

## プロメテウスの火 原子力利用と核廃棄物処理に関する考察

佐田 守弘

### プロメテウスの火とは

映画監督の宮崎駿氏が原子力を「プロメテウスの火」と表現したとの事で、ネット上でもこの言葉が様々に論じられている。

プロメテウスはギリシア神話に登場する神であり、人間に火を授けた神とされている。プロメテウスの話は神話であるが、現実には人間は火を扱うことを覚えた。その経緯は誰も知らない。だが山火事などの自然の中から火が有効であることを知り、それを使い始めたのであろう。

火と道具の利用は、人間を他の動物から優位の存在とした。ほとんどの動物は火を恐れる。人間は火の力によって加熱調理を知ると共に、その火を襲って来る動物から身を守る手段としても用いた。

### この世界の創造主

多くの宗教では、この世界を作ったとされる創造主すなわち神の存在を言う。キリスト教などではヘブライ語で YHWH の4文字で表される神がその創造主であるとされている。仏教においても真言密教では大日如来(マハー・ヴァイルシヤナ・タタギヤタ)が中心の仏とされている。京都東山七条にある真言宗総本山智積院の金堂には蓮華座の上で金剛印を結んだ大日如来が本尊として安置されている。だがその姿は仮象(けしょう:仮の姿)であり、実象は目に見えないのだとされている。

空(形のないもの)と色(形のあるもの)は同じだと般若心経にも書かれている。同じような事をアインシュタインも言った。エネルギーと物質は同じであると。大日如来は宇宙そのものであり、宇宙法身であるとも言われる。多くの

僧職者は、仏教は仏教物理学が本質なのだと言う。

宇宙物理学では、真空の相転移によるエネルギーで宇宙が作られたとしている。物理学で言う真空のエネルギーと、仏教の大日如来、そして他の宗教でも言う創造主は同じ事を意味しているのではないかとさえ思いたくなる。というか、そう考えると筆者には理解しやすい。

### 神が作った4つの火

ここではその創造主を神と呼ぶことにする。神はこの世界(宇宙)を作る際に4つの火を知っていた。その4つの火とは、宇宙を作った際の4つの力と関係している。その力とは、重力、電磁気力、強い力、弱い力である。

プロメテウスが人間に与えた火は、燃焼という化学変化の火であり、電磁気力と弱い力に基づく火であると言えよう。この火こそが本来の意味でのプロメテウスの火である。

神はこの宇宙を作る際に、星に火を灯した。その火は核融合の火であり、強い力に基づく火である。強い力を解き放つ火は、もう1つあった。それは核分裂の火である。だが神はこの火を使わなかった。おそらく宇宙の隅々を見ても、核融合で光る星はあっても、核分裂で光っている星はないはずである。核分裂は神さえもが封じた火だったのではなかろうか。

4つ目の火は神が物質を葬り去る地獄の業火である。物質が落ちて行くその光さえも出ることができないその空間からは、「ギ〜(G Ggg…)」と断末魔の叫び声だけが聞こえて来る。その空間こそがブラックホールであり、Gは重力波である。ブラックホールは飲み込む物質の40%をエネルギーに変える、核エネルギーさえも及ばない高効率のエンジンである

と言える。

さて、人間は神さえも使わなかった核分裂の火を見付けてしまった。興味を持った人間は、それを利用しようと考えた。子供が父親のライターを見付けて面白半分に遊んでいるうちに火事を起こしてしまった。これを子供の火遊びと言う。火を使うには、管理された火だけが許され、野放しにする事は許されない。核エネルギーを使おうとした人間は、それをきちんとした管理の元で使えるだけの自信があったのだろうか。子供の火遊びとは違うのだと言えたのだろうか。もちろん火が消えた後の灰の始末も含めてである。

だが原子力エネルギーは、その美味しそうに見える所だけを食べ、美味しくないと残したに過ぎないような気がしないでもない。それは安全性の検証と廃棄物の処理の2つの点からである。

### 安全性の検証

全てのものに絶対安全はない。考え得る危険源を全て摘出し、技術的と経済的な範囲であったとしても、残留リスクを全て許容できる範囲にまで低減することが求められる。そしてそのリスク低減策が正しいことの検証が求められる。果たしてそれが充分に行われたのかである。

当初、今回の原子力事故は、想定外の大津波によるものだと説明されて来た。だが、その地域では貞観地震による被害の記録があり、想定外ではないと反論された。また津波被害以前に、地震そのものによって緊急冷却装置が破壊されていたのではとも報じられた<sup>1)</sup>。様々な説明が後手に回り、事実を隠していたと非難されても、言い訳ができない状態にさえなっている。

### 廃棄物処理の問題

原子力利用から切り離せないのが核廃棄物すなわち使用済み核燃料の問題である。使用済み核燃料には半減期が長い放射性

物質が含まれており、その処理技術は事実上確立していない。日本での使用済み核燃料は水中に仮保管されている状態である。

NHK でも放映された映画「地中深く永遠に～核廃棄物 10 万年の危機～」によれば、フィンランドではオンカロと呼ばれる核廃棄物の永久処理施設を作っており、今後 100 年間に出来る高レベル放射性物質を深度 500m の地下に永久埋設することである。そしてそれは今から 10 万年封印する必要がある場所となる。

その時に人類が存在するのかさえも分からない。次世代の高等生物に対して、危険な場所であると警告することさえ必要だと論じられていた。神さえ封じて来た核分裂エネルギーを使ってしまった人類は、その様な負の遺産を残してしまったのである。

### 地球の歴史と人類

この宇宙は今から 137 億年前に開闢し、その後多数の第1世代の恒星が作られた。その恒星の超新星爆発で作られた重元素からなる星間物質が集まって、46 億年前に太陽系として地球が誕生したとされている。

地球誕生説には様々な説があった。現在主に考えられている説では、太陽を作った残りの物質が集まって惑星を作ったとされている。特に太陽近傍には岩石質の物質が多く集まり、地球型の惑星を作った。塵埃が集まって微惑星を作り、更にそれらが集まって火星サイズの原始惑星となった。地球はこの原始惑星が9つほど衝突し合っただけでできたと考えられている。そして最後はティアと仮称される原始惑星とのジャイアントインパクトがあつて、月が作られたとの説がある。

いずれにしてもその当時の地球はマグマの塊であり生命は存在しない。生命の誕生はおよそ 40 億年ほど前で、38 億年前頃に細菌と古細菌が誕生し、32 億年ほど前には光合成を行う藍藻(シアノバクテリア)が生れていると考えられている。

多細胞生物が登場したのは、今から 8 億年程前と考えられている。そして 5 億年程前のカンブリア期に生物の多様化が進み、様々な生物が誕生したとされている。その後登場した様々な高等生物も、度重なる大量絶滅を繰り返している。化石として残る恐竜でさえ、1億年程前に全盛時代を迎え、6 千 5 百万年前の大量絶滅で姿を消している。その期間は数千万年でしかない。生物は進歩と共に繁栄から絶滅までの期間が短くなっているのは事実である。

その後登場したのが哺乳類であり、霊長類が栄え始めたのもこの頃である。最後の類人猿は 2,500 万年前であり、600 万年前の猿人の登場がある。そしてホモサピエンスの登場はわずか 20 万年前頃であり、それが世界に広がったのは 10 万年ほど前と考えられている。

その人類史上で人類が文化的な繁栄を始めたのは、今から 1 万年前の最後の氷河期とヨーロッパ中部火山活動の収束以降のようである。要するに初期文明が栄え始めたのが今から 5 千年ほど前の紀元前 3 千年頃からである。そして原子力の発見は 100 年にも満たない。

様々な発展をもし数量的に表すとすれば、それは時間の累乗といった代数関数ではなく、指数関数的に進んだと考えたくなる。なぜなら様々な成果が新たな技術と成果をねずみ算の酔うに産み出すからである。

## 人類の今後

さて、その人類は自分自身の今後をどの様に考えているのか。前述のオンカロの話の中で、今から 10 万年先のことは想像できないと皆が言っている。恐竜でさえ繁栄したのは数千万年である。人類はそれ程の繁栄を続けられると信じている人はどの程度いるのだろうか。

確定しているであろう事実を先にいえば、太陽が主系列星であるのは、以前は 100 億

年、現在では 109 億年であろうと考えられている。すなわち 46 億年を過ぎている太陽は、後 50~60 億年程度で主系列から離れ、赤色巨星へ移行するとされている。大質量星のような超新星爆発はしないものの、その大きさは現在の地球の公転軌道に達すると言われていた。それ以前に質量減少によって太陽系の惑星は外側に移動する。地球は膨張した太陽に飲み込まれないものの、焼き尽されることは必定であろう。その後は太陽は白色矮星となり、最後には冷えた星となる。当然の事ながら地球も同じ運命をたどる。

それ以前にも地球上では 5 万年ほど先の氷河期の到来なども言われることがある。あるいは小天体の衝突などによる壊滅的な被害もないとは言えない。その他、様々な予測されている事象もある。だがそれ以上に懸念されることは、人間自信の手で地球環境を破壊するのではないかと懸念の方が余程重要かも知れない。

一体人間は自分たちの時代がいつまで続くと考えているのであろうか。おそらく 100 年程度は今の時代が続くであろうし、続かなければ困ると思っているはずである。要するに孫子の代までの安泰を願っているであろう。だがその先はどうであるのか、予測できる人は少ない。

「君が代」の一節に「千代に八千代に」がある。この「代」を年と考えれば、8 千年なのだろうか。今昔和歌集が原点なので作られたのは平安時代である。日本文明の発祥からその当時が約千年、それから 8 千年として、およそ 1 万年が永久を意味する八千代なのかも知れないとも思える。「鶴は千年、亀は万年」の言葉があるが、「億年」の概念ができたのは宇宙科学が発達した最近の事ではなかろうか。

そのような目で見ると、オンカロを封印する 10 万年は人類の想像を超えた時代のような気がしないでもない

## それ以外の核廃棄物の処理方法

永久埋設以外の核廃棄物のはあり得るのか。深海への投棄、あるいは宇宙空間への投棄などのアイデアがあつたらしい。実際原子力利用が始った頃は、多量の海洋投棄や地上放置があつたらしい。

核廃棄物の課題は、プルトニウムを始めとして、半減期が長い放射性物質が残ることである。これらの半減期が長い放射性物質に、加速機からの粒子を当て、半減期が短い物質に改変する試みがなされていない訳ではない。だがそれに対する技術的な可能性と経済的な可能性を含めての評価は、まだ確立してはいない。

## 本当の意味での原子力の安全性評価

筆者は原子力反対者ではない。というよりも、期待すべきエネルギー源ではないのかとさえ思って来た。だが原子力技術が、かくもひ弱なものであつたとは、技術者の一人として考えてもいなかつたのも事実である。

リスクアセスメントにおけるリスクマトリックスにおいて、可能性は極めて低くても、万一の際に甚大な被害が発生する危害は、設計の変更が求められる。一般的なリスク分析では、甚大な被害とは被害者が死亡する危害を意味することが多い。新幹線の高速走行中の大地震による軌道逸脱などが起きて、人命に及ばないような設計を考えるなどがその例である。

だが同じ大地震であっても、原子力施設が破壊され、放射性物質の閉じ込めが不可能になることは、限られた数の人命を失う以上の大きな危害ではないだろうか。

リスクアセスメントとリスク低減活動を行っても、リスクは残る。それが残留リスクである。その残留リスクが確率で論じるリスクから、確定した危険事象となつた場合、少なくとも民事的にはそれを償う責任は残る。そして一般にはその費用は保険によってあがなわれること

が多い。だが原子力事故を想定した保険は成立するとは思ひ難い。

今回の原子力施設の破壊による被害総額はまだ見積られていない。少なくとも数兆円から10兆円規模に及ぶであろうと思われる。その被害額を残留リスクの評価時に見込んでいたのであろうか。

被害の見積と、原子力施設の安全性が適切であつたかどうかの検証は、おそらく今後行われることになるであろう。

## 本当の意味での経済性評価

発電に限っていえば、原子力発電のコストは5円/kWh程度で最も安いと言われていた。これが原子力推進の根拠でもあつた。だがそのコストはどこまで含まれているのであろうか。この点が余り明らかにされていない。

正しくコスト評価するのであるなら、原子力設備の償却費と燃料ウランの費用だけではなく、今回のような原子力事故に際しての対策費用も見込んでなければならない。更にこれだけでは足りず、使用済み核燃料の処分費用、廃炉となつた原子力施設の処分費用も必要である。要するにライフサイクルコストで評価しなければならない。このあたりが正しく経済性評価されているのであろうか。

まず燃料ウランについて考えてみれば、ウラン鉱石がそのまま燃料として利用できるわけではなく、濃縮工程を必要とする。プルサーマル計画における再処理でも同様である。石油プラントよりもはるかに複雑なプロセスと多量のエネルギーが必要とされる。

原子炉などの核施設の建設費用はどうであらうか。今回の津波などの災害その他に対する万全な対策を考慮するならば、現在の設備よりも更に重厚長大な保護機能が必要なのではないだろうか。経済性を重視する余り、想定被害を小さく見込んでいたのではないかと思わざるを得ない点が多すぎる。

使用済み核燃料の適切な処分方法に関しては、十分な技術開発を先送りにして見切

り発車したかの感がある。

埋設処理以外の処理方法として、粒子線を照射することにより、半減期が短い放射性物質に改変する可能性が考えられていることは既に述べた。だがこの方法は仮に技術的に成立したとしても、経済的に成立つのだろうか。

なぜなら粒子加速器はそれ自体の建設が高価であり、かつ運転経費も安くはない。その運転経費の主たるものは電力コストである。電力を作るために使った廃棄物の処理に莫大な電力を使う事になる。

目先のエネルギー調達のために使った核物質の処理に、得た以上のエネルギーを必要とするなら、経済的には見合わない。これではサラ金地獄と同じ構図である。

原子力は、安全性に関する適切な評価と共に、経済性についても、そのライフサイクルを考えての評価がなされなければならないと考える。

## 引用文献

1) 朝日新聞,「冷却配管地震で破損か」,2011年5月25日号,1面

## 執筆者

佐田守弘

一般社団法人日本機械学会 代表社員  
産業化学機械と安全部門 食の安全委員会委員長