

干潟連成型および内湾連成型サンゴ礁域における 海水流動ならびに赤土輸送特性

Characteristics of Current and Red Soil Transport in Fringing Reefs
Connected with a Tidal Flat and Semi-enclosed Bay

前田勇司¹・灘岡和夫²・金城孝一³・山本高大¹・有坂和真²・仲宗根一哉³・与儀喜真⁴・
山中精一⁵・宮川勝司⁵・小谷和彦⁶・飯田仁土⁶

Yuji MAEDA, Kazuo NADAOKA, Koichi KINJO, Takahiro YAMAMOTO, Kazuma ARISAKA, Kazuya NAKASONE, Kishin YOGI, Seiichi YAMANAKA, Katsuji MIYAGAWA, Kazuhiko KOTANI, Hitoshi IIDA

Field observations were conducted in two areas in Okinawa, Yakata (a fringing reef connected with a wide tidal flat) and Kabira Bay (a fringing reef connected to a semi-enclosed bay). In Yakata, the wave set-up effect was shown to govern the currents in the reef and the tidal flat acted as a source providing turbid and cooler water masses. In Kabira Bay, the wave set-up effect propagated into far inner parts of the bay, causing the circulating pattern of currents which transported red soil to the outer sea from the bay through the channel.

1. はじめに

琉球列島では赤土流出によるサンゴ礁への環境負荷が問題となっている。赤土流出現象は沖縄固有の土壌や特徴的な降雨条件といった自然要因に加えて、農地開発やリゾート開発などの人為的な要因が大きく関与している(大身謝, 1992)。赤土による環境負荷を定量的に評価する上で、サンゴ礁海域における赤土の輸送・拡散・堆積過程を把握することが重要になる。赤土輸送過程は基本的に海水流動によって支配されるが、海水流動特性は当該地域の地形特性によって大きく影響を受ける。したがって、対象とする海域ごとにそこでの地形特性をふまえた形で赤土の輸送過程を検討する必要がある。

琉球列島周辺海域において、津嘉山ら(1991, 1992)や仲座ら(1994)は底質中の赤土含有量の空間分布の経時変化から間接的に赤土の挙動を検討しているが、赤土輸送を直接支配する海水流動については調べられていない。そこで本研究では、特徴的な地形を有し、かつ地形特性が互いに大きく異なる沖縄本島屋嘉田潟原および石垣島川平湾の2海域において得られた観測データの解析により、そこでの海水流動ならびに赤土輸送特性を抽出することを試みた。

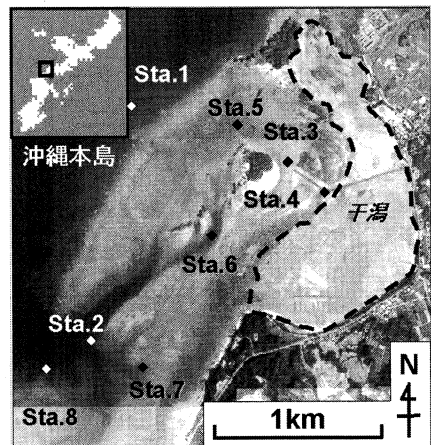


図-1 沖縄本島屋嘉田潟原

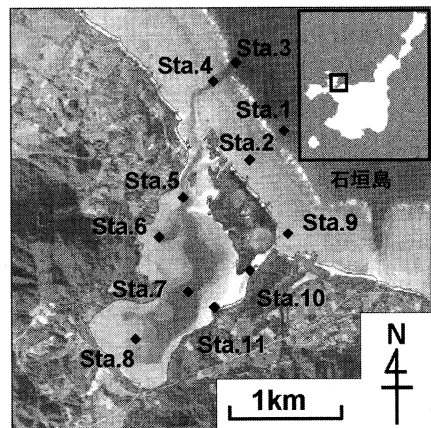


図-2 石垣島川平湾

- | | |
|-----------|---------------------------------|
| 1 | 東京工業大学大学院情報理工学研究
科情報環境学専攻 |
| 2 フェロー 工博 | 東京工業大学大学院情報理工学研究
科情報環境学専攻 教授 |
| 3 | 沖縄県衛生環境研究所 |
| 4 | 沖縄県文化環境部 |
| 5 | (株)沖縄環境分析センター |
| 6 | 沖縄環境調査(株) |

表-1 使用測定器・測定モード

測定器	名称	測定間隔(分)	サンプル数	周波数(Hz)
波高計(沿岸)	WaveHunter (アイオーテック社製)	30	600	2
波高計(外洋)	WaveHunter (アイオーテック社製)	120	2400	2
超音波流速計(ADCP)	Workhorse (RD社製)	60	10	1
電磁流速計	Compact-EM (Alec電子社製)	60	180	1
水位計	DIVER (Van Essen社製)	10	1	-
濁度計	Compact-CLW (Alec電子社製)	10	30	1
水温塩分計	Compact-CT (Alec電子社製)	1	1	-

表-2 設置点・平均水深・設置測器(屋嘉田潟原)

設置点	平均水深(m)	測定器
Sta.1	12	波高計
Sta.2	10	波高計
Sta.3	1.5	水位計
Sta.4	4	濁度計・水温塩分計・水位計
Sta.5	3	電磁流速計
Sta.6	8	電磁流速計・濁度計・水温塩分計
Sta.7	5	電磁流速計・濁度計・水温塩分計
Sta.8	15	濁度計・水温塩分計

表-3 設置点・平均水深・設置測器(川平湾)

設置点	平均水深(m)	測定器
Sta.1	15	波高計
Sta.2	3	波高計
Sta.3	25	濁度計
Sta.4	13	電磁流速計
Sta.5	4	電磁流速計・濁度計
Sta.6	2	電磁流速計・水位計・濁度計
Sta.7	17	超音波流速計・濁度計
Sta.8	2	電磁流速計・水位計・濁度計
Sta.9	3	水位計
Sta.10	1	電磁流速計
Sta.11	0.5	水位計

2. 方法

(1) 観測地概要

対象海域とした沖縄本島屋嘉田潟原(以下、屋嘉田潟原)は沖縄本島西岸に位置しており、岸から沖方向に水深2m程度の礁池、サンゴが発達した内側礁原、干潮時に干出する礁嶺、外洋に面する急勾配の礁斜面と続く裾礁型サンゴ礁である。北側には小島、南側には礁嶺が裂け礁池と外洋を繋ぐクチ(チャンネル)が発達している。また、岸近くには広大な干潟が存在しており、「干潟-サンゴ礁連成系」となっている(図-1)。

もう一つの対象海域である石垣島川平湾(以下、川平湾)は石垣島北岸に位置している。湾の海側には裾礁型サンゴ礁が存在し、それと内湾が2つの細いチャンネルによって繋がる形のユニークな「内湾-サンゴ礁連成系」となっている(図-2)。

(2) 観測概要

観測は図-1, 2に示した地点(Sta.)において、メモリ式計測器による水平二次元流速、水平方向流速の鉛直プロファ

イル、水位、水温、塩分、濁度、波高などの連続計測を行った。使用測定器・測定モードを表1に(サンプル数とは一回の測定期間において計測したデータ数のこと)、設置点・平均水深・設置測器を表-2, 3に示す。観測期間は2007年1月16日から2月15日までの冬期約一ヶ月間とした。なお、本観測調査は沖縄県の「赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査」の一環として、東京工業大学灘岡研究室の協力のもとに行われたものである。

3. 現地観測結果と考察

(1) 屋嘉田潟原：干潟-サンゴ礁連成系

a) リーフ内における流動特性

図-3は電磁流速計によって得られた平均水平流速(1時間毎の5分間平均値)のu-vプロットである。これからSta.5, 6において南向きの流れが、Sta.7においてクチからリーフ外へ向かう流れが卓越しており、クチを通じてリー

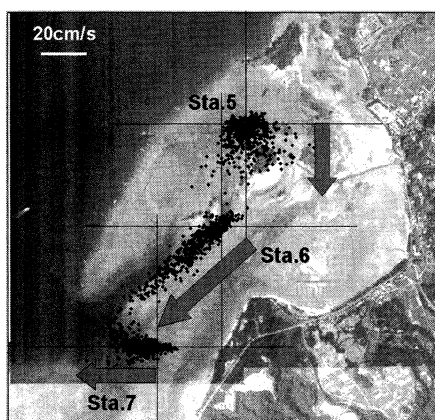


図-3 リーフ内水平流速のu-vプロット

フ内海水が流出するパターンとなっていることがわかる。

図-4 はリーフ外の観測点 Sta.1 における有義波高の経時変化、また図-5 は Sta.5, 6, 7 における主軸方向流速とその25時間移動平均値の経時変化を示したものである。これから、リーフ外において高波浪状態となる期間に各観測点において主軸方向の25時間平均流速が卓越していることがわかる。このようなリーフ外波高とリーフ内平均流速との関係を見るために観測点 Sta.1 における有義波高と各地点の25時間平均流速の相関関係を示したものが図-6 である。これから、リーフ外波高に対応して各地点の平均流速が増大していることがわかる。

b) リーフ外波浪、水位変動、流動特性の関係

以上の観測結果から、リーフ外波浪の増大に対応してリーフ内において、クチへ向かう形での平均流速が増加することがわかった。ここではこの流れの主な駆動力と考えられる水位特性について記す。

図-7 はリーフ内に設置した水位計から得られた水位の25時間移動平均値を、リーフ外(Sta.1)の水位で減じた形で示している。これから高波浪期に対応してリーフ内の北側(Sta.3, Sta.4)で水位のセットアップが起きているが、クチ周辺(Sta.2)では明確なセットアップが起っていないことがわかる。

以上のことから、対象リーフ海域北側では礁斜面における碎波に伴い wave set-up による水位の上昇が生じるが、南側のクチでは水深が大きく顕著な水位上昇が発生しないため、波浪が卓越する期間においてクチへ向かう水位勾配が生じ、クチへ向かう一方向流が引き起こされたものと考えられる。このような流動構造は石垣島白保海域における流動構造(灘岡ら, 2001; 田村ら, 2004; Tamura ら, 2007)とほぼ同様の特性である。

c) 水温および浮遊砂輸送特性に関する干潟の役割

図-8 は降水量と Sta.7 における表層濁度、図-9 は Sta.7

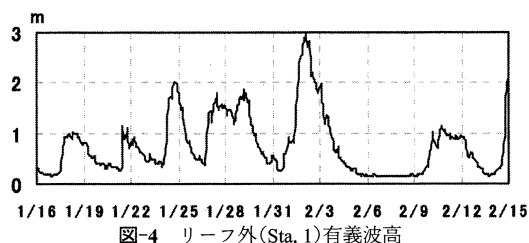


図-4 リーフ外(Sta.1)有義波高

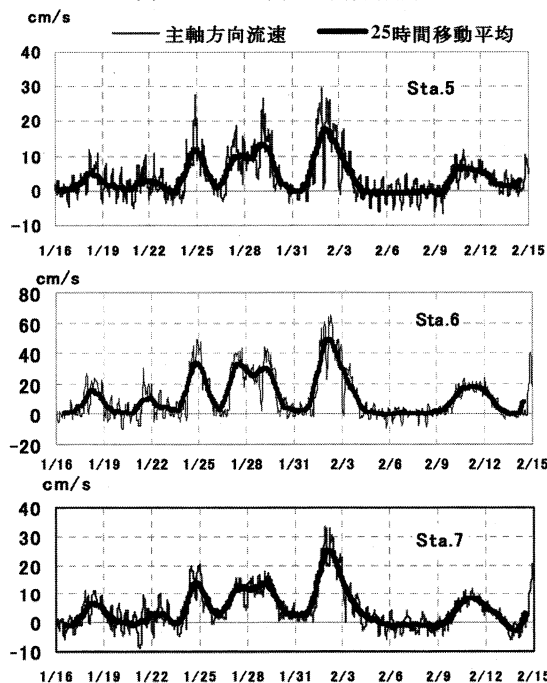


図-5 水平流速の時系列分布

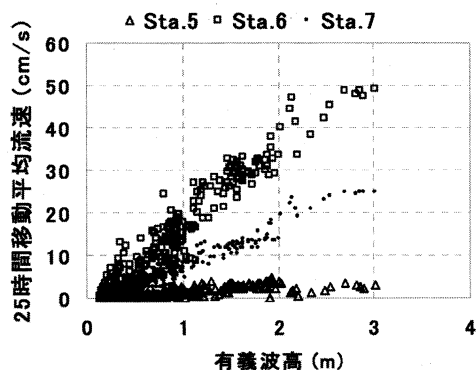


図-6 有義波高(Sta.1)と各点での25時間平均流速との相関

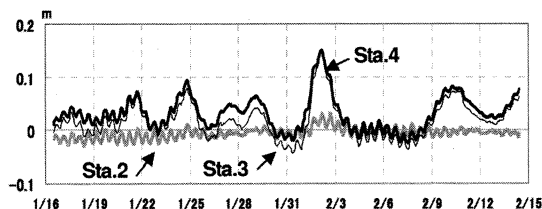


図-7 25時間移動平均水位

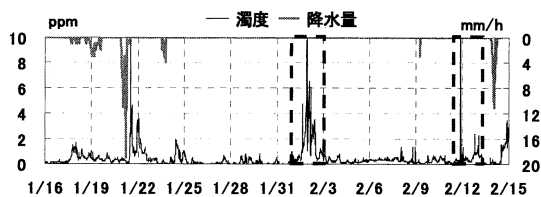


図-8 降水量と Sta. 7 の表層濁度

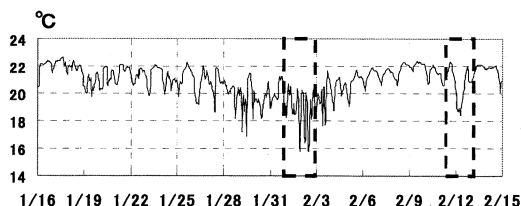


図-9 Sta. 7 の底層水温

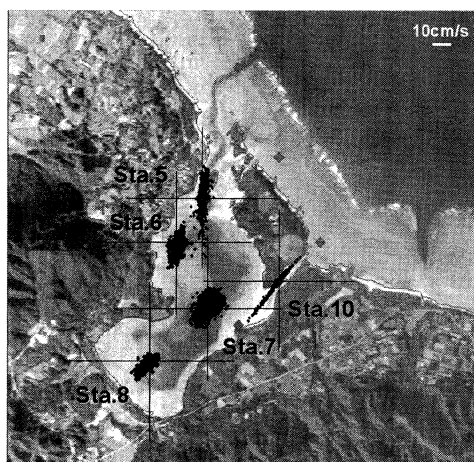


図-10 湾内水平流速 u-v プロット

における底層水温の時系列データを示している。図-8 から降雨によるものと考えられない顕著な濁度上昇が図中に示す2時期で発生しているが、図-9 から、このとき水温も大きく減少していることが分かる。水深が小さく低潮時には干潟域では熱容量が小さいため、より強く冷却効果を受ける。さらに干潟域においては波による土砂の巻き上げが生じやすい。この2つの効果により、水温が低く土砂を含んだ水塊が干潟域から上記の岸に沿う流れに乗ってクチまで運ばれたためと考えられる。

(2) 川平湾：内湾サンゴ礁連成系

a) 湾内における流動特性

図-10 は電磁流速計および ADCP によって得られた平均水平流速(電磁流速計：1 時間毎の 5 分間平均値, ADCP：10 分間平均した鉛直平均水平流速)の u-v プロットである。これから、岸に近い Sta.6, 8 では湾奥に向かう方向に、湾中央部の Sta.7 では湾口に向かう方向に、東側のチャネル (Sta.10) では湾に流入する方向に、西側のチャネル (Sta.5) では湾から流出する方向に流れが卓越していることがわかる。これから、図-11 に示すような循環流パターンの存在が考えられる。

図-12 はリーフ外 (Sta.1) における有義波高、図-13 は湾内 (Sta.8) とリーフ内 (Sta.2) における25時間移動平均水位をリーフ外 (Sta.1) の水位で減じた形で示した値、図-14 は湾内 (Sta.8) における主軸方向流速とその25時間移動平均値をそれぞれ示した図である。これから、リーフ外有義波高が増大するとリーフ内平均水位が上昇することがわかるが、その水位上昇はさらにチャネルを通して湾内奥部にまで十分伝播し、湾内の平均流速を増大させることがわかる(ここでは Sta.8 の水平流速のみ示しているが、他の地点においても同様の特徴が見られた)。



図-11 湾内の循環流

b) 湾内における土砂輸送パターン

図-15 は Sta.5, 7, 8 における主軸方向の濁度フラックスとその25時間移動平均値を示したものである。これから図中に示した二つの期間において、濁度フラックスが卓越していることがわかる。この二つの期間はリーフ外波浪が卓越する期間に一致していることから、湾内の土砂が高波浪期における循環流に乗り、北西側のチャネルを通して流出することがわかる。

4. おわりに

本研究では、干潟-裾礁連成型である沖縄本島屋嘉田潟原と内湾-裾礁連成型である石垣島川平湾を対象として、現地観測結果の解析を行い、それぞれの海域における海水流動および土砂輸送特性の解明を試みた。その結果、以下のことが示された。

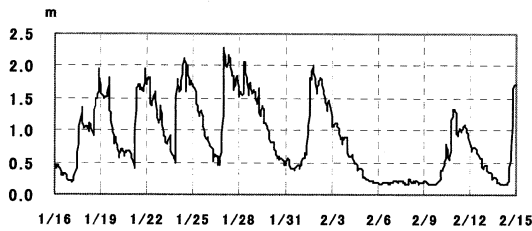


図-12 リーフ外(Sta. 7)有義波高

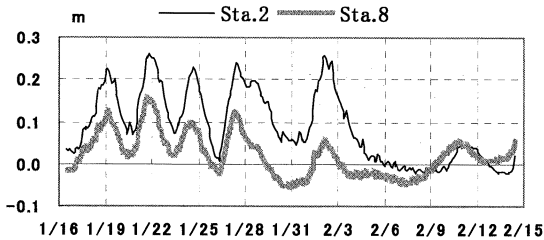


図-13 25時間移動平均水位

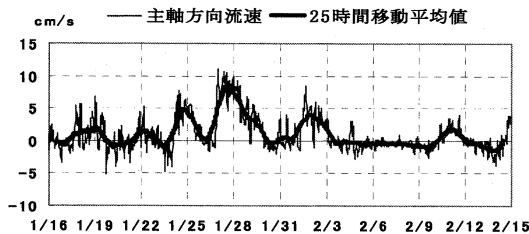


図-14 Sta. 8 の水平流速の時系列分布

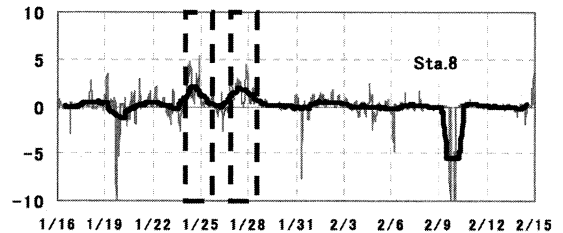
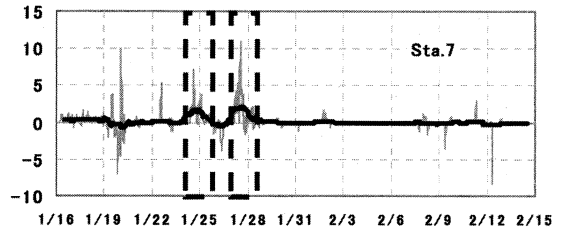
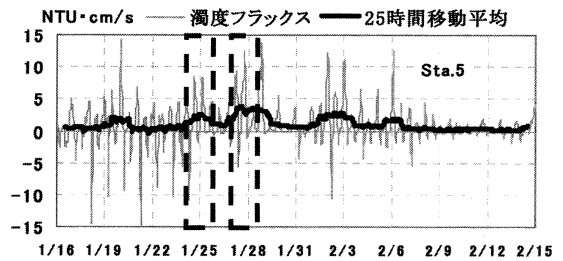


図-15 主軸方向の濁度フラックス

(1) 屋嘉田潟原

- wave set-up の沿岸方向の非一様性によって、入射波高の増加に対応してリーフ内およびチャンネル周辺の平均流速が増加することがわかった。
- 冬期の冷却源および浮遊砂発生源として干潟が重要な役割を果たしていることが示唆された。

(2) 川平湾

- wave set-up 効果がリーフ内だけでなく湾奥部にまで及び、湾内での循環流形成に寄与していることが示唆された。
- 湾内の浮遊土砂が高波浪期における循環流に乗り、北西側のチャンネルを通して流出する形になっていることが示された。

謝辞：本研究の一部は、科研費基盤研究(A)(代表者：灘岡和夫、課題番号：17206052, 18254003)を受けて行ったものであることを付記する。

参考文献

- 大身謝辰男(1992)：沖縄県における赤土汚染の現状，沖縄県公害衛生研究所報，26，pp.87-96.
- 田村仁・灘岡和夫・Enrico C. PARINGIT(2004)：石垣島東岸裾礁域の流動特性に関する現地観測と数値解析，土木学会論文集，No.768/2-68，pp147-166.
- 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.
- 津嘉山正光・仲座栄三・高良尚樹・屋良朝博(1992)：赤土流出の発生とサンゴ礁水域内での拡散について，海岸工学論文集，第39巻，pp.945-949.
- 仲座栄三・津嘉山正光・砂川恵輝・金城太(1994)：サンゴ礁海岸における赤土堆積と拡散に関する研究，海岸工学論文集，第41巻，pp.1031-1035.
- 灘岡和夫・若水研水・二瓶泰雄・今井陽介・青木康哲・丸太直美・大見謝辰男・満元祐彰・小林孝・藤井智史(2001)：現地観測に基づく石垣島サンゴ礁海域の流動特性と微細土砂・熱輸送特性に関する解析，海岸工学論文集，第48巻，pp.1151-1155.
- Tamura, H, K. Nadaoka, E. C. Paringit(2007)：Hydrodynamic characteristics of a fringing coral reef on the east coast of Ishigaki Island, southwest Japan, Coral Reefs, Vol. 26, pp. 17-34.