

## 放射性物質の大気から土壌への移行

藤原英司 (農業環境技術研究所)

### 1. はじめに

放射性セシウム ( $Cs-134$ 、 $Cs-137$ ) および放射性ストロンチウム ( $Sr-90$ ) は、公衆被ばくに関わる人工放射性核種として重視される。過去には大気圏内核実験やチェルノブイリ原発事故にともなう大気への放出により、これら核種が地球全体に拡散し、一部地域では深刻な環境汚染がもたらされた。しかし近年において、環境中の  $Cs-134$  は寿命が短いためすでに消滅し、比較的長寿命の  $Cs-137$  および  $Sr-90$  も日本では大気や土壌からごく微量検出されるのみとなり、本年3月に福島第一原発事故が起きるまで、環境中の放射性セシウムやストロンチウムが問題視されることは久しく無かった。今回の講演では主に、福島事故以前における放射性セシウムおよびストロンチウムの大気からの降下と、それらによる土壌への影響について解説する。

### 2. 大気圏内核実験による人工放射性核種の放出と土壌蓄積

世界的に見ると、現在土壌に蓄積されている人工放射性核種の大部分は、1940年代から80年代初頭にかけてアメリカや旧ソビエト連邦等が実施した、大気圏内核実験に由来している。大気圏内核実験により放出された放射性物質は大気中を拡散し、放射性降下物(フォールアウト)として地表へ降下した。フォールアウトの形態として、核実験実施地域周辺の局所的降下物(ローカルフォールアウト)と、地球規模の降下物(グローバルフォールアウト)を挙げることができる。またグローバルフォールアウトは、対流圏経由の成分と成層圏経由の成分に分けて考えることができ、前者の滞留半減期は約1ヶ月、後者のそれは約1年と言われており、成層圏経由の降下は、より長期に渡り影響を及ぼす。

世界最初の核実験は、1945年7月にアメリカにおいて実施され、以来1980年代までに各国で約1200回の実験が行われた。うち約500回は大気圏内で実施されたもので、結果として実験場周辺において深刻な放射能汚染や放射線被ばくを生じるとともに、世界的な影響をもたらした。例えば1954年にアメリカにより実施された南太平洋のビキニ環礁における核実験では、住民や付近を操業中の漁民が深刻な被ばくを受け、放射線障害による死者を出す結果となった。こうした動向を背景に、日本では1954年より放射性降下物に関する調査が本格的に行われるようになった。その一部として1957年より気象庁が実施した降下物モニタリングの結果を、図1に示す。大気圏内核実験の実施頻度は1961~62年に最高となり、 $Cs-137$  および  $Sr-90$  の降下量はやや遅れて1963年に最高となった。気象庁による観測結果では、1963年6月に最大の月間降下量( $Cs-137$  約  $550\text{Bq/m}^2$ 、 $Sr-90$  約  $170\text{Bq/m}^2$ )を示したとのことである。一方文部科学省の全国放射能水準調査の結果によれば、月間降下量が最大になったのは1963年5月または6月と考えられ、 $Cs-137$ 、 $Sr-90$  ともに全国平均で百数十  $\text{Bq/m}^2$  の水準を示した(表1)。1963年には部分的核実験停止条約によりアメリカや旧ソビエト連邦が大気圏内核実験を停止するに至ったが、一方でその後も中国やフランスが散発的に実験を実施したため、大気圏への人工放射性核種の供給は続いた。1980年に中国が最後の大気圏内核実験を実施した後1985年まで、 $Cs-137$  および  $Sr-90$  の降下量は約1年の半減時間で減少し続けた。このことから、1980年初めにおけ

るフォールアウトの大部分が、成層圏由来であったと考えられる。

大気から地表に降下した Cs-137 および Sr-90 の一部は土壌に保持され残留した。1980年代前半の日本における土壌中蓄積量の目安は、Cs-137 の場合で  $2\text{kBq/m}^2$  程度、Sr-90 場合では  $1\text{kBq/m}^2$  程度と考えられる（表2）。また1945年以来の大気圏内核実験による公衆被ばく線量の積算値は、世界平均で1人あたり約  $3.5\text{mSv}$  と推定されている。なお自然放射線による公衆被ばく線量は世界平均で年間約  $2.4\text{mSv}$ 、日本では年間約  $1.5\text{mSv}$  である。

### 3. チェルノブイリ原発事故による人工放射性核種の放出と土壌蓄積

1980年以後大気圏内核実験は実施されず、人工放射性核種の大気降下量は減少し続けたが、1986年4月に旧ソビエト連邦（現ウクライナ）のチェルノブイリ原子力発電所において、放射性物質の多量放出をともなう重大事故が発生し、多くの作業員が急性放射線障害のため死亡した。またウクライナやロシア、ベラルーシの住民の間における、小児甲状腺癌の多発が報告されている。日本では事故後に大気中の人工放射性核種の濃度上昇が観測され、Cs-137 については一時的に1963年に近い水準まで大気降下量が増加した（表3）。しかし、チェルノブイリ事故時に放出された放射性物質の大部分は対流圏内に留まっていたため、約1ヶ月の半減時間で速やかに減少した。よって、この事故による日本の土壌への人工放射性核種の沈着は小さく、数百  $\text{Bq/m}^2$  以下の水準であったと推定される。

事故当時は大規模な原子力施設事故を想定した国際的指針が存在しておらず、旧ソビエト連邦やヨーロッパ各国においては急遽、公衆被ばく線量や飲食物の放射性核種濃度に関する規制値が設けられ、それにもとづいて住民の放射線防護が図られた。

### 4. 黄砂による Cs-137 の大気経由輸送

1987年以後2000年代まで大気圏内核実験や大規模な原子力施設事故は発生しなかったため、大気中の人工放射性核種は減少傾向を示し、1990年代にはほぼ無くなったと考えられていた。しかし日本では2000年代にも Cs-137 の大気降下が観測されており、特に春季に降下量の増大が認められた。この現象は当初、中国西部のロプノール核実験場から飛来する汚染された砂塵（黄砂）によると考えられていた。

2002年3月には北日本や日本海側の地域において、チェルノブイリ事故後で最大規模となる Cs-137 の大気降下が観測され、月間降下量は通常時の10倍の水準である約  $0.8\text{Bq/m}^2$  に達した。この時に原子力施設における事故等は報告されなかったことから、大陸からの黄砂飛来が唯一可能な説明であると考えられた。農業環境技術研究所ではこの現象を解明するため、広域気象データを使用し2002年における黄砂の発生頻度分布を推定した。その結果、中国北部からモンゴルにかけての草原域が砂塵発生範囲となっていたことが示された。また砂塵発生の中心部である中国内モンゴル自治区の草原地帯で採取された土壌の放射能測定を行い、Cs-137 の濃度および土壌中蓄積量を求めたところ、草原表土における Cs-137 の集積が認められ、濃度は  $5.5\text{--}86\text{Bq/kg}$  と、中国の核実験場に近いタクラマカン砂漠の土壌の例 ( $5.01\text{--}31.5\text{Bq/kg}$ ) や日本の畑地土壌の例 ( $6.3\text{--}7.5\text{Bq/kg}$ ) よりも高い水準であった。これらのことから、大陸の草原域が Cs-137 を含む砂塵の供給源であると特定された。



表1 1963年5月および6月におけるCs-137およびSr-90の降下量\* (単位: Bq/m<sup>2</sup>)

	Cs-137		Sr-90			Cs-137		Sr-90	
	5月	6月	5月	6月		5月	6月	5月	6月
北海道	57	66	38	57	愛知県	353	261	248	170
青森県	-	33	-	23	京都府	202	163	168	149
宮城県	-	235	-	358	兵庫県	70	173	140	155
秋田県	262	281	229	208	和歌山県	117	151	199	117
茨城県	120	156	88	126	鳥取県	43	237	75	189
埼玉県	41	129	49	200	岡山県	172	215	124	181
東京都	303	122	224	115	広島県	273	186	205	142
神奈川県	137	139	102	116	高知県	232	44	292	260
新潟県	74	75	84	83	福岡県	191	199	141	151
石川県	216	172	175	130	長崎県	359	111	227	100
福井県	173	194	137	21	鹿児島県	274	138	186	308
静岡県	106	99	127	218	平均	180	156	155	156

表2 1980~85年における草地土壌中のCs-137およびSr-90蓄積量\* (単位: Bq/m<sup>2</sup>)

	Cs-137				Sr-90			
	データ数	最小値	最大値	平均	データ数	最小値	最大値	平均
北海道	4	2442	3700	3117	4	1628	2405	2072
青森県	1	185		185	2	163	167	165
宮城県	5	200	936	524	5	93	614	295
秋田県	5	4884	12321	8392	5	2146	5809	3585
山形県	6	1166	2257	1601	6	296	1443	712
福島県	6	348	1961	991	6	222	681	398
茨城県	1	2298		2298	1	1406		1406
埼玉県	6	254	340	296	6	150	225	190
東京都	5	315	3182	1239	5	144	1295	594
神奈川県	6	1665	4736	2837	6	947	2035	1453
新潟県	3	3552	9620	6339	3	1554	2805	2304
石川県	6	1332	3182	2368	6	685	1373	1103
福井県	5	366	5735	2784	5	233	1347	773
長野県	2	1258	1369	1314	2	644	759	701
静岡県	2	559	888	723	2	174	340	257
愛知県	5	303	4292	2554	6	137	474	317
京都府	6	3219	5513	4539	6	833	1783	1145
大阪府	3	533	1073	773	3	581	773	686
兵庫県	6	692	3108	1454	6	185	614	338
和歌山県	6	85	4144	1013	5	48	1258	373
鳥取県	3	111	1961	766	1	773		773
島根県	6	4884	11100	7018	6	688	3663	2119
岡山県	5	270	696	524	5	130	296	207
広島県	5	407	2886	2042	5	178	1117	680
山口県	3	1258	1406	1332	3	525	1480	952
愛媛県	6	529	3034	1309	4	196	355	277
高知県	5	2553	5180	3604	5	1443	1850	1569
福岡県	6	644	2701	1721	6	925	2146	1560
佐賀県	4	126	810	377	6	81	507	273
長崎県	6	3811	7437	5951	6	677	2331	1292
鹿児島県	5	229	5439	2932	5	89	1843	1129
沖縄県	5	1184	2294	1539	5	581	781	662
全国平均				2327				949

表3 1986年5月におけるCs-137およびSr-90の降下量\* (単位: Bq/m<sup>2</sup>)

	Cs-137	Sr-90		Cs-137	Sr-90
北海道	48	1.0	京都府	52	0.7
青森県	100	1.7	大阪府	48	0.6
宮城県	78	1.0	兵庫県	48	0.9
秋田県	311	5.6	和歌山県	32	0.4
山形県	100	1.6	鳥取県	200	1.8
福島県	163	2.4	島根県	196	1.3
茨城県	122	1.9	岡山県	104	0.9
埼玉県	141	1.6	広島県	52	0.7
千葉県	141	1.5	山口県	137	1.4
東京都	178	1.7	愛媛県	52	0.5
神奈川県	222	2.3	高知県	170	0.7
新潟県	104	1.8	福岡県	23	0.2
石川県	318	2.5	佐賀県	22	0.4
福井県	170	2.0	長崎県	34	0.5
長野県	48	1.0	鹿児島県	14	0.3
静岡県	178	1.6	沖縄県	56	0.2
愛知県	278	2.0	平均	119	1.3

\* 文部科学省・環境放射線データベース (<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>)  
の収録データをもとに集計した (参照 2011年9月22日)