

遠州灘の離岸流からサーファーを救え！

浜松学芸高等学校

サイエンス部 2年 松本成雅 他2名

1 動機

静岡県浜松市は南側に自然豊かな遠州灘に面しており、遠州灘は御前崎から愛知県東三河の伊良湖岬までの約110kmに渡る。一方で、遠州灘は風が強く吹き、波が荒いため、全域で遊泳禁止となっている(図1)。遠州灘は、天竜川河口を頂点として東西に2つの緩やかな弧を描き、日本国内では有数の長大な砂浜海岸を形成している。砂浜は、天竜川や渥美半島の海食崖からの土砂の供給により形成されている。静岡県側は、砂浜と砂丘を広く覆うクロマツ林による白砂青松の景観が広がる。一方で、愛知県側は海食崖と砂浜が続く片浜十三里、伊良湖岬などの荒々しい岩礁地形と押し寄せる太平洋の荒波とが織りなす雄大な景観が特徴的である。

遠州灘海岸の各地で、サーフィンを中心としたマリネレジャーが盛んに行われている。残念なことに、マリネレジャー中の事故も発生しており、遠州灘でサーファーが亡くなる事故が毎年のように報道されている。令和3年度夏期(7月～8月)には、静岡県内の海での死亡・行方不明者は合計12名であり、水遊び中に1人、魚釣り中に3人、サーフィン中に2人の方が亡くなっている。また、12名の死亡・不明者のうち5名が県外居住者であった。2021年8月11日には、静岡県湖西市の遠州灘海岸でペルー国籍の男性サーファーが亡くなったことが報道されていた(静岡新聞 2021)。このことから、県外居住者や外国籍の方に、遠州灘海岸の危険性が十分に伝わっていないのではないかと懸念される。全国でも多くの方がマリネレジャー中に海難事故にあっている。令和3年には、マリネレジャー中の海難事故者数が、全国で76人に達し、21人が死亡した(第十一管区海上保安本部交通安全対策課 <https://www.kaiho.mlit.go.jp/11kanku/osirase/2021D/220126%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%93%E5%B9%B4%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B%E6%B5%B7%E9%9B%A3%E7%99%BA%E7%94%9F%E7%8A%B6%E6%B3%81.pdf> 2023年1月6日確認)。また、マリネレジャー中の事故者数のうち32人が県外からの観光客であり、8人が外国人であったことから、マリネレジャーが手軽に楽しめる身近な存在になった一方で、全国的にも海や海岸の危険性が十分に伝わっていないことが事故につながっている可能性がある。

2021年中における静岡県内の水難事故は60件で、前年より発生件数が増加しており、過去5年の平均(54.8件)と比較しても発生件数は大きく増加した(静岡県警察本部地域部地域課, <http://www.pref.shizuoka.jp/police/kurashi/documents/r3suinanjiko.pdf>; 2023年1月5日確認)。また、海での事故が発生件数・事故者数とも約9割を占め、水遊び中(22人)と魚とり・釣り中(13人)の事故者数が合わせて全体の約5割となっていた。夏期(7月～8月)における静岡県内の水難事故者数は、海での発生が全体の約7割を占め、水泳や水遊び中の発生が合わせて全体の約5割であった(図2, 静岡県警察本部地域部地域課, <http://www.pref.shizuoka.jp/police/kurashi/documents/r04kakisuinan.pdf>; 2023年1月5日確認)。居住地別では県外者が全体の約30割であり、年齢別では20歳未満が全体の約4割となっていた。



図1. 遠浅の海岸が広がる遠州灘海岸。

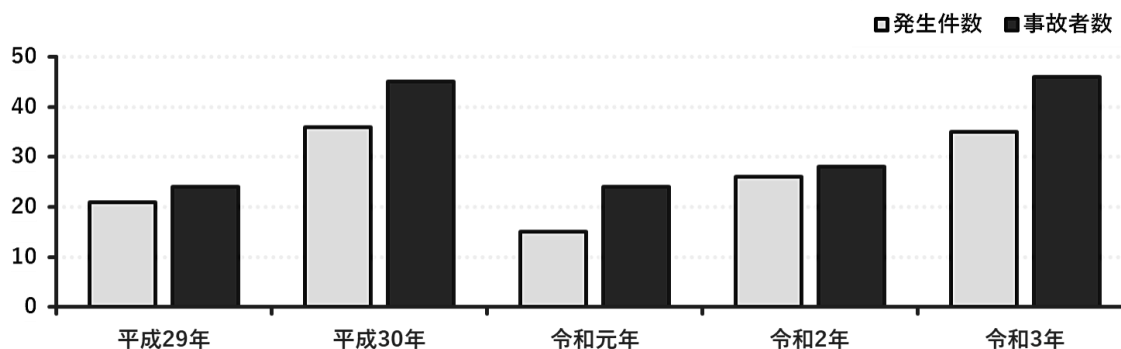


図2. 静岡県の夏期(7月1日～8月31日)の水難事故の発生件数および事故者数。

離岸流が原因とされる海難事故が後を絶たず(西ら 2004)、報道にも取り上げられようになり、離岸流への社会的関心が依然高い状態である。離岸流は、沖から海岸へ打ち寄せて来た波により海水が岸に貯まることで、どこかから沖へ向かって海水が戻ろうとするとときに発生する一方的に流れる強い流れのことである。流速は最大で2m/sと人の早歩きと同じくらいの速さである(海上保安庁第9管区海上保安部海洋情報部, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/ripcurrent/ripcurrent.htm>; 2023年1月5日確認)。そのため、一般人が離岸流に巻き込まれた際、離岸流に逆らって泳ぐことは厳しい。離岸流に流されると、知らず知らずのうちに沖まで流されてしまうことがあるので、注意が必要である。長さは通常数10m～数100m程度に達し、幅は10m～30mとあまり広くない。離岸流の幅は狭いので、岸と並行に泳ぐことで離岸流から脱出することができる。

マリレジャー中の海難事故を減少するために、離岸流発生とその兆候の解明が求められる。そのため、私たちは、遠州灘でみられる海岸構造や海底地形、周期によって離岸流の発生確率が異なっており、離岸流の流速や幅、距離にも変化がみられるという仮説をたて検証をおこなった。

2. 方法

遠州灘海岸において離岸流の現地調査は、海上の天気や季節によって風向きや波高が大きく変化するなど気象条件の影響を大きく受けることが想定される。そのため、自作した大型水槽を用いて室内で気象条件を一定にした条件下で実験的に、離岸流の発生条件や影響力の解明を目指した。

自作した大型水槽は、縦90cm×横180cm×高さ30cm(図3)であった。水槽内には、縦30cm×横90cmの海底モデルと海岸モデルの2種類を組み合わせて設置した(図4)。海底モデルはフラット・瀬・瀬に切れ目あり(以下、瀬切れ目)の3通り、海岸モデルはフラット・湾曲少・湾曲多の3通りを準備した。海岸モデルでは、木製板の上にモルタルを均一に塗布することで湾曲のないフラットを作製した。そのうち、湾曲した波状地形部分はモルタルを塗布せず周囲より窪ませた。海底モデルでは、木製板の上にモルタルを均一に塗布することで平坦なフラットを作製した。海底モデルの瀬部分は、平坦に塗布したモルタルの一部を盛り上げた。

大型水槽内での波の発生には、木製板(90cm×15cm)を人の手で上下させることで、人工波を発生させた。このとき、一定の周期で人工波を発生させるためにメトロノームのリズムに合わせて木製板を上下させ、振幅を一定にするためにストッパーを用いた。また、人工波の反射による影響を軽減するために、水槽内壁に水面の高さに合わせて脱脂綿を貼付した(図5)。

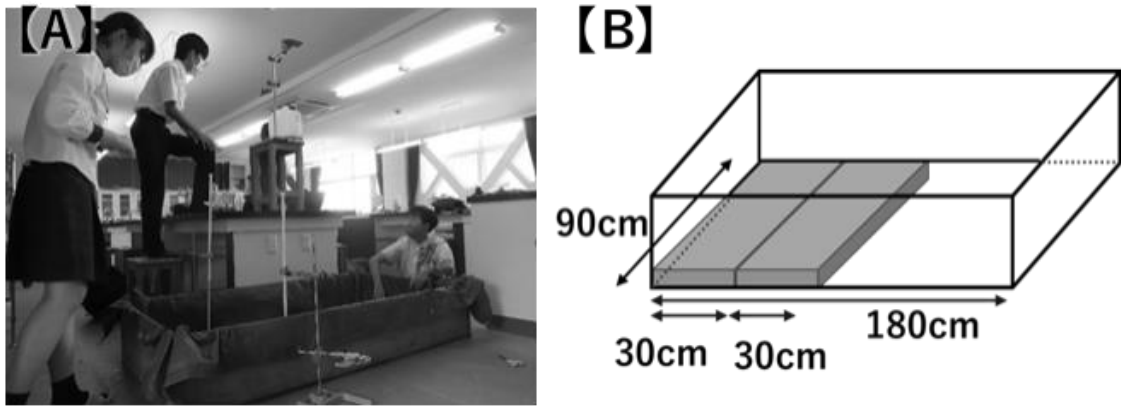
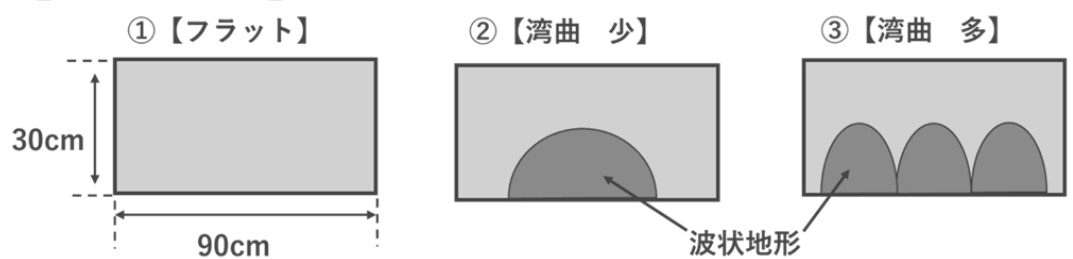


図3. 自作した大型水槽を用いた実験の様子(A)と大型水槽のサイズ(B).

【海岸モデル】 3通り



【海底モデル】 3通り

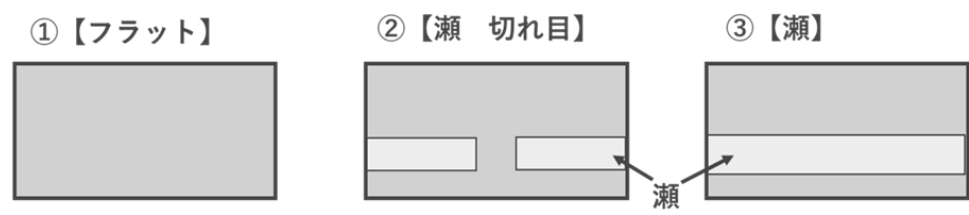


図4. 海底モデル(フラット・湾曲少・湾曲多)と海岸モデル(フラット・瀬切れ目・瀬).

※海底モデルでは、平坦なフラットに対して、波状地形部分がへこんでいる
 ※海岸モデルでは、平坦なフラットに対して、瀬部分が盛り上がっている

離岸流の可視化には、赤色の発泡スチロール球(直径 1.0cm)を用いた(図5)。大型水槽内の水面から高さ 2.0m の地点にカメラをスタンドに固定して設置し、大型水槽内の全面が撮影できるようにして 40 秒間の動画を撮影した。

海底モデルと海岸モデルの組み合わせを変えて、合計 9 通り(表 1 の番号 1~9)について、いずれも波の振幅 2.0cm、周期は 1Hz、海岸の傾斜は 5° の条件で 30 回試行した。

解析には、離岸流距離(cm)、離岸流影響範囲(cm)、離岸流の流速(cm/s)を算出した。離岸流距離は、40 秒間の撮影時間内に、海岸線からもっとも遠くに移動した発泡スチロール球までの距離とした。離岸流の影響範囲は、海岸線に 10cm 間隔に浮かした発泡スチロール球が、海岸線から流失した個数をもとに、10cm×個数で算出した。離岸流の流速は動画をもとにして、離岸流の到達距離(cm)/ 時間(s)から算出した。

表 1. 海岸モデルと海底モデルの組み合わせ.

番号	海岸モデル	海底モデル
1	フラット	フラット
2	フラット	瀬
3	フラット	瀬・切れ目
4	湾曲 少	フラット
5	湾曲 少	瀬
6	湾曲 少	瀬・切れ目
7	湾曲 多	フラット
8	湾曲 多	瀬
9	湾曲 多	瀬・切れ目

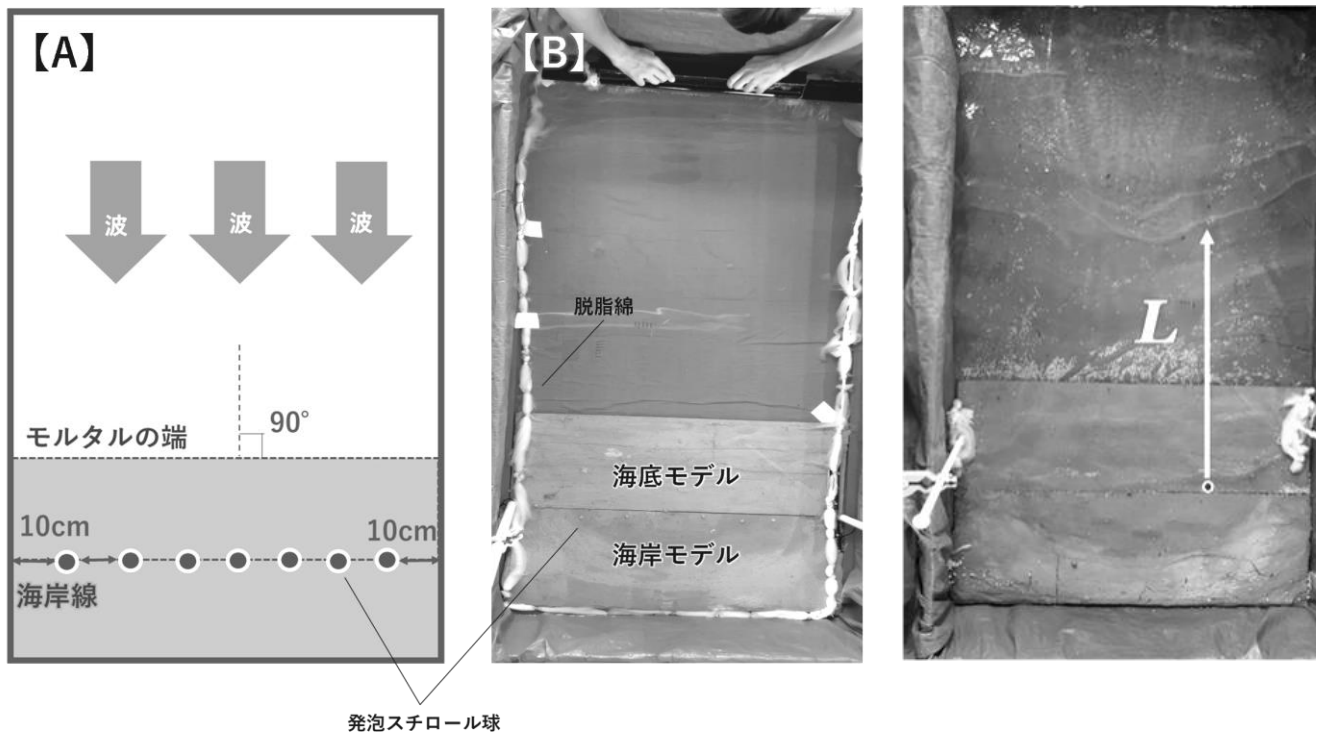


図5. 大型水槽内の発泡スチロール球の配置(A)と人工波を発生させているようす(B).

3. 結果

離岸流の発生確率は、海岸モデルと海底モデルのいずれの組み合わせでも80%を超えて高い割合となった(表2)。海岸モデル間で比較すると、湾曲少のときに発生確率が平均96.7%と最も高く、湾曲多のときに平均84.4%と最小であった。湾曲少のとき、他の2つの海岸モデルよりも高い確率で離岸流が発生していた。海底モデル間では、大きな差が確認できなかった。

離岸流の平均幅は、海岸モデルがフラットのときに平均28.8cmと著しく大きくなっていた。一方で、海岸モデルが湾曲少のときの幅は15.6cm、湾曲多のときの幅は14.5cmと小さかった。海底モデルに着目しても、平均幅には大きな傾向がみられなかった。

離岸流の到達距離は、最小19.1cmから最大52.9cmまで大きな差がみられた。特に、海岸モデルが湾曲少のときに到達距離が大きくなっている傾向がみられ、そのなかでも海底モデルが瀬・切れ目のときに最大となっていた。一方で、海岸モデルが湾曲多のときのみ、もっとも平均到達距離が大きな離岸流の発生パターンが他の2つの海岸モデルと異なり、海底モデルがフラットのときに最大となっていた。

平均流速は、海岸モデルがフラットで海底モデルが瀬の組み合わせのときに2.0m/sと大きく、海岸モデルがフラットで海底モデルもフラットの組み合わせのときに1.3m/sと小さかった。その他の組み合わせでは、平均流速に大きな差はみられなかった。

表2. 9つの組み合わせでの離岸流発生確率、平均幅、平均到達距離、平均流速.

番号	海岸モデル	海底モデル	発生確率 (%)	平均幅 (cm)	平均到達距離 (cm)	平均流速 (cm/s)
1	フラット	フラット	83.3	21.6±2.4	33.2±2.5	1.3±0.1
2	フラット	瀬	90.0	30.7±2.4	19.1±2.9	2.0±0.2
3	フラット	瀬・切れ目	93.3	33.1±2.5	48.7±3.3	1.6±0.1
4	湾曲 少	フラット	93.3	15.3±1.7	32.3±3.2	1.6±0.1
5	湾曲 少	瀬	100.0	16.0±1.5	32.5±4.6	1.7±0.1
6	湾曲 少	瀬・切れ目	96.7	15.5±1.3	52.9±3.9	1.7±0.1
7	湾曲 多	フラット	86.7	17.3±1.8	44.8±4.2	1.7±0.1
8	湾曲 多	瀬	86.7	10.8±0.6	24.8±3.0	1.8±0.2
9	湾曲 多	瀬・切れ目	80.0	11.5±0.7	24.4±2.3	1.8±0.1

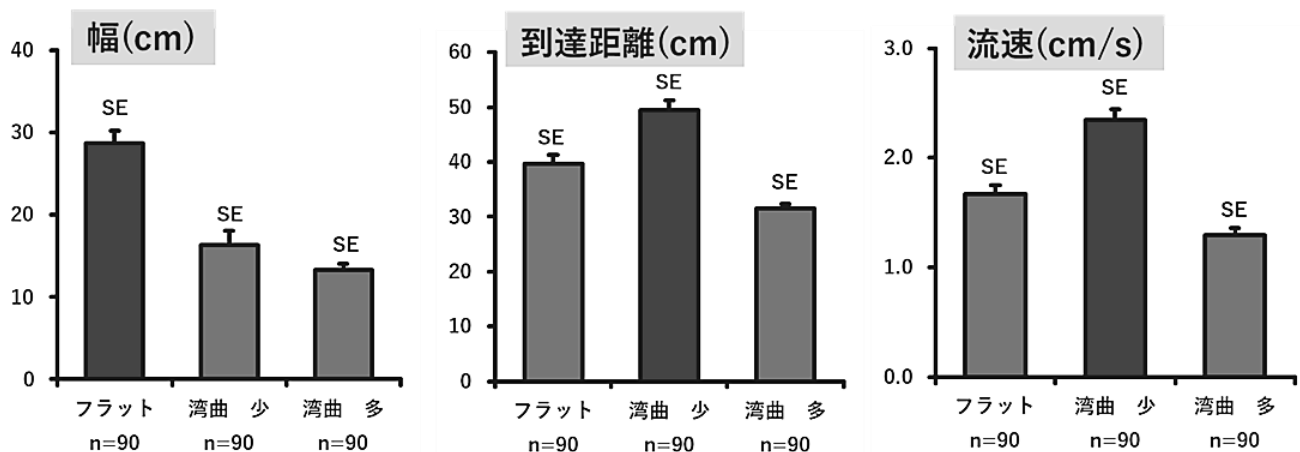


図6. 3つの海岸モデル間での離岸流の平均幅、平均到達距離、平均流速の比較.

4. 考察

離岸流の発生確率は、海岸モデルと海底モデルのいずれの組み合わせでも80%を超えて高い割合となった(表2)。海岸モデル間で比較すると、湾曲少のときに発生確率が平均96.7%と最も高く、湾曲多のときに平均84.4%と最小であった。湾曲少のとき、他の2つの海岸モデルよりも高い確率で離岸流が発生していたことから、離岸流の発生確率に海岸モデルが若干影響している可能性が示唆された。全体的な傾向としては、離岸流はどこにでも発生するといわれている通りに(第九管区海上保安本部海洋情報部; https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/ripcurrent/rip_shiryo/H21kaiho.pdf 2023年1月7日確認)、離岸流は海岸や海底の地形の影響を大きく受けず、どこでも発生する危険性が高いと考えられる。

離岸流の平均幅は、海岸モデルがフラットのときに平均28.8cmと特に大きくなっていった。一方で、海岸モデルが湾曲少のときの幅は15.6cm、湾曲多のときの幅は14.5cmと小さく、湾曲部があることで離岸流の幅が小さくなる傾向がみられた。海岸モデルがフラットの場合には、海岸全体に戻る波の流れが分散した(図7)。それに対して、海岸に湾曲がある場合には、戻る波が局所的に集中するために離岸流の幅が小さくなったのではないだろうか(図7)。

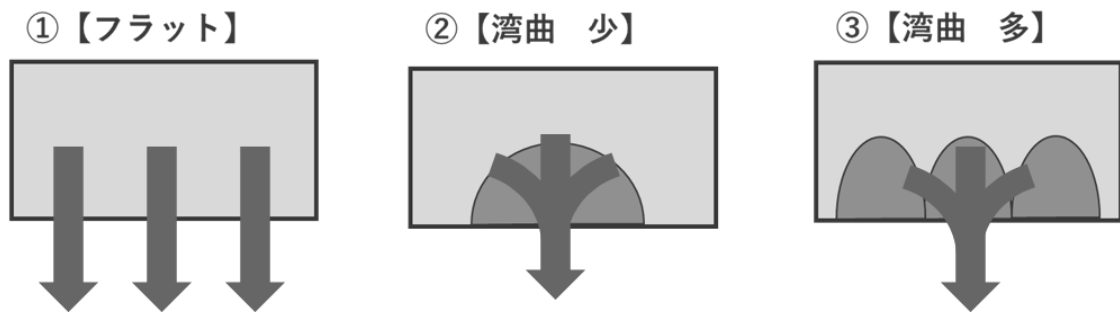


図7. 海岸モデルに着目した離岸流幅の違いをもたらす波の流れのモデル。

離岸流の到達距離は、最小19.1cmから最大52.9cmまで大きな差がみられた。特に、海岸モデルが湾曲少のときに到達距離が大きくなっている傾向がみられ、そのなかでも海底モデルが瀬・切れ目のときに最大となっていた(図4)。海岸モデルが湾曲少のときには、戻る波が1か所に集中し、さらに海底モデルの瀬切れ目では戻る波がそのままの勢いで通過したために、離岸流の到達距離が遠くまで到達するようになったと考えられる(図8)。一方で、海岸モデルが湾曲多のときには、戻る波が複雑に影響し乱流生じたために、離岸流が弱め合ってしまったのではないだろうか。離岸流の到達距離には、波の周期や海岸や海底の形状など複合的な要因が関係しているのではないだろうか。

離岸流の流速は、海岸モデルや海底モデルが異なっても大きな変化がみられないが、離岸流の到達距離と同様に、海岸モデルが湾曲少のときには、戻る波が1か所に集中し、さらに海底モデルの瀬切れ目では戻る波がそのままの勢いで通過したために、離岸流の流速が最大になったと考えられる(図8)。

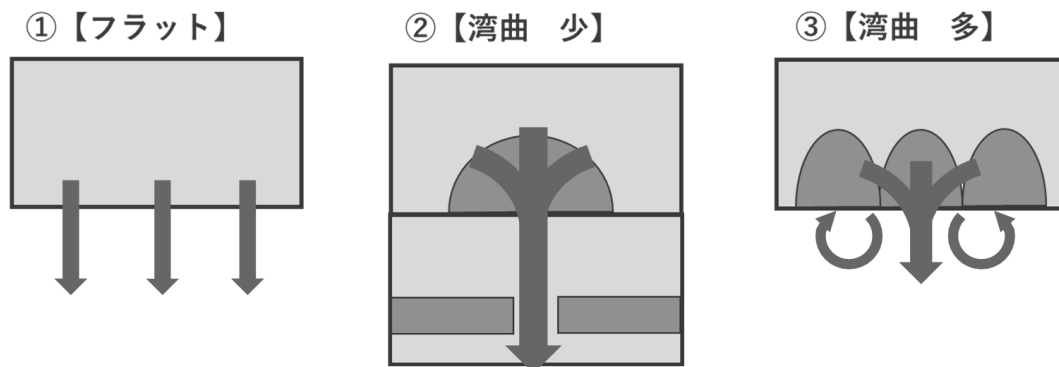


図8. 海岸モデルに着目した離岸流幅の違いをもたらす波の流れのモデル。

本研究より、水槽内に設置した海岸モデルと海底モデルが離岸流の発生確率に加えて幅、到達距離、平均流速に影響を受けることが明らかになり、遠州灘海岸においても海岸地形や海底構造が離岸流の発生や規模に影響を与えている可能性が示された。

水槽内で流速を計測する際、平均の速さだけでなく瞬間の速さにも着目することで、より複雑な離岸流の動態を解明する手掛かりになるのではないだろうか。また、水槽内で発生させる人工波の周期や波高から、離岸流の発生確率や大きさが影響を受けると推定されるため、今後検証実験を実施していく予定である。

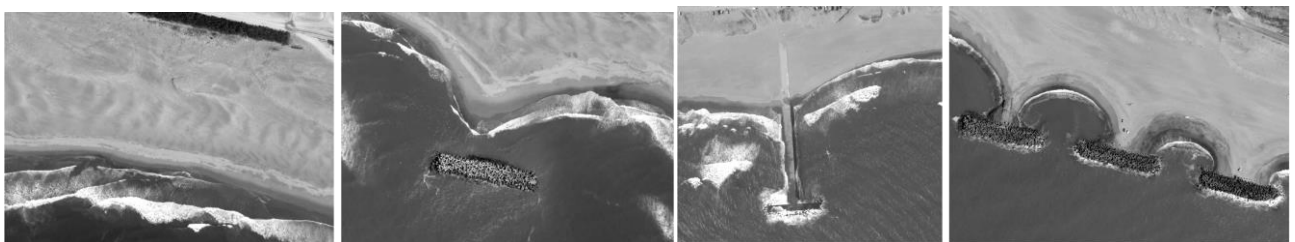


図9. 遠州灘海岸にみられる波消しブロックと消波堤。

遠州灘海岸は比較的単調な砂浜の海岸である。本研究では、海岸モデルが3種類と海底モデルが3種類の組み合わせ合計9種類であり、いくら単純な遠州灘のモデルだとしても単純化しすぎではないだろうか。単純な遠州灘海岸にも、波消しブロックやT字型の消波堤がみられ、波の動態は複雑になっている(図9)。今後、波消しブロックや消波堤の影響を考慮した実験を進めていきたい。

本研究をもとに、BS釣りビジョンという番組で、私たちの研究内容や離岸流の発生要因さらに離岸流の危険性について説明する時間をいただいた。BS釣りビジョンは、釣りを趣味とする人たちを対象とした有料テレビ局である。海難事故では、地元の方々だけでなく観光客が海難事故にあっているという事実がある。今後は、より広く一般の方に離岸流の危険性について啓蒙する活動を進めていきたい。

5. 引用文献

あなたの静岡新聞(2019)遠州灘で男性溺れたか、男性死亡

<https://www.at-s.com/news/article/shizuoka/934748.html>

静岡県警察本部地域部地域課 ‘令和3年中における水難事故の概況’ (2022-2)

<http://www.pref.shizuoka.jp/police/kurashi/documents/r3suinanjiko.pdf> (2023-1-5 確認)

静岡県警察本部地域部地域課 ‘令和4年夏期における水難事故の概況(令和4年7月~8月)’ (2022-

10)<http://www.pref.shizuoka.jp/police/kurashi/documents/r04kakisuinan.pdf> (2023-1-5 確認)

第9管区海上保安部海洋情報部 ‘離岸流(Rip Current)’ 海上保安庁.

<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/ripcurrent/ripcurrent.htm> (2023-1-5 確認)

第九管区海上保安本部海洋情報部 ‘離岸流リーフレット 一般用’ 海上保安庁.

https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN9/ripcurrent/rip_shiryo/H21kaiho.pdf (2023-1-7 確認)

第十一管区海上保安本部交通安全対策課 ‘令和3年における海難事故発生状況(速報値)~水上オートバイ及びSUP中・スノーケル中の事故が増加~’ 海上保安庁. (2022-1)

<https://www.kaiho.mlit.go.jp/11kanku/osirase/2021D/220126%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%93%E5%B9%B4%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B%E6%B5%B7%E9%9B%A3%E7%99%BA%E7%94%9F%E7%8A%B6%E6%B3%81.pdf>
(2023-1-6 確認)

鹿児島大学水産学部海洋環境工学研究室(西研究室) HP

http://coastalresearch.sakura.ne.jp/cat6/post_72.html

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(2004)宮崎県青島海岸での離岸流観測水難事故予防のために. 第51回海講論文集. 151-155.

6. 謝辞

本研究は、山崎自然科学振興会からの資金面での援助により研究を遂行できた。さらに、マリンチャレンジプログラムから、研究指導および資金面で援助いただいた。この場を借りて、謹んで感謝申し上げます。