

小笠原群島母島列島において2003年に発生した造礁サンゴの白化

米山純夫¹・妹尾浩太郎²・山本貴道³

Coral bleaching in Hahajima Islands, Ogasawara Island Chain in 2003

Sumio YONEYAMA*, Kotaro SENO, Takamichi YAMAMOTO

Abstract Mass bleaching of hermatypic corals occurred on the reefs of Ogasawara Hahajima Islands (26°40' N, 142°10'E) in September 2003. The bleaching was more severe in the central coast of Hahajima Islands than in the north and the east coast, and also more severe on the shallower reefs for some species. There were striking differences in the bleaching intensity among genera or species. *Acropora donei*, *A. florida* and *Goniastrea* showed high rates of bleaching and mortalities within a year, while *Leptoria phrygia*, *Platygyra daedalea* and *Favites halicora* showed high rates of bleaching with moderate to low mortalities, and *Pocillopora eydouxi*, *Cyphastrea* and *Millepora platyphylla* were the least susceptible to bleaching. The most probable cause of the bleaching was elevated seawater temperature attribute to the warm eddy close to Hahajima Islands in September to October 2003.

*Corresponding author: Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries. 1-13-17 Kaigan, Minatoku, Tokyo, 105-0022, Japan.

2003年9月、小笠原群島母島列島の沿岸で大規模な造礁サンゴの白化が確認された。小笠原群島の聳島・父島・母島列島周辺における大規模な造礁サンゴの白化は、1973年の小笠原水産センター発足以来、世界的な白化が起こった1997-1998年も含め、確認されていなかった。造礁サンゴは小笠原の観光資源として重要であるだけでなく、サンゴ礁生態系の底辺を支えるという点からも重要であり、造礁サンゴが死滅するとサンゴ礁に依存する動物の減少をももたらす(Sano *et al.* 1987, Tsuchiya 1999, Kokita and Nakazono 2001)。白化したサンゴはその後共生藻を回復し生き残る場合と斃死する場合があります(Yamazato 1981, 中野 2004)、白化したサンゴがその後どのような経過をたどるのかを明らかにすることは重要である。本調査では小笠原群島とりわけ母島における2003年の造礁サンゴの白化および1年後の状況を明らかにすると共に白化の原因について検討した。

調査地点および方法

聳島列島、父島列島、母島列島の各列島で調査した(図3)。聳島では2003年11月4日、嫁島では11月5日、兄島・父島では10月20日にSCUBA潜水・スキнда

イビングによる目視、船上からの観察などにより造礁サンゴ(以下サンゴと略す)の白化状況を把握した。母島列島では10月14日に白化の情報を得、10月15・16日に陸上、船上から広く沿岸の白化域の分布を観察した後、10月29-31日に母島北港から姉島に至る沿岸7地点(北港、東港、ハスベイ、御幸浜、向島、平島、姉島)でSCUBA潜水・スキндаイビングによる目視観察・デジタルビデオ撮影・写真撮影により白化状況を把握した。このうち御幸浜沖では水深1-2.5m, 3-4m, 10m, 15m, 20m, の各水深で調査し、水深3mと10mではベルトトランセクト法による調査も実施した。即ち、長さ20mのラインを敷設し、ラインの両側25cmについて写真・ビデオ撮影を行い、画像を基にサンゴ群体の輪郭をトレースした。このトレース画像をコンピューターに取り込み、画像解析ソフトウェアNIH Imageにより面積を計測した。その他の地点では潜水観察および写真・ビデオ画像から目算によりサンゴ被度・白化率(面積率)を把握した。サンゴの状態は、ベルトトランセクト調査地点では正常、退色、白化の3つに、その他の地点では正常、白化(退色を含む)の2つに類別した。追跡調査は母島列島でのみ実施し、2004年1月31日-2月1日、7月6-7日、11月

1 東京都島しょ農林水産総合センター 〒105-0022 東京都港区海岸1-13-17

2 東京都小笠原水産センター 〒100-2101 東京都小笠原村父島清瀬

3 自然舎 〒761-4301 香川県小豆島町浜条

16-17日に、御幸浜の2003年10月と同じ地点でベルトトランセクト調査を実施し、撮影画像からサンゴを正常、退色、白化、死亡の4状態に類別した。1年間の追跡期間中に成長するサンゴもみられたが、これらの面積は測定せず、2003年10月当初のサンゴ面積について変化を追跡した。調査期間中に群体が消失したもののうち直前の調査で死亡もしくは白化・褪色が確認されているものは、死亡して散逸したものとみなした。多くのサンゴの種同定はNPO法人小笠原自然文化研究所の稲葉慎氏により行われた。白化要因の1つに挙げられる水温条件の検討には、小笠原水産センターが父島二見湾で毎日測定する定地水温と、同センターが調査船「興洋」により小笠原群島周辺18定点で2003年10月7-10日に実施したCTD観測による各層水温を用いた。以下、文中で用いる平年とは、定地水温については1974-2002年の平均、小笠原群島周辺18定点については1985-2002年の平均値を指すものとする。

結果

小笠原群島周辺の水温

父島二見湾内の定地水温を見ると(図1)、2003年8月はほぼ平年並みであるが、9月に入り徐々に昇温し、9月7日には28.7℃と平年を1.3℃上回り、16日から29℃を越え、21日には29.6℃(平年差+2.3℃)に達し、高温傾向は26日まで持続した。その後一旦降温するが、10月中旬には再び上昇し15日には28.9℃と平年を2.0℃上回る水温を記録した。29℃を越える高温を呈した9月16-25日の平年差は+1.5-+2.3℃である。小笠原群島周辺18定点のCTD水温観測によれば、10月7-10日には全ての測点で平年を上回り、特にSt.14の水深100mでは平年差+5.65℃もの高温を記録し(図2)、10月上旬にも海域全体が暖水に包まれていた

ことが分かる。父島海域(St.9-12)と母島海域(St.15-18)を比較すると、母島海域の平均水温は父島海域を上回り、その差は表面では0.23℃であるが、水深30mでは0.53℃、50mでは1.10℃と、亜表層での母島海域の高温が顕著であった(表1)。

海域別白化状況

髯島列島の髯島では3地点で調査し、St.1鳥島東でハマサンゴ属*Porites*とコモンサンゴ属*Montipora*の数群体に白化がみられたが他の2地点では白化は発生していなかった(図3)。嫁島では1地点で調査し水深3mで被覆状のサンゴに若干の白化を認めたが水深10mでは白化はみられなかった。髯島・嫁島で認められた白化は、健康なサンゴ礁にもみられる白化の範囲を大きく超えるものではなかった。

父島列島では調査した11地点のうちSt.2要岩、St.6宮の浜の水深5-7m、St.7釣浜、St.8キャベツビーチ、St.9滝之浦東では白化群体は殆ど見られなかったが、St.1白星、St.3大根山下、St.4コペベ、St.5小港、St.6宮の浜の水深2-3mでは数群体ずつ白化もしくは退色が認められ、St.10滝之浦長浜とSt.11ウグイス浜では20-30群体の白化・退色を確認した。全体として、大規模な白化は発生していなかったが通常の白化レベルを上回る状態であった。

母島列島の姉島南西沿岸の水深3m付近では、ハラジカハナヤサイサンゴ*Pocillopora eydouxi*やイボハダハナヤサイサンゴ*P. verrucosa*が優占しミドリイシ属*Acropora*は少なく、サンゴ被度は30%、白化率は15%、水深10m付近のサンゴ被度は低く20%、白化率は40%であった(表2、図3)。平島北側の砂浜前面はサンゴが少なく被度は概ね20%、浜東側の水深1mの卓状ミドリイシ群落は90%が白化し、浜中央の水深2mにある卓状ミドリイシや水深4mのハマサンゴ群

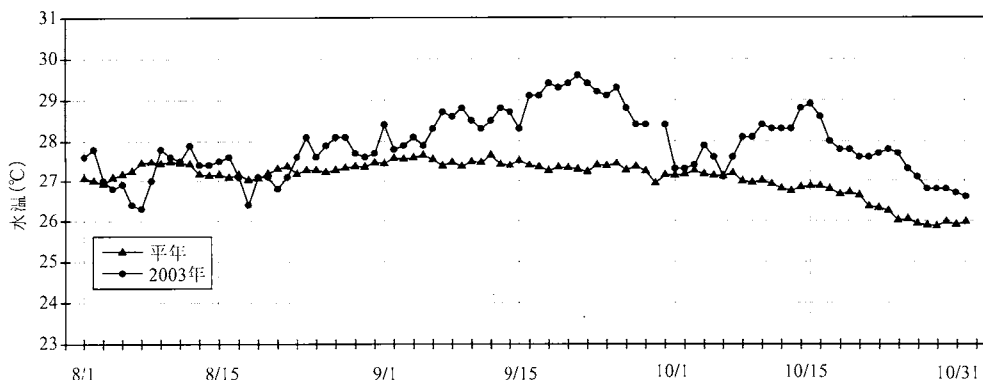


図1 父島二見湾定地水温

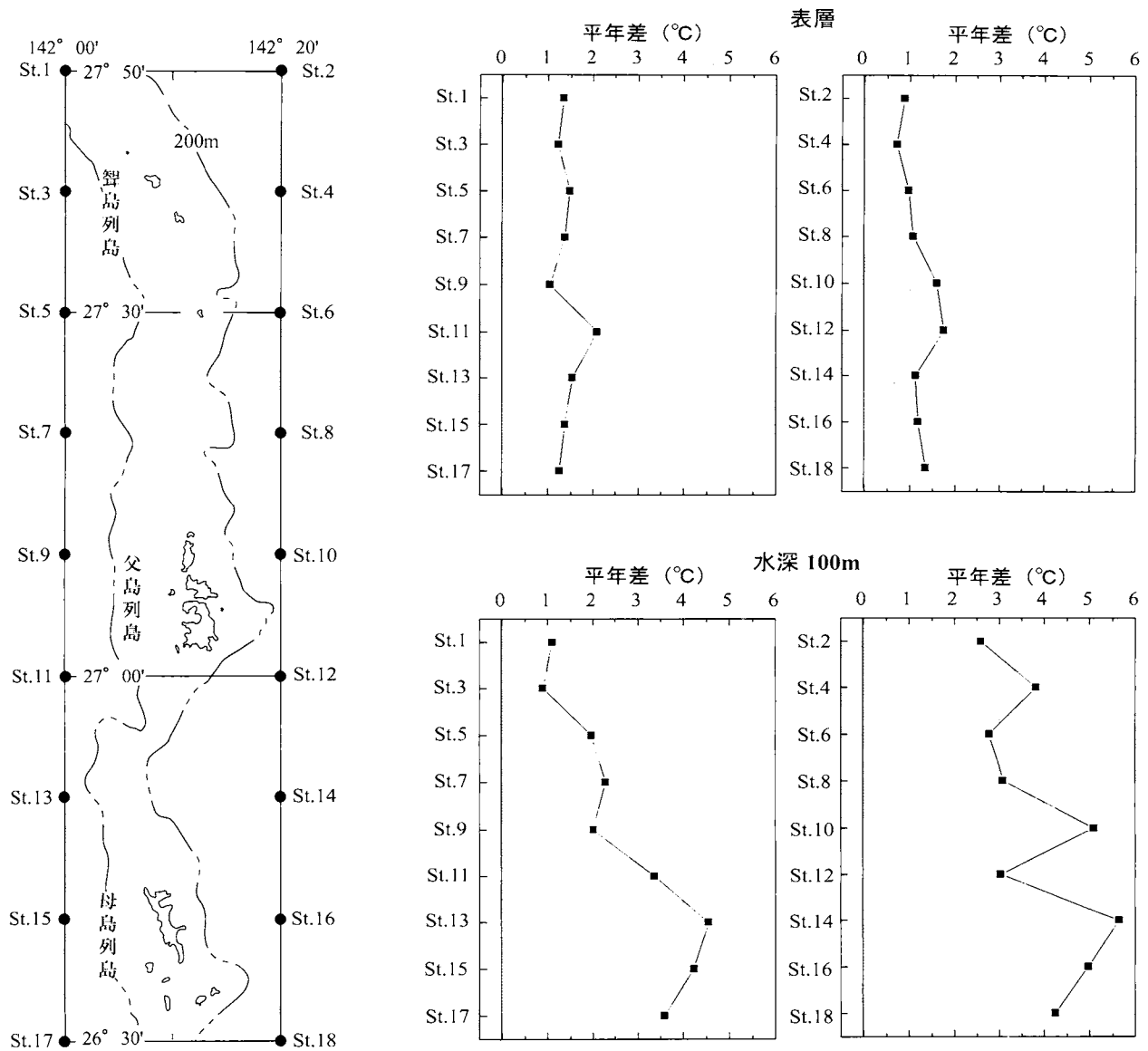


図2 小笠原群島周辺海洋観測地点における2003年10月の水温年平均差

表1 父島海域と母島海域の水温比較
2003年10月7-8日、小笠原群島周辺定点観測
父島海域; St9-12平均, 母島海域; St15-18平均

水深 (m)	父島海域 a (°C)	母島海域 b (°C)	温度差 b-a (°C)
0	28.53	28.75	0.23
10	28.32	28.67	0.36
20	28.21	28.64	0.43
30	28.07	28.60	0.53
40	27.89	28.55	0.66
50	27.29	28.39	1.10
60	27.06	28.04	0.98
70	26.66	27.24	0.58
80	26.05	26.53	0.48
90	25.39	25.91	0.52
100	24.73	25.34	0.61

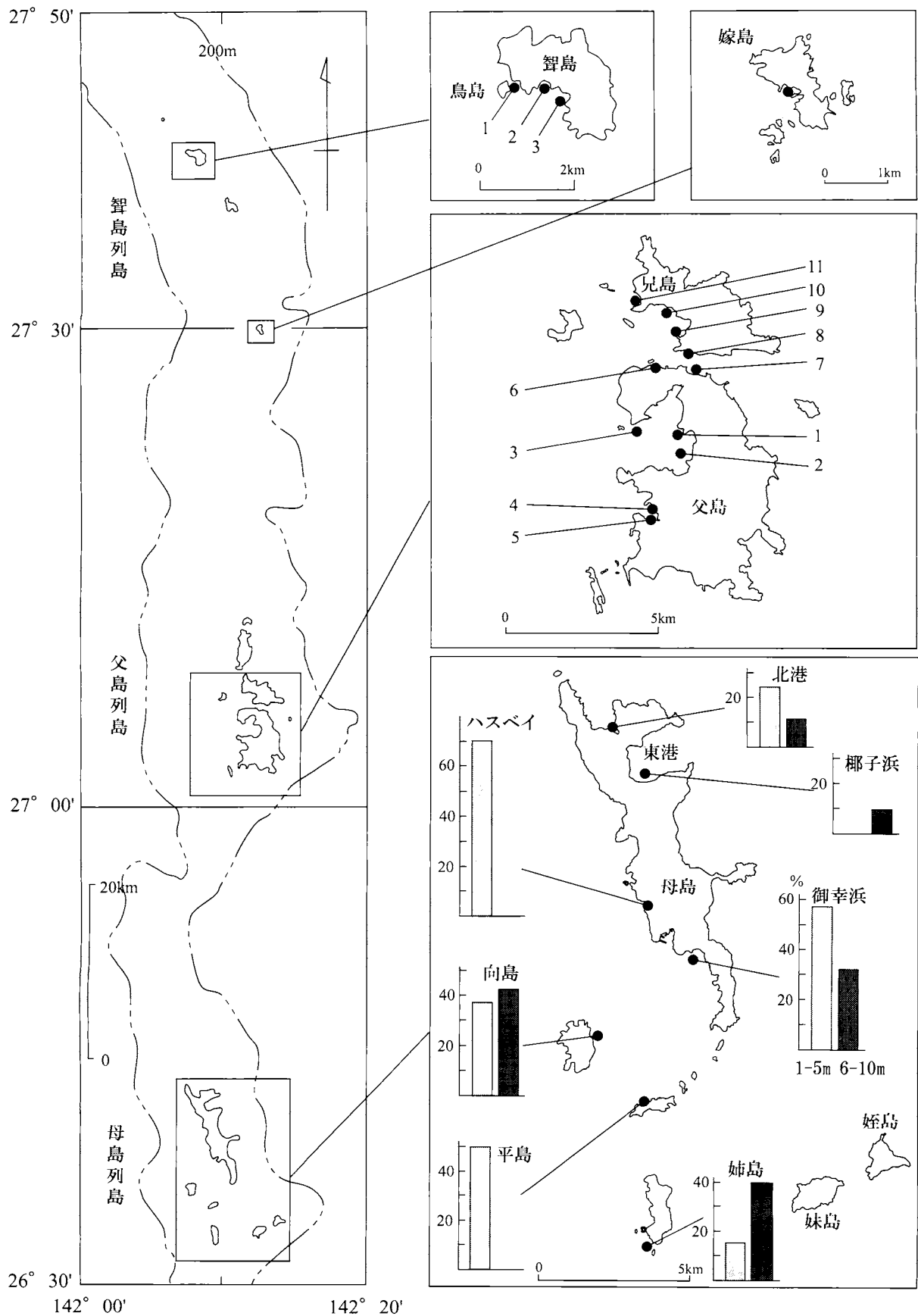


図3 調査地点および造礁サンゴの白化率
 母島列島の棒グラフの縦軸は白化率(%), 灰色は水深1-5m, 黒色は水深6-10m

表2 母島列島における2003年10月の造礁サンゴ白化状況

地 先	水深 (m)	調査 区画数	区画の大き さ (m)	サンゴ被度		サンゴ白化率	
				範囲 (%)	平均 (%)	範囲 (%)	平均 (%)
姉島	3	—*			30		15
	10	—*			20		40
平島	1 - 3	—*			20		50
向島	4 - 5	8	2.5×2.0 - 4.0×3.0	10 - 30	18.6	10 - 60	37.5
	6 - 10	10	4.0×3.0 - 5.0×3.8	10 - 60	29.0	10 - 80	42.5
御幸浜	1 - 2.5	20	1.0×0.8 - 2.5×1.9	10 - 100	57.3	10 - 90	57.5
	3 - 4	20	1.0×0.8 - 2.5×1.9	25 - 80	48.8	10 - 90	59.5
	10	10	1.6×1.2	20 - 60	48.0	5 - 90	32.5
	15	—*			20		5
	20	—*			20		5
ハスベイ	1 - 2	—*			40		70
東港	7 - 8	22	1.6×1.2	10 - 100	60.5	0 - 70	9.5
北港	1 - 3	21	1.5×1.1	10 - 100	67.4	0 - 100	25.5
	4 - 5	19	3.0×2.3 - 5.0×3.8	0 - 90	52.6	0 - 100	22.9
	6 - 9	11	5.0×3.8	30 - 70	51.8	0 - 30	11.2

* 潜水目視調査による

体(直径約3m)は退色し薄い褐色となっていた。水深3m以浅の海域全体としてみると白化率は50%であった。向島東岸水深4-5mのサンゴ被度は18.6%、白化率は37.5%、水深6-10mでは被度29.0%、白化率42.5%であった。この地先はミドリイシ類が少なく、ハナヤサイサンゴ類や被覆状・塊状サンゴが多かった。

御幸浜の水深1m付近ではイボハダハナヤサイサンゴが普通にみられたが、本種の白化率は低かった。水深2.5m以浅20区画のサンゴ被度は平均57.3%、白化率は57.5%で、卓状ミドリイシの白化率が高かった。水深3-4m付近は所々に広く白化した *Acropora donei* の群落(長径2-3m)があるなど(図4-b)ミドリイシ類を主体に白化が顕著で、サンゴ被度は48.8%、白化率は59.5%であった。水深10m付近の被度は48.0%、白化率は32.5%、所々に径1-1.5m程度のサポテンミドリイシ *Acropora florida* や卓状ミドリイシの白化がみられた。水深15m付近、20m付近ともサンゴは減少し被度は20%、白化率は5%と低かった。本地先で実施したベルトトランセクト調査によれば水深3mのサンゴ被度は40.0%、白化率は64.4%、水深10mでは被度41.6%、白化率39.8%であった(表3, 4)。

ハスベイでは湾の沿岸浅所にサンゴが着生し、南沿岸の水深2m以浅には指状突起を持つ複数種の被覆状ミドリイシが優占し、サンゴ被度は40%、白化率は70%であった(図4-a)。東港椰子浜の水深7-8mでは、サポテンミドリイシ、アザミサンゴ *Galaxea fascicularis*、ハマサンゴ属などの一部に白化がみられたが白化率は9.5%と低かった。北港の湾奥は中央部が砂地になっておりサンゴは岸寄りの岩礁域に生育している。水深1-3mには卓状ミドリイシが多く白化率は25.5%、水深4-5mにはサポテンミドリイシ、*Acropora donei*、ナガレハナサンゴ *Eupyllia ancora* などの群落があり白化率は22.9%、水深6-9mにはサポテンミドリイシや被覆状サンゴに白化するものがみられたが白化率は11.2%と低かった(表2, 図3)。

髯島列島、父島列島、母島列島の3列島を比較すると北方の髯島列島では殆ど白化がみられず、父島列島では通常より多くの白化群体がみられるものの小規模な白化であるのに対し、南方の母島列島では大規模な白化が認められ、南の列島ほど白化の規模が大きくなっていた。母島列島の概ね水深5m以浅の水域を比較すると、列島中央の沿岸(ハスベイ、御幸浜、平島)

で白化率が高く、北側、東側沿岸では低い傾向がみられた。

ベルトトランセクト法による白化直後から1年間の追跡調査

御幸浜水深3m ベルトトランセクト法により調査した10m² (以下トランセクト調査範囲と称す) 内のサンゴ被度は40.0%、出現種は20種以上、最も面積占有率 (以下占有率) が高い種は *Acropora donei* で全サンゴの34.2%を占めた。次いで、サポテンミドリイシ、ヒラノウサンゴ *Platygyra daedalea*、コカメノコキクメイシ属 (コカメノコキクメイシ *Goniastrea pectinata* とヒラカメノコキクメイシ *G. edwardsi* もしくはそのどちらか)、ナガレサンゴ *Leptoria phrygia*、イタアナサンゴモドキ *Millepora platyphylla*、トゲキクメイシ属 *Cyphastrea* (準塊状・被覆状、単一種もしくは複数種) が8.6-6.1%を占め、その他の種の占有率は2.6%以下と低かった (表3)。2003年10月の白化率は全体で64.4%、占有率が高い種についてみると、*Acropora donei*、サポテンミドリイシ、コカメノコキクメイシ属の白化率はいずれも98%以上と高かった。退色したのものも含めた白化退色率は全体で81.1%、*A. donei*、サポテンミドリイシ、ナガレサンゴ、コカメノコキクメイシ属が100%、ヒラノウサンゴが97.9%、被度の低い種のなかではミドリイシ属の一種 *Acropora sp.*、イボハダハナヤサイサンゴ、コモンサンゴ属 (被覆状、単一種もしくは複数種)、マルカメノコキクメイシ *Favites halicora* が90%を越える高い白化退色率を示した。一方、ウスエダミドリイシ? *Acropora aff. tenuis*、ヘラジカハナヤサイサンゴ、トゲキクメイシ属、イタアナサンゴモドキなどの白化退色率は低かった。

当初のサンゴ面積に対する1年後の死亡率は全体で55.9%、白化退色した部分の死亡率は70.0%であったが、種によって死亡率は大きく異なり、サポテンミドリイシ、*Acropora donei*、コモンサンゴ属では非常に高く (90%以上)、コカメノコキクメイシ属・イボハダハナヤサイサンゴでは比較的高かった (68.6-66.7%)。一方、アナサンゴ *Astreopora myriophthalma*、ナガレサンゴ、トゲキクメイシ属、ウスチャキクメイシ? *Favia aff. pallida*、イタアナサンゴモドキは殆ど被害を受けなかった (0-0.3%)。

Acropora donei は当初、全面積の99.7%が白化し、残る0.3%も退色していた。このうち4ヶ月後 (2004年1月) には92.6%が死亡し、5.7%が引き続き白化し、0.2%が退色、1.4%が正常に回復しており、9ヶ月後 (2004年7月) まで白化が継続した群体はみられなかつ

た。4ヶ月後まで白化していた5.7%のうちの93.2%が1年後までに正常な色を回復した。1年後には全面積の92.2%が斃死したが、4ヶ月後に枯死状態にあったもののうち、0.9%、124cm²は1年後には復活していることが確認できた。サポテンミドリイシの当初の白化率は99.5%と非常に高く、残る0.5%も退色しており、4ヶ月後の死亡率は71.3%、残る28.7%は退色しており、9ヶ月後の2004年7月には6.7%が退色から白化に移行し、1年後までに全て死亡した (表3、図4-c, d)。

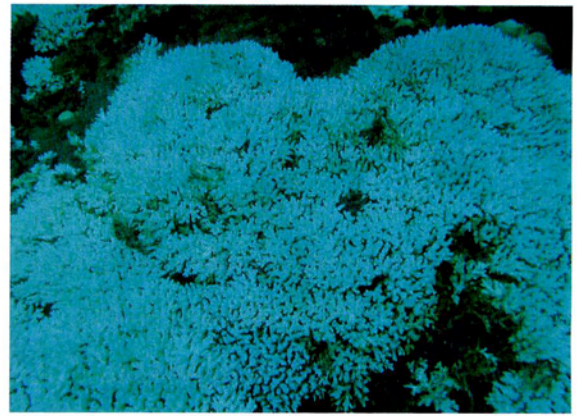
ヒラノウサンゴは白化率が35.7%、退色率は62.2%とほとんどが白化退色し、1年後までに全体の37.5%が死亡した。白化部分と退色部分の1年後までの死亡率をみると、それぞれ52.7%、30.1%、と白化の度合いが高いほど死亡率も高くなっていった。1年後までに死亡したものの95.3%は、4ヶ月後までには死亡しており、4ヶ月後に白化もしくは退色していた1.6%のヒラノウサンゴも9ヶ月後には全て死亡した (表3、図4-e, f)。コカメノコキクメイシ属の白化率は非常に高く、当初の白化率は98.4%で残りの1.6%も退色していた。1年後までに白化退色面積の68.6%が死亡し、31.4%が正常に回復した。1年後までに死亡したもののうち89.4%は4ヶ月後には既に死亡し、同様に、1年後までに回復したもののうち93.0%は4ヶ月後には回復しており、概ね4ヶ月後までに生死が決定されていた。

アナサンゴは当初18.3%が白化し、このうち14.9%が4ヶ月後まで白化が継続したが、9ヶ月後には回復し、死亡した群体はみられなかった。ナガレサンゴは、当初白化率が36.4%、退色率は63.6%で正常なものはみられなかったが、1年後までには全体の99.7%が回復し、死亡した群体は僅かであった (表3、図4-e, f)。トゲキクメイシ属は当初白化率が0%、退色率は34.1%と大規模な白化は発生しなかった。4ヶ月後、1年後には全群体が正常色を呈しており、今回の白化要因に対する耐性が高い種であると思われる。イタアナサンゴモドキには退色した部分はみられるものの白化した群体はなく、1年後にも全て生存していた。

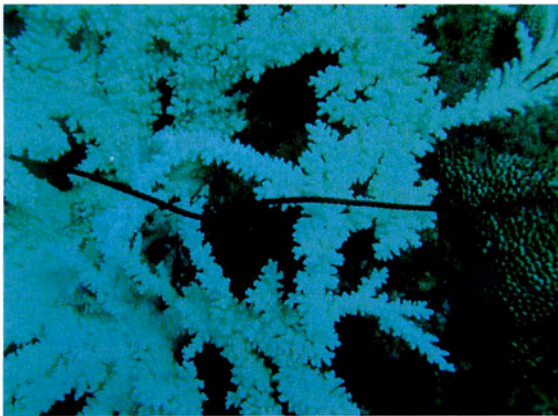
御幸浜水深10m 水深10mのトランセクト調査範囲内のサンゴ被度は41.6%、種別にみるとサポテンミドリイシの占有率が最も高く全サンゴの37.4%を占め、次いでリュウモンサンゴ *Pachyseris speciosa*、コカメノコキクメイシ属が10%以上、ハマサンゴ属の一種 *Porites sp.*、ウスチャキクメイシ? が5%以上であった (表4)。ベルトトランセクト調査範囲内で占有率の高い種は概ねその周辺にも普通に出現したが、リュウモ



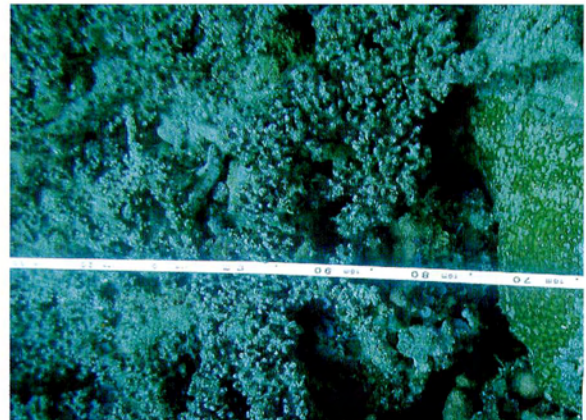
a



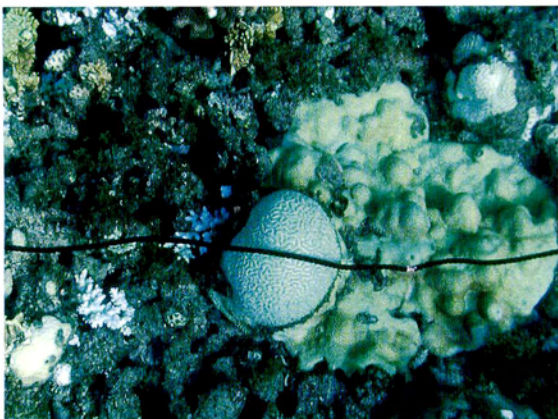
b



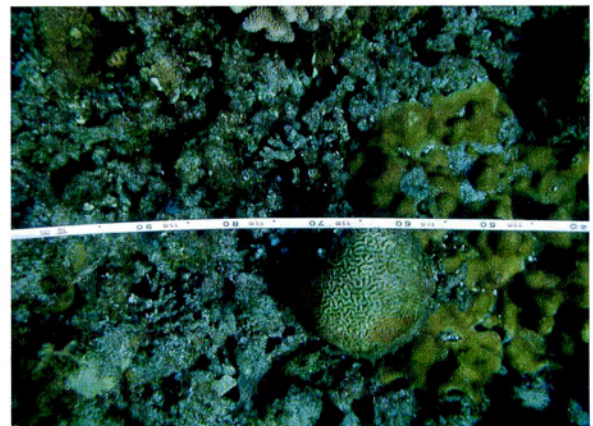
c



d



e



f

図4 母島における造礁サンゴの白化状況

(a) ハスベ浅部の被覆状ミドリイシの白化, (b) 御幸浜水深4mの *Acropora donei* 群落, (c) 御幸浜水深3mのサボテンミドリイシ(2003年10月), (d) 同左(2004年1月), 死亡, (e) 御幸浜水深3mのヒラノウサンゴ(中央)とナガレサンゴ(右)(2003年10月), (f) 同左(2004年1月), ヒラノウサンゴは死亡, ナガレサンゴは回復

表3 御幸浜水深3mにおける造礁サンゴの白化と死亡(20×0.5mペルトトランセクト調査結果)

サンゴ種	2003年10月				2004年1月				2004年7月				2004年11月			
	面積 cm ²	面積 占有率 %	白化率 %	白化 退色率 %	白化率 %	白化 退色率 %	死亡 対当初 面積 %	対白化退 色面積 %	白化率 %	白化 退色率 %	死亡 対当初 面積 %	対白化退 色面積 %	白化率 %	白化 退色率 %	死亡 対当初 面積 %	対白化退 色面積 %
<i>Acropora donei</i>	13676	34.2	99.7	100.0	5.7	5.9	92.6	92.6	0.0	0.1	91.9	91.9	0.0	0.0	92.2	92.2
サブテノンミドリイシ	3438	8.6	99.5	100.0	0.0	28.7	71.3	71.3	6.7	6.7	93.3	93.3	0.0	0.0	100.0	100.0
<i>Acropora</i> aff. <i>tenuis</i>	806	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	41.7	14.2	34.0	0.0	0.0	60.3	100.0
<i>Acropora</i> sp.	339	0.8	96.0	100.0	4.0	4.0	91.7	91.7	0.0	0.0	95.6	95.6	0.0	0.0	95.6	95.6
ヘラジカハナヤサイサンゴ	628	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
イボハダハナヤサイサンゴ	115	0.3	100.0	100.0	0.0	0.0	66.7	66.7	0.0	0.0	66.7	66.7	0.0	0.0	66.7	66.7
ハナヤサイサンゴ	17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
コモンサンゴ属 ¹⁾	1349	3.4	88.1	98.4	44.3	45.1	53.6	54.3	0.0	0.0	98.7	100.0	0.0	0.0	98.7	100.0
アナサンゴ	1033	2.6	18.3	20.2	2.7	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Porites</i> sp.	512	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Goniopora</i> sp.	106	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒラノサンゴ	3342	8.3	35.7	97.9	0.9	1.6	35.7	36.5	0.0	0.0	37.5	38.3	0.0	0.0	37.5	38.3
コカメノコキクメイシ属 ²⁾	3230	8.1	98.4	100.0	1.3	9.5	61.3	61.3	0.0	0.0	68.6	68.6	0.0	0.0	68.6	68.6
マルカメノコキクメイシ	714	1.8	59.4	94.4	1.2	4.7	9.6	10.1	0.0	0.0	11.9	12.6	0.0	0.0	11.9	12.6
ナガラサンゴ	2868	7.2	36.4	100.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.3
トゲキクメイシ属 ³⁾	2439	6.1	0.0	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Favia</i> aff. <i>pallida</i>	1014	2.5	12.2	68.8	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Turbinaria</i> sp.	344	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
イタアナサンゴモドキ	2686	6.7	0.0	27.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
不明合計	1373	3.4	68.2	92.5	1.6	3.3	39.4	42.6	0.0	9.4	40.6	43.9	0.0	0.0	40.6	43.9
合計	40043	100.0	64.4	81.1	3.8	7.4	50.3	63.1	0.8	1.5	54.6	67.9	0.0	0.0	55.9	70.0

1) 被覆状群体

2) ヒラカメノコキクメイシおよびコカメノコキクメイシもしくはそのどちらか

3) 塊状・被覆状群体。Cyphastrea aff. *microphthalma*を含む

表4 御幸浜水深10mにおける造礁サンゴの白化と死亡(20×0.5mペルトランセクト調査結果)

サンゴ種	2003年10月				2004年1月				2004年7月				2004年11月			
	面積 cm ²	面積 占有率 %	白化率 %	白化 退色率 %	白化率 %	白化 退色率 %	死亡率 %	死亡 対当初 面積 %	死亡率 %	死亡 対当初 面積 %	白化率 %	白化 退色率 %	死亡率 %	死亡 対当初 面積 %	白化率 %	白化 退色率 %
サボテンミドリイシ	15561	37.4	80.0	89.4	0.0	15.6	27.2	30.4	0.0	0.0	0.0	42.8	47.8	0.0	42.8	47.8
<i>Acropora donei</i>	50	0.1	100.0	100.0	0.0	0.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	0.0	100.0	100.0
<i>Acropora</i> sp.	16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヘラジカ/ハナヤサイサンゴ	1906	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
アナサンゴ	1122	2.7	5.8	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Porites</i> sp.	3135	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
リュウモンサンゴ	5401	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
クサビライシ	293	0.7	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
アザミサンゴ	739	1.8	0.6	0.6	0.0	0.0	2.4	100.0	0.9	0.9	0.9	5.1	100.0	0.0	6.0	100.0
イボハナガタサンゴ	63	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒロクチダイノウサンゴ	112	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
サザナミサンゴ	111	0.3	26.6	26.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
コカメノコキクメイシ属 ¹⁾	4625	11.1	76.7	87.9	0.0	0.0	32.4	36.8	0.0	1.0	33.1	37.7	37.7	0.4	33.1	37.7
<i>Favia</i> aff. <i>pallida</i>	2115	5.1	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
マルカメノコキクメイシ	1382	3.3	15.4	44.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Favites</i> sp.	23	0.1	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒラノウサンゴ	338	0.8	0.0	39.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ナガラサンゴ	33	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ミダレナガラサンゴ	830	2.0	6.3	20.6	0.0	0.0	0.7	3.4	0.0	0.0	0.7	0.7	3.4	0.0	0.0	0.0
トゲキクメイシ属 ²⁾	1875	4.5	0.0	1.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	1.7	0.0
ナガラハナサンゴ	132	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒメスリバチサンゴ	521	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
不明種計	1202	2.9	10.2	46.1	0.0	0.0	2.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0
合計	41587	100.0	39.8	47.4	0.0	5.8	14.1	35.5	0.0	0.1	20.1	50.5	50.5	0.0	20.0	41.7

1) ヒラカメノコキクメイシおよびコカメノコキクメイシもしくはそのどちらか
 2) 準塊状・被覆状群体。 *Cyphastrea* aff. *microphthalma* を含む。白化を経ずに死亡したものを含む

ンサンゴは周辺にほとんどみられなかった。2003年10月の白化率は全体で39.8%、白化退色率は47.4%であった。被度が高い種について白化退色率をみるとサポテンミドリイシ、コカメノコキクメイシ属では高く(87.9-89.4%)、マルカメノコキクメイシでは中程度(44.4%)、リュウモンサンゴ、ハマサンゴ属の一種、ウスチャキクメイシ?、ヘラジカハナヤサイサンゴ、トゲキクメイシ属ではほとんど白化退色しなかった(0-1.3%)。死亡率についてみると、白化1年後までには全サンゴの20.0%が死亡し、白化退色した部分では41.7%が死亡した。

種別に白化後の変化をみると、サポテンミドリイシは当初89.4%が白化退色し、4ヶ月後の2004年1月にはこのうち17.4%が退色状態にあり、30.4%が死亡し、残りは正常に回復していた。10ヶ月後の2004年7月には1月に退色状態にあった2群体が消失しておりこれらは死亡して波浪により調査範囲外に散逸したものと考えられた。1年後の死亡率は白化退色面積に対して47.8%であった。

コカメノコキクメイシ属は当初87.9%が白化退色し、4ヶ月後にはそのうちの36.8%が死亡したがその他は正常に戻っていた。10ヶ月後には僅かであるが新たに退色する群体や死亡する群体がみられ、1年後の死亡率は白化退色面積に対して37.7%であった。マルカメノコキクメイシとミダレナガレサンゴ *Leptoria irregularis* の白化退色率は比較的高かったが死亡する群体はみられず、全て正常に回復し、2%以上の面積占有率を持つその他6種のサンゴも殆ど死亡しなかった。

水深と白化率の関係

水深と白化の関係をみると、最も広い水深帯で調査した御幸浜では、水深20m、15mの白化率は5%と低かったが、10mでは32.5%、4m以浅では57.5～59.5%と浅部ほど白化率が高くなっており、北港でもサンゴが着生している水深1-9mの範囲で、同じように浅部ほど白化率が高くなる傾向がみられた(表2)。一方、姉島南西岸や向島では水深1-5mの白化率が水深6-10mより低くなっているが、これらの場所では、浅部に白化し易いミドリイシ類が少ないという特徴がみられた。御幸浜の水深3mと10m両水深のベルトトランセクト調査範囲内で比較的高い被度を有したサポテンミドリイシとコカメノコキクメイシ属についてみると、いずれも浅部で高い白化率・死亡率を示した(表3, 4)。

考 察

造礁サンゴの白化要因としては高水温、低水温、低

塩分、紫外線、泥の堆積、感染症など様々なものが知られている(Glynn 1993, Brown 1997)。母島での大規模な白化は2003年9月20日前後に発生したと推定され(稲葉・堀越 2004)、その直前に当たる9月上旬の気象・海象について、観測点のない母島に代わって40km北方の父島のデータをみると、降水量は58mmと平年並みで(気象庁ホームページ <http://www.data.jma.go.jp>)、降雨による塩分の低下や陸上からの泥の流入量の増加は起こらなかったと考えられる。母島のサンゴ礁は礁原を持たないため干潮時にも強い紫外線に晒されることはなく、また、今回の白化の状態は既報(Sutherland *et al.* 2004, Dalton and Smith 2006)にみる感染症を疑わせるものではなかった。父島二見湾における定地観測結果をみると、9月中下旬に高水温が現れ、16-25日の10日間は29℃を越え、平年差は+1.5-+2.3℃であった。小笠原群島周辺18定点の海洋観測によれば、10月7-10日には全ての測点で平年を上回り、このうちの父島海域と母島海域を比較すると母島海域の水温が高く、水深50mでは父島海域を1.1℃上回っていた。熱帯低気圧による強風は海洋上層を混合し表層を冷却することが知られており(Price 1981)、観測が9月28日に最接近した台風17号の後に行われたことを考慮すると、台風接近前の9月中下旬には表層でも母島海域の水温が父島海域を大きく上回り、30℃を越えていた可能性が高く、事実、稲葉・堀越(2004)は母島在住のダイバーによるダイビングコンピューター観測により表面で32℃、水深10-15mで29℃の水温があったことを報告している。人工衛星海面高度画像によれば(コロラド大学ホームページ <http://agro.colorado.edu>)、2003年9月20日には母島列島南東に暖水渦が接近してその縁が列島に掛かり、10月8日には列島全体が暖水渦に覆われており、高水温がこの暖水渦によりもたらされ、母島海域が父島海域より高水温であったことを示している。Jokiel and Coles (1990)は、通常水温からの3-4℃の上昇が1-2日起こることや、1-2℃の上昇が数週間続くことにより白化が発現するとした。父島の定地水温は9月中下旬に平年を1.5-2.3℃上回る水温が10日間持続したに留まるが、前述のとおり母島海域ではこれを上回る水温上昇があったと考えられ、このことが白化の要因と考えられる。父島定地水温が平年を大きく上回る水温上昇の後9月27日に下降した要因は、28日の台風17号の接近とそれに先立つ降雨によるものと考えられ、海域全体は10月上旬に入っても暖水に覆われていたため、台風の接近がなかったとすれば表層の高温が持続

し、白化はさらに大規模なものになっていたと推察される。

母島海域における浅部の白化率を地先別に見ると、白化率が50%を越えるのは、ハスベイ・御幸浜・平島である。これらの地点は母島列島の中央に位置し、母島、鯉島、平島、向島などから成る島弧に囲まれた海域に面しており、外洋に面した地点に比べ水換わりが悪く高温になりやすい海域と考えられ、このことが高い白化率をもたらしたものと思われる。向島東岸は同水域に面しているにもかかわらず白化率は50%を下回っており、この要因の一つは後述する白化し易いミドリイシ類が同海域に少なかったことと考えられるが、他方、Nakamura and Woesik (2001)は高温下でも水流が速ければサンゴの死亡率が低くなることを報告しており、向島が同海域の中では比較的潮通しの良い場所であったことが白化率を低下させたもう一つの要因と考えられる。

水深と白化率の関係をみると、御幸浜・北港では浅部の白化率が高く、姉島・向島では逆に深部の白化率が高かったが、同一属種(サポテンミドリイシとコカメノコキクメイシ属)で比較すれば浅部の白化率が高くなっていった。Fujioka (1999)はスギノキミドリイシの白化率が外礁斜面より礁原で高いとし、Bruno *et al.* (2001)は水深3-5mと10-12mでは大きな違いはなく、Hoegh-Guldberg and Salvat (1995)やMarshall and Baird (2000)は地点やサンゴの群体形によって浅部の白化率が高い場合と深部の白化率が高い場合があるなどとし、必ずしも浅部の白化率が高くなっている。Fujioka (1999)は高水温下に暴露される機会が多いサンゴほど温度耐性が高くなる可能性を示唆し、Marshall and Baird (2000)は白化の程度はその場所の群集組成とそこがどのような白化を経験し温度適応しているかによるとし、Baker (2001)はサンゴが白化することにより共生藻を入れ替え高温に対する耐性を獲得することを示した。小笠原群島のサンゴ礁は田山 (1952)によるエプロン礁に分類されるが(堀 1980)、母島列島の沿岸では明瞭な礁原を形成することなく岸から徐々に深くなったり崖状に落ち込んだりしているため、浅海域は礁池内のような高温にさらされることはなく、これまでに大規模な白化の記録も残されていない。同一属種についてみれば浅部で白化率が高くなったのは、過去に高温耐性を獲得することのなかった母島列島のサンゴが、浅海域においてより高い温度にさらされた結果と思われる。

サンゴ属種と白化および白化後の死亡率についてみ

ると、ミドリイシ属、コモンサンゴ属、コカメノコキクメイシ属、マルカメノコキクメイシ、ヒラノウサンゴ、ナガレサンゴなどで白化率が高く、このうちミドリイシ属、コモンサンゴ属、コカメノコキクメイシ属では死亡率も高かった。一方、ヘラジカハナヤサイサンゴ、アナサンゴ、リュウモンサンゴ、トゲキクメイシ属、イタアナサンゴモドキなどでは白化率、死亡率ともに低かった。ミドリイシ属は他の海域でも白化率・死亡率が高い属とされ、(Gleason 1993, 谷口ら 1999, Sugihara *et al.* 1999, Marshall and Baird 2000, Kayanne *et al.* 2002, Fujioka 2002, McClanahan *et al.* 2005) 特に樹枝状の群体形で白化・死亡率が高く(谷口ら 1999, Marshall and Baird 2000, Loya *et al.* 2001)、一方コリンボース形のミドリイシは白化しにくいとされた(Bruno *et al.* 2001)。本調査区域に出現したミドリイシ属の多くは樹枝状・卓状・被覆状で浅部ではいずれも白化率が高く、他の多くの海域と同様の傾向を示した。コモンサンゴ属はミドリイシ属と並び最も白化しやすい属の一つに挙げられ(岩尾・谷口 1999, McClanahan *et al.* 2005)、本ベルトランセクト調査における被度は低かったが、白化率・死亡率は非常に高く群体形は全て被覆状であり、岩尾・谷口(1999)が葉状のものより被覆状の群体でより白化しやすいとしたこととも一致する。コカメノコキクメイシ属は他の海域でも比較的高い白化率が報告されている(Hoegh-Guldberg and Salvat 1995, McClanahan *et al.* 2005)。

ハナヤサイサンゴ属は白化しやすい属とされることが多いが(Sugihara *et al.* 1999, 茅根ら 1999, McClanahan *et al.* 2004)、本調査においてはランセクト調査範囲内に出現したイボハダハナヤサイサンゴの1群体が白化しその67%が死亡したものの、同種の密度が高い水深1m前後の海域においては正常な群体が多く、ヘラジカハナヤサイサンゴはランセクト調査範囲内、周辺海域とも白化している群体は殆ど無かった。一方、稲葉・堀越(2004)は母島海域において本属の高い白化率を報告しており、母島列島内でも海域により状況が異なるのかもしれない。アナサンゴモドキ属は、深刻な白化被害を受ける分類群とされることがあり(Marshall and Baird 2000, McClanahan 2000)、イタアナサンゴモドキについてはパナマ太平洋岸からの絶滅も報告されているが(Glynn and Weerdt 1991)、母島海域のイタアナサンゴモドキはランセクト調査範囲内で退色する群体はみられたものの死亡したものはなく、周辺では部分的に白化した群体もみられたが、他の海域で観察されたような大規模な白化は生じ

なかった。

小笠原群島はサンゴ礁分布の縁辺に位置し(堀1980), 世界的にサンゴ礁が白化した1997-1998年も含めこれまで大規模な白化は確認されていなかった。このような白化の起こりにくい海域にあっても, 今回, 2003年に大規模な白化が発生したことは, 海洋環境の大きな変化の兆しとも考えられ, 今後も小笠原群島のサンゴ礁の状態には注目する必要があるだろう。

要 約

2003年9月, 小笠原群島母島列島沿岸で大規模な造礁サンゴの白化が起こった。白化率は母島列島の北側・東側より中央部で, また, 同一種では深部より浅部で高くなる傾向がみられた。サンゴ属種により白化率・1年後の死亡率は異なり, *Acropora donei*, サボテンドリイシ, コカメノキクメイシ属は白化率・死亡率ともに高く, ヒラノウサンゴ, マルカメノコクメイシ, ナガレサンゴでは白化率は高いが死亡率は中程度以下, ヘラジカハナヤサイサンゴ, トゲククメイシ属, イタアナサンゴモドキの白化率は低かった。白化の要因は9-10月に母島列島に接近した暖水渦による高水温と考えられた。

キーワード: サンゴ白化, 小笠原群島, 母島列島

謝 辞

本調査における多くのサンゴの種の同定はNPO法人小笠原自然文化研究所の稲葉慎氏により行われた。同氏および同定を受託された小笠原自然文化研究所に厚くお礼申し上げます。現場調査に協力頂いた小笠原水産センターの山口邦久氏, 同センター調査船「興洋」の五ノ井市朗船長他乗組員の皆様, 小笠原母島漁業協同組合に感謝します。本稿のとりまとめに際し有益な助言と校閲を頂いた(独)水産総合研究センター西海区水産研究所石垣支所の林原毅博士に深甚の謝意を表します。

文 献

Baker, A. C. 2001. Reef corals bleach to survive change. *Nature*, 411: 765-766.
Brown, B. E. 1997. Coral bleaching: cause and consequences. *Coral Reefs*, 16, Suppl.: S129-138.
Bruno, J. F., C. E. Siddon, J. D. Witman and P. L. Colin. 2001. El Niño related coral bleaching in Palau, Western Caroline Islands. *Coral Reefs*, 20: 127-136.

Dalton, S. J. and S. D. Smith. 2006. Coral disease dynamics at a subtropical location, Solitary Islands Marine Park, eastern Australia. *Coral Reefs*, 25: 37-45.
Fujioka, Y. 1999. Mass destruction of the hermatypic corals during a bleaching event in Ishigaki Island, southwestern Japan. *Galaxea*, 1: 41-50.
Fujioka, Y. 2002. Destruction and recovery of hermatypic coral communities after the mass bleaching event at Ishigaki Island. *Galaxea*, 4: 53-61.
Gleason, M. G. 1993. Effects of disturbance on coral communities: bleaching in Moorea, French Polynesia. *Coral Reefs*, 12: 193-201.
Glynn, P. W. 1993. Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral Reefs*, 12: 1-17.
Glynn, P. W. and W. H. de Weerd. 1991. Elimination of two reef-building Hydrocorals following the 1982-83 El Niño warming event. *Science*, 253: 69-71.
Hoegh-Guldberg, O. and B. Salvat. 1995. Periodic mass-bleaching and elevated sea temperatures: bleaching of outer reef slope communities in Moorea, French Polynesia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 121: 181-190.
稲葉慎・堀越和夫. 2004. 小笠原諸島におけるサンゴ大規模白化(速報). 小笠原研究年報, (27): 17-30.
岩尾研二・谷口洋基. 1999. 阿嘉島マエノハマにおける白化した造礁サンゴの回復および死亡過程の報告. みどりいし, 10: 23-28.
堀信行. 1980. 日本のサンゴ礁. 科学, 50(2): 111-122.
Jokiel, P. L. and S. L. Coles. 1990. Response of Hawaiian and other Indo-Pacific reef corals to elevated temperature. *Coral Reefs*, 8: 155-162.
茅根創・波利井佐紀・山野博哉・田村正行・井手陽一・秋元不二雄. 1999. 琉球列島石垣島白保・川平の定測線における1998年白化前後の造礁サンゴ群集被度変化. *Galaxea*, 1: 73-82.
Kayanne, H., S. Harii, Y. Ide, and F. Akimoto. 2002. Recovery of coral populations after the 1998 bleaching on Shiraho Reef, in the southern Ryukyus, NW Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 239: 93-103.
Kokita, T. and A. Nakazono. 2001. Rapid response of an obligately corallivorous filefish *Oxymonacanthus longirostris* (Monacanthidae) to a mass coral bleaching event. *Coral Reefs*, 20: 155-158.
Loya, Y., K. Sasaki, K. Yamazato, Y. Nakano, H. Sambali and R. van Woerik. 2001. Coral bleaching: the winners and the losers. *Ecology Letters*, 4: 122-131.

- Marshall, P. A. and A. H. Baird. 2000. Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs*, 19: 155-163.
- McClanahan, T. R. 2000. Bleaching damage and recovery potential of Maldivian coral reefs. *Mar. Pollution Bull.*, 40: 587-597.
- McClanahan, T. R., A. H. Baird, P. A. Marshall and M. A. Toscano. 2004. Comparing bleaching and mortality responses of hard corals between southern Kenya and the Great Barrier Reef, Australia. *Mar. Pollution Bull.* 48: 327-335.
- McClanahan, T. R., J. Maina, R. Moothien-Pillay and A. C. Baker. 2005. Effects of geography, taxa, water flow, and temperature variation on coral bleaching intensity in Mauritius. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 298: 131-142.
- 中野義勝. 2004. 地球環境変動と白化現象. 日本のサンゴ礁(環境省・日本サンゴ礁学会編), (財)自然文化環境研究センター, 東京, pp.44-50.
- Nakamura, T. and R. van Woesik. 2001. Water-flow rates and passive diffusion partially explain differential survival of corals during the 1998 bleaching event. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 212: 301-304.
- Price, J. F. 1981. Upper ocean response to a hurricane. *J. Physical Oceanography*, 11:153-175.
- Sano, M., M. Shimizu and Y. Nose (1987) Long-term effects of destruction of hermatypic corals by *Acanthaster planci* infestation on reef fish communities at Iriomote Island, Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 37: 191-199.
- Sugihara K., Y. Iryu and T. Nakamori. 1999. Coral bleaching, geological ranges, and adaptation to high sea surface temperatures. *Galaxea*, 1: 89-95.
- Sutherland, K. P., J. W. Porter and C. Torres. 2004. Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 266: 273-302.
- 谷口洋基・岩尾研二・大森信. 1999. 慶良間列島阿嘉島周辺における造礁サンゴの白化. I. 1998年9月の調査結果. *Galaxea*, 1: 59-64.
- 田山利三郎. 1952. 南洋群島の珊瑚礁. 水路部報告, 11: 292.
- Tsuchiya, M. 1999. Effect of mass coral bleaching on the community structure of small animals associated with the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. *Galaxea*, 1: 65-72.
- Yamazato, K. 1981. A note on the expulsion of zooxanthellae during summer, 1980 by the Okinawan reef-building corals. *Sesoko Mar. Sci. Lab. Tech. Rep.*, 8: 9-18.