

第12章 エネルギー

12.1 はじめに

12.1.1 振り返り

社会科学に科学の ABC が適用できるか、という問題から出発して、ヴェーバーの研究例、大塚の考え方、ポパーと池内の指摘に話が進みました。反証可能でない歴史と、人の選択を考えたとき、知識の欠如が問題であると指摘し、知っておくべき人間としての性質を見てきました。これらの知識は、政治家が意図的に使うことがあるので、身を守るためのものであり、私たちが悪用してはならないことをお伝えしました。また、反証可能でない選択にも、トレーニングする方法があり、アイエンガーの提案した方法は、科学の ABC と似た方法であることをお話ししました。

最後に、科学の ABC の問いをお示ししたいと思います。

A: なぜ人間は悲慘な歴史を繰り返すのか？

B:

C:

みなさんはどんな仮説を立てるでしょうか。本質的に反証可能な問題設定ではありませんが、それでも、仮説が支持されるかどうかの検証方法はあるはずです。

もしかしたら、「悲慘な歴史を繰り返すのは人間の性質として止むをえない」と考える人がいるかもしれません。もし、そうだとしたら、人間は絶滅するしかありません。なぜならば、現在は、以前と状況が変わっているからです。

12.1.2 エネルギーをとりまく現状

現代ならではの状況を考えるとき、福島第一原子力発電所（福島第一原発）の事故は、一つの題材として考えられます。この事故は世界を震撼させました。対応を誤れば、東日本全域で人が住めなくなるかもしれない危機です。

福島第一原発事故の後の電力状況はどうでしょうか。現時点で、福島第一原子力発電所を所管する東京電力は、原子力発電所の再稼働を行っていません。だから、東京電力管内（桜美林大学も含む関東一円）では、原子力発電なしの電力が供給されています。ところが、その他の電力会社では、いくつかの原子力発電所は、再稼働しています。

大きな危険を犯してまで、私たちは電力を欲しがっています。確かに、私たちの生活は電気に支えられています。もしも家庭に電気が供給されなかったら、大変不便な生活になることでしょう。震災後の計画停電を体験した人は、それがわかると思います。

そこで、私たちは、電力、あるいはそれを生み出すエネルギーについて、きちんと向き合わなければなりません。例えば、もしも限りなく電力を得ることができたとしたら、どれほど安心だろうか。そう思うかもしれません。

12.2 永遠に動きつづける機械の夢

実は、昔からそのように考えてきた人々がいました。そして、それを目指して、沢山の試みがなされています。永久機関を作る試みです。永久機関とは、一度動かしたら、他からエネルギーをもらうことなく、永遠に動き続ける機械のことです。そして、その機械からは、自動的にエネルギーを生み出せます。

今回の講義は、永久機関から始めたいと思います。

- 坂を利用した永久機関

三角形の山形の台の上に、チェーンでつないだおもりを図のように載せます。するとどんなことが起こると考えられるでしょうか。斜面の急な方は、重力の影響を強く受け、斜面に沿って下がろうとする力が強いです。一方、斜面が緩い方は、重力の影響が弱く、斜面に沿って下がろうとする力は弱いです。

このように考えると、この図で左側のおもりの方が強く斜面に沿って引かれるために、左側に落ちていくように思われます。そして、このチェーンは、どんどん加速しながら、永遠に反時計回りに回りそうに思われます。

- てこの原理を用いた永久機関

私たちはシーソーや天秤などで、「てこの原理」と呼ばれるものを知っています。天秤が釣り合うためには、支点からの水平距離と重さを掛け合わせたものに注目する必要があります。支点からの水平距離と、そこに作用する力の大きさを掛け合わせたものをトルク（あるいは力のモーメント）といいます。このトルクが、左右で等しくなると初めて釣り合います。逆に、これが等しくなければ釣り合わず、天秤は回転しようとしします。このような支点からの距離と力の関係は「てこの原理」として知られています。

そこで、次のような装置を考えてみましょう。この車輪の周りには棒とおもりが付けられています。この棒は、時計周りには途中までしか動かず、途中で止まってしまいます。一方、反時計周りには、車輪に沿うようになるまで動きます。このような車輪で、右側と左側とを比べてみましょう。左側は回転の中心からの距離が短く、右側は長くなっています。そのため、右側の方のおもりによって時計回りに回そうとするトルクが大きくなります。そこで、この車輪は右側に回るように思われます。

てこの原理

挺子（てこ）とは、重いものを動かすための棒をいいます。「てこの原理」とは、てこが釣り合っている場合に、支点（てこの固定された点）の周りの力の釣り合いについての法則です。具体的には、例えば2つの力の場合、

$$(\text{支点からの距離}) \times (\text{力})$$

が同じになるというものです^a。

^aただし、いくつか注意があります。一つは、例えば、反時計回りに回そうとする力をプラス、時計回りに回そうとする力をマイナス、というように符号を考えると、3つ以上の力について、(支点からの距離) × (力) の合計がゼロになります。また、距離は、支点から力の作用する向きに垂直に測らなければなりません。

- 浮力を使った永久機関

浮力

一般に、液体 (や気体) の中にある物体には浮力が作用します。浮力の大きさは、物体の体積と同じ体積で考えたときの周りの液体 (や気体) の重さと同じです。向きは重力と逆向きです。例えば、空気中の「空気」には、その分の空気に作用する重力の大きさだけ浮力が作用しますので、丁度、重力とつり合います。空気が落ちないのは、浮力があるからである、ということもできます。

空気中のヘリウムガス (の風船) の場合はどうでしょう。浮力の大きさは体積で決まっていますから、同体積の空気の入った風船と同じだけの浮力が作用します。しかし、ヘリウムガスは軽いので、ヘリウムガスに作用する重力は少ないので、浮力が打ち勝ち、上に上がっていきこうとします。よく、「ヘリウムガスは浮力で上昇する」という表現を用います。しかし、実際には、「浮力は同じだけど、重力が小さいので上昇する」という方がより正確かもしれません。

重力は物を押し下げようとしています。私たちを取り巻く空気にも重力は作用しています。ところが空気は地面に落下すること無く、わたしたちの周りに存在しつづけます。軽いガスが入った気球はむしろ上昇していきます。

これは、浮力の作用です。

そこで、図のような装置を考えてみましょう。

右側は水中にあります。そこで、右側には浮力で上にあがろうとする力が作用します。ところが、左側は水の中にありません。そこで、左側では重力によって下に下がろうとします。その結果、この装置のチェーンは左回りに回りそうです。

- 毛細管現象を使った永久機関

皆さんの中には、「毛細管現象」という現象を知っている人もいると思います。

図は、そのようなアイデアによって作られた永久機関です。図では太く描かれてはいますが、先端部分は細くなっているのが、「毛細管現象」によって水が吸い寄せられ、先端から水を滴らすことができそうです。こうして、水が高いところから落ちます。水を落とすときに、発電をすることができます。

毛細管現象

水に毛細管 (毛のように細い管、あるいは細いストロー) をさし入れると、ストローの中の水面は少しだけ上昇します。このように、水は狭いところに入り込んでいく性質があります。狭ければ狭い程、上昇していく性質があります。そこで、細かい繊維でできたティッシュペーパーを水に浸すと、この毛細管現象によって、水の中に入れた部分だけでなく、その上の部分にも水がしみ込んでいきます。

この現象は、水の表面張力と関係しています。水面はその端で容器に沿って上に上がります。管の内側が狭いと、表面張力によって水位が上がります。

この他にもいろいろな永久機関が、長い歴史の中で試みられてきました。みなさんは、これらの中で、どれがもっとも効率よくエネルギーを生み出すと考えますか？

12.3 夢でしかない永久機関

ところが残念ながら、このような永久機関は、どれも実現しません。簡単に、どうして実現しないか、検討してみましょう。

- 坂を利用した永久機関

確かに急な斜面の方が強く下に引かれます。しかし、左右のおもりの数を見てください。急な斜面の方は数が少なく、緩やかな斜面の方は数が多いです。このため、数の観点からは急な斜面の方が不利になります。

この両方の効果を考えると、丁度つり合ってしまうて、回転は起こりません。

- てこの原理を用いた永久機関

これも同様です。左右のおもりの数を調べてみましょう。すると、腕をたたんだ方はおもりの数が多くなっていることがわかります。これも同様につり合ってしまうて回りません。

- 浮力を使った永久機関

浮力の場合を考えるのは少し難しいです。確かに、縦方向に考えると、回転しそうな気がします。しかし、横方向に考えるとどうでしょうか。水のある側は、下にいけばいくほど圧力が高くなります。そのために、下の方では、水の中から物を押し出そうとする強い力が作用します。これらがつり合って回らなくなってしまうのです。

- 毛細管現象を使った永久機関

この例の場合はどうでしょう。実は、水は滴り落ちることができません。管の口のところを出ると、そこには狭いすき間がありません。むしろ、管の中の方が狭いのです。そこで、水は、管の中に戻ろうとし、決して滴り落ちることができない訳です。

これらの他にも考えられた永久機関はあります。しかし、いまだかつて、永久機関ができたことはありません。数多くの永久機関の失敗から、どうやらエネルギーを生み出すことはできないようです。なぜでしょう。ここで、また、ABC の考え方で考えてみましょう。皆さんは、次の A に対して、どのような B, C を考えるでしょうか？

A なぜ永久機関を作ることができない（むずかしい）のか？

B

C

早速、答えを書くと、これは積極的に仮説と検証で問題を解決できない事例です。つまり、「なぜ永久機関ができないか」という問いかけ自身を考えるべきです。現代科学は、「永久機関はできない」ことを事実として認め、そこから議論をスタートするべきではないか、と考えます。科学と技術は、ガリレオ・ガリレイによる科学の ABC の考え方を援用することで、飛躍的な進歩を遂げました。それは、ABC の考え方によって多くの問題を解決することができたからです。しかし、時々、それができない場合があります。その時に、実験事実を素直に受け入れ、むしろそれを基本に考える、という発想が必要なこともあります。つまり、私たちは「永久機関はできないことを前提に議論する」「永久機関ができないことを科学の出発点とする」と考え、これに科学の ABC を適用しません。

これを明確に述べたのはドイツの物理学者マイヤー (Julius Robert von Mayer, 1814-1878) です。マイヤーは、エネルギーが無いところからエネルギーを生み出すことができない、という「エネルギー保存の法則」(エネルギー保存則) を提唱しました。

ここで、「保存」という言葉に注意してください。日常的な保存の意味とは区別して考えて欲しいと思います。時間が経過しても変わらない、という意味が「保存する」の意味です。

エネルギー保存則は、逆に、エネルギーが無くならないことも意味します。すなわち、エネルギーは相互に変換はするけれども、発生したり消滅したりはしないと考えられています。

12.4 エネルギーとは

皆さんは、エネルギーという言葉をごどのように理解しているでしょうか。例えば、どのような場合にエネルギーという言葉を使いますか？ここで思い浮かべてみてください。

おそらく、次のようなものを思い浮かべるとと思います。

- アニメなどに出てくる光線の攻撃兵器
 - － アニメ「宇宙戦艦ヤマト」の「波動砲」
 - － 漫画「ドラゴンボール」の「かめはめ波」や「元気玉」
- 発電するための（あるいは動力源としての）燃料
 - － アニメでの台詞「エネルギー充填 100%」「エネルギー残料がゼロ」
 - － 新聞などで報道される「エネルギー問題」
よく私達の社会では、「エネルギー問題」という言葉を使います。「エネルギー問題」という言葉を使う場合には、火力発電所で使われる化石燃料や、原子力発電所で使われるウランの供給が安定しないという問題を意味しています。
- ダイエットなどに関連して、「運動してエネルギーを消費する」といった生物学的表現

このように、エネルギーという言葉を考えて、なんとなくその雰囲気はつかめるものの、そのしっかりとした実体はわかりません。「エネルギー」という言葉は物理学用語です。その物理学の中でも、「エネルギーとは何か」を定義するためには、そのためのいくつかの基礎的な知識を前提にしなければなりません。そこで、ここではとりあえず、「ものを温めることができる能力」をエネルギーとします。

それでは、早速、エネルギーにどのようなものがあるかを考えるために、ものを温めることを考えてみましょう。水 2 リットルがここにあったとします。この水を温める、つまり、温度をあげるにはどのようにしたらいいでしょうか。どのような方法が考えられるでしょうか。どのような「もの」にそのような能力があるでしょうか。

1. 運動エネルギー
2. 位置エネルギー
3. 電磁エネルギー
4. 電気によるエネルギー
5. 化学エネルギー
6. 原子力（あるいは核エネルギー）
7. 太陽エネルギー
8. 内部エネルギー（あるいは熱エネルギー）

ここで、エネルギーについて注意しておきたいことがあります。発電について述べたことから、エネルギーは相互に変換することがわかります。核エネルギーが太陽を加熱し、熱エネルギーとなります。熱エネルギーは太陽を光らせ、電磁エネルギーとなります。それが電波や光となって地球に届き、光合成によって（燃えない）二酸化炭素と水を、酸素と炭水化物（燃えるもの）に化学変化させます。化学エネルギーになった訳です。遠い昔にそのようにしてできた物質が石油や石炭とな

ります。火力発電所ではこれらを燃やして水を温めます。化学エネルギーを内部エネルギーにしていることに対応します。そして、水が激しく沸騰すると、発生した水蒸気を勢いよく吹き出させることでタービンと呼ばれる装置を回転させます。水蒸気の内部エネルギーは運動エネルギーとなっており、さらにタービンの回転の運動エネルギーになります。回転の運動エネルギーは、発電機を通して電気のエネルギーとなり、家庭まで配られます。家庭では電気を使って電子レンジを使って電気のエネルギーを電磁エネルギーに変え、電磁エネルギーで水を温めたりします。

また、太陽光線によって地表付近が温められると、地表付近の水蒸気が蒸発します。それは雲を作り、雨となって降り注ぎ、川を作ります。それはダムでせき止められます。低いところにあった水が、太陽エネルギーによって高いところに持ち上げられ、位置エネルギーとなった訳です。ダムでは、水を落とすことでタービンを回して発電します。このように、エネルギーは様々な形をとりますし、また、相互に変換することができます。

12.5 原子のエネルギー

私たちの生活は電気で成り立っていること、そして、電力は無尽蔵に作り出すことができないこと、さらに、人類が活用しているエネルギーの源は太陽であることを勉強してきました。そうであれば、地上に小さな太陽を作れば膨大なエネルギーが手に入るのではないか。そういう発想はありえると思います。

ところで、ガリレオが示してくれた科学の ABC の考え方は、科学と技術の発展にとっても有効でした。それだけではありません。科学の発展は技術を向上させ、技術の向上は科学を発展させます。正のフィードバックが作用して、加速度的に進展するようになっています。もはや、科学者一人のがんばりとか、技術者一人のアイデアとか、そのようなレベルの話ではなくなっています。これは、エネルギーについても言えます。本当の意味で、地上でそれを実現することはできません。しかし、人類は、太陽のエネルギーの源である原子のエネルギー（原子力）を活用し始めています。

原子力にもいくつか種類があります。とりあえず、ウランの核分裂反応による原子力についてお話ししましょう。採掘される鉱石には、ウランが含まれるものがあります。ウランの中でもウラン 235 と呼ばれる原子は、特別な性質があります。中性子という粒子をウラン 235 の原子核に衝突させると、ウラン 235 原子はいくつかの断片（破片）に分裂します。分裂した時に、断片は、勢いよく飛び出すので、熱エネルギーが発生します。また、断片のいくつか（2～3 個程度）は中性子です。

すると、どんなことが起こるでしょうか。ウラン 235 が集まったところでは、原子が分裂すると、中性子が発生し、その中性子が、他の原子に衝突してその原子が分裂します。1 回の分裂で、例えば 2 個の中性子が発生し、それが 2 個の原子に当たって 2 個の原子が分裂し、それぞれの原子から 2 個の中性子が発生したとすると...、ねずみ算的に原子核が分裂します。

原子核が分裂する反応を核分裂反応といいます。そして、このように連鎖的に起こる反応を連鎖反応（チェーンリアクション）といいます。原子力エネルギーは、これにいくつかの工夫を加えて、一気に連鎖反応を起こすのではなく、連鎖反応を「コントロール」して一定の割合で発熱するようにしたものです。

現在、人間が原子のエネルギーを利用するには理由があります。それは、わずかな資源で膨大な発電ができるために、コストが安いと信じられているからです。もしも、ウラン 235 の原子のエネルギーをすべて発電に使えたとしましょう。すると、東京電力の 1 日の発電量は、30kg の 235 U の核分裂でまかなえます。化石燃料 30kg（例えばガソリン 40 リットル）は、自動車 1 台で、1 日走れば使いきってしまう分量です。ところが、ウランならば、同じ質量で、東京近郊の全ての電力をまかなえるほどの膨大なエネルギーを提供できるのです。

12.6 光に伴う影

ここまでの話では、原子のエネルギーがいかに膨大であるか、という話を書きました。しかし、すべての物事がそうであるように、利点（メリット、光）もあれば、欠点（デメリット、影）もあります。原子のエネルギーの場合の影は何でしょうか。

12.6.1 原子爆弾

原子のエネルギーは膨大です。また、ねずみ算的に連鎖反応が進むと、そのエネルギーが一気に解放されます。これを実現したものが、原子爆弾（原爆、核兵器）です。戦争の兵器として利用されると甚大な被害が発生します。実際、膨大な原子のエネルギーを人類が最初に活用したのは、兵器としてでした。

イタリア・ドイツが降伏し、日本だけが世界を相手に戦いつづけた第二次世界大戦末期の 1945 年 8 月 6 日午前 8 時 15 分、広島市上空を飛行していたアメリカの爆撃機エノラ・ゲイは、「リトルボーイ」と呼ばれた 1 発の爆弾を投下しました。人類史上初の原爆投下です。この 1 発の原爆によって、人口およそ 35 万人のうち、数ヶ月で 10 万人程度の人が亡くなったと考えられています。広島市は壊滅しました。同年 8 月 9 日、午前 11 時 02 分、「ファットマン」と呼ばれた 1 発の原爆が、長崎に投下されました。およそ 24 万人の長崎市民のうち、7 万数千人が亡くなったと考えられています。長崎市も壊滅です。

現在、主にアメリカとロシアが保有する核兵器は、世界を何千回も壊滅させることができるとも言われています。なお、原発と原爆は無縁ではありません。原発を運用することによって発生する物質（プルトニウム）は、原爆の原料となります。日本に核兵器はありません。しかし、日本はプルトニウムを大量に保有しています。

12.6.2 放射線

原子力の特徴は、エネルギーの大きさだけではありません。原子核が壊れた結果、中性子が出ることはお話ししました。ところが、それ以外の原子核の破片のほとんどは、放射線を出します。放射線は、人体に影響を与えます。

放射線にもいろいろな種類があります。人体への影響の与え方も様々です。しかし、共通していることは、身体を構成している物質の分子構造を破壊することです。放射線は、いわば、分子レベルの弾丸です。目に見えないほど小さな鉄砲の玉が、身体を突き抜けていることを想像してください。その鉄砲玉によって分子が破壊されるということは、身体の中に身体を構成していた物質とは別の物質ができるということです。特に、DNA が破壊されると、影響は大きいです。人間の身体は細胞分裂で新陳代謝を繰り返しますが、その細胞分裂ができなくなります。また、できたとしてもガンになる可能性が高まります。

広島・長崎の原爆で被災した人は、たとえ被爆直後に生きのびたとしても、放射線の被害に苦しむことになりました。また、1999 年に発生した茨城県東海村の JOC 臨界事故では、大量の放射線を浴びた作業員が、悲惨な形で亡くなることになりました。

そして、福島第一原発の事故では、大量の放射線を出す物質の拡散によって、今でも立ち入りが禁止されている区域があります。農産物・水産物などが売れなくなり、多くの人々の生活の糧を奪いました。原発周辺の病院から、急遽転院させられた方々は何人も亡くなることになりました。

12.7 おわりに

科学と技術は、正のフィードバックの関係にあるので、放置しておくとも、加速度的に進展していくことをお話しました。70年以上前の時点で、既に、人類を絶滅させることができる技術を人間は手に入れていたのです。それが原爆です。今後、原爆が使われるかどうか、それは、原爆を保有する国々の判断にかかっています。

それでは、国の判断とはどのようなものでしょうか。今度は原発（原子力発電）について述べてみましょう。

第2次世界大戦後、日本が経済成長をするために、電力が必要でした。黒部ダムが作られたのも、そのような背景があります。しかし、水力発電では不足、他のエネルギー源として、石炭・石油による火力発電にシフトしていきます。中東からの石油だけに依存しないために、他の発電手段として原子力発電に期待が高まります。日本政府は、「原子力の平和利用」と銘打ち、国の政策として原子力発電を推進しました。

一方、物理学者高木仁三郎をはじめ多くの人々は、その危険性を指摘し、原子力発電に反対しました。その後、海外では、アメリカのスリーマイル島で、ソ連のウクライナではチェルノブイリで、大きな原発事故が発生しました。日本では、スリーマイル島やチェルノブイリのような事故は、決して起こらない、と、国は言い続けました。

残念ながら、事故が起こらない、とする国の判断は、誤りでした。2011年3月11日の震災で、残念ながら事故は現実のものとなってしまいました。福島県には、私たちが住めない領域があります。それでも現在の政府は原子力発電を今後も継続するつもりでいます。それは経済効果があると考えているからです。

それでは、原子力発電の今後はどうすべきでしょうか。そのためには、国が判断を誤る例を、ナチスドイツに、また、福島第一原発事故から教訓として学ぶべきではないでしょうか。

しかし、それでは、その教訓とはどのような教訓でしょうか。