

F-5 サンゴ礁における生物多様性構造の解明とその保全に関する研究

(3) サンゴ礁生物多様性モニタリング手法の開発に関する研究

② デジタル空中画像によるサンゴ礁生物多様性の解明

研究代表者 海中公園センター 藤原秀一

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

海中公園センター 木村 匡

カールツアイスビジョン 須貝一則

東京商船大学 大島正毅

平成9～11年度合計予算額 23,509 千円

(平成11年度予算額 7,063 千円)

[要旨] サンゴ礁の保全を図る上で必要なサンゴ礁生態系の変動に関する情報を得るため、データ処理が容易なデジタル空中画像を使用して造礁サンゴ群集の被度を測定することを目的として、サンゴ礁において空中デジタル画像の取得を行うとともに、サンゴ群集の被度調査を行い、画像データによるサンゴ群集被度の解析を試みた。

沖縄県八重山群島石西礁湖海域において、水深 2.5 m のコリンボース型ミドリイシ群集及び水深 2.0 m の枝状コモンサンゴ群集に、調査線を設定し、調査線上空から模型ヘリコプターに装着したデジタルカメラを用いて、調査線全域をカバーするように撮影を行なった。設定した調査線に沿って両側で、1 m × 1 m のコドラート調査を順次繰り返すことによりサンゴ群集の被度測定を行った。撮影画像はコンピューターに入力後、対空標識をもとに各コドラートの大きさに分割し、画像解析装置を用いて、各コドラートの RGB ごとの平均濃度値を測定し、標準偏差を算出した。

コリンボース型ミドリイシ群集の平均被度は 24.1% で、出現優占種は *A. millepora*, *A. nasuta* であった。平均植被は 75.9% で、主な出現海藻はアミジグサ類、藍藻類、皮殻状紅藻、糸状紅藻であった。枝状コモンサンゴ群集の平均被度は 51.1 % で、出現優占種は *Montipora digitata*, *M. stellata* であった。平均植被は 25.7 % で、主な出現海藻は無節サンゴモであった。

礁池における低被度サンゴ群集の画像はその輪郭が「ボケ」ることが知られている。「ボケ」が濃度のゆらぎと考えれば、濃度値の標準偏差として捉えることができ、ゆらぎ、すなわち「ボケ」が大きくなれば、標準偏差が大きくなることが予想される。そこで、RGB ごとに標準偏差の濃度値に対する比を求め、標準偏差比とサンゴ被度との相関を検討した。その結果、R、G、B ともに負の相関を示し、サンゴ被度が高いと標準偏差比が小さく、サンゴ被度が低い、すなわち植被が高いと標準偏差比が小さくなる傾向が得られた。植被の割合の高い画像はサンゴ被度の高い画像に比較して、藻類の存在の態様が水の動きに対し不安定であるため、「ボケ」をより強く起こし、その結果標準偏差比が大きくなり、負の傾向を持つことが示唆された。

[キーワード] サンゴ礁、空中写真、デジタル画像、画像解析、サンゴ被度

はじめに

サンゴ礁礁池にはサンゴ群集や海草群落など生物多様性に富んだ生物群集が広範に分布している。しかし、礁池は閉鎖的な地形を呈するために、陸域の攪乱の影響が蓄積しやすい環境条件化にある。そのため、近年表土流出などにより礁池環境の悪化が進み、多様で健全なサンゴ群集の顕著な衰退が見られる地域が増加している。サンゴ礁礁池は様々な人間活動を営む場でもあるため、その保全は社会的にも重要な課題である。保全の対策には礁池生物群集の分布動態のモニタリングが不可欠であるが、広範な礁池を把握するためには面的な情報を得ることが必要である。面的情報を得る有用な手段として、リモートセンシングが広く行われている。サンゴ礁ではカラー空中写真を利用した手法が行われてきたが、解析のためにスキャナーを用いて画像をデジタル化する必要があった。そこで、デジタルカメラでサンゴ礁を直接撮影するとともに、サンゴ礁生物群集の被度調査を行い、得られたデジタル画像データからサンゴ群集被度を解析する手法の開発を試みた。

1. 方 法

(1) 調査対象

ア. 調査海域は被度変化に富んだサンゴ群集分布が見られ、波浪の影響をあまり受けず空撮に適した石西礁湖の中の小浜島東方海域のサンゴ礁とした。また、後に高被度サンゴ群集の画像を得るため、そのような群集が分布する黒島西側礁池を加えた（図1）。

イ. 調査海域において、空中写真を参考にして小浜島東方海域では、コリンボース型ミドリイシ群集を、黒島西側礁池では枝状コモンサンゴ群集を調査対象とした。調査対象へは、船で到

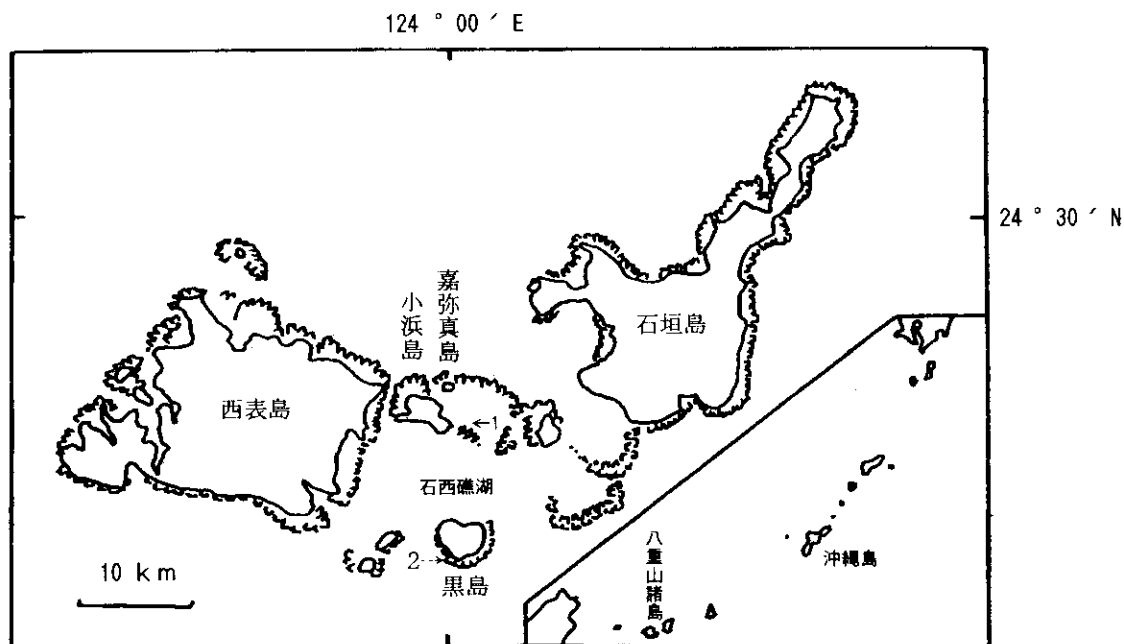


図1 調査海域位置図（数字は St. 番号）

達し、スノーケリングにより観察を行い、特に被度変化に富んだ部分、黒島では被度の高い部分を、また同一水深での被度と画像を比較するため、できるだけ平坦な地形を選定するとともに、群集内で水深が大きく異ならないよう配慮して調査地点とし、コリンボース型ミドリイシ群集を St.1、枝状コモンサンゴ群集を St.2 とした。調査地点の位置を空中写真に記入すると同時に GPS により位置を測定した。

ウ. 調査地点において調査区を設定した。調査区の設定は、

St.1 : 基点から水中コンパスを用いて調査線を南北方向に 30m 延伸させ、また 15m 地点から東西方向に各々 15m 調査線を延伸させ、30 m × 30 m の十字形にした。対空標識は端末及び交差点に設置した。

St.2 : 基点から群集中央部に調査線を沖合方向に 30m 延伸させた。調査区は調査線の両側 1 m の範囲とした。対空標識は末端及び 10 m ごとに設置した。

また、再現性を確保するため、浮標設置、鉄筋杭打ち、コンクリートブロック設置により位置を確定した。

(2) 空中デジタル画像の取得

ア. 各調査区において模型ヘリコプター (TSK 製ブラックスター GS、最大吊上重量 4 kg、滞空時間 15 分) に装着したデジタルカメラ (Fujix DS-505A : 130 万画素、Nikkor24mm) (図 2) を用いて、調査区全域をカバーするように、モニター画像を見ながら飛行を制御し、無線により撮影を行った (図 3)。撮影画像はメモリーカードに保存した。撮影条件を表 1 に示す。



図 2 デジタルカメラを装備した模型ヘリコプター

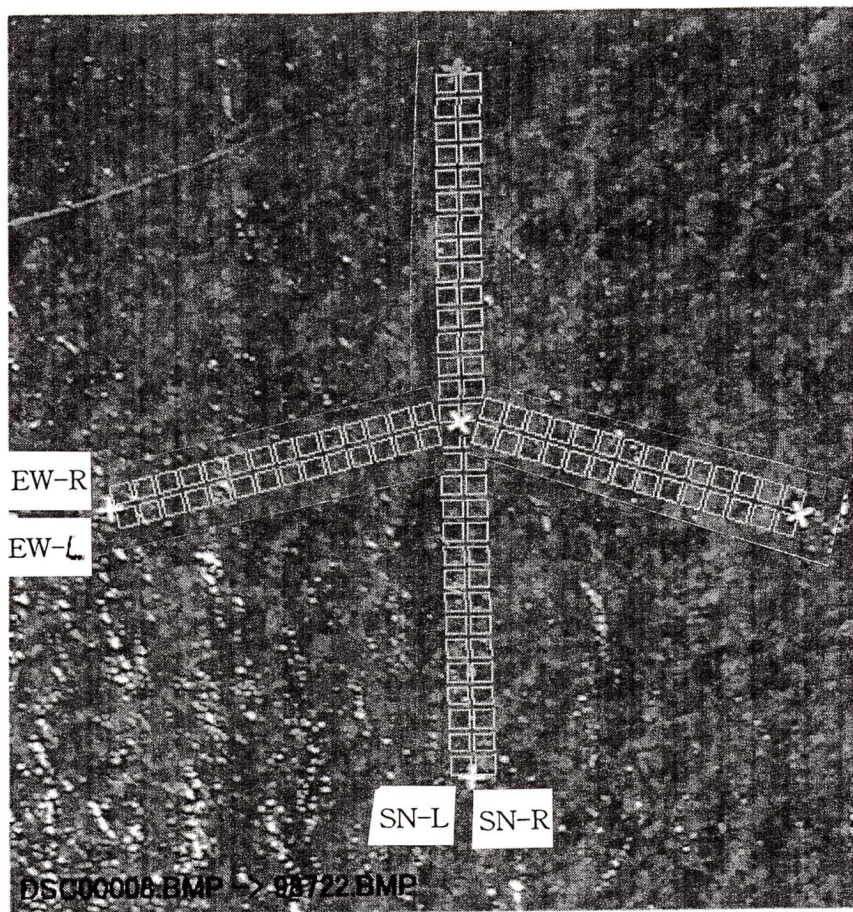
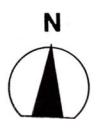


St. 1 (対空標識の間隔は15m)

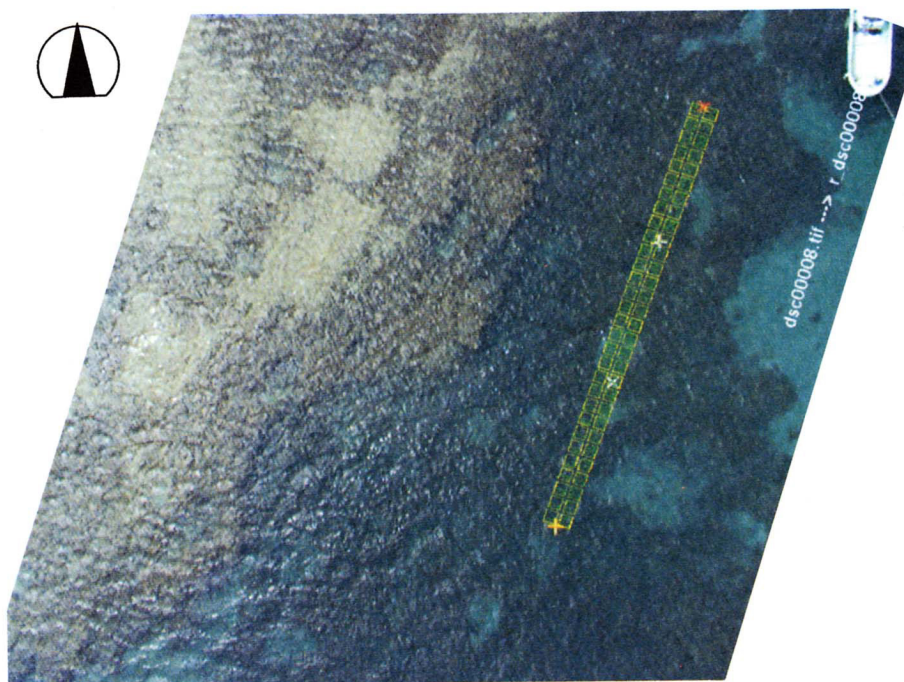


St. 2 (対空標識の間隔は10m)

図3 空中デジタル画像



St. 1



St. 2

図 5 画像の分割

表 1 撮影条件

項 目	St.1	St.2
撮影年月日	1998.7.2	1999.7.28
撮影時刻	17:00	15:30
天気	晴	薄曇り
風況	微南風	微南風
撮影時水深	2.5 m	2.0 m
撮影高度	約 100 m	約 100 m

(3) サンゴ群集被度調査

ア. サンゴ群集の画像特性を解析するため、調査区のサンゴ群集の被度調査を行なった。

イ. 調査は調査区に設定した調査線に沿って、1 m×1 mのコドラートを順次繰り返すことにより行なった。

ウ. 各コドラートでは

- ・造礁サンゴ被度及びその優占種
- ・造礁サンゴ以外の主な無脊椎動物被度
- ・植被とその優占種
- ・裸面割合とその基質
- ・基質
- ・水深

を測定した。

(4) 画像データの測定

撮影画像は画像解析装置（Kontron Elektronik 社製インテリジェント画像解析装置 KS400）に入力後（図 4）、対空標識をもとに各コドラートの大きさに分割し（図 5）、各コドラートの RGB ごとの平均濃度値を測定し、標準偏差を算出した。

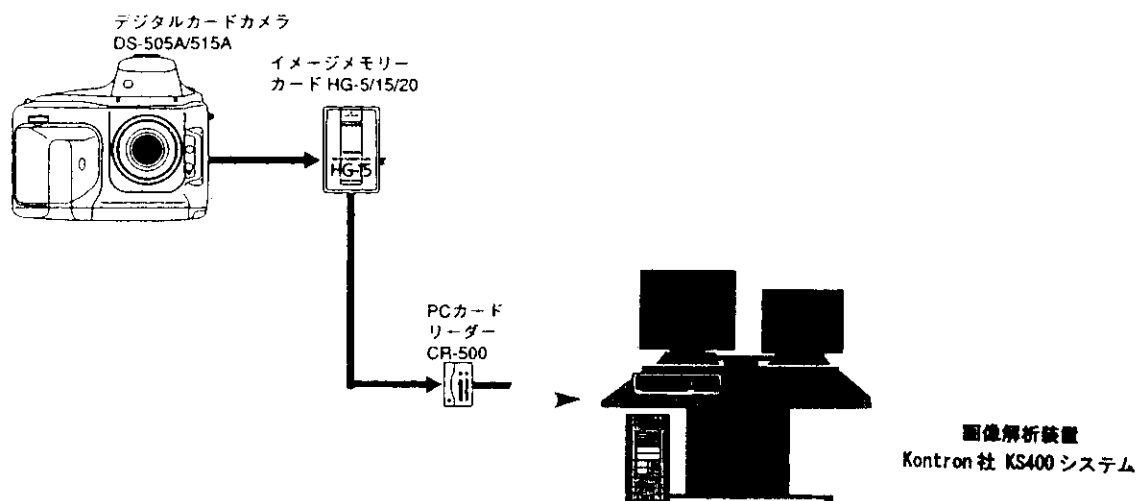


図 4 画像解析システム

2. 結果

(1) サンゴ群集被度

St.1:海底地形は平坦で水深の変化は見られない。基質は枝状のサンゴが死後、礫化堆積したもので、サンゴに覆われていない部分はアミジグサ類、皮殻状紅藻、藍藻類などにほぼ一面覆われており、基質が裸面になっている部分はほとんど見られない(図6)。サンゴ群集における出現優占種は *A. millepora*, *A. nasuta* で、被度の範囲は0%から55%、平均24.1%である。植被は平均76.1%である(表2)。



図6 サンゴと海藻の分布状況

表2 被度調査結果 (St.1)

調査線	サンゴ被度 (%)	植被 (%)	裸面被度 (%)	基質	サンゴ優占種	主な植生
SN-R (30q)	22.4	78.3	0.0	枝礫堆積	<i>A. nasuta</i> , <i>A. millepora</i>	アミジグサの1種
SN-L (30q)	22.7	77.3	0.0	枝礫堆積	<i>A. nasuta</i> , <i>A. millepora</i>	アミジグサの1種、皮殻状紅藻
EW-R (30q)	26.1	74.0	0.0	枝礫堆積	<i>A. nasuta</i> , <i>A. millepora</i>	アミジグサの1種、皮殻状紅藻
EW-L (30q)	25.2	74.8	0.0	枝礫堆積	<i>A. nasuta</i> , <i>A. millepora</i>	アミジグサの1種、皮殻状紅藻
Ave.	24.1	76.1	0.0			

St.2：静穏な礁池内の海域で、海底地形は平坦で水深の変化はほとんど見られない。基質は枝状のサンゴが死後、礫化堆積し無節サンゴモなどで固結化されたものである。サンゴ群集における主な出現種は *Montipora digitata*、*M. stellata* で、被度の範囲は 10 %から 95 %、平均被度 51.1 %である（図 7）。植被は平均 25.7 %で無節サンゴモが優占する。裸面被度は 11.5 %である（表 3）。

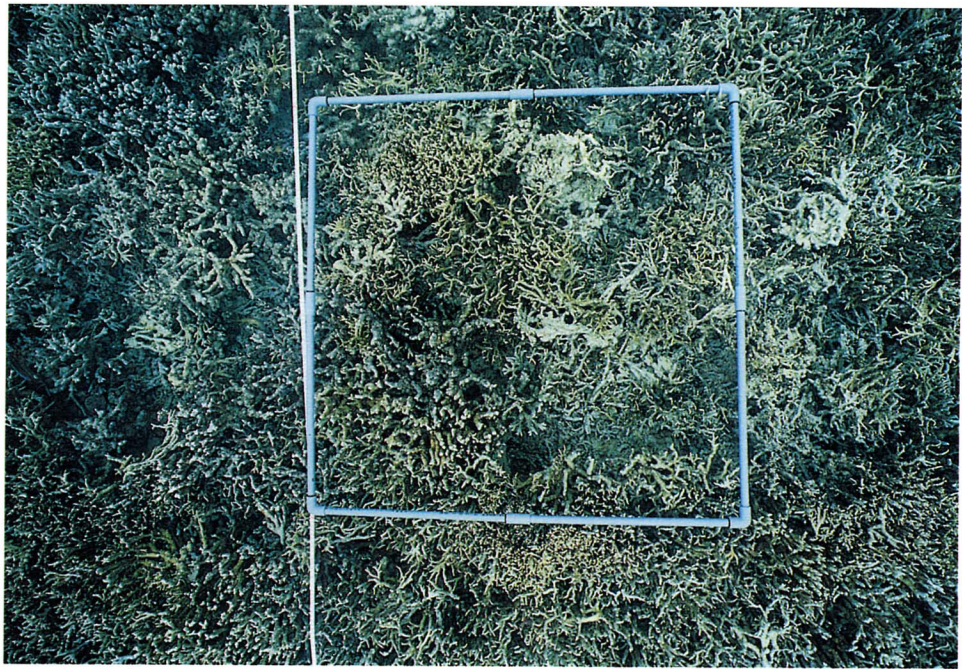


図 7 サンゴと海藻の分布状況 (St.2)

表 3 被度調査結果 (St.2)

底質：枝礫堆積固結																	
qd	サンゴ被度 (%)	その他の無脊椎動物被度 (%)	植被 (%)	裸面 (%)	出現サンゴ (%)								植物 (%)			裸面基質 (%)	
					<i>Montipora samarensis</i>	<i>M. altasepta</i>	<i>M. digitata</i>	<i>M. hispida</i>	<i>M. stellata</i>	<i>M. cactus</i>	<i>M. sp</i>	イソギンチャク	糸状紅藻	無節サンゴモ	藍藻類	枝状礫	岩礁
n=60																	
Ave	51.1	3.4	25.7	11.5	0.9	1.9	35.8	0.1	9.1	2.9	0.3	3.3	3.7	21	0.9	7.5	4

(2) 画像濃度値標準偏差比とサンゴ群集被度の相関

礁池における低被度枝状サンゴ群集の画像はその texture が「ボケ」ることが知られている。「ボケ」が濃度のゆらぎと考えれば、濃度値のばらつきとして捉えることができ、ゆらぎ、すなわち「ボケ」が大きくなれば、標準偏差が大きくなることが予想される。そこで、画像上で分割した各コドラートの RGB 平均濃度値を測定、標準偏差を算出し、RGB ごとに標準偏差の濃度値に対する比（標準偏差比）を求め、各 St.ごとに標準偏差比とサンゴ被度との相関を検討した（図 8）。

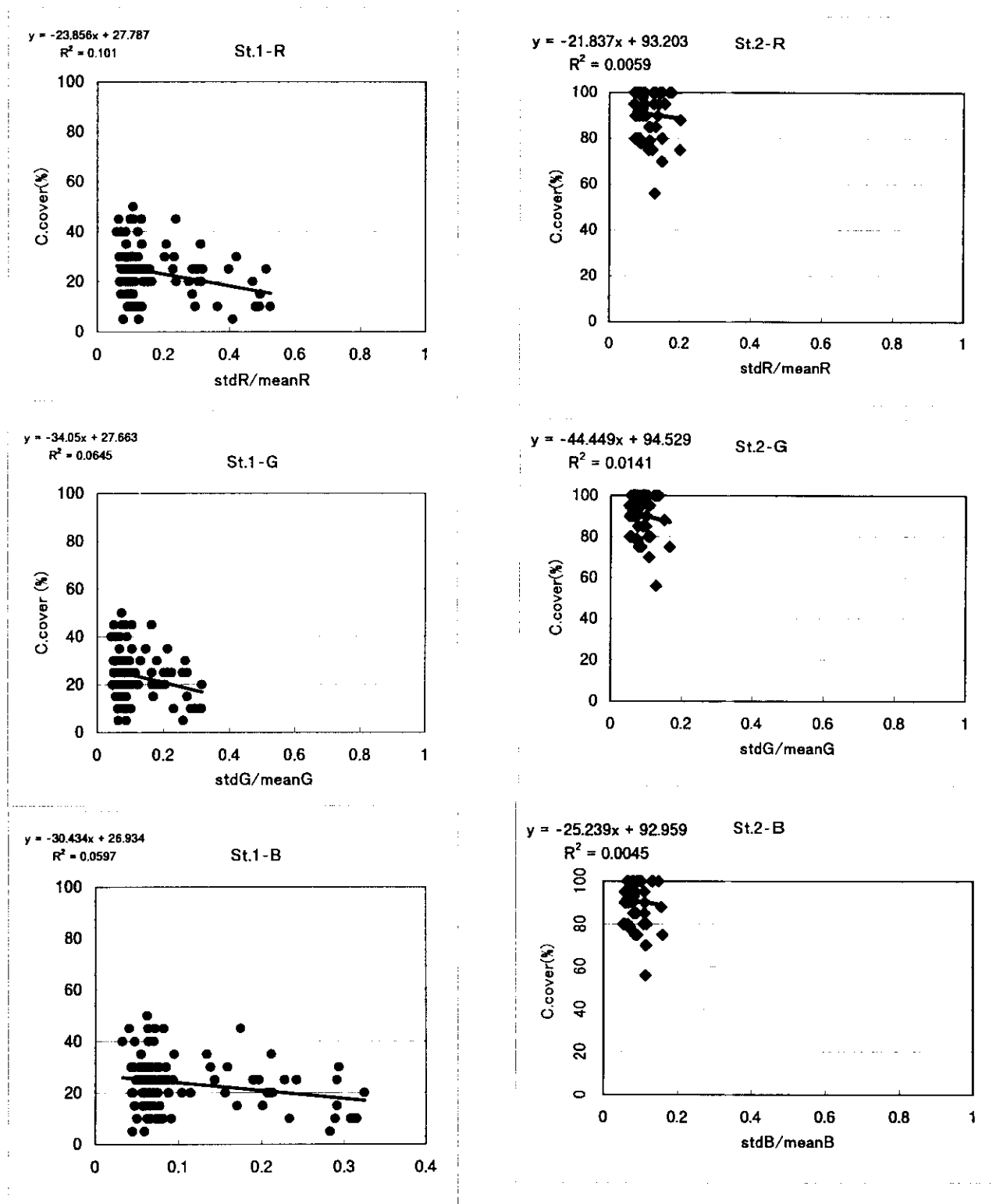


図8 画像濃度値標準偏差比とサンゴ被度の相関

St.1 ではRGBとも標準偏差比とサンゴ被度の相関は負の傾向を示した。すなわち、サンゴ被度が高いと標準偏差比は小さく、サンゴ被度が低いと標準偏差比は大きくなる傾向が見られる。相関係数はRが最大でGBは大差がない。St.2 では無節サンゴモや裸面基質が色彩上サンゴと酷似しているため、それらの被度もサンゴに加えた。St.1 と同様に負の傾向が見られるが微弱である。

3. 考察

画像に反映する海底の性状は基質とそれに着生する表在性の底生生物の組み合わせにより成っている（図9）。サンゴ礁池では多くの場合、基質はサンゴもしくは藻類に覆われている。立ち上がる海藻が優占する場合、それらはサンゴに比べ不安定であるため画像上では「ボケ」を生じ、藻類の大きさや占める割合によって、サンゴとの判別が可能であると考えられる。

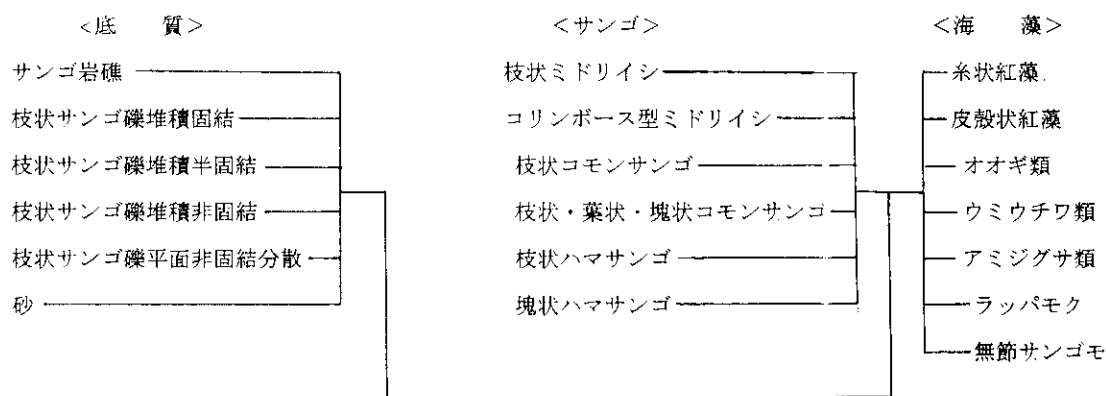


図9 礁池底性状の主な構成要素

しかし、本研究の結果では傾向は認められるものの相関係数が高いとはいえない。それは St.1 では植被が高いにもかかわらず、標準偏差比が小さい画像が多くあることによる。これは植生が芝草的なアミジグサの1種が優占して出現するため、強い「ボケ」を生じさせない事が考えられる。

St.2 でも同様の傾向がある。St.2 では藻類としては無節サンゴモ類が優占している。無節サンゴモ類は石灰質の殻状藻で、立ち上がる部分がなく色彩もサンゴ類と酷似している。そのためいっそうその傾向が強い。さらに基質もサンゴ岩礁やサンゴ骨格であるためサンゴ被度に加わらないが、同様に画像には「ボケ」を生じさせない。しかし、無節サンゴモやサンゴ由来の基質は立ち上がる藻類と異なり、環境の悪化との関係は考えにくいいため健全なサンゴ群集と見なせる。したがって、St.2 のように石灰質の生物に覆われている場合、標準偏差比が小さければ健全なサンゴ群集と推定することが可能である。

St.1 の場合には標準偏差比が小さくても芝草状の藻類が繁茂している可能性があるため、サンゴ被度の高い群集を判別することは困難であるが、R濃度値の標準偏差比が0.4以上のコドラートでは藍藻類やラッパモクが優占するケースが多いため、0.4以上の場合にはサンゴ被度が低く藻

類の繁茂した群集であると推定できる。礁池でのそのような群集は富栄養化による藻類の繁茂を生じた結果であることが多く、不健全な群集であることを示唆する。

[研究成果の発表状況]

(1) 口頭発表

- ① 藤原秀一・木村 匡・須貝一則・大島正毅：第2回日本サンゴ礁学会（1999）「デジタル空中画像によるサンゴ被度の解析」