

## 水主火従から火主水従・火原主水従へ、その次は自然主？ 自然エネルギーは基幹エネルギーになれるかについての考察

2013/3/24

石井正則

### はじめに

東日本大震災以降、脱原発の切り札と自然エネルギーが一層脚光をあびている。

考えてみると人類は自然に存在するエネルギーを太古から利用してきた。電気が使われるようになってからは、水力発電が行われるようになったが、明治 24 年に設けられた琵琶湖疏水を利用した蹴上発電所は世界最初の営業用水力発電施設だそうである。筆者が小学校の頃（昭和 20 年代）、日本の電力は水主火従と教えられた。敗戦で焼土となった国土ではあるが、「国破れて山河あり」「水は清き故郷」、豊富な水力が復興の原動力であった。

戦後の復興が進むにつれ電力需要が増大する一方、経済的な水力の開発地点が減少、1960 年頃に水火逆転、火主水従に、更に原子力が台頭、資源の先行きが心配される化石燃料を補完するエネルギーとなった。

昨今の脱原発、自然エネルギー崇拜は、自然エネルギーに再登場願う回帰現象とみることもできる。そう思うと、なぜ水力が一定の限界以上に伸ばすことができなくなったのか、需要が格段に増大している今日、期待に応えられる自然エネルギーがあるのかが気になるところである。

太陽エネルギーは膨大なので資源は十分あると思われる。そこで、どのくらいあるのか、どのくらい利用できるのかを考えてみた。太陽エネルギーは希薄さから大きな面積と、間歇性を補うため大きなバックアップ電源が必要となる。太陽光を最大限使用しようとする、設備の設置面積とバックアップ電源がネックとなり、基幹電源にはなり得ないことを明らかにした。

なお、ここでは太陽エネルギーの性質のみに着目し、実用化では重要な要素であるが、経済性や技術的な観点は検討から除外した。また地球環境への影響も懸念されるが、ここでは指摘のみにとどめた。

### 太陽からのエネルギーと地中のエネルギーはどのくらいあるのか？

自然エネルギーには水力、太陽エネルギー、風力、バイオ、地熱などがある。これらの内、地熱は地球内部のエネルギーであるが、他はほぼ太陽からの入射エネルギーがその源である。

太陽の入射エネルギーは地球の位置（太陽と地球の距離を半径とする球面）では  $1.37\text{kW}/\text{m}^2$  であり、これは太陽定数と呼ばれる。地球全体ではこの値に地球の断面積（ $\pi \times$  地球の半径  $r$  ( $6.37 \times 10^6\text{m}$ )<sup>2</sup>) を掛けた値、 $1.75 \times 10^{14}\text{kW}$  で、地球への全入射エネルギーである。（末尾の図参照）

太陽からの入射エネルギーは大気中や地表で反射、散乱し、あるいは地表（地面・水面）

に吸収、温度の上昇や水の蒸発などに使われ、地球の大気・水の循環や気候など、地球の環境を一定に保っている。結局地球表面に届くのはこの半分程度<sup>iii</sup>で、約  $8.8 \times 10^{13}$  kW である。

一方、地球の内部エネルギーは  $4.2 \times 10^{10}$  kW 程度であり、太陽からのエネルギーがいかに大きいかが分かる。

従ってここでは太陽エネルギーのみを考えることにする。

地球の表面 1 平方メートル当たりでは、地表入射エネルギーの総量  $8.8 \times 10^{13}$  kW を地球の表面積 ( $4 \times \pi \times r^2$ ) で割った値で、 $0.17 \text{ kW/m}^2$ 。これが地表で受けることができる太陽エネルギーの季節や時間、場所などを平均した値である。

### 太陽エネルギーはどの程度利用できるか？

太陽エネルギーがどの程度利用可能かを考えるに当たり、どの程度の面積で太陽エネルギーを収集できるかの目安として、多くの方がイメージしやすい山手線内側と日本最大の平野である関東平野<sup>iv</sup>を例として検討してみた。

地表に届く太陽の入射エネルギー ( $0.17 \text{ kW/m}^2$ ) に山手線の内側面積 ( $63 \text{ km}^2$ ) を掛けると  $1.07 \times 10^7 \text{ kW}$  (1070 万 kW) となる。太陽エネルギーから電気エネルギーへの変換効率を 15% とすると約 160 万 kW。

一方、関東平野 ( $17,000 \text{ km}^2$ ) だと太陽光発電量は約 4.3 億 kW。

ここで用いた地表入射エネルギーは地球表面全体の場所と時間の平均値なので、緯度による差はあるが、極端に高い場所 (赤道直下) でも低い場所 (北極圏や南極圏) でもないので、ここでは無視した。時間的にみれば一日の平均と考えてよい。

よく太陽光発電 100 万 kW の敷地面積の例として山手線内側が言われるが、緯度の他様々な前提条件の差にもよると思われる。

これらの値は、山手線の内側にしても関東平野にしても、地表に届く太陽からの入射エネルギーすべてに太陽光発電の発電効率を掛けたものである。従って発電パネルは地表面に敷き詰めないと得られない。太陽からの入射エネルギーが 100% 電気に変換されるわけではないにしても、パネルの下は入射エネルギー (太陽エネルギー) の届かない闇の世界となろう。このような使い方では、照明やエアコンがないと人の活動ができないばかりでなく、太陽エネルギーによる大気と水循環、気温や気候の維持にも影響がでよう。従ってこんな利用はできない。あくまで仮定として設定したものである。

仮に日本全体で関東平野の 1 割が限度とすれば 4300 万 kW。年間の発電量は約 3800 億 kWh。日本の年間発電量約 10000 億 kWh の 40% になる。関東平野の 1 割、 $1700 \text{ km}^2$  といえば、埼玉県の平地面積の約 7 割、東京都や神奈川県の平地面積より大きい。これだけの土地を太陽光発電に使用できるとは思えない。

ちょっとまって！昼しか発電しないのにそんなに発電できるの？

この計算のベースは太陽定数を地球の全表面積で割った、地表面  $1\text{ m}^2$  当たりの入射エネルギーに太陽光パネルの変換効率を掛けた数値だ。この値が意味するのは太陽光を受ける面（昼側）のみならず、反対側（夜側）も含めた一日の平均である。年間の発電量は更に日照量など設置条件によって影響を受ける。地軸の太陽面と傾きの影響も平均される。そこで、年間平均 4300 万 kW の発電能力を確保するために必要な定格出力（最大発電能力）を年間の設備利用率から逆算してみた。

日本における年間の太陽光発電の発電量は地域や年により差があるものの、設備量 1kW 当たり平均約 1000kWh/年とされている。設備量と同じ 1kW を年間継続的に出力できれば発電量は約 8800kWh/年になる。これから逆算すると年間の設備利用率は 11.4%となる。一方、資源エネルギー庁資料では 12%としており、この検討では 12%を用いた<sup>vi</sup>。

設備利用率を 12%とすると、4300 万 kW を平均的に出力するには、太陽光発電の設備容量（定格出力）は 4300 万 kW の約 8 倍の約 3.6 億 kW となる。

原子力発電の設備容量 5000 万 kW の 7 倍。こんなに太陽光に依存できるのだろうか？

太陽光に限らず風力も昼夜、日照、天候などに左右されるので、バックアップ電源が必要である。火力がバックアップの役割を果たすとすると、ほぼ設備容量と同じ程度（3.6 億 kW）のバックアップ設備が必要になる。これは現在の日本の全発電設備容量（約 2 億 kW）を超えるので、現実的ではない。

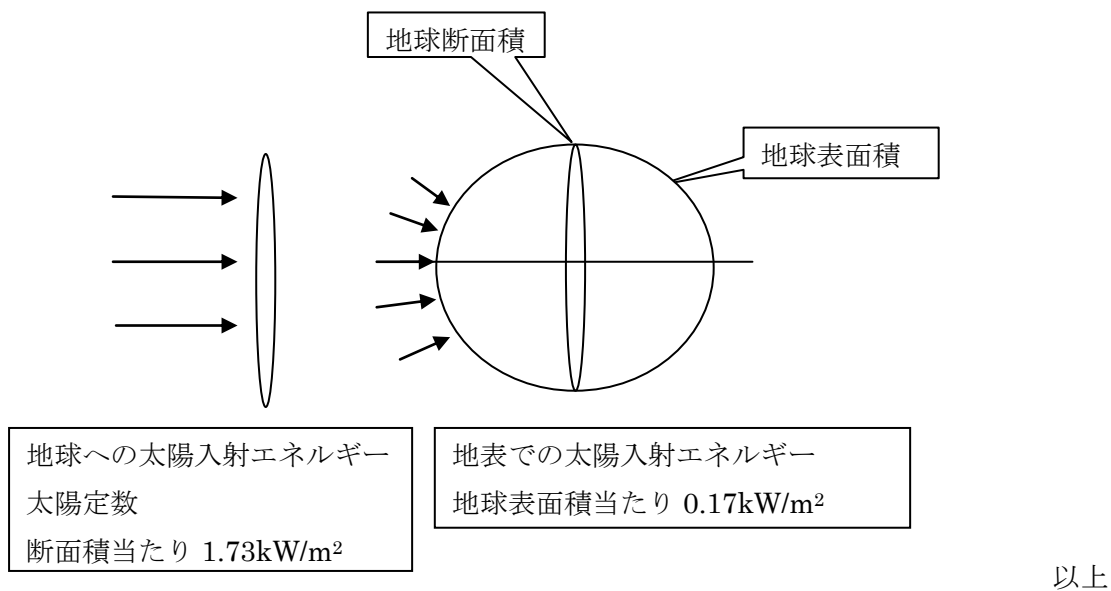
逆にバックアップ可能な設備容量を仮に 1 億 kW、太陽光発電の設備容量（定格出力）をこれと同じとすれば、太陽光の平均出力は 1200 万 kW となる。年間発電量は約 1050 億 kWh、約 10%の寄与率となる。この場合の面積は関東平野の約 1/37、約 460km<sup>2</sup>。

### これでは基幹エネルギーは無理・自然主は無理！

太陽から関東平野の 1 割の地表への入射エネルギーをすべて発電に使うという仮定した場合、得られる発電量を考察したところ、日本の年間発電量の 40%を供給することができるが、そのための設備容量は 3.4 億 kW。バックアップ電源を含めると現実離れた結果となった。仮に設備容量を 1 億 kW とすれば関東平野の 1/37、460km<sup>2</sup>（山手線内の面積約 7 倍）で日本の発電量の 10%程度の寄与率となる。設備容量として日本全体の約 1/2、そのうえほぼ同じ容量のバックアップ電源が必要。そのうえで寄与率が 10%では、依然として採用に踏み切るには「ちょっと待て」である。更に、この検討は当該地表面で利用可能な太陽入射エネルギーすべて利用するという前提である。現実にはこんな利用はできないであろうから、必要面積は更に広くなる。とても基幹電源になるとは思えない。

一方、大気や水の循環も太陽エネルギーが源である。太陽光を直接利用する地表面以外の太陽からの入射エネルギーで維持する必要がある。海水面など太陽光を発電に利用しない地表面が大きいので、マクロ的には余り影響を受けないかもしれないが、入射エネルギーを受ける陸地面積が減れば、局地的には何らかの環境影響を受ける可能性もある。とりわけ生活圏である陸上には影響がある。

経済性や技術的な面からの評価もさることながら、規模に本質的な限界があること理解する必要がある。



i 理科年表

ii 地球の半径 赤道半径  $6366$ 、極半径  $6356$ 、平均  $6366 \Rightarrow 6370$  kmとした

iii 雲（地球の  $30\%$ 程度雲で覆われている）や大気中のチリ、大気そのものによる反射や吸収で地表に届くのは約半分。地球でも吸収、反射するが、ここではすべてのエネルギーを利用するとした。因みに太陽からの入射の約  $30\%$ は反射されて宇宙に出てゆく（地球のアドベルト）。

iv 山手線内側面積は  $63\text{km}^2$ 、関東平野は  $17,000\text{km}^2$ 。関東平野の面積は日本最大。

v 埼玉県、神奈川県、東京都の可住地面積はそれぞれ  $2565$ 、 $1460$ 、 $1396\text{km}^2$ 。可住地面積=総面積－（林野面積＋主要湖沼面積）なので、これを平地面積とした。なお、林野面積は未開発の山林。可住地面積には農地や道路も含め、居住地に転用可能な既に開発された面積の総計（ウイキペディア、都道府県の面積一覧より）

vi 「絵でわかる自然エネルギー」御園生誠、小島巖、片岡俊郎、講談社、図 2.1.10。産総研ホームページ「統計データを活用して予測する」にも同様なデータがある。なお、資源エネルギー庁「再生エネルギー導入を巡る事実関係（平成 24 年 5 月）では設備利用率  $12\%$ とされている。