

1.2 モニタリングサイト 1000 調査データの解析（堆積物）

(1) はじめに

H27 年度業務において、過年度モニタリングサイト 1000 調査の SPSS (Suspended Particles in Sea Sediment 底質中懸濁物含量) データが整理され、エクセル表にとりまとめられた。そこで、本項では、石西礁湖への攪乱が海域的に区分され、今後の保全再生対策を適切に進めることができるよう、これまでのデータを可視化し、解析した。

(2) 方法

モニタリングサイト 1000 調査の各地点 SPSS 分析結果（調査が行われた 2001 年～2013 年分）から各地点の 2001 年～2013 年の平均値を求めた（データが 2 年分以下の地点は除いた）。また、石西礁湖環境類型（礁斜面、礁池、礁湖内縁、礁湖、水路、離礁）毎に年平均値を求めた。なお、SPSS のランクは表 1.2.1 のように区分されている。また、調査方法は前項末、付. モニタリングサイト 1000 調査マニュアル (p. 1.1.31) に記載されている。

表 1.2.1 SPSS のランク

SPSS 階級	SPSS 測定値 : w (kg/m ³)	目視状況
1	$0 \leq w < 0.4$	きわめてきれい
2	$0.4 \leq w < 1$	砂をかき混ぜてもシルトの舞い上がりは確認しづらい
3	$1 \leq w < 5$	砂をかき混ぜるとシルトの舞い上がりは確認できる
4	$5 \leq w < 10$	見た目ではわからないが、砂をかき混ぜるとシルトで水が濁る
5a	$10 \leq w < 30$	注意してみると、表層にシルトの堆積が確認できる。 生き生きとしたサンゴ礁生態系の上限ランク。
5b	$30 \leq w < 50$	底質表層にホコリ状の懸濁物質が覆う。透明度が悪くなり、サンゴ被度に悪影響が出始める。
6	$50 \leq w < 200$	一見してシルトの堆積を確認
7	$200 \leq w < 400$	シルトが堆積するが、まだ砂も確認することができる
8	$400 \leq w$	底質の見た目は泥そのもの

(3) 結果

1) 地点別分布状況

図 1.2.1 に SPSS 計測値の 2001 年～2013 年平均値で、サンゴ被度に悪影響が出始める（表 1.2.1）とされている 30kg/m³以上の地点を示す。

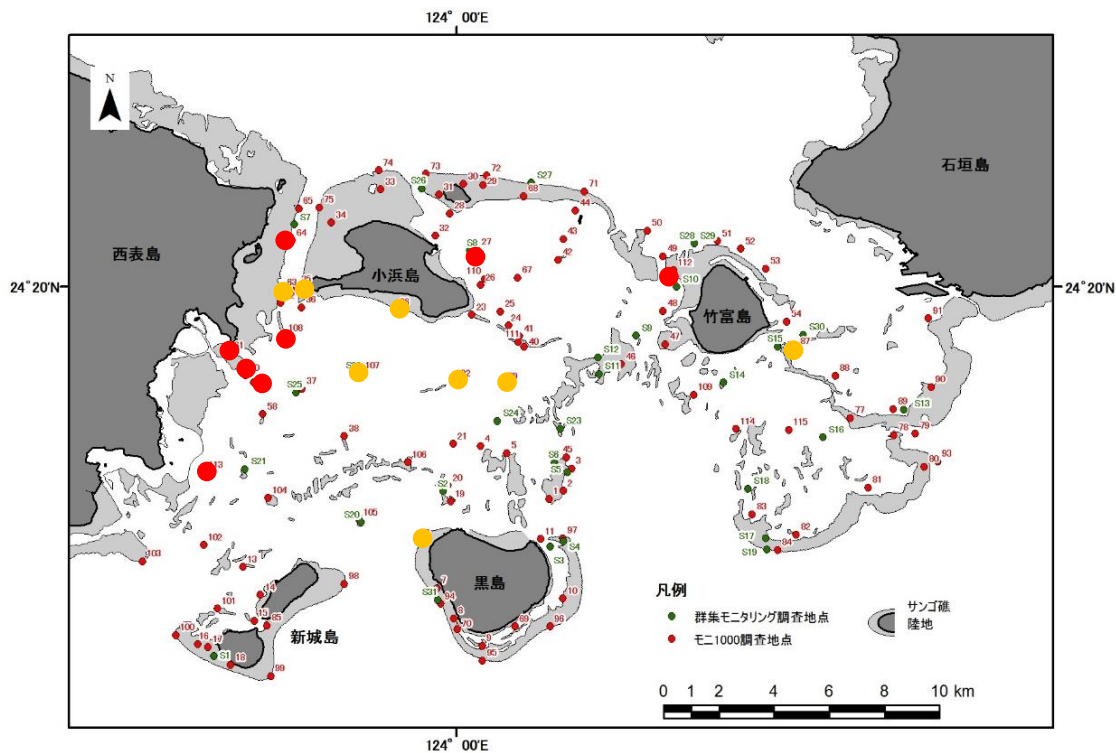


図 1. 2. 1 SPSS30kg/m³以上の地点分布
(2001 年～2013 年平均値、橙丸：階級 5b、赤丸：階級 6)

この図から、SPSS 階級 6 の地点が、西表島東岸付近に多いことがわかる（階級 5b も 2 地点）。西表島河川からの流出土壌の影響が大きいと考えられる。一方、小浜港沖や竹富島西側の階級 6 の地点については、西表島河川の影響は小さいと思われるため、他の要因が考えられる。階級 5b の分布をみても、竹富南航路入口や黒島西礁縁等、西表島河川の影響が考えにくい地点の高い SPSS は他の要因が考えられる。

なお、沖縄県は沖縄県赤土等流出防止対策基本計画（2013 年 9 月）において、石西礁湖では西表島東海域及び小浜島周辺海域を重点監視海域に区分し（図 1. 2. 2）、各々 C⇒A、C⇒B（AA、A、B、C の 4 段階）の改善目標を設定している。2013 年における赤土等推定流出量は西表島東海域 10.3 t/ha/y、小浜島周辺海域 14.5 t/ha/y で小浜島周辺海域の方が多。

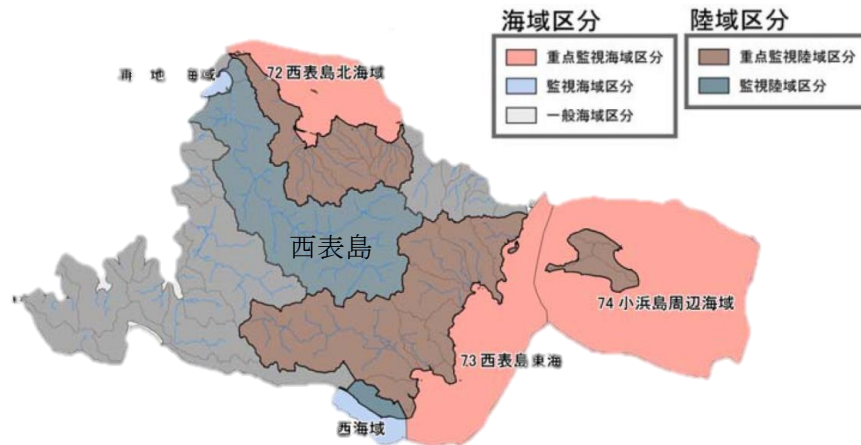


図 1.2.2 石西礁湖における重点監視海域

2) 経年変化

図 1.2.3 に SPSS の環境類型別平均値 (各年) を示す。年変化は水路、離礁で 2002 年、2011 年、2012 年に高い傾向がみられる。図 1.2.4 に石垣島における各年最大日降水量を示した。年最大日降水量を示すのは台風が襲来する秋季か梅雨季が多い。水路については、2002 年、2012 年 SPSS が極めて高く、年最大日降水量も高かった。水路ではヨナラ水道の SPSS 値が極めて高く、それが平均値に反映されている。西表島東部からの表土流出の影響と思われる。経年的には 2011 年以降、概ね減少の傾向にある。

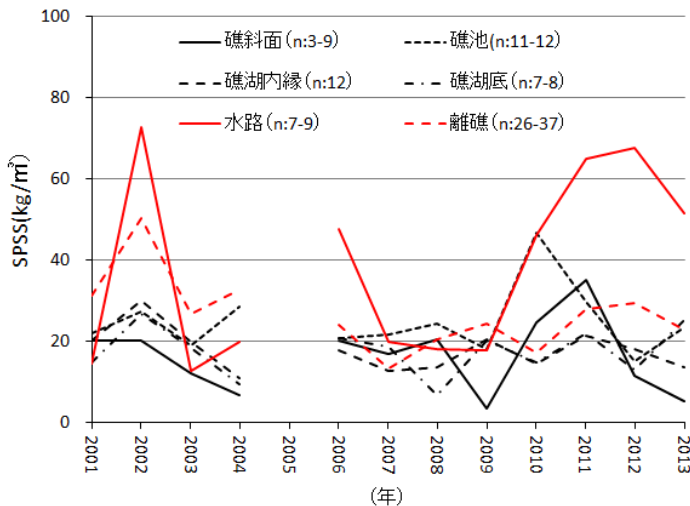


図 1.2.3 SPSS 環境類型別平均値 (各年)

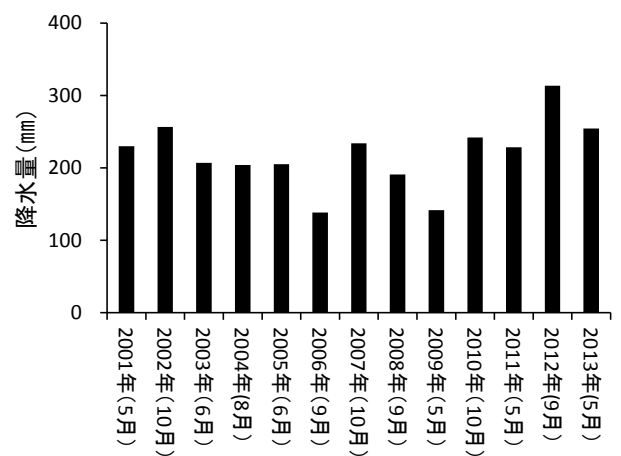


図 1.2.4 石垣島における各年最大日降水量 (気象庁資料)

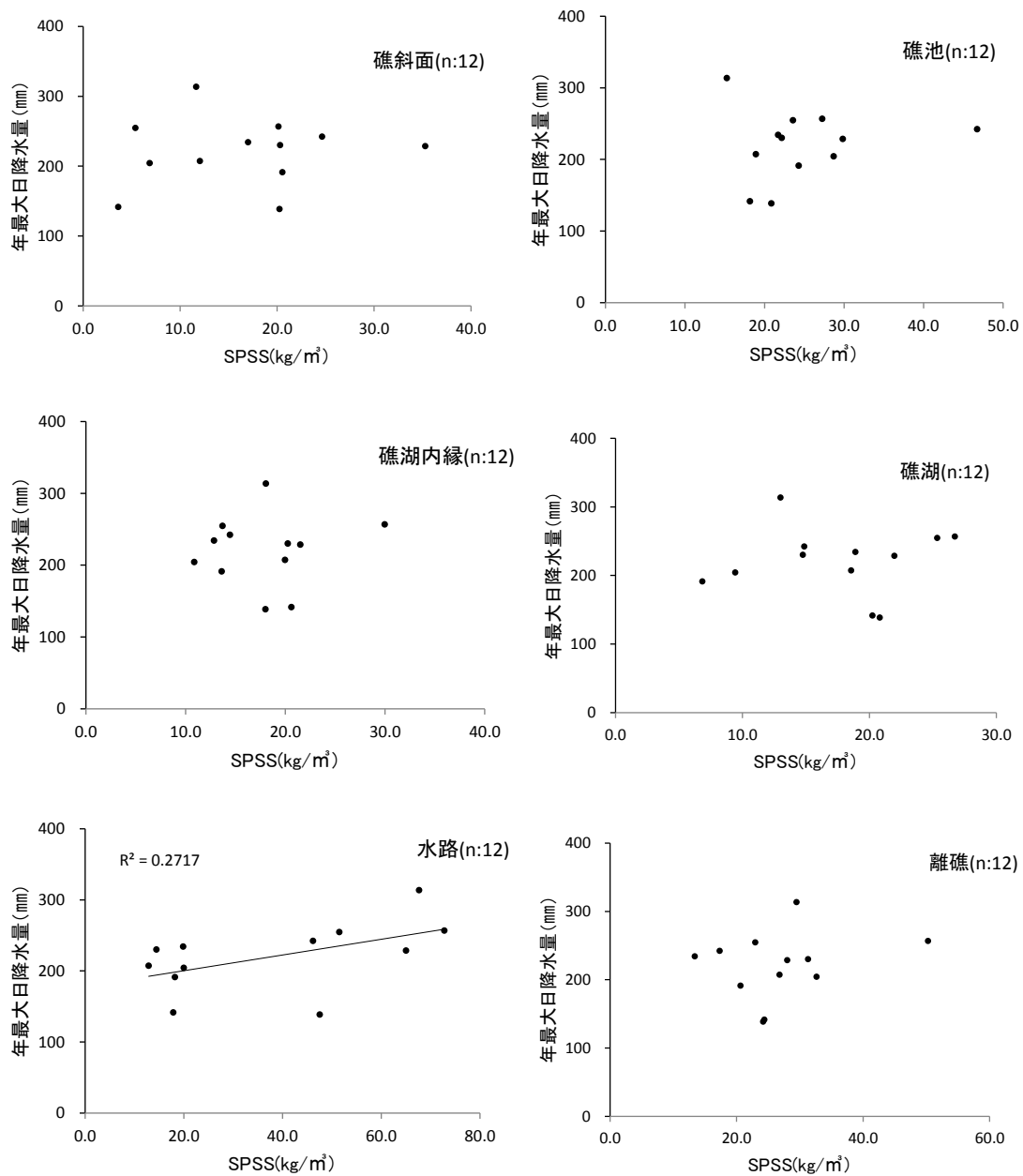


図 1.2.5 環境類型別 SPSS 年平均値と年最大日降水量との相関 (2001 年～2013 年)

図 1.2.5 に各年の SPSS 平均値と年最大日降水量との相関を示した。SPSS の採取は、毎年 10 月～12 月に行われるため、年最大日降水量が梅雨季である場合は、SPSS の値に降水の影響が反映されない可能性があるため、水路以外の類型では相関は明瞭ではないが、概ね降水量の影響は認められる。

(4) 考察

1) 河川からの影響

石西礁湖内の島嶼には河川はないので（小さな沢はある）、大きな負荷原は石西礁湖に直接面している西表島東部の河川と考えられる。石垣島河川からの影響については、2003年5月における田村ら（2005）の調査により、東岸宮良川から石西礁湖南部へ向かう海流があることが確認され、また、南岸新川川、西岸名蔵川からは石西礁湖北部へ向かう流れがあったことが確認されている。このことから、石垣島河川も石西礁湖への負荷原となっている可能性がある。

2013年11月に石西礁湖10地点で10L底層採水が行われた（環境省九州地方環境事務所 2014）。ろ過した試料のうち、北礁礁縁からは赤土の指標（山口・斎藤 2004）であるアルミナが0.1662mg 検出された。これは小浜港沖における0.0468mgの3.6倍で、調査地点中最も高かった。礁湖南部のサクラグチ礁縁でも0.1431mgが検出され、この2地点のみが0.1mgを超えていた。同様に赤土の指標であるケイ酸が北礁礁縁で2.33mg 検出された。これは小浜港沖における0.328mgの7.1倍で極めて高い値であった。アルミナ、ケイ酸は、海水に触れるとフロック化するため（Matson, EA 1989）、海水を採取後、ろ過試料を分析することにより、その地点の陸域影響を把握することができる。このことから、石西礁湖への石垣島河川からの影響がうかがえる。しかし、SPSS分布（図1.2.1）からは、石垣島河川からの赤土等の礁湖内への到達は西表島東岸からほど多くないと推定される。

2) 河川以外の要因

小浜港沖や竹富島西側におけるSPSS高分布は、陸域土壌由来のもののみではないかもしれない。SPSSは懸濁の起こりやすさの指標であって、シルト等微細粒子の量（発生量と溜まりやすさ）を反映したものである。サンゴ礁には陸域由来だけでなく、海域由来の微細粒子も大量に存在する。例えば、魚類等の生物によりかじり取られた結果、生産されるサンゴの粉末がある。鈴木（2005）は石垣島において、ナガウニによる炭酸カルシウム堆積物生産について定量的に調査し、その重要性について報告している。また、西表島崎山湾での採泥結果から、人為影響の少ないサンゴ礁底質でも微細粒子（CaCO₃）を多く含むことが報告されている（下地ら 1990）。石西礁湖においてもSPSSが必ずしも陸原物質だけを示すものでないことが報告されている（鳥取ら 2004）。

また、鈴木ら（2011）は、石西礁湖の健全ミドリイシ群集と未回復ミドリイシ群集、各4地点におけるSPSSを比較し、「健全」と「未回復」間のSPSSに有意な差がなかったことを報告している。このことは、SPSSが必ずしも赤土堆積量を反映していないかもしれない。

ちなみに表土流出影響のない底質では大部分（90%以上）が炭酸カルシウムで、ケイ酸、アルミナ等の赤土指標成分は2%未満である²。このようにSPSSは微細炭酸カルシウム

を含んだ値で、赤土だけの量を反映したものではない。石西礁湖は地形が複雑で、また最大水深が20m近くあり、いたるところに静穏な海域が存在する。こういった場所では微細粒子は長年の間に堆積しやすいため、SPSS値は高くなることもあると考えられる。

3) サンゴ分布との関係

赤土汚染の影響がみられない海域では、ミドリイシ属、ハマサンゴ属、コモンサンゴ属による群落が形成され、赤土堆積が進行すると、樹枝状ミドリイシ属の出現頻度が減少するとされている（大見謝ら 1999）。そこで、モニタリングサイト 1000 調査各地点 SPSS の 2001 年～2013 年平均値と調査地点に近接する石西礁湖サンゴ群集モニタリング地点の 2013 年樹枝状ミドリイシ属被度との関係をみた。表 1.2.2 に対応した両調査地点番号を示す。

表 1.2.2 サンゴ群集モニタリング調査とモニタリングサイト 1000 調査の対応地点番号

サンゴ群集モニタリング地点番号	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	S15
モニタリングサイト1000地点番号	17	20	11	97	-	-	65	27	47	112	46	-	89	109	-

サンゴ群集モニタリング地点番号	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31
モニタリングサイト1000地点番号	115	82	83	-	-	104	107	-	4	37	28	-	53	90	54	-

図 1.2.6 に SPSS と樹枝状ミドリイシ属被度との関係を、図 1.2.7 に SPSS とミドリイシ属被度との関係を示す。両者の関係に明瞭な相関はみられなかった。この結果は、前述の鈴木ら（2011）の報告と同様のものと考えられる。石西礁湖のように複雑な地形環境を有するサンゴ礁では、例えば水深 10m を超える凹状地形のような場所は静穏であるため、微細粒子が堆積し、SPSS は高くなるが、このような場所は、オトメミドリイシやスギノキミドリイシあるいはトゲミドリイシのような繊細な枝状サンゴの良い生息場所となり、必ずしもミドリイシ属の不適な生息環境とは言えない。また、図 1.2.8 に一年生ミドリイシ属密度との関係を示した。S26 では極めて高い定着密度（387 群体/m²）があり、SPSS も 30kg/m³未満であるため、一年生ミドリイシ属の生残が高かった。カヤマ水路口のため、堆積の影響は小さいと考えられる。S07 も 233 群体/m²と比較的高い定着が

あり、SPSS も高くはない地点で、ヨナラ水道の外海に近い地点であるため、堆積の影響が小さいと思われる。S16、S24、S28 は、定着は高く、SPSS も高くはないが、一年生ミドリイシ属稚サンゴ密度は低かった。

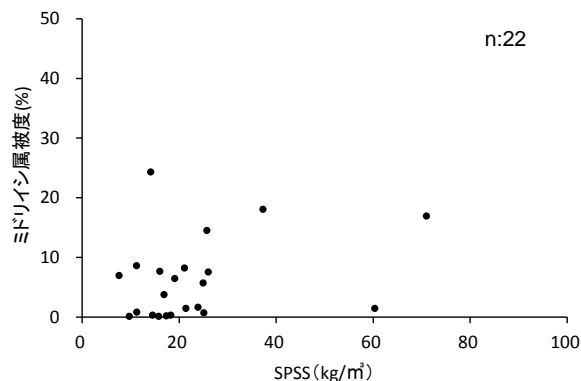


図 1.2.6 モニタリングサイト 1000 調査地点 SPSS (2001 年～2013 年平均値) と近接するサンゴ群集モニタリング調査地点の樹枝状ミドリイシ属被度 (2013 年)

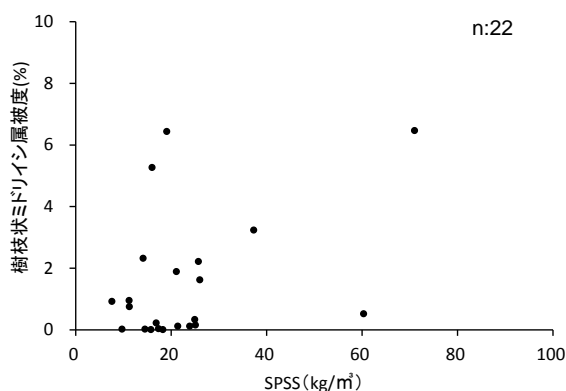


図 1.2.7 モニタリングサイト 1000 調査地点 SPSS (2001 年～2013 年平均値) と近接するサンゴ群集モニタリング調査地点のミドリイシ属被度 (2013 年)

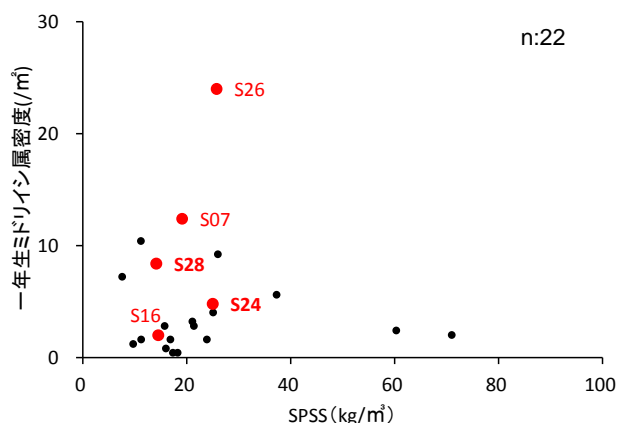


図 1.2.8 モニタリングサイト 1000 調査地点 SPSS (2001 年～2013 年平均値) と近接するサンゴ群集モニタリング調査地点の一年生ミドリイシ属密度 (2013 年)
(赤丸：2013 年ミドリイシ属定着密度 100/m²以上の地点)

(5) 課題

堆積量に関しては、Rogers (1990) はサンゴに影響を与える閾値は $10\text{mg}/\text{cm}^2/\text{日}$ で、 $50\text{mg}/\text{cm}^2/\text{日}$ を超えるとサンゴに壊滅的打撃を与えるとしている。また、 $3\text{mg}/\text{cm}^2/\text{日}$ を超えると稚サンゴを死滅させるという報告もある (De'ath & Fabricius 2008)。豪グレート・バリア・リーフ (以下 GBR という) 海中公園局が策定した水質ガイドラインによれば、年間平均値 $3\text{mg}/\text{cm}^2/\text{日}$ 以下、日最大を $15\text{mg}/\text{cm}^2/\text{日}$ を閾値としている (Great Barrier Reef Marine Park Authority 2010)。

SPSS 測定値は m^3 なので、立方根を求めて二乗すると、 $30\text{kg}/\text{m}^3$ (1 年間の値として) は $2.6\text{mg}/\text{cm}^2/\text{日}$ に換算される。この値は、GBR 海中公園局水質ガイドラインの $3\text{mg}/\text{cm}^2/\text{日}$ 以下の値となる。モニタリングサイト 1000 の SPSS 平均値 (2001-2013) $30\text{kg}/\text{m}^3$ を超える地点数は、礁斜面 0/3、礁池 1/12、礁湖内縁 1/12、礁湖 0/8、水路 4/7、離礁 10/33 で、全測定地点 72 地点中 16 地点 (22%) であり、SPSS が必ずしも陸域土壌の流出のみとは言えないことを考えると、堆積物環境は悪化しているとは言えないと考えられる。

しかし、前述のように SPSS 測定だけでは、陸域土壌の影響を確定できないため、今後より科学的定量調査を行う必要がある。陸源土壌流出を議論するためには、地点にどの程度土壌が時間的に到達しているかを知る必要がある。そのデータを得る方法として、セディメント・トラップ (塩ビパイプ製 11.5cm 長 $\times 5\text{cm}$ ϕ 、GCRMN 規格、図 1.2.8) がある。トラップ設置により、時間的に堆積物を採取し、内容物を分析することができる。トラップは、海底上 20cm にトラップ底となるよう設置し、一定期間後回収、陸源土壌の良い指標であるアルミナ、ケイ酸及び堆積物重量 $\text{cm}^2/\text{日}$ 、等を測定し、時空間的評価を行い、サンゴへの影響を検討する。この方法は、八重山諸島において 2000 年～2001 年の毎月、実施され、堆積物の物理化学的分析とともに、サンゴ群集への影響が研究され、成果をあげた実績がある (Ismail et al. 2005)。

堆積物のサンゴ群集に対する評価は一時的な採泥だけでは、不十分で、それはサンゴに対する影響の可能性を示したものである。豪雨により大量の河川水が短期間に礁池等に流入した場合、それによりもたらされる急激な土壌流出の増加が大量のハマサンゴ類を死滅させたことが石垣島東岸礁池における事例が示している (Yoshida et al. 2011)。時空間的な分解能の向上が必要と思われる。



図 1.2.8 セディメント・トラップ

引用文献

- De'ath G, Fabricius KE (2008) Water quality of the Great Barrier Reef: Distribution, Effects on Reef Biota and Trigger Values for Conservation of Ecosystem Health. Final Report to the Great Barrier Reef Marine Park Authority. AIMS.
- Great Barrier Reef Marine Park Authority (2010) Water Quality Guideline for the Great Barrier Reef Marine Park.
- Ismail M, Kimura T, Suzuki Y, Tsuchiya M (2005) Seasonal and spatial variations of total mass flux around coral reefs in the southern Ryukyus, Japan. *J. of Oceanography*, 61:631-644.
- 環境省九州地方環境事務所 (2014) 平成 25 年度石西礁湖サンゴ礁攪乱要因モニタリング調査業務報告書.
- Matson, EA (1989) Biogeochemistry of Mariana Islands coastal sediments: terrestrial influence on $\delta^{13}\text{C}$, Ash, CaCO_3 , Al, Fe, Si and P, *Coral Reefs*, 7: 153-160.
- 大見謝辰男・仲宗根一哉・満本裕彰・小林 孝 (1999) 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-、*沖縄県衛生環境研究所報* (33) : 111-120.
- Rogers, C (1990) Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 62: 185-202.
- 下地邦輝・仲宗根民男・西平守孝・横地洋之 (1990) 西表島崎山湾自然環境保全地域の水質と底質、*崎山湾自然環境保全地域調査報告書* : 27-42. 環境庁自然保護局.
- 鈴木 豪・新垣誠司・下田 徹・名波 敦・山下 洋・甲斐清香・林原 毅・與世田兼三 (2011) 石西礁湖における枝状ミドリイシ群集の回復阻害要因の検討、*日本サンゴ礁学会誌* 13 : 29-41.
- 鈴木倫太郎 (2005) 石垣島の現成サンゴ礁浅海域におけるナガウニによる堆積物生産、*地学雑誌* 114 (1) : 41-57.
- 田村 仁・灘岡和夫・鈴木庸壱・宮澤泰正・三井 順 (2005) 沖縄・石西礁湖自然再生計画立案のための熱・物資輸送数値シミュレーション、*海岸工学論文集* 52 : 1161-1165.
- 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・大葉英雄・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、*Galaxea, JCRS*, 6:1-19.
- 山口晴幸・斎藤和伸 (2004) 沖縄の赤土汚染, 第 39 回地盤工学研究発表会発表講演集、2335-2336.

Yoshida M, Hassan MI, Kimura T, Motomiya N, Tsuchiya M, Yokochi H, Takahashi K, Takahashi H, Kobayashi T (2011) Mass mortality of a coral community in Ishigaki Island, Okinawa, Japan, caused by the discharge of terrigenous fine particles. *Global Change: Mankind-Marine Environment Interactions, Proc. of the 13th French-Japanese Oceanography Symposium*: 223-230.