

赤土堆積がサンゴに及ぼす影響 (第2報)

—サンゴの赤土堆積耐性について—

大見謝辰男・仲宗根一哉・満本裕彰・小林孝*

Effect of Accumulated Reddish Soil on Coral II

Tatsuo OMIJA, Kazuya NAKASONE, Hiroaki MITSUMOTO and Takashi KOBAYASHI

要旨：県内41地点において赤土堆積とサンゴの関係を解析した。赤土汚染の影響がほとんど見られない海域では、一般的にミドリイシ、ハマサンゴ、コモンサンゴ属を中心としたサンゴ群落が形成されている。赤土汚染が進行するほど、サンゴ全体に対する樹枝状ミドリイシ類の出現割合が減少し、その群体も小さくなる。他方でククメイシ科などの塊状サンゴの出現割合が相対的に増加する。赤土汚染が極端に進行すると、サンゴ全体の被度はかなり低下し、塊状サンゴが点在する光景となる。このような海域でも岩礁にミドリイシ類は着生するが、大きな群体を見つけることはできない。

大量の赤土流出が止り、サンゴが急速に回復に向かっている海域ではミドリイシ類が種類・数ともに優先する。カメノコククメイシ属、ハマサンゴ属は赤土堆積レベルとさほど関係なく幅広く分布している。ルリサンゴ属、ククメイシモドキは赤土堆積が著しい海域の指標サンゴとして有望である。

Key words : サンゴの赤土堆積耐性, SPSS, ミドリイシ, ハマサンゴ, ルリサンゴ, ククメイシモドキ

I はじめに

沖縄県や鹿児島県奄美諸島では、陸域の土壌侵食や河川・海岸線の工事などにより濁水がサンゴ礁の海へ流出し、サンゴ礁生態系に悪い影響を及ぼしている。濁水の発生は国頭マージとよばれる赤土のみならず、ジャーガルとよばれる灰色系の土壌やその母岩であるクチャ（泥岩）も著しい。ここでは、便宜上、これら土壌等を総称して赤土とよび、濁水流出による環境汚染を赤土汚染と称する。

沖縄県における海域の赤土汚染の評価手法は、底質中に赤土などの微粒子がどれだけ含まれているかを検査する底質中懸濁物質含量簡易測定法¹⁾（以下、簡易法と称す）が定着している。これは赤土堆積のめやすになり、単位は kg/m^2 で表される。実際の測定値と底質の外観などがよく一致しており、1983年からの県内各地における測定実績は数千件に及ぶと見積もられる。

前報²⁾では、底質中懸濁物質含量（以下、SPSSと称す。SPSS: content of suspended particles in sea sediment）と生サンゴ被度（以下、被度と称す）の分布の関係や、サンゴの赤土堆積耐性評価の試みを紹介した。今回はこれに新たなデータを加えて再解析し、赤土堆積レベル別のサンゴ構成を求めた。また、サンゴの赤土堆積耐性も再評価した。さらにその評価手法に基づき、石垣島白保海域のサンゴ相から赤土汚染状況を類推したので報告する。

II データの収集

赤土が流出し風当たりの強い礁池（イノー）では、赤土の堆積と波浪による堆積物の再移動という年間サイクルが観察され、大宜味村平南（へなん）海域ではSPSSが $10^{-1} \sim 10^3 \text{ kg}/\text{m}^2$ の幅で変動することもある²⁾。SPSSの最高値・ SPSS_{MAX} は、被度の上限を決定づけ、出現サンゴの構成にも大きな影響を及ぼしている¹⁾。

このため、既存の調査報告書³⁾⁻⁹⁾で、サンゴが種まで分類され、かつ赤土堆積のピークが類推できるものを抽出し、また、新たな調査も加えて前報のデータに加えた。赤土堆積ピーク類推方法を表1に示す。なお、出現サンゴ種は方形枠（コドラード）調査では全種、比較的広範囲の調査では卓越しているのを数種リストアップした。また、同一地点で調査されたものは合成した。

その結果、県内5機関が1987~1998年の11年間に沖縄島、阿嘉島、座間味島、宮古島、石垣島、西表島沿岸の計22海域、41地点において調査した、13科、27属、75種（分類が困難なものは類、属）のべ325件のサンゴ出現情報を得た（表2）。調査海域を図1に示す。

III 解析方法と結果

1. 調査地点の分類

調査地点を SPSS_{MAX} の値でI~IVの4類型に分けた。類型Iは $\text{SPSS}_{\text{MAX}} < 30 \text{ kg}/\text{m}^2$ で、赤土汚染の影響がほとんど見られないバックグラウンド的地点と評価される。

類型IIは $30 \leq \text{SPSS}_{\text{MAX}} < 50 \text{ kg}/\text{m}^2$ で類型Iに比べてややSPSSが増加し、軽微な赤土汚染またはこれと同等な底

*：サンゴ礁保護研究センター

表1. 赤土堆積ピークの類推方法. 一般的に海底の赤土堆積は季節変動があるので, サンゴとの関連を調査する時は赤土堆積のピークを把握することが不可欠である.

赤土堆積ピークの類推方法	SPSS _{MAX}	調査機関	地点数
長期の定点観測のSPSS最高値	実測値	沖縄県環境保全室 ³⁾⁻⁵⁾	22
前報 ¹⁾ のSPSSと被度の分布図*	実測値	石垣市水産課 ⁶⁾ ・衛生環境研究所	3
調査時期**	実測値	衛生環境研究所	3
SPSSが200kg/m ³ 以上***	実測値	公害衛生研究所	1
簡易法による目視とSPSSの関係****	400kg/m ³	沖縄県企画開発部 ⁷⁾⁸⁾	5
状況等よりバックグラウンドト判断*****	12.7	WWF-J ⁹⁾ ・衛生環境研究所	7

備考 * 分布境界線あたりは, その被度レベルにおけるSPSSの最高値とみなせる.
 ** 一般的に, 梅雨後で台風来襲前は赤土堆積がピークになる.
 *** 赤土の堆積状況がピークに近いものと判断した.
 **** 文献の「赤土は厚く堆積し」という状況は簡易法のランク8 (SPSS \geq 400kg/m³) に相当.
 ***** バックグラウンド4地点のSPSS_{MAX}の平均12.7kg/m³を与えた.

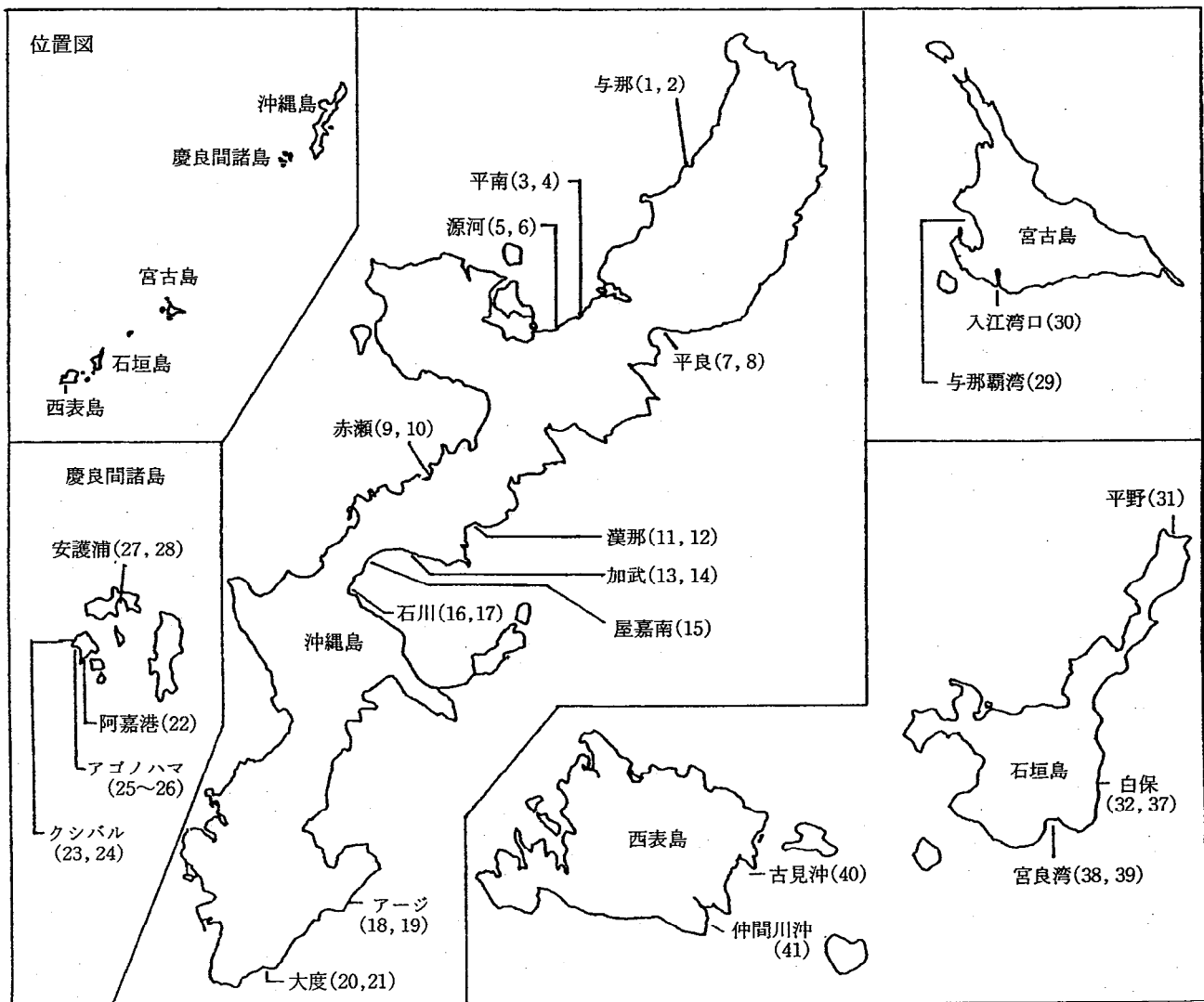


図1. 調査海域. () 内の数字は表2の地点.

表2. 調査地点の概要.

No.	地点名	市町村	調査期間	SPSS _{MAX} kg/m ²	サンゴ 種数	記録された主なサンゴ種(類・属)
1	与那A	国頭村	95/09 - 96/04	5.2	5	ハナヤサイサンゴ類、被覆状コモンサンゴ類
2	与那D	国頭村	95/09 - 96/04	42.9	4	塊状ハマサンゴ類、キクメイシ科の小群体
3	平南A	大宜味村	95/09 - 98/03	422	5	塊状ハマサンゴ類、キクメイシ属、ミドリイシ属
4	平南D	大宜味村	95/09 - 98/03	91.4	8	キクメイシモドキ、ヘラジカハナヤサイサンゴ、ショウガサンゴ
5	源河A	名護市	95/09 - 98/01	127	18	ショウガサンゴ、ウスエダミドリイシ、トゲキクメイシ属
6	源河D	名護市	95/09 - 98/01	126	27	ショウガサンゴ、クシハダミドリイシ、ハナヤサイサンゴ
7	平良A	東村	95/09 - 98/03	918	17	コブハマサンゴ、ユビエダハマサンゴ、キクメイシモドキ
8	平良D	東村	95/09 - 98/03	168	10	被覆状コモンサンゴ属、ショウガサンゴ、塊状アナサンゴ
9	赤瀬A	恩納村	95/09 - 98/03	44.5	24	多種の枝状ミドリイシ類
10	赤瀬C	恩納村	95/09 - 98/03	34.1	22	多種の枝状ミドリイシ類
11	漢那A	宜野座村	95/09 - 98/03	1260	3	カメノコキクメイシ、キクメイシモドキ、塊状ハマサンゴ類
12	漢那D	宜野座村	95/09 - 98/03	134	5	カメノコキクメイシ、コブハマサンゴ、ハナヤサイサンゴ
13	加武A	金武町	95/09 - 98/03	118	9	エダコモンサンゴ、トゲエダコモンサンゴ、チヂミウスコモンサンゴ
14	加武B	金武町	95/09 - 98/03	130	13	チヂミウスコモンサンゴ、エダコモンサンゴ、ルリサンゴ属
15	屋嘉南	金武町	不明	400	1	キクメイシモドキ
16	石川A	石川市	95/09 - 98/03	312	18	塊状ハマサンゴ類、塊状アナサンゴ類
17	石川C	石川市	95/09 - 98/03	305	6	塊状ハマサンゴ類、キクメイシモドキ、ルリサンゴ
18	アージA	玉城村	96/08 - 98/03	30.8	1	コブハマサンゴ
19	アージD	玉城村	95/09 - 98/03	104	3	コブハマサンゴ、ショウガサンゴ、被覆状アナサンゴモドキ類
20	大度A	糸満市	95/12 - 98/03	29.6	8	エダコモンサンゴ、塊状ハマサンゴ類、ユビエダハマサンゴ
21	大度B	糸満市	95/12 - 98/03	47.0	7	バリカメノコキクメイシ、ハナバチミドリイシ、カメノコキクメイシ属
22	阿嘉港	座間味村	94/09/21	30.8	1	スギノミドリイシ
23	クシバル	座間味村	95/09 - 98/08	25.1	7	ユビエダハマサンゴ、ヤツデアナサンゴモドキ、リュウキュウキッカサンゴ
24	クシバル沖	座間味村	98/08/12	6.2	10	枝状ミドリイシ類、コカメノコキクメイシ属
25	アゴノハマ	座間味村	95/09 - 98/08	4.9	12	枝状ミドリイシ類、クシハダミドリイシ、チヂミウスコモンサンゴ
26	アゴノハマ湾口	座間味村	94/09/21	36.4	12	枝状ミドリイシ類、コカメノコキクメイシ属
27	安護浦1	座間味村	98/08/12	18.5	11	エダコモンサンゴ、コブハマサンゴ、ホソエダアナサンゴモドキ
28	安護浦2	座間味村	98/08/12	24.7	11	フカアナハマサンゴ、シコロキクメイシ、リュウキュウノウサンゴ
29	与那覇湾	平良市	93/08/29	400	1	クボミハマサンゴ
30	入江湾口	下地町	93/08/21	400	1	ベニハマサンゴ
31	平野	石垣市	89/03/14	12.7	3	スギノキミドリイシ、オトメミドリイシ、ツツミドリイシ
32	イトマンジ-2	石垣市	89/08 - 09	12.7	11	スギノキミドリイシ、オトメミドリイシ、トゲサンゴ
33	三ツ石1	石垣市	89/08 - 09	12.7	3	塊状ハマサンゴ類、バリカメノコキクメイシ、フカアナハマサンゴ
34	三ツ石3	石垣市	89/08 - 09	12.7	4	エダコモンサンゴ、ウスコモンサンゴ、チヂミウスコモンサンゴ
35	イカグチ	石垣市	97/10/25	12.7	2	スギノキミドリイシ、チヂミウスコモンサンゴ
36	白保25	石垣市	89/03/13	12.7	8	エダコモンサンゴ、トゲエダコモンサンゴ、ユビエダハマサンゴ
37	ブーグチ	石垣市	97/10/24	12.7	3	アオサンゴ、ユビエダハマサンゴ、チヂミウスコモンサンゴ
38	宮良湾	石垣市	93/07/26	400	3	アオサンゴ、ユビエダハマサンゴ、バラオハマサンゴ
39	宮良湾M2	石垣市	89/03/18	119	4	シコロサンゴ、塊状ハマサンゴ類、バリカメノコキクメイシ
40	古見沖	竹富町	87/12/25	250	2	アオサンゴ、塊状ハマサンゴ類
41	仲間川河口沖	竹富町	93/07/29	400	2	タマヤスリサンゴ、キクメイシモドキ

質状況と評価される。

類型IIIは $50 \leq SPSS_{MAX} < 400 \text{ kg/m}^2$ で、一見して赤土が海底にかぶさっているのがわかり、底質を攪拌すると著しく赤土が再懸濁する。沖縄のサンゴ礁海域においては、明らかに人為的な赤土流出の影響があると判断される⁹⁾。簡易法ではいわゆるランク6~7に分類される。

類型IVは $400 \leq SPSS_{MAX} \text{ kg/m}^2$ で、周辺の海底は田んぼのように赤土に覆われていて砂が確認できない。簡易法ではランク8とよばれる状況である。類型別の地点数を表3に示す。

2. サンゴ出現情報の整理

調査地点のサンゴの分布状況を正確に表現するには、どの種がどれだけの被度を占めているかという情報が必要である。しかし、海中での調査には制約があり、この研究で引用した報告書の多く⁶⁾⁻⁹⁾も出現種の記載のみにとどまっている。このため、今回の解析では種ごとの被度は考慮せず、325件のサンゴ出現情報を属レベルで束ね、調査地点の類型別に整理して検討した(表4)。なおコモンサンゴ属、ハマサンゴ属は、種によって形状が変わり、赤土汚染の影響も異なることが予測されたので、塊状、被覆状、樹枝状、葉状に細分¹⁰⁾した。

全体では、最もサンゴ出現情報が多いのはミドリイシ属のべ81件で、全体の25%を占める。この属は、太平洋のサンゴ礁では最も種類数が多く、量的にも優先しているといわれている¹⁰⁾。続いて、ハマサンゴ属14%、コモンサンゴ属12%、キクメイシ属6%、ハナヤサイサンゴ属5%、と続いている。

また、これを科で束ねるとミドリイシ39%、キクメイシ26%、ハマサンゴ14%、ハナヤサイサンゴ10%と続きこの4科で全体の89%を占めている(表4)。

3. 調査地点類型別の出現サンゴ分布

調査地点類型別に、サンゴの出現情報を属単位で束ねその中で上位優先5位までの出現割合を表5に示した。類型I~IVの状況は次のとおりである。

(1) 類型I

ミドリイシ、ハマサンゴ、コモンサンゴの3属で62%を占める。類型Iのように赤土汚染の影響がほとんど見られない海域では、一般的にこれら3属が中心になり、水深などの海底地形や地域特性に応じたサンゴ構成が出現するのであろう(図2)。

(2) 類型II

ミドリイシ属が54%を占める結果になった。この類型に分類される7地点のうち、2地点は恩納村赤瀬(あかせ)海域である。この類型全体のサンゴ出現情報71件のうち、赤瀬海域だけで2/3の46件が得られ、そのうち32件がミドリイシ属である。この海域の特殊な状況が大きく影響しミドリイシ属が突出した値になっている。

1990年前後のこの海域では、数年間にわたり農地開発事業から毎年大量の赤土が流入していたこともあり、被度が1%以下になっていた¹¹⁾。開発事業が終了してから3年後の1994年、コブシ大のクシハダミドリイシなどの樹枝状ミドリイシ属が点在して見られるようになり、

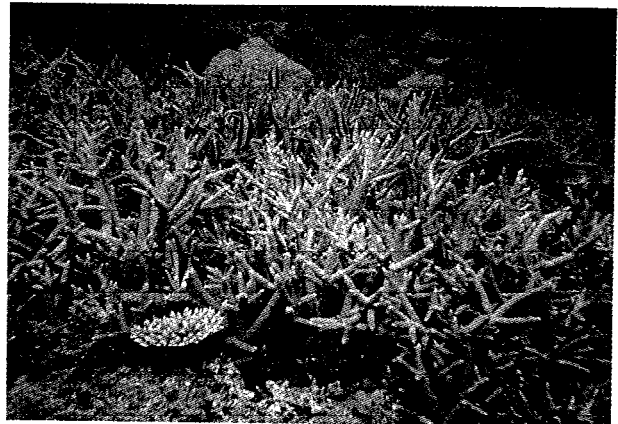


図2. 赤土汚染の影響がほとんど見られない海域。(座間味村阿嘉島アゴノハマ、 $SPSS_{MAX}$ は 4.9 kg/m^2 。表2のNo.25) 樹枝状ミドリイシ類を中心としたサンゴ構成。立体的な枝状構造の中に多くの生き物が住んでおり、その生物密度は熱帯のジャングルにも匹敵するといわれる。(1995年9月19日)

表3. 類型別の地点数。 $SPSS_{MAX}$ で分類。類型Iは赤土汚染の影響ほとんどなし。類型IIはやや影響があるかまたはそれと同等の底質。類型IIIはあきらかに赤土汚染の影響あるが極端ではない。類型IVは極端な赤土堆積。

類型	地点数	調査地点の例
I	14	糸満市大度A, 座間味村クシバル, 石垣市平野, 白保25
II	7	恩納村赤瀬A・C, 糸満市大度B, 座間味村阿嘉港
III	12	名護市源河A・D, 石川市石川A・C, 竹富町古見沖
IV	8	大宜味村平南A, 東村平良A, 宜野座村漢那A, 石垣市宮良湾

表4. サング出現情報の属(類)ごとの測定地点類型別分布. コモンサングとハマサングの2属は、種によって形状が変わり、赤土汚染の影響も異なることが予測されたので、形状別に細分した。

科	サング属	測定地点類型					SPSS _{MAX} の範囲 kg/m ²
		I	II	III	IV	計	
ムカシサング	ムカシサング	1	0	2	0	3	29.6 ~ 312
ハナヤサイサング	ハナヤサイサング	5	6	5	0	16	4.9 ~ 134
	トゲサング	5	0	1	0	6	4.9 ~ 127
	ショウガサング	1	2	7	2	12	12.7 ~ 918
ミドリイシ	コモンサング(塊状)	0	0	4	0	4	127 ~ 168
	〃(被覆状)	2	2	7	1	12	5.2 ~ 918
	〃(樹枝状)	6	3	5	0	14	12.7 ~ 130
	〃(葉状)	6	0	2	0	8	4.9 ~ 130
	〃(不明)	2	0	0	0	2	18.5 ~ 29.6
	ミドリイシ	28	38	12	3	81	4.9 ~ 918
	アナサング	0	0	4	1	5	126 ~ 918
ハマサング	ハマサング(塊状)	9	3	13	4	29	4.9 ~ 1260
	〃(樹枝状)	7	2	0	2	11	12.7 ~ 918
	〃(不明)	1	0	2	3	6	12.7 ~ 400
ヤスリサング	ニセヤスリサング	0	0	0	1	1	400
	アミメサング	0	1	3	0	4	44.5 ~ 305
	ヤスリサング	0	0	1	0	1	312
ヒラフキサング	シコロサング	4	0	1	0	5	12.7 ~ 119
クサビライシ	クサビライシ	1	0	0	0	1	24.1
ビワガライシ	アザミサング	0	0	1	0	1	312
ウミバラ	キッカサング	0	0	1	0	1	312
キクメイシ	キクメイシ	4	3	9	2	18	5.2 ~ 918
	カメノコキクメイシ	3	4	4	4	15	12.7 ~ 1260
	コカメノコキクメイシ	1	2	5	0	8	12.7 ~ 312
	ノウサング	2	1	2	0	5	5.2 ~ 126
	マルキクメイシ	0	0	3	2	5	91.4 ~ 918
	キクメイシモドキ	0	0	8	4	12	91.4 ~ 1260
	ルリサング	0	0	9	1	10	118 ~ 918
	トゲキクメイシ	2	1	7	0	10	5.2 ~ 312
	リュウキュウキッカサング	1	0	0	0	1	25.1
キサング	スリバチサング	0	0	0	1	1	918
アオサング	アオサング	1	0	1	1	3	12.7 ~ 400
アナサングモドキ	アナサングモドキ	6	3	4	1	14	12.7 ~ 918
	計	98	71	123	33	325	

表5. 測定地点類型別上位優先5位までのサンゴ属の出現割合. 類型IIはサンゴが急速に回復に向かっている恩納村赤瀬海域の2地点を含む. 赤土汚染の影響をより鮮明にするため, この2地点を除いた類型II-補正も示した. ミドリイシは赤土汚染が進行するほど出現割合が減少している. ハマサンゴはすべての類型において上位3位以内に入っている.

No.	類型 I		類型 II		類型II-補正		類型 III		類型 IV	
1	ミドリイシ	29%	ミドリイシ	54%	ミドリイシ	24%	コモンサンゴ	15%	ハマサンゴ	27%
2	ハマサンゴ	17	ハナヤサイサンゴ	8	ハナヤサイサンゴ	16	ハマサンゴ	12	カメノコキクメイシ	12
3	コモンサンゴ	16	コモンサンゴ	7	ハマサンゴ	16	ミドリイシ	10	キクメイシモドキ	12
4	アナサンゴモドキ	6	ハマサンゴ	7	カメノコキクメイシ	16	キクメイシ	7	ミドリイシ	9
5	ハナヤサイサンゴ	5	カメノコキクメイシ	6	コモンサンゴ	8	ルリサンゴ	7	ショウガサンゴ	6
	トゲサンゴ	5			キクメイシ	8			キクメイシ	6
					アナサンゴモドキ	8			マルキクメイシ	6

年を追ってミドリイシ属の数や被度が急速に増加した. 引用文献の調査期間中, この海域はサンゴが回復する過程にあり, 調査期間中の最終被度も50%程度で, サンゴがさほど種間競争をせずに成長空間を確保できる状況であった. このため, 慶良間諸島などサンゴが豊かな海域で生まれたサンゴ幼生が次々と漂着して着生し¹²⁾¹³⁾, 特に成長が速く数に勝るミドリイシ属の多くの種が記録されたものと推察される.

ちなみに, この海域を除いて類型IIを補正するとミドリイシ属は24%となり, 類型Iより減少する(表5).

(3) 類型III

類型I・IIに比べてミドリイシ属が著しく減少している. 一方, キクメイシ, ルリサンゴ, キクメイシモドキ属などキクメイシ科の多様な塊状サンゴ(図3)が39%も占めるようになる. これは赤土汚染に弱いミドリイシ属の被度が減少するのに伴い, 成長の遅いキクメイシ科の塊状サンゴが生活空間を確保できるようになったからとも解釈できる. ただし, 海域の透明度は悪くなり, 全体的な被度は最高でも約40%以下と推算される.

(4) 類型IV

この類型に属する海域は, 最も赤土が堆積する梅雨直後には海底が赤土で覆われ, 透明度が著しく悪く, 海底から盛り上がった岩礁部にも赤土が付着し, その岩礁に主として小さな塊状サンゴが点在している光景が一般的である. 出現サンゴはハマサンゴ, カメノコキクメイシ, キクメイシモドキの3属で半数を占める.

ミドリイシ属は3例観察されたが, 小さな群体で成長が遅く, うち1例は観察1年後には死滅していた.

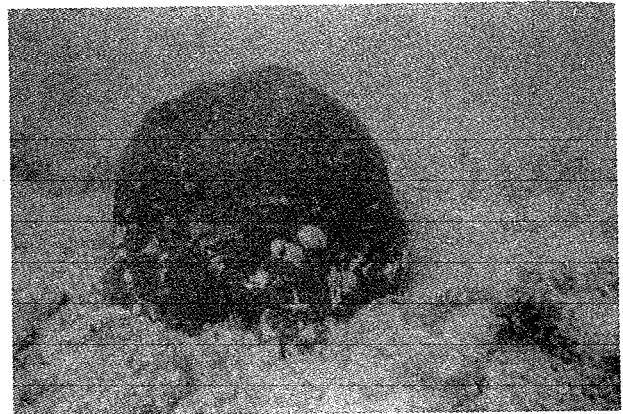


図3. 比較的赤土汚染耐性が高いキクメイシ科の塊状サンゴ. (宜野座村漢那A, SPSS_{MAX}は1,260kg/m². 表2のNo.11) 樹枝状サンゴと違い, 立体空間を作らないので生物の住みかになりにくい. (1995年4月12日)

IV 考察と応用

1. サンゴの赤土堆積耐性

SPSSの測定値は対数正規分布する¹⁴⁾. このため, SPSSを統計的に解析する時は対数に換算して行なう. 主要サンゴ属のSPSS_{MAX}の統計値を表6に示す.

(1) 形状

表4において出現頻度が高い21の主要サンゴ属ごとに出現が記録された海域のSPSS_{MAX}の相乗平均値を比較した(表6). 一般的に, 樹枝状タイプは平均値の小さい(赤土等の堆積が少ない)ところで, 塊状タイプは平均値が大きい(堆積が多い)ところで出現頻度が増す.

コモンサンゴ属におけるSPSS_{MAX}の平均値は, 葉状<樹枝状<被覆状<塊状であり, 被覆状はSPSS_{MAX}の範囲

表6. 主要サンゴ属のSPSS_{MAX}の統計値. 樹枝状サンゴはSPSS_{MAX}平均値が小さい(赤土汚染の影響が小さい)ところで, 塊状サンゴは平均値が大きい(赤土汚染の影響が大きい)ところで出現頻度が増す. SPSS_{MAX}対数値の標準偏差が小さいほどSPSS_{MAX}平均値あたりの赤土堆積レベルに集中してサンゴが出現していることを示す. 逆に標準偏差が大きいほど, 幅広い赤土堆積レベルで出現していることを示す.

サンゴ属名	科	形状	出現数	SPSS _{MAX}			SPSS _{MAX} 対数値の標準偏差
				平均	最大	最小	
トゲサンゴ	Pc	樹枝	6	19.0	127	4.9	0.429
コモンサンゴ	Ac	葉	8	22.1	130	4.9	0.474
ミドリイシ	Ac	樹枝	79	32.3	918	4.9	0.509
ハナヤサイサンゴ	Pc	樹枝	15	33.7	134	4.9	0.497
ノウサンゴ	Fa	塊	5	36.6	126	5.2	0.510
アナサンゴモドキ	Mi	被覆	7	38.1	104	12.7	0.309
ハマサンゴ	Pr	樹枝	11	38.5	918	12.7	0.604
コモンサンゴ	Ac	樹枝	14	41.2	130	12.7	0.408
アナサンゴモドキ	Mi	樹枝	6	47.4	312	18.5	0.456
キクメイシ	Fa	塊	18	67.5	918	5.2	0.585
トゲキクメイシ	Fa	塊	9	77.9	312	5.2	0.552
ハマサンゴ	Pr	塊	29	83.0	1260	4.9	0.607
コモンサンゴ	Ac	被覆	12	84.7	918	5.2	0.520
コカメノコキクメイシ	Fa	塊	8	99.4	312	12.7	0.479
カメノコキクメイシ	Fa	塊	15	105.1	1260	12.7	0.622
ショウガサンゴ	Pc	樹枝	12	118.9	918	12.7	0.477
コモンサンゴ	Ac	塊	4	146.9	168	127	0.058
ルリサンゴ	Fa	塊	9	211.9	918	118	0.287
キクメイシモドキ	Fa	塊	12	254.9	1260	91.4	0.349
マルキクメイシ	Fa	塊	5	262.3	918	91.4	0.447
アナサンゴ	Ac	塊	5	285.3	918	126	0.296

科 Pc:ハナヤサイサンゴ Ac:ミドリイシ Pr:ハマサンゴ
Fa:キクメイシ Mi:アナサンゴモドキ

が5.2~918 kg/m³と幅広い海域で, 塊状は比較的赤土が堆積した海域に集中して出現している.

ハマサンゴ属におけるSPSS_{MAX}の平均値は樹枝状<塊状であるが, 両形状ともSPSS_{MAX}の幅広い範囲で出現している.

ミドリイシ科のミドリイシ属(樹枝状)とアナサンゴ属(塊状)の赤土堆積耐性を比較すると, ミドリイシ属は弱く, アナサンゴ属は強いと評価される.

表6においては, 樹枝状でSPSS_{MAX}平均値が最も大きいのはショウガサンゴである. このサンゴは成育地の物理的環境に応じて群体の形の変異が著しく, 枝が短く太くなったり, 板状になることもある¹⁰⁾. このような環境への適応性が, 塊状サンゴ並みの赤土堆積耐性をもたらしているのかも知れない.

(2) 出現範囲と指標サンゴ

サンゴ属ごとのSPSS_{MAX}の範囲に着目すると, 多くのサンゴ属が幅広い範囲で記録されている. そのばらつきを評価するため, SPSS_{MAX}の対数値の標準偏差を比較した(表6). カメノコキクメイシ属, 塊状ハマサンゴ類(図4), 樹枝状ハマサンゴ類(図5)は標準偏差が0.6以上で最も大きく, 幅広い赤土堆積レベルで大差なく出現していると評価される. 実際の海域調査においても, 赤土汚染の有無を問わず塊状ハマサンゴ類を容易に見つけることができる.

逆に標準偏差が小さな属は, その赤土堆積レベルの指標サンゴとして有望である. たとえばルリサンゴ属やキクメイシモドキが多数見られるような海域は, 1年のうちで泥が堆積する季節があるか, または少なくとも3年

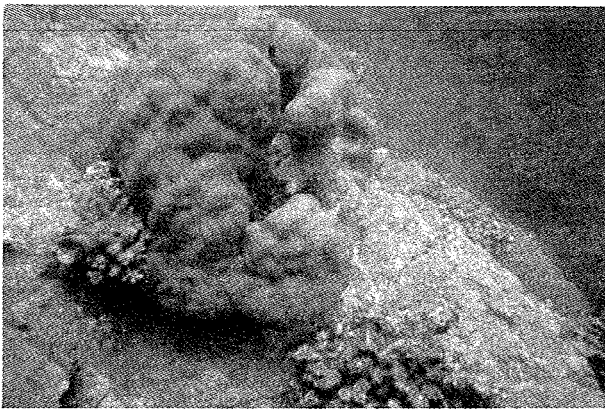


図4. 塊状ハマサンゴ類. (東村平良A, SPSS_{MAX}は918kg/m³.)

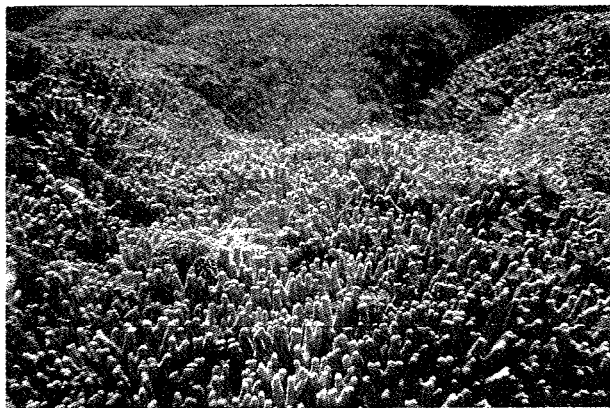


図5. 樹枝状ハマサンゴ類 (ユビエダハマサンゴ. 座間味村阿嘉島クシバル, SPSS_{MAX}は25.1kg/m³.)
塊状ハマサンゴ類, 樹枝状ハマサンゴ類とも赤土堆積の程度を問わず幅広く分布している. 赤土汚染に強いと評価されるが, 赤土堆積レベルの指標サンゴとしては不適當である.

前までは泥っぽい環境が存在していたと推定される.

(3) サンゴ間の赤土堆積耐性の違い

濁水が流出し赤土が堆積するにつれて, 海は濁りやくなる¹⁵⁾. 山里¹⁶⁾は, 赤土汚染がサンゴに及ぼす影響として, 懸濁粒子の摩擦による組織損傷, 光透過減少による褐虫藻の光合成妨害による栄養不足・成長阻害, サンゴ自身の埋没, 繊毛と粘液を用いて粒子を除去する時のエネルギーロスを挙げている.

西平ら¹⁰⁾は塊状ハマサンゴが粘液を出して赤土粒子を捕らえ, それをはがすことによって体を掃除しているとしている. 筆者らも, 石垣島白保礁池モリヤマグチ近くの濁りのある海域において, いくつかの大きな塊状ハマサンゴの同様な状況を観察した.

一方, 沖縄県¹⁷⁾は, 前述の恩納村赤瀬海域において直径1.2mのクシハダミドリインが死んでいく様子を紹介しているが, 流出した赤土が粘液によってサンゴ表層に

べったり付着したままはがれ落ちず窒息状態であった.

表面がやや平面的で粘液を剥離しやすいハマサンゴと枝状の複雑な立体空間を持ち粘液が剥離しにくいクシハダミドリインとの構造的な違いが, 耐性の差となっているのかも知れない. 表6では, この両者以外のサンゴを比較しても, 樹枝状より塊状のほうが耐性が強い傾向が見られる.

Sheppard¹⁸⁾は, 雨のように降り積もってくるシルト(微細粒子)に対処する処理能力はサンゴによってかなり違ふとし, ハナサンゴの仲間が長い触手を持ちシルトの多い場所に住んでいるのを紹介している. また, サンゴによってはポリプに付着した粒子を繊毛の波状の動きで触手先端に運搬し, 食物であれば触手を口の方に動かし, 食物でなければ外側に曲げて粒子を体表外へ廃棄するといわれる¹⁶⁾.

以上のことから, 触手や繊毛の運動能力も耐性の差となり得ると思われる. さらに, 耐性の強いサンゴは濁って光量の少ない場所でも生きていることから, 栄養補給を動物プランクトンなど有機物の捕食にも大きく依存していることも考えられ, このことから触手や繊毛の発達耐性の違いとなる可能性が示唆される.

2. サンゴ相から類推する海域の赤土汚染状況

1997年10月に石垣島白保礁池のサンゴの状況などを調査した¹⁹⁾. 第2ポール近くヤイカグチでは, 被度が75~80%と高く, 類型Iと同様にミドリイン類やコモンサンゴ属を中心としたサンゴ構成であり, 赤土汚染の影響は極めて小さいものと類推された(図6).

一方, 轟川河口~モリヤマグチ間の礁池は, おおむね被度が5%以下と低く, ミドリイン類の大きな群体を見ることができず, キクメイソウの仲間やハマサンゴが点在していた(図7). これは類型3.と同様なサンゴ構成なので, 継続的に赤土流出の影響を受けていることが示唆された.

V まとめ

1. 沖縄で赤土汚染の影響がほとんど見られないサンゴ礁海域では, 一般的にミドリイン, ハマサンゴ, コモンサンゴ属を中心としてサンゴ群落が形成されている.
2. サンゴが回復に向かっている礁池では, 樹枝状ミドリイン類が種類, 数とも圧倒的に優先していた.
3. 赤土堆積が進行し, SPSS_{MAX}が大きくなるにつれ, 樹枝状ミドリイン類の出現頻度は減少し, 類型IVのような極端な赤土堆積海域では, 小さな群体しか確認できなかった.

4. SPSS_{MAX}の増大に伴い被度の大きな海域はみられなくなり、塊状サンゴの出現割合が相対的に増加する傾向が見られる。
5. カメノコキクメイシ属、塊状ハマサンゴ類、樹枝状ハマサンゴ類は、赤土汚染がほとんど見られないところから著しいところまで大差なく分布している。
6. ルリサンゴ属やキクメイシモドキをはじめ、いくつかのサンゴは赤土堆積レベル類型Ⅲ・Ⅳの指標として有望である。
7. サンゴの赤土堆積耐性は属や形状によって異なる。一般的に、樹枝状より塊状サンゴの方が耐性が強い。
8. サンゴの赤土堆積耐性の違いは、粘液による表層付着粒子剥離の能力の差、触手や繊毛運動による粒子排除能力の差が一因となっていると思われる。
9. 石垣島白保礁池のサンゴ相より、赤土汚染状況を類推した。

Ⅵ 今後の課題

1. この研究で評価したサンゴの赤土堆積耐性と、その理由として考えられるサンゴの生理や構造などの相関を求めたいが、これにはサンゴ分類学などの専門家との共同研究が不可欠である。
2. 赤土堆積とサンゴの成長の関係について解析を行いたい。
3. サンゴの白化耐性との比較を行なうことで、新たな知見が生まれる可能性が大きく、他機関との共同研究を押し進めたい。

<謝辞>

阿嘉島、座間味島での調査では、下池和幸氏をはじめ阿嘉島臨海研究所の皆様にご多大のお世話になりました。厚く御礼申し上げます。

Ⅶ 参考文献

- 1) 大見謝辰男(1996)赤土堆積がサンゴに及ぼす影響。沖縄県衛生環境研究所報, 30:79-86.
- 2) 大見謝辰男・大山峰吉・池間修宏・八重山保健所衛生課・沖縄県水産業改良普及所・石垣市水産課・伊平屋村漁業協同組合・伊是名漁業協同組合・久米島漁業協同組合・恩納村漁業協同組合(1993)沖縄県内各地の海域における赤土汚染の現状(第2報)。第23回沖縄県衛生監視員研究発表抄録:50-60.
- 3) 沖縄県環境保健部環境保全課(1996)赤土等汚染海域定点観測調査報告書, 201pp.
- 4) 沖縄県環境保健部環境保全室(1997)平成8年度赤土等汚染海域定点観測調査報告書, 182pp.
- 5) 沖縄県環境保健部環境保全室(1997)沖縄県赤土等流出防止条例排出基準の見直しに関する環境影響調査Ⅱ委員会資料, pp.31-35.
- 6) 石垣市水産課(1989)石垣市水産業振興計画策定基礎調査-赤土及び生活産業排水等による海域影響調査-報告書, pp.34-46.
- 7) 沖縄県企画開発部(1993)沿岸海域実態調査(沖縄島及び周辺離島), 287pp.
- 8) 沖縄県企画開発部(1994)沿岸海域実態調査(宮古島、石垣島及び西表島並びに周辺離島), 327pp.
- 9) 目崎茂和・編(1991)石垣島のサンゴ礁環境。WWF-J, 214pp.



図6. 石垣島白保礁池イカグチ。スギノキミドリイシ, その他のミドリイシ類, チヂミウスコモンサンゴを中心としたサンゴ構成で被度は80%。この状況から、赤土汚染の影響はほとんど無いと推定される。(1997年10月25日)

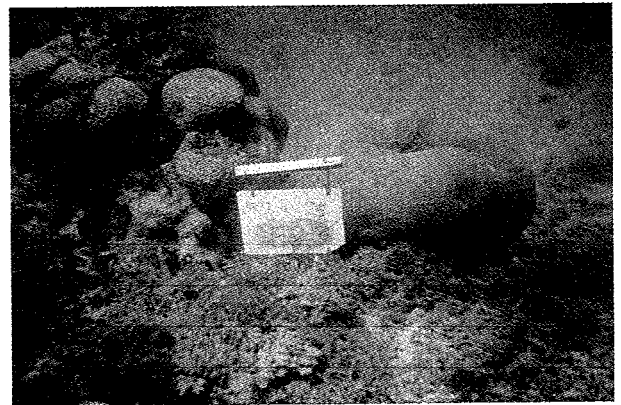


図7. 石垣島白保礁池. 轟川河口からモリヤマグチまでの中間あたり。キクメイシの仲間(写真), 塊状ハマサンゴ類, 被覆状コモンサンゴ, 小さなミドリイシ類が点在し, 被度は5%。この状況から, 継続的に赤土流出の影響を受けていることが示唆される。(1997年10月25日)

- 10) 西平守孝・J.E.N. Veron(1995)日本の造礁サンゴ類.
海游社, 東京都, 439pp.
- 11) 大見謝辰男・比嘉榮三郎・花城可英・満本裕彰(1995)沖縄県の赤土等の流出とサンゴ礁の保全. 農業土木学会誌, 63巻3号: 267-272.
- 12) 木村匡・林原毅・下池和幸(1992)漂流ハガキ実験結果報告. みどりいし, 3号, 熱帯海洋生態研究振興財団: 18-21.
- 13) 沖縄タイムス紙記事, サンゴの卵を追跡・回復過程の解明へ・東工大など研究チーム・慶良間から本島に漂着, 1999年6月9日.
- 14) 大見謝辰男(1987)沖縄県の赤土汚濁の調査研究(第2報) - 赤土汚濁簡易測定法と県内各地における赤土濃度 -. 沖縄県公害衛生研究所報, 20: 100-110.
- 15) 大見謝辰男・古堅勝也・普天間朝好・奥間崇(1994)礁池における赤土堆積と濁りの関係について. 第24回沖縄県衛生監視員研究発表会抄録集: 74-76.
- 16) 山里清(1991)サンゴの生物学. 東京大学出版会, 東京都, 150pp.
- 17) 沖縄県公害対策課(1990)沖縄の自然と赤土汚染, p2.
- 18) Charles R.C. Sheppard(1986)サンゴ礁の自然誌. 本川達雄訳, 平河出版社, 東京都, pp.102-106.
- 19) 大見謝辰男・仲宗根一哉・小林孝(1998)石垣島白保海域の赤土汚染とサンゴ礁の現況. 沖縄県衛生環境研究所報, 32: 113-117.