

宮崎県青島海岸での離岸流観測 ——水難事故予防のために——

西 隆一郎* ・ 山口 博** ・ 岩 淵 洋*** ・ 木村 信介****
村井 弥亮***** ・ 徳永 企世志***** ・ 古賀 幸夫*****

水難事故を引き起こす離岸流は多様な海岸で生じる。本研究では、比較的離岸流を見つけ易く調査時のリスクも許容できる海岸として宮崎市青島海岸で離岸流特性調査を行った。その結果、本調査地では離岸流が干潮時側で発達すること、さらに、離岸流発達時に水温が低下する傾向が見出された。また、離岸流による水難事故予防のためには、広報プログラムの確立が必要である。そのために、宮崎北高校で、離岸流に関する講演後にアンケートを実施し、一般の学生がどのような形で離岸流に遭遇しているか検討した。

1. ま え が き

世界中では年間約 30 万件の水難事故が発生しているといわれる(小峯, 2003)。わが国でも、湖沼や河川も含む警察庁統計ホームページでは、平成 13 年に 1,731 件の水難事故発生件数が、そして 1,058 人が水死している。また、救難活動がほぼ海に限定される海上保安庁の海難事故統計ホームページでは、平成 15 年に 963 名が海浜事故に遭遇し、その内 333 名が水死している。浅海域での水難事故の原因は様々であるが、離岸流に起因した海浜死亡事故も多数生じている。例えば、宮崎県消防局が 1996 年から 2000 年に出勤した 150 人の救難活動のうち 41 人(27.3%)が離岸流による事故と推定されて、この内 9 名が死亡している(矢野・長田, 2001)。

離岸流を含む海浜循環流に関しては、古くは Shepard and Inman (1950), Noda ら (1974) らの研究が、そして、離岸流そのものについては、Bowen (1969), 日野 (1973), 堀川ら (1976) による代表的な研究がある。また、これらの研究以降も離岸流に関する学術的知見が蓄積されたが、海域利用者の安全を図ることや、水難事故(海浜事故)の予防を目的としたものではなく、海浜事故が劇的に減少することはなかった。しかしながら近年、国内では高橋ら (1999), 柴崎ら (2003), 出口ら (2003), 西ら (2003) により、また米国においては Engle (2003) により水難事故予防の観点に立った離岸流の研究が行われている。沿岸域利用を管理者サイドが推進する場合には安全な海域利用が必須であり、管理する海浜地内で離岸流に伴う事故が生じた場合には訴訟になる場合さえある(例えば, Graber, 1985)。

離岸流による海浜事故の予防には一般市民が、(1)離岸流に入らないこと、(2)運悪く遭遇しても離岸流に逆らわない対処法を身につけることが、最も重要である。

そのためには、管理者サイドあるいは救難関係機関側で離岸流あるいは離岸流が発生しやすい箇所を陸上や上空から探し、一般市民に情報の提供を行う必要がある。離岸流探査法としては、ヘリコプターやその他の航空機を用いた上空探査の方が、視野が広くかつハレーションも避けやすいために、優れている。例えば、Fontes・Cosantova (1964) によるヘリコプターに音響測深器を搭載した水深測量や、Irish ら (1994), Wozencraft ら (2002) による航空機レーザー測深器を使用した地形測量、あるいは、MacMahan (2001) によるジェットパイプに GPS および音響測深機を取り付けた測量システムなどが参考になるであろう。また、写真-1 に示すような離岸流を記録するには、Owens (1983) 等のように航空機にビデオ画像記録システムを搭載する手法が有効である。

水難事故を引き起こす離岸流は多様な海岸で生じるが、本研究では、比較的離岸流を見つけ易く、調査時のリスクも許容出来る海岸として宮崎市青島海岸を選んだ。なお、観測手法の確立のために、離岸流を見つけにくい吹上浜海岸でも 2003 年 9 月 25 日～30 日に現地調査ならびに航空探査を行ったことを付記しておく。さらに、離岸流による水難事故予防のためには、広報プログラムの確立も必要である。そのために、宮崎県立宮崎北高校において離岸流に関する講演を行った後にアンケート



写真-1 海岸保全構造物に起因する離岸流

* 正会員 博(工) 鹿児島大学助教授 工学部海洋土木工学科
** 鹿児島大学大学院理工学研究科
*** (元)第十管区海上保安本部海洋情報部部長
**** 第十管区海上保安本部海洋情報部
***** (財)日本水路協会 調査研究部長
***** (元)国際航業(株) 九州総合技術部
***** 国際航業(株) 国土マネジメント技術本部

トを実施し、一般の学生がどのような形で離岸流に遭遇しているか検討した。

2. 現地調査

現地観測は、写真-2に示す宮崎市青島海岸の北部海岸(写真左半分)において、平成15年6月11日から17日の期間に行った。なお、ヘリコプターを用いた離岸流探査は6月5日午前9時～12時に、宮崎県沿岸を対象に行った。



写真-2 観測海域の概況

現地観測項目は、(1)フロート、HGPSフロート、染料(シーマーカー)を用いた流況把握実験と、ADCP, Wave Hunter, DL-2等を用いた固定点での流れ計測、(2)赤外線ビデオカメラ・デジタルビデオカメラによる流況・表面水温観測、(3)Wave Hunter94, Wave HunterΣ, DL-2を用いた波高定点観測、(4)3Dレーザースキャナーを用いた瞬間的な水表面形状計測、(5)トランシット・3-Dスキャナー(3次元レーザ地形測量器)・DGPSを用いた地形測量および小型GPSによる干潮時および満潮時の汀線測量などであった。また、波高計においては、水温の記録も得た。

3. 観測結果

(1) 染料観測

染料観測は、ヘリコプターによる上空探査を行った平成15年6月5日に予備的にを行い、その後、現地観測時には、観測地の南側斜め背後に位置する青島パームビーチホテル屋上に、デジタルビデオカメラと赤外線カメラを設置し、染料の移動(移流・拡散)状況を記録した。なお、染料は、青島で波が遮蔽されがちな海水浴場側海浜と、計測器を配置してあり比較的波が高い北部海浜(サーフィン用海域)側で投入した。

写真-3に染料(シーマーカー)の移動状況を、図-1に対応する熱画像をそれぞれ示す。

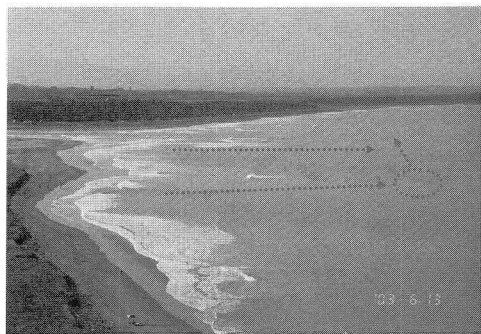


写真-3 離岸流域での染料(シーマーカー)の移動方向



図-1 観測箇所の熱赤外画像 (NEC三栄(株) TH7100)

染料実験の結果、海水浴場側の青島南部海岸では、サーファーにより投入してもらった染料が沖合に流出することなく、沿岸流により移動しながら最終的には碎波に伴う向岸流と波乗りで砂浜上に打ち上げられた。一方、写真-3に示す北部海岸では、汀線が陸側に屈曲した箇所の沖側で染料が沖に移流し、沿岸砂州を越えたあたりで北方向に向きを変えて移動し続けた。離岸流に乗り沖合に流出した漂流物が最終的に北側、あるいは南側に漂流するかどうかについては、地元のサーファーの経験によれば、風向きに依存しているとの情報があった。なお、図-1に示す熱画像(原画はカラー)では、写真-3の離岸流域と水温の低温部分が比較的对応していた。具体的な原因を特定できないが、後述する離岸流の観測記録でも、離岸流発生時に水温が低下する傾向が示された。顕著な離岸流が熱赤外画像で認識できるようになれば、海岸工学・海洋工学の専門家でなく一般の実務化レベルでも、離岸流の判読が可能になる。よって、本技術を今後改良・発展させる必要性が高いと思われる。

(2) 海象観測(波浪と離岸流)

今回の観測では計測機器が離岸流域内に適切に設置できたこともあり、明瞭な離岸流の記録が得られた。紙面の関係上全データを示せないの、特に代表的な計測記

録について、図-2, 3に示す。

図-2 下段下側の線で示される平均流速を見ると、離岸流が12時間程度の周期性を持ち発生している。図中では最大で0.7 m/s程度の離岸流速となっている。なお、計測器が潮感帯内にあるために、砕波波高が局所水深に強く制限され、潮位変動に対応して観測地点での局所波高が増減した(上段参照)。さらに下段上側の線で示される水温変動を見れば、離岸流発達時に水温低下傾向がある。水温との因果関係については、今後、夏季だけでなく冬季においても観測を行い確認する必要がある。ただし、図中の最も左側(計測器投入時点)で離岸流発生時に水温が高い記録がある。これは計測器が投入前に外気で温められており、温度センサーが水温になじむのに時間がかかったためである。

図-3には、図-2の記録とは別の計測器で得られた離岸流(実線)・向岸流(点線)と平均水位(太線)の時間変動を示してある。なお、離岸流および向岸流の判定は、それぞれ測定された流れの方位に基づいている。また図中、平均水位(潮位)の記録は、比較しやすいように0.1倍してある。図より、干潮時側で平均流速が最大で0.8 m/s程度まで増加し、離岸流および向岸流が約12時間の時間変動を持つことが分かる。そして、本観測箇所では、

少なくとも満潮時には離岸流が発達せず、干潮時側でより発達しやすい傾向がある。これは、干満に伴う平均水位変動に応じ、例えば、干潮時により多くの波が沖合の沿岸砂州頂部で砕けることにより、セットダウン・セットアップに起因した空間的な平均水面勾配が生じやすいこと、あるいは、干潮時によりリップチャンネルの断面積が小さくなるために結果として流速が増加するなどの理由が考えられる。しかしながら、現時点では、ここで観測されたような離岸流発生の有無を説明できる詳細な物理機構を明確にできなかった。なお、図-2, 3の記録から、少なくとも干満差のある海域で離岸流探索を行う場合には、干潮時側に探索作業を行う方が離岸流を効率的に探索できる事が分かる。

(3) HGPS フロートによる流況・汀線形状記録

離岸流の発生位置や空間スケールを明らかにするには、HGPS フロートが優れている。そこで、ヘリコプター探索時と、現地観測時にHGPS フロートを用いた計測を行った。元来、計測器本体からは緯度・経度(ラジアン単位)情報が得られるが、それを、PC上で緯距・経距(m単位)に換算したものを図-4に示す。図中には、浜崖形成位置、満潮時汀線、干潮時汀線と離岸流発生箇所等を併せて示してある。なお、図中では2つの顕著な離岸流が確認できる。特に南側(図中右側)の離岸流では、HGPS フロートが360 m以上沖に移動し続けたが、フロートを消失しないために、これ以降はフロートを巻き戻した。図-4の結果は、HGPS フロートを使用することで、海岸の概況と、流況の把握が簡易的ではあるが迅速に行えることを示している。

(4) 3D レーザー測深器による地形と波の観測

現状では海水浴場の水質調査は義務付けられていても、利用者の生死にかかわる離岸流調査は義務付けられていない。そこで、離岸流発生と密接に結びつく浅海域の地形と波の状況を、出来るだけ広範囲に精度良く、しかも、迅速に調査できれば、全国各地に広がる海水浴場

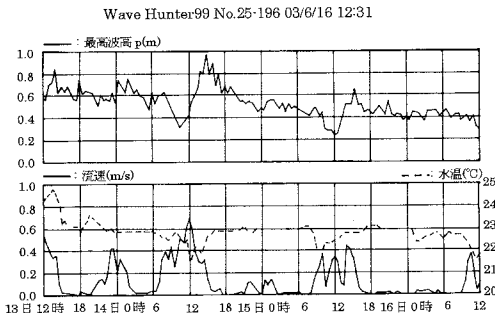


図-2 離岸流速と水温変動

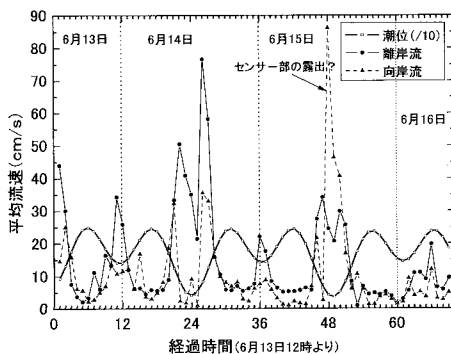


図-3 潮位・離岸流速・向岸流速の時間変動

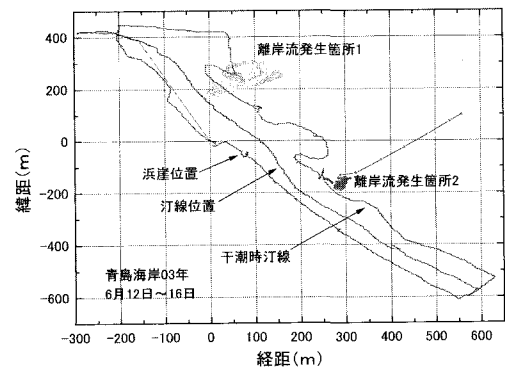


図-4 HGPS による海岸性状と離岸流の簡易観測記録

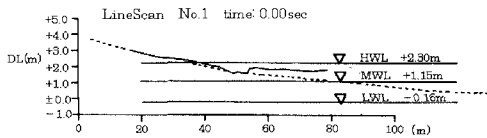


図-5 水表面の瞬間形状 (砕波部分のみ)

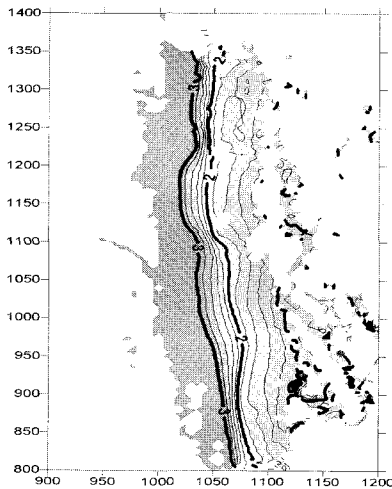


図-6 3D レーザー測深器による測量結果

などの安全調査、およびその結果としての安全管理に貢献するはずである。そこで、測深精度 ± 2.5 cmの3D型レーザースキャナー(リーグル社製 LMS-Z210)を使用して、浅海域地形および水表面形状の観測を行った。まず、図-5に本システムで計測した、砕波帯内の約60 mに渡る表面波形断面を示す。

図-6には、ドライアップしている箇所ので地形測量結果を示す。相対高さ3 mおよび2 mの等深線図を見れば、図-4に示されるような離岸流発生箇所となるリップチャンネルの位置が、レーザーであるために昼夜を問わず測定可能なことがわかった。

4. 離岸流啓発プログラムのアンケート調査

水難事故を予防するには、海域利用者ならびに海域(浜)管理者の意識向上も重要である。そこで、平成15年5月10日に宮崎北高校で、離岸流に関するセミナーを行った。また、セミナー後に水難事故や離岸流に関するアンケートを実施した。

その一部のアンケート項目は以下のとおりである。

- ・Q1. 海に年何回ほど行くか?
- ・Q2. 海に行った場合、何をするか?
- ・Q3. これまでに、溺れそうになったことはあるか?
- ・Q4. 何時、溺れそうになったか?
- ・Q5. 今日の講義の感想は?

本アンケート項目に関する回答をまとめると、設問1に対しては、約半数の生徒が年1~2回ほどしか海に行かないと答えた。設問2に関しては、68%の生徒が泳ぎ、つづいて、釣り、散策となる。ただし、設問1から考えれば、海とあまり触れ合う機会が少なく海に関する知識が乏しいまま海の中に入る生徒が多いことになり、リスクが若干高いように思われる。なお、回答者の半数近い生徒がこれまでに溺れそうになった経験を持っており、予想を超える結果となった。そして、溺れた経験を持つ生徒の中で、約9割が小学生時までに溺れかけている。しかも、幼稚園時に溺れかけた経験を持つ生徒も多数いる。したがって、本アンケートは、子供でも分かりやすい広報プログラムおよび、子供を指導する父兄・教育関係者を対象とした啓発プログラムの開発が早急に必要なる事を示している。また、最後の設問で、セミナーの内容が普通か分からないと答えた生徒が約20%いた。筆者サイドとしては、これらの聴講者が海岸の流れに関する知識を身につけられなかったものと反省し、セミナー内容を分かりやすくする必要を感じた。

5. 結 論

以下に、本研究で得られた主な結果を列記する。

(1) 観測箇所および計測器の設置位置は、ヘリコプターによる上空探査で概略設定し、現地踏査およびフロート投入で正確な位置を決める手法が有効であった。

(2) 観測期間中の離岸流速は最大で約0.8 m/sであり、干潮時側で離岸流が発達していた。また、離岸流発生時に水温が低下する傾向があった。この点に関しては、熱赤外線カメラの熱画像イメージでもこのような傾向があった。

(3) 3D レーザー測深システムにより、海浜地形および砕波帯内の水表面形状(波浪形状)が迅速に精度良く計測可能であることが示された。

(4) 宮崎北高校で離岸流に関する講義を行った後に、アンケート調査を行った。その結果、アンケートを行った高校生のうち約4割が海で溺れかけた、しかも、溺れかけたことのある学生のうち約7割が幼稚園や小学低学年時に溺れかけている。これは、子供でも分かりやすく、かつ、子供を指導する父兄・教育関係者でも容易に理解できる広報プログラムの開発が必要なることを示している。

謝辞: 本研究を実施するにあたり、ヘリコプターを用いた離岸流探査にご協力いただいた鹿児島航空基地所属の榎山飛行長をはじめとする搭乗員の方々、現地の深浅図を提供していただいた宮崎県土木部、現場写真を屋上から撮らせていただいた青島バームビーチホテルの関係

諸氏, さらに現地観測にご配慮いただいた地元漁協関係者の方々に紙面を借りて深甚の謝意を表させていただきます。また, 現地観測にご同行いただいた第十管区海上保安本部海洋情報部および測量船いそしおの関係諸氏, ならびに鹿児島大学工学部海洋土木工学科環境システム工学講座の(元)4年生諸君に, 紙面を借りて謝意を表させていただきます。加えて, 本研究は(財)日本水路協会の「離岸流等の観測手法及び特性把握に関する研究」で得られた成果の一部についてまとめたものであり, 大阪大学出口教授をはじめとする調査検討委員会の各委員および事務局諸氏には, 有益なアドバイスをいただき, ここに謝意を表させていただきます。最後に, 本研究は, 日本水路協会が日本財団からの事業助成金を受けたものであることを記しておきます。

参 考 文 献

- 小峯 力 (2003): 海岸安全管理における生命教育の有効 ～ライフセービング・マネージメントへ, 波となぎさ, 第154号, pp. 42-45.
- 柴崎 誠・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之・小林昭男 (2003): 離岸流発生を助長するリップチャンネルの形態について, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 146-150.
- 高橋重雄・常数浩二・鈴木高二郎・西田仁志・土棚 毅・小林雅彦・小沢保臣 (1999): 離岸流に伴う海水浴中の事故発生に関する一考察, 海洋開発論文集, 第15巻, pp. 743-748.
- 出口一郎・荒木進歩・竹田怜史・松見吉晴・古河泰 (2003): 鳥取県浦富海岸で観測された離岸流の特性, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 151-155.
- 西 隆一郎・萩尾和央・山口 博・岩根信也・杉尾 毅 (2003): 水難事故予防のための離岸流調査に関する基礎的研究, 海岸工学講演会論文集 第50巻, pp. 156-160.
- 日野幹雄 (1973): 海浜流系の発生理論 (3) —単純化され理論—, 第20回海岸工学講演会論文集, pp. 339-344.
- 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘 (1975): 海浜流に関する研究 (第3報) —海浜流系の規模—, 第22回海岸工学講演会論文集, pp. 127-134.
- 矢野敏広・長田直人 (2001): <http://www.miyazaki-med.ac.jp/renewal/dashi.htm>
- Bowen, A. J. and D. L. Inman (1969): Rip currents. 2. Laboratory and field observations, *Journal of Geophysical Research* 74 (23), pp. 5479-5490.
- Engle, J. A. (2003): Formulation of a rip current forecasting technique through statistical analysis of rip current-related rescues, *Thesis of Mater of Science, University of Florida*, 72 p.
- Fontes, F. C. and L. M. Cosantova (1964): Possibility of helicopter use in sounding survey for hydrographic plans of mouths nautically unknown, *Proc. 9th Conference on Coastal Engineering*, pp.425-452.
- Graber, P. H. F. (1985): Coastal commentary—should beach cities be legally liable for deaths or injuries caused by riptides, sandbars and other natural hazards?, *Journal of Shore and Beaches*, Vol. 53, No. 3, p. 2 and pp. 34-35 (continued from page 2).
- Irish, J. L., W. J. Lillycrop, L. E. Parson and M. W. Brooks (1994): SHOALS system capabilities for hydrographic surveying, *Proceedings of Dredging'94*, pp. 314-321.
- MacMahan, J. (2001): Hydrographic surveying from personal watercraft, *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 127, No. 1, pp. 12-24.
- Noda, E. K., C. J. Sonu, V. C. Rupert, and J. I. Collins (1974): Nearshore circulations under sea breeze conditions and wave-current interactions in the surf zone, *Tetra Tech No. TC-149-4*, 205 p.
- Owens, E. H. (1983): The application of Videotape Recording (VTR) techniques for coastal studies, *Journal of Shore and Beaches*, Vol. 51, No. 1, pp. 29-33.
- Shepard, F. P. and D. L. Inman (1950): Nearshore circulation, *Proc. of First Coastal Engineering Conference*, pp. 50-59.
- Wozencraft, J. M., W. J. Lillycrop and N. C. Kraus (2002): SHOALS toolbox: Software to Support visualization and analysis of large, high-density data sets, *ERDC/CHL CHETN-IV-43*, 8 p.