

巨大システムのリスクをどのように考えるか

—原子力発電システムと食料システムの場合—

A Discussion On the Risk of Giant Systems

—in the Case of Nuclear Power Systems and Food Systems—

ネットワーク情報学部 齋藤雄志, 横山孝, 浅井綾祐

School of Network and Information SAITO Takeshi, YOKOYAMA Takashi, ASAI Ryosuke

Keywords: Giant Systems, Risk, Nuclear Power Plant, Fukushima Nuclear Accident, Food Systems

Abstract

This paper discusses the risk of giant systems focusing especially upon nuclear power systems and food systems. The Fukushima nuclear power plant accident in 2011 shows strategic failures not only in the technical design of nuclear power plants but also in the soundness of social systems to secure nuclear system safety. Giant system includes many kinds of risks such as environment effects, accidents, pandemics and economic failures.

1. まえがき

本稿は、専門的論文というよりは、ネットワーク情報学部におけるゼミ型授業である4年次の「卒業演習1・2」（担当教員齋藤雄志[専門：エネルギー・環境問題・知識管理]）において、平成24年度の1年間に学びあったことを整理したものである。当初は、「環境問題とマスコミ」という共同テーマでスタートしたが、エネルギー・環境問題や食の問題に関するさまざまな発表や議論を経て、最終的には、原発事故と食の事故を中心に「巨大システムのリスク」という形でまとめることになった。「1. まえがき」から「3. 原子力発電システムのリスク」は齋藤が執筆を担当し、「4. 1と4. 2」はそれぞれ4年次学生の浅井、横山が執筆した。

複雑な原発事故問題に関わる3章までの内容に関する責任は齋藤が負うが、執筆内容がゼミでの発表や議論をベースにしているためにおそらく、原子力関係の専門家から見れば、幾分ラフで素人っぽい内容かもしれない。確かに原子力問題は、高度な近寄りがたい理論と技術から構成されており、福島事故の顛末も一筋縄では理解できないことは確かである。しかし現在、原発問題が社会的問題として大きな広がりを見せている以上、直接的に専門家でない人間の率直素朴な意見も一定の価値はあると考えてよいであろう。いわゆる「原子カムラ」に関係する人々は、過去の視点と立場から離れることはなかなか容易でないからである。

なお、本稿は、巨大システムのリスクとして、原発と食の問題しか取り上げていない。それ以外の問題についても議論を展開したい気持ちはあるが、時間的制約のためにこの2つのテーマに限定した。

2. 諸システムの巨大化とその社会的リスク

2.1 諸システムの巨大化

現代では、多くの新しいシステムが高度化するばかりか巨大化する傾向にある。本稿においてこれから論ずる原子力発電システム、食料システム（狭くいえば食料供給システム）などは巨大なシステムの典型である。ウラン採掘から始まるフロントエンド、原発、および使用済み燃料の再処理や高速増殖炉を含むバックエンドからなる原子力発電システムは巨大である。また我が国のバックエンドはコストが高く施設完成・運転が行き詰まっている。原発はトイレなきマンションといわれる。食料システムは、今や「となりの田畑から収穫」という感覚からは程遠い巨大なシステムとなっており、1個のハンバーグにも膨大なシステムや原料が関係している[34]。それはリスクも孕んでいる。古代文明の中には、食料システムが原因で滅びた例もあるが、現代の食料システムも、地球環境問題や新しい新型ウイルスの元では同じようなリスクも持っている。本稿では触れないが、輸送システム、通信システム、さらに都市システムも巨大化の傾向にある。これらもまた多くのリスク

を抱えている。新幹線という巨大システムは見事な成功を収めたが、新しく計画されている超伝導輸送システムが同じような成功を得る保証はない。これは経済的リスクである。ことによれば、建設や運営に多大なコストがかかる一方で、縮小する経済の中で十分な利便性を得られない可能性もある。将来の通信システムでは、単にコンピュータウイルスなどのマイクロなセキュリティだけが問題なのではない。近未来では特定企業による情報システムと知識の独占、遠未来では情報システムの自律的暴走すら懸念される。

システムが巨大化するのには、システムの経済性や効率性を追求するためであり、高度化するのにはそれらのシステムが供給する生産物（サービス）を高度化し、社会的ニーズに応え、あわせて市場での競争力を高めようという意図がある。小さい、性能の低いシステムは次第に取り残されていく傾向がある。そして多くの巨大システムは大きなリスクを内在するようになる。リスクには事故リスク、環境リスク、経済的リスク、技術的リスク、文化的リスクなどがある。それらには常に確率的要素が絡んでいる。そして確率が非常に小さくとも影響が大きければ、それらのかげ算としてのリスクは大きくなり、社会的不安の大きな材料となる。このようなリスクの扱いは非常にむずかしい。

2.2 2つのタイプの事故

本稿で対象とするのは主に事故リスクであるので事故のタイプについて考えておこう。事故の種類には、確率は低いが大規模な事故が集中的に起こるタイプと、小規模な事故が分散的に多発するタイプがある。前者の典型としては、福島第一原発事故、インドのボパールにおけるイソシアン酸メチル（MIC）流出事故、カネミ油症事故等がある。ボパールの事故は、1984年に発生した史上まれに見る大化学事故で MIC の有毒ガスにより、一説によれば、一夜のうちに 3000 人以上が死亡し、15 万人 ～ 60 万人が被害を受け、最終的に、1.5 万人～2.5 万人が死亡したといわれる。このような化学事故は発展途上国特有の事故と思われるが、化学物質が大規模に拡散し大被害を与える事故は先進国でも否定はできないと考える必要がある。

福島第一原発事故の場合は、放射能による直接的な死者は報じられていないが、膨大な地域が汚染され、十数万人以上の地域住民が長期間避難を強いられている。チェルノブイリ[22]では、黒鉛減速炉が水蒸気爆発し火災を起こしプルトニウムなどの各種放射性物質が発電所周辺に拡散し、その中で事故対策作業を行った兵士や消防署員に数十名の死者が発生する一方、ウクライナからヨーロッパにまたがる広大な地域の人々が放射能の被害を受けた（放射能による間接的な死者が多数いるという見方もある）。

原発事故ほど、人によって評価が異なるものはない。原子力関係者は福島第一原発事故で死者がほとんどなかったことを強調する傾向があるし、一方では周辺地域から避難している人々からみると地域社会や家族の崩壊が大きな問

題となっている。

分散型事故の典型は自動車事故で、社会全体で分散のかつ乱数的に発生する。日本では、交通事故数は減少傾向にあるが、それでも毎年約 4000 人以上が死亡し 80 万人以上が負傷している。自動車事故は、全体とすれば巨大な規模の事故であるが自動車の効用の陰で、意外なほど社会的注目度は低い。仮に福島第一で自動車事故に匹敵する被害が生じたら、その社会的ダメージは自動車事故の比ではない。分散型事故への注目度が低いことの理由の一部は、自動車の効用の高さもさることながら社会的修復可能性によって説明できるかもしれない。個々の自動車事故は、その家族などの関係者にとって、「修復可能でない」事故であるが、社会全体からみれば「薄い（小さく広い）」ので、自動車の効用の代償として忘れられ無視されてしまう傾向がある。これも大きな問題であることはまちがいない。

福島第一のような大規模な原発事故はその放射能による人的影響だけでなく、社会、特に関係する地域社会が、修復不可能な大きなダメージを受けるという面が重要である。

図表 1 分散型事故と集中型事故

	技術の社会的効用	事故のタイプ	社会的注目度	社会的修復可能性
自動車事故 (社会全体)	部分的には鉄道で代替は可能だが不可欠	分散型事故	小	有
原発事故 (大規模)	火力・新エネルギーで代替可能・コスト的には未知の要素有り	集中型事故	大	地域社会には大きなダメージ

3. 原子力発電システムのリスク

3.1 原子炉の安全思想の崩壊

少なくとも日本においては、福島第一原発事故によって「原発の安全思想」は完全に崩壊した。原子炉の安全思想とは、何事か事故があれば、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」という考え方である。またメルトダウン時の原子炉の安全の仕組みには「軽水が蒸発で抜けると中性子が減速せず連鎖反応が自動的に止まる」という基本原理がある。機器・設備的には、ペレット、燃料棒、圧力容器、格納容器、建屋という 5 層の防壁[11]が用意されていたがすべて何らかの形で崩壊した。

以前は、多くの人々は、原発の仕組みと存在に一抔の不安は感じつつも、その安全性に対してはかなり信じていたといってよい。専門技術者・官僚・電力会社社員・エネルギー問題の専門家の多くも、巨大な津波によって原発が炉心溶融事故を起こすことは想像すらしていなかった。ことによったら日頃、原発に反対している人々の大部分すらこのような事故が現実のものになるとは思っていなかったのかもしれない。福島第一原発事故以前は、専門家達も、日本の原発技術は水準が高く、日本は最も安全に原発を運転

できる国と思っていたといっぴよい。

だが原子炉の安全神話には政策的・政治的に作られた面がある。それは資源小国日本のエネルギー資源確保の戦略の一部であったといっぴよい。安全神話の背景には、いわゆる原子カマラによる強力な宣伝活動は、政治的動きがあったことは事実である。新聞報道によれば[10]、大手電力9社の広義の広告宣伝費（普及開発関係費）は1970-2012年の42年間で2.4兆円といわれる。また原子カマラではその中心部に行くほど、その安全性について本質的問いかけをすることは困難であったことは容易に想像されよう。

確かに、格納容器を含め、「5重の防壁」は用意されたが、全電源喪失と炉心溶融には無力であった。意外にも、事実上の最後の砦ともいべき格納容器は圧力や温度に弱かった。何よりも全電源喪失にはなすすべがなかった。格納容器が機能しなかった以上、今や上記の「5重の防壁」などは宣伝用の言葉でしかなかったと感じざるを得ない。

技術者レベルでは、原発の安全性についてさまざまな改良がなされていたが、発電コストの大幅増大につながる本格的改善については、消極的もしくはテンポが非常に緩慢だった。その背景には電力会社や規制官庁の硬直的な組織文化もあった。もともと原発は米国からの導入技術であり、初期にはそのことによる改善の難しさや問題点もあったと考えられる。

原発の建設は積極的に進められたが、使用済み燃料の処理・再処理に関するシステムの構築は、コストや立地・技術の面から行き詰まっていた。個別の改良についても、常にコスト上昇回避圧力があり、設計にも常に限界が付きまとい、組織的意思決定の緩慢さがあったといえよう。原発の安全性は、核燃料サイクル全体と一緒に考えねばならない。

既設の原発は改良すれば安全かという問題がある。たとえば、送電系統の多重化・一部地下ケーブル化、配電盤の耐水化（あるいは非浸水地域への移動）、予備電池の大幅拡充、中央制御室の改善、防波堤（防潮堤という言葉より防波堤あるいは防波壁[44]の方が妥当。本稿では原則として防波堤とする）の改善、大規模な淡水プールの設置、事故が生じたときの汚染水貯蔵プールの事前設置、免震重要棟の改善（一部の原発ではその位置がよくない）、非常用の大規模地下壕の設置、扉の本格的防水化、通信ネットワークの改善、対テロ設備の改善、窒素貯蔵設備の拡充などによって、大幅な改良をしたとする。しかし、格納容器は今回の事故で穴が開くなどして壊れたといわれる（他の説もある）。事実上、最後の砦である格納容器が炉心溶融による圧力と熱に耐えられない以上、各種の改良の効果にも限界があるのかもしれない。

今後のことについてはつぎのようなことがいえよう。福島第一原発事故と日本の大部分の原発の停止は電力需給を厳しくしただけでなく、火力燃料増加（44兆円：小谷[41]）と事故対策費用、除染費用、賠償費用の合計で長期的に総計で最大100兆円もの費用を要する可能性がある。これは

国富の喪失である。日本では、今後数十年間、計画されていなかったまったく新規の原発が建設されることはないだろう。その背景には、立地地元住民・自治体の反対、近隣自治体と住民の反対、コスト上昇と競争力低下と核燃料サイクルの不備などがある。米国ではTMI事故[28]のあと、約30年間、原発の建設が止まった。ごく最近の安倍政権では、計画中の新規原発については「白紙」、つまり建設の可能性をほのめかしている。今後、既存の原発は徐々に再稼働されるとみられるが（脱原発はほぼない）、原子力規制委員会の存在もあり、再稼働は緩慢で、発電規模は最低限の水準になるだろう。安全対策コスト、保険、電力会社への資金の金利上昇で、原発のコストは高くなり、電力会社は原発に対する積極性を失うだろう。十分な安全性を確保するには膨大な投資が必要（浜岡原発では、2回の防波壁改善だけで2000億円程度になる）である。

使用済み燃料の貯蔵方法、核燃料サイクルも不備である。核燃料サイクルは高コストで現実的でない。高速増殖炉は高くかつ技術的にむずかしくまた危険性が高い。浜岡原発、東海第二、もんじゅ、女川、福島第二などは地震で危険な原発の代表である（震度6弱以上の地震に見舞われる確率が高い原発）。東通、大飯等も活断層の問題がある。

電力需給については厳しい情勢が続くものの、老朽石油火力の運転と修理、LNG火力・石炭火力の拡大により、国全体としては電力需給そのものは確保できる。もちろん発電コストと電気料金は上昇する。当面、風力や太陽光などの新エネルギーの大きな寄与は期待できないが、省電力には大きな可能性がある。すべての電灯をLED化すれば1000万kWを越える節約が可能になるといわれる。

一方、国際的側面に目を移せば、米国は、シェールガス革命[45]により、中東情勢に対して関心が薄くなる可能性があり、そのことによって日本の中東からの原油輸入にも若干の不確定性が生まれつつある。日本は、当面、事実上すでに原発を失ったことにより、燃料輸入の交渉力が弱まり、貿易赤字への圧力が高まる。もちろん米国から安いLNGを輸入するという可能性もある。

福島第一原発事故により各国の原発の位置づけに対する考え方はさまざまである。ドイツのように脱原発を表明した国（そのドイツも高レベル放射性廃棄物の処分場反対で苦しんでいる）、基本的にシビアな反応をしながらも原発を継続する国、従来の路線を変更しない国など多様な反応が見られる。しかし報道に見えない部分では一様に安全対策に大小の努力ははかっていることは確かであろう。

原子力技術は、人類が、地熱を除き初めて太陽エネルギーの束縛から抜け出た「夢の技術」であったが、複雑で非常にやっかいな技術である。人類はそれを長期にわたって安全に使いこなすことは容易でない。原子炉も核燃料サイクルももともと安全技術の塊のようなシステムである。それは裏返していえば原子力技術の危険性である。しかしながら巨大なシステムの安全対策には巨大なコストがかか

る面も多い。原発の長期的動向を左右する大きな要因は安全対策のコストである。

3.2 福島第一原発事故の概要と特徴

福島第一原発事故は、日本という国家を揺るがした大事故である。福島第一原発事故の詳細は、各種事故調査委員会報告書[4][5][6][7][8]他多数の出版物等で広く知られているので本稿で詳しく説明する意味はない。一方では、詳細な事故のプロセスは未だに不明な点が多い。そこで筆者(齋藤)が理解した範囲で、事故に関わる主なポイントを、箇条書きで列挙してみよう。列挙の順番は必ずしも重要度の順でない。

○格納容器の安全神話は崩壊した(大前[9])。5層の安全防壁も機能しなかった。配管と配線の塊である原発は全電源喪失に対して非常に脆弱である。各種冷却装置などの安全のためのメカニズムはこのような状況で正常な動作が困難になることがわかった。これらが原発の安全神話崩壊の中核である。

○福島第一事故の中心は、全電源喪失に伴う冷却機能が失われたために生じたことによる炉心溶融、高圧・高温による格納容器の破損を原因とする水素流出による建屋最上階の爆発、2号機からの大量の放射性物質の噴出である。地震による配管その他の破損の可能性もある。

○チェルノブイリ[22]のような水蒸気爆発とそれに伴う放射性物質の拡散が起らなかったが、福島では格納容器の存在は一定の役割を果たした。圧力容器・格納容器の小破損もプラスに作用したのかもしれない。格納容器の破損は等価直径9cmという見方(園山[15])もある。格納容器の圧力を下げるために行われたベントの効果は不明である。ベントが機能していれば水素が120mの排気塔から排出できた可能性もある。ただし、福島第一原発にはベントに伴う放射性物質を除去するフィルターがついていなかった(ドイツやスウェーデン等の原発にはフィルターがある)。

○原発には、炉心が溶融すると減速材の軽水が蒸発し連鎖反応が停止する(核爆発は生じない)という意味での最低限の安全機能はあるが、小さい運転ミスや事故が連鎖反应的に拡大し、重大事故につながるという特性を持つ(チェルノブイリ事故[22]やTMI事故[28]の例)。

○巨大な津波や全電源喪失のもとで、中央制御室や免震重要棟における原発運転関係者の行動には限界がある。今回、それらの人々は最大限の行動をしたといえよう。

○政府や東電の行動には避難が集中しているが、もともと危機における組織や人間の行動には限界が多い。仮に成功した面があってもそれは「幸運」と考え、技術的な防護システムをしっかりと用意しておく方が望ましい。

○福島第一原発は、全電源喪失に対して、送電線(双方向送電は大熊線1-4号)、配電盤、電池、予備発電機に関して二重三重の備えがなかった。

○福島第一事故は不幸な大事故であったが、風況や雨の状

況によっては、首都圏が大被害を受ける可能性もあった。状況によっては高濃度の放射性物質が250km以上拡散する可能性があった。福島第一原発の水素爆発その他によって、放射性物質が拡散し、地元住民は長期にわたる避難生活を送る状況になったが、さらに首都圏住民を含む国民に遙かに悲惨で大規模な事態も起こりえた。福島第一原発が本州の東海岸にあり、風向の大部分が東風で雨が少なかったのは「不幸中の幸運」としかいいようがない。

○もし4号機などの使用済み燃料貯蔵プールが地震や爆発などで破壊されていたら、プルトニウムを含む膨大な放射性物質が放出されていた可能性が高いといわれる[16]。元来、貯蔵プールでは燃料が露出しており(日常は見学できる程オープンな状態)、密閉された炉心と比べると危険性が高い。

図表2に福島第一原発に生じた主な内容を表にまとめておく。

図表2 福島第一原発とその事故の概要

	出力 (万kw)	メーカー	運転状況	海拔	スクラム	燃料位置・炉心状態	圧力容器・格納容器	事故内容
1号機	46	GE	運転中	10	成功	炉心・メルトダウン	高温高熱で圧力容器損傷・格納容器不調	水素爆発
2号機	78	GE/東芝	運転中	10	成功	炉心・メルトダウン	高温高熱で圧力容器損傷・格納容器不調	大量の放射性物質放出・爆発不明
3号機	78	東芝	運転中	10	成功	炉心・メルトダウン	高温高熱で圧力容器損傷・格納容器不調	水素爆発
4号機	78	東芝	定検中	10	-	燃料プール	-	3号機からの水素で爆発
5号機	78	東芝	定検中	13	-	炉心	-	炉心・プールが一時加熱
6号機	110	GE/東芝	定検中	13	-	炉心	-	炉心・プールが一時加熱

注1)「海拔」は主要建物エリアの海拔を表す。

注2)地震の一時間後に敷地は冠水。想定されていた津波は6.1m(建設時は3.1m)。3月11日の津波は15.5mで福島第一原発敷地全域が浸水。1号機には2000tの海水が流入した。予備のディーゼル発電機6機の内、5機使用不能。配電盤・非常用電池も使用不能になった

注3)発電所敷地は震度6強。送電塔も倒壊。

注4)大前[9]他を参考に作成。

事故の概要はつぎのとおりである(参考:淵上他[13],大前[9])。4つの原子炉において事故が同時進行したことも事故拡大の原因となった。地下にあった大量の各種配電盤(高圧電源盤・低圧動力用電源盤等)の大部分が海水で故障したことは、事故拡大の最重要の要因の一つであった。

○1号機(稼働中)の事故

3月11日14時46分地震が発生し、その50分後には津波が発電所を襲った。外部電源、非常用ディーゼル発電機、電池、配電盤がすべて使用不能になった。最初、IC(非常用復水器)は自動起動したが直流電源喪失で機能が失われた(自動的にバルブが閉まった)。免震重要棟側ではICの

動作が継続され冷却が行われていると考えていた。SR 弁を開くことやベント実施に手間取り、海水注水が遅れた。3月11日の夜には炉心溶融が始まった。12日15時36分に4つの原発のうち1号機が最初に水素爆発した。水素は、圧力容器、格納容器から放射能とともに最上階（5階）に蓄積し爆発した。

○2号機（稼働中）の事故

外部電源、非常用ディーゼル発電機、電池、配電盤がすべて使用不能になった。RCIC（原子炉隔離時冷却系）は70時間動作していたが、自然停止した。ベントと注水の準備を行っていたが、3号機爆発の余波を受けて、ベント弁が故障した。1号機水素爆発の余波で電源車、消防車が損壊した。圧力容器、格納容器の温度と圧力が上昇したが、爆発したかどうかは不明である。圧力容器、格納容器に穴が開き、1-3号機の3つの炉のうち、最大の放射性物質が噴出した。

○3号機（稼働中）の事故

外部電源、非常用ディーゼル発電機、電池、配電盤がすべて使用不能になった。全電源喪失後 RCIC は起動したが20時間後に自動停止した。その後、HPCI（高圧注水系）が自動起動したが、発電所側は問題があると判断したため停止させた。圧力容器を保護する SR 弁は電池故障のために動作しなかった。炉心は溶融し最上階が水素爆発を起こした。

○4号機（定検中）の事故

外部電源、非常用ディーゼル発電機、電池、配電盤がすべて使用不能になった。定期点検中であり原子炉は稼働していなかったが3号機と共通の排気塔へのダクト（逆流防止弁なし）からの水素流入により最上階が水素爆発した。燃料貯蔵プールは危険な状態であったが危機は回避されその後プールの補強工事も行われた。

○5・6号機（定検中）

定期点検中であった。高所にありかろうじて残っていた1基の空冷式ディーゼル発電機により、交流電源、直流電源が供給され、冷温停止に成功し、水素爆発を免れた。

福島第一原発事故は、原子力安全委員会委員長斑目氏がいうように人災だが[10]、それには、初動対応の失敗、原発設備や組織などシステム上の失敗の2つの側面がある。しばしば、前者の失敗が話題になることが多いが、原発設備やその設計思想に問題があり、その背景には、東電・官庁などの組織に問題があることを考えれば、同じ人災でも「原発設備や組織などシステム上の戦略的失敗」に第一の原因があると考えた方が妥当であり、その方が今後の原子力政策上にとっても意味がある。技術的システムや組織体制が不備な中で、現地、東電、官庁もなすすべがなかったというのが正しいと考える。

3.3 福島第一原発事故における基本的問題点と失敗の原因

3.3.1 事故時の対応と事故の分岐点

この節では主に本稿の結論に関わる内容を述べる。社会で利用されているすべてのシステムは大小にかかわらず日頃は安定的に運転されている。そうでないシステムは社会の中では利用できないから当然のことである。多くの技術者によれば、「システム・機械・設備はだましだまし動かす」といわれる。だがそれは本質的な危険性がない範囲のことである。システムを取り巻く状況が大きく悪化したとき、事故は少数の要素の動作が分岐点になって連鎖反動的に拡大する。時には、システムを取り巻く状況が悪化しなくとも、操作ミス等で事故が連鎖反動的に拡大することもある。事故時の対応としては、その分岐点となる事象を見極め、適切な対応を取ることが重要である（チェルノブイリ[22]・TMI[28]）。時には事故拡大の分岐点となる事象を正しく見極めることが困難な場合もある。

福島第一原発事故の第一の要因は巨大な津波であり、第二の要因はそれに対する十分な防護システムを構築してこなかったことである。それに対して事故時の対応（第三要因）は、失敗ばかりであったとはいえ、福島第一原発は想定外の浸水などにきわめて脆弱であった以上、前二者を上回る重要な要因ではないと考えるべきである。もともと緊急時には国家も現場もあらゆる組織が不十分な対応しかできないと考えることが必要である。そのように考えることがすべてのシステムの安全性を確保する上で重要なことと考える。

福島第一原発では炉心溶融が起こったが、その原理はつぎのとおりである。原子炉が制御棒挿入により連鎖反応が停止しても直後には、運転によって生じた多種多様な核分裂生成物質の崩壊にともなって定常運転時の10%の熱を出している（岡本[11],p.34）。1時間後には1%に下がるがそれでも急速な冷却が必要である。冷却がなければ数時間後には炉心は溶融始める。

圧力容器が70気圧を超えるとSR弁が開き爆発・破壊を避ける。その際に弁が開かなくとも圧力容器から水蒸気などが大規模に漏れた場合には、格納容器のベント弁を開け圧力を下げることになっている。BWRの圧力容器は100気圧程度にも耐えられるとされてる。また直ちに爆発しなくとも内部圧力のために、炉心に冷却水を送ることが困難になる。福島第一原発では、圧力容器や格納容器が圧力や温度のために小規模に壊れ、小さな流出通路（ひび割れ・穴など）が発生し、水素が最上階に蓄積し爆発したものと考えられている。意外なことに今回の事故を見る限り、格納容器は炉内の放射性物質を閉じ込める性能が不足しており、設計上の失敗ともいえるが、それが格納容器の爆発を防いだ面もある。

原子炉のタイプがまったく異なるが、チェルノブイリ原発事故では水蒸気爆発が生じており、福島第1でもその可能性がTVなどで報じられたこともある。圧力容器や格納

容器が爆発するような事故が生ずれば、今回の水素爆発をはるかに越える被害が生ずる可能性がある。圧力容器内のプルトニウム等が飛散すれば恐るべき事故の可能性もある。

以下では、まず事故時における対応について個別的に列挙しつつその評価を行い、なにが大きな事故拡大の分岐点であったかを検討する。

○地震・津波の予測

3.11 以前における地震や津波の予測は「ひかえめな想定を発表」をするというのが通例であったように思える。このような理由の本質は、「社会に心配を与えたくない」というようなことより「対策コストの無制限の拡大」を恐れるあまりと思える。多くの災害予測や訓練が常に「ひかえめの予定調和的シナリオ」を前提になされている。シナリオは悲観シナリオから楽観シナリオまで複数のシナリオを用意すべきである。

3.11 以後の津波などの予測は一転して「ひかえめでない発表」が中心になっているが、それが予測の関係者の責任逃れのシナリオというニュアンスも免れない。ただし、3.11 以前よりは前進といえよう。

○緊急停止（スクラム）

福島第一原発の事故時に対応はすべてが失敗したわけでない。成功と失敗が入り交じる。稼働中の 1-3 号機は制御棒挿入によるスクラム（制御棒挿入による緊急停止）は成功した。これは最も重要なことである。4-6 号機は稼働中でなかったのでこの問題はなかった。だが一方、震度 7 以上の巨大地震があり燃料棒あるいはその周辺に変形などが生ずれば、スクラムがいつも成功するとは保証できない。

○電源車の確保と配電盤の水没

津波で原発に全電源喪失が起こったので、現地、東電、保安院、官邸は、必死になって電源車を確保する対応をおこなったが、「ケーブルが足りない」、「接続口が合わない」、そして決定的だったのは配電盤（電源盤）が水没・故障したために、原発内の電気系統が使用できない状態にあったために、電源をつないでも各種機器が動かないということであった。

混乱の中で電源車を集める作業は大変な作業であったが、電源を回復するのに事故後発生後 6 時間もかかってしまった。多くの関係者が、電源が回復すればなんとかなると思っていたといわれる。しかし電気系の技術者から見れば、配電盤が導通性の高い海水につかれれば利用できないことは明白だった。これは現地や東電・官邸などの初動の失敗でなく、配電盤を地下においたという戦略的失敗であった。

○予備ディーゼル発電機・電池の冠水、燃料タンクの流失・送電塔の倒壊・建屋の入口破損

ディーゼル発電機は津波到達以前は正常に起動し、原子炉を冷却するための各種冷却系も作動した（大前[9],p.57）。

全電源喪失につながるこれらの設備の破損は、津波が想定外であったということよりは、その構造や考え方に問題があったといえよう。防波堤のかさ上げのように、コスト的に大きな問題であったとは思えないが、柔軟に意思決定をし、危険を取り除くという柔軟な判断をできなかった組織やその文化に問題があったといえよう。

○IC（非常用復水器）の役割

これは福島第一原発 1 号機に付属している設備である。IC は原子炉で発生した蒸気の水にして原子炉に戻し、原子炉の水位を保ち、冷却を継続させるシステムである。IC の特徴は「電力（動力としての電力）」がなくとも自然循環で動作することができる。その動作可能時間は 8 時間程度といわれる。この 8 時間以内に電源を回復することができれば、炉を安定化できる可能性がある（8 時間後では溶融は生じている）。

津波到達以前においては非常用電源が正常に起動したので IC は正常に動作したが、電源が停止すると弁が閉じる構造になっているので全電源喪失時には機能を失った。福島第 1 原発では、IC は 3 度にわたる自動起動・手動起動を繰り返したが（園山[15]）、免震重要棟では、通信システムの故障のために、正常に動作しているものと誤解した。もし IC が正常に動いていれば 8 時間程度は時間が稼げたことになる。実際は全電源喪失の後、約 4 時間で炉心の損傷が始まったといわれる。これは福島第一事故の最も大きい分岐点であった。この背景には、電源喪失時には動作しない（電気以外にも圧縮空気が必要：岡本[11],p.36）というシステム構造に問題があったことになり、現地の対応では困難なことであったと思われる。

福島第一原発 1 号機事故の分岐点となった重要な要素は IC であるという主張もある。IC がどのように機能したか、あるいはその動作については意見が分かれている。

○RCIC（原子炉隔離時冷却系）・HPCI（高圧注水系）の役割

1 号機には IC がついているが、2-4 号機には RCIC が用意されていた。その動きは不安定であった。事故のはじめには自動的に立ち上がったが、途中で原因不明の理由により停止した。RCIC は交流電源喪失の下でも、原子炉の蒸気で少なくとも 8-20 時間程度は動作するが、その動作には直流電源が必要であり、2 号機では数十時間動作後に操作不能になった（淵上他[13],p.24） HPCI は 1-6 号機に設置されていた炉心高圧時も注水可能な非常用の重要な冷却システムであり、3 号機では動作した（淵上他[13],p.25）。これらのシステムは基本的に水の循環のみを行うために、炉心で発生する熱を除去できなければ温度が上昇するので、最終的には外部からの注水・冷却が必要になる。

○ベントの失敗

ベントの主な機能は発生した高圧による格納容器の爆発を防ぐことが第一目的であるが、今回は外部からの低圧注水を行うためでもあった。12 日午前 0 時には東電ではべ

ントを決定したが、官邸の意思決定は1時30分、公表が3時5分である。遅れた理由の一つには、地元への待避指示（3km以内は他所への退避、10km以内は屋内退避）の連絡を行っていたことが理由といわれる。しかし、ベントは、全電源喪失のために電動弁が動かず直ちには始まらなかった。手動による操作はマニュアルに記載されていなかったため、設計図から調査を始め、暗闇のなかで作業を行わざるを得なかった。すでに発電所の近傍では線量が非常に高まっていた。熱のために炉心損傷が進み大量の水素や水蒸気が発生していたものと思われる。官邸は待ちきれなくなり6時50分には東電に対してベント実施命令を発し、首相は原発の現地に飛び、原発側が決死隊を送るとの発言で総理は了承し帰京したが、3月12日15時36分には1号機が水素爆発をした。目的は異なるがベントは遅すぎた。

ベントには排気塔に直接行うドライウエル（D/W）ベントとサプレッションチャンバー内の水により放射能を除きながら行うウェットウエルベントがある（淵上他[13],p.190-191）。福島第1原発には排気塔の前に専用のフィルタがないので、地域への危険性がある。その意味でベント実施は最後の手段であったが、それも効果がなかった。フィルタがあったとしても水素爆発はさけられなかったかもしれないが、そのような設計は戦略的失敗であった。

○免震重要棟

東電柏崎刈羽原発では、中越地震(2004)で震度6強の地震に襲われ、原子炉本体以外では大きく損壊した場所が発生したが、それを受けて、2010年には福島原発にも免震重要棟が建設されたが、福島原発の事故は、これがなければより困難な状況になっていたと思われる。免震重要棟は今回の事態で大きく役に立った。免震重要棟にいた多くの関係者の努力と活躍は、消防隊、自衛隊の活躍とともによく知られていることである。

一方、他の原発において、海岸寄りのかなり近い場所に免震重要棟がある場合も見受けられ、津波の規模によっては困難な状況が生まれる可能性もある。

○オフサイトセンター

オフサイトセンターは1999年のJCO事故を契機に設置された施設で、災害時には、国、地方自治体、電力会社などによる住民の避難対策などに関して迅速な対応の中核となる施設である。全国には20カ所あり、原発から20km以内に設置されているが、福島第一原発事故では、地震による停電、非常用ディーゼル発電機の故障、放射線量の上昇（放射性物質を防ぐ設備が不十分）などで機能しなくなっていた。

○海水注水・淡水注水

班目委員長は、事故の早い段階で淡水、それがなければ海水の注入を主張していた（福山[12],p.83）。当初、東電側では、海水注入で炉が永久に利用できなくなることを恐れたことは間違いないが、すでにそのような事態ではなくなっていた。官邸では一時、海水注入による再臨界が話題

になったといわれるが、これは混乱の中の一時的騒動にすぎない（官邸側が班目委員長の発言を誤解したといわれる）。

○連絡通信体勢

福島第一原発事故において、連絡通信体勢が悪かったことは広く知られており多くの出版物で論じられている。事故拡大を阻止できなかった原因の一つとして挙げられている。「通信」の問題はやや技術的な面があるが、連絡体制は組織のより重大な問題である。

緊急宣言も大幅におくれたが、「原発・東電本社→安全保安院→官邸→緊急事態宣言・TV発表」に何時間もかかっている。その理由は、関係組織が、情報の確認・組織内手続きに標準的ともいえる手順をとったせいである。これは組織の構造と硬直性の問題である。非常時にはピラミッド型組織よりも米軍も使用するネットワーク型組織の方が役に立つ。これは初動の失敗といえよう。

「通信」関係では、官邸では、機密保護のために、携帯が使えない部屋で少数の卓上電話を使用しながら、総理を含む上層部が緊急対応を行っていた。原発では、地方自治体への連絡を古典的なFAXで行っていたのは信じがたいことである。他の災害連絡でもFAXが使用されている。

○東電撤退問題

官邸では、一時、東電が現地から全面撤退するとの見方があり、菅首相はそれを強く拒否した（福山[12],p.102）。東電はその後、全面撤退の考えがなかったことを主張した（[6]他）。だがこれは事後的な騒動に近い。

○データベースの不備

福島第一原発は古い設備であることも関係するであろうが、官邸には原発の設計図がなかったために事態の検討や意思決定への対応ができなかったという。だが容易に想像できるように必要なすべての情報を紙で保存しておくのは無理であり、一方はデジタル化すると情報流失の危険性がある。この点はたしかに問題である（岡本[11]）。事故以前には原子力技術に関する情報が十分に流布していたとはいえないが、最終的にはかなりの詳細情報がメディアに流れたことが心配されている。しかし本格的テロを計画する側にとっては原発関連の専門情報の入手はそれほどむずかしいものではない。むしろこれは偶発的非本格的テロを心配しての考えと思われる。情報流出はすでに過去形であり、すでにインターネット上には以前にはなかった膨大かつ高度な情報が流れている。

○SPEEDI情報の利用失敗

日本政府は、放射性物質の拡散範囲からでなく、避難可能性から30kmの避難範囲を決めた。避難範囲を拡大すると、交通渋滞のために原発に近い住民ほど野外にとどまる可能性が高いという理由である（福山[12],p.59）。これには一定の正当性がある。米軍は80kmを避難範囲にしたが、日本政府の批判により、後日政治的に撤回した。

避難範囲は30km円状に設定され、当時からその設定の仕方に疑問がもたれたが、風況は時に激しく変わる可能性

もあり、円状の設定は著しく不適切とはいえない。むしろ30km という範囲が状況によっては問題である。常識的には80km 程度の避難の方が自然である。しかし風が強ければ拡散範囲は容易にそれを超える範囲に拡散する。

拡散予測システム (SPEED) の情報が有効に使用されなかったことが非難されたが(例: 岡本 [11], p.119)、SPEEDI の情報は風況が変動する状況ではほとんど役に立たない可能性があることが容易に想像できる。むしろ気象庁の一般的情報から放射性物質の拡散を素朴な手法で推定する方が遙かに効率的である。

福島第一原発ではほとんどすべての電源がなくなったので、原子炉からのデータの送信が止まり、回線も断線してしまい、その結果、原子力安全保安院傘下の(独)原子力安全基盤機構(JNES)が運用していた緊急時対策支援システム(ERSS)からの放射源情報がSPEEDIに送られず、SPEEDIでは「単位放出量(毎時1ベクレル)」の計算しか行えなかった。これでは放射性物質の放出が「いつからいつまで、どのくらいの濃さで」ということは全く反映されない。このようなことがなければ、SPEEDIの情報は有効に利用された面はあるが、事故の規模や風況・雨の状況ではSPEEDIからの情報を待っているのは前述のように遅い可能性もある。

○事故対策の2面性

原理的に危険性を持つ原発の技術はある意味では「安全技術の塊」である。ところが安全技術には2面性を持つ場合もある。Aという側面に対応すればBの側面で事故を起こしやすいという意味での2面性である。たとえば、ICは電源喪失時に弁が自動的に遮断されることになっていたのはその2面性の例である。2号機の経験からいえば水素爆発を防ぐには、建屋の上層階等に電源喪失時に自動的に大きく開口する通風口などの設置があれば、水素爆発は回避できたかもしれない。一方、それが原因で他の問題を起こす可能性もある。

個別の問題点をリストしてきたが、執筆者(齋藤)は、福島第一原発事故において、個別の「事故対応上の失敗」を過大に重視する考えは適切でないと考える。15.5mの津波に対しては、当時の備えでは、メルトダウンを防げる可能性はほとんどなかったと考えるからである。一言で言えば十分な備えがなかったにすぎない。水素爆発に至るプロセスには多数の要素が複雑に絡むが、事故の理由はシンプルに考えるべきである(佐藤[27], p.47)。小さい対応の失敗は多々あったが、それらを重視することは、いわば事故前に構築された既存のシステムの正当性を前提にし、事故の原因の多くを当時における関係者の対応の失敗に帰すことになり建設的でないと考えるからである。初動において適切な行動をとれなかった背景には、その時点で存在したシステム・組織・制度・技術に大きな問題点や戦略的失敗があったと考える方が妥当である。将来の事故の可能性を

考えるならば、いわば想定外を少なくするようなシステム構築・システム改善こそが重要と考える。原発に関する大小事故は常にポアソン分布的に発生しており、将来の「第2の福島」もあり得ないことではない。最終的改善には脱原発も手段の一つに含める必要があろう。

3.3.2 原発に関わる戦略的失敗と問題点

戦略的失敗とは、事故以前に用意された技術・設備・組織・制度を含めてシステム自体が失敗の原因と見なす考えであり[29]、いわば「十分検討した結果が失敗に終わった」ともいえるような場合である。初動における判断ミスのような失敗は戦略的失敗でないが、初動において適切な行動をとれないような構造があれば、それは戦略的失敗である。戦略的失敗は、組み込まれた構造による失敗である。福島第一事故では多数の戦略的失敗が関係していると思われる。

原発に対しては、その導入自身が戦略的失敗であるという原発反対派の見解もあろう。それも一定の正しさはある。ドイツのように脱原発を図る国はそのような視点に基づく。本稿はそこまで踏み込まずに、原発技術や設備あるいはそれに関わるシステム・組織に問題があったという視点で論じている。

また当然ながら、事故へ対応するためには設備・ハードシステムの準備だけでは不十分なことはあきらかである。ここでは組織や通信システムを含むソフトなシステムの役割も含める必要がある。

まず戦略的失敗には、コスト的な側面がある。すでに述べたようにコスト的に対応可能な事故を「事故」と想定しがちである。それは、組織の硬直性も関係するが、利益を第一基準と考える資本主義下の企業であれば、ある意味では自然な行動かもしれない。しかしながら、原発のような巨大システムは、事故によって生ずるコストも非常に大きい。福島事故以後は、原発の安全コストに対する考え方が大きく変わっている。浜岡原発では千数百億円かけて防波壁を築きつつあるが、最近の津波に対する想定の見直しにより、防波壁の再かさ上げが必要になっている。

コスト的制約は、時には想定・設計の失敗につながる。理論的には想定されていたものの、現実には原発の冷却機能が機能しなくなるような全電源喪失を想定しておらず、そのために必要なシステムや設備を用意していなかった。また電力会社や規制官庁が、設計や想定を見直していく柔軟性に欠けた面も大きい。

事故への初動の対策がうまくいかなくとも、それをカバーする2次、3次、4次、5次の補助的手段が十分でないことも事故の拡大につながる可能性が多い。日本の原発では、想定外の状況が起こっても原子炉が暴走し最悪の状況にならないような多重の補助的手段を十分に講じていなかったといえよう。たとえば、今から思えば、電池が水没しても予備の電池を近隣に十分に用意しておくことはコスト的にも容易なことである。原発へ送電する鉄塔と送電線につい

でも、いまから思えば安全度の高い地中ケーブルなどがあれば、電源喪失は防げた。しかし同時に配電盤水没に関する補助的手段がなければ、それらは生きてこない。

事故対策には、前述のように二面性があるので、ある対策が事故を助長するような場合がある。そのような二面性を十分に考慮した安全対策が必要である。

原発のリスクを評価したかなり昔のラスムッセン報告では、原発が過酷事故を引き起こす確率を評価したが、福島事故の教訓からいえば、その種の評価は、同時発生確率を十分に考慮しなかったともいえる。元来、同時発生確率はその評価を行うことが非常にむずかしい。確率が非常に小さい事象が起こる可能性を評価することも容易でない。自然現象の発生も、それに伴って生ずる機械装置の反応も、原発運転員の行動も、より広くいえば、国家中枢部の混乱も、事故の拡大の大きな要因になる。原発事故に対しては、そのリスクの確率的計算はほとんど意味がないように思える。そのような確率的に評価困難な手法よりも、原発の事故に対して、別の視点の方が望ましいのかもしれない。政府事故調の委員であった、失敗学の畑村氏は「理論的に生ずる可能性のある事故はいつかは発生する」と考えて行動する必要があるとたびたび述べているが、巨大システムの事故ではこのような視点の方が望ましいかもしれない。「神（正しくは悪魔）は最も弱い部分から攻めてくる」という考えが必要である。本稿では、これらに代わる基準として、すこし物騒な内容だが、「本格的テロ基準」（単に「テロ基準」とよぶ）を導入したい。その考え方はつぎのようなものである。「原発を攻撃・破壊することを目指す一定規模の知的集団が一定期間に専門的知識を学習し、十分な攻撃用具を準備して、原発にテロを行うと想定し、それに耐えるように原発を設計する」という基準である。一定規模の集団とは、たとえば「20名程度の集団」を考えれば十分であろう。一定の学習期間とは「1年程度の期間」を考えれば十分であろう。その程度の知識と武力を用意すれば、原発を破壊しうるからである。もちろんこのようなテロよりも厳しい「戦争」もありうる。原発は元来、戦争を前提としていない「平和の産物」なので、「戦争基準」まで考えると議論は単純化されすぎてしまうので、ここでは「戦争基準」は議論の対象としない。

このような（本格的な）テロ基準に対して、現在の原発はほとんど耐えられないのは明らかである。テロ基準に対して原発が対応できるようにするには、配電盤、送電線、ディーゼル発電機、各種冷却装置、各種弁、配管、配電線、淡水貯蔵、予備通路、建屋の構築方法も2重、3重あるいはそれ以上の安全性が求められねばならない。テロ基準は想定外を考える「思考実験」である。日本の原発はテロに対してほとんど無防備だが、ここではそれそのものを問題視しているのではなく、最も弱いところから攻めてくる「神の代理人としてのテロを想定し、それに耐えられる原発であれば安心できる」という表現のための分かりやすい道具

として「テロ基準」を説明しているに過ぎない。このような「テロ基準」ではその確率を計算することは無意味である。そして確率が小さいから、事故のリスクが小さいというような言い方もできないことになる。なぜこのような基準を考えたかという、今後の原発では「東日本大震災」程度の災害に耐えられることが基準となると思われるが、具体的事例をベースにするとそれをカバーする最小限の対策となる可能性があることによる。安全性を確保するにはより不確定性のある事態も考慮する必要があると思われる。

さて今回の事故で、官邸、原子力安全委員会、原子力保安院、東電本部、現地発電所、地方自治体、地域住民の連絡体勢の不備は明確になった。一言で言えば、大事故とはいえ、国家中枢の連絡体勢が混乱したのは大きな問題であり大きな戦略的失敗である。

連絡通信体勢以上に問題なのは、事故時における国家中枢部の「混乱（対立・不信）を含む」の発生である。一定の混乱に陥ることは、このような大事故の場合はやむを得ないといえるが、今回の大混乱は、国家上層部の体勢に疑問を抱かせる程であった。その理由として、連絡体勢の不備、連絡通信網の不備、知識の不備、意思決定体勢の不備など限らない要素が挙げられるが、それが組織・個人間の対立不信の増大につながり、状況をさらに悪化させた可能性がある。特に原子力安全保安院の行動は問題である。

福島第一原発事故では、官邸、原子力安全保安院、原子力安全委員会（斑目委員長）の国家中枢部と東電に大きな混乱があったが、その第一の理由は事故が想定外で十分な準備がなかった、つまり原発に対する安全性の信仰があったことである。より正確に言えば、中小規模の原発事故は想定されていたが、大規模事故は想定外であったことによる。そのための十分な体勢（システム）も知識も訓練も十分でなかった。

事故時には、総理大臣・政治家、原子力安全委員会（斑目委員長）、安全保安院、東電（本部、現地）の間に、情報不足があり、激しい意見の対立さえあった。この辺の事情は、福山氏[12]や岡本氏[11]の著作の中で詳しく述べられている。官邸側は、原発がメルトダウンする中で、原子力安全保安院（そのスタッフと院長）、斑目委員長、より広くは原子力技術者に対する不信が拡大した（福山[12],p.34）。原子力保安院院長は首相の前から姿を消し、保安院関係者も首相に協力的でなくなったといわれる。院長が菅首相に激しく叱責されたことに原因があるのかもしれない（福山[12]）。官邸、原子力安全委員長、原子力安全保安院、東電上層部間の相互不信は、原発事故における本質的失敗、戦略的失敗の中にカウントされよう。

福島原発事故に関する多くの報告では、事故時における菅総理の行動に対する批判も多い。「首相が電池の確保など細かいことに口を出しすぎる」、「発言が厳しく強圧的である」などの批判がある。しかし菅総理も必死だった。菅首相は放射能により首都圏崩壊や3000万人の退避などまで

恐れたといえる。たしかに首相の行動や管理能力には問題もあったが炉心溶融という非常事態のなかで、誰が首相であっても、巨大大事故への備えがなかった以上、同じだったのかもしれない。国家のトップに近い人々とはいえ、「人間」であり、混乱、不信、対立から免れないことは事実である。また菅首相に対する批判には政治的要因も含まれている。

事故時には、東電・政府とも大混乱に陥り、情報の疎通もままならない状況になっていたが、本稿では、事故時における情報の不足や意思決定のミスが事故の本質ではないと考える。本質は、必要なシステムがなかったことによる。国家として、原発大事故への事前の備えが全くないに等しいことが最大の問題である。これこそが本質的な問題である。今後はこのような国家中枢部の混乱は改善あるいは解消されていくものと期待したい。

もう一つの戦略的失敗といえるものを挙げておく。それは組織の硬直性、あるいは形式主義の失敗ともいえるもので、原発の安全設計に当たり存在した東京電力や官庁における行動様式の問題である。

近代社会の根幹の一つは法治主義制度である。法によって個人、組織、社会を支配する。その最上部にあるのが憲法をはじめとした法である。法は社会の原理・制御装置である以上、一片の法ができれば津々浦々まで貫徹することも多い。特に公的機関・大企業ではそうである。しかし一つの法あるいはもっと広くいえばルールが成功する場合もあれば問題を起こす場合もある。広い意味で法を、組織の最上位の意思決定原理とし、行動の根幹をそれらに従うことを、ここでは便宜的に本論文内に限り、やや安易な名称だが、「形式主義」と名づけよう。福島第一事故でも形式主義が事故の遠因、つまり戦略的失敗の原因になった。

たとえば、原子炉の設置許可に関わる1970年の安全設計審査指針には「全電源喪失」に関わる規程はなく、1977年の原子力委員会による安全設計審査指針でも「長時間にわたる電源喪失は考慮する必要がない」旨、書かれている（淵上他[13].p.122-123）。長時間とは「30分以上」と解釈する習慣が取られてきたとのことである（淵上他[13].p.122）。このような規程を前提に行動するのは形式主義であり、戦略的失敗である。このような指針が長い間生きてきたのは、一言で言えば、「社会の原発への不安」と「原発のコスト上昇」を回避するためであろう。形式主義は平和時・安定時にはよく機能するが非常事態には弱い。

もう一つの形式主義的失敗は、事故後広く問題視されている「津波の高さ」の予測に関する失敗であろう。この背景にも当然、「社会の原発への不安」と「コスト上昇」の問題があろう。

一方、法やルールに基づく行動や意思決定そのものを否定することは近代社会ではありえない。それゆえ、「安全性に関して不断の努力を求めよう『補助原則』』が必要なかもしれない。しかしその背景には組織や社会の文化があり、今回の事故をきっかけにそれさえも変えていく社会

的努力が必要であろう。

東京電力が「コスト改善や稼働率維持に集中しすぎて、大規模な事故の可能性を組織的に十分に検討しなかった」といわれるが、その背景には、柔軟な意思決定を行いきにくい形式主義的組織であったことは事実であろう。東京電力は、大規模な設備や大量の燃料の購入企業であり、電気という重要な生産物の供給者であり、また企業規模も巨大であり、それゆえ大きな社会的権力を持っている。それが形式主義をもたらし、組織における意思決定の硬直性を引き起こしていたことは容易に理解できる。電力会社によっては体質に差があり、また程度の差があるが、地方自治体以上に「お役所の体質」を持っているといわれる。そのような組織は、巨大な原発の建設には向いているが、非常時の対応や細やかな安全文化には向いていない面がある。福島第1原発の場合のように、敷地に海水が大量に侵入するような大津波が発生すれば、おそらく東京電力以外の原発でも同様な可能性が生じたであろう。原発を電力会社から切り離して、国有企業に移管するという考えもあるが、原発の運営や安全文化がより硬直的になる危険性もある。それが次の戦略的失敗につながる可能性もある。組織の体質と行動の関係は興味ある研究テーマであり、実証分析が必要である。

3.4. 福島第一事故以後の安全思想

福島第一原発事故以後、原発に一定の理解を示す人々も原発の安全性に対する見方は非常に厳しくなっている。今後の日本の原子力政策動向を大胆に予測すればつぎのようになる。

(1) 社会的には、反原発派、脱原発派が大きな社会的地位を占めていくことになるが、小資源国日本の日本経済を考えると原子力発電が直ちに消えることはないだろう。多くの世論調査でも原発維持派も相当なウエイトを占めている。それは多くの人々が自分の仕事と会社の動向を、そしてその背景として経済動向やエネルギー供給を心配することと、またすでに大量の原発が存在することによる。既存の原発は、現在より厳しい安全規制のもとで、徐々に稼働量を増大させていきそして徐々に廃止されていくであろう。

(2) 日本では、新規の原発建設は今後数十年以上にわたって行われぬ可能性が高い。それはアメリカ TMI の事故の後、約 30 年にわたり原発が建設されなかったのと同じである。原発が建設されない理由は、安全コストの増大、原発に対する厳しい意見の 2 つの理由がある。

(3) 今後、日本の原発の安全性に対する技術や考え方が大きく進展するであろう。それは TMI 後のアメリカと同様である。

(4) 原発は稼働させなければ安全ということはない。既存原発の不稼働は電力会社の経理を圧迫し、安全対策コストに制約を課す可能性がある。それは間接的に原発のリス

クを高める。燃料棒が炉や燃料貯蔵プールにある間、運転停止の時期によっては、水素爆発やメルトダウンの可能性はある。全電源停止が起こらないように、原発への送電線の拡充・改良、ディーゼル発電機、電池の拡充・改良、電源盤の改良、原子炉周りの配管、防波堤の拡充、給水設備、排水貯蔵設備、通路の改善、建屋の改善、中央制御室の改善、重要免震棟の改善などの限りない改善要素がある。まずはこれらが必要である。

(5) 昔からよく知られていたように核燃料サイクルはコストが高くまた高速増殖炉もコスト的にも安全性の面からもその可能性が失われている。使用済み燃料の保管場所すら困難になりつつある。

(6) 原発は稼働すれば、置き場のない使用済み燃料が増大し、稼働しなければ安全対策用の費用が捻出できない。そしてどのようなケースでも多大な費用が発生する。

(7) 原発停止はエネルギー供給面での脆弱性を高める。原子力技術は、化石燃料のしがらみから脱する夢の技術であったが、想像以上に複雑かつやっかいな技術であり、完全な安全性などは期待できない。

(8) 日本では原発のテロ対策は不十分な状況にある。きわめて小規模なテロに対しては一定の防衛方法はあるが、大規模な軍事的攻撃（巡航ミサイルによる攻撃等）に対しては原発はなすべもない。原発を所有することは未知の敵国に武器を与えるに等しい。その意味で原発は「平和の産物」であることは間違いない。

福島第一事故以後では、現状よりはるかに高い安全基準が求められる。今後は、常識的には、図表3のA-までは当然求められる。前述の「テロ基準」を表に組み込めば、Aのようになろう。このような原発は、コスト的には成立しえない可能性もあるが、少なくとも、安全な原発を考える一つの方法になろう。それで「解」がなければ、原発廃止という選択が妥当である。

図表3 福島第一原発事故以後の安全基準の分類

記号	考え方	補足
C	従来の安全基準(東日本大震災以前)	東日本大震災以後は新設・既設ともこの水準に止まることは社会的に許容されない。
B	コスト的に原発が競争力を持つ範囲で安全性を改善する。	コストの中に核燃料サイクル・最終処分費用、増大した保険コストも含めると安全対策費が狭まることになる。
A-	東日本大震災レベルの地震・津波に耐えられる安全基準	社会的には日本では、今後の原発のこの基準を満たすことが求められる。
A	平時に起こりうる最大限の危険性に対して耐えられる安全基準	大規模なテロ・部分的な戦争にも耐えられる基準。世界中にこの基準を満たす原発は存在しない。
A+	戦争時に起こりうる危険性に対応する安全性基準	現実の技術としては、これに耐えられる地上原発技術があるかどうか疑問である。

注) 上位の基準は下位の基準の内容を含むものとする。つまり、A は A- 以下の内容を含む。

最後に、なぜ「想定外」が発生したかについて、繰り返

返しになるが、まとめておこう。

(1) 想定外の事象が数十年単位では生じていなかった。明確な事例がなかった。一部の専門家はそれを忠告したが多数派でなかった。

(2) 想定外の事象に対する対策は非常にコストがかかる。コストがかかると、原子力技術が競争力を失う可能性がある(対石炭火力発電、対地熱発電、対特定規模電気事業者、・・・)

(3) 公的な判断ではあまり極端は想定はしない傾向がある。事例の少ない事象は想定はしない傾向にある。組織的意思決定が難しい。

(4) 大規模な組織の意思決定は硬直的である。一度決まったことは変更しにくい。他の部署の問題には口を挟まない。法を守り法を執行することが公的機関の構成員の基本的姿勢である。時には電力会社は国以上に硬直的である。

少なくとも原発は、現状よりはるかに厳しい安全基準に基づかなければ、社会の理解は得られない。福島第一の事故では 15m を超える津波を想定していなかったことが問題になった。また 15m といえども単に一つの事例であり、30m の津波もあり得る。どこまで「想定外」を考えるかには最終的解はないのかもしれない。『理論的に起こりうることは起こりえるとして、対応しなければならない』、『想定外を想定せよ』[23]という考えが必要なのであろう。日本は基本的に自然災害国であるという認識を踏まえる必要がある。日本では現実的にどのような安全基準を考えればよいのであろうか。これには明快な解はないが、明らかにリスクとコストとの問題が関係しており、リスクはただひとつではない。無資源国日本では、原発がないというのもリスクである。いわば、日本は前門の虎、後門の狼の状況に置かれている。問題は非常にむずかしい。明確シンプルな政治的判断は短中期的には限界がある。

4. 食料システムのリスク

4.1. 食料システムの変遷

人類の食料大量生産の歴史は、紀元前 5000 年頃から始まった。地域によってことなるが、この頃食料確保の手段が狩猟採集から農耕へ変化した。農耕が発達する条件の 1 つとして、地域と生産可能な動植物との関係がある。例としては、中国では、米、雑穀、豚、西ヨーロッパでは麦・エンバク、南米ではトウモロコシなどがあげられる。人類は農耕の初期から植物の品種改良を無意識のうちに行っていた。その方法とは、選抜採取・栽培である。人は、野生の植物を採取する時に自然と実の大きい物を選抜採取している。この選抜は採取の時だけでなく、栽培の時にも行われた。それは、より良い個体を種子として利用することである。この選抜の繰り返しにより、人が栽培する栽培種は、自生する野生種に比べて、人にとって都合の良い特徴

を多く持つようになった。アーモンドのように、野生種には毒があるのにも関わらず、栽培されるようになった植物がある。これにも、選抜採取が関係している。野生のアーモンドには、稀に突然変異した個体がある。この個体には、苦味のもとになるアミグダリンの生成を妨げるはたらきがある。このような個体を、偶然発見し種子を採取し栽培した。その結果、毒がなく食用にされるアーモンドが栽培されるようになった。このような、人にとって都合良い特徴を増やしていく選抜による品種改良は、現代行われている品種改良と基本的な部分は同じである（以上、ジャレド・ダイヤモンド[46]参照）。

優れた食料システムを構築できた民族・地域は、大文明や都市を築くことができた。これは、食料システムが、社会組織や軍事力の発達に大きく関係しているためである。

人類は、食料の確保を狩猟から農耕へ変えることで、単位面積当たりの産出カロリーを高めることができた。産出カロリーの増加は、人口の増加へとつながった。人口の増加は、農耕民族が、狩猟民族よりも人数面において軍事的に優位に立つことを示している。

優れた食システムを構築することで、食料の貯蔵・貯蓄が可能になる。これにより、食料生産以外の仕事に就く人が現れることになる。王族・官僚といった上流階級や、職業軍人、各種職人、商人などの誕生を可能とする。これら職業の誕生により、社会組織や文化が発達していくこととなる（ジャレド・ダイヤモンド[46]参照）。

一方では、古代においては、環境問題のために食料システムが崩壊した民族も多々あるといわれている。その後も食料システムは諸民族にさまざまな危機を与えた。アイルランドでは、1849年から4年間にわたり大規模な飢饉が起きた。この飢饉は、ジャガイモ飢饉と呼ばれ、膨大な死者と移民を発生させることとなった。飢饉の一つの原因は、植物の伝染病である。感染源となる病原菌は、メキシコに存在するものであった。それが、何らかの理由によりヨーロッパに持ち込まれた。ヨーロッパのジャガイモには、この菌に耐えられるものはなく、急速に蔓延することとなった。また、当時のアイルランドの農民は、生産性の高いジャガイモに食料を依存していた。そのため、1種の食料の生産力が下がることが大飢饉につながったのである。

中世ヨーロッパでは、気候温暖化による食料増産、そして反転して気候の寒冷化による食料システムの崩壊が、栄養不足をもたらし、それがペスト拡大の大きな原因になったといわれる。ドイツでは1/3の住民もが病死した。

歴史的に見ると、食料システムは昔も今も実は巨大なシステムであり、さまざまなリスクに遭遇している。近年は、グローバリズムにより食料システムが高度化・巨大化しており、それが何らかのリスクをもたらす可能性がある。

4.2. 食料システムの巨大化とリスク

近年、特に冷戦終結前後からの4半世紀は、グローバル

化によって様々な商品が世界中を飛び交うようになった。同様に世界各地で生産される様々な食品もまた、世界各地へ輸出されることとなった。その一方で食品のグローバル化は食料システムの巨大化を生み、近年における食中毒問題の拡大の一因となっている。食中毒問題は日常的な些細な問題としてとらえるだけでは十分でなく、背後に巨大化する食料システムのリスクがあると考えられる必要がある。

市場が拡大したことにより、生産物の増産を図る生産者は、より効率的な生産方法を模索する。例えば、畜産業であれば家畜に高カロリーの栄養素の高い飼料を食ませ、少しでも大きく育てようとしている生産者も多い。結果として、平成のある年では3万頭以上のブタの屠畜が減ったのに対し、枝肉の生産量は2千トンほど増えていることから解るように、日本では1頭当たりの肉の増産に成功しているといえよう。

しかし、よりよい飼料を与えるあまり、家畜の腸内に潜む有害菌を強化してしまったこともある。例えばトウモロコシや端肉を使用した飼料を家畜が食べると、それまで草などを食べていたころに比べ、強い胃酸が発生するようになった。その結果として大腸菌が耐酸性を会得し、O-157が誕生した。そして腸などの内臓中で菌の増殖が始まり、糞便を介して食物連鎖のサイクル内に混入する可能性がある（ポール・ロバーツ[35],p.314）。

この食中毒の発生サイクルはこの例だけに留まらず、食中毒菌に感染した家畜が飼料として処理され、他の家畜の飼料となり、それらの家畜を経由し食中毒が起こる可能性も指摘されている。また、O-157をはじめとする食中毒菌は耐酸性だけにとどまらず、耐冷性、耐熱性があり、さらにはノロウイルスなど抗生物質が効かない菌も存在し、人間の技術を菌が上回るといった状況になっている。

このように食中毒菌が強毒化傾向にあるが、世界各国はこれら食中毒菌に対して効果的な手段を講じているとは言えない。確かに HACCP（ハサップ[40]）システムを導入したことにより、食のサプライチェーンの環境は改善されつつある一方で、チェーンの隙間を縫って菌が侵入するということが十分あり得る。例えば、前述のように菌によって汚染された堆肥から、野菜に菌が付着する可能性もあり、一方で、移送時に他の食品に菌が移る可能性も有り得る。

また、菌の発生源を特定するのが難しいことから、一部生産者や流通管理業者が、積極的に防疫を行っていないという問題も浮上している。例えばアメリカでは、防疫を行っていない一因として、食肉処理場へ送る動物から病原菌を排除する義務を背負っていないことが挙げられる。しかも、O-157もサルモネラ菌も外見上は食肉の質を低下させないので、病原菌が含まれていたからといって、彼らが経済的損失を受けるといってもならない（ポール・ロバーツ[35],p.319）。法規制、意識面のどちらから見ても、積極的に防疫を行う業者が少ないのは当然である。

現在、日本では食中毒の発生件数は減少傾向にある。し

かし、患者数が増減を繰り返していることから、食中毒の原因の八割以上を占めるウイルス、菌類による食中毒の流行を抑えられるほどの対策は練られていないのではないかとと思われる。

また、アメリカでは食中毒関係の入院患者は年間 30 万人、死亡者に関しては毎年 5000 人出ているというデータもある。これは日本の入院患者数の約 7 倍(一人当たりではその半分)である。一方、米国の死亡者数の日本のそれに対する倍率ははるかに大きい数字であり、世界屈指の食肉の生産、輸出入を行っている国としては、食中毒に対する意識が根本的に違う可能性がある。

食中毒は現状では確かに、病気に対して抵抗力の弱い子供や高齢者を除けば、死に至る病であるとは言えない。しかし、菌に耐性がつき、ノロウイルスに至っては特効薬がなく、変異種も増えつつある今、より強毒性の食中毒菌、ウイルスが発生する前に対処法だけでなく、予防策も講じなければならない。

これら菌、ウイルスによる食中毒は感染力も強く前述のように、食品流通のわずかな隙間から食中毒の原因菌が入り込む恐れがある。完全に抑えるのは確かに難しいが、発生源が特定するのが難しいからこそ、また食中毒に感染した側、させた側双方に被害が大きくなる可能性があるからこそ食品・流通関係企業だけではなく、貿易協定を結ぶ国々が足並みを揃え、力を挙げてシステムとして取り組むべき問題であると考えられる。

5. あとがき

本稿で扱った巨大システムは「原子力システム」と「食料システム」の 2 つに過ぎない。原子力の方はやや詳しく論じたが後者については時間的余裕がなかったので簡単な記述に止めざるを得なかった。本格的に論ずれば興味あるテーマであると考えている。

エネルギーとしての原子力の選択の問題は、前門の虎(事故)、後門の狼の状態(エネルギー供給の脆弱性)である。本稿では、このどちらを選ぶかという問題に対する検討、特に後者に関する議論はしなかった。前者の姿があまりにも大きかったからである。技術的・専門的議論抜きに一方を選択することはできないし、またそのような検討をしても答えはないだろう。それは国家あるいは社会としての選択の問題なのかもしれない。

巨大システムのリスクは検討すれば心配の種が尽きることがない。東京などの大都市は地震による火災の危険性を孕んでいる。時期が悪ければ数十万以上の死者を出す可能性もある。かつて関東大震災では「荷車の大混雑」で被害が加速されたが、現代では可燃性・爆発性のある自動車が荷車とは比較できないレベルの災害の要因になる一方、都市の防災化は遅々として進んでいない。地震で怖いのは、地震そのものよりは「津波と火災」である。

H5N1 のようなインフルエンザは現代の高度な交通システムのもとでどのような被害をもたらすかは想像できない。これは世界的問題であるが、幸い今のところは被害は最小限に抑えられている。化学物質の製造なども大きな危険をはらんでいる。それも地震等によって引き起こされる可能性もある。

リスクの問題は、それをいかに完全に回避するかという考えより、中西氏[3]が強調するようにリスクトレードオフの問題に行き着く。どのリスクもゼロという選択は容易でない。少なくともそのように考えた方が社会全体から見れば合理的である。というよりそのように考えざるを得ない。リスクトレードオフはコストトレードオフの問題に行き着く。しかし A と B のトレードオフの問題の答えは簡単には決められないし、コストトレードオフの問題も単純な同一金額の比較の問題ではない。それらは国家や社会の選択の問題である。トレードオフという概念を持ち出すことは一つの前進だがまたそれで問題解決に十分に近づくわけではない。

参考文献

- [1] 岸田純之助 『巨大技術の安全性』 電力新報社 1987.
- [2] 中原英臣・佐川峻 『巨大科学技術が日本を破壊する』 太陽企画出版 1996.
- [3] 中西準子(聞き手:河野博子) 『リスクと向き合う』 中央公論社 2012 .
- [4] 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 『国会事故調報告書』 徳間書店 2012.
- [5] 一般財団法人日本再建イニシャティブ 『福島原発事故独立検証委員会 調査・検証報告書』 ディスカヴァー・トゥエンティワン 2012 .
- [6] 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 『政府事故調 中間・最終報告書』 メディアランド(株) 2011・2012.
- [7] 福島原子力事故調査報告書(福島原子力事故の社内調査情報) <http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/interim/index-j.html>.
- [8] 日本科学技術ジャーナリスト会議 『4つの「原発事故調」を比較・検証する 福島原発事故 13 のなぜ』 水曜社 2012.
- [9] 大前研一 『原発再稼働 最後の条件』 小学館 2012.
- [10] NHK スペシャル シリーズ原発危機 第 1 回「事故はなぜ深刻化したか」 2011.6.5
- [11] 岡本孝司 『証言 斑目春樹 原子力委員会は何を間違えたのか』 新潮社 2012.
- [12] 福山哲郎 『原発危機 官邸からの証言』 筑摩書房、2012.
- [13] 淵上正朗・笠原直人・畑村洋太郎 『福島原発で何が起こったか 政府事故調技術解説』 日刊工業新聞社 2012.

- [14] 大島堅一 『原発のコスト-エネルギー転換への視点』 岩波新書 2012.
- [15] 園山重直氏の事故解析 <http://www.ifs.tohoku.ac.jp/maru/atom/HTCRep/HTCRep.17.1.pdf>.
- [16] 『「米が懸念」極秘公電』 朝日新聞 2013.1.3 朝刊.
- [17] 核事故緊急取材班+岸本康 『検証ドキュメント 臨界事故 19 時間の教訓』 小学館 2000.
- [18] 伊藤守 『ドキュメント テレビは事故をどう伝えたのか』 平凡社 2012.
- [19] 日隅一雄・木野龍逸 『検証 福島原発事故・記者会見 東電・政府は何を隠したのか』 岩波書店 2012.
- [20] リーダーズノート編集部 『原発・放射能クライシス』 リーダーズノート出版 2011.
- [21] 藤高和信 『基本を知る 放射能と放射線』 誠文堂新光社 2011.
- [22] 七沢潔 『原発事故を問うーチェルノブイリからもんじゅへー』 岩波書店 1996.
- [23] 畑村洋太郎 『「想定外」を想定せよ！ 失敗学からの提言』 NHK 出版 2011.
- [24] 木村英昭 『検証福島原発事故 官邸の 100 時間』 岩波書店 2012.
- [25] 田中三彦 『原発はなぜ危険かー元設計技師の証言ー』 岩波新書 1990.
- [26] 柳田邦男 『「想定外」の罠 大震災と原発』 文藝春秋 2011.
- [27] 『重大事故の舞台裏』 日経 BP 社 2005.
- [28] J.サミュエル・ウォーカー (西堂紀一郎訳) 『スリーマイルアイランド』 ERC 出版 2006.
- [29] 齋藤雄志 『環境・エネルギー問題の情報構造ー意思決定の重要分岐点と戦略的失敗についてー』 専修ネットワーク & インフォメーション No.19 pp.49-58 2011.
- [30] 国立感染症研究所感染症情報センター「ノロウイルス感染症とその対応・予防」 <http://idsc.nih.go.jp/disease/norovirus/taio-a.html>.
- [31] 花王 食中毒の基礎知識「食中毒発生状況」 http://www.kao.co.jp/pro/food_poisoning/basic/generation_status.html.
- [32] 一般社団法人 UTMS 協会 「日本の交通事情」 <http://www.utms.or.jp/japanese/condi/jiko.html>.
- [33] 新千年紀における食問題の解決に向けて <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-17-t933-11.pdf>.
- [34] 食中毒死亡例等 The Rise of Food Poisoning in America, <http://www.downtoearth.org/health/general-health/rise-food-poisoning-america>, <http://www.ab.auone-net.jp/~tft/food%20born%20desease%20usa.html>.
- [35] ポール・ロバーツ (神保哲生訳) 『食の終焉』 ダイアモンド社 2012.
- [36] ヨーロッパ(2005)の患者死者 <http://www.ab.auone-net.jp/~tft/food%20born%20desease%20usa.html>.
- [37] FOOCOM.NET 白井 洋一「農と食の周辺情報」 <http://www.foocom.net/column/shirai/6748/>.
- [38] ノロウイルスの変異 <http://www3.nhk.or.jp/news/html/20121205/t10013983091000.html>.
- [39] 世界の食肉の生産と輸出入 <http://nocs.myvnc.com/study/geo/beef.htm>.
- [40] 厚生労働省「HACCP」 http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/shokuhin/haccp/index.html.
- [41] 小谷洋平 『原子力発電の利用による国富流出抑制効果の試算について』 日本エネルギー経済研究所 <http://eneken.ieej.or.jp/data/4662.pdf> 2012.
- [42] 近藤駿介 『原子力の安全性』 同文書院 1990.
- [43] 桜井淳 『原発事故の科学』 日本評論社 1992.
- [44] 『浜岡原発防波壁 高くしても浸水』 朝日新聞朝刊 2012.12.21.
- [45] 伊原賢 『シェールガス革命とはなにかーエネルギーの救世主が未来を帰るー』 東洋経済 2012.
- [46] ジャレド・ダイヤモンド (倉骨彰訳) 『銃・病原菌・鉄(上・下)ー1万3000年にわたる人類史の謎(上・下)』 草思社 2000.