

チェルノブイリ原子力発電所事故時の除染等について¹

1 汚染の概要

1986年4月 26 日に、旧ソ連ウクライナ共和国キエフ市北方約130kmの地点で発生したチェルノブイリ原子力発電所事故においては、合計で 1,400 万テラベクレル^{*}の放射性物質(うち大半が希ガス成分)が大気中に放出された(このうち、半減期等の観点から問題となるセシウムは 180 万テラベクレル)。

※福島原子力発電所における大気への放射性物質放出量は、全体で 77 万テラベクレル、ヨウ素 131 について 16 万テラベクレル、セシウム 137 について 1.5 万テラベクレルとされている(原子力保安院 6 月 6 日公表)

最初の数年はセシウム134による汚染も重要であったが、その後、半減期の長いセシウム 137 による汚染が主要なものとなった。セシウム 137(半減期 30 年)で汚染された地域は以下の表のとおりである。

表1 セシウム 137 で汚染された地域

| 汚染状況 (kBq/m ²) | | 37~185 | 185~555 | 555~1480 | 1480~ | 合計 |
|---------------------------------|-------|------------|----------|----------|-------|---------|
| 汚染状況 (μ Sv/h) [*] | | 0.078~0.39 | 0.39~1.2 | 1.2~3.1 | 3.2~ | |
| 避難等の指示 | | 管理必要 区域 | 移住奨励 | 強制移住 | 強制避難 | |
| 汚染地面積 (km ²) | ロシア | 49,800 | 5,700 | 2,100 | 300 | 57,900 |
| | ベラルーシ | 29,900 | 10,200 | 4,200 | 2,200 | 46,500 |
| | ウクライナ | 37,200 | 3,200 | 900 | 600 | 41,900 |
| | 合計 | 116,900 | 19,100 | 7,200 | 3,100 | 146,300 |

※・・・IAEA-TECDOC-1162 を基に 1kBq/m² 当たり 2.1×10⁻⁶mSv/h として計算。

(参考資料:IAEA-TECDOC-1240 Present and future environmental impact of the Chernobyl accident)

事故後、直ぐに原子力発電所から半径 30km 以内が立ち入り禁止区域として設定され、11 万 6 千人が避難もしくは移転した。1989 年には移住に関する基準が見直され、ベラルーシ、ロシア、ウクライナ政府はそれぞれに移住に関する取り組みを進めることとなった。強制移住以上の対象となる区域には、640 の集落が存在し、23 万人が住んでいた。2001 年現在、ベラルーシでは、移住奨励ゾーンと強制移住ゾーンからの移住はほぼ完了し、415 の集落が移転している。ロシアでは 4 万 7 千人以上が移住している。

(土地の利用状態毎の汚染状況)

- ・都市部・・・ 汚染は、「乾性沈着(放射性物質が風等により運ばれたことによる汚染。主に木、茂み、芝生及び屋根が汚染されやすい)」と「湿性沈着(放射性物質が雨に混じって落下したことによる汚染。土壌、芝生等が汚染されやすい)」に分類され

¹ 本資料は参考資料に基づいて取りまとめたものであり、事務局の見解を示すものではない。

る。

放射性物質は、フォールアウトによって旧ソ連諸国及び欧州諸国を汚染した。チェルノブイリの近くの小さい集落が「放射能雲」に伴う乾性沈着によって重度に汚染された。また、チェルノブイリから離れた地域でも、湿性沈着により重度の汚染が生じた(最も重度の汚染されたのは原子力発電所から3km 離れたプリピャチ市(Pripyat)という町であり、その住民は事故後1日半以内に移住させられた)。

主に、芝、公園、道、屋根や壁が汚染された。雨によって屋根から放射性物質が流れ、流入した下水等で特に高い放射性物質が検出された。

・農用地・・・ 事故後、牛乳から放射性物質が検出された。植物の汚染に関しては、当初は植物の表面に直接放射性物質が付着することが懸念されたが、数ヶ月後は、植物が根から吸収した放射性物質が重要な問題となり、食物の汚染に関しては降りかかった放射性物質の量よりも土壌の質により影響を受けることが分かった。長期的には、野菜ではなく食肉や牛乳中のセシウム 137 が体内被曝の最たる原因となった。

・森林・・・ 乾性沈着によって汚染された葉から、雨によって放射性物質が地面に流れ落ち、土壌が汚染された。事故から1年後には、土壌が一番の汚染源となっていた。

森林での生態系の中でセシウムが循環するため、高濃度の汚染状態が続いた(雲母鉱石にセシウムが固着することから、水系経由でセシウムが森林から出ること少なかった)。

特にキノコ、ベリー及び動物の肉に高い汚染が確認された。また、汚染された森林の木は燃料として消費すると灰にセシウムが元の50~100倍に濃縮されることから、家の中や庭での木材使用により被曝量が増加した。

・水質・・・ 水面に降り注いだ放射性物質はすぐに拡散し、かつ、川底の堆積物がセシウムを多く吸収したため、すぐに放射性物質の濃度は下がった。ただ、その後、汚染された土壌や川底からの放射性物質が流出したことで、現在も低レベルながら汚染が続いている。閉鎖性の水系では、放射性物質の濃度が下がりにくく、チェルノブイリの近くの池では事故から15年程度経った2000年前後でも10Bq/Lのセシウム 137 が観測されている(なお、ロシアの飲料水中のセシウム 137 の基準は11Bq/Lである)。

2 除染対策

1986年には、立ち入り禁止区域外の412の集落の除染が行われた。1987年には132の集落と27,000kmの道路の除染が行われた。1988年には人口の密集した比較的低レベルの汚染地域での除染が開始され、643の集落の除染が行われた。1989年には430箇所の人口密集地域の除染が行われ、人口が密集した地域のフル除染はほぼ終了した。

ベラルーシでは、汚染範囲が広大であり資金が不足しているため、現在も除染作業は

完了していない。

広域の汚染された農耕地や牧草地の汚染の復旧対策はほとんど実施されていない。土壌表層部を除去すれば改善効果は高いが、除去した汚染土壌の処理・処分を考え合わせると非常に広域の土地に適用させることは不可能に近い。このため農耕地では、表層の汚染土壌を根の届かない30～40cmの深さに持っていく土壌の入れ替えや、セシウムの吸収をおさえる肥料の散布が一部実施されている。

2-1 都市部対策

(1) 除染の規模・内容等

除染は、合計で1,000程度の集落(数千の建物と1,000以上の農場を含む)に対して行われ、特に幼稚園、小学校、病院及び多くの人が訪れる公共用施設に留意して行われた。

除染作業はUSSR軍の化学部隊と市民自衛隊(defence force)が中心となって、水や特殊な溶液を用いた建物の洗浄、居住区の洗浄、屋根の交換、汚染土壌の除去、道路の洗浄・アスファルトによる舗装や水源の除染等の対策を行った。

事故直後は土壌や核燃料から巻き上げられた放射性物質が内部被曝の主要な原因であったため、汚染土壌対策として有機剤が散布された(散布された有機剤はポリマーの見えない膜を作る)。また、粉じんの発生を防ぎ、かつ放射性核種を除去するため、道路は水で洗浄された。

対策に加え、放射性物質により汚染された葉が落葉となって取り除かれ、また、アスファルトに降り積もった放射性物質が雨等で流される等、天候や人為活動によって、一定量の放射性物質は時間の経過と共に除去された。

(事故から14年後の、雨等による放射性物質の除去率は、屋根で50～70%、壁で60～95%であった。また、アスファルト上の放射性物質の除去率は90%以上であった。ただし、これらの自然発生的な除染により、逆に下水系が汚染され、除染が必要となった)

(2) 対策の効果等

(乾性沈着対策)

道路の洗浄、木の除去及び庭の汚染土壌の除去や天地返しは、低コストで効果的な手段であった。その一方で、被曝量の多い屋根の洗浄はコストが高かった。また、壁は、被曝量は多くはなく、かつコストが高かった。

(湿性沈着対策)

庭や芝地対策は、低コストかつ、効果が高かった(空間線量率が最大で60%減)。

○ 実際に適用された技術の空間線量の削減効率は、全体平均で年間10-20%、幼稚園や学校では30%、戸外での労働者については10%未満程度となった。

○ ある研究(Los and Likhtarev)によると、チェルノブイリ時の応急処置によって300万人に

ついて、一人当たり1mSvの被曝(合計3,000人Sv)を低減できたとされている。さらに、学校及びその地域における洗浄が600人Svの被曝を低減したとされている。

(推奨される除染技術)

チェルノブイリの経験から、特に効果的と考えられる技術は以下のとおりである。また、いくつかの技術については、削減効率を表に示す。

また、これらの対策の結果得られた放射性廃棄物については、放射性物質が再び環境中に放出されることがないように、定められた一定の基準の下で処理されるべきである。

- 住居、公共施設、学校及び幼稚園の周囲の庭や建物内の道路脇の表層土壌(5～10cm)の除去(最も汚染されている土壌の層は敷地内に穴を掘って埋めること。穴を掘った際にでてくるきれいな土は、除染をした場所の覆土として使用すること)
- 私有の果樹園における表層土壌のすき込み及び除去
- 庭の汚染部分への覆土(きれいな砂か可能であれば砂利を用いること)
- 屋根の洗浄もしくは交換

表2 除染対策技術と削減効率

| 除染対策技術 | 削減効率 |
|------------------------------|--------|
| 窓の洗浄 | 10 |
| 壁のサンドブラस्टィング (砂を吹き付けて洗浄) | 10-100 |
| 屋根の水洗(and/or サンドブラस्टィング) | 1-100 |
| 庭の掘削 | 6 |
| 庭の表面の剥取 | 4-10 |
| 木の枝の削減 | ～10 |
| 道の清掃及び真空洗浄 | 1-50 |
| アスファルトのライニング | >100 |

(参考資料:IAEA Report of the Chernobyl Forum Expert Group ‘Environment’, Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience)

(3) 除染の際の基準

被災した三カ国では、1986年に除染の達成状況を判断するため、汚染状況に関する基準(許容される汚染レベルを示す値)を設定し、順次改訂してきた(表3)。当該基準は、身体全体及び肌の被曝の限度量を元に算出されたものである。

除染の実施の有無については、「汚染地の周囲の放射能汚染状況」及び「汚染値の社会・経済的重要性」を考慮した上で判断された(場合によっては、基準値を下回る汚染であっても除染が実施された)。

表3 汚染状況に関する基準値(地表面から1mにおける放射線量率 uGy/h=uSv/h)

| | | 時間 | | | | |
|--------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|
| | | 1986年6月 | 1986年10月 | 1987年7月 | 1988年7月 | 1990年5月 |
| 汚染地の種類 | 道路 | 15 | 2 | 2 | 1 | - |
| | 建物内 | 3 | 1 | 0.4 | - | 0.1 |
| | 外及び建物の表面 | 7 | 5 | 5 | 2 | - |

(参考資料:IAEA-TECDOC-1240 Present and future environmental impact of the Chernobyl accident)

2-2 森林対策

(1) 除染の範囲等

ロシアの一部の地域では、汚染が 1,480 kBq/m² を超える森林へは、森林の保護消火活動及び疾病や災害対策を除いて立ち入り禁止とされ、森林内での活動や一般人の進入(植物の採取を含む)は禁止された。555kBq/m² から 1,480 kBq/m² の地域では、同様に森林の植物の採取は禁止されたが、森林内での活動は限定的に認められた。ベリーやキノコ等の採取が認められたのは汚染が 74 kBq/m² を下回った場合のみであった。

(2) 効果があった対策

森林対策には、大きく分けて、「管理による対策」と「技術による対策」があるが、技術による対策は森林の生態系を乱すおそれがあることや、コストが高いため、実際には使われなかった。

(管理)

「汚染された森林への進入制限」と「汚染された森林由来の製品の使用制限」に分けられ、以下の項目が挙げられる。

- 一般人及び森林作業従事者の進入の制限(地域でのモニタリングに関する情報提供や教育)
- 一般人による食物(キノコ、ベリー及び動物の肉)の採取の制限(特にキノコ類の汚染がひどかった)
- 一般人による薪の採取の制限(薪の採取をする人々の被曝防止だけでなく、薪が燃やされる際の人々の被曝の防止のためでもあった)
- 狩猟の習慣の変更(森林の動物がキノコを摂取できない季節に限定して動物の肉を食べることとされた)
- 山火事の防止(放射性物質が山火事によって再飛散するのを防ぐことが目的)

(技術)

対策技術の行使による対策には、「葉の除去」、「土壌の除去」、「皆伐」及び「カルシウムやカリウムを含む栄養剤の散布」等が挙げられる(これらの対策は、森林の生態系を乱すおそれがあることや、コストが高いため、実際には使われていない)。

3 除染で発生した廃棄物対策

事故炉近傍で、とくに汚染の著しかった 375ha は土壌改善として、表層 10～15cm の土壌が除去され、伐採された木々とともに深いトレンチに埋設された(全埋設量:約 10 万 m³)。これらの行為により放射能濃度は 1/10 に減少したと評価されている。

立ち入り禁止区域外の除染に関する廃棄物については以下の通り。

(1) ロシア

- 土壌の除染に係る廃棄物が、1986 年に 9,000m³、1988 年に 147,900m³ 発生し、埋設処理された。
- 農産物についてはコンポストとして長期間保存された。
- 可燃物を焼却した灰についても埋設処分された。埋設に当たっては、低地で地下水レベルが深い地域の粘土質の土地に専用のトレンチ(管理型処分場の類の処理施設)を造ることが推奨された。
- 1992 年から 1995 年の間に、新たに放射性物質の一時埋設場が建設され、農林業からの廃棄物を処分した。

(2) ベラルーシ

- 26,000t の固体放射性廃棄物と、20,000t の液体放射性廃棄物が発生した。
- 放射性廃棄物と除染時に発生した廃棄物の処分のため、1986 年から 1988 年までの間に 69 の一時保管場所が設置された。
- 強制避難・強制移住区域内に 7 箇所、120,000m³ の埋設場所が設置された。2000 年までにさらに 120,000m³ 増設予定(2001 年現在)。
- 汚染された木材の利用により、除染が必要とされた建築物が 1,500 戸あるが、技術と資金の不足のため除染は行われていない。
- 汚染された建物が火事になることを防ぐため、1991 年から 1994 年の間に 51 の集落が廃棄され、2,480 戸が埋設された。さらに 11,000 戸についても埋設される予定。

(3) ウクライナ

- 強制避難区域内に 800 の埋設場があり、150 テラベクレル、100 万 m³ の廃棄物が埋設されているとされている。

< 参考 >

- ・IAEA-TECDOC-1240 Present and future environmental impact of the Chernobyl accident
- ・IAEA Report of the Chernobyl Forum Expert Group ‘Environment’, Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience
- ・UNDP, UNICEF with support of UN-OCHA and WHO, The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident
- ・(財)高度情報科学技術研究機構 <http://www.rist.or.jp/>