

D-4 サンゴ礁生態系の維持機構の解明とその保全に関する研究

(2) サンゴ礁生態系に及ぼす環境ストレスの影響の解明

⑤ 陸域の土地利用がサンゴ礁に与える影響

研究代表者	千葉大学園芸学部	油井正昭
	琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底実験所	酒井一彦

環境庁自然保護局計画課

(委託先) 財団法人海中公園センター

東海大学海洋研究所西表分室	横地洋之
海中公園センター錆浦研究所	内田紘臣
海中公園センター八重山研究所	岩瀬文人
海中公園センター八重山研究所	浅井康行
海中公園センター八重山研究所	森 美枝
千葉大学大学院自然科学研究科	古谷勝則
千葉大学大学院自然科学研究科	黒瀬 毅
千葉大学大学院自然科学研究科	水嶋信文

平成7-8年度合計予算額 19,044千円
(平成8年度予算額 9,512千円)

[要旨]

1. 陸域

本研究では、陸域の土地状況に着目して赤土流出の危険性を検討し、サンゴへの影響を十分に配慮した土地利用の計画策定に対する有効な資料提示を目的として、瀬底島周辺海域、黒島周辺海域、西表島網取湾周辺海域の3地域において、土地利用、平均傾斜、水系との関係など土地状況を解析した後に、赤土流出の危険度について検討した。

樹林は網取湾地区99.3%、瀬底島地区約40.3%、黒島地区約13.2%である。集落・人工物では、瀬底島地区が8.8%で、市街地や農村集落などが見られ人為による開発が進んだ地区と言える。畑・牧草地では、黒島の約81.5%が最も高く、牛の放牧地としての利用が盛んである。

平均傾斜の調査によると、瀬底島地区は、急傾斜な箇所もあるが、海岸線、満名川沿い、豊原を中心に平坦部も見られる。黒島地区は全島がほぼ平坦部である。網取湾地区は調査対象に選定した地域全体がほぼ急傾斜地である。水系からの距離調査によると、瀬底島地区で、最も離れている場所は河川から3km程である。網取湾地区では2km程である。黒島には、河川はないが、海からの距離で最も離れた場所は1.5km程である。

赤土流出の危険度を求めた結果をまとめると、最も赤土流出の危険度の高いのは瀬底島地区であり、最も危険度の低い地域は網取湾地区である。黒島地区は両者の中間的な地区である。危険と極めて危険にランクされる危険度区分4と危険度区分5は、瀬底島地区で0.9%、32.1%を占めている。他の地区にはほとんど存在しない。この地区は採石場と開発中の土地、ゴルフ場、パイナップル畑などである。安全と比較的安全にランクされる危険度区分1と危険度区分2は、網取湾地区で合計99.6%を占めている。黒島地区や瀬底島地区の約2倍の割合を占めている。これらの地域は、平坦な樹林か、水系から遠い距離の樹林である。

II. 海域

1995年～1996年の間、人間の土地利用がサンゴ群集に及ぼす影響を評価するため、土地開発が進行している地域として沖縄島北部の瀬底島周辺海域を、土地開発があまり進行していない地域として西表島網取湾周辺海域を、中間的な地域として石西礁湖の黒島周辺海域を選定し、各海域に5地点を設定し、環境条件とサンゴ群集の調査を行った。環境条件についてはセディメントトラップによる堆積物および採水による水質調査を、サンゴ群集については群集のモニタリングと人工定着板によるサンゴ幼生の定着量調査を実施した。環境条件では堆積物および水質（塩分濃度、SS、Total-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、Total-P）ともに、各海域内の地点間の差異は認められたものの、海域間に明瞭な差が認められなかった。サンゴ群集のモニタリングの結果、1995年から1996年にかけて、網取および黒島ではサンゴ群集の被度が増加傾向にあったが、瀬底では有意な減少が見られた。瀬底島でのサンゴ群集の被度の減少をもたらした一番の原因は、オニヒトデの捕食であった。これは陸域の開発が、オニヒトデの高密度の出現を促進する可能性を示唆する。サンゴ幼生の定着量は、1995年に比較し1996年に全海域で多い傾向にあった。黒島で定着量が少ない傾向があるほかは、海域間での定着量の多寡に一定の傾向はうかがえなかった。

[キーワード] 赤土、サンゴ礁、サンゴ群集、サンゴ幼生定着、水質、堆積物、土地区分、土地利用、メッシュアナリシス、

I. 陸 域

1. 序

本年は沖縄が日本に復帰してから25年である。沖縄では、1960年代以降、パイナップルの栽培ブームによる農地開発や米軍演習地の建設、復帰以降も県土全体に種々の土地開発が進められてきた。都市の発達、農地の造成、観光レクリエーション施設の整備など大地には様々な営力が加えられ、土地利用が変容してきた。土地が開発されたことに伴う問題の1つとして、赤土が海に流出し、これがサンゴ群集の衰退をもたらしているとの指摘がある。

沖縄のサンゴ群集の分布と発達状態は、国際的に貴重な存在として評価され関心を集めて

いる。今後も沖縄が発展していく過程で土地開発が一層進められていくことになると思われるが、貴重なサンゴ群集の保全を図りながら、自然と人為の調和を配慮した土地利用の在り方を考えていく必要があると考える。

2. 研究目的

既往研究では、サンゴ群集の衰退の実態や、陸地から赤土が流出することに対するサンゴへの負荷についての調査が行なわれ報告されている¹⁾。しかし、これらの研究では、広域の土地利用状況との関係をふまえた検討は行われていない。そこで、本研究では、陸域の土地状況に着目して赤土流出の危険性を検討し、サンゴへの影響を十分に配慮した土地利用の計画策定に対する有効な資料提示を目的とする。具体的には、平成7年度からサンゴ群集の調査研究が実施されている瀬底島周辺海域、黒島周辺海域、西表島網取湾周辺海域の3地域をふまえ、この海域に流入している河川の流域を対象地に選定し、地形、土地利用、水系との関係など土地状況を解析して、赤土流出の危険性を中心にした陸域がサンゴ群集に与える負荷について検討する。

3. 研究方法

3.1 調査対象域

研究対象域は沖縄本島の本部半島西海岸と瀬底島を含む地区(「瀬底島地区」という)、石西礁湖に位置する黒島(「黒島地区」という)、西表島北西部の網取湾を囲む地区(「網取湾地区」という)の合計3地区がある。3地区の概要は、瀬底島地区は市街地、農地、観光レクリエーション施設が発達し土地利用が複雑な地区、網取湾地区は土地開発がほとんど行なわれていない森林に覆われている地区、黒島地区は黒島全域で集落規模は小さいが、全島ほぼ農地的土地利用(牧草地)が行なわれている地区である。したがって、土地開発の状況は瀬底島地区が最も進んでおり、網取湾地区は人為の少ない地区、黒島地区はその中間という特徴がある。

これら3箇所の海域に影響を及ぼすと考えられる陸域の対象範囲を決定するにあたって、海域における調査において設置されたサンゴの永久方形区に対し、陸域から影響を及ぼす可能性のある水系を把握し、これらの水系の持つ取水域を調査対象域とした。

瀬底島地区は、行政的には沖縄県国頭郡本部町の一部で、面積は約4,031ha、取水域を把握した河川は14河川である。黒島地区は、行政的には沖縄県八重山郡竹富町の一部で、面積は約1,181ha、河川は存在しなかつたため、取水域から調査対象域を設定できなかったため黒島全体を調査対象域とした。網取湾地区は、行政的には沖縄県八重山郡竹富町の一部で、面積は約1,750ha、取水域を把握した河川は6河川である。

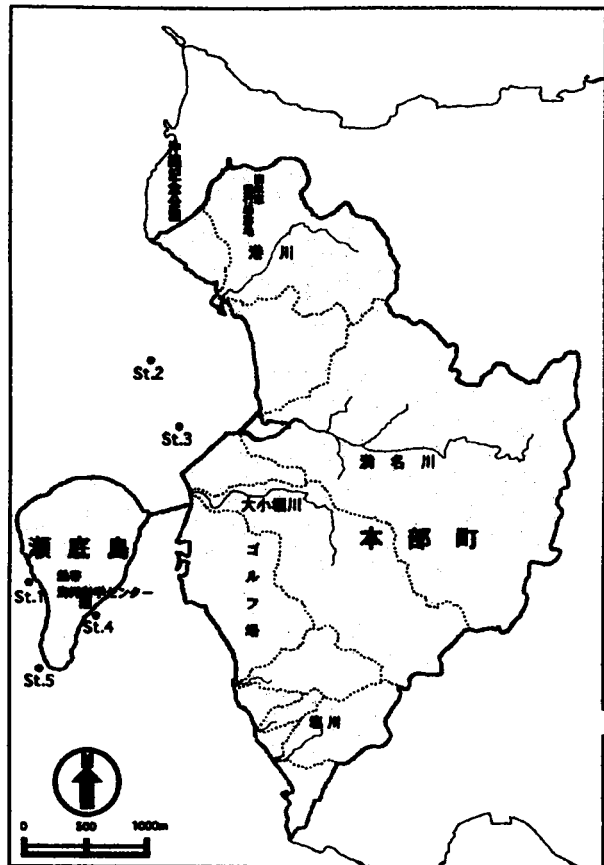


図 1 瀬底島地区

凡 例	
調査対象域	
河川	
各河川の取水域	
調査 St.	

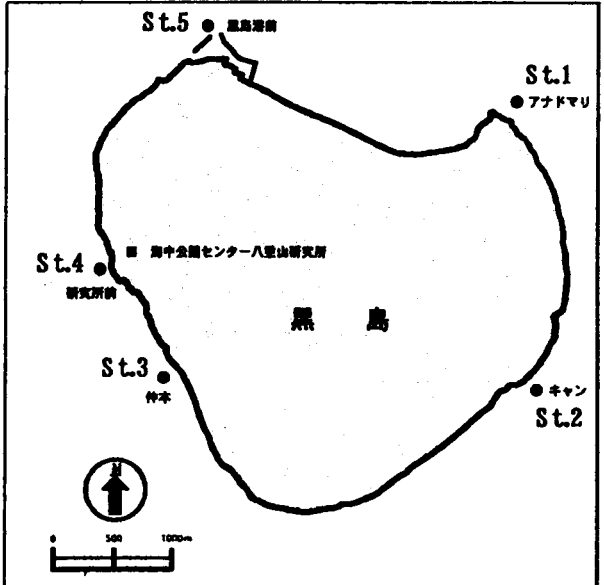


図 2 黒島地区

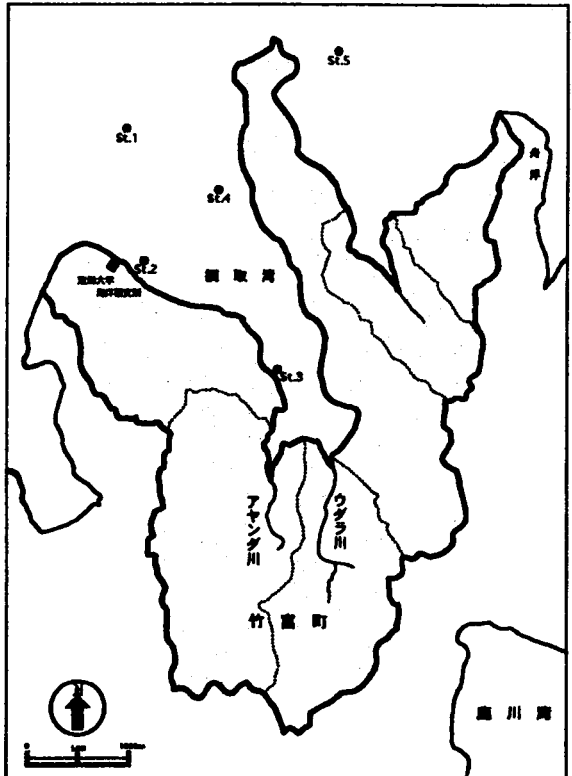


図 3 網取湾地区



写真 1 河川から流出する赤土

3.2 研究方法

沖縄県の年間降水量は、名護市で2,265mm、西表島の2,342mmなどと県の大部分の地域において、年間降雨量は2,000mmを超えている。日本の平均降水量約1,700mmと比較しても降雨量の多い地域となっている。雨が多ければ当然赤土が流出しやすい状況にある。さらに、その雨水が集まって流れる河川においても、沖縄県の河川は流路長が短く、台風や梅雨などに一時に大量の降雨があると、大量の土砂が流出してしまう。流出する赤土の分布においても、沖縄県では、国頭マージ、島尻マージなどの、保水力が小さく、浸食を受けやすい土壤に覆われている。これら、気象条件や河川条件、土壌条件は沖縄全体に言えることで、赤土が流出し易い原因となっている。

赤土の流出が問題にされるようになったのは、土地開発が進んでからである。土地が開発され、赤土が露出すると、雨滴が直接赤土にあたり、流水も発生して赤土流出の原因となる。また、地形の傾斜が大きいほど、表流水が発生しやすくなり、流速が増し、赤土流出が発生する。一方、土地が森林に被覆されていれば、雨滴が直接赤土にあたらず、流水も発生しにくいし、植物により土壌も固定されているため、赤土流出がおこりにくくなる。さらに、水系までの距離が遠いと、赤土流出の危険性が低いといえる。

これらのことから考えて、赤土流出の原因となる主要素は、表流水の発生に影響を与える地形の傾斜と、その地形上に成立している土地利用状況である。さらに、水系からの距離が影響を与えていると考えた。そこで本調査は、この3要素の解析を行った。

調査対象地域の瀬底島地区、黒島地区、網取湾地区の3地区において、土地利用、地形の平均傾斜、水系までの距離をメッシュアナリシスを用いて把握した。さらに、3要素を解析し、その結果の組合せによって、表土流出の危険度について評価し、サンゴ礁に影響を与える土地について考察した。

解析に使用したベース・マップは、国土地理院発行の2万5千分の1地形図である。メッシュの規模は1辺250mの正方形で2万5千分の1地形図上に設定した。したがって、調査単位の面積は6.25haである。用いた地形図は国土地理院発行の図幅名は、瀬底島地区が「瀬底島」（平成2年9月発行）、「名護」（平成4年6月発行）、「仲宗根」（平成3年8月発行）、黒島地区が「黒島」（昭和63年11月発行）、網取湾地区が「船浦」（平成元年2月発行）、「舟浮」（平成元年3月発行）、「ウピラ石」（平成元年3月発行）である。設置したメッシュ数は瀬

底島地区645、黒島地区189、網取湾地区280、3地区の合計は1,114メッシュである。

(1) 土地利用状況

土地利用状況の調査は、国土地理院発行の2万5千分の1の地形図と1993～1995年に撮影された航空写真を併用して行った。さらに、判読できなかった地点については、瀬底島地区1997年3月21～23日の3日間、網取・黒島地区1997年4月1日～5日の5日間に行った現地調査によって解析した。

赤土流出の被害を出している土地利用形態には、①土地改変、②農用地、③農道・林道、④各種公共工事、⑤米軍演習地が上げられている⁴⁾。本調査では、この結果と、土地の裸地率に着目して、土地利用を表1に示す4段階に区分した。数字の大きいほど危険度が大きくなる。メッシュアナリシスでは、メッシュ内で最大面積を占める土地利用によって、当該メッシュの土地利用を代表させることが多いが、今回は、危険な度合いを示すという意味合いから、調査単位として設定したメッシュ内で最も危険度の高いと思われる土地利用種によって、当該メッシュの土地利用を代表させた。さらに、この4種類の土地利用種以外の土地利用のみが存在するメッシュについては、土地利用種を「その他」として計算から除外した。

表 1 土地利用の区分

段 階	土地利用	内 容
1	樹林	広葉樹林、針葉樹林など
2	人工物・集落	集落、道路、埋立地、港など
3	畑・牧草地	パイナップル畑、サトウキビ畑、果樹園、牧草地など
4	裸地・荒地	裸地、採石場、崖地など
※	その他	砂浜

土地利用の区分に関しては国土地理院発行の地形図記号に準ずる。



写真 2 パイナップル畑



写真 3 荒地

(2) 地形の平均傾斜

瀬底島地区のある沖縄本島北部の山地を見てみると、標高500m以下の低い山地であり、対象地域内の最高標高は453.5mの八重岳である。山地、丘陵の傾斜は 10° ～ 30° の傾斜が大部分である。黒島地区は、全島が平坦である。網取湾地区の最高標高は、306mで、海岸沿いに急傾斜が発達している。これらの地域を区分するために平均傾斜角を用いた。判読方法は、土地利用状況の調査と同じ地形図を用いて、各メッシュ内に内接する円の中に出現する等高線の本数を読み取り、この本数から平均傾斜を計算した。さらに、この平均傾斜を5段階に区分した。区分に当たっては、表流水の速度が傾斜角の正弦関数に比例すると仮定し、傾斜角の正弦関数の0.1、0.2、0.3、0.4に相当する値を区切りに用いた。表2に5段階の傾斜区分を示した。

表 2 平均傾斜の区分

段 階	傾斜角度(等高線の数)	状 況
1	5° 未満 (0～2本)	平坦地及び比較的緩傾斜地
2	5° 以上 12° 未満 (3～5本)	緩傾斜地
3	12° 以上 18° 未満 (6～8本)	比較的急傾斜地
4	18° 以上 24° 未満 (9～11本)	急傾斜地
5	24° 以上 (12本以上)	極めて急傾斜地



写真 4 黒島(牧草地)



写真 5 網取湾地区の樹林

(3) 水系までの距離

水系までの距離は、河川の取水域については、最も近い河川までの距離をメッシュ数で示した。国土地理院作成の2万5千分の1の地形図で判読できる河川が存在しない、取水域外のメッシュに関しては、最も近い海までの距離をメッシュ数で示した。

なお今回の調査では、土壌についての検討は、行わないことにした。対象地域における土壌の分布を計測すると、対象地域の約75%～約90%をマージが覆っており、その他はジャーガルと呼ばれる未熟土壌である。これらの土壌は物理的、化学的に見たとき、当然異なり、ジャーガルや島尻マージに比べ、国頭マージの方が、表流水が発生しやすく、赤土の流出を

発生させやすい²⁾。しかし、その他の土壌と比較して、土壌が流出しやすい点では共通しており、本論では赤土流出によるサンゴへの影響の危険性を検討しており、3者を区別することなく総括的に扱うこととした。したがって、区域内の土壌分布に対する評価区分は行なわなかった。

4. 調査結果

4.1 土地利用

(1) 瀬底島地区

瀬底島地区は、海岸線や河川沿いを中心に畑や集落が集中している。土地利用状況を表3で見ると、畑やゴルフ場等の土地利用が約44.8%と構成比が最も高く、次いで樹林が約40.5%となっている。集落・人工物は約8.8%、裸地は約5.3%である。海岸沿いの平坦部に集落・人工物が分布し、急傾斜地の樹林にはヤブツバキクラス域のリュキュウマツ群落が残されている。裸地は、学校の校庭、南部の採石場、北部の旧米軍の飛行場跡地等である。

表 3 土地利用区分 (瀬底島地区)

区 分	メッシュ数	構成比
1 樹 林	261	40.5%
2 集落・人工物	57	8.8%
3 畑・牧草地	289	44.8%
4 裸地・荒地	34	5.3%
※ そ の 他	4	0.6%
計	645	100.0%

(2) 黒島地区

黒島地区の土地利用状況の特徴を、表4からみると次のことが指摘できる。

島全体で畑・牧草地、すなわちここでは牛の放牧地としての利用が81.5%になり、海岸線等にはモクマオウやテリハボク等の樹林が約13.2%分布している。集落・人工物は2.1%と少なく、黒島港、保里集落及び東筋集落である。裸地・荒地も1.6%となっている、この裸地・荒地もいずれは牛の放牧地として利用されると思われる。

表 4 土地利用区分 (黒島地区)

区 分	メッシュ数	構成比
1 樹 林	25	13.2%
2 集落・人工物	4	2.1%
3 畑・牧草地	154	81.5%
4 裸地・荒地	3	1.6%
※ そ の 他	3	1.6%
計	189	100.0%

表 5 土地利用区分 (網取湾地区)

区 分	メッシュ数	構成比
1 樹 林	278	99.3%
2 集落・人工物	1	0.4%
3 畑・牧草地	0	0.0%
4 裸地・荒地	1	0.4%
計	280	100.0%

(3) 網取湾地区

網取湾地区の土地利用状況を表5に示した。対象地域の約99.3%を樹林占め、それ以外の土地利用はわずかに約0.8%にすぎない。樹林はほとんどがケナガエサカキースタジイ群落で成り、網取湾の西側海岸筋にアダン-オオハマボウ群落が見られる。集落・人工物の0.4%と裸地・荒地の0.4%は、東海大学海洋研究所の施設敷地である。

(4) まとめ

樹林の占める割合は、3地区で大きく異なる。網取湾地区では人為的な土地改変はほとんど見られず、自然樹林が広がっている。瀬底島地区の樹林約40.3%は、主に急傾斜地に分布している。黒島地区の樹林約13.2%は、防潮、防風のために島の外縁部に分布する。集落・人工物では、瀬底島が高い値を示し、市街地や農村集落などが見られ人為による開発が進んだ地区と言える。畑・牧草地では、黒島の約81.5%が最も高く、牛の放牧地としての利用が盛んである。これらから、瀬底島地区は人為的な土地改変がかなり進行している地区、網取湾地区は人為的な土地利用がほとんど見られない地区、黒島地区は農業の利用の盛んな地区というように分けることができる。

4.2 平均傾斜

(1) 瀬底島地区

最も多かったのは、5°未満の平坦地及び比較的緩傾斜地が27.6%であり、次に多かったのは、12°以上18°未満の比較的急傾斜地の25.6%である。5°以上12°未満の緩傾斜地が22.9%であり、これら3区分で全体の76.1%を占める。対象区域内の南部や東部には標高200mから400mの山岳があり、この付近を中心に傾斜の急な土地が分布している。北部や瀬底島付近では比較的緩傾斜地が分布する。河川では大小堀川河口付近周辺の傾斜が急である。

表 6 瀬底島地区の平均傾斜

区 分	状 況	メッシュ数	構成比
1 5° 未満	平坦地及び比較的緩傾斜地	178	27.6%
2 5° 以上12° 未満	緩傾斜地	148	22.9%
3 12° 以上18° 未満	比較的急傾斜地	165	25.6%
4 18° 以上24° 未満	急傾斜地	111	17.2%
5 24° 以上	極めて急傾斜地	43	6.7%
計		645	100.0%

(2) 黒島地区

表7にあるように、島全体に99.5%が平均傾斜5°未満の平坦地及び比較的緩傾斜地が分布している。最高標高でも10.8mである。

表 7 黒島地区の平均傾斜

区 分	状 況	メッシュ数	構成比
1 5° 未満	平坦地及び比較的緩傾斜地	188	99.5%
2 5° 以上12° 未満	緩傾斜地	1	0.5%
3 12° 以上18° 未満	比較的急傾斜地	0	0.0%
4 18° 以上24° 未満	急傾斜地	0	0.0%
5 24° 以上	極めて急傾斜地	0	0.0%
計		189	100.0%

(3) 網取湾地区

最も多かったのは、12° 以上18° 未満の比較的急傾斜地の36.8%である。次に多かったのは、18° 以上24° 未満の急傾斜地の26.8%である。両傾斜で対象地域の約63.6%である。この地区はほとんどが12° 以上の急傾斜地であり、中でも18° 以上の急傾斜地は対象区の北東側と南側に集中している。一方、5° 未満の平坦地及び比較的緩傾斜地はわずかに海岸筋に分布しているのみである。網取湾地区はほとんどが傾斜地である。

表 8 網取湾地区の平均傾斜

区 分	状 況	メッシュ数	構成比
1 5° 未満	平坦地及び比較的緩傾斜地	21	7.5%
2 5° 以上12° 未満	緩傾斜地	45	16.1%
3 12° 以上18° 未満	比較的急傾斜地	103	36.8%
4 18° 以上24° 未満	急傾斜地	75	26.8%
5 24° 以上	極めて急傾斜地	36	12.9%
計		280	100.0%

(4) まとめ

瀬底島地区は、調査地の東部が八重岳をはじめとする山地のため地形に起伏があり、局部的には急傾斜の箇所が見られるが、海岸線、満名川沿い、豊原を中心に平坦部も見られる。黒島地区は全島がほぼ平坦部であり、急傾斜地はほとんど見られない。網取湾地区は調査対象に選定した地域全体がほぼ急傾斜地で、3地区の中で最も傾斜地の多いのは、網取湾地区である。

4.3.水系までの距離

(1)瀬底島地区

調査対象区域内で最大の河川である満名川は取水域が最も広く約1,219ha、大小堀川が約482.5haを有する。この他の河川は河川長が短く、海までの距離がわずかなことから、海へ直接流下する水系が多い。満名川、大小堀川の流路からの距離で最も離れている場所は河川から3km程である。なお、本部半島側の海岸部と瀬底島については海からの距離を計測している。

表 9 水系からの距離（瀬底島地区）

区分	メッシュ数	構成比
1 1500m以上	84	13.0%
2 1000m以上1500m未満	102	15.8%
3 500m以上1000未満	75	11.6%
4 500m未満	384	59.5%
計	645	100.0%

(2)黒島地区

黒島には、2万5千分の1地形図上に表示されている河川がないのが特徴である。強い降雨の時も海へ流下することなく、直接地下に浸透してしまうようである。

(3)網取湾地区

網取湾地区には2万5千分の1地形図上に表示されている河川としてアヤンダ川、ウダラ川の2河川が存在する。これらは共に網取湾に注いでいる。2万5千分の1地形図上に表記してあるこの2河川を基に調査した結果、川から最も離れた場所はアヤンダ川から2km程であった。

表 10 水系からの距離（黒島地区）

区分	メッシュ数	構成比
1 1500m以上	3	1.6%
2 1000m以上1500m未満	33	17.5%
3 500m以上1000未満	62	32.8%
4 500m未満	91	48.1%
計	189	100.0%

表 11 水系からの距離（網取湾地区）

区分	メッシュ数	構成比
1 1500m以上	19	6.8%
2 1000m以上1500m未満	45	16.1%
3 500m以上1000未満	73	26.1%
4 500m未満	143	51.1%
計	280	100.0%

(4)まとめ

沖縄の河川は河川長が短く、海までの距離がわずかなことから、海へ直接流下する水系が多い。瀬底島地区の満名川、大小堀川の流路からの距離で最も離れている場所は河川から3km程である。黒島には、強い降雨の時も海へ流下することなく、直接地下に浸透してしまう。

海岸からの距離で最も離れているのは1.5kmである。網取湾地区のアヤンダ川、ウダラ川は流路からの距離で最も離れた場所はアヤンダ川からの2km程であった。

4.5 考察

陸域の土地状況を、土地利用、平均傾斜角、水系までの距離に着目して把握し、各地域別の特徴を検討した。この結果をもとに、赤土流出の危険性を中心にした陸域がサンゴ群集に与える負荷について検討することにする。赤土の流出によるサンゴへの影響には、①直接的なサンゴ礁への堆積による影響、②赤土粒子の懸濁による影響が考えられている。これらのサンゴ礁への影響の度合いについてはまだ明らかになっていないが、ここでは、赤土が多く流出すると、サンゴ礁への影響が大きいと考え、赤土流出の評価を行うことにした。そこで、各要因ごとに赤土流出の危険性の高低を基準に評価を行ない、各メッシュ単位で評価結果を得ることにした。

今回の調査の場合、分析要因に対して絶対評価は難しいので、現地調査で土地の状況を観察し、その知見を基に相対評価を行なうことにした。特に、瀬底島地区の現地調査中に降雨

日があり、この時多量の赤土が流出しているのを観察したので、このときえた知見を重視した。具体的には次のような視点にたって評価を行なった。

- ① 3条件の内、最も赤土流出に影響を与えるのは土地利用状況の現況である。
- ② 土地のもつ裸地の割合が、赤土の流出に比例する。
- ③ 傾斜の大きさに応じて土砂の流出が大きくなる。
- ④ 水系に近いほど、流出した土壌が海に出やすい。
- ⑤ 樹林は基本的に裸地率が低く、よって土砂の流出率は最も低い。
- ⑥ 樹林でも急傾斜地では、土壌の流出する場合がある。
- ⑦ 人工物・集落は土壌の改良や軒があるなどによって降雨時の影響が比較的少ない。
- ⑧ 裸地では、校庭のグラウンドの様なほとんど傾斜の無いところでも、土壌流出が見られた。

ほんの少しの傾斜でも降雨が多ければ赤土が流出する。

これら知見をもとに、土地利用、平均傾斜、水系からの距離に、以下のような評価値を与えた。

■土地利用

樹林	1
人工物・集落	5
畑・牧草地	15
裸地・荒地	20

■平均傾斜

5° 未満	1
5° 以上12° 未満	2
12° 以上18° 未満	3
18° 以上24° 未満	4
24° 以上	5

■水系からの距離

500m 未満	4
500m 以上 1,000m 未満	3
1,000m 以上 1,500m 未満	2
1,500m 以上	1

土壌の流出の危険度は、裸地の割合から求めた土地利用の評価値に比例し、平均傾斜の区分に比例し、水系からの距離に反比例すると考えて、以下の式で赤土流出の危険度を計算した。ただし、水系からの距離は評価値の設定段階で反比例の評価値が設定されている。

$$\text{赤土流出の危険度} = \text{土地利用の評価値} \times \text{平均傾斜の評価値} \times \text{水系からの距離の評価値}$$

この式を用いて、メッシュ別に計算して得られた結果から、危険度についての相対的序列を検討すると、表12のような1～5段階に区分、評価したマトリックスが作成できた。

表 12 赤土流出の危険度による評価区分

区分	危険度	内容
1	1～5	安全
2	5～20	比較的安全
3	21～60	比較的危险
4	61～240	危険
5	240以上	極めて危険

4.6 赤土流出の危険度

赤土流出の評価区分を求めた結果を、各地域別にメッシュで示したのが図5である。評価区分の構成比を帯グラフに示したのが図4である。

危険度区分5は、瀬底島地区のみに存在し、瀬底島地区の0.9%を占めている。この地区は採石場と開発中の土地であり、極めて危険である。危険度区分4は、瀬底島の32.1%を占めている。これらの地区は、採石場、ゴルフ場、パイナップル畑などの土地で、比較的急傾斜地が多い。危険度区分3は、黒島の50.3%と瀬底島の18.4%となっている。黒島の場合は、ほとんどの土地が牧草地で、河川はないが海からの距離が近いので、比較的危険な土地と評価された。危険度区分2は、網取湾地区の80.7%、黒島地区の40.2%、瀬底島地区の33.2%である。網取湾地区は、急傾斜地が多いが、土地利用がほとんど樹林であるため、危険度区分2の比較的安全な土地と評価された。危険度区分1は、網取湾地区の18.9%、瀬底島地区の15.3%、黒島地区の9.5%となっている。これらの地域は、平坦な樹林か、水系から遠い距離の樹林である。

これらの結果より、最も赤土流出の危険度の高いのは瀬底島地区であり、最も危険度の低い地域は網取湾地区である。黒島地区は両者の中間的な地区である。

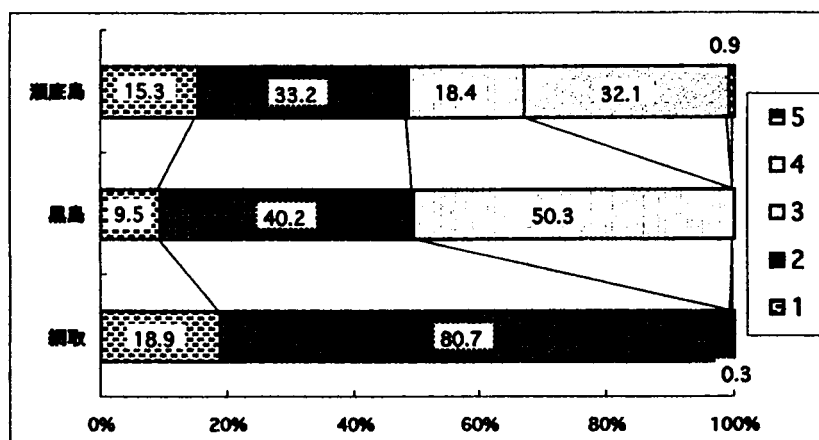
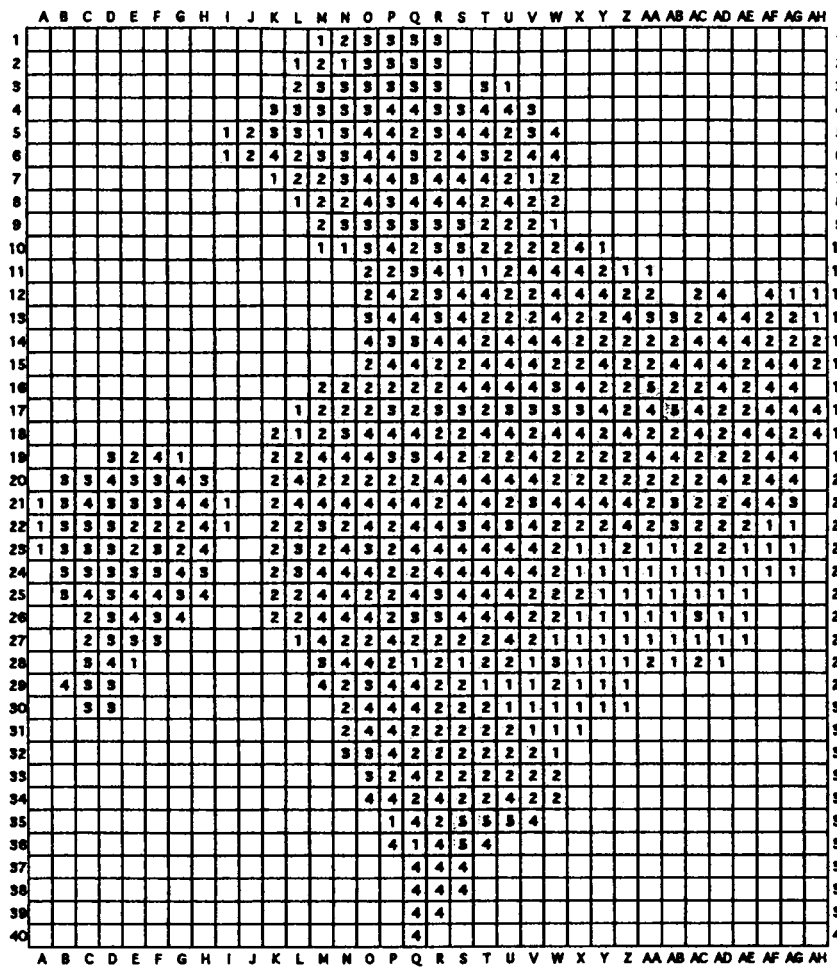
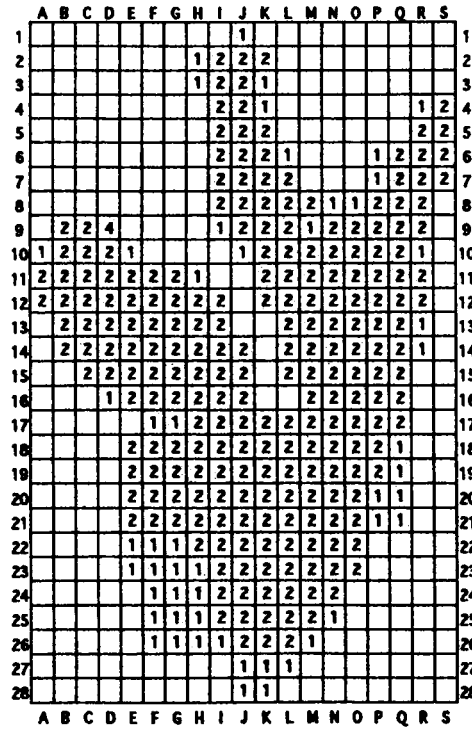


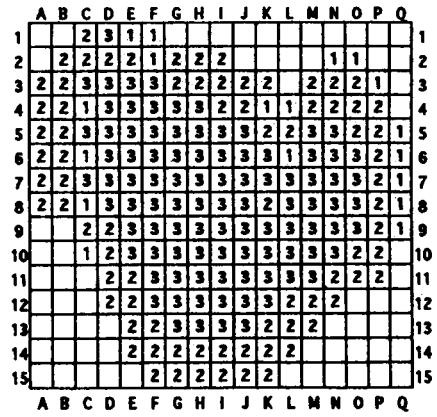
図 4 各地区の危険度区分の構成比



瀬底島地区



網取湾地区



黒島地区

図 5 各調査地域の評価

5.まとめ

本研究では、陸域の土地状況に着目して赤土流出の危険性を検討し、サンゴへの影響を十分に配慮した土地利用の計画策定に対する有効な資料提示を目的として、瀬底島周辺海域、黒島周辺海域、西表島網取湾周辺海域の3地域において、この海域に流入している河川の流域を対象地に選定し、地形、土地利用、水系との関係など土地状況を解析した。さらに、赤土流出の危険度について検討した。

土地利用調査によると、樹林の占める割合は、3地区で大きく異なり、網取湾地区99.3%、瀬底島地区約40.3%、黒島地区約13.2%である。集落・人工物では、瀬底島地区が8.8%で、市街地や農村集落などが見られ人為による開発が進んだ地区と言える。畑・牧草地では、黒島の約81.5%が最も高く、牛の放牧地としての利用が盛んである。これらから、瀬底島地区は人為的な土地改変がかなり進行している地区、網取湾地区は人為的な土地利用がほとんど見られない地区、黒島地区は農業の利用の盛んな地区というように分けることができる。

平均傾斜の調査によると、瀬底島地区は、調査地の東部が八重岳をはじめとする山地のために地形に起伏があり、局部的には急傾斜な箇所が見られるが、海岸線、満名川沿い、豊原を中心に平坦部も見られる。黒島地区は全島がほぼ平坦部であり、急傾斜地はほとんど見られない。網取湾地区は調査対象に選定した地域全体がほぼ急傾斜地で、3地区の中で最も傾斜地の多いのは、網取湾地区である。

水系からの距離調査によると、瀬底島地区で、流路からの距離で最も離れている場所は河川から3km程である。網取湾地区の流路からの距離で最も離れた場所は1.5km程である。黒島には、河川はないが、海からの距離で最も離れた場所は2.0km程である。

赤土流出の危険度を求めた結果をまとめると、最も赤土流出の危険度の高いのは瀬底島地区であり、最も危険度の低い地域は網取湾地区である。黒島地区は両者の中間的な地区である。危険と極めて危険にランクされる危険度区分4と危険度区分5は、瀬底島地区で0.9%、32.1%を占めている。他の地区にはほとんど存在しない。この地区は採石場と開発中の土地、ゴルフ場、パイナップル畑などである。安全と比較的安全にランクされる危険度区分1と危険度区分2は、網取湾地区で合計99.6%を占めている。黒島地区や瀬底島地区の約2倍の割合を占めている。これらの地域は、平坦な樹林か、水系から遠い距離の樹林である。

II. 海 域

1. 序

地球環境変動の地域生態系に及ぼす影響を検討するためには、まず地域生態系の現状を把握することが不可欠である。このような視点から本研究では、沖縄県下に、(1)人間活動の影響が強いサンゴ礁、(2)人間活動の影響が軽微なサンゴ礁、(3)人間活動の影響が中程度のサンゴ礁、を選定し、これらの海域でサンゴ礁の中核をなすサンゴ群集のモニタリングと環境測定を実施した。

沖縄島周辺のサンゴ礁では陸域の開発にともなう表土の流入が、「赤土」問題として社会的にも強く注目されている。赤土が大量降雨時にサンゴ礁に流れ出すと海水の色が著しく変化するため、赤土のみがサンゴに悪影響を及ぼすと考えられがちである。しかし赤土流入にともなう栄養塩類などの物質も、陸域からサンゴ礁に流入するものと思われる。

サンゴ礁は元来、海水の透明度が高い。これは栄養塩類が少なく⁹⁾(表13)、植物プランクトンも少ないためであると考えられている。サンゴは貧栄養な環境で進化した生物であり、栄養塩類の濃度の上昇がサンゴに悪影響を及ぼす可能性がある⁹⁾。さらに栄養塩の陸域からサンゴ礁への流入が、間接的にサンゴに影響を及ぼす可能性がある。栄養塩が陸域からサンゴ礁に流入すると、植物プランクトンが増え、幼生が植物プランクトン食であるオニヒトデが大量発生するという仮説がある⁹⁾。これらの点を考慮して、本研究では栄養塩などの水質の測定も行った。

沖縄県下のサンゴ群集は上述の赤土に加え、オニヒトデの捕食による攪乱も受けてきた。沖縄島周辺では1970年代初頭、八重山地方では1980年代初頭にオニヒトデが大発生し、サンゴ群集はきわめて大きな攪乱を受けた。このような大規模攪乱の後サンゴ群集が回復するためには、サンゴ幼生の加入が不可欠である。このような意味でサンゴ幼生の加入は、ある地域のサンゴ群集のもつ回復潜在力を示すものと思われる。したがって本研究では、サンゴ群集のモニタリングに加え、人工の定着板を用いたサンゴ幼生の定着も調べた。

表13. 温帯と熱帯海域における表層水の栄養塩濃度 ($\mu\text{g atom l}^{-1}$)⁹⁾.

	温帯	熱帯
硝酸	2.0-5.0	0.1-0.3
アンモニア	<1.0	0.2-0.5
リン酸	0.5-2.0	<0.3
珪酸	<50	<2.0

2. 研究方法

(1) 調査地域

土地開発が進行している地域として沖縄島北部の瀬底島周辺海域を，土地開発があまり進行していない地域として西表島網取湾周辺海域を，中間的な地域として石西礁湖の黒島周辺海域を選定した．調査地点数は各地域で5地点である．網取湾周辺では1992年から5地点でサンゴ群集の遷移と幼生の定着量の調査が継続されているので，その調査を継続した．瀬底島周辺では網取湾周辺の地点と波当たりが対応するように，5地点を新たに選定し，黒島周辺では礁池内で水質的，物理的に環境の異なる5地点を新たに選定した．

(2) 環境調査

各海域の全調査地点でセディメントトラップによる堆積物と，採水・測温による水質を調査した．分析項目は以下の通り．

- ・堆積物：乾重量，強熱減量，粒度組成
- ・水質：水温，塩分，SS，Total-N，NH₄-N，NO₂-N，NO₃-N，Total-P

使用したセディメントトラップは塩化ビニールのパイプを加工したもので，内径が9 cm，高さが30 cmの円筒形で，開口部に魚などが入らないように針金で十字のプロテクターを付けた．セディメントトラップは各調査地点に3個設置し，1995年及び1996年の5～12月の期間に2ヶ月間隔で2～3回トラップ中に溜まった堆積物を採取し，財団法人沖縄県環境科学センターに依頼して分析した．水質についても，採水試料を財団法人沖縄県環境科学センターに依頼して分析した．水質の調査は1995年及び1996年の5～12月の期間に3～7回行った．

(3) サンゴ群集調査

各調査地点に永久方形区域をランダムに設置し，方形区内のサンゴ群集を写真撮影等により記録し，サンゴの密度と被度を求めた．ここで対象としたのは，造礁サンゴ類のみである．方形区の数はいずれも各調査地点4で，直径2 cm以上のサンゴを対象とした．方形区の面積は1m²，もしくは出現サンゴ群体の最大直径の2倍を目安とした．方形区は網取湾のSt1～3で4m²，St4と5で1m²，黒島および瀬底島は全地点で1m²であった．サンゴ群集の調査は年1回，夏季から秋季に実施した．サンゴの同定は属レベルで行った．

(4) サンゴ幼生の定着調査

各調査地点にスレート製の定着板(10 X 10cm)を，2 cmの隙間を空けて2枚重ねて5組を海底に設置し，2か月間放置した後回収し，定着した稚サンゴを記録した．設置は4月～11月までの間，毎月の満月の直前に設置し，2か月後に回収した．設置期間は網取湾および黒島では，4月～6月，5月～7月，6月～8月，7月～9月，8月～10月とし，網取湾および黒島よりサンゴの放卵放精が1か月遅れて始まる瀬底島では，5月～7月，6月～8月，7月～9月，8月～10月，9月～11月とした．稚サンゴの同定は科レベルで行った．

(5) サンゴ捕食者の調査

幼生定着板の設置・回収時に、各調査地点でオニヒトデや巻貝類などのサンゴの捕食者の密度と捕食状況の調査を行った。

3. 結果と考察

(1) 環境調査

① 堆積物

堆積物の採取状況を表14に示す。網取では2年間で6回、黒島では5回の採取を行うことができたが、瀬底では台風でトラップが破損したため、2年間を通じて1回しか堆積物の採取を行うことができなかった(表14)。

1試料当たりの乾重量は地点や時期によって大きく異なっていて、最大のものは瀬底 St.3で1996年8月の819.13 g、最小のものは網取 St.1及びSt.4で1996年7月の0.06 gだった。しかし各地点に設置した3個のトラップの間では一般にそれほど大きな差がなかった。このため乾重量の違いは主に地点間の地形や底質など周辺環境の違い、設置期間の波浪の影響などによるものと思われる。そこで全試料の乾重量を9階級にわけ、階級ごとの粒度組成をみたところ、30gを境に乾重量が小さいときにはシルトと粘土が多くて砂が少なく、乾重量が大きいときにはシルトと粘土が少なく砂が多いことがわかった(図6)。このことは乾重量30g以上の試

表14. 堆積物の採取状況

地点	採取期日	採取試料個数
網取	St.1-5 1995.07.25	15個：全地点3ヶ所
網取	St.1-5 1995.09.28	15個：全地点3ヶ所
網取	St.1-5 1995.11.22	15個：全地点3ヶ所
網取	St.1-5 1996.07.01	14個：St.1,2,4,5は3ヶ所St.3は2ヶ所
網取	St.1-5 1996.09.10	15個：全地点3ヶ所
網取	St.1-5 1996.10.30	14個：St.1は2ヶ所、St.2~5は3ヶ所
瀬底	St.2-4 1996.08.27	9個：3地点各3ヶ所
黒島	St.1-5 1995.08.02	13個：St.1~4は3ヶ所St.5は1ヶ所
黒島	St.1-4 1995.10.02	12個：St.1~4で3ヶ所St.5はなし
黒島	St.1,2 1996.08.05	
黒島	St.3,5 1996.07.24	15個：全地点3ヶ所
黒島	St.4 1996.07.23	
黒島	St.1-5 1996.09.24	13個：St.1,3,4は3ヶ所、St.2,4は2ヶ所
黒島	St.1-5 1996.12.03	15個：全地点3ヶ所
合計		165個

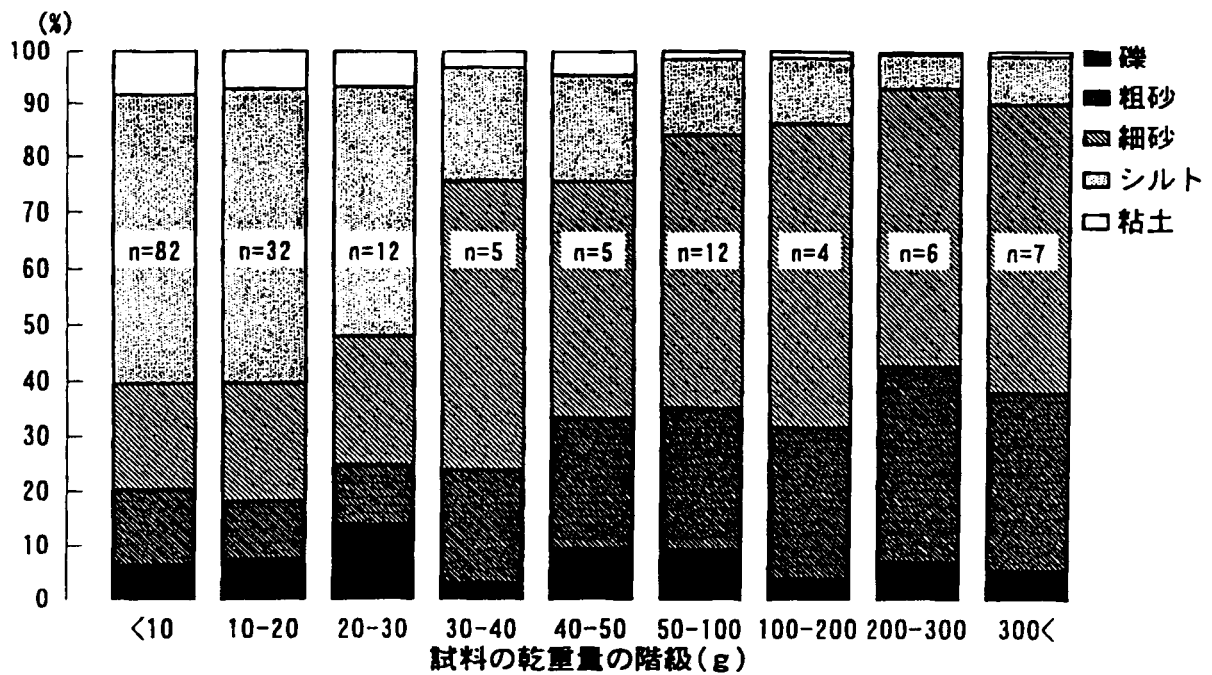


図6. 試料の乾燥重量の違いによる粒度組成の変化

表15. 粒径による堆積物の分類.

分類	粒径
礫	粒径2mm 以上
粗砂	粒径0.425-2.0mm
細砂	粒径0.075-0.425mm
シルト	粒径0.005-0.075mm
粘土	粒径0.005mm 以下

料には荒天時に波浪によって舞い上がった底質が堆積している可能性を示唆しており、各地点の常態を判断するためには乾重量30g以下の試料のみをみる必要がある。30g以下の試料の数は126、瀬底のSt3及びSt4は試料がなくなった。なお、以下、本稿で用いる粒度の分類は、表15の分類による。

ただし1996年調査時には使用した機器の関係で、便宜的に次の数値を用いた。礫→粒径2mm以上、粗砂→粒径0.4516 - 2.0mm、細砂→粒径0.07734 - 0.4516mm、シルト→粒径0.005122-0.07734mm、粘土→粒径0.005122mm以下。

表16及び図7に乾重量30g以下の試料のみを用いた堆積物の粒土組成を示す。

網取湾の湾口に位置する網取のSt1では礫及び粗砂の成分が全量の1/2を超え、常時波当たりがかなり強いことを示している。一方湾奥に位置する網取のSt.3では陸域由来と思われる

シルト及び粘土の成分が3/4を占めている。St.2及びSt.4の粒度組成は、St.1とSt.3の中間的な値を示している。St.2に比べてSt.4の方が細かい成分の割合が高かった。これはSt.2では湾口方向からの波を比較的受けやすく、海岸に近く砂礫底のすぐ沖側に位置しているため、頻繁に大量の砂礫がセディメントトラップに入り、全試料を用いた平均乾重量が網取湾で最大であったため、相対的に細かい成分の割合が低くなったことと、St.4では外海からの波当たりがあまり強くなく、2本の河川からシルト・粘土が供給され、堆積することによるものと思われる。St.4・St.5はSt.1とSt.2の中間的な値を示しており、地点の立地を反映しているように思われる。

黒島のSt.2及びSt.4ではシルト及び粘土の成分が3/4を超えているが、これらの地点は島の南側に発達した礁池内のリーフよりの場所であり、島には陸域から海に流れ出る河川はないため、陸域に由来するものではないと思われる。St.3とSt.5は細砂の成分が全成分中1/3～1/2を占めて最も多く同じような粒度組成を示している。しかしSt.3は礁池内、St.5は島の北側の「石西礁湖」内に位置しており、地形的にはかなり異なる地点である。強いて共通点をあげるとするとどちらもサンゴの被度の非常に高い地点であることがあげられるが、粒度組成の類似の原因をサンゴの被度に求めることは困難である。St.1は網取のSt.2と類似の粒度組成を示しており、リーフの北東側の終端に位置するこの地点の物理的環境が網取のSt.2に似ていることが推測される。

瀬底は30g以下の試料に限るとわずかSt.2で3個の試料しか得られなかったが、粒度組成は網取のSt.5、黒島のSt.3及びSt.5に類似で、これらの地点より粘土やシルトの成分がやや多い。

採取された堆積物の強熱減量の地点別・地域別平均値を表17に示す。なお、サンプル量が少ない場合や、サンゴ片など粗礫成分が多い試料については強熱減量を測定していない。このため、2年間で合計165個採取されたサンプルの内、強熱減量は81個のサンプルについてのみ測定された。

強熱減量値は、網取のSt.3及びSt.4と黒島のSt.4でやや高い値を示したが、網取のSt.4は試料が1個しかないため地点の常態を表しているかどうかわからない(表17)。他の地点はほとんどが6～7%前後であった。

②水質

2年間の水質の測定値の地点別平均値を表18に示す。測定限度以下のデータは、便宜的に“0”として扱った。

基本的には瀬底、黒島、網取湾の全ての地点で貧栄養な水質であり、特筆すべき際だった差異はない。ただし細かく見ると、黒島でSSがやや高い、黒島でアンモニア態窒素が多い、瀬底で硝酸態窒素が多い、網取湾で窒素が少ないなどの傾向が見られる。

黒島でアンモニア態窒素が多い理由には、陸域の大部分を占める牧場で周年散布される化学肥料(硫酸が主体)の影響が考えられるが、因果関係は検証されていない。また、最もSSの

表16. 乾重量30g以下の堆積物の粒度組成. 各粒径のカッコ内の数値は%を表す.

地点	試料数	乾重量 (g)	礫 (g)	粗砂 (g)	細砂 (g)	シルト (g)	粘土 (g)
網取St.1	17	9.82	3.37(34.3)	1.93(19.7)	1.74(17.8)	2.42(24.6)	0.36(3.7)
網取St.2	6	3.23	0.12(3.6)	0.81(25.2)	0.62(19.0)	1.53(47.3)	0.16(4.9)
網取St.3	17	10.55	0.18(1.7)	0.30(2.8)	2.19(20.8)	6.96(66.0)	0.92(8.7)
網取St.4	18	2.81	0.10(3.4)	0.32(11.5)	0.54(19.4)	1.53(54.3)	0.32(11.4)
網取St.5	18	3.44	0.29(8.5)	0.81(23.6)	0.29(37.6)	0.86(24.9)	0.19(5.5)
瀬底St.2	3	3.76	0.19(5.0)	0.56(14.8)	1.44(38.3)	1.20(32.0)	0.37(9.8)
黒島St.1	12	11.36	1.13(10.0)	1.70(15.0)	2.36(20.8)	5.50(48.4)	0.67(5.9)
黒島St.2	9	16.45	0.34(2.0)	0.72(4.4)	2.13(12.9)	11.53(70.1)	1.74(10.6)
黒島St.3	12	7.01	0.75(10.7)	1.55(22.1)	2.54(36.2)	1.86(26.5)	0.32(4.5)
黒島St.4	9	12.54	0.19(1.5)	0.70(5.6)	2.03(16.2)	8.47(67.6)	1.15(9.2)
黒島St.5	5	10.01	0.57(5.7)	1.79(17.9)	4.75(47.5)	2.40(24.0)	0.50(5.0)

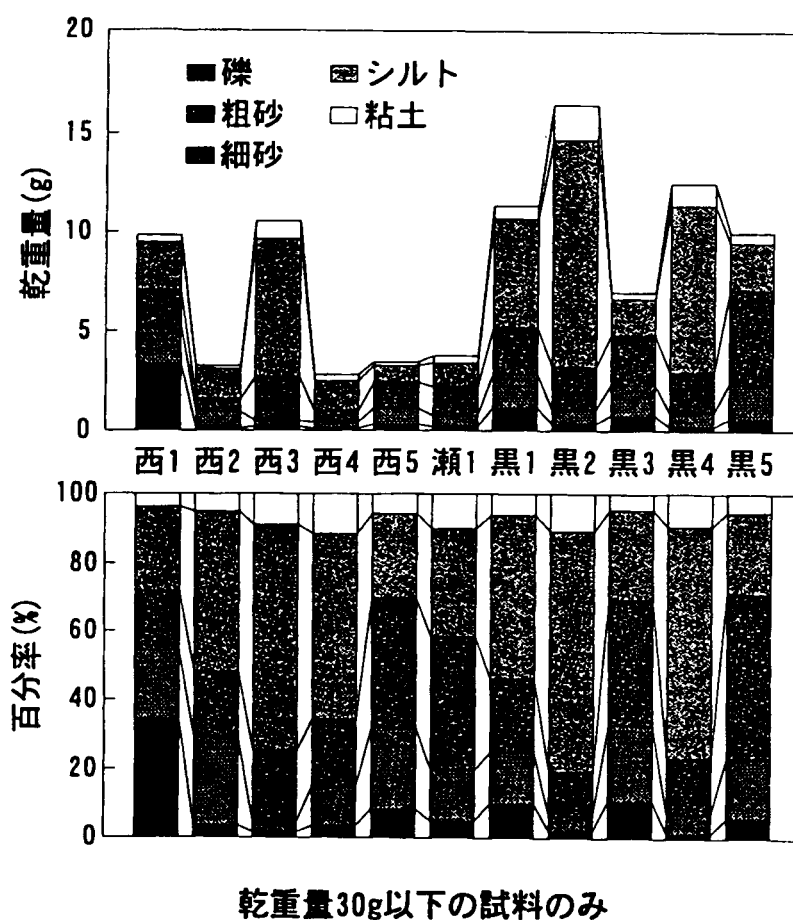


図7. 地点別粒度組成 (30g以下の試料のみを用いた).

表17. 堆積物の強熱減量の地点別平均値

地点	地点平均強熱減量 (%)	試料数 (%)	最大値 (%)	最小値 (%)
網取St.1	7.3	7	8.7	5.9
網取St.2	6.7	12	8.4	5.4
網取St.3	11.5	8	17.2	7.1
網取St.4	10.5	1	10.5	10.5
網取St.5	-	0	-	-
瀬底St.2	-	0	-	-
瀬底St.3	7.4	2	8.6	6.1
瀬底St.4	5.4	3	5.7	5.2
黒島St.1	7.6	9	8.4	6.6
黒島St.2	7.4	12	9.6	6.0
黒島St.3	7.9	7	10.3	6.2
黒島St.4	8.9	14	12.0	6.6
黒島St.5	5.8	6	6.9	4.6

表18. 水質データの地点別平均値. 単位は全てmg/l.

	塩分濃度	SS	Total-N	NH4-N	NO2-N	NO3-N	Total-P
網取1	34.261	0.0	0.044	0.000	0.0008	0.000	0.0048
網取2	34.284	0.0	0.051	0.003	0.0009	0.000	0.0049
網取3	34.253	0.1	0.045	0.004	0.0011	0.004	0.0054
網取4	34.284	0.0	0.049	0.003	0.0008	0.004	0.0045
網取5	34.208	0.0	0.048	0.000	0.0004	0.000	0.0056
瀬底1	34.452	0.0	0.069	0.000	0.0022	0.011	0.0049
瀬底2	34.486	0.0	0.049	0.000	0.0016	0.002	0.0051
瀬底3	34.488	0.1	0.053	0.000	0.0013	0.002	0.0067
瀬底4	34.379	0.2	0.082	0.000	0.0012	0.018	0.0053
瀬底5	34.487	0.1	0.099	0.002	0.0010	0.027	0.0049
黒島1	34.359	0.2	0.070	0.014	0.0012	0.000	0.0044
黒島2	34.377	0.6	0.072	0.009	0.0011	0.000	0.0048
黒島3	34.305	0.2	0.060	0.009	0.0021	0.000	0.0043
黒島4	34.295	0.2	0.066	0.008	0.0027	0.000	0.0046
黒島5	34.305	0.2	0.080	0.013	0.0019	0.000	0.0049

平均値が高い黒島のSt2は堆積物のデータではシルトと粘土の量が最も多かった地点で、堆積物のデータの結果を反映している。

本研究で調査を行ったサンゴ礁海域は一般に極めて貧栄養で物質循環のサイクルが速いところなので、測定値の絶対量ではわずかな差でも藻類の動態に大きな影響を与えている可能性もある。クロロフィル量を測定して比較することによってこの可能性はある程度検証されるが、残念ながら今回の調査項目にクロロフィルは含まれていない。

(2) サンゴ群集と捕食者

各海域におけるサンゴ群集の調査結果を図8～10に示す。また各調査地点で優占であったサンゴを表19に示す。

調査地点が各海域のサンゴ群集を代表するものと仮定し、海域間のサンゴ群集の被度の比較を行った。各海域のサンゴ群集の被度の全体の平均は1995年には網取で $39.7 \pm 5.3\%$ （±標準誤差, $n=20$ ）、瀬底で $31.2 \pm 5.4\%$ （ $n=20$ ）、黒島で $30.1 \pm 6.9\%$ （ $n=20$ ）であり、海域間に有意差は認められなかった（ $p > 0.05$, nested ANOVA）。1996年の被度の全体の平均は網取で $44.9 \pm 5.0\%$ （ $n=20$ ）、瀬底で $19.6 \pm 3.3\%$ （ $n=20$ ）、黒島で $38.9 \pm 7.3\%$ （ $n=20$ ）であり、海域間に有意差が生じた（ $p < 0.001$, nested ANOVA）。

表19. 各地点のサンゴ群集における優占なサンゴ。

地点	優占なサンゴ
網取St.1	卓状とコリンボース状のミドリイシ類
網取St.2	卓状とコリンボース状のミドリイシ類
網取St.3	枝状とコリンボース状のミドリイシ類
網取St.4	コリンボース状ミドリイシ類
網取St.5	卓状とコリンボース状のミドリイシ類
瀬底St.1	卓状とコリンボース状のミドリイシ類
瀬底St.2	卓状ミドリイシ類（1995年）→枝状ミドリイシ類（1996年）
瀬底St.3	枝状ミドリイシ類
瀬底St.4	塊状ハマサンゴ類, キクメイシ類, アナサンゴモドキ類
瀬底St.5	キクメイシ類, ハナヤサイサンゴ類
黒島St.1	卓・枝状ミドリイシ類混合
黒島St.2	枝状ミドリイシ類
黒島St.3	枝状コモンサンゴ類
黒島St.4	チヂミコモンサンゴ, 枝状ミドリイシ類
黒島St.5	卓・枝状ミドリイシ類混合

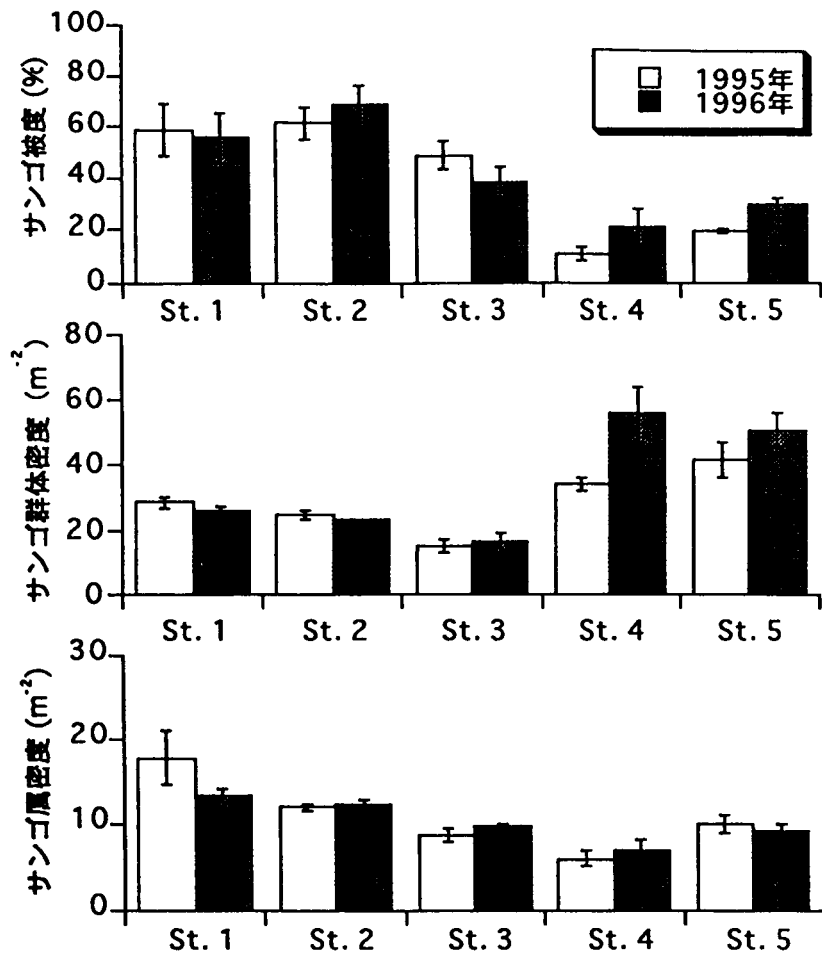


図8. 西表島網取湾周辺海域における地点別のサンゴ群集パラメーター。バーは標準誤差。

多重比較の結果，網取と黒島の間には有意差がないが ($p=0.3$, Tukeyの多重比較)，網取と瀬底および黒島と瀬底の間に有意差があった (ともに $p<0.001$, Tukeyの多重比較)。これは網取および黒島ではサンゴ群集の全体の被度の平均が増加したが，瀬底では減少したためである。

次に各海域ごとに1995年と1996年の間のサンゴ群集の被度，群体密度，属密度を比較した。

網取では1995年と1996年の間に，サンゴ被度とサンゴ属密度に有意差がなかった (表20)。しかし5地点中3地点で，サンゴ被度の増加が認められた (図8)。一方サンゴ群体密度には有意差が認められた。これはSt4でサンゴ群体密度が1995年に $11.0 \pm 2.5/m^2$ だったのが，1996年には $21.0 \pm 6.6/m^2$ ($n=4$) に，有意に増加したことによる ($p<0.05$, Tukeyの多重比較)。サンゴ群体密度の増加は主にミドリイシ類の小群体が加入したためで，4つの方形区の合計でミドリイシ類の群体数は1995年の75から1996年には119へと増加した。

St.2の方形区のひとつでは，直径1m程度のテーブル状ミドリイシが枠外から台風の波で運ばれて，1996年にこの地点のミドリイシ類の被度が急増した。またSt3では有意ではなかったものの，サンゴ群集の被度が1995年の $48.6 \pm 5.7\%$ から，1996年には $38.3 \pm 6.1\%$ ($n=4$) に減少した。この被度の低下は，卓状およびコリンボース状のミドリイシ類の死亡が多かった

表20. 西表島網取湾周辺海域におけるサンゴ群集パラメータの、1995年と1996年間の比較結果。2元配置の分散分析による。NS, $p>0.05$; *, $p<0.05$; ***, $p<0.001$ 。

要因	サンゴ被度	サンゴ群体密度	サンゴ属密度
年	NS	*	NS
地点	***	***	**
年*地点	NS	*	NS

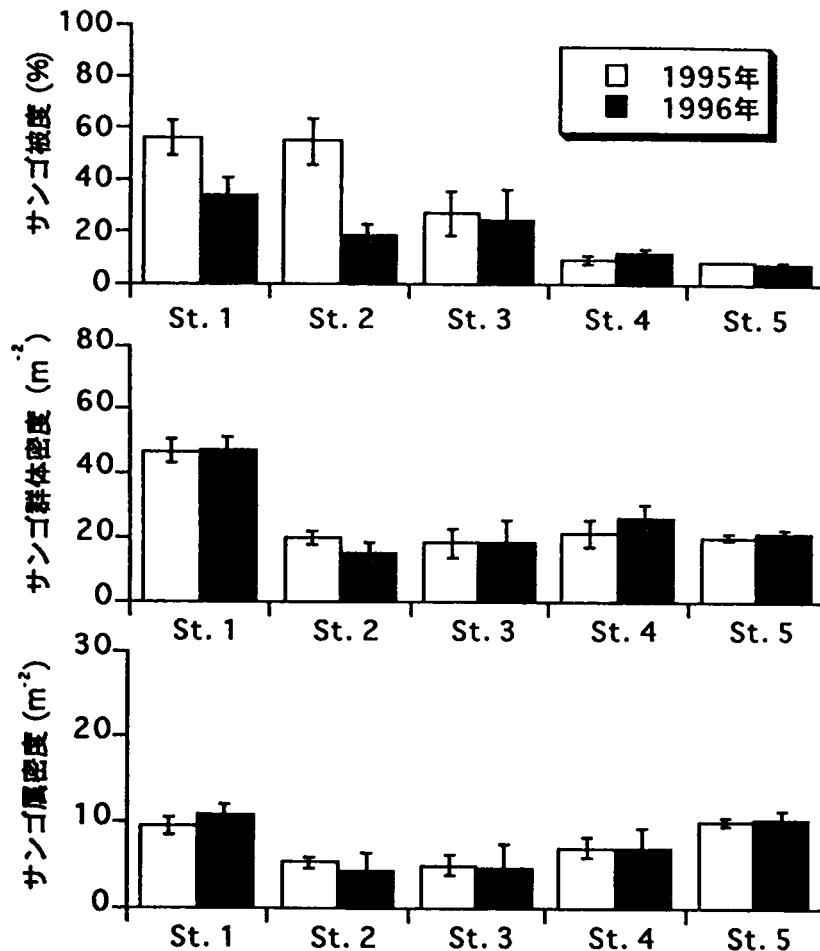


図9. 沖縄島瀬底周辺海域における地点別のサンゴ群集パラメーター。バーは標準誤差。

ためであった。死亡原因は不明だが、オニヒトデやサンゴ食巻貝は見られなかった。

瀬底では1995年と1996年の間にサンゴ被度が有意に減少した(表21)。これはSt2でサンゴ被度が、 $54.8 \pm 8.8\%$ から $19.0 \pm 4.0\%$ ($n=4$) へと有意に減少した ($p<0.01$, Tukeyの多重比較) ことが主な原因である(図9)。調査期間中St2では最大で 10 m^2 あたり1.3個体のオニヒトデが出現した。St2以外の地点ではSt4およびSt5で最大 10 m^2 あたり0.3個体、St3で最大で 10 m^2 あたり0.1個体のオニヒトデが出現した。またSt.1ではオニヒトデが見られなかった。

表21. 沖縄島瀬底周辺海域におけるサンゴ群集パラメータの、1995年と1996年間の比較結果。
2元配置の分散分析による。NS, $p>0.05$; *, $p<0.05$; **, $p<0.01$; ***, $p<0.001$.

要因	サンゴ被度	サンゴ群体密度	サンゴ属密度
年	**	NS	NS
地点	***	***	***
年*地点	*	NS	NS

St.2 で高密度で出現したオニヒトデは、1995年に優占した卓状ミドリイシ類を選択的に捕食した。この結果1995年には平均で $38.6 \pm 9.3\%$ の被度で出現した卓状ミドリイシ類の多くが1996年までに骨格を残し死亡し、平均被度が $1.5 \pm 0.9\%$ ($n=4$)に激減したことによる。このためSt.2の優占サンゴは、1996年には枝状ミドリイシ類へと変わった(表19)。

St.1では有意差はなかったが、サンゴ被度が1995年の $56.0 \pm 6.3\%$ から1996年には $34.3 \pm 6.4\%$ ($n=4$)へと減少した。これは1996年に沖縄本島に接近した台風の、波による物理的攪乱が原因であった。

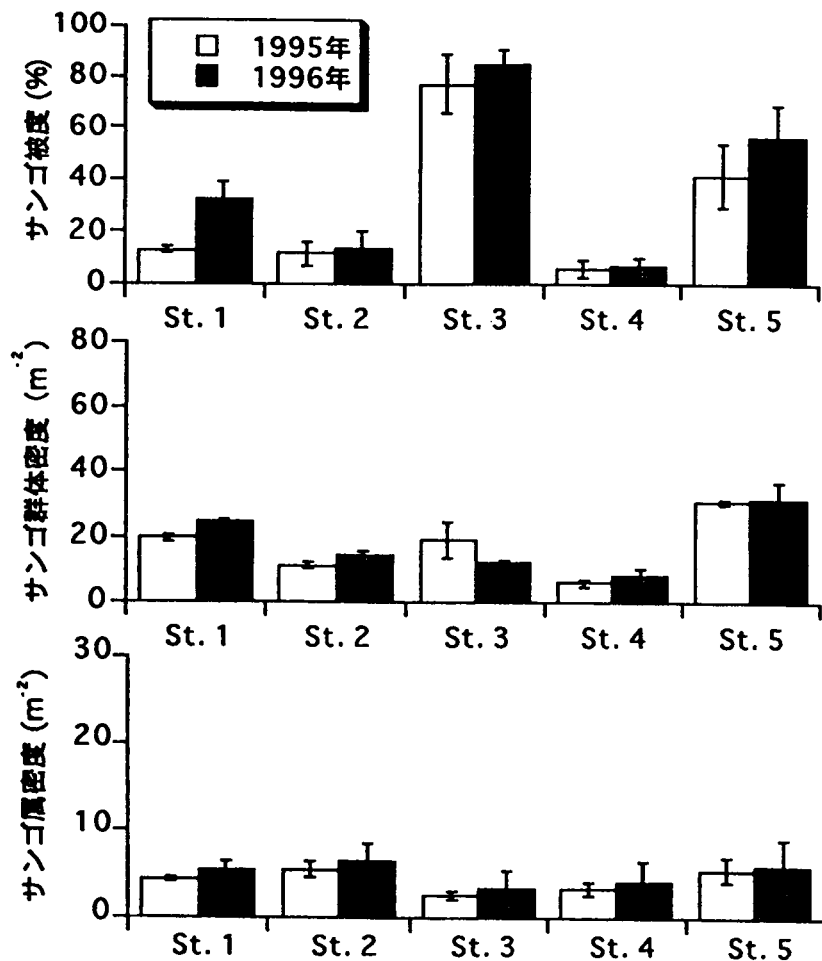


図10. 黒島周辺海域における地点別のサンゴ群集パラメーター。バーは標準誤差。

表22. 黒島におけるサンゴ群集パラメータの、1995年と1996年間の比較結果。2元配置の分散分析による。NS, $p>0.05$; ***, $p<0.001$ 。

要因	サンゴ被度	サンゴ群体密度	サンゴ属密度
年	NS	NS	NS
地点	***	***	***
年*地点	NS	NS	NS

黒島では1995年と1996年の間に、サンゴ被度が全地点で増加した（図10）。しかしサンゴ被度、群体密度、属密度ともに有意差はなかった（表22）。

（3）サンゴ幼生の定着

海域・地点・年別での定着量とその組成を図11に示した。図12には、各海域ごとの全定着量の組成を年別に示した。

①海域ごとの定着の概要

網取

1995年

1セットあたりの全期間合計は13.8から120.8であり、地点間での差が大きく、湾奥のSt3が最も少なかった。組成はどの地点もミドリイシ科が第1位であったが、St3では他の地点に比べて第2位以下との差が小さかった。全体の組成ではミドリイシ科が71.1%を占めた。

1996年

1セットあたりの全期間合計は44.4から310.8であり、定着量はSt2を除いて前年より多かった。前年と同じく地点間での差が大きかったが、最多を記録した地点は前年に最も少なかったSt3であった。組成はどの地点でもミドリイシ科が第1位であり、全体では75.0%を占めた。

地点間の比較

地点間の定着量の多寡には両年に共通した一定の傾向はなく、非生物的環境要因、ならびにサンゴ群集の被度と密度の高低との関連はみられなかった。

瀬底

1995年

定着板1セットあたりの全期間合計は15.2から77.4であった。組成は、St1ではハナヤサイサンゴ科が42.7で最も多かったが、他の4地点ではいずれもミドリイシ科が最も多かった。全地点合計では、ミドリイシ科が全体のおよそ半分を占めた。

1996年

St.1は、台風による被害のため全期間を通して1セット分の資料しか得られなかったため、結果から除外した。1セットあたりの全期間合計は148.4から697.0で、前年を一桁上回った。

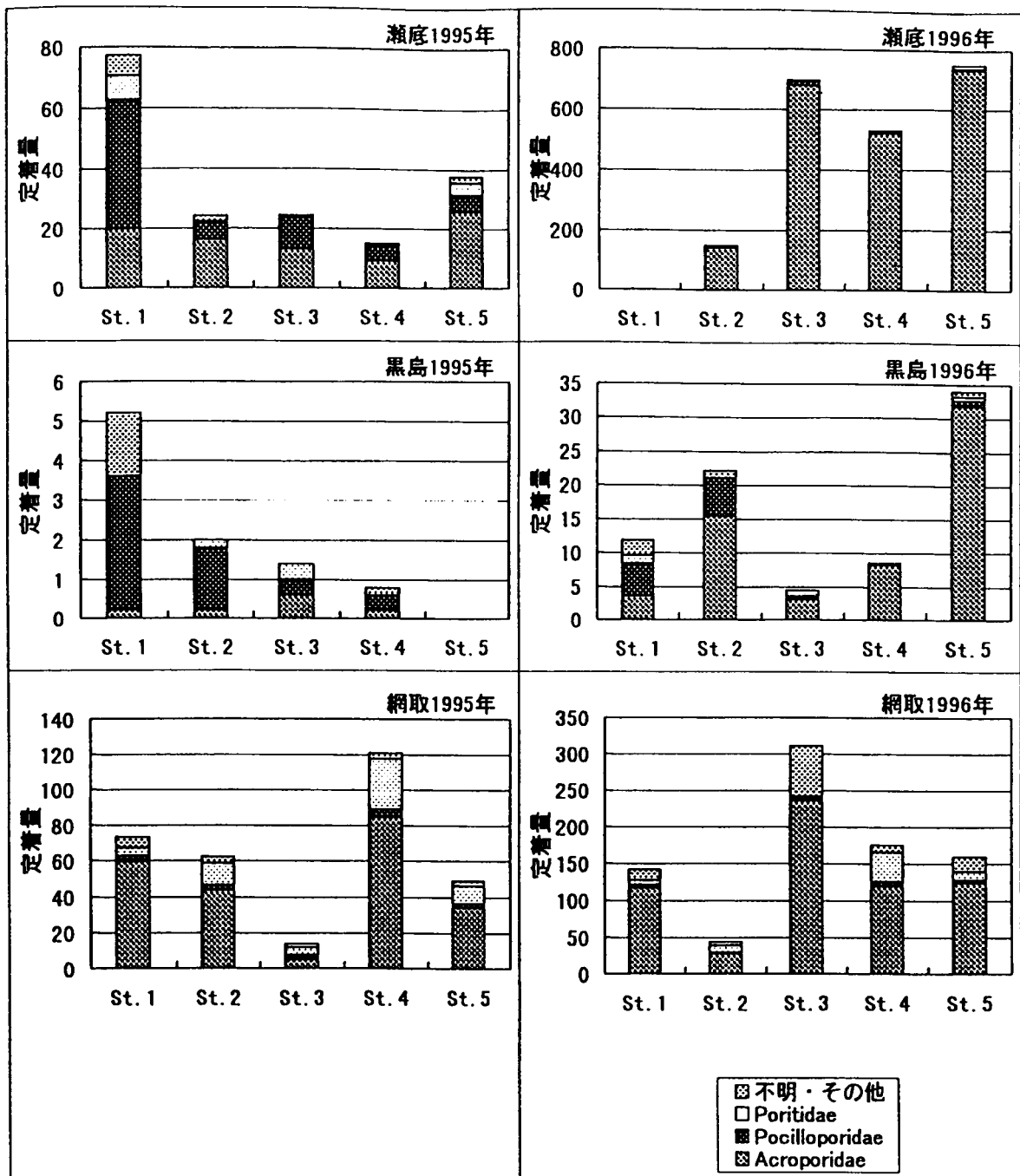


図11. 海域・地点・年別でのサンゴ幼生の定着量とその組成

組成をみると、どの地点でも95%以上をミドリイシ科が占めており、1996年にはミドリイシ科の大量定着が起こったことがわかる。

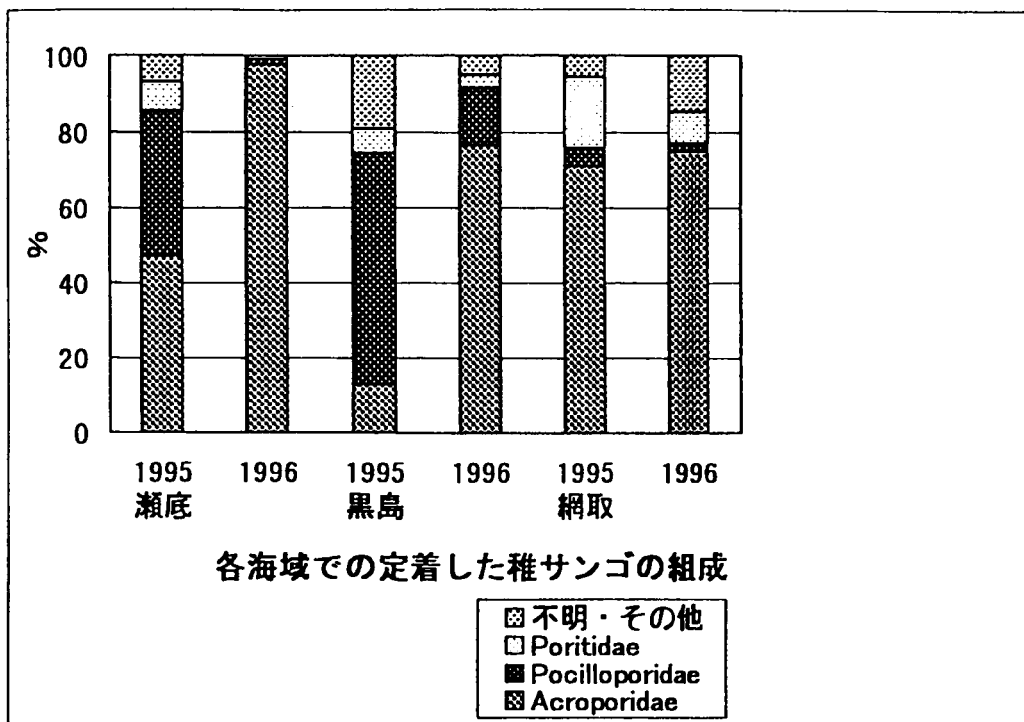


図12. 年別の各海域ごとのサンゴ幼生全定着量の組成.

地点間の比較

地点間の定着量の多寡には両年に共通した一定の傾向はうかがえなかった。群集の被度と密度が最も高いSt.1で1996年の定着量が得られておらず、群集の被度と密度の高低と定着量との関連もはっきりしなかった。

黒島

1995年

八重山海域でミドリイシ科の配偶子放出の最盛期にあたり定着量が最も多くなる4-6月期のデータが取れていないためか、全体に定着量が少なかった。そのため、地点間の比較などは不可能であった。

1996年

1セットあたりの全期間合計は4.4から34.0であり、他の2海域に比べて少なかった。組成は、St.1でハナヤサイサンゴ科が第1位であったことを除いて、他の地点ではすべてミドリイシ科が最も多かった。全体の合計では、ミドリイシ科が76.5%で大半を占めた。

地点間の比較

1995年の資料が不十分なため、群集の被度と密度の高低との関連は不明であるが、1996年は、被度が2番目に大きく群体密度が最も高いSt.5で定着量が最も多かった。

②海域間での比較

各海域とも定着数には顕著な季節変化がみられた。最も定着が多かった期間は、瀬底では5-7月期または6-8月期、黒島と網取では4-6月期であり、それぞれの海域におけるサンゴの配偶子放出の季節性を反映したものと思われる。

海域によって調査時期期間と回数が異なり、また台風の被害によって資料が得られなかった地点もあったので、定着量について3海域間での統計的な検討はできなかった。そこで、比較的資料が整っている年と海域に限定して概念的な比較をすると以下のようなになる。

1995年の瀬底と網取とでは、定着量は瀬底でやや少な目であるが、瀬底での調査回数が少ないことを考慮に入ればほぼ同程度とみなされる。組成では、ミドリイシ科が第1位であった点は同様であるが、その割合は異なっており、瀬底では47.1%で第2位のハナヤサイサンゴ科の38.4%との差が小さかったのに対し、網取ではミドリイシ科が71.1%で他を大きく引き離れた。

1996年について3海域間での比較をすると、定着量には海域間の差が大きく、黒島では他の2海域を一桁以上も大きく下回った。組成ではいずれもミドリイシ科がそのほとんどを占めたが、特に瀬底では大量定着を反映して、97%に達した。

黒島で定着量が少ない傾向があるほかは、海域間での定着量の多寡に一定の傾向はうかがえなかった。

4. まとめ

セディメントトラップによる堆積物調査および採水による水質調査で評価した環境条件は、各海域内の地点間で変異は見られたものの、海域間の明瞭な差異は認められなかった。しかし人間による土地利用のサンゴ礁への影響がより強いと考えられる瀬底周辺でのみ、オニヒトデによる捕食によって、調査期間中にサンゴ群集の被度の有意な減少が認められた。これは人間による土地利用が、オニヒトデがより高密度となることを促進するという仮説⁹⁾を支持するのかもしれない。しかし瀬底周辺海域でもサンゴ幼生の定着量は網取や黒島と同程度であり、これは瀬底周辺海域でサンゴ群集がオニヒトデなどの大規模攪乱を受けても、群集が回復する潜在力が十分にあることを示唆するものと思われる。陸域からサンゴ礁に流入した栄養塩類が直ちに植物プランクトンに利用されるのなら、栄養塩が流入していても海水中の濃度は低いこともあるものと思われる。今後は水質の調査項目に、植物プランクトン量を含めることが望まれる。

参考文献

- 1) 沖縄県環境科学センター (1996) : サンゴ礁生態系保全調査報告書、379pp
- 2) 翁長兼良他 (1994) : 国頭マージ地帯の土壌浸食と防災、農土誌62(4) 307-314
- 3) 海中公園センター (1995) : サンゴ礁生態系の復元手法に関する研究、総合研究プロジェクト別環境保全研究成果集、81-1~81-19

- 4)国土庁土地局(1994):土地保全図付属資料(沖縄県)、316pp
- 5)田中滋郎他(1995):南西諸島における海洋への土砂流出の発生機構の解明と防止技術に関する研究、88-1~88-14
- 6)松本康夫他(1978):ガリ発達過程と流亡土砂量、農土論集77、53-60
- 7)矢橋晨吾他(1978):浪岡東部丘陵地における土壌浸食、農土論集76、31-46
- 8) Levinton JS (1995) Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology. Oxford.
- 9) Dubinsky Z, Stambler N, Ben-Zion M, McCloskey L, Muscatine L, Falkowski PG (1990) The effect of external nutrient resources on the optical properties and photosynthetic efficiency of *Stylophora pistillata* Proc. R. Soc. Lond. B 239:231-246.
- 10) Birkeland C (1982) Terrestrial runoff as a cause of outbreaks of *Acanthaster planci*. (Echinodermata: Asteroidea) Mar. Biol. 69:175-185.

研究発表の状況

なし