

## サンゴ被度に対する海域底質中懸濁物質と岩盤割合の関連\*

座間味佳孝, 熊谷直喜\*\*, 糸洲昌子, 比嘉彩也香, 久保弘文, 山野博哉\*\*

### Effects of Suspended Particles in Sea Sediment and Exposed Bedrock on Coral Coverage\*

Yoshitaka ZAMAMI, Naoki H. KUMAGAI\*\*, Shoko ITOSU, Sayaka HIGA, Hirofumi KUBO and Hiroya YAMANO\*\*

**要旨**：沖縄県では、赤土等流出による負荷低減への取組みとして、沖縄県赤土等流出防止対策基本計画を策定し、同計画に基づき、赤土等の堆積がみられる海域においてモニタリング調査を続けてきた。サンゴ被度に対する海域底質中懸濁物質質量 (SPSS) と岩盤割合の関連を解析したところ、SPSS とサンゴ被度の 95%分位点回帰式により、SPSS の増加に伴いサンゴ被度は減少することが確認された。サンゴ被度を目的変数、水質等の項目を説明変数とし、ステップワイズ法による重回帰分析を行った結果、説明変数として SPSS 年間最大値、岩盤割合、水温年間最大値、水深年間平均値が選択された。また、岩盤割合が高いほどサンゴ被度も高くなるが、いずれの岩盤割合でも SPSS 年間最大値の増加に伴いサンゴ被度が減少することが確認された。

**Key words**：赤土等、海域底質中懸濁物質質量 (SPSS)、岩盤割合、分位点回帰分析、重回帰分析

### I はじめに

沖縄県の海域に広がるサンゴ礁は、観光、漁業等において様々な恩恵をもたらしている。しかしながら、陸域の土壌が海域に流出することで、サンゴ礁生態系に被害をもたらす「赤土等※」の流出が問題となっている (※沖縄県の土壌は、亜熱帯地域特有の赤茶色の土壌が多いが、灰褐色系統の土壌もみられるため、それらを総称して赤土等と呼んでいる)。そのため、本県では 2013 年に「沖縄県赤土等流出防止対策基本計画」(以下、「基本計画」という。)を、2023 年に「第 2 次沖縄県赤土等流出防止対策基本計画」を策定し、赤土等流出によるサンゴ礁生態系への負荷低減に取り組んでいる。

基本計画では、県内に 76 の監視海域、その内 22 海域を重点監視海域として設定し、監視海域毎に生息場と、海域底質中懸濁物質質量 (以下、※1「SPSS」という。)を基に区分した類型を定めている (表 1)。また、基本計画実施当初の類型に対して、目標類型が定められ、基本的には A 類型以上に設定されている<sup>1)</sup>。監視海域における生息場類型は、基本計画実施期間において図 1 のように推移しており、基本計画策定当初の類型と比べ最終評価類型では、C 類型の割合が減り、AA, A, B 類型の割合が増えている<sup>2)</sup>。

沖縄県ではこれまで、SPSS を含め生物生息状況や水質

等、様々な項目についてモニタリング調査を行い、赤土等とサンゴについて知見が集められてきた。

SPSS と生きたサンゴの被覆割合 (以下、「サンゴ被度」という。)の関係については、大見謝<sup>3)</sup>が沖縄島および石垣島、竹富島のデータ 97 対を用いて示している。SPSS とサンゴ被度の散布図をとり、サンゴ被度上限付近のデータ 8 対の回帰直線を求めることで、SPSS の年間最大値からサンゴ被度の限界値を予測した。また、サンゴはプラヌラ幼生となって海中を漂い岩盤上に着底、成長する。比嘉ら<sup>4)</sup>は、岩盤上の堆積物がサンゴ幼生の着底阻害を引き起こす可能性を示唆している。そのため、SPSS が高い海域では、岩盤上の堆積物が多くなり、サンゴが生育できるような露出した岩盤の割合が減ると考えられる。

本報では、サンゴ被度に対して SPSS と岩盤割合の関連を示すことを目的として、基本計画に基づく SPSS や生物生息状況、水質等のモニタリング調査により得られた結果を解析したので報告する。

#### ※1 SPSS

沖縄県では、大見謝<sup>5)</sup>の開発した海域底質中懸濁物質質量 (SPSS (kg/m<sup>3</sup>): content of Suspended Particles in Sea Sediment) を赤土等堆積状況のモニタリングに用いている。

\* 本研究は、気候変動適応に関する国立環境研究所と地域気候変動適応センター等との共同研究「沖縄県のサンゴ礁生態系への気候変動・地域環境複合影響を軽減するための赤土流出削減指標策定」によって実施した。

\*\* 国立研究開発法人 国立環境研究所

SPSS は1~8 (5a, 5b を含む) の9つのランクに分類され (表2), SPSS ランク6以上では, 明らかに人為的な赤土等の流出による汚染があると判断される。

表1. 海域における生息場と SPSS を基に区分した類型  
 5). 網掛けが生息場毎の望ましい類型を示す。

堆積指標 SPSS (kg/m <sup>3</sup> )	SPSS ランク	生息場類型		
		サンゴ場	海草藻場	干潟
0.4未満	ランク1	AA類型	A類型	A類型
0.4~1未満	ランク2			
1~5未満	ランク3			
5~10未満	ランク4			
10~30未満	ランク5a	A類型		
30~50未満	ランク5b	B類型		
50~100未満	ランク6			
100~200未満	ランク7	C類型	B類型	B類型
200~400未満	ランク8			
400以上	ランク8			

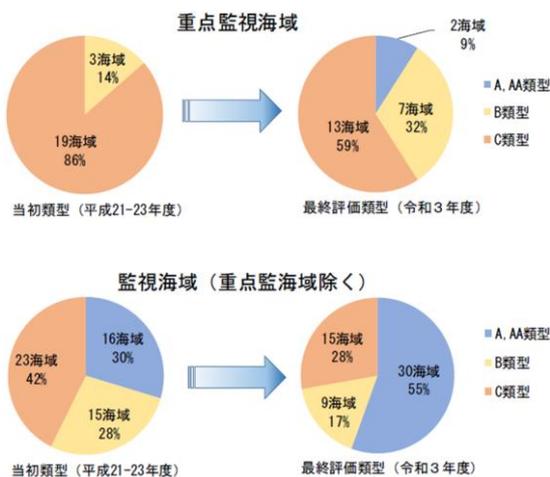


図1. 監視海域の生息場類型の変化<sup>2)</sup> (上: 重点監視海域, 下: 監視海域 (重点監視海域を除く)). 左の円グラフは基本計画当初類型, 右の円グラフは最終評価類型を示す。

表2. SPSS, SPSS ランクと対応する底質状況とその他参考事項<sup>1)</sup>.

SPSS (kg/m <sup>3</sup> )	底質状況その他参考事項
下限 ランク 上限	
1 < 0.4	水中で砂をかき混ぜてもほとんど濁らない。白砂がひろがり生物活動はあまりみられない。
0.4 ≤ 2 < 1	水中で砂をかき混ぜても懸濁物質の舞上りを確認しにくい。白砂がひろがり生物活動はあまりみられない。
1 ≤ 3 < 5	水中で砂をかき混ぜると懸濁物質の舞上がり確認できる。生き生きとしたサンゴ礁生態系がみられる。
5 ≤ 4 < 10	見ただけではわからないが、水中で砂をかき混ぜると懸濁物質で海が濁る。生き生きとしたサンゴ礁生態系がみられる。透明度良好。
10 ≤ 5a < 30	注意して見ると、底質表層に懸濁物質の存在がわかる。生き生きとしたサンゴ礁生態系のSPSS上限ランク。
30 ≤ 5b < 50	底質表層にホコリ状の懸濁物質がかぶさる。透明度が悪くなりサンゴ被度に悪影響が出始める。
50 ≤ 6 < 200	一見では赤土等の堆積がわかる。底質攪拌で赤土等が色濃く懸濁。ランク6以上は、明らかに人為的な赤土等の流出による汚染があると判断。
200 ≤ 7 < 400	干潟では靴底の模様がかっきり。赤土等の堆積が著しいがまだ砂を確認できる。樹枝状ミドリイシ類の大きな群体はみられず、塊状サンゴの出現割合増加。
400 ≤ 8	立つと足がめり込む。見た目は泥そのもので砂を確認できない。赤土汚染耐性のある塊状サンゴが砂漠のサゴテンのように点在。

## II 調査内容

### 1. モニタリング調査

本報では, 2012年度から2021年度にかけて実施された, 基本計画に基づく SPSS や生物生息状況, 水質等のモニタリング調査結果<sup>6)-16)</sup>を解析に使用した。

調査地点の内, 重点監視海域 (22 海域) は, 毎年調査が行われ, 監視海域 (重点監視海域を除く) (54 海域) は, 基本計画の中間年度にあたる 2016 年度, 最終年度にあたる 2021 年度に調査が行われた。

### 2. 使用データ

モニタリング調査で得られた結果の内, 本報では以下の結果を解析に用いた。

#### (1) SPSS

調査地点周辺3点から採取した底質を混合し, 分析に供した。調査は梅雨後, 台風期後, 冬期の年3回行われた。

#### (2) 生物生息状況 (サンゴ類)

スポットチェック法による, 直径約 20 m の範囲におけるサンゴ類調査結果を解析に用いた。調査頻度は台風期後の年1回で, 総サンゴ被度, 種毎の被度等について調査された。調査結果の内, 被度が5%未満となったデータは, 統計解析上は0.5%として取り扱った。また, サンゴ場, 海草藻場, 干潟の生息場の内, 干潟にはサンゴは生育しないため, サンゴ場, 海草藻場のデータを解析に用いた。

#### (3) 水質等

地点基質の岩盤割合, 水温, 濁度, 水平透明度, 水深, 塩分, 全窒素, 全リンも調査されており, それらを解析に用いた。なお, 採水は海底から50cm程度上を目安として行われた。

## III 結果と考察

### 1. 分位点回帰分析による SPSS とサンゴ被度の関係

分位点回帰分析は, 分布のそれぞれの分位点を回帰することができ, 外れ値の影響を受けづらい<sup>17)</sup>。また, 大見謝<sup>3)</sup>が, SPSS とサンゴ被度の散布図をとり, サンゴ被度上限付近のデータを用いたことから, 分位点回帰分析で最大値付近の分位点を取ることで, SPSS とサンゴ被度の関係を示すことができると考えられる。

図2に2012年度から2021年度までのモニタリング調査地点における, SPSS 年間最大値とサンゴ被度の散布図を示す。また, サンゴ被度を目的変数, SPSS 年間最大値を説明変数とし, 95%分位点における分位点回帰分析を行った結果, 式(1)が得られた。なお, サンゴ被度, SPSS 年間最大値は対数正規分布をとり, 0 を含むデータもあるため, 1 を加えて常用対数により変換した値を用いた。

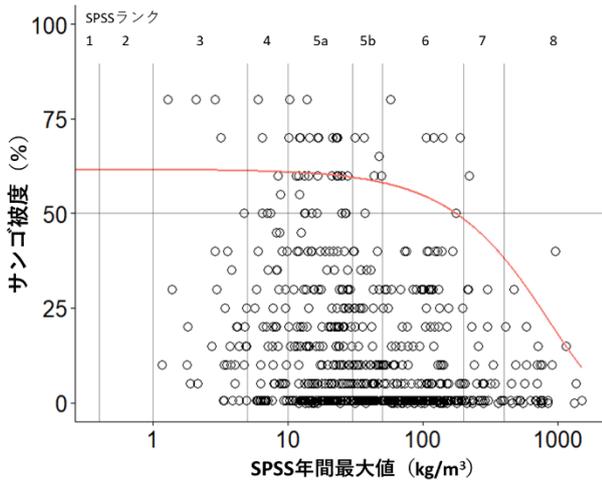


図 2. SPSS 年間最大値 (kg/m<sup>3</sup>) vs. サンゴ被度 (%). 曲線は 95%分位点回帰曲線を示す. また, 縦の補助線は各 SPSS ランクの境界を, 横の補助線はサンゴ被度 50%を示す.

$$\log[\text{coral}] = -0.00050 \cdot \log[\text{SPSSymax}] + 1.8 \quad \dots(1)$$

coral : サンゴ被度 (%) + 1

SPSSymax : SPSS 年間最大値 (kg/m<sup>3</sup>) + 1

95%分位点回帰式の SPSS 年間最大値の偏回帰係数が負の値であることから, 既報<sup>3)</sup>のとおり, SPSS 年間最大値の増加によりサンゴ被度が減少することが示唆された.

95%分位点において, サンゴ被度は約 60%で上限となり, サンゴ場の環境保全目標タイプの基準となる SPSS 30 kg/m<sup>3</sup> (SPSS ランク 5a) では, サンゴ被度は 59.5%となった. この水準は, 大見謝<sup>3)</sup>が SPSS 30 kg/m<sup>3</sup>でサンゴ被度 57%となった結果とほぼ一致した.

また, 95%分位点回帰曲線を超えるサンゴ被度の地点の中で, SPSS 50 kg/m<sup>3</sup> (SPSS ランク 6) 以上の地点は表 3 のとおりであった. これらの調査地点は次に示すとおり, SPSS により抑制されているサンゴ被度の上限を超える要因があると考えられる.

表 3. 95%分位点回帰曲線以上かつ SPSS 年間最大値 50 kg/m<sup>3</sup> (SPSS ランク 6) 以上の地点一覧.

海域名	海域区分	地点名	年	サンゴ被度 (%)	SPSS 年間最大値 (kg/m <sup>3</sup> )	SPSS ランク
浦崎川河口	本部半島西海域	020-01	2021	80	58	6
浦崎川河口	本部半島西海域	020-01	2016	50	175	6
数久田土地改良区地先	名護湾	027-02	2021	60	219	7
富祖崎地先	中城湾	064-01	2021	15	1,142	8
宮良川河口	宮良湾	094-03	2013	40	954	8
与那良川河口	西表島東海域	099-01	2015	70	120	6
与那良川河口	西表島東海域	099-01	2014	70	188	6
与那良川河口	西表島東海域	099-01	2013	70	106	6
与那良川河口	西表島東海域	099-01	2012	70	140	6

浦崎川河口 (本部町) は 2016 年, 2021 年に調査が行われた. 同海域の別地点も含めると, SPSS ランクは 5b~6, サンゴ被度は 25%~80%と高い海域である. 同海域の周辺には, 沖縄県により指定された重要サンゴ群集である「水族館前」, 「ウフビシ」といった地点が存在する<sup>18)</sup>. 同地点が高 SPSS となる要因は不明だが, 赤土等による懸濁物質だけでなく, 波浪等で細くなった海域由来の懸濁物質によって高 SPSS となっている可能性も考えられる. また, 周辺のサンゴ被度が高いことによりサンゴの新規加入が多いことが推察されるため, 高 SPSS だが高いサンゴ被度を保つことができると考えられる.

数久田土地改良区地先 (名護市) は 2016 年, 2021 年に調査が行われた. 高 SPSS を示したのは表 3 で示した 2021 年のみであり, その他調査の行われた 2016 年および同海域の別地点の SPSS ランクは 3~5a と低く, サンゴ被度も 15%~80%と高い海域であった. そのため, 2021 年の調査時の直近で何らかの赤土等流出イベントがあった可能性があり, 本来は低 SPSS でサンゴ被度の高い海域であると考えられる.

富祖崎地先 (南城市) は 2016 年, 2021 年に調査が行われ, いずれも SPSS ランク 8 を記録した. 95%分位点を超えた際のサンゴ被度は 15%で, そのほとんどがエダコモンサンゴであった. エダコモンサンゴは, 岩盤に着生するだけでなく, 破片分散により礁池の砂地に立ち上がって生育することが確認されている<sup>19)</sup>. また, 立体構造を作りやすいため, 立体構造の下層部分は堆積物の影響を受け死亡し礫となるが, その上部は生き残る. さらに, 死亡した礫上に折れたエダコモンサンゴが定着することで, 被度を保つことが出来ていると考えられる.

宮良川河口 (石垣市) は, 2012 年から 2021 年まで毎年調査が行われた. 調査地点が深場近くの岩盤帯に位置し, 赤土等は深場へ流れ, 岩盤上にはほとんど残らないことが報告されている<sup>16)</sup>. サンゴ調査は岩盤上で行われているが, SPSS 調査は岩盤上ではなく周辺の深場で行われているため, 高 SPSS だがサンゴ被度が 95%分位点回帰曲線を超えたと考えられる.

与那良川河口 (竹富町) は, 2012 年から 2021 年まで毎年調査が行われた. 同地点は城間ら<sup>20)</sup>により, 赤土等ではなく海域由来のシルト分により高 SPSS を記録していることが示されている. そのため, 高 SPSS ではあるが, 赤土等の影響を受けていない海域と考えられる.

## 2. サンゴ被度と海域環境の関係

環境省が実施するモニタリングサイト 1000 のサンゴ礁

調査<sup>21)</sup>では、岩盤上のサンゴ被度によりサンゴ礁の状態を評価しており、50%以上で良、80%以上で優良となる。本県の調査のサンゴ被度は、岩盤以外も含めた面積に対するサンゴ被度である。そのため、モニタリングサイト1000と本県の調査では尺度は異なるが、サンゴ被度50%以上、50%未満の地点の海域環境の違いを比較し、サンゴ被度50%以上の海域の特徴を示すことができるかを試みた。

最初に、SPSS、岩盤割合、水温、濁度、水平透明度、水深、塩分、全窒素、全リンについて、サンゴ被度50%以上、50%未満を条件として2群に分け、ウィルコクソンの順位和検定により2群間に有意な差があるかを確かめた。SPSSは分位点回帰分析と同様に年間最大値を、水深、塩分、全窒素、全リンは年3回行われた調査の平均値を用いた。なお、水温は年間最大値を用いたが、一部の地点は第2回調査のみ実施となっている。水温は第1回調査(梅雨後)と第2回調査(台風期後)で時期が異なるため、第2回調査のみが行われた地点は、第1回調査、第2回調査の水温データがある地点で水温差を比較し、第2回調査結果を補正した値を水温年間最大値の値とした。

結果は表4のとおりで、サンゴ被度50%未満と50%以上の中央値は、SPSS年間最大値、岩盤割合、水温年間最大値、濁度年間平均値、水平透明度年間平均値、全窒素年間平均値で  $p < 0.01$ 、水深年間平均値で  $p < 0.05$  となり、塩分年間平均値、全リン年間平均値では2群間の差が見られなかった。

表4. サンゴ被度50%を基準とした各調査項目における中央値とウィルコクソンの順位和検定結果。\*は  $p < 0.05$ 、\*\*は  $p < 0.01$  を示す。

調査項目	サンゴ被度		検定結果
	50%未満	50%以上	
サンゴ被度 (%)	0.50	60.0	**
SPSS年間最大値 (kg/m <sup>3</sup> )	38.1	16.7	**
岩盤割合 (%)	50.0	70.0	**
水温年間最大値 (°C)	29.0	26.8	**
濁度年間平均値 (度)	0.10	0.06	**
水平透明度年間平均値 (m)	12.4	20.2	**
水深年間平均値 (m)	2.2	2.8	*
塩分年間平均値 (‰)	34.33	34.50	
全窒素年間平均値 (mg/L)	0.064	0.048	**
全リン年間平均値 (mg/L)	0.007	0.007	

次にサンゴ被度を目的変数に、表4の有意差がみられた項目を説明変数とした重回帰分析を行った。サンゴ被度、SPSS年間最大値、水深年間平均値、全窒素年間平均値は対数正規分布を示しており、これらのデータは0を含むことから、1を足して常用対数に変換した値を用いた。なお、SPSS年間最大値、水平透明度、濁度はいずれも濁りに関する指標であるため、本報ではSPSS年間最大値のみを濁

りに関する指標として選択した。最適な変数の選択はステップワイズ法により行った。SPSS年間最大値、岩盤割合、水温年間最大値、水深年間平均値が有意な変数として選択され、式(2)が得られた。式(2)より、サンゴ被度に対してSPSS年間最大値、水温年間最大値はサンゴ被度を減少させる要因、岩盤割合と水深年間平均値はサンゴ被度を増加させる要因となることが確認された。

$$\log[\text{coral}] = -0.35 \cdot \log[\text{SPSSymax}] + 0.0061 \cdot [\text{rock}] - 0.043 \cdot [\text{tempmax}] + 0.62 \cdot \log[\text{depthav}] + 1.9 \quad \dots (2)$$

coral : サンゴ被度 (%) + 1

SPSSymax : SPSS年間最大値 (kg/m<sup>3</sup>) + 1

rock : 岩盤割合 (%)

tempmax : 水温年間最大値 (°C)

depthav : 水深年間平均値 (m) + 1

次に、式(2)について、岩盤割合が0、25、50、75、100%の状況における、表4で示したサンゴ被度50%以上の地点の中央値である水温年間最大値26.8°C、水深年間平均値2.8mの状況を仮定した際のSPSS年間最大値とサンゴ被度を図3(a)~(f)に示した。岩盤割合が0%から100%と上がるにつれ、サンゴ被度も上昇することが確認された。さらに、いずれの岩盤割合においてもSPSS年間最大値の増加によりサンゴ被度が減少することが確認された。これらのことから、岩盤割合もSPSS年間最大値と同様に、サンゴ被度に影響を与える要因になると考えられた。

また、近年は地球温暖化に伴う海水温上昇によるサンゴの白化が問題となっている。沖縄气象台によれば、21世紀末の日本の年平均気温の2°C上昇シナリオ、4°C上昇シナリオにおいて、沖縄島周辺の平均海面水温はそれぞれ0.98°C、2.99°C上昇するとされている<sup>22)</sup>。そこで、式(2)に表4のサンゴ被度50%以上の中央値と水温年間最大値に0.98°C、2.99°C加えた値を代入し、海水温上昇時のサンゴ被度を予測した。サンゴ被度は、現状と比べて0.98°C上昇では9.9%減少、2.99°C上昇では27.4%減少する結果となった。式(2)では水温年間最大値を用いたため、平均海面水温の上昇の影響を一概に比較することはできないが、地球温暖化に伴う海水温上昇により、サンゴ被度はさらに減少することが示唆された。

サンゴ礁生態系は、気候変動のような地球規模のストレス、赤土等流出のような地域的なストレスに複合的にさらされている。沖縄県のサンゴ礁生態系を守るためには、地域的なストレスを軽減する気候変動適応策として、赤土等流出防止対策を継続することが重要になると考えられる。

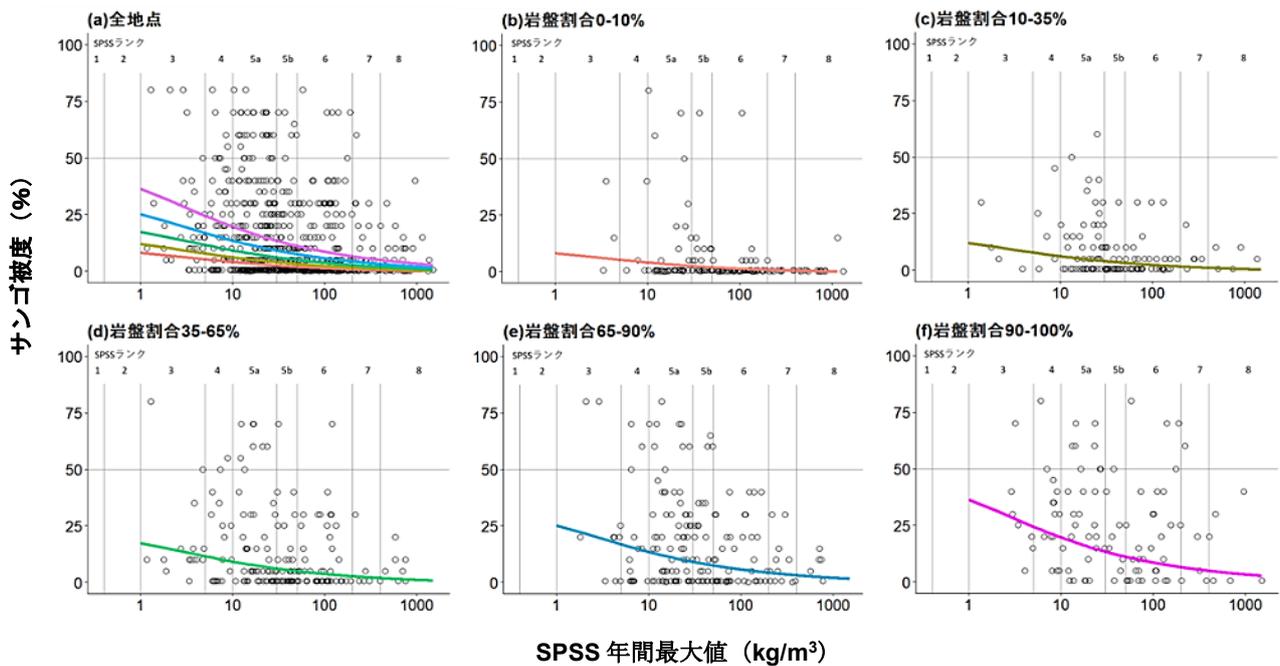


図 3. SPSS 年間最大値 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) vs. サンゴ被度 (%). 縦の補助線は各 SPSS ランクの境界を、横の補助線はサンゴ被度 50%を示す。(a)中の曲線は、式(2)の説明変数の内、岩盤割合が 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, 水温年間最大値を  $26.8^\circ\text{C}$ , 水深年間平均値を 2.8 m と仮定した条件におけるサンゴ被度の回帰曲線を、(b)~(f)は(a)の各岩盤割合における散布図, 回帰曲線を示す。

#### IV まとめ

2012 年度から 2021 年度の間に実施されたモニタリング調査のサンゴ被度, SPSS, 環境データ等を用いて解析したところ, 以下の知見が得られた。

95%分位点回帰曲線より, サンゴ場 A に対応した SPSS  $30 \text{ kg}/\text{m}^3$  の場合, サンゴ被度は 59.5%となった。

サンゴ被度を目的変数に, 環境データ等を説明変数として, ステップワイズ法による重回帰分析を行ったところ, 有意な変数として SPSS 年間最大値, 岩盤割合, 水温年間最大値, 水深年間平均値が選択された。また, サンゴ被度に対して SPSS 年間最大値, 水温年間最大値はサンゴ被度を減少させる要因, 岩盤割合と水深年間平均値はサンゴ被度を増加させる要因となることが確認された。

今後想定される海水温の上昇により, サンゴ被度が減少する可能性が示唆された。

沖縄県のサンゴ礁生態系は, 地球規模のストレス, 地域的なストレスに複合的にさらされている。サンゴ礁生態系を守るためには, 地域的なストレスを軽減させる気候変動適応策として, 赤土等流出防止対策を継続することが重要になると考えられた。

今回の解析では, SPSS とサンゴの生息基盤となる岩

盤割合に着目した。現状の赤土等に係る環境保全目標類型は SPSS ランクにより定められる。それに加えてサンゴが生育する場となる岩盤の割合や, 岩盤上の堆積物量といった指標を SPSS ランクに対応した形で示すことで, サンゴ礁生態系に対する赤土等の影響をより正確に捉えた目標の設定につながると考えられる。

#### V 参考文献

- 1) 沖縄県環境部環境保全課 (2013) 沖縄県赤土等流出防止対策基本計画。沖縄県, pp. 11, 21-25.
- 2) 沖縄県環境保全課 (2022) 沖縄県赤土等流出防止対策基本計画最終評価。沖縄県, pp. 8, 38.
- 3) 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.
- 4) 比嘉彩也香・座間味佳孝・糸洲昌子・久保弘文・熊谷直喜・山野博哉 (2023) 岩盤上の赤土等堆積物による着底阻害 : サンゴ幼生を用いた検証, 沖縄県衛生環境研究所報, 57 : 88-93.
- 5) 大見謝辰男 (2003) SPSS簡易測定法とその解説。沖縄県衛生環境研究所報, 37 : 99-104.
- 6) 沖縄県環境保全課 (2013) 平成24年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書。沖縄県, 資料

- 編1, 資料編2.1-4.
- 7) 沖縄県環境保全課 (2014) 平成25年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-7.
- 8) 沖縄県環境保全課 (2015) 平成26年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-7.
- 9) 沖縄県環境保全課 (2016) 平成27年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-7.
- 10) 沖縄県環境保全課 (2017) 平成28年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-50.
- 11) 沖縄県環境保全課 (2018) 平成29年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-7.
- 12) 沖縄県環境保全課 (2019) 平成30年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-7.
- 13) 沖縄県環境保全課 (2020) 平成31年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-7.
- 14) 沖縄県環境保全課 (2021) 令和2年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-10.
- 15) 沖縄県環境保全課 (2021) 令和2年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書 (その2). 沖縄県, 資料編1.
- 16) 沖縄県環境保全課 (2022) 令和3年度赤土等流出防止海域モニタリング調査委託業務報告書. 沖縄県, 資料編2, 資料編4.1-50, 資料編6.4-4.
- 17) 元山斉 (2015), 分位点回帰について—理論と応用—. 社会と調査, 14 : 92-97.
- 18) 沖縄県文化環境部自然保護課 (2006) 沖縄のサンゴ礁—沖縄県の重要なサンゴ礁海域—. 沖縄県, pp. 28-31.
- 19) 二早由子, 井上隆彦, 中野義勝, 土屋誠 (2016) 沖縄・備瀬の礁池における海藻群落の分布と底質特性. *Algal Resources*, 9 : 15-23.
- 20) 城間一哲, 座間味佳孝, 糸洲昌子 (2020) サンゴ礁海域底質中の陸域・海域由来成分について (その2) ~ 沖縄県における状況 ~. 沖縄県衛生環境研究所報, 54 : 55-62.
- 21) モニタリングサイト1000サンゴ礁調査検討会 (2013) スポットチェック法によるサンゴ礁調査マニュアル 第5版. 環境省自然環境局生物多様性センター, p.4.
- 22) 沖縄气象台 (2022) 沖縄の気候変動監視レポート 2022. p.70.