

原子力発電と安全性

東京大学工学部教授
都 甲 泰 正

一 安全のシステム

原子力というと、必ず安全問題がまず議論されるが、これは、原子力が他産業に比べて幾つかの安全上の特徴を持っているからであろう。それらを並べてみると、

(1) 原子力の利用が原爆に始まったため、原子炉という原爆を連想し、危惧感を持つ風潮が残っており、また放射能に対して、国民が極めて敏感である。俗に核アレルギーと呼ばれている事実である。

(2) 原子力においては、潜在的危険度の大きさが、他産業に比べて大きい。原子炉の運転に伴って多量の放射能が燃料棒内に蓄積されるからである。この放射能が万一の大きな事故の場合に無制限に周辺に放出されて、住民に大きな被害を及ぼすのではないかと心配されているわけである。ところで、実際の危険度というものは、ある事故の発生する確率 P と、その事故が発生したときの災害の大きさ

C の積 $P \times C$ で与えられるが、この災害の大きさ C を潜在的危険度と呼んでい

る。他産業でも、大型タンカ、石油コンビナート、航空機、大型ダムなど潜在的危険度の大きいものはたくさんあるが、原子力も潜在的危険度の大きいほうに属することは事実であろう。万一の事故に対する原子力の安全設計というのは、多くの努力の積み重ねにより、大きな事故の発生確率 P を十分小さく押え、実際の危険度 $P \times C$ (災害期待値)を非常に小さくしようとするものである。

(3) 放射能の人体に対する影響にまだ十分解明されていない点が残されていること。

たしかに学問的には、低線量の被ばくに対する人体への影響(遺伝的影響)などに未解明の点が残されているが、もし、進化論を信ずれば、われわれ人類は天然放射能(年間約一〇〇ミリレム)程度の被ばくには、十分耐えうるように作られ

ていると考えることができよう。

(4) 原子力の安全問題が、各分野の高度の科学的知識を必要とし、一般の人に難解であること。このことは、自動車の安全問題と比べれば明白である。自動車が多くの事故を出しながら安全論争の種にならないのは、その原理が極めて単純な点も一因であろう。

このように、原子力では安全上困難な問題が多かったため、その平和利用にあたっては最初から安全性に最重点を置いて開発を行ってきた。

いままでの産業の歴史を顧みると、まずそれが社会にとり入れられ、人類が利益を受けている間に、不慮の災害を生じ、安全問題、公害問題が後から追いかけてきている例が多い。

これに反し、原子力では、システムとして安全の問題を考え、いかにしたら安全が確保できるかということを計画の段階から考え、平常時および万一の事故の

場合の環境への影響を評価した上で、社会にとり入れようとしている点だが、従来の産業の行き方と異なる点である。

原子力では、安全問題を一つのシステムとして考え、全体として安全を確保するにはどうすればよいかという物のとらえ方をしている。具体的に説明すると、

(1) まず設計目標となる安全基準を最初に定める必要がある。これには、立地基準、放射線安全基準、環境基準、安全設計基準その他多くの製作・検査基準(あるいはコード)が含まれる。(2) 施設の設計にあたっては、すべての安全基準を満足する必要があるが、さらに、いかにすれば安全性が増加するかという設計者の立場で努力する。この安全設計の立場は、従来はかの産業でもかなりの努力はなされてきたが、ややもすると経済性最優先主義の傾向が強かったのが事実であろう。(3) 次に、安全評価を行って、安全性を再検討する。原子力施設の設計にあたっては、設計者は十分な安全性を確保するように安全設計に努力するが、それとは別の観点から、平常時および事故時の周辺への影響を評価し、基準に合致していることを確認するのが安全評価である。このため、原子力施設の設置にあたっては、前もって、敷地の環境条件(地盤、地震気象、海象、人口など)を十分調査することが要求される。原子力の発達とともに、安全性の分野は非常な進展を

見せたが、特に、施設の計画段階で安全評価を行って、その安全性を確認するという考え方は、原子力ではじめて打ち出した手法である。(4)さらに、実際に建設される原子力施設が、設計どおりのものでできていることを製作中、建設中に確認する必要がある。原子力施設の安全確保のためには、この品質保証が極めて重要であり、そのため、これら工程中に非常に多くの試験、検査が行われる(火力、石油産業などと比較しても、数倍のほる)。(5)最後に運転開始後も、所定の性能を有していることを定期点検等で随時確認する必要がある。また、平常時の放出放射能の量も、環境基準を超えていないことを確認しながら運転される。

以上の(1)~(5)で安全のシステムはでき上がるがそれぞれの過程でよくわからぬ問題は、なるべく実験によって実証する努力がなされる。

先般おこった原子力船「むつ」の問題をこの安全のシステムにあてはめて見ると、(4)の建設中(試運転中)のテストで、放射線レベルが異常に高く(基準値を満足せずに)、不合格になったことになる。

二 絶対的安全性と社会的安全性

さて、安全問題を議論するには、まず最初に「安全とは何か」を十分理解しておく必要がある。

「理論的に可能な最悪の事態が生じた際にもしもなら被害を生じない」という理想的状態が実現できたとし、これを「絶対的安全性」と呼んでおく。例を自動車にとると「絶対的安全性」を実現することは、「技術的」には容易である。第三者の被害を常にゼロにするには、車道をすべてトンネルにすればよく、当事者(車に乗っている人)の被害をゼロにするには、万一衝突などの不測の事故が発生しても人命に別条ない程度にまで車両の最大速度を設計により制限すればよい。

原子力施設の場合にも、第三者に対する「絶対的安全性」を確保することは、敷地をどんどん拡大してゆけば理論的には可能である。

一方、社会通念として認められている「安全」とは何であろうか。今までに経験したことのないような大地震が発生すると、われわれの町が瞬時に壊滅するかも知れない。またそのような大地震が絶対に起らぬとは誰も証明していない。それでも、皆安心して、毎日の生活を送っている。このような状態を「社会的安全性」と呼ぶことにする。

さて、「社会的安全性」の内容は、どんな因子により決められるであろうか。最も大きな因子は、利益と不利益(災害)のバランスという考え方である。さき述べてきた自動車が、絶対的安全性の条件を、技術的には実現可能でありながらそ

うしていないのは、災害を減らそうとすると、それに伴って利益が減るので、適当なところで妥協した結果が「社会的安全性」の内容ということになる。この考え方によれば、利益の大きいものほど容認される災害も大きくなる。また、利益不利益の評価は、個人によって異なるので、安全か否かの判断、つまり「社会的安全性」の内容は、個人の価値判断により左右されることになる。

数年前、原子力潜水艦の安全論争が盛んだったことがある。「原子力潜水艦が安全か否か」という見出しは、いかにも科学論争の印象を与えるが、実は政治論争そのものである。反対側の意見を代弁してみると、「原潜が日本の港に入ることとは日本にとって何の利益もない。従って、その際の安全性は、絶対的安全性を要求しなければならぬが、原潜が「絶対的安全性」の条件を満たしていないのは明白である(例えば何百メートルもあるいん石が真上に落下すると、原子炉までつぶれるであろうから)。」

原潜の入港に伴うリスクが許容できる範囲内であるという解釈も成立つわけである。このように考えると、「原潜が安全か否か」の論争は、実は、安保条約賛成か否かの政治論争そのものであるという見方ができる。

ところで、発電所の敷地問題となるとこれ程簡単ではない。発電所(原子力発電所に限らぬ)の設置による利益は、社会の利益(公益)の性格が強く、他方、不利益(またはリスク)は、敷地周辺の個人の不利益の面が多い。そのため「利益と不利益のバランス」も公益と個人の不利益のバランスを考えなければならぬという困難な政治問題に直面することになる。この種の問題は、空港、道路、鉄道あるいはゴミ処理場などの建設に際して常に現われる問題であるが、電力事業が私企業である限り、土地収用法などの法的手段で問題を解決することは、事実上できない。

ここに、立地問題のむずかしさがあつた。この問題解決のためには、まず、発電所建設が国民の福祉向上のために必要であるという点についての社会のコンセンサスが何より必要である、このコンセンサスなしに、いかに、安全性を強調しても意味のないことである。

次に、発電所の設計に際しては、周辺個人のリスクが非常に小さくなるよう安全設計に努力する必要がある。現在、原

子力発電所の安全設計の目標は「すでに社会に存在している天然および人為的リスクに比較して、原子力発電所を設置することによるリスク増加分を無視しうる程度に小さく押える」ということである（この点については、後述のラスムッセン報告書も参照されたい）。

三 原子力施設の安全評価

また、原子力発電所の運転実績を積み重ねることにより、住民の理解を深めることが必要であろう。世界の商業発電炉の運転実績は二〇〇原子炉・年に及ぶが、現在まで公衆に被害を及ぼす事故は起っていない。しかし、少量の蒸気洩れ、水洩れ、ポンプ故障、あるいは放射線洩れなど公衆安全とはほとんど関係のない故障が新聞で「事故」と報道されるわが国の風土では、原子力が社会の合意をもって受け入れられるのは容易ではない。

世界的に見ても、米国はもとより、西独、フランス、スペイン等の主要原子力発電国においても、環境グループその他の強烈な反対運動の矢面に立っているのが現状であり、どのようにしたら、一般公衆の合意（パブリック・アクセプタンス）が得られるかということが、世界各国の共通の課題になりつつある。

さて、従来、原子力施設の安全評価のために世界各国で採用されている手法には、二つの流れがある。一つは、イギリ

ス（原子力公社）、カナダなどの確率論的安全評価で、他は、アメリカ、日本その他の設計基準事故方式（識者の判断で、発電所寿命中に起こると考えられる最悪の事故を想定し、それに基づいて周辺への影響を評価する方式）である。ところで設計基準事故方式だと、公衆へ与えるかも知れないリスクの最大値を求めるという手法なので、どうしても解析結果は大きくなり、かえって一般公衆の誤解をまねき、パブリック・アクセプタンス上、得策でないという意見が従来からあった。これに対して、確率論的手法は、災害期待値を求めるので、他産業のリスクとの比較も可能であり、且つより現実的なリスクを与えることになる。しかし、実際の適用に際していろいろ困難な問題があるので、全面的に確率論的手法を採用している国は少ない。

しかし、設計基準事故方式でも、設計基準事故の選定は、事故発生確率を一つの根拠としており、機器の信頼度、事故発生確率などを追求することが今後ますます重大な課題になると思われる。

確率論的手法に伴う問題を並べてみると、(1) 計算モデルの不確かさ、(2) 機器の信頼度データの不備——とくに安全系は待機系（通常時不使用の系）であるので信頼度データが集まりにくい、(3) 共通モード故障の取扱い、(4) 統計学上の問題として 10^{-6} （百万年に一度）とか 10^{-7}

（一億年に一度）のように発生確率の小さい事象は、どうせ実証できないので確率論的に取扱うのは意味がないという議論がある、(5) 人間の過誤、サポータージユ（テロ行為）などの評価方法がむずかしい、(6) さらに、一番大きな問題は、パブリック・アクセプタンスの問題である。

確率論は本来、一般公衆に分かりにくいもので、非常に誤解されやすい側面を有している。たとえば発生確率百万年に一度の事故でも、それが明日起こらない保証はない。学問的には、明日それが起こる確率は $1/365 \times 10^6 \sim 1/3 \times 10^6$ で非常に小さくほとんどゼロであると言えても、この辺の議論が一般の人にはなかなか理解してもらえないだろう。

原子力が本格的に実用になるためには、その安全問題を含めて社会に受け容れられることが必須であり、そのためには、安全設計、安全運転に努力する等の技術的努力の他に、How safe is safe enough「どのぐらい安全なら社会が安全と認めるか」ということに対して、社会的コンセンサスを得ることが必要な時期にきていると考えられる。

これらの議論を国家的レベルで積み上げることが、原子力の安全論争に対する国民のコンセンサスを形成するのに役立つであろう。

この線に沿った努力は、近年世界各国で盛んになりつつあるが、とくに米国で

は、各方面の研究が行われているので、その代表的なものを以下紹介しよう。

その一つは、「リスクに対する人間の態度」の分析である。われわれの住んでいる社会には、大小さまざまなリスクが存在しているが（表1参照）、これらのリスクに対しわれわれ人間はどのような態度を示しているだろうか。10⁻⁶（一千年に一度）程度のリスク・レベルに対しては、人は過大なリスクと考えており、ただちにリスク減少への行動をとる。この程度に大きい社会のリスクは病気を除いて存在せず、一般に容認できないものと考えられている。しかし、たとえば登山、スキー、その他のスポーツ活動などに伴う自発的リスクに対しては10⁻⁴よりも大きいリスクも容認されている。10⁻⁴（一万年に一度）のリスクレベルに対しては、一致した行動は起こしたがらぬがリスク減少のための金は出す。10⁻⁵（一〇万年に一度）のレベルに対しては、まだ気にしており、このリスクを避けるために、ある程度の不便を容認している。たとえば「一人で泳ぐな」とか「子供の手の届くところに薬を置くな」などのスローガンはこのような考え方を表わしている。10⁻⁶（百万年に一度）またはそれ以下のリスク・レベルになると、ふつうの人はほとんど関心を払わなくなる。俗にいうan Act of God（天災）という感じになってくる。

図1 許容リスク・レベル概念図 (WASH-1250)

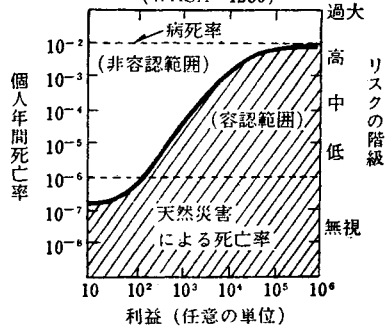


表1 各種事故による個人の死亡リスク (WASH-1400) (米国民平均 1969)

事故の種類	死者数	死亡リスク確率 (1/年)
自動車	55,791	3×10^{-4}
転落	17,827	9×10^{-5}
火災	7,451	4×10^{-5}
溺死	6,181	3×10^{-5}
毒死	4,516	2×10^{-5}
銃器	2,309	1×10^{-5}
機械 (1968)	2,054	1×10^{-5}
水上輸送	1,743	9×10^{-6}
飛行	1,778	9×10^{-6}
落下	1,271	6×10^{-6}
感電	1,148	6×10^{-6}
鉄道	884	4×10^{-6}
雷	160	5×10^{-7}
トナリー	91	4×10^{-7}
その他	93	4×10^{-7}
全事故合計	8,695	4×10^{-5}
100原子力発電所の事故	0	6×10^{-4}
		3×10^{-9}

他方、社会に容認されるリスクの限度を定めるのに、それに伴う利益の面を考慮する必要がある。すでに述べたように、社会通念として、利益の大きいものほど大きいリスクが容認されると考えられることを考慮して社会が容認できるリスク・レベルの概念を表現したものが図1である。図1は、横軸の利益が定量化されていないので、きわめて定性的であるが、How safe is safe enough? という質問に対する社会のコンセンサスを得るための議論(あるいは論争)の過程において修正されるべき性質のものであろう。

四 ラスマッセン報告書

次に、最近米国で、原子力発電のリスクを算出し、それを他産業のリスクと比較する研究が行われた(WASH-1300)。米国原子力委員会が三〇〇万ドルを支出し、MITのラスマッセン教授指導の下に一九七二年夏以来研究が行われたので、俗にラスマッセン報告書と呼ばれている。

以下、その概要と、この研究に対する批判的意見について概要を紹介する。本報告書は、本文約二五〇頁の他に一〇冊の附録があり、全頁数は三〇〇〇頁を越える膨大なものであり、他に、一般向けに二九頁の概要報告書が用意されている。本研究は、計画が発表された一九七二年夏より、世界の大きな関心を集めていた。というのは、原子力の事故の全スペクトルについて危険度の評価を行う(Overall risk concept という)のは、世界でも初めての試みであり、正直のところ、果して成功するだろうかという危惧の念が持たれていた。本報告書は手法

そのものも興味があるが、ここではこの研究の結論概要を紹介するにとどめる。

(1) 公衆に大きな放射線障害を与える可能性があるのは、炉心が溶融する場合であるがしかし、たとえ炉心溶融事故が起こっても、公衆に大きな被害を及ぼすとは限らない。

(2) 炉心溶融につづいて起こる、最も確からしい経過の場合に予想される被害の結果を表2に示してあるが、これは火災、爆発、ジェット機衝突などの場合より遙かに小さい。

また、炉心溶融事故の発生確率は一万七千年に一度(6×10^{-5} /年)でこれらの事故の発生確率より遙かに小さい。

(3) 原子力発電所に起因する死者数および財産損害のリスクは、多くの人為的または天然のリスクより小さい。一〇〇

表2 炉心溶融事故時の最も確からしい結果

死者	< 1
負傷	< 1
晩発死者	< 1
甲状腺腫	~ 4
遺伝的不具	< 1
財産損害*	10万ドル

*原子力発電所の施設損害は含まぬ

基の原子力発電所のリスクは、いん石落下によるリスクと同程度であり、既存のリスクに有意の増加をもたらすことはない(図2・図3)。

次に、ラスマッセン報告書に対する批判的見解を紹介する。

第一は、シエラクラブとUCS(憂慮する科学者団体)が共同で行ったMITのケンドール教授等の検討結果で、一七〇頁の予備的報告書が出されている。反対の論旨は次の通りである。

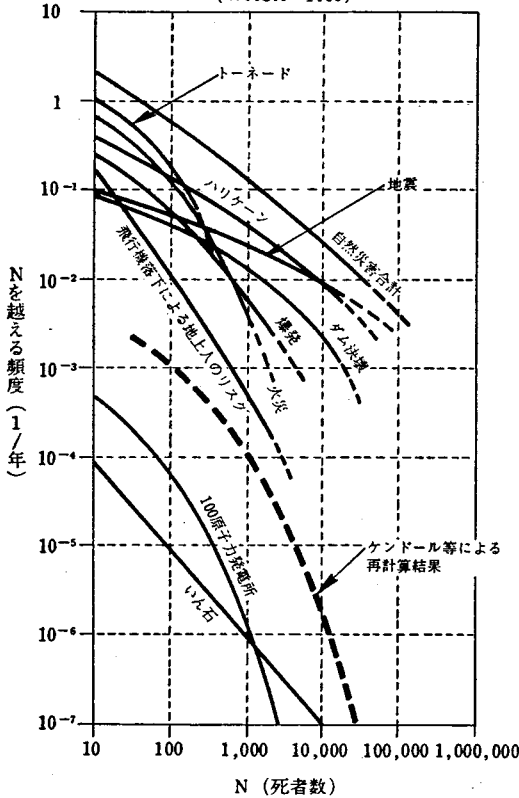
(1) ラスマッセン報告書に用いているフォールト・トリーの手法は、系の信頼度の定量的評価には、不適當である。

(2) 原子力事故モードのすべてを決定することが不完全である。

(3) 事故シーケンスで簡略化し過ぎて

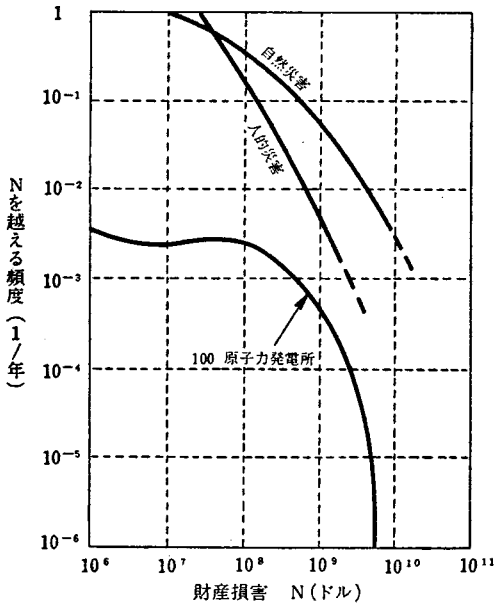
(4) 他のリスクは、原子力のように長期の遺伝的リスクがない。

図2 原子力および各種災害による死者数の比較 (WASH-1400)



(注) 点線はケンドール等による再計算結果

図3 原子力およびその他の災害による財産損害の比較



(5) 共通モード故障の取扱いが十分でない。
 (6) 放射線の人体に対する効果の見積りにについても詳細な批判がなされていない。

次に、OECDのNEA(原子力機構)の主催で、ラスムッセン報告書に対する討論会が、昭和四九年一月末パリで開催されたが、その際の批判的見解として次のような点が指摘された。

表3 ケンドール等による再計算結果

事故	死者数	急性傷害数
ラスムッセン報告書の最大値	2,300	5,600
再計算結果の最大値	36,800	90,000

事故	ラスムッセン報告書の確率*	再計算結果の確率*
ラスムッセン報告書の最大値	10^{-7}	2.5×10^{-4}
再計算結果の最大値	—	10^{-7}

*100原子炉あたりの確率

(7) 事故時の退避と遮へい効果の見積りに対する批判(注)ラスムッセン報告書によると、退避を考慮しないと、事故の影響は三倍になる。
 (8) 計算に用いたデータが不十分である。
 (9) ラスマッセン報告書の計算をやり直した結果を表3および図2の点線で示してあるが、最大の事故の大きさは、一六倍になる。

(1) 地震に対する検討が十分でない。
 (2) 原子炉容器の被断確率を小さく取り過ぎている。
 (3) 地中に入った溶融炉心からの放射能放出割合がもっと大きいのではないか。
 (4) サボタージュ(テロ行為)による影響を含めていない(このコメントに対しては、サボタージュによって大きな原子力事故を実際に生じさせることは、かなり困難であるとの見解が示された)。
 (5) 長期間にわたる気象条件の取扱いが不十分である。

そのほか、米国AEC内部でも、この研究と独立にこの報告書を検討し、「最重大事故の確率は一〇倍程度過大評価されており、そのときの事故の規模は一〇分の一程度に過小評価されている」との予備的結論を出している。
 従来、原子力の安全分野の努力は、主として自然科学的観点からなされてきており、いかにして安全を高めるかという目標に向って進められてきた。今後、原子力が本格的に社会に受け容れられるためには、「どの程度安全ならば社会が十分安全と認めるか」という問題につき、パブリック・アクセプタンスが必要な時期に到達している。このために自然科学のみならず、社会科学的問題を掘り下げることがますます必要になってこよう。
 (とうとう、やすまき)