

サンゴ移植・観測システムについて

工藤 君明*¹ 大西 毅*¹ 本多 牧生*¹

サンゴ礁の回復を促進する技術開発を目的として、1988年より沖縄県と共同で、「サンゴ礁造園技術の研究開発」を進めている。

本研究開発ではサンゴの持つ無性生殖能力を活用して、サンゴ破片によるサンゴ移植技術を確立することを研究の主眼としている。

これまで、沖縄本島南部の知念村地先をサンゴ礁造園モデル地区に選定し海域調査を実施するとともに、サンゴ移植基盤である人工ノルを設置し、サンゴ破片の移植を行った。

さらに移植サンゴの生育や周辺的环境条件を連続的にモニターするための観測ステーションを構築し計測を行ってきた。

本報告ではサンゴ礁造園モデル地区の海域調査結果、サンゴ移植・観測施設とサンゴ移植状況並びに移植サンゴの生育に影響を及ぼす環境条件の測定結果を紹介する。

キーワード：サンゴ礁造園技術、サンゴ移植、無性生殖、人工ノル、観測ステーション

Coral Transplantation and Monitoring System

Kimiaki KUDO*² Takeshi ONISHI*²

Makio HONDA*²

In order to develop the techniques which promote the restoration of coral communities, "coral reef project" was started in 1988, in cooperation with Okinawa Prefecture. The purpose of this project is to establish the coral transplantation technique using the asexual reproduction of coral.

We selected a reef nearshore Chinen-son as a model area for the sea test and investigated the area in detail. We constructed an artificial knoll on the sea bottom and completed the transplantation of coral fragment, and an observation station was built on the reef, to monitor the growing of coral fragments and to observe the environmental conditions.

*¹ 海洋開発研究部

*² Marine Research and Technology Department

This paper describes the following items.

- ① Details of the model area.
- ② Outline of coral transplantation and monitoring facilities - artificial knoll and observation station.
- ③ Transplantation of coral fragments and some results.

Key Word : coral reef project, coral transplantation, asexual reproduction, artificial knoll, observation station

1 はじめに

サンゴ礁は生きた防波堤として海岸侵食や台風から沖縄県土を守る重要な役割を果たしているばかりでなく、その海域にはサンゴを始めとする生産性の高い生物群集が発達し、漁業資源や観光資源としても重要な場となっている。

しかし近年、赤土等の流入、埋立工事や沿岸の土木工事による海水汚濁並びにオニヒトデの異常繁殖によるサンゴへの食害等によりサンゴ礁生物

群集の破壊がみられ、その回復が強く求められている^{1) 2)}。

サンゴ礁環境を整備・改善し、健全なサンゴ礁生物群集の回復を促進するためには、自然の復元力に加え、人為的に回復を補強する必要があるが、そのためにはサンゴ等の生物学的条件とこれに影響を及ぼす環境条件並びにサンゴ移植技術を研究開発する必要がある³⁾。これまでに行われてきた研究開発の状況は次のとおりである。

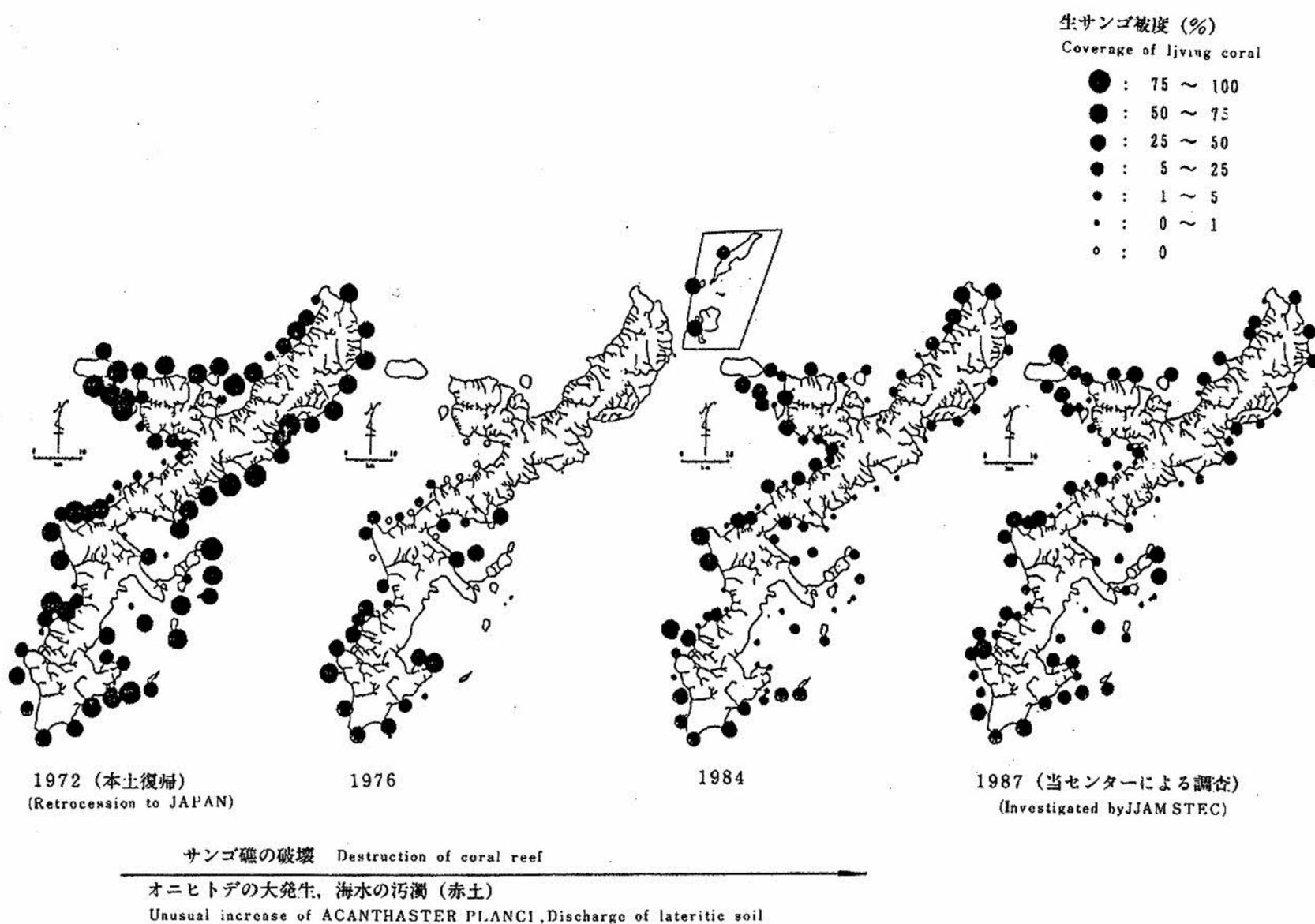


図1 生サンゴ被度の変遷

Fig.1 Change of mean coverage of living coral

①沖繩島周辺におけるサンゴ礁調査

1972年本土復帰以後、沖繩島周辺における生サンゴの被度分布やオニヒトデの分布が各機関によって調査された。オニヒトデの異常発生により、生サンゴの被度は一時的にかなり減少したが、最近ではオニヒトデの分布域は減少してきており、一部の内湾域を除けば、サンゴ礁は回復基調にあることが報告されている⁴⁾。一方沖繩島周辺の1972年、1976年、1984年及び1987年における生サンゴ被度分布の比較では、図1に示されるごとく、その回復の程度は極めてゆるやかであり⁵⁾、元の状態に復帰するまでに数十年以上かかることが予想されている。

②オニヒトデ問題

オニヒトデの異常発生は1960年以來、熱帯インド・西太平洋の各地において広範囲に見られた現象である。沖繩でも1970年度から10年余りで本島全周と周辺離島のサンゴ礁を荒廃させてしまった。この間、多額の費用をかけてオニヒトデを駆除し続けたが、効果があったかどうかは不明であると言われている。またオニヒトデの個体群動態に関する調査資料はほとんど残されていない。

③赤土問題

沖繩県における赤土流出問題は、沖繩県の地形・地質・気候の特殊性及び沖繩の歴史・社会・経済とも深く結び付いている。土地改変工事における土砂流出の抑止対策に関して研究開発が進められ、効果が現れ始めている。なおオニヒトデの異常繁殖と赤土流出の因果関係については解明されていない。

④サンゴ移植技術

サンゴの無性生殖を応用した基礎的な移植実験研究がこれまでもいくつか試みられてきたが^{6) 7) 8)}、サンゴの移植・固着技術に関する本格的な研究開発はほとんど行われていない。

当センターは破壊されたサンゴ礁の回復を人為的に促進する技術を開発することを目的として、沖繩県と共同で、1987年より、地域共同研究開発事業「サンゴ礁造園技術の研究開発」に着手した。本研究開発では、サンゴ等の生物学的条件と環境条件の両面から調査するとともに、サンゴの無性生殖能力を利用して、サンゴ破片によるサンゴ移植技術を確立することを研究の主眼としてい

る。このためサンゴ礁造園モデル地区に人工のサンゴ移植基盤を設置しサンゴ移植を行うとともに、サンゴ生育と環境条件の観察調査を通じてサンゴ移植技術を実証する。

さらにサンゴ礁造園モデル海域内で海水流動特性を調査し、海水の交換や流動が環境条件に及ぼす影響を明らかにする。

2 全体計画

2.1 研究開発内容

(1) サンゴ礁造園モデル地区の海域調査

サンゴ礁は多様な生物群集の生息地であり、礁における生産性の高さは、外洋の数百倍にも及ぶ。このようなサンゴ礁の環境特性を明らかにするとともに、沖繩本島周辺海域にモデル地区を選定してサンゴ礁を形成する重要な環境条件について調査研究する。

1) モデル地区の選定調査

沖繩本島周辺海域におけるサンゴの被度、オニヒトデの食害状況、赤土の流入度、魚貝類等の生育状況について現況調査し、サンゴ礁造園モデル地区の選定を行う。モデル地区においてサンゴ礁の地形、底質特性並びにその規模を調査し、サンゴ礁の有する消波・海水交換機能や海域の生物的、化学的環境要因との関係を明らかにする。

2) サンゴ礁海域の海水環境調査

サンゴ生育にとっては温暖で透明度の高い海水の供給が必要である。このため、潮汐・波浪・流況等を調査研究し、礁池内の海水交換のメカニズムに関する定量的な評価を行う。サンゴ礁の海水流動特性を把握するため、礁池内に気象・海象観測を目的とする観測ステーションを設置し、効率的観測システムを確立する。

3) サンゴ礁海域の生態系調査

サンゴ礁造園モデル地区におけるサンゴの分布、生存種、形態及びサンゴ礁生物群集の生態系の現状について調査する。さらにサンゴ礁造園モデル海域の周辺海域において、移植実験に適するサンゴがどの程度賦存するかを把握する。

(2) サンゴ繁殖の好適環境形成技術に関する調査研究

沖繩のサンゴ礁及びサンゴ礁生物群集を回復させるとともに、サンゴ礁海域の規模を拡大してい

くためには、自然の復元力に加え、海洋環境と調和した人工的なサンゴ礁造園技術開発が重要である。そのためサンゴ繁殖を促進する環境形成技術についての調査研究を行う。

1) サンゴの無性生殖による移植技術の調査研究

サンゴ破片を用いたサンゴ移植技術の開発において、サンゴの生育・繁殖に優れた移植条件を明らかにする。

2) 光制御によるサンゴ育成技術の調査研究

造礁サンゴの生育にとって重要な環境因子である光は、水中において海面への入射光量の他に深度、地形及び水の濁度によりその強度が決定される。そこで水中における光量を連続的に観測し、サンゴにとって好適な光環境条件を明らかにする。

3) 電着通電のサンゴ育成効果に関する調査研究

電着通電により基盤周囲に電場が形成され、炭酸カルシウムを中心とした電着物が形成される。本研究では電着によるサンゴの固着・生育環境形成効果を明らかにするため、電着通電及び電着基盤がサンゴの固着・生育度や回復度に及ぼす影響について調査を行う。

(3) 人工サンゴ礁構築技術の研究開発

サンゴ礁造園モデル地区において実機規模の構築物を構築し、サンゴの固着・移植及び生育効果について実証研究する。

1) 人工サンゴ礁最適形状に関する調査研究

人工サンゴ礁はサンゴが固着できる固い基盤を有するとともに、サンゴの生育に重要な光を供給できる水深まで底上げをすることが基本的役割である。また基盤構造は砂泥等が堆積しないものでなければならない。これらの基本的条件を満たし、かつ周囲の環境と調和のとれた人工ノルを構築するための最適形状について調査研究を行う。

2) 人工サンゴ礁形成技術の研究開発

サンゴ礁造園モデル地区に、サンゴ移植基盤である人工ノルを設置し、サンゴ破片を移植することによって、サンゴの固着・生育に対する有効性を明らかにするとともに、台風等の激浪に対する安定性等についても調査を行う。これらの結果を基にサンゴ固着・生育に適し、かつ安定した人工サンゴ礁形成技術を開発する。

2.2 年次計画

図2に研究開発の年次計画を示す。

これまで、沖縄本島南部の知念村地先をサンゴ礁造園モデル地区に選定し海域調査を実施した。またサンゴ移植基盤である人工ノルを設置しサンゴ移植を行うとともに、移植サンゴの生育や環境条件を連続的に計測するための観測ステーションを構築した。

本報告ではこれらの海域調査結果や実験施設の概要並びにサンゴ移植について述べるとともに、移植サンゴの生育に影響を及ぼす環境条件の測定結果を紹介する。

年度	昭和63年	平成元年	平成2年
項目	基礎的調査研究	サンゴ礁造園モデル地区における実証研究	
1. サンゴ礁造園モデル地区の海域調査 (1)モデル地区の選定・調査 (2)サンゴ礁海域の海水環境調査 (3)サンゴ礁海域の生態系調査		観測ステーション設置 ○	
2. サンゴ繁殖の好適環境形成技術に関する調査研究 (1)サンゴの無性生殖による移植技術の調査研究 (2)光制御によるサンゴ育成技術の調査研究 (3)電着通電のサンゴ育成効果に関する調査研究		サンゴ移植 ○	
3. 人工サンゴ礁構築技術の研究開発 (1)人工サンゴ礁最適形状に関する調査研究 (2)人工サンゴ礁形成技術の研究開発		人工ノル設置 ○	

図2 年次計画

Fig.2 Schedule of the project

3 サンゴ礁造園モデル海域とサンゴ移植・観測システム

3.1 サンゴ礁造園モデル海域

(1) モデル海域の選定

サンゴ礁造園技術の研究開発では、モデル地区を選定し海域実験を行うことによりサンゴ移植技術を確立する。このためモデル地区に設置される人工基盤にサンゴ破片を移植し再固着・生育・繁殖の度合を調査するとともに、物理的・化学的環境条件やサンゴ礁生物群集等を長期間連続的に観測する。

サンゴ礁造園モデル海域は、昭和62年度に実施した沖縄本島周辺サンゴ礁の現況調査の結果を踏まえ、以下の条件を考慮して選定した。

①周辺海域で豊富なサンゴ種が得られること

サンゴを移植する場合、移送中に受けるダメージを小さくするためには、近くの海域にサンゴが豊富に生育していることが必要である。特に現生サンゴの中の優越種であるミドリイシ類が容易に採取できなければならない。

②周辺にリーフが発達していること

人工移植基盤はサンゴ礁回復のきっかけとなることが期待されるものである。一方リーフは天然のサンゴ基盤としてサンゴ礁回復に不可欠である。またリーフは人工基盤を台風の激浪から守る役割を果たすことが期待される。

③人工基盤の点検・保守が容易であること

移植サンゴの成長度や海域環境条件を連続して詳細に観察するためには、人工基盤及び計測機器類の点検・保守が容易でなければならない。

④地元の受け入れ体制が整っていること

本研究開発では必要な基礎研究を実施するとともにサンゴ移植技術の実用化を目的としており、プロジェクト終了後地元において直ちに利用発展できることが望ましい。

本調査では上記条件を満足する候補地のうち、特にサンゴの回復が比較的顕著である沖縄本島南部知念村地先海域をモデル地区に選定した(図3)。

この海域は北部を中城湾に面し、南部は久高島、並びに久高島から奥武島にかけて発達した堡礁状

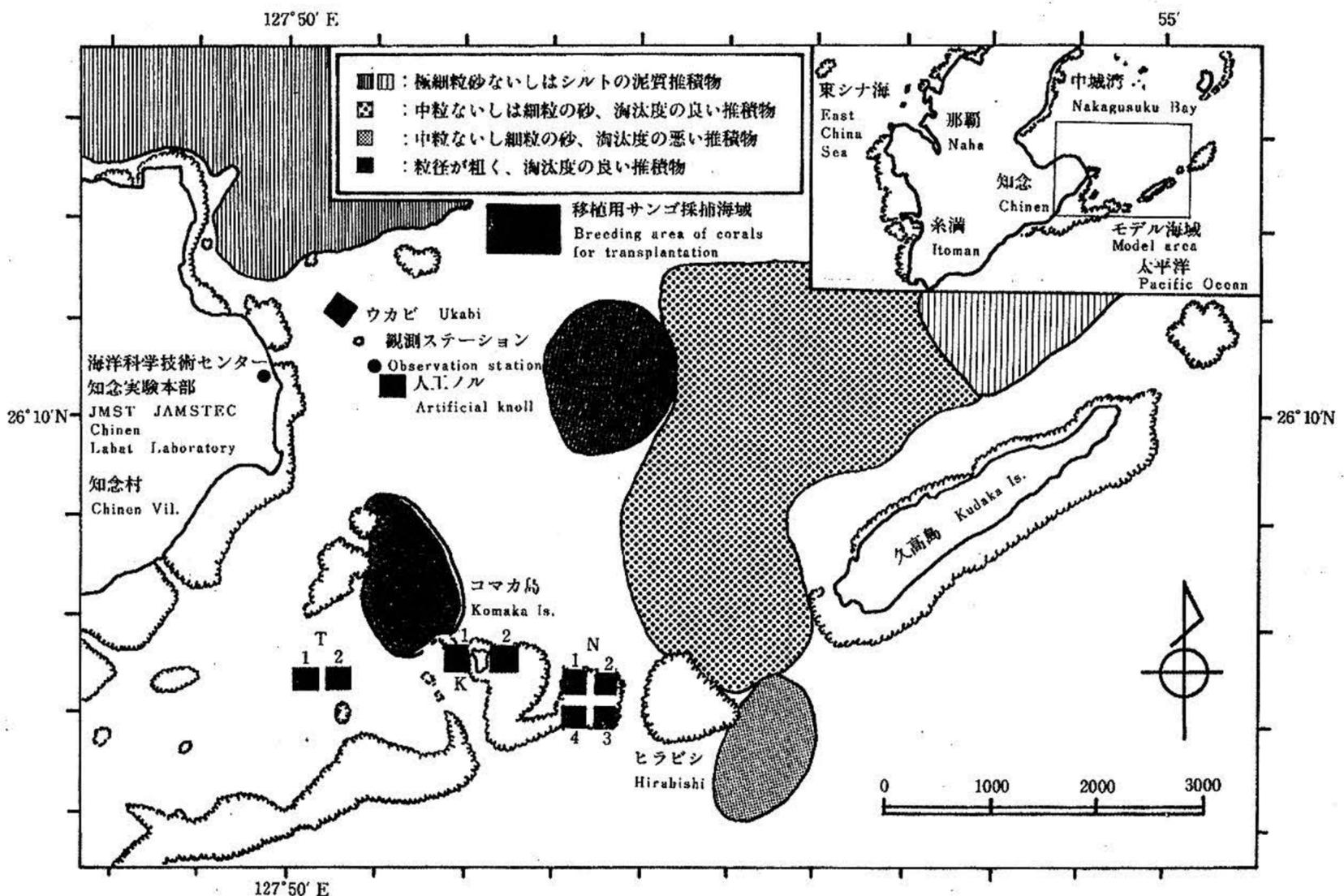


図3 サンゴ礁造園モデル海域
Fig.3 Model area of coral reef project

のリーフに囲まれている。海水は主として久高島南端の久高口及び津堅島南方の二ツ口より流入・流出する。海水の濁りに影響を与える堆積物は、中城湾に面する北部及び久高島に近い東部において細粒砂ないしはシルトの泥質堆積物が分布しているが、陸に近い側では比較的粒径の粗い堆積物が点在し⁹⁾¹⁰⁾、海水の濁りへの影響が少ないことが伺える。さらにこの海域には比較的成長の速い枝状のミドリイシサンゴがウカビ周辺及びリーフを中心に生育していることが確認されている。

以上の結果、この海域はサンゴ移植実験に最適の条件を備えており、この海域をサンゴ礁造園モデル海域とし、距岸約1kmの地点をサンゴ移植実験地点に定めた。

図4にモデル地域における実験概要図を示す。すなわち水深約5mの海底に人工ノルを設けサンゴ破片を移植するとともに、移植サンゴの生育状態並びに気象・海象条件や周辺海水環境を連続

的にモニターするための観測ステーションを設置する。観測ステーションへの電力は陸上より海底ケーブルで供給し、得られたデータは観測ステーションより無線で陸上へ転送することにより陸上の実験本部で常にモニターすることとした。図5にこれら施設の設置位置を示す。

(2)モデル海域の調査

サンゴ礁造園モデル地区に対して実験施設予定地点を中心に地形・底質調査を行った。基準点の測量並びに磁気探査による危険物の不在を確認した後、観測ステーション設置予定地点のリーフに対してボーリングによる土質調査を、また海底ケーブル予定ルートを中心に底質調査を実施した。図6は観測ステーション予定地点(S点)の土質柱状図である。これより観測ステーションの設置が予定されているリーフは、表面から1m程度まではN値が50以上の、サンゴ礫を主体とした土質であり、非常に堅い状態であるが、これより

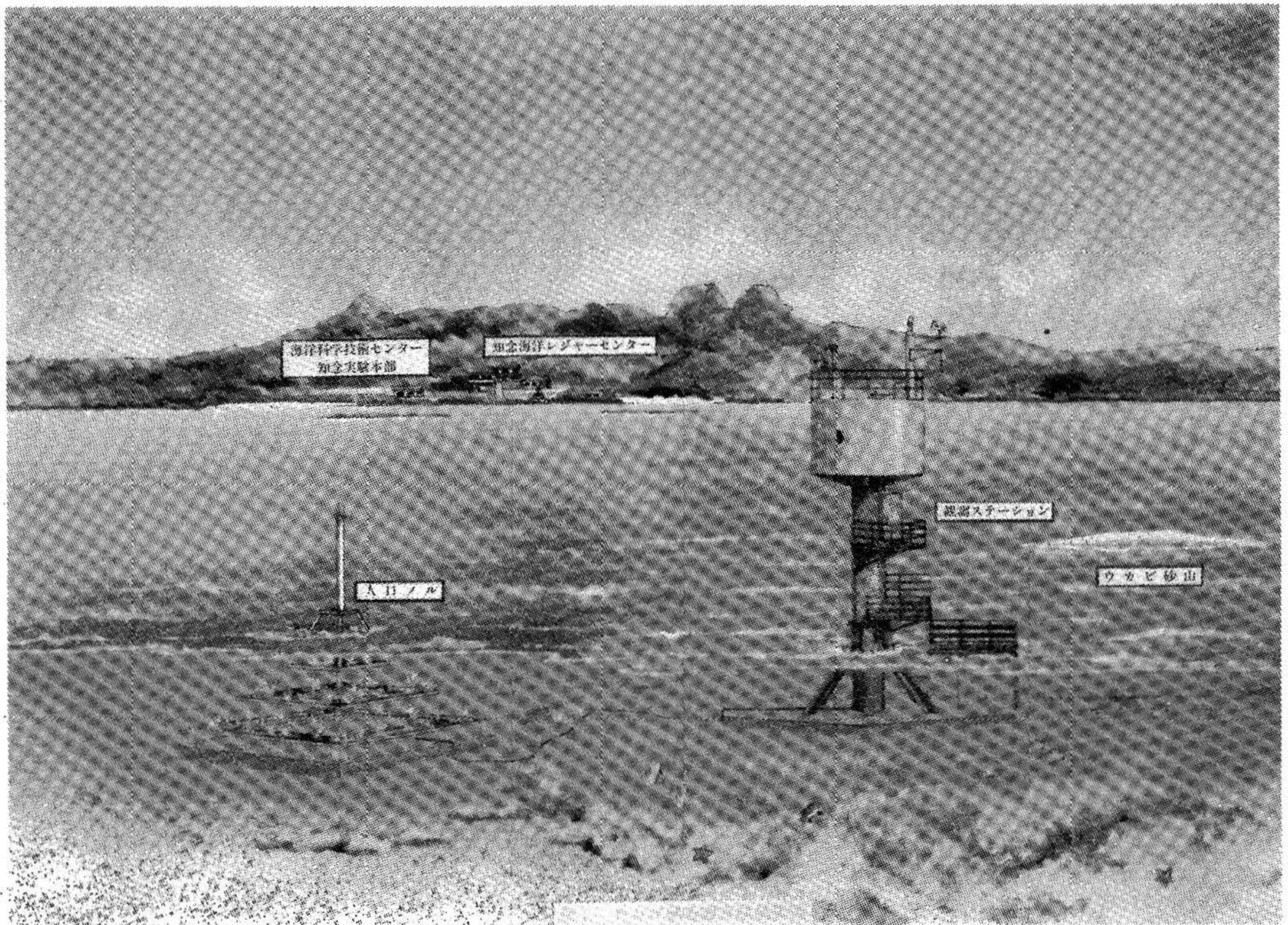


図4 サンゴ礁造園実験概要図

Fig.4 Sea test in coral reef project

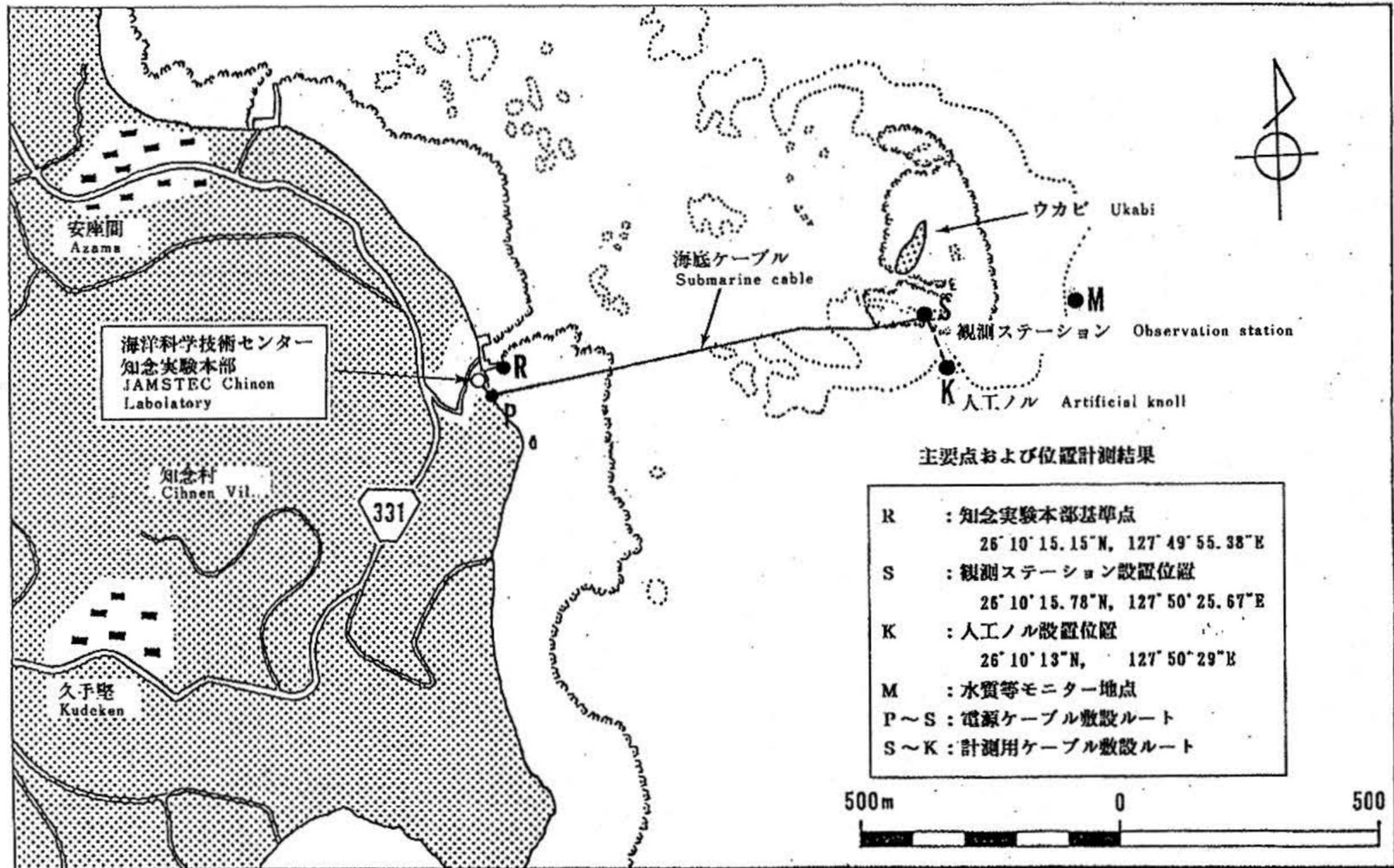


図5 施設の設置位置

Fig.5 Installation site of Observation station, Artificial knoll, and Power cable

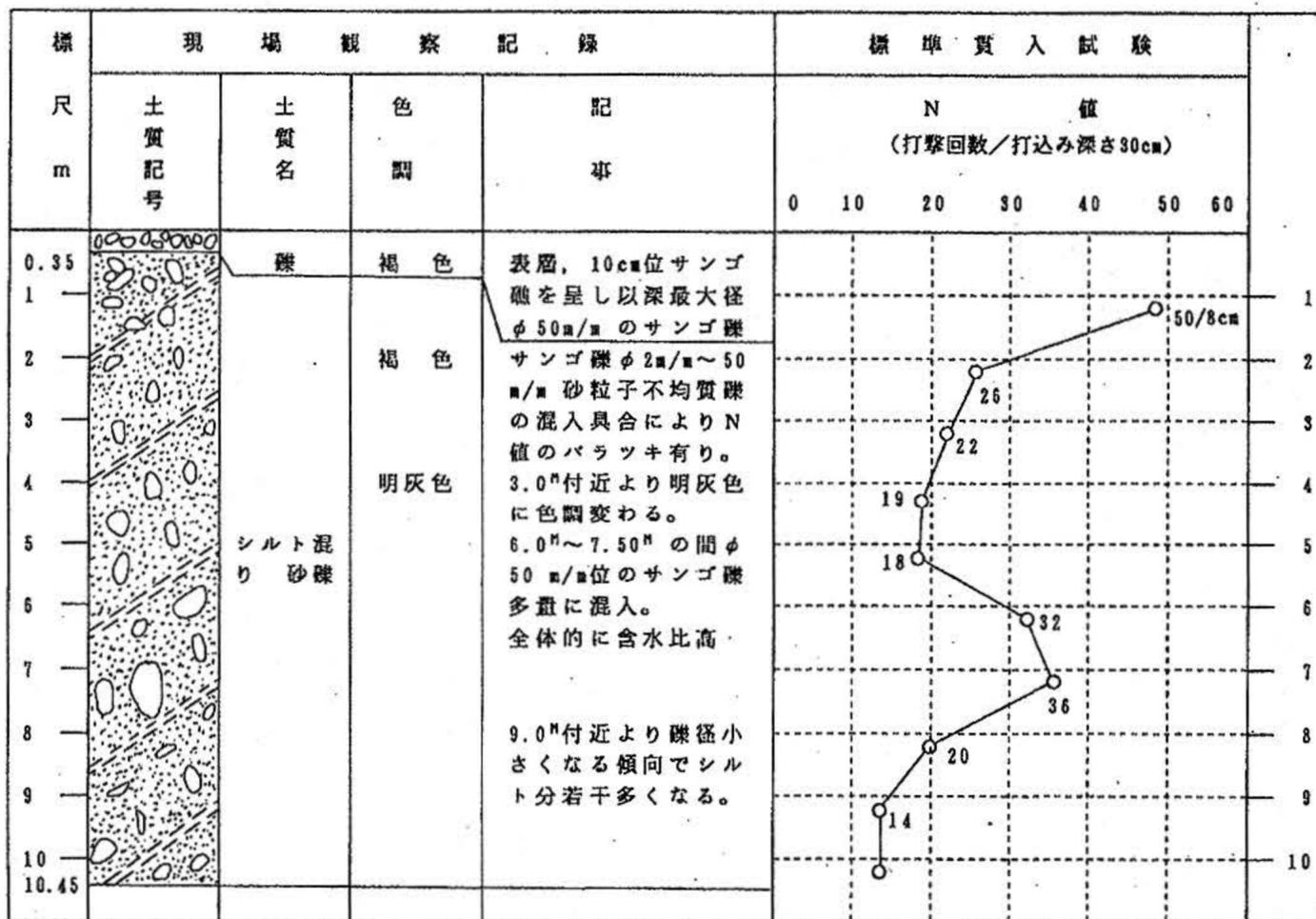


図6 観測ステーション設置位置の土質柱状図

Fig.6 Soil columnar section of installation site of Observation station

深部はN値が10~30程度のシルト混じりの砂礫層であり、相対密度は中位に属する¹¹⁾。観測ステーションの基礎の設計に際してはこのような地盤の強度を考慮して十分に安全が保証されるよう仕様を決定した。

次にケーブル敷設予定ルートを中心とした海底地形・底質調査結果では海底は陸側より砂層、砂礫層と変化し、複数のリーフや岩盤が横切っている(図7)。また人工ノル設置予定地点では厚さ10cm程度の砂礫が堆積した状態である。これらの調査結果を基に海底ケーブルの敷設や人工ノルの設置方法を決定した。

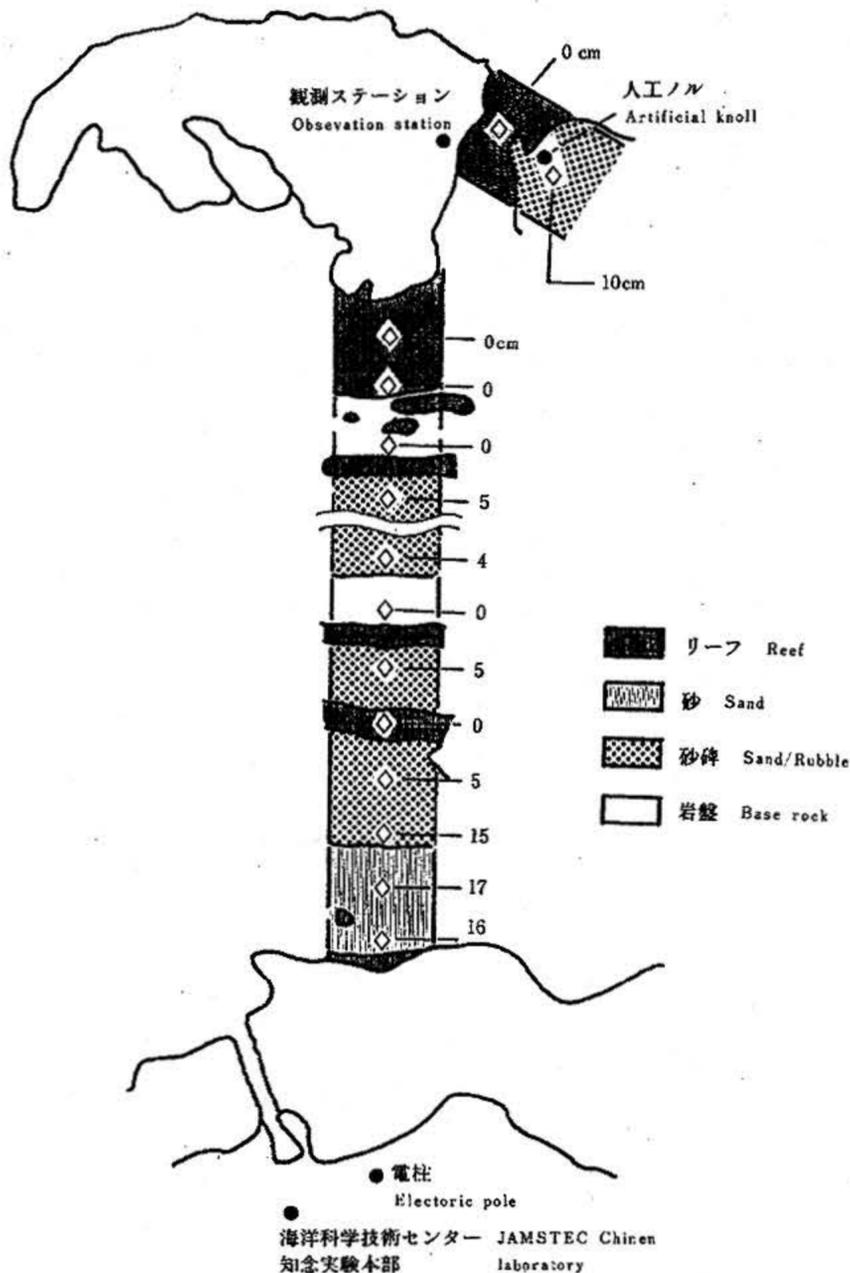


図7 ケーブル敷設ルートの底質状態 (数字は堆積物の厚さ)

Fig.7 Nature of sea bottom along the route of submarine power cable (Number indicates the thickness of sediment)

3.2 観測ステーション

(1) 構造

移植サンゴの生育状況や環境条件を長期間連続的に観測するため、陸上から約1kmの海上に観測ステーションを設置した。観測ステーションは、満潮時水深約1.8mのリーフ上に重力固定される、高さ約10mの鋼製タワー型構造物であり、計器室、主塔及び基礎部により構成される(図8)。このうち基礎部は厚さ1.1m、直径11mの六角形状をしたコンクリート構造とし、リーフ内に埋込むとともに各頂点の位置に杭を打ち込み、移動、転倒に対して十分な強度が保たれるよう配慮した。また観測ステーションの設計は表1に示す波浪統計や海象・気象条件に基づいて行った。

表1 観測ステーション及び人工ノルの設計条件
Table 1 Design criteria of observation station and artificial knoll

区分	項目及び設定値	
海象条件	潮流	1.4 kn.
	干満差	2.3 m
	波高	10 m
	波周期	15 sec
気象条件	風速	60 m/sec
	最高気温	35 °C
	最低気温	5 °C

(2) 観測項目

観測ステーションは、サンゴ移植実験地点における気象・海象観測、人工ノルの監視及び海水環境条件等を観測するための機器を搭載している。以下に観測項目を示す。

①気象観測

計器室上部に自動気象ステーションを設置し、風向、風速、気温、気圧、湿度、降雨量、日射量等を計測する。

②波浪観測

計器室屋上にTVカメラを設置し、陸上よりTV画面を通して波浪状態を観察する。

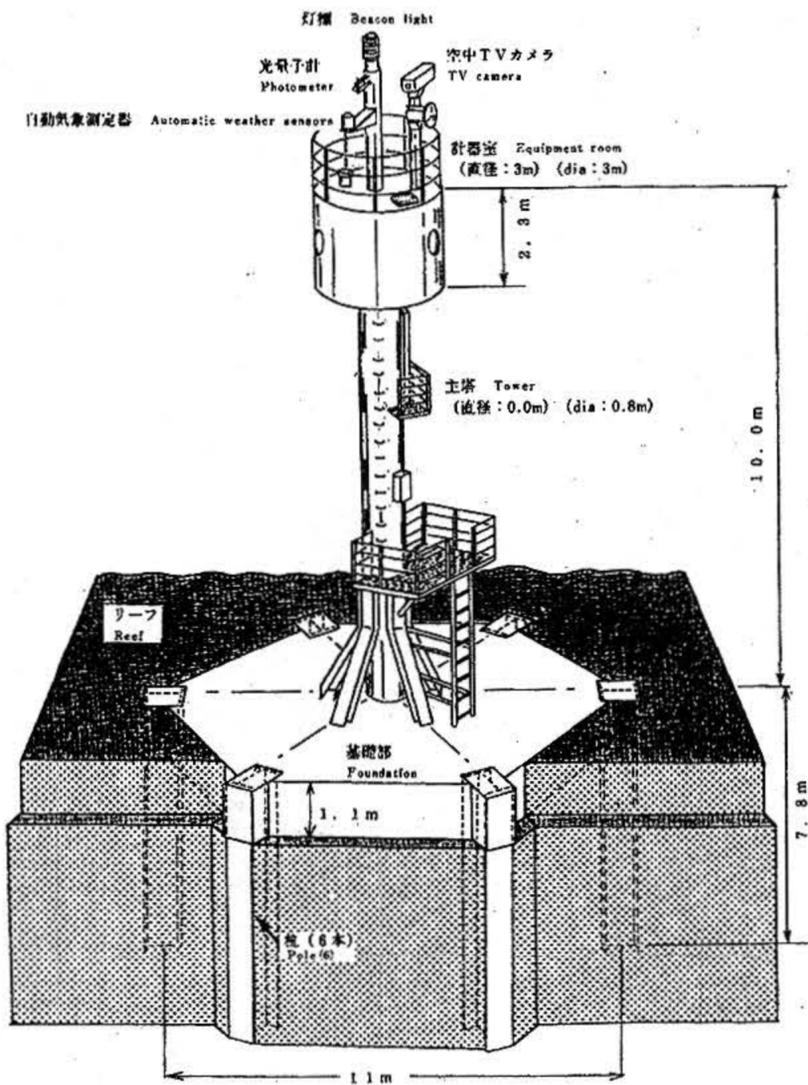


図8 観測ステーション
Fig.8 Observation station

③人工ノルの監視

人工ノルに水中TVカメラを設置し、移植サンゴの生育状態やサンゴ礁生物群集を常時観察する。

④海水環境条件の調査

人工ノルに水中光量子計、濁度計を設置し、移植サンゴの生育に影響を及ぼす海水環境を連続的に計測する。

(3) モニタリングシステム

観測機器類の制御・操作及び計測データやTVカメラによる映像の転送は、陸上本部との間で無線により行い、実験本部でそれらをモニターする。観測データのモニタリングシステムを図9に示す。

す。

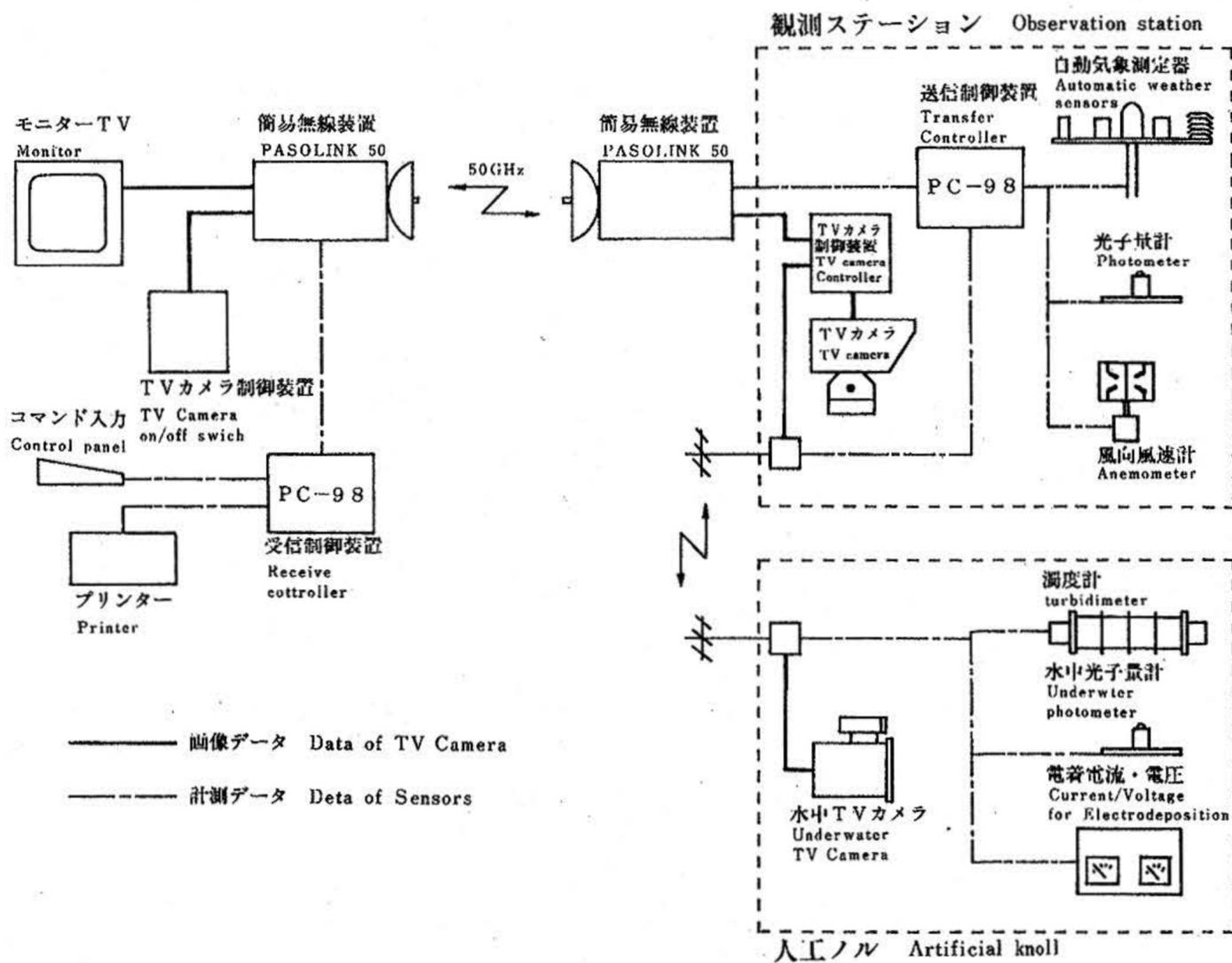


図9 観測データモニタリングシステム
Fig.9 Monitoring and data acquisition system

3.3 人工ノル

(1) 構造

サンゴ破片の移植基盤である人工ノルは、安定した構造であること、サンゴ破片が固定しやすくサンゴに馴染みやすい固い基盤を有すること、またサンゴの生育に必要な光をより多く供給できる形状であることを基本とする。この他魚礁効果が期待できる、設置が容易、移植基盤を部分的に交換できる等といったことが要求される。

人工ノルを設置した海底は、平均水深5.3m、底質が砂礫の所であり、ここに低潮位より1m程度下に先端を持つ、縦・横：6.2m、高さ：3mの、鉄骨構造によるピラミッド状人工ノルを設置した。この人工ノルを海底に安定して固定するため、正方形のコンクリート製基礎の四隅に長さ約8mの長尺杭を打設した(図10)。

次にサンゴ移植基盤は海底より1m,2m,3mの各位置に段状に設置した。サンゴ移植基盤の条件としてサンゴ破片が固定しやすく、また台風等の激浪に対しても脱落しないものでなければならない。一方サンゴ破片の生存率に関する実験で、ミ

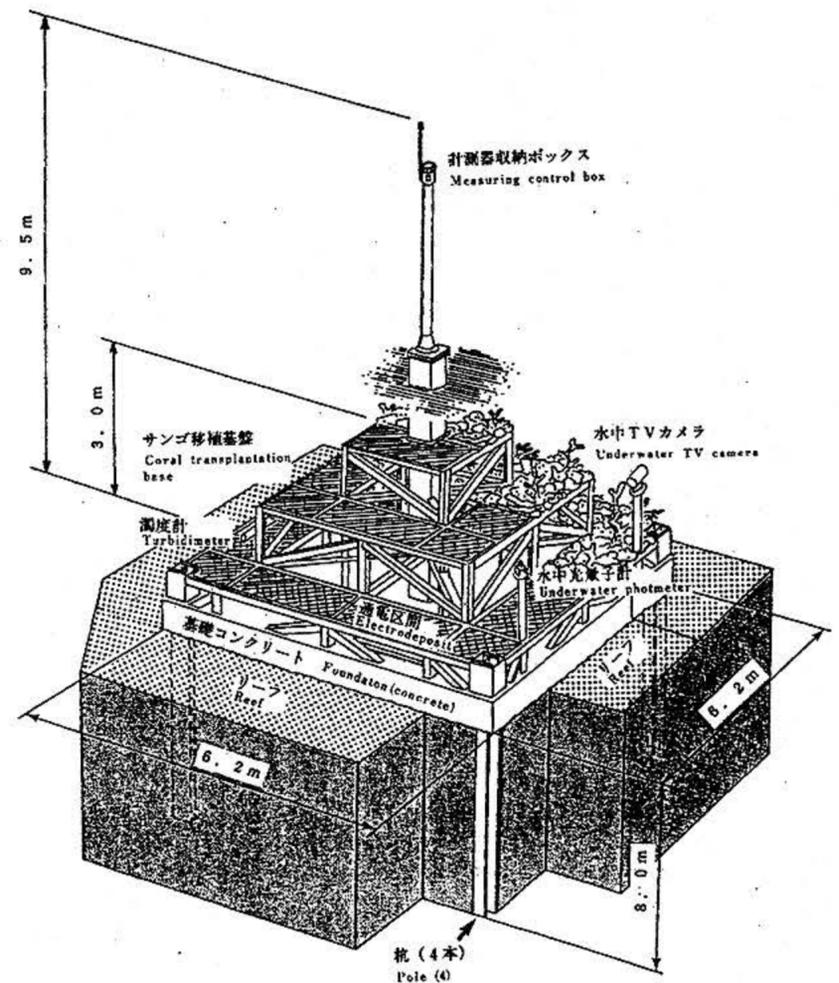


図10 人工ノル
Fig.10 Artificial knoll

表2 人工ノルの特長

Table 2 Advantages of artificial knoll over the concrete block

区分	項目	基盤	人工ノル	コンクリート基盤
構造	基盤の安定性		移植基盤が海底に固定された構造と一体であるため移動・転倒することがない	コンクリートブロックを海底に置く方式では台風等の大波浪時に移動・転倒の可能性がある。
	光環境		基盤がピラミッド状に構成され、底上げされた結果、サンゴの生育に必要な光が当たりやすくなる。	コンクリートブロックは海底に設置されるため光環境は改善されない。
	魚礁効果		魚類の生育空間(隠れ場所)が多くとれるため魚礁効果が得られる。	
	底質による影響		ピラミッド状に底上げされるため底質が砂泥であってもこの影響を受けない。	底質が砂泥の場合、基盤が埋まるため適用は困難である。
基盤	サンゴ破片の安定		網目状基盤に針金等により確実に固着されるので脱落することはない。	コンクリートブロックに孔をあけ、サンゴ破片を差込み水中ボンドで固定するため、大波浪時には脱落の可能性もある。
	移植作業性		針金で縛るだけであるため短時間で作業が終了する。	
	浮泥の堆積防止		ピラミッド状の網目状基盤のため浮泥の堆積が防止されサンゴの生育に好ましい条件が形成される。	基盤に浮泥が堆積し、サンゴの生存率の低下を招く。
	サンゴ幼生の着床性		基盤表面が適度に凹凸を有するためサンゴ幼生の着床性に優れる。また網目状のため有効着床面積が大きい。	基盤表面に凹凸が少なく平面状であるため着床性に劣り、その面積も少ない

ドリイシサンゴの破片を、海底のポリエチレンネットを基盤として固定した場合、基盤上に砂泥等が堆積しないため、小破片においても大破片と同様の高い生存率を示すことが指摘され、網目構造基盤がサンゴ破片の生存率の向上に有効であることが示されている¹²⁾。このため人工ノルのサンゴ移植基盤を網目構造とし、金網状のワイヤ表面にモルタルをコーティングした部材を主体とするとともに、一部に通電区画を設けその効果を調べることにした。

(2) 移植基盤特性

表2に人工ノルの特長を示す。本表においては従来のサンゴ移植実験で用いられるコンクリート

ブロック基盤との比較も行った。人工ノルはサンゴの移植・生育に優れた環境を作り出せることがわかる。

3.4 サンゴ移植とモニタリング

(1) サンゴ移植

1) 移植サンゴ

移植に用いたサンゴは成長の比較的速いミドリイシサンゴやハナヤサイサンゴを主体とし、表3に示すサンゴ種を採捕した。

サンゴの採捕に際しては親サンゴにナンバーを付け、タガネとハンマーによりその一部を採捕した後、船で速やかに人工ノルまで運搬した。人工ノルにおいて適当な大きさのサンゴ破片に分割し

表3 移植サンゴの種類

Table 3 Species of transplanted corals

移植サンゴ	群体形状
Acropora hyacinthus (クシハダミドリイシ)	テーブル状
Acropora sp. 1 (ミドリイシ 1)	
Acropora sp. 2 (ミドリイシ 2)	
Pocillopora verrucosa (イボハダハナヤサイサンゴ)	準塊状
Porites cylindrica (ユビエダハマサンゴ)	樹枝状
Stylophora pistillate (ショウガサンゴ)	半球状
Galaxea fascicularis (アザミサンゴ)	半球状, 時に板状, 柱状

表4 移植サンゴ破片数及び平均寸法

Table 4 Number and mean sizes of transplanted coral fragments

属	種	個数	大きさ (mm)		
			長径	短径	高さ
ミドリイシ	クシハダミドリイシ	25	72	50	41
	ミドリイシ種 1	115	58	44	31
	ミドリイシ種 2	115	93	62	39
ハナヤサイサンゴ	イボハナヤサイサンゴ	140	76	37	31
ハマサンゴ	ユビエダハマサンゴ	115	78	47	26
ショウガサンゴ	ショウガサンゴ	115	53	36	21
アザミサンゴ	アザミサンゴ	25	43	27	26
		(計 650)			

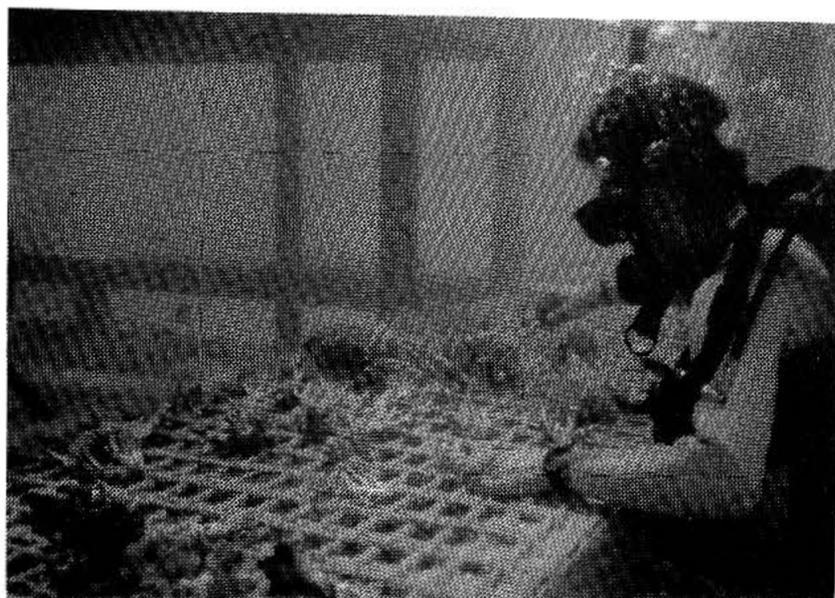
た後、移植基盤にステンレス針金等を用いて固定した。表4に移植サンゴ破片の平均寸法及び個数を示す。写真1はサンゴ移植状況を、また写真2はミドリイシサンゴ及びハナヤサイサンゴ破片の固定例を示す。上記サンゴ破片の移植は平成元年8月に完了した。

2) 移植基盤の分類とサンゴ移植

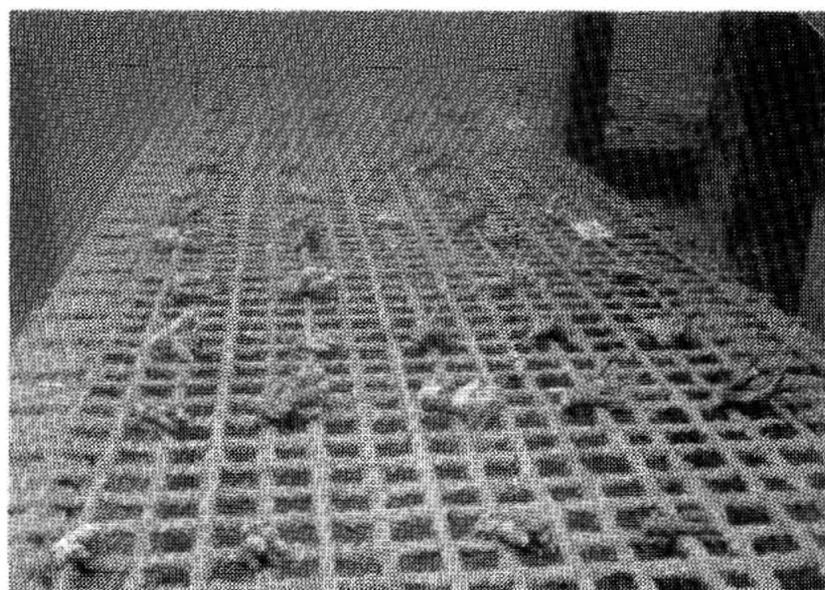
人工ノルの上段、中段、下段の各基盤を図11に示すごとく、1m×1mの大きさに計36区画に区分した後、各区画を次の4種類に分類しサンゴ移植・観察を実施した。なおサンゴ破片の移植数は原則として1区画当たり25個(5行×5列)とした。

①複数種サンゴ破片移植区画(20区画)

複数の種類の異なったサンゴ破片を移植し、成長度の比較、並びに優占種を調査する。この区画



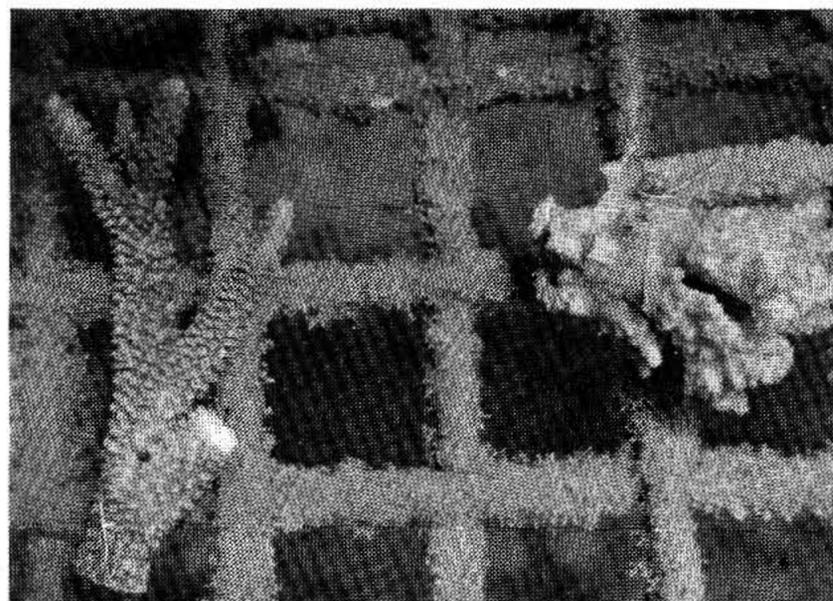
(a)



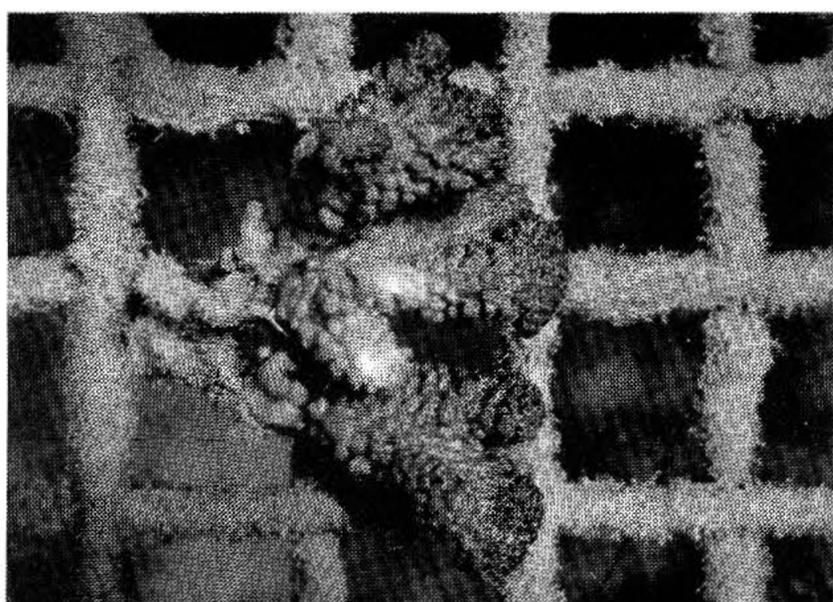
(b)

写真1 サンゴ移植状況

Photo 1 Transplantation of coral fragments



(a) ミドリイシサンゴ
Acropora sp.



(b) ハナヤサイサンゴ
Pocillopora sp.

写真2 移植サンゴ破片の例

Photo 2 Example of transplanted coral fragments

では、異なる種類のサンゴ破片を次の割合で移植した。

Acropora sp.1 (ミドリイシ 1)	5個
Acropora sp.2 (ミドリイシ 2)	5個
Pocillopora verrucosa (イボハダハナヤサイサンゴ)	5個
Porites cylindrica (ユビエダハマサンゴ)	5個
Stylophora pistillata (ショウガサンゴ)	5個

②単一種サンゴ破片移植区画(8区画)

単一種(遺伝的に同一種)サンゴ破片による林造成過程を観察する。各区画のサンゴ種は以下のとおりである。

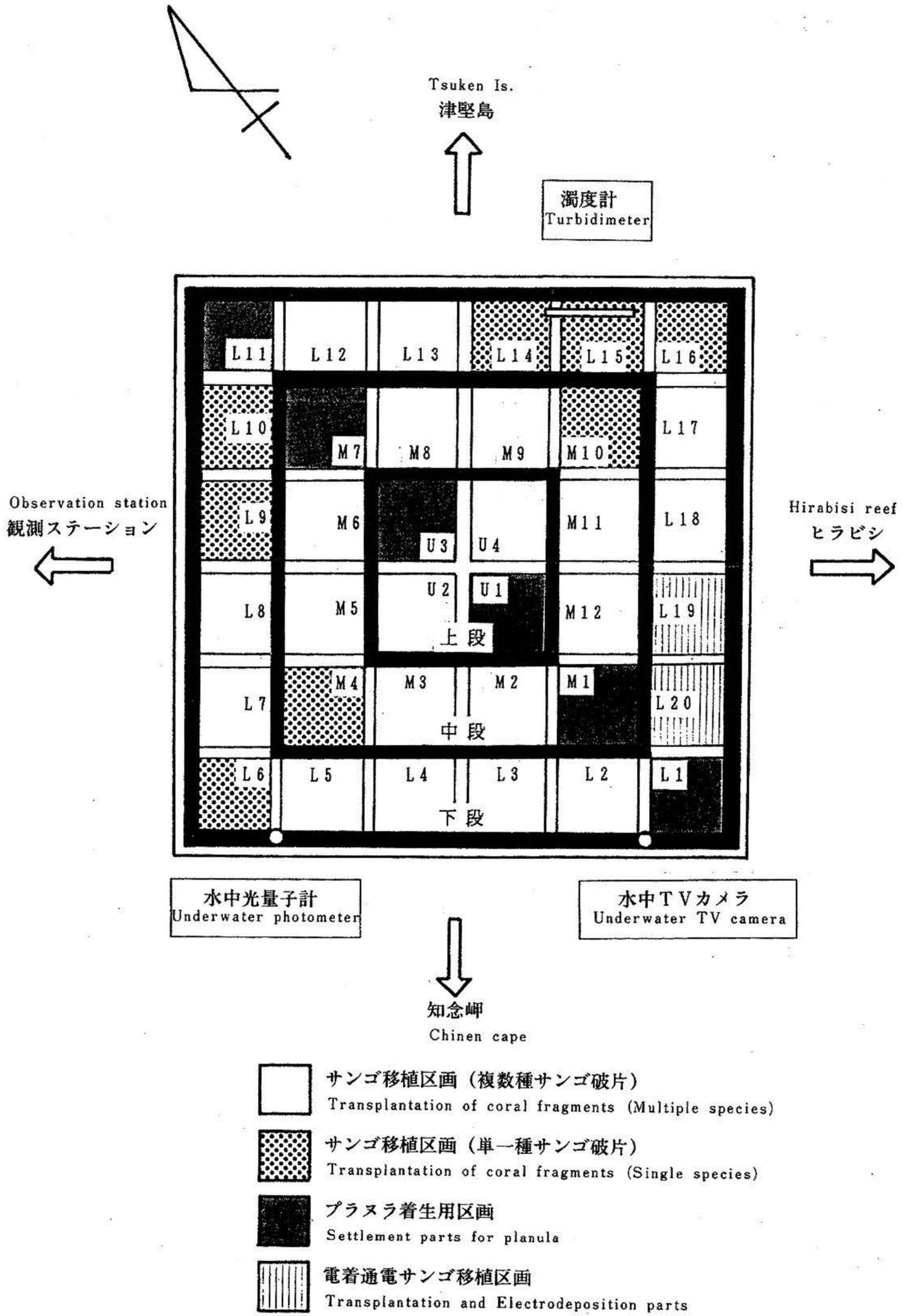


図11 移植基盤の分類とサンゴ移植
 Fig.11 Division of base and coral transplantation

- M 4 : *Acropora hyacinthus*
 (クシハダミドリイシ)
- M10 : *Pocillopora verrucosa*
 (イボハダハナヤサイサンゴ)
- L 6 : *Galaxea fascicularis* (アザミサンゴ)
- L 9 : *Acropora* sp.1 (ミドリイシ 1)
- L10 : *Pocillopora verrucosa*
 (イボハダハナヤサイサンゴ)
- L14 : *Acropora* sp.2 (ミドリイシ 2)
- L15 : *Stylophora pistillata*
 (ショウガサンゴ)
- L16 : *Porites cylindrica*
 (ユビエダハマサンゴ)

③ プラヌラ着生用区画 (6区画)

サンゴより放出されたプラヌラ幼生の着生等を観察するための区画であり、サンゴ破片は移植しない。

④ 通電区画 (2区画)

電着通電及び電着形成基盤がサンゴの生育に及ぼす影響について調査する。

3) 移植サンゴ破片の生育状態

写真3は移植後約一ヶ月経過後のサンゴ破片の例を示したものである。写真3(a)ではサンゴ破片が固縛用針金を取り込むように成長している。また写真3(b)ではサンゴ破片の破断部がその後の石灰の分泌により修復され、新しい芽が形成されつつある。このように移植サンゴ破片は順調に生育を続けていることが確認されている。

(2) 今後の調査内容

サンゴの生育に適した移植条件を明らかにするため、次の項目について移植サンゴの再固着率、生存率等の調査を行う。

① サンゴ移植方法に関する調査

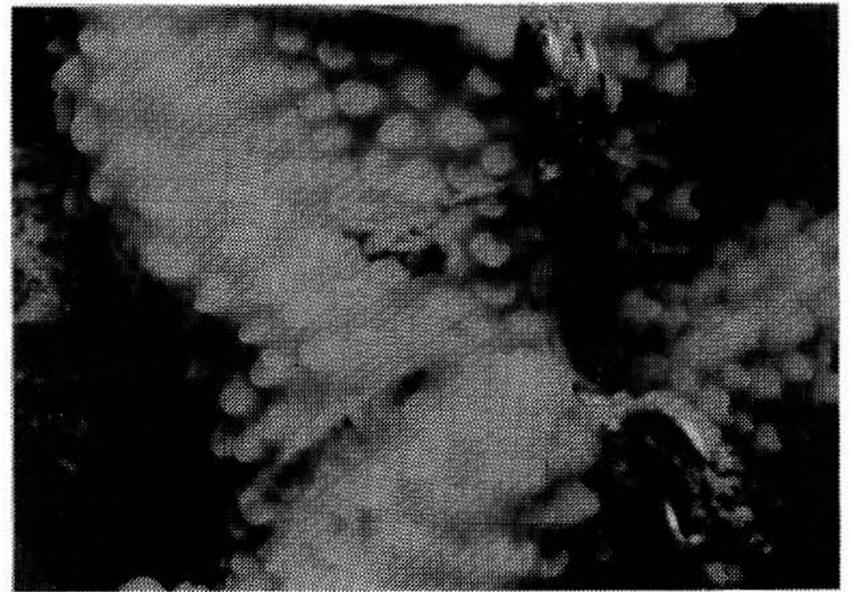
- ・サンゴ運搬時のストレスの影響
- ・サンゴ破片の移植深さ及び方位による影響
- ・サンゴ破片の固定材料の比較

② サンゴの種類による比較

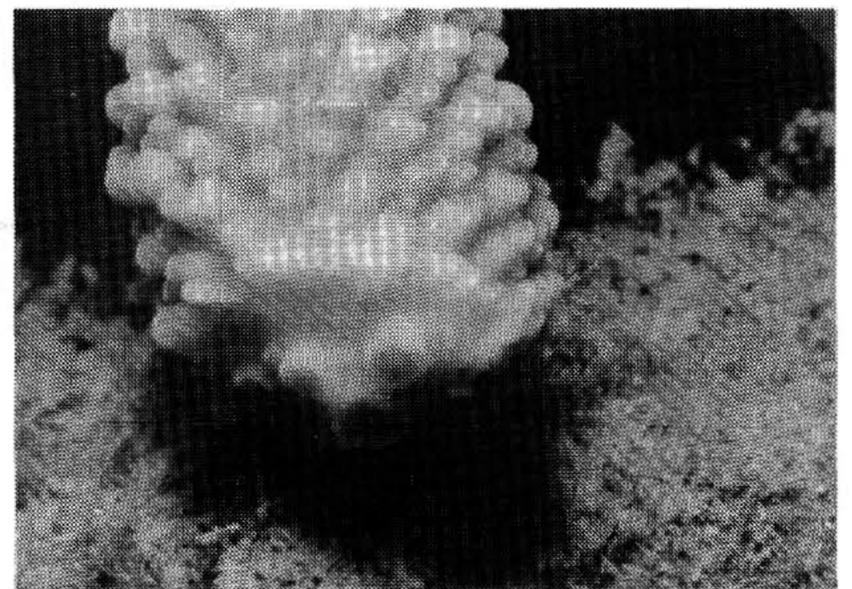
ミドリイシサンゴ、ハナヤサイサンゴ、ハマサンゴ、アザミサンゴ、ショウガサンゴの各種類のサンゴ破片に対して生育状態を比較調査する。

③ サンゴ破片の配置方法に関する調査

同一区画に複数種のサンゴ破片を混合して移植する場合と単一種のサンゴ破片のみを移植する場



(a)



(b)

写真3 移植サンゴの生育状況
 (移植後約1カ月)

Photo 3 Growth of transplanted coral fragments
 (One month transplantation)

合との生育状態を比較調査する。

④ 生育環境による影響調査

サンゴ破片を人工ノル以外に、サンゴの採捕地や人工ノル近傍の天然ノルにも移植しそれらの生育状態を比較調査する。

⑤ 移植基盤へのプラヌラ幼生の着生調査

サンゴより救出されたプラヌラ幼生の基盤への着生状態を観察し、人工ノルのプラヌラ着生基盤としての有効性を調査する。

⑥ 電着通電による影響調査

電着は海水中に設置された金網基盤と陽極との間に直流の微弱電流を流し、海水の電気化学反応を利用して、金網基盤表面に CaCO_3 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$

を主成分とする無機系物質を付着（電着）させコンクリート状部材を形成する技術である。この電着物は一般に天然のサンゴ礁に近い基質を有することが知られている。また電着通電効果として海藻の遊走子の付着や魚類の蝸集効果が報告されている^{13) 14)}。本調査では人工ノルに設けられた通電区画を利用して電着通電及び電着形成基盤がサンゴの生育に及ぼす影響について調査する。

4 サンゴ礁造園モデル海域の環境条件調査

サンゴ礁造園モデル海域の環境特性を把握するため、奥武島から久高島にかけて発達した堡礁状のリーフの一部であるヒラビシリーフの水路、並びにサンゴ移植海域である人工ノル近傍に対して行った物理的環境条件の測定結果を紹介する。計測地点を図12に示す。また環境条件とそれに影響を及ぼす波浪条件や気象条件に関する計測項目を表5に示す。計測はいずれも自記記録式とし、原則として10分間隔でデータを採取した。

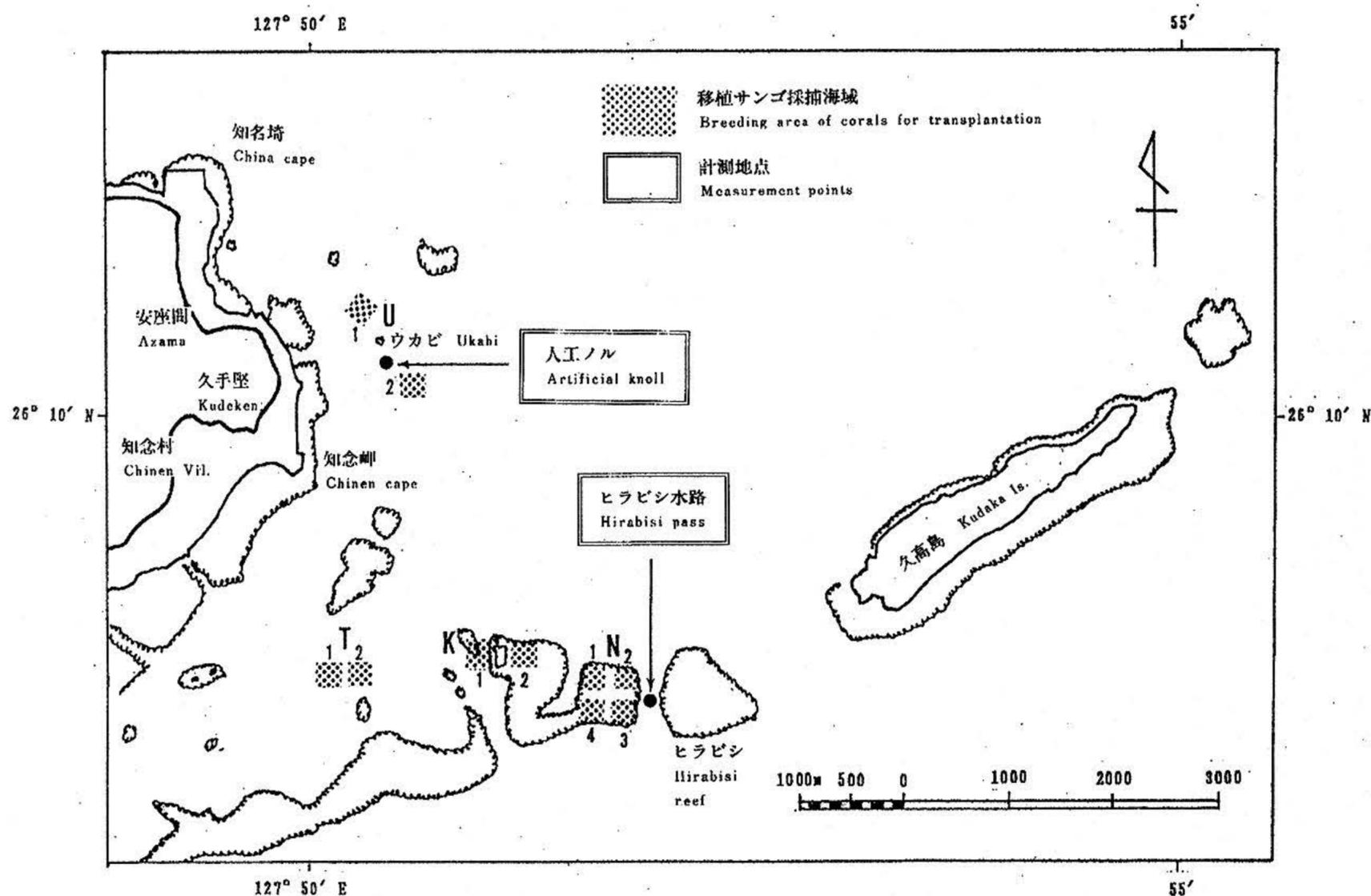


図12 環境条件計測地点

Fig.12 Measurement points for environmental condition

表5 観測項目

Table 5 Items of observation

水質環境条件	波浪条件	気象条件	
水温	流向	照度	気温
塩分	流速	光量子	気圧
濁度	潮位	風向	湿度
水中光量子		風速	降雨量

4.1 ヒラビシ水路

(1) 計測要領

1) 計測地点：ヒラビシ・ナカビシ間の水路
(水深：19~23 m)

2) 計測期間

1989年6月27日~7月3日

3) 計測内容

計測項目及び計測器設置深さを以下に示す。

- ① 潮位：深度計を海底に設置 (平均水深：19m)
- ② 流向・流速：流向・流速計を平均水面下13.3mの深さに設置 (平均水深23.3m)
- ③ 水温：水温計を平均水面下4m, 9m, 14mの各深さに設置 (平均水深：19m)

(2) 計測結果

図13に1989年6月27日~7月3日の間の潮位・潮高, 流向・流速及び水温の時系列を示す。また図14~図16に流向・流速の統計解析結果を示す。

1) 潮位

図13に潮位計測結果と潮汐表に基づく潮高(那覇港との潮時差：-25分)を合せ示す。これより潮位と潮高は良く対応しており, 潮汐の干満は1日2回潮であることがわかる。なおこの期間は新月(7月3日)の前約1週間である。

2) 潮位変化と流向・流速

図13より, 潮位変化と流向・流速との間には次の関係がみられる。

- ・ 1日2回の干満のうち, 低高潮時の前後には常にSSW方向に卓越した流れ(リーフ内から流

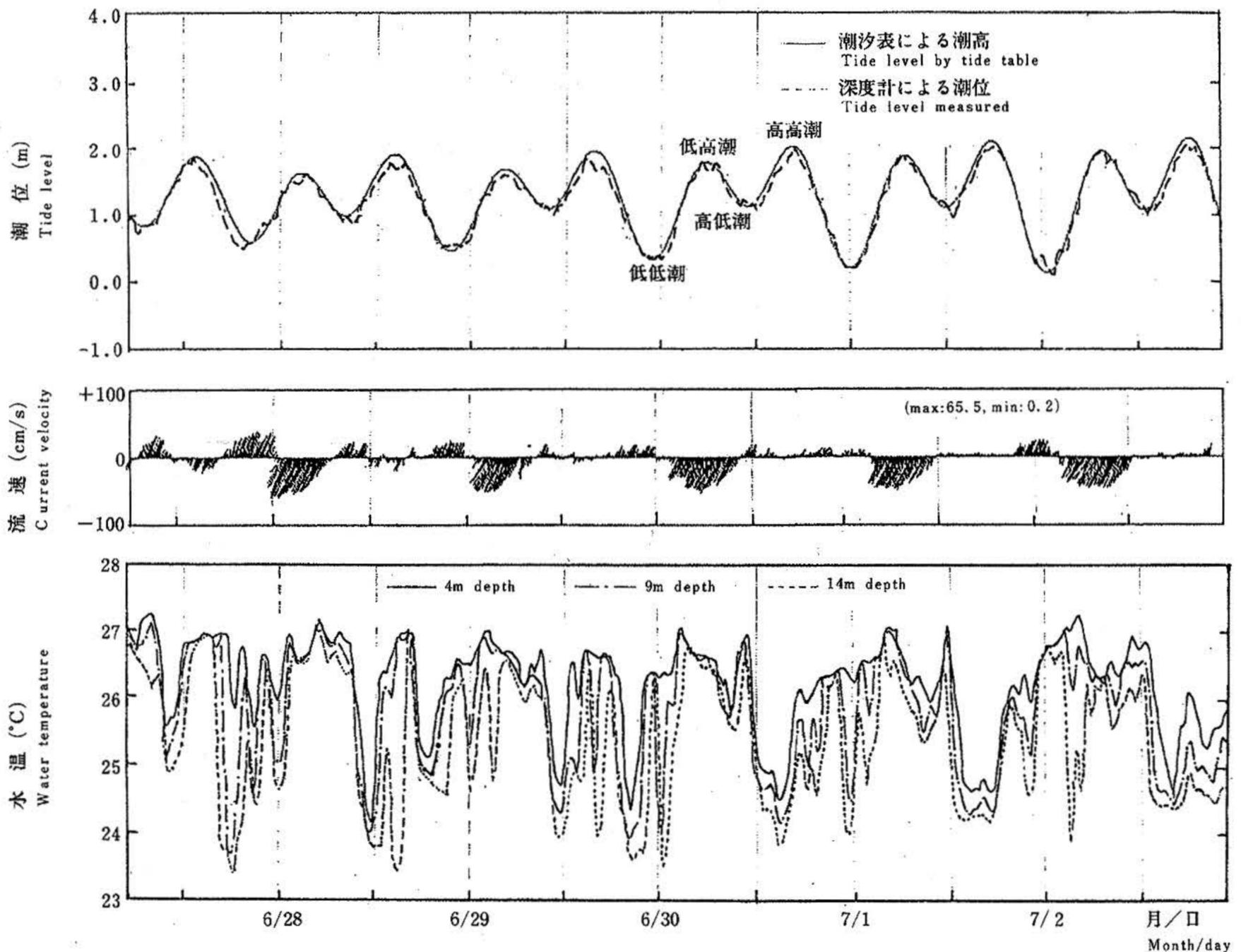


図13 潮位, 流向・流速, 水温観測結果 (ヒラビシ水路, '89 6/28~7/2)
Fig.13 Tide level, current velocity, water temperature (Hirabisi pass)

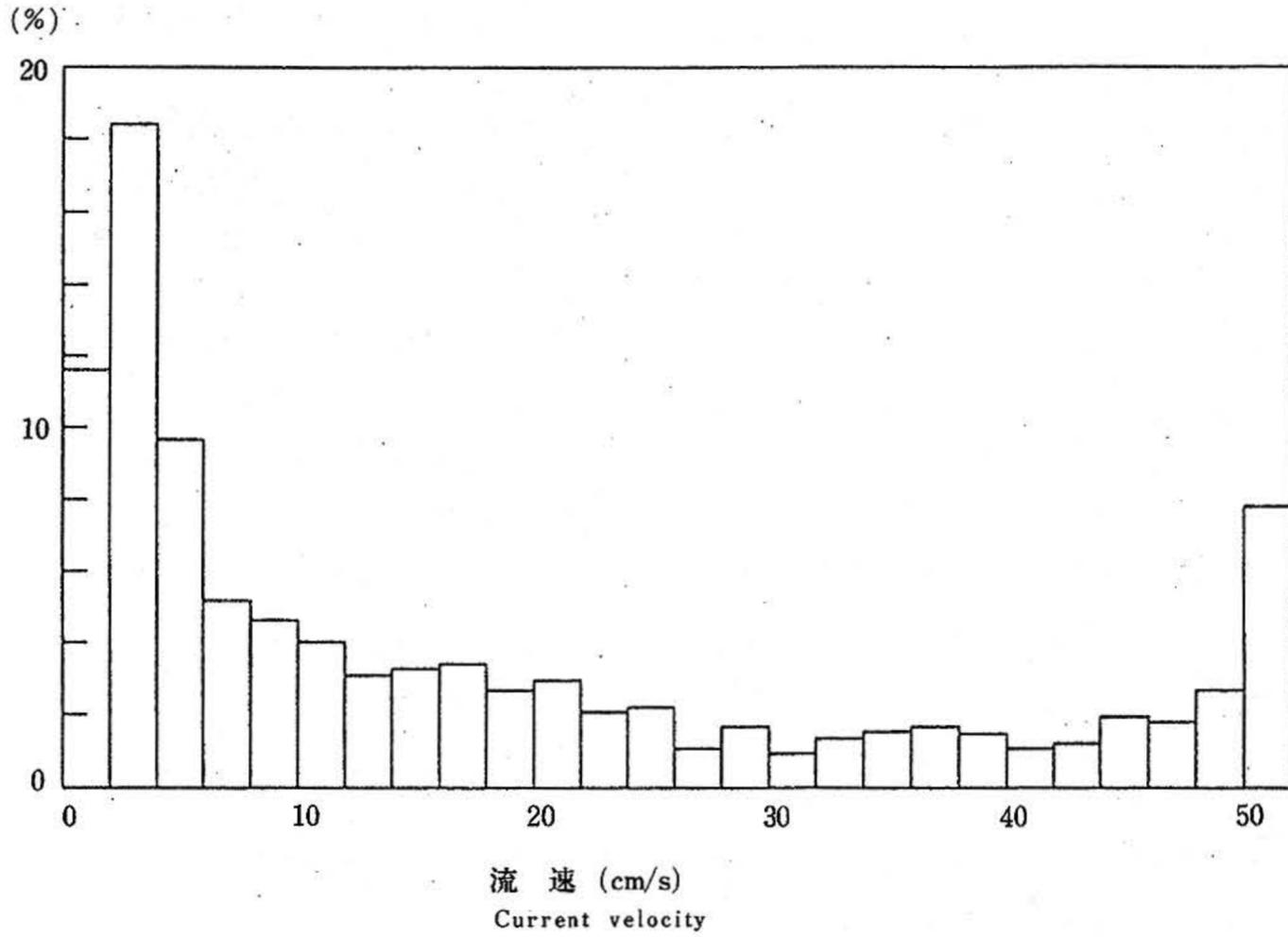


図14 流速頻度分布 (ヒラビシ水路 '89 6/27~7/3)
 Fig.14 Histogram of current velocity (Hirabisi pass)

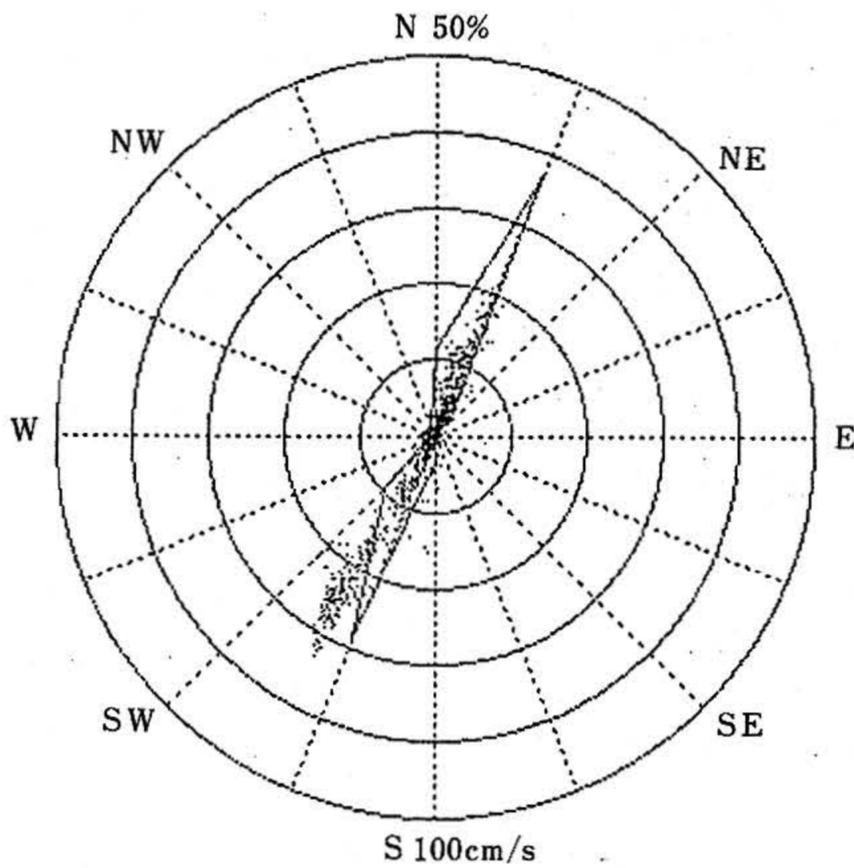


図15 流向頻度分布
 (ヒラビシ水路 '89 6/27~7/3)
 Fig.15 Current direction frequency
 (Hirabisi pass)

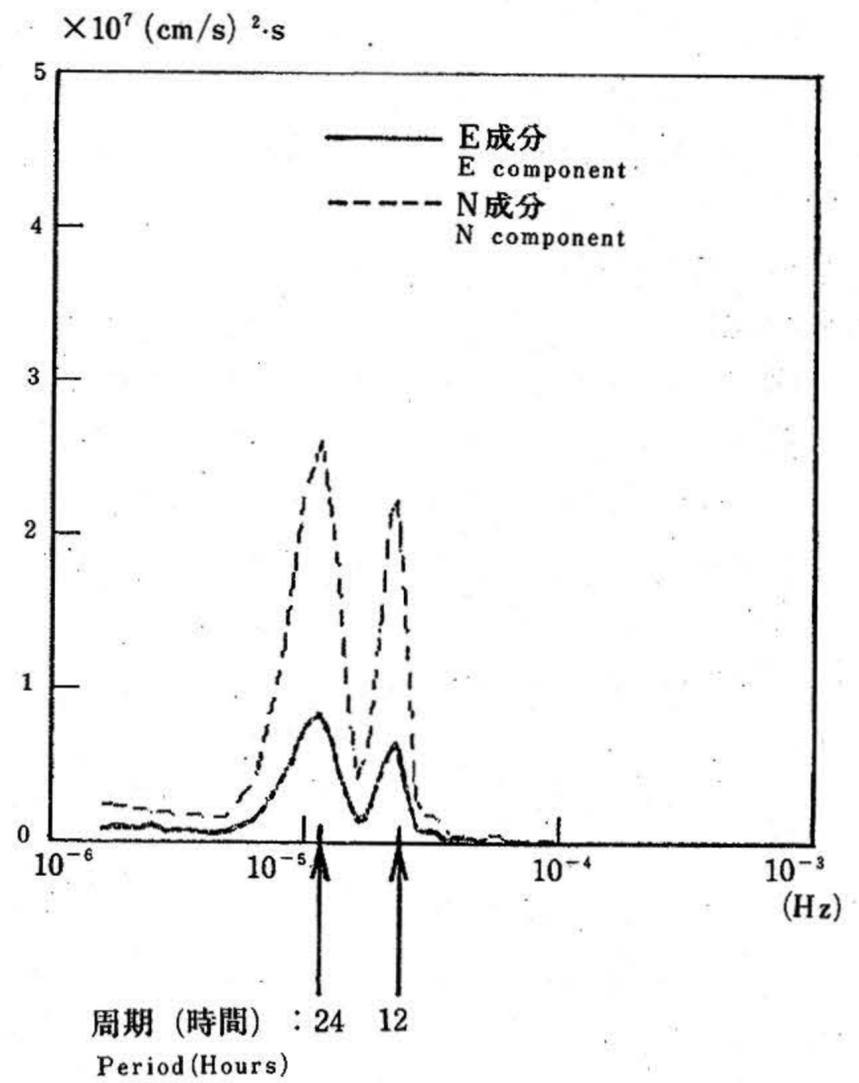


図16 流速スペクトル
 (ヒラビシ水路 '89 6/27~7/3)
 Fig.16 Current velocity spectry spectra
 (Hirabisi pass)

出する流れ)が発生し、潮位が極大のとき流速も最大となる。また、この流れは低高潮前2~3時間から高低潮前1~2時間の間に生じており、潮流の変化は潮位変化より2~3時間早いことを示している。しかし、高高潮時前後には流出する流れは極めて小さく、この傾向は高潮位差時により顕著となる。

- ・ 低低潮前後にはリーフ内に流入する流れが発生する。しかし高潮位差時には非常に小さくなる。
- ・ 以上の結果、本水路ではSSW方向に流出する流れが1日1回発生することが特徴として挙げられる。

3) 流向・流速

① 流速頻度分布 (図14, 15)

流速は広範囲に分布し、2~4 cm/secが18%と最も多いが、50 cm/secを越える流速も8%ある。流速の大きい流れはSSW~SWの成分であり、リーフから流出する流れである。

② 流速スペクトル (図16)

N-S方向及びE-W方向の流速成分は24時間及び12時間周期においてピークを持っている。流速変化は潮汐の干満が直接の原因であることは明白であるが、24時間周期の成分がかなり大きいことから、この水路の流速変化は周辺海域の地形の影響を複雑に受けていることが推定される。

4) 水温

図13より上層、中層、下層の水温は23~27°Cの範囲で著しく変化している。一般に外洋水が流入する上げ潮時には変化が大きく、SSW方向の流れが卓越する下げ潮時には、高水温側に安定するとともに層間の温度差も少なくなる傾向にある。この理由として、湾内に流入した海水は、水深の減少に伴い、上下方向に一様となり、さらに温められるため流出時高水温側に安定した状態になるものと考えられる。

4.2 人工ノル設置海域

人工ノル設置海域の調査として、波浪が比較的穏やかな時期であった10月10日~10月25日及び台風28号が南大東島付近を通過した期間を含む10月27日~11月2日の間の調査結果を示す。

(1) 計測要領

- 1) 計測地点：人工ノル南側 約100mの地点
(平均水深：6m)

2) 計測期間：1989年10月10日~11月2日

3) 計測内容

計測項目及び計測器設置深さを以下に示す。

- ① 潮位：深度計を海底に設置
- ② 流向・流速：流向・流速計を平均水面下4mの位置に設置
- ③ 水温：水温計を平均水面下2m及び海底に設置
- ④ 塩分：塩分濃度計を平均水面下2mに設置
- ⑤ 濁度：濁度形を平均水面下4mに設置

(2) 計測結果

図17, 18に10月14日~20日及び10月27日~11月2日の潮位、流向・流速(スティックダイアグラム)及び水温を示す。また図19~21にはそれぞれの期間の流向・流速の解析結果を示した。さらに図22, 23は塩分、濁度の時系列である。

1) 潮位 (図17, 18)

深度計による潮位と潮汐表に基づく潮高とは良く対応している。なお、図17は満月(10月14日)の後1週間、図18は新月(10月30日)の前後1週間である。

2) 潮位変化と流向・流速

・ 図17より10月14日~20日の比較的天候の穏やかな期間においては、上げ潮時を中心にNE方向に卓越した流れが発生している。また下げ潮時にはこの逆のSW方向を主とする流れが生ずるが流速は上げ潮時に比べ小さい。

・ 図18の10月27日~11月2日の期間では、下げ潮時にSW方向の流れが卓越するが上げ潮時には流速が小さく流向も一定しない。

・ この理由として10月27日~10月29日を中心に台風28号が南大東島付近を通過し、全体にSW方向を中心に海水の流れが生じたため、下げ潮時SW方向の流れが重畳され、SW方向に顕著な流れが生じたが、上げ潮時はNE方向の流れが相殺される結果この方向の流れが弱くなったものと解釈できる。

3) 流向・流速

① 流速頻度分布 (図19)

・ 10月10日~25日の間では0~4 cm/secの流速が全体の90%弱を占め、比較的穏やかな状態

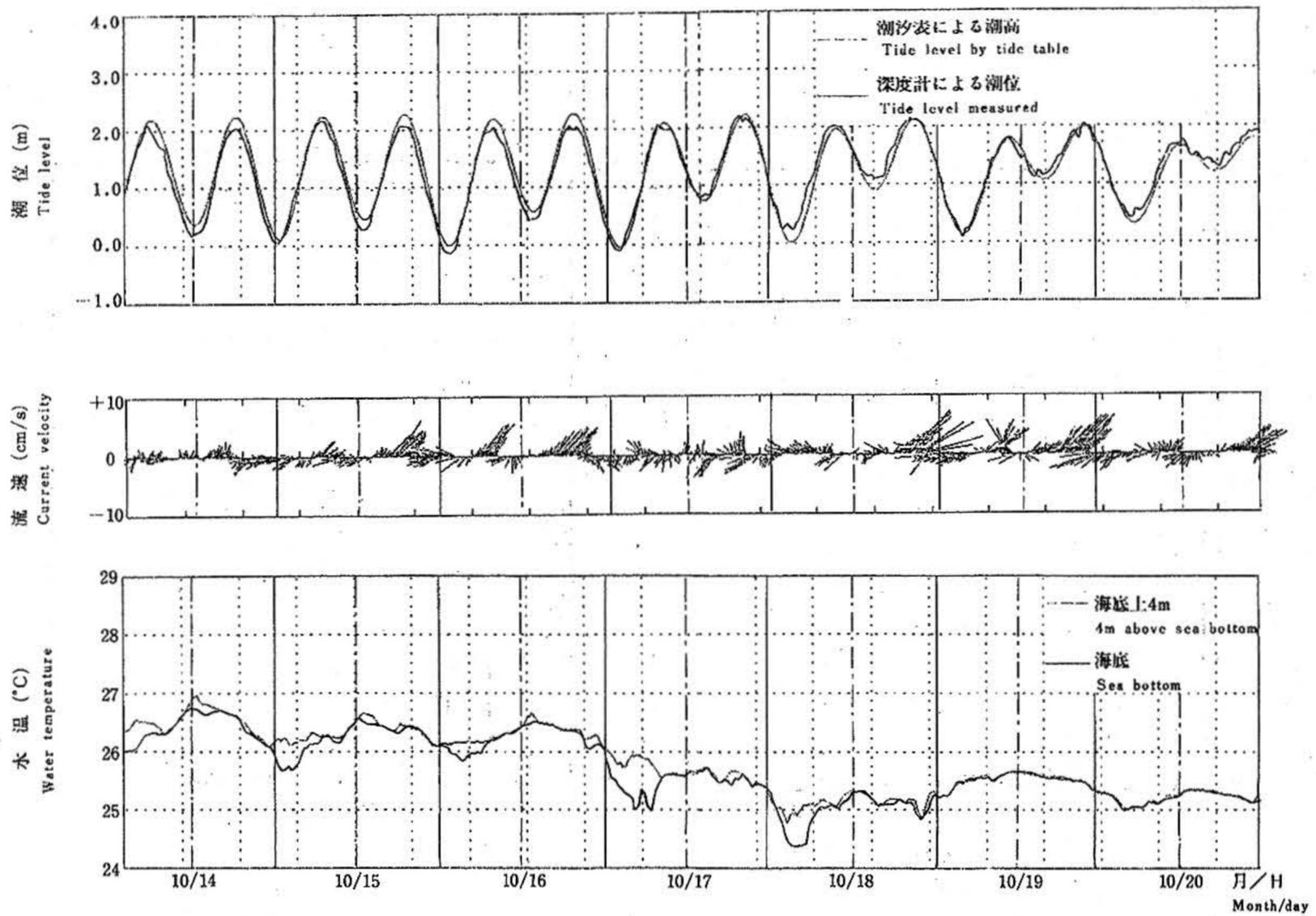


図17 潮位, 流向・流速, 水温観測結果 (人工ノル '89 10/14~10/20)

Fig.17 Tide level, current velocity, water temperature (Artificial knoll)

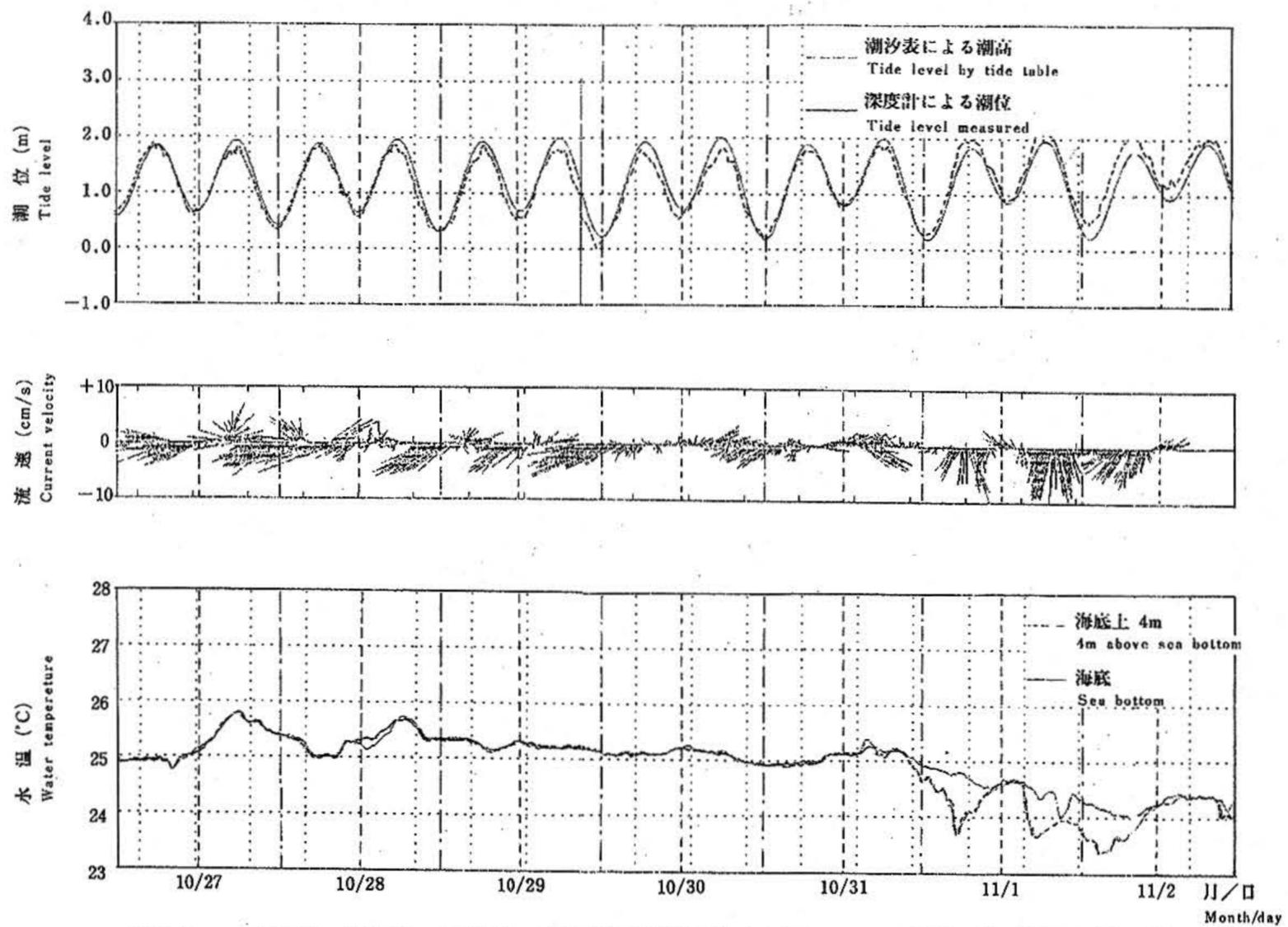
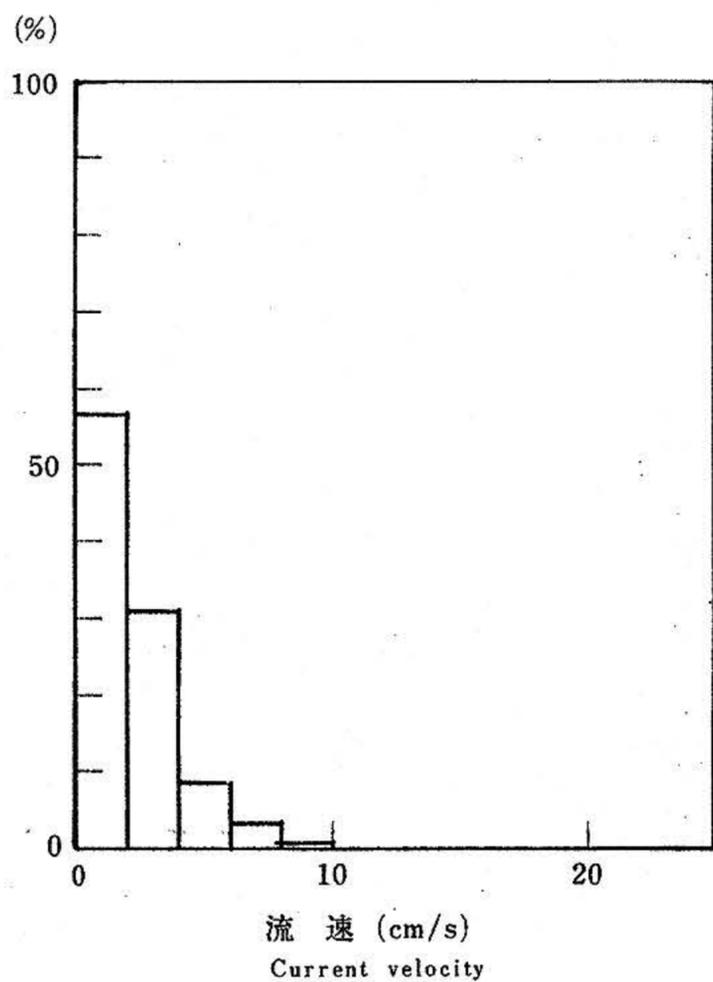
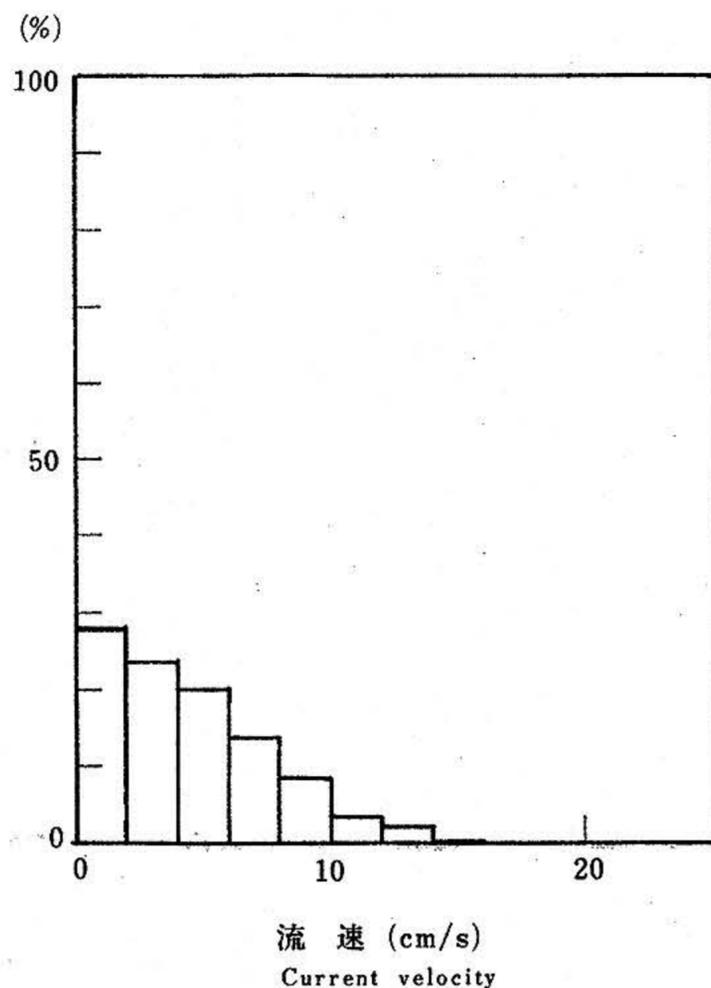


図18 潮位, 流向・流速, 水温観測結果 (人工ノル '89 10/27~11/2)

Fig.18 Tide level, current velocity, water temperature (Artificial knoll)



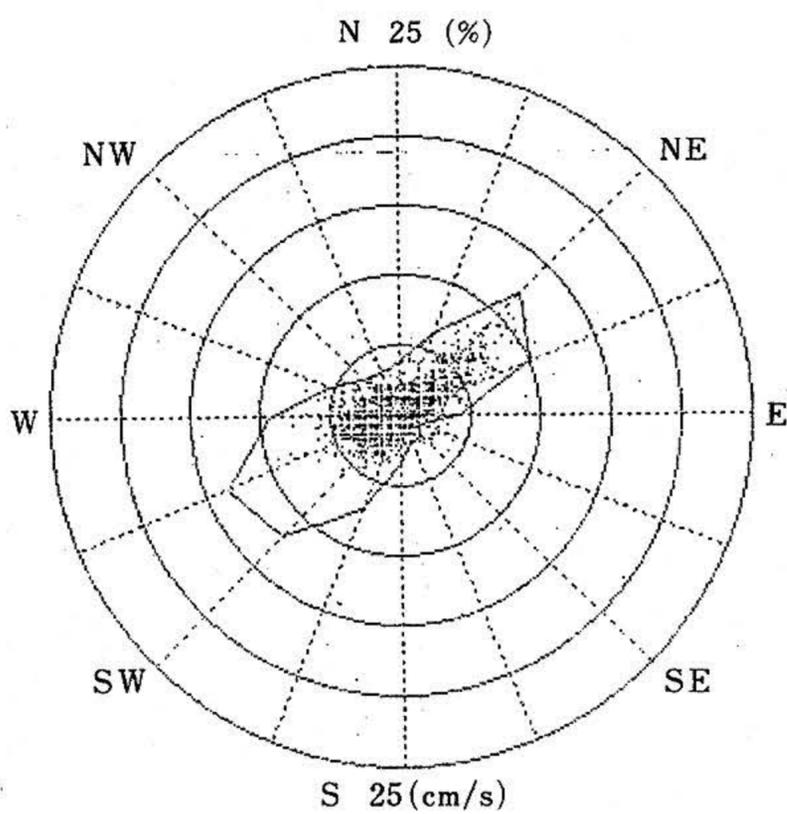
(a) '89 10/10~10/25



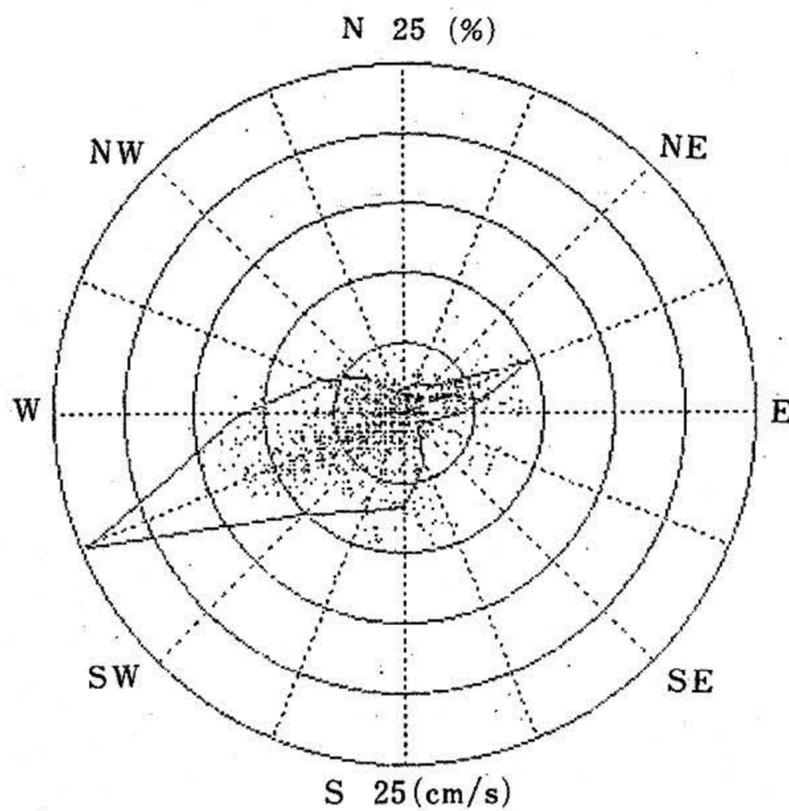
(b) '89 10/27~11/2

図19 流速頻度分布 (人工ノル '89 10/10~11/2)

Fig.19 Histogram of current velocity (Artificial knoll)



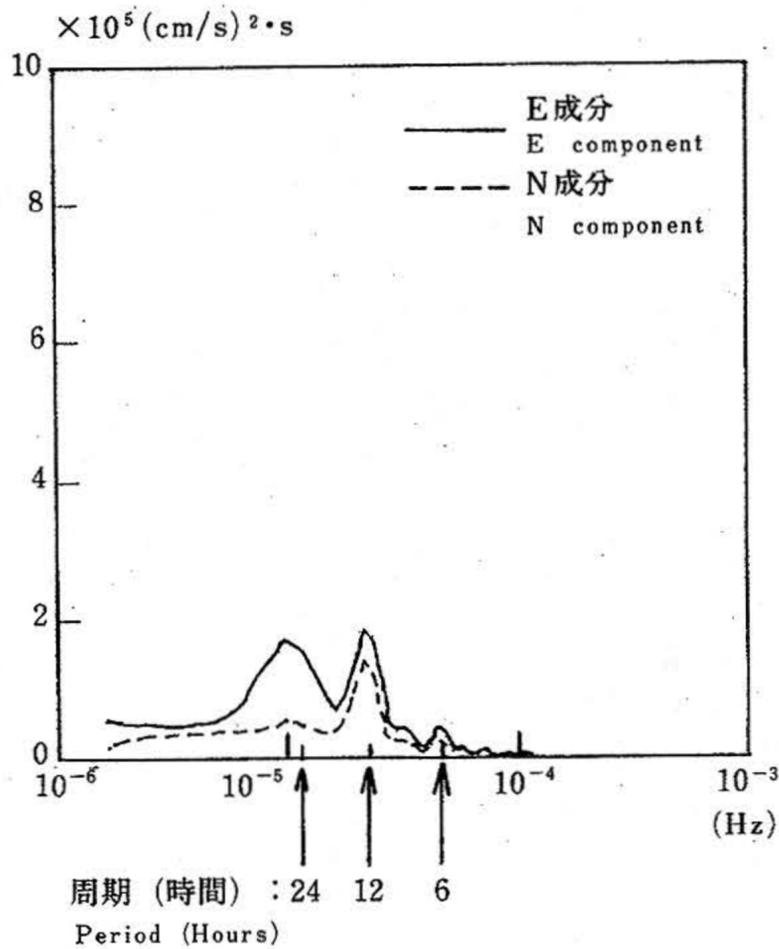
(a) '89 10/10~10/25



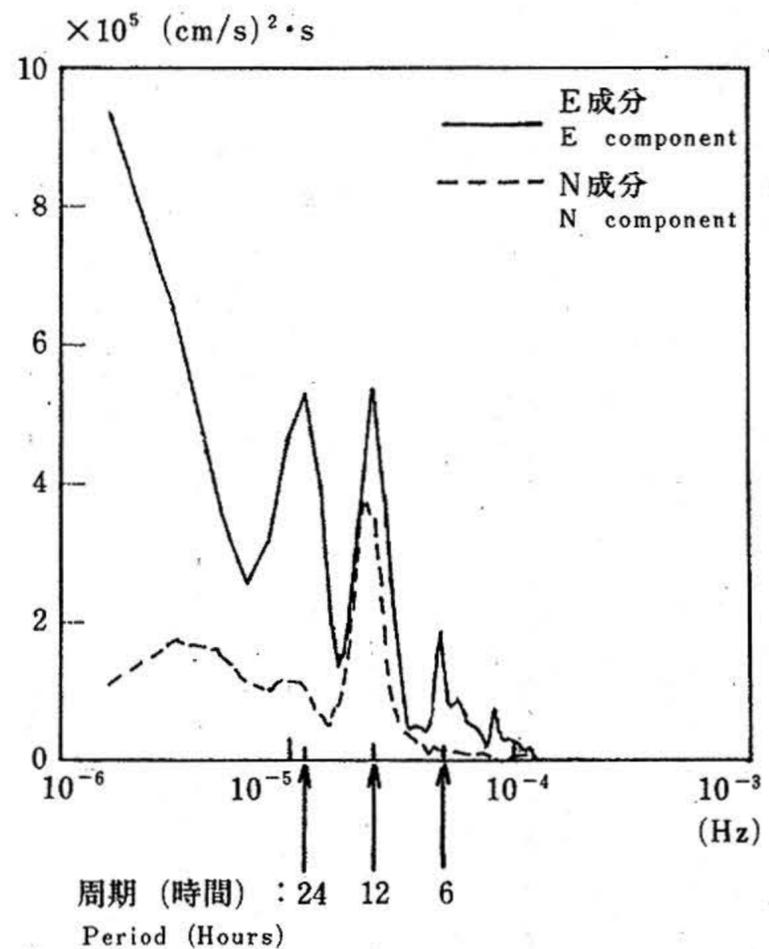
(b) '89 10/27~11/2

図20 流向頻度分布 (人工ノル '89 10/10~11/2)

Fig.20 Current direction frequency (Artificial knoll)



(a) '89 10/10~10/25



(b) '89 10/27~11/2

図21 流速スペクトル (人工ノル '89 10/10~11/2)
Fig.21 Current velocity spectry spectra (Artificial knoll)

であったことを示している。

・10月27日~11月2日の間では流速が0~10 cm/secの範囲に分布し、流速が上記期間より大きい状態にあったことがわかる。

②流向頻度分布 (図20)

・10月10日~25日の間、流れは主にNE-SW方向に生じている。

・10月27日~11月2日の間ではW~SW方向が大部分を占め、その反対方向は少ない。このことはSW方向を中心に比較的強い流れが存在したことを示している。

③流速スペクトル (図21)

・10月10日~25日、10月27日~11月2日の両期間ともE-W成分は12時間及び24時間の両周期において明らかなピークがみられるが、N-S成分には12時間周期のみが卓越している。

・10月27日~11月2日の間では、E-W成分において周期が24時間以上の成分が存在しており、潮汐による変化とは別に西向き恒流が発生していたことを示している。

4)水温

図17,18において、人工ノル設置海域の水温は深さ方向にほとんど差がなく、全体に安定した状態で推移している。また潮汐や流れとの間に直接的な関係がみられない。日中と夜間で表層水は1℃程度の変化を示しており、底層ではさらに0.5~1℃低下する傾向が見られる。しかし、ヒラビシ水路にみられるような急激な変化がないことは、この海域周辺がリーフに囲まれ、さらに陸に近い浅海域であるため海水温が均一化されるためと考えられる。また長期的には26℃から24℃へ漸減しており、この時期における水温の季節的推移に対応している¹⁵⁾。

5)塩分 (図22)

塩分は両期間とも全体的に34.5前後で安定しており、大きな変化は見られない。このことは人工ノル設置地点が陸水による影響をほとんど受けない地点であることを示す。なお、10月19日に塩分濃度が0.1程度低下しているが、10月18日23時頃から19日にかけて小雨程度の降雨があっ

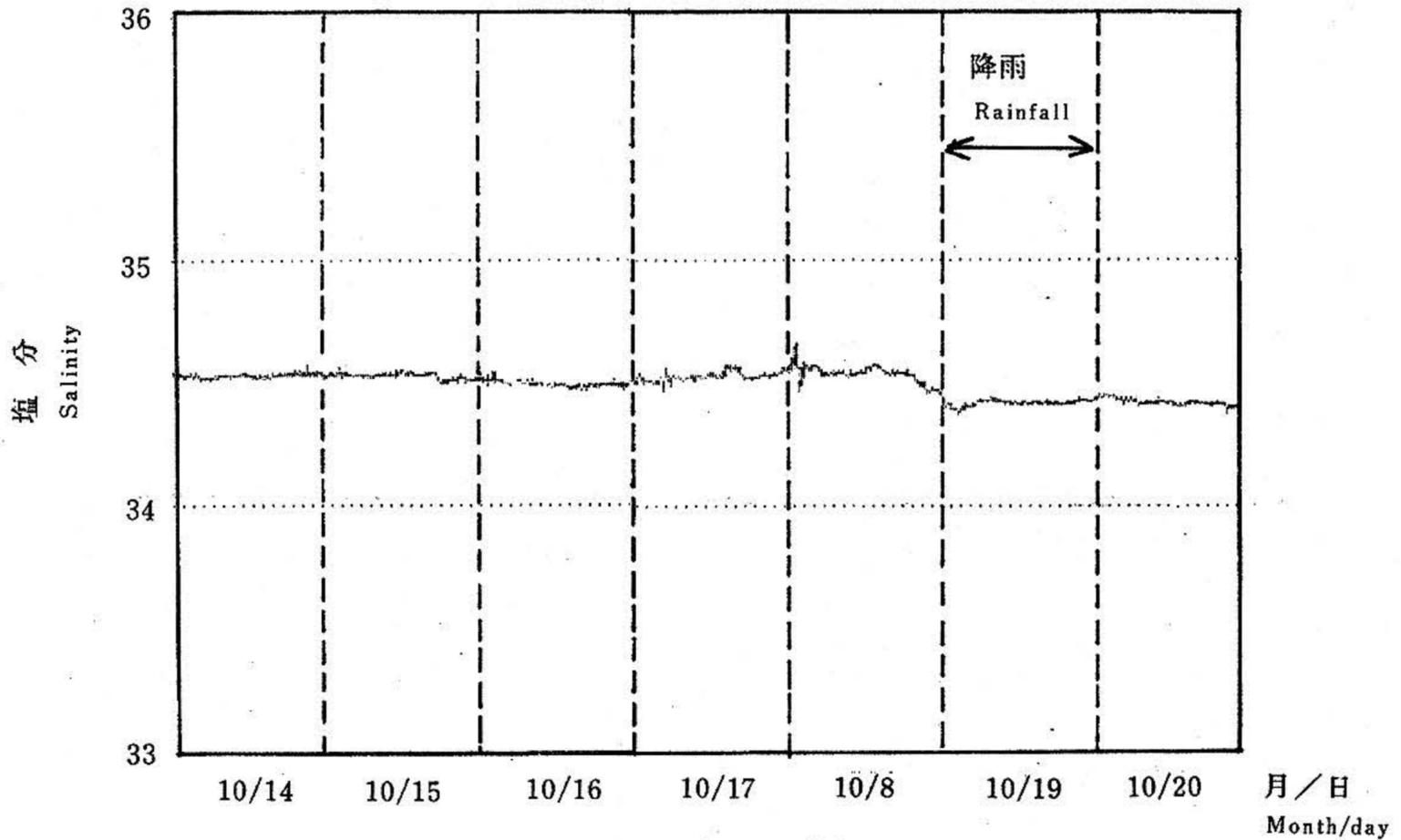
た。

6)濁度 (図 23)

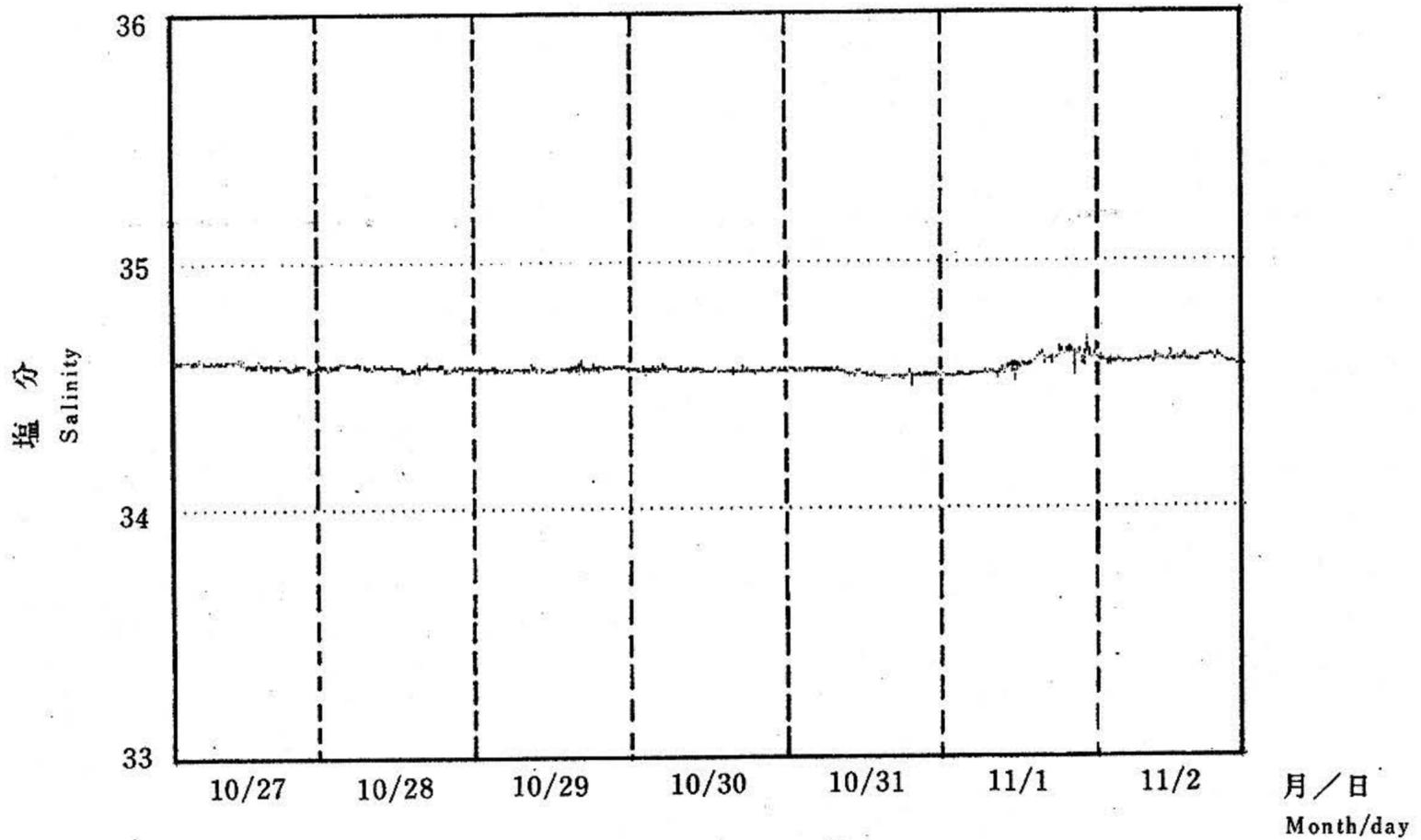
10月14日~20日の間では濁度は約2 ppmと沖合いと同程度の値を示している。しかし、10月27日~29日の間、濁度が7~8 ppmと非常に高くなっている。この時期台風28号が南大東

島付近を通過しており、人工ノル設置海域もその影響を受け荒れた状態となっていることが原因である。

以上の測定結果から、サンゴの生育環境条件は地形並びに気象・海象条件と密接な関係にあることが確認された。これらの観測は今後とも継続し



(a) '89 10/10~10/25



(b) '89 10/27~11/2

図22 塩分濃度 (人工ノル '89 10/14~11/2)
Fig.22 Salinity (Artificial knoll)

て実施し、海域環境に及ぼす気象・海象条件の影響を調査することにより、サンゴの生育に適した環境条件を明らかにする。

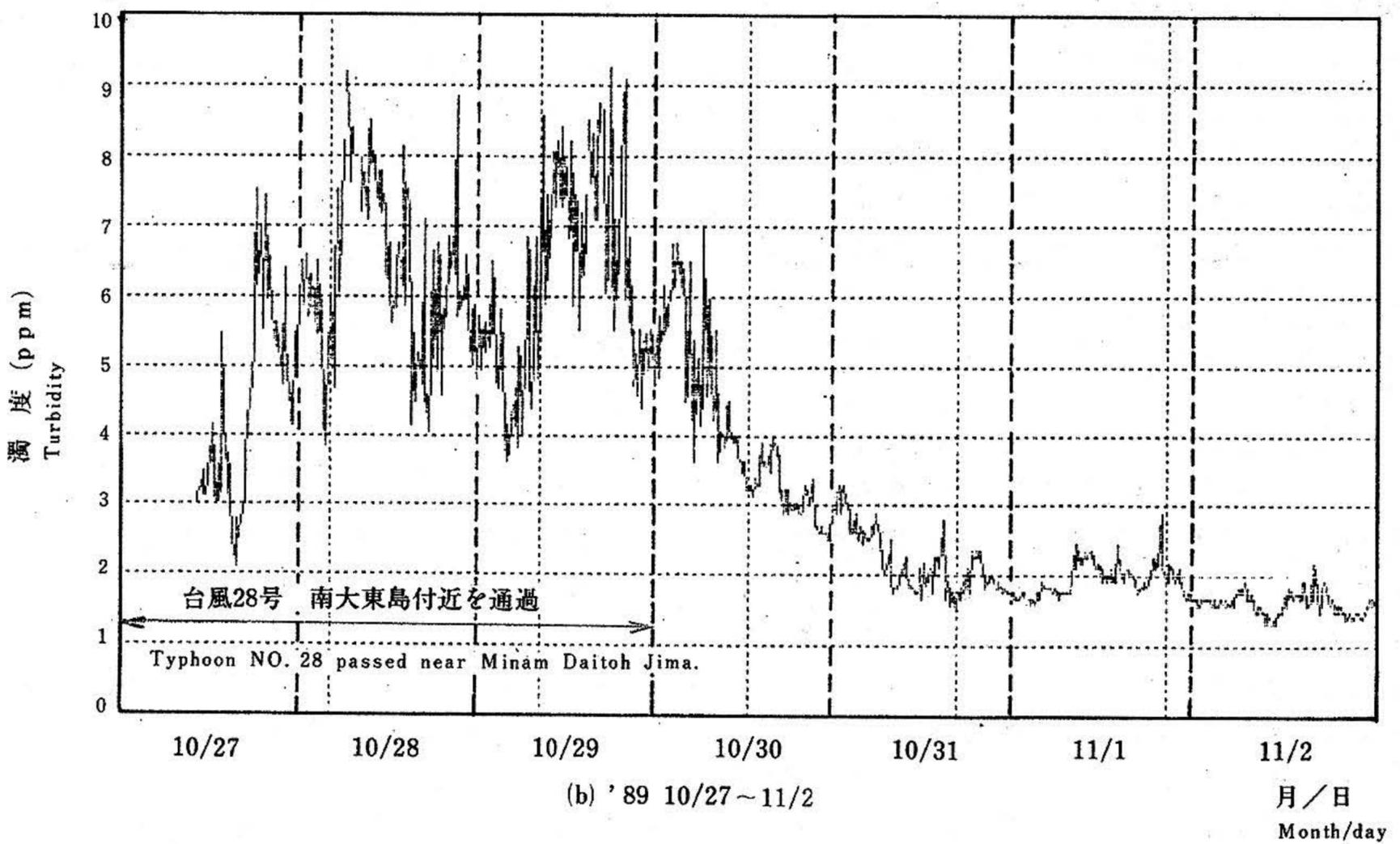
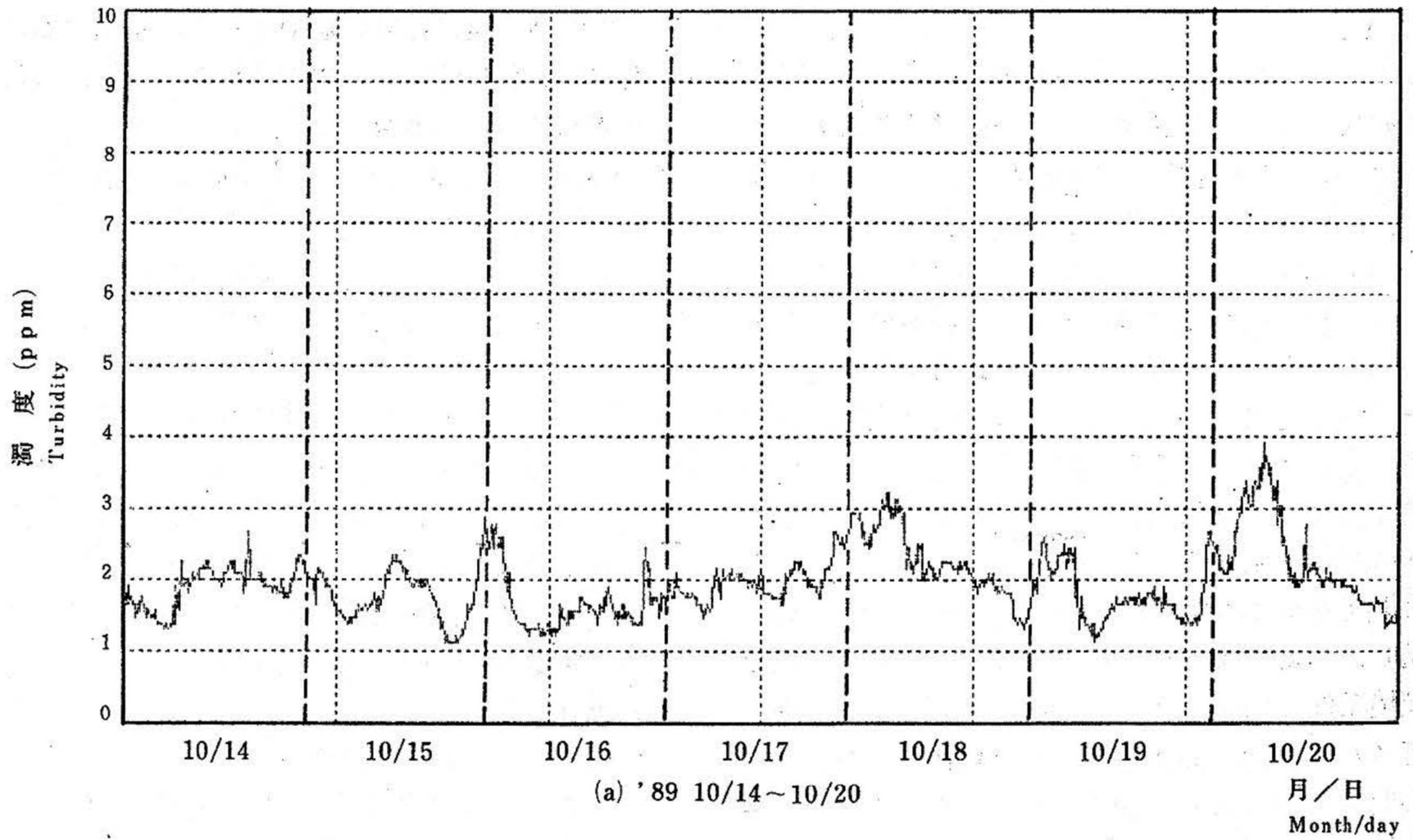


図23 濁度 (人工ノル '89 10/14~11/2)
Fig.23 Turbidity (Artificial knoll)

5 まとめ

世界でも有数の美しい景観を有していた沖縄サンゴ礁は、1970年代後半のオニヒトデの大発生と赤土などの被害により大きな打撃を受け、元の状態に回復するまでには数十年かかると考えられている。

本研究開発ではサンゴ礁を主としたサンゴ礁生物群集の復元を促進する技術を開発するため、サンゴの持つ無性生殖能力を活用してサンゴを人為的に移植・増殖する技術を確立する。このためサンゴ礁造園モデル地区にサンゴ移植基盤を設置し、サンゴ破片を移植するとともに、移植サンゴの生育状況やサンゴを取り巻く海水環境を連続的にモニターすることによってサンゴ移植技術を実証する。これまで沖縄本島南部の知念村地先をサンゴ礁造園モデル海域に選定し、距岸約1 km、水深5 mの海底にサンゴ移植基盤である人工ノルを設置するとともに、約600片のサンゴ破片を移植した。また移植サンゴの観察並びに周辺海域の環境条件を計測するための観測ステーションを人工ノルの近傍に設置し、サンゴ移植技術の開発に必要なサンゴ移植・観測システムを確立した。現在移植サンゴは順調に成長を続けており、上記システムがサンゴ移植に有効に作用していることが確かめられつつある。

今後、移植サンゴの生育状態と周辺の環境条件を継続して観察し、サンゴ移植技術を確立するとともに、さらにサンゴの生育環境に影響を及ぼす海水流動についても調査し、それらの関係を明らかにする。そのため以下の内容について調査研究を行う。

(1) サンゴ生育に関する環境条件調査

サンゴの生育に適した環境条件を明らかにするため、サンゴ移植実験地点、天然のサンゴが豊かに生育している場所並びにその近傍でサンゴの生育がほとんど見られない場所に対して環境条件を調査し、比較検討する。

(2) 海水流動特性に関する調査

海水流動特性について調査し、サンゴ生育環境に及ぼす影響を明らかにする。

1) サンゴ礁造園モデル海域の海水流動特性に関する調査

サンゴ礁造園モデル海域において、海水流動特

性並びに物理的環境条件を調査し、サンゴの生育に欠かすことのできない外洋水の流入や、サンゴの成長阻害の原因となる懸濁物の流入・流出のバランス等を調査する。

2) 中城湾の海水流動特性調査

中城湾の湾口に並ぶ島やリーフの水路における海水の流動特性、さらに中城湾の広い範囲における流れについて調査する。

3) リーフを越えて流入する海水の挙動調査

一般に波浪はリーフによって碎波し、リーフの外側と内側及びリーフ上で流れが変化する。このためリーフの内外及びリーフ上で流向・流速を計測し、リーフが波浪に与える影響を調べる。

最後になりましたが、本調査をすすめるにあたり多くの方々から協力をいただきました。実験海域の選定の際には、琉球大学理学部海洋学科教授氏家宏座長、沖縄県企画調整室参事玉城邦彦委員、知念村漁業協同組合組合長照喜名朝進委員をはじめとするサンゴ礁造園技術研究会の各委員に御討議賜りました。

観測ステーション及び人工ノルの設計製作には、三井造船(株)古賀哲郎氏、琉球造船鉄工(株)津波古喜久課長、電力設備の設計には大和精工(株)谷口栄一課長、また設置には協栄海事土木(株)寄川博次工事部長の協力を得ました。

サンゴの移植作業には、照喜名朝金、屋比久莊実、平良正哉氏の協力を頂きました。さらに、海域調査ならびにデータ解析・整理には当センター安田哲也研究員、河野健研究員、知念実験本部東恩納栄子氏のご協力を頂きました。これらの方々には心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 琉球大学公開講座委員会：沖縄のサンゴ礁、(1986)
- 2) Nishihira, M.: Natural and human interference with the coral reef and coastal environments in Okinawa, *Galaxea*, 6, pp.311-321, (1989)
- 3) Kudo, K., Yabiku, T.: Aquamarine project in Okinawa, *TECHNO-OCEAN '88*, International Symposium, (1988)
- 4) 工藤君明, 本多牧生：沖縄本島周辺サンゴ礁

- の現況調査, JAMSTEC TR 21, (1989)
- 5) 海洋科学技術センター: サンゴ礁造園技術の研究開発, 昭和 62 年度調査研究報告書, (1988)
 - 6) 西平守孝: サンゴ礁の渚を遊ぶ, ひるぎ社, (1989)
 - 7) 續辰之介, 工藤君明: 無性生殖の応用によるサンゴ群集の復元方法, JAMSTEC TR21, (1989)
 - 8) 石川侃: 竹ヶ島海中公園のサンゴ移植活動に従事して, 海中公園情報, 第 77 号, (1988)
 - 9) Ujiie, H., Yamamoto, M., Okitsu, M., and Nagao, K.: Sedimentological aspects of Nakagusuku Bay, Okinawa, Subtropical Japan, *Galaxea*, 2, pp.95-117, (1983)
 - 10) 氏家宏: 琉球弧の海底-底質と地質-, 新星図書出版(株), (1986)
 - 11) 日本港湾協会: 港湾構造物設計基準 第 8 章 土質条件, 2-8-1~2-8-4, (1970)
 - 12) Kobayashi, A.: Regeneration and regrowth of fragmented colonies of the hermatypic corals, *ACROPORA FORMOSA* and *ACROPORA NASUTA*, *Galaxea*, 3, pp.13-23, (1984)
 - 13) 福岡県: アラメ, クロメ藻場造成試験, 昭和 62 年度海域総合開発事業, (磯根漁場造成事業調査), (1987)
 - 14) 洋上太陽光発電システム(マリンソーラー)電着漁礁における生成物の物理的定量試験最終報告書, 三井造船, (1989)
 - 15) 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編: 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 1070pp., (1985)
(原稿受理; 1989 年 12 月 6 月)