

宮古島西海域陸棚周辺部の流れ特性

CHARACTERISTICS OF CURRENTS ON THE SHELF SURROUNDING THE NORTH-WEST CORAL AREA OF MIYAKO-JIMA, OF OKINAWA

松田翔平¹・仲座栄三²・Rouf Muhamad¹・仲間利夫³・竹内理佳⁴・砂川一博⁵

Syouhei MATSUDA, Eizo NAKAZA, Rouf Muhamad, Toshio NAKAMA
Rika TAKEUCHI and Kazuhiro SUNAGAWA

¹ 琉球大学大学院 環境建設工学専攻 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地)

² 正会員 琉球大学工学部 環境建設工学科 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地)

³ 沖縄県宮古支庁 農林水産整備課 (〒906-0012 沖縄県宮古島市平良西里1125番地)

⁴ 株式会社海岸環境調査研究所 (〒903-0064 沖縄県那覇市寄宮3丁目12番13号)

⁵ 株式会社地建 (〒906-0013 沖縄県宮古島市平良西里672-6)

Miyako Island (Miyako-Jima) is lying on the plateau of shelf, rising up from Ryukyu trench and Okinawa trough, and fringing very wide area of coral especially in the North-West part of Miyako-Jima. Observation has been carried out near the edge of this coral area with ADCP installing at 60m depth bottom. As ADCP data shows, barotropic current flows along the reef edge, but the vertical distribution of the horizontal velocity is found very complex due to baroclinic currents. Observation results imply that these baroclinic currents are caused by density differences of waters between in deep sea and in the shallow coral area.

Key Words : coral, coral reef, tide, current, Miyako Island, barotropic current, baroclinic current

1. はじめに

宮古島は沖縄本島からほぼ300km南西に位置する。宮古島は、その南側をはしる琉球海溝と北側に位置する沖縄トラフから立ち上がる陸棚上のほぼ中央に存在する。その宮古島の西沿岸と来間島、そして伊良部・下島間に広大なサンゴ礁海域が広がっている。

このサンゴ礁海域は、豊かな水産資源として、そして観光資源として島の貴重な天然資源を成している。この海域に面する宮古島・前浜海岸は、砂浜の美しさから、東洋一のビーチと言われるほどで、砂浜の美しさは他に類を見ないと評価されている¹⁾。

この海域の流れは、陸棚地形上にあることと、サンゴ礁内の複雑な地形特性から、極めて複雑化していることが想定される。こうした海域の水産資源の保全や海岸域の保全のためには、海岸工学的な調査研究が必要であるが、サンゴ礁内の流れ特性を把握できるような調査は極浅海部を除いてこれまで殆ど行われていないのが実情である^{2), 3), 4)}。

本研究は、サンゴの成長が最も顕著となる春先から初夏にかけて当海域のサンゴ礁縁部で流れの観測

を行い、陸棚上の流れ特性及びサンゴ礁内に流入する流れの特性把握を行うものである。

2. 観測位置及び観測方法

図-1 に宮古島を取り巻く陸棚地形とその周りの等水深の分布を示す。宮古諸島は大小5つの島からなり、その中で最大の島が宮古島である。図-2 に、調査対象海域の拡大図を示す。

図示のとおり、本研究で注目している海域は宮古島西海域であり、来間島、伊良部・下地島を取り囲む広大なサンゴ礁海域である。

この陸棚地形上のサンゴ礁海域に流入する流れの特性を把握する目的から、来間島と伊良部・下地島間のちょうど中間地点付近のサンゴ礁縁部、水深約60mに流れの観測点を設けた。図-2 に○印で観測位置St.1を示す。

流れの測定には、ADCP600kHz+WAVE (超音波式流速計, RD instruments 社製) を用いた。この流速計は、水表面付近の流れのデータから表面波の情報を推測できる機能を有する。ADCP は、切り離し

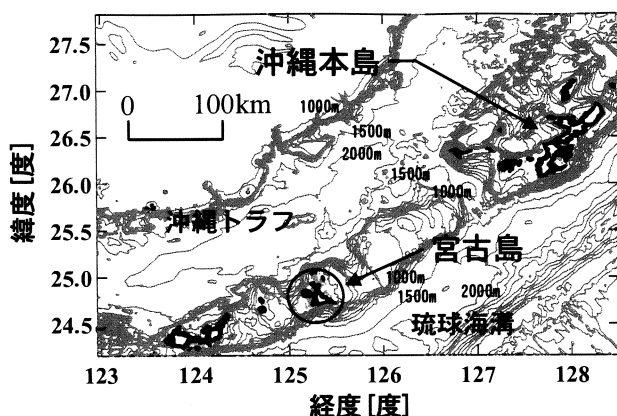


図-1 宮古島を取り囲む陸棚及び等水深の分布

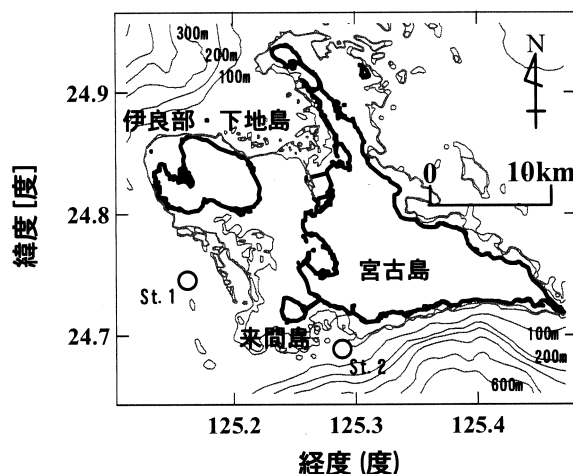


図-2 観測位置及び水深コンター

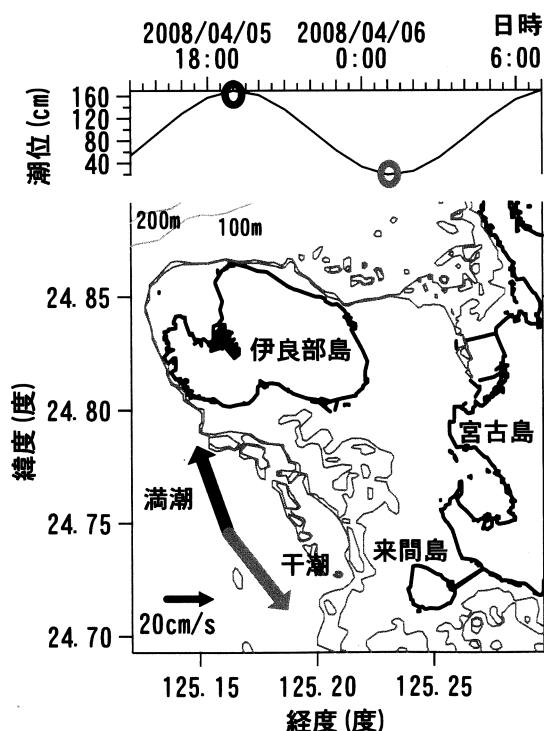


図-3 水深方向平均流速(4月5日19時, 4月6日1時)

装置を経由して約100kgのおもりで海底に固定し、約30kgの浮力を有する耐圧パイプで海底から立ち上げた。

流速のデータ取得は、2.0mの層厚間隔で海底面上3.0mの位置から表層まで、10分間隔で120秒間連続観測した(データサンプリング周波数1Hz)。したがって、各層における流速値は、層厚2.0m、120秒間の平均流速を表す。観測は、サンゴの成長が年間を通し最も活発化する時期、4月5日から6月21日に亘って実施した。

水温及び塩分等の水質に関するデータは、水温・塩分・濁度・水圧・クロロフィル-aを測定項目とするクロロテック(アレック電子社製)を用い、船上から投入時と引き上げ時の往路で測定した。

クロロテックを用いた水質の観測は、観測点St.1及びSt.2で行った。St.2は、海水密度や水温の空間的な比較を行うための観測点であり、水質観測のみが実施されている。

風速及び気温等に関する気象データについては、宮古島市平良にある宮古島気象台の公開データを用いた。

3. 観測結果及び考察

観測された流速データを水深方向に平均することで求めた水深平均流速(順圧成分の近似値とみなせることから、以下、順圧成分と呼ぶ)を図-3に示す。図には、参考のために、気象台発表の潮位を示した。また、潮位に付す○印は流速ベクトルに対する参照時を表す。水深平均流速は、サンゴ礁縁に沿う形で満潮時に北西方向、干潮時に南東方向の流れとなっている。

図-4に、観測期間中に得られた水深平均流速の東西成分及び南北成分のスキッタリングを示す。図示のとおり、水深平均流速の主方向は、北西及び南東の方向にある。以下の議論では、流れの説明が容易となるように、得られた東西成分流速及び南北成分流速を座標変換により主流方向の成分とそれに直行する方向の成分とに分け、主流方向の流速の特徴について主に述べることにする。座標変換により、主流方向の正值の流れは実際には北西方向の流れを示し、負値の流れは南東方向の流れを表す。主流方向に直角方向の流れは、主流方向の流れに比較し全体的に小さいため、適宜その説明を割愛した。

図-5に、順圧成分流速の経時変化及び潮位の経時変化を15昼夜に亘って示す。図示のとおり、流れ及び潮汐が大きくなる大潮期には半日周潮が卓越し、小潮期には日周潮が卓越している。また、全体的に満潮時に北西方向の流れであり、干潮時に南東方向の流れを示している。流れは、最強時に60cm/sに達しており(1ノットを超え)、潮流としては比較的強い流れと言える。

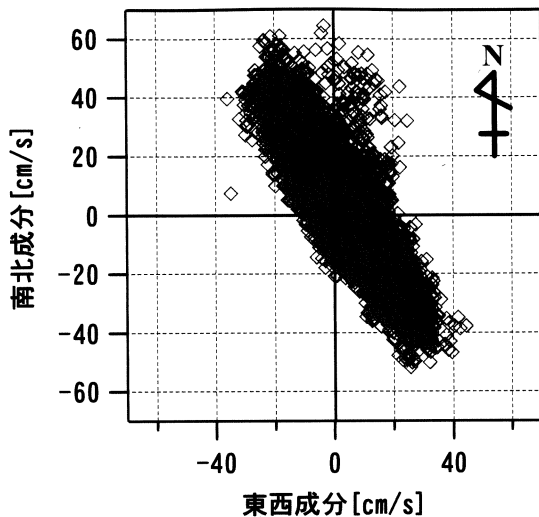


図-4 流速のスカッタリング

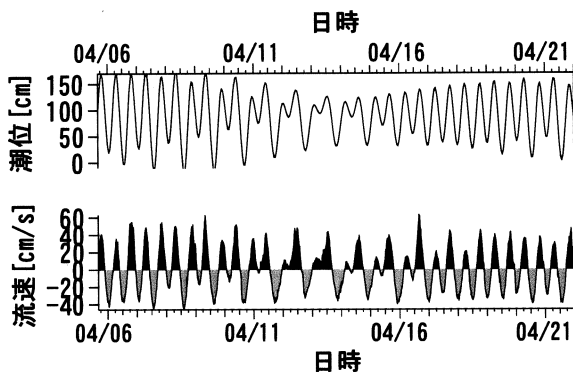


図-5 潮位及び順圧成分流速の経時変化

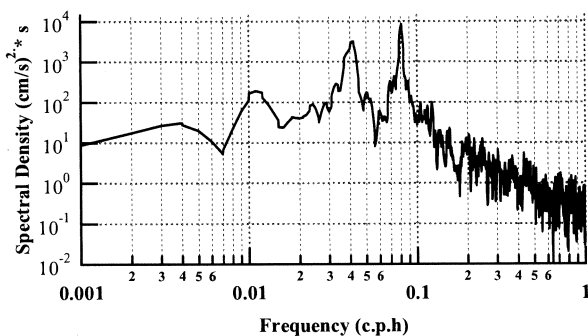


図-6 順圧成分流速のスペクトル

図-6 に順圧成分流速（主流方向）のスペクトルを示す。半日周潮及び日周潮にスペクトル値の卓越が見られるが、3.8日程度の周期位置にもスペクトルの極大値が見られる。

図-7 及び図-8 に、25時間移動平均で得られた主流方向の流れの長周期変動を海底面上3.0mから海表面下23mまで2m間隔で示す。図-7 に示すデータは5月22日から15昼夜であり、図-8 に示すデータは6月6日から6月21日までの15昼夜に亘る。これらの期間を示すのは、流れが比較的大きくかつそ

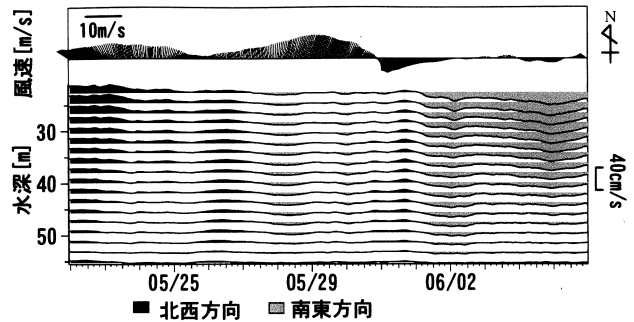


図-7 風速及び25時間移動平均流速の経時変化
(5月22日～6月5日)

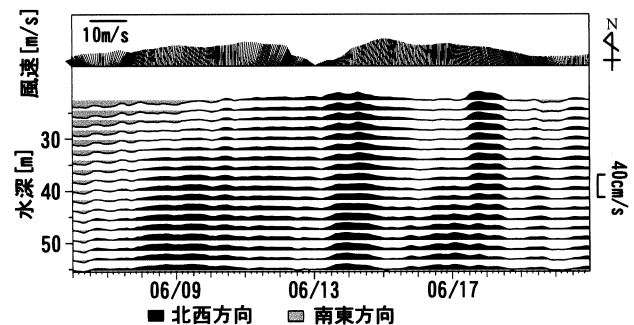


図-8 風速及び25時間移動平均流速の経時変化
(6月6日～20日)

の変化が明瞭であることによる。流れの発生と風の相関を調べるために、図の上段に風向・風速の変化をベクトルで示してある。

図-7 に示す流れは、5月22日から24日かけて強い北西方向の流れを示しているが、その流れは海底面付近で弱く表層で強い。一方、6月5日を中心とし、数日間に亘り南東方向の強い流れが海表面付近に現れている。図-8 に示す期間の流れは、6月6日から8日にかけて海表面付近に南東の流れが現れ、8日から10日にかけて、逆に底面付近に強い北西向きの流れが発生している。こうした表面付近あるいは海底付近のいずれかに偏った流れの発生に対し、例えば6月13日後半から15日にかけて見るように、ほぼ水深方向に一様化した順圧的な流れも存在する。

表層付近に現れる強い流れの存在は、海底摩擦による底面付近の流れの減衰では到底説明できるものでない。また、風のベクトルの経時変化との比較から、吹送流の発生として単純に説明できるものでもない。可能性としては、密度の空間的分布がもたらす傾圧の流れとしての説明が残される。

密度の空間的分布がもたらす傾圧の流れとしては、湾口などで観測されるエスチュアリー循環がよく知られている^{5), 6), 7)}。湾のように奥行が閉じた空間の場合、観測される湾口断面における流速は、表層と底層とで流れが逆転し、湾への流入と湾からの流出とがほぼバランスし比較的安定した流れが観測されている^{5), 6)}。

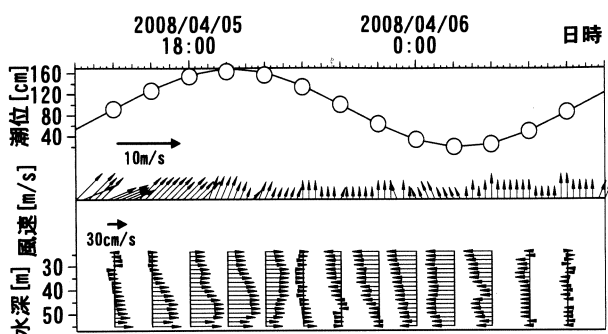


図-9 主流方向流速の経時変化(4月5日～6日)

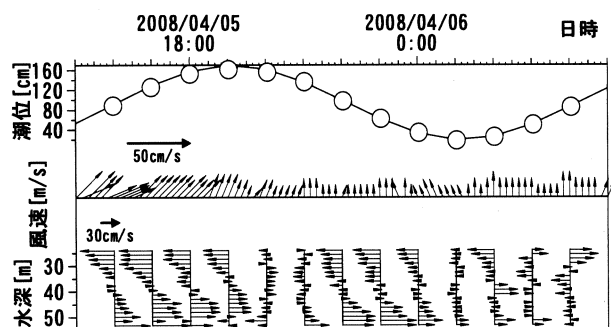


図-10 傾圧流の経時変化(4月5日～6日)

観測対象海域は、浅海域に宮古島西海岸部があるとしても、図-2 に示すように、宮古島西海岸と伊良部島との海峡部、そして来間島を通過する部分とで開いた海域となっている。湾状でなく、開いた空間であることが、エスチュアリー循環等で見られる断面内で互いに流量を補償し合う形の流れを形成せず、表層あるいは底層部のいずれかに流れが局在化する要因と考えられる。次に、潮汐に伴う傾圧の流れについて調べる。

図-9 に、4月5日の大潮時の潮汐と流れの水深方向分布の関係を示す。図中には、風向・風速をもベクトル表示で表した。これまで説明してきたように、潮流は大局的には満潮時に北西向き、干潮時に南東向きの流れのパターンを示すものの、その水深方向分布は非常に複雑となっている。

図-10 に、流速データから傾圧成分を差し引いて求めた傾圧成分流速の経時変化を示す。傾圧成分流速は、満潮時及び干潮時共に、表層で南東流、底層で北西流を示している。こうした傾圧的成分流速の形成からは、宮古島の北西部の沖縄トラフ沿いに流軸を持つ黒潮の存在により、宮古島の北西部で低密度(高温)、南東部で高密度(低温)となる海水密度(海水温)の空間分布の存在が推測される。

これとは逆の密度空間分布としては、黒潮流軸が遠のき、広大なサンゴ礁浅海域の水温上昇により、沖縄トラフ側に当たる宮古島の北西部で高密度(低温)、サンゴ礁浅海域となる南東部で低密度(高温)となる海水密度の空間分布(海水温)の存在が

想定される。

図-11 に、観測点St.1 における水温及び密度の水深方向分布を示す(4月5日)。水温及び密度分布共に、海表面下7m付近に第1の躍層が存在し、さらに水深50m付近に第2の躍層が存在する。

図-12 に、観測点St.1 から南東方向に約10km離れた観測点St.2 の位置で得られた水温及び密度の水深方向分布を示す(4月5日)。温度や密度分布の傾向は、St.1 の場合とほぼ同様であるが、下層の躍層前後の変化量はSt.1 の場合よりも小さい。

図-11 及び図-12 に示す温度分布及び密度分布の水深方向平均値の差は、それぞれ 0.5°C 及び 0.3kg/m^3 であり、当海域の北西側、すなわち黒潮が流れる側に、若干水温及び密度の高い海水の存在を示している。こうした密度の平面的な違いがここで議論された傾圧の流れの発生に寄与しているものと判断される。

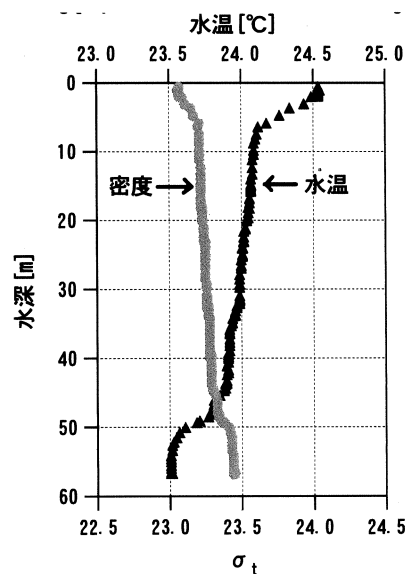


図-11 水温及び密度の水深方向分布 (St. 1, 16時)

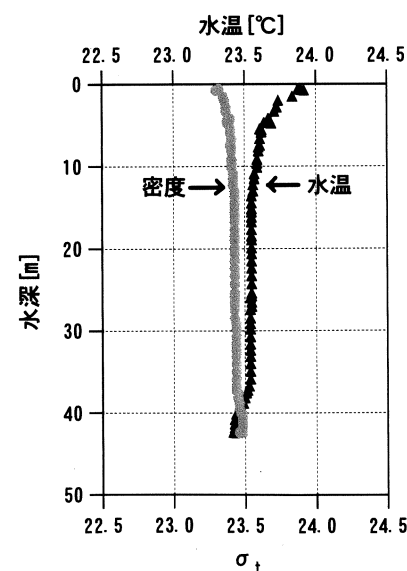


図-12 水温及び密度の水深方向分布 (St. 2, 15時)

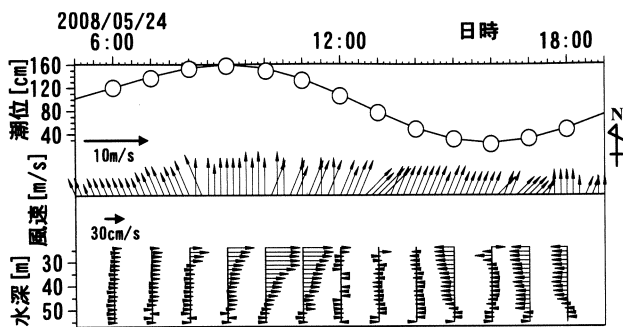


図-13 主流方向流速の経時変化 (5月24日)

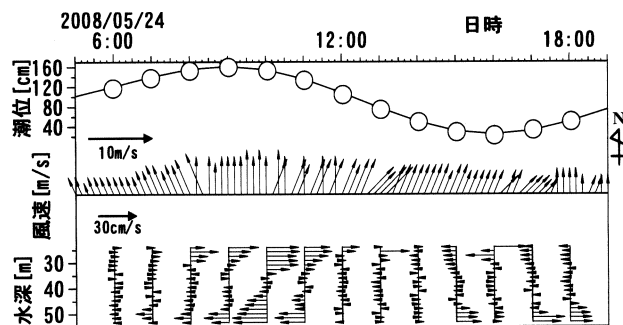


図-14 傾圧流の経時変化 (5月24日)

図-9 及び図-10 に示す傾圧流れとは逆の傾向を示す事例を図-13及び図-14に示す。図示の流れは、5月24日6時から約1潮汐にまたがる。図-9の場合に比較し全体的に流れは小さいが、24日8時から11時の間に強い表層流の発達が見られる。

単純に風と相関付けると、表層付近の流れの発達は、表示期間の初期に見られる風の発達に伴う吹送流の発達でないと想定される。しかし、風は12時を過ぎても吹いているのに対し、表層付近に見られる流れは急激に消滅している。流れの大きさも50cm/sに達するものであり、10m/s程度の風が引き起こす吹送流としては大きすぎると判断される。したがって、単純に風による吹送流としての説明は与えられないものと考えられる。

発生メカニズムの可能性としては、外洋とサンゴ礁内の海水密度の空間勾配が引き起こす傾圧流としての説明が残されるが、サンゴ礁内の海水密度のデータが得られてなく、現段階では、十分なデータを提示できるものでない。

4. おわりに

沖縄トラフと琉球海溝から立ち上がる陸棚上に位置する沖縄県宮古島の北西海域に広がるサンゴ礁海域は、水産資源及び観光資源として、今後保全すべき重要な海域である。そのサンゴ礁海域内に入り出る流れの特性を現地観測により調べた。その結果

以下のような流れの特性を得た。

1) 潮汐に伴う順圧的な流れは、北西及び南東方向に主軸を持つ流れであり、満潮時に北西流、干潮時に南東流をなし、サンゴ礁の礁縁にはほぼ並行な流れを形成している。

2) スペクトル特性からは、潮汐流が半日周潮及び日周潮を基本とする流れであり、3.8日程度の長周期変動を伴うものであることが示された。

3) 観測された潮流は、水深方向に密度の空間分布の影響を受けたと想定される強い傾圧的流れの影響を受け、かなり複雑な分布形を示す。

4) 水温及び塩分の水深方向分布から得られた密度の水深方向分布は、表層付近と底層付近に密度躍層の存在を示した。

5) 2点間で得られた温度及び密度の平均的な平面分布は、北西側で温度及び密度が高い値を取ることを示し、傾圧的な流れの発生を予測させる密度の平面分布を示すものであった。

6) 傾圧的な流れは、25時間移動平均により得られた長周期流れに表層や海底面に偏った流れとして現れる一方で、潮汐の周期内で急変流としても現れる。

以上に示すように、流れの特性は極めて複雑なものであることが明らかとなったが、傾圧的な流れの発生メカニズムの説明にはデータが十分でなく仮説の域を出るものでないことも否めない。さらに平面的な現象解析が十分可能となるような観測が、今後求められる。

謝辞：本研究を遂行するに、多くの方々の協力を得た。特に、現地観測に関し、第24回宮古島トライアスロン大会スーパーバイザー長浜幸男、宮古島トライアスロン大会事務局、沖縄県宮古支庁 農林水産整備課、宮古島海洋調査研究会、株式会社海岸環境調査研究所社長長田紀晃、株式会社地建社長砂川博昭、西原工業代表楚南聡、有限会社アイオーテック社長大谷明に多大な協力を頂いた。また、実際の観測作業やデータ解析に当たっては、琉球大学工学部環境建設工学科准教授赤松良久、琉球大学大学院宮国敏明、久高隆太郎、Lilian Kolter、環境建設工学科学生坂下泰和・小林寛美、海岸環境調査研究所主任武内鉄平、有限会社アイオーテック洞達道氏の協力を得た。ここに記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 仲座栄三・津嘉山正光・川満康智・比嘉真弓・大石根光茂・西園公彦：侵食対策としての海岸整備に関する住民意識調査，海岸工学論文集，第47巻，pp.1306-1310，2000。
- 2) 谷本修志・中野泰雄・大月和義・宇田高明・小俣篤：沖縄県仲泊地区のリーフ周辺での波と流れの観測，海岸工学講演論文集，第35回，pp.207-211，1988。
- 3) 山本幸次・佐藤慎司・仲座栄三・大谷靖郎・堀口敬洋，海岸工学論文集，第47巻，pp.1101-11050，2000。

- 4) 田村仁・灘岡和夫・Enrico C. Paringit : 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/II-68, pp. 147-166, 2004.
- 5) 山根伸之・寺口貴康・中辻啓二 : 大阪湾湾奥部のエス
チュアリー循環と栄養塩収支, 海岸工学論文集, 第 45
巻, pp. 1061-1065, 1998.
- 6) 田中昌広・稲垣聡・八木宏 : 東京湾成層期の流動のリ
アルタイムシミュレーション, 海岸工学講演論文集,
第 44 回, pp. 386-390, 1997.
- 7) 田中昌広 : 内湾の生態系シミュレーション, ながれ,
20, pp. 354-364, 2001.