

福島原発事故から学んだ長期エネルギー政策

大阪大学

高部英明

(本原稿は 11/27(SF),12/4(Chicago)、米国の市民への英語での講演のために用意した PPT-file をベースに、原稿にしたものである。月刊誌に掲載を目指している)

概要：未曾有の大震災がもたらした最悪の福島原発事故。原子力カルネッサンスと言われ、環境に優しいはずの原子力エネルギーはその牙をむいて、安全神話は跡形もなく崩れ落ちた。まず、福島第一原子力発電所で 3.11 に起こったこと、その後の水素爆発などに関して科学的に易しく説明し、そもそも、日本の原子力がスタートする時点で今日の事故を暗示していたかのような日本の原子力の歴史を振り返ってみる。産業会、政治家、科学者（特に物理学者）との原子力黎明期の混沌と軋轢など紹介する。地球温暖化の科学を易しく解説し、エネルギー途上国、特に中国のエネルギー政策と日本との関わりを考察する。原子力、地球温暖化、中国・インドなど途上国の近代化も包み込む持続性ある発展、未来のエネルギー政策。私が研究者として携わってきた核融合研究、地球シミュレータによる長期温暖化計算、中国との共同研究。これらを通じて 100 年を超える長期のエネルギー政策のあるべき方向性が太陽エネルギーの高効率な利用、超伝導の実用化、地方分権、したたかな外交など世界的また日本固有の課題を解決していくことが人類の生存への必須条件であることを論理的に説明する。

1. はじめに

私は今、原子核のエネルギーをエンリコ・フェルミが人工的に解き放った歴史的な地、シカゴにいる。奇しくもここへは、オークリッジ国立研究所が主催した「計算物理学国際会議(CCP2011)」に参加した帰途、立ち寄っている。オークリッジ国立研究所は第 2 次大戦中の米国原爆製造計画「マンハッタン計画」で、ウランの濃縮を行った地である。濃縮されたウランは広島に投下された原爆に使われ、一部はシカゴに送られ、原子力エネルギーの可能性を示したと同時に、そこから生成されたプルトニウムは長崎に投下された原爆に使われた。

原爆の平和利用が原子力発電であり、水爆の平和利用が核融合発電である。水爆とは、プルトニウム型原爆を劣化ウランの容器の中で爆発させ、発生する強い X 線で核融合燃料を爆縮・加熱して核爆発させる。水爆は原爆の 100 倍程度の爆発エネルギーを発生する極限の破壊装置である。その水爆の原理を利用し、核エネルギーを制御しながら徐々に取り

出し、発電に使おうというのが核融合エネルギー研究である。私は大型レーザー用いた通称「レーザー核融合」の研究に学生時代も含め 25 年、関わってきた。その私が、25 年研究した結果、核融合エネルギーの工学的取り組みは時期尚早と結論。基礎物理からレーザー核融合に関連する理学的研究に回帰すべきだと真摯に思い、基礎科学をめざすと宣言したのはちょうど 21 世紀の幕開けの 1 月であった。現在もその考えは正しいと確信している。本原稿で明らかにする原子力エネルギーの研究開闢当時の 1950~60 年代の湯川秀樹をはじめとする物理学者達の無念の思いが私には良く理解できる。

我が国では政府や電力会社が「原子力は絶対安全。事故など起こりようがない」と地域住民に説明してきた。同時に田中角栄が立法した原発立地地方自治体への補助金という餌でもって 1970 年から 60 基にも及ぶ原子炉を 20 年間で建設してきた。結果、関西電力では原子力発電量が全体の 30%という不可欠のエネルギー源になるに至った。しかし、1986 年のチェルノブイリ原子力発電所の事故の後、新規立地は国内では難しい状況になった。同時にそこにはバブル景気の終焉、経済の低迷も原子炉を増やしていく政策の足を引っ張ることと成った。

ところが、IPCC(気象変動の国際パネル)が、ゴア元副大統領の「Inconvenient Truth (不都合な真実)」に納められた環境保護活動と 2007 年にノーベル平和賞を同時受賞したことに象徴されるように、地球温暖化問題が政府レベルでの関心事になってきた。そして、我が国政府は原子力エネルギーへの依存度を今後大きく増やしていくエネルギー政策を表明していた。いつの間にかチェルノブイリの記憶は風化し、地球温暖化の救世主として原子力は崇め奉られるようになってきた。それを「原子カルネッサンス」と呼び沸き立った。そんな時、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災が発生し、それによる津波は福島第一原子発電所に、想定していた 6m を遙かに超える 14m の高さでおそってきた。

結果、原子炉建屋を超える高さの大波は、隣接するタービン建屋を水浸しにしてしまった。原子力発電所は極めて堅牢に建てられていると聞かされていたが、それは、原子炉容器を納める建物であり、隣接するタービン建屋は通常の強度しかない。その結果、タービン建屋に設置されていた非常用電源装置のディーゼル・エンジンは機能を失い、外部電源も津波のために送電線からの電力受給が不可能と成った。全電源喪失である。このケースは福島原発の運転室の非常時のマニュアルにもなかった。緊急にどう対処して良いかわからない。この意味で、「東京電力が想定していなかった事故」が起こったのである。

全電源喪失がもたらしたことは原子炉内の燃料に含まれる核反応生成放射性原子核からの熱の持続的な放出であり、燃料棒を覆っていたジリコニウムの高熱状態での水分子の分解を促す触媒効果であった。水は水素と酸素が結合した分子。分解した水素は空気より軽いために原子炉建屋の上空にたまる。3 月 12 日 15 時 36 分、第 1 原子炉が水素爆発を引き起こした。この爆発は水素と空気中の酸素が化学反応を起こし、水分子に戻ることでより発生する化学エネルギーによる。科学技術立国を標榜してきた日本はその高度な技術力に対する世界中の信頼を失うことになった。さらに、2 日後の 11 時 1 分、第 3 原子炉が水素爆発を起こした。なぜ、2 日間以内に第 2 の事故を防げなかったのか。これは、科学技術の敗北ではない。科学技術に完璧はない。完璧でない技術の非常時に対する人的判断や対応の稚拙さが原因である。私は一科学者として世界中からの悲しみと同時に、冷笑を肌で感じた思いがした。

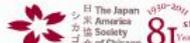
原子力、地球温暖化、持続性ある発展、未来のエネルギー政策。すべて、私が経験してきた事に関係する。原子力は核融合との比較で学んできた。地球温暖化の理論的根拠となるシミュレーションは 1996 年の京都議定書を受けて建設された世界最高速スパコン「地球シミュレータ」の計画推進委員会や課題選定委員会（両委員長は松本紘・現京大総長）の委員として評価する立場にあった。25 年間以上、レーザー核融合を研究しエネルギー実現を目指したが、結果として核融合は未だ工学にはなり得ていない理学の段階であることを確認したと書いた。その際、「レーザー宇宙物理学」という新しい理学的アプローチの提案をし、エネルギーに関しては太陽エネルギーを利用した持続性あるエネルギー源開発、それを加速する政策を主張した。10 年前の主張の中心は「核エネルギーは中継ぎであり、求めるべきは自然エネルギー、エネルギー節約、効率の向上、分散エネルギー、そして持続性のある調和ある未来を子供や孫に残していきたい、ということ。エネルギーの大量消費は長い目で見て地球の自殺行為。地球が開放形とはいえエントロピーは確実に増大する」であった。

同時に 2002 年から中国の研究者達と基礎科学の共同研究を本格的に始めた。この 10 月（11 年 10 月 18 日～23 日）も北京の 3 研究所と今後の共同研究体制強化を仲間 5 人と議論してきたところである。中国の研究者達と向かい合いながら、食事をしながら、中国のエネルギー不足の現状や環境問題について議論してきた。基本的に彼らは豊かになる権利があるが、それが持続性のある発展となりうるか議論してきた。未だ模範解答はない。

「持続性のあるエネルギー」といった場合、何年のスケールで人類の高度な文明を支えるエネルギー政策を意味するのだろうか。100 年先なのか、いやもっと長期か。私は宇宙物理が専門である。最近、多数の「系外惑星」（太陽以外の星の惑星系）が観測的に見つかっている。その数はどんどん増えており、2010 年には年間 100 個を超える惑星が、私達の太陽系の外に見つかっている。100 年のスケールで考えると、生命活動の見られる系外惑星が見つかるかも知れない。すると、地球外生命との通信も可能と考えるかも知れないが、現実はそう甘くない。Drake という学者がある方程式を提案し（ドレイク方程式と呼ばれている）妥当と思われる数値を入れると、高度文明同士が通信をするためには、高度文明を 1 万年は維持する必要があると結論した。

我々は 10 年先、せいぜい 100 年先のエネルギー政策を良く議論しているが、それから先はどうすべきかを議論していない。私は、1 万年先の話をしようというのではない。しかし、高度な文明社会を孫の、孫の、さらに孫の代に引き継ぐには、今からどのようなエネルギー政策を目指していかなければいけないか、私の意見を述べたい。論理の基礎はエネルギー政策とは、どのようにエネルギー生成するかというエネルギー源の問題やその混合比（エネルギー・ミックス）の問題ではなく、エネルギーを新規に生み出すこと自体が持続性ある社会へ危険信号を送っているという認識である。この意味では炭酸ガスの放出による地球温暖化は短期的な課題であり、その先に求められるエネルギー政策について議論したい。

10月30日から米国での国際会議に出席するため、その前に、大阪大学のサンフランシスコ教育センターに立ち寄ろうと久保井センター長に連絡した。すると、開催予定の東日本大震災に関連したシンポジウム「Build-Back-Better, Go Beyond Crisis」で基調講演を依頼された。そこで、上記の様な個人的背景もあり、この際、自分のこれまでの主張が正しいか調べ講演しようと、引き受けた。題目は「Proposal for future: Starting from inconvenient truth after FUKUSHIMA」である。同時に、大阪市シカゴ事務所の佐古所長からも依頼され、帰路、シカゴでも講演を行った(右の案内参照)。その際の講演内容を、読者の皆さんが未来のエネルギーの有り様を考える参考にしていただきたいと思い、文章にまとめることとした。



Building Towards a Sustainable Energy Policy for the Future

Dr. Hideaki Takabe
Professor, Osaka University



Friday, November 4, 2011

6:00-6:30 p.m. Registration
6:30-7:15 p.m. Presentation
7:15-7:30 p.m. Q&A

JETRO Chicago Office
1 E. Wacker Drive, Suite 600
Chicago, IL 60601

\$10 Admission

On November 4th 2011, Dr. Hideaki Takabe of Osaka University will speak in Chicago, on the issues of energy that Japan and the world are facing today. He will open his talk by discussing the "Inconvenient Truth" that surfaced through the nuclear power plant accident in Japan. Dr. Takabe's invaluable perspective as Japan's leading physicist in plasma, nuclear fusion research, and large-scale computing will enlighten the audience with both a concrete knowledge of how things work, as well as a global perspective to help build towards a more sustainable energy future for us all.

Proposal for the future starting from the Inconvenient Truth after Fukushima include:

- Accident of Fukushima Nuclear Reactor by the tsunami
 - What happened in Fukushima on March 11
 - History of the Nuclear Power Plant in Japan
- Science of Global Warming by Carbon Dioxide
 - IPCC, Nobel Peace Prize, 2007
 - Thirst for Energy in China and India
 - New Policy for Energy after Fukushima
- Can we find a roadmap of energy policy for the sustainable future?

Dr. Takabe is a professor at Osaka University's Institute of Laser Engineering, the top research institute in laser nuclear fusion in Japan. He was a member of the Steering Committee of the Earth Simulator and had evaluated the science of global warming computing in Japan. He is also a member of the Science of National Ignition Facility Committee, U.S. Lawrence Livermore National Laboratory

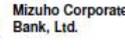
Special thanks to our Corporate Sponsor:



Supporting Organization:



Special thanks to our 81st Annual Program Sponsors:



Reservations: Pay Pal www.jaschicago.org or (312) 263-3049. Pre-registration required no later than November 3.

Japan America Society of Chicago, 20 N. Clark Street, #750 Chicago, IL 60602
Tel: (312) 263-3049, Fax: (312) 263-6120, Email: kono@jaschicago.org www.jaschicago.org

2. 3月11日に福島第1原発で起こったこと

もう一度、マグニチュード9の地震が発生した日に戻ろう。地震により引き起こされた津波は震源に近かった三陸海岸に襲いかかった。と同時に、遠く離れた福島第1原発に津波は14mの高さでおそってきた。近くの相馬市が7m、いわき市が3mということを見ると、原発立地場所沖の海底構造や海岸線の地形が津波の高さを増幅させたとか考えられない。この津波の高さを東電は「想定外」と表現したが、果たしてそうだろうか。吉村昭の「三陸海岸大津波」(文集文庫)には明治29年(115年前)の大津波や昭和8年(77年前)の大津波の記録が綴られている。中には24mの津波もあったことが記されている。この本の初版の刊行は奇しくも福島第一原発の1号機が建設された1970年である。過去に立地場所の近くでこんなにも大津波が発生したという記録があるのに、これでも「想定外」なのだろうか。

14mの高さの津波は原子炉建屋の高さを遙かに超えた。想定されていた6mでは隣接するタービン建屋の裾に迫る程度で収まるはずであった。所が今回の津波で両建物とも

大津波に飲み込まれ、タービン建屋は水浸し。そこに設置されていた非常用電源の動力であるディーゼル・エンジンは機能しなくなった。同時に、外部からの送電も施設が破壊され、不可能となった。「全電源喪失」は東電ではまさに「想定外」であり、緊急時のマニュアルにも本ケースへの対応は記載されていなかったことが何ヶ月も経ち明らかになった。対応に苦慮する中、翌日の 15:36 には第 1 原子炉が水素爆発を起こす。原子炉の屋根は吹き飛び、構造用の鉄骨が哀れな姿を現した。そして、14 日の 11:01 には第 3 原子炉も水素爆発を起こした。映像からは、その爆発は第 1 原子炉より規模が大きく、単に水素爆発だけとは思えない光景であった。専門家によれば、この第 3 原子炉の爆発は水素爆発により引き起こされたウラン燃料の変形などによる連鎖反応の臨界越えが起こり、瞬時の核反応によるエネルギー発生があったとの見方もある。

なぜ、全電源喪失という想定外の事態が発生したのか。そこには原子炉建屋の耐震性などの表現のトリックがある。第 1 原子炉を例にとると、第 1 は大きく原子炉建屋とタービン建屋から成る。原子炉の建屋は高くそびえ立つ建物で、これは地震などに耐えるように堅牢な建物である。しかし、その横のタービン建屋は通常の建物で、事故時には、水没してしまった。原子炉は 1970 年に米国 General Electronics(GE)で製作され、EBASCO という仲介業者を通して日本に輸入された。導入時に設計図を見た日本の技術者は「非常用電源がタービン室にあるのは危険である。原子炉建屋に移すべきだ」と主張したが、EBASCO を通してその意見が GE に反映されることはなかった。当初から問題があることが指摘されていたのである。

ウラン燃料を包むジルコニウムは金属の中で熱中性子の吸収断面積が最小のため、ジルカロイと呼ばれるジルコニウム合金が原子炉の燃料棒の被覆材料として使われる。しかし、ジルコニウムは高温で酸素と反応し多様な化合物を作る事が知られている。今回、全電源遮断という状態になり、制御棒が自動的に燃料棒の間に挿入され、核分裂の連鎖反応は止めることはできた。しかし、核燃料には核分裂で発生した放射性元素が多数有り、それが崩壊する際、熱を出す(崩壊熱という)。冷却系の水の循環が不可能となり、燃料棒の間を流れていた冷却水は沸騰し、高温になったジルコニウムが水分子から酸素を奪い、水素分子が多数生成されるようになった。水素は軽いため、堅牢な原子炉建屋の天井近くに集まった。

一般に、空気中で水素の割合が 30%を越えると、水素は空気中の酸素と化学反応を起こし、その際に熱を放出する。すると、貯まった水素は一挙に化学反応を起こし、水素爆発が起こる。これが、1 号炉で地震から丸一日後に起こった。当然、同じような事が被災した他の原子炉でも起こることは想像できた。しかし、その 2 日後にはさらに爆発力の強い、黒煙を伴った垂直方向に伸びる爆風波が 50m ほどの高さまで伸びる様子が観測された(写真参照)。その結果、当時の風向きを反映するかのごとく、放射能被災地は同心円でなく歪な形状の原因となった。年 1 ミリシーベルトを越える放射能汚染地区は千葉や群馬などの飛び地も含め広範囲に及んだ。環境省は 2011 年 10 月 10 日に国の責任による除染地域を年 1 ミリシーベルト以上とする基本方針案を決めた。その面積は 8 都県で約 1 万 3



千平方キロ。日本の面積の約3%に及ぶ。

除染予定の放射性物質には半減期が30年のセシウム137が大量に含まれる。同時に、量は少ないが半減期が433年のアメリシウム241や半減期が7380年のアメリシウム243などがある。これらが減少して行き、約1万年経って初めて天然ウランと同程度の放射能のレベルになる。これらの放射性原子核は太陽系ができる50億年以上前、超新星爆発の際に核が合成され自然に作られたが、太陽系の50億年という長い年月の間に崩壊してしまった原子核である。それを原子炉で人工的に作ったが、自然に崩壊するのに何世代もかかる。もちろん、このような放射性元素が放射能を出さないような安定な原子核にしようという研究は行われている。代表的な研究が核破砕を利用した中性子による核変換である。東海村のJ-PARCで研究が行われているが、実用には至っていない。私も10年前に超高強度のレーザーを用いた核変換の研究をした。しかし、実用化には効率が悪すぎる事が明らかとなり研究方針を変えた経緯がある。長寿命放射核が安全になるには、今のところ、「1万年待つ」しか無いのである。

3. 日本の原子力エネルギーの歴史

日本の原子力エネルギーの始まりを説明しようとする、第2次世界大戦の米国マンハッタン計画に遡る必要がある。米国陸軍のグローブス将軍を責任者として1942年にマンハッタンに本部を置いてスタートしたこの計画は、アインシュタインがナチスドイツの原爆を製造を恐れ、当時のルーズベルト大統領に出した一通の手紙から出発した。アインシュタインに手紙を書くように粘り強く説得したのは、ポーランド系ユダヤ人のシラードである。彼は、ドイツのハーン達が核分裂による核の崩壊と複数の中性子発生を実験で示したことを知り、ある時、交差点待つ間、「複数の中性子による急速な連鎖反応を利用すれば莫大なエネルギーを一挙に生成することができる」ことに気がついた。これが、核兵器の歴史の始まりである。

世界的有名人であったアインシュタインの手紙の効果は絶大で、シラードのアイデアを戦時中の巨大プロジェクトとしてスタートする決断を大統領はした。爆弾とするためには天然ウラン鉱にわずか0.72%しか含まれていないウラン235（残りは核分裂を起こさないウラン238）を90%のレベルまで濃縮する必要がある。どのように濃縮するかは大きく2つの方法に別れた。当時、サイクロトロン加速器を発明し、1939年にノーベル物理学賞を受賞していたローレンスは、ウラン235と238のわずかな重さの違いを利用して加速器で遠心分離しようと巨大な加速器を製作した。場所はUC Berkeleyの一角で、今日のローレンス・バークレー国立研究所である。一方、ウランガスの拡散係数が重さに関する原理を利用して分離しようとしたのが「ガス拡散法」であり、グローブス将軍はテネシー州のオークリッジに18ヶ月かけて巨大なウラン濃縮工場を建設した。これが通称K-25とよばれた秘密施設。

オークリッジで濃縮されたウランは、広島型原爆に使用された。実際、ローレンスは膨大なお金をかけて加速器で分離を行ったが、その量はほんのわずかにとどまった。その様子はファインマンのユーモア溢れる「思い出記(自伝)」に詳しい(「ご冗談でしょ、ファインマンさん」岩波現代文庫、数冊有り)。ローレンスはこの計画で加速器の大型化を図り、戦後の米国の核物理・素粒子物理実験の世界的優位性を築いた。この話は、

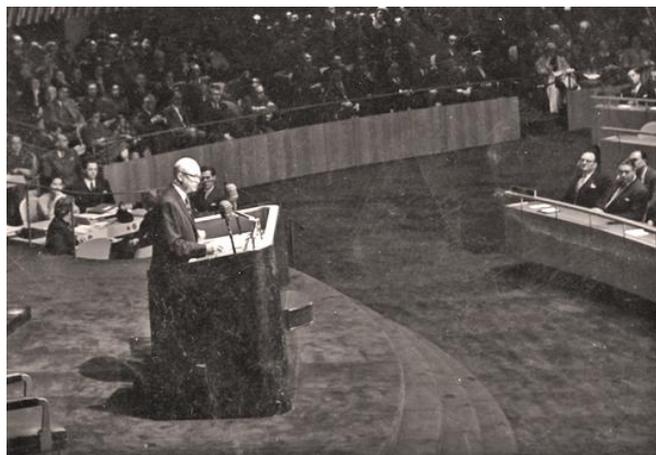
日本人の忌避する、基礎科学と軍事研究との絡みの歴史的な成功例と言えよう。

一方、1938年にノーベル物理学賞を受賞し、受賞の足で米国に亡命したイタリア人物理学者フェルミ（奥さんがユダヤ人でムッソリーニ体制での迫害を逃れるため亡命：右写真）も、マンハッタン計画の発足と共に新しい母国への貢献が求められた。彼は、シカゴ大学で黒鉛炉型の小さい原子炉を作り、ウラン 235 の核分裂から生じた中性子をウラン 238 が吸収し、プルトニウムに変化することを利用して国に貢献した。そのプルトニウムは米国トリニティーで 1945 年 7 月 12 日、世界初の原子爆弾の実験に用いられた。その後、同じプルトニウム型原爆は長崎に投下された。



第 2 次大戦で日本は廃墟となり、日本の領土も明治維新の時代の領土へと小さくなった。そして、占領軍の支配下に新憲法が生まれ、1951 年 9 月 8 日、サンフランシスコ平和条約が締結され、日本の原子力研究も禁が解かれた。しかし、時代は冷戦構造のまっただ中。隣の韓国では 1950 年 6 月 25 日に朝鮮戦争が勃発。休戦に至るまでに 4 年の月日を要した。

米国は原爆に次いで、1952 年 11 月には水爆実験にも成功し、東西冷戦下で米国の圧倒的軍事力の強さを維持できると信じていた。しかし、旧ソ連が翌年 8 月 12 日に水爆実験に成功したことにより、核兵器だけでの西側の防衛力維持に不安を抱くことになる。そんな世界情勢の中、当時のアイゼンハワー大統領は原子力に関する世界戦略を大きく転換する。つまり、このまま放置すれば世界中が核兵器を持ちかねない。それを避けるには米国と日本の様に 2 国間協定を結び原子力の技術移転を行い、原子力発電として民生利用に限定させるというものであった。民生利用への自信は当時就航間近（54 年 9 月 30 日に就役）の世界初の原子力潜水艦ノーチラス号の成功に裏打ちされていた。米国の原子力政策の大きな転換は大統領の国連における「Atom for Peace（原子力の平和利用）」の基調講演として 1953 年 12 月 9 日に世界に発信された（右写真が演説の時）。しかし、その背景は、核兵器力を高めていく旧ソ連を牽制することが本来の目的であり、冷戦構造の副産物として原子力平和利用の外交が出発したと言える。



当時の日本は第 5 次吉田茂内閣で、原子力の平和利用を前向きに受け止めた。1954 年 12 月には鳩山政権が誕生。1955 年 11 月には日米原子力協定に調印。12 月には原子力基本法・原子力委員会設置法が成立した。1956 年 11 月には日米ウラン貸与協定も結ばれて、国内での原子力発電実現へと着々と進んでいった。米国はウラン濃縮などの技術を自国にとどめ、原子炉をプラントとして輸出することで経済的に優位に立ち、かつ核拡散の観点からもこれ以上核保有国が増えることを防ごうとした。「Atom for Peace」

の演説をきっかけに米国主導で 1957 年に国際原子力エネルギー機構(IAEA)が設立された。IAEA の役割は原子力の平和利用を促進すると同時に、核拡散の懸念のある国などを査察し核兵器の拡散を未然に防ぐことであった。

IAEA 設立の 1957 年 2 月、岸信介内閣が成立した。彼は原子力導入を急いだと同時に、原子力というものを単に民生用の観点だけでなく、戦争により失墜した日本の国威をいざというときの大国に見せるための道具としても捉えていたようだ。そのことは彼の記者クラブでの 1958 年 5 月の発言からも明らかである。岸総理は「現憲法下においても日本が自国防衛のために核兵器を保有することは憲法違反ではない」と述べている。

さて、当時の産業界と学术界はこのような動きをどう受け止めていたか。産業界の代表であった正力松太郎は総理の座を目指し、すでに国会議員となり、1956 年 1 月に発足した原子力委員会の初代委員長に就任した。学术界の巨星・湯川秀樹を説き伏せ委員に就任させた。初会合で正力は「5 年後には実用規模の発電炉を建設する」と主張。発足早々、委員会は紛糾。学者達は、基礎からしっかり研究し自力で国産の原子炉を作り上げたいと主張。紛糾する中、湯川が「辞任したい」と言い出した。慌てた事務局の動きもあり、表現を「米ソ両国では実験（原子力発電）に成功している前例もあり、我々としても今後五カ年間に原子力発電の実現に成功したい意気込みであります」という声明文で何とか落ち着いた。〔(山岡淳一郎「原発と権力」ちくま新書) から引用〕

自主開発を主張する学术界に対し、産業界は早期の原子力実用化を望んだ。東京電力など産業界は結束し 1956 年 3 月 1 日、「原子力産業会議（原産）」を設立した。原産を駆動力とした九電力会社や重厚長大産業は、原子炉の輸入による早急な原子力エネルギーの実用化の方針で進んだ。同時に 56 年 5 月に発足した科学技術庁の初代長官・正力はパイプのある茨城県東海村の 100 万坪の敷地に、傘下に収めた特殊法人・日本原子力研究所の科学者集団を率いることになる。しかし、電力の管轄省である通産省との力関係で電力会社・通産省連合に主導権を握られることになる。そして両勢力の調整をしつつ原子力行政に力を持ったのが第 7 代目科学技術庁長官（59 年 6 月～60 年 7 月）となる中曽根康弘であった。

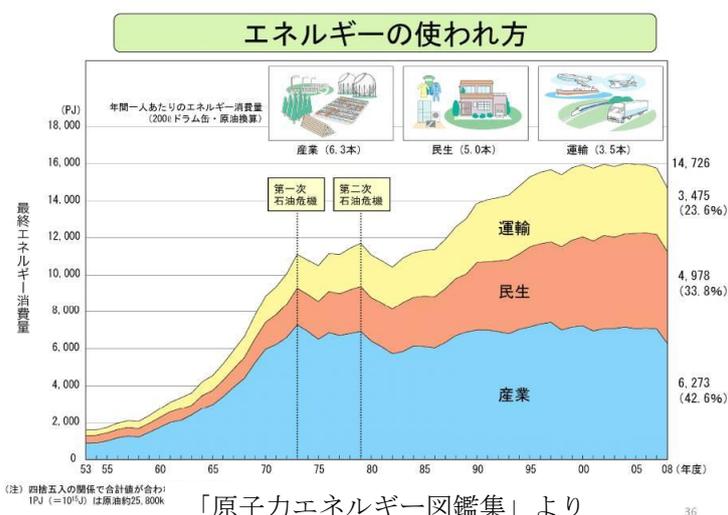
日本の原子力研究は原研を中心に推進された。並行して学者の国会とも言うべき日本学術会議（49 年の 1 月に発足）は上記の時代は茅誠次が会長で、学术界は原子力研究に対して「自主、民主、公開」の 3 原則を打ち出した。これに対し、科学者に相談もなく政治主導で中曽根康弘達は最初の原子力予算を獲得し物理学者に原子力を迫った。当時、茅誠次を支えていた伏見康治（右写真）は「日本の原子力研究は政治家から札東でピンタを張られてスタートしたのです。この科学の屈辱の歴史を忘れてはいけない」とよく話していた。伏見の話が好きで、学生の頃から講演を何度も聞いた私にはこの言葉が今も鮮明に心に刻まれている。今思えば、ここに、御用学者に守られた「原子力村」と物理学者の間の軋轢と不信感の原点がある。



結局、原子力プラントの丸ごと輸入の路線となり、1969 年の敦賀 1 号、翌年 1970 年の美浜 1 号、福島第一の 1 号が建設された。同時に 2 回のオイルショックを挟んで原発

の数は急速に増え、1995年までの四半世紀で、55機の原子炉が国内に建設されるに至った。しかし、その後の15年間は新規原発の建設はほとんど無く、凍結された状態である。

ここで、興味深い図を示そう（下図）。日本が1年間に使うエネルギーの総量の年次変化である。極めて特徴的なのは73年の第1次石油危機での使用量の伸びの停滞。これは産業部分が省エネ、効率化を図った事による。このエネルギー危機を契機のごとく伸びてきた原子力エネルギーは多くはどこに行ったかと言えば、家庭用（民生）や新幹線（輸送）などである。特に家庭での電力消費が大きく伸びていることがわかる。知らないうちに私達は電気がなければ何もできない快適な生活を当たり前と生きてきたのである。



4. 地球温暖化の科学的根拠

仕分けで有名になった「京」コンピュータが2011年のゴードン・ベル賞を受賞した。この賞は2002年、「地球シミュレータ」も受賞した賞である。私は地球シミュレータ発足当時から佐藤哲也センター長に指名され、計画推進委員会や課題選定委員会の委員を務めた。ちなみに両委員会の委員長は松本紘・現京大総長である。

地球シミュレータは1997年12月に採択された京都議定書（正式名称は、気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書）を受けて、地球温暖化防止のための研究などを目的として建設されたスパコンであった。地球には太陽から174ペタ・ワット（ペタとは1000兆のこと）の光のエネルギーが降り注いでいる。過去200年程度でも、その値は0.1-0.2%程度しか変化していない。つまり、黒点が多くなる太陽の活動期やその逆に黒点がほとんど無くなる静寂期においても光として地上に降り注ぐエネルギーは変化していない。粗く言うと、太陽は中心での水素の核融合反応（4つの水素が融合し、最終的に1個のヘリウムになる過程）によるエネルギー発生と、それに伴う圧力が自身の重力で縮まろうとする力と平衡を保った状態にある。このような定常状態は100億年続くと考えられており、現在、約50億年経った時点である。

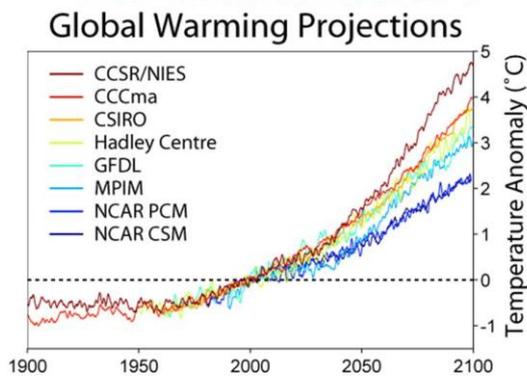
その太陽エネルギーの内、3割は大気で吸収されたり、反射されたりして地表や海面には到達しない。残りの7割の100ペタ・ワットは地球表面で吸収され、熱に変わる。熱と化したエネルギーは地表や海面から赤外線を放射して、結局、太陽からもらったエネルギー全てを宇宙空間に放出し、地表は一定温度に保たれる。四季による温度の違いは、日本が太陽から受けるエネルギーが増えたり、減ったりする事による。

地球シミュレータで計算する長期気象予測のシミュレーションはそんなに単純ではない。海洋はアラスカ近辺で冷えた海水が 1000 年の単位で赤道近くを通り、アラスカに戻ってくる。雲のでき方や割合で、地表への太陽エネルギーの量は変わる。植物も水分を吸ったり出したりする。太陽の恩恵を受けるあらゆる現象を数理モデルにしてパソコンで解いてみる必要がある。この時、地上で人間が文化的な生活を送るために車や発電からエネルギーや炭酸ガスを出し続けるとどうなるか。英国のハドレー研究センターでは 50 名の研究者が物理現象の数理モデルの構築や要素モデルの統合化を組織的に行っている。半分は科学者で半分はコンピュータ工学者だと所長から聞いた。科学者は自身が担当する要素（例えば、樹木の酸素、炭酸ガス、水分などの吸収・放出など）モデルを自分でプログラムを作り、実験結果と比較する。改良を加えながら要素モデルとして自信が持った段階でコンピュータ工学者にバトンタッチ。彼らが大きな全要素を含む統合コードに組み込んで、計算速度の最適化を図る。

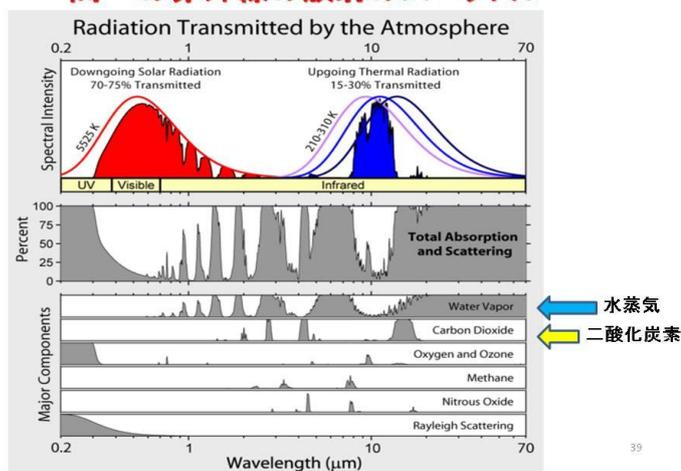
そのようにして予想された結果を国際会議に持ち寄り比較する。すると、(右の図)のように独立に開発された複数のシミュレーション結果が2100年次点での気温上昇を 2-5 度の範囲と予測した。ここから地球温暖化、二酸化炭素の削減目標など世界中の政府レベルでの取り組みとなっていった。その結果、鳩山総理は国連で炭酸ガス排出の 25%削減という到底不可能な約束をしたりするはめになる。また、日本政府は自民党時代を含め、「環境に優しい。炭酸ガスを出さない」という標語の基に原子力エネルギーを日本国の基幹エネルギーにしていく長期エネルギー政策を標榜してきた。

ここで、なぜ、炭酸ガスが悪者なのか簡単に説明したい。大気は窒素と酸素できている。詳しくは分子の数の比で窒素が 78.1%、酸素が 21.0% 次に多いのはアルゴンの 0.93%、4 番目が二酸化炭素で 0.03%。これ以外は極端に少なくなる。水分子は水蒸気として存在し、その割合は 0-4%の間であり、気象条件などで日々変わる。水も炭酸ガスも分子であり、地表や海面から放出される赤外線を良く吸収する。右上に赤外線の吸収に重要な水蒸気と二酸化

地球温暖化に関する世界中のシミュレーションの結果は温暖化を示す



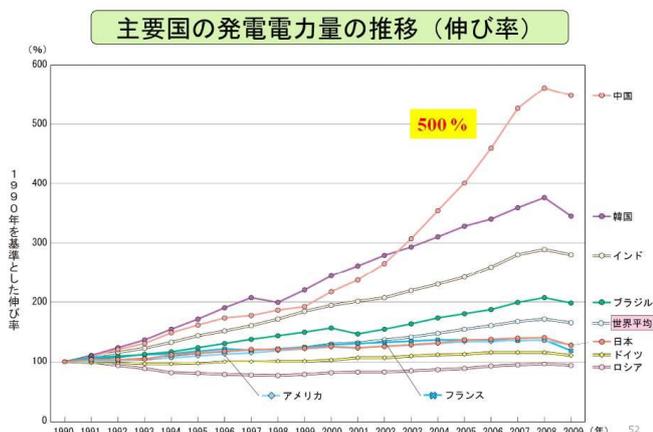
太陽からの光と地表や海洋から宇宙空間への赤外線の放射のスペクトル



炭素の吸収スペクトルを示す。横軸は対数表示した照射・放射エネルギーの波長（ミクロン単位）であり、一番上に太陽から地表に来る光の波長分布（赤色）と地球表面から放射され、大気で吸収された後、宇宙空間に放出される赤外線波長分布（青色）を示す。この図では赤外線はほとんど水蒸気(Water vapor)で吸収されてしまい 10 ミクロンの波長領域のみが宇宙に逃げるように見える。しかし、炭酸ガス(Carbon dioxide)はわずかに 0.03%しか無いにもかかわらず赤外線放射のピークあたりに強い吸収幅がある。この吸収が大きくなると、逃げるべき赤外線が炭酸ガスで吸収され、温室効果が起こり、温度が高くなり、水蒸気の量は増え、ますます温室効果が強まり温暖化が起こる。大規模シミュレーションの結果では大気の大気対流の関係もあり、北極と南極の温度上昇が赤道などより強調され、北極では 100 年で 10 度近くも上昇するという結果もある。

5. 中国・インド・途上国の渴望

地球温暖化は先進国が豊かになるために生じた問題である。これから近代的な生活を享受できるはずの中国やインド等の開発途上国も、原則として米国人の一人当たりのエネルギーと同じ量を消費する権利がある。実際、中国では鄧小平の一声で 1980 年から始まった改革開放により急速な経済の近代化が推進された。1992 年の社会主義市場経済は多くの矛盾を含みながらも中国の近代化に大きく貢献してきた。その様子は右図を見れば一目瞭然である。



「原子力エネルギー図鑑集」より

1990 年の電力消費量を 100% として伸び率をグラフにしたものである。中国の伸び率は極めて顕著で 20 年間で 5 倍を越えている。欧州、日本、米国など先進国が同じ量のまま推移しているのと大きな違いである。インドも伸び率は約 4 倍である。(ただし、この図で、韓国は例外で、1997 年の経済危機による IMF 支援を考慮しなければいけないことに注意)。

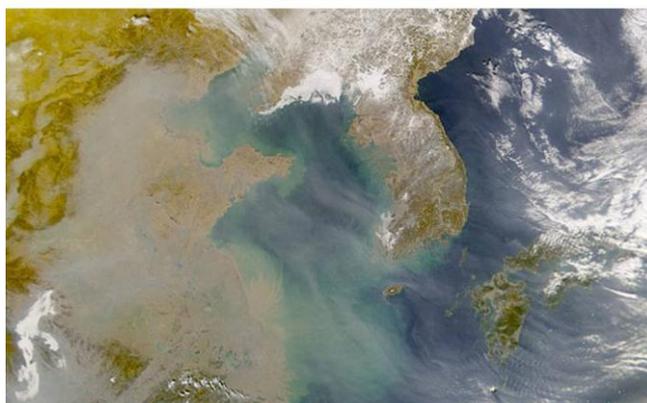
右図は私が 2011 年 10 月 18 日から一週間、北京に出張した際、初日の午後にとった写真である。目を覆いたくなるようなスモッグ。太陽が月のように弱々しい。これが、20 年で 5 倍以上に需要が増えた電気を供給してきた発電の負の側面である。これは北京市内を走る車によるスモッグではない。飛行機から眺めるとわかる



11年10月19日の北京の午後(高部撮影)

が、中国の東半分はスモッグで覆われ尽くしている。5 倍を超える発電量を 20 年間という短期間にまかなうため、中国は硫黄分などを含んだ質の悪い石炭による火力発電を推進してきた。多くは、大都市から離れたところにあるが、地政学的にそこは西にならざるを得ない。所が、日本もそうだが偏西風は西から東に吹いている。結果として西に集中する大都市はスモッグに覆われ尽くす。スモッグは中国にとどまらず、黄砂に煤煙の微粒子が付着し、遠く日本まで流れてくる。右の写真は NASA が公開した中国・韓国・日本の衛星写真。中国の東部は深くスモッグに覆われ、そのスモッグが韓国、九州・中国・四国に流れてきている様子がわかる。倉敷の友人から聞いたが、水島ではすでに中国が起源と思われるスモッグで光化学スモッグ現象が観測されたそうだ。

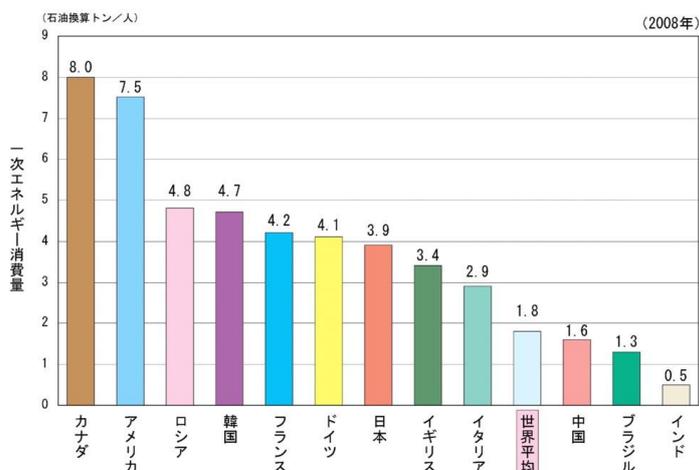
NASA衛星写真:中国東部のスモッグは偏西風で日本に流されてくる



私が中国に最初に出張で行ったのは 1997 年 8 月である。北京の研究所に招待され 1 週間、集中講義を行った。その後すぐ、現・上海交通大学学長の張傑（ザン・ジー）と文化大革命から日中戦争含め何でも話し合える親密な関係になり（知り合った時は北京の物理研究所・副所長）、共同研究をスタートさせたことで、中国に出張する機会が増えた。今は年に 2 回以上は北京や上海を中心にしかける。共同研究の仲間も友人も大変増えた。当時は北京の交通渋滞にインフラ整備が追いつかないなど、耳を疑う話を沢山聞いた。

2001 年には、四川省の研究所を訪ねた際、中国の水質汚染と石炭火力によるスモッグの話を中心に中国の友人達と長時間議論した。彼らも科学者だから良く内容を理解しているし、中国の当時の状況を掴んでいた。彼らは「今は劣悪な石炭を使わざるを得ないが、ここ四川省には大きな天然ガス資源が眠っている。近い将来、エネルギーを石炭から天然ガスに変えることで、スモッグの問題はかなり片付くと思っている」と楽観的だった。その時はそれを鵜呑みにしたのだが、帰国して、私の研究センターに客員教授で滞在していた米国リバモア研の Bill Hogan とこの話になった。彼は核融合の研究をやる前は天然ガスの輸送や液化天然ガス輸送船の爆

一人あたりの一次エネルギー消費量



発事故などの研究をしていた。彼に中国で聞いた話を伝えると、

「原子力エネルギー図鑑集」より

彼は言下に否定した。「四川省から東シナ海近くまで天然ガスを送るには巨大なパイプラインが必要だ。これは、極めて高度な技術が要求されるハイテクだ。中国がその技術を持っているとは思えない。輸送など無理だ」と聞かされた。「ただし、天然ガス利用の歴史は長く、最初に実用化したのは中国で、紀元前の話。当時は竹の節をくりぬいてパイプを作り、料理などに利用したと古文書に書いている」という蘊蓄まで頂いた。現実には Bill の予想通り、中国のスモッグはひどくなるばかりだ。

右上図 (前ページ) に各国の一人当たりが 1 年間に消費する 1 次エネルギーの棒グラフを示す。これからわかるように中国・インドは米国の 1/5~1/15 である。中国・インドだけでも合計人口は 25 億人。米国の 10 倍だ。最初に書いたように両国の人々は人間として米国人と同じ量のエネルギーを使う権利を潜在的に有する。その時、どうなるか。中国・インドだけで米国の 100 倍のエネルギー消費量になる。これが、アフリカなども含み、世界の 70 億人が米国人並みの文明的生活を送ることができるのであれば、粗く言って、今の世界の総エネルギー使用量の数 100 倍近くが必要になる。この値は次の節で極めて重要になるので頭に入れてほしい。

さらに増え続ける中国のエネルギー需要をまかなうために中国政府が計画しているのが**右下図**に示した 40 基を超える原子炉の建設である。一目瞭然、ほとんどの原子力発電所が東シナ海に面している事がわかる。この計画を米国で 4 年前に聞いた時は驚いた。というのも、新規の原子炉については 1/3 は先進国から購入、1/3 は先進国との協力による建設、1/3 は中国独自の原子炉設計による独自技術での建設、という説明を聞いたからだ。1/3 が独自技術、その内、一基でもチェルノブイリのように事故を起こしたら、全ての放射性粉塵は偏西風で日本に降って来るのではないか。それが、今回の福島第 1 原発の事故で現実味を帯びてきた。それを裏付けるように 2011 年 7 月 23 日、温州で高速鉄道同士の衝突事故があった。9 月 27 日には上海地下鉄で事故が発生した。福島原発事故で明らかになってきているように、技術力だけでは安全を確保することはできない。技術をよく知り、万一に備えができる人材が育成され、かつ第 3 者機関が想像力を働かせ、あらゆる事故の想定をし、組織が緊急事態に対応できるように訓練されているかを調査しなければ、安全は確保できない。福島しかり中国しかりである。



6. 新しいエネルギー政策の提案

国は短期、中期、長期のエネルギー政策を検討し報告書を作っているはず。その中で、中期には温暖化防止のため炭酸ガスを出さない原子力エネルギー依存度を高めることが既定路線であった。これは、自民も民主も同じ方針。福島第一の事故以降、「ベスト・エネルギー・ミックスは何か」という議論が広がっている。最初に私は数100年単位の長期（または長々期）のエネルギー政策の提案をすると書いた。ここでは炭酸ガスによる地球温暖化という観点ではなく、人類が使えるエネルギーには自然の大法則から決まる限界があることを述べ、自然との共生のあり方を提案したい。

太陽は地球という惑星の生き物全ての創造主（エネルギーの源）である。太陽は専門用語では「主系列の状態にある恒星」で、このまま、あと、50億年程度は毎日同じ量のエネルギーを宇宙空間に出し続ける。そのエネルギーの変化は0.1%程度である。太陽の光のエネルギーは 3.86×10^{26} ワット。その内、 1.74×10^{17} ワットが地球に到達するが、雲などによる遮りや反射を考慮すると、地表面や海面に降り注ぐエネルギーはその7割程度で、地球全体で100PW（ペタ・ワット）となる。ここで、ペタは1000兆であり、地球には10京ワットのエネルギーが常時降り注いでいることになる。このエネルギーが長い時間をかけて地上に人類という高度な生物を進化させてきた源である。

では現在、人類はどれだけの一次エネルギーを利用しているか。その値は 1.5×10^{13} ワット。15TW（テラ・ワット）である。人類が化石燃料やウランなど利用して快適な生活を送るために、太陽エネルギーの $15\text{TW}/100\text{PW}=1.5 \times 10^{-4}$ 、つまり、約1万分の1のエネルギーを人口的に地表で産み出している。第5節で書いたように、もし、この15TWが100倍に増えたら何が起こるだろうか。その時は太陽エネルギーに加えその1.5%の人工的なエネルギーが地表で生まれる。これは破滅的な数値である。というのも、普通の気温である20度程度は、絶対温度では約300度である。この温度は夏冬の違いはあれ、太陽のエネルギーが地表に吸収され、第4節で説明したように、微妙なバランスを保って維持されている。そこに、人類がウランなど「眠っていた」物質から太陽エネルギーの1.5%のエネルギーを産み出すと、このエネルギーは最終的には熱、つまり、赤外線になる。従って、地球の温度は $300 \text{度} \times 1.5\% = 4.5 \text{度}$ 。つまり、4~5度、地球の平均温度が上昇することになる。これこそ、地球温暖化が100年先に起こると予想した壊滅的なシナリオと同じ値である。

その結果、第4節で説明したように、水蒸気は増え温暖化が起こる。南極、北極の温度が異常に高くなり、南極大陸に堆積している氷が溶けて、海水面は上昇。同時に、地球シミュレータの予想では、台風の巨大化などの現象が起こる。我々はこのような壊滅的なシナリオを子孫のために避ける準備を今からしておく必要がある。簡単に言えば、**太陽エネルギー利用以外の発電を増やすな**、ということである。長期的には原子力も例え安全でもだめ。専門用語で言えば地球のエントロピーを増加させ温暖化の要因となるからである。では、今後必要となる科学・技術・イノベーションやエネルギー政策は何か。

私の知人に科学技術振興機構（通称：JST）の北澤宏一・理事長がいる。彼は東大で高温超伝導の研究者であったが、退官前に、JST理事となった研究者である。彼の夢は世界中の砂漠に太陽パネルを敷き詰め、そこで生まれる電気を超伝導ケーブルで世界中

の人たちに輸送することである。これは究極の持続性ある人類の未来像である。コストの問題など考えると、夢実現には、太陽パネルの電気への変換率を、50%を越えるまでに上げて、なおかつ、安価な物質を探すか開発することである。同時に、超伝導となる温度が室温に近づく物質を探し出し、地球を通信ケーブル並みに長距離に出来る技術である。

これに関しては、前節で触れた中国での原子力の安全技術を高める事とリンクさせると面白い。日本は中国の原子炉建設が心配である。なら、政府間で歴史的協定を結ぶことを検討してほしい。日本は中国の中期的なエネルギー政策の安全を支援するため、世界最高といわれる、日本の原子炉安全技術を日本政府が企業から買い上げ、無償で中国に提供する。その代わりに、中国は長期に高温超伝導が実用化された時に、ゴビ砂漠に日本の太陽パネルを敷き詰めて発電する権利を与え、高温超伝導による中国国内の電気輸送を許可する。ケーブルは東シナ海を通り、九州に上陸し、日本の数100年先のエネルギーを支える。いかがだろうか。外交とはこういうものでは無かろうか。米国は協定を妨害するだろうが、避けがたい巨大な隣人と付き合うにはこのような発想が必要だ。参考までに、エネルギー以前に中国のスモッグは深刻である。あと数十年で、日本の環境は酸性雨など大きな影響を受ける。今こそ日本政府は日本の環境技術を中国に提供すべきである。中国は「日本の脱硫技術など高すぎて使えない」と言っている。が、地理的にはもはや中国と日本は運命共同体である。

持続性あるエネルギーの研究は広がりを見せている。神戸のスパコン「京」のような超高速計算機が主だった国で利用可能になってきた。お陰で、複雑な高分子のエネルギー構造なども計算できるようになった。そして、太陽の光エネルギーを高分子の分子構造の変化に換えて、エネルギーを蓄える研究が行われている。最初に触れた国際会議「CCP2011」でMITの招待講演を聴いた。利用する時は高分子の液層に振動を与えるなどすれば、熱のエネルギーとして放出してくれる。これなど太陽エネルギーを蓄え、最終的に熱のエネルギーにするのだからエントロピーは保存する。今騒がれている風力発電も潮汐発電なども、全てのエネルギーは太陽が源。太陽エネルギー利用である。

さて、今まで地球の平均エネルギーの上昇を議論した。しかし、その前に、都市の巨大化、過密化が進むと都市内ではもっと早く平均温度上昇が起こる。いわゆるヒートアイランド効果である。大都市には高層ビルが建ち並び風通しを悪くしている。その上で、エアコンなど電気を使うと、そのエネルギーは最終的に熱になる。熱が巨大都市に貯まったままになる。熱帯夜という今の表現も、さらに都市の巨大化、エネルギー消費の上昇が起これば、人が住めない温度にまで達する危険性もある。この点からも人々が分散して生活を営むことが持続性ある未来にはふさわしい。私は昔から地方分権、道州制賛成である。外国人とこのような話をする時は「日本はThe United States of Japan【USJ】に将来なるべきである」と説明している。

日本にある商業用原子炉の数は54基である。法律で1年の内3ヶ月は原子炉の点検のために運転停止が義務づけられている。2011年6月12日の朝日新聞では17基がまだ稼働中であったが、10月末の時点の朝日ではその数は10基に減っている。多くが点検後の再稼働を待っている。しかし、今回の福島第1原発の事故が教えたことは、地元の方々には青天の霹靂。政府も電力会社も「日本の原子力技術は世界一ですから、事故など絶対起こりません」と説明してきていた。さらに、地元補助金を出すことにより、

地元の反対を封じ込めてきた。しかし、福島原発事故で明らかになったことは、炉心溶融や水素爆発など想像を絶する事故が起こり、その際、被害を受けるのは原発を抱える自治体だけでなく、100km単位の地域であるという経験をした。東日本大震災から1年経てば、私は日本の全ての原発は停止状態になると予測している。例え、ストレステストで合格となっても、その政府の言葉を地元が信じるか。また、再開には地元自治体だけでなく、その周辺の自治体、県単位の人たちとの合意形成が求められると考えている。それは、大変難しいと思うからだ。

私の米国での講演の前に、内閣府原子力委員会・近藤駿介委員長に日本の10月末時点での原子力政策を聞いた。外国人記者からも同じ事を何度も聞かれるので英文の書類にしている、と、その文章を送ってくれた。原子力委員会としての基本政策は野田総理が9月22日に国連で述べた方針。それは、安全性を強く強調した方針であり、同時に、ストレステストに合格できないと再開はあり得ない、という要旨である。そのメモの最後に彼の個人としての考えも書いていた。そこには「短期、中期、長期のエネルギー政策には段階的に変化するエネルギー・ミックスが重要である。原子力エネルギーの未来は中期政策に盛り込まれると考えている。つまり、福島原発事故という新しい条件の下で他のエネルギーと競争しながら原子力エネルギーの利点、欠点を議論し、エネルギー政策の行き先を見定めていかなければいけない」のように記されていた。私も彼の意見に賛成である。しかし、本当に原子力に再登板のチャンスがあるのだろうか。私は国からだまされてきた国民の理解が得られないと思うので、懐疑的である。

7. まとめ

米国で講演をして3週間が経った。帰国しても色々な仕事があった。大学は国立大学法人になり、自由裁量を得た代わりに、運営費交付金という名の一般会計からの支援に頼った運営が現状である。それも、毎年1%ずつ減ることが決まっている。私から見たら大学執行部は文科省の顔色をうかがいながら過剰とも思える反応をしている。大学執行部の官僚化が進んでいる。例えば、執行部は何かあった時の責任回避のために、米国や中国など核保有国との科学研究の国際共同研究に神経をとがらせる。私が仕掛けた日欧米の研究者・院生約100人が連携する巨大レーザー利用の国際共同実験に関し「基礎科学というが成果は一切、軍事研究に利用されることはないだろうな」と副学長から問い詰められた。一般相対性理論なしには不可能なGPS（全方位位置システム）の例を出すまでもないが未来永劫、軍事利用されない基礎科学などない。阪大は結果として、「全ての国際共同研究は相手方研究機関と協力協定を結んでから実施せよ」という方針を打ち出した。国際化の中で国際化を目指す研究者に過大な負担を要求してきた。これでは大学の国際化は後退するだけだ。

米国で講演をし、途中まで書いた原稿を持参し、今度はパリに向かう飛行機の中で書き続けている。まだ、経由地のアムステルダムまで10時間ある。ウラジオストックを越えてロシアに入った所である。2011年10月28日（月）からパリで未来のレーザーの科学技術会議が開催される。レーザーの強度が強くなり、レーザーで素粒子物理学や宇宙論関連の研究ができるのではないかと色々な分野の研究者が集まる。欧州は国際化の最たる場所である。レーザーのパワーを今の値から3桁（エクサ・ワット）、6桁（ゼ

ータ・ワット) 向上させようとしている。そんな SF (サイエンス・フィクション) にも近い未来にどんな魅惑的な基礎科学が可能かを議論しようと、緊急に招聘された会議である。欧州が中心だが、米国はもちろん、ロシア、日本、中国の研究者も招聘されている。

フランスは芸術の国、いや、原子力の国である。今はユーロに統一されたが、その前のフランス・フラン(FF)の紙幣の顔を見るとそれがわかる。2001年の4月、パリ天文台の会議に招待された際、以下の様なメモを残している。フランスは芸術の国だから、さぞ紙幣はその関係の人かと思いきや、これが、全然違う。日本の1万円札に相当する500FF紙幣は、キュリー夫妻である。写真は大きなマリーの顔写真の後ろにピエールの顔が見える(右図)。左のデザインも最初の放射線、アルファ、ベータ、ガンマのギリシャ語文字がベースになっている。裏には、彼等の実験室の光景があり、そこを直線状の放射線が扇状にデザインされている。今の福島の方が見ると寒気を催す様な絵柄である。こう考えると、仏国は、原子力の国なのだ。それを、啓蒙する意味もあって、多分、キュリー夫妻と放射能なのだろう、と考えた。日本が2千円札に沖縄の守礼の門を描き、使うたびに沖縄に親しみを抱いていただこうとしたのと意図は似ている。



蛇足になるが紙幣の話が続けよう。次に200FF札は何か。ギュスターヴ・エッフェルの肖像とエッフェル塔である。キュリー夫妻が科学なら、エッフェルは工学を代表する。裏には、1900年に開催されたパリ万博の様子がエッフェル塔の塔脚の間に描かれている。そして、100FFになって初めて、芸術家(画家)セザンヌとなる。この国は、何もいまさら芸術家を宣伝しなくても、世界中の人が認めているから、せいぜい、100FF程度の紙幣の顔でいい。そして、50FFは、「星の王子さま」で有名なサンテグジュペリ。文学も当然入ってくるが、ゾラでも、ユーゴでもなく、「星の王子さま」であるところが、この国らしくていい。

米国ではDOE(エネルギー省)が原子力の平和利用も管轄するし、核兵器の研究も管轄している。後者はDOE/NNSA(NNSA:国家核安全保障局)と呼ばれる組織である。原子力王国フランスでは核の平和利用も軍事利用もCEA(原子エネルギー省)の管轄下にある。内部は大きく2つに別れ、軍事利用はCEA/DAM(DAM:軍事応用局)が担っている。11年9月12日に爆発事故を起こしたフランス南部のマルクール原子力施設はDAMに所属することは日本では報じられていない。CEAが事故の説明などしていたが、どこまでが本当か、真実は藪の中である。

さて、著者が科学者として今までに関与してきた研究を通して、日本の今後のエネルギー政策への考え方を書いてきた。核融合エネルギーを目指して研究者の道を選び、研

究を深めるごとに、エネルギー開発というよりまだまだ理学的な研究の段階であることに気づき、自分なりの新しい道を切り開いてきた。若い頃の核融合エネルギー研究を通し、核融合炉と原子炉の比較など、門前の小僧で原子力の知識も身についた。2002年からは世界最速のスパコン・地球シミュレータの計画推進委員・課題選定委員など勤め、結果として地球温暖化に警鐘を鳴らした IPCC（気候変動の国際パネル）の日本人研究者達と議論する機会を得た。実は、評価する立場から厳しい要求もし、険悪な関係になったこともあった。

2002年には生涯の親友となる中国の張傑と出会い、私の中国研究者との関係はどんどん広がっていった（彼は大学学長かつ中国共産党中央委員でもある）。現在、北京の3つの研究機関、上海の大学、研究所と日中の共同実験や共同研究を実施している。肝胆相照らす友人達とは日中戦争の歴史認識や中国共産党の今後や、いにしへの中国の躍動的な歴史、日本との関係など話し合う時間を持つようにしている。私は「研究者は海外に出ると民間大使であることを意識すべきだ」と学生や友人に主張し、彼らも意識してくれるように期待している。中国との個人と個人の個人的信頼関係を科学の共同研究を通して構築することは極めて大切だ。そのような個人レベルの個人的信頼関係という細い糸のつながりを、多数の人の糸を紡ぎ綱のように編み上げることにより、太くて切れない隣人との信頼関係が構築される。彼らとの研究の話し合いの合間に、または酒を片手に、中国の逼迫したエネルギー供給、それを緩和する原子力施設の建設など、身をもって中国のエネルギーへの希求を感じてきた。彼らを私は日本の高効率で安全な技術で支援することが今の日本に大切だと主張してきた。張傑学長の上海交通大学の標語は「貴方が水を飲む時には、その水源を作ってくれた人のことを思いなさい」である。中国は過去の災禍への怨嗟にこだわる。しかし、その裏返しで、過去の恩人への感謝の気持ちを忘れない。日中の高度な戦略的外交に期待したい。

最後に、本原稿での主張点をまとめたい。福島原発事故の教訓は、私に長期的なエネルギー政策を考えるきっかけをくれた。現在、人類は15TWのエネルギーを新たに造り出している。しかし、地球が持続できるのは太陽エネルギーのお陰である。その値は100PW。中国やインドを代表とする途上国が米国人並みのエネルギー消費の時代を迎えれば、人類は太陽からのエネルギーの1-2%のエネルギーを地上で生み出すことになる。つまり、太陽に次ぐ第2の小さな太陽を地上に持つことになる。万が一、そうなると地球の温度は4-6度上昇し、人類の破滅を導く。そうならないためには、今から、子孫への持続性のあるエネルギー生成、文明の維持・発展の用意をする必要がある。その解決法は唯一である。太陽エネルギーを電気や熱に換える技術の開発、太陽という可視光のエネルギーを、人類が一部利用し、最終的には熱として放出する。これは、太陽と地球の50億年の関係の中に人類が高度な技術を駆使して入る込むことである。これこそ、究極の数百年、千年先を考えた持続性あるエネルギー政策と考えている。今求められているのは、高度な文明と豊かな生活を維持するために、太陽エネルギーを効率的に利用する科学・技術である。そこにこそ投資するのが国家百年の計を考える政治家の「水源」としての役割だと考えている。