

# チェルノブイリ事故の経過・放射能汚染 とソ連政府の初期対応 － ICRP 146の記述を読みながら －



コミック版 2024



初訳版 1998



完訳版 2021

2024年8月4日

今中哲二

京都大学複合原子力科学研究所

## 今日の話題

- **チェルノブイリ事故を振り返る**
  - － RBMK原発の構造と事故の経過
  - － 放射能汚染と被災者
  - － ソ連政府の初期対応からソ連崩壊まで
- **ICRP 146の記述へのコメント**

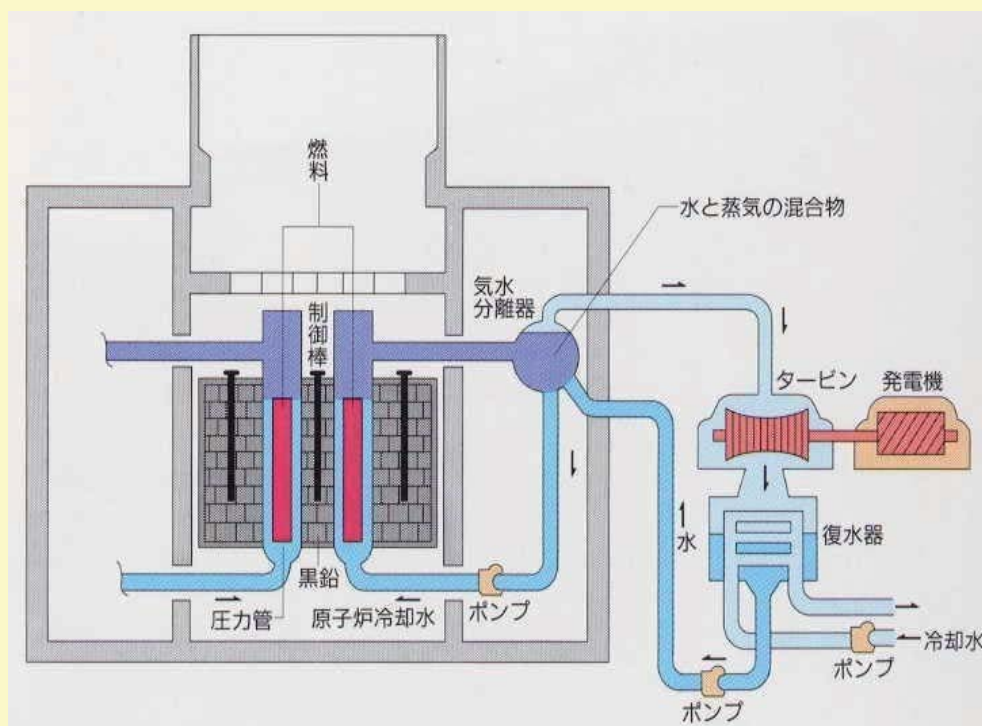
# 旧ソ連の原子力開発

- 1943年 クルチャトフをリーダーとして原爆開発計画発足
- 1946年12月24日 モスクワ郊外の第2ラボで原子炉臨界
- 1948年夏 チェリャビンスク40のフルトニウム生産炉臨界
- 1949年8月29日 セミパラチンスクにてソ連最初の核実験
- 1954年 世界最初のオブニンスク原発（5000kW）運転開始
- 1957年9月 チェリャビンスク40：ウラルの核惨事
- 1964年 RBMK原型炉ベロヤルスク1号（10万kW）運開
- 1974年 レニングラード原発1号（RBMK-1000）運開
- 1978年 チェルノブイリ原発1号（RBMK-1000）運開
- 1983年12月 チェルノブイリ原発4号（RBMK-1000）運開
- 1986年4月26日 チェルノブイリ原発4号 爆発・炎上

チェルノブイリ事故が起きたとき、ソ連では、5箇所16基のRBMK原発が稼働していた。

3

## チェルノブイリ型RBMK1000原発の構造



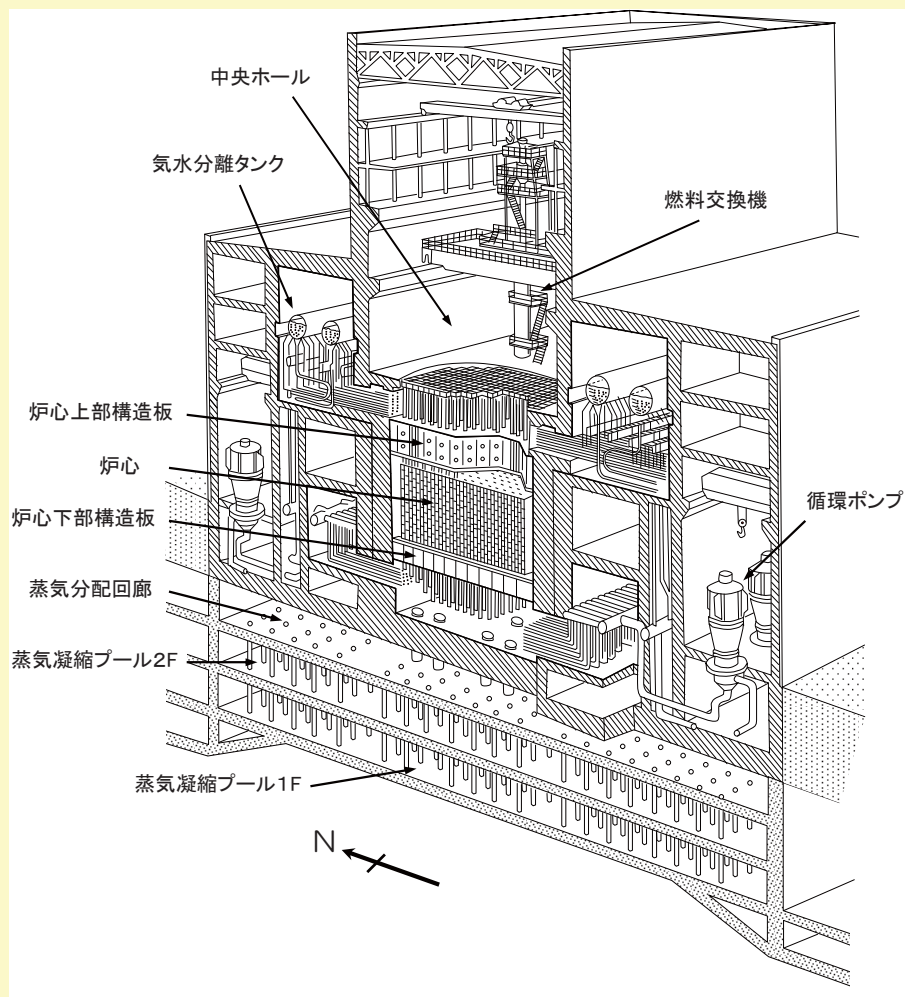
科学技術庁パンフレット（1996）より

黒鉛減速・沸騰軽水冷却・チャンネル型炉

4

## RBMK炉 断面図

- ・電気出力100万kW
- ・熱出力320万kW
- ・圧力管チャンネルは  
1660本
- ・制御棒チャンネルは  
211本



今中 技術と人間 2002年7月

## RBMK炉中央ホール イグナリーナ2号炉



# RBMK炉の特徴

## <長所>

- 運転しながら燃料交換が可能（原爆用プルトニウムを製造できる）
- 圧力管の数を増やし大出力化が容易
- 大重量機器がなく、内陸立地が容易

## <欠点>

- 炉心が大きく、出力制御が複雑
- ボイド反応度係数がプラス（炉心で泡が増えたと出力が上昇する）
- 制御棒の構造に欠陥（極端な条件のときに制御棒を入れると出力増加する）

7

## RBMK炉の制御棒欠陥（ポジティブスクラム）

図2 制御棒の状態

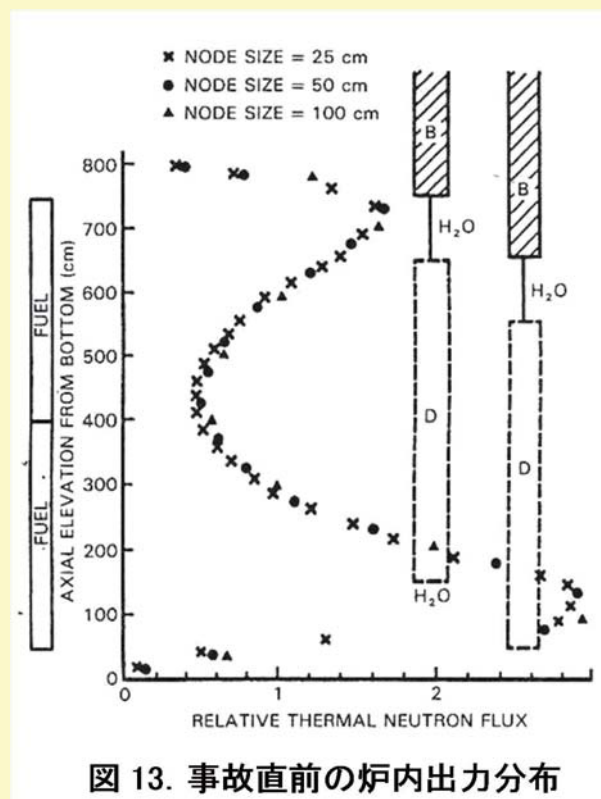
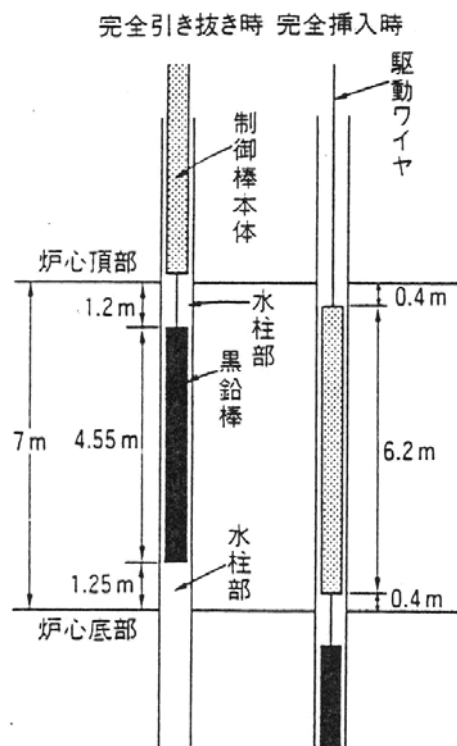


図13. 事故直前の炉内出力分布

# その前日より

- 1986年4月25日午前1時、保守点検のため運転開始('83.12)以来はじめての原子炉停止作業に入った。
  - 原子炉停止に合わせて、タービン振動測定などいくつかの試験が予定されていた。
  - その中のひとつに、**原子炉停止後のタービン慣性回転を非常用電源に用いる「電源テスト」があった。**
- 4月25日午前3時47分、熱出力1600MW(定格の50%)
- 4月25日午後2時、キエフの給電司令所の要請により、50%運転を継続(**電源テストは延期**)
- 4月25日午後11時、出力降下作業を再開
- 4月26日午前0時、運転班交代
- 午前0時半、**出力制御に失敗しゼロ出力**
- 午前1時過ぎ、**制御棒をほとんど引き抜いて熱出力20万kWで安定**
- 午前1時23分4秒、電源テスト開始
  - **午前1時23分40秒、制御棒一斉挿入(AZ-5ボタン)**
  - **その6~7秒後に爆発**

9

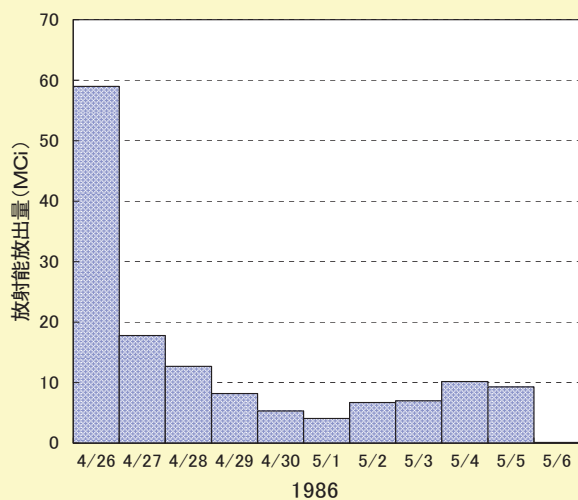
## 1986年 4月26日

### チェルノブイリ 原発4号炉 が爆発炎上



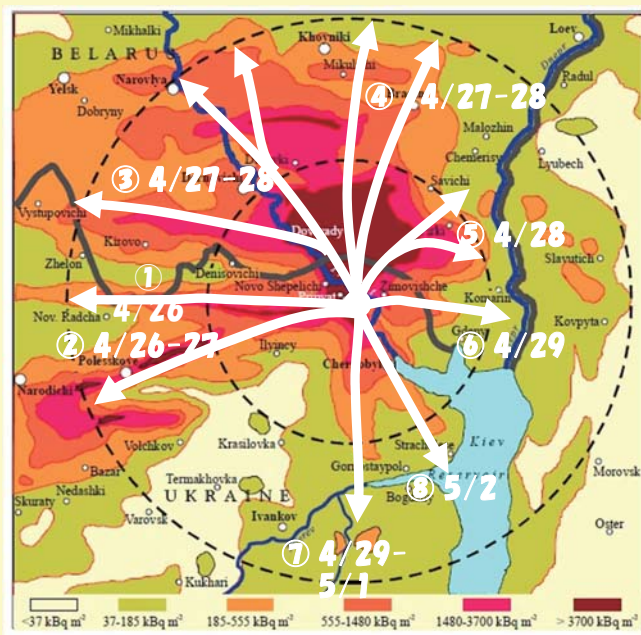
Чернобыльский репортаж (1988)

# 放射能放出パターン



放射能放出量の日変化(希ガスを除く).  
1986年ソ連政府報告を基に作成.

**黒鉛火災が発生し、放射能の  
大量放出が約10日間続いた。**



11

## チェルノブイリ原発周辺10km



プリピャチ市のアパート屋上より  
2005年10月

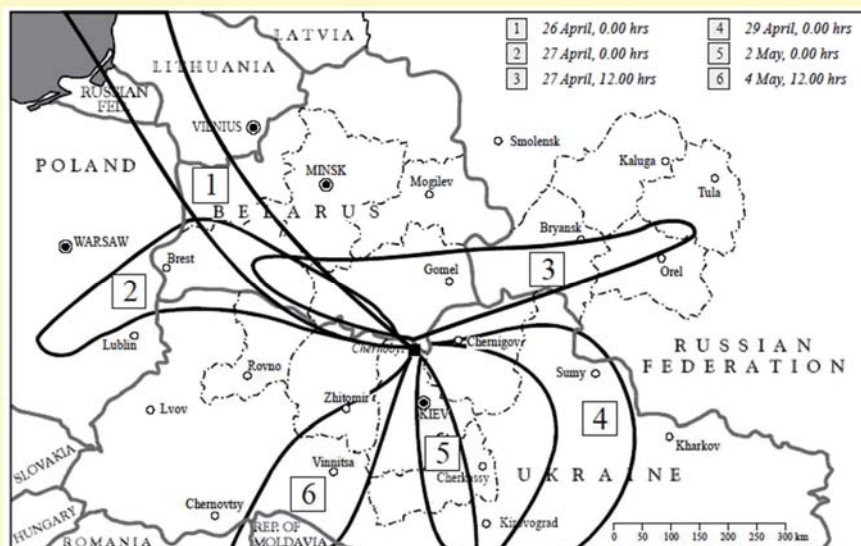


ヤノフ駅東の跨線橋 2000年

様々な資料から今中作成

12

# チェルノブイリからの放射能の流れと5月1日の キエフのメーデー行進



EUR16733 1998

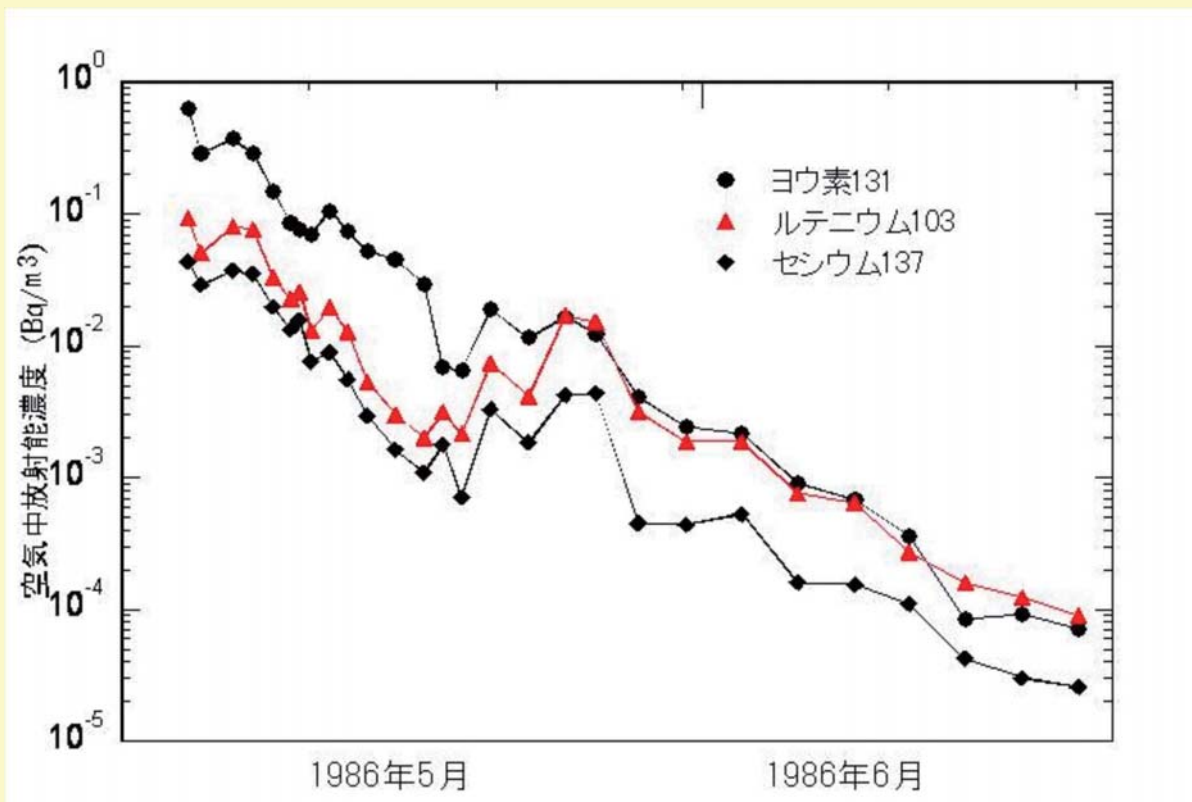
4月28日朝、スウェーデンの原発で  
放射線レベル上昇の警報が鳴った

5月1日キエフのメーデー行進



13

## 日本に飛んできた放射能（大阪府熊取町）

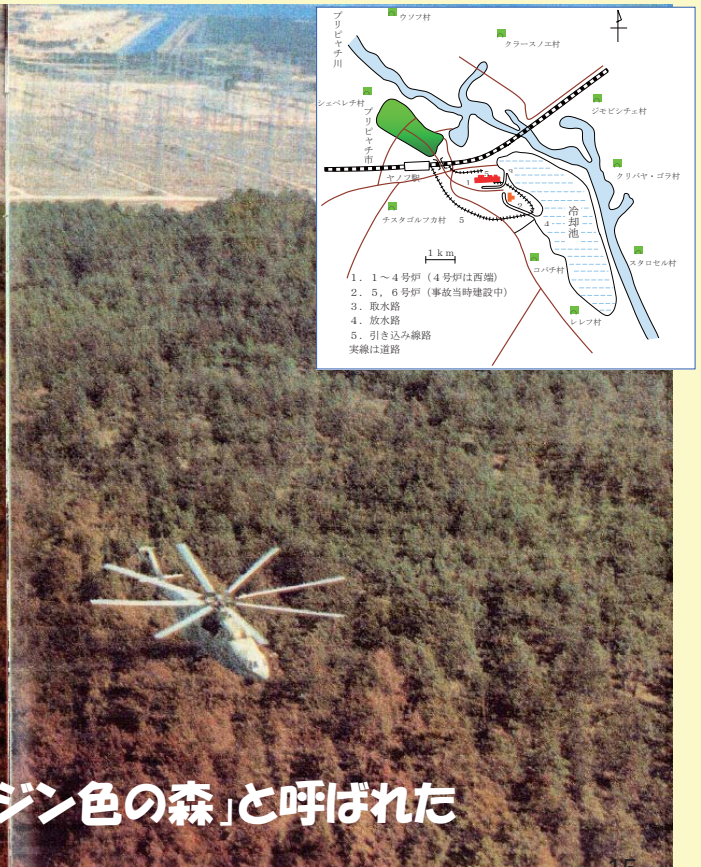
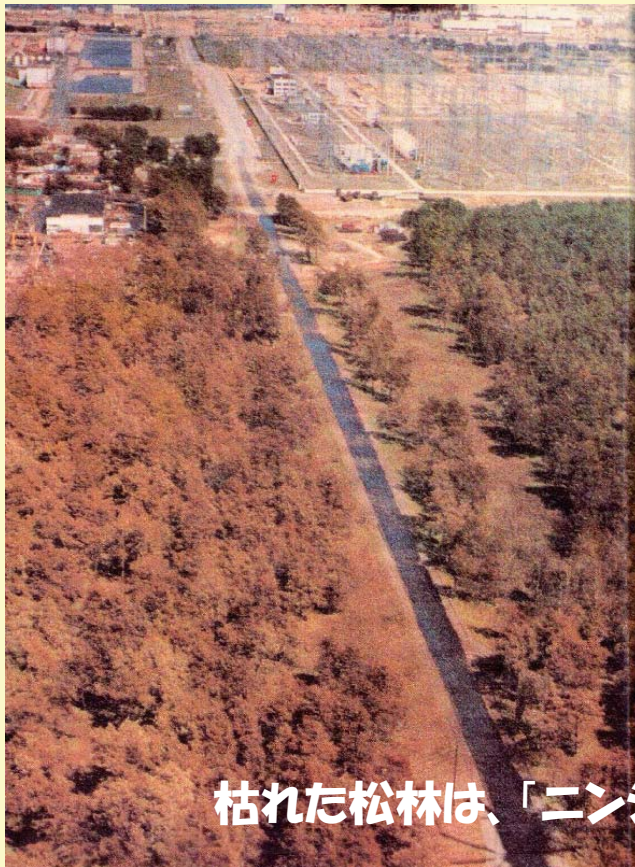


今中・小出による測定 JER1986

セシウム137、セシウム134、ヨウ素131、ヨウ素131、テルル132、  
ルテニウム103など約20種類の核分裂生成物を検出した。

14

# 事故処理：放射能で枯れた森



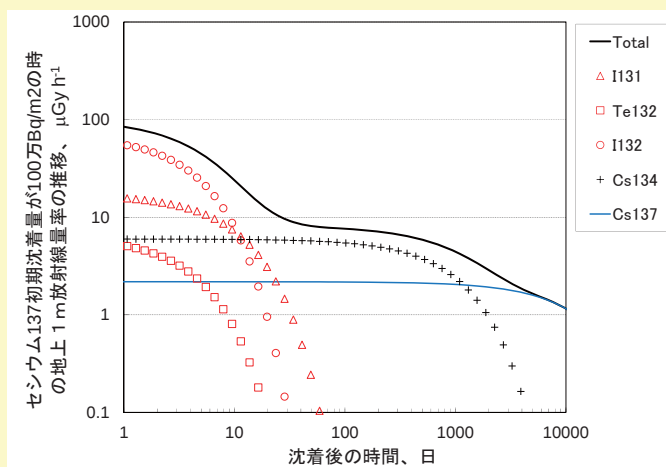
枯れた松林は、「エンジン色の森」と呼ばれた

15

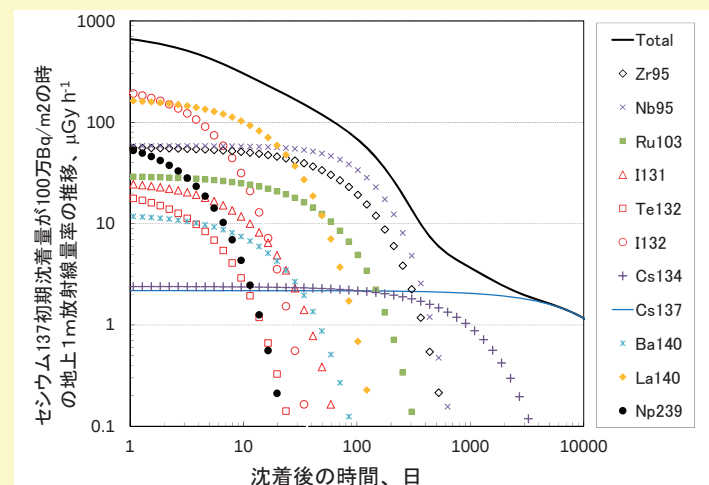
Чернобыльский репортаж (1988)

## チェルノブイリと福島汚染の比較

セシウム137の初期沈着量が100万Bq/m<sup>2</sup>だった場合の地上1mでの空間線量率変化



福島：飯舘村

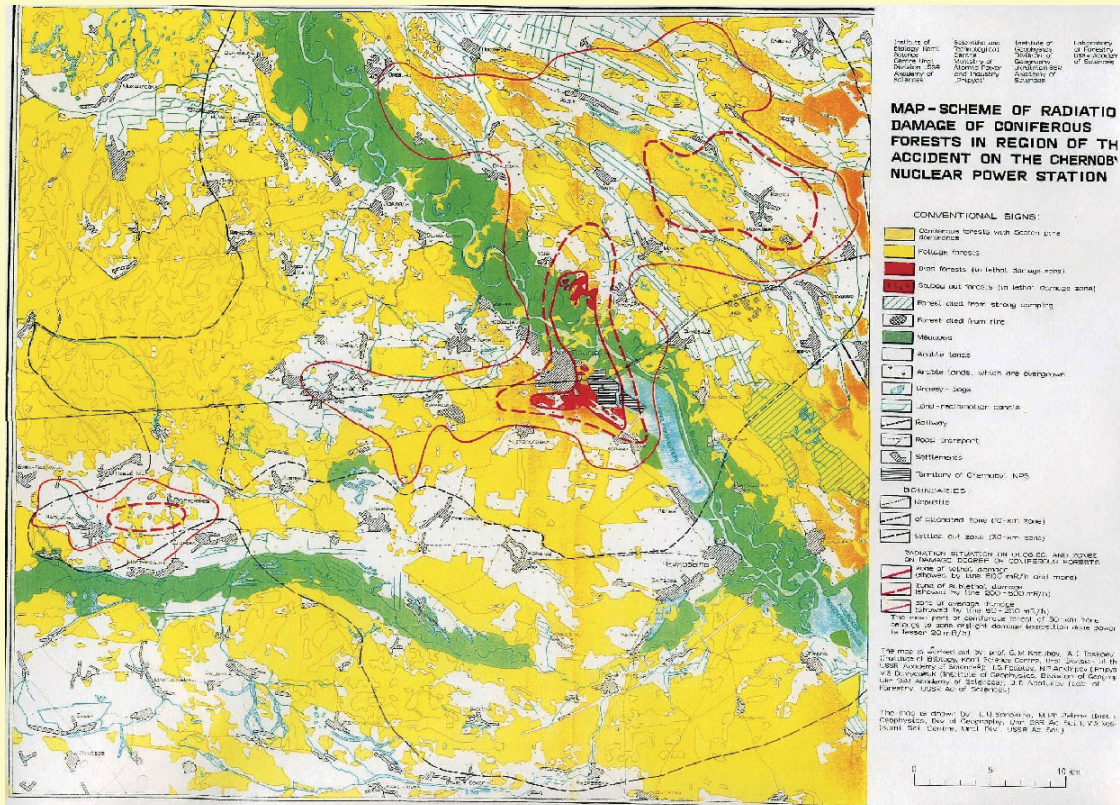


チェルノブイリ：西方向

汚染核種の組成が異なるため、セシウム137沈着量が同じでも、空間線量率はチェルノブイリの方が10倍大きい。

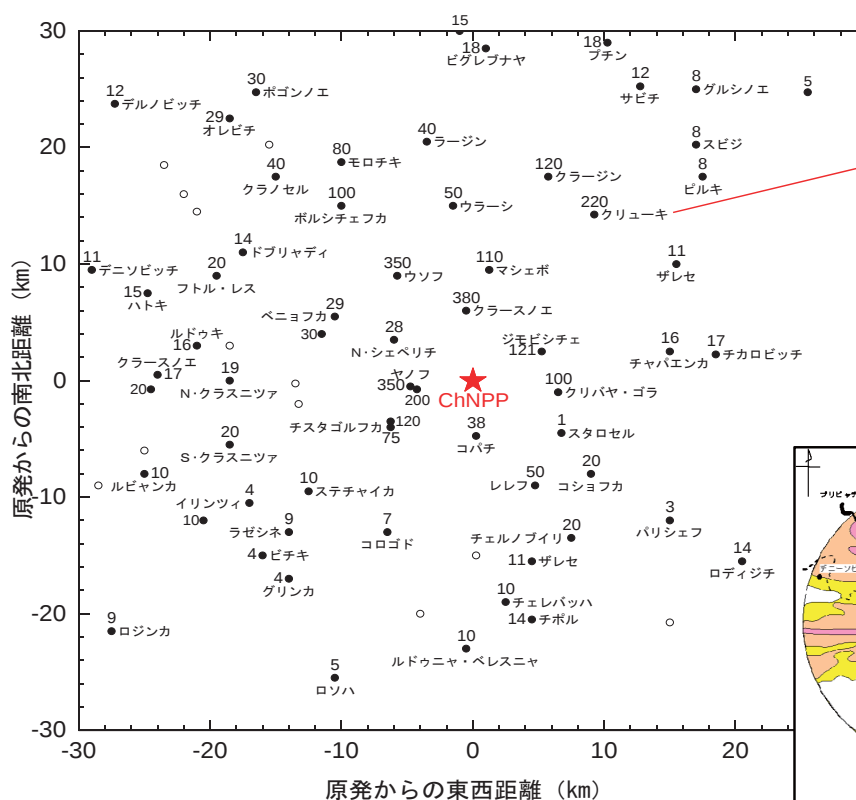
16

# 1986年6月1日の放射線状況

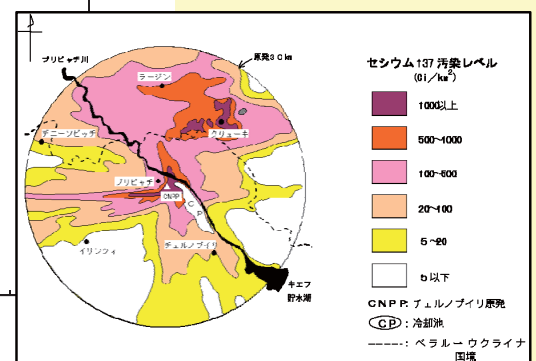


G. M. Kozubov et.al.; "The Map-scheme of Radiation Damage of Coniferous Forests in the Region of Accident on the Chernobyl Nuclear Power Plant", Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Division of USSR Academy of Sciences, 1991.

## 30km圏の放射線量率：1986年5月1日、mR/h



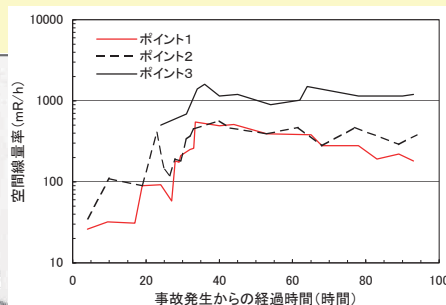
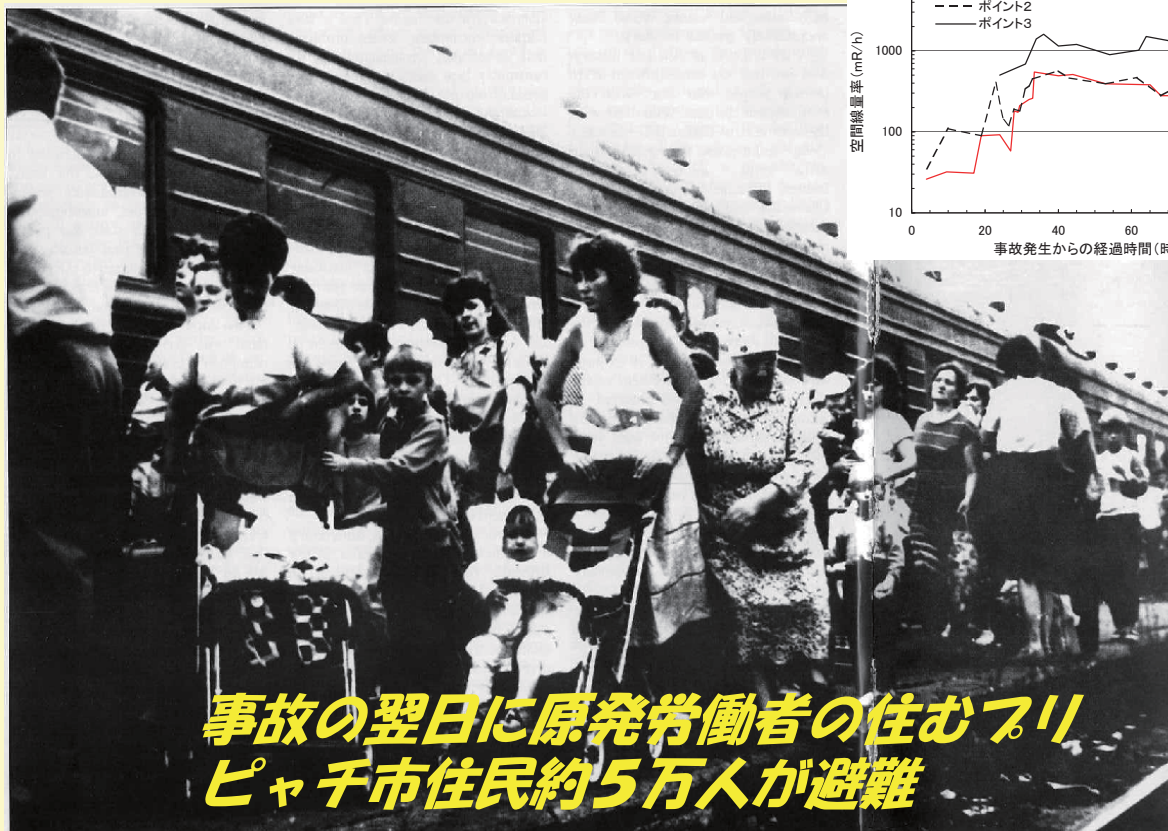
クリューキ44  $\mu$ Sv/h 1993年6月



30km圏内の5月1日の放射線量 ミリレントゲン/時

I.K.Baliff and V.Stepanenko ed., "Retrospective Dosimetry and Dose Reconstruction", Experimental Collaboration Project ECP-10. EUR 16540, EC, 1996.

# 事故の翌日 フリピャチ市の緊急避難



**事故の翌日に原発労働者の住むフリ  
ピャチ市住民約5万人が避難**



19

# 事故処理作業：ソ連陸軍化学部隊



**最初に現場に動員されたのは、核戦争に備えていた  
陸軍化学部隊だった**

20

# 1週間後から30km圏住民の 避難がはじまった



21

## 石棺の建設



ビデオ「ザ・サクリファイス」より

22

## バイオロボット：飛び散った原子炉の片づけ



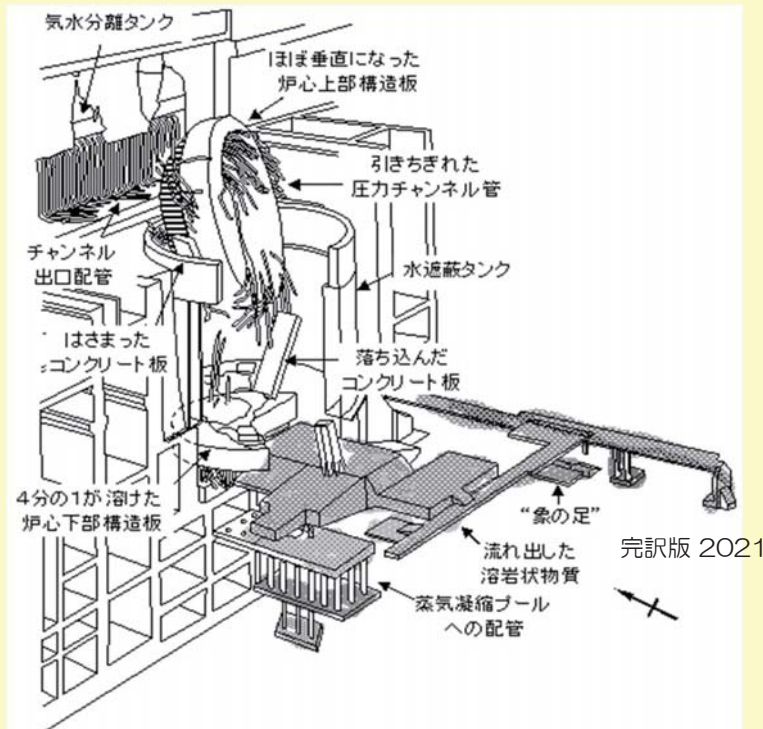
23

## 「石棺」が建設され事故は終息した？

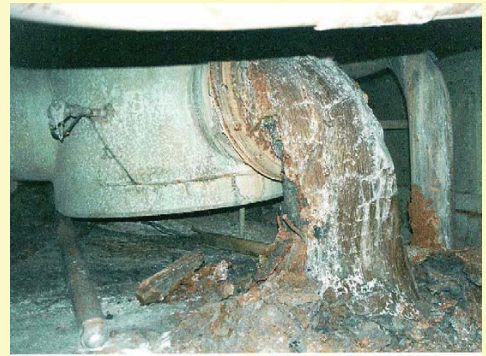


24

# 炉心は空っぽだった



今中 技術と人間 2002年7月



Объект “УКРЫТИЕ” 1997

## 核燃料はどこへ

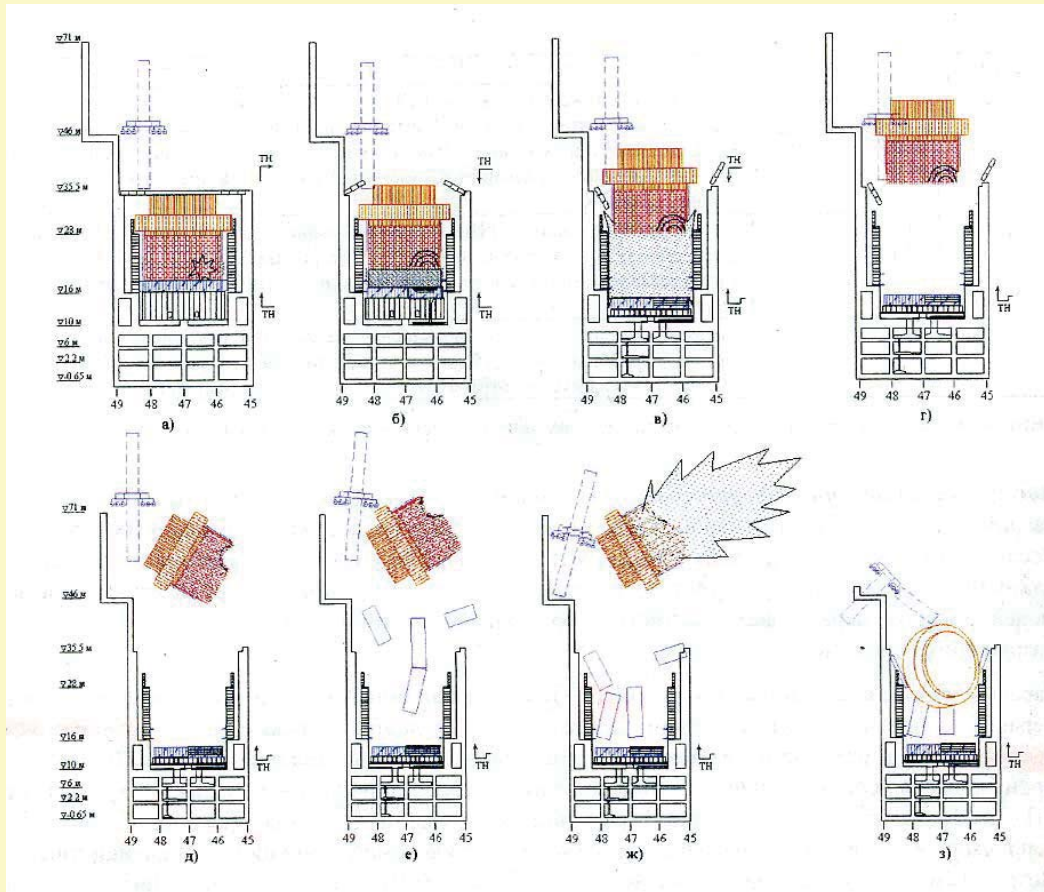
石棺内の溶岩状物質に含まれているウラン量

| 場所           | 溶岩状物質中のウラン量（トン）     |                     |
|--------------|---------------------|---------------------|
|              | ＜シェルター報告＞<br>(1997) | ＜キセリョフ論文＞<br>(1995) |
| 炉心直下室        | 75 (+ 25 -35)       | 11.6 ± 1.9          |
| 蒸気分配回廊       | 25 ± 11             | 3.75 ± 0.6          |
| 蒸気凝縮プール（2 F） | 8 ± 3               | 2.2 ± 0.3           |
| 蒸気凝縮プール（1 F） | 1.5 ± 0.7           | 0.4 ± 0.1           |
| その他の周辺区画     | 11 ± 5              | 5.5 ± 1.5           |
| 合計           | 120 (+45 -55)       | 23.45 ± 4.4         |

事故のときに炉心にあったウランは190トン。

今中 技術と人間 2002年7月

# 原子炉空中爆発説



Checherov  
2005  
Private com.

## 事故処理作業廃材置き場 2000年3月 毎日新聞大島記者撮影



# チェルノブイリ原発周辺

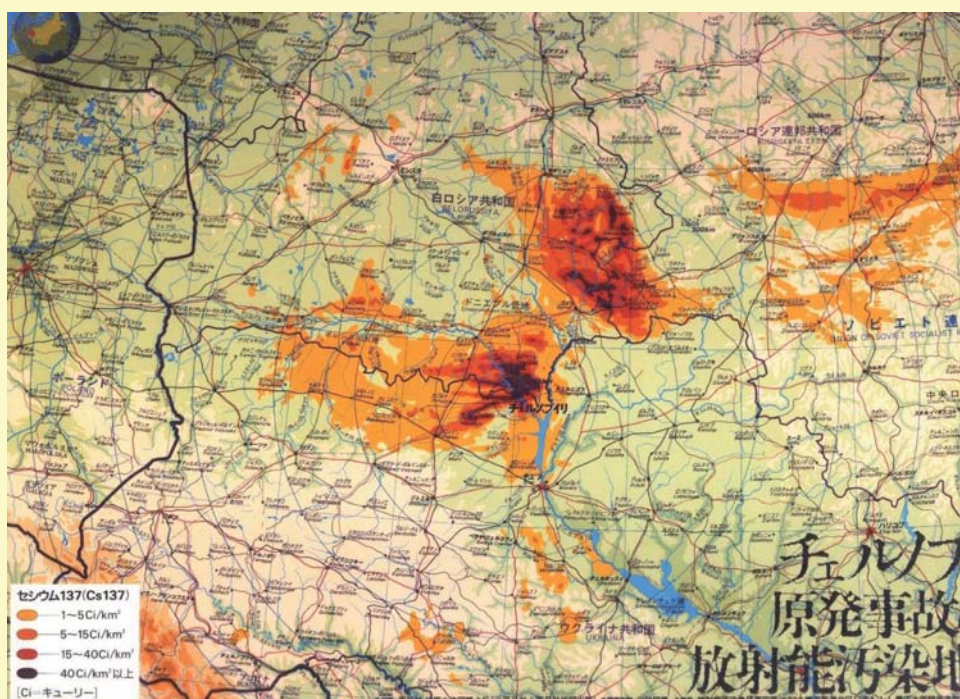


チェルノブイリ周辺立入禁止区域

- 周辺30 kmで、村や町がなくなり地域社会が消滅した<sup>29</sup>

## 3年たって明るみに出たとんでもない規模の放射能汚染

ーチェルノブイリ周辺セシウム137汚染地図ー



新たに27万人が移住することになった

# セシウム137による汚染面積

被災3カ国の法令によると：

- 148万ベクレル/m<sup>2</sup>以上：強制避難ゾーン。
- 55.5万～148万ベクレル/m<sup>2</sup>：義務的移住ゾーン。
- 18.5万～55.5万ベクレル/m<sup>2</sup>：希望すれば移住が認められるゾーン。
- 3.7万～18.5万ベクレル/m<sup>2</sup>：放射能管理が必要なゾーン。

| 国名    | セシウム137汚染レベル、ベクレル/m <sup>2</sup> |                 |                |            |              |
|-------|----------------------------------|-----------------|----------------|------------|--------------|
|       | 3.7万～<br>18.5万                   | 18.5万～<br>55.5万 | 55.5万～<br>148万 | 148万<br>以上 | 3.7万以上<br>合計 |
| ロシア   | 48,800                           | 5,720           | 2,100          | 300        | 56,920       |
| 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    | 115,900                          | 19,120          | 7,200          | 3,100      | 145,320      |

**汚染地域面積：14.5万平方km（本州の約6割）**

**移住対象地域面積：約1万km<sup>2</sup>（福井県＋京都府＋大阪府）**

31

## 事故の被災者

- ✧ 運転員と消防士たち 1000～2000人
- ✧ 事故処理作業従事者 60～80万人
- ✧ 事故直後の避難住民 約12万人
- ✧ 高汚染地から移住者 約25万人
- ✧ 汚染地域居住者 約600万人

32

## 原発職員、消防士たち約300人が病院に運ばれた (モスクワ第6病院)

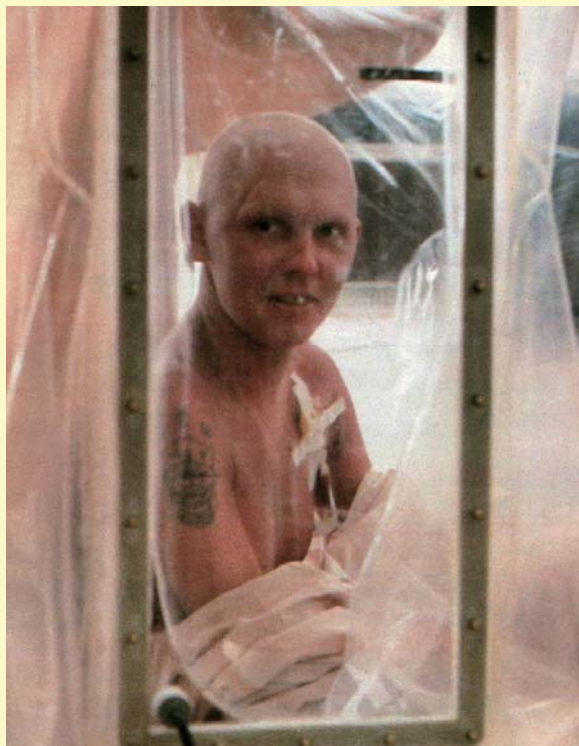


表8 急性障害患者の分類

| 急性障害<br>重症度 | 骨髄線量<br>(グレイ) | 人数  | 死亡者数<br>(事故後の3カ月) |
|-------------|---------------|-----|-------------------|
| 第Ⅳ度(重症)     | 6以上           | 21  | 20                |
| 第Ⅲ度         | 4～6           | 22  | 7                 |
| 第Ⅱ度         | 2～4           | 50  | 1                 |
| 第Ⅰ度(軽症)     | 1～2           | 41  | 0                 |
| 後に除外        | 1以下           | 103 | 0                 |
| 合計          | —             | 237 | 28                |



## 死亡した原発職員や消防士の墓 モスクワ・ミチンスコエ墓地



### 死亡した消防士と原発職員

| 名前           | 職場        | 年齢 | 死亡日   |
|--------------|-----------|----|-------|
| 消防士6名：       |           |    |       |
| ブラビーク中尉      | 原発消防隊     | 23 | 5月11日 |
| キベノーク中尉      | ブリビャチ消防隊  | 23 | 5月11日 |
| バシチューク軍曹     | 〃         | 27 | 5月14日 |
| イグナチェンコ上級軍曹  | 〃         | 25 | 5月13日 |
| ティテノク上級軍曹    | 〃         | 26 | 5月16日 |
| ティシチュラ軍曹     | 〃         | 26 | 5月10日 |
| 原発職員と出張者24名： |           |    |       |
| アキーモフ        | 運転当直班長    | 33 | 5月11日 |
| トブトゥーノフ      | 運転班員      | 25 | 5月14日 |
| クドリャフツェフ     | 運転班研修中    | 28 | 5月14日 |
| プロスクリャコフ     | 〃         | 31 | 5月17日 |
| ベレボズチェンコ     | 原子炉係班長    | 39 | 6月13日 |
| クルグース        | 原子炉係      | 28 | 5月12日 |
| ホデムチウク       | 機械係       | 35 | 4月26日 |
| デグチャレンコ      | 〃         | 31 | 5月19日 |
| ベルチウク        | タービン係     | 33 | 5月20日 |
| ベルシーニン       | 〃         | 27 | 7月21日 |
| ブラジニク        | 〃         | 29 | 5月14日 |
| ノビク          | 〃         | 24 | 7月26日 |
| レレチェンコ       | 電気部次長     | 47 | 5月7日  |
| バラーノク        | 電気係       | 32 | 5月20日 |
| ロバチューク       | 〃         | 25 | 5月17日 |
| シャボパロフ       | 〃         | 45 | 5月19日 |
| コノバル         | 〃         | 44 | 5月28日 |
| シトシニコフ       | 1・2号炉副技師長 | 46 | 5月30日 |
| オルロフ         | 1号炉運転次長   | 41 | 5月13日 |
| ボボフ          | 調整技術者     | 46 | 6月13日 |
| サベンコフ        | 〃         | 28 | 5月21日 |

# 一般の人々に多くの放射線障害があった －1992年に暴露されたソ連共産党秘密文書－

## ソ連共産党中央委員会に報告されていた病院収容者の数

1986年5月4日 病院に収容された者1882人。検査した人数全体は3万8000人。さまざまなレベルの放射線障害が現れた者204人、うち幼児64人、18人重症。

・  
・  
・

5月7日 この1日で病院収容者1821人を追加。入院治療中は、7日10時現在、幼児1351人を含め4301人。放射線障害と診断されたもの520人、ただし内務省関係者を含む。重症は34人。

・  
・  
・

5月13日 この1日で443人病院収容。908人が退院。入院中は9733人で、うち子供4200人。放射線障害の診断は、子供37人を含む299人。

・  
・  
・

5月28日 入院中5172人で、放射線障害は182人（うち幼児1人）。この1週間で1人死亡。これまでの死亡者は22人。

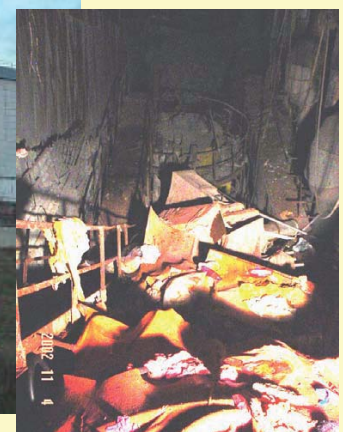


35

## チェルノブイリ石棺 2002年11月



4号機制御室



循環ポンプ室<sup>36</sup>



**2013年6月 新シェルター建設現場**  
 材料はステンレスで、耐用年数100年の設計だそうです <sup>37</sup>

## 2019年 新シェルター完成



**新シェルター内部**

# チェルノブイリ事故による ガン死者数の見積り

| 評価者             | ガン死数     | 対象集団         |
|-----------------|----------|--------------|
| IAEAフォーラム(2005) | 3940件    | 60万人         |
| WHO報告(2006)     | 9000 件   | 被災3カ国740万人   |
| IARC論文 (2006)   | 1 万6000件 | ヨーロッパ全域5.7億人 |
| キエフ会議報告 (2006)  | 3万～6万件   | 全世界          |
| グリーンピース(2006)   | 9万3000件  | 全世界          |

**対象範囲や計算モデルによって20倍以上違ってくる！**

39

## ICRP Pub 146へのコメント



### 付 属 書 A. チョルノービリ原子力発電所事故

#### A.1 はじめに

低  
出力工学試験中に安全システムを停止させて原子炉の不適切な運転が行われたため、制御不能な出力の増加につながり、数回の蒸気爆発により原子炉建屋に深刻な損傷を与え、原子炉は完全に破壊された (UNSCEAR, 2000)。

●『運転員による信じがたい規則違反が原因』というのは、1986年8月のIAEA会議へのソ連政府報告  
●1991年1月ソ連最高会議の再調査委員会報告では「事故の責任は運転員にはない。それはまず、設計開発指導者たちの炉の特性に対する無理解であり、不十分な運転規則などが事故へとつながった」と述べている。

40

## A.2 初期および中期

(A3) 初期は、1986年4月26日に事故と共に始まった。1986年5月初め、環境中への放射性核種の放出は数桁減少した。1986年5月中に、引き続く放出を制限するための対策が実施された (IAEA, 1991)。これが初期の終了と中期の始まりと考えられる。

- 黒煙火災を消すため、ヘリコプターから5000トンに及ぶ砂、鉛、ホウ素などを投下したが、うまく消火できなかった。
- 5月6日頃に放射能放出が減ったのは、黒鉛が燃え尽きたからであろう。

(A5) サイト内では、1986年11月に石棺が完成し、放射線源が封じ込められ、安全が確保されたことにより、中期が終了したと考えられる。サイト外では、1991年2月～5月の間に長期の管理に関する法律が採択され、中期が終了したと考えられる。

- 1991年5月、ソ連最高会議は「チェルノブイリ被害者救済のための社会保障法」を採択した。
- ソ連政府主導の事故対策というより、ベラルーシやウクライナの汚染地域住民からの突き上げによる。

41

### A.2.3 個人の被ばくレベル

(A13) 初期においては、公衆の主な被ばく経路は、放射性ヨウ素の摂取によるものであった。1986年5月～6月にかけて、ベラルーシ、ロシア、ウクライナで甲状腺のヨウ素含有量に関する大規模なモニタリング調査が行われた。1986年6月末までに、全部で400,000人以上の甲状腺の直接測定が行われた

- 今中の知り合いの話では、「5月はじめに子供たちの甲状腺被曝が大変なことになっているのに気づいた」。あわてて、子供と大人、合わせて40万人の甲状腺モニタリングを実施した。

### A.2.4 対応者

(A17) 最も著しい被ばくは外部照射によるものであった。134人の対応者に急性放射線症が確認された。このうち41人の対応者は2.1 Gy未満の外部照射による全身線量を受けた。93

- 急性症状134人はソ連政府が認めている最低の数字。軍人は、たぶん含まれていない。
- 共産党秘密議事録には、住民を含め数万人が入院し、子どもにも急性障害の報告
- 1988年5月のキエフの会議で、ソ連保健大臣が、3.8万の住民が検査入院したと報告。

42

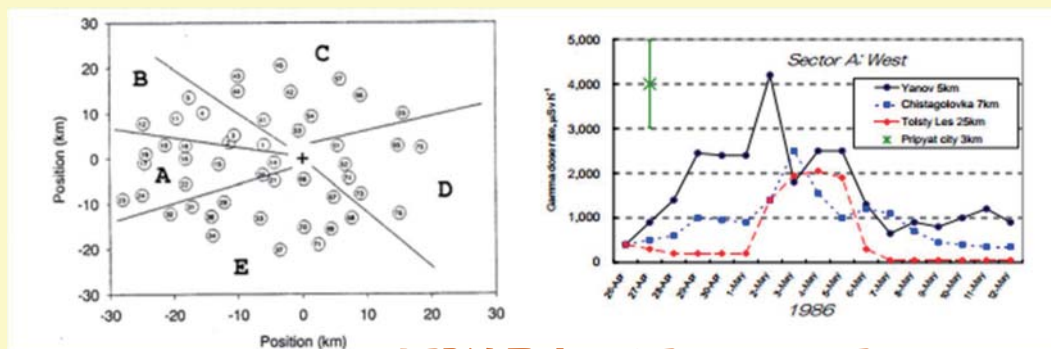
#### A.2.5.1 屋内退避

(A23) 事故当日（1986年4月26日）、原子力発電所の作業者の大半がその家族と住んでいた原子炉サイトから約3 kmの所に位置するプリピャチの住民に対し、政府委員会から屋内退避の勧告が発表された。プリピャチの住民5万人の約25%は、屋外で過ごす時間を制限した（Likhtarev et al., 1994）。原子力施設付近の農村部の住民は事故について公式に通知されず、その結果、屋内退避の必要性についての公式な情報がなかった。

●4月26日プリピャチに「屋内退避」が出ていたとは、初めて聞いた。

●周辺農村部の住民は、避難開始まで放ったらかしにされていた。

(A25) 1986年5月1日に公表された情報によれば、発電所の近くに住む大部分の人々にとって、予想される被ばくは避難を必要とするようなものではなかった。



●Section Aの空間線量率：4月26日～5月12日

43

#### A.2.6.3 除 染

その結果、さまざまな専門職や一部の年齢層（子どもなど）の外部線量が平均30%減少した。1989年までに、居住地の完全な除染はほぼ完了した。全体として、除染の平均的な効率、10%を超えないと推定された（Alexakhin et al., 2004）。

●福島避難地域でも、「除染してキレイになったら2年で帰れる」と宣伝された。飯舘村の空間線量は、13年間で30分の1になったが、大部分は放射能の自然減衰。

#### A.2.6.5 情報提供

放射線データは、事故から1年後にようやく公開された。しかし、国民の信頼を回復するには十分ではなかった。

●汚染データが公開されたのは、ペレストロイカ・ガラスノス千でソ連ががたつき始めた、3年後の1989年の春だった。

●汚染対策や事故の責任を追及する運動は、ソ連崩壊の一因となった。

44

### A.3.5 健康サーベイランス

(A56) チョルノービリ事故後、ソ連政府は、対応者と最も影響を受けた地域の子どもを含む住民の強制登録および継続的な健康モニタリングプログラムを開始した。1991 年末までに、全ソ連分散臨床線量登録 (All-Union Distributed Clinico-Dosimetric Registry) に約 66 万人の情報が記録された。

●このレジストリーのため、キエフに放射線医学研究所が設立されたが、ソ連崩壊後は機能しなくなった。

(A58) 最も重要な知見の1つは、チョルノービリ事故において、事故当時乳児または幼児として被ばくした公衆において、甲状腺がんの比率が劇的に増加したことである。

●1992年、ベラルーシのKazakovらが「甲状腺がんが増えている」という報告をNatureに出すと、西側権威筋はボロクソにけなした。

●旧ソ連のヒエラルキー的医療制度により、ベラルーシ全体の甲状腺がんを把握できた。

先天性形態異常や心血管疾患などのがん以外の疾患についても、実施された研究では結論は出ていない。

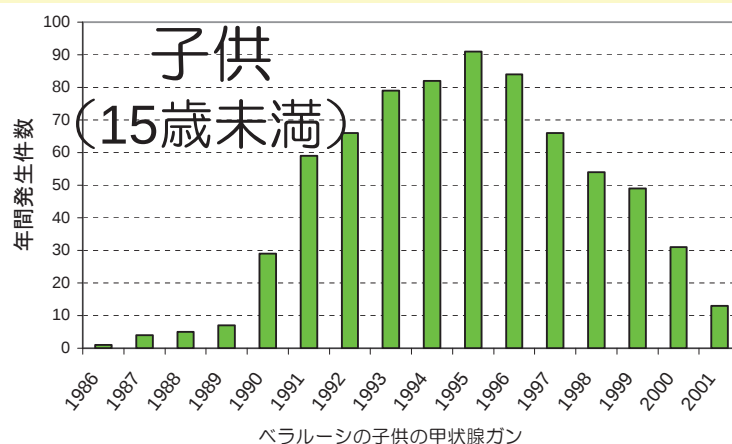
●チェルノブイリのゲリマンダリング

45

## 小児甲状腺がんの増加

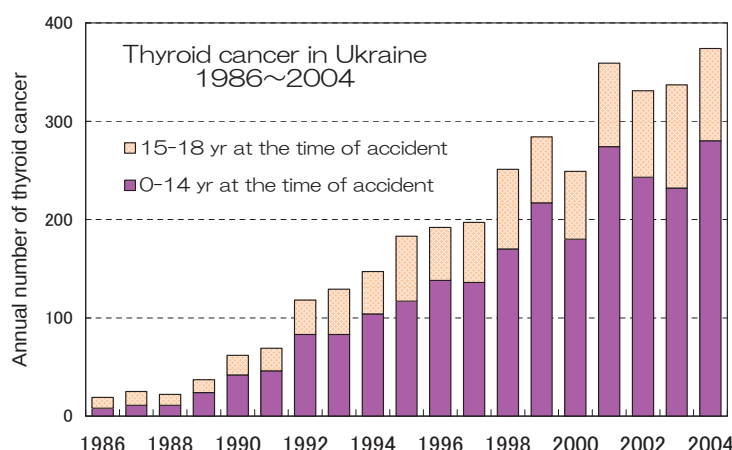
ベラルーシ  
(手術時年齢)

M. Malko 2003年来日講演資料より



ウクライナ  
(被曝時年齢)

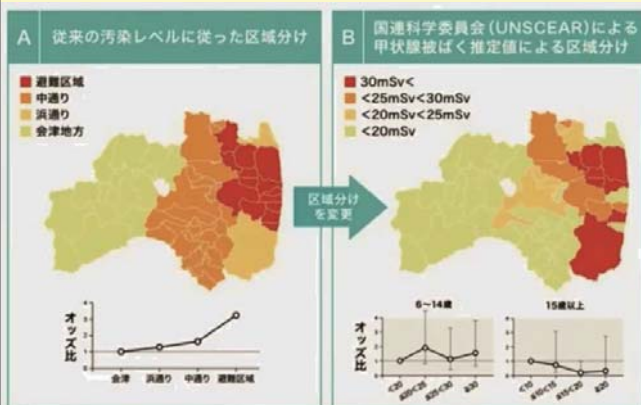
ウクライナ・チェルノブイリ20年国家報告(2006)より



# チェルノブイリの“ゲリマンダリング”

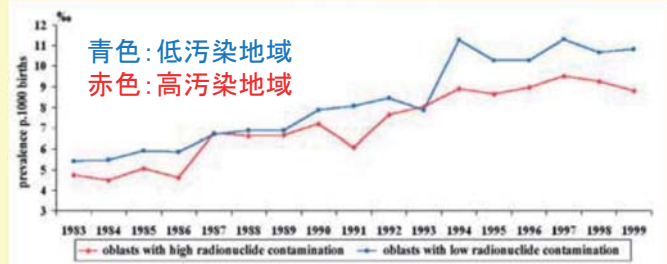
崎山比早子さん曰く『福島』のゲリマンダリング  
福島の子ども甲状腺がんデータ

2005年 チェルノブイリフォーラム報告  
ベラルーシの新生児先天性障害データ

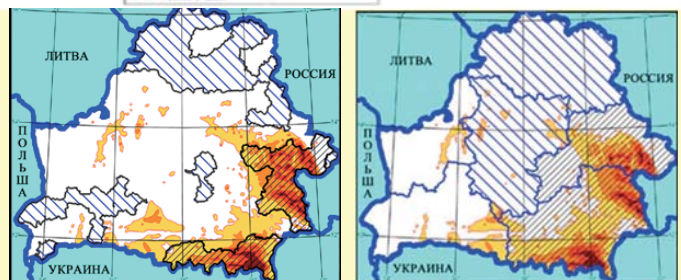
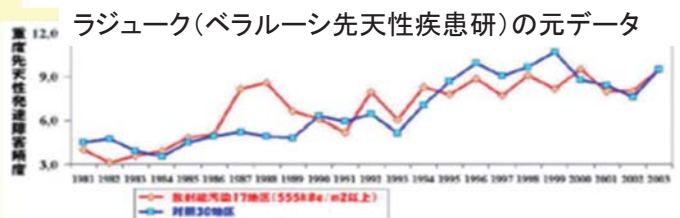


出 第35回福島県健康調査検討委員会資料より作成  
(図の区分は6~14歳の場合)

分析の区域分けを変更して、放射能汚染の影響を分からなくしてしまった。



ラジューク(ベラルーシ先天性疾患研)の元データ

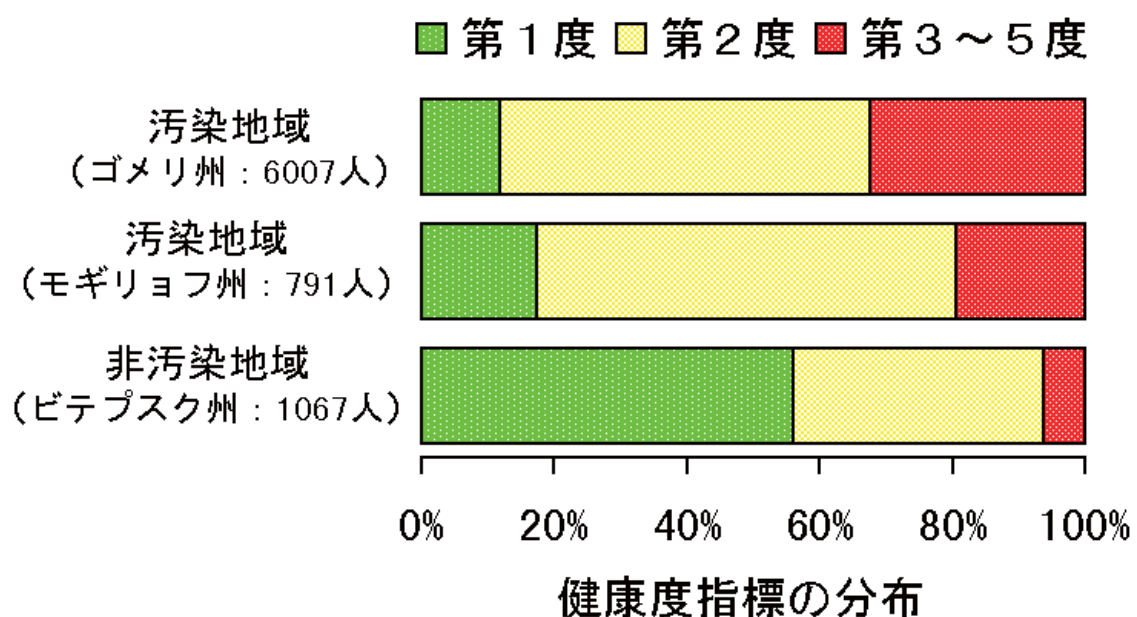


左：オリジナルな区分  
右：チェルノブイリフォーラムの区分

47

## WHOによるベラルーシの子供の健康状態調査(1996)

- ❖ 第1度は、すべての指標にてらし健康上問題ない子供。
- ❖ 第2度は、機能上の問題が認められ、慢性病にかかり易い子供。
- ❖ 第3度～第5度は、慢性病が認められる子供。



＜よく分からないデータ＞

## 汚染地域の子供たちの健康状態

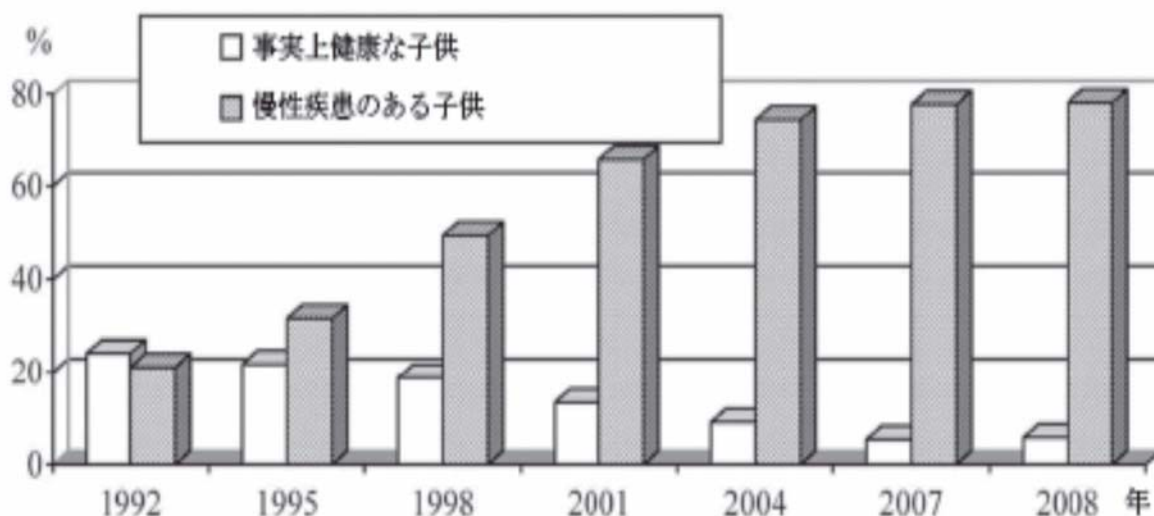


図 3.36 事故後の期間の動態調査に見られる、被曝した親を持つ、健康な子供及び慢性疾患のある子供の割合 (国立ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センターのデータ)

事故後の期間の動態調査では、健康な子供の比率は 1992 年の 24.1% から 2008 年には 5.8% に減少し、慢性疾患のある子供の数は 1992 年の 21.1% から 2008 年の 78.2% に増加した。

チェルノブイリ25年ウクライナ国家報告 KURRI-EKR-5(2016)

## チェルノブイリ事故調査 から今中が学んだこと

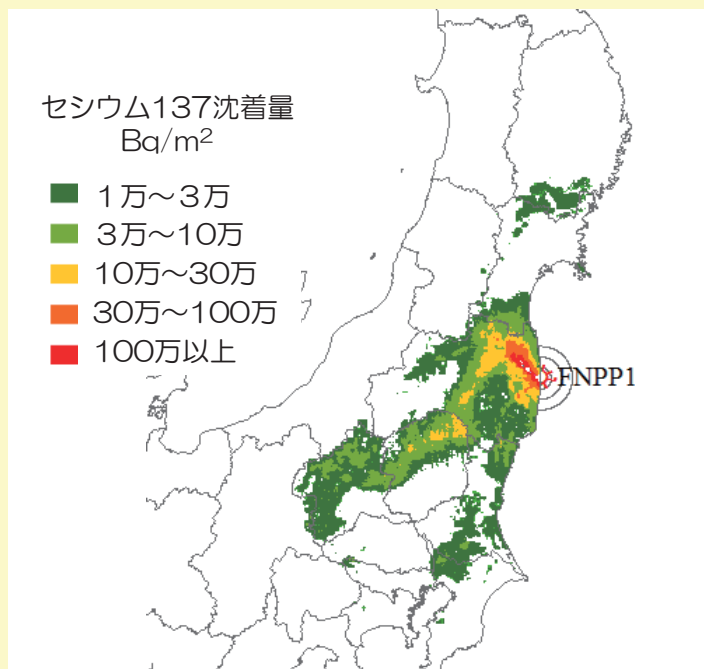
- 原発で重大事故がおきると周辺の人々が突然に家を追われ、村や町がなくなり地域社会が丸ごと消滅する
- 原子力の専門家として私に解明できることは、事故による被害全体の一側面に過ぎず、被災者にもたらされた災難の大きさを放射線測定器で測ることはできない

## おわりに(1)

### 放射能汚染の環境基準が必要(1)

避難指示の解除が進められているが、除染の対象となっていない山林などの汚染は『放ったらかし』にされている

2011年8月に成立した『放射性物質汚染対処特別措置法』によって、原発事故による汚染は、従来の規制の枠外となり、除染対象ではない山林などの放射能汚染は、『放ったらかしでも構わない』ことにされた。



## おわりに(2)

### 放射能汚染の環境基準が必要(2)

福島原発事故が起きるまで、放射性物質は『環境基本法』の適用除外とされていた。原発事故を受けて2012年に適用除外は削除されたものの、その後の作業が進んでいない。

政府は速やかに、環境基本法の考え方に基づいて放射性物質について『環境基準』を設定すべきである。

私見としては、土壌汚染については年0.1mSv、水と空気については年0.01mSvを基に、放射線や放射性物質の『環境目標値』を設定し、自治体はハザードマップを作成して住民に周知すべきである。