

第4回 無限のエネルギーを求めて一動き出した海洋エネルギー—

システム工学研究所(株)取締役社長 中澤 直樹



1. 海の主役は海水だ！

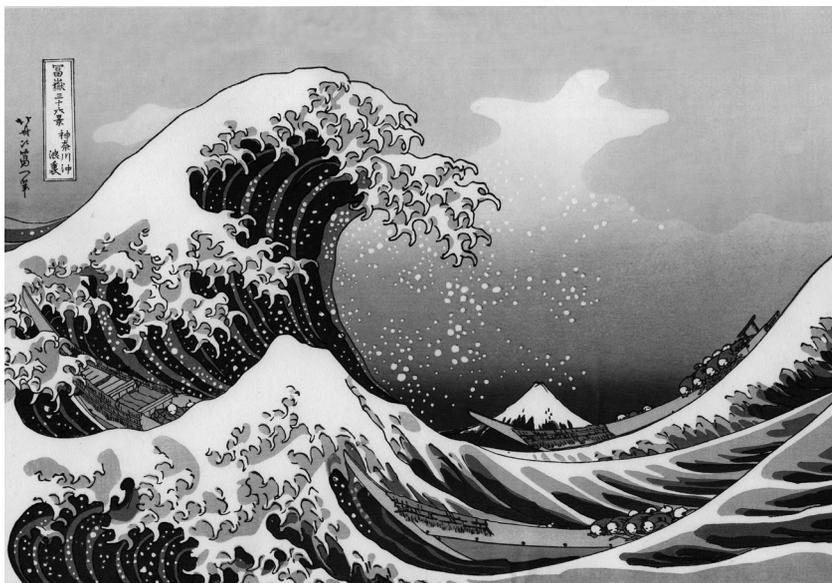
地球表面積の7割は海である。海の面積は3億6000万 km^2 、陸地の面積の1億5000万 km^2 の2.4倍、平均的な深さは3,729m、海水の総量は約14億 km^3 である¹⁾。近年、資源エネルギーの開発は海域へと大きく歩を進めている。2015年には全世界の石油と天然ガス生産に占める海洋生産の割合は両者とも30%以上、2030年にはEUの全風力発電容量300GW(ギガワット)の内120GWが洋上発電になると予測されている。海での資源エネルギーの開発、現時点では海底地盤下からの石油や天然ガスの開発と海上の風力の利用である。ひとつ忘れては

いませんか。海の主役は魚？、いやいや海そのもの、「海水」である。我々は海水が持つ巨大なエネルギーを忘れていたようである。21世紀に入り、地球環境問題への関心の高まりによりクリーンエネルギーの開発に加速度がついた。先陣を切ったのが風力であり、太陽光であった。そして今、波力や潮力が遅ればせながら表舞台に登場しつつあるとあってよいであろう。ここで海水について基礎的な数値をつかんでおこう。塩分は通常34～35g/kg(34～35%)、密度は1.023～1.028g/cm³、pHは8.2程度、そして多くの希少金属を含んであることも忘れてはならない。海水中の希少金属については次号で勉強しよう。

筆者は海のエネルギーを考えると、いつも葛飾北斎の1枚の絵を思い出す。「富嶽三十六景 神奈川沖

写真1

葛飾北斎の「富嶽三十六景 神奈川沖浪裏」：波が持つ巨大なエネルギーが描かれている。作曲家ドビシーはこの絵から交響曲「海」の発想を得たとされる。



浪裏」である(写真1)。波の持つエネルギーをこれほど力強く表現したものがほかにあるだろうか。葛飾北斎も感じたこの「波」、そして海流、潮流、海水の温度差など、海の持つエネルギーに、今、熱い視線が注がれはじめたのである。

2. 第6代土木学会会長廣井 勇の想い

廣井 勇(1862～1928、写真2²⁾)は港湾、河川、橋梁など幅広い分野で活躍した明治、大正の技術者であり教育者であった。この廣井 勇が東京帝国大学退官後、波力発電の研究に没頭したことはあまり知られていない。偉大なる日本の土木技術者は、今から90年前に波力エネルギーの研究に灯をともしたのである。

写真2
第6代土木学会会長
廣井 勇



海を相手にする港湾技術者は、規則的に寄せては返す波や巨大なエネルギー移動である潮流に耐える構造物の設計や施工を行っている。と同時に、そのエネルギーを利用できないか、ということも潜在的に意識しているのではないだろうか。

本連載では第1回石油、第2回石炭と天然ガス、第3回風力発電について考えた。風力発電はすでに独り立ちできる発電方法として産業基盤が確立されたように見える。しかし、現時点での世界のエネルギー消費全体に占める風力、太陽光、地熱、水力などの再生可能エネルギーの割合は数パーセント、その中で最も伸びの大きい風力発電でさえ、2008年時点で世界のエネルギー消費全体の1.5%を供給しているに過ぎない。しかし、供

給量はまだまだ少ないとはいえ、風力と同じように無限のエネルギー源がある。太陽光、そして海水によるエネルギーである。本稿では波力発電を中心とした海洋エネルギーについて考えてみよう。

3. 世界の波パワー —波に乗る国、乗らない国—

3.1 世界の波資源はどこに

1980年代から実用化への研究が始まった海洋エネルギー技術であるが、すでに産業として立ち上がっている風力や太陽光発電に比べると研究段階と言わざるを得ない。しかし、21世紀に入ってからの数年、実用化に向けての動きが活発になってきた。表1³⁾に再生可能エネルギーの比較を示す。表で示したエネルギーの源はすべて太陽、太陽の光と熱と周期運動である。太陽が無限の存在とすれば、その恩恵を受けるエネルギーも無限と考えることができる。

では本稿の主役である地球上の波パワーの分布を見よう。海の波は洋上風力の凝縮されたエネルギーである。波は風速が大きいほど、風の吹いている時間が長いほど、そして海面を吹く距離が長いほど大きくなり、波のパワーも大きくなる⁴⁾。波パワーの世界分布を図1⁵⁾に示す。大洋の東岸や南半球の高緯度海域の波パワーが大きい。国でいえば、英国、オーストラリア、南アフリカ共和国、米国西岸、ノルウェーに大きな波パワーが賦存し、これらの国々は波力・潮力発電の研究を熱心に進めている。2008年時点で波、潮流、海洋温度差などによるエネルギー生産を目指す企業は世界に約100社あると言われている⁶⁾。それらの多くの企業は装置の損傷、材料の劣化、係留の不具合などの失敗を繰り返しながらも無限のエネルギーを求めて研究を続けている。次にその一端を見てみよう。

図1 波パワーの分布:図中の数値は直径1mの仮想円筒を通過する波のパワー(kW/m)、英国、オーストラリア、南アフリカ共和国、米国西岸、ノルウェーに大きな波パワーが賦存している。日本は比較的小さい。

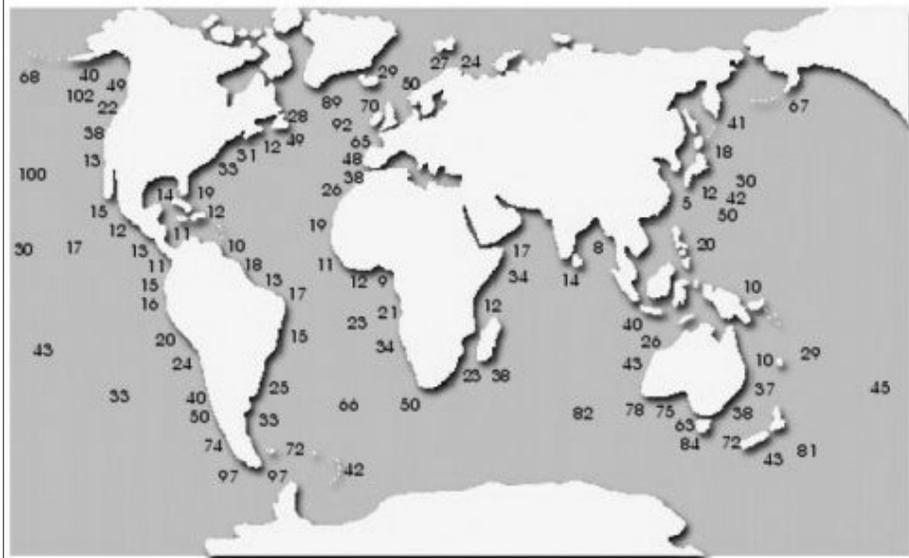


表1 再生可能エネルギーの比較：太陽光、風力、波力、潮力

エネルギー	太陽光	風力	波力	潮力
開発段階	既に商業発電	既に商業発電	商業化前、実証実験段階	商業化前、実証実験段階
エネルギーの源	太陽	太陽熱	海上の風	月と太陽の引力
影響因子	昼、夜、雲、湿度	大気、嵐	風、うねり	日周運動
予測可能期間	分	時間	日	世紀
イメージ				



写真3
英国 Pelamis Wave Power 社が開発した波力発電装置 "Sea Snake"。2004年に英北部で最初の

試作機を稼働、2008年9月にポルトガル北部 Agucadoura 沿岸から約 5km 沖合で世界初の波力発電の商業化 (750kW 機 3 基) を実現した。しかし、2009年3月には技術的問題により運転停止となったという情報もある。

3.2 波に乗った国、英国

現時点での波力・潮流発電の最先進国は英国である。2005年1月、当時のエネルギー大臣は3年以内に波力・潮流発電の商業化を実現するための支援スキームである "Wave and Tidal Stream Energy Demonstration Scheme" を発表し、企業による技術開発への支援に乗り出した。英国では政府の出資によって設立された非営利企業カーボントラスト社 (Carbon Trust) を通じて、洋上風力発電企業や波力・潮流発電企業に技術開発資金を積極的に提供している。例えば、2009年9月に同社は波力発電のベンチャー企業である Pelamis Wave Power 社に 250,000 英ポンド (約 40 百万円) の研究資金を融資した。これは Pelamis 社が開発した Sea Snake (写真 3⁷⁾) の新たな沖合係留方法のための研究開発資金である。また、潮流発電の Marine Current Turbines 社が開発した SeaGen (写真 4⁸⁾) に対しては、より経済的な基礎形式の開発

写真4

Marine Current Turbines 社の潮流発電装置 SeaGen (1.2MW) : 左図は設置予想図、右写真は建造中。2008年4月に Strangford Lough に設置され商業発電を開始した。この 1,000 トンの構造物は、海岸線から約 400 メートルの海底に設置された。完全稼働すると、直径 16m の 2 つのロータが 1 日最大 18 ~ 20 時間稼働して、地域の配電網に電力を供給する予定である。



のために 150,000 英ポンド (約 23 百万円) の研究開発費を融資した⁹⁾。このように英国では、ベンチャー企業が海洋エネルギー発電のための新たな技術を開発し、それに政府が資金を投入、産業として育成するシステムが整いつつある。

英国は洋上風力発電と波力・潮流発電を積極的に進める政策を取っており、すでに世界の波力・潮流発電技術の 25% は英国によって開発され、2050 年までに同発電産業により 20 億ポンド (3,000 億円) の国家歳入と 16,000 人の雇用を創出することができるとしている⁹⁾。大英帝国時代に世界の海を支配した英国、21 世紀に入り英国は世界の洋上風力発電容量の 40% (590MW、2008 年時点) を持つ洋上風力発電大国であるが、波力・潮流発電技術の開発においても世界の最先端を走っており、海洋エネルギー技術国としての地位を築き始めている。

現在の洋上風力発電のほぼ 100% が欧州にあり、2008 年末の同発電容量は約 1,500MW (メガワット) に達している。日本の風力発電容量は 1,880MW (2008 年末)、ほぼそれに匹敵する規模の風力発電が欧州の海域で稼働しているのである。洋上風力発電で世界をリードする欧州は、波力・潮流を含めた海洋エネルギー技術で世界を先導しようとしている。欧州の海洋エネルギー技術の開発を支えている大きな要因は、再生可能エネルギーを支援することにより世界の気候変動の脅威に取り組もうとする各国政府の積極的な政策と、クリーン技術の主導的地位を得て経済成長

をもたらそうとする意欲である¹⁰⁾。欧州には欧州海洋エネルギーセンター (スコットランド) や潮流エネルギーセンター (ポルトガル) があり、研究開発や企業との共同研究を行っている。また、欧州海洋エネルギー協会は、海洋資源の評価、経済性、技術開発についての情報を提供しており、これらを活用しながら多くの企業が波力・潮流発電試作機を製作・設置し、試験運転を行っている。このように、欧州全体で海洋エネルギーの開発を進めており、英国が先導的に商業化を進めているほか、アイルランド、スペイン、



写真5

Verdant Power社がニューヨークのイーストリバーの河床に設置したFree Flow System Turbine: 30基設置予定。河川流や河口の潮流を利用して発電し、河岸地域へ電力を供給する構想である。

ノルウェー、フランスも波力・潮力発電のパイロットプロジェクトを進めている。

3.3 波に乗れるか、米国

2009年4月22日のEarth Day、オバマ大統領はアイオワ州ニュートンにある風力発電用タワー工場において新たなエネルギー政策に関する演説を行い、海域利用に言及した(本連載第3回に詳述)。米国政府はメキシコ湾の大陸棚海域を石油産業に長期間リースし、石油と天然ガスの生産を行ってきた。しかし、今回オバマ大統領は米国史上初めて洋上風力や波力・潮力などの再生可能エネルギー産業に海域をリースする決定を下した。筆者はこの決定が米国の海洋エネルギー開発に大きな進展をもたらすものと考えている。石油の確保を最優先し、石油産業を優遇してきた米国において、これまで海域でのエネルギー生産を独占してきた石油と天然ガスに洋上風力、波力、潮力が加わるのは大きなエネルギー政策の転換であるように見える。しかし、これが現実の海洋エネルギー研究の促進や電力の商業生産に結びつくかは不透明であると言わざるを得ない。石油にあまりに依存し、膨大なエネルギーを消費し続ける米国、洋上風力や波力・潮力によって供給できるであろうエネルギー量は、米国が必要としている膨大な量に対してあまりにも小さいからである。



写真6

1980年代に室蘭港に設置された固定式波力発電の実験プラント: 室蘭工業大学の近藤倣郎名誉教授と渡部富治元教授により進められた。

とはいうものの、グリーンニューディール政策を掲げるオバマ政権が海洋エネルギー研究への投資を促進することは十分に考えられる。そして、何よりも米国の強みはフロンティア技術を産業化しようとする企業家精神と、それを支援する投資環境である。技術的には欧州、特に英国に後れを取っているものの、既に多くのベンチャー企業や大学が波力・潮力発電の研究を進めている。Verdant Power社(写真5¹¹⁾)、Finavera Renewables社、Ocean Energy社、Oceanlinx社、Ocean Renewable Power社、オレゴン州立大学、ハワイ大学などである。これらのプロジェクトの詳細は参考文献9)を参照されたい。

3.4 波に乗れなかった日本

日本では波力発電と海洋温度差発電の研究が1970年代から行われた。運輸省港湾技術研究所の防波堤に設置する空気圧式の波エネルギー変換装置(波力発電ケーソン)の研究、室蘭工業大学の振り子式エネルギー変換装置による波浪発電の研究(写真6¹²⁾)、海洋科学技術センター(現(独)海洋研究開発機構)の沖合浮体式波力発電装置「マイティーホイール」の研究、佐賀大学の海水温度差発電の研究などがある。しかし、残念ながらこれらの研究は実用段階に至っていない。これは基礎研究から実用段階へ進む際、国または民間からの資金投資が行われなかったことが一因であったように思える。日本の場合、発電のような公共プロジェクトに民間からの資金が得にくいこと、更には経済産業省の「新エネルギーの利用等の促進に関する特別措置法」(新エネルギー法)において、「新エネルギー利用等」として指定されている新エネルギーはバイオマス、太陽熱利用、雪氷熱利用、地熱発電、風力発電、太陽光発電であり、海洋エネルギーが新エネルギーに入っていなかったということも実用段階への移行を遅らせた要因であろう。

更に、波エネルギーの使いやすさという問題がある。横浜国立大学名誉教授の合田良実先生は次のように記している¹³⁾。「自然エネルギーは、その大きさが変動するのが特徴である。波は時々刻々にその高さが変化し、また季節によってその大きさが異なる。日本海沿岸のように、夏はべたなぎが続く一方で、冬は荒波のシーズンとなる。こうした波の変動性は、エネルギー利用のうえではマイナス要因となる。もう一つの問題は、波がある限度以上に大きくなったとき、装置が破壊されないように運転を停止しなければならないことである。風力発電とも共通する問題であり、それぞれ

の地点における賦存エネルギーの全量が利用可能なわけではない。自然エネルギーとしての波力発電の検討には、こうした変動性と利用上の制約を考慮する必要がある。」

台風が多く通過する日本、そして決して波パワーが大きいとはいえない日本 (図1参照)、島国に住む日本人にとって波は身近な存在であり、廣井 勇に始まる波力エネルギー研究の長い歴史がある。しかし、そのエネルギーとしての利用はそれほど簡単ではないことを合田先生は示している。

4. 新たな動き、波に乗れ！日本の海洋エネルギー

波のエネルギーは波高の二乗に比例し、周期に比例する (正確には波パワーであるが、簡単のためにエネルギーの語を使う)。東京湾などの内湾や瀬戸内海では波エネルギーが小さいけれども、太平洋や日本海沿岸ではかなりの大きさになる。波浪データから計算すると、1年間の平均で日本沿岸では海岸線1mあたり7kWとなる。日本の全周では36百万kWの値になる (以上文献13から引用)。

日本の風力発電容量は1,880MW (2008年末時点)である。日本全周の波エネルギー36百万kW (36,000MW)は大きな値であることがわかる。そして、日本の海岸線延長35,126kmは世界第6位の長さ、面積あたりの海岸線延長は世界第3位である。日本は海のエネルギーを使うのに適している国土形態といえることができる。しかし、その利用は波エネルギーのごく一部に限られるとともに使い勝手が悪いのである。我々は海洋エネルギーを利用するために多くの難題を解決しなければならない。

海洋エネルギーの利用において波に乗ったかに見える欧州、オバマ政権のもとで波に乗ろうとする米国、そして2009年に入って日本にも波を起こそうとする動きが出てきた。国内初となる波力発電所の建設を三井造船、出光興産、日本風力開発の3社が進めていることが明らかになった¹⁴⁾。既に試験海域の調査などを始めており、候補地の選定後、2011年には出力1,000~2,000kW程度の実証実験を開始、2012年にも出力2万kW程度の発電所を太平洋上で稼働させるというものだ。発電所の建設地は陸上から約10km沖、水深が50~200mの洋上を予定、実証設備の建設には10億円程度かかるとしている。

一方、東京都環境局は本年7月に次のような報道発

表を行った¹⁵⁾。『都は、温室効果ガスの大幅な削減に向け再生可能エネルギーの飛躍的拡大を進めています。現在、太陽エネルギーの拡大を積極的に進めています。更に大幅な再生可能エネルギーの拡大が必要です。そのためには、恵まれた海洋エネルギーの利用が有効であり、日本では特に波力発電が、最も実用化の可能性が高いと考えられます。しかし我が国では、海洋エネルギーが新エネルギーに位置づけられていないため国の支援が得られず、諸外国に比べ実用化に向けた取組が進んでいない状況です。そこで、波力発電の利用可能性を検討するため、学識経験者や民間事業者等と共に「波力発電検討会」を立ち上げますのでお知らせします。』

鳩山首相は2009年9月22日、国連気候変動サミットに出席し、「日本の温暖化ガスの中期目標について、2020年までに1990年比でいえば25%削減を目指す」と表明した。そして、海洋エネルギーの利用を目指して、民間企業が、地方自治体が動き出した。土木技術者廣井 勇が灯した波力エネルギーの研究、約1世紀を経て本格的な実用を目指す波が我々土木技術者に打ち寄せようとしている。

参考文献

- 1) 大浜一之:『科学雑学辞典』(日本実業出版社)
- 2) 土木学会ホームページ
- 3) Thresher, R.W., (2005): "Wave and Tidal Energy: What's happening?," EPA Air Innovations Conference, Chicago, Illinois, August 2005. (本稿のために筆者が再編集)
- 4) 近藤 俊郎 (2004): 「波力発電」、土木施工、山海堂、pp20-26、2004年8月号
- 5) Thorpe, T.W., (2000): "The Wave Energy Programme in the UK and the European Wave Energy Network," Fourth European Wave Energy Conference, Denmark, October 2000.
- 6) "Power From the Restless Sea Stirs the Imagination," The New York Times, September 23, 2008
- 7) Pelamis Wave Power 社ホームページ
- 8) Marine Current Turbines 社ホームページ
- 9) Carbon Trust ホームページ
- 10) 「欧米における潮力・波力発電プロジェクトの最新動向」、NEDO 海外レポート NO.1023, 2008.6.4
- 11) Verdant Power 社ホームページ
- 12) 元室蘭工業大学教授 渡部富治氏提供
- 13) 合田良実 (2001): 「波エネルギー -日本の経験と展望-」、(財)沿岸開発技術センター機関誌、No.1、2001.2
- 14) 日本経済新聞、2009年9月11日朝刊
- 15) 東京都ホームページ