

## 海洋エネルギーの利用

高野 健 三\*

### 1. 新しい、再生のきくエネルギーと開発途上国

1978年に開かれた第33回国連総会は、新しい、再生のきくエネルギーを利用するためのいろいろな方策を検討することを決議した。この決議に加わったのは日本を含む34カ国で、その大多数は開発途上国であった。“新しい”というのは、これまでまったく利用されていなかったか、あるいはほとんど利用されていなかったエネルギーを指し、“再生のきく”というのは、使い果たすことがないエネルギーのことで、例をあげれば、太陽、風、海、地熱、油母頁岩などである。

開発途上国がこれらのエネルギーの利用に強い関心を示すわけはつぎのようになる。

今後、生活水準を高めてゆくにはエネルギーが必要であるが、そのエネルギーを手軽に得ることがむずかしくなってきた。化石エネルギー（石油・石炭）が使いつくされる日は遠くない。原子力はさまざまな難問をかかえている。そこで、先進国は、今のうちに新しいエネルギーの利用技術の確立をはかり、その技術で開発途上国を助けることが望ましい。

エネルギーだけでなく、銀や水銀や鉛や亜鉛など限りのある地球資源の大消費者だった先進国が、あとに続く国々のために新しい資源を探し求めることは当然のつとめであろう。

### 2. 自然エネルギー

新しい、再生のきくエネルギーのうち、太陽や風や海や地熱などの自然現象のエネルギーは“自然エネルギー”と呼ばれることもある。

自然エネルギーはきれいなエネルギーであるといわれる。“きれいな”とはエネルギーをとりだす際に環境を汚染しないという意味に使われるのがふつうであるが、自然エネルギーの場合にはほかの意味も含んでいる。それはつぎの理由による。

地球の外側に到達する太陽放射は  $2 \times 10^{17} \text{ W}^{**}$  ならずである。このうち約  $1/3$  は大気圏や地表で反射されて宇宙空間にもどってしまうので、残り（およそ  $10^{17} \text{ W}$ ）がいろいろな生物活動や自然現象を支えている。地球の内部からも熱が出てくるが、その量は  $10^{13} \text{ W}$  の桁であって太陽放射よりもずっと小さい。

人類のエネルギー消費量は  $10^{13} \text{ W}$  の桁であり、その大部分は化石燃料によってまかなわれている。自然の状態としては  $10^{17} \text{ W}$  の太陽エネルギーがさまざまな形をとりながら地球上を流れているのであるが、これに別のところから、いわば人為的に  $10^{13} \text{ W}$  がつけ加えられている。（化石燃料もも

---

\* 生物科学系

\*\*  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 0.24 \text{ cal/s}$ （J はジュールを示す記号）

ともとは太陽エネルギーであるが、非常に長い時間をかけて蓄えられたエネルギーだから、数100年、数1000年という短い時間を考えるときは、自然エネルギーとは別のエネルギーである。)人為的につけ加えられるエネルギーは本来の自然エネルギーの流れを乱しているわけであるが、それがどの程度にまでふえると、自然の姿はとり返しがつかないほどに変わってしまうのだろうか。

今の学問水準では答えられない問いであるが、ある憶測によると、太陽エネルギーの0.01%の桁、つまり $10^{13}$  Wの桁である。\* もしこの憶測が正しいのなら、かりに化石燃料が無限にあったとしても、そして原子力が使いやすいエネルギーであったとしても、私たちはエネルギー消費量を現在程度に、あるいはせいぜい数倍程度にとどめておかなければならないだろう。

では、自然エネルギーを使う場合の限界はどのくらいになるだろうか。これもよくわからないが、太陽エネルギーの1%くらい、 $10^{15}$  Wの桁、ではないかともいわれている。化石エネルギーや原子力の場合とちがって、自然エネルギーの利用は、地球上を流れるエネルギーの総量をふやすわけではない。流れのみちすじをすこし変えるだけだから、自然に対する影響はずっと小さいはずである。“1%”という数字が正しいなら、自然エネルギーを使ってエネルギー消費量をこの先100倍から数100倍にふやすことができる。利用にあたって汚染物質を出さないという意味だけではなく、自然エネルギーはこの意味でかなりきれいなエネルギーである。

海のエネルギーを広い意味で解釈すれば、海水中にわずかに存在するウランやリチウムなどの資源や海中生物をエネルギーに変えること、洋上の風を利用すること、海のエネルギーを利用して気象・気候を改良すること、海上や海中に発電所を作ることなども含まれるけれども、ここでは狭い意味にとって、潮汐・潮流、かぜ波・うねり、温度差、海流、塩分差だけにとどめる。

### 3. 波エネルギーの量

風が吹けばかぜ波が立つ。かぜ波が遠くへ伝ばすとうねりとなる。潮汐・潮流も波であるが、エネルギーの分野ではかぜ波とうねりをあわせて“波”と呼ぶのがふつうである。

波の仕事率は、波長が(海の深さにくらべて)短い場合(外洋ではそうなっている)には、振幅の2乗と周期の積に比例する。1975年10月3日の波エネルギーは $0.9 \times 10^{17}$  Wと見つまっている。この日付には特別の意味はない。たまたまこの日は波のデータが多かっただけのことである。現在の観測網では海全体にわたって波の分布を知るのはむずかしいので、 $0.9 \times 10^{17}$  Wという値の誤差は大きいだろうが、だいたい $10^{17}$  W前後と思われる。 $10^{17}$  Wは太陽エネルギーの量に等しいが、太陽エネルギーがすべて波のエネルギーになるというわけではない。波のエネルギーはある程度の期間にわたって貯えられたエネルギーだからである。

利用の対象になるのは $10^{17}$  Wの一部である。もし $10^{17}$  Wのすべてを利用しようとするれば、海面を広く利用装置(波力発電所)でおおわなければならない。そうなったら、その装置が邪魔になって波は発達できないから、波エネルギーは $10^{17}$  Wにはとうてい達しない。さきに、自然エネル

---

\* 大工業地帯でのエネルギー消費量は、その地帯に入射する太陽エネルギーの10%程度となっている。モスクワやニューヨーク(マンハッタン)では入射する太陽エネルギーの数倍のエネルギーが消費されている。

ギーの利用は自然に与える影響が小さいと述べたが、自然エネルギーの流れに介入するからには必ず影響がどこかに及ぶ。

日本の海岸に到達する波エネルギーは、新発電方式総合調査委員会（1970）によると  $1.4 \times 10^{12}$  Wで、日本のエネルギー消費量の数倍になる。しかし、これは過大評価である。本当はずっとすくなくて、 $3 \sim 5 \times 10^{10}$  Wくらいらしい。

#### 4. 潮汐・潮流のエネルギー

月や太陽の引力によって海水が水平方向に動くのが潮流であり、その結果、海面が上下に動くのが潮汐だから、潮汐も潮流も同じ現象を指している。しばしば誤解されているが、海水が月や太陽の引力によって上に引っぱられて潮汐・潮流がおきているのではない。海水が水平方向に引っぱられることが原因である。

さて、流れの仕事率は流速の3乗に比例するから、流速を見つもら損うと仕事率は大きく狂う。潮汐・潮流のエネルギーは世界じゅうで  $10^{16}$  W $\sim$  $10^{18}$  W程度と思われる。その一部、 $10^{13}$  Wの桁、は水と水との間のまさつ、水と海底との間のまさつで失われている。このまさつのために地球の自転は遅くなっている。10万年たつて1日の長さが1秒くらいのびる。

フランスの北西部を流れて英仏海峡に注ぐランス川に潮汐発電所が作られ、1966年から運転されている。その出力は  $24 \times 10^7$  W にすぎないが、発電所を建設するまではランス川の川口でまさつで失われていたエネルギーはせいぜい  $6 \times 10^7$  W だから、発電所は潮汐エネルギーの損失を大きくした。遠くはなれた場所でのエネルギー損失は発電所建設の前後で変わらないだろうから、世界じゅうでのエネルギー損失はややふえたことになり、そのぶんだけ地球の自転をさらに遅くしている。

#### 5. 海流のエネルギー

黒潮や湾流（北大西洋の西側を北へ流れる海流）の運動エネルギーはそれぞれ  $10^{10}$  W の桁であり、 $10^{11}$  W をこえないと思われている。世界じゅうの総量はわからない。前に述べたように、仕事率は流速の3乗に比例する。流速の分布がよくわからないので、大きさの桁もわからない。運動エネルギーの見つもらがむずかしいのは海そのものの性質にもよる。海でも大気でも運動エネルギーは（有効）位置エネルギー\*よりもずっと小さい。海の場合には2桁か3桁くらい小さい。したがって、位置エネルギーが1%か0.1%増減するだけでも運動エネルギーの増減は100%にも達する。大ざっぱに言えば、位置エネルギーは変わりにくいのが、運動エネルギーは不安定な量である。

---

\*位置エネルギーは、その変化だけが意味をもつ。大きさそのものはどのようにも定義できるから、運動エネルギーとの比較は意味がない。有効位置エネルギーは、その系での最小位置エネルギーを引き去ったもので“運動エネルギーに変換される可能性のある位置エネルギー”という明確な意味をもつ。

## 6. 温度差エネルギー

海は熱の大貯蔵庫だといわれる。海水が大量にあって、しかも水の比熱が大きい（液体アンモニアを除けば液体・固体のうちで最大）ために熱容量が大きいからである。海面から深さ3mまでの薄い層の熱容量は大気全体の熱容量に等しい。太陽エネルギー（ $10^{17}$  W）のすべてを海を暖めることに使っても海全体の水温は1年たって0.5℃しか高くない。

緯度線を横切って海が低緯度から高緯度に運んでいる熱量はおよそ $10^{15}$  Wで、人類のエネルギー消費量より2桁も大きい。海面からは毎年約 $450 \times 10^3$  km<sup>3</sup>の水が蒸発している。1gの水が蒸発するには2400 Jの気化熱が必要だから、海が蒸発によって失う熱は $4 \times 10^{16}$  W — 太陽エネルギーの半分に近い — になる。

これらの例は海の中を動いている熱量が莫大であることを示している。しかし、海にはどれだけの熱が貯えられているのか、という質問は、人間がどれだけの熱をもっているのかという質問と同じで、まったく意味がない\*。

温度差エネルギーは $10^{13}$  Wか $10^{14}$  Wの桁と思われるが、この全部が利用の対象とはならない。温度差エネルギーは、表層の暖水と深層の冷水の温度差からとりだすエネルギーであるが、とりすぎると、表層と深層の間の温度差が小さくなってしまうからである。

## 7. 塩分差エネルギー

ほかの物質にくらべて水はいろいろな点できわだった性質をもっている。その1つは物を溶かす能力の強さである。したがって浸透圧も高い。塩分35%というふつうの海水の浸透圧は20℃で24.8気圧である。別のいい方をすれば、この海水に対して1gの淡水（河川水）は256.2g mの位置エネルギーをもっている。つまり、浸透圧という立場で見れば、世界じゅうのすべての川は海に流れこむときは落差250mの滝となっている。川からは毎年 $40 \times 10^3$  km<sup>3</sup>の淡水が海に流れこんでいる。それがすべて落差250mの滝なのだから、そのエネルギーはおよそ $3.5 \times 10^{12}$  Wとなる。

上にあげた数字などを表にまとめたのが第1表である。

第1表 海のエネルギーの大きさ（W）

太陽エネルギー	$10^{17}$	風の運動エネルギー	$10^{20}$
海が運ぶ熱量	$10^{15}$	世界じゅうの発電能力	$10^{12}$
海水の蒸発にともなう気化熱	$4 \times 10^{16}$	世界じゅうのエネルギー消費	$10^{13}$
黒潮や湾流の運動エネルギー	$\leq 10^{11}$	光合成 { 陸 海	$6 \times 10^{13}$ $3 \times 10^{13}$
まさつで失われる潮汐エネルギー	$3 \times 10^{12}$		
浸透圧	$3 \times 10^{12}$		
波エネルギー	$10^{17}$		

\* これもしばしば誤解されているが、“熱”は物の状態を示す量ではない。位置エネルギーと同じで、その大きさには意味がない。“熱”はエネルギーが移動したときにだけ定義される量だから、その移動にともなう増減だけが意味をもっている。

## 8. 波エネルギーの利用

波エネルギーの利用には数多くの方法がある。たとえば1856年から1973年までにイギリスで登録された特許の数は340件である。日本でも石油危機以後は波エネルギーへの関心が高まり、1973年から1980年までに250件の特許申請が出ている。

いかだ方式、あひる方式、はまぐり方式、いるか方式、ふくろ方式などさまざまであるが、大きくわければ波の上下運動を利用する方法、水平方向の往復運動を利用する方法、圧力の変動を利用する方法である。

これまでに実用になっているものの多くは航路標識ブイ用の小型装置で、出力は数10Wにすぎない。試験用として大きいのは、日本の海洋科学技術センターが山形県由良沖で使った空気タービン方式発電装置である。長さは80m、巾は12mで、2000トン級の貨物船とほぼ同じ大きさである。当初の定格出力は125kWであったが、その後10倍に増強された。

波のエネルギーは、大きいところでも進行方向に直角の1mあたり数10kW以下である。さきにエネルギーの総量は $10^{17}$ Wと述べたが、このうち $10^{12} \sim 10^{13}$ W程度が消失したり新たに生じているらしいので、自然の状態をあまり乱さないためには、 $10^{12} \sim 10^{13}$ Wが利用限界となる。海岸の近くに利用装置をおけば——そういう使い方がふつうであろうが——防波堤・消波堤の働きもするが、海岸近くの流れが変わって地形が変わってしまうおそれもある。生態系にも影響が及ぶであろう。特許の数の多さからも想像できるが、いろいろな思いつきの中から効率のよい方式をえらぼうとしているのが現状である。

## 9. 潮汐エネルギーの利用

潮汐も潮流も同じ現象であるが、使う立場ではすこしちがう。海面の上下運動を利用するのが潮汐発電であり、海水の水平運動を利用するのが潮流発電である。潮流発電はつぎに述べる海流発電と同じ部類に属する。

満潮時に貯水池に貯えられた海水を干潮時に海に落して、タービンをまわすというのが潮汐発電の基本原理である。満潮・干潮はおもに月の運行に支配されているのに反して、人間は太陽と歩調をあわせて生活しているから、電力需要もだいたい太陽と歩調が合ってしまう。ひところは潮汐と電力需要の歩調のずれが難題であったが、ポンプを使って貯水池の水位を満潮時にさらに高めたり、干潮時にさらに下げたりすれば、発電所の出力を思いのままに変えられることがわかった。<sup>\*</sup> いくつかの貯水池を水門でつなぐ複貯水池方式でもある程度の出力調整はできる。

現在、稼働中の潮汐発電所は前述のランス川ののに加えて、ソ連が1968年にキスラヤ湾に作った400kWの小型発電所がある。中国については情報がすくないが、1958年当時で稼働中のものが

---

<sup>\*</sup> 揚水発電と似ているが、揚水発電ではポンプを動かすことがエネルギー損失につながる。しかし、潮汐発電ではポンプを巧みに操作すれば、ポンプが消費したエネルギーを差しひいてもなお余りがでる。つまり、大きな貯水池と大きなポンプを使えば、りくつの上ではエネルギー生産をいくらでもふやせるのである。

40, 建設中のものが88だったと伝えられている。どれも小型で, 最大のものでも160kWである。

フランスにはランス川の川口の北方に高さ35m, 長さ34kmの堤防を築いて大潮汐発電所を作る計画があり, ランス川発電所はその予備試験の性格をもっていた。しかし, ランス川発電所の建設費がはじめの予定をこえたことと, 原子力利用が予想以上に順調に伸びたことが重なって大発電所計画は取りやめになった。しかし, 最近になってこの計画が復活し,  $6 \times 10^9 \sim 12 \times 10^9$  Wの発電所の建設案を検討している。大計画はこのほかアメリカ, カナダ, 韓国などにもある。韓国では  $4.5 \times 10^8$  W,  $8.1 \times 10^8$  W,  $3.3 \times 10^8$  Wの発電所建設案が検討されている。

まさつによって失われている潮汐エネルギー —  $10^{12}$  Wの桁 — 程度のエネルギーを利用して, 世界じゅうの潮汐のようすが変わるとは思えないから,  $10^{12}$  Wあたりが利用限界となる。しかし, 潮差(満潮と干潮のときの水位の差)が大きい場所で, しかも, 短い堤防で大きな貯水池を作れる地形が望ましいので, どこでもというわけにはゆかない。実際には  $10^{11}$  W — 現在の水力発電と同じ程度 — どまりと考えられる。

## 10. 潮流・海流エネルギーの利用

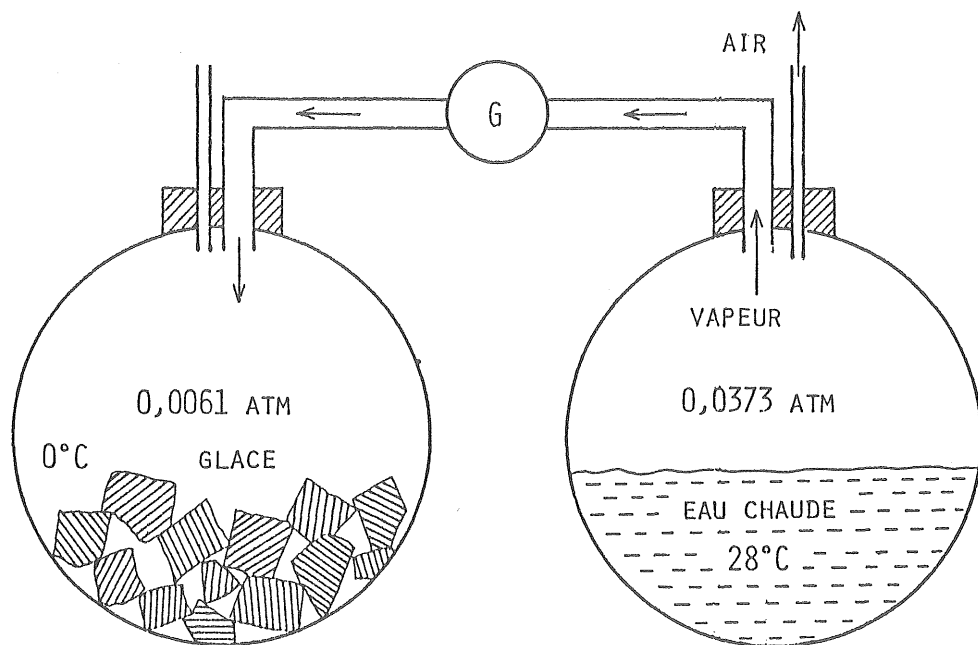
潮流・海流エネルギーの利用法の基本は風の場合と同じである。プロペラ(インペラ)かロータをまわす。大ざっぱに言えば, 出力は, 流速の3乗と密度の積に比例する。潮流や海流は風よりもずっと遅いのがふつうであるが, 海水の密度は(1気圧の)大気の密度の800倍もあるから潮流・海流の出力は風にくらべて決して小さくはない。たとえば, フランスで風力発電を行うともっとも条件のよいところで1年に  $6200 \text{ kWh/m}^2$  のエネルギーが得られるが, 潮流発電ではもっとも条件のよいところをえらべば1年に  $58800 \text{ kWh/m}^2$  のエネルギーが得られるという。

潮流・海流エネルギーは実用にならないと考える傾向が強いが, アメリカと日本では数年来研究が進められている。アメリカのはコリオリ計画という。この名で呼ばれるのは, 湾流(に限らず海の西側にある強い海流はどれでも)はコリオリの力が働いていなければ存在できないからである。コリオリ(Gustave Gaspard Coriolis)は地球が自転しているために, 地球と一緒に動いている座標系で物の動きを観察すると, 自転に由来する“見かけ上の力”(本当の力ではない)が働いているように見えることをはじめて指摘したフランスの数学者・工学者である。日本のには名はついていないが, この夏, 小型発電機の試験を九州沖で行う予定である。

利用の対象となるのは  $10^9 \sim 10^{10}$  Wであろう。この程度のエネルギーが使われたら, 海流そのものがどのように変わるか, そしてその結果, 海流が高緯度に運んでいる熱量がどのくらい減るか, という問題も研究されている。

## 11. 温度差エネルギーの利用

利用の原理は19世紀から知られていたが, はじめて電灯をともしてみせたのはフランスのクロードとブーシュロ(1926年)である。第1図はその装置を示している。右側のフラスコに  $28^\circ\text{C}$  の



第1図 温度差発電の原理. (Gは発電機)

温水が、左側のフラスコには0°Cの水がはいっている。右側のフラスコの空気を抜いて圧力を下げてゆく。圧力が0.0373気圧になると28°Cの温水は沸騰してさかんに蒸発する。左側のフラスコ内の0°Cの水と平衡状態にある水蒸気の圧力は0.0061気圧だから、0.0373気圧との差が利いて、\*右側のフラスコから左側のフラスコへ水蒸気は噴出し、0°Cの水で冷やされて水にもどる。この水蒸気の噴流を利用して発電機を働かせる。タービンは5000 rpmの速さでまわり、2.5 Wの電球3個を8分から10分間ともした。10分間どまりだったのは温水の温度が28°Cから20°Cに下がり、じゅうぶんに水蒸気が出てこなくなったからである。

これを海に应用するとき、表層の暖かい水を右側のフラスコにみちびき、深層の冷い水を左側のフラスコにみちびく形となる。

クロードはそののち実用化をはかるけれども結局失敗した。最大の難点は取水管の障害である。取水管が太いために障害がおこりやすいのであるが、取水管が太くなるのは水の特異な性質による。液体としての水はほかの液体にくらべてとくに軽いわけではなく、むしろ重いほうであるが、気体(水蒸気)になると非常に軽くなってしまふ。第2表は、32°Cでの水、プロパン、アンモニアの蒸気の最大密度と32°Cと4°Cでの最大蒸気圧を示している。

水蒸気は軽いいためタービンをまわす力が弱い上に、蒸気圧の差が小さいために速い噴流ができない。そこで、タービンをまわす作業流体としては水よりもずっと重く、蒸気圧の差も大きいプロパ

\*冷蔵庫の中の食品から水が蒸発して冷却器に凝結するのも同じりくつである。

第2表 32℃の蒸気の最大密度 (kg/m<sup>3</sup>) と最大蒸気圧 (kg/cm<sup>2</sup>)

	最大密度		最大蒸気圧	
	32℃	32℃	32℃	4℃
水	0.034	0.049	0.0086	
プロパン	25.0	11.5	5.5	
アンモニア	10.0	12.7	5.2	

ンやアンモニアを使い、海水は作業流体を暖めたり冷やしたりするのに使えば装置はずっと小さくてすむ。これをクローズドシステムという。海水だけを使うのはオープンシステムである。現在はおもにクローズドシステムが検討されている。この場合にたいせつなのは熱交換器の性能だから、熱交換器の研究がクローズドシステム開発の中心となる。

海のエネルギーのなかでもっとも有望なのは温度差エネルギーだとされているが、どの程度まで利用できるのだろうか。

温度差エネルギーを利用すると表層に冷たい水が排出され、表層の水温は下がる。表層の水温低下は生物にとっては好ましい状況である。水温低下によって表層の水は重くなり、上下にまじりやすくなるから、下層からの栄養塩補給がさかんになるし、大気中の酸素や二酸化炭素も海に溶けこみやすくなる。この逆が、大気中の二酸化炭素がふえて地表気温が高くなり、表層水温が高くなったときの状況である。表層の水は軽くなり、上下にまじりにくくなって表層の栄養塩は乏しくなり、海水中の酸素も乏しくなる。こうして、一次生産や漁場の分布に大変化がおきるだろう。

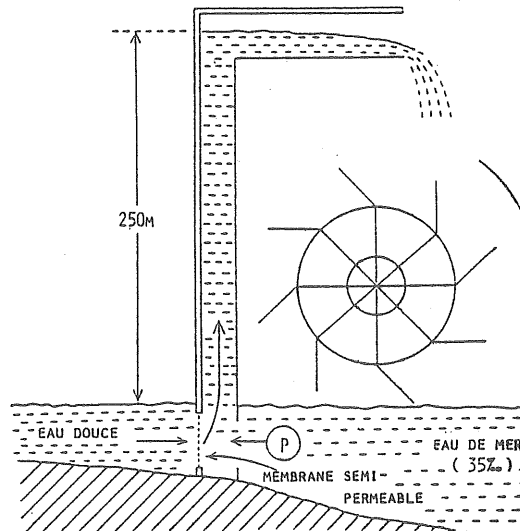
表層水温の低下は気象・気候にも影響を及ぼす。現在にもっとも近い氷期の最盛期（もっとも寒かった時期）は18000年前である。18000年前の表面水温は海全体で平均すれば現在の平均値よりも約1℃低くなる。ある見つもりによると、温度差エネルギーを10<sup>13</sup> Wの桁で利用すると表面水温は平均して約1℃低くなる。表面水温の分布と気象・気候とは深いかわりがあるので、表面水温が1℃低くなったら氷期の気候になってしまうおそれがある。氷期のほうが人類全体としては幸福だという考え方もあるが、もし気候を今の状態に保ちたいなら、そして上の見つもりが正しいなら、温度差エネルギーの利用限界は10<sup>13</sup> Wのあたりにある。

深層の冷水の使いみちはほかにもある。赤道域では島の海岸から沖に向かって急に深くなっているところがすくなくない。深層から冷水を引いて冷房に使う。大気中の水蒸気が凝結するから副産物として淡水もとれる。ふつうの冷房装置1台を動かす電力でポンプを動かし、冷水を引いてくると、2000台の冷房装置に匹敵する冷房効果を得ることができる、という計算結果がある。



## 12. 塩分差エネルギーの利用

第2図に滲透圧利用の原理を示した。パイプの下にPはポンプである。このポンプで海水をパイプの中に押しこみ、パイプ内の塩分が下がらないようにする。これが実用にならないのは半透膜の技術が、近年目ざましく進歩したとはいえ、まだ不足だからである。



第2図 塩分差発電の原理。(中央下のPは水をパイプに送りこんで塩分を保つためのポンプ)

上にあげた海のエネルギー、および生物エネルギー、洋上の風エネルギーについて、利用可能量、試験利用の時期、実用時期をまとめたのが第3表 (Constans, 1978)である。エネルギー量については上で述べたのとちがっているものもあるが、今の海洋学の水準ではこのくらいのちがいは止むを得ない。

第3表 海のエネルギー量と利用時期

	エネルギー量 (W)	試験利用	実用時期
温度差	$4 \times 10^{13}$	1990	2010
塩分差	$1.4 \times 10^{12}$	2000	2050
生物変換	$10^{13}$	1985～1990	2000
海流	$5 \times 10^{12}$	1990	2020
潮汐	$3 \times 10^{12}$	1977	1990
波	$2.5 \times 10^{12}$	1985	1995
洋上の風	$> 20 \times 10^{12}$	1985	1995

### 13. 海洋エネルギーの特徴

海には莫大なエネルギーがあるが、それは海が大きいからなのであって、海水 1g あたり、あるいは  $1\text{cm}^3$  あたりのエネルギーはすくない。風エネルギーなどと同じく“うすめられたエネルギー”である。たとえば、1g の石油は  $4 \times 10^4$  J のエネルギーをもつ。これだけのエネルギーを 1g の海水の運動エネルギーから得るには、海水が 1m/s の速さで動いても 10 日かかる。黒潮や湾流など強い海流を除けば 1m/s という速さは存在しない。もし流速が 10cm/s であれば 10000 日もかかる。波長にくらべて深い海を伝ばする周期 10 秒、高さ 2 m (振巾 1 m) のうねりを例にとろう。この波の波長は 150 m であり、数 10m までの深さの海水が動いている。進行方向に直角に 1 m の巾をもち、数 10m の深さに及ぶ鉛直断面を通過する波エネルギーが  $40\text{kW/m}$  (ほぼ  $4 \times 10^4 \text{J/m/s}$ ) である。数  $10\text{m}^2$  の鉛直断面を 1 秒間に通過する波エネルギーが 1g の石油のエネルギーに等しい。

このようにうすいエネルギーを利用するには大きな装置が必要となる。こういう場合、小型の装置をたくさん作るよりも、少数の大型の装置を作るほうが単位エネルギーあたりの原価が安くなると考えがちである。この考えが正しいとはかぎらないことはつぎのようにしてわかる。

エネルギーを捕捉する面の広さを  $S$ 、装置の体積を  $V$ 、装置の建設費を  $F$ 、捕捉されるエネルギーを  $P$ 、長さの代表値を  $L$  とする。建設費  $F$  は体積  $V$  にほぼ比例する。捕捉されるエネルギー  $P$  は面積  $S$  にほぼ比例するから、

$$F \propto V \propto L^3 \propto S^{3/2}.$$

したがって、単位エネルギーあたりの建設費  $F/P$  は、

$$F/P \propto V^{1/3} \propto L \propto S^{1/2}$$

となり、装置が大きいと単価は高くなる。小型装置の利点はほかにもある。同じ物をたくさん作るときの量産効果である。また、海のエネルギー（自然エネルギーといってもよいが）に関心が高い開発途上国の多くは、すくなくともこの先当分の間は大電力消費国にはならないだろうし、多数の小さな島をもっている国にとっては小型装置がとくに生きてくる。

個々のエネルギーの特徴を要約するとつぎようになる。

(イ) 波：波の高さの変動は大きい。その上、その変動を予測できない。環境への影響はすでに述べたように、よい面もあるが、悪い面もありそうだ。

(ロ) 潮汐：水位の変動は大きい。数カ月以上も先の水位を完全に予測できる。環境への影響は小さい。しかし、利用できる場所がかぎられている。

(ハ) 潮流・海流：変動が大きい。海流については変動を予測できない。環境への影響は小さい。

(ニ) 温度差：深層の水温は昼夜、季節を問わず一定であるが、表層の水温には日変化も年変化もある。しかし、その変化は小さい。温度差利用について立地条件がよい熱帯海域ではとくに変化が小さい。したがって温度差の変化も小さい。これが、ほかの海洋エネルギーには見られない長所であり、温度差がもっとも期待されている理由の一つになっている。環境への影響は前にもすこしふれたが微妙である。熱帯海域の小さな島で温度差を利用すれば、島のまわりの表面水温が下がり、

海の生産性は高まり、島も涼しくなりそうであるが、上空の大気の安定度は増し、雲がすくなくなると雨量がへるかも知れない。また、クローズドシステムから作業流体が流出する事故がおきた場合の影響評価も今後の課題の1つである。

(ホ) 塩分差：海に流れこむ川の水は季節によって変わるが、波や海流や風ほどには変わらないのがふつうである。川口近くの流れの状況や地形は変わるかも知れない。

#### 14. 共同研究

波や温度差や潮汐のエネルギーをとりだす装置を陸上や陸に接して作る場合は別であるが、一般には装置は岸を離れて沖合にある。人間は陸上で生活しているのだから、とり出したエネルギーをその場(沖合)で何らかの方法で貯蔵するか、水素やアンモニアやアルミニウムの製造などに使って、製品を陸上に送るか、送電線を使って電力として陸上に送るかということになる。電圧や周波数が変動する、いわば質の悪い電力を陸上の質のよい電力系にくみ入れるのはかんたんなことではない。大型施設を海上または海中に安全に繋留する技術、その運転が海の生態系や環境に及ぼす影響の事前評価、この種の施設の法律上の立場など、エネルギーがゆたかにある海域を探すことに始まって消費に終るまで、海洋力学、機械工学、電気工学、土木工学、化学工学、法学などいくつもの分野にかかわる未解決の問題がすくなくない。国際協力も必要だし、ことなる専門分野の間での協力も必要である。はじめに述べた国連総会の決議も国際協力をうたっていた。

#### 15. ねだん

海洋エネルギーのコストの試算はなぜか日本ではほとんど行われていないが、\* 外国ではすくなくない。エネルギー利用におかたにたずさわっている研究者・技術者による試算はコストを低めに見つめる傾向がないわけでもないが、いくつかの例を第4表にあげた。波も潮汐も潮・海流も温度差もだいたい同じ程度のねだんになるが、しいていえば温度差がもっとも安そうである。ちなみに1970年代のなかばにアメリカで稼働していた発電所のコストは原子力も含めて3.8~15.0mills/kWhであった。表の数字はどれも3.8~15.0mills/kWhよりも高いけれども、離島などでは従来の方法による電力とじゅうぶんに対抗できそうである。

しかし、エネルギーを(金銭上の)コストや環境に与える影響だけによって評価するのは正しくないだろう。海のエネルギーにかぎらず、エネルギーを利用するには装置が必要である。装置を作り、運転するにはエネルギーが必要である。この投資エネルギーを、この装置で生産されるエネルギーが何年かかってとりもどせるか、ということがそのエネルギーの値打ちをきめる一つの尺度である。ある種の波力発電装置についてイギリスで行われた研究によると、「その波力発電装置は、使われ

---

\*ある(国際)作業部会で日本代表が「日本の波力発電の研究は、コストを無視し、ただどれだけのエネルギーを波からとりだせるかということに重点をおいている」と述べてほかの出席者たちを当惑させたことがある。

第4表 エネルギーコスト

	建設費 (\$ US/kW)	エネルギー (mills US /kWh)
波	2200 ~ 8740	70 ~ 225
潮汐	800 ~ 1000	25 ~ 30
	2294 ~ 3470	52 ~ 106
潮流・海流	1050	40
温度差	2100 ~ 2900	35 ~ 54
	2600 ~ 3000	50 ~ 75

1 mill = \$ 0.001

ている鉄1トンあたり77Wのエネルギーを生産する。いっぽう、1トンの鉄を作るには10000kWhのエネルギーが費やされる。この投資エネルギーをとりもどすには $10^7/77$  (時間) = 15 (年)かかる。15年という年月は装置の耐用年数にほぼ等しい。」つまり、この波力発電装置はエネルギーを生産していないことになってしまう。

食糧については投資エネルギーが、末端で消費されたエネルギーよりも大きくなるのは今日では珍らしくないが、海のエネルギーだけではなくほかの自然エネルギーや核エネルギーなどについてもエネルギー収支を調べてみる必要がある。

#### 文 献

Constans, J. A. : Present and future possibilities of energy production from marine sources.  
UNESCO, ESA-77-305, 1978.  
新発電方式調査報告 : 日本電機工業会, 1970年, 3分冊; 1971年, 2分冊。