

地球を救うために新しい原子力を！ —トリウム熔融塩炉—

トリウム熔融塩国際フォーラム

International Thorium Molten-Salt Forum (ITHMSF)

古川 和男

(本文)

目次

* はじめに——地球環境は非常事態

前編

- 第1部 環境・エネルギー問題解決に立ち向かおう！
- 第2部 原子力平和利用の根本原理から考え直そう！
- 第3部 トリウム熔融塩炉を考えよう

中編

- 第4部 新しいトリウム熔融塩発電所とは？
- 第5部 地球環境の救済に新核燃料サイクルシステムの構築を
- 第6部 新システムの主要な特長は？

後編

- 第7部 その開発戦略を考える。
- 第8部 新トリウム戦略へに国内外の支持（国際共同開発計画）
- 第9部 まとめ——目指す未来像：戦争のない世界
- [謝辞] [参考文献] (未完) [索引] (未完)

総目次

* はじめに——地球環境は非常事態

*

前編：

第1部 環境・エネルギー問題解決に立ち向かおう！

- * 崩れ行く地球
 - ・ 打開策はないのか？
 - ・ 科学技術とは？
 - ・ 科学に「正しい」などは無い。しかし、知らねばならない
- * 皆さん、一緒に考えてみませんか？
 - ・ まず原発事故を例にして
 - ・ 技術とは皆未熟！
 - ・ 核拡散問題
 - ・ なお、全員に喜んで貰える提案なのを知って頂きたい！
- * 未来を語らねばならない（歴史とは？）
 - ・ 未来予測は不可能だが、あえて挑戦しよう
- * すでに、環境悪化は極限に！
- * 原子力とは何？（詳しくは、第2部で！）
 - ・ 核エネルギーもさまざま
 - ・ 「原子力」という言葉がおかしい
 - ・ 核兵器・原爆はいや！——しかも平和利用と背中合わせ
 - ・ Chernobyl はいや！ また、大地震時には？
 - ・ 核廃棄物処理場は、ご免！
 - ・ それでも原子力は無しで済みたい：太陽エネルギーは？
- * 原子力が必要だとしたら、どれ位の量と速度で？
 - ・ まず量的には？
 - ・ 成長速度は、どれ位を要求されるか？
 - ・ 巨大産業の創造である。出来るのか？
 - ・ 今世紀の地球には、他に道は無い！？

第2部 原子力平和利用の根本原理から考え直そう！

- * 原子核化学反応エネルギーである
 - ・ 質量とエネルギー
 - ・ 核エネルギー利用において役立つ主要な核反応
 - ・ 核融合は？
- * 核分裂エネルギーとは？
 - ・ 核分裂反応炉（連鎖反応の持続装置）：原子炉の基本
 - ・ 今までの原発は間違っていた！新しい道がある！
- * 知られていない原子炉開発の歴史
 - ・ それは“機械”装置？“化学”装置？
 - ・ 液体核燃料構想の萌芽
 - ・ 液体核燃料こそが好ましい
 - ・ 液体核燃料炉の開発概要——一番成功したのは“熔融塩”炉
 - ・ 液体核燃料の特長一般
 - ・ 液体核燃料の欠点一般

第3部 トリウム熔融塩炉を考えよう

- * トリウムについて
 - ・なぜトリウムか？
 - ・普遍的なトリウム資源：ウランに比べて有利
 - ・核燃料親物質である。対処が必要
- * トリウム核燃料サイクルの特色
- * 理想の原子炉発電の仕組み（その1：理想原発原則論）
- * 熔融塩とはどんな物だろう？
 - ・最も単純かつ高性能の熔融塩：フリーベ（Flibe）！
 - ・フリーベから作られた熔融塩核燃料——地球マグマを真似ている
- * 理想の原子炉発電の仕組み（その2：熔融塩原発の設計思想）

中編：

第4部 新しいトリウム熔融塩発電所とは？

- * 熔融塩炉研究開発の過去の歴史
 - ・オークリッジ研究所の発足
 - ・航空機推進炉開発（実験炉ARE計画の成功）
 - ・熔融塩増殖炉（MSBR）構想の進展
 - ・オークリッジ研究所の熔融塩実験炉（MSRE）
 - ・MSRE解体後の研究開発
 - ・なぜオークリッジ研の熔融塩炉開発は停止されたか？
 - ・オークリッジ研MSBR開発の問題点
- * 新しい設計思想の熔融塩発電炉（FUJI）提案
 - ・FUJI系熔融塩炉型とは？—原発の理想像を求めて
- * FUJI型小型熔融塩発電炉の大まかな仕組み
- * 構成材料（1）燃料塩と冷却材塩
 - ・燃料塩：
 - ・冷却材塩：
- * 構成材料（2）容器金属材料と耐食性
 - ・耐食性について
 - 1) 水・空気の腐食とは異なる！—皮膜防食ではない。
 - 2) 化学理論からみて耐食。
 - 3) しかし質量移行現象に注意：動的腐食テストが必要。
- * 構成材料（3）減速材黒鉛
- * 原子炉本体と1次系
 - ・炉本体と1次系：
 - ・燃料塩ポンプ：
 - ・中間熱交換器：
 - ・高温格納室：
- * 2次系と発電装置系
 - ・ポンプ：
 - ・水蒸気発生器：
- * 炉化学的管理
 - ・中性子照射および核分裂効果
 - ・核分裂生成物（F.P.）挙動：
[第一群]：希ガス F.P. およびトリチウム [Kr, Xe, T]
[第二群]：可溶安定な弗化物となる F.P. [Rb, Cs, Sr, Ba, Y, 希土類, Zr, Br, I等]

[第三群]：化学的に貴または準貴な F.P. [Ge, As, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb 等]

- ・炉運転条件の調整：
- ・運転・保守管理・修理
- ・炉寿命終了後の燃料塩処理など
- ・核廃棄物処理
- *実験炉 miniFUJI の建設・運転
- *当面の開発戦略（種々の FUJI 構想）
- *使用済み固体核燃料からの Pu 回収（FREGATE 計画）

第 5 部 地球環境の救済に新核燃料サイクルシステムの構築を！

- *Pu の処分——トリウム時代への円滑な移行
- *熔融塩発電炉 FUJI の世界展開に必要とされる主要な条件
- ・核燃料増殖サイクルの完成にむかって
- *加速器熔融塩増殖施設 AMS B (Accerelator Molten-Salt Breeder)
- ・加速器増殖とカナダ
- ・AMS B の構造
- ・ターゲット・ブランケット塩の炉化学
- ・AMS B の実用化に向かっ。
- *トリウム熔融塩原子力エネルギー協働システム [THORIMS-NES]
- ・基本的なシステム概念：トリウム熔融塩核エネルギー協働システム (THORIMS-NES) の完成
- ・THORIMS-NES の世界展開

第 6 部 新システムの主要な特長は？

- *全般的な特長概要
- *安全性
- *核拡散抵抗性と安全保障対応
- ・核拡散抵抗性一般
- ・国際的核燃料サイクルにおける巨視的観点
- ・Pu 対 ^{233}U （高速増殖炉 FBR 対熔融塩炉 FUJI）
- ・原子炉区域および地域センターでの微視的な視点より
- *放射性廃棄物管理
- ・核廃棄物の処分策（概説）
- ・経済的な核変換消滅処理を含む放射性廃棄物管理（総括）
- *経済性
- ・FUJI の経済性（概説）
- ・FUJI の経済的優位性の詳細
- ・THORIMS-NES 全体の経済性

後編：

第 7 部 その開発戦略を考える

- *基本的な開発戦略
- ・新トリウム熔融塩炉構想にどう対処するべきか？
- *THORIMS-NES の開発計画
- (1) 基礎技術開発計画
- (2) F-計画
- (3) D-計画

(4) A-計画

(5) THORIMS-NES の全体系整備計画

* 将来のより先進的開発計画の展望

* プロジェクト発足ということとは？

第 8 部 新トリウム戦略への国内外の支持（国際共同開発の経過）

* 我々のトリウム熔融塩炉開発略史

* “トリウム熔融塩炉”構想の生い立ち

* 日本での初期研究開発活動（1960～1980年）

* 熔融塩増殖炉の批判開始

・カナダと加速器増殖

・米国と加速器炉

* 加速器熔融塩増殖装置（AMSB）発明により開けた「新しいトリウム利用への道」

・フランスとの接触

・ソ連との接触

* “トリウム熔融塩核エネルギー協働システム構想”（THORIMS-NES）の提唱と

ソ連（露）・仏などや日本国内の反応

・仏電力庁の提案など

・日本国内の動向

* 1995年以降の概況：

* 我々と関連する諸外国の動向についての補遺

* 情報の混乱・不備について

* 開発経過と現状紹介の終わりに

第 9 部 まとめ—目指す未来像：戦争のない世界

* 核問題との最初の関わり

* トリウムへの期待

* 平和で住み良い地球実現のために

[謝辞]

[参考文献] (未完)

[索引] (未完)

添付：補助図表類（暫定的添付）

*はじめに——地球環境は非常事態

我々にとって最も身近なものは、大気であり大地であるのは言うまでもありません。その大気の気象異常が日々感じられる事が多くなってまいりました。季節が可笑しくなっているのです。

この事は、この数十年来次第に強く意識され学問的論議も少なくなかったのですが、そしてまだ地球を良く知らないのも明らかになっていますが、漸く 1995 年末になって「後手に回らぬよう、環境変動は人類の責任としよう」との国際的な申し合わせができたのです。

しかし実際問題になると、国際的に歩調を合せるのは実に困難です。良くご存知のように、一番経済活動が盛んで環境を乱している米国が政府を中心に極めて非協力的なのですが、それだけでなく、最も頼りになるはずの「学者集団」が意外に強烈な反論を掲げ論議の混ぜっ返しを続けているのです。「これからは地球は氷河期に向かうのだ。温暖化など目ではない。」とか、「太陽の黒点異常の方が余程心配」等々、かしましい限りです。

我々が、一番身近な地球を実は「まださっぱり知らない」のが最大の難点なのですが、それを理解できてから異常原因を決定し対策を講じ始めたのでは、その効果が現れるまでの「時間遅れが致命的」となると言うので 1995 年に決断した、のが未だに判って貰えないのです。

折角、その 2 年後の 1997 年末に日本主導のような形で「京都議定書」が整えられたのに、肝心な日本は「地球温暖化に影響を及ぼすガス放出を、1990 年比較で年率 6% 減らす約束」を大きく裏切り、+8% 以上にしているのです。

首相は「2050 年までに 50% 減らそうではないか？」など放言しているそうですが、2008 年の洞爺湖 summit でどの様な対応をする積りなのでしょう？

ひと事ではありません。我々は強烈な「対策提案」の一つを行って久しいのですが、もう一つ頑張らねばと思うのです。既に 2001 年夏に「一般知識人向け」の解説書（「原発」革命（文春新書、2001）を出し、かなりの反響を頂戴しております。内容を具体的に知っていただくべくかなり技術面に踏み込みましたので一見難しそうですが、社会一般の方々にもわかるようにと編集局がずいぶん文章の飛躍を改善してくれました。「読んでみると良く判る」「5 辺読み返した」「10 回読んだ」、そして「難しそうだったが良く判った。頑張ってくれ」とお褒めをいただいています。

それを書き始めた二年前の社会は、原発論議と聞いただけで耳を塞ごうとする低調さでした。しかし年が明けると次第に風向きが変わり、今は「聞いてやる」と云うよりも、皆さんが「自身の問題として考えている」のが強く感じられるのです。今こそ、我々 O B がもっと「語る」責任があると思います。もっと若い方にも気楽に読んで頂けるように、その「旧著」を補う形で話を進めます。重要な事項は前著とダブらざるをえませんが、それをより易しくし、書き切れなかった事をより懇切にするよう努めました。そして、参照してほしいところは[旧著第何章参照]と書かせてもらいます。出来ましたら旧著も読んで下さいませんか。

今はもう、エネルギー環境を他人事という人はいないので、もう少し手軽に読んで頂き、さらに踏みこんだ論議を交わしたいのです。

皆さんから「もっと易しいものを書け」と常に言われているのですが、私には辛かったのです。そうすると、どうしても「記述が不正確」に成りかねないからです。しかし、今は上記の旧著で最小限の歯止めが掛かりました。是非、肩の力をほぐして放談漫談させてもらいつつ本音を語りたいと思います。そして是非、高校生の皆さんにも読んで頂きたい。長期にわたる大事業なので、この先を若い人に LIFE-WORK として取り組んで欲しいのです。

なおこの本で新しい「物作り」プロジェクトの話をするわけですが、プロジェクトとは「リーダーを決める」ことなのです。最近の世の中は、日本だけでなく全てがおかしくないですか？それは「この事」を忘れたからではないかと思うのです。後でもう少し論議しますが、出来ましたらこの本を読みつつ考えてみて下さい。

（若い読者の皆様へ：馴染みない専門用語や人名に出会ったら、例えば「理化学事典(岩波書店)」などで補って下さい。）

第1部 環境・エネルギー問題解決に立ち向かおう！

* 崩れ行く地球

21世紀には、人口爆発(1億人/年)、貧困と飢餓のような社会問題と共に、温室効果、汚染、砂漠化、ローカルな気候異常のような環境問題からの被害が耐えられなくなっています。そして、大規模な災害に至りそうです。クリーンエネルギーの十分な供給を確保する以外に、そのような災害を避ける効果的処置はないようです。

世界で20億人は電灯さえ持たず、8億人以上が真に飢えているといます。その一方で、人類は地球を破壊するほどエネルギーを使用しています。その貧困、そしてエネルギー・環境問題の解決策が求められています。気候変動に関する政府間パネル IPCC の1995年結論「環境変動は人類の責任」を疑問視するのも良いのですが、それは研究上であり生存戦略上は許されない時点に達しているのに、対策を持っているのでしょうか？

我々は自明の現実として、今世紀前半の主要エネルギー技術はまだ化石燃料、特に汚染の少ない天然ガスに頼らざるをえません。しかし事態は深刻で、温暖化ガス放出低減のため、再生型太陽エネルギーまたは核エネルギー利用の助長が急務です。前者が好ましいけれど未だ補助ないし特殊目的にしか役立ちません。悪化が予測される異常気象の防止のためにも、今世紀後半の太陽エネルギー利用本格化は必須と考えますが、両者の中間を埋める救済策として当面は、基盤的社会支援施設が一応整った核エネルギーに緊急に頼らざるをえないのです。すでに環境問題のリーダー Lovelock 達やアメリカ・スウェーデン・ドイツなどの世論も、それを認めざるをえなくなっています。

しかし、事態は既に手遅れに近く、地球汚染の放置は許されません。しかもその改善は貧困・テロ撲滅にも直結する人道上の最緊急課題と認めるべきです。

最近10年間で先進国のCO₂放出量が20%増大した(日本も10%に近い)との報道は重大です。日本の中東石油依存度は87%と、石油ショック時より悪化していますが、未だに国内戦略論議が主体です。地球を救わねば日本も救えない事を忘れてはなりません。

・ 打開策はないのか？

ところで、この数ヶ月の世界の動きを見ていますと、原子力を地球温暖化の対策として使おうとする『原子カルネサンス』と呼ばれるような動きが目立ってきています。特に、東南アジアでその動きが際立っているようで、例えば日本経済新聞の2007年9月20日夕刊では、タイ・ベトナム・インドネシアが10年後くらいの稼働を目指した原発開発計画を策定している、と報道されました。日本のメーカーも受注を目指しているようです。

これは中国や東南アジアといった開発途上国で、すさまじい経済成長に伴う電力需要の増大をまかなうためと、環境破壊防止のためにこれ以上は温暖化ガスを排出できないという緊急の必要があるために、既存の方式の原発を使おうとするものです。しかし、そこでは、原発に供給する燃料をどうするのか、出てくる放射能の廃棄物をどうするのか、十分に安全なのか(東南アジアでは、日本と同じように大きな地震がたびたび発生します)、原子炉で発生するプルトニウムPuが核兵器に使われたりしないのか、といったいろいろな問題があります。このような問題を解決しようとして、例えば燃料供給や廃棄物の処理を原子力の先進国で引き受けるなどの案も提示されていますが、受け取り先の先進国で廃棄物をどのように処分するのかといった問題や、燃料を供給することで相手国に支配されないのか、といった心配も根強く残っています。このような問題の解決は先送りされたまま、発電のためだけの活発な動きが先走っているように思われます。

確かに、温暖化ガスを排出しない原発は温暖化対策には効果的です。また、今、電力がないところ(例えば東南アジアは多くが島国です)に小型・中型の原発ができれば、人口の大都市集中による弊害なども緩和でき、健全な途上国発展の助けになりえます。ですから、このような様々な問題を解決した、新しい原子力の仕組みが必要になっているのです。

先ほど紹介した京都議定書では、「地球温暖化防止のためにはまず、自分の国のことは自分で責任を持って取り組みなさい。しかし、それだけではうまく進まないこともあるだろうから、三つの仕組みを用意しましょう」と言っています。その仕組みは京都メカニズムと呼ばれ、「JI」、「CDM」、「排出権取引」の三つがあります。

「JI (Joint Implementation: 共同実施)」は、先進国同志で温暖化ガス排出削減のための技術協力をするものです。「CDM (Clean Development Mechanism: クリーン開発メカニズム)」は、途上国に対して先進国が温暖化ガス排出削減のための技術や資金協力をするものです。「排出権取引」は、途上国に割り当てられた温暖化ガスの排出権利を先進国が買うものです。しかし、原発の安全性への懸念などから、「JI」と「CDM」に原子力利用は認められていません。ただ、原子力の持つ温暖化ガスの排出抑制の効果が否定されているわけではありませんので、上記のような問題点が解決されれば、原子力も「JI」や「CDM」として検討するべきでしょう。この本で紹介する構想は、これらの問題を解決するものです。特に現在は途上国として扱われている中国などにおいて、国内の電力需要が急増するからといって今の方式の原発を増やすのではなく、「CDM」を活用して先進国と共同でこの新方式の原発を開発するならば、健全な社会発展の力強い助けになるでしょう。

しかし、音を立ててと言いたくなるように地球は壊れつつあるのです。もっと本命の「エネルギー科学技術」そのものから見直して欲しいものです。序論として、その「科学技術」そのものを、皆さんと一緒にまず少し見直しておきたいのです。

・ 科学技術とは？

学者は「欲得に関係なく百年・千年先を慮るもの」といったアカデミズムは、最近見る影も無いような感じです。それでは社会が困ってしまいます。科学は人間の「生きるための知恵」に関わるものです。人間にこそ必要で神様には要らないもの、そしてそれを現実に活用しようとする技術と結びついて「活きた知恵」となるのです。

色んな論議が山ほどありますが、私は学問的な「科学」と術としての「技術」とが一体になった「科学技術」なるものが社会には存在するだけだ、と考えることにしています。離れたら、両方とも衰微衰退するのを「歴史」が証明しているからです。

そうだとしますと、少なくとも術である技術は人間（体）に密着したものですから、「科学技術」は血の通ったものなのです。また魂を持ったものといえます。作られたものは単なる「物、物体」ではありません。それが使われる状況・人間社会環境に適合し、生きてゆけるものでないと無意味なのです。正に思想（魂）を持った生き物というべきものなのです。だから、作る人間から離れたものでは在りえないのです。

この事は、当然、科学技術開発計画を作成・実施する際、決定的に重要に成ってまいります。決して忘れてはいけません。

そう考えるなら、「科学者・技術者の倫理」などといった問題は起こりようがありません。「倫理綱領」などという「付け刃」の存在場所はないからです。（その様な物を作ろうとする集団・組織は、既に死んでいます。）これは非常に大切な事です。科学技術者は、世に蔓延している偽造・盗用・偽証などとは無縁な存在に成らねばなりません。「生きるための知恵」に関わる事を決意した人間に、何の必要も無いからです。

・ 科学に「正しい」などは無い。しかし、知らねばならない

しかし、事はそう「簡単」ではありません。人間の営み全てにイえることですが、科学技術者は「正しい事を言ったりしたりしているのではない」のです。その様なものは無い、のです。人間の世界には。我々は、営々と「ただ、より良いものを求めて努力している」者なのです。科学は仮説で成りたっているのです。「簡単」ではないが「単純明快」です。内容は。

驚きましたか？ そんな事は無いでしょう？ 幸いなのです、それで。そうだから、人間、中でも科学技術者は「生きる事の意義をかみ締めつつ、生きる・努力を続ける」ことが出来るのですから。——万能の「神」みたいになったら、生きてゆけないのです。生きることの意味を失います。

つまりらぬ屁理屈でたぶらかしているようにお感じかもしれませんが、もっと大切な事があります。それは「人間の営みは全て不完全で何時か滅びる」のです。そして「より良いものに置換えられてゆく」のだと言うことを、証明（いや、歴史的事実として認知）しているのです。——偉そうに言いますが、これが意外と忘れ去られているが故に「人間の思い上がり」が余りに「人間の不幸」を呼んでいる、と思いませんか？

* 皆さん、一緒に考えてみませんか？

・ まず原発事故を例にして

2002年8月末より明らかになった東電原発不正事件は、見かけ以上に深刻な内容のものであり、日本全体を震撼萎縮させました。以後続いた他の電力会社を含む類似の事態は、世間の信頼回復を至難にして、このままでは社会的損害は計り知れないでしょう。的確な論議は進んでいません。何故でしょう。

東電は国内電力の1/3を供給し、その四〇%が原発に依存する世界最大の民間電力会社で、今回の事件で1400億円の損害と停電の恐れありといわれますし、更に不幸な「中越沖地震」により、そこの原発は皆停まり、1年以上復帰不能と報道されています。その背景には、つい数ヶ月前にあれだけ「謝罪」しながら、大地震発生後2時間も地元で「無事を報告しなかった」重大な失態があるからでもあります。従業技術者達は、最小限の責務は誠実に果たしているのです。そうでなければとてもこんな事では収まらないのですが、基本の「志気低下」は歴然としているのでは有りませんか？ 片身の狭い「原発運転」に従事しているのです。気の毒です。抜本的改善が必須です。

「理性」が支配すべき大学で、かねがね原子力学者や学生が実に肩身の狭い雰囲気の中にあるのが密かに話題になって今に至っています。その挙句、中身は替えずに「原子力」の用語をやめ、ついには原子力工学科の学生数が最盛期の1/10になったと最近新聞に書かれています。この背景には、大きな研究予算に恵まれていたのは不当だ、との反発が根強いからなのもあるようですが、とにかく、原子力関連の話題は不健全と言わざるをえません。

問題の本質は、原発が三十年以上経過してもまだ「本当の民間産業へと成熟していない」処にあると思います。今の原発が未熟なのは明白です。一応成功しているフランスも、軍事とエネルギーセキュリティに国家丸抱えです。日本では、政府、電力業界直屬と考えられる日本原子力研究開発機構（現在の名称）関連の東海村臨界事故や「もんじゅ」のナトリウム流出事故などもありました。原発事業従事者があまりにも原発技術の基礎、本質を知らなさ過ぎる不勉強もあり、安全性と再処理・核廃棄物を含む核燃料サイクルの全てで社会的信頼が揺らぎ、肝心の国立大学の基礎研究・人材養成体制さえ全く色あせています。

原発増設以外に京都議定書の約束を果たす道なし、と強弁している政府と電力がこの態では、国民は全く立つ瀬がありません。

一見厳しすぎる意見と思われるでしょうが、朝日新聞の「天声人語」にも同様の厳しい意見が載りました（以下に添付）。

[添付] “朝日新聞【天声人語】2007年02月02日（金曜日）”

原子炉で異常が起きた時、速やかに水を送り込むのが、非常用炉心冷却装置だ。原発の暴走を防ぐ砦（とりで）の一つだ。東京電力が、それにかかわるポンプの一つの故障を隠したまま定期検査を受けて合格し、原子炉を動かしていた。

92年に新潟県の柏崎刈羽1号機であったと東電が発表した。炉心という原発の急所に絡む所で、検査官の目をごまかしていたとは悪質だ。他の原発でも、放射能の測定値を低く偽るといった不正が多数みつかった。長年、組織的にごまかしていた疑いがある。

東電の体質が改めて問われるのは当然として、国が見過ごしてきたことも問題だ。原発の規制にあたる経済産業省の原子力安全・保安院の対応は、適正だったのか。

保安院という名前にも、やや違和感がある。「保安」より、最も重要な仕事の「規制」をうたう方が、役目がはっきりするだろう。米国では、規制する機関は「原子力規制委員会」と名付けられている。

戦後、米国の原子力政策の根幹づくりに貢献したリリエンソール氏が、原子力とスリーマイル島原発事故について自著で述べている。『誤った判断・過小評価・誤操作があれば、大災害を起こしうる基本的な力である』ということ、恐怖をもって示してくれた（『岐路にたつ原子力』日本生産性本部）。

人類は、今もって原子力を制御しきれていない。それを肝に銘じ、経済性などに引き回されることなく、慎重なうえにも慎重に相対すべきだ。偽ったり、過小評価したりしていると、いつの日か大災害を起こすことになりかねない。（以上）

今の電力業界（いや恐らく日本社会全体）の能力・志気の低下は、想像を絶するものがあると言う事でしょうか？ 「天声人語」が薦める様に、このリリエンソール（David Lilienthal）の遺著（『岐路にたつ原子力』日本生産性本部、1981）を通読して欲しいと痛

感します。しかし「絶版」になっているのは実に残念です。その経緯を少し書かせて頂き、「再版」への助力を要請する責任があると考えるのです。

実はこの訳本は25年前に、小生が英語の堪能な若い友人の助力をえつつ最善を尽くして訳したものです。最初数社から「良い本だが、日本では売れない」と拒否され困惑の上、西堀栄三郎先生に相談した所、理事をしておられた日本生産性本部の郷司浩平理事長の賛同で出版できたものです。なお、右翼的な某理事が「こんな反原発本など」と強硬に反対したが、郷司さんが「そのような著書ではない」ときっぱり諫め抑えて下さった上に、特別に序文を添えて下さったのでした。

出版されると、原発賛成・反対派の両方で評判になって（少なくとも「東海村のベストセラー」でした）直ぐ1万部が売切れたのですが、「日本社会」にとり不幸な事に丁度その時生産性本部のpolicy変更があり「出版事業から撤退。生産性向上運動に専念。」とかで絶版になりました。「再版はご自由に」と言われていますが、誰も手を貸してくれず今日に至りました。

もっと読まれていたなら日本人はもう少し真面目に成ったのではないのでしょうか？ 米国人も決して充分ではなかったが、最近どん底から這い上がりつつあります。そこに彼の願いが活きているのでは？ 彼は「原発事業から一流の科学技術者たちが皆逃げ出してしまった。しかし、この重要な人類の事業に、再び戻って来てくれるのを信じたい」と言いつつ、この遺言書「Atomic Energy : A New Start」を残したのです。その本は単に「原発問題」を論じた本とは思いません。彼の輝かしいテネシー溪谷地域社会開発事業活動・奉仕の総括としての「科学技術の社会・政治との健全な関わり方」を論じた歴史的名著として、是非「文庫本」で長く広く読んでもらうべき書物と思います。1万部売れましたから、大きな図書館は持っています。一夜で読めますから、ご覧願いたいです。（なお蛇足を加えますと、彼が最初に精魂を傾けたTVA（テネシー溪谷総合開発公社）の大電力が丁度整って来ていたので、ウラン濃縮・原爆製造そして広島投下が実現したのです。）

実は、翻訳版「岐路にたつ原子力」の出版決定を聞き直ちにリリエンソールに報告すべく半分手紙を書いた朝、新聞朝刊で彼の訃報を目にしました。1981年1月14日です。彼は、トルーマンにより米国初代原子力委員長に指名されながら、「赤刈り時代」の余波を受け議会で散々な侮辱罵倒を浴びて妨害され、多大の苦闘を強いられました。「もう身を引く」との決意で行った最後の答弁は、「アメリカ人とは？」を語ったリンカーンの演説に勝るとも劣らない「名演説」だったと当時の新聞の弔意文に紹介されています。（一度全文を読みたいと思いつつ、未だ果たしておりませんが。）

少し長くなり申し訳ありません。しかし、少なくとも電力各社の社長さんにはこの本を読んでほしいと思います。いや社員、いや日本人（少なくとも科学技術者）全員に一度は読んで欲しい本と思います。「社長」方が真に反省しているなら、「文庫本」にして再版し、皆さんに読んで貰い易くするのを手伝って貰いたいものです。

・技術とは皆未熟！

今の原発技術は余りに未熟なのです。そう言うと当事者達はただムキになって反論します。しかし、わたしの解説をお読み下さったら皆さんはおおよそお判り下さるでしょう。そもそも全ての技術は未熟なのです、大なり小なり。ただし、それに関与する全員が日夜誠実に責任分担を果たしているから、かろうじて産業は成立しているのです。この原則を根源のところで、しかも十三年も裏切り続けたのが今度の事件です。

根は深く広く、ほとんど全ての原子力関係者の責任となるのではありませんか？ 拙著（『原発』革命：文春新書、2002.8.）にも書きましたように、本来、科学技術に正しいものなど無いのです。従って誠意を尽くしても過ちうるのです。それを意図的に改ざんするのでは救いはありません。何とか守るには、学者・専門研究者の責任ある先行的な努力が最大の頼りです。そしてそれを励ます専門学会（日本原子力学会など）の活動が最も重要な筈ですが、結果として殆ど機能していない。自由な論議が出来ていない。実は私が言うのみではなく、あるかなり著名なジャーナリストが原発事故を論じつつ「私は、原子力学会があるのを知らなかった」と日本原子力学会誌に書いているのです。痛烈な皮肉ですが、異例にも会誌が載せたのには複雑な気持ちです。実に深刻な事態です。但し、これは日本のみの傾向ではなく、世界的な風潮です。

2006年12月12日の日経新聞によろやく、「東電社長が『不正と認識しながら誰も止めるこ

となく、まわりの社員も気づかなかった。まさに痛恨の極み』と唇をかんだ。」と紹介しています。東電などは単なる営利会社ではありません。しかし原子力界は彼らに同情し、「内部告発強化」とか「(発電維持への)過大すぎた(社会に対する)責任感」など、更には「マスコミの過大宣伝・誤解一」という全く本末転倒の論議にすり替えています。私にいわせると、官界・マスコミなどの責任は二の次です。学者までがマスコミを非難する風潮があるのは、本末転倒です。専門家が確りしていれば、自然、世間は耳をそばだててくれる筈です。世間も、どの学者の言うことがより信頼置けるかもっと厳しく目を光らすべきです。そうしないと社会は良くなりません。それが社会の先進度、成熟度というものでしょう。

ただ、特殊な機関として少なくとも「原子力委員会」があり、原子力基本法により「原子力の研究、開発及び利用に関する事項の企画、審議、決定をする任務」を持っております。私は更に世間に代わって学者・専門家を激励・代弁ないし批判する義務を持つと考えたいのですが、初期はさておきこの二、三十年来ほとんど機能していなかったのは重大と思います。ただし、数年前から大臣がなるお飾りだった委員長に専門家が専任されることになり、少し水準が上がったようです。過去の体質を引きずって大変でしょうが、国家の未来がかかっています。是非改善に努めて欲しいものです。

・核拡散問題

2006年10月8日からは、核に関連してまた新しい難題が降りかかってきました。北朝鮮の核爆発実験問題です。最近ノーベル平和賞を貰ったカーター元大統領が折角静めていたのを、米現政権の手荒な手口が地獄の口を開かせたかに見えます。長期的にはこれは、日本の存亡に関わるものに発展しかねません。一般の方々にはまだ聞いていないようですが、一斉に「日本は核武装する他に對抗策はないのでは？」という意見が、国内を含め世界を駆け巡り始めました。「日本は核武装するための材料も技術もすべてそろっている」というのです。北朝鮮は非力未熟で慌てて騒ぐ問題でないはずが、このような事態に導いた日本政府の責任は重大です。動ぜず、お互いの国民の平和と幸福を保全する道は何か、堂々と話しあうべきです。核武装など、如何転んでも誰にも益しませんし、使えません。

かなり明けすけに厳しい事を書きましたが、大事な事です。後でもっと本格的に論議しましょう。

・なお、全員に喜んで貰える提案なのを知って頂きたい！

これは、悪口ではないです。余りに悲劇的な現在の事態を皆で打開すべきであり、しかも「良い打開策がある」のを言いたいのです。「建設的な具体提案」の序文なのです。それは、全ての人びと、組織、政府に喜んで受け入れてもらえる内容のものなのです。その内容は徐々にお話しますが、性急な「誤解」を呼びそうな「余りに聞いた事の無い話」が多いのに驚かないで下さい。少し我慢して、終わりまで読んでいただきたいのです。少なくとも、米国及び露国政府は確かに「認知」している話なのですから。

* 未来を語らねばならない(歴史とは?)

私は、半分戦中派なものですから、もう一つ「悪口」を言っておかねばならないようです。三十年位前まででしょうか、うかつにも「日本人は歴史を大事にする社会」と錯覚していました。戦中には、いやと言うほど「国史」を押し付けられていたからなのでしょう。それと、私自身が非常に歴史が好きだったものですから。処がどうして、「日本人位、歴史を大事にしない集団は稀」なのだそうです。確かに、過去の歴史をしっかりと記録しようとする精神に欠けています。良い歴史書が無いのです。もっと狭くみても、致命的といえる位に人間がそして歴史が見える「伝記」がないのです。「組織体・自治体の歴史」「会社史」なども満足なのを知りません。従って、「世界」に関心が薄いのです。経済力が強くなるにつれて、「歴史認識の国家間のずれ」が命取りに成りかねないくらい頻発しています。(これは、加藤周一さんにいわせると「日本はムラ社会であり、イマに対する関心のみ」なのだそうです。)

一般化しましたが、本書の主題になる「原子力の歴史」も日本に関しては惨憺たるものです。何一つ整理されていません。重要な当事者の誰一人、しっかり筋の通った「自伝」を書いてい

ないのでは有りませんか？だから、現在も見えないで、低迷の極です。もっと、語らねばならないのですが、先に行きましょう。（実は、日本はこの20-30年ばかり、世界が低迷する中で屈指に原子力予算を使いまくってきた国なのです。しかし、全く主導権を獲ていません。）

私は、日本における原子力開発の初期数年には関わっていないので知らない事が多いのですが、その頃は高度の秘密として核軍備問題が裏で絡まっており、その殆どの真相は闇の中です。その時居なかった私は、極めて「中立」でありえたのは幸いだったように思います。屈折した思いなどなしにただ一途に原子力平和利用に専心致しましたが、だからかえってその後は、誰よりも深く原子力政策の実態を知りえた1人かもしれないのです。その一部を、本書で出来るだけ語らねばならないと思うのです。しっかり過去の歴史を押さえつつ、未来に対決するのが科学技術者の務めです。

ところで私たちは、地球救済を目指さねば成らないのです。そういうと、「大言壮語をする奴は、信用おけぬ」などという混ぜっ返しが起こりそうですが、良く考えて下さい。「日本は、一国では生きてゆけない最弱国家」なのです。まして、地球環境は一つです。日本を救う為にも正に、「地球を救えねば、日本が生きてゆくなど論外」の沙汰なのです。だから、世界のこれからの「歴史」を「知らねばならぬ」のです。対象は全て、世界であり地球です。

・未来予測は不可能だが、あえて挑戦しよう

ところが実は、原理的に「将来予測は不可能」なのです。しかし、信頼できる理論原則に基づく仮定的予測は、やっぱり必要で役に立つ面があります。マルケティー (Cesare Marchetti, 1985) の初期の仕事を基盤にし、著者が修正しつつ来世紀までに延長された将来のエネルギー予測シナリオを、図1A-1Dに示しました。色々問題を含んでいますが、これほど示唆に富み、もの事を重層的多次的に考えさせてくれるものを他に知らないからです。

図1Aにおいて、主要なエネルギー源の各々からの市場占有率Fの経年変化が示されています。数量としては、Fそのものではなく、「物流関数」としての対数 $[F/(1-F)]$ というものを、暦年に対して図示してありますが、示される主なエネルギー源は、「薪炭」、「石炭」、「石油」、「天然ガス」、「原子力エネルギー」及び将来の「太陽エネルギー」です。

太陽エネルギーに対しては2つのグラフが、その大規模な導入における不確実性を考慮して示されています。その具体的技術内容は、緊急に解明するべきですが現在全く未知です。原子力エネルギーに対しても、2つのシナリオが示されますが、その各々での原子力エネルギーの総計生産量としては、900 T (9千億) We・年および2000 T (2兆) We・年と評価されています。論議の一つの目安です。

重要な論点をひどく駆け足で解説してしまい申し訳ないのですが、実はこの論議に関しては、旧著の『「原発」革命』で10ページ近くかなり詳しく説明してあるので略したのです。それを是非参照いただけないでしょうか？

ところで、実はその後にはえられた最近の統計値を使ったものを図に描き加えてみて、驚きました。最近の過去30年で、主なエネルギー源(石炭、油、天然ガスと原子力)の分率値Fが、皆異常にほぼ一定不変だったのです。化石燃料の中で、最も不純で水素成分も少ない「石炭」は使用がおさえられ、最もクリーンな「天然ガス」の分率が伸びるのが、環境に好ましいはずだったのです。

図1A から見られるこれらのエネルギー資源の市場占有率に関するこの物流関数解析結果は、エネルギー市場に対する政治的・財政的な影響が市場原理より強かったことを示しているように思われます。その最も直接的な原因は、国際政治上特に重要な「原子力」そのものが低迷停滞して水平維持に精一杯で息切れし、全体の動向を乱してしまった、といえるのではありませんか？ 何度かの「原発事故」の社会インパクトは絶大でありながら、それへの本質的な「批判・反省」を常に怠り短期的で皮相な「膏藥張り対策」でごまかしたツケが、今の環境エネルギー対策の手遅れとして回ってきているのだと思います。

化石燃料エネルギー源の市場占有率が図1Aの期待曲線にしたがって減少できるように、我々は何はともあれ原子力エネルギー利用を増大すべきですが、その為には「世界的なエネルギー戦略の革命」が必要であって、「核分裂エネルギーシステム開発」への有効で的確な投資を増やすことが要求されます。それが本書の主題です。

なお、此処では「水力エネルギー」を無視しています。これは、水力事業は単なるエネルギー産業ではなく、治水や農林事業と直結して居り、歴史的にFが2%位に安定しているので、便宜上除外しています。ただし将来、社会的位置づけが大きく変わるかも知れません。環境を

乱すことなくもっとエネルギー的に有効利用し、また飲料水などの確保にも配慮すべき重要な環境要素です。

図1. 核分裂エネルギーの将来予測：21世紀における生産スケール

*すでに、環境悪化は極限に！

図1の重要なメッセージとして、図1Cがあります。これは、世界の1次エネルギー消費が図1Bのようであったとしたならば、CO2放出量がどの様に成るかを、図1Aに基づいて予測したものです。

お判りになるように、図の通りに巨大な原子力産業が作れたとしても実はもう手遅れで、CO2は2065年辺りまで増え続け、2倍になるのです。しかも図1Aで期待したよりも(i)原子力の巨大増強の目途なし、(ii)天然ガス使用の停滞、(iii)東南アジア、インドなどの高度経済成長で、1次エネルギー使用量増大は図1B以上であろう、などの厳しい現実を考えると、安易に言われている「2050年までにCO2放出半減」など「夢また夢」ではないでしょうか？

例えば2007年10月の新聞は、12月の国連の気候変動枠組み条約締結国パリ会議用資料として事務局が、全世界で必要とする追加投資額は2030年時点で年間24兆円(世界GNPの0.26%)となるだろうと推算したと書いています。類似の提案はゴマンとあります。一方、現在の世界GDPは約5千兆円であり、世界の軍事費総額は約百兆円(現在の比率で言えば世界GDPの約2%)であるのを考えると、有りえないことでもないと思いたいのですが、今の世界世論では誰がその資金を出すのか全く不問で「絵空事」に見えますし、その殆ど全てで「原子力」はタブーらしいのです。(案の定、各国の利害対立によって12月の会議からは何の結論もえられませんでした。

これから本書で踏み込んだ論議をしますが、言っておきたい事は、『少なくとも、新しい原子力で大きくCO2を押さえ込まないととても間に合わない。しかし、それでも力不足で、「エネルギーの無駄使い抑制(省エネルギー)」を含め、合理的なあらゆる改善策の動員を必要とする“非常事態”』なのだということです。

まず、兎に角、「原子力」は如何なんでしょうか？頼れるのでしょうか？

*原子力とは何？ (詳しくは、第2部で！)

人類が核エネルギーの平和利用を考え始めて60年、わが国でも商業用原発が操業を始めて30余年になるのに、安全性について一向に信頼感が育っていません。現行の軽水炉には基本的欠陥があると感じざるをえないでしょう。常にステンレス鋼の水による応力腐食が付きまとい、傷だらけで、冷却材喪失から炉心熔融、そして更なる大事故へと発展しかねず、地震対策強化が騒がれ、また核廃棄物対策を含め核燃料サイクルが整っていないのです。

このようなことでは、とても地球を救う基本技術になれません。地球救済に向ってこれから取るべき新しい具体的方策につき、是非踏み込んで語り合しましょう。独善的に「正しいことを語る」つもりはなく、「より良いと思うことを語る」ということですから。

・核エネルギーもさまざま

宇宙は「核化学反応システム」であるのは、皆さんの方がよく知っているかもしれませんが。宇宙には水素・ヘリウムなどの軽い原子核が多いので、大局的に「核融合反応システム」といってよいでしょう。まづ我々の生命源の太陽エネルギーの発生機構がそうです。

また、足元を見てみますと「地熱」なしには地球環境は成りたちませんが、その地熱源は天然放射性原子核の壊変反応熱です。その総量は現在の人類が放出する熱量の約二倍と推定されています。

これら、天地の双方から年間1～2ミリシーベルトの放射線を常時浴びつつ何百万年、それと正に健全に「共存」しているのが我々生物なのです。これが十分の一、百分の一の強度に下がると、逆に異常を来すと考えられませんか。

では、我々の主題である「核エネルギー利用技術」の対象となる核反応はどういうものでしょう？云うまでもなく「核分裂」反応です。これは、他のどのような核反応より熱発生量が十倍百倍大きく抜群で比類ないものです。それに次いで熱発生が良い重水素・三重水素(DT)核

融合反応では、その十分の一に過ぎないのです。

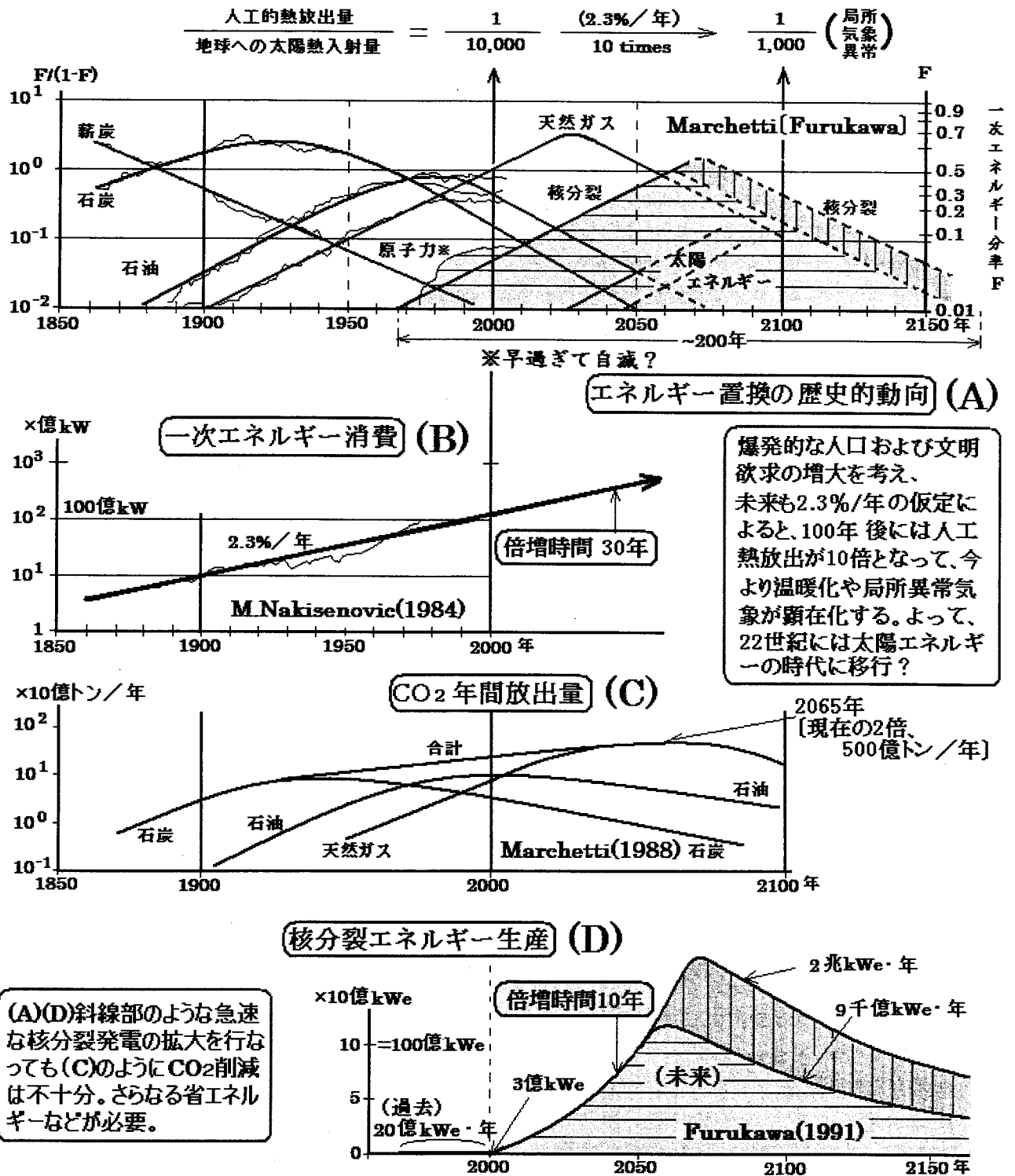


図1 核分裂エネルギー産業の規模予測

図1. 核分裂エネルギーの将来予測：21世紀における生産スケール

《図1(註)：Marchetti(1985)の原図を延伸させ、「基幹エネルギー技術」の本姓の具象化を試みたものである。「基幹エネルギー技術」概念の本質を多次的に理解し思考を巡らす為の補助である。現実、また別のものであるかも知れない。》

なお、核融合がクリーンで究極のエネルギー源とよくいわれていますが、原理的にも問題が多いだけでなく、とにかくまだ基礎研究の段階にあるのであって「科学政策」の話題かもしれないが、「エネルギー政策」の話題に入れるのはおかしいのです[旧著第二章参照]。

しかし、まだわれわれの「天地自然」に上記のような「核分裂」は現れていないではないか、とお考えではありませんか？ 現に著名な大学者？が文芸春秋誌で20年前、「核融合と違い、核分裂は天の摂理に反する」と大見得を切っているのを読みました、とんでもないのです。

実は二十億年前ですが、アフリカの大ウラン鉱山で多数の「天然原子炉」が稼働？していたのです。「核分裂」は驚くほどごく自然な現象なのです。これも旧著第二章をぜひ参照願いたいものです。なお、その解説を書いている真最中に、その理論的予言をした黒田和夫教授が亡くなりました。私は、草稿に「ノーベル賞を貰わないのはおかしい」と書いた所でしたが。（彼は私より2,3歳上の優れた放射化学者でしたが、米国で研究しつつ死去されました。）

しかも、巨大なエネルギーを投入しないと始まらない核融合に比べて、核分裂を起すには事実上前もってエネルギー投入を必要としない（中性子が近寄ればよい）のは、大変な利点です。

勿論、核分裂には幾つかの難点があり皆に嫌われてきました。その弱点の打開改善策があるのか？それが正に問われているわけです。私は「ある」と思っています。詳しくは第2部で論じますが、その技術内容の前提としての「なぜやっぱり核分裂原発は必要なのか？」、「いつ頃？どの位の量で？」という問いに答えておきたいのです。

・「原子力」という言葉がおかしい

前節では専ら「核エネルギー」と言う言葉を使いました。皆さんは別にそれで困りはしないでしょう？ そうなのです、「原子核が変化」する時の反応だからこそ大変な「科学技術革命」であったのです。「原子の結びつき具合が変化」するのであれば旧来の「化学反応」そのものであって、それに近いような用語にみえる「原子力」という表現は全く「珍妙」そのものです。

その語源は何であったか誰も語ってくれませんが、明らかに「カモフラージュ」だと思います。「核兵器」を連想させないようにする為の。現に二、三十年前まででしたら、皆で「原子力平和利用」と唱えていたら、およそ軍事と無関係だと連想させられていたものです、一般人は。しかし、その後、散々に「核拡散・核テロの恐怖」を聞かされた現在では、もう騙されなくなっています。

本当には「原子力」という言葉は、全て「核エネルギー」に替えるべきです。世界の風潮もそうです。私は、可能な限りそうしているのですが、60年使われてきたこの用語慣習は抗しきれません。特に、上記の「意図」が日本では特に強く浸透してしまっていますので。——今は、取りあえず上記の「見解」を明記させて頂くのに留め、柔軟に対応する事とします。

・核兵器・原爆はいや！——しかも平和利用と背中合わせ

上記の論議と深く関わるのですが、皆さんは「原子力平和利用」と言っても「軍事利用」と密着しているのを良く知っています。例えば現に、日夜「イラン問題」としてそれを聞かされています、いくら「イランは平和利用のみ」と宣言しても。

その決定を下しているのはラフマディネジャド大統領ではなく、ハメネイ最高指導者なのだそうです。この決定はイランでは最高のものな様で、原爆を持つていないのは本当だろうと私は思います。しかも、イランは持つても使えないのです。もし例えばイスラエルに対し使ったとしましたら、壊滅的反撃を世界から受けるのは絶対だからです。

もう原爆は使えないのです、明らかに。テロリストも持つたとしても使えません。反撃が絶大になり致命的となるからです。だから問題は「持つていないで仕掛けたと思わせる」パニック効果で、それが怖いのです。今の状況では、原爆の放射能が弱いので検知が容易ではなく「仕掛けていない、と証明するのが実に困難」だからです。

したがって「核拡散防止条約（NPT）」が整えられ、国連の下部組織の国際原子力機構（IAEA）が全力を挙げて国際活動に励み、非核兵器国も協力しているのですが、核兵器保有を暫定的に許されて査察を免れている肝心な5カ国は「早急な核廃絶」が約束されていますが、それがちっとも実行されず、世界にはこの「不平等」を指摘する声が次第に強まり、「不安定」そのものです。

差しあたり守るべき肝心なNPT体制そのものが、もう「崩壊している」と専門家さえ断言し

かねない実情では、幾ら環境対策に「原子力が必要な緊急事態」であると「認知」されても、社会は付いて来ない。現に、軍事転用の排除と安全性の危惧から「原発の最終的廃棄」を決めていた「アメリカ・ドイツ・スイス・スウェーデン等々」が、この数年の動向として「利用再開」を次々に決めるようになったが、何処もまだ決定的な転向ではありません。例えば、あれだけ強硬な原発反対派グリーンピースを持つドイツでさえ、現女性首相は再開を公約に当選したのですが、連立内閣になったのもあり「明 2008 年までは原発再開論議凍結」と宣言する始末です。

ここで少しだけ、私自身と核問題との関わりの切っ掛けをお話したいのです、詳細は第 9 部で論じますが。直接は、ビキニ事件に続く「原水爆禁止運動」からでした。広島での第一回「原水爆禁止世界大会」にも参加し、殆ど一人「原子力平和利用」を提言いたしました、「原水爆は、人間を殺す道具であるのみか人類に必要な平和利用を妨げるから、存在を許しては成らないのだ。」と。怒号を浴びましたがびくともしませんでした。その時は、自ら平和利用に関わるなどは全く考えていない若い一科学徒だったのですが。

もう一言、簡潔に補足しますと、私は敗戦時に熊本で重病により殆んど死んでいましたが、原爆の犠牲者達が身代わりになって敗戦終結が早まり、今生きています。昭和が始って 5 1 日目に生まれ、敗戦時は 18.5 歳でした。ただただ幸運を感謝していますが、「九州は第 2 の沖縄に成らないで済んだ」という命題を、若しかしたら「誰一人取上げていない」ように思います。私は、それが「反原爆運動をマンネリ化させ、後退させているのではないかと」、3 年来、「秋葉市長」「被爆者協会会長」などに働きかけ始めましたが、殆んど誰も理解してくれません。心残りです。

最近亡くなった広島原爆投下機の機長が、「米・日人の戦死者拡大を救った」と言うのは事実です。

・ Chernobyl はいや！ また、大地震時には？

旧ソ連ウクライナでのチェルノブイリ (Chernobyl) 原発のような炉心熔融事故は誰でも御免です。言うを待ちません。しかし、「日本の原発では、そのような事故の心配は全く無い」と断言を続けつつ、何度か多重の「故障事故」により「重大事故寸前の事態」を引き起こし、信用を失墜し続けてきたのは原発関係者の誰一人も忘れていません。その度に「土下座？」した上で相応な改良を加えてきましたから、そう簡単には起きないのは確かで、私自身もそれ程心配はしていませんが、中越沖地震以上の地震が原発直下に発生したなら何が起きるか判らない訳です。原理的に炉心熔融など起きえない設計の原発は無いのでしょうか？

在りうると我々は考えています。

・ 核廃棄物処理場は、ご免！

この数年、国内外で騒いでいる問題に「核廃棄物処理場」設置の是非騒動があります。地盤の弱い日本では一層厄介な問題で、しかし原発を使用したいならば絶対避けては通れない課題です。

廃棄物はどのようなエネルギー技術でも伴う問題であり、現在、毎年発生する使用済み核燃料は約 1 万 (10⁴) トンと僅かですが、更に発生量を圧倒的に少なくする、できるだけ原理的に生みださないようにする工夫があると我々は考えています。化石燃料使用などで大気中に放散される CO2 だけでも現在 280 億 (2.8 x 10¹⁰) トンと 6 桁多いのですが、少なくとも数十年内にそれを 2/3 にして、環境悪化を改善できる可能性を持っています。

・ それでも原子力は無しで済みたい：太陽エネルギーは？

先にも述べたように、人類はまだ D・T 核融合を有効利用する能力はありません。だから、それを恒星の太陽が実施し膨大なエネルギー（現在人類が使用しているエネルギーの 1 万倍：図 1 A の上部参照）を無料で送ってくれているのですから、それをもっと有効に利用できるのならば明らかに最良です。最後は皆熱になって地上を守ってくれます。

原則として、太陽依存のエネルギー技術は、地球温暖化ガスを生まず、異常な気象パターンを局所化しないので、クリーンなエネルギーを提供することができる筈です。しかし、太陽エネルギーはエネルギー密度が低く、出力が不規則で、現在まだ全く経済性が低くて、特に大動力源を必要とする産業には非実用的です。

それでも努力を真剣に集中して、最初の産業規模の太陽エネルギー施設を二、三十年後には

実現させるべきなのですが、それに成功しても、一次エネルギーの20-30%を占める位に大規模な世界配備を実現させるにはその後50年以上がかかります[参照図1A]。したがって、それまでの中間期間では、CO2削減には原子力以外のいかなる選択もありません、しかし、原子力エネルギーに頼るにしても、図1Cで示すように、更に省エネルギーのような他の努力、特殊ないし補助的な太陽エネルギー使用その他も、平行して必要なのを忘れてはなりません。特に最近の開発途上国の急速な経済発展に伴うエネルギー使用の非効率を考えると、日本の省エネルギー技術の活用は一層促進すべきです。

最大限に、この利用促進に投資する必要があります。しかし、ブッシュ政権支持では全くありませんが、クリーンの名が先走りし、不当に税金を浪費するような愚行に組してはなりません。もう一言言い添えますと、実は「原子力」は初期の1970年頃に、世界中で不当に「実用化拡大」を急いだが故に、その後ブレーキを起してしまったのです。図1Aの「原子力」立ち上がりの曲線がそれです。斜めの直線が示すような素直な合理的経済成長速度に従うのではなくて、いわゆる「恣意的な“政策”？」で突っ走ったのです

事實は、「軽水炉原発で非常に安い電力が得られるそうだ」というルーモアが米国を先頭に、日本を含め諸先進国を駆け巡ったのです。その頃米国は最盛期にあり、その技術力・事業予想判断力は抜群と信じられていました。しかし、米国は国土が広く無数の生活産業拠点がありましたから、群小で非力な「電力会社」が無数に割拠する特殊社会だったのです。それらが新興の原子力発電所に対する判断力・技術力がないままルーモアに乗って動き出したのに、外国までが錯覚してしまったのです。

私は、もうその時は日本原子力研究所に居ましたから、万事良く知っていますが、「啞然」として口が閉まりませんでした。案の定、未熟な原発技術の実態が続々と露呈し、ラルフ・ネーダーRalph Naderなどの「軽水炉反対運動」の嵐を呼び、米国における原発建設ラッシュを完全に閉塞させて現在に至ってしまったのでした。お年寄りをご存知でしょう。(今では米国の原発建設は、日本の東芝や三菱などに依らねば進められないのです。)それ以来の30年間、原子力界は世界を異常社会に誘導し、まだそれが続いています。――忘れてならないのは、その時代に「狂気の核冷戦時代」が重なるわけです。まったく飛んでもない厄介な時代でした。

米国の原発開発のリーダーの一人ワインバーグ(Alvin Weinberg, 第2部参照)は、原発の信頼性を大きく揺るがした「スリーマイル島原発事故」の後、反省を込めて「人類は、エネルギーを得るために“原発の安全性や核廃棄物問題”を蔑ろにするのは、正にゲーテの『ファウスト』が悪魔と取引したようなものだったかもしれない。」と指摘しました。[なお、彼は1979年の「スリーマイル島原発事故」以前に、原発の安全性研究を強く主張したのですが、1972年に時の原子力委員長から「それを言うなら原子力界から去って貰わねばならぬ」と拒否されたのです。]

そしてまた彼は、最近2006年に亡くなられる前に、近年の「脱炭素のためにCO2の地中埋設技術を推奨」しているのも、それと同じではないか、と警告を発しておいででした。

これでは地球も可笑しくなるわけです。しかし、今こそそれを立て直すべく世界の心ある大衆が手を繋ぐべき時期になりました。

* 原子力が必要だとしたら、どれ位の量と速度で？

・ まず量的には？

世界の原子力発電開発の現状 (2006年末現在：日本原産情報による：表を載せよ)

としては、原子力発電所が439基・3億8704万8千kWで前年より2百万kW増え過去最高に成っています。また建設中は35基・2940.4万kW、計画途中が47基・5217.4万kWです。建設中の原発には、日本(3基)、露(4)、韓国(4)、中国(4)、ウクライナ(2)、台湾(2)、印(8)、ルーマニア(4)等があり、計画途中の中には、日本(11)、露(5)、韓国(4)、中国(6)、トルコ(3)、インドネシア(4)、ベトナム(2)、カザフスタン(3)、エジプト(2)等があるわけですが、日本の場合からも想像できるように簡単では有りません。最近、日本では地震で10基以上停止しています。

未来予測には、世界が使用している一次エネルギー総量の増大速度を知る必要が有ります。図1Bから判る様に、前世紀には約2.3%/年でした。この2-30年は混乱期に入り未来予測は至難ですが、情報伝達や人間交流移動の急速な活発化によって、開発途上国における「文明向上欲求」が激化し、エネルギー消費が爆発的に増大を始めているわけです。エネルギー利用効

率改善、省エネルギー強化の余地はかなり有りOECDなどは世界平均で2%/年の増加率を良く使いますが、私は上記の2.3%/年以下に出来るとは信じられません。

テロ撲滅のためにも「貧困飢餓の解消」が至上命令と言うべき時代です。その意味からも2.3%/年を採用して世界戦略は構築すべきだと思います。これと図1Aを組み合わせると図1Dに成るのです。

この図1Dで要請している長期の原発建設規模は、壮大なものです。控えめに見ても百億kW、場合によってはその2倍近くになるかもしれません。まだ極めて粗い推測に過ぎませんが、最近の標準原発のように1基が百万kWとすれば、1—2万基で現在の20—40倍になります。

しかし、実際は10—30万kWの中・小型炉が多数今後の世界には必要ですから、粗く数万から十萬基の原発が展開されるでしょう。これが1次エネルギーの約半分を提供すると推定するわけです。それ以外の半分のエネルギーの内容を含め、予想付かない事項が山ほどありますが、これを欠いては地球環境維持ないし改善に全く役立たないだろう、と言えます。

・成長速度は、どれ位を要求されるか？

上記のような大変な量の原発を世界に展開せねば成らないわけですが、それは過去に化石燃料や水力発電所などにより実現していた事態です。ただし当然社会のおよび経済的効果などの内容が十分に良くなければ、世界に利用が広がりません。

その具体的技術条件内容については、以下の本論で詳しく論じますが、その内容が非常に良くて爆発的に受け入れられる必要がある訳です。今のように、しぶしぶ受け入れられるに過ぎず、20年以上も満足に成長しない現状など論外で、真の「基幹産業」になって図1に示したような快速度で展開できなければ、無価値です。

これは、「量」の巨大さに驚かされた以上に大変に「過酷な要請事項」です。図中に示したように、発電規模の倍增時間が僅か「10年」位でないと間に合わないのです。これは年率7%の成長で、大変な事です。これを許すような性能の原発を用意する必要があります。

後で段々詳しくお話致しますが、すでに「増殖炉」という言葉をご存知の方もおいででしょう。その増殖性能が10年であって、10年運転後に持っている核燃料量を倍增しなければならないのです。いや、実際は机上計算通りには社会に建設運転は開始できないで、遅れが出来ますから、全体がその速度で増える為にはもっと良い「7年位の増殖性能」の核燃料サイクルが必要になるのです。

現在考えられている増殖炉は、実は精々良いもので30年ですから、これまた「大変な宿題」を我々は抱えている事を承知しておいて頂きたいのです。なお、実用化された最良の増殖炉は1986年に完成し10年後に廃棄された仏のSuperphenix（ナトリウム冷却高速炉）ですが、これは倍增時間百年の性能でした。名ばかりです。

・巨大産業の創造である。出来るのか？

これは、恐らく最大規模の産業と言って良いのではないのでしょうか？

われわれの家庭電力料は約20円/kWh だと思いますが、10円/kWhとして年間の生産量を計算しますと、

$$(10 \text{ 円} / \text{kWh}) \times 100 \text{ 億 kWh} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時} / \text{日} = 876 \text{ 兆円} / \text{年}$$

もしくはその2倍の産業規模と成ります。現在の世界GDPは約5千兆円と言われていますが、それが将来2、3倍になったとしても、その約1割を占める「0.1京円(1000兆円)産業」となるかもしれないのです。

日本人が未来に生きてゆくためにも、これほど適した産業技術は無いのではないのでしょうか。大いに関与したいものです。

(しかし、これもピークに達した途端に実は収束に向かうことになります。それを図1に示してあるわけですが、これは実は核廃棄物消滅処理に極めて有効なのです。それは後で説明しましょう。人類に取り、万事非常に好都合なことなのです。)

・今世紀の地球には、他に道は無い！？

過去60年間のエネルギー資源への投資で最大の対象が原子力でした。それで、原子力のための一応健全な産業基盤は用意されていると言えそうです。しかし、技術的コミュニティが更

なる解決を求めている諸問題として、次のものがあります：(a)核拡散、(b)安全性、(c)核廃棄物処分、(d)経済性と(e)資源。これらのため、多くの国は原子力を完全に受け入れるのには躊躇しています。そして、いくつかの国は既存の原子力発電炉からの撤退さえ計画しています。これらの問題に対処するために、先進的な原子炉システム開発の国際的な協調努力がたしかに進行中です (IAEA-INPRO 計画とか、USA 先導の第 IV 世代炉国際フォーラム[GIF]など)。しかし、もっと斬新で効果的なアプローチが将来エネルギーへの挑戦のために要求されています。その意味での 1 例として最近、世界的な一般誌“NEWSWEEK”[2007 年新年号]は、「核拡散抵抗性燃料を目指す最も有望な経路は、50 年前に見捨てられたトリウム燃料サイクル利用一の道に戻る」と指摘する「Lost Chance」という表題の記事を発表しました。

第 2 部 原子力平和利用の根本原理から考え直そう！

*原子核化学反応エネルギーである

先にも述べたように、原子に関わる化学反応エネルギーと錯覚させそうな「原子力」という用語は、実に不可解なものです。その実態は原子ではなく、明らかに原子核の関わる「原子核化学反応エネルギー」です。原子核の種類が変わることによって生ずるエネルギーを利用しようとしているのです。そこでは何が起きるのでしょうか？

・質量とエネルギー

原子核は陽子と中性子という 2 種類の核子からなる複合粒子です。両者はほぼ同じ質量を持ち、陽子 Z 個と中性子 N 個から成る原子核は、質量数 $A = Z + N$ となります。Z は原子番号でもあって、これが同じものは同種の元素に相当し、その中で N が異なるものは同位体 (同位元素) と言われます。

面倒なことを書きましたが気にしないで先に進んで下さい。何時か必要な時に見れば良いのですから。

この様に、原子核の中には陽子と中性子があるのですが、各々の原子核の重さは A からでは推定できない微妙な差異があります。それは、陽子と中性子との間の結合具合が少しずつ違っているからです。結合度合、即ち結合エネルギーが大きいとそれだけその原子核は安定になります。そのエネルギーだけマイナス (負) のエネルギー状態になるわけですが、その分だけ「質量」が減るのです。

通常はエネルギーに重さが有るなど判りませんが、上のエネルギーは余りに大きく測定に掛かるのです。それは、アインシュタイン (Albert Einstein) 博士の「相対性原理」によって、

$$\text{エネルギー} = \text{質量} \times (\text{光速度})^2$$

となるのは聞いた事があるでしょう。もしも水素原子核一個 (1 核子の陽子) の質量が全てエネルギーに変えられたとしますと、約 $2 \times 10^{10} \text{ kcal/mol}$ となります。即ち、水素 1 グラムは $2 \times 10^{10} \text{ kcal}$ (20 兆カロリー) と同等なのです。

原子核が一番安定化している元素は鉄で、それだから宇宙から隕鉄が降ってくるのですが、それより重くなった原子核は相対的に段々不安定になり、ウラン以上になると安定には存在しなくなるのはご存知でしょう。ここいらは旧著『「原発」革命』で詳しく説明してありますので簡略にしますが、それが「核分裂」を起こすと、上のエネルギーの 5 分の 1 強のエネルギー (0.2 個分の核子質量相当：4 兆カロリー/mol) が得られることだけをお話しておきます。

・核エネルギー利用において役立つ主要な核反応

上記のようなことから、原子核が変化する反応 (核化学反応) を旨く利用してエネルギーを入手できるのですが、今後百年で人類に役立つと考えられる主要な核反応は、「核分裂」・「D T (重水素・三重水素) 核融合」・「核スプレーション」の三種だけだといって良いのです。これらの主要特性の比較を表 1 に示しておきました。

この内容もかなり詳しく旧著に書きましたので参照願いたいですが、圧倒的に「核分裂」反応が有用重要です。それを前提にして第 1 部は書かれたのです。以下でさらにその実態を明らかにします。

「核スポレーション」反応は中性子入手に優れた技術でして、第5部でお話しましょう。

表1 主要な核反応の特性

	エネルギー 取得	中性子 取得
DT核融合	相 応	豊 富
核分裂	豊 富	貧 困
核スポレーション	非常に 貧 困	非常に 豊 富

・核融合は？

DT核融合反応は、中性子量に余裕があるが、エネルギー入手にはそれ程有利でなく、しかも反応維持には多大の入力エネルギーが必要です。燃料物質の重量当りで比較して、核融合有利などと言うべきものではありません。DT核融合研究は、初期には「原爆原料」入手策、即ちその製造用の中性子入手策として秘密裏に発足したもので、そもそもエネルギー入手が対象ではなかったのです。

まだ、プラズマ閉じ込め方式や材料を含む炉科学的基礎研究の段階であり、まだ全く本格的な炉工学設計研究以前です。確りした理論体系が整備されてなく実寸大の大型物理実験装置が必要なのであって、発電実験炉などを考察する段階には全くないのです。

我々の目的はエネルギー入手であり、それには殆ど入力エネルギーが不要でしかも単純な核分裂が圧倒的に有利であって素反応辺り約 200MeV のエネルギーが入手でき、DT核融合の約 18MeV の十倍なのです。

ただし核分裂反応で発生する中性子の余裕は充分でなく、現に満足な核分裂装置の核燃料増殖サイクルは実現していないので、このDT核融合を中性子入手用に利用したいとの考えは、大いに魅力があります。将来、核スポレーション反応利用の先の時代に浮かび上がってくれると良いでしょう。

*核分裂エネルギーとは？

上述のように、我々は核分裂にまづ注目することに迷いは無いわけです。廃棄物などに弱点があるにしても、核科学技術的に最も単純なこれを制御できないようでは、先は有りません。天然にも原発は存在した位なのですから。

原発とは、原子核分裂反応エネルギー利用発電炉のことであり、従って「核分裂」反応の本性をよく理解し、それに最もよく順応した利用体系を実現すべきであるのに、どうもそうなっていないので社会の広い信頼をえていないのではないのでしょうか。見直しを始めましょう。

・核分裂反応炉（連鎖反応の持続装置）：原子炉の基本

「核分裂」反応の基礎については、旧著（『原発』革命 第二、三章でかなり詳しく書きましたから結論のみ整理しておきましょう）：

(a) 核分裂能力をもった核分裂性核種は？——実用できる核種は意外に少ないのです。それは、天然のU・Thから得られるものでなければならず、天然に存在するU235、およびU238から作られるPu239と241、それに天然のTh232から作られるU233の4核種のみと言って良いのです。(表2.1) [なお、正式にはU235などは²³⁵Uの様に書くべきですが、見難いのでU235と示す事に致します。]

後述のように、我々はトリウム(Th)系のU233を重視します。熱中性子炉で性能が抜群で、また持つ放射能が非常に弱くて核兵器向きテロ向きのPuを排除できます。但し、これは天然に存在しないのを忘れてはなりません。それはPuも同じですが。