

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2014

課題番号：22560182

研究課題名(和文)閉鎖海域の海流計測を目的としたGPS搭載小型定水深浮遊体システムの開発

研究課題名(英文)Development of GPS Float System with the Water Depth Constant

## 研究代表者

宮本 弘之(MIYAMOTO, Hiroyuki)

熊本高等専門学校・機械知能システム工学科・教授

研究者番号：90124156

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：潮流観測は海環境を調査する有効な手段であることから、海面および海中を浮遊して潮流の方向と速度を計測できる定水深浮遊体システムを開発した。このシステムは、八代海のような内海の潮流観測のために開発されたものであり、八代海での潮流観測例と共に定水深浮遊体の構成および性能について述べる。本浮遊体では、河口における淡水と海水との密度変化や、海の表層と海中との潮流の変化に対応しつつ、設定の任意水深を維持した潮流観測が可能である。

研究成果の概要(英文)：An observation of the tide is an effective method to investigate environments of the sea. We can know speeds and direction of tide to measure a position of drifting objects floated on the water. The drifting small buoy system with various sensors and a GPS receiver has been developed for a purpose of observing the tide of an inland sea. We explained the result observed the tide current of Yatsushiro Sea using the buoy system. The densities of fresh water and salt water differ near the mouth of a river. The flow velocity of a shallow point and a deep point differ. Thus, for observation of all range depth, we made a float which can adjust own buoyancy. The float can keep the optical depth. We utilize the float, and we can know the tidal current at hoping depth in the sea.

研究分野：流体工学

キーワード：海洋保全 流体工学 衛星測位

## 1. 研究開始当初の背景

八代海は、熊本県南西部と鹿児島県北西部に位置し、豊かな水産資源を我々に提供してきた。日本の近代化・工業化に伴い水俣病に代表されるような深刻な水質悪化に悩まされることもあったが、有明海に比べると大きな水質の悪化はみられなかった。これは、この地域の人口密度が比較的に低いことや、八代海の地形が、北部の開口部は有明海に、南部の開口部は東シナ海に接していることで、新鮮な海水の流入があるためである。しかしながら、近年では八代海においても、漁獲高の減少傾向や赤潮の発生が幾度となく観測され、沿岸漁業や養殖業に深刻な被害をもたらしており<sup>(1)</sup>、浮遊ゴミ対策も含めて<sup>(2)</sup>、水環境の保全・回復が望まれている。八代海は球磨川からの影響も大きく、荒瀬ダム撤去の問題も水質変化に関する客観的データの提供が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究の主目的は、環八代海における自然環境の保全と改善に寄与するために、八代海の海流を調査するための観測フロートと、その調査方法を提供することである。

本研究では、八代海の表層および海中での潮流を推定するために、GPS受信機を搭載した定水深浮遊体の移動データを収集する。本システムでは、Webを利用したリアルタイムのモニタリングが可能で、海面から海中までの潮流を観測できる装置（定水深浮遊体）の開発を行っている。

## 3. 研究の方法

### (1) 潮流の性質

潮汐は半日周期であるため、周期が半日の調和変化であるはずであるが、実際には潮流は潮汐による海水の単純な往復運動だけではなく別の流れの影響も受ける。この流れを残差流（潮汐残差流、密度流、吹送流）があ

り、沿岸海域の潮流を複雑なものにする。残差流の影響を図1に示す。図1(a)の湾内に、左端から潮汐波が入射した場合、単純な往復流である潮流しか存在しない。一方、図1(b)の突堤が存在する場合、湾奥では反時計回りの渦が発生する。本調査対象の八代海の沿岸形状(図2)は複雑であるため、かなり複雑な潮汐残差流が発生していると思われる<sup>(3)(4)</sup>。

吹送流は海面上を吹く風の応力により起こる表層部の流れ、密度流は海水の密度勾配による流れである。図3(a)のしきりの付いた容器に、密度の違う淡水と海水を入れ、しきりを抜くと図3(b)のように密度の大きな海水が淡水の下に潜りこむ密度流が発生し、この密度流は河口域で生じる。

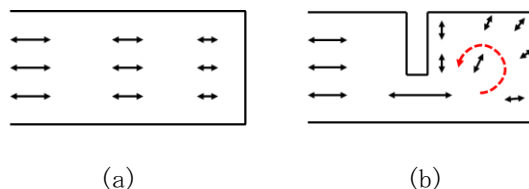


図1 潮流(実線)と潮汐残差流(破線赤色)

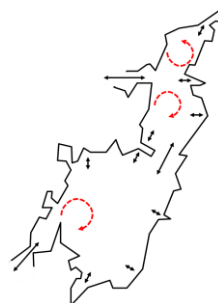


図2 八代海の沿岸形状

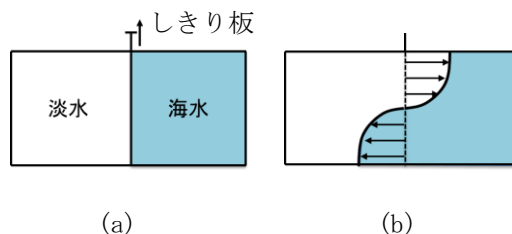


図3 河口域の密度流

### (2) 八代海の海面の潮流観測

以前から八代海では、GPS を搭載した海面漂流型ブイを使った潮流観測が行われている<sup>(5)</sup>。

しかし、潮流は様々な流れの影響があり、上層部と下層部の流れが一致するとは限らない。赤潮が鉛直方向に厚く発生した場合、赤潮の動きが上層と下層で異なる可能性があり、上層と下層の潮流観測から両者を比較することは重要である（図4）。

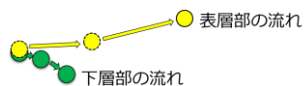
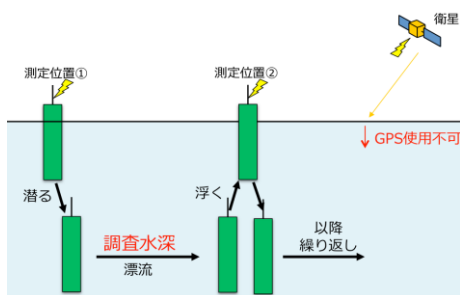


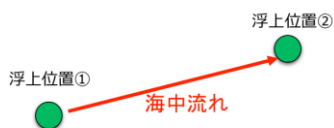
図4 鉛直方向の流れの違い

### (3) 八代海の海中での潮流観測

海中観測と海面観測との大きな違いは、追跡対象である浮遊体が海中に潜る点にある。観測手順を図5に示す。図5(a)のように、浮遊体は目標水深まで速やかに潜り、その水深を維持したまま漂流する。このときの漂流経路をGPSで追跡する。しかし、海中ではGPSの電波が届かないため、位置を測定する際は海面まで浮上、海面で位置を測定、位置情報を基地局に送信する。その後、浮遊体は目標水深まで潜り漂流を再開する。このように、浮遊体は定期的に浮上と潜水を繰り返しながら、海中を移動し、我々は図5(b)の浮上地点の位置情報を元に漂流経路を調査する。



(a) 垂直面での動き



(b) 水平面での動き

図5 海中の潮流観測方法

### (4) GPS搭載漂流浮遊体の構成

海中の潮流観測では、図6の潜水型GPS漂流浮遊体（高さ1200mm、直径130mm、重量17.45kgの円柱形状）を使用する。本機の耐圧性能は水深45m相当を確認している。

### (5) 浮遊体の浮き沈み機構

本機の浮き沈みの原理を図7に示す。ピストンシリンダを使った液体の給排水により浮遊体の体積を変化させる。浮遊体下部に搭載したシリンダ内に液体を溜め、ピストンで液体をシリンダ内外に給排水して浮遊体全体の体積を変化させる。このときピストンは、モータとボールねじを組み合わせることで直進駆動させている。ピストン位置はロータリエンコーダ信号をマイクロコンピュータで監視している。

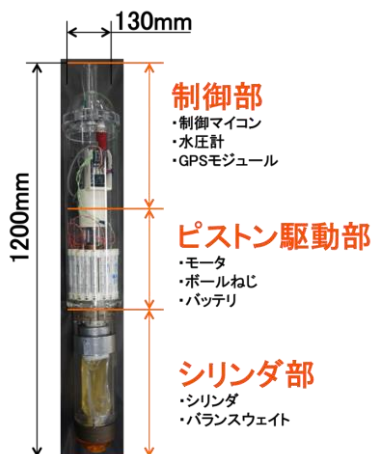


図6 潜水型GPS搭載浮遊体

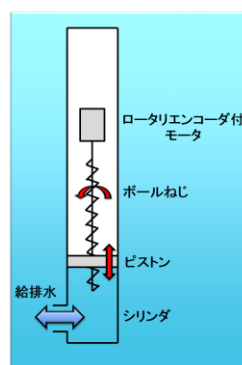


図7 浮力調整機能

(6) 浮遊体の運動方程式

鉛直上向きを正としたとき (図 8)、浮遊体の運動方程式は式(1)となる。 $f_b$ :浮力[N]、 $m$ :質量[kg]、 $g$ :重力加速度[m/s<sup>2</sup>]、 $f_d$ :流体抵抗[N]、 $z$ :水深[m]、 $\dot{z}$ :鉛直方向速度[m/s]、 $\ddot{z}$ :鉛直方向加速度[m/s<sup>2</sup>]とする。

$$f_b - mg - f_d = m\ddot{z} \quad (1)$$

ここで、流体抵抗  $f_d$  は式(2)で算出する。

$C_d$ :流体抵抗係数、 $\rho$ :海水密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $A$ :代表面積[m<sup>2</sup>]とする。

$$f_d = \frac{1}{2} C_d \rho A \dot{z}^2 \quad (2)$$

式(1)によれば、浮遊体は表 1 および図 9 に従って浮き沈みする。

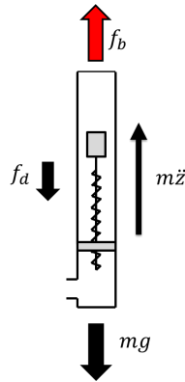


図 8 海中の浮遊体に作用する外力

表 1 浮力と自重の関係

$f_b = mg$	静止
$f_b > mg$	浮上
$f_b < mg$	潜水

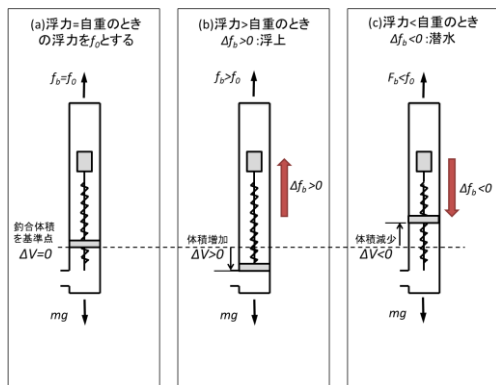


図 9 給排水量制御による浮遊体の浮き沈み

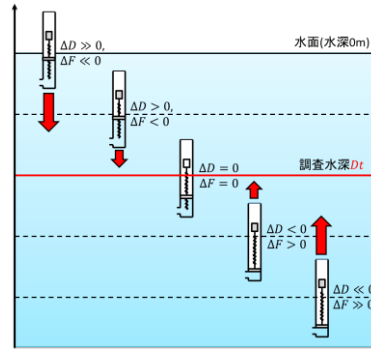


図 10 目標との水深差による水深維持制御

(7) 中立浮力と水深維持制御

比例制御を使った水深維持制御では、中立浮力が自重と正確に釣り合っている時のみ、希望の水深を維持することができる (図 10)。この中立浮力  $f_0$  は、浮遊体を海に投入する前に、自重  $mg$  と等しくなるように、ウェイトを加減する。比例制御則において、浮遊体が目標水深にいる時は、浮遊体の浮力  $f_b$  は中立浮力  $f_0$  となり、 $f_0 = mg$  が成立する。しかし、釣合浮力が自重と釣り合ってなく、浮力誤差  $f_e$  [N] を含むとき ( $f_0 = mg + f_e$ )、浮遊体は目標水深に達した時、 $\Delta f_b = f_e$  となる。つまり、釣合調整時の誤差が、浮遊体を目標水深と異なる水深で維持しようとする。浮遊体の浮力には海水の密度も関わる。海水の密度は河川が流れ込む沿岸部変化するため、中立浮力の位置は、海水の密度変化に合わせて、自動設定する必要がある。

(8) 潮流観測フィールドと方法

八代海での潮流観測を図 11 の現場で行った。水深は 20m 以上、当日の天気は晴れ、ほぼ無風で波高は極めて小さかった。干潮と満潮の中間時刻帯で観測を行った。

今回調査した潮流の水深は、深さ 5m (赤潮の原因となる植物プランクトンが日光のあたる海面から 10m 程度まで分布するものと思われるため)。観測時間は、1 回の潜水時間を 20 分、浮上時間を 5 分とし、これを 3 セット繰り返したときの浮遊体の漂流の様子、



図 11 実験海域(地図データ@2014 Google,ZENRIN)

そして水深維持の様子を確かめた。このとき、GPS ロガーを使い、位置測定データを収集し、位置データの移動から漂流の様子を調べた。本研究の基本的な実験方法は上述の通りであり、中長期運用に関しては潜水および浮上のセット数を増やして対応することになる。

#### 4. 研究成果

潮流観測における浮遊体の動きを図 12 に示す。潜水 1 回目では、水深 12m まで潜った後に水深 7.5m 付近に留まろうとしている。これは、釣合浮力のずれの影響である。その後、釣合浮力の自動修正により浮遊体は設定水深 5m を維持している。510 秒から 600 秒では底付き判定を行っている。今回の海域では水深 20m 以上であるため、底付き判定に伴う緊急浮上はない。その後は調査水深を保ち続けて、定期浮上の時刻に海面に浮上する。5 分間の浮上時間で表層の流れに乗って移動すると同時に GPS 測位も行う。図 12 のような浮遊体の水深維持の挙動は実験水槽内の予備実験および本研究でコード化した数値シミュレーションでも確認している。

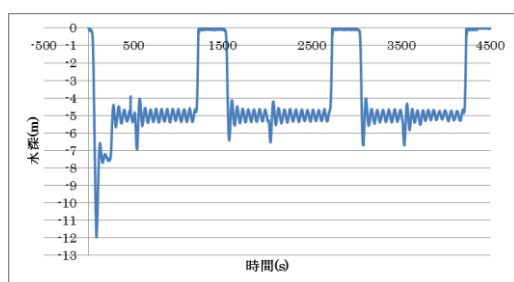


図 12 潜水時における浮遊体の動き

その後の潜水時には、釣り合い浮力の自動修正を引き継ぐため、水深維持は良好である。GPS ロガーで取得した移動経路を図 13 に示す。海中の平均速度 0.0542m/s で北西寄りの進行方向である。表層では平均速度 0.1392m/s で南西寄りの進行方向である。以上から表層と海中とでは流れが異なることが判る。

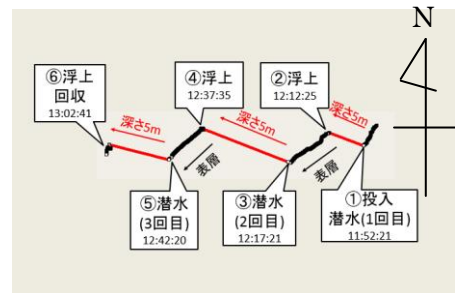


図 13 浮遊体の移動経路

#### (研究成果のまとめ)

- ① 浮遊体の開発のために海面波による水圧変動を模擬発生する立型水槽を製作すると共に浮遊体挙動を高精度でシミュレーションできるコードを開発した。
- ② 開発した浮遊体を一定水深に維持させて海流でのトレーサとすることで GPS 情報と併用した潮流計測を可能とした。
- ③ 潮流観測の実証実験を行い、浮遊体の水深維持性能と、表層と海中の潮流の相違を確認した。
- ④ 本観測システムは、中期的な潮流観測への利用や類似の海域への適用も十分可能である。

#### <引用文献>

- (1) 例えば、滝川清、田中健路：八代海の物理環境特性、月刊海洋、Vol. 37、No. 1、pp. 12-18、2005 年
- (2) 入江博樹、上久保裕志、森下功啓、嶋田萌由、震災後の仙台湾潮流計測、Text for GPS/GNSS Symposium、Vol. 2011 (2011)、pp. 189-192
- (3) 柳哲雄、沿岸海洋学—海の中でのものはど

う動くかー、恒星社厚生閣、p. 47、1989年

(4) 宇野木早苗、久保田雅久、海洋の波と流れの科学、東海大学出版会、pp. 125-126、1996年

(5) 入江博樹、八代海の潮流観測を目的としたGPS搭載漂流ブイシステムの構築に関する研究、熊本大学学術リポジトリ、2008年

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Yuki ATANABE、Keisuke YAMAGUCHI、Toru KIGUCHI、Hiroyuki MIYAMOTO、Hiroki IRIE、Shuji YOSHIDA、Examination of a Neutral-buoyancy Float using GPS for Measuring Deep Currents in Inland Sea、3rd International Symposium on Technology for Sustainability、査読有、2013年、No. 252、DVD.

[学会発表] (計4件)

- ① 宮本 弘之、山口 佳祐、入江 博樹、吉田 修二、定水深浮遊体の海中浮遊シミュレーション、日本機械学会九州支部鹿児島講演会、2013年9月、No. 138-3、pp. 141~142、鹿児島大学(鹿児島市).
- ② Yuki WATANABE、Keisuke YAMAGUCHI、Toru KIGUCHI、Hiroyuki MIYAMOTO、Hiroki IRIE、Shuji YOSHIDA、Examination of a Neutral-buoyancy Float using GPS for Measuring Deep Currents in Inland Sea、第3回国際ISTSシンポジウム要旨集、2013年11月、pp. 289-290、香港 IVE 青衣校(香港).
- ③ 森下 謙史郎、宮本 弘之、潮流調査を目的とした改良型定水深浮遊体の開発、日本航海学会第127回講演会・研究会GPS/GNSS研究会、2012年11月、長崎大学(長崎市).

- ④ 宮本 弘之、佐々木 太良、定水深浮遊体に関する研究(実験設備と水深維持機構)、日本機械学会九州支部宮崎講演会論文集、2011年9月、No. 118-3、宮崎大学(宮崎市).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○取得状況(計1件)

名称: 定水深浮遊体

発明者: 宮本弘之、入江博樹、上久保祐志

権利者: 独立行政法人国立高等専門学校機構

種類: 特許

番号: 特許第5403663号

出願年月日: 平成21年3月25日

取得年月日: 平成25年11月8日

国内外の別: 国内

[その他]

なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮本 弘之 (MIYAMOTO、Hiroyuki)

熊本高等専門学校・機械知能システム工学  
科・教授

研究者番号: 90124156

(2) 研究分担者

入江 博樹 (IRIE、Hiroki)

熊本高等専門学校・建築社会デザイン工学  
科・教授

研究者番号: 70249887

(3) 連携研究者

上久保 祐志 (KAMIKUBO、Yuji)

熊本高等専門学校・建築社会デザイン工学  
科・准教授

研究者番号: 90332105