

## F-5 サンゴ礁生態系の攪乱と回復促進に関する研究

### (1) サンゴ礁の攪乱、回復の評価とそれに基づく管理手法に関する研究

#### ③ 個別サンゴコロニーの成長・劣化解析による環境変動評価と管理手法に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

水圏環境研究領域 海洋環境研究室

原島省

化学環境研究領域 動態化学研究室

功刀正行

<研究協力者> 株串本海中公園センター学術部

野村恵一

県立会津大学 コンピューター理工学部

浅井信吉

平成12年度～14年度合計予算額 13,252千円)

(うち平成14年度予算額 4,500千円)

[要旨] サンゴ礁生態系の数年～10年の時間スケールの攪乱・回復を評価するための手法として、1994年から石西礁湖黒島サンゴ礁のトランセクトにおいて継続取得した水中画像時系列データを基にして群体成長モデルを作成した。大半の画像は、立体形状把握のためのステレオ画像とし、立体写真計測を行うソフトウェアを用いて卓状ミドリイシのコロニー(群体)の外縁径の年次比較を行い、年間5cm内外あるいはそれ以上の速い伸長速度が得られた。また、多数の立体画像に効率的にアクセスし、成長・劣化等の評価するために、画像のアーカイブ(保存文書)をhtml形式のデータベースとして整理した。さらにこれをウェブ公開し、サンゴ礁環境の変化に対する一般の理解を高めることでサンゴ礁保全策の一環とする予定である。一方、成長の遅い塊状サンゴについては、蛍光X線顕微鏡による年輪解析から、1年当たり1cm内外の成長速度が見積もられた。ただし、骨格サンプルのライン上のSr:Ca比の分布から成長当時の水温を再現する試みは、骨格が多孔質であったため誤差が多かった。両者の成長速度値を用いて群体成長のシミュレーションを行い、画像時系列で得られた群体の競合的成長と定性的な一致をみた。この過程について、次の2項が特記される。卓状ミドリイシと塊状サンゴの競合の過程で、前者は闘争には弱い速く成長して、光を遮蔽するほかに、水流を悪くして後者にシルト堆積その他ネガティブな影響を与えるようである。以上のように、サンゴ礁の多様性を維持している動態も多様であり、その解析には水中画像を継続取得して動態を客観記述することが保全の基礎となる。

[キーワード] 水中画像時系列, 立体写真計測, 蛍光X線顕微鏡, 年輪解析, 群体成長モデル

### 1. はじめに

サンゴの劣化が世界的に問題となっており、サンゴ礁の攪乱、回復の評価を行いそれに基づいた管理手法を開発する必要性が増している。ただし、その内容は、白化、食害、サンゴの感染症やサンゴ群体相互の競合の結果等、多様かつ動的である。したがって、従来のセンサ的手法でえられた被覆度のような巨視的な指標で用が足りているかについては保証の限りではない。長期的な動的構造を理解するためには、同一の対象についての時系列が必要であり、しかもそれによつ

て記述された動態が何らかのモデルで説明されることが必要になる。

森林生態系などの科学的管理のためには、個体ベースモデルのような生態系モデルの導入が試みられている。陸上植物の個体にあたるのはサンゴでは群体（コロニー）となるが、同様な手法を導入することが重要であろう。ただし、サンゴ礁生態系については、森林生態系と異なり時系列的なデータ蓄積が限られているので、どのようなデータを記述することが合理的であるかの見極めから始める必要がある。また、サンゴ礁については、物質のフロー以上に、サンゴの個別の着底・加入、群体の成長、相互作用などの生物学的な要素が重要なため、それらの客観記述に基づいたモデル化を行う必要がある。Denny<sup>1)</sup>や、Kaandorp ら<sup>2)</sup>の著作に、よりサンゴの形態形成にかかわる数理物理的なモデル化が示されている。ただし基本的な量、例えば成長速度にしても外部変数（例えば照度、サンゴの従属栄養的な摂餌等）の関数として定式化されているわけではないので、モニタリングとモデルの双方に等分の努力を払う必要がある。

## 2. 研究目的

このような経緯により、本研究では、サンゴ成長および群体間の競合を客観記述するデータを取得しつつ、それから得られた成長速度や定性的記述事項に基づいてモデルを作成することをめざす。オーストラリア海洋研究所（AIMS）<sup>3)</sup>や本課題に先行した我々の研究<sup>4)-6)</sup>においては、サンゴ礁の同一地点において、水中立体画像を取得し、さらにアーカイブとして蓄積する手法を開発した。この手法を継続することにより、比較的成長の速いミドリイシ系統のサンゴ群体の成長を記述する。また、成長の遅い塊状サンゴ（ハマサンゴやキクメイシなど）については、骨格の年輪解析により成長速度を求める。さらに、ストロンチウムとカルシウムの元素比が成長当時の水温を反映するという知見を基にして蛍光 X 線顕微鏡によりこれらを効率よく行い、環境要素の履歴を再現することをねらう。この2つの方法で推定された成長パラメータに基づいてモデルを作成し、推定されたメカニズムの妥当性を検討する。その上で、サンゴ礁を良好な状態に保つ要因と劣化させる要因を抽出する。

## 3. 研究方法

### (1) 水中立体画像の取得およびhtml ファイル化

水中画像の取得を、比較的水通しのよい領域と、海水が滞留する傾向のある領域を対比させて行う。前者として、黒島港北の孤礁上（図1中のK1地点）、後者として黒島アナドマリ近傍の（図1中のK2地点）を選び、それぞれ長さ50mのトランセクト（図2参照）を設けた。毎夏に、このトランセクトの5mごとの計10点にコドラートを置き、ニコノス2台を並列して立体写真を撮影した。コドラートは1m×1m×0.5mの立体形状として後に3次元座標を算出するスケールとした（図3）。得られたスライドフィルムをデジタル化して、保存しアーカイブとした。

これらを、1994年から蓄積された画像とともに時系列的に整理してhtml文書とする。この目的のひとつは、本研究内の作業として、多数の画像を時間軸方向、あるいは同一トランセクトの空間方向に短時間で参照して解析に供することにある。もうひとつは、国立環境研究所のウェブサイトアップロードし、画像データを汎く公開することにある。図4に示すように、このウェブサイトでは、一般にもわかり易いようにサンゴ礁の役割、調査地域の地球環境の面での調査の位置づけ、なぜ水中立体画像が必要か等を示す。さらに「画像選択」のページ（図5）で、年次、

トランセクト、トランセクト上の位置を選択すると、JPEG 形式で 768×512 画素の画像にアクセスできる。立体撮影した分については、Java Script によりモニター上に画像を並列表示し、「交差法」による立体視が可能であるようにした。

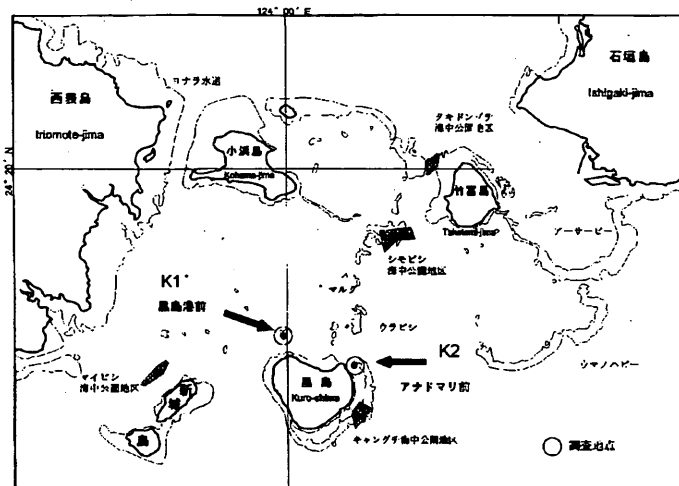
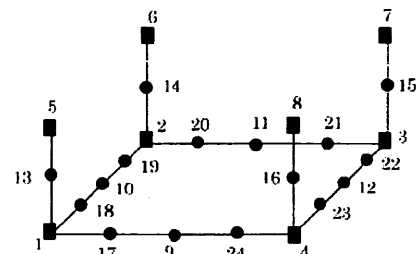
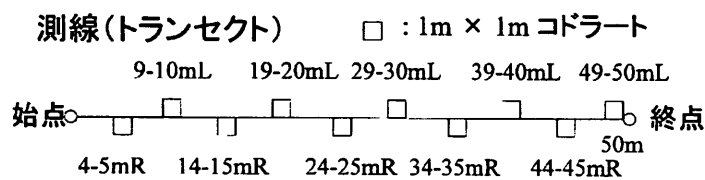


図 1 (左) 石西礁湖と水中画像を取得したトランセクト位置 (K1 および K2) .

図 2 (左下) トランセクトとコードラートの位置

図 3 (右下) 立体コードラート (1m×1m×0.5m)、各数字は座標算出用マーカーの位



サンゴ礁水中画像時系列データベース 八重山諸島、石西礁湖		
1. このサイトでは— (index.html)	2. サンゴ礁の営み (file1.html)	
	3. 石西礁湖、黒島とは—衛星画像 1, 衛星画像 1 (file2.html)	
	4. なぜ画像時系列か? (file2.html)	
	5. なぜ立体画像か? (file2.html)	
	6. 撮影方法 (file2.html)	
	7. 立体視の方法 (file2.html)	
	8. 画像選択— 画像サムネイル (file2.html) (1年次 1地点ごとに 1ファイル)	— 個々の画像ファイル (1年次 1地点ごとに 1フォルダ)
	9. 画像所見—所見記述 (1地点ごとに 1ファイル、各年次ごとに分けて記述) (file2.html)	
	10. 協力者、協力機関一覧—衛星画像 1, 衛星画像 1 (file2.html)	

図 6 水中画像時系列ウェブサイトの構成。これらをクリックすると関連するページにアクセスする。8. と 9. で各画像の参照と所見閲覧ができる。

## 画像選択

各年をクリックするとコドラートの配置図を経由して各点の画像が選択・表示できます。  
また、右側で、K1(黒島那北)か K2(アノドマリ前)かを選択すると、サムネールを経て、画像にゆきつきます。同一地点で複数の画像がある場合には、a, b, ... などのような名前がつけられています。また、左メニュー中7.のページでは各点のサンゴの状態についての解説がありますが、そこから画像を開くことができます。

- 1994年 --- 1994年10月 (K1, 2D)
- 1995年 --- 1995年7月 (K1, 2D)
- 1996年 --- 1996年1月 (K1, 2D)
- 1996年4月 (K1, 2D)
- 1996年7月 (K1, 2D)
- 1996年10月 (K1, 3D)
- 1997年 --- 1997年2月 (K1, 3D)
- 1998年 --- 1998年1月 (K1, 3D)
- 1998年7月 (K1, K2, 3D)
- 1998年7月 (K2, 2D )
- 1998年9月 (K2, 2D)
- 1999年 --- 1999年2月 (K1, K2, 3D)
- 1999年7月 (K1, K2, 3D)
- 2000年 --- 2000年1月 (K1, K2, 3D)
- 2000年7月 (K1, 3D)
- 2000年8月 (K1, K2, 3D)
- 2001年 --- 2001年6月 (K1, K2, 3D)
- 2002年 --- 2002年7月 (K2, 3D)
- 2002年10月 (K1, 3D)

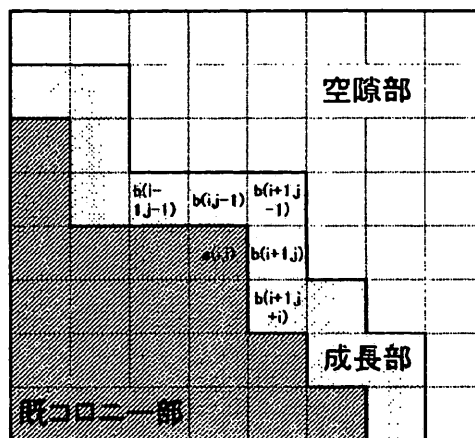


図5 (左) 水中画像時系列ウェブサイトにおける画像選択のページ

図6 (右) 群体成長モデルのメッシュ設定。

これらの画像を年次順に参照し、同一地点の変化（最も長期のもので1994~2002の9年次間）を目視で追い、そこで長期的な動態を把握する。画像の一部は、原スライドフィルムをさらに高分解能でスキャンし、PC上の3次元写真計測ソフトウェア (ADIMS-2) により立体座標を求めて、年次間比較により成長速度を推定する。この方式は、主に成長が速く、その反面骨格が粗で残りにくいミドリイシ系統のサンゴに適用する。

## (2) 蛍光X線分析法によるサンゴ生育環境水温の復元

これに対し、成長が遅く、その反面骨格が堅くて標本が残りやすい塊状サンゴ（ハマサンゴ、キクメイシ系統）では年輪解析が適している。さらに、元素比計測などの高度の手法により成長時の環境を推定できる可能性がある。一般に、過去の温度の推定には、酸素同位体法が利用されている。この方法は利用範囲が広く、感度も高いため古環境の復元に採用されることが多い。しかしながら、高価な同位体質量分析法を必要とすること、また前処理（濃縮処理）が複雑で時間もかかるため必ずしも一般的ではない。一方、カルシウム (Ca) を主要元素とする骨、珊瑚あるいは殻の生成時にストロンチウム (Sr) を同時に取り込むことが知られており、その取り込み量と水温とにある相関があることが知られている。カルシウムとストロンチウムの比と水温には次の経験式が求められている<sup>7)-11)</sup>。

$$\text{Sr/Ca (molar ratio)} = 10.5 - 0.0608(\text{SST})$$

この値を求めるために通常は、サンゴを層状にサンプリングし、前処理を施した後に、ICP発光分光法 (ICP-AES) などで定量する方法が用いられている。元素分析法として、蛍光X線分析法 (XRF) があるが、ICP-AES などと比較して感度が低く、定量法としてはいくつかの問題がある。しかしながら、蛍光X線分析法は前処理の必要性がほとんどない、非破壊分析法であるなどの特徴もある。さらに近年開発されたX線ガイドチューブ (XGT) を用いた XRF 法は位置分解能が10~100 μm と優れ、元素の分布状態などを調べるマッピング分析として広く使用されるようになって来て

いる。我々は、次の点に注目し、古環境変動再現のために XGT-XRF が有力な手法になると判断した。

上記のように、珊瑚などの骨格構成元素から温度を推定するには、元素毎に定量する必要はなく、Sr:Ca 比を求めれば良い。蛍光 X 線分析法は、非破壊分析法という特徴があるが、これは一方で X 線源、試料、検出器の位置の再現性が極めて難しく、試料間のデータ比較を難しくしている。しかしながら、今回は Sr:Ca 比を求めれば良いため、この点は問題にならないし、この X 線分析法はエネルギー分散型であるため、多元素同時測定法であり、むしろ他の手法より有利である。従来オプションに無かった特注ライン分析ソフトを含めた X 線分析顕微鏡（堀場製作所 XGT-2000W）を導入した。分析は、Rh ターゲットの X 線管を用い、X 線管電圧 50kV、1mA の条件で測定した。検量線を作成するための標準試料として、CaSO<sub>4</sub> と SrSO<sub>4</sub> を前述の水温推定式より求められるモル比に混合し、固めたものを作成した。

### (3) 個別コロニー成長のモデル化

上述の黒島港北トランセクトの、25m 地点（始点より 24-25m 位置）における画像時系列にあわせた設定を行う。1m×1m コドラートを含む 2.56m×2.56m の正方形領域を想定し、256×256 の格子点を定義する。この設定のもとで、PC 上で稼動する Fortran 言語プログラムを作成した（付録参照）。

1994 年当時の K1 トランセクト 25m 点での分布（図 7(a)）をもとにして、サンゴ群体 4 種類が占める空間をメッシュに割り振り、初期条件とする。卓状ミドリイシでは、外縁に「成長点」があるとの仮定のもとに水平方向の伸長を算出する（図 6）。画像から、この年次間の伸長を成長速度として割り出し、これを使ってよシミュレーションを行った。

## 4. 結果・考察

### (1) 水中画像時系列からの群体成長の所見および画像解析

図 7 は、K1 トランセクト、25m 位置における画像アーカイブから、3 つの年代の画像を選択して示したものである。1980 年代のオニヒトデの食害で一度裸地になったが、1994 年ころには新規加入したサンゴが成長したり、一度死んだハマサンゴの一部が再生してきたことが見られる（図 7(a)）。さらに 1998 年までには被度がほぼ 100% まで回復し（図 7(b)）、2002 年までには極相状態に達した（図 7(c)）。また、サンゴ種の競合による消長が見てとれる。

海水交流の比較的良好、あるいは陸域影響の少ない K1 地点では、サンゴの種数も多く、また 1998 年の白化の被害も比較的小さかったようである。また、K1 地点においても、凹部にあったキクメイシ系のコロニーの上部が 1997 ころ、上面から禿げるように死滅しはじめた（図 7(b)）。これは、周囲の卓状ミドリイシ系のコロニーが伸長して小スケール（数十センチメートル）で海水の交流の悪い部分ができたと考えられる。さらにコロニー側部は生きていることから、流れが限界掃流力以下となってコロニー上部にシルトが堆積しやすくなり、これがストレスになった可能性がある。より一般的なケースとしては、図 7(d) は、同様の鉛直的位置に卓状ミドリイシと塊状サンゴが並存した場合、前者が後者を避けるように成長した例があげられる。

また、1998 年には夏季昇温により、特に K2 の浅水部で顕著な白化が起こった。ただし、それ以前に比較的小さい部分（-3m）の卓状ミドリイシが何らかの原因で死んだ。深い部分ほど乱流が

弱く、シルトが堆積しやすいことが、サンゴに対する様々な環境ストレスと複合しやすいと推定される。

水中画像のPC上のソフトウェアによって、図6に示すような方式で、卓状ミドリイシの外縁を定義し、立体写真計測によりその直径の年次間比較により、水平的伸長を計算した。これらの数値は場合によって様々であるが、概ね5cmほどのオーダーで10cm程度に達する例も見られた。

## (2) 蛍光顕微鏡によるサンゴ骨格の年輪解析の結果

試料としては、石垣島浦底湾で採取したハマサンゴ2種(図10, 11)を、厚さ2mmおよび5mmにスライスして、分析用試料とした(図12, 13)。以後、図10に示すハマサンゴをハマサンゴL、図11に示すハマサンゴをハマサンゴSと表記する。ハマサンゴSは小さいためスライス時に石膏で周囲を固めた。ハマサンゴLは試料サイズ13.3cm×1.8cmであり、ハマサンゴSは5cm×5cm(サンゴ部分)である。まず、各試料のおよその生育年数を把握するためにXGT-2000Wのマッピング測定(分解能100mm)を行った。それぞれ、位置を特定するために試料表面に約5cm間隔で銅の細線を張り付けた(図12, 13中の黒い細線)。

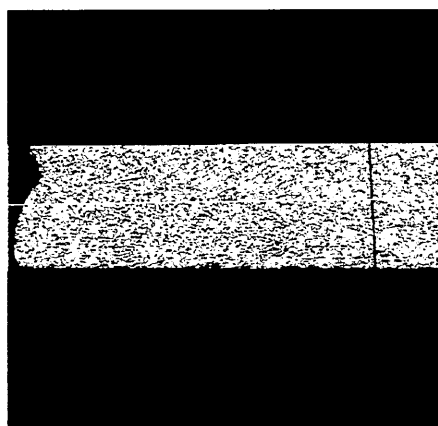


図14 Caマッピング画像

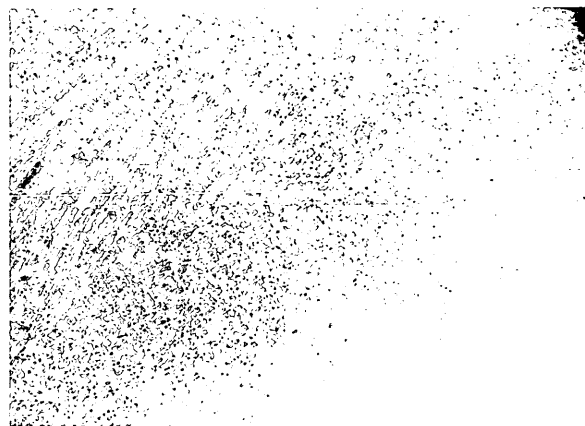


図15 ハマサンゴLの拡大写真

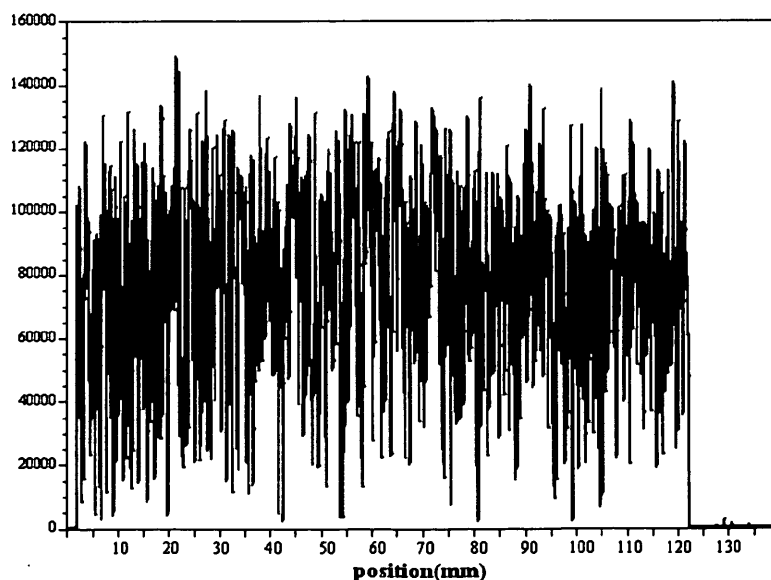


図16 ハマサンゴLのCaライン分析による蛍光X線強度

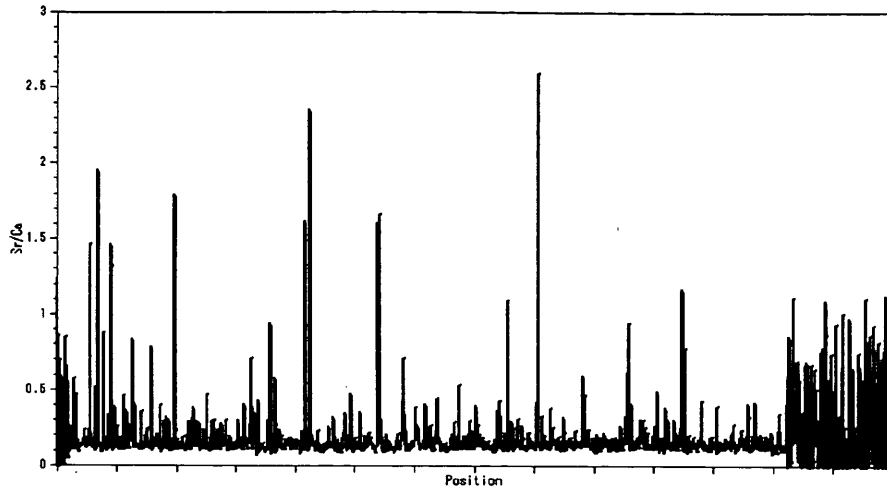


図 17 ライン分析による Sr および Ca の蛍光 X 線強度比

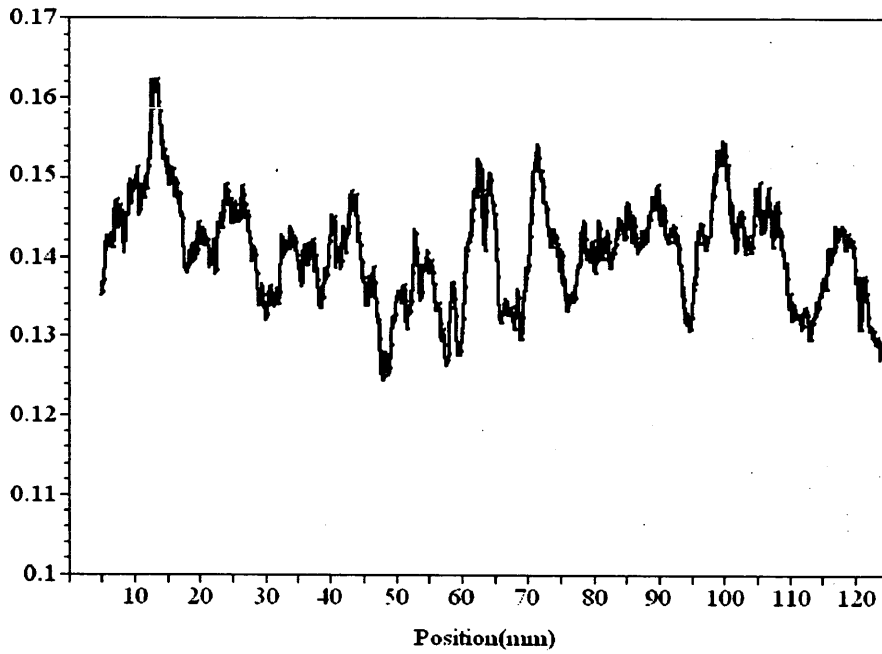


図 18 ハマサンゴ L の Sr および Ca 蛍光 X 線強度比の 50 点移動平均

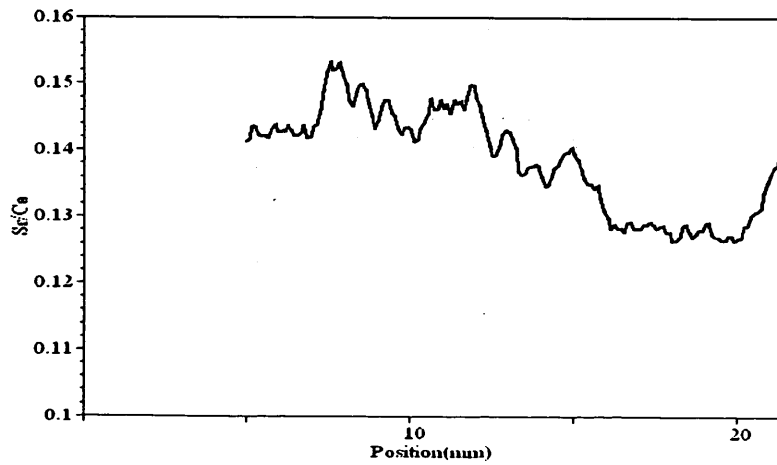


図 19 ハマサンゴ S の Sr および Ca 蛍光 X

このようにして、ハマサンゴLは、図12に示した透過X線像より推定生育年数およそ10年、ハマサンゴSは同様に図13より推定生育年数ほぼ1年程度であった。また成長速度は、ハマサンゴLは平均1.2cm/yr (2.5~0.9cm/yr)、ハマサンゴSは2cm/yrと推測される。着床後1、2年は生育が早く後年ほど年輪が明確に現れないようである。ハマサンゴLでは、採取前数年では、0.8cmから1.0cmで平均0.9cm/yrの成長速度であったと推定される。

環境水温解析の推定については以下である。ハマサンゴLのCaマッピング像を図14に示す。これらのX線透過像、Ca像から、さんご骨格がかなり微細構造を持っていることもわかる。この微細構造は、蛍光X線による水温推定の上で大きな障害となっている。図16に示したハマサンゴLのCaのライン分析結果のように、Ca蛍光X線強度は極めて変動が激しい。これは、図15に示すようにサンゴが多孔質な構造を持つため、蛍光X線強度が大きく変動してしまうことによる。

同時に測定したSrとの単純な強度比は図17に示すように、当然であるが同様に大きく変動しており、このままでは推定が困難である。図17の両サイドが大きくハンチングしているが、これは、この部分は珊瑚以外でCaおよびSrのX線強度が低く、それぞれの強度も逆転する場合があるためである。

そこで、50点移動平均の結果をプロットしたところ図18に示すようにかなり傾向が把握できるようになって来た。しかしながら、明らかに正確な情報が得られていない部位すなわち空隙部分による影響が大きく、作成した標準試料のSr/Caモル比に対応する蛍光X線強度比より低くなっている。一方で、ほぼ1年周期の変動が見て取れることから、何らかの補正を行うことにより、環境水温の再現が可能であると考えられる。さらに、季節変動以外の微細構造も現れており、より詳細な水温変動の再現が抽出出来る可能性もある。

図19にハマサンゴSのライン分析によるSr/Ca比の50点移動平均結果をプロットしたものを示す。このサンゴはまだ生育が始まったばかりであり、成長が早いために微細構造がよりはっきり見えている。着床後、温暖期に大きく成長し、その後水温が低下するにつれて密度が高くなって行くと共に、Srの存在量が増加して行くが、その濃度比変動は一様でなく、しばしば水温変動があったことを示していると考えられる。

しかしながら、50点の移動平均は、表面からの信号だけでなく、細孔の部分をも含む平均化処理を行っているために、相対濃度比が理論値より低くなっており、水温の解析が出来ない。表面からの蛍光X線と細孔からの蛍光X線を分離することが出来れば、水温変動の詳細な復元が可能になると考えられ、現在、この分離法を検討中である。

### (3) 群体成長のシミュレーション結果

3. (3)の方法に、さらに各サンゴ種ごとの群体成長の差異や、ある程度の上下位置を加味してシミュレーションを行い、1年ごとの群体の分布を図9に示す。各種に与えた特性は以下である。

サンゴ種1(卓状ミドリイシ) : 5-10cm/s程度の大きな伸長速度で成長し、卓状ミドリイシ同士でぶつかった時は融合するものとする。サンゴ種4(塊状サンゴ)とぶつかった時、同じ標高にあればそれを避けて成長する。もし、より高い位置にあれば、それを覆って成長する(図9中青で示す)。

サンゴ種2(枝状ミドリイシ) : サンゴ種1と同様大きな伸長速度で成長する(図9中青)。



サンゴ種3 (塊状、ハマサンゴ) : サンゴ種1の1/5の伸長速度を与える (図9中緑色)。  
サンゴ種4 (塊状、キクメイシ) : サンゴ種1の1/5の成長速度で伸長する (図9中黄色)。  
サンゴ種5 (過去に死んだハマサンゴの骨格) 成長しない (図9中赤色)。

図7の画像時系列を比較すると、個別群体の成長、群体間の競合等の点について、概ね再現されているとよいであろう。その意味で、本モデルで想定した、外縁成長点でローカルに部位が付加されてゆくというアルゴリズムで、概ね表現できると考えられる。ただし、1つの群体において、中枢的な機能によるトータルコントロールと個虫によるローカルコントロールの分担がどのような軽重になっているかなどの概念的な考察については、今後の課題である。

また、Kaandorpらのモデルは、植物自身が樹枝の分岐・成長(層序)・自己形成について法則性(すなわちトータルコントロール)を内包しているという考えを基にして、群体をオブジェクトとして表現しているようである。これに対して、本モデルは差分格子点といった形で単純化したため、自己形成のメカニズムにはたちいれない。反面、群体間の競合や相克に関する要素は本モデルのほうがシミュレートしやすいと考えられる。

## 5. 本研究によって得られた成果

- (1) 1994年から継続取得した水中画像を時系列としてhtml形式に整理し、一般からの参照にも応えるためウェブ公開を予定している。画像の大半は立体構造把握が可能なステレオ画像とした。
- (2) 上記アーカイブから、サンゴの劣化について、リーフ規模および個々の群体周囲の規模(おおむね数メートル)の双方において海水の交流が重要な要素であることが判読できた。
- (3) 画像時系列から、比較的成長の速いミドリイシ系統のサンゴの群体成長速度5 cm/yr内外、条件によって10cm/yrに達することもみてとれた。これに基づいてサンゴ群体の成長・競合を再現するシミュレーションモデルを作成した。サンゴの成長速度を外部パラメータの関数として表現する方式が確立していないため、現時点では画像時系列から得られる情報に基づいて成長状況等を推定するのが最善の策であると考えられる。
- (4) 蛍光X線分析によってサンゴの骨格の年輪解析を行い、比較的成長の遅いハマサンゴ系統について1cm/yr内外の群体成長速度を得た。また、Ca/Sr比から生育環境水温復元を試みたが、サンゴの多孔質構造による蛍光X線強度の変動が大きく、移動平均による平滑処理により微細構造を含む年変動の抽出が出来たが水温を推定することは困難であることが判明した。である。多孔質構造によるノイズ除去が可能であれば、より簡便かつより詳細な解析手段として有効であると考えられる。
- (5) 本研究で得られたサンゴの動態自身が多様であるが、その中で流動状況が良好なことがサンゴ礁にプラスに働いていることが特記される。また、これらの状況を水中画像といった形で継続的に客観記述し、さらにウェブ公開により複数機関で共有してゆくことも、サンゴ礁保全施策の一環となるといえるだろう。

## 6. 謝辞

サンゴ成長モデルのプログラムを作成していただいた県立会津大学コンピューター理工学部の浅井信吉講師、水中画像時系列ウェブサイト作成にあたって個別画像について所見を執筆して

いただいた(株)串本海中公園学術部の野村恵一氏に感謝いたします。

## 7. 引用文献

- 1) Denny, M. W. (1988): *Biology and the Mechanics of the Wave-Swept Environment*, Princeton Univ. Press, 329pages.
- 2) Kaandorp, J. A. and Kübler, J. E. (2001): *The algorithmic beauty of seaweeds, sponges, and corals*, Springer Verlag, 193pages, 2001.
- 3) Done, T. J. (1981): *Photogrammetry in Coral Ecology: A Technique for the Study of Change in Coral Communities*, Proc. Fourth International Coral Reef Symposium, 315-320.
- 4) 原島 省(1996): データの画像化・画像のデータ化, 「ぶんせき」1996-No. 4, 28-35.
- 5) 原島省・功刀正行 (1998): サンゴ礁の水中画像アーカイブ, 海中公園情報 120, 3-8.
- 6) 環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書(2000): 「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」平成9~11年度.
- 7) Smith, S. V., Budermeier, R. W., Redalje R. C. and Houck, J. E.: *Science*, 204, 404-407(1979)  
“Strontium-calcium thermometry in coral skeletons.”
- 8) Beck, J. W. *et al.* (1992): Sea-surface temperature from coral skeletal strontium/calcium ratios, *Science* 257, 644-647,.
- 9). Beck, J.W. , Edwards, R.L., Ito, E., Taylor, F., Recy, W. Rougerie, J. F, Joannot, P. and Henim, C.: “Errata to Beck et al. (1992), *Science*, 264, 891(1994).
- 10) Suzuki, A. *et al.* Temperature-skeletal  $\delta^{18}O$  relationship of *Porites australiensis* from Ishigaki Island, the Ryukyus, Japan, *Geochemical Journal* 33, 419-428, 1999.
- 11) Suzuki, A. *et al.* (2001): Last interglacial coral record of enhanced insolation seasonality and seawater  $^{18}O$  enrichment in the Ryukyu Islands, northwest Pacific, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3685-3688.
- 12) 海中公園センター (1990, 1991, 1992): 平成元年度、平成2年度、平成3年度サンゴ礁生態系の維持及び安定化機構に関する研究報告.

## 8. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 9. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

なし

<学術誌 (査読なし)>

- ① 濱田史生, 斎藤和也, 木下茂, 原島省: 測量調査技術「APA」, No. 81, 34-42 (2002)  
「水中ステレオ写真によるサンゴの3次元フォトグラメトリー」

<書籍>

- ① 不破・森田編著: 地球環境ハンドブック<第2版>, 朝倉書店, 499-503, (2002)

「場の喪失（執筆担当：原島省）」

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表

なし

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

#### 10. 成果の政策的な貢献について

本研究で得られた水中画像データベースは、国立環境研究所環境情報センターのウェブサイトから公開され、保全施策に有効な項目になることが期待されている。また次期予定の地球推進費用による研究課題「サンゴ礁保全地域の選定に関する研究」では、流動シミュレーションによりサンゴ卵・幼生の輸送トラジェクトリーを明らかにすることで保全地域設定の有効化に寄与することが期待されているが、その際にも本研究結果が基礎になるだろう。