

## 5年後の日本の電力

2011年の福島第一原子力発電所の事故以来、日本では原子力発電所に対する反対の世論が強くなりました。実際、2014年の夏時点で、原子力発電所は一基も稼働していません。原子力で発電していた分は、主に火力発電で代替しています。そのため、日本の二酸化炭素の排出量は大幅に増加しました。思い起こせば、原子力発電所の事故以前は、温暖化ガスである二酸化炭素の排出削減が世の話題の中心でした。今からちょうど5年前にあたる2009年の国連気候変動首脳会合において、鳩山由紀夫首相（当時）は2020年までに温暖化ガス排出を1990年比で25%削減すると約束しました。今から5年後といえ、その2020年の前年に当たります。その5年後の日本の電力事情はどうなっているのでしょうか。

人間は、遠い未来を正確に予測することはできません。天気予報ですら長期予報は不可能です。しかしながら、自然の摂理に反することは起きないという予測ならば確実にできます。ところが、この世の中には、科学の法則に反することが実現できるかのように語る大人がたくさんいます。科学技術が進歩すれば、自然エネルギーで原子力や火力を代替できるようになるという意見はその一つです。細川護熙元首相、小泉純一郎元首相、菅直元首相といった複数の首相経験者が、この意見を積極的に発信していることはよく知られています。私は、理系の高校生ならば嘘である見破れることを、元首相ともあろう人が公衆を前にして堂々と主張しているのを見ると、同じ日本人としてとても恥ずかしく思います。この論文では、5年後の日本において、水力を除く自然エネルギーは大きな電力源にはなっておらず、その発電量は水力の半分にも満たないだろうと予測し、その予測の根拠を私が高校で習っている物理と化学の知識を使って説明しようと思います。

日本で一番使われている自然エネルギーは水力で、日本の電力の約10%を生み出しています。水力発電のエネルギーは、例えば $1\text{m}^3$ （立方メートル）の水を100mの高さから落とすことを考えると、高校の物理の授業で習った位置エネルギーで求めることができます。位置エネルギーは質量と重力加速度と高さの積で与えられます。 $1\text{m}^3$ の水の質量は1000kgなので、重力加速度を $10\text{m}/\text{秒}^2$ と近似すると、そのエネルギーは

$$1000\text{kg} \times 10\text{m}/\text{秒}^2 \times 100\text{m} = 1\text{MJ} \text{ (メガジュール)}$$

と算出できます。ちなみに、M(メガ)はK(キロ)の1000倍、つまり100万倍を表します。

では、この水力発電と比べて、他の自然エネルギーはどの程度の規模になるのでしょうか。まず、潮の干満を使った発電を考えてみます。潮の干満にどの程度の高低差があるかは場所によって変わりますが、日本でも高いところで5mぐらいに達するところがあるそうです。しかし、こうした恵まれた場所で潮力発電しても、高低差はダムの20分の1にしかなりません。上で述べた通り、位置エネルギーは高さに比例しますから、同じ $1\text{m}^3$ の水

では0.05MJしかエネルギーを生み出せないこととなります。つまり、100m級のダムと同規模の発電をするには20倍の水とタービンが必要になるわけです。

次に風力発電について考えてみます。風力発電の場合は、位置エネルギーではなく運動エネルギーを考えると、取り出せるエネルギーの量が計算できます。これも高校の物理の基本的な知識ですが、運動エネルギーは質量と速度の二乗の積を2で割った量になります。一方、 $1\text{m}^3$ の空気の質量は、高校の化学で習いました。1mol(モル)が22.4L(リットル)で、窒素は1molの質量が28g、酸素は32gです。さらに、これは小学生でも知っていると思いますが、空気には窒素が約8割、酸素が約2割含まれます。これらの知識を使うと、22.4Lの空気が約29gであることが分かるので、 $1\text{m}^3(1000\text{L})$ の空気の質量は

$$29\text{g/mol} \times (1000\text{L} \div 22.4\text{L/mol}) = 1300\text{g}$$

となります。これを使って、 $1\text{m}^2$ (平方メートル)に風速5m/秒の風が1時間吹く場合のエネルギーの総量を考えてみます。 $1\text{m}^2$ に1時間吹き付ける空気の総質量は

$$1\text{m}^2 \times 5\text{m/秒} \times 3600\text{秒} \times 1.3\text{kg/m}^3 = 23400\text{kg}$$

と近似できます。風速10m/秒なら、その倍の46800kgとなります。これを運動エネルギーの式に代入すると、風速5m/秒の場合

$$23400\text{kg} \times (5\text{m/秒})^2 \div 2 = 292500\text{J} \approx 0.29\text{MJ}$$

となり、1時間風が休みなく吹いても $1\text{m}^3$ の水による高低差100mの水力発電に及ばないことが分かります。風速が2倍になると、運動エネルギーは空気の総質量が2倍、速度の2乗が4倍となり、両方の効果を合わせると8倍になります。ですから、10m/秒の強風が休みなく吹けば約2.3MJが発電できる計算になります。しかしながら、こうした好条件な場所はなかなかないでしょう。実際、内山洋司先生の書かれた「エネルギー工学と社会」(放送大学教育振興会)によると、実際の発電所の実績値でも、同じ電力量を発電するのに、風力発電所は水力発電所の約5倍の設置面積を要するそうです。

今、日本で最も注目されている自然エネルギーは太陽光発電です。この原理は、先生に聞いたところ、残念ながら高校の物理の範囲を超えているそうです。ただ、幸い私の家の屋根にはソーラーパネルが設置されています。ですから、その発電の様子を観察すれば、高校生の私にも理解できることはあります。私の家にソーラーパネルが設置されたのは9年前ですから、太陽光発電がブームになるよりずっと前のことです。発電容量は4.3kW(キロワット)で、これは標準的な規模だそうです。当時の価格は230万円だったと両親から聞きました。現在ならば、同じ規模の施設が160万円~170万円ぐらいで設置できるそうです。家の中には、ソーラーパネルの発電量の実績値を示すモニタ

ーが設置されています。それを見ると、これまで9年間で累積36000kW時(キロワット時)発電したと記録されています。1年間に換算すると4000kW時となります。ちなみに、先ほど出てきたエネルギーの単位はJ(ジュール)ですが、これとkW時の関係も高校で習います。1W(ワット)は1V(ボルト)の電圧で1A(アンペア)の電流を流した時の電力です。この電力を1秒間持続するのに必要なエネルギーが1Jです。1kW時は1kWの電力を1時間持続するのに必要なエネルギーということになります。1時間は3600秒なので、

$$1\text{W時} = 3600\text{J} = 3.6\text{kJ}$$

$$1\text{kW時} = 3600\text{kJ} = 3.6\text{MJ}$$

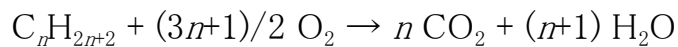
となります。

さて、我が家の実績値をもとに、太陽光発電普及の効果を算出してみることにしましょう。私の家で発電しているのと同じ発電量が、菅元首相が語った1000万戸で生み出されるようになったとします。すると、その発電総量は年間400億kW時になることは単純な掛け算で求められます。一方、現在の日本の発電総量は約1兆kW時だそうです。よって、1000万戸にソーラーパネルを設置しても、日本で消費する電力量の約4%しか発電できないこととなります。ちなみに、1000万世帯に太陽光発電設備を設置するのにかかる費用は、現在価格の160万円～170万円を当てはめても、16兆円～17兆円になります。これは東日本大震災の被害総額に匹敵する莫大な金額です。ちなみに、あるテレビの討論番組で、自称経済ジャーナリストのある女性が、菅元首相の掲げた太陽光1000万世帯設置はたった20億円でできると堂々と語っていました。さらに、その討論に出演していた多数の学者や評論家のうち、誰一人としてその間違いに気づくことはありませんでした。小学校の算数もできない人が、学者を名乗ってテレビに出演できるなんて、日本のテレビ番組のレベルは本当に低いとあらためて実感させられた瞬間でした。

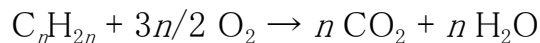
なお、前出の「エネルギー工学と社会」(放送大学教育振興会)によると、同じ電力量を発電するのに、太陽光発電所も風力発電所と同程度、つまり水力発電所の約5倍の設置面積を要するそうです。水力発電をするためにダムを建設する時はみな自然破壊だと騒ぐのに、風力発電所や太陽光発電所を建設する時は自然破壊だと騒ぐ人が少ないのがとても不思議です。私は登山が趣味なのですが、最近登山口まで行く途中で、野山を切り崩してソーラーパネルを大量に設置している光景をしばしば目にするようになりました。今後、こうした場所がもっと増えると、流石に太陽光発電による自然破壊を問題にする声も出てくるかもしれません。

このように、高校の理科の知識を使って具体的に計算すると、自然エネルギーはどの方式も大量の自然破壊なくしては大きなエネルギーは生み出せないことが分かります。そのため、原子力発電を止めた今、ほとんどの電力を火力発電で賄っているのが日本

の現実です。では、なぜ火力は大きなエネルギーを生み出すことができるのでしょうか。これも、高校の理科で習った知識で説明がつきます。たとえば、重油を燃焼する火力発電について考えてみましょう。重油は炭化水素です。この燃焼の化学反応式は



となります。なお、ここで重油の炭素数  $n$  は20前後かそれ以上です。 $n$  が十分大きいとき、上の式は



と近似できます。この反応で得られるエネルギーは結合エネルギーから求めることができます。結合エネルギーは同じ結合でも分子構造によってこととなりますが、ここでは以下の平均的な数値を使って計算してみます。まず、燃焼前の結合エネルギーですが、これは

$$\text{C-C 結合: } 347\text{kJ/mol} \times n = 347n \text{ kJ/mol}$$

$$\text{C-H 結合: } 394\text{kJ/mol} \times 2n = 788n \text{ kJ/mol}$$

$$\text{O=O 結合: } 494\text{kJ/mol} \times 1.5n = 741n \text{ kJ/mol}$$

で与えられます。一方、燃焼後の結合エネルギーは

$$\text{C=O 結合: } 804\text{kJ/mol} \times 2n = 1608n \text{ kJ/mol}$$

$$\text{O-H 結合: } 463\text{kJ/mol} \times 2n = 926n \text{ kJ/mol}$$

となります。よって、燃焼前の結合エネルギーの総和は  $1876n \text{ kJ/mol}$ 、燃焼後の結合エネルギーの総和は  $2534n \text{ kJ/mol}$  となり、燃焼熱は

$$2534n \text{ kJ/mol} - 1876n \text{ kJ/mol} = 658n \text{ kJ/mol}$$

と計算されます。 $C_nH_{2n}$  分子 1mol は  $14n \text{ g}$  であることを使って、1molあたりのエネルギーから1gあたりのエネルギーに換算すると、 $47\text{kJ/g}$  となります。さらに、重油の比重が0.83 ( $1\text{m}^3$ が830kg) であることを使うと、 $1\text{m}^3$ のエネルギーが39000MJにもなることが分かります。実に100m級のダムと同じ体積 $1\text{m}^3$ の水の落下で得られるエネルギーの39000倍です。こうして比較すると、化学エネルギーは物理エネルギーよりも遥かに大きいことが実感できます。

ちなみに、ここでの議論は、一部を除いて、エネルギー変換効率が100%であることを仮定して計算をしました。流石に高校生の私には、変換効率を含めた議論をすることはできません。ただ、高校生の私にも次のことは断言できます。それは、自然エネルギー開発にもっと研究費をつぎ込んでイノベーションを起こせば自然エネルギーを主力の電源にできるという主張は間違いであるということです。私たちが高校の理科で習う大事な法則にエネルギー保存則があります。これは、無から有を作ることにはできないというごく常識的な話です。いくら研究開発を進めても、それで達成できるのは変換効率の向上だけです。当然ながら、いくら研究費を積んでもエネルギー保存則は破れません。変換効率が100%でも厳しい自然エネルギーの研究開発に多額の研究予算を注ぎ込むという発想が、理系の私には全く理解できません。

以上、高校で習う理科の知識をもとに、5年後の日本において、自然エネルギーは電力源としてのシェアは大きく伸びていないという予測をしました。最後にもう1点、蛇足かもしれませんが、次の予想もしておきたいと思います。それは、今自然エネルギー礼賛をしている大人たちは、5年後それが失敗に終わっていても、何の反省もしていないだろうということです。最近の大人を見ていると、自分の間違いについて反省できる人は、本当に少ないと思うことがしばしばです。数年前、ある大学の教授が、テレビで1ドル50円になると言っていました。しかし、現実にはそれと反対の方向に為替レートは動きました。にもかかわらず、彼女は何の反省もなくテレビに出続け、相変わらず上から目線で他人の批判ばかり繰り返しています。そういう姿を見ると、そんな先生の授業を受けるために、わざわざ苦労して大学に行く意味があるのだろうかと思ってしまうことがあります。もちろん、実際はそんな先生ばかりではないでしょう。今はそう信じて勉強するしかありません。5年後といえば、大学生生活も終盤を迎える時期です。その頃には、私の期待が裏切られずにすむのか、あるいは裏切られるのかもはっきりしていることでしょう。そのどちらに転ぶのかについては、あえて今は予想しないで、この論文を締めくくることにします。