

日本海における水産土木の役割と課題

誌名	水産工学
ISSN	09167617
著者	大竹, 臣哉
巻/号	42巻1号
掲載ページ	p. 67-74
発行年月	2005年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



【報 文】

日本海における水産土木の役割と課題

大 竹 臣 哉*1*2

The Role and Tasks Posed to the Fisheries Engineering in the Sea of Japan

Shinya Otake*1*2

Abstract

Fisheries Engineering has served for changing an oceanic environment into an ideal one for marine ecosystem aimed to secure and increase marine fisheries resources, and has witnessed a rapid development during the last 40 years, and has been involved in the project to establish Artificial Reefs and develop the proliferation site for juveniles of fish and shellfish. The marine fisheries resources in the Sea of Japan are largely classified into large-sized wandering fishes coming over from the East China Sea on one hand, sardines and bottom fishes undergoing repeated reproduction process in the Sea of Japan on other hand. The changes in these resources are closely interlinked with oceanic environment, but the haul of fishes has been rapidly on decline, with its peak experienced in around 1990. Especially, sardines have remarkably decreased. The reason behind this trend has not been identified. According to the statistics on fisheries, the production of bottom fishes has been almost stable. I guess that Artificial Reef works well for the production of these bottom fishes. Since the waters on the Sea of Japan flow across coastal borders, nutrients are released from the shore, and the surface layer of the waters is poor in nutrient. It is well known that huge rapids and shallows scattered around every parts of the Sea of Japan coast constitute ecological system and function as a good fishing ground. In these rapids and shallows, topographical upwelling emerges and becomes the source of supplying nutrient-rich waters of deep-sea bottom layer to the outer layer of the sea. In order to sustain and increase marine resources in the Sea of Japan in a stable fashion in the future, it is quite essential for us to achieve a stable circulation of a food chain system. It is also necessary to explicate the mechanism of how topographical upwelling arises and develop the artificial upwelling applying topographical upwelling.

1. はじめに

水産土木学の歴史は、比較的新しい。1962年3月に水産庁が「水産関係の土木研究に関する問題について」議論し、1963年に農林省農業土木試験場（当時）内に水産土木部が発足したことが、水産土木という言葉の歴史の始まりである。学会では農業土木学会に水産土木研究部会が発足し、学術誌「水産土木」が1964年から刊行された。そして1968年に専門書「水産土木」が著された。この中で著者の田村¹⁾は、水産土木学を、「増養殖事業お

よび漁港事業における生産性および機能の向上を土木工学的にはかる学問である」と定義した。時を同じくして大学では東京大学に講義科目として水産土木学が開設され、1970年代に入り、高知大学に栽培漁業学科が開設、その中に水産土木講座を設置、東京水産大学には1973年海洋環境工学科の設置とともに環境水工学講座が開設された。現在、大学として水産土木学を冠している講座は無いが、東京海洋大学の沿岸域工学講座、福井県立大学の海洋環境工学研究室が教育を担当している。また、学会は1990年に水産土木研究部会から、漁船工学部門、漁

2004年10月4日受付, 2004年11月11日受理

キーワード: 水産土木, 人工魚礁, 人工湧昇流, 地形性湧昇流

Key words: Fisheries Engineering, Artificial Reef, Artificial Upwelling, Topographical Upwelling

*1 Fukui Prefectural University 1-1, Gakuen-cho, Obama, Fukui, 917-0003, Japan (福井県立大学 〒917-0003 福井県小浜市学園町1-1)

*2 本稿は2004年9月1日に新潟市で行われた2004新潟海洋国際会議一食・ちから・うるおいを生む豊かな海を考える—の分科会で講演した内容を一部訂正加筆したものである。

業力学部門、漁業測器部門を取り入れ日本水産工学会として独立し、今日に至っている。

水産土木が水産資源にどのように関わっているかを評価しなければならない時期に来ている。

そこで、本稿では、日本海全体の水産資源が急激に減少しているようすを浮き彫りにし、それに対し水産土木の象徴としての人工魚礁がどの程度関与してきたのかをマクロに明らかにすること、また日本海の海洋構造が水産資源とどのように関わっているのかを探りながら、今後、日本海ではその海洋構造の特徴を生かして、どのような将来像を描くかを議論することとする。

2. 日本海の漁獲の変遷と魚礁事業の変遷と効果

日本海の魚介類は一般に種類が少なく、また漁獲量が小さいといわれている。そこで、日本海を漁業・養殖業生産統計年報²⁾の分類にしたがい3海域に分類し、また魚種を浮き魚類、200m大陸棚に浅に生息する底魚類、それ以上の深海に生息する底魚類の3魚種に分類し、1980年代から2002年までの漁獲量の推移を図-1に示した。ここで魚介類は、長沼の分類³⁾に準じ、マグロ類、カツオ類、カジキ類、サケ・マス類、ニシン、イワシ類、アジ類、サバ類、サンマ、ブリ類、サワラ、シイラ、トビウオ、ボラ、スルメイカを浮き魚とした。また、200m大陸棚に浅に生息する底魚類は、サメ類、カレイ・ヒラメ類、メヌケ、ホッケ、キチジ、ハタハタ、ニギス、ニベ・グチ、エソ類、イボダイ、ハモ、タチウオ、ホウボウ、エイ、タイ類、スズキ、イカナゴ、アマダイ、フグ、その他の魚種、エビ類、ガザミ、コウイカ、その他のイカ類、貝類とした。そして、それに深に生息する底魚類は、タラ類、ズワイガニ、ベニズワイガニとした。

浮き魚類でみると1989年に日本海全体で120万トンの漁獲をピークに、漁獲が減少しているが、特に日本海西部の減少が大きく、2002年には30万トン台とピーク時の1/4になっている。また、大陸棚底魚類は、減少傾向だったが、1990年代からほぼ安定してきている。深海の魚介類も、北海道域の減少が大きいが、他の海域では1990年以降ほぼ安定している。

浮き魚類は、マグロ類、カツオ類といった大型の高度回遊魚やマアジ、冬生まれ群のスルメイカ系群等の日本海に来遊する魚介類、イワシ類、マサバ、夏生まれ群のスルメイカ系群等のように日本海で再生産を行う魚介類に分類される⁴⁾。また底魚類は、日本海で再生産されることから、小型の浮き魚類と底魚類は、日本海における食物連鎖の上に成り立っていると考えられる。

すなわち、底魚類がほぼ安定して漁獲されていることは、1次生産が基本的には安定して上位食レベルに供給されていること、また、それにつながる1次消費の動物プランクトン量も安定して供給されていると考えられる。

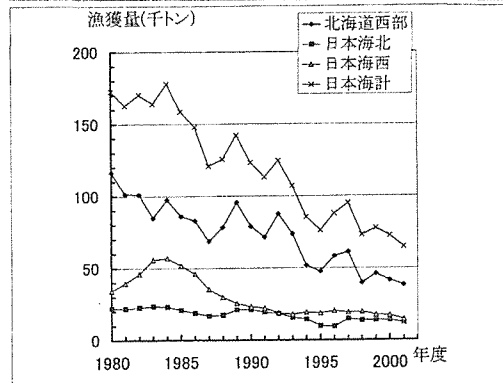
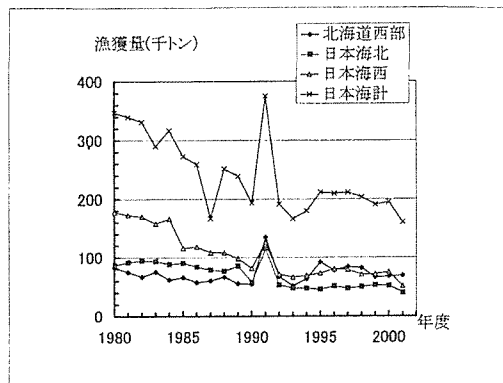
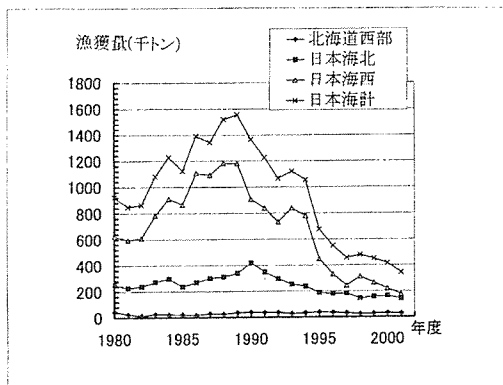


図-1 日本海における漁獲の推移

上段：浮き魚類、中段：大陸棚に浅に生息する魚介類、
下段：大陸棚に深に生息する魚介類。分類は本文を参照。

このことについてHirota and Hasegawaによって、1965年から1990年までの日本海の動物プランクトンの経年変化が調べられている。結果を図-2に示す⁵⁾。彼らは日本海全体ではこの量が 16.6×10^6 トンと見積もり、調査最終年に向かって増加している傾向が見られて結論付けた。これに対し、千葉らは、日本海を北部と南部に分けて植物プランクトンと動物プランクトンの経年変化を調べ、その結果、北部では増加傾向を、南部では減少傾向が見られるとした。その理由として地球温暖化の影響で表層の水温が上昇したことにより、成層化が発達、

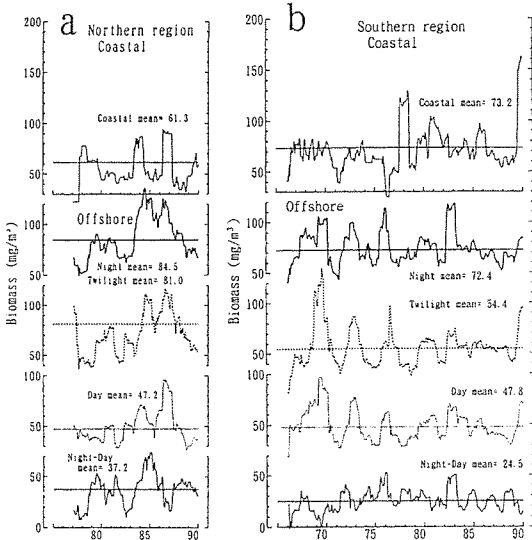


図-2 日本海における動物プランクトン量の経年変化 (Hirota and Hasegawa, 1999)

上下混合がさえぎられ、混合層内の栄養塩が低下したことよるとしている⁶⁾。さらに、長田・小川による日本海における透明度と漁業生産量の関係を有意な相関とした調査結果⁷⁾も、餌としての植物プランクトンのほぼ安定した供給が推定される。

これらの調査から、経年変化は見られるものの、植物プランクトン、動物プランクトン量はほぼ安定し、食物連鎖から見れば、餌生物は、安定して供給できているといえ、底魚類の安定した漁獲をうらづけている。

一方、大陸棚で浅い底魚の生息場として、天然礁があげられるが、それらは餌場、隠れ場として機能している。人工魚礁はこれらの機能を有した構造物として位置づけられる。人工魚礁の設置は、1955年から統計が取られている。これまで日本海に設置された人工魚礁の事業量を図-3に示す。2001年までに累計で703万空m³に達する。この規模は、天然礁を直径1km程度とすると、高さ27mの円錐形1個分程度でしかなく、日本海沿岸に点在する天然礁に比べるべくもない。しかし、餌となる付着生物の付着基質が提供されていると考え、付着面積として天然礁と比較する。天然礁の表面積は、この規模では79万空m³だが、人工魚礁としてもっともよく使われている角型魚礁(1.5m四角)で、その表面積を換算すると、1470万m²に達する。この表面積で比較すると、この直径1km規模の天然礁約18個に匹敵し、この量だけを考えれば日本海側13道府県の1県につき1個以上の天然礁が出現したことになる。

人工魚礁漁場を漁業利用側から見た場合、地方にもよるが、小規模の釣りや刺し網の利用が多い。そこで、漁業・養殖業生産統計年報の統計にしたがい5トン未満の釣り、5トン未満のその他の刺し網で示される漁獲量の

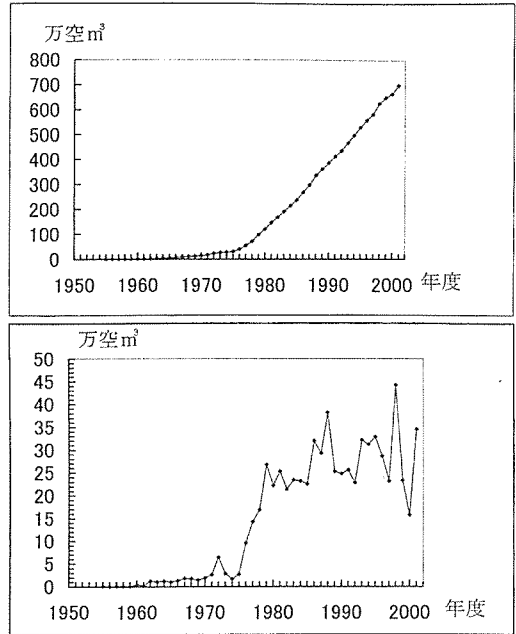


図-3 日本海における人工魚礁事業量

上段：設置の累積，下段：年度ごとの事業量

漁獲日数あたりの経年変化を計算し、その結果を図-4に示した。比較のために同規模の底引き網たて引き網の漁獲量を示す。底引き網は漸減しているが、刺し網では1990年までが、漸減しているものの、1990年以降はほぼ安定している。釣りの場合、漸増している。これらは、大規模漁業の減少によって小規模漁業に漁業がシフトしてきたことも考えられるが、魚礁設置による底魚漁場の増大の効果が現れていると見られる。

すなわち、安定した底魚類の漁獲は、餌生物が安定して供給されていることと、底引き網等の漁業に依存していた天然礁での漁獲が衰え始める中、魚礁による漁場造成の効果が徐々に現れてきていると考えられる。

3. 日本海の海洋構造

漁業資源の変動は、日本海の海洋構造と密接に関係することから、海洋の特徴を明らかにする必要がある。

日本海の海底地形は、平均水深1400m、最大水深3400mで、対馬、津軽、宗谷、そして間宮の4つの狭くて浅い海峡に挟まれた閉鎖的な海盆構造となっている。島根沖および能登半島沖で大陸棚が発達しているが、概して大陸棚は狭い。そのかわり、沿岸に多数の礁が点在するとともに、海盆上でも、日本海南部を中心に大和堆に代表されるような堆、海山が点在し、複雑な形状となっている。これらが漁場として大きな役割をはたしている。

一方、水塊構造は、表層を対馬暖流が地球回転の影響を受けた沿岸境界流として本州沿いを流れる。長沼⁸⁾に

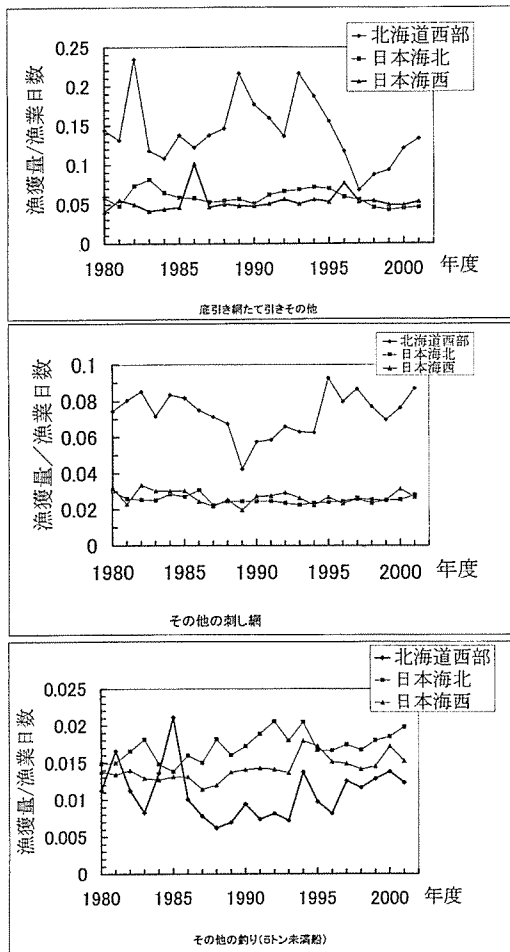


図-4 日本海における漁業種別漁業日数あたりの漁獲量(トン/日)

上段：底引き網たて引き，その他（5トン未満），中段：その他の刺し網（5トン未満），下段：その他の釣り（5トン未満）。分類は漁獲統計による。

よれば1954年～1989年間の季節別平均流量は，冬季156万 m^3/sec ，春季193万 m^3/sec ，夏季261万 m^3/sec ，11月278万 m^3/sec で，夏季と秋季に極大，冬季に最小となる。この下層には，いわゆる日本海固有冷水が分布する。日本海本州沿岸では，表層水の厚さはほぼ200m程度で厚く，日本海中央に向かって薄くなる。これは沿岸境界流の影響によるもので，図-5に示すように，沿岸域に比べ沖合域のほうが水位が低く，沿岸海水が沖合へ流出する構造となる⁸⁾。すなわち，河川から流出する高栄養水は拡散しやすいことになる。西岸境界流である黒潮の流れる太平洋側では，反対に沖合に比べ沿岸で水位が低く，沿岸に河川水が滞留しやすい。この水塊構造から，日本海では栄養塩は，沖合いの深層へ運ばれ，表層の植物プランクトンへの供給が少なくなること，また，沿岸域で栄養塩添加を試みても閉鎖水域以外は，あまり効果がの

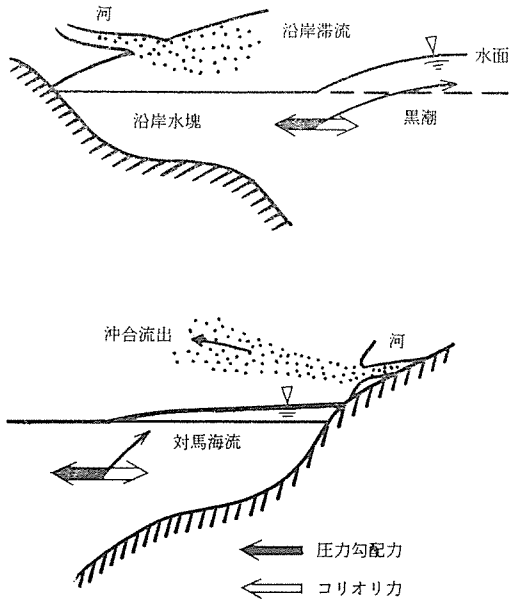


図-5 西岸境界流(上段)と沿岸境界流(下段)の違いによる沿岸域の拡散の違い(中村, 1995)

ぞめないことなどが考えられる。

しかし，深層との境界水深が200m程度と大陸棚縁辺にあたることは，大陸棚以浅の底魚類にとって，重要で，表層からは植物プランクトン，深層からは湧昇によるデトリスなどの有機物が餌として供給されることになる。底魚類の餌環境は安定していることを述べたが，これらの地形条件と物理機構が働いているためと推察できる。

この湧昇が発生している海域について続・中尾が，文献で調べている⁹⁾。これらの海域は，中央部の大和堆，南から隠岐海嶺，若狭海嶺(玄達瀬を中心とする若狭湾湾口部の礁群)，白山堆群，佐渡海嶺，そして奥尻海嶺と巨大な礁群の存在が共通している。これらの大規模な海底隆起は，地形性湧昇流の発生要件の一つである内部波を誘発させ，その結果上下層境界面の水位上昇をもたらすことになる。

日本海固有冷水との境界で発生する内部波の観測は例が少ない。そこで，筆者らが若狭湾湾口部で行っている観測結果を示す¹⁰⁾。図-6は，2001年6月に行った若狭湾湾口部の調査結果で， σ_t 26.5の水平分布を示す。数字は等密度面の水深にあたる。平均的には，はほぼ200m前後にあたるが，水深差は30m程度に達する。

この水深差は内部波として考えられ，本州を右に見て北上し，その速さは0.13～0.16m/secで，内部陸棚波の波速の理論式から得られる波速とほぼ一致し，内部陸棚波の性格をもつ。すなわち，陸側で最大の振幅となり，沖合で振幅がなくなる。また，このとき同時に行った魚

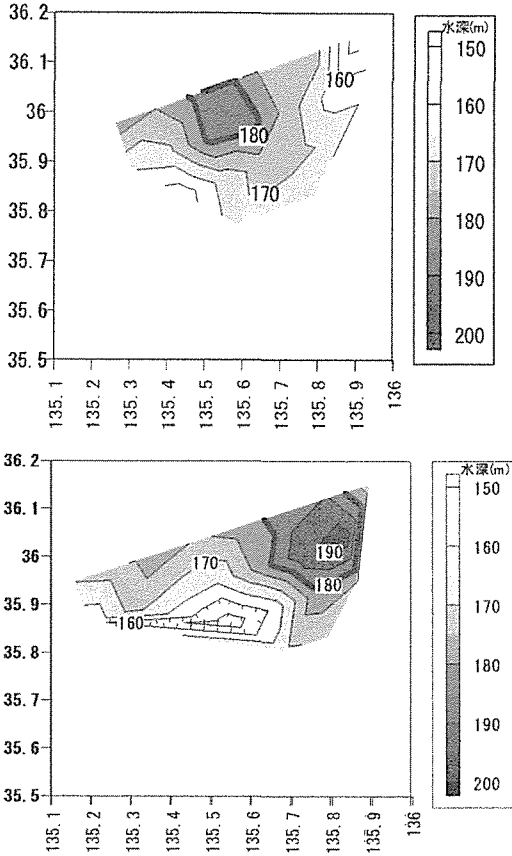


図-6 若狭湾の200m付近で見られる等密度面 (σ_t 26.5面) の水平分布と移動 (大竹ら, 2003)

横軸は東経, 縦軸は北緯を度で示している。図中の数値は水深を示す。180m等深線が図中央から右に進む様子が見られる。

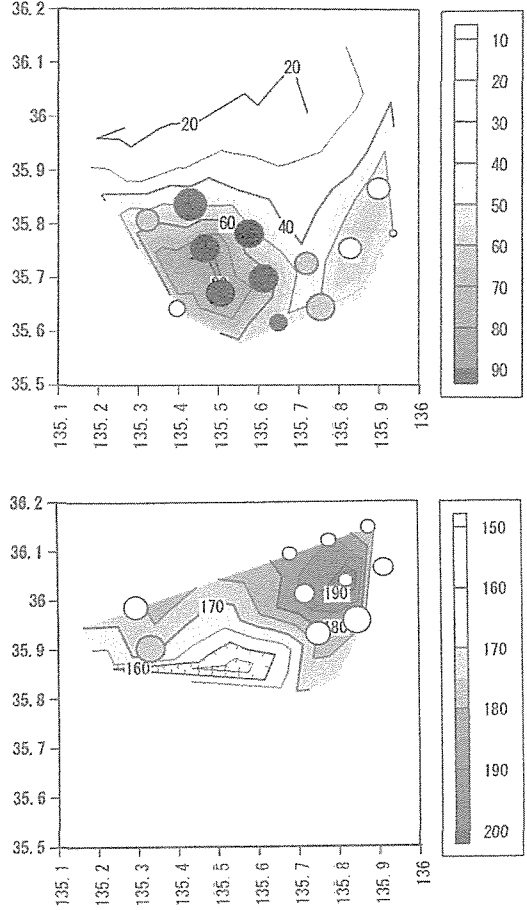


図-7 図-6と同時に測定した若狭湾の等密度面上に見られた魚群反応

(上段: σ_t 26.5, 下段: σ_t 24.7) (大竹ら, 2003) 横軸, 縦軸は図-6と同様である。白丸, 黒丸は魚群探知機の反応強度が現れた箇所を示す。丸の大きさは, 反応強度の強さ(濃さ)を画像解析装置でデジタル化し, 数値の大小を表した。濃く現れたものを大きな丸として示した。

探調査では, DSL*が日中は海底付近もしくは200m付近に多く出現した。また, 夜間になると表層の50m付近に上昇する日周行動が観測された。魚群反応の平面分布を図-7に示す。図では, 図-6に示した σ_t 26.5面の水深と σ_t 24.7面の水深分布を示す。また, パラメータとして日中, 夜間の区別を示した。どちらの面でも収束渦の暖水渦に魚群反応が強く認められる。この魚群反応に現れた魚群は, 過去においてキュウリエソ, オキアミ類が主体であることが報告されている。すなわち, これらの結果は, 水塊構造が, 動物プランクトンの蛸集に影響していることが示唆される。

波動現象は, 波速の変化により屈折すること, 浅い水域に進入するとエネルギーの集中が生じ, 波高の増大を招く。このことは, 島嶼先端, 半島先端などにエネルギー

一の集中が起きやすく, 津波の被害が大きいことから想像できる。内部波でも同様の現象が生じ, 海嶺では大きな湧昇となることが推察できる。

一方, 地形性湧昇の発生を水理的に説明したのとして, 日本海側に面する山口県汐巻礁の地形性湧昇があげられる。汐巻礁の特徴は, 潮流が強く卓越していること, 地形が2つの隆起した地形と鞍部で構成されていることである。汐巻礁にあたる潮流の下流側で後流域が発生することが観測され, この後流域の激しい混合現象を地形性湧昇とした。この湧昇の発生を中村ら¹¹⁾は2つの隆起した地形と鞍部の下流側で流速差が生じ, それによって圧力差が生じることで, 水平軸をもつ鉛直渦が発生するとした。

さらに, 筆者ら¹²⁾は, 半島や岬に直角にあたる流れの剥離渦がスピンドラウンする際, 渦エネルギーの放出が

* DSL: Deep Scattering Layer の略で, プランクトンや小魚魚類の巨大な群れが超音波に反応し, 魚群探知機に層状に現れる層。

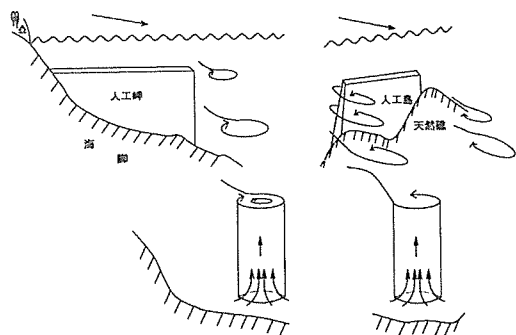


図-8 人工湧昇の発生形態 (中村, 2000)

上から岬、海脚のかき上げによるKarman渦の発生にともなう湧昇、中図は衝立板後流域の形成と破壊による湧昇、下図は築堤式構造物による馬蹄形渦の発生にともなう揚力の発生を利用した湧昇

湧昇エネルギーに変換されるとして、後流域内の湧昇を定量化した。

このように地形性湧昇は、内部陸棚波の地形変化によるもの、後流域内での発生によるものとした水理学的特徴が明らかになりつつある。

日本海沿岸では、沿岸境界線によって沿岸における栄養塩の供給が散発的な水塊構造であるため、見込めないことから、この地形性湧昇による深層からの供給が重要な漁場形成要因となる。

4. 海洋構造を利用した地形の改善と創造

漁場造成の観点から中村¹³⁾は、これまで提案された人工湧昇の発生技術についてまとめた。図-8にそれを示す。1つは、規則渦であるKarman渦の発生を利用する方法で、上述した半島や岬先端から発生する剥離渦を積極的に創出する。2番目の方法として、海底に設置し

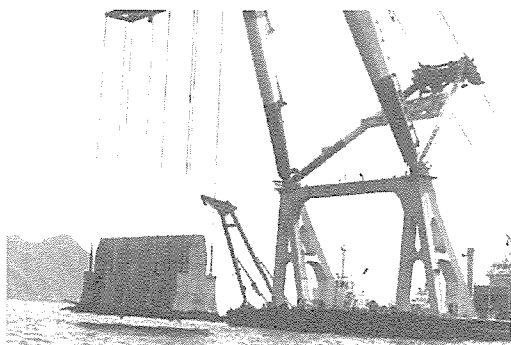


図-9 愛媛県に設置される衝立式湧昇流発生構造物 (長さ20m, 幅7m, 高さ10m)

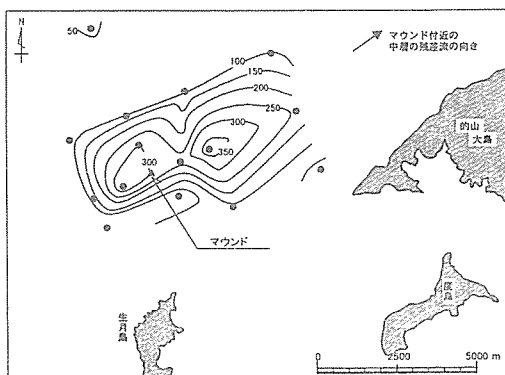


図-10 築堤式構造物 (マウンド) 周辺のマクロベントスの分布 (友田・西村, 2000)

図中の数値は、マクロベントスの個体数/m²を表す。

た衝立板から剥離する剥離渦は渦管を形成する。この渦管で覆われた後流域内の圧力は渦管から吸い出されていくため減少していくが、爆発的变化で回復する。そのときに湧昇が起きる。3番目の方法は築堤式構造物で、渦対の発生によって揚力を発生させる方式である。ほかに、ベルヌーイの定理を応用したもので、霧吹きスの原理を使った筒状の構造、内部波エネルギーを利用し、V字状の構造物を地形に配置するものなどをあげた。

これらの原理を用いた人工湧昇流の発生施設が、実際の海域で設置され、その効果調査が行われている。図-9は、愛媛県の宇和島沖で設置された衝立式の湧昇流発生構造物である。この施設を、延長190mにわたり設置し、その結果を柳¹⁴⁾が紹介している。潮流流速が2割増加し、鉛直方向の乱れ強度は6割増加、有光層の栄養塩は2~4倍、クロロフィルは2~3倍、動物プランクトンは2倍増加したと報告している。さらに、設置海域を利用していなかった地元漁民も利用するようになり漁場形成がなされていると報告している。

中村¹⁵⁾によれば、Redfield比を使って現地の窒素濃度と湧昇流量から植物プランクトンの年間生産量が16900

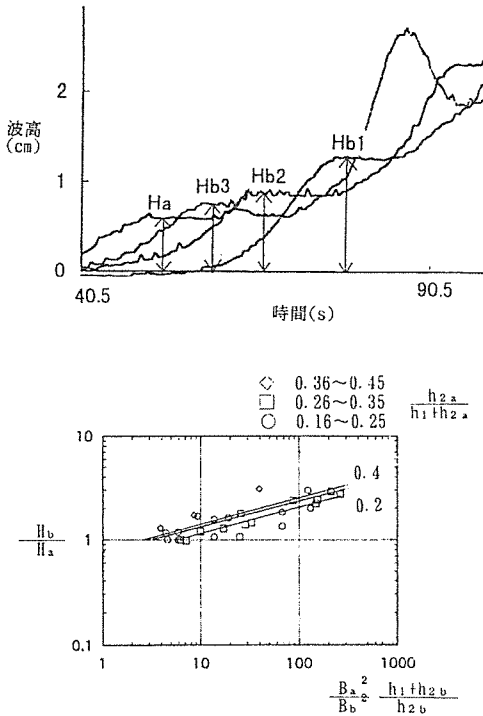


図-11 V字型構造物による内部波の波高変化 (大竹ら, 1997)

上の図：狭さく工内を進行する内部波の波高変化，下の図：波高増幅率と狭さく率との関係。横軸は狭さく率を表し，狭さく幅(B)と水深(h)の変化で表した。縦軸は波高変化(H)を表す。添え字は測定位置を表す。図中の直線は理論から導いた傾き0.25の直線で，実験結果とほぼ一致する。

トンと算出でき，Ryther¹⁶⁾によって提唱された湧昇効果である栄養段階の圧縮効果，すなわち，通常4段階である栄養段階が1.5段階となる効果を考慮すると，イワシ類の生産量が534トンとなる。これを補食するブリ，ズキ類は53トンと見込まれるとした。

また，長崎県生月沖では，火力発電所から産出される石炭灰の有効利用としてブロックを作成，それを築堤式構造物の基材として用いた湧昇発生の事業が行われている。高さ12m，長さ120mにわたって水深80mに築堤した。多くの効果が報告されているが，その結果の一部としてマクロベントスの水平分布を図-10¹⁷⁾に示す。マウンドの位置が，築堤された位置であるが，残差流方向にベントスの分布が広がっていることがわかる。このことは，湧昇流発生構造物が湧昇流の発生を生じさせるだけでなく，マクロベントスの増産にも効果を果たしていることを意味する。すなわち，湧昇による1次生産の増加は，海底へも影響し，豊かな食物連鎖網を創出させていることをものがたっている。

このように，人工湧昇の開発は進められてきたが，これまでの開発は，一様流中の湧昇を対応してきた。し

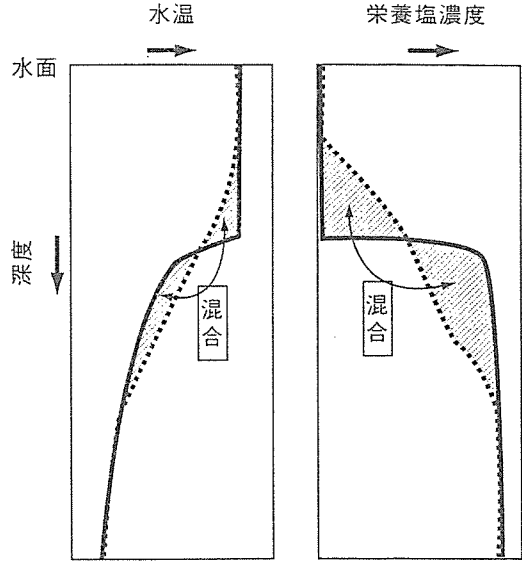


図-12 内部波の砕波によって促進される上下混合の模式図 (田中, 2003)

かし栄養塩は，成層の発達した下層に存在し，特に躍層下に多い。この躍層を混合させるエネルギーは，これまで主流であった渦の発生による揚力では，対応できないのが現状である。そのため，密度流をつかった水理模型実験による湧昇効果¹⁸⁾や数値シミュレーションを使った実験¹⁹⁾が行われている。

技術的な解決としては，中村が提案したように内部波を利用することが現在考えられている中では，もっとも現実的であろう。前述した若狭湾湾口部での内部波は波高エネルギーが大きい。そこで，内部波の浅水変形を利用して内部波波高を増大させる内部波狭さく工の可能性を検討する水理実験が一部進められている。その結果を図-11に示す²⁰⁾。図では内部波が進行に伴って波高を増大させる様子と，波高増幅率と狭さく工との関係を示した。図中の数値が狭さく比を示す。狭さく比が大きいほど波高増幅も大きくなることがわかり，内部波の制御の可能性がうかがえる。波高の増大では混合の効果は低い。栄養塩を上層に輸送するのは，砕波などのエネルギー転換が必要である。この砕波による新水塊の形成を田中は，図-12に示した²¹⁾。しかし，田中が述べているように，砕波現象を連続的に観測することは困難で，観測事例はあまりないのが実態である。

5. ま と め

日本海は，閉鎖性が強く，また，固有冷水は滞留時間200年といわれている。さらに海表面の冷却効果が弱まっている現在の状態がすなわち固有冷水はあと350年の寿命との推算もだされている。このことは日本海の利用を慎重に行う必要があることを物語っている。食物連鎖

は、生物の生存に欠かせない太陽エネルギーの吸収と環境から取り込んだ無機物質を循環させる過程である。日本海を生産の場として利用するためには、日本海における食物連鎖の有効利用をはかる必要がある。

日本海で漁獲される多くの水産資源は、日本海で再生産される。1990年にピークを迎えた漁業生産量は、急激に減少しているが、それを支えた植物、動物プランクトン量は変動があるものの安定した供給が行われていた。また、河川水の減少などの大きな自然変化もないことから、栄養供給は十分行われているとみてよい。それでも資源の減少が生じているのは、漁獲圧による水産資源の減少があげられるが、イワシなどは1年生で再生産は早い。また産卵数も多く、漁獲圧だけでは説明できない。魚種交代が行われているためとも考えられているが、むしろ、仔稚魚期の環境変化が生じたと言えるのではないだろうか。すなわち、仔稚魚のときに環境の変化で十分な餌がとれず、減少したと推察できる。植物、動物プランクトンは安定していると述べたが、季節変動もあった。かれらの仔稚魚期にそれらが十分確保されているのかといった問題が残されている。特に日本海は海洋構造からみて沿岸部で拡散系であることから、生物の再生産の時期と環境の周期性が一致することが重要である。

一方、人工魚礁の効果は、底魚に対し、現在の規模になってようやく見えてきたようである。もちろん、餌供給の場の増加という推論の域をでないで、その検証が必要であろう。しかし、食物連鎖から見れば、餌量は増加している。それを利用させることが一つの漁獲増加の解決策である。浮き魚の資源変動にも同様のことが言える。

浮き魚の場合は、植物プランクトンの安定供給が欠かせない。何度も触れるように日本海の沿岸は拡散系であるため、栄養塩の供給は下層からの湧昇が大きな影響をもつ。各県に存在する礁や海底地形、あるいは岬や島嶼の下流側における地形性湧昇の安定した発生に技術開発の方向がある。そのためには湧昇発生の可能性調査として、地形と海洋構造との関係などを調べ、安定したエネルギーが確保できるかといった調査を行うことがのぞましく、また、生物的な目標としてスプリングブルームに見られる大発生をとらえ、これらの海洋構造の特徴を生かした人工湧昇の開発が待たれる。

謝 辞

本論を作成する上で貴重な資料を提供して頂いた財団法人漁港漁場漁村技術研究所伊藤靖主席研究員、押谷美由紀研究員、独立行政法人水産総合研究センター南西海区水産研究所木元克則室長に謝意を表します。

参 考 文 献

1) 田村徳一郎：水産土木，地人書館，pp.187, 昭和

43年。

- 2) 農林水産省統計情報部：昭和55年～平成13年漁業・養殖業生産統計年報。
- 3) 長沼光亮：日本海における漁業生産の特徴および海況と漁況の関連，会報第40号，日本海海難防止協会，pp.47-65，平成6年。
- 4) 長沼光亮：生物の生息環境としての日本海，日水研報告，50巻，pp.1-42，2000。
- 5) Yuichi Hirota and Seizo Hasegawa：The Zooplankton biomass in the Sea of Japan, Fisheries Oceanography, 8-4, pp.274-283, 1999.
- 6) 千葉早苗・才野敏郎・広田佑一・長谷川誠三：日本海における低次生態系の長期変動パターンの南北海域比較（1966-1990），2003年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集，日本海洋学会，pp.293, 2003。
- 7) 長田 宏・小川嘉彦：日本周辺における漁業生産量と海域の基礎生産量の指標としての透明度との関係，日水研報告，47巻，pp.23-32, 1997。
- 8) 中村 充：海の生態系と食糧・環境—沿岸漁場整備開発事業の役割—，水産振興，東京水産振興会，334号，75，平成7年。
- 9) 続辰之助・中尾 徹：天然湧昇域の海洋環境特性について，水産土木，22(2)，pp.41-58, 1986。
- 10) 大竹臣哉・奥野充一・国井麻妃・瀬戸雅文・上北征男・嶋田雅弘・河野展久・松宮由太佳・和田晃治：2001年，2002年夏季に若狭湾で観測された内部波，平成15年度日本水産工学会学術講演会論文集，日本水産工学会，pp.87-91, 2003。
- 11) 中村 充・上北征男・木村晴保・藤井泰司・大竹臣哉：礁に対する流動環境に関する研究，第27回海岸工学論文集，pp.522-526, 1980。
- 12) 糸刈長敬・大竹臣哉・中村 充・向井雅志：岬による剥離渦の形成とそのspin downによる湧昇流，水産工学，30(2)，pp.113-118, 1993。
- 13) 中村 充・糸刈長敬：海域肥沃化の原理と肥沃化の方法，月刊海洋，361号，pp.429-434, 2000。
- 14) 柳 哲雄：宇和海における衝立式構造物による海域肥沃化効果，月刊海洋，361号，pp.450-453, 2000。
- 15) 中村 充：海的环境と漁業，水産振興，東京水産振興会，p.70, 平成13年。
- 16) Ryther, J.H：Photosynthesis and fish production in the sea, Science 166, pp.72-76, 1969.
- 17) 友田啓二郎・西村和雄：築堤式構造物による漁場造成効果，月刊海洋，361号，pp.474-479, 2000。
- 18) 今村 均・藤原正幸・大竹臣哉・明田定満：海底構造物による密度界面の上下混合海底に関する実験的研究(2)—3次元場での湧昇特性—，海岸工学論文集，38，pp.841-845, 1991。
- 19) 本田陽一：築堤式構造物で発生する湧昇流の数値シミュレーション，月刊海洋，361号，pp.480-484, 2000。
- 20) 大竹臣哉・中村充・押谷美由紀・糸刈長敬：内部波による湧昇流に関する研究，平成9年度日本水産工学会学術講演会論文集，pp.99-100, 1997。
- 21) 田中祐志：内部波と浮遊生物の挙動，海洋と生物，148，pp.353-358, 2003。