

原発事故にともなう放射能放出と被曝評価

—米国スリーマイル島原発事故について—

瀬 尾 健*

プラントの安全性とは、結局のところ事故のときに公衆がどれだけの危険にさらされ被害を受けるかという形で評価されるものであるが、原発というものがぼう大な量の放射性物質を内蔵しているために、この評価の内容は事故時に公衆がどれだけの被曝を受け、どれだけの汚染が拡がるかという点に集中することになる。原発が潜在的に莫大な危険性を有しながら、過去に何万人という大量の死者を出すほどの事故を経験しなかったという事情のために、この安全性に関しては当初から論議が絶えなかったのである。近年の伊方原発裁判においても、この点が一つの争点となつたことはよく知られている。

今まで行なわれてきたこれらの論争をここで改めて整理することも無意味ではないが、昨年春のスリーマイル島原発(TMI)事故は、事故時の被曝量や放出放射能量の評価がいかに困難なものであり、かつあいまいなものであるかの具体的で良い例を提供してくれていると思われる。そこで本稿では、この問題、とくに最も重要視されている放射能の環境大気への放出の問題にしぼって述べてみたいと思う。

1. 環境大気中への放射能放出径路

事故は3月28日午前4時から始まり、午前7時頃から大量の燃料棒破損が起こったと推定されている。これは施設内いたるところの放射線モニターの指示が急上昇し、排気関係のものはほとんど振り切れてしまつてことから結論される。この振り切れは以後3週間回復せず、この間放出口での放射能放出量に関する直接的なデータがまったくないという重大な事態が現出した。このことが後述するように放出放射能量算定に関する疑惑の最大の源泉となっているのである。沃素については継続的なデータがあるといわれているが、これとてもきわめて疑わしいことは後で明らかになるであろう。

事故後しばらく放射性気体の主要な放出径路と考えられていた、格納容器サンプル→補助建屋サンプタンクのルートは後日否定され、一次冷却水の化学体積制御系からの漏洩が最も重要であることが確認された。同時に放射

能を外部へ漏らさないようにする格納容器隔離という処置は期待された有効性をもたないことが証明された。大量の放射性ガスと水素を含んだ一次冷却水に対し、化学体積制御系は有效地に機能し得ず、いたるところでバルブなどの重要な機器が破損した。こうして補助建屋を通じて大量の放射性気体はやすやすと大気中に逃げて行ったのである。

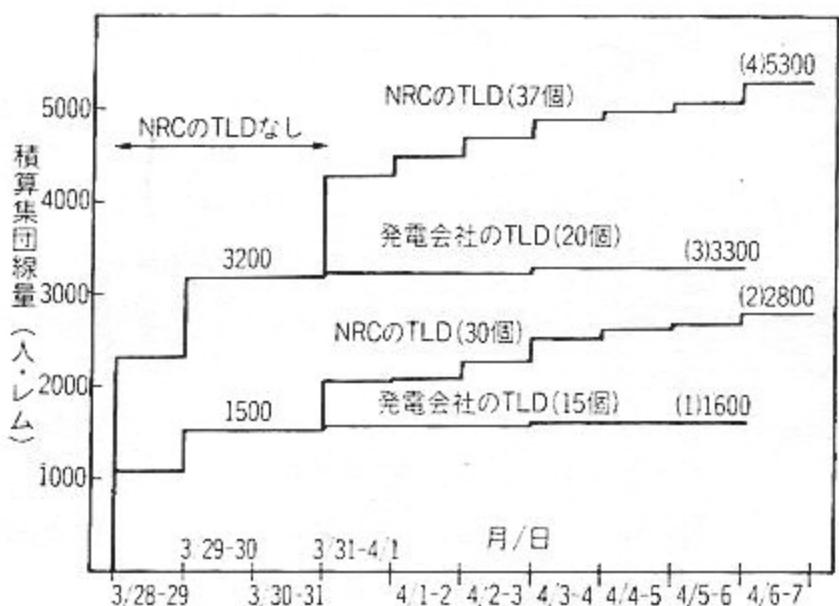
2. 放射性希ガス放出量と集団線量の評価

上述したように、事故初期では放出源での直接測定が皆無で、使えるデータは発電会社の設置した20カ所のTLDだけである[NRC(規制局)がTLDを37カ所に追加したのは3月31日以降である]。第1図はこの20カ所のTLD設置場所を示したものであるが、一見していかにデータが少ないかが歴然とする。煙(この場合は放射性ガス)の幅は大体においてきわめてせまいものであり、たえず変る風向のために直進するとは限らない。したがって放射性ガスはTLDのないところをぬって流れる確率がきわめて高いことは当然想像される。しかも希ガスの主成分¹³³Xeの出すフォトンは低エネルギーの

方角	距離(マイル)										
	0.4	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50
北	1S2		1C1								
北北東	2S2										
北 東											
東北東	4S2	4A1					4G1				
東	5S2	5A1									
東南東											
南 東							7F1	7G1			
南南東			8C1								
南	9S2							9G1			
南南西		10B1									
南 西	11S1										
西南西		12B1									
西											
西北西	14S1										
北 西								15G1			
北北西	16S1	15A1									

第1図 発電会社の20のTLDステーションの名前とその位置。160の分割区分(16方向×10距離)のはんどでデータがないことがわかる。これをもとにした集団線量、希ガス放出量の計算は大幅な過小評価を含むことは必定である。

* 京都大学 原子炉実験所



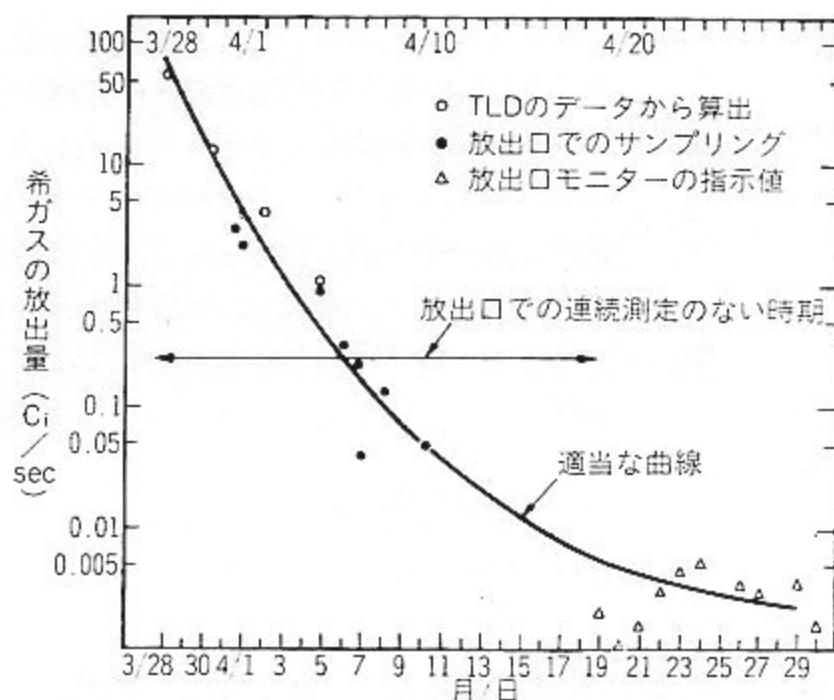
第2図 三者合同グループによる集団線量評価¹⁾.

TLD の個数が少ないと集団線量値がいかに過小評価されるかが如実に示されている。とくに最初の 3 日間は NRC のデータがなく、重大な過小評価となっており、これを補正すると集団線量値は少なくとも 16,200 人レムとなる。

ために減衰も激しい。これらのことから、20 個の TLD をもとにした、放出量、被曝量の評価は過小評価の可能性がきわめて高いことになる。

事故後割合早い時期に、NRC, EPA (環境保護庁), HEW (教育厚生省) よりなる三者合同グループは、TLD のデータに基づいて被曝量の評価を行なったが、この結果が第2図である¹⁾。ここには(1) 12.8 km 以内の発電会社の TLD だけ (15 個) をもとにしたもの (1,600 人レム), (2) 同じ領域の 3 月 31 日以降の NRC の TLD (30 個) をもとにしたもの (2,800 人レム), (3) 発電会社の全部の TLD (20 個) をもとにしたもの (3,300 人レム), (4) NRC の全部の TLD (37 個) (3/31 以降) をもとにしたもの (5,300 人レム) というふうに 4 種類示してあるが、上述の過小評価の問題が如実に現われているのがみてとれる [ただし、NRC の TLD については、BG の評価が少な過ぎること¹⁾と最初の 1 日分のデータ (3/31~4/1) に関して TLD の取扱いに問題があることが指摘されており²⁾、これを考慮に入れると、1 日につき 40 人レムの BG 過小評価があると考えられるから、3/31~4/6 の間の集団線量は、30 個の TLD の場合 460 人レム、30 個の場合 770 人レムとなり、結局上記の(2) は 2,000 人レム、(4) は 4,000 人レムと補正される]。

これらの数値から、NRC の TLD がなかった最初の 3 日間の線量は次のように推定することができる。すなわち、3/31~4/6 の線量と、3/28~31 の線量の比は、15 個の TLD の場合 $100/1,500 \approx 0.07$ 、20 個の TLD の場合 $100/3,200 \approx 0.03$ であるから平均 0.05 程度を考えると、最初から 37 個の TLD があったとした場合は、



第3図 発電会社の算出した希ガス放出量の経時変化⁴⁾. TLD に基づく計算値の最初の二つは 4 倍以上の過小評価を含んでいる.

最初の 3 日間の線量として $770/0.05 \approx 15,400$ 人レムが得られる。これとあとの 6 日分の 770 人レムを加えると、一貫して 37 個の TLD で測定した場合の推定線量値 16,200 人レムが得られる。この値は気象条件の違いなどを無視しているからあくまでも推定の域を出ないが、37 個の TLD で十分という保証もないから、実際はもっと大きくなつた可能性も否定できない。

希ガスの放出量の算定も基本的にはこの TLD データをよりどころにして、気象データを組合せて行なわれるため、上述のような過小評価をまぬがれない。4 月 12 日 NRC の行なった予備的計算結果³⁾ (発電会社と NRC の TLD データと気象データを組合せて概算したもの) では、希ガス放出量は $1.3 \times 10^7 \text{ Ci}$ となっている。その後 $1.2 \times 10^7 \text{ Ci}$ (6 月の報告書⁴⁾)、 $1.0 \times 10^7 \text{ Ci}$ (7 月の報告書⁵⁾) となり、NRC の結論 (NUREG-0600)⁶⁾ はこの最小の値に落着いている。とくに 7 月の報告書⁵⁾ は計算機を駆使し、非常にこまごました計算をして第3図のような放出量の時間的変化まで出しているが、所詮は 20 個の TLD がもとになっているだけあって、データ不足を計算で補うことなどできるはずもない。これによる集団線量値は $3,500$ 人レム⁵⁾ であるから、少なくとも $3,500/16,200 = 0.22$ の過小評価とみられる。すなわち、 $1 \times 10^7 \text{ Ci}$ でなく $4.5 \times 10^7 \text{ Ci}$ (^{133}Xe 換算で $9 \times 10^7 \text{ Ci}$) 以上の希ガス放出量があったとみるべきであろう。これらの値は、ほとんどデータのない時点で試みた筆者の推定 (希ガス量 $6 \times 10^7 \text{ Ci}$ (^{133}Xe 換算)、集団線量 $10,000$ 人レム)⁷⁾ と比べ約 50% 以上大きいことがわかる。

以上、希ガスに関する検討を行なったが、この過程を通じて NRC の態度の不可解さに悩まされた。すなわち

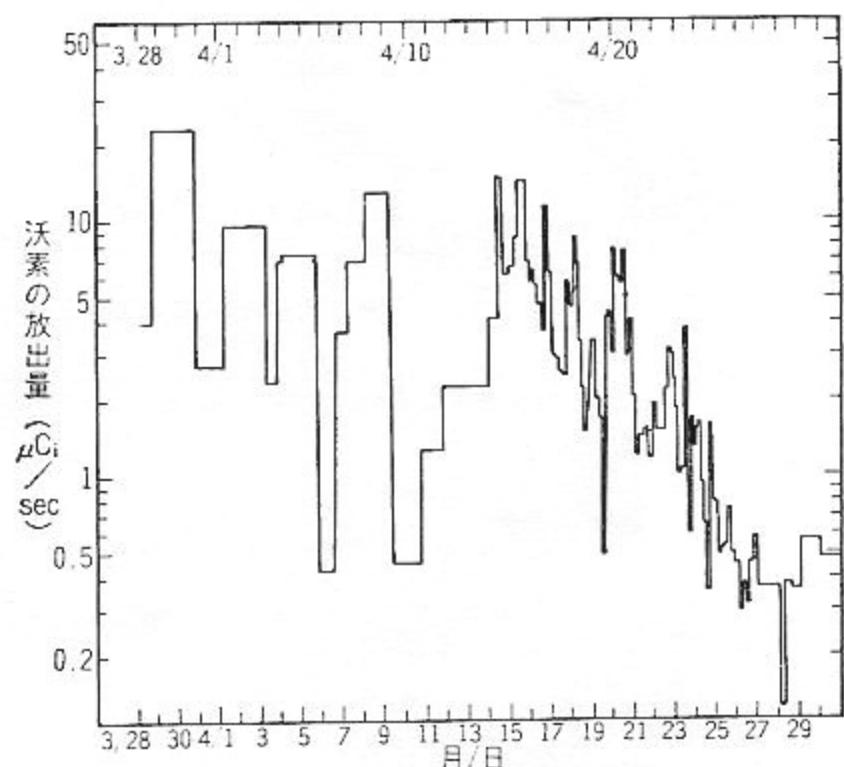
最も重要なデータ源である TLD に関して、より多くの TLD を設置しながら、これらのデータを除外した発電会社の報告書をうのみにしてしまったこと、さらに、ここでは触れなかったが、三者合同グループの段階¹⁾では、TLD の BG を正当に評価しながら、最終的には中国核実験のフォールアウトを含む前年度の不正に高い BG を採用して、線量の過小評価をやってしまったことなどである。

3. 放射性沃素の放出量

はじめに触れたように、沃素の場合は放出口における連続的なサンプリングが行なわれており、一応データはそろっているかにみえる。第4図はこのサンプリングのデータ⁴⁾をプロットしたものであるが（ステップ状になっているのは、一定期間ずつ活性炭カートリッジで排気のサンプリングをした結果のデータだからである。ただし数日ずつの平均操作をやる前の値である）。これを見て気づくことは、4月14日以降サンプリングの周期がきわめて短くなっているのに比べ、それ以前では平均して7~8倍も長いということである。そして興味深いことは、サンプリングの周期が短くなると、およそ数十倍放出量が多くなっている点である。

この点についてアメリカの報告書類には何のコメントも見当らなかつたが、日本の報告書⁸⁾には説明がついていて、「これは4月12~20日の間に行なわれた活性炭フィルタの交換作業が原因の一つと推定されている」というのである。しかしもしこれが原因ならば、放出量の変化はピークとなって現われるはずであり、図のようにレベル全体が上がるとは考えにくい。しかも活性炭フィルタの交換は記録によれば4月20日、24~25日、5月23~24日となっており⁹⁾、上述の日付とはくい違っている。

結局のところ沃素放出量（第4図）の奇妙な振舞は、次のように解釈するのが妥当と思われる。すなわち、事故後2週間ぐらいは作業員の被曝を考慮して1~2日おきにしか活性炭カートリッジの交換ができなかつたが、この時期は最も重要な時期で、沃素の濃度も高く、水蒸気も多量に含まれていたため、短時間のうちに活性炭カートリッジの沃素吸着能力が失われ、図にみられるような異常に低い沃素濃度となって現われた。正しい濃度を得るためににはどの程度の補正を行なわねばならないかは、手元の資料から厳密に決定することはできないが（NRC、発電会社の報告では不正にもまったく補正していない）、およその推定をすることはできる。4月20日頃の時点での沃素と希ガスの放出量は、第4図と第3図からそれぞれおよそ $1.4 \mu\text{Ci/sec}$ (沃素)、 $4,700 \mu\text{Ci/sec}$ (希ガス) と読みとれる。すなわち沃素は希ガスの $1/3,400$ である。



第4図 TMI-2のスタックモニター（活性炭カートリッジ）による沃素流量の経時変化⁴⁾。最初の2週間はカートリッジ取替期間が長く、大幅な過小評価を示唆しており、実際にはこれの数百倍以上である可能性が高い。

4月20日の時点で両者を比較する理由は、希ガスの場合は放出口モニターの振り切れが回復し、放出量の直接測定のデータが存在することと、沃素の場合は活性炭カートリッジの交換周期が短く、比較的信頼性が高いと思われる点にある。ここで沃素と希ガスの放出量の比が大体一定であると仮定すると半減期の違いを考慮して、事故直後では $1/8,800$ 程度と見積もられる。希ガスの総放出量は前述のように、少なくとも $4.5 \times 10^7 \text{ Ci}$ であるから、沃素の総放出量は結局 $5,100 \text{ Ci}$ 以上となる。

以上の算定における沃素/希ガス比一定の仮定は検討を要する。まず沃素の気相中での濃度は液体の温度に依存し、事故初期ではかなりの高温が予想されるから、もっと大きな比であることが考えられる。たとえば NUREG-0600⁶⁾ の TABLE II-3-3 のデータでは、3月28日午前7時少し前の時点で $1/700$ という大きな値が得られる。しかも同 II-3-20 ページでは「希ガスの大量放出は28日の7時頃に始まったが、沃素の大量放出はこれより数時間遅れた」と述べられているから、数時間以降は $1/700$ (これは沃素の全放出量 $64,000 \text{ Ci}$ に対応する) よりもはるかに大量に出て行った可能性がある。平常運転時は沃素フィルタはバイパスされるのが普通といっているが、TMI-2 では、平常から沃素フィルタを使っていたと報告されている¹⁰⁾から、この $1/700$ 以上という大きな値を否定することはできない。すなわち、ごくひかえ目な評価でも $5,100 \text{ Ci}$ の沃素放出となり、場合によっては $64,000 \text{ Ci}$ よりはるかに大きいかも知れないというのが結論である。ちなみに筆者の以前の算定で

は⁷⁾ 2,000~10,000Ci であった。この結論に比べ、NRC などの出している結論 14Ci は驚くほど少ないといわざるを得ない。

ところで一つの疑問点は、環境大気の沃素濃度測定結果である。発電会社の設置した 8 カ所のサンプリングデータ⁵⁾によると、事故当初からせいぜい数 $10 \text{ pCi}/\text{m}^3$ 程度であり驚くほど少ない。これらの異常に小さな値が、沃素放出量 14 Ci という NRC の結論の根拠の一つとなっているのであるが、筆者の感覚からすれば、サンプリング地点の数があまりにも少ないと、NRC や発電会社のデータ取扱い態度が、今まで見てきたように信用できないことなどの理由により、これらのデータを沃素放出量の異常に少ないと有力な根拠とすることは誤りであると解するべきであろう。

これを裏づけるような断片的データは大統領委員会への報告書²⁾の中に見られ、たとえば 3 月 28 日午後 2:27、ミドルタウン (4.2km 北方) における ^{131}I 濃度 $1.2 \times 10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cc}$ 、午後 4:00~6:00 オフサイトでの $9.6 \times 10^{-9} \mu\text{Ci}/\text{cc}$ などのサーベイデータは、総放出量 14 Ci の根拠となっている放出速度数十 $\mu\text{Ci}/\text{sec}$ などから予想される値と比べ、数百~千倍もの大きさとなっている。この他にも Barrett の報告¹¹⁾によると、3 月 29 日午前 6 時 TMI-1 号機のペントスタックでの沃素流量は $40 \mu\text{Ci}/\text{sec}$ となっており、2 号機スタックの沃素流量を大体これの 100 倍程度⁵⁾とすると、事故を起こした 2 号機スタックからの沃素排出量は 4 mCi/sec となる。これは第 4 図の値の 200 倍にも達し、筆者の予想を強く支持するものである。

☆ ☆

以上みてきたように NRC の評価には大幅な過小評価のあることが明らかになった。希ガス数千万 Ci、沃素数万 Ci の放出量は、わが国の安全審査における仮想事故の規模をはるかにしのぐものである。たとえば大飯 1 号機 (電気出力 1,175 MW で TMI-2 より 2 割ほど大きい) での冷却材喪失事故 (仮想事故) では、希ガス 31 万 Ci、沃素 1,200Ci の大気放出量を想定している。技術的には起こるとは考えられないというこの「仮想事故」の想定は、燃料棒のすべてが溶融したに等しい放射能放出量を考えるという、一見きわめて破局的な状況設定であるにもかかわらず、全面的炉心溶融の起こらなかたっはずの TMI-2 の事故は、わが国の安全審査を嘲笑するかのごとく、はるかに上まわる放射性ガスを環境に放出したのである。TMI-2 の事故はまったくの幸運によって、チャイナアクシデントをまぬがれたことを思うと、さらに大規模な事故の到来がますます現実のものと思われ背筋の寒くなる思いがする。

ここでは触れなかったが、昨秋出された大統領委員会 (ケメニー委員会) 報告書多くの問題を含んでいる。これらの問題を含め、重要な放射性液体放出などに関しては別の機会に取上げることにする。

最後に荻野晃也氏からの豊富な資料提供と貴重な助言に感謝するとともに、本稿を書くに当たり原子力技術研究会および、原子力安全研究グループのメンバーとの度重なる討論を通じて、多くの示唆を得たことを感謝する。

参考文献

- 1) Ad Hoc Population Dose Assessment Group (L. Battist *et al.*), "Population Dose and Health Impact of the Accident at the Three Mile Island Nuclear Station" (A preliminary assessment for the period March 28 through April 7, 1979), May 10 (1979)
- 2) J. A. Auxier, C. D. Berger, C. M. Eisenhauer, T. F. Gesell, A. R. Jones and M. E. Masterson, "Report of the Task Group on Health Physics and Dosimetry to President's Commission on the Accident at Three Mile Island", Oct. 31 (1979)
- 3) L. H. Barrett, "Preliminary Estimates of Radioactivity Releases from Three Mile Island", NRC memo, Apr. 12 (1979)
- 4) "Second Interim Report on the Three Mile Island Nuclear Station Unit-2 (TMI-2) Accident", Metropolitan Edison Company, June 15 (1979)
- 5) "Assessment of Offsite Radiation Doses from the Three Mile Island Unit-2 Accident", July 31 (1979)
- 6) Office of Inspection and Enforcement, Nuclear Regulatory Commission, "Investigation into the March 28, 1979, Three Mile Island Accident" NUREG-0600, Aug. (1979)
- 7) 濑尾 健, 「原発事故における放射能放出と被曝評価」, 技術と人間, 6 月号 (1979) p. 84
- 8) 原子力委員会, 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—」, 9 月 13 日 (1979)
- 9) J. T. Collins, W. D. Travers and R. R. Bellamy, "Report on Preliminary Radioactive Airborne Release and Charcoal Efficiency Data : Three Mile Island Unit-2", June (1979)
- 10) W. M. Bland, "Technical Staff Analysis Report on Iodine Filter Performance to President's Commission on the Accident at Three Mile Island", Oct. 31 (1979)
- 11) L. H. Barrett, NRC memo unpublished, Mar. 30 (1979)
- 12) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部原子力発電課, 「原子力発電便覧」'76 年版, 電力新報社 (1976) p. 104

