

リーフ海域における離岸流観測について

三宅武治, 高江洲剛, 橋本和紀, 杉山伸二, 内田昌治: 十一管区海洋情報調査課

Report on the rip current observation in the reef area

Takeharu MIYAKE, Tsuyoshi TAKAESU, Kazunori HASHIMOTO, Shinji SUGIYAMA, Syoji UCHIDA

Hydrographic and Oceanographic division of 11th RCGHq.

1 はじめに

珊瑚礁（リーフ）に形作られた青く美しい沖縄の海では、ダイビング、サーフィン等のマリネジャーが盛んであるが、その一方でそれら愛好者がリーフ海域の急潮流により沖合に流される事故がたびたび発生している。海上における安全を担う官庁として当庁は、これらの海域における事故を防止していく責務があり、関係する人々に安全情報を提供することが求められている。このようなことから十一管区海上保安本部は、リーフ海域特有の急潮流の発生メカニズムを解明し、その発生状況を予測して海難事故を防止できるよう沿岸海域周辺の調査を実施してきた。

リーフ海域の急潮流は、海上保安庁や大学等でも近年、調査や研究が進められている離岸流の一種であるが、当管区ではこれをリーフカレントと呼び、マリネジャー客や海洋関係者へその危険性について注意喚起してきた。しかしながら、リーフカレントの実態を把握することは以下のようなことから困難であった。

- マリネジャー客や船舶の安全面から機器の設置場所が限定され、最適な調査点での観測が不可能
- 極浅海域のため水位変動により観測機器が露出し、計測が不可能
- 頻繁に発生する台風などの襲来により長期観測が困難
- リーフ海域には様々なスケールの凹凸が混在し、極めて複雑な地形を形成しているが、測量船による

地形調査が困難

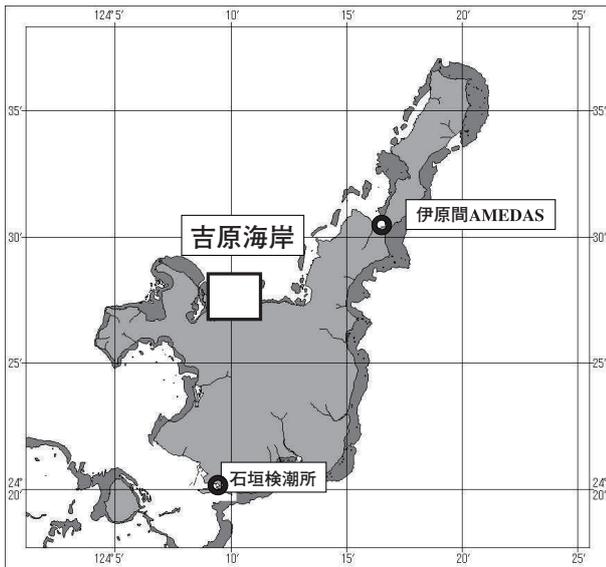
このような悪条件があったが、平成17年5月から6月にかけて、石垣海上保安部の要請により石垣島北部の吉原海岸において潮流観測を実施した。この吉原海岸は、海難事故がたびたび発生する海岸の一つで、最近では平成16年11月に死亡事故が、17年4月にはリーフ外へ観光客が流され、当庁ヘリにより救出される事故が発生している。

この潮流観測を解析した結果、従来の潮流とは異なる重要な流れの存在が確認された。そこで十一本部ではこのリーフカレントの解明に必要な詳細な地形図作成のために、本庁海洋情報部、六管区海上保安本部に協力を依頼し、その結果、9月28日から29日の2日間、六管区所属の「あきたか」により六管区以外で初めての航空レーザー測深作業が実現した。本稿ではそれらについての観測結果を報告する。なお、詳細な観測データ及び調和分解結果等については、平成18年刊行予定の「南西諸島 石垣島米原ビーチ付近 潮流観測報告書」を参照されたい。

2 地形の特徴

本稿で報告する吉原海岸は、第1, 2図に示すように石垣島北部に位置し、東に米原ビーチ、西に黒真珠で有名な川平湾に挟まれた地域である。北側のリーフは川平湾の川によって開いているものの、東側はリーフが陸まで続き閉じた地形を形成している。

特徴的なのは、その中央に（沖縄ではクチと呼ば



第1図 吉原海岸の位置
Fig. 1 Location map of Yoshihara beach

れる) 大きなリーフの割れ目 (リーフギャップ) が存在することで、その長さは南北に約500m, 幅が約200m, 水深が約25mと非常に大きいものである。この付近の珊瑚礁段丘が隆起し陸上にあった頃に、このリーフギャップは川だったとされ、深いギャップはその時にえぐられて、その後再び沈降して現在の地形になったと考えられている。

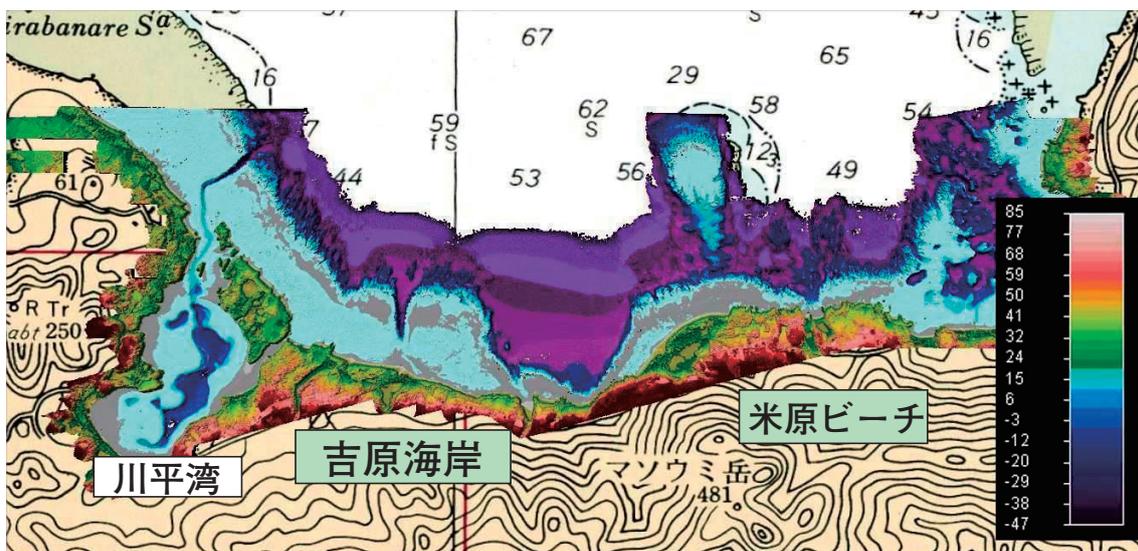
ところで琉球列島のリーフはほとんどが海岸部に接して発達した裾礁で、その構造は海岸から沖に向かって礁池 (沖縄ではイノーと呼ばれる)、周囲より

やや高い平坦部の礁嶺、碎波帯に位置する礁縁、さらに礁縁から沖に向かって水深50~80m付近まで続く礁斜面などに区分される。

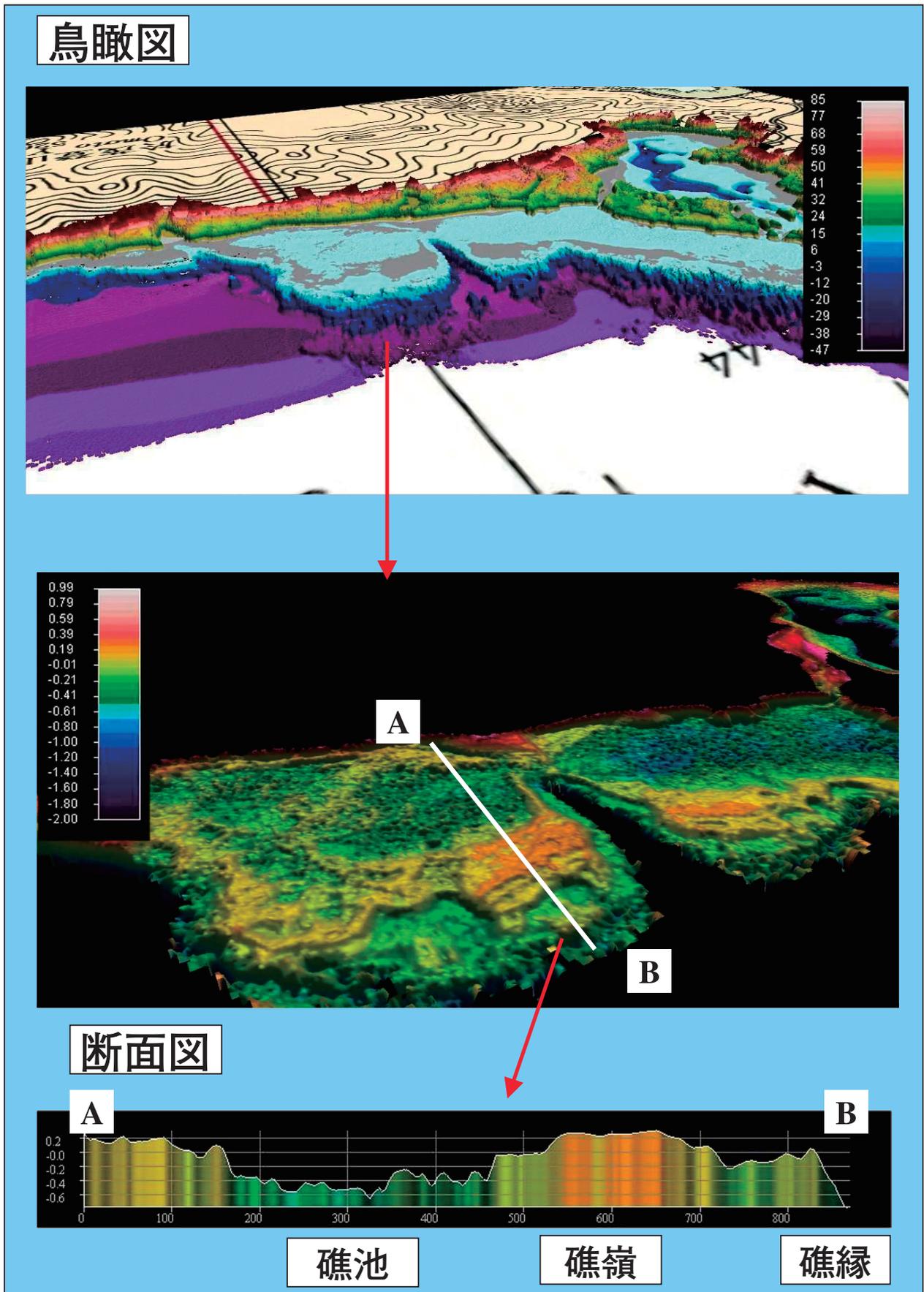
レーザー測深の成果から作成した鳥瞰図と断面図 (第3図) 及び等深線図 (第4図) の結果を前記の一般的なリーフの構造にあてはめると、吉原海岸の場合、リーフの幅 (陸側から礁縁までの長さ) は約800mで、礁池の部分は約400m, 平均水深が約40cm, 深いところが約60cmとなっている。礁嶺の部分の長さは約200m, その水深は0m~干出20cm程度となっており、ここがリーフの部分で最も高くなっている。第4図の等深線図で干出10cmの等深線に着目すると (本図では黒色, 第3図の中段鳥瞰図では黄色からオレンジの部分), この等深線の内部の領域がほぼ吉原海岸のリーフを囲むことになり、唯一の開口部としてリーフギャップが重要な場所であることがわかる。なお、レーザー測深精度を考慮すると第4図の等深線の間隔はその精度を超えたものであるが、本図では珊瑚礁地形の相対的な複雑さを表現することを目的としているために0.1m等深線で表現している。

3 潮流観測

第5図のようにリーフギャップの付け根の部分 (緯度24°27'16"N, 経度124°09'46"E, 水深5m) に

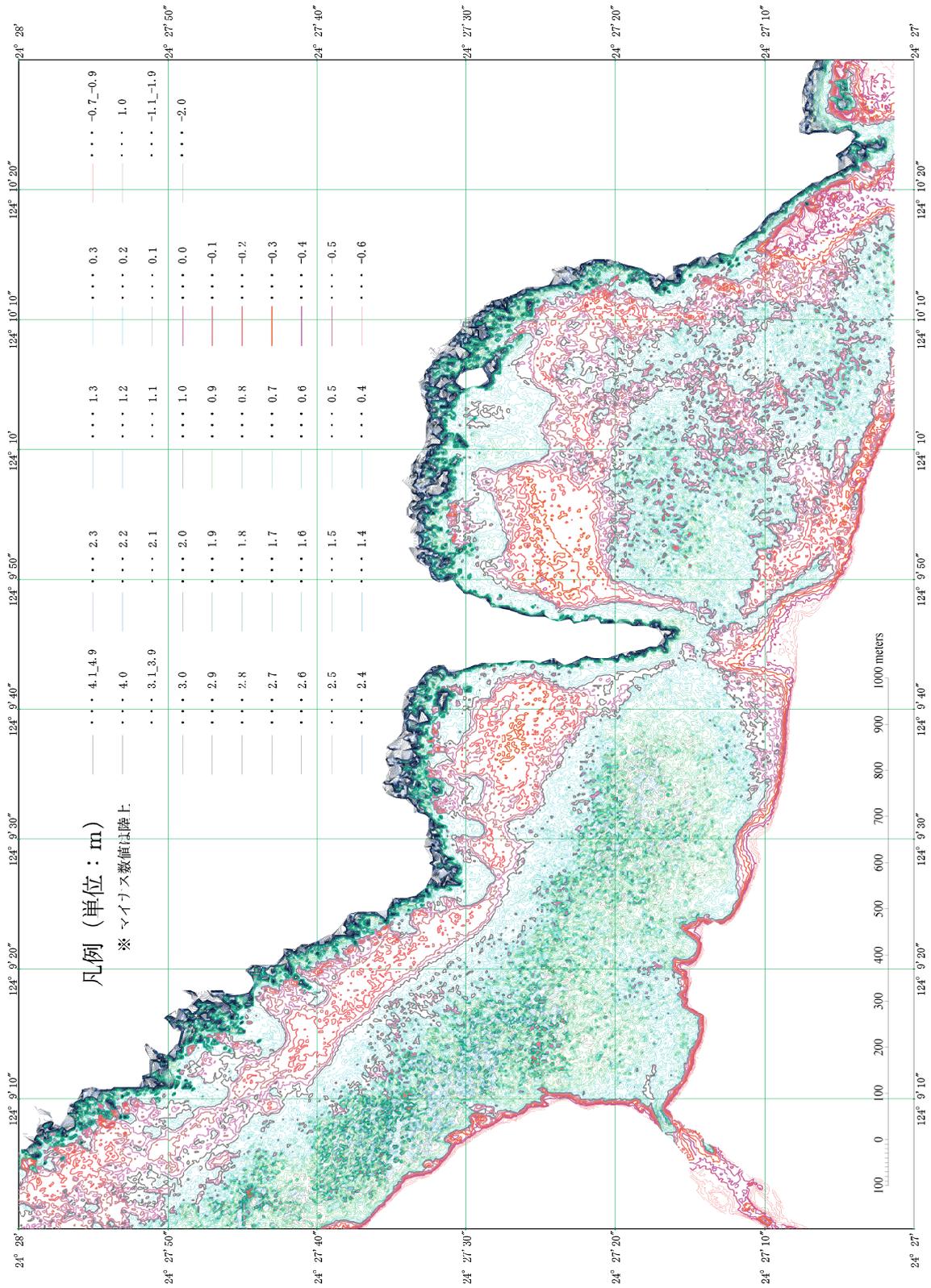


第2図 吉原海岸付近
Fig. 2 Vicinity of Yoshihara beach



第3図 レーザー測深による鳥瞰図及び断面図

Fig. 3 (upper, middle) Bird's-eye view and (lower) vertical cross section of depth along the line AB



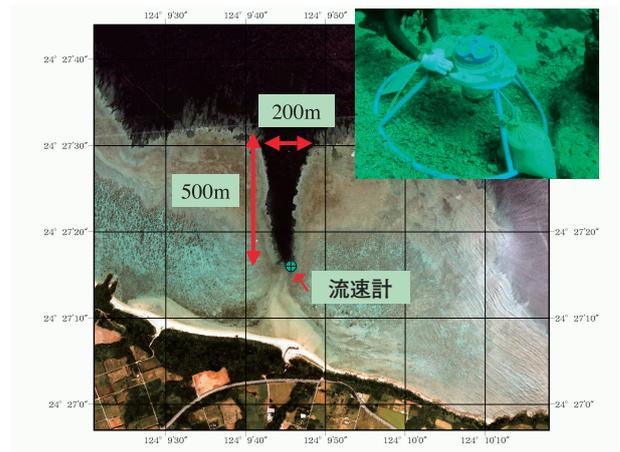
第4図 吉原海岸 等深線図
Fig. 4 Contour map of Yoshihara beach

超音波流速計 (RD社ワークホース センチネル) を設置し、平成17年5月20日から平成17年6月6日まで18日間の観測を行った。期間中に台風の襲来が無かったのは幸運であった。

また、5月24日と27日は石垣海上保安部の協力の下、DGPSブイ及びダミー人形による漂流調査を実施した。

4 解析概要

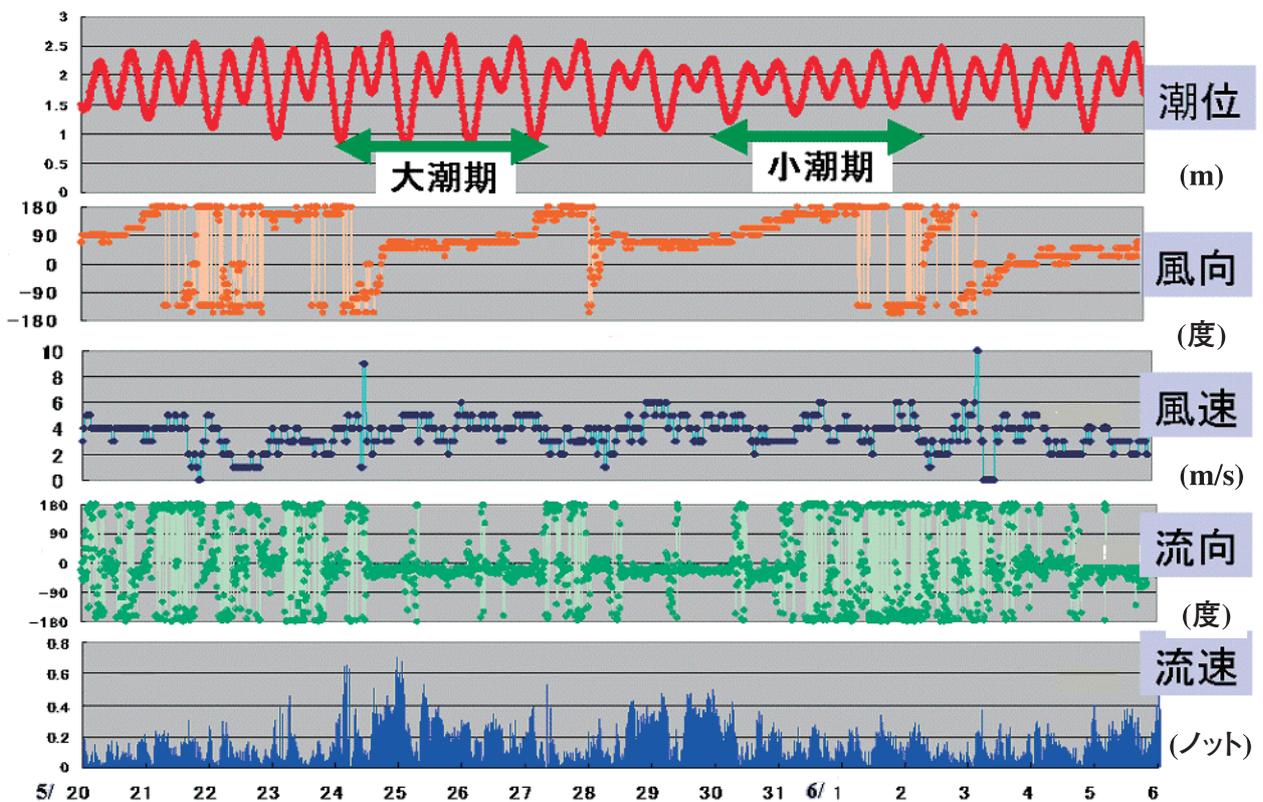
第6図は18日間の観測結果で、上から順に、石垣港潮位、伊原間AMEDASの風向、風速、超音波流速計の流向及び流速（底上3m：海面下1～2mに相当）を示す。これによると、流速の最大は25日に観測された0.7knであったが、24日～27日と29日～30日にかけて比較的強い流れが連続して観測されており、この時期にリーフカレントが発生したと推察される。前者は大潮期、後者は小潮の直前の時期にあたることから、この強い流れの原因が大潮小潮だけに関係するものでは無いと考えられる。このリーフ



第5図 流速計設置位置

Fig. 5 Location map. the ADCP was deployed the head of a reef gap.

カレント発生期間とそれ以外の期間のデータを比較した時、興味深いものは流向の変化である。リーフカレント発生期間以外では、流向が180度（リーフ内へ流入）から0度（リーフ外へ流出）へと方向が規則正しく交互に変化し、潮位変動によるリーフ内外



第6図 観測期間中の時系列データ

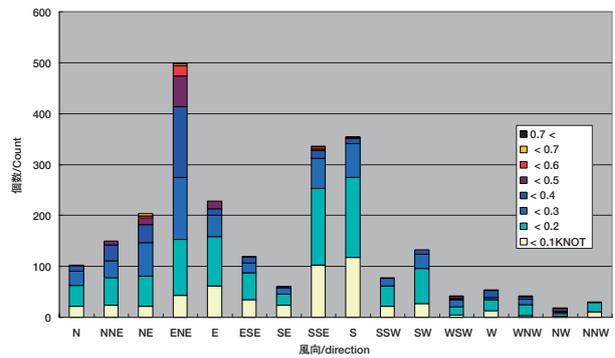
Fig. 6 Time-series data of tide, wind direction, wind speed, current direction and current speed during May 1-Jun 6

への海水の流入・流出を繰り返している。しかしリーフカレント発生期間中の流向は、常に0度方向となっており、下げ潮時だけでなく上げ潮時にもリーフ内の海水がリーフ外へ流出していることを示している。

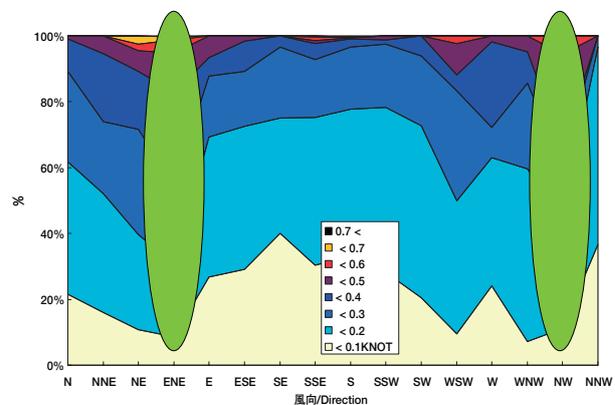
観測期間中の風に着目してみると、風速は全期間を通じて平均4 m/sec、最大で6 m/sec程度で推移しており、リーフカレント発生期間中も大きな変動が無い。ところが風向は、リーフカレント発生期間中いずれも北東方向（45度から75度）の風が連吹している。第7図は風向別の流速のヒストグラム、第8図は風向別の流速の出現割合を表すが、これらによると0.5kn以上の流れは北よりの風によく出現しており、ENEの風向ではその出現割合は約17%である。なお、NWの風向時にも0.5kn以上の流れの割合が33%と高かったが、これは5月23日及び6月3日に発生した強い風が原因と考えられる。また、WSWの風向の場合は、川平湾の海水が小島との間にある水路を流れて、吉原海岸のリーフ内へ流れ込んできたものと解釈できる。

このようなことから、吉原海岸におけるリーフカレントの発生は、第9図のように模式化できる。すなわち、北よりの風が吹き、リーフ内へ波浪やうねりが打ち込み、リーフ内の水位を上昇させる。これをwave set-upと呼ぶが、この上昇した水位はリーフの一番低いところを目指して流れ込み（ここは地形の特徴で述べたようにリーフギャップ付近が一番低い）リーフカレントを発生させる。

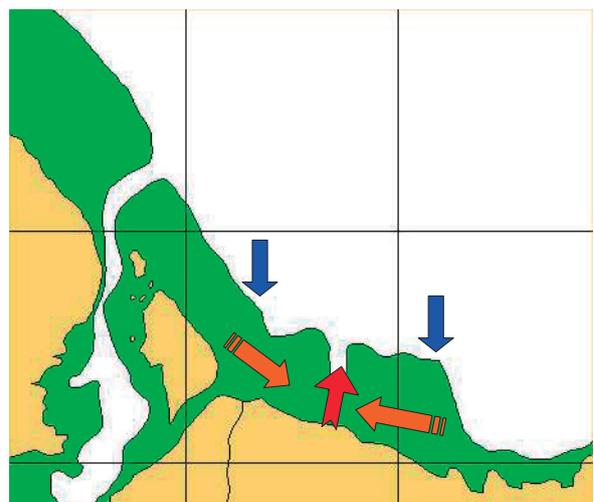
28日から30日にかけての観測結果から、潮位と波浪の打ち込みの関係についてさらに詳しく見てみよう。第10図は、上から順に風向、流向、潮位、流速を示すが、これによると同じ北よりの風であってもリーフカレントが発生していない時間帯がある。すなわち、28日の17時頃の干潮時から21時頃までは、潮位が低すぎて波によるリーフ内への海水の打ち込みが起こらず、海水はリーフギャップからリーフ内へ流入している状態が続いている。21時過ぎ、石垣港潮位が170cm程度になった頃から波浪による海水の打ち込みが始まり、約3時間後の29日0時頃に急に流速が増している。この0時頃はちょうど低い高



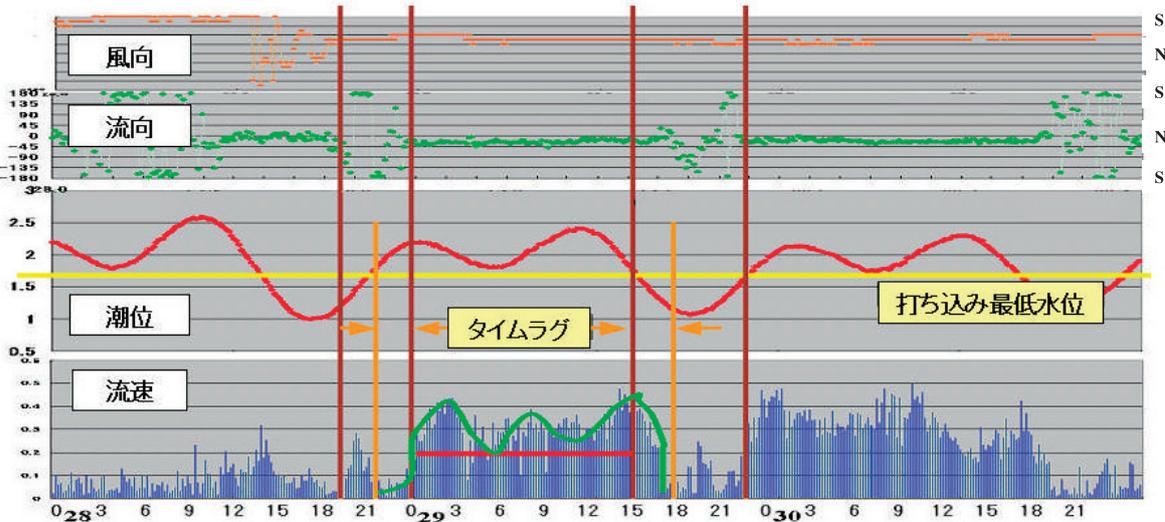
第7図 風向別の流速ヒストグラム
Fig. 7 The frequency distributions of the current speed at different wind direction show a histogram



第8図 風向別流速の出現割合
Fig. 8 The percentages of the current speed at different wind direction show a stacked area graph



第9図 北風の吹きよせによるリーフカレントの発生模式図
Fig. 9 Schematic view of a reef current by north wind force



第10図 潮位による海水の流入（5月28日～30日）
Time-series data of wind direction, current direction, tide and current speed during May 28-30

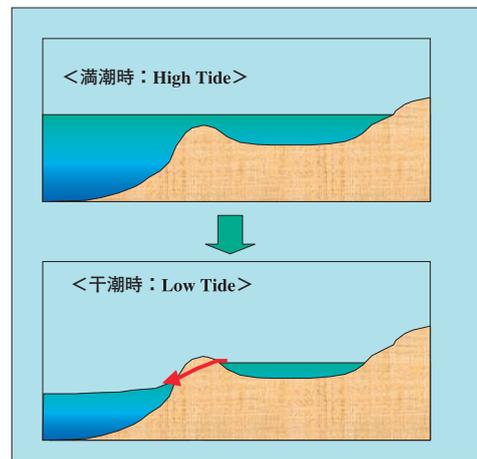
潮時と重なるため、以後は下げ潮による潮流も加わりさらに流速が増加している。

29日を例にとると、潮位変動による流速（仮に潮汐性リーフカレントと呼ぶ）は約0.2kn、波による海水の流入が原因の流速（同じく波浪性リーフカレントと呼ぶ）は約0.2knである。このように、波の打ち込みが起ころうる程度の潮位がある時間帯の下げ潮時には、潮汐性リーフカレント（第11図）に波浪性リーフカレント（第12図）が加わるため、流速が増加することとなる。

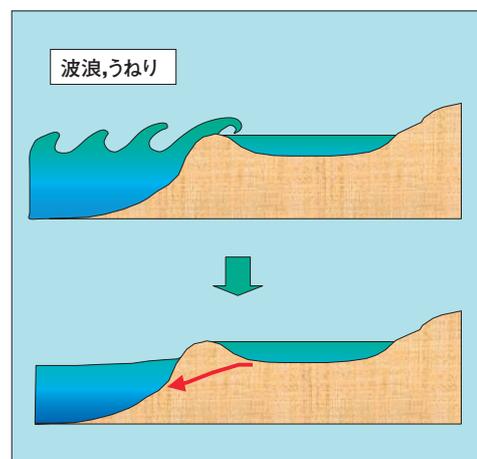
5 結論

陸からリーフを眺めるとその付近では白い波頭が立っていることがよくある。沖から向かってきた波浪やうねりはこの礁縁から礁嶺にかけて碎波し波のエネルギーを減少させて、その浸食性を緩和させる。このようにリーフは、海岸工学で言う潜堤と同様の働きをしており、この碎波した海水はリーフ内へ滞留してその水位を上昇させることになる。

吉原海岸は北側に開いた地形で、かつ礁嶺が極めて発達しリーフ全体を取り囲んでいるため、北よりの風によって吹き寄せられた風浪やうねりが、上記のようにリーフ内の水位を上昇させて唯一のリーフの切れ目であるリーフギャップへ集中し、強いリーフカレント（波浪性リーフカレント）を引き起こすものと考えられる。



第11図 潮位変動によるリーフカレントの発生
Fig. 11 The occurrence of a reef current by tidal variation



第12図 波浪の流入によるリーフカレントの発生
Fig. 12 The occurrence of a reef current by wave set-up

6 今後の課題

今回の観測において、リーフカレントの基本的な発生メカニズムはおおよそ解明できたと考えられるが、現状では具体的な風や波の強さに対応したリーフカレントの流速を予測するまでには至っていない。また、実際に体験した当庁の潜水士の話によると、ここのリーフカレントは強い時は3knにも達するとのことであった。今回の観測ではたかだか0.7kn程度であったため、そのほかの生成原因の可能性も否定できない。

そのため、他の生成原因の有無を確認するとともに、今後定量的なリーフカレントの推算を可能とするためには、以下のような観測や研究が必要と思われる。

○リーフ内外へ複数の水位計、波高計、流速計を設置するとともに、現地海岸で気象観測を実施し、これらのデータと流速計データを解析して、気象条件との関連や空間的な流れの分布を調べる。

○潮流成分とそれ以外の生成原因を定量的に分離するために十分な観測期間をとる。

最近の離岸流調査の成果では、離岸流の発生と極浅海域の海底地形の密接な関係が判明している。今回レーザー測深という最先端の技術を利用し、極浅海域の詳細な地形データを取得することができた。この貴重な地形データを利用し、流れのシミュレーションが実施できればと考えている。しかしながら、管区独自でこのシミュレーションを行うことは困難であるため、水路協会等との共同研究を通じて、研究者の支援を仰いで実現したい。

謝辞

今回の観測を実施するにあたり協力して頂いた石垣海上保安部、石垣航空基地、巡視艇「なつづき」、測量船「おきしお」及び第六管区海上保安本部海洋情報部の方々に感謝の意を表します。

また、伊原間AMEDAS及び石垣検潮所のデータを提供して頂いた石垣島地方气象台の方へお礼申し上げます。

参考文献

- 財団法人 日本水路協会：離岸流等の観測手法及び特性把握に関する研究（2004）
財団法人 日本水路協会：離岸流等の観測手法及び特性把握に関する研究 その2（2005）
平山 秀夫，辻本 剛三，島田 富美男，本田 尚正：海岸工学（2003）