

原子力の社会的リスクとOR

松原 望

1. はじめに

「原子力はすでに社会科学の段階に達している」といわれる[1][2]. たしかに、原子力の社会学、経済学、政治学について語られる(たとえば[3])のも、論じられる重要なテーマからみれば、まったく至当である。一は、「社会的安全性」、二は「採算性」、そして三には、「エネルギー安全保障」である。純理念的に考えれば、安全保障の基本的思考は最悪の場合への対応——ミニマックス的思考——であるが[4]、現実には、採算をまったく度外視することは考えられない。また、安全性が最追求目標であるとしても、企業体が長期にわたり採算点を割りつづけるということも、現実にはありうる話ではない。いずれにせよ、これらの諸点が総合されて、原子力の社会的受容(Public Acceptance, P. A.)という目標が達成されるのであるが、上述のように、ORの見地からの発想が役に立つことも多い。

日本の原子力の歴史の中で、最も重要な追求目標の1つであった、原子力の社会的リスクないしは社会的安全性について、ORの見地から管見を述べてみたい。

2. 原子力の現在の段階

前提として、従来より原子力といえば、リアク

ター(reactor, 原子炉)まわりのことが中心であったが、現在は、総合的技術体系としての「核燃料サイクル」(たとえば、入門として[5])の確立が、技術的、政策的目標に掲げられているのである。安全性評価技法も、これに応じた展開をせねばならない。

特に、サイクルのうち製錬、転換、濃縮を中心とした、フロント・エンド(front end)から、再処理、放射性廃棄物処理を中心としたバック・エンド(back end)へ、研究開発の重心が移動するにつれ、安全性評価も社会的、環境の局面をより重要視する段階へ至っている。したがって、安全性評価技法も、社会的安全性を評価モデルの中でどう考えるかを、重要課題として与えられているといつてよい。

3. フォールト・ツリーの方法(FTA)

FTA(fault tree analysis)は、巨大複雑システムが内在している因果論的結合を、ANDとORからなる論理体系として表現し、しかして、そのシステム(正確には、その作用機序)を再現することにより、そのシステムの故障ないしは事故の確率を算出するものである。原子力の分野では、周知のように、ラスムッセン報告[6]が、この方法を利用して、商業用(軍事用以外)原子炉が、冷却材喪失(LOCA)により、炉心熔融(melt down)をおこす確率を計算した。原子力の分野におけるソフトウェア・プロジェクトとしては、最初の大

プロジェクトの1つであった。もとより、FTAは1960年代の初頭、米国において、航空機、ミサイル、人工衛星等の開発のために考案され、頻繁に用いられるようになったものである。(以上、解説として[7]~[11])

わが国においても、プラント・システムの安全評価を中心に、広く環境評価などのややソフトなシステム安全評価に適用されている。しかし、社会的安全性の評価においてFTAに何が期待されるかについては、いろいろと議論すべき点が多いと思われる。

FTAは、数学的には、集合ないしは事象のブール代数、および、その上に定義された確率の体系である。これは、近代確率論、つまり、測度論的確率論と、ほとんど同じであるが、ブール代数である点を強調し、かつ具体的にしたものである。したがって、FTAは数学的には、優美なスッキリした形をしている。しかし、筆者が統計学を専門とするからいうのではないが、分析の中には、確率評価が弱い、ないしは欠落しているものも見られる。(ただし[12]あり)

もとより fault tree 自体を構成することが結構大変な作業である。「物」としての部分品の全体が単純であっても、その「機能、作用」の機序の組合せを入れると、結構複雑になる。多少なりとも複雑な機械システムとなれば、図は八畳間くらいの広さにはすぐに達する。しかし fault tree の構成自体が目的なのではない。図を囲んで皆で議論しやすくなるということはあるが、最終的ではない。

確率が入るところで、本当の安全評価となる。要素部品の製品欠陥率、誤操作、錯乱、非常時対応など、無数の間接的要因が、その企業、その産業の技術的、組織的、財務的背景に関連してくる*。もとより、確率には、通常いわれる賭博の伝

* TMI (スリー・スマイル島)の原子力発電所の事故は、非常システムは正常に作動したが、従業員の非常時対応に問題があったためとされている。

統の他に、社会的伝統が流れている。E.ボレルは観察の結果、1/100万の確率を、パリにおいてその日に交通事故で死亡する確率、として表現している[13]。E.デュルケームは「自殺論」[14]において、自殺はまったく偶然の契機に発するようにみえるが、その率はおどろくほどその社会に固有な一定率を示す、としている。また現在において、燃料棒の欠陥率の精度の水準は、日本のほうがアメリカより1桁くらい良好といわれており、逆に、アポロ計画の中のいくつかの失敗が、この種の原因—FTAが行なわれているのに——に帰せられることはよく知られている。そしてまた、これがQCサークルの効用にまで論及されている。

確率を議論するところで、結局、社会的要因も洗い出され、自然に、社会的安全性が評価されることになる。

4. 原子力発電——日本の好調、アメリカの不調

ラスムッセン報告においては、イベント・ツリー(event tree)の方法で、fault treeの各イベントに丹念に確率を手当てしている。決定科学(decision science)の伝統の厚い米国では、システムをtree構造で解剖してゆくことは、デシジョン・ツリー(decision tree)の発想[15]にも見られるように、ごく自然なことである。日本では事故のデータを積極的に蓄積することは、責任追求の問題の蔭で、二の次である。事故のデータは確率パラメータを固定するに十分なほど存在しない。

しかしながらその米国では原子力開発は低迷状態(発電所の新規発注停止、既発注分解約)を示している。世界景気の後退、TMI等の原子力発電所事故、反原子力運動、品質保証の不十分、建設資金の高金利などが原因といわれている。一方、日本ではむしろ好調で、稼働率向上、大きな事故もない安全管理、エネルギー安全保障の推進などにより、総発電量の2割近くも占めるに至っている。

よく指摘されることは、米国の安全保持体制は

良くも悪くもマニュアル主義、責任分掌主義——これは、決定科学の実施とも思えるが——に立脚しているが、日本のそれは、まさにQCに代表されるトータルな Japanese management そのものである、ということである。それはそれでよいが、原子力の安全性を、今後の国際化時代も主としてこれに依拠することの是非を、ORとしても議論すべきであろう。

ことに、放射性廃棄物処分という課題も、低レベルのものについては、ようやく計画も具体化している。それ自体有価値でないものを、長期——おおむね数十年程度と予想される——にわたり安全に管理するという、先進原子力利用国に共通に課された課題は、長期的な、ある程度明確な環境安全の確率評価、費用評価、責任保険超長期設定案などを要求すると思われる。ORとしても新しいタイプの興味深い問題である。

5. 安全性の「実証」——何を証明するのか

まったく新規のシステムの安全性の実証 (demonstration) ということは、その認可手続の重要な一部であるときは、かなりむずかしい作業となる。現物による操業そのもので直接的に実地に証明することは、その現物が存在しないことが多いのであるから、望むべくもない。一方、社会一般が要求する「実証」は、現実の直接的な証明であることが多いので、大きな誤解を生むことになる。たとえば、高レベル放射性廃棄物の長期管理における「実証」の意味について、OECD/NEAは、それが安全性に関して十分な検討と納得できる根拠が加えられることが中核であるとした。

一般に、「実証」をすることの意味や目的は、ある機器の新しい製造法の技術的信頼性や経済性を確認したいとか、ある技術の実現可能性や安全性を確認したいとかの動機に密接に結びついたものである。特に、安全性の確証が主目的である場合、確立された安全性目標や基準がすでに存在する時には、これに合致しなけ

ればならない。この場合、「実証」の目的は、安全に関連する検討が十分に行なわれ、すべての規制要件を満足しているという納得できる根拠を示すことである。したがって、「実証」は、規制手続きの一部であり、過去の実験結果や品質保証が十分であるという実績、それに安全関連の研究や分析等詳細なドキュメンテーションからなるものとも考えることもできる。直接的な「実証」は、必要とされない。(OECD/NEA, 1983)

「動機」「検討」「納得」「手続きの一部」「直接的な実証は必要とされない」などは、安全性が技術的問題のみならず、社会的認識過程がその本質であることを示している。(一般的な命題については[16]) なお、高レベル廃棄物の処分方法はまだ研究開発中であり、その実現は世界的にみて早くて2000年頃とされている。

6. ベイズ確率論から

ラスムッセン報告といえ、fault treeによる商業用原子炉の事故評価ということになっている。この中で、確率評価に対して、ベイズ的手法が頻繁に用いられていることを指摘する人は少ない。部分品の事故率 p に対して、対数正規分布を仮定し、そのパラメータを経験によって主観的に定めることではじめて全体の事故率の分布が決まる(Main Report p.61)。ベイズ的手法が用いられなければ、事故の統計データの欠落——日本では特にそうであるが——により、分析は頓座するのである。

ベイズ的手法は、システムのあいまいさを積極的に包摂してゆく方法であるが(最近のものでは[17])、認識過程のモデルとしても用いられる。社会的安全性とは、人が対象物を“どれくらい安全と思う(認識する)かその程度”であって、本質的に認識論的過程なのである。実体的な技術的安全性、技術的リスク([18]の文献リストがよい)とは概念上区別される。その程度を「確率」に仮託すれば、種々の確率モデルが構成される。筆者は、ベイズの定理による確率変容過程(いわゆる up-

dating)に注目して random walk モデルを構成した。そして、「安全の社会的証明は時間がかかるが、不安全の証明は短期に成立する」という命題の時間評価を、A. Wald の Sequential Analysis を用いて行なった。[19][20]

さらに、社会的安全性のもつ集団的性質を記述するために、いわゆる“ポリヤのつぼ”のモデル(たとえば[21])が有効と思われるが、いまだ十分には応用されていないようである。

参 考 文 献

- [1] 田中靖政「原子力と社会科学」学習院大学法学部研究年報17, 1982
- [2] B. Goldschmidt "The Atomic Complex" American Nuclear Society, 1982
- [3] 川上幸一「原子力の政治経済学」平凡社選書, 昭和49年
- [4] 松原望「意思決定の基礎」朝倉書店, 昭和52年
- [5] 大熊由紀子・朝日新聞社科学部「核燃料——探査から廃棄物処理まで」, 朝日新聞社, 昭和52年
- [6] "Reactor Safety Study; An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants"(WASH 1400, NUREG 75/014) U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1975
- [7] E. J. Henley, H. Kumamoto "Reliability Engineering and Risk Assessment" Prentice Hall, 1981
- [8] "Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, Pilot Study" D. Reidel Publishing Co., 1982
- [9] 行待武生「Fault tree analysis と人間工学」人間工学; Vol. 12, No. 5, 1976; Vol.13, No. 2 1977; Vol.13, No. 6, 1977
- [10] 井上威恭「イブント・トリーとフォールト・トリーによる危険性評価」高圧ガス, Vol.14, No. 1, 1977
- [11] 近藤太二「災害分析における欠陥関連樹法の適用」安全, 1月号, 1972
- [12] 石井博司, 飛岡利明, 中野一夫「信頼性予測のためのフォールト・ツリー手法の有効性」オペレーションズ・リサーチ, Vol. 28, No. 1(1983) 32-40
- [13] E. ボレル(平野次郎訳)「確率と生活」(クセジュ文庫), 白水社
- [14] E. デュルケーム(宮島喬訳)「自殺論」(世界の名著47) 中央公論社, 昭和43年
- [15] H. Raiffa "Introductory Lectures on Making Choices under Uncertainty" Addison-Wesley, 1968
- [16] OECD/NEA "Study on Public Acceptance of Nuclear Power" NE (84) 7, 1984 (Unpublished)
- [17] 松原望「ベイジアン之源流——トーマス・ベイズ」オペレーションズ・リサーチ, Vol. 28, No. 9(1983) 432-438
- [18] P. F. Ricci, L. A. Sagan, C. G. Whipple (ed.) "Technological Risk Assessment" (NATO ASI Series) Nijhoff, 1984
- [19] 浜田宏一, 竹内啓, 加藤一郎, 前田和甫, 松原望 古畑和孝「リスク概念をめぐる諸問題」(文部省「環境科学」特別研究), 昭和57年
- [20] N. Matsubara "General derivation of exact OC and ASN of SPRT when log of likelihood ratio takes only Two interal multiples of a constant" Annals of the Institute of Statistical Mathematics, Vol. 36, No. 1, 1984
- [21] W. Feller "Introduction to Probability Theory and its Applications" John Wiley

次号予告

特集 事例研究——58年春季発表会より——

北海道の酪農業におけるローカルネットワークに関する研究 浅利英吉

コストダウン実現のための工場最適集約化について 荒川 淳

業務機械化基本検討(企画設計)の手順化

米原正尚

多品種多段階工程生産工場(継目無熱間工場)の操業計画システム 家長吉行, 他

Kaplan-Meier の方法と数量化理論 I 類を組み合わせた寿命予測 原田要之助, 他