

ソーラーセル帆走筏構想と太平洋低緯度帯の 気象・海象条件

Sailing Solar-Cell Raft Project and Weather/Marine Conditions in Low-Latitude Pacific Ocean

國生 剛治*¹
Takaji Kokusho

江本 永二*²
Eiji Emoto

加藤 達也*³
Tatsuya Kato

Abstract

Development of a huge wind-sailing solar cell raft of 25 km² (5 km × 5 km) in dimension is proposed, which can generate electricity, comparable to a 1000 MW nuclear power plant 24-hours in operation, in the low-latitude Pacific Ocean. Solar energy of 8 kWh/m²/day or more is targeted as the rafts navigate in clear regions in the North and South Pacific using weather satellites. The generated electricity will be transported by battery tankers loaded with a tremendous number of high-efficiency batteries. Studies based on available database indicates that there is a vast open sea in the south-east Pacific where the maximum solar energy attains 7 kw-h/m²/day on annual average and the conditions in wind, wave and sea current are favorable for the solar energy system to operate.

キーワード：低緯度太平洋，帆走筏，日射エネルギー，気象・海象条件

Key Words：Low-latitude Pacific Ocean, Sailing raft, Solar energy, Weather/Marine condition

1. まえがき

我が国はエネルギー資源を95パーセント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。この数年、世界各国で太陽熱・太陽光発電の導入やソーラーセルの大量生産・効率アップが進められている。またサハラ砂漠にメガソーラー発電所を建設し、ヨーロッパまで長距離送電する計画が進行中である。振り返って我が国は国土が狭い島国である。気候・日照率などの点からも砂漠国のよう到大規模なメガソーラー発電は無理で、時間的変動があることから、基幹エネルギーにはなれないと考えられてきた。これは本当だろうか。

我が国は砂漠こそないが、国土の前面は広く開け

た太平洋が赤道はおろか南半球まで広がっている。これを利用してソーラーセル筏発電船団が帆走しながら、桁違いの規模で太陽光発電できる可能性があることに気付くべきである。障害物の無い海洋で、長さ数キロメートル四方の広大なメガソーラーセル筏により太陽光発電を行う。産み出されたエネルギーは輸送船により本土までピストン輸送する。このような構想が実現できれば、資源の海外依存度を軽減し、CO₂排出量の削減に寄与できる。究極的には人類のエネルギー利用のパラダイムシフトを引き起こす可能性を含むこの壮大な試みに向かって、資源小国の我が国は世界に先駆けて一歩を踏み出すべきと考える。

2. 太平洋ソーラーセル帆走筏発電システム

ここで提案するエネルギーシステムは国土の前面に広がる海洋に着目し、太平洋低緯度公海上で大規模な筏船団が移動しながら、従来とは桁違いの規模で太陽エネルギー利用を目的とするものである¹⁾。

*¹ 中央大学理工学部都市環境学科（〒112-8551 文京区春日1-13-27）e-mail: Kokusho@civil.chuo-u.ac.jp

*² 江本技術士事務所

*³ 中央大学大学院理工学研究科博士後期課程
（原稿受付：2011年10月7日）

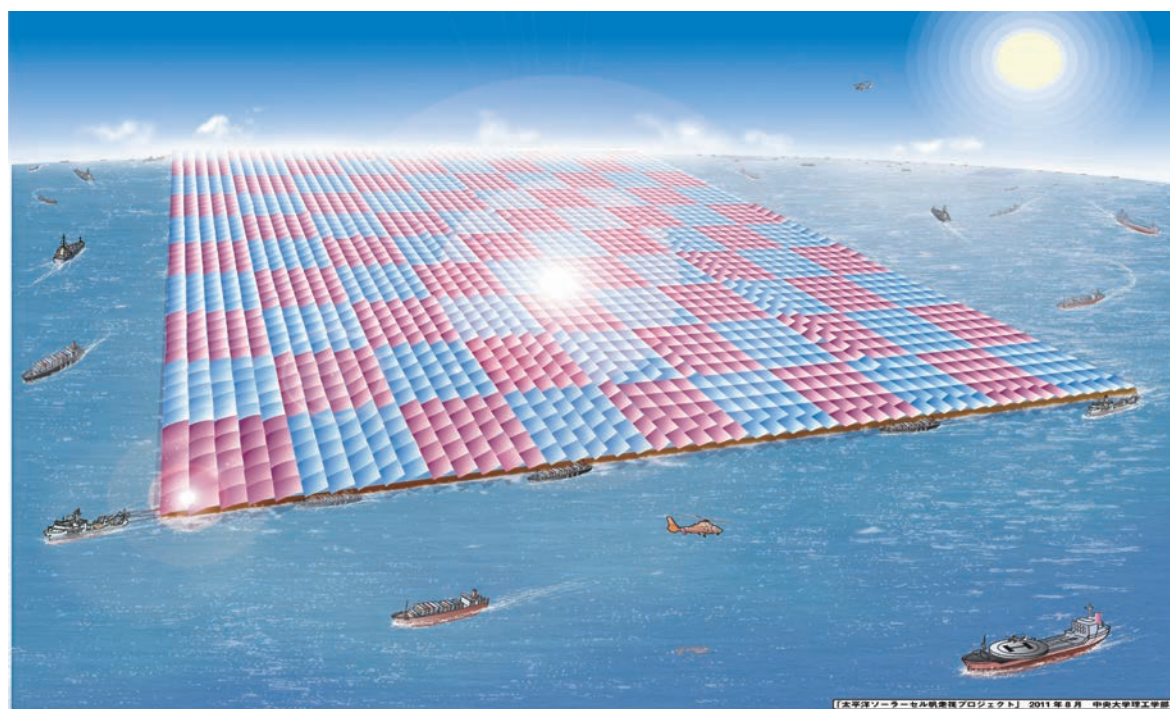


Fig.1 Schematic view of sailing solar cell raft in the Pacific Ocean (Illustration by Civil & Envir. Eng. Dept, Chuo Univ.)
図-1 太平洋ソーラーセル帆走筏の構想図（中央大学都市環境学科作成）

実用化した時点でのイメージを図-1に示している。

公海上を商業活動を目的として航行することは国際法上当然認められるべき権利であるから、航行しながら発電することも基本的に自由であると考えてよい。海洋でこそ容易に達成できるソーラーセル筏の大面积化を追求して究極的には 25km^2 ($5\text{km} \times 5\text{km}$) とし、1日で得られる太陽エネルギーを $8\text{kWh}/\text{m}^2$ 、ソーラーセルの電気変換効率を 12%（現時点の家庭用太陽電池の値）で試算する。1日当たりの発電量は

$8\text{kWh}/\text{m}^2 \times 0.12 \times 25,000,000\text{m}^2 = 24,000,000\text{kWh}$
であり、これは 24 時間連続稼働する 100 万 kW 級原子力発電所の 1 日の総発電量

$1,000,000\text{kW} \times 24\text{h} = 24,000,000\text{kWh}$
に匹敵する。ただし、昼間にのみ集中的に発電する点が特徴である。

この構想では太平洋の赤道を挟んだ低緯度海域でソーラーセル筏や母船などからなる船団が、気象衛星などによる長期気象予報技術を活用して南北太平洋の晴天域を低速帆走しつつ、 $8\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$ 以上の強い太陽エネルギーにより太陽光発電をすることを目指す¹⁾。

このような海洋での太陽エネルギー利用の類似アイデアとしては、オイルショック直後の 1970 年代に横浜国大²⁾とマイアミ大³⁾により、洋上の定点

にとどまった筏上に設置したミラーにより太陽熱を集めて発電し、液体水素を製造して消費地に運ぶ計画が検討された。また、1980 年代には当時の船舶技術研究所において、上記の海洋太陽熱発電計画を実現するための要素技術の検討がなされているがたとえば⁴⁾、その後、実現へ向けての動きは見られていない。

本構想はそれらとは一線を画し、最近のソーラーセル技術の急速な進展を見据え、自由航行が認められている赤道近傍の公海上で、常に帆走しながら原子力に匹敵する太陽光による大容量発電を行う。ソーラーセルによる太陽光発電方式では、ミラー集光が必要な太陽熱発電方式とは異なり、筏の静穏性への要求が大幅に緩和でき、筏の簡素化・大型化により、スケールメリットを生かすことが容易である。これにより従来の小型分散不安定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を生かすことが可能であり、調べた限りではこれまでに同様な提案は見当たらない。

本構想の最大の特徴は発電筏船団の晴天域を求めての可動性にある。これ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直下の海中への太陽光の遮断は短時間に押さえられ海生生物に大きな影響を与えずにすむ。しかし、船団の航海に大量のエネルギーを使うようではその成立性は望むべくも

Table-1 Road map on efficiency of solar cells by NEDO

表-1 NEDOによる太陽電池（ソーラーセル）の効率のロードマップ⁵⁾

太陽電池 ^①	現状		2017年		2025年		2050年
	モジュール(%)	セル ^⑤ (%)	モジュール(%)	セル ^⑤ (%)	モジュール(%)	セル ^⑤ (%)	モジュール(%)
結晶Si ^②	～16	25	20	25	25	(30)	40%の超高効率 太陽電池 (追加開発)
薄膜Si	～11	15	14	28	18	20	
CIGS系	～11	20	18	25	25	30	
化合物系 ^③	～25	41	35	45	40	50	
色素増感	－	11	10	15	15	18	
有機系 ^④	－	5	10	12	15	15	

①セルは技術の到達水準を示す指標で、研究室での小面積セル。モジュールは実用化技術段階

②結晶シリコンは単結晶、多結晶などを区別せず、シリコン基板を用いた太陽電池として設定

③集光時の変換効率

④新しい太陽電池として有機系太陽電池にも開発目標を設定

⑤モジュール目標を達成するために最低限必要なセルの変換効率

ない。低速ではあっても風力や海流による移動が必須となる。ソーラーセル筏を構成する膨大な数の筏ユニット（例えば全体サイズが5km × 5kmの場合、平面サイズ100m × 100mのユニットが2500個）の集合体が、気象衛星情報などに基きコンピューター解析した長期航海計画にしたがって低緯度海域を回遊する。

得られた電気エネルギーの海上輸送は大きな課題である。海水の電気分解を使って変換した水素エネルギーをタンカーで輸送する方法がまず考えられるが²⁾、エネルギー変換ロスを避けるためには、電気エネルギーのままの蓄電池輸送が望ましい。ここでは、電気自動車用蓄電池の急速な技術進歩により開発される高エネルギー密度新型蓄電池が近い将来に利用可能になると想定し、バッテリータンカーによる電力輸送を考える。

各筏ユニットは、撓み性のソーラーセルで覆われた帆とそれを支える軽量フロートから構成され、帆は受光効率と帆走効率を考慮して可能な範囲で角度制御される構造とする。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（例えば4隻程度）と共に一体となって発電しながら晴天海域を移動していく。母港から操業海域の往復航海では膨大な数の筏ユニットはコンパクトに折り畳まれて曳航され、発電海域に到着後に海上広く展開できる構造とする。また母船は、筏ユニットの発電・帆走制御、維持補修、発電電力の一時貯蔵とバッテリータンカーへの受渡しなど筏船団全体の運転機能を担う。

自然エネルギーを基幹エネルギーとして利用できる本システムの本格的な実用化が図れれば、我国の本格的低炭素化が実現可能となるばかりでなく、人類全体のエネルギー利用形態に抜本的变化を引き起こす先駆けとなる。すなわち化石燃料への依存が低

下し、太陽エネルギーにより人類文明を支える持続可能な社会の実現に近付ける。実際、我が国のみならず世界の多く国が多数の筏船団を浮かべて基幹エネルギーを賄えるほど、日射エネルギーの豊富な低緯度海域は広大であることは後ほど述べる通りである。広大な面積の低緯度海域において密度の薄い自然エネルギーを集中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うち破り、エネルギーの主役と成りうるものである。

これを実現するためには単に技術的経済的な開発努力だけでは不十分であり、国連のような場における国際的な合意形成と理解促進のための活動も不可欠である。そのためには、早い段階から単に国内だけでなく海外のグループも巻き込んだ開発プログラムに拡大していく必要がある。このように本構想の目的とスケールは全地球的であり、その基本的見通しが得られればなるべく早い段階から国家プロジェクトあるいは国際プロジェクトとして推進すべきことは明白である。

3. 必要な技術的ブレイクスルー

このシステムの実現のためには、主にソーラーセル、蓄電池、筏浮体に関する3つの技術開発課題を解決しなければならない。以下に、個々の見通しについて述べる。

3.1 薄膜型撓み性ソーラーセル

表-1にはNEDOが発表した太陽電池の効率向上についてのロードマップを示す⁵⁾。前記のように、この構想では帆布と一体化した薄膜型撓み性ソーラーセルの開発を大前提としている。これに適したものとして化合物系などの太陽電池が考えられる。特に技術開発がかなり進んでいるCIGS化合物半導体タイプについては光吸収係数が可視光領域で大きく、厚さ2μm程度の薄膜でも十分に太陽光を吸収

できる。そのため、わずかな資源量で大受光面積の電池が製作でき、コストダウン効果も期待できる⁶⁾。また CIGS タイプは、薄膜系太陽電池の中でも格段に変換効率が高く、小面積セルの変換効率は現時点で 20% 程度に達しているが、量産集積型モジュールでは 10～12% にとどまっており、今後大幅な効率向上のための技術開発の余地が大きい^{5), 6)}。さらに、撓み性の電池基盤としてこれまではステンレス薄膜が中心であり⁶⁾、帆布のような風になびく基盤素材と一体化された高変換効率薄膜ソーラーセルの開発と製造コスト低減が課題である。これから 20～30 年先を見越せば、モジュールでもかなりの効率向上が予想でき、それによりこの発電システムの成立性が大幅に改善することが期待される。

3.2 高エネルギー密度蓄電池の開発

発電した大量の電力を海上輸送する手段として、本構想ではエネルギー変換ロスを避けるために、バッテリーを満載した専用船により電気エネルギーのままピストン輸送することを考える。バッテリーの最先端技術は今後とも電気自動車とともに発展すると考えられ、電気自動車用バッテリーを使った電力輸送システムの可能性が高いと思われる。そのため自動車用バッテリーを数十個単位まとめたパッケージを大量に輸送できる専用タンカーを開発する。20～30 年後の社会ではバッテリーはパッケージ単位で充電スタンドへ運ばれ、自動車 1 台ごとに使用済みバッテリーと丸ごと交換されるシステムが採用されることを想定している。現状ではバッテリーの最大エネルギー密度はリチウムイオン電池で 0.1 kWh/kg 程度である。NEDO のロードマップ⁷⁾によれば、20 年ほど先には新型電池（例えば亜鉛空気電池など）の開発により、現状の 7 倍の 0.7 kWh/kg までエネルギー密度を向上させることを目標としている。ちなみに、電気自動車は 1 kWh 当たりほぼ 10 km 走行でき、連続走行距離 500 km で 50 kWh の電力が必要となる。例えば亜鉛空気電池などが候補に上がっているこの将来型バッテリーが実現すればバッテリー質量は 1 個当たり 50 kWh ÷ 0.7 kWh/kg ≒ 70 kg/個で済むことになる。

このエネルギー密度のバッテリーを使って、究極的に 5 km × 5 km のソーラーセル巨大筏船団の発電電力を輸送する場合を考える。1 日の発電量は 8 kWh/m² × 0.12 × 25 × 10⁶ m² = 24 × 10⁶ kWh/day であり、これを 50 kWh/個で割ると、24 × 10⁶ kWh/day ÷ 50 kWh/個 = 4.8 × 10⁵ 個/day つまり 1 日当たり 48 万個で、そのバッテリー質量は 70

kg/個 × 4.8 × 10⁵ 個/day ≒ 3.4 × 10⁷ kg/day → 34,000 t/day となる。現在運航している最大級の石油タンカー（VLCC）は 30～50 万 t の積載質量があるため、同じクラスのバッテリータンカーを建造すれば、それ 1 隻で 5 km 四方の巨大筏船団が実用化した場合でも、その 10 日～2 週間程度の発電電力が運べることになる。

現在、VLCC はペルシャ湾と日本の往復を荷役も含め、約 40 日で 1 往復し、30 万トンクラスで 4000 kl の重油を消費する⁸⁾。これを参考に、バッテリータンカーの航海用エネルギーも同程度と考え、4000 kl の重油を二次（電気）エネルギー換算（換算率 37% を用いる）すると、重油の発熱量を 9.7 × 10⁶ kcal/kl として、

$$4000 \text{ kl} \times 9.7 \times 10^6 \text{ kcal/kl} \times 1.163 \times 10^3 \text{ kwh/kcal} \times 0.37 = 16.7 \times 10^6 \text{ kwh}$$

となる。これは、タンカー一隻で運ぶ 10 日分の電力エネルギー 24 × 10⁶ kWh/day × 10 day = 240 × 10⁶ kWh の 7% 程度に当たることになる。

またバッテリータンカーの場合、10 日～2 週間程度は母船に横付けして直接充電することも考えられるため荷役時間が長くなる可能性があり、5 km 四方のソーラーセル筏船団一つに対し、これからの詳細検討が必要だが、3～4 隻のタンカーが必要になると思われる。また、これに必要なバッテリー数量は膨大となるため、自動車用より大型の電力輸送専用の高エネルギー密度バッテリーも併用する必要があると考えられる。

3.3 革新的な筏浮体構造の開発

発電を担うソーラーセル筏については 1 ユニットの平面サイズを 100 m × 100 m とした場合、2500 ユニット程度必要である。これだけ大規模な筏船団がスクリューを回転させて動力航行するには、大量のエネルギーが必要なことは、前述したバッテリータンカーの航行エネルギーからも類推でき、低速ではあっても風力や海流による移動が必須となる。各筏ユニットは、撓み性のソーラーセルで覆われた帆・帆柱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慮して角度制御される。しかし角度を大きくすれば隣接ユニットへの影により受光効率が低下することや筏の構造・強度面の限界から、それほど大きくない範囲での角度調整となると思われる。従来の鋼鉄やコンクリートからなる剛性浮体^{たとえば 9)}は経済面から現実的でなく、新材料を活用した軽量で折り畳み可能な革新的な浮体構造を創出する必要がある。各ユニットのフロートは波浪

による揺動を減らすために半潜水式浮体が採用され、その上に立つ帆柱にソーラーセル帆布が取り付けられる。フロートの浮力や帆布の角度は圧縮空気圧により制御されることになろう。母港から操業海域の往復航海では膨大な数の筏ユニットはコンパクトに折り畳まれて曳航され、発電海域に到着後に海上広く展開できる構造とする。主に天候の良好な海域を航行するとしても、海象・気象条件に対応して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。また、フロートの耐久性や劣化防止は大きな課題と考えられ、特に海生生物付着による機能低下防止策は大きな課題となると予想される。

4. 太平洋低緯度帯での気象・海象条件

太平洋低緯度帯での気象・海象条件は、実際の程度この太陽光発電システムに適しているかを知るために、現時点で得られる情報に基づいて概略調査した結果を以下に述べる。

4.1 日射条件

新太陽エネルギーハンドブックの全地球日射エネルギー分布¹⁰⁾によれば、太平洋の赤道を挟む北緯・南緯 25 度以内の海域では最大年平均日射エネルギーは 5kWh 程度とされている。ここでは、NASA が 1983 年 7 月から 2005 年 6 月までの衛星情報を用いて算出した水平面全天日射量データを利用した。NASA の原データ¹¹⁾では、北緯 90 度～南緯 90 度、西経 0 度～東経 180 度までの 1 度メッシュの全球データが、連続で 1 ファイル (5 MB) に格納され

ている。この膨大な原データから我々が必要とする太平洋南北低緯度海域を抽出するためにはデータの並び替えなど膨大な作業が必要であり、計算プログラムを作成し自動抽出を行った。図-2 はこのようにして得られた太平洋中央部の北緯 30 度～南緯 30 度、東経 130 度～西経 90 度までの水平面全天の 1 日当たりの年平均日射量を示している。ここに対象とした範囲は、黒線で輪郭を描いた大陸や島の分布から明らかのように、西は日本列島の直ぐ南からオーストラリア大陸南部まで東はハワイ諸島の遙か東のカリフォルニア半島からペルー沖太平洋のガラパゴス諸島を含む海域である。図中に示す日射量の数値より、6.0 kWh/m²/day 以上の海域は帯状に広く広がっており、文献 10) に示された日射量よりかなり大きいこと、特に南米寄りの赤道から南緯 15°の海域では 6.5～7.0 kWh/m²/day に達する広大な海域が存在することが分かる。これは 1 年間の平均値であるが、NASA の原データから取得可能な月別平均値の 12 カ月間での変動係数は、北緯・南緯 10°以内での 10% 以下から、北緯・南緯 30°付近での 30% 程度までほぼ連続的に変化している。このような季節変動を考え晴天海域を移動することにより、最大値は平均値より大幅に伸びることは確実である。

図中に示す水色の太線で囲われた範囲は、排他的経済水域 (EEZ) である。間断なく降り注ぐ太陽エネルギーは、収奪により失われる漁業・海底地下資源とは明らかに性質が異なり、EEZ の規制対象にすべきではない。しかし仮に EEZ で規制されるこ

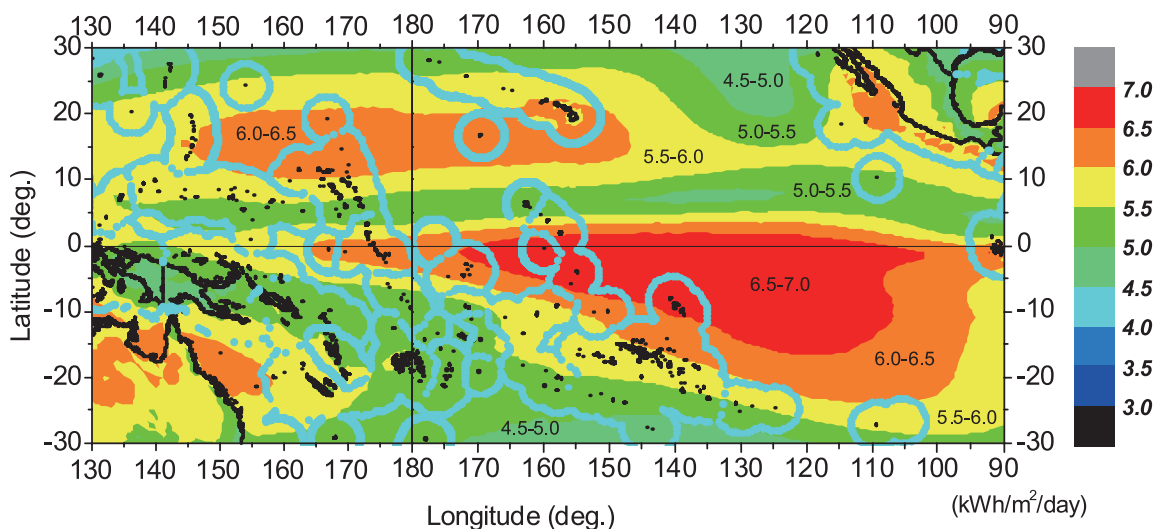


Fig.2 Distribution of annually averaged daily solar energy on horizontal plane in low-latitude Pacific Ocean depicted in every 1° mesh from NASA data (Unit: kWh/m²/day).

図-2 NASA データより作成した太平洋低緯度海域の 1°メッシュの水平面全天日積算日射エネルギー年平均値分布 (単位: kWh/m²/day)

とになったとしても、太平洋東部を中心に年平均 6.0-7.0kWh/日のエネルギーが降り注ぐオーストラリア大陸を凌ぐ莫大な面積の公海が存在することが分かる。勿論、筏の移動速度や晴天域の移動速度を考慮した現場海域での実証試験は必要であるが、筏船団が可動性を生かして 8.0 kWh/day 以上の日射エネルギーを得ることは十分可能と思われる。

4.2 風の条件

図-3 はやはり NASA が衛星情報により算出した風の全球データ¹¹⁾ から、太平洋低緯度帯だけを選び出して作成した海面上 10m での年平均風速である。低緯度海域は高緯度海域より全般に風が弱く、年平均風速は 3~7 m/s と比較的穏やかであることが分かる。図-4 は気象庁資料による北太平洋の風向・風速を 1 月と 7 月について示している¹²⁾。北緯 10°~20° の帯では年間を通じて北東風が吹いていることが分かる。

一方、ユーラシア大陸に近い日本付近では、夏季と冬季で逆転する「季節風」が吹く。冬季には北西季節風は日本の東方海上で西風となる。それでも日本の南東海上の貿易風（北東風）海域北側では、年

間を通じて風が弱い。日本近海で問題となる強風は台風である。最も危険な海域はおよそ北緯 15 度以北と東経 150 度以西で、通過する台風が多い上に勢力も強い。これらの熱帯低気圧は季節性のものであるから、筏船団が日本へ接近する場合はその季節をはずす必要がある。

以上を考慮すれば、低緯度帯に吹く穏やかな定常風と後述する循環海流も利用して、筏船団が動力を使わず低速で省エネ航海することが可能と考えられる。

4.3 波高条件

図-5 には気象庁資料による北太平洋での 2 月と 9 月の波高（有義波高）分布を示している。アリューシャン近海を中心とする北部海域では波が高く低緯度ほど波高が低い傾向にあり、赤道付近では季節を問わず 1 m 以下の海域が広く分布する。冬季には北太平洋の南北で波高差が大きい。これは温帯低気圧が日本の東方からアリューシャンにかけて頻繁に通過・発達・停滞するためで、波高 2m の南限が北緯 20 度付近（ハワイ近海）まで南下する。このような中でも北緯 20 度以南は概ね波高 1.5 m 以下、

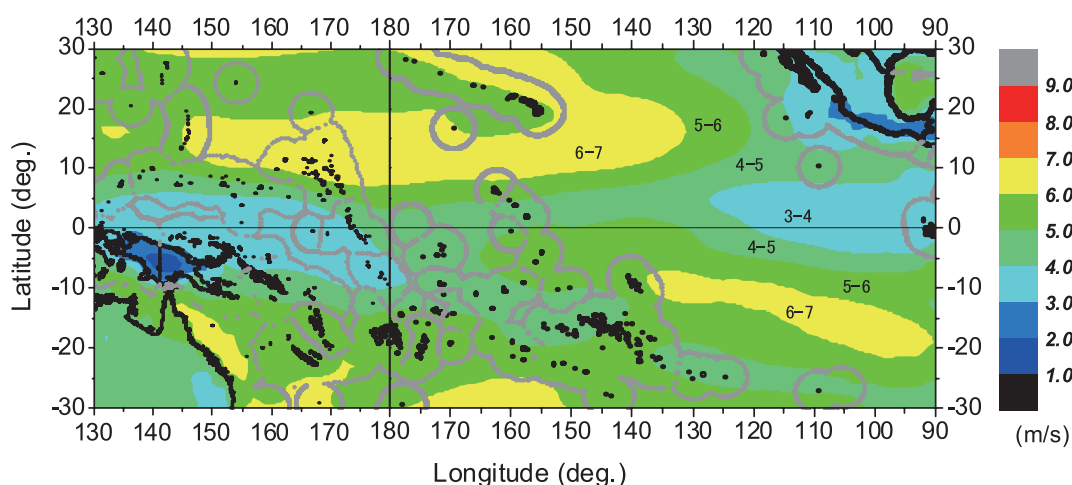


Fig.3 Distribution of annually averaged wind speed in low-latitude Pacific Ocean depicted in every 1° mesh from NASA data (Scalar average in m/s)

図-3 NASA データより作成した太平洋低緯度海域での 1° メッシュの年平均風速（スカラー平均：単位は m/s）

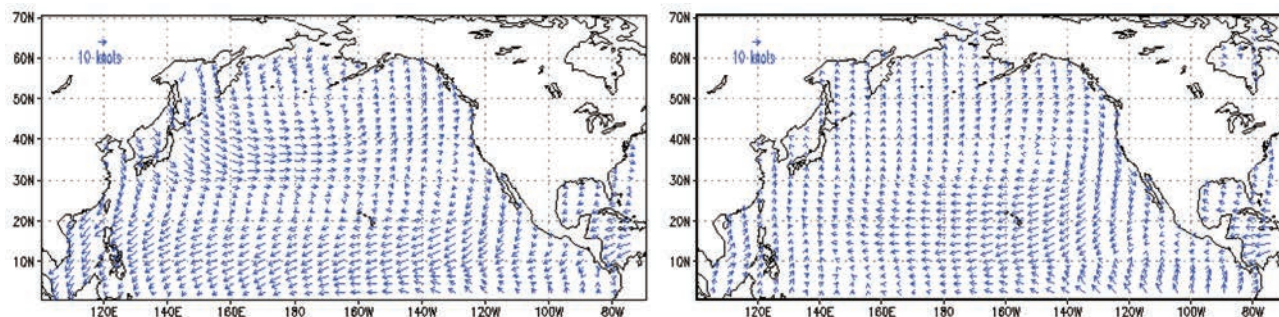


Fig.4 Wind directions and speeds in North-Hemisphere Pacific Ocean (Vector average, Left : January, Right : July) .

図-4 北半球太平洋での風向と風速（ベクトル平均）（左：1月：右：7月）¹²⁾

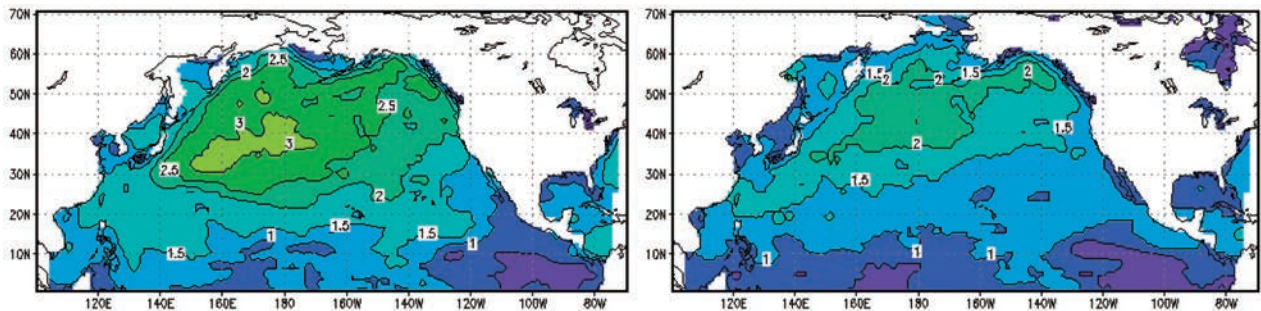


Fig.5 Wave height distribution in North-Hemisphere Pacific Ocean (unit : m) (Left : February, Right : September)
図-5 北太平洋の波高分布 (波高単位 : m) 左 : 2月, 右 : 9月¹²⁾

赤道付近では1 m 以下である。一方、夏季を代表する9月には波高2mの南限は北緯40度付近まで北上し縮小するが、日本付近には波高1.5 m 以上の海域が残る。これは、時々通過する台風が平均波高を高くしているためである。北緯25度以南は概ね波高1.5 m 以下、北緯10度以南は波高1 m 以下で、50 cm 以下の海域もある。南半球については現時点でデータはないが、定性的には赤道をはさんで北半球と対称的な波高分布が予想され、低緯度帯については波高が1 m 程度かそれ以下の静穏海域が期待できる。

前述のように、ソーラーセル筏は海面静穏性への要求が緩やかであり、数メートルの波高にも耐える設計が可能と思われ、低緯度海域はこれに十分適合しうる波浪条件と考えられる。

4.4 海流条件

図-6には南北太平洋での海流の流況を示してい

る¹³⁾。北太平洋について見ると、大きく見て時計回りの大規模に循環する流れが目立つ。低緯度では西へ流れる「北赤道海流」があり、これが北向きへ転じて「黒潮」となり日本の南岸を東へ流れる。「黒潮」は日本から離れた後「黒潮続流」として東へ流れ、さらに「北太平洋海流」となって米国西岸付近へ達する。その後、この流れは南下して再び「北赤道海流」となって西へ向かう。さらに詳細に見ると、日本の南方とハワイ諸島北方に「渦」循環がある。前者の渦は黒潮続流がハワイ諸島の手前で分流・南下することによるものである。後者の渦は北太平洋海流から北赤道海流へ変化する内側海域であり、日本付近からの漂流物が溜まる海域として知られている。

赤道を挟んで北側低緯度には「北赤道海流」が、また南側低緯度には「南赤道海流」が対称的に存在し、両海流ともに西へ向かう。これら両海流の間の

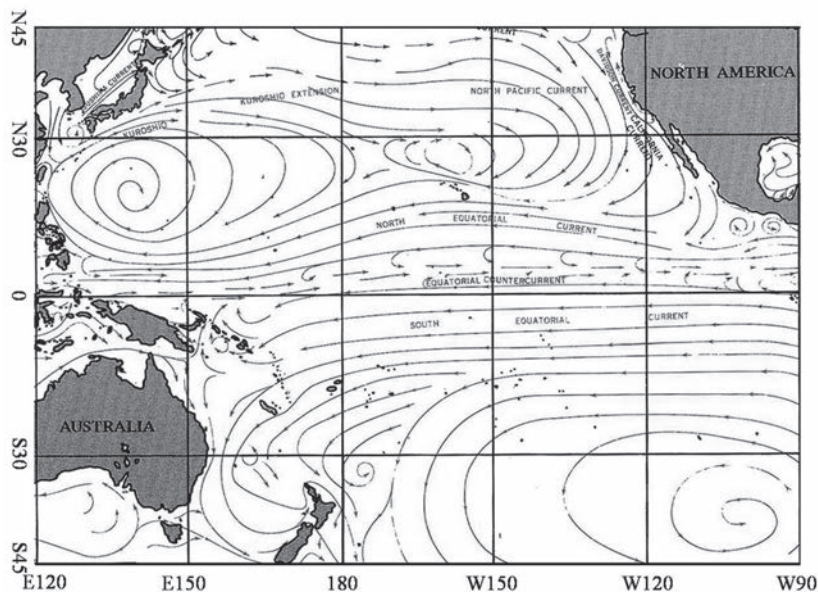


Fig.6 Sea current in the central part of Pacific Ocean¹³⁾
図-6 太平洋中央部の海流¹³⁾

赤道直下～北緯5度付近にかけて「赤道反流」があり、これは東へ向かう流れである。低緯度帯での流速は最大でも0.5m/s程度であるが、これらの海流と風を有効に組み合わせることにより、赤道を横切って北半球と南半球を行き来する省エネ型低速帆走航海が可能になると考えられる。

5. 成立条件の検討へ向けて

このエネルギーシステムの可能性を探るためには、まずいくつかの切実な関連課題（例えば海洋環境問題、漁業問題、国際海洋法、船舶衝突事故対応など）について、幅広い視野から阻害要因を摘出し、その解決の方向性を提示する必要がある。そのためには学際的な広範な専門分野たとえば海洋気象・環境・漁業から船舶・海洋土木、国際法にいたる専門家による検討を行うことが必要である。

さらに、この発電システムがコスト的に成立するためのソーラーセル筏船団の目標建設コストを示す必要がある。そのためにはまず、ソーラーセル筏船団の規模・構成を決定し、その中心をなす筏ユニットの材料、構造、機能を試設計や構造計算、模型作成・実験などにより絞り込む。絞り込んだ概念に基づき、技術・経済的成立条件を検討する。そのために技術開発期間（例えば20～30年）を想定し、その時点での技術レベル・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、ソーラーセルの生産コスト、発電効率、稼働率・晴天率、移動速度、バッテリー生産コスト、電気貯蔵効率、筏・母船・タンカー製作コスト、港湾設備コストなど）を調査する。また、これら船団全体の概念案に加え、稼働率、海生生物付着、劣化速度、メンテナンス、船舶衝突防止策なども含めこのエネルギーシステム全体としての問題点を明示し、その解決が可能であるかを確認する。

これらの検討に基づき、このエネルギーシステムが経済的に成立するためのソーラーセル筏船団の全体建設コスト、特にコストの占める割合の大きな撓み性ソーラーセル、バッテリー、筏浮体など主要部の目標上限コストを明示する。全体建設コストの最初のターゲットとしては、100万kW級原子力発電所の建設費である3000億円程度が参考となろう。このような検討により具体的技術開発目標が明確に設定でき、ソーラーセル、蓄電池、筏船団それぞれの技術開発目標、コスト目標を明らかにすることができる。

本構想は地球上に残された広大な未利用空間の海

洋で、小型分散不安定という従来の自然エネルギー利用の制約を打ち破り、密度の薄い太陽エネルギーを効率よく集め本格利用を図るものである。太平洋低緯度海域はその実現に適した気象・海象条件を備えていることは本稿での簡単な検討からも十分明らかである。

それでも、巨大な規模のソーラーセル帆走筏発電システムを実現するための技術的・経済的ハードルは、極めて高いと予想される。しかし持続可能なエネルギー利用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、その意義は計り知れないほど大きい。宇宙進出を始めようとしている人類は、海洋での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。今回の原子力災害を出発点として、海洋国・資源小国である我国が先頭切って、20～30年先の実現を目指し検討を始めることを提案したい。

6. まとめ

- 1) 100万kW級原子力発電所に匹敵する5km×5km程度の巨大筏（技術が成熟した段階での究極的サイズ）による太平洋低緯度海域でのメガソーラーセル発電システムを提案した。
- 2) このシステムを実現するための3つの主要技術課題と、その将来的見通しを概観した。
- 3) 利用可能なデータベースに基づき、太平洋低緯度海域の気象・海象条件を調べた。その結果、地球上でも屈指の豊富な日射量の広い公海が存在し、目標とする8kWh/m²/day以上の日射エネルギーが達成可能なことを示した。また、風・波・海流の条件もこの発電システムに適していることを明らかにした。
- 4) この発電システムの1号機を20～30年後に実現するための概略ステップを国際協力の必要性も含め整理した。

謝辞

このエネルギーシステム構想については、第一著者の提案に中央大学技術士会の多数のメンバーが賛同頂き、成立性研究に向けて勉強会を立ち上げたところである。末筆ながら技術士会会長の金川 護氏、幹事長の林 知幸氏はじめ多くの方々のご協力ご支援に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 國生剛治：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—, 建設コンサルタンツ協会会誌 Consultant Vol.247, pp.70-73 (2010).
- 2) 太田時男: エネルギー, Vol.11, No.1 (1978).
 - 3) Veziroglu et al.; Solar direct energy conversion at sea, University of Miami and Escher Technology Associates (1977).
 - 4) 渡辺健次・森下輝夫・内藤正一・菅 進: 太陽光利用洋上水素製造・輸送計画の調査研究 (第4報: 技術的可能性), 船舶技術研究所報告 第20巻 第2号 研究報告, 93-128 (1983).
 - 5) 太陽光発電ロードマップ (PV2030+), 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2009).
 - 6) 仁木 栄・石塚尚吾・小牧弘典・古江重紀・山田昭政・柴田 肇・松原浩司: 産総研における CIGS 太陽電池の産業化に向けた研究開発, 特集: 化合物薄膜太陽電池—CIGS 太陽電池の開発の現状—, 太陽エネルギー 201, Vol.37, No.1, 21-29 (2011).
 - 7) 二次電池技術開発ロードマップ (Battery RM2010), 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2010).
 - 8) 造船テキスト研究会: 「商船設計の基礎—改訂版—」成山堂書店, 37-54 (1982).
 - 9) 海洋工事技術委員会: 21 世紀の海洋エネルギー開発技術, 日本海洋開発建設協会, 山海堂 (2006).
 - 10) 新太陽エネルギー利用ハンドブック: 新太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会編, 日本太陽エネルギー学会, p35 (2006).
 - 11) 22-year Monthly & Annual Average (July 1983 - June 2005) - NASA Surface meteorology and Solar Energy (SSE) - Release 6.0 Data Set (2008) . <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> :
 - 12) 北太平洋海洋気候図: 気象庁 (2003). <http://www.data.kishou.go.jp/db/toukatsu/stat/index.html> .
 - 13) National Geospatial Intelligence Agency (2002): <http://msi.nga.mil/NGAPortal/MSI.portal>