

中性子線量と生成放射能

今中哲二（京大原子炉）

1.中性子線量

JCO事故の特徴のひとつは、敷地外への放射線影響の中心が中性子だったことである（1cm線量当量で、中性子約9割ガンマ線約1割）。中性子輸送計算コードを用いて敷地周辺での中性子線量分布を計算し、2種類の測定値に fitting した。

< 中性子測定データ >

- ・ JCO敷地境界での線量率測定データ：原研労組がまとめた13カ所データ（80～539m）
- ・ 原研那珂研究所の中性子モニタリングポストデータ：MP1（1700m）とMP2（2000m）

< 輸送計算 >

- ・ 計算コード：2次元 Sn 計算コード DOT3.5 と3次元モンテカルロコード MORSE-CG
- ・ 断面積データ：ENDF/B4 よりエネルギー 44 群で作成
- ・ 計算体系

DOT3.5：地上3m（または20m）に核分裂スペクトル中性子源を設定し、建物等の遮蔽なしの条件で、大気（湿度80%）- 土壌（組成は広島土壌データ）系での中性子伝播を計算し、地上1mでの中性子束を2.5kmまで求めた。

MORSE-CG：沈澱槽を模擬した水の円柱（直径50cm高さ20cm）を地上2mに設置し、その中でランダムに核分裂スペクトルの中性子を発生させた。沈澱槽の建物は半径5m高さ8mのコンクリート円筒で模擬し、壁厚と天井厚を変えて計算した。

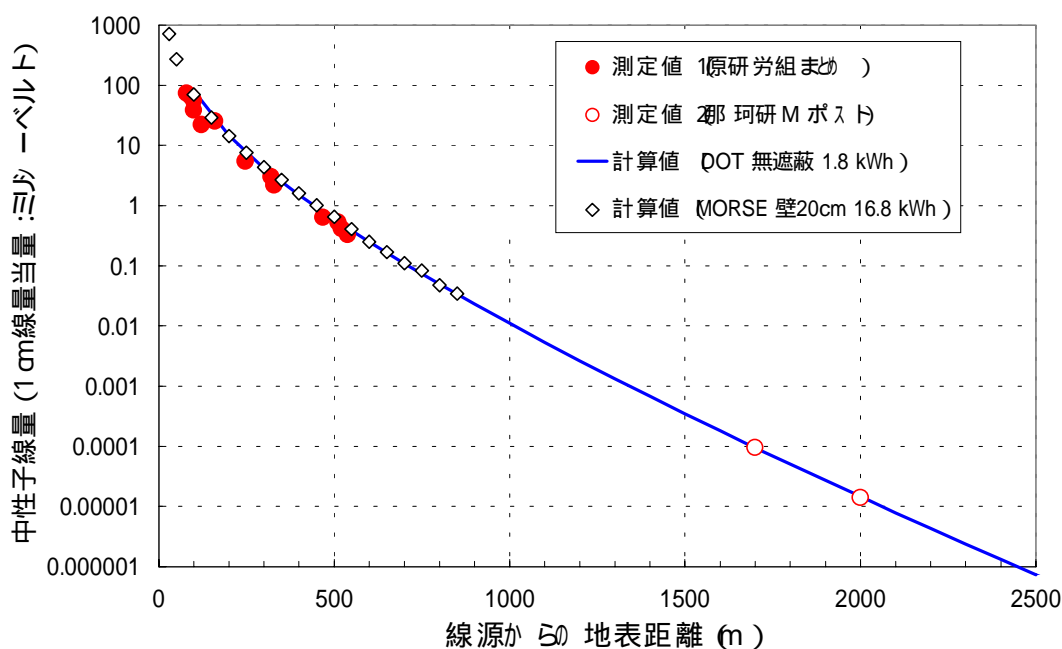


図 1 地表 1m の中性子線量測定値と計算値

図1に計算結果と測定値の比較を示す。測定データのうち、MP1 と MP2 の値は、発表されているモニタリングデータ（9月30日10:00～12:05、<http://www.sta.go.jp/welcome.html>）を基に今中が評価した線量値（MP1：0.096 μSv、MP2：0.0014 μSv）である。原研労組の値（原研労組中執ニュース・あゆみ速報 No.4353、99.10.12）については、初期バースト分として、元の値に6%ほど上乘せしてある。

DOTの計算結果は、発生出力を1.8kWhとすると中性子線量の測定値をうまく再現する。一方、図1に示したMORSE計算は、建物を模擬したコンクリート円筒の壁厚を20cmとし天井なしのモデルである。この場合、測定値にfittingする発生出力は16.8kWhとなり、それに対応する核分裂数は 1.9×10^{18} である。

問題点 図1に示した中性子線量は野外に居続けた場合の被曝である。周辺住民の実際の被曝線量を見積もるには、事故当時の個人の行動や住居の遮蔽係数についての情報が必要となる。原子力安全委員会が設置したJCO事故調査委員会（以下、事故調）は昨年12月最終報告書を発表している。周辺の人々にどれくらいの被曝があったのかをキチンと解明することが事故調の重要な課題だったはずである。ところが報告書は、「今後、...個人の線量評価の推定が進められることとなっている」と述べているだけで、事故が起きた時にどれだけの距離にどれだけの人がいた、という最も基本的な情報すらまとまっていない。事故調の役割は、事故影響を解明するより、できるだけ早く事故の幕引きをすることだったようである。周辺住民の個人線量評価という課題は、技術的な困難さに加えてプライバシーも絡んでくる問題であり、最後は迷宮入りになるのではないかと危惧される。

2生成放射能量

原発事故と比較したとき、JCO事故の放射能放出の特徴は、短半減期核種が中心だったことである。その理由は、以下の2つである。

- ◇ 事故までの放射能蓄積がないこと
- ◇ 放射能生成から放出までの時間が短いこと

2-1.総核分裂数

表1は総核分裂数についてのいくつかの評価をまとめたものである。

それぞれの評価には固有の問題点はあるものの、表1の値からは、総核分裂数の評価値としては、 $(2 \sim 3) \times 10^{18}$ 個といってよいであろう。そこで、生成放射能量の計算は、1mgのU235（ 2.56×10^{18} 個）が熱中性子によって核分裂したものとして計算する。

表1 核分裂数の見積り

評価者	総核分裂数（ $\times 10^{18}$ 個）	評価手法
（原研）*	2.5	沈澱槽液放射能濃度、中性子線量率
今中（KUR）	1.9	中性子線量
三頭ら（東北大）**	2～3	直接線ピーク計数率
近藤（東大）***	2.3	バースト・熱バランス計算
関本（東工大）***	0.9～4.0	中性子線量率、溶液放射能濃度
竹田ら（阪大）***	3.7	動特性解析、中性子線量率
辻ら（北大）***	2.41	動特性解析

*事故調資料、**private communication、***原子力学会ホームページ：<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/aesj/>

2-2. 希ガス生成量

表2は、原研データ (JNDC FP Nuclear Data Library <http://www.ndc.tokai.jaeri.go.jp>) を用いて、1 mg の U235 が熱中性子によって核分裂したときの、主な希ガスの生成量を計算したものである。表2の生成量は、瞬間的な核分裂により全収率に相当する量の放射能が最初から生成するとしたときの、直後、5分後、1時間後の放射能を示している。希ガスの生成から放出までを5分とすれば、希ガスの総放出量は 5×10^{14} Bq となる。図2は、最初に部分収率分の放射能が生成し崩壊系列を考慮したときの変化を示したものである。原発事故での希ガスの主役は Xe-133 であるが、表2や図2から明らかなように、JCO の場合は Kr-87、Kr-88、Xe-138 といった核種が重要になっている。

一方、事故調の最終報告資料 (11-3-1 別添3) では、SPEEDI を用いた解析結果とモニタリングポストのガンマ線測定データの比較から、希ガス放出量を約 8×10^{12} Bq/h と評価している。この値が20時間続いたとすれば 1.6×10^{14} Bq となる。

表2 主な希ガスの生成量 (U235 1mg の fission)

核種	半減期	全収率 %	部分収率 %	平均 MeV	生成量 (Bq)		
					直後	5分後	1時間後
Kr-83m	1.83 h	5.38E-01	2.81E-06	0.00	1.45E+12	1.41E+12	9.93E+11
Kr-85	10.73 y	2.74E-01	5.66E-03	0.00	1.44E+07	1.44E+07	1.44E+07
Kr-85m	4.36 h	1.26E+00	1.31E-03	0.16	1.43E+12	1.41E+12	1.22E+12
Kr-87	1.272 h	2.51E+00	4.20E-01	0.78	9.76E+12	9.32E+12	5.66E+12
Kr-88	2.86 h	3.57E+00	1.48E+00	1.97	6.16E+12	6.03E+12	4.83E+12
Kr-89	3.07 m	4.61E+00	3.31E+00	1.84	4.45E+14	1.44E+14	5.82E+08
Kr-90	32.321 s	5.04E+00	4.48E+00	1.24	2.77E+15	4.45E+12	0.00E+00
Xe-131m	11.9 d	3.17E-02	3.03E-06	0.00	5.48E+08	5.48E+08	5.47E+08
Xe-133	5.29 d	6.70E+00	8.16E-04	0.03	2.60E+11	2.60E+11	2.59E+11
Xe-133m	2.19 d	1.95E-01	1.97E-03	0.02	1.83E+10	1.83E+10	1.81E+10
Xe-135	9.08 h	6.53E+00	7.08E-02	0.25	3.55E+12	3.53E+12	3.29E+12
Xe-135m	15.7 m	1.21E+00	1.71E-01	0.44	2.29E+13	1.83E+13	1.62E+12
Xe-137	3.83 m	6.11E+00	3.03E+00	0.19	4.72E+14	1.91E+14	9.09E+09
Xe-138	14.08 m	6.37E+00	4.77E+00	1.22	1.34E+14	1.05E+14	6.99E+12
Xe-139	40.8 s	5.14E+00	4.24E+00	0.89	2.24E+15	1.37E+13	0.00E+00
Xe-140	13.6 s	3.77E+00	3.57E+00	1.47	4.92E+15	1.13E+09	0.00E+00
合計 (表に示していない核種も含む)					8.67E+16	4.98E+14	2.49E+13

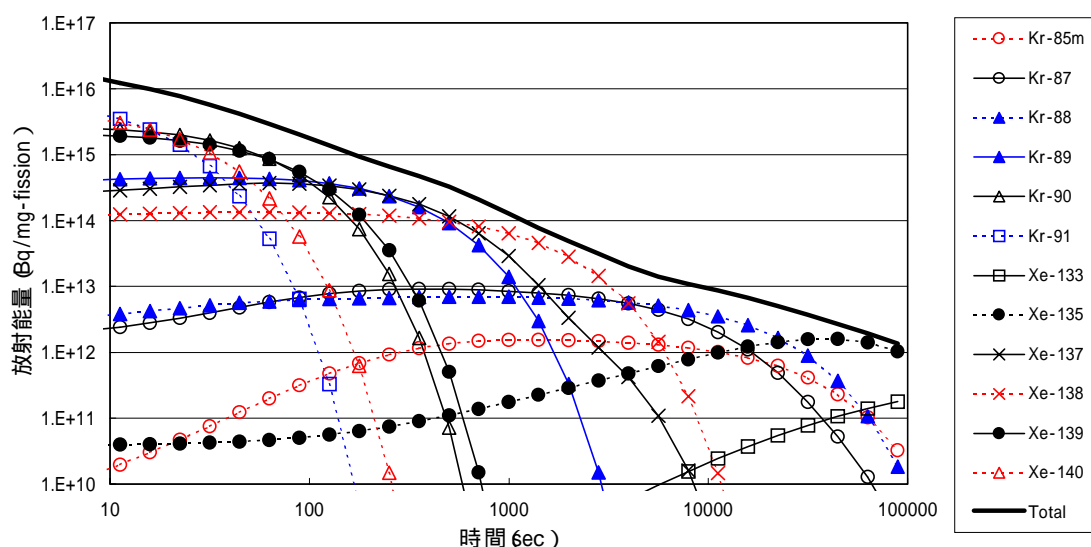


図 核分裂後の希ガス放射能の変化 (U235 1mg) Thermal Fission

2-3.ヨ 素生成量

ヨウ素について、希ガスの場合と同様に計算した結果を表3と図3に示す。原発事故でのヨウ素はI-131、I-132、I-133が中心であるが、JCOではI-134の放出が大きかったと思われる。

ヨウ素放出については、気相への移行に時間を要すること、壁などへの沈着も考えられることなどから、希ガスのように単純な計算で放出量を評価することは困難である。事故調報告資料(11-3-1)では、原研レポート(資料別添3)が5分間滞留で5%放出と想定している。このモデルに従うと、表3の値からは総ヨウ素放出量として 6×10^{12} Bqとなる。一方、サイクル機構レポート(資料別添4)では、10月8日からいしされた排気口濃度測定値などを基に、 1.3×10^{10} Bqという総ヨウ素放出量を算出している。

表3 主なヨウ素の生成量 (U235 1mgの fission)

核種	半減期	全収率 %	部分収率 %	平均 MeV	生成量(Bq)		
					直後	5分後	時間後
I-131	8.040 d	2.88E+00	4.15E-03	0.38	7.38E+10	7.37E+10	7.35E+10
I-132	2.28 h	4.30E+00	9.64E-03	2.28	9.30E+12	9.07E+12	6.87E+12
I-132m	1.393 h	7.10E-03	7.10E-03	0.31	2.52E+10	2.41E+10	1.53E+10
I-133	20.8 h	6.70E+00	1.13E-01	0.61	1.59E+12	1.58E+12	1.54E+12
I-134	52.6 m	7.74E+00	4.79E-01	2.58	4.35E+13	4.08E+13	1.97E+13
I-134m	3.8 m	3.53E-01	3.53E-01	0.22	2.75E+13	1.11E+13	4.86E+08
I-135	6.55 h	6.29E+00	3.03E+00	1.57	4.74E+12	4.70E+12	4.26E+12
I-136	1.418 m	2.47E+00	9.56E-01	2.47	5.16E+14	4.48E+13	9.51E+01
I-136m	44.8 s	2.25E+00	2.24E+00	2.00	8.92E+14	8.60E+12	5.76E-10
I-137	24.5 s	3.22E+00	2.80E+00	1.14	2.34E+15	4.81E+11	1.37E-29
合計(表に示していない核種も含む)					2.22E+16	1.21E+14	3.25E+13

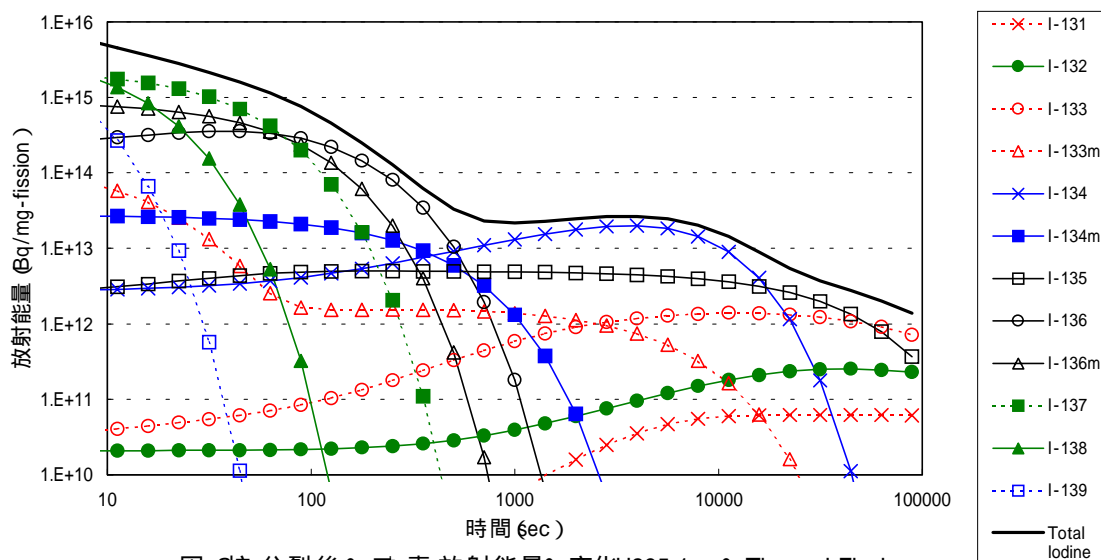


図3 核分裂後のヨウ素放射能の変化(U235 1mgの Thermal Fission)

3おわりに

JCO事故を機会に原子力災害での危機管理の強化が叫ばれている。JCO事故を通じて私が強く感じたのは、「危機管理」というものが「情報管理」と一体になっていることである。危機管理の強化が、自由な発想を制限し、むしろ「セーフティーカルチャー」の低下へとつながるのでないかと懸念している。