

WAPS：水難事故被害抑止を目的とした水位による 河川の危険エリア侵入の検知と通知システムの検討

成尾 一征^{1,a)} 岩井 将行^{1,b)}

概要：近年、水難事故は発生件数・水難者・死者数などが横這いに推移しているが、依然として一定数は巻き込まれてしまう日常災害である。水難事故のような日常災害を含めた災害に対しての防災について、被害抑止と被害軽減という考え方が存在する。被害抑止は災害が起こる前に出来得る限り防ぐことを目指す考えであり、被害軽減は災害が起こった後の被害を少なくしようという考えである。水難事故に関しての警察庁の資料を確認すると、水難事故に一度巻き込まれてしまうと約半数が死亡事故に繋がるということがわかる。したがって、そもそも水難事故に巻き込まれないように被害抑止を目指すことが重要であることがわかる。水難事故に関しての関連研究もこの被害抑止と被害軽減の観点に分けることができるが、多くはバイタル情報などを用いて可能な限り早く、水難事故により陥る溺水状態を検知しようと試みる被害軽減についてである。被害抑止を目指す研究も存在するが、筆者の知る限りでは、これは海についてのものであり河川をターゲットにしたものは見受けられない。また、河川は海と違い成熟した監督者（ライフセーバー）などがない。特に本年度は新型コロナウイルスの影響で海水浴場が閉鎖され、密を避けて人目につかない河川での水遊びが実行された結果、水難事故に繋がってしまう事例が散見された。こういった場合、保護者に成熟した監督者になることが求められるが、一般に専門家以外が正確な危険察知するのは難しい。そこで我々は、河川環境での使用を想定とした水難事故被害抑止を目標とする危険水域侵入検知スマートデバイスと監督者に対してのその通知システムを提案する。このシステムを通じて専門家ではない監督者でも水難事故の被害抑止を可能にすることを目指す。

WAPS：Examination of Detection and Notification System for Intrusion into Dangerous Areas of Rivers Due to Water Level for the Purpose of Preventing Damage from Water Accidents

1. はじめに

近年、水難事故は発生件数・水難者・死者数などは横ばいに推移しているが、依然として一定数は巻き込まれてしまう日常災害である。このような水難事故などの日常災害を含めた、災害全般における防災活動について、被害抑止と被害軽減という考え方が存在している [1]。被害抑止は災害が起こる前に出来得る限り防ぐことを目指す考えであり、被害軽減は災害が起こった後の被害を少なくしようという考えである。ここで警察庁生活安全局生活安全企画課の令和元年における水難の概況を確認する [2]。令和元年度

において水難者は 1538 人、それに対して死者・行方不明者は 695 人である。このデータから、一度水難事故に巻き込まれてしまうと約半数が死亡事故に繋がってしまうということがわかる。また、これは過去の年度でも同じ傾向が見られる。したがって、水難事故に巻き込まれないように被害抑止を目指すことが重要であることがわかる。水難事故に関しての関連研究も、この被害抑止と被害軽減の観点に分けることができる。しかし、多くは可能な限り早く、水難事故により陥る溺水状態を検知しようと試みる被害軽減についてである。被害抑止を目指す研究も存在するが、これは海についてのものであり、筆者の知る限りでは、河川をターゲットにしたものは見受けられない。また、令和 2 年夏期において、河川での水難事故での死者・行方不明者が前年度に比べて 20 人増加した [3]。これは新型コロナウ

¹ 東京電機大学
Tokyo Denki University

a) narusei@cps.im.dendai.ac.jp

b) iwai@cps.im.dendai.ac.jp

イルスの影響で不開設となった海水浴場が多くなり、河川での水遊びが増加したことが理由の1つであると考えられる。一般的に海水浴場にはライフセーバーなどの成熟した監視者が存在しているが、河川には存在しない。こういった場合、河川で水遊びなどを行う場合は保護者には成熟した監視者になることが求められるが、専門家以外が正確な危険察知をするのは困難である。

そこで、本論文では河川における水難事故被害抑止を目的としたシステムである Water Accident Prevention System, 通称 WAPS を提案する。WAPS は危険エリアへの侵入を検知するスマートデバイスとその通知を受け取る Web アプリケーションで構成される。水難の概況に関しての資料によると、水難の防止対策について危険箇所の把握することが挙げられている。ここでの危険箇所とは、藻が繁茂している場所・水温の変化、水流の激しい場所・深みのある場所等が挙げられている。本システムでは深みのある場所という点を取り上げて、水位レベルの変化を監視しこれを通知する。通知を受け取るのは Web アプリケーションであり特別なインストールなどを不要とし、すぐに活用することができる。このシステムを通じて専門家ではない監督者でも水難事故の被害抑止に向けての行動を起こすことを可能にすることを目指す。

2. 関連研究

前章で述べた通り、水難事故に関する関連研究は被害抑止と被害軽減の観点に分けることができる。

2.1 被害軽減を目指す関連研究

初めに、被害軽減を目指す関連研究について確認する。流されてしまった水難者の位置情報を特定し、これを迅速な救助に活かす研究が存在する。株式会社ハムステッド、ホシデン株式会社、京セラコミュニケーションシステム株式会社らは IoT ネットワーク「Sigfox」を活用した、レジャー用船舶とその乗船者を見守るための通信システムを構築・提供を行った [4]。Jie Wen らは難破事故にあった遭難者の位置情報とバイタル情報を、10 海里以内の船舶に向けて送信するシステムを開発した [5]。

また、水難事故により陥る溺水状態を検知する研究が存在する。検知手法は様々である。水難者のバイタル情報を測定し検知するものがある。Muhammad Ramdhan MS らは心拍情報測定ヘッドバンドを用いた早期の溺水状態検知を目指すシステム開発を行った [6]。溺水時に見ることができる特徴的な行動に着目し、これにより変化するデータを機械学習やカメラ映像の画像解析で検知するものがある。Mohamed Kharrat らは圧力センサの値を用いた機械学習で溺水状態を検知する研究を行った [7]。How-Lung Eng らはプール環境でのライブ監視システムの情報を機械学習を用いて溺水者を検知するシステムを開発した [8]。

水難者の周辺環境の変化に着目して検知するものがある。S. Sivakami らは大気中と水中の酸素含有量の差に着目して、酸素含有量が少ないエリアに一定時間留まっていた場合に溺水状態と判定するシステムの提案を行った [9]。水中内に無線モジュールが存在しているときは通信ができないという電波の非応答性に着目したものがある。Farzan Dehbashi らは RFID タグを用いて水中内の非応答性に着目し溺水状態を検知するシステム開発を行った [10]。平野 らは水泳キャップに無線モジュールを取り付け、これの非応答性に着目し溺水状態を検知するシステム開発を行った [11]。状態を検知した後に迅速に救助をする為に、エアバックなどの救命道具を展開し浮上させるシステムを提案している研究も存在する。Mohamed Kharrat らはスマートフォンの圧力センサと加速度センサを用いて、溺水状態を検知した後に腰部分に設置された浮上用のエアバックを展開するシステムを開発した [12]。J. Geetha Ramani らは加速度センサを用いて溺水状態を検知した後に、手首部分に設置されたエアバックを展開するシステムの提案を行った [13]。

これらの研究のトリガーは既に水難事故に巻き込まれた後に存在しており、被害軽減を目指す研究であると言える。

2.2 被害抑止を目指す関連研究

次に被害抑止を目指す関連研究について確認する。水難事故につながる恐れのある現象を検知し事前に検知する研究が存在する。コニカミノルタジャパン株式会社らはカメラ映像を使用した機械学習を用いることで、海環境における水難事故の大きな原因となっている離岸流を検知し、これをライフセーバーに通知するシステムを開発した [14]。入水時のユーザ状態を通知する研究として D. Samarasinghe らは洪水の発生を機械学習で事前に予測する研究の中で、水深とバイタル情報を測定しユーザの現在の状態を推定するシステムの検討が行われていた [15]。このシステムは水難事故が起こる前のユーザ状態を知ることができる点で、本論文のコンセプトと似ている。しかし、論文内では主な議論の対象ではなく検討の余地が存在する。本実装内容については第4章 1.1 節で詳しく触れる。

これらの研究のトリガーは水難事故が起こる前に存在しており、被害抑止を目指す研究であると言える。

2.3 関連研究のまとめ

被害軽減を目指す研究は多数見られるものの、河川環境における水難事故の被害抑止を主な目的としたシステムは未だに研究されておらず、検討の余地が存在する。被害抑止を達成するためには危険状態への突入の兆候を検知する必要がある。これを踏まえた上で、ユーザ状態の推測やユーザを取り巻く環境のセンシングなどの視点から取り組むことが可能であると考えられる。

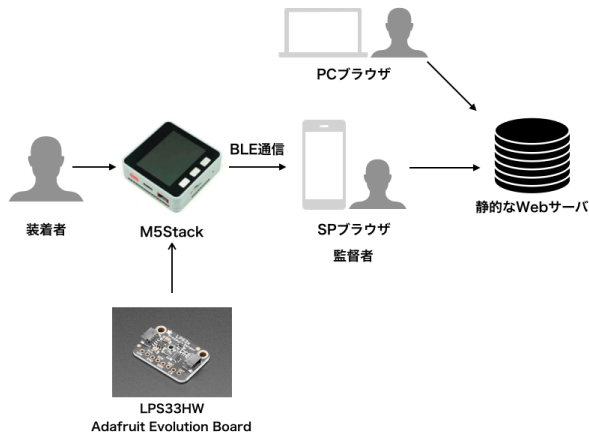


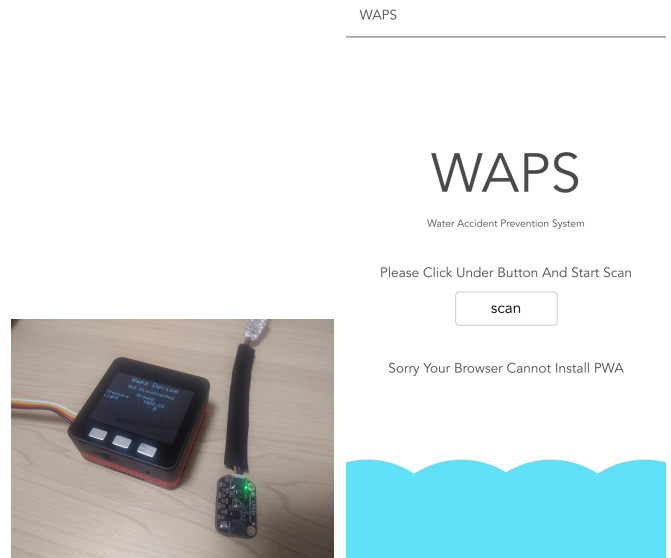
図 1: システム構成図

3. システム構成

WAPS のシステム構成図を図 1 に示す。WAPS はユーザが装着するスマートデバイスと、それと通信を行う Web アプリケーションで構成されている。初めに、スマートデバイスは M5Stack と Grove ケーブルで接続された気圧センサで構成されている。気圧センサには LPS33HW という防水気圧センサが搭載されている Adafruit 社の評価ボードを使用した。防水加工が施されているのはセンサ部分のみであるため、基盤部分はエポキシ樹脂でポッティング加工を行った。スマートデバイスを起動させると初期化処理が行われ、しばらくの後に通信の待ち受け状態となる。この通信は BLE 通信で接続される。次に、Web アプリケーションはユーザが使用するブラウザと静的なリソースを返す Web サーバから構成されている。ユーザは PC やスマートフォンのブラウザを用いて、WAPS のサイトにアクセスする。GET Request を受け取った Web サーバは、HTML や JavaScript などのリソースを返す。なお、WAPS は外環境での使用を想定されているため、ユーザーインターフェースは携帯性の高いスマートフォンに最適化された形を取っている。WAPS のサイトにアクセスした後、スマートデバイスと BLE 通信で接続を行うためにスキャンを行う。スキャンが成功すると、該当のスマートデバイスの名前と接続ボタンが提示される。この接続ボタンを押下するとスマートデバイスとの接続が完了し、スマートデバイスからの情報を Web アプリケーション上から確認することができる。スマートデバイスと Web アプリケーションの外観を図 2 に示す。

4. 実装

この章では本システムの具体的な実装内容についてスマートデバイス側と Web アプリケーション側から説明を行う。



(a) スマートデバイスの外観 (b) Web アプリケーションの外観

図 2: WAPS システム

4.1 スマートデバイスの実装

初めにスマートデバイス側の実装内容について説明する。以下の節に分けて説明を行う。

- 気圧センサを用いた水深測定処理の実装
- 測定した水深データを用いた到達予想時刻算出処理の実装

4.1.1 気圧センサを用いた水深測定処理の実装

本システムでは水圧を用いて水深を求める手法を使用する。水位を測定する手法は他にも存在する。ダムや河川の水位計測には、水面にフロート（浮き）を設置し、この浮力による上下を見ることで水位を検知する方法が用いられている [16] [17]。タンクなどの水位計測では、超音波方式の水位センサーが一般的に用いられている [18]。これらの手法は設置型であり、本システムでは携帯型を考えていたため採用を見送った。また、前述した関連研究内で音波を用いた水位計測についての提案があった [15]。音波を用いることで直線上の距離の測定をすることができる。音波は水中環境でも十二分に伝達されるため信頼性の高い測定を行うことができる。ここで音波センサを水底面に向けて、水面近くに一定の角度で固定して設置する。音波センサは水底面までの斜辺の距離を測定することができ、これと角度の情報を利用することで、三平方の定理から水深を導出できるというものであった。この提案はユーザが携帯することを想定していた。しかし、ユーザの動きは千差万別であり、絶対的な位置と角度を固定することは困難であると考えられ、検討の余地が存在する。対して水圧式は沈められたセンサ位置からの相対的な水深を示すため、ユーザの動きに左右されることはない。よって本システムでは水圧式を採用した。一方で、水圧式での懸念点が存在する。そ

れは水流や大気圧の影響を受けるという点である。この点に関しては検証実験で確認を行う。

水中内で測定できる圧力は水圧のみではなく、大気圧も加わっている。よってこの大気圧を排除する必要がある。本来なら、水中に露出した気圧センサの値から、大気中に露出した気圧センサの値を差し引くことが必要である。よってセンサを2つ使う必要があるが、本システムは携帯型を考えているため、出来る限り軽量化を目指したい。そこで水中侵入時までに測定された気圧データの20点平均を取り、この値を大気圧とみなし計上を行う手法を取った。この手法は本来の手法と比較すると、誤差が出ることが予想できる。この誤差が本システムの目的に対して実用性があるかについては、検証実験で確認を行う。

水圧から水深への変換は次式の物理式を使用する

$$p = \rho gh$$

ここで p は気圧 [Pa], ρ は密度 [kg/m³], g は重力加速度 [m/a²], h は高さ [m] を示す。一般的な水において ρ と g は既知であり、これを代入すると、

$$p = 9781h$$

となる。これは1mあたり9781Pa変化が生まれることを示している。1cmあたりで換算すると、97.81Paとなり0.9781hPaと示すことができる。これを利用して、算出した水圧を0.9781hPaで除算することでcm単位での水深を算出する。

また、0.9781hPa = 約1hPaの変化は陸上で換算すると約10m程の上下移動と同等である。本システムでは1秒毎に気圧を測定しており、もし1秒で1hPaの変化が生じた場合、陸上で生じた変化であると仮定したら、装着者が1秒で10mの上昇もしくは下降するという現象が起きていることになる。これは明らかに不自然な現象であるので、その気圧変化が生じた場合は水中に侵入したことが原因であると考える方が妥当である。よってこれを水中侵入時の判定としている。

4.1.2 測定した水深データを用いた到達予想時刻算出処理の実装

本システムでは水難事故の被害抑止という目的に対して、後述するユーザが設定した閾値に対しての到達予想時刻を提示する機能の実装を行った。算出する到達予想時刻は「到達予想時刻 [s] = (設定した閾値 [cm] - 現在の水深 [cm]) / 単位時間あたりの進行度 [cm/s]」で示される。これはユーザが設定した閾値に対しての接近具合を示す。急接近の傾向が見られる場合は、これは危険な状態であると判断できる。また時間の情報を提示することは装着者を制止する時間を把握することにつながり、被害抑止のための行動を起こすための猶予を与えることができると考えられる。

この到達予想時刻は最大60秒の表示ができる。上限を60秒にした理由は、一般的にライフガードは米国の民間ライフガーディング団体が提唱している30秒ルールというものを意識して救助活動を行なっている[19]。これは10秒間で異変に気づき、その後20秒で適切な救助行動を取るというものである。一方で利用ユーザはライフガードなどの成熟した監視者ではなく、短い制限時間の表示はパニックを引き起こす可能性がある。また30秒ルールは被害軽減の指標などに対し、本システムは被害抑止を目的としている。よってこの30秒ルールに対して2倍の60秒を上限と設定した。また、これ以上の秒数情報の表示は、まだ大丈夫だろうという不必要な安堵感をもたらしてしまう危険性があると考えられる。以上の理由で上限60秒の表示が妥当であると判断した。

4.2 Web アプリケーションの実装

次にWebアプリケーション側の実装内容について説明する。以下の節に分けて説明を行う。

- 危険水域判定のための閾値入力機能の実装
- スマートデバイスからの情報の表示機能の実装
- Push通知の実装

4.2.1 危険水域判定のための閾値入力機能の実装

前述した通り、本システムにはユーザが設定できる閾値を入力することを求める。この閾値は、腰の高さと膝の高さの2つであり、BLE通信のWriteを用いてスマートデバイス側に書き込みが行われる。これを用いて、本システムの到達予想時刻の算出や、閾値を超えた場合の警告機能などを実装した。図3にこれを示す。

4.2.2 スマートデバイスからの情報の表示機能の実装

前述したスマートデバイス側で算出された水深と到着予想時刻の情報を表示する機能を実装した。BLE通信のNotifyを用いてWebアプリケーション側に表示される。図3にこれを示す。

4.2.3 Push通知の実装

ユーザインターフェース上に情報を表示するのみであると、利用ユーザが気づくことができない場合が考えられる。そこで、Web Notification APIを利用したPush通知の実装を行った。本システムにおいての通知する基準は、(i) ユーザが設定した閾値を超える水深水域に達した際と(ii) 到達予想時刻が10秒単位を境に変化が起こった際である。(ii)について説明を行う。到達予想時刻が10秒単位を境に変化が起こったときは、例えば、現時点の到達可能時刻が35秒後であったときに、次の測定タイミングで25秒になった時のように、10の倍数の時刻を跨いだ瞬間のことである。毎秒の変化を常に通知することも考えたが、ユーザビリティの観点から、何度もPush通知が届くのは良いことではないため、このような制限をかけた。



図 3: 入力欄と情報の表示画面



図 4: 水深測定実験の環境



図 5: 実験風景

5. 検証実験

WAPS システムを評価するために、スマートデバイス側に実装された水深測定機能についての検証実験を行った。

5.1 実験目的

本システムの目的を達成するにあたって、

- 単一の気圧センサを用いた水深測定が可能か
- 動水内での水深測定が可能か
- 連続した測定が可能か

を確認した。

ここで本システムの想定シナリオは、河川環境下における水難事故の被害抑止という点を踏まえて、子供の水遊びなどを保護者が見守ることを可能にすることである。本システムの目的を達成するにあたっては、ユーザが設定する閾値は腰の高さや膝の高さが測定できるかどうかを確認する必要がある。また、河川環境での利用を考えているため、動水内での測定ができるかどうかを確認する必要がある。また、大気圧の変化は経過時間に対して変化していくため、本手法において影響を与えることが予想できる。そこで本手法を用いて連続した値を測定できるかどうかを確認する必要がある。

5.2 実験手法

前節での実験目的を確認するために、以下の3つの実験を実施した。

水深測定実験

単一の気圧センサによる水深測定が可能かを確認するために水深測定実験を行った。実験環境を図4に示す。プラスチック製のバケツを容器として実験を行った。ポリバケツは高さが最大25cmで、20cmまで計測できるように

注水した。水は常温の水道水を使用した。測定方法は5cm刻みで20点取得した後に次の水位で測定することを繰り返した。

動水環境での測定実験

動水内での水深測定が可能であることを確認するために動水環境での測定実験を行った。今回は東京都足立区の荒川河川敷で実験を行った。実験風景を図5に示す。

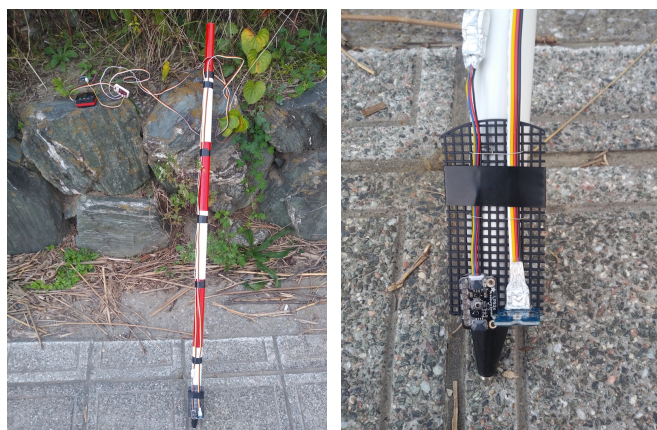
測定装置は両環境でも同一のものを使用した。その測定装置を図6に示す。1マス20cmの模様がついている棒にビニールテープでセンシング部分を固定した。測定方法は約10cm刻みで10点前後取得した後に次の水深レベルを測定する事を繰り返した。

長時間の測定実験

連続した測定が可能であることを確認するために長時間の測定実験を行った。実験環境は水深測定実験をした際と同じものであるが、センサの位置を固定した点のみ異なる。その時の様子を図7に示す。一般的にプールなどのウォータレジャーでは、体温の低下を防ぐために、1時間につき15分ほどの休憩時間を取ることが多い。そこで本研究でも測定時間を1時間とした。センサの位置は水深10cm地点で固定した。

5.3 実験結果

水深測定の実験結果を図8に示す。各水位に対して約



(a) 実験装置の外観 (b) 実験装置のセンシング部分

図 6: 実験装置

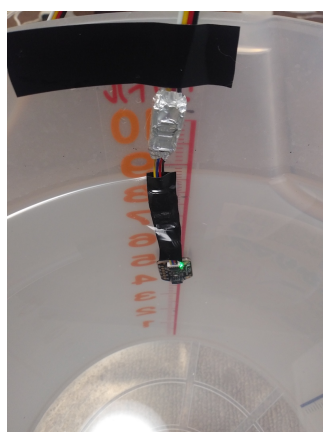


図 7: 長時間の測定実験の実験風景

1cm 前後の誤差での測定ができていることがわかる。5cm 毎に見られる上昇は次の水位に移動する際に測定されたものである。荒川河川敷での実験結果を図 9 に示す。各水位に対して約 2cm 前後の誤差での測定ができた。水深測定の際の実験結果と比較して誤差が大きくなっていることがわかる。長時間測定の実験結果を図 10 に示す。時刻変化に対して大気圧が変化しているため、測定した水深が変化していることがわかる。本実験で生じた水深の誤差は 1cm 程度であった。

6. システム動作確認

WAPS システムが想定通りの動作をするか、確かめるための実験を行った。実験に用いた道具は、5 章の第 2 節の第 1 項の水深測定の実験と同等である。このときの閾値は腰の高さを 20cm、膝の高さを 10cm と設定して行った。水を入れた状態のバケツに対して 1 秒あたり 1cm 程度を目安で水中に沈めた。通知が送られてきた画面を図 11 に示す。図 11 の (a) は閾値を超えた際の通知であり、(b) は到達予想時刻の通知である。設定した閾値を超えた際と、到達予想時刻が 10 秒単位を境に変化が起こった際に通知

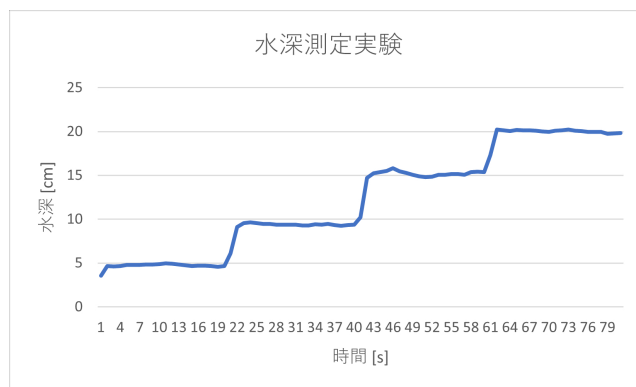


図 8: 水深測定の実験結果

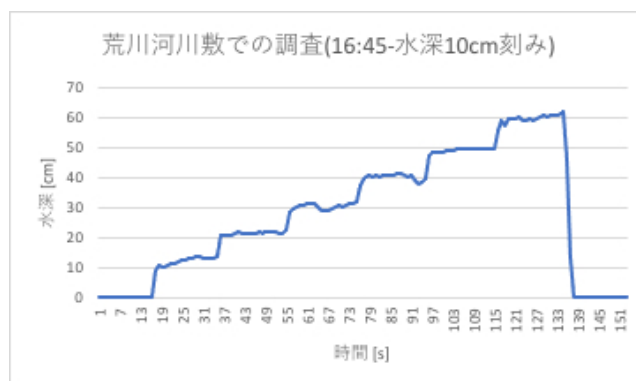


図 9: 動水環境での実験結果

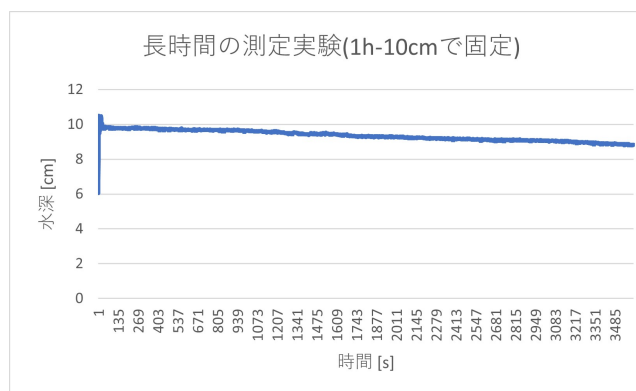
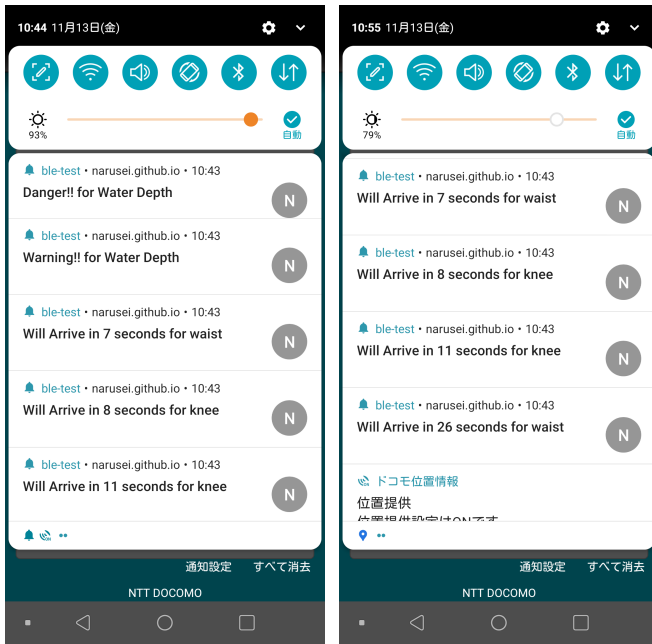


図 10: 長時間測定の実験結果

が送られている。実験によって得られた水深の推移を示したグラフを図 12 に、各到達予想時刻の推移に 10 秒単位の境を示す線分を追記したグラフを図 13 と図 14 に示す。図 12 からリニアに水深が測定できていることがわかる。図 13 と図 14 から閾値に対して到達予想時刻の減少傾向が見られ、到達後は変化がなくなっていることがわかる。

7. 考察

以下で実験結果に対する考察を述べる。



(a) 閾値を超えた際の通知

(b) 到達予想時刻の通知

図 11: 通知

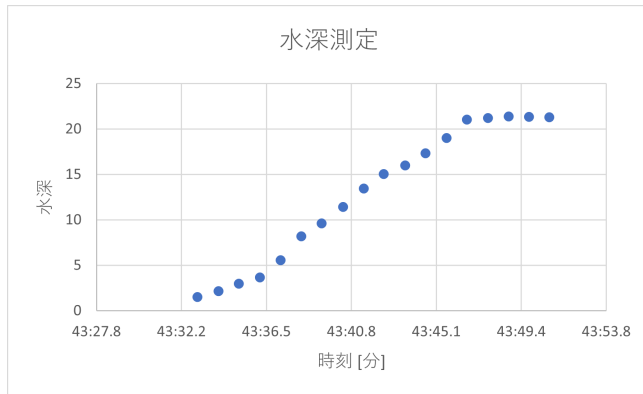


図 12: 水深測定結果

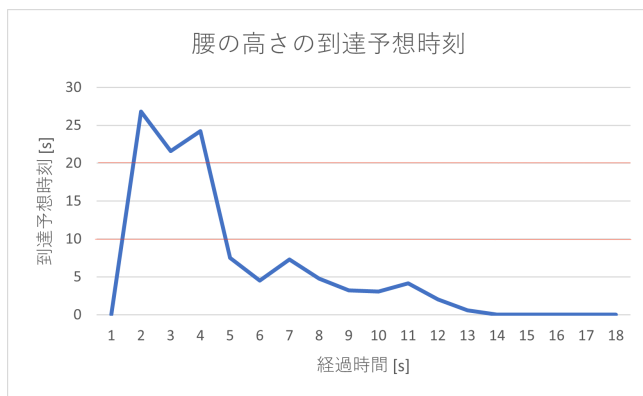


図 13: 腰の高さへの到達予想時刻

7.1 水深測定機能の検証実験について

水深測定の実験結果より単一の気圧センサを用いた水深

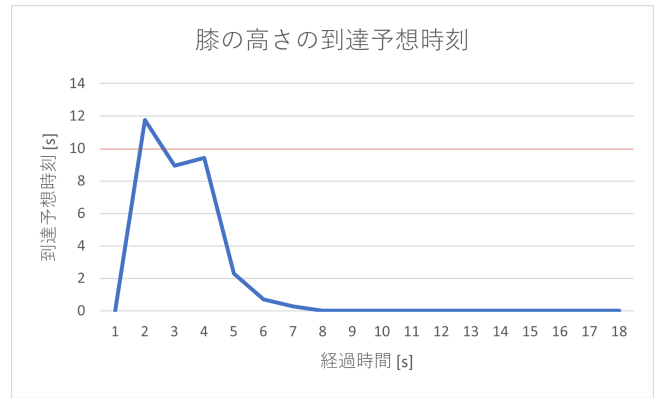


図 14: 膝の高さでの到達予想時刻

測定が可能であることを確認できた。図 8 より、実測値に対して約 1cm 前後の誤差での測定が可能であり、これは本システムの目的を達成するには十分であると考えられる。

荒川河川敷での測定実験により動水環境下において水深測定が可能であることを確認できた。図 9 より、実測値に対して約 2cm 前後での測定が可能であった。水深測定の実験の時と比較して誤差は大きくなっているが、これは水流の影響を受けて値が変動してしまったことが原因であると考えられる。したがって、上流方向にセンシング部分が向いていた場合などでは、水流の影響を直に受けることになり、より大きな誤差が出てしまう可能性がある。そこで、水面に対して水平になるように固定したり、専用のケースなどを被せることで水流の影響を抑えるなどの対応が必要であると考えられる。また、より水流が強い河川水域での実験も必要であると考えられる。

長時間の測定実験により連続した測定が可能であることを確認できた。図 10 より、長時間の測定実験では約 1cm 程度の下降が見られた。これは、水中進入時に測定した大気圧で設定されたシステムの固定値に対して、1 時間後の実際の大気圧の値が減少していることが原因であると考えられる。

今回の実験では、単一気圧センサでの水深測定が可能であることを確認した。また、水圧式の懸念点である水流と大気圧の影響に対して、動水内での水深測定が可能であるかと、連続した測定が可能であることを確認し、これを示した。

7.2 Web アプリケーションの動作について

図 11 の通知と通知されている内容と数値を、図 12 と比較する。水深測定において、図 12 からニアに水深が変化している様子がわかり、図 11 の通知と比較することで想定シナリオの通り適切に通知されていることがわかる。腰の高さの閾値での到達予想時刻について、図 13 から経過時間 2 秒のときと、経過時間 5 秒のときに 10 秒単位を境に到達予想時刻が変化していることがわかる。また

このときの到達予想時刻は 26 秒と 7 秒であり、図 11(b) と比較することで想定シナリオの通り適正に通知されていることがわかる。膝の高さの閾値での到達予想時刻について、図 14 から経過時間 2 秒のときと、経過時間 3 秒のときに 10 秒単位を境に到達予想時刻が変化していることがわかる。またこのときの到達予想時刻は 11 秒と 8 秒であり、図 11(b) と比較することで想定シナリオの通り適正に通知されていることがわかる。

8. まとめ

本論文では水難事故の被害抑止を目的とする、WAPS システムの開発を行った。水深測定機能を持つスマートデバイスの開発を行い、その機能の実用性を確認するために、実際の河川環境での測定実験や長時間の測定実験などを行い、本システムの目的を達するために十分な測定が可能であるという結果を得た。また、測定結果の可視化や通知を行う Web アプリケーションの開発も行い、実験により想定通り動作することを確認した。以上の機能により、水難事故の被害抑止への活躍が期待できる。今後は、実際の環境下においても、より高い精度での計測を目指すと共に、誤検知となる要素の分離に取り組む。今回のシステムでは河川の危険エリアとして水位に着目したが、実際の河川では水流の早い流域も危険水域に含まれる。そこで次の展望として、水流の早い水域の検知に取り組もうと考えている。水位と水流の両者の検知に対応することで、被害抑止を目的とするシステムを目指す。

参考文献

- [1] 内閣府（防災担当）：防災に関する標準テキスト第 1 章 1.2.3 節 (online), 入手先 (http://www.bousai.go.jp/taisaku/jinzai/pdf/hyojyun_text_zentai.pdf) (2007.03).
- [2] 警察庁生活安全局生活安全企画課：令和元年における水難の概況 (online), 入手先 (https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/chiiki/R01suinan_gaikyou.pdf) (2020.06.18).
- [3] 警察庁生活安全局生活安全企画課：令和 2 年夏期における水難の概況 (online), 入手先 (https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/chiiki/R2_kaki_suinan.pdf) (2020.09.10).
- [4] 株式会社ハムステッド、ホシデン株式会社、京セラコミュニケーションシステム株式会社：IoT ネットワーク「Sigfox」を活用した、レジャー用船舶とその乗船者を見守るための通信システムの構築・提供 (online), 入手先 (<https://www.kccs.co.jp/news/release/2020/0123/>)
- [5] Wen, Jie and Zhou, Dan and Feng, Haoran and Wang, Yongcai and Geng, Xiongfei and Ma, Hengzhe and Yang, Zongwei.: *LifeTag: Vital Sign Detection for Drowning People in Sea Accidents by Wearable Device*, 入手先 (<https://doi.org/10.1145/3375998.3376043>) Association for Computing Machinery (2019).
- [6] MS, Muhammad Ramdhan and Ali, Muhammad and Ali, Samura and Kamaludin, MY and others.: *An Early Drowning Detection System for Internet of Things (IoT) Applications.*, Telkommika vol.16 pp.4,(2018).
- [7] Kharrat, Mohamed and Wakuda, Yuki and Koshizuka, Noboru and Sakamura, Ken.: *Near Drowning Pattern Detection Using Neural Network and Pressure Information Measured at Swimmer's Head Level*, 入手先 (<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2398936.2398994>) Association for Computing Machinery (2012).
- [8] Eng, H. L., Toh, K. A., Yau, W. Y., and Wang, J.: *DEWS: A live visual surveillance system for early drowning detection at pool*, 入手先 (<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4399966>) IEEE transactions on circuits and systems for video technology 18.2 (2008).
- [9] Sivakami, S., K. Janani, and R. Ranjana.: *Drowning prevention system-at sea level*, 入手先 (<https://ieeexplore.ieee.org/document/7972308>) 2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCCT).
- [10] Dehbashi, Farzan and Ahmed, Nauman and Mehra, Manav and Wang, Ju and Abari, Omid.: *SwimTrack: Drowning Detection Using RFID*, 入手先 (<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3342280.3342345>) Association for Computing Machinery(2019).
- [11] 平野 誠大, 大西 康介 & 芹川 聖一：複数の無線モジュールを用いた誤検出の少ない溺れ検出システムの提案, 入手先 (https://www.jstage.jst.go.jp/article/prociae/2016/0/2016_18/_pdf) Proceedings of IIAE Annual Conference (2016).
- [12] Kharrat, M., Wakuda, Y., Koshizuka, N., and Sakamura, K.: *Automatic waist airbag drowning prevention system based on underwater time-lapse and motion information measured by smartphone's pressure sensor and accelerometer.*, 入手先 (<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6486891>) IEEE International Conference on Consumer Electronics (2013).
- [13] Ramani, J. G., Gayathri, J., Aswanth, R., and Gunasekaran, M.: *Automatic prevention of drowning by inflatable wrist band system.*, 入手先 (<https://ieeexplore.ieee.org/document/8728368>) International Conference on Advanced Computing & Communication Systems(2019).
- [14] コニカミノルタジャパン株式会社：離岸流入入検知による水難事故防止と安心・安全な海洋レジャーの町の実現【防災】入手先 (<https://www.soumu.go.jp/midika-iot/project/pdf/627-02.pdf>)
- [15] Samarasinghe, D., De Silva, P. M., Mudalige, T. U., Gamage, M. K. L., and Abeygunawardhana, P. K. W.: *Drown Prevention and Flood prediction using smart embedded devices.*, 入手先 (<https://ieeexplore.ieee.org/document/8728368>) International Conference on Advancements in Computing(2019).
- [16] 鈴木洋之, 落合厚, 須賀正志, & 溝口敦子.: 小規模ダム貯水池で洪水時に生じる流量推定精度の劣化. 土木学会論文集 B, 65(2), 81-86. 2009.
- [17] 坂西研二, 芝野和夫, & 大嶋秀雄.: 農村地域小河川における水質モニタリングに関する調査事例. 土壌の物理性. 土壌物理学, 49-54. 1998.
- [18] L. Chen, X. Dong, J. Han, and P. Ye.: *Development of a ultrasonic instrument for the sealed container's liquid level measurement*, Intelligent Control and Automation, 2006. WCICA 2006. The Sixth World Congress on, vol.1IEEE, pp.4972-4976 2006.
- [19] 日本ライフセービング協会：プールで事故を起こさないために, 入手先 (<https://jla-lifesaving.or.jp/watersafety/pool/>)