

チェルノブイリ原発事故による放射能汚染 と最近の諸問題

今中哲二・瀬尾 健・小出裕章・海老沢 徹・川野眞治・
小林圭二(京大炉)

京都大学原子炉実験所

第27回学術講演会

報 文 集 別 刷

1993 年 2 月

(26) チェルノブイリ原発事故による放射能汚染 と最近の諸問題

今中哲二・瀬尾 健・小出裕章・海老沢 徹・川野眞治・
小林圭二(京大炉)

RADIOACTIVITY CONTAMINATION BY THE CHERNOBYL ACCIDENT AND RELATED ISSUES

T. Imanaka, T. Seo, H. Koide, T. Ebisawa, S. Kawano and K. Kobayashi

Research Reactor Institute, Kyoto University
Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka, 590-04

Recent information has been reviewed about the radioactivity contamination and the radiation situation by the Chernobyl-4 accident. The people suffering from radiation exposure can be divided into the following four groups:

- (I) plant's staffs and firemen who were working at the time of accident --- more than 1,000 persons,
- (II) rectifiers of the accident --- 0.6-1.0 million persons,
- (III) evacuee from the 30 km zone --- 135,000 persons,
- (IV) inhabitants within the contaminated area with ^{137}Cs level more than 1 Ci/km^2 --- 5.5 million persons.

We have tried to assess the radiation dose to inhabitants within the contaminated area and the European part of the former USSR. Contaminations of radionuclides other than ^{137}Cs were assumed on the basis of activity ratios to ^{137}Cs . The collective dose for 70 years has been estimated to be 80,000 person·Sv and 600,000 person·Sv for the heavily contaminated area with ^{137}Cs level more than 15 Ci/km^2 (270,000 persons) and for the European part of the former USSR (75 million persons), respectively.

1. はじめに

今年の4月26日で、チェルノブイリ原発事故が発生して以来7年になる。我々はこの間、事故で放出された放射能量の検討^{1,2)}、日本での放射能汚染の測定^{3,4)}、現地での汚染調査など^{5,6)}、さまざまな側面から事故の解明に取り組んできた。

チェルノブイリ事故で放出された放射能は、北半球のほぼ全域に及び、さらにヨーロッパなどの汚染地帯で生産された食品の輸出入によっても、放射能の拡散がもたらされている。そうした意味では、北半球にすむほとんどの人が事故の被災者である、と言えなくもないが、旧ソ連内の汚染地域の人々の被害は圧倒的に大きなものである。我々としては、チェルノブイリ事故の被災者を、次のようなグループに分けて考えている⁷⁻¹⁰⁾。

- i. 事故時の運転員と消防士たち (1000人余り)
- ii. 事故処理作業員 (60万~100万人)
- iii. 事故直後避難住民 (13万5000人)
- iv. 汚染地域住民 (約550万人)

チェルノブイリ事故がもたらした被害の全体を議論するには、これらのグループの被害を、それぞれの被災状況に即して明らかにして行くことが必要である。チェルノブイリ事故については、すでに多

くの報告があるものの、そのような意味での包括的な報告はいまだなされていない。

ここでは、チェルノブイリ周辺の汚染状況や事故原因に関する新しい報告など、最近明らかになってきた情報を整理するとともに、チェルノブイリ事故による被災状況についてまとめてみる。



<図1 チェルノブイリ周辺のセシウム137汚染>

2. 放射能汚染の現状

事故から4ヶ月後の1986年8月、ソ連政府は、事故に関する報告書¹¹⁾（以下、1986年ソ連報告）をIAEAに提出している。1986年ソ連報告によると、原子炉の爆発とそれに続く黒鉛火災にともなって、大量の放射能放出が10日間続いた。その間に放出された放射能量は、5月6日の放射能量に換算して、希ガスで5000万Ci（炉内のほぼ100%）、希ガス以外の放射能で5000万Ci（同3.5%）、合計1億Ciとされている。そのうち、揮発性の放射能については、ヨウ素131は730万Ci（同20%）、セシウム137は100万Ci（同13%）である。また、事故直後、原発周辺30km圏内から住民13万5000人が避難した。

1986年ソ連報告の放出量の値は、ソ連国内に沈着した放射能の総量を推定して放出量としたもので、ソ連外に達した分は含まれていない。我々は、ソ連国外の汚染データと、ソ連国内の断片的な汚染データを、総合的につなぎ合わせて放出量の評価を行った^{1・2)}。我々の評価は、1986年ソ連報告に比べ、希ガス以外の核種の合計で2.2倍、ヨウ素131で3.5倍、セシウム137で4.4倍の放出量となった。

放射能放出量については、さまざまな研究者により評価が試みられているものの、それぞれの評価手法には限界があり、いまだ確定的な値は得られていない¹²⁾。事故炉そのものの調査を行っているクルチャトフ研の最近の見解では、セシウム137の放出量として、炉心の33～60%という値を出している¹³⁾。

ソ連国内の放射能汚染に関する具体的な情報は、1986年ソ連報告以降の数年間、ほとんど出て来なかった。チェルノブイリ周辺での汚染や被災者に関する情報は極秘扱いとされ、ソ連国外へはもちろん、汚染地域の住民にも知らされなかった。たまに出てくる情報は、汚染地域の除染作業が順調に進んでおり、事故直後に避難した住民たちも徐々に帰村しつつある、といった感じのものであった。

チェルノブイリ周辺での深刻な汚染状況が明らかになり出したのは、事故から3年近くたった、1989年のはじめ頃からである。当時のソ連では、ゴルバチョフのペレストロイカが行き詰まり、共産党とモスクワ連邦政府の力が衰え始めていた。汚染地域住民の突き上げにより、放射能汚染地図が公表され、情報隠しの責任と汚染対策を求める運動が広がって行った。1989年7月、ベラルーシの最高会議は、セシウム137の汚染が $15\text{Ci}/\text{km}^2$ を越える汚染地域の住民約11万人を新たに移住させる決定を行っている。

放射能汚染による長期的な影響を考える場合、最も問題となるのはセシウム137である。セシウム137の汚染地図を図1に示す¹⁴⁾。一般に、汚染地域とは、セシウム137の汚染密度が $1\text{Ci}/\text{km}^2$ 以上のところを指して使われている。 $1\text{Ci}/\text{km}^2$ とは、1m四方に1μCiであるから、放射性物質を扱っている我々の感覚で言えば、かなりの汚染と言えよう。1990年に行った我々の現地調査に基づく、 $1\text{Ci}/\text{km}^2$ のセシウム137汚染当りの空間線量率は、 $0.06\mu\text{Sv}/\text{h}$ であった⁵⁾。つまり、大ざっぱに言って、 $1\text{Ci}/\text{km}^2$ のセシウム137汚染があると、空間線量率はバックグラウンドの2倍となる。

図1のような汚染地図を目にして我々が驚いたのは、原発から北東150～300kmおよび東北東400～600kmにも飛び地のようにかなりの汚染地域が広がっていたことである。その形を一見すると、モスクワに近づく放射能雲を撃ち落として、モスクワを放射能から守ったかのように広がっており、人工降雨を試みたというウワサも伝えられている。その真偽は明かでないが、数万 km^2 にも及ぶ広さを考えると、人工降雨というより、自然の気象条件がもたらしたものであろう。チェルノブイリ原発は、ウクライナに位置しているが、最も大きな汚染を受けたのはベラルーシであった。セシウム137の汚染レベル別の面積¹⁵⁾とそこの住民数¹⁶⁾を、表1と表2に示す。

ストロンチウム90とプルトニウムについても、同様の汚染地図が発表されているが、汚染の広がりということでは、セシウム137に比べ、かなり限定されている¹⁷⁾。また、ベラルーシでは現在、事故直後のヨウ素131の汚染地図が作成されつつある¹⁸⁾。事故直後の空間線量や甲状腺被曝については、いまだ断片的なデータしか報告されていない。ヨウ素131に関する詳細な汚染地図が得られれば、そうした事故直後の被曝を評価するにあたって貴重なデータになるものと期待している。

<表1 セシウム137による汚染面積>

	単位: km^2				
	セシウム137の汚染レベル (Ci/km^2)				
	1～5	5～15	15～40	40以上	1以上合計
ロシア共和国	3万9280	5450	2130	310	4万7170
ベラルーシ共和国	2万9920	1万170	4210	2150	4万6450
ウクライナ共和国	3万4000	1990	820	640	3万7450
3共和国合計	10万3200	1万7610	7160	3100	13万1070

1991年4月26日のブラウド紙より。

<表2 汚染地域の住民数>

	単位: 万人				
	セシウム137の汚染レベル (Ci/km^2)				
	1～5	5～15	15～40	40以上	1以上合計
ロシア共和国	157.1	21.8	11.0	0.5	190.4
ベラルーシ共和国	173.4	26.7	9.5	0.9	210.5
ウクライナ共和国	122.7	20.4	3.0	1.9	148.0
3共和国合計	453.2	68.9	23.5	3.3	548.9

1990年ソ連 Gosplan 委員会の報告に基づく。ただし、ロシア共和国については、人口密度を1平方km当り40人とし、表1のデータを用いて補正した。

3. 被災者の状況

3-1. 被災者グループその1：事故当時の運転員と消防士たち⁷⁾

1986年4月26日午前1時24分少し前、チェルノブイリ原発4号炉は爆発し、建屋の外にいた目撃者によると、花火のような火柱が夜空に吹き上がったという。そのとき、4号炉では、タービンの慣性回転を利用した非常電源のテストが行われていた。発電所には、1～4号炉の運転管理要員として176人、5・6号炉の建設要員として268人などが居合わせていた¹⁹⁾。

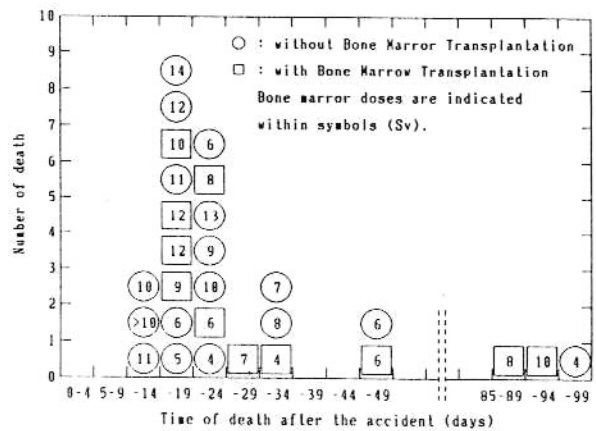
事故が発生したとき、4号炉の制御室には、電源テストの要員をふくめ、14人が詰めていた。原子炉の爆発にともなう衝撃や停電などで、緊急事態が発生したことは歴然としていたが、いったい何事が起きたのか、制御室の人々には分からなかった。運転員たちはまず、挿入の途中でひっかかってしまった制御棒を完全に入れようとしたがダメだった。そして、とにかく炉心に水を入れようということで、給水作業に取り組んだ。原子炉そのものは最初の爆発で崩壊していたが、急を聞いて駆けつけた発電所長をはじめ幹部たちは、原子炉そのものの破壊を認めたがらず、そのため無用の作業を命じ、犠牲者の数が増えたという²⁰⁾。

発電所の消防隊が現場に到着したのは、爆発の5分後であった。さらに5分ほど遅れて、発電所の隣のプリピャチ市の消防隊も到着した。火災は、原子炉そのものを除き、数時間で鎮火した。消火作業の途中から、気分が悪くなったり、嘔吐する消防士が続出し病院へ運ばれた。この日出動した消防隊は、車両81台で総数186人だったと報告されている¹⁹⁾。

発電所に備えてあった放射線サーベメータはほとんど役にたたなかった。その最大目盛りは、3.6R/hで、至るところで振り切れてしまった。放射線の状況を適切に把握できなかったことは、事態をできるだけ軽くみたいという願望と結び付き、被害を大きくした。後の推測では、タービン建屋ホールや原子炉中央ホールの放射線量は、500～数万R/hに達していたという²⁰⁾。

1986年ソ連報告などに基づく、事故直後約300人が病院に収容され、約240人が急性放射線障害と診断された。事故で死亡したのは31人ということになっている。そのうち、放射線障害で死亡したのは28人で、事故現場で行方不明になったのが1人、火傷で当日死亡したのが1人、後になって放射線障害以外の病気で死亡したのが1人である。そのうち、消防士の死亡者は6人であった。

この被災者グループの正確な人数や被曝線量は分からないが、事故の知らせを聞き、多くの発電所員が現場に駆けつけており、1000人余りというところであろう。図2は、放射線障害による死者28人の死亡日と骨髄線量に関するデータ²¹⁾を示したものである。骨髄線量は、リンパ球数の臨床経過や染色体異常を基に推定されたものである。骨髄移植は13人に実施されたが、11人は死亡している。



＜図2 急性放射線障害による死亡日と骨髄線量＞

3-2. 被災者グループその2：事故処理作業者^{7,8)}

事故の知らせが入ると、ソ連政府は直ちに、ソ連副首相シチェルビナを議長とする事故処理政府委員会を発足させ、4月26日夜、委員会の最初の会合がプリピャチ市で開かれた。この会議で、翌日プリピャチ市民を避難させることと、原子炉の火災を、ヘリコプターから資材を投下して消火することが決定された。軍隊には、その日の朝のうちに緊急動員がかけられていた。

ヘリコプターによる作業は、翌27日から5月1日まで行われた。2000トンの鉛を含め、5000トン以上の砂、ドロマイト、ホウ素などが炉心めがけて投下された。しかし、ヘリコプターからの資材投下が、放射能放出を封じこめるため、実際にどれだけ有効だったかは疑問視されている。後の調査によると、投下した資材の多くは、原子炉中央ホールに散乱し、原子炉そのものの封じこめには失敗していたことが判明している²²⁾。1986年ソ連報告によると、放射能の大量放出が終息したのは、5月6日である。この日、3号炉側から穴を開けて、原子炉の下に窒素を送り込むことに成功した²⁰⁾。酸素の供給がなくなり黒鉛火災が止まったことが放射能放出終息の理由であろう。

原子炉建屋の周辺では、飛び散った残骸の片付けや除染が始められた。原子炉の黒鉛や燃料棒の破片がゴロゴロころがっていたという。まず、それらを集めコンテナに収納した。機械力を使おうとしたが、あまりうまく行かなかったようだ。さらに、周辺の表土を剝し、コンクリートを流したり、土の入れ替えが行われた。しかし、こうした作業が、いつどのように、どれくらいの放射線下で、どれくらいの人数で行われたかは、はっきりしない。

初期に動員されたのは正規軍であり、従って兵役年齢の若い兵隊が多かった。5月の末には正規軍はいなくなり、予備役に替わった。被曝限度は25レントゲンで、積算線量がそれを越えると作業を離れる、という規則であった。しかし、線量計もなしに作業することもしばしばで、なかでも国防省の被曝管理がズサンであったという²³⁾。

クルスク原発から、事故処理を志願してチェルノブイリに応援に駆けつけた上級技術者アキーモフは、当時の出来事を次のように回

想している²³⁾。

<<それは多分、5月15日～20日の間の深夜のことであった。若い兵隊たちが私の所へやってきて、「被曝証明書を書いてくれ」という。それは私の仕事ではなかったが、「いったいどこで作業していたのか」と地図を示しながら聞くと、廃液貯蔵所を指した。そこには60 R/hと放射線量が記入してあった。どの位の時間いたのか、と聞くと約30分です、と答えた。私は不意に気分が悪くなった。彼らは測定器を持っていなかった。他にはどこにいたのか、と聞くと、35R/hの場所と50R/hの場所を示した。それぞれに30分ずついたとすれば、合計で70～75Rにもなる。彼らグループ6人の名前を聞き、被曝証明書を作成してやった。>>

破壊された原子炉をまるごとコンクリートで囲ってしまう、いわゆる「石棺」の工事が始まったのは6月の始めであった。ソ連各地の原発などから大量の技術者や作業員がチェルノブイリに招集された。建設現場の放射線量は150～180R/hもあったという。遠隔操作のブルドーザなど、さまざまな機械力が用いられた。7月の半ばに最初の壁が建設され、11月に石棺の建設は完了した。

事故処理作業にあたった人々は、ロシア語で「リクヴィダートル（清算人）」と呼ばれている。1990年キエフで、リクヴィダートルたちが集まり第1回チェルノブイリ被災者全ソ大会が開かれている。そこでの報告では、リクヴィダートルの数は60万人で、うち4分の1が正規軍で、残りが予備役ほかの民間人だった、とされている。また、100万人とする報告もある。

ソ連の公式見解では、事故時の運転員や消防士以外に急性放射線障害の現れた者はいない、ということになっている。しかし、チェルノブイリ同盟の元には、事故処理作業後、病気になったり、死亡したと訴える、リクヴィダートル本人や家族の手紙が山のように送られてきているという²³⁾。

シェフチェンコらは、リクヴィダートルたちの末梢血液リンパ球の染色体異常を調べて、被曝線量を推定した論文²⁴⁾を発表している。表3に、その結果を示す。シェフチェンコらが調べているのは、不安定型の染色体異常であり、そうした染色体異常は、時間とともに

<表3 染色体異常検査による事故処理作業員たちの被曝線量>

グループ	検査実施年	観察人数 (人)	被曝線量 (cSv)
発電所労働者	1986	83	23.6±2.4
	1987	74	10.0±1.2
石棺建設労働者	1986	71	34.1±3.1
コビナト労働者	1987	58	16.5±1.7
放射線測定員	1986	23	32.5±5.2
運転手	1986	60	12.6±2.1
医者	1986	37	10.6±2.8
	1987	49	8.5±1.6
プリピャチ市住民	1986	102	11.2±2.7

コビナトとは、1987年末に設立された事故処理のための事業体。

消失するので、その減少分を補正する必要がある。シェフチェンコらは、その補正係数を示してはいないが、表3の値は過小評価であると述べている。シェフチェンコらの被検査者が、それぞれのグループを代表している保証はなく、また、軍隊に関するデータが含まれていないが、それでも相当の被曝があったことを窺わせるデータと言えよう。

3-3. 被災者グループその3：事故直後避難住民²⁵⁾

プリピャチ市は、発電所従業員のために作られた人口約5万人の近代的な町であった。市内から、事故を起こした4号炉はよく見通せ、正式な発表はなかったものの、26日のうちに、市民の多くは事故があったことを知った。それでも、買物に出かけたり子供を外で遊ばせたり、普段通りの土曜日を過ごしたという。

避難が始まったのは、事故の発生から36時間たった27日の午後2時であった。1200台のバスを連ね、4万5000人の市民が2時間ほどで避難した。当局が恐れたパニックは発生しなかった。1986年ソ連報告などによると、プリピャチ市の放射線量として、4月26日午前9時14～140mR/h、27日午前7時180～600mR/h、避難作業中290～1400mR/hという値が報告されている。

プリピャチ市以外の住民の避難が決定されたのは、5月2日のことであり、その避難は、事故発生から10日後の5月6日に完了した。表4は、1986年ソ連報告のデータから求めた、避難住民たちの平均外部被曝線量である。最も原発に近いプリピャチ市の住民の平均被曝線量が3.3cSvと比較的小さいのに比べ、3～15kmでは35～54cSvとかなりの被曝量になっているのが注目される。

事故直後の汚染で最も問題になるのは、放射性ヨウ素の取り込みによる甲状腺被曝である。1986年ソ連報告には、事故後15日目の空間線量率を用いて、吸入による子供の甲状腺被曝線量を評価する関係式が示されている。その関係式や避難民の甲状腺被曝を測定した断片的データ²⁵⁾などを基に、避難民全体の甲状腺被曝線量を見積もったものが表5である。大ざっぱな評価ではあるが、3～15kmで牛乳を飲んでいたり子供では3200cSvと、きわめて大きな値になった。

<表4 事故直後30km圏避難住民の平均外部被曝線量>

地域	集落数	人数(人)	平均線量(cSv)
プリピャチ市		4万5000	3.3
3～7km	5	7000	54
7～10km	4	9000	46
10～15km	10	8200	35
15～20km	16	1万1600	5.2
20～25km	20	1万4900	6.0
25～30km	16	3万8200	4.6
合計		13万5000	12

1986年ソ連報告書より作成

ちなみに、どの程度のヨウ素131の取り込みでその位の被曝量になるか、ICRP (Pub56) の被曝換算係数データを用いて計算してみると、5才の子供では410 μCi となる。1986年ソ連報告で示されている牛乳のヨウ素131汚染の最大値は約90 $\mu\text{Ci/l}$ であるが、30km圏内の避難地域ではもっと大きかったと考えられ、表5のような被曝は十分にあり得たと言える。

昨年4月、事故直後に多くの住民が病院に収容されていたことが暴露された²⁶⁾。表6は、事故当時のソ連で最も権力を握っていた共産党中央委員会政治局の、チェルノブイリ事故対策作業グループの秘密議事録に残っていた数字である。これらの患者がどこに住んでいた人々かは分からないが、その多くは、事故直後に30km圏から避難した住民であろう。

<表5 避難住民の甲状腺被曝線量の評価(*1)>

地域	グループ	人数	取込み経路別線量 (cSv)		
			吸入	経口	合計
プリピャチ市	子供	25	0	25	
	大人	14	0	14	
3~15 km	牛乳を飲まなかった子供	1200	560	0	560
	牛乳を飲んでた子供	1200	560	2600	3200
	牛乳を飲まなかった大人	17800	310	0	310
	牛乳を飲んでた大人	17800	310	430	740
	子供平均	2400		1900	
	大人平均	271800		500	
15~30 km	牛乳を飲まなかった子供	3300	63	0	63
	牛乳を飲んでた子供	3300	63	290	350
	牛乳を飲まなかった大人	279700	35	0	35
	牛乳を飲んでた大人	279700	35	49	84
	子供平均	6600		210	
	大人平均	579400		60	

子供の年齢は0~7才、大人は8才以上。

<表6 事故直後病院に収容された住民の数>

1986年	5月	4日	病院収容1882人、急性障害と診断204人、うち幼児64人、重症18人。
	5月	6日	病院収容3454人、うち入院中2600人、うち幼児471人。
	5月	7日	入院中4301人、うち幼児1351人、急性障害は内務省関係者を含め520人、重症34人。
	5月12日		入院中1万198人、急性障害345人、うち子供35人。

1992年4月24日イズベスチャ紙より

3-4. 被災者グループその4：汚染地域住民¹⁰⁾

チェルノブイリ原発から60kmほど西のウクライナ・ジトミール州ナロージチ地区において、民間防衛隊長のマレンコが地区党事務所前で測定した空間線量は次のような値であった²³⁾。

1986年	4月27日	16時	3	R/h
		18時	1.7	R/h
	4月28日	9時	0.6	R/h
		13時	0.022	R/h
		18時	0.016	R/h
	5月8日		0.00075	R/h
	5月14日		0.0006	R/h

マレンコは、民間防衛隊本部や党委員会に、測定値を逐次報告したが、住民への警告などの措置は全く取られなかったという。4月27日は、晴天で西向きの風であった。3 R/hという値が事実とすれば、放射能雲が彼の地区を包み込んでいた時のものであろう。

ウクライナの首都キエフは、人口250万人の旧ソ連で3番目に大きな都市であり、チェルノブイリの南方100km余りに位置している。キエフ市内の放射線量が上昇し始めたのは、4月30日の午前10時頃からで、その日のうちに最高2 mR/hまで上昇した。翌5月1日、市内では予定通りメーデーの行進が行われた。市内の放射線量は、数日間0.5~2 mR/hが続き、それから徐々に減少し、5月の末には0.2 mR/h程度になっている²⁷⁾。

<表7 旧ソ連ヨーロッパ地区住民の被曝線量(*11)>

セシウム137 汚染レベル (Ci/km ²)	平均 汚染 レベル	人数 (万人)	全身線量 (cSv)		甲状腺線量 (cSv)
			始めの1年	70年間	
40以上	60	3.3	15	56	子供 510 大人 140
15~40	27.5	23.5	6.7	26	子供 230 大人 66
5~15	7.5	68.9	2.1	10	子供 64 大人 18
1~5	2	453.2	0.6	2.4	子供 17 大人 5
1以下	0.3	7000	0.1	0.5	子供 2.5 大人 0.7

*1. プリピャチ市の値は文献25の測定値（子供75人、大人135人）。プリピャチ市以外については、3~15kmと15~30kmの2つのグループにまとめて、以下のように評価した。1986年ソ連報告によると、吸入による子供の甲状腺被曝線量 T_{inh} (cSv) と、事故後15日目の空間線量 D_{15d} (mR/h) の間に、 $T_{inh} = 10 \times D_{15d}$ という関係が示されている。まず、 D_{15d} をソ連報告のデータから求め、子供の吸入による甲状腺被曝を計算した。大人の吸入による甲状腺被曝は、プリピャチのデータを基に、子供の0.56倍とした。大人の経口被曝については、文献25の別のデータを参考に、吸入の1.4倍とした。さらに、子供の経口被曝は、大人と同量のヨウ素131を摂取したものとし、大人の経口被曝線量の6倍とした。牛乳を飲んでた人と飲まなかった人の割合は、子供、大人とも半々としてある。

*11. (全身線量外部被曝) 文献28より、沈着した核種の割合を、Cs137:Cs134:Cs136:1131:1133:Te132:Ru103:Ru106:Zr95:Ba140:Ce144:Mo99=1:0.5:0.3:17:34:17:4.7:1.0:3.3:3.3:2.3:7.5 (at1986.4.26:00) とし、Cs137の平均汚染レベルを基に、全部で12の核種の沈着量を求め、地上1mでのγ線量を計算した。沈着は、すべて4月28日に生じたものとし、地中への移行は、WASH-1400 (USNRC, 1975) のモデルを用い、建物などの遮蔽係数は0.4とした。(全身線量内部被曝) 外部被曝のうち、Cs137とCs134による寄与分に、一定の係数を掛けたものを内部被曝線量とした。その係数は、15Ci/km²以上、1~15Ci/km²、1Ci/km²以下の汚染地域に分けて、それぞれ0.5、1.0、2.0とした。(甲状腺被曝) まず、吸入による甲状腺被曝を、表5と同じように計算した。ただし、 D_{15d} の値は、全身線量外部被曝のやり方で沈着量から計算した。経口による甲状腺被曝は、甲状腺被曝測定データ (文献17、23) を参考にして、子供で吸入の2倍、大人で0.5倍とした。

<表8 旧ソ連ヨーロッパ地区の集団被曝線量とガン死予測>

	イリインら		今中ら	
	70年間の 集団被曝線量 (万人・Sv)	予測される ガン死数	70年間の 集団被曝線量 (万人・Sv)	予測される ガン死数
高汚染地域 (27万人)	7.26	274件	7.96	3万1600件
旧ソ連ヨーロッパ地域 (7500万人)	31.10	1168件	61.50	24万6000件

高汚染地域とは、セシウム137の汚染レベルが15Ci/km²以上のところ。

これまでに報告されている汚染データのうち、最もしっかりしているデータは、図1や表1に示したようなセシウム137の地表汚染データである。そこで、セシウム137の地表汚染を基準にし、文献データ²⁸⁾を参考に事故直後のその他の核種の沈着比を仮定して、旧ソ連ヨーロッパ地区の住民7500万人の被曝線量を評価してみたものが表7である。また、集団被曝線量とガン死数についての我々の評価と、旧ソ連の放射線医学の権威イリインらの評価²⁹⁾との比較を表8に示す。高汚染地域での集団被曝線量は良い一致を示しているが、ヨーロッパ地域全体では我々の方が2倍程度になっている。注目されるのは、ガン死数が100～200倍も違っていることである。我々のガン死リスク係数は1万人・Sv当り4000件というゴフマンの値³⁰⁾であるが、イリインらは、1万人・Sv当り38件ときわめて小さなリスク係数を用いている。1990年ICRP勧告の1万人・Sv当り500件という値に比べても、イリインらのリスク係数は10分の1以下である。イリインらは、住民のガン死影響は、自然発生に比べ、高汚染地域で0.7%、ヨーロッパ地区で0.011%増加するだけであり、その増加を確認することはできない、と述べているが、その結論をそのまま受け取るところはできない。

4. IAEA国際チェルノブイリプロジェクト

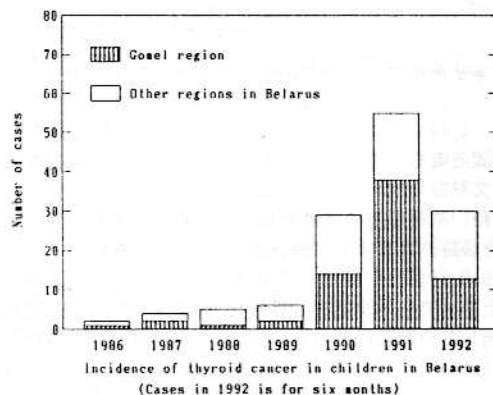
1989年7月、ベラルーシでは、セシウム137の汚染レベルが15Ci/km²以上の地域から住民全員を避難させることを決定した。一方、モスクワ連邦政府では、イリインらが中心になって「生涯70年間に35レム」という考え方を基に、40Ci/km²以上の地域から住民を移住させるという方針を打ち出していた。移住政策の基準をめぐって、モスクワ中央とベラルーシやウクライナの各共和国間で対立が生まれ、学者の見解も対立していた。ソ連最高会議でも、汚染対策の結論が出ず、結局、ソ連国内で決着できないなら外国に頼もう、ということで、当時のソ連首相ルシコフは、1989年秋、IAEAにチェルノブイリ事故の調査と勧告を依頼した。

IAEAは1990年4月、国際チェルノブイリプロジェクト（以下、ICP）を発足させた。現地調査を含め、1年にわたる調査を行い、1991年5月、ウィーンでICPの報告会が開かれた¹⁷⁾。プロジェクトの結論をかいつまんで述べると、汚染地帯の住民に放射線影響は

認められない、むしろ「ラジオフォビア（放射能恐怖症）」による精神的ストレスの方が問題である、40Ci/km²という移住基準はもっと上げてよいが、社会的条件を考えるとそれで仕方ないだろう、というものである。報告会の席上、ベラルーシやウクライナの代表は、汚染地域の住民の健康影響は、すでに自明のことになっており、ICPの結論は認められない、と発言し、報告会の後、抗議の声明を出している³¹⁾。

ICPの健康調査は、汚染地域住民853人と、対照として非汚染地域住民803人を調べているに過ぎない。たとえば、白血病の発生率は普通、年間10万人当り2～5件程度である。かりにその値が10倍であったとしても、年間10万人当り20～50件、つまり2000人から5000人に1件であり、ICPの調査で白血病の増加が認められなくても不思議はない。また、事故処理作業者と事故直後避難民は調査の対象とされていない。ICPの健康調査から言えることは、せいぜい、汚染地域と非汚染地域それぞれ800人あまりの調査の限りでは、顕著な健康影響は認められなかった、ということであり、その結果でもって、チェルノブイリ事故の影響全体を議論できるようなものではない。

1990年のベラルーシの報告によると、高汚染地域において事故後、新生児と人工中絶胎児の発達障害発生率が、対照地域に比べ増加していることが観察されている^{32,33)}。図3は、ベラルーシの子供の甲状腺ガンの発生データ³⁴⁾である。1990年から爆発的とも言える増加を示している（1992年のデータは半年分）。図のGomel州は、チェルノブイリに隣接し、ベラルーシで最も汚染の強いところである。佐藤ら³⁵⁾によると、ウクライナでも、ほぼ同様の小児甲状腺ガンの増加が観察されている。チェルノブイリ事故による住民の被曝の特徴の一つは、全身被曝線量に比べ甲状腺被曝線量が大きかったことである。表7の甲状腺被曝線量を用いて、ベラルーシの0～7才の子供100万人についての集団甲状腺被曝線量を求めると、9.3万人・Svとなる。この集団線量に、ICRP 1990年勧告での甲状腺ガン発生リスク係数を1万人・Sv当り80件を適用すると、740件の甲状腺ガン発生が予測されることになる。図4の傾向が続くとすれば、この数をはるかに上回る甲状腺ガンが観察されるであろう。



<図3 ベラルーシにおける子供の甲状腺ガン発生数>

5. 事故原因の見直し³⁶⁾

1986年ソ連報告書は400頁を超える大部なもので、それまでのソ連の姿勢に比べ、その詳細さは、当時の西側関係者を驚かせた。その報告書によると、事故の原因は、タービンの慣性回転を用いた電源テストの際の「運転員による、きわめて信じがたいような規則違反の数々」(表9)とされた。その説に基づくと、原子炉の出力上昇に気付いた運転員は、緊急停止ボタン(AZ-5)を押したが、時に遅く暴走を防げなかったというものである。この見解は、西側専門家にも基本的に認められている^{37, 38)}。

1991年1月、ソ連原子力産業安全監視国家委員会の特別調査委員会は、「チェルノブイリ4号炉事故の原因と状況について」と題する報告書(以下、1991年特別委報告)を発表した³⁹⁾。この特別調査委員会は、前年2月から、ソ連最高会議のチェルノブイリ事故調査委員会の命を受けて、事故原因の再調査に取り組んでいたものである。その結論は、1986年報告とは全く異なり、「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」と述べている。この報告によると、事故の進展は以下のようなものであった。

1986年4月26日0時28分、出力制御系切り換えの際に、原子炉熱出力は0~3万kWに低下した。出力再上昇の努力の結果、1時23分頃、熱出力20万kWでなんとか安定するに至った。この時の炉の状況は、制御棒の引き抜きにともなう反応度操作余裕の低下と出力分布の歪、低出力にともなう正のボイド反応度係数などが相まって、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、テストが開始された。テスト電源に接続されていた4台の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、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、運転員がAZ-5ボタンを押したことが、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、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、さらには圧力チャンネル管が破壊された。大量の蒸気発生にともなう、正のボイド反応度係数がさらなる暴走をもたらした。炉容器内の圧力上昇は、原子炉の上部構造物を持

<表9 1986年ソ連報告書の指摘する運転員規則違反>

違反その1	反応度操作余裕が制限値以下で運転を継続した。
違反その2	予定出力以下の炉出力でテストを行った。
違反その3	全循環ポンプを運転し、流量が規定を越えた。
違反その4	タービン停止スクラム信号をバイパスした
違反その5	気水分離タンクの水位・圧力スクラム信号をバイパスした。
違反その6	ECCSを切り離していた。

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。(運転員がなぜAZ-5ボタンを押したかは明らかにできなかったもの、運転マニュアルに基づくと、出力5%以下のときは、低出力自動制御系がAZ-5ボタンで停止させる、と報告書は述べている。テストが無事終了したので、早く原子炉を止めてしまおうとして運転員はAZ-5ボタンを押したのものであろう。)

事故の出発点は、「低出力でかつ手動制御棒が制限値以上に引き抜かれていた状態において、AZ-5ボタンを押したこと」であった。自動車を止めようとしてブレーキを踏み込んだら、アクセルになっていた、というようなもので、とんでもない欠陥車であった。

1986年ソ連報告書が指摘している運転員の6つの違反については、1991年特別委報告は以下のように述べている。

違反③：ECCSを解除したのは規則違反であったが、テスト手順書に従ったのであって、運転員の違反ではない。ECCSが生きていたとしても事態の進展に関係ない。

違反⑤：気水分離タンク水位・圧力のスクラム信号を運転員が切ったと言われているが、実際にはすべて生きていた。ただ、出力80%以下になったとき、水位低スクラムの設定値を-1100mmから-600mmに変更しなかったが、そのことで運転員を責めることはできない。運転員は、警報の発生が予想される事態にあっては、設定値を変更してでもスクラムを避けるよう要請されていた。

違反④：タービンへの蒸気弁を閉じた際、スクラム信号が解除されていたのは、違反でもなんでもない。運転規則では、電気出力10万kW(熱出力約32万kW)以下のときは、この信号を解除しておくよう定めている。

違反③：すべての循環ポンプを運転してはならない、とは運転規則では定められていない。いくつかのポンプの流量が制限値をいくらか越えていたことは、規則違反であったが、この制限は、ポンプのキャビテーションを防ぐために設定されたものであり、実際にはキャビテーションを起こしていなかったことが確認されている。

違反②：当初の予定より小さな出力でテストが行われたが、運転規則で低出力での運転が禁じられていたわけではない。それどころか、規則ではAZ-3警報の作動時や電力系統の異常の際には、所内用電源として必要なレベル(熱出力20~30万kW)に出力を落として運転することが決められている。そのような状況で運転を継続した後、AZ-5ボタンを押すと、チェルノブイリ事故を再現する可能性がある。

違反①：運転規則によると、反応度操作余裕が15本まで低下したときは、原子炉を速やかに停止せねばならない。運転員は、規則違反を知らずながら運転を続け、テストを実施したと思われる。しかし、それが事故の原因であったとは言えない。なぜなら、反応度操作余裕の値が緊急防護系の有効性に影響を及ぼすということは、運転員には知らされていなかった。如何なる運転状況であろうと、緊急防護系は有効に作動し原子炉は停止する、と運転員が期待していたの

は正当であった。

1991年特別委報告も、運転員の規則違反がなかったと言っているわけではない。規則違反はあったが、それによってチェルノブイリ事故という大惨事の責任を運転員が問われるようなものではない、と述べている。責任を問われるべきは、RBMK炉の欠陥を知る立場にあった、設計開発責任者であり科学技術指導者たちである、と指摘している。

反応度操作余裕が小さくなると、緊急防護系の有効性に問題があることは、チェルノブイリ事故以前より、RBMK炉の設計開発責任者たちには知られていた。たとえば、1983年11～12月に行われた、イグナリーナ1号炉とチェルノブイリ4号炉の試運転に際しては、チェルノブイリ事故を予見する次のような報告がされていた、と1991年特別報告は述べている。「たとえば、タービンの一つを止めて出力を50%に低下させると、キセノン毒で反応度操作余裕は低下し、出力分布の歪も大きくなる。このとき緊急防護系が働くと、正の反応度が現れる。おそらく、詳細に解析すれば、別の危険な状況も判明するであろう。」

設計開発の責任者たちは、こうした危険性を知りながらも、しかるべく運転員には通知しなかった。もしも運転員が、反応度操作余裕の低下が「ポジティブスクラム」の危険性をもたらすと知っていたら、チェルノブイリ事故は避けられたであろう。

事故後の裁判で有罪になっていた、事故当時のチェルノブイリ発電所の副技師長ジャトロフが、刑期を早めに終えたのち、IAEAの事務局長に手紙を出すとともに、論文を発表している^{40,41)}。その中で彼は、1986年の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、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、と訴えている。

6. おわりに

チェルノブイリ事故からもうすぐ7年になるが、事故に関する情報は、いまだ断片的で不十分なものが多い。従って、十分なデータなしに議論を組立てねばならない、というもどかしさがつきまとう。それでも、4年ほど前には、その断片的な情報すらほとんどなく、議論の組立てすらできなかったことを思うと、ずいぶん状況が変わったことを感じている。

実際には何の被害も出ていないのに、騒いでいるのはマスコミだけだ、という声も聞かれるが、我々としては、日本の原発を含め、原発で最悪の事故が起きたらどのような惨事がたらされるか明きらかにしたものとして、チェルノブイリ事故を受け止めている。たとえ断片的な情報であろうと、それをきっかけに、その裏にある事実を解明して行きたい。

参考文献

- 1) 瀬尾健他, 京都大学原子炉実験所第21回学術講演会(1987).
- 2) 瀬尾健・今中哲二・小出裕章, 科学 58(1988)108.
- 3) T. Imanaka & H. Koide, *J. Environ. Radioactivity*, 4(1986)149.
- 4) T. Imanaka & H. Koide, *J. Radioanal. Nucl. Chem. Let.*, 145(1990)151.
- 5) T. Imanaka, T. Seo & H. Koide, *J. Radioanal. Nucl. Chem. Let.*, 154(1991)111.
- 6) 瀬尾健, 「チェルノブイリ旅日記」, 風媒社, 1992年7月.
- 7-10) 今中哲二, チェルノブイリ原発事故による放射能汚染と被災者たち(1)～(4), 技術と人間 1992年5月, 6月, 7月, 8月号
- 11) USSR State Committee on the Utilization of Atomic Power, "The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and Its Consequences", Aug 1986.
- 12) S. A. Khan, *Nuclear Safety*, 31(1990)353.
- 13) private communication from Y. Dobrynin (30 Apr. 1991).
- 14) 放射能汚染食品測定室発行(1990年11月)の汚染地図を基に作成.
- 15) Ю. А. Израэль, ПРАВДА, 26 апреля 1991г.
- 16) Экспертная Подкомиссия Госплана СССР, Москва 1990 №11 с141.
- 17) IAC/IAEA, "The International Chernobyl Project: An Overview, Technical Report, Proceedings of an International Conference", IAEA, 1991.
- 18) 高木仁三郎, 原子力資料情報室通信 No.218, 1992年8月.
- 19) 松岡信夫, 「ドキュメントチェルノブイリ」, 緑風出版, 1988年8月.
- 20) Г. Медведев, "Чернобыльская Тетрадь", июнь 1989г. (邦訳「内部告発」, 技術と人間, 1990年6月).
- 21) UNSCEAR, 1988 Report Annex G.
- 22) А. А. Боровой, Природа 1990 №11 с83.
- 23) V. M. Chernousenko, "Chernobyl: Inside from Chernobyl", Springer-Verlag, 1991.
- 24) В. А. Шевченко и др., Проблемы Безопасности при Чрезвычайных Ситуациях, 12(1990)69.
- 25) V. T. Khrushch et al., IAEA-TECDOC-516, May 1988.
- 26) А. Ярошинская, ИЗВЕСТИЯ, 24 апреля 1992.
- 27) I. P. Los et al., ASCRM, USSR Academy of Medical Sciences, 1991.
- 28) Ю. А. Израэль и др., Метеорология и Гидрология, 1987 №2 с5.
- 29) L. A. Illyn et al., *J. Radiol. Prot.*, 10(1990)3.
- 30) J. W. Gofman, "Radiation and Human Health", 1981, (邦訳「放射線と人間」, 社会思想社, 1991年).
- 31) Заявление участников от Белорусской ССР и Украинской ССР на Международной конференции, 24 мая 1991г. (邦訳, 技術と人間, 1992年9月).
- 32) Н. А. Кириллова и др., Здравоохранение Белоруссии, 1990 №6 с53 (邦訳, 技術と人間, 1991年12月).
- 33) Г. Н. Лазюк и др., Здравоохранение Белоруссии, 1990 №6 с55 (邦訳, 技術と人間, 1991年12月).
- 34) V. S. Kazakov et al., *Nature*, 359(1992)21.
- 35) 佐藤幸男ら, 広島医学, 45(1992)159.
- 36) 今中哲二, 技術と人間, 1992年4月号.
- 37) INSAG, "Summary Report on the Post-accident Review Meeting on the Chernobyl Accident", 75-INSAG-1, IAEA, 1986.
- 38) 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報告書」, 1987年5月28日.
- 39) Комиссия Госпроматомнадзора СССР, "О Причинах и Обстоятельствах Аварии на 4 Блоке Чернобыльской АЭС", 17.01.1991.
- 40) *Nucleonics Week*, June 6, 1991.
- 41) A. Dyatlov, *Nuclear Engineering International*, Nov. 1991.