

なぜ、また再生可能エネルギーなのか？

「エネルギー問題と新・再生可能エネルギー」

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

新エネルギー・国際協力支援ユニット 新エネルギーグループ・マネージャー

研究理事（公共政策博士） 山口 馨氏

◆はじめに

本稿では前回に続き、再生可能エネルギーがなぜ再び脚光を浴びることになってきたのか—この問いに対し、過去一世紀から現代の話題に絞り、さらに具体的に探ってみましょう。

エネルギーの利用が人々の生活向上に大きく貢献してきたのは言うまでもありません。特に再生可能エネルギーである木炭から化石燃料である石炭へ、さらに石炭から石油への転換は「エネルギー革命」と呼ばれ、産業革命の原動力として科学技術だけでなく、生活や経済の向上に大きな役割を果たしてきました。経済の発展とともにエネルギーの消費は劇的に増え、一人当たりのエネルギー消費量がその国、あるいはその個人の富、生活の

質のパロメーターとなってきたと言っても過言ではないでしょう。

20世紀はエネルギーの中でも化石燃料や原子力の利用が生活の向上に貢献する一方で、場合によっては害ももたらされることが少しずつ知られるようになってきた時代です。これらのエネルギーの利用はどのような害をもたらしたのでしょうか。また、それがいかに再生可能エネルギーにかかわってきたのでしょうか。本稿では、過去一世紀の間に再生可能エネルギーの復権に大きな影響を及ぼした3つの問題、「エネルギー安全保障」、「地球温暖化」、ならびに「安全性」について振り返ってみます。

◆「過ぎたるは及ばざるが如し？」

—強まる化石燃料への依存と資源制約…エネルギー安全保障と国内資源の重要性

エネルギー安全保障が課題となる背景には「エネルギーへの依存」があります。産業革命はこのエネルギー依存の中でも化石燃料への依存を強めました。さらに木炭から石炭へ、石炭から石油へのエネルギー革命は、その資源の偏在性から「安価で豊富なエネルギー」という前提を少しずつ崩していきます。

使えるエネルギーがどこにでも豊富にあれば問題はありませんでした。

20世紀には「エネルギー安全保障」という課題がいつスポットライトを浴びてもおぼろしくない時代に突入しました。



薪や木炭はどの国にもありましたし、石炭も、薪や木炭ほどではないにせよ、まだ様々な国で産出されていました。ところが石油になると中東、米国など一部の国に偏在しています。その結果、経済発展が多量のエネルギー消費に依存するようになり、また、エネルギー革命によって世界的規模での貧富の格差、すなわち持てる国と持たざる国での経済的発展や安定で差が開き、資源を求める衝突が徐々に顕在化してきます。こうして20世紀には「エネルギー安全保障」という課題が、いつスポットライトを浴びてもおぼろしくない時代に突入しました。

エネルギー安全保障と言うと、1979年代の石油危機を想像する人も多いかもしれませんが。しかし、問題は半世紀以上も前から徐々に進行していたのです。特に日本においては偏在した石油資源への依存はすでに20世紀初頭から進行していて、第二次世界大戦の前には日本の石油輸入の

実に8割が米国に依存していました。第二次世界大戦前の米国による石油禁輸は、第二次世界大戦における日本の立場へ大きな影響を及ぼします。他にも戦争に直結するものとして、1990年の湾岸戦争と呼ばれるイラクによるクウェートの油田を求めた侵攻もあげられます。

これに比べれば、1973年に始まる石油危機は供給が途絶えたわけではなく、単に価格が上がっただけなのでまだまだましな方かもしれません。しかし、石炭から石油への転換が進み、石油の重要性が増していたことが災いしました。すなわち、第四次中東戦争に端を発した第一次石油危機では、原油の輸入価格が4倍となり、日本においては物価の異常な高騰をもたらしました。狂乱物価と呼ばれ、経済へのインパクトも大きく、1974年に戦後初めてのマイナス成長（GDP成長率マイナス1.2%）を記録しました。これに追い打ちをかけるように1979年にはイラン革命に始まる2度目の石油危機を受け、日本政府も本腰をあげて対応し始めます。

もし日本に石炭や天然ガスの資源が豊富であれば、第二次世界大戦や石油危機では違った未来があったかもしれません。現実には日本の化石燃料資源は非常に限定されているため、石炭や天然ガスなどの輸入促進、あるいは化石燃料以外の資源の開発しかありませんでし

た。実際、化石燃料に比べ少量の輸入ウランで長期間の供給を維持できることから、準国産エネルギーと位置づけられている原子力、そして地熱や太陽光、風力、海洋など、国産として位置づけられる再生可能エネルギーを開発することが重要になってきました。

こうした危機感には日本のみならず全世界的に共有され、1970年代半ばから1980年代前半にかけて、エネルギー源の多様化と化石燃料への依存を減らすべく、先進国を中心に再生可能エネルギーの開発が本格的に始まります。日本では、「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律」を1980年に制定、さらに現在の国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の前身である新エネルギー総合開発機構が設立され、「サンシャイン計画」と呼ばれる太陽光発電を中心とする新エネルギーの研究開発に国を挙げて取り組むこととなります。欧州でも、風力で有名なデンマークが風力発電の開発と普及に本格的に取り組みだしたのもこの頃です。米国でもバイオマス発電や風力発電が脚光を浴びることになります。「必要」は「発明の母」とも呼ばれますが、石油危機における石油代替エネルギーの「必要」はまさに「再生可能エネルギー復興の母」と言つてよいでしょう。

エネルギー安全保障への危機感が薄れる中でも、21世紀にかけては石油危機の経験を生かし、エネルギー源の多様化、特に電源の多様化が進み、天然ガスや原子力などもエネルギー源として大きな役割を担うようになってきました。1973年における日本の一次エネルギー(電気やガソリンなどに転換する前のエネルギー)における石油の割合が75・5%であったのに対し、2013年の割合は43・9%です。一般電気事業者(電力会社10社)の石油による発電量に至っては、1973年の75%から2013年には26%にまで下がっています。

なお、再生可能エネルギーの中でも、太陽光や風力は発電用途ですが、化石燃料に近い資源としてはバイオマスが特筆に値します。石炭・石油が化石燃料と呼ばれるゆえんは、これらが古代の植物が堆積したものに由来するからです。動植物など生物資源を英語でバイオマスと呼ぶことから、動植物を資源とする再生可能エネルギーをバイオマスエネルギーと称し、発電に用いる場合をバイオマス発電、液体燃料に用いる場合をバイオ燃料と呼びます。バイオ燃料はバイオエタノールやバイオディーゼルで有名ですが、明確なニーズと資源制約という環境があつた20世紀初頭からすでに研究されていました。

実際、石油から作られるガソリンやディーゼル油は輸送用燃料として大変重要な燃料ですが、これら燃料が普及していなかった時代では再生可能なバイオ燃料が使われることも

ありました。例えば自動車の大量生産に成功したヘンリー・フォードによる1919年製T型フォード車は、お酒と同じ成分からなるエタノールを燃料として使えるよう設計されていました。

また、第二次世界大戦中の日本軍が石油の代替燃料として注目したのがジャトロファ（ナシヨウ・アブラギリ）と呼ばれる植物の種子から採れる植物油でした。戦争が激化し、戦闘機の燃料が枯渇する中、当時占領下にあったインドネシアや台湾にこれを植え、現在バイオ燃料として注目を浴びている再生可能エネルギー（燃料）による石油代替の研究が戦中に進められたのも、こうした資源制約が動機でした。

バイオ燃料は現代の輸送用燃料にますます重要になってきています。石油危機以降、電力においては石炭、天然ガス、原子力、地熱、水力など他の代替手段が多様であるため、石油のシェアの下がり具合がより大きくなります。逆に言えば、石油の代替燃料であるバイオ燃料の重要性は、多様化が難しい分野にシフトすることになります。特に自動車や船舶、航空機などの輸送用燃料がこうした分野に相当します。実際、21世紀に入つてすぐ、2000年代初頭に原油価格の高騰が始まり2008年2月には\$100/バレルを突破しますが、1970年代のエネルギーセクター全体への影響と違い、輸送用燃料な

どに限定されるようになってきたのは大きな成果です。

一方、途上国・新興国等では電力も含めてはまだエネルギーの多様化が進んでいない国々がまだ多くあり、中でも輸送用燃料を含めて輸入に頼っている途上国では、石油価格高騰のダメージは大きくなります。

これらの国々においては、石油価格高騰の結果として石油製品の需要が少なくなる一方、一般的に代替製品があれればその競争力が増すことになります。代替製品がバイオ燃料など国内資源であればなおさらです。特に東南アジアの新興国であるフィリピン、タイ、インドネシアなどは農業国でもあり、前述のバイオ燃料の原料となる国内資源にも恵まれていたため、これらの資源を有効利用できるバイオ燃料ブームが起ります。これらの国々では原油や石油製品の輸入量が大きく、貿易収支の悪化とともに経済への影響が深刻だったのです。これに対抗する処方としての国産

バイオ燃料の原料となる国内資源にも恵まれていたため、これらの資源を有効利用できるバイオ燃料ブームが起ります。



バイオ燃料の普及には、貿易収支の改善以外にも、国内農業やバイオ燃料産業の育成など、エネルギー分野以外にも好影響が期待されました。2007年、フィリピンにて開催された第2回東アジアサミットでの主たるテーマも原油価格の高騰とこれへの対処であり、日本もこの会合において、アジアにおけるバイオ燃料を含むバイオマスエネルギー利用促進への援助を宣言しています。

このように2000年代初頭の石油価格の高騰はバイオ燃料が商業化される契機となり、アジアだけでなく欧州、米国、中南米でもバイオ燃料が広く普及するようになりました。が、問題も浮上します。バイオ燃料の中でも石油製品と競争できるのは、主として第一世代の技術と呼ばれるパーム椰子（バイオディーゼルの原料）やサトウキビ（バイオエタノールの原料）など広く食糧用の農作物を原料とするものに限られたため、これらの需要が増え、投機的要因も重なり、全世界、特に原料の生産国が多いアジアにおいて食糧価格の高騰を招きました。特に途上国の貧困層への経済的負担が大きな問題となり、批判にさらされたのです。原油価格の下落に加え、こうした批判もあり、現在では当時のブームは去りましたが、徐々に食糧との競合が少ない第二世代以降、すなわちセルロースと呼ばれる木質材料をも原料の選択肢として広く利用できる技術開発に向けた、研究開発や政策

努力が続けられています。

◆「笛吹けど踊らさず。」

―地球温暖化…エネルギー問題の新展開―未来の全地球的問題へ

1980年代の半ばにかけて「逆オイルショック」と呼ばれる原油価格をはじめとするエネルギー価格の急落とともに、日本においては「喉元過ぎて熱さを忘れた」ように70年代の狂乱は終わりを告げます。再び原油価格が上昇する21世紀の初めまでエネルギー価格を巡るエネルギー安全保障の議論はしばらく鳴りをひそめる一方、80年代終わり頃よりエネルギー利用に伴う新たな問題、すなわち地球温暖化をはじめとする環境問題が浮上してきます。

エネルギーの利用を原因とする環境問題は、石炭利用による煤煙や酸性雨、石油の流出による海洋汚染などが古くから問題となってきました。酸性雨は、石炭などの化石燃料の燃焼によって排出される硫酸化物や窒素酸化物が空気中の水蒸気と反応して、強い酸性の硝酸や硫酸に変化することが原因です。欧州や米国では広大な森林を立ち枯れにしました。煤煙も石炭の燃焼が主な原因です。ロンドンのスモッグが昔から有名ですが、最近で

は中国での煤煙による大気汚染がよく話題になります。これらの環境問題は発生源の周辺に集中するため、はっきりとした具体的な汚染として理解できません。

ところが、地球温暖化となると少々厄介で、長い間放置されてきました。なぜでしょう。またどうしてエネルギー問題なのでしょう。

地球温暖化とは地球の大気の温度が少しずつ上昇することと、これによる環境の変化がもたらす問題のことです。地球の大気の温度は地球が得る熱と失う熱の間の長年のバランスで保たれています。得る熱とは、太陽光として地球に入ってくることにより生成される熱と地球そのものが生成する熱があります。失われる熱とは、地球から宇宙空間に赤外線などの電磁波として放射され失われるエネルギーを指します。この熱の出入りの過程で、もし地球から放射され失われる熱が徐々に少なくなればバランスが崩れ、大気の温度が徐々に上昇すると予想されます。これが地球温暖化です。

地球から放射され失われる熱が少なくなるとはどういうことでしょうか。ここに化石燃料を使用することにより発生する二酸化炭素が登場します。宇宙空間に電磁波として放射される熱を二酸化炭素が一部遮ってしまうのです。

この現象は、1827年にさかのぼり、フランスの数学・物理学者で「フリーエ級数」

でも有名なジョゼフ・フーリエが温室効果として発表していました。また、1862年にはアイルランド出身のジョン・チンダルという物理学者が温室効果をもたらす気体として二酸化炭素、水蒸気やオゾン、メタンなどを発見し、これらの増加が地球温暖化をもたらす可能性を示唆しました。さらに1892年にはスウェーデンのノーベル化学賞受賞者スヴァンテ・アレニウスが、二酸化炭素濃度が2倍になると気温は5〜6度上がる可能性がある」と指摘しています。

しかし、その後20世紀に入っても温暖化を肌で感じられた期間が続いたわけではなく、一時は氷河期や「地球寒冷化」の可能性も議論されていました。本格的に関心を引き始めたのはチンダルやアレニウスが地球温暖化を指摘してから一世紀も経た1980年代、気温が上昇に転じ、暑さを肌で感じ始めてからです。本格的な学術研究が始まり、1988年には国連の主導で、地球温暖化に関する科学的知見の集積・発信センターとしてこれを各国政府間で協力、まとめるための政府間パネルと呼ばれる組織が設立されます。

さらに1992年にはブラジルのリオデジャネイロで環境と開発に関する国際連合会議（地球サミット）が開催され、この中で気候変動枠組条約が採択されるとともに、舞台は国際政治に移ります。本会議では「アジェンダ21」と呼ばれる行動計画の中で再生可能エ

エネルギーに言及、これを開発すべしと明記され、再生可能エネルギーが一国の安全保障のための手段から、地球温暖化を抑制するための手段として地球規模の利益に貢献することが共通認識となります。1997年には日本で開かれた地球温暖化防止会議にて「京都議定書」と呼ばれる二酸化炭素を主とする地球温暖化ガス削減の国際的枠組みが作られました。日本においても同年、再生可能エネルギーや省エネルギーにつながる現実的かつ新たな技術を「新エネルギー」と称し、これを政策的に促進する政策が出されました（「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法施行令」）。

しかし、地球温暖化に対して国際的に取り組むには大きな落とし穴があります。二酸化炭素の排出に対し、どの国がどの程度責任を負うのか、また、どの国や地域が被害をこうむるのかなどは、科学的根拠に基づき具体的な数字がはつきりしていません。一般論では賛成しても自分の国に負担のかかる各論には賛成しないという典型的な反応です。実際、この国際的枠組みには二酸化炭素の排出量の最も多い米国、中国などが参加しませんでした。また、現在においても国際的枠組みにおける合意には、科学的知見と政治が最も大きな障害となっています。

このように国や地域によって地球温暖化に対する対応に温度差がある中、酸性雨や煤煙による被害など環境問題で苦い経験をした欧州において、素早い反応が見られました。石油危機後の安全保障に関する危機感が薄れつつある1990年代、ドイツ、スペイン、デンマーク、イギリスなどではいち早く再生可能エネルギーの導入促進を加速させるべく、研究開発の段階から導入促進に誘導するため、様々な政策手段が取られるようになります。こうした市場への積極的な導入促進策の結果、最も熱心に進めていた欧州において、太陽光発電に比べ技術的ハードルが低い風力発電の急速な普及に続き、太陽光発電もドイツやスペインで徐々に普及し始めます。日本も家庭用太陽光発電への補助金政策が始まった1992年を契機に、太陽光発電に限れば世界の先陣を切って走り出します。

人間は何が起こるか分からない未来を割り引いて考える「くせ」があります。これは決して悪いことではなく、まだ見ぬ未来の危機より差し迫った危機を重要視する傾向の現れです。一方、未来のことは分からないから何もしないのではなく、危機が予想できるなら、なるべくその程度を把握し、危機に備えるようにするのは人の知恵でしょう。地震や津波に対する防災などはその典型です。エネルギー安全保障の問題が前者の「今そこにある危機」とすれば、地球温暖化は後者の「忍び寄る未来の危機」と言えるでしょう。

日本のエネルギー政策における対応を見てみると、エネルギー安全保障への対応が19

80年の「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律」に代表されるのに対し、これに相当する地球温暖化問題への対応は「石油代替」を「非化石」に置き換えた2009年の「非化石エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律」に代表されるでしょう。石油代替エネルギー法の場合は1973年に危機が発生してから制定まで約7年、非化石エネルギー法は1980年代末に問題が指摘され、1992年のリオにおける地球サミットや1997年の京都会議を経て法制定に至るまで20年近くかかっています（アレニウスが二酸化炭素濃度が上がれば気温が上がることを指摘してからは一世紀です）。「いま実際にある危機」とじわじわ忍び寄る「他人事かもしれない危機」の違いがよく出ています。吹かれた笛に導かれ踊っているのか、先に何が待っているのか、迷いつつもようやく歩き始めたと言えるかもしれません。

◆「天災は忘れた頃にやってくる?」

—日本における原子力発電の課題と高まる安全基準

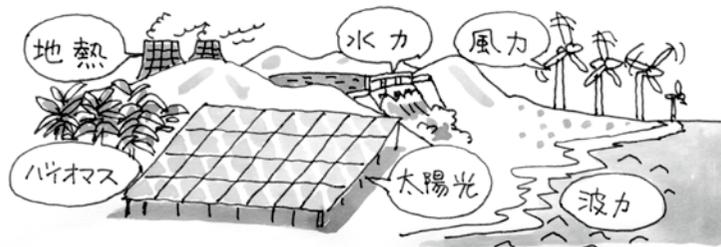
エネルギー安全保障と地球温暖化というエネルギー問題の観点からみれば、原子力は「問題」ではなく「解決策」です。エネルギー政策の土台としてこれを進めてきた日本のエネ

ルギー政策にとって、これらの問題は原子力を進める上での追い風でした。実際、2000年以降、欧米で再生可能エネルギーの導入が加速的に進む中、日本の再生可能エネルギーの導入量の伸びは欧米に比べ次第に鈍っていきます。

このような中、2011年の3月、東日本大震災における津波によって福島県で福島第一原子力発電所の事故が起こりました。1979年のスリーマイル島（米国）、1986年のチェルノブイリ（ロシア）に続く原子力発電の大きな事故になってしまいました。これまでエネルギー安全保障や地球温暖化からくる化石燃料の資源制約を追い風に、順風満帆で進んできた原子力発電に「安全性」という制約が重くのしかかってしまいます。地球温暖化が曖昧模糊とした将来の話であったのに対し、原子力の安全性とこれからくる電力不足は目の前の現実です。

世界的には、エネルギー安全保障と地球温暖化が再生可

エネルギー安全保障と地球温暖化が大きな再生可能エネルギー複権を支えた大波であった。



エネルギーの復権を支えた大波であったことは疑う余地はありません。しかし、日本において資源制約の中で再生可能エネルギーの重要性を決定的にしたのは、原子力という選択肢への制約です。実際、日本において、再生可能エネルギーへの期待が膨らむ中、爆発的に導入が進んだのは2012年に固定価格買取制度が導入されて以降です。

さて、この問題は将来の原子力発電や再生可能エネルギーにどのような影響を与えるのでしょうか。日本の将来のエネルギー・ミックスにおける6月現在の議論では2030年の電源構成において、原子力を20〜22%、再エネは22〜24%（太陽光7%、風力1.7%、バイオマス3.7〜4.6%、地熱1.0〜1.1%、水力8.8〜9.2%）としています。事故前で原子力が約3割、再生可能エネルギーでは水力以外は無視できる程度しかなかったのに対し、新しい計画では再生可能エネルギーは原子力とほぼ同じか、それを上回る量となることが期待されています。

◆まとめ：「一難去つてまた一難？」新たな挑戦

このように人類とエネルギーのかかわりは、エネルギーへのニーズ、持てる技術と利用できる資源の質と量との相互作用で進化してきましたと言えます。20世紀はその中でも化石燃料の資源制約が見えてきた中、資源制約の少ない再生可能エネルギーという古くからある

資源に対し、新しい技術が進化、登場しつつある過程と言えるかもしれません。当然再生可能エネルギーにも問題はあります。化石燃料や原子力の場合と同様、利用が進めば進むほど問題が大きくなっていきます。

次号（第4回）でも触れますが、例えば太陽光や風は自然の気まぐれでコントロールすることが困難であることがあげられます。このため、特に電力において、その出力が変動するという問題が生じます。現在の電力の送配電システムでは出力が安定していることが前提であり、これにより安定した電力供給を保っています。このシステムに再生可能エネルギーからの出力変動が加わると、大きな障害が発生する恐れがあります。

再生可能エネルギーに関しては発展途上の段階であり、今後様々な問題が予想されるものの、これまで述べた問題解決策として際立った利点を持つこと、また、技術がまだ発展段階にあることから、問題があっても技術によって解決できるかもしれないという特徴があります。

新たな資源と技術との葛藤の始まりと言えるかもしれませんが、エネルギー資源の制約に対して技術的解決があるのかあるいはニーズそのものが変わっていくのかエネルギー利用における次の時代に向けた進化の途上にあると言えるでしょう。

講師略歴

●山口 馨

(やまぐち かおる)

一般財団法人 日本エネルギー研究所
新エネルギー・国際協力支援ユニット
新エネルギーグループ・マネージャー
研究理事(公共政策博士)



1993年4月日本エネルギー経済研究所入所
国内外の再生可能エネルギー政策動向に関する調査・分析に従事し、情報発信を行う。IPCC再生可能エネルギー特別報告書(SRREN)の主執筆者の一人でもあり、世界の再生可能エネルギー動向をフォローしている。