

令和元年6月16日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03147

研究課題名(和文) 津波被災時の救命胴衣の有効性の検討と迅速な救助に資する予測システムの開発

研究課題名(英文) Study on effectiveness of personal flotation devices and development of rescue system for tsunami disaster

研究代表者

井上 徹教 (Tetsunori, Inoue)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・グループ長

研究者番号：70311850

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：津波被災時のライフジャケット着用の有効性を検討するため、大型の実験水路を用いた実験を行った。その結果、ライフジャケットの着用により水面に浮かぶことができ、溺死リスクを減少させることが示された。また、代替としてペットボトルなどの使用可能性も示された。さらに、被災直後の人命救助の迅速化・効率化を目的とした、市販のGPS測位装置と携帯電話の通信装置を用いた電波発振器を組み合わせた位置発信システム、およびリアルタイム漂流者予測システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2011年の東日本大震災をはじめとして、これまで津波による溺死で多くの人命が失われてきた。これに対して、救命胴衣着用の有効性を明らかにし、ペットボトルなど代替品の利用に関する検討も行った。また、救命胴衣により溺死を免れた場合、水中では低体温症によるリスクがあるため、被災直後の人命救助の迅速化・効率化を目的とした、漂流者の検知システムや漂流予測システムを構築した。これらの組み合わせにより、津波被災者の溺死リスクを減少させ、迅速な救出が可能となる。

研究成果の概要(英文)：In order to study the effectiveness of lifejacket wearing at the time of tsunami disaster, we conducted experiments using a large experimental flume. As a result, it has been shown that the person with lifejacket can be floated on the water surface, reducing the risk of drowning. In addition, the possibility of using plastic bottles was shown as an alternative. Furthermore, we developed a position indication system that combines a commercially available GPS positioning device and a mobile phone communication device, and a real-time drifter prediction system, for the purpose of speeding up and streamlining life saving immediately after the disaster.

研究分野：環境水理学

キーワード：津波 救命胴衣 大規模波動水路 予測システム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまで世界各地で津波により多くの人命が失われてきた。2011年の東日本大震災での死者は15000人を超える方たちが亡くなったが、死因の約92.4%は津波による溺死とされている。津波に対して生存するためには、地震直後の速やかな避難が最も重要だが、万一間に合わない場合の次善の策として救命胴衣(ライフジャケット)着用の有効性が着目され始めている。そこで、現在市販されている救命胴衣の津波に対する有効性を確認するとともに、漂流者を早急に救助するための津波被災直後の漂流リアルタイム予測シミュレーションの必要性が指摘された。

2. 研究の目的

本研究では、第一に津波に巻き込まれた際の溺死リスクを軽減するため、救命胴衣(ライフジャケット)着用の有効性について検討する。また、津波に襲われたときに、品質保証された津波用のライフジャケットが常に身の回りには限らない。そこで代替品としてペットボトルを選定し、どの程度の浮力が必要かを検証する。第二に漂流者の早期発見を目的とし、市販のGPS測位装置と携帯電話の通信装置を用いた電波発振器を組み合わせた位置発信システムを開発し、漂流者の位置検出がリアルタイムで行えることを検証した。また、漂流予測モデルを構築し、リアルタイム漂流者予測システムを開発した。

3. 研究の方法

(1) 救命胴衣に関する実験は、港湾空港技術研究所の大規模波動地盤総合水路にて行った。この大型水槽は長さ184m、幅3.5m、深さ12mであり、最上流に造波機を備えている。水槽の長軸側の1側面にはアクリル製の窓が並んでおり、津波が押し寄せる様子を観察することができる。人体を模擬するダミーは株式会社アヴィス製のAdult manikin model number 1328 水難救助訓練用の成人模型を用いた(図1)。材質は高耐久性プラスチックで関節部分に金属が使用されている。身長163.3cm、空中重量は18kg(ダミーの頭部・胴体・四肢が水で満たされた場合の空中重量は約48kg)であり、空中重量と水中重量の差から求めた全身の比重は1.05であった。ダミーの頭部に高輝度のLED電気浮きを取り付け、映像からダミーの頭の位置を解析するときの目印とした。本実験では水槽のなかほどに1.1×0.9×1.0mのコンクリートブロックを並べ、そのコンクリートブロック上面が水深30cmとなるように水槽の水位を調整した。その上にダミーを造波機にむかって右手が頭、左手が足となるように横たえ、0.5mの孤立波を人形にあてた。これは津波で流された成人が、流されながら上下の渦が生じるような箇所(底に1.0mの落差がある地点)に差しかったときの挙動のシミュレーションである。

カメラはJVC-Kenwood社製のGZ-V590を2台準備し、同期させて使用した。水面の上部(約6m)に1台、水槽のアクリル窓の前に1台設置し、実験の動画撮影を行った。各実験のビデオ映像から、ダミーに津波がおしよせて渦に巻き込まれ、観測窓を通過してしまうまでの部分を選び、そこから毎秒6フレームのレートで静止画を抽出した。静止画の中のダミーの頭(LED電気浮き)とその直上の水面の世界座標を透視投影法を取り入れた手法で算出し、ダミーの動きを再現した。

(2) 漂流者の早期発見を目的としたGPS位置発信装置は、市販のGPS受信機(AE-GPS, 秋月電子)とデータ送受信ユニット(NETDWARF obsidian, センシグナル)からなり、CR123A型リチウムイオン一次電池3本での稼働が可能である(図3)。装置は防水容器に組み込まれ、携帯電話の電波(2.4GHz帯)を送受信するアンテナが外部に出ている。この装置は電源投入から電池が消耗するまでの間、緯度経度情報を連続的に取得し、携帯電話回線を介してインターネット上のスプレッドシート(Google DriveおよびGoogle Spreadsheetを使用)にデータを転送する仕組みである。本研究では、東京湾から伊豆大島沖合にかけての関東近辺で津波が発生したという過程に基づき、この海域における携帯電波の送受信状況の把握、および得られたデータがリアルタイムで得られるかの確認を行った。データ取得試験は、海洋研究開発機構の「よこすか」YK19-03航海の航行中および投錨中において、この装置を船尾に取り付けた状態で連続的に行った。インターネット上にリアルタイム記録されるデータの確認は、別の携帯電話からのアクセスによって行った。



図1 実験に使用したダミー

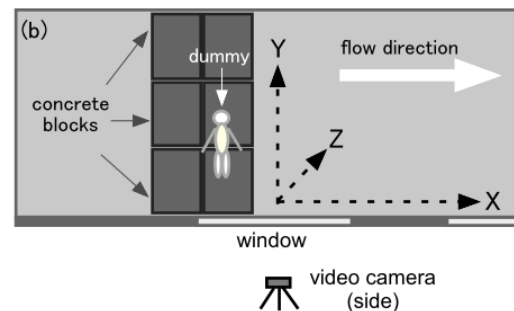


図2 実験水槽内での配置

また、リアルタイム漂流者予測システムを開発では、引き波とともに沖合へ漂流した漂流者の位置を迅速に予測することが必須である。本研究では、港湾空港技術研究所が開発しているリアルタイム津波予測技術（高川ら、2012）と、船舶等から海上に流出した油の漂流予測を行うための数値モデル（松崎・藤田、2014）を改良した漂流者予測モデルを連成することにより、被災直後の人命救助の迅速化・効率化を目的としたリアルタイム漂流者予測システムを開発した。

リアルタイム津波予測技術は、津波発生後に観測される地震や津波の波形情報を元に、津波の波源域・高さを推定し、その波源に基づいた津波の伝播・浸水計算を実施することで津波による浸水域、高さ、流れ場を推定する手法である。Graphics Processing Unit (GPU) を活用することにより、波源の推定や伝播・浸水計算を高速に実施することができる。津波波形が観測されてから浸水計算を終了するまでに要する時間は2分程度である（富田ら、2014）。リアルタイム津波予測システムを駆動することで得られる津波高さと流速の時空間データを集約し、集約したデータを漂流物予測システムに渡すことで、漂流物予測システムは漂流者の漂流計算を実施する。なお、リアルタイム津波予測システムと漂流予測システムを逐次同期することでデータの受け渡しをすることも可能ではあるが、データ転送に要する時間によりシステム全体の計算速度が遅くなること、津波と人体の相互干渉は小さいことから、上記手法によりシステムを構築した。



図3 GPS位置発信装置と船尾に取り付けた様子。アンテナを除いた容器のサイズは260x90mmだが、電子回路の基板サイズは約70x45mmである。

4. 研究成果

(1) ライフジャケット未装着の場合、ダミーはブロック背後の渦流に巻き込まれ水底に沈み、水中に沈んだままであった。一方、ライフジャケット装着の場合、ダミーの胴体部は水中に沈んでいるものの渦流に巻き込まれることはなく、頭部は水面付近に位置した(図4)。これらの結果から、限定的ではあるが、津波被災時のライフジャケット着用の効果が確認された。

また、ペットボトルは約0.5Lの飲料用容器を3本と2Lの飲料用容器を2本の組み合わせにより7種類の異なる浮力(0.5, 1.1, 1.6, 2.1, 3.1, 3.7, 4.1 kg)で実験を行った結果、4.1 kg浮力のペットボトルを装着したダミーだけが、0.5 mの津波が引き起こす渦に巻き込まれず、水面近くを漂いながら渦部の上を流れ去った。このことから、浮力4.1 kgのペットボトルはライフジャケットが手元にない場合の代替品として使用できる可能性が示された。津波の渦に巻き込まれた時の巻き込まれ方を評価するために、頭の水深の時間変化のプロットの傾きをそれぞれ求めて図示した(図5)。浮力4.1 kgの2回の実験以外では、2から7秒にかけて、津波の渦に巻き込まれて沈み込み、再び浮き上がった。頭沈み込み時に頭の水深が0.2 mを通過して最深部に達する部分と、最深部から水深0.5 mを通過するまでの部分は、ほぼ直線的な深度変化をしていた。そこで、直線近似できる部分をそれぞれ最小二乗法で一

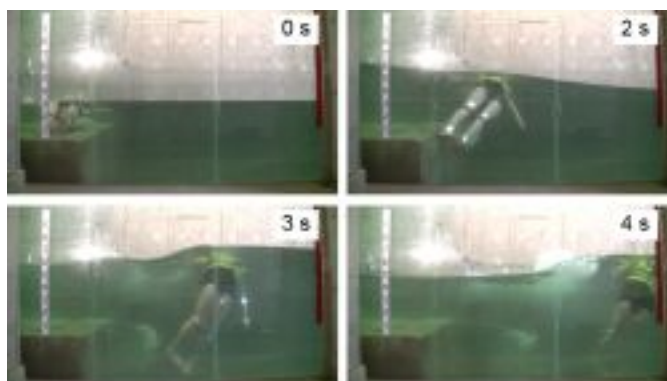


図4 ライフジャケット装着時のダミーの挙動

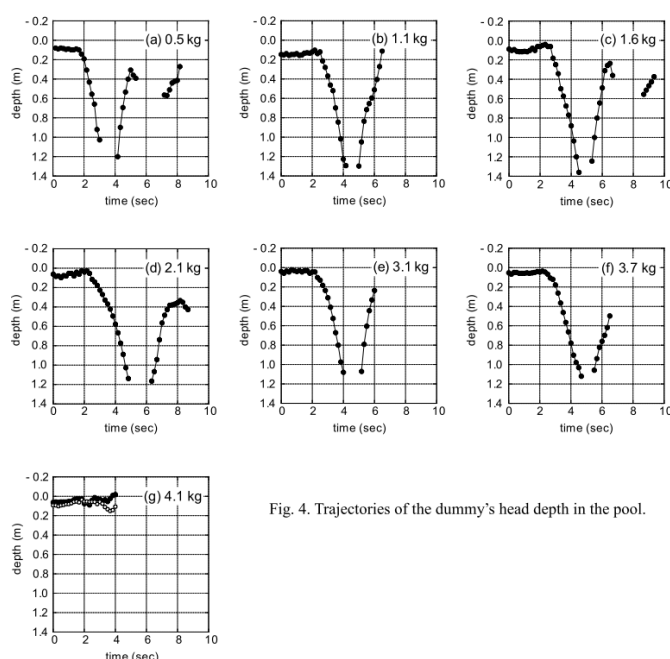


Fig. 4. Trajectories of the dummy's head depth in the pool.

図5 ダミー頭部の挙動。縦軸は鉛直方向で0.0が水面位置を示す。横軸は流下方向を示す。

次近似して、その傾き (m/sec) を沈み込み速度 (マイナス符号) あるいは浮き上がり速度 (プラス符号) として求めた。一次近似の R2 は 0.93 以上であった。沈み込み速度は -0.83 から -0.47 (m/sec) であり、浮き上がり速度は 0.52 から 1.2 (m/sec) で変動した。これらは川の流れに例えると、沈み込み速度は緩流から急流に該当し、川の中を歩いたり水泳をすることができる程度の流れから、大人でも立っているのが困難な流れに相当する。また、浮き上がり速度は急流から激流に相当し、何かにつかまっていなくて流されそうになる速い流れに相当する(山崎ら, 2000)。つまり、沈みこみも浮き上がりも、比較的速い速度で鉛直方向に移動させられていたことがわかった。沈み込み速度は浮力 0.5 kg から 2.1 kg にかけて、浮力が大きくなるにつれ遅くなる傾向を示した。沈み込み速度に比べ、浮き上がり速度はばらつきが大きかった。これは、回転しながら浮上する場合、浮上直前の沈み込みスピードとペットボトルの浮力の両者が互いに逆方向の効果とを及ぼすため、浮き上がり速度は見掛け上ペットボトル浮力の大きさに無関係に見えたと推測された。渦が収まったとき、浮力 3.7, 3.1 kg の実験群は水面を浮遊し、1.6 kg は水面近くの水中を漂い、1.1, 0.5 kg は底に沈んでいた。2.1 kg は手に水面に浮かべていた浮きのひもが絡まっていたのでペットボトルの浮力の効果だけとは断言しにくい。水面に浮いていた。この結果から、渦や強い流れのない穏やかな水中では、ペットボトル 1.5 L 分に相当する 1.6 kg の浮力があれば、成人が水面に浮かび続けるための浮力補助材となる一方、0.5 L や 1.0 L のペットボトル 1 本では、浮力材としての効果は目に見えるほどは得られないことがわかった。これは、フローティング (水面での継続的な浮遊) ができる人たちの最大呼気時余剰浮力が 1.5 kg 以上であったという内田・高橋 (1976) の報告と整合的であった。

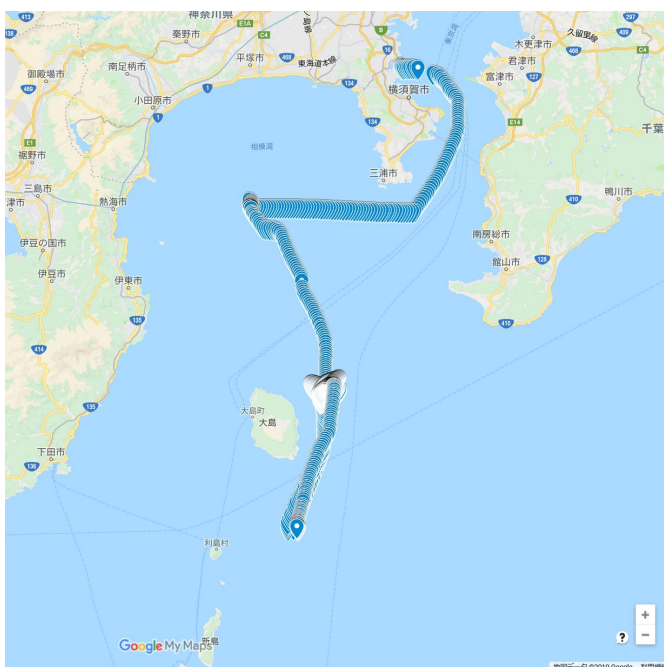


図 6 航走中の「よこすか」の船尾に取り付けた GPS 位置発信装置がリアルタイム発信した GPS 情報を地図上にプロットした結果。

(2) GPS 位置発信装置について、実海域で航走中に得られたデータを、Google Mymaps によって図示した結果を図 6 に示す。データ取得は 2019 年 3 月 25 日 7:33 から 23:05 (UTC) にわたり、1 分間隔で行われた。途中データが途切れている原因は、一時的に電池を取り外したためである。このとき、実際に 1 分間隔でデータがサーバにアップロードされていることを確認した。また、東京湾から伊豆大島沖合まで、携帯電話の送受信は良好に行われることも明らかになった。電池の持続時間は 15 時間 30 分であった。また、図 7 に投錨中の船の動きを示したものを示す。データ取得日時は 2019 年 3 月 28 日 5:33-22:27 (UTC) であり、約 17 時間にわたるデータ取得を行えた。この時も、装置を船尾に取り付けており、「よこすか」の船体は流れによって移動し、アンカーを中心に弧を描いた動きをしていることが分かる。この図から推測される、アンカーから装置までの距離は 205m であった。「よこすか」船

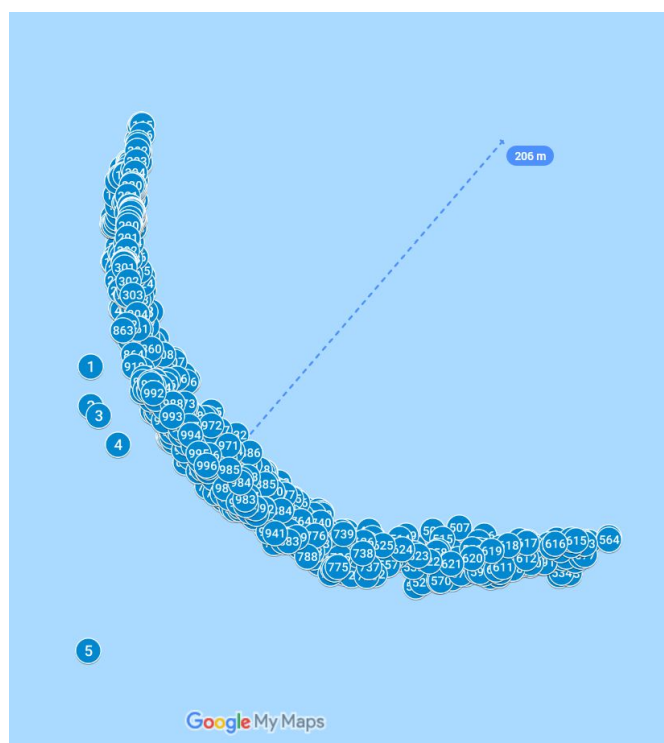


図 7 投錨中の「よこすか」の船尾に取り付けた GPS 位置発信装置がリアルタイム発信した GPS 情報を地図上にプロットした結果。

体の全長は 105.2m であるため、アンカーから船首までの距離は約 100m であることが分かる。このことより、GPS の精度は数 m ~ 数 10m であると推測される。この距離は、目視による漂流者の発見には十分であると考えられる。

本研究によって GPS 位置発信装置の開発を行った。また、現場試験によって、この装置が漂流者の位置特定に使える可能性を実証することができた。

また、リアルタイム津波予測システムと漂流物予測システムを連成させることにより、迅速に漂流者の位置を予測するリアルタイム漂流者予測システムを開発した。さらに、開発したリアルタイム漂流者予測システムの動作確認を行い、正常に動作することを確認した。

神奈川県を海岸を対象としたテスト計算では、漂流者が津波、潮汐流、海流、風圧流で再現される流れ場によって漂流する様子が再現された。漂流者を神奈川県の海岸に設定したため、津波による漂流の影響は比較的小さく、主に海流と風圧流によって漂流する様子が再現された。この結果から、津波による漂流者の漂流予測を行う際は、津波による引き波が漂流開始の原因となるものの、漂流開始後は海域や風況によって津波以外の外力による漂流が卓越する可能性があるため、漂流に影響を及ぼす外力を正確に考慮することの重要性が示唆された。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Kurisu, A., Suga, H., Prochazka, Z., Suzuki, K., Oguri, K., & Inoue, T. (2018). Potential technique for improving the survival of victims of tsunamis. PLoS One, 13(5), e0197498. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197498>

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

<https://www.pari.go.jp/press/2018/pari20180524.html>

https://scienceportal.jst.go.jp/clip/20180625_01.html

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：小栗 一将

ローマ字氏名：Kazumasa Oguri

所属研究機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：海洋生物多様性研究分野

職名：主任技術研究員

研究者番号 (8 桁)：10359177

研究分担者氏名：松崎 義孝

ローマ字氏名：Yoshitaka Matsuzaki

所属研究機関名：国立研究開発法人海上・港湾・航空技術 研究所

部局名：港湾空港技術研究所

職名：主任研究官

研究者番号 (8 桁)：10536684

研究分担者氏名：高川 智博

ローマ字氏名：Tomohiro Takagawa

所属研究機関名：国立研究開発法人海上・港湾・航空技術 研究所

部局名：港湾空港技術研究所

職名：津波高潮研究グループ長心得兼務
研究者番号（8桁）：30451785

研究分担者氏名：鈴木 高二朗

ローマ字氏名：Kojiro Suzuki

所属研究機関名：国立研究開発法人海上・港湾・航空技術 研究所

部局名：港湾空港技術研究所

職名：グループ 長

研究者番号（8桁）：50360764

研究分担者氏名：千田 優

ローマ字氏名：Yu Chida

所属研究機関名：国立研究開発法人海上・港湾・航空技術 研究所

部局名：港湾空港技術研究所

職名：研究官

研究者番号（8桁）：70774214

研究分担者氏名：菅 寿美

ローマ字氏名：Hisami Suga

所属研究機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：生物地球化学研究分野

職名：技術副主任

研究者番号（8桁）：80392942

(2)研究協力者

研究協力者氏名：栗栖 茜

ローマ字氏名：Akane Kurisu

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。