

チェルノブイリ原発周辺 30km 圏避難住民の被曝量の再検討

今中 哲二

京都大学原子炉実験所

1. はじめに

チェルノブイリ事故が起きたのは1986年4月26日であるが、その翌日27日の午後、原発に隣接するプリピャチ市の住民4万5000人が避難した。一方、プリピャチ市以外の30km圏内村落の住民避難は大きく遅れ、5月3日にはじまりそ5月10日頃に終了した。避難した人数は、プリピャチ市を含めたウクライナ側9万1000人、ベラルーシ側2万5000人の合計11万6000人とされている。

チェルノブイリ事故20年のまとめとして2005年9月にウィーンのIAEA本部で開かれた「チェルノブイリ・フォーラム」の報告書¹⁾によると、事故直後に30km圏から避難した人々の外部被曝は、平均で約30mSv、最大で数100mSvとされている。その評価の主な根拠となっているのは1994年のLivtarev論文²⁾である。Livtarevらは、事故時の行動に関するアンケート調査を実施し、各村落での空間線量モニタリングデータと組み合わせて、プリピャチ市避難民1万3000人、それ以外の30km圏避難民1万7000人についての個人線量を推定している。その結果、プリピャチ市と30km圏での平均被曝は11.5mSvと18.2mSv、また最大値はそれぞれ114mSvと383mSvであったとしている。Livtarev論文では、プリピャチ市内のモニタリングデータは詳しく図で示されているものの、30km圏以外の村落のモニタリングデータは具体的には示されていない。

筆者としては、1週間以上も放置されていた30km圏避難民の被曝量が翌日に避難したプリピャチ市に比べそれほど大きくないこと、旧ソ連崩壊後に明らかになった資料では周辺住民に多くの急性障害が認められていたことなどから、30km圏避難住民の被曝評価に関心を抱いてきた。

2. 5月1日の30km圏モニタリングデータ

Fig. 1は、1996年3月、ベラルーシのミンスクで開かれたチェルノブイリ事故10周年会議の資料に入っていた、事故から5日後、5月1日の周辺30km圏内村落での空間ガンマ線量率である³⁾。原発職員チームによる地上1mのGMサーベイデータとなっている。図の最大値は原発北方6kmのKrasnoe村で、3306 μ Gy/h (380mR/h)である。

Fig. 2は、破壊された4号炉からの放射能放出量の推移⁴⁾で、Fig. 3その期間の放射能雲の流れ⁵⁾である。Fig. 2とFig. 3を合わせて考えると、Krasnoe村の汚染は4月27～28日にかけて形成されたと判断していいだろう。従って、5月1日の空間線量率は基本的に地表沈着した放射能からのガンマ線である。Krasnoe村近辺の避難は5月3日であったと想定されるので、その住民はFig. 1のようなとんでもない汚染の中でまる1週間ほど暮らしていたことになる。

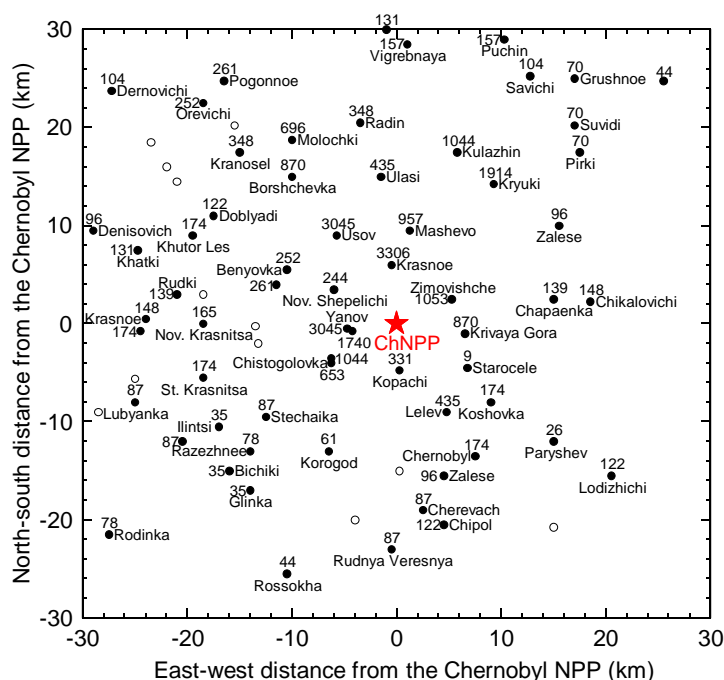


Fig.1. Dose rate in the 30-km zone on May 1, 1986, μ Gy/h.

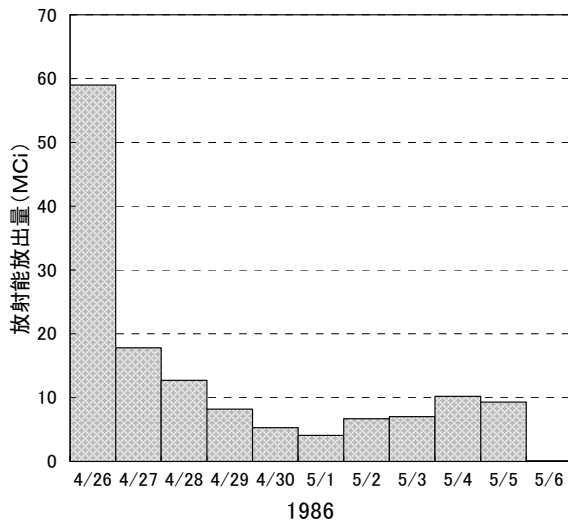


Fig.2. Daily radioactivity release, excluding noble gases (made from the data of 1986 USSR report).

3. 今中らの以前の外部被曝量評価

チェルノブイリ原発周辺に沈着した放射能の組成については、1987年に Izrael らが詳しく報告している⁶⁾。その組成 (Table1) を用いると、沈着後のガンマ線量率の相対的变化を計算できる。

Fig. 4 は、放射能沈着後の空間線量率変化を、¹³⁷Cs の単位沈着量 (1Ci/km²) 当りで規格化してプロットしたものである。測定値は、原発北方約 50km のホイニキ市の測定データである³⁾。実線 (Calculation 1) は、Table1 の組成で計算したもので、点線 (Calculation 2) は、測定値に合うよう、Zr-Nb の沈着量を半分にした計算である⁷⁾。点線は、はじめの2週間の空間線量測定値とうまく一致している。

Krasnoe村での放射能沈着は4月27日12:00に起きて、5月3日12:00に村民が避難したと想定し、Fig. 4 の点線を用いてその間の積算空間線量を求めると 600mGy となる。この積算線量に、Likhtarev らと同じ、居住・遮蔽係数 (0.61) および Sv/Gy 人体係数 (0.82) をかけると Krasnoe村での平均外部被曝は300mSvとなった。また、同じ手法を Krasnoe村より少し北西にある Usov村 (5月1日線量率、3045 μGy/h) に適用すると、平均外部被曝280mSvとなった。Likhtarev 論文によると、Usov村の平均外部被曝量は118mSvであり我々の評価の方が2.4倍大きくなった⁷⁾。(1997年にキエフで、Likhtarev 論文の共著者の一人と private discussion の機会をもったが、「30km 圏内村落では空間線量率のピークは5月1日だった」という奇妙な説明があった。)

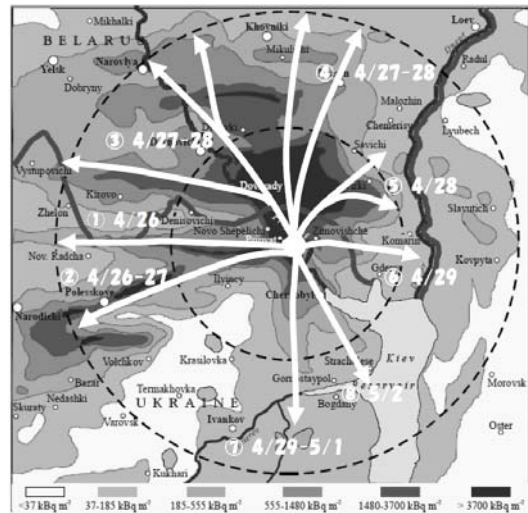


Fig.3. Daily direction of radioactive clouds on the back of ¹³⁷Cs contamination map. Made from Izrael's report (2005.12).

Table 1 Relative composition (¹³⁷Cs=1) and dose factor of nuclides deposited around the Chernobyl site.

Nuclide	Half life	Relative composition*	Dose factor (μR/h)/(Ci/km ²)
⁹¹ Sr	9.7 h	1.2	20
⁹⁵ Zr	65.5 d	3.3	29
⁹⁷ Zr	17 h	1.6	29
⁹⁵ Nb	35 d	3.3	15
⁹⁹ Mo	2.75 d	7.5	2.8
¹⁰³ Ru	39 d	5.3	9.6
¹⁰⁶ Ru	367 d	1.3	3.7
¹³¹ I	8.04 d	20	7.6
¹³³ I	21 h	40	12
¹³⁵ I	6.7 h	35	34
¹³² Te	3.25 d	33	46
¹³⁴ Cs	2.05 y	0.5	29
¹³⁶ Cs	13 d	0.3	39
¹³⁷ Cs	30 y	1	11
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	3.6	43
¹⁴⁰ La	1.67 d	3.6	39
¹⁴¹ Ce	32.3 d	3.5	1.8
¹⁴³ Ce	1.38 d	3.1	4.9
¹⁴⁴ Ce	284 d	2	0.55

*; Decay-adjusted at the time of the accident

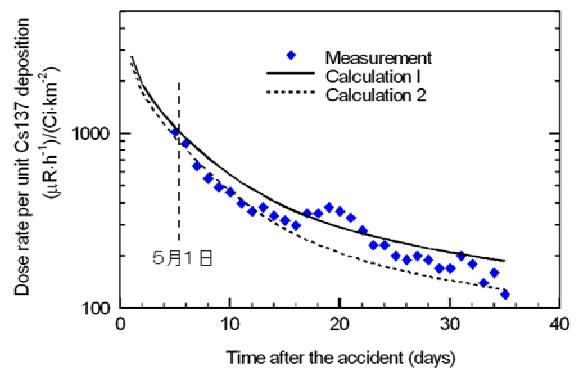


Fig. 4. Dose rate change in Khoiniki normalized per unit deposition of ¹³⁷Cs.

4. Likhtarev らの用いた 30km 圏モニタリングデータ

ドイツ GSF の Muck らは 2002 年、Likhtarev らとともに、チェルノブイリ 30km 圏避難住民の吸入被曝量を報告している⁸⁾。その論文では、30km 圏内の 49 村落について、1986 年 4 月 26 日から 5 月 12 日までの空間線量モニタリングデータが 5 つの方向別セクターに分けて示されている。Fig. 5 に、そのうちの主な村落のデータを示した。Fig. 5 のデータを見て驚いたのは、最初に放射能雲通過したはずのセクター A (西) や B (西北西) で、(1997 年に Likhtarev 論文の共著者から聞いたように) 線量率のピークが 1 週間も後に認められたことである。セクター A の Tolsty Les (25km) は、原子炉爆発にともなう最初の放射能雲がまともに通過した位置にある。また、Yanov (5km) や Chistagolovka (7km) は 27 日に線量率が急上昇したプリピャチ市のすぐそばである。いずれのデータも不可解な変動パターンを示していると考えざるを得ない。

“結局、プリピャチ市以外の集落についてのモニタリングは、最初の 3 日間はほとんど実施されなかった(データはなかった)” というのが筆者の仮説である。そして、毎日のモニタリングデータを積算する方法を無理矢理に全期間に適用した Likhtarev 論文では最初の段階の被曝量を小さめに評価するに至った、というのが筆者の見解である。

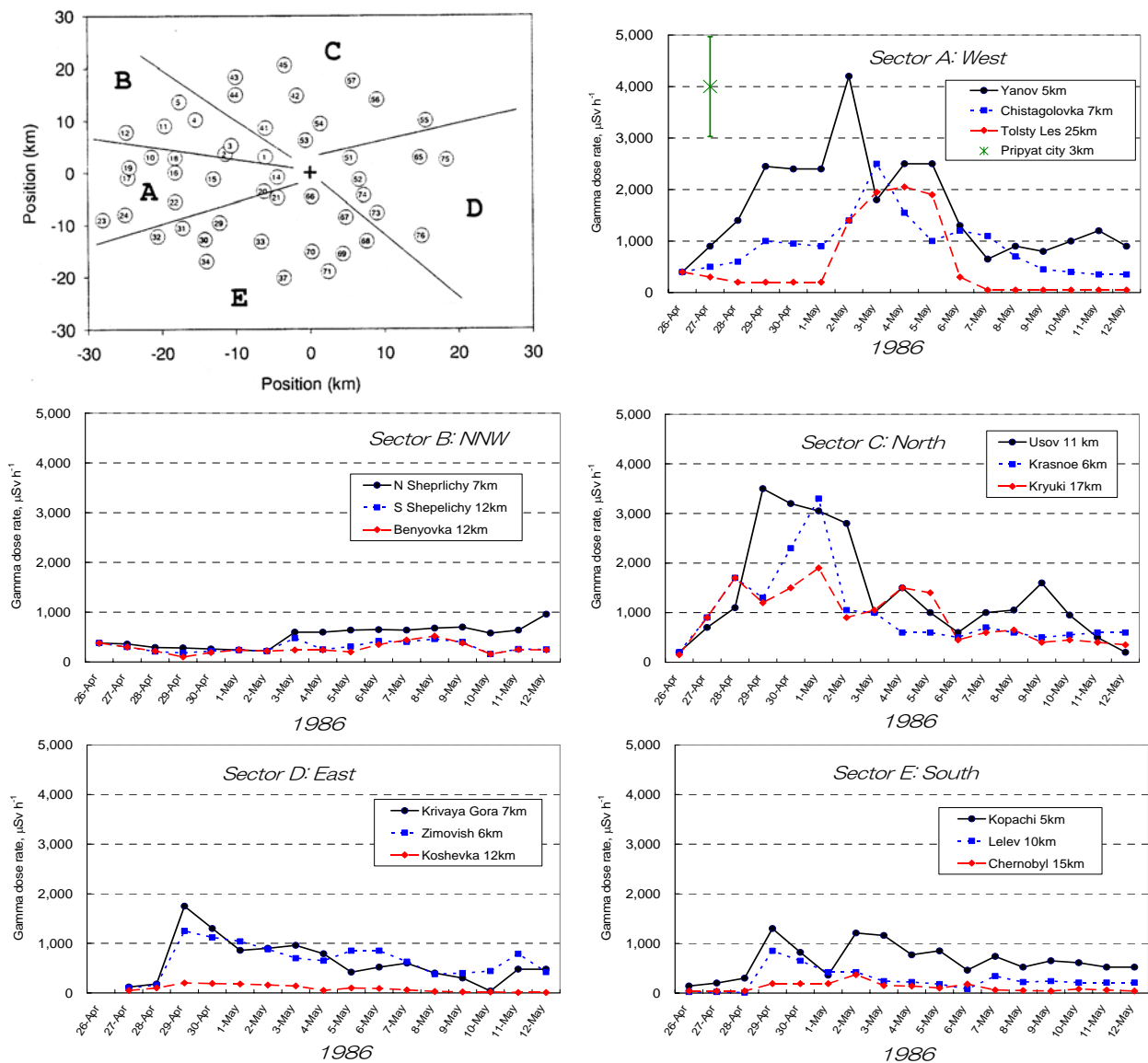


Fig. 5. Dose rate monitoring data supposed to be used in the previous study. A-E: direction sector.

5. 新たな外部被曝評価の試み

Fig.5 のようなモニタリングデータを新たに入手できたこと、また、GSF グループから 30km 圏内村落での ^{137}Cs 沈着量測定データを含む報告⁹⁾を入手したことから、新たに以下の2つの方法で外部被曝評価を試みた。

- Method-1 : Fig.5 のモニタリングデータのうち線量評価に使えるような1週間を選んで、Fig.4 のような空間線量率変動カーブをフィッティングし、放射能沈着時刻から避難までの空間線量率を積分した。沈着組成には、Muck らが報告している方向別組成¹⁰⁾を用いたが、Table2 に比べて大きな違いはない。各セクターの沈着時刻は、セクターA ; 4.26.12:00、B;4.27.00:00、C ; 4.28.00:00、D ; 4.29.00:00、E:4.29.00:00 とした。
- Method-2 : 土壌中 ^{137}Cs 測定値と沈着組成データから空間線量率を逆算し、放射能沈着から避難までの被曝量を求めた。

^{137}Cs 沈着量と組成が分かれば、Fig.4 のような線量率変動カーブを計算できる。沈着時刻と避難時刻は Method-1 と同じ。

新たな外部被曝評価結果を、主な村落について、GSF/Ukraine (2000)⁹⁾や Likhtarev(1994) の値とともに Table2 にまとめた。GSF/Ukraine(2000)の外部被曝評価は、基本的に Likhtarev(1994)と同じ手法によるものである。

Table2 New external dose estimation based on two different methods as well as previous GSF/Ukraine values.

Sector	Village	Distance, km	Date of evacuation	^{137}Cs density, kBq/m ²	Average external dose until evacuation, mSv			
					Present study		GSF/Ukraine (2000)	Likhtarev (1994)
					Method-1	Method-2		
(A) West	Yanov	4.8	April 29	18,450	180	250	9.5	—
	Chistogolovka	7.4	May 3	10,000	230	200	70	—
(B) WNW	N.Shepelichy	6.9	May 3	3,530	96	72	13	—
	S.Shepelichy	12	May 3	830	58	12	23	—
(C) North	Kryuki	17	May 5	15,090	140	200	—	—
	Usov	10.7	May 3	4,790	150	55	154	118
(D) East	Kryvaya Gora	6.6	May 4	2,150	68	59	51	—
	Zimnovishe	5.8	May 3	4,020	55	95	42	—
(E) South	Kopachi	4.8	May 4	2,690	59	65	53	—
	Chernobyl	15.4	May 5	1,780	14	14	6	6

Method-1 と Method-2 の結果を比べると、案外よく合っている。誤差をおおざっぱに 50%とみて、それからはみ出すのは、B (西北西) の S.Shepelichy と C (北) の Usov だけである。また、Present study と GSF/Ukraine を比べると、初期モニタリングデータに関するこれまでの議論から予測されるように、セクターA (西) と B (西北西) では Present study の方がかなり大きい。一方、D (東) と E (南) では両者の推定値に大きな違いは認められない。これは、放射能雲が D や E のセクターに流れたのは 4月 29 日以降であり、その時には 30km 圏内のモニタリング体制が出来上がっていたことを反映しているであろう。セクターC については、集落の多くがベラルーシ領にあるため GSF/Ukraine 報告では被曝量を与えられておらず、比較出来るデータが限られているが、Usov の値は同じレベルになっている (Imanaka らの以前の値は 280mSv)。

6. おわりに

本報告の目的は、チェルノブイリ・フォーラムなど最近の公的報告においてチェルノブイリ原発周辺 30km 圏避難住民の外部被曝量とされている値 (平均 20~30mSv) に過小評価の可能性があるを示すことであった。今回の筆者が試みた評価で最も大きな値が得られた Yanov 村 (5km) では、空間線量モニタリングデータを外挿する方法 (Method-1) で 180mSv、¹³⁷Cs 沈着量に基づく方法 (Method-2) で 250mSv の平均外部被曝となった。一方、モニタリングデータを積算する方法を用いた GSF/Ukraine 報告では 9.5mSv である。事故が起きてから数日間の汚染状況をどう扱ったかが違いの原因である。筆者の評価がおおざっぱなものであることは十分に承知しているが、30km 圏避難住民の被曝評価に問題が残されていることを理解頂けたら幸いである。

文献

- 1) 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.
- 2) I.A.Likhtarev et.al., "Retrospective Reconstruction of Individual and Collective External Gamma Doses of Population Evacuated after the Chernobyl Accident", Health Physics, 66(6), (1994) 643-652.
- 3) I.K.Baliff and V.Stepanenko ed., "Retrospective Dosimetry and Dose Reconstruction", Experimental Collaboration Project ECP-10. EUR 16540, EC, 1996.
- 4) USSR State Commission on the Utilization of Atomic Energy, "The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and Its Consequences" August 1986.
- 5) Израэль Ю.А., «Антропогенное Радиоактивное Загрязнение Планеты Земля», Proceedings of International conference, "Radioactivity after Nuclear Explosions and Accidents", Moscow, Russia, December 5-6, 2005
- 6) Израэль Ю.А. и др. «Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской атомной электростанции» МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОЛОГИЯ 1987 №2 5-18.
- 7) T. Imanaka, H. Koide, "Assessment of External Dose to Inhabitants Evacuated from the 30-km Zone Soon after the Chernobyl Accident", Radiation Biology Radioecology, 40, No.5 (2000) 582-588.
- 8) K. Much et.al., "Reconstruction of the Inhalation Dose in the 30-km Zone after the Chernobyl Accident", Health Physics, 82 (2002)157-172.
- 9) G. Prohl et.al., "Reconstruction of the Doses to the Population Evacuated from the 30 km-zone around the Chernobyl Reactor", GSF-Bericht 07/2000 (2000).
- 10) K. Much et.al., "A Consistent Radionuclide Vector after the Chernobyl Accident", Health Physics, 82 (2002)141-156.

Reassessment of radiation dose for the evacuees from the 30-km zone around the Chernobyl NPP

IMANAKA Tetsuji
Research Reactor Institute, Kyoto University

According to the Chernobyl Forum report, which was published in September 2005 as a summing-up material for twenty-year scientific investigation on radiological consequences by the Chernobyl accident, 30 mSv of average external dose was estimated for evacuees from the villages in the 30-km zone. This estimate was mainly dependant on the previous Ukrainian works that used daily radiation monitoring data taken at each village after the accident. Recently publication of these monitoring data indicated serious inconsistencies with the well-known pattern of radioactivity release and plume directions from the destroyed 4th reactor, especially for the initial three days. Compared with independent evaluation by the present author, a possibility was discussed about underestimation in official dose estimates for evacuees from the 30-km zone.