

海域の安全利用と離岸流



海で遊ぶ人

海で働く人

海で人を守る人

への入門書)



(草案, コピー禁止, AI利用禁止, 著作権厳守)

鹿児島大学水産学部海岸環境工学研究室

西 隆一郎

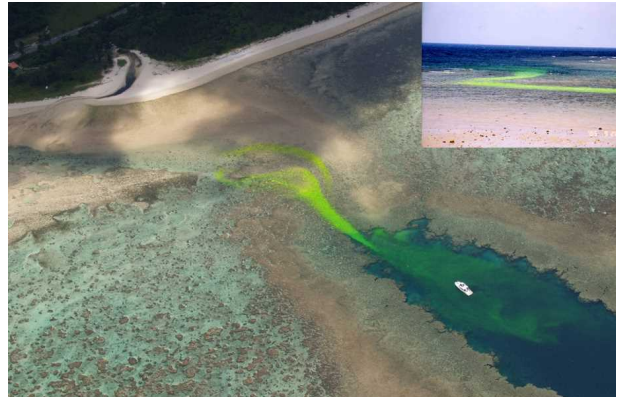
Email; sediment_24@hotmail.com

概要

海岸環境工学研究室では、海域の安全利用を図るために、沿岸域での冲向き流れ（離岸流・リーフカレント・河口流・インレット流れ・ダウンカレント等）に関する調査や啓発活動を実施しています。



構造物による冲向き流れ



サンゴ礁性海岸での冲向き流れ

(※本画像中で、冲向き流れの様子を把握するために使用されている染料に関しては、地域関係者の同意を得て使用されています。)

2002年の宮崎県青島海岸を端緒に、海工学講座（前職の工学部）および海岸環境工学研究室（現職の水産学部）は、海上保安庁および日本水路協会により全国的に数年間行われた沿岸域の流れ（離岸流等）調査に協力し、海域の安全利用に関する知見を蓄積してきました。その他にも、各地の海上保安本部などの協力要請がある場合には、海浜事故現場の調査や海浜事故予防のための啓発教育等に適宜参加して参りました。そして、現場で得られた知見を、沿岸域における安全安心なマリンレジャーの推進や小型船舶等の安全運航等に関する啓発教育に役立てています。

2011年の東日本大震災以降は、ドローンを用いた沿岸環境調査の依頼が被災地から寄せられ、ドローンの運用技術を高めてまいりました。そして、離岸流等の調査にも徐々に UAV（無人航空機・ドローン）を用いる観測手法を確立し、これまで観測者にも大きな危険が伴っていた離岸流等の調査を、ドローンを用いることで、より安全に、そして効率的に実施できるようになりました。また、現地観測で得られた知見を報道機関等へ速やかに情報提供することで、一般の方々に対する「離岸流」の普及啓発活動を広く進める一助ともなりました。ドローンは、浜に立った人の視点ではなかなか全体把握が困難な浅海域の海底地形や波および流れの様子を俯瞰できるという事で、海浜事故予防、そして救難対策に役立つ技術と言えます。海岸環境工学研究室では、ドローンの体験講習会や技術講習会などを適宜実施していますので、関心がある方はご参加いただければと思っています。

2002 年以降の継続的な現地観測と情報提供，そして，啓発教育活動が，沿岸域における水難事故・海浜事故から海域利用者の皆様方の尊い命を護ることに微力ながら資することになっているものと期待しています．そして，平成 30 年（2018 年）に「**海域の安全利用と離岸流**」という内容で著者に授与された海洋立国推進功労者表彰（内閣総理大臣賞），および，令和 5 年に授与された海岸功労者表彰は，本活動に協働いただいた海上保安庁やその他の機関，各地域の救難関係者に加え，現地観測の支援や同意を行っていただいた全国各地の皆様および当時の研究室メンバーのおかげと感謝しています．

「安全・安心な海域利用」を促進するために行っている諸活動へ，今後も，ご指導，ご鞭撻，ご支援の程よろしくお願いいたします．

離岸流に関する相談；

鹿児島大学水産学部教授 西 隆一郎 (Email; sement_24@hotmail.com)

1章 世界や日本の水難事故を減らしたい・尊い命を救いたい-そのために必要な研究

海で仕事をする研究者として、地域の皆様や国内外からの観光客の皆様には、できるだけ安全かつ安心に、砂浜やサンゴ礁を含む日本の多様な海岸を利用し、美しい海の思い出を自宅や宿泊施設に持ち帰っていただきたいと考えている。そして、今よりもさらに多くの方々に海の世界に親しんでいただきたいとも思っている。遊泳、サーフィン、散策、潮干狩り、釣り等を含む海での親水活動は、心身の癒やしや楽しい思い出づくりに役立つだけでなく、子どもたちが

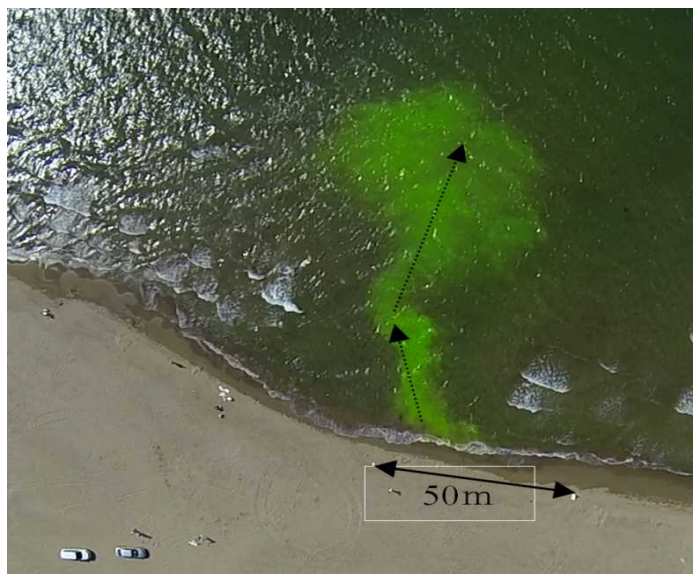


写真-1 離岸流の可視化実験の様子（石川県内灘海水浴場）

が自然に潜む小さなリスクを体験することで、将来の自然災害時における行動訓練としても有効であると考えている。子育てを通じて実感したが、子どもたちの海や山での自然体験は教育効果が非常に高く、将来に資するものになると感じている。一方で、子どもたちの自然体験活動と家庭の年収との相関が高いという統計を見ると、親の一人として臨海学校や林間学校の復活を望む次第である。自然活動の中で子どもたちを取り巻く小さなリスクは、成長のために経験すべきものと考えられる。しかし、海（海岸）で海浜事故に遭遇した場合、死亡・行方不明率が4割以上に達することもあり、陸上の事故とは桁違いにリスクが大きい。この事実を知る研究者としては、海を利用するための啓発教育の必要性を強く感じている。実際、海に行く際にわずかな知識と注意力があれば、自他ともに海浜事故を防ぐことができるはずである。ただし、教育活動中には責任問題が常に伴うため、「誰かが啓発教育や啓発活動を行うべきだ」と、教員という立場では軽々に言えない状況もある。

小峰によれば、世界中で年間約三十万件とも言われる水難事故（海浜事故）が発生している。日本国内の水難事故の状況は、海上保安庁や警察庁のウェブページで確認でき、毎年多くの尊い命が水辺で失われていることが分かる。海浜事故を減らすためには、事故が発生した海域で現地調査を行い、現場の知見を蓄積する必要がある。現場の知見がなければ、「安心して安全な海域利用」に関する市民向けの実効的な啓発教育や、救難関係者への有益な助言を行うことはできない。この思いから、全国各地で海浜事故が発生した砂浜やサンゴ礁、さらに河口やインレット（湖口）を対象に、海域利用

者にとって危険な沖向きの流れ（離岸流やリーフカレント等）の調査を，海上保安庁や水路協会などの組織と連携して行ってきた。

砂質海浜における離岸流を含む海浜流系については，第二次世界大戦時に米国で軍事機密として研究が進められ，その後も継続的に研究が行われ，多くの知見が蓄積されている．現在では海岸工学の教科書や専門書にも海浜流系として記載されており，研究者には広く知られている自然現象であると言えるかもしれない．しかし，海浜事故を予見して未然に防ぐ，あるいは救難活動を効果的に実施し，海域利用者や救難関係者自身の生命を守るという観点からの知見を有する研究者は多くない．離岸流についても，研究者自身が実体験を通じて理解して初めて，その分野の専門家と言えるのであるが，その為には，非常に大きなリスクに対する対処方法を事前に理解しておく必要がある。

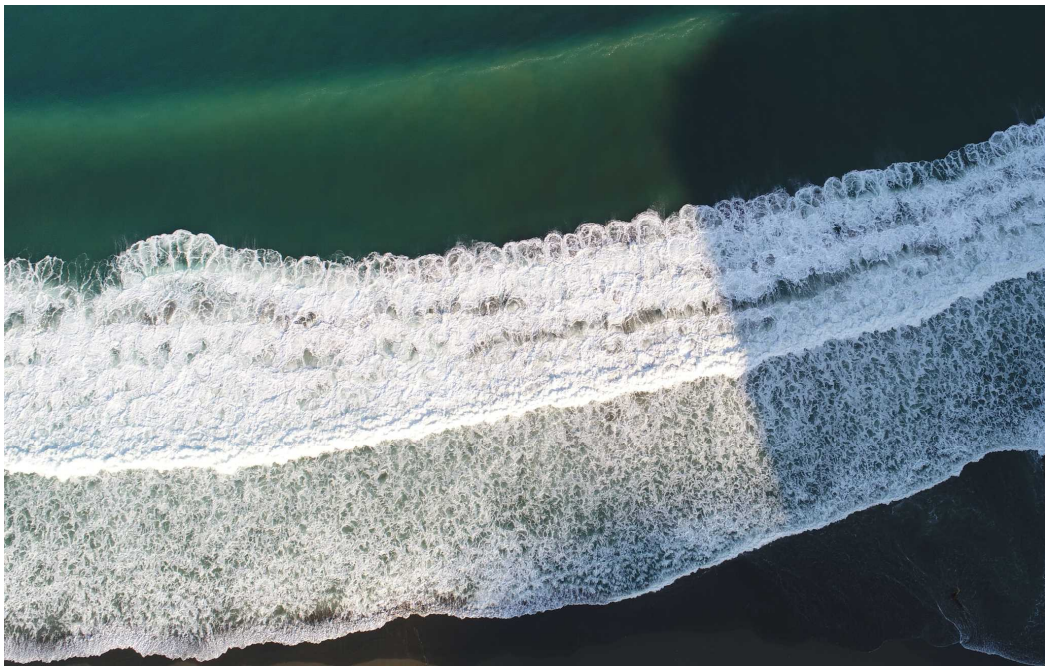


写真-2 砂質性海岸に入射するうねり（波が入射し砕波すると離岸流・海浜流系が発達）

砂浜で発生する離岸流について，一定の量と質を備えた実測データを取得し，同時に離岸流に流される実体験を積むために，強い離岸流の中に手作りの GPS フロートを携行して入水したことがある．しかし，自身の見通しの甘さから，泳ぎの得意な学生と著者が互いに，もう一人はすでに死亡したのではないかと錯覚するほどの危険な状況に陥ったことがある．また，サンゴ礁海域で発生するリーフカレントの調査では，ICUでの治療を受ける事態にもなった．さらに余談ではあるが，海底に計測機器を設置するための特殊訓練を受けたダイバーチームから，現場で危険を理由に作業を拒否されたこともあった．その結果，自分たちで観測機器を設置せざるを得ず，リーフカレントの中

で命綱を装着して作業を行う際に、誰かが足を滑らせれば助けることはできないと感じたことがある。このように生命の危険を伴う現地調査を基に、大学の一研究者が啓発教育や公益活動を継続することは、一般論としては極めて困難である。著者にも家族がおり、流れの中で身の危険を感じた際に家族の顔が脳裏に浮かんだこともあり、離岸流に関する一定の知見を得た段階で離岸流調査から遠ざかった時期が数年間あった。しかし、東日本大震災の災害支援で培ったドローン運用技術を活用することで、近年は観測者のリスクを低減しつつ、「安心して安全な海域利用」の促進に資する現地調査と啓発教育を継続することが可能となった。技術進歩のおかげである。また、水のシーズン前後には、ほぼ毎年、報道機関からの依頼に応じて情報提供を行っており、「離岸流」に関する普及啓発も徐々に進展していると感じている。



写真-3 溝状の海底地形（リップチャンネル）と離岸堤の存在で離岸流が発生し易い砂質性海岸（浮遊物や漂着物が顕著で、加えて、気泡が沖に筋を引いている）



写真-4 リップチャンネル地形（写真中央部やや右下側付近で沿岸砂州が切れた箇所）



写真-5 汀線のラージカスプ地形とリップチャンネル地形（写真中央部付近）

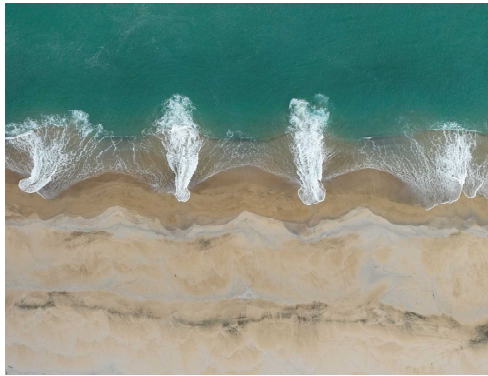


写真-6 ビーチカスプ溝状地形部の引き波（down-wash）で足を引きずられ転倒すると海側に運ばれる。

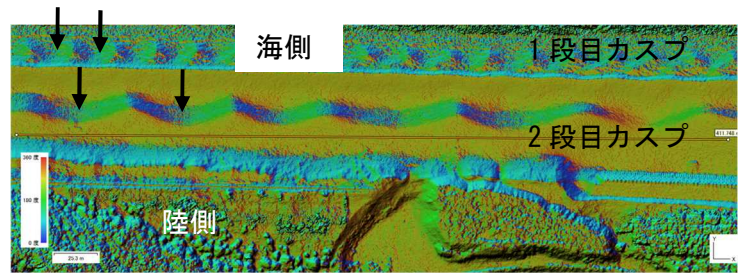


図-1 2 段ビーチカスプ地形のアスペクト比画像。横方向に左側の写真に示す様な砂浜表面の凹凸地形が沿岸方向に規則的に並んでいる。矢印で示す箇所が溝状部分

本研究活動を通じて海浜事故発生海域で得られた知見は、教育関係者や一般市民、救難関係者向けに全国二十カ所で講演会や現地説明会で共有され、啓発教育資料としても活用されてきた。教育関係者への啓発は、生徒やその家族、さらには地域社会への波及効果が高いと考え、宮崎県（2校）、鹿児島県（2校）、北海道（1校）の小中高校で数十人規模の講習を実施したほか、横浜市教育委員会主催の講演会では学校管理職数百人規模を対象とした研修会も行った。さらに、平成29年（2017年）からは教員免許更新者向けに「水辺の安全教育」と題した講習を開始し、参加者からは教員として、また保護者としても必要な知識であるとの評価を得ている。加えて、各海上保安本部等が主催する全国各地での講演会や現地説明会（計14回）では、各回数十人から百人程度の参加があったと考えられる。国内外の海浜事故を減らしたいという思いに対し、十分な活動であるとは言い難いものの、これらの取り組みにより、平成30年8月31日に「海洋立国推進功労者表彰」を受賞するに至った。本活動に関わったすべての皆様に、深く感謝申し上げたい。

本研究のような公益性の高い活動を継続するために、科学研究費や民間資金への申請を数年間行ったが、経済的価値や産業創出に直結しないの様な理由で十分な評価（採択）を得ることができず、現在は、ある種の行き詰まりに直面している。安全な社会の構築に寄与する知的インフラの整備として一定の成果に近づいていると感じつつも、研究資金も人員も不足する中で、本研究を単独で継続すべきか苦慮している。また、離岸流、リーフカレント、河口流、インレット流れは、沿岸域の海水交換を促進する流れである。海域利用者の視点では危険な流れかもしれないが、沿岸域の物質輸送や循環、そして、生物の棲息環境としてとても重要な自然現象であり、自然科学的観点からも、本テーマに関する研究の進展が期待される。蛇足であるが、釣り人の実感で、離岸流域の方が魚が釣れると言う事をたまに聞くことがある。魚の生態にも関係する流

れであることが分かり、研究者としては嬉しい情報であるが、海域利用者にとってはリスクのある場所なので、十分に注意して釣りをしてくださいと言う事になっている。

1.1 目で見える沿岸域の流れ(離岸流・リーフカレント・河口流)に注意！－水難事故予防のため

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 年に出動した 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)。沿岸域の砂質性海浜では、沖に向かう流れを一般に離岸流 (リップカレント) と呼ぶ。沿岸域では、毎年この離岸流に起因した水難事故が多数発生する。

離岸流を含む海浜循環流に関しては、古くは Shepard and Inman (1950), Noda et al. (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、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奨する場合には、安全な海域利用が前提であり、管理する海浜地内で離岸流に伴う事故が生じた場合、訴訟になる場合さえある (例えば, Graber, 1985)。離岸流は、第二次世界大戦時のスクリップス海洋研究所での研究 (例えば, バスカム (1977) 参照) を契機に、1980 年前後には日本の海岸環境工学研究センターを中心として実験的・理論的展開 (例えば, 佐々木 (1976), 水口 (1980)) が進展した。ただし、我が国の海浜流研究は、海岸保全や港湾建設等を主目的とし、離岸流に関する知見を海域利用者の安全確保のために応用する試みは少ない。しかし、新海岸法では、[保全・環境・利用] が重要なキー・ワードとなり、海域利用者の安全確保に関しても積極的に関わらざるを得ないと言える (例えば, Engle (2002))。

水難事故を予防するには離岸流に入らないことが重要で、その為には、例えば、小峯 (2002), 出口 (2003) の様に啓発教育が必要となる。

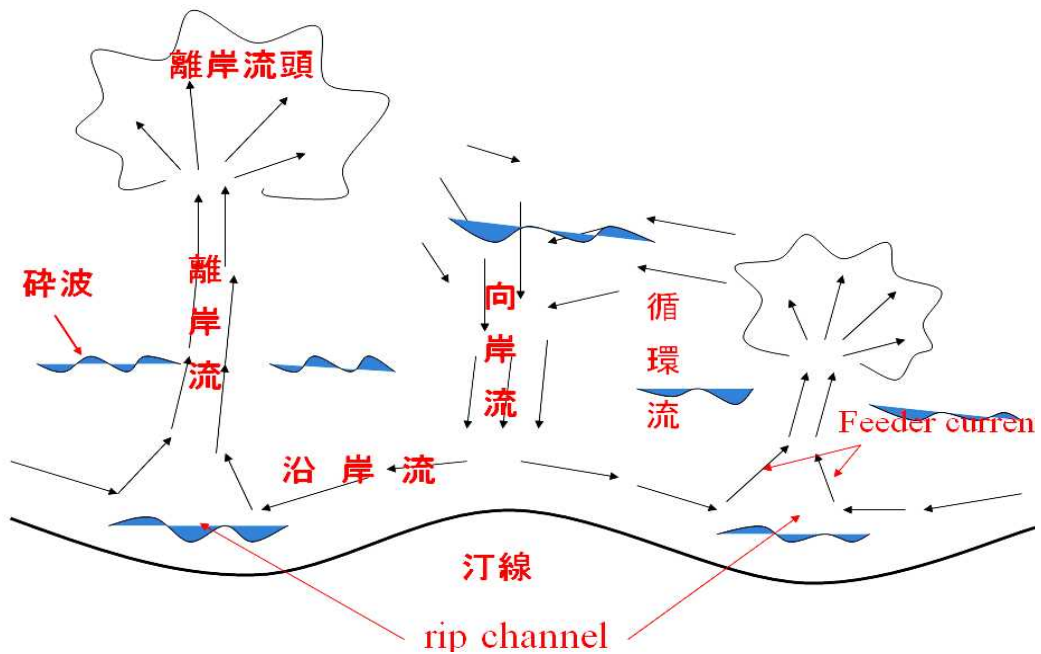


図-2 波の入射が原因で発生する海浜流系の模式図

全国各地あるいは世界各地の砂浜を対象に、離岸流による水難事故（海浜事故）を低減させるためには、沿岸域全体で離岸流が発生しやすいような場所を何らかの方法で簡便に探知できる手法を開発し、一般の人々あるいは最低でも海岸管理者レベルでの実用を可能とすることである。同時に、離岸流に遭遇した場合の対処法を啓発する広報プログラムも必要となる。そして、水難事故を低減するためには、離岸流の特性を科学的に詳細に調査する必要がある。離岸流による水難事故死を低減することを目標として、現地海岸での離岸流予報に関する基礎的な調査を、鹿児島大学、第十管区海上保安本部、そして、日本水路協会により、まずは宮崎県青島海岸と鹿児島県吹上浜海岸で実施した。その後、順次、沖向き流れの一種であるリーフカレント、河口流、そして、インレット（感潮狭口）の流れに関し国内各地の海上保安本部の協力を頂きながら日本各地で調査を継続し、水難事故予防に役立つ知見を蓄積した。



写真-7 様々な沖向き流れ（砂浜の循環流，サンゴ礁のリーフカレント，実験水槽内の離岸流）

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ず自分の生命を守る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、海岸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場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できるだけある。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、視野が広くかつ水面でのハレーションも避けやすいために優れている。「例えば、Fontes et al (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 et al. (1994), Wozencraft et al. (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)によるジェットバイクに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。」と、著者は今から10数年以上前に書いたことがあるが、近年は個人単位でもドローンを運用することが可能となっている。写真-10以降は、ドローンを用いて撮影した沖向き流れ等の事例を示している。

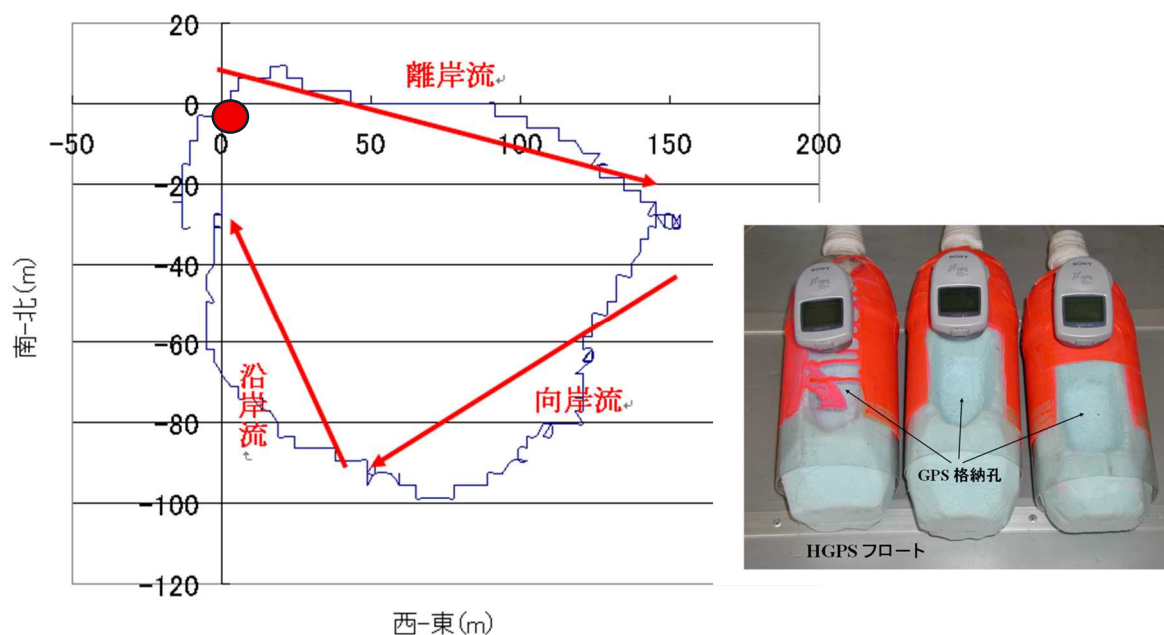


図-3 GPS フロートで計測した循環流（海浜流系）。赤丸の位置からフロートが循環漂流

また、以前は、図-2 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った。一方、現在のドローン（無人航空機）は、搭載しているカメラ次第であるが、4K以上の画質を持つ動画撮影や、20MP以上の画質を持つ静止画の撮影も可能でありながら、友人航空機の利用に比べコストパフォーマンスが桁違いに優れているので、それぞれの現場レベルで活

用が進むことに期待している。ドローンの活用に関しては、「ドローン工学入門」を別途準備中であるので、後日、読んでいただければと思う次第である。

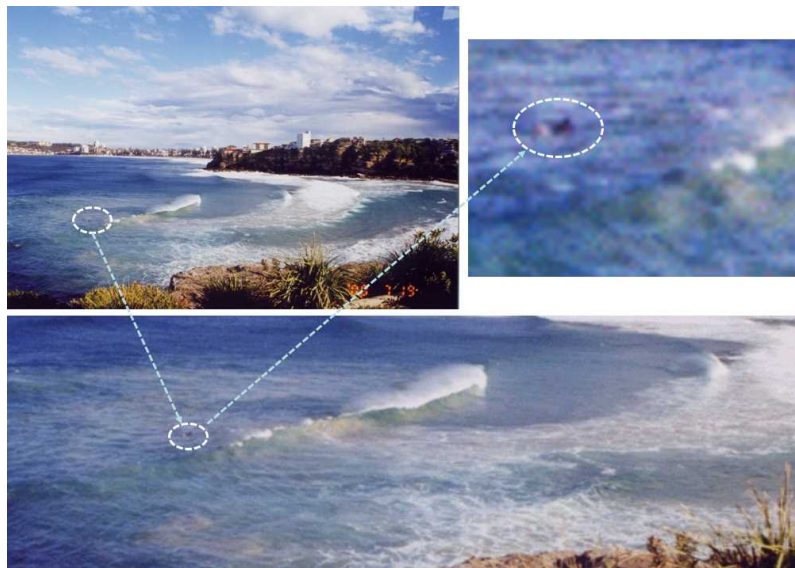


写真-8 離岸流で沖に流されているサーファー

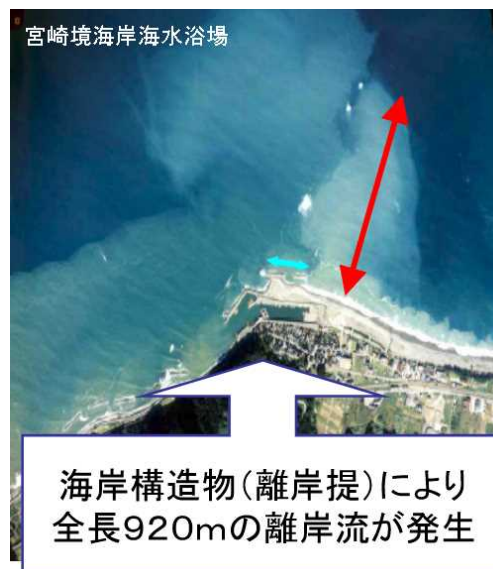


写真-9 人工構造物に起因する離岸流（国土地理院空撮画像データベースより引用）

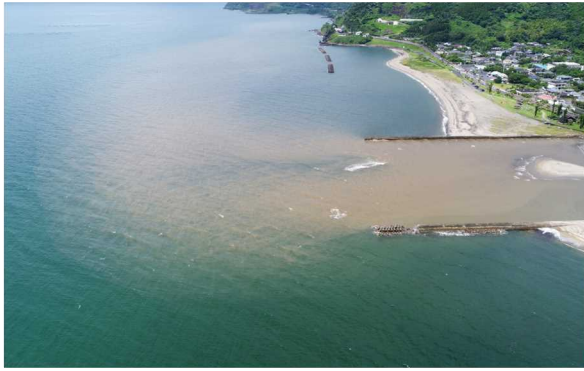


写真-10 導流堤先端部付近で北側（写真上側）に蛇行する河口流



写真-11 河口部で北側（写真左側）に向きを変える河口流

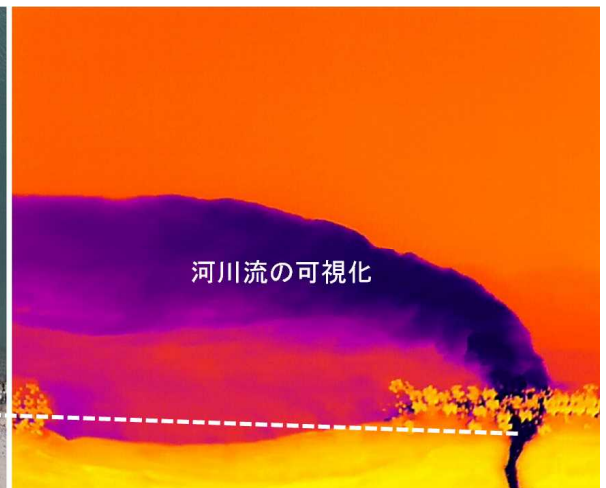


写真-12 可視画像では判読できず赤外画像で判読できる河川流の様子

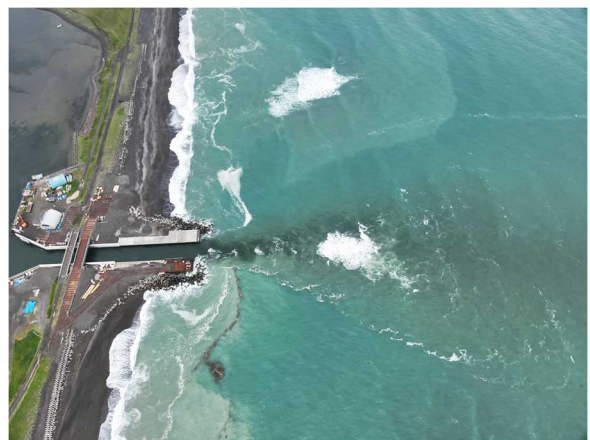
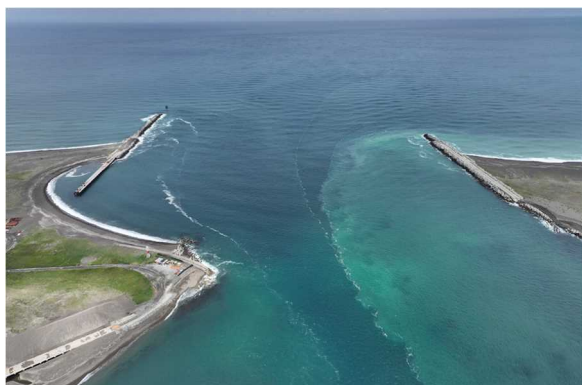


写真-13 インレット（感潮狭口）での上げ潮（flood tide）と下げ潮（ebb tide）の様子



写真-14 小型船舶等の事故原因になり
易い球面浅瀬での波の変形の様子



写真-15 小型船舶等の事故原因になり易い
河口部での扇形の浅瀬（干潮時撮影）

1.2 現地調査

1.2.1 漂流観測実験

離岸流に関しては、離岸流が発生すると思われる地点に流れを測る海象計を設置し、その地点での流れの特性を把握する事に加え、回収用のテグスを付けた GPS フロートを離岸流域と思われる地点に投入する事で離岸流の発生位置や規模を図る事を繰り返した。また、ライフジャケットを着用した観測者（2名）が、GPS 付フロートを携帯し離岸流発生箇所まで歩き、およそ腰から肩の辺りまで入水すると離岸流に捕捉され、離岸流頭まで流される漂流実験も行った（経験に基づき、流れが強い状況での漂流実験に関しては、原則として推奨しません）。漂流者 2 名は数分間隔で入水し漂流実験を行った。観測当日の波浪予報は約 1.5m の予報値であったが、現地での目視では 2m 以上の波がしばしば継続した。なお、観測地点沖合には海上保安庁所属の測量船「いそしお」が停泊し、砂浜には監視員も待機し緊急事態に備えて漂流実験を行った。

図-4 は漂流経路およびその拡大図を示す。両名とも別の地点でいったん離岸流頭の左側に移動しそうになったことを除くと、2 名夫々の漂流経路はほぼ一致しており、両名とも同じ離岸流に流されていることが分かる。離岸流からの帰還は、地元サーファーの補助を受けサーフボードを波乗りさせながら行った。2 名の帰路はほぼ同じであり、漂流実験者およびサーファーは夫々向岸流を利用し浜に着いている。この観測例では漂流者 2 名とも入水し約 20 分で元の地点に帰ってきている。なお、フロリダ大学（故 Dean 教授によれば教授も離岸流に遭遇し、その時には流され始めてから約 6-7 分で浜に辿り着いたとのことであった。本実験による、漂流者の移動平均速度は、それぞれ 0.74(m/s)、0.61(m/s) である。なお、離岸流付け根付近から離岸流頭までは必ずしも一様な流速ではなく、流速が局所的に速い箇所はリップチャンネルの断面積が狭いな

どの要因が効いていると思われる。また、離岸流頭手前付近においては、平均流速が一見小さいように見える。これは、漂流者が完全に砕波帯を抜けて沖側に出ないと、砕波に巻き込まれたり、波乗りして岸向きに瞬間的に移動し、波の谷の通過時に離岸流により沖に押し戻されたりを繰り返し、結果として岸沖方向にジグザグ運動をするためである。そのために、波が比較的高いと水平方向にも、鉛直方向にも漂流者の運動が大きく体力の消耗が激しくなることを実感している。加えて、今回の海象条件では砕波による波乗りのために砕波帯を抜けて沖の離岸流頭まで完全に到達できなかった。その結果、離岸流に逆らわず沖側へ流されても、砕波に伴う漂流者の陸側移動と、離岸流による漂流者の沖側移動が交互に繰り返される形式で流体力作用を受け続け、場合によっては波により巻き込まれ水中下に引きずり込まれるので、これらの機構で体力を消耗したり、方向感覚を失ったり、海水を飲み込んでしまったりし、溺れる可能性があることも分かった。

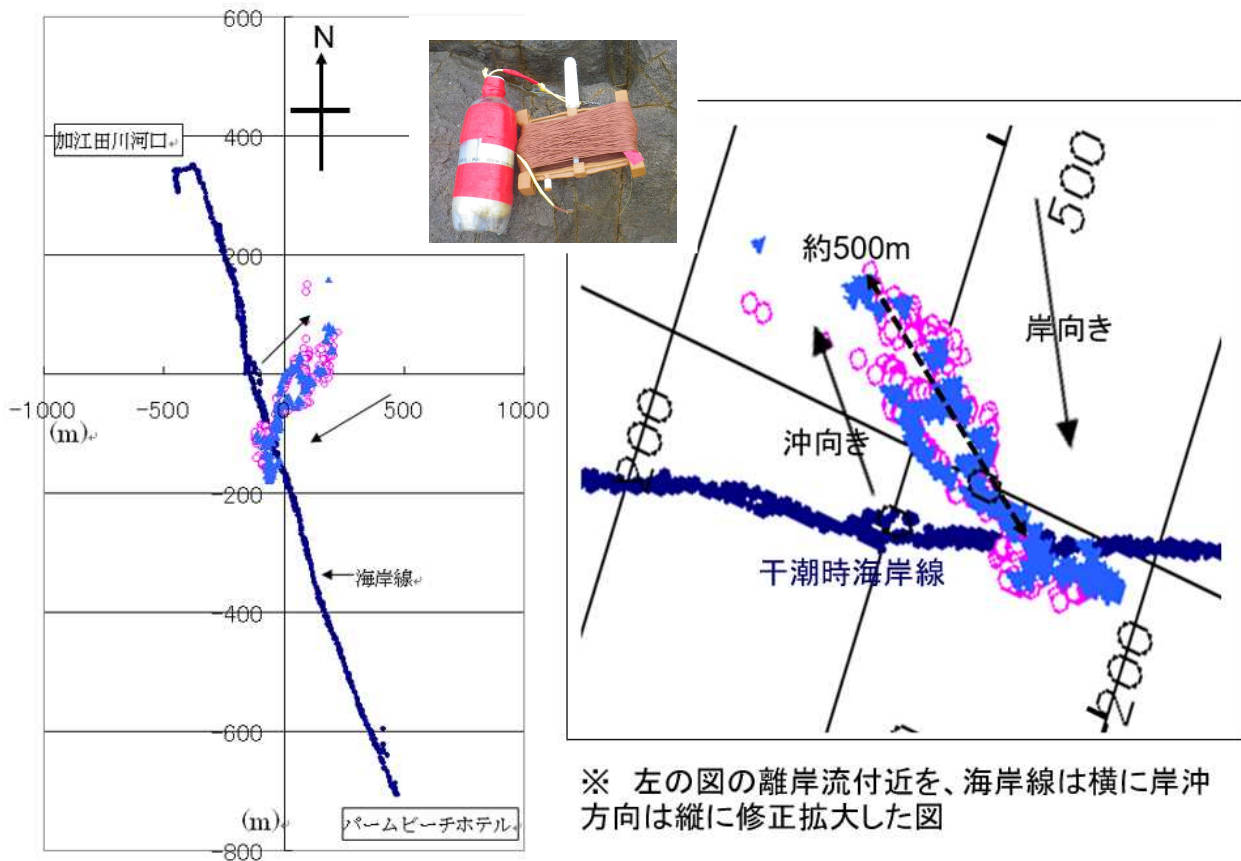


図-4 離岸流調査1年目に観測者がGPSフロートを携帯し漂流して得られた離岸流の記録

著者らが行った最初の漂流実験で観測された強い離岸流からの自力での脱出は困難であり、離岸流が水難事故の原因となることが漂流者により実感された。離岸流遭遇

時の状況は、水難事故予防のための広報活動上重要であるので、以下に大学の水泳部員であった漂流者No.2の体験談を記す。

「流され始めた最初の時点では、(リップチャンネルの中で波が砕波しないために)陸も見え流されているという実感があつた。しかし、(沖側と陸側の2段砕波帯の間に流されたために)すぐに陸が見えなくなり、(沖で待機する)船も見えなくなった。自分が流されているのかも分からなくなり、頭上で波が砕けると、波に飲まれてしまい、上下左右の感覚がなくなり一瞬パニックに陥った。離岸流頭手前付近(後でデータを見て判明)は、ちょうど大きい波の砕波点になっており、砕波の直前には足が着くのだが、すぐに波に飲まれてしまいほとんど身動きがとれなかった。図-4のデータを見ると、およそ10分間もの間沖で漂っていたことが分かる。その後、陸の方角に検討をつけ泳いでいると、サーファーに出会ったので、陸までサーフボードにしがみついていた。陸にいた他の観測者たちが心配して、地元のサーファーに救援を頼んだとのことである。しかし、漂流者は二人とも同じ経路を辿って帰ってきており、自分では泳いで帰ってきたつもりであるが偶然向岸流に乗っただけである可能性もある。そうだとすれば、もし監視者がおらず、この向岸流に乗らなければ、水難の可能性も考えられる。この経験を通し、離岸流に流される危険性を強く感じた。」



写真-16 沖向き流れを解明するための現地観測。調査箇所は事故発生(場合によっては多発)箇所の為に危険が伴い、遺書を携帯しての調査を継続し、ICUも経験済み。

1.2.2 離岸流位置の変動

上記漂流実験のほぼ10日後に、同じ海岸で回収用のテグス付きGPSフロート調査を行った。離岸流位置は、まずは、海岸踏査を行い、海岸地形と波や流れの様子を確認し、離岸流と思われる位置にGPSフロートを数回以上投入する事で調査を行った。漂流観測法による離岸流データの取得は大変危険であり、漂流者がGPSフロートを携帯する方法では、効率的に離岸流データを取ることが困難であった。そこでGPSセンサー付のフロートに、市販の釣り糸(6~8号)および伸縮率約400~500%のクッションを付け、安全な場所からGPSフロートだけを流す手法を用いた。観測は、ライフジャケットを着用した観測者が腰の深さまで入り、流れが発生していると思われる箇所にGPSセンサー付きのフロートをゆっくり投入する作業を繰り返した。図-5にGPSフロートの漂流経路を示す。図-5では、二つの離岸流が補足され、その間隔は約400mである。な

お、漂流実験時に比べ、この実験中は比較的波が穏やかで、得られた流速も若干小さめである。循環流パターンを示したケースでは、離岸流域で平均流速が約 0.34m/s、最大流速が約0.85m/s、向岸流域で平均流速が約0.34m/s、最大流速が約0.85m/s、そして、沿岸流域で平均流速が約0.64m/s、最大流速が約1.30m/sであった。フロートの一部は、沖に行き過ぎて引き戻したものもあり、沖側に循環流が存在する可能性を示した。

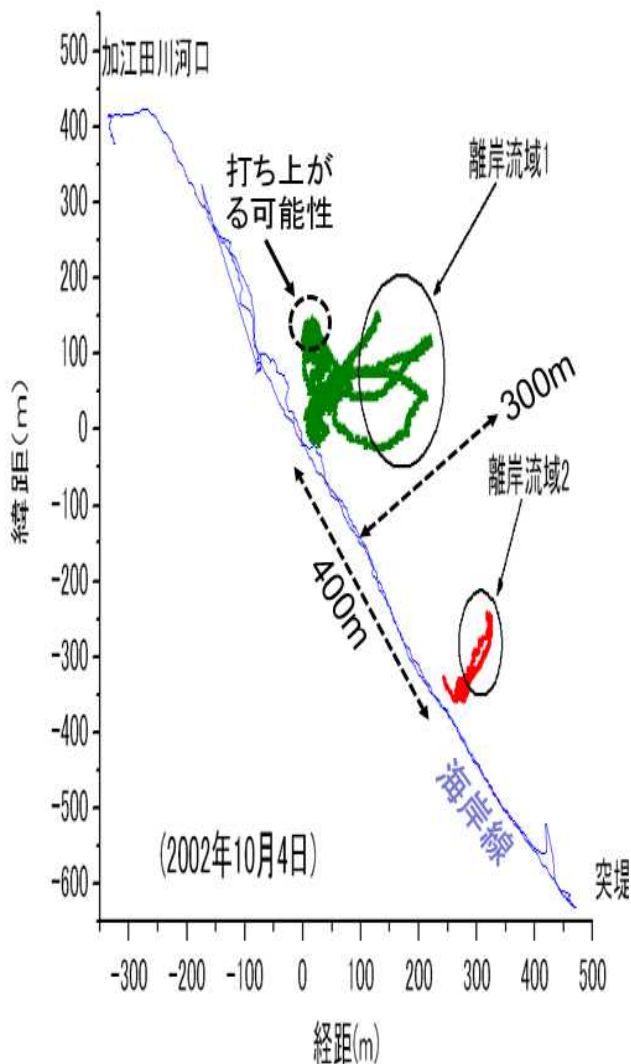


図-5 漂流調査の10日後の離岸流

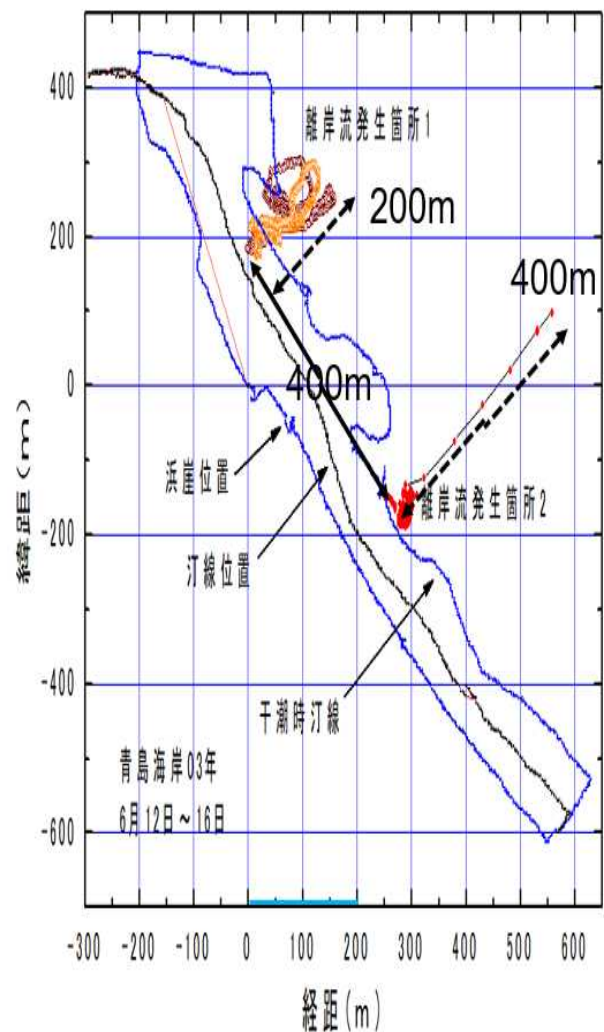


図-6 漂流調査の約1年後の離岸流

図-6 中に同じ海岸での一年後の離岸流データを示す。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も併せて示してある。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、GPSフロートが360m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-6の結果は、GPS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。図-6の方が分かり易いが、汀

線位置および浜崖位置が陸側に後退している辺りが離岸流が発生し易い場所であることが分かる。

1.3 リーフカレント

鹿児島県と沖縄県には潮汐の干満により干出したり水没する生物性材料（炭酸カルシウム）でできたサンゴ礁地形が存在する。サンゴ礁は造礁サンゴが成長する事によりその規模が大きくなる。一方、生物としての造礁サンゴは、棲息する環境レンジ（水温、塩分、濁度）が一般の生物に較べとても狭いために、鹿児島県と沖縄県のサンゴ礁では、陸水が河川を通して流入したり、淡水の地下水が湧出する領域においてはサンゴ礁が切れたように見える口（リーフギャップ）地形（写真-18の右下側に示される様な地形）が存在する。幅広のサンゴ礁地形の中に存在するリーフギャップは、海水や陸水の交換に関して、非常に重要な役割を持っている。例えば、写真-17, 18に示される様に満潮時に礁池・イノー（ラグーン）に溜まった海水は、干潮に向かう下げ潮時にこのリーフギャップから



写真-17 海浜上から見る川の流れる様なリーフカレントの様子（注意；計測器を何処に設置するかで流速と流向が異なる。一回目の調査では写真中央やや右寄りに海象計を設置。）



写真-18 リーフギャップに流出するリーフカレントの様子（注意；流れの幅が狭いほど流れが速い）

らサンゴ礁の外の海に流出する。干潮から満潮に向かう上げ潮時には、まずはこのリーフギャップからサンゴ礁内に外洋側の海水が流入し、サンゴ礁内の礁池・イノー（ラグーン）に海水が溜まる始める。潮汐とは別の自然現象であるが、外洋の波が高くなりサンゴ礁外縁からサンゴ礁原付近（リーフエッジ付近からリーフフラット付近）で砕波現象が起き、その結果、サンゴ礁内に砕波に伴う海水が滞留し、サンゴ礁内の海水位を上昇させる wave set-up（水位上昇）と言われる現象が起きる。wave set-up については、波が砕波すると岸側の水位が上昇するという現象と言う様に一般の方々は思っただけであれば構わないと思う。正確な知識を得たい方は、海洋波の専門書を読むか

web 上で検索して頂ければと思う。ただし、リーフギャップでは水深が深いために碎波現象がなかなか生じない。一方、波が砕けやすいサンゴ礁原側では wave set-up（水位上昇）のために水位（エネルギー）が高く、リーフギャップ付近の水位（エネルギー）が沿岸方向に相対的に低い現象が生じる。その為、礁原背後の礁池側からリーフギャップに向かう沿岸方向の流れが生じ、リーフギャップに流入した海水が、リーフギャップを通過して沖に流出する事になる。海が荒れた時（波が高い時）にサンゴ礁海域で海域利用や親水活動を行う利用者は少ないので、一般的には、サンゴ礁海域では写真-17, 18 に示す様にリーフギャップから下げ潮時にリーフカレントが発生し、その流れに乗ってしまうと脱出や救出が困難となる。注意不足で海が荒れた状況において下げ潮時にリーフギャップに近づいてしまうと、川の流れのように非常に早く力強いリーフカレント（沖向き流れ）に載ってしまう確率が高い。しかも、単独での脱出や救出は非常に困難である。著者も、リーフカレントの現地調査には恐怖を感じながら細心の注意を払い、特別な生命保険にも加入し、加えて、遺書も携帯して調査を行ったが、ICUのお世話になったことがある。経験に基づいてのアドバイスとして、サンゴ礁海岸で泳いだり、サーフィンしたり、シュノーケルしたり、ダイビングしたり、釣りをする利用者は特に訪問する海岸の地元情報、地形情報、波浪情報、潮位情報、そして、気象情報等を事前に調べる事を強くお勧めする。鹿児島県と沖縄県においては、リーフカレントが発生しやすい場所はほぼ特定されているだけでなく、波が小さな条件での海域利用に限定すると、沖向きのリーフカレントは下げ潮時だけ発生しやすいので、現在は、ある意味で天気予報よりも予測精度が高い状況にあると言える。従って、海岸で遊ぶ前に、適切な安全情報を収集する習慣付けを行って頂きたい。

著者自身、現地調査を行う前はリーフカレントの主要因に関して誤解しており、現地調査を繰り返すことで、最終的には、リーフカレントの主要因は潮汐に伴う下げ潮で、次の要因として高波に伴う wave set-up（水位上昇）がある事を確認した。

一般に、河川であれ海であれ、水は原則として水位（位置エネルギー）が高い方から低い方へ流れる。そこで、写真-19 に示す様な配置で圧力式の水位計をリーフギャップ、サンゴ礁の沖側端部（リーフエッジ周辺）、礁池・イノー（ラグーン）、そして、サンゴ礁砂浜前面のリーフカレントが流れる水路状の地形の4地点に設置し、サ

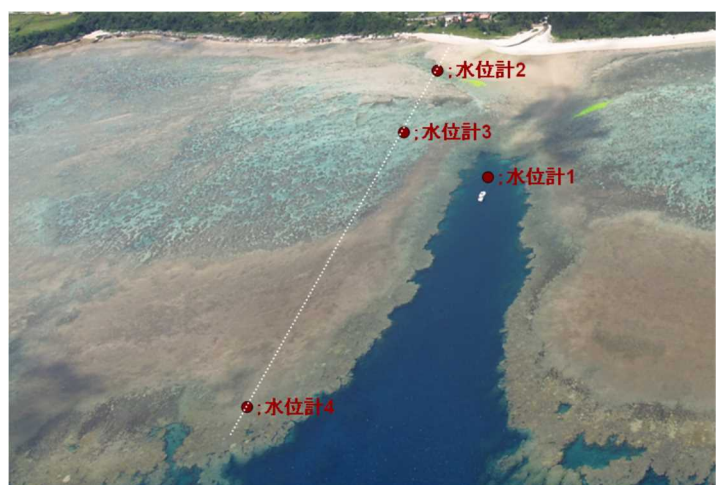


写真-19 サンゴ礁地形での水位計の設置位置

ンゴ礁海域での水位とリーフカレントの関係について調べた。

観測結果を図-7に示す。この図から、低低潮位側の干潮時を中心に前後2時間（合計4時間程度）の間に最大40cm程度の水位差がリーフ内外で生じていることがわかる。本観測地点では、リーフ内外で図-7に示す程度の水位差が生じた場合には、1m/s以上の早い流れ（リーフカレント）

が観測されており、海域利用上特に注意が必要な状況となる。

なお、この時（一回目）の観測では、流れが強すぎて観測最適地点での機器設置作業にかなりの危険が伴う事が予想された。

機器設置を依頼した相手先が設置作業を現場で断る事態となった。そして、現場で協議を重ね、設置作業の安全性がある程度確保できる箇所に海象計を設置したために、当該観測領域で

発生している強い流れ（リーフカレント）よりも速度の遅い流れ（リーフカレント）の記録が得られていることに注意していただければと思う。本稿で示すリーフカレント、そして、離岸流の観測記録（海象計の記録）は、作業者の安全性を確保することを優先しながら、流れの特性を少しでも解明できる様に海象計の設置地点を現場毎に決めている。その結果、事故要因となっている実際の冲向き流れよりも、過小評価側の記録になっていることは事実としてお伝えしたい。つまり、実際の流れはここで示される速さよりも早いという事をご理解していただきたい。

図-8, 9に、図-7の記録が得られた翌年に観測した潮位と20分間平均流速を示す。原則として、干潮の時間帯、そして、潮汐が小潮よりも大潮の時に平均流速が早くなることが分かる。更に、沖波（入射波高）が高くなるとサンゴ礁内での wave set-up（平均水位上昇）が大きくなり、潮汐と波に起因した流れが重なる（足し合わさる）ので、平均流速が早くなること等がこの図から読み取れる。離岸流でも起こりえるが、リーフカレントも流速は常に一定ではなく、サーフビートの様な数十秒から数百秒の周期（時間スケール）で脈動する事があり、ここで示される20分間平均流速より瞬間的に早くなることがある。繰り返しとなるが、本来、リーフカレント観測用に海象系を設置したかったのは別の地点であるが、その地点の流れがあまりにも強すぎるために海象系設置時および回収時の安全性確保ができず、そこよりはリスクが小さい地点で計測したデータである。

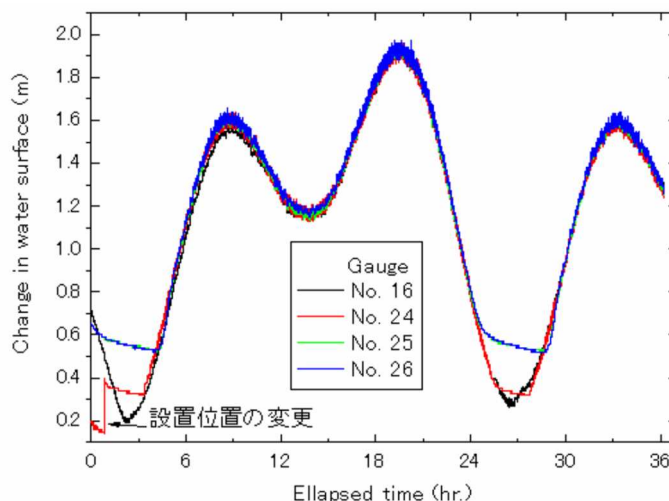


図-7 水位計の記録（一部抜粋）

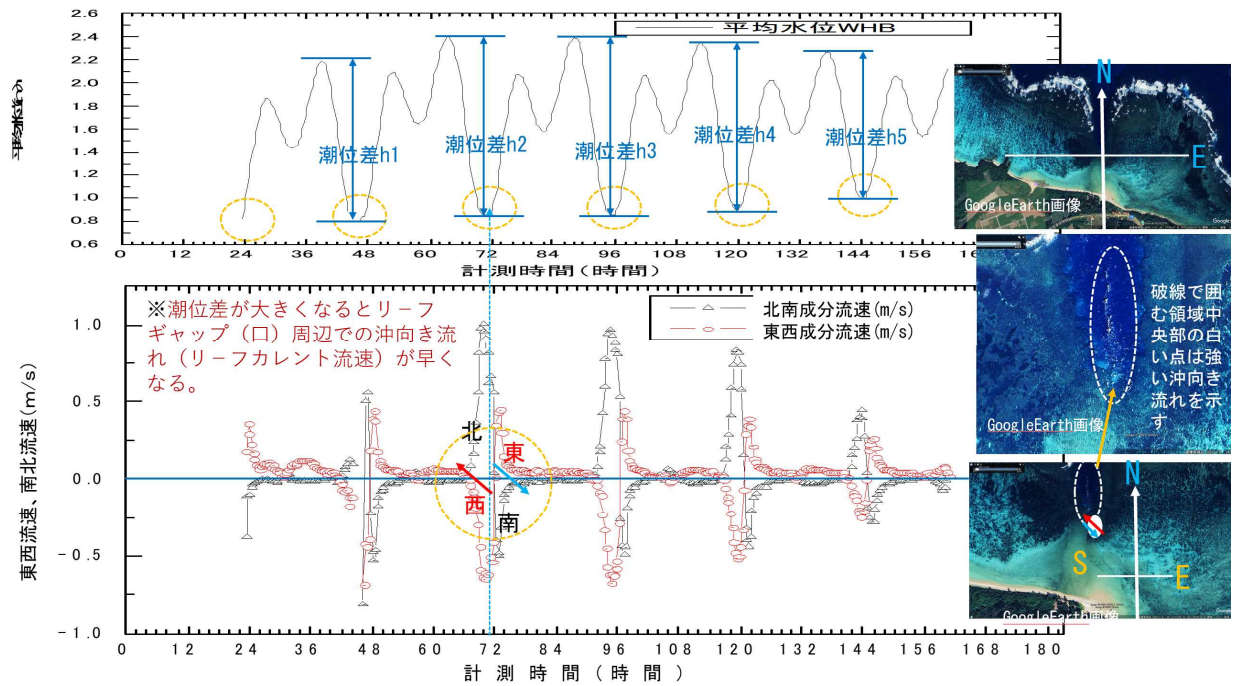


図-8 リーフギャップの岸側サンゴ礁上で計測された潮位と流速の様子（※右側の Google 画像は、観測地の画像で、時期は異なるがリーフギャップから沖向きに流れが発生している様子が確認できる）

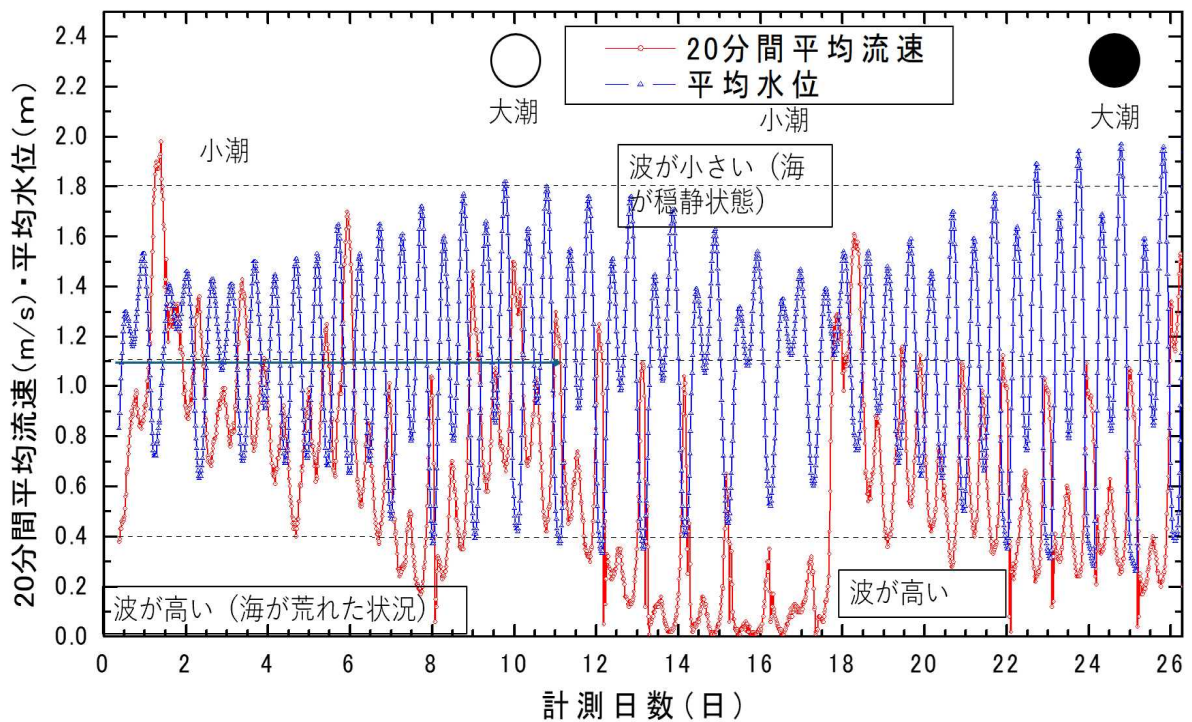


図-9 2回目のリーフカレント調査により得られた潮位と平均流速の記録

ここに示すデータは、安全確保用のロープを握りながらやっと海象系を設置し得ら

れたデータであり，他の観測チームにも是非調査をどうぞと言えるような状況ではなかったため，リーフカレントの観測を行う、あるいは、行いたい方々には，少し無茶な表現であるが、現実には **dead or alive** に近い可能性がありますとだけアドバイスする事が必要と思われた。蛇足であるが，著者は，離岸流やリーフカレントの調査に携わる様になってから，財布の中に遺言を書いた小さな紙を常時携帯するようになった。

1.4 一般市民向けの海浜流基礎

専門課程の学生や院生そして専門家になりたい技術者は水位に関連する説明をエネルギーで置き換え，専門書を読んで正確な知識を身につけるべきであるが，ここでは一般市民向けに，波が原因で生じる海浜流系を理解するための基礎的な事項について列挙する。

1. 水は高いところ（水面が高い所）から低いところ（水面が低いところ）に向かって流れる。
2. 沿岸域に波が入射すると，砕波点までは平均水面（平均水位）が下がり（wave set-down），砕波点から陸側は平均水面が上がる（wave set-up）。
3. 入射波が大きいと，砕波帯内の平均水面（平均水位）の上昇（増加分）は大きくなる（入射波高の約1割から3割）
4. Wave set-up により水面の高低差（水面勾配）が出来ると，水位の高い方から低い方に流れが生じる。水面勾配が大きいくほど，流れが速くなる。

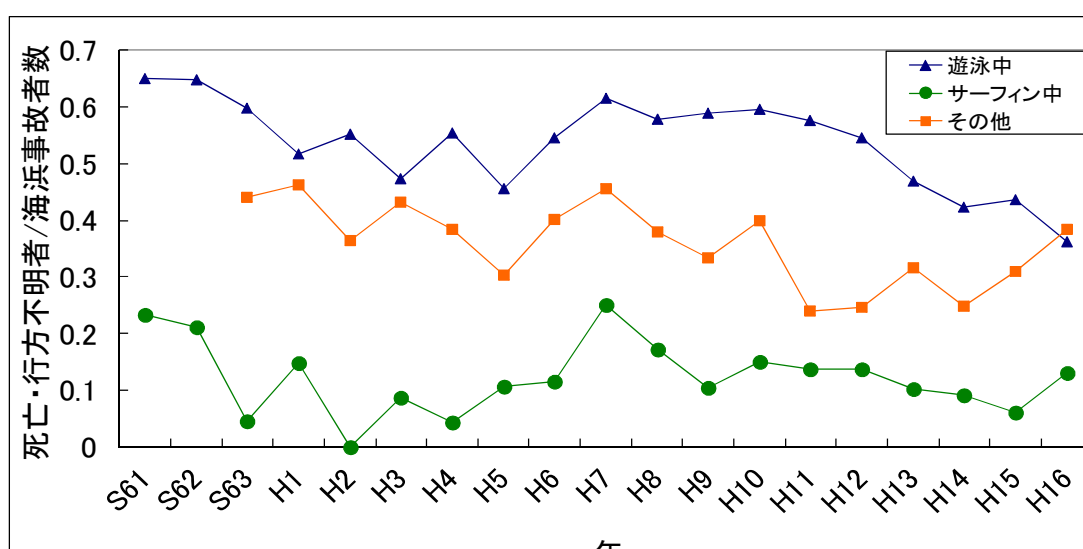


図-10 海域利用中の死亡・行方不明率（サーファーは約 8.5 人に1人 遊泳者，その他は2～3人に1人の死亡率であり，浮具を携帯する事で死亡・行方不明率が激減する事が分かる）

なお、これらの事を理解すると離岸流、向岸流、沿岸流から構成される海浜流系に関しても理解しやすい。自然海岸の海底地形ではほぼ定まる海浜流以外に、海岸保全構造物に起因する海浜流系もある（構造物の規模によっては海浜流系がより大型化することもある）。また、河口周辺の砂浜では、河川水が河口からまっすぐ沖に流れず、浜に沿って暫く流れた後に沖に向かう流れも存在する。浜で急に冷たい水を感じる時は、沖を見て、左手側あるいは右手側にある河口から流れてくる河口流である可能性がある。離岸流対策として最も重要な事は離岸流に遭遇しない事である。図-10には、海域利用中の浮く能力が如何に大事かを示すために、遊泳中、サーフィン中、その他の活動中の死亡・行方不明率を示す。サーフボードやウェットスーツのおかげで浮き易い状態にあるサーファーが、余り長時間浮く能力を余り持たない遊泳者に比べ3倍程度生存率が高い事が分かる。川に行く時も、海に行く時にも特に重要であるので、浮き具を必ず携帯する事を忘れないようにしてもらいたい。

1.4.1 海浜事故多発箇所

何故か海浜事故が多発する海岸がある。事故には理由（原因となる自然現象）がある。そして、それらの海岸には、地域事情が許せば海域（海浜）利用上の注意が右の写真のように掲示してある場合もある。例えば、この海岸では以下の様な海浜事故が発生している；

- ・2007年の夏、この日向市の伊勢が浜ではインドネシア人の漁業研修生が犠牲になった痛ましい水難事故
- ・2013年6月19日午後5時5分頃、宮崎県日向市の伊勢ヶ浜海水浴場で泳いでいた小中学生5人が流されたとの通報
- ・その他大学生の水難事故発生

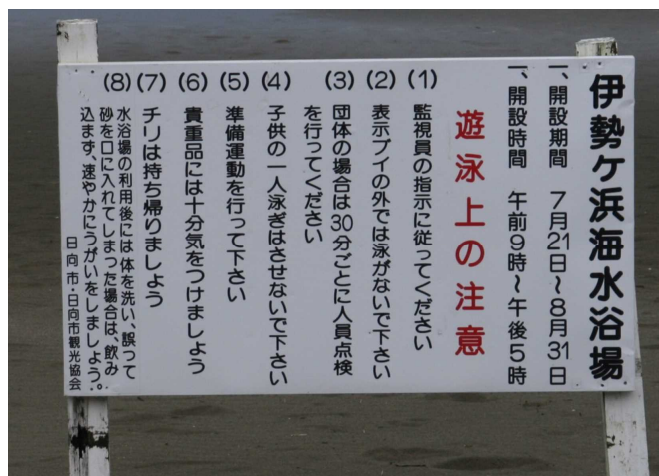


写真-20 海岸における遊泳場の注意-その1

1.4.2 海域利用時の地元情報

サンゴ礁性の海域で、遊泳やシュノーケルを行なう海域利用者が、海域特有の離岸流（沖縄県ではリーフカレントと呼ばれる）により事故に遭遇する場合がある。また、サンゴ礁性の海域では、海域利用者

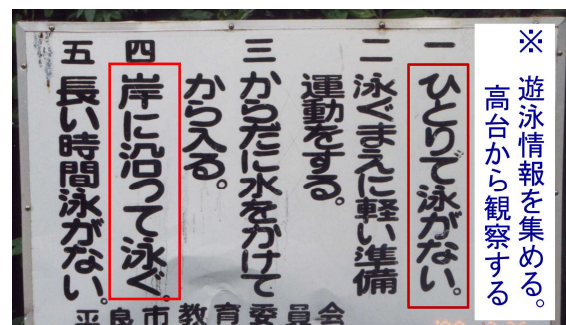


写真-21 海岸における遊泳場の注意-その2

が、地形性の冲向き流れで事故に至る場所は、ある程度特定の海岸に集中する傾向があるので、「海域利用に当たっては、地元情報の収集」に努める必要がある。

1.4.3 もしもの場合の離岸流対策

これらの注意書きに従い海域利用を行っていても、離岸流で沖合に流される事もある。その場合に、大事な事を列挙する。

もしも離岸流に流されたら・・・ 避難方法

離岸流に流されたら

- ・ 落ち着く(パニック防止)
- ・ 誰かに合図を送る
- ・ 横(沿岸)方向に泳ぐ
- ・ 離岸流頭まで流れに身を任す
(波が小さい時・構造物がない時)
- ・ 岸向きに泳がない
- ・ 冲向流れ(離岸流)を感じなくなったら岸に向かい動く



写真-22 海岸における遊泳場の注意-その3

1.4.4 冲向き流れのイメージ(再確認)

海域の安全利用を行うためには冲向き流れ等のイメージを持つ事が大事である。その為に、離岸流、河口域での流れ、インレット(感潮狭口)での流れを可視カメラ、赤外線カメラ、マルチスペクトルカメラを用いて見える化



写真-23 海水浴場で発生している離岸流(左は構造物に起因、右は海底地形に起因)

(可視化) した画像を以下に示す。 お子さんや家族、そして自分、あるいは引率した集団が浜辺で活動を行う時のために、海岸で生じている冲向き流れ（離岸流）のイメージを概略でも良いので把握してもらえればと思う。

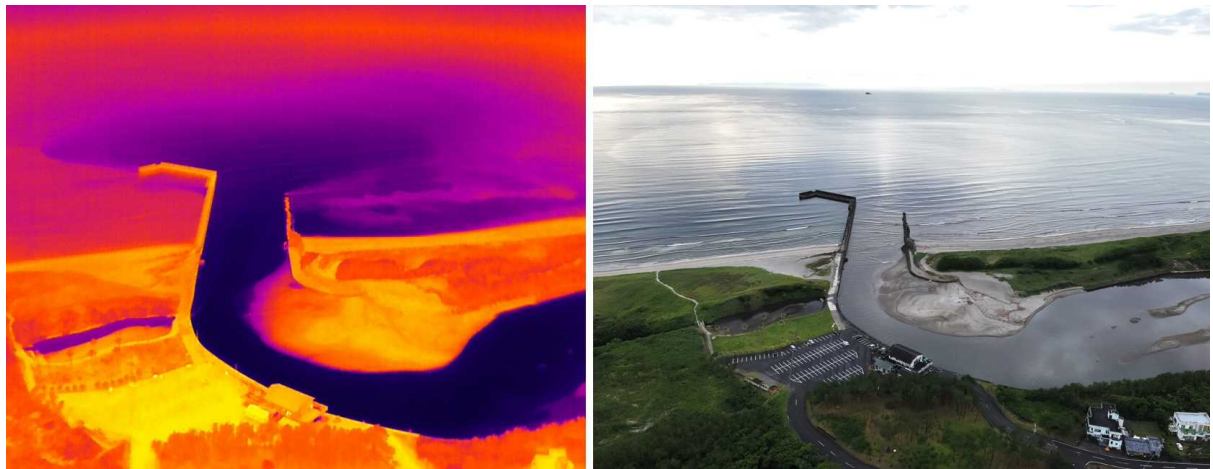


写真-24 河口部付近での流れの様子（左が赤外画像、右は可視画像）

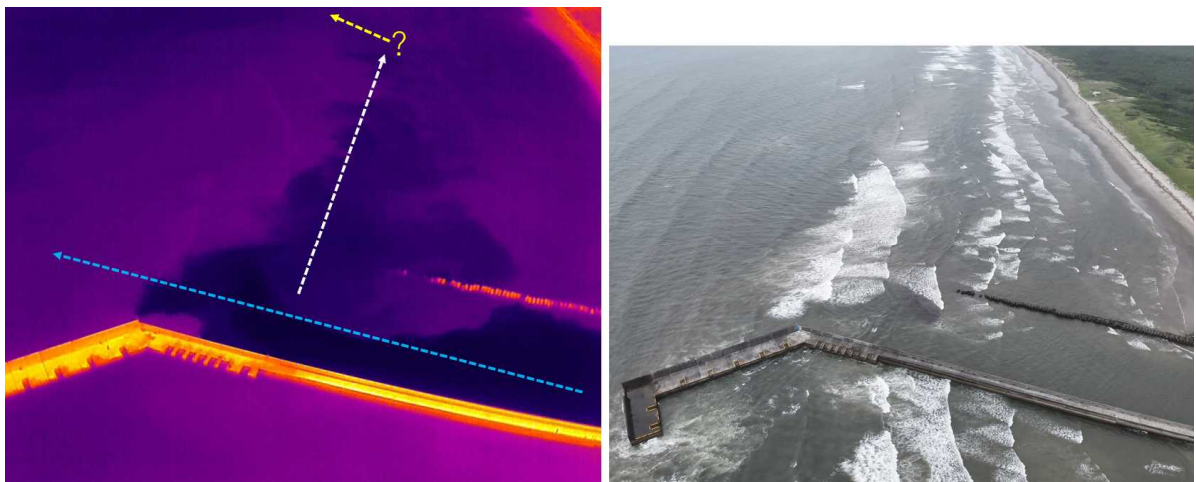


写真-25 河口部付近での流れの様子（河口部から浜に沿う流れが発生している様子）

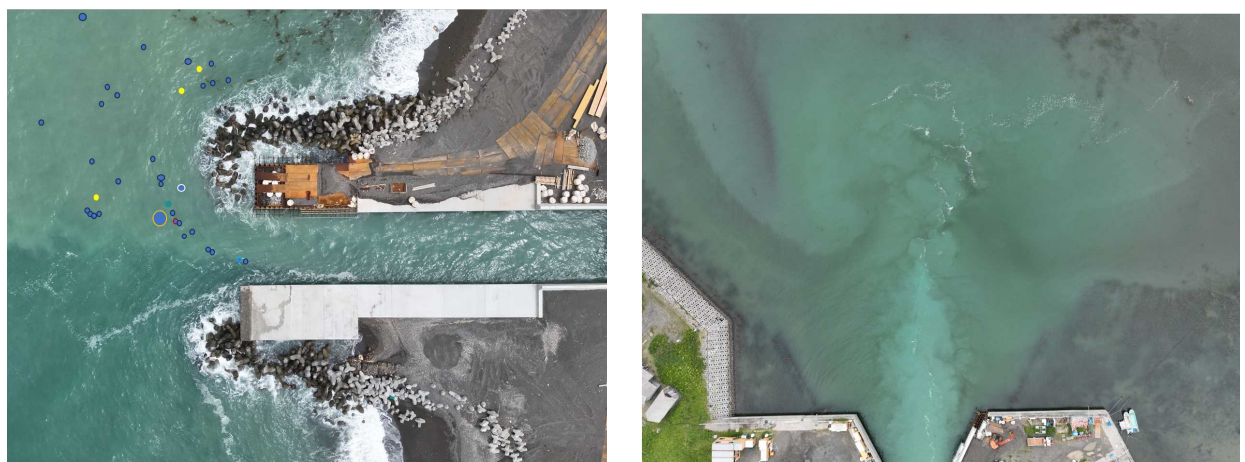


写真-26 インレット（感潮狭口）における入退潮の流れ

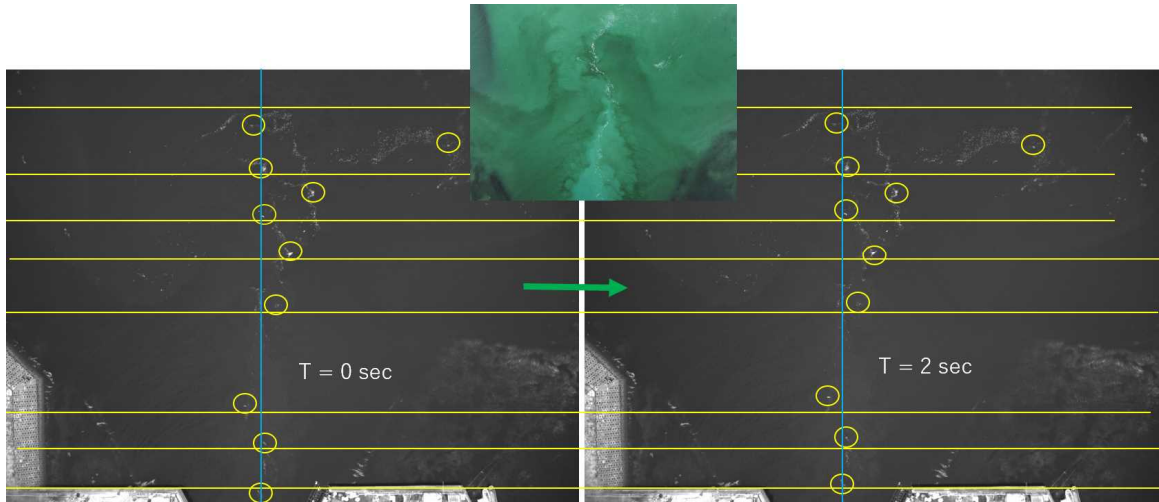


図-11 中央部上に示すインレット（感潮狭口）流れをマルチスペクトルカメラで2秒間隔で撮影した画像。浮遊物追跡および流況解析はマルチスペクトルカメラ画像が判読しやすい場合が多い。

1.4.5 離岸流が発生しやすい条件

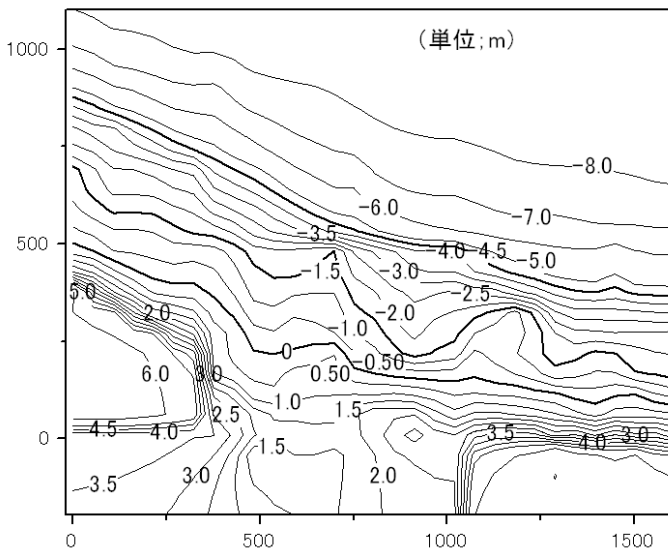


図-12 調査地域の海底地形(宮崎県土木部提供

写真-27 観測値海岸の様子

離岸流は様々な要因で発生する。図-12 と写真-27 は海岸地形（海底地形）が原因となり、離岸流が発生する事を理解するためのものである。例えば、図-12 では-1.5mおよび-2.0mの等深線を見ると、沿岸方向に浅瀬と深み（滞筋）が交互に存在する。このような海底地形に規則波的な（うねりのような）波が続けて入射すると、離岸流が発生しやすい。室内の平面水槽実験では、海浜地形モデルに1-2波程度の規則波が作用すると離岸流が形成されるので、地形に対応した砕波変形の空間分布による離岸流形成の応答はとても速いものである。

砂浜における離岸流は、サンゴ礁と違い大きな台風などが海岸に来襲すると、離岸流の発生位置に大きく関与する海底地形が変わる可能性があるために、離岸流の発生位置を数年以上の時間スパンで特定および固定化する事は困難である。一方、サンゴ礁海岸の場合には、人為的な改変が行われなければ、概ね海底地形が変わる事が無いので、リーフカレントの発生位置が変わる事はない。

1.5 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。著者サイドとしては、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性を感じた。

(補遺； 人工構造物と冲向き流れの例)

自然の海岸における自然現象としての多様な冲向き流れについてこれまで説明してきた。一方，国内外の海岸では，防災や経済活動のために多様な海岸構造物（人工構造物）が設置されている。これらの人工構造物は，その規模が大きくなるほど，海岸の地形や波および流れに大きな影響を及ぼす。当然ながら，本書で取り上げる冲向き流れにも，人工構造物に起因するものがある。人工構造物には構造物設置の本来の目的およびメリットがあり，同時



写真-28 突堤に沿う冲向き流れ

に，その存在が周辺の環境に影響するのも事実である。写真-28, 29 に，海岸保全構造物に沿う形で起きる流れの様子と，海岸構造物（港湾）周辺に形成された冲向き流れを生じさせる海岸地形の様子を示す。良くある誤解で，人が整備した人工構造物近くの海域利用は安全だろうと思いがちであるが，海域利用の安全性を本来の設置目的とした海岸構造物はそれ程多くないということを理解されることを推奨する。



写真-29 港湾構造物周辺の海浜地形

目次

- 1章 世界や日本で水難事故を減らし尊い命を救うには
- 2章 海を自己責任で楽しむ
- 3章 目で見える離岸流
- 4章 海岸の安全利用
- 5章 離岸流特性把握のための現地調査法
- 6章 サンゴ礁海岸での冲向流れ
- 7章 サンゴ礁海域の安全利用に関する基礎的研究
- 8章 離岸流予報のための数値計算法
- 9章 海浜事故予防のための啓発教育
- 10章 まとめ