

原発事故による放射性希ガスの放出

—スリーマイル島2号炉の場合—

瀬尾 健・今中哲二*

スリーマイル島2号炉原発事故に際して環境中へ放出された放射性希ガス量については、いくつかの推定がなされている。ここでは、それらが根拠としているデータや算定手法に問題があることを明らかにし、放出量に過小評価の可能性のあることを指摘する。

スリーマイル島原発2号炉(TMI-2)が未曾有の事故を引き起こしてからはや2年以上の歳月が流れた。事故が始まってからほぼ1年ほどの間に出された大統領委員会(通称KEMENY委員会)の報告書⁽¹⁾などや、NRC(原子炉規制局)のROGOVIN報告書⁽²⁾によって、事故の大筋については一応明らかになったとされている。

しかし、いくつかの重要な問題、例えばヨウ素の問題や水素の行方などは結局謎にまつまれているし、肝心な炉心の損傷状態などは今なお推測の域を出ないありさまである。その上、環境に放出された放射能の量についても決着がついたわけではない。

本稿で扱うのは、これら残された問題のうち事故に際して放出された放射性ガスの総量に関してである。これについての概略はすでにいくつか⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾発表してきたが、文献⁽³⁾は事故直後の詳しいデータのほとんどない時点での大ざっぱな評価であり、文献⁽⁴⁾⁽⁵⁾では一般的に評価が定まりかけた時点での各報告書の批判と、過小評価の程度に関する検討を扱っている。

その後もわれわれは入手したデータの検討を進めてきたが、種々の公式報告書に含まれるさまざまな問題点が明らかになるとともに、放射性ガスの総放出量についてのあいまいさはいっこうに減るきざしをみせなかった。以下に、これら各報告書の概説と批判を行ない、特にそのうちの一つの方法について詳しく検討しその結果を示すことにする。この方法はTLD(熱蛍光線量計)のデータをもとに行なうもので、特に優れた方法というわけではないが、ここで取り上げる理由はMet. Ed. (TMIの電力会社)などによるこの種の計算をNRCやKEMENY委員会が一応支持する態度をとっていること、そして、これらの計算が外見上詳細精密で大がかりであるために、一般の人々を幻惑させるおそれがあることなどである。

放射性ガス放出径路と各種のデータ

ここでは、スタック(排気筒)から放出された放射性ガスだけを考えているから、最も基礎的なデータはスタックガスモニター(HPR-219(G))から得られるはずである。しかし、以下で述べるように、このデータはほとんど利用できない。放射性ガスは、正規の(つまりガス減衰タンクからスタックへの)径路を通して放出されたのではなく、1次冷却材の化学体積制御系(補助建屋内)のこわれたバルブ類から補助建屋内に吹き出したガスが、建屋の排気系を通じてスタックに流れたといわれている。ただ新聞でも大きく報道された3月30日午前の放出は、メイクアップタンク→ブリードホールドアップタンク→リリースヘッダー→スタックの径路を通っており、上記とは別の径路と考えられる。この点は以下でも触れるが注意を要する。さて、これらに係るデータの状況は次のとおりである。

D-1. スタックガスモニター(HPR-219(G))

これは、放出源つまりスタックからの放出量を直接監視するモニターで、リアルタイムデータを得る上で最も重要なものである。しかし、3月28日8:00~4月18日のおよそ3週間は、測定器の振切れのためデータがない。振切れが回復してからのデータは図1に示してある。

D-2. グラブサンプル

スタックから排出される空気の一部を一定期間採取し、これに含まれている放射性ガスの量を測定し、スタック流量と組み合わせて放射性ガス排出量を算出する。この測定も、大量に放射性ガスが流出している期間には行なわれておらず、事故発生後4日目の3月31日からの断片的なデータがある。その一部をD-1と比較して図1に示してある⁽⁶⁾。

D-3. TLD(熱蛍光線量計)データ

TLDは、あびた放射線の積算量を記録しているので、

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

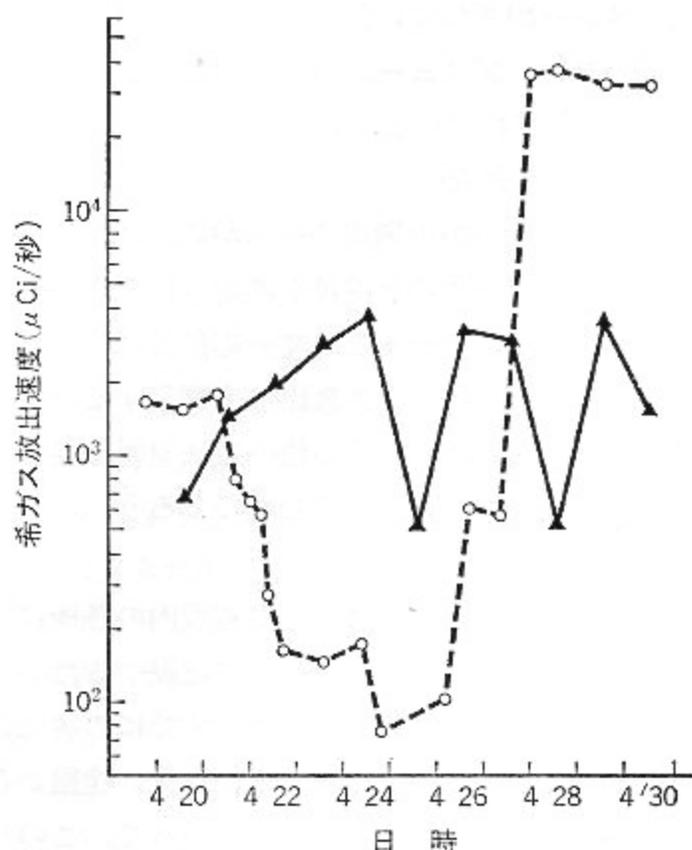


図1 放射性ガス放出量(μCi/秒)についてスタックガスモニター(HPR-219(G))の振切れが回復してからのデータとGrabサンプルからのデータの比較。両者の食い違いは数十倍にも及ぶ。これらのデータは文献⁽⁶⁾からとった。○: Grabサンプルから得た値, ▲: スタックガスモニターから得た値。

一定期間ごとに更新し、その期間の線量を読みとる形で測定が行なわれる。通常は、近辺を通過した放射性ガスによる線量と天然の放射線によるバックグラウンドの合計が記録されることになるので、このバックグラウンドをどのように見積もるかによって結果が大きく影響される。TMIの場合、いくつかの機関が独立にTLDを設置していたが、実質的に有効なのは電力会社のTLDと、NRCが3月31日以降に設置したTLDだけだといってよい。

D-3-1. 電力会社のTLD

TLDが設置されていた場所は図2に示してある⁽⁶⁾。多くの報告書でこの数は総計20カ所となっているが、後述するようにこれには疑惑がある。今回の事故のような短期間の放射性ガス放出をTLDから推算するには、20カ所の観測点では何といても少なすぎる。もともと、このTLDは事故対策として設置されていたわけではなく、平常時の原発周辺の線量を測定するためのもので、3カ月あるいは6カ月おきに取り替え、この期間の積算線量を記録するためのものであった。事故がおこると、電力会社は次の日(3月29日)にTLDを急遽交換したが、ちょうど取替え周期の終りごろにあたっていたため、事故の最初の1日分のデータは先行する3カ月あるいは6カ月分のバックグラウンド線量を大量に含むことになってしまった。このバックグラウンドをいかに差し引くかで結果が大きく変わってくる。

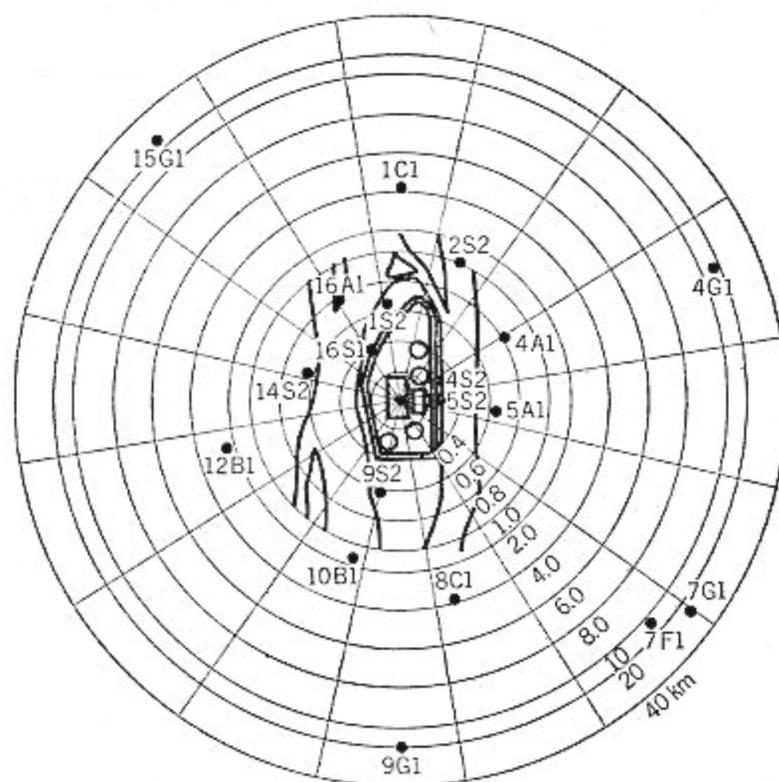


図2 TMI-2周辺のTLD設置場所。中心からの距離は3段階のステップで書いたもので、1km以上の領域はゆがみはげしく地図を省いた。

表1 事故期間の中TLDデータ⁽⁷⁾(バックグラウンドを含む)。単位はmR ± 標準偏差。

TLDステーションの名前 ^(a)	12/27/78 ~3/29/79	3/29/79 ~3/31/79	3/31/79 ~4/3/79	4/3/79 ~4/6/79
1C1	20.1±1.3	3.2±0.7	1.4±0.4	0.5±0.1
7F1	24.1±1.8	1.1±0.1	0.5±0.5	0.9±0.1
7F1Q	23.3±0.5	0.8±0.2	1.5±0.2	0.9±0.0
15G1	18.4±2.0	1.9±0.3	-0.7±0.1	0.5±0.0
15G1Q	17.6±0.6	1.1±0.1	0.8±0.1	0.7±0.2
12B1	16.3±0.9	9.4±1.6	0.2±0.3	1.2±0.2
9G1	21.3±1.4	1.4±0.1	0.1±0.2	0.6±0.1
5A1	18.6±1.0	8.3±2.8 ^(c)	7.7±2.5	3.0±1.2
5A1Q	16.1±1.3	5.4±1.0	5.2±0.9	2.0±0.6
4A1	20.2±1.3	34.3±8.6	41.4±8.5	2.2±0.4
2S2	43.7±4.4	32.5±5.6	3.4±0.6	0.9±0.2
1S2	97.9±1.9	20.0±3.4	-0.1±0.1	0.6±0.1
1S2Q	95.7±5.0	15.3±3.2	1.3±0.1	0.8±0.1
16S1	1044.2±128.2	83.7±17.5	7.0±0.7	1.5±0.3
16S1Q	929.4±90.5	61.6±12.2	5.6±1.0	1.3±0.5
11S1	216.0±24.1	107.1±12.7	45.0±15.2	21.8±7.3
11S1Q	168.5±15.6	75.7±12.7	35.2±3.3	14.2±1.1
9S2	25.0±3.0	25.3±2.6	4.6±1.0	1.8±0.3
4S2	35.5±4.3	124.3±32.7	28.0±9.1	7.9±2.3
4S2Q	31.4±1.6	71.4±13.0	21.3±6.6	4.7±0.4
5S2	30.5±1.3	49.3±11.2	26.7±5.3	15.5±5.0
5S2Q	27.7±4.0	36.6±0.8	21.2±3.1	11.5±2.4
4G1	17.2±2.1	1.2±0.2	0.6±0.2	0.6±0.1
4G1Q	17.7±0.1	0.6±0.1	1.4±0.1	0.7±0.1
8C1	13.0±0.3	10.7±1.6	1.7±1.1	1.3±0.4
8C1Q	12.6±0.6	8.4±1.0	2.6±0.2	1.1±0.1
7G1	25.8±0.6	1.0±0.1	-0.5±0.0	0.8±0.0
16A1	907.7±49.4 ^(b) 453.4±12.2 ^(b)	45.1±2.1	1.7±1.1	0.9±0.1
14S1	131.2±20.6 ^(b) 148.3±9.7 ^(b)	48.8±8.6	9.5±4.3	1.5±0.4
10B1	40.6±3.5 ^(b) 36.6±1.3 ^(b)	14.9±0.9	0.4±0.3	1.1±0.2

(a)添字QはRMC社製データで、他はテレダインアイソトープ社製のデータ。(b)9/27/78~3/29/79の6カ月分のデータ。(c)5A1についてはさらに次のデータがある。7.8±1.5, 7.4±1.2。

表1と表2は文献⁽⁷⁾からとったもので、それぞれ事故の主要な期間のデータと前年度1年分のデータである。この表2のデータが一応バックグラウンドの評価に使え

表 2 前年度(1978年)1年間の TLD データ⁽⁷⁾.
単位は mR/30.4日.

TLD ステーション の名前	12/30/77	3/29/78	6/28/78	9/30/78	平均±2σ
	3/29/78	6/28/78	9/30/78	12/27/78	
7F1†	6.57±0.17	11.9±0.3	7.30±0.43	7.50±0.20	8.32±4.84
4G1†	5.30±0.30	8.53±0.40	5.77±0.13	5.90±0.33	6.38±2.92
9G1	5.60±0.13	9.47±0.50	6.00±0.20	5.97±0.13	6.76±3.64
15G1†	5.13±0.10	8.73±0.43	5.57±0.23	5.63±0.50	6.27±3.32
7G1	15.8±0.7	10.4±0.5	7.13±0.63	7.20±0.10	10.1±8.2
1S2†	4.67±0.13	7.37±0.47	5.03±0.13	5.37±0.20	5.61±2.42
2S2	4.07±0.13	6.03±0.17	4.73±0.33	4.20±0.20	4.76±1.80
4S2†	4.80±0.20	8.07±0.27	5.17±0.13	4.33±0.27	5.59±3.38
5S2†	4.30±0.13	8.00±0.27	5.03±0.40	4.23±0.10	5.39±3.56
8C1†	3.50±0.23	5.57±0.30	4.10±0.17	3.50±0.13	4.17±1.96
9S2	4.67±0.10	8.53±0.33	5.57±0.20	5.67±0.37	6.11±3.34
11S1***	5.07±0.20	17.0±0.4	6.50±0.27	5.60±0.10	8.54±10.3
14S1***	2.17±0.13	12.2±0.4	5.77±0.73	*	6.71±10.2
16S1†	6.40±0.27	19.4±0.7	6.93±0.40	5.60±0.27	9.58±12.2
4A1	4.60±0.20	7.57±0.13	5.03±0.20	5.13±0.30	5.58±2.68
5A1†	4.60±0.17	7.47±0.17	4.57±0.27	4.63±0.23	5.32±2.88
16A1	2.03±0.07	7.83±0.37	5.13±0.23	*	5.00±5.80
10B1	1.97±0.20	9.43±0.37	6.57±0.10	*	5.99±7.52
12B1	3.57±0.07	6.40±0.30	4.03±0.27	4.10±0.10	4.53±2.54
1C1	4.10±0.20	6.43±0.23	4.13±0.30	4.33±0.27	4.75±2.26
平均±2σ	4.95±5.70	9.32±7.04	5.50±2.00	5.23±2.18	

* データなし. ** もともとは11S2, 14S2と報告されたが誤りであった. † 表1の注(a)と同様の別データあり.

と思われるが、これには注意が必要である。というのは、この表をよくみると、各四半期で線量が大幅に変動しており、特に第2四半期(4~6月)の線量は異常に高い。この原因として、例えばこの文献⁽⁷⁾の著者は中国核実験の影響をあげているが、必ずしもはっきり解明されたわけではない。しかし、この問題の四半期のデータをバックグラウンド評価に含めるか否かで、今回の事故による線量の算定値に大きく効いてくることは事実で、この文献⁽⁷⁾では正当にもこのデータを排除する処置をとっている。

D-3-2. NRC の TLD

NRCは3月31日になって37カ所にTLDを設置した。20カ所しかない電力会社のTLDでは、とても全方位をカバーできないという懸念がはたらいたのである。しかし残念なことに、これを設置したのは大部分の放出が済んでしまってからであった。その上、このTLDによる最初の2日分(3月31日~4月2日)の測定は失敗したといわれている⁽⁸⁾。このため、NRCのTLDは、事故後半のあまり放出量が目立たない時点の監視には役立つものの、事故初期の重要な時期には何の役にも立たない結果となってしまった。

D-4. ヘリコプターによる測定

TMI-2周辺の上空を飛んで線量を測る作業は、第1日目の3月28日午後から行なわれている。この測定は、リアルタイムのプルーム(スタックから出た排ガスの一団となった流れ)測定であるから、継続的で密度の高い測定があれば価値の高いデータとなりうるが、公表されているデータはきわめて断片的なもので、特に大量の

放射性ガスが放出されていた時点でのデータはほとんど知られていない。プルームの高さはだいたい50~200m(地上)と報告されている。

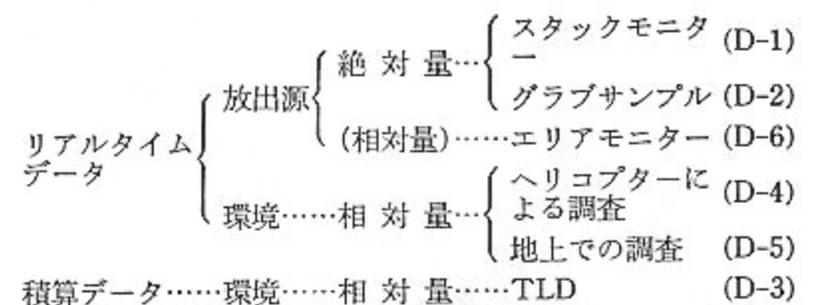
D-5. 地上での調査

事故発生後いくつかの調査チームが生まれ、携帯用の測定器により周辺各所のγ線量が測定された⁽⁶⁾⁻⁽¹⁰⁾。これは、リアルタイムデータとして一応価値は高いが、断片的であるため、放射性ガス放出量を評価する上での決め手にはなりえない。せいぜい他の方法で得た結論とどの程度矛盾しないかを確認する程度であろう。

D-6. エリアモニター

エリアモニターというのは、原発施設内の各所に設置して、その付近の空間線量を継続的に記録するためのものである。放射性ガスの放出経路は、すでにのべたように正規のものでなく、補助建屋、燃料取扱い建屋からの排気が主であるといわれている。したがって、この建屋の排気ダクト近傍にあるエリアモニターは、排出された放射性ガスの相対量に関するリアルタイムのデータを提供しうると考えられる。ただし、これを絶対量に直すには何らかの方法で校正してやる必要がある。その上、一つのエリアモニターですべての放出経路をカバーできないということも念頭においておく必要がある。

最後に、各種データの質と全体的な状況についてまとめて吟味しておく。上記の各データは大ざっぱに次のように分類することができる。



上記絶対量と相対量の区別の基準は、校正方法がはっきりしているものについては絶対量とし、校正段階でいくつかの仮定やあいまいさが入り込む場合について相対量とした。

データとして最も価値の高いのはリアルタイムの放出源での絶対量測定であるが、肝心の期間の測定値がない。その上、図1にみられるように、D-1とD-2のデータは数十倍もの食い違いを示しており、その食い違いも系統性がない。このことは、たとえ肝心の期間のデータが存在したとしても、その信頼性に疑問があることを示している。他方、リアルタイムの放出源で相対測定に相当するエリアモニターのデータは、事故期間を通じての一貫性がある点で優れているが、実際の放射性ガス放出量との対応関係が成り立たない部分もあり(例えば3月30日のリリースヘッダーからの大量の放出)、十分な注意

が必要である。上のダイアグラムで()をつけたのはこの意味である。その上、放出量の絶対値にどのような手法で較正するかにも困難な問題がある。

積算データの TLD は一貫性という点で優れてはいるが、これから放射性ガスの量を推定するにあたっては、当時の気象条件がからんでくる上、大気拡散のモデルが正しいかどうかという問題もかかわってくる。さらに TLD の γ 線測定効率の問題など、TLD データを放射性ガス放出量に結びつける過程には多くの仮定や近似が介在することになる。その上 TLD の数の少なさがこのデータの弱点を決定的なものにしているといえる。

以上のデータを用いて放射性ガスの総放出量を算定するには大別して二つの方法がある。

手法(A) D-6のデータをD-1とD-2で較正して絶対量に換算しこれを積算するやり方で、KEMENY 委員会タスクグループ⁽⁸⁾のAUXIERらがあみだしたものである。この方法は、前提となる仮定が少ないため、データの質を詳細に検討するいとまのない総括的立場の人(特に技術者)にとってはいかにもエレガントで信頼性が高いようにみえる。ROGOVIN 報告書⁽⁹⁾の著者(おそらく技術者)がこれを優先的に採用し、主として非専門家で構成された KEMENY 委員会⁽¹⁾が特別この方法を重視しなかったというおもしろい対比もうなずけるように思われる。

ところでこのエレガントな手法もひとたび中身のデータを検討すると馬脚を現わす。というのは、一致すべきはずの二つの絶対量データ、スタックモニター(D-1)とグラブサンプル(D-2)が、図1にみられるように全くでたらめに食い違っているのである。AUXIERはこの二つのデータを用いてエリアモニターの読み(D-6)を較正し、高い信頼性を得たと主張しているが、この1枚の図は完全にこの主張をくつがえしている。

手法(B) エリアモニターの読み(D-6)を参考にしつつ、TLDによる環境での線量記録値(D-3)を再現するように、スタックからの放射性ガス放出量を逆算するのである。この計算は一般に複雑で、前述したように風向、風速などの気象データが要るし、大気拡散モデルのような粗い仮定なども入り込む。したがって、この手法は間接的でモデル依存性が強く、しかも TLD データの量が不十分であれば、かなり信頼性に乏しい手法といわねばならない。しかし、前者のエレガントな手法が何十倍もの不確かさを含むものであるならば、さしあたっては間接的で不満足なものとはいえ、この第二の方法において、放出放射性ガス量の算定に使えるものはないということになる。

各報告書の概観と批判

(1) NRC の暫定的評価⁽¹¹⁾ (1979年4月12日)

用いたデータ……TLD データ(D-3-1)(D-3-2)

手法……(B)を非常に簡略化したもの

計算結果……希ガス総放出量 1.3×10^7 Ci (これは 1.03×10^7 Ci の誤り…単純な計算ミス)

批判: 事故の最初の1日分の計算の中で、最大の線量を記録している数カ所の TLD を全部除いている。

(2) 電力会社の第2次暫定報告書⁽¹²⁾ (1979年6月15日)

用いたデータ……エリアモニター(D-6), TLD(D-3-1)

手法……(B)

計算結果……希ガス総放出量 1.2×10^7 Ci

批判: 内容が次の(3)と同じなので省く。

(3) TDR-TMI-116⁽⁶⁾ (1979年7月31日)

用いたデータ……エリアモニター(D-6), TLD(D-3-1)

手法……(B)

計算結果……希ガス総放出量 1.0×10^7 Ci

批判: 次々節に示す。

(4) KEMENY 委員会タスクグループ報告書⁽⁸⁾ (1979年10月31日)

用いたデータ……エリアモニター(D-6), スタックガスモニター(D-1), グラブサンプル(D-2)

手法……(A)。 (D-6)の絶対量への較正は、振切れ前の(D-1)と、3月31日の(D-2)を用いる。

計算結果……希ガス総放出量 0.237×10^7 Ci

批判: 前節おわりで述べたように、エリアモニターのデータを較正する際に用いた(D-1)と(D-2)のデータに何十倍もの不確かさがあるから、上記計算結果はほとんど定量的意味をもたない。しかし、これがNRCのROGOVIN 報告書で採用され⁽⁹⁾、さらに日本の関係当局の結論(第3次報告書⁽¹³⁾)でも全面的に採用されている事実はみすごすことができない。

この報告書⁽⁸⁾の結論に含まれる矛盾は集団線量の点からも明らかになる。集団線量というのは、各人の浴びた線量の総和(単位: 人レム)であるが、AUXIERらの結論は80 km以内で500人レムとなっている。もう少しこまかな計算でも400人レム⁽¹⁴⁾にしかならず、この著者はTLDデータを用いた算定値2,800人レム⁽⁷⁾の1/7だといっている。このことは逆に文献⁽⁷⁾に基づけば、実際には237万Ciの7倍つまり 1.7×10^7 Ci が放出されたことを示唆している。

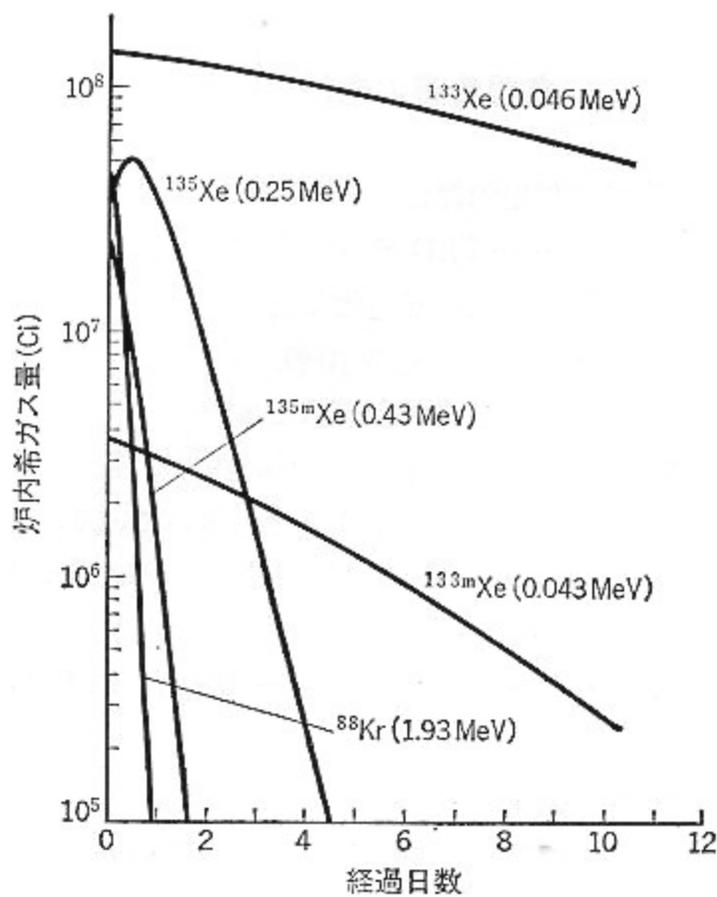


図3 TMI-2の炉内に内蔵された放射性希ガスの量の経時変化⁽⁶⁾.

TDR-TMI-116 報告書の計算法と結果

手法(A)の弱点は、TLDなどの環境データで補強するとある程度はカバーできる。しかし、較正の対象としているデータ(D-1)と(D-2)の不確かさがあまりにも大きいと、実質的に手法(B)以外に残された推定手段はないということになる。手法(B)の典型例は文献⁽⁶⁾にみ

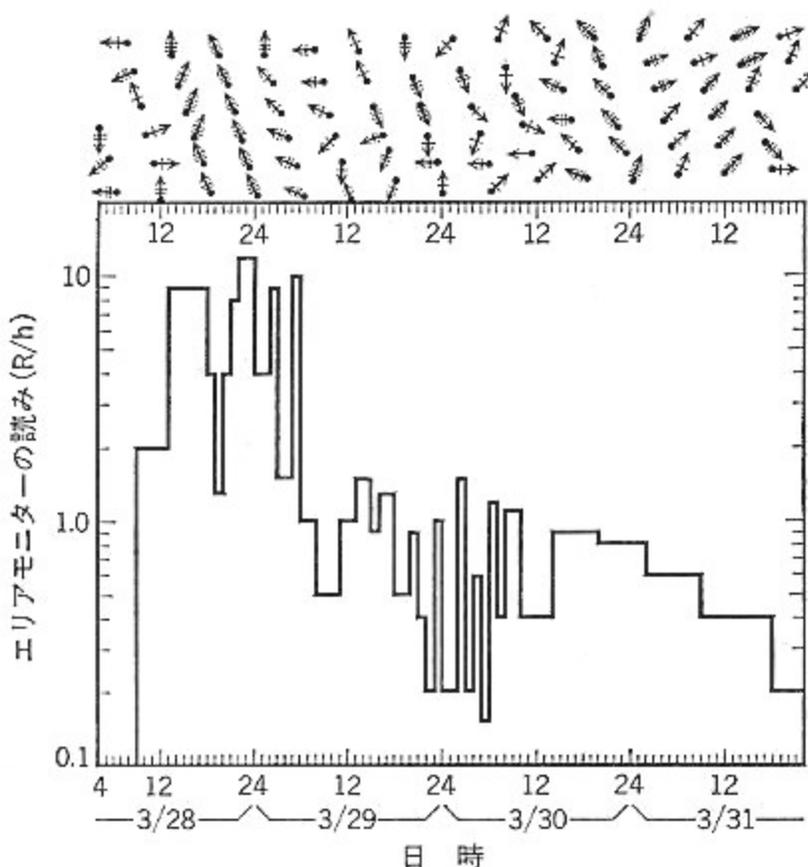


図4 エリアモニター(HPR-3240)のみと風向風速データ⁽⁶⁾. 矢印は風の吹いていく方向を示し、矢につけた棒は1本当り3マイル/時間の風速表わす。

表3 放射性希ガスの成分と核データ.

核種	半減期	平均エネルギー(MeV)
^{133}Xe	5.29日	0.046
$^{133\text{m}}\text{Xe}$	2.25日	0.043
^{135}Xe	9.08時間	0.25
$^{135\text{m}}\text{Xe}$	15.7分	0.43
^{88}Kr	2.8時間	1.93

られるもので、電力会社の環境コンサルタント PICKARD, LOWE および GARRICK らによってまとめられたものである。以下にその手法の内容を解説する。

(i) 放射性ガスは表3に示すような5成分とする。事故発生後のこれら成分の量の変化は図3に示す。

(ii) i 番目の成分の放出速度は、経過時間 t の関数であるから $Q_i(t)$ (Ci/秒) と書くことにして、各 $Q_i(t)$ の $Q_1(t)$ (ここでは $i=1$ の成分を ^{133}Xe としている) に対する比を $f_i(t)$ とする。

$$f_i(t) \equiv Q_i(t)/Q_1(t) \quad (1)$$

この $f_i(t)$ 値は、原子炉の型や運転経歴などから理論的に決まる量で、図3における各成分の比に一致するはずのものである。しかし実測と比べると、 $^{133\text{m}}\text{Xe}$ だけは理論値が6倍ほど過大評価していたので、これだけ例外的に理論値の1/6を採用することにしてある。こうして修正した $f_i(t)$ 値は、表4の第4列から第8列に $^{133}\text{Xe} \sim ^{88}\text{Kr}$ の順序で示してある。この表は、1時間ずつの時間ステップで書かれており、時刻は第2列に示してある(開始時刻は3月28日4時である)。

(iii) 各成分の1崩壊当りの γ 線(X線)の平均エネルギーを \bar{E}_i と表わし、全放射性ガスによる空間線量 $D(t)$ を次のように表わす。

$$D(t) \propto \sum_{i=1}^5 \bar{E}_i Q_i(t) \quad (2)$$

(iv) 放射性ガスの放出量の時間的変化を決めるにはエリアモニターの読みを参考にする。いくつかあるエリアモニターのうち、補助建屋の上階に設置されている燃料取扱い建屋用の排気フィルターバンク近傍のもの、HPR-3240を採用する。この読み $R(t)$ (R/h) は $D(t)$ に比例すると仮定する。

$$R(t) \propto D(t) \quad (3)$$

$R(t)$ の値は図4に示してある。このエリアモニターは、GM管式測定器を用いており、測定範囲が0.1mR/h~10R/hといわれているので、上限の値を越えている部分は信頼性に疑問がある。またこの図には1時間ずつの平均値が示されており、実際の放出の態様が短時間の噴出の繰返しであったことを考えると、必ずしもよいデータであるとはいえない。

(v) 上記のエリアモニターの読み(図4)をそのまま使って計算したのでは TLD による周辺環境の線量値が

表 4 計算に際しての入力パラメータと計算結果の一部(3/30, 3:00 まで)。

番号	時刻	エリアモ ニターの 読み (変更済)	成分比 $f_i(t) (= Q_i(t) / Q_1(t))$				線量比 $f_i(t) E_i$				線量等価 係数 $F(t)$	放出量 $Q_i(t)$ の計算結果 ($\mu\text{Ci}/\text{秒}$) *						
			^{133}Xe	$^{133\text{m}}\text{Xe}$	^{135}Xe	$^{135\text{m}}\text{Xe}$	^{133}Xe	$^{133\text{m}}\text{Xe}$	^{135}Xe	$^{135\text{m}}\text{Xe}$		^{133}Xe	$^{133\text{m}}\text{Xe}$	^{135}Xe	$^{135\text{m}}\text{Xe}$	^{88}Kr		
1	400	0.00	1.00	.02	.23	.18	.49	.04600	.00107	.05827	.07873	.94054	1.1246					
2	500	0.00	1.00	.02	.24	.16	.38	.04600	.00106	.05993	.07039	.73517	.9126					
3	600	0.00	1.00	.02	.25	.15	.30	.04600	.00106	.06177	.06294	.57465	.7464	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	700	.05	1.00	.02	.25	.13	.23	.04600	.00106	.06361	.05627	.44918	.6161					
5	800	.05	1.00	.02	.26	.12	.18	.04600	.00106	.06545	.05031	.35111	.5139					
6	900	.05	1.00	.02	.27	.10	.14	.04600	.00105	.06730	.04498	.27444	.4338					.55E+04
7	1000	2.00	1.00	.02	.28	.09	.11	.04600	.00105	.06915	.04022	.21452	.3709					.27E+06
8	1100	2.00	1.00	.02	.29	.08	.09	.04600	.00105	.07279	.03596	.16768	.3235					.21E+06
9	1200	2.00	1.00	.02	.31	.07	.07	.04600	.00105	.07643	.03215	.13107	.2867					.26E+06
10	1300	2.00	1.00	.02	.32	.07	.05	.04600	.00104	.08000	.02874	.10245	.2583					.13E+07
11	1400	18.00	1.00	.02	.33	.06	.04	.04600	.00104	.08374	.02570	.08008	.2366					
12	1500	18.00	1.00	.02	.36	.05	.03	.04600	.00104	.08919	.02298	.06260	.2218					
13	1600	18.00	1.00	.02	.36	.05	.03	.04600	.00104	.08929	.02054	.04893	.2058					
14	1700	18.00	1.00	.02	.36	.04	.02	.04600	.00103	.08940	.01837	.03825	.1930					
15	1800	18.00	1.00	.02	.35	.04	.02	.04600	.00103	.08772	.01468	.02389	.1811					.51E+06
16	1900	8.00	1.00	.02	.34	.03	.01	.04600	.00103	.08603	.01313	.01827	.1711					.57E+06
17	2000	2.60	1.00	.02	.34	.03	.01	.04600	.00103	.08434	.01174	.01428	.1628					.15E+06
18	2100	8.00	1.00	.02	.32	.03	.01	.04600	.00102	.08085	.01174	.01428	.1539					.38E+06
19	2200	16.00	1.00	.02	.31	.02	.01	.04600	.00102	.07734	.01049	.01116	.1460					.63E+06
20	2300	24.00	1.00	.02	.30	.02	.00	.04600	.00102	.07383	.00938	.00872	.1390					.32E+06
21	2400	24.00	1.00	.02	.28	.02	.00	.04600	.00102	.07032	.00839	.00682	.1325					.35E+05
22	100	4.00	1.00	.02	.27	.02	.00	.04600	.00101	.06860	.00750	.00533	.1284					.83E+05
23	200	4.00	1.00	.02	.27	.02	.00	.04600	.00101	.06687	.00670	.00417	.1248					
24	300	6.00	1.00	.02	.26	.01	.00	.04600	.00101	.06514	.00599	.00326	.1214					
25	400	1.50	1.00	.02	.26	.01	.00	.04600	.00101	.06377	.00536	.00255	.1187					
26	500	1.50	1.00	.02	.24	.01	.00	.04600	.00100	.06017	.00484	.00199	.1140					.68E+04
27	600	7.50	1.00	.02	.23	.01	.00	.04600	.00100	.05878	.00437	.00156	.1097					.55E+05
28	700	1.00	1.00	.02	.21	.01	.00	.04600	.00099	.05358	.00394	.00122	.1057					
29	800	1.00	1.00	.02	.20	.01	.00	.04600	.00099	.05056	.00356	.00096	.1021					.24E+04
30	900	.50	1.00	.02	.19	.01	.00	.04600	.00098	.04771	.00321	.00075	.0987					
31	1000	.50	1.00	.02	.18	.01	.00	.04600	.00098	.04502	.00290	.00059	.0958					.43E+03
32	1100	.50	1.00	.02	.17	.01	.00	.04600	.00097	.04248	.00262	.00046	.0925					
33	1200	1.00	1.00	.02	.16	.01	.00	.04600	.00097	.04009	.00236	.00036	.0898					.84E+03
34	1300	1.00	1.00	.02	.15	.00	.00	.04600	.00096	.03783	.00213	.00028	.0872					
35	1400	1.50	1.00	.02	.14	.00	.00	.04600	.00096	.03569	.00193	.00022	.0848					
36	1500	1.50	1.00	.02	.13	.00	.00	.04600	.00095	.03368	.00174	.00017	.0825					.82E+03
37	1600	.90	1.00	.02	.13	.00	.00	.04600	.00095	.03178	.00157	.00014	.0804					.79E+03
38	1700	1.30	1.00	.02	.12	.00	.00	.04600	.00094	.02999	.00142	.00011	.0785					.91E+03
39	1800	1.30	1.00	.02	.11	.00	.00	.04600	.00094	.02830	.00128	.00008	.0766					.73E+03
40	1900	.50	1.00	.02	.11	.00	.00	.04600	.00093	.02670	.00116	.00007	.0749					
41	2000	.50	1.00	.02	.10	.00	.00	.04600	.00093	.02520	.00104	.00005	.0732					.90E+02
42	2100	.90	1.00	.02	.10	.00	.00	.04600	.00092	.02378	.00094	.00004	.0717					.26E+03
43	2200	.40	1.00	.02	.09	.00	.00	.04600	.00092	.02244	.00085	.00003	.0702					.92E+02
44	2300	.20	1.00	.02	.08	.00	.00	.04600	.00091	.02117	.00077	.00002	.0689					.37E+02
45	2400	1.00	1.00	.02	.08	.00	.00	.04600	.00091	.01998	.00069	.00002	.0676					.15E+03
46	100	.20	1.00	.02	.08	.00	.00	.04600	.00090	.01885	.00063	.00002	.0664					.93E+01
47	200	.20	1.00	.02	.07	.00	.00	.04600	.00090	.01779	.00056	.00001	.0653					.20E+04
48	300	1.50	1.00	.02	.07	.00	.00	.04600	.00089	.01679	.00051	.00001	.0642					.28E+05

* 空白の欄はその下の数値と同じ。

表 5 TMI-2 事故当時の気象条件⁽⁶⁾.

時刻 ^(a)	風速 マイル/ 時間	風向	大気安 定度 ^(b)	温度 差 ^(c)	時刻 ^(a)	風速 マイル/ 時間	風向	大気安 定度 ^(b)	温度 差 ^(c)
4	5.3	N	E	1	1	6.1	S	E	1
5	5.6	NE	E	6	2	4.2	SE	E	0
6	4.7	E	E	5	3	4.4	SE	E	-1
7	2.5	E	E	-3	4	6.0	ESE	E	-2
8	6.1	ENE	D	-6	5	6.7	ESE	E	-2
9	2.9	SSE	C	-10	6	5.4	ESE	E	0
10	4.3	WSW	A	-17	7	2.9	E	E	-1
11	3.4	W	A	-21	8	2.9	E	D	-4
12	4.7	S	A	-13	9	2.8	ESE	D	-7
13	5.7	S	A	-12	10	2.5	NE	D	-7
14	8.3	SSW	A	-15	11	2.2	N	E	-1
15	12.1	SSW	A	-14	12	3.1	SSE	B	-11
16	10.1	SSW	D	-7	13	5.0	SSE	D	-7
17	9.3	SSE	D	-4	14	4.1	S	D	-9
18	8.8	SSE	E	-2	15	9.4	NNW	E	5
19	10.1	SSE	E	-1	16	5.3	ENE	E	0
20	7.7	SSE	E	2	17	5.1	NNE	E	9
21	7.1	SSE	E	1	18	3.5	NNE	F	20
22	9.0	SSE	E	1	19	5.2	N	F	20
23	9.3	SSE	E	-1	20	6.2	NNW	F	20
24	8.4	SSE	E	-2	21	12.9	NNW	G	33
					22	1.6	N	F	11
					23	2.1	E	F	21
					24	3.1	S	G	38

(a)気象データはこの時刻を中心とした15分間の平均値である。(b)パスケルによる分類。(c)高度150~33 feetの温度差(単位は°F×10, つまり-17のときは-1.7°Fと読む)。

表 6 TDR-TMI-116 報告書における TLD の線量値と計算による線量値の比較. 期間はおよそ3月28日7:00~3月29日16:00.

名前	距離 (km)	方角	線量値(mrem)		計算値 (TDR- TMI- 116)
			TLD による測定値*		
			(a)	(b)	
1S2	0.64	N	76.96	81.1±1.9	135.5
1C1	4.18	N	5.51	7.7±1.4	17.5
2S2	1.13	NNE	27.90	31.4±4.4	60.0
4S2	0.48	ENE	17.74	21.0±4.3	6.0
4A1	0.80	ENE	3.23	6.3±1.4	2.0
4G1	16.10	ENE	0.00	1.2±2.3	0.04
5S2	0.32	E	13.56	17.5±1.4	25.0
5A1	0.64	E	2.46	4.7±1.1	7.0
7F1	14.50	SE	0.00	4.2±1.9	0.03
7G1	24.10	SE	0.00	4.0±0.7	0.02
8C1	3.70	SSE	0.43	2.4±0.8	2.5
9S2	0.64	S	6.28	10.9±3.0	8.0
9G1	20.90	S	0.91	4.4±1.5	0.02
10B1	1.77	SSW	2.95	26.7±3.7	5.0
12B1	1.27	WSW	2.53	5.5±0.9	3.0
14S2	0.64	WNW	95.02	127±21	140.0
15G1	24.10	NW	0.00	3.1±1.4	0.00
16S1	0.32	NNW	964.60	971±128	1050.0
16A1	0.64	NNW	618.40	668±50	500.0

* (a)はバックグラウンドとして前年度1年間の平均値を用いた場合でTDR-TMI-116で採用されたもの、(b)はバックグラウンドとして前年度第1四半期(1~3月)の値を用いた場合(文献⁽⁷⁾と同じ)。

うまく再現できないことがわかったので、適当に読みの値を変更する。すなわち

3月28日13:00~24:00 読みの値を2倍にする

3月29日2:00~3:00 読みの値を2/3倍にする

3月29日5:00~6:00 読みの値を3/4倍にする

とする。このように変更した値は表4の第3列に示してある。なお文献⁽⁶⁾の本文中には、最後の3/4は1/2と書かれているが、おそらく3/4が正しいものと思われる。

(vi) 計算の具体的手続きは以下のようにする。式(1), (2)から,

$$D(t) \propto \sum_{i=1}^5 \bar{E}_i Q_i(t) = Q_1(t) \sum_{i=1}^5 \bar{E}_i f_i(t) = Q_1(t) F(t) \quad (4)$$

ここに $F(t)$ は,

$$F(t) \equiv \sum_{i=1}^5 \bar{E}_i f_i(t) \quad (5)$$

と定義されるもので、前に述べたように一応理論的に決まるものである。つまり式(4)によって線量 $D(t)$ を、放出のモードに依存する部分 $Q_1(t)$ と、それ以外の部分 $F(t)$ とに分離するのである。表4の第9~13列に各 $\bar{E}_i f_i$ の値が、第14列には $F(t)$ の値が示してある。

式(3)で仮定したように $D(t) \propto R(t)$ とすると、上の関係は,

$$R(t) \propto Q_1(t) F(t) \quad (6)$$

となり、エリアモニターの読み $R(t)$ と ^{133}Xe の放出速度 $Q_1(t)$ とが関係づけられる。

(vii) ある時点での放出量 Q_1 を適当に仮定して、大気拡散モデルを用い、各 TLD 設置場所における r 線量を次のような方式で計算する。

(A) 大気拡散の計算は NRC の Regulatory Guide 1.109 と 1.111 に従う。この方法は、方位を 16 セクターに等分し、セクター内(各 22.5 度)で横方向(風向に直角方向)に均一放射能ガスが分布するとして TLD 地点でのガス濃度の垂直分布を求め、その濃度に基づいて r 線量を計算する。したがって、隣のセクターからの寄与は入ってこない。

(B) プリュームの上昇は考えない。

(C) 計算の各時間ステップは 15 分とし、気象データは 15 分ずつ平均したものをを用いる。この 15 分ずつ平均した気象データの一部(1 時間おきになっている)は表 5 に示してある。

(viii) 絶対量の評価に用いた TLD データは電力会社が 20 カ所に設置していたもの(D-3-1)である。ただし、この内 1 カ所のはプラントに近すぎることを理由に除外しているため、実際には 19 カ所である。バックグラウンドとして、前年度のまる 1 年の平均値を用いているため、事故の影響を過小評価する結果となっている。

以上の手続きで計算を行ない、TLD データと最もよく一致するように $Q_1(t)$ を決定するわけだが、この報告書の作者がどのような基準で最もよく一致したと判断したのかは明らかでない。結果の一例を表 6 に示してある

成分	3/28 7:00	3/29 17:00	3/31 17:00	4/3 16:00	4/6 14:00	合計
	3/29 16:00	3/31 16:00	4/3 15:00	4/6 13:00	4/30 24:00	
¹³³ Xe	4.9	2.1	1.1	0.27	0.015	8.3
^{133m} Xe	0.12	0.039	0.015	0.0019	0	0.17
¹³⁵ Xe	1.5	0.077	0.0014	0	0	1.5
^{135m} Xe	0.14	0.0013	0	0	0	0.14
⁸⁸ Kr	0.061	0	0	0	0	0.061
合計	6.6	2.2	1.1	0.27	0.015	10

表7 TDR-TMI-116 報告書における放射性希ガスの総放出量の計算結果(単位は100万 Ci).

が、計算値と測定値が一致しているのは、比較的大線量の場合だけであって、他は定量的にみてほとんど問題になっていないことがわかる。このことはとりもなおさず19カ所のTLDデータを用いたとはいっても、実質的には2,3カ所のものにすぎないということを意味している。

計算結果の詳しい内訳は表4の第15~19列に示されており、これをまとめたのが表7である。これはNRCの報告書NUREG-0600⁽⁹⁾や日本の第2次事故調査報告書⁽¹⁰⁾にも引用されている。全体の和をとると、希ガス総放出量として、 1.0×10^7 Ciが得られ、これがTDR-TMI-116の結論となっている。

TDR-TMI-116 報告書に対する批判と検討

以上の評価法には多くの問題点が含まれているので、以下に批判と検討をまとめておく。

(A) 基礎データの問題

(1) TLDデータ

- (i) 設置場所があまりにも少なすぎる。
- (ii) バックグラウンドを過大評価することによって事故による正味の線量を過小評価している。どの程度の過小評価になっているかは表6に示してある。
 - (a)の値がTDR-TMI-116で用いているものであり、(b)が文献⁽⁷⁾に従って前年度第1四半期の値をバックグラウンドとした場合の正味線量である。両者の違いが数十ミリレムに達するものもある。
- (iii) 放射性ガスの主成分は¹³³Xeといわれているが、この平均 γ エネルギーは非常に低く(46 keV)、TLD自身のエネルギー感度の問題と、TLD設置個所周辺の構造物による遮蔽の問題とが無視できなくなる可能性がある。
- (iv) 電力会社のTLD設置場所の数は、すべての報告書で20ということになっているが、TMI-2の設置許可申請書に添付されている安全評価報告書を見ると40カ所あることになっている。残りの20カ所の行方は不明であるが、電力会社の手抜きで半分に減らされていたのか、あるいは実際にはあったが、事故後20カ所分のデータがなくなってしまったのか、どうなのであろうか。この点については

全く解明されてはいない。

(2) エリアモニター HPR-3240 のデータ

- (i) 測定可能範囲の上限(10 R/h)を越えた記録が存在する(図4参照)。
- (ii) 使用されたデータは1時間ごとの平均であるが、短時間の変動をうまく反映しているかという問題がある。
- (iii) エリアモニターがスタック内を流れる放射性ガスの量を忠実に反映していたかどうか疑問である。例えば、エリアモニター近傍にある他の放射性物質からの γ 線をも同時に測定していたはずである。
- (iv) エリアモニターにはGMカウンターが用いられていたが、低エネルギーの γ 線しか放射しない¹³³Xeの量を的確に把握できていたかどうか疑わしい。極端な場合は、高エネルギー γ 線の⁸⁸Krだけを検出していた可能性がある。

(3) 気象データ

- (i) パスکیلによる大気安定度の分類(A~G)が表5の5列に示してあるが、3月28日の夕方から夜中にかけて強い風が一定して吹いており、E型に分類されている。しかし、E型といってもD型に非常に近い気象状態で、もしD型に分類すると γ 線量は減り、したがって放出量は増えることになる。
- (ii) 事故当時の関係者の会話記録から推測される風向と、表5のデータとが矛盾するケースがいくつかある。

(B) 解析手法の問題

- (i) 希ガスを5成分だけに限るのはよいかどうか。
- (ii) f_i 値が、^{133m}Xeの場合だけ理論と実際とで大きく食い違っている原因が不明である。原因のいかんによっては解析全体の信頼性に疑問が出てくる。
- (iii) 前記(A)の(iii)と(iv)に関連して、エリアモニターの読みRと線量Dとに比例関係(式(3))が成り立つか疑問がある。
- (iv) 前節(v)で述べたように、エリアモニターの読みRを変更しているが、合理的な理由も示さず勝手に変更するのは許されない。特に、3月29日の2:00~3:00と5:00~6:00の二つの期間のR値を減らしているが、この期間は近くにTLDのない方

C
11.1
3.6
21.0
39.2
13.9
1.7
10.2
1.16
0.49
0.49
13.0
29.3
2.5
16.0
7.3
46.9
1.8
121
139
内均一
分布と
特別に
い、
5 A 1
いた。
1.9×
であ
ると
くも
うべ
1 S 2
てい
の放
無視
た難
とし
一内
の正
よっ
はい
C)で
う。
MI-
近い
くま
、前

向に風が吹いており、 R 値は図 4 にみられるようにピークを示している。これは放射性ガス放出量を減らすための工夫であろうか。

(v) 空間線量を計算するに際して、Regulatory Guide 1.109, 1.111 などを用いている。これらは、1 年間の平均線量を算出するモデルであって、今回の事故のような短期間の現象に対して適用できるかどうか疑問である。

(vi) プリュームの上昇を考慮していない。前に D-4 で述べたように、プリュームはスタックの高さの 1~4 倍にまで上昇している。地上にある TLD の線量値に合うように放射エネルギーを決める場合、プリュームが上空にあればあるほど、その量は大きくする必要があるので、プリュームの上昇を無視することは放出量を何倍も過小評価することになる。この点については次節で考察する。

(C) 重大な誤り

表 4 をみていただきたい。この表の第 3~14 列は、計算の出発点となる入力データで、第 15~19 列は計算結果である。したがって第 4~8 列に示してある理論的な希ガスの成分比 $f_i (= Q_i/Q_1)$ は、計算結果の Q_i (第 15~19 列) から算出した比 Q_i/Q_1 と一致するはずである。ところが実際に数値であたってみると、たいへん後者が小さく、ひどいところでは 3 倍ものずれが生じている。この表には載せきれなかったが、3 月 31 日ごろには 8 倍もの食い違いがみられるところがある。これは一体どうしたことであろうか。われわれは最初、コンピュータ出力を印刷させる際の単純なプログラムミスだと考えていた。しかし、いろいろな角度から検討を加えてみると、この誤りは解析全体に及んでおり、したがって計算の最終結果にも致命的な間違いが生じているという疑いを強くもつようになった。もしわれわれのこの推測が誤っていなければ、TDR-TMI-116 の計算結果、総放出量 1.0×10^7 Ci は約 2/3 に減らす必要がある。

改訂計算の試み

以上述べてきたように、NRC が信頼を寄せている TDR-TMI-116 の計算にはいろいろな問題のある仮定が含まれており、データの読み換えがあり、おまけに計算のミスまであった。ここでは、これら問題の多い仮定をできるだけより合理的なものにおきかえ、かつ生データを読み換えしないで忠実に扱った場合にどのような結果が出てくるかについて概説したい。

(A) データについて

(1) TLD データのバックグラウンド差引きは、文献⁽⁷⁾と同様にした(表 6 の (b))。

(2) エリアモニター HPR-3240 の読み R 値は読み換えしないでそのまま用いる。

(3) 気象データは、15 分ずつのものがなく 1 時間おきのデータしかないため、やむをえず 1 時間おきのを用いる。

(B) 手法について

(1) TDR-TMI-116 の線量計算は、まず放射性ガスがセクター内で横方向(風向と直角方向)に均一に拡がっていきとして TLD 地点でのガス濃度の垂直分布を求める。次に、計算の簡略化のため、こうして決めた TLD 地点での垂直方向の分布が、水平方向には同じ濃度で無限に存在すると仮定して放射性ガスからの γ 線による線量を計算している。これに対してわれわれの計算では放射性ガスがセクター内に均一に分布するのではなく、放射性ガス雲の中心軸がセクター内を均一にゆらいでいるというモデルを採用する。こうすると、セクター内のどの角度に TLD 設置場所があるかということが線量値に関係してくるし、隣のセクターに風が吹いている場合の寄与も考慮することができる。TLD 位置の角度については詳しい値が与えられていないので、地図など(例えば図 2)からおよその値を読み取った。また、風向がわりあい安定していた期間(具体的には 3 月 28 日 17:00~24:00)については、放射性ガス雲中心軸のゆらぎの分布を、セクター内均一としないで、もっと狭くなるように適当な正規分布を仮定して計算してみる。

(2) プリュームの上昇を考慮する。上昇量 ΔH (m) の評価は、日本の原子力安全委員会の気象指針に基づくことにする。

$$\Delta H = 3WD/U \text{ (m)}$$

W : スタックからの吹出し速度 (m/秒)

TMI-2 の場合 9.1 m/秒

D : スタック出口直径 (m)

TMI-2 の場合 3.0 m

U : 風速 (m/秒)

この式は、平常運転時での周辺環境の γ 線量を評価するためのもので、当然安全側の見積りを与えるはずであるから、実際よりも小さい ΔH を与えると考えられる。例えば、風速 1~2 m/秒とすると、 $\Delta H = 40 \sim 80$ m となり、スタックの高さ 49 m と合わせて 90~130 m の高度をプリュームが漂う計算になる。

(3) 計算に用いるプログラムは、有限の大きさのプリュームからの線量を計算できるように独自に開発したもので、基本的には今井ら⁽¹⁰⁾の方法を踏襲し、積分方法に改良を加えたものである。プログラムのチェックも

表 8 筆者らの計算結果と TLD データおよび TDR-TMI-116 との比較.

TLD				3月28~29日の線量(mrem)					3月29~31日の線量(mrem)				
番号	名前	距離(km)	方角	TLDによる測定値 ^(a)	計 算 値			TLDによる測定値 ^(a)	計 算 値				
					TDR-TMI-116	筆者らの計算値 ^(b)			TDR-TMI-116	筆者らの計算値 ^(b)			
					A	B	C		A	B	C		
1	1S2	0.64	N	81.1	135.5	453	525	224	17.3	23.0	18.8	15.1	11.1
2	1C1	4.18	N	7.7	17.5	20.7	27.7	20.3	2.9	9.0	5.1	5.0	3.6
3	2S2	1.13	NNE	31.4	60.0	106	144	106	32.2	25.0	63.7	28.7	21.0
4	4S2	0.48	ENE	21.0	6.0	23.5	31.5	23.1	124.0	45.0	91.6	53.5	39.2
5	4A1	0.80	ENE	6.3	2.0	5.9	9.6	7.0	34.0	30.0	34.7	18.9	13.9
6	4G1	16.10	ENE	1.2	0.04	0.18	0.31	0.22	0.67	1.5	1.6	2.3	1.7
7	5S2	0.32	E	17.5	25.0	82.2	71.1	52.1	49.0	24.0	21.7	13.9	10.2
8	5A1	0.64	E	4.7	7.0	22.1	33.2	24.4	7.5	14.0	5.7	1.6	1.16
9	7F1	14.50	SE	4.2	0.03	0	0	0	0.54	1.5	0.95	0.67	0.49
10	7G1	24.10	SE	4.0	0.02	0	0	0	0.85	0.8	0.55	0.67	0.49
11	8C1	3.70	SSE	2.4	2.5	0	0	0	10.5	7.0	18.9	17.8	13.0
12	9S2	0.64	S	10.9	8.0	44.1	15.7	11.5	25.0	25.0	100	39.9	29.3
13	9G1	20.90	S	4.4	0.02	0	0	0	1.03	1.1	5.2	3.4	2.5
14	10B1	1.70	SSW	26.7	5.0	1.13	0.96	0.7	14.8	22.0	32.2	21.8	16.0
15	12B1	2.56	WSW	5.5	3.0	0.82	0.82	0.60	9.2	13.0	11.1	9.9	7.3
16	14S1	0.64	WNW	126.7	140.0	247	218	160	48.7	34.0	114	64.0	46.9
17	15G1	24.10	NW	3.1	0.0	6.55	11.1	8.12	1.5	1.2	2.0	2.5	1.8
18	16S1	0.32	NNW	971	1050	1089	1072	955	83.3	40.0	242	164	121
19	16A1	0.64	NNW	668	500	554	571	680	45.0	23.0	263	190	139

(a) TLD のバックグラウンドを文献⁽⁷⁾と同じ手法で評価して算出したもの。(b) A: プリウムライズを無視した場合の線量。風向はセクター内均一分布としたもの。3/28~4/30の期間の総放出量 1.9×10^7 Ci とした計算値。B: プリウムライズを考慮した場合の線量。風向はセクター内均一分布としたもの。3/28~4/30の期間の総放出量 3.2×10^7 Ci とした計算値。C: プリウムライズを考慮し、3/28, 17:00~24:00の期間の風向分布を特別に扱ったもの(本文参照)。3/28~4/30の期間の総放出量 2.5×10^7 Ci とした計算値。

彼らの計算結果と比較して行なった。

実際の計算にあたっては、最も重要な最初の1日間(3月28~29日)と次の2日間(3月29~31日)について詳しくみていく。表6によると、最初の1日に大量の線量値を記録しているのは北北西の方角(16番セクター)で、他の方位のTLDより1桁大きい。この大線量に対応しているのは、図4に示されている3月28日17:00~24:00の間に吹いた強い南南東の風と、その期間の大量の放射性ガス放出である。大量の放射能が16番セクターを通った場合、隣接するセクターにもかなりの影響が出るはずである。とくに、東隣の1番セクターにあるTLD(1S2)は近距離のため大きな影響を受けるはずであるが、1S2のTLDに記録された線量は意外に小さい。この現象は、セクター内に均一に風が吹いていたとすると説明できず、実際の風は、16番セクターの最も西寄り、つまり1番セクターから最も離れたところを一定して吹いていたと考えねばならない。

さて、1時間ずつのステップで、エリアモニターの読み(図4)と式(6)を用いて時間当りの放出量を仮定し、各TLD地点での γ 線量を1時間ごとに算出し、その線量の積算値がTLDデータと一致するように全体の放出量を調節する。計算結果の例を表8に示してある。計算は以下(A)~(C)の3通りの方法で実施した。

(A) プリウム上昇を考えず、風向分布はセクター内均一。

(B) プリウム上昇を考慮し、風向分布はセクター内均一。

(C) プリウム上昇を考慮し、風向分布は3月28

日17:00~24:00について前述のように特別に扱い、他の期間はセクター内均一。

総放出量は、最大線量を記録している16S1と16A1のTLDデータによく合うように重点を置いて調節した。表8の計算結果は、希ガスの総放出量として、(A) 1.9×10^7 Ci, (B) 3.2×10^7 Ci, (C) 2.5×10^7 Ciとした場合である*。これをみると、プリウム上昇を考慮に入れると(B)、入れない場合(A)に比べて総放出量が70%近くも大きくなることがわかる。(C)は(B)の改良版というべきものである。(B)では3月28日~29日の期間の1S2の計算値が実測値と比べていちじるしく大きくなっている。これは、隣接するセクター(16番)に流れた大量の放射性ガスの影響が現われたわけで、隣のセクターを無視しているTDR-TMI-116の場合には現われなかった難点である。この問題を緩和するために、一つの試みとして、3月28日17:00~24:00の風向分布をセクター内均一としないで、 330.7° に中心をもつ標準偏差 2.5° の正規分布と仮定して計算したのが(C)である。これによって上記の問題はある程度解決されるが、まだ十分とはいえない。

(A), (B), (C)のうち比較的最ももらしいのは(C)であるから、一応の結論として 2.5×10^7 Ciとしておこう。この値はTDR-TMI-116の2.5倍、もしTDR-TMI-116が前述の誤りを含んでいるとするならば、4倍近い数字になっている。

以上、いくつかの計算例を示したが、これらはあくま

* TDR-TMI-116では 1.0×10^7 Ciと算出しているが、前に述べたように、おそらく 0.67×10^7 Ciの誤りである。

でも TDR-TMI-116 の手法に沿って評価をし直した一例に過ぎず、これが本来もっている制約、あいまいさなどがいくらかでも取り除かれたわけではない。前節で述べた問題点の大部分はなお未解決のまま残っており、少し考えただけでも今回の計算自身もまだいくつかの過小評価の要因を含んでいることがわかる。例えば、大気安定度の分類で、3月28日17:00~24:00の期間はE型とされているが、もしD型と分類すれば、プルームの垂直方向の拡がりが大きくなり、その分だけ線量は減少するから放射性ガス放出量をもっと大きく評価せねばならない。また、エリアモニターの感度がエネルギーに依存するという事を考慮に入れるならば、その補正によって放出量はやはり増加すると予想される。さらに、3月30日の大量放出は、エリアモニターには感知されていないから、ここでの計算では除外されており、その分も過小評価している。

プルームライズを考慮すると放出量を増やさねばならないが、TLD地点での線量は変わらないように放出量を増やすので集団線量についても変化ないと思われるかもしれない。しかし、プルーム上昇によって大きく線量が減少するのは近距離であって、遠くなるほどその効果は小さくなる。集団線量に大きく寄与するのは遠距離であることを考えると、プルーム上昇による放出量の増加はそのまま集団線量の増加につながっている。

このように、ここに示した結果はまだ幾多の問題を含んでいる。しかし、われわれの目的は、より正確な放射性希ガス放出量を算出することにあるのではなく、いかに問題が複雑であいまいなものであるかを具体的に示すことであった。いくら複雑な手法を駆使し、コンピュータによる精密な計算をしても、もとのデータがあいまいなうえ、用いる仮定が不確かであれば、当然結論もあいまいで信頼のおけないものとならざるをえない。

ここからわれわれが学びとった教訓は、現代科学技術の粋を尽して計算するという装いによって、結果のあいまいさが紛飾され、見せかけだけの権威が付与されるという事実である。このような事例はますます一般の人々と縁遠くなりつつある巨大科学技術の中心部にいくつも見出すことができる。

本稿は、京都大学の荻野氏がアメリカからもち帰った資料とNRCから直接送られた資料をもとに、京都大学原子炉実験所の原子力安全研究グループでの討論を経て書かれたものである。

文 献

- (1) J.G. KEMENY et al. (President's Commission on the Accident at Three Mile Island): 'Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island', Oct. (1979)
- (2) M. ROGOVIN et al. (NRC Special Inquiry Group): 'Three Mile Island, A Report to the Commissioners and the Public, Jan. (1980)
- (3) 瀬尾健: 技術と人間, 6月号, 84 (1979)
- (4) 瀬尾健: 原子力工業, 26, 49 (1980)
- (5) 瀬尾健: 技術と人間, 4月号, 50 (1980)
- (6) O. PICKARD et al.: TDR-TMI-116, July (1979)
- (7) L. BATTIST et al.: 'Population Dose and Health Impact of the Accident at the Three Mile Island Nuclear Station', May 10 (1979)
- (8) J.A. AUXIER et al.: 'Report of the Task Group on Health Physics and Dosimetry', Oct. (1979)
- (9) Office of Inspection and Enforcement, Nuclear Regulatory Commission: 'Investigation into the March 28, 1979, Three Mile Island Accident' NUREG-0600, Aug. (1979)
- (10) K. MILLER et al.: 'Radiation Measurements Following the Three Mile Island Reactor Accident', EML-357, May (1979)
- (11) L. H. BARRETT: 'Preliminary Estimates of Radioactivity Releases from Three Mile Island', Apr. 12 (1979)
- (12) Metropolitan Edison Company: 'Second Interim Report on the Three Mile Island Nuclear Station Unit-2 (TMI-2) Accident', June 15 (1979)
- (13) 原子力安全委員会米国原子力発電所事故調査特別委員会: 米国原子力発電所事故調査報告書—第3次 (1981)
- (14) S.J. COTTER et al.: 'Estimates of Dose Due to Noble Gas Releases from the Three Mile Island Incident Using the AIRDOS-EPA Computer Code', ORNL-5649, Dec. (1980)
- (15) 原子力安全委員会米国原子力発電所事故調査特別委員会: 米国原子力発電所事故調査報告書—第2次 (1979)
- (16) 今井和彦ほか: JAERI-1189 (1970)