

## ■研究調査レビュー

## サンゴ礁海域の安全利用に関する基礎的研究

西 隆一郎 (鹿児島大学工学部 正会員)

二ツ町 悟・伊藤 秀行 (第十管区海上保安本部)

長山 昭夫 (鹿児島大学大学院理工学研究科)

## 1. まえがき

鹿児島県薩南諸島、沖縄県沿岸、東京都小笠原諸島沿岸には岩礁海岸の一種であるサンゴ礁海岸が広がる。サンゴ礁海岸はその美しさから、島嶼圏の重要な観光資源ともなっている。例えば、平成15年度に沖縄県に来島した約560万人の観光客のうちほぼ6割に相当する330万人が、海を訪問するとも言われている(古波蔵, 2004)。一方、景観だけでなく多様な生物の生息地としても重要なサンゴ礁海域で、遊泳したりシュノーケルを行なう海岸利用者が、サンゴ礁海域特有の地形性離岸流(沖縄ではリーフカレントとも呼ばれる)により事故にあう場合がある。また、サンゴ礁海域では、海岸利用者が地形性離岸流と推定される流れで事故にあう事例はある程度特定の場所に集中している傾向があるので、観光客などの海岸利用者がその場所を避ければ安全性が確保されそうに見える。ところが、サンゴ症状の地形性離岸流が原因で海浜事故が起きたと推定される鹿児島県奄美大島、そして、沖縄県石垣島の当該箇所は、シュノーケルや遊泳などを行なう観光客(海岸利用者)から見れば、一見、非常に綺麗で親水活動の行ないやすい海域に見える。つまり、自然景観の美しさと、海象条件によっては利用者を沖に流してしまう危険性が同居した海域である。通常、地元の利用者は危険性を熟知しているが、自然の美しさやすばらしさを求めて来島する観光客は、危険性をほとんど知らずに海域利用を行いがちである。

海浜事故(浅海域での水難事故)は、いったん事故に遭遇すると、死亡率が数割程度と

非常に高い。また、遊泳中の事故に、沖へ向かう流れである離岸流が関係していることは救難関係者や研究者からも示唆されている。島嶼圏の自立を図るためには観光客の誘致は非常に重要であるが、海を求めて来島する観光客には「安全で、安心できる、快適な海岸利用」をできるだけ保証できることが重要であり、こういった背景から、過去に海浜事故の起こったサンゴ礁性の海岸である鹿児島県大島郡笠利町の土盛海岸と沖縄県石垣島の吉原海岸において、地形性離岸流を含む海浜流の現地調査を行った。

なお、本報告は、「サンゴ礁海岸の安全利用」について工学的な観点から検討するための端緒となることをねらいとしたものである。

## 2. 現地観測

鹿児島県大島郡笠利町土盛海岸、沖縄県石垣市吉原海岸で、WaveHunter99Σ(WH-203)、長音波ドップラー流向・流速計ADCP(Aquadop Profiler)、HGPSフロート、シーマーカー(染料)、トータルステーション、熱赤外線カメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルカメラ、一眼レフカメラなどの観測機材などを用いて、波・流れ・地形の観測を行なった。観測期間は、大島郡笠利町土盛海岸では2005年7月下旬～8月上旬、石垣市米原海岸では9月26日～9月31日であった。なお、両海岸ともに観測期間は台風の来襲状況が基本的な制約条件となっている。

## 2. 1 土盛海岸(写真-1参照)

当海岸においては、平成16年8月23日に、中学生1年と小学生1年の姉妹が離岸流と推

測される流れにより溺死している。姉妹を救助しようとした男性によれば「現場は川のような流れでまっすぐ泳げない状態だった」とのことである。本証言は、離岸流に逆らって泳ごうとしたことを示しているものと推測できる。さらに、本海岸では以前にも医師が遊泳中に流されて行方不明になったこともあり、海岸利用者に注意を促す看板が設置されている。なお、本観測地は、砂浜前面のサンゴ礁のリーフフラット（礁原）が幅広く続く海域の中で、一部が切れ込んだリーフギャップと呼ばれる地形になっている。このリーフギャップの形成要因としては、背後地に小河川が流入していることおよび、砂浜の下から伏流水が湧出することに伴い、サンゴ礁の成長が阻害され、明瞭なリーフギャップになっ

たものと考えられる。サンゴ礁の発達状況は、現場海域の空中写真を見れば明らかである。このような岩礁（サンゴ礁）地帯では、リーフフラットが幅広い部分から多量の海水が碎波によりリーフ上に供給され水位が上昇（セットアップ）し、平均水位の低いリーフギャップから沖に流出する機構と、潮位が下がるときにリーフエッジ周辺は底面高さがやや高いために、溝（水路）状になった部分（リーフギャップ）から海水が流出しやすい機構が考えられる。ただし、発生機構から推定すると、沖向きの流速には前者つまり波のセットアップに起因した水面勾配が起因した流れの方が、より強い流速を形成させるものと推定される。



写真-1 現地観測を行なった笠利町土盛海岸

なお、このようなリーフギャップは離岸流の発生しやすい典型的な海岸地形で、遊泳上はリスクの高い海岸なので、安全管理が重要である。ただし、遊泳者の観点からは、リーフフラットのように泳ぎにくくなく、かつ鉛直方向の水深変化があるために多様でカラフルなサンゴ礁や熱帯魚を観察し、また、海底

面も砂地なので歩きやすいという利点がある。リスクが高いとは言いながら、観光客などの遊泳者をひきつけやすい要因があり、海岸管理者や観光産業従事者による安全管理が強く望まれる。姉妹が溺れた時に救難活動に従事した方の証言として、救助活動時に、本空中写真に示したようなリーフギャップを含む海

底地形が、現場の海岸では認識できなかった旨の意見があった。海域利用上はリスクの高いリーフギャップなどは、大潮時の干潮時には視認しやすいが、満潮時には海中に没しているために視認できない場合がある。したがって、現地の地形情報を救難活動時に周知できるシステムの必要性を感じた。

当該海域では、ADCPを用いた観測を行う

前に、予備調査としてHGPSフロートと染料を用いて流況観測を行った。予備調査時には、台風に伴ううねりが来襲する状態であったために、安全管理上、水深の浅い箇所ではHGPSフロートや染料を流したことも一因であるが、冲向き流れよりも横向きのフィーダーカレントに相当する平均流速0.89m/s (約1.78ノット)の強い流れが観測された(図-1, 2参照)。

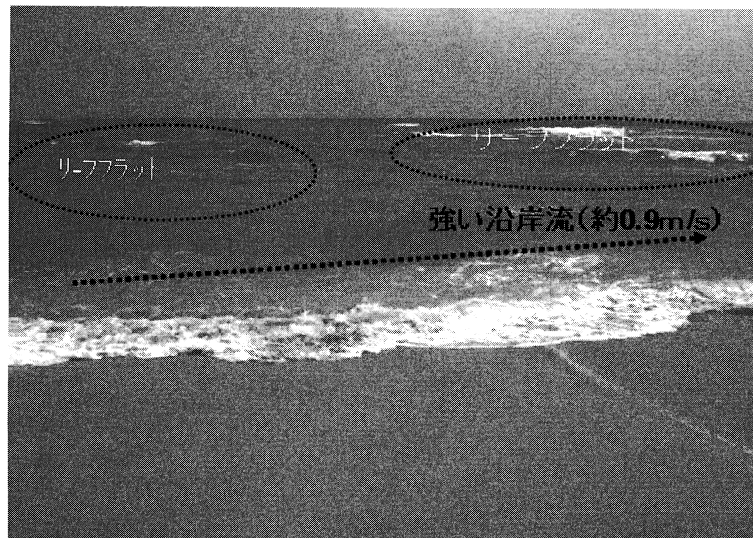


図-1 予備観測時の波と流れの様子

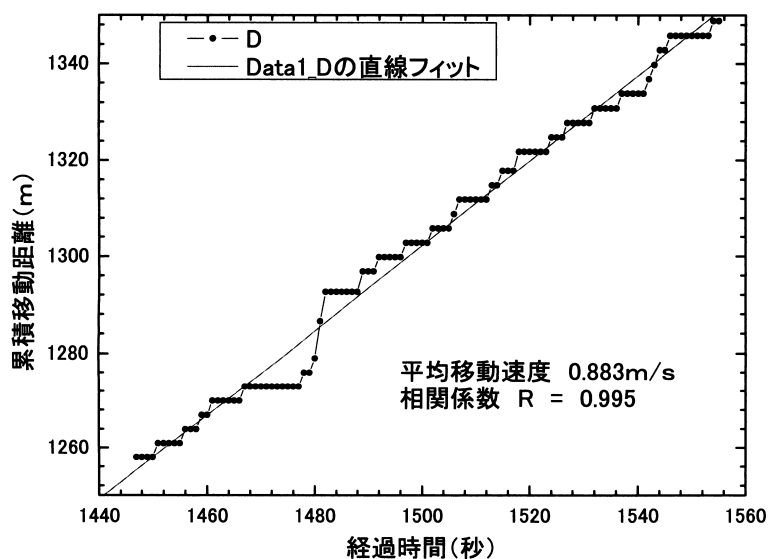


図-2 予備調査時の小型GPSフロートによる平均流速

2. 2 ADCP (超音波流向流速計) 観測

ADCPの設置は2005年7月29日に行い、回収は台風0508号が接近しつつある8月4日午前に行った。ADCPは写真-2に示されるように極浅海域に設置してあるために、干

潮時に観測層が一部空気中に露出し、その結果、ノイズデータも一部記録されている。したがって、データ解析前にノイズデータを取り除くために、生データのクリーニングを手作業で行った。

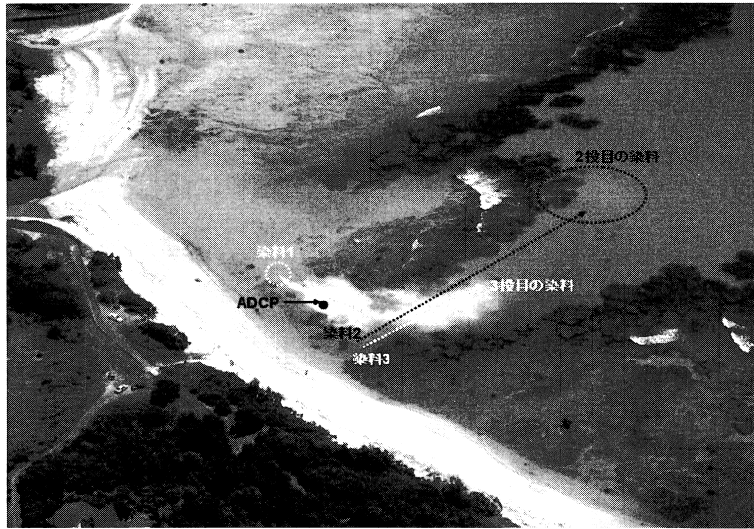


写真-2 観測箇所の地形と流れの様子

2. 2-1 海浜流速と潮位の関係

図-3に海浜流速と潮位の関係を示す。

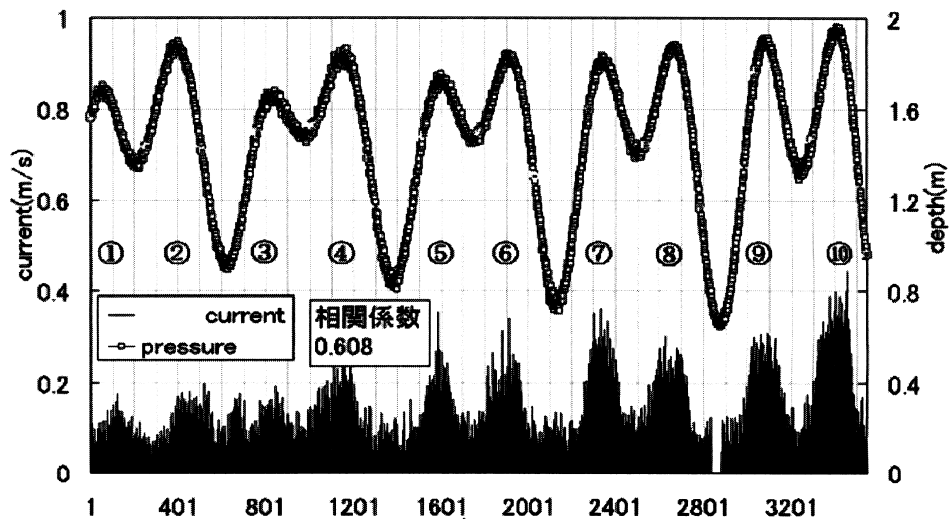


図-3 海浜流速と潮位

この図のADCPによる2分間平均海浜流速は、海底から高さ0.5~0.7m間の0.2mの層(以下0.7m層)のものを使用した。観測期間中の海浜流速と潮位の相関係数は0.608で正の相関を示した。平均的には、満潮時に流速が大きくなる傾向がある。図中の①~⑩は満潮時の海浜流速が大きくなった箇所である。そして、8月3日の満潮時の⑩では最大で約0.4m/sの海浜流速が発生し、干潮時は平均して0.1~0.2m/s程度の海浜流速が発生していた。また、各層(海底0.5mの高さから上に0.2m間隔で最高1.7mまでの層)での海浜流速と潮位の相関関係も0.7m層と同様の傾向があった。

なお、0.7m層~1.7m層の鉛直方向各層の満潮時の海浜流速の鉛直成分は、深さ方向にはほぼ一様であることが分かった。この傾向は満潮時に見られたが、干潮時は水深が浅いこともあり、データ数が少なく海浜流速が深さ方向に一様であるかどうかは判別できなかった。また、最も海底面に近い低層での流れの向きに関しては、北から120°~180°の南東~南向きの沿岸に沿う方向の流れが最も多く発生していた。特に160°~150°の南東向きにfeeder currentが発達していた。その他の層に関しても、満潮時の流れの向きがほぼ一様であることが分かった。

### 2. 3 吉原海岸

当該海岸は、海浜事故が頻発する箇所である。前述した土盛海岸と同様に、リーフギャップ地形から沖に向かう流れが発生しやすいためである。航空レーザー測深の都合や台風が近づいていたこともあり、リアルタイムで観測データの公開が行なえるように設定したWAVEHUNTER(写真-3参照)を用いた波浪・流れ観測は約1日だけ行った。観測地はリスクが高いこともあり、観測機材の設置・回収に関しては第十一管区海上保安本部海洋情報部、石垣海上保安部、そして、(有)アイオーテックの協力を頂いた。

観測時の平均水位、有義波高、平均流速を図-4に示す。波高計設置位置は、リーフギャップが最も陸側に切れ込んだ箇所のリーフエッジ付近である。観測当日は、入射波高が小さかったこともあり、最大平均流速のオーダーは約0.2m/s(約0.4ノット)程度と強い流れは観測されなかったが、計器を引き上げた直後から台風の高波が入射する状況であった。また、観測地の流れの概況を把握するには海面着色剤(シーマーカー)を投入する手法が有効である。その結果を、写真-4に示す。本写真では、緑色の着色料で示される離岸流の主軸が、設置したWave Hunterのやや左側にあることが分かる。



写真-3 石垣海上保安部潜水士による機材の搬入状況

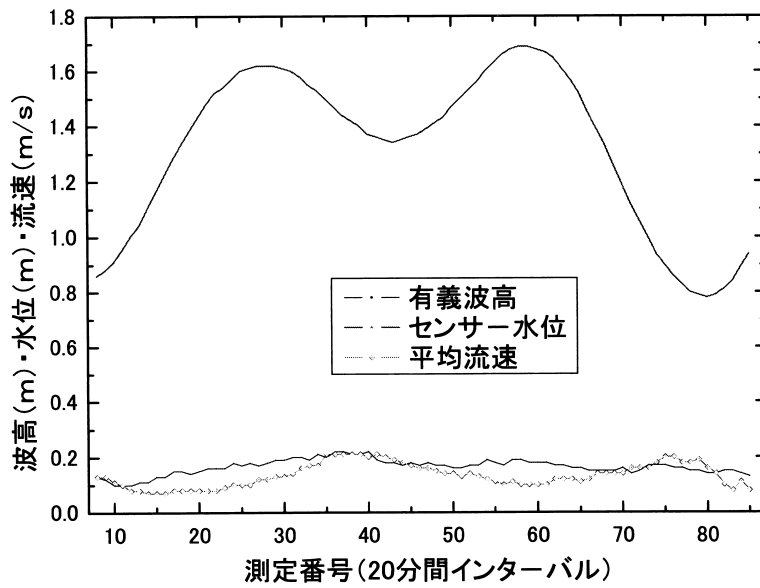


図-4 WAVEHUNTERによる観測結果



写真-4 染料により示される離岸流

### 3. あとがき

本研究でのデータ解析で分かったことは以下の通りである。

- (1) 土盛海岸では、満潮時に平均流速が大きくなる傾向があり、ADCPによる観測では最大で0.4m/sの流速が発生していた。また、台風に伴ううねりで波高が高めであっ

た予備調査時には、小型GPSフロートで計った平均流速は0.9m/sのオーダーであった。

- (2) 吉原海岸では、海面着色料を用いた実験から幅の狭い地形性の離岸流が発達していることが分かった。ただし、観測期間が約1日と短く、また、入射波浪も小さかった

ために、観測された平均流速は0.2m/s程度であった。

- (3) 基本的には、リーフ・フラット上での波高水深比でセットアップ（質量輸送）が決まり、その結果として、リーフ・カレントの流速が決まる機構が卓越しているものと考えられる。なお、各層の海浜流速の鉛直成分は深さ方向に一様な場合が多いが、ややピーク層がある場合も合った。この傾向は満潮時に見られるが、干潮時はデータ数が少ないので判別できなかった。

最後に、本報告で述べたような箇所での現地観測は、(i)調査時の安全管理の徹底、(ii)台風に伴うスケジュール調整や機材の引き上げ・再設置、(iii)遠距離に観測箇所があることに伴う観測旅費などの問題で、観測する立場からはある意味厄介な調査である。ただし、安全な海域利用の促進に貢献することは重要と考えられるので、地道な観測がしばらくは必要と感じる次第である。なお、現地観測では、第十管区海上保安本部海洋情報部、同鹿児島航空基地、名瀬海上保安部、第十一管区海上保安本部海洋情報部、石垣海上保安部、そして、(有)アイオーテクニクの協力を頂いた。また、観測に対する配慮も、大島支庁、笠利町、石垣支庁などから頂き、紙面を借りて謝意を表させていただくことにする。