1.3 サンゴ群集モニタリング調査データの解析

(1) はじめに

モニタリングサイト 1000 調査データの解析では、サンゴ被度及びサンゴ生育型の変遷から、石西礁湖の海域類型化を行った。本項では、サンゴ群集モニタリング調査のデータを利用し、よりミクロな観点からサンゴ群集構造の変遷を解析した。サンゴ群集モニタリングでは、定点調査地点 31 地点等において、2010 年度から連続して調査が行われており、H27年度業務では、それらのデータがエクセル表に整理された。本年度は、それらのデータ表を用いて、サンゴ群集構造の変遷をわかりやすく可視化し、解析を行った。データの出典は次の報告書による。

- ・平成21年度石西礁湖サンゴ礁保全総合調査業務報告書(2010)、環境省九州地方環境 事務所那覇自然環境事務所/いであ株式会社
- ・平成22年度石西礁湖サンゴ礁保全総合調査業務報告書(2011)、環境省九州地方環境 事務所那覇自然環境事務所/いであ株式会社
- ・平成23年度石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査業務報告書(2012)、環境省九州地 方環境事務所那覇自然環境事務所
- ・平成24年度石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査業務報告書(2013)、環境省九州地 方環境事務所那覇自然環境事務所
- ・平成24年度(繰越)石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査等業務報告書(2014)、環境省九州地方環境事務所那覇自然環境事務所
- ・平成 26 年度石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査等業務報告書(2015)、環境省九州 地方環境事務所那覇自然環境事務所
- ・平成27年度石西礁湖サンゴ群集モニタリング調査等業務報告書(2016)、環境省九州 地方環境事務所那覇自然環境事務所

(2) 方法

サンゴ群集モニタリング調査では、各地点 1m×1mのコドラートが連続的に 30 枠設定された恒久調査区が設けられている。毎年、これらの枠内について、種別サンゴ被度、種別群体数、属別稚サンゴ密度等が測定されている(調査方法は本項末 1.3.29p の付.に記載した)。また、それと並行して、調査区付近に設置されたサンゴ幼生定着板により、加入量が測定され、さらに調査区付近ランダムポイントでの 1 年生稚サンゴの調査、卓越するクシハダミドリイシの長径測定等が行われている(調査方法は本項末の付.に記載した)。

そこで、これらのデータを相互にまた地点間で関連付けて、その関係を検討した。

(3) 結果と考察

1) サンゴ被度と加入の関係

サンゴ群集の形成は、幼生の定着から始まる。広域的にみれば、海域のサンゴ被度が高ければ加入のポテンシャリティは高く、加入は増加すると考えられる。そこで、各調査地点の定着板におけるミドリイシ属幼生定着密度と調査区におけるミドリイシ属被度の関係について解析を行った。各地点ミドリイシ属被度を行に、ミドリイシ属定着密度を列に並べ、行列の積を算定し、被度と定着密度の関係を強調して示した(表 1.3.1~表 1.3.6)。定着板の大きさはサンゴ礁地形規模からみると極めて小さいため、定着は偶然に左右される可能性も高い。そのため、定着密度 0 については、極めて小さい密度として 0.01 を与え、被度との関係性をみることとした。算定した各セルには数値の大きさに応じて色彩グラデーションを与えた。各表では、ミドリイシ属高被度地点とミドリイシ属高定着密度地点との関係性の大きさが各セルの色彩で示されている。

表から読み取れる点は、高被度地点で加入が多い傾向があることで、S7(ヨナラ水道)がその代表例である。しかし、そうでない例もあり、2014年度のS5(ウラビシ礁縁)では被度41.4%であるが、加入は0であった。

前者は水路地形であるため、干満による半日周潮流が極めて大きく、主として南北の往復的移動が生じる海域である。対して、後者は外海地形であるため半日周潮流は小さく(灘岡ら 2003)、海流(潮汐残差流、吹送流)の影響を受け、移送の大きい海域であると考えられる。これらの海流の違いにより、サンゴの着床状況に違いが生じたものと考えられた。また、北礁礁縁の各地点は一体的な傾向がみられる。

各表の数値の大きいセルについて抽出し、図 1.3.1~図 1.3.5 にサンゴ被度の高い地点と定着密度の高い地点との関係性を示した。図 1.3.1、図 1.3.2、図 1.3.3 には、S7(ヨナラ水道)から北礁礁縁の各地点及び S22(小浜島南沖)への幼生の大量到達可能性を示した。ヨナラ水道と北礁礁縁では優占するミドリイシ属の種類が異なるが、あくまで定着板への定着を示したものである。

東京工業大学が行った 2003 年 5 月のサンゴ産卵期における浮遊幼生輸送の潮流シミュレーション結果(灘岡 未発表資料)では、S7 の粒子は幼生定着時期の 5 日後には、S7 と S22 付近に多く達しており、本解析結果を裏付けるものである。また、前述の半日周潮流についても S22 付近は北西・南東方向の大きな潮流があり、黒島東方からヨナラ水道へ抜ける流軸上にあるため、関係性は高いと考えられる。

図 1.3.4、図 1.3.5 には、S5(ウラビシ礁縁)と北礁礁縁(S26、S27、S28)との関係性を示した。礁湖南部から礁湖北部への幼生供給については、前述の潮流シミュレーションにより、ウラビシ礁縁からの粒子が 6 日後に S26、S27、S28 付近に達することが明らかにされているが(環境省那覇自然環境事務所 2005)、本解析結果を裏付けるものである。なお、2012 年度(図 1.3.3)及び 2014 年度(図 1.3.4)については、サンゴ被度 50%を超える地点がないため、被度 40%以上の地点とした。

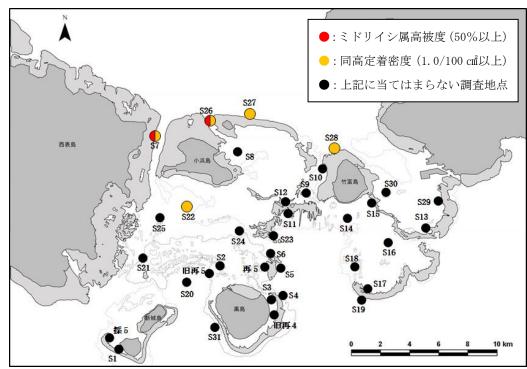


図 1.3.1 ミドリイシ属高被度 (50%以上) と同高定着密度 (1.0/100 cm以上) 地点 (2010 年度)

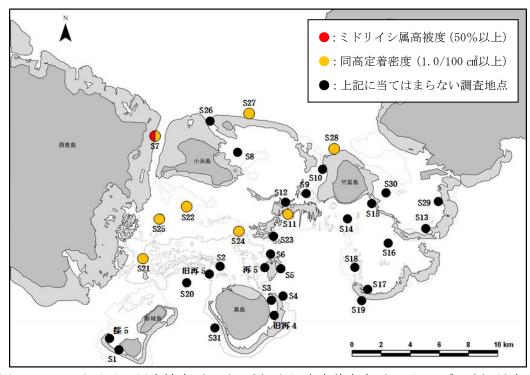


図 1.3.2 ミドリイシ属高被度 (50%以上) と同高定着密度 (1.0/100 cm以上) 地点 (2011 年度)

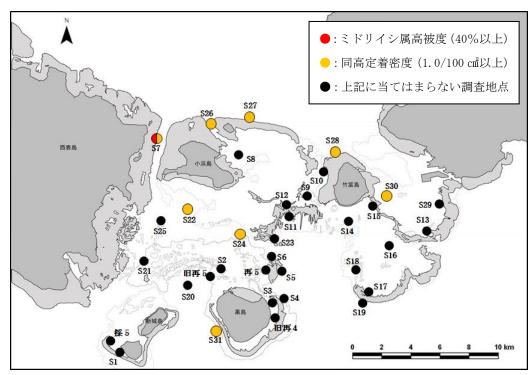


図 1.3.3 ミドリイシ属高被度 (40%以上) と同高定着密度 (1.0/100 cm以上) 地点 (2012 年度)

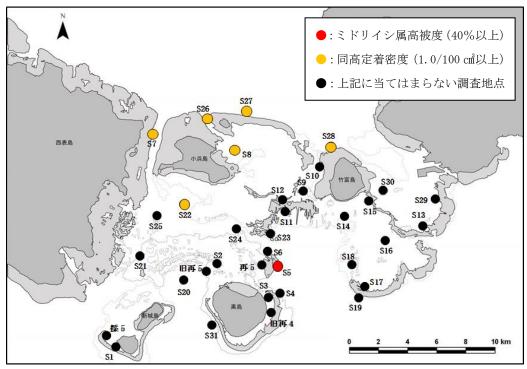


図 1.3.4 ミドリイシ属高被度 (40%以上) と同高定着密度 (1.0/100 cm以上) 地点 (2014 年度) (2013 年度も同様の傾向)

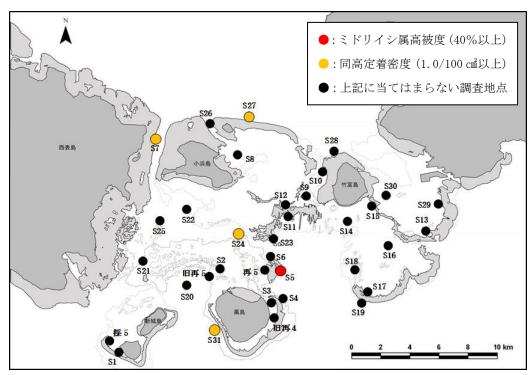


図 1.3.5 ミドリイシ属高被度 (50%以上) と同高定着密度 (1.0/100 cm以上) 地点 (2015 年度)

As定着密度(/10²cm) S3 S4 88 | 89 | 810 | 811 | 812 | 813 | 814 | 815 | 816 | 817 | 818 | 819 | 820 | 821 | 822 | 823 | 824 | 825 | 826 | 827 | 828 | 829 | 830 | 831 S2S5 S7 S6 Ac被度(%) 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.1 1.4 0.0 0.1 0.0 1.1 1.5 0.1 0.0 0.7 1.3 0.0 S1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 S2 5.0 0.0 0.6 0.0 0.0 0.0 0.3 6.6 0.0 0.0 0.0 0.3 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.3 0.3 7.0 0.0 0.3 0.0 5.6 6.6 7.6 0.3 0.0 3.5 S3 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 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 0.2 0.0 0.0 0.2 0.0 0.0 3.6 0.5 0.0 0.0 0.0 0.3 4.8 0.0 0.0 0.0 0.3 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.3 4.0 4.8 5.5 0.3 0.0 2.5 S4 0.0 0.3 5.0 0.0 S5 8.8 0.1 1.1 0.1 0.1 0.1 0.6 11.7 0.1 0.6 0.6 0.1 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 0.1 0.1 2.4 12.3 0.1 0.6 0.1 9.9 11.7 13.4 0.6 0.1 6 1 1.6 0.0 0.2 0.0 0.0 0.0 0.1 2.2 0.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.4 2.3 0.0 0.1 1.8 2.2 2.5 0.1 0.0 S6 0.1 0.0 0.0 0.0 1.1 0.8 10.1 0.8 0.8 5.5 0.8 0.8 0.8 0.8 21.0 5.5 109.0 0.8 88.0 103.6 S7 77.9 8.0 103.6 0.8 0.8 0.8 5.5 5.5 8.0 0.8 0.8 0.8 5.5 119.2 5.5 0.8 54.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 S8 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.1 0.1 0.0 0.0 0.0 9.2 0.1 1.2 0.1 0.1 0.6 0.1 0.6 0.1 0.1 2.5 0.1 10.4 6.4 S9 0.1 12.2 0.1 0.1 0.6 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 12.8 0.1 0.6 12.2 14.0 0.6 0.1 S10 **10.1** 0.1 1.3 0.1 0.1 0.1 0.7 13.5 0.1 0.1 0.1 0.7 0.7 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 2.7 0.7 14.2 0.1 0.7 0.1 11.4 13.5 15.5 0.7 0.1 7.1 S11 1.7 0.0 0.2 0.0 0.0 0.0 0.1 2.2 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.4 2.3 0.0 0.1 1.9 2.2 2.5 0.1 0.0 1.2 S12 1.5 0.0 0.2 0.0 0.0 0.0 0.1 2.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.4 2.1 0.0 0.1 0.0 1.7 0.1 0.0 1.1 2.0 2.3 S13 0.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 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 0.1 0.0 0.3 0.0 0.0 0.0 0.2 0.3 0.3 0.0 0.0 0.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 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 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.0 0.0 0.0 S14 0.0 0.0 0.0 S15 0.8 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 1.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.1 1.1 0.0 0.1 0.0 8.0 1.0 1.1 0.1 0.0 0.5 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 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 0.1 0.0 0.0 0.0 S16 0.0 0.0 0.0 0.1 S17 0.0 S18 0.4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.5 0.0 0.0 0.0 0.4 0.5 0.6 0.0 0.0 0.3 S19 0.0 S20 20.7 0.2 2.7 0.2 0.2 0.2 1.4 27.5 0.2 0.2 0.2 1.4 1.4 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 5.6 28.9 0.2 1.4 0.2 23.4 27.5 31.6 1.4 0.2 14.5 8.3 0.1 1.1 0.1 0.1 0.1 0.6 11.1 0.1 0.1 0.1 0.6 0.6 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 2.2 11.7 0.1 0.6 9.4 11.1 12.7 0.6 0.1 5.8 S21 0.6 0.1 S22 9.5 0.1 1.2 0.1 0.1 0.1 0.7 12.6 0.1 0.1 0.1 0.7 0.7 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 2.6 13.3 0.1 0.7 0.1 10.7 12.6 14.5 0.7 0.1 6.6 0.7 0.9 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 1.2 0.0 0.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.1 0.0 0.6 S23 0.0 0.0 0.1 1.2 0.0 0.1 0.0 1.0 1.2 1.3 S24 1.1 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 1.5 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.1 1.6 0.0 0.1 0.0 1.3 1.5 1.7 0.1 0.0 8.9 0.1 1.2 0.1 0.1 0.6 11.8 0.1 0.1 0.1 0.6 0.6 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 2.4 12.4 0.1 10.0 11.8 13.6 S25 0.1 0.1 0.1 0.6 0.1 0.6 0.6 0.1 6.2 S26 62.2 0.6 8.1 0.6 0.6 0.6 4.4 82.7 0.6 0.6 0.6 4.4 4.4 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 16.8 4.4 87.0 0.6 4.4 0.6 70.2 82.7 95.1 4.4 0.6 43.5 S27 41.4 0.4 5.4 0.4 0.4 2.9 55.1 0.4 2.9 2.9 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 11.2 58.0 0.4 2.9 0.4 46.8 55.1 63.4 2.9 0.4 29.0 0.4 0.4 0.4 0.4 2.9 S28 **44.8** 0.4 5.8 0.4 0.4 0.4 3.1 59.6 0.4 0.4 0.4 3.1 3.1 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 12.1 3.1 62.7 0.4 3.1 0.4 50.6 59.6 68.5 3.1 0.4 31.4 0.0 0.1 S29 1.0 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 1.4 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.0 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 0.0 0.0 0.3 0.1 1.5 0.0 1.2 1.4 1.6 0.1 0.0 0.7 0.1 0.9 17.7 0.1 0.1 3.6 20.3 0.9 S30 **13.3** 0.1 1.7 0.1 0.1 0.1 0.1 0.9 0.9 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 18.6 0.1 0.9 0.1 15.0 17.7 0.1 9.3 0.4 0.0 0.0 0.0 0.2 3.9 0.0 0.0 0.0 0.2 0.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 8.0 0.0 0.2 4.5 0.2 2.9 0.0 0.0 0.0

表 1.3.1 ミドリイシ属被度(%)とミドリイシ属定着密度(/100 cm²)の積(2010 年度)

注2)各セルには数値の大きさに応じて色彩グラデーションを与えた。

表 1.3.2 ミドリイシ属被度(%)とミドリイシ属定着密度(/100 cm²)の積(2011 年度)

As定着密	度(/10 ² cm)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31
Ac被度(%)		0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	8.7	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	0.5	0.0	1.7	2.4	0.6	1.0	1.3	0.3	1.3	1.2	0.1	0.1	0.6
S1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
S2	6.2	0.1	2.5	0.1	0.1	0.1	0.4	54.1	0.1	0.1	0.1	9.5	0.1	0.8	0.8	0.8	0.1	2.1	0.8	3.1	0.1	10.6	14.9	3.7	6.2	8.1	1.9	8.3	7.5	0.8	0.4	3.6
S3	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.8	1.2	0.3	0.5	0.6	0.1	0.6	0.6	0.1	0.0	0.3
S4	2.6	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.2	22.9	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.9	0.3	1.3	0.0	4.5	6.3	1.6	2.6	3.4	0.8	3.5	3.2	0.3	0.2	1.5
S5	13.5	0.1	5.4	0.1	0.1	0.1	0.9	117.7	0.1	0.1	0.1	20.7	0.1	1.8	1.8	1.8	0.1	4.5	1.8	6.8	0.1	23.0	32.5	8.1	13.5	17.6	4.1	18.0	16.2	1.8	0.9	7.8
S6	1.9	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	16.8	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.6	0.3	1.0	0.0	3.3	4.6	1.2	1.9	2.5	0.6	2.6	2.3	0.3	0.1	1.1
S7	55.2	0.6	22.1	0.6	0.6	0.6	3.9	480.1	0.6	0.6	0.6	84.4	0.6	7.2	7.2	7.2	0.6	18.2	7.2	27.6	0.6	93.8	132.4	33.1	55.2	71.7	16.6	73.4	66.2	7.2	3.9	32.0
S8	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1
S9	14.2	0.1	5.7	0.1	0.1	0.1	1.0	123.5	0.1	0.1	0.1	21.7	0.1	1.8	1.8	1.8	0.1	4.7	1.8	7.1	0.1	24.1	34.1	8.5	14.2	18.5	4.3	18.9	17.0	1.8	1.0	8.2
S10	21.7	0.2	8.7	0.2	0.2	0.2	1.5	188.4	0.2	0.2	0.2	33.1	0.2	2.8	2.8	2.8	0.2	7.1	2.8	10.8	0.2	36.8	52.0	13.0	21.7	28.1	6.5	28.8	26.0	2.8	1.5	12.6
S11	1.8	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	16.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.6	0.2	0.9	0.0	3.1	4.4	1.1	1.8	2.4	0.6	2.4	2.2	0.2	0.1	1.1
S12	2.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	22.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	8.0	0.3	1.3	0.0	4.3	6.1	1.5	2.5	3.3	8.0	3.4	3.0	0.3	0.2	1.5
S13	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.7	1.0	0.3	0.4	0.5	0.1	0.6	0.5	0.1	0.0	0.2
S14	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1
S15	1.4	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	12.2	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.5	0.2	0.7	0.0	2.4	3.4	8.0	1.4	1.8	0.4	1.9	1.7	0.2	0.1	8.0
S16	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1
S17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S18	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.7	1.0	0.2	0.4	0.5	0.1	0.5	0.5	0.1	0.0	0.2
S19	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
S20	19.9	0.2	8.0	0.2	0.2	0.2	1.4	173.4	0.2	0.2	0.2	30.5	0.2	2.6	2.6	2.6	0.2	6.6	2.6	10.0	0.2	33.9	47.8	12.0	19.9	25.9	6.0	26.5	23.9	2.6	1.4	11.6
S21	5.7	0.1	2.3	0.1	0.1	0.1	0.4	49.7	0.1	0.1	0.1	8.7	0.1	0.7	0.7	0.7	0.1	1.9	0.7	2.9	0.1	9.7	13.7	3.4	5.7	7.4	1.7	7.6	6.9	0.7	0.4	3.3
S22	14.4	0.1	5.7	0.1	0.1	0.1	1.0	124.8	0.1	0.1	0.1	22.0	0.1	1.9	1.9	1.9	0.1	4.7	1.9	7.2	0.1	24.4	34.4	8.6	14.4	18.7	4.3	19.1	17.2	1.9	1.0	8.3
S23	1.8	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	15.4	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.6	0.2	0.9	0.0	3.0	4.2	1.1	1.8	2.3	0.5	2.3	2.1	0.2	0.1	1.0
S24	2.1	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.1	18.6	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.7	0.3	1.1	0.0	3.6	5.1	1.3	2.1	2.8	0.6	2.8	2.6	0.3	0.1	1.2
S25	6.1	0.1	2.4	0.1	0.1	0.1	0.4	53.1	0.1	0.1	0.1	9.3	0.1	8.0	8.0	8.0	0.1	2.0	8.0	3.1	0.1	10.4	14.6	3.7	6.1	7.9	1.8	8.1	7.3	0.8	0.4	3.5
S26	38.2	0.4	15.3	0.4	0.4	0.4	2.7	332.3	0.4	0.4	0.4	58.4	0.4	5.0	5.0	5.0	0.4	12.6	5.0	19.1	0.4	64.9	91.7	22.9	38.2	49.7	11.5	50.8	45.8	5.0	2.7	22.2
S27	10.8	0.1	4.3	0.1	0.1	0.1	0.8	93.7	0.1	0.1	0.1	16.5	0.1	1.4	1.4	1.4	0.1	3.6	1.4	5.4	0.1	18.3	25.8	6.5	10.8	14.0	3.2	14.3	12.9	1.4	0.8	6.2
S28	42.9	0.4	17.2	0.4	0.4	0.4	3.0	373.5	0.4	0.4	0.4	65.7	0.4	5.6	5.6	5.6	0.4	14.2	5.6	21.5	0.4	73.0	103.0	25.8	42.9	55.8	12.9	57.1	51.5	5.6	3.0	24.9
S29	0.9	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	7.5	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	0.4	0.0	1.5	2.1	0.5	0.9	1.1	0.3	1.2	1.0	0.1	0.1	0.5
S30	8.7	0.1	3.5	0.1	0.1	0.1	0.6	75.7	0.1	0.1	0.1	13.3	0.1	1.1	1.1	1.1	0.1	2.9	1.1	4.4	0.1	14.8	20.9	5.2	8.7	11.3	2.6	11.6	10.4	1.1	0.6	5.0
S31	4.7	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.3	41.2	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.6	0.6	0.6	0.0	1.6	0.6	2.4	0.0	8.0	11.4	2.8	4.7	6.2	1.4	6.3	5.7	0.6	0.3	2.7

注2)各セルには数値の大きさに応じて色彩グラデーションを与えた。

As定着密度(/10²cm) S1 S2 S3 S4 S9 | S10 | S11 | S12 | S13 | S14 | S15 | S16 | S17 | S18 | S19 | S20 | S21 | S22 | S23 | S24 S26 | S27 | S28 | S29 | S30 | S31 S7 S8 0.0 0.0 0.0 0.0 5.5 1.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.1 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 0.1 1.9 0.2 1.9 0.7 1.5 0.2 2.1 2.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.2 0.0 0.2 0.1 0.0 0.2 0.2 S27.8 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 42.6 7.8 0.1 0.1 | 1.0 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 1.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 6.7 | 0.1 0.5 14.7 1.6 14.7 35.7 43.4 11.4 1.6 16.5 16.0 1.1 0.1 1.6 0.0 0.0 4.0 0.0 0.1 0.0 0.1 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.6 0.0 0.1 1.4 S4 4.1 0.0 0.0 0.0 0.0 22.6 4.1 0.0 0.5 0.0 0.3 0.0 0.5 0.0 0.0 0.0 3.5 0.8 7.8 18.9 23.0 6.0 0.8 8.7 0.0 0.3 S5 28.0 0.3 0.3 0.3 0.3 154.1 28.0 0.3 0.3 3.6 0.3 | 2.0 | 0.3 | 3.6 | 0.3 | 0.3 0.3 24.1 0.3 2.0 53.2 5.6 53.2 128.9 156.9 41.2 5.6 59.7 58.0 0.3 3.6 0.0 0.0 0.0 0.0 19.6 0.0 0.5 0.0 0.2 0.0 0.5 0.0 0.0 0.0 3.1 5.2 0.7 7.6 7.4 S7 43.5 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 239.4 43.5 0.4 0.4 5.7 0.4 3.0 0.4 5.7 0.4 0.4 0.4 37.4 0.4 3.0 82.7 8.7 82.7 29.2 200.3 243.8 64.0 8.7 92.7 90.1 0.0 0.0 0.0 0.0 4.3 0.0 0.1 0.0 0.1 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.7 0.2 1.5 1.2 0.2 1.7 S8 0.8 0.0 8.0 0.0 0.0 1.5 3.6 0.2 2.1 23.7 3.2 34.3 33.3 16.1 0.2 0.2 0.2 0.2 88.6 16.1 0.2 0.2 1.1 0.2 2.1 0.2 0.2 0.2 13.8 0.2 1.1 30.6 3.2 30.6 74.1 90.2 S10 24.7 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 135.9 24.7 0.2 0.2 3.2 0.2 1.7 0.2 3.2 0.2 0.2 0.2 21.2 0.2 1.7 46.9 4.9 46.9 16.5 113.6 138.3 36.3 4.9 52.6 51.1 2.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 11.3 2.1 0.0 0.3 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 0.4 3.9 3.0 0.4 4.4 S11 0.0 0.0 4.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 0.0 0.6 0.0 0.3 0.0 0.6 0.0 0.0 0.0 3.7 8.2 0.9 8.2 19.9 24.2 6.3 0.9 9.2 8.9 S12 0.0 0.0 23.7 4.3 0.0 0.3 2.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 3.9 0.7 0.0 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.6 0.1 1.3 1.0 0.1 1.5 1.4 S13 0.7 0.0 0.0 1.3 3.2 S14 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.7 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.0 0.6 0.1 0.6 0.4 0.1 0.6 S15 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 5.5 1.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.1 0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.9 0.0 0.1 1.9 0.2 1.9 1.5 0.2 2.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 S16 0.0 0.0 1.1 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 0.0 0.0 0.4 0.3 0.0 0.4 S17 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 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 0.1 0.2 0.1 0.0 0.1 0.0 0.0 S18 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 0.0 0.0 0.0 0.5 0.1 0.5 1.2 1.5 0.4 0.1 0.6 0.6 S19 0.0 0.0 0.0 0.0 3.1 0.0 0.1 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 0.0 0.5 0.1 1.1 8.0 0.1 1.2 0.2 0.2 0.2 0.2 1.2 0.2 2.2 0.2 0.2 3.3 31.7 24.5 3.3 35.6 34.6 0.2 0.2 91.9 16.7 0.2 0.2 2.2 0.2 14.4 0.2 31.7 76.8 93.5 9.4 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 51.8 0.1 1.2 0.1 | 0.7 | 0.1 | 1.2 | 0.1 | 0.1 | 1.9 17.9 1.9 20.1 19.5 9.4 0.1 0.1 8.1 0.1 17.9 43.3 52.7 13.8 18.1 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 99.6 18.1 0.2 0.2 2.4 0.2 1.3 0.2 2.4 0.2 0.2 0.2 15.6 34.4 3.6 34.4 12.1 83.3 101.4 26.6 3.6 38.6 37.5 0.2 1.3 S23 3.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 17.1 3.1 0.0 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 0.0 0.2 5.9 0.6 5.9 2.1 14.3 17.5 4.6 0.6 6.6 6.5

表 1.3.3 ミドリイシ属被度(%)とミドリイシ属定着密度(/100 cm²)の積(2012 年度)

3.4 0.0

0.2

S30 **13.2** 0.1 0.1 0.1 0.1

24.3

S24

S25

S26

S27

S28

注2)各セルには数値の大きさに応じて色彩グラデーションを与えた。

0.0 0.0 0.0

0.0 0.0 0.0

0.2 0.2

10.5 0.1 0.1 0.1 0.1

9.2 0.1 0.1 0.1 0.1

36.6 0.4 0.4 0.4 0.4

5.7 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1

0.0 0.0 18.5

0.1 0.1 57.6 10.5

0.2 0.2 133.7 24.3

0.1 0.1 50.6 9.2

0.4 0.4 201.1 36.6

0.1 0.1 72.7 13.2

0.1 0.1 31.4 5.7 0.1

0.0

0.1

0.2

0.1

0.4

0.1

0.4 4.8

表 1.3.4 ミドリイシ属被度(%)とミドリイシ属定着密度(/100 cm²)の積(2013 年度)

0.0 0.4 0.0 0.2 0.0 0.4 0.0 0.0

0.2 3.2 0.2 1.7 0.2 3.2 0.2 0.2

0.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.0

0.1 1.4 0.1 0.7 0.1 1.4 0.1 0.1 0.1 9.0

0.1 1.2 0.1 0.6 0.1 1.2 0.1 0.1 0.1 7.9

0.1 | 1.7 | 0.1 | 0.9 | 0.1 | 1.7 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 11.4 |

0.1 0.7 0.1 0.4 0.1 0.7 0.1 0.1 0.1 4.9

0.4 | 2.6 | 0.4 | 4.8 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 31.4 |

0.0 2.9

0.2 20.9

0.0 0.2

0.1

0.2

0.1

0.1

0.7

1.7

0.1 0.6

0.4 2.6

19.9

46.2

17.5

69.5

0.9 25.1

0.4 10.9

15.5 18.9

48.1 58.6

111.9 136.2

42.3 51.5

168.2 204.8

60.8 74.0

26.3 32.0

0.7 6.4

2.1 19.9

1.8 17.5

0.1 0.9

2.6 25.1

1.1 10.9

4.9 46.2 16.3

7.3 69.5 24.5

4.9 0.7 7.2 7.0

15.4 2.1 22.3 21.7

35.7 4.9 51.8 50.3

13.5 1.8 19.6 19.0 53.8 7.3 77.9 75.7

0.7 0.1 1.0 1.0

19.4 2.6 28.2 27.4

8.4 1.1 12.2 11.8

Ac定着密度	E(/10 ² cm ³)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	C11	C19	S13	S14	S15	S16	C17	S18	C10	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31
																				319		0.5				0.3						_
Ac被度(%)	0.1		0.0			0.0	0.5	2.3		0.3	0.3		0.1	0.0	0.3	0.6	1.0	0.1	0.7		0.4		0.5	0.0	2.0		3.9	8.2	4.6		_	2.3
S1	0.1	0.0		0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1		0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.4	0.8	0.5	0.0	-	0.2
S2	8.6	0.1	0.1	2.6	1.7	0.1	4.3	19.7	1.7	2.6	2.6	0.9	0.9	0.1	2.6	5.1	8.6	0.9	6.0		3.4	4.3	4.3	0.1	17.1	2.6	33.4	70.2	39.4	0.9	_	19.7
S3	1.6	0.0		0.5	0.3	0.0	0.8	3.7	0.3		0.5		0.2	0.0	0.5	1.0	1.6	0.2	1.1		0.6	0.8	0.8	0.0	3.2	0.5	6.3	13.3	7.4	0.2	_	3.7
S4	8.2	0.1	0.1	2.5	1.6	0.1	4.1	18.9	1.6		2.5		0.8	0.1	2.5	4.9	8.2	0.8	5.7		3.3	4.1	4.1	0.1	16.4	2.5	32.0	67.2	37.7	0.8	_	18.9
S5	34.2	0.3		10.2	6.8	0.3	17.1	78.5	6.8		10.2		3.4	0.3	10.2	20.5	34.2	3.4	23.9		13.7	17.1	17.1		68.3	10.2	133.2	280.0	157.1	3.4		78.5
S6	6.8	0.1	0.1	2.0	1.4	0.1	3.4	15.7	1.4		2.0	0.7	0.7	0.1	2.0	4.1	6.8	0.7	4.8		2.7	3.4	3.4	0.1	13.6	2.0	26.6	55.9	31.4	0.7	2.0	15.7
S7	6.4	0.1	0.1	1.9	1.3	0.1	3.2	14.8	1.3		1.9		0.6	0.1	1.9	3.9	6.4	0.6	4.5		2.6	3.2	3.2	0.1	12.9	1.9	25.1	52.8	29.6	0.6	_	14.8
S8	1.4	0.0		0.4	0.3	0.0	0.7	3.3	0.3	0.4	0.4	0.1	0.1	0.0	0.4	0.9	1.4	0.1	1.0		0.6	0.7	0.7	0.0	2.9	0.4	5.6	11.8	6.6	0.1	0.4	3.3
S9	7.7	0.1	0.1	2.3	1.5	0.1	3.8	17.6	1.5		2.3	0.8	0.8	0.1	2.3	4.6	7.7	0.8	5.4		3.1	3.8	3.8	0.1	15.3	2.3	29.8	62.7	35.2	0.8	_	17.6
S10	16.9	0.2	0.2	5.1	3.4	0.2	8.5	38.9	3.4	5.1	5.1		1.7	0.2	5.1	10.1	16.9	1.7	11.8		6.8	8.5	8.5		33.8	5.1	65.9		77.7	1.7	5.1	38.9
S11 S12	1.4	0.0		0.4	0.3	0.0	0.7	3.3	0.3	0.4	0.4	0.1	0.1	0.0	0.4	0.9	1.4	0.1	1.0		0.6	0.7	0.7	0.0	2.9	0.4	5.6	11.8	6.6	0.1	0.4	3.3
	4.1	0.0		\vdash	0.8	0.0	2.1	9.4	0.8		1.2		0.4	0.0	1.2	2.5	4.1	0.4	2.9		1.6	2.1	2.1	0.0	8.2	1.2	16.0	33.6	18.9	0.4	-	9.4
S13	0.8	0.0			0.2	0.0	0.4	1.8	0.2	0.2	0.2		0.1	0.0	0.2	0.5	0.8	0.1	0.5		0.3	0.4	0.4	0.0	1.6	0.2	3.1	6.4	3.6	0.1	0.2	1.8
S14	0.7	0.0		0.2	0.1	0.0	0.3	1.5 2.5	0.1	0.2	0.2		0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.1	0.5		0.3	0.3	0.3	0.0	1.3 2.1	0.2	2.6 4.2	5.5 8.7	4.9	0.1	0.2	2.5
S15	1.1 0.3	0.0		0.3	0.2		0.5	0.7	0.2	0.3	0.3	0.0	0.1	0.0	0.3	0.6	0.3	0.0	0.7		0.4	0.5		0.0	0.6	0.3				0.0	_	0.7
S16 S17	0.3	0.0		0.0	0.1	0.0	0.1	0.7	0.0		0.0		0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.2		0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	1.1 0.6	2.3	0.7	0.0	_	0.7
S18	0.2	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1		0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.8	1.2 0.7	0.7	0.0	_	0.3
	1.1			-			_																									
S19 S20		0.0			0.2	0.0	0.5	2.4	0.2		0.3		0.1	0.0	0.3	0.6	1.1	0.1	0.7		0.4	0.5	0.5	0.0	36.9	0.3	4.1	8.6	4.8	0.1	0.3	2.4
S20 S21	18.5 3.7	0.2	0.2	5.5	3.7	0.2	9.2	42.5	3.7 0.7	5.5	5.5	0.4	1.8	0.2	5.5	11.1	3.7	1.8			7.4	9.2	9.2			5.5	72.0 14.5	151.4 30.5	84.9	1.8		42.5 8.5
S21	18.0	0.0	0.0	1.1 5.4	0.7 3.6	0.0	9.0	8.5 41.4	3.6	1.1 5.4	1.1 5.4		1.8	0.0	1.1 5.4	10.8	18.0	1.8	2.6 12.6		1.5 7.2	9.0	9.0	0.0	7.4	1.1 5.4	70.3		17.1 82.9	0.4 1.8		41.4
S23	5.9																															
S23 S24	5.7	0.1	0.1	1.8	1.2	0.1	2.9	13.5	1.2	1.8	1.8	0.6	0.6	0.1	1.8	3.5	5.9 5.7	0.6	4.1		2.3	2.9	2.9	0.1	11.7	1.8	22.9	48.1 46.5	27.0	0.6	-	13.5
S25	7.5	0.1	0.1	2.3	1.5	0.1	3.8	17.3	1.5		2.3		0.8	0.1	2.3	4.5	7.5	0.8	5.3		3.0	3.8	3.8	0.1	15.0	2.3	29.3	61.6	34.6	0.0	_	17.3
S26	14.5	0.1	0.1	4.3	2.9	0.1	7.2	33.3	2.9		4.3		1.4	0.1	4.3	8.7	14.5	1.4	10.1		5.8	7.2	7.2		29.0	4.3	56.5		66.6	1.4	_	33.3
S27	4.9	0.0		1.5		0.0	2.5	11.3	1.0		1.5		0.5	0.0	1.5	3.0	4.9	0.5	3.5		2.0	2.5	2.5	0.0	9.9	1.5	19.2	40.5	22.7	0.5	_	11.3
S28	24.3	0.0	0.0	7.3	4.9	0.0	12.2	55.9	4.9		7.3		2.4	0.0	7.3	14.6	24.3	2.4	17.0		9.7	12.2	12.2		48.6	7.3	94.8		111.8	2.4	_	55.9
S29	0.3	0.2		0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.3	0.0	0.2		0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.1	1.0	2.2	1.2	0.0		0.6
S30	6.9		0.0	2.1	1.4	0.0	3.5	15.9		2.1	2.1	0.0	0.0	0.0	2.1	4.2	6.9	0.0	4.8		2.8	3.5	3.5	0.0	13.8	2.1	27.0	56.7	31.8	0.0	2.1	15.9
S30 S31	8.3	0.1	0.1	2.1	1.7	0.1	4.1	19.1	1.4	2.1	2.1	0.7	0.7	0.1	2.1	5.0	8.3	0.7	5.8		3.3	4.1	4.1	0.1	16.6	2.1	32.3	67.9	38.1	0.7		19.1
(大1) 空美攻 (大1) 空美攻				-		U.I	4.1	19.1	1./	2.0	2.0	۵.۷	0.8	0.1	2.3	0.0	გ .3	ŭ.8	ე.გ		ა.ა	4.1	4.1	U.I	0.01	2.5	32.3	67.9	38.I	0.8	2.5	19.1

注2)各セルには数値の大きさに応じて色彩グラデーションを与えた。

表 1.3.5 ミドリイシ属被度(%)とミドリイシ属定着密度(/100 cm)の積(2014 年度)

As定着密度	(/10²cm²)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31
Ac被度(%)	\	0.0	0.1	0.0		0.0	0.1	3.3	2.3	0.0	0.6	0.3	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.7	1.7	0.5	0.5	0.3	55.9	53.1	41.8		_	0.4
S1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	10.2	9.7	7.7	0.0	_	0.1
S2	9.9	0.1	0.6	0.1	0.7	0.1	0.7	32.8	22.8	0.1	6.0	2.7	1.3	3.3	0.1	0.7	0.1	0.1	0.7	2.7	2.9		16.6	5.26	4.7	3.3	555.3	527.5	415.2	1.3		4.0
S3	2.3	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	7.4	5.2	0.0	1.4	0.6	0.3	0.7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.6	0.7		3.8	1.19	1.1	0.7	125.8	119.5	94.1	0.3	0.0	0.9
S4	2.8	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	9.1	6.4	0.0	1.7	0.7	0.4	0.9	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.7	0.8	2.0	4.6	1.47	1.3	0.9	154.7	146.9	115.6	0.4	0.0	1.1
S5	41.4	0.4	2.5	0.4	2.9	0.4	2.9	136.5	95.1	0.4	24.8	11.2	5.4	13.7	0.4	2.9	0.4	0.4	2.9	11.2	12.0	30.2	69.1	21.9	19.4	13.7	2312.4	2196.6	1729.1	5.4	0.4	16.5
S6	8.3	0.1	0.5	0.1	0.6	0.1	0.6	27.3	19.0	0.1	5.0	2.2	1.1	2.7	0.1	0.6	0.1	0.1	0.6	2.2	2.4	6.0	13.8	4.38	3.9	2.7	462.1	439.0	345.5	1.1	0.1	3.3
S7	2.7	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	8.7	6.1	0.0	1.6	0.7	0.3	0.9	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.7	0.8	1.9	4.4	1.4	1.2	0.9	148.1	140.7	110.8	0.3	0.0	1.1
S8	1.9	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	6.1	4.3	0.0	1.1	0.5	0.2	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.5	1.4	3.1	0.98	0.9	0.6	103.4	98.2	77.3	0.2	0.0	0.7
S9	12.0	0.1	0.7	0.1	0.8	0.1	8.0	39.5	27.5	0.1	7.2	3.2	1.6	3.9	0.1	8.0	0.1	0.1	8.0	3.2	3.5	8.7	20.0	6.34	5.6	3.9	668.9	635.4	500.2	1.6	0.1	4.8
S10	12.5	0.1	0.7	0.1	0.9	0.1	0.9	41.1	28.7	0.1	7.5	3.4	1.6	4.1	0.1	0.9	0.1	0.1	0.9	3.4	3.6	9.1	20.8	6.61	5.9	4.1	696.9	662.0	521.1	1.6	0.1	5.0
S11	3.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	10.6	7.4	0.0	1.9	0.9	0.4	1.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.9	0.9	2.3	5.3	1.7	1.5	1.1	178.9	169.9	133.8	0.4	0.0	1.3
S12	7.0	0.1	0.4	0.1	0.5	0.1	0.5	23.2	16.2	0.1	4.2	1.9	0.9	2.3	0.1	0.5	0.1	0.1	0.5	1.9	2.0	5.1	11.7	3.73	3.3	2.3	393.2	373.5	294.0	0.9	0.1	2.8
S13	0.9	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	3.0	2.1	0.0	0.6	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.7	1.5	0.49	0.4	0.3	51.2	48.7	38.3	0.1	0.0	0.4
S14	8.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	2.7	1.9	0.0	0.5	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.6	1.4	0.43	0.4	0.3	45.7	43.4	34.1	0.1	0.0	0.3
S15	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.5	0.0	0.4	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.5	1.1	0.34	0.3	0.2	36.3	34.5	27.2	0.1	0.0	0.3
S16	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	2.4	1.7	0.0	0.4	0.2	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.5	1.2	0.39	0.3	0.2	41.0	38.9	30.7	0.1	0.0	0.3
S17	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.6	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.13	0.1	0.1	14.0	13.3	10.5	0.0	0.0	0.1
S18	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.5	0.15	0.1	0.1	15.8	15.0	11.8	0.0	0.0	0.1
S19	0.9	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	3.0	2.1	0.0	0.5	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.7	1.5	0.48	0.4	0.3	50.3	47.8	37.6	0.1	0.0	0.4
S20	14.4	0.1	0.9	0.1	1.0	0.1	1.0	47.6	33.2	0.1	8.7	3.9	1.9	4.8	0.1	1.0	0.1	0.1	1.0	3.9	4.2	10.5	24.1	7.65	6.8	4.8	806.8	766.4	603.3	1.9	0.1	5.8
S21	4.8	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	15.7	10.9	0.0	2.9	1.3	0.6	1.6	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	1.3	1.4	3.5	7.9	2.52	2.2	1.6	265.5	252.2	198.6	0.6	0.0	1.9
S22	24.7	0.2	1.5	0.2	1.7	0.2	1.7	81.5	56.8	0.2	14.8	6.7	3.2	8.1	0.2	1.7	0.2	0.2	1.7	6.7	7.2	18.0	41.2	13.1	11.6	8.1	1379.8	1310.7	1031.8	3.2	0.2	9.9
S23	8.4	0.1	0.5	0.1	0.6	0.1	0.6	27.8	19.4	0.1	5.1	2.3	1.1	2.8	0.1	0.6	0.1	0.1	0.6	2.3	2.4	6.1	14.1	4.46	4.0	2.8	470.5	446.9	351.8	1.1	0.1	3.4
S24	8.3	0.1	0.5	0.1	0.6	0.1	0.6	27.3	19.1	0.1	5.0	2.2	1.1	2.7	0.1	0.6	0.1	0.1	0.6	2.2	2.4	6.0	13.8	4.39	3.9	2.7	463.0	439.8	346.2	1.1	0.1	3.3
S25	12.0	0.1	0.7	0.1	0.8	0.1	8.0	39.4	27.5	0.1	7.2	3.2	1.6	3.9	0.1	8.0	0.1	0.1	0.8	3.2	3.5	8.7	20.0	6.33	5.6	3.9	668.0	634.5	499.5	1.6	0.1	4.8
S26	11.7	0.1	0.7	0.1	0.8	0.1	8.0	38.6	26.9	0.1	7.0	3.2	1.5	3.9	0.1	8.0	0.1	0.1	0.8	3.2	3.4	8.5	19.5	6.19	5.5	3.9	653.1	620.4	488.4	1.5	0.1	4.7
S27	4.9	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	16.1	11.2	0.0	2.9	1.3	0.6	1.6	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	1.3	1.4	3.6	8.2	2.59	2.3	1.6	273.0	259.3	204.1	0.6	0.0	2.0
S28	20.0	0.2	1.2	0.2	1.4	0.2	1.4	65.9	46.0	0.2	12.0	5.4	2.6	6.6	0.2	1.4	0.2	0.2	1.4	5.4	5.8	14.6	33.4	10.6	9.4	6.6	1117.1	1061.1	835.3	2.6	0.2	8.0
S29	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	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	0.1	0.04	0.0	0.0	3.7	3.5	2.8	0.0	0.0	0.0
S30	7.7	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5	25.4	17.7	0.1	4.6	2.1	1.0	2.5	0.1	0.5	0.1	0.1	0.5	2.1	2.2	5.6	12.9	4.08	3.6	2.5	430.4	408.9	321.9	1.0	0.1	3.1
S31	6.8	0.1	0.4	0.1	0.5	0.1	0.5	22.6	15.7	0.1	4.1	1.8	0.9	2.3	0.1	0.5	0.1	0.1	0.5	1.8	2.0	5.0	11.4	3.62	3.2	2.3	382.0	362.9	285.6	0.9	0.1	2.7
注1) 中美家																																

注2)各セルには数値の大きさに応じて色彩グラデーションを与えた。

S18 S19 S20 S21 S23 S24 S25 S4 S6 S7 S8 S9 S10 S11 S12 S13 S14 S15 S16 S17 S22 S26 S27 S28 | S29 | S30 | S31 0.0 0.3 0.0 0.1 0.3 0.5 1.1 0.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.3 0.3 0.5 0.0 0.4 0.4 0.2 0.7 1.1 0.3 0.7 5.4 0.5 0.4 0.2 2.6 Ac被度(%) 0.0 0.4 0.0 0.1 0.3 0.5 1.3 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.4 0.3 0.6 0.5 0.0 0.4 0.4 0.2 0.8 1.2 0.37 6.0 0.5 0.4 0.22 2.96 0.8 S113.1 10.7 0.1 0.1 8.0 0.1 4.6 8.2 12.4 3.81 4.6 2.31 30.5 11.6 0.1 7.7 S3 1.7 0.0 0.2 0.4 8.0 1.9 1.5 0.0 0.0 0.1 0.5 0.4 8.0 0.0 0.7 0.7 0.3 | 1.17 | 1.8 | 0.54 1.1 8.9 0.8 0.7 0.33 4.36 0.0 0.5 1.1 1.9 4.6 3.8 0.0 0.0 0.3 1.3 0.0 1.6 1.6 0.8 2.9 4.4 1.35 1.9 1.6 0.82 10.8 S4 4.1 0.0 0.0 0.0 1.1 2.2 1.9 2.7 22.1 14.0 24.4 58.6 48.2 0.5 0.5 3.6 17.1 14.0 27.5 24.4 0.5 20.7 20.7 10.4 36.8 55.4 17.1 34.7 279.8 24.4 20.7 10.4 137 **51.8** 0.5 17.1 0.0 0.3 2.4 2.0 0.0 0.0 0.0 0.1 8.0 1.5 2.3 11.4 1.0 0.8 0.42 S6 2.1 0.0 0.7 0.6 1.0 0.7 0.6 0.0 0.4 1.4 1.0 S7 4.2 0.0 0.0 0.5 1.1 2.0 4.8 3.9 0.0 0.0 0.3 1.4 2.2 2.0 0.0 1.7 1.7 0.8 2.99 4.5 1.39 22.8 2.0 1.7 0.84 11.1 0.0 0.2 0.6 0.1 0.3 0.9 1.4 0.42 0.6 0.5 0.25 3.35 S8 1.3 0.0 0.4 0.3 1.4 1.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.4 0.3 0.7 0.6 0.0 0.5 0.5 0.9 6.9 0.1 1.5 5.6 13.4 11.1 0.1 0.1 0.1 4.8 2.4 8.44 12.7 3.92 5.6 4.8 2.38 31.4 S9 11.9 0.1 3.9 3.2 8.0 3.9 3.2 6.3 5.6 8.0 10.1 0.1 0.1 1.3 2.7 4.8 11.5 9.4 0.1 0.1 0.1 0.7 3.3 0.1 4.1 4.1 2.0 7.19 10.8 3.34 54.7 4.1 2.03 26.8 S10 2.7 4.8 5.0 0.1 1.7 0.1 0.7 1.4 2.4 5.7 4.7 0.1 0.1 0.1 0.4 1.7 1.4 0.1 2.0 2.0 1.0 3.56 5.4 27.1 2.0 S11 0.1 2.4 0.1 1.2 S12 9.0 0.1 2.4 4.2 10.2 8.4 0.1 0.1 0.6 4.8 4.2 0.1 3.6 1.8 6.38 9.6 2.96 3.6 1.8 23.7 0.1 1.2 10.2 8.4 0.1 0.1 0.1 0.6 4.8 3.6 3.6 1.8 6.43 9.7 2.99 48.9 4.3 3.6 1.81 23.9 2.4 4.3 3.0 2.4 4.3 0.1 6.1 S13 9.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.1 0.3 0.0 0.1 0.4 0.9 0.7 0.0 0.2 0.4 0.0 0.3 0.2 0.54 0.8 0.25 0.4 0.3 0.15 2.02 S14 0.3 0.2 0.0 0.4 0.3 0.5 4.1 1.4 0.0 0.0 0.2 0.4 0.7 1.6 1.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.5 0.4 8.0 0.7 0.0 0.6 0.6 0.3 | 1.02 | 1.5 | 0.47 1.0 0.6 0.29 3.79 S15 0.5 S16 0.2 0.0 0.1 0.0 0.0 0.1 0.1 0.3 0.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.1 0.1 0.0 0.1 0.1 0.0 0.17 0.3 0.08 0.2 1.3 0.1 0.1 0.05 0.62 0.0 0.3 0.9 2.2 1.8 0.0 0.1 0.7 0.5 0.9 8.0 0.4 1.4 2.1 0.65 0.8 0.4 5.22 S17 2.0 0.0 0.5 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 10.7 0.1 0.04 0.49 0.0 0.0 0.1 0.1 0.2 0.2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.0 0.1 0.1 0.0 0.13 0.2 0.06 S18 0.2 0.0 0.1 0.4 0.0 0.0 0.0 0.2 0.4 0.3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.1 0.1 0.1 0.26 0.4 0.12 0.2 0.1 0.07 0.97 S19 0.1 0.1 0.2 0.2 0.0 0.1 0.1 0.2 S20 1.5 0.0 0.0 0.2 0.4 0.7 1.7 1.4 0.0 0.0 0.1 0.5 0.4 8.0 0.7 0.0 0.6 0.6 0.3 1.08 1.6 1.0 0.6 0.3 0.2 2.5 21.3 17.5 0.2 0.2 0.2 0.2 1.3 6.2 5.1 0.2 7.5 7.5 3.8 13.4 20.2 6.23 12.6 101.9 8.9 7.5 3.77 49.8 S21 18.9 0.2 6.2 5.1 8.9 10.0 8.9 0.7 2.37 3.6 3.3 0.0 0.0 3.8 0.0 0.0 0.2 1.3 0.67 1.6 0.0 1.3

8.2 6.7

2.4 2.0

0.0

1.4 2.8

0.9 4.1 3.4

0.4 1.7

0.5 2.5

13.1

6.6

4.5

4.1

3.8

0.0

11.6

5.9

2.5

4.0

3.6

3.4

8.5

0.0

0.2

0.0 0.0

9.9 9.9

0.1 5.0 5.0

0.1 2.1 2.1

0.1 3.4 3.4

0.1 3.1 3.1

0.1 2.9 2.9

0.2 7.2 7.2

0.1 2.2 2.2

4.9 17.5 26.4 8.15

2.5 8.89 13.4 4.13

1.0 3.7 5.6 1.72

1.7 6.06 9.1 2.82

1.5 5.47 8.2 2.54

1.4 5.14 7.7 2.39

3.6 | 12.8 | 19.3 | 5.96

0.0 0.06 0.1

1.1 3.88 5.8

16.6 133.4

8.4 67.6

3.5 28.2

5.2 41.6

4.8 39.1

0.5

5.7 46.1

12.1

11.6 9.9 4.94 65.2

5.9 5.0 2.5 33.1

2.5 2.1 1.04 13.8

4.0 3.4 1.71 22.5

3.6 3.1 1.54 20.3 3.4 2.9 1.45 19.1

8.5 7.2 3.61 47.7

0.0 0.02 0.22

表 1.3.6 ミドリイシ属被度(%)とミドリイシ属定着密度(/100 cm²)の積(2015 年度)

24.7 0.2

12.5 0.1

5.2 0.1

8.5 0.1

7.7 0.1

7.2 0.1

18.1 0.2

S23

S24

S25

S26

S27

S29

S30

Ac定着密度(/10²cm)

0.2 3.2

0.1 1.6

0.1 0.7

0.1 1.1

0.1 1.0

0.2 2.3

0.0 0.0

2.4 0.1 0.9

1.8 0.1 0.7

4.1

2.8

2.5

6.7 11.6

3.4

2.3 4.0

2.1 3.6

2.0 3.4

4.9

0.0 0.0

2.5

27.9 23.0

5.9 4.9

8.7 7.2

20.4 16.8

0.1 0.1

6.2 5.1

9.6 7.9 0.1

8.2 6.7 0.1

0.1

5.9 14.1 11.6 0.1

0.2 0.2

0.1 0.1

0.1 0.1

0.1 0.1

0.1 0.1

0.1 0.1

0.2 0.2

0.0 0.0

0.1 0.1

1.7

0.6 2.8 2.3

0.5

1.3 6.0 4.9

0.0

0.1

^{5.5 0.1} 注1) 定着密度0には0.01を与え積算した。

注2) 各セルには数値の大きさに応じて色彩グラデーションを与えた。

2) サンゴ群集の生残と成長

幼生定着から稚サンゴとなり、ミドリイシ属では $1 ext{ }$ F 月後には褐虫藻を獲得している(図 1.3.6)。定着から再生産可能な成体になるまでの期間は移植サンゴ(ハナガサミドリイシ)の例では5 年である。そこで、この間の群体数の生残状況を解析した。



図1.3.6 定着1ヶ月後のミドリイシ属(長径約1mm)

i) 定着1年後の生残要因

図 1.3.7 に各調査地点のミドリイシ属幼生定着密度 (/100 cm²) と翌年のミドリイシ属 1 年生稚サンゴ密度 (/m²) の関係についての散布図を示した (定着密度は/m² に換算した)。各地点を大きく分けると A 群~E 群の 5 群に区分できる (表 1.3.7)。

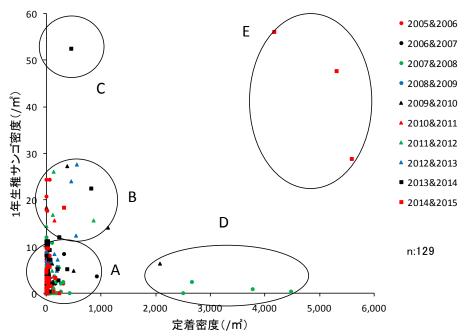


図 1.3.7 ミドリイシ属幼生定着密度と翌年のミドリイシ属 1 年生稚サンゴ密度の関係

A 群は、定着密度が小さく(10 群体/100 cm以下; 1,000 群体/m以下)、稚サンゴ密度 も小さい(概ね10 群体/m以下)。調査地点の大半がこの群に属する。B 群は、定着密度 は小さいが(概ね10 群体/100 cm²; 1,000 群体/m²以下)、稚サンゴ密度は10~30 群体/m² でやや大きい。礁湖北部に多く、北礁礁縁(S27)、竹富島北礁縁(S28)が典型的で、ヨ ナラ水道 (S7) のような水路部等が含まれる。比較的稚サンゴの生残が良好な場所である。この傾向をさらに大きくしたのが C 群で、竹富島北礁縁 (S28) の 1 地点である。D 群は、定着密度は大きいが (10 群体/100 cm以上; 1,000 群体/m以上)、稚サンゴ密度が低い (10 群体/m以下)。S26 を除いて、もともと加入は小さい地点で、加入の条件が良好な年であったと考えられる。E 群は定着密度、稚サンゴ密度ともに極めて大きい。礁湖北部に位置する地点で、大きな撹乱を受けなかったことと撹乱に強いことが考えられる。

区分 С 調査年 В D Е 2005-2006年 S1-S13、S15-S25、S29-S30 S14、S26-S28、S31 2006-2007年 S1-S31 2007-2008年 S2、S5-S30 S1、S3-S4、S31 2008-2009年 S1-S31 2009-2010年 S1<u>-S25</u>, S27, S31 S28、S30 S26 2010-2011年 S1-S27, S29-S31 S28 2011-2012年 S7, S28, S30 S1-S6, S8-S27, S29, S31 2012-2013年 S1-S26, S28-S31 S27 2013-2014年 S1-S26、S29-S31 S27 S28 2014-2015年 S7 S1-S6、S8-S25 S26-S28

表 1.3.7 図 1.3.7 に示した調査地点群

このように北礁礁縁の地点は加入も良好で、1年生稚サンゴの生残も良好であるといえる。そこで、北礁礁縁に加入したサンゴが再生産可能な成体サンゴまで成長する割合を解析した。

ii) 定着から成体サンゴまでの生残率

図 1.3.8 に北礁礁縁 3 調査地点における定着後のミドリイシ属密度の変遷を示した。 恒久調査区における主な出現ミドリイシ属はクシハダミドリイシ、コユビミドリイシ、 ハナガサミドリイシである。

定着板への定着密度、調査地点付近海底における1年生稚サンゴ密度、調査地点恒久枠内長径5cm未満サンゴ(定着後2-3年)密度、同長径5cm以上サンゴ(定着後3-4年以上;成体)密度を示したものである。1年生稚サンゴは定着板の次年度データ、長径5cm未満サンゴは1年生稚サンゴの次年度データ、成体サンゴは長径5センチ未満サンゴの次年度データを示した。

図 1.3.8 に示した 3 地点の 3 系統のデータから得られた平均生残率は、定着から 1 年生稚サンゴが 0.8%、一年生稚サンゴから長径 5 cm未満サンゴが 46.8%、長径 5 cm 未満サンゴから成体サンゴが 232.9%であった。長径 5 cm未満サンゴより成体サンゴの 方が多いのは、調査期間以前から生息しているサンゴを含んでいるためである。

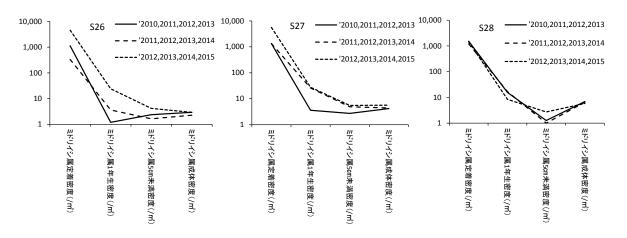


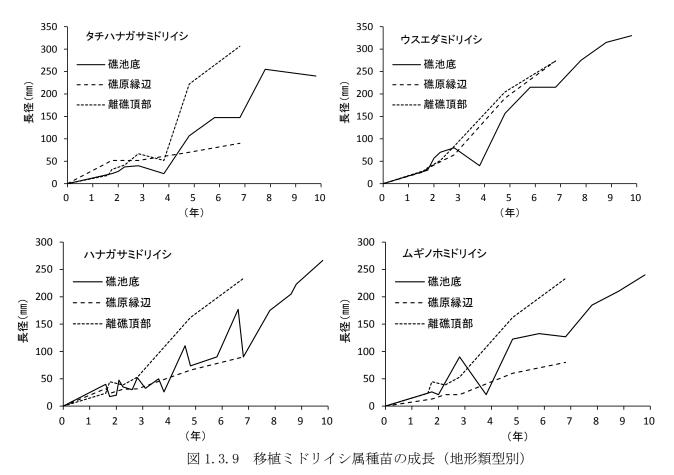
図 1.3.8 ミドリイシ属密度の変遷

この結果、定着したミドリイシ属サンゴが定着 2~3 年後のサンゴに成長する割合は約0.4%と推定できる。したがって、その後の減耗が0としても成体に達するサンゴ群体数は定着群体数の約0.4%となる。

石西礁湖竹富島北側礁縁で、0kamoto et al. (2016)が3種のミドリイシ属群体 (クシハダミドリイシ、コユビミドリイシ、ハナガサミドリイシ)を計719群体識別し、定着後1年から5年まで2系統で追跡した結果では、定着後1年から2年の平均生残率は35.8%、同2年から3年50.7%、同3年から4年62.0%、同4年から5年75.0%であった。また1年から5年8.3%であった。本解析結果と比較すると、定着後1年から2、3年が46.8%であったので、本解析結果は0kamoto et al. (2016)とほぼ同程度である。

定着板への定着と自然の海底への定着では条件が異なるので、同一ではなく、また、定着板のサンプリングは定着約3ヶ月後に行われるため、実際の定着量より低いと思われるが、定着板着床密度を加入とすると、前述の通り1年後の生残率は0.8%と推定される。この数字に0kamoto et al. (2016)の定着後1年~5年の生残率8.3%を加味すると、北礁礁縁におけるミドリイシ属の定着5年後の生残率は0.07%となる。

石西礁湖における移植サンゴ (ハナガサミドリイシ) の再生産を確認した群体長径は 15 cmであった。石西礁湖における移植コリンボース型ミドリイシ属が長径 15 cmに達したのは概ね定着後 5 年である (図 1.3.9)。上述の 0kamoto et al. (2016)の天然ミドリイシ属 3 種でも、成長の速い群体では定着後 5 年で 15 cmに達している。GBR におけるミドリイシ属の生物学的最小形に達するまでに要する期間は 3~5 年とされている (Wallace 1985)。



(着床具への定着時の長径は 0.2 mmとした。複数年の種苗データを統合した。種によりデータ数が異なる)

再生産可能なサイズのミドリイシ属群体(長径 15 cm)が高被度(50%以上、5,000 cm/ m²以上)で生息するには、長径 15 cm (面積約 180 cm²)の群体が28 群体/m² (5,040 cm²)必要となる。そのためには、 $28\div0.0007=約40,000$ 群体/m²の加入が必要である。40,000 群体/m²の加入は、加入の多い北礁礁縁の3地点でも2005年~2015年の10年間において2014年の1回だけであり、多くはない。

なお、サンゴ幼生着床具による種苗生産と比較すると、2008 年度~2014 年度産卵期における北礁礁縁での設置着床具へのミドリイシ属平均定着数は2.1 群体/1 着床具(定着約3ヶ月後サンプリング)であった。約2年後(移植時)のミドリイシ属平均採苗率(2009年度~2014年度)は24.9%(サンゴの付いた着床具数/設置着床具数×100)であった。定着約2年後の定着数を0.249群体とすると、平均生残率は0.249/2.1=0.12となる。また、2008年2月に石西礁湖黒島東礁池に移植したミドリイシ属52群体(定着約2年後、多くはコリンボース型ミドリイシ属)の移植3年後生残率は20%であった。したがって、定着5年後の生残率は2.4%と推定される。天然ミドリイシ属の生残率0.07%と比較すると移植ミドリイシ属のそれは二桁高い値となる。この理由は、定着初期の生残率が大

きく影響している。天然サンゴの対象種がクシハダミドリイシ、コユビミドリイシ、ハナガサミドリイシと主として浅所生息種で、移植サンゴは主にハナガサミドリイシ、タチハナガサミドリイシ、ムギノホミドリイシ、ウスエダミドリイシ (移植サンゴの採苗水深がやや深いため)と主として前者よりも深い場所の生息種を対象としているため、両者を厳密には比較できないが、定着初期の生残率の比較には有効と考えられる。

なお、被度 50%以上のサンゴ群集は移植サンゴの場合(ほぼミドリイシ属)、着床具種苗 10 個/㎡で、最も成長の良好な場所で 7 年後に達成している(図 1.3.10)。

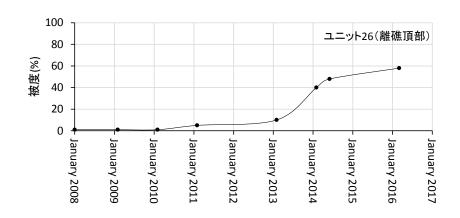


図1.3.10 移植サンゴ被度の変化(黒島東礁池)

iii) 群集の生残要因

高被度ミドリイシ属群集が形成される条件として、まず加入が重要であることは疑いないが、高密度加入(1.0 群体/100 cm以上)が高被度群集(被度 50%以上)にどのように結びつくかを各地点における定着板ミドリイシ属定着密度と定着 5 年後のミドリイシ属被度との関係から検討した(図 1.3.11)。

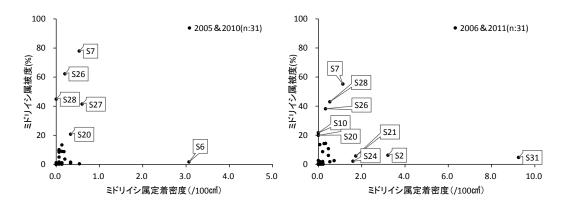


図1.3.11(1) ミドリイシ属定着密度と5年後ミドリイシ属被度(数字は地点番号)

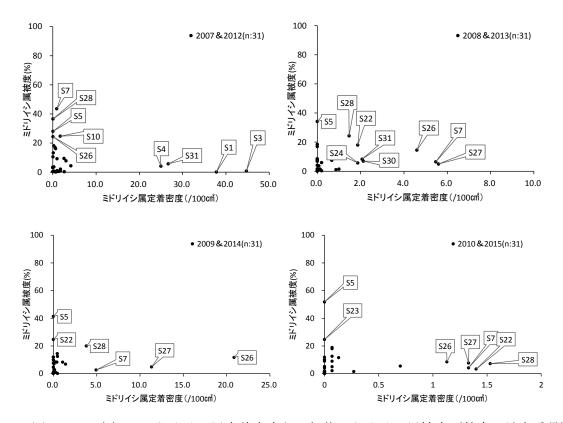


図1.3.11(2) ミドリイシ属定着密度と5年後ミドリイシ属被度(数字は地点番号)

2005 年、2006 年定着では、礁湖北部の S7 (ヨナラ水道)、S26 (カヤマ水路口)、S27 (北礁礁縁)、S28 (竹富島北礁縁)の4地点は、加入は小さいが、撹乱が少なく、生残・成長が良好であることが示唆される。モニタリングサイト 1000 サンゴ被度調査結果からも S7 が 2007 年白化の影響を受けたが、その後は被度が増加し、礁湖北部の地点では 2007 年白化の影響を受けず、サンゴ被度が増加したことがわかる。

一方、S6 (ウラビシ礁湖)、S31 (黒島西礁縁) は、加入は大きいが、生残・成長を阻害する撹乱要因があったと思われる。これらの地点は、2007 年白化の影響を強く受けサンゴ被度が低下したことが、モニタリングサイト 1000 調査結果からわかる。定着サンゴも影響を受けたと考えられる。

2007 年定着でも、S7、S28 に 2005 年、2006 年と同様の傾向がみられた。一方、S1 (新城島下地礁池)、S3 (黒島東礁池) S4 (黒島東礁縁)、S31 では加入は大きいが、生残・成長を阻害する撹乱要因があったと思われる。これらの地点は 2007 年白化の影響によりサンゴ被度が急減し、回復が進んでいないことがモニタリングサイト 1000 調査結果から判明している。定着サンゴモ白化の影響を受けたと考えられる。

2008 年定着では、S7、S26、S27 は、加入は大きいが、被度が低い結果であった。S7、S26 では 2010 年頃から増加したオニヒトデ食害、S27 では 2008 年頃からのサンゴ病気の影響と考えられる (モニタリングサイト 1000 調査結果)。

2009 年定着でも、S7、S26、S27 では 2008 年定着と同様の傾向がみられた。なお、S5 (ウラビシ礁縁) は、2007 年~2009 年定着で、加入は小さいが、生残・成長が良好な結果を示した。モニタリングサイト 1000 調査結果でも順調なサンゴ被度の増加が認められる。

3) サンゴ群集の衰退

加入が成功し、大きな撹乱を受けなかった場合、サンゴ群集被度が増加し、多くの地 点ではミドリイシ属が優占すると考えられる(図 1.3.12)。撹乱を受けると群集は衰退し、 構造も変化する。石西礁湖における被度による群集構造経年変化を図 1.3.13 に示す。サ ンゴ礁地形により、区分した地点毎にまとめたものを表 1.3.8 に示す。また、H27 年度業 務で作成した構成割合の変化を図 1.3.14 に示す。

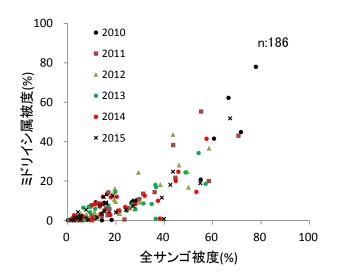


図1.3.12 調査地点におけるミドリイシ属と全サンゴの被度

表 1.3.8 高被度(50%以上)群集の構造変化

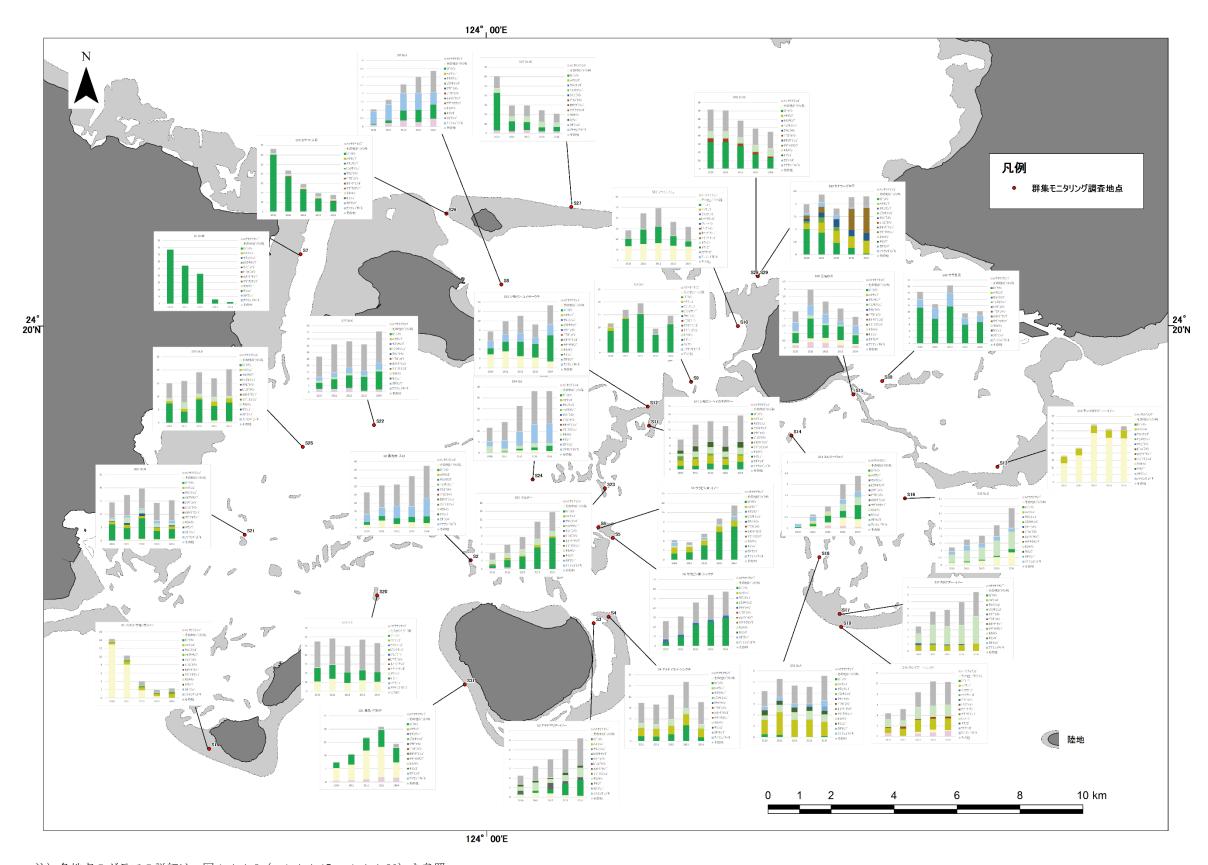
地形類	St.	場所	高被度時優占種	構成割合の変化
型				
離礁	S20	黒島-	ノリコモンサンゴ、コユビミドリイ	被度は安定しているため、ノリコモンサンゴ(1
		新城	シ、クシハダミドリイシ、オヤユビミ	位)ほかの割合が安定している。
		島	ドリイシ、ハナガサミドリイシ	
水路斜	S7	ヨナ	コエダミドリイシ、トゲスギミドリイ	被度の減少に伴い、コエダミドリイシ(1位)
面		ラ水	シ、スギノキミドリイシ	の割合が減少し、トゲスギミドリイシ(2位)
		道		の割合が増加。
	S5	ウラ	クシハダミドリイシ、トゲスギミドリ	被度の増加に伴い、クシハダミドリイシ(1位)
		ビシ	イシ、スゲミドリイシ、ハナガサミド	の割合が顕著に増加。
			リイシ、ヤスリサンゴ、マルヅツミド	
			リイシ	
	S26	カヤ	クシハダミドリイシ、コユビミドリイ	被度の減少に伴い、クシハダミドリイシ(1位)
		マ水	シ、ハナガサミドリイシ、トゲスギミ	の割合減少傾向。コユビミドリイシ、ハナガサ
礁縁		路入	ドリイシ	ミドリイシの割合は減少。トゲスギミドリイ
		口		シ、カメノコキクメイシの割合は増加。
	S27	北礁	コユビミドリイシ、クシハダミドリイ	被度の減少に伴い、コユビミドリイシ(1位)、
			シ、ハナガサミドリイシ、カメノコキ	クシハダミドリイシの割合は減少。
			クメイシ、コカメノコキクメイシ	
	S28	竹富	クシハダミドリイシ、ハナガサミドリ	被度の減少に伴い、クシハダミドリイシ(1位)
		島北	イシ、コユビミドリイシ、アザミサン	の割合が減少傾向。ハナガサミドリイシ、コユ
		礁	ゴ、オオリュウキュウキッカサンゴ	ビミドリイシもやや減少傾向。

高被度時の優占種は、離礁や礁縁ではクシハダミドリイシ、水路では枝状ミドリイシであるが、被度の変化は、離礁や礁縁ではクシハダミドリイシの消長によるところが大きい傾向がある。コユビミドリイシ、ハナガサミドリイシも付随して同調する傾向がある。

低被度時には、離礁や礁縁ではコモンサンゴ属、ハマサンゴ属、キクメイシ科等の被 覆状のサンゴが残ることが多く、これらが優占種となる。水路では、コエダミドリイシ の割合が減少しても、トゲスギミドリイシやスギノキミドリイシの割合が増加する場合 もみられる。礁池では、マルヅツミドリイシ、オオヅツミドリイシの割合が高いが、被 度の増加に伴い、枝状ミドリイシの割合が増加すると思われる。

優占種となる枝状や卓状のミドリイシ属は成長が早いため、撹乱がなければ時間とともに卓越する。一方、被覆状、塊状のサンゴは成長が遅いため、経時的に卓越することはないが、撹乱に強い傾向があるため、低被度時に優占する。特に高水温に対し、ハマサンゴ科、キクメイシ科、オオトゲサンゴ科のように厚い組織を有する種は白化しにくい(Marshall & Baird 2000)。これらの種の被度の経年変化を図 1.3.15(1.3.25p)に示した。全サンゴ被度の増減にかかわらずほぼ一定の割合を保ち、変化が少ないことがわかる。

次に石西礁湖の代表的なミドリイシ属で、群集構造を支配するクシハダミドリイシの 成長について、解析することとする。



注) 各地点のグラフの詳細は、図1.4.4.8 (p.1.4.4.15-p.1.4.4.30) を参照

図 1.3.13 優占種被度経年変化

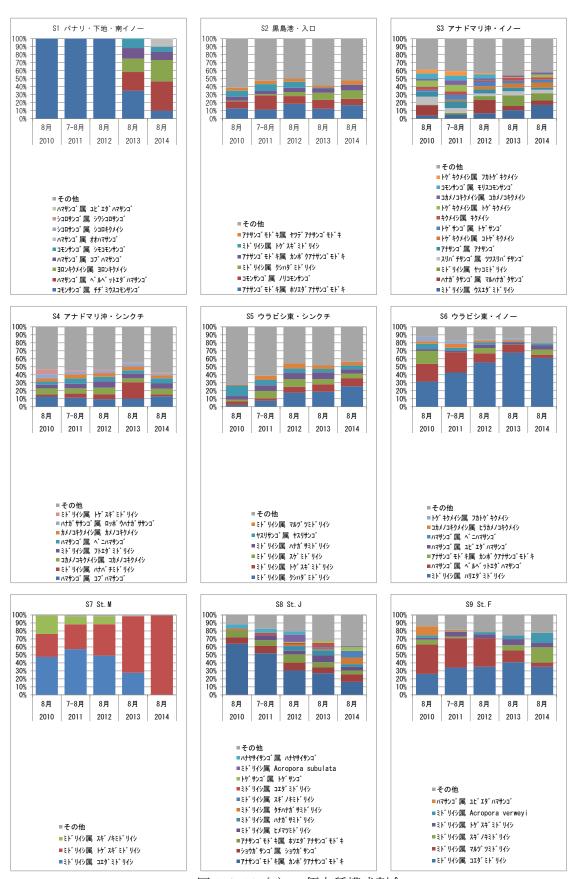


図 1.3.14(1) 優占種構成割合

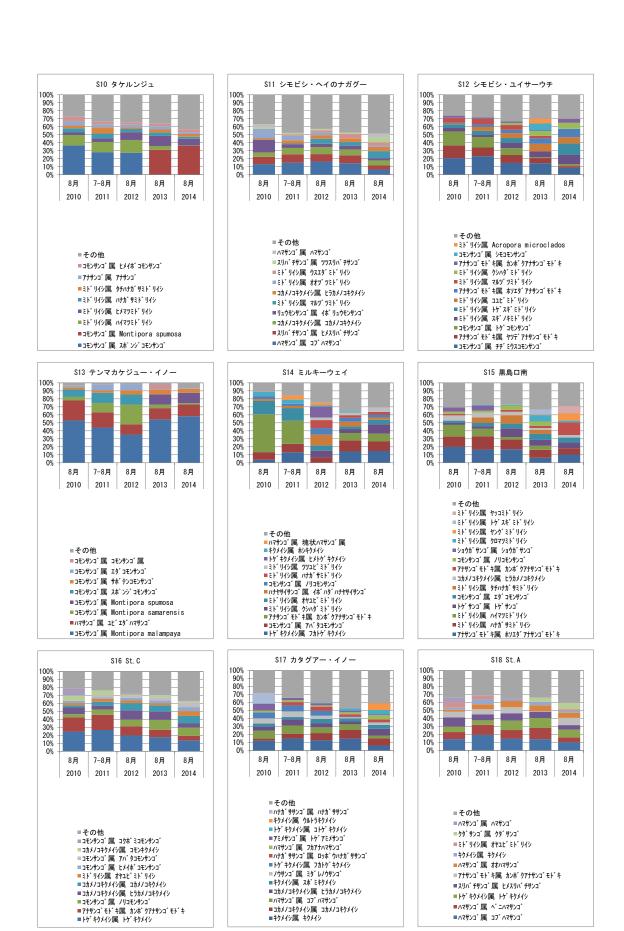


図 1.3.14(2) 優占種構成割合 1.3.23

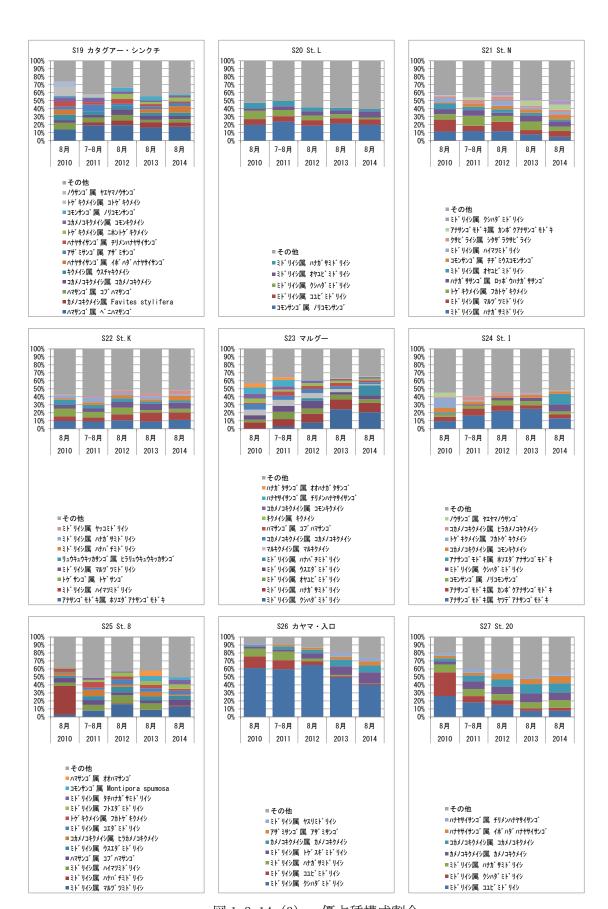
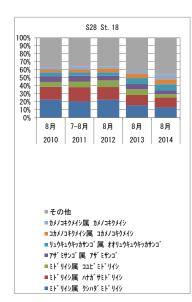
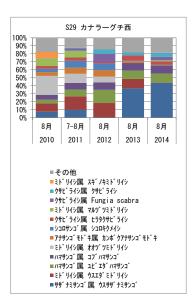
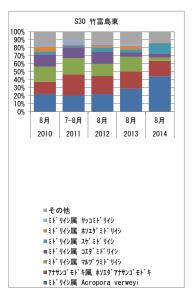


図 1.3.14 (3) 優占種構成割合







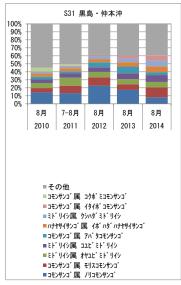


図 1.3.14(4) 優占種構成割合

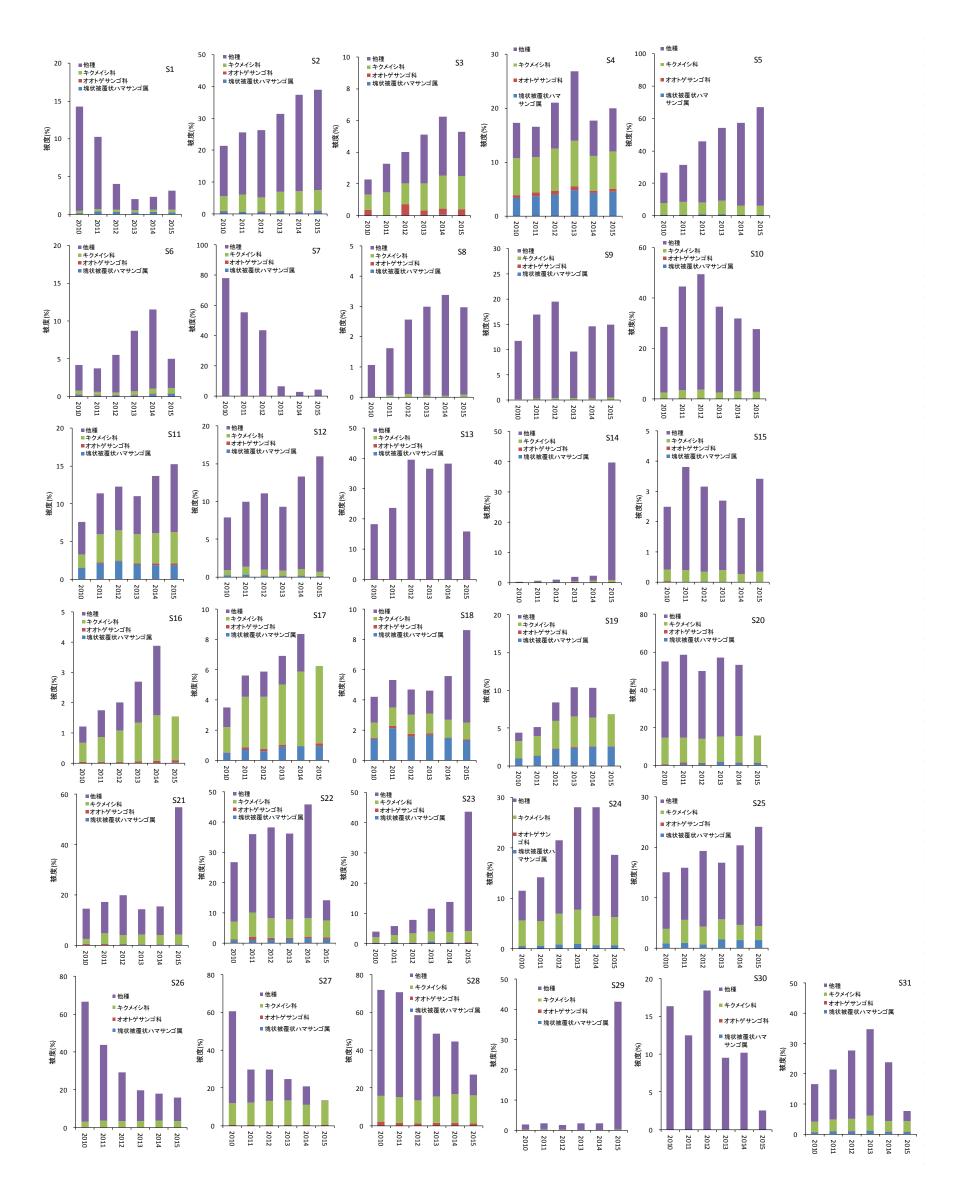


図1.3.15 塊状、被覆状サンゴの被度経年変化

4) 卓越種の成長

石西礁湖に広く分布する離礁、礁縁の浅所に卓越して生息するのはクシハダミドリイシである。石西礁湖を代表する種といってよく、かつての石西礁湖には干潮時に見事な景観を呈する場所が多くみられた(図 1.3.16)。



図 1.3.16 干出したウラビシ礁原 (1977 年 5 月、遠景は西表島)



図 1.3.17 衰退したウラビシ礁原 (2011年3月)

しかし、浅所に生息するため、高水温の影響を受けやすく、白化による群集の盛衰が大きい特徴がある(図 1.3.17)。石西礁湖を礁縁・水路口(S4、S5、S19、S26、S27、S28、S31)、水路(S7、S10、S11)、礁湖・礁池(離礁)(S1、S2、S3、S6、S8、S9、S12、S13、S14、S15、S16、S17、S18、S20、S21、S22、S23、S24、S25、S29、S30)の環境類型に区分し、環境類型ごとにクシハダミドリイシの群体長径を経年的に示した(図 1.3.18)。データは調査定点(31 地点)において、25 分間潜水中に測定された群体測定値である。

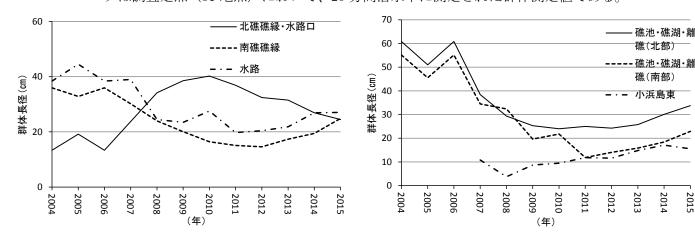


図 1.3.18 環境区分別クシハダミドリイシ群体平均長径(cm)経年変化

礁縁では、南礁で2007年の高水温の影響により群体の長径は減少したが、北礁では逆に増加を見せており、モニタリングサイト1000データの解析結果と一致している。近年の減少傾向は病気の影響(環境省自然環境局生物多様性センター 2012)及び台風による破壊によるものと考えられる(環境省自然環境局生物多様性センター 2013)。水路では南礁と同様の傾向を示した。

礁池・礁湖では、2007 年高水温の影響を受けたが、北部は南部に比べ、軽微で、回復も早かったことがうかがえ、これもモニタリングサイト 1000 データ解析結果と一致した (p.1.1.3、図 1.1.3)。小浜島東礁湖では、わずかに増加傾向がみられるものの低被度で推移している。礁湖の北部は S9、S12、S22、S26 で、南部はそれ以外の地点である。

2010 年~2015 年におけるクシハダミドリイシ群体平均長径とミドリイシ属平均被度 (図 1.3.19) 及び長径 30 cm以上平均群体数とミドリイシ属平均被度 (図 1.3.20) を示す。なお、クシハダミドリイシは長径 30 cmで成熟することがわかっている (野島 未発表)。

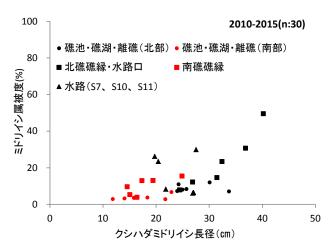


図 1.3.19 クシハダミドリイシ平均長径 (cm) とミドリイシ属平均被度(%)

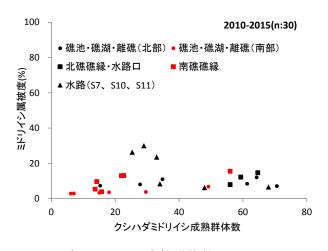


図 1.3.20 クシハダミドリイシ成熟群体数とミドリイシ属平均被度(%)

礁縁では、クシハダミドリイシ長径とミドリイシ属被度の相関が明瞭で、クシハダミドリイシ群体の成長にミドリイシ属被度が依存している。すなわちクシハダミドリイシが卓越して分布する。一方、その他の環境では、相関は明瞭でなく、クシハダミドリイシ以外の種、コリンボース状や枝状ミドリイシがミドリイシ属被度の形成に関わっていると思われる。また、北礁礁縁・水路口のクシハダミドリイシは 2007 年白化の影響を受けていないが、南礁や礁湖南部の本種は白化の影響を受けていることがこの図からもうかがえる。

クシハダミドリイシ成熟群体数とミドリイシ属被度の間には、礁縁ではわずかに相関が みられるが、その他では明瞭な相関はみられない。長径の場合と同様にクシハダミドリイ リ以外の種がミドリイシ属被度の形成に関わっていると考えられる。

引用文献

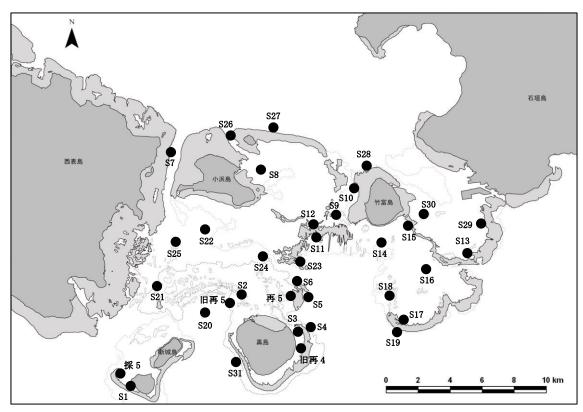
環境省那覇自然環境事務所(2005)石西礁湖自然再生マスタープラン,79pp.

- 環境省自然環境局生物多様性センター(2012)平成23年度西表石垣国立公園石西礁湖及びその近隣海域におけるサンゴ礁モニタリング調査報告書.
- 環境省自然環境局生物多様性センター(2013)平成24年度西表石垣国立公園石西礁湖及び その近隣海域におけるサンゴ礁モニタリング調査報告書.
- Marshall PA, Baird Ah (2000) Bleaching of corals on the Great Barrier Reef, a differential susceptabilities among taxa, Coral Reefs 19:155-163.
- 灘岡和夫(未発表資料)石西礁湖の海水流動と水温環境、幼生・物質輸送に関する現地調査と数値シミュレーション。
- 灘岡和夫・三井 順・濱崎克哉・波利井佐紀・田村 仁・鈴木庸壱(2003)沖縄・石西礁 湖における海水流動構造および濁質・淡水・熱輸送特性に関する現地観測. 海岸工学 論文集, 50:1036-1040.
- Okamoto M, Nojima S, Fujiwara S, Saito T (2016) Monitoring of the in situ growth of three *Acropora* corals by individual identification over 5 years at the northern outer reef of Sekisei Lagoon (24° N), Okinawa. Fish Sci, 82:905-913.
- Wallace CC (1985) Reproduction, recruitment and fragmentation in nine sympatric species of the coral genus *Acropora*. Mar Biol 88:217-233.

付. サンゴ群集モニタリング調査マニュアル

I. 調査地点

石西礁湖に設定された調査定点 31 地点及び過年度移植地点 4 地点の計 35 地点 (図①)



図① サンゴ群集モニタリング調査地点

Ⅱ. 調査頻度

年1回

Ⅲ. 調査方法

Ⅲ.1 サンゴ群集

(i)調査区の設定

調査定点については、従来の調査区 $(10m \times 1m)$ を含みながら本調査の面積に拡大した ため調査測線は 10m となっており、その片側に 1m 幅、反対側の片側に 2m 幅の調査区、すなわち $10m \times 3m$ の矩形を調査区として設定している。

過年度移植地点については、移植区域を設定した海域において、その海域のサンゴ群集の代表的地点に 15m の調査測線を設定し、測線の両側各 1m、すなわち 15m×2m の矩形を調査区として設定している。

調査は 1m×1m の方形枠を用いて、30 枠について、下記の項目の測定を行うとともに、

枠内の撮影を行い、調査区の状況を記録した。また、方形枠内の造礁サンゴ類の同定に用いるため、必要に応じて1m×1mの枠を4分割した50cm×50cm枠の写真も撮影した。なお、調査測線の起点、中間点、終点には、鉄杭あるいは塩ビパイプによるマーカーを設置した。

(ii) 調査項目とそのねらい

- ① 水深、底質類型:サンゴ群集の群集構造に関わる生息域の状況(条件)を把握する
- ② サンゴ被度、死サンゴ被度:サンゴ群集の現存量、撹乱等による消失量をはかる
- ③ サンゴ種別被度:サンゴ群集の群集構造を把握する
- ④ 稚サンゴ属別出現数(長径 5cm 未満の群体): 4~5 年以内に加入した新規サンゴの量を推定する
- ⑤ サンゴ種別群体数(長径 5cm 以上の群体): サンゴ群集の現存量の目安(枝状 サンゴの場合は、群体の区別が困難)
- ⑥ 植被(優占種及び被度):サンゴ群集と競合する海藻の現存量を把握する
- ⑦ サンゴ以外の主な表在底生生物の分布:周辺海域の特徴を把握する
- ⑧ 白化現象、病気及びサンゴ捕食者等の分布:サンゴ群集の主要な撹乱である白 化現象、病気及び捕食者によるサンゴ群集への影響の程度をはかる

被度については、%で測定。但し5%未満は+、1%未満はrと記録した。

(iii) 算出根拠

①造礁サンゴ多様度指数

サンゴ種別被度の地点平均値を用いて、次式により各地点のシャノン・ウイーバー 多様度指数を求めた。

H' c=-Σpilnpi (pi=ni/N、ni:各種の被度、N:全種の被度)

②積算優占度

各地点における、サンゴ種別被度の平均値及びサンゴ種別出現頻度を用いて、次式 により積算優占度による優占種を求めた。

積算優占度 SDR=(被度比数+頻度比数)/2

[被度(頻度)比数とは、各地点において測定されたサンゴ種別被度(頻度)の最高値を100とした場合の各種被度(頻度)の比数]

③白化現象·病気

0:全くみられない

I:ほとんどみられない

Ⅱ:群体の白化・病変部 50%未満

Ⅲ:群体の白化・病変部 50%以上

Ⅳ: 群体のほとんどが白化・病変

Ⅲ.2 サンゴ幼生の定着量

(i)目的

定着直後のサンゴ幼体を確認することは非常に困難であるため、定着基盤をサンゴ礁上に設置し、これに定着した稚サンゴを計数する。この方法は、幼生が定着後、経時的に減耗するため、実際にサンゴ礁上に幼生が定着/加入した量のポテンシャリティ(潜在性)を反映したものとなるが、現実にその場所に多くの幼生が流れてきたことを示しており、同じ材質、同じ構造を使用することで、各調査地点の加入ポテンシャリティを比較することが可能となる。

(ii) 材料と方法

i) 定着板

定着板は市販コンクリートブロック(39cm長×19cm幅×19cm厚)上に3本のボルトを埋め、その3本のボルトに重ねて2枚の天草陶石製の定着板(10cm×10cm、厚さ1.3cm)を設置、ブロック表面と下の定着板の間隔、下の定着板と上の定着板の間隔をそれぞれ1cmになるようにナットで固定した(図②)。



図② 定着板設置状況

ii) 定着板設置

毎年、ミドリイシ属の一斉産卵が予想される5月満月の大潮前後に海底に設置した。各地点では、5つのブロック、合計30枚の定着板を設置し、石西礁湖全体では合計1,050枚の定着板を設置した。

iii) 定着板回収

設置された定着板は、サンゴ幼生の定着時期から約4ヶ月後の9月頃に回収した。回収した定着板表面に定着変態したサンゴ(生後約4ヶ月のサンゴ幼体)は、ミドリイシ属、ハナヤサイサンゴ科、その他の3グループに大別し、双眼実体顕微鏡下で定着板ごと、および、グループごとにその数をカウントした。

Ⅲ.3 1年生稚サンゴの加入量

(i)目的

前年度中に定着した1年齢(ただし、一旦縮小を経験した2齢以上の群体を含む可能性もある)と思われる稚サンゴのみの密度について、放卵放精型のミドリイシ属及び幼生保育型ハナヤサイサンゴ科の2つのグループの加入量を推定しつつ、その現状および傾向、場所間での変動の差を明らかにすることを目的としている。

(ii)調査方法

水深 2~9mのサンゴ礁上の底質上にできた空地(生きたサンゴやソフトコーラル等に 覆われていないテーブル状ミドリイシの遺骸骨格・岩盤あるいは海底に固着した礫塊) に 50cm×50 cm のステンレス製方形枠を各調査地点について 10 ヶ所置き、目視および 水中ルーペで枠内のミドリイシ属の1歳の稚サンゴおよび、ハナヤサイサンゴ科の1歳 の稚サンゴ数を計数した。

Ⅲ.4 クシハダミドリイシ個体群構造把握

(i)目的

石西礁湖で優占する卓状のクシハダミドリイシ(Acropora hyacinthus)は定着から7年前後で最大径が30cm に達しすると完全に成熟することがわかっており(野島、未発表)、最大径が30cm を超える群体の全体に対する比率や相対密度から幼生供給源としての相対的な重要性が把握できる。また、個体群構造(ここではクシハダミドリイシ群体のサイズ組成をいう)を調査することで、その地域における過去の撹乱の概要や回復過程を把握することが可能である。そこで本調査では、石西礁湖周辺でのクシハダミドリイシの最大直径を測定し、個体群構造の現状把握を行った。

(ii) 調査方法

i) 群体の測定方法

クシハダミドリイシの群体について、大小を問わず、調査地点周辺の全ての群体について、その最大直径を直接折尺で測定した。測定群体数の目安は 100 群体としたが、クシハダミドリイシの群体が全く見られない海域や、あっても数が少ない海域もあり、目標数が達成できない場合は、限られた時間内にできるだけ多くの群体を測定することと

した。

測定は1cm 単位で行い、測定後耐水紙に記録した。また、測定開始時間と終了時間を記録し、測定時間を得る事で相対密度を算出するための資料とした。

ii) 測定結果の分析

- ①クシハダミドリイシのサイズ計測に要した時間(25分間を基準とした)で、クシハダミドリイシの群体数を割り、単位時間(1分)あたりの相対密度を算出した。
- ②各地点の計測群体全体に対する成熟群体(最大直径が 30cm 以上の群体)の割合を百分率で算出した。
- ③最終的に各地点における単位時間あたりの相対密度(群体数/分)と成熟群体の割合を乗じ、成熟群体の相対密度を算出した。