

# クリーンアップ分科会

- **チェルノブイリ発電所事故による環境修復、  
今回の事故による環境汚染との比較**  
(クリーンアップ分科会 高橋史明)

# チェルノブイル発電所の事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

1. 発電所サイトからの放射性物質放出量
2. サイト周囲の土地利用状況
3. 土壌汚染の状況(単位面積あたりの $^{137}\text{Cs}$ 沈着量)
4. チェルノブイリ発電所事故後に実施された環境修復対策と結果
5. 福島第一発電所周囲における環境修復対策を考える上での留意点  
(チェルノブイリの場合と比較して)

# チェルノブイル発電所の事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 1. 発電所サイトからの放射性物質放出量

### 福島第一

#### ・大気中への放出量 \*1

$^{131}\text{I}$  :  $0.15 \times 10^{18}$  Bq

$^{137}\text{Cs}$  :  $12 \times 10^{15}$  Bq

#### ・海洋への放出量 \*2

$^{131}\text{I}$  :  $2.8 \times 10^{15}$  Bq

$^{134}\text{Cs}$  :  $0.94 \times 10^{15}$  Bq

$^{137}\text{Cs}$  :  $0.94 \times 10^{15}$  Bq

\*1 2011/4/12 原子力安全委員会発表値

\*2 2011/4/21 東京電力発表

### チェルノブイリ

全核種 :  $14 \times 10^{18}$  Bq

$^{131}\text{I}$  :  $1.8 \times 10^{18}$  Bq

$^{137}\text{Cs}$  :  $85 \times 10^{15}$  Bq

$^{90}\text{Sr}$  :  $10 \times 10^{15}$  Bq

全Pu :  $3 \times 10^{15}$  Bq

\*1 IAEA報告書 “STI/PUB/1239” (2006) より

## 2. サイト周囲の土地利用状況

### 福島第一

・市街地 : < 5%

・水田 : < 10%

・その他の農用地 : < 10%

・森林、山林 : > 75%

$^{137}\text{Cs}$ による土壌汚染濃度  
300kBq/m<sup>2</sup>の区域内

### チェルノブイリ(ベラルーシ共和国全体)

・農地 : 43%

・森林 : 39%

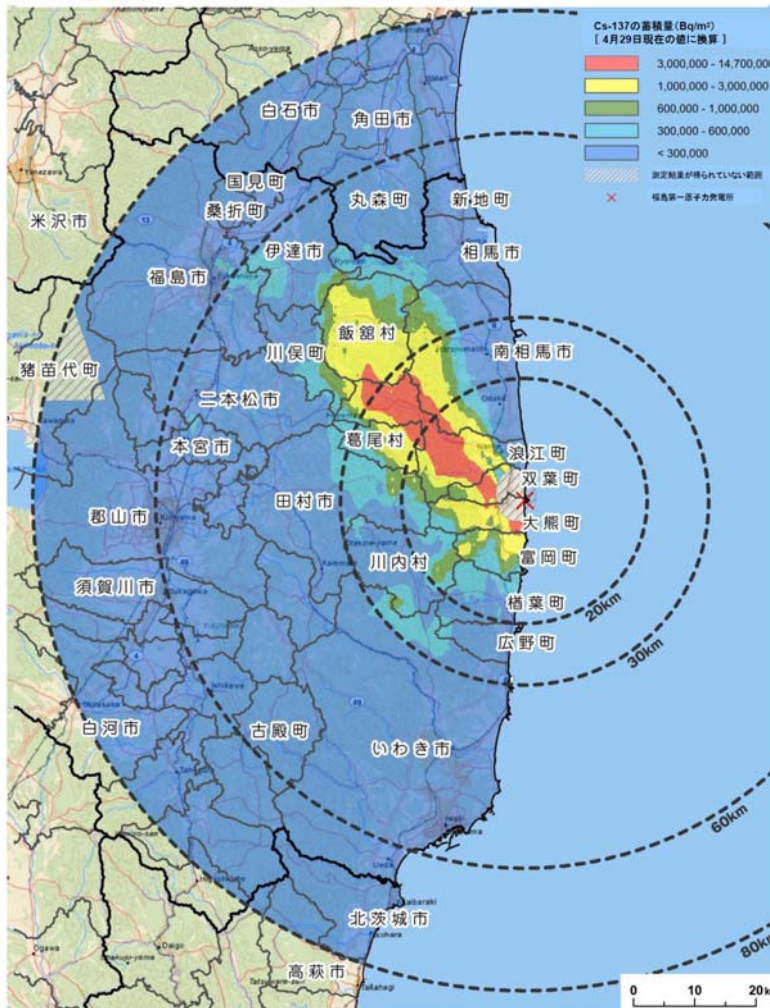
・河川、湖沼 : 2%

ベラルーシ共和国  
政府発行統計資料  
“Belarus in Figures”  
(2010年3月)より

# チェルノブイル発電所の事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 3. 土壌汚染の状況(単位面積あたりの<sup>134,137</sup>Cs蓄積量、4/29現在の値に換算)

### 福島第一



### 汚染レベル毎の面積

300-600kBq/m <sup>2</sup>	: 約550km <sup>2</sup>
600-1000kBq/m <sup>2</sup>	: 約200km <sup>2</sup>
1000-3000kBq/m <sup>2</sup>	: 約400km <sup>2</sup>
3000-14,700kBq/m <sup>2</sup>	: 約200km <sup>2</sup>

文部科学省及び米国エネルギー省  
航空機モニタリング結果 2011/5/6

# チェルノブイル発電所の事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 3. 土壌汚染の状況(単位面積あたりの沈着量)

### チェルノブイリ

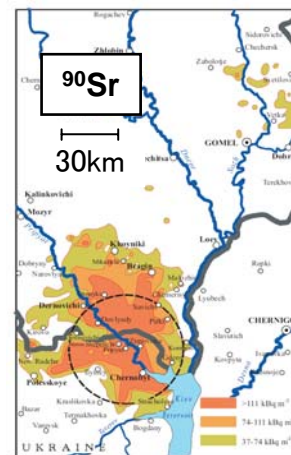
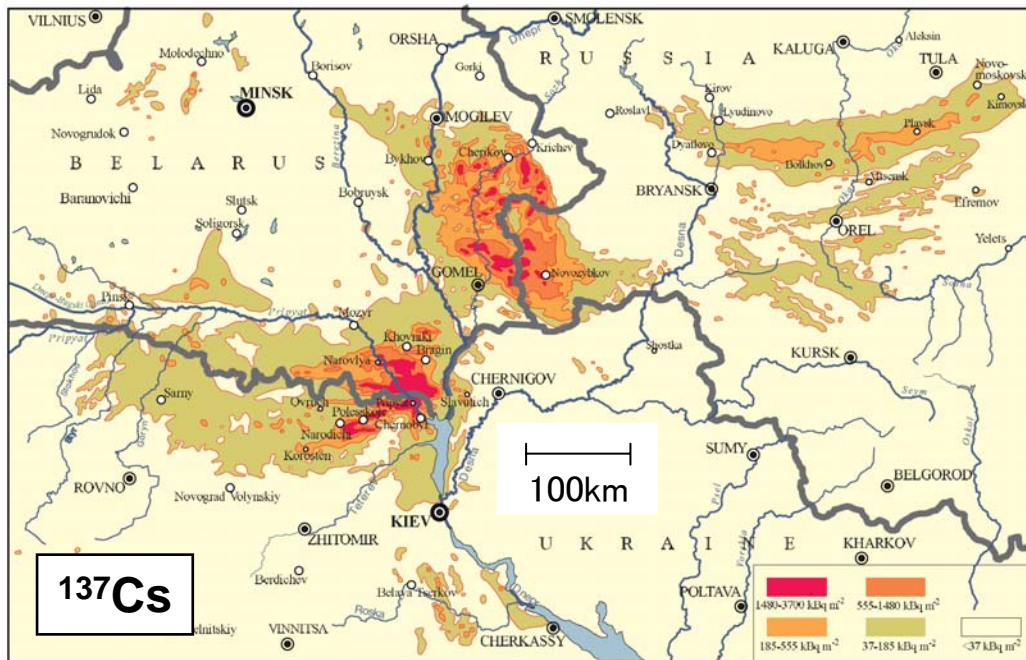
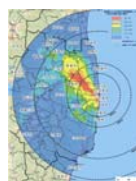


FIG. 3.8. Surface ground deposition of  $^{90}\text{Sr}$  [3.4].



FIG. 3.9. Areas (orange) where the surface ground deposition of  $^{239,240}\text{Pu}$  exceeds  $3.7 \text{ kBq m}^{-2}$  [3.4].

汚染レベル毎の面積	
37-185kBq/m <sup>2</sup>	: 約162,160km <sup>2</sup>
185-555kBq/m <sup>2</sup>	: 約19,100km <sup>2</sup>
555-1480kBq/m <sup>2</sup>	: 約7,200km <sup>2</sup>
>1480kBq/m <sup>2</sup>	: 約3,100km <sup>2</sup>



↑  
←  
ほぼ  
同縮尺

IAEA報告書 “STI/PUB/1239” (2006) より

# チェルノブイル発電所事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 4.1 チェルノブイル発電所事故後の環境修復対策, 都市部の環境修復(1)

- 土、道路(アスファルト、コンクリート)表面、建物の表面などに放射性物質が付着。
- 建物近傍の土壌に特に高いCs-137汚染(屋根、壁からの移行)。
- 他の区域よりも対策は、比較的容易、居住者被ばく低減効果大→優先度高。
- 1986-89年に、旧ソ連3カ国(ベラルーシ、ウクライナ、ロシア)の約1000の集落、数万の家屋・建物で実施(~1987年夏, 約600の集落、約60,000の家屋・建物)
- 幼稚園、学校、病院、他の訪問者の多い建物を優先。
- 庭、低木のある土壌などの除染は困難。
- 除染作業により、大量の低レベル廃棄物が発生。
- 建物の洗浄後、壁近傍の土壌の汚染レベルが2~2.5倍になった場合もある。

主な対策)・建物の洗浄    ・居住空間(集落)の清掃    ・汚染土壌の除去  
・道路の清掃及び洗浄    ・屋外の給水施設の除染

IAEA報告書 “STI/PUB/1239” (2006),  
The Nordic Council of Ministers 報告書  
“TemaNord 1994: 567” (1994)より

# チェルノブイル発電所事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 4.1 チェルノブイル発電所事故後の環境修復対策, 都市部の環境修復(2)

報告書STI/PUB/1239の示す達成しうる効果			報告書RISO-R-828(1995)に示されている効果	
汚染表面	手法	DRRF*1	手法	DF*2(試験手順での効果)
壁	砂吹き付け	10-100	砂の吹き付け 壁紙交換	(Dry)4, (Wet)5 100
屋根	放水、砂吹き	1-100	高圧放水 屋根の交換	2.2 100
庭地・草地	掘り起こし	6	掘り起こし(手作業)	4-6, 4-15(DRRF)
	表土除去	4-10	表土の切出し(機械)	4-10, 28
低木地	剪定・撤去	~10	落葉枝層(Litter)の除去	3.5-4.5
			木の皮の剥ぎ取り	2-4
道路	掃きとり	1-50	掃除機(Vacuum sweep)	1.4
アスファルト道路	ライニング	>100	粉碎除去(grinding off)	>100

IAEA報告書 “STI/PUB/1239” (2006), RISO研究所報告書“RISO-R-828”(1995)より

\*1 Dose Rate Reduction Factor, 除染前後における対象表面からの線量率の比

\*2 Decontamination Factor, 除染前後における対象表面もしくは対象物中の汚染濃度の比

### チェルのブイリ事故後の対策 IAEA報告書 “STI/PUB/1239” (2006) より

- 異なる測定点で、採用した手法に依存して、1.5~15のファクターで線量率が減少。
- ただし、高費用が汚染エリアでの幅広い(comprehensiveな)適用を妨げる。  
⇒年間の外部被ばく線量減少: 平均10-20%、幼児・児童30%、屋外作業員10%以下。
- 対策された場所で、二次汚染は観測されなかった。

# チェルノブイル発電所事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 4.2 チェルノブイル発電所事故後の環境修復対策, 農業対策(1)

- 初期数ヶ月は農作物への直接付着による汚染、牛乳の汚染が生じた。
- 農作物の汚染は、放射性物質の沈着レベルだけでなく、土壌の種類や管理の実施、生態系のタイプにより影響を受けた。
- 初期フェーズの後にはCsによる汚染が最も重要。Sr-90はサイトからの距離が離れると影響小。Pu、Am-241は検出されたが農作物へ影響はなし。
- 1年目と比較して、事故後2年目は穀物類の放射能濃度は低くなった。
- 1987年以降、放射性Csの高い放射能濃度は畜産物でのみ確認された。
  - ⇒ 乳、食肉中のCs-137放射能濃度の低下対策が鍵 (key focus)
- 1990年代半ばに対策が減じ(経済的問題)、作物中の放射能濃度が増加した。
- 旧ソ連3カ国の集約農家における主な対策
  - ・根元改良; 土壌耕作、再種まき、窒素・リン・カリウム(NPK)肥料、石灰散布
  - ・飼料作物の変更; Csの摂取量が少ない菜種を耕作、家畜飼料に利用
  - ・クリーンフィーディング; 汚染のない飼料、牧草で家畜を飼育
  - ・Cs結合剤の投与; 家畜の消化管でのCs吸収を減少



# チェルノブイル発電所事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 4.2 チェルノブイル発電所事故後の環境修復対策, 農業対策(2)

旧ソ連3カ国の集約農家における対策と効果

IAEA報告書 “STI/PUB/1239” (2006) より、転載

対策		減弱ファクター*1		
		Cs-137	Sr-90	
通常の耕作(Ploughing) 1年目		2.5-4.0		
表面をすくい、埋設する(Skim and burial)耕作		8-16		
石灰散布(土壌のカルシウム化)		1.5-3.0	1.5-2.6	
無機質肥料		1.5-3.0	0.8-2.0	
有機質肥料		1.5-2.0	1.2-1.5	
土壌処理	根元改良	初回	1.5-9.0*2	1.5-3.5
		2回目以降	2.0-3.0	1.5-2.0
	地表改良	初回	2.0-3.0*2	2.0-2.5
		2回目以降	1.5-2.0	1.5-2.0
飼料作物の変更		3-9		
クリーンフィーディング		2-5	2-5	
Cs結合剤”プルシアンブルー”の投与*3		2-5		
原乳のバター加工		4-6	5-10	
菜種から油の加工		250	600	

\*1 対策の適用前後における作物中の放射能濃度の比

\*2 湿性の泥炭土では排水により15(土壌処理は、土の質、肥沃状態、pH等の影響を受ける。)

\*3 代わりに粘土鉱物の接合剤の適用例あり(安価。効果は劣る,somewhat less effective)

# チェルノブイル発電所事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 4.3 チェルノブイル発電所事故後の環境修復対策, 森林対策

- 樹木のフィルター効果により、森林には多量の放射性物質が沈着。
- 生態系による再循環のため、森や山の中の動物・植物中のCs量は低減しにくい。
- 対策は、管理ベース、技術ベース(機械の使用や化学薬品による処理)に分類。
- 管理ベース対策 (旧ソ連3カ国, 一部はスカンジナビア国家)
  - ・公衆、林業者の立入制限(例; 森林保護員、消防員、害虫駆除員、森林医師のみ許可)
  - ・食物(きのこ、イチゴ類、猟肉)や薪材の収穫制限、木の伐採制限
  - ・獲物が汚染植物を摂取している季節における狩猟の回避を勧告
  - ・大規模に汚染した地域の防火対策(環境への2次汚染の防止)
    - ⇒社会的に受け入れられず、公衆に遵守されなかった(禁止エリアできのこ等を採用)。
- 事故炉近傍の“Red forest”で、汚染の著しかった375haにおいて表層10~15cmの土壌を除去、伐採された木々とともに深いトレンチに埋設(全量:約10万m<sup>3</sup>)。
  - ⇒放射能濃度は1/10に減少したと評価されている。
- 技術ベースの対策は、コスト莫大
  - ⇒大きなスケールでは、非現実的(家畜へのクリーンフィーディング等の対策例あり)

# チェルノブイル発電所事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

## 4.4 チェルノブイリ発電所事故後の環境修復対策, 水域対策

- 初期の水汚染は川や湖へのI-131などの短半減期核種の降下による。
- フォールアウト後の水の汚染は、希釈、減衰、土壌への沈着により、急に減少。
- 魚体内放射能は、減衰と共に急激に減少したが、食物連鎖によりCs濃度が大きく高まった。Sr-90濃度は低く人間への線量影響も小さい。
- 長期的には、土壌からのCs-137とSr-90の流出、汚染堆積物の移動が、ゆっくりではあるが継続。
- 汚染土壌を回収して水系への放射性核種移行を防ぐ対策
  - ⇒ 高価かつ効果が薄い上に作業者の被ばくを招いた。
- 湖で魚のCs等の摂取量を減少させるため、石灰やカリウム剤を散布した実験
  - ⇒ 長期間の効果はなかった(水中での保持時間が問題)。
- 汚染された水と淡水魚の摂取制限以外には、効果的な対策は見当たらない(コストに見合わない)。
- 放射性物質の大気沈着後において、地下水供給を守るための対策の証拠はない。事故炉の周辺では、地下水の汚染を防止するための対策。
- 灌漑水への直接的な対策はなかった。
- 事故後、海水系の対策の要求や適用の証拠はない。黒海、バルト海は遠い。

## チェルノブイル発電所の事故後に実施された環境修復対策・結果、 今回の事故による環境汚染との比較

### 5. 福島第一発電所周囲における環境修復対策を考える上での留意点 (チェルノブイリの場合と比較して)

- 放出核種、汚染濃度分布に応じた環境修復計画
- 環境特性の違い
  - － 降雨、土壌、水域環境(沈着した放射性物質の挙動)
  - － 森林・山林面積比(環境からの長期的被ばく線量低減方策への影響)
  - － 海洋、海浜汚染の比率と重要度
- 農業環境・様式
  - － 作物の種類(稲作、灌漑用水の利用)、農作業上の習慣
- 環境修復により発生する低レベル廃棄物処理方法
- 環境修復作業に要する期間とコスト(作業に伴う被ばくリスクを含む)
- 法律上の対処
- 地震、津波による影響
  - － 汚染がれき・倒壊物、インフラ損壊
- 既存技術の評価・活用、新たに必要な技術開発課題の抽出と着実な実施
  - － 試験時と実地適用時との効果の差、その要因
  - － 効果的な適用方法の確立、より効果的な修復技術の開発