



たけうち かおる  
竹内 薫  
(科学作家)

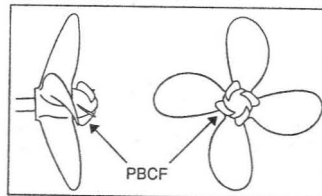
第6回

## 深層水が豊饒の海を育む

おおくさ ゆき  
大内一之

(東京大学大学院工学系研究科特任教授)

大内教授が発明したPBCF付プロペラ



漁業資源とエネルギーの枯渇が懸念される中、  
海洋国家・日本に思いがけない救世主が現われた

とにより、プロペラが生み出す渦をなくし、船が効率よく推進できるようにする装置で、大幅な省エネ効果につながる発明だ。大内はこの画期的なフィンの開発の陣頭指揮を執り、造船学会賞や運輸大臣表彰を受け、同時に博士号も取得した。PBCFは累計で一五〇〇基を売り上げ、いまだに会社に年間数億円の利益をもたらしているそうだが、皮肉なことに、この「成功」が順風満帆だった大内の会社人生を狂わせることになる。

「ゼネラリストになりたいと思ってただけで、社内ではスペシャリストにされちゃったんですね。そうするともう傍流へ行かされちゃうんですね、大企業っていうのは。研究者は出世しないんだっていうんですよ。同僚が部長とか役員になつて時代でね、出向先のナカシマプロペラから本社に帰っても先が知れてる。それならば他にいろいろ楽しいこともやりたいから、うまくいくかどうかかわからんけど、清水の舞台から飛び下りる気で独立したんです」

コンサルタント業が成立しづらい日本で、大内は、大きな賭けに出た。人生の大海原に船出したのである。

世界の魚の半分は〇・一パーセントの海で育まれる

独立前に出向していたナカシマプロペラで、大内は、PBCFの他にもうひとつの宝物を手に入れていた。それは「密度流拡散装置」という機械だ。

世の中に脱サラはよくあるが、理系研究者が脱サラしてコンサルタント業務を始め、国家的な実験プロジェクトを推進する、というのは、あまり耳にする話ではない。その男は、五十二歳の働き盛りで大手海運会社の商船三井を辞め、海洋深層水に残りの人生を賭けた。いったい何が男を駆り立てたのか？ 今回は、東京大学特任教授・大内海洋コンサルタント代表取締役の大内一之に海洋深層水が秘める大いなる可能性を伺う。

### 人生航路を狂わせた発明

父親が外航船の船長をしていたため、大内は、子供のころから自然と海に親しみがあつたという。しかし、なぜか船に乗るよりも造るほうに惹かれてゆき、大学では船舶工学科で造船を学ぶことになる。

「最初は商船三井という船会社に入りましたが、入社動機はやっぱり船全体をやりたいから。これが造船所にいくと、エンジンの専門家とか、機装の専門家とかね、そういうふうになっちゃうわけですね。僕は船の全体を扱う仕事をやりたかった。ところが、課長になったときに、偶然にも『プロペラ・ボス・キャップ・フィン』という装置の研究をすることになって……」

プロペラ・ボス・キャップ・フィン(PBCF)とは、通常のプロペラ(スクリュ)の真ん中に小さな羽をつけるこ

「これはマリノフォーラム21という農水省の外郭団体でやりました。三重県の手ヶ所湾という狭い閉鎖性の湾の下が、ヘドロが溜まって酸素が少ない状態になり、死んだ海になってしまった。貧酸素水塊というんですけど、それを解消するために、底の部分の海水を汲み上げて、湾内全体をうまく攪拌する。そういう機械の研究をやっていたんです」

当時、東大(駒場)の総合文化研究科におられた高橋正征先生(海洋生態学)がマリノフォーラムの委員をやられてまして、この密度流拡散装置(下の水と上の水を引っ張って、混ぜながら横に密度流として流すというコンセプトの装置)を使って大きな海も混ぜられないかというんですよ。

そのとき高橋さんとディスカッションしたのは、世界の海のうち——これは私もほんとに驚いたんですけども——わずか〇・一パーセントの海域だけ、湧昇流といって海洋深層水が湧き上がっている場所があるんですね。有名なのは南米西海岸(ペルー沖)とか、アフリカ西海岸(カナリー諸島)。そういう湧昇海域は栄養豊富な深層水が湧き上がっているため、プランクトンが豊富です。そのたった〇・一パーセントの海域から、世界の魚の五〇パーセントが生産されているというんですよ。これはすごいですよ」

〇・一パーセントという数字は、もともと一九六九年にアメリカのジョン・ライザーという人が「サイエンス」という雑誌に発表したもので、当時は世界に衝撃を与えたが、今では定説になっているのだという。

## 海洋深層水とはなにか

いよいよ今回のメインテーマの海洋深層水である。よくペットボトルの飲み水などで耳にする言葉だが、海洋深層水とは、いったいどこにあり、どのような特徴があるのか。

「文字通り海の深いところにあるわけですが、実は特徴が大きく三つありましてね。第一に温度が低いということ、第二に無機の栄養塩（チッソ、リンなど）をたくさん含んでいるということ、第三に雑菌が少なく清浄である。この三つの特徴があるわけですね。

これを日本では脱塩して飲み水にしたり、主に清浄水として使ってるんですけども、栄養分を豊富に含んでいるため、肥料でもあるんですね。チッソ肥料とリン肥料。これが深さ二百メートル以下のところに眠っているわけです。なぜ上に昇ってこないかというと、海の表層は太陽で温められて、比重が軽くなっているんですね。水が軽いわけですね。下は重いんです、冷たくて。そうすると水の上に油が乗っている感じになる」

同じ水なのに、表層水と深層水は性格が大きく異なり、混ぜることもない。深度二百メートルくらいのところには「密度躍層」と呼ばれる層があり、たとえば潜水艇で潜っていくと、この境界層のところでポンとトランポリンのように跳ね返ってしまうのだという。それにしても、なぜ、大内は海

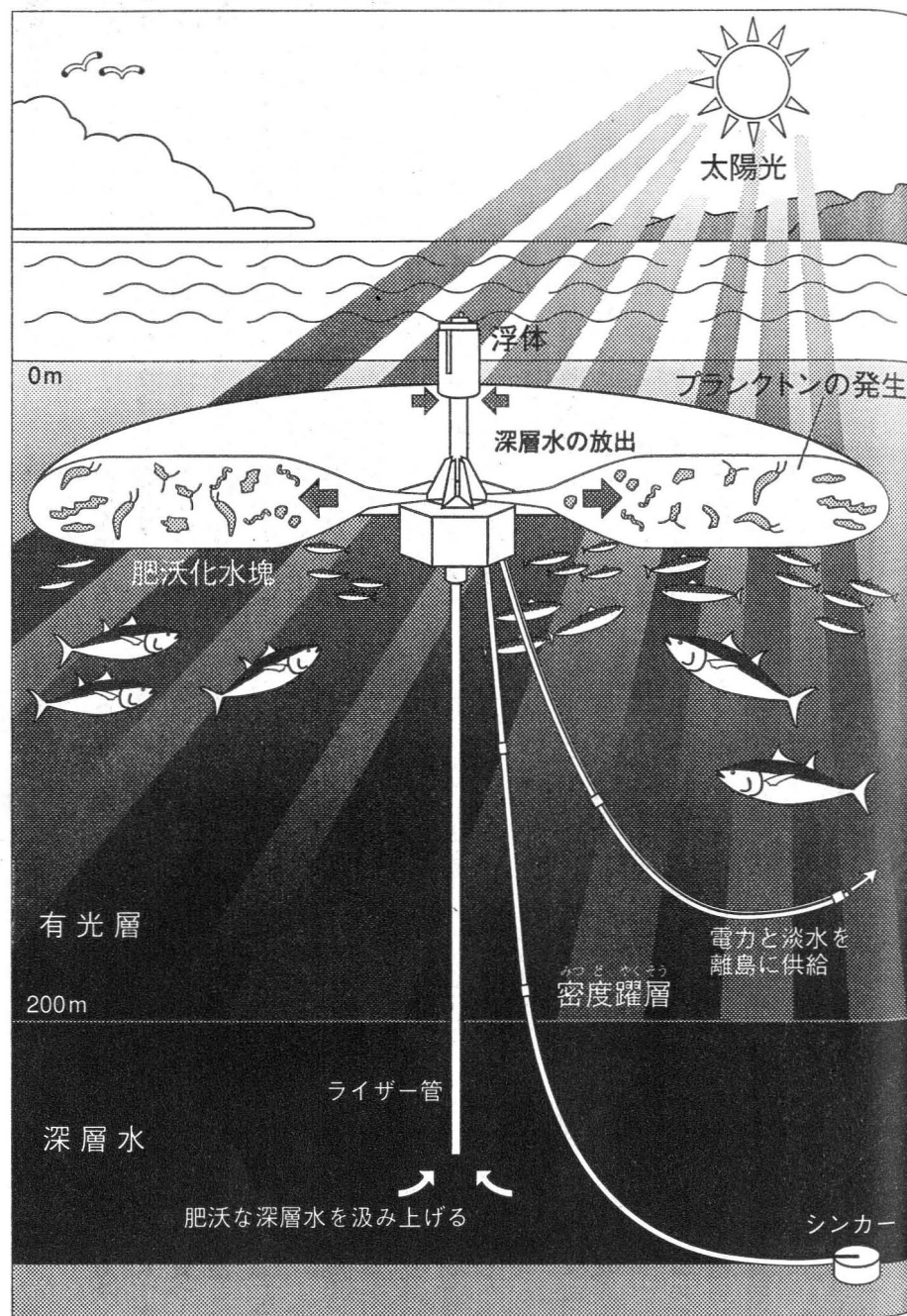
洋深層水にこだわるのか。

「海流が少々流れようと、上下はなかなか混ざらないわけですね。肥料は、結局何に利くかというと、植物をつくるための光合成なんです。そうすると下のほうは長年にわたってずっと蓄積された肥料がリッチなままですが、上では光合成により消費されてしまいます。光合成というのは、地球上でいちばん重要な化学反応で、生命の源です。これは太陽光と二酸化炭素と水から、炭水化物と酸素ができるわけですが、微小のチッソやリンや鉄などがないと、光合成は起こらないんですね。ところが太陽に照らされる表層では、そういう微量元素は全部消費されちゃってほとんどない。特にチッソやリンのような栄養素はゼロなんです。だからそれ以上、植物プランクトンは育たないんですね、肥料がなくて。これが特に南洋の海では肥料が乏しい状態で、『海の砂漠』と言われる。

しかし、暖流と寒流がぶち当たったりすると、そこで上下循環が起きて、下の水が上がってくるため、栄養も上がってきて、太陽に照らされると光合成が起る。

で、漁獲量は餌のプランクトンの量に支配されるわけですよ。食べ物の量しか魚もできない。魚も、小魚↓中魚↓大魚と食物連鎖がありまして、まず植物プランクトンができて、それを食べる動物プランクトンができて、それを食べる小魚↓中魚↓大魚といくわけですね。そのたびに、蛋白質の量としては十分の一ずつになっていく。

「拓海」の概念図



そういう海食物連鎖のピラミッドがあるから、まずは一次生産の植物プランクトンがなければどうしようもない。その制限要因はチッソやリンだということで、深層水が湧き上がっているところなら植物プランクトンがたくさんできる。まあこういう構造が明らかになってきたわけです」

ちなみに、ここでいわれる海洋深層水は、グリーンランド沖から沈み込んで二千年の周期で地球全体を循環している「ベルトコンベア」と呼ばれるものとは少しちがう。いや、正確には、深度二百メートルから下は、千メートル、一万メートルまで、すべて海洋深層水なのだが、大内が注目している海洋深層水は、光が差し込まなくなった二百メートルあたりの「深層水の上澄み」を指すのである。

「たとえば相模湾の例だと、二百メートル、三百メートルのところで海水の性格がごろっと変わるんですね。光合成が行なわれる場所と、真っ暗な闇のところでは水質が違う。栄養が下は消費されない、上は消費されていると」

天然の漁場で深層水ができるのはペルー沖。あそこはアンチヨビーというイワシが海の色が変わるほどできて、それを食べに鳥が来るわけです。この鳥がまたたくさん来て糞をするわけです。それがチリ硝石とか、グアノとかいうものになって、それをまた人間がとってきて肥料の原料にしているわけです。畑に撒いているわけです。その原料は基本的に深層水で光合成をした植物を食べた魚をとっているわけです。循環しているわけです」

上二の割合で混ぜて出すと、ちょうど水深二十メートルのところの密度と同じになるんで、まず二十メートルにずーっと横に流れる。これはですね、五ヶ所湾のマリノフォーラムで出てきた、いまはもう亡くなったんですね、元日立金属の人のアイディアなんです。それで私が設計して、とにかく実物をつくったんですけれども、それがまあうまくいったんで、『あ、これを拓海に使おう』ということになったわけです」

拓海はかなり大きく、背の高さが三十メートルもある。建造費も八億円かったという。まるで巨大な浮子のような恰好をしているが、設計には豊洋の教訓が生きている。たとえば、豊洋は横に広がった形状だったため、波の影響をものに受けてしまい、パイプが壊れやすかった。その点、縦に長い拓海は、波の影響を最小限に食い止めることができる。そして、最大の改善点は、汲み上げた深層水と表層水を一对二の割合で「ブレンド」して水平方向に流す技術であり、これは、大内が以前に開発した密度流拡散装置が大きなヒントになっている。

「ライザー管は直径一メートルですよ。これは日本鋼管（現JFEスチール）でつくったんです。全部で百五十トンぐらいあるんですけどね。この板の肉厚が三センチ強。それをIH Iさんに持たせて、ドックへ繋ぐ。」

浮体は相生でつくったんです。ここから水が出るわけですね。これを大型クレーンでよいしょと出して、海につけるといふ。こんな変てこりんな恰好をしたものは、世界でもまた

## 豊洋から拓海へ

自然の漁場は海洋深層水が湧き上がっている場所であり、それは、広大な海の面積の〇・一パーセントを占めるにすぎない。人工的に海洋深層水を汲み上げて魚がたくさん育つようにすることは、海洋学者や水産学者の長年の夢だったという。そして、その世界初の試みは日本の富山湾で今から二十年前ほど前に行なわれた。プロジェクト名は「豊洋」。

「これ、一九八九年ですが、日本が世界で初めて取り組んだんですよ。富山湾の水深二百五十メートル付近の深層水を一日に三万トン弱汲み上げるといふものです。しかし、豊洋はテクノロジ的に準備が周到ではなく、台風でパイプが折れたり、一年後には金属疲労で下から百メートルが脱落しちゃったりして、いろいろな教訓を残したんですね」

豊洋では、せっかく汲み上げた海洋深層水が、冷たくて重いため、またすぐに沈んでしまったのだという。単に汲み上げた水を噴水のように撒いただけだからさうだ。

栄養分に富んだ深層水をどうすれば光が届く範囲に留めておくことができるのか。豊洋でわかったさまざまな問題を一つずつクリアして、二〇〇三年にスタートした新たな実験プロジェクトが「拓海」だ。

「表層の軽くて温まっている水と、深層の冷たい水を適当な比率でブレンドして撒くわけです。拓海の場合は、下一、

とないものです。この鋼材重量は五百トンありましてね。重心安定のためのセメントバラストも入れて千トン近くあります。

シンカーはコンクリートの固まりですね。これを千メートルの海底にどーんと沈めて、そこからチェーンとワイヤーをずーっと千メートルぐらいつないで、拓海を繋ぎ留めるわけです。これは東亜建設さんと日本サルヴェージさんがやったんです」

五年のプロジェクトの間に台風が何度も通過したが、拓海は、びくともしなかったという。耐久性は折り紙付きなのである。しかし、肝心の栄養分の長時間滞留という目的は達成されたのだろうか。

「拓海から流れた深層水がどのように拡散して行くのか、周辺海域の海水を採って調べたところ、うまく周囲に栄養塩が分布していたわけです。一日から二日後ぐらいの様子を観察すると、初めはあんまり広がってない。それが伸び縮みしながら、アメーバのように拡がってゆく。その栄養の分だけ消費して、植物プランクトンが出てくる。だけどこれ難しいんですね、計測が。東大の淡青丸という船で、一週間借り切ったんですけども」

## 意外と難しい検証作業

五年のプロジェクトは無事に終了した。現在、大内は拓海プロジェクトの結果をまとめているところだが、検証作業は

一筋縄ではいかないという。

「海域があんまり荒れなければ、効果が出て魚は増えるだろうという確信はあります。マリノフォーラムでは実用機を開発しなきゃいかんというけれど、『じゃあ何トン漁獲高が増えるのか?』という問いに答えるためには、まず植物プランクトンがどのくらい増えるのかというのを算定しなきゃいかん。そのためには、汲み上げた深層水が海でどのくらい希釈されるのかを観測しなければならぬのですが、これが難しいですね。どの程度の深層水を汲み上げれば、どれくらい植物プランクトンが増え、どれほどの漁獲高増につながるのかという見積もりは、より一層難しい。

現時点で言えることは、一日あたり十万吨程度の汲み上げ量では、大海に小便に近くて、八億円もかけたのに、魚は十年で八億円も水揚げがあるとはちょっと考えられない。それはやる前からわかってたんですけど、じゃあどのくらいの大きさにすれば費用対効果が黒字になるか。これは海域の性格にもよりますし、場所にもものすごく依存するんですけど、そういうのを今度研究せにゃいかんと」

実際にプランクトンがどれくらい増えたかを調べるのは難しく、また、魚がどれくらい増えたかは、もっとわからないという。なぜなら、仮にプランクトンが増えたとしても、それを食べた魚は定着せずにどこかへ泳いでいってしまう可能性もあるからだ。

「まず設備を大型化しなきゃいかんですね。初めは日量五十

くる。で、気体になれば圧力がぼーんと上がるから、タービンを回して発電できる。これが海洋温度差発電の原理です。

これは佐賀大学にいた上原春男先生が昔からずーっと研究してまして、最近文科省の21世紀COEプログラムの予算をとりまして、佐賀大にプロトタイプをつくってさまざまな実験をして、技術も進化している。熱交換器もいろいろな改良をやって、ネットで七割近く出るようになったんですよ。つまり全発電量の三割で自分を動かして、残りの七割は外に出せる。

水深八百メートルから深層水を五十万トン汲み上げる。五十万トンやるとだいたい四千キロワットですね。正味で三千ぐらい出せるんじゃないかと。で、浮体は拓海型で、プラント室を設けて、熱交換器があつて、それでエレベーターかなんかつけて。で、温度差発電しても、まだ温度差が少し残るんで、それを今度淡水をつくるのにも使えるんですね。副産物で淡水も出す。電力と淡水と漁場造成。この三つを同時につくって、無人島もこれ一基浮かせれば居住可能になる。こういうことをいま提案してらんですよ。

深層水だけで食糧、エネルギー、淡水という三つの重要なインフラをつくり出せる。これをいま一所懸命やってるわけですよ。

## ジャズが教えてくれたもの

母親がピアノの先生だった関係で、幼い頃からクラシッ

万吨汲み上げようと思ったんだけど、おカネがないから泣く泣く十万吨にしたんですよ。ほんとには百万トンから五百万トンぐらい。ライザー管も、いまは直径一メートルだけど、三メートルぐらいとかね。今が八億円だから、まあ大型タンカー並みに百億円ぐらい出しゃあ、そのぐらいでできると」

それにしても、百万トンも汲み上げてしまっても、海洋深層水はなくならないのか、ちょっと不安になるが、地球上の海水全体の九五パーセントは海洋深層水で、ほぼ無尽蔵と考えられるため、汲み上げたからといって枯渇する心配はない。

## 海洋深層水で発電もできる

ところで、海洋深層水には、まったく別の利用法があるという。それは、驚いたことに、温度差を利用した発電なのだ。

「もう十九世紀の末から、温度差で発電するという技術はわかってるわけです。どういうことかという、温度差でアンモニアみたいな作動流体を蒸発させて、タービンを回して、またそれを液化して、深層水で冷やして液体にして、また今度は表層水であつたためて蒸発させる。水は百度までだけど、アンモニアを使えばそれが二十度ぐらいでできる。だから水の代わりにアンモニアを使って、蒸気と液体のサイクルをつ

く。ピアノを習っていた大内は、高校のとき、たまたまレコード屋で聞いたセロニアス・モンクのピアノに衝撃を受け、その後はジャズ一辺倒になってしまったのだという。

「大学時代勉強もせずジャズをやりましたですね。好きなジャズ奏者っていうとビル・エヴァンスとか、キース・ジャレットとか。ジャズのいいところはね、自分のテクニクの許す範囲でできる。

クラシックは、まず楽譜ありき。ショパンとかリストとかあんな、超絶テクニクのある人がつくった楽譜を、一応トレスできないとできないですね。それを簡単に弾けるようになって、はじめて自分が出せる。そうすると一日何時間も、ものすごい指の練習しないといけないんですよ。

でも、ジャズは自分でつくるアドリブの世界だから、自分のテクニクの範囲内で表現すりゃいいわけですからね、これ楽しいですよ」

好きなジャズの話になると、少しはにかみながらも、目が輝く大内だが、ジャズをやることと海洋の研究のつながりについて訊ねると、しばらく考えたあと、こう答えてくれた。

「ジャズというのはいくらテクニクがあつても、自分の個性がないと全然認められない世界なんですよね。コピーじゃだめなんです。研究もそうです。コピーはあかん。やっぱり常に独自性を持ってないといかん。まあコピーのほうが儲かるんだけど(笑)。なんか生み出すにはね、やっぱり真似したんじゃないかと、独自性を常に出そう出そうとしてないといかんということですよ」

(文中敬称略)