

21 世紀の永久機関幻想

KOIKE, Yasuro / 小池, 康郎

(出版者 / Publisher)

法政大学国際文化学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

異文化. 論文編 / 異文化. 論文編

(巻 / Volume)

17

(開始ページ / Start Page)

131

(終了ページ / End Page)

156

(発行年 / Year)

2016-04-01

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013321>

〔論文〕

21世紀の永久機関幻想

Phantasy of perpetual motion machine in the 21st century

国際文化学部教授

小池康郎

KOIKE Yasuro

1. はじめに

産業革命期、永久機関を人々は追い求めた。実業界は大いに期待したであろう。石炭を使わず、クリーンなメカニズムで、永久的に作動し続ける機械が出来たら。そう期待するのも当然である。産業革命の中心地イギリスでは、国の繁栄はもたらされたが、石炭による大都市の公害が激しく発生していた。遅れて産業革命に参加した日本の、京都の疎水事業にも影響を与えた。今では琵琶湖疎水は、一部が哲学の道として京都の観光資源にもなっているが、日本の産業革命の発祥でもあった。公害の元となる石炭を使わず、自然エネルギーである水力を使うべきであると、若き技術者田辺朔郎を中心とするグループが考えたことが、琵琶湖疎水記念館に残る。

筆者は本来物理学、それも原子核物理学を専門とする。この雑誌の読者は基本的にいわゆる文系の研究者であろう。この小文は物理学上の大原則－エネルギー保存則－に基づいて、著者が長年、特に3.11以降に考えてきた結果の小文である。物理学の論理を用いるが、特に物理学の専門的な知識を必要としない。したがって社会科学・人文科学の分野の研究者でも理解可能であるし、またそのような人にこそ読んでもらいたいので、この雑誌に投稿することにする。

安倍政権は原発再稼働に向けて躍起である。2015年夏川内原発が

再稼働された。経済成長にはエネルギーが必要であり、安価で安定したエネルギー供給が確保できるという短期的な視点が、再稼働の基本的な理由である。ただし原発が本当に安価であるかは、異論も多く、筆者も結果的には決して安価ではありえないと考えているが、それをここでの論点とはしない。

産業界は成長を求める。過去を延長した成長は限度が来ていると、保守・革新を問わず、長期的視点を持って論を進める多くの論者からの指摘があるにも関わらず、従来通りの成長を求める。それには産業革命以来の伝統に従って、大量のエネルギー供給が欠かせない。エネルギー業界の仕事は、この要請にしたがって、今後もエネルギーを安定的に供給することであると、業界も学会も考えている。それには取りあえず2-30年規模の展望が必要であるというのが基本的な認識である。

現在と同じエネルギーの安定供給は、長期的にはありえない。それを指摘することがこの小論の第一の目的である。エネルギーの安定供給が未来永劫可能であると期待するのが、21世紀の永久機関幻想である。

現代社会の主たるエネルギーは、産業革命時同様化石燃料である。問題になっている原発は、日本で見ても、世界的に見たらなおさらのこと、化石燃料のエネルギー供給の規模から見ると微々たるものである。産業革命に始まった化石燃料時代は、現代まで続いている。だが化石燃料は有限な資源である。人類がそれに頼る時代は限られている。おそらくは今世紀中に、どんなに遅くとも2-3世紀以内に、化石燃料時代の終焉がくる。そのとき人類が頼るエネルギーは、自然エネルギーだけである。

原発は化石燃料の代わりに務めるエネルギー源であると考えられてきた。前世紀から、特にオイルショック以来、石油資源の有限性が広く認識され、代替エネルギーの一番バッテリーであり、またその代表と

して、原発が考えられた。原発導入に日本の支配層がのめり込んだ背景には、日本が経験したあの大戦の主原因の一つが、石油確保にあったことのトラウマがあったに違いないことは容易に想像がつく。

原発の罪は様々にあげられるが、おそらく一番悪質な影響が、代替エネルギーへの期待を抱かせることにあるのではないか。そのように筆者は考える。

原発容認論は、一般の人やエネルギー業界も含めて、代替エネルギーへの期待に支えられている。科学の進歩によって、新しいエネルギー源が発見されるだろう。ちょうど戦後すぐに新しいエネルギー源として、原発利用が実現したように。それは来年かも、2-30年後かもしれないし、今世紀の末まで待たなければならないかもしれないが、必ずや科学は化石燃料に変わる、クリーンな新しいエネルギー源を発見するに違いない。これが現代によみがえった永久機関幻想である。

この幻想を利用して、エネルギーに関する怪しげなニュースが流れ、また企業が誇大広告をする。だが部分的なものを除いて、画期的な成果は遅々として進まない。CMで流れる期待の多くは、単にエネルギー保存則に反するからありえない。

この幻想を捨て去り科学的に見て正しい - すなわち将来にわたって正しい - エネルギーに関する知識を得るには、エネルギー保存則にしたがって考えるほかに道はない。

化石燃料に変わるエネルギーは無いのか？ そうではない。ある。だがそれは期待されている代替エネルギーではない。性格が全く異なるエネルギーである。

化石燃料以外頼れるエネルギー源は、唯一自然エネルギーである。だが自然エネルギーは、その性質にあった社会を要請する。ちょうど近代主義が目覚めた人類が、化石燃料に合わせた社会を築いた様に、近代の限界を知った人類は、自然エネルギーに合わせた社会を築いていくことで初めて、その豊かな未来を展望することが出来る。

自然エネルギーは化石燃料の代替はできないしする必要もない。代替エネルギーではなく、代替社会こそ、これから必要な研究主題である。それは学際的というよりエネルギーの考えを身に着けた市民も参加する、幅広い人々の知恵の総和として、想像され、そして創造されていくだろう。その代替社会で初めて、ソーラーパネルをはじめとする自然エネルギー技術が、その真価を存分に発揮するだろう。

第二節ではエネルギー保存則発見のきっかけとなった18世紀の永久機関幻想を振り返り、またエネルギー保存則が単なる経験則ではなく、確固たる基本法則であることを論じる。これは物理学者の常識であることを読者は理解していただきたい。第三節では日本と世界のエネルギー消費の基本的様相を、IEA (International Energy Agency) のデータから見ていくが、要は現在が強度の化石燃料依存社会であることを確認する。第四節がこの小文の中心の論点であり、エネルギー源の種別分けと、その性質について考察する。そして21世紀の永久機関幻想が、幻想に過ぎないことを論ずる。第五節は未来への展望である。森羅万象のエネルギーのほとんどが、その起源を太陽に持つ。太陽エネルギーは、莫大かつ悠久であるが、集中性を持たない。化石燃料は近代主義の要請により、集中性を持ったエネルギー源として使われてきた。近代は人類の活動圏を、面から点へと変化させてきた。東京一極集中がその良い例である。面を収奪して点に集中することが「成長」に都合がよかった。しかしながら太陽エネルギーは、その集中しすぎた点を、広く面に返し、点と面をうまく組み合わせた社会を要請する。そのような未来への展望を大筋で見るのが第五節である。

2. 永久機関とエネルギー保存則

2-1 永久機関

産業革命期に人々が取りつかれた大いなる幻想があった。永久機関という幻想である。

産業革命期、石炭を燃料として、蒸気機関をはじめとするさまざまな機械が考案された。日々進歩する技術革新は、更なる革新を期待させ、当時の科学者・技術者たちは夢のような希望を持った。外部から動力を与えないで永久に作動し続ける革新的な機械がそのうちできるだろうと。これを永久機関と呼ぶことは良く知られている。

そのころすでに確立し、また普及していたニュートン物理学を使って、さまざまなメカニズムが考案された。だがそのたびに、しっかりと理論的に考えれば（つまりニュートン物理学を正しく適応すれば）、それは永久機関ではないと確認されたのである。このことはエネルギー保存則という重要な法則の発見に大きな影響を与えた。外部からエネルギーを与えなければ、どんな装置も作動しない。更にもどのような装置であれ、エネルギーの散逸が避けられないものである以上、エネルギーを常に供給し続けなければ装置は止まってしまう。ここでエネルギーの散逸とは、熱エネルギーなどとなって逃げて行くエネルギーのことを言う。すべての機械は、必要なとき作動を続けるためには、エネルギー源が必要なのである。そしてそのエネルギー源とは、現在では基本的に化石燃料であることを次節でみる。

永久機関とはどのようなものか？ ファインマンは有名な物理学講義の最初の部分の「エネルギー」の章で、図1-2のような図を示して説明している。この図は実際に永久機関の候補として考案されたものではないが、永久機関幻想の本質を見事についている。

図 1-1



図 1-2

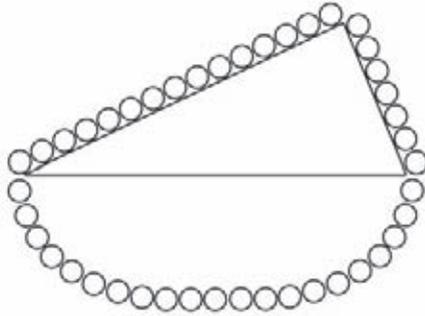
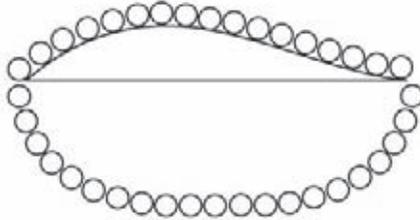


図 1-3



まず図 1-1 を見ていただきたい。斜面にボールが乗っている。この場合もちろん重力によって左向きに力が働き、ボールは斜面を転がり落ちていくだろう。働く力は斜面の傾きによって決まる。高校での物理の初級コースであり、経験上皆が当然と思う現象である。

次に図 1-2 を見てみよう。角度が異なった斜面が左右にある。その両サイドに、重さと大きさが等しいボールが、連結されて乗っている。左のほうにより多くのボールが乗っているが、左の斜面は角度が小さいから、一つ一つのボールに働く力は小さくなるだろう。すべてのボールは連結されているから、斜面に乗り切れないボールが、宙にぶら下がっている。

左と右ではトータルでどちらの力が大きいのか？ 左の力がトータルで大きいとすれば、連結されたボールは左のほうに引っ張られて動

き始める。すると左の一番下のボールは、斜面から離れて宙に浮いてしまうが、連結されているのでぶら下がりのボールに加わり、一方右端でぶら下がっていたボールは右の斜面に引き上げられ、結果として図 1-2 の形が再現される。そして再び同じことが繰り返される。トータルで右向きの力が大きいなら、逆のことが言え、この場合右向きに動き出す。いずれにせよ連結されたボールは自動的に回転をはじめ、その回転は永続するだろう。つまり永久機関である。

この問題は要するに右の斜面に乗ったボールに対する力と、左の斜面に乗ったボールに対する力を計算し、どちらが大きいかを比べればよい。これは三角関数と初等物理学を理解した高校生なら容易に計算ができるが、左右の力は等しい。

しかしこのことは単に図 1-2 の形の連結されたボールについて証明されるだけであって、図 1-3 のようにカーブした斜面の上にある連結されたボールではどうなるのか？ この問題は高校生レベルでは解けない問題となる。

もちろん一般のカーブの場合にも左右の力は等しくなる。これはニュートン物理学を基礎として、進んだ数学を使えば証明できる。

こういった問題の一つ一つで永久機関はできないことが証明されていった。外から何らかの動力を与えない限り、仕組みだけでは機関は始動もしないし、永続的に運動もしない。これがエネルギー保存則を確立するのに役立ったのである。

2-2 二つの考え方

だが本当に専門家の力が必要なのか？ 日常経験で数珠や首飾りを任意の形をしたものにかけても安定することを知っているから、この問題をばかばかしいと思う人もいるかもしれない。

でも次のように言う人がいるとする。この人を A さんとしよう。「まだ図 1-3 のカーブをすべて試したわけじゃない。いろいろな形を試してみないと結論は出ないじゃないか。」これが基本的に永久機関幻想

であり、18 - 19 世紀にかけて、様々な人がこの図よりももっと複雑な仕組みを考案しては、失敗していったのである。その結果得られたのが、エネルギー保存則である。

逆にエネルギー保存則を知っていたらどう見えるだろうか？ 図 1-3 の問題をエネルギー保存則から見てみよう。仮に連結されたボールが回り始めるとする。回り始めたボールたちは運動エネルギーを持つことになる。しかし図 1-3 のケースでは、エネルギーを何も投入していない。元になるエネルギーがないのに、エネルギーが生成することはありえない。したがって図 1-3 のカーブがどのような形であれ、連結されたボールたちは動き始めることはない。

エネルギー保存則を知っていれば、一つ一つ問題を解く必要はない。仮に B さんがエネルギー保存則から次のように言うとしよう。「図 1-3 のカーブがどのようなものであろうと、連結されたボールは動き出さない。」

それに対して A さんは反論する。「エネルギー保存則は単なる経験則だ。それに反する事例が見つかっていないとしても、まだ見つからないだけで、これから見つかるかもしれないじゃないか。」

エネルギー保存則が経験則なのか、それとももっと深い意味を持つのか、検証しないとイケない。

2 - 3 エネルギー保存則は単なる経験則ではない

エネルギー保存則は時間の均質性と等価である。哲学上の思考はさておき、空間や時間を均質であると考えるのは、デカルト以来近代を構成する常識の域に入る。時間の均質性は、平たく言えば、今日正午からの一秒と、明日午後 5 時 34 分からの一秒は、同じ一秒とみなすということである。いつであっても一秒は一秒である。時間の均質性が失われると、現代の分刻みの社会は成り立たない。

ニュートン物理学に始まって、相対性理論や量子論など、物理学は基本的理論を完成させてきた。それをエレガントな形で定式化するこ

とは、数学に強い物理学者によって実行されてきた。そしてニュートン物理学の世界でも、相対論でも、量子論でも、時間とエネルギーは常に対をなし、時間の均質性とエネルギー保存則は、数学的に等価のものとして、数式を整理することができる。つまりエネルギー保存則を疑うことは、時間の均質性を疑うことになる。分刻みで時間に縛られる現代人は、エネルギー保存則を疑うことはできない。

またニュートン物理でも、相対論でも、量子論でも、時間の均質性とエネルギー保存則が等価であるということは、我々の実社会でのすべての現象に、エネルギー保存則が成り立っていることを意味する。何故ならば我々の住んでいるこの複雑な世界の、すべての基本法則がここにあるからだ。

さてここで前分節の A,B 両氏の立場についての考察に戻ろう。この分節で示したことから、B さんの主張が正しい。そして注意してほしい。A さんの立場ならば、専門家の議論が必要だが - つまりニュートン物理学を実際に解くという力が必要であるが - B さんの立場なら、専門的な知識は必要ない。エネルギー保存則を用いてエネルギー問題を考えることは、専門家でなくてもできる。専門家はメカニズムを議論する。メカニズムを考えないと実際に機械はできない。だがエネルギー保存則は、メカニズムを超えて成り立つ法則である。一般の人も、議論に参加できるのだ。

2-4 エネルギー保存則とエントロピー増大則

エネルギーはさまざまに形を変える。電気、熱、あらゆる運動、音、光、etc。だがエネルギー保存則はエネルギーの形が変わっても量が変化しないことを教えてくれる。さてここで問題に突き当たる。エネルギーの変化には方向性があるのか？ それともないのか？ 方向性がなければ、あるエネルギーが変化した後、巡り巡って元のエネルギーに戻ることができるのではないか？

残念ながら、この期待はエントロピー増大則によって碎かれる。エ

エネルギーの変化には方向性がある。エントロピーが増大する方向にしか変化していかない。エントロピーが最大になったとき、変化は終焉する。エントロピーが最大になるのは、環境温度での熱エネルギーになるときである。エネルギーの変化の最終段階は熱エネルギーになる。

このことを詳しくここで議論はしないが、量が変わらず変化した結果、最終的なエネルギーの形態があることを認識するのは重要である。なぜなら最終段階があるなら、最初がなければならぬからだ。量が変わらないことからそれが当然出てくる。つまりエネルギーには、エネルギー源が必要ということである。そしてそのエネルギー源は、科学が発達して仕組みを様々に工夫しても、科学の力では作り出せないのである。このことを第四節で詳しく見ることにする。

次の節では、現代社会のエネルギー源の構成を見る。

3. 現在のエネルギー消費の実態

現代人は大量のエネルギーを消費している。前節で考察したように、エネルギーにはエネルギー源が必要である。そのエネルギー源は、産業革命以来変わらず、主として化石燃料であることをこの節で確認する。

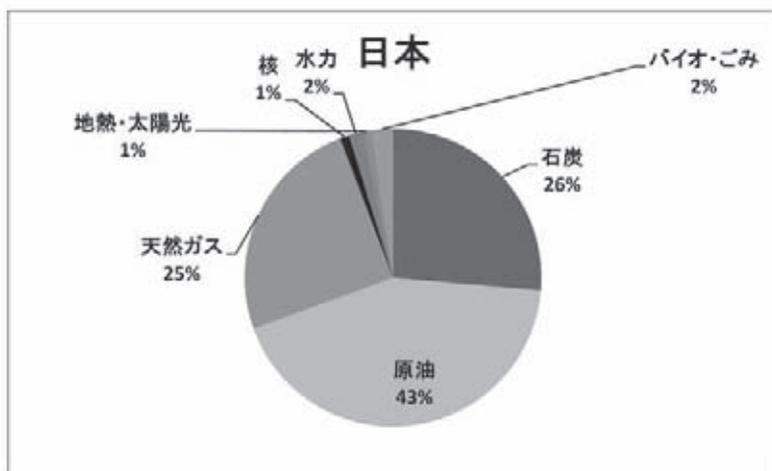
エネルギー消費を考えると、一次エネルギー供給と最終エネルギー消費をしっかりと理解しなければならない。最終エネルギー消費とは、エネルギーを実際に消費する現場でのエネルギー消費をいう。その現場は、例えば家庭であり、職場であり、工場であり、また車などの交通機関である。消費するエネルギーも、電気、ガス、あるいはガソリンなどの石油製品など多種にわたる。これらをエネルギー種別という。日本ではエネルギーといえばすぐ電気と発想してしまうし、業界やマスコミもそれを助長している感があるが、先進諸国では、最終エネルギー消費のうち、電気が占める割合は20～25%に過ぎなく、そのうち日本が25%強と最も多い。先進諸国の最終エネルギー消費のうち、最多の種別は石油製品の50%前後であり、これはほぼ各国

とも等しく言えることである。現在は化石燃料社会であるが、特に石油社会であることを認識したい。

最終エネルギーは、主としてエネルギー業界から提供される。エネルギー業界は、化石燃料などから発電したり、石油製品を精製したりして、エネルギー消費現場に提供する。つまりエネルギー業界は、エネルギー源を直接に取り扱う。このエネルギー源を一次エネルギー供給という。

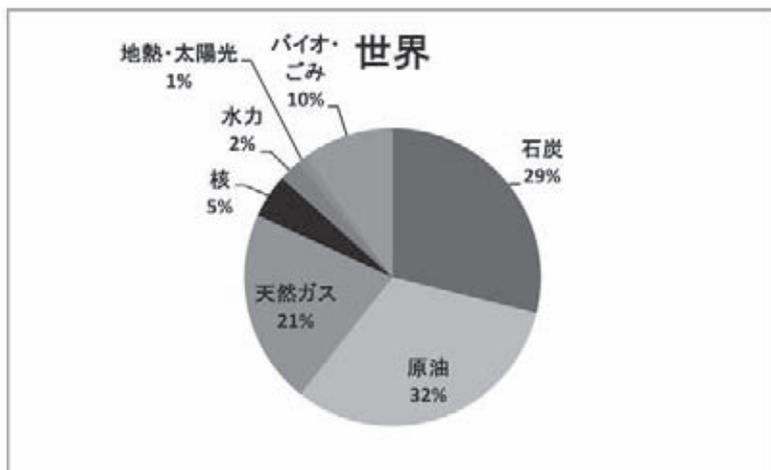
図2-1に日本での一次エネルギー供給の比率を示す。実に95%程度が化石燃料であることが解る。参考までにこれを世界で見たものと、ドイツで見たものを、それぞれ図2-2、2-3に示しておいた。化石燃料が80%以上を占めていることが解る。

図2-1 2012年の日本のエネルギー源（一次エネルギー総供給）の比率



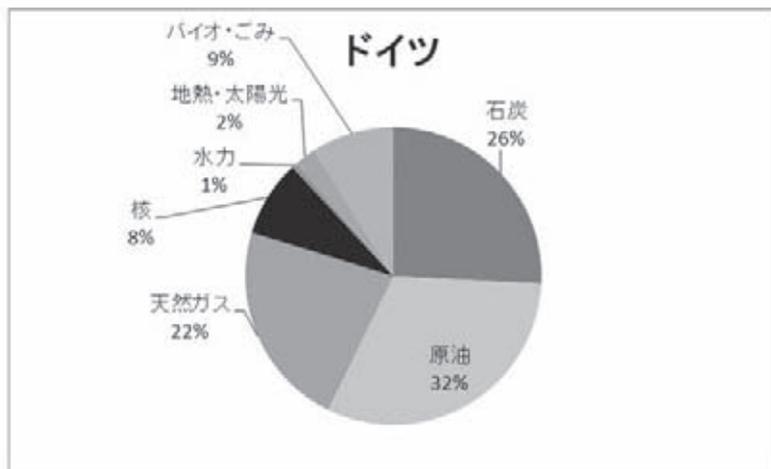
IEA データより作成

図 2-2 2012 年の世界のエネルギー源比率



IEA データより作成

図 2-3 2012 年のドイツのエネルギー源の比率



IEA データより作成

核燃料について一言言い添えて置かなければならない。核燃料はもちろん発電のみに使用される。そして発電効率は33%と通常の火力発電より低い値となる。したがって世界の一次エネルギー供給の5%が核燃料であるが、原発から供給される電力は、世界の最終エネルギー消費の2%にしか過ぎない。現在を原子力時代と呼ぶことはできないのである。ドイツも一次エネルギー供給では8%だが、最終エネルギー消費で見るとわずか3%である。ちなみに原発事故前、日本での原発の最終エネルギー供給に対する貢献は6~7%であった。電力のうち25~30%弱が原発から得られていたが、電力が最終エネルギー消費に占める割合は25%であるからこのような数字になる。前述のように電力はエネルギーの一部にしか過ぎないことは、常に頭に入れておきたい。

4. エネルギー源の種別とエネルギー源の性質

前節でみたように、現代社会は、エネルギー源として化石燃料に強度に頼っている。化石燃料が急に使用できなくなれば、現代社会は直ちに崩壊するだろう。そして化石燃料は有限な資源である以上、化石燃料に頼る時代は終焉を迎える。このまま化石燃料消費に頼った社会を続けるならば、化石燃料の有限性が多くの人に明らかになった時点で、残された化石燃料の奪い合いなど、人類史上最も悲惨な時代を経験することになるだろう。奪い合ってもすぐに消費して無くなるだけだから、その奪い合いに勝利しても、何の意味もない。化石燃料時代の終焉を穏やかに迎えたいと思うならば、化石燃料依存を徐々に脱却していく以外に方法はない。

そのためには人類が利用できるエネルギー源の種類とその性格を良く理解し、化石燃料以外のエネルギー源を使っていくことを、真剣になって考えなければならない。

この節ではエネルギー源は「資源」と「自然」、ごろ合わせのよう

だが、この二つしかないことを論じる。またこの二つのエネルギー源の性質が決定的に異なり、現代社会は資源からのエネルギーを想定した社会であることを論じる。次節で自然エネルギーに基づく社会とはどのようなものかの荒削りなスケッチを試みる。

4-1 真のエネルギー源と見かけのエネルギー源

ここでエネルギー源の意味をしっかりと考えておきたい。

現在各地の小学校でもエネルギー教育が試みられている。そのような努力をしているある小学校の先生から「電気は発電によって発生する」ということを小学生に解らせるのが大変だというような話を聞いた。家庭に当たり前に電気 coming している現在、電気がどこかで作られているという事実は、良く教えないと小学生には解らない。発電によって何かのエネルギーから変換される以上、電気はエネルギー源ではない。発電を習わない小学生はエネルギー源と錯覚をするが、その錯覚は正される必要がある。

しかし小学生を笑えない。エネルギー源ではないものをエネルギー源であると錯覚する風潮が現代にはある。その良い例が水素である。水素が次世代のエネルギー源になるかも知れないと、多くの人が期待している。また業界も国もその期待をあおっている節もある。しかし水素はエネルギー源ではない。電気と同じ加工されたエネルギーである。言い換えれば水素は作り出されなければならない。

現在主流の水素製造法は、化石燃料からの製法である。電気と同じように二次エネルギーである。エネルギー源は化石燃料であり、エネルギー保存則から、得られた水素のエネルギー量は、化石燃料のそれを越すことはない。

将来大量の水素が利用されるようになった場合、水素は水の電気分解によって生成されるだろう。その場合も投入した電気エネルギー以上の水素エネルギーを得ることはできない。電気もまた本来のエネルギー源ではなく、エネルギー源は発電に使われたエネルギーとなる。

どの場合も水素は真のエネルギー源ではなく、エネルギー貯蔵法である。

真のエネルギー源は、人為的に他のエネルギーから変換する必要がないエネルギーである。エネルギー保存則から、人類が社会活動の中で使えるエネルギーを、何も無いところから発生させることはできない。現代人の多くが、漠然と科学技術の進展でエネルギー問題が解決されるだろうという期待を持っているが、それが21世紀の永久機関幻想なのである。

4-2 エネルギー資源は燃料しかない

前節でみたように現在使われているエネルギー資源は、莫大な量の化石燃料と、最終エネルギー消費にわずかな貢献をする核燃料である。そのほかにエネルギー資源はないのだろうか。

エネルギー資源とは、エネルギーを蓄えているものであって、何らかの形で蓄えたエネルギーを解放することができるものである。

力学的に大量にエネルギーを蓄えているのは、地球自身である。他には考えられない。公転と自転のエネルギーとして蓄えている。だがこのエネルギーを取り出す方法はないし、仮にあって、自転公転のエネルギーを減少させることは、はなはだしい環境破壊を起こすだろう。ただし月によって潮汐というメカニズムで、自然に地球の自転のエネルギーは減少している。自転のエネルギー減少は、しかし非常に少なく、したがって潮汐発電は、大きなエネルギー源にはならない。

力学的なエネルギーが資源ではないとすれば、物質としてエネルギーを蓄えているものを考えるしかない。あらゆる物質は原子からできている。そして原子は電子と原子核からできている。物質が蓄えているエネルギーは、電子が蓄えているものと原子核が蓄えているものに分けられる。そしてそれを取り出すメカニズムは、電子のエネルギーは化学反応で、核のエネルギーは核反応で取り出すことになる。どちらも習慣上燃焼と呼ばれるが、燃焼とは燃料というエネルギーを蓄えた物質から、エネルギーを取り出すことに他ならない。

4-3 エネルギー資源は化石燃料と核エネルギーだけである

前分節では、エネルギー資源は、化学反応によるものか、核反応によるものしかないことを議論した。

資源から得るエネルギーを考える場合、エネルギー源とは前節の一次エネルギーと同義である。化石燃料と核エネルギーだけが、前節の一次エネルギーの中で、資源としてのエネルギー源である。そして改めて、現在の世界が、エネルギー資源、それもほとんどが化石燃料に頼った社会であることを認識してほしい。問題はこの大量の化石燃料に代わるエネルギー資源が存在するのかということである。

この分節で示したいことは、資源としてのエネルギー源は、未来永劫化石燃料と核燃料しかないことである。さまざまな代替エネルギーがあるのではないかと、漠然と期待されているが、それは水素で例を見たように、エネルギー源ではない。

化石燃料は化学反応によってエネルギーを放出する。一方核エネルギーは核反応によってエネルギーを放出する。そして反応の素過程で、核反応のエネルギーの大きさは、化学反応のエネルギーの大きさの約10万倍の規模を持つ。このことの意味は次の分節で述べる。

化学反応でエネルギーを放出するエネルギー資源は、化石燃料しか考えられない。

何故か？ およそ46億年前、太陽系の一部として地球が出来たとき、地球は大変高温だった。天体は重力収縮によってできるが、その時重力エネルギーが熱エネルギーに変わるので、必ず高温になる。誕生したばかりの地球もその例外ではなかった。高温であることは化学反応が急速に進行することを意味する。燃料とみなせるものは燃焼してしまう。地球誕生直後の段階で、化学反応によってエネルギーを放出する可能性を持った物質は、ほとんどなくなってしまっていたはずである。

生命体が地上に燃料を作り出した。光合成によって、有機質という

生命体本体を構成する燃料を作ったのである。地球誕生時大量にあった二酸化炭素と水という原料から、太陽エネルギーを閉じ込める有機体を作った。何故二酸化炭素と水が大量にあったのか？ 二つとも酸化物であるから、高温状態で燃焼（酸化）が進行した結果である。初期の地球には酸素という気体が無かった。地球創生期の高温状態から脱し、冷却した地球に、光合成を利用して燃料が生じた。もはや十分低温なので、燃料は自然発火せずに済む。その燃料とは生命体本体である。生命体は自らの活動のエネルギーとして使うためにわが身を作っているのだが、それは燃料ともなりえるものだった。

生命体は豊富な二酸化炭素を有機質に変えて増殖していった。それに伴って地上の二酸化炭素が減少していく。一方生命体は進化して多様性を増し、地上に増えていく。このようにして地球の長い歴史が始まった。

生命体は他の生命体に食べられて体内のエネルギーを引き渡すか、さもなければ死後腐敗分解してエネルギーを放出し、水と二酸化炭素に戻って行く。死後分解されずに、常温では化学反応が起きない物質に変化したのが化石燃料である。太古の生命体であった化石燃料は、太古の太陽エネルギーを蓄えている。こうして化石燃料が蓄積され、空中の二酸化炭素が減少していった。

上に述べた理由が、化石燃料がエネルギーを持つ理由であると同時に、化学反応を用いたエネルギー源は化石燃料しかないことの説明でもある。地球誕生時にすべての燃料は燃えてしまっていた。水素が良い例である。仮に地球誕生時に地球が高温でなかったとしたら、燃料である水素は燃えず、その結果として水はできず、大気中には莫大な量の水素が存在したであろう。その場合生命体も生まれることはない。

地上で通常進行する反応は化学反応である。化学反応を使うエネルギー資源は、かくして化石燃料しかない。エネルギー資源は化石燃料以外には核燃料しかありえないことになる。

4-4 核エネルギーとは何か？

核エネルギーの基本は原発を理解するために不可欠なはずであるが、一般には知られていないし、関係者たちも余り意識していないようである。

核エネルギーは核反応を用いて得られる。核反応と化学反応の違いで、原発を議論するときに基本とすべき知識は、核反応は素過程で化学反応のおよそ 10 万倍のエネルギーをやり取りするということである。この素過程での 10 万倍というのが、あまり意識されていないが、核エネルギーの巨大さを理解すると同時に、核エネルギーのコントロールの難しさを理解する鍵である。

どういうことか？

高校の化学のおさらいをしよう。化学反応の例として、水素の燃焼を取り上げる。水素の燃焼では、水素分子二個と酸素分子一個とが反応し、水の分子二個が生成される。反応式で書けば



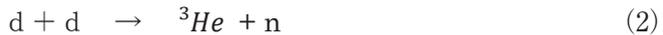
素過程というのは、最小の反応単位、この場合でいえば水素原子二個と酸素原子一個との反応のことである。式 (1) が素過程を示す。素過程で放出されるエネルギーは、反応ごとに厳密に決まっている。

実際にこの反応を実行すれば、莫大な数の水素原子と酸素原子が反応に関与する。反応に関与する酸素原子の数を n 個としよう。そうすれば上記の式は $2n$ 個の水素分子が反応に関与し、 $2n$ 個の水の分子が生成されることを表す。そして発生するエネルギーも、素過程の n 倍の大きさになる。

核反応も化学反応と同じような反応式を書くことが出来る。反応式で素過程が解る。

太陽は莫大なエネルギーを放出し、それが地球環境を造り上げていることを、次の分節でみるが、その太陽の中で起こっているのが、核

反応である。太陽の中心部ではいくつかの反応が進行しているが、その一つの反応式を書きだしてみる。



ここで d は重陽子を表し、 ${}^3\text{He}$ はヘリウム 3、 n は中性子を表す。これは化学反応と同じように理解される。式 (1) で基本要素は原子であり、水素原子と酸素原子とが式 (1) では反応に関与している。その数も式 (1) でわかる。水素原子が 4 個と、酸素原子が 2 個反応に関与しているのだが、反応の前後でその個数は変わらない。

物質を構成している基本要素は原子であることは、理科教育の基本として多くの人が習っているだろう。原子の種類は 100 個ほどあり、原子の基本性格は周期律表を使えば理解できる。高校で習う化学の基本である。化学反応は原子を構成粒子として起こる反応である。

核反応は化学反応よりもある意味単純である。化学反応に関与する 100 種類ほどの原子に相当するものは、陽子と中性子しかなく、その二つの組み合わせで原子核 (化学反応での分子に相当) が構成される。

式 (2) で言えば重陽子 (d) は陽子一個と中性子一個での構成体である。ヘリウム 3 は陽子二個と中性子一個から構成される。つまり式 (2) の反応では、陽子二個と中性子二個の組み合わせが、反応の前後で変わっていることになる。

式 (2) は式 (1) と同様素過程を与える。そして両式とも反応後エネルギーを放出する。素過程での放出されるエネルギーは、反応ごとにきっちりと決まっている。核反応の大きさは、化学反応と比べて、素過程でおよそ 10 万倍というのは、式 (2) での放出エネルギーは、式 (1) での放出エネルギーの、およそ 10 万倍であることを意味する。

放出されたエネルギーは、生成された粒子の運動エネルギーになる。式 (1) では水の分子の、式 (2) ではヘリウム 3 と中性子の、それぞれ運動エネルギーとなる。

10万倍の運動エネルギーの違いを乗り物で考えてみよう。ある乗り物が人が歩く速さの時速4kmで動いているとする。この乗り物が新幹線の5倍の速さの時速1200km強で走れば、およそ10万倍のエネルギーになる。我々が行うコントロールは、化学反応レベルのコントロールである。前分節で述べたように、我々の世界は基本法則がニュートン物理学であるような物理現象と、化学反応で記述される化学反応で成り立つ世界だから当然そうなる。いわば時速4km程度の乗り物のコントロールは、科学技術でさまざまな試みが出来ているが、そのコントロール法で時速1200kmの乗り物をコントロールしようというのだ。

核反応の唯一のコントロール法は、核反応を閉じ込めるということだけである。閉じ込めに失敗した原発事故で、「放射能は完全にコントロールされている」というのは、それ自身矛盾した言葉であり、「福島で原発事故は起きてない」と主張することを意味する。これは言った本人の、絶望的なまでの言葉の軽さを象徴する。

素過程でおよそ10万倍のエネルギーの違いが、原発の放出エネルギーの大きさを表すと同時に、放射線の性格も表す。我々の周りには、粒子が大量にある。それらの粒子は、さまざまなエネルギーを持って飛び回っているが、平均のエネルギーは温度で決まる。平均の10倍のエネルギーを持って飛んでいる粒子はすでにほとんどない。それに対して10万倍のエネルギーを持つ粒子が核反応で放出される粒子、すなわち放射線である。

4-5 自然エネルギー

これまで資源からのエネルギーを見てきた。繰り返すがエネルギー資源は化石燃料と核エネルギーしかない。他のエネルギー源は、未来永劫自然エネルギーだけである。3.11の事故は資源からのエネルギーに頼る時代の終焉を真剣に考えなければならないことを示したとして歴史的意義を持つと筆者は考えている。

森羅万象 - 地上のすべての動き、・光・音・熱・生命 - これらすべてのものに、エネルギーが伴っている。エネルギーはエネルギーの性質に基づいて、さまざまな現象にいわば乗り移るが、その量は変化しないというのがエネルギー保存則である。一つの動きから他の動きへ、音へ、熱へとエネルギーは変化していく。だがその量は変化しない。それをイメージするには抽象的な流れをイメージすればいい。

流れには源がある。地上のエネルギーの源はそのほとんどが太陽である。

我々自身も太陽からのエネルギーの流れのごく一部の支流を、エネルギー源として生きている。光合成によって、植物は体内に太陽のエネルギーを蓄え、食物連鎖でそのエネルギーが受け渡されていく。人は食事から一日 2000kcal のエネルギーをとり、様々な活動のエネルギーに変えることで生きており、一日 2000kcal の熱を体外に放出する。一日 2000kcal の、太陽を源とするエネルギーの、ごくごく小さな支流が、人を生命体として、存在させ続けている。

いわゆる自然エネルギーと呼ばれているエネルギーの大部分が、太陽を起源とするエネルギーである。太陽光、太陽熱は明らかだ。気象はすべて太陽エネルギーが作り出す。太陽は地表を、海面を温める。つまり熱エネルギーを与える。太陽エネルギーは地球に入る前は均質であるが、大気圏内に入ると同時に、諸条件により、各地で温度差ができる。温度差によって、エネルギーの流れができる。それを運ぶのは風であり、雲であり、雨であり、波である。風は風力、雲と雨は水力、波は波力として、利用可能なエネルギーとなる。生命体のエネルギー源も太陽であることはすでにみた。生命体のエネルギーはバイオマスとして利用可能なエネルギーである。

地球全体に降り注ぐ太陽エネルギーの流れは 174 兆キロワット、現在人類が主として化石燃料を源として作り出しているエネルギーの流れは、2012 年の統計から計算すると 178 億キロワットであるから、

地上のエネルギーの流れは、ほとんどが太陽起源であり、人工的なものはその一万分の一にしか過ぎない。

現代社会は第3節でみたように、化石燃料時代であり、これは産業革命に始まった。核エネルギー利用はウラン 235 を燃料とする原発によって始まった。そして一時原子力時代の幕開けと喧伝された。

第3節でみたように現在は未だ化石燃料時代である。原子力時代は到達するのだろうか？ 原発一基はおよそ 100 万キロワットの出力を持つ。現在消費しているエネルギーは、大部分は第3節でみたように電力ではない。でも仮に電力で置き換えられたとして、現在のエネルギー消費の 100 億キロワットレベルを原発で確保するとすれば、世界中で一万個の原発が必要である計算となる。実現すれば、毎年原発事故が世界のどこかで起こる社会になるだろう。そしてウラン 235 も有限な資源である。このペースで消費を続けたら、10 年で核時代は終焉するだろう。

原子力時代の幕開けと言われたころは、将来は核融合がそれに代わると信じられていたし、実際欧米の物理学者および知識人たちの多くがそう考えている。近代合理主義の基本の一つ - 自然に対峙し征服する人類という発想からそう考えるのだろう。核融合に比べるともっと消極的な考えではあるが、核燃料サイクルというトリッキーな仕組みも考えられた。どちらも成功すれば、資源量が格段に増加するという意味を持つ。資源エネルギー時代が生き延びる。しかし素過程で 10 万倍の激しさを持つという現実はいかんともしようがない。コントロールが途方もなく難しい。それでも自然を征服するという近代主義に固執するのだろうか？

5. 化石燃料社会から自然エネルギー未来社会へ

この小文では現代が化石燃料社会であり、その時代はやがて終焉することを見、永続的に頼りになるエネルギーは、自然エネルギーだけ

であることを論じた。エネルギー保存則を良く理解し、エネルギー源についてしっかりと考察すれば、その結論が出る。核エネルギーは我々の環境とあまりにも違いすぎる。素過程で10万倍のエネルギーという事実を、現代人、特にエネルギーに関連する論客はしっかりと考えるべきである。人類社会は原発事故が頻繁に起こる事態に耐えることはできそうにない。

近代を形作った西欧思想の根底には、人と自然は対立するという考え方があり。対立する自然に対して、近代社会は武器として化石燃料を使うのは当然であった。

一方日本の伝統的な考え方は、西欧以外の多くの社会の文化がそうであるように、人類と自然を対立するとは見ていない。人類も自然の一部であるという考え方が根底にある。自然エネルギーで生きていく社会を創造していくとき、この考え方こそ基本になる考え方になるだろう。人間も太陽エネルギーの流れの中で生きている。食物連鎖がそのメカニズムである。

太陽からのエネルギーの流れは、人類が人工的に作り出しているエネルギーの流れの一万倍もの大きさを持つ。太陽からのエネルギーの流れの中で生きていけないはずはない。だがその社会は今とは大きく異なる社会となるだろう。

現代へ至る歴史の流れの中で、社会は面から点へと集中を重ねてきた。日本では東京一極集中がその象徴である。集中による狭い領域で、人類は自然とは独立に、常に快適な生活を保障する空間を作り出そうとした。高層ビル群を見るがよい。しかし自然は浅薄な人類に見事にしっぺ返しをしている。大都会東京では、ゲリラ豪雨が多発する。東京の人は気づかないが、地方都市に行くとゲリラ豪雨が頻発するかを聞いてみると、ほとんどの都市でノーという答えが返ってくる。私は高層ビル群と集中した自動車利用などがヒートアイランドを加速し、またビル風などを引き起こし、それらが複雑に絡み合って、ゲリラ豪

雨などを引き起こしていると考える。異常気象の原因を、温暖化ガス増加だけで考えるのは間違っている。

人とエネルギーを集中させる巨大ビルは、自然エネルギーとは、すこぶる相性が悪い。自然エネルギーの主たる源泉たる太陽エネルギーは、広範囲に分散しているからだ。広い敷地を持つ低層階の建築物のほうが、自然エネルギーとの相性がいいだろう。また自然エネルギーは分散しているのだから、大都市にエネルギーを集中することも難しい。自然エネルギーに基づく都市の規模は、試行錯誤と経験に裏打ちされた理論で将来考えられていくだろうが、大都会ではありえない。人の居住について、これまでの点に集中した歴史が逆転し、広い面に広がって行くだろう。

生活空間が点から面に移行するとともに、交通手段も面へと移行するだろう。現在は自動車を利用して、点から他の点への移動が主である。どんなにエコカーを追求しても、自動車はエネルギーの浪費物である。ガソリンという集中性が高いエネルギーが使えなくなれば、自家用車は、高価で多くの人には手が出せない乗り物となろう。代わりに鉄道が利用される。鉄道がすこぶるエコな乗り物であることを、すべての人が認識すべきである。未来都市では鉄道が主たる交通手段となり、自動車はそれを補う副次的な乗り物になる。

電車とバスを使った未来型の都市空間のモデルがトロントにある。トロントでは京都や大阪のように、道路が東西南北に整然と走っている。すべての主要道路に公共交通機関が走っているのだが、それらはすべて、北行き・南行き、東行き・西行きと表示される。移動するとき人は自分の位置と、目的地との地理関係を頭に入れ、もしも北東に行くなら東行きと北行きの乗り物を組み合わせればいい。その乗り換えは自由にでき、また乗り換えやすさが確保されている。そしてトロントの町は地域ごとに特色を持つネイバーフッドという領域に分かれる。移動中人は異なるネイバーフッドの景色を楽しむことが出来る。

生活空間が面になっている利点である。

労働の考え方も変わるだろう。分刻みの労働で身をすり減らすという発想は消滅し、雨が降ったら仕事は休みという発想が普及するだろう。晴耕雨読である。自然エネルギーは気まぐれである。現代社会とは恐ろしく相性が悪い。だからこそ自然エネルギーは役不足であり、原発依存を続けるというばかげた発想が出てくる。それを支えるのは21世紀の永久機関幻想である。だが自然には勝てないという日本古来の発想では、太陽の恵みを最大限引き出すことが出来る。

現代の延長がそのまま続くという間違っただ仮定の上で、多くの地域が消滅の危機にあるとされる。とんでもない間違いである。すべての国が、その土地全域を上手に利用しなければ、広範囲に広がる自然エネルギーの恵みを、十分に活用できない。幸いにして里山などを見直す動きも各地で出始めた。

原発依存は、化石燃料時代終焉とともに崩壊する宿命にある現代社会の悪あがきであり、現代によみがえる永久機関幻想に基づいた砂上の楼閣である。物理学の大法則に否定されるこの幻想を、できる限り早く断ち切ることが、人類の未来を展望する唯一の道である。

参考文献（決して網羅を図ったものではない）

エネルギーについて

- 1) ファインマン物理学 I 力学, R.P. ファインマン、坪井忠二訳、岩波書店 1986.
- 2) 文系人のためのエネルギー入門、小池康郎、勁草書房 2011.
- 3) エネルギーとは何か、ロジャー・G・ニュートン、東辻千恵子訳、講談社 2015.

エネルギー消費についてのデータ

- 4) IEA (International Energy Agency) HP よりダウンロード可
近代主義特に現代の資本主義の限界について（代表的な著者の最新作）
- 5) ポスト資本主義、広井良典、岩波新書 2015.

- 6) 資本主義の終焉と歴史の危機、水野和夫、集英社新書 2014.
- 7) さらば、資本主義、佐伯啓思、新潮新書 2015.
- 8) 文明崩壊上・下、ジャレド・ダイヤモンド、楡井浩一訳、草思社 2005.
新しい地域再生の試みについて（数ある中から代表的なもの）
- 9) 藻谷浩介、里山資本主義、角川新書 2013.
- 10) 井上恭介、里海資本論、角川新書、2015.