

7. エネルギーを無闇矢鱈に使う贅沢

エネルギーの釣り合う地球

地球全体が受ける太陽の光エネルギーは毎秒 1.5×10^{13} kcal もの膨大なもので、その 70% に相当する毎秒 1.0×10^{13} kcal のエネルギーは大気中および地表に吸収されて地球の持つ総エネルギー量を増加させます。逆に温度の低い宇宙空間に地球が熱や光を輻射するために減少する総エネルギー量は、自転や公転などの地球の運動が遅くなった時に発生するエネルギーと、太陽から供給される光エネルギーの総和に釣り合っています。45 億年という長い年月の間に化石燃料などの形でわずかなエネルギーを蓄えただけで、地球の持っていた運動エネルギーの変化と太陽から供給される光エネルギーが地球の消費するエネルギーとほぼ釣り合うようになり、現在の状態の地球を維持できるようになって来ました。

このように地球はエネルギーのシーソーに乗っており、エネルギー的には外界から遮断され独立した一つの世界と考えることが出来ます。そのため、地球の中ではエネルギー不滅の法則が成り立っており、光エネルギー、熱エネルギー、運動エネルギー、化学エネルギー、電気エネルギーなど色々な形にエネルギーは相互に変換されていますが、地球のエネルギーの総量は変化がありません。

地球の自転や公転などの運動エネルギーは海水面を定期的に上下させる潮汐現象をもたらし、大気の上層部で偏西風を吹かせます。地球に吸収された太陽の光エネルギーは熱エネルギーに変換されて大気や地表を温めます。しかし、地球の自転軸と公転軸の間に傾きがあるため、地球上の場所により太陽からの光エネルギーの量には差が生じます。その上、地表の材質の違いにより暖まり方が必ずしも一様でないため、地球上の場所により温度差が生じます。この温度差は対流を引き起こし、大気中に低圧部と高圧部を生みますから大気の流れとなります。また、海水中の温度差は黒潮や親潮やメキシコ湾流となって海水の対流を引き起こします。太陽の光エネルギーは地表の水を蒸発させて雲を生み、大気の流れに乗って海から遠く離れた地まで水蒸気は移動し、雨や雪を降らせる循環を引き起こします。水蒸気の移動により高地に降った水は海まで流れ下ります。このとき太陽から供給された熱エネルギーは水の運動エネルギーに変換されますが、雷などの電気エネルギーに変換されることもあります。さらに、地表に到達した太陽の光を吸収して植物は二酸化炭素からブドウ糖への還元により化学エネルギーに変換されます。高い化学エネルギーを持ったブドウ糖などの還元物質は二酸化炭素まで酸化されることにより、その化学エネルギーは生物の生命を維持するために消費されます。人類が生活に利用しているエネルギーも本来的には、このように平衡に達した各種のエネルギーの一部と考えられるものでした。また、化学エネルギーを持った還元物資は、ごく一部ですが石炭や石油などの化石燃料として 45 億年の間に蓄えられてきました。

光エネルギーから、熱エネルギー、運動エネルギー、化学エネルギー、電気エネルギーなど色々な形にエネルギーは変換されていますが、外界から遮断され独立した一つの世界として、地球の中ではエネルギー不滅の法則が成り立ち、一定の潮流や潮汐運動を続け、規則的な気候変化を維持するように平衡になって来ました。爆発したり、衰弱したりして太陽が光エネルギーの供給を乱さない限り、地球上は将来にわたって安定した進化を続けていくと思われれます。

幸い太陽は長年にわたり一定の光エネルギーを地球に供給し続けていますが、詳細に調べて

みますとわずかながらエネルギーの供給量に変化があります。太陽の表面には黒点と呼ばれるニキビのような吹き出物が11年周期で増減します。太陽が熱く燃えると、若さの象徴のようなこの吹き出物ができますから、太陽からのエネルギーの供給量が増加します。1958年以来地球に到達する宇宙線の強度が測定されてきましたが、その結果、黒点の増減に関して11年周期で10～15%宇宙線の強度の変化することが明らかになってきました。宇宙線の増減は太陽から発散される宇宙線の増減でない機構が考えられているようですが、太陽の活動が活発になると影響することを意味しています。

農林水産省の研究機関が1978年に出した作物の冷害に関する報告によれば、冷害を引き起こす気候変動の原因は太陽の黒点の増減と火山の大噴火によると考えられています。歴史に残る江戸時代の三大飢饉とよばれる享保(1732年)、天明(1782年)、天保(1833年)の飢饉はいずれも黒点の下降期にあたり、気温が下がって冷害になりました。また、過去の記録から気象学者ラ-ナ-は、11年周期で変化する太陽の黒点の数が最小となるとときとブラジルのコ-ヒ-産地での降霜被害の間には極めて高い相関性があり、20世紀に限れば発生した10回の霜害のうち9回に当てはまると考えております。太陽の黒点による太陽から供給されるエネルギーが多く見積もっても10%程度の変化に過ぎなくても、地球上におけるエネルギーの平衡の状態を乱すことになり、地球全体が大きな変化に見舞われることになると考えられます。

人類が使用するエネルギー量

総務省統計局「世界の統計 2003」によりますと、近年、人類は表7-1に示すような量のエネルギーを消費しています。全人類が1年間に全世界で消費しているエネルギー量は 9.5×10^{16} kcalと推測されています。地域別にはアジア、北アメリカ、ヨーロッパの地域で多くのエ

表7-1 国・地域別 一次エネルギー年間消費量

国(地域)	年次	エネルギーの消費量(単位:kcal)					
		固形	液体	ガス	電力	総計	1人当り
日本	98	1.03×10^{15}	2.35×10^{15}	7.55×10^{14}	1.12×10^{15}	5.27×10^{15}	4.17×10^7
アメリカ合衆国	98	5.95×10^{15}	8.97×10^{15}	6.30×10^{15}	2.62×10^{15}	2.38×10^{15}	8.70×10^7
ナイジェリヤ	98	5.24×10^{11}	8.26×10^{13}	6.27×10^{13}	5.37×10^{12}	1.51×10^{14}	1.43×10^6
アジア	98	1.24×10^{16}	1.07×10^{16}	5.25×10^{15}	2.19×10^{15}	3.05×10^{16}	8.47×10^6
北アメリカ	98	6.32×10^{15}	1.14×10^{16}	7.63×10^{15}	3.28×10^{15}	2.86×10^{16}	6.06×10^7
南アメリカ	98	2.50×10^{14}	1.76×10^{15}	9.65×10^{14}	5.26×10^{14}	3.50×10^{15}	1.04×10^7
ヨーロッパ	98	5.52×10^{15}	8.52×10^{15}	9.74×10^{15}	4.14×10^{15}	2.79×10^{16}	3.83×10^7
アフリカ	98	9.22×10^{14}	1.07×10^{15}	6.12×10^{14}	1.07×10^{14}	2.71×10^{15}	3.61×10^6
オセアニア	98	6.11×10^{14}	4.67×10^{14}	2.78×10^{14}	6.58×10^{13}	1.42×10^{15}	4.87×10^7
世界	96	2.71×10^{16}	3.34×10^{16}	2.44×10^{16}	1.02×10^{16}	9.50×10^{16}	1.66×10^7
	97	2.67×10^{16}	3.38×10^{16}	2.47×10^{16}	1.01×10^{16}	9.52×10^{16}	1.64×10^7
	98	2.60×10^{16}	3.39×10^{16}	2.45×10^{16}	1.03×10^{16}	9.47×10^{16}	1.60×10^7

エネルギーが消費されていますが、1人あたりに換算しますとヨーロッパと北アメリカの人が特に多く消費しています。この統計で最もエネルギー消費量の少ないナイジェリアの人は1年間に $1.4 \times 10^6 \text{kcal}$ であり、約ドラム缶1.5本分の石油に相当します。これに対して、世界中で最もエネルギーを大量に消費しているアメリカ合衆国では、一人当たり一年間に $8.7 \times 10^7 \text{kcal}$ のエネルギーを消費しています。この量はドラム缶88本分と換算することができ、ナイジェリアの人の約60倍に相当します。ナイジェリアの人も十分な人間生活を送っていますから、数本のドラム缶の石油でアメリカ人も普通の生活をする事ができると思われ、残りのドラム缶80本の石油は浪費されているエネルギーであり大きな贅沢といえるでしょう。日本人は1人当たり1年間に $4.2 \times 10^7 \text{kcal}$ を消費していますから、41本のドラム缶の石油と換算することができ、35本もの石油を浪費する贅沢をしていることとなります。

化石燃料の燃焼によるエネルギー

表7-1に纏めた固体エネルギーは石炭、亜炭、泥炭、オイルシェールなど、液体エネルギーは原油および液化天然ガス(LNG)、ガスエネルギーは天然ガスをそれぞれ燃焼して発生するエネルギーを意味しており、火力発電により発生するエネルギーも各項目に分けて含まれています。この3つの分類のエネルギーは何れも化石燃料を燃焼して発生させていますから、当然二酸化炭素の発生を伴います。国や地域別に消費される全エネルギーの各分類の割合を表7-2に纏めました。ナイジェリアやサウジアラビアなどの産油国では液体燃料への依存の割合が高く、石炭の産出量が多い中国では固体燃料への依存度が高くなっています。石炭も石油もほとんど産出しない日本やスウェーデンは比較的化石燃料への依存度が低くなっています。

1997年に討議された京都議定書により化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素の総量を規定することになりました。二酸化炭素の増加は第4章で述べましたが、あまり危惧することはないように思いますが、この議定書により埋蔵量に限界のある化石燃料の消費が抑えられることは化石燃料をより長期にわたり利用可能にするとおもわれます。その上、エネルギーの総消費量を抑える効果があれば、人類の贅沢を戒める極めて意義のある議定書と思われる。

原子燃料によるエネルギー

表7-1および表7-2で電力の項は水力、地熱、風力、潮汐、波力、ソーラー、原子力など各種の発電方法による電力で、火力発電は含まれていません。この項目のエネルギーは二酸化炭素の排出が全くありませんから、京都議定書の規制を受けません。この項目のうちで原子力発電以外の水力、地熱、風力、潮汐、波力、ソーラーなどの発電方法による電力エネルギーは太陽からの光エネルギーあるいは地球が固有に持っているエネルギーから変換するもので、エネルギー不滅の法則が成り立っている地球で色々と相互に変換されて行く光エネルギー、熱エネルギー、運動エネルギー、化学エネルギーに含まれる電気エネルギーです。そのため、このエネルギーを消費しても地球全体の総エネルギー量の増加には結びつきません。

水力発電は太陽からの光エネルギーで温められた水が水蒸気になり雨や雪になって降り、海拔の高いところに移動した水が流れ落ちるときの運動エネルギーを利用するものです。この水の循環する系を利用しているため、光エネルギーを電気エネルギーに変換する発電法ですから、二酸化炭素を発生することもなく、人類の贅沢とは見えません。しかし、水力発電をするため

にはダムを造り、電力を利用し易いように送電線を張り巡らし、強度の強い水車を持った発電機を用意しなければなりません。ここで大量のセメントと電線用の金属銅と大きな力に耐える水車用の特殊な金属を必要とし、大量のエネルギーを使って大量の廃棄物を出しながら、この水力発電の系は築き上げられました。このように水力で発電される電気エネルギーは多くの資源とエネルギーを消費して生み出されるものですから、この水力発電による電気エネルギーを消費することは人類の贅沢と考えられます。

表 7 - 2 国・地域別 一次エネルギー年間消費量の割合

国(地域)	年次	固形	液体	ガス	電力
日本	98	19.6%	44.7%	14.3%	21.3%
アメリカ合衆国	98	24.9%	37.6%	26.4%	11.0%
中国	98	76.0%	18.7%	2.6%	2.7%
サウジアラビア	98	0%	55.7%	44.3%	0%
ナイジェリヤ	98	0.3%	54.6%	41.5%	3.6%
スウェーデン	98	6.1%	32.0%	1.9%	60.0%
アジア	98	40.7%	35.0%	17.2%	7.2%
北アメリカ	98	22.0%	39.9%	26.6%	11.4%
南アメリカ	98	7.1%	50.2%	27.6%	15.0%
ヨーロッパ	98	19.8%	30.5%	34.9%	14.8%
アフリカ	98	34.0%	39.5%	22.6%	3.9%
オセアニア	98	43.0%	32.8%	19.5%	4.6%
世界	96	28.5%	35.1%	25.7%	10.7%
世界	97	28.0%	35.5%	25.9%	10.6%
世界	98	27.5%	35.8%	25.8%	10.9%

地熱、風力、潮汐、波力などのエネルギーを電気エネルギーに変換する発電方法は水力発電と同じように、地球のエネルギーの平衡に取り込まれたもので、地球の総エネルギー量を変化するものではありません。しかし、これらの発電を可能にする立地条件は極めて厳しく、大電力を供給する系にはなり得ません。岩手県松尾のような高い地熱を持つ土地は世界中に多くはありません。季節を問わず、間断なく風が吹き続ける土地も多くありません。海の沖合いならばともかく沿岸地帯で潮流が常に流れる場所は世界中でも限られており、しかも満潮時や干潮時には潮流が止まることが多いと思われます。海の波は間断なく押し寄せていますが、そのエネルギーはあまり大きくはありませんから、大電力を供給するためには不向きな発電法です。

ソーラー発電は近年開発された発電法で、雨天の日が少ない地方ではかなり効率的に太陽からの光エネルギーを直接電気エネルギーに変換できます。しかし、大電力を供給するためには不向きな発電法で、しかも夜間は全く発電できません。その上、エネルギーの変換をする発電施設の部品は極めて純度の高い金属けい素を必要とするため、第 3 章で述べたように発電施設

を作るためには大きなエネルギーの消費を必要とします。結局見かけ上は地球のエネルギーの平衡に取り込まれたもので、地球の総エネルギー量を変化するものではありませんが、施設や設備を作り保守するときに多量のエネルギーと資源を消費しなければならず、これらの発電方法による電気エネルギーを浪費することはやはり人類の贅沢と考えられます。

これに対して現在行われている原子力発電は地殻中に残存しているウランウム (^{235}U) などの原子燃料が核分裂するときに発生する熱エネルギーを利用するもので、化石燃料と同じように原子燃料は埋蔵量に限りのある、地球の財産とも思えるエネルギー源です。図 7-1 に示すようにウランウム (^{235}U) は中性子と反応すると、クリプトン(Kr)、ストロンチウム (Sr)、ヨウ素 (I)、キセノン (Xe)、バリウム (Ba) などに分解しますが、そのとき中性子と多量のエネルギーを放出します。ここで放出される中性子がまたウランウム (^{235}U) と反応しますから、ウランウムの核分裂は連鎖的に進行します。この原子力発電はこのようにウランウム (^{235}U) の核分裂により放出されるエネルギーを利用するもので、長短 4 つの特徴があります。第 1 の特徴は効率的に大電力量を発電することが可能であり、しかも全く二酸化炭素を発生しません。第 2 の特徴は発電に必要な原子燃料のウランウム (^{235}U) は表 2-1 に示すように地殻や宇宙における存在比が極めて低く、純粋な形で取り出すことが困難です。しかも、原子燃料の純度が低いときには 2 次的に放出される中性子がウランウムと反応する確率が低くなるために連鎖反応が円滑に起こらなくなりますから、高い技術により大量の化学薬品とエネルギーを用いて高純度に原子燃料を精製しなければなりません。第 3 の特徴は原子燃料の濃度が高すぎる場合には、連鎖反応が早くなりすぎて安全に制御できなくなります。発電のための連鎖反応を安全に制御するためには極めて厳密な反応条件を必要とするため、かなり高い技術力が要求されます。しかもこの連鎖反応において生物にとっては極めて有害な放射線を放出しますから、事故を起こすことは絶対に許されません。1986 年にソヴィエト連邦のチェルノブイリで発生した原子力発電所の事故では、連鎖反応を制御することができなくなり、多量の放射性物質がウクライナを中心に世界中に拡散してしまいました。

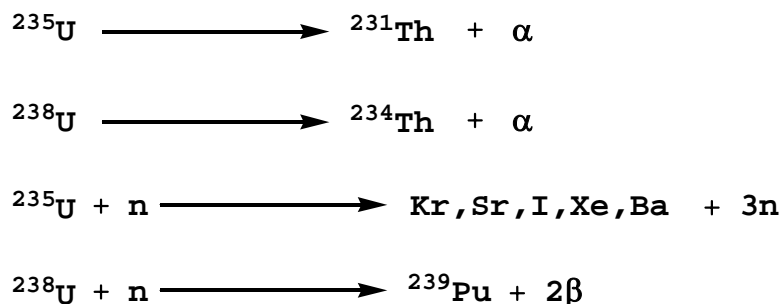


図7-1 ウランウムの核反応

さらに、第 4 の特徴として、原子燃料から発電に利用できるエネルギーを取り出した後に、原子炉に強い放射能を持つ廃棄物が残ります。この放射性廃棄物にはクリプトン(Kr)、ストロンチウム (Sr)、ヨウ素 (I)、キセノン (Xe)、バリウム (Ba) などの核分裂による核種のほかに不純物として存在するウランウム (^{238}U) およびそのウランウム (^{238}U) が中性子と反応して生成するプルトニウム (^{239}Pu) が含まれています。プルトニウム (^{239}Pu) は原子燃料として利用が可能のため分離して廃棄物からの再生が試みられていますが、未だ経済的に採算の取れる

状態にはありません。そのほかの放射性廃棄物は焼却処理などでは処理できず、現在までに安全に処理する方法が開発されていませんから、地球上に拡散しないように青森県六ヶ所村などに厳重に保管しています。日本では約 40 年間原子力発電が続けられていますが、その間に排出された放射性廃棄物は全て保管されています。しかし、現在の密封して保管する方法は年月を経るごとに次第に経費が高むようになります。これらの廃棄物はこの先 100 億年ほど放射能を出し続けますから、放射能汚染を引き起こさない安全な廃棄処理技術を考え出さなければなりません。

現在行われている原子力発電が地殻中に存在している原子燃料の核分裂するときに発生する熱エネルギーを利用するもので、化石燃料と同じように原子燃料の埋蔵量に限りがありますから、地球の財産とも思えるエネルギー源を消費していることとなります。太陽では図 7-2 に示すように水素が核融合して巨大なエネルギーを放出し続けていますが、水素は宇宙に最も多く存在する元素で、太陽の組成の 90% 以上を占めていますから、エネルギー源としては無限と考えても良いほどです。地球上にも水の形でほとんど無限に近い量の水素原子が存在していますから、この水素を核融合すれば化石燃料が枯渇しても無限にエネルギーを供給できると考えられます。核融合反応により発生するエネルギーの利用は戦争のための兵器として水素爆弾においてのみ成功しています。現在まで、核融合反応により発生するエネルギーを安全に制御する平和利用は未だ成功していませんが、重水素同士の核融合や重水素と 3 重水素との核融合の反応が盛んに研究されています。これらの核融合反応では連鎖反応を起こすために極めて高い温度が必要になりますが、そのほかにも放射能の発生の問題や安全性の問題など多くの超えなければならない問題点があり、核融合反応の平和利用はまだ遠い将来のことと思われる。しかし、この重水素同士の核融合反応では 4g の重水素から約 $7.5 \times 10^7 \text{kcal}$ 、2g の重水素と 3g の 3 重水素の核融合では約 $4.1 \times 10^8 \text{kcal}$ のエネルギーを放出します。この核融合により放出されるエネルギーを完全に利用することができるとすれば、わずかに 300 トンの重水素を核融合するだけで 1 年間に全世界の人類の消費する全エネルギーを賄うことができる計算になります。核融合反応の平和利用の技術が完成した暁には全く燃料の枯渇の心配もなく、しかも二酸化炭素の発生のないエネルギーを無限に利用できるようになると考えられます。

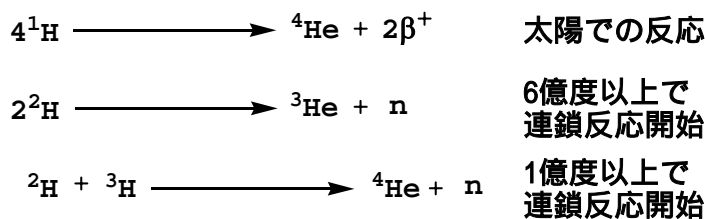


図7-2 水素の核融合反応

地球を傷つけるエネルギーの浪費

45 億年という長い年月の間に化石燃料などの形でわずかなエネルギーを蓄えただけで、地球の持っていた運動エネルギーの変化と太陽から供給される光エネルギーが地球の消費するエネルギーとほぼ釣り合うようになり、現在の状態の地球を維持できるようになって来ました。地球全体が受ける太陽の光エネルギーは毎秒 $1.5 \times 10^{13} \text{kcal}$ もの膨大なもので、その 70% に相当

する毎秒 1.0×10^{13} kcal のエネルギーは大気中および地表に吸収されて地球の持つ総エネルギー量を増加させます。この太陽から供給される光エネルギーは 1 年間に 3.15×10^{20} kcal と換算することができます。

温度の低い宇宙空間に地球が熱や光を輻射するために減少する総エネルギー量は、自転や公転などの地球の運動が遅くなった時に発生するエネルギーと、太陽から供給される光エネルギーの総和に釣り合っています。45 億年という長い年月の間に化石燃料などの形でわずかなエネルギーを蓄えただけで、地球の持っていた運動エネルギーの変化と太陽から供給される光エネルギーが地球の消費するエネルギーとほぼ釣り合うようになり、現在の状態の地球を維持できるようになって来ました。

このように地球はエネルギーのシーソーに乗っており、エネルギーの総量に変化がありませんから、地球はエネルギー的には外界から遮断され独立した一つの世界と考えることが出来ます。そのため、地球の中ではエネルギー不滅の法則が成り立っており、光エネルギー、熱エネルギー、運動エネルギー、化学エネルギー、電気エネルギーなど色々な形にエネルギーは相互に変換されてきました。地球上におけるこのエネルギーの平衡の状態を乱すことがあれば、地球全体が大きな変化に見舞われることになるでしょう。

総務省統計局の統計資料によりますと、毎年、全人類が全世界で消費しているエネルギー量は 9.5×10^{16} kcal と推測されています。多少過大に推測されているようにも思われますが、この膨大なエネルギー量は太陽が地球に供給している光エネルギーの総量の約 0.03% に相当します。人類が消費しているエネルギーの中には、太陽からの光エネルギーの変換による水力発電で得られるエネルギーや、太陽エネルギーにより成長した材木を燃焼して得られるエネルギーも含まれます。しかし、その大部分は 45 億年の間に蓄積された化石燃料からのエネルギーや 45 億年の間にも消滅しないで残ったウラニウムなどの原子燃料からのエネルギーを消費しています。このことは地球全体で起こる潮汐運動、大気の流れ、海流現象、気象現象を含めた水の循環、植物の成長などあらゆる変化の原動力となるエネルギーが太陽からのエネルギーよりも約 0.03% 多く供給されていることとなります。太陽の黒点の増減に伴って太陽から供給されるエネルギーが多く見積もっても 10% 程度の変化に過ぎなくても、地球上におけるエネルギーの平衡の状態を乱すことになり、人類が飢饉などの大きな変化に見舞われた経験から考えて、全人類が全世界で消費しているエネルギー量が地球全体に及ぼす影響は無視できない物と考えられます。

現在はまだ実現していませんが、将来、核融合反応により生ずるエネルギーを自由に安全に利用できるようなれば、人類はエネルギーの供給に関してさほど憂慮する必要がなくなるかもしれません。しかし、この核融合が成功すれば地球全体で起こるあらゆる変化の原動力となるエネルギーの総量が格段に増加するに違いありません。多くのエネルギーを消費すれば当然地球から熱輻射などにより発散してゆくエネルギーも増加して行くと思われませんが、急激なエネルギーの総量の増加は地球のエネルギーのシーソーを傾かせることになり、再びシーソーが釣り合うまでには長い年月を要することになるでしょう。その間に、潮汐運動、大気の流れ、海流現象、気象現象を含めた水の循環、植物の成長などは従来の釣り合いが崩れて、極地の氷が融け出したり、潮流が変化したり、局地的な大雨や旱魃が発生したり、動植物の大発生や絶滅など種々の変化が起こる可能性があります。

大げさにいうならば、人類が必要以上のエネルギーの無闇矢鱈に浪費をすることは、45 億年かけて貯蓄した化石燃料のエネルギーを単に消費して枯渇させるだけでなく、地球の乗っているエネルギーのシーソーを傾かせてしまい、種々の変化を引き起こす最も恐るべき贅沢ではないかと考えられます。人類が必要以上のエネルギーを無闇矢鱈に浪費をする贅沢は地球を傷つける結果を招きます。