

JCO事故における被曝と放射能汚染問題

京都大学 原子炉実験所 小出 裕章

放射線事故と放射能汚染事故

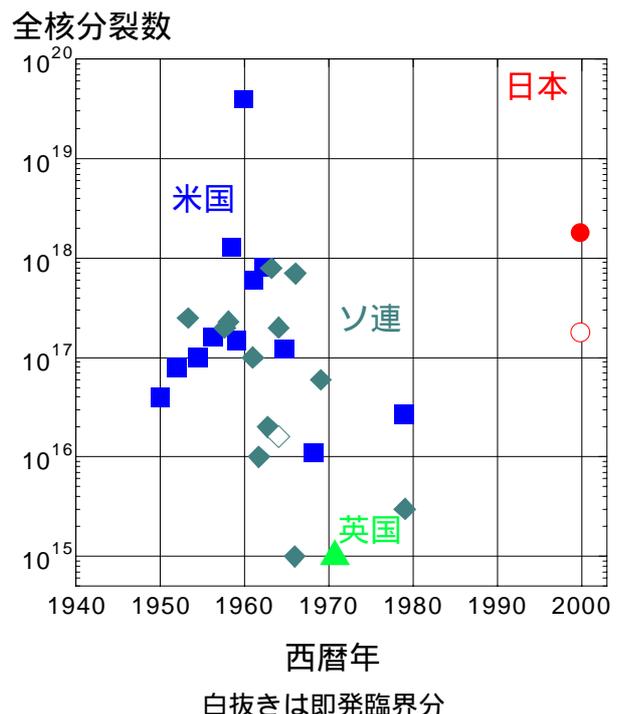
JCO事故が発生して以降、その事故では放射線による被曝が問題であって、放射能汚染による被曝は問題にならなかったかのような主張があふれている。

今回の事故は、臨界事故である。原子炉は、もともと核分裂の連鎖反応を持続的に維持する、すなわち臨界状態を維持するための装置であり、当初から、反応によって発生する放射線に対する備え、すなわち遮蔽に対する考慮がなされている。しかし今回は、臨界事故の発生など夢にも思わなかった核燃料加工施設で事故が発生したため、いわば裸の原子炉が突然出現してしまった。その結果、核分裂反応で生じた中性子とγ線は、遮蔽を考慮していなかった建屋を突き抜けて、周辺環境にまで達した。

しかし、起きた物理現象はウランの核分裂連鎖反応である。核分裂反応に伴って、中性子線とγ線が発生することは当然であるが、ウランが核分裂すれば、反応の当然の帰結として核分裂生成物も生まれる。その中には、閉じこめ困難な希ガスもあるし、人間の甲状腺に取り込まれやすい上に揮発性であるような素もある。本報告では、それら放射性物質の挙動を検証するとともに、原子力施設の防災について考えてみる。

まずはじめに、事故で核分裂したウランの量を決めねばならない。ウラン 1mg が核分裂したときに発生するエネルギーは約 1 KWD (1 kW のエネルギーが丸 1 日放出される量) に相当し、核分裂するウランの原子核数は 2.56×10^{18} 個である。10月20日になって、沈殿槽内にたまっていたウラン溶液の採取がなされ、その中に残っていた核分裂生成物の分析がなされた。しかし、試料を採取するときに、沈殿槽の攪拌機が動かず、溶液の均一性が保証できないという決定的な欠陥を持った試料となってしまった。そのため、この試料の分析から正確な評価が得られるとは期待できない。この試料からの推定値については、付録 2 として本報告の最後に添付するが、およそ 0.5mg ~ 1mg 程度のウランが核分裂したと推定される。一方、今回の臨界事故で燃えた(核分裂した)ウランの量は今中さんの評価によると 0.7mg である。そこで、ここでは、今中さんの推定値を採用し、全核分裂数を 1.8×10^{18} 個とする。(ただし、次項のソースタームは全核分裂数 1×10^{18} 、核分裂ウラン量 0.4mg として評価しており、各自 7/4 倍に補正して下さい。)過去の臨界事故の歴史と規模を右の図に示す。

臨界事故の歴史と規模



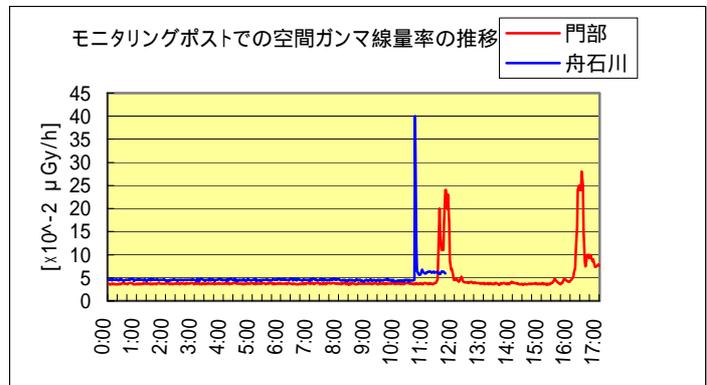
希ガスとよ素のソースターム

希ガス

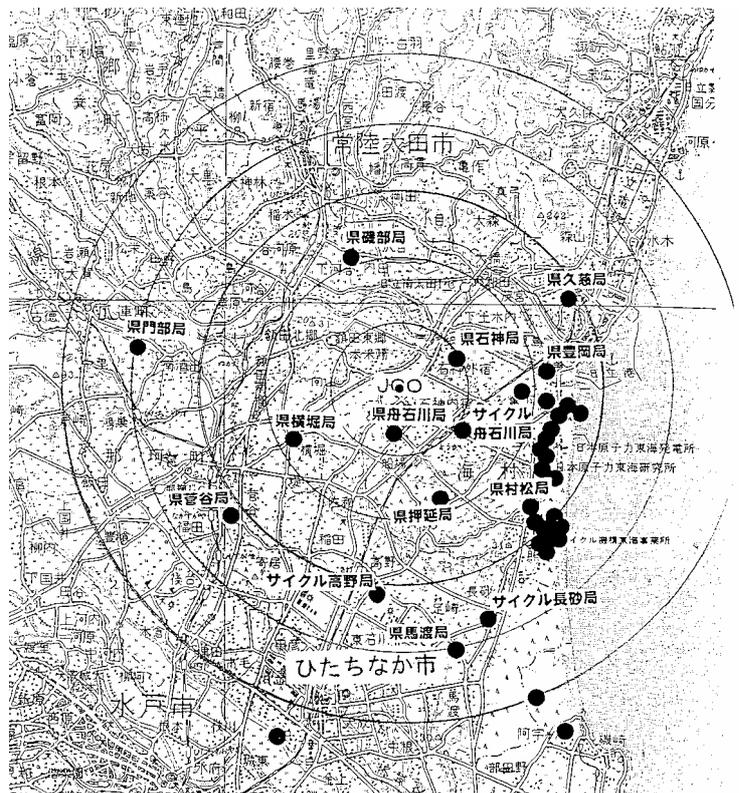
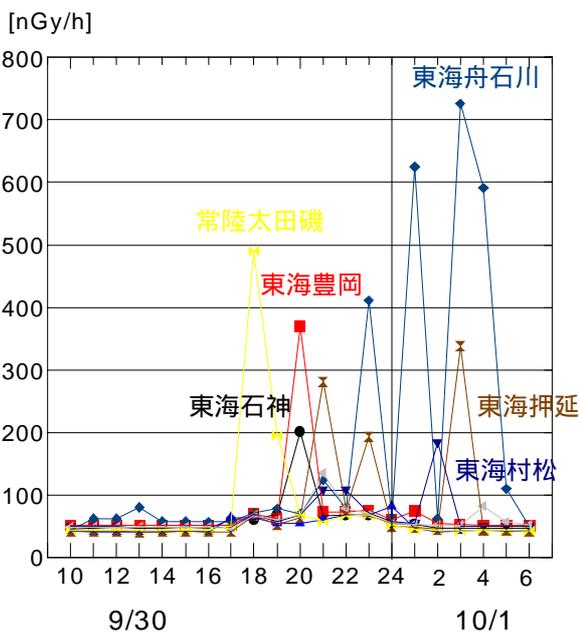
臨界事故の瞬間に、強烈な中性子線と γ 線が周辺の放射された。それは近くにあった日本原子力研究所那珂研究所の中性子線モニタと γ 線モニタを反応させたが、茨城県内各所に配置されていた γ 線モニタは、その後ほぼ丸1日にわたって、断続的に γ 線を記録し続けた。その例を右中央と左下の2枚の図に示す。また、モニタリングポストの地図を右下の図に示す。言うまでもなく、それらの γ 線は事故現場から直接放射されたものではなく、環境に漏洩してきた核分裂生成物が放射性雲となって各所に流れてきて、モニタを反応させたのである。事故が起きた転換試験棟は放射性物質の閉じこめ機能が不十分であった上、事故後も換気系が作動していたため、フィルタを素通りする希ガスは易々と環境に流出した。当然、放射性雲の主成分は希ガスであったし、おそらくは次に述べるよう素も含まれていたであろう。

単位重量のウランが核分裂した場合に生成する個々の核分裂生成物の時間的な推移については、すでに今中さんが計算してくれている。そのうち、希ガスについて、0.4mgのウランが核分裂した場合に生成される量を示すと表1になる。

この表を見れば、核分裂後のそれぞれの放射性核種の推移は、先行核の存在のため、複雑な様相を示している。しかし、放射性核種の中には著しく半減期の短いものがあり、生成された後、急速に減衰していく。そのため、環境に漏洩した放射性希ガスの量を評価する場合にも、生成後どの時点で評価するかが決定的な要因となる。沈殿槽



周辺モニタリングポストでの空間 γ 線量率



内でウランが核分裂して生まれた希ガスは直ちに気相に移り、沈殿槽にあいた開口部から建屋内に、そして建屋の換気系で環境に放出された。敷地周辺までの距離はおよそ 100m ほどしかなく、1m/s という弱い風であっても 1 分程度の間には、一般環境に到達したであろう。そこで、1 分後の値で評価するならば、**環境に放出された放射性希ガスの総量は約 1000 テラ Bq (数万キュリー)**である(「国際原子力事象評価尺度」は放射能による影響だけしか考慮しないといはなはだ不十分な尺度であるが、その尺度によると数千から数万テラ Bq 相当の放射性物質の外部放出は「レベル5」とされている)。また、数 km 離れたモニタリングポストに達するまでも 1 時間とはかからなかったであろうし、その時点でも、希ガスの量は 10 テラ Bq (数百キュリー) である。事故発生から 1 時間、現場の混乱が続いている中で、放射性雲は色も匂いも音もないまま周辺環境に広がっていったのである。

その後、一部の住民は東海村による避難勧告のため、舟石川コミュニティセンターに避難させられたが、前頁左下の図に示したように、その場合は、夜通し、JC0 からの風下にあたったため、放射性雲に襲われることになった。

表 1 U235 : 0.4mg-fission で生成される代表的な放射性希ガス

		1sec	1min	1hr	1day	1week	1month	1yr
Kr-83m	1.830 h	4.72E+06	3.55E+08	1.01E+11	1.74E+09	7.16E-01	5.92E-01	4.00E-02
Kr-85	10.73 y	1.19E+05	1.26E+05	1.05E+06	6.48E+06	6.60E+06	6.56E+06	6.20E+06
Kr-85m	4.360 h	1.07E+09	7.44E+10	5.68E+11	1.47E+10	1.68E+00	2.43E-39	0
Kr-87	1.272 h	6.76E+11	2.26E+12	2.34E+12	1.02E+09	7.08E-07	0	0
Kr-88	2.860 h	1.07E+12	2.37E+12	2.34E+12	8.88E+09	6.20E-06	0	0
Kr-89	3.070 m	1.34E+14	1.74E+14	3.16E+08	0	0	0	0
Kr-90	32.321 s	1.01E+15	3.67E+14	3.94E-19	0	0	0	0
Kr-91	8.570 s	2.69E+15	2.71E+13	0	0	0	0	0
Kr-92	1.850 s	4.76E+15	1.54E+06	0	0	0	0	0
Kr-93	1.289 s	1.70E+15	2.82E+01	0	0	0	0	0
Kr-94	0.208 s	2.71E+14	0	0	0	0	0	0
Kr-95	0.780 s	2.61E+13	4.44E-10	0	0	0	0	0
Kr-96	0.497 s	5.60E+12	9.64E-24	0	0	0	0	0
Xe-133	5.290 d	1.27E+07	1.46E+07	2.00E+09	7.00E+10	6.88E+10	3.27E+09	2.90E-10
Xe-134m	0.290 s	1.29E+14	2.11E+11	4.48E+06	0	0	0	0
Xe-135	9.080 h	1.54E+10	1.86E+10	1.79E+11	4.32E+11	1.41E+07	3.19E-12	0
Xe-135m	15.700 m	1.29E+12	1.24E+12	3.78E+11	2.74E+10	6.60E+03	9.24E-23	0
Xe-137	3.830 m	9.56E+13	1.48E+14	2.32E+11	7.16E-19	0	0	0
Xe-138	14.080 m	4.16E+13	5.36E+13	3.03E+12	9.48E-18	0	0	0
Xe-139	40.800 s	7.68E+14	3.58E+14	2.76E-12	0	0	0	0
Xe-140	13.600 s	1.88E+15	1.01E+14	0	0	0	0	0
Xe-141	1.730 s	3.71E+15	2.28E+05	0	0	0	0	0
Xe-142	1.240 s	1.46E+15	6.96E+00	0	0	0	0	0
Xe-143	0.300 s	3.66E+13	2.31E-46	0	0	0	0	0
Xe-143m	0.960 s	1.35E+14	4.24E-05	0	0	0	0	0
Xe-144	1.150 s	2.12E+13	7.60E-03	0	0	0	0	0
Xe-145	0.900 s	2.90E+11	5.32E-09	0	0	0	0	0
Xe-146	2.239 s	2.35E+10	2.75E+02	0	0	0	0	0
total[Bq]		1.89E+16	1.23E+15	9.16E+12	5.60E+11	7.04E+10	3.35E+09	6.20E+06
total[Ci]		5.12E+05	3.33E+04	2.48E+02	1.51E+01	1.90E+00	9.04E-02	1.68E-04

赤字は、その時刻における最大寄与、青字が 2 番目、緑字は 3 番目の寄与を示す。

よう素

0.4mg のウランが核分裂した場合のよう素同位体の経時変化を表 2 に示す。よう素も事故が起こった当初から環境に漏洩したであろうから、仮に 1 分後の値を考えれば、ソースタームは数百テラ Bq (1 万キュリー)、1 時間後の値を考えても、10 テラ Bq (数百キュリー) あった。付録- 2 に示した沈殿槽内のウラン溶液の分析結果を参考にすれば、生成したよう素の数十% が沈殿槽外に漏洩したと推定され、およそ百キュリーのよう素が環境に出たことになる。ただし、その主成分は I-135 や I-134 など比較的半減期の短いよう素同位体であり、被曝を考慮する上で重要な I-131 のソースタームは 1 キュリー弱、環境に漏洩した量もその数分の 1 程度であったと思われる。

表 2 U235 : 0.4mg-fission で生成される代表的な放射性よう素

		1sec	1min	1hr	1day	1week	1month	1yr
I-129	1.57E7 y	2.19E-04	4.44E-04	2.99E-01	9.04E+00	9.44E+00	9.80E+00	1.04E+01
I-131	8.040 d	4.28E+07	7.48E+07	1.30E+10	2.47E+10	1.68E+10	2.24E+09	6.52E-04
I-132	2.280 h	8.36E+09	8.56E+09	3.57E+10	9.28E+10	2.54E+10	1.59E+08	5.56E-24
I-133	20.800 h	1.13E+10	2.77E+10	4.56E+11	2.95E+11	2.43E+09	1.76E+01	0
I-133m	9.000 s	5.04E+13	1.13E+12	3.22E+11	1.02E+04	1.15E-43	0	0
I-134	52.600 m	1.08E+12	1.46E+12	8.00E+12	4.96E+05	1.79E-44	0	0
I-134m	3.800 m	1.10E+13	9.16E+12	1.94E+08	0	0	0	0
I-135	6.550 h	9.48E+11	1.85E+12	1.81E+12	1.58E+11	3.82E+04	5.36E-22	0
I-136	1.418 m	8.40E+13	1.36E+14	4.56E+01	0	0	0	0
I-136m	44.800 s	3.50E+14	1.47E+14	2.50E-10	0	0	0	0
I-137	24.500 s	8.12E+14	1.82E+14	5.84E-30	0	0	0	0
I-138	6.460 s	1.55E+15	2.94E+12	0	0	0	0	0
I-139	2.300 s	2.26E+15	4.44E+07	0	0	0	0	0
I-140	0.860 s	8.04E+14	1.57E-03	0	0	0	0	0
I-141	0.430 s	4.80E+13	2.38E-28	0	0	0	0	0
I-142	0.200 s	6.76E+12	1.61E-13	0	0	0	0	0
total[Bq]		5.96E+15	4.84E+14	1.06E+13	5.72E+11	4.44E+10	2.40E+09	1.04E+01
total[Ci]		1.61E+05	1.31E+04	2.88E+02	1.54E+01	1.20E+00	6.48E-02	2.80E-10

赤字は、その時刻における最大寄与、青字が 2 番目、緑字は 3 番目の寄与を示す。

．放射性よう素による汚染

臨界事故発生直後から、放射性希ガスが環境に漏洩したことは、モニタリングポストのデータを見れば、一目瞭然であった。また、希ガスの崩壊生成物である Sr-91 や Cs-138 などが各種の試料から検出されたことも早くから公表されて、それを裏付けた。放射性核種のうち、希ガスに次いで環境に放出されやすい核種はよう素であり、人体への影響も大きい。当然、よう素に対するモニタリングは、事故直後から精力的に行われたはずだと私は考えた。ところが、事故発生後、1 日たっても、2 日たっても、よう素を含め、希ガス以外の放射性核種がどのように環境に漏洩したかについては、まったく情報が出てこなかった。東海村は、「原子力が地場産業」と言うように、日本原子力研究所 (原研)、核燃料サイクル開発機構 (核燃機構) をはじめ多数の原子力関連施設が立地し、事故が発生して以降、多数の専門家が事故への対応に当たったし、放射性物質による環境への影響も調べたはずであった。それでもなお汚染についての情報がないということは、汚染そのものが生じなかったということかもしれないと私自身が思いかけた。それでも、よう素が全く漏洩しないであって

表3 土とヨモギについてのよう素検出データ（放射能強度は1999年10月1日4:30am 時点に補正）

Point	方角	距離	Soil					Mugwort				
			I-131		I-133		ratio	I-131		I-133		Ratio
			Bq/m ²	%	Bq/m ²	%		Bq/kg	%	Bq/kg	%	
K-6	ENE	532	19	89	ND		0	ND		ND		
K-5	NE	488	25	65	ND		0	ND		ND		
K-4	NNE	387	120	86	25790	81	215	ND		ND		
K-15	NNE	10	1400	17	54300	52	39	-		-		
K-3	NE	187	38	45	ND		0	2.6	33.4	ND		
K-11	NW	1	1335	11	28288	34	21	-		-		
K-2	NW	105	ND		ND		0	39	5.1	1133	42	29
K-12	WSW	1	1538	7.9	37326	25	24	-		-		
G-1	WSW	73	21	21	300	19	14	31	10.3	607	11	20
K-10	WSW	2344	ND		ND		0	ND		ND		
G-2	SW	70	11	1.0	225	13	20	50	8.9	1063	5.5	21
K-1	SW	82	46	48	ND		0	47	5.0	983	32	21
K-9	SW	781	ND		ND		0	2.1	28.0			
K-8	SSW	406	ND		ND		0	-		-		
G-3	SSW	98	-		-		0	73	8.4	1298	7.2	18
K-13	S	1	1904	6.0	37703	20	20	-		-		
G-5	S	1344	ND		ND		0	ND		ND		
G-4	S	171	15	25	299	19	20	12	10.3	219	8.1	18
G-6	S	813	ND		ND		0	1.6	68.4	27	62	17
G-7	SSE	2063	ND		ND		0	-		-		
K-14	ESE	20	482	11	11014	55	23	-		-		
K-7	ESE	288	2	65	ND		0	-		-		

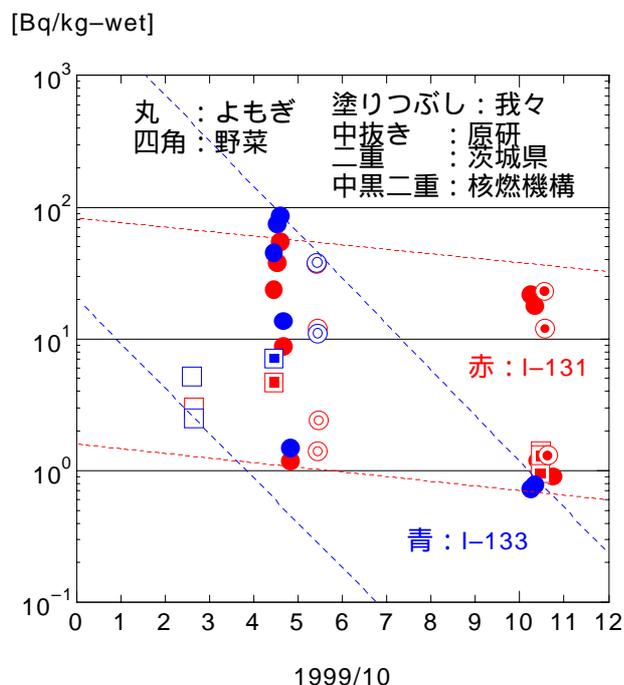
このうち、ヨモギについての測定結果について、公表されている範囲での原研、核燃機構、茨城県などの測定結果とともに、試料採取あるいは測定時点での値を、図示すると右の図になる。

I-131, I-133 が検出されたこれらの試料は、白菜、ナスの葉などの野菜から、ヨモギまで種類が様々であるし、測定機関も異なっている。また、採取地点も敷地境界のごく近傍から1000m離れた地点まで分布している。それでも、いずれも2桁程度の範囲に含まれ、傾向としてはよい一致を示している。

同じデータを臨界状態がほぼ終了した10月1日4:30am 時点に減衰補正し、距離別に並べ替えて図示したのが、次頁右上の図である。当然のことであるが、私が測定したデータも、核燃機構などその他の機関が測定したデータもほとんど同じであり、I-133はI-131濃度のほぼ20倍の濃度となり、敷地境界近傍の汚染が高い試料では、I-131で100 Bq/kg、I-133は2000 Bq/kgの汚染であったと思われる。

やはり、よう素は環境に漏洩していたのであった。そのことは、事故期間中、転換試験棟の換気系が動いてい

周辺環境のよう素汚染



たので、むしろ当然ともいえるし、転換試験棟には、換気扇などの開口部があいていて、そこから漏洩が起こった。JCOは10月8日になって排気筒においてよう素測定を始めたが、その時点においてもI-131の濃度は周辺監視区域外に放出が許される濃度限度の2倍になっていた。その後21日までのJCOによる測定結果を右下の図に示すが、事故当時までに外挿すれば、I-131、I-133では、濃度限度の10倍を超えるような濃度であったことが分かる。

ただし、測定が行われたのは、排気筒出口であって、敷地境界ではない。そのため、事故の進行時において、敷地境界におけるよう素濃度が法の規制を超えていたかどうかは定かではない。事故調査対策本部は10月22日に「(株)ジェー・シー・オー東海事業所に係る環境モニタリングについて(実施状況)」という文書を公表したが、その中には、核燃機構が9月30日の13:55には大気中のよう素の測定を始めていたことが記されている。そして、その測定で、敷地近傍において、I-133とI-135を検出している。その濃度はI-133で $3.6 \times 10^{-7} \sim 3.9 \times 10^{-7} \text{ Bq/m}^3$ 、I-135で $1.6 \times 10^{-6} \sim 3.4 \times 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ とされており、濃度限度にはなお(I-135に対する濃度限度は $4 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$)2桁ほどの余裕があったように見える。しかし、原研(6試料)や水戸原子力事務所(3試料)をあわせても、合計で30試料にすぎず、必ずしも十分であったとはいえない。何よりも、事故の進行途上において、速やかに正確な情報を公開することこそ行政の役目であったと思うが、それは満たされなかった。

・中性子線によって

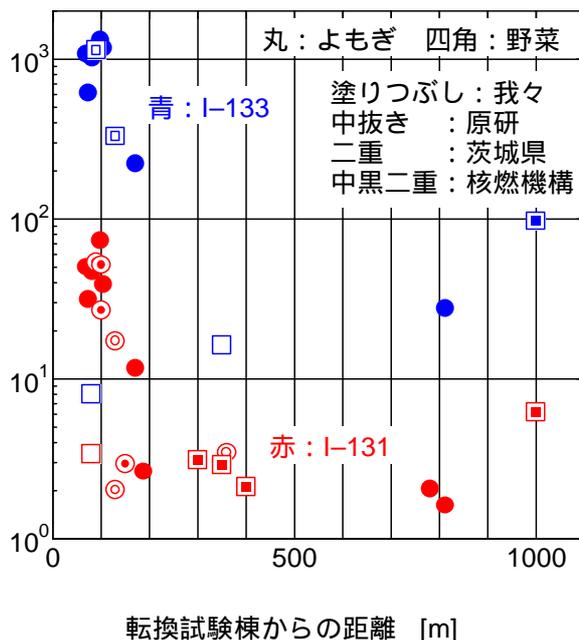
放射化された放射性核種の量

荻野さんと小林さんが採取してきてくれた試料には、よう素のほかにもいわゆる放射化生成物が含まれていた。そのうち土についての測定結果を関連した測定ポイントのみ、表4に示す。このデータは各地点での中性子の積分フラックスを評価する上で、役立つはずであるが、残念ながらまだ各試料中に含まれる元素組成の分析が済んでいない。

周辺環境のよう素汚染

(放射能濃度は1999年10月1日4:30amに補正)

放射能濃度 [Bq/kg]



JCO排気筒出口における空気中よう素濃度の推移

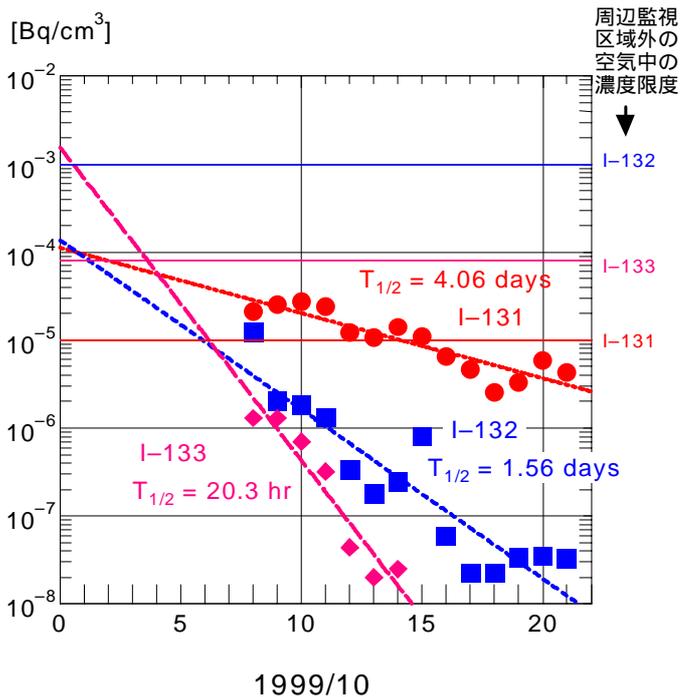


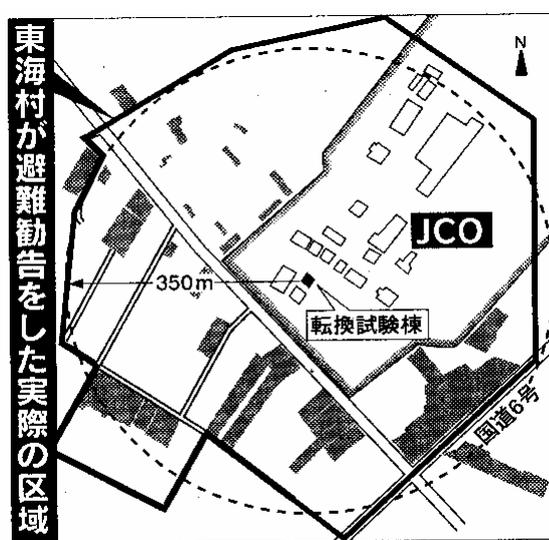
表4 土試料に含まれていた放射化生成物の濃度（放射能強度は1999年10月1日 4:30amに補正）

Point	方角	距離 m	Na-24		Sc-46		Fe-59		Co-60		Eu-152		Sm-153	
			Bq/kg	%	Bq/kg	%	Bq/kg	%	Bq/kg	%	Bq/kg	%	Bq/kg	%
K-11	NW	1	190689	6.4	146	0.4	83.6	1.1	6.4	3.2	4	8.8	841	3.7
K-12	WSW	1	52100	13	30	0.9	23.8	2.0	1.4	7.7	1.5	2.7	95	25
K-13	S	1	16760	27	6.4	2.9	3.9	6.7	ND		0.7	31	ND	
K-15	NNE	10	5053	67	6.7	3.0	3.4	8.3	0.2	45	0.3	47	ND	
K-14	ESE	20	ND		2.9	5.5	0.4	57	ND		ND		ND	
G-2	SW	70	430	6.0	ND		ND		ND		ND		ND	
G-1	WSW	73	222	9.5	ND		ND		ND		ND		ND	
G-4	S	171	241	8.6	ND		ND		ND		ND		ND	
G-5	S	1344	9	70	ND		ND		ND		ND		ND	

・直達放射線による被曝

JCOは事故当日の13:56に半径500m以内の住民を避難させるよう要請を出した（当時、中性子線量の測定すらがなされず、臨界が続いているとの確証もないままで、何故JCOが半径500m以内の住民の避難要請をしたか、定かでない。しかし、相当の判断応力を持った専門家がいたであろうと思われる）。これまで原子力防災は国の専管事項であるとされてきたが、その国が何らの対応もとらないため、15:00になって、東海村が半径350m以内の住民に対して避難の指示を出した。500mから350mにされた根拠は示されていないが、それは左下に示す地図を見れば理解できる。すなわち、自治会の区画がちょうどそれに適していたからである。

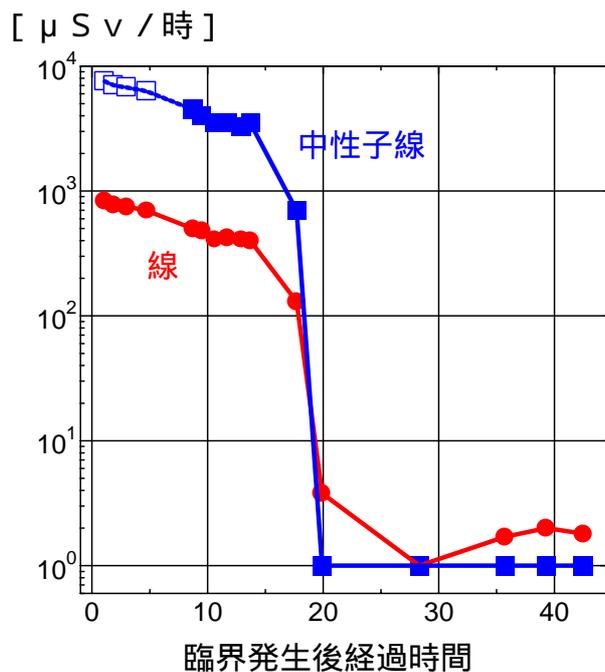
敷地周辺における線と中性子線の測定点を右下の図に、また、このうち転換試験棟にもっとも近く最大の線量率を示したポイントにおける線と中性子線の線量率の推移を次頁右上の図に示す。JCOでは臨界事故を全く想定していなかったため、当初中性子の測定はなされず、公表データは夜7時を過ぎてからのものしかない。ただ、その後のガンマ線量との比をとると、およそ9となっていて、その値を使って事故当初にまでさかのぼることができる。そうした操作をした上で、今回の事故で転換試験棟から直接周辺に漏洩してきた中性子線と線による事故継続期間中の積分被曝線量の推定をすると次頁中程左の図となる。敷地境界のごく近傍にいた人は約100mSv（放射線業務従事者の線量限度が50mSv/年、緊急時の線量限度も100mSv、一般公衆の線量限度は1mSv/年）もの被曝をしてしまうほどの放射線であったし、1mSvを超える被曝範囲は半径



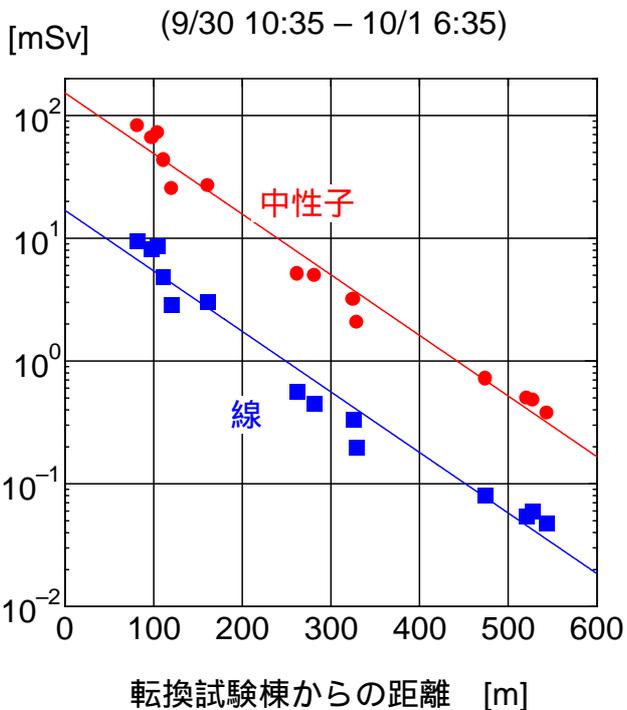
450m 近くに達した（「国際原子力事象評価尺度」のレベル4では、一般公衆の被曝線量は数 mSv とされている）。国も事態の深刻さが明らかになってきた9月30日夜には、避難範囲の拡大を考慮したといわれるが、混乱が起きるとの理由で、避難の範囲を拡大しなかった。

また、避難の指示が出た後、実際の避難が行われたのは夕方4時から5時近くであったというが、15:35 迄の積算の被曝量を推定した結果を右下の図に示す。半径 350m 圏にいた人たちは、すでに避難をするまでに一般公衆の年間線量限度(1mSv)を超える被曝をさせられてしまっていた。

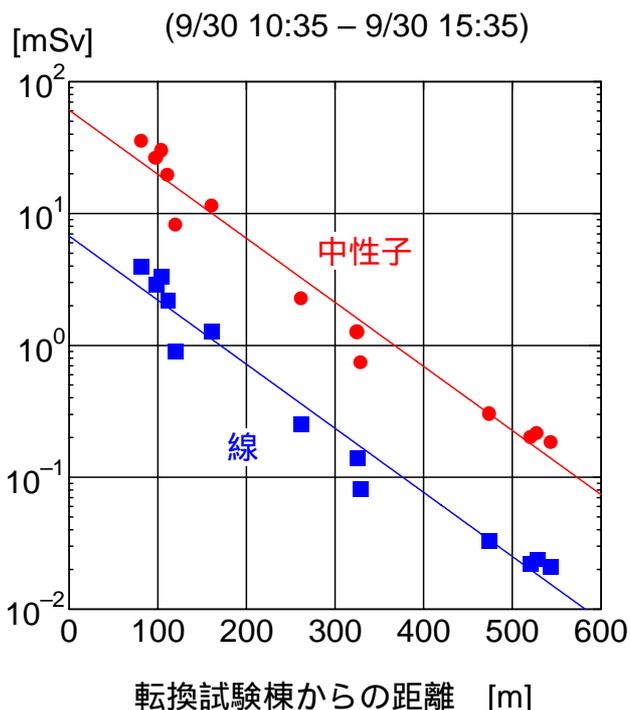
測定点、南西 87 m



臨界継続中の積算被曝線量



350m圏内避難開始までの積算被曝線量



国の防災指針の基本姿勢

今回の事故が示した教訓はたくさんある。そのうちでも、国が防災に対してとっている基本的な立場を確認しておくことは重要であろう。原子力防災は国の専管事項とされてきたが、今回の事故を通じて、結局国が行ったことは、事故が収束してしまった以降の、データ整理とつじつま合わせでしかない。

事故発生以降の国と県、村の対応を表にして示す。事故発生後、直ちに対応したのが消防隊であったことは当然であろう。しかし、事故が進行する中で、対策本部を初めて作ったのは東海村であった。科技庁が対策本部を作ったのは、事故発生から4時間過ぎた午後2時半になってからであったし、政府の対策本部はそれから

30分たった午後3時であった。国が何らの指示も出さない中、東海村は独自に350mの決定を出したのも、午後3時であった。安全委員会に助言者組織が設置されたのは、さらにそれから30分もたった3時半であった。その間にも、中性子線や線が事故現場から直接周辺に漏洩していたし、放射性希ガスやよう素も周辺環境に漏洩していた。その後、17:55には中性線が出ていることが確認されるが、それでも国は住民に対する何らの処置もとらなかった。東海村が独自に舟石川コミュニ

1999/9/30	10:35	事故発生
	10:46	消防隊到着
	11:15	(国) JCO、科技庁に第一報
	11:34	(村) JCO、役場に通報
	11:35	(県) JCO、茨城県に第一報
	12:00	(警) 対策本部
	12:10	(警) 200m 立ち入り規制
	12:15	(村) 災害対策本部
	13:56	JCO が 500m 圏の避難命令を村に要請
	14:30	(国) 科技庁災害対策本部
	15:00	(村) 350m 圏避難指示
	15:00	(国) 政府事故対策本部
	15:20	(警) 3km 立ち入り規制
	15:30	(国) 原子力安全委員会、「緊急助言者組織」
	16:00	(県) 事故対策本部
	16:51	(国) 政府事故対策本部初会合
	17:45	(県) 事故対策本部初会合
	17:55	中性子線の確認
	18:00	(国) 安全委「助言者組織」初会合
	22:30	(県) 10km 圏の屋内退避勧告
1999/10/1	6:15	臨界の収束確認
	16:40	(県) 10km 圏の退避勧告解除
1999/10/2	18:30	(村) 350m 圏の避難解除

ティーセンターに避難させた住民は不安の夜を迎えたであろう。原子力安全委員会の「緊急助言者組織」の会合で、「風下に避難している住民は別の場所に避難させるよう要請があった」との説明が21:06に科技庁審議官によってなされるが、国は何らの処置もとらなかった。その夜、舟石川はJCOの風下となり、避難した住民たちは放射性雲に巻き込まれることになった。

国が作成した「原子力発電所周辺の防災対策について」では、住民の予想被曝線量が10～50mSvになってはじめて「自宅等の屋内待避」することにされている。一般公衆の年間の線量限度1mSvの10倍から50倍である。その後、50mSv以上の予想被曝線量になって、ようやく「避難」も視野に入ってくるが、それでもなお「避難」は「コンクリート建屋の屋内待避」と並列で記されている。しかし、被曝を避ける上で、一番有効なのは、放射性雲に巻き込まれないことであり、風下から逃れることである。右の表に示すように屋内待避などは実質的にはほとんど意味がない。

場所	低減係数
屋外	1.0
自動車内	1.0
木造家屋	0.9
石造り建物	0.6
木造家屋の地下室	0.6
石造り建物の地下室	0.4
大きなコンクリート建物 (扉及び窓から離れた場合)	0.2 以下

今回の事故での国の対応が示したように、国が嫌がるのは「混乱」であり、「混乱」を避けるためには、民の被曝を低減させようとはしていない。少なくとも、政府の中に対策本部が作られるまでに5時間もかかるようでは、事故の決定的段階は過ぎてしまうし、今回も国の防災対策は実質的には何ら発動されず、事故の進行を座視するのみであった。

今回の事故で燃焼したウランの量は、はじめに述べたように0.7mg程度である。その反応で生じたエネルギーは、1.4リッターの灯油が燃えた時に生じるエネルギーと同じである。そして、これだけの事態が発生し

た。原子力とはつくづく取り扱いにくいものだと思わせられる。

広島原爆で燃焼したウランは 750g であるから、今回の事故の約 100 万倍である。100 万 kW の原子力発電所の場合には、1 年間の運転で約 1000kg、広島原爆に比べて約 1000 倍のウランが燃える。今回の事故に比べれば、10 億倍となる。今回の事故ですら、国の防災対策は有効でなかった（あるいは意図的に処置をとらなかった）が、その 10 億倍もの放射能を巻き込んだ事故が起こった時に、なおかつ有効な防災対策が実行されると期待する人はいるのであろうか？

・日本の原子力開発の最大の欠陥

責任の根元を問えない体質

水俣病にその生涯を捧げて取り組んできた原田正純氏は大佛次郎賞を受賞した「水俣が映す世界」で書いている。

「水俣病の原因のうち、有機水銀は小なる原因であり、チッソが流したということは中なる原因であるが、大なる原因ではない。大なる原因は“人を人と思わない状況”いいかえれば人間疎外、人間無視、差別といった言葉でいいあらわされる状況の存在である。」

今回の JCO 事故の原因については、作業員の愚かな行為であったかのような主張が当初なされた。しかし、臨界事故に対する知識を全く与えられなかった作業員を責めるのは筋違いであるし、沈殿槽にウラン溶液を投入することについても作業員は「核燃料主任技術者」に相談して許可を得ている。ステンレス製のバケツを使ったことが悪いかのようにもいわれたが、作業員が現場での工夫を凝らして作業することは褒められこそすれ、非難されるいわれはない。その上、バケツの使用は工場のマニュアルとして認められていた。そのマニュアルが悪いとの批判もあるが、扱っていたものが粉体や揮発性の溶液ではないから、バケツを使うこと自体も褒められることではないとしても著しく悪いことでもない。

今回の事故でもっとも問題であったことは、私にとっては信じがたいことであったが、臨界を防ぐための「形状管理」がなされていなかったことである。ウランを含めた核燃料物質は臨界形状に制限を付けておけば、決して臨界にならない。「仮に作業員がどんなにミスしても、原子力では fool proof になっているので安全だ」といつてきたのは、国と原子力産業であった。核燃料加工工場で臨界を防止するための形状管理を行うことは容易なことであり、私ですら当然そうされているものと信じてきた。今回事故を起こした施設は高速炉「常陽」用の燃料加工用の専用施設である。沈殿槽でいえば、20%濃縮ウランの取り扱い制限である 2.4kg 以上に入らないような大きさにしておかねばならなかった。しかし、問題の沈殿槽は 140 リッターもの容量があった。安全審査においてもこの沈殿槽については「質量管理」でよいとされている。そうなったのは、おそらくは作業の効率性、経済性を考えたためであろうが、効率や経済性が安全を犠牲にしたのであった。そのツケを本来は責任のない作業員が生命をかけて負うことになったし、工場や工場の責任者も組織的、個人的な責任を問われることになる。しかし、この施設に許可を与えたのは、原子力安全委員会であり、審査に携わった委員たちである。その委員会あるいは委員たちが、組織的、個人的に責任を全くとろうとしないのが日本の原子力の現状である。責任の根元を正せないのであれば、世界の物笑いになるのも当然であるし、それを許しておくかぎり、次の事故、一層大きな規模の事故も必然的に準備されるのである。

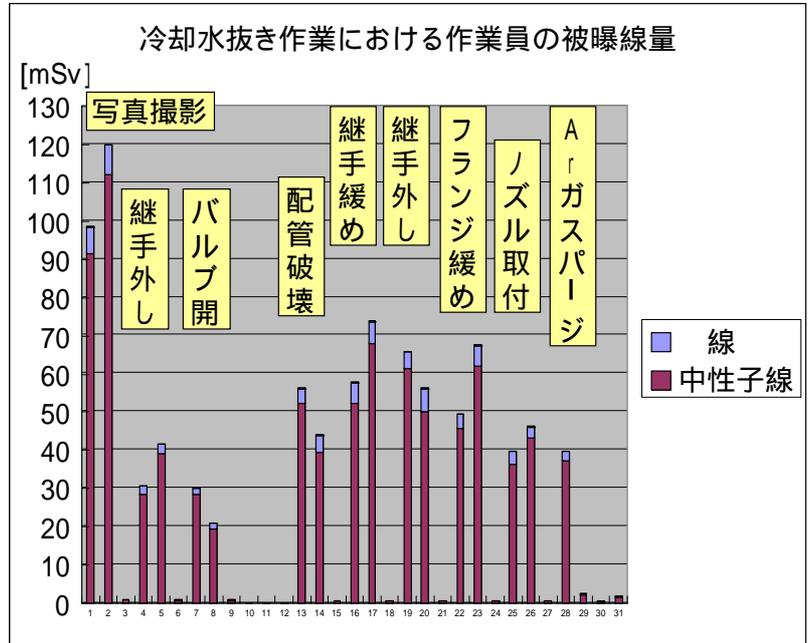
付録1 冷却水抜き作業員の被曝

今回の臨界事故は、はじめの即発臨界で沈殿槽が破壊されず、その後も臨界状態が長期間続いたことが特徴であった。周辺での中性子線量の測定値を見れば、臨界による出力は次第に減ってきており、いずれは自然に臨界状態が解消されたであろう。しかし、それがいつになるか予測できない状態では、危険を冒しても臨界を終わらせることは至上命令であったろう。

その決断に異議を唱えることは私にはできないが、その代償は、JCOの作業員が払った。

水抜き作業に従事した作業員は、3人1チーム（1人は車の運転手）で数分毎の作業に従事したが、放射線業務従事者の年間線量限度(50mSv)を超えて被曝した人も10人近くに及んだ。また、緊急時の限度として設定されていた100mSvさえ超えて被曝してしまった人もいた。さらに、この作業における中性子の被曝線量は熱中性子線に対して校正されたポケットドシメーターを使ったであろうが、現場での中性子のスペクトルは相当硬かったであろう。そのため、公表されている被曝線量の値はファクターで3程度の過小評価である可能性が強く、それを補正すれば、車の運転以外の作業に従事した17人の作業員の被曝はすべて、50mSvを超えてしまうし、100mSvを超えて被曝した作業員も10人近くになる。

この作業を行うに当たっては、将来子供を作る可能性のある若い労働者は除外され、またあくまでも志願した労働者だけで行ったとされているが、それでも、こうした作業を選択せざるを得なかったことを思うと、放射線災害の過酷さを思わずにはいられない。



写真撮影に従事した[2]の作業員の被曝線量は当初100mSv分低く報告されていた。これは線量計が100mSvを超えると0に戻ってしまうためであった。フランジ緩め作業に従事した[23]の作業員については中性子線量が報告されていないが、同じ作業に従事した[22]の作業員のデータから推測して書き込んだ。

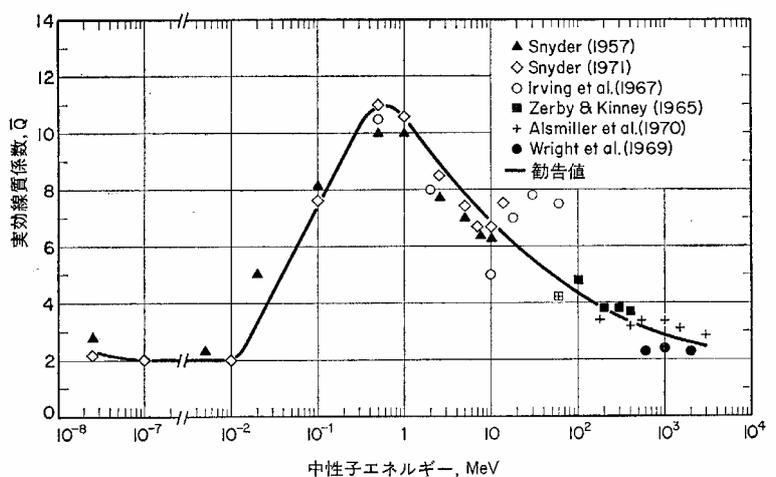


図15 中性子についての実効線質係数、すなわち、線量当量の最大値を、それが現れる深さにおける吸収線量で除した商。曲線はICRPの勧告値を示す。

付録2 沈殿槽内の硝酸ウラニルの分析結果から求めた核分裂量

臨界反応が起こった沈殿槽内には希ガスのすべて、および酸素の一部を除いたほとんどの核分裂生成物が残っているものと想像され、10月20日に槽内からウラン溶液が採取され、原研が分析を行った。その結果が、10月28日になって公表されたので、それを下の表に示す。

ウラン溶液採取時には、溶液の均一性を保証するために、沈殿槽の攪拌機を動かそうとした。しかし、攪拌機は動かなかった。そのため、採取されたウラン溶液試料は沈殿槽全体を代表しているとはいえない。そのことを頭に入れた上で、核分裂したウラン量を評価し、それを最後のコラムに記載した。Mo-99 についての評価は他の核種についての評価と著しく異なっており、ここでは使用しない。また、I-131 は揮発して沈殿槽から散逸したはずであるから、それも考慮から除く。そうすると、核分裂したウランの量は 0.44mg から 1mg の間に収まる。本報告では、冒頭に述べたように核分裂したウランの量を 0.4mg としたが、それはここでの評価の最低量にほぼ等しい。また、I-131 は不揮発性の Zr-95 や Ce-144 の評価に比べて 3~5 割ほど低い値となっている。そのことは、それに相当する I-131 が沈殿槽内から外部に放出されたことを意味する。

Nuclide	沈殿槽内ウラン溶液			51.6/ *) 中の存在 放射能量	今中さんによる核 分裂 20 日後の放 射能量	核分裂量推定値**)		
	原研による分析値 (1999/10/20 換算)					A	B	C
	A-Group	B-Group	average	Bq	Bq/1mgU-fission	mgU-fission		
	Bq/cm ³	Bq/cm ³	Bq/cm ³					
Zr-95	2.15E+05	2.63E+05	2.39E+05	1.23E+10	1.85E+10	0.67	0.48	0.74
Mo-99	4.34E+04	4.64E+04	4.49E+04	2.32E+09	3.44E+10	0.07	0.04	0.07
Ru-103	1.77E+05	1.96E+05	1.87E+05	9.63E+09	1.13E+10	0.85	0.61	0.94
Ce-143	ND	ND	ND	-	1.17E+10	-	-	-
Ce-144	6.91E+04	ND	6.91E+04	3.57E+09	3.95E+09	0.90	0.65	1.00
Sr-90	ND	ND	ND	-	1.31E+08	-	-	-
I-131	1.89E+05	2.18E+05	2.04E+05	1.05E+10	2.14E+10	0.49	0.35	0.54
Cs-137	1.48E+03		1.48E+03	7.64E+07	1.24E+08	0.62	0.44	0.68
Ba-140	5.31E+05	5.97E+05	5.64E+05	2.91E+10	4.31E+10	0.68	0.48	0.75
U-238	278.9 g/l	279.3 g/l	279.1 g/l					

*)事故当時沈殿槽に供給されていた硝酸ウラニル中のウラン濃度は 360 g/L、採取して分析された試料中のウラン濃度は A グループ、B グループとも 279g/L であった。事故当時にはおよそ 40 リッターの溶液が沈殿槽に供給されていたとの証言と、このウラン濃度の変化から、硼酸溶液が注入された後の溶液の総量を評価すると、51.6 リッターとなる。

**)核分裂量の推定は、

- (A)51.6/: 上記*)、
 - (B)37/: 試料採取した 10 月 20 日に沈殿槽内にあったという溶液量、
 - (C)57/: 事故時に沈殿槽内に投入したといわれている 40/と、臨界を抑えるために投入されたという硼素溶液 17/の合計、
- の 3 種類について行った。