



海洋牧場の今を追う

—「つくり育てる漁業」への道程—

養殖というスタイルはあったものの、

これまでの漁業の主流は、

「獲る」ことだった。

だが、狩猟・採取から農耕・牧畜へという

人類史上の大きな変化があったように、

次世紀の人口爆発現象を見通した場合、

漁業も種を蒔き、育て、収穫する時代を

迎えねばならないだろうという。

「つくり育てる漁業」の実現へむけて、

研究・開発が進む海洋牧場の実態を

概観してみよう。

つくり育てる漁業をめざし、 海洋牧場の各種要素技術が実証実験中

音で魚群をコントロールする音響給餌システムをはじめ、稚魚のふ化育成技術、人工魚礁、海中の環境整備技術、などの要素技術の開発が進んでいる。将来は各技術の集大成としての海洋牧場の実現がめざされている。捕獲することが中心だったこれまでの漁業から、自然環境の中で育てていく新しい漁業をめざし、今、全国で実証実験設備が稼働している。海洋牧場と呼ばれる技術の実態とはどんなものなのか、全体像を素描してみる。

従来型漁業の限界と人口爆発

「獲る漁業から、つくり育てる漁業へ」。

漁業の将来像を展望する場合に必ずといっていいくらいに引き合いに出されるキーワードである。つくり育てる漁業、といえばまず養殖が思い浮かぶが、このキーワードの裏側には、単純に養殖という発想では解決できない漁業をめぐる複雑な状況が存在している。

日本の水産物需要はおよそ1,000万トン／年。対する現在の漁業生産高は、750万トン前後となっている。足りない分は当然ながら輸入でまかなっている。1980年代後半にピークを迎えたわが国の漁業生産高は、当時1,300万トンにまで迫っていたが、90年代に入ってから低下の一途をたどってきた。時代的・社会的背景には、70年代以来の200カイリ体制による漁場縮小、漁業支出増大、魚価低迷といった、いわゆる「漁業三重苦」といわれる漁業経営環境の悪化があり、世界的にも「略奪漁業」から「資源管理型漁業」へとといった「獲れるだけ獲る」漁業への見直しの機運があった。従来の国内の漁業にブレーキがかかる一方、内需拡大策により輸入が奨励される傾向もあった。また国連海洋法（1994年11月発効）による排他的経済水域の設定と漁獲割当制の導入は漁獲制限への道をさらに明確にする結果となった。

現状、約400万トン近くの水産物を輸入していることになるわけだが、このまま輸入に頼り続けていける見通しがあれば問題はない。だが、行く手には、きわめて深刻な長期的不安要因が横たわっている。世界的な人口爆発と食糧問題である。

FAO（国連食糧農業機構）の推定によれば、世界の人口は2050年には100億人をこえるといわれる。ごく大雑把なそろばん勘定をすれば、現在の約2倍以上の食糧が、その時には必要になるということである。現在でさえ世界人口の3分の2が慢性的な食糧不足に苦しんでいることを考えれば、100億人時代の食糧事情を想像してみることは背筋が寒くなるようなことであるには違いない。

穀物をはじめとする農産物の生産技術や供給計画が考えら

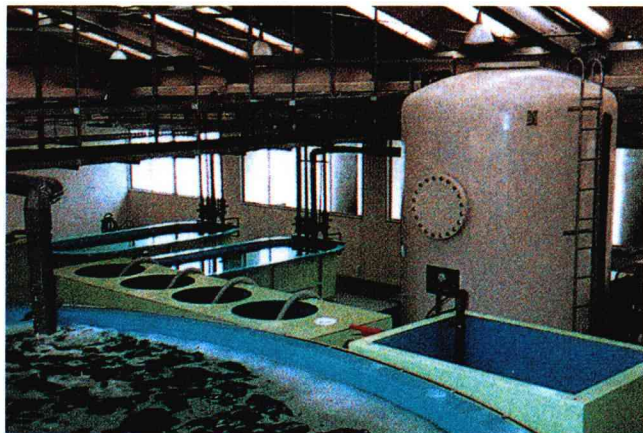
れねばならない一方、蛋白質の確保という点から、今以上に水産物に頼らねばならない部分が大きくなることは必至だろうと予想される。畜産など陸上での蛋白質生産という方法もあるものの、精肉生産は現在ですでに限界に近いという見方も強く、海の生産力に頼らねば、爆発的に増加する人口を支えることは不可能なのではないかとの認識が抱かれ始めているのである。

だが漁業に関してもFAOによれば、すでにかんりの海域、かなりの魚種で、「開発可能量」に達してしまっている——すなわち獲れるだけの魚を獲ってしまっているという。むしろ世界の「漁獲努力量」が大きすぎて、従来の水産物資源は減少の方向に向かっているというのである。世界的な食糧不足が深刻化していった場合、日本に対しても、これまでのような豊富すぎるほどの輸入水産物が尽きることなく供給されるようなことは、期待できなくなってくる。贅沢な海の幸を口にできなくなるのは、やむをえないにせよ、世界規模での食糧問題にまともに直面することがはたしてできるのかが危惧されるところである。

そこで、人の手を加えることで、より大きな収穫を得ることのできる海洋牧場の技術が注目されつつある。

日本人が贅沢のために消費しているエネルギーを飢餓地域の人々に振り分けた場合、1億3000万人が飢えから解放されるといわれる。そうした事実を日本に住むわれわれが謙虚に受け止めることは必要であるにせよ、儉約をすればすむという問題でないことは確かだろう。偏りや無駄も含めて100億人時代に人々が飢えずにすむために必要な食糧は、現在の2倍ではなく3～5倍だろうといわれている。農業だけで受け止めていくにはあまりに大きな数字である。

人間は農業という手法を生み出し発達させることで、大量の人口を養う術を手に入れたといわれる。歴史の教科書にいう農業革命である。陸上の生物がもつ生産力を、自己のシステムに組み入れコントロールしてきた長い歴史に比べ、海では捕獲技術の進歩はあったにせよ、「獲る」要素が格段に大きかった。これまで農業で行ってきたように、これからは海から得ら



種苗生産設備。

れる生産力をコントロールしながら人間社会のシステムに組み込んでゆかねば、この人類史的な波をこえられないのではないか。「獲る」から「つくり育てる」へという短いフレーズの中に、実はこんな重い現実が凝縮されているというわけだ。

海洋牧場というコンセプトは、実は地上でなされた狩猟から農耕牧畜へという食糧獲得上の変革を、海においても成し遂げようとするものだと解釈できる。ひょっとすると未曾有の大きな分岐点への入り口に位置する技術であるのかもしれない。海の生態系に手をつけていくという意味では、自然保護の立場からの反対論は根強く存在しており、どこまでを「牧場化」すべきかは、今後慎重に考えていく必要もありそうだ。

農業のように魚を「栽培」する

農業のように、水産資源を管理し、育て、収穫するという発想やノウハウは、養殖や栽培漁業といわれる分野で長年培われてきた実績がある。

自然の状態では、生まれたばかりの稚魚たちは、捕食されたり、環境に適応できずに死んだりする率が高い。逆にこの時期をうまく生き延びれば、その後の生存率は大きく向上する。そこで、ふ化からある一定の大きさになるまでを保護してやり、生存確率が高くなってから放流してやろうという発想が生まれた。これが栽培漁業の基本である。水産業の現場では、卵からふ化した稚魚を「種苗」と呼ぶ。苗床で種を育成し、ある段階にまで成長してから、田に植えてやる農業栽培のような漁業という意味なのだろう。

ひとくちに保護するといっても、もっとも弱い時期の自然の生物を育成するのだから、さまざまな技術的困難がともなう。この種苗育成技術がさまざまな魚種で確立されてきたことが、海洋牧場構想への序章になっていると考えられるだろう。同様に要素技術となる研究がさまざまなレベルで開発され、総体としての海洋牧場の実現可能性が生まれてきたようだ。

水産庁は、1988年にマリノベーション構想（沿岸沖合域総



音響給餌システム（長崎県松浦市）。



音響給餌システム（大分県元の間）。

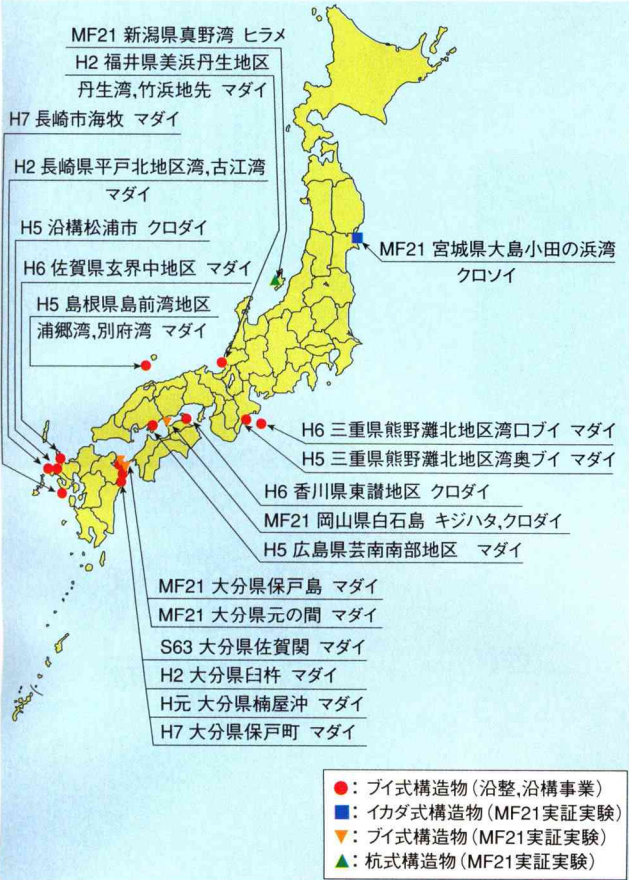
合開発地域整備推進事業構想）を打ち出し、新たな「つくり育てる漁業」に必要な要素技術の開発や大規模漁業開発計画に乗り出すことを決定した。さらに94年には、漁業環境の変化や技術開発の状況に鑑み、新マリノベーション構想を決定している。この一連の構想の中で音響馴致、自動給餌による沖合養殖漁場の開発、人工湧昇流施設、人工魚礁といった海洋牧場の要素技術となるものが明示されていた。現在は新マリノベーション構想にもとづいて産・官・学が一体となった研究開発が行われており、この研究および事業活動が海洋牧場研究の中核になっている。

音で魚群をコントロール

海洋牧場を語る際に、まず最初に例示されるのが音響馴致^{じゅんち}システムだろう。稚魚への給餌の時に特定の音を聞かせていると、成長してからも音を聞いて集まってくるようになり、魚群を誘導できるように育成できるという技術だ。メディアで取り上げられる機会も多く一般にもかなり知られているノウハウではあるが、これだけで海洋牧場が成立するわけではない。沿岸海域での稚魚の保護とともに、保護海域に魚群をうまくとど



音響給餌システムによる育成の一例（マダイ）。



音響給餌施設 設置位置図

めコントロールしていくために、この音響馴致技術が重要になってくる。致死率が高い稚仔魚の時期を保護しつつ、成長の各段階ごとに、適切に育成していくうえで必要とされるのだ。

放流域への定着性の高い種類の場合、放流後に育つのを待って収穫する「全収穫型」の海洋牧場が可能だが、これができるのは貝類やクルマエビなど一部のみで、大半の魚種では棲み心地のよい場所を求めて移動するなど、かならずしもすべてが放流域にとどまっていることを期待できない。そこで放流した種苗をなるべく散逸させずに、定住させていくノウハウが、いわば沿岸海域での海洋牧場の第一段階となる。そのために音響馴致が用いられる。

音響馴致システムの具体的な装置としては、ブイやイカダなどの浮体構造物に飼料ホッパーによる給餌装置を積んだ構成になっており、時間で自動給餌することができる。現在、全国で進行している海洋牧場事業は、この音響馴致システムを中

心として、いくつかの要素を組み合わせたものになっているようである。左図の19拠点は国の沿岸整備事業と沿岸構造改善事業によって実験が進行しているものだが、この他にも県の事業として多数の実証実験が進行している。

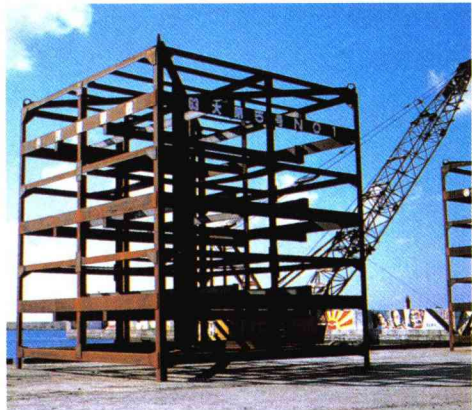
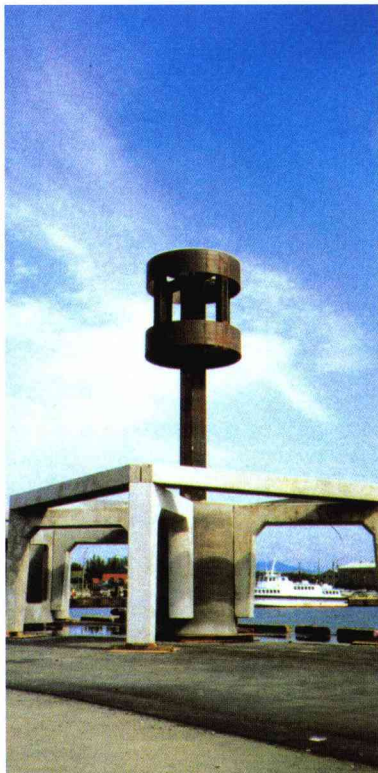
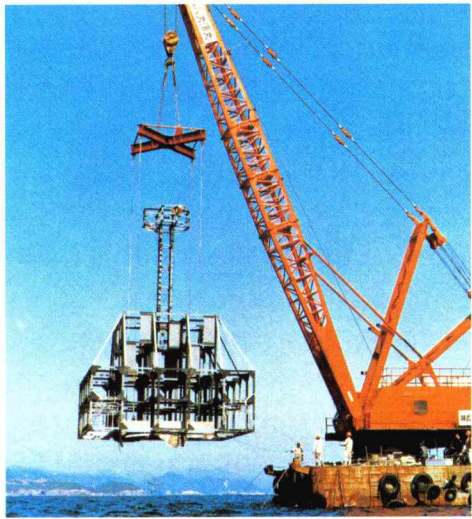
魚に好まれる鋼製魚礁

定着性向上には、餌の次に「すみか」を与えることが必要になる。稚魚であれば外敵から身を隠し、自力で餌を獲得することのできる場所、成魚であれば、棲みついて自然繁殖することが可能な場所である。そのために育成礁や誘導礁、滞留礁などといった人工の魚礁を設置していくことになる。

海洋牧場関連の技術のうち鉄鋼にもっとも関連が深いのは、この魚礁の分野だろう。鋼製の比較的大きな構造物としてさまざまなタイプの鋼製魚礁が製造され適用されているからである。沈船に魚が集まる現象は比較的古くから知られてきたが、近年の研究では海中に溶け出す鉄のイオンが生物に好適な環境をつくり、プランクトンや藻類などの繁殖を促すのではないかとといった説が出されている。まだ実証はされていないとのことだが、もしそうであるならば、海底の砂漠化といわれる「磯焼け」を防ぐ意味でも鋼製魚礁は有効だと考えられるという。ただし現状では、魚礁の7割方はコンクリート製であり、鋼製魚礁は上述の環境面での有望性や、大型で自由な形状にできる点などで今後に期待がかかっている。

鋼製の海中構造物ではアルミ電極による電気防食が採用されることも多いが、鋼製魚礁では鉄イオンを有効に生かすため、あえて電気防食はほどこさず、錆しろのみで処理しているという。設置された鋼製魚礁では、びっしりと付着した藻類や周囲に根づいている海中生物の姿を見ることができる。鉄製品の愛好家には、錆にひとかたならぬ愛着を示す向きも少なくないが、魚や海藻も錆びた鉄が好きらしいというのは面白い。

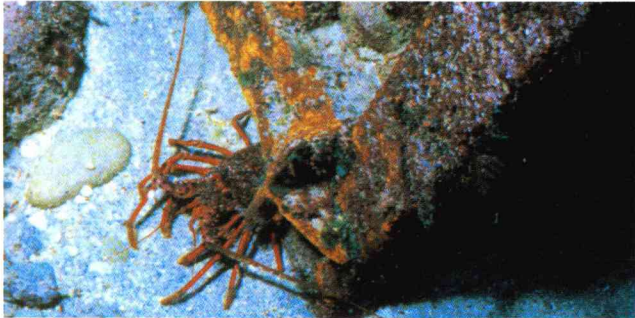
磯焼け対策に研究が進む電着藻類もユニークな鋼製構造物の一種である。これは金網状の構造物を設置後、微弱な電流を流し続けておくと、海水に含まれるカルシウムなどのミネラル分が電着し、人工岩礁ができあがるというもの。藻類が着床しやすく、磯焼けした海底や砂泥地などのいわゆる海中緑化に効果がある。いわば人工の珊瑚礁といえるものである。海藻が繁茂すれば稚魚も棲みやすくなり、ウニ、アワビなどの育成にも好都合だという。



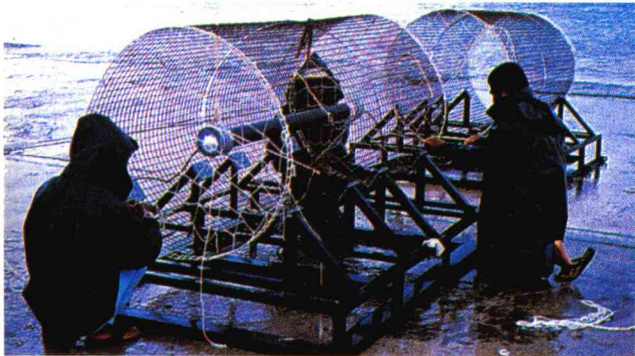
さまざまなタイプの鋼製魚礁。自由な形状に設計でき、大規模なものの建造が可能。



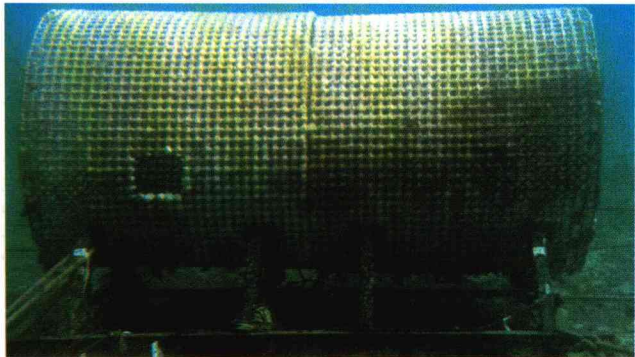
銅製増殖礁に集まる魚群。



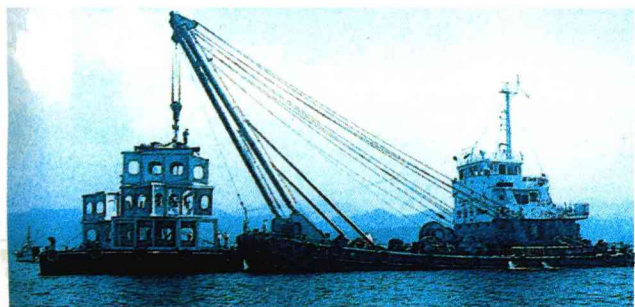
銅製増殖礁に棲みついた伊勢海老。



組み立てられた設置前の電着藻礁。



通電12カ月後の電着藻礁。海中のミネラル分が結着している。



コンクリート魚礁の設置風景。

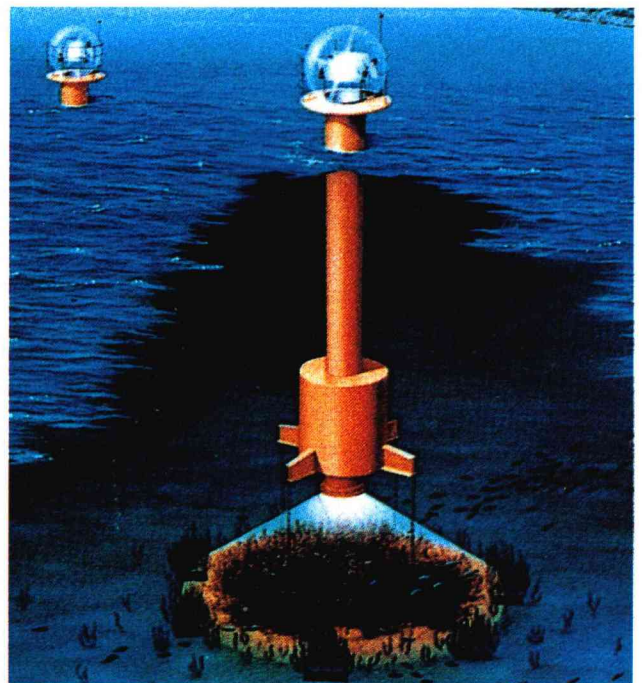
総合システムとしての海洋牧場

魚の住環境を整備するという側面からは、環境浄化装置や、海底に太陽光を送る海中緑化システムなどが研究されている。また湧昇流を人工的に起こす構造物も研究・実用化されつつある。湧昇流とは、深層の栄養塩類を豊富に含んだ海水が表層近くに湧き上がっている現象で、よい漁場になってきた海域には自然の湧昇流が存在する 경우가多かった。雑菌が表層水に比べて少ない富栄養状態の水が太陽光の当たるところまで昇ってくることで、プランクトンが良好に発生し、食物連鎖の底辺を支えることが、豊かな生物相を生む結果になっているという。

人工湧昇流施設は海底の潮流を壁面構造物にあてて、深層水を上昇させようというもので、愛媛県で行われたパイロット事業では設置後の効果がみられ、現在、漁業生産性の向上を実証評価中だという

深層水が無菌に近く水温が安定している性質を利用し、これを汲み上げて種苗育成に生かす研究も行われている。種苗育成では、細菌感染が命取りになるが、深層水をポンプで汲み上げて使うことで環境に敏感な稚魚を健康に育てることが可能になると考えられているようである。

外洋を回遊する魚種の育成についても、一部で研究がすすめられており、将来は太平洋をこえて回遊する魚群の行動パターンをキャッチし、広大な外洋を舞台として種苗の育成・放流、保護、そして捕獲までをコントロールしていく、スケールの大きな海洋牧場技術が実現することも考えられる。

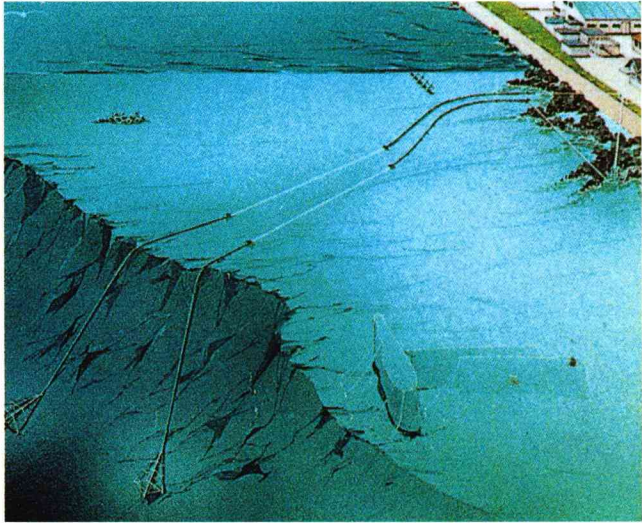


海底の人工礁に光を当てて藻類の成長を促す海中緑化システム。



人工湧昇流発生構造物とその設置風景。

こうした各種の要素技術の導入以外にも海洋牧場の該当地域では、稚魚があやまって捕獲されないよう、保護する対策も必要となる。この問題については、保護区域を設け、その域内では魚を獲らないという方法が考えられている。稚魚の間だけ捕獲しないように保護するナーサリ・エリアを導入する方法と、成魚も含めて保護し、より高い再生産効果を期待するサンクチュアリ(該当魚種の完全な漁獲禁止区域)を導入する方法が考えられており、ケースに応じて使い分けられるようである。



種苗育成などに有効な深層水利用システム。



水温監視、魚群量の計測、標識機能などを備えた浮き魚礁システム。

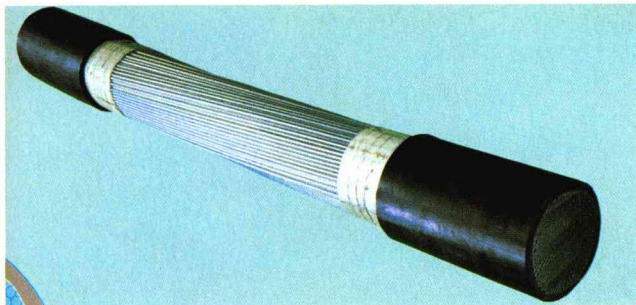
さて、ここまでで取り上げた技術は、主に沿海域を中心としたものだが、さらに沖合では回遊性の魚種のために浮き魚礁を設けるなどの方法も開発されている。回遊性魚は浮遊物のまわりに集まる習性があるため、ブイなどの浮体構造物をうかべ、その係留索も含めて魚群を集めるポイントにしようという発想である。こうした浮き魚礁の係留索には、吊り橋などに使用されるストランドケーブル(亜鉛メッキ銅線を樹脂被服したもの)が採用されているという。

海洋牧場の要素技術としては、このほかにも監視レーダー、観測ブイ、さらには海洋観測衛星も含めた情報の収集・応用というノウハウも含まれ、将来的にはより多角的なシステムへと集大成されていく途上にあるようだ。すべての要素技術を網羅するような海洋牧場は今の時点では登場していないようだが、各種技術の実績を重ねていくなかで、より洗練され組織化されていくと予想できるだろう。

また養殖という分野でも、従来からの沿岸部での養殖業が飽和状態になってきたことから、より沖合に自動化された大規



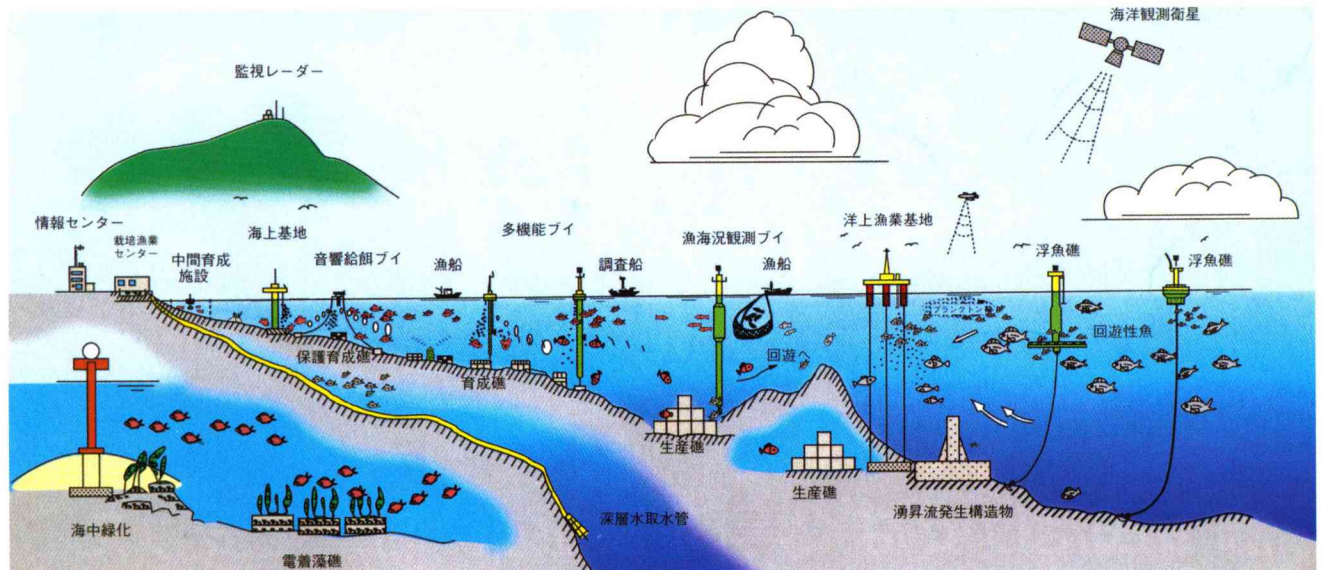
沿岸の消波機能をはたすPCハイブリッド製浮消波堤（左）とフレキシブルマウンド消波堤。



浮き魚礁の一部として機能するストランドケーブル。吊り橋に使われるものと同じ製品が採用されている。



自動給餌装置や監視システムを搭載する海上ステーションと超大型生簀からなる沖合養殖システム。



海洋牧場構想の全体像。

模な拠点を設け、超大型生簀を用いて自動給餌、自動監視、によって魚を育てるシステムも考案され、すでに実証稼働している。こうした設備も広義での海洋牧場の技術に含めて考えることができそうだ。

海洋牧場の技術とは「これがそうだ」というような単一の技術ではなく、さまざまな「つくり育てる」技術を、システムとして組み合わせたものだといえそう。その意味では、今後とも新たな要素技術が誕生してくる可能性もあるだろう。

「つくり育てる」漁業は、次世紀の台所をまかなう意味で、

多大な可能性をはらんでいる。その一方で今世紀のあらゆる産業が突き当たってきた自然環境との不協和音という問題を海というフロンティアにまで拡大しかねない側面もいまだ否定しきれないだろう。そうならぬよう研究が進められることに期待するとともに、20世紀の教訓が新たな歴史を築いていく作業の中で生かされることを祈りたい。

取材協力・写真提供：（社）マリノフォーラム21、
（社）鋼材倶楽部鋼製漁場施設委員会、
海洋牧場開発協議会