

原子力発電所の災害評価と台湾への適用

京都大学 原子炉実験所 小出 裕章

．原発のリスクの根源

核分裂反応はエネルギーと核分裂生成物を生む。原子力発電とは核分裂エネルギーの一部を電気に変換する装置であり、電気に変換するという行為以前に不可避免的に核分裂生成物を生んでいる。また、炉心内外にはプルトニウムをはじめとする放射化生成物も生まれる。放射能を作らずに電気だけを作ることとはできないし、作ってしまった放射能を無毒化する手段を人類は持っていない。生み出してしまった放射能は隔離する以外になすべき術がないが、人間は神ではない。時には事故も起きるし、時には管理に失敗する。

．災害評価の歴史

原子力発電所でもし大事故が起きた時にどのような被害を引き起こすかということは、原子力を推進しようとした人たちにとっても深刻な問題であった。特に、原子力発電所を設置しようとする会社にとっては、事故を起こしてしまった時の補償問題をどうするかが決定的に重要であった。世界の原子力開発を牽引してきた米国では、初の原子力発電所の稼働を前にして、原子力発電所の重大事故がどのような災害を引き起こすか、原子力委員会(AEC)が詳細な検討を行った。その検討結果は、「大型原子力発電所の重大事故の理論的可能性と影響」⁽¹⁾として、1957年3月に公表された。この研究では、熱出力50万kW（電気出力では約17万kW）の原子力発電所が対象にされ、その結論には以下のように記されている。

「最悪の場合、3400人の死者、4万3000人の障害者が生まれる」

「15マイル（24キロメートル）離れた地点で死者が生じうるし、45マイル（72キロメートル）離れた地点でも放射線障害が生じる」

「核分裂生成物による土地の汚染は、最大で70億ドルの財産損害を生じる」

70億ドルを当時の為替レート（1ドル当たり360円）で換算すれば、2兆5000億円となる。その年の日本の一般会計歳出合計額は1兆2000億円ではないから、原子力発電所の事故がいかに破局的であるか理解できる。当然、個々の電気事業者がこのような損害を補償できる道理もなく、米国議会では直ちに原子力発電所大事故時の損害賠償制度が審議され、9月にはプライス・アンダーソン法が成立。1957年12月18日の SHIPPINGPORT 原子力発電所（電気出力6万kW）の運転開始を迎えるのである。

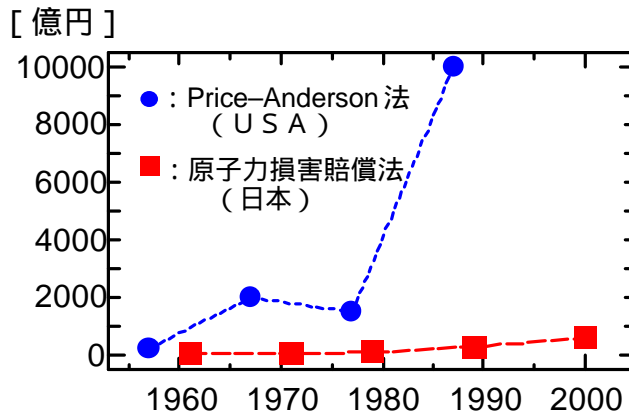
日本でも、日本原子力産業会議が科学技術庁の委託を受け、WASH-740を真似て、日本で原子力発電所の重大事故が起きた場合の損害評価の試算を行った。その結果は、1960年に「大型原子炉の事故の理論的可能性及び公衆損害に関する試算」⁽²⁾としてまとめられたが、その結果がWASH-740と同様に破局

的なものであったため秘密扱いとされてしまった。それでも、電力会社を原子力開発に引き込むためには、どうしても法的な保護を与えねばならず、大事故時には国家が援助する旨の原子力損害賠償法を 1961 年に制定したのであった。

企業による自由な競争を謳っている資本主義社会においては、仮に企業が何らかの事故を起こした場合、その企業が被害の補償をするのが基本である。ところが、原子力発電所で大事故を想定するかぎり、個々の企業が損害賠償の責を負えることなどありえない。

だからこそ、原子力損害賠償法が必要となったのであるし、国や企業もひょっとすれば原子力発電所で大事故が起きるかもしれないと、当然のことながら思ってきたのであった。もし、原子力を推進している国や電力会社が、日本の原子力発電所だけは重大事故から無縁であると、心底、信じているのであれば、原子力損害賠償制度などもとから不要であった。

原子力を進めている人たちにとっては、原子力発電所大事故時の被害がどの程度になるのか、その後も、常に関心の的であり、幾つもの研究、評価が繰り返されてきた。それらの代表的なものを一覧表にして下に示す。



原発大事故時の賠償限度額

評価者あるいは報告書名		WASH-740	原子力産業会議 (科学技術庁依託)		WASH-740 改訂版	WASH-1400		
年度		1957	1960		1964 ~ 65	1975		
原子炉熱出力	MWt	500	500		500	3200		
事故確率	1/炉・年	-	-	-	-	1 x 10 ⁻⁸		
		被害予測				被害予測		
						中央値	下限	上限
急性死者	人	3,400	540	-	27,000	3,300	830	13,000
急性障害者	人	43,000	2,900	-	73,000	45,000	11,000	180,000
一時的不妊	人	-	-	-	-	500,000	125,000	2,000,000
晩発性ガン死者	人	-	-	-	-	45,000	7,500	135,000
遺伝的障害者	人	-	-	-	-	25,500	8,500	150,000
甲状腺瘤発生者	人	-	-	-	-	240,000	80,000	720,000
要観察者	人	3,800,000	4,000,000	6,600	-	-	-	-
永久立退 (人口)	人	460,000	30,000	99,000	-	-	-	-
一時立退 (人口)	人	-	3,700	17,600	-	-	-	-
永久立退 (面積)	km ²	2,000	-	-	-	740	15	1,500
農業制限 (除染) 面積	km ²	46 ~	36,000	150,000	120,000	8,200	160	16,000
財産損害	円	2.1	1	3.7	~10	4.2	0.84	8.4
当時の日本の国家予算	兆円	1.0	1.7		3.7	21.0		

代表的な計算の一つは 1975 年に米国原子力規制委員会が発表した「原子炉安全性研究」⁽³⁾である。それに示された手法を日本に適用して日本の原子力発電所の危険性を示してくれたのが瀬尾健さんだった。その瀬尾さんは 1994 年に亡くなってしまったが、彼は私達に「原発事故、その時あなたは！」⁽⁴⁾という本を残し、どのようにすれば被害を予測することができるかを細かく教えてくれた。

．災害評価の手法

瀬尾さんの残してくれた手法は、上に述べたように、米国原子力委員会が行った「原子炉安全性研究」(WASH-1400)に基づいている（報告が公表された時には原子力規制委員会が誕生していて、報告自身は原子力規制委員会が出した）。その手法も含め、災害評価を行うためには踏まなければならないステップが 4 つある。

- 1) 事故のシナリオ、規模を決めること。
- 2) 放射能の拡散計算をすること。
- 3) 退避や被曝期間を決めて、被曝線量を計算すること。
- 4) 実際の人口分布などに適用すること。

このステップに即して以下説明する。

1) 事故のシナリオと規模

日本の原子力発電所の安全審査では、「重大事故」、「仮想事故」なる事故を想定して、原子炉の安全性を考えるよう求められている。しかし、これらの事故はいずれも、必ず緊急炉心冷却系が働き、炉心が熔けることは決して無いということが前提となっている。炉心が熔けるような事故は「想定不適当事故」と呼んで、はじめから無視してしまうのであるから、「日本の原発だけは安全」という、およそ非科学的な結論が導き出されることになる。しかし、あらゆる事故がそうであるように、原発の場合にも日常的に起こる小さな事故から、滅多に起こりはしないがいざ起こってしまえば破局的な事故まで様々な事故がある。「原子炉安全性研究」では、BWR 型原発の事故を BWR-1 型から BWR-5 型まで 5 つに類型化している。それぞれの事故の代表的な進展過程と特徴を以下に記す。ただし、BWR で起こりやすい初期事象はいずれも原子炉冷却のバランスを失うトランジエント（遷移事象）とされている。また、放出される放射エネルギーもこれらの 5 つの事故類型ごとに、与えられている。

BWR-1：炉心の冷却に失敗し、原子炉の炉心が溶融。溶融した炉心の約半分が原子炉圧力容器内で蒸気爆発を起こす。その爆発で格納容器も破壊され、地上約 25m の点から放射能が放出される。

BWR-2：冷却系の破損により格納容器内の内圧が上がって格納容器が破壊される。その後、炉心が溶融し、すでに破損している格納容器から放射能が放出される。この場合、放射能は地表付近から放出されることになる。

BWR-3: BWR-2 と同様だが、放射能は格納容器の破損部から直接ではなく、原子炉建屋をってから放出される。したがって、建屋に付着したり、捕捉されたりして放出される放射能の量は少なくなる。また、放射能の放出も地表から 25m の高さで起きる。

BWR-4: BWR3 と同様だが、格納容器の隔離に失敗して漏洩が起きることで、内圧の上昇が抑えられ、それによる格納容器の破壊は免れる。したがって、放射能の漏洩量は小さい。

BWR-5: 炉心は溶融せず、燃料棒被覆管内のギャップに蓄積していた放射能が、放射能処理系を通して外部に放出される。とうぜん、放出は排気筒から行われ、放出高さは150m。

2) 放射能の大気拡散

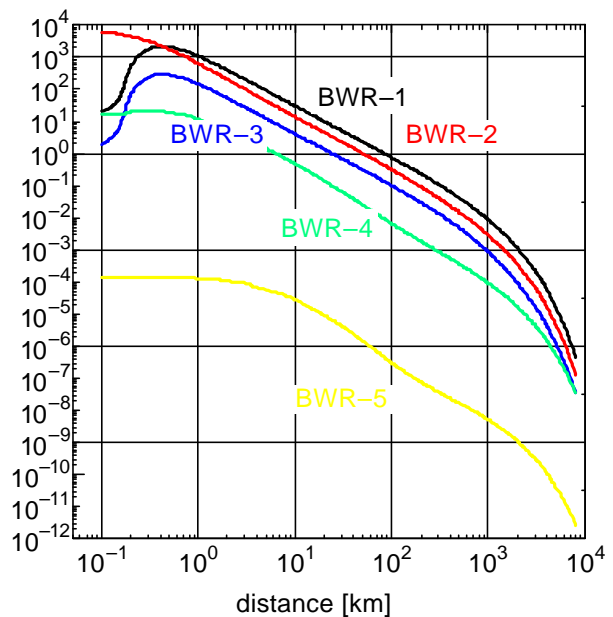
次は、事故時の気象条件を仮定し、周辺への放射能の拡散を計算し、住民の被曝線量を計算すればよい。標準的なシミュレーションを行った結果を、右の図に示す。被曝線量の多寡は原則的にはBWR-1型の事故からBWR-5型に行くに従って小さくなっていく。しかし、BWR-2型の事故では、放射能の放出が地表で起きるため、近距離での被曝がBWR-1型に比べても大きくなる。

また、放出された後の放射能の挙動は大気の状態が決める。夏の日中のような強い陽差しの時には大気の混合が盛んに行われるし、静かな夜間のような場合には逆転層などが生じて大気はほとんど混じらない。拡散が進む度合い別に大気安定度A型からF型に分けられている。大気が不安定な場合（A型）には放出された放射能の拡散も進むし、大気が安定している場合（F型）には拡散しないまま流れる。当然、仮定する大気安定度や風速によって被曝線量は異なる値となる。実質的に被曝が問題になる範囲では、大気が安定とした場合の方が、被曝線量が大きくなる。その点を右の図に示す。これはBWR-2型の事故で、風速は2m/sとしたものである。しかし、大気が安定していれば、放射能雲の広がりは狭くなるので、被曝人口は減る。

3) 被曝線量計算

大気拡散で運ばれてきた放射性物質から人間が被曝する経路にも幾つもある。A) 雲からの直接の線被曝、B) 地面に沈着した放射性物質からの線被曝、C) 雲が通過中に呼吸を通して体内に取り込んでしまった放射性物質から長期に渡って受ける内部被曝、さらにはD) 汚染した食料を摂取することによる内部被曝もある。「原子炉安全性研究」では、この最後の食料を通しての被曝線量は評価されていないし、これを評価することは大変難しい。そこで、ここでもA) からC) の3種類の被曝経路だけを考

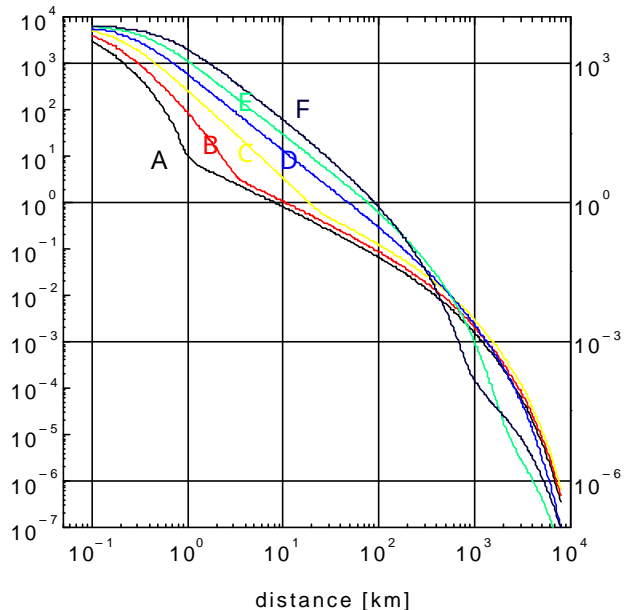
long term dose [Sv]



事故タイプ別の被曝線量の変化

135万kW-BWR 大気安定度D型、風速2m/s
避難までの日数7日

long term dose [Sv]



大気安定度による被曝線量の違い

小評価は、決定的な欠陥となる可能性もある。) 計算結果を示すと、右の図となる。この図から分かるように、この場合、最大の被曝は放射能雲に含まれる放射性物質を吸入したことによる内部被曝が主要な寄与をしている。しかし、地面に沈着した放射性核種からの被曝量も負けず劣らず重要であり、これは避難が遅ればさらに大きな寄与になる。もし、事故後速やかに避難ができるのであれば、もちろん被害を少なくできる。

4) 残る具体的な適用計算は次項で述べる。

台湾への適用

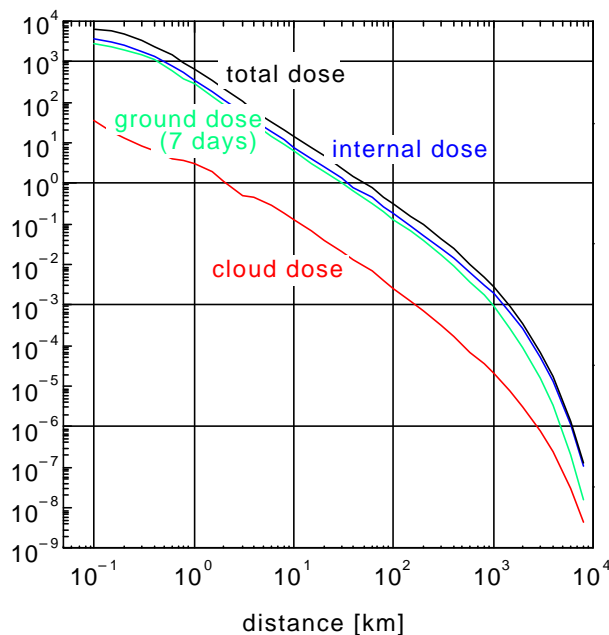
詳しい歴史は小村さんの報告に譲るが、台湾の原発を右下の表に、またその立地点を次頁左上の図に示す。

台湾には現在3つの敷地でそれぞれ2基ずつ合計6基の原子力発電所が稼働している。その上に、第4番目の敷地で2基の原子力発電所を建設しつつあった。その原子力発電所は、米国のGE社が落札したものであるが、日本にしかないABWR(改良沸騰水型原子炉)と呼ばれる原子炉を用いる原子力発電所で、日立と東芝が原子炉容器を作り、三菱がタービンを作るというように、実質的には日本の企業が造るものである。その原子力発電所は電気出力が135万kWという世界でも例をみない巨大なものであるし、台湾はほぼ九州と同じ面積(3万6000km²)に2200万人が住むという人口密度の高い国である。事故が起きれば事態が破局的になることは容易に想像できる。

瀬尾さんのプログラムに台湾の人口データを組み込んだ上で、台湾第4原子力発電所についての災害評価計算をした。事故のタイプはBWR2型とし、大気安定度をD型、風速を2m/sとした。その結果を次頁の2枚の図に示す。図

が示すように、急性死する人は約3万人、後になってガンで死ぬ人は700万人(台湾全体の1/3)を超える。ただし、この計算の場合、事故が起きてから住民が避難するまでの期間を5年としている。避難がどれほど有効かという点を原発から41kmの地点にある台北(人口260万人)について示す

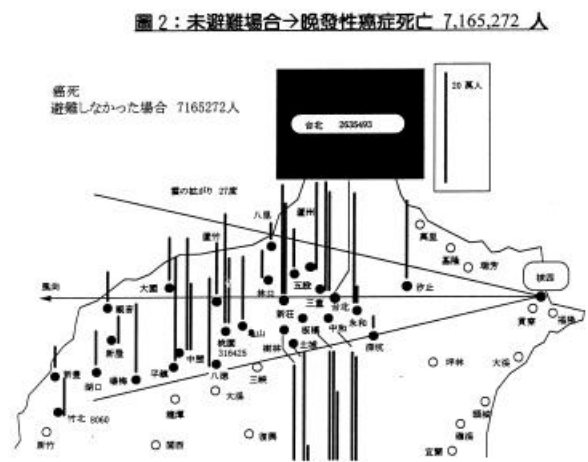
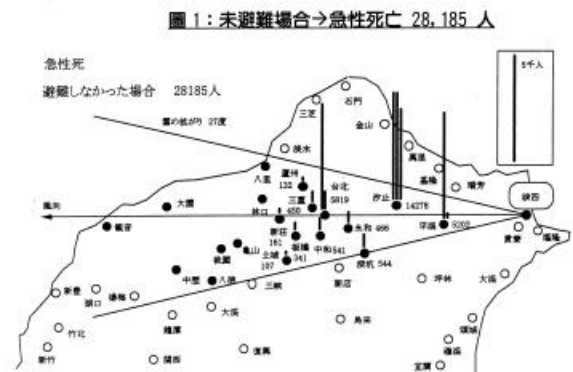
long term dose [Sv]



要因別の被曝線量

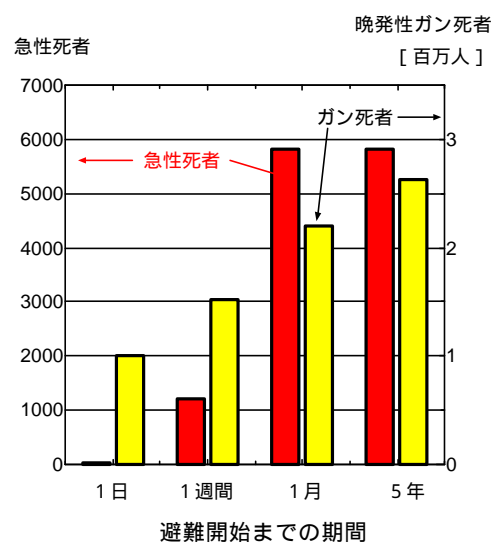
	名称	営業運転 開始年月日	電気出力 万 kW	炉型	主 契約者	主 供給者
第1	金山	1978/12/10	63.6	BWR	GE	GE
		1979/7/15	63.6	BWR	GE	GE
第2	国聖	1981/12/28	98.5	BWR	GE	GE
		1983/3/16	98.5	BWR	GE	GE
第3	馬鞍山	1984/7/27	95.1	PWR	WH	WH
		1985/5/18	95.1	PWR	WH	WH
第4	塩寮	2004/7 予定	135.0	ABWR	GE	東芝*
		2005/7 予定	135.0	ABWR	GE	日立*

*)タービンは三菱



と右下の図になる。晩発性のガン死者の場合には、それほどの効果がないが、急性死者を減らすためにはとにかく逃げるのが大切なことが分かる。しかし、チェルノブイリ事故の事実を見るまでもなく、大量の住民を短期間のうちに避難させることは著しく難しい。その上、広大な面積が汚染を受けてしまえば、その汚染がいかに深刻なものであっても、台湾のように国土が狭い国では、長期に渡る避難はほぼ絶望的であろう。

台北市における避難による効果



[参考文献]

- (1) USAEC, "Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants", WASH-740,1957/3
- (2) 日本原子力産業会議、「大型原子炉の事故の理論的可能性及び公衆損害に関する試算」(科学技術庁委託研究) 1960 年
- (3) USNRC, " Reactor Safety Study ", WASH-1400(NUREG-75/014)、1975/10
- (4) 瀬尾健、「原発事故、その時あなたは！」, 1995, 風媒社

この本は、1999 年に風媒社ブックレット-3、「原発事故の恐怖」として一部が再版された。