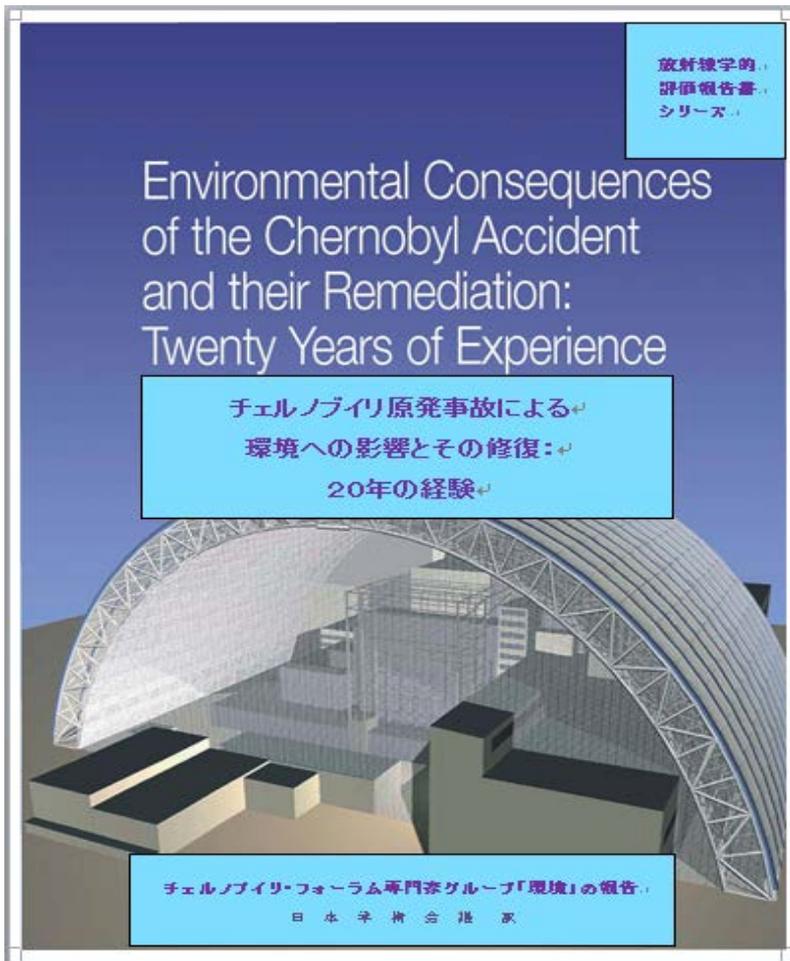


チェルノブイリ事故の経験から

柴田徳思 日本アイソトープ協会

1. IAEAレポートの翻訳
2. 環境の放射能汚染
3. 環境への対策と修復
4. 人の被ばくレベル
5. 動植物に及ぼす放射線影響
6. 石棺シェルター解体における環境と放射性廃棄物の管理

1. IAEAレポートの翻訳



注意

- A. この刊行物は非売品である。
- B. この報告は、2006年に国際原子力機関が著作権を持つ「チェルノブイリ原発事故による環境への影響とその修復」の翻訳である。この翻訳は日本学術会議第三部（理学・工学）内の「原発事故による環境汚染調査検討小委員会」によってなされた。元の報告は英語で記述され、国際原子力機関あるいは・総原子力機関の正式な代理によって配布されたものである。国際原子力機関は、この翻訳及び刊行に対して、内容の正確さ、品質、信頼性、作品の仕上がりに対して保証しないし、責任を持たない。加えて、この翻訳を用いて直接、間接に生じた損失や損害等に法的責任を負わない。
- C. 著作権表示：この刊行物に含まれる情報の複製または翻訳の許可は、ウィーンの国際原子力機関（International Atomic Energy Agency, Vienna International Center, P. O. Box 100, 1400 Vienna, Austria）へ文書で請求する必要がある。

翻訳に係わった方々

日本学術会議 第三部 総合工学委員会 原子力事故対応分科会 原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会

中島映至（会員 東大）、大塚孝治（連携会員 東大）、
柴田徳思（連携会員 アイソトープ協会）、五十嵐康人（気象研）、
石丸隆（東京海洋大）、植松光夫（東大）、内田滋夫（放医研）、
占部逸正（福山大）、海老原充（首都大）、恩田裕一（筑波大）、
斎藤公明（原子力機構）、篠原厚（阪大）、高橋知之（京大）、
谷畑勇夫（阪大）、鶴田治雄（東大）、豊田新（岡山理大）、
服部隆利（電中研）、星正治（広大）、榎本和義（高工ネ機構）、
吉田尚弘（東工大）

翻訳ボランティアのメンバー

荒井 格（オーストリア科研）、太田絵里、小田啓邦（産総研）、
小田キャサリン・ヴィヴァル（翻訳家）、柏村直樹（三重大）、
金 亨徹（埼玉江南病院）、児玉直哉（会社員）、近藤昭彦（千葉大）、
齋藤俊樹（名古屋医療センター）、篠村知子（帝京大）、
島岡未来子（早大）、寶村信二（翻訳家）、手島浩美（翻訳家）、
中村秀規（公財 地球環境研）、成田康人（オーストリア科学アカデミー）、
森下洋行（エンジニア／在ブラジル）、山内正敏（スウェーデン国立スペース物理研）、
山崎健二（エンジニア／在米国）、吉田三知世（翻訳家） 他3名

2. 環境の放射能汚染

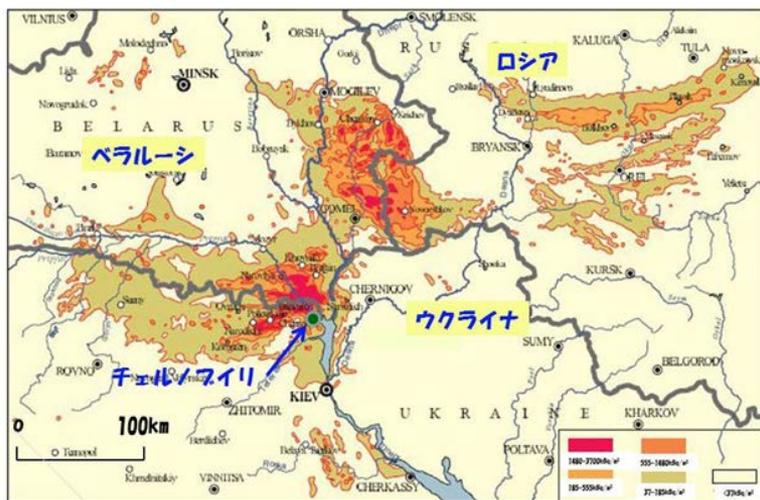
- **放射性核種の放出と地表への沈着**
- **都市環境**
- **農業環境**
- **森林環境**
- **水域環境**

放射性核種の放出と地表への沈着

チェルノブイリ		放出量 (Bq)			
		東電福島第一			
		東電		拡散モデルWG	
		大気	海洋	大気	海洋
総量	1.4×10^{19}				
希ガス	$\sim 7 \times 10^{18}$	5×10^{17}			
^{131}I	1.8×10^{18}	5×10^{17}	1.1×10^{16}	$1.2 \sim 2 \times 10^{17}$	$0.9 \sim 1.3 \times 10^{16}$
^{90}Sr	1.0×10^{16}				
^{134}Cs	$\sim 4.7 \times 10^{16}$	1×10^{16}	3.5×10^{15}	$0.9 \sim 2.4 \times 10^{16}$	$3 \sim 6 \times 10^{15}$
^{137}Cs	$\sim 8.5 \times 10^{16}$	1×10^{16}	3.6×10^{15}	$0.9 \sim 2.4 \times 10^{16}$	$3 \sim 6 \times 10^{15}$
^{241}Pu	$\sim 2.6 \times 10^{15}$				

チェルノブイリ
 $>1480\text{kBq}/\text{m}^2$ の面積：3100 km^2

福島
 $>1000\text{kBq}/\text{m}^2$ の面積：280 km^2

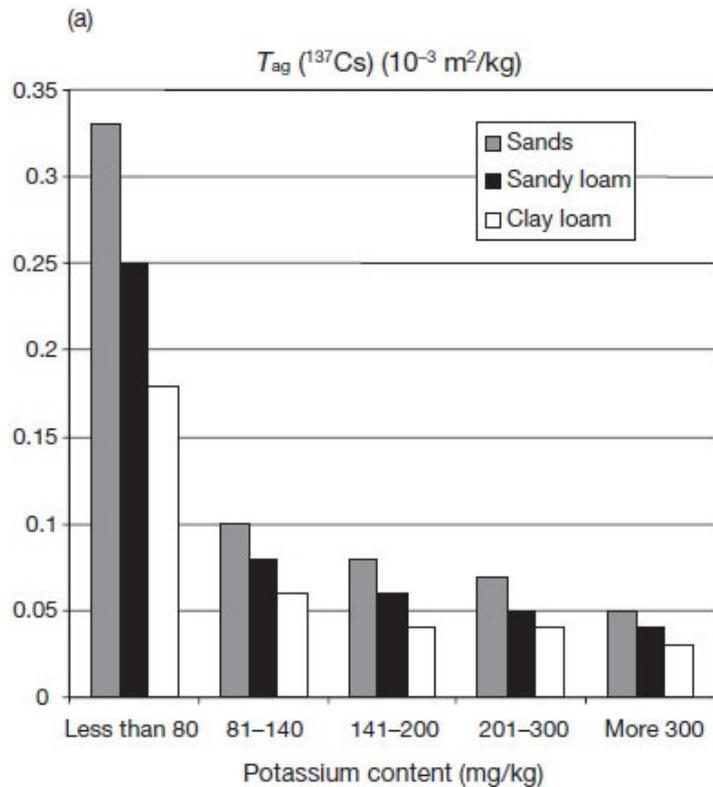


・都市環境

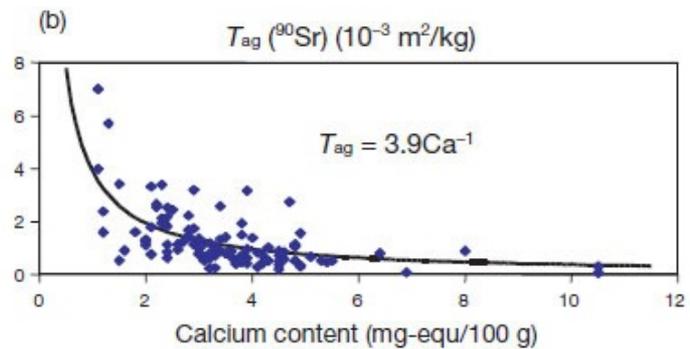
- ・汚染は人間活動により1986年のうちにかなり減少
→結果として下水網や下水汚泥の汚染が生じた
- ・現在では居住地の大部分で空間線量率は事故前のレベルに戻っている
- ・空間線量率の高い場所：庭、家庭菜園、公園の処理されなかった場所

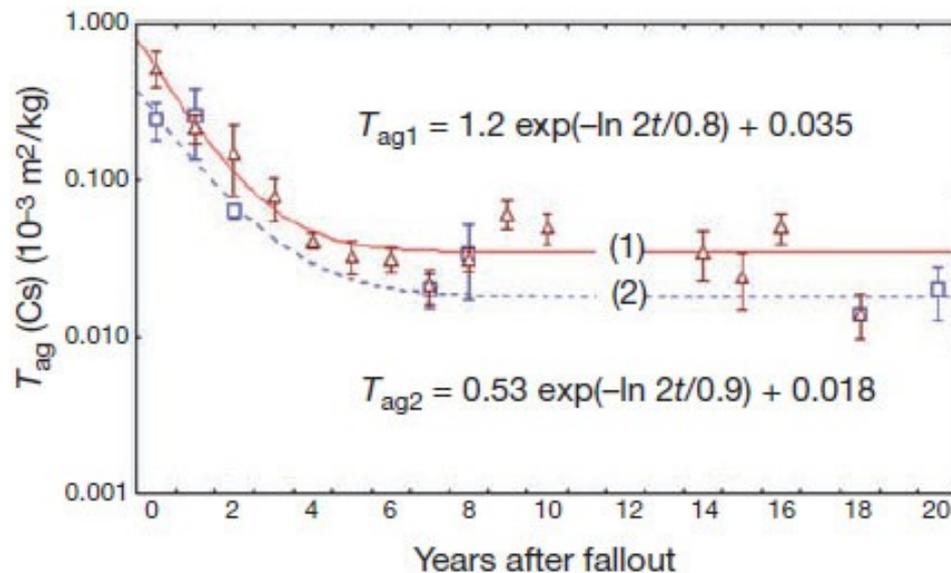
・農業環境

- ・ベラルーシ、ロシア、ウクライナでは放射性ヨウ素がミルクに移行し子供に大きな甲状腺被ばくをもたらした
- ・農産物や畜産物への移行は事故後2~3年で急速に減少した、しかし最近10年ではほとんど減っていない



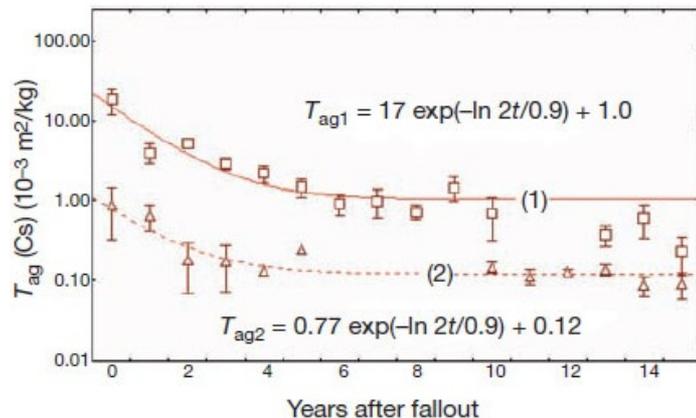
^{137}Cs の面移行係数
移行係数は土の種類に依存する
カリウムやカルシウム濃度が高いと
移行係数は小さい





面移行係数: (Bq/kg) / (kBq/m²)

土壤から穀類への¹³⁷Csの面移行係数の経時変化
 (1) は砂質土壤、(2) は大陸型黒土



現在の状況
 1000kBq/m²の場所では
 穀類: 35Bq/kg (砂質)
 18Bq/kg (黒土)

牛肉: 1000Bq/kg (砂質)
 120Bq/kg (黒土)

土壤から牛肉への¹³⁷Csの面移行係数の経時変化
 (1) は砂質土壤とローム砂質土壤、(2) は大陸型黒土

・ 森林環境

- ・ 森林や山岳地帯で ^{137}Cs の動植物への移行がひどく、キノコ、野いちご、狩猟動物の放射能レベルは事故以来高いままである
- ・ 特に地衣類→トナカイ→人への経路がひどい
- ・ 材木や木製品の使用による一般人への被ばくはほとんど心配ない
- ・ 蒔類を燃やした後の灰やパルプ工場内の被ばくは要注意
- ・ 森林火災では、火災の近くを除けば問題になるレベルではない

・ 水域環境

- ・ 河川、湖沼等の水域は、放射性壊変、土壌への吸着、希釈により数週間のうちに急速に減少した
- ・ 湖や貯水池では、放射性物資を吸着した浮遊粒子が湖底に堆積し濃度が減少した
- ・ 現時点で表層水の放射能濃度は十分に低く表層水による灌漑は問題はない
- ・ 水の流入出のない閉鎖性の湖沼では放射能濃度の高い魚がいる

3. 環境への対策と修復

- 1. 放射線の基準**
- 2. 都市の除染**
- 3. 農業対策**
- 4. 森林で対策**
- 5. 水域での対策**

1. 放射線の基準

チェルノブイリ事故当時（1986年）とその後の基準

1977年 ICRP Pub26

放射線作業者: 50mSv/年、**一般人**: 5mSv/年

1984年 ICRP Pub40 事故が深刻な場合

事故直後

屋内退避 積算全身: 5~50mSv、特定の臓器積算: 50~500mSv

安定ヨウ素剤服用 積算甲状腺: 50~500mSv

避難 積算全身: 50~500mSv、特定の臓器積算: 500~5000mSv

復興期

飲食制限 内部被曝で 全身積算: 5~50mSv、特定の臓器積算: 50~500mSv

疎開 全身積算: 50~500mSv

1990年 ICRP Pub60

放射線作業者: 平均20mSv/年、**一般人**: 1mSv/年

屋内避難 積算: 50mSv超えそう

安定ヨウ素剤服用 積算甲状腺: 500mSv超えそう

避難 積算全身: 500mSv超えそう

移転 積算全身: 1000mSv超えそう

食品制限 内部被曝: 10mSv/年超えたら

防護体系に用いられる線量拘束値と参考レベル

被ばく状況	職業被ばく	公衆被ばく	医療被ばく
計画被ばく	線量限度 線量拘束値	線量限度 線量拘束値	診断参考レベル
緊急時被ばく	参考レベル	参考レベル	該当なし
現存被ばく	a)	参考レベル	該当なし

a) 長期的な改善作業や長期の雇用で生じる被ばくは計画職業被ばくの一部として扱うべき

緊急時被ばく状況

	介入レベル	参考レベル
公衆被ばく 食料 安定ヨウ素剤の配布 屋内退避 一時的な避難 移住 防護戦略に統合され たすべての対策	10mSv/年 50~500mSv (甲状腺) 2日で5~50mSv 1週間で50~500mSv 初年度に100mSv又は1000mSv	20mSv/年~100mSv/年 の間

各国の食品に含まれるセシウムに対する安全基準値

適用年次	安全基準値 (Bq/kg)				
	国際食品規格委員会	欧州連合	ベラルーシ	ロシア連邦	ウクライナ
	1989	1986	1999	2001	1997
ミルク	1000	370	100	100	100
乳児食品	1000	370	37	40-60	40
酪農製品	1000	600	50-200	100-500	100
肉・肉製品	1000	600	180-500	160	200
魚	1000	600	150	130	150
卵	1000	600	-	80	6 Bq/個
野菜、果物、ジャガイモ、根菜類	1000	600	40-100	40-120	40-70
パン、小麦粉、シリアル	1000	600	40	40-60	20

我が国（セシウムについて 厚生労働省）

食品群	Bq/kg
野菜類	500
穀類	
肉魚など	
牛乳・乳製品	200
飲料水	200

初年度



次年度から

食費群	Bq/kg
一般食品	100
乳児用食品	50
牛乳	50
飲料水	10

2. 都市の除染

推奨できる対策

- ・ 住居用の建物の前庭の土壌、公共の建物・学校・幼稚園の周囲の土壌、居住地区の道路の路肩の土壌のそれぞれ表層部5cm～10cmを除去する。剥ぎとられた高汚染表土は、個人の敷地内または集落内に穴を掘って埋め、同時に穴を掘った時に出た未汚染土は、汚染表土を剥ぎ取った後にかぶせるべきである。この除染法では、放射性廃棄物の為の特別な埋蔵場所を作る必要はない。
- ・ 個人の果樹園は、深く掘り返すか、表層部5cm～10cmを除去する。野菜畑に関しては今までに何度も耕されているから、土壌の深さ20cm～30cmの層までは放射能が均一となっているだろう
- ・ 砂や砂利で放射線を遮ぎるために、中庭の汚染された部分は、きれいな砂（できれば砂利）で覆う。
- ・ 屋根はきちんと除染するか葺き替える。

都市表面の達成可能な除染率

	技術	被曝線量率減少係数
窓	洗淨	10
壁	砂吹き磨き	10-100
屋根	放水及び/または砂吹き磨き	1-100
庭	掘り返し	6
庭	表面の除去	4-10
樹木・低木	刈り込みまたは除去	~10
街路	掃き掃除または吸引清掃	1-50
街路 (アスファルト)	石灰をまく	> 100

3. 農業対策

初期段階で効果的な対策

- ・家畜を室内に入れて、外の汚染された牧草の代わりに、汚染されていない貯蔵飼料を与える。
- ・加工工場に持込まれる原乳で安全基準値を越えた原乳の流通を禁止する
- ・安全基準値を越えた原乳を保存食品（粉ミルク、チーズ、バターなど）に加工する

数か月後に採られた対策

- ・ ^{137}Cs が 555 kBq/m^2 を超える高汚染地域での屠殺の禁止。屠殺前の1ヶ月半の間は汚染されていない食物を与えなければならない。
- ・農作で通常行われる作業のいくつかを省略する事で、【農民の】被曝と放射性ダストの発生を防ぐ。
- ・放射能汚染された堆肥の使用制限。
- ・トウモロコシ用のサイロの準備。干し草の代わりにトウモロコシを保存飼料に使うため。
- ・個人農場で生産されたミルクの消費の制限。
- ・農産品の放射能検査の義務化。
- ・ミルクの加工の義務化

中期（半年以降の）対策

目標：安全基準値以下の食料生産を確保し。住民の被ばくを1mSv/年以下にする。
1987年には根菜類やほとんどの穀物は採られた対策により安全基準を下回った。

集約農業での対策

- ・ 土壌対策（以下の3つを基礎改良という）

土壌を深く耕すこと

種の蒔き直し

窒素・リン・カリを含む肥料と石灰の散布

- ・ 餌除染法

屠殺前や搾乳前の適当な期間汚染されていない飼料で飼育する

- ・ セシウム結合剤の投与

六シアノ鉄酸塩（紺青又はブルーシアンブルー）を飼料に添加する方法

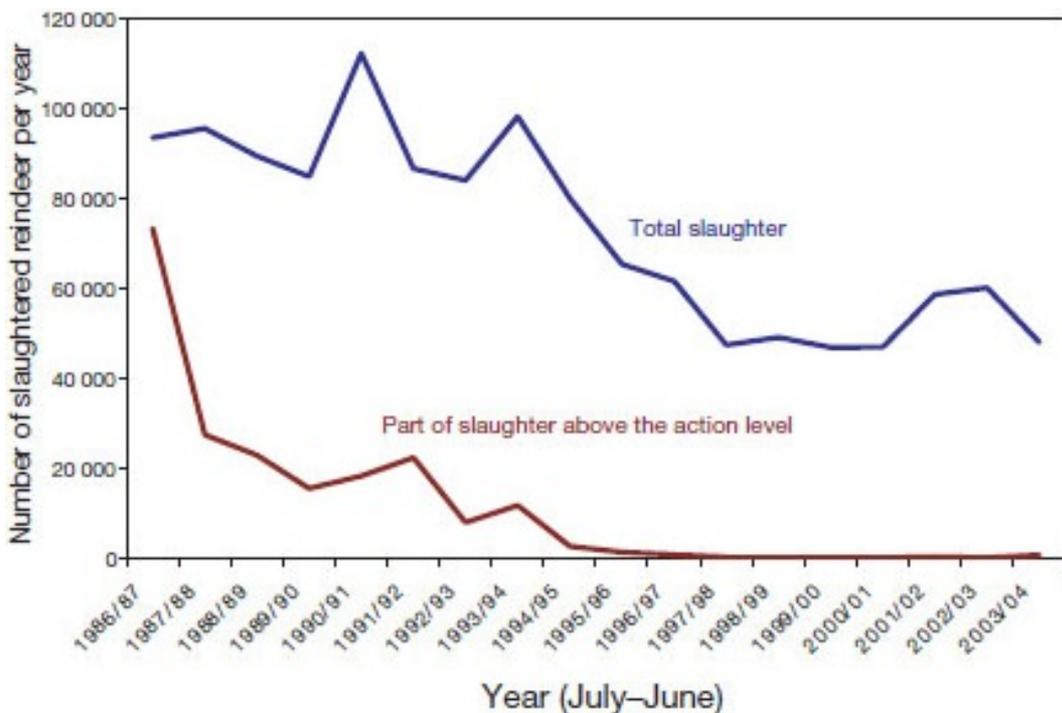
実施された各種対策と放射性核種の低減率

	^{137}Cs	^{90}Sr
通常の耕耘（1年次）	2.5-4.0	-
表層剥ぎ取り、埋め戻し耕耘	8-16	-
石灰まき	1.5-3.0	1.5-2.6
鉱物肥料使用	1.5-3.0	0.8-2.0
有機肥料使用	1.5-2.0	1.2-1.5
基礎改良：		
第1回目	1.5-9.0 ^a	1.5-3.5
2回目以降	2.0-3.0	1.5-2.0
表面的改良：		
第1回目	2.0-3.0 ^a	2.0-2.5
2回目以降	1.5-2.0	1.5-2.0
家畜飼料用穀物の変更	3-9	-
汚染されていない飼料の使用	2-5（時間に依存）	2-5
セシウム結合剤の投与	2-5	-
ミルクからバターへの加工	4-6	5-10
菜種から菜種油への加工	250	600

^a 泥炭湿地の場合、排水により最大15の減少係数

粗放農業（広い土地での放し飼い）における対策

- ・ 餌除染法
- ・ セシウム結合剤（紺青など）の投与
- ・ 飼育中の放射能検査
- ・ 飼育管理における規制
- ・ 屠殺時期の変更



屠殺時の ^{137}Cs 濃度が基準値を超えるトナカイ数（下）と屠殺総数（上）
1987年以降は安全基準が 300Bq/kg から 1500Bq/kg に引き上げられた。
（スウェーデン）

社会的・経済的な面まで考慮した上での修復の展望
放射能を抑える技術の他に

- (a) 効率的か、技術的に可能か、農民に受けられるか
- (b) 経済性・コストパフォーマンス
- (c) 倫理及び環境への配慮
- (d) 関係住民との意思疎通のための条件
- (e) 上記の問題点の地域差
- (f) 都市部、農村部、工業地域での要求の違いの比較

を考慮することが重要

ECのETHOSプロジェクト

放射能汚染に関する実務知識を、全ての関係者、特に公衆衛生関係者に広く知らしめるべき

ECのENVREGプロジェクト

環境問題や二次的な健康影響を、住民に喚起・認識してもらうことで軽減を図る

ECのCOREプロジェクト

健康管理・被曝から身を守る方法・情報提供・教育などの項目を含んでいる

4. 森林での対策

適用された主な対策

- (a) 一般人や森林労働者の立入の制限。
(各地域のモニタリング活動からの情報提供や、調理などの教育を通じた広報という形で周知された)
- (b) 一般人による野生食物の採取の制限。
(主なものは狩猟獣、野いちご〔ベリー〕、キノコである)
- (c) 一般人による薪木の採集の制限。
(薪を集める際に外部被曝するだけでなく、薪を燃やしたり、灰を処分したり、その灰を肥料として用いる際に、家屋内や庭でさらに将来的な被曝をもたらす可能性がある)
- (d) 狩猟時期の変更。
(ノロジカなどキノコを食べる動物中の放射性セシウム濃度は、季節によって大きく変化する。したがって、キノコが動物のえさにならない季節の肉のみを食べることにより狩猟肉経由の過度な内部被曝を避けることができる)
- (e) 防火は森林を管理する上で常に最優先。
(森林火災を避ける方法の一つは、森林に人々をなるべく立入らせないようにすることであり、立入制限と密接に関係している)

木材製品と森林食物中の¹³⁷Csに対するロシア連邦の暫定許容値

	暫定許容値 (Bq/kg)
樹皮を含む丸材	11100
樹皮を剥いだ切断前の材木	3100
切断後の木材（板材）	3100
建設用木材	370
パルプ及び製紙用木材	3100
家庭使用及び産業加工用の木材製品	2200
包装及び食品保存用木材製品	1850
燃料用木材	1400
キノコ及び森林小果実（採取直後重量）	1480
キノコ及び森林小果実（乾燥重量）	7400
薬用植物及び薬用原材料	7400
樹木・低木の種子	7400

5. 水域での対策

効果のあった対策

- ・ 事故直後に行われた河川・湖沼からの飲料水の取水制限と水源の切り替え
- ・ 淡水魚の食用の制限

4. 人の被ばくレベル

ここでは、環境中に沈着した放射性核種にさらされた一般公衆の構成員が主に想定されていて、事故への緊急対応または事故後のクリーンアップに関わり、主に現場（チェルノブイリ原子力発電所、及びチェルノブイリ立入禁止地域（CEZ））で被曝した労働者は、ここでは対象としていない

- ・ 被ばく経路
- ・ 外部被曝
- ・ 内部被曝
- ・ 総被ばく線量
（ ・ 集団線量）

・被ばく経路

- (a) 放射性ダスト雲【放射性プルーム】の通過に伴う外部被曝線量
- (b) 放射性プルーム通過中と通過後の浮遊放射性物質の吸入による内部被曝線量
- (c) 土壌その他の地表に沈着した放射性核種からの外部被曝線量
- (d) 汚染された食品及び水の摂取による内部被曝線量

ほとんどの被ばく条件下において、最も重要なのは(c)と(d)
放射性プルームの通過後すぐに避難した場合は(a)と(b)

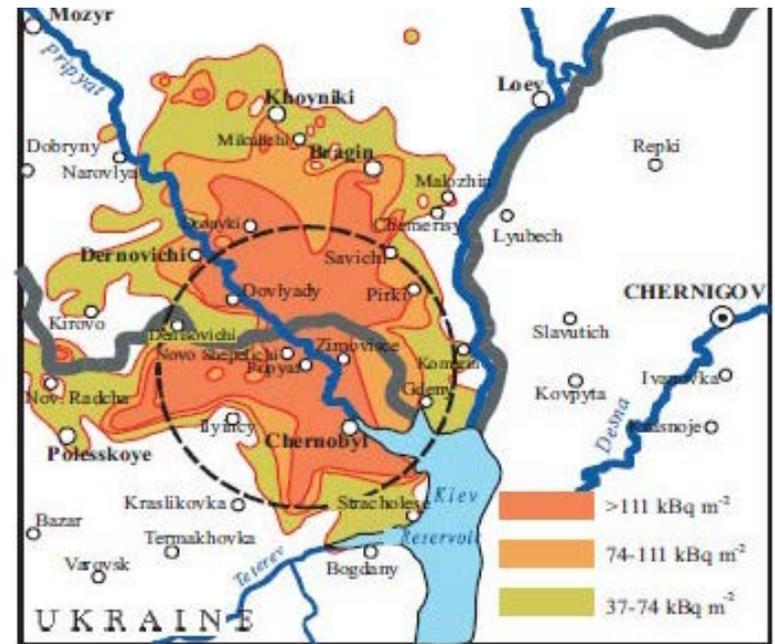
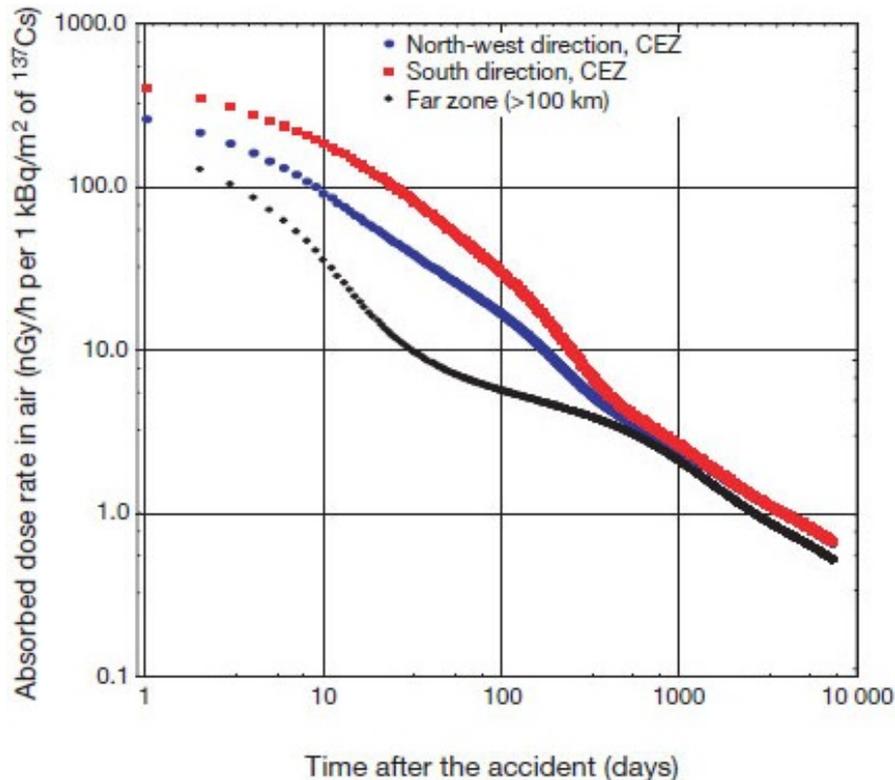
線量率の低下は、放射性壊変と沈着した放射性物質の土壌への浸透などの生態学的半減期で起こる。このため典型的には2成分指数関数モデルで表される

・外部被曝

外部被曝モデルの構築

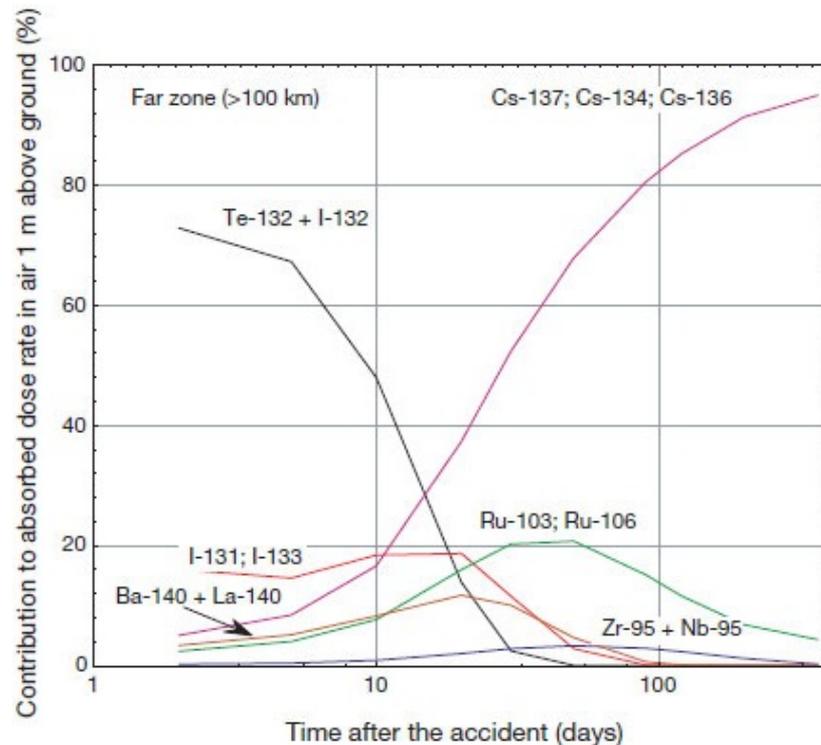
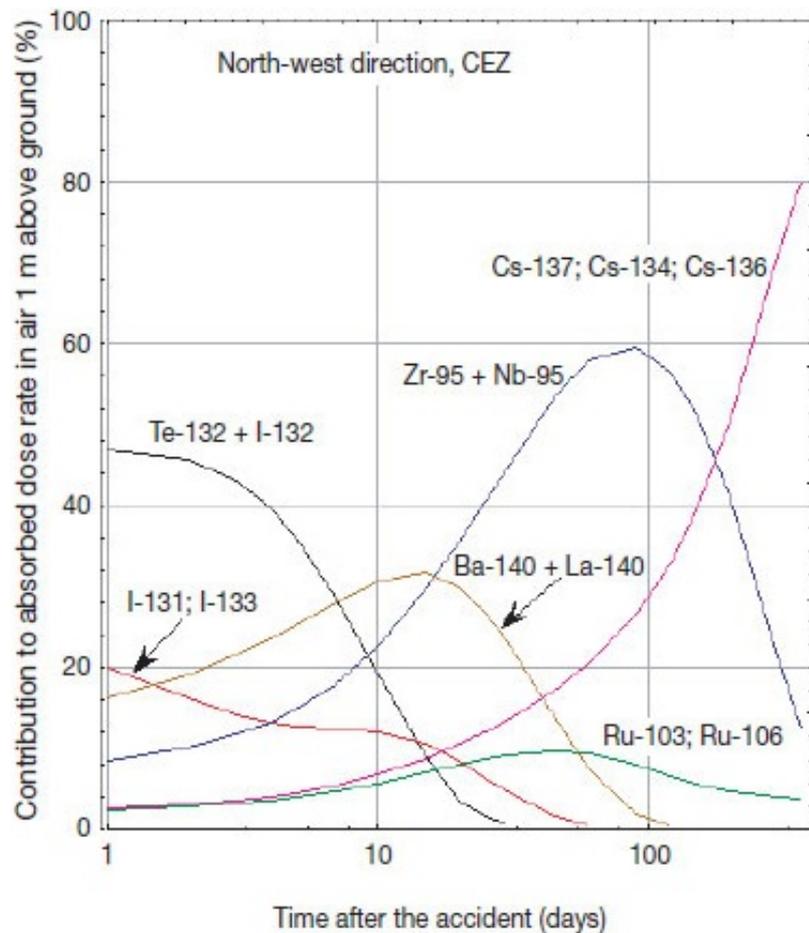
- ・ 障害物のない場所でのガンマ線量率の動態
- ・ 人間活動がある地域でのガンマ線量率の動態
- ・ 放射線場での人々の行動
- ・ 空間線量あたりの実効線量

・ 障害物のない場所でのガンマ線量率の動態



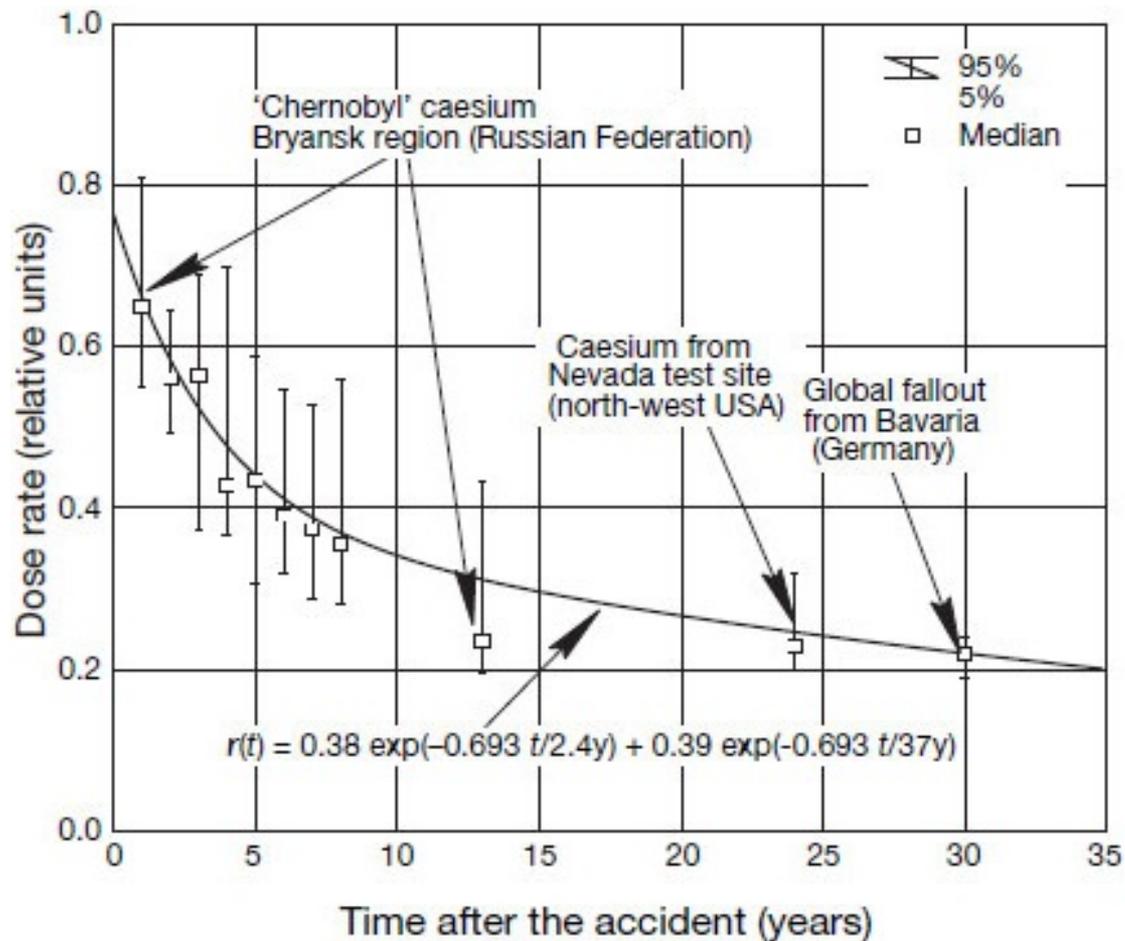
⁹⁰Srの分布図

青印は30km圏立入禁止区域 (CEZ) の北西地域、
 赤印はCEZの南方地域、
 黒印は100km以上離れた地域



事故後の1年間のガンマ線による外部被ばく線量の放射性物質ごとの相対寄与率 (%)。(チェルノブイリ30km圏立入禁止区域 (CEZ) の北西地域)

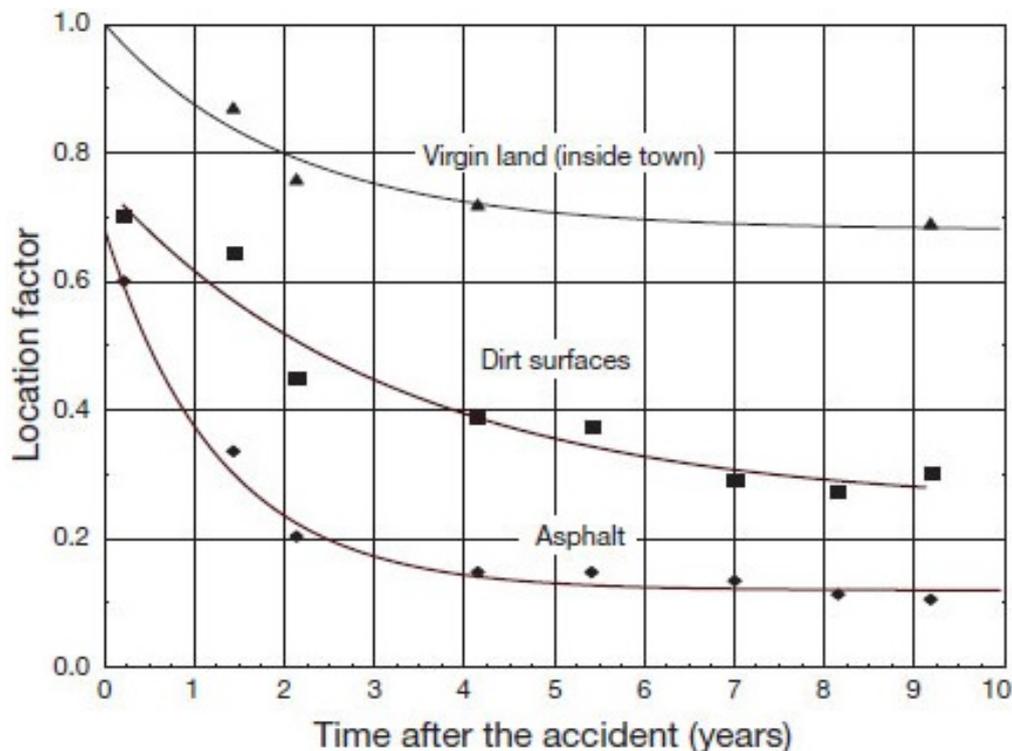
チェルノブイリ原発から100km以上離れた地域について



^{137}Cs が地面に染み込む事によるガンマ線量率の減衰の評価。

自然に放置した土地で測定されたガンマ線量率と土壌表面の面線源が半減期で減衰する場合の線量率との比。

・ 人間活動がある地域でのガンマ線量率の動態



3つの異なるタイプの地表面での放射線量率の違いとその推移（チェルノブイリ事故から9年間）。測定はロシア・ブリャンスク州のノボジブコフ市（Novozybkov）。縦軸は未利用地での初年度値を1とした相対値。横軸は事故後の年数。都市内の公園や草地などの未利用地、地表面、アスファルト。障害物のない場所で調べた。

・放射線場での人々の行動

ロシア連邦、ベラルーシ、ウクライナの農村地域の夏期における居住係数の値

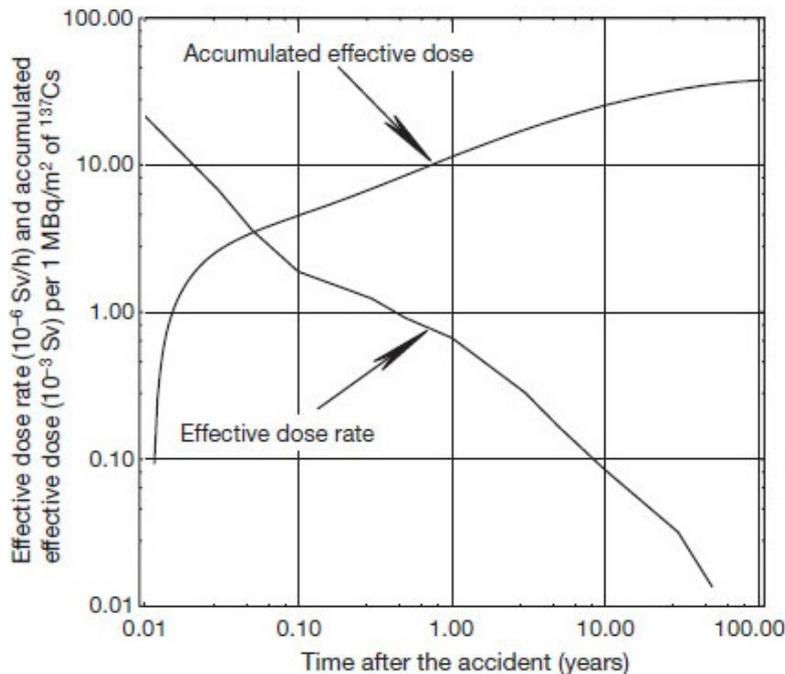
場所	屋内労働者	屋外労働者	年金受給者	学童	就学前児童
屋内	0.65/0.77/0.56	0.50/0.40/0.46	0.56/0.44/0.54	0.57/0.44/0.75	0.64/—/0.81
屋外 (居住域)	0.32/0.19/0.40	0.27/0.25/0.29	0.40/0.42/0.41	0.39/0.45/0.21	0.36/—/0.19
居住域外	0.03/0.04/0.04	0.23/0.35/0.25	0.04/0.14/0.05	0.04/0.11/0.04	0/—/0

値は、ロシア連邦/ベラルーシ/ウクライナ に対応

異なる集団グループの構成員が、様々な場所（屋内、街路または庭などの屋外）で過ごした時間

・空間線量あたりの実効線量

成人 : 0.75 Sv/Gy
就学児童 (7-17歳) : 0.80 Sv/Gy
就学前児童 (0-7歳) : 0.90 Sv/Gy



ロシア、フリャンスク州（原発の北東150km）の都市部での外部実効線量率と積算外部実効線量の予測計算。
 ^{137}Cs の土壤濃度が $1000\text{kBq}/\text{m}^2$ （高汚染）の場合の予測値を対数表示で示した。
 縦軸の単位は外部被曝線量率が $10^{-6}\text{Sv}/\text{h}$ で、積算外部被ばく線量が 10^{-3}Sv 。

初期に時間とともに急激に減少するのは、短寿命核種の影響が減少するから

チェルノブイリ汚染の中間ゾーン（100～1000km圏）における成人に対する規格化された平均外部実効線量

		^{137}Cs の E/σ_{137} ($\mu\text{Sv} \cdot \text{kBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$)				
		1986	1987-1995	1996-2005	2006-2056	1986-2056
ロシア連邦	農村地域	14	25	10	19	68
	都市域	9	14	5	9	37
ウクライナ	農村地域	24	36	13	14	88
	都市域	17	25	9	10	61

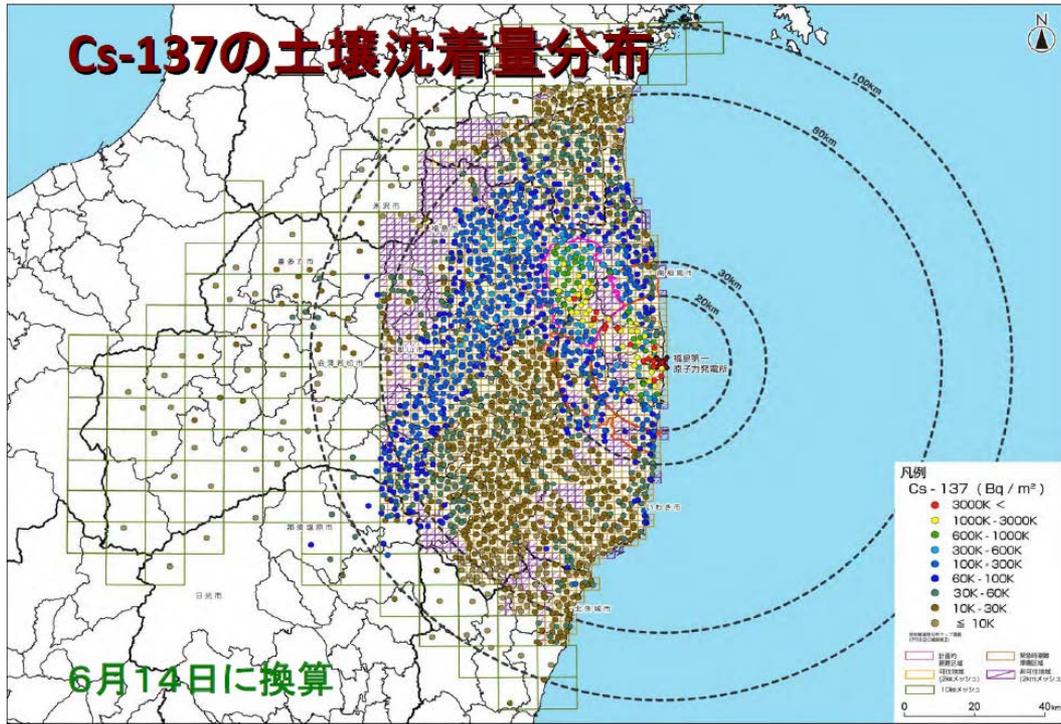
福島原発事故で得られた結果では、1000 kBq/m²に対して空間線量率は2.1μSv/hとなっている。実効線量率にすると成人では0.75Sv/Gyを用いて1.6μSv/hとなる。

チェルノブイリでは3か月後の値なので、表から読み取ると1000 kBq/m²の沈着に対して1.1μSv/hとなる。

また、1986年の1年間の値は、同じ沈着量に対して14mSvなので、1.6μSv/hであり、同じような値を与えている。

各グループの平均値の居住区全体の平均値への比

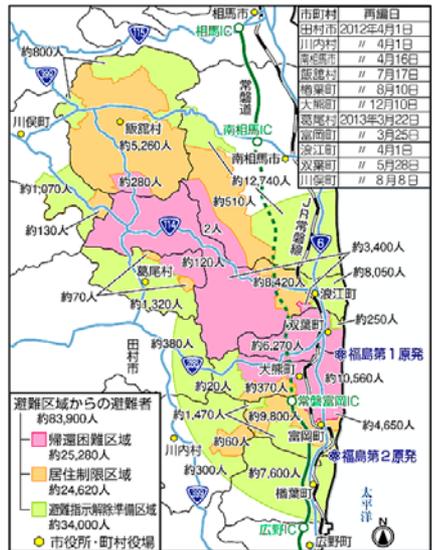
住居のタイプ	屋内労働者	屋外労働者	遊牧民、森林労働者	学童
木造	0.8	1.2	1.7	0.8
1-2階レンガ建て	0.7	1.0	1.5	0.9
多階建て	0.6	0.8	1.3	0.7



チェルノブイリ事故で評価された方法を用い、ウクライナの農村と同じとして70年間の被ばくを評価すると、 1 kBq/m^2 で $88\ \mu\text{Sv}$ を用いて

kBq/m ²		mSv
● (Red)	>3000	>264
● (Yellow)	1000-3000	88-264
● (Green)	600-1000	53-88
● (Light Blue)	300-600	26-53
● (Blue)	100-300	9-26
● (Dark Blue)	60-100	5-9
● (Olive)	30-60	3-5
● (Brown)	10-30	1-3

福島県内の「避難区域再編」完了



帰還困難区域
 居住制限区域
 避難指示解除準備区域

>50mSv/年	● (Red)	● (Yellow)
50>20mSv/年	● (Green)	
<20mSv/年	● (Blue)	

(2013年8月8日現在)

・ 内部被曝

- ・ 放射性ヨウ素由来の甲状腺被曝線量
- ・ 陸域経路からの内部被曝線量
- ・ 総被ばく線量

・放射性ヨウ素由来の甲状腺被曝線量

甲状腺のヨウ素131測定に基づく、ウクライナのキエフ、ジトーミルとチェルニゴフ地域の
子供や若者の甲状腺被曝線量の分布

カテゴリと年齢層	測定回数	下記の甲状腺線量に該当する子供の比率				
		0.2 Gy以下	0.2~1 Gy	1~5 Gy	5~10 Gy	10 Gy超
避難していない居住地						
農村地域						
1-4歳	9119	40 %	43 %	15 %	1.7 %	0.9 %
5-9歳	13460	62 %	31 %	6.5 %	0.44 %	0.07 %
10-18歳	26904	73 %	23 %	3.7 %	0.16 %	<0.01 %
都市域						
1-4歳	5147	58 %	33 %	7.5 %	1.0 %	0.7 %
5-9歳	11421	82 %	15 %	2.6 %	0.23 %	0.04 %
10-18歳	24442	91 %	7.7 %	1.4 %	0.12 %	<0.01 %
避難済みの居住地						
1-4歳	1475	30 %	45 %	22 %	2.7 %	1.0 %
5-9歳	2432	55 %	36 %	8.4 %	0.6 %	0.08 %
10-18歳	4732	73 %	23 %	3.6 %	0.13 %	0.02 %

・陸域経路からの内部被曝線量

チェルノブイリ汚染の中間ゾーン（100～1000km圏）にある農村地域の成人の内部被曝の平均実効線量の再構成と予測値 [^{137}Cs に関する値、単位は $\mu\text{Sv} \cdot \text{kBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$]

	土壌の種類	^{137}Cs のE/ σ_{137}^a ($\mu\text{Sv} \cdot \text{kBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$)				
		1986	1987-1995	1996-2005	2006-2056	1986-2056
ロシア連邦	ポドソル風砂質土	90	60	12	16	180
	大陸型黒土	10	5	1	1	17
ウクライナ	泥炭土	19	167	32	31	249
	砂質土	19	28	5	5	57
	粘土	19	17	3	3	42
	大陸型黒土	19	6	1	1	27

外部被ばくに対しては、農村部の70年間の被ばくが
 ロシアで $68 \mu\text{Sv} \cdot \text{kBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$
 ウクライナで $88 \mu\text{Sv} \cdot \text{kBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$

・ 総被ばく線量

1986年に40 kBq/m²以上のセシウム137の土壌への沈着があった地域に住む成人のチェルノブイリ事故由来の過去（1986-2000年）と未来（2001-2056年）における外部被曝と内部被曝を合計した実効線量(mSv)

居住域	土壌のセシウム137沈着密度	土壌の種類／期間					
		大陸型黒土		ポドソル土		泥炭土	
		1986-2000	2001-2056	1986-2000	2001-2056	1986-2000	2001-2056
農村地域	40-600 kBq/m ²	3-40	1-14	5-60	1-20	10-150	3-40
	600-4000 kBq/m ²	—		60-300	20-100	—	
都市域	40-600 kBq/m ²	2-30	1-9	4-40	1-13	8-100	2-20

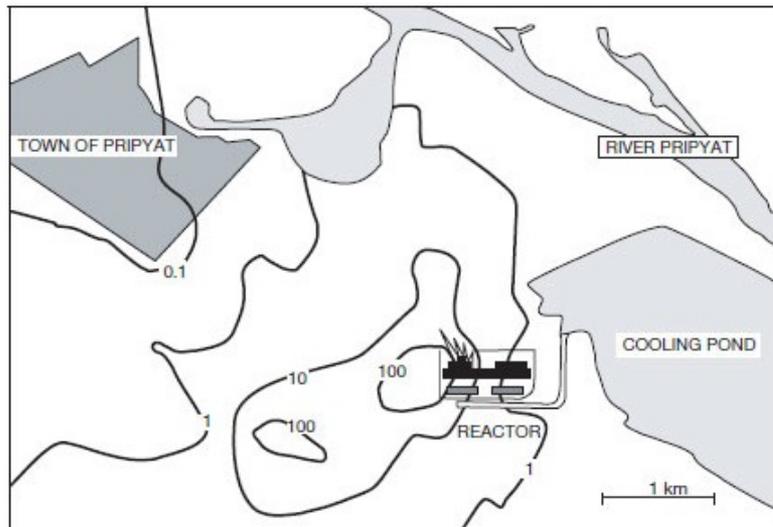
大陸型黒土では内部被ばくの寄与は～3割、
ポドソル土では内部被ばくの寄与は～5割
泥炭土では内部被ばくの寄与は～8割

5. 動植物に及ぼす放射線影響

放射線被ばくの経時的变化

- 第一段階 急性被ばくの時期、
- 第二段階 長寿命核種の環境内の移動
- 第三段階 ^{137}Cs による汚染があったとみなされている

第一段階 急性被ばくの時期



チェルノブイリ原発の原子炉近く
で測定された大気中の放射線照射量率
1986年4月26日の値
等値線に記された数値の単位はR/h=約10
mGy/h=約0.2 Gy/d

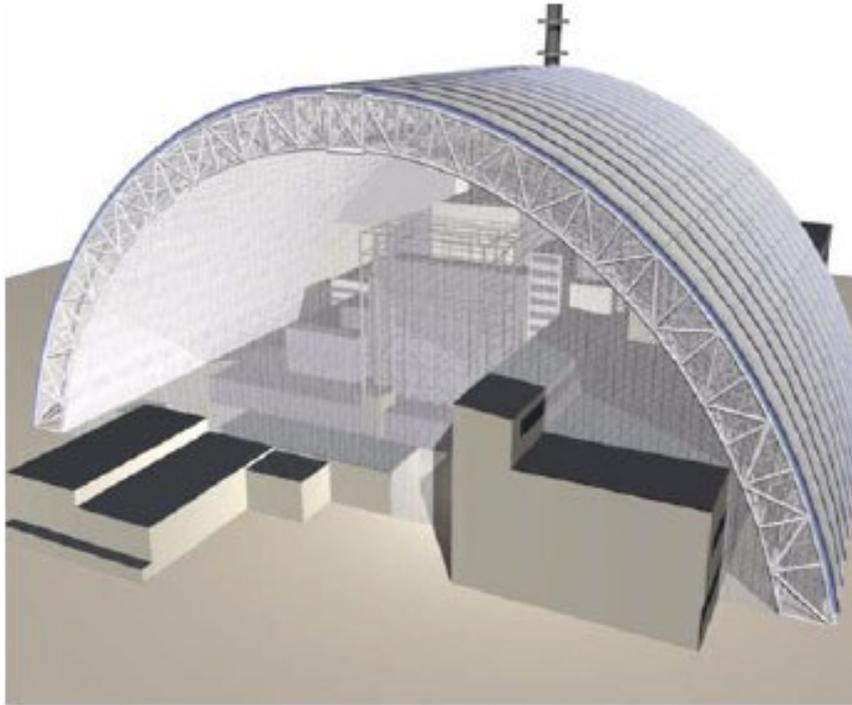
100 : 20Gy/d
10 : 2Gy/d
1 : 1Gy/d

短寿命放射性同位体から高い線量率で比較的短期間の被曝を受けたと
考えられ、生物相に著しい影響を及ぼした

主な影響

- ・チェルノブイリ原発事故で放出された放射性核種からの放射線は、線量の最も高い区域内（放出点から数十キロメートルの範囲内）にあった生物相に急性の悪影響を多数引き起こした。
CEZの外側では、放射線によって生物相に急性の影響が引き起こされたという報告はない。
- ・放射線によって誘発された細胞死が個体と個体群にもたらした影響としては、植物と動物において、以下のようなものが認められた。
 - （i）針葉樹、土壌無脊椎動物、哺乳類の死亡率の増加
 - （ii）植物と動物における、繁殖力の低下
 - （iii）動物（哺乳類、鳥類など）における慢性放射線症候群フォールアウト後最初の1ヶ月のあいだの累積被曝線量が0.3Gyに満たない植物や動物では、放射線が誘発した【急性の】悪影響は報告されていない。
- ・放射線の遺伝的影響は、事故後数年にわたり、CEZ内の動植物で体細胞、生殖細胞両方について観察された。
動植物に対して行われた実験研究から、CEZ内外で、放射線が原因と考えられるさまざまな細胞遺伝学的異常が報告され続けている。ただし、観察された細胞遺伝学的異常が、生物学的に有害な意味を持つかどうかは不明である。

6. 石棺シェルター解体における環境と放射性廃棄物の管理



長期的な防護を担うNSC (New Safe Confinement) の建設が計画されている (図参照)。この多機能設備は、少なくとも100年間運用可能である。

この設備の目的は、現存する石棺シェルターの崩壊可能性や、崩壊によって引き起こされる災害を減少させ、放射線防護の改善、そして作業員や周辺環境の安全性を改善し、4号炉を環境に対して安全な場所にするところにある。NSCの建設後、現在の石棺シェルターが解体され、4号炉からFCMが除去され、そして原子炉の廃止措置が可能になると期待されている。

石棺シェルターの問題点

- ・ 重度の放射線被ばく状況の中で、短時間に建設された。
建設中に採られた被ばく低減対策のために石棺シェルターが不完全となり破損した4号機の構造安定性に関する包括的データが欠如している
- ・ 20年間に湿気による腐食で構造成分の劣化が続いている。
- ・ 発生しうる災害の主なものは、最上階の構造の崩落と放射性ダストの環境への放出である。

放射性廃棄物の管理

- ・ CEZ内の原子力発電所敷地から0.5~15kmの距離にトレンチ式や埋め立て式の施設がつけられた。これらは現在の廃棄物安全要件を満たしていない
- ・ 放射性廃棄物の貯蔵所や処理施設の数が膨大であり、目録化されているものは約半数であることが困難にしている

ウクライナの国家計画

- ・ 低レベル：物理特性にしたがって分類し、再利用または処分場
- ・ 長寿命：とりあえず中間貯蔵
- ・ 高レベル：部分的に処理され暫定貯蔵所で保管 → 深地層処理施設

おしまい