

SPSS 簡易測定法における浮遊懸濁物質の粒度分布 ～SPSS および陸域・海域由来粒子との関係について～

城間一哲・比嘉彩也香・座間味佳孝

Particle Size Distribution in Suspended Particles by Convenient Measuring Method of Content of Suspended Particles in Sea Sediment (SPSS) ～ Relation between SPSS and Land/Sea-Derived Particle ～

Ittetsu SHIROMA, Sayaka HIGA and Yoshitaka ZAMAMI

要旨：SPSS 簡易測定法は、一般に海域由来の粒子は粒径が大きく、陸域由来の粒子は粒径が小さいことを利用して赤土等の堆積状況を評価する手法である。しかしながら、海域由来粒子の微細化により SPSS が高く計測され赤土等流出状況が正確に評価できていない可能性がある海域が指摘されている。そのため、粒度分布計を用いて SPSS 簡易測定法における 1 分間静置後の上澄み液中に浮遊する懸濁物の粒度分布を確認し、粒度分布と SPSS および陸域由来成分との関係を示し、赤土等堆積状況に係る評価について考察した。その結果、河口から離れた地点で比較的小さな粒度分布にもかかわらず、陸域由来成分が少ない海域が確認された。また、メディアン径と SPSS の間には $r = -0.52$ ($p < 0.01$) と有意な負の相関であったが、メディアン径と陸域由来成分の間には $r = -0.30$ ($p < 0.05$) と有意な弱い負の相関であった。以上の結果より、SPSS 簡易測定法は粒度分布の差を反映した評価ができてい一方、比較的小さな粒度分布にもかかわらず、陸域由来成分が少ない地点では SPSS を赤土等堆積状況の目安とするだけでは正確な評価ができないことが確認された。そのため、このような地点では陸域由来成分の化学分析等を併用し評価する必要があると考えられた。

Key words：赤土等, SPSS, 粒度分布, メディアン径, 強熱減量, 陸域由来成分

I はじめに

沖縄県では、農地や開発事業および米軍基地等から流出した赤土等により、生態系や水産業および観光業に悪影響を及ぼしている¹⁾。その赤土等の堆積状況を評価する指標として SPSS (Content of Suspended Particles in Sea Sediment: 海域底質中懸濁物質量の略称。)を用いている。SPSSは、大見謝¹⁾により簡易に測定できる手法 (SPSS 簡易測定法) が確立されている。

SPSS簡易測定法は、一般に死んだサンゴや有孔虫を起源とする海域由来の粒子は粒径が大きく、土壌等鉱物起源の陸域由来の粒子は粒径が小さいことを利用して赤土等の堆積状況を評価する手法である。

その測定原理は、大見謝¹⁾により次のようにまとめられている。通常、沖縄沿岸海域の底質は造礁サンゴ (炭酸カルシウムで骨格を作るイシサンゴ、以下、サンゴと称す) など海産生物の遺骸が砂になったものが大半を占めており、比較的粒度が揃っている。そして、底質中には生物活動など自然由来の粒径が小さな懸濁物質がいくらか混在している。海域に濁水が流れ込んで赤土等が堆積すると、底質中に懸濁物質が増加してくる。底質を採取し、ボトルに入れて水を加えてよく振り混ぜしばらく静置すると、ストークスの理論に基づき、相対的に粒径

が大きな砂は速く沈降し、細かな懸濁物質は浮遊したまま水層に残る。その水層の濁りを計測することで SPSS を求め、赤土等堆積の目安にする。

沖縄県赤土等流出防止基本計画²⁾では、県内76海域の赤土等堆積状況を、SPSSを指標とした「環境保全目標類型」で評価しており、赤土等流出防止海域モニタリング事業で継続してモニタリングが行われている。SPSSは、ランク付けで評価しており9つのランクに分類している。ランク1-5b (SPSS < 50 kg/m³) までは自然界由来で起こりうる堆積物の上限、ランク6 (SPSS ≥ 50 kg/m³) 以上からは明らかに人為的な赤土等の流出による汚染だとみなして評価している (表1)。

しかしながら、沖縄県赤土等流出防止海域モニタリング事業の調査結果によると、経年的に SPSS ランク 6 以上が確認されている幾つかの調査地点で砂などの海域由来粒子が微細化し、沈降しにくくなることにより、SPSS が高く計測され、SPSS を赤土等堆積の目安として評価すると赤土等堆積状況が正確に評価できていない可能性がある海域が指摘されている³⁾。そこで城間ら^{4,5)}は、強熱減量を用いてその海域をはじめとした様々な地点の底質と底質を水で攪拌し、1分間静置した後の上澄み液 (浮遊物) の陸域・海域由来成分の割合を求めた。その結果、

表 1. SPSS (kg/m³) と SPSS ランク.

SPSSランク	SPSSの範囲(kg/m ³)	
1	SPSS	< 0.4
2	0.4 ≤ SPSS	< 1
3	1 ≤ SPSS	< 5
4	5 ≤ SPSS	< 10
5a	10 ≤ SPSS	< 30
5b	30 ≤ SPSS	< 50
6	50 ≤ SPSS	< 200
7	200 ≤ SPSS	< 400
8	400 ≤ SPSS	

指摘された海域およびその他の海域で海域由来の微粒子により SPSS が高く計測され、赤土等堆積状況が高く評価されていることが示唆された。過大評価の要因として、砂などの海域由来の粒子が潮流等により細かく砕け、陸域由来の微粒子の粒径と同程度あるいはより小さくなっていると考えられた。そのため今回、粒度分布計を用いて SPSS 簡易測定法における上澄み液中の浮遊懸濁物の粒度分布を確認した。併せて、得られた粒度分布データを既報^{4,5)}の SPSS および陸域由来成分と比較し、粒度分布が小さいにもかかわらず陸域由来成分が少ない地点における SPSS による赤土等堆積状況評価の妥当性について検討したのでその結果を報告する。

II 方法

1. 試料

平成 31 年度赤土等流出防止海域モニタリング事業の定点監視海域と重点監視海域の中から 8 海域を選定し、これらの海域から採取された底質試料を検体とした (図 1)。なお、同一海域内においても、干潟、河口、藻場およびサンゴ場等の地点によって各々の赤土等の堆積状況が異なることが想定されるため、1 海域につき複数地点で採泥を行った。第 1 回調査は梅雨後に、第 2 回調査は台風後に実施し時期の違いによる赤土等堆積状況を確認した。第 1 回調査 (2019 年 7 月 2 日 - 7 月 15 日) の 34 検体と第 2 回調査 (2019 年 10 月 25 日 - 12 月 14 日) の 35 検体の計 69 検体を用いて、SPSS 簡易測定法による上澄み液を試料とした。

2. 実験方法

SPSSの測定方法は、次のとおりである。4 mm目のふるいに通した適当量の底質試料を500 mLの標線がついたボトルに分取し、水道水で500 mLにメスアップする。その後、ボトルを激しく振り混ぜて1分間静置し、上澄み液を静かに透視度計に注ぐ。その際の透視度を計測し、式 (1) により SPSS 値に換算する。

$$C = \{(1718 / T) - 17.8\} \times D / S \quad \dots (1)$$

C : SPSS (kg/m³)

T : 透視度 (cm)

S : 測定に用いた試料の容量 (mL)

D : 希釈倍率 = 500 / 分取量 (mL)

上述した SPSS 簡易測定法による 1 分間静置後の上澄み液をセルに静かに注ぎ、レーザー回折式粒度分布測定装置 SALD-3000 (島津製作所) で浮遊懸濁物質の粒度分布を測定した。

3. 解析方法

国際土壌学会法⁶⁾による粒径区分に基づき次のように粒度分布を区分し、体積存在割合で解析した。「d」は直径 (μm) を指す。

- ・粗砂 (200 < d ≤ 2000 μm)
- ・細砂 (20 < d ≤ 200 μm)
- ・シルト (2 < d ≤ 20 μm)
- ・粘土 (d ≤ 2 μm)

III 結果および考察

1. 全試料における粒度分布およびメディアン径 (d₅₀)

全試料の SPSS 簡易測定法による 1 分間静置後の懸濁物中の粒度分布およびメディアン径の結果 (最小値, 平均値, 最大値) を表 2 に示した。粒度分布では、粗砂 (全地点平均値 0.2%) は殆ど確認されず、細砂 (同 44%), シルト (同 52%) および粘土 (同 2.2%) が占めていた。メディアン径 (μm) では、最小値は 10 μm, 最大値は 28 μm, 全地点平均値は 18 μm であった。

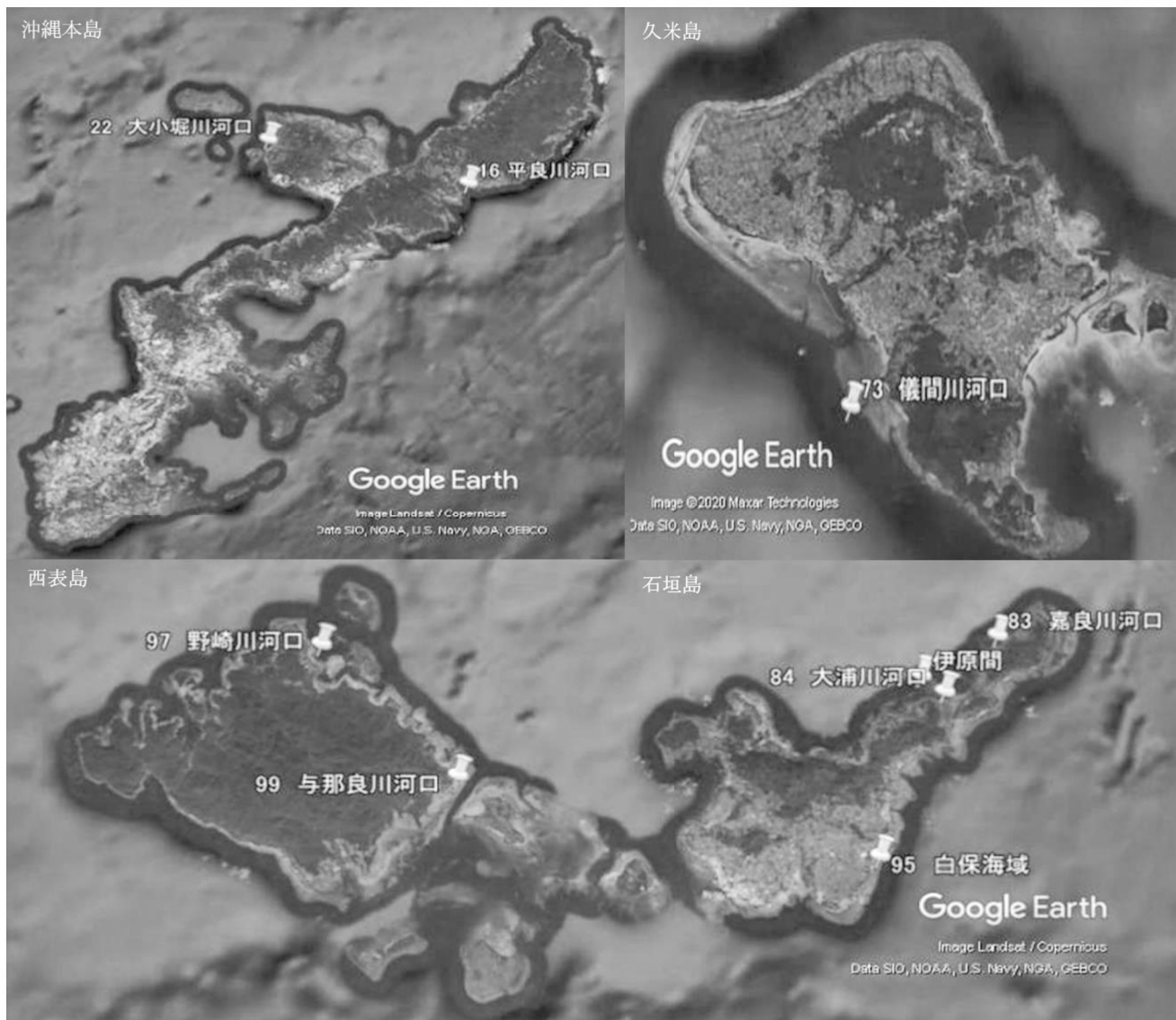


図 1. 調査海域。「与那良川河口」、「伊原間」、「嘉良川河口」および「野崎川河口」は、海域由来粒子が微細化し、沈降しにくくなることにより、SPSS が高く計測されていると指摘されている海域（「伊原間」は重要サンゴ群集等地点）。「大浦川河口」および「白保海域」は、同一海域内で地点数が多い海域。「大小堀川河口」および「平良川河口」は、第 1 回調査の SPSS が高い海域。「儀間川河口」は第 1 回調査の SPSS が低い海域。

表 2. 全試料の粒度分布およびメディアン径（最小値，平均値，最大値）.

	最小値	平均値	最大値
粗砂 (%)	0.0	0.2	2.0
細砂 (%)	22	44	60
シルト (%)	36	52	72
粘土 (%)	0.7	2.2	5.9
メディアン径 (μm)	10	18	28

2. 地点毎の結果と考察

SPSS 簡易測定法は、一般に海域由来の粒子は粒径が大きく、陸域由来の粒子は粒径が小さいことを利用して赤土等の堆積状況を評価する手法である。この前提を踏まえて考察する。

(1) 比較的小さな粒度分布にもかかわらず、陸域由来成分が少ない地点

地点毎の粒度分布およびメディアン径の結果を図 2 に示した。比較的小さな粒度分布にもかかわらず、陸域由来成分が少ない地点では、海域由来の微粒子により SPSS が高く計測されている可能性がある。そのため、SPSS による評価では赤土等堆積状況が正確に評価できない恐

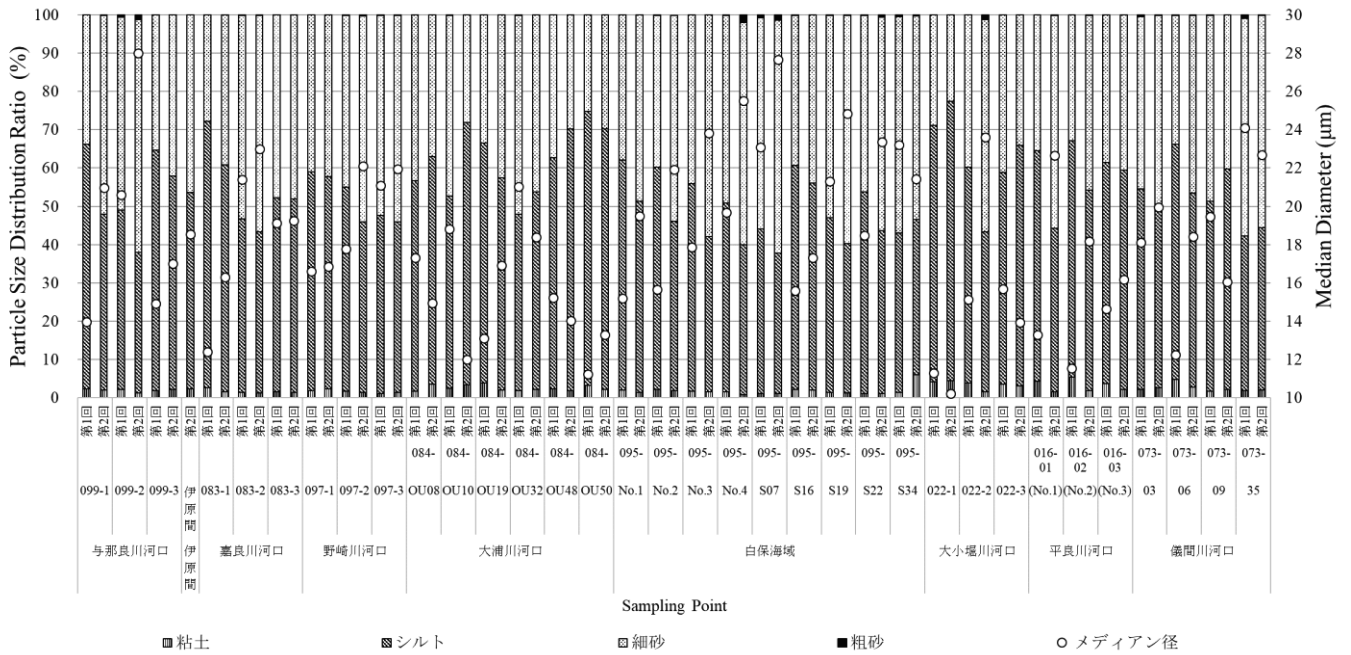


図 2. 各試料の粒度分布 (%) およびメディアン径 (μm).

れがある。その地点として「与那良川河口 099-1 (第 1 回調査)」、「伊原間 (第 2 回調査)」、「嘉良川河口 083-1 (第 1, 2 回調査)」、「大浦川河口 084-OU48,50 (第 1, 2 回調査)」および「大小堀川河口 022-1 (第 1, 2 回調査)」等が挙げられた。

「与那良川河口 099-1」の第 1 回調査では、メディアン径が 13.9 μm と全地点平均値より小さく、シルト以下 (≦20 μm) の割合は 66.1% と全地点平均値より大きいことが確認された。同地点の第 1 回調査の SPSS は 93.8 kg/m³ (SPSS ランク 6) ⁴⁾ と高いが、陸域由来成分 (浮遊物) は 15%⁵⁾ と全地点平均値 31%⁵⁾ と比較して低い結果であった。

「伊原間」の第 2 回調査では、メディアン径は 18.5 μm, シルト以下 (≦20 μm) の割合は 53.9% と全地点平均値と同程度であった。しかしながら、陸域由来成分 (浮遊物) は 1.3%⁴⁾ と調査地点の中で最も低いことを踏まえると成分割合に対する粒度分布は小さいといえる。同地点の第 2 回調査の SPSS は 29.8 kg/m³ (SPSS ランク 5a) ⁴⁾ と高くはなかったが、過去 8 年間の平均 SPSS (H24-31) は 68.1 kg/m³ (SPSS ランク 6) と高い⁷⁾。過去の高 SPSS が陸域由来粒子か海域由来粒子によるものかは確認できないが、同地点はリーフ外の沖合に位置し、河口から流出した赤土等の影響が受けにくいと考えられる。そのため、海域由来の微粒子により、SPSS が高く計測されている可能性がある。

「嘉良川河口 083-1」では、第 1, 2 回調査を平均した

メディアン径が 14.3 μm と全地点平均値より小さく、シルト以下 (≦20 μm) の割合は 66.5% と全地点平均値より大きいことが確認された。同地点の第 1, 2 回調査を平均した陸域由来成分 (浮遊物) は 3.3%⁵⁾ と全地点平均値と比較して低い結果であった。同地点の第 1, 2 回調査を平均した SPSS は 27.9 kg/m³ (SPSS ランク 5a) ⁵⁾ と高くはなかったが、過去 8 年間 (H24-31) の 23 回調査のうち 8 回 SPSS ランク 6 以上が確認されている⁷⁾。同地点も過去の高 SPSS が陸域由来粒子か海域由来粒子によるものかは確認できないが、同地点もリーフ外の沖合に位置し、河口から流出した赤土等の影響が受けにくいと考えられる。そのため、海域由来の微粒子により、SPSS が高く計測されている可能性がある。

「大浦川河口 084-OU48」では、第 1, 2 回調査を平均したメディアン径が 14.6 μm と全地点平均値より小さく、シルト以下 (≦20 μm) の割合は 66.4% と全地点平均値より大きいことが確認された。同地点の第 1, 2 回調査を平均した SPSS は、53.7 kg/m³ (SPSS ランク 6) ⁵⁾ と高いが、陸域由来成分 (浮遊物) は 3.6%⁵⁾ と全地点平均値と比較して低い結果であった。

「大浦川河口 084-OU50」では、第 1, 2 回調査を平均したメディアン径は 12.2 μm と全地点平均値より小さく、シルト以下 (≦20 μm) の割合は 72.4% と全地点平均値より大きいことが確認された。同地点の第 1, 2 回調査を平均した SPSS は、127 kg/m³ (SPSS ランク 6) ⁵⁾ と高いが、陸域由来成分 (浮遊物) は 10.5%⁵⁾ と全地点平均値と比較

して低い結果であった。

「大小堀川河口 022-1」では、第 1, 2 回調査を平均したメディアン径は 10.7 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 74.2%と調査地点の中で最も粒度分布が小さいことが確認された。同地点の第 1, 2 回調査を平均した SPSS は、121 kg/m^3 (SPSS ランク 6) ⁵⁾ と高いが、陸域由来成分 (浮遊物) は 24.2%⁵⁾ と全地点平均値と比較して低い結果であった。

以上の結果より、これらの地点は比較的小さな粒度分布にもかかわらず、陸域由来成分が少ないことが確認された。これらの地点は海域由来の微粒子により、SPSS が高く計測されている可能性があるため、陸域由来成分の化学分析等を併用しより正確な赤土等堆積状況を評価する必要があると考えられた。

(2) 台風等の影響により粒度分布が変化した地点

第 1, 2 回調査は台風等による影響を確認するため台風シーズンの前後でそれぞれの調査を実施している。第 1, 2 回調査で特に粒度分布の変化のあった地点として「与那良川河口 099-1」および「平良川河口」が挙げられた。

「与那良川河口 099-1」では、第 1 回調査のメディアン径は 13.9 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 66.1%であったが、第 2 回調査のメディアン径は 20.9 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 47.9%と粒度分布が大きい方へシフトしたことが確認された。また、SPSS にも変化が確認され第 1 回調査では 93.8 kg/m^3 (SPSS ランク 6) ⁴⁾ であったが、第 2 回調査では 43.4 kg/m^3 (SPSS ランク 5b) ⁴⁾ と減少した。

「平良川河口」では、海域内の全ての調査地点を平均した第 1 回調査のメディアン径は 13.2 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 64.4%であったが、第 2 回調査のメディアン径は 19.0 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 52.6%と粒度分布が大きい方へシフトしたことが確認された。また、SPSS にも変化が確認され海域内の全ての調査地点を平均した第 1 回調査では 366 kg/m^3 (SPSS ランク 7) ⁴⁾ であったが、第 2 回調査では 17.8 kg/m^3 (SPSS ランク 5a) ⁴⁾ と減少した。

これらの地点および海域では、第 2 回調査前に接近した台風等によって底質が巻き上げられシルト以下の微粒子が外洋に拡散されたことにより底質環境が改善されたことが示唆された。

(3) その他の海域

「野崎川河口」では、河口から最も離れた地点である

「野崎川河口 097-1」のメディアン径が海域内で最も小さく、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合も最も高い結果であった。第 1, 2 回調査を平均したメディアン径は 16.6 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 59.0%と全地点平均値と同程度であり SPSS も 26.8 kg/m^3 (SPSS ランク 5a) ⁴⁾ と低い。そのため、同一海域内で粒度分布は小さいものの、赤土等堆積状況を過大評価するほどではないと考えられた。

「白保海域」では、海域内の全ての調査地点を平均したメディアン径は 20.8 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 48.9%と調査した海域の中で最大の粒度分布であった。特に、「白保海域 095-S07」の 1, 2 回調査を平均したメディアン径は 25.3 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 40.9%と調査地点の中で最大の粒度分布であった。同海域は、全ての調査地点がリーフ内にあるため潮流等の影響を受けづらく粒子の微細化が起きにくい海域であることが示唆された。

「平良川河口」では、「平良川河口 016-02 (No.2)」の第 1 回調査では、メディアン径は 11.5 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 67.1%と調査地点の中でも上位に位置する粒度分布の小ささであった。同地点の第 1 回調査の陸域由来成分 (浮遊物) は 81.0%⁴⁾ であることからシルト以下の粒子は赤土等によるものであることが示唆された。また、同地点の第 1 回調査の SPSS は 565 kg/m^3 (SPSS ランク 8) ⁴⁾ と高い結果であった。

「儀間川河口」では、河口から最も離れた地点である「儀間川河口 073-35」の第 1, 2 回調査を平均したメディアン径は 23.4 μm 、シルト以下 ($\leq 20 \mu\text{m}$) の割合は 43.2%と調査地点の中で上位に位置する粒度分布の大きさであった。同地点の第 1, 2 回調査を平均した SPSS は 2.6 kg/m^3 (SPSS ランク 3) ⁵⁾ と低い。このことから、前述した「与那良川河口 099-1」、「嘉良川河口 083-1」および「大浦川河口 084-OU48,50」等の地点と同様に河口から離れてリーフ外にあるという共通した特徴を有するが他地点とは異なり、潮流等の影響により海域由来粒子の微細化が起きにくい地点であると考えられた。

3. メディアン径と SPSS および陸域由来成分について

SPSS 簡易測定法は、底質の粒径差による沈降速度の差を利用して懸濁物質量を求める手法であることを踏まえると、底質の粒度分布が大きいほど SPSS は低くなり、小さいほど SPSS は高くなる。底質を水と振り混ぜた後の浮遊懸濁物も同様な傾向を示すと考え、今回の試料に

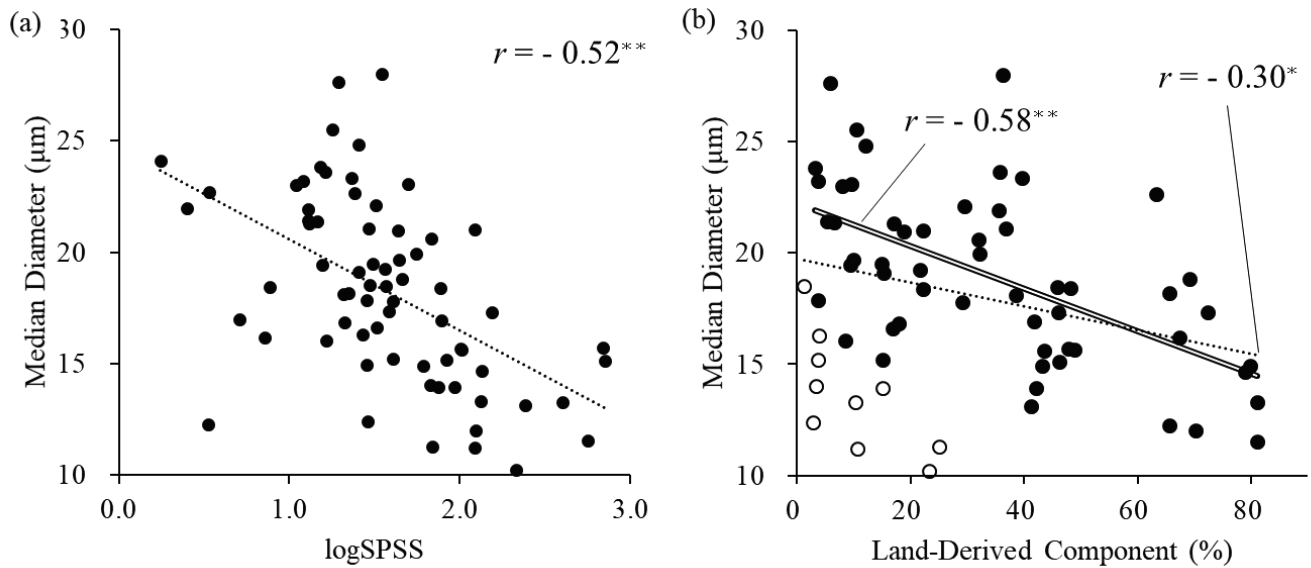


図 3. (a) メディアン径 vs. logSPSS および(b) メディアン径 vs. 陸域由来成分 (**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$). (b)の点線は全試料を反映した近似曲線. 二重線は全試料から比較的粒度分布が小さいにもかかわらず、陸域由来成分が少ない地点（白丸）を除いた近似曲線.

ついてメディアン径と SPSS の関係を確認したところ、図 3 (a) に示すように、 $r = -0.52$ ($p < 0.01$) と有意な負の相関であった。以上の結果より、SPSS は粒度分布の差を反映した評価ができていると示唆された。

次いで、SPSS は一般に海域由来の粒子は粒径が大きく、陸域由来の粒子は粒径が小さいことを利用して懸濁物質（赤土等）を求めている。そこで、メディアン径と陸域由来成分（浮遊物）の関係を確認したところ、図 3 (b) に示すように、全地点の相関では、 $r = -0.30$ ($p < 0.05$) と有意な弱い負の相関がみられた。図 3 (b) においてメディアン径が小さいほど陸域由来成分が高くなる傾向が確認されたものの、図左下にプロットされるような比較的粒度分布が小さいにもかかわらず、陸域由来成分が少ない地点の影響により全体としての相関が悪くなったと考えられた。これらの地点は考察の 2 (1) で述べた「与那良川河口 099-1 (第 1 回調査)」、「伊原間 (第 2 回調査)」、「嘉良川河口 083-1 (第 1, 2 回調査)」、「大浦川河口 084-OU48,50 (第 1, 2 回調査)」および「大小堀川河口 022-1 (第 1, 2 回調査)」等が挙げられる (図 3 (b) の白丸)。これらの地点を除いたメディアン径と陸域由来成分の関係は $r = -0.58$ ($p < 0.01$) と相関が強くなった。

以上より、上述した特徴のある地点の海域では微細化した海域由来粒子により SPSS が高く計測される可能性がある。このような海域において、SPSS を赤土等堆積の

目安として評価すると、赤土等堆積状況が正確に評価できない可能性があるため、陸域由来成分の化学分析等を併用し評価する必要があると考えられた。

IV まとめ

SPSS 簡易測定法は、一般に海域由来の粒子は粒径が大きく、陸域由来の粒子は粒径が小さいことを利用して赤土等の堆積状況の評価する手法である。しかしながら、海域由来粒子の微細化により SPSS が高く計測され赤土等流出状況が正確に評価できていない可能性がある海域が指摘されている。そのため、粒度分布計を用いて SPSS 簡易測定法における 1 分間静置後の上澄み液中に浮遊する懸濁物の粒度分布を確認し、粒度分布と SPSS および陸域由来成分との関係を示し、赤土等堆積状況に係る評価について考察した。その結果、河口から離れた地点で比較的小さな粒度分布にもかかわらず、陸域由来成分が少ない海域が確認された。また、メディアン径と SPSS の間には $r = -0.52$ ($p < 0.01$) と有意な負の相関であったが、メディアン径と陸域由来成分の間には $r = -0.30$ ($p < 0.05$) と有意な弱い負の相関であった。以上の結果より、SPSS 簡易測定法は粒度分布の差を反映した評価ができている一方で、比較的小さな粒度分布にもかかわらず、陸域由来成分が少ない地点では SPSS を赤土等堆積状況の目安とするだけでは正確な評価ができないことが確認

された。そのため、このような地点では陸域由来成分の化学分析等を併用し評価する必要があると考えられた。

V 参考文献

- 1) 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.
- 2) 沖縄県環境保全課 (2015) 沖縄県赤土等流出防止対策基本計画. 沖縄県, pp.21-50.
- 3) 沖縄県環境保全課 (2015) 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 (概要版) 第 5 章. 沖縄県, pp.18.
- 4) 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 1) ～分析手法の比較検討～. 沖縄県衛生環境研究所報, 54: 44-54.
- 5) 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.
- 6) 松坂泰明・栗原淳 (1994) 土壌・植物栄養・環境事典, (株) 博友社, 東京, pp.36-37.
- 7) 沖縄県環境保全課 (2015) 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 (概要版) 第 3-4 章. 沖縄県, pp.1-3, 37-75.