

脱工業化社会における原子力発電

—日仏比較研究—

小山 和伸

Nuclear Power Technology in Post-Industrial Civilization — A Comparative Study of France and Japan —

Kazunobu Oyama
Kanagawa University

【要旨】 本稿は、査読審査を経てフランス EHESS（社会科学高等研究院）に受理された論文の、ほぼ全文の和訳である。原文は既に公開済みであり、<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03737847/document> にて閲覧可能故、必要に応じて参照されたい。本稿を以て、一年間に亘る EHESS, FFJ（日仏財団）客員研究員としての、2021年度長期在外研究の成果報告とする。

【Abstract】 Our limited rationality created various civilizations, resulting from our random trial-and-error solutions and thoughtless imitation of ad hoc acceptable solutions. Technological innovation can be considered an endless trial-and-error process to overcome risks that inevitably follow new technological solutions.

Technological innovations are triggered by the technological risks caused by limited rationality. The “technological hierarchy” concept, which illustrates the technological innovation process as a trial-and-error decision tree leading to a final practical product, is useful for understanding various industrial developments, such as the automobile, aircraft, and nuclear power generation industries.

Humans cannot simply abandon technology that entails risks because of the benefits enjoyed but try to overcome the technological risks using new technology, which inevitably raises new risks. Humans continue technological innovation like continuing to eat the “forbidden fruit”.

We investigated the related political leadership and the national consensus construction process by comparing France and Japan. In France, the authoritative liberal approach, which makes a democratic means compatible with authoritative decision-making, realizes social consensus to maintain over 70% of nuclear power generation.

After the Fukushima accident, the Japanese government failed to propose a concrete road map to recover nuclear power generation. A precise understanding of nuclear technological risks based on an investigation of nuclear accidents such as Chernobyl and Fukushima reveals what a nuclear pow-

er technological policy should be in the future.

【keywords】 bounded rationality, law of entropy, technological hierarchy, dominant design, authoritative liberalism

序文

無知と文明のパラドクス

本論では、脱工業化社会における原子力技術の日仏比較を行う。原子力技術には、他の技術と同様確かにリスクが伴う。技術に付随するリスクは、いかにして克服されるのであろうか。原子力技術は、有効な改善の道を塞がれたデッドエンド・テクノロジーなのであろうか。

前置きが長くなるかも知れないが、先ず人間の限定された合理性を検討することから始めよう。原子力技術の将来は、既存の産業の発展過程から類推することによって予測できるかも知れない。人類は限られた合理性に基づいて、長い試行錯誤を経て技術を発展させてきた。この技術の歴史は、原発の未来に何らかのヒントを与えてくれるのではないだろうか。

先ず、文明は人間の無知や限られた合理性によって発展してきた、という仮説を提示したいと思う。この仮説は、我々の文明が人類の知性によって築かれてきたとする、一般的な理解とは異なるものである。しかしながら、人類の歴史を見ればこの仮説の正しさがすぐにわかる⁽¹⁾。

人間の限定された合理性という概念は、例えば F. ハイエクのようなオーストリー学派によって、経済活動と文明の脈絡の中で注目された概念であるが⁽²⁾、H. サイモンも意思決定論の中でこの概念を重視している⁽³⁾。

もし、我々人類に神の如き全知全能で無限の合理性があったとしたら、人間は如何なる問題にも直ちに最適解答を見つけ出すことができる。そうなれば、我々は比較的少数の解決策で、多くの問題を解くことができる。その時、我々の文明の多様性は、気候風土の多様性に限定されるに違いない⁽⁴⁾。

しかし、実際には世界中にもっとはるかに広い、文明の多様性が見られる。例えば、火の起こし方や、肉や魚の調理法、暑さ寒さのしのぎ方には、気候風土の違いをはるかに超えた多様性がある。それは、気候風土の違いばかりではなく、色々な解決法をランダムに試していった、その順序の違いにもよるからである。

限定された合理性しか持ち合わせない我々人間は、やってみなければどんな結果も正確には予測することができない。だから、我々は非常に長い試行錯誤の過程を経なければならない。さらに、人間にとって時間もエネルギーも、あらゆる資源が無限ではない。故に、我々は最初に見つけた満足できる解を受け入れることになる。もちろん、その最初の受け入れ可能な解が、最善の解である保証などない。だが、我々は限られた合理性の故に、最初の受け入れ可能な解が見つ

(1) Oyama, K. 『無知と文明のパラドクス』 晃洋書房 *Paradox Between Ignorance and Civilization*. Koyoshobo Press, 2017

(2) Hayek, F. 『ハイエク全集 1-5』 春秋社 *Hayek's Complete Works*, Vol. 1-5. Shunju-sha Press, 2007

(3) Simon, H. *The New Science of Management Decisions*. Harper & Brothers, 1960

(4) Watsuji, T. 『風土』 岩波 *Climate*. Iwanami Press, 1975

かった時点で、試行錯誤を終わりにするのが常である。最善の解を見つけようとすれば、永遠の試行錯誤を覚悟しなければならないであろう。

ところで、最初に出くわす受け入れ可能な解は、試行錯誤の順番の違いによって異なってくる。つまり、色々な文明圏で受容されている色々なやり方の違いは、各文明圏で試行された順序の違いによって生じている。

その上、人間は限られた合理性を節約するために、成功したやり方を無批判に模倣する習性がある。かくして、ひとたび適切な解が見つかり、それは地理的な限界（例えば、海や湖、山や川、あるいは沙漠など）や、気候風土の違いの限界地域まで、急速に普及することになる。この限界地域が、文明圏を形成する。この限界地域の外に暮らす人々は、模倣できないので自分たち独自の順序で試行錯誤を重ねるしかない。この異なった解決法が、異なった文明を生み出すことになる。

このようにして非常に多様性のある文明が生まれるのだから、我々の文明は無知によって創られていると結論づけることができる。しかし、どんな解法も完全ではない。あらゆる解法にはそれぞれ独自の問題や弱点があり、それらは一步一步改善してゆく他はない。限定された合理性しか持たない我々にとって、解法にまつわるどんな問題も弱点も、先験的に完全な予測をすることはできない。

どんなに改善された方法といえども、それぞれ何らかの欠点があり、我々はその欠点を無視し得るくらいに小さなものにするため、努力し続けなければならない。この継続的な過程こそ、技術革新の歴史に他ならない。ひとたび何らかの技術を発明するや、我々はそれを改善したり、あるいはその発明された技術に固有の問題を解決するために、より新しい技術を発明したりしなければならない。

ちょうど、一度味わった以上永遠に食べ続けなければならない「禁断の果実」のように、一度技術に手を染めた人類は、その改善と革新に永遠に関わらねばならぬ運命を背負ったのである。

我々の文明が、我々の無知と限られた合理性に基づく、気の遠くなるような試行錯誤を通じて創り上げられてきたのだという認識を持てば、技術に伴うリスクを克服することができるかもしれない。しかし、この謙虚さを失い、人間の知性への過剰な自信と傲慢に陥れば、人類は自ら破滅への道を歩むことになるであろう。

1. 技術とリスク

本章では、技術的リスクの克服について検討してみよう。そのためには、技術発展のプロセスとその特徴を理解しなければならない。技術発展のプロセスは、限定された合理性によって逐次的に進む。大所高所から見れば、現代工業社会は長足の進歩を見せているように見えるが、細部をよく観察してみると、どんな技術も実際には一步一步進歩していることがわかる。

原子力技術の進歩も、工業化社会における漸進的な試行錯誤の過程として理解できる。今後脱工業化社会に向かってゆく中で、進歩にはリスクとその解決策が含まれる。原子力エネルギー政策は、他の産業技術の発展過程に関する事例を検討することによって類推することができる。

1-1. 禁断の果実としての技術

技術的リスクは、技術的成果の向上と相携えて増大する。例えば、自動車は自転車よりも便利だが、自動車事故は自転車事故よりも深刻なものになる。同様に、飛行機は自動車よりも便利だが、飛行機事故は自動車事故よりもはるかに深刻なものになる。

技術に伴うリスクは、事故が起きたときの損害とそれが起こる確率によって算出される。技術進歩は、必然的に事故による被害を大きくする。例えば、輸送技術においてその規模とスピードの増大は、必然的に事故による損害を大きくする。

それ故、リスクの抑制のためには事故の発生確率を減少させるしかない。無論、新しい技術によって事故による損害をある程度コントロールすることはできる。例えば、シートベルトやエアバッグで、ある程度は自動車事故の被害を抑えることができる。しかし、大規模で高速の輸送技術が事故を起こせば、常に重大な被害の危険がある。だから、そのような技術的リスクを減らすには、事故の発生確率を減らすことが焦点となる。

我々は、新しい技術によって事故の発生確率を減らすことができるが、限定された合理性故に、その新技術は到底完璧とは言えず、何らかの問題を引き起こす。この問題を解決するためにさらに新しい技術が開発されねばならない。こうして我々は絶えざる技術開発を余儀なくされ、言わば技術という一種の「禁断の果実」を食べたことに気づく。

我々は新しい技術を発明するや、この真新しい技術がもたらす様々な問題を解決するために、色々と新しい装置や操作方法を工夫しなければならなくなる。しかし、その新しい装置や操作方法が、また新しい問題を引き起こすので、それらを解決するためにさらに新しい発明や改善を続けなければならない。

こうした改良・改善を通じて、新技術に伴う諸問題は次第に解決されてゆく。解決とは、新技術がもたらす問題をより新しい技術や装置で、より小さな問題に分解してゆくことを意味する。もし、より新しい装置が元の問題よりもさらに深刻な問題を引き起こしてしまうならば、その新しい装置は解決策とは言えない。

何らかの解法が、元の問題よりも一層深刻な問題を引き起こしてしまうような解法を「悪魔の解法」あるいは「デッドエンド・テクノロジー」と呼ぶことにしよう。緊急の場合には、限定された合理性のために、こうした解決法を取ってしまうこともあり得る。

このように、問題解決のプロセスは、目的－手段分析と呼ばれる階層構造を為している。ここでは、この問題と解法の階層構造を「技術的ハイアラキー」と呼ぶことにしよう⁽⁵⁾。このコンセプトは、特定の技術の開発過程を理解する上でも、技術発展の歴史を理解する上でも有用な概念である。

この「技術的ハイアラキー」は、W. アバーナシーの「デザイン・ハイアラキー」に基づいてこれを発展させた概念である。アバーナシーは、アメリカの自動車産業の歴史を分析し、自動車の発展過程をデザイン・ハイアラキーとして表現した⁽⁶⁾。この概念を、未来の研究開発(R&D)活動の説明のために、技術革新プロセスを問題と解法の階層構造として発展させた概念が、「技術的ハイアラキー」である。

(5) Oyama, K. 『技術革新の戦略と組織行動 増補版』白桃書房 *Technological Innovation and Organizational Behavior Augmented Version*. Hakuto-shobo Press, 1998

(6) Abernathy, W. J. *Productivity Dilemma*. John Hopkins University Press, 1978

人類は技術的成果を高めるために、新しい技術を生み出し、また既存技術に改良を加えてきた。技術は、その規模と複雑性を増大させながら進歩してきたが、その規模と複雑性の増大とともに技術的リスクも増大し、事故による損失と事故の可能性が増大した。

進歩した技術は、周到な階層的問題解決によって守られているが、ある過酷な状況や操作ミスが階層的な秩序に狂いを生じ、過酷事故を起こすことがある。従って、その事故の経緯を調査すれば、これらの技術的弱点をいかにして克服すべきかが解るはずである。

かくして、技術発展の歴史は限られた合理性下での、人間の試行錯誤の歴史に他ならず、その合理性の限界故に、我々は起こり得るあらゆる事故をアプリアリ（先験的）に予期することなどできない。新製品は試行錯誤の末に創られ、しかもその試行の多くは、事故の発生に促されて試みられるのが常である。

1-2. 絶えざる技術革新

技術開発の過程は、試行錯誤を通じて新技術の持つ諸問題を解決してゆくプロセスである。新技術が抱える様々な問題が、試行錯誤の過程を経て一步一步より小さな問題に分解されてゆけば、遂には実用的な製品ないし製法が完成する⁽⁷⁾。

しかし、その完成品といえども、我々の合理性が限られている以上、到底完璧とは言えず、様々な欠点をはらんでいる。我々は、新技術が実際に事故や問題を起こすまでの間、その便利さを享受しているに過ぎない。

例えば、我々は50年間空気汚染の問題など気にせずに、自動車の利便性を享受してきた。さらに、膨大な数になった自動車の排気ガスから振り撒かれる二酸化炭素が、地球温暖化という深刻な気候変動をもたらしていることに気づくには、もう50年必要だった。

ある新しい技術が深刻な事故や問題を起こしたとき、我々の生活水準を維持する方法は二つしかない。第一の道は、その危険な新技術を放棄して、別の新しい技術か昔の技術に頼る方法である。

現在、原発産業は改良か放棄かの岐路に立たされている。原発を放棄して、再生エネルギーなどの別の新しい技術に乗り換えるべきなのであろうか。フランスは、福島原発事故の後でも原子力発電を維持しているが、ドイツは原発停止を決定した。これらの対照的な判断の是非は、技術開発と原発事故の特徴を分析することによって、はっきりするであろう。第4章では、福島原発事故をチェルノブイリの事故と比較しながら分析する。

技術革新は長いR&Dプロセスを経て実現される。従って、我々はその新しい技術が生み出されるまでの間、既存の技術を使うしかない。しかし、古い技術が新しい技術に入れ替えられるからには、古い技術には何か深刻な欠陥があったからだというのを忘れてはいけない。だから、新しい技術に何か深刻な問題があったからといって、たとえ一時的にもせよ、古い技術に戻るといふことにも問題がある。勿論、既存技術に改良を加えることはできる。これも、第一番目の選択肢に含まれる。

第二の道は、技術的ハイパーキーに即して新技術の事故の真相を明らかにし、問題の新技術

(7) Oyama, K. "Corporate Strategy in Japanese High-Tech Industries" Public Policy and Administration No. 24 pp. 67-71 Mykolas Romeris University of Technology, 2008

を改善する方法である。それは既述のように、問題と解法の階層構造に即して、対応策を検討する道に他ならない。

いずれにせよ、我々は試行錯誤を通じてより良い技術に向かって、絶え間ない技術革新に努力を傾けるしかないのだが、この絶えざる技術革新は大きく二つに分類される。

第一は、ユーザー側のニーズによって要請される技術革新で、より高い品質やより低いコストを実現する革新である。勿論、何らかの深刻な技術的問題の解決も、ユーザー側から求められるし、特に民間企業は市場からの要請には敏感である。

第二には、R&D 志向の技術革新で、研究者や技術者が新しい現象や理論に着目して、科学的なアプローチが先行して生じる技術革新である。この科学者の内部動機に基づく技術革新は、ユーザー側のニーズとはほぼ無関係なブレイクスルーを引き起こす場合がある。我々は技術革新を論ずる際には、このブレイクスルーと改善改良の基本的な異質性に、注意する必要がある。

1-3. 技術におけるエントロピーの法則

エントロピーの法則とは、元来熱力学における法則だが、その基本概念は不可逆性にある。例えば、初めに仕切られた二つの水槽に、95℃の熱湯と5℃の冷水が入っていたとする。次に、その仕切りを取り除けば、熱湯と冷水は次第に混じり合う。この混じり合う過程を、エントロピーの増大と表現する。最後には、一つになった水槽の水は、40℃くらいに平均化される。この状態で、エントロピーは最大化されている。

この水槽内の温度は、もう一度しきりで仕切って、一方を加熱し他方を冷やさない限り、元に戻ることはない。こうした現象をエントロピーと呼んでいる。J. リフキン⁽⁸⁾は、この概念を応用して、文明の不可逆性を論じている。リフキンは、狩猟採集生活から農牧畜文明、そして工業社会から脱産業化文明への変遷を論じようとしている。

このエントロピーの概念は、限りなくかつ不可逆的な技術革新を理解する上で、有用な概念である。我々は、一度技術の持つ利便性を味わうと、その便利な技術が無かった生活に戻ることができなくなる。だから、たとえ技術が何らかのリスクを伴っていても、それを辞めてしまうことができず、むしろより新しい技術革新でそのリスクを克服しようとする。

技術に付随するリスクを思い知らされたとき、当面我々はその技術を忌避するかも知れない。しかしながら、この技術を完全に捨て去ることはできるだろうか。例えば、最愛の人を自動車事故や飛行機事故で亡くしたとき、当面は自動車や飛行機を忌み嫌うかも知れない。しかし、完全にその技術なしに生活してゆくことはできない。

日本での交通事故のピークは1970年で、16,765人が自動車事故で亡くなっている⁽⁹⁾。しかし、人々は車を使うことを諦めきれずに、シートベルトやエアバックなどの安全装置を開発して使い続けた。さらに、安全運転のための教育やキャンペーンを推進して、車の使用を止めることはなかった。

こうした技術的また社会的解決策は、自動車の安全性向上に明らかに役立ってきた。日本における自動車事故の死亡者は、2017年には3,694人にまで減少している⁽¹⁰⁾。とは言え、毎年3,000人

(8) Rifkin, J. *Entropy*. Viking Press, 1980

(9) Ministry of Health, Labour, and Welfare, *-Welfare White Paper-*, 2019

以上の人が自動車事故で亡くなっているというのに、我々は自動車がなかった長閑な昔に戻ることはできない。

さらに言えば、ひとたびある技術が普及してしまうと、我々の社会生活はその技術の存在を前提として設計されるようになる。例えば高層ビル群は、エアコンやエレベータ、配水システムの存在を前提にして建てられている。

ある程度の節電はできるかも知れないが、今や我々は電力なしに生活してゆくことはできなくなっている。我々は、もはや電気のなかった時代に戻ることは決してできない。電力の存在を前提にして作られている製品なら、無数に列挙することができる。例えば、冷蔵庫と電子レンジの存在を前提にして製造されている冷凍食品が、どれほど広汎に普及しているか、それを考えてみるだけで十分であろう。

技術におけるエントロピーの法則とは、技術の不可逆性を意味し、これが絶えざる技術革新を余儀なくしている、今ひとつの力学となっている。

1-4. 技術的リスクに関わる社会的要因

技術的リスクは、技術的な原因のみならず、ヒューマン・エラーのような社会的な原因によっても表面化する。ヒューマン・エラーは、時として問題のある習慣や、担当者の道德規準や士気の低さ、不注意などによって生じる。こうしたヒューマン・エラーは、技術的な装置によってある程度はコントロールできる。例えば、警報や自動停止システムなどの安全装置を備えることによって、操作ミスによる事故を防ぐことができる。しかし、技術的リスクを引き起こすような社会的要素に対しては、基本的にはそれらを抑止するための、教育や注意喚起などの社会的システムが重要である。

例えば飲酒運転などは、重大事故の大きな原因となるが、そうした社会問題は社会的な手法を以て解決されねばならない。政府は飲酒運転撲滅のために、反対運動や教育、罰則強化など様々な努力を払っている。

別の例としては、フランスで行われている「ブラブラカー」システムと呼ばれる、カーシェアリング・システムがあげられる。EU 国内では、インターネットを通じて旅行者が情報交換をし、お互いの目的地や日時、ルートなどの情報を、パソコンで簡単に入手できる。目的地や日時、ルートなどが一致していれば、カーシェアリングができる。S. ルシュバリエは、この社会的システムによって大気汚染や交通渋滞、CO₂の排出などを少なく抑えることができる点を強調している^{(11) (12)}。

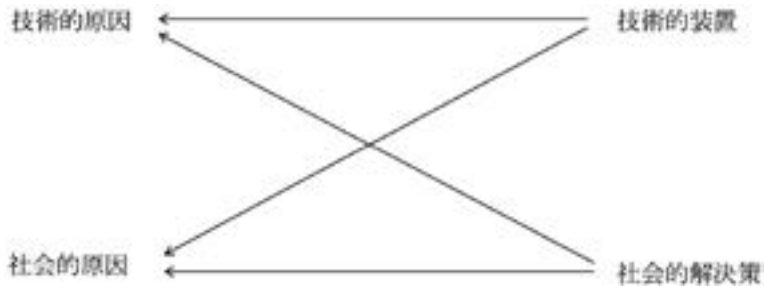
空気汚染やCO₂排出などは、脱硫装置のような新しい技術によっても削減することができる。しかし、新しい技術は新しい問題を生じるので、さらに新しい技術でその新しい問題を解決しなければならない。「禁断の果実」を彷彿とさせるこの無限の技術革新が必要となる。その点、「ブラブラカー」システムは、社会的システムで技術的リスクを解決する興味深い解決策である。「ブラブラカー」参加者たちは、燃費の節約などの経済動機から参加しているかも知れないが、大気汚染やCO₂削減等の公共の福祉に貢献している。政府も、できるだけ自家用車より

(10) Ibid.

(11) Lechevalier, S. "Cooperation Japan-EU after EPA", Conference at Kanagawa University, June 7, 2018.

(12) Lechevalier, S. "Innovation beyond technology", Springer, 2019

図1. 技術的リスクの原因と解決策



も公共交通機関を利用するように呼びかけているが、これも社会的手法で技術的リスクを解決しようとする方法であるといえる。

かつてよく行われていた、「空き瓶買い取り」システムも、その一例であろう。これも、空き瓶による汚染や割れた瓶の危険性を削減するための、社会的手法と言って良い。現在、プラスチックごみによる海洋汚染が大きな問題になっているが、この問題を解決するためには、プラスチックに代わる新素材などの技術革新とともに、この「空き瓶買い取り」システムのような社会的手法も有効ではあるまいか。勿論、最終的な問題解決は、分解可能な新素材の技術革新にかかっているのであろうが。

原発産業においては、幅広い反核世論が安全確保のための、一種の社会的手法になっているのかも知れない。特に福島原発事故の後には、原発産業は非常に厳しい自己管理を強いられている。

技術的リスクに関して、その技術的な原因と解決策、および社会的な原因と解決策の関係は、図1のように整理することができる。

自動車による空気汚染のような技術的リスクは、脱硫装置の発明のような技術的手法によっても、またカーシェアリング・システムのような社会的手法によっても解決できる。

人為的な操作ミスなどの、技術的リスクに関わる社会的な原因は、警報や自動停止システムなどによって解決できるが、安全教育・訓練、啓蒙運動、あるいはマニュアル違反などの職務規程違反に対する罰則強化といった、社会的手法によっても解決できる。

しかし、危険な事故に直結するような重大な技術的欠陥は、新しい技術的手法によって改善されなければならない。例えば、過度に複雑な操作なども、社会的手法よりもむしろ技術的手法によって解決されねばならないであろう。

1-5. 結論

本章では、技術とリスクの関係を理解するために、いくつかの概念を提示してきた。技術的ハイアラキーやエントロピーの法則、絶えざる技術革新、技術的および社会的な事故原因と解決策、などがそれである。人間は、限られた合理性に基づいて、技術的ハイアラキーに即して試行錯誤を続け、工業化文明を発展させてきた。

新しい技術的成果には新しいリスクが伴っており、それを解決するはずのより新しい技術にも、我々の限られた合理性の下に開発される以上、いくつかのより新しい問題をはらんでいる。

我々はひとたびある技術の便利さを味わうと、それがなかった昔に戻るができなくなる。だから、もしその技術に何か深刻な問題が現れても、それを止めてしまうのではなく、その改善に努力を傾ける道を選ぶ。かくして人類は、無限の革新努力を続けてゆくことになる。

本章で論じたこれらの概念は、原発産業の歴史を概観し、その未来を予測しようとする次章以下の理解に役立つに違いない。

2. リスクが創った文明

本章では、文明がいかに危機によって生み出されてきたか、人類の歴史を概観してみることにしよう。序文において無知と文明のパラドクスを指摘したが、人類の歴史を通して文明は危機を契機として生み出されていることが分かる。人類の歴史は、狩猟採集文明、農牧畜文明、工業化文明、高度情報化文明の4種類の文明を以て区分することができる。A. トフラーは、この文明社会の変革を3つの波として説明する。すなわち、一万年前に起こったとされる、狩猟採集生活から農牧畜文明への変革を第一の波とし、300年前の産業革命を第二の波とし、さらに50年前から起きている情報化革命を第三の波としている⁽¹³⁾。

2-1. イギリスにおける産業革命

第二の波の大きな変革

トフラーは、工業化社会を農牧畜社会という第一の波に続く、第二の波としている。人類は、一万年前に狩猟採集生活から農牧畜社会へと、その生活スタイルを変化させた。トフラーはこの大きな社会変革を、第一の波と呼んでいる。

一般に、この狩猟採集生活から農牧社会への変革は、生活水準の向上がもたらした文明の発達と捉えられている。しかしながら、リフキンはこの一般的な解釈に反対する⁽¹⁴⁾。リフキンは、この大きな変革が狩猟採集生活による、徹底的な食糧不足という危機によって引き起こされたと述べている。

リフキンのこの解釈は、サイモンの意思決定論から見ても、恐らく正しいと思われる。サイモンは、成功した意思決定は急速にプログラム化されて繰り返されると述べ、それは我々人間が限られた合理性を節約し、ある行動の原因と結果を推論する手間を省くためであると述べている⁽¹⁵⁾。つまり、成功した意思決定は繰り返され、急速に定着してゆく。

この意思決定の理論に従えば、もし狩猟採集生活で十分な獲物が得られれば、我々人類はこの生活スタイルを変化させることなく、維持していたに違いない。何も極端な変革など、する必要はなかったはずである。なぜなら、農牧生活は狩猟採集生活に比べてよほど複雑で、耕作や飼育のためには、灌漑設備や耕地の保全、広大な柵の設置など、手間のかかる重労働が必要になってくるからである。それ故、かかるより煩雑な生活スタイルへの大きな変革は、飢餓のような危機を契機に起こったとしか考えようがない。

リフキンの推論は、他の社会変革にも敷衍化することができ、おそらく工業化への社会変革

(13) Toffler, A. *The Third Wave*. William Morrow 1980

(14) Rifkin, J. *Entropy*. Viking Press 1980

(15) Simon, H. *The Science of the Artificial*. MIT Press 1968

も、農牧生活における危機によってもたらされたに違いない。例えば、T. マルサスは、農業生産性は良質な耕作可能な土地の減少に従って、低くなってゆくことを指摘している⁽¹⁶⁾。耕作機械の発明などが、この危機を乗り越えようとして生み出されたものと考えられる。

人間の無知によって作られた文明

序文でも述べたように、我々の文明は人間の無知によって生み出されてきた。これこそが、本論の基本をなす根本概念である。人間はいかなる問題に対しても、先験的に最適解を見つけ出すことなどできないから、受け入れ可能な解決策を見つけるまでに、長い試行錯誤の過程を経なければならない。この悪戦苦闘の末に辿り着いた満足できる解決策は、他の多くの人によって無思慮に模倣され、海や川、山や沙漠などに隔てられた、地理的な限界まで広がって、一つの文明圏を形成するに至る⁽¹⁷⁾。

人間の合理性は限られているが、大動物をうまく捕獲するための道具を考え出すくらいのはできる。しかし、この工夫によって獲物不足が加速してしまったので、人間はさらに新しい狩猟のための武器を発明してきた。この獲物不足と新しい狩猟技術の開発という相互作用が繰り返されるうちに、多くの大型哺乳動物が絶滅に追い込まれた。これが、人間の無知の結果でなくて何であろうか。

獲物不足に直面した人類には、二つの選択肢があった。一つには、大型哺乳動物を求めて新大陸に移動する道であり、今一つには、農牧生活に変革する方法である⁽¹⁸⁾。

狩猟採集生活よりも複雑な農牧文明への変革の後にも、無知と文明の発達という相互関係は続いたが、農牧生活は定住生活をもたらし、これは出産や子育てには有利だった。それ故、農牧生活は急速な人口増大をもたらし、大飢饉を引き起こすことになった。このために農牧文明の一万年に、人口はほぼ横ばいであったと考えられる。しかし一方、大飢饉は農業機械の発明を促し、工業化文明の出現に繋がってゆく。

工業化社会初期の製鉄産業

鉄製の器具は、農牧畜業の生産性を高めた。T. アシュトン⁽¹⁹⁾は、イギリスで起こった産業革命初期の状況を、次のように要約している⁽¹⁹⁾。18世紀の最初の数十年間は、製鉄業にとって主要な燃料は木炭だったが、18世紀半ばまでに森林の乱伐によって、ロンドン近郊の森林は消失してしまった。さらに、18世紀の中頃から石炭の採掘が始まったが、石炭から作られるコークスが、製鉄産業の主要な燃料になっていった。

製鉄産業は、工作機械産業に鉄を供給した。その当時の鉄製の道具や機械は主に農業に使われたが、馬装具や交通手段にも必要とされた。機械産業は製鉄業に依存しており、産業革命は、鉱山や製鉄、金属加工関連の発明や技術革新によって支えられていた。例えば、18世紀末には浅い炭鉱は全て掘りつくされて、200フィート以上の深い炭鉱で、金属加工業が作り出した様々な道具や機械によって、採炭が行われていた。

(16) Malthus, T. *An Essay on the Principle of Population*. Cambridge University Press 1989 Original work was pressed in 1798

(17) Oyama, K. 『無知と文明のパラドクス』 晃洋書房 *Paradox Between Ignorance and Civilization*. Koyoshobo Press 2017

(18) Diamond, J. *Collapse*. Viking Press 2005

(19) Ashton, T. *The Industrial Revolution*. Oxford University Press 1968

産業革命の結果、ロンドン市内と近郊に現れた、こうした様々な新しい産業は、多くの農村の子供たちを受け入れた。1820年代のイギリスでは、5歳から9歳までの子供たちの10パーセント、10歳から14歳までの子供たちの75パーセントが、工場現場で働いていた⁽²⁰⁾。アシュトン⁽²¹⁾は、主要な工場の労働力となった5歳前後の子供たちの数が増えることによって、急速な人口増大が起きたことを指摘している⁽²¹⁾。産業革命初期の労働環境は劣悪で、多くの子供たちがかなり危険で不衛生な工場や炭鉱で働いていた。しかしながら、これらの子供たちは農業社会の限られた家族や村の生産性では、生きてゆくことができなかった子供たちなのである⁽²²⁾。つまり、新しい工業化社会は、とても理想的な環境とは言えないにせよ、曲がりなりにも彼らを養うことができたわけである。

イギリスの工業化の特徴は、数々の発明家やイノベーターたちによる、非常に長い試行錯誤の過程であるところにある。例えば、1776年にウォットは、立坑の排水用に初めて蒸気式のポンプを発明したが、それからトレビシックが1804年に蒸気エンジンを発明するまでに、28年もかかっている。そこからスティーブンスンが1825年に、蒸気機関車を実用化させるには、さらに21年もかかっている。つまり、最初の蒸気式のポンプから蒸気機関車を実用化されるまでに、49年間に及ぶ試行錯誤が必要とされている。先頭を走る者にとって、手本となる先行技術は存在しない。様々なやり方を試してみる他ない、チャレンジャーだからである⁽²³⁾。

2-2. 後発国の模倣による産業社会の拡散

後発性の競争優位とは何か

イギリスの産業社会の発展を模倣した、いくつかの後発国がある。例えば、アメリカはイギリスの産業発展を素早く取り入れている。A. ガーシェンクロンは、後発国の競争優位を分析し⁽²⁴⁾、後発国が先発国の成功した技術や製造方法、また産業制度などを模倣できる点を指摘している。特にアメリカは、蒸気エンジンや蒸気機関車、製鉄技術などの様々な革新的な技術を模倣した。

つまり、ガーシェンクロンによれば、後発国は模倣によって素早く成功した技術を取り入れることができる点に、競争優位があるという。しかし、ガーシェンクロンは同時に、後発国はそれぞれ産業化を進めるに際して、何らかの独特な工夫をしていると述べている。例えば、アメリカは大量生産体制を生み出して、工業化を加速させている。

確かに、先進の技術や方法を模倣するという方法それ自体が、自分より先進の手本がない先発国にはできない、後発国に独特なやり方であると言える。例えば、後発のヨーロッパ諸国も、イギリスの先進技術を模倣しているが、彼等に独特なクラフトマン・システムとして知られているような、独特の熟練工システムを利用して、近代産業化を進めている。

同様に、日本も欧米の先進技術に依存しているものの、産官共同のような独特のシステムを創

(20) Humphries, J. *Childhood and Child Labour in the British Industrial Revolution*. Cambridge University Press 2010

(21) Ashton, T. op. cit.

(22) Hayek, F. 『ハイエク全集 1-5』春秋社 *Hayek's Complete Work*. Vol. 1-5. Shunju-sha Press 2007

(23) Ashton, T. op. cit.

(24) Gerschenkron, A. *Economic Backwardness in Historical Perspective*. Belknap Press of Harvard University Press 1962

り出している⁽²⁵⁾。日本には、1868年に始まる明治時代よりも前に、大規模民間企業が存在していた。三井、住友、鴻池などの著名な巨大民間企業に、明治初期に創設された三菱を加えた、財閥は良く知られている。明治時代初期に、日本政府は先進国の協力のもとに、大規模な紡織、製鉄、造船などの工場を建設したが、数年後にはそれらを低価格で財閥に払下げ、資本主義を育てようとした。こうして私企業制度を残す代わりに、財閥は政府と協力し、政府の政策に深いかわりを持つようになった⁽²⁶⁾。

ロシアも先進の技術と方法を模倣したが、政府の主導性と専制的な権威主義によって急速な産業化を進めるために、社会主義体制をとった⁽²⁷⁾。ガーシェンクロンは、ロシアには古くから続くような私企業など無く、19世紀には土地貴族と役人と農奴しか存在しなかったと述べている。つまり、大規模組織や大規模資本を管理できるような民間部門が存在しなかったため、政府主導のもとに大規模工場の経営が行われるしかなかったという。

ガーシェンクロンは、後発性が大きいほど政府主導による全体主義的な方法で、急速な産業化を成し遂げようとする傾向が強くなると述べている。後発国は、先発国の成功した技術と産業化の戦略を観察している。もし、後発国がイギリスのような長くゆっくりとした試行錯誤のプロセスを辿っていたら、彼等は急速な工業化を遂げることはできなかったであろう。

最後に、ガーシェンクロンによれば、先発国は後発国に後に従うべき青写真を残してゆくというマルクスの指摘は、産業化の歴史に関する半分の真実に過ぎない。各後発国はそれぞれに、急速な産業化を遂げるために時宜を得た独特な戦略を策定している、というところにもう半分の真実がある⁽²⁸⁾。

典型的な近代産業社会としての大量生産体制

大量生産体制は、19世紀末から20初頭のアメ리카において、近代産業社会の典型的な姿を示していた。A. チャンドラーはアメ리카における近代産業化プロセスを分析し⁽²⁹⁾、大量生産体制に先立つ大量分配システムの必要性を強調している。大量分配システムが無ければ、大量生産はただ分配されない在庫を積み上げるだけになってしまうからである。

チャンドラーは、産業化の初期段階の研究から、近代産業化前夜とも言うべき時期の存在を明らかにした。それは、人や動物の力、風や水の流れなど自然の力を利用した、様々な道具や機械が使われた時期である。こうした機械や道具は、天候や季節に左右されるので、信頼性や耐久性、規則性に厳しい制約が付きまとう。例えば、川は冬になれば凍ってしまうかもしれないし、夏には渇水するかもしれない、そうなれば水車は使用不能になる。これに対して、蒸気やガソリン、あるいは電気などの人工的なエネルギーは天候や季節に関係なく、信頼性と耐久性のある安定的なエネルギーを供給してくれる。

チャンドラーは、こうした持続的で信頼性が高く、耐久性のある人工的なエネルギーに支えら

(25) Nakagawa, K. 『日本の財閥』 日本経済新聞社 *Japanese Zaibatsu. – Lecture of Japanese Management* Vol. 3. Japan Economic Journal Press 1976

(26) Nakagawa, K. Ibid.

(27) Gershenkron, A. op. cit.

(28) Gershenkron, A. Ibid.

(29) Chandler Jr., A. *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Harvard University Press 1977

れた、大量分配と大量生産のシステムによって、近代産業社会が形成されたと論じている。アメリカにおける大量分配システムは、天候や季節の制約を受ける運河による船便から、蒸気機関車による鉄道輸送に切り替わることによって実現された。

大量生産システムは、ヨーロッパにおける熟練工による生産とは異なり、製品の標準化を以って実現した。製品の標準化が進んだ背景には、アメリカの移民社会という歴史も影響していると考えられる。ほとんどの労働者は、ヨーロッパから移民した不熟練工であり、文化的な背景も言葉も異なる彼らにとって、相互理解は容易ではなかったに違いない⁽³⁰⁾。それ故、製品の標準化による分業によって、個々に担当する作業に不熟練労働者を割り当てて管理するのが有効だった。

大量生産によって作られる標準化された規格品は、ヨーロッパの熟練工が作る高品質な製品とは大きく異なっている。大量生産は、品質の上からは熟練工による生産システムとは、到底勝負にならない。しかし、大量生産システムは、驚くべき競争力を発揮することになる。つまり、そこそこの品質が非常に安く提供されることになった。その理由は、以下の二つの重要な経済効果による。

第一には、大量生産によって単位当たりコストが減少する、規模の経済効果である⁽³¹⁾。単位当たりコストは、総費用を総生産量で割り算して算出される。総費用は、固定費用（例えば設備費など）と可変費用（燃料費や材料費など）からなる。生産量を増やしてゆくと、単位当たりの固定費が減少するので、単位当たりコストが下がってゆく。

第二には、専門化の利益によって、段取り費用が節約され、また学習効果が促進される効果である⁽³²⁾。大量生産体制では、部品組み立て方式が一般的で、作業は比較的単純な作業に分割される。だから、大量生産システムでは、製品のみならず作業も標準化される。全ての労働者はそれぞれ専門の作業に割り当てられるから、異なる作業に移るための片付けや準備をする必要がない。それで段取り費用が節約され、効率が上がる。さらに作業員は皆、割り当てられた同じ仕事を何度も繰り返すので、彼等の技能は急速に上昇する。この作業経験に基づく学習効果も、大量生産の生産性を引き上げる。単位当たりコストの減少は、当然製品価格の低下をもたらす。

このように、大量生産体制は低価格化による驚くほどの競争優位を実現するが、一方では仕事における人間疎外のような、新しい社会問題も引き起こしている。労働者たちは、毎日同じ単調労働を繰り返すだけで、工場の仕事に達成感も充実感も感じるができなくなってしまう。しかも、様々な大きな製造機械に囲まれた工場は、汚れと騒音に満ちており、また危険でもある。

大量生産システムは、機械化に基づいており、初期の機械化は蒸気エンジンによる人工的エネルギーに依存していた。工場内の蒸気式の機械は、大きくて扱いが難しく、危険でもあった。製造機械の電化は次第に進んで、製造機械の小型化も実現し、安全策もいろいろ講じられるようになったが、騒音や油まみれの汚れた環境や単調労働は続いていた。

(30) Bendix, R. *Work and Authority in Industry: Managerial Ideologies in the Course of Industrialization*. Chap. 5. The American Experiences. Routledge, June 28, 2018 Originally published in 1956 by John Wiley & Sons, Inc.

(31) Tsuchiya, M. 『現代企業入門』 *Introduction to Modern Enterprise*. Nikkei Press 1979

(32) Smith, A. 『国富論』 *The Wealth of Nations*. Chyukou-bunko Press 1978 The original work of An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations was published in 1776 by W. Strahan & T. Cadell.

このように、大量生産システムは労働の生産性と、労働意欲に関わる問題を引き起こし、産業社会の担い手たる企業は、経営管理の問題に直面するようになった。彼らは、科学的管理法や管理科学、あるいは動機づけ理論などの管理理論によって、問題解決を図った。これらの管理理論は、当然後発国にも影響を与えていった。

エネルギー源としての電力の優位性

アバーナシーは、フォード・モーターの歴史的分析を通じて、20世紀初頭のアメリカ自動車産業を研究した⁽³³⁾。19世紀末には、自動車の基本的な技術として、蒸気、ガソリン、電気の三種類のエンジンがあった。これらのエンジンには、それぞれ利点と欠点があった。蒸気エンジンは馬力があったが、蒸気を得るためには水を沸騰させねばならず、そのために始動に時間がかかった。ガソリンエンジンは、馬力もあり始動も早かったが、ガソリンの爆発事故の危険性という、深刻な問題を抱えていた。電気エンジンは、安全で始動も早かったが、馬力が十分とは言えなかった。

19世紀末のアメリカ自動車産業の初期段階では、蒸気式エンジンが主流だった。価格は非常に高く、当時の金額で5,000ドルくらいしていた。それは、完全に金持ち向けの贅沢品に他ならなかった。いくつもの技術的改良を重ねて、ガソリンエンジンが燃料の爆発という過酷事故を克服すると、約2,000ドルで出回るようになったガソリン車が、市場の人気をさらうようになる。1908年には、ヘンリー・フォードがモデル T を980ドルで販売し、間もなくこのモデルが、自動車の基本的な型式になってゆく。

同じ頃、工場でも動物や水や風などの自然の力に代わって、やはり三種類の動力源で動く製造機械が発明されていた。自動車と同様に、19世紀末の初期段階では、様々な蒸気エンジンの機械が工場内に設置されていたが、ガソリンエンジンの機械も発明されていた。しかし、蒸気でもガソリンでも大型の機械は危険だった。大型の蒸気式やガソリン式の機械のエンジン部分は非常に高温になり、また騒音もひどかった。さらに、この高温になる機械の制御は難しく、爆発の危険を伴っていた。また、蒸気式やガソリン式の動力は、伝導に伴う動力のロスが大きかった。つまり、これ等のエンジンで作った動力を、効率的に伝えることが難しかった。

こうした観点から、電気エネルギーは蒸気やガソリンに比べるとより安全で、それは特に大規模設備の場合に顕著だった。さらに、蒸気やガソリンのエネルギーは、それを使おうとする機械のごく近くで作らなければならないが、電気エネルギーは電線で極めて簡単に遠くまで伝導できる。それ故、大規模な発電所を工場から遠く離れたところに作って、巨大な電力を特定のエネルギー使用に向けて、供給することができる。大規模発電所は規模の経済効果を実現できるから、電気エネルギーのコストはかなり低く抑えられる。

電力は、住宅でも大規模製造工場でも、電流や電圧を調整することによって、簡単に送電することができる。さらに、電気エネルギーは遠隔地に信号として、瞬時に送信することもできる。電気のこの機能を利用したモールス信号は、19世紀半ばに現れたが、電気エネルギーを使ったいろいろな信号装置の発明は、18世紀半ば頃から始まっていた。

電気による調整や制御の機能は、人間社会に大きな変化をもたらし、新しい時代を築いた。トフラーはこれを第三の波と呼び⁽³⁴⁾、エレクトロニクス産業に基づく、脱工業化社会への移行を

(33) Abernathy, W. J. *Productivity Dilemma*. John Hopkins University Press 1978

もたらし、電力は決定的に重要なエネルギーとなった。

2-3. 脱工業化社会のエネルギー源

第三の波の急激な変化

トフラーは、第三の波を20世紀末から始まった大きな社会変革と位置づけ、機械化産業に代わってエレクトロニクスが主力産業となる時代であると論じている。特に、コンピュータ支援による設計・製造システム（CAD/CAM）は、今や既にほとんどの工場に普及している。高度情報化社会は、近代産業社会後の文明であり、大規模容量を備えた小型で携帯可能な通信機器に支えられている。また、極超高速のコンピュータも開発されている。こうしたコンピュータの動力源はすべて電気であり、エレクトロニクス産業においては、蒸気式やガソリン内燃式のエンジンは時代遅れになっている。ガソリンエンジンは、まだ自動車や農業機械、飛行機や船舶などで使われているかも知れないが、それでも電気や水素ガスとのハイブリッド車が、自動車産業でも主流になってきている。さらに、原子力船やジェットガスタービンなどの蒸気やガソリンを主要な動力源とするエンジンでも、そのシステムの調整や制御には、電力が欠かせないものになっている。

それ故、第三の波の時代では、蒸気やガソリンの動力はいくつかの産業で生き残るにもせよ、電気エネルギーの使用はますます増大し、主要エネルギーになってゆくに違いない。照明器具としての利便性はもとより、電気式モーターの小型化による携帯可能性、通信システムの動力源、光ファイバーシステムとの連携による通信機器の革新、コンピュータをはじめとする様々な機器類の制御機能等々の利便性を考えれば、それは明らかなことである。

蒸気と石油由来の動力システムは、発電所の発電機を動かす動力源として現在も使われており、発電所は電気エネルギーを生産し続けている。しかし、発電所自体は工業化文明時代の設備だとしても、今や様々なエレクトロニクス機器が、発電所設備の制御に不可欠となっている。蒸気式のエンジンは、それをデッド・エンドに追い込んだ電力の製造場面に、主要な生き残り場所を得ているというのは、誠に皮肉な現象としか言いようがない。

ここで、トフラーの言う変革の波について、確認しておきたいことがある。トフラーは、第一の波によって農牧文明が主流となったと述べているが、それでも狩猟採集生活が無くなってしまったわけでは決してない。例えば、漁業産業は現在でも基本的には狩猟であるし、はちみつの採集も続いている。ここが重要なところである。第二の波以降は、確かに養殖や養蜂場と言った手法が、狩猟と採集活動に生かされている。

同様に、第二の波が訪れたからと言って、我々は依然として食料を農牧畜産業に依存しているのだから、農業や牧畜が消え去ってしまうわけではない。そうではなくて、第二の波以降は、農牧畜業が農業機械や飼育の機械化によって支えられるようになったという点が、重要な変革である。この論理に従って考えれば、第三の波以降あらゆる漁船がレーダーや魚群探知機を装備したり、農牧畜業も様々なエレクトロニクス機器によって管理されたりするようになっている現実を、直ちに理解することができる。第三の波以降、電力に対する需要はますます大きく、それは工業化文明時代に典型的だったような大規模電力工場で生産されているが、今やその制御は高度

(34) Toffler, A. op. cit.

なエレクトロニクス機器が担っている。

発電産業の管理戦略

将来も、照明や動力源として、あるいは制御機能や信号による通信機能、さらには電線一本で簡単迅速に、かつロスも少なく遠隔地に送電できる利便性からして、電気エネルギーは最も便利なエネルギー源であり続けるであろう。そこで、発電の問題が重要となる。主な発電の方法に、水力、火力、原子力がある。これらに加えて、再生エネルギーがこれから発展してくるかも知れない。発電タイプのどのような組み合わせが、最適なのだろうか。次章では、それぞれの発電方法にまつわる技術的および社会的問題について、検討してみることにしよう。

ここで今一度、トフラーが新しい波と呼んだ劇的な変革は、前の文明がいよいよ危機に陥った時にこそ起きてくるものだという、リフキンの仮説を思い起こして欲しい⁽³⁵⁾。例えば、狩猟採集文明の末期には獲物が激減して、農牧畜文明への変革が余儀なくされたこと、そして農業生産性の限界によって引き起こされた大飢饉が、機械化による工業化文明を招いたことを、想起されたい。では、一体どんなリスクが、高度情報化文明をもたらしたのであろうか。

思い出してみてもらいたい。産業化社会の末期、炭鉱の爆発事故や交通事故が頻発し、広汎な環境汚染が進んでいた。特に、1950年代には多くの深刻な炭鉱の爆発事故が起きた。1960年から1980年までの自動車事故の犠牲者は、2000年から2020年までの犠牲者の数よりも多かった。50年前の飛行機事故は、今よりフライト数はずっと少なかったのに、より頻繁に発生していた。さらには、様々な化学物質の使用による環境汚染から、多くの新しい病気が引き起こされていた。

我々は、新しいエレクトロニクス機器による制御によって、これ等の危機を乗り越えてきた。エレクトロニクスを駆使したコンピュータ・システムによって、多様なリスク要因を素早く正確にかつ敏感に制御し、事故を未然に防ぐようになった。こうして我々は、工業化文明に付随していたリスクを、第三の波である高度情報化文明によって克服した。

高度情報化社会においても、主要エネルギーとなる電力は、工業化文明以来の大規模発電所で作られ続けることになるであろう。ただし、これらの大発電所も今やハイテク・エレクトロニクス機器によって制御されていることは、言うまでもない。

トフラーは、個人住宅の屋根にソーラー発電のパネルを設置するなど、第三の波の時代には、エネルギー生産の分散化が起きると述べている⁽³⁶⁾。しかし、大容量のエネルギーは、第二の波の時代と同じように、大規模発電所で作られ続けるであろう。この大規模発電所の事故は、高度情報化文明に深刻なダメージを与えることになる。こうした大規模発電所の管理は、如何にあるべきなのだろうか。まずは、実際に起きた事故について、検討してみる必要がある。

2-4. 結論

本章では、文明の新しい波が、その前の文明が顕在化させたリスクに急かされるようにして生み出されてきたという人類の歴史を見てきた。すなわち、獲物の絶滅が農牧文明を生み、農業生産性の限界が起こした大飢饉によって産業化文明が生まれ、大量生産システムがもたらした汚染

(35) Rifkin, J. op. cit.

(36) Toffler, A. op. cit.

その他の社会問題が、高度情報化文明を引き起こしたといった文明変革の歴史である。

さらに、産業化文明の拡散について、先発国の模倣と独自の工夫によって、先発国に追いつき追い越そうとする後発国の行動を通じて検討した。この中で、大量生産体制が産業社会文明における、典型的な技術的および制度的なシステムであることを確認した。

また、新しい変革の波の後でも、それ以前の文明は変革の影響を受けながらも、形を変えて存続していることも確認した。そして、電気エネルギーが工業化文明から脱工業化文明の時代にかけて、その広汎な利便性故に、基本的なエネルギー源として選ばれていることも確認した。電力は現在、高度情報化社会時代のハイテク制御機器に囲まれた、大規模発電所で作られている。

次章では、発電所の管理方法を分析し、ライフサイクル仮説と技術的ハイアラキーの概念を用いて、各種発電方法の未来の可能性を探ってみることにしよう。

3. 発電所の経営

本章では、第1章第1節で論じた技術的ハイアラキーの概念を用いて、原子力エネルギーの将来を、他の発電方法と比較しながら予測してみることにしよう。

技術的ハイアラキー概念を用いることによって、様々な発電方法を体系的に理解することができるし、さらに次章において論じるように、福島原発の事故に関しても、技術的ハイアラキーの階層構造に事故原因を位置づけることで、その実情を正確に理解できるようになる。かくして我々は、福島原発事故の本当の深刻度を知る手がかりを得ることができる。

同時に、技術的ハイアラキーを構成している、問題と解法の連鎖を示す目的—手段分析に基づいて、事故原因に対処すべき正しい解決策に至ることができるであろう。

3-1. 発電施設の技術的ハイアラキー

現在、主要な発電所の中核技術（コア技術）は、水力、火力、原子力の三つである。他にも、ソーラー発電や風力発電、地熱、バイオマス、波力発電などの再生可能エネルギーがある。世界各国で、再生エネルギーの将来性が声高に主張されてはいるが、デンマークと北欧諸国を除けば、再生エネルギーの構成比率は、全体として極めて低い。従って、現状では上記三種の発電方法が主力であると考えて良い。

この三種類の発電方法について、技術的ハイアラキーの概念に基づいて検討する。無論、これら三種類の発電方法においても、それぞれ構造上の多様性はあるが、基本的な技術を構成するコア技術に基づいて、技術的ハイアラキーを描写してみることにしよう。

水力発電のコア技術は、水流を使って直接発電機を回す方法である。このやり方は、水を沸騰させてできる水蒸気の熱で発電機を回す、火力や原子力の発電方法とは基本的に異なっている。

火力発電と原子力発電の違いは、湯の沸かし方の違いにある。水を沸騰させる燃料には、石炭、石油、ガスがあり、その意味では原発もウランのような異質な物質を熱源として用いるものの、火力発電の一種とみなすこともできるかもしれない。

しかしながら、そうは言っても、放射性物質の核分裂によって水を沸騰させるのと、石炭や石油、ガスなどを燃やして熱を取るのとでは、コア技術のコンセプトは明らかに異なっているから、原子力発電はやはり火力発電とは明確に分けて考えられるべきであろう。原発設備にもいろ

いろなタイプのプラントがあるが、大体コアな技術は、ウランのような放射性物質の核分裂で得られる熱で、水を沸かして蒸気を取るところにあると言って良い。

水力発電の技術的ハイアラキー

水力発電の基本原理は、水流で直接発電機を回すところにある。つまり、水流をいかにして作るかというのが、水力発電に共通した第一の問題である。この解決策として、自然の川を利用したり、人工のプールやダムを造ったり、ポンプを使って水を吸い上げたりする方法がある。

しかし、これらの解決策にはいずれも欠点がある。水の確保が、天候や季節に左右されてしまうからである。例えば乾期や夏の干ばつ、あるいは冬場の凍結などが大きな問題となる。

これらの問題は、水量の安定した大きな河を利用したり、凍結しない温暖な地方を選んだりすることで、いくらか緩和されるかも知れない。パイプを通した水流も、凍結防止には効果があるかも知れない。

また、ダムは干ばつに備える蓄水に有効で、深夜の電気料金の安い時間に、水を高所にポンプで吸い上げるシステムも有効かも知れない。しかし、最近問題になってきた海岸線の後退という深刻な問題には、解決策が見い出されそうもない。つまり、ダムは川的水流と一緒に土砂も堰き止めてしまうので、海岸はダムが無ければ流れ込むはずだった土砂を失い、絶えず打ち寄せる海の波に削られて、海岸線が後退してしまう。

打ち寄せる波に対抗しようと、コンクリートブロックを並べ立てたところで、不断に押し寄せる波の前に、20年もすればテトラポットは無残に破壊されてしまう。大量のコンクリートブロックを作るためには、山を削って大量の石や砂を採取しなければならず、こういうわけで、ダムは海岸と山の両方を破壊することになりかねない。しかも、無残なテトラポットの残骸は、海岸線の景観を損なうこと甚だしいと言わねばならないであろう。さらに、水と一緒にダムに蓄積される土砂は、底に溜まってダムの水深を浅くしてしまうから、貯水量は次第に減って有用性は低下してゆく。

要するに、技術的ハイアラキーの概念によれば、ダムを利用した水力発電は、海岸線の後退やダムの水深が浅くなる問題が深刻化してきた今日、技術的ライフサイクルの成熟期か衰退期に入っていると考えられる。こうした解決の難しい問題に直面したダムによる水力発電は、次第に消え去るべき運命かも知れない。

しかし、ダムを使わない水力発電は、二酸化炭素（CO₂）を排出しない、かつまた再生可能なエネルギー源として有望であると考えられる。

火力発電の技術的ハイアラキー

火力発電の基本原理は、熱湯からとった蒸気で発電機を回すところにある。つまり、いかに熱湯を作るかというのが最初の問題である。解決策として、石炭を燃やす方法、石油を燃やす方法、ガスを燃やす方法という選択肢がある。これらの解決策を選択した場合に生じる次の問題として、燃料の燃焼において、二酸化窒素（NO_x）のような有毒ガスの排出をいかに減らすか、という問題が現れる。脱硫装置を付けるというのは、その一つの解決策である。

しかし、それでも CO₂の排出は依然として問題である。今日では、二酸化炭素が地球の温暖化を引き起こしているとして、多くの国がこの問題を重視している。1997年12月の京都議定書以来、地球温暖化は地球環境に関する最も重大な問題として、注目されるようになったと言って良い。

技術的ハイアラキーの概念に即して考えると、地球温暖化を巡る様々な議論があるにもせよ、CO₂問題の故に火力発電は既に成熟期に入っていると考えることができる。将来、有毒ガスやCO₂を石炭や石油、ガスの燃焼から有効に取り出せるような、革新的な発明が生まれるかも知れない。しかしそれにしても、完全な除去は不可能であり、化石燃料を燃やす方法は、もはや成熟期の技術となっていると言えよう。

原子力発電の技術的ハイアラキー

原子力発電は、CO₂削減の一つの解決策と見ることができる。放射性物質の核分裂による熱で水を沸騰させる方法では、化石燃料を燃やさないでCO₂は排出されない。先ず、基礎的な科学知識として、核分裂が巨大なエネルギーを生み出すという現象理解がある。この巨大なエネルギーは、当初から兵器の開発に利用されたが、第二次世界大戦以降、このエネルギーを発電に利用する方法も試みられるようになった。

原子核分裂を発電に利用するためには、核分裂をいかに制御するかが最初の問題となる。原子力発電の基本原理は、核分裂の熱で水を沸騰させ、そこから取った水蒸気で発電機を回すというものである。核分裂の制御は極めて重要で、解決策としては主に、水による冷却と制御棒の挿入という方法がとられている。冷却水は、核分裂のレベルをある一定の水準に保つために、原子炉を冷やし続けている。核分裂はまた、制御棒を燃料棒の間に入れることによっても制限される。

原発を技術的ハイアラキーの概念に従って検討すると、福島原発の事故は代替電源の喪失という、技術的ハイアラキーの比較的下位部分の事故であることが分かる。これらの代替電源は元来、技術的ハイアラキーの下位問題を解決するための、下位部分の解決策に過ぎなかった。津波による代替電源の喪失で起きた福島原発の事故によって、海岸に位置する原発では、バックアップ電源を大波から守ることの重要性が明らかとなった。

日本では最近、原発の海岸線に沿って堤防が作られているが、これは確かに津波から代替電源を守る解決策の一つには違いない。しかし、高い鉄塔を建ててその上に代替電源を設置する方が、はるかに簡単な解決策になるであろう。

原発技術のハイアラキーのより上位に、いくつかの問題がある。一般に、原子核分裂の制御は難しいが、その原因は核分裂反応のタイムラグにある。これに上手く対処するためには、オペレーターの十分な経験による高度な技能が必要とされる。原子炉の規模が大きくなればなるほど、核反応のタイムラグも大きくなるから、原子炉の小型化は、この問題解決の一つの方法である。

さらに、原子力発電所から出る放射性の核ゴミも、深刻な問題である。これに対する最も有力な解決策は、MOX燃料と高速増殖炉を駆使して、核燃料のリサイクル処理を確立する方法である。現在は、高濃度の放射能汚染物質である核ゴミは、ガラス・コーティングして保管されているが、未だ深刻な問題として残されている。

再生エネルギー発電

現在、ソーラー発電や風力発電、地熱、バイオマス、波力など何種類かの再生エネルギーによる発電がある。一般に、再生エネルギーの効率は低い。風力や太陽光は、工業化文明前夜のように、自然の力を利用したエネルギーであり、季節や天候の制約を受ける。早い話が、雨や曇りの日、それに夜間に太陽光発電はできないし、風が弱ければ風力発電もできない。

これらの制約については、チャンドラーが近代産業社会前夜において指摘している通りであ

る⁽³⁷⁾。川や風などの自然の動力源は、全天候型の安定した動力源たりえない。既に水力発電に関する説明でも述べたように、自然の川は冬場には凍ったり、夏には渇水したり洪水で氾濫したりもする。

つまり、ソーラーや風力発電は、近代産業社会の「前夜」の時代のように、信頼性に大きな問題を抱えている。特に、ソーラーパネルの大規模設置などは、森林破壊というよほど重大な問題を引き起こす。小さな発電力しかないパネルから、それなりの電力を取ろうとすれば、広大な森林破壊が助長されることになるだろう。

ダイヤモンドは、マヤ文明やイースター島、グリーンランド、オーストラリア、アフリカ、シナ大陸、日本等々の歴史的研究に基づいて、森林破壊が確実に文明の崩壊に直結していることを証明している⁽³⁸⁾。建物の屋根にソーラーパネルを設置するのは良いが、高の知れた電力と引き換えに森林を乱伐する行為は、人類にとって自殺行為以外の何物でもない。

これ等の再生エネルギーはまだ若い産業で、まだまだ将来の発展可能性を秘めている。従って、再生エネルギーは技術的ライフサイクルの、未だ導入期にあると言って良いであろう。

3-2. 原発システムにおける技術的選択

原子力発電の技術的ハイアラキーを考えるに当たって、第1章第3節で論じたアバーナシーによる、自動車のデザイン・ハイアラキーとの類推が役立つ。自動車産業の初期、エンジンの基本構造には電気式のエンジンと蒸気式、そしてガソリン内燃式の三種類があった。これらのコア技術は、それぞれその応用経路に従って、下位の問題と解法が連なる階層構造を有していた⁽³⁹⁾。

現状では、原子力発電の核分裂による熱源を利用する基本的コア技術には、なお多様性がある。このコア技術における多様性の存在は、原発産業が少なくとも部分的には、未だ流動的な段階にあることを意味している。つまり、まだ成熟期には入っていない。原発の各コア技術はそれぞれ下位問題と解法を連ねる、技術的ハイアラキーを有している。要するに、原発産業は技術的ライフサイクルの成長期、つまりボストン・コンサルティング・グループによる、プロダクト・ポートフォリオ・マネジメント（PPM）理論⁽⁴⁰⁾で言う、「花形」の初期段階に相当する位置にあるものと考えられる。

原子力発電のコア技術

原子炉には、冷却方法と燃料および制御技術、濃縮レベルに基づいて、4種類のタイプがある。第一のタイプは、「軽水炉」（LWR）である。これは、核分裂による熱源で通常の水を沸騰させるタイプの原子炉である。

このタイプの原子炉は、軽水（ H_2O ）で冷却・制御し、燃料に酸化ウランウムを用いるもので、日本で一般的なタイプである。このタイプの原子炉は、さらに「沸騰軽水炉」（BWR）と、「加圧式軽水炉」（PWR）に分類される。BWRが核分裂の熱で軽水を沸騰させるのに対して、

(37) Chandler Jr., A. *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Harvard University Press 1977

(38) Diamond, J. *Collapse*. Viking Press 2005

(39) Abernathy, W. J. *Productivity Dilemma*. John Hopkins University Press 1978

(40) Henderson, B. *The Product Portfolio*, Consulting Group 1970

PWRは核分裂の熱で沸騰する水に高圧力をかけて300℃まで沸点を上げる。BWRでは、水蒸気が原子炉内部で作られ、それが直接タービンに送られるが、PWRでは加圧装置に連結されたパイプを経由して、原子炉の外で水蒸気が作られる。PWRは、発電用と共に、原子力船でも使われている。PWRは、フランスで広く用いられている。原子力船の場合には、水蒸気はスクリュューに接続されている蒸気タービンに直接送られ、発電機は用いない。

第二のタイプは、「重水炉」(HWR)である。HWRのほとんどはPWRの加圧式を採用している。HWRでは、重水(D₂O)が冷却と制御に用いられる。HWRは、酸化ウラニウムか金属を燃料として使うことができる。さらに、HWRは電気と共にプルトニウムを作ることができる。

第三のタイプの原子炉は、「黒鉛炉」(GMR)であり、制御材として黒鉛を用いる。冷却剤としては、ガスと水の二種類がある。GMRも、電気と共にプルトニウムを作ることができる。ガス冷却式のGMRは、ウラニウム・ディカバイド(UC2)か、ウラニウムを燃料として用い、水冷式のGMRは酸化ウラニウムか金属を燃料に用いる。

ガス冷却式のGMRは、イギリスで広く用いられており、水冷式のGMRは、旧ソビエトで用いられていた。例えば、旧ソビエト連邦はReaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyy (RBMK)として知られる、独自の原子炉をチェルノブイリで創り出したが、これは黒鉛による制御と水冷装置を組み合わせたものだった。

第4章で論じるように、チェルノブイリ原発事故は、1986年4月25日に発生したが、それはこの原子炉の操作が難しかったためである。その原因は、原子炉の規模が大きかったことによって、反応のタイムラグが大きくなったことにある。当時世界最大規模を誇ったこの巨大原子炉は、規模の経済効果を狙ったに違いないが、このタイプの原子炉は姿を消すことになるだろう。

第四のタイプの原子炉は、「高速増殖炉」(FBR)である。最も一般的なFBRは、「液体金属高速増殖炉」(LMFBR)であり、電気と共にプルトニウムを作ることができる。燃料としては、酸化プルトニウムと酸化ウラニウムを、様々な割合で化学結合させて用いる。

LMFBRは液体ナトリウムを用いるが、これは水とほぼ同じ比重だが、沸点は880℃に達し、原子炉の冷却にも優れている。LMFBRは、核燃料の濃縮に用いられる。例えば、LMBRは核分裂によって、ウラニウム238からプルトニウム239を作ることができる。LMFBRはまた、プルトニウム239とウラニウム238を含む使用済み核燃料から作られる、MOX燃料を使用することもできる。

しかし、ウラニウム238は核分裂を起こさない。しかも、天然ウランの99.3パーセントは不燃性のウラニウム238であり、核分裂性のウラニウム235は僅か0.7パーセントに過ぎない。それ故、不燃性のウラニウム238をプルトニウム239に濃縮できるLMFBRは極めて重要で、特に天然資源に恵まれない国々にとっては、死活的な重要性を持っていると言って良い。

以上のように、原子炉には未だ多様なタイプが存在している。コア技術の多様性は、原子力産業がまだ成熟していないことを意味する。近い将来、いくつかの付属的な技術やコア技術が、淘汰されてゆくかも知れない。

核エネルギーの究極の魅力は、僅かな燃料から巨大なエネルギーが生み出されるところにある。しかしながら、原子力発電所の管理運営にはなかなか困難なリスクが伴う。その難しさは、核分裂反応のタイムラグにあり、これがしばしば予想外の過剰な核分裂を引き起こす。発電所の規模が大きくなればなるほど、このタイムラグは大きくなり、既に触れたように、チェルノブイ

り事故のような重大事故を引き起こすことになる。

さらに、原子力技術に付きまとうリスクとして、事故の発生地点から遠くまで、放射能汚染が発生してしまう危険もある。原発事故が起きた場合、発電所の規模が大きければ、それだけ放射能汚染も広範囲に亘ることになる。これまでに世界中で、いくつかの深刻な原発事故が実際に起こってきた。安全性を高めるための、弛みない努力は今後とも無論必要だが、それは安全性と効率性を高めて原発事故の発生を抑制する事のみならず、原発事故が起きてしまった場合に、放射能の除染や廃炉手続きなど、有効な事故対応モデルを構築しておくことも重要である。

原子力発電の技術的ハイアラーキーは、今後新たな技術的工夫が加えられるのと同時に、将来性のないデッド・エンド技術は淘汰されて、精緻化されてゆくであろう。

ドミナント・デザインという概念

第1章で述べたように、アバーナシーはその著書の中で「デザイン・ハイアラーキー」について論じている⁽⁴¹⁾。彼はフォード・モーターの詳細な研究に基づいて、自動車産業の発展過程を説明し、生産性と革新性の間に二律背反が存在することを主張した。

「流動的段階」と呼ばれる自動車産業の初期には、コア技術に関わる大きな技術革新が次々に起きた。例えばエンジンのタイプが、電気式になったり蒸気式になったり、あるいはガソリン内燃式になったりしながら、それらのエンジンに関わる改良やテストが繰り返された。

こうした多くの試行錯誤の末に、ドミナント・デザインが生み出されてくる。「ドミナント・デザイン」とは、作る側からも使う側からも満足できる内容の、製品形態を意味している。アバーナシーは、自動車の最初のドミナント・デザインを、1908年にフォード社が発売したモデルTにおいている。

モデルTは、ガソリン内燃式エンジンをコア技術として、プロペラ・シャフト、後輪駆動、機械式ブレーキ・システム等を下位技術として備えていた。ヘンリー・フォードは、このデザイン・ハイアラーキーを大量生産体制にマッチするように、一步一步つくり上げていった。他方、このデザイン・ハイアラーキーは、速度・安全性・運転の容易さ・価格・耐久性などの、顧客ニーズを満たすように形成された。

それ故にモデルTは、メーカーとユーザーの双方が満足できる、最初のドミナント・デザインとなり得たわけである。ひとたびドミナント・デザインが確立すると、大きな革新は鳴りを潜め、コア技術であるエンジン形態は、ガソリン内燃式に定着する。その下位技術として、トランスミッションやギア・システム、スロットル、ステアリング、ブレーキなどが開発され、定着してゆく。

一方、ドミナント・デザインが確立されると、生産性は急速に向上する。コア技術から下位技術に至る技術的なハイアラーキーが定着すると、製品の標準化が進み、自動車の大量生産が可能となった。その結果、製造コストが下がり、価格が減少し、生産性は向上した。

一端この高生産性が実現するや、その高収益性の故に、フォードは現状の維持に傾倒する。大きな技術革新をすれば、生産性の高い大量生産システムを作り直さなければならなくなるからである。かくして、高生産性が実現されると産業は成熟期に入り、急激な技術革新は敬遠されるようになる。

(41) Abernathy, W. J. op. cit.

要するに、急激な技術革新が続く流動的な段階では高生産性は実現されず、しかし一度高生産性が実現される成熟期に入ると、急激な技術革新は避けられるようになる。これが、技術革新と生産性の間に存在するディレンマである。

さて、我々は原子力発電のコア技術に多様性があることを見てきた。これは、原子力発電産業が少なくとも部分的には、まだ流動的な段階にあることを意味している。原子力発電のデザイン・ハイアラーキーは未だ確立されておらず、その技術的ハイアラーキーを築いてゆくための試行錯誤は、なおその努力の途上にあると言えよう。換言すれば、原発のドミナント・デザインは、まだ確立されるに至っていないとも言える。

3-3. デッドエンド・テクノロジーとは何か

デッドエンド・テクノロジーとは、実用的な技術への開発の道が閉ざされているような技術の意味する。デッドエンド・テクノロジーとなる原因はいろいろある。第一に、最初から基本設計に無理があるような場合である。このようなケースでは、コア技術がそもそも問題を抱えているので、その応用経路は全て無意味になる。例えば、レオナルド・ダビンチが15世紀に描いたスケッチに基づいて、ヘリコプターを創り出そうとした人が何人もいたが、このスケッチの基本的な構想には力学的なミスがあったので、どんな開発努力も実を結ぶことはなかった。

第二に、応用経路上の問題で、見込みのある改善が期待できない場合である。このようなケースでは、最初の問題を下位レベルの工夫によってうまく解決できない。第1章第1節で論じたように、技術的ハイアラーキーとは、応用の過程で生じる問題とその解決策からなる、階層的な連鎖である。つまり、この応用経路において問題が逐次小さくなってゆけば、遂には実用的な技術が出来上がる⁽⁴²⁾。

例えば、応用の過程で問題Aが発生したとする。この時、実用化のためには何とかAを解決せねばならない。仮に解決策Bが問題Aを解決できたとしても、Bも固有の問題を伴っている。解決策Bが引き起こす問題Cが、そもそもの問題Aよりも小さければ、Bは解決策として使い物になる。

しかし、もし解決策Bが引き起こす問題Cが、もともとの問題Aよりも余程深刻であるとすれば、解決策Bは「悪魔の解法」とも言うべきもので、無論解決策とはなり得ない。この解決策B自体がデッドエンド・テクノロジーであり、もし応用経路において他に有望な解決策が見つからないようなら、そもそものコア技術もデッド・エンド（行き止まり）ということになる。

第三のケースは、より優れた技術が劣った技術を、デッド・エンドに持ち込む場合である。例えば、航空機産業は飛行船産業をデッド・エンドに追い込んだ。一見、世界中に報道された1937年のヒンデンブルグ号の大惨事が、飛行船をデッド・エンドに陥れたかに見えるかも知れない。しかし、事故後には浮揚ガスとして、可燃性の水素が不燃性のヘリウムガスに変更されている。こうした改良にもかかわらず、飛行船産業を急速に衰退させたのは、より優れた移動手段としての飛行機の登場だった。

この第三のケースのような、新たなブレイクスルーが既存のコア技術をデッド・エンドに追い

(42) Oyama, K. "Corporate Strategy in Japanese High-Tech Industries" Public Policy and Administration No.24 2008 pp.67-71 Mykolas Romeris University of Technology.

込む事例は他にもいろいろある。例えば、半導体は真空管を陳腐化させ、電気機関車は蒸気機関車を駆逐した。

一般に、ブレイクスルーによって生まれた新しいコア技術が、新しいドミナント・デザインを確立した時、既存の技術は駆逐される。上述のように、アバーナシーが流動的段階と呼んだ、ドミナント・デザインがまだ確立しない状態では、新しいコア技術は既存の技術を駆逐することはできない。

例えば、モデルTがガソリンエンジンのドミナント・デザインを確立した時、蒸気エンジンと電気エンジンは、デッドエンド・テクノロジーとなった。他方、ジェットガスタービンという真のブレイクスルーで、ジェット機がドミナント・デザインを確立した後も、プロペラ機が生き残っているような事例もある。これは、近距離飛行ではプロペラの方が経済的だからである。

プロペラ機が完全に姿を消す日が来るのか、またいつさらなる新しいブレイクスルーが起こるのか。さらに、火力発電のブレイクスルーの一種とも考えられる原発の将来を、どのようにして予測したらよいのであろうか。技術の将来を占う上では、競争のタイプがヒントを与えてくれるであろう。

プロダクト・ライフサイクルと競争のタイプとの関係

土屋は、アバーナシーと M. ポーターの理論に基づいて、競争のタイプがプロダクト・ライフサイクルに従って変化することを主張した⁽⁴³⁾。土屋は、導入期と呼ばれるプロダクト・ライフサイクルの初期には、競争は主として安全性の向上や、信頼性、耐久性、持続性などを高める品質競争になると述べている。彼は、このタイプの競争をポーターの言う差別化戦略に属するとしている⁽⁴⁴⁾。

流動的な段階とは、ドミナント・デザインが確立するまでの間、多様なコア技術に関する試行錯誤がなされる、ライフサイクルが成長期に入る前段階に当たる。一度ドミナント・デザインが確立すると、大きな技術革新は少なくなり、小さな改善が主流となる。

土屋は、成長期になると競争の焦点は、品質から価格に変化すると述べている。言い換えれば、製品ライフサイクルが導入期から成長期に進むに従って、競争戦略は差別化戦略から、コスト・リーダーシップ戦略にシフトする。

成長期に入ると、企業はコストを削減し低価格を実現しようと鎬を削る。こうした低価格化の厳しい競争のうちに、しだいに成熟期を迎える。この時期になると、コスト削減も低価格化も限界に達し、需要も飽和状態になってくる。

この成熟期において、再成長を促すような新製品の開発が試みられることがある。土屋は、その実例として1920年代の終わり頃、GMによって開発されたキャデラックのような、贅沢なロード・クルーザーの事例を挙げている。この新型車は、フォードのモデルTを駆逐した。このニュー・モデルは、コア・テクノロジーではなくむしろ外観や居住性能によって、自動車のドミナント・デザインを塗り替えていった。

アバーナシーは、この再成長期を「産業のルネッサンス」と呼んだ⁽⁴⁵⁾。土屋は、この再成長

(43) Tsuchiya, M. 『企業と戦略』 *Enterprise and Strategy*. Media-factory Press 1984

(44) Porter, M. E. *Competitive Strategy Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. Free Press 1985

期において、競争の焦点がコスト・リーダーシップ戦略から、差別化戦略に変化する事、すなわち再び価格競争から品質競争に変化する事を指摘した。

もちろん、こうしたモデル・チェンジはブレイクスルーとは言えない。ガソリン内燃式エンジンという同じコア技術に依存しているのだから、再成長期は間違いなく同一の技術的 S カーブ上に乗っている⁽⁴⁶⁾。

そして、再成長もいずれ成熟期を迎え、再びコスト・リーダーシップ戦略が主流となるであろう。土屋は、こうしたライフサイクルに即した競争戦略の変化は、あらゆる製品に共通して観察されると主張する。そうであれば、我々はプロダクト・ライフサイクルに連動する競争のタイプを観察することによって、ニュー・モデルの登場やドミナント・デザインの形成、あるいはブレイクスルーの誕生を予測することができるかも知れない。

ちなみに、水素ガスを用いたハイブリッド・エンジンは、コア技術に関わる革新であるから、ブレイクスルーと言うことができる。従って、ハイブリッド車は、モデル T やロード・クルーザーのような高級車と同じ S カーブ上にはない。無論、企業にとってコストは常に大事な関心事だが、現在ハイブリッド車の競争の焦点は、価格競争よりもむしろ品質競争にあると言えるであろう。

原発産業においては、現状価格競争が主流になっているとは言い難い。この点からすると、原発産業はまだ導入段階で、流動的な状況にあるのかも知れない。第 5 章第 1 節および第 6 章第 1 節において論ずるように、部分的には原発のドミナント・デザインはできてきているのかも知れないが、現状原発産業が重要な試行錯誤の途上にあることは間違いない。

チェルノブイリの大惨事の後に、RBMK がその基本構造の欠陥から淘汰されたように、ドミナント・デザインが確定してゆくとき、いくつかのコア技術は必然的に姿を消すことになるであろう。

3-4. 結論

本章では、水力、火力、原子力、再生エネルギー発電の 4 タイプの発電技術について、技術的ハイアラキーの概念を応用しながら要約した。技術的ハイアラキーの概念に基づいて、これ等の発電技術が抱える問題と、その解決策を論じてきた。

さらに、技術的ハイアラキーの概念を通して、各発電技術のライフサイクルを検討した。例えば、水力発電はダムによる海岸線の後退や、ダム自体の水深が浅くなるなど、解決困難な問題に直面していることから、成熟期または衰退期にあり、ボストン・コンサルティング・グループの PPM 理論で言えば、「金のなる木」か「負け犬」に位置づけられると考えられる⁽⁴⁷⁾。

火力発電所は成熟期にあり、PPM 理論に言う「金のなる木」に相当する。しかし、化石燃料を燃やした時に放出される、有毒ガスや CO₂ の削減については、現状からの改良の余地はほとんど見込めない。

原発技術は成長期に入り「花形」に位置づけられるであろう。しかし、まだ原子炉のドミナ

(45) Abernathy, W. J./ Clark, K. B./ Kantrow, A. M. *Industrial Renaissance Producing a Competitive Future for America*. Basic Books 1983

(46) Foster, R. *Innovation: The Attacker's Advantage*. Sumt Books 1988

(47) Henderson, B. op. cit.

ト・デザインが確立されていないので、部分的には流動的な導入期に属しているとも観ることができる。

再生エネルギー発電はまだその歴史が浅く、改良改善の余地は大きいから導入期にあり、PPM 理論に言う「問題児」に位置づけられると考えられる。

ポートフォリオ概念を以てエネルギー政策を考えれば、将来は次第に水力発電を休止し、火力発電を維持しつつも、原発技術と再生エネルギーの技術革新を進めるべきではないであろうか。

4. 福島原発事故の事例

本章においては、第1章の図1に基づきながら、2011年に起きた福島原発事故について検証してみることにしよう。福島原発事故の真の原因を明らかにし、原子力エネルギーに伴うリスクを軽減するために、技術的および社会的要因を複合的に分析し、原発技術の将来をできるだけ正確に予測してみたいと思う。

先ず、事故の技術的な原因について検討し、次に、社会的原因を検討する。福島原発事故に特有の技術的原因は、チェルノブイリ原発事故との比較によって明らかとなる。さらに、福島原発事故を防げなかった、日本の管理とリーダーシップの弱点を検証することによって、今後のあるべき管理法とリーダーシップのあり方を考える。

この日本的な管理やリーダーシップを検討するに当たって、事故原因と共に事故による被害を明確に認識することが先ずは不可欠となる。そして最終的には、日本型の管理やリーダーシップでは、国内の文化や雰囲気やを制御することが難しいとの結論を得るであろう。日本型の管理法やリーダーシップを賞賛する欧米の研究を散見するが、日本型のリーダーシップ・スタイルでは、その専門知識や技能、あるいは勇気を振り絞っても、社会全体の空気に抗うことは困難である。

4-1. 福島原発事故とチェルノブイリ事故との違い

国際原子力事象評価尺度（The International Nuclear and Radiological Event Scale : INES）では、原発事故の深刻度が1から7までにランク付けされている。福島原発事故は、チェルノブイリ原発事故と同じ、レベル7に分類されている。この INES 基準のレベル7判定には、当時の菅直人首相が関与したと言われる。

しかしながら、この菅政権の関与に関しては、原子力の専門家の間でこれを批判する意見がある。例えば、M. トランはサンディエゴ大学の M. ジェネックス准教授による、以下のような批判を紹介している⁽⁴⁸⁾。

チェルノブイリと同レベルに引き上げるというのは、やり過ぎであろう。

近いレベルとも、到底言えない。チェルノブイリは本当に悲惨だった－

格納設備は全て吹き飛ばされて、跡形もなかった。彼ら〔福島〕の場合、

格納設備は健在で、燃料プールで火災が起きたに過ぎなかった。

トランは、公式データの比較によって、福島とチェルノブイリの事故の違いを分析している。

(48) Tran, M. Nuclear crises: “How do Fukushima and Chernobyl compare?” *The Guardian*, April 12, 2011

例えば、チェルノブイリの事故では稼働中の原子炉が爆発しているが、福島の場合は原子炉が事故の原因ではなく、冷却装置が津波によって停止したことによる事故である。

トランはさらに、両発電所の事故で放出された、放射性物質の総量を比較している。日本原子力安全委員会によれば、福島原発から放出された放射性物質は、10ペタベクレル (PBq) と見積もられているが、チェルノブイリ事故で放出された放射能は、概算5,200PBq にのぼっている。

また、トランはチェルノブイリ事故では50人のレスキュー隊員が、急性被曝と関連疾患で死亡し、さらには4,000人の子供や若者たちが甲状腺がんにかかっていると述べる。これに対して、福島の事故では被爆死の報告は全くなく、21名のプラント作業員が軽い放射能疾患にかかっただけである。

J. マファフィーは1950年代から様々な原子力事故を調査してきたが、福島とチェルノブイリの事故についても詳しく調査している⁽⁴⁹⁾。マファフィーの調査と公式の報告書に基づいて、2011年3月11日に起きた福島原発事故と、1986年4月26日に発生したチェルノブイリ原発事故との、重要な差異についてここで要約しておくことにしよう。既述の如く、両事故は INES の基準で同じレベル7に分類されているが、両者には大きな違いがある。

第一に、福島原発事故は、マグニチュード7.2という東日本大震災後に襲った、49フィートの津波によって起こった。地震発生と同時に、稼働中だった原子炉1・2・3号機は全て自動停止し、緊急冷却装置とディーゼル発電機が稼働し、原子炉は正常に冷却されていた。しかし、地震の約50分後、大津波が発電所全体を水没させた。

これに対して、チェルノブイリの事故は、原子炉の稼働実験中に、人為的なミスと操作マニュアル違反によって起こった。マファフィーは、チェルノブイリの RBMK には、構造上の危険があったと指摘する。後述するように、福島のマーク1型 (M-1) BWR にも弱点がないわけではなかったが、RBMK のような根本的な欠陥はなかった。

第二に、チェルノブイリ原発事故では、原子炉そのものが稼働中に爆発したのに対して、福島の事故では1・2・3号機の建屋が水素ガスのために爆発したに過ぎない。マファフィーは、見かけ上爆発後の惨状を晒す福島原発だが、各原子炉の燃料プールが健全だったことを見抜いている。

2号機は稼働中だったのに、建屋が爆発しなかったのは、隣の1号機建屋の爆発の時に空いた大穴から、水素ガスが排出されたからである。これに対して、4号機は稼働していなかったのにその建屋が爆発したのは、水素ガスの排気管を3号機と共有していたために、そこから水素ガスが流入したためである。

マファフィーは、チェルノブイリの事故写真について、次のように述べている。「完全に破壊されており、発電所の跡形もない」これに対して、福島事故の惨状を写した写真については次のように言う。「見た目は惨憺たるものだが、見かけほど悪くはない。建屋の屋根は吹き飛んでいるが、それらは燃料供給装置を雨で濡らさないためだけに建てられたもので、原子炉は厚いコンクリートで守られており、燃料プールも無傷である。」

第三に、チェルノブイリ事故による被害は、福島の事故とは比較にならないくらい深刻である。既に述べたように、被曝による死者数も拡散した放射能の総量も、大きく異なっているが、

(49) Mahaffey, J. *Atomic Accidents*. Pegasus Books, New York, 2014

その上、放射能で汚染された地域に大きな差がある。国連の調査発表によれば、福島事故では、放射能濃度が年間平均値を超えた地域が、北西に60km、南西に40kmであったのに対し、チェルノブイリでは500km以上に放射能汚染が広がった。

4-2. 貴重な忠告を無視した東京電力の失策

東京電力（TEPCO）の経営陣は、当時 IAEA の副事務総長であったブルーノ・ペロードの、重要な忠告を無視した。このアドバイスは、アメリカのジェネラル・エレクトリック社製造の M-1 型原子炉に関する、以下のような 4 点からなり、福島原発事故の 18 年も前の 1993 年に提唱されていた⁽⁵⁰⁾。

a) 格納容器と建屋の補強

ペロードは、M-1 型の原子炉設備の弱点を次のように指摘した。原子炉が建屋と近接していて隙間が狭いので、水素ガスが発生した時、建屋は簡単に爆発する。そうした爆発を防ぐために、格納基と建屋の補強をすべきである。

b) 電源の多様化

ペロードは、大波による水没に備えて、高台に代替電源を設置することを推奨した。日本の原発は、海水を冷却水に用いるために、全て海岸に建てられている。つまりペロードは、大きな波が発電所全体を水没させる事態を恐れていた。

c) 水素ガス圧を下げるために水素を酸素と化合させる装置の取付

彼はまた、各ユニットに酸素の放出装置を付けることも薦めた。酸素が冷却システムから放出される水素ガスと化合して水になれば、水素ガスは減り、爆発を防ぐことができる。

d) 水素ガスを除染して外部に放出する換気扇の設置

水素ガスが急速に発生した時には、換気扇で排出するのが最も効果的だが、ガスは当然放射能を帯びているので、除染してから排出する必要がある。

もし TEPCO がこれらの忠告に従っていたら、福島原発事故は起きなかったであろう。たとえ全ての忠告を聞き入れなくても、b) の提案だけでも実行していたなら（事実この提案が決定的に重要だった）、事故は防げていたであろう。

詳しく調べてみれば、福島原発事故が原発それ自体の原因で起きた事故ではなく、津波によって冷却装置の電源が喪失したことによる事故であったことが分かる。

なぜペロードの忠告は無視されたのか

ペロードは、彼の忠告が東電によって拒否されたことについて、以下のように語っている。「東電の幹部たちは神の如くに尊大で、マーク-1 型原発を作った GE 社からの忠告なら聞き入れたかも知れないが、私などはまるでよそ者扱いだった」⁽⁵¹⁾

確かに、ペロードの忠告を無視した東電は傲慢だったが、何故彼らがそのような傲慢になったのか、その原因を探るために、日本の原子力発電の開発に関する歴史を、少し検証してみよう。

第二次世界大戦中、日本の原子力関連の科学者たちは、世界最先端のレベルにあったが、1945

(50) Pellaud, B. Sankei Journal, p.3, June 12, 2011

(51) Pellaud, B. Ibid., p.4, June 12, 2011

年に日本が敗戦を迎えると、GHQは日本の原子力開発を禁止した。それ故、日本の原子力開発は、1952年に日本が主権を回復するまで再開できなかった。

1955年に原子力基本法が成立し、翌1956年には日本原子力委員会と日本原子力研究所が設立され、1957年には日本原子力発電事業団が設立された。そして、1963年には東海村に原子力発電所が創設された。

戦争末期の1945年、広島と長崎での悲惨な被爆体験にもかかわらず、この当時の日本の世論は原子力開発に支持的だった。日本人の多くは、原子力発電が火力や水力に代わる重要な代替案であると信じていた。戦時中、ガソリンの欠乏に苦しめられた経験も、原発開発を支持する世論に影響していたであろう。さらに、1949年に湯川秀樹博士が、原子物理学の分野で日本初のノーベル賞を受賞したことも、原子力開発を支持する世論を後押しする結果となったと言えるであろう。

その頃、ヨーロッパでもアメリカでも、核物質に対して極端な楽観的主義が広まっていた。例えば1933年、フランスではトリウムとラジウムの入った、フェイス・パウダーやフェイス・クリーム、石鹸などが発売され、何と1965年代まで続いたのである⁽⁵²⁾。同様にニューヨークでも、ラジウム入りの蛍光塗料が販売されていた。

日本の原子力産業は、米国企業ジェネラル・エレクトリック（GE）およびウェスチング・ハウスと、日立、三菱重工、東芝との協力によって、急速に発展した。そこに起きた、1973年と1978年の二度のオイル・ショックは、原子力発電所の抱える諸問題にもかかわらず、いやが上にも原発開発を加速させた。この二度の石油危機の後、石油価格は1バレル当たり20ドルから110ドルに跳ね上がっていた。石油の99%を輸入に依存する日本にとって、原発開発は不可避な選択となった。

1970年代に、日本の原子力発電所は顕著な発展を示した。1970年代、原子力発電所の平均稼働率が40パーセントから60パーセントであったのに対し、1980年代から2000年代にかけて、平均稼働率は70パーセントから80パーセントにまで上昇した。中瀬は、この成功体験が東電を含む日本の電力会社の傲慢を生み、誰も原子力技術の向上に異論を挟めない雰囲気を作っていたのではないかと述べている⁽⁵³⁾。

さらに、1990年代に盛んになっていった地球温暖化防止の議論が、原子力技術の開発を促進する。特に、気候変動に関する国際連合枠組条約における京都議定書によって、CO₂排出を削減できる原発技術の開発が推進されることになった。

他方、1979年に起きたスリーマイル島の原発事故の後、反原発運動が特にアメリカで勢いを増し、かなり感情的な広がりを見せる。そして、1986年のチェルノブイリ原発事故によって、反原発運動は世界規模に発展した。日本でも、反原発運動は反戦運動や反核兵器運動と通底しながら、大きな運動となっている。

日本の原発企業は、反原発運動と向き合いながら、CO₂削減のために原子力発電の開発をしなければならない。確かに、原子力発電所の技術向上の過程で、企業リーダーたちが傲慢になっていったことは事実であろうが、ペロードの忠告が無視された根底には、激しい反原発運動の存在

(52) Mahaffey, J. *Atomic Accidents*. Pegasus Books, New York, 2014: photographs pp.202-203

(53) Nakase, T. 『日本電気事業経営史—9電力体制の時代—』日本経済評論社 2005 *History of Japanese Electric Industry – Nine Electric Companies' Era* – Nihon Keizai Hyoronsha LTD, 2005

が作用していたのではないだろうか。

というのは、原発企業の経営管理者たちは、各都道府県に原発を作るためには、反原発運動のリーダーたち等に、安全性を保証しなければならなかった。勿論、100パーセント安全な技術などあるはずはない。しかし、それでも原発企業は、原発施設の完全な安全性を宣言しなければならなかった。それなしでは、日本の反原発の空気からして、どこにも原発を作ることができなかったからである。原子力会社のリーダーたちは、言わば反原発の感情的な煽動に対して、真正面から科学的で論理的な説明をすることを、むしろ避けていたというべきであろう。彼らは、科学的アプローチによる困難な説得と交渉を、最初から放棄していたきらいがある。しかしながら、いったん100パーセントの安全を請け合ってしまうと、原発設備の改善策を受け入れにくくなったに違いない。なぜなら、改善提案を受け入れるということは、原発が決して100パーセント安全ではなかったことを裏書きするようなものだからである。

無論、彼等の傲慢さもベロード提案を無視した原因に違いないし、もしかすると彼らの内の3分の1か、あるいは半数くらいは、彼等の作った核施設は本当に100パーセント安全だと、信じ込んでいたのかも知れない。

4-3. 日本的なリーダーシップと意思決定過程の特徴

福島原発事故後の日本には、原発技術を感情的に避ける不合理な空気がある。日本文化には、そうした雰囲気や国民を支配してしまいがちな特徴がある。だから、往々にしてマスメディアは、そうした雰囲気を操作しようとする。

日本のリーダーたちは、どんな話題であれ大勢を占めているような世論に、論争を挑むようなことはしない。例えば、福島原発事故の前にも、日本の電力会社の幹部が、反原発の主唱者と核技術の安全性について、議論をするようなことはまずなかった。経営者たちは、突き詰めた科学的論争を避けて、安易に彼らの原発が100パーセント安全だと公けに請け合った。彼らリーダーたちは、反論の嵐が過ぎ去るのをただ我慢して待つのみである。これが日本的リーダーシップの特徴であり、技術的リスクを引き起こす社会的要因の一つであるとも言える（第1章、図1参照）。

100パーセント安全宣言が改良・改善を妨げたのと同じことが、福島事故後の現在でも繰り返されている。原発事故前と同じように、日本のリーダーたちは、政治家も役人も経営者も、原子力エネルギーの将来について、反核論者と激しい論争をしようとはしない。このような論争を避けることを優先する、伝統的な日本型リーダーシップには深刻な限界があることを、我々は認識しなければならないであろう。

科学的根拠に基づく基準の重要性

日本型のリーダーシップは、昔から様々に異なる意見を調整するところにあると言われてきたが、こうしたリーダーシップ・スタイルは、主に組織メンバーの感情に配慮してきたと言って良い。確かに、こうしたリーダーシップ・スタイルは、組織内の感情的な調和を保つには有効かもしれない。しかしながら、論争を通じて何らかの真理に到達したり、それによって何か重要な目的を成し遂げたりするには、問題があると言わなければならない。特に、既に論じたように、日本のリーダーたちが骨の折れる論争を避けるために、世の大勢に迎合したりおもねったりする傾向にあることは、日本型リーダーシップの深刻な欠点である。

将来、日本のリーダーたちは、いかなる組織のリーダーであろうと、真の公共の福祉のために、いかなる相手であろうと、またいかなるテーマであろうと、論争を厭わぬ勇気が必要になるであろう。実際、どんな議論においても論争においても、科学的な根拠は重要に違いない。日本のリーダーは、感情ではなくこの科学的なデータや知識によって、反対者を説得するのでなければならない。

4-4. 結論

本章では、技術的要因と社会的要因の双方から、福島原発事故の原因を検証した。技術的要因としては、核施設の構造や機能に問題があったわけでもなく、地震自体に問題があったわけでもなく、地震後の津波によって発電所の設備が水没したことで、バックアップ電源が失われたことに問題があったことが明らかとなった。

福島原発も同様、日本の原発は一定の地震発生時には、全ての原発が自動停止している。しかも、全ての発電所において、代替電源によって直ちに原子炉の冷却が開始されている。

故に、第一福島原子力発電所事故の真の技術的要因は、原子力技術でもなければ地震それ自体でもなく、代替電源の喪失だったのである。つまり、ペロード提案に従って高台に代替電源を取ってさえいれば、何事もなかったはずの事故原因である。

にもかかわらず、パニックに陥った日本政府は、日本中の原発を止めてみたり、何十億円もかけて100万年以上も昔の活断層を調べるために、各発電所の敷地をほじくり返してみたりし始めたわけである。

そして、我々はまた、福島原発事故の社会的原因についても検討し、日本的なリーダーシップや管理法の弱点を見出した。特に、多くの日本のリーダーは、感情操作に頼らない科学的論理による苛烈な論争に弱い。彼らは、安易に過剰な要求や過酷な安全基準を認めてしまう傾向にある。

次章では、フランスの原子力エネルギーを検証してみよう。日本とフランスの比較研究を通じて、両国の原発依存率の違いをもたらししている基本的原因について、理解を深めることができるに違いない。

5. フランスの原子力発電産業

本章では、フランスの原発産業について、その歴史と共に問題点やリスクを検証する。現状のように高い原発依存度（総エネルギーの70パーセント以上）を維持するためには、当然広い国民的合意が必要となる。本章では、フランスのエネルギー政策について、国民合意の形成過程メカニズムに注目しながら、検討してみることになろう。

5-1. フランスの原発産業の歴史

フランスの原子力発電能力は、1977年までは5,000MWe（メガワット）に過ぎなかったが、1988年には50,000MWeまで増加し、1997年以降60,000MWeを維持している。2018年、フランスは全体で582TWh（テラワット時）のエネルギーを算出しているが、その内訳は以下のとおりである。原子力71%、水力12%、天然ガス5%、風力5%、バイオおよび廃棄物2%、石炭2%、

太陽光2%、石油1%である⁽⁵⁴⁾。エネルギーの純輸出率は、18.8%である。2020年6月現在、フランスでの稼働原発は、56基である（日本のエネルギー・ミックスについては、第6章第1節を参照）。

1973年の第一次オイル・ショック直後の1974年、フランス政府は発電ミックスの推進を決め、ウェスチング・ハウス社との提携によって原発能力の発展を目指し、また重工業分野における十分な専門知識を生かそうとした。原子力発電によってエネルギーの自立が可能となり、国家のエネルギー政策と安全保障が増進した。その他の、石炭や石油、天然ガスなどのエネルギー源は、フランスを資源保有国に依存しなければならない地位に追い込むことになる。

1997年の京都議定書、および2016年のパリ合意以来、原発はフランスにCO₂排出量の極めて少ない発電方法を提供するという意味でも、重要な手段となっていた。水力発電も、同様にCO₂を排出しない発電方法ではあるが、第3章第1節で論じたように、その技術的ライフサイクルが既に衰退期にあることから、将来重要なエネルギー源となることは考えにくい。

最初の国民エネルギー討論は、フランス国民のエネルギー関連の問題からは、つなば棧敷に置かれているという不満に応える形で、2003年の初めに告知された。国民投票の結果、67%の国民がエネルギー政策で最も重要なことは、環境保全であると考え、58%の人々が原発は環境に何らかの変化をもたらすと考えていることが分かった⁽⁵⁵⁾。この国民論争は、その後30年間のエネルギー・ミックスの趨勢に影響を与えることになる。

2004年の半ば、フランス電力会社（EDF）の取締役会は、アレバ社が開発した加圧式軽水炉（EPRs）の1号機を建設する基本方針を決めていた。国民討論後の2006年5月、この決定はEDFの役員会で確認され、ノルマンディー、フラマヴィルに出力1650MWeのEPRが新設された。この決定は、EDFの原発ミックスの再生を示す、基本的な一歩となった⁽⁵⁶⁾。

2005年には、新しいエネルギー政策と安全基準を法制化した。国民討論では58%の国民が、原発の環境変化に対する影響について懸念を示していたのだが、法制化されたガイドラインでは、原子力発電を優先させ、EPRs シリーズ40の建設を進めることになっていた。同時にガイドラインには、二酸化炭素の排出削減と再生エネルギーのための、技術革新を目指す研究開発も盛り込まれていた。こうした基本方針は、民主的な手法というよりも、むしろ政府の専門家組織によって決定されたといえる。本節では、この意思決定過程について、検証してみることにしよう。

2008年には、最高レベルの原子力政策委員会（CPN）が創設された。この委員会は大統領が議長を務め、首相以下、エネルギー、外務、経済、産業、貿易、科学技術、財務の各省庁の閣僚および関係者から構成される。さらに、国防大臣と軍の幕僚からなる原子力エネルギー委員会（CEA）がある。CPNは、国家の基本的な核エネルギー政策を決定する権限を持った、権威主義的な専門家組織である。

2009年1月、サルコジ大統領はEDFがペンリ・ノルマンディーに、二基目の1650 MWe EPRを建設すると発表し、2010年に公開討論会が企画された。しかしながら、原子力安全専門会議（ADSN）がEDFの原発建設に反対した。原子力政策評議会（NPC）はアレバ社とEDFに対して、新しいEPRを作る前に、技術的および商業的な相互協力関係を深めるべきことを勧告し

(54) *International Energy Agency and The World Bank. Data for year 2018*

(55) *Ibid.*

(56) *EdF, Review of the French Nuclear Power Programme*, EdF website, Nov 1996

た。2011年7月、アレバ社と EDF は、フラマヴィル3のEPRにおいて、設計、建設および保守の協力に合意した。

2012年、オランダ大統領はエネルギー・ミックスにおける原発比率を、低減させるエネルギー政策を発表した。オランダ大統領は、エネルギー政策に関する新たな国民討論を企画し、2013年7月までの8ヶ月間、エコロジー、環境保全、エネルギー等の各省庁によれば、1,000の地域で170,000の人々がディベートに参加し、1,200の提案が寄せられたという。この国民討論の結果、国民の原発リスクに対する懸念と、原発依存度の低減を歓迎する民意が明らかとなった。

このフランスの世論が、2011年3月に起きた福島第一原子力発電所の事故に、影響されていることは明らかであろう。しかし2013年9月、科学技術評価会議（OPECST）が、もし原発依存度を急速に下げて、不十分な再生エネルギーに頼るとすると、エネルギー不足や電気料金の高騰などの危険がある、との報告書を提出した⁽⁵⁷⁾。

2014年10月、国民討論の結果に基づいて、エネルギー緑化推進法案が議会を通過し、2015年7月同法案は成立した。この法案では、国のエネルギー・ミックスにおける原発依存度を、2025年までに50%まで低下させることが謳われていた。しかしながら2017年12月、E. マクロン大統領は原発依存度の50%への削減目標を、2025年から2035年に10年延期した。現状では、原発が最もカーボン・フリーで再生エネルギーとしての可能性も秘めている、というのがその理由だった。

2015年半ばアレバ社は、EDF との提携によって構造のより簡略化された EPR モデルができ、25%ものコスト削減が可能になると発表した。2015年7月、EDF はアレバ原子力（NP）の51-75%の株式所有に合意した。2017年7月には、フラマトムが新アレバ原子力（NNP）と社名変更し、アレバ社の保有する、原発関連設備の設計、製造、サービス等全ての資産を引き継いだ。

2018年2月には、幾多の合従連衡の末、オラノ社がフランス政府45.8%、アレバ S. A. 40%、三菱重工5%、日本原燃5%、CEA 4.2%の共同出資によって創設された。オラノ社は、2018年には現金収入の増加に力を入れていたが、2020年にはサービス体制の構築に専念している。そして、2020年までにはアジアでの収益を、30%以上にすることを目標にしている⁽⁵⁸⁾。

5-2. 原発産業におけるリスク

原子力発電にまつわる主なリスクは、核廃棄物と発電所の事故であると言って良い。核廃棄物は、使用済み核燃料のリサイクルによって、削減することができる。燃料サイクルの最後に残される、核廃棄物は地下の保管場に貯蔵される。高濃度の放射性廃棄物は、445-490mの地下実験場に保管されている。以下、核燃料サイクルの現状と、核廃棄物処理、そして事故リスク管理の実情を検証してみよう。

核燃料サイクル

第3章第2節で既に論じたように、高速増殖炉（FBRs）は核燃料サイクルにとって、決定的に重要な技術である。それはFBRが、プルトニウム239とウラニウム238を含む使用済み核燃料から作られる、MOX燃料を使用することができるからである。天然ウランの99.3%は不燃性のウラニウム238であるが、FBRは核反応を通じて、このウラニウム238からプルトニウム239を産

(57) *International Energy Agency and The World Bank*, op. cit.

(58) *Ibid.*

出すという重要な役割を果たす。

ところが、現在フランスでは二基の FBR はともに、事故の頻発や政治的判断によって停止中となっている。まず、フェニックス原子炉が1974年に操業を開始したが、1998-2003年に掛けて、改修工事のために停止され、その後使用済み核燃料のリサイクル操業のテストの後、2009年に完全閉鎖が決まった⁽⁵⁹⁾。第二に、スーパー・フェニックス原子炉が、1996年に操業を開始したが、早くも1998年末には政治的な理由から閉鎖されている。

EDF は、今後も FBR 再構築の計画を維持する意向を示しているが、現状では MOX 燃料を PWRs (加圧式軽水炉) で使うことによって、核燃料サイクルはほぼ完全に機能していると言える。現在フランスの15基の PWRs で、使用済み核燃料から作られる MOX 燃料の90%が使用されている⁽⁶⁰⁾。

核廃棄物処理

核のごみ処理問題は、これを永久に際限なく続けてゆけば、放射能汚染が拡大すると主張する反原発論の、一つの重要な論点となっている。核廃棄物は、高濃度汚染と中程度、低度に分類されている。現在、高濃度核廃棄物は、フランス東部ビュールにあるコンクリート製の地下保管実験場で、ガラス・コーティングされ地下445-490m に保管されている⁽⁶¹⁾。

フランスの国立核廃棄物管理機構 (ANDRA) は、1991年に廃棄物管理法 (2006年改正) に基づいて創設された⁽⁶²⁾。2019年4月の ANDRA の報告によれば、フランスに現存する162万立方メートルの核ゴミのうち、59%は原発から排出されており、28%が研究所由来の廃棄物、9%は軍事関連、3%が原発以外の産業、1%が医療関連となっている。

国家評価委員会 (CNE) は、2006年成立の改正廃棄物管理法に基づいて設立され、高濃度および中濃度汚染廃棄物関連の研究開発 (R&D) 評価を担当している。例えば、深層地下処理、原子核の分解変質、核ゴミの貯蔵関連の R&D 等である。2007年以来、CNE 2 は CNE の機能を拡張し、核ゴミ関連の R&D 管理の進捗状況を、EDF と CEA (原子力等エネルギー委員会)、ANDRA、および国立科学研究センターと連携して、CNE 年次レポートを公開している。このような、組織横断的な数々の年次報告書が、原発産業への支持的な国民世論形成に貢献していることは間違いない。

2006年6月、核汚染物質・廃棄物管理法が成立し、高濃度・長寿命放射性廃棄物について、深層地下処理の必要性が確認された。この法律は同時に、核ゴミを減らすためには使用済み核燃料の再処理が重要であることも明記していた。1992年以降、ANDRA はオープンに、1万立方メートルの低中濃度・短寿命放射性廃棄物の、処理センターを建築・運営している。

核廃棄物処理の中心的問題は、以下の二つに分類される。すなわち、核廃棄物を分解・変質さ

(59) World Nuclear Association, *Nuclear Power in France*, January 2021 <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/France.aspx>

(60) フランス電力会社 (EDF) の、V. ディフルール日本・韓国事業部長へのインタビュー (2021. 6. 11)、および同社元役員の、H. マシュノー氏に対するインタビュー (2021. 10. 4) に基づく。

(61) 筆者は、2022年2月28日、ビュールにある ANDRA の核廃棄物地下保管実験場を視察し、ガイドのタリエ氏から同プロジェクトの説明を受け、タリエ氏同行のもと地下490m の地下実験施設を実地踏査した。

(62) Agency for Natural Resources and Energy in Ministry of Economy, Trade and Industry, "High-level Nuclear Waste Disposal in France," Dec. 2011

せる技術と、保管場所の限界である。第一に、核廃棄物を無害な物質に分解する技術が完成すれば、各ゴミ問題は一気に解決されるわけだが、そういう未来の技術革新を期待しつつ、ビュールの保管実験場は、取り出し可能な保管方法に基づいて、今も掘り続けられている。ところで、核物質分解技術の革新は、現在のところ進展の様子はほとんどない（脚注(60)参照）。

第二に、廃棄物保管場については、ANDRA による 4 地域における地質調査が、地元の反対運動によって、1990年に中止に追い込まれたことがある。1991年以降廃棄物管理法が成立すると、ANDRA は地質調査を進め、ビュールに地下貯蔵施設の建設を進めている。2025年までには、本格稼働が予定されている。

脚注に前掲の EDF 役員二名は、核廃棄物が鉄とコンクリートで保護されているため、保管施設が岩盤構造である必要がないこと、そのため保管場所に制約はほとんどないことを指摘している。

原子力発電所の事故管理

現在、ほぼ全てのフランスの原発は、川の水を冷却水として利用しているため、川の近くに建設されている。フランスでは地震のリスクがほとんどないため、冷却システムの安全管理が、発電所の安全のための主要な問題である。確かにフランスでも、建屋の強化や振動に対する自動停止システムなど、耐震システムは装備されている。しかし、ここでは冷却システムの制御に焦点を当てて、検証してみることにしよう。

1999年12月27日、大雨のために氾濫したジロンド川によって、川岸にあるブレイエ原発が冠水した。稼働中の 4 基の原子炉の内の 3 基が、安全確保のために手動で停止された。この洪水によって、原子炉冷却システムは損傷を受けたが、PWR は加圧された沸騰水から水蒸気を作るための電源を他に持っているため、この電源を使って原子炉の冷却をある程度確保することができた。そのため、結果としてブレイエ原発の専門家によって、レベル 2 と評定される事故に留まることができた。

この事故は、冷却装置を動かしている電源が水没したという点で、福島に似ている。だが、幸運なことに PWR では、蒸気製造用の電源の一部を、原子炉冷却に回すことができた。これに対して福島の場合には、津波によって発電所全体がブラック・アウト（SBO）に陥った。2000年、放射能・原子力安全協会は、川岸に立地する他のいくつかの発電所も、十分な高さが確保されていないために、ブレイエ発電所と同じリスクを抱えていると警鐘を鳴らしている。

福島原発事故の後、EDF は原子炉の冷却システムの安全性を高めるため、電源の多様化を図っている。他にも例えば、発電所の地下に貯水池を作ったり、洪水防止の堤防を建てたりしている。地下の貯水池は、夏の暑い時期に、冷却水を冷やすのにも有効である。さらに代替電源は、丘の上やボールの尖塔部など、高い位置に作られている。

5-3. 国民的合意の形成

次に、本節ではフランスでの原発産業に関する、国民合意の形成過程について、まとめてみよう。先ず特徴的なのは、国家的な意思決定において、民主主義と権威主義的なアプローチが、あるバランスを以って配合されている点である。基本的には、国家主権のためには、エネルギーの自立が不可欠であるという国民合意がある。しかし同時に、フランスにおける反原発の動向についても、検討してみることにしよう。

民主主義と権威主義の均衡プロセス

ハイエクによれば、自由主義は民主主義的ルールの限界を知らなければならないとされる⁽⁶³⁾。換言すれば、自由主義は民主的な投票に委ねられるべきテーマを、識別しなければならない。専門的な問題は、そのままでは投票には不向きである。例えば、原発のような問題については、専門家による説明が必要であり、その後に専門知識に基づいた議論が行われるべきである。

ハイエクは、投票至上主義が自由主義に反する、民主主義的全体主義を導くと警鐘を鳴らす。社会一般は、専門家による説明なくして、どの意見が正しいかを判断することができない。勿論、専門化の決定は、権威主義的全体主義を招く危険をはらんでいる。故に、自由主義を守り抜くためには、民主主義的なアプローチと権威主義的な手法を、バランスよく両立させなければならない。この議論は、表-1 のように整理できる。

表-1 自由主義－民主主義マトリクス⁽⁶⁴⁾

	自由主義	全体主義
民主主義	民主主義的自由主義	民主主義的全体主義
権威主義	権威主義的自由主義	権威主義的全体主義

自由主義では、全ての人にいかなる決定に対しても、質問や要請や反対の権利が保障される。これに対して、全体主義ではこのような個人の権利は、一切保障されない。民主主義では、全ての人に参加の自由が認められる。これに対して権威主義では、専門的な知識や能力を持った特定の個人だけに、参加資格が許される。

その意味では、自由投票は民主的自由主義の典型例である。民主的全体主義では、民主的方法によって決定された事柄については、一切の反対意見を許さない。ハイエクは、特に民主的ドグマティズムの危険性について、警告を発している。権威主義的な自由主義は、ハイテク分野の R&D や医学的処方などの、専門的な意思決定において、極めて重要となる。ちょうど医学的処置に関するインフォームド・コンセントなどは、権威主義と自由主義の両立を図る意思決定法の、良い事例と言えるであろう。医師は、患者や関係者等に処方の説明をし、患者等は医師に質問することができ、また医師の決定を拒否することもできる。

第5章第1節で論じたように、フランス政府は国民投票と専門的な組織の相互作用を通じて、権威主義的なメカニズムと連携した民主的なアプローチを創り上げてきたと言える。権威主義的な専門組織は、以下の如くである。

1945年に、原子力の R&D と政策に関わる CEA（原子力委員会）が設立され、2009年には原子力以外の代替エネルギーも含めた委員会に拡充されている。1983年には、科学技術評価会議（OPECST）が設立され、さらに2002年には専門的かつ権威的組織として、原子力安全局が創設された。

エネルギー政策に関する、フランスでの最初の国民投票は2003年に行われ、2回目は2012に行

(63) Hayek, F. 『ハイエク全集 1-5』春秋社 *Hayek's Complete Works*, Vol. 1-5. Shunju-sha Press, 2007

(64) Oyama, K. 『無知と文明のパラドクス』晃洋書房 *Paradox Between Ignorance and Civilization*. Koyoshobo Press, 2017, p. 113 表-1

われた。これらの国民投票は、無論民主的なアプローチに従ったものだが、2013年には権威的組織である OPECST が、世論の原発回避的な風潮に抗して、専門の見地から原子力発電を維持すべきことを説いた。

さらに、フランス政府や ANDRA、アレバ社、オラノ社などの企業は、原発産業に関心や質問のある人々とのコミュニケーションを保つために、様々なインターネット・システムを立ち上げている。こうしたインターネット・システムは、国民コンセンサスの形成にも役立ち、民主的な手法と専門知識の盛んな相互交流にも有効であろう。

反原発運動

フランスは70%以上の電力を原発で作っているが、他方で反原発運動も活発である。福島原発事故以降、原発に関する不安は明らかに増長している。インタビューその他のデータから、フランスにおける反原発の主張は、以下のように要約できる⁽⁶⁵⁾。

第一に、最も深刻なリスクは、放射能の悪影響にあるとする見解である。原発事故になれば放射能汚染が広がるが、通常の運転でも発電所の労働者に健康被害を与えるし、しかもその全容は未だに明らかではない。第二に、核のゴミは現在分解できないし、恐らく未来においても無理だという見解である。無限に高濃度汚染物質を貯め込んでゆけば、どうしても放射能汚染が広がらざるを得ない。第三に、核技術の専門家と政府は、肝腎な真実や重要な点を隠しているという見方である。第四に、原発の運転には人為的なミスリスクが常に付きまとい、チェルノブイリと福島が良い例であるという意見である。

反原発主義者たちは、政府も原子力の専門家も、原子力政策も信頼していない。政府や企業がどんなに周到なインターネット・コミュニケーション・システムを作ろうとも、反原発主義の人たちは、最も決定的な重要問題は、決して伝えられないに決まっていると信じている。反原発運動の人々は、将来の技術的な R&D は、原発ではなく再生エネルギーに、焦点が当てられるべきだと主張する。彼らは、原子力エネルギーは、既にデッドエンド・テクノロジーなのだと述べる。

5-4. 結論

本章では、フランスの原発産業について、その歴史やリスクと問題点、そして国民コンセンサスの形成に焦点を当てて検討してきた。原発産業のような専門的な問題には、専門家による議論が不可欠だが、医学的処方の場合と同じように、民主社会では関係者が議論に参加する権利も保障されなければならない。ハイエクによれば、自由主義は民主的なアプローチによって、専門的で権威主義的な意思決定に組み入れることができ、一般の関係者が自由に参加できるシステムと両立させることができる。例えば、医療におけるインフォームド・コンセントは、権威主義的自由主義型意思決定システムの典型例と言えよう（表1 参照）。

フランスの原発政策の歴史を調査することによって、フランスにおいてはいくつかの専門組織と、二度の民主的国民討論を通して、権威主義的自由主義の意思決定プロセスが、実現されてきたことを確認した。

権威的な専門組織は、原発産業の状況について論じ、分析し、一般社会に知らせる。国民は、

(65) 反核運動のメンバーである、カトリーヌ・キャドゥに対するインタビューに基づく（2021.8.17）。

原発問題について専門的な情報から学び、広く告知された情報と彼等の常識や印象に基づいて、彼ら自身の意見を持つに至る。専門家たちは、こうした世論を調査し、原子力に関する問題について説明し、時には原子力政策についてもっとよく理解するよう、国民を説得する場合もある。

こうした専門家と一般社会、さらに政府間の協働的な相互作用こそ、70%を超える高い原発依存率を支える、フランスの国民合意を創り上げてきたのかもしれない。国民は今後も、インターネットを通じて、政府や企業と原発政策について議論をし続けることができる。

今回のインタビュー調査によって、EDF が福島原発事故の真因が、津波による原子炉冷却用電源の水没・喪失にあることを知悉していることが分かった。だからこそ、EDF は川辺にある原発の洪水対策として、発電所周囲への堤防や地下貯水池の建設、高台への代替電源の設置などを行った。

しかしながら、核廃棄物処理に関しては、今後大きな R&D の進展がない限り、未だ核物質の分解はできない現状であり、重大な懸念が残されている。この深刻な問題が、フランスでも日本でも、また他の国々でも、反原発運動を勢いづけている。核のゴミ処理問題を解決して、放射能への不安を和らげることが、将来の重要課題である。

6. 日仏比較研究に基づく、将来の原発政策

本章では、これまでの議論を踏まえて、特に日仏の原発政策や意思決定における国民合意の形成過程などの比較研究を通じて、将来の合理的なエネルギー政策について提言してみよう。勿論、原発政策には各国のいろいろな背景が影響しているが、この比較研究では政治的なリーダーシップと国民合意に焦点を当ててみよう。

6-1. 政治的リーダーシップ

科学的論証と政治戦略

E. マクロン大統領は、2011年10月12日に技術革新に300億ユーロを投資すると発表した。その内原発関連では、小型標準原子炉（SMR）の建設に10億ユーロ、原子力安全性増進と核廃棄物削減に10億ユーロ、核物質分解への技術革新に0.5億ユーロを投資すると発表した⁽⁶⁶⁾。

この発表には、いくつかの重要な意味が含まれている。第一に、フランスは今後も原発開発を推進させることを宣言した、という点である。第二に、SMR の部品は標準化されていて大量生産が可能であるから、SMR は原子炉のドミナント・デザインの一つである、ということである。第5章第3節で述べたように、EPR も一つのドミナント・デザインと考えられる⁽⁶⁷⁾。安全で効率的な原子炉の出現は、原発産業が流動的な導入期を脱して、成長期に入ることを意味している。しかも、第5章第1節で述べたように、アレバ社は2015年の半ばに、新型 EPR について、25%ものコスト・ダウンに言及しているが、これは品質競争から価格競争への移行を意味している。これを原発産業が、成長期に入りつつある兆候と見ることもできる（第3章第3節参

(66) AFP, BB. News, October 13, 2021

(67) バルレ・エネルギー変換戦略販売部長 オークンス・グロ・ボロ氏（元アレバ社社員）は、EPR と SMR は、原子炉の標準モデルであると考えられると述べた。さらに彼は、フランスにはエネルギーの自立という、国民の基本的な共通認識があると述べた（インタビュー、2021.12.19）。

照)。さらに、原子炉の標準化が進めば、成熟期に入ってゆくことになるだろう。第三に、フランス政府は今後、中核技術として、核物質分解技術や、FBR、MOX 燃料などの核廃棄物処理技術に焦点を当ててゆく、ということである。

これに対して、日本の政府や政治家は、原発産業は維持してゆくと言いながら、具体的な政策には言及していない。2018年現在で、5基の原発が稼働しており、2011年の福島原発事故以降に作られた新基準に照らして、合格しているものが9基、試験中のものが12基ある⁽⁶⁸⁾。これらの事例は、日本が原発に積極的に関わってゆく姿勢を示してはいる。だが、政府がいくら2039年までに原発比率を20%から22%にすると宣言しても、このロードマップをいかに実現するかについての、具体的な説明が全く欠けている⁽⁶⁹⁾。

福島原発事故以前、2010年には日本の一次エネルギーの自己充足率は、20.3%を維持していたが、事故以来原発が停止したため、2011年には11.6%、2012年6.7%、2013年6.7%へと低下している。しかし、2017年には一部原発の再稼働によって、9.7%まで持ち直した。ちなみに、フランスの一次エネルギー充足率は、2017年で52.8%である⁽⁷⁰⁾。

2019年、日本の総発電量は1,000TWhだったが、その資源の内訳は次のようになっている。天然ガス35.4%、石炭27.6%、その他による火力発電9.3%、ソーラー8.5%、水力7.9%、原発4.3%、バイオマス3.2%、石油2%、風力0.9%、地熱0.3%である⁽⁷¹⁾。

日本政府は、農産物に対して1kg当たり100Bqというとても厳しい基準を採用している。世界の標準的な基準は、1kg当たり1000Bqであり、ヨーロッパでは1250Bq、アメリカが1200Bqである。2017年以来、福島県産の農作物でも畜産物でも、また海産物でも、キロ当たり100Bqを超えたものは全くない⁽⁷²⁾。日本政府は2021年、オリンピックの選手村レストランで、福島県産の食品の安全性をアピールしたが、他にもより積極的な安全性の告知方法は、いくらかあるはずである。

6年間にも及ぶ議論の末に、2021年4月13日、日本政府は福島第一原子力発電所のトリチウム処理水を、2023年から海に放出することを決めた。トリチウム処理水は、既に123万トン溜まっており、一日当たり140トンずつ増え続けている。放射能汚染水は、多核種除去設備（ALPS）によって除染され、さらに海への放水の前に、海水でWHOが飲料水に定める基準の7分の1にまで希釈される⁽⁷³⁾。さらに、トリチウム処理水の放出は、世界中で普通に行われていることである。農畜産物の安全性と同様に、トリチウム処理水の安全性についても、日本政府は科学的論証をもっと広く公表する努力をすべきである。さらに、福島漁業組合との合意についても、日本政府にはまだまだやり残している民主主義的な手法がいくらかある。

第4章第3節で述べたように、日本型のリーダーシップは、科学的な論理に基づいて論争することが苦手で、効果的に社会に訴えかけることができない。日本型リーダーシップは、感情的な

(68) Agency for Natural Resources and Energy, Annual Report, January 16, 2018

(69) Hoshi, T. and P. Lipsky, *The Political Economy of the Abe Government and Abenomics Reforms* Chap. 15 p.456 Cambridge 2022

(70) Ibid.

(71) 環境エネルギー政策研究所、institute for sustainable energy politics 2021

(72) Ibid.

(73) Ministry of Economy, Trade and Industry, Annual Report, January 2020

対立に調和を見出すことを得意としているようだが、今後は専門家との協力のもとに、科学的な論理に依拠した基本戦略を、策定してゆかなければならないであろう。

6-2. 国民的合意

権威主義的自由主義アプローチ

民主主義国家においては、国民の合意は不可欠である。しかし、投票さえすれば何でも正しい結果が出るわけではないし、まして専門的な問題についてはなおさらである。ハイエクは、少数者の思想や概念が重要な革新のきっかけを作ってきた、人類の歴史について語っている。例えば、民主主義そのものでさえ、長い人類の歴史を通じて決して多数意見ではなかった。だからこそ、我々は民主主義の限界を、注意深く判断しなければならない⁽⁷⁴⁾。専門的な問題に対処するためには、権威主義的自由主義の手法が必要なのである（表1参照）。

第5章で論じたように、フランス政府はエネルギー問題について、国民討論と専門家組織による意思決定を通じて、民主主義的な手法と権威主義的な方法とを、上手く連携させている。国民討論と投票は、民主主義的な手法であり、国民の参加する権利を保障している。しかし、高度に専門的な問題については、民主的な投票結果も専門家たちによって再検討される。フランスの事例では、2013年の国民討論の結果が、原発依存度を2025年までに50%に削減するという、エネルギー緑化法案の2014年制定に反映されている。しかしながら、この削減目標の2025年は、権威主義的な方法によって2035年に延期されている。

もっとも重要なことは、国民討論や投票を前にして、政府のリーダーが国家戦略を明確に主張することである。日本のリーダーの場合、昔ながらの日本型リーダーシップにありがちな優柔不断に安住して、民主的な方法も権威主義的な手法も効果的に使うことなく、論争を避けて曖昧なままにやり過ごしているように見える。彼らはあたかも、100万年も前の活断層を調査しているうちに、反原発の世論が衰えてくるのを待っているかのように見える。福島原発事故は、活断層が破裂して起きたわけでは決してなく、津波が原因で起きたのにもかかわらず、である。

もちろん日本にも専門家組織は存在するが、原発の専門家たちの判断は、原子力の専門家でもない判事によってしばしば否定される。日本の専門家たちは、これに対する反論を展開したり、彼らの安全性に関する科学的論拠を、社会に訴えたりはしない。政府は、エネルギー戦略と具体的なロードマップを示さないし、原発政策に対する国民討論や投票を企画しようとしめない。要するに、原発を巡る現在の日本の意思決定プロセスには、民主的手法も権威的アプローチも十分に活用されているとは言い難い。

6-3. 未来のエネルギー政策

エネルギー・ポートフォリオ

水力、火力、原子力、その他再生エネルギーなど、様々な選択肢から、その組み合わせを選ぶエネルギー・ポートフォリオ選択は、未来のエネルギー政策の要点である。第3章第2節で述べたように、様々なライフサイクルに位置する、いくつかのタイプのエネルギーを選ぶ際には、

(74) Hayek, F. 『ハイエク全集 1-5』 春秋社 *Hayek's Complete Works* Vol. 1-5. Shunju-sha Press, 2007

(75) Henderson, B. *The Product Portfolio*, Consulting Group 1970

PPM 理論を応用して考えることができる⁽⁷⁵⁾。PPM 理論では、製品ライフサイクル仮説に基づいて、導入期の流動的な段階にある「問題児」製品と、成長期にある「花形」、そして成熟期にある「金のなる木」、さらに衰退期にある「負け犬」に分類し、分散投資を提案する。

PPM 理論は、「金のなる木」から得られる収益を、未来の「花形」を育てるために、「問題児」に投資すべきことを推奨し、また衰退期に入った「負け犬」からは、損失を回避するために撤退すべきことを説いている。

エネルギー政策では、第3章でも述べたが、ダムが浅くなったり海岸線の後退を促したりする水力発電からは次第に撤退し、また二酸化炭素や窒素酸化物を排出する、火力発電からも次第に撤退すべきであり、原子力と再生エネルギーへの投資を増加すべきことを論じた。しかし、太陽光や風力などの再生エネルギー源は、天候や季節の制約を受けやすく、まるで産業社会前夜の動力源のようである。さらに、広大なソーラーパネルの設置などは、森林破壊という最も恐るべき深刻な問題を引き起こしてしまう。

既述のごとく原子力発電は、BWR や EPR、さらに SMR などの標準化が進むドミナント・デザインが現れ、成長期に入りつつある。成長期に入ると、製品の安全性と効率性は、追加投資によって急速に向上する。チェルノブイリ事故を見て分かるように、大規模な原子炉は運転に伴うタイムラグが大きくなるために危険である。したがって今後小型原子炉が、ドミナント・デザインとなってゆくことが予想される。

さらには、既に次なるブレイクスルーが現れている。二重水素（デューテリウム）と三重水素（トリチウム）を核融合させることによって、莫大なエネルギーを引き出せる核融合炉である。資源はほぼ無限にあり、排出するのはほとんどヘリウムガスばかりで、高濃度の核汚染廃棄物は一切出ない。2006年11月の協定に基づき、2007年10月に国際核融合機構が創設された。国際核融合実験炉（ITER）は、南仏のサン・ポール・レ・デュランスに建設されている⁽⁷⁶⁾。

日・仏・米等の国際協力が、未来を切り開く卓越した技術革新を生み出すかもしれない。もちろん技術革新には、どんな革新もそうであるように、リスクが伴う。しかし、我々はそうしたリスクを克服する努力を続けなければならない。人類の問題解決の歴史を沈思熟考し、我々の限られた合理性で、不確実な未来を切り開く強い使命感を抱きつつ。

(76) 筆者は、2022年2月25日、サン・ポール・レ・デュランスにある ITER を視察し、大前首席戦略官からの説明と質疑応答の後、現地ガイドの案内により、ITER の建設現場を見学した。