

## 第2章 自然環境の変化要因となる物理学的状況

### 1. 潮流・河川水動態の定点調査

平成14年度に実施した秋期の調査に加え、平成15年度にはサンゴ産卵期に合わせて春期の現地調査を実施した。石西礁湖での大局的な海水の流動構造・濁質輸送・水温特性について、これまでに実施した調査の結果を示す。

#### (1) 調査期間

秋期調査：2002年10月上旬から12月上旬（平成14年度実施分）

春期調査：2003年5月上旬から7月上旬

#### (2) 地形的特徴と観測地点

石西礁湖は、大部分が水深20mより浅く、ラグーン内部および周囲に島や礁原が存在して若干閉鎖的な特徴をもつ海域となっている。また南側の外洋は急峻な斜面となっており、北側の外洋は比較的ゆるやかな斜面で、陸棚が続いている（図2-1-1）。

なお、観測地点は図2-1-2に、各地点での調査項目は表2-1-1に示すとおりである。

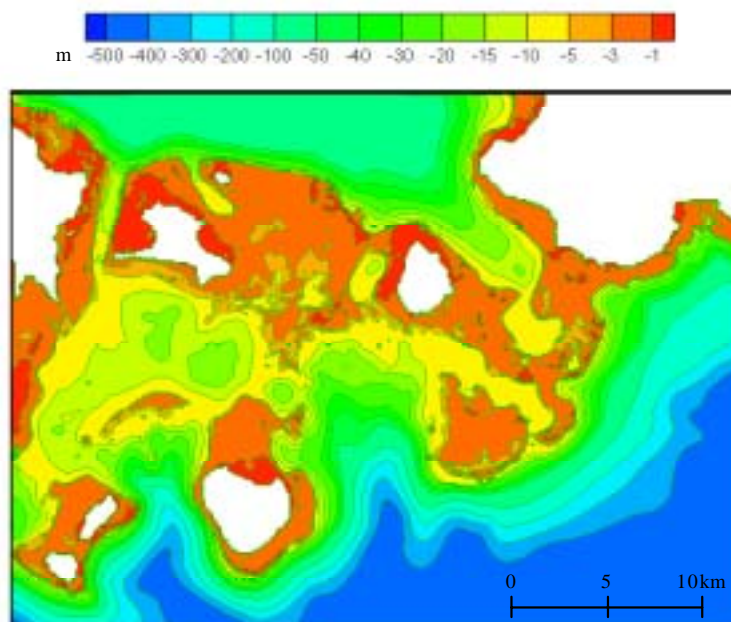


図2-1-1 石西礁湖の水深



### (3) 気象

#### 【風向と風速】

秋期では北東あるいは北北東風が卓越しており、春期では南あるいは南南西風が卓越していた(図2-1-3)。また、石垣の地上気象台における風速と黒島で測定した風速を比較すると、特に強風時では黒島における風速の方が大きくなる傾向があった。

#### 【雨量】

石垣における秋期の総降雨量は784mm、春期の総降雨量は380mmであった。各月の降雨量の平年値と比較すると(図2-1-4)、秋期では2002年10月に、春期では2003年6月に平年値を上回る降水量があった。

#### 【日射】

2002年1月から2003年7月の1日平均日射量を図2-1-5に示す。秋期では全体的な傾向として徐々に日射量が低下し、春期では徐々に上昇した。平均値では春期のほうが秋期よりも日射量が大きかった。

#### 【気温】

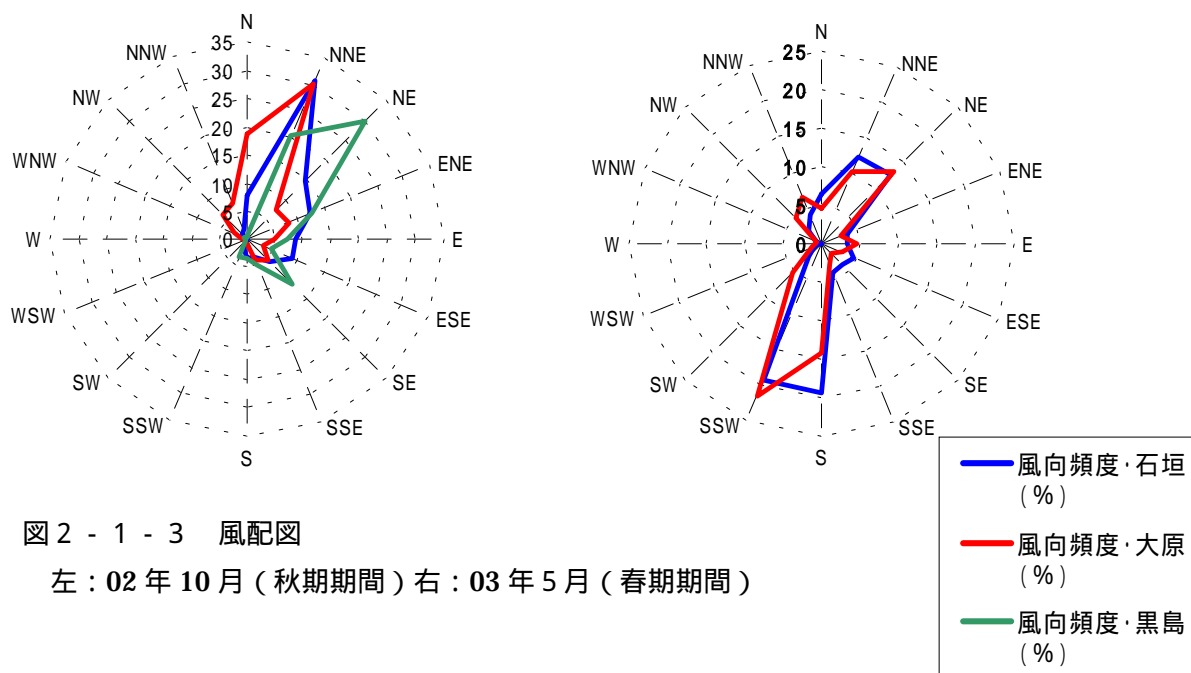
秋期の1日平均気温は18~28の間で徐々に低下しており、春期の1日平均気温は24~30の間で徐々に上昇していた(図2-1-5)。

#### 【イベント的気象時の状況】

秋期にはいくつかの台風が接近した。特に、台風6号は2003年6月18日に石西礁湖を直撃し、最大風力21.7m/s、有義波高は石西礁湖南側外洋において最大で6.1mを記録した。気象・海象条件の変化を図2-1-6に示す。

#### ・降雨

秋期および春期両期間における降雨イベント時の総降水量と1時間最大降水量は表2-1-1に示すとおりである。



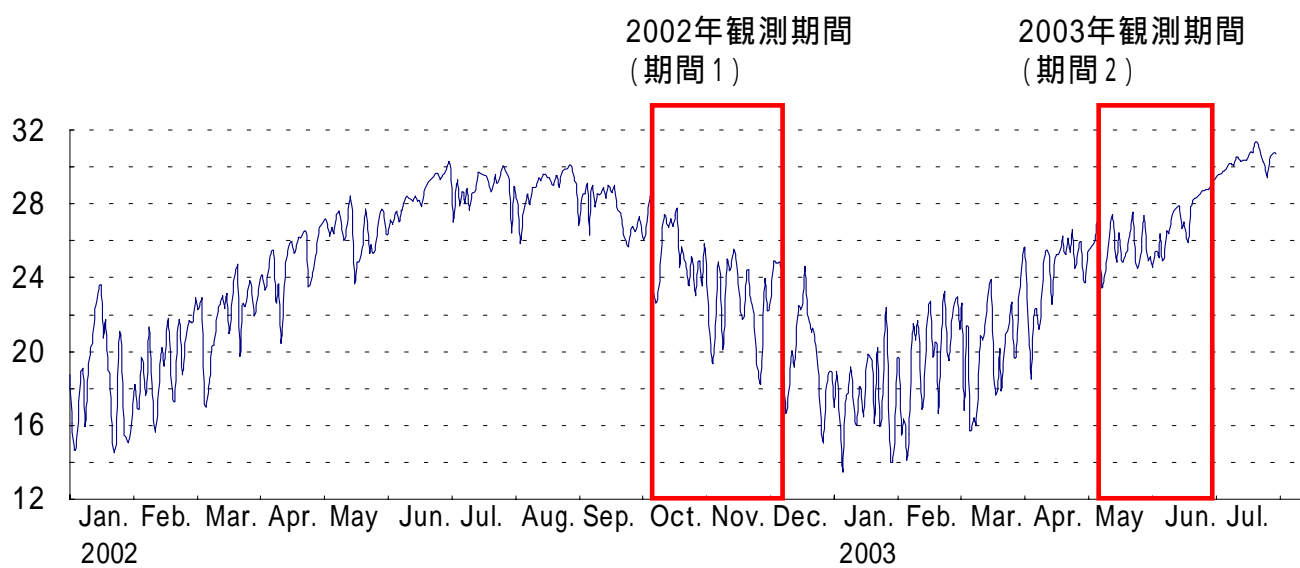
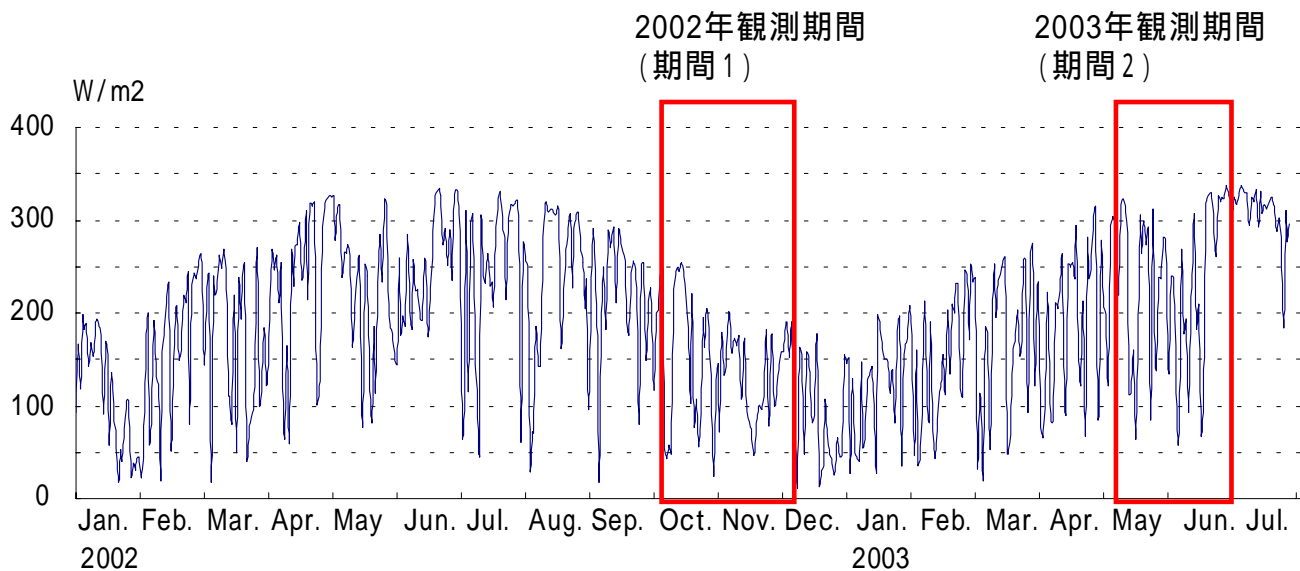


図2 - 1 - 5 石垣における1日平均日射量(上図)と一日平均気温(下図)

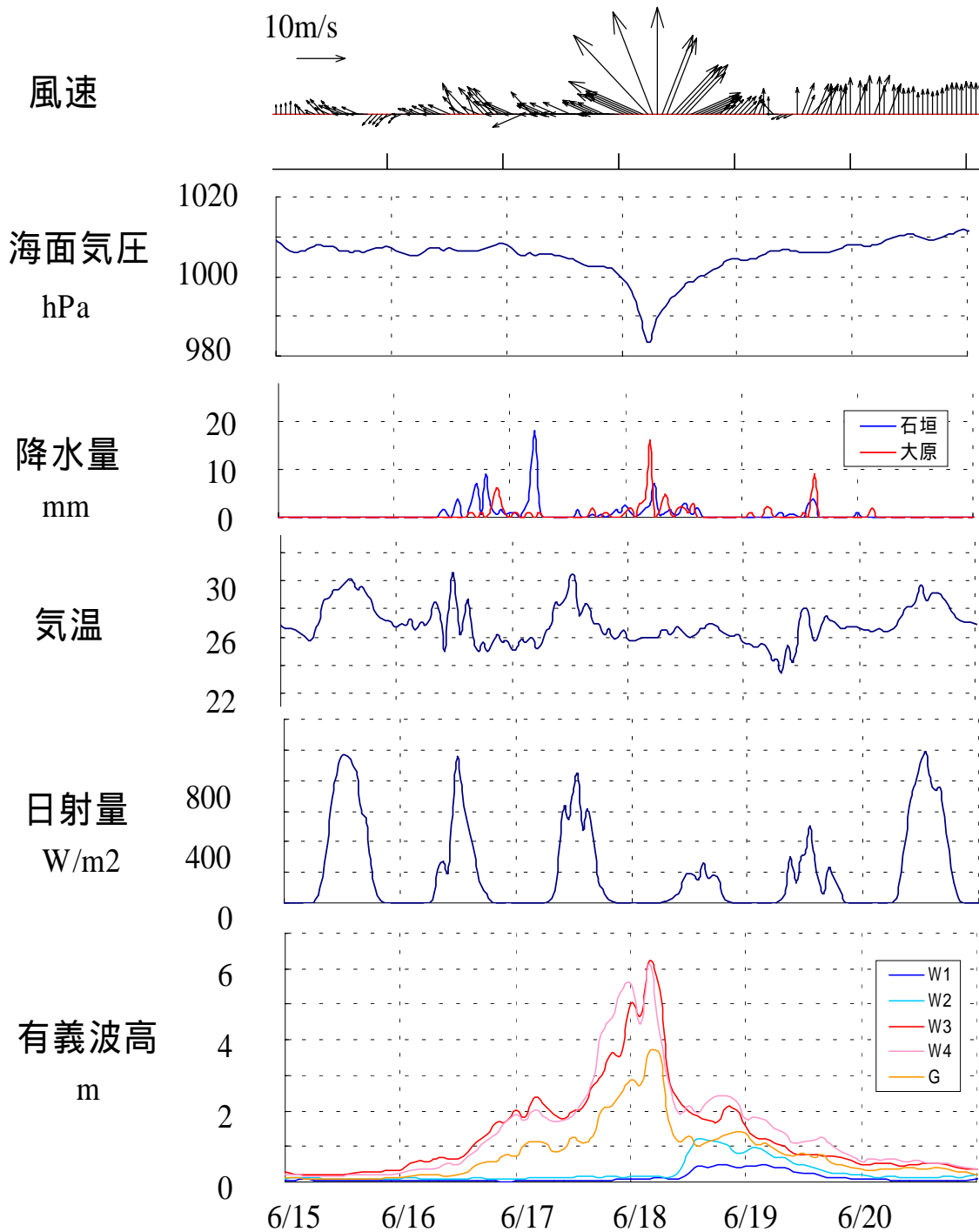


図 2 - 1 - 6 台風通過前後の気象・海象状況

表 2 - 1 - 1 降雨イベント時の降水量

	期間		石垣	大原
2002年秋期	10月7日～12月7日	総降水量(mm)	784.0	542.0
降雨イベント	10月18日～10月19日	イベント中の総降水量(mm)	118.5	94.0
		一時間最大降水量(mm)	33.5	25.0
降雨イベント	10月29日～10月30日	イベント中の総降水量(mm)	339.0	124.0
		一時間最大降水量(mm)	67.5	25.0
2003年春期	5月8日～7月4日	総降水量(mm)	380.0	394.0
降雨イベント	6月6日～6月8日	イベント中の総降水量(mm)	212.5	206.0
		一時間最大降水量(mm)	32.0	48.0
降雨イベント	6月16日～6月20日	イベント中の総降水量(mm)	100.0	62.0
		一時間最大降水量(mm)	18.0	16.0

#### (4) 海水流動

石西礁湖内の各観測地点における流速から調和解析により潮流成分を抜き出した結果を図2-1-7に示す。潮流成分が最も大きく、その中でも M2 分潮 (12.42 時間周期) の成分が最も卓越していた。潮流の特徴として、主軸方向が明確で、流速の変動幅、主軸方向、潮流の位相が場所により大きく異なっていた。

潮流以外の流速成分 (以後平均流と呼ぶ) について、各観測期間における平均値を比較すると、流速自体は小さいが両期間の傾向は異なっていた (図2-1-8)。秋期では E 地点 (ウマノハビー北) や I 地点 (黒島北) など、西向き成分を持つ地点が多い。これは全期間の平均風速ベクトルが南西向きであることと対応しており、吹送流が平均的に西向きであったため、その影響をうけたと考えられる。春期では平均風速ベクトルは小さく、また平均流速ベクトルについても明確な傾向は見られなかった。

潮流の年間を通じた変動の要因としては、起潮力自体が年周期などで変動していることによるものと、平均海面が季節的に上下することによる。起潮力に対する応答の変化がある。しかし、これらの影響は小さいと考えられる。

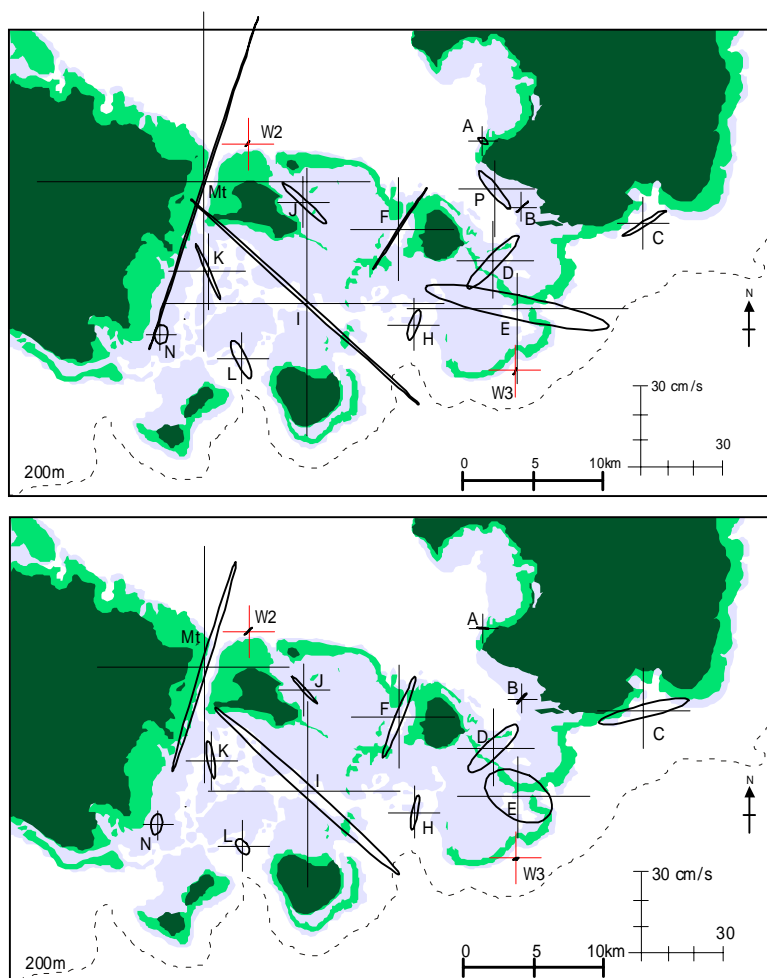


図2-1-7 潮流楕円 (M2分潮) (上: 秋期、下: 春期)

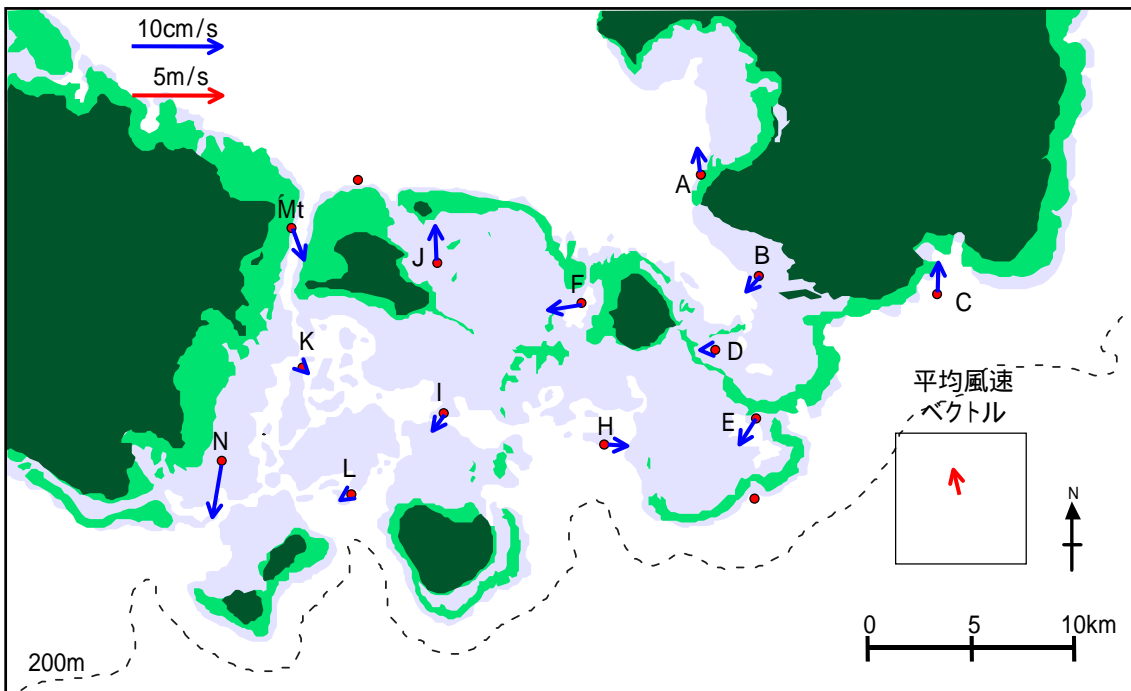
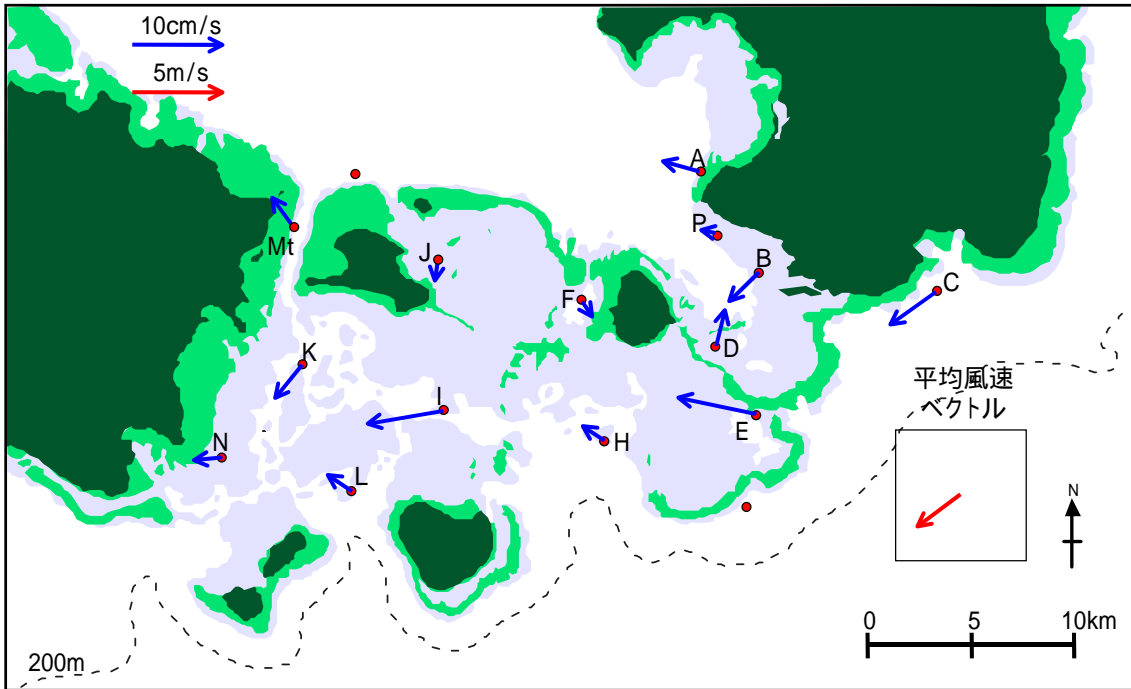


図2 - 1 - 8 平均流速ベクトル (上：秋期、下：春期)

## (5) 水温特性

### ・局所的加熱, 冷却効果

各期における平均表層水温をみると(図2-1-8)、秋期では、外洋側に比べて石西礁湖内の方が低水温となる傾向があった。特に水深が浅い海域や外洋との海水交換があまりないところでは数日スケールの水温低下が顕著であり、これは気温の低下などの気象擾乱に対する低温化応答幅が大きく現れることによると考えられる。A地点(名蔵湾南)、J地点(小浜島東)、N地点(西表島南東)などの地点で特に顕著であった。一方、春期の平均表層水温をみると、場所による違いはそれほど顕著ではなかったが、小浜島東の浅い海域などでは高水温となる傾向が見られた。

### ・外部潮汐による熱の水平移流効果

水深による加熱・冷却効果の影響の違いにより、石西礁湖内と外洋では水温のコントラストが生じるため、それらの水塊をつなぐ水路周辺では、水平移流効果による潮汐周期の水温変動が生じる。M地点(ヨナラ水道)、I地点(黒島北)、E地点(ウマノハピー北)などで水平移流の効果が顕著であった。

### ・外洋水塊の貫入

石西礁湖北側外洋では2003年6月22日に急激な水温上昇がみられた。水柱全体の水温が約1℃上昇しており、水面下5mでは約27℃から約28℃へと変化していた。O2地点(北西側外洋)では22日0時頃、O1地点(北東側外洋)では22日12時頃に水温上昇が起きていた。南側外洋のO3地点ではこのような水温上昇はみられない。この水温変動は黒潮の分枝流によるものと考えられる。黒潮の分枝流による暖水塊が石西礁湖内へ貫入したことにより、例えばF地点(竹富島西)では23日午後から24日0時頃にかけて約1℃上昇(底層で27℃から28℃)がみられ、K地点(小浜島南西)では22日0時から23日0時頃にかけて全水深で約1℃上昇していた。J地点は平均の水温レベルが高く、すでに28℃近くあったため、暖水塊によると思われる水温上昇はみられなかった。このときの北側外洋からの暖水塊の影響はA、B、D、F、I、K、M地点でみられたが、E、H、L、N地点では見られず、影響は及んでいないようであった。



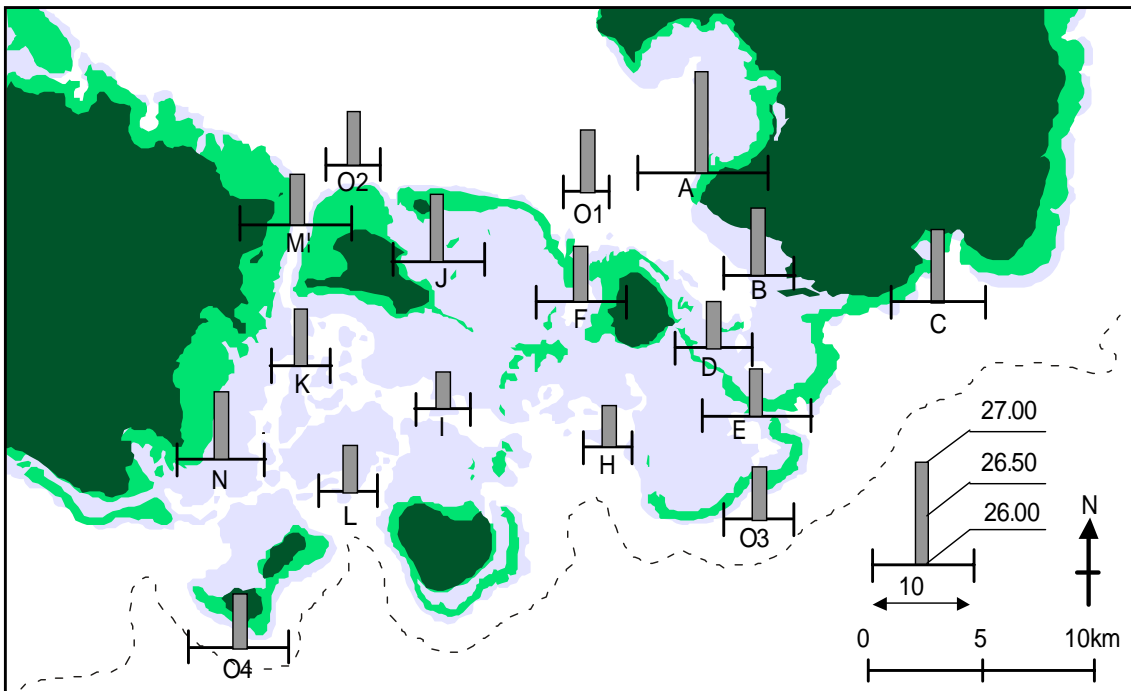
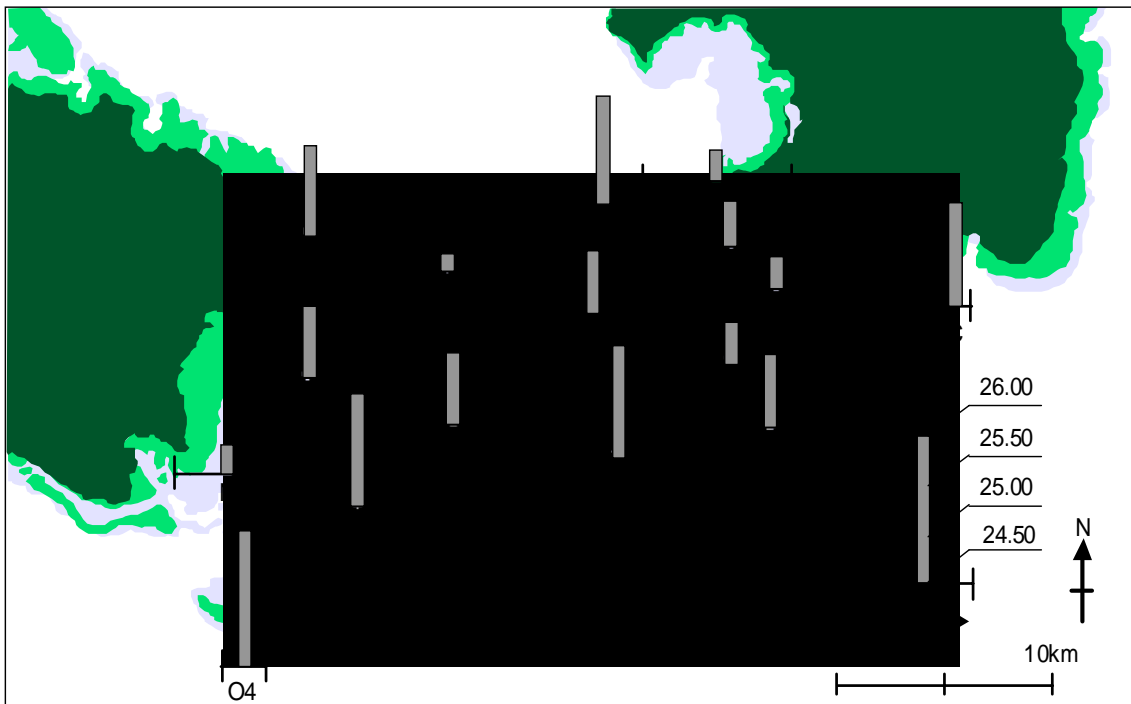


図 2 - 1 - 9 表層水温平均値と1日変動幅の平均  
(上：秋期、下：春期)

## (6) イベント時における物理環境特性

### ・出水時

- 淡水・濁質輸送特性 -

02年10月19日頃と03年6月7日頃における降雨イベント時における塩分低下量と濁度上昇量を図2-1-10に示す。10月19日のデータ中O2、O3、I、Mt地点における塩分の値と6月7日のデータ中O3、O4、C、H、J地点における塩分の値、C、E地点における濁度の値は台風などによる測器の流出、測器の不具合等によって欠測となっている。

両期間において出水時の顕著な濁度上昇量は石垣島および西表島周辺に限られることがわかった。また、特に石垣側の方が西表側に比べて濁度上昇が顕著であり、石垣島からの赤土流入の割合が大きいことがわかった。

### ・台風時

- 淡水・濁質輸送特性 -

03年6月18日頃の台風通過時における塩分低下量と濁度上昇量を図2-1-11に示す。塩分低下量はMt、N地点を除くとそれほど大きくないが、濁度上昇量は全地点で大きな値となっていた。これは台風による底質の巻き上げによるものであると考えられる。

- 水温特性 -

台風通過前後の外洋における水温は、6月15日までは気象・海象条件は平常時とほぼ変わらず、16日頃から風速や波高が大きくなり、降雨も始まっている。石西礁湖北側外洋のO1、O2地点の水温を見ると、16日から18日頃にかけて内部潮汐による変動幅は小さくなり、表層付近の水温は次第に低下している。これは、台風により海水の鉛直混合が起きていることを示している。O2地点では水面下5mの水温は、台風通過前は約27であり、2~3日かけて25.5位まで低下しており、その後数時間経つと約26.8まで水温レベルは回復するが、その約3日後に暖水塊が及んでくるまで台風通過前の27まで上昇する事は無かった。

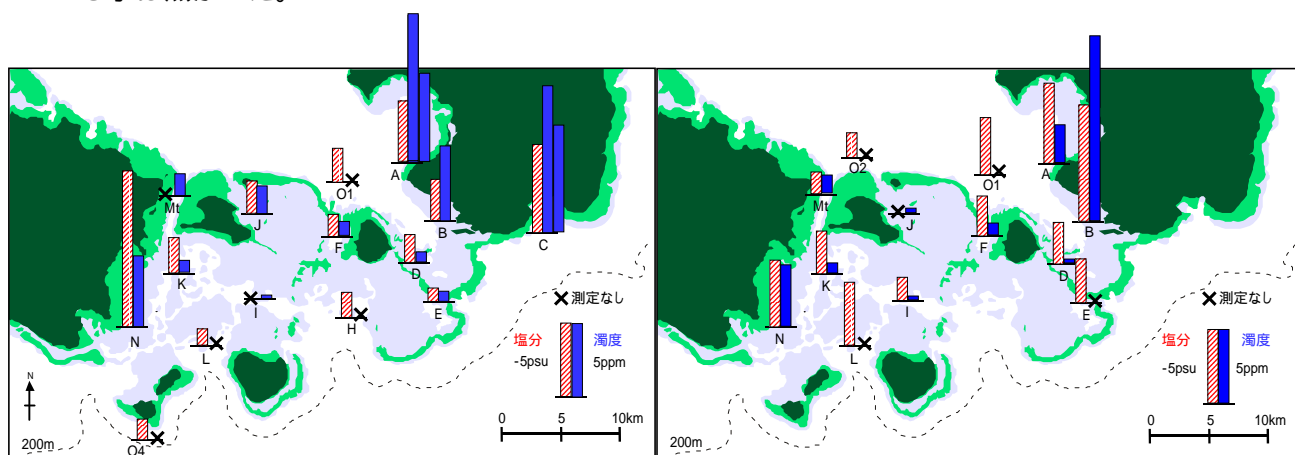


図2-1-10 出水時の塩分低下量および濁度上昇量（左：秋期、右：春期）

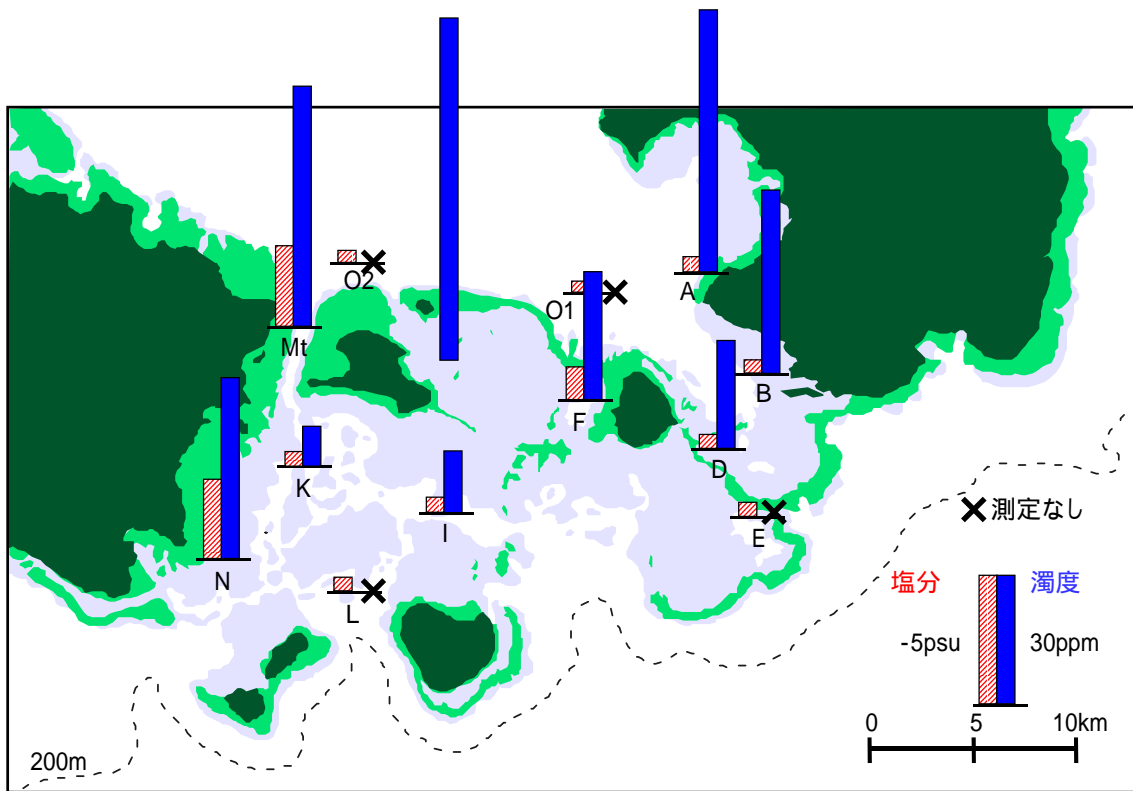


図 2 - 1 - 11 台風通過時の塩分低下量および濁度上昇量

## 2. 漂流ブイ観測・サンゴ幼生サンプリング

サンゴ幼生等の輸送経路を調べるために、サンゴの一斉産卵期に漂流ブイを用いて表層流の動きを追跡した。

同時にサンゴ幼生のサンプリングを行い、その密度を調べた。

### (1) サンゴ幼生輸送特性

2003年5月12日の夜から石西礁湖内でサンゴの産卵が観察されており、その後数日間にわたって産卵が起っていた。5月16日から19日にかけてGPS搭載漂流ブイを用いてサンゴ幼生を想定した表層粒子の追跡を行った。その結果、漂流ブイは非常に複雑な経路を取りながら全体的に南側へ輸送される傾向が見られた(図2-1-12)。この時期の風は図2-1-13に示すように産卵が始まった5月12日から15日昼頃までは南風が卓越し、産卵時期の後半および漂流ブイ観測を行った期間は北あるいは北東風が卓越していることから漂流ブイが南側へ流れた主な要因として、風による吹送流が効いていると考えられる。つまり、漂流ブイの追跡によって、産卵時期の後半に産まれたサンゴ幼生の一部分は石西礁湖の南側外洋へと輸送されたことが示唆された。

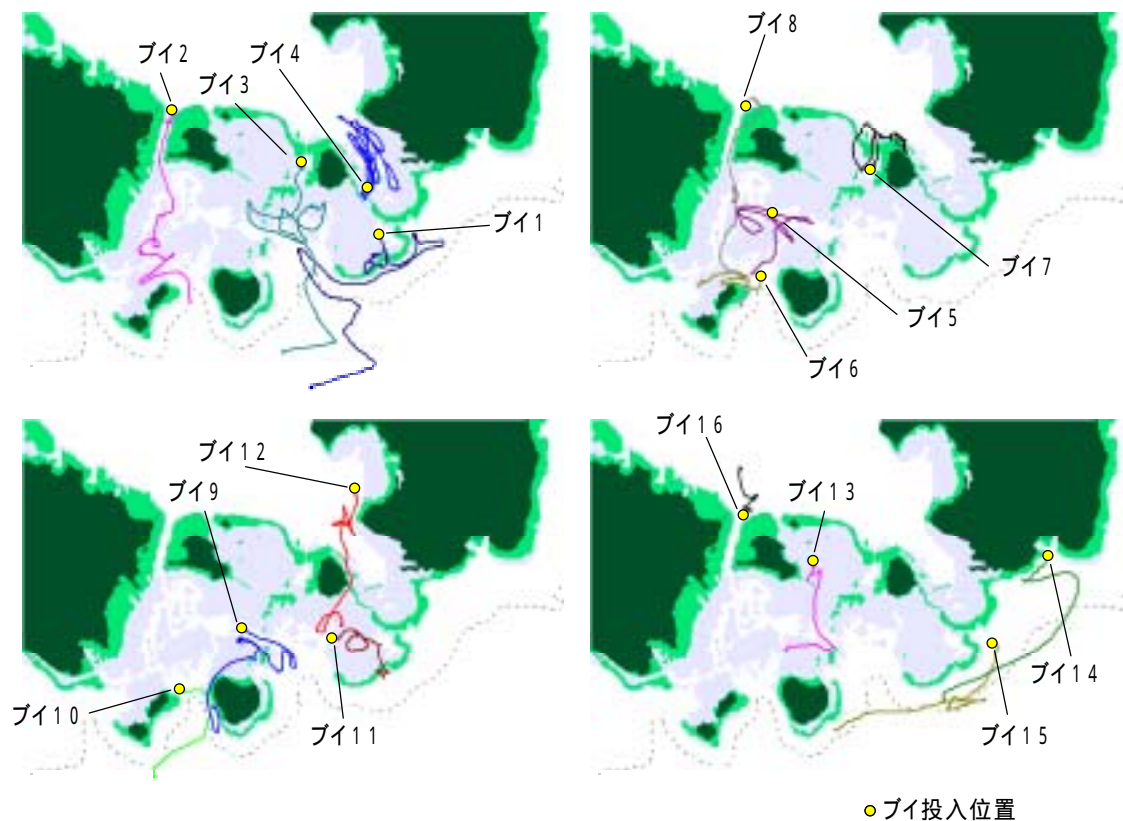


図2-1-12 漂流ブイの軌跡

漂流ブイ観測と同時期に行ったサンゴ幼生採集の結果によると、石西礁湖北側外洋にも高密度でサンゴ幼生が存在していたが（図2-1-14）、石西礁湖内で産まれた幼生が北側の外洋へ輸送されたのか、あるいは他の海域からのものであるのか、現在のところ不明である。

また、採集した幼生の形状の時空間変化をみると、5月16日から18日にかけて、石西礁湖内の幼生の平均的な形状が次第に細長くなっていき、サンゴ幼生が石西礁湖内で滞留する過程の存在が示唆された（図2-1-15）。

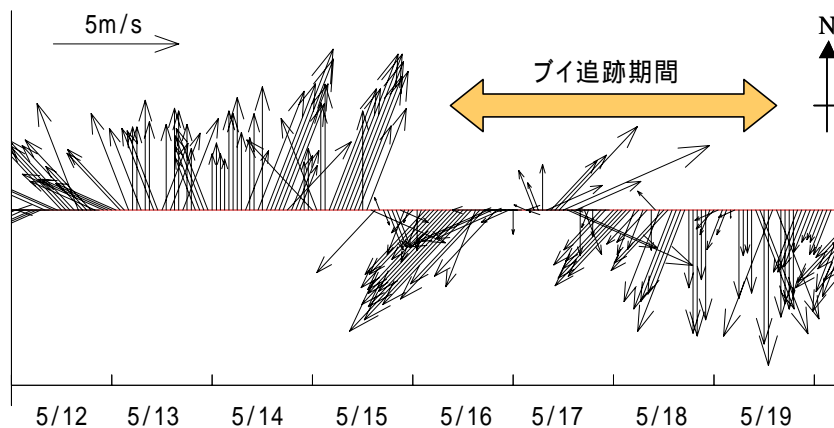


図2-1-13 漂流ブイ調査期間の風向

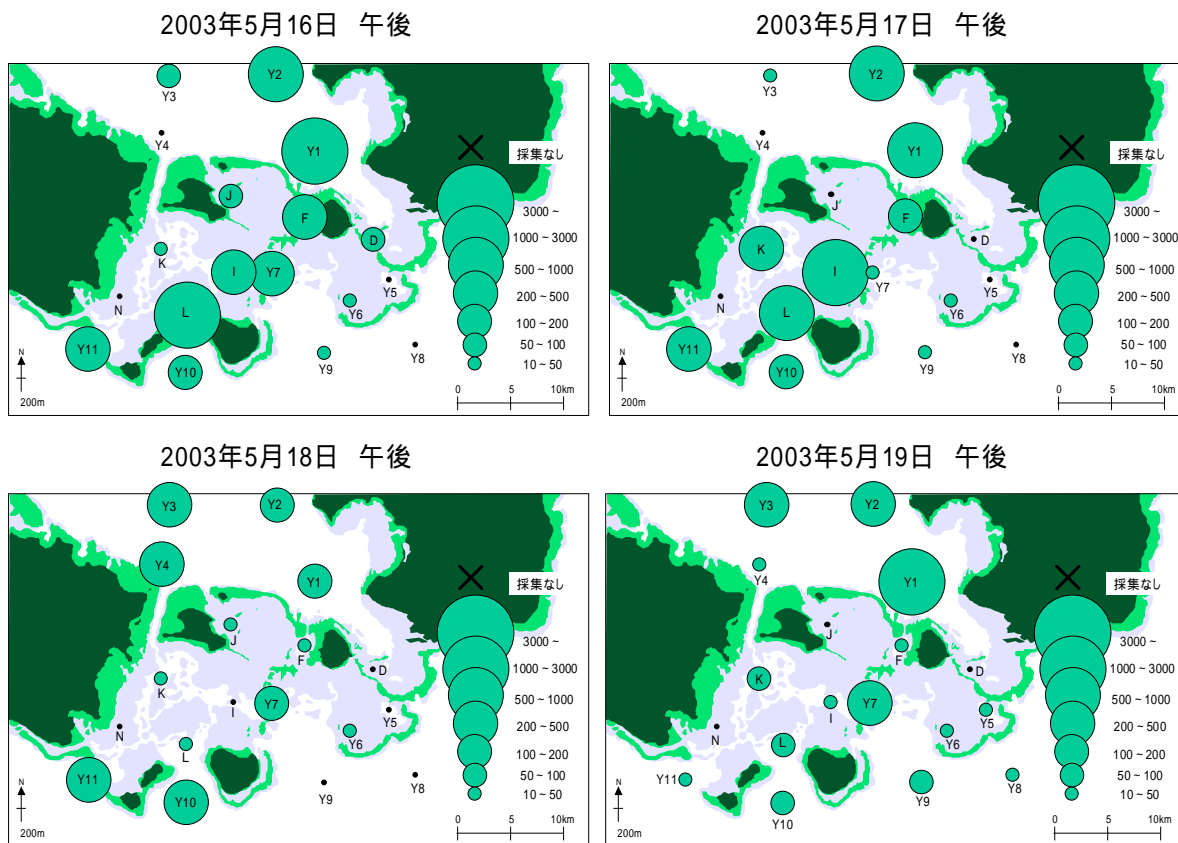
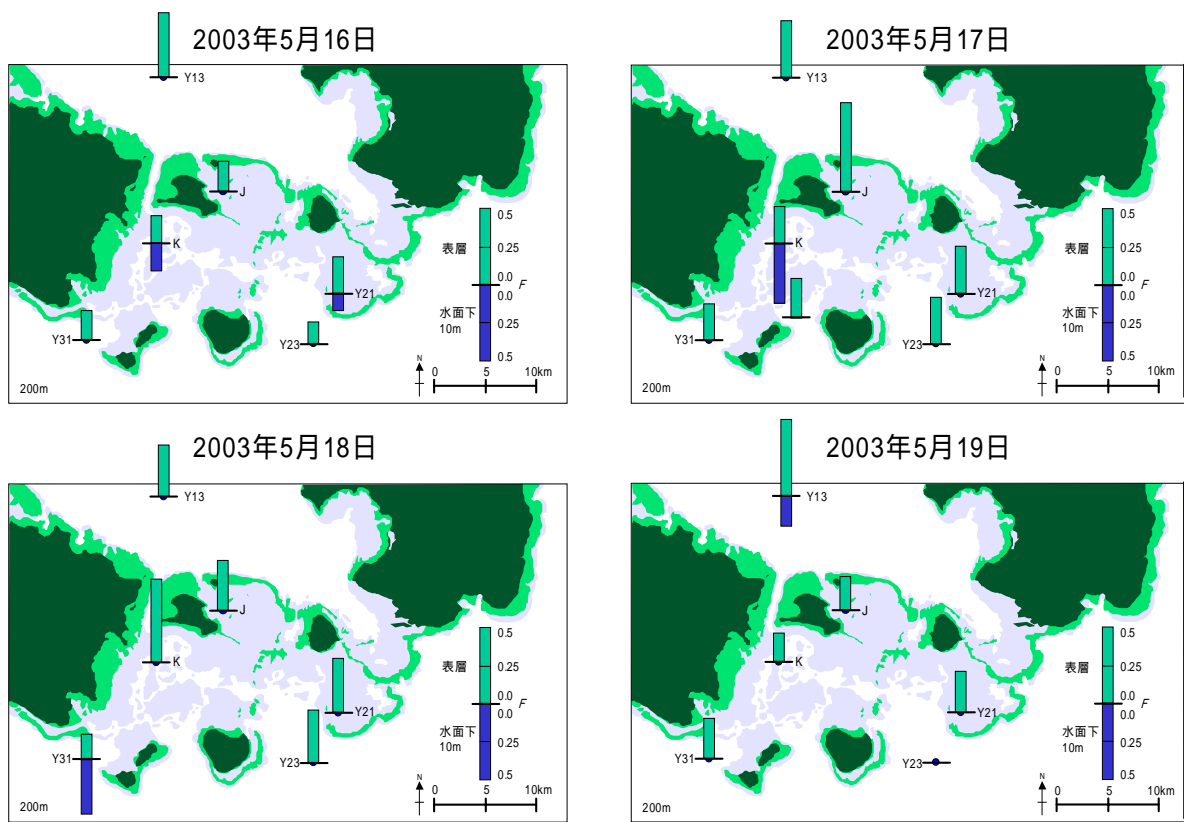


図2-1-14 1立方メートルあたりのサンゴ幼生の個体数  
（水面下5mでの採集）



$$F = \frac{(\text{周長})^2}{(\text{面積}) \times 4\pi} - 1$$

図 2 - 1 - 15 サンゴ幼生の形状