

環境試料の測定結果(雑草)

平成23年6月7日現在

採取地点	試料名	種類 又は部位	採取日時	放射能濃度(Bq/kg)			空間線量率 (μ Sv/h)	備考
				^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs		
飯館村村民の森あいの沢	雑草	葉菜	3月16日 13:00	1,220,000	554,000	574,000	>30	
	雑草	葉菜	3月17日 16:00	892,000	314,000	318,000	28.0	
川俣町川俣中央公園	雑草	葉菜	3月16日 12:25	273,000	76,800	79,200	7.9	
田村市田村市役所	雑草	葉菜	3月16日 17:10	99,300	32,900	33,100	1.8	
	雑草	葉菜	3月17日 13:05	66,700	35,500	35,800	1.7	
小野町小野町役場	雑草	葉菜	3月17日 14:04	50,400	25,100	26,300	1.5	
いわき市いわき合同庁舎	雑草	葉菜	3月16日 15:30	1,310,000	21,400	21,500	1.8	
川俣町山木屋	雑草	葉菜	3月16日 13:46	727,000	157,000	158,000	-	
二本松市東和支所	雑草	葉菜	3月17日 11:45	152,000	107,000	110,000	4.7	
浪江町国道114号津島	雑草	葉菜	3月16日 12:49	1,440,000	857,000	856,000	-	
川俣町国道459号入口	雑草	葉菜	3月16日 12:15	86,600	42,200	43,100	-	
飯館村栗剣道場	雑草	葉菜	3月16日 11:40	1,150,000	549,000	549,000	-	
福島市大波城跡	雑草	葉菜	3月17日 11:10	429,000	283,000	292,000	10.8	

環境試料の測定結果(陸水)

採取地点	試料名	種類 又は部位	採取日時	放射能濃度(Bq/kg)			備考
				^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	
飯館村村民の森あいの沢	陸水	池水	3月17日 15:50	2,480	443	476	

環境試料の測定結果(陸土)

採取地点	試料名	種類 又は部位	採取日時	放射能濃度(Bq/kg)			備考
				^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	
飯館村村民の森あいの沢	陸土	土壌	3月17日 15:50	336,000	32,000	33,700	
二本松市東和支所	陸土	土壌	3月17日 11:45	35,800	5,440	6,230	
飯館村栗剣道場	陸土	土壌	3月16日 11:40	151,000	22,600	25,100	
川俣町国道459号入口	陸土	土壌	3月16日 12:15	12,500	218	271	
福島市大波城跡	陸土	土壌	3月17日 11:10	156,000	16,700	18,000	
相馬市国道115号けやき橋	陸土	土壌	3月17日 12:45	435,000	28,400	29,800	
相馬市馬稜公園	陸土	土壌	3月17日 13:10	15,100	2,860	2,990	

平成 23 年度科学技術戦略推進費

「重要政策課題への機動的対応の推進

及び総合科学技術会議における政策立案のための調査」

「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」

東京電力株式会社福島第一原子力発電所
の事故に伴い放出された
放射性物質の分布状況等に関する
調査研究結果

平成 24 年 3 月

文部科学省 原子力災害対策支援本部

農林水産省 農林水産技術会議事

放射線量等分布マップの作成等
に関する報告書

(第1編)

文部科学省
原子力災害対策支援本部

4.4.2 ヨウ素 131 の土壌濃度マップの作成及び考察

(a) ヨウ素 131 の土壌濃度マップの作成

図 4-16 に I-131 の土壌濃度マップを示す。全ての試料が検出下限値以上の測定値を持つ場合の平均値は○印で、検出下限値未満の測定値を含む場合の平均値は△印で地図上に示した。その結果、I-131 が検出されたと判断された箇所は 421 箇所であった。放射性セシウムに比べて地図上のポイント数はかなり少ないが、I-131 の分布状況が分かる程度の結果が得られた。

(b) ヨウ素 131 とセシウム 137 の放射能濃度の比率

図 4-17 は、I-131 と Cs-137 の放射能濃度の比率を計算してマップ化したものである。これを見ると、他地域と比べて I-131 の比率が高い地域が福島第一原発の南側に存在することがわかる。この地域と他地域における I-131 の沈着の経緯が異なる可能性を示唆している。

図 4-18 は、福島第一原発より緯度的に北に位置する調査地点（北方）、緯度的に南でかつ経度方向で福島第一原発から 34 km 以西に位置する調査地点（南方内陸部）、緯度的に南でかつ経度方向で福島第一原発から 34 km 以内に位置する調査地点（南方沿岸部）を分けて、I-131 と Cs-137 の放射能濃度の比率を示したものである。北方及び南方内陸部に比べて南方沿岸部の I-131 の比率が高くなっている。なお、測定数は少ないが、3 月 21 日～23 日の時期に文部科学省が行った土壌の核種分析結果においても表 4-4 に見られるように、同様の傾向が示されており、発電所から南方向（広野町下北迫）で採取された土壌試料について、放射性セシウムに対する I-131 の放射能濃度の比率が高くなる傾向が示されていた。また、原子力機構東海研究開発センターにおいて実施した、ダストサンプラー等を用いた空気中の放射性核種の測定結果においても、図 4-19 に見られるように、同時期に I-131 の放射能濃度は高くなり、Cs-137 の放射能濃度に対する I-131 の放射能濃度に対する比率もそれまでの時期に比べて約 10～100 倍程度にあがっていたことが確認されている。今回の結果は、これらのデータとも矛盾しないものである。

図 4-18 を詳しく観察すると、I-131 の濃度は北方も南方も 2,000 Bq/m² 以下の範囲に相当数のデータが収まっているのに対し、北方では南方に比べて Cs-137 の濃度が明らかに高めにしている傾向であることが確認された。このことは、南方で多量の I-131 の沈着があったというよりも、北方で多量の放射性セシウムの沈着があったことに起因して比率が変化したと考えられる。

I-131 と Cs-137 の放射能濃度比率が地域により異なることの解釈として、放射性プルームが放出された時期の違いにより I-131 と Cs-137 の比率が異なり、南方へ流れたプルーム中の Cs-137 に対する I-131 の放出量の比率が相対的に多かったとする説明、地域により沈着の仕方が異なり北方で降雨沈着が顕著であったため、北方で土壌に沈着した Cs-137 の放射能濃度が増えたとする説明等が考えられるが、今後、解析を進めこの原因を明らかにすることが必要である。

(c) 今後の方針

I-131 の放射能濃度の分布状況は、事故直後の影響評価を行う上で重要な基礎データであるため、本調査で得られた I-131 の土壌濃度マップをさらに精緻化していくことが重要である。今後、I-131 の土壌濃度マップの精緻化を図るために考えられる方法の一つは、文部科学省等が事故直後に土壌試料を採取して I-131 の濃度の測定を行った複数のデータの利用である。土壌の採取方

法や分析方法が本プロジェクトと異なるため、そのままデータを重ねることはできないが、条件の違いを検討しつつ今回のデータと統合したマップを作成できないか検討することが必要である。

また、I-131 は短半減期のために現在は、直接 Ge 半導体検出器で測定することはほぼ不可能であるが、その時同時に放出されたヨウ素の同位体で半減期の長い I-129（半減期：1.57×10⁷年）を定量し、この放射能濃度から I-131 の放射能濃度を推定できる可能性がある。同位体は化学的な性質はほぼ同様であるため、I-129 と I-131 の原子炉からの放出比が時間であまり変化しなければ、I-129 の定量結果から I-131 の量を推定できると考えられる。今回、一部の試料に対して加速器質量分析法（AMS）を利用した I-129 の定量を行ったが、試料数が少ないこともあり I-131 濃度との関係は明らかではなかった。今後、これまでに比較的高い I-131 の放射能濃度が検出されており、同一調査箇所における各地点の放射能濃度の変動が小さい調査箇所の土壌試料について、試料数を増やして I-129 と I-131 の放射能濃度の関係を明らかにし、本手法が有効であることが確認された場合には、I-129 測定による I-131 の放射能濃度分布の推定を実施する。

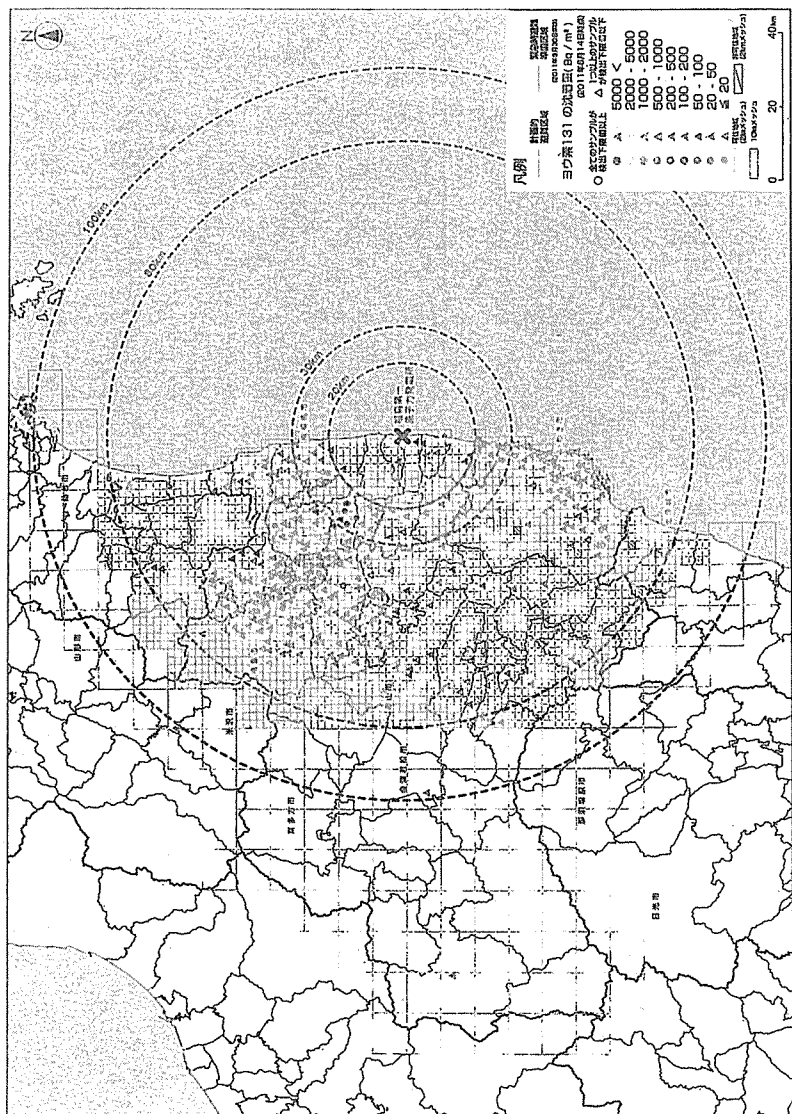


図 4-16 ヨウ素 131 の土壤濃度マップ
(平成 23 年 6 月 14 日時点に放射能濃度を換算)

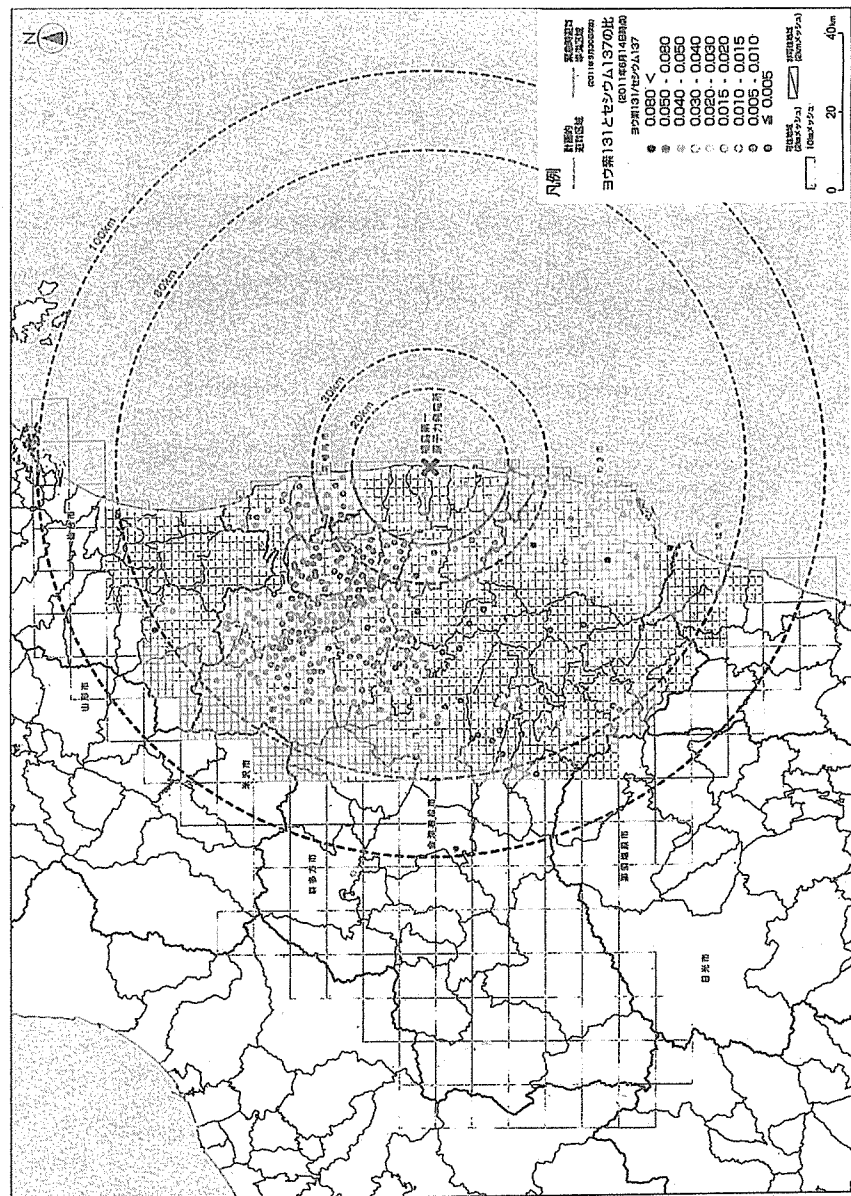


図 4-17 セシウム 137 の沈着量に対するヨウ素 131 の沈着量の比率の分布状況

表 4-4 文部科学省及び福島県による土壌の放射能濃度の測定結果
(平成 23 年 3 月 21 日～23 日までの測定結果)

測定試料採取点	測定日時	放射能濃度 (Bq/kg)		I-131/Cs-137	測定者	
		I-131	Cs-137			
[2-4] (24km北)	南相馬市原町区高見町	3月21日 14:07	83,200	8,660	9.6	福島県
[2-4] (24km北)	南相馬市原町区高見町	3月22日 13:35	21,300	4,230	5.0	福島県
[2-4] (24km北)	南相馬市原町区高見町	3月23日 14:10	16,600	1,720	9.7	福島県
[3-1] (33km北西)	相馬郡飯館村長泥	3月21日 9:45	43,000	4,700	9.1	文科省
[3-1] (33km北西)	相馬郡飯館村長泥	3月22日 10:11	48,000	5,400	8.9	文科省
[3-1] (33km北西)	相馬郡飯館村長泥	3月23日 11:10	200,000	45,000	4.4	文科省
[2-1] (36km北西)	相馬郡飯館村八木沢	3月21日 12:32	207,000	39,900	5.2	福島県
[2-1] (36km北西)	相馬郡飯館村八木沢	3月22日 12:00	256,000	57,400	4.5	福島県
[2-1] (36km北西)	相馬郡飯館村八木沢	3月23日 12:25	135,000	32,200	4.2	福島県
[2-2] (45km北西)	伊達郡川俣町	3月21日 12:10	157,000	16,500	9.5	福島県
[2-2] (45km北西)	伊達郡川俣町	3月22日 11:00	38,900	4,720	8.2	福島県
[2-2] (45km北西)	伊達郡川俣町	3月23日 11:30	44,600	6,010	7.4	福島県
[3-5] (47km北西)	伊達郡川俣町	3月23日 10:30	4,200	770	5.5	文科省
[3-6] (32km西北西)	双葉郡葛尾村上野川	3月23日 14:00	70,000	12,000	5.8	文科省
[35] (37km西北西)	二本松市田沢	3月21日 11:51	16,000	1,400	11.4	文科省
[35] (37km西北西)	二本松市田沢	3月22日 12:28	36,000	3,200	11.3	文科省
[3-14] (40km西北西)	伊達郡川俣町山木屋	3月21日 9:45	43,000	4,700	9.1	文科省
[3-14] (40km西北西)	伊達郡川俣町山木屋	3月22日 10:11	48,000	5,400	8.9	文科省
[3-4] (43km西北西)	二本松市太田	3月23日 11:08	33,000	8,600	3.8	文科省
[2-3] (41km西)	田村市船引町船引	3月21日 12:30	3,000	.390	7.7	福島県
[2-3] (41km西)	田村市船引町船引	3月22日 11:30	7,290	1,290	5.7	福島県
[2-5] (39km西南西)	田村郡小野町小野新町	3月21日 13:40	4,830	910	5.3	福島県
[2-5] (39km西南西)	田村郡小野町小野新町	3月22日 11:40	3,220	466	6.9	福島県
[2-5] (39km西南西)	田村郡小野町小野新町	3月23日 12:50	6,430	1,590	4.0	福島県
[2-6] (43km南南西)	いわき市平字梅本	3月21日 15:10	30,700	1,220	25.2	福島県
[2-6] (43km南南西)	いわき市平字梅本	3月22日 13:50	1,960	23	85.2	福島県
[2-6] (43km南南西)	いわき市平字梅本	3月23日 14:20	32,600	840	38.8	福島県
[3-7] (23km南)	双葉郡広野町下北迫	3月23日 13:00	69,000	2,600	26.5	文科省
[3-8] (23km南)	双葉郡広野町下北迫	3月23日 16:22	140,000	2,900	48.3	文科省

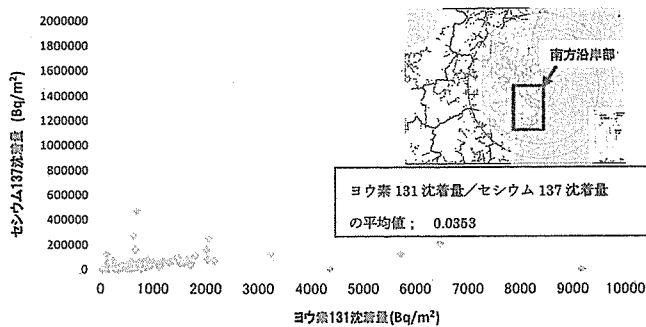
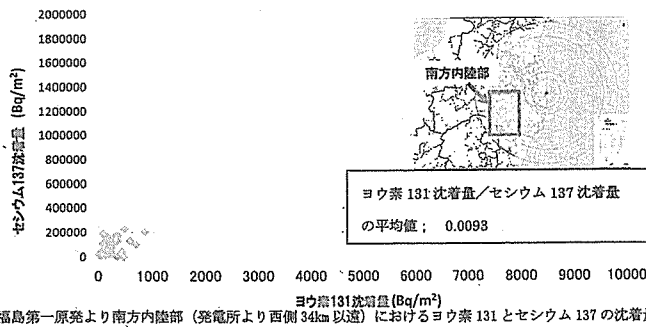
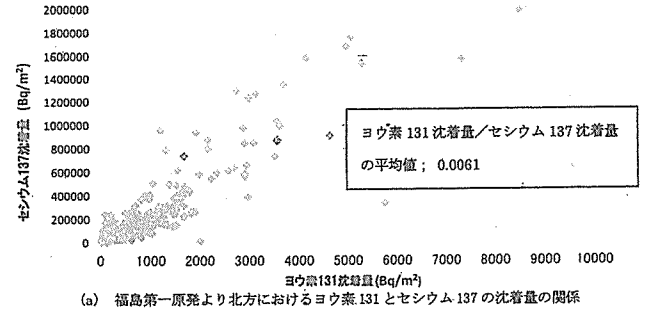
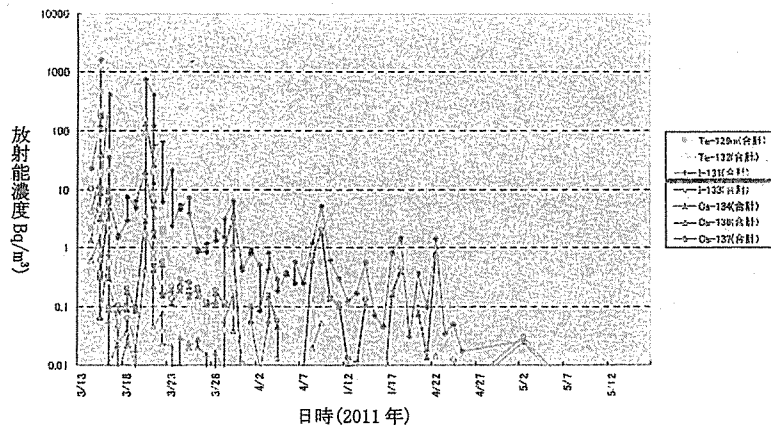
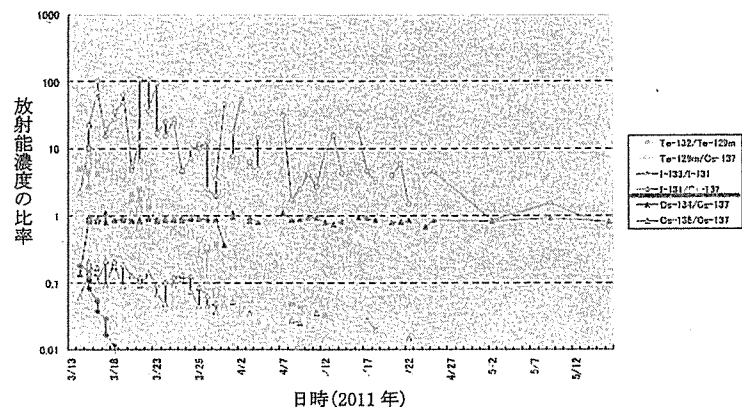


図 4-18 各エリアにおけるヨウ素 131 とセシウム 137 の放射能濃度の相関関係



(a) 日本原子力研究開発機構東海研究開発センターで測定された
空気中に含まれる（ガス状、粒子状）放射性物質の放射能濃度の経時変化



(b) 日本原子力研究開発機構東海研究開発センターで測定された
空気中に含まれる各放射性物質の放射能濃度の比率の経時変化

図 4-19 日本原子力研究開発機構東海研究開発センターにおける
事故発生初期にダストサンプラー等を用いて測定された空気中の放射能濃度の測定結果

4.5 テルル 129m 及び銀 110m の土壌濃度マップ

4.5.1 テルル 129m 及び銀 110m の核種分析結果とマップ化にあたってのデータの選択方法

本調査の開始時点では、土壌濃度マップ作成の直接の対象とした放射性核種は Cs-137、Cs-134、I-131 の 3 核種であったが、これらの核種以外にも、相当数の試料で Te-129m（半減期 33.6 日）あるいは Ag-110m（半減期 250 日）が検出されたため、これらについても土壌濃度マップを作成することとした。

Te-129m あるいは Ag-110m については、半減期が短いかあるいは放出量が少ないために、統計的に有意な結果が得られた試料の数は限定された。そのため、なるべく多くの地点のデータを基にマップを作成することを目的に、I-131 と同様の考え方でデータの処理と選択を行った。当初、検出下限値以下の参考値が記入されていない測定結果が多く存在したため適切な平均値が得られないと判断し、相当数の試料に対してエネルギースペクトルを見直し参考値を評価し直したため、土壌濃度マップの完成が I-131 に比べて遅れた。

結果として、Te-129m について 798 箇所、Ag-110m については 349 箇所で測定結果を得ることができた。土壌濃度マップの作成にあたっては、減衰を考慮することにより第一期調査の最終日である 6 月 14 日に濃度を換算した。

4.5.2 テルル 129m 及び銀 110m の土壌濃度マップの作成及び考察

(a) テルル 129m 及び銀 110m の土壌濃度マップの作成

図 4-20 に Te-129m の土壌濃度マップを示す。これを見ると、Te-129m は、放射性セシウム、I-131 などの放射性核種と同様、北西方向に放射能濃度の高い地域があり、また郡山盆地と福島第一原発から南方方向にも分布が広がっていることが確認された。

また、図 4-21 に Ag-110m の土壌濃度マップを示す。その結果、有意な測定結果が得られたのは 349 地点と少ないが、全体の分布傾向は放射性セシウム、I-131、Te-129m などの放射性核種と同様の傾向で分布していることが確認された。

(b) テルル 129m、銀 110m とセシウム 137 の放射能濃度の比

図 4-22 は、Te-129m と Cs-137 の放射能濃度の比率を計算してマップ化したものである。これを見ると、Cs-137 に対する Te-129m の放射能濃度の比率の分布状況は、Cs-137 に対する I-131 の放射能濃度の比率の分布状況と近い傾向、すなわち南の方向に高い比率の地域が広がっていることが分かる。

図 4-23 (a) に、Te-129m と Cs-137 の放射能濃度の相関図を示すが、Te-129m と Cs-137 の放射能濃度には一定の相関関係がある傾向が確認できる。

また、図 4-23 (b)～(d) において、福島第一原発より緯度が北の地域（北方）、緯度が南かつ海岸から 28km 以内の地域（南方沿岸部）、緯度が南かつ海岸から 28km 以遠（南方内陸部）の 3 地域に区分した相関図も示したところ、Cs-137 に対する Te-129m の放射能濃度の平均比率を比較すると、南方沿岸部の比率が他の地域に比べて高い値を示す傾向がある。

さらに、南方沿岸部の相関図をよく観察すると、比率の高い部分と低い部分が混在しており、この結果として南方沿岸部の比率を引き上げていることがわかる。そこで、図 4-23 (e) では、南

方沿岸部のうちCs-137に対するTe-129mの放射能濃度の比率が高い地域の測定結果をさらに抽出して示した。その結果、Te-129mは、南方沿岸部内でも明らかに他の地域と異なる傾向で分布していることが示している。これらの事実は、放射性プルームの起源が北方、南方内陸部と南方沿岸部で異なることを示唆するとともに、南方沿岸部内においても起源の異なる複数の放射性プルームにより沈着が生じた可能性を示している。

南方沿岸部の高い比率の地域（沿岸側）を除くと、Cs-137に対するTe-129mの放射能濃度の比率はほぼ0.2であり、北方、南方内陸部におけるCs-137に対するTe-129mの放射能濃度の比率とほぼ等しく、良い相関が見られることが分かる。このことは、放射性セシウムとTe-129mの挙動がよく似ていることを示している。

Cs-137に対するAg-110mの比率を測定地点上にプロットしたマップを図4-24に示す。300地点とポイント数が少ないため確かなことは言えないものの、Te-129mとI-131の場合は南方のみに高い比率の地域が存在するのに対し、Ag-110mについては、沿岸部分全体に高い比率が観測されているように見受けられる。ただし、図4-25にAg-110mとCs-137の濃度の相関図を示すが、Ag-110mの放射能濃度の値がTe-129mと比較して低いこともあり、Cs-137との相関関係は確認できなかった。

(c) テルル-129mと銀-110mの挙動について

チェルノブイリ原発事故時に関する報告書においては放射性セシウムに対するその他の放射性核種の放射能濃度の比率は、概ね原子炉から遠方になるにつれて小さくなる傾向が確認されているが、Te-129mについては、距離に関係なくほぼ一定の比率で沈着しているという報告がある。今回の測定値でも、Cs-137とTe-129mの濃度は、図4-23に示すように、一部の地域を除いて全般に良い相関を示すことが確認できる。放射性セシウム(沸点:671°C)とTe-129m(沸点:988°C)はともに揮発性の元素であり、似た挙動で沈着したものと考えられる。

他方で、Te-129mが大量に放出されたと評価されているのに対し、Ag-110m放出量に関する公式な評価は報告書にはほとんどない。チェルノブイリ事故後に環境中でAg-110mが観測されたという報告があるため、放出があったことはほぼ確かであると考えられるが、放出量の評価は行われていない。

また、原子力安全・保安院が平成23年6月6日に公表した「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る1号機、2号機及び3号機の炉心の状態に関する評価について」における放出量推定値の中にもAg-110mに関するデータはない。従って、今回得られたAg-110mの土壌濃度マップは、Ag-110mの放出源情報を推定する上で、また線量評価の観点からも重要なデータとなることが予想される。

他方で、図4-25に見られるように、Cs-137に対するAg-110mの放射能濃度の比率を見ると、大きくばらついていることから、放射性セシウムとは異なる挙動で沈着していることがわかる。この理由としては、銀の沸点は2164°Cであるため、仮に銀が本事故において気体状態で放出されたとしても、それらは低温の大気に触れて急速に粒子化し、粒子状で環境に放出されたと考えられるほか、銀が炉内から放出された際各原子炉におけるイベントの違いに伴い、Cs-137やTe-129mとは挙動が異なったものと考えられる。

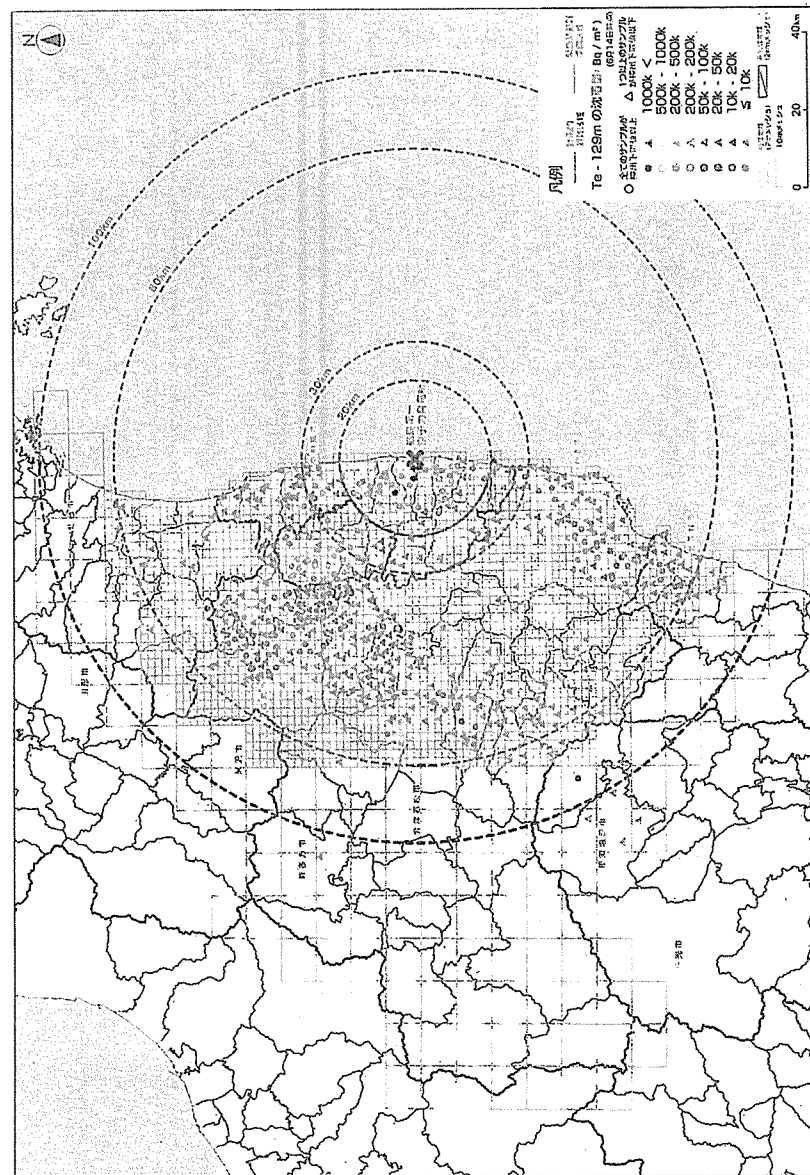


図4-20 テルル129mの土壌濃度マップ
(平成23年6月14日時点に放射能濃度を換算)

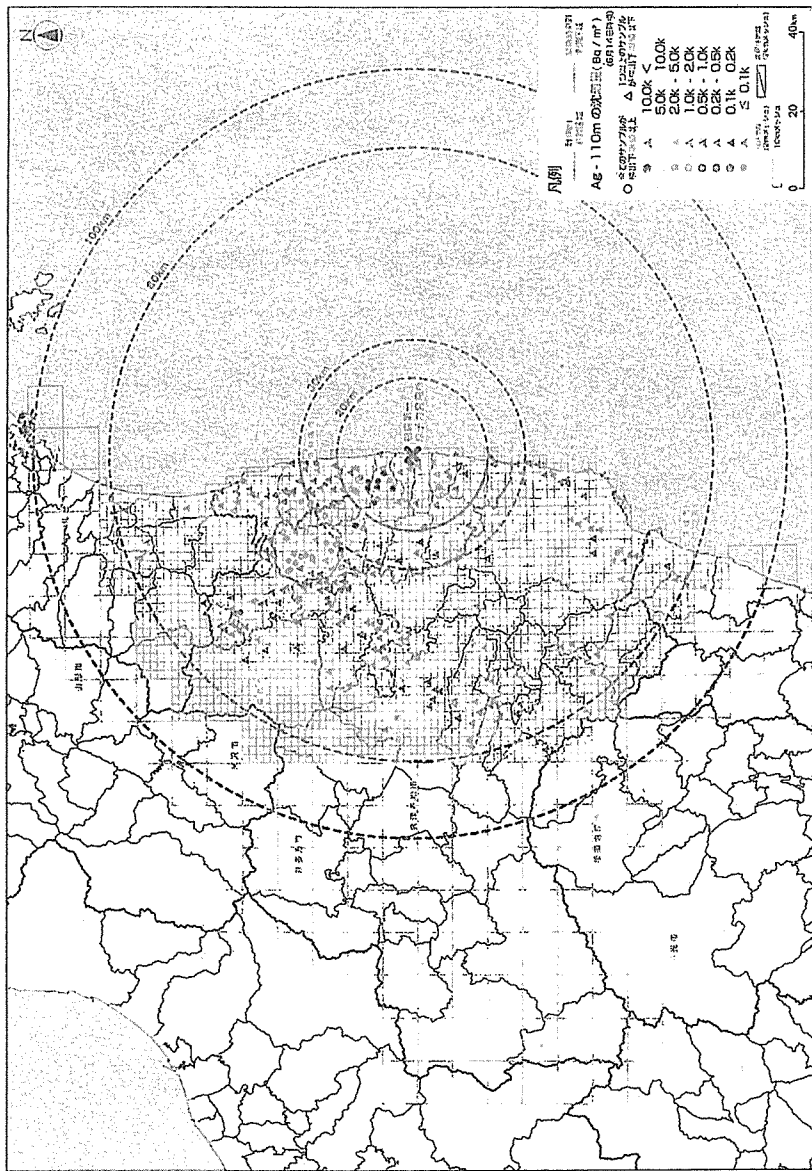


図 4-21 銀 110m の土壤濃度マップ
(平成 23 年 6 月 14 日時点に放射能濃度を換算)

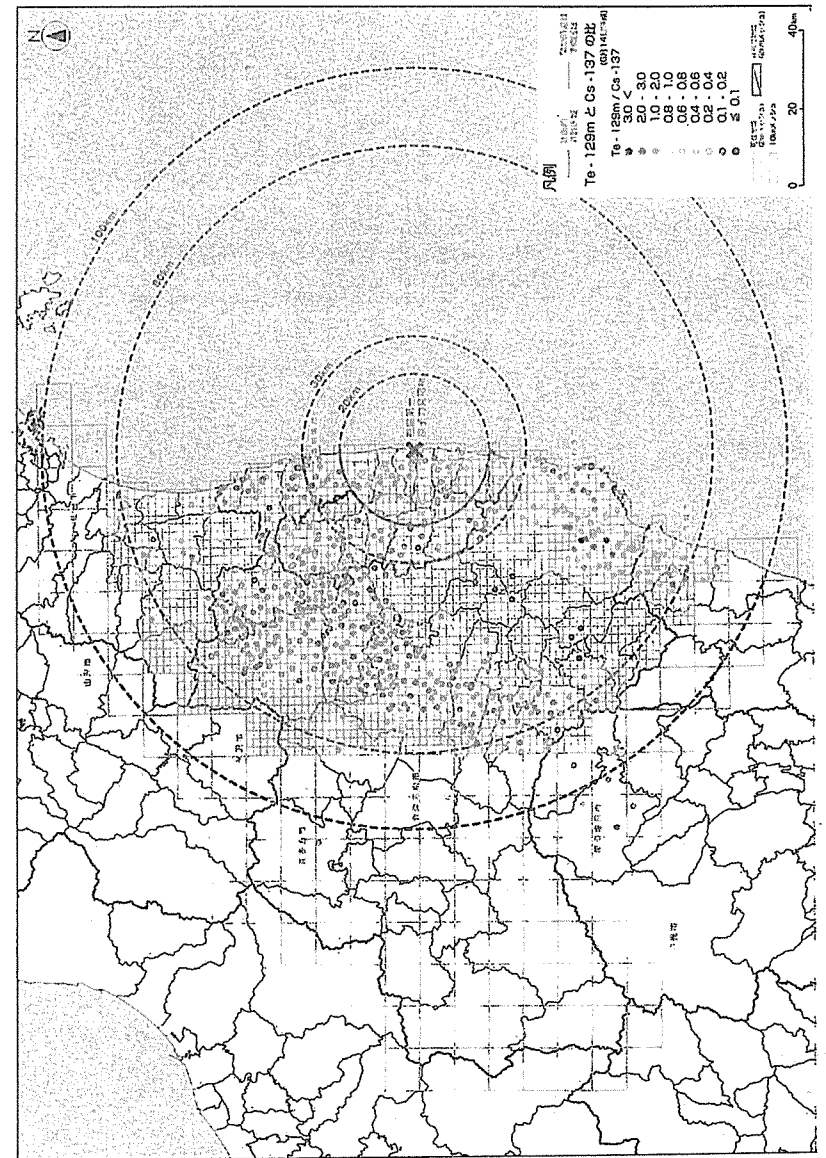


図 4-22 セシウム 137 に対するテルル 129m の土壤濃度の比率

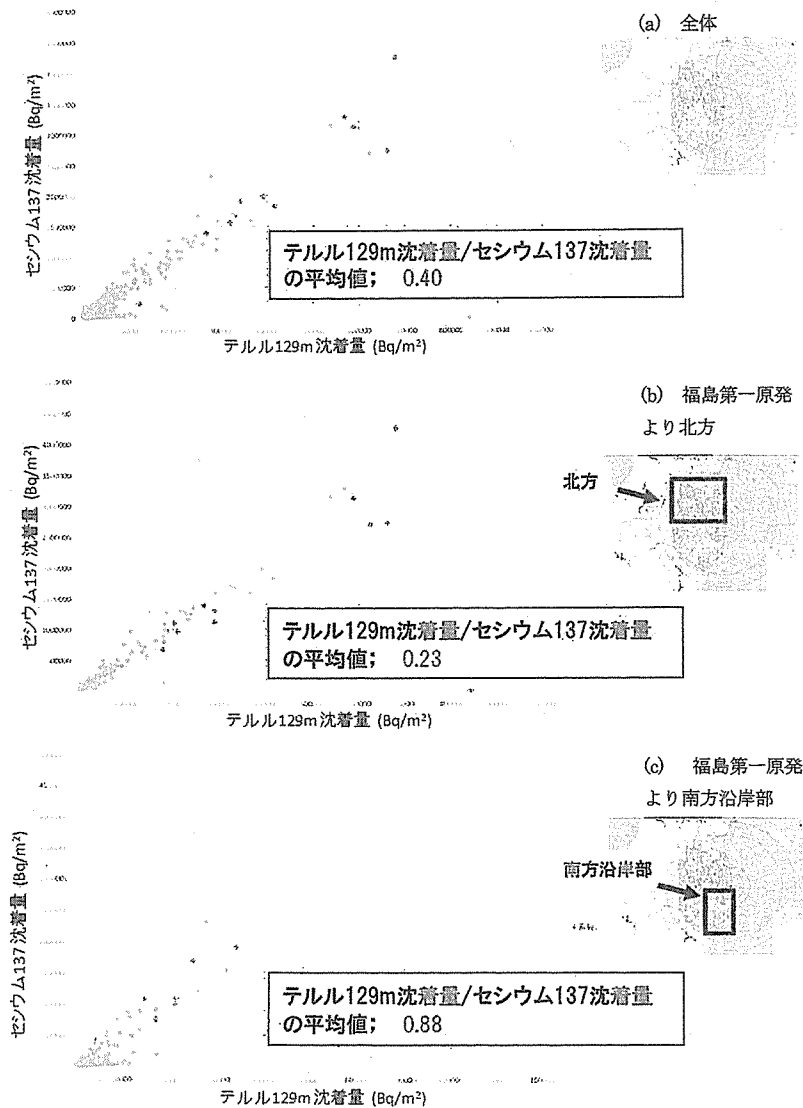


図 4-23 セシウム 137 とテルル 129m の土壌濃度の相関関係 (その 1)

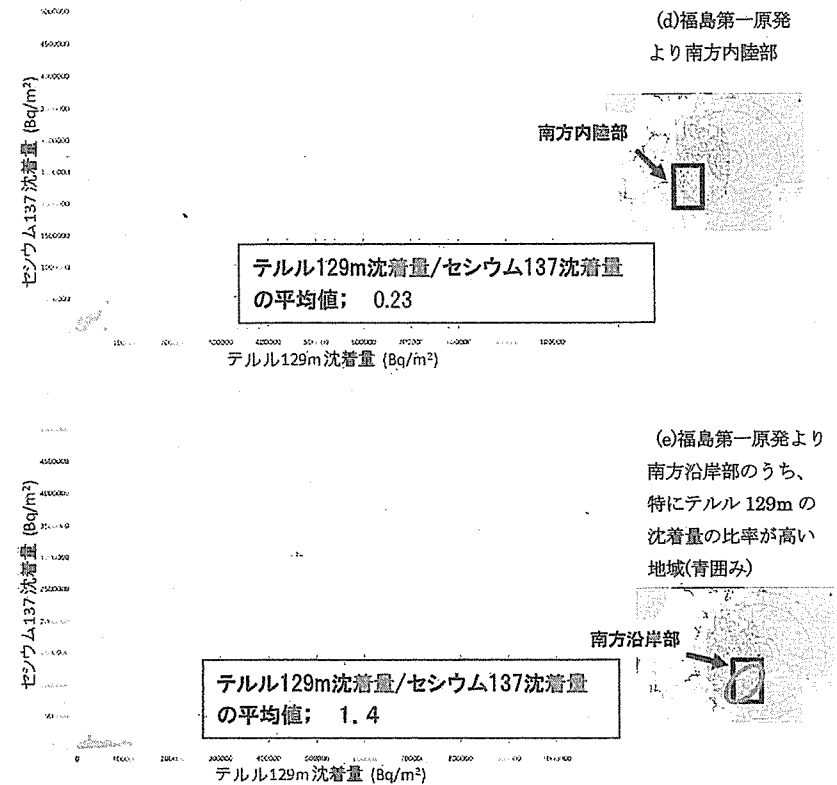


図 4-23 セシウム 137 とテルル 129m の土壌濃度の相関関係 (その 2)

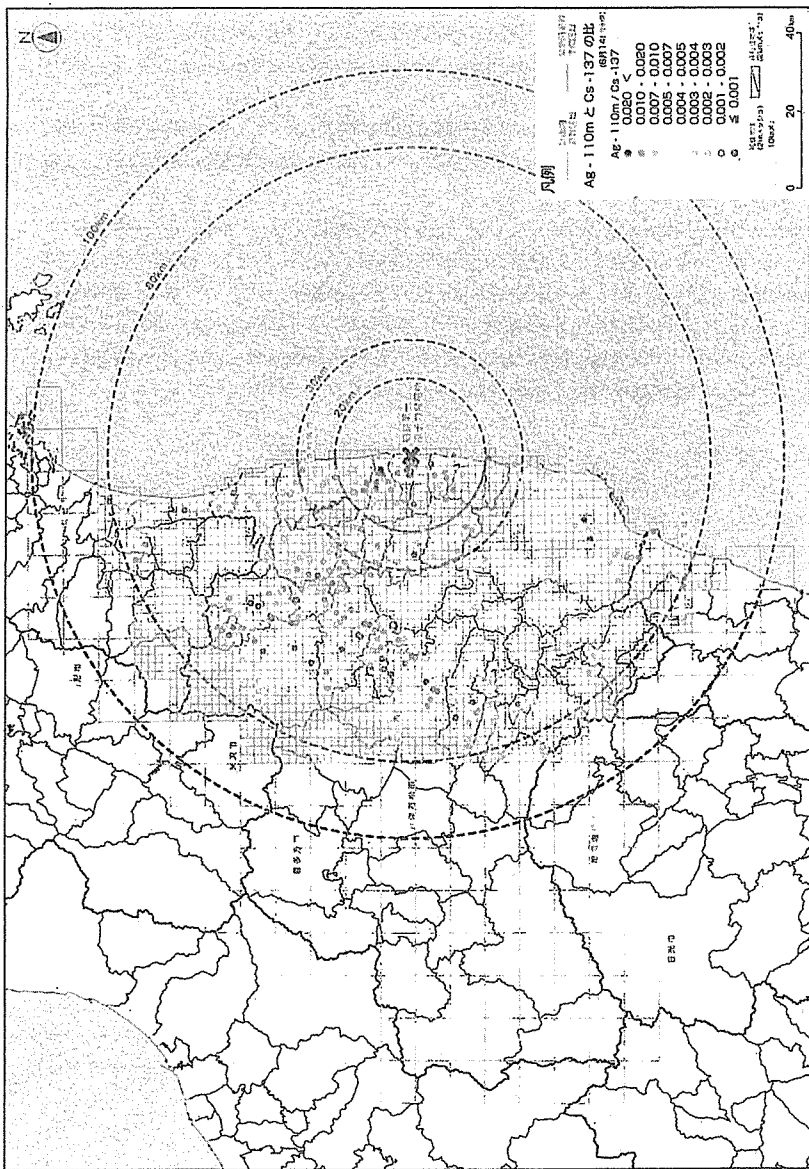


図 4-24 セシウム 137 に対する銀 110m の放射能濃度の比率の分布状況

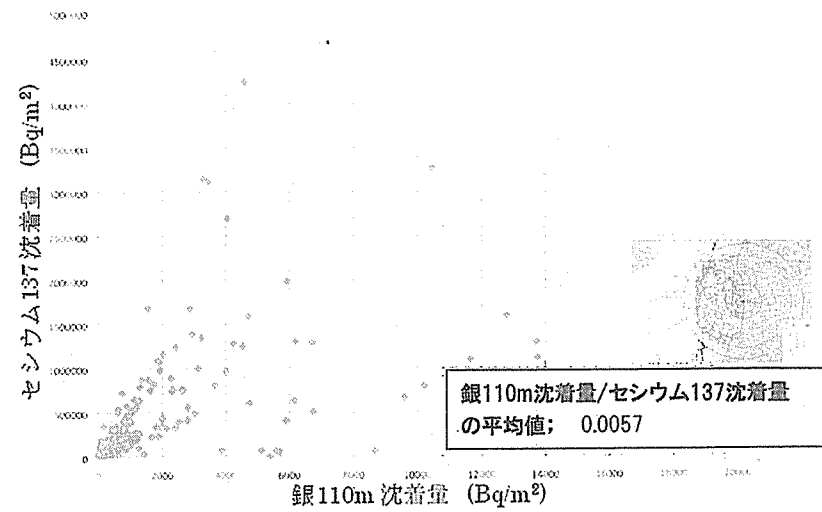


図 4-25 各エリアにおけるセシウム 137 と銀 110m の土壌濃度の相関関係

4.6 アルファ線放出核種及びベータ線放出核種の土壌濃度マップ

4.6.1 試料の選択及び分析方法

福島県、その周辺地域で平成23年6月4日から7月8日までに採取した土壌試料100試料について、日本分析センターがアルファ線放出核種であるPu-238、Pu-239+240及びベータ線放出核種であるSr-89、Sr-90について放射化学分析を実施した結果を基に、Pu-238、Pu-239+240及びSr-89、Sr-90の土壌濃度マップを作成した。

それぞれの測定結果は、Pu-238、Pu-239+240については、U-8容器で採取した土壌試料のうち、50gを放射化学分析し、シリコン半導体検出器を用いて測定し、分析に使用した試料の重量とU-8容器の上部の表面積を用い換算して、単位面積あたりの放射エネルギー(Bq/m²)を求めた。検出下限値はPu-238、Pu-239+240ともに、0.5Bq/m²程度である。

また、Sr-89、Sr-90については、同じくU-8容器で採取した土壌試料のうち、30gを放射化学分析し、低バックグラウンドベータ線測定装置を用いて測定し、分析に使用した試料の重量とU-8容器の上部の表面積を用い換算して、単位面積あたりの放射エネルギー(Bq/m²)を求めた。検出下限値はSr-89で300Bq/m²程度、Sr-90で40Bq/m²程度である。

土壌濃度マップの作成にあたっては、放射性セシウム等のガンマ線放出核種の土壌濃度マップと同様に、第一期調査の最終日である平成23年6月14日に放射エネルギーを換算した。

4.6.2 プルトニウム及び放射性ストロンチウムの土壌濃度マップの作成及び考察

(a) Pu-238、Pu-239+240及びSr-89、Sr-90の土壌濃度マップの作成

図4-26にPu-238、Pu-239+240が検出された箇所の放射エネルギー濃度をマップ化して示す。放射性セシウムの放射エネルギー濃度が高かった福島第一原発から北西方向においてPu-238、Pu-239+240双方が検出された箇所が存在する。

本調査で検出されたPu-238、Pu-239+240の放射エネルギー濃度の最大値は、Pu-238で4.0Bq/m²(浪江町)、Pu-239+240で15Bq/m²(南相馬市、20km圏内の箇所)で、いずれも避難区域等に指定された福島第一原発に比較的近い箇所で見られた値である。なお、Pu-238、Pu-239+240の最大濃度は、文部科学省の「環境放射能水準調査」において、福島第一原発事故の発生前(平成11~21年度)に全国47都道府県において観測されている土壌表層(0~5cm)における測定値の範囲(過去の大気圏内核実験の影響の範囲:過去のPu-238の最大濃度8.0Bq/m²、過去のPu-239+240の最大濃度:220Bq/m²)に入るレベルであった。

しかしながら、平成11~21年度までの環境放射能水準調査で土壌表層において観測されているPu-239+240(Pu-239の半減期:2.41×10⁴年、Pu-240の半減期:6564年)に対するPu-238(半減期:87.7年)の放射エネルギー濃度の比率は、図4-27に示すとおり、全国平均で0.026程度であるのに対して、本調査においてPu-238、Pu-239+240双方が検出された5箇所の調査箇所は0.33~2.2程度であり、事故発生前より比率が大きいため、これらの5箇所については、今回の事故に伴い、新たに沈着したものと考えられる。

また、Pu-239+240は検出されていないものの、Pu-238が検出された1箇所の調査箇所についても、Pu-239+240の検出下限値(約0.5Bq/m²)に対して、Pu-238の放射エネルギー濃度が大きいことから、今回の事故に伴い、新たに沈着したものと考えられる。

図4-28にSr-89、Sr-90が検出された箇所の放射エネルギー濃度をマップ化して示す。放射性ストロンチウムも放射性セシウムと同様に、福島第一原発から北西方向に高い濃度の箇所が存在している一方、福島県の中通りならびに福島第一原発から南方向にもSr-89、Sr-90が検出された箇所が存在する。

本調査で検出されたSr-89、Sr-90の放射エネルギー濃度の最大値は、Sr-89で22,000Bq/m²(浪江町)、Sr-90で5,700Bq/m²(双葉町、20km圏内の箇所)で、いずれも避難区域等に指定された発電所に比較的近い箇所で見られた値である。

しかしながら、Sr-89は半減期が50.5日(Sr-90は半減期28.8年)であるため、本調査においてSr-89が検出された箇所は、事故前の大気圏内核実験のフォールアウトの影響ではなく、今回の事故に伴い、新たに沈着したものと考えられる。なお、本調査において、Sr-89は不検出であったものの、Sr-90が検出された調査箇所において検出されたSr-90の測定値は、事故発生前(平成11~21年度)の「環境放射能水準調査」において、全国で観測されている土壌表層(0~5cm)におけるSr-90の測定値の範囲(2.3~950Bq/m²)内に入るレベルであった。

(b) 放射性ストロンチウムと放射性セシウムの放射エネルギー濃度の比率

Sr-89、Sr-90双方が検出された土壌試料について、Sr-90に対するSr-89の放射エネルギー濃度の比率を計算したところ、1.9~6.5(平均4.0)であり、概ね両核種の比率は一定であった。

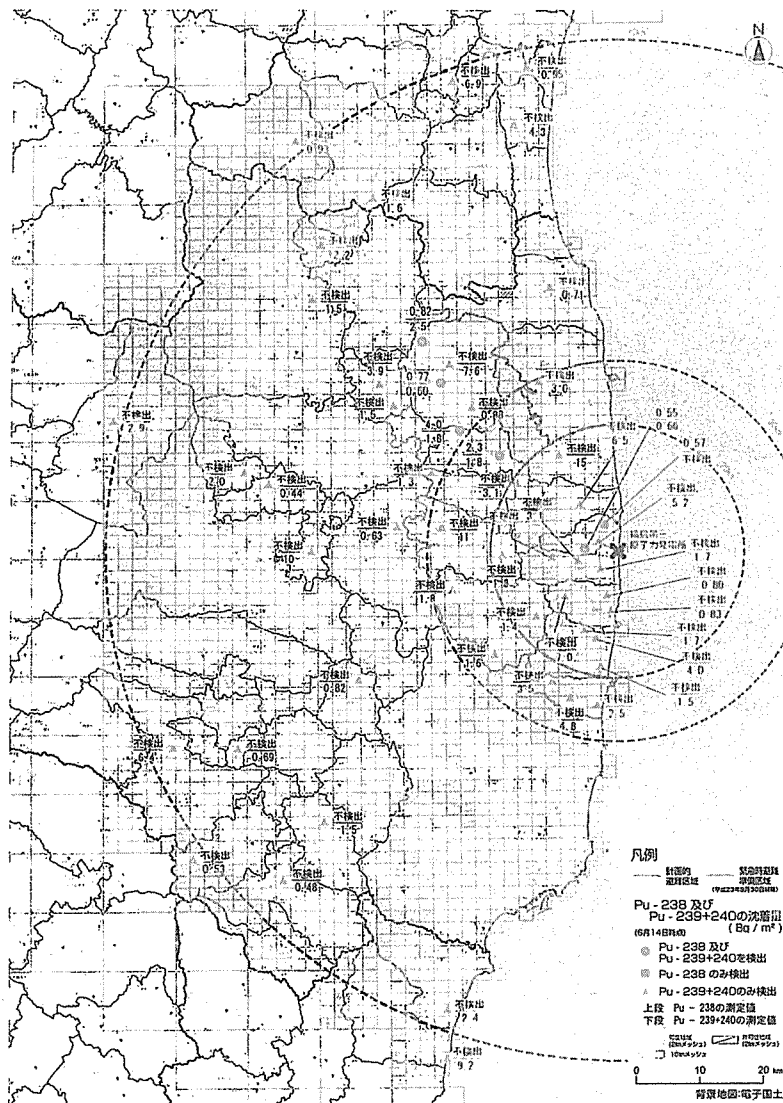
他方で、Sr-89が検出された土壌試料について、Cs-137に対するSr-89の放射エネルギー濃度の比率について計算したところ、1/1,800(川内村)~1/5.3(相馬市)(平均:1/66)と大きくばらついていた。

同様に、Sr-90が検出された土壌試料について、Cs-137に対するSr-90の放射エネルギー濃度の比率について計算したところ、1/6,300(浪江町)~最大値は1/17(相馬市)(平均:1/389)と大きくばらついていた。

なお、図4-29に測定箇所ごとのCs-137に対するSr-90の放射エネルギー濃度の比率をマップ化したものを示す。その結果、20km圏内及び発電所の北西方向は、その比率は小さいが、30から80km圏内で比が大きい箇所も存在する。20km圏内に限って計算すると、平均値は1/2,700で、最大値は1/160(楢葉町)、最小値は1/5,700(大熊町)と比較的、比率のばらつきが小さくなっている。

本結果より、放射性セシウムに対する放射性ストロンチウムの比率は、福島第一原発の北方において最大値が確認され、20km圏内及び放射性セシウムの放射エネルギー濃度が高くなる福島第一原発から北西方向において比率が小さくなる傾向が確認された。放射性ストロンチウム及び放射性セシウムの放射エネルギー濃度の分布は一致ではないことが確認された。

今回の調査において、放射性セシウムに対する放射性ストロンチウムの放射エネルギー濃度の比率が大きい箇所を中心に追加調査を行うとともに、放射性物質の移行状況調査や放射性プルームが原子炉から放出した際の炉内状況の検証結果を通じて、放射性ストロンチウムの挙動について詳細に検討する。



※ ○ □: 福島第一原発事故に伴い、新たにプルトニウム238、239+240が沈着したものと考えられる箇所

図 4-26 プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 の土壤濃度マップ
(平成 23 年 6 月 14 日時点に放射能濃度を換算)

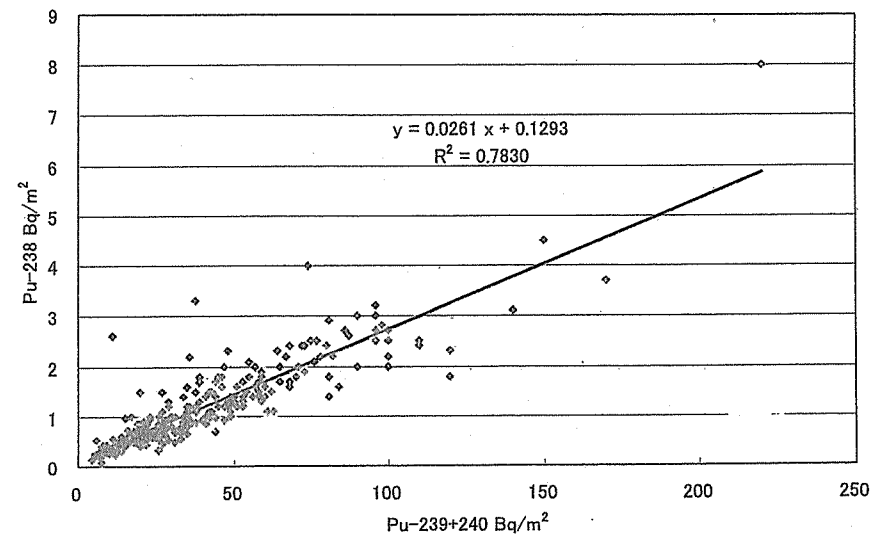
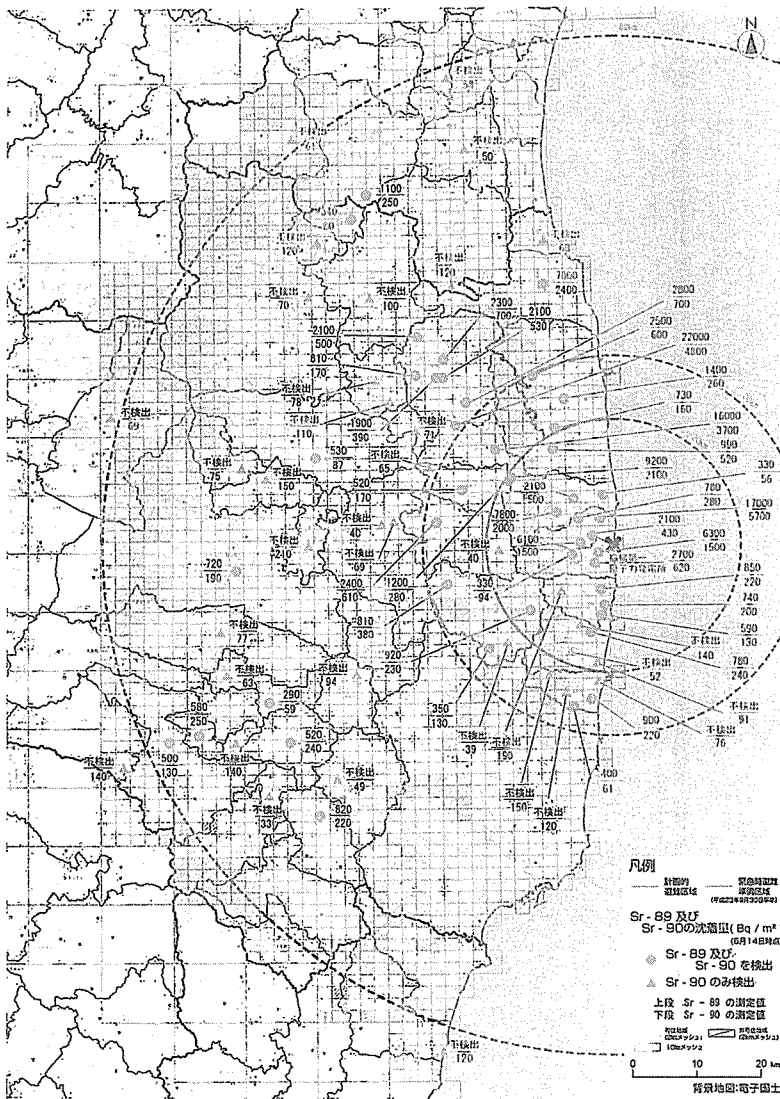


図 4-27 平成 11~21 年度までの環境放射能水準調査の結果 (プルトニウム 238 とプルトニウム 239+240 の沈着量の関係)
(平成 11 年~21 年までに採取された土壌 1,054 試料のうち、プルトニウム 238、プルトニウム 239+240 が検出された 252 試料の測定結果を比較)



※○：福島第一原発事故に伴い、新たにストロンチウム89、90が沈着したものと考えられる箇所

図4-28 放射性ストロンチウムの土壌濃度マップ

(平成23年6月14日時点に放射能濃度を換算)

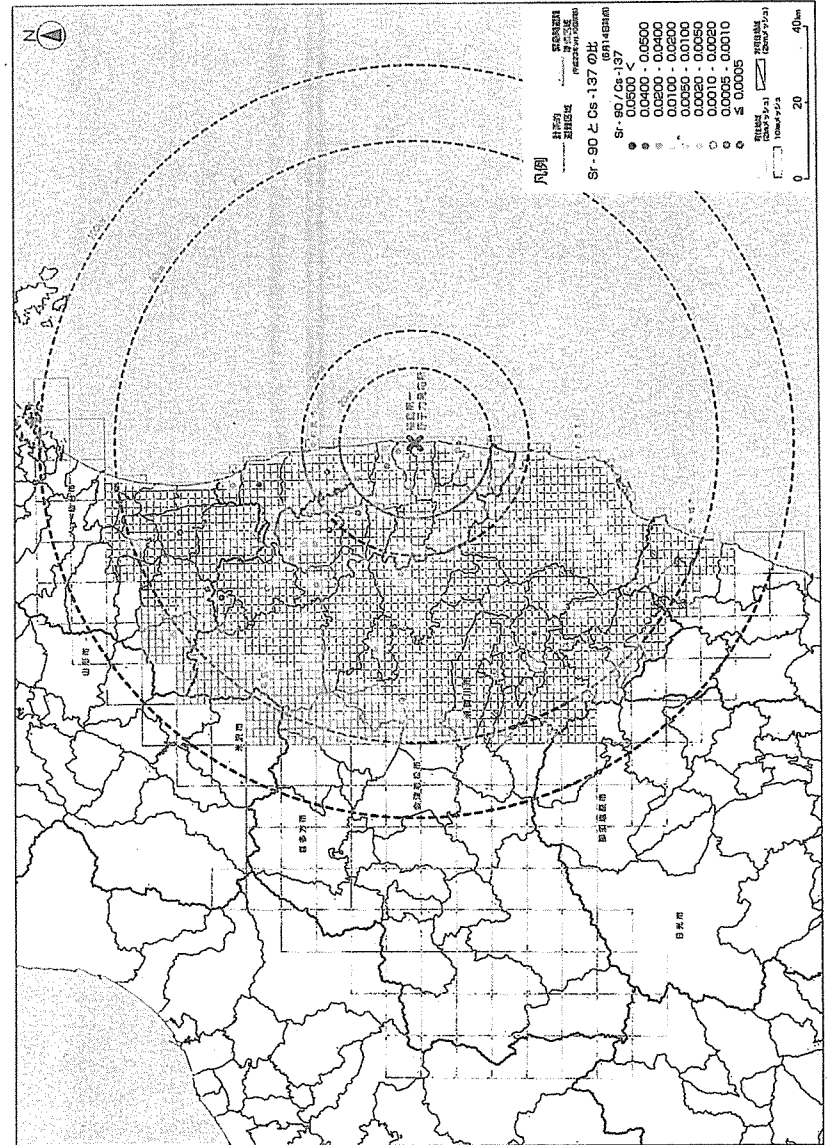


図4-29 セシウム137に対するストロンチウム90の放射能濃度の比

4.7 総合的な考察

4.7.1 本調査で検出された放射性核種の影響

4.7.1.1 IAEA-TECDOC-1162の換算係数を用いた放射性核種ごとの50年間積算実効線量

本調査で検出された各放射性核種の被ばく影響について確認するため、IAEA-TECDOC-1162に定められた換算係数を用いることで、平成23年6月14日から50年間、放射性核種が沈着した地表面上に人間が留まると想定し、その期間における外部被ばく線量及び再浮遊に起因する預託実効線量（以下、「50年間積算線量」という。）を算出した。結果は表4-5のとおりである。なお、50年間積算線量の算出に当たっては、放射性核種の崩壊、核変換ならびにウエザリングの効果が考慮されている。加えて、放射性核種の再浮遊による吸入被ばくを安全側に評価するため、実際の事故時において観測されているよりも安全側の再浮遊係数として $10^{-6}m^{-1}$ を用いている。

(a) IAEA-TECDOC-1162の換算係数を用いた放射性セシウムの最大濃度が検出した箇所の50年間積算実効線量

本調査で検出された、平成23年6月14日時点におけるCs-137及びCs-134の最大濃度は $15,500,000 Bq/m^2$ と $14,000,000 Bq/m^2$ であり、この放射能濃度が検出された箇所に50年間滞在した場合の50年間積算実効線量はそれぞれ2,000 mSvと710 mSvであった。

なお、Cs-134及びCs-137の放射能濃度が等しいと仮定した場合、表4-2に示すIAEA-TECDOC-1162にある周辺線量率への換算係数から、空間線量率への寄与の比はCs-134とCs-137でおおよそ7:3となる。これは、Cs-137では1回の崩壊で662keVのガンマ線を85%の割合で放出するのに対し（正確には放射平衡にあるBa-137mが放出）、Cs-134では約600keVから約1,370keVのエネルギーを有する複数のガンマ線を総計で200%以上の割合で放出することに起因する。しかし、半減期は、Cs-134が約2年であるのに対し、Cs-137は約30年であるため、50年間積算線量の値はCs-137の方が高くなる。

(b) IAEA-TECDOC-1162の換算係数を用いたヨウ素131の最大濃度が検出した箇所の50年間積算実効線量

本調査で検出された、平成23年6月14日時点におけるI-131の最大放射能濃度は $55,000 Bq/m^2$ であったが、沈着時からの物理的な減衰により、本調査時ではI-131の沈着量は放射性セシウムの沈着量に比べて著しく低い放射能濃度となった。

なお、I-131の最大濃度が検出された箇所に50年間滞在した場合における50年間積算実効線量を計算したところ、0.015 mSvであった。

(c) IAEA-TECDOC-1162の換算係数を用いたテルル129m、銀110mの最大濃度が検出した箇所の50年間積算実効線量

本調査で検出された、平成23年6月14日時点における最大濃度はTe-129mで $2,660,000 Bq/m^2$ 、Ag-110mで $83,200 Bq/m^2$ であったが、これらはいずれも発電所から数km以内で観測された値である。この最大濃度とIAEA-TECDOC-1162に示された線量換算係数を用いて、50年間積算実効線量を計算したところ、この放射能濃度が検出された箇所に50年間滞在した場合の50年間積算実効

線量はそれぞれ0.6 mSv及び3.2 mSvであった。

(d) IAEA-TECDOC-1162の換算係数を用いたプルトニウム238、プルトニウム239+240、ストロンチウム89、及びストロンチウム90の最大濃度が検出した箇所の50年間積算実効線量

本調査で検出された、平成23年6月14日時点における最大濃度は、Pu-238で $4.0 Bq/m^2$ 、Pu-239+240で $15 Bq/m^2$ であり、Sr-89で $22,000 Bq/m^2$ 、Sr-90で $5,700 Bq/m^2$ であった。

このプルトニウム及び放射性ストロンチウムの最大濃度とIAEA-TECDOC-1162に示された線量換算係数を用いて50年間積算実効線量を計算したところ、この放射能濃度が検出された箇所に50年間滞在した場合の50年間積算実効線量は、Pu-238及びPu-239+240では0.027 mSv、0.12 mSv、Sr-89及びSr-90では0.00061 mSv、0.12 mSvであった。

表4-5 各放射性核種の最大濃度が検出された箇所に50年間滞在した場合の外部被ばく線量及び吸入被ばくによる預託実効線量の合計値

核種名	半減期	最大濃度*1 (Bq/m ²)	50年間の積算実効線量	
			換算係数 (mSv/kBq/m ²)	計算結果 (mSv)
Cs-134	2.065年	1.4×10^7	5.1×10^{-2}	710
Cs-137	30.167年	1.5×10^7	1.3×10^{-1}	2000 (2.0Sv)
I-131	8.02日	5.5×10^4	2.7×10^{-4}	0.015
Sr-89	50.53日	2.2×10^4	2.8×10^{-5}	0.00061 (0.61 μSv)
Sr-90	28.79年	5.7×10^3	2.1×10^{-2}	0.12
Pu-238	87.7年	4.0	6.6	0.027
Pu-239+240	2.411×10^4 年	15.0	8.5	0.12
Ag-110m	249.95日	8.3×10^4	3.9×10^{-2}	3.2
Te-129m	33.6日	2.7×10^6	2.2×10^{-4}	0.6

*1:平成23年6月14日時点に換算

4.7.1.2 各放射性核種による現状の空間線量率、及び50年間積算実効線量への寄与度合い

全調査地点のうち空間線量率が0.1~5 μ Sv/hの範囲で、かつ測定した空間線量率と土壌濃度から評価した空間線量率が比較的良好一致する地点43箇所を選び、平成23年6月14日時点での空間線量率へのガンマ線放出放射性核種ごとの寄与度合いをIAEA-TECDOC-1162の線量換算係数を用いて評価したところ、Cs-134が約70%、Cs-137が約30%を占め、Te-129m、Ag-110mの寄与は1%以内であることが明らかになった。

また、先の表4-5に示したように、これらの放射性核種について50年間の積算実効線量を評価したところ、Cs-137が全体の74%を占め、Cs-134が26%、その他の核種の寄与は1%以下であった。ちなみにプルトニウム及びストロンチウムに関しては、今回観測された最大濃度を想定していても、50年間の積算線量はCs-137の1%以下であり、放射性セシウムに比べて、経口摂取による内部被ばくを無視すると、大きな問題にならない程度であることが確認された。

4.7.2 チェルノブイリ原発事故による放射性物質の影響との比較

(1) 福島第一原発事故に伴う大気中への放射性物質の放出量に関する考察

放射性物質が、大量かつ広範囲に放出された過去の事例として、チェルノブイリ原発事故がある。本調査では放射能濃度のみ測定しているが、事故の影響範囲の比較のため、IAEA及びUNSCEARの報告書に記されているチェルノブイリ原発事故時の大気中へのI-131及びCs-137の放出量と原子力安全委員会及び原子力安全・保安院が発表している福島第一原発からの両核種の推定放出量について比較した。その結果、表4-6のように、福島第一原発事故による放出量は、

・I-131では 1.3×10^{17} (Bq)または 1.5×10^{17} (Bq)

・Cs-137では 1.1×10^{16} (Bq)または 1.2×10^{16} (Bq)

となっており、チェルノブイリ原発事故におけるUNSCEAR及びIAEAの報告書に示されている数値I-131: 1.8×10^{18} (Bq)、Cs-137: 8.5×10^{16} (Bq)と比較すると、I-131は概ね1/11、もしくは1/14、Cs-137は1/6、1/8程度であったと推定されている。

(2) 土壌に沈着した放射能濃度に関する考察

IAEA及びUNSCEARによるチェルノブイリ原発事故の報告書においては、チェルノブイリ原発周辺におけるI-131の土壌への沈着状況を示す詳細なマップが掲載されていないため、本調査の測定結果と比較できないが、Cs-137の放射能濃度については、図4-30のように、チェルノブイリ原発の周辺の旧ソ連3カ国(ロシア連邦、ベラルーシ共和国、ウクライナ)やヨーロッパ全域について、事故発生後から3年8ヶ月後における沈着量を沈着量の範囲ごとに四つに区切って表示された土壌濃度マップが公開されている。

その他、Sr-90及びPu-239+240についても、Cs-137と比較して対象地域は狭い範囲であるが、図4-30(c)及び(d)のように土壌濃度マップが公開されている。

そこで、公開されているチェルノブイリ原発の周辺地域の土壌濃度マップと本調査で測定された放射性核種ごとの放射能濃度の分布状況を比較した。

1) セシウム137の沈着状況に関する考察

Cs-137の放射能濃度については、チェルノブイリ原発事故では図4-30(a)に見られるように、Cs-137の沈着量が $1,480\text{kBq}/\text{m}^2$ を超える範囲(朱色の部分)が、チェルノブイリ原発から30km圏内の他、チェルノブイリ原発から250km程度離れた地域でも確認されている。

他方で、本調査における当該範囲の放射能濃度は、福島第一原発周辺の34箇所を確認されており、福島第一原発から最も遠い箇所は、福島第一原発から32.5km程度離れた箇所(浪江町)であった。

また、チェルノブイリ原発事故では図4-30(b)に見られるように、Cs-137の沈着量が $40\text{kBq}/\text{m}^2$ を超える範囲(濃いオレンジ色の部分)がチェルノブイリ原発から1,700km程度離れたノルウェーでも確認されているが、平成23年11月5日の放射能濃度に換算した東日本全域における航空機モニタリングの測定結果(図4-31)においては、 $40\text{kBq}/\text{m}^2$ より多少低い放射性セシウムの沈着量が $30\text{kBq}/\text{m}^2$ を超える範囲(灰色の部分)が福島第一原発から250km程度の圏内にしか確認されていない。

以上から、Cs-137の沈着状況についてチェルノブイリ原発事故と本事故を比較したところ、発電所近傍におけるCs-137の放射能濃度はチェルノブイリ原発事故と比べて小さいとは言いが切れないものの、チェルノブイリ原発事故による環境中への放出及び影響範囲は、福島第一原発事故の影響範囲に比べてはるかに大きいことが確認された。

なお、図4-31の航空機モニタリングの測定結果から、チェルノブイリ原発事故後にマップ化した $40\text{kBq}/\text{m}^2$ とほぼ近い値となる $30\text{kBq}/\text{m}^2$ 以上の沈着量を示す地域が、群馬県、栃木県、茨城県、千葉県等でも航空機モニタリングより確認されている。そこで、今後、このような地域についても詳細な放射性物質の影響を確認するため、土壌に沈着した放射性セシウムの放射能濃度の測定及び空間線量率の測定を実施することが必要となる。

2) ストロンチウム90、プルトニウム239+240の沈着状況に関する考察

本調査の結果、Sr-90の沈着量の最大値($5.7\text{kBq}/\text{m}^2$)は、福島第一原発から4.9kmと発電所近傍で確認された。また、Pu-239+240の放射能濃度の最大値($15\text{Bq}/\text{m}^2$)は福島第一原発から18kmで確認された。

他方で、チェルノブイリ原発事故時においては、図4-30(c)及び(d)に見られるように、Sr-90の放射能濃度が $111\text{kBq}/\text{m}^2$ を超える地域、Pu-239+240の放射能濃度が $3.7\text{kBq}/\text{m}^2$ を超えている地域は発電所から30km境界付近でも確認されている。

以上から、福島第一原発の事故によるSr-90、Pu-239+240の環境中への放出及び影響については、チェルノブイリ原発事故と比較して限定的であったと考えられる。

表 4-6 福島第一原発事故とチェルノブイリ原発事故における I-131 及び Cs-137 の大気放出量

放射性核種	福島第一原発の事故での推定放出量 (Bq)		チェルノブイリ原発事故での放出量 (Bq)
	原子力安全・保安院 ^{*1}	原子力安全委員会 ^{*2}	
I-131	1.6×10^{17}	1.3×10^{17}	1.8×10^{18}
Cs-137	1.5×10^{16}	1.1×10^{16}	8.5×10^{16}

*1：東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に係る 1 号機、2 号機、3 号機の炉心の状態に関する評価について（平成 23 年 6 月 6 日（平成 23 年 10 月 20 日一部修正））

*2：原子力安全委員会発表（平成 23 年 8 月 24 日）

解説

事故後初期の航空機モニタリングから得られた ヨウ素 131 沈着量の分布 日米共同で新しい航空機モニタリング解析手法を開発

日本原子力研究開発機構 鳥居 建男

東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が広い範囲にわたって拡散した。これまで半減期の長い放射性セシウムについては、航空機モニタリング等によりその分布状況が明らかにされている。しかし、公衆の内部被ばく評価上重要となるヨウ素 131 は半減期が短いことから、データが少なく沈着量の詳細な分布は分からなかった。米国のエネルギー省は、事故後の早い段階で航空機モニタリングを実施した。その測定結果から日米共同でヨウ素 131 成分を抽出して地表面沈着量を解析する手法を開発し、ヨウ素 131 の沈着量の面的な分布状況を明らかにしたので、その方法や結果について概説する。

I. はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震により太平洋沿岸に襲った巨大津波を起因として発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所(以下、発電所という)事故によって、様々な放射性物質が広い範囲にわたって拡散した。米国エネルギー省(以下、DOEという)は、2011年3月17日から同年4月5日までの早い段階で航空機モニタリングを実施した。この測定結果をDOEから入手し、エネルギースペクトルを調べた結果、短半減期のヨウ素 131 (^{131}I , 半減期: 8日)を示すエネルギー・ピーク(365keV)が検出されるものがあったことから、日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構という)は、DOEと共同で ^{131}I の地表面沈着量を解析する手法を開発し、 ^{131}I の地表面沈着量の“面”的な分布を求めてマップ化した¹⁾。

本稿では、その手法と結果について解説し、今後の課題と展望についても触れる。

II. ^{131}I の沈着量の解析手法

1. 通常の航空機モニタリング解析手法

航空機モニタリングは、航空機(ヘリコプタ)にGPSセンサーを接続した大型NaIシンチレーション検出器(容積: 6~12ℓ)を搭載し、対地高度300m前後を飛行

して、1秒毎に位置と放射線を測定している。飛行位置での測定データから地上の空間線量率を求めるため、あらかじめ地形的に平坦で空間線量率も変動の少ない場所(テストライン)を選定し、300mを基準高度 h_0 として、150mから3,000m程度まで高度を変えて飛行している。その結果から、放射線の全計数率 N の変化(空気による減弱割合 λ)を求め、さらにその直下の地上高さ1mでの空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)と比較して、全計数率と空間線量率の換算係数 K_0 を求めている。また、GPSセンサーによる飛行高度から数値地図による標高(DEM: Digital Elevation Model)データを差し引くことにより航空機の対地高度 h を求め、下式を用いて直下の空間線量率 A を算出している^{2,3)}。

$$A = K_0(N - B)e^{\lambda(h-h_0)}$$

ここで、 B は宇宙線や機体の汚染などによる放射線のバックグラウンド計数率である。さらに、*In-situ* Ge検出器を用いた地上測定等により空間線量率と放射性セシウム(^{134}Cs , ^{137}Cs)の沈着量(kBq/m^2)の関係から求めた換算係数を掛けることによって、飛行直下の地表面での放射性セシウムの沈着量を求めている。

この手法では、 ^{131}I の他に放射性セシウム等が放出する全ての放射線データ(全計数率)を用いていること、テストラインで求める放射線の空気減弱割合も全計数率を用いており核種別の割合になっていないことから、そのままでは ^{131}I の沈着量は求められない。また、地上での*In-situ* Ge検出器等による核種分析測定では、同一時期に測定した放射性セシウムの $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比はどれも同じ

であることから、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の沈着量は求められるが、 ^{131}I と ^{134}Cs , ^{137}Cs の比は同じである保証はなく、また実際に場所によって異なるという報告もあった⁴⁾。 ^{131}I が消失した段階では、この手法で ^{131}I の沈着量分布の評価はできない。

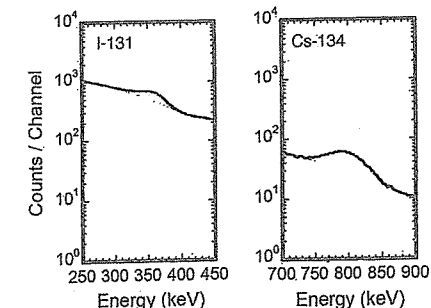
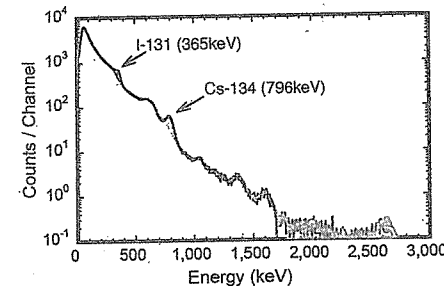
このため、1秒毎に測定している γ 線のエネルギースペクトルに着目し、核種別に解析評価することとした。

2. ^{131}I ピークの抽出

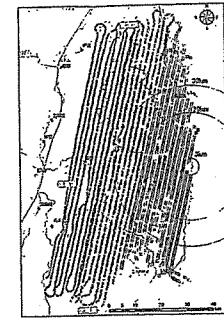
航空機モニタリングデータには、1秒毎の50keV~3MeVの γ 線エネルギースペクトルが1,024チャンネルで保存されている(第1図)。このスペクトルから ^{131}I のエネルギーピーク(365keV)を抽出するために、ピーク周辺のスペクトル $S(E)$ を下式で表した¹⁾。

$$S(E) = a + bE + ce^{-(E-E_0)^2/2\sigma^2}$$

ここで、 $a + bE$ はピーク周辺のコンプトン成分、ピーク部分をガウス分布で表した。ピークの平均エネルギー E_0 とピーク幅の指標となる σ は測定バッチ(フライト)毎に若干ずれることがあるが、フライト中は変動しないと仮定し、フライト毎にそれぞれの平均値から決定した。残りの3つの係数 a , b , c を1秒毎のスペクトル



第1図 航空機モニタリングで得られたエネルギースペクトルヨウ素 131 (I-131) とセシウム 134 (Cs-134) のピーク部分を用いて地表面沈着量を解析する。



第2図 マップ作成に使用した発電所周辺の3回のフライト

データとの差異が最も小さくなる値として決定し、この式のガウス分布成分をピーク計数率とした。

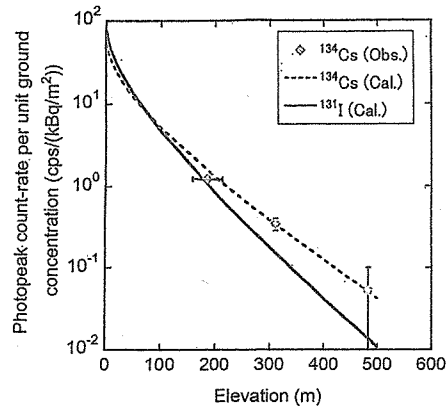
解析にあたって、広い範囲にわたって測定が行われた2011年4月2日と3日の3回のフライト(第2図)に着目し、飛行機に搭載されたNaI検出器(5cm × 10cm × 40cm × 3本)の測定データの中に含まれる ^{131}I のピークを抽出した。また、 ^{131}I より半減期が長い ^{134}Cs (半減期: 2年)のピーク(796keV)についても、比較のために同様の手法により求めた。なお、 ^{137}Cs については、NaI検出器では662keVのピークが ^{134}Cs の605keVのピークと重なる部分があることから、あらかじめ796keVのピークを用いて ^{134}Cs を評価した後に605keV+662keVのピーク部分を引き算して求めなければならない。この手法では、引き算による誤差が生じるため、 ^{134}Cs だけを評価することとした。

3. ^{131}I 計数率の高度による減弱割合の導出

地表面に沈着した ^{131}I からNaI検出器に入射する γ 線の挙動を求めるため、モンテカルロ計算コードEGS5⁵⁾を用いて ^{131}I に対する検出器の感度特性や地表面から上空までの減弱率を求める手法を開発した。まず、測定に用いたNaI検出器をモデル化し、検出器の応答特性をシミュレーションした結果とチェックソース(^{137}Cs)を用いた照射試験の結果から、ピーク計数率は95%以内で一致していることを確認した。この結果をもとに、地表面方向から入射する単位 γ 線あたりあたりの ^{131}I (365keV)や ^{134}Cs (796keV)のピーク計数率を求めた。さらに、地表面(無限平板)に沈着したこれらの核種の単位沈着量あたりの高度による γ 線束の減弱割合を1~500mまで求め、地表面の ^{131}I と ^{134}Cs の沈着量とピーク計数率の関係式を求めた(第3図)。ここで、放射性物質の地中への浸透割合を表す緩和深度 β (放射能濃度が地表面の $1/e$ ($\approx 1/2.7$)になる深さ)は、実測値⁶⁾をもとに1.0とした。

The Spatial Distribution of I-131 Deposition on the Ground by Airborne Surveys at an Early Stage after the Fukushima Daiichi NPP Accident: Tatsuo TORII

(2013年9月24日受理)



第3図 ^{131}I と ^{134}Cs の計数率の高度による減弱割合
 ^{134}Cs についてはピーク計数率がよく実測値(Obs.)も得られている。

III. ^{131}I の沈着量分布

高度約 300m 付近で 1 秒毎に測定したデータから、地表面の ^{131}I の沈着量 (kBq/m^2) を算出し、測定が終了した 4 月 3 日時点で解析評価した。 ^{131}I の沈着量の解析結果を第 4 図に示す。この図から明らかのように、放射性セシウムと同様に、発電所の北西方向に ^{131}I 沈着量の高いエリアが認められる。また、発電所付近では、南側にも ^{131}I 沈着量の高いエリアが広がっている傾向が見られる。

この解析結果の妥当性を検証するため、文部科学省原子力災害対策支援本部(当時)が実施した土壌データ(2011 年 6 月 14 日時点の評価)^{4,7)}と今回の解析結果を同じ日に半減期補正して比較した。その結果、地上で測定した ^{131}I と ^{134}Cs の沈着量は航空機モニタリングの結果とよく一致していることが確認できた(第 5 図)。

^{131}I は半減期が短いことから、6 月 14 日時点で評価した土壌測定では、既に減衰し検出できなかったものも少なくない。また、放射性セシウムが多量に沈着したエリアでは、エネルギーの高い ^{134}Cs と ^{137}Cs の γ 線のコンプトン散乱により、減衰して小さくなった ^{131}I のピークを有意検出するのは困難である。このため、特に発電所から 20km 圏内のデータが極めて少ない。今回の測定は、比較的早い段階での測定であったため、上空から ^{131}I を有意検出することができた。よって、本測定は、地上での少ないデータを補完し、 ^{131}I の沈着量の面的な広がりを明らかにしたと言える。

IV. 今後の課題

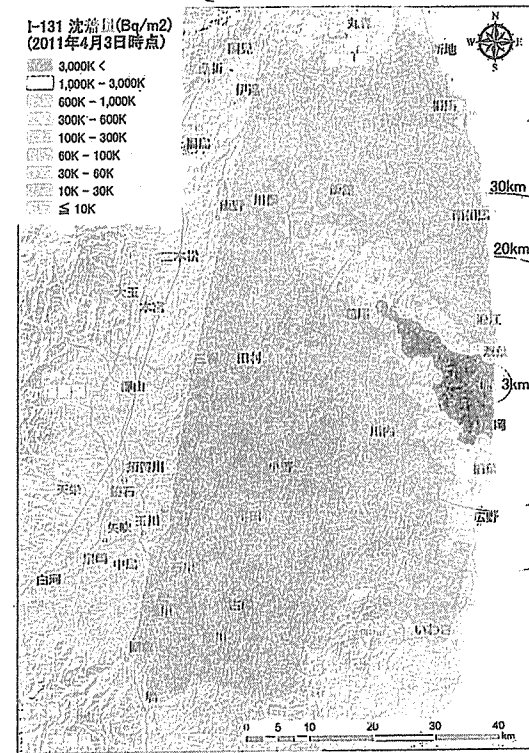
^{131}I の濃度は、吸入による放射線誘発甲状腺がんの

リスク評価の観点から、大気中濃度 (kBq/m^3) の測定評価が重要である。しかしながら、 ^{131}I 濃度の測定のデータは少ないことから、モニタリングポスト等での空間線量率の時間変動や発電所から遠く離れた地点でのダスト濃度等の“点”データを用いて大気拡散モデルによって ^{131}I の大気中の濃度を推定するしかなかった。今回の解析結果は、事故後の早い段階での航空機モニタリングによる測定結果から、 ^{131}I の地表面での“面”的分布を明らかにしたものである。その意味で、格段に多くの情報を提供するものであろう。しかし、大気中の濃度が得られたわけではなく、地表面に沈着した事故後の“積分値”である。今後、WSPPEEDI 等の大気拡散モデル計算⁸⁾により、 ^{131}I の大気中濃度の評価精度の向上に繋がることを期待したい。

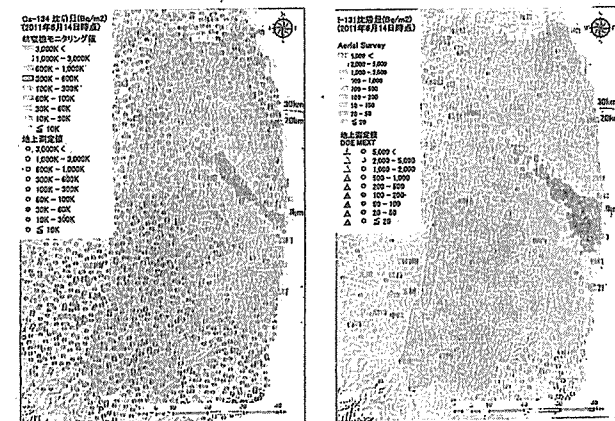
また、事故時に多くのモニタリングポストが津波によって流されたが、中には非常用電源が生きており、発電所から有意放出があった後も計測を行っていたものもある。これらのモニタリングポストはエネルギースペクトルも測定していると思われることから、今回使った手法により ^{131}I ピークの時間変動も評価できると思われる。さらに、平山らはハンディの LaBr_3 シンチレーション検出器を用いて高速道路(管越自動車道)で測定したスペクトルから、放射能雲(ブルーム)中の ^{131}I 濃度などを推定している⁹⁾。これらの手法を組み合わせれば、事故時の大気中 ^{131}I 濃度の推定にさらなる情報を提供することとなり、大気拡散モデルの評価や公衆の被ばく評価に寄与するものと考えられる。こうした様々なデータを持ち寄り、解析評価が進むことを期待する。

広い範囲に拡散した放射性物質の分布を迅速に把握するために、航空機モニタリングが有効であることが今回の事故で明らかになった。しかし、今後あってはならないことではあるが、万が一、大気中に多量の放射性物質が放出される事故が発生した場合、 ^{131}I 等の短半減期の核種に対しても有効なモニタリングデータの解析手法を整備しておく必要がある。今回、 ^{131}I 沈着量を評価するために、新たな手法を開発、検証しながら解析を行ったために時間を要した。しかし、このときに解析で使用した地上データは、放射性物質の地中への移行を表すパラメータの緩衝深度だけである。よって、測定と解析手法を整備しておけば、緊急時に広い範囲にわたって沈着した放射性物質の影響範囲を航空機による測定だけで求めることができる。本手法は、緊急時の迅速な沈着量評価に有効な手法となろう。

一方、ブルームが飛んでいる間に有人の飛行機を飛ばすためには、乗員の放射線防護策を十分に講じる必要がある。また、大気中の濃度と地表面への沈着量を求めるためには、それらを併用評価する手法とともに機体への放射性物質の付着による汚染対策が重要となる。今回の DOE の測定でも、事故直後のデータには機体汚染と考



第4図 ヨウ素 131 の沈着量マップ
測定が終了した 2011 年 4 月 3 日時点の評価値。



第5図 ヨウ素 131 (左) とセシウム 134 (右) の沈着量マップと土壌データ(図中の○と△印)の比較。航空機データも土壌データが得られた 2011 年 6 月 14 日時点で減衰補正して比較した。

えられる高バックグラウンド計数率が認められ、計数率のばらつきにより、マップ作成には使用できなかった。また、面的な測定データが少なかったこともある。このことを踏まえて、航空法の適用を受けずに簡便かつ迅速に広い範囲を測定できる小型無人飛行機によるモニタリングシステムの開発研究も重要であると考えられる。

こうした航空機・無人機による“面”的な測定技術と、モニタリングポスト等の“定点”観測によるスペクトル測定技術により、大気中の放射性物質の拡散、影響範囲を迅速に特定できるものと思われる。

— 参考資料 —

- 1) T.Torii, T.Sugita, C.E.Okada, M.S.Reed, D.J.Blumenthal, *Health Phys.*, 105 (2), 192-200 (2013).
- 2) 鳥居建男, 眞田幸尚, 杉田武志, 田中圭, 日本原子力学会誌, 54 (3), 160-165 (2012).
- 3) 鳥居建男 他, JAEA-Technology, 2012-036, (2012).
- 4) 原子力規制委員会, 放射線モニタリング情報 (平成23年9月21日).

- http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5047/24/5600_110921_rev130701.pdf
- 5) H.Hirayama, Y.Namito, A.F.Bielajew, S.J.Wilderman, W.R.Nelson, KEK Report 2005-8, SLAC-R-730, (2005).
 - 6) H.Kato, Y.Onda, M.Teramage, *J. Environ. Radioact.*, 111, 59-64 (2012).
 - 7) 原子力規制委員会, 放射線モニタリング情報 (平成23年8月30日).
http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5043/24/11555_0830.pdf
 - 8) H.Terada, G.Katata, M.Chino, H.Nagai, *J. Environ. Radioact.*, 112, 141-154 (2012).
 - 9) 平山, 松村, 波戸, 佐波, 日本原子力学会和文誌 (印刷中).

著者紹介

鳥居建男 (とりい・たつお)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 放射線計測, 環境放射線, 大気電気



新刊紹介

専門家が答える
暮らしの放射線 Q & A

日本保健物理学会「暮らしの放射線 Q & A 活動委員会」著
416p. (2013.7), 朝日出版社, (定価 2,800 円 + 税),
ISBN978-4-255-00727-4

福島第一発電所の事故直後、日本保健物理学会は、「暮らしの放射線 Q & A 活動委員会」を発足させ、放射線被ばく等に関する人々の不安や疑問に答えるべく「専門家が答える暮らし放射線 Q & A」ウェブサイト (<http://radi-info.com>) を設立した。ここには 1,870 件の質問が寄せられたが、委員会のご努力により、全回答が作成され公開されている。

本書はこの 1,870 件の中から選定した 80 件の【質問・回答】と共に、放射線防護をより理解するための解説や用語集がまとめられており、一般の方々を対象とした放射線防護理解のための「教科書」となっている。原子力関係者にとっても、放射線被ばくや放射線防護に関して読みやすく、かつここまで詳しく解説された本は少ないため良書である。また、当事務を経験した一般の方々から放射線の何に不安や恐怖を覚えたかを理解し、今後、一般の方々へどのような説明をしていくべきなのかを考えるヒントになることを期待したい。

以下に内容を紹介します。

本書は 3 章で構成されている。1 章「福島第一発電所事故の記録」には、当事務による放射線被ばくの程度とそれによる身体的影響について【質問・回答】がまとめられている。回答は、質問者の放射線被ばくの状態と当時測定されたデータに基づき、実際の放射線被ばく推定量を解説付きで具体的に説明している点を本書の特徴として挙げておきたい。またその被ばく量が身体的影響としてどの程度であるかを専門家の立場から解説するとともに、それについて今後の被ばく低減策があれば追記もされている。2 章「放射線防護の科学的基盤」では、放射線に関する一般的な質問に対して、放射線被ばくとその影響について解説している。例えば、外部被ばく・内部被ばく、物理的半減期・生物学的半減期の違いや放射線に用いられる単位 (ベクレル, シーベルト) などを解説している。3 章では、寄せられた 1,870 件の質問に対し、どのような方がどのような質問をされたかを分析している。

全体を通して、質問者の放射線被ばくに対する不安や苦悩に寄り添いたいという委員会の方々の意思が強く感じられた。多くの方々に読んでいただきたい。

(三菱重工(株)・白木貴子)

暮らしの
放射線 Q & A

