

# 海域における赤土汚染モニタリング

仲宗根一哉・大見謝辰男・満本裕彰・上原睦男\*・大城哲\*

## Monitoring Water Pollution Caused by Reddish Soil Run-off

Kazuya NAKASONE, Tatsuo OMIJA, Hiroaki MITSUMOTO, Mutsuo UEHARA and Tetsu OSHIRO

要旨：沖縄県内海域の底質中懸濁物質含量（SPSS）データベースから、14海域の赤土等汚染状況の推移について解析した。赤土堆積の度合いを表すSPSSの経時変動は海域の地形、降水量および台風や季節風による波浪等の自然条件のほか、赤土等流出源の影響を受け、海域によって異なるパターンを示した。

1980年代後半、農地開発事業からの赤土流出が著しかった恩納村赤瀬海岸では、1990年代になって底質の浄化が進み、SPSSは顕著に減少した。定点の方形枠（2m×2m）内の生サンゴ被度は、樹枝状のミドリイシ類などを中心に1990年前後の1%以下から1996年には約30%、1998年には50%以上に達した。金武町加武川河口域では、1997年以降、SPSSがやや減少する傾向にあり、1998年の定点観測調査では、エダコモンサンゴ、チヂミウスコモンサンゴなどの方形枠内の生サンゴ被度が1996年に比べ3～15%高くなった。恩納村屋嘉田潟原や宜野座村古知屋潟原では、1990年代後半からSPSSが減少する傾向がみられた。東村平良川河口域では、1998年以降、農地侵食による土壌流出が著しく、海域の3定点で赤土が厚く堆積した状況であるランク8（SPSS 400kg/m<sup>3</sup>）を示した。大度海岸では、農地侵食に由来する濁水が地下水脈を経て海岸に流出する現象が観測されているが、1998年以降、頻繁に発生しており、定点のSPSSの増加とともに生サンゴ被度の低下が見られた。その他の海域では、SPSSおよびサンゴ生息状況に顕著な変化はみられなかった。

Key Words：赤土汚染，海域，SPSS，サンゴ，モニタリング

### I はじめに

沖縄県内海域の赤土汚染評価の標準的手法として底質中懸濁物質含量簡易測定法<sup>1,2)</sup>（以下、SPSS\*\*測定法と称す）が定着している。大見謝ら<sup>3)</sup>は1983年から1991年3月にかけて、8機関で得られた沖縄県内274海域のSPSS測定結果をデータベース化して解析を行い、海域の半数が赤土等の流出で汚染されていることを定量的に明らかにした。その後、沖縄県では県内海域の赤土等汚染状況を継続的に調査するため、赤土等汚染海域定点観測調査事業を1995年以降、1997年を除き毎年実施している。

著者らは県内各地の海域の底質調査を実施するとともに、各機関で得られたSPSS測定値をデータベースに追加し、情報の集積を図っているところである。ここでは、赤土等汚染海域定点観測調査事業の観測結果も含め、SPSS測定値が比較的長期に渡って蓄積された14海域における赤土等汚染状況の推移について報告する。

### II 調査方法

#### 1. 調査機関

沖縄県衛生環境研究所（前沖縄県公害衛生研究所）、沖縄県環境保全室（前沖縄県環境保全課）、沖縄県水産業改良普及所、恩納村漁業共同組合

#### 2. 調査期間

1983年11月～2000年7月

#### 3. 調査海域

図1に示す14海域のうち、大宜味村平南川河口域、名護市源河川河口域、恩納村赤瀬海岸、東村平良川河口域、宜野座村漢那中港川河口域、金武町加武川河口域、石川市石川川河口域、糸満市大度海岸、玉城村アージ島の9海域は赤土等汚染海域定点観測調査事業の調査海域で、羽地内海中央は県の公共用水域水質測定の定点である。名護市海中公園、恩納村都田、恩納村屋嘉田潟原、宜野座村古知屋潟原は衛生環境研究所で定点観測を実施している海域である。

\*株沖縄環境保全研究所

\*\*SPSS：底質中懸濁物質含量 (content of suspended particles in sea sediment)

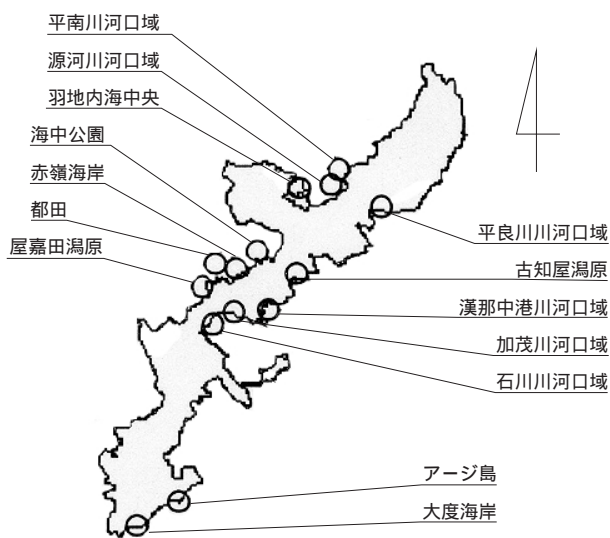


図1. 調査海域

### III 結果

#### 1. 降水量および風速

図2に1984~1999年までの各調査海域近傍の5観測地点における年間降水量<sup>4)</sup>を示す。また、1990~1999年までの4地点における10分平均最大風速が15m/sを超えた日数<sup>4)</sup>および沖縄島に接近した台風の数<sup>5)</sup>を表1に示す。

年間降水量の推移をみると、1984~1992年までは、ほ

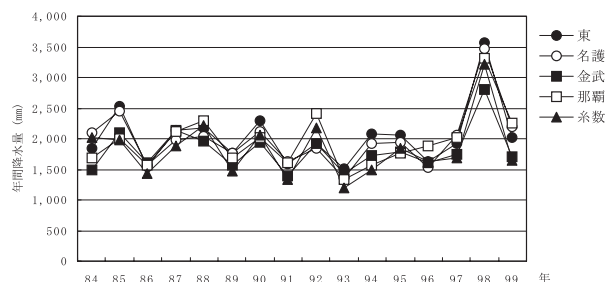


図2. 沖縄島5観測地点の年間降水量の推移。

とんどの観測地点で1,500~2,500mmの範囲で推移し、1993年は東を除く4地点で1,500mmを下回った。その後、1996年までは1,500~2,000mmの範囲で推移したが、1998年は2月に那覇で観測史上最大の月間降水量を記録したのをはじめ、梅雨期の5、6月も各地で平年値を上回り、10月は那覇で観測史上2番目に多い降水量を記録した。1998年の年間降水量は各地で平年を大きく上回り、2,500~3,500mmとなった。

1990年以降、10分平均最大風速が15m/sを超えた日数が、4地点平均で3日未満と少なかったのは、1994、1995、及び1998年であった。

沖縄島に接近した台風の数(那覇または名護の気象官署から300km以内を通過した台風の数)は、1991年が7回と最も多く、1994年が1回で最も少なかった。

#### 2. SPSS

海域の底質採取地点は、地形により海底(常時水面下にあるところ)と干潟(遠浅の潮間帯)およびその他(干潟以外の潮間帯)に分類される<sup>3)</sup>。ここでは、14調査海域を海底と干潟に分類して解析を行った。すなわち、SPSSデータベースの中から都田・屋嘉田潟原・古知屋潟原については、干潟のSPSSを抽出し、その他の海域については、海底のSPSSを抽出して解析に用いた。1海域につき複数の地点を測定している場合は、全地点のSPSSを平均して調査時点における代表値とした。なお、SPSSは対数正規分布する<sup>3)</sup>ことから、平均の算出は幾何平均によった。

図3に各海域におけるSPSS平均値および最高値(以下、SPSS<sub>MAX</sub>)を時系列で示す。また、表2には各海域

表1. 強風の吹いた日数および沖縄島に接近した台風の数 (1990~1999年)。

観測地点	項目	1990年	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年
名護	最大風速 <sup>*</sup> 15m/s以上の日数	4	5	3	3	0	1	6	5	1	4
	最高風速(風向)	21(N,S)	29(S)	16(NNW)	22(SSW)		18(S)	23(NNE)	23(S)	17(SW)	24(SSE)
金武	最大風速15m/s以上の日数	7	4	3	1	0	2	4	5	2	4
	最高風速(風向)	25	24	18(E)	23(S)		16(SE)	19(SE)	27(SE)	15(S)	23(SSE)
那覇	最大風速15m/s以上の日数	10	7	7	6	2	2	10	10	2	3
	最高風速(風向)	27(SSE)	37(WSW)	28(E)	29(S)	21(NE)	19(SSE)	28(SW)	29(SSE)	22(S)	28(S)
糸数	最大風速15m/s以上の日数	14	11	11	4	7	5	13	8	0	4
	最高風速(風向)	27(NNW)	38(NE)	34(ESE)	21(S)	17(NE)	22(SE)	27(N)	32(NNE)		31(SSE)
沖縄島に接近した台風 <sup>**</sup> の数		5	7	3	5	1	3	2	5	2	4
沖縄島東岸側を通過した台風の数		2	4	3	4			1	2	1	2
沖縄島西岸側を通過した台風の数		1	4		1	1	3	2	2	1	3
沖縄島南岸側を通過した台風の数		3	2	1		1	2		1		1

\*10分間平均最大風速。

\*\*那覇または名護の気象官署から300km以内を通過した台風。

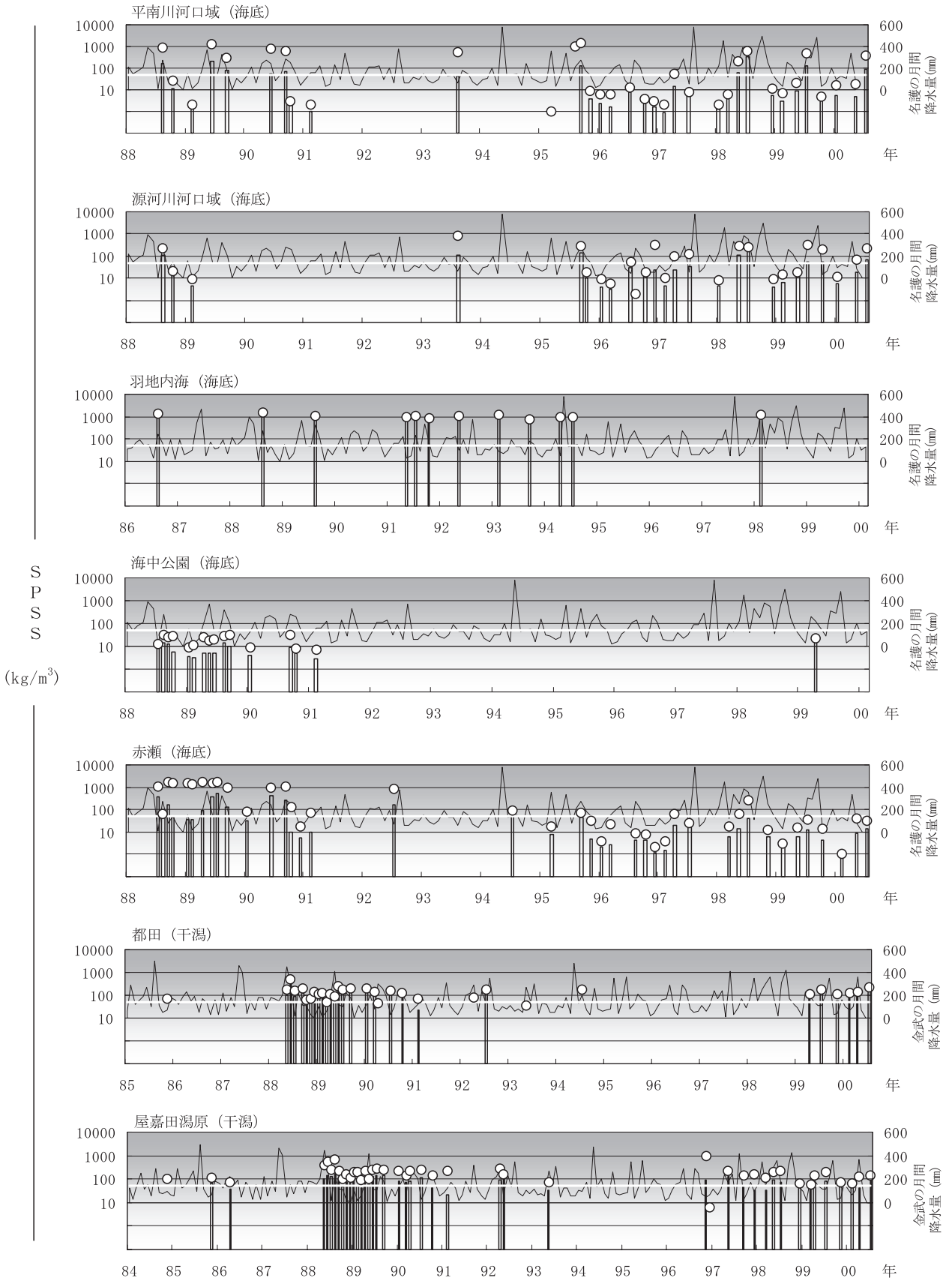


図3. SPSSの推移. 棒線:SPSS幾何平均値, ○:SPSS<sub>MAX</sub>, 白線:SPSS =  $50 \text{ kg/m}^3$ , 折線:月間降水量.

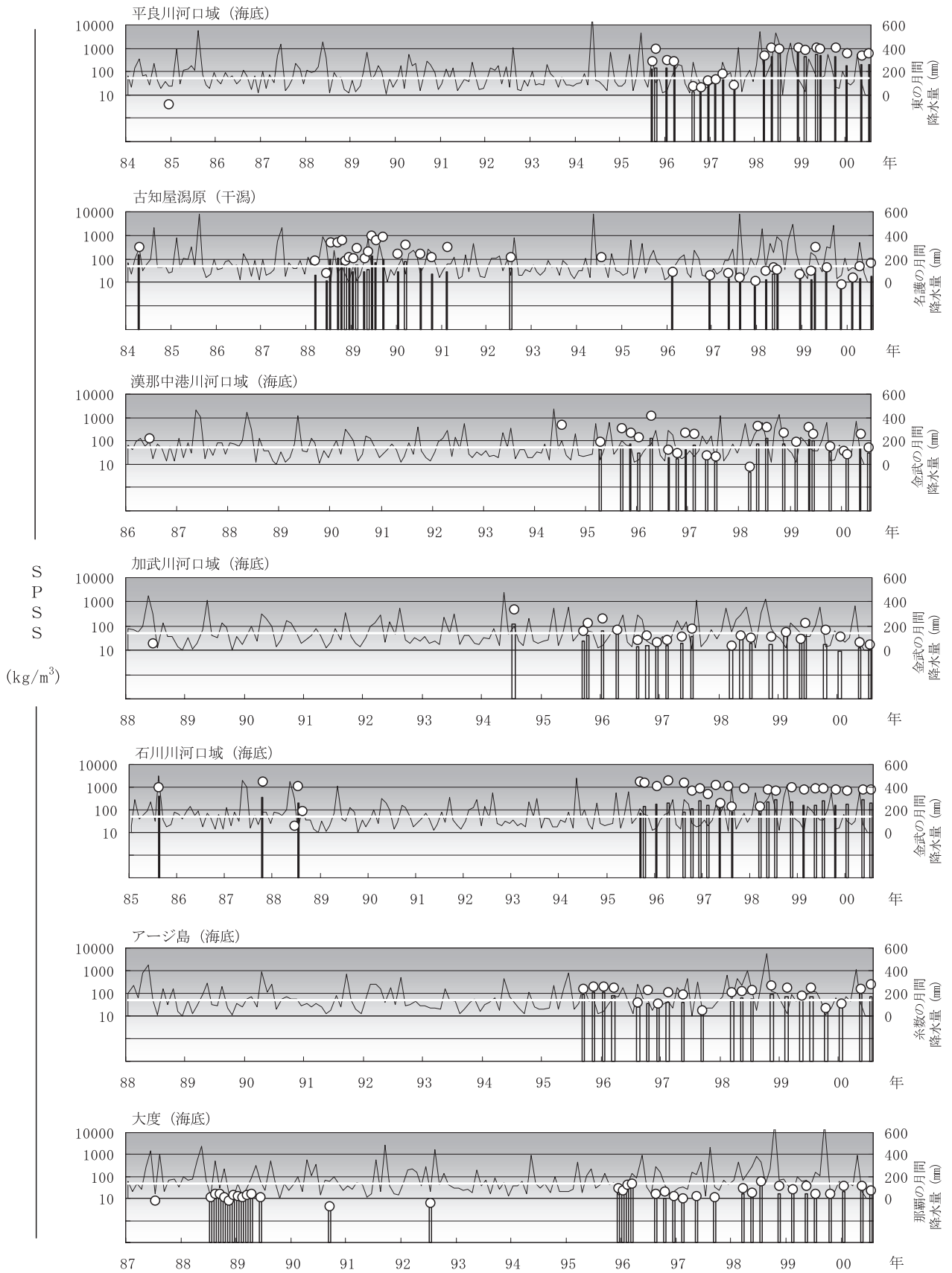


図3. (つづき). 棒線:SPSS幾何平均値, : SPSS<sub>MAX</sub>, 白線: SPSS = 50kg/m<sup>3</sup>, 折線: 月間降水量.

表2. 地点別年間SPSS<sub>MAX</sub>に基づく赤土堆積ランクと該当する地点数の推移.

平 南 川 河 口 域		1988年	1989年	1990年	1991年	1993年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年		
	ランク4 <sup>≧</sup>			1	2	3	1	4	2			1		
	ランク5	1	1			5		1			1			
	ランク6					4	2		1	1	1			
	ランク7					1	1			1		2		
	ランク8	1	1	1	1	1	1				1	1		
	SPSS <sub>MAX</sub> <sup>(kg/m<sup>3</sup>)</sup>	911	1,280	803	1.6	568	1,510	11.9	57.8	629	471	395		
地点数	2	2	2	2	14	5	5	3	3	3	3			
延測定件数	4	6	6	2	14	12	19	7	13	12	9			
調査月	8, 10	2, 6, 9	6, 9, 10	2	8	3, 8, 9, 11	1, 3, 7, 10, 12	2, 4, 7	1, 3, 5, 7, 12	2, 5, 7, 10	1, 5, 7			
源 河 川 河 口 域		1988年	1989年	1993年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年				
	ランク4 <sup>≧</sup>		3	1		2	1							
	ランク5	1		1		2			2	1				
	ランク6	1		1	4		2			1				
	ランク7	1			1	1		3	1	1				
	ランク8			3										
	SPSS <sub>MAX</sub> <sup>(kg/m<sup>3</sup>)</sup>	235	9	849	280	335	122	293	334	227				
地点数	3	3	6	5	5	3	3	3	3					
延測定件数	6	3	6	10	20	9	12	12	9					
調査月	8, 10	2	8	9, 11	1, 3, 7, 8, 10, 12	2, 4, 7	1, 5, 7, 12	2, 5, 7, 10	1, 5, 7					
羽 地 内 海 中 央		1986年	1988年	1989年	1991年	1992年	1993年	1994年	1998年					
	ランク4 <sup>≧</sup>													
	ランク5													
	ランク6													
	ランク7													
	ランク8	1	1	1	1	1	7	1	1					
	SPSS <sub>MAX</sub> <sup>(kg/m<sup>3</sup>)</sup>	1,350	1,460	1,136	1,102	1,050	1,250	943	1,140					
地点数	1	1	1	1	1	7	1	1						
延測定件数	1	1	1	3	1	8	1	1						
調査月	8	8	8	5, 7, 10	5	2, 9	4, 7	2						
海 中 公 園		1986年	1987年	1989年	1990年	1991年	1999年							
	ランク4 <sup>≧</sup>	3		2	2	3								
	ランク5		3	4	1		3							
	ランク6													
	ランク7													
	ランク8													
	SPSS <sub>MAX</sub> <sup>(kg/m<sup>3</sup>)</sup>	5.5	32.7	31.5	30.7	6.7	22.4							
地点数	3	3	6	3		3								
延測定件数	3	15	24	9	3	3								
調査月	9	6, 7, 8, 9, 10	1, 2, 4, 5, 6, 8, 9	1, 9, 10	2	4								
赤 瀬 海 岸		1988年	1989年	1990年	1991年	1992年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	
	ランク4 <sup>≧</sup>				2				4			1	1	
	ランク5		1			1	1	4	1	2	1	4	2	
	ランク6	1		1	1	1	2	1		1	1			
	ランク7										1			
	ランク8	2	2	2		1								
	SPSS <sub>MAX</sub> <sup>(kg/m<sup>3</sup>)</sup>	1,720	1,720	1,071	75.5	882	94.5	71.8	22	66.5	265	36.9	39.5	
地点数	3	3	3	3	3	3	5	5	3	3	5	3		
延測定件数	10	19	15	3	3	3	13	19	10	13	16	9		
調査月	7, 8, 9, 10	1, 2, 4, 6, 7, 9	1, 6, 9, 10, 12	2	7	7	3, 9, 11	1, 3, 8, 10, 12	2, 4, 7	3, 5, 7, 11	2, 5, 7, 10	2, 5, 7		
都 田		1985年	1988年	1989年	1990年	1991年	1992年	1993年	1994年	1999年	2000年			
	ランク4 <sup>≧</sup>													
	ランク5				1	2		1						
	ランク6	1			2	1	3		1	2				
	ランク7		1	2							2			
	ランク8		1											
	SPSS <sub>MAX</sub> <sup>(kg/m<sup>3</sup>)</sup>	66.9	503	252	191	71	174	34.6	172	182	220			
地点数	1	2	2	3	3	2	1	1	2	2				
延測定件数	1	14	16	9	3	3	1	1	6	6				
調査月	11	5-7, 9-12	1-7, 9	1, 3, 4, 7, 10	2	7	5	7	4, 7, 11	2, 4, 7				
屋 嘉 田 潟 原		1985年	1986年	1988年	1989年	1990年	1991年	1992年	1993年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年
	ランク4 <sup>≧</sup>						4			1				
	ランク5		1		1	1	1	1	2				2	1
	ランク6	1		2	1	2	1	3	2	1	2	2	1	3
	ランク7				1	2	1	2						
	ランク8									1				
	SPSS <sub>MAX</sub> <sup>(kg/m<sup>3</sup>)</sup>	113	29.6	114	271	220	228	277	72.6	911	69.9	134	137	138
地点数	2	1	2	2	5	6	6	4	3	2	2	3	3	
延測定件数	2	1	15	19	11	6	6	4	3	5	5	8	12	
調査月	11	4	5-12	1-7, 9	1, 3, 4, 7, 10	2	4, 5	5	11, 12	5, 9, 12	3, 5, 7, 12	3, 4, 7, 11	2, 4, 7	

\*全地点の年間最高SPSS値.

表2. (つづき)

平良川河口域		1984年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年					
	ランク4 <sup>≧</sup>	1											
	ランク5				1								
	ランク6		3	2	2						1		
	ランク7		1	2				1	1				
	ランク8		1				3	2	1				
	SPSS <sub>MAX</sub> <sup>*</sup> (kg/m <sup>3</sup> )		3.9	918	314	73.1	1,051	1,070	642				
地点数		1	5	4	3	3	3	3					
延測定件数		1	10	19	7	12	12	9					
調査月		12	9,10	1,3,8, 10,12	2,4,7	3,5,7,12	2,5,6,10	1,5,7					
古知屋潟原		1988年	1989年	1990年	1991年	1992年	1994年	1995年	1997年	1998年	1999年	2000年	
	ランク4 <sup>≧</sup>				2				1				
	ランク5	1	1	1		2		3	1	2	3	3	
	ランク6	1		1		1	1				1	1	
	ランク7		2		1								
	ランク8	2	1	1									
	SPSS <sub>MAX</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	697	970	420	327	116	122	29	26.2	36.8	82.7	68.2	
地点数	4	4	3	3	3	1	3	2	2	4	4		
延測定件数	22	22	12	3	3	1	5	6	6	13	10		
調査月	3,7,9-12	1,2, 4-7,9	1,3,7,10	2	7	7	2,12	5,8,12	3,5,6,12	3,4,7,11	2,4,7		
漢那中港川河口域		1986年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年				
	ランク4 <sup>≧</sup>												
	ランク5			1	2	2							
	ランク6	1		2	1		2	2	2				
	ランク7			2		1		1	1				
	ランク8		1		2		1						
	SPSS <sub>MAX</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	128	463	367	203	203	414	390	199				
地点数	1	1	5	5	3	3	3	3					
延測定件数	1	1	13	19	7	11	12	9					
調査月	6	7	4,9,11	1,4,8, 10,12	2,5,7	3,5,7,11	2,5,6,10	1,5,7					
加武川河口域		1988年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年				
	ランク4 <sup>≧</sup>					1							
	ランク5	1	1	2			3	1	3				
	ランク6			3	4	1		2					
	ランク7				1								
	ランク8		1										
	SPSS <sub>MAX</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	19.1		133	213	78.7	47.1	132	38.2				
地点数	1	2	5	5	3	3	3	3					
延測定件数	1	2	10	19	7	11	12	9					
調査月	6	7	9,10	1,4,8, 10,12	2,6,7	3,5,7,11	2,5,6,10	1,5,7					
石川川河口域		1985年	1987年	1988年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年			
	ランク4 <sup>≧</sup>												
	ランク5			1	1	1							
	ランク6	1	1	1	2		2	1	1	1			
	ランク7			1			2	1	1	1			
	ランク8	1	1	1	2	2	1	1	1	1			
	SPSS <sub>MAX</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1,030	1,700	1,230	1,740	1,980	1,260	954	920	787			
地点数	2	2	4	5	5	3	3	3	3				
延測定件数	2	2	8	10	19	10	11	12	9				
調査月	8	10	7,8	9,10	1,4,8, 10,12	2,4,5,7, 8,11	3,5,7,11	2,5,7,10	1,5,7				
アージ島		1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年						
	ランク4 <sup>≧</sup>												
	ランク5		1	2	1	1							
	ランク6	3	4	1	1	2	2						
	ランク7				1		1						
	ランク8												
	SPSS <sub>MAX</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	193	197	113	220	188	239						
地点数	4	5	3	3	3	3							
延測定件数	8	17	7	11	12	9							
調査月	9,11	1,3,8, 10,12	2,5,9	3,5,7,11	2,5,7,10	1,5,7							
大度海岸		1987年	1988年	1989年	1990年	1992年	1994年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	
	ランク4 <sup>≧</sup>	1			2	2			1				
	ランク5		2	2			2	3	2	1	3	3	
	ランク6									2			
	ランク7												
	ランク8												
	SPSS <sub>MAX</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	7.9	16.9	17	4.4	6.6		47	12.8	62.3	37.9	38.4	
地点数	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3		
延測定件数	1	12	10	2	2	2	16	7	11	12	9		
調査月	7	7-12	1-4,6	9	7	12	1,2,3,8, 10,12	2,5,9	3,5,7,11	2,5,7,10	1,5,7		

\*全地点の年間最高SPSS値。

の調査地点別にSPSS<sub>MAX</sub>を求め、それに対応する赤土堆積ランク<sup>1)</sup>を記した。

#### 1) 平南川河口域

この海域は梅雨後、大量の赤土が海底に堆積するが、夏季の台風や冬季の季節風により拡散、減少する<sup>3)</sup>。毎年梅雨後にはSPSSが400kg/m<sup>3</sup>以上の赤土堆積ランク8の地点が観測されている<sup>6-9)</sup>。最近の著者らの流出源調査では、1997年～1998年にかけて河川流域の急傾斜地で無対策の個人開発が行われていた。また、1998年には平南川支流のアザカ川の上流で農用地の大規模な侵食がみられた。

#### 2) 源河川河口域

平南川河口域と同様、SPSSは季節変動するが、平南川河口域ほど極端な懸濁物質の堆積はない。この海域に隣接した山地でも無対策の開発(写真1)のほか、農地、墓地造成、河川工事、大雨による土砂崩れなどによる赤土流出がみられる。1997年には全地点でSPSS<sub>MAX</sub>がランク7を下回り、海域の浄化が期待されたが、翌1998年には全地点でランク7を示し、底質の悪化がみられた。

#### 3) 羽地内海中央

県の公共用水域水質調査の定点で、底質採取地点は毎回1点のみである。周辺農地などからの赤土流出により、大量の土壤微粒子が海底に堆積している。閉鎖的な内海のため、台風や季節風などの波浪の影響を受けにくく、底質の浄化は期待できない<sup>10)</sup>。SPSSは毎年1,000kg/m<sup>3</sup>前後で推移し、変動がほとんどみられない。

#### 4) 海中公園

経験上、SPSSが50kg/m<sup>3</sup>を超えると明らかに人為的な赤土等の流出による環境悪化と位置づけられる<sup>10)</sup>。この海域は1986～1999年の観測で、SPSS<sub>MAX</sub>が50kg/m<sup>3</sup>を越えていないことから、人為的影響による赤土等の流出の少ない海域といえる。

#### 5) 赤瀬海岸

海域に隣接して1988～1991年に農地開発事業が実施された。この間、大量の赤土が海域に流出し、ミドリイシ類のサンゴはほとんど死滅した<sup>11)</sup>。1988～1990年の海域全体のSPSS<sub>MAX</sub>は1,000kg/m<sup>3</sup>以上を記録し、ランク8であった。事業終了後も農地からの赤土流出は続いているが、かつての無対策の開発事業のように大量の赤土が海域を汚染することはなく、赤土堆積の影響は河口周辺の狭い範囲にとどまっている。1994年以降、SPSS<sub>MAX</sub>は顕著に減少し、1998年を除き、年間を通してランク3～5で推移している。

#### 6) 都田

この海域では土地改良事業に伴って赤土流出があったが現在では大きな流出はみられない。しかし、1999年以降もSPSS平均値およびSPSS<sub>MAX</sub>は100kg/m<sup>3</sup>以上で、年間を通してランク6を維持したままとなっている。

#### 7) 屋嘉田潟原

かつてはモズク養殖に大きな被害が出るなど赤土汚染が深刻な海域であったが、近年では大規模な流出源もなく、SPSS<sub>MAX</sub>および平均値とも低下する傾向にある。1997年以降、SPSS<sub>MAX</sub>はランク6以下で推移しており、今後も浄化が進むものと期待される。

#### 8) 平良川河口域

1998年9月の流出源調査で、丘陵のパイン畑が侵食されるまま放置され、巨大なガリが発生していたのを確認した(写真2)。現在、ガリの一部は修復されているが、その間、降雨時に高濃度の濁水がこの海域に流出したものと予想される。台風の接近がない限り、土壤微粒子は海底に堆積したままである。1998年は海域の3地点で年間を通してランク8を記録した<sup>8)</sup>。



写真1. 無対策で行われている山地の個人開発現場。開発面積は2,000㎡以上とみられる。(源河川河口近く1998年6月)



写真2. 侵食が進行しているパインアップル畑。(東村平良川流域1998年9月)

9) 古知屋潟原

農地開発の影響で1988～1991年にかけてSPSS<sub>MAX</sub>がランク7～8であったが、1996年以降はランク4～5と明らかに底質の浄化が進行している。

10) 漢那中港川河口域

1993年7月に河口でSSが5,200mg/ℓの高濃度を記録し<sup>12)</sup>、上流の土地改良事業からの赤土流出とみられた。近年では目立った流出源はなく、既存農地や河川工事などいくつかの流出源が複合していると推察される。東海岸に位置し、台風接近による波浪以外は浄化が期待できない。1994年以降、SPSS<sub>MAX</sub>はおおよそ200～500kg/m<sup>3</sup>、ランク6～8の間で推移している。

11) 加武川河口域

海域に隣接して米軍演習場があり、主な流出源となっている<sup>13,14)</sup>。1994～1996年の調査では、SPSS<sub>MAX</sub>が100kg/m<sup>3</sup>以上を記録したが、その後は1999年を除きSPSS<sub>MAX</sub>は100kg/m<sup>3</sup>を下回り、SPSS平均値もやや減少する傾向にある。

米海兵隊の県道104号線越砲撃演習が1997年3月を最後に停止したことや、貯留型砂防ダムの建設、着弾地点の航空緑化等赤土流出防止対策が実施されたことにより、海域への濁水流出の減少が期待されるが、1996～1998年の降雨時における加武川SSの年平均値に明確な変化はみられない<sup>14)</sup>。

12) 石川川河口域

石川川は金武湾に注ぐ河川の中で最も赤土流出量が大きいとみられる。流出源は既存農地のほか、土取り場、農地、宅地造成などである。石川川河口は金武湾の奥に位置しており、海域に流出した土壌微粒子は海底に大量に堆積している。1988～1997年まで、SPSS<sub>MAX</sub>は1,000kg/m<sup>3</sup>以上、1998年以降は1,000kg/m<sup>3</sup>を下回っているものの、ランク8を維持したままである。

13) アージ島

周辺陸域は、島尻層泥岩の風化したジャーガル土壌が分布しており、降雨時には農地からの濁水のほか、道路排水なども海域に流出する。海域の底質は、砂礫に泥が混じり、透明度も低い。台風による一時的な拡散・浄化はあるものの、慢性的な土壌流出が推察され、SPSS<sub>MAX</sub>は1997年を除き毎年約200kg/m<sup>3</sup>で推移している。

14) 大度海岸

赤土等汚染海域定点観測調査事業の対照海域だったが、1998年以降、徐々にSPSS値が上昇し、継続した土砂流出が示唆される。大度海岸では、100mmを越える降雨時に、農地侵食に由来する濁水の流出が観測されている<sup>15)</sup>

が、1997年に大度洞穴の下流地下水脈にコンクリート堤体が打設され、農業用水かんがいダムが建設されて以降、30～40mmの降雨でも濁水が大度洞穴から湧出し、側溝から大度海岸へ流出している<sup>8)</sup>。地下ダム建設に伴う地下水位の上昇が影響しているものと懸念される。1998年には地下水脈出口近くの地点で観測調査始まって以来初めてSPSS<sub>MAX</sub>がランク6を記録した。

3. サンゴ生息状況の推移

表3に赤土等汚染海域定点観測調査事業の調査海域定点における2m×2m方形枠内及び地点周辺の生サンゴ被度(生きているサンゴの海底被覆度)の推移を示す。サンゴ生息状況に特に変化の見られた海域は赤瀬海岸、加武川河口域、大度海岸で、その他の海域に大きな変化はみられなかった。

赤瀬海岸ではミドリイシ類を中心に定点の生サンゴ被度が1990年前後の1%以下<sup>11)</sup>から1996年には約30%<sup>7)</sup>、1998年には50%以上<sup>8)</sup>に達したが、1998年夏の世界的規模のサンゴ礁白化現象により、ほとんど壊滅した<sup>8)</sup>。なお、定点各地のサンゴ白化状況については既に報告<sup>16)</sup>されている。

加武川河口域では、1998年の調査でエダコモンサンゴ、チヂミウスコモンサンゴを中心に定点の生サンゴ被度が1996年に比較して3～15%高くなり<sup>8)</sup>、サンゴ生息状況に著しい変化がみられた。

大度海岸では、1996年に地下水脈出口に最も近い地点で確認されたハナバチミドリイシが1998年には大部分死滅し、塊状のパリカメノキクメイシなどにも部分死が確認される<sup>8)</sup>などサンゴ生息環境の悪化がみられた。

IV 考察

1. 降雨と波浪の影響

那覇市における年間風向は冬季に大陸高気圧の張り出しによる北～北東の季節風、春から夏季にかけて南～南南西、夏季には、東が卓越する。特に10m/s以上の強風になると、冬季季節風が圧倒的に高く、次いで台風時の南南西が認められる。こうした風の条件に加え、沖縄島の主軸が北東から南西に約45度傾いているため、沿岸波浪は冬季の季節風で西岸側、台風時で一般に東岸側に顕著な影響を及ぼす<sup>17)</sup>。

調査期間中、年間降水量が比較的少なかった1991、1993年は、赤土が流出する頻度も少なく、台風や季節風による波浪の影響で、海底に堆積した土壌微粒子の拡散と移送の自然浄化が作用したと考えられる。これに対し、



表3. 赤土等汚染海域定点観測におけるサンゴ出現種類および被度の推移

(資料：平成11年度赤土等汚染海域定点観測報告書<sup>9)</sup>)

海域	地点	項目	1995年	1996年	1998年	1999年
平南川河口域	No.2	サンゴ出現種類数*	5	6	9	5
		方形枠内被度(%)	8	7.2	8.3	6.4
		調査地点周辺被度(%)			1	1
源河川河口域	No.1	サンゴ出現種類数	19	22	19	12
		方形枠内被度(%)	23.8	27.9	36.6	10.3
		調査地点周辺被度(%)			25	10
赤瀬海岸	No.2	サンゴ出現種類数	16	15	15	0
		方形枠内被度(%)	28.6	30.6	64	0
		調査地点周辺被度(%)			50	1
平良川河口域	No.2	サンゴ出現種類数	13	18	20	17
		方形枠内被度(%)	9.2	10.2	14.3	11.4
		調査地点周辺被度(%)			5	5
漢那中港川河口域	No.1	サンゴ出現種類数	2	3	1	2
		方形枠内被度(%)	10.6	10.8	4.4	5.5
		調査地点周辺被度(%)			1	1
加武川河口域	No.2	サンゴ出現種類数	6	6	5	3
		方形枠内被度(%)	2.2	2.5	0.9	1.6
		調査地点周辺被度(%)			1	1
石川川河口域	No.2***	サンゴ出現種類数	7	7	5	6
		方形枠内被度(%)	45.8	22.3	34	19.4
		調査地点周辺被度(%)			30	25
アジ島	No.3	サンゴ出現種類数	9	8	8	5
		方形枠内被度(%)	35.9	29.4	37.5	11.1
		調査地点周辺被度(%)			25	10
大度海岸	No.1	サンゴ出現種類数	4	4	4	1
		方形枠内被度(%)	14.3	14.1	13.6	3.2
		調査地点周辺被度(%)			10	5
アジ島	No.3	サンゴ出現種類数	7	9	10	11
		方形枠内被度(%)	41.6	44.4	25.4	27.3
		調査地点周辺被度(%)			30	30
アジ島	No.2	サンゴ出現種類数	—	1	1	1
		方形枠内被度(%)		9.9	4.6	1.8
		調査地点周辺被度(%)			1	1
大度海岸	No.3	サンゴ出現種類数	3	3	2	1
		方形枠内被度(%)	52.6	50.2	39.2	38.6
		調査地点周辺被度(%)			1	1
大度海岸	No.1	サンゴ出現種類数	5	5	4	2
		方形枠内被度(%)	19.4	12.8	6.7	6
		調査地点周辺被度(%)			10	10
大度海岸	No.2	サンゴ出現種類数	8	8	9	6
		方形枠内被度(%)	70.7	70.9	66.3	66.7
		調査地点周辺被度(%)			50	60

\* 2m×2m方形枠内のサンゴ出現種類数。ただし、死滅または消滅した群体は含まない。

\*\* 2m×2m方形枠内の生サンゴ被度。

\*\*\* 石川川河口域No.2地点は1999年度に方形枠の位置を変更。

1998年は年間降水量が記録的に多く、赤土流出の頻度が高かった。また、冬季には強い季節風が吹かず、夏期には台風の接近がなかったことから、波浪の影響は、かなり小さかったといえる。そのため、両岸側の海域とも前年よりSPSS<sub>MAX</sub>が1ランク高くなる地点が増えたと推察される。

## 2. 海域の地形と浄化能

沖縄島のサンゴ礁地形のほとんどは、島を取り巻き棚状に発達した裾礁で、中城湾・金武湾や島影などの内湾的性格の海域には群をなして浅海に分布する離礁が分布する。特に波の弱い内湾側になると、枝サンゴなどの群集が浅海底にサンゴ頭(コーラルヘッド)として散在し、礁形は不明瞭なものとなる<sup>17)</sup>。目崎<sup>17)</sup>は、裾礁を中心に干瀬(低潮時に干出する岩礁帯あるいは礁原)とイノー(礁池)とを用いて、その形成環境による分類を試み、干瀬型、干瀬-イノー型、離礁型、サンゴ頭型の4つの型に区分した。それによると、基底幅(礁形成可能な基底深度までの幅：沖縄ではおおそ水深20mまでの海岸からの幅)200~300mを基準にして、狭いあるいは大きいとしたとき、波浪は強いが基底幅が狭い外洋側に干瀬型、波浪も強く基底幅も大きい外洋側に干瀬-イノー型、波浪弱く基底幅の大きい内湾域に離礁型、波浪弱く基底幅も小さい内湾にサンゴ頭型となる。こうしたサンゴ礁海域の地形区分の考え方は、その海域のもつ浄化能をより合理的に説明できる根拠にもなると考えられる。すなわち、干瀬型では礁池が発達せず、基底幅も狭いので、海域に沈殿した土壌微粒子は波浪によって速やかに除去される。干瀬-イノー型では波浪と下げ潮が重なると、礁池に沈殿した土壌微粒子が舞い上がり、干瀬の切れ目(クチ)から外洋へ細々と拡散する。また、内湾などの離礁型やサンゴ頭型では、波浪により、懸濁物質の舞い上がりが生じて、湾内から外洋へ移送する流れが弱く、特にサンゴ頭型ではその傾向が強い。したがって、浄化能の強さは、干瀬型が卓越し、次いで干瀬-イノー型、離礁型、サンゴ頭型の順になる。

ここで、海上保安庁水路部発行の5万分の1海図、目崎の作成した沖縄島のサンゴ礁地図<sup>17)</sup>およびカラー航空写真などを参考に調査海域の地形区分を試みた。

平南川河口域と源河川河口域では、沿岸にわずかな干瀬が見られ、沖合約300mまで水深10m以下で基底幅は大きい。沖縄島西岸にあり、沖合に干瀬が発達していないため、冬季季節風などによる波浪の影響を受けやすく、浄化能は強いといえる。このことは両海域における

SPSSの季節変動幅の大きさからも伺える。両海域の地形は一見、離礁型のように見えるが、波浪の強い外洋に面していながら、沖合に干瀬がみられず、沿岸のみにわずかな干瀬がみられることから、干瀬型と評価される。ただし、海底は沖合約3kmまで水深は20m以下で、なだらかな起伏を繰り返しながら広がっており、波浪がなければ、赤土等の土壤微粒子が堆積しやすい環境とも考えられる。

海中公園と大度海岸は、沖合約400mの外洋側に干瀬が発達しており、礁池の水深は2~3mと浅く、典型的な干瀬-イノー型と評価される。

アージ島の沖合約1.8kmには、港川から久高島まで伸びる約14kmの発達した干瀬があり<sup>17)</sup>、アージ島海域はその礁池内にある。海中公園や大度海岸同様、干瀬-イノー型と評価されるが、礁縁から海岸線までの距離が約2.3kmと長く、海中公園や大度海岸より浄化能は弱いと推察される。

平良川河口域は、沖縄島東岸の湾入の大きな平良湾内にあり、北~北東の季節風は陸域の丘陵によって遮られている。沖合約300mから東の海岸線に平行して干瀬が発達し、太平洋側に連続して伸びている。礁池は、南北に0.4~1.1km、東西に5kmと広く、平良川河口は、この礁池の西端にある。内湾に位置し、発達した干瀬と広い礁池を持つことから、干瀬-イノー型と離礁型の中間と評価される。

赤瀬海岸は、沖合400mにわずかに干瀬がみられる。やや内湾的であることから、離礁型と評価される。ただし、礁池は小さく、沖縄島西岸側に位置し、冬季の季節風の影響を受けることから、離礁型の中にあって、浄化能は強いものと思慮される。

久志湾内の古知屋潟原は、沖合約700mまで干潟が広がり、さらにその約1.8km先に約500m長の干瀬が点在していることから、典型的な離礁型と評価される。

屋嘉田潟原も内湾にあり、沖合約1kmまで干潟が広がる。前方に約1.5km長の干瀬があり、離礁型と評価される。

その他の海域では、都田、漢那中港川河口域および加武川河口域が離礁型、石川川河口域および羽地内海中央がサンゴ頭型と評価され、閉鎖性の程度や流況等によってそれぞれ浄化能に差があると考えられる。

### 3. サンゴ生息状況

平南川河口域や源河川河口域では、土壤微粒子の堆積と浄化のサイクルが毎年繰り返され、サンゴは周期的にダメージを受けている。これらの海域の定点では、梅雨

後のSPSSが100~400kg/m<sup>3</sup>と高く、これが年間の最高値となることが多い。SPSSの最高値は、生サンゴ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すことが知られ<sup>18)</sup>、SPSS最高値が400kg/m<sup>3</sup>を越える海域では、海底は泥で覆われ、サンゴはほとんど生息できない<sup>18)</sup>。

赤瀬海岸では、SPSS<sub>MAX</sub>がランク8からランク5まで減少するのに5年を要したが、定点の生サンゴ被度が1%以下から50%以上に達するのに8年を要している。このように、流出源の大きな影響がなくなれば、海域の地形によっては海底の浄化は進行するが、サンゴ生態系が健全な状態にまで回復するには、さらに長い時間を要することがわかる。

加武川河口域では、1997年以降、SPSSが低下する傾向を示すとともに、1998年からサンゴ生息状況に変化がみられ、底質環境が良くなる兆しが伺える。主な流出源である米軍演習場における赤土等流出防止対策の効果を期待したい。

大度海岸では、定点が設置されている地下水脈出口近くの地点で1998年以降、SPSSが増加する傾向にある。農地侵食に由来する濁水の流入が原因とみられるが、地下ダム建設によってさらにその影響が増大しているものと懸念され、今後、海域全体のサンゴ生息環境の悪化が危惧される。

## V まとめ

1. 1998年は年間降水量が例年より多かった上、台風の襲来もなく、沖縄島両岸のほとんどの海域で前年よりSPSS<sub>MAX</sub>が1ランク高くなった。

2. 赤瀬海岸では1990年以降、SPSS<sub>MAX</sub>がランク8からランク5まで減少し、定点の生サンゴ被度はミドリイシ類を中心に、1990年前後の1%以下から1996年に30%、1998年には50%以上に達した。

3. 古知屋潟原では1996年以降、屋嘉田潟原と加武川河口域では1997年以降、SPSSが減少する傾向にある。加武川河口域では1998年に定点の生サンゴ被度が、1996年に比べ3~15%高くなった。

4. 平南川河口域、源河川河口域は継続的な赤土流出のため、梅雨後のSPSSは100~400kg/m<sup>3</sup>の高い値で推移した。

5. 平良川河口域では、1998年以降、農地侵食による土壌流出が著しく、海域のほとんどの地点でランク8を示した。

6. 大度海岸では、1998年に地下水脈出口近くの地点で、

観測始まって以来初めてSPSS<sub>MAX</sub> がランク 6 を記録し、底質の悪化が見られ、ハナバチミドリイシの死滅やバリカメノコキクメイシなどの部分死が確認された。

## VI 参考文献

- 1) 大見謝辰男 (1987) 沖縄県の赤土汚濁の調査研究 (第2報). 沖縄県公害衛生研究所報, 20: 100 - 112.
- 2) 沖縄県水産業改良普及所 (1989) 漁業公害調査指導事業テキスト, 赤土汚染簡易測定法の手引き.
- 3) 大見謝辰男・大山峰吉・池間修宏・八重山保健所衛生課・沖縄水産業改良普及所・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 (1992) 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会 (抄録集). pp.31-34.
- 4) 沖縄气象台 (1984 - 1999) 気象月報, 1 - 12月.
- 5) 沖縄气象台 (1990 - 1999) 沖縄管内異常気象報告. 第19号 - 第28号.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 沖縄県文化環境部環境保全室 (1999) 平成10年度赤土等汚染海域定点観測調査報告書.
- 9) 沖縄県文化環境部環境保全室 (2000) 平成11年度赤土等汚染海域定点観測調査報告書.
- 10) 大見謝辰男・古堅勝也・普天間朝好 (1994) 台風等の波浪による堆積泥の浄化について. 第28回日本水環境学会年会講演集: 168 - 169.
- 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) 大見謝辰男・比嘉榮三郎・仲宗根一哉・満本裕彰 (1996) 沖縄島と久米島の赤土等による河川の濁りについて. 沖縄県衛生環境研究所報, 32: 149 - 159.
- 13) 仲宗根一哉・満本裕彰・与那嶺政人・岸本高男・比嘉榮三郎・大見謝辰男 (1998) 米軍基地内河川の底質中懸濁物質含量と底生動物に関する調査研究. 沖縄県衛生環境研究所報, 32: 161 - 167.
- 14) 満本裕彰・大見謝辰男・比嘉榮三郎・仲宗根一哉 (1999) 米軍基地を流れる河川の赤土流出について. 沖縄県衛生環境研究所報, 33: 77 - 82.
- 15) 比嘉榮三郎・大見謝辰男・花城可英・満本裕彰 (1996) 濁水による地下水汚染と流域解析. 沖縄県衛生環境研究所報, 30: 93 - 97.
- 16) 大見謝辰男・仲宗根一哉・満本裕彰・上原睦男・大城哲 (1999) 沖縄県赤土汚染定点調査海域における1998年夏のサンゴ礁白化によるサンゴ被害状況. 沖縄県衛生環境研究所報, 33: 105 - 110.
- 17) 目崎茂和 (1985) 琉球弧をさぐる サンゴ礁とカルスト. 沖縄あき書房, pp.69-138.
- 18) 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.