

環境省・環境研究総合推進費プロジェクト(H25-27年度)

# 「島嶼ーサンゴ礁ー外洋統合ネットワーク系動態解明に基づく石西礁湖自然再生への貢献」

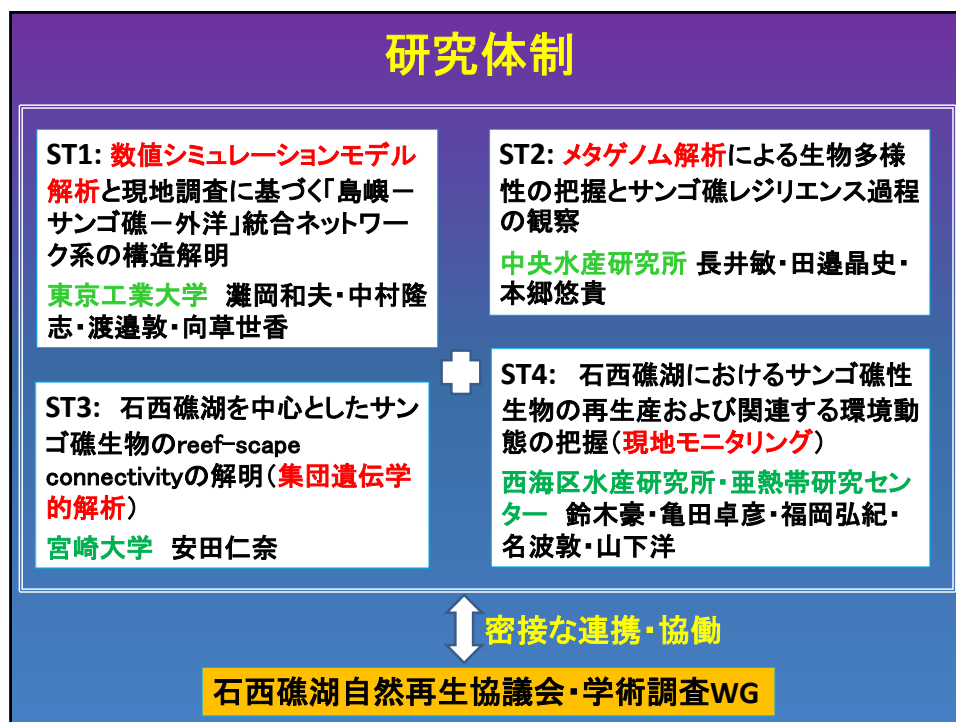
灘岡和夫・渡邊敦・中村隆志(東京工業大学)  
長井 敏 ((独)水産総合研究センター・中央水産研究所)  
安田仁奈(宮崎大学)  
鈴木 豪・亀田卓彦・福岡弘紀・名波敦・山下洋 ((独)水産総合研究センター・西海区水産研究所・亜熱帯研究センター)

背景:

わが国最大のサンゴ礁域、石西礁湖での生態系の衰退が深刻化。それをもたらしている生態系回復力の低下やオニヒトデ大量発生・慢性化の機構が不明

内容:

石西礁湖自然再生に貢献し得る有用な科学的知見を提供するべく、「島嶼-サンゴ礁-外洋統合ネットワーク系」という新たな視点から、高度な数値解析モデル群や各種遺伝的解析手法、現地調査等による統合的アプローチによって機構解明を目指す



## 今日の話題

- 1) モニ1000データの解析から見えてきて生態系回復力低下の実態と諸要因
- 2) オニヒトデ大量発生メカニズム  
 …「栄養塩仮説」は成立するか？
- 3) 実態解明・予測・シナリオ解析ツールとしての統合モデルシステムの開発

## 1) モニ1000データの解析から見えてきた生態系回復力低下の実態と諸要因

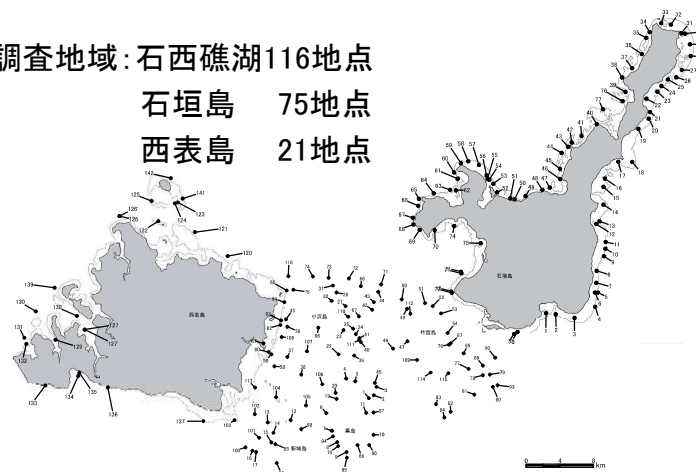
### 目的

1998年から2013年に行われたモニタリングサイト1000  
定点観測データの解析から、石西礁湖および周辺海域の  
サンゴ被度変遷の傾向を分類し、その要因を検討する。

調査地域: 石西礁湖116地点

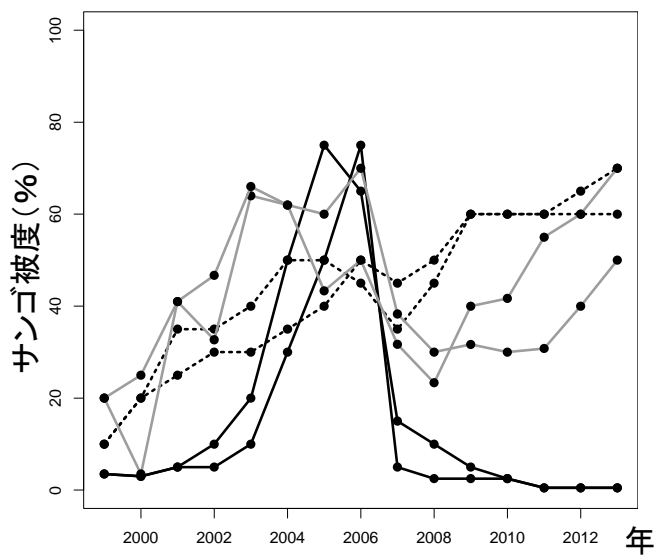
石垣島 75地点

西表島 21地点

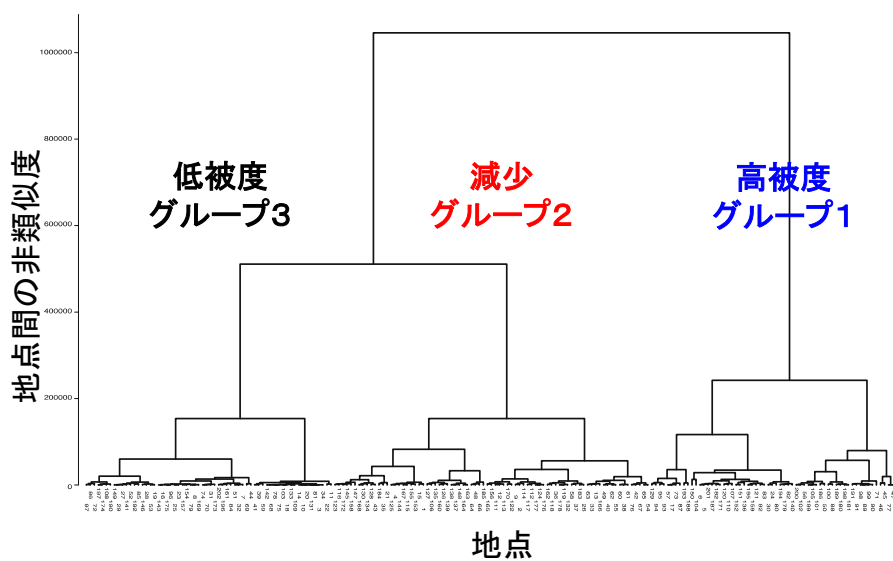


## 【方法】クラスター解析

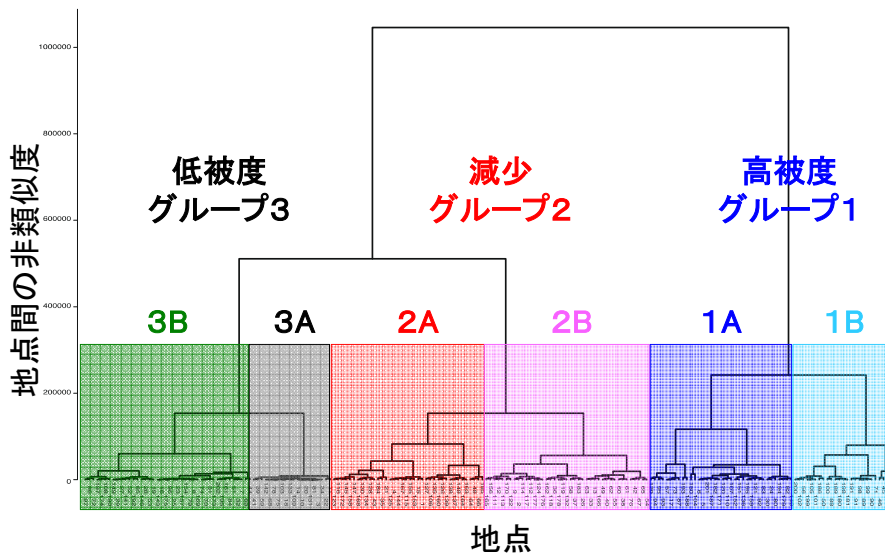
サンゴ被度の絶対値と年変化が似ている地点をグループ化



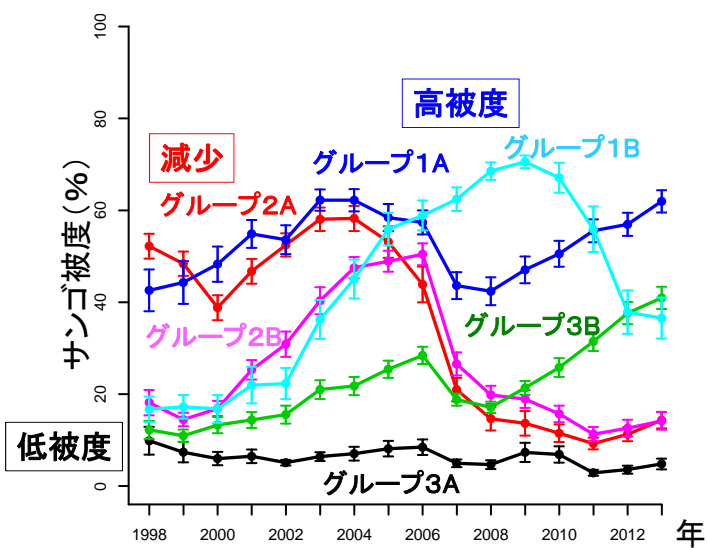
## 【結果】デンドログラム



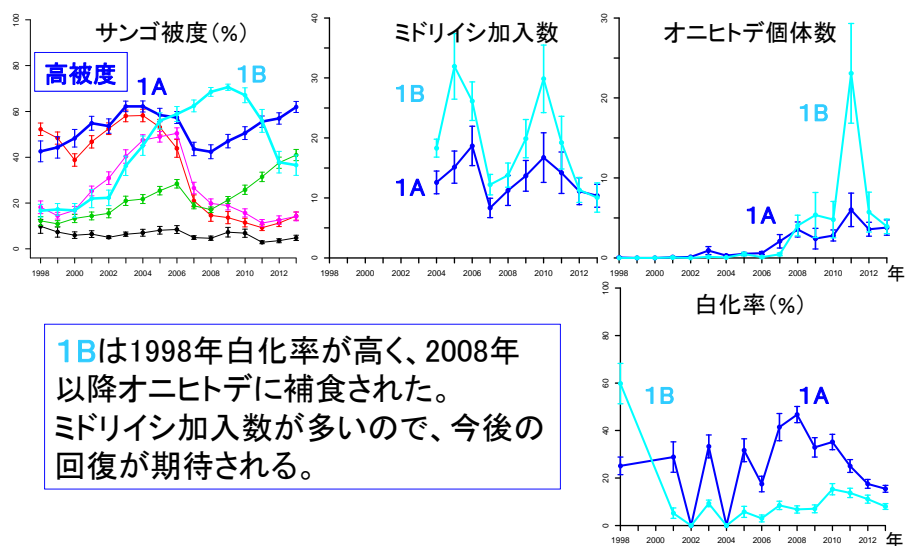
### 【結果】デンドログラム



### 【結果】6つのグループに分類



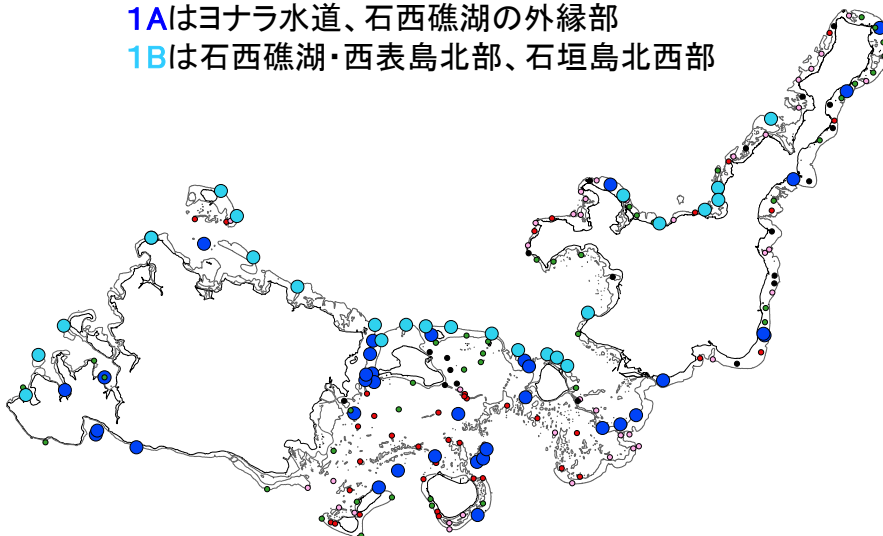
## 【結果】高被度1A・1B



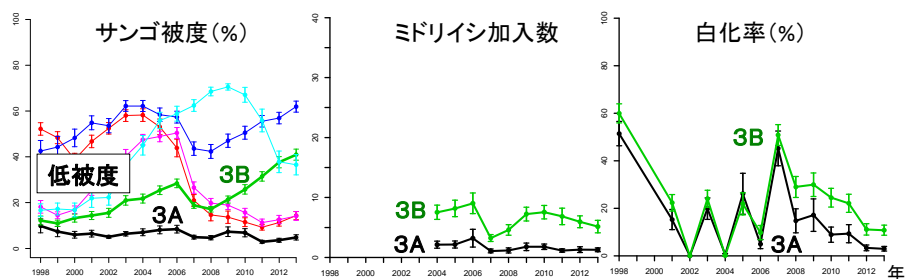
1Bは1998年白化率が高く、2008年以降オニヒトデに補食された。ミドリイシ加入数が多いので、今後の回復が期待される。

## 【結果】高被度1A・1Bの空間分布

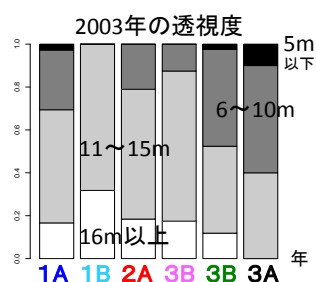
1Aはヨナラ水道、石西礁湖の外縁部  
1Bは石西礁湖・西表島北部、石垣島北西部



## 【結果】低被度3A・3B



3Aはミドリイシ加入数が少ない。  
透視度(2003年)が低く、濁りが強い地点と考えられる。

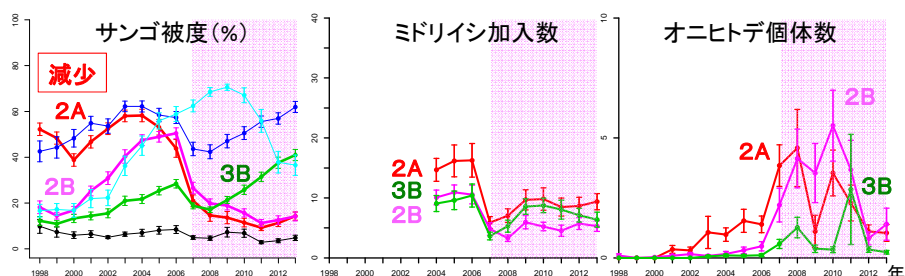


## 【結果】低被度3A・3Bの空間分布

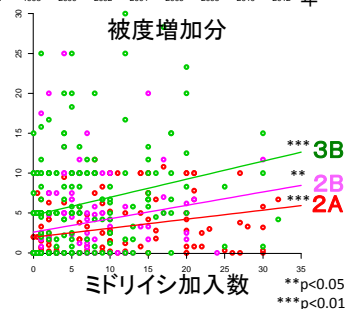
3Aは小浜島東部、内湾  
3Bは石垣島東部、高被度グループの内側



## 【結果】2007年同じ被度 **2A**・**2B**・**3B**



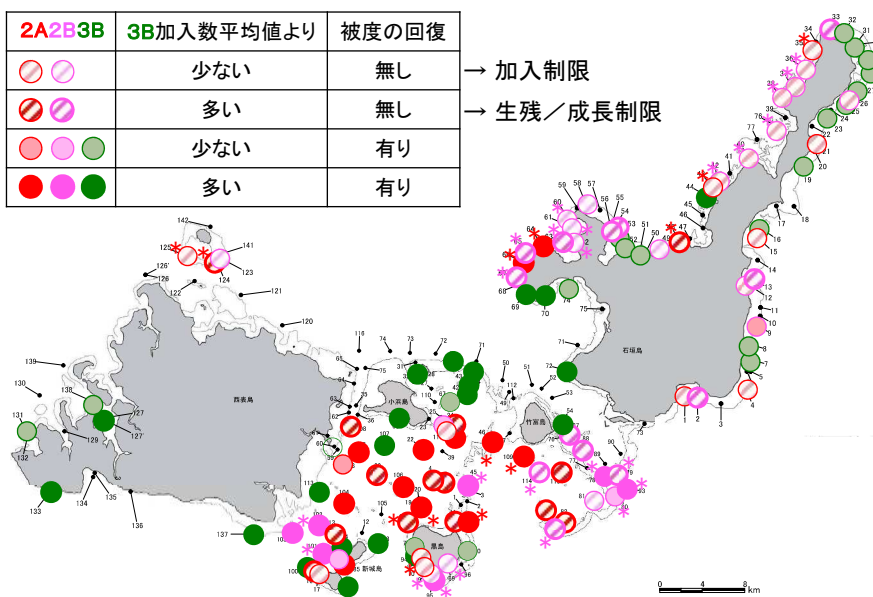
**2A**・**2B**と**3B**はミドリイシ加入にほとんど差はなかった。  
 2007年以降、加入数は相対的に減少し、被度増加分と正の相関があった。  
**2A**・**2B**はオニヒトデ個体数が多かった。



## 【結果】**2A**・**2B**・**3B**の現状

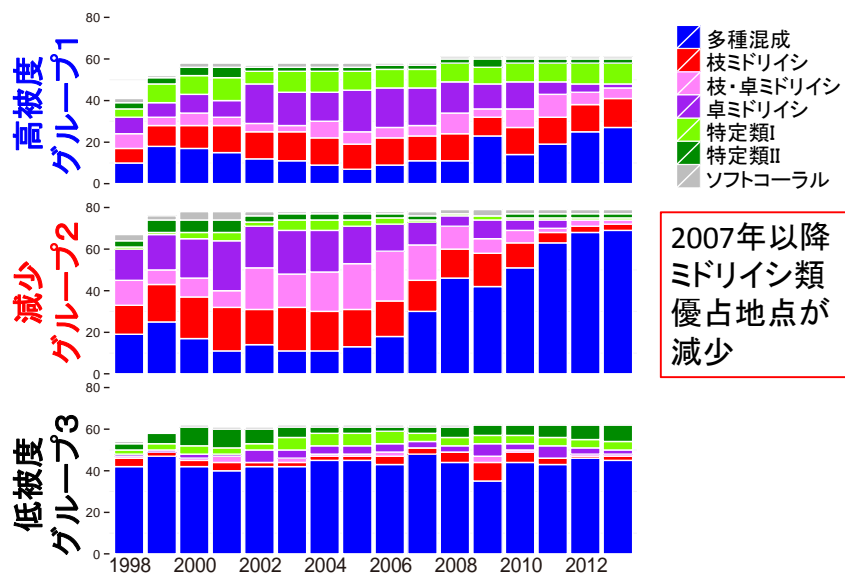
\* オニヒトデ個体数>5

<b>2A</b> <b>2B</b> <b>3B</b>	<b>3B</b> 加入数平均値より	被度の回復	
	少ない	無し	→ 加入制限
	多い	無し	→ 生残/成長制限
	少ない	有り	
	多い	有り	





## 【結果】各グループのサンゴ型



## 【まとめ】

### ● 高被度グループ

2010年以降オニヒトデ捕食によって被度が減少した地点があるが、ミドリイシ加入数が相対的に多いため回復が期待できる。

### ● 低被度グループ

濁りが強くサンゴの生育に適さない地点と緩やかに被度が増加している地点がある。

### ● 2007年以降減少グループ

2008年以降のオニヒトデ捕食でサンゴの回復が妨げられた。加入が少なく回復できない地点、加入は多いが生残／成長が悪く回復できない地点を特定することができた。今後は物理的環境条件との関係性を検討する予定。

## 2) オニヒトデ大量発生メカニズム

・・・「栄養塩仮説」は成立するか？

### 栄養塩仮説 : オニヒトデの大量発生の仮説

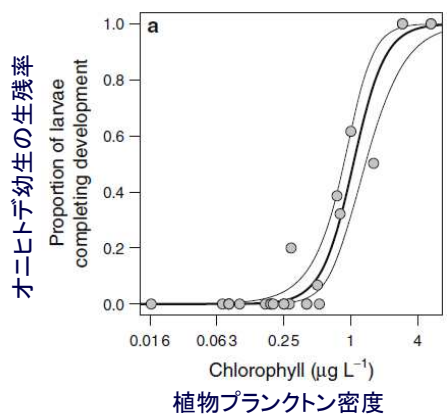
オニヒトデ幼生の生残率は餌となる植物プランクトンの増加に伴い、急激に上昇する。

植物プランクトンは主に陸域起源の硝酸やリン酸などの栄養塩を用いて増殖する



陸からの栄養塩の負荷が増えることでオニヒトデの大量発生が起きやすくなる??

**人為的な影響の可能性！**



(Fabricius et al., 2010)

## 水質分布特性に関する調査



2016/3/13

21

## 調査時期・地点

### 広域多点一斉採水

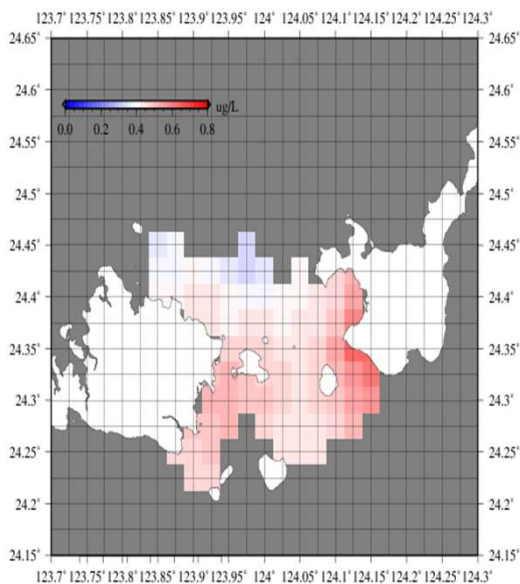
調査時期	調査地点(数)	潮	備考
2013年6月17日	SS01～30 (30)	小潮	
2013年6月18日	SS01～30 (30)	長潮	
2013年6月21日	SS08～36 (29)	中潮	台風直後
2013年8月27日	SS01～36 (36)	中潮	
2013年9月5日	SS01～36 (36)	大潮 ●	台風後
2014年6月7日	SS01～30 (30)	長潮	出水翌日
2014年6月13日	SS03～30 (28)	大潮 ●	
2015年6月25日	SS02～43* (30)	長潮	

\*SS01,06,15,21,22,27,31～36の12点除く。

22

## 表層Chl-*a*・平均値

(8回分のデータを平均し空間補間)

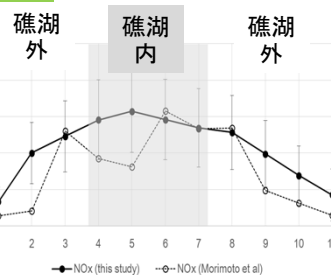
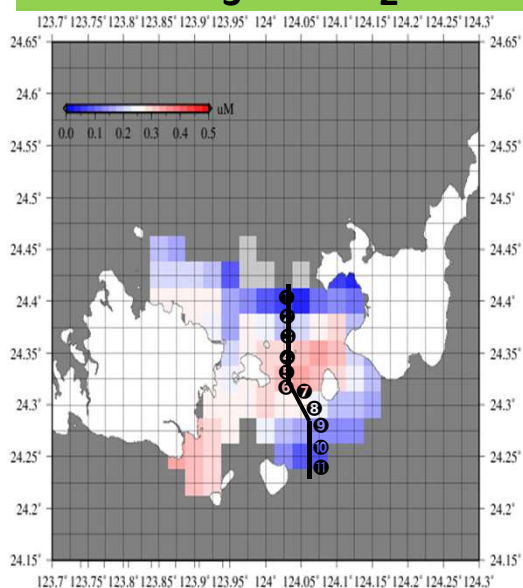


Chl-*a*は石垣沿岸や西表沿岸で高めになる傾向が認められた。

2µm以上の植物プランクトンについても、2013年では40%以上の海域でオニヒトデ幼生が餓死する水準(0.25µg/L)は超えていた(Suzuki, Yasuda, et al.準備中)。

23

## 表層NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>・平均値

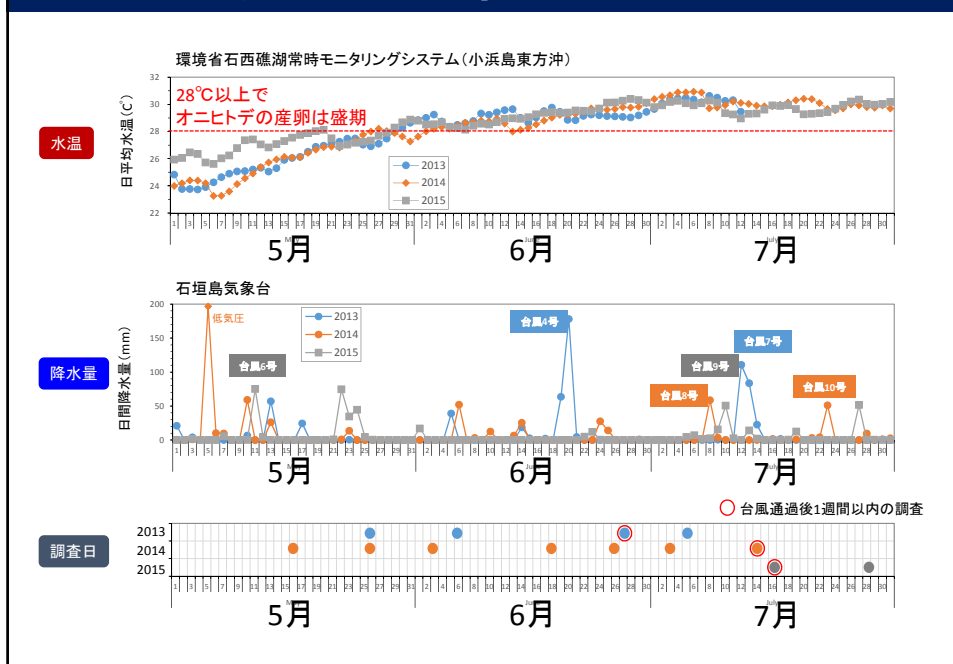


測点①～⑪で観測された過去(2004-2005年)のデータとの比較。

→石西礁湖内から北礁に掛けて、NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>(NO<sub>x</sub>)濃度が高い海域が認められた。

24

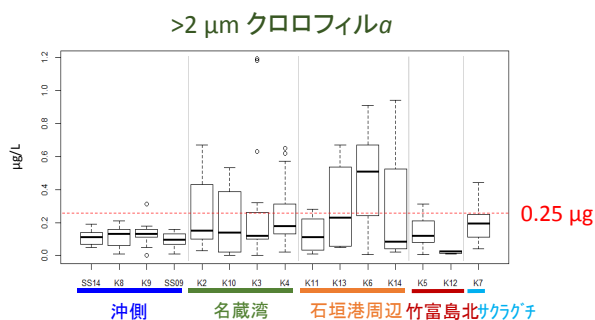
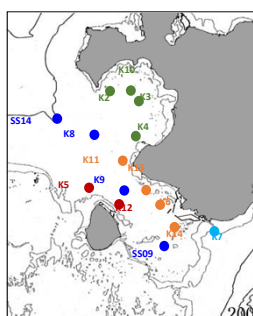
## オニヒトデ産卵期の石垣島南西海域での継続的調査



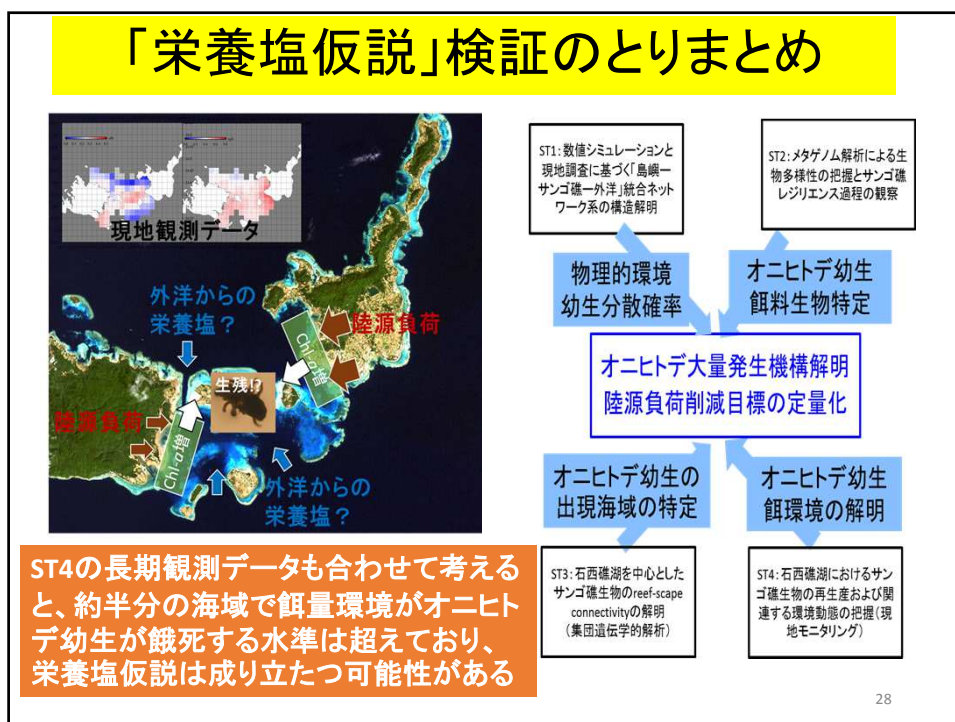
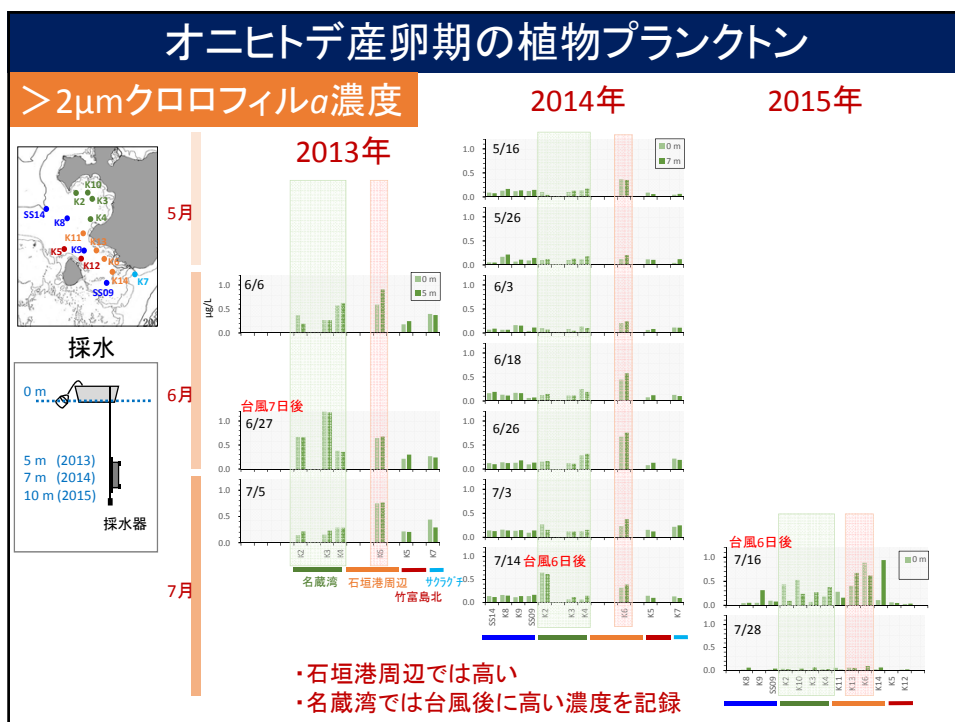
## オニヒトデ産卵期の植物プランクトン

### 各点におけるクロロフィルa濃度(全期間の集計値)

- 幼生の餌料サイズはナノサイズ(>2 μm) 以上 (Okaji et al., 1997)
- 幼生はクロロフィルa濃度が<0.25 μg/Lでは生残出来ない (Fabricius et al., 2010)



名蔵湾と石垣港周辺で高い



## 世界初の本格野外オニヒトデの広域密度分布調査の結果

プランクトンネットで採集



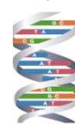
顕微鏡観察



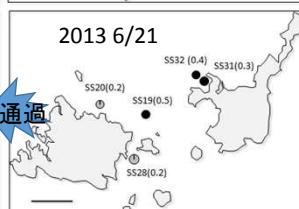
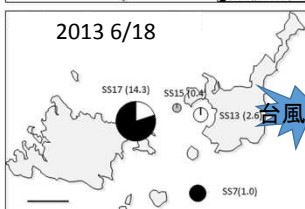
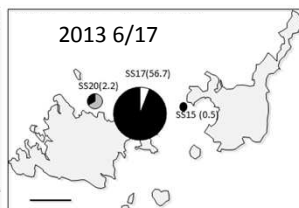
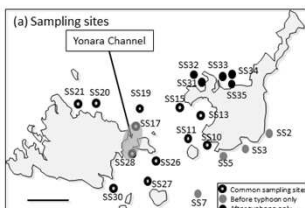
幼生単離



DNA抽出



種を同定



ヨナラ水道出口付近で、  
56.7個体/m<sup>3</sup>のオニヒトデ  
幼生集団を検出  
⇒台風通過後の6/21に  
は、高密度集団は消え  
ていた。

必ずしも植物プランク  
トン濃度が高い海域でオ  
ニヒトデ幼生密度が高  
いのではない！

3) 実態解明・予測・シナリオ解析  
ツールとしての統合モデルシステム  
の開発

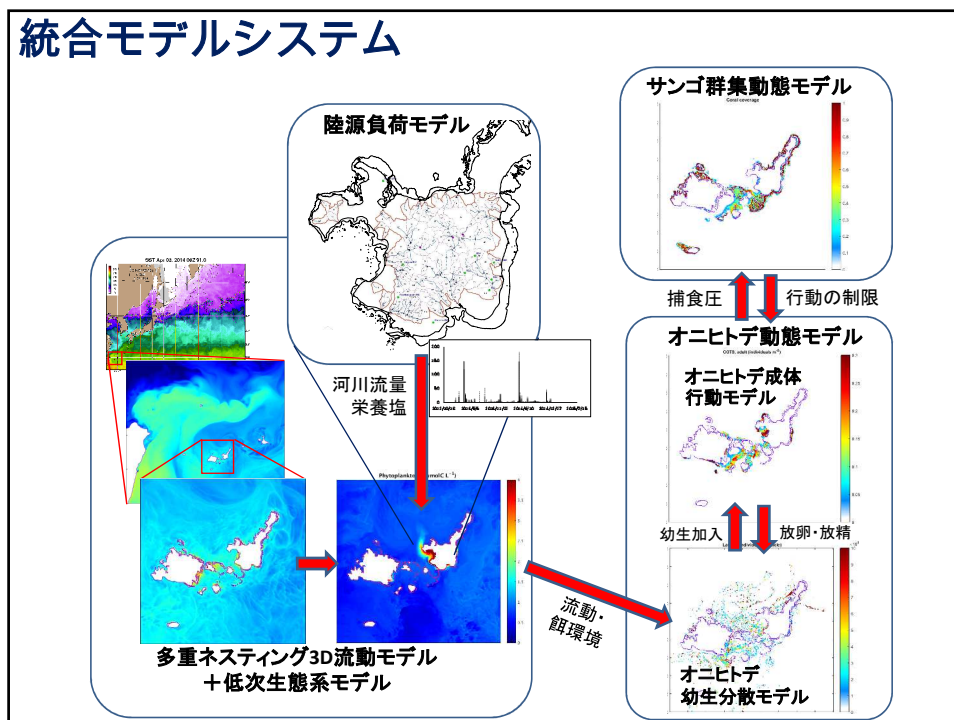
## オニヒトデ大量発生過程をモデル化する上での要点

オニヒトデの発生を予測するためには、オニヒトデの全生活史における動態をモデル化する必要がある。そのためには、

- ①陸域でどのような質や量の負荷(栄養塩など)が発生し、海域へ流出するか？
- ②海域に流出した栄養塩はどのように海域に広がっていき、どのような場所でどのぐらいの規模で植物プランクトンの増殖するか？
- ③放出されたオニヒトデの幼生が海流に乗ってどこに運ばれ着底するか？その過程で、どのぐらい生き残るか？(どれくらい餌となる植物プランクトンにありつけるか？)
- ④稚ヒトデが成長し、サンゴを食べながら、どのように移動し、どのぐらいの成体の密度でどこで産卵するか？

これらのポイントを押さえたモデル化が必要！

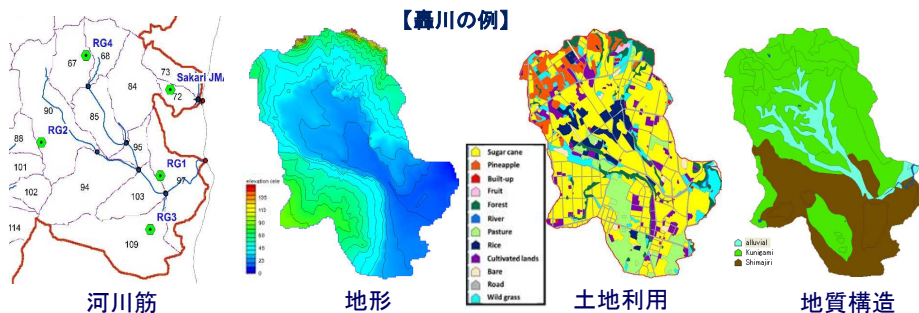
## 統合モデルシステム



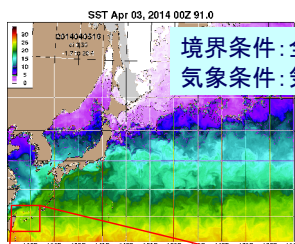


## 陸源負荷モデル

石西礁湖周辺海域に流入する主要5河川(仲間川、名蔵川、新川川、宮良川、轟川)の流量を、**SWAT (Soil & Water Assessment Tool)**を用いて計算。



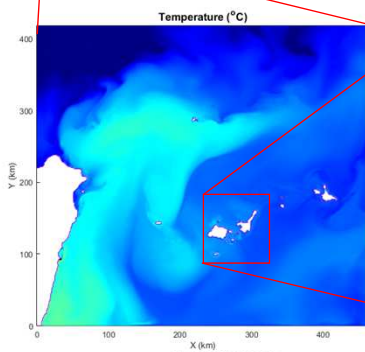
## 多重ネスティング3次元海水流動モデル



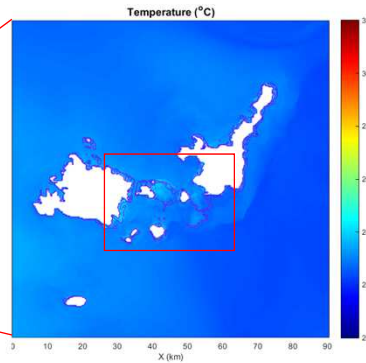
境界条件: 全球海洋モデルGlobal HYCOM(1992年~現在)  
 気象条件: 気象庁のメソスケール数値予報モデル(2002年~現在)

大領域からROMSを用いてダウンスケーリングすることにより過去の流動場を再現

Global HYCOM  
 Grid size: 1/12° (~9 km)



YAEYAMA1 Grid size: 1.5 km



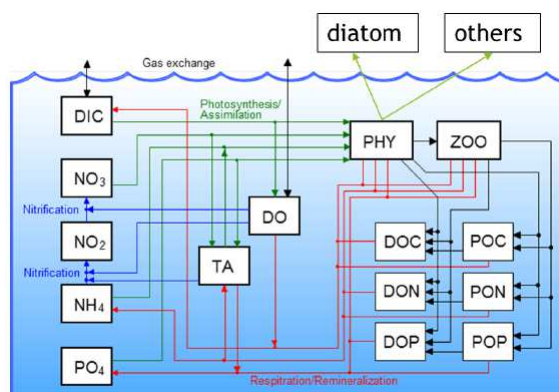
YAEYAMA2 Grid size: 300 m

## 低次生態系モデル

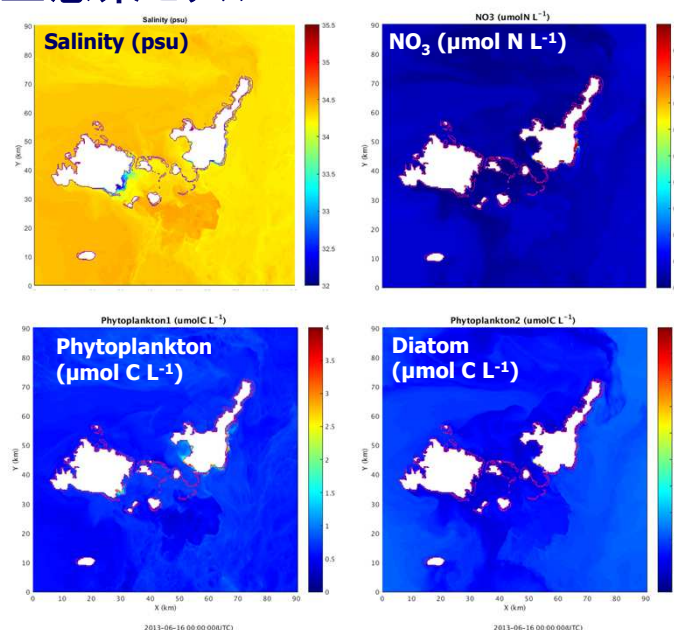
石西礁湖の植物プランクトンの栄養塩に対する応答(窒素律速、富栄養条件下での珪藻の増殖など)を組み込んだ植物プランクトン動態を再現できる低次生態系モデルを開発。



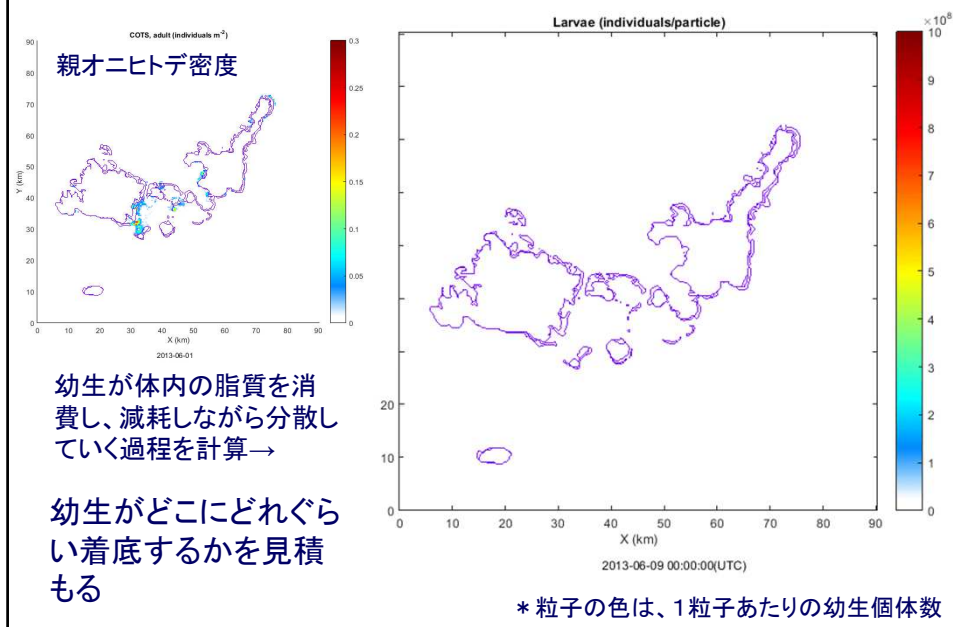
流動モデルとカップリングすることで、オニヒトデ幼生の餌環境の時空間変動を再現



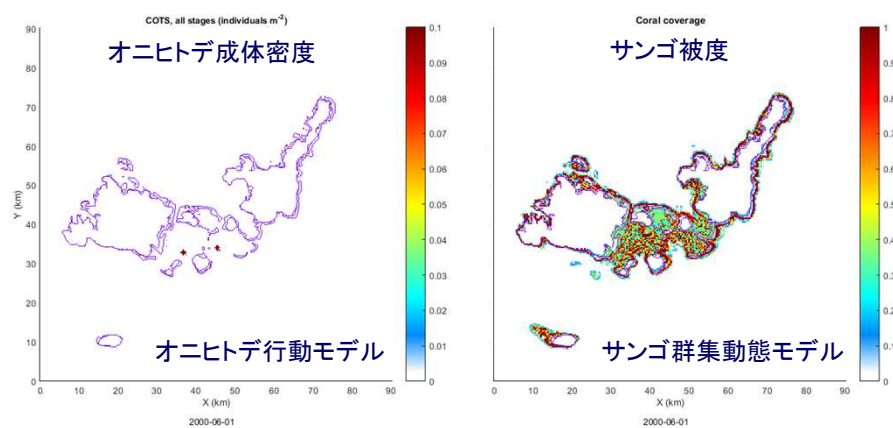
## 低次生態系モデル



## 個体ベースオニヒトデ幼生分散モデル

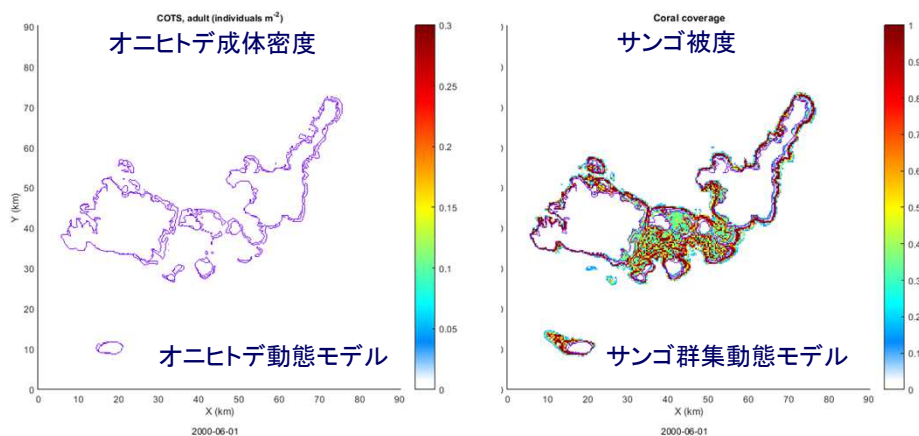


## オニヒトデ行動モデル



オニヒトデ行動モデルは、オニヒトデの加入・死滅過程および、サンゴを捕食しながらサンゴ被度が低い方から高い方へと移動することを基本的な行動原理として組み込んだ。その行動は移流 - 拡散型の方程式で表現している。サンゴ群集動態モデルは、加入・増殖およびオニヒトデによる捕食といったプロセスを組み込んでいる。

## 統合モデルシステム



オニヒトデ行動モデルと幼生分散モデルをカップリングさせることで、オニヒトデのすべてのライフサイクルの動態をモデル化することに成功。

## 統合モデルシステム開発の総括

陸域一海域の統合モデルの開発を行った。  
これによって陸源負荷物質の発生やそれらの海域への広がりを推定することが可能となった。

サンゴ礁生態系の主要な劣化要因であるオニヒトデの発生やその広がりを再現するモデル体系が完成した。  
このモデルの精度を高めていくことで、将来のオニヒトデ発生時期・場所の予測も不可能ではなくなった。

幼生分散シミュレーションによって、サンゴ幼生の供給源としての重要海域の選定も可能となる。

オニヒトデや白化、幼生加入など、主要なサンゴ群集の変動要因のモデル化に成功した。これらを結合させることによって、サンゴ群集被度の変遷履歴の再現やシナリオ解析が可能となる。