

# 赤土流出の発生とサンゴ礁水域内での拡散について

津嘉山正光\*・仲座栄三\*\*・高良尚樹\*\*\*・屋良朝博\*\*\*\*

## 1. はじめに

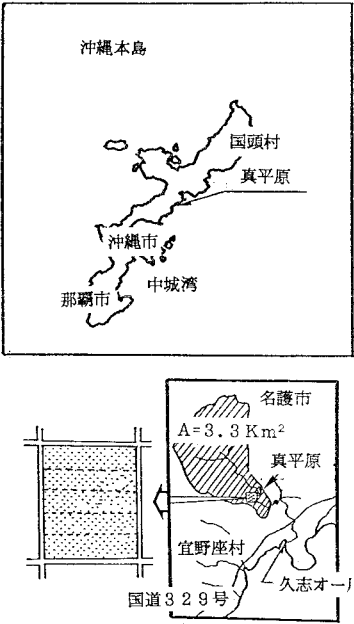
南西諸島海域における赤土流出問題が社会問題化してかなり時間が経過しているが、未だに決定的な解決策は得られていない状況にある。

この問題に関する従来の研究は、現地海域での汚濁実態調査や、降雨による土壌流出に視点を当てた農学的見地からの研究が殆どで、発生源から河川流出を経て海域拡散に至る、いわゆる海域の赤土汚濁の発生メカニズムはまだ十分に解明されていない。しかし、赤土汚濁防止の対策のためには、このメカニズムの解明は不可欠であり、さらに、海岸域での拡散を定量的に扱うためには、関係する海象とともに、発生源での赤土流出特性が明らかでなければならない。このようなことから、筆者らはこの問題に取り組み、昨年度の第38回海講においては流域の局所的な発生源からの赤土流出が時系列降雨に鋭敏に連動すること、及び海域での拡散に海浜流の効果が大きいことを明らかにした。本研究は、それに続くもので、たとえば養殖漁場に対する赤土汚濁の数値予測に必要となる、流出源からの赤土の短期流出量算定法確立及び海域での拡散特性把握のために河口部付近海域での赤土濃度分布や拡散沈積特性を現地観測により明らかにすることを主な目的とした。

## 2. 赤土流出に対する植生の効果

### 2.1 現地観測地点

現地観測地点は図一1に示す沖縄本島北部宜野座真平原である。この地点は久志オー川上流域に位置し、これまで人手の加わっていない原野を10年がかりで造成したものである。調査対象地域は、200 m×200 m のほぼ正方形の畑地で、排水溝によって幅 40 m の耕作区に区分されている。第5区画 (District 5) 以外の各耕作区末端には沈砂マスが設置され、各耕作区からの表面流出は、排水溝に流入したあと沈砂池を経て排水路を通じて河川に流入する。畑地の排水路方向の傾斜は 3.0%、排水路



図一1 現地観測地点位置図

表一1 観測畑地土壌の粒度組成

| 試料 | 粗砂(%) | 細砂(%) | シルト(%) | 粘土(%) |
|----|-------|-------|--------|-------|
| 1  | 9.67  | 27.01 | 25.63  | 37.69 |
| 2  | 6.04  | 22.03 | 33.13  | 38.8  |
| 3  | 18.68 | 26.28 | 18.63  | 36.41 |
| 4  | 16.41 | 30.96 | 20.54  | 32.09 |
| 5  | 5.23  | 25.87 | 20.56  | 48.34 |
| 6  | 10.17 | 18.37 | 34.04  | 37.42 |
| 7  | 13.98 | 25.37 | 22.55  | 38.1  |
| 8  | 14.86 | 24.37 | 31.24  | 29.56 |
| 9  | 5.85  | 10.81 | 32.36  | 50.98 |
| 10 | 26.14 | 31.89 | 20.91  | 21.06 |
| 平均 | 12.7  | 24.29 | 25.96  | 37.05 |

に直交する方向の傾斜は 2.5% である。畑地土壌の粒度組成を 表一1 に示すが、全体的には粗粒約 13 %、細砂約 24%、シルト約 26%、粘度約 37% で軽殖土 (LiC) に属する土性を有する。各耕作区の植生の種類は図一2 に示す通りである。なお、図中には各耕作区の植生の平均被覆度およびマルチング率も示してあるが、これらの値

\* 正会員 工博 琉球大学教授 工学部土木工学科  
\*\* 正会員 工博 琉球大学助手 工学部土木工学科  
\*\*\* 工修 沖縄県庁  
\*\*\*\* 沖縄県庁

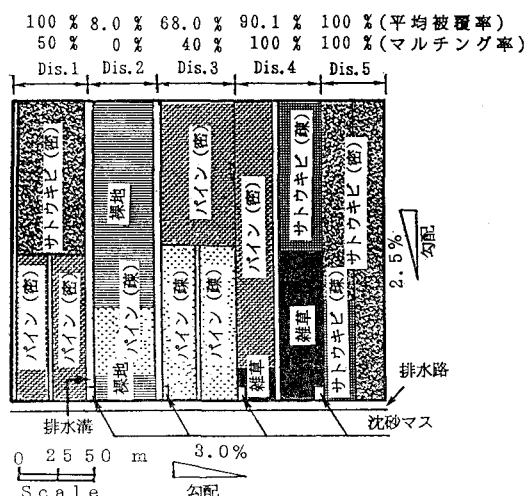


図-2 各区画の植生の被覆状況

は植生の上から撮影した写真より求めた。

## 2.2 観測内容及び方法

観測内容は、赤土流出に対する植生の効果を調べるものであり、具体的には、荒天時の降雨分布とそれに伴う畑地からの表面流出量と赤土濃度を計測するものである。表面流出量は各耕作区末端の沈砂マスと排水路の水量観測値から求め、赤土濃度は濁度計を用いて計測した。なお、水量観測には電磁流速計を用いた。雨量観測には自記雨量計を用いた。観測時の現地の降雨の経時変化を図-3に示す。

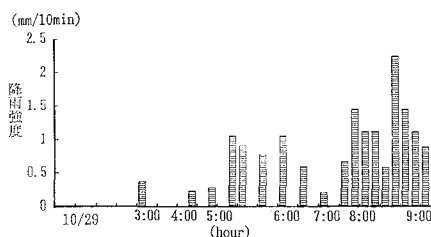


図-3 現地の降雨の経時変化

## 2.3 観測結果

図-4は、観測で得られた降雨強度と赤土流出量の関係図である。図-4(a)は図-2に示す観測区域の排水路の上流端における結果で、区域外の道路から流入する表面流出中の赤土流出量を示し、図-4(b)~(e)は、観測区第1区画(District 1)~第4区画(District 4)よりの赤土流出量を示す。なお、図中の直線は、観測結果から最小自乗法で求めたものである。図-4(a)で見られるように、区域外からの赤土流出量は雨量強度に関係なく、且つ量的にも小さい。観測区域周辺は舗装道路であり、流出赤土は路面に汚れとして付着したものである。第1区画からの赤土流出は雨量強度が大きい場合でもそれほど大きくない(図-4(b))。これは、この区画の

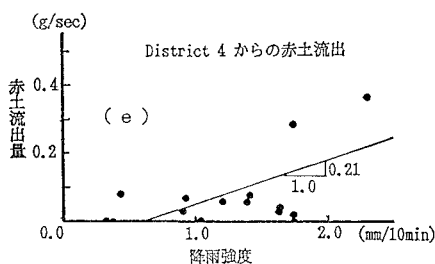
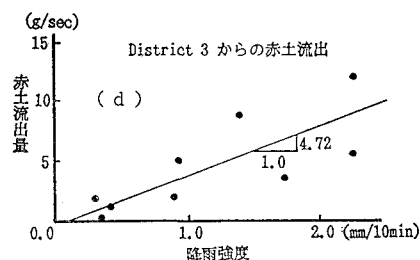
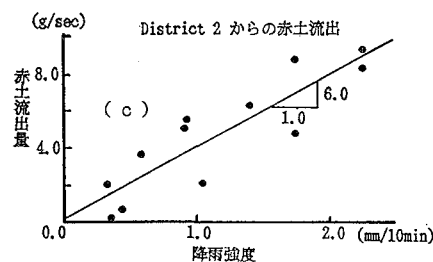
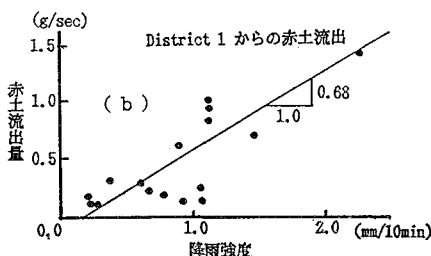
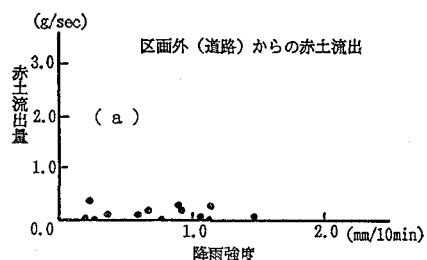


図-4 赤土流出量と降雨強度の関係

植生被覆が密なため、その遮蔽効果が大きいことによるものと考えられる。第2区画からの赤土流出は、植生被覆度が小さいため、赤土流出量は降雨強度に敏感に反応して変化していることがわかる(図-4(e))。第3区画での赤土流出量は、第2区画の場合に比して幾分少ない(図-4(c))。これも植生被覆度の違いによるものと考えられる。第4区画からの赤土流出量は、第1区画の場

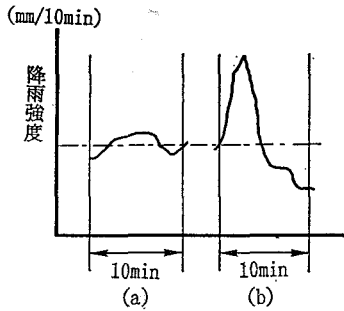


図-5 短時間に変化する降雨強度の概念図

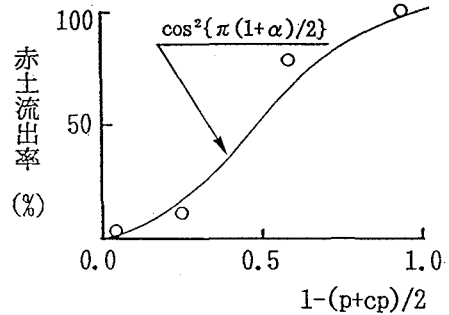


図-6 植生被覆度とマルチング効果による赤土流出率の変化

合と同様に小さい(図-4(e)). これは、図-2 からわかるように、この区画の植生被覆度が大きいことによると判断される。全般的には、観測データのバラツキはあるものの、赤土流出量は植生被覆度と明らかな相関関係を有している。なお、実測値のバラツキは現地観測の誤差と考えられるが、それは主として降雨強度の時間平均の取り方に起因しているものと推測される。図-5は、このことに関し、説明用として平均降雨の取り方の概念を示したものであるが、図の(a)では雨は10分間ほぼ均一な降り方をし、(b)では前半で集中的に強く降って後半は弱くなる場合に対応する。両者は、平均的な雨量強度では同一であるが、赤土の流出に関しては集中豪雨的な後者の方が流出量は概して大きくなるものと考えられる。現地観測時の雨の降り方は、5分程度の断続的な集中豪雨的なパターンであったことから、雨量強度に対する赤土流出量のデータのバラツキが生じたものと推察される。

#### 2.4 赤土の短期流出に対する植生被覆効果の検討

赤土流出量の算定式としては Whishmiyer, Hudson, 翁長等の提案式があるが、これらは年間流出量算定式であり、降雨に連動する短期流出量の算定には適用し難い。しかし、海域での拡散予測には、降雨による時系列的な赤土流出量が必要なことから、著者らはその算定法の確立を目指した。

赤土流出量を関連する物理量との関係で考えると、次式が成立する。

$$S=f(r, E, K, PF, W, \theta, L, \varepsilon, P, CP) \dots\dots (1)$$

ここで式中の記号は、 $S$ : 赤土流出量、 $r$ : 降雨強度、 $E$ : 降雨エネルギー、 $K$ : 土壌特性、 $PR$ : 水分ポテンシャル、 $W$ : 浸透速度、 $\theta$ : 斜面勾配、 $L$ : 斜面長、 $\varepsilon$ : 地形粗度、 $P$ : 植生による土壌保留率、 $CP$ : 植生による表面被覆度である。植生効果に関するパラメータ  $P$ 、 $CP$  以外のパラメータの効果については、既往研究結果を用いることとし、本研究では現地観測によって赤土流出量に対する  $P$ 、 $CP$  の効果を明らかにすることとした。

現地観測結果(図-4)から、植生被覆度  $CP$  は赤土流出に効果を及ぼすことがわかったが、さらに詳細に植生被覆率の大きい第1区画と第4区画の赤土流出量(図-4(b)と(e))を比較してみると、植生被覆率は前者(100%)が後者(90.1%)より大きいにも拘らず、赤土流出量は同一雨量強度に対して前者の方が大きい。両区画の状況を子細に見ると、植生被覆度はほぼ近い値ながら枯れ葉等による表土被覆状況の度合(マルチング)の異なることがわかった。このことから、赤土流出に関しては、植生被覆度( $CP$ )のみならずマルチングの効果( $P$ )も考慮する必要があることが明かとなった。そこで、これら両者の複合効果に注目し、 $P+CP$  をパラメータとして赤土流出率をプロットしたのが図-6であるが、図より流出率が統一的に整理できることがわかる。図中の実線は近似曲線であるが、観測結果とよく適合している。

赤土流出に対する植生被覆度(マルチング効果を含む)の効果は、被覆が密の状態では被覆度の多少の変化に対する赤土流出率の変化は非常に小さい。これは植生の干渉効果が有効に働いて赤土流出の抑制効果が大きくなるためと考えられるが、植生被覆度が小さくなって干渉効果が減少すると、植生間に露出する地表面露出割合が大きくなり、赤土流出は急激に増加して裸地の状態に近づく。こうした植生の非線形効果を考慮して、近似曲線は図中に示す  $\cos^2 \{ \pi(1+a)/2 \}$  で与えた。

以上の結果を用いることにより、赤土発生源での短期降雨流出に伴う赤土流出量の算定が可能となる。

### 3. 海域での赤土の拡散特性

河川から流出した赤土は浅海域で拡散するが、数値計算による拡散予測のためには海域での拡散特性を明らかにする必要がある。著者らはすでに、サンゴ礁海域での赤土拡散が潮流の影響を強く受けることを明らかにしたが(津嘉山・仲座ら, 1991)、一旦沈降堆積した赤土の波浪による巻き上げも海域汚濁の重要な要素であるところから、現地観測により、海水中の赤土濃度分布及び底

質中の赤土濃度や塩分濃度分布を測定し、降雨に伴って河口から流出した赤土の海浜流による移流拡散と拡散沈積特性について検討した。

#### 4.1 現地観測地点及び方法

現地観測は、図-7に示す沖縄本島中部西岸の谷茶海岸で行った。観測は、1991年1月6日の15:00~17:00の時間帯に2回にわたって実施した。当日は大潮に当たり、1回目の観測は、最干潮から約1時間経過した時間帯、2回目は約1.5時間経過した時間帯で実施した。

観測内容は、潮流、海水中の赤土濃度と塩分濃度、および海底の底質中の赤土濃度分布である。計測方法は、海水中の赤土濃度と塩分濃度および底質中の赤土濃度に関しては、格子状に配置した測定点から採取した海水および底質試料を研究室に持ち帰り、デジタル式測定装置によってそれぞれ計測した。潮流の計測はフロートを用いて行った。観測時の現地海岸における沖波は1m未満であり、波浪流はほとんど認められず、測得値は潮流のみと考えられる。

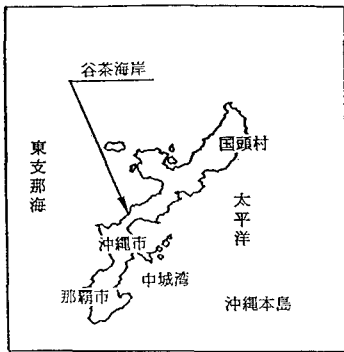


図-7 現地観測地位図

#### 3.2 観測結果

図-8は、現地観測で得られた潮流の流速ベクトル図である。流速は沖側で約9.0 cm/s程度であり、全体的に汀線に平行な流れで、主として地形特性に対応している。図-9は、第1回目の測定で得られた海水赤土濃度

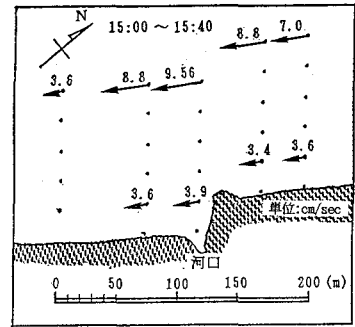


図-8 潮流の流速ベクトル

の平面分布を示す。赤土は河口を中心に右沖側に大きく広がる部分と、河口左側の汀線付近ではほぼ岸に平行に分布している部分に分けられる。右沖側に拡散した高濃度の赤土分布は、満潮時に流出拡散したものと考えられる。図-10は、底質中の赤土濃度の分布を示している。この場合の赤土濃度は、河口の右沖側で極大値を取っているが、これは満潮時に流出拡散した赤土が、この位置で沈降堆積したことによるものと考えられる。このような局所的な高濃度域は、高波浪の来襲時に巻き上げられて分散するものと考えられるが、観測当時は沖波波高が小さく、したがって巻き上げがほとんどなく、そのまま残ったものと推察される。図-11は、塩分濃度の分布を示している。図中の塩分濃度は、河口を中心にして、若干左側に歪んだ同心円状の分布を示している。これは河川流出水の拡散が潮流の影響を受けていることを示しているものと考えられる。図-12は、2回目の観測で得られた海水中の赤土濃度分布を示している。この時間帯の赤土濃度の分布域は、汀線近傍の極めて狭い範囲内で汀線にはほぼ平行に広がっている。図-8に示した流れのパターンから判断すると、赤土の渦拡散は極めて小さく、主として潮流による移流拡散であることがわかる。図-13は、図-12の場合と同一時間帯の塩分濃度分布を示したものである。図からわかるように、この塩分濃度分布は、図-12の赤土濃度分布と類似の分布状況を示している。

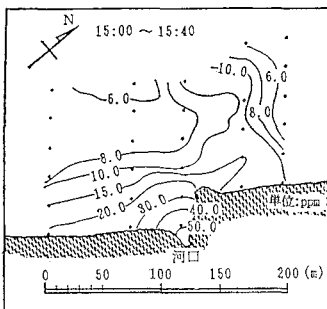


図-9 海水中の赤土濃度分布

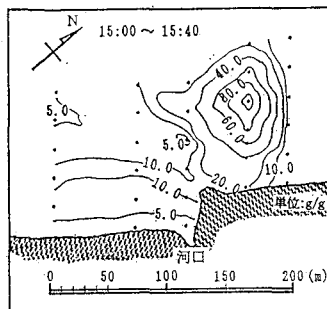


図-10 海底の底質中の赤土濃度分布

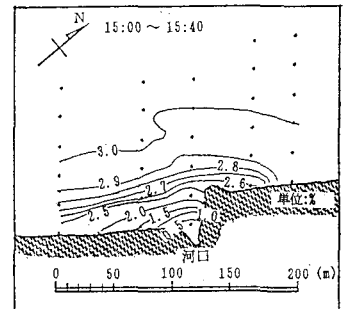
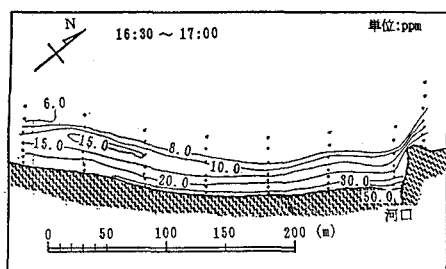
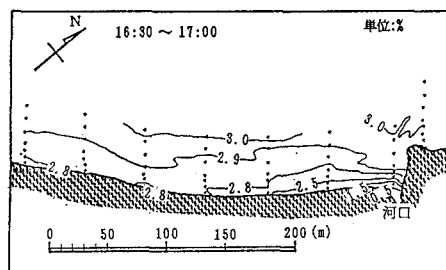


図-11 海水中の塩分濃度分布



図—12 海水中の赤土濃度分布



図—13 海水中の塩分濃度分布

#### 4. おわりに

南西諸島で問題となっているリーフ海域の赤土汚濁に関し、著者らはその発生メカニズムの解明と防止法の開発を目指すものであるが、本研究では、沿岸域での赤土

拡散の数値予報に必要な発生源での赤土の短期流出量算定法の確立と海域での拡散に注目し、1) 赤土の短期流出率が植生被覆度  $CP$  とマルチング効果  $P$  の複合パラメーターで統一的に整理できること、さらに沿岸域での海水中・底質中の赤土濃度分布および海水中の塩分濃度分布の測得結果から、2) 赤土拡散に対しては海浜流による移流拡散効果が大きい、両者の間に時間的なずれがあること、および3) 海水中の赤土濃度と塩分濃度とはかなり強い相関を有することを明らかにした。

**謝辞：**謝辞本研究の遂行にたり、琉球大学農学部の高長謙良教授には貴重な計測器具等を快く貸与頂いた。また、現地観測に際しては琉球大学工学部土木工学科の宇座俊吉技官および当時同学科水工学研究室所属であった学生諸氏に多大のご協力を頂いた。さらに、現地宜野座村の関係各位にも温かい御配慮を頂いた。ここに改めて深甚なる謝意を表する。なお、本研究の1部は、文部省科学研究費・一般A（研究代表者：琉球大学農学部高長謙良教授）の補助を受けて行われたことを付記する。

#### 参 考 文 献

- 沖縄県環境保健部 (1988)：赤土モニタリング調査報告。
- 高長謙良・吉永安俊 (1987)：赤土流出機構及び流出防止対策に関する調査・研究、沖縄協会。
- 津嘉山正光・仲座栄三・高良尚樹・大山幸徳 (1991)：南西諸島海域における赤土流出の実態と新たな防止工法の開発、海岸工学論文集、第38巻、pp. 911-915。