

原著

埼玉県北部地域における福島第一原発事故に伴う 放射性物質の汚染状況と除染効果

新井 正一¹⁾・土居 亮介²⁾

純真学園大学 保健医療学部 放射線技術科学科¹⁾

久留米大学 医学部 放射性同位元素施設²⁾

Pollution Status and Decontamination Effect of Radioactive Materials Due to the Fukushima Daiichi Nuclear Disaster in Northern Saitama Prefecture

Shoichi ARAI¹⁾, Ryosuke DOI²⁾

Department of Radiological Science, Faculty of Health Sciences, JUNSHIN GAKUEN University¹⁾

Radioisotope Institute for Basic and Clinical Medicine, School of Medicine, KURUME University²⁾

要旨： 東日本大震災を起因とした福島第一原子力発電所事故により、広範囲な放射性物質の汚染が確認されている。

昨年、我々の調査でも原発より約200km離れた埼玉県北部地域において汚染が確認された。前回の報告で、周辺よりも線量が高く、常時、人が立ち入っている場所を除染対象箇所として指摘をした。その後、その指摘を基に除染作業を行い、その効果の状況を確認するため再調査を行った。

結果は前回0.12 (μ Sv/h) を超えた14箇所のうち11箇所で空間線量率の低減が確認できた。土壌中の放射性物質質量で10 (kBq/kg) を超えた6地点のうち5地点で低減が認められ、除染による低減効果が認められた。側溝に溜まった土砂の除去や除草が効果的な除染方法であることが確認された。また含まれていた放射性物質のエネルギースペクトルの解析結果より Cs-134, Cs-137が確認された。

最近、緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム (SPEEDI) の試算結果が公表され、事故後まもなく高濃度の放射性ヨウ素を含んだ雲の通過した経路がわかってきた。

今回の調査対象である埼玉県羽生市近辺は、放射性セシウムの降下は比較的少なく、土壌汚染は少ないが、放射性物質を含んだ雲が通った経路にあたっていたため、事故直後、この付近の住民は放射性ヨウ素による内部被ばくを受けた可能性が示唆され、今後、長期間の健康調査が必要ではないかと考える。

キーワード： 福島原発事故、土壌汚染、放射性セシウム、除染、ホットスポット

Abstract: The contamination of radioactive material from the Fukushima Daiichi nuclear disaster which was caused by the Tōhoku earthquake was confirmed over a wide range. The contamination was also confirmed in the Saitama northern area around 200 km away from the Fukushima nuclear power plant. In a previous report, a higher dose was observed in surrounding areas where people were permitted to live. It was suggested that the decontamination needed to be done in all areas. The operational situation and effect of decontamination were investigated in this report. The results showed that the air dose rate decreased in 11 of 14 places where the air dose rate exceeded 0.12 (μ Sv/h) in the last report. The amount of radiological dosage also decreased in 5 out of 6 places where it exceeded 10 (kBq/kg) in soil. The decrease can be attributed to effective decontamination methods in removing the earth and sand collected in the gutters and weeding.

Recently, some analytical results were published from the System for Prediction of Environment Emergency Dose Information (SPEEDI). It was clear that the route of clouds which contained the high-concentration of radioactive iodine soon after the nuclear accident occurred. Although the soil pollution was not severe in Hanyu-city, Saitama, the investigated area in this report, the radioactive cesium had decreased very little. Residents living in the area were possibly exposed to radioactive iodine because the areas were covered by polluted clouds soon after the nuclear accident occurred.

Keyword : Fukushima Daiichi Nuclear Disaster, Soil contamination, Radioactive cesium, Decontamination, Hot spot

はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）によって、福島県双葉郡大熊町・双葉町にあった東京電力福島第一原子力発電所の各原子炉（分解点検中の4号機、定期検査中の5号機、6号機を除く1～3号機）は自動的に制御棒が上がり緊急停止したが、発電所への送電線が地震の揺れで変電所や遮断器など各設備が故障、送電線の鉄塔1基が倒壊したため、外部電源が失われた。その後、非常用ディーゼル発電機が起動したものの、地震の約50分後に、遡上高14m - 15mの津波が発電所を襲い、地下に設置されていた非常用ディーゼル発電機が海水に浸かって故障した。このため炉内の冷却水が蒸発、建家内に水素ガスが貯留し、水素爆発が起こった。この事故により、東日本を中心とした広範囲に大量の放射性物質が大気中に飛散したことがわかっている¹⁴⁾。

我々は2011年11月に福島第一原子力発電所より200km離れた埼玉県羽生市における放射性物質の汚染状況を調査し、その汚染状況について報告を行った⁵⁾。

文部科学省の放射線モニタリング調査の結果では、この埼玉県北部地域は、福島県内や北関東（茨城県、栃木県、群馬県）に比べれば汚染が少ないとされている⁶⁻⁸⁾。

しかし前回行った我々の調査⁵⁾でも、除染対象の法的基準となる空間線量0.23マイクロシーベルト毎時 (μ Sv/h) を超える箇所は存在しなかったものの、その基準の1/2線量に相当する0.12 μ Sv/h を超える地点が14箇所、土壌調査結果では10,000ベクレル毎kg ($\text{Bq/kg} = 10\text{kBq/kg}$) を超える地点が6箇所見つかっている。これらの地点は、周辺よりも放射線量が高い、いわゆる「ホットスポット」として、除染作業の対象地点として指摘した。

2011年11月の我々の調査後、放射性物質の除染が行われ、作業は終了している。

今回、我々は前回の調査、除染対象として指摘をした地点における、空間線量率 (μ Sv/h)、土壌中の放射エネルギー (Bq/kg) の測定を行い、除染作業によってどの程度線量が減少しているか、その除染効果について検討する。また含まれている放

射性物質のエネルギースペクトルを解析し、その検討をすることを本研究の目的とする。

対象

今回、調査の対象とした埼玉県羽生市は、埼玉県の北東部に位置する人口55,714人（推計人口、2012年6月1日）である。福島第一原子力発電所からは、南西方向に約200km離れた地点である (<http://cassiopeia.a.la9.jp/grs/fukushimagenshi.htm>)。調査の対象とした施設は、前回の調査同様、ここ羽生市に立地しているJ大学の協力を得た。

調査の実施にあたっては、2011年11月7日調査した結果をもとに、J大学の敷地内で、除染対象の法的基準となる空間線量率 (0.23 μ Sv/h) の1/2にあたる0.12 (μ Sv/h) を超えた14地点、および土壌中の放射性物質量が10 (kBq/kg) を超えた6地点を調査対象とした (図1)。

なお、J大学では、前回の調査終了後、2011年11月～2012年1月に除染作業や花壇の土壌入替を終了している。

測定機器

シンチレーションサーベイメータ ALOKA TCS-171

ガンマ線スペクトロメータ ゲルマニウム (Ge) 型半導体検出器 ORTEC GMX-23195

マルチチャンネルアナライザ SEIKO EG&G MCA7700

測定内容

1. 空間線量率の測定

前回2011年11月7日に実施した空間線量率の測定結果をもとに、0.12 (μ Sv/h) を超えた地点付近で、地表面から100cmの空間線量率をシンチレーションサーベイメータ (TCS-171) で測定した。

2. 土壌中の放射性物質量の測定

空間線量率と同様、前回測定結果をもとに、土壌中の放射性物質量が10 (kBq/kg) を超えた地点付近の土壌を採取した。採取の手法は、恩田らによる「福島原子力発電所事故後の被ばく線量調査」(5.27改訂版)⁹⁾に基づき行った。

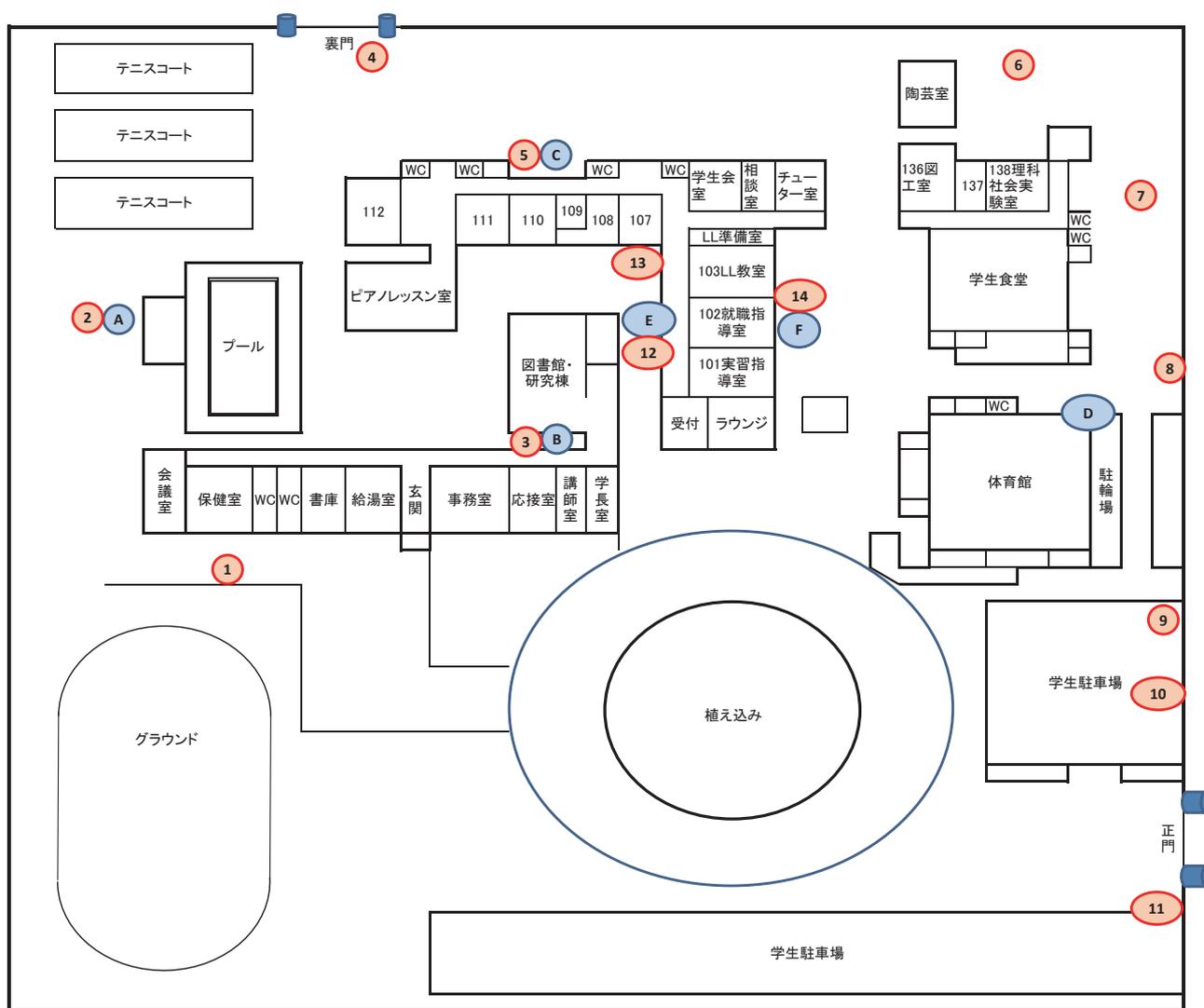


図1 J大学 見取り図

採取した土壌はゲルマニウム (Ge) 半導体検出器 (GMX-23195) で、10分間計測し、データ解析 (SEIKO EG&G MCA7700) を行った。

3. 土壌中の放射性物質のエネルギースペクトル

ゲルマニウム型半導体検出器を使って、土壌に含まれている放射性物質の量、放射性核種の同定、除染前後のエネルギースペクトルの変化を解析した。

結果

1. 空間線量率の測定

J大学敷地内で、2011年11月7日の調査した結果⁵⁾より選定された14地点において、左欄2011年11月7日測定時の写真と空間線量率 (μ

Sv/h : 100cm) と右欄2012年1月31日 -2月1日測定の写真画像と空間線量率 (μ Sv/h : 100cm) の結果を示す (図2)。

前回2011年11月の調査で0.12 (μ Sv/h) を超えた14箇所のうち今回、2 (プール脇側溝) が0.13 (μ Sv/h) \rightarrow 0.09 (μ Sv/h), 3 (学長室・講師室裏) が0.15 (μ Sv/h) \rightarrow 0.10 (μ Sv/h), 4 (裏門) が0.12 (μ Sv/h) \rightarrow 0.07 (μ Sv/h), 5 (110教室裏) が0.13 (μ Sv/h) \rightarrow 0.10 (μ Sv/h), 7 (学生食堂横, トイレ裏) が0.13 (μ Sv/h) \rightarrow 0.09 (μ Sv/h), 8 (学生食堂, 体育館の間) が0.12 (μ Sv/h) \rightarrow 0.11 (μ Sv/h), 9 (学生駐車場1脇) が0.12 (μ Sv/h) \rightarrow 0.11, 11 (正門横) が0.16 (μ Sv/h) \rightarrow 0.11 (μ Sv/h), 12 (実習指導室前) が0.15 (μ Sv/h) \rightarrow 0.08 (μ Sv/h),

番号	計測地点	2011.11.07(除染前)		2012.01.31-02.01(除染後)	
		空間線量率 (μ Sv/h)(100cm)	測定地点画像	空間線量率 (μ Sv/h)(100cm)	測定地点画像
1	グラウンド 側溝	0.12		0.12	
2	プール脇 側溝	0.13		0.09	
3	学長室・ 講師室裏	0.15		0.10	
4	裏門	0.12		0.07	
5	110教室裏	0.13		0.10	
6	裏庭・ 刈り込んだ 芝山	0.16		0.16	
7	学生食堂横 トイレ裏	0.13		0.09	
8	学生食堂、 体育館の間	0.12		0.11	

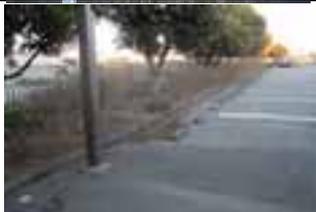
9	学生駐車場 1脇	0.12		0.11	
10	学生駐車場 1中央	0.13		0.13	
11	正門横・ 学生駐車場2 入り口	0.16		0.11	
12	実習 指導室前	0.15		0.08	
13	107教室前	0.13		0.09	
14	中庭・ 植え込み 花壇	0.13		0.08	

図2 学内敷地内の空間線量率

13 (107 教室前) が 0.13 (μ Sv/h) → 0.09 (μ Sv/h) 14 (中庭, 植え込み花壇) が 0.13 (μ Sv/h) → 0.08 (μ Sv/h) と低減されていた。

2. 土壌中の放射性物質量の測定

2011 年 11 月 7 日に土壌を採取して測定を行い、10 (kBq/kg) を超えた 6 地点の土壌採取を行い、Ge 型半導体検出器で測定を行った。その結果を表 1 に示す。

この結果からもわかるように、6 地点のうち 5 地点で土壌中の放射能濃度の減少が認められた。

特に E (実習指導室前) においては、23.4 (kBq/kg) → 2.05 (kBq/kg) と 11 月の値の 1/10 以下の大幅な低減が確認された。

$$\text{減少率 (\%)} = \frac{(2011.11 \text{ の放射性物質質量値}) - (2012.1 \text{ の放射性物質質量値})}{(2011.11 \text{ の放射性物質質量値})} \times 100$$

減少率を上式で表すと、E (実習指導室前) では 91.24%, ほか 4 地点でも 53.39 ~ 19.19 (%) と除染による放射性物質量の低減が認められた。

表1 除染前後の土壤中の放射性物質量の比較

記号	測定地点	土壤中の放射性物質量 (kBq/kg)		減少率(%)
		2011.11.07 (除染前)	2012.01.31 (除染後)	
A	プール脇 側溝	14.19	7.89	44.40
B	学長室・講師室裏	19.37	20.09	-3.72
C	110 教室	10.58	7.17	32.23
D	体育館裏駐輪場	27.40	14.63	46.61
F	実習指導室前	23.40	2.05	91.24
G	103 教室裏	14.07	11.37	19.19

3. 土壤中の放射性物質のエネルギースペクトル

図3に、減少率の大幅な低減が確認されたE(実習指導室前)における、除染前・後の土壤中の放射性物質のエネルギースペクトルを示す。上段が2011年11月7日(事故後8ヶ月後の値)である。ガンマ線エネルギーより確認できる放射性物質はセシウム134(Cs-134)、セシウム137(Cs-137)とカリウム40(K-40)であった。また下段が2012年1月31日(事故後10ヶ月後の値)のエネルギースペクトルを示す。Cs-134、Cs-137のエネルギーに一致するところでカウントが下がっており、明らかな線量低減が認められた。

ヨウ素131(I-131)については、2011年11月、2012年1月の結果共に、その存在の確認はできなかった。

考察

1. 空間線量率の測定の結果を踏まえて

空間線量率の測定の結果(図3)より14地点のうち11地点で空間線量率の減少が確認できた。

特に結果の写真画像からも確認できるように、2(プール脇側溝)、3(学長室・講師室裏)、5(110教室裏)、11(正門横)、12(実習指導室前)、13(107教室前)は、いずれも除染作業により排水路に溜まっていた土砂などの堆積物がきれいに除去されており、さらに付近の除草もしてあった。除草を行うことにより、雑草に付着、吸収された放射性物質が取り除けるため、近辺の空間線量率の低減が期待できる。これにより線量率も2(プール脇側溝)が0.13(μ Sv/h)→0.09(μ Sv/h)、3(学長室・講師室裏)が0.15(μ Sv/h)→0.10(μ Sv/h)、5(110教室裏)が0.13(μ

Sv/h)→0.10(μ Sv/h)、11(正門横)が0.16(μ Sv/h)→0.11(μ Sv/h)、12(実習指導室前)が0.15(μ Sv/h)→0.08(μ Sv/h)、13(107教室前)が0.13(μ Sv/h)→0.09(μ Sv/h)に低減されていた。

また、4(裏門)、7(学生食堂横)も雑草の除草がされており、線量率も47(学生食堂横)が0.12(μ Sv/h)→0.07(μ Sv/h)、7(学生食堂横)が0.13(μ Sv/h)と低減していた。

これらの状況より、側溝など雨水などで放射性物質が溜まりやすい箇所では、その土砂を取り除くだけでもかなりの空間線量率の低減、除染効果が期待できる。

14(中庭・植え込み花壇)は、花壇に入っていた土が汚染されているのが確認できたため、新しい土と交換をして、0.13(μ Sv/h)→0.08(μ Sv/h)と大幅な空間線量率の低減が確認できた。

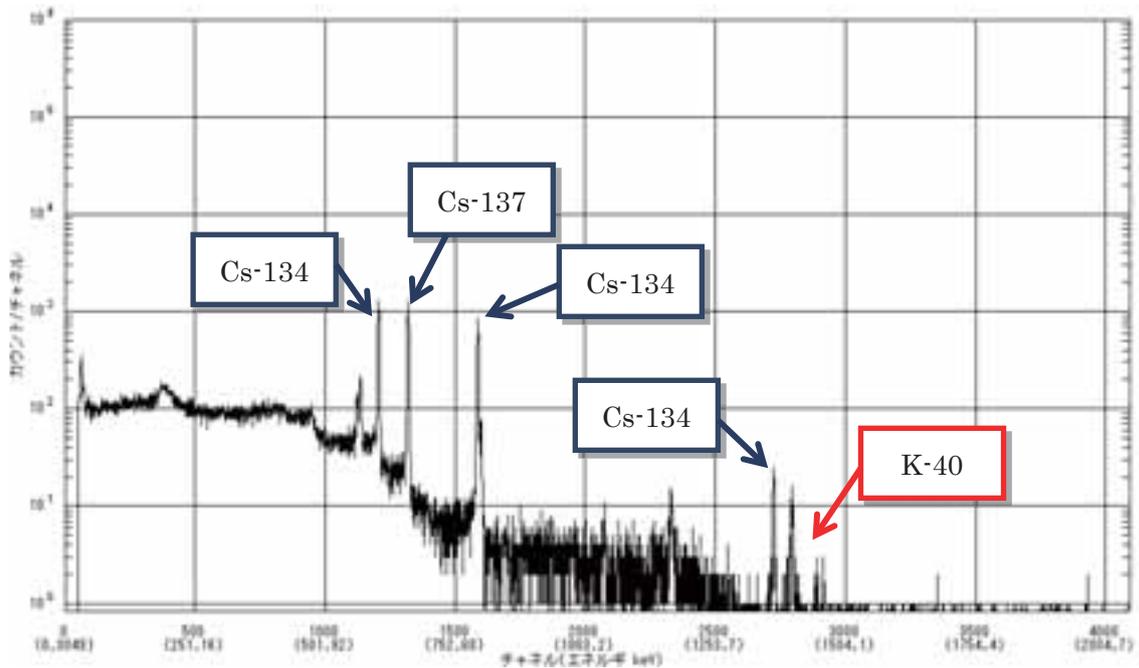
これに対して、1(グラウンド側溝)が0.12(μ Sv/h)変化なし、6(裏庭)が0.16(μ Sv/h)変化なし、8(学生食堂、体育館)が0.12(μ Sv/h)→0.11(μ Sv/h)、9(学生駐車場1脇)が0.12(μ Sv/h)→0.11(μ Sv/h)、10(学生駐車場1中央)が0.13(μ Sv/h)変化なしと、あまり空間線量率の低減がみられなかった。

これらの箇所の除染効果をさらに上げるため、少し広い範囲における表土の削り取りや除草など追加除染を行い、その効果の確認を行うのがよいと思われる。

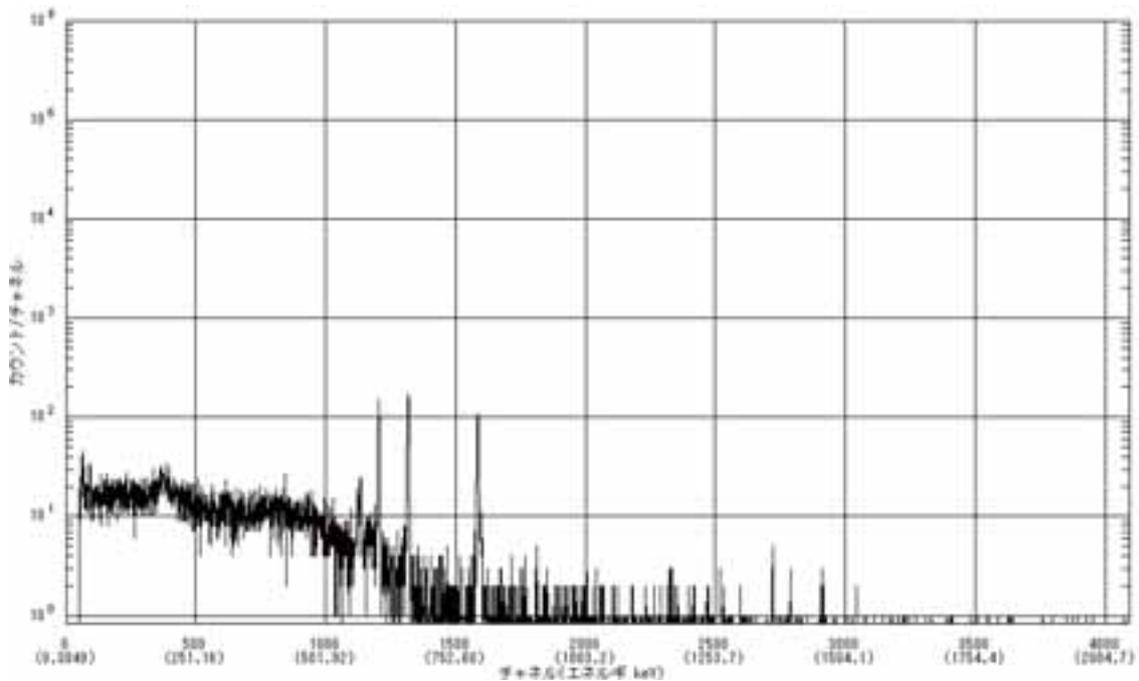
2. 土壤中の放射性物質量の測定の結果を踏まえて

前回2011年11月に土壤中の放射性物質量の測定結果より、10(kBq/kg)以上を示した6地点を調査したところ、5地点で放射性物質量の減少がみられた。特にE(実習指導室前)では23.4(kBq/kg)→2.05(kBq/kg)と大幅な減少がみられた。これは汚染された土壌を除去したもので、特に表土から5cmまでで96%の放射性Csが留まるとの報告(10)もあり、表面付近の土壌を削り取ることによる効率的な除染が可能である。

またこの他、B(学長室裏)を除いた4地点で



2011.11.07 (除染前)



2012.01.31 (除染後)

図3 除染前後の土壌中の放射線エネルギースペクトル
(F: 実習指導室前)

も 53.39 ~ 19.19 (%) と低減が認められ、除染効果があった。

しかし、B (学長室裏) では、19.37 (kBq/kg) → 20.09 (kBq/kg) と、僅かな値の上昇が見られた。ただ同地点の空間線量率は 0.15 (μ Sv/h) → 0.10 (μ Sv/h) に低減しており、これは付近の除草により得られたもので、土壌の十分な除染は行われていないものと考えられる。これより、付近の土砂の除去を中心とした追加除染を提案する。

3. 土壌中の放射性物質のエネルギースペクトルの解析

図 3 の結果より、土壌中に存在する放射性物質として Cs-134 と Cs-137 が確認できた。これら 2 種の放射性物質は自然界では存在せず、この原発事故由来の放射性物質である。また、K-40 も確

認がしているが、この放射性物質は今回の事故とは関係なく、地球上天然に存在している。

前回、今回の調査は 2011 年 11 月、2012 年 1 月に行い、解析データから I-131 などのヨード系放射性物質の存在は確認できなかった。この事故で最も多く放出された I-131 は¹¹⁻¹²⁾、半減期が 8 日と短く、事故後 8 ~ 10 ヶ月が経過したこの調査時点では、その存在が確認できなかったものとする。

4. 放射性セシウムの分布と放射性ヨウ素の分布の違いについて

文部科学省などが 2011 年 4 月より作成しているヘリコプターによる地上 100cm の放射線量モニタリング⁵⁻⁷⁾によれば、埼玉県北部の羽生市近辺は関東北部の茨木県、栃木県、群馬県や千葉県の一部地域に比べれば線量は低いことがわかって

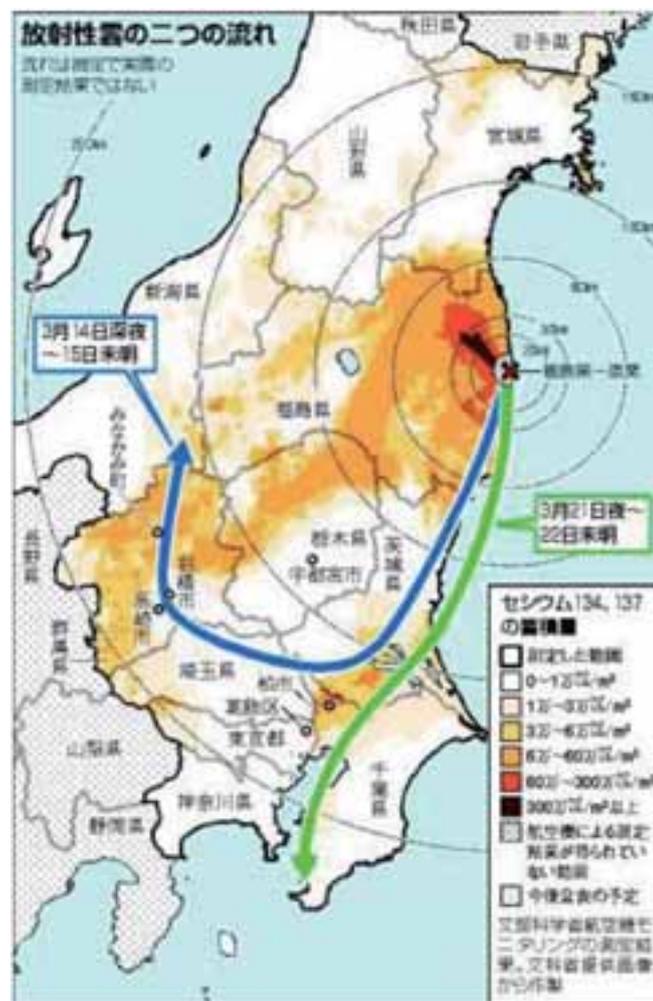


図 4 放射性雲の二つの流れ (2011 年 10 月 24 日 朝日新聞より)

いる。

しかし SPEEDI など、国より出されているデータに基づいた報告¹³⁻¹⁴⁾によれば、放射性雲は図4に示すように流れたことがわかっている。

平成23年3月14日深夜～15日未明にかけて福島第一原発より放出された放射性物質を含んだ雲（放射性雲）は、茨城県の海岸線沿いに南下し、霞ヶ浦付近より西方に向きを変え、埼玉県北部地域上空を通過している。その後、北方向に向きを変え、群馬県高崎市、前橋市の上空を通過し、みなかみ町上空を抜け、新潟県方面へ移動していったことがわかる。

ちょうど3月14日～15日ごろは、福島第一原発の第1号機が水素爆発して建屋が壊れ、さらに2号機でも事故が発生して、大量のI-131をはじめとした多くの放射性ヨウ素が放出された事が後に判明している¹⁻³⁾。

飛散した地域と時刻の解析（シミュレーション）については、NHKの番組『埋もれた初期被ばくを追え』（2012年3月11日放送）内でも放送されている¹⁵⁾。その解析結果によると、2011年3月14日に2号機で事故が発生した。ちょうどこの時、通常の2500倍（10,000Bq/m³）を超える放射性ヨウ素が放出された。初期は風向きで海側へ流れていたが、3月15日0:00より南側の風向きに変化し、茨城県、そして栃木県を通過している。これはまさに図4に示した放射性雲の動きに一致しており、この図からもわかるように、

埼玉県北部地域上空を通過したことがわかる。

この時点でこの放射性雲が通過した近辺では、放射性ヨウ素が空気中に飛散したことが示唆される¹¹⁻¹⁵⁾。

現在、この事故で住民に放射性ヨウ素の影響がどの程度あるのか、その詳細なデータは出されていない。放射性ヨウ素のうち、特に多く放出されたI-131は半減期8日であるため、短期間で、すでに消失してしまっている。このためかなり早い時期の放射線測定や、その調査が必要であったであろう。しかし、国としても事故初期の現場の混乱などによって、I-131の動きを十分に捕まえられておらず、十分な地域住民の内部被ばく調査も行われていない。このため、該当する地域に住んでいる、または住んでいた特に19歳未満の若年者は、甲状腺検査等、内部被ばくに観点をあいた長期間の健康調査が必要ではないかと考える。

結論

今回、我々は2011年11月7日に調査を行い、除染対象の法的基準となる空間線量0.23マイクロシーベルト毎時（ μ Sv/h）の1/2線量に相当する0.12 μ Sv/hを超える地点14箇所、土壌調査結果では10,000ベクレル毎kg（Bq/kg = 10kBq/kg）を超える6箇所において除染作業を行い、その後の除染効果について検討した結果、点14箇所のうち11箇所で空間線量率の低減が確認で

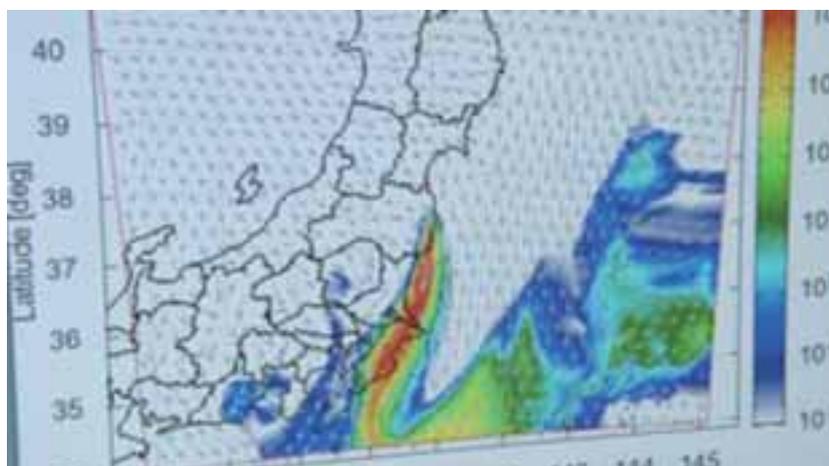


図5 NHK ETV特集 ホームページより
(<http://www.nhk.or.jp/etv21c/file/2012/0311.html>)

きた。土壌中の放射性物質濃度では 10 (kBq/kg) を超えた 6 地点のうち 5 地点で低減が認められ、除染による低減効果が認められた。側溝に溜まった土砂の除去や除草が効果的な除染方法であることが確認された。

また含まれていた放射性物質のエネルギースペクトルの解析結果より Cs-134, Cs-137 が含まれていることが確認された。

文献

- 1) 原子力災害対策本部 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書 2011.6
- 2) 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 最終報告 2012.7
- 3) 国会事故調 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 参考資料 2012.6
- 4) T. J. Yasunari, A. Stohl, R. S. Hayano, J. F. Burkhat, S. Eckhardt, T. Yasunari Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident. PNAS 19530-19534, 108.49 2011.12
- 5) 新井正一, 土居亮介, 河村誠治, 佐藤幸光, 加藤亮二 福島第一原子力発電所から 200km 離れた地域にける放射性物質汚染の調査 純真学園大学雑誌 57-65 2012.3
- 6) 放射線モニタリング情報 文部科学省
<http://radioactivity.mext.go.jp/ja/>
- 7) 文部科学省による埼玉県及び千葉県の 航空機モニタリングの測定結果について 文部科学省
- 8) 文部科学省による埼玉県における航空機モニタリングについて 文部科学省
<http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/5000/4976/view.html>
- 9) 恩田裕一, 星正治, 高橋嘉夫 福島原子力発電所事故後の被ばく線量調査マッピングのための土壌調査 (5.27 改訂版) 文部科学省
- 10) 塩沢昌, 田野井慶太郎, 根本圭介, 吉田修一郎, 西田和弘ほか 福島県の水田土壌における放射性セシウムの深度別濃度と移流速度 RADIISOTOPES 60 323-328 (2011)
- 11) ヨウ素 131 の沈着積算シミュレーション (3 月 12 日 ~ 3 月 23 日) 国立環境研究所
http://www.nies.go.jp/shinsai/images/sumdep_i.gif
- 12) 東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う WSPEEDI- II による放出率推定結果について (独) 日本原子力研究開発機構報告書
- 13) 緊急時迅速放射能影響予想ネットワークシステム (SPEEDI) の試算について 原子力安全委員会報告書
- 14) 緊急時迅速放射能影響予想ネットワークシステム (SPEEDI) の計算結果について 原子力安全・保安院報告書
- 15) 日本放送協会 ETV 特集 ネットワークでつくる放射能汚染地図 5 埋もれた初期被ばくを追え (ヨウ素 131 の被ばくシミュレーション) (2012 年 3 月 11 日 22 時放送)
<http://www.nhk.or.jp/etv21c/file/2012/0311.html>