

チェルノブイリ事故による放出放射能

瀬尾 健*・今中哲二*・小出裕章*

ソ連の報告書によると、チェルノブイリ原発の事故は非ガス性の放射能 50 MCi を環境に放出した。ここでは、問題の多いソ連報告書を再検討し、遠くヨーロッパ地域のデータも合わせて、独自の方法で解析した結果、総放出量はソ連の評価の2倍以上にもなることを明らかにする。

ソ連報告書にみる放射能放出量の問題

1986年4月26日チェルノブイリ4号炉で発生した事故は、原子力開発史上最大・最悪のものとなった。核暴走の規模の大きさもさることながら、放出された放射能の量は、世界中で運転されている原発の想定事故の規模をはるかにしのぎ、安全性に対する専門家の判断の甘さを白日のもとにさらけ出した。事故数カ月後、IAEAの会議に提出されたソ連の報告書⁽¹⁾によると、気体状のものを除いて総計 50 MCi (M=ミリオン=100万) が環境に放出されたとされている。意外に少ないのは、この量が5月6日(事故発生後10日目)時点で減衰補正をされているからであって、これを逆補正して実量になおせば、140 MCi(筆者の試算⁽²⁾)になり、さらにこれを上回る放射性ガス(¹³³Xe)を合わせると、実に 300 MCi を超える放射能が直接環境に放出されたことになる。

総放出量についての問題は、ソ連報告書が出るまではいくつか議論が行なわれたものの、報告書が公表されてからは、残念ながら目立った議論もなく、この 50 MCi をそのまま追認する形で、幕が引かれようとしている。もとより、放出された放射能の種類、量とその形態を明らかにすることは事故炉の状態を究明する上で欠かせないばかりか、人々の急性、晩発性の健康障害評価に直接関係するものであって、決してなおざりにされてよいものではない。

表 1 放出放射能の核種別内訳。ソ連報告書の表 4.14 から再録。

核 種	放射能放出量(MCi)		放出量の割合(%) 5月6日
	4月26日の 初期放出	5月6日まで の全放出	
¹³³ Xe	5	45	~100
^{85m} Kr	0.15	—	~100
⁸⁵ Kr	—	0.9	~100
¹³¹ I	4.5	7.3	20
¹³² Te	4*	1.3*	15
¹³⁴ Cs	0.15	0.5	10
¹³⁷ Cs	0.3	1	13
⁹⁹ Mo	0.45*	3*	2.3
⁹⁵ Zr	0.45	3.8	3.2
¹⁰³ Ru	0.8	3.2	2.9
¹⁰⁶ Ru	0.2	1.6	2.9
¹⁴⁰ Ba	0.5	4.3	5.6
¹⁴¹ Ce	0.4	2.8	2.3
¹⁴⁴ Ce	0.45	2.4	2.8
²³⁸ Pu	0.0001	0.0008	3.0
²³⁹ Pu	0.0001	0.0007	3.0
²⁴⁰ Pu	0.0002	0.001	3.0
²⁴¹ Pu	0.02	0.14	3.0
²⁴² Pu	3×10^{-7}	2×10^{-6}	3.0
²⁴² Cm	0.003	0.021	3.0
⁹⁰ Sr	0.25	2.2	4.0
⁹⁰ Sr	0.015	0.22	4.0
²³⁹ Np	2.7*	1.2*	3.2

* 数値に疑問がある(筆者注)。

実はソ連報告書を詳しく調べるに従って、この総放出量 50 MCi という数字はあやしくなってくる。報告書の第4付属文書の表 4.13 に、毎日の放出量の推移という形でまとめられているのを見ると、最初、原子炉の暴走、爆発と建物火災で 12 MCi の放射能が放出され(以下これを初期放出と呼ぶことにする)、ひきつづく9日間に放出された 38 MCi と合わせて、総計 50 MCi が放出されたことになっている。これらはすべて5月6日換

* Takeshi SEO, Tetsuji IMANAKA, Hiroaki KOIDE
京都大学原子炉実験所

算で、かつ非ガス性のものについての数値である。もう一つ総放出量については表 4.14 が与えられており(本稿の表 1 として再録)、これには放出量の核種別内訳が示されている。そして初期放出と総放出の両方について、各核種がどれだけ放出されたかがわかるようになっている。ところがこの表には多くの疑問点や、明らかに誤りと思われる数値があるうえ⁽⁴⁾、初期放出量なるものがいつの時点で減衰補正された値かわからないというあいまいさがある。このような表自身のものも疑問点の他に、この表の数値が前述の毎日の放出量(表 4.13)の数値と矛盾するという困った問題まである。初期放出量と総放出量はそれぞれ、12 MCi、50 MCi のはずであったが、表 1 で希ガスを除く放射能の合計をとってみると、初期放出量は 15 MCi、総放出量は 35 MCi(実はこれは 32.3 MCi と読むのが正しい⁽⁵⁾)となってしまうのである。さらにこの混乱にはおまけまでついている。ソ連報告書には累積放出量の経日変化を示す図が別についているが、これをみると初期放出量が 8 MCi、総放出量 30 MCi としか読めないのである。

もう一つ触れておかなければならない問題がある。実はソ連報告書のどこにも、総放出量 50 MCi の算出の根拠が明確に述べられていないのである。第 4 付属文書には、ソ連領ヨーロッパ地域(つまりチェルノブイリを中心とする 600 km 圏内)に沈着した放射能の量が 50 MCi となったという記述はみられる。このことから、おそらくソ連専門家は、この沈着量を総放出量とみなしたのではないかという推測が成り立つ。ソ連は大量の放出が一応おさまった 5 月 6 日以降に、この広大な(日本の面積の 3 倍にもおよぶ)地域の空間ガンマ線量率(以下ではこれを空間線量率と略記する)の測定を実施し、これをもとに地表に沈着した放射能の総量を評価している。この方法に基づくかぎり、当然ガス性の放射能は観測にかからず、したがって総放出量 50 MCi の中にこれらが含まれていないことともつじつまが合う。

このようにソ連報告書の言う“総放出量”というのは、実は 600 km 圏内に沈着した放射能にすぎないのではないかという疑いが濃厚になった

が、この疑いはヨーロッパ諸国に沈着した放射能を実際に調べてみればいっそう濃くなる。あとでみるように、ソ連以外のヨーロッパ諸国に沈着した ^{137}Cs の総量を、各地の観測データに基づいて評価してみると、およそ 1 MCi になる。一方ソ連報告書によれば、 ^{137}Cs の“総放出量”は(表 1 参照)ちょうど 1 MCi となっており、これが本当なら、放出された ^{137}Cs はすべてソ連国境を越えてヨーロッパ諸国にふりそそいだという馬鹿げた結論になってしまう。

以下では、ソ連の専門家がまったく顧みなかったヨーロッパの沈着量を考慮に入れて再解析した場合、ソ連領内と、そこから遠く数千 km にも及ぶ地域の放射能沈着量分布とが、どのようにつながるかを調べ、それをもとに総沈着量がどれくらいになるかを評価する。解析は基本的にソ連のやり方にのっとって行なうが、われわれに利用できるソ連領内のデータが限られているというハンディキャップはあるものの、その外側の広大な地域のデータを包括的にとりあつかうことによって、ソ連の評価以上の信頼性が確保されるものと期待される。

ヨーロッパ地域

ヨーロッパ地域については、報告されているデータの量、質ともに、国によって大きな違いがある。放射能沈着量についての報告は、全般的にみてまだ十分とはいえず、とりわけ最も深刻な汚染を被ったはずの東欧諸国については、あまり報告されていない。ここでは、得られたかぎりのデータと、直接現地から得た土壌試料についてのわれわれの測定結果に基づいて、ヨーロッパ各国における ^{137}Cs の平均沈着濃度を評価してみることにする。

スウェーデン⁽⁶⁾、フィンランド⁽⁵⁾、ノルウェー⁽⁶⁾については、国土全体にわたる、系統的で詳細なデータが報告されている。局地的な沈着濃度についての報告が得られている国は、西ドイツ⁽⁷⁾、オーストリア⁽⁸⁾、イタリア⁽⁹⁾、オランダ⁽¹⁰⁾、ベルギー⁽¹¹⁾、フランス⁽¹²⁾、イギリス⁽¹³⁾などである。

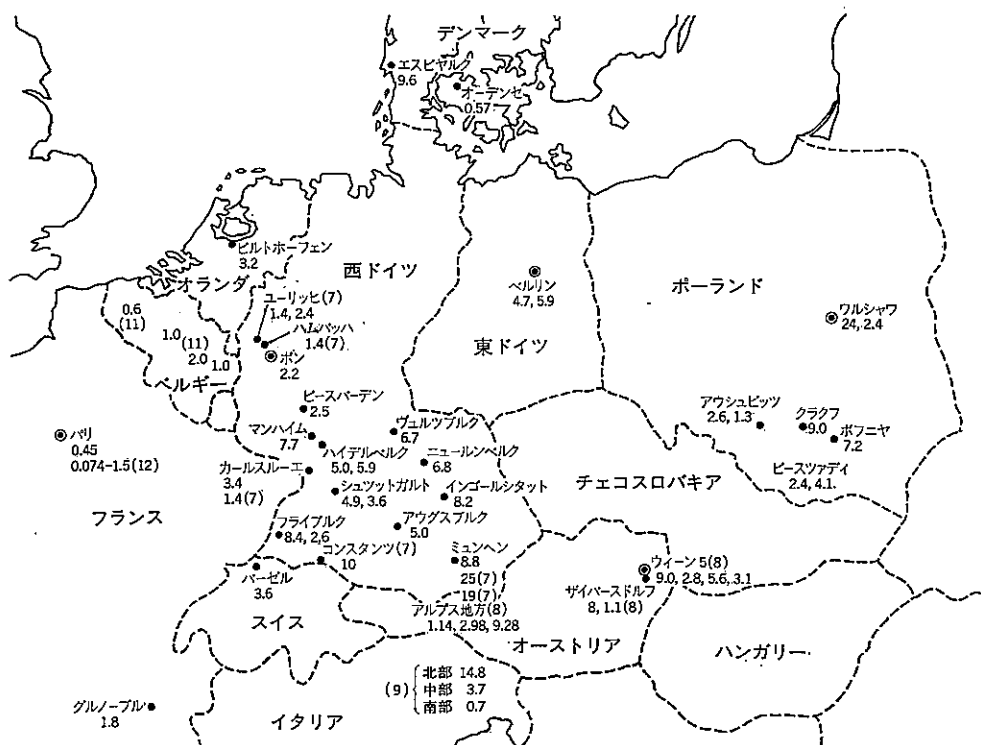


図1 ヨーロッパ中央部での ^{137}Cs 沈着濃度(kBq/m^2)。文献から引用したものは、その番号を()内に示す。他はすべて現地土壌試料についてのわれわれの測定値、これは地表の厚さについての補正をしてある。

われわれが土壌試料を入手した国は、ポーランド、西ドイツ、オーストリア、スイス、フランス、デンマーク、ポルトガルである。図1に、 ^{137}Cs 沈着濃度についてのわれわれの測定結果と、報告されている局地的なデータを示してある。これら沈着濃度の直接測定データのある国々については、その濃度分布に基づいて、 ^{137}Cs 沈着濃度の平均値を国別に算定した。

沈着濃度の直接データが満足に知られていない国は*、チェコスロバキア、ハンガリー、ルーマニア、ブルガリア、ユーゴスラビア、アルバニア、トルコなどであり、チェルノブイリに近く、影響評価にあたって重要な地域である。こうした国については、空間線量率のデータから地表沈着濃度を間接的に割り出した。

地表に沈着している放射能からは、その核種の

種類と量に応じてガンマ線が放出され、地表近くの空間線量率が上昇する。したがって空間線量率の測定値からバックグラウンド分を差し引いた残りが、すべて地表沈着放射能に由来するとして逆算すれば、その量が推定できる。この逆算のための係数(線量/沈着濃度・換算係数)はアメリカ物理学会の報告書⁽¹⁴⁾から借りてきたが、いくつかの場合についての検討の結果、この係数は0.5倍した方が、実測値をよく再現することがわかったので、以下ではすべて0.5倍した係数を用いることにした。なおソ連報告書でもわれわれの場合とよく似た係数が解析に用いられていると推測される。

さてこの方法を用いる場合は、地表沈着放射能の成分比が知られていなければならない。後にみるように、成分比の距離依存性は、チェルノブイリから1000 kmを越えると顕著でなくなり、ヨーロッパ地域ではほぼ一定と考えられるので、ここでは西ドイツのデータ⁽⁷⁾を採用した。各国から報告されている空間線量率に対してこの方法を適

* 最近手に入ったが、本稿の解析に含まれなかった資料として、イギリス、ハンガリーの詳細な報告書と、ポーランド、ユーゴスラビアなどの部分的なデータがある。今後、さらに多くのデータが集まった段階で、再解析の結果を報告したい。

表 2 ヨーロッパ諸国の ^{137}Cs 沈着濃度と沈着量。

国 名	今 回 の 評 価			他 の 評 価	
	濃 度 (kBq/m^2)	総 量 (10^{15} Bq)	参考文献 番号 ^a	岡 野 ⁽²⁰⁾ (kBq/m^2)	日本の第2次報告 書 ⁽²¹⁾ (kBq/m^2)
フィンランド	6.7	2.26	5	4.4	6.0
スウェーデン	4.8	2.11	4	8.1	5.5
ノルウェー	7.1	2.30	6, f	4.1	7.3
ポーランド	11	3.44	15, p	11.1	—
チェコスロバキア	14	1.79	9, 10, 16	9.3	—
ハンガリー	6.3	0.59	10, 16	9.3	—
ルーマニア	4.8	11.4	16	7.4	—
ブルガリア	13	1.44	9, 10, 16	1.9	—
ギリシア	6.3	0.83	9	3.0	3.5
ユーゴスラビア	19	4.83	9, 16	5.6	—
アルバニア	9.5	0.28	10	1.9	—
オーストリア	12	1.00	8, 17, p	7.4	15
ス イ ス	3.6	0.15	p	11.1	5.3
東 ド イ ツ	5.3	0.57	p	4.4	—
西 ド イ ツ	4.8	1.20	7, p	(北)3.3 (南)9.3	4.0
デンマーク	2.0	0.09	18, p	3.3	1.1
オ ラ ン ダ	3.2	0.13	10, p	2.6	1.8
ベ ル ギ ー	1.0	0.03	11	1.1	0.9
ルクセンブルク	—	—	—	—	2.9
イ タ リ ア	4.7	1.41	9	4.4	4.3
フ ラ ン ス	0.7	0.38	p	1.1	1.3
イ ギ リ ス	1.0	0.24	13	5.6	0.67
アイルランド	—	—	—	—	3.3
ト ル コ	1.0	0.78	19	1.9	0.03
合 計	—	37.3	—	—	—

^a: f は平均濃度が報告書の公式評価値として示されているもの。それ以外はわれわれが独自に評価した。p は現地の土壌試料についてのわれわれの測定値(図1に示す)。

用し、求めた ^{137}Cs の沈着濃度を、前の直接測定データに基づく評価とともに表2にまとめて示してある。岡野による同様の評価値⁽²⁰⁾と、日本の第2次報告書⁽²¹⁾に示されている値も比較のために示した。表に見るようにそれぞれについて的一致はほぼ満足できるものといえる。

ところで過去の核爆発実験により、北半球中緯度地域に沈着した ^{137}Cs の量は、積算して約 $5 \text{ kBq}/\text{m}^2$ であるといわれている。これと比べるとチェルノブイリ事故は、核実験すべてを合わせたよりも多くの ^{137}Cs を一度にヨーロッパ地域に降らせたといえよう。国別の平均沈着濃度に各国の面積を掛けて加え合わせると、ソ連を除くヨーロッパ地域とトルコに沈着した ^{137}Cs の総量が得られ、表2に示したように $37.3 \times 10^{15} \text{ Bq}$ (1 MCi) となる。前に述べたようにこの量はソ連報告書が ^{137}Cs の総放出量として算定しているもの(表1)

とまったく同じであることがわかる。

放射能沈着の全体像

評価の方法

前にも述べたように、ここでは主としてソ連と同様、空間線量率の値から地表に沈着した放射能の量を推定する方法を用いる。前節でヨーロッパ地域の一部に対してもこの方法を用いたが、ソ連国内のような近距離においては、前のように放射能成分比を一定とみなすわけにはいかない。ところが放射能成分比を知るためには、地表沈着濃度についての測定データが必要であり、ここに一種のジレンマに陥ってしまうことになる。しかしこれは解決できない矛盾ではない。つまり、ここで着目するのは、地表沈着濃度の絶対値ではなく、相対値、つまり成分比だという点に望みがある。

絶対値の場合は、局所的な条件に左右されやすく、測定値も大きなばらつきがあるため、一地点の測定値をその地域一帯の代表値とみなすのは危険であるが、成分比の場合そのようなばらつきはそれほどひどくないことが期待される。したがって、少ないデータでも十分有効な結論が得られるであろう。こうして一見まわりくどいやり方で、この問題を解決することにする。

まずソ連からヨーロッパに及ぶ広い地域にわたって、地表沈着核種の成分比が距離とともにどのような変化をするかをしらべ、成分比の大局的なふるまいを把握する。成分比の距離依存性が明らかになれば、空間線量率の測定されている地点での成分比が、その地点の距離に応じて決まり、各核種がどのような割合で空間線量率に寄与するかがわかる。これらの合計が実測された空間線量率に合うように調整することによって、各核種の沈着量が決まるのである。

沈着放射能成分比の距離依存性

成分比を考える場合の基準核種としてここでは ^{137}Cs を考える。その理由は、 ^{137}Cs が最も広範に測定されている核種であること、長半減期(約30年)のため、測定日が少しぐらいつれていても、ほとんど減衰補正する必要のないこと、そして長期的な被曝に関して最も重要な核種であることなどによる。

ある地点での核種 i の地表沈着量を C_i とする。 C_i は、遠方ほど小さくなる距離の関数であると予想される。そして、 ^{137}Cs に対する比 $R_i = C_i/C_0$ ($i=0$ を ^{137}Cs とする)を定義する。考慮する核種はできるだけ多い方が望ましいが、すべてのデータにわたって各核種の値が常にそろっているわけではない。そこで、化学的・物理的に似た核種をまとめ、グループ分けして扱うことを考える。そうすることによって、核種の欠けたデータについても有効に利用することが可能になる。ここでは、セシウム以外を、以下の六つに分類する(後出の表5参照)。

NO: 不揮発性酸化物, VO: 揮発性酸化物

I: ヨウ素, TE: テルル

AE: アルカリ土類, ZR: ジルコニウム

最後のZRはNOに含めるべきものであるが、ジルコニウムは炉心のチャンネル構造材として大量に使われており、この放射化による放射能が無視できないと思われるので別扱いする。各グループ内の核種は、まったく同一の挙動をすると仮定する。そして、インベントリー(事故発生時に原子炉内に蓄積されていた放射能、ただし、ここではそれを5月6日に減衰補正した値を用いる。)における R_i には、右肩に0を付けて R_i^0 と書くことにし、さらに換算比 $r_i = R_i/R_i^0$ を定義すると、仮定により各グループ内の r_i はまったく同一になることがわかる。こうすると、表5にあげた29の核種について、29個の R_i を解析する必要がなくなり、6個の r_i だけを扱えばよいことになって、いちじるしく簡素化される。しかも、グループ内のどれか一つの核種があれば、そのデータを捨てずに活用することができる。以下では、 r_i における i は、核種名ではなく、NO、VOといったグループ名を表わすことにする。

r_i の値は、放射能放出の態様に依存する。つまり、爆発による超高温状態で放出されたか、黒鉛火災などの比較的低温状態でゆっくり放出されたかによって異なることが考えられる。そこで、この二つの態様の放出を、第1期、第2期の放出と呼んで区別することにした。第1期では、風は北西方向へ吹いており、ソ連領内600 km圏内の北西部(第2象限)と、スウェーデン、フィンランドそしておそらく日本などに沈着をもたらしたと考えられる。第2期は、風は西、南、東などに吹いたために、東欧、西欧、南欧、中近東、ソ連東部などに沈着を引き起こした。実際にはこのように画然とした区別が可能だとは思われないが、放出の態様の違いに対する解析の柔軟性を残しておくという点で意味がある。

われわれが得たデータすべてについて、換算比 r_i を算出し図示したのが図2である。図にみられるように、使えるデータはわずかしがなく、ソ連国内についてはカリニングラードとキエフのものしかない。30 km圏内については、ソ連報告書に圏内全体のものと、北側1地点のもの二つ(それぞれソ連報告書の表5.3と表4.2)が別々に

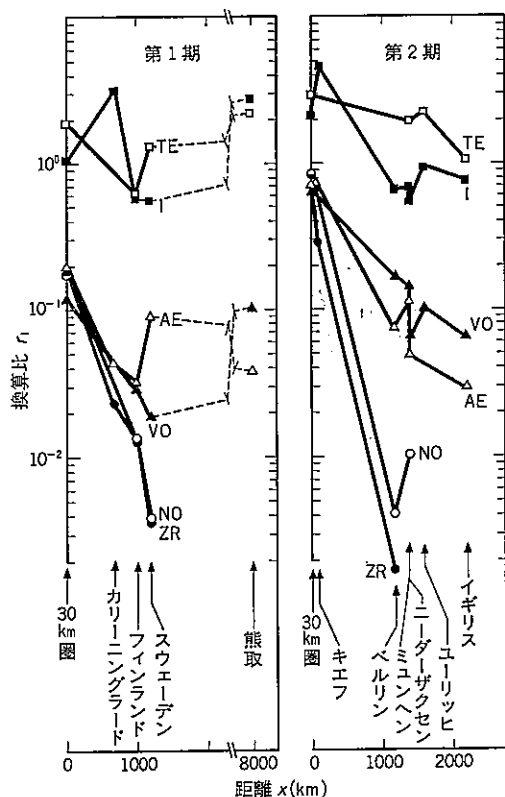


図2 第1期、第2期の換算比 r_1 を距離に対してプロットしたもの。

与えられていたので、これを基にし、第2象限領域(第1期に相当)はその他の象限領域(第2期に相当)の4倍の濃度をもつと仮定して算出した。データ不足のためにグラフは相当粗いが、期待どおり、 r_1 についての距離依存が明確にあらわれているのがわかる。そして、次のことがいえる。

1. 第1期と第2期ともに r_1 は似た振舞をするが、第2期の方が全体に4倍ほど大きい。つまり、 ^{137}Cs が相対的に少ない。
2. ZR と NO はほとんど同じ値であり放射化による Zr の寄与はあまりない。
3. 六つのグループは、さらに次の三つに分類できるようにみえる。一つは、I と TE で、 r_1 が大きく、距離による減衰がほとんどない。二つめは、VO と AE で、30 km 圏内での r_1 は NO とあまり変わらないが、距離による減衰が NO ほど急激でなく、長距離成分は I と TE のグループより少ない。三つ目は NO と ZR で、きわめて速く減

衰する。

こういった特徴に対して、原子炉がどういう状態にあるときにこのような放出の特徴が現われるかという観点から検討すれば、いろいろ興味深い議論ができると思われるが、これは別の機会にゆずることにして、ここでは単にこれら r_1 に簡単な関数をあてはめるにとどめる。8000 km 離れた熊取におけるわれわれの測定値⁽²²⁾との関連でみると、1500 km から 3000 km の範囲では、ほとんど変化しないとみられ、 r_1 に対して距離に関する指数関数+定数で大きざっぱに近似できると仮定する。つまり、 $r = r_e + r_0 \exp(-x/x_0)$ とし、各グループについて、 r_e , r_0 , x_0 を次のようにとる。

$$\text{NO: } r_e = 0.002(0.008), r_0 = 0.2(0.8),$$

$$x_0 = 320(160)$$

$$\text{ZR: } r_e = 0.0018(0.007), r_0 = 0.18(0.7),$$

$$x_0 = 320(160)$$

$$\text{I: } r_e = 0.4(0.4), r_0 = 2.7(2.7), x_0 = 400(400)$$

$$\text{TE: } r_e = 1(1), r_0 = 0.7(1.1), x_0 = 400(400)$$

$$\text{VO: } r_e = 0.0176(0.06), r_0 = 0.1(0.6),$$

$$x_0 = 500(500)$$

$$\text{AE: } r_e = 0.04(0.04), r_0 = 0.17(0.7),$$

$$x_0 = 400(400)$$

かっこ外の数字は第1期、かっこ内の数字は第2期を表わしており、 x , x_0 の単位は km である。

^{137}Cs 沈着濃度の距離依存性と放射能沈着量

次にこれらの r_1 の関数を用いて、空間線量率のデータから沈着量を算出する。この種のデータは、ソ連報告書にいろいろな形で出ているが、その中から、地域を代表すると思われる表 4.1, 表 7.2.5, 表 7.2.9 を用いることにする。これらのデータと、これに基づき、上記 r_1 の関数を用いて算出した ^{137}Cs の沈着濃度を表 3 に示す。

こうしてソ連国内の多くの地域の沈着量が得られたが、これらの数値とともに、前節で求めたソ連領外の ^{137}Cs 沈着濃度をまとめて示したのが図 3 である。この図にみられるように沈着濃度のバラツキは相当大きく、同じ距離でも、沈着時の気象条件や放射能雲の飛行経路などに大きく左右されていることが認められる。とはいえ、沈着濃度は距離とともに着実に減少しており、ソ連内 600

表 3 ソ連領 600 km 圏内に沈着した ^{137}Cs の計算結果とそれに用いた空間線量率の値。

地 域	距離/km (方角)	期間 ^a	空間線量率 ($\mu\text{R/h}$)	^{137}Cs の 沈着濃度 (kBq/m^2)
ソ連報告書の表 4.1 から (1986 年 6 月 26 日)				
30 km 圏内	17(—)	1+2	20000	6681
	21(—)	1+2	10000	3387
	28(—)	1+2	5000	1734
	41(—)	1+2	3000	1086
ソ連報告書の表 7.2.5 から (1986 年 5 月 11 日)				
ゴ メ リ	160(NNE)	1	830	211
キ エ フ	100(S)	2	440	48.7
ブリャンスク	350(NE)	2	300	65.4
ジトミール	160(SW)	2	200	26.9
モギリョフ	290(N)	1	150	46.7
オリョル	430(NE)	2	140	35.5
チェルニゴフ	90(E)	2	140	15.0
ツ ー ラ	550(NE)	2	120	36.4
チェルカッシ	270(SSE)	2	91	16.6
ブ レ ス ト	440(W)	2	81	20.9
ソ連報告書の表 7.2.9 から (1986 年 5 月 11 日)				
ウクライナ中部	150(S)	2	154	20.1
ウクライナ西部	370(W)	2	38.3	8.7
ウクライナ東部	570(E)	2	44.0	13.7
ウクライナ南部	400(S)	2	25.7	6.1
白ロシア南東部	180(N)	1	560	147
白ロシア北西部	370(NW)	1	53.7	18.6
モルダビア	420(S)	2	48.0	12.0
ブリャンスク郡	350(NE)	2	286	62.3
カリニングラード郡	680(NW)	1	6.9	3.3
カルガ, ツーラ, スモレンスク郡	500(NE)	2	68.6	19.4
オリョル, クルスク, リベツク郡	520(E)	2	80	23.3

^a: 期間について 1+2 と表示したのは、第 1 期と第 2 期にそれぞれ 4/7 と 3/7 の重みをつけて平均したことを意味する。

km 圏の値と、遠方のヨーロッパ諸国の値が矛盾なくつながることがみてとれる。遠方では、第 1 期と第 2 期について目立った違いは認められないが、近距離では明らかな違いがみられるので、それぞれの期間について、沈着濃度 C_0 (kBq/m^2) を次のような 2 成分指数関数で表わす。

$$C_0 = 13000 \exp(-x/35) + 52 \exp(-x/540); \text{第 1 期}$$

$$C_0 = 10000 \exp(-x/14) + 52 \exp(-x/540); \text{第 2 期}$$

これらの曲線も図中に示してあるが、これらの関数に局所的な妥当性を期待するのは無理であって、全沈着量のように大局的な積分量を評価する場合だけに有効であると考えるべきであろう。ちなみに、長距離成分について最小 2 乗解析を行なった場合の、積分値の標準偏差は 16% 程度になる。

したがって、以下で行なう積分計算結果には 50% の誤差を見積っておけば十分であろうと思われる。

さて、上記の C_0 の式に、 $2\pi x$ と前述の r_1 を掛けて積分し、 R_1^0 を掛けると、積分範囲地域の核種 i の沈着量が得られる。ここでは北西部(第 2 象限)、つまり全方位の 1/4 は第 1 期、残りの 3/4 は第 2 期に対応すると仮定しているので、各期間の積分値をこの按分比で加え合わせる必要がある。表 4 に ^{131}I と ^{137}Cs と全放射能の、各地帯ごとの沈着量、表 5 に 3000 km 圏内の 29 核種についての全沈着量の計算値が示してある。積分を 3000 km で止めたのは、今回の解析法の妥当性の範囲を考慮したためである。

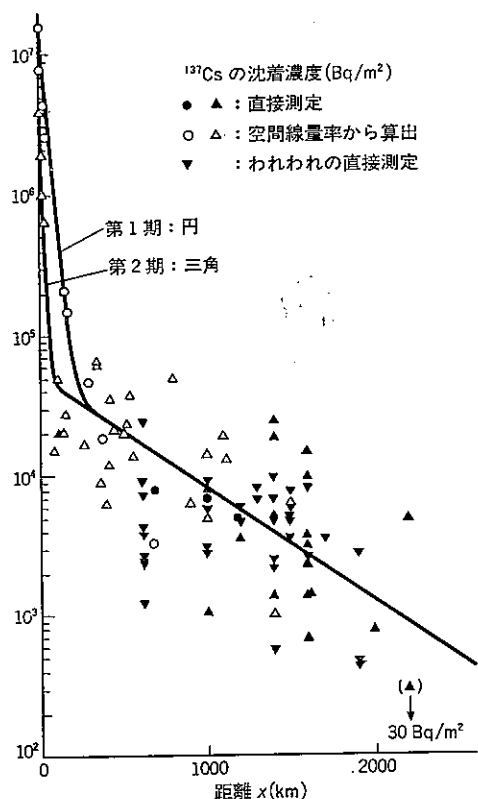


図3 ^{137}Cs の沈着濃度を、距離 x に対してプロットしたもの。第1期、第2期についての曲線は2成分指数関数。詳細は本文参照。

考 察

表4にみられるように、30 km圏の ^{137}Cs 沈着量はソ連の値ときわめてよく一致している。ところが0~600 km圏については、われわれの値は2倍近く大きくなった。このくい違いの原因は図3をみると見当がつく。 $x < 600$ において観測値は、採用した関数曲線のほぼ1/2あたりに分布しており、ソ連のように600 km圏内だけで解析した場合は、われわれの半分くらいの値になることが予想される。われわれの評価がソ連とちがう重要な点は、遠く2000 kmを越える地域までの大局的な解析に基づいていることであって、この意味からいえば、600 km圏内でのくい違いは重要なものではない。というのは、もしソ連内の観測値に重点をおこうとして、600 km以内の領域で関数曲線をもっと低いところを通るように選

表4 解析の結果得られたいくつかの帯域における ^{131}I 、 ^{137}Cs および全核種の沈着量(単位は 10^{15} Bqで、5月6日換算)。かっこ内はソ連の評価値。

核 種	0~30 km	0~600 km	600~3000 km
^{131}I	160(74)	685(270)	255
^{137}Cs	11.3(10.4)	66(37)	94
全核種	926(729)	3100(1850)	994

ぶならば、その押し下げられた分だけ、逆に遠方で持ち上がらざるをえず、結局全体の積分値はそれほど変化しない。つまり600 km圏内に沈着しなかった分だけ、圏外に沈着する結果となる。前述の最小2乗解析の標準偏差が16%というのはこのことを意味している。600 km圏外のデータのもつ重要性がここに端的に表われているといえる。600 km圏外、600~3000 kmの範囲については ^{137}Cs の沈着量は 9.4×10^{16} Bq (2.54 MCi)となったが、これは前節で述べたヨーロッパ諸国への総沈着量1 MCiと矛盾しない結果となっている。前にも述べたようにこの帯域の沈着についてはソ連報告書では考慮されておらず、この分が地域的な意味での純粋の追加分に当たる。

^{131}I については、30 km圏内でも、われわれの値はソ連より2倍ほど大きくなった。これは上に述べた事情とは違い、 ^{131}I だけの問題である。図2にみられるように、ヨウ素の r_1 の値がチェルノブイリ近傍で距離に関して単調減少しておらず、単純な関数による近似の無理が30 km圏にしわよせされたためである。30 km以遠も含めて広い範囲でみた場合には、このような局所的くい違いはならされてしまう。(600 km圏内でも、ソ連より約2.5倍大きくになっているのは、上述の ^{137}Cs と同じ事情による。)

表5に示した0~3000 km圏の総沈着量の内訳をみると、われわれの評価値はほとんどすべての核種にわたって、ソ連の報告書のほぼ2倍となったのがわかる。中でもCs, Te, Iなどの揮発性のものについては3~5倍ほど大きくなった。これは揮発性のものほど遠方(ソ連領外)に多く運ばれたことを示唆している。

以上、ここで示した総沈着量(当然これは総放出量の下限である)の解析は、きわめて限られた

表 5 原子炉内に蓄積されていた放射能(インベントリー)とその分類および ^{137}Cs に対する割合, R^0 .
解析の結果得られた 0~3000 km 圏内の沈着放射能とその内訳. すべて 5 月 6 日換算. 比較のため
() 内にソ連の評価値を示す.

核種	分類	半減期 (日)	インベントリー		0~3000 km 圏 沈着放射能 (10^{15} Bq)	インベントリー に対する割合 (%)
			10^{15} Bq	R^0		
^{89}Sr	AE	52.1	2044	7.17	196(81)	9.6(4.0)
^{90}Sr	AE	11030	203	0.712	19.5(8.1)	9.6(4.0)
^{90}Y	NO	2.67	10.8	0.0379	0.575	5.3
^{91}Y	NO	59	3948	13.9	212	5.4
^{95}Zr	ZR	65.2	4392	15.4	207(141)	4.7(3.2)
^{97}Zr	ZR	0.72	0.319	0.00112	0.0150	4.7
^{95}Nb	NO	35	4553	16.0	243	5.3
^{99}Mo	VO	2.8	482	1.69	45.6(111)	9.4(2.3)
^{103}Ru	VO	39.5	4067	14.3	384(118)	9.4(2.9)
^{106}Ru	VO	366	2040	7.16	193(59)	9.4(2.9)
^{105}Rh	VO	1.50	21.1	0.0740	2.00	9.4
$^{127\text{m}}\text{Te}$	TE	109	38.2	0.134	27.5	72
$^{131\text{m}}\text{Te}$	TE	1.25	1.88	0.00660	1.35	72
^{132}Te	TE	3.25	321	1.13	231(48)	72(15)
^{127}Sb	NO	3.88	37.8	0.133	2.02	5.3
^{131}I	I	8.05	1351	4.74	940(270)	70(20)
^{133}I	I	0.875	2.28	0.00800	1.59	70
^{134}Cs	CS	750	185	0.649	105(19)	57(10)
^{136}Cs	CS	13.0	65.1	0.228	36.8	57
^{137}Cs	CS	11000	285	1	161(37)	57(13)
^{140}Ba	AE	12.8	2842	9.97	272(159)	9.6(5.6)
^{140}La	NO	1.67	93.3	0.327	4.98	5.3
^{141}Ce	NO	32.3	4493	15.8	240(104)	5.3(2.3)
^{143}Ce	NO	1.38	31.7	0.111	1.69	5.3
^{144}Ce	NO	284	3178	11.2	170(89)	5.3(2.8)
^{143}Pr	NO	13.7	2900	10.2	155	5.3
^{147}Nd	NO	11.1	1189	4.17	63.5	5.3
^{239}Np	NO	2.35	3177	11.1	170(44)	5.3(3.2)
^{241}Pu	NO	5350	174	0.611	9.28(5.2)	5.3(3.0)
合 計			42126		4094(1850)	9.7(4.4)

データや資料に基づいており, 今後これらが豊富になるにしたがって改定されるべきものである. 今回の解析で最も気がかりな点は, 仮定したような, 汚染の(第 2 期に相当する部分, つまり第 1, 3, 4 象限についての)大局的等方性が妥当かどうかという問題である. 放射能は主として西ヨーロッパ地域に運ばれており, 今回の仮定が事実と反するように思われるかもしれない. しかし, これは, これらの地域が一応ジャーナリストに開放されており, 大々的な報道が行なわれたからであって, 汚染の大小とは関係ないことに留意すべきである. 残念なことにチェルノブイリの東側, 特に遠方地域での情報は現在でもほとんどない. ソ連報告書によれば 600 km 圏内(の第 2 期に当たる地域)に

関するかぎり, 東部と西部に顕著な違いはみられず, むしろ東側の方が汚染がひどいほどである. また新聞報道(5 月 23 日付「毎日新聞」(朝刊))によると, テヘラン(チェルノブイリの南東 2500 km)で 5 月 6 日, バックグラウンドの 5~10 倍の空間線量率を記録しており, これが地表沈着によるものとすれば, 図 3 の曲線の 1 桁以上大きな値となる. これらのことは, 今回の解析がチェルノブイリの東側地域においては, むしろ過小評価になっていることを示唆している.

文 献

- (1) USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy: The accident at Chernobyl nuclear power plant and its consequences(1986)

- (2) 瀬尾健はか: 京都大学原子炉実験所第21回学術講演会講演要旨集, 27(1987)
- (3) 瀬尾健: 放射線(応用物理学会放射線分科会誌), 印刷中
- (4) G. E. ELICSSON (Swedish Nat. Inst. Rad. Prot.): 私信(1986); L. DEVELL et al.: Nature, 321, 192(1986); M. JENSEN & J.-C. LINDHÉ: IAEA Bulletin, 28(No. 3), 30(1986); Swedish Nat. Inst. Rad. Prot.: Chernobyl—its impact on Sweden, SSI-rapport, 86-12(1986); Swedish Nat. Food Admin.: Radioactivity in Foodstuffs in Sweden following in Nuclear Power Station Accident at Chernobyl(1986)
- (5) H. AALTONEN et al.: STUK-B-VALO, 44(1986); O. PAAKKOLA et al.: STUK-B-VALO, 45(1986)
- (6) S. BACKE et al.: Nedfall av Cesium i Norge etter Tsjernobylulykken, report of Nat. Inst. Rad. Hygiene(1986)
- (7) Umweltradioaktivität und Strahlenexposition in Südbayern durch den Tschernobyl—Unfall, GSF-Bericht 16/86, München(1986); C. Hohenemser et al.: Environment, 28, 6(1986); H. KIEFER: Auswirkungen des Reactorunfalls in Tschernobyl, Kernforschungszentrum Karlsruhe(1986); Die Folgen von Tschernobyl, 3. erweiterte auflage, Heidelberg(1986)
- (8) R. SCHELENZ & A. A. ABDEL-RASSOUL: IAEA Bulletin, 28(No. 3), 23(1986)
- (9) G. CAVALLO: 私信
- (10) World Information Service on Energy (Amsterdam): 記者会見資料(3 & 11 June, 1986)
- (11) E. COTTENS et al.: The Chernobyl Accident and Its Impact, Proc. Seminar, S.C.K/C.E.N, Bergium(1986)
- (12) A. J. THOMAS & J. M. MARTIN: Nature, 321, 817(1986)
- (13) F. A. FRY et al.: Nature, 321, 193(1986)
- (14) American Physical Society: Rev. Mod. Phys., 47(Suppl. 1), 1(1975)
- (15) Z. JAWOROWSKI: IAEA Bulletin, 28(No. 3), 33(1986)
- (16) G. A. M. WEBB et al.: Nature, 321, 821(1986)
- (17) P. WEISH: 私信(1986)
- (18) H. P. RYDER: The reactor accident at Chernobyl, U.S.S.R. Radiation Measurements in Denmark, reports of Nat. Agency of Environ. Prot.(5, 12 & 29 May, 1986)
- (19) Turkish Atomic Energy Authority: 記者会見資料(1986)
- (20) 岡野真治: 予防時報, 150, 22(1987)
- (21) 原子力安全委員会ソ連原子力発電所事故調査委員会第1次報告書(1986); 同第2次報告書(1987)
- (22) T. IMANAKA & K. KOIDE: J. Environ. Radioactivity, 4, 149(1986)

科学時事



軸索になる神経突起と樹状突起になる神経突起

オールバニー医科大学の DOTTI と BANKER は、培養神経細胞の軸索突起を切断する実験から、幼若な神経細胞の突起は、樹状突起にも、軸索突起にもなるポテンシャルをもっていることを示した(Nature, 330, 254(1987)).

脳などの神経細胞からは、軸索突起という長い突起が1本と、樹状突起というものとは何本か出ている。両者は、形態学的にも、成長の様子も、組成や機能も違っている。こうした2種類の突起は、培養条件下でも形成されるので、周囲の環境や他の細胞との接触は、基本的な形成要因ではないと考えられている。

DOTTI と BAKER は、胎児の脳の海馬という部分の神経細胞を取り出して培養し、培養1日目に軸索突起を切断した。すると、切断した突起が再生して軸索突起になることもあったが、樹状突起になるはずだった他の突起

が長くなって、軸索突起になることのほうが多かった。こうした場合には、切断された突起は樹状突起になった。この結果は、培養細胞で最初に出てくる突起は、軸索にも、樹状突起にもなれるポテンシャルをもっていることを示している。そして、1本の突起が軸索としての性格をもち始めると、他の突起が軸索になってゆくの妨害して、樹状突起になるようにするらしい。

エイズウイルスの培養に成功

‘Nature’誌の報道によると、全インド医学研究所(ニューデリー市)の P. SETH はエイズ患者からエイズウイルス(HIV)を単離することに成功した(Nature, 330, 197(1987)).

このウイルスの単離は、発症していない売春婦3人のリンパ球を、植物性細胞凝集素(phytohemagglutinin)で処理した正常ヒトリンパ球と一緒に培養して行なわれた。ウイルスの存在は、HIVのp24抗原とp17抗原に対するモノクローナル抗体を使った間接免疫蛍光法などで確認している。このウイルスが、既知のHIVのどのタイプに属するのか、あるいは新しいタイプのウイルスなのかは不明である。

科学

2 | 1988
VOL.58
NO.2

研究費だけが問題か D.D.SWINBANKS

重力レンズと宇宙の大アーチ／ヒトの遺伝子地図と男女の差
／超新星 1987A からのガンマ線検出について

性の数と性の進化 巖佐 庸

太陽フレアの高エネルギー現象 甲斐敬造

よみがえる雲学 木村龍治

チェルノブイリ事故 瀬尾 健・今中哲二
による放出放射能 小出裕章

中国伝統医学の現代化 林 一

ユダヤの民 丸山工作

十二面体は閉じられたか 米沢富美子

岩波書店