

未来の海洋ナビゲーション:革新的離岸流予測システムの研究開発

沖縄工業高等専門学校 情報通信システム工学科 3年 吉井慈恩 仲宗根由弥 又吉竜輝 西川七音 長嶺真太郎

1. 解決しようとしている問題・課題

美しいビーチを求めて沖縄を訪れる観光客は年間一千万人である。近年は、遊泳中に水難事故を起こす観光客が急増し2022年は過去10年間で最多の106件となった。この中で離岸流が原因となる水難事故は全体の30%以上と言われている。これまでの離岸流の予測手法は、過去の経験や統計データをもとに行われ精度が不十分であった。予測の精度を高めるため本取り組みでは科学的データに基づく離岸流予測システムの実現を目指す。

2. この問題・課題を取り上げた背景

海と共に生活をしている沖縄ウミンチュでも、離岸流は大変恐ろしい。今年8月、同級生が離岸流による水難事故で死亡した。この事故は沖縄高専近くのビーチで発生し大変な衝撃を受けた。また、去年は過去最大の水難事故件数であったが、今年はそれを上回るペースで事故が発生している。TVや新聞では連日で離岸流の危険性が報道されている。このような状況から我々は即座に行動を起こすべきだと強い使命感に駆られた。離岸流を引き起こす原因は様々なものが考えられ、経験や統計だけに頼る予測は非常に困難である。科学的には、離岸流の発生は、海流、海水温、気圧などの環境データにおいて兆候が存在するはずである。そこで、各種センシングデバイスにより環境データの取得を行い、離岸流につながる特徴をAIで解析し、数分～数十分後に発生する離岸流を精度高く予測する世界で類を見ない離岸流予測システムの開発を行なった。

3. システムの概要

離岸流予測システムの全体概要を図1に示す。流水センサは、海面に浮かべ、流水の速度と向きや、海水の温度や、気圧を取得する。定点カメラは、ビーチに設置し海面の画像を取得する。AIサーバは、流水センサと定点カメラからのデータから離岸流を予測する。予測結果は利用者にスマートフォンで知らせる。

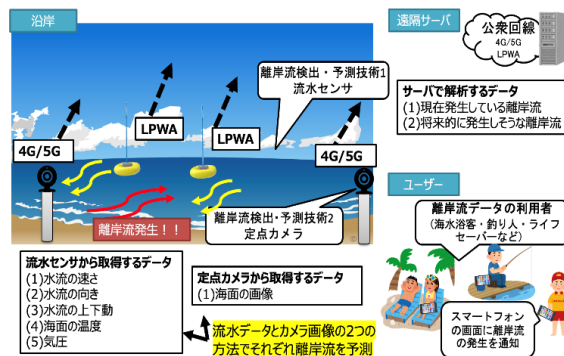


図1 離岸流予測システム

【流水センサ技術】

従来の電磁誘導式センサは数十万と高価であるため、簡易・低コストの流水センサを新規開発し特許出願を目指している。3Dプリンタで流水センサーの筐体を作成し、曲げセンサーや地磁気センサを組み込む。流水センサーはロープで固定したパイプつなぎ、流水によるロープへの張力を曲げセンサーで測定し流水の速度を得る。流水センサの向きを地磁気センサで測定し流水の向きを得る。

【海面画像解析技術】

従来法に時間的に移動する水面の反射光から川の流れる速度を検出する時空間画像方式がある。しかし、流れの方向が分かっていることが前提であり、あらゆる方向に流れる海に利用できない。上記方法を改良して新たな方式を提案する。

提案法は、複数の流れの方向の各候補を従来法に入力し、最も流れが速いと判定された候補を真の流れの方向と選出する選出型時空間画像方式と呼ぶ。

【無線通信技術】

流水センサと AI サーバ間の通信は、長期利用が可能である広域低電力通信 LPWA を用いる。定点カメラとサーバーの間の通信は、離岸流で発生する海面の細かい白波を観察するため 5K 動画伝送が可能となる高速低遅延通信 5G を用いる。

【流水マップ予測技術】

流水センサと海面画像解析で得られた流水の速度と向きを流水ベクトルと呼ぶ。流水センサと固定カメラの数は限られ、流水ベクトルは対象海域の一部分しか得られない。そこで、一部のベクトルから海域全体のベクトル（以下は流水マップ）を予測する。さらに、現在の流水マップから、数分～数十分後の流水マップを予測する。

4. これまでに得られた成果と課題

【流水センサ技術】

流水センサの機構と試作結果を図に示す。曲げセンサと地磁気センサをプラスチック板に仮組みした流水センサのプロトタイプを作成した。海に浮かべるため、円形の発泡スチロールの上部に曲げセンサと地磁気センサを装着し、水中の流れを捉えるため、発泡スチロールの下部に流水フィンを装着した。流水で流されると曲げセンサは流水の速度に応じて曲げ量が変わる。そこで、曲げセンサの電気抵抗値と流水の速度を単純な比例関係式で仮定し、流水の速度を求めた。プロトタイプの流水フィンにより流れと平行に移動させ、地磁気センサで流水の向きを求めた。



図 2 流水センサの機構と作成したプロトタイプ

海面での測定は十分な防水処理が必要であり、かつ自然環境が過酷なため、沖縄高専内のプールで屋外実験を実施した。実験の様子を図 3 左に示す。プール全体の流水マップを図 3 中に示す。実際の流水ベクトル（赤）と測定した流水ベクトル（青）の違いを図 3 右に示す。流速ベクトルの精度としては、流速はほぼ同じ値で予測できたが、流向に 10 度の差分が発生した。

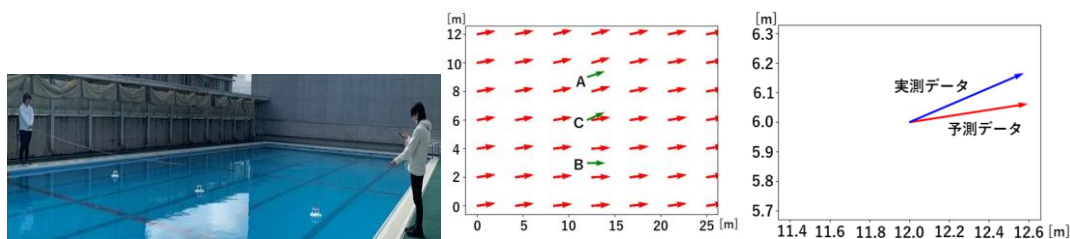


図 3 流水センサーを用いたプール実験の様子

流向が正解に測定できなかつた問題を解析するため、円形の発泡スチロールの代わりに、流線型の浮遊体の上に、曲げセンサーと地磁気センサを装備する変更をおこなった。水槽内につけたホースにより一方向から水を流し、流水ベクトルの方向を3秒ごとに20分間取得し、その期間の平均を算出した。従来の円形は、流水によるブレが大きく75度の誤差となったが、流線型は5度の誤差に留まった。従って、流水センサーの筐体としては流線型が相応しいと考える。今後は、流線型への変更、及び流水センサーの小型化・安定性・防水性の向上が課題である。

【海面画像解析技術】

定点カメラで取得した画像を用いて海の流れや川の流の検出を行う従来法がある。従来法1を図4左に示す。従来法1は白波をAIで検出して離岸流を検出する。この問題点として、通常の白波と離岸流に起因する白波の見分けが付きにくい、検出精度は低い。従来法2を図4右に示す。従来法2は、時間的に移動する水面の反射光を利用して川の流れる速さを検出する。この問題点として、流れの方向が1方向しか対応できず、あらゆる方向に流れが発生する海の流れに利用できない。



図4 左：画像検出 AIによる白波検出（従来法1） 右：時空間画像による流速予測（従来法2）

従来法の問題点を解決するため、従来法2を改良し、海の流れる速さと向きを予測できる方法を提案する。図5に提案法を示す。(1)で海流の流れる方向（走査線）を複数候補設置する。(2)で画像グレースケール化による走査線状の最大反射光ポイントを抽出する。(3)で時系列画像から反射光ポイントの移動速度（=海流の速度）を算出する。(4)で候補の中から最も海流の速度が速い候補を海流の方向とする。提案法は従来法2に対し、あらゆる方向に流れが発生する海の流れに利用できるように、複数の流れの方向の候補から、最も流れの速い候補を選出することが特徴である。従って、選出型時空間画像方式(SSTI :selective space time image)と呼ぶ。

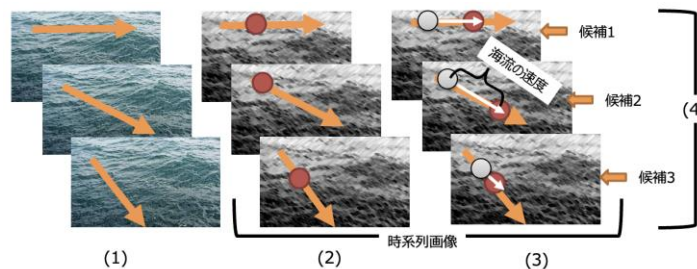


図5 提案する選出型時空間画像方式

選出型時空間画像方式を実験によって確かめた。ドローンで上空から海面の動画を取得し、動画をフレームごとに静止画に分割し、海面の白波を検出できるグレースケール画像に変換した。様々な流れの方向（走査線）を仮定し、各走査線に沿って取り出したグレースケール画像のセグメントを時系列的に並べた。結果を図6に示す。図6上の海水の向き（赤線）と走査線の向き（青線）の差分 η が大きくなると、図中の時空間画像の角度 θ が小さくなる。従って、角度 θ が最大となる時空間画像を選出することで実際の海水の向きが明らかとなることが分かった。角度 θ が最大となる時空間画像を選出するために2次元フーリエ変換を利用する。結果を図6下に示す。時空間画像を2次元フーリエ変換した結果、実際の海水の向きと一致する画像は白い輝度の線が明確に現れることが分かった。今後は、白い輝度の線の明確度合い

を定量的に判断する方式を開発していく。なお、目視で判断した場合は、実際の海の流れ方向と 75%の精度で一致することが明らかとなっており、提案方式の有効性を示すことができた。

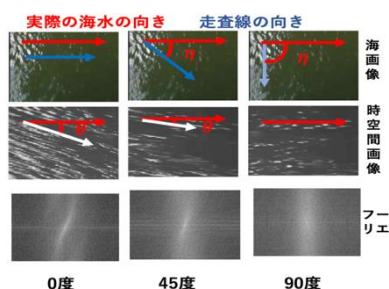


図 6 選出型時空間画像方式の実験結果

【無線通信技術】

WiFi のローカル通信で基本性能を確かめた。流水ベクトルを WiFi を通じて Web サーバに配信するプログラムを開発し流水ベクトルを 1 時間以上取得できた。WiFi の通信距離は数十 m、バッテリーでの利用時間は数時間であるが、離岸流の測定には十分でない。今後は WiFi を LPWA に置き換え長期間・広範囲での屋外実験を行う。

【流水マップ予測技術】

流水センサーを設置した場所以外の流水ベクトルを図 7 左に示す原理で予測する。すなわち、予測ポイント E の流水ベクトルは測定ポイント A,B,C に近いほど測定点と似通った流水ベクトルであると仮定し、ポイント E の流水ベクトルは予測式 $\vec{a} + \frac{\vec{b}}{b} + \frac{\vec{c}}{c} \propto E$ とした。図 7 右に示すように、シミュレーションで数百 m 四方の仮想平面に 5 つの流水センサー（図中の赤いベクトル）を設置した。5 つの観測点にランダムな流水ベクトルを発生させ、上記予測式を用い、仮想空間全体 256 地点の流水ベクトルを予測し流水マップを推定できた。

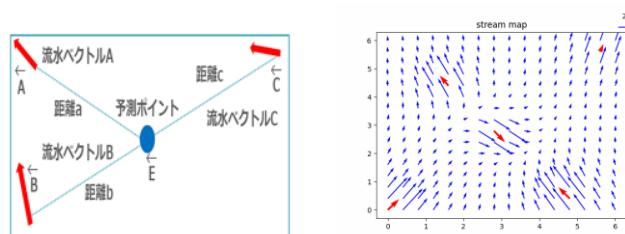


図 7 流水マップの作成結果

今後は、現在の流水マップから数十分後の流水マップを予測する AI を開発する。予測原理を図 8 に示す。作成した流水マップに対し、時間変化を予測する各種ニューラルネットワーク(RNN、CRNN、Transformer)を適用し、最大の精度が得られるニューラルネットワークを決定する。決定したニューラルネットワークのハイパーパラメータの調整することや、流水マップのデータ前処理方法のフィードバックを行うことで、予測精度を 90%まで向上させることが目標である。

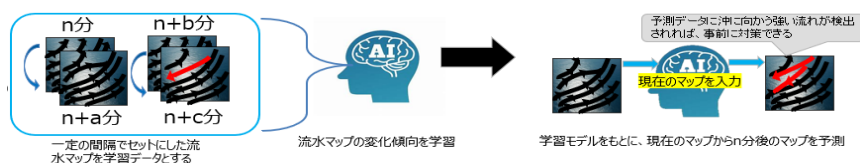


図 8 AI による流水マップの予測原理