

新しい大陸棚調査手法—ズワイガニ調査を例として

岡 本 峰 雄

(海洋科学技術センター)

I はじめに

沿岸海域の中でも大陸棚域までの深度帯は、有人潜水艇や無人潜水機を用いて様々な活動を行うことが可能であり、海洋科学技術センターにとっては、ダイバーが自由に活躍できる範囲である。筆者は海洋科学技術センターにおいて、約20年の間、ダイバーを水深300mまでの深度に潜水させるための技術開発に携わってきた。現在、海洋科学技術センターでは、熟練したダイバーであれば、水深300mまでの深度で、長時間の海中作業を安全に実施できる技術を確立できた。勿論、ダイバーをそうした深度で活動させるためには様々な新しい海中技術の開発と全てのシステムの総合的な運用が必要であった。このような、有人潜水やそれに関連した海中作業技術を有効に活用できれば、大陸棚域の生態系変動の解明や枯渇しつつある生物資源に対する積極的強化活動を行うことは必ずしも困難ではないと考える。

ここでは海洋科学技術センターにおける有人潜水技術の研究の歩み、現在の有人潜水および海中作業技術の現状、そしてその技術の一部を活用したズワイガニ資源に関する基礎的研究の概要を報告する。

II 海洋科学技術センターにおける有人潜水技術の開発について

海洋科学技術センターは1971年10月に設立されたが、その時の主研究課題は、4名のダイバーを水深100mの深度に1ヶ月滞在させることを最終目標とした「シートピア計画」であった。筆者は1973年4月にセンターに入所して直ちに同計画に参加した。また同年、最大深度500mまでの海中高圧環境を陸上で再現できる潜水シミュ

レータも完成したため、それを用いた無人・有人実験にも携わることとなった。

1 シートピア計画

シートピア潜水システム(図1)は海中居住基地(ハビタット)と支援ブイから構成される。支援ブイにはダイバーの加減圧区画である船上減圧室(DDC)と移動区画のダイビングベル(PTC)が

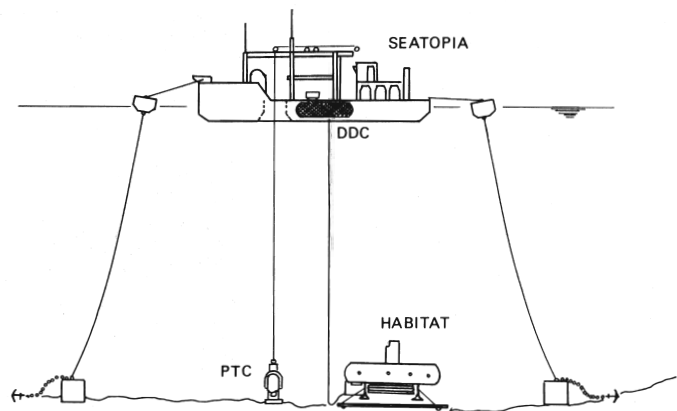


図1 シートピア潜水システムの構成

搭載され、またハビタットへのガスや電力の供給装置が装備されていた。ハビタットは水深100 m で4名のダイバーを居住させることを目標として製作された。

ダイバーを海中に滞在させるため、環境及び呼吸ガスとして、空気に変えてヘリウム・酸素混合ガスを用い、さらに飽和潜水と呼ばれる特殊な技術の開発が行われた。大気圧状態のヒトは、体組織に空気の組成ガス分圧に応じて窒素や酸素が溶け込み飽和状態になっている。これと同様に、海中（及びハビタット）に長時間滞在するダイバーの体組織は、高压の混合ガス組成に応じた分圧で飽和してバランス状態となり、その圧力下で長期間滞在することが可能になる。このためには、あらかじめその深度までゆっくりと潜降する加圧と、滞在環境から大気圧まで浮上するための長時間の減圧が必要であり、こうした操作は船上のDDCで行われる。

実海域でのハビタットを用いたダイバーの海中居住は、1973年9月、西伊豆の田子港沖水深53 mでの2昼夜滞在にとどまった。また1975年10月に沼津港沖で行われた100 m潜水では、ダイバーは支援ブイのDDCに居住し、海中作業時のみPTCで海底に降りて外に出る方式が採用された。

シートピア計画は長期海底居住という当初の目標を達成するまでには至らなかったが、水深100 mの海中でダイバーが活動できること、そしてそれを支える医学生理学的データの蓄積、潜水支援技術の蓄積など、様々な成果が得られた。一方、このような深度への潜水は、よりシステマチックな研究開発を要することが明確となり、以後の有人潜水技術開発の展開のうえで重要な示唆を与えてくれた。

2 シードラゴン計画

実海域の居住実験「シートピア計画」は一応の成果をみたものの、世界の海中作業のレベルは数百m深度の海底石油・ガス資源の開発を支援するための技術として大きく前進を進めていた。

我が国においても、大陸棚鉱物資源開発の機運が高まりつつあり、有人潜水の目標深度として、少なくとも大陸棚域をカバーすることが必要された。このために、海洋科学技術センターの敷地内に完成した500 m用潜水シミュレータ（図2）を用い、水深100 mまでの潜水技術を300 mまで延長するために、医学生理学分野の研究を主体とした「シードラゴン計画」が行われた。潜水シミュレータでは通常4名のダイバーが居住でき、陸上において高压滞在と高压下でのウェット潜水を行うことができる。段階的に行われた多くの実験の結果、1978年9月には300 mシミュレーション潜水実験を行うレベルにまで到達し、ダイバーがそうした高压環境下まで異常なく到達・滞在・帰還できることを実証した。

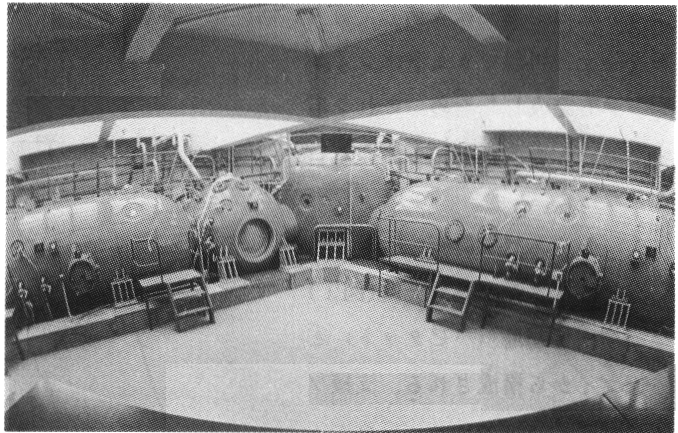


図2 潜水シミュレータ

3 ニューシートピア計画

実海域潜水を行うための300 m用深海潜水装置「SDC/DDCシステム」は1981年に完成し、陸上で基本性能を確認するための諸試験が行われた後、それを搭載した海中作業実験船「かいよう」が1985年に完成した。

(1) 飽和潜水を行うためのシステム

「かいよう」(図3, 表1)はセミサブ双胴船型で波浪に対する動揺が小さい特性を有し、また我が国では初めてDPS(Dynamic Positioning System: 動的船位保持装置)が装備された。DPSは自動船位保持装置であり、洋上近距離測位システム(マイクロ波)およびSSB方式音響測位システム位置情報に基づいて、10個のスラスタ(主スラスタ2基, サイドスラスタ8基)を常時制御して、メートル単位の高精度で船位保持を行うことができる(宮田, 1991)。



図3 海中作業実験船「かいよう」

表1 “かいよう” 主要目

全	長	61.5m
幅	28.0m	
総	トン	2,849トン
航	速	13.25ノット
乗	力	29名
研	員	40名
	究	

SDC/DDCシステム(図4, 表2)は、主室・副室2基を潜水準備室でコの字型に連結した船体内装備のDDCと、甲板装備のSDC(球型, 円筒型のダイビングベル)2基, およびそれらの監視制御・支援装置から構成される(内田, 1991)。

飽和潜水時には、通常、「DDC1基+潜水準備室+SDC1基」で用い、DDCに6名のダイバーが高圧滞在する。潜水時には3名がSDCに移乗して海底に降り、2名がダイバーとして海中に出、1名はテンドーとしてダイバーの支援を行う。潜水時(SDC運用時)の船位保持については、水深100mまではアンカーとワイヤーによる四点係留方式であり、それ以深の300mまではDPS定位によって行われる。

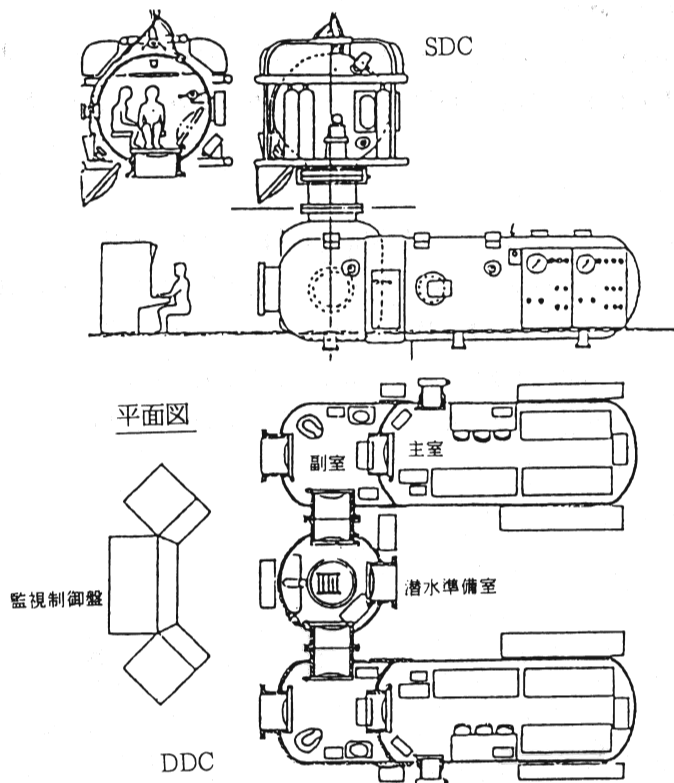


図4 深海潜水装置SDC/DDCシステム

表2 SDC/DDCシステム主要目

DDC	構成・数量	主室・副室：円筒横型複室（2基） 潜水準備室：円筒縦型単室（2基）
	最高使用圧力	30.8kgf/cm ² G
	収容人員	12名（主室・副室1基に6名）
	寸法	主室・副室：2.1m（内径）×7.5m（長さ） 潜水準備室：2.1m（内径）×2.5m（長さ）
球形SDC	最大使用圧力	外圧 51.3kgf/cm ² G, 内圧 30.8kgf/cm ² G
円筒型SDC	収容人員	3名（1基）
	寸法	2.2m球（内径）
	最大使用圧力	30.8kgf/cm ² G（内外圧とも）
	収容人員	3名（1基）
	寸法	1.9m（内径）×2.3m（高さ）

(2) 300 m 潜水実験

実海域の有人技術開発は、当初は300 mの海底までダイバーが到達できることの実証であった。1985年10月の深度60mから段階的に実験が進められ、1988年7月に最初の300 m潜水が静岡県初島沖で行われた。

300 m潜水は概ね加圧に1日、300 m圧下滞在7日、減圧12日のパターンで行われ、滞在中に午前・午後各1回の潜水（SDC運用）を行うのが標準的であった（岡本，1991a）。ダイバーは加温水式潜

水服, 大循環式潜水呼吸器, 非常用呼吸装置, 交話装置付きダイビングヘルメットを装備し(岡本ら, 1989), 快適かつ安全に長時間の海中作業を行うことができた。1回の海中作業は最大3時間程度としている。ダイバー装備とSDC, 300mの海中でSDCからダイバーの状況を図5, 6に示した。なお海洋科学技術センターで採用している飽和潜水の基本パターンと制御値(岡本, 1991b)の概略を表3に示した。

大井 隆彦 監修 (1989) 日本国

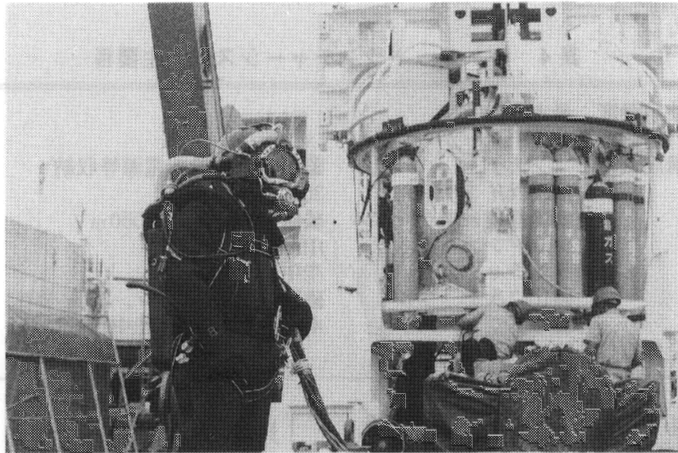


図5 ダイバー装備とSDC

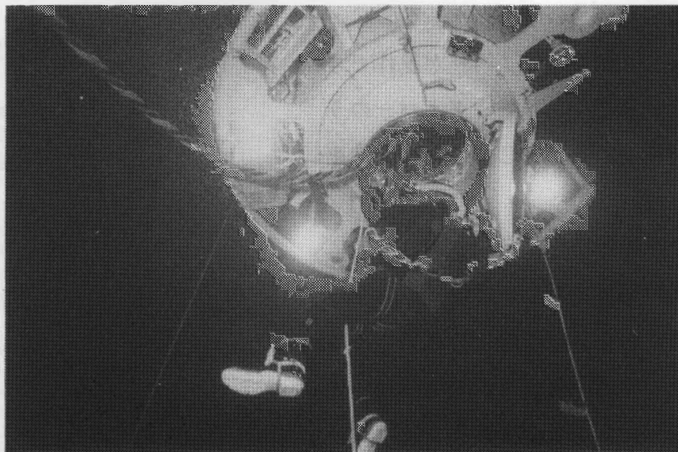


図6 SDCからロックアウトするダイバー (水深300m)

表3 海洋科学技術センターの飽和潜水基準の概要

加圧速度	10~25m/時
減圧速度	0.9~1.8m/時 (1日16時間)
酸素分圧	0.4~0.5気圧 (300mでは1.26%)
炭素ガス上限	0.005気圧 (300mでは0.016%)
温度	24~31℃ (300mでは31℃)
潜水呼吸ガス	0.5~0.8気圧 (300mでは2.0%)

(3) ダイバー監視用無人機の開発

水深300mの海中でダイバーが安全に潜水できることを実証できたため、次に、300mの海中でダイバーがどのような作業を行うことのできるのか、海中作業技術の研究開発が行われた。このため、ダイバー作業を常時監視できる無人潜水機（ROVシステム：ホーネットランチャーシステム、表4）（岡本ら、1989）が開発利用された。

表4 ホーネットランチャーシステム主要目

使用深度：最大 500m	
行動範囲：ランチャーから50m	
構成機器：コンテナ	監視制御装置、電源等収納
油圧ウインチ	30m/min
鋼線鎧装一次ケーブル	破断強度10トン、550m
クレーンユニット	HIAB45S
ランチャー	空中重量 475kg
強化二次ケーブル	破断強度 0.9トン、50m
ROV	ホーネット500、空中重量132kg
全体重量：約10トン	

従来の有人潜水では、船上の作業指揮者は海底のダイバーとの間で有線または無線交話によって状況を把握するというのがせいぜいであった。SDC/DDCシステムでは、SDCにダイバーが操作できる水中テレビカメラを装備し、2名のダイバーのうち1名が撮影者となり、必要に応じて船上に映像を提供する方式であった。

これは、大深度の海中作業をダイバーのみの力に依存するという旧来の発想であり、ROVや各種ロボットが盛んに開発されるという時代の趨勢（岡本、1987）からも実際的とは言い難いものであった。貴重な2名のダイバーのうち1名がカメラマンでしかなく、またダイバー2名が共同で作業する場合には船上でその状況を知ることができないことになる。

そこで、DPS定点保持を行っている「かいよう」から、SDCとの同時運用が可能なROVシステムを開発した。当時の国内のROVでは、支援船はROVに合わせ、またケーブルが船のスクリューに絡まないように、常時位置や船首方位を調整する方法で運用されていた。ところが潜水時には、同一の船

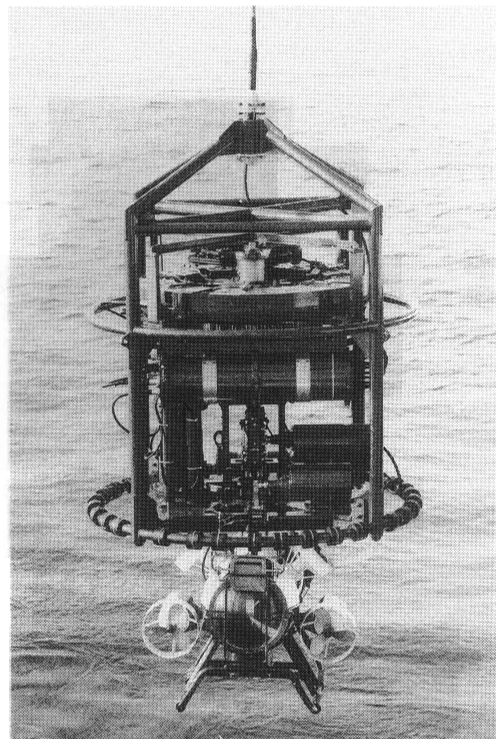


図7 ROVホーネットを連結したランチャー

からSDCやその他の機器を垂下しており、ROVのために船の位置や向きを変えたりするのは不可能である。またROVのケーブルが他の装置に絡むことはダイバーの安全状から許されない。つまり、ここで要求されるROVは、極力動かずに長時間の観察を行うことができ、なおかつ着水や揚収は他の船上・海中作業と同時に実施できることが必要であった。

こうした背景のもとに開発されたホーネットランチャーシステムでは、重錘も兼ねたランチャーにROVホーネットをドッキング（図7）して海底付近まで垂下し、ROVはランチャーから二次ケーブルを巻き出しながら発進する。ランチャーは船上の垂下位置のほぼ真下に位置するため、船の位置と海底のROVの位置の関係が明確になり、SDCその他の垂下物とのケーブルの絡みは予防できる。また着水揚収作業も専用のウインチとクレーンで行うために容易である。

(4) 海中作業技術の開発

ROVシステムの導入により、基本的な海中作業はダイバーなしで行い、どうしても必要な部分はダイバーに任せるといった総合的な海中作業技術の開発が可能となった。また海中のダイバーとその周辺の状況を、船上の潜水指揮者、操船者、ウインチ操作員等の関係者が常時モニターできることは、潜水自体の安全性に大きく寄与するものであった。即ち海中作業は、ダイバーが人力のみを頼りに単独で行うものから、「ダイバー+支援船+支援船の揚荷装置+無人機」の組み合わせで行うものへと変化していった。

海中作業技術開発の最終実験は、1990年7月に西伊豆の田子港沖の水深300m海域で行われた。実際に300mの海中で行った作業の状況を図8に示し、概略手順を表5に示した。

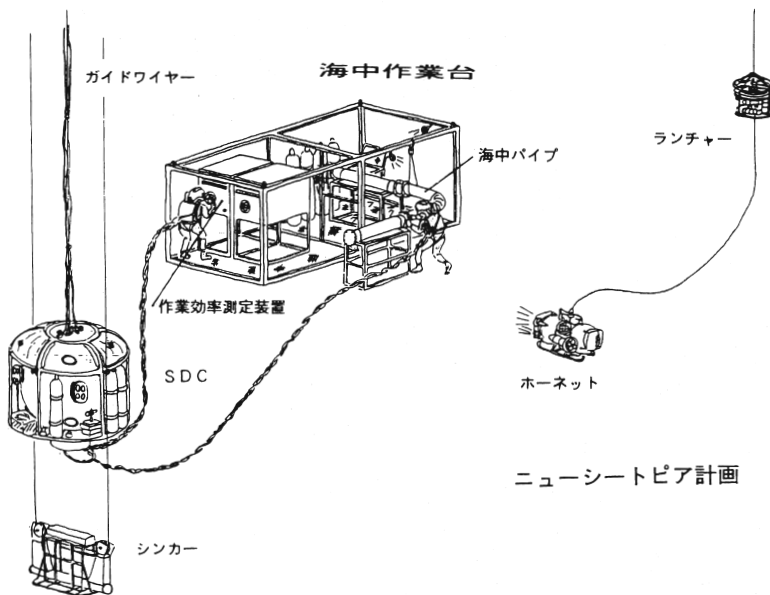


図8 実海域の水深300mでの作業展開状況概念図

表5 水深300mでの海中作業の流れ (図8参照)

1. 実験用海中作業台 (重量約3.5トン) の設置
 - (1) ROVの誘導で作業台を海底に軟着陸させ、吊り索は少し弛ませる
 - (2) SDCが作業台の10m以内になるようROVの誘導で船を移動
 - (3) ダイバーが作業台の吊り索を外す
 - (4) ダイバーをSDCに入れて船上に揚収
 - (5) 作業台の吊り索を揚収
2. 潜水実験中の作業 (船は朝現場海域に定位置し、夕方離れる)
 - (1) ROVが海底に降り、作業台を確認してSDCの降下を待ち受ける
 - (2) SDCが作業台の10m以内になるようROVの誘導で船を移動させる
 - (3) ダイバーは次のような海中作業を実施
 - イ. 海中パイプ接合実験 (200mで実施)
 - ロ. バルーンを用いた重量物運搬
 - ハ. 海中作業能力測定
 - ニ. 海中測量
 - ホ. 作業台上の特定位置に船から垂下した小構造物 (重量約300kg) を挿入結合
 - ヘ. 海底境界層での水と懸濁物のサンプル採取
3. 実験終了時に、作業台を設置と逆の手順で揚収する

作業のハイライトは、海中作業台 (5 m×2.3m×2.5m^h、重量約3.5トン) の設置と、その上にさらに、船から垂下した小構造物 (図9, 1.8×1.3×0.7m^h, 300kg) を垂下して結合する作業 (富田, 1991) であった。作業台上面の4カ所のラッパ型の受け金に小構造物の4本の円錐型の脚を連結するために、小構造物の向きと位置 (±7 cm) を正確に合わせる必要があった。まずROVの誘導によって船を水平移動させて小構造物を

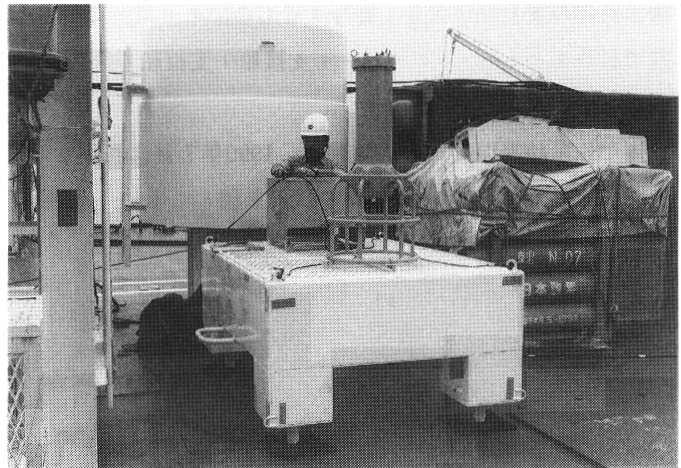


図9 300m深海底の海中作業台に結合した小構造物 (300kg)
(船から垂下してROVとダイバーの補助でドッキング)

作業台の挿入場所の直近にまで移動し、ダイバーが作業台の上で上下に揺れる小構造物の向きと横移動を修正し続け、船上のウインチ操作員が船の動揺による小構造物の上下動のタイミングをみて軟着陸させてドッキングが成功した。この作業が成功したことにより、「かいよう」・ROV・ダイバーの共同作業で、300mの海底で10トン単位 (既存ウインチ能力による) のユニットを多数連結して大型構造物を構築することが可能であることを実証した。また「かいよう」船尾のAフレームクレーン (現在のケーブルは短いので長いものに換装する必要がある) を用いれば、25トンまでのものを同様に扱うことができる。

実海域潜水実験は、1991年2月、鹿児島湾内の水深200m海域の海底噴気域「タギリ」周辺の調査に用いられ、飽和潜水が研究にも有効であることが実証され、その後、小休止状態となった。

世界の有人潜水の技術レベルは、潜水シュミレータの実験で700m、実海域実験が530m、実作業では326mである。諸外国に比較して海底石油・ガス資源に乏しい我が国では、300mまでの潜水技術と海中作業技術を確立したことで当面の使命を果たしたと言えるかも知れない。

4 有人潜水研究の現状と今後

1991年度以降、海洋科学技術センターの潜水技術研究は、再び潜水シュミレータを中心とした陸上実験に移行した。「ニューシートピア計画」により、水深300m実海域潜水のための技術開発が一応確立されたが、いくつかの基礎研究分野について、より学際的な研究を充実する必要性が明確になったためである。医学生理学および潜水を支える基礎技術の研究について、潜水シュミレータで有人・無人潜水実験を行うことで効率的かつ経済的に精緻なデータを取得してゆく計画である。

(1) 大深度飽和潜水技術

ヘリウム・酸素を用いた大深度飽和潜水については、我が国の当面のニーズは、100～150mと考えられるため、その範囲を対象に安全性研究を行う。現在は、熟練ダイバーであれば300mまでの潜水が可能であるが、技術者や研究者を水深100～150mの深度まで容易・快適かつ安全に潜水させることを考慮している。勿論、世界での300mまでの潜水技術は日進月歩であり、そうした流れを受けて実海域で300mまで潜水する技術についても技術保持と更新を行うことも重要な課題である。

(2) 浅深度飽和潜水技術

窒素・酸素を用いた浅深度飽和潜水は、最大水深50mまでの海中作業の安全性向上、高圧下滞在、および海中研究室等に対応するための研究である。

海中研究室とは水深15～20mの海中に置かれた実験室で、潜水できる研究者または得意でない研究者が数日から数週間にわたって海中滞在できる機能を有している（岡本，1993）。そこをベースに水深50mまでの範囲で長時間遊泳でき、海中で対象を直接ながめて考えながら各種の実験や計測を行うための研究施設である。国内ではまだ具体的な進展はないが、米国では長い歴史を持っており、研究者のための共用施設として運用されている。我が国の海洋研究にとっても有益な手段となると予想され、今後、潜水技術研究の課題の一つとして取り組みたい分野である。

1993年2月、我が国最初の窒素・酸素飽和実験が行われ、20m深度のシュミレータに4名が1週間滞在した。筆者もダイバーの一人として参加したが、窒素・酸素環境であれば、潜水経験のほとんど無い研究者であっても、容易に滞在できることを実感した。

III ズワイガニを自然の生息深度で管理する構想

ズワイガニは日本海の重要資源であるが、地域によっては最盛期の1/10程度の漁獲しかなく、枯渇ぎみとなっている（今，1980）。水深200～400mの大陸棚深部域に生息するために生態的な研究が困難であり、計画的な種苗生産にも成功していない。また長年の研究、保護にもかかわらず、資源回復の目処がたたないまま今日に至っている。こうした資源の回復研究については、その生息深度までダイバーが潜水できる現状から、新たな発想がなされても良いのではないだろうか。

1 ズワイガニ資源保護・回復策の現状

ズワイガニは、着底後は大規模な浅深移動は行わず、大陸棚深部域で長い年月をかけて成長することが知られている。こうした生物は陸上で飼育しても経済的には不利であり、また種苗生産して実海域に放流しても、以後の追跡さえも十分に行えない現状からするとその効果について疑問が残る。このように成長に長期を要し、なおかつ生息環境が低温の大深度という特徴を持つ生物の資源回復策としては、生息環境の整備と再生産力の強化が有効と考えられる。

資源保護策としては、雌カニの漁獲禁止、漁獲対象外のカニの保護（底びき網で混獲され海上投棄されている）が可能になれば最も効果的と予想されている。しかし、日本海の漁業はズワイガニだけではないため、実行は困難と考えられる。近年、禁漁区を設けて計画的に漁礁ブロックを設置し、底びき網漁業の漁獲努力を受けないような試みがなされ、ズワイガニ海底牧場という名称も使われるようになり、その効果が期待されている。

ズワイガニの種苗生産は積極的に試みられているが、計画的に多数の稚ガニを生産できるレベルには達していない。深層水の利用が有力な解決策の一つであろうと予想されているが、今後の課題である。しかし種苗生産が可能となっても、水深200~400mの未知の海域に放流することになり、ズワイガニの生態さえ明確でない現状では、放流事業として実施するうえで解決すべき問題は多いと考えられる。

2 生物を本来の生息場で飼育管理する方法について

ズワイガニ生物資源の保護策で、現在最も資金が投入されているのは海底に障害物を設置する方法であり、魚類を対象にした人工漁礁の場合と同様、保護生息場を造成するという思想である。これでも相当の成果が期待されるが、基本的には生物任せの部分が多く、さらに人為的に手を加えることで、より機能を強化することが可能と考えられる。

筆者らは岩手県のエゾアワビ資源の回復策に寄与できる技術について検討をした結果、潜降浮上型人工海底「マリンあや1号」(図10, 11)を開発した(岡本ら, 1992)。この装置は、生物をその自然の生息深度において飼育し、給餌等の管理の時にだけ施設全体を海面に浮上させて十分な管理を行うという発想である。その結果、20m四方の人工海底面に取り付けた多数の飼育容器に60mmサイズのアワビを約5万個収容し、しかも給餌は月に1回程度、約5トンの海藻(コンブ, ワカメ)を与えるという粗放的養殖が可能となった。人工海底は通常中層に位置するため、波浪や降雨の影響を受けることが少なく、水質管理が不用で、アワビの殻の色が陸上飼育のように緑変せず、餌が最後の一片まで腐敗せずに摂餌されて残餌除去が不要、等の利点が得られ、1年間の生残率は97%程度と高い。

従来開発された同種の施設である人工藻場テストプラント(岡本, 1983a, 1983b)や浮漁礁(岡本, 1992)は、設置した後は自然の生産力や偶発的な魚類の来遊に依存するという消極的な海域利用施設であり、その範囲内での成果はあげられたものの、経済性の面を考えると実用化は困難であった。潜降浮上型人工海底の場合、陸上の牧場と同様に人間の管理を可能にしたことで施設の価値を高めることができたと考えている。

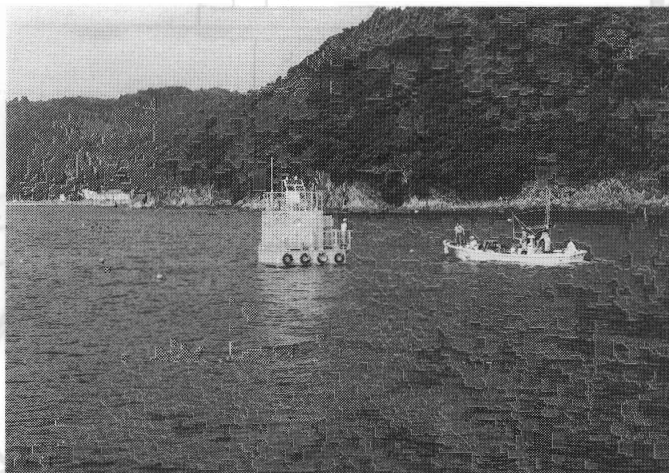


図10 潜降浮上型人工海底「マリンあや1号」, 潜降状態



図11 潜降浮上型人工海底「マリンあや1号」, 浮上状態

3 ズワイガニ海底牧場構想

ズワイガニについても、その生息現場で直接・間接に何らかの手を加えることで、自然の生産力を活用して資源の回復を図ることが可能であろうとの仮定のもとに、以下のような海底牧場構想を考えてみた。

(1) 第一段階：親の管理

ズワイガニ保護水域内に直径約200m程度の天井なしの大型バリアーを設置し、その中でズワイガニの給餌飼育を行う。目的は養殖自体ではなく、親カニの保護による資源増殖である。雌カニ1尾あたりの抱卵数は5～6万粒であり、これを漁獲圧力から守って蓄養することで、幼生の供給を確保し、自然の生産力を利用して資源の回復を図る。(図12)

海底牧場 [ズワイ牧場]

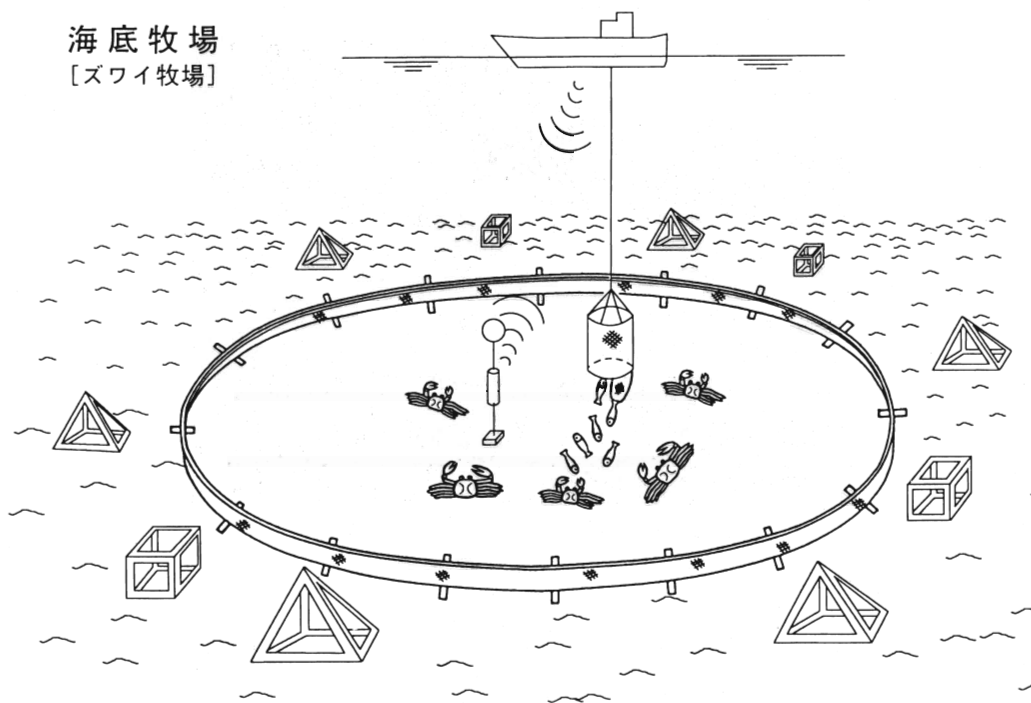


図12 ズワイガニ海底牧場構想（親カニの保護）

この段階での技術的課題は、バリアー構築技術、給餌技術、モニタリング技術、保守管理技術等であり、有人潜水は行わなくても実施できると考えられる。

(2) 第二段階：種苗の中間育成

海底に種苗管理施設を設置し、浮遊幼生を蓄積し、着底サイズの稚ガニまで中間育成する。これによって、放流用種苗、陸上飼育用種苗の生産が可能となる。また中間育成によって、幼生段階の初期減耗を低下させることが可能となる。

技術的な問題点は第一段階の延長上にあるが、プランクトンサイズの幼生を管理するために、海底で実験室的な施設を要し、研究者や管理員が適時介入することが必要と考えられる。

4 ま と め

ズワイガニ海底牧場は、それを既存の保護礁の中に構築することで、保護礁の機能をさらに強化・発展させることになる。この構想を実現するには、多くの研究者による基礎的・応用的研究の集積、漁業関係者の理解協力等が必要である。また構築のための技術面については、「必要であればいつでもダイバーが補助できる」という深度のため、不可能なレベルではないと考えられる。

IV 新たな手法によるズワイガニの生態調査について

有人潜水技術開発の過程で得られた海中作業技術は、従来の潜水艇や無人機が基本的には見ることを重視していたのに対し、海中・海底で何らかの作業を行うことを目的に展開されてきた。しかもその深度は300mまでをカバーするものである。こうした技術の一部をズワイガニの生態調査に活用す

るとともに、ズワイガニ海底牧場構想のキーポイントとなるズワイガニの囲い込み管理の可能性について検証するための基礎実験を行った。

実験には、海中作業実験船「かいよう」の定点保持能力とホーネットランチャーシステム（ROVシステム）による長時間の定点モニタリング技術および重量物設置回収技術を用い、1991年7月～8月、1992年4月～5月の2回にわたり各1週間、兵庫県香住沖水深250mのズワイガニ保護海域で実験を行った。「かいよう」は海底に設置したトランスポンダーを用いた音響航法によりDPSによる定位および5m刻みの移動を行うことを基本とし、各種観察および実験を行った。（図13）

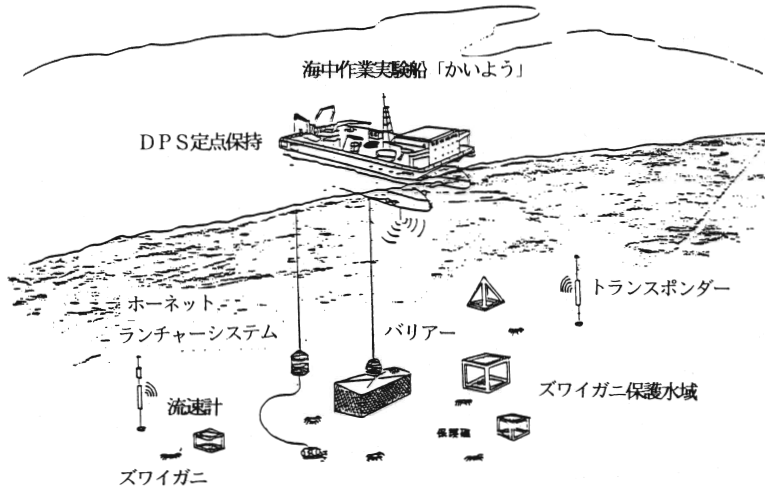


図13 ズワイガニ実験の概念図（香住沖水深250m）

1 ズワイガニの生態について

ズワイガニの生態に関しては、ROVシステム（ホーネットランチャーシステム）とビッグマック（約350kgの重錘で、運用目的により水中テレビ、スチールカメラ、音響切り離し装置等を装備する、図14）を用い、昼夜の行動と分布状況を中心に観察をおこなった。いくつかの個体については、長時間にわたってその行動を追跡した。また観察、採泥、磁気式流速計設置によってズワイガニ生息域の生物相、底質、流れ、水温等についても調査を行った。

ROVシステムは、海底上2～3mにランチャーを垂下し、ROVホーネットを6～7m発進させ、「かいよう」を数分単位で5m刻みに移動させ、ズワイガニの分布や昼夜行動を観察した。

観察したズワイガニの分布状況観察結果の例を図

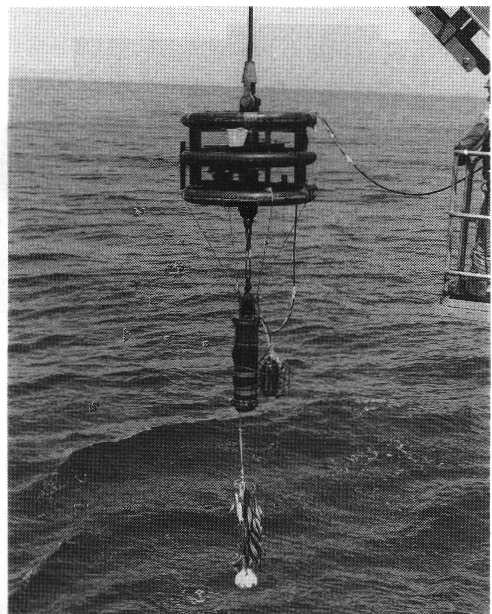


図14 ビッグマック（給餌モード：TVカメラ、スチールカメラ、切り離し装置）

15に示した。ROVの観察範囲は、船位の航跡に対して概ね半径5m以内をカバーしている。ズワイガニの分布は比較的まばらで、密集してはいなかった。

ズワイガニの昼夜行動に関しては、昼間は活動していないようであり、泥質の海底に若干潜っていた。無人機の照明や刺激に対しても特に反応を示さず、1個体についてはROVを着底させて1時間の連続観察を行ったが、目立った反応はなかった。

夜間は昼間より活動性が高いようで、海底を動き廻っているものも観察された。昼間と同様、海底に潜入していた個体もあった。ROVに対して逃避行動を示した個体を約2分間にわたって追跡したが、横方向にかなり速い速度で移動した。(図16)

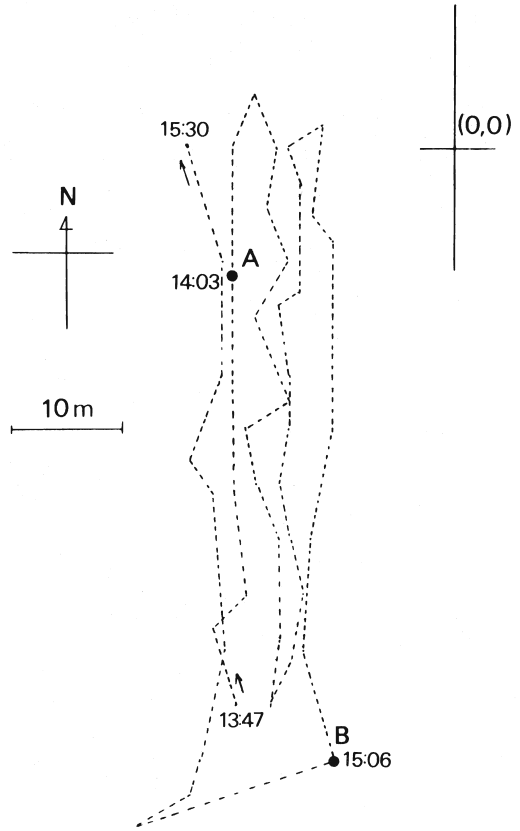


図15 ズワイガニの分布例

水深：250m，点線：航跡，黒点：ズワイガニ



図16 夜間，ROVから逃避するズワイガニ（水深250m）

2 バリヤーによる囲い込み実験

ズワイガニを、海底に設置した天井なしのバリヤーで囲い込むことが可能かどうか検証するため、3種の小型バリヤー（表6）を製作して、実海域実験を行った。バリヤーは鋼製枠のプラスチック網を張ったもので、天井なし、水平返し付き、水平及び鉛直返し付き（図17）とした。

表6 ズワイガニ囲い込み実験用バリヤー

番号	使用年	寸 法	重 量	側 面	天 井
No 1	1991年	2 m ^h × 3 m ^l × 2 m ^h	160kg	網	開放
No 2	1991年	2 × 3 × 2	160	網	水平返し
No 3	1992年	3 × 5 × 1.5	250	網	水平返し+鉛直返し

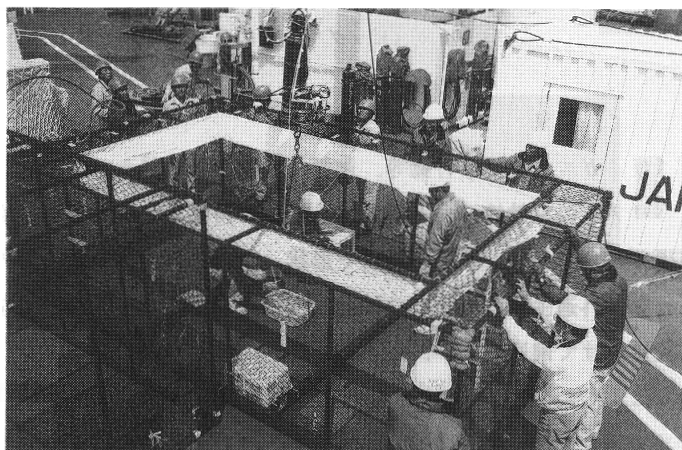


図17 実験用バリヤー（1992年No 3、二重返し付き）

バリヤーは、中にあらかじめズワイガニを入れ（着底時に解放される容器使用）、ビッグマック（切り離し装置付き）で吊り、海底近くまで約20分かけて降下させた。その間、ズワイガニの状況はテレビカメラで観察したが、すべて生存していた。海底を視認したうえで（海底上約50cm）で、タイミングを見て、船上からの音響指令で切り離し、設置した。設置後数日間にわたり、適時、ROVまたはビッグマックにより、内部に封じられたズワイガニがバリヤーの鉛直壁および返しを越える能力を有しているか観察した。

バリヤーに関するズワイガニの反応については、1991年は返しの有効性、1992年は2重型返しの効果とを調べることを主目的とした。また1992年については、内部に投入した餌を消費する生物についての情報を得ることとした。

1991年の2個のバリヤーでは、設置翌日の観察によれば、天井なしバリヤー（No 1、4尾収容）では、ズワイガニ1尾が高さ2mの網の頂部まで登っていた。返し付きバリヤー（No 2、5尾収容）で

は、3尾が頂部まで登っていたが返しの部分で行動を阻まれ(図18), 1尾は内部海底で確認された。従って、返しが無い鉛直網では2mの高さがあってもズワイガニの逃避を阻止することはできず、水平の返しによって囲い込める可能性のあることがわかった。

1992年の実験では、設置の翌日、バリアーの中に餌(冷凍サバ)を投入し、しばらく観察を行ったが、ズワイガニの摂餌行動は確認できなかった。

3 ま と め

2回の海域実験において、従来知られていなかったズワイガニの夜間の行動等、重要な生態情報が得られた。ズワイガニ海底牧場についても、返し付きバリアーの有効性や一度漁獲した個体を再度海底まで戻しても生存していたこと等の実際的な情報が得られた。今後、返しの材質や形状、また長期の囲い込みで内部に餌が不足した場合のズワイガニの行動、外適生物の影響等の検討を行い、海中作業技術の洗練を図るとともに、海底牧場という夢の実現に向けて前進したい。

調査機器の運用面では、ズワイガニ保護水域という性質上海底に障害物が多く、ROV、ビッグマックが各1回障害物に拘束された。いずれの場合とも、「かいよう」が定点を保持していたため、慎重な離脱操作を行い、機器流失には至らなかった。

V 大陸棚域研究の今後の展開とまとめ

大陸棚域は地形が複雑で障害物も多く、潜水船運用や調査船からの無人機調査は困難な場合が多い。しかし研究者・関係諸機関にとっては、そうした複雑な場所で情報を得ることが最重要課題となっている。今回のズワイガニを対象とした2回の実験において、「かいよう」のDPSの能力は有効で、ホーネットランチャーシステム、ビッグマック、各種調査機器類を目標位置に設置または接近させることは容易であった。これらは従来の調査手法では実施が極めて困難な内容であるが、容易かつ確実に実施できるとともに、多くの有益なデータを得ることができた。今後これらのシステムに一層の磨きをかけてゆくことで、「しんかい2000」のように、沿岸海域の生物資源等に関わる知見の取得に寄与できると考えられる。

現在のシステムを利用した作業例を図19、20に示したが、「かいよう」のDPS定位能力、25トンAフレームクレーン、およびホーネットランチャーシステムを組みあわせるだけで、大陸棚深度の特



図18 バリアーNo2の天井返し部分にぶら下がるズワイガニ
(ビッグマックのテレビカメラで上方から観察、水深250m)

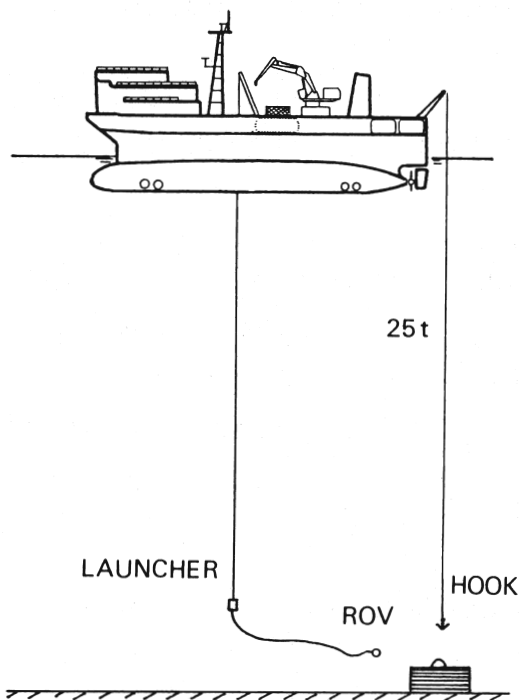


図19 大型実験装置の設置と回収の概念

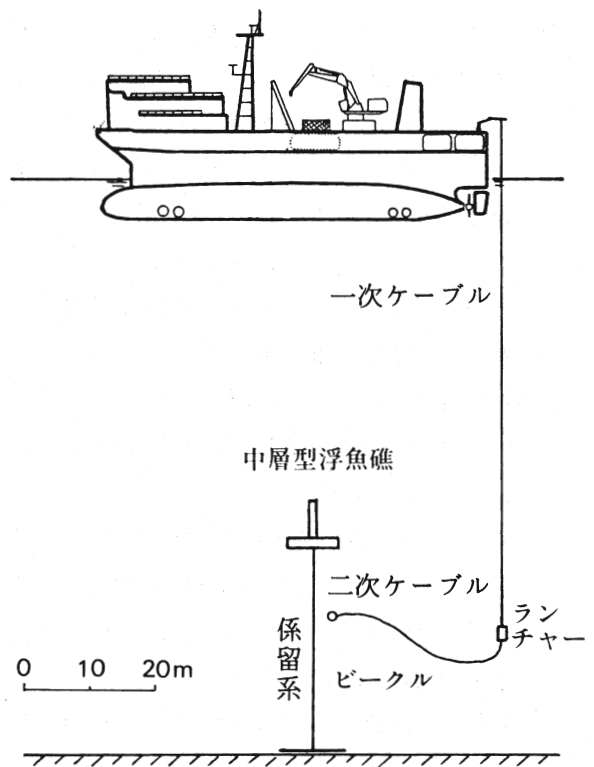


図20 中層型浮魚礁の係留系観察の概念

定の位置に最大25トンまでの調査観測機器を静かに設置し、例えば半年後に回収するという作業が可能である。また浮魚礁の係留系についても、ランチャーを上下させるのみで、絡まることなく容易に観察が可能である。

こうした海中作業が実現できる現在、それを応用する形で海洋研究や生物資源研究等のプログラムを組めることが出来れば理想的である。現在試験的にズワイガニ海底牧場実験を行っているが、こうした技術がより広く適用され、それによって、さらに精緻かつ大規模な大陸棚を対象にした海中研究が可能となることを期待したい。

最後に、2回の海域実験を行うに際し、日本海区水産研究所・日本海西部諸県の水産試験場の関係者各位、兵庫県の関係者各位、その他多くのかたがたのご協力を賜りましたことに厚くお礼申し上げます。なお本稿において、ズワイガニに関する従来の知見と問題点の部分は、多くの文献、記事、関係者のお話を伺ってまとめたものであり、筆者の理解不足で誤りがあるとも思いますが、新たな海中作業技術の展開に主題が置かれていることに免じてご容赦お願いいたします。また貴重な会議に参加させていただいたことを深謝いたします。

文 献

- 今 攸 (1980) ズワイガニ *Chionoecetes opilio* (O. FABRICIUS) の生活史に関する研究, 新潟大学理学部附属佐渡臨海実験所, 特別報告, (2), 1-64.
- 宮田紀隆 (1991) 海中作業船“かいよう”について, ニューシートピアシンポジウム講演集, 15-22.
- 岡本峰雄 (1983a) 人工藻場プラントにおける魚群の日周行動について, 日水誌, 49, 177-182.
- 岡本峰雄 (1983b) 人工藻場プラント周辺の魚群行動について, 日水誌, 49, 687-692.
- 岡本峰雄 (1987) D P S 装置潜水支援船の現状, 海洋科技センター試験研究報告, (18), 29-37.
- 岡本峰雄 (1991a) 深海潜水の環境制御装置について, 関西造船協会誌「らん」, (11), 8-14.
- 岡本峰雄 (1991b) 飽和潜水の環境計測制御について, ニューシートピアシンポジウム講演集, 51-59.
- 岡本峰雄 (1992) 但馬沖中層型浮魚礁周辺の昼間の魚影分布について, 日水誌, 58, 1291-1299.
- 岡本峰雄 (1993) 海中研究のための浅海研究室について—NOAAのアクエリアス, 日本深海技術協会報, (45), 2-12.
- 岡本峰雄・和泉正憲・遠藤良雄 (1992) 潜降浮上型人工海底の実用化研究— I. 人工海底の開発について, 海洋科技センター試験研究報告, (28), 57-68.
- 岡本峰雄・福田俊一・小黑 至・青木 晃 (1989) 大循環式潜水呼吸装置について, 海洋科技センター試験研究報告, (21), 179-201.
- 岡本峰雄・福田俊一・柴田正樹・山口仁士・沼田光政・青木 晃 (1989) ダイバー支援のための無人潜水機について, 海洋科技センター試験研究報告, (23), 197-218.
- 富田慎一 (1991) 海中における作業内容—大型重量物設置回収及び海中構築の試みについて, ニューシートピアシンポジウム講演集, 77-82.
- 内田州治 (1991) SDC/DDCシステムについて, ニューシートピアシンポジウム講演集, 35-42.