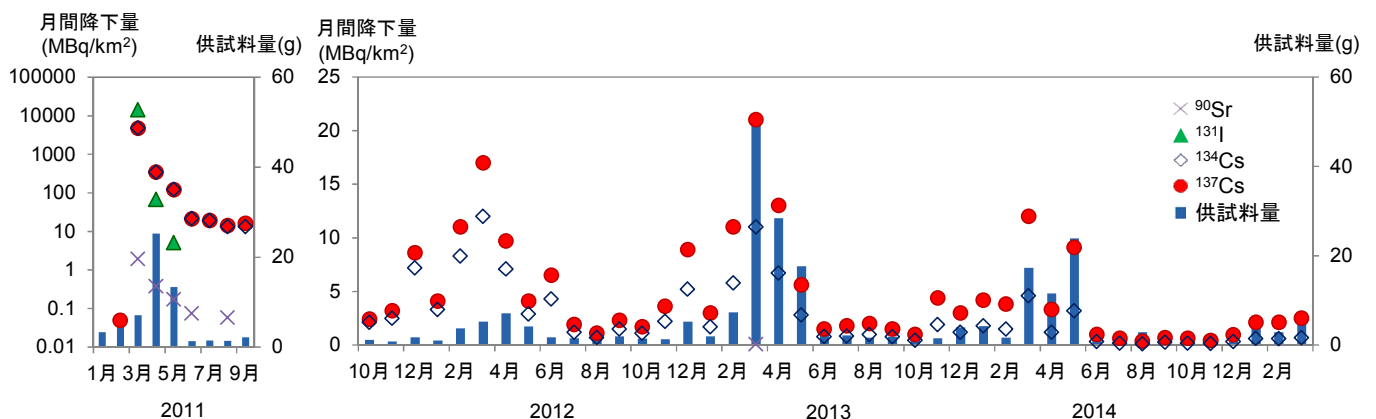


図3 月間降下物における核種降下量

*プロットが無い月はその核種が不検出だったことを意味する

相対的に増してきたことが考えられる。つまり、春の強風で土壌が舞い上がるため、核種の月間降下量が多くなるのであり、少なくとも2013年以降は大気から直接相当量の放射性物質の降下が起こっている可能性は低い。

^{90}Sr についても、2011年3月の降下量が1.9 MBq/km²と過去最高値を観測した(図3)。これは、事故前の ^{90}Sr の降下量レベル(3.2で述べたとおり0.05 MBq/km²程度)に比べれば約40倍の増加である。しかし、 ^{137}Cs が事故直後に約10万倍増加したことに比べればかなり低いと言える。 ^{90}Sr の降下が土壌に蓄積する影響を見積もるため、2011年3月以降に検出された ^{90}Sr の月間降下量を積算すると2.6 MBq/km²となる。これに対し、事故前の2008~2010年における表層土壌(0~5 cm)の ^{90}Sr は32±7.1 MBq/km²(算術平均±標準偏差)であった(表6)。したがって、福島原発事故に由来する ^{90}Sr の降下量は、元々土壌に存在していた量の1割弱と少ないことがわかった。

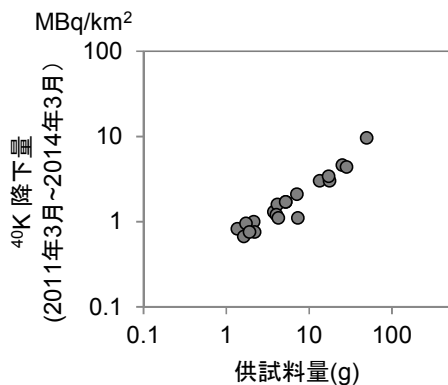


図4 月間降下物の供試料量と ^{40}K 降下量

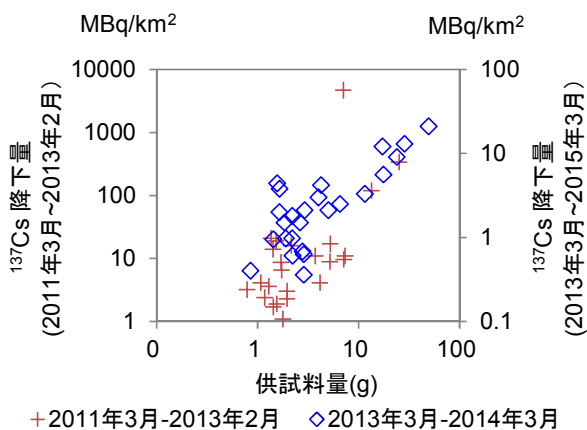


図5 月間降下物の供試料量と ^{137}Cs 降下量

3.3.3 月間降下物(主に福島原発事故前の挙動)

福島原発事故前にも、 ^{137}Cs の月間降下量が春季に多くなる季節的な特徴はみられていた。例えば2009年4月~2011年2月の間では、検出された人工放射性核種は ^{137}Cs のみで、2009年5月に0.082 MBq/km²、2010年5月に0.11 MBq/km²及び2011年2月に0.049 MBq/km²であった。

この原因としては3つ考えられる。一つは、表6に示すとおり事故前においても表層土壌からは ^{137}Cs が検出されていたことから、春季の強風で舞い上がった土壌の再降下の影響が考えられる。2つ目は、北半球上において春季に活発化する成層圏と対流圏の大気交換によって、成層圏に浮遊していた過去の核実験由来の核種が対流圏に流入し降下してくる影響である(スプリングピークと呼ばれる(葛城, 1976))。3つ目は、中国のロプノールで1980年まで行われていた大気圏内核実験の影響で、春季に日本へ飛来する黄砂と共にその地域の核種が飛来する影響(五十嵐, 2002)である。事故前の ^{137}Cs の季節変化について原因を特定するのは困難だが、いずれにせよ事故前のレベルは、2015年3月のそれ(2.5 MBq/km²)と比べても1/20以下とわずかであり、その影響は未だ福島原発事故の影響に埋もれているであろう。

3.3.4 上水(蛇口水)

2011年3月18日~2011年12月27日に実施したモニタリング強化における調査結果を図6に示す。また、2012年1月からのモニタリング強化で四半期毎に実施した調査と、通常の年1回実施した調査の結果を表4に示す。なお、通常調査は年1回と頻度が少ないので、2008年度の調査結果も表4に示した。

核種はモニタリング強化開始時(2011年3月18日)から検出され、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs は3月20日に、 ^{131}I は3月22日にそれぞれ最高値を示した(図6)。その後は、若干の変動を伴いながらも値は低下していき、6月4日の ^{137}Cs の検出を最後に2011年12月27日までは不検出が続いた。ただし、この期間中により感度の高い測定方法で実施した通常調査では、2011年6月20日に採取した上水から ^{134}Cs が30 mBq/L及び ^{137}Cs が32 mBq/Lと現状の飲料

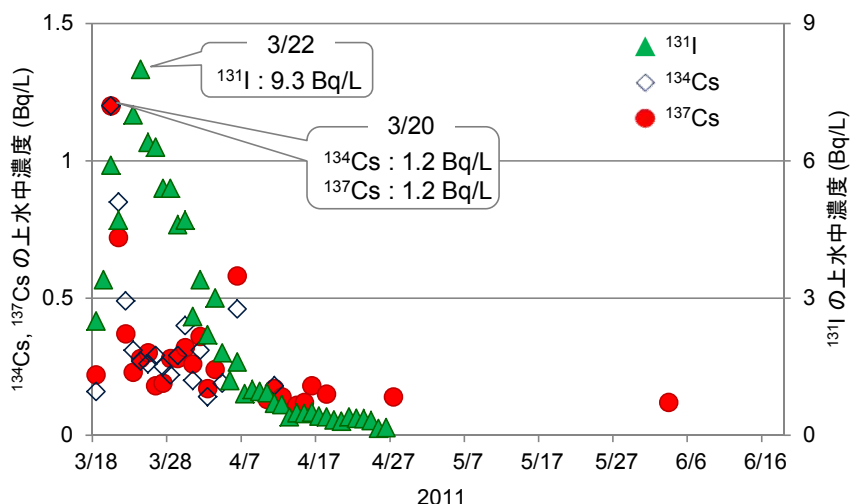


図6 上水(蛇口水)中の核種濃度(モニタリング強化による毎日調査)

* プロットが無い日はその核種が不検出だったことを意味する

表4 通常調査及びモニタリング強化(四半期調査)における上水(蛇口水)中の核種濃度

業務	採取期間 (年.月(日))	⁹⁰ Sr 放射能濃度 (mBq/L)	¹³¹ I 放射能濃度 (mBq/L)	¹³⁴ Cs 放射能濃度 (mBq/L)	¹³⁷ Cs 放射能濃度 (mBq/L)
通常	2008.6/30	1.2	N.D.	N.D.	N.D.
通常	2009.6/5	1.1	N.D.	N.D.	N.D.
通常	2010.6/10	1.1	N.D.	N.D.	N.D.
通常	2011.6/20	0.97	N.D.	30	32
強化	2012.1~3		N.D.	3.2	3.9
強化	2012.4~6		N.D.	2.0	3.1
通常	2012.6/7	0.74	N.D.	3.3	4.6
強化	2012.7~9		N.D.	2.4	3.2
強化	2012.10~12		N.D.	2.2	3.4
強化	2013.1~3		N.D.	1.5	3.1
強化	2013.4~6		N.D.	0.98	2.1
通常	2013.6/26	0.92	N.D.	1.2	2.1
強化	2013.7~9		N.D.	1.0	2.7
強化	2013.10~12		N.D.	0.86	2.2
強化	2014.1~3		N.D.	0.52	1.6
強化	2014.4~6		N.D.	N.D.	1.6
通常	2014.7/7	2015.8/31時点で未公開			
強化	2014.7~9		N.D.	0.67	2.1
強化	2014.10~12		N.D.	0.80	2.0
強化	2015.1~3		N.D.	N.D.	1.5
強化	2015.4~6		N.D.	0.59	1.1

(注)「N.D.」は不検出を意味する

表5 大気浮遊じん(四半期毎)の核種濃度

採取期間 (年.月~年.月)	⁹⁰ Sr 放射能濃度 (mBq/m ³)	¹³¹ I 放射能濃度 (mBq/m ³)	¹³⁴ Cs 放射能濃度 (mBq/m ³)	¹³⁷ Cs 放射能濃度 (mBq/m ³)
2009.4 ~ 2009.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2009.7 ~ 2009.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2009.1 ~ 2009.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2010.1 ~ 2010.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2010.4 ~ 2010.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2010.7 ~ 2010.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2010.10 ~ 2010.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2011.1 ~ 2011.3*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2011.4 ~ 2011.6	0.0099	N.D.	5.2	5.1
2011.7 ~ 2011.9	0.0036	N.D.	0.26	0.32
2011.10 ~ 2011.12	0.0021	N.D.	0.037	0.049
2012.1 ~ 2012.3	N.D.	N.D.	0.020	0.026
2012.4 ~ 2012.6	N.D.	N.D.	0.011	0.020
2012.7 ~ 2012.9	N.D.	N.D.	N.D.	0.019
2012.10 ~ 2012.12	N.D.	N.D.	N.D.	0.012
2013.1 ~ 2013.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2013.4 ~ 2013.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2013.7 ~ 2013.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2013.10 ~ 2013.12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2014.1 ~ 2014.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

* 2011.1~2011.3の試料は福島原発事故前に採取した

(注)「N.D.」は不検出を意味する

水基準の 1/100 以下と極めて微量ではあるが検出された。その後は、四半期毎のモニタリング強化の結果も含めて、安定的に核種濃度は低下している(表 4)。⁹⁰Sr については事故前後においてそのレベルに変化は見られなかった。前述したとおり、原発事故に由来して降下した⁹⁰Sr の量は、事故前の土壌に元々存在していた⁹⁰Sr の量(表 6)に比べて 1 割弱と少なかった。降水のほとんどが地上を経由して河川に流入し、それが上水(蛇口水)へと精製される過程を想像すれば、福島原発由来の⁹⁰Sr の降下量が、

上水中の⁹⁰Sr 濃度を増加させないのは合理的と考えられよう。

以上、この環境放射能水準調査で実施した上水(蛇口水)の核種測定では、飲用基準を超えるレベルは見られなかった。群馬県が実施している浄水場の水道水検査においても、これまで飲用基準を超える値は出ていない(群馬県, 2015)。

3.3.5 大気浮遊じん

調査結果を表 5 に示す。2011 年 1 月~同年 3 月は福島原発の事故前にサンプリングしたもの

である。これを含め事故前は核種の検出はなかった。しかし、事故後の2011年4月～同年6月の試料からは ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs が過去最高値で検出された。その後は、徐々に放射能濃度は低下していき、2012年10月～同年12月に ^{137}Cs が検出されたのを最後に、それ以降はいずれの核種も不検出続きとなった。

3.3.6 食品及び土壌

食品及び土壌の調査は年1回と調査頻度が少ないため、2008年度の調査結果も含めて表6に示した。半減期が8日と短い ^{131}I は、すべての試料で不検出であった。また、食品中の ^{90}Sr は、事故の前後において目立った変化はなかった。一方、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs は事故後の2011年度のだいこん、ホウレンソウ、精米で食用基準（現在最も厳しい「乳児用製品及び牛乳」で放射性Cs 50 Bq/kg）に比べれば微量ではあるものの、過去最高値が検出された。生乳については他の食品と異なり、2011年度は不検出だった。生乳を採取した施設では、事故直後から飼料を国産から輸入に切りかえたとのことであり（施設者からの聞き取り）、これが2011年度の不検出の一因かもしれない。翌2012年度は生乳の核種濃度が過去最高値を検出したが、やはり食用基準と比較して微量であった。なお、現在（2015年8月）では、既に国産飼料の使用を再開しているとのことであった（再開時期については不明）。原発事故後の各食品中の核種濃度には経年的な変動はみられるが、それが減少傾向かどうかを判断するにはまだ3年分の公開データしかなく困難であった。しかしながら、いずれも飲用・食用基準に照らせば微量であった。

土壌については、 ^{90}Sr と ^{137}Cs が福島原発事故前から表層及び深層において検出されていた。これらは半減期が約30年と長いとため、過去の核実験等に由来するものと考えられる。福島原発事故後の2011年度は ^{134}Cs 及び ^{137}Cs が過去最高値を観測したものの、 ^{90}Sr は前年度に比べて特段の増加は見られなかった。3.3.2で述べたとおり、 ^{90}Sr はそもそも福島原発事故の影響による降下量が多くなかったためである。一方 ^{131}I は相当量の降下があった(3.3.2)が、土壌からは不検出であった。 ^{131}I は半減期が短く、

土壌の測定時には既に検出限界値よりも低レベルにまで減衰していたことがその理由と考えられる。

福島原発事故後の表層と深層のCsを比較すると、やはり表層の方が高いものの、深層でも検出されていることから、Csが地下浸透した可能性が考えられる。しかし、その経年的な変動は、表層と深層で異なっており、表層では ^{137}Cs が2011年度に比べて2012年度は3割弱増えているのに対し、逆に深層のそれは6割強減少している。この土壌の採取地点は、2011年度と2012年度のそれは近接していた（離れていたとしても数十cm程度）ことを考慮すれば、表層に関しては、当初沈着した核種が単に偏在していたか、或いは当初均一に沈着した核種が、その後の降水や風などの環境要因によって移行した（飽本, 2014）ことが原因と考えられた。一方、深層のCsの変化については原因不明であった。なお、土壌についても食品と同様に、原発事故後まだ3年分の公開データしかなく、その経時的な挙動を解析するのは困難であった。

表6 食品及び土壌の核種レベル

試料名	調査年度	^{90}Sr	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	単位
精米	2008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Bq/kg-生
	2009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	2010	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	2011	N.D.	N.D.	0.26	0.28	
	2012	N.D.	N.D.	N.D.	0.11	
	2013	N.D.	N.D.	N.D.	0.16	
だいこん	2008	0.030	N.D.	N.D.	N.D.	Bq/kg-生
	2009	0.028	N.D.	N.D.	N.D.	
	2010	0.092	N.D.	N.D.	N.D.	
	2011	N.D.	N.D.	0.048	0.070	
	2012	N.D.	N.D.	N.D.	0.021	
	2013	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
ほうれん草	2008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Bq/kg-生
	2009	0.031	N.D.	N.D.	N.D.	
	2010	0.041	N.D.	N.D.	N.D.	
	2011	N.D.	N.D.	0.44	0.56	
	2012	N.D.	N.D.	N.D.	0.076	
	2013	0.039	N.D.	0.052	0.12	
生乳 (牛乳)	2008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Bq/L-生
	2009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	2010	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	2011	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	2012	N.D.	N.D.	0.082	0.092	
	2013	N.D.	N.D.	N.D.	0.10	
表層土壌 (0-5cm)	2008	38	N.D.	N.D.	N.D.	MBq/km ²
	2009	33	N.D.	N.D.	34	
	2010	24	N.D.	N.D.	34	
	2011	38	N.D.	1400	1800	
	2012	23	N.D.	1400	2300	
	2013	34	N.D.	820	1900	
深層土壌 (5-20cm)	2008	29	N.D.	N.D.	N.D.	MBq/km ²
	2009	120	N.D.	N.D.	34	
	2010	37	N.D.	N.D.	N.D.	
	2011	31	N.D.	190	220	
	2012	65	N.D.	N.D.	80	
	2013	60	N.D.	N.D.	59	

(注) 2010年度の試料はいずれも福島原発事故前に採取した
(注) 「N.D.」は不検出を意味する

3.3.7 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比

^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比 ($^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$) は、原子炉の種類と稼働時間に応じて異なる値をとることが知られている。これは ^{134}Cs と ^{137}Cs それぞれの生成過程が違うことに由来するものである (河田ら, 2012)。例えば、チェルノブイリ原発事故の直後における $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ は 0.5~0.6 であったが (UNSCEAR, 1988/Carbol *et al.*, 2003)、原子炉によってはそれが 1.5 程度に達するものもある (Croff, 1980)。一方、核爆発に由来する $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ はほぼ 0 をとることが報告されている (青山, 2006)。すなわち、発生要因に応じて $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ は 0~1.5 程度をとり得る。小森ら (2013) は、この $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ の特性に着目し、福島原発で異常事態に陥った 1~3 号機それぞれの原子炉に由来する $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ を詳細に解析した。各原子炉周辺の溜まり水の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ を計算した結果、1 号機が 0.91、2 号機が 1.00、3 号機が 1.01 (いずれも事故発生時刻に半減期補正) が得られた。つまり、福島原発に限っては、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ は 0.91~1.01 の範囲に収まるようである。福島原発の事故直後、国内で測定された様々な試料の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ がほぼ 1.0 をとるのもこのためであろう。ここで、当研究所の調査における月間降水物、大気浮遊じん、上水及び表層土壌 (0-5 cm) の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ の経時変化を図 7 に示す (^{134}Cs と ^{137}Cs の測定値は、試料採取終了時点に半減期補正をしたもの)。図 7 には半減期の差 (^{134}Cs : 2 年、 ^{137}Cs : 30 年) による理論的な減衰曲線 (理論曲線) も点線で示した (放出直後を 1.0 とした)。データ数の多い月間降水物

の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ は、原発事故後の 2011 年 3 月から同年 7 月までは 1.0 で推移したが、その後は理論曲線に沿ってなだらかに減少している。他の項目についても同様に減少している。つまり、2011 年 3 月に半減期補正をすれば、どの項目も $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ はほぼ 1.0 となる。このことから、本調査における各環境試料の Cs についても、福島原発由来であることが改めて確認された。

4. まとめ

環境放射能水準調査によって把握した群馬県内の空間放射線量率、降水中の全 β 放射能、及び降水物、上水 (蛇口水)、大気浮遊じん、食品 (精米、だいこん、ほうれん草、生乳 (牛乳))、土壌に含まれる放射性核種 (^{90}Sr 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs) の状況を、主として福島原発の事故前後である 2009~2013 年度についてとりまとめた。

原発事故前はすべての調査項目において、不検出続きか、検出されたとしても非常に微量なレベルであったが、原発事故以降はすべての調査項目において過去最高となる値が検出された。ただし、本調査では上水 (蛇口水) と食品の核種レベルが、飲用・食用基準を超過したものはなかった。 ^{90}Sr については、降水物及び大気浮遊じんにおいて福島原発事故後に過去最高値を観測したが、上水、食品及び土壌においては事故前と変わらない状況であった。これは ^{90}Sr の降下量が他の核種に比べて少なかったためであろう。

空間放射線量率、全 β 放射能、上水 (蛇口水)、大気浮遊じんの放射線 (能) レベルは、

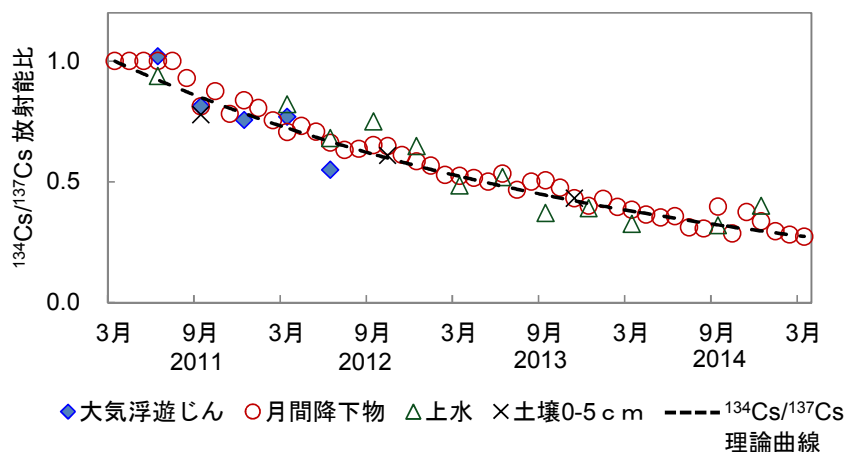


図7 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比の経時変化

原発事故後からは経時的な減少傾向が見られた。降下物についても原発事故以降は経時的な減少が見られたが、2013年以降はその値が春季に高くなり、夏季に低くなる季節的な変動が見られた。天然放射性核種である ^{40}K との関係等から解析したところ、これは風による周辺土壌の巻き上がりの影響と考えられた。つまり、福島原発からの新たな放射性物質の飛来を示唆するものではないだろう。食品及び土壌についてはデータ数が少なく、経時的な考察をするには至らなかった。

本調査で測定した各環境試料の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ は、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の半減期の差による理論曲線(2011年3月を1.0とした)にほぼ沿うかたちで継時的に減少していた。このことは、各環境試料に含まれるCsが福島原発由来であることを改めて示すものである。

謝辞

現在も継続中ではあるが、福島原発の事故対応は、当研究所の環境放射能水準調査の歴史において最大の案件と言える。他所所属も同様の状況だったと推察されるが、とりわけ事故直後の数週間は24時間の監視と測定に追われ過酷を極めた。この間、当時の所長、副所長をはじめ、水環境・温泉研究センター、感染制御係、総務係、研究企画係、保健科学係、さらには食品安全検査センターの方々から多大なるご協力をいただいた。とくに当時の大気環境係長であった星野隆昌氏(現環境エネルギー課次長)は、他部署への協力依頼や、業務の調整・省力化など多方面に奔走され、主担当者の負担軽減にご尽力いただいた。このお力添えによって難題を乗り越れたと改めて振り返る。ここにご協力を頂いた皆様に厚く御礼申し上げます。

文献

青山道夫, 2006: 大気と海洋深層における核実験起源フォールアウトの超低レベル放射能測定, *RADIOISOTOPES*, **55**, 429-438.
 鮑本一裕, 2014: 粒子状放射性物質の再浮遊と移流による2次汚染, *Jpn. J. Health Phys.*, **49**

(1), 17-28.

Carbol P., Solatie D., Erdmann N., Nylén T., Betti M., 2003: Deposition and distribution of Chernobyl fallout fission products and actinides in a Russian soil profile, *J. Environmental Radioactivity*, **68**, 27-46.
 Croff, A.G., 1980: ORIGEN2-A Revised and Updated Version of the Oak-Ridge Isotope Generation and Depletion Code, ORNL-5621.
 富士栄聡子, 小西浩之, 生嶋清美, 保坂三継, 中江大, 2014: 東京都における降下物及び陸水中の人工放射性物質の経年変化, *東京都健康安全研究センター年報*, **65**, 237-243.
 原子力規制委員会, 2015: 環境モニタリング一般等, <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/514/list-1.html> (2015年8月31日アクセス).
 原子力規制庁(a), 2015: 環境放射線データベース, <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top> (2015年8月31日アクセス).
 原子力規制庁(b), 2015: 文部科学省及び群馬県による航空機モニタリングの測定結果について, <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4895/view.html> (2015年8月31日アクセス).
 群馬県, 2015: 群馬県の水道水の安全性について, <https://www.pref.gunma.jp/04/d6900015.html> (2015年8月31日アクセス).
 五十嵐康人, 2002: ^{90}Sr と ^{137}Cs を用いたダスト輸送過程と再飛散, *エアロゾル研究*, **17**(4), 252-258.
 葛城幸雄, 1976: 日本における放射性降下物, *天気*, **23**, 333-345.
 河田燕, 山田崇裕, 2012: 原子力事故により放出された放射性セシウムの $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比について, *Isotope News*, **697**, 16-20.
 気象庁, 2015: 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2015年8月31日アクセス).
 国立環境研究所, 2011: 環境回復研究プログラム(PG1)の成果, <http://www.nies.go.jp/shinsai/radioactive.html> (2015年8月31日アクセス).
 小森昌史, 小豆川勝見, 野川憲夫, 松尾基之, 2013: $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を指標とした福島

第一原子力発電所事故に由来する放射性核種の放出原子炉別汚染評価, 分析化学, **62** (6), 475-483.

文部科学省, 1996 : 連続モニタによる環境ガンマ線測定法 (1996 年改訂)

内閣府, 2015 : 平成 27 年度防災白書, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h27/honbun/index.html> (2015 年 8 月 31 日アクセス) .

UNSCEAR, 1988 : Sources, Effects and Risks of Ionization Radiation, 1988 Report.