

# 礁池における濁りの指標

仲宗根一哉・大城 哲<sup>1)</sup>・金城孝一・玉城不二美・渡口 輝・井上 豪・大城洋平・天願博紀

## Turbidity Indicators in Moat

Kazuya NAKASONE, Tetsu OSHIRO<sup>1)</sup>, Koich KINJO, Fujimi TAMAKI,  
Akira TOGUCHI, Go INOUE, Yohei OSHIRO, Hiroki TENGAN

**要旨**：サンゴ礁海域のSPSS(底質中懸濁物質含量)とSS(浮遊物質含量)、濁度および水平透明度等との関係を解析し、礁池における濁りの指標について検討した。水深4m未満の場合、各項目とSPSSとの間の相関は水平透明度>濁度>SSの順で高かった。また、水深1mから4mの範囲で、海水濁度0.2度以下ではSPSSランク5b以下(<50kg/m<sup>3</sup>)の出現率および抽出率は75%以上、水平透明度8m以上ではSPSSランク5a以下(<30kg/m<sup>3</sup>)の出現率および抽出率は75%以上となり、SPSSランクと概ね対応付けることができる。

**Key words**：礁池 Moat, 指標 Indicator, 底質中懸濁物質含量 SPSS, 水平透明度 Horizontal transparency

### I はじめに

沖縄県の赤土等流出防止対策を効果的・計画的に進めるには、サンゴ礁生態系から見た赤土等堆積の指標とその指針値が求められる。大見謝<sup>1)</sup>は、海域の赤土等の堆積程度を定量的に評価するための簡易な方法として、底質中懸濁物質含量 (content of Suspended Particles in Sea Sediment: SPSS) 簡易測定法を考案している。現在では、SPSS簡易測定法は様々な研究機関や各種団体に普及し、調査研究、環境学習、漁場管理等に広く用いられている。また、生サンゴ被度の上限はSPSSの年間最高値により予測可能であり<sup>2)</sup>、サンゴ礁のモニタリングにおいて、SPSSは重要な調査項目となっている。しかし、SPSSの測定では海底の底質を採取するために潜水作業を要する場合があることや、海域の広い範囲で赤土等の堆積状況を把握しようとするときには、測定地点数を増やす必要があるなど、サンプリング上の制約もある。そこで、SPSSと浮遊物含量(SS)、濁度および透明度の間に定量的関係が認められるなら、サンゴ礁海域の総合的な濁りの指標を得られる可能性がある。海域における赤土等の堆積と海水の濁りの関係については、これまでにいくつかの研究報告がある<sup>3-5)</sup>。いずれの報告でも、沖縄のサンゴ礁海域における赤土等の堆積と再懸濁に由来する濁りが海域の透明度の規定要因となっている可能性が高いことを指摘している。大見謝らの報告<sup>3)</sup>によれば、水深5m以内の一般的な礁池内において、複数地点の長期観

測から得られたSPSS平均値と海水表層付近の水平透明度の平均値の逆数との間には正の相関があることが認められている。本論文では、内閣府委託事業「赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査」におけるSPSS動態調査の調査結果から、サンゴ礁海域のSPSSとSS、濁度および水平透明度等との関係を解析した。

### II 方法

#### 1. 調査海域

調査海域の位置を図1に示した。

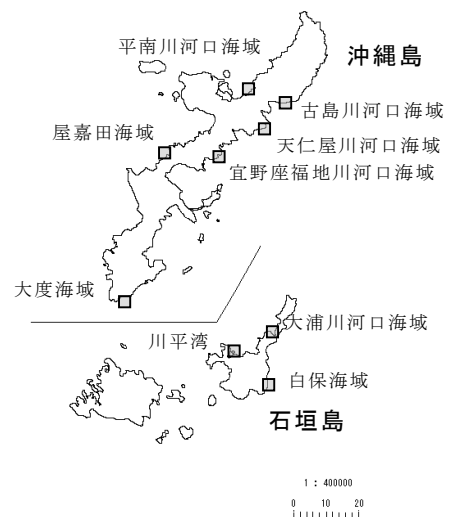


図1. 調査海域の位置

1) 株式会社沖縄環境分析センター

\*本研究は内閣府委託事業「赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査」によって実施した。

2. 調査時期

- 1 回目調査：平成 18 年 11 月 17 日—12 月 6 日
- 2 回目調査：平成 19 年 2 月 21 日—3 月 23 日
- 3 回目調査：平成 19 年 6 月 22 日—7 月 4 日
- 4 回目調査：平成 19 年 10 月 25 日—12 月 6 日
- 5 回目調査：平成 20 年 8 月 6 日—9 月 1 日

3. 試料採取方法および測定項目

- 1) 採取時：降雨や波浪のない平穏時に底質および海水を採取。海水試料は表層から水深 0.5m の地点で採水。
- 2) 採取場所：干潟、藻場を含む礁池、礁原の切れ目、水路または航路、河口近傍、湾内、漁港、礁斜面で採取。
- 3) 測定項目：
  - (1)水平透明度：大見謝ら<sup>3)</sup>の方法により、直径 30cm の白色円板を垂直にして表層から約 0.5m 深さで水平方向の透明度を測定。水深が 0.5m 以下の場合は表層付近を測定。測定時は太陽を背にして水平透明度を計測。
  - (2)水深：メジャー及び圧力センサー水深計で計測。
  - (3)SPSS：大見謝<sup>1)</sup>の方法により測定し、定量下限は 0.4kg/m<sup>3</sup>。
  - (4)SS：JIS2010 に準拠、定量下限は 0.5mg/L。
  - (5)濁度：積分球方式濁度計(カオリン濁度)，定量下限は 0.1 度。

III 結果

各測定値のヒストグラムからデータの分布型を確認した。SPSS, SS および濁度は対数正規分布することから対数変換後、水平透明度はポアソン分布することから平方根変換後の測定値を箱ひげ図にして図 2 に示した。ひげの長さは最大で箱の長さの 1.5 倍とし、ひげの外側にある数値を外れ値としてデータから除いた。また、海域の調査場所を礁池、干潟、藻場、礁斜面、水路・航路、湾内、河口近傍の 7 つに区分し、海域毎に各区分の地点数を表 1 に、測定値統計量を表 2 に示した。また、調査項目別に各区分の箱ひげ図を図 3 に示した。なお、調査場所中、礁原の切れ目(クチ)は水路等を含め、漁港は湾内に含めた。

礁嶺の発達したサンゴ礁地形の場合、礁池内は陸域起源の流入物質の影響を強く受ける。特に、閉鎖性の強い湾内の深みや水路、礁池内の干潟に赤土等が堆積しやすいことは直感的にも経験的にも理解できる。SPSS の中央値を海域の場所毎に比較すると、湾内>干潟>水路等

>河口近傍>藻場>礁池>礁斜面の順になり、水平透明度の中央値は、礁斜面>水路等>礁池>藻場>湾内>河口近傍>干潟の順になる。水路と湾内を除いて、各場所における SPSS と水平透明度の高低の傾向は逆転する。すなわち、礁斜面では SPSS が最も低く、水平透明度は最も高い。干潟は SPSS が高く、水平透明度は最も低い。水路では SPSS が干潟、藻場、河口近傍と同程度であるが、水深が深い地点が多く、再懸濁による濁質の拡散が表層まで及びにくいいため、水平透明度は比較的高い。

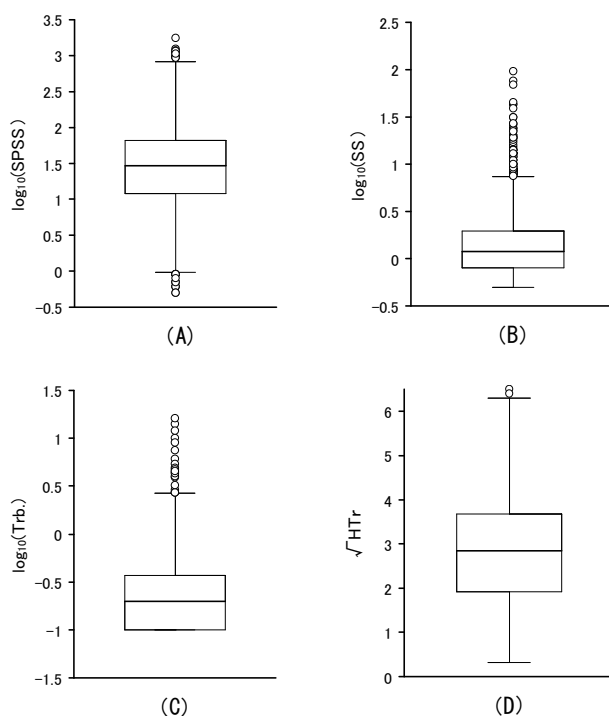


図 2. SPSS, SS, 濁度および水平透明度の箱ひげ図

- (A) : SPSS の常用対数値 ( $\log_{10}(\text{SPSS})$ )
- (B) : SS の常用対数値 ( $\log_{10}(\text{SS})$ )
- (C) : 濁度の常用対数値 ( $\log_{10}(\text{Trb.})$ )
- (D) : 水平透明度の平方根 ( $\sqrt{\text{HTr}}$ )
- は外れ値を示す。

表 1. 海域の区分と調査地点数

海域	調査区分と調査地点数							計
	礁池	干潟	藻場	礁斜面	水路等 <sup>1)</sup>	湾内 <sup>2)</sup>	河口近傍 <sup>3)</sup>	
平南川河口海域	34	0	0	3	0	0	5	42
屋嘉田潟原	6	18	23	1	6	0	2	56
宜野座福地川河口海域	15	5	21	2	5	0	1	49
古島川河口海域	35	0	0	3	2	0	4	44
天仁屋川河口海域	33	0	0	2	0	0	4	39
大度海域	40	0	0	0	0	0	0	40
川平湾	1	13	10	2	3	16	0	45
自保海域	24	0	18	2	4	0	7	55
大浦川河口海域	11	1	16	2	5	5	6	46
全海域	199	37	88	17	25	21	29	416

<sup>1)</sup>水路等はクチ(3地点)を含む  
<sup>2)</sup>湾内は漁港(1地点)を含む  
<sup>3)</sup>河口近傍は干潟を除く

表 2. 海域の区分と測定値統計量

測定項目	調査区分と測定値統計量								
	礁池	干潟	藻場	礁斜面	水路等 <sup>1)</sup>	湾内 <sup>2)</sup>	河口近傍 <sup>3)</sup>	計	
実測水深 (m)	測定数	762	177	380	68	105	89	128	1709
	最小値	0.2	0.2	0.3	3.2	0.4	0.4	0.2	0.2
	最大値	27.2	1.5	4.7	32.8	23.7	18.5	18.1	32.8
	中央値	2.2	0.6	1.6	13.1	3.4	1.6	1.2	1.8
水平透明度 (m)	測定数	763	177	380	65	105	89	128	1707
	最小値	0.1	0.2	0.3	2.6	0.8	0.6	0.1	0.1
	最大値	30.7	17.8	30.0	38.5	30.5	17.2	27.0	38.5
	中央値	10.0	2.6	8.4	17.2	10.7	5.8	3.8	8.1
SPSS (kg/m <sup>3</sup> )	測定数	740	177	379	67	104	83	125	1675
	最小値	1.0	3.9	1.8	1.5	2.0	8.6	1.3	1.0
	最大値	788	364	788	251	810	728.0	778.0	810
	中央値	18.8	47.8	32.2	12.4	40.3	50.1	35.5	28.6
SS(mg/L)	測定数	748	157	379	67	105	89	120	1665
	最小値	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	最大値	10.0	10.0	8.8	2.3	4.5	7.9	8.8	10.0
	中央値	0.8	2.1	0.8	0.7	0.6	0.9	1.3	0.9
濁度	測定数	606	131	305	52	80	72	92	1338
	最小値	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	最大値	1.5	1.5	1.3	0.3	0.9	1.5	1.4	1.5
	中央値	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2

<sup>1)</sup> 水路等はクチ (3地点) を含む  
<sup>2)</sup> 湾内は漁港 (1地点) を含む  
<sup>3)</sup> 河口近傍は干潟を除く

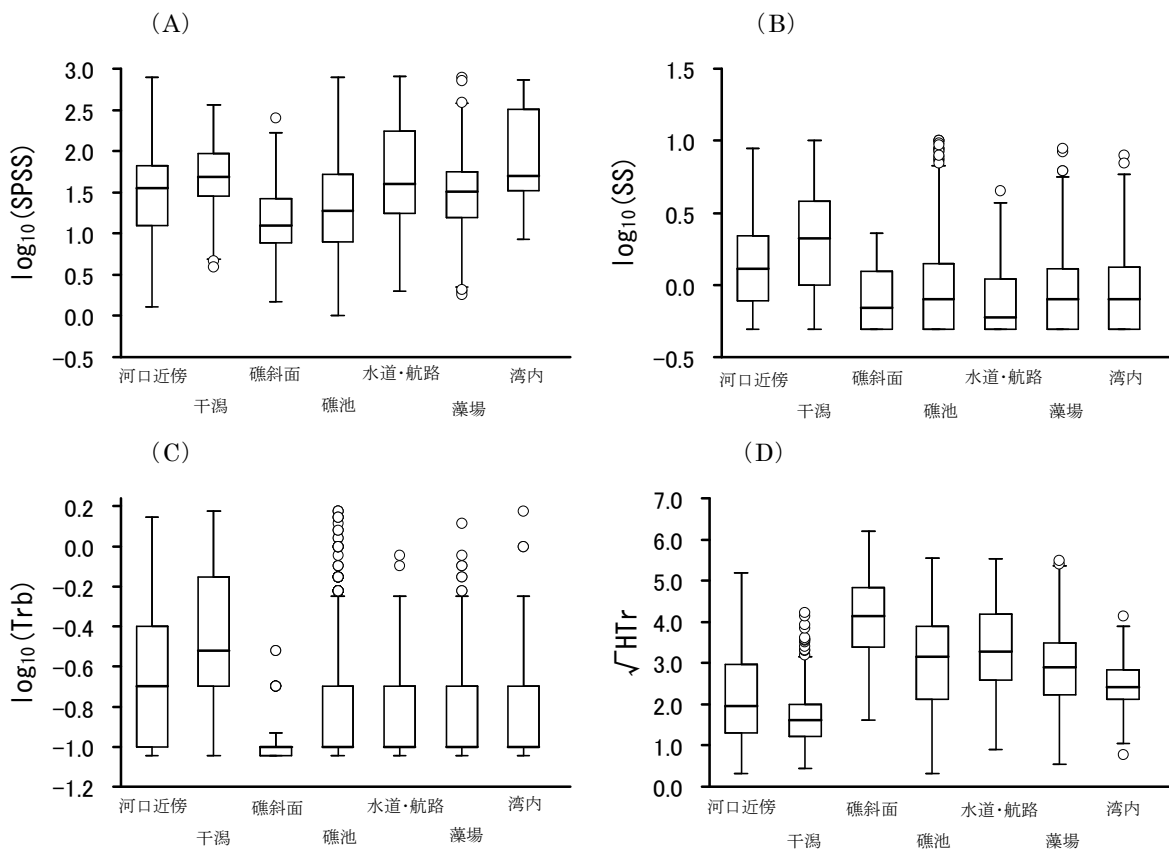


図 3. 海域区分別 SPSS, SS, 濁度, および水平透明度の箱ひげ図

(A) : SPSS の常用対数値 ( $\log_{10}(\text{SPSS})$ ) (B) : SS の常用対数値 ( $\log_{10}(\text{SS})$ ) (C) : 濁度の常用対数値 ( $\log_{10}(\text{Trb.})$ )  
 (D) : 水平透明度の平方根 ( $\sqrt{\text{HTr}}$ ). ○は外れ値を示す.

また、湾内では SPSS は最も高いが、海水流動の影響を受けにくく、海水流動により底質が懸濁しやすい河口近傍や干潟よりも水平透明度が高くなると考えられる。一方、礁斜面は外洋に面し、陸域起源の汚濁負荷の流入の影響を受けにくく、ミドリイシ類等の造礁サンゴの生育にとって良好な環境と考えられる。

礁斜面、礁池、藻場および干潟における SPSS の中央値は、それぞれ、約 10kg/m<sup>3</sup>、約 20kg/m<sup>3</sup>、約 30kg/m<sup>3</sup> および約 50kg/m<sup>3</sup> と沿岸に近いほど高くなっており、水平透明度の中央値は約 17m、10m、8m および 3m と沿岸に近いほど低くなる。SS と濁度の中央値は、礁斜面と礁池および藻場間にほとんど差が見られず、河口近傍と

干潟で高くなる。なお、赤土等に係るサンゴ礁のモニタリングは、陸起源の物質流入の影響を受けやすい礁池内が中心となることから、以後の解析は礁池内の測定値を対象に行った。

#### IV 考察

##### 1. 礁池内 SPSS と測定項目との関係

藻場を含む礁池内(河口近傍は除く)の SPSS と SS、濁度および水平透明度の散布図を図 4~図 6 に示した。なお、SS<0.5mg/L は 0.49mg/L とし、濁度<0.1 は 0.09 として入力した。全体の散布図からは、礁池内の SPSS と測定項目の間に明瞭な直線関係は見出せない。しかし、

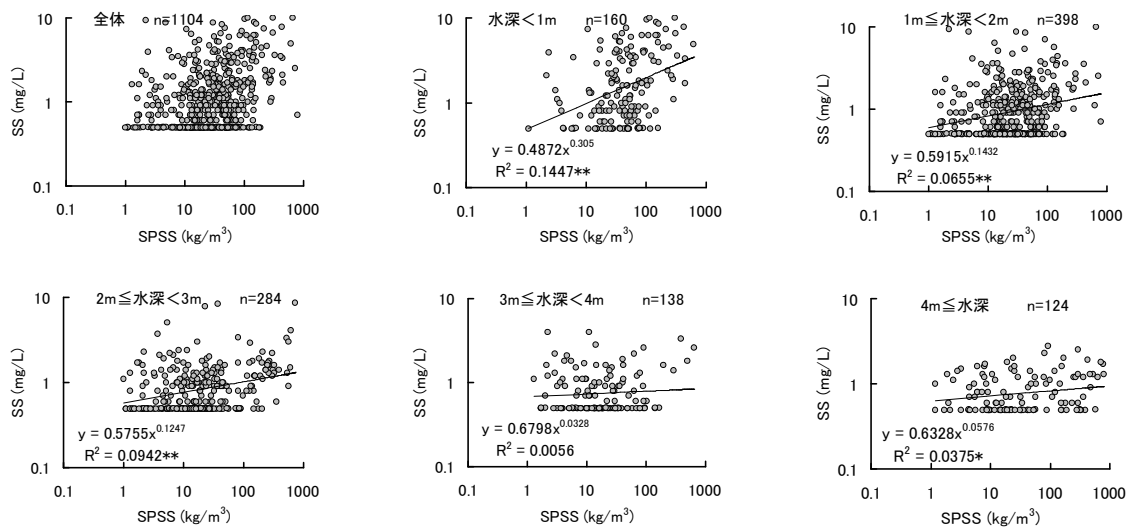


図 4. 礁池内 SPSS と SS の散布図(\*\*P<0.01, \*P<0.05)

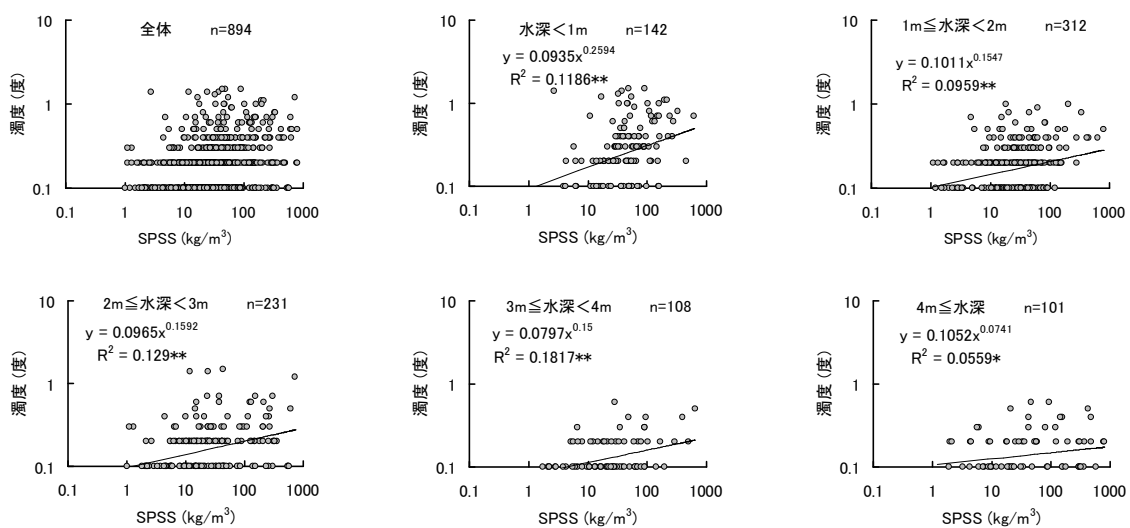


図 5. 礁池内 SPSS と濁度の散布図(\*\*P<0.01, \*P<0.05)

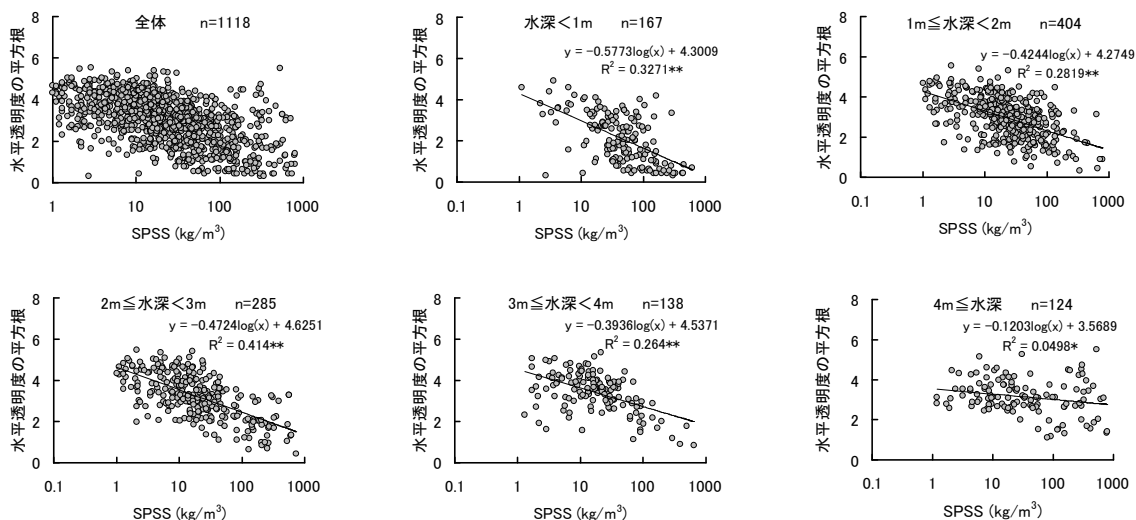


図 6. 礁池内 SPSS と水平透明度の散布図(\*\*P<0.01, \*P<0.05)

水深ごとに区分すると、水深が浅い地点では傾きの大きな直線関係が見られる。水深が深くなるにつれて傾きは漸次小さくなり、水深が4mを超えると、SPSS と他の測定項目間の相関係数は小さく、相関は弱くなる。礁池内の波穏やかな環境では、水深が4mを超えると、海水の流動による底質付近の懸濁物が表層まで及びにくいものと推察される。各項目とSPSSとの間の相関は水深4m未満の場合、水平透明度>濁度>SSの順で高い。

2. 礁池内 SPSS ランクと測定項目の対応

水深1m以上、4m未満の礁池内における SPSS ラン

ク<sup>3)</sup>に対応する SS、濁度および水平透明度の最小値、最大値、75%値および中央値を表3に示し、分布を箱ひげ図で示した(図7)。SS、濁度は SPSS ランクの上昇に対して中央値および75%値も上昇する傾向にあり、水平透明度は SPSS ランクの上昇に対して低下する傾向が明らかであるが、いずれも分布幅が広く、SPSS ランクと1対1で対応する指標値を得ることは困難である。そこで、SPSS ランクと海水の濁りを対応づける目安として、SS、濁度の一定値以下および水平透明度の一定値以上で出現する SPSS ランク 4 以下、5a 以下、5b 以下および 6 以下

の出現率と抽出率を計算した。例えば SS の場合、全体で 820 個のデータセットのうち、SS が 0.5mg/L 以下は 342 個で、このうち、SPSS ランク 5a 以下は 256 個なので、SS が 0.5mg/L 以下における SPSS ランク 5a 以下の出現率は 74.9%である。また、データセット全体の SPSS ランク 5a 以下は 525 個なので、抽出率は 48.8%となる。このようにして、SS、濁度および水平透明度について計算した結果を表4-6に示した。出現率と抽出率がともに高いほど SPSS ランクと対応する海水の濁り指標としての信頼度は増す。ここでは、SS と濁度はなるべく

表 3. 水深 1m 以上、4m 未満の礁池内における SPSS ランクに対応する SS、濁度および水平透明度の統計量

SPSS (kg/m <sup>3</sup> )			項目	地点数	データ数	最小値	中央値	75%値	最大値
下限	ランク	上限							
0.4 ≤	2・3	<5	SS(mg/L)	69	132	<0.5	0.5	1.1	9.4
			濁度(度)	66	103	<0.1	0.1	0.1	1.4
			水平透明度(m)	70	133	0.1	15.1	20.9	30.7
5 ≤	4	<10	SS(mg/L)	78	109	<0.5	0.6	1.1	5.1
			濁度(度)	70	85	<0.1	0.1	0.2	0.5
			水平透明度(m)	78	109	1.8	14.1	18.0	29.2
10 ≤	5a	<30	SS(mg/L)	168	338	<0.5	0.6	0.9	8.8
			濁度(度)	156	258	<0.1	0.1	0.2	1.4
			水平透明度(m)	168	338	0.2	10.9	15.0	29.2
30 ≤	5b	<50	SS(mg/L)	106	151	<0.5	0.9	2.8	8.4
			濁度(度)	98	135	<0.1	0.2	0.3	1.5
			水平透明度(m)	106	153	0.3	7.3	11.0	20.4
50 ≤	6	<200	SS(mg/L)	105	196	<0.5	0.9	1.8	10.0
			濁度(度)	102	168	<0.1	0.2	0.3	1.5
			水平透明度(m)	107	205	0.2	4.9	8.4	20.0
200 ≤	7・8	>200	SS(mg/L)	39	55	<0.5	1.8	3.3	10.0
			濁度(度)	35	44	<0.1	0.4	0.5	1.2
			水平透明度(m)	40	56	0.1	1.3	3.5	11.2

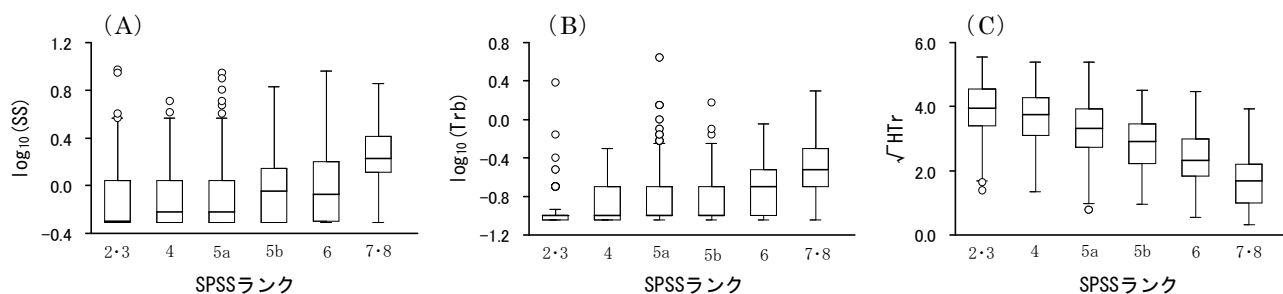


図 7. 礁池内 SPSS ランクと SS(A), 濁度(B)および水平透明度(C)の分布

SS, 濁度は常用対数変換値, 水平透明度は平方根変換値で表示. ○は外れ値を示す.

表 4. SS の一定値以下で出現する SPSS ランク範囲

SS(mg/L)	SPSSランク							
	抽出率(%)				出現率(%)			
	4 $\geq$	5a $\geq$	5b $\geq$	6 $\geq$	4 $\geq$	5a $\geq$	5b $\geq$	6 $\geq$
0.5 $\geq$	50.4	48.8	46.4	43.8	33.3	74.9	86.5	99.7
0.6 $\geq$	54.4	54.5	51.9	50.0	31.5	73.1	84.7	99.5
0.7 $\geq$	60.6	59.4	56.6	54.5	32.1	73.1	84.5	99.3
0.8 $\geq$	63.7	62.3	59.2	57.8	31.8	72.2	83.4	99.3
0.9 $\geq$	68.6	67.4	65.4	64.0	30.9	70.5	83.1	99.2
1.0 $\geq$	71.2	71.8	69.9	68.4	30.0	70.2	83.1	99.1

表 5. 濁度の一定値以下で出現する SPS ランク範囲

濁度(度)	SPSSランク							
	抽出率(%)				出現率(%)			
	4 $\geq$	5a $\geq$	5b $\geq$	6 $\geq$	4 $\geq$	5a $\geq$	5b $\geq$	6 $\geq$
0.1 $\geq$	72.4	62.5	60.6	56.5	35.5	70.4	85.4	98.0
0.2 $\geq$	92.5	87.8	86.0	82.8	30.6	66.7	81.7	97.0
0.3 $\geq$	96.6	93.8	92.8	91.1	29.0	64.7	80.0	96.7
0.4 $\geq$	98.3	96.3	95.8	95.3	27.9	62.8	78.1	95.8
0.5 $\geq$	99.4	97.5	97.2	96.8	27.6	62.3	77.6	95.2
0.6 $\geq$	99.4	98.3	98.0	98.1	27.2	61.9	77.2	95.1

表 6. 水平透明度の一定値以上で出現する SPSS 範囲

水平透明度(m)	SPSSランク							
	抽出率(%)				出現率(%)			
	4 $\geq$	5a $\geq$	5b $\geq$	6 $\geq$	4 $\geq$	5a $\geq$	5b $\geq$	6 $\geq$
$\geq 5$	92.5	90.3	87.5	81.6	32.3	73.3	86.4	98.8
$\geq 6$	90.7	87.6	84.1	77.2	33.5	75.3	87.9	98.9
$\geq 7$	89.4	82.5	78.6	71.3	35.7	76.7	88.9	98.8
$\geq 8$	83.6	77.4	73.1	65.6	36.3	78.1	89.8	98.7
$\geq 9$	81.0	72.1	67.5	59.7	38.5	79.8	90.9	98.5
$\geq 10$	77.0	66.7	61.4	53.4	41.0	82.8	92.7	98.8

数値が低い区分で, 水平透明度はなるべく数値が高い区分で抽出率および出現率ともに 75%以上の条件を満たす SPSS ランク範囲を選択すると, SS では該当するランク範囲がなく, 濁度では, 0.2度以下に対して, SPSS ランク 5b 以下が 81.7%の出現率を示す. また, 水平透明度では, 8m 以上で SPSS ランク 5a 以下の出現率が

78.1%, 7m 以上でランク 5b 以下の出現率が 88.9%, 6m 以上でランク 6 以下の出現率が 98.9%を示す. したがって, 生き生きとしたサンゴ礁生態系の上限ランク 6)であるランク 5a 以下をサンゴ礁海域における底質環境の指標値とするなら, その指標として水平透明度 8m 以上を基準にすることができる.

## VI 参考文献

- 1) 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・伊平屋村漁業共同組合・伊是名漁業共同組合・久米島漁業共同組合・恩納村漁業共同組合 (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, 沖縄県環境保健部, 50-60.
- 2) 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.
- 3) 大見謝辰男・満本裕彰 (2001) サンゴ礁における濁度・水平透明度・SPSS 測定値の関係について. 沖縄県衛生環境研究所報, 35 : 103-110.
- 4) 鳥取海峰・長尾正之・森本直子・井上麻夕里・岩瀬晃啓・渋谷拓郎・藤岡義三・大場英雄・菅 浩伸・鈴木淳 (2004) 琉球列島の石垣島周辺のサンゴ礁における底質と海水濁度の関係. 日本サンゴ礁学会誌, 6 : 1-19.
- 5) 高田宜武・阿部 寧・長尾正之・鈴木 淳・小林 都・大井理恵・橋本和正・渋谷拓郎 (2005) 石垣島浦底湾のサンゴ礁池における海水濁度の季節変動と気象. 日本サンゴ礁学会誌, 7 : 37-48.
- 6) 大見謝辰男・比嘉榮三郎・仲宗根一哉・満本裕彰 (2002) 赤土条例施行前後における沖縄沿岸の赤土等堆積状況比較. 沖縄県衛生環境研究所報, 36 : 77-84.