

F-5 サンゴ礁生物多様性保全地域の選定に関する研究

(2) 保全すべきサンゴ礁生物多様性の探索

② サンゴ礁の海水流動と懸濁物の挙動に関する研究

独立行政法人産業技術総合研究所

地質情報研究部門

物質循環研究グループ

長尾正之

〈研究協力者〉

独立行政法人産業技術総合研究所

地質情報研究部門

沿岸海洋研究グループ

高杉由夫・橋本英資

独立行政法人海洋研究開発機構

極限環境生物圏研究センター

古島靖夫

平成15～17年度合計予算額 6,032千円

(うち、平成17年度予算額 1,526千円)

〔要旨〕本研究は世界的にも貴重なサンゴ礁を有する沖縄県八重山諸島において、海水流動と懸濁物の挙動の視点から保全すべきサンゴ礁の必要条件を検討し、生物多様性保全地域選定に必要な科学的資料を得るために以下の研究を行った。まず、宮良湾サンゴ礁で調査された表層濁度と底質のデータを解析し、その相関性について検討した。その結果、滞筋でSPSS（底質中懸濁物質含量）が高い部分を除けば、SPSSは表層濁度を説明し得ることがわかった。また、海底環境の傾向を大別するには、主成分分析が有効であることがわかった。次に解析対象サンゴ礁を石垣島東海岸3地域と石西礁内のシモビシに拡大し、堆積物とその礁内海水の濁度と関係を検討した。その結果、宮良湾などが流入する宮良湾サンゴ礁の礁池の一部と水路部分、轟川河口から北側の海岸部にSPSSの高い海域が見出された。一方、河川の影響が少ない安良崎、白保、シモビシでは全体的にSPSSが低かった。また、大局的には、濁度とSPSSの相関は有意であり、礁内の濁度の原因が堆積物中の細粒物質の再懸濁であることが示唆された。続いて、2003年9月に行われたシモビシの多地点稠密調査結果を用いて、主に表層水の濁度と底質の関係に着目してシモビシの環境を詳しく調べた。また、平成14年9月に宮良湾で取得した環境データと対比しながらシモビシの特徴を考察したほか、沿岸性サンゴ礁と石西礁サンゴ礁の共通点と相違点を抽出できるかどうかを調べるために、宮良湾とシモビシの環境データを合わせて、主成分分析とクラスター分析を組み合わせて解析を行った。その結果、宮良湾とシモビシの環境の類似点、相違点を示すことができた。最後に、石西礁に設けた定点で水質鉛直分布の経年変化を観測し、同海域は富栄養化には至っていないこと、ただし今後も閉鎖性の強い北部海域を中心に監視を続ける必要がある点を明らかにした。このほか、底質中懸濁物含有量(SPSS)法において透視度計の代わりに小型濁度計を使い、定量精度を向上させることができた。

〔キーワード〕赤土流出、再懸濁、SPSS、サンゴ礁、石西礁

1. はじめに

高い生産性と生物多様性を有しているサンゴ礁の減少・衰退が世界的な規模で進んでおり、その保全は国際的にも重要で緊急性を有する課題となっている。本研究は、世界的にも貴重なサンゴ礁が存在する沖縄県八重山諸島において、海水流動と懸濁物の挙動から保全すべきサンゴ礁の必要条件を検討し、生物多様性保全地域選定に必要な科学的資料を得ることを目標とする。

2. 研究目的

サンゴ礁内の濁質分布の規定要因について検討し、保全すべきサンゴ礁環境の数値基準を海中懸濁物と水中光環境の視点から提案することを目的とする。

3. 研究方法

(1) 海域比較調査

2003年の9月と、12月の2回にわたり、架台に3次元超音波流速計（Nortek社、ADV）、水温塩分計（12月のみ設置。アレック電子社、Compact-CT）、クロロフィル濁度計（アレック電子社、Compact-CLW）、海中光量子計（三洋測器製、MPQ-I）を取り付け、陸域の影響を強く受ける石垣島宮良湾と、外洋水の影響を受ける石西礁湖シモビシの北と南で、海中光環境や懸濁物挙動の把握を目的とした海域比較調査を行った（図1）。この際、海中光量子計は海底上90cmに、その他は海底上10cmの高さに設置した。設置期間は最長2日間程度とした。なお、9月の観測では、3次元超音波流速計が不調でデータは得られなかった。また、12月の架台を使った観測では、クロロフィルaと濁度の計測方法に問題があったことが計測後に判明した。クロロフィル濁度計の計測面を海底上10cmとし、センサーを下向きに設置してしまったために、透明度が高く海底の色が白いシモビシの北と南では、センサーから照射される蛍光が海底面から直接反射してしまった。この影響でクロロフィルa蛍光と濁度のデータにバイアスがかかっている可能性があった。そこで、海底の色が黒に近い宮良湾の濁度には反射蛍光の影響が無いと仮定し、宮良湾の濁度と超音波反射強度の値の相関式を作成した。そして、この式を使い、シモビシ北と南の濁度を超音波反射強度から推定した。

また、設置点の底質粒径分布を、ふるい分けとレーザー回折式粒度測定装置（島津理科社、SALD-3100）を併用し求めた。

(2) 多地点稠密調査結果からみた地域特性および底質と海水濁度の関係

①宮良湾の環境の特長—宮良湾田地点稠密調査結果の検討—

宮良湾サンゴ礁（図1）の表層濁度と底質との相関性を検討するために、2002年9月11日～9月19日に同湾内の92地点で測定された堆積物中懸濁物質含量（SPSS）¹⁾、底質（岩、礫、砂）比率、底質中の泥の存在有無、および2002年9月20日の満潮時に53測点で測定された表層水の濁度

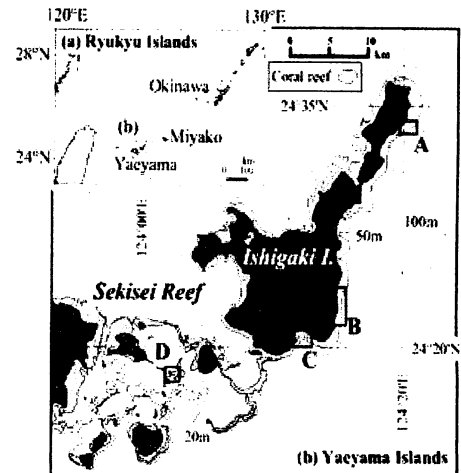


図1 南琉球の石垣島および石西礁における4カ所の調査海域。

A: 安良崎、B: 轟川河口付近、C: 宮良湾、D: シモビシ。

を利用した。なお、全ての底質データ採取地点で濁度が測定されてはいなかったもので、線形補間によりデータを補った。また、分析方法は主成分分析とし、分析には正規化により標準化したデータを用いた。

②石垣島東岸域サンゴ礁とシモビシサンゴ礁のデータからみた底質と海水濁度の関係²⁾

次に石垣島の裾礁3地域と石西礁湖シモビシ地区の合計4地域に調査範囲を拡大し、表層濁度と底質の関係について検討した(図1)。地域ごとに経度緯度0.1分(約185m)間隔で調査測線を設定し、各格子点で底質採取および採水調査を行った。

堆積物調査は、2002年9月に宮良湾のサンゴ礁について、2003年6月に白保・轟川河口域、2003年9月に安良崎およびシモビシ地区について実施した。採水調査は、宮良湾のサンゴ礁については2002年9月と2003年6月の2回、白保轟川河口域については2003年6月に2回、安良崎は2003年9月に1回、シモビシは2003年9月に1回実施した。

③シモビシの底質環境の特長

平成16年度は、2003年9月にシモビシ内の63地点の海底で底質中懸濁物質含量(SPSS)^{1),3)}、深度、底質(岩、礫、砂)比率、泥の存在有無のデータが収集された。また、2003年9月21日の満潮時に上記63地点のうち44地点で表層水の濁度、水温、塩分を測定した。全ての底質データ採取地点で濁度が測定されなかったもので、表層濁度と底質の関係を調べるためには濁度データが揃っている44地点のデータだけを用いた。また、昨年度報告した宮良湾のデータとの比較を行った。この他、主成分分析を使い、シモビシの環境を大別した。

(3) SPSS法の迅速化・高精度化の検討²⁾

海底の赤土汚染の実態を簡便かつ定量的に評価する方法としてSPSS法¹⁾は広く普及している。SPSS法では、まず採取した堆積物をそのまま4mm目のふるいにかけて、小石や礫などを取り除く。次にふるい目を通してものから計量スプーンを用いて一定容量(S; mL)を量り取り、メスシリンドーに入れて500 mLの水を加え、それを5回以上よく振り混ぜ、その後1分間静置して大型の粒子を沈降させる。そして、上澄み液に適当な倍率(D)で希釈した後、透視度計に注ぎ、下から水を抜きながら目視で透視度(T; cm)を計測する。そして、透視度を、式(1)³⁾に代入して、堆積物一定容量あたりの赤土濃度(C; kg m⁻³)を算出する。

$$C = (1718/T - 17.8) D / S \quad (1)$$

ただし、SPSS法の値は透視度計による目視の測定値であり、周囲の光環境や個人の状態(疲労、経験など)によって測定結果が影響を受ける可能性がある。そこで、底質を懸濁させた液を濁度計で測定すれば、透視度計の測定に比べ、測定時間の短縮と測定精度の向上が期待できる。これを確認するために、一部の試料について透視度計の代わりに携帯用小型濁度計(Hach社、Model 2100P)を使用し測定を行った。この濁度計は透過散乱光測定法を採用しており、濁度はNTU(Nephelometric Turbidity Unit)単位で表示される(分解能: 0.01 NTU)。なお、NTU単位の濁度は、ホルマジン標準液と比較して測定した場合の濁度単位FTU(Forumajin Turbidity Unit)と基本的に等しい(1 NTU = 1 FTU)。

また、この再懸濁液をメンブレンフィルタ（孔径 $0.4\ \mu\text{m}$ ）によりろ過し、超精密天秤（Cahn社、Model C-35）を用いて、ろ過前後のフィルタの重量差からの懸濁物量を求めた。

（４）石西礁全体の環境の年変動

将来、生物多様性保全地域が設定される石西礁の環境が、年間を通じてどの程度変動するのかを調べるため、石西礁の南北に5つの定点を配置し（図2）、2004年3月から2005年10月まで、一ヶ月に1、2回の頻度で、水温・塩分・クロロフィル a 蛍光・濁度の鉛直分布を計測し、その季節変動特性を調べた。水質計測には、クロロテック（アレック電子社、ACL208-PDK）を使った。毎月の調査日は、可能な限り大潮、またはその前後の時期に可能な限り設定した。各定点を含む海域の地形的特徴は以下の通りである。St. 1: 石西礁北部の閉鎖性の強い海域、St. SB: 竹富島の南西側に位置する閉鎖性の強い海域で、シモビシの北側に位置する、St. 3: 石西礁南部のカタグラーに位置する、St. 0: 石西礁中央部南側の外洋域で、沖合水の流入域、St. MG: 石西礁のほぼ中央に位置し、外洋域に近く、サンゴの生育が良好な海域。

4. 結果・考察

（１）海域比較調査

2003年12月の調査結果のみを図3に示す。12月観測結果のうち濁度の値は、超音波反射強度から推定した値とした。濁度の平均は宮良湾で4.0FTU、シモビシ北で4.1FTU、シモビシ南で3.7FTUであり、シモビシ北と宮良湾が同程度、シモビシ南がそれらより若干小さかった。いずれの地点の濁度の時系列にも潮汐起因とみられる長周期成分変動が認められた。また、宮良湾の濁度時系列には、他の2地点に比べて短周期変動成分が多く含まれていた。宮良湾の水温と塩分にも同様な短期変動が含まれていることから、宮良湾の海水は成層を有しており、その変動が濁度変動の原因と考えられた。

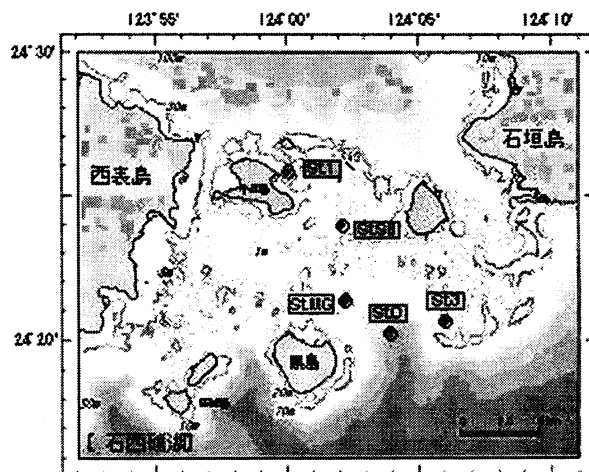


図2 石西礁と水質モニタリング定点の配置

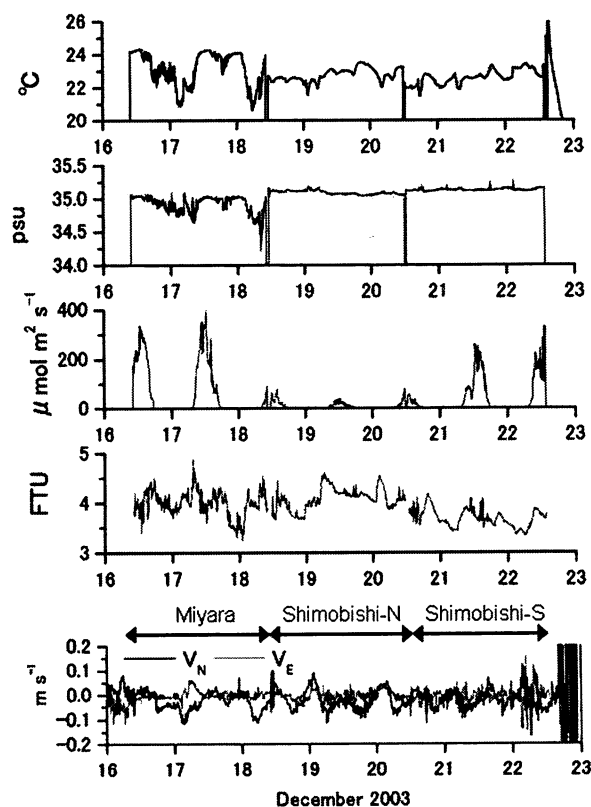


図3 2003年12月の調査結果

なお、図4によると底質粒度分布のピークは、宮良湾が0.35mm付近、シモビシ北が0.2mm、シモビシ南が0.5mmであった。また、宮良湾底質の粒度分布は最大ピーク(0.35mm)の他に、粗め(4mm)の粒径にも小さなピークを持ち、さらに、最大ピークと二つ目のピークとの間に分布が認められた。このことから、宮良湾の底質には、粗い粒子が相当混ざっていたことがわかる。また、シモビシ北の底質には、他の2地点に比べて細粒分が多く含まれていた。このような、底質粒径の特性の違いが、外洋性サンゴ礁のシモビシ北の海底近傍の濁度が、沿岸性サンゴ礁の宮良湾と同程度だったことの原因と考えられた。

(2) 多地点稠密調査結果からみた地域特性および底質と海水濁度の関係

① 宮良湾の環境の特長—宮良湾田地点稠密調査結果の検討—²⁾

宮良湾サンゴ礁内の長期的な表層濁度分布に最も強い影響を与えると予想されたSPSSと表層濁度(補間後)の相関係数を求めたところ、予想に反し両者の相関は0.064と小さかった。そこで、主成分分析の結果から、底質と表層濁度により宮良湾の傾向を大別した。それによると、水深が深くなるにつれて底質に泥や砂の割合が多くなる傾向が第1主成分に認められ、寄与率も0.448と大きかった。また、第2主成分(寄与率0.218)は、浅場でSPSSが小さく、濁度は高いという傾向を示した。さらに、第1、第2主成分を両軸とする座標平面上に、地点毎の主成分値をプロットしたところ、滞筋の値が、データ全体が示す傾向から外れていることがわかった。そこで、これら外れ値を除き、残りのデータに対して再び主成分分析を行ったところ、SPSSと表層濁度(補間後)の相関係数は0.433に改善された。また浅い海域でSPSSと濁度の両方が高くなる傾向は、新しい第1主成分(寄与率0.503)で良く説明できることがわかった。

以上より、滞筋でSPSSが高い部分を除けば、SPSSは表層濁度を説明しうることが分かった。また、湾内環境の傾向を大別し、傾向から外れている地点を探す場合には主成分分析が有効であることがわかった。

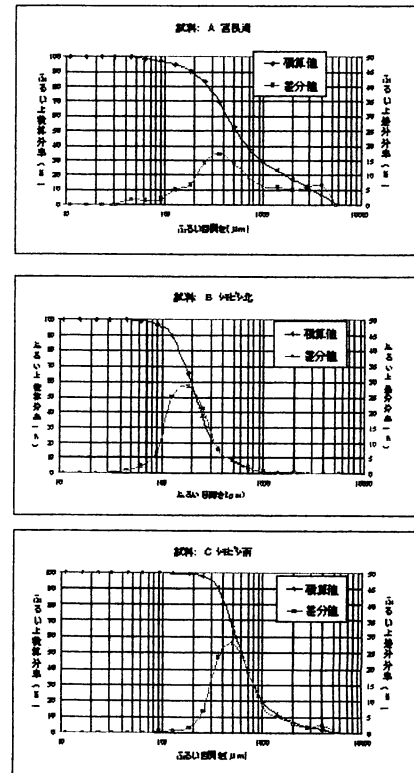


図4 底質粒度分布。A:宮良湾、B:シモビシ北、C:シモビシ南。

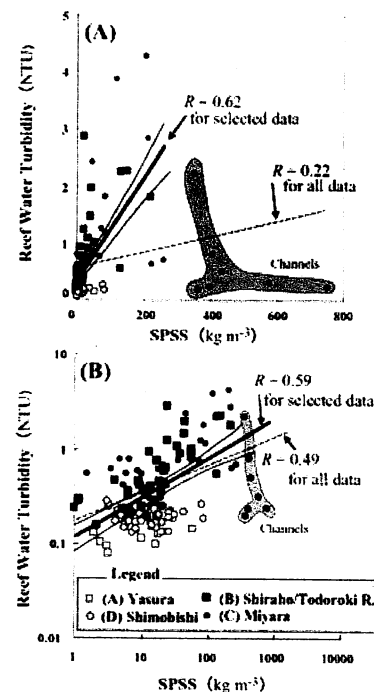


図5 4つのサンゴ礁内の稠密地点におけるSPSS値と海水濁度の関係²⁾

②石垣島東岸域サンゴ礁とシモビシサンゴ礁のデータからみた底質と海水濁度の関係²⁾

4 地域サンゴ礁すべての観測点について、SPSS値と濁度の関係を図5に示す。全体ではSPSSと濁度との相関性は低い($R = 0.22$; 図5 破線)が、前述のように宮良湾サンゴ礁の滞筋部分の測点データを除外すると、SPSS値と海水の濁度の相関係数は0.62に上昇し、相関性が改善された(図5中の実線)。また、河川の流入する轟川河口付近と宮良湾のサンゴ礁ではSPSSと濁度の値は共に高く、河川を持たない安良崎とシモビシのサンゴ礁では共に低い傾向が認められる。一方、細かく見ると陸域から離れた石西礁湖のパッチリーフであるシモビシでも高いSPSS値が認められ、堆積物中にある程度の濁質粒子が存在していることがわかった。したがって、SPSS法で定量される濁質は必ずしも陸源物質だけではないことが示唆された。この問題を解決するためには、簡便な濁質粒子組成の分析法の導入が、今後必要であると考えられた。

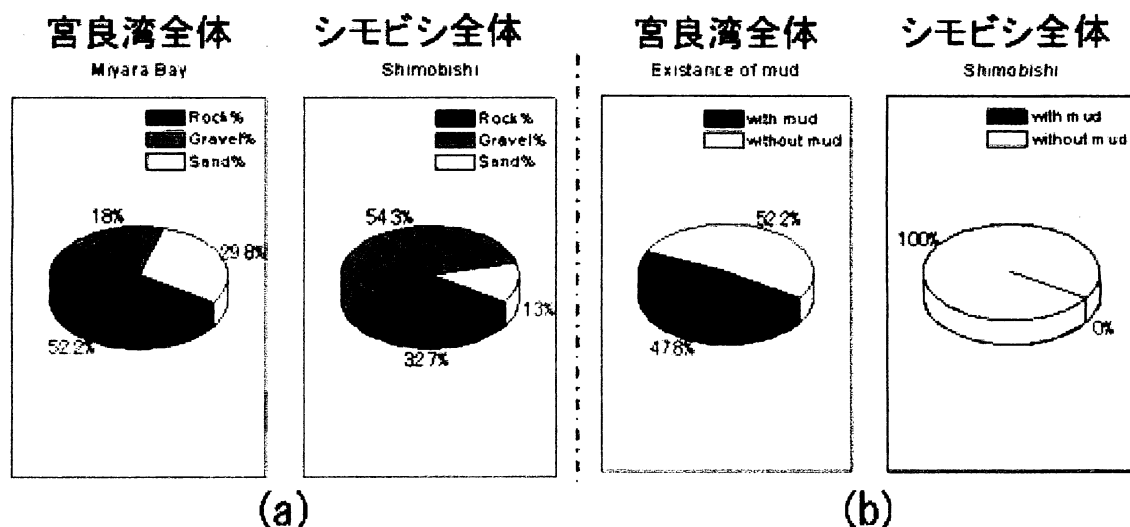


図7 シモビシと宮良湾の底質の違い。(a)岩・礫・砂の地点割合。(b)目視で泥が認められた地点の割合(表層濁度のデータが存在する地点のみについて集計)

③シモビシの底質環境の特長

ア. 底質と濁度の特徴

図6は、シモビシ63地点の海底の岩・礫・砂の割合を示している。岩の割合が高い場所は南東側に集中し、一方で礫の割合が高い場所は西側と北西側に集中している。また、砂の割合の高い場所は北東の端に集中して存在する。図7ではシモビシ全体に対する(a)岩・礫・砂の割合と(b)目視で泥が認められた地点の割合を、宮良湾の結果と比較して示した。図6によるとシモビシ全体では、岩32.7%、礫54.3%、砂13.0%となっていて、礫の割合が最も高かった。一方、沿岸性サンゴ礁である宮良湾全体

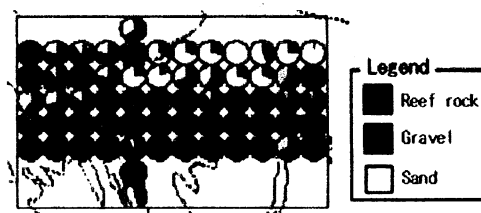


図6 シモビシ63地点の岩・礫・砂の割合

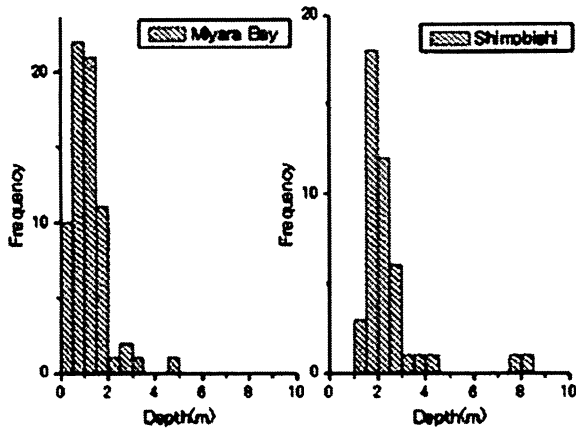


図8 シモビシと宮良湾の深度の頻度分布

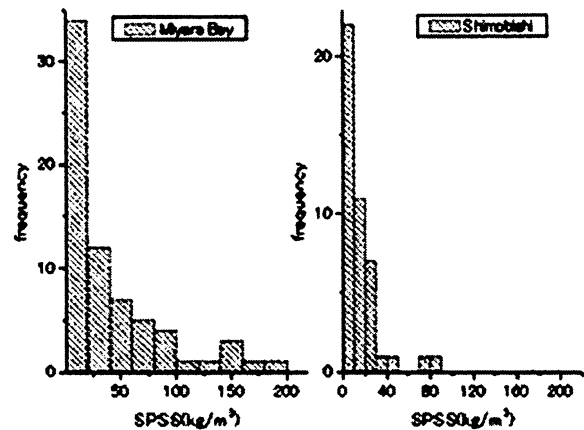


図9 シモビシと宮良湾のSPSSの頻度分布

では、岩52.2%、礫18.0%、砂29.8%であり、礫の割合が最も少なかった。また、目視で泥が認められた地点の割合はシモビシでは皆無（0%）だったのに対して、宮良湾では全体の47.8%に達した。以上の結果からシモビシは宮良湾に比べて礫の割合が高く、陸起源の泥の影響が全くない場所であると言える。

図8、図9、図10は、シモビシと宮良湾の深度、SPSS、濁度の頻度分布図である。シモビシにおいて深度の範囲は南側の深い場所を除けば2m程度の場所が多かった。また、SPSSの値は最大で84kg/m³であり、宮良湾と比べると小さい。さらに、SPSSが高い地点は2地点（Stn. F11、G12）に集中していた。これは、サンゴ礁生物由来の石灰泥が地形や流動の影響でこの地点に集中しているためと推定された。このほか、シモビシの表層濁度は平均で0.20NTU、最大で0.28NTUであり宮良湾の濁度に比べると大変小さく、地点間の表層濁度の差は宮良湾の場合に比べると非常に小さかった。

イ. 表層濁度と底質の関係

図11はSPSSと濁度の関係を示す。鳥取ら²⁾は石垣島沿岸とシモビシの4カ所のサンゴ礁について濁度とSPSSの関係を調べ、4つのサンゴ礁のデータ

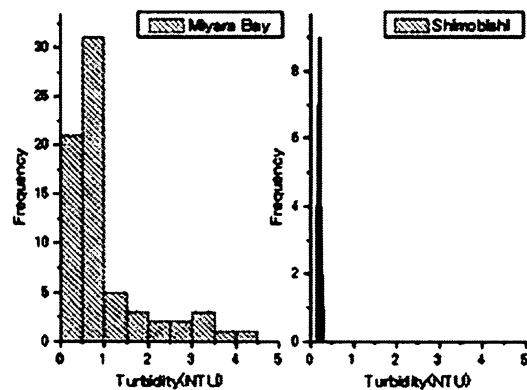


図10 シモビシの宮良湾の濁度の頻度分布

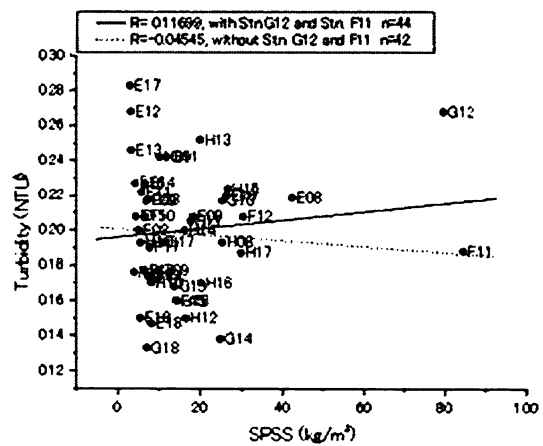


図11 シモビシのSPSSと濁度の関係

全体では、濁度はSPSSと高い相関を持つこと、したがって海中濁度の発生原因は底質中の細粒分の再懸濁が主因だと考えられることを示した。一方、図11によると、今回解析した石西礁シモビシのデータのみでは、SPSSと濁度の相関は0.117と小さい。前述のとおり、シモビシの濁度は非常に小さく、また非常に狭い範囲に分布が集中しており、ばらつきが少ない。このため、濁度発

生の原因をSPSSだけに求めることは難しいと予想される。そこで、濁度を含むシモビシの環境を大別し、考察の手がかりとするために、シモビシ稠密観測データのうち、44地点の濁度と、泥の有無は除いた底質データを使って主成分分析を行った。第3主成分までの累積寄与率が0.8を越えたので、図12に第1から第3主成分の寄与率と、変量と主成分の相関係数（負荷量）を示した。まず、第1主成分（寄与率0.332）は、その正方向で岩の割合が高く礫の少ない場所であることを説明し、一方でその負方向は礫の割合が高い場所ではSPSSが大きく濁度が高い傾向を説明する。これはシモビシの西側とそれ以外の区域の環境を大別していると思われる。また、第2主成分（寄与率0.218）の負方向は砂の割合が高い場所で濁度が高い傾向を説明する。これは、シモビシ東北端の傾向を説明していると思われた。最後の第3主成分（寄与率0.207）の負方向は、浅い場所では濁度とSPSSが共に一定の値を持つという傾向を示し、シモビシ全体がほぼ均一な場であるという傾向を表していると考えられた。

ウ. 宮良湾とシモビシの環境の相違点と類似点

沿岸性サンゴ礁と石西礁内サンゴ礁の環境の違いや共通点を大別可能かどうか調べるために、平成15年度の研究で解析した石垣島宮良湾サンゴ礁のデータと、前述した石西礁シモビシサンゴ礁のデータを一括し、主成分分析による解析を試みた。対象としたデータは、稠密観測で得られたデータから、宮良湾は滞筋のデータを除去した69地点分のデータを、また、シモビシは表層水濁度のデータがそろっている44地点のデータを抽出して利用した。また、解析結果の表示にあたっては、第1主成分と第2主成分を座標と考えて、113地点の相互距離を最長距離法で計算し、地点ごとの環境の近さを調べるためにクラスター分析を行った。この際、相互距離の近いクラスターを一つの群に統合し、最終的に宮良湾とシモビシの稠密観測地点を5群に分類した。

図13は、主成分分析の結果の一つで、変量と主成分の相関係数（負荷量）を示している。第1主成分（寄与率0.441）とSPSS、濁度、砂の割合、泥の有無は正の相関を示すので、第1主成分は主に宮良湾内に堆積している陸域起源の赤土堆積物を説明していると考えられる。また、第2主成分（寄与率0.249）と水深、礫の割合とは正の相関を、また岩の割合とは負の相関を示すので、第2主成分はサンゴ礁内に礫が堆積している場所（礁原部）を説明していると考えられる。

図14では、第1主成分を横軸に第2主成分を縦軸に取り、各地点の主成分を座標と考えて表し

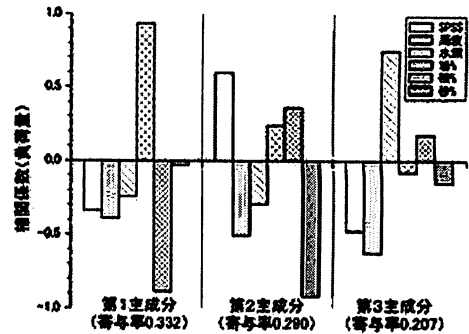


図12 シモビシの稠密観測地点データ（44地点分のみ）を利用した底質環境の主成分解析結果。第1から第3主成分の寄与率と、変量と主成分の相関関係（負荷量）。

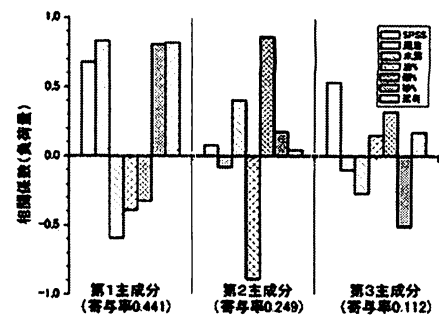


図13 シモビシ（44地点分）と宮良湾（69地点）のデータをまとめた場合の底質環境の主成分解析結果。第1から第3主成分の寄与率と、変量と主成分の相関関係（負荷量）。

た。図14(a)では、シモビシと宮良湾の地点を区別して描き、図14(b)ではクラスター分析で分類された5群を区別して描いた。図14(a)をみると、第1主成分の方向（横軸）に宮良湾の地点が広く分布していること、逆にシモビシの地点は第1主成分の方向にはほとんど分布がないことが読みとれる。したがって、第1主成分を使って宮良湾とシモビシのデータが大別できる可能性がある。一方、第2主成分の方向（縦軸）の地点のばらつきの程度は、宮良湾、シモビシともほぼ同じである。また、-2から0の範囲で第1主成分を持つ地点では、シモビシと宮良湾の地点が混在しているが、注意して見ると、第2主成分が0から3の範囲にシモビシの地点の多くが集中していることがわかる。このため、第2主成分を使えば、同じ第1主成分を持つ宮良湾とシモビシの地点を大別することができる可能性がある。なお、同じ主成分の値を持つシモビシと宮良湾の地点は、共通性を持つ地点と考えると解析を進めても良さそうに見える。

図15は、図14(b)で示した5群を使って、宮良湾とシモビシの環境を分類した結果である。宮良湾では5群のうち4群が出現し、シモビシでは5群のうち3群が出現した。このうち、宮良湾とシモビシに共通する群の数は二つ、宮良湾だけに現れてシモビシに出現しない群は二つ、シモビシにのみ出現する群は一つだった。宮良湾の結果をみると、沿岸性サンゴ礁の特徴である岸から沖への環境勾配が説明されていると思われる。また、シモビシの結果をみると、前に述べたとおり礫の多い西側とそれ以外の地点を大別できていると思われる。また、共通する群は礁原部に属すると考えられる。

以上の結果は、群の分け方により変わる可能性がある。しかし、複数のサンゴ礁内について得られた造礁サンゴ、海藻（草）類、魚類の稠密観測データや、生物群集解析結果と、このような環境解析の群分類結果を組み合わせることで、サンゴ礁間の環境の類似性や相違点を議論することが可能になると考えられる。

（3）SPSS法の迅速化・高精度化の検討²⁾

サンゴ礁から採取された堆積物試料の一部について、透視度計を用いたSPSS測定法による濁質濃度と、透視度計の代わりに携帯用小型濁度計を使用して濁度を測定し、濁度と懸濁物質（SS）との相関を用いて濁質濃度を求めた場合の比較を行ったところ、同一試料の繰返し再現性に大幅

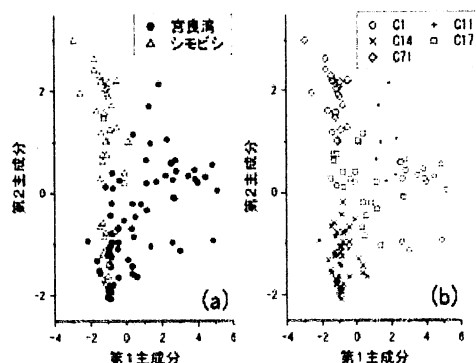


図14 各地点の第1主成分と第2主成分。(a)ではシモビシと宮良湾の地点ごとに、また(b)ではクラスター分析で分類された5群ごとに、それぞれ点を区別して描いた。

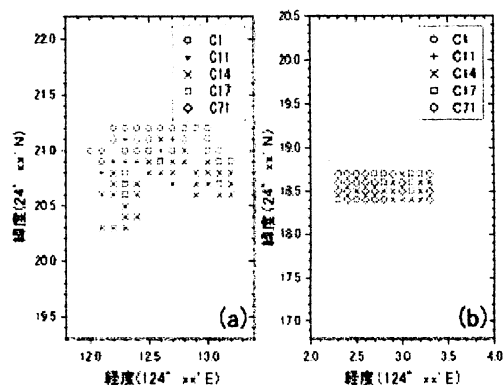


図15 クラスター分析結果による5群(図14(b))で分類した(a)宮良湾と(b)シモビシ底質環境。

表1 堆積物中の濁質粒子含有量測定法の再現性比較。宮良湾のSt. H12より採取された堆積物試料について、3つの方法による8回の繰り返し測定の結果を示した。SPSS法およびろ過法による測定では、濁質粒子含有量が直接、重量として求められるが、濁度計の場合、測定された濁度を濁質粒子重量に換算する必要がある。多数の宮良湾堆積物試料について濁度測定後の再懸濁液をろ過して、関係式を得た（濁質粒子含有量 (mg L^{-1}) = $1.113 \times$ 濁度 (NTU)）。これを用いて、一定容量の堆積物中の濁質粒子含有重量を求めた。

	堆積物1 m^3 あたりの濁質粒子含有量 (kg/m^3)		
	平均	標準偏差	変動係数
SPSS	238	53	22%
濁度計による測定	299	45	15%
ろ過法による測定	275	33	12%

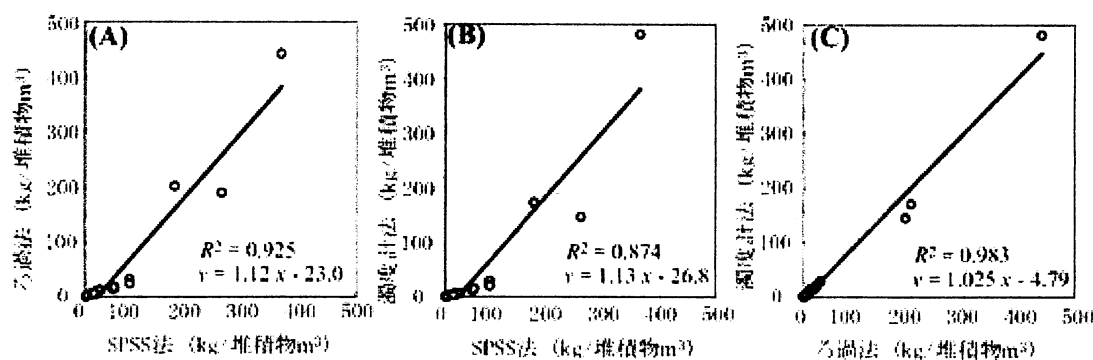


図16 宮良湾で実施された20点についてのSPSSおよびSPSS測定用の懸濁液のSSとその濁度 (NTU) 値の比較。濁度は、濁液のろ過により検量線を作成し、堆積物1 m^3 あたりの濁質粒子含有量 (kg) として算出した。

な向上が見られた (表1)。また、式 (1) の妥当性を検証するために、透視度測定および濁度測定に用いた懸濁液の懸濁物量をメンブレンフィルタ (孔径0.4 μm) に捕集して重量測定し、SPSS法・濁度計法・ろ過法の三者の相互比較を行ったところ、三者ともに高い相関が認められ、式 (1) から計算されるSPSS値とろ過法による懸濁物重量の値とはよい一致を示した (図16 (A))。これは式 (1) の妥当性を示したものである。

厳密には、表1が示すように、底質を懸濁させた濁液をろ過し、懸濁液中に実際に存在している懸濁物量を定量する方法が、他の2方法に比べて繰り返し再現性が高い。しかしこの方法は実験室での測定にならざるを得ないので現場で簡単に測定することができない。したがって濁度計の利用はSPSS値の精度向上のために現実的な選択肢であるといえよう。

(4) 石西礁全体の環境の年変動

図17に、水温、塩分、濁度の観測結果を示した。水温の季節的変動は、外洋の点 (St. 0) で24–30℃、閉鎖的な海域に位置するSt. 1およびSt. SBでは、22–30℃であった。冬期には、気温が海水温を

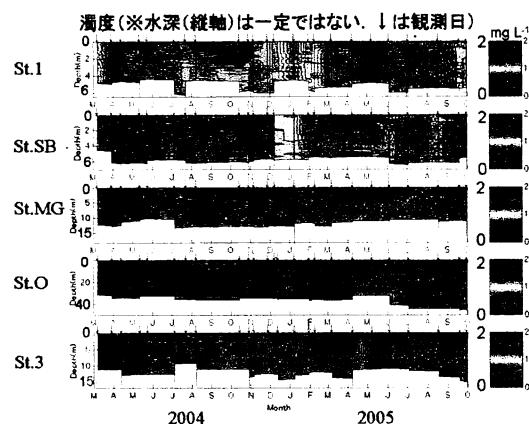
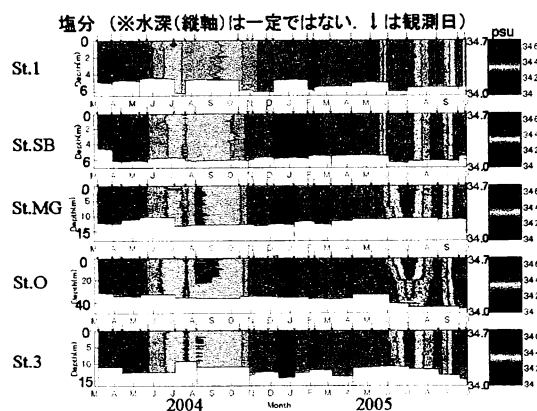
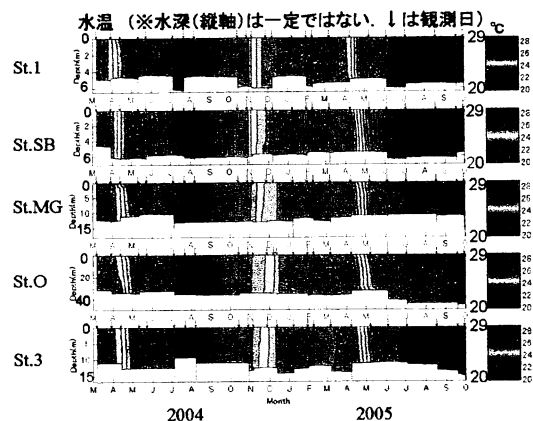


図17 2004年3月から2005年10月までの石西礁定点の水質鉛直分布。上から水温、塩分、濁度。定点名は図2を参照。

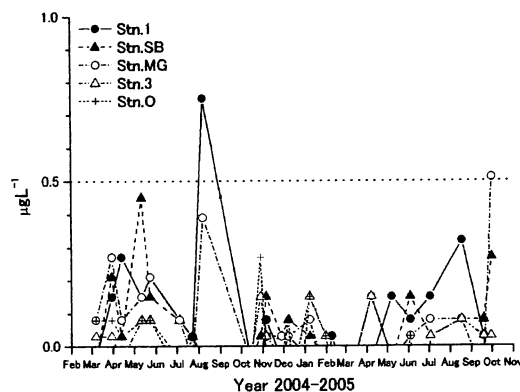


図18 クロロフィルaの季節変動。水質計の蛍光強度を採水分析値で校正しクロロフィルa量に換算した。水深0mのデータだけを示した。

大きく下回るため、浅海部で冷却効果が顕著になり、閉鎖的な海域のSt.1およびSt. SBの水温が外洋よりも大きく低下する。塩分についても34.4-34.7の明瞭な季節変化があり、夏に低く、冬に高い傾向を示す。塩分の季節差も、閉鎖的な海域のSt.1およびSt. SBでは外洋点(St. 0)よりも変化幅が若干大きい。濁度は、閉鎖的な海域のSt.1およびSt. SBで高く、北から南に向かって減少して、外洋では低い値を取る。水深の浅いStn.1, Stn. SBでは再懸濁の影響が強く現れたためと考えられる。季節性は顕著ではないものの、夏に濁度が高いというパターンを示す。クロロフィル蛍光は、基本的に濁度と類似した変動を示す。

図18は深度0mの蛍光強度を採水分析値で校正しクロロフィルa量に直したもので、季節変動を示す。サンゴ礁の富栄養化の閾値としてのクロロフィルa濃度として、Bell and Elmetri(1995)⁴⁾は0.3-0.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ を、また Mutti and Hallock(2003)⁵⁾は1 $\mu\text{g L}^{-1}$ を、それぞれ提案している。本プロジェクトのサブサブテーマ(2)ー①により2003年9月に行われた予察的観測では、石西礁湖表層海水中のクロロフィル濃度に

0.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ を上回る値がみられ、富栄養化の初期段階にある可能性が懸念された。しかし、図18に示した通年に渡るCTDモニタリング観測の結果から、通常のクロロフィル濃度は0.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ をほぼ下回っており、明瞭な富栄養化と断定できる状態には至っていないことが明らかとなった。ただし、石西礁湖の特に北部の竹富島と小浜島の間の閉鎖性海域については、継続的なモニタリングを実施して、今後も動向を注視する必要があると思われる。

5. 本研究により得られた成果

自動測定装置により沿岸性サンゴ礁の宮良湾と石西礁のシモビシ北、およびシモビシ南の海域比較調査を行ったところ、シモビシ北と宮良湾の海底濁度はほぼ同程度で、シモビシ南は他の2点よりも若干小さかった。シモビシ北の底質に細粒分が多く含まれていたことが、宮良湾とシモビシの濁度に差が出なかったことの原因と考えられた。

宮良湾サンゴ礁で調査された表層濁度と底質のデータを解析し、その相関性について検討した結果、濁筋でSPSSが高い部分を除けば、SPSSは表層濁度を説明し得ることがわかった。また、宮良川などが流入する宮良湾サンゴ礁の礁池の一部と水路部分、轟川河口から北側の海岸部にSPSSの高い海域が見出された。一方、河川の影響が少ない安良崎、白保、シモビシでは全体的にSPSSが低かった。また、大局的には、濁度とSPSSの相関は有意であり、礁内の濁度の原因が堆積物中の細粒物質の再懸濁であることが示唆された。このほか、稠密調査地点の海底環境を大別するには主成分分析が有効であることを示した。

続いて、2003年9月に行われたシモビシの多地点稠密調査結果を用いて、主に表層水の濁度と底質の関係に着目してシモビシの環境を詳しく調べるとともに、平成14年9月に宮良湾で取得した環境データと対比して、宮良湾に比べて環境傾度が小さいシモビシの特徴を考察した。また、沿岸性サンゴ礁と石西礁サンゴ礁の共通点と相違点を示すには、稠密地点での底質調査結果を主成分分析とクラスター分析の組み合わせで解析すれば良いことを示した。

このほか、底質中懸濁物含有量(SPSS)法において透視度計の代わりに小型濁度計を使い、定量精度を向上させることができた。このSPSS法の変法は、本来の簡易環境調査だけでなく、水中光環境の研究にも応用できる可能性を持っている。

最後に、石西礁に設けた5定点で水質鉛直分布の経年変化を観測し、同海域は富栄養化には至っていないこと、ただし閉鎖性の強い北部海域を中心に監視を続ける必要がある点を明らかにした。

6. 引用文献

- 1) 大見謝辰男：沖縄県の赤土汚濁の調査研究（第2報）－赤土汚濁簡易測定法と県内各地における赤土濃度－、沖縄県公害衛星研究所報、20、100-110、1987.
- 2) 鳥取海峰、長尾正之、森本直子、井上麻夕里、岩瀬晃啓、渋谷拓郎、藤岡義三、大葉英雄、菅 浩伸、鈴木 淳：琉球列島の石垣島周辺のサンゴ礁における底質と海水濁度の関係、Galaxea, JCRS, 6, 1-19, 2004.
- 3) 沖縄県水産業改良普及所. 1989. 「赤土汚染簡易測定法の手引き、漁業公害調査指導事業テキスト」、24p.
- 4) Bell, P.R.F. and Elmetri, I. 1995. Ecological indicators of large-scale eutrophication

in the Great Barrier Reef Lagoon. *Ambio*, 24:208-215.

- 5) Mutti, M. and Hallock, P. 2003. Carbonate systems along nutrient and temperature gradients: some sedimentological and geochemical constraints. *Int. J. Earth Sci.*, 92: 465-475.

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

＜論文（査読あり）＞

- ① 鳥取海峰、長尾正之、森本直子、井上麻夕里、岩瀬晃啓、渋谷拓郎、藤岡義三、大葉英雄、菅 浩伸、鈴木 淳：Galaxea, JCRS, 6, 1-19(2004)
「琉球列島の石垣島周辺のサンゴ礁における底質と海水濁度の関係」

＜その他誌上発表（査読なし）＞

なし

(2) 口頭発表（学会）

- ① 岩瀬晃啓、藤岡義三、長尾正之、菅 浩伸、大葉英雄、渋谷拓郎、佐藤崇範、鈴木 淳：OCEANS' 04 MTS/IEEE/TECHNO-OCEAN' 04, Kobe, Japan, (2004)
“Effects of a tropical typhoon on coral reefs in Ishigaki Island, the Ryukyus: implication on coral community structure Japan”
② 古島靖夫、長尾正之、森本直子、鈴木淳：2005年度水産海洋学会研究発表大会（2005）
「サンゴ礁海域（石西礁湖）における海況変動の特性」
③ 長尾正之、鳥取海峰、鈴木 淳：環境水理部会研究集会2005 in 広島（2005）
「底質と海水濁度を利用したサンゴ礁環境の分類」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

今後、本研究の成果を発展させ、学会誌および国際誌への公表活動を進めるとともに、サンゴ礁生物多様性保全地域選定に関する科学的資料を提示して政策的課題の解決にも貢献する。