

浮魚礁「黒潮牧場」の現状と将来

高知県水産試験場 場長
石田 善久

1. 黒潮牧場構想

水産業を取りまく厳しい環境の中で、今後における高知県の活力ある水産業を展開してゆくためには、広い陸棚を有する土佐湾周辺の沿岸沖合域に力点を置いた漁業の再開が必要であった。

土佐湾域黒潮牧場構想は、この課題に応えるため、海域の特徴とそこに生息、来遊する生物資源を最大限に活用し、経済的価値の高い海域につくり替えることを目的として、昭和62年3月に作成され、2,000年を目標とした長期の開発構想である。

今日、海洋牧場と言う言葉は広く使われているがその定義は定かでない。海洋牧場とは、海洋生物の生理生態を一定のまとまりのある海域において、人為的にその行動生態あるいは行動生理を制御し、対象生物の漁獲あるいは生産から漁獲を計画的に行なうことだと考えている。

まず、黒潮牧場のエリアであるが、本県沖合には周辺海域よりも高水温・高塩分・強流速の黒潮が東流しており、これを沖合のバリアーとして、海岸から黒潮流軸までの水域を黒潮牧場のエリアとしている。

次に、戦略である開発手法は、土佐湾域を大きく三つの水域に分け、海岸から水深30mまでの浅海域、その沖合の水深200mまでの大陸棚水域、更はその沖合の黒潮流域までの沖合水域とし、それぞれの水域において、魚種特性や海域特性からのアプローチを行なっている。

2. 黒潮牧場構想具体化への取組

(1) 土佐黒潮牧場1号の開発経過

漁場利用形態のなかで、本県沿岸漁業の大きな特徴は、カツオやマグロなどの高度回遊性浮魚類を漁獲対象とする一本釣漁船が多いことである。これら魚種の漁場は、黒潮縁辺部や分枝流域に形成されるため、その時の海洋条件、特に、黒潮の離接岸状態に大きく左右されると共に魚群の移動は速く、魚群探索に多くの労力と時間を必要とする。

カツオやマグロは流木などの浮遊物に蟄集する習性がみられている。この習性を利用した浮魚礁を設置して、一過性魚群を一定期間浮魚礁周辺に滞留させる沖合域の漁場造成は、漁業者の長年の悲願であった。

沖合域の漁場造りについては昭和50年から取組みが行なわれた。最初は、波力が少なく航行船舶の障害にならないよう施設を水面下20～30mに敷設する中層型浮魚礁や簡易な漬施設の調査研究が行なわれた。その結果、中層型浮魚礁はカツオやマグロなどの回遊魚には蟄集効果は弱く、しかも、長期間の設置によって浮体には大量の生物が着生し、余剰浮力を減少させる。特に、強流帯水域においては浮体の深度変化が大きく、浮体を常時所定の深度に定位させることは非常に難しく、しかも浮体浮力と係留索強度（太さ）との関係に限界がみられる。

一方、表層漬施設は、構造が簡単で化繊ロープや竹又は漁業用浮子を用いるため安価で蟄集効果は大きいですが、本県には毎年台風が襲来し、多くの施設は設置後1年以内に消失し長期間の設置には耐えられない。

これらの調査試験研究から、本県の海域環境に適した浮魚礁の形式としては、強流や波浪に

充分耐える規模と材質，更に，漁海況情報の収集伝達などの付加機能を備えることが可能な表層大型浮魚礁の開発が必要との結論を得た。

このような経過のもとで，黒潮牧場構想具体化（沖合域の開発）の一環として，社団法人全国沿岸漁業振興開発協会並びに新日本製鐵株式会社の協力を得て，昭和59年12月8日，高知市南方40km，水深560mに鋼製円盤型大型浮魚礁一黒潮牧場1号一が設置された。この浮魚礁には新しい試みとして，浮体下部には，波浪による動揺を少なくするために安定板を取付け，係留索には，本四架橋に用いられている新素材の平行線ケーブル（PWC）が用いられた。

(2) 黒牧1号の構造・規模

1号の実証実験期間は2カ年を想定したため，設計条件は風速60m/s，流速4kt，最大波高14m，周期14秒，海底は砂泥質として設計された（図1）。

浮体は，一般構造用圧延鋼材（厚さ4.5mm）を用いた直径6m，全高7.8m，自重12ton，浮力43.5tonの円盤型である。係留は一点係留方式とし，ブイ直下の15m及び海底に接する330mはφ48，破断力185tのスタッド付チエン，その中間はPWCが用いられた。PWCは平行線ケーブル用線材（SWRS 77B）を直径5mm，引張強さ160kg/mm²で伸延した後亜鉛メッキが施され，大ピッチ撚り（より角3.5°）加工ラインで55本を集束形成して，その外側を厚さ4mmの高密度ポリエチレンで被覆した後1mmの鉛ラミネートテープで巻付けられた。更に，その上に4mmのポリエチレン外層被覆を施して，深度560mにも十分な防水性を保つように加工されたものである。ケーブルの破断力は176t，係留系の安全率は8.2で設計された。係留系の空中重量はケーブル部6,375kg，チエン部18,747kg。アンカーは5tダンホース型錨が用いられた。

浮体は，航行船舶の安全対策として，吃水面

上部及び灯標柱は黄色塗装とし，灯具灯質は無色モールスD符号黄色，周期8秒，100カンデラ，7海里。電源は空気積層乾電池（電池寿命10.6ヶ月）が用いられた。

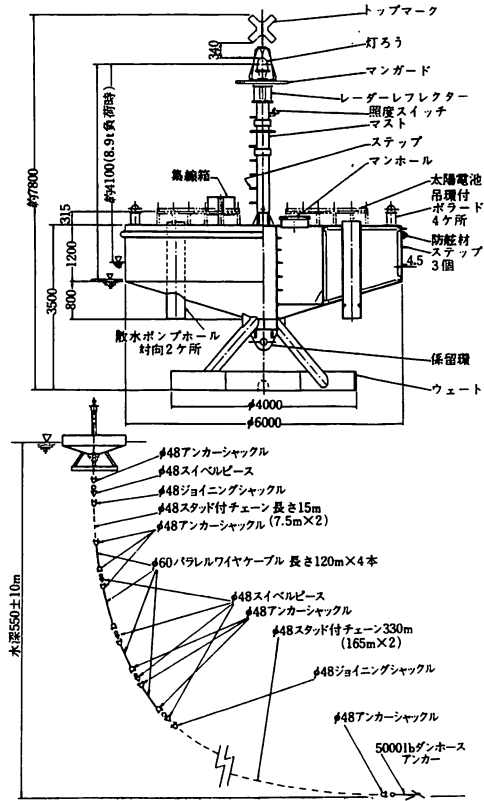


図1 黒牧1号係留全体図

(3) 実施実験結果

昭和59年12月8日に設置し，61年12月5日回収までの2カ年間の調査で，本県沖合域における表層大型浮魚礁の実用化に向けて参考となる多くの知見が得られた。

1) 工学的評価

浮体

塗膜の耐久性については25カ所の膜厚および付着力を測定した結果，全般に塗膜は耐久性に優れ，5～6年の耐用は充分期待できることが確認された。

鋼材の厚さは、超音波厚み計を用いて20カ所測定した結果、年間の腐食量はマスト部0.13mm、デッキ部0.105mm、水中部0.08mmで内海域の腐食量と大差ないことが判明した。

係留環

係留環の取り付け用アイプレートとアンカーシャックル間の摩耗は、アイプレートは4mm/年、アンカーシャックルは2mm/年であった。

ケーブル・チエン

ケーブルは、4本の供試体について引張強度試験が行なわれた。いずれも製造時の張力178tに比べ185tと増加しており、強度の減少はみられなかった。ケーブルやケーブル端末部の水密性について塩化銀反応を利用して海水の浸入が調べられたが、浸入は全く認められなかった。

チエンは、海底からの立ち上がり部のチエンのスタットに3mm程度の間隙がみられ、腐食もやや進行していたが、他の部位は新品と同じような状態で、破断強度の減少はみられなかった。

生物付着状況

付着生物は、浮体と上部チエンにみられ、ケーブルにはごく少量であった。量的に多い種類はアカフジツボで全体の78.3%を占め、他はサンカクフジツボ(9.1%)、オオアカフジツボ(4.2%)、イガイ(1.0%)であった。付着量の多い部位は安定板保持パイプと水中斜部で、1㎡当りの空中重量は最高31.6kg、平均26.6kg。フジツボの厚さは、安定板10cm、安定板保持パイプ7cm、水中斜部6cmであった。

付着面積から概算した全付着量は、空中重量で1.5t、水中重量では0.45tになる。

施行

現地据付工事は幅20m、長さ50m、180t吊旋回クレーン搭載の作業船で行なわれた。

現地に到着して、最初に浮体を着水させ、次

にワイヤーケーブルをくり出す。チエンはウインチを使用してアンカーから先に10mピッチで330mをくり出す。チエンとケーブルの連結部にハツカーを掛けておろし、アンカーが着底した時にハツカーを切り離す。この間、作業開始から据付完了まで約11時間を要した。気象海象が急変する洋上においては施工方法の改善が検討課題となった。

2) 漁業利用面からの評価

集魚効果

曳縄釣りによる釣獲試験および魚探による魚群分布調査によって蛸集が確認された魚種は、カツオ・キハダ・ヨコ(クロマグロ幼魚)・シイラ・カマスサワラ・ツムブリ・サバ・ムロアジ・イワシ類等16種で、これら魚種は、浮魚礁を中心に半径500~700m以内にみられた。

漁獲効果

操業船は3~19tの曳縄船およびかつお竿釣船、3~9tのしいろまき網船で、主な漁獲魚種はカツオ・キハダ・シイラであった。

カツオ・キハダは5~7月、シイラ・ヨコは5~11月、カマスサワラは8~11月が漁期となった。盛漁期には浮魚礁を中心に半径500m水域内に15~20隻、最高40隻の操業船がみられ、1日1隻曳縄船は70~150kg、竿釣船は800~1,000kgを漁獲した。特に、昭和61年5月中旬~6月下旬には分枝流の流入が強勢となって海況条件が好転したため、水揚伝票調査による集計では、この間の2週間に延約400隻が操業し、カツオ・キハダ主体に76トン、2,100万円の水揚げがみられた。

3. 黒牧構想の展開

(1) 沖合域漁場造成

1) 設置状況

黒牧1号の実証試験は、沖合域における大型浮魚礁の耐久性と漁獲効果を証明したことから

事業化に着手された。まず、昭和62年3月27日、土佐湾西部足摺岬南々東14湊、水深750mに2号が設置され、その後はほぼ毎年1基の計7基の設置が行なわれた(図2)。

設置水域は距岸14~25湊、水深は560~810mである。

浮魚礁の構造材質は1号と同質の材料を使用しているが、設置水域は1号よりも沖合になり、波浪流速等の設計条件は厳しいため、余剰浮力を大きく直径8mが採用された。

設計条件は、設置水域により多少異なるが、概ね、風速62m/s、最大波高25m、周期16秒。流速は深度0~200mは5.2kt、200~300m :

4.2kt、300~400m : 3.2kt、400~500m : 2.1kt、500~600m : 1.1kt。付着生物の層厚は10cmとされた。耐用年数は2~4号は約5年、5号以降は約10年を見込んで設計されている。今までのところ、流夫等の事故は発生していない。

なお、2号以降の据付作業は、クレーン搭載船を用いずに行なわれている。まず、前作業として、港内においてアンカーと2連のチエンを連結し、これを所定の長さ毎に細いワイヤーを用いて台船の舷側に吊す。浮体は台船の船尾から曳行して現場に向かう。現地に到着したならば、浮体の上部チエンにケーブルを連絡して潮下に曳行し、順次No2・No3のケーブルをくり

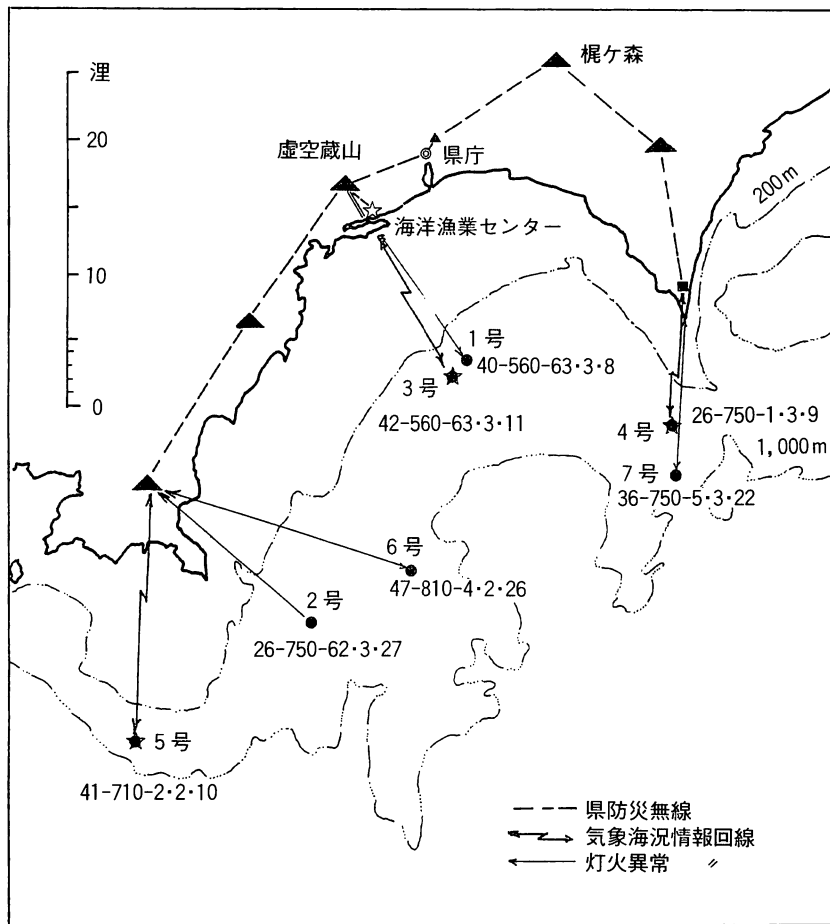


図2 黒牧ブイ設置状況と情報回線
(41-710-2・2・10 … 距岸41km 水深710m H2年2月10日設定)

出す。全ての連結が終了したならば、台船を所定の位置に曳行して舷側の細い吊下ワイヤーをアンカーの所から切断する。アンカーの自重によって次々に細いワイヤーは切断されて自由落下する。この設置方法では、現地到着から据付完了まで約1～3時間で終了する。

2) 漁獲効果

漁獲効果については、標本船(19t 竿釣船)の操業日誌や漁業者からの聞き取り、更に、利用漁船の多い漁協の漁獲量等により推計された。

黒牧を利用する漁船は、19tの竿釣船と小型曳縄釣船であった。利用の多い時には、一基のブイに5tクラスの曳縄船25～30隻、竿釣船3～5隻が同時に操業していた。

2号ブイが設置された昭和62年の初漁期から平成5年の終漁期までの7年間における黒牧による推定総漁獲高は約14億円。年平均にすると2億円になる。年別では平成4年に最も顕著な効果が現われ、この年約8億円を水揚げしていた。この年は、海況に恵まれ、カツオ・キハダは周年蝟集し、特に、例年ならば終漁期である10～12月に好漁がみられた。これは、土佐湾の表面水温は例年になく高目(10月0.7℃, 11月1.5℃, 12月3.3℃高目)に推移し、魚群がかなり長期にわたり滞留したためである。この年の竿釣船の総漁獲高に占める黒牧ブイでの漁獲は、平均船な船で3～4割、多い船は6～7割とかつてない依存度であった。操業は黒牧主体であったため、日帰りの操業で操業効率が非常に良く、漁獲物の鮮度が良いことから、高値(11月1,000円/k, 12月1,300円/k)で販売されたためである。

ブイ別の総漁獲高は、足摺沖の5号が最も多く約5億円、次いで4号の3.4億円、2・3・6号は1.5～1.8億円であった。

1基1日当りの最高は、全域のブイに好漁がみられた平成4年4月中旬～5月中旬の間に、2号は5.1t, 4号は13t, 5号は17t, 6号は20t

であった。単年度の最高は、平成4年の5号で約3.3億円の水揚げがなされた。

全ブイを通じて、過去7年間における1日1隻当りの最高は、19t 竿釣船は8.3t 800万円(5号)、曳縄船は500kg 40万円、年間の最高は19t 船の約7,000万円であった。

(2) 漁海況情報収集伝達システム

1) システムの概要

土佐湾域黒潮牧場構想における沖合域の開発は、浮魚礁を単に集魚機能だけに限定することなく、気象海況観測などの付加機能を備えたトータルシスとしての開発が提起された。このため、MF-21(日本の200海里の漁業開発を進める会)の「浮魚礁システム研究会」の「機能に関する研究会」に参画し、昭和63年4月～平成2年3月の2ヵ年間、黒牧1号を用いてこれらの実証実験が試みられた。

搭載機器は、風向風速計・流向流速計・水温計・魚群探知機・消灯警報装置で、1日6回これらを観測してそのつど水産試験場に自動送信(400MHZ)する方式が用いられた。得られた情報は、職員が午後4時30分にテープに録音して外部からの問合せに供した。この方法では最新の情報提供にはならなかったが、漁業者の利用は多く好評であった。

この成果を踏まえて、全自動で直近の情報の提供を行なうため、平成3年「ふるさと情報基盤整備事業」により、土佐湾中央部の3号、室戸岬沖の4号、足摺岬沖の5号にそれぞれ気象海況観測機器(風車形風向風速計・2軸電磁流速計・白金電気抵抗温度計・電磁誘導塩分計・加速度波高計)を搭載し、ブイから4時間毎(平成6年8月から2時間毎)に送信される観測値は、県防災行政無線回線(図2)を利用して海洋漁業センター・ハイテク室(水試内)に収集(制御監視信号処理装置)し、ここで加工処理されたデータは、自動的に音声合成してブイ別に電話応答サービス(電話応答通報装置)がで

きるシステムが構築された。これにより直近の情報、例えば、出漁直前の午前2時の4号の情報を入手する場合は、30分後の2時半に0888-56-1001に電話することによって風向風速・流向流速・表面水温を知ることができる。

塩分はセンサーの汚れにより誤差が生じ、波高は観測値と実際値の整合性に問題が有るため、データの公表は行なわれていない。

なお、全てのブイには消灯などの灯具系にトラブルが発生した場合には、直ちに陸上局に伝達する消灯警報装置が装備されている。

2) 利用状況

このシステムは、平成4年4月から開始され、6年8月までの29ヶ月間の利用回数は延102,296回、多く利用されているブイは、室戸岬沖の4号(52,100回)、次に5号(33,448回)、3号(16,748回)の順になっている(図3)。

いずれのブイも周年利用されているが、特に、3～5月のカツオ漁期に多く、この期間の利用は、全体の44%を占める。利用の時間帯は、午前2～4時と午後8時にピークがみられている。これは出漁直前又は就寝前に沖合の操業情報を入手しているためと思われる。

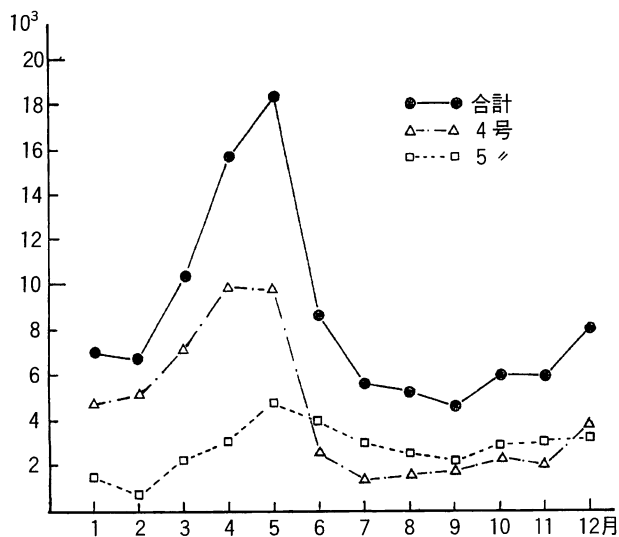


図3 月別情報利用回数
(H4年4月～6年8月)

4. 黒牧2号の回収

昭和62年3月27日に設置された2号は、当初見込んでいた耐用年数になったため、平成5年12月19日に回収し、浮体・係留系・灯具等の構成部材の経年変化が調べられた。

(1) 黒牧2号の概要

1) 浮体

規格：外径8.0m 全高10.2m 重量28.5t
全浮力96.6t

板厚：甲板9mm 側・底板12mm (設計腐食代 吃水上…0.3mm/年 吃水下…0.15mm/年)

塗装：吃水上 ジンクリツヂプライマー1回 タールエポキシ系塗料2回 塩化ゴム系樹脂塗料2回 吃水下 ジンクリツヂプライマー1回 タールエポキシ系塗料2回

電気防食：アルミニウム合金 26.4kg×12ヶ 発生電流 1.56A

2) 係留系(係留系全長1,060m 水深の1.4倍)

係留環：巾70mm 厚さ200mm (設計腐食摩耗量10mm/年) シャックルピン…短径98mm×長径147mm

ケーブル：重防食平行線高張力ケーブル 外径78mm 長さ230m×3本 破断強度342t 空中重量19kg/m 安全率4.2 (係留索最大張力80t) (素線径5mm×109本 垂鉛メッキ引張強度160～180kg/cm²)

チェーン：呼び径70mm JIS SBC 70 上部15m 下部175m×2連 破断強度376t 空中重量107kg/m 安全率4.7 (設計腐食量 上部0.05mm/年 下部0.1mm/年 摩耗量下部0.5mm/年)

スイベル：2個

アンカー：ダンホース型10t（設計把駐力係数6）

(2) 設置期間中の海気象

1) 台風の規模・移動経路

設置期間中に九州の西側から土佐沖にかけて通過した台風は21個であった。この内、設置海域の近くを通り2号に影響を及ぼしたと思われる6個の台風の移動経過は図4に示した。

清水測候所足摺分室における最大風速の最高は、平成5年台風13号の19.9m/s。最大瞬間風速の最高には平成2年20号の41.4m/sであった。

風速10m/s以下でほぼ同一方向からの風が長時間連吹した台風は、平成元年の11号でE～ESEの風が27時間連吹した。連吹風の最も強い台風は、平成5年の13号で20m/sが3時間連吹していた。

設置期間中の最も強い台風は、平成5年8月29日沖ノ島岳洋上に発生した台風13号であった。9月3日15時には中心気圧930hpa、中心付近の最大風速50m/s、風速25m/s以上の暴風半径170kmの大型で非常に強い台風に発達した。3日16時に薩摩半島に上陸、九州を縦断して23時頃愛媛県八幡浜市付近に再上陸するコースをたどった。沖縄県久米島では最大風速36.5m/s、最大瞬間風速53.9m/s。室戸岬では35.7m/s、50.3m/sが観測された。

なお、気象庁予報部災害時気象速報によると、この台風通過時に、鹿児島県佐多岬では最大有義波高7.99m、沖縄県喜屋武岬では9.34mの波が観測されたとしている。

2) 海 象

足摺分室では、毎日14時に沖合の波浪とうねりの目視観測が行なわれている。

表1は、昭和62年4月1日から平成5年12月16日までの階級別出現日数を集計したものである。

最も多く出現した波浪は、階級2（波高0.1～0.5m）で全体の44.6%、次いで階級3（0.5～1.25m）は37.8%。階級6（4～6m）は12日（0.49%）、階級7（6～9m）は3日（0.12%）、階級8（9～14m）は1日（0.04%）であった。

うねりは、階級1（周期11.3秒以下 波高2m以下 波長200m以下）は67.5%、次いで階級3（8秒以下 2m以下 100m以下）は21.7%。階級6（8秒 4m以上 100m以下）は12日（0.49%）、階級7（8.1～11.3秒 4m以上 100～200m）は10日（0.41%）、階級8（11.4秒以上 4m以上 200m以上）は13日（0.53%）であった。

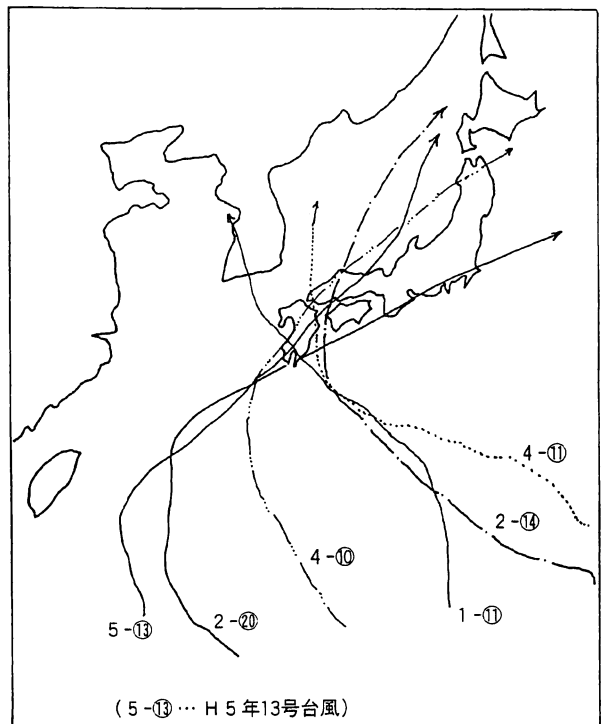


図4 台風の移動経路

表1 足摺岬沖の波浪・うねり階級別出現日数 (S62・4.1~H5・12・16)

階級 波		1	2	3	4	5	6	7	8	9	計
		日	26	1,092	925	304	86	12	3	1	
浪	%	1.1	44.6	37.8	12.4	3.5	0.49	0.12	0.04		100
	日	1,652	45	531	164	22	12	10	13		2,449
うねり	%	67.5	1.8	21.7	6.7	0.9	0.49	0.41	0.53		100

3) 海況

2号は、設置中どのような強さの流れをどの程度受けていたか検討してみた。

高知水域は毎週漁海況速報（黒潮の流路や漁況）を発表している。この資料に用いられている黒潮の流軸位置（黒潮の最強流部で足摺岬から南方向の距離湊数で表す）と図5の海洋観測定点の観測値を調べてみた。

四国沖における黒潮流軸付近の流れは1~4kt。2kt台の流れが最も多い。また、紀州沖に大冷水塊が存在する時と存在しない時の平均流速は、それぞれ 2.3 ± 0.58 kt, 2.3 ± 0.57 ktで両者による流速の差はみられない。季節的には夏季に速く、秋季に弱くなる傾向がみられている。

表2は、週報の黒潮流軸の出現頻度を集計したものである。足摺岬沖の黒潮流路は、足摺岬沖から室戸岬沖にかけてNE~ENE方向に流去するので、黒潮が2号ブイ付近を流れるのは、流軸が足摺岬南15~20湊以内を流れる時である。これらからすると、2号は少なく見積もっても、設置期間中の10%、多く見積もった場合は27%が黒潮本流の影響下にあったものと思われる。

次に流速については、足摺岬南々東100湊定線観測31回、土佐湾定線観測62回合計93回の測定値（表3）によると、3kt以上の流れは4回、最高流速はst3の3.5ktであった。この表から大まかな推定を試みると、2号は、2,456日のうち1kt台の流れを約1,800日（48%）、2kt台の流れを490日（20%）、3kt台の流れを70~170日（3~5%）受けていたものと思われる。

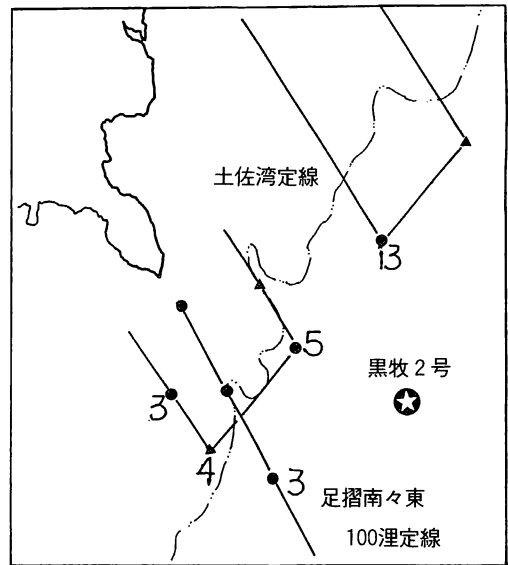


図5 海洋観測定線

表2 漁海況速報による足摺・室戸岬沖の黒潮流軸 (S62年4月～H5年11月)

距岸(湊)	岬	足摺岬沖		室戸岬沖	
		回(週)	%	回(週)	%
5		1	0.3	1	0.3
10		19	5.6	12	3.5
15		41	12.1	20	5.9
20		70	20.6	57	16.8
25		62	18.3	50	14.8
30		78	23.0	120	35.4
40		35	10.3	50	14.7
50以上		33	9.8	29	8.6
計		339	100	339	100

表3 設置期間中の流速観測結果

定線 kt	南々東100湊				土佐湾	
	st 3		st 4		st 5	
	回	%	回	%	回	%
～0.4	5	16.1	2	6.4	6	9.7
0.5～0.9	4	12.9	6	19.4	21	33.9
1.0～1.4	8	25.8	11	35.5	11	17.7
1.5～1.9	7	22.6	4	12.9	7	11.3
2.0～2.4	3	9.7	7	22.6	5	8.1
2.5～2.9	3	9.7	1	3.2	9	14.5
3.0～3.4					3	4.8
3.5～3.9	1	3.2				
計	31	100	31	100	62	100
max (kt)	3.5		2.8		3.1	

(3) 回収作業

作業船団は、2,000t 台船 (39.0×20.0×2.3m 150t ウインチ1台 15t 1台 10t 4台 3t フォークリフト1台)、作業曳船2隻 (149.6t 1,800ps 142.0t 1,800ps)、警戒船1隻 (4.4t 230ps)、小型作業船1隻の5隻で構成された。

回収作業は、最初に浮体下部チエンの12～13mの所に台付ワイヤーを取り付け、10t ウインチで台船上に引揚げる。No1ケーブルの接続ソケットが、台船の舷側ローラー (直径178cm 巾80cm) を通過したならば一時巻き込みを停止させ、150t ウインチのワイヤーを取り付けてNo1ケーブルごと徐々に巻き込む。No2ケーブルの接続ソケットが台船上に揚がったならば、ケーブルストッパーを掛け、No1とNo2ケーブルの接続を取り外す。No1ケーブルは150t ウインチからケーブルリール (直径3.6m 巾1.7m) に収納する。このようにして3本のケーブルを回収する。

次にチエン350mについては、150t ウインチで約23m巻き揚げ、そこで一時停止して、チエンストッパーを掛けて再び巻き揚げる。この要領でアンカーまで回収する計画であった。しかし、No1ケーブルを回収し、No2ケーブルを巻き込み作業中、根付ワイヤー (φ42mm) がソケットの角に接触して切断し根ケーブルは海中に落下した。従って、回収した部材はNo1ケーブルより上部だけであった。

なお、当日の海象はNEの風5～7m/s、波高0.4～0.7m、流れはE～ENE方向、5m層2.5～3.6kt、50m層2.2～3.0kt、100m層2.2～3.1kt (水試調査船 土佐海洋丸のカラー潮流観測機)。清水港を出航 (03:55時) して、No2ケーブル回収中に、根付ワイヤーが切断 (12:20時) されるまでの作業時間は8時間30分であった。

(4) 耐久性に関する調査結果

浮体・係留系部材（係留環・ケーブル・チエン）・付属設備（灯具・灯火異常警報システム）について、経年変化による劣化が調べられた。

1) 浮体

浮体については、塗膜の健全度・鋼材厚み・電気防食効果・生物付着状況の調査が行なわれた。

塗膜の健全度

ふくれ・ひび割れ・錆の発生などはなく健全であった。膜厚は、電磁微厚計により22ヶ所を測定した結果、損耗はみられなかったし、塗膜の硬度についても劣化はなかった。塗膜の付着力は $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上あれば十分であるが、水中斜部の一部はこの値を下回っていた外は概ね健全であった。

鋼材厚み

超音波厚み計に上り22ヶ所を測定した結果、 $0.03\sim 0.09\text{mm}/\text{年}$ で設計に用いた腐食速度（浮体吃水上 $0.3\text{mm}/\text{年}$ 、吃水下 0.1 ）や黒牧1号の $0.045\sim 0.25\text{mm}/\text{年}$ を下回っていた。

電気防食効果

アルミニウム陽極電位は鋼より卑の電位を示し、犠牲陽極残存重量は平均 22.8kg （初期重量 26.4kg ）で係留環・チエン・スタット溶接部・アンカーシャックルピンの溶接部に腐食は全く認められなかった。電気防食は、深度 15m の範囲まで効果的に作用していた。

生物付着状況

付着生物は、イソギンチャク類・シリスコSp等の小型生物が多く、空中重量比で全体の 51.1% を占め、次にオオアカフジツボ（ 25.0% ）・アカフジツボ（ 19.7% ）・クロフジツボSp（ 1.3% ）等のフジツボ類は 46.0% 。イ

ボガキ・エガイ・キヌマトガイ等の斧足類は 2.9% であった。これら生物の平均付着厚は、側面部 9.2cm 、水中斜部 14.9cm 、安定板保持パイプ 6.1cm 、安定板 3.6cm であった。

付着生物の単位面積当り空中重量（ kg/m^2 ）は、側面部 60.0 、水中斜部 55.6 、安定板保持パイプ 94.4 、安定板外側 55.6 、内側 40.0 。浮体部平均では $56.8\text{kg}/\text{m}^2$ であった。

付着表面積から推定した浮体の全付着量は、空中重量約 6.9t 、水中重量は 2.0t （比重 1.44 ）であった。

2) 係留系部材

係留系部材は、係留環・ケーブル・チエンの摩耗と残存強度について調査が行なわれた。

係留環

腐食はごく軽微であったが、シャックルピンと接触していた部分は著しく摩耗していた（図6）。摩耗量は 128mm （ $18.6\text{mm}/\text{年}$ ）と当初の設計値 $10\text{mm}/\text{年}$ の約2倍であった。これは摩擦部にかなり大きな面圧が発生したと、ブイの動揺によって生じた摺動による摩耗と判断された。

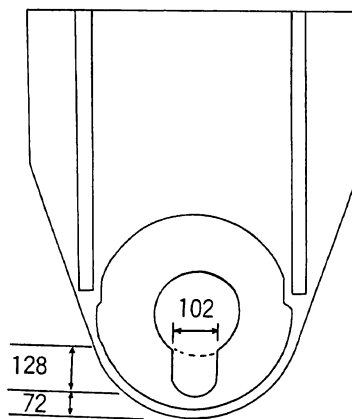


図6 係留環の摩耗量 (mm)

チェン

係留環の下にはアンカーシャックル (AS) ・ エンドリンク (E₁) ・ スイベルピース (SW) ・ E₂ ・ ジョイニングシャックル (JS) ・ コモンリンク (C) の順に連絡されていた。

摩耗の激しい連結部は AS と E₁ で、AS 側は 23mm、E₁ 側は 35mm 摩耗していた。E₁ と SW は E₁ 側は 7mm、SW 側は 10mm。SW と E₂ は SW 側 2mm、E₂ 側 4mm。E₂ と JS は E₂ 側 2mm、JS 側 1mm。JS 以深のコモンリンクには、摩耗は全くみられなかった (図 7)。

係留環から下のチェンまでは発生張力に差がないことから、ブイの動揺を最上部の AS×E₁ で吸収する時に偏心荷重が生じ、そのため、局部的に大きな面圧が作用したためと思われる。

残存強度を調べるため、コモンリンク C₃ について 378t まで張力を与えたが破断されなかった。規定の 376t は十分保持されていた。

E₁ - SW - E₂ の連結部を引張試験を行なったところ、E₁ リンクの 35mm 摩耗部は 403t で破断した。保証荷重 376t を上回っていたが伸びは小さかった。

なお、スタット溶接の状態やスタットの傾きは全て健全であった。

ケーブル

ケーブルはケーブル被覆層・海水の侵入・ケーブル残存強度について調査された。

ケーブル被覆層は、製造時の強度 242kg/cm² と同等の値を示し、経年変化による劣化はみられなかった。

海水の侵入は塩化銀反応を用いて、ケーブル・ケーブル端末部を調べた結果、海水が侵入した痕跡はなく、素線の亜鉛合金の防食効果も十分であった。

切断荷重は 342~348t、保証強度 342t を上回っており、さらに数年の使用に充分耐えることが判明した。

3) 付属設備

長期間洋上に設置されていたにもかかわらず、同軸壁雷器の筐体の腐食がみられた外は、構造的にも電気性能的にも劣化はなく正常に作動することが確認された。

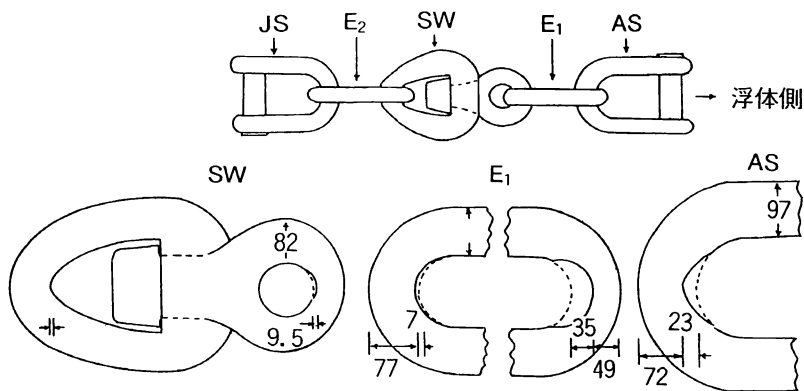


図 7 連結部の摩耗量 (mm)

4) 今後の対策

気象海象の極めて厳しい環境下において、6年9ヵ月の使用にもかかわらず、浮体の塗装や鋼材・付属設備は健全であり、現設計施行基準は適切と判断された。

係留系部材のケーブルは経年変化による劣化はなく、更に数年の使用に充分耐えることが判明した。しかし、係留環-AS-E₁の接触部は当初の設計摩耗量よりもかなり大きい。摺動による摩耗は避けられないため、耐久性を増すためには、これら部材の摩耗代を大きく見込むと共に接触部の面圧・材料の硬度強度に留意する必要がある。また、設置環境によって摩耗量が異なることから、定期的な点検を実施し、摩耗量の経年変化を把握することが必要である。

5. 今後の展開

漁業経営の厳しい状況下において、漁業資源の確保と操業効率の向上は、漁業を維持発展させるためには欠かせない事柄である。

黒潮牧場構想の一環である浮魚礁による沖合域の開発は、一応の成功をみたといえる。

今後においては、浮魚礁の工学的技術や情報収集伝達システムを応用して、主に沿岸域に來遊生息する付加価値の高い魚種や大量種苗放流が可能な魚種について、飼付型多機能ブイロボットによる牧場造りを目指さなければならない。マダイについては、大分県等で海洋牧場化に成功しており、現在、MF-21等ではヒラメ・クロダイについて技術開発が行なわれている。

過去、本県沿岸域にはシマアジの飼付漁場はかなりの数存在していた。しかし、今日ではシマアジ資源の減少により操業されていない。シマアジは大量種苗放流の可能な魚種である。本県の海域特性や海域環境から牧場化の可能性は高いものと思われる。

次に、黒牧ブイの海況情報の精度を高めるためには、各種水中センサーの防汚技術の開発は欠かせない。4ヶ月に1回の割合でセンサーの

清掃点検を行なっているが、日時の経過と共に測定値は低くなる。特に、塩分は顕著に現われる。また、操業情報は風向風速を提供しているが、防災面からも精度の高い波浪情報は必要である。

将来的には、日本周辺海域の主要な場所に多機能型気象海況観測ブイを設置して、その海域の気象海況情報が、必要に応じいつでも入手利用可能な全国的システムを構築したならば、その利用効果は大なるものがあると思われる。

参考文献

- 1) (社)全国沿岸漁業振興開発協会・高知県、1987. 土佐湾域黒潮牧場構想実験調査報告書、昭和61年度。
- 2) 石田善久、1987. 土佐湾域黒潮牧場構想と今後の展開. 水産土木, 23 (2).
- 3) 社団法人 マリノフォーラム21, 1988. マリノフォーラム21 研究会報告, 昭和62年度。
- 4) 気象庁予報部, 1993. 平成5年台風第13号及びこれから変わった低気圧による9月1日から5日にかけての大雨と暴風, 災害時気象速報, 平成5年10月。
- 5) 高知水試, 1994. 土佐黒潮牧場2号回収にともなう付着生物調査. 未発表プリント
- 6) 社団法人 マリノフォーラム21・高知県, 1994. 土佐黒潮牧場2号ブイ回収調査報告書, 平成5年度。