

何が起きたのか

今中哲二

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、圧力チャンネル管が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斉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⁽¹⁾。

4号炉が停止する機会に合わせて、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⁽²⁾。

4月25日午前1時、4号炉では定格（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、ここでキエフ給電司令部の要請により、出力50%で運転を継続することになった。

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。

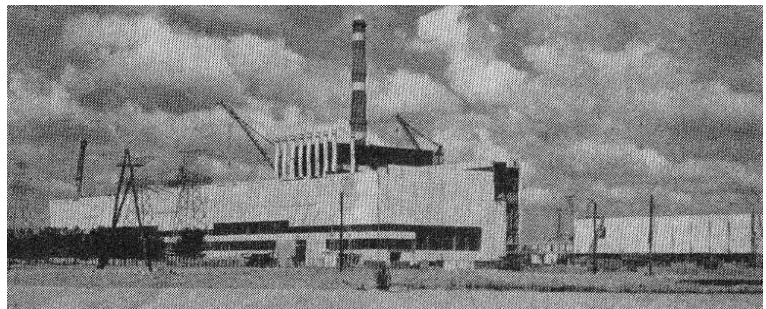


図1. 建設中のチェルノブイリ原発1号炉

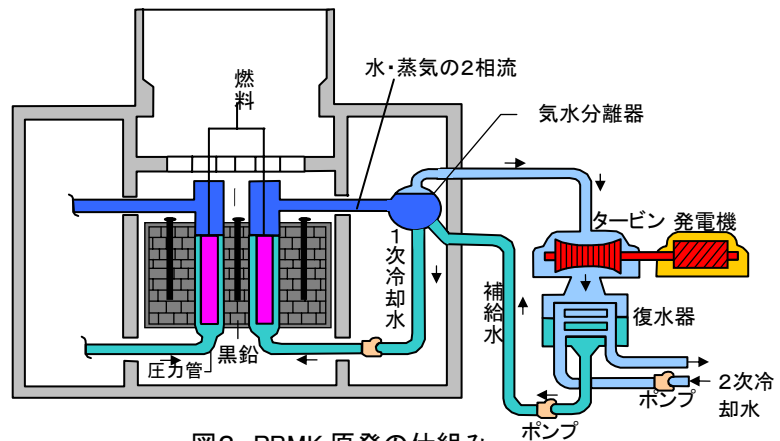


図2. RBMK 原発の仕組み

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⁽³⁾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ビナが到着し、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、シチェルビナの決断により、プリピャチ市民を翌27日に避難させることになった⁽⁴⁾。

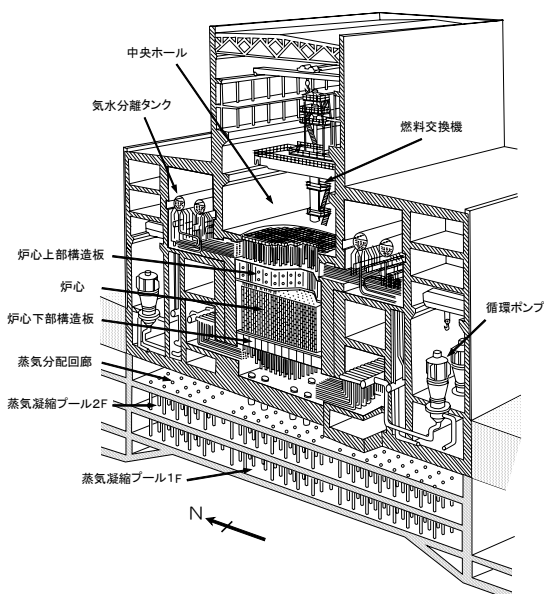


図3. 炉心部の構造図。

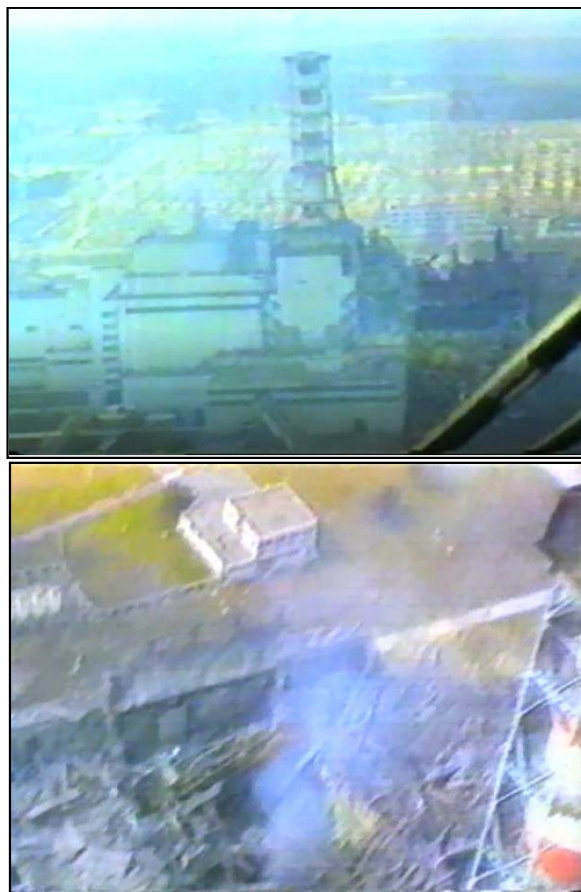


図4. 夜が明けた現場(サクリファイス⁽⁵⁾より)

周辺30km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。

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7万1000人が避難した。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れることはなかった。結局事故から約2週間の間に、原発周辺30km圏のウクライナ領から約9万1000人、ベラルーシ領から2万5000人、合計約11万6000人の強制避難が実施された。

表1は、1986年8月にソ連政府がIAEAに提出した事故報告書⁽²⁾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”の推定は約30ミリシーベルトである⁽⁶⁾。)

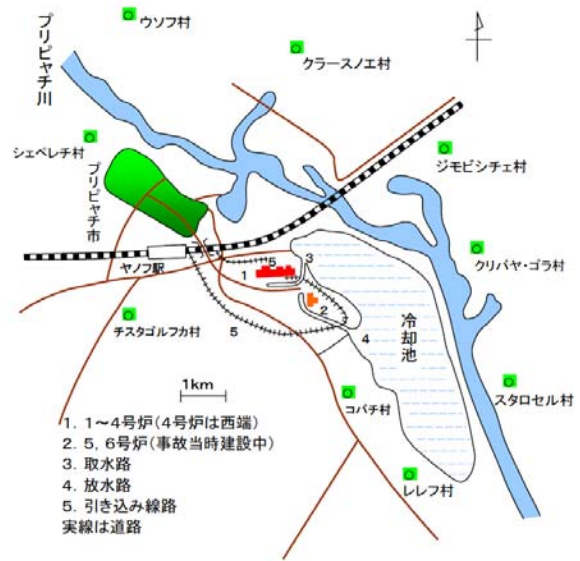


図5. 原発・プリピャチ市周辺

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。

事故処理作業と石棺の建設

火事発生をうけて、プラヴィク中尉率いる発電所消防隊が現場に到着したのは、4号炉が爆発した5分後であった。5分ほど遅れてキベノク中尉のプリピャチ市消防隊が到着した。プラヴィク隊はまず、延焼を防ぐため、タービン建屋屋上の消火にとりかかった。後からきたキベノク隊は、原子炉中央ホールの消火作業にかかった。被曝を恐れて尻込みをする消防士はいなかった。というより、放射能の危険について知らされていなかったというべきであろう。消火活動の途中から、気分が悪くなったり嘔吐する者が続出し、次々と病院へ運ばれた。

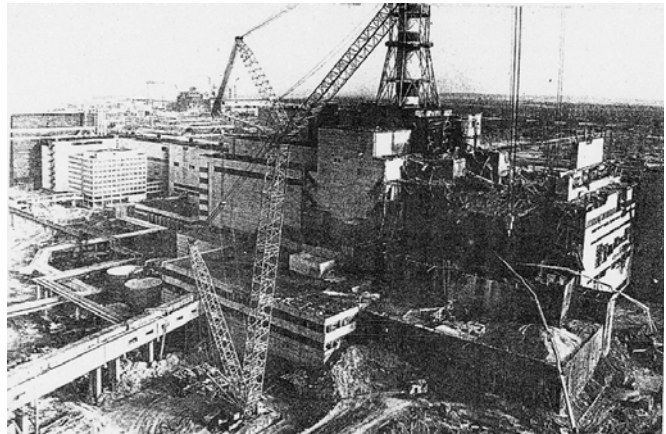


図6. 建設中の石棺(1986年8月)

原子炉が爆発したとき、いったい何が起きたのか、4号炉制御室にいた人々にもさっぱり分からなかった。運転日誌には「1時24分、強い爆発、制御棒は原子炉の下端まで達せずには停止」と記された。運転員が考えたことは、とにかく原子炉を破壊から守ることであり、そのため、制御棒を完全に挿入するとともに、冷却水を送り続けて炉心の冷却を確保することだった。すでに原子炉は破壊されており、運転員や原発職員はすみやかに退避すべきであったが、無駄な作業や無茶な指令により運転員らにも次々と急性放射線障害の兆しが表れた。

ソ連当局の発表によると、約300人が病院に収容され、そのうち28人が放射線障害で死亡した。また、事故当日に現場のガレキに埋もれて行方不明になった1人、火傷で死亡した1人、その他の死亡1人を加えて、合計31人が死亡したとされている。

核戦争での放射能汚染に備えて訓練されている、ソ連陸軍化学部隊が現場に着いたのは、4月27日であった。事故直後の現場の片付けは、この部隊が中心になって行われことは確かなのだが、具体的な作業内容や被曝量のはっきりしたところは、いまだに明らかでない。この部隊が滞在していた3週間ほどの間に、原子炉建屋周辺に飛び散っていた燃料や黒鉛が片付けられて、「石棺」作りに取りかかれるようになった(といっても、まだかなりの放射線だったが)。

6月から、破壊された建屋を丸ごと覆ってしまうという、石棺の建設がはじまった。ソ連各地から「愛国的労働者」が集まって、献身的な作業に従事した。また、原発構内や30km圏内の除染作業のため、30-40歳代の軍予備役が大規模に招集された。こうした事故処理作業従事者は「リクビダートル」と呼ばれている。図7は、石棺建設の終盤に実施された3号炉屋上の片付け作業で、約3000人の予備役による人海戦術がとられた。リクビダートルの被曝限度は25レントゲン(約250ミリシーベルト)であったが、多くの場合キチンとした測定はされていなかった。リクビダートルの総数は、80万人とも言われ、そのうち20万人が、汚染の強かった1986年、1987年に作業に従事した。



図7. 炉心の破片が飛び散っていた3号炉屋上の片付け(サクリフェイスより)

急性放射線障害死亡者 28 名

事故の日の夕方、モスクワから医師団が到着し、プリピャチ市の病院に収容されていた患者から重傷者が選別されモスクワ第6病院へ送られた。その後治療のかいなく 28 人が放射線障害でなくなっている。結局、事故当日に亡くなった 2 人、原因がよく分からないもう 1 人を合わせ、事故で死亡したのは 31 人というソ連の公式見解が現在も引き継がれている。表 2 は最後の 1 人を除いた 30 人の一覧である。第 6 病院では、米国からゲイル医師らが駆けつけて 13 名に骨髄移植を行ったが、全員死亡した。死亡日は、被曝から 2～3 週間後の 5 月の半ばに集中している。

放射線障害の人数については、5 月 14 日にゴルバチョフ書記長が TV 演説で、原発職員・消防士約 300 人が入院したと述べている。86 年 11 月の発表によると急性障害は 237 名となり、その後の「再検査」を経てさらに減少し、現在の公式見解では 134 名となっている⁽⁶⁾。表 3 は、237 名の重症度の分類と推定骨髄被曝量である。

図 8 は、キエフのチェルノブイリ博物館に展示されている急性放射線障害の“診断証明書”である。ウクライナ内務省の軍人 (31 歳) がキエフの第 25 病院に 86 年 5 月 22 日～8 月 12 日に入院し骨髄移植手術を受け、12 月 1 日～31 日にも入院している。被曝量は 3.2～3.7 グレイと推定されている。ソ連の公式見解に含まれていないこのような患者がどれくらいいたのだろうか？

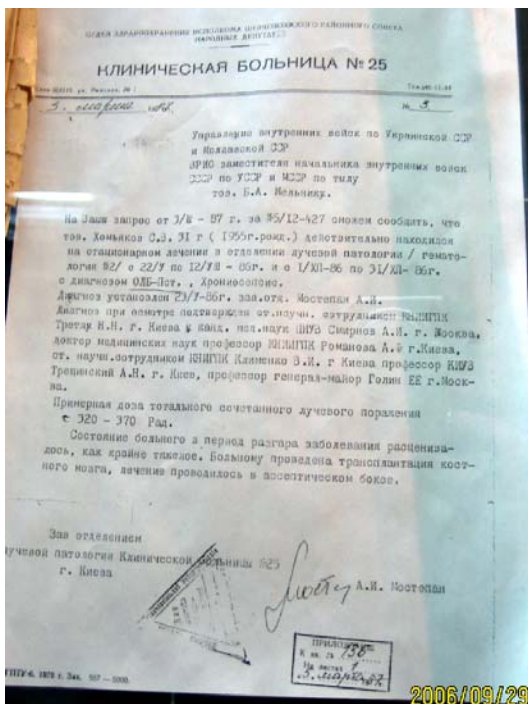


図 8. チェルノブイリ博物館の診断証明書

表 2. チェルノブイリ原発事故による消防士と原発職員の死亡者

| 名前 | 職場 | 年齢 | 死亡日 | 備考 |
|-----------------------|------------------|----|----------|----------------|
| 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 | プリピャチ消防隊 | 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 | 15 グレイ |
| トプトゥーノフ | 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 | |
| ブロスクリャコフ | 〃 | 31 | 5 月 17 日 | |
| ペレボズチェンコ | 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 | 原子炉に閉じこめられ行方不明 |
| デグチャレンコ | 〃 | 31 | 5 月 19 日 | |
| ペルチウク | タービン係 | 33 | 5 月 20 日 | 10 グレイ以上 |
| 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 | 25 グレイ、キエフで死亡 |
| バラノク | 電気係 | 32 | 5 月 20 日 | |
| ロバチューク | 〃 | 25 | 5 月 17 日 | |
| シャポパロフ | 〃 | 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 | |
| ポポフ | 調整技術者 | 46 | 6 月 13 日 | ハリコフ市から出張中 |
| サベンコフ | 〃 | 28 | 5 月 21 日 | |
| シャシェノーク | チェルノブイリ起動調整企業計器係 | 45 | 4 月 26 日 | 事故当日に火傷で死亡 |
| ルズガノフ | 女性警備員 | 59 | 7 月 31 日 | 通用門 |
| イワニエンコ | 〃 | 53 | 5 月 26 日 | 使用済み燃料プール建設現場 |

表 3. 急性障害患者の分類

| 急性障害重症度 | 骨髄線量 (グレイ) | 人数 | 死亡者数 (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 |

運転員に押しつけられた事故原因

1986年8月ソ連政府はIAEAに事故報告書⁽²⁾を提出し、それを受けて8月25日から29日までウィーンのIAEA本部で事故検討専門家会議が開かれた。会議で西側専門家は、ソ連代表団長レガソフの率直な報告を好意的に受けとめ、ソ連が提出した事故報告を全面的に了承した⁽⁷⁾。

ソ連報告書は事故の原因を「運転員による規則違反の数々のたぐいまれな組み合わせ」とし、表4に示した6つの違反を具体的に指摘した。6つの違反が重なった結果、電源テストの途中で原子炉が暴走をはじめ、運転員がそれに気が付いて制御棒一斉挿入ボタン(AZ-5)を押したが、間に合わなかった、と

いうストーリーであった。電源テストを制御室で指揮していた副技師長ジャトロフは、1987年の裁判で禁固10年の判決を受けた。1990年に早めに出所した彼は、事故についての論文を雑誌に発表し、「AZ-5ボタンを押すまで何も異常を示すものではなく平穩そのものであった、出力増などの警報が出たのはボタンを押して3秒後のことである、反応度操作余裕が低下していたことも運転員が非難される謂れはない、それを直接示す計器はなかった、低出力での運転は禁止されていたというがそんな規則は事故後に作られた、などなど、事故の原因は原子炉の構造的な欠陥であり、その責任はそれを知りながら対策を講じなかった人々にある」と訴え、「1986年ソ連報告は偽りだらけであり、そうした報告をなぜIAEAが鵜呑みにできたのか理解できない」と書いている⁽⁸⁾。

事故の主な原因が、「正のボイド反応度係数」と「ポジティブスクラム」というRBMK炉の構造的な欠陥にあったことは、事故のすぐあと5月の段階で判明していた。古今東西、まずいことの責任は弱い者に押しつける、というのが権力者の常套手段であろう。RBMK炉に構造的欠陥があるとすると、それを開発した、ソ連科学アカデミー総裁でクルチャトフ研究所長アレクサンドロフの責任を問う、ということになる。また、他に14基あるRBMK炉の運転も困難になるだろう。ゴルバチョフも出席した、7月はじめに開かれたソ連共産党政治局会議で、事故原因に関する公式見解が決定された⁽⁹⁾。

1991年、ソ連最高会議の要請を受けて事故原因の見直しを行った特別委員会は、「事故の原因は、運転員の規則違反ではなく、設計の欠陥と責任当局の怠慢にあり、チェルノブイリのような事故はいずれ避けられないものであった」と結論している⁽³⁾。

表4. ソ連報告書が指摘した運転員の6つの違反

- | |
|---------------------------|
| ① 制御棒「反応度操作余裕」が基準以下で運転した。 |
| ② 予定以下の出力で電源テストを行った。 |
| ③ 循環ポンプを増やして運転し既定流量を越えた。 |
| ④ タービン蒸気弁閉のスクラム信号を切り離れた。 |
| ⑤ 気水分離タンクのスクラム信号を切り離れた。 |
| ⑥ ECCS信号を切り離していた。 |



図9. 4号炉制御室(2002年11月)



図10. 1号炉制御室の制御棒位置表示板

正のボイド反応度係数とポジティブスクラム

核分裂の際に発生する中性子は、エネルギーが大きく（平均 2 MeV）光の 10 分の 1 くらいの速度である。高速中性子は原子核に捕まりにくく、つまり、そのままでは核分裂の連鎖反応を維持するのが難しい。そこで、パチンコ玉の衝突のように、中性子を軽い元素の原子核と散乱させながら減速させてやる（エネルギーを下げる）。減速されて、まわりの物質の熱振動と平衡状態になった中性子が「熱中性子」である。ウラン 235 の場合、熱中性子になると、高速中性子に比べ 500 倍ほど核分裂を起こしやすくなる。と同時に、熱中性子はいろいろな物質にも吸収されやすい。原子炉で核分裂連鎖反応を維持するには、中性子をうまく減速させ、他の物質に吸収されないうちに、ウラン 235 に捕捉されて再び核分裂が起きるようにする。「減速材」として優秀なのは重水と黒鉛である。軽水（普通の水）は、衝突した際の減速効果はいいのだが中性子吸収が大きく、減速材としては重水や黒鉛に劣る。

☞**正のボイド反応度係数**：「反応度」とは、炉内での核分裂の数（出力）が増えているか減っているかを示す値である（反応度 = 0 なら一定、プラスは増加、マイナスは減少）。原子炉の反応度は、制御棒位置、燃料濃縮度、燃料温度などいろいろな要因が合わさって決まる。「正のボイド反応度係数」とは、冷却材密度の変化が反応度に与える効果を示している。つまり、炉心での沸騰が増えて、中性子吸収役でもある水の量が減ると、原子炉の出力にプラスに働いてしまうことを示している。チェルノブイリ事故の場合、低出力で運転されていたこと、ほとんどの制御棒が引き抜かれていたことが、「正のボイド反応度係数」の効果を大きくしたと言われている。「最初の暴走」で何本かのチャンネル管が破損し、蒸気が発生してボイドが増えて「また暴走」、炉容器内圧力が上昇し上部構造板が持ち上がり、ほとんどのチャンネルが一挙に破壊され「さらに暴走」したものと思われる(1,10)。

☞**ポジティブスクラム**：スクラムとは「原子炉緊急停止」のことである。「ポジティブスクラム」とはチェルノブイリ事故後に作られた言葉で「原子炉を緊急停止しようとボタンを押したら逆に出力が増えた」というとんでもないことを示している。図 12 は、RBMK 炉制御棒チャンネルの構造である。中性子を吸収する制御棒本体の下に「黒鉛棒」がぶら下がっている。左側のように、制御棒を完全に引き抜くと、黒鉛棒の下に水柱部が出る。図 13 のプロット点は、電源テストが実施されたときの炉内出力分布計算値である(11)。炉心下部での出力が大きいという特徴があった。4号炉の運転員は、ほとんどの制御棒が引き抜かれた状態で制御棒一斉挿入ボタン（AZ-5）を押した。水柱部が黒鉛棒と置き替わって、原子炉下部にプラスの反応度が入って暴走し、燃料温度が急上昇してチャンネル管がいくつか破損したものと考えられている(1)。

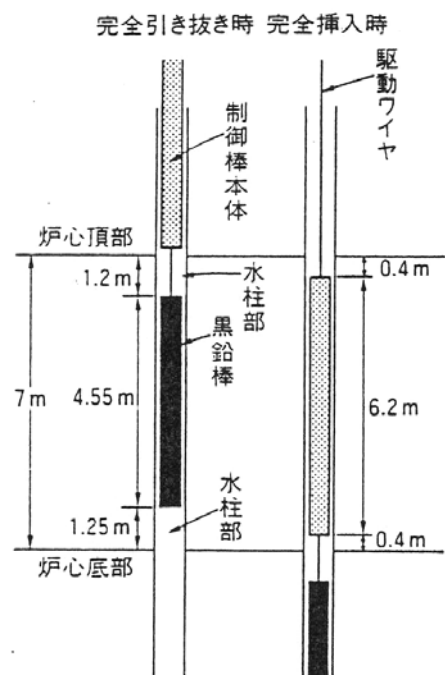


図 11. 制御棒と黒鉛フォロワー

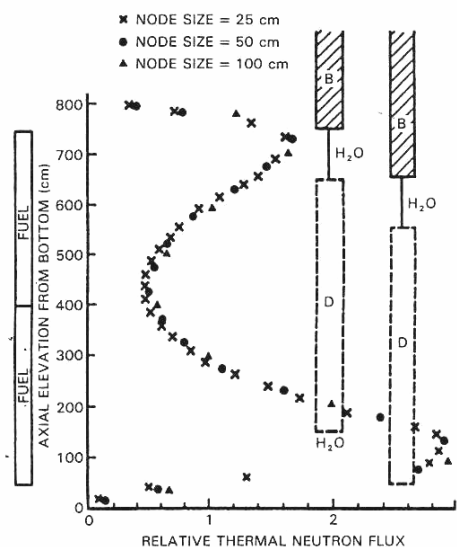


図 12. 事故直前の炉内出力分布

事故で放出された放射能の量

100万kWの原発が運転されているときに炉心にたまっている放射能の量は、短い半減期のものを除くと約40億Ci（キュリー）程度である（40億Ci=1.5×10²⁰Bq：ベクレル）。建屋もろとも原子炉が爆発炎上してしまったチェルノブイリ事故の場合、どれだけの放射能が放出されたか推定することは結構難しく、結局、地表に沈着した量など間接的なデータを使って放出量を見積もることになる。表5は、昨年9月のチェルノブイリ・フォーラム報告書の値である。キセノン133のような希ガスは炉心から100%の放出である。

短期的な汚染で問題となるヨウ素131で55%、長期的な汚染の主役となるセシウム137で30%となっている。揮発性の小さいストロンチウムやプルトニウムの放出割合は小さい。全体では約10%の放射能が放出されたとされている。放出放射エネルギーとしてよく引用されるのは、1986年ソ連報告の値であるが、それに比べると、ヨウ素131で2.8倍、セシウム137で2.3倍である。

核燃料はどこに：チェルノブイリ4号炉の炉心には190トンのウラン燃料が入っていた。1986年ソ連報告では、炉心から放出された燃料はその3%程度とされていた。炉心部には、チャンネル管、燃料、黒鉛のガレキがぎっしりと詰まっていた、その上に火事を消すためにヘリコプターから投下された砂や鉛（約5000トン）が山積みだろうと思われていた。ところが、事故から2年たって、炉心の側面に孔を開けてテレビカメラを入れたところ、炉心部はガランドウであった⁽¹⁰⁾。5000トンの資材も炉心に命中していなかった。

炉心の一部は最初の爆発で建屋周辺に飛び散り、残った燃料やチャンネル管は高温で融けて溶岩状になり、床や配管を通して地下プールへ流れていった。1700トンの黒鉛の大部分は10日余り続いて火事で燃えたものと思われる。図のように、炉心には、建屋の壁に使われていたパネルが落ち込んでいた。これは2000トンもあった上部構造板が爆発で空中に浮き上がっている間に入ったようだ。

放射線がいまだに強いこと、石棺建設時に注入されたコンクリートが流れ込んでいることなどで、石棺内に残っているウランの量を推定することも難しいが、元のウラン量の6割（±2割）ぐらいと推定されている。

表5. 放出放射エネルギーの推定値(1986.4.26 換算放射エネルギー)

| 主な核種 | 半減期 | 放出量 Ci (Bq) | 炉心からの 放出割合 |
|------------|---------|---|---------------|
| キセノン 133 | 5.3 日 | 1 億 8000 万 (7 × 10 ¹⁸) | 100 % |
| ヨウ素 131 | 8.0 日 | 4800 万 (2 × 10 ¹⁸) | 55 % |
| セシウム 137 | 30 年 | 230 万 (9 × 10 ¹⁶) | 30 % |
| ストロンチウム 90 | 29 年 | 27 万 (1 × 10 ¹⁶) | 4.9 % |
| プルトニウム 239 | 24000 年 | 400 (2 × 10 ¹³) | 1.5 % |
| <その他を含む合計> | | 3 億 7000 万 (1.4 × 10 ¹⁹) | 約 10 % |

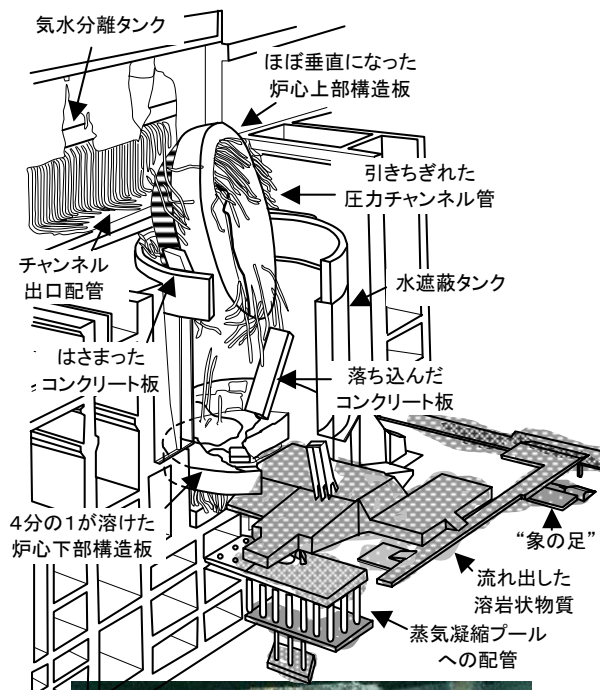


図13. 空っぽだった炉心(上)と溶岩状になって流れ落ちた核燃料(下)。

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ば抜いた⁽¹²⁾。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6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パンディンは、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ろうと推定している⁽¹³⁾。

表6 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次官ツェービン同志に対し、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,これまでの死者数は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.これまでの死者数は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: | 記載なし. |

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 14 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⁽¹⁴⁾。

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 7、8）⁽¹⁵⁾。

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、事故に対し第一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。

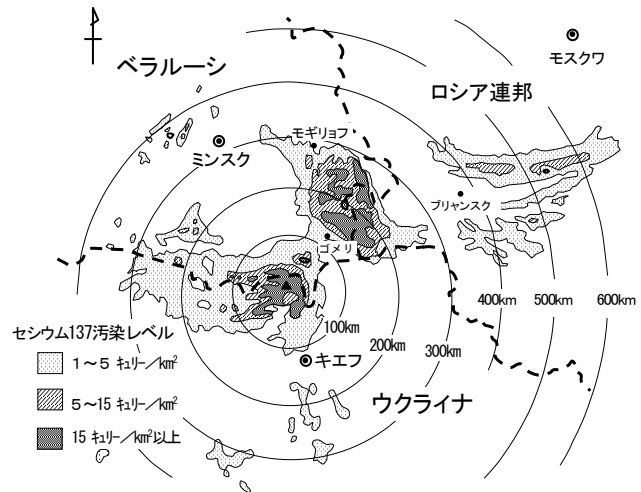


図 14. 事故から3年たって明らかになったセシウム 137 汚染

表 7. 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 (kBq/m 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 8. 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 (kBq/m 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。

チェルノブイリは北半球のほとんどを汚染した

1986年4月28日早朝、スウェーデン南部にあるフォルスマルク原発で放射線監視モニターの警報が鳴り響いた。原発から放射能漏れが起きたと思われる点検を行ったが、異常はなかった。その頃、スウェーデン各地の气象台でも放射能値があがっていた。放射能はどうやら、バルト海を渡ってソ連領から飛んできたものと考えられた。スウェーデン政府の問い合わせに対応して、タス通信がチェルノブイリ原発事故について短い発表を行ったのは、28日の午後9時だった⁽¹⁶⁾。

4号炉からの大量の放射能放出は、事故から10日間続いて、5月6日頃によく終息したと言われている。大量放出が止まった理由もいまだに定かではないが、炉心部の黒鉛が燃え尽きて火災が終わったためであろう。図15はこの間の放射能雲の流れである⁽¹⁷⁾。最初の雲は、ベラルーシ、リトアニアを通過して、バルト海からスカンジナビア半島へ向かった。次の雲は、ベラルーシからポーランドへ向かっている。この雲は4月末にオーストリア、スイス汚染をもたらした。表9は、ヨーロッパ諸国でのセシウム137汚染面積をまとめたものである⁽¹⁸⁾。北欧3カ国、オーストリア、イタリア北部といったアルプス地域の汚染が大きい。放射能雲の通過と雨が重なったところの汚染が大きかった。ヨーロッパの汚染を平均的に言えば、過去の核実験での汚染が一度に降ってきた程度であった。

日本の新聞やテレビで“チェルノブイリ”という聞き慣れないコトバが流れはじめたのは、当時の天皇誕生日である4月29日の朝からだ。日本に汚染が到達したのは、事故から1週間たった、5月3日頃である。図16は、今中らが、大阪府で観測した空气中放射能濃度の変化である。ヨウ素131（半減期8日）、セシウム137（30年）、ルテニウム103（39日）など約20種類の放射能が検出された⁽¹⁹⁾

表9 ヨーロッパ各国(ウクライナ、ベラルーシロシアを除く)のセシウム137汚染面積(単位:km²)

| 国名 | 国土面積 (km ²) | セシウム137汚染レベル, kBq/m ² | | |
|--------|-------------------------|----------------------------------|--------|--------|
| | | 10~20 | 20~37 | 37~185 |
| スウェーデン | 450,000 | 31,000 | 33,000 | 23,000 |
| フィンランド | 337,000 | 32,000 | 59,000 | 19,000 |
| ブルガリア | 111,000 | 27,500 | 40,400 | 4,800 |
| オーストリア | 84,000 | 28,000 | 25,000 | 11,000 |
| ノルウェー | 324,000 | 44,000 | 23,000 | 7,200 |
| ルーマニア | 238,000 | 54,000 | 13,000 | 1,200 |
| ドイツ | 366,000 | 29,000 | 14,000 | 320 |
| ギリシャ | 132,000 | 21,000 | 8,300 | 1,200 |
| スロベニア | 20,000 | 8,100 | 8,700 | 610 |
| イタリア | 301,000 | 15,000 | 7,000 | 1,400 |
| モルドバ | 34,000 | 19,000 | 1,900 | — |
| スイス | 41,000 | 6,400 | 2,300 | 730 |
| ポーランド | 313,000 | 10,000 | 3,500 | 520 |
| ハンガリー | 93,000 | 5,200 | 230 | — |
| イギリス | 240,000 | 15,000 | 1,700 | 160 |
| エストニア | 45,000 | 1,700 | 280 | — |
| リトアニア | 65,000 | 50 | — | — |
| チェコ | 79,000 | 13,000 | 3,500 | 210 |
| スロバキア | 20,000 | 6,800 | 800 | 20 |
| クロアチア | 56,000 | 1,100 | 30 | 20 |
| フランス | 550,000 | 1,200 | — | — |

注：過去の核実験による汚染レベルは2~3kBq/m²程度。

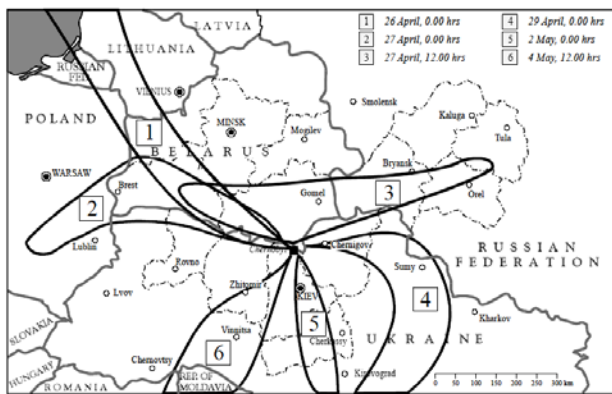
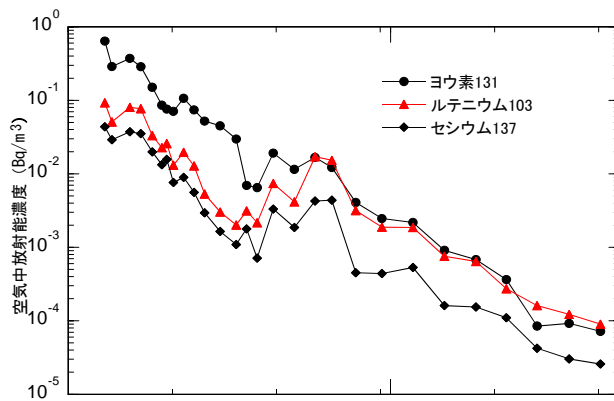


図15. チェルノブイリからの放射能雲の流れ



1986年5月 1986年6月
図16. 京大原子炉(大阪府熊取町)で観測した空气中放射能濃度

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17は、大阪府熊取町で5月5日にサンプリングした空気フ

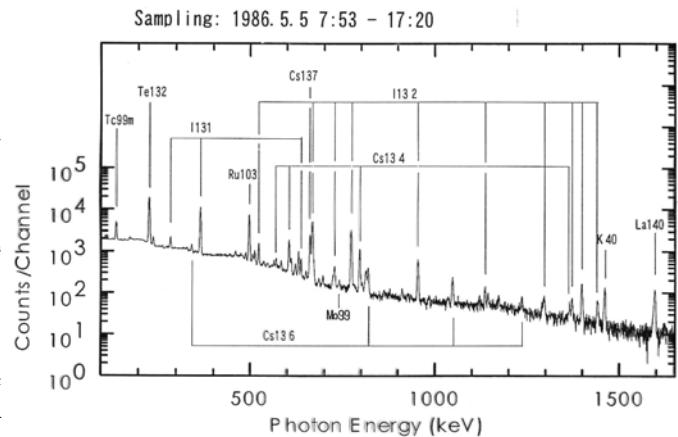


図 17. 5月5日に京大原子炉実験所で採取した空気フィルターのガンマ線スペクトル

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1 m³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3.7×10⁻³ mSv/Bqとして、0.8×4×3.7×10⁻³≒0.01 mSv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1 m³当り500Bq、牛乳から1 m³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200 Bq/m²程度だった。図18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⁽²⁰⁾。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。

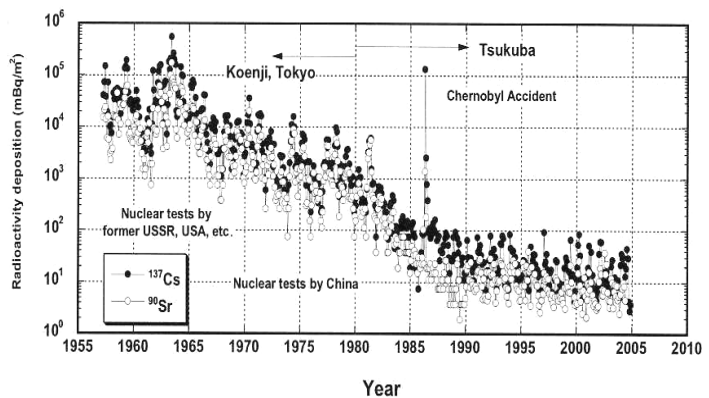


図 18. 気象研でのセシウム137とストロンチウム90の沈着量観察データ(1955~2005)。

表 10. 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 10 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⁽²¹⁾。自然放射線レベル(年間約1 mSv)に比べ、全身線量は神経質になるほどではないが、乳児の甲状腺被曝は気にかかるレベルであった。

事故被災者

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。チェルノブイリの影響を考えるにあたって、今中は被災者を以下のように分類している。

| | <人数> | <全身被曝量> |
|--|------------|------------|
| ➤ 事故現場に居合わせた原発職員・消防士たち …………… | 1000~2000人 | 1~20Sv |
| ➤ 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 |

全身被曝量は、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。30km圏避難民の被曝は、チェルノブイリ・フォーラム報告書などでは平均約30mSvとされているが、この値は過小評価と思われる。また、避難民や汚染地域住民は、上記の10~100倍程度の甲状腺被曝をヨウ素131汚染により受けている。

「チェルノブイリ事故の被害を解明する」とは、上のような被災者にどのような災厄がもたらされたのかを明らかにすることであろう。現実の被害というものは、(原発事故) → (放射能汚染) → (被曝影響) という専門家的な図式ではとらえられない。本報告書は、そうした捉えがたいところへのアプローチの試みであるが、本稿のおわりに以下の2点を指摘しておきたい。

◆ その1:事故当時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。1991年末にソ連が崩壊してすでに15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。

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。「放射線被曝にともなう健康被害」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。

文献

1. 今中哲二「運転員はなぜ AZ5 ボタンを押したか？ チェルノブイリ原発事故の暴走プロセス」技術と人間、2002年5月号.
2. USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy, “The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and Its Consequences”, August 1986.
3. Комиссия Госпроматомнадзора СССР, “О причинах и обстоятельствах аварии на 4 блоке чернойбыльской АЭС 26 апреля 1986г”, 17.01.1991.
4. 今中哲二、「放射能汚染と被災者たち(1)-(4)」、技術と人間、1992年5～8月号.
5. E. Andreoli, W. Tchertkoff 監督, The Sacrifice, Feldat Film, 2003 (日本語字幕版：原子力資料情報室)
<http://www.dissident-media.org/infonucleaire/sacrifice.html>.
6. Chernobyl Forum, Chernobyl’s Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. IAEA, 2005.
7. 原子力安全委員会ソ連原子力発電所事故調査特別委員会、「ソ連原子力発電所事故調査報告書：第1次」、1986年9月.
8. Dyatolov A. “How it was: an operator’s perspective”, Nuclear Engineering International, November 1991.
9. 七沢潔、「原発事故を問う：チェルノブイリから、もんじゅへ」、岩波新書、1996.
10. 今中哲二「水素爆発か核爆発か？ チェルノブイリ原発4号炉爆発の正体」技術と人間、2002年7月号.
11. Chan and Dastur, “The Sensitivity of Positive Scram Reactivity to Neutronic Decoupling in the RBMK-1000”, Nuclear Science and Engineering, 103:289-293, 1989.
12. アラ・ヤロシンスカヤ (和田あき子訳)、チェルノブイリ：極秘、平凡社、1994年.
13. ウラジーミル・ルパンディン (今中哲二訳)、「隠れた犠牲者たち」、技術と人間、1993年4月号
14. 放射能汚染食品測定室、「チェルノブイリ原発事故による放射能汚染地図」(1990)より作成.
15. 今中哲二編、「チェルノブイリ事故による放射能災害：国際共同研究報告書」技術と人間、1998.
16. 松岡信夫、「ドキュメント チェルノブイリ」、緑風出版、1988年.
17. UNSCEAR 2000 Report, ANNEX J, United Nations, 2000.
18. M. De. Cort et.al, “Atlas of Caesium Deposition on Europe after the Chernobyl Accident, EUR16733, EC, 1998.
19. Imanaka T., Koide H., “Fallout in Japan from Chernobyl”, J. Environ. Radioactivity, 4:149-153 1986.
20. 気象研・地球化学研究部、「環境における人工放射能の研究 2005」2005.
21. 今中哲二・小出裕章、「放射線ガン死のリスク係数と日本の汚染」、別冊経セミ、p77-86、1988年8月.

※ 本稿は、今中哲二・原子力資料情報室 編著「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年4月）からの抜粋原稿に手を入れたものです。