

チェルノブイリ 20 年: 事故の経過、汚染、被曝、影響

今中哲二(京都大学原子炉実験所)

その前日

その日の前日、1986年4月25日(金)、旧ソ連ウクライナ共和国にある「レーニン記念チェルノブイリ原子力発電所」の4号炉は、点検補修のため、2年前の運転開始以来はじめての停止作業に入った。当時チェルノブイリ原発では、最新鋭のRBMK型原子炉(電気出力各100万kW)が4基運転され、さらに5・6号炉が突貫工事で建設されているところであった。

ウクライナの首都キエフから北へ約100km、ドニエプル川の支流であるプリピャチ河畔の森を切り開いて、巨大な原発基地の建設がはじまったのは1970年のことだった。1号炉が臨界に達したのは1977年である。原発建設と平行して、職員の住む町、プリピャチ市が原発の隣に建設された。RBMKとはロシア語で「チャンネル型大出力炉」のことであるが、その構造からいえば「黒鉛減速・軽水沸騰冷却・チャンネル炉」となる。もともとは、原爆用プルトニウム生産のために作られた原子炉を発電用に発展させたものであった。RBMK炉の特徴は、運転中に燃料を交換できること、チャンネルの数を増やすことで大出力化が容易なこと、压力容器のような大型重量物の輸送がないので内陸立地が容易なこと、などである。一方、弱点としては、チャンネル管が1661本もあり制御が複雑になること、炉心部で蒸気の泡が増えると出力が増加するように作用すること(プラスのボイド反応度係数)、制御棒全数を引き抜いたような極端な条件下のときに制御棒を一齐に挿入すると出力が上昇する場合(ポジティブスクラム)があること、などであった。後の2つの欠点は、チェルノブイリ事故に直接つながる原因となるが、そうした欠陥の存在は、運転員たちには周知されていなかった。

4号炉停止の機会に合わせて、ある電源装置のテストが予定されていた。すなわち、停電が起きて原子炉が停止した際に、緊急用のディーゼル発電機が動き始めるまでの間の緊急用ポンプの電源として、タービンの慣性回転を用いて発電する非常用電源のテストであった。

4月25日午前1時、4号炉では、予定に従って定格(熱出力320万kW)からの出力降下作業がはじまった。13時5分、熱出力160万kWまで下がったときに、2台のタービンのうちひとつが切り離された。そのまま出力降下を継続する予定であったが、ここでキエフの給電司令部からの要請により、出力50%で運転を継続することになった。

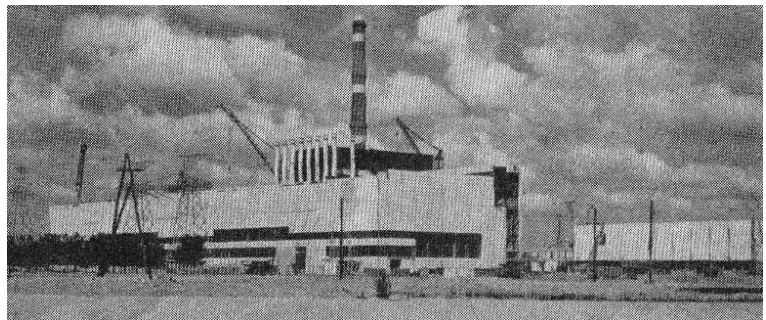


図1. 建設中のチェルノブイリ原発1号炉

25日23時10分、出力降下が再開された。26日午前0時、運転当直がトレグブ班からアキモフ班に交代した(各班4名)。その直後、出力制御系の切り替えの際、出力が異常に低下し、ほとんどゼロになってしまった。電源テストは熱出力70~100万kWで行う予定だった。この機会を逃がすと、次の機会は何年か先になってしまう。

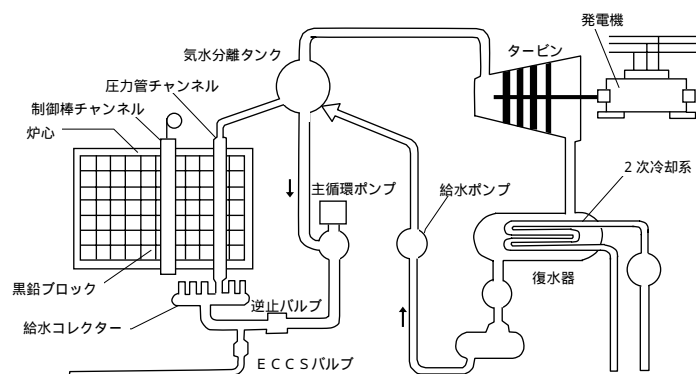


図2. RBMK型原発のしくみ

4月26日未明、4号炉が爆発炎上した

4月26日、4号炉の制御室にいたのは運転班や電源テスト要員など14人で、現場の責任者は、発電所副技師長のジャトロフであった。ジャトロフの指令により、原子炉の出力を回復させるため、炉心部に残っていた制御棒が順に引き抜かれた。午前1時すぎ、熱出力20万kWでなんとか安定したところで、予定以下の出力で電源テストを実施することになった。

午前1時23分4秒、タービンへの蒸気弁が閉鎖され、その慣性回転を利用した電源テストがはじまった。ジャトロフによると、電源テスト中、原子炉の出力は安定しており、運転員の操作や警報の作動をうながすような兆候は何もなかった。1時23分40秒、原子炉を止めようと、制御棒を一斉に挿入する緊急停止ボタンAZ-5を押したことが事故の発端となった。すなわち、制御棒の一斉挿入によりポジティブスクラムが発生し、炉心下部での出力が急上昇し、一部の燃料棒さらには圧力チャンネル管が破壊され、大量の蒸気が発生した。炉心での蒸気発生は、そのプラスのボイド反応度係数により、さらに強力な出力暴走をもたらし、原子炉とその建屋が爆発炎上するに至った。後の解析によると、AZ-5ボタンを押してから6-7秒後のことであった。事故の目撃者によると、何度かの爆発があり、花火のような火柱が夜空に上がった。(事故経過については、いまだ諸説がある。このストーリーは、ソ連政府が事故原因の見直しを行った、1991年シテインベルグ報告に従っている。)

事故の第1報がモスクワの共産党中央に届いたのは午前3時だった。午前9時に専門家グループの第1陣が出発し、昼過ぎに現場に到着した。被曝医療チームも到着し、急性放射線症状でプリピャチ市の病院に収容されていた消防士や原発職員のなかから、モスクワの病院に送る重症患者を選別した。さらに、ソ連副首相シチェルピナが到着し、彼を議長とするソ連政府事故委員会がプリピャチ市に設置された。破壊された炉心では黒鉛火災が発生し、大量の放射能放出が続いていた。26日夜に開かれた政府委員会の最初の仕事は、

- ◇ 原子炉の火災をどうやって消すか
- ◇ 住民の避難をどうするか

を決めることだった。火災は、ヘリコプターから砂、鉛、ホウ素を投下して消火することになった。また議論の末、シチェルピナの決断により、プリピャチ市民を翌27日に避難させることになった。



図3. 破壊された4号炉.

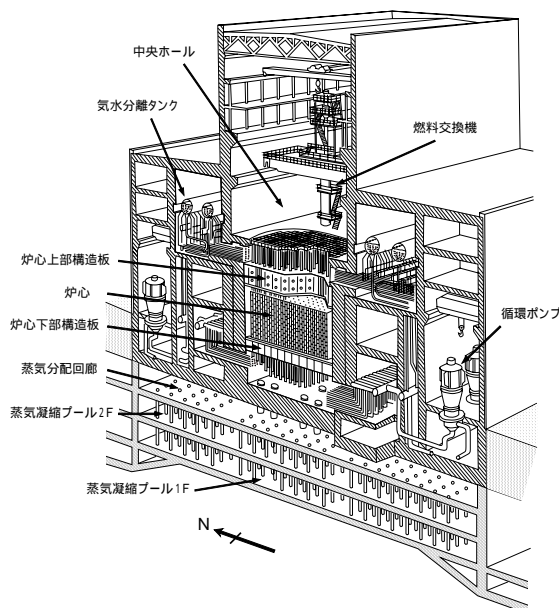


図4. 炉心部の構造図.

周辺30 kmから12万人が避難した

4月26日の天気は快晴だった。プリピャチ市(人口5万人)の住民のほとんどは、その日のうちに原発で事故が起きたことを知ったが、多くの人はふだん通りの土曜日を過ごした。店には買い物客がいっぱいで、ホールでは結婚式が行われ、なかには煙を吐く4号炉を眺めながらアパートの屋上で日光浴を決め込んだ人もいた(いつになく日焼けしたらしい)。被曝をおそれて、窓を閉めて家にこもったのは一部の人だけだった。プリピャチ市民に幸いだったのは、26日未明の爆発にともなって放出された膨大な「熱い放射能」が町を直撃しなかったことである。その放射能雲は、原子炉からほぼ西の方向に流され、風下約5kmにわたり松の木が数日で枯れてしまうほどの被曝をもたらしていた。



図5. 原発・プリピャチ市周辺

27日になって風が北向きとなり、プリピャチ市の放射線量が上がりはじめた。午前7時の線量率は1時間当たり2~6ミリシーベルトであった。昼頃、「皆さん、原発での事故に関連して、避難が布告されました。身分証明書を携帯し、必要なものと3日分の食料を持参してください。避難は14時に開始されます」というアナウンスがラジオから流れた。キエフ市から動員された1200台のバスが、各アパートに横付けされ2時間ほどで4万5000人のプリピャチ市民が避難した。当局が恐れていたパニックは起きなかった。避難した人の多くは、3日で家に戻れるものと思ったが、プリピャチ市での生活が再開されることはなかった。

原発周辺は、プリピャチ市を除き、昔ながらの農村地帯である。原発労働者が住んでいたプリピャチ市の避難が素早く行われたのに比べ、30km圏の住民はしばらく、何も知らされず放ったらかしにされていた。30km圏住民の強制的避難が決定されたのは、事故から1週間たった5月2日のことだった。5月3日から避難がはじまり、ほぼ1週間かけて30km圏住民の避難が完了した。農村からの避難は、プリピャチ市の場合に比べ、はるかに大変であった。何万何十万という家畜が住民と一緒に避難した。多くの人に、第2次大戦でのドイツ軍侵攻のときの避難を思い出させたという。しかし、先の戦争と違って、避難民が元の村に戻ることはなかった。表1は、1986年8月にソ連政府がIAEAに提出した事故報告書に基づく、避難住民の外部被曝量である。プリピャチ市の住民に比べ、農村の避難が遅れたため、15km以内の人々の被曝がかなり大きくなったことを示している。(表1の避難民平均は120ミリシーベルトであるが、昨年9月に発表された“チェルノブイリ・フォーラム”の推定は10ミリシーベルトである。)

表1 30km圏避難住民の外部被曝量

原発からの距離	居住区数	人数(人)	平均外部被曝量 ミリシーベルト
プリピャチ市		45,000	33
3~7 km	5	7,000	540
7~10 km	4	9,000	460
10~15 km	10	8,200	350
15~20 km	16	11,600	52
20~25 km	20	14,900	60
25~30 km	16	39,200	46

注：1986年のソ連政府事故報告書より。本文と合計人数が若干異なる。

数百 km も離れた高汚染地域の存在が暴露された

チェルノブイリ事故が起きた 1986 年は、ソ連と米国が世界を 2 分して大量の核ミサイルを抱え込んでにらみ合っていた東西冷戦の真っ只中だった。ソ連では、前年 3 月にゴルバチョフ書記長が登場し、「ペレストロイカ（再建）」と「グラスノスチ（公開）」という 2 つのスローガンを打ち出していた。しかし、70 年にわたる共産党支配の体質はおいそれとは変わらず、チェルノブイリ事故について語ることは、一般市民はもちろん研究者にもタブーとされた。

そうした状況に変化が現れたのは、事故から 3 年たった 1989 年春のことだった。民主化と放射能汚染対策を求める運動を背景に、ベラルーシの新聞にチェルノブイリ事故による放射能汚染地図が公開された。それまでのソ連の政府や研究者の報告では、高汚染地域は原発周辺に限られていたが、公開された汚染地図は衝撃的だった。図 6 に示すように原発から 200km 以上離れたところに、飛び地のように広大な高汚染地域が広がっていたのである。

原発事故ではさまざまな種類の放射能が放出される。事故直後に問題になるのは、半減期が比較的短く（8 日）体内に入ると甲状腺が特異的に被曝をうけるヨウ素 131 であるが、長期的に問題なのは、半減期 30 年で、遠くまで飛散し食物にも移行しやすいセシウム 137 で広大な面積が汚染された（表 2、3）。

放射能汚染対策をめぐり、モスクワ連邦政府への批判を強めていたベラルーシ共和国議会は 1989 年 7 月、住民 11 万人を新たに移住させる決定を行った。この頃に、各共和国は、汚染対策と住民保障に関する法令を独自に定めている。

しかし、事故に対し第 1 に責任を負うべきソ連そのものが 1991 年末に消滅し、汚染対策と被災者保障の問題は、それぞれの政府がになうことになった。

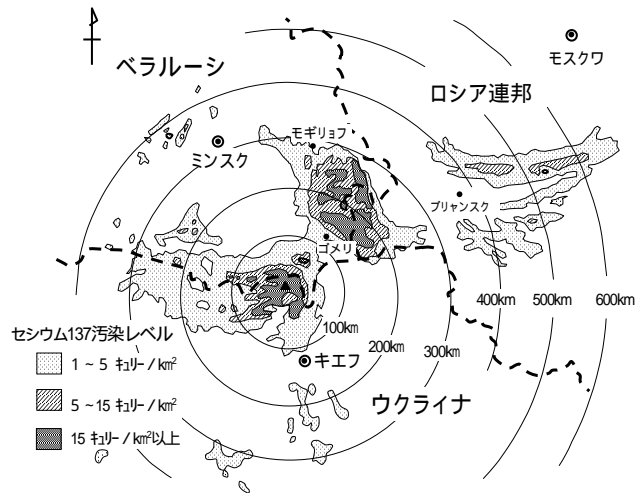


図 6 . 事故から 3 年たって明らかになったセシウム 137 汚染

表 2 . チェルノブイリ事故被災 3 ヶ国のセシウム 137 汚染面積 (単位: km²)

国名	セシウム 137 の汚染レベル、キュリー/km ² (Bq/km ²)				
	1 ~ 5 (37 ~ 185)	5 ~ 15 (185 ~ 555)	15 ~ 40 (555 ~ 1480)	40 以上 (1480 以上)	1 以上合計 (37 以上)
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

各国のチェルノブイリ被災者救済法に基づくと、汚染地域とはセシウム 137 の土壌汚染が 1 キュリー/km² 以上のところと定義され、そのレベルによってつぎのように区分される。

- 40 キュリー/km² 以上：強制避難ゾーン
- 15 ~ 40 キュリー/km²：強制（義務的）移住ゾーン
- 5 ~ 15 キュリー/km²：希望すれば移住が認められるゾーン
- 1 ~ 5 キュリー/km²：放射能管理が必要なゾーン

表 3 . 汚染地域の住民数 (単位: 万人)

国名 (データ集計時)	セシウム 137 の汚染レベル、キュリー/km ² (Bq/km ²)				
	1 ~ 5 (37 ~ 185)	5 ~ 15 (185 ~ 555)	15 ~ 40 (555 ~ 1480)	40 以上 (1480 以上)	1 以上合計 (37 以上)
ロシア(1991.1.1)	188.3	34.7	9.3	-	232.3
ベラルーシ (1995)	148.5	31.4	4.1	0.0283	184.0
ウクライナ(1995.1.1)	173.2	65.3	1.9	-	240.4
合計	510.0	131.4	15.3	0.0283	656.7

・ 1990 年の資料によると、15 ~ 40 キュリー/km² と 40 キュリー/km² 以上の汚染地域の住民数は、それぞれ 23.4 万人と 3.38 万人、合計 26.8 万人であった。上記の数字と比較すると、それ以降に少なくとも 11.5 万人が 15 キュリー以上の汚染地域から移住したことになる。

事故被災者の分類

チェルノブイリ事故で放出された放射能は気流に乗って北半球のほぼ全域を汚染した。日本の私たちを含めて、北半球にいた人々全部が「チェルノブイリの被災者」と言えなくもないが、チェルノブイリ周辺の汚染は圧倒的であった。チェルノブイリの被災者は、以下のように分類しておく。

	<人数>	<全身線量>
➤ 事故現場に居合わせた原発職員・消防士たち	1000~2000人	1~10Sv
➤ 事故処理作業従事者(軍隊、予備役、建設労働者ほか)	60万~80万人	100~500mSv
➤ 30km圏からの事故直後避難民	約12万人	(???)
➤ 高汚染地域住民・移住者	25~30万人	平均50mSv程度
➤ 汚染地域(1キュリー/km ² 以上)住民	約600万人	平均10mSv程度

上記の人数はだいたい合っているだろうが、被曝量は、当局発表などを基にした、とりあえずの説明のためのごく大ざっぱな値である。「チェルノブイリ事故による被害を科学的に解明する」とは、どんな放射能汚染がおき、上記の被災者がどれだけ被曝し、彼らにどのような健康被害が起きるかを明らかにする、ということになる。具体的な被害にテーマを移す前に、次の2点を確認しておきたい。

◇ その1:事故のドサクサで起きたことの多くが未だに闇の中である。

事故当時のソ連では、共産党独裁のもとで厳重な情報管理が行われていた。事故の詳細が明るみに出はじめるのは、事故から3年たってからのことだった。1991年末にソ連が崩壊してすでに14年あまりたったものの、事故当時のドサクサの中でどんなことがあったのか、未だによく分かっていない。

事故処理に最初に投入されたのはソ連陸軍化学部隊だった。事故から2週間後には4号炉建屋まわりの片づけがだいたい終了していた。猛烈な放射線の中、彼らはどのようにして、散乱していた燃料棒片や黒鉛ブロックを片づけたのだろうか？また、炉心の黒鉛火災を消火するために、砂、鉛など5000トンの物資がヘリコプターから投下され、操縦士はかなりの被曝をうけたはずだ。

原発に隣接するプリピャチ市住民は、事故の翌日に避難したが、その他の村々の住民は何も知らされず、1週間余り放ったらかしにされていた。原発周辺の松林は、あっという間に「赤茶けた森」になってしまうほどの被曝を受けたが、「放射線の急性障害が現われたのは原発職員と消防士だけだった」という、事故当時のソ連政府の公式見解が20年たった今でもまかり通っている。

事実がキチンと明らかにされないならば、「あったはずのことがなかったこと」になり、いずれ闇に消えてしまうと危惧される。

◇ その2:被曝にともなう健康被害は、事故による健康被害の一部に過ぎない。

原子力推進の側は、「チェルノブイリ事故は最悪の事故であったが、実はその被害は大したことはなかった、一番悪いのは放射能を怖がる精神的ストレスだ」としばしば言っている。チェルノブイリ事故とは、放射能汚染と一緒に、地域社会の崩壊、生活基盤の喪失といった諸々のことを周辺の人々にもたらした災厄であった。健康被害の問題を脇においても、チェルノブイリ事故が歴史的「人災」であったことは確かである。また、放射線被曝にともなう被害だけをみていたのでは、健康被害の全体は見えない。農村で暮らしていたお年寄りが都会に移って慣れない生活で病気になったり、移住によって仕事を失って一家の主がアル中になり健康を害したといった例も、チェルノブイリ事故の影響と考えるべきであろう。「放射能汚染と被曝にともなう健康被害」という研究テーマから明らかにできることは、チェルノブイリという災厄全体のごく一部でしかない、ということを知っておきたい。

周辺住民の急性放射線障害

1986年のソ連政府報告から2005年のチェルノブイリ・フォーラム報告まで、公的報告書は一貫して、急性放射線障害が起きたのは原発職員・消防士だけで、周辺の一般住民には1件もなかったとしている。ところが、ソ連崩壊直後の1992年、ウクライナのジャーナリストで旧ソ連最高会議議員をしていたヤロシンスカヤが、事故当時の共産党秘密議事録をすっぱ抜いた。ソ連はとてつもない中央集権国家であったが、その権力の頂点にあったのは共産党中央委員会政治局であった。チェルノブイリ事故が起きると、事故対策の全般的な方針を決定するため、政治局に「事故対策班」が設置され4月29日に最初の会合が開かれた。ヤロシンスカヤが暴露したのは、その対策班の議事録だった。表4は、議事録から事故被災者に関する記述を抜粋したものである。対策班の会合は40回開かれており日付はすべて表に示してある。死者や重症者の人数は、原発職員と消防士について知られている人数とほぼ一致しているものの、周辺住民の間で多数の急性障害が認められていたことは間違いない。たとえば、30km圏住民の避難作業がほぼ終了した5月12日は「入院中1万198人、345人に放射線障害の症状、うち子ども35人」となっている。

5月6日にモスクワ第6病院に幼児2人が収容されていた、という記述も注目される。同じ日の議事録には「モスクワ第6病院で治療を受けている患者の数と容体に関するデータを、この病院にアメリカの専門家たちが働いている事実を考慮して公表するのが妥当とのソ連保健省の提言に同意する」という記述がある。つまり、ゲイル医師らがいなかったら、原発職員・消防士の急性患者についての情報も出てこなかった、ということだろう。

一方、ロシア社会学研究所のルバンディンは、1992年にベラルーシ・ゴメリ州ホイニキ地区の地区中央病院に残されていた事故当時のカルテを調べ、急性放射線症8例、放射線被曝症20例が見つかったと報告し、全体では1000件以上の急性放射線症があったらと推定している。

表4 共産党秘密議事録に記載されていた事故被災者に関する記述

<日付>	<記載の内容>
1986年4月29日, 4月30日:	記載なし.
5月1日:	ソ連保健省第1次官シチェーピン同志に対し、放射線障害や子供を含め、入院者数に関するデータを作業グループに報告するよう要請した.
5月3日:	記載なし.
5月4日:	5月4日までに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5日:	病院収容者は2757人に達し, うち子供569人. 914人に放射線障害の症状が認められ, 18人がきわめて重症で, 32人が重症.
5月6日:	5月6日9時の段階で病院収容者は3454人に達する. うち入院治療中は2609人で, 幼児471人を含む. 確かなデータによると, 放射線障害は367人で, うち子供19人. 34人が重症. モスクワ第6病院では, 179人が入院治療中で, 幼児2人が含まれる.
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8日:	この1日で, 子供730人を含む2245人を追加収容. 1131人が退院. 病院収容中は5415人. うち子供1928人. 315人に対し放射線障害の診断.
5月10日:	この2日間で子供2630人を含む4019人を病院に収容. 739人退院. 8695人が入院中で, うち放射線障害の診断は, 子供26人を含め238人.
5月11日:	この1日で, 495人を病院に収容し1017人が退院. 8137人が入院中で, 放射線障害の診断はうち264人. 37人が重症. この1日で2人死亡. これまでの死亡者数は7人.
5月12日:	ここ数日間で, 病院収容2703人追加, これらは主にベラルーシ. 678人退院. 入院治療中は1万198人, うち345人に放射線障害の症状あり, 子供は35人. 事故発生以来8人が死亡. 重症は35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14日:	この1日で, 1059人を病院に追加収容し, 1200人が退院. 放射線障害の診断は203人にまで減少. うち, 32人が重症. この1日に3人死亡.
5月16日:	入院中は, 子供3410人を含め7858人. 放射線障害の診断は201人. 15日に2人死亡し, これまでの死亡者は15人.
5月20日:	この4日間に病院に収容したのは716人. 放射線障害は, 子供7人を含め, 211人. 重症は28人で, これまでに17人が死亡.
5月22日, 5月26日:	記載なし.
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.(そのほか事故時の死者2名).
6月2日:	入院中3669人で, 放射線障害の診断171人. 重症23人で, これまでの死亡者24人. 23人がいまだに重症.
6月4日, 6月9日:	記載なし.
6月12日:	入院中2494人で, 放射線障害の診断189人. これまでの死亡者24人.
6月20日, 6月25日, 7月2日, 7月7日, 7月10日, 7月23日, 7月31日, 8月13日, 8月22日, 9月5日, 9月19日, 10月17日, 11月15日, 1987年1月4日, 3月16日, 7月13日, 1998年1月6日.	

子どもたちの甲状腺ガンが増加した

今中らのはじめてチェルノブイリを訪れたのは、旧ソ連末期の1990年夏だった。その際にウクライナの医師から、子ども達の間で甲状腺ガンが増えていると初めて聞かされた。当時、放射能汚染対策をめぐって、モスクワ中央と共和国側が対立し、ソ連政府がIAEAに助けを求める形で、汚染の影響調査と対策の勧告のための、国際チェルノブイリプロジェクト（ICP、委員長・重松逸造）が実施されていた。1991年に開かれたICP報告会は、共和国側専門家の主張を無視して「放射能汚染にともなう健康影響は一切認められない」と結論した。1992年、英国の科学雑誌ネイチャーに、ベラルーシの汚染地域で子どもの甲状腺ガンが急増している、という論文を掲載した。それに対し、重松らICPの専門家は、甲状腺ガンの増加が被曝によるかどうかは疑わしいと反論した。しかし、データが増えるとともに、子供たちの甲状腺ガンが事故当時に放出された放射性ヨウ素による被曝に起因していることは明白となった。

図7は、ベラルーシでの甲状腺ガン数の推移で、上の図は、手術時の年齢が15歳未満であった子どもの甲状腺ガンで、下の図は全人口での甲状腺ガンである。子どもの甲状腺ガンは1990年頃から急増している。事故直後、ヨウ素131の取り込みにより甲状腺の受けた被曝が、晩発的影響としてガンをもたらしたものだ。1995年をピークに子どものガンが減っているのは、「事故当時0-14歳だった子ども達が青年・大人となった」という見かけだけのことである。1996年以降、子ども甲状腺ガンが急激に減っているのは、ガンの原因が「事故当時の被曝」だったことを間接的に示している。

図8は、ヤコブらによる、甲状腺被曝量と子ども甲状腺ガン発生率との関係を示したデータである。直線の傾きから、絶対リスクとして、1万人・年・グレイ当り2.3件という値を示している。仮に、このリスクが40年間続くとしたら、1グレイの甲状腺被曝を受けた子どもが後々甲状腺ガンになる確率は、 $2.3 \times 10^{-4} \times 40 = 0.01$ 、つまり1%となる。

昨年9月のチェルノブイリ・フォーラム報告は、被災3カ国合わせてこれまでに4000件の甲状腺ガンがチェルノブイリ事故によって引き起こされたと報告している。今後発生する分、また事故当時に大人だった人々の分を加えると、その6~10倍、結局2~4万件の甲状腺ガンがもたらされると考えておいてよいだろう。

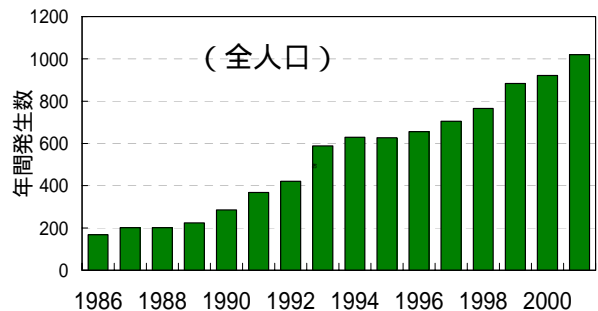
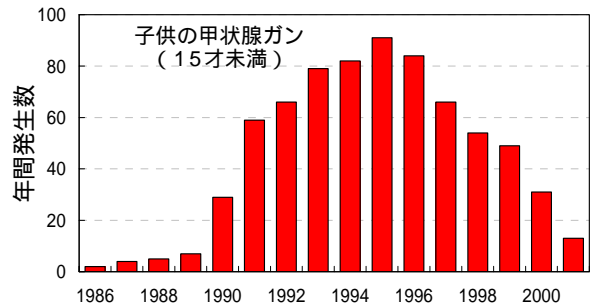


図7. ベラルーシの甲状腺ガン発生数。(上)

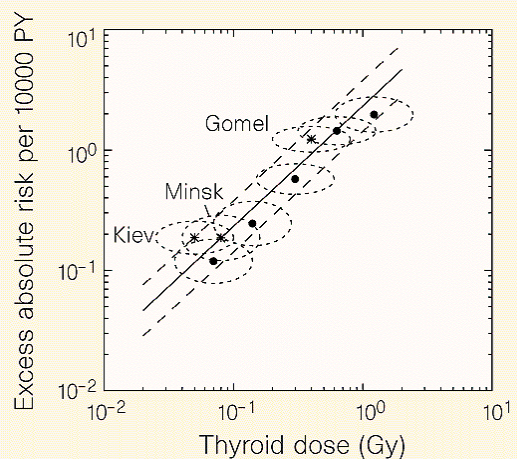


図8. 子ども甲状腺ガンの甲状腺被曝量(横軸:グレイ)と発生率(縦軸:1万人・年当り)の関係。

子ども達の白血病やその他の健康悪化

チェルノブイリ事故後、汚染にともなう健康影響として注目されていたのは、甲状腺ガンよりもむしろ白血病の方だった。広島・長崎では、被爆2・3年後から白血病が増加し、5～10年がピークだった。一方、普通のガンは、10年くらいたってから徐々に増えはじめた。

これまで、チェルノブイリの子ども達に白血病が増えているという話は、断片的に出てきたが、統計データのような形でははっきりしていない。甲状腺ガンの場合と比べて、はっきりしない理由はふたつある。まず、甲状腺と(白血病を引き起こす)骨髄の被曝量の違いである。体内に取り込まれたヨウ素131は、小さな甲状腺(幼児の場合2g程度)に大きな被曝を甲状腺にもたらした。

一方、骨髄被曝に関係するセシウム137は、全身にほぼ均等な被曝をもたらす。大ざっぱに言って、甲状腺に1シーベルトの被曝があっても、骨髄は50ミリシーベルト程度で、被曝量に20倍の違いがあった。ベラルーシの子ども達には、これまで約1200件の甲状腺ガンがあったとされている。甲状腺と骨髄で被曝量当りのリスクを同じと考え、これまでに発生した子ども白血病の数は60件となる。これが、事故後5年から10年目に起きたとすると、年間10件程度となる。白血病がはっきりしないもう一つの理由は、元々「自然発生」する白血病があることである。自然発生数は、ベラルーシでは年100件程度で、環境汚染などさまざまな要因が関係して変動している。「被曝により年間10件」発生しても、それを観察することはなかなか困難である。図9は、ベラルーシの子ども白血病の発生率を、事故前、事故後7年間、8～15年の3つの期間に分けて調べたマリコの報告である。マリコによると、1986～92年の発生率は、事故前に比べて統計的に有意に増加し、ベラルーシ全体で83件の子ども白血病が増えた、と見積もっている(ただし、1986～2000年をひとまとめにすると、増加は有意でなくなる)。

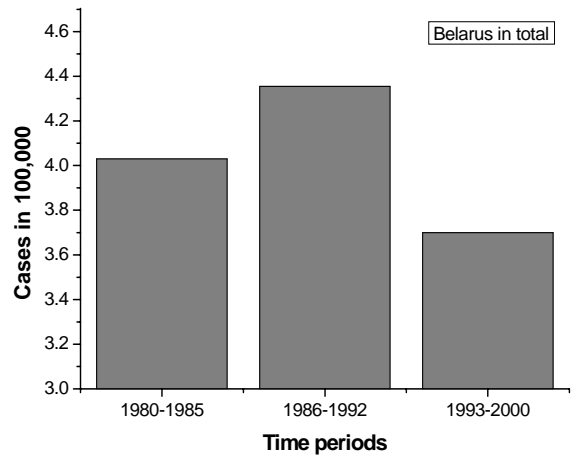


図9. 事故前後のベラルーシでの子ども白血病発生率(診断時0-14歳). 横軸: 観察年、縦軸: 10万人当り発生数.

図10は、WHOがベラルーシで試験的に行った、汚染地域と被汚染地域の子どもの健康状態調査である。汚染地域では、健康な子どもの割合が少なく、慢性病の子どもの割合が大きい。この調査は、「共通検査手順書」に基づくしっかりしたものであった。汚染地域の子供たちの健康悪化には、放射線被曝だけでなく、事故にともなう医療・衛生インフラの崩壊や経済困難も関係しているであろう。この調査が継続されていないのが残念である。

図10は、WHOがベラルーシで試験的に行った、汚染地域と被汚染地域の子どもの健康状態調査である。汚染地域では、健康な子どもの割合が少なく、慢性病の子どもの割合が大きい。この調査は、「共通検査手順書」に基づくしっかりしたものであった。汚染地域の子供たちの健康悪化には、放射線被曝だけでなく、事故にともなう医療・衛生インフラの崩壊や経済困難も関係しているであろう。この調査が継続されていないのが残念である。

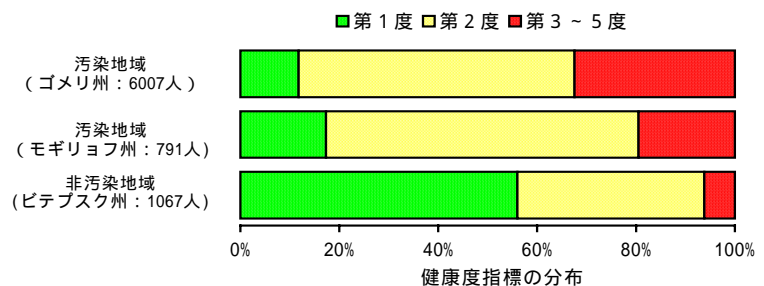


図10. WHO/IPHECA プロジェクト(1992-1994年)によるベラルーシの子供の健康度調査結果.

- ・健康度指標: 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やすい子供, 第3度～第5度は慢性病が認められる子供.
- ・汚染地域はセシウム137が15キュリー/km²以上の居住区.

事故処理作業者(リクビダートル)の健康調査

1991年8月に起きた共産党クーデターに
関与し、失敗して自殺したアフロメーエフ元
帥は、彼がソ連軍参謀総長であったチェルノ
ブイリ事故当時について、事故が起きてから
の数カ月間は「おおげさでなく戦争のようだ

った」と語っている。原発の爆発・炎上という前代未聞の事態を終息させ、周辺30km圏から12万人を避難させ、「石棺」作りや放射能の除染を行うという作業の中心となったのは軍隊だった。最初に投入されたのは、核戦争に備えていた陸軍化学部隊であった。はじめの2週間ほどは「若い正規軍」が中心で、漸次予備役が招集されて「老年兵」と入れ替わった。さらに、石棺建設がはじまってからは、ソ連各地から愛国的労働者が集まってきたという。事故処理作業者(リクビダートル)の総数は60万~80万人と言われている。その中で、1986-87年に作業にあたった20万人が大きな被曝を受けた。表5は、被災3カ国の国家登録に登録されている人数である。3カ国合わせて36万人で、かなりの数が登録されていない(旧ソ連の他の共和国からも動員があった)。線量記録があるのは60%程度で、記録の確かさにも疑問が残っている。

リクビダートルの多くが早死している、というニュースがしばしば流れてくる。ロシア非常事態相シャイグーは2000年4月、「旧ソ連86万人のリクビダートルのうち5万5000人以上が放射線障害などで過去14年間に死亡した」と発表している。また2005年4月にウクライナのチェルノブイリ被災者同盟は、「過去19年間に事故の影響で150万のウクライナ人が死亡した」と発表している。残念ながら、こうした数字の中身について確認できるような資料は入手していない。

興味深い資料として、ロシア・リャザン州のリクビダートル1886人に関する追跡調査がある。そのデータによると、1986年に動員された856人(平均年齢34.3歳、平均被曝量203mSv)のうち1993年までの7年間に55人(6.4%)が死亡した。これは直感的にもかなり大きい。一方、1987年の865人(32.8歳、95mSv)で1993年までに死亡したのは28人(3.2%)である。とりあえず、両グループ83名の死亡のうち半分が事故処理作業に由来すると考えると42人となる。1986-87年のリクビダートル数20万人はリャザン・グループの100倍余りなので、1993年までにざっと5000人の死亡としてよい。事故から20年では数万人の死亡があっても不思議はない。

表5の登録集団について、疫学的な追跡調査が比較的キチンと行われているのはロシアである。図11は、その定期検診での健康状態である。

1993年からは検診が義務化され、1996年の受診率は66.3%であった。病気持ち(3-rd group)のリクビダートルの割合が着実に増加している。リクビダートルに病気や自殺が多いのは、将来を悲観したりアル中が多いからで、被曝が原因ではない、としばしば言われる。仮にそうだとしても、そのきっかけが事故処理作業であるなら、そうした人々も事故の犠牲者と言うべきであろう。

表5. 各国で登録されているリクビダートル集団

	ウクライナ	ロシア	ベラルーシ
基本調査集団	174,812人	143,032人	45,674人
線量記録あり	59%	80%	26%
平均線量記録	160 mSv	107 mSv	57 mSv

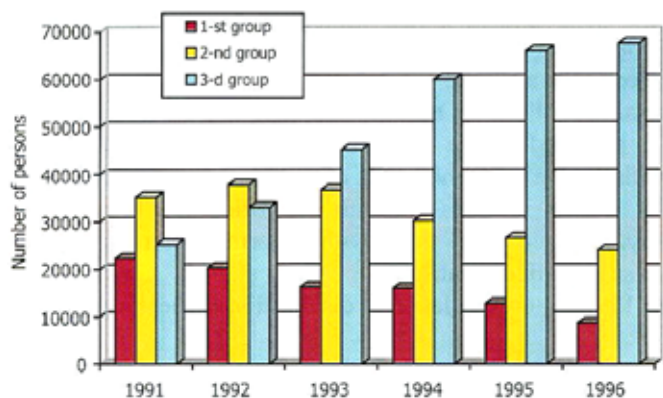


図11. ロシアの男性リクビダートル定期検診結果。
1-st group: 健康、2-nd group: 要精密検査、
3-rd group: 病気

チェルノブイリ・フォーラム報告：総死者 4000 人

2005 年 9 月、IAEA や WHO など国連 8 機関とウクライナ、ベラルーシ、ロシア政府の専門家で構成されるチェルノブイリ・フォーラムが、事故 20 年に向けての国際会議をウィーンの IAEA 本部で開き、「放射線被曝にともなう死者は、これまでに確認された死者と予測されるガン死を合わせて最終的に 4000 人となる」という報告を発表した。これを受けて、世界中のマスコミは、チェルノブイリの健康被害が従来考えられていたものより小さかったと報じた。

フォーラム報告書は、50 ページほどの本文、環境関係、社会・経済関係、健康被害関係の 3 つの付属文書（合計約 500 ページ）、さらに 11 ページのプレス・リリースで構成されている（ダウンロード URL：<http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/index.shtml>）。死者 4000 人の内訳がキチンと説明されているわけではないが、報告書を眺めて数字を解釈してみると次のようになった。

=====

◇ これまでに確認された死者：56人

- 急性放射線障害で死亡した人 28人
- 急性患者で回復した104人のうち後に死亡した人 19人
- 小児甲状腺ガン患者（約4000人）のうち死亡した人 9人

◇ ガン死数（計算に基づく予測）：3940件

- 1986-1987年の事故処理作業員20万人（平均被曝量100mSv） . . . 2200件
- 30km圏事故直後避難民11.6万人（同10mSv） 140件
- 高汚染地域（15キュリー/km²以上）住民27万人（同50mSv） . . . 1600件

=====

⊠ 「これまでに確認された死者」とは、「これまでに確認されていない死者」は入っていないことになる。たとえば、「事故処理作業員の健康調査」で述べたように、リャザン州での事故処理作業員の調査に基づく、これまでに数万人規模の死亡あったとしても不思議はない、といったことは無視されている。また、小児ガンの死亡は、ベラルーシ 8 人、ロシア 1 人となっていて不思議なことにウクライナでの死亡がなかった。昨年 10 月末に今中は、たまたまキエフの内分泌研究所を訪問し小児甲状腺ガンについて担当医師から直接話を聞く機会があった。その病院では約 400 件の小児甲状腺ガンの手術を行い、これまで死亡したのは 15～20 人だったそうである。

⊠ 新聞報道によると、新たなデータを用いて新たな解析を行ってみたら「ガン死が大幅に減った」というのがフォーラムの結論だそうである。日本から参加した政府専門家も「より確かな予測が得られた」と思ったらしい。フォーラム報告を読み込めばすぐに分かることだが、上記の評価は、ガン死数 9000 件としたチェルノブイリ 10 周年での IAEA 会議での報告と基本的に同じである。今回は、“なぜか” 汚染地域（1 キュリー/km² 以上）住民 680 万人（平均被曝量 7mSv）を評価の対象から外し、彼らに予測されるガン死 5000 件をさっぴいた結果、4000 件のガン死と結論されたという次第である。

今中らのグループは事故の翌年に、チェルノブイリ事故によって生じるガン死の数は、13 万～42 万件と見積もった。この数字は、旧ソ連やヨーロッパ各国の汚染データを集め、セシウム 137 による地表汚染に基づいて長期的な被曝量を評価しガン死数を算出したものだった。対象にしたのは、低レベル汚染地域も含む旧ソ連ヨーロッパ地域 7450 万人（平均被曝量 20mSv）とヨーロッパ各国 4 億 9000 万人（同 1.5mSv）だった。フォーラム報告と今中らとでガン死評価の手法は同じようなものだが、チェルノブイリ事故を考えるとときの想像力が違っているようだ。

スウェーデンの放射能汚染地域でガンが増加

チェルノブイリから 1000km 余り離れたスウェーデンには、事故 2 日後の 4 月 28 日から 29 日にかけて降った雨がかなりの放射能汚染をもたらした。被災 3 カ国の法令に従えば「汚染地域」と指定される、37kBq/m² 以上のセシウム 137 汚染面積は 2 万 3000 平方 km に達した。リンコピング大学のトンデルらのグループは、チェルノブイリからの放射能によって、スウェーデンの汚染地域でガンが増加するかどうかを調べてみようという疫学研究を企画した。スウェーデンには、そのような疫学調査に取り組むための基本的な条件が整っていた。すなわち、詳細な汚染測定データ、正確な住民登録、それに確かなガン診断登録制度である。

トンデルらはまず、スウェーデンの中北部で汚染を受けた 7 つの州を調査対象に選び、スウェーデン放射線防護局が作成したセシウム 137 汚染地図を用いて、行政の最小単位である「地区」を 6 つの汚染レベルに区分した (図 12)。次に、7 州の住民登録を基に、1986 年に 60 歳以下であって、1985

年 12 月 31 日と 1987 年 12 月 31 日に同一住所に登録されていた住民すべてを対象集団として選び出した。その結果、性別、年齢、先行する 2 年間の居住地に関する情報を備えた、114 万 3182 人の調査対象集団が得られた。スウェーデン・ガン登録データを基に、1988 年から 1996 年の 9 年間に調査集団で発生したガンを調べると、全部で 2 万 2409 件のガン発生が見つかった。

汚染レベルとガン発生率との関係をプロットしてみると、汚染レベルとともに統計的に有意なガン増加が認められた (図 13)。ガン発生の過剰相対リスク (図の直線の傾きに対応) は、セシウム 137 汚染 100kBq/m² 当り 0.11 (95%信頼区間: 0.03 - 0.20) であった。ガン増加の原因が放射能汚染であったとすると、観察されたガンのうち 849 件がチェルノブイリからの汚染によるものと見積もられている。

トンデルらの論文では被曝量は評価していないが、今中の大ざっぱな見積もりでは、100kBq/m² のセシウム 137 汚染があったとして、はじめの 2 年間で受ける被曝量は 10 ~ 20mSv 程度であろう。100kBq/m² 当り 0.11 という過剰相対リスクを Sv 当りに変換すると、1Sv 当り 5 ~ 10 の過剰相対リスクになる。広島・長崎被爆生存者の追跡調査データでは 1Sv 当り約 0.5 なので、トンデルらはその 10 ~ 20 倍のリスクを観察したことになる。この違いについてトンデルは、10mSv といった低レベル被曝では被曝量・効果関係が直線ではなく、極低レベルで効果が大きくなるモデルで説明しようとしている。

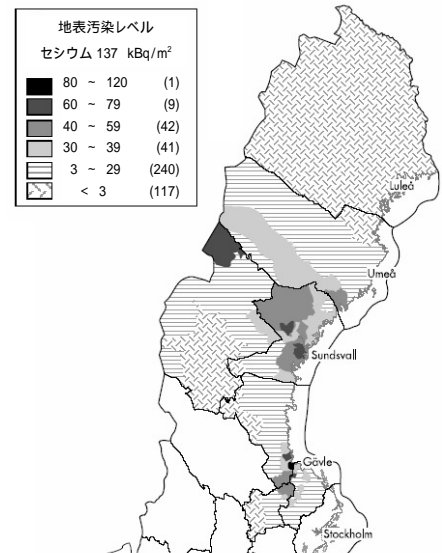


図 12. セシウム 137 による地表汚染区分. 括弧内の数字は地区の数.

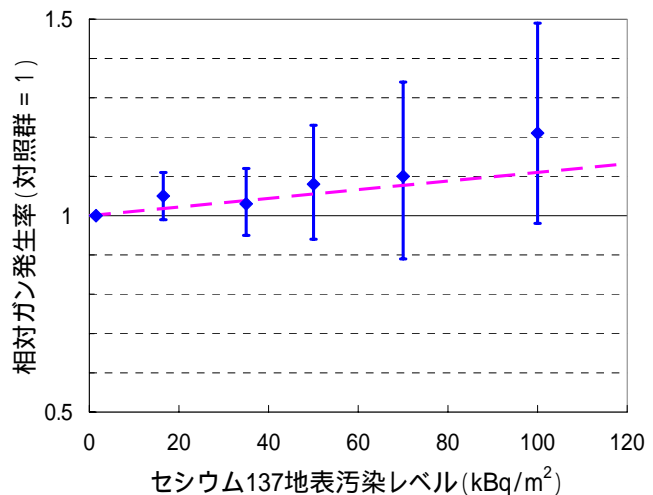


図 13. スウェーデン汚染地域でのセシウム汚染レベルとガン発生率: 1988 - 1996 年.

日本に飛んできた放射能

1986年4月末チェルノブイリからの放射能汚染はヨーロッパに拡大していたが、日本までやってくるかどうか、当時テレビに出てきた気象専門家の意見はどちらかと言えば否定的だった。普段から環境放射能測定をやっていた今中らは、半信半疑ながらも、放射能観測態勢に入った。放射能を最初に検出したのは、5月3日の夕刻から降った雨だった。5月4日の朝、雨をゲルマニウム半導体検出器にかけると、ヨウ素131の特徴である361keVのガンマ線が現われてきた。図14は、大阪府熊取町で5月5日にサンプリングした空気フ

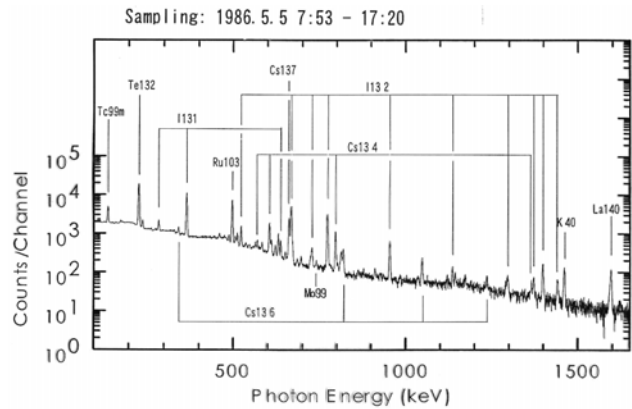


図14. 5月5日に京大原子炉実験所で採取した空気フィルターのガンマ線スペクトル

ィルターのガンマ線測定スペクトルである。ヨウ素131、ヨウ素132、テルル132、セシウム134、セシウム136、セシウム137、ルテニウム103などの核分裂生成物がずらりと勢ぞろいしていた。一瞬、「こんな空気を吸っていただいじょうぶだろうか?」と思い、あわてて許容濃度と比較して「生きて行くためにはしゃーないか」と思ったのを覚えている。改めて被曝量を見積もってみよう。このときのヨウ素131の空気中濃度は1m³当り0.8Bqだった。この空気をまる一日幼児が吸っていたら、甲状腺被曝は、呼吸量3m³/日、被曝量換算係数3.7×10⁻³mSv/Bqとして、0.8×4×3.7×10⁻³ 0.01mSvとなる。この量は個人的には「神経質になることもないが無視していい量でもない」といった感じである。

日本中がほぼ同程度の放射能で汚染された。ヨウ素131についての最大値は、雨水から1μl当り500Bq、牛乳から1μl当り25Bqという値が報告されている。長期的に問題となるセシウム137の沈着量は、日本の平均で200Bq/m²程度だった。図15は、気象研究所がこの50年間測定を続けている日本でのセシウム137とストロンチウム90の沈着量である。1986年のピークがチェルノブイリである。1960年代には大気圏内核実験により世界中で猛烈な汚染があった。チェルノブイリからのセシウム137は、日本では過去の核実験全体の3%程度に相当した。ヨーロッパでは核実験を全部合わせたくらいだった。

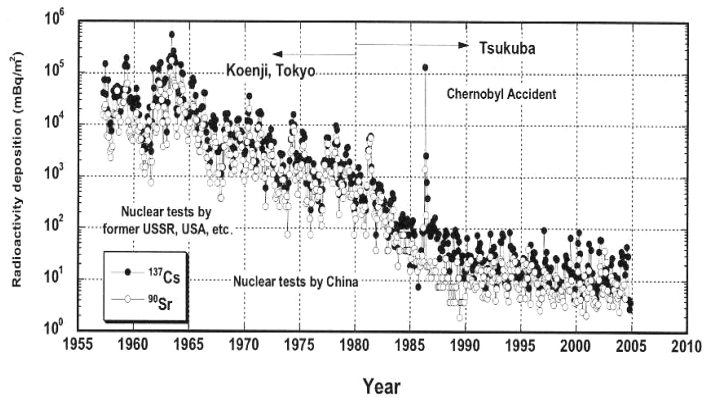


図15. 気象研でのセシウム137とストロンチウム90の沈着量観察データ(1955~2005).

表6. チェルノブイリからの沈着放射能による日本での1年間の平均被曝量. 単位: mSv

	大人	乳児
外部被曝: 全身	0.003	0.003
内部被曝: 全身	0.001	0.006
内部被曝: 甲状腺	0.15	0.5

表6は、日本での1年間の平均被曝量を見積もったものである。自然放射線レベル(年間約1mSv)に比べ、全身線量は神経質になるほどではないが、乳幼児の甲状腺被曝はちょっと気にかかるレベルであった。

資料: RBMK1000 炉の仕様

項目	内容
出力	電気出力 100 万 kW, 熱出力 320 万 kW (発電効率 31.3%)
タービン	50 万 kW × 2 台 (冷却系は 2 ループ)
炉心サイズ	直径 11.8 m, 高さ 7.0m の円筒形。 <ul style="list-style-type: none"> 炉心の基本構造は, 減速材である黒鉛ブロックを積み上げて作られる。 黒鉛ブロックには圧力管チャンネル用の孔があり, 圧力管チャンネルは炉心を上下に貫通する。
黒鉛ブロック	25cm × 25cm × 60cm の直方体, 密度 1.65g/cm ² 。 <ul style="list-style-type: none"> 中心に直径 11.4cm の上下方向貫通孔。 黒鉛ブロック総重量 1700 トン
炉心容器サイズ	直径 14.52m, 高さ 9.75m の円筒形。 <ul style="list-style-type: none"> 炉心の上下・円周には黒鉛反射体や鉄遮蔽体があり, それらを囲む炉心容器 (シュラウド) が炉心スペースの気密バウンダリを構成。 炉心スペースの耐圧は 1.8kg/cm³。 炉心容器の周辺は, 環状の水タンク (厚さ 2.4m) があり, さらに充填砂層があってコンクリート壁に至る。 炉心容器の上下には, 上部構造板 (直径 17m, 高さ 3m) と下部構造板 (直径 14.5m, 高さ 2m) があり, それぞれチャンネル用の孔が貫通している。
圧力管チャンネル数	1661 本
圧力管	外径 88 mm, 内径 80mm。 <ul style="list-style-type: none"> 材質: 炉心部はジルコニウム合金で, その上下にステンレス管を溶接。 圧力管の中には, 燃料集合体が 1 体ずつ挿入される。 冷却水は下部から入り, 沸騰しながら上部出口から出る。 運転中に圧力管を 1 本ずつループから隔離して燃料交換する。 黒鉛ブロックとの隙間は, 黒鉛リングを用いて密着させる。
制御棒チャンネル数	211 本 <ul style="list-style-type: none"> 中性子吸収材: 炭化ホウ素。 出力自動制御棒 12 本, 局所出力自動制御棒 12 本, 手動制御棒 115 本, 緊急保護棒 24 本, 局所緊急保護棒 24 本, 短尺制御棒 24 本。
燃料	2 酸化ウラン (濃縮度 2%) 燃料ペレット: 直径 11.5mm, 長さ 15mm。 燃料棒: 外径 13.6mm, 長さ 3.5m。被覆管はジルコニウム合金, 厚さ 0.9mm。 <ul style="list-style-type: none"> 炉心のウラン装荷量 194 トン 設計燃焼度: 20MWD/kg
燃料集合体	副燃料集合体: 長さ 3.5m, 燃料棒 18 本を束ねて中心管で固定。 燃料集合体: 長さ 7m, 副燃料集合体 2 つを上下に連結。 <ul style="list-style-type: none"> 燃料集合体当りウラン量: 114.7kg。
冷却系	冷却材: 軽水 <ul style="list-style-type: none"> 圧力管入口温度: 270° C。 圧力管出口: 温度 284° C, 圧力 70kg/cm², 蒸気含有率 14.5%。 主循環ポンプは各ループに 4 台 (1 台は予備), 計 8 台。 炉心冷却材流量: 3 万 7600 トン / 時。蒸気供給量: 5800 トン / 時。

- 1986 年ソ連政府チェルノブイリ事故報告書を基に作成。
- RBMK 炉の起源をたどると, 原爆用プルトニウム生産のためにソ連で開発された黒鉛炉 (F1) に至る。
- 世界最初の原発であるオプニスク原発 (5000kW, 1954年) は, RBMK 炉のひな型である。
- 1958年にはシベリア 1 号炉 (RBMK, 10万kW, 1989年閉鎖), 1967年にはベロヤルスク 2 号炉 (RBMK, 16万kW, 1990年閉鎖) と出力増加し, 1973年に最初の RBMK-1000 であるレニングラード 1 号炉の運転が始まった。

資料:事故経過(1986年4月25-26日)

1986年4月25日	この日、チェルノブイリ4号炉は、点検修理のため、運転開始以来はじめての原子炉停止作業に入った。原子炉停止に際して、いくつかの機器の作動テストや特性試験が予定されていた。その1つに、事故時に非常用ディーゼル発電機が動き出すまでのECCS(緊急炉心冷却装置)ポンプ用電源として、タービンの慣性回転を利用する電源のテストがあった。テストにあたっては、ECCSポンプの模擬として、その電源に主循環ポンプ4台が接続されることになっていた。
25日1時	定格出力(熱出力320万kW)から出力降下を開始。
25日3時47分	熱出力160万kWまで出力低下。
25日4時13分 ~12時36分	熱出力150万kWの状態、No.7とNo.8タービン発電機の調節システム特性と振動特性の測定を順次実施。
25日13時5分	2台のタービンのうちの1つ(No.7)を切り離し。
25日14時	ECCSを解除。そのまま出力低下を続ける予定であったが、ここでキエフ給電指令所の要請により、160万kWでの運転を継続。
25日23時10分	出力降下作業を再開。
4月26日0時28分	熱出力約50万kWで、出力制御系を切り替え(局所出力自動制御系から平均出力制御系へ)。切り替え中に予定外の出力降下が生じ、出力0~3万kWまで低下。
0時41分~1時16分	No.8タービンを切り離し、タービンの空回転時の振動特性を測定。
26日1時頃	出力再上昇の努力の結果、なんとか20万kWで出力が安定するに至り、予定以下の出力で電源テストを実施することになった。
26日1時3分と7分	運転中の6台の主循環ポンプに加えて、2台のポンプが追加され、全8台のポンプが運転に入った。
26日1時23分頃	この頃の炉の状況は、反応度操作余裕の低下と低出力にともなう正のボイド反応度係数の増加などが相まって、一触即発の状態に陥っていたが、運転員がそのことを知る由はなかった。
1時23分4秒	運転員はもうNo.8タービンへの蒸気弁を閉じ、慣性回転による電源テストが始まった。テスト電源に接続されていた4台の主循環ポンプの流量が若干低下し、炉心での蒸気発生がいくらか増えたが、その効果は、若干の圧力上昇と自動制御棒の挿入で相殺された。テスト中、炉の出力は安定しており、運転員の操作や警報の作動をうながすような兆候はなかった。
1時23分40秒	運転班長のアキーモフが、制御棒一斉挿入(AZ-5)ボタンを押した。
1時23分43秒	「出力急上昇」警報と「出力大」警報が発生。
1時23分46~47秒	ポンプ電源停止、流量減。気水分離タンク圧力高、水位上昇。「出力制御系不調」信号。
1時23分49秒	「炉心容器内圧力上昇」信号(圧力管の破壊)。「制御棒駆動電源喪失」信号。 「自動制御棒駆動部不調」信号。
1時24分	運転日誌に、「1時24分、強い爆発、制御棒は原子炉下端まで達せず停止。制御棒電源停止」

・運転班長がAZ-5ボタンを押したことが、事故の発端となった(彼がなぜAZ-5を押したかは不明)。すなわち、制御棒の一斉挿入によりポジティブスクラムが発生し、停止するはずの原子炉が逆に暴走を始めた。急激な出力上昇により、燃料棒、さらには圧力管が破壊され、大量の蒸気発生にともなう正のボイド係数の出現により、さらなる暴走がもたらされた。炉容器内の圧力上昇は、原子炉上部構造物をもち上げ大量のチャンネルを破壊し制御棒を固着させ、万事休すとなった(1991年特別調査委員会報告の見解)。

・目撃者によると、1時24分頃2回の爆発が続いて起き、夜空に向けて花火のように吹き上がった。

・ソ連原子力産業安全監視国家委員会特別調査委員会報告(1991年1月)を中心にして作成。

本レジユメの参考文献は、今中哲二・原子力資料情報室「チェルノブイリを見つめなおす:20年後のメッセージ」(原子力資料情報室 2006.4.14 発売)に掲載してある。