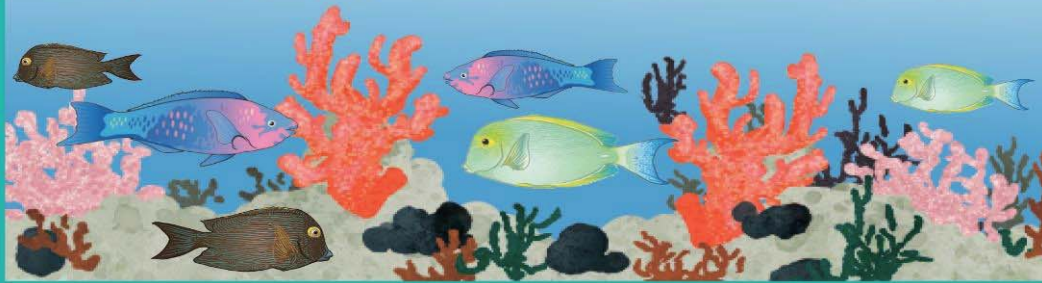


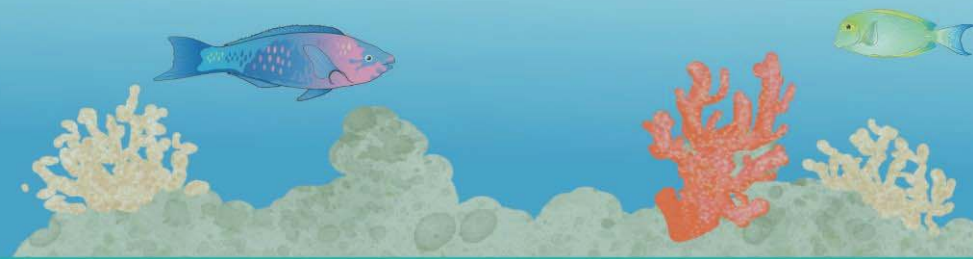
Healthy Reef Sites:

- More coral bleaching resistance
- More herbivorous fish
- New baby and juvenile corals
- Less coral disease



Unhealthy Reef Sites:

- Less coral bleaching resistance
- Less herbivorous fish
- Less new baby and juvenile corals



2019-2023年の石西礁湖自然再生全体構想に関する提言：「知る」項目について
静岡大学 創造科学技術大学院 鈴木款・カサレト ベアトリス

モニタリングとは、その目標はサンゴ自身の健全な代謝活動（光合成：クロロフィル・呼吸：酸素）とそれを可能にする海水中の水温・塩分・光量、流速、地形調査と水質や堆積物、陸からの負荷等のデータを取得し、サンゴやサンゴ礁生物、生態系に何が起きているのかをきちんと科学的に理解し、その上で最適な対策を立て、実行すること。またその実行のために多くの人に本当のことを理解して、サポートあるいは参加を促すことである。

「市民科学」の確立の重要性。科学的証拠やデータできちんと対応する。思いやイメージで決して行動したり対策を立てない。今石西礁湖の自然再生事業は抽象的な言葉や呼びかけでなく、具体的行動の指針を必要としている。それは研究者・市民・ダイバー・漁協等様々な人の協働作業によるプラットフォームの構築が緊急である。

サンゴ礁の今を知る調査モニタリング = 「知る」 : 何が起きているのかを知ることにしにサンゴとサンゴ礁を守る最適な対策は生まれない

環境のモニタリング調査 (サンゴ等の生物群集の生息環境を知る)

サンゴとサンゴ礁生態系のモニタリング調査 (健全性を知る)

水質調査

堆積物・底層

サンゴ

生態系(食物網)

物理成分

水温、塩分、
光量、流速

水温と光量と
流速は重要で、
地形との関係
で調査するモ
ニタリング項目
流速は8cm/s
~25cm/sがサ
ンゴが健全に
成長する条件。
光量も300-
600 μ mol/m²,s

化学・生物成分

栄養塩、有機炭
素、有機窒素、
細菌、クロ
ロフィル、農薬
や除草剤等

硝酸塩濃度は2
 μ M以下リン酸塩
濃度は1 μ M以下
が望ましい。サン
ゴへの直接的な
影響はまだ明確
ではないが、10 μ M
以上。有機物は汚
染物質以外はサ
ンゴへの影響の報
告例はない

赤土の堆積量、
粒度分布、

赤土のサンゴ
礁域への流入
量と堆積量を
把握する。
赤土のサンゴ
へのカバー時
間も把握する

化学・生物成分

窒素・炭素量
有機物量
細菌

堆積物の舞い
上がり等により
サンゴに影響
する可能性の
あるのはバク
テリアと農薬等
の汚染物質
赤土等の直接
的は報告例は
少ない

光合成能(PAM)、褐虫藻細
胞数と形態、色素(クロロ
フィル、ペリジン)、ストレス
指標酵素、細菌、DNA
サンゴ被度、形状、分布、ポ
リプの写真

すべての環境因子はサンゴ
の生理学的状態にどう影響
を与えているのかを知るこ
とは非常に重要である。上記
の項目はそれを判断する上
で重要である。外見だけで
は不十分、あるいは誤った
結論に至る。サンゴそのも
のを調査することが重要。

サンゴ以外の主な生物(魚、
ウニ、海草)とオニヒトデ、食
巻貝、堆積物中の微小プラ
ンクトン、細菌

サンゴの保全や自然再
生にはサンゴ以外の魚、
ウニ、ナマコ、海草、バク
テリアが生態系として重
要である。これらの観察
や調査も重要である。
オニヒトデや食巻貝はサ
ンゴそのものにダメージ
を与えるだけでなく、病原
菌の媒介者でもある。

モニタリングの実施者

水温・塩分・光量は地元で可能
流速はコンサルタント会社・研究者
化学・生物成分は研究者・行政研
究所・コンサルタント会社

**モニタリングの
実施者**

地元と研究者
の協力で可能

**モニタリングの
実施者**

コンサルタント
会社・研究者・
行政研究所

モニタリングの実施者

研究者・観察は地元・コ
ンサルタント会社

モニタリングの実施者

地元・コンサルタン
ト会社・研究者・行政機関・
漁協等

石西礁湖サンゴ礁モニタリングプラットフォーム(地元・研究者・行政機関・行政研究所等による協同ネットワーク)

サンゴ礁への陸からの影響を知る:サンゴ礁(地形)でなくサンゴおよびサンゴ礁生態系への影響の閾値と具体的な影響の実態を知る

サンゴ礁への具体的な環境負荷量の実態調査

赤土の流出量・河川水や降水の流入量

河川水と河口域の栄養塩・農薬・除草剤等の化学物質濃度と河川等の流量

赤土や排水河川水中のバクテリア

調査方法

- (1) 河川水を採取し、異なるサイズによるふるいを用いてろ過し、どの程度赤土が含まれるか重さを計る。次期および河川の場合、雨の後など様々な条件で行い、河川水等を通じて流れ出る赤土の単位L当たりの量を把握する。
- (2) 河川の流量を行政機関による情報を得て、(1)で測定した単位容積当たりの赤土量を掛け算してサンゴ礁に流れ込む赤土量を推定する。
- (3) 河口付近のサンゴに赤土が付着等している場合が観察できたら、時間変化を記録し、どの程度の時間サンゴに付着しているのかおよその時間を推定する。これは赤土の影響を評価するうえで重要である。
- (4) 栄養塩・化学成分やバクテリアの量も分析し、河川量流量を掛け算して、サンゴ礁への負荷量を推定する。
- (5) 赤土の粒度別に分けて、(4)の成分を測定する。赤土とともにサンゴ礁域に流出する量も把握できる。

赤土・栄養塩・化学汚染物質(農薬・除草剤)・バクテリアの影響評価

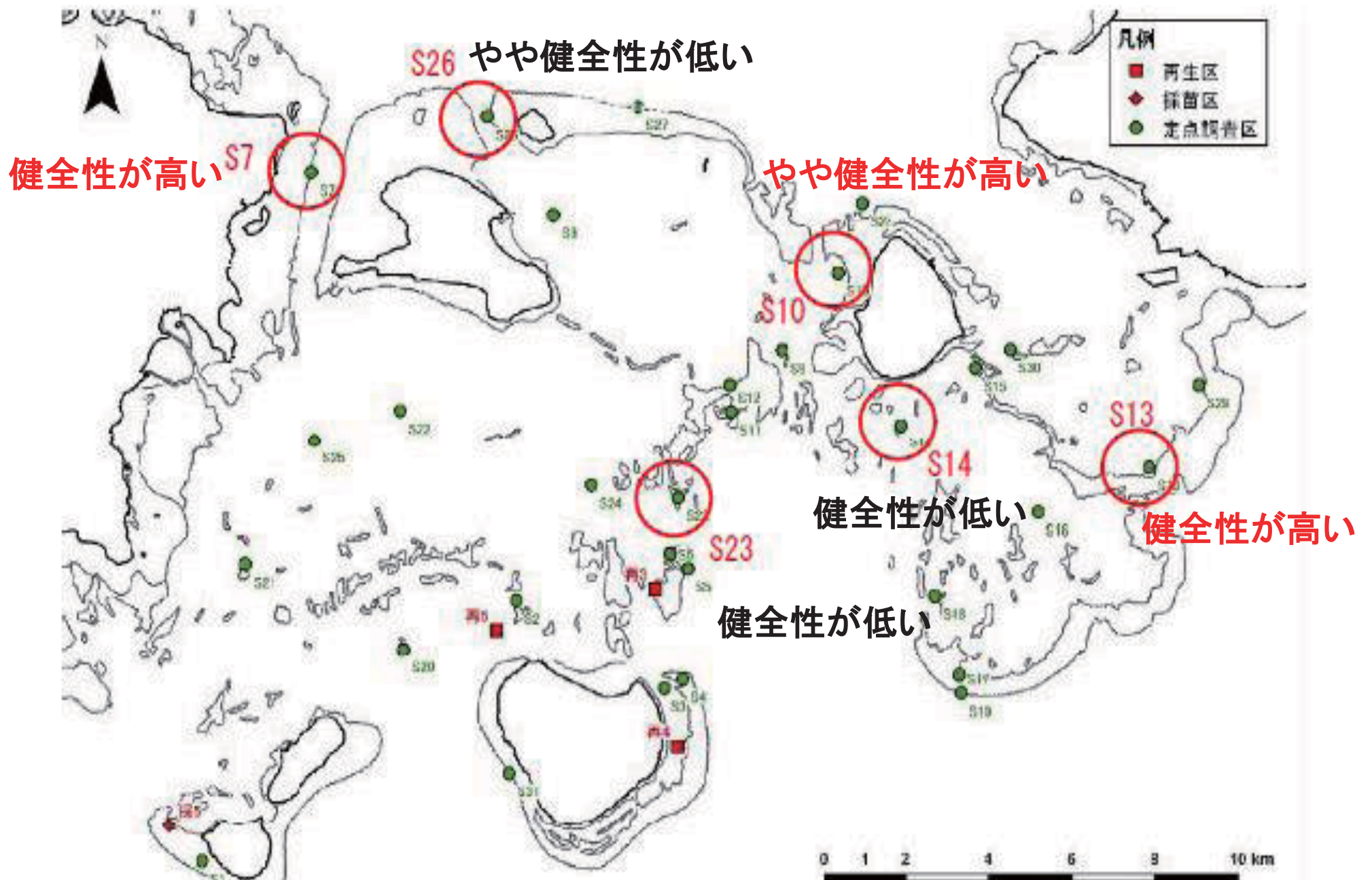
サンゴや主要な生物への影響評価には暴露実験等が必要。異なる水温条件下でそれぞれの化学物質・赤土・バクテリアをサンゴや生物をいれた培養瓶に添加し、影響の濃度や程度を評価する。単独の成分や複合成分による影響評価により、赤土、栄養塩、化学成分やバクテリアの影響の程度と濃度の閾値が明らかになる。現場で影響評価の原因を探ることは不可能である。

影響評価の手法

栄養塩や赤土や化学成分やバクテリアのサンゴや他の生物への影響を知るためには、それぞれ成分の濃度や細胞数、あるいは赤土粒度(微細か粗粒か)をサンゴや生物を培養瓶に移し、水温、光量、流れ等の条件を一定に維持する必要がある、二つ変化する項目がある場合は目的とする成分の影響かどうか判断できない。二つ以上に成分を組み合わせた場合は単独と複数の両方を同時に行う必要がある。そのため、影響が本当にあるのかどうかをきちんと把握するためにはかなりの実験と専門的な努力が必要である。しかし、これなしでは、最終的に、赤土、栄養塩、バクテリア等の影響があるのかどうか判断することができないし、どの程度で影響するのかの数値も得ることができない。これでは何をどの程度減らすべきかの対策を立案できない。

サンゴへの影響に関する今までの報告:

- (1) 赤土に関して直接的に影響を評価した報告例は今までない。沖縄県衛生研の研究者のレポートがあるがあくまで推定である。
- (2) 世界的に見ても赤土のサンゴへの影響の定量的な評価の報告はない。
- (3) 栄養塩に関しては静岡大学の研究例では硝酸塩濃度 $5\mu\text{M}$ 以上でサンゴに影響する結果が報告されているが、オーストラリアのグループの報告ではサンゴや環境に依存し、プラスもマイナスもあるとしている。硝酸塩濃度として数 μM 以上としている。
- (4) バクテリアに関しては静岡大学等により陸起源バクテリアがサンゴの白化や病気を引き起こすことが報告されている。またオニヒトデ等は媒介生物として重要な役割果たしていることも報告されている。バクテリアはプラスとマイナスの両方の効果がある。
- (5) 農薬、除草剤、環境ホルモン、日焼け止めに関してもサンゴへの影響が大きいと報告しているが、数値はない。



2017年の12月の調査におけるサンゴの健全性(生理学的応答)に関するサイトの判定

石西礁湖6地点jにおけるサンゴの健康状態 (2017・12)

	褐虫藻細胞数 (cells/cm ²)	ペリジニン量 (μg/cm ²)	光合成活性	過酸化水素 除去酵素活性	
S7	✓ 51.0	✓ 3.7	✓ 0.68	✓ 6.6	健全性が高い
S10	31.3	✓ 4.0	✓ 0.65	4.5	やや健全性が高い
S13	✓ 66.3	✓ 2.4	✓ 0.56	✓ 6.8	健全性が高い
S14	5.4	0.7	0.45	10.2	健全性が低い
S23	10.8	1.5	✓ 0.61	3.3	健全性が低い
S26	24.0	1.5	✓ 0.60	✓ 7.8	やや健全性が低い
健康の閾値	50万以上	2μg以上	0.5以上	5以上10未満	

NOTE

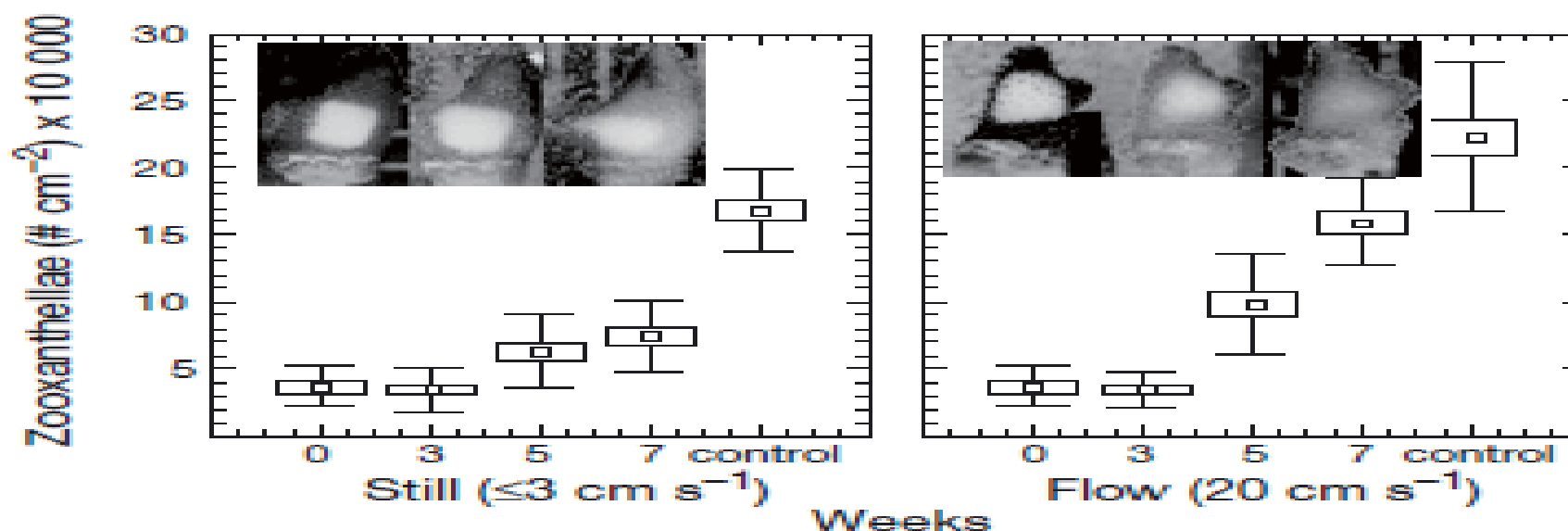
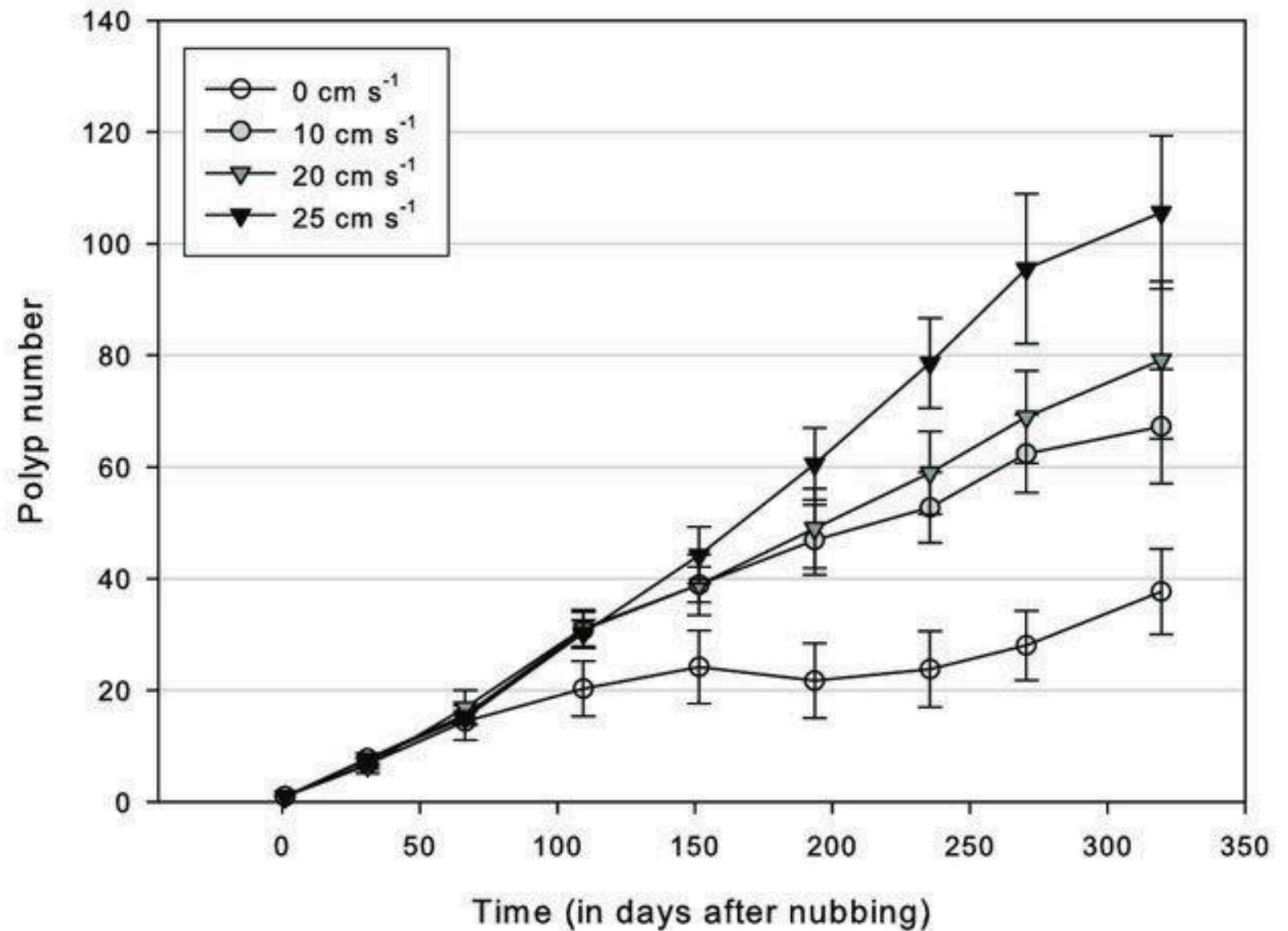
Water flow facilitates recovery from bleaching in the coral
*Stylophora pistillata*T. Nakamura¹, H. Yamasaki¹, R. van Woesik^{2,*}

Fig. 1. *Stylophora pistillata*. Number of zooxanthellae (no. of cells cm² surface area of living tissue) in still ($\leq 3 \text{ cm s}^{-1}$) and flow (20 cm s^{-1}) treatments over 7 wk ($n = 3$). (\square) means, (\square) SE, whiskers: SD. Photos show initial (left), 5 wk (middle), and 7 wk (right) samples. Control groups were not bleached and were placed in each flume for same experimental time period (7 wk, $n = 3$)

Water flow is more important for corals than light. Part II: The science of corals and water flow

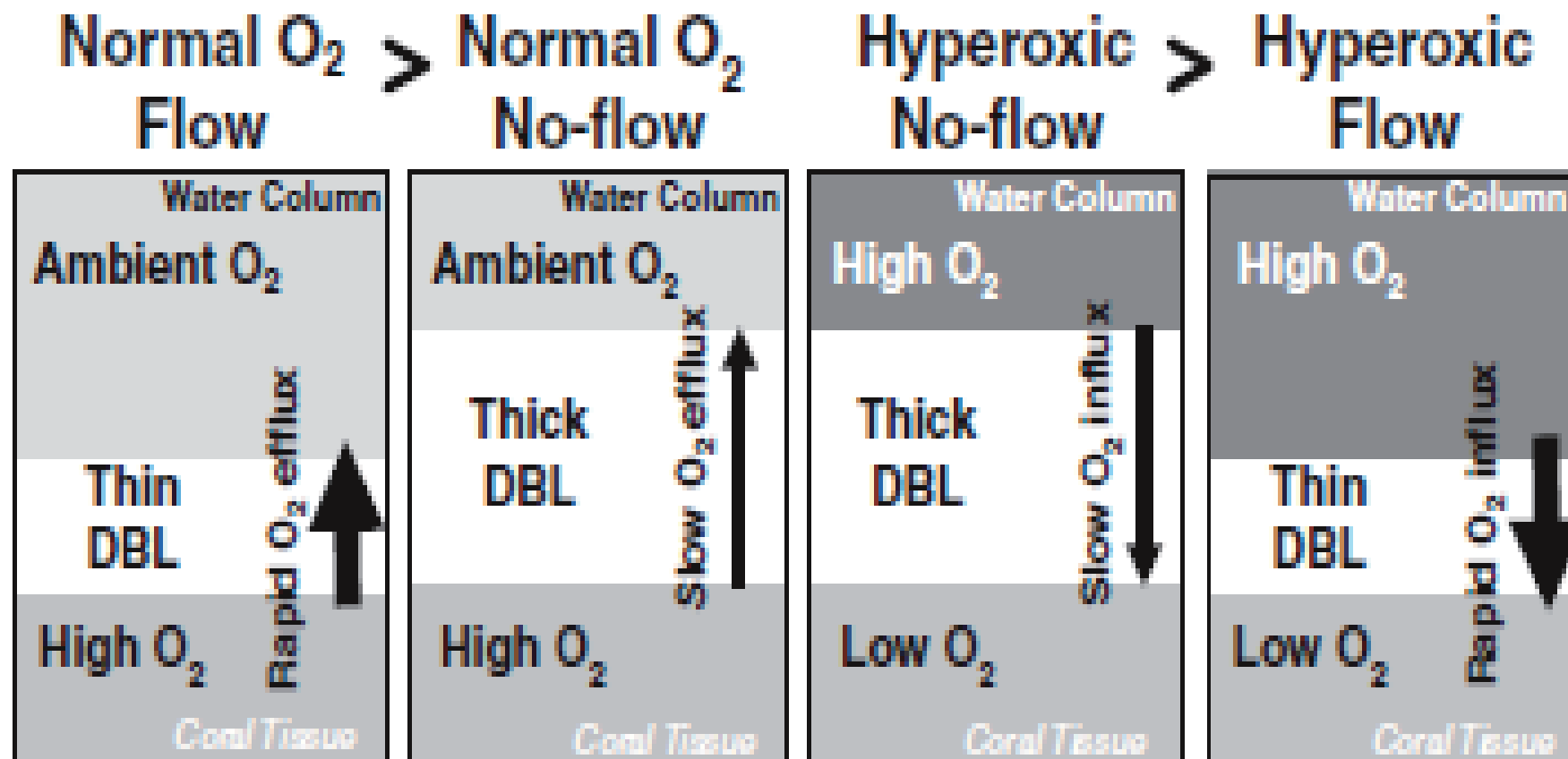
By Jake Adams



Christopher M. Finelli · Brian S. T. Helmuth
N. Dean Pentcheff · David S. Wethey

Water flow influences oxygen transport and photosynthetic efficiency in corals

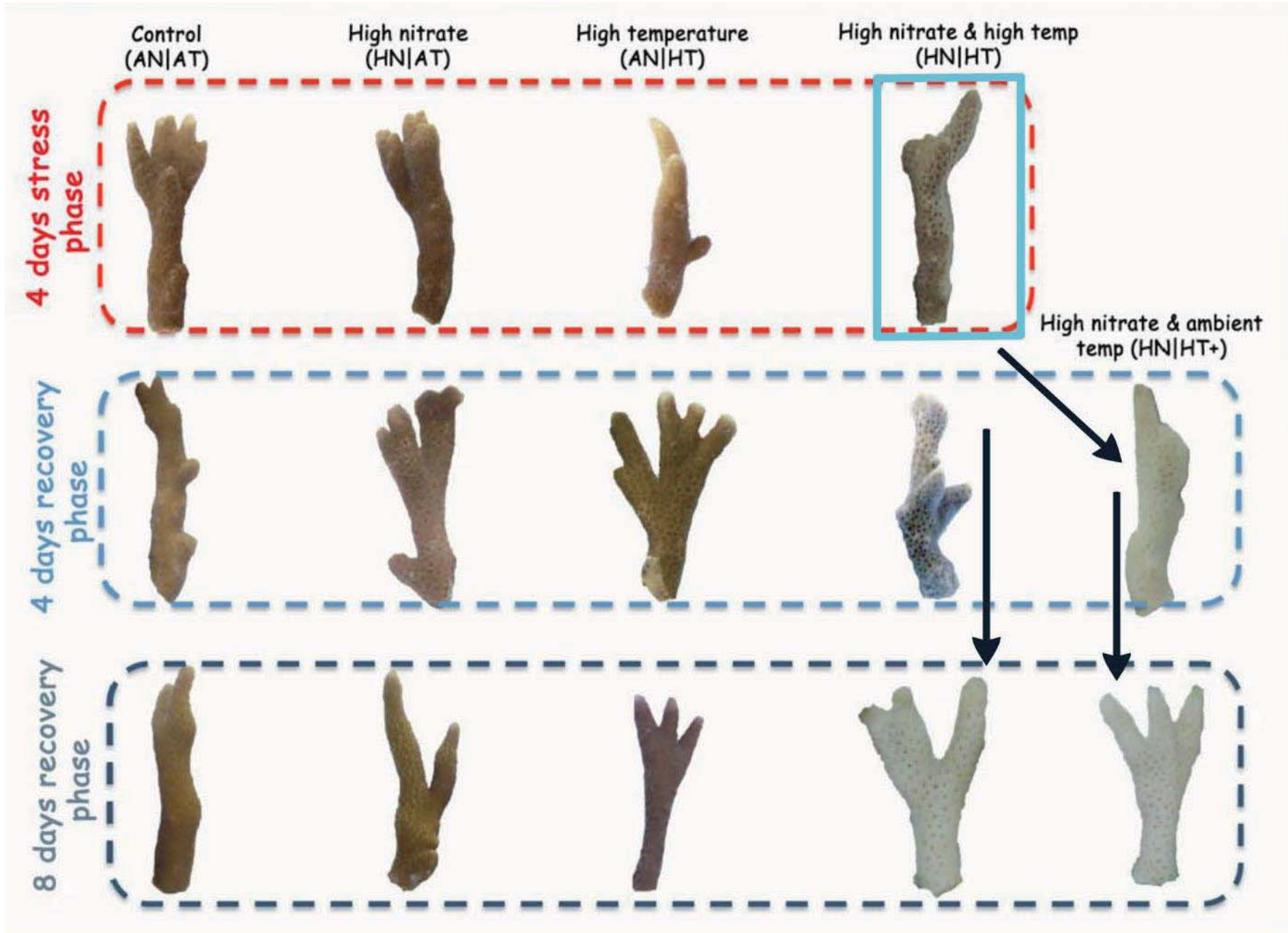
海水の流動があるとサンゴは健全に生育する。その理由の一つは生産する溶存酸素濃度の交換が非常に効果的で、代謝活動が健全である。さらに活性酸素によるストレス軽減にも貢献している。また餌を捕食しやすい。



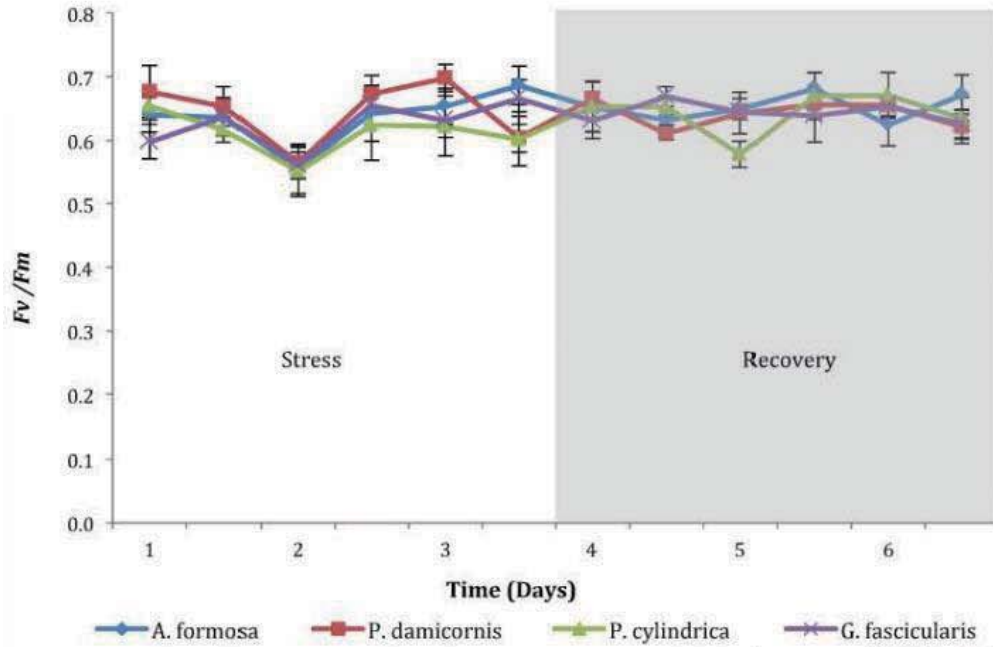
Nutrient input in coastal waters around Okinawa

Sampling point	Year	Nutrient concentration (μM)				Source
		NO_3	NO_2	NH_4	PO_3	
1 Sesoko beach	Sept 2013	0.32	0.10	0.48	0.14	Casareto *
	May 2013	15.5	0.26	0.58	1.31	Ramphul *
	Sept 2012	0.50	0.07	0.40	0.05	Chumun ⁺
2 Bise beach	Sept 2013	0.32	0.04	0.42	0.01	Chumun ⁺
	May 2013	11.8	0.21	0.59	0.35	Meekaew *
	Sept 2012	1.34	1.06	4.74	0.04	Meekaew *
	May 2012	9.66	0.13	0.33	0.25	Meekaew *
3 Sakimotobu	2009	0.00	0.15	0.16	0.14	Shiroma ⁺
4 Sukuta	2009	0.66	0.17	0.00	0.15	Shiroma ⁺
5 Ikea beach	2009	0.60	0.07	0.00	0.06	Shiroma ⁺
6 Miyagi Island	2009	0.01	0.01	1.24	0.18	Shiroma ⁺
7 Araha beach	2009	4.68	0.28	0.31	0.16	Shiroma ⁺
8 Nakagusuku	2009	0.39	0.23	0.90	0.35	Shiroma ⁺
9 Tropical beach	2009	2.17	0.18	1.26	0.09	Shiroma ⁺
10 Tozoe Seaport	2009	0.25	0.10	0.00	0.08	Shiroma ⁺
11 Sashiki Seaport	2009	6.94	0.28	0.51	0.34	Shiroma ⁺
12 Tamagusuku	2009	0.11	0.14	0.02	0.16	Shiroma ⁺
13 Ohdo	2009	21.93	0.33	1.08	0.37	Shiroma ⁺

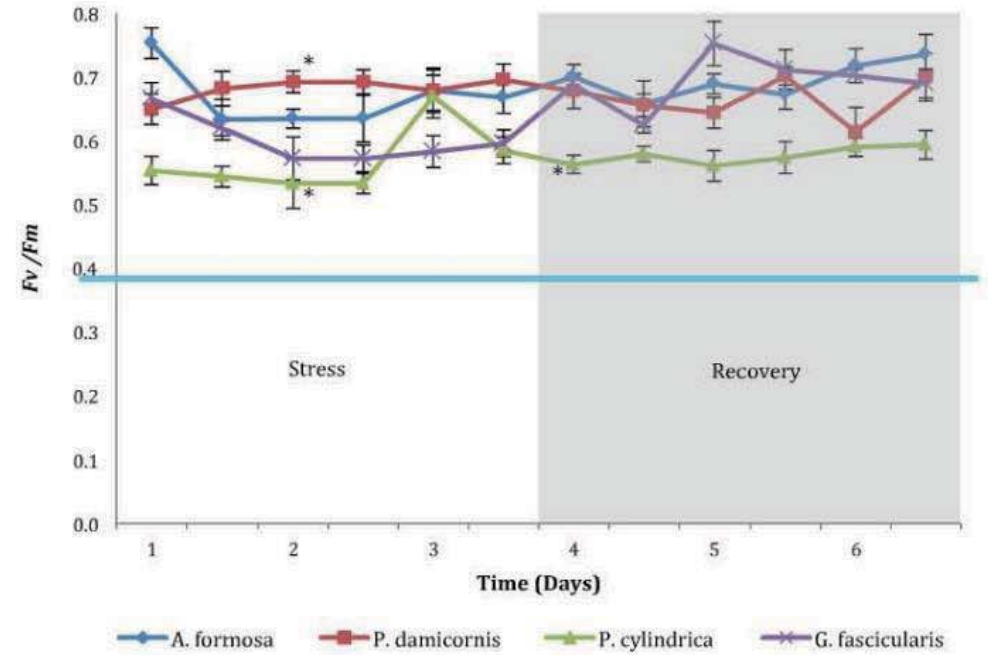
* Unpublished data, ⁺ PhD dissertation



Ambient

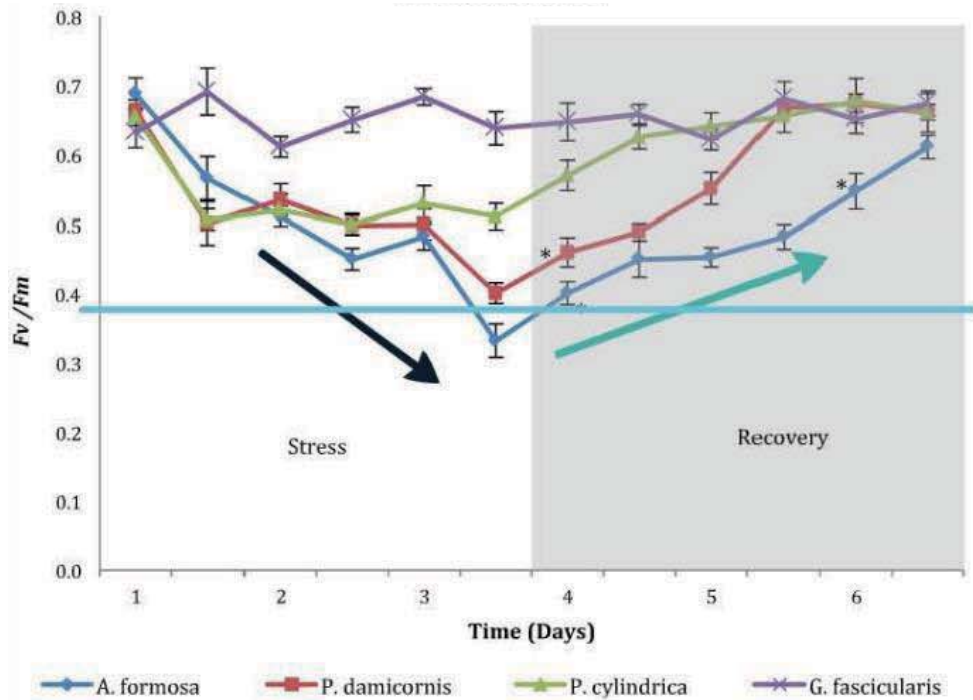


High nitrate (10 μ M)

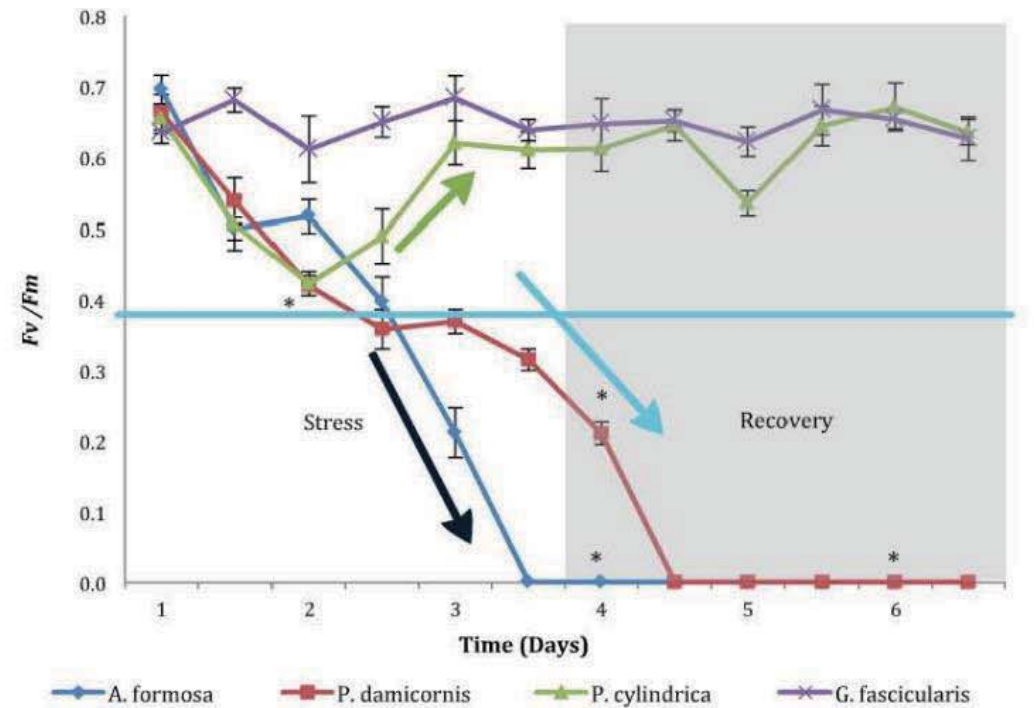


High temperature (32 $^{\circ}$ C)

32 $^{\circ}$ C



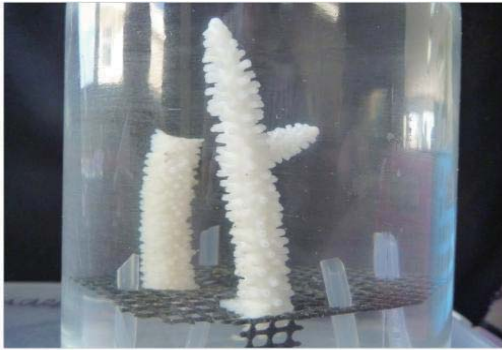
Combined stress (10 μ M + 32 $^{\circ}$ C)



サンゴの種類とバクテリアの種類により白化への影響が異なる。

ビブリオコラリリティカス(ガンマプロテオバクテリア):
海洋性バクテリア (*Vibrio coralliilyticus*)

Acropora + Vibrio



Montipora + Vibrio



Acropora + Treponema



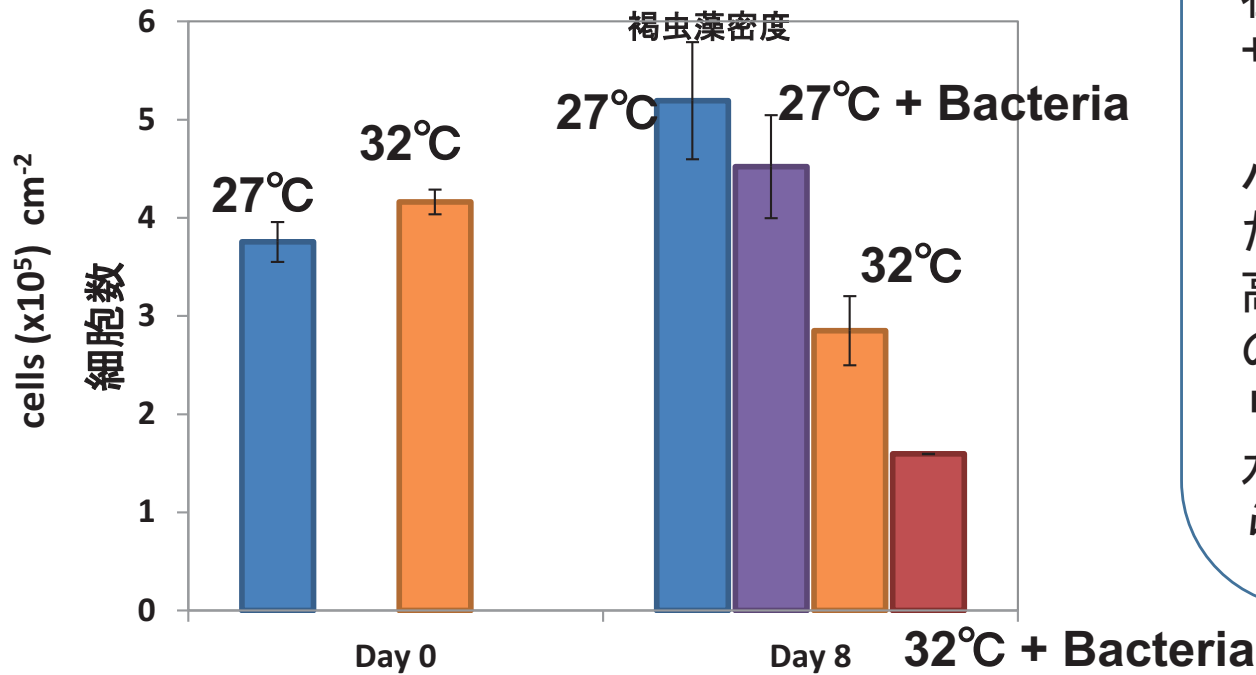
Montipora + Treponema

病原菌: トレポネマレシチノリティカム ((*Treponema*)
人間の病気に関わるバクテリア

サンゴの共生藻である褐虫藻の遺伝子配列が、バクテリアの種に対する耐性を維持している可能性がある。

高水温下でのサンゴのストレス下での褐虫藻の形態変化を引き起こす原因にはサンゴの種とバクテリアの種の応答も関係している。

複合ストレスによる白化: 温度 + バクテリア感染



高水温の状態、バクテリアの存在が白化の引き金になっている。サンゴを高水温（32度）と低水温（28度）の状況に置き、それぞれバクテリアの有無で経過を観察した。観察開始から8日目の時点で、高水温・バクテリア有りのサンゴの白化が著しく、高水温・バクテリア無しでは一部が白化。通常の水温ではバクテリアの有無に関わらず、白化は見られなかった。

実験前



27°C



27°C + Bacteria



32°C

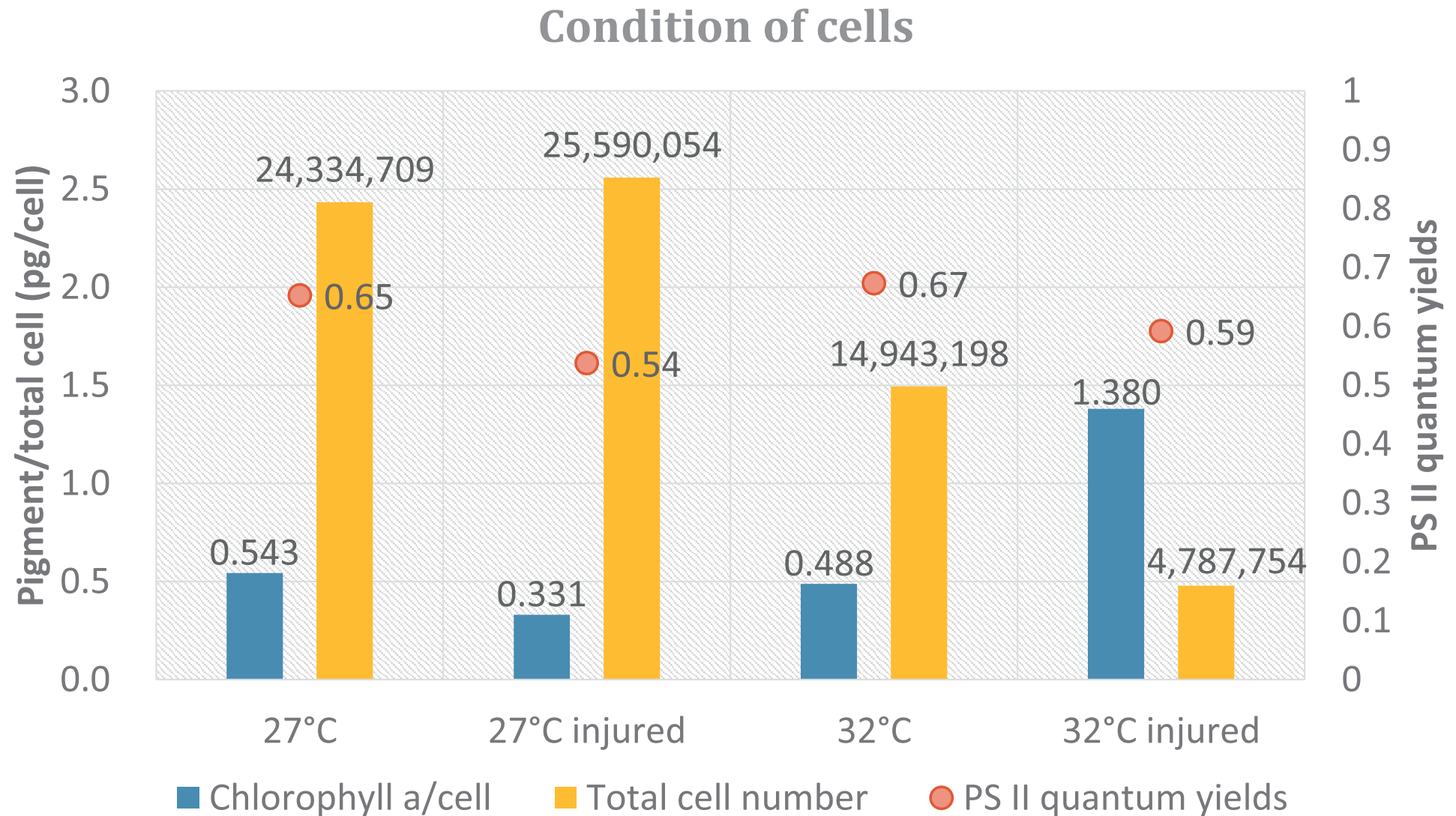


32°C + Bacteria



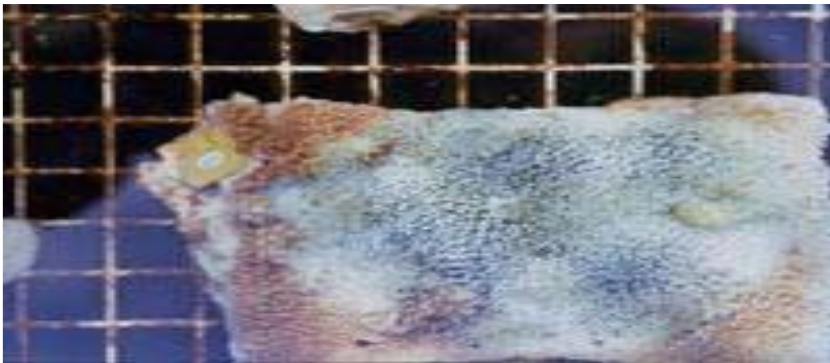
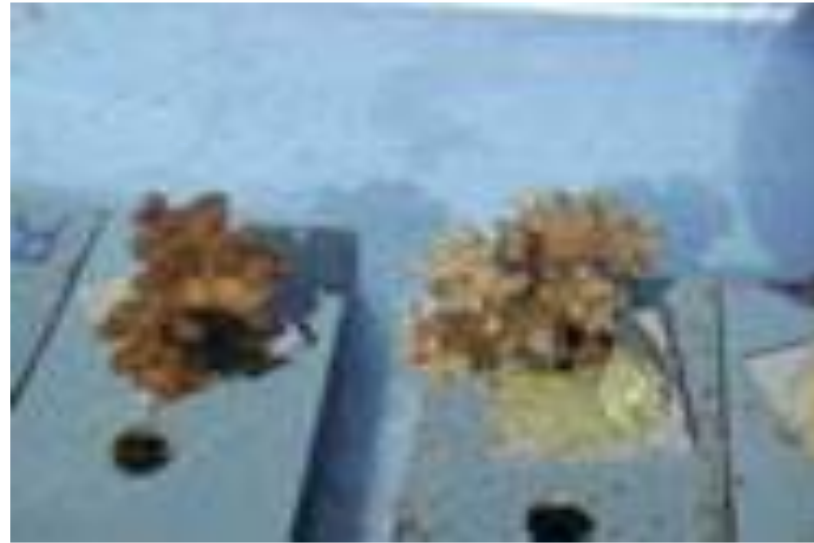
8日間の飼育後のサンゴの様子

高水温＋バクテリア下で褐虫藻の細胞数は減少し、サンゴが白化しても、細胞当たりの色素量は増加して光合成能を保ち、ストレスのなくなった後に回復する準備をしている



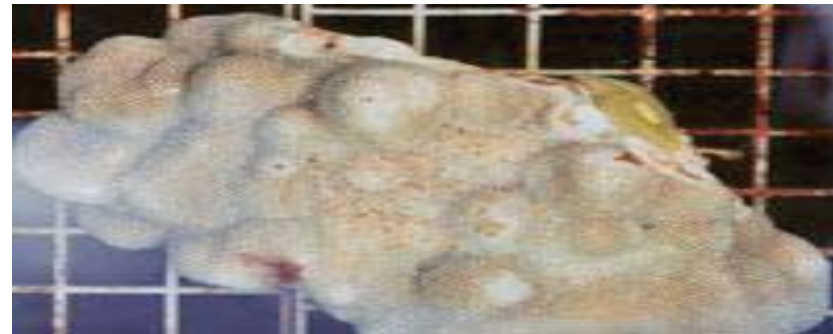
Sediment Impacts on Reef Corals in Maui, Hawaii サンゴ礁への陸域からの赤土の影響

[Greg Piniak](#) 2004 USGS News University of Hawaii



Montipora capitata coral fragment after 45 hours of sediment exposure.

Healthy tissue remains around the margins, but the middle of the colony is mostly dead.

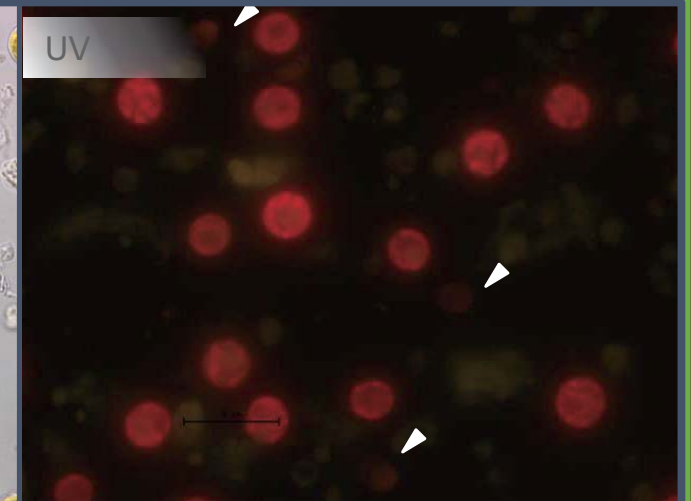


Porites lobata coral fragment after 45 hours of sediment exposure.

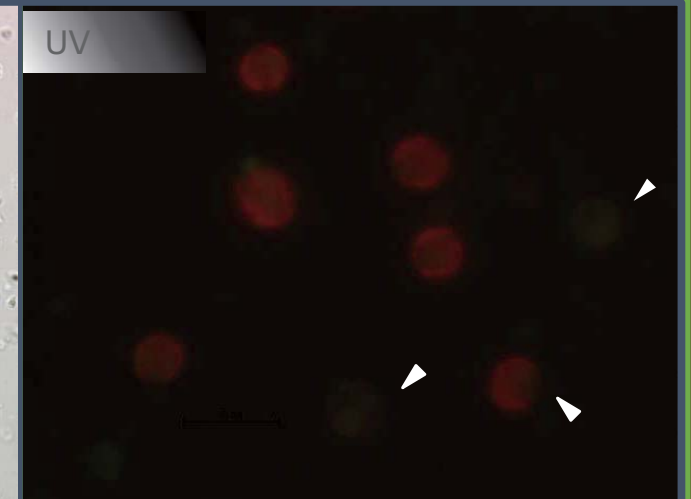
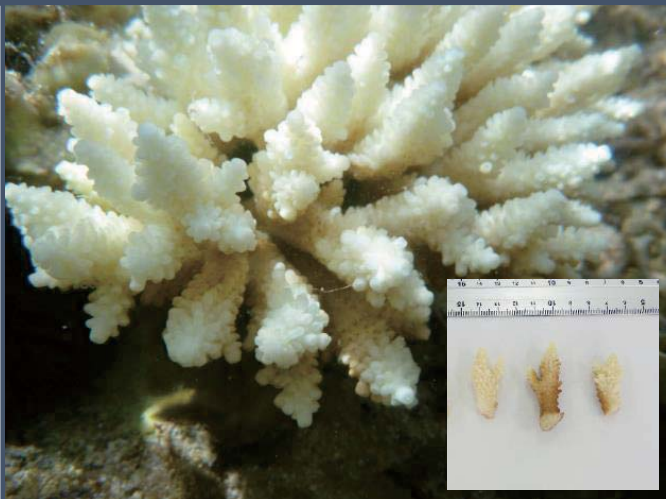
The mounding surface shed most of the sand; however, some sediment pooled in the center of the colony and caused tissue damage.

縮小した褐虫藻にはクロロフィル色素はなく、光毒性のないシクロエノールに変換されている

Montipora digitata



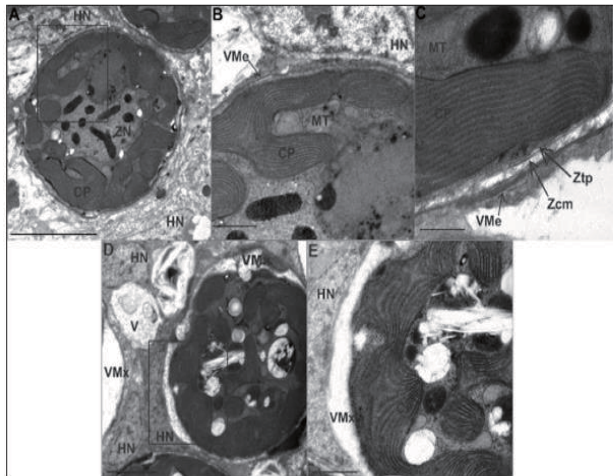
Acropora nasuta



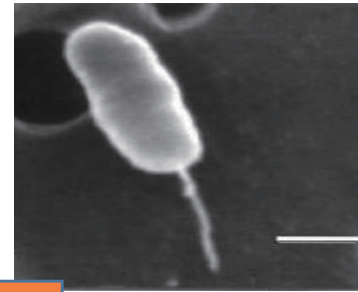
サンゴの種によって2つの異常な褐虫藻の出現に違いがみられることも明らかにした。エダコモンサンゴ(*Montipora digitata*)では凝縮した褐虫藻が多く退色したものは稀であるが、ハナガサミドリイシ(*Acropora nasuta*)やハマサンゴ(*Porites lutea*)では凝縮した細胞は見られず退色したものが主であった。凝縮と退色は独立して起こるものなのか、同時に起こるものなのかを明らかにした。

白化で褐虫藻から餌の供給激減： 白化は飢餓状態と同じ
 白化時にサンゴは様々な方法で餌を確保し、生き延びる生存戦略があることが明らかになりつつある。長期に餌の確保ができないと死滅する可能性があるが、餌の供給と免疫の強化が可能になる研究が国際的に進んでいる。

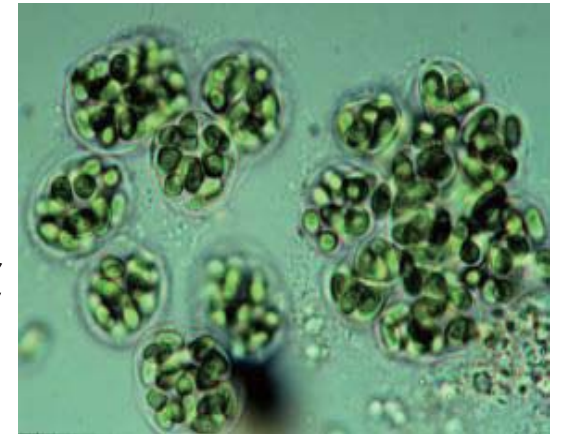
サンゴは環境変動や人間活動の影響下で適応力がある：自然再生は可能である



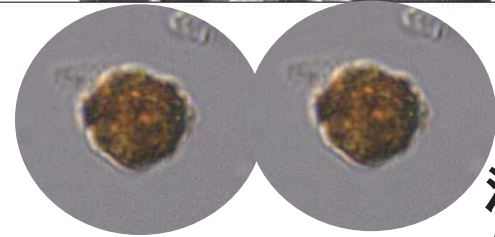
バクテリア
 (0.2~2 μm)



海水から捕食



シアノバクテリア
Gloeocapsa
 (0.5~2μm)



縮小した褐虫藻
 (3~5μm)
 (正常な細胞は10 μm)

消化・タンパク質
 生産



有機物供給



サンゴの骨格(炭酸カルシウム)の中に住んでいる緑藻類

国際サンゴ礁保全プロジェクトの国内外における実施内容：科学的研究成果と協働作業による「市民科学：Citizen Science」の推進

(1) 研究者のフィールドでの研究調査活動の支援を基盤にしたサンゴ礁保全のため研究者・企業・NGO(EW)・市民による協働型の“市民科学”の構築 SDGs(持続性開発目標)への貢献

2018年度国際サンゴ礁保全プロジェクトの“ボランティア調査研究支援者募集”の説明会開催
2018年7月18日(水曜日) 18:00~19:30 三菱商事本社ビルMCフォレスト

世界のサンゴ礁を保全することを目指し、三菱商事は2005年度より「国際サンゴ礁保全プロジェクト」を実施しています。研究への財政的・物理的な支援、社内外からアースウォッチ(EW)との共同でボランティアを派遣(年2回)し、調査研究活動への参加を通じて、環境問題への理解を深めようとのプログラムを行っています。現在は沖縄、セーシェル、オーストラリアの3拠点を中心に、さまざまな角度からサンゴ礁保全のための研究活動を展開しています。沖縄では静岡大学中心にサンゴの白化現象の解明やサンゴ礁生態系の生命維持のメカニズムの解明の研究を進め、研究成果は国際的に高い評価を得ています。本プロジェクトでは研究活動の支援に毎回ボランティアによる研究支援者を募集しています。研究は最先端であるが、作業は地道で、時に難しい作業があります。主な作業はサンプリング、試料処理あるいはデータ整理です。世界のサンゴの研究を進めている本調査研究に是非力を貸してください。参加の有無は当日決定を予定しています。

説明者：静岡大学 鈴木 款特任教授(責任者)、カサレト・ベアトリス教授・国士舘大学 中井達郎非常勤講師
三菱商事

- (1) プロジェクトの概要とこれまでの成果の説明
- (2) 2018年度9月の計画の概要：スケジュール、研究課題とボランティア参加者の作業内容等の説明
- (3) 参加の際の事前準備等の説明とボランティア参加者からの質問等
- (4) 参加決定のための個別面談



溶存酸素の測定
- サンゴ礁の健全性を知ろう -



微生物解析のための前処理
- 見えない生物を見えるように -



研究場所：沖縄、琉球大学瀬底島実験所 実施期間：9月9日(日)~9月12日(水)
調査課題 (1) サンゴの白化における生理学的応答に関する研究 ボランティア 1~2人 カサレト 天野
(2) サンゴ礁堆積環境と有機物生産の関係解明・側線調査 ボランティア 3人 中井 中野
(3) サンゴの白化時における栄養塩動態に関する研究 ボランティア 1~2人 鈴木 豊田
ボランティア支援者 6人程度



鈴木款教授によるレクチャー
- サンゴとサンゴ礁について真剣に考える -



研究者とボランティア
- これからもよろしくお願ひします -

サンゴ礁の保全・再生の答えをどのように見つけますか。



【あしたの地球に】

誰もが安心して暮らせる社会をつくるために。「いま、私たちに必要なこと」を考えます。

静岡大学 鈴木 款

[PR]三菱商事

2018.08.05

サンゴの白化に隠された意外な「生存戦略」 ～サンゴ研究の最前線とは～

「白化現象が起きている間、サンゴは葉緑体が傷ついた褐虫藻を分解して有害な活性酸素が発生するのを食い止めたり、死んだ褐虫藻を消化・吸収して栄養にしたりするなど、自分の身を守りながら海水温が正常化するのを待っていることがわかりました。また、サンゴの体内に残った褐虫藻は細胞あたりの光合成の能力が2倍にも3倍にもなっていて、サンゴの回復をうながしていることも明らかになっています。白化はサンゴが生き残るための生存戦略の一部だという見方もできるのです」

さらに、海外の研究で新たな事実も明らかになってきた。サンゴは海水温の上昇などの環境の変化に対して、私たちが考えているよりも早く、種として適応していくというのだ。

白化現象によって短期的には多くのサンゴが死んでしまうが、長い時間軸で見ると高水温や環境の変化に強いサンゴが生き残り、子孫を残していく。地球の長い歴史を考えると、大きな海水温の変化は過去に何度も起こっており、サンゴはそれに適応してきたと考えられるという。