

自然調和型漁港における水産動植物の生息環境 の創造に関する長期モニタリングとその評価

LONGTIME MONITORING SURVEY AND THEIR EVALUATION
ON CREATION OF FISHERY HABITAT
IN DEVELOPMENT OF FISHING PORT IN HARMONY WITH NATURE

中泉昌光¹・川合信也²・三浦浩²・佐々木政博³・野呂隆行³

Masamitsu NAKAIZUMI, Nobuya KAWAI, Hiroshi MIURA
Masahiro SASAKI and Takayuki NORO

¹正会員 (財) 漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

² (財) 漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

³ 秋田県由利地域振興局 (〒015-8515 秋田県本荘市出戸町字水林366)

In Konoura fishing port, Akita Prefecture, the expansion works are underway with designation of "Development of Fishing Port in Harmony with Nature" through an installation of the open-hole breakwater with a submerged mound in front for the purpose of seawater exchange. The water area newly developed by the expansion works is aimed at providing a nursery to raise fish and stock temporarily live fish.

This paper presents the results of monitoring survey, which has been carried out since 1994, and their evaluation from the viewpoints of "Maintenance function of water quality in the basin" and "Impact mitigation to the fishery resources such as seaweed bed and shell fishes"

Key Words : Seawater exchange, open-hole breakwater with submerged mound, seaweed bed,
Fishing port in harmony with nature, impact mitigation

1. はじめに

漁港は係船を目的とした従来の機能から、自然との共生が重視され、蓄養・養殖、幼稚魚の保護・育成場など多面的な水域利用や水産動植物が生息できる自然調和型漁港への転換が求められている。静穏な水域を確保しつつ水質環境の保全を図るため、海

水交換型の防波堤が考案され、一定の効果をあげている。筆者らは、波浪エネルギーを利用して外海水を効率的に港内に導水する「潜堤付き孔あき防波堤」の開発¹⁾を行い、現地への適用を進めてきたが、これまでは導水量に注目した調査研究が主であり、導水による港内の水質環境や水産動植物の生息環境への影響把握には至っていない。このため、本研究では、平成6年度より始まった「自然調和型漁港づくり推進事業」のモデル地区として整備されている秋田県金浦漁港(図-1)において、新港の建設前・建設中・建設後にわたり10年近い追跡調査を行い、潜堤付き孔あき防波堤による港内水質環境保全と水産動植物の生息環境への影響や効果について評価を行ったものである。

2. 調査の概要

(1) 建設工事の進捗と調査課題

金浦漁港における漁港建設工事と追跡調査の流れ



図-1 秋田県金浦漁港位置図

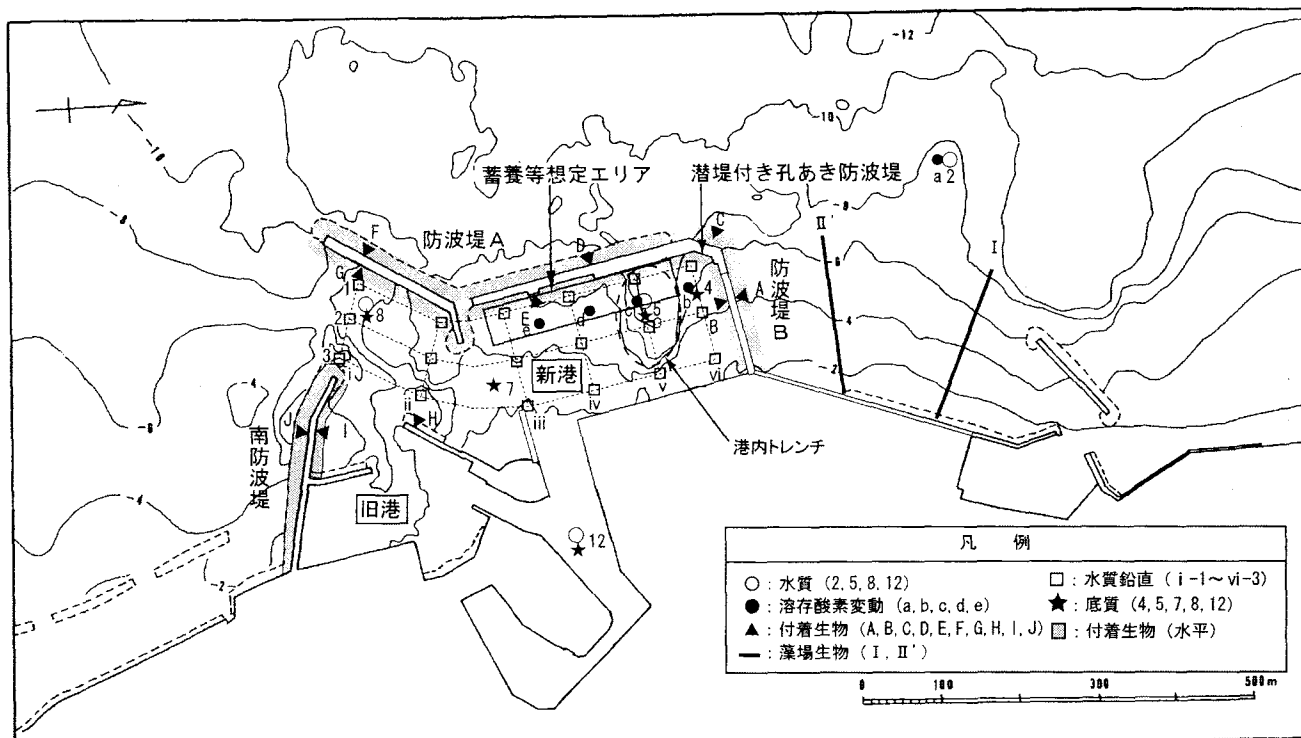


図-3 調査地点

	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13~15
	防波堤A掘付			潜堤付き孔空きケーソン掘付	防波堤A嵩上げ防波堤B掘付		防波堤B嵩上げ・岸壁掘削・用地整備	岸壁取り除き・航路護岸敷設・用地整備
漁港建設工事								
	防波堤延長			孔空きケーソン完成			新港締め切り	
追跡調査	事前調査			工事中モニタリング			完成後調査	
	○新港締め切りの水質実態把握			○潜堤付き孔空きケーソンの導水機能検証			○新港締め切りの水底質把握	
	○新港締め切りの周辺生物の分布状況把握			○新港締め切りの水底質把握			○新港締め切りの周辺生物の分布状況把握	

図-2 漁港建設工事と追跡調査の流れ

を図-2 に示す。漁港建設工事の進捗状況に伴ってモニタリング調査を、①事前調査（新港締め切り前）、②工事中モニタリング（潜堤付き孔空きケーソン完成（新港締め切り前））、③防波堤完成後調査（新港締め切り後）の3段階に分けて、各々の段階に応じた調査課題を設定した。

(2) 主な調査内容と方法

調査項目を表-1 に、調査地点を図-3 に示す。調査時期は、項目に応じて夏季と秋季の2回に分けて実施した。水質・底質については、静穏かつ高水温で溶存酸素が最も低くなる8月に、付着生物・藻場については海藻の衰退期にあたる8月もしくは芽生え期にあたる10月から11月に、平成15年には、繁茂期である6月に調査を実施した。

表-1 調査項目

調査区分	調査名	調査項目	調査方法
港内水質維持機能に関する調査	水質調査	SS・DO・COD・栄養塩・クロロフィルa・導水流速	採水および測器による船上測定
	底質調査	粒度組成・COD・強熱減量・全硫化物	採泥したサンプルを室内分析
周辺藻場における機能資源の影響緩和に関する調査	付着生物調査	動植物の種類・被度・個体数（水平・鉛直）	スキューバ潜水による目視観察及び写真撮影（50×50cm枠）
	藻場生物	海藻の種類・被度、有用大型底生動物の種類・個体数	スキューバ潜水による目視観察及び写真撮影（1×1m枠）

3. 調査結果と考察・評価

(1) 海水導入工における導水機能の検証

潜堤付き孔あき防波堤は、波高の小さい波に対しても効果的に海水を導入できる工法として開発されたものである。マダイやヒラメ等の蓄養殖や中間育成は、比較的波の静穏な期間が長い夏季（5月から9月）である。稚魚や成魚の魚種、収容尾数を想定し、残餌、排泄物の量も考慮して溶存酸素の収支計算^{2), 3)}により計画導水量を検討した。その結果、港内の海水交換を行わない場合には、港内の溶存酸素は、0～4.6 mg/l と予測され、蓄養殖等を考えると、港内の溶存酸素は、少なくとも、5.7 mg/l を確保する必要がある、このときの計画導入量は、3,700 m³/h である。この計画導水量は、3日に一度の割合で港内の海水が入れ替わる量であることから、3日以上連続して海水交換の波高が得られないと問題が生じることになる。一方、3日連続して波高が30 cm 以下となる場合が年1回程度（1989～1993）であることから、これを海水交換機能上の設計波高としている。導水工の配置、構造は、夏季の主方向であるWNNに対して、計画導水量 3,700 m³/h が得られるように設計⁴⁾されている。

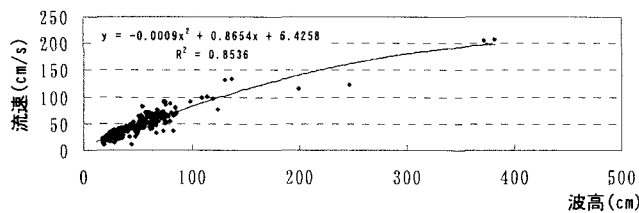


図-4 波高と流速

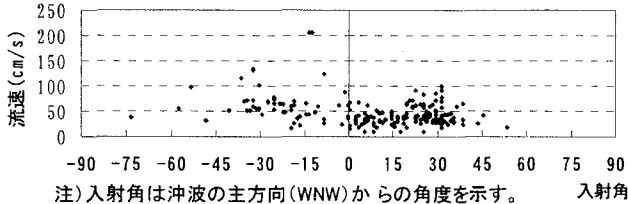


図-5 波向と流速

平成10年8月～9月に実施した導水量調査では、来襲波に対する導水孔の平均流速や導入量、並びにこれらの関係が得られた。観測期間中の平均波高は54.5 cm、最低波高は12.0 cm、平均流速47.3 cm/s（導水量8,200 m³/h）、最低流速10.5 cm/s（導水量1,600 m³/h）であった。3日連続して30 cmを下回ったのが1度あったが、このときの平均波高が24.6 cm、平均流速22.6 cm/s（導水量3,900 m³/h）となり、計画導水量を上回っていた。波高と流速の関係を図-4に、波向きとの関係を図-5に示す。波高に対する流速（導水量）のばらつきは、潮位のほか、波向きの影響によるものと考えられる。

(2) 水質の変遷

a) 溶存酸素変動および鉛直分布

新港内の締め切り後、平成13年8月と平成15年8月に比較的波の穏かな1日において新港内の各地点における溶存酸素の変動調査を行った。その結果を図-6と表-2に示す。時間毎の調査では導水量と溶存酸素の変動には明確な関係が見られなかった。時間単位程度ではなく、日単位などで導水量が溶存酸素の変動や所要量に寄与しているものと考えられる。また、数時間にわたり計画導水量を下回った場合でも、新港内の溶存酸素は、水深4 m付近までは5.7 mg/l以上得られていた。

溶存酸素は、港内が港外よりわずかに小さい。鉛直分布は、港内と港外で大きく異なる。港内では、水深4 m付近までは表層と概ね同程度の溶存酸素であるが、これより深くなる（窪地箇所）と急激に溶存酸素が低下していく。新港内の地点間の差は僅かである。

表-2 導水機能及び溶存酸素変動

調査年月 時間帯	平成13年8月 7:00～17:00	平成15年8月 7:00～17:00
水温 (°C)	26.1～26.4	23.1～24.4
風向	東北東～西北西	北東～南南西
風速 (m/s)	0～2	1～2
有義波高 (m)	0.17～0.51	0.19～0.55
周期 (s)	3.2～5.3	3.4～3.7
導水量 (m ³ /s)	1,119～4,646	1,465～2,786
D.O.港外 (mg/l)	6.8～7.5	6.9～7.3
D.O.港内 (mg/l)	6.7～7.1	6.3～6.5

注) 港内は水深4 m以浅の測定結果

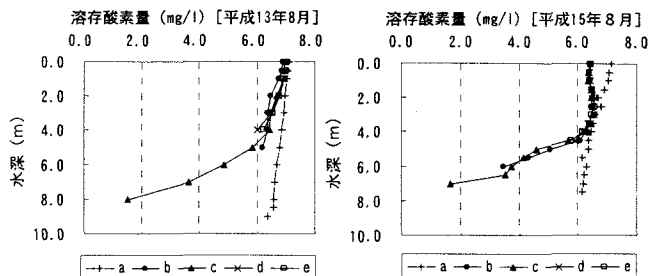


図-6 溶存酸素の鉛直分布

c) 導水による水塊構造への影響

導水による新港内の水塊構造を把握するために、平成13年8月に水質調査を行った。水温、塩分の結果から海水の密度の係数である σ_t （シグマティー）を算出し、その結果を図-7に示す。新港の入り口のiラインでは、等密度線が狭いことから、成層化していることを示している。これに対し、通水孔近傍のv、viラインでは、等密度線の間隔が広く、鉛直混合が活発に行われている。

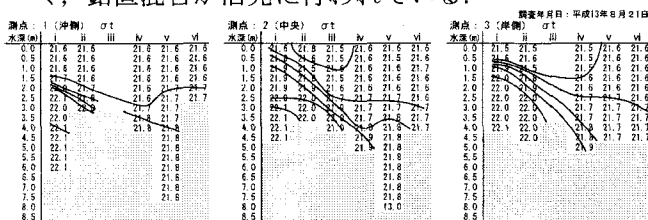


図-7 新港内における海水密度分布

d) 水質の栄養階級からみた水域区分の変遷

水質調査の結果から透明度、COD、無機態窒素、溶存酸素飽和度、クロロフィルaの項目について吉田(1983)⁵⁾による水質栄養階級による水域区分を行い、経年変化を図-8に整理した。旧港は、締め切られていない頃は富栄養域～過栄養域となっていたが、締め切られた以降もその状況は同じであり、特に締め切ったことにより富栄養化がさらに進行しているわけではない。新港は、防波堤が建設途中の平成11年までは、港外と同様の栄養階級であったのに対して、締め切りが完了した平成12年以降は、港外とは区別され、港外と旧港の中間的な状態（貧栄養域～富栄養域）に位置する。防波堤により波浪を

		海域区分			漁港建設工事 (防波堤形状)
		貧栄養域	富栄養域	過栄養域	
H7	港外 新港内 旧港				防波堤延長
H8	港外 新港内 旧港				
H9	港外 新港内 旧港				孔空き ケーソン 掘付
H10	港外 新港内 旧港				
H11	港外 新港内 旧港				外港 締め切り完了
H12	港外 新港内 旧港				
H13	港外 新港内 旧港				
H14	港外 新港内 旧港				

図-8 水質の栄養階級からみた水域区分の経年変化

遮蔽し港内の静穏度を向上させつつ、潜堤付き防波堤により海水交流が促進され、水質環境が良好な状況で維持されているものと考えられる。こうした水質環境が港内における生物の生息にどのように影響しているかについては(4)で述べる。

(3) 底質の変遷

a) 粒度組成の経年変化

粒度組成の経年変化を図-9に示す。新港内の測点5は平成7年以降シルト・粘土分が増加し、平成9年には90%を越えるようになり、現在に至っている。測点7,8では砂分が大部分を占めており、経年的にも変化していないが、シルト分と砂分は年によって増減を繰り返している。

粒度組成の変化は、測点5で際立っていることが明らかになった。これは、測点5の地形的な特徴によるものと思われる。すなわち、長径80m×短径20m程度で周囲より3～4m程小さい窪地となっており(図-3)、脱落した海藻類や有機物が沈降、堆積しやすいことから、シルト・粘土分が増加したと考えられる。これまでの調査から、年間30～40cmの速度で堆積していることが明らかになった。また、13年に行った柱状採泥では、海底表面から50cmまではシルト層が占め、その下は砂とシルトが交互に出現していた。これより、海藻類を起源とした有機物を多く含む底質と、高波浪による港外からの砂の堆積という2種類の底質が混在しているものと推察される。

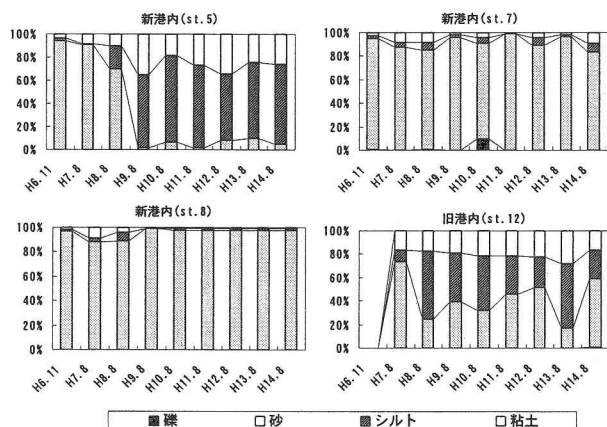


図-9 粒度組成の経年変化

b) 底質有機汚染度の経年変化

水産用水基準では、CODと全硫化物に基づく有機汚染度⁶⁾にから底質を分類しており、この図に本調査結果をプロットしたものを図-10に示す。測点5(窪地)および測点12(旧港)は「汚染泥」に、その他は「正常泥」に分類されている。測点5は、経年的に底質が悪化している。また、平成15年の調査で測点5に隣接する測点4で同様の調査を実施した結果、粒度組成は測点7,8と同様に砂分が卓越しており、有機汚染度の分類においても「正常泥」付近に分類された。したがって、測点5の窪地を除き新港内では、底質は良好に維持されている。

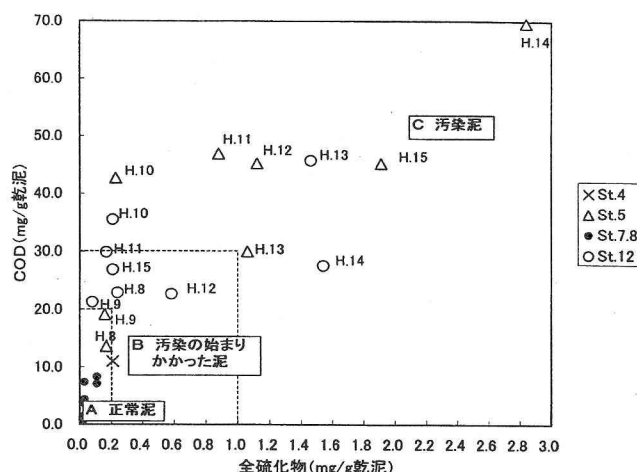


図-10 底質の有機汚染度の経年変化

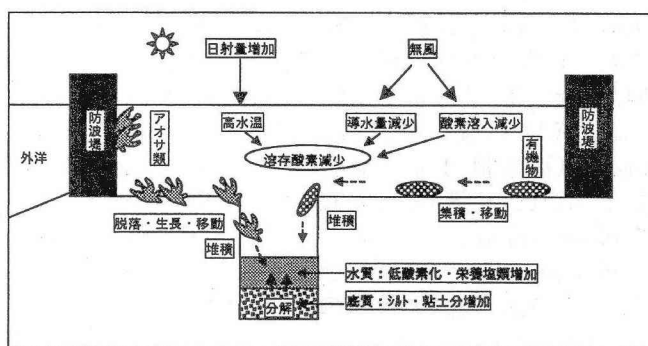


図-11 水質悪化のメカニズム

c) 港内トレンチ(窪地)による汚染泥集積・除去

窪地(測点5)の水底質悪化のメカニズムを図-11に示す。新港内では夏季に海藻の脱落や枯死によって、海底に溜まったものが次第に水深の深い窪地へと堆積されていく。新港内の平均水深は4mであり、アオサ等の一部の海藻は脱落后も海底で光合成して生長する。一方、窪地の中では、溶存酸素や光量の低下に伴い藻体の分解が始まり、その過程で溶存酸素が消費され、一部は栄養塩類として水中に溶出し、残さはシルト・粘土分として堆積していく。その他の有機物(プランクトン、底生生物等の死骸や糞)についても、窪地に堆積してからの分解過程も同様である。

今後は、こうしたトレンチ(窪地)における堆積機構を利用して、砂・シルトおよび海藻類や有機物を集積させ、定期的に浚渫することにより、港内全体の水底質を良好に維持していくことが可能であるものと考えられる。

(4) 付着生物および藻場の経年変化

a) 防波堤港内および港外における大型底生生物の経年変化

大型底生動物の経年変化を図-12に示した。イワガキは港内、港外ともに広く出現しており、防波堤における優占種となっている。多く出現する箇所は、波当たりの強い港外や導水孔の出口付近(港内側)であった。エゾアワビは港内、港外ともに広く出現

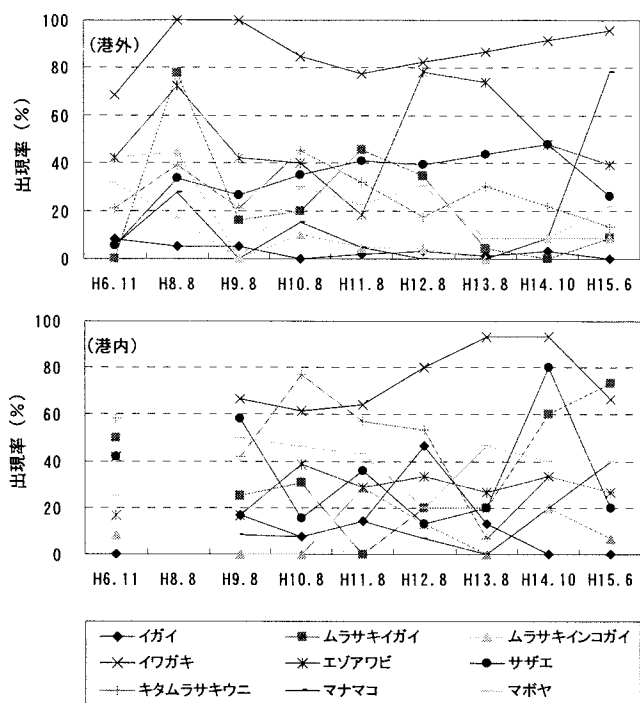


図-12 大型底生動物の経年変化

している。サザエは、南防波堤や防波堤Bで多くみられた。キタムラサキウニは、南防波堤と港内に出現していた。ムラサキガイは港内の導水孔周辺で多く出現していた。港外で出現率の高いのは、イワガキ、マナマコ、エゾアワビ、サザエの順であり、港内では、ムラサキガイ、イワガキ、マナマコの順である。漁港構造物の完成後の経過年数は、新しいもの（防波堤B）でも既に4年を経過しており、付着量、種とも周辺の防波堤と比較しても際立った差はなかった。

経年的には港外では比較的安定した出現傾向を示している。また、新港締め切り完了後も、出現傾向は大きく変化しておらず、港内においても大型底生生物の生息可能な環境が維持されているものと考えられる。

b) 付着生物による地点間の類似度

平成14年10月（海藻の芽生え期）に実施した付着生物（鉛直）の出現組成からクラスター分析を行い、生物群集に基づく類似性に基づいて地点間のグループ化を行った。解析にあたっては、地点間により水深が異なることから、新港内の平均水深であり、生物量の比較的多い水深4mまでの生物群集を対象とした。類似度指数の計算では、Sørensen (1948) の類似商により算出し、分岐図は平均連結法により作成した。その結果を図-13, 14 に示す。

新港周辺の防波堤は、北東側の天然藻場に面したA, C, D, Fのグループとそれ以外の2つに大別された。これらのグループ間では、ホンダワラ科（藻場優占種）の有無と一致していた。防波堤に生育するホンダワラ科の海藻は、近隣の藻場が母藻となり、幼胚が漁港構造物まで移動、着生したものと考えられる。

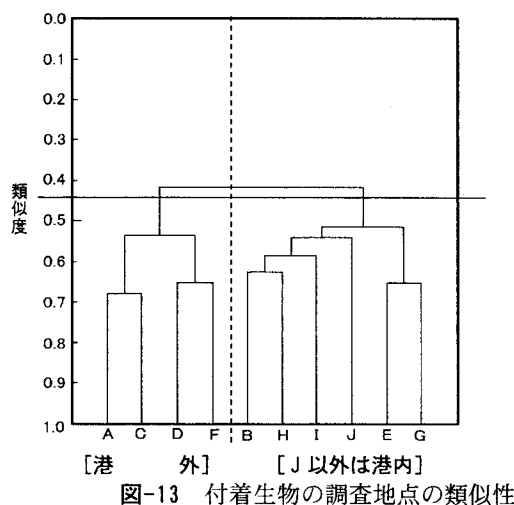


図-13 付着生物の調査地点の類似性

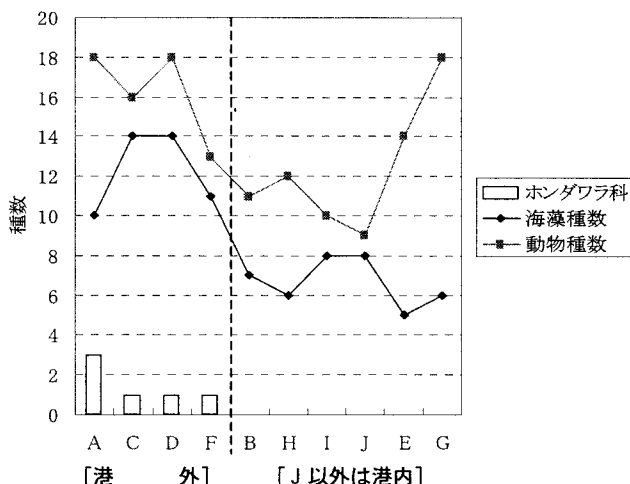


図-14 付着生物の種数の変動（クラスター順）

c) 藻場分布

藻場構成種（ホンダワラ科）の繁茂期である平成15年6月に藻場分布調査を行い、大型海藻、小型直立海藻・殻状海藻、砂地の分布を図-15 に示す。経年変化を見るために、平成12年10月、平成6年11月（海藻の芽生え期）に実施したが、平成6年11月の藻場分布調査結果を図-16 に示す。藻場の構成種は、アカモク、ヨレモク、マメタワラの3種を中心とするガラモ場であり、図-17 に示すように、水深帯により分布が異なっていた。水深10m以深では大型海藻の出現はなかった。アカモクは、防波堤Bから飛分港にかけて距岸水深100m以内の水深3m以浅に出現している。また、アカモクは、強い流れの生じる孔あき防波堤の潜堤付近にも出現し、同所的にワカメも出現していた。今回の調査で、飛分港北側の水深3～6mの範囲に藻場としての広がりをもったヨレモクが初めて確認された。これは、平成6～8年にかけて代替として造成していた人工藻場・増殖場であり、コンクリートブロックの藻礁が設置されている。形成されたヨレモクは、多年生で比較的成長の遅い海藻であることから、今回初めて確認されたものと言える。マメタワラは、防波堤A南端の水深5.5～9.5mの範囲に出現していた。

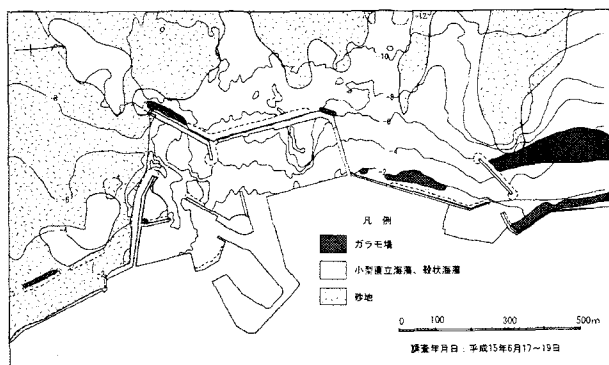


図-15 藻場分布図（平成15年6月）

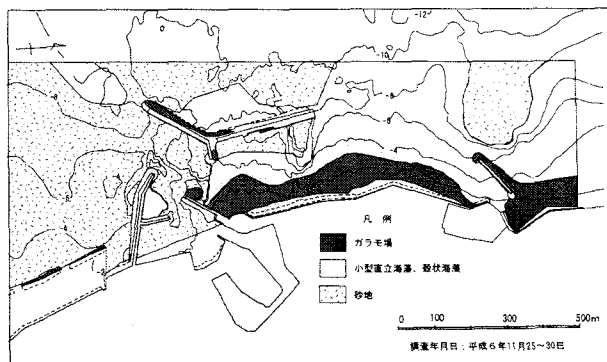


図-16 藻場分布図（平成6年11月）

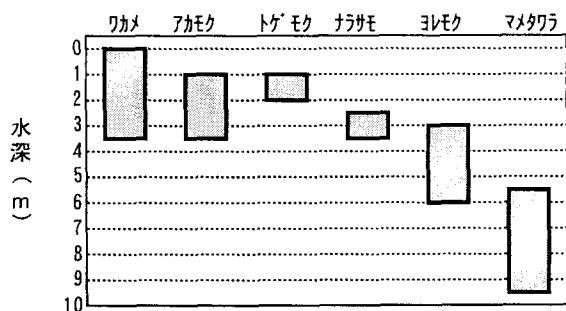


図-17 金浦漁港周辺の大型海藻の鉛直分布

新港内が締め切られてから、防波堤B付近のアカモクが減少している。これは、防波堤Bの建設により、主方向（WNW）の波浪に対して反射波や波の収斂が起こり、防波堤B付近から飛分港にかけて沿岸部への波当たりが強くなったものと推察される。

岩礫性藻場の地理的な分布を規定するものは、一般に海流系や水温であるが、この地理的分布内においては、水深（光量・透明度）、生育基盤（材質、表面形状、安定性）、波浪・流動に応じて分布が決まる⁷⁾と言われている。物理環境との関係では定性的でしかないが、波当たりの強さによるアカモクの減少、各種海藻の鉛直分布については、金浦漁港周辺においてもほぼ同様な対応関係が確認された。

4. おわりに

本研究から次のことが明らかにされた。

- ① マダイやヒラメ等の蓄養殖等は比較的波の静

穏な期間が長い夏季になるが、潜堤付き孔あき防波堤の設置により、港内の水質悪化が懸念される夏季においても、計画導水量が得られるとともに、溶存酸素量も平均水深である4m以浅までは確保されていた。

- ② 新港の締め切り完了以降は、港外と旧港の間時的な状態（貧栄養域～富栄養域）に推移している。潜堤付き孔あき防波堤により、波浪を遮蔽し港内の静穏度を向上させつつ、海水交流を促進させ、水質環境が良好な状況に維持されているものと考えられる。
- ③ 窪地部を除いた港内は砂分がほとんどであり、「正常泥」に分類され、底質は良好に維持されている。
- ④ イワガキ、エゾアワビなど大型底生動物は、防波堤の港外、港内とも広く出現し、新港締め切り完了後もその出現傾向は大きく変化していないことから、港内においても生息環境が維持されているものと推察される。
- ⑤ 潜堤付き孔あき防波堤周辺にも藻場の広がりが見られる一方、防波堤B付近から飛分港にかけて沿岸部への波当たりが強くなったため、藻場の減少が見られた。飛分港北側に代替として造成していた人工藻場・増殖場には、藻場としての面的広がりをもった大型海藻群落のはじめて形成されているのが確認された。

以上から、潜堤付き孔あき防波堤による海水導入は、マダイやヒラメ等の蓄養殖や中間育成に必要な港内の水質環境保全を図るとともに、港内・外における水産動植物の生息環境の維持・創造にも大きく寄与している。砂・シルトおよび海藻類や有機物の残さについては、トレンチ（窪地）による集積・定期的浚渫除去により、港内の底質・水質を良好に維持することが可能である。防波堤Bと飛分港の間の岩礫域に形成されている藻場では、ハタハタの産卵場であり、アワビ、サザエの漁場であることから、飛分港北側の造成藻場も含めて、引き続き、藻場の遷移過程に留意して追跡する必要がある。

参考文献

- 1) 山本正昭，中泉昌光，間辺本文，森口朗彦：海水導入を目的とした潜堤付孔あき防波堤の開発，海洋開発論文集，VOL. 7，pp.137-142，1991。
- 2) 大島泰雄，稲葉伝三郎監修：ハマチ・カンパチ，養殖講座4，緑書房，pp.130，1969。
- 3) (社)全国沿岸漁業振興開発協会：沿岸漁場整備開発事業施設設計指針，pp.285-290，1992。
- 4) 国金博和，三橋宏二，鹿田正一，政所亮，三浦浩，高橋隆二：秋田県金浦漁港における海水交換を目的とした防波堤の効果，海洋開発論文集，VOL.15，pp.445-450，1999。
- 5) 吉田多摩夫編：漁業環境アセスメント，水産学シリーズ48，恒星社厚生閣，pp.25-46，1983。
- 6) (社)日本水産資源保護協会：水産用水基準，1995。
- 7) 今野敏徳：ガラモ場・カジメ場の植生構造，月刊海洋科学17(1)，1985。