

読者のページ

エネルギーパラダイムシフトへの挑戦

～太平洋光発電筏構想～

中央大学理工学部都市環境学科教授

國生 剛治 KOKUSHO Takaji

❖ 地球温暖化の因果論争と人類の責任

人類が自らの活動によって引き起こされる環境問題に目を向けだしたのは意外と古く、既に15世紀末にはレオナルド・ダ・ビンチが鉱山開発などにともなう環境破壊に警鐘を鳴らしていたとのことである。筆者が生きてきた1900年代半ばから現在までを振り返ると、終戦直後の石炭が石油へ切り替わった1960年代から、オイルショックにより資源問題にもっぱら関心が集中した1970年代を経て、地球環境についてのリオ宣言が出された1990年代まで、時代は大きく変化してきたことを実感する。これには、1980年代のソ連圏の崩壊と東西冷戦終結による核戦争の脅威の低下も大きく影響しているが、識者の間ではそれ以前から既に地球環境問題の重大さが認識されていたようである。

筆者はエネルギー関連の研究所に27年間勤め、将来型エネルギー施設の構想検討にも幾つか参画したこともあって、自分の専門領域であるエネルギー施設の防災問題のほか、常にエネルギー問題全般に関心を持ってきた。中でも、1978年に東大出版会から出された教養講座『エネルギーと人間』の中で、竹内均先生が「人類のエネルギー利用は資源問題よりも、環境問題によって限界を迎えるであろう」との論説に大いに啓発されたことを覚えている。

リオ宣言で地球環境問題が一躍世界の政治経済問題として登場してきて以来、特にCO₂を始めとする、いわゆる温室効果ガス排出による地球温暖化・気候変動・海面上昇・氷河後退などが関心事となっている。その後、京都会議を始め多くの参加国会議（COP）が積み重ねられ、

CO₂排出量削減目標の設定が話し合われてきた。当然のこととして発展途上国と先進国の立場や考え方の違いが大きな阻害要因となり、さらには最大排出国米国の離反により、デンマークのCOP15に至っても世界全体の削減目標設定には達していない。また、政府主導で1990年比25%もの削減目標を掲げた我が国においても、排出量削減どころか未だに増加し続けているのが現状である。

その一方で、科学者の世界では、地球温暖化・気候変動・海面上昇が本当にどの程度起きつつあるのか、それらがIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書のように本当に大気中のCO₂濃度の増加によって引き起こされているのか、などについての議論がにぎやかである。書店にはこの手の教養本が平積みになれ、インターネットでも多くの意見が飛び交っている。そこでは懐疑的な科学者から、現在の温暖化傾向の原因を大気中のCO₂濃度増加に結びつける科学的根拠の不足、さらには人間活動とは関係のない地球の気候変動サイクルの可能性などが主張されている。そして、科学者ならば十分確実な証拠がない段階で、温室効果ガス責任説に安易に同調すべきでないなどの意見が聞かれる。このような科学論争を聞いていて、関心が温暖化メカニズム論の正否にのみ向いていることに違和感を抱くのは筆者のみであろうか。

以前から薄々感じていたが、地球科学や地質系の専門家の中に現在の温暖化傾向を人間活動と結びつけることに疑問を呈する人が結構いるように見受ける。これは、自然現象を数千年数万年以上の地質学的時間スケールで捉えることを基本としている学問分野では、現在問題となっている気温・気候・海面水準の変化などは永い間に地球が何度も経験したものに比べて、決して特別なものではないと感じてしまうためではないだろうか。

20世紀末に亡くなった米国の著名な科学者カール・セーガンは、随筆集『Billions & Billions』で全体の1/4ほどを地球環境に当て、まさにこのような論争に対する意見を述べている。その骨子は「人類活動によるCO₂温室効果ガス）増大は、数千年数万年の長さで起きてきた過去の気候変化とは違い、百年程度の短期間に急速に起きていることが特徴であること、そのため地球の正のフィードバック機能が有効に作用せず重大な結果をもたらす可能性があること、しかし現時点でその確実な証拠を示すことは難しいこと、地球温暖化について確実な科学的根拠が示されていないからと言って化石燃料を使い続けることは、人類だけが地球上で特別な存在と考える傲慢であり、我々は次の世代のあらゆる生命に地球の生態系を

引き継いでいく責務がある」と要約される。

実際、地球上の生物が数億年という長年月の太陽エネルギーを溜め込んだ化石燃料（炭素化合物）の大半を、100～200年ほどで燃やし尽くすことの異常さは誰しも認めざるを得ない。この行為はすべてが解明されている訳ではない地球の微妙な気候調整メカニズムを攪乱し、人類を含む全ての生物の生存に何らかの脅威を与えずにはおかないであろうことは、通常の直感力を持った人なら細かい科学的証拠を積み重ねなくても予見できるであろう。つまり、地球的視野と道徳観を兼ね備えた人は、温暖化メカニズム論の正否以前に、もともと現在のエネルギー利用の不自然さに何らかの後ろめたさを感じているはずである。

勿論、実際の経済はこんな理想論で動くものではない。国際社会がCO₂濃度上昇を最近の温暖化の原因と認定し、その排出規制が政治経済問題となってきたからこそ、実利でしか動かない社会が動き出した。しかしもっと大きな視野で捉えれば、温暖化メカニズム論の正否に関わらず、化石燃料利用から早急に決別し、自然エネルギー循環の中に戻ることがこれからの人類が目指すべき方向であることは間違いなからう。

❖ エネルギーパラダイムシフトの可能性

地球環境問題が社会の前面で語られるようになった1980～1990年代には「Think globally, act locally」という標語が良く使われていた。最近あまり聞かれなくなったように思えるこの言葉は、正に環境問題の本質を表していると思う。実際、環境問題の専門家がそれをビジネスの対象としか見ず、私生活ではエネルギーを垂れ流して疑問に思わないケースを見かける。私自身にしても、なるべく電車・自転車利用・徒歩を心がけているものの、休日には大型車を乗り回しているし、パソコンや照明の無駄遣いなど、威張れたものではない。かといって、快適な生活に慣れた現代人が生活レベルを下げることは至難の業である。科学技術の進歩により可能となった最高のテクノロジーと英知を活用して、現在の生活水準の維持に足りるエネルギーを地球の自然エネルギーサイクルから分けてもらえない。その意味で、我が国でも小水力、風力や太陽光などの分散型エネルギーの普及が加速していることは素晴らしいことである。ただ、このような自然エネルギーは密度が低く時間的地域の変動も大きいため、エネルギー需要の根幹を担うまでにはなり得ないことも否定しようのない事実である。

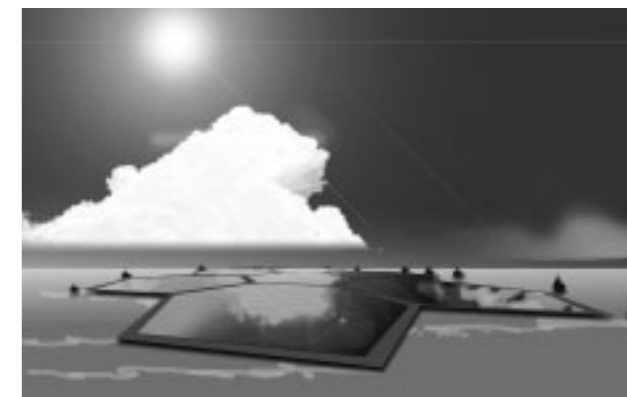


図1 太平洋光発電筏の構想図（日刊建設工業新聞作成）

その限界を打ち破り人類のエネルギーパラダイムシフトを引き起こす画期的構想として、筆者は昨年、以下のような提言をホームページに掲げた。また日刊建設工業新聞が図1に示すイラストとともに2009年6月16日に大きく特集記事として取り上げてくれた。

❖ 日本はエネルギー小国か？「ソーラーセル筏」の可能性

我が国はエネルギー資源を95%以上海外に依存するエネルギー小国であることは言うまでもない。それに対し、サウジアラビアを始め中近東諸国は石油資源の上に繁栄し、しかも将来の石油枯渇を見越して砂漠での太陽エネルギー利用技術の研究開発に向けて、着々と投資しているとも聞く。この数年、世界各国で太陽光発電の導入とソーラーセルの大量生産・効率アップが進められている。振り返って、我が国は国土が狭く、日照率などの点からも砂漠国のような大規模な太陽光発電は無理で、導入量には限りがあると諦めがちであるが、本当にそうだろうか。

我が国は砂漠こそないが、国土の前面は広く開けた公海が赤道はおろか南半球まで広がっている。これを利用して広大なソーラーセル筏を曳航した発電船団により、桁違いの規模で自然エネルギー利用ができる可能性があることに気がつくべきである。公海上を航行することは国際法上当然の権利であるから、航行しながら発電することも自由であると考えてよい。

障害物の無い海洋において、長さ数km四方の広大なソーラーセル筏により太陽光発電を行う。発電海域への行き帰りや荒天時には筏がコンパクトに折り畳める構造とする。気象衛星による長期気象予報の高い技術を活用し晴天で波浪の少ない海域を移動することにより、発電効率を飛躍的に上げることができる。その電気により無尽蔵にある海水の電気分解を行い、船内のタンクに水素エネルギーの形で蓄える。また、電気分解の際に得

られるレアメタルなど副産物の回収により経済性を向上させる。タンクに蓄えた水素は運搬船により本土の間をピストン輸送する。

このような構想が実現できれば、我が国の脱化石燃料化に大いに役立つと共に、CO₂排出量削減目標へ近づく一助にもなりうる。さらに、現在の危機的な経済状況の中で、我が国の内需拡大とグリーンビジネス育成に大いに役立つものとなる。もちろん、軽量薄型で簡易に折り畳めるソーラーセル筏の設計・作製、波浪への対策、海生生物の付着対策、他の船舶との衝突防止策などの課題は多々あるが、これらそれぞれの技術開発が大きなビジネスチャンスを生むことにもなる。この構想を実現するためには、エネルギー・資源・船舶・海洋土木分野は勿論、地球環境、海生生物、海洋気象、国際法など広範な英知の結集が必要である。人類のエネルギーの完全リサイクル化に繋がる壮大な可能性への第1歩を我が国が世界に先駆けて踏み出すべきである。まずは学際的グループで簡単なフィジビリティスタディーからスタートすべきと考える。

◆ 構想の概要

ここで以下の条件により、ごく概略の発電出力を計算して見よう。

出力算定条件
ソーラーセル筏の面積を 25km ² (5km×5km)
晴天域での直射日光のエネルギー率を 1kW/m ²
電気変換効率を 12% (現時点での控えめな値)
発電時間を平均 8 時間/日
1kW×0.12×25×1,000,000×8h/24h = 1,000,000kW

すなわち24時間連続稼働する100万kW級の原子力発電所に匹敵する。朝夕の日光の斜め入射や時々曇天などにより控えめに半分の50万kW程度と考えても、従来の自然エネルギーの概念を十分塗り替え得る大きさである。面積が5km×5kmで100万kW級の筏発電船団が太平洋で数十個操業すれば、我が国が原子力と自然エネルギーを主軸とした脱化石燃料国に生まれ変わる。

図2には地球上の1日当たりの日射エネルギーの年間平均が示されているが、赤道を中心とした広大な海域での太陽エネルギーは5~6kWh/m²/日の値となっている。上記の出力試算に用いた1kW/m²×8時間/日の発電条件が、この海域で晴天域を追い求めることにより達成可能となるはずである。太陽エネルギーの豊富なこの海域の広さは歴大であり、仮に中国・米国を始め世界各国が本格的に参入しても心配は要らない。図2の5kWh/m²/日の

範囲内に限っても巨大な筏が数百個以上回遊できる広さは、十分あることは一目瞭然である。

一方、電気から変換した水素エネルギーの実用化については、燃料電池自動車なども絡んで、まだどのくらい時間がかかるかは人により意見の分かれるところである。しかし水素さえ得られれば、船上でエタノールやメタノールなどに化学変換して貯蔵・運搬し、自動車や発電に利用するなど現在のエネルギー利用形態に適用可能な方法は色々あるだろう。また、リチウムイオン電池など電気貯蔵技術の発展次第では直接母船上の電池に蓄え、それを運搬するオプションもあり得よう。

このような海洋での太陽エネルギー利用のアイデアとしては、オイルショック直後の1970年代に横浜国大の太田時男先生が先進的著書『水素エネルギー』の中で太陽エネルギーによる水素社会構想を語っている。それ以降、例えば日本海洋開発建設協会からは足摺岬沖の定点で、太陽光のみでなく風力や海流も利用した発電所の構想検討が2005年に出されている。それらと異なる本構想の特徴は、赤道近傍晴天海域で常に回遊しながら原子力に匹敵する大容量発電を行うことにより、従来の小型分散という自然エネルギー利用の制約を打ち破り、大型基幹エネルギーとしてスケールメリットも生かせる点である。

ソーラーセル筏の実体はその基本構成からも未だ白紙に絵を描くような段階である。ただ、おそらく歴大な数のユニット(例えば5km×5kmの場合、平面サイズ100m×100mのユニットが2,500個)の集合体が母船(例えば4~5隻程度)と共に一体として移動することとなる。晴天域を求めての可動性は海洋ならではのメリットであり、また移動することにより海生生物に大きな影響を与えずにすむことにもなる。しかし、移動に大量のエネルギーを使うようでは、成立性は望むべくもなく、低速ではあっても可能な限り風力による帆走が必須となる。各ユニットはソーラーセルで覆われた帆とそれを支えるフロートから構成され、帆は受光効率と帆走効率を考えて最適

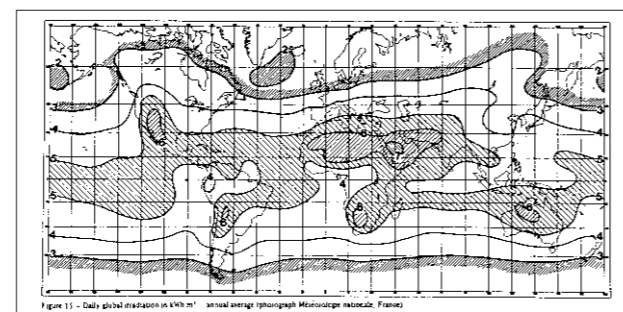


図2 地球上の日積算日射エネルギー年平均値分布(新太陽エネルギー利用ハンドブック(日本太陽エネルギー学会編集)より)

な角度に制御される必要がある。

このシステムの成立性を高める鍵としては、当然、ソーラーセル自身の性能向上・製作コスト削減や水素エネルギー変換効率向上などが挙げられるが、それらと並んで軽量・高強度・フレキシブルな筏ユニットの基本構造設計・材料選択がこの構想の死命を制すると言えよう。主に天候の良好な海域を航行するとしても、海象や気象条件の厳しさを考えればこれまで検討されてこなかった先駆的アイデアが必要とされることは間違いない。その技術的ハードルは極めて高いが、エネルギーの未来に対する潜在的インパクトの巨大さを考えれば、躊躇することなく実現可能性の検討に着手すべきである。特にCO₂の効果的削減で世界のリーダーシップを取る意欲のある日本政府としては、国家プロジェクトに値する数少ないオプションとして、その可能性を評価すべきと考える。

◆ 実現へのシナリオと技術者の役割

実現のためのまず第1段階として、海洋気象・環境・漁業から船舶・海洋土木、国際法に至るまでの広い分野の専門家の結集により、技術的・経済的成立性評価をスタートすべきである。そこではまず、経済性以外の成立性要因(例えば環境問題、漁業問題、国際海洋法、船舶衝突事故対応など)の検討から始まることになろう。経済性検討の狙いとしては、コスト的に成立するためのソーラーセル筏船団の建設コストの上限を明らかにすることである。30年ほど先の技術レベル・経済社会情勢を想定して経済性検討の基本条件(エネルギー単価、ソーラーセルの発電効率、稼働率・晴天率、移動法(帆走+動力)、電気/水素変換効率、水素エネルギー貯蔵・輸送法、水素/電力変換効率、ソーラーセル主要部の機能、主要部の劣化割合、メンテナンス方針など)を設定した上で、広範かつ基礎的なスタディーとなる。

次の第2段階は最も重要であり、上記成立性を満足するような筏ユニットおよび母船団の革新的材料・構造の立案・開発を目指す。従来の鋼鉄やコンクリートからなる剛性浮体でこれだけ膨大な筏ユニットを造ることは現実的でない。ソーラーセルを敷きつめた帆とそれを支える浮体は軽量で折り畳み可能な新材料を多用し、風を利用した省エネ移動と太陽光の追尾機能のために、帆はある程度までの角度操作が可能な構造とする。また、帆布と一体化できるフレキシブルなソーラーセルは現在のところ効率が低いため、その効率向上も重要な課題である。

個々の筏ユニットはワイヤー・圧力チューブ・電気ケーブル

類で結ばれて集合体を形成し、複数の母船と一体化した筏全体が発電しながら晴天海域と共に移動していく。母港からの往復航海では膨大な数(母船一隻当たりおそらく数百以上)の筏ユニットはコンパクトに折り畳まれ、母船内に収納されるか、または曳航され、発電海域に到着後速やかに海上広く展開する構造となる。母船にはソーラーセル筏船団の運転制御を担うためのいくつかの重要な機能が搭載される。まず、発電した電気により海水から水素を作る海水電気分解設備と水素貯蔵設備、必要に応じてエタノールなどへの変換設備である。また膨大な数の筏ユニットについて、フロートの浮力調整による筏の揺動管理や発電効率と帆走のための帆の角度の最適制御を通じて、筏船団全体の運転機能を担う。

この第2段階で筏の材料・構造・設計について革新的アイデアが出せるか否かが、この構想の成立性の死命を決するものとなる。そのためには、多数の技術者集団が参加するコンペ方式により独創性ある青写真を募る方式が考えられる。

ここまでの見通しが得られれば、第3段階としてソーラーセル筏の詳細構造設計と縮尺模型製作・試験に取りかかることになり、構造材質の決定、詳細設計に基づき筏ユニット模型を製作し、ユニット単体・集合体模型の性能試験を行うことになろう。さらに次の段階では、ソーラーセル筏の実物製作と南太平洋での小規模実証試験を国際コンソーシアム結成により進めることが考えられる。その先さらに、2km²程度のソーラーセル筏発電船の建設と実用化を通じて、最終的に5km×5km規模の実用プラントの建設と実用化に至る開発シナリオが描ける。

宇宙進出を始めようとしている人類は、海洋でこの程度の技術に挑戦できるレベルに十分到達していると言えよう。技術的に未だ不確実性が多く残されている現段階からこのような提言をし、成立性評価に基づいて社会にその意義と可能性を理解してもらえれば、近い将来には必ず実現まで到達できると考えている。膨大な面積の太平洋において密度の薄い自然エネルギーを集散的に集められるこの構想は、従来の自然エネルギー利用の制約を打ち破り、エネルギーの主役と成りうるものである。人類の使用エネルギーのパラダイムシフトは地球の資源面からも環境面からも間違いなく21世紀の人類の課題であり、この構想はまさにそれに合致するものである。建設コンサルタント協会のメンバーはこのチャレンジに満ちた構想に取り組むに相応しい多様な技術者集団の集まりであり、意欲のある技術者の関心と参画を期待するものである。