九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

GPS機能付き携帯電話を用いた漂流ブイ観測システムの開発

石井, 大輔
九州大学応用力学研究所技術室

https://hdl.handle.net/2324/14024

出版情報：九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 9, pp.119-137, 2008-03. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

ＧＰＳ機能付き携帯電話を用いた漂流ブイ観測システムの開発

九州大学応用力学研究所　技術室
石井　大輔

１．はじめに

地球上には、永い年月を経て多種多様な生物が共存し合っており、我々人類もその和の一部である。しかしながら、我々人類は地球の時間刻み（存在史）からは到底予想し難い急激なる種々の発展を過度に追求したばかりに、その反動として、今日の地球温暖化やそれに伴う地球環境変動を引き起こしてしまい、自らの首をも絞め続けていることは疑う余地もない。そして、本来共生の道をともに歩むべき仲間であるはずの多種多様な生物、そして地球そのものに対して、深刻で且つ取り返しのつかない重大なるインパクト（悪影響）を今尚もたらし続けていることに、今更ながら後悔の念が深い。そのため、近年、生物の種・個体・生態系の異変や絶滅が危惧される中、我々は生物多様性の維持・保全に対して、なお一層の見識向上と努力が急務である（白山, 2003）。

ところが、我々は陸上・海洋を問わず、共生相手である生物のことについて、殊更理解が不足している。例えば、地球上に存在する生物が空間的分布形態として斑状性構造（パッチネス構造）を形成することは生物学的現象として古くから知られる一方、何故そのような分布形態を生物が取り得るのか、パッチネス構造の生成・維持・消滅機構について、先駆的研究は数例あるものの（例えば、川合ら, 1969a・1969b；大久保, 1979a・1979b）、21 世紀を迎えた今日においても未だ完全には明らかにされていない。

２．近年における研究事例の紹介

近年、海洋表層流動の収束・発散場が海洋表層における基礎生産場と関わりがあるとする仮説をもとに、新しい知見の報告や様々な海域において複数の漂流ブイを用いた海洋表層流動観測が実施されている（例えば、柳・石井ら, 2005；Michida *et al.*, 2006；石井ら, 2007；柳・石井ら, 2008）。以下に、幾つかの研究事例を紹介する。

柳・石井ら（2005）は、東京湾全域において現場観測された海洋表層のクロロフィル *a*（Chl.*a*；植物プランクトン量の指標）の空間分布と、時空間的に密な計測が可能な海洋レーダー（湾周辺に複数台を敷設）で観測された表層流速を基に算出した収束・発散の空間分布が比較的よい対応を示すことから、空間不均一に存在する海洋プランクトンの分布様態を決める要因として、海洋表層の流動構造が大きく関与している可能性があることを指摘している。

また、石井ら（2007）は、柳・石井ら（2005）が言及した海洋レーダー観測結果を基に

推定した収束・発散場が、実際どの程度現場特性を表現しているのかについて検証するために、対馬海峡東水道における海洋観測で複数の漂流ブイを用いた表層流動観測を実施した。そして、同時計測可能な海洋レーダーによって得られた流動場、収束・発散場との対応関係について、様々な比較・検討を試みた結果、両者の諸特性が比較的よく一致することを明らかにしている。

更に、上記結果を踏まえた柳・石井ら（2008）は、九州・有明海において複数の漂流ブイを用いた表層流動観測によって得たデータと、海洋レーダーおよび衛星海色センサー（MODIS：MODerate resolution Imaging Spectroradiometer ， 中分解能撮像分光放射計）によって計測されたデータを解析し、海洋表層における収束・発散場が基礎生産を支える植物プランクトン（Chl.α）の空間分布と相関が強いこと、海洋収束・発散構造には鉛直的な特性差異が存在すること、を指摘している。

これらは、生物・化学過程だけの考察にとどまらず、物理的視点から海洋基礎生産との関連性を解明しようとするもので、貴重な研究事例である。

３．現時点における課題と本研究の目的

海洋表層における収束・発散の時空間特性を連続的に捉えるためには、時空間的に密な観測データが収集可能な海洋レーダーが非常に有用である。しかしながら、海洋収束・発散の鉛直構造を知りたい場合には、海面下 1m 程度までのごく表層しか計測できない海洋レーダーでは対応できない。そのため、所望深度における物理諸量を把握するためには、海流を追随するために必要な抵抗体ドローグを所定の水深に配置した漂流ブイ観測が、代表的な観測手法の一つとして挙げられる。

筆者らは、柳・石井ら（2008）の研究を継続するために、九州・有明海を研究対象海域として想定しているが、彼らの観測結果から推察したところ、鉛直方向には最低でも密度躍層付近に 1 基、その上下層に 1 基ずつ、計 3 基の漂流ブイが不可欠と考えられる（各層における水塊構造が異なるため；図 1 左参照）。また、水平的な収束・発散構造を測るためには、従来どおり、最低でも 3 基の漂流ブイが必要となる（推定する収束・発散値は、複数の漂流ブイが成す多角形の面積時間変化から算出されるため､N 角形を構成するためにはブイが N 基必要（N ≧ 3；図 1 右参照））。

以上のことから、三次元的な収束・発散構造を現場海域において直接観測で捉えるためには、少なくとも 9 基（3×3）の漂流ブイが必要である。しかしながら、所属研究室で所有する漂流ブイ（太洋無線製）は 3 基しかなく、現時点では上記台数を確保できない。また、所有する測器は市販品で非常に高価なため（一式で 50 万円程度）、残り 6 基を調達するのは予算的にも厳しいことから、現状ではこれが研究進展へのボトルネックとなっている。加えて、当該ブイは機能拡充が困難であること、空中重量が約 20kg・アンテナ部が約 3m あることから、測器運搬や海域投入・回収時の作業にかなりの人手を要するなど、若干操作性が悪いことも懸念材料である。

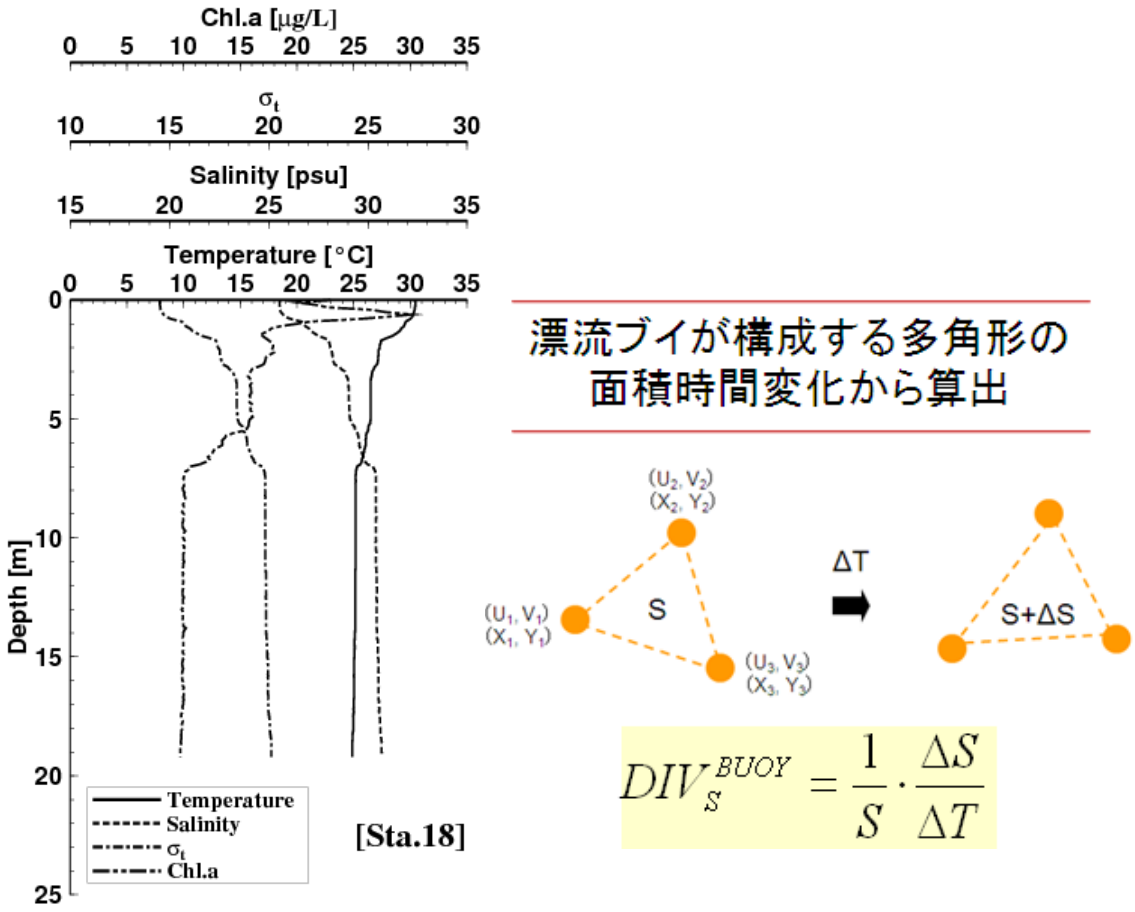

図 1.　2005 年有明海における CTD 鉛直観測結果の一例（柳・石井ら，2008；左）と
各ブイが構成する多角形の面積時間変化から算出される収束・発散の概念図（右）

近年、海洋観測で利用される携帯性に優れた小型の漂流ブイには様々なものがあり、研究者は利用する対象海域や観測条件などによって、どのブイの仕様が最適であるか、そして利用すべきかを事前に選択できる。表 1 は、市販されている主な漂流ブイの性能諸元について集約したものである。また、後述する本研究で開発した GPS ケータイ型自作漂流ブイ（以下、本開発品と称す）の諸元についても、市販測器との性能格差を比較・評価できるように同表に併記した。

故に、海洋における三次元的な収束・発散構造、およびそれらと海洋基礎生産との関連を解明するためには、既述の問題点を改善した、安価で小型軽量、且つ従来品の機能と同等、もしくは高機能化した信頼性の高い漂流ブイを新規開発することが不可欠である。

本稿は、入手が容易で且つ安価・小型軽量、その上、近年の多機能化により今や利用者の必需となった GPS（Global Positioning System：全地球測位システム）機能を持つ携帯電話を搭載した漂流ブイと、データー元管理・海洋流動解析ツール・可視化ツール等を含む総

合アプリケーション（web 版）を新規開発することを目的とする。そして、コストパフォーマンスに優れた漂流ブイ観測システムを運用することにより、既述のボトルネックを解消し、先に述べた海洋学的研究課題に対する真相究明の一端を担うことを目指す。

表 1.　市販されている代表的な小型漂流ブイならびに本開発ブイの性能諸元

	ゼニライト　ブイ [1]		太洋無線 [2]		本開発品
通信方式	パケット通信（DoPa）	衛星通信（Orbcomm）	無線通信（Radio Wave）	衛星通信（Orbcomm）	パケット通信（PacketOne）
観測可能範囲	NTT DoCoMo サービス提供エリア内	オーブコム サービス 提供エリア内（世界中）[3]	受信機を中心とした半径 数 ～ 数十 km 程度の範囲内	オーブコム サービス 提供エリア内（世界中）[3]	au by KDDI サービス提供エリア内
データ配信・取得方法	インターネットを介したメール配信	インターネットを介したメール配信	専用受信機で信号識別	インターネットを介したメール配信	Data 管理サーバへのインターネット接続
適用推奨海域	沿岸	沿岸・外洋	沿岸・外洋（ブイ-受信機間距離に制約）	沿岸・外洋	沿岸
形状	円盤形	球形	円筒計 ＋アンテナ	円筒計 ＋アンテナ	円筒形
外形寸法（最長部を記載）	φ300mm×0.3m	φ350mm×0.3m	φ400mm×0.5m ＋3m（アンテナ）	φ520mm×0.9m ＋2m（アンテナ）	φ160mm×1.0m
重量［kg］	2.5	6.5	18	35	1.0
電源型式	Li イオン電池	太陽電池	乾電池	乾電池	Li イオン電池
概算費用［万］（ドローグや専用ソフト等を含む）	～ 50	～ 100	～ 50 [4]	～ 100 ～ 200 [5]	＜ 10
概観写真（図 2 参照）	（A）	（B）	（C）	（D）	（E）

1）http://www.zenilite.co.jp/　　2）http://www.taiyomusen.co.jp/

3）海外現地の通信事業者との契約が必要だが、国により使用できない地域あり

4）水温センサー付属、別途要送受信機（～ 100 万）　5）同期式水温・塩分センサー付属

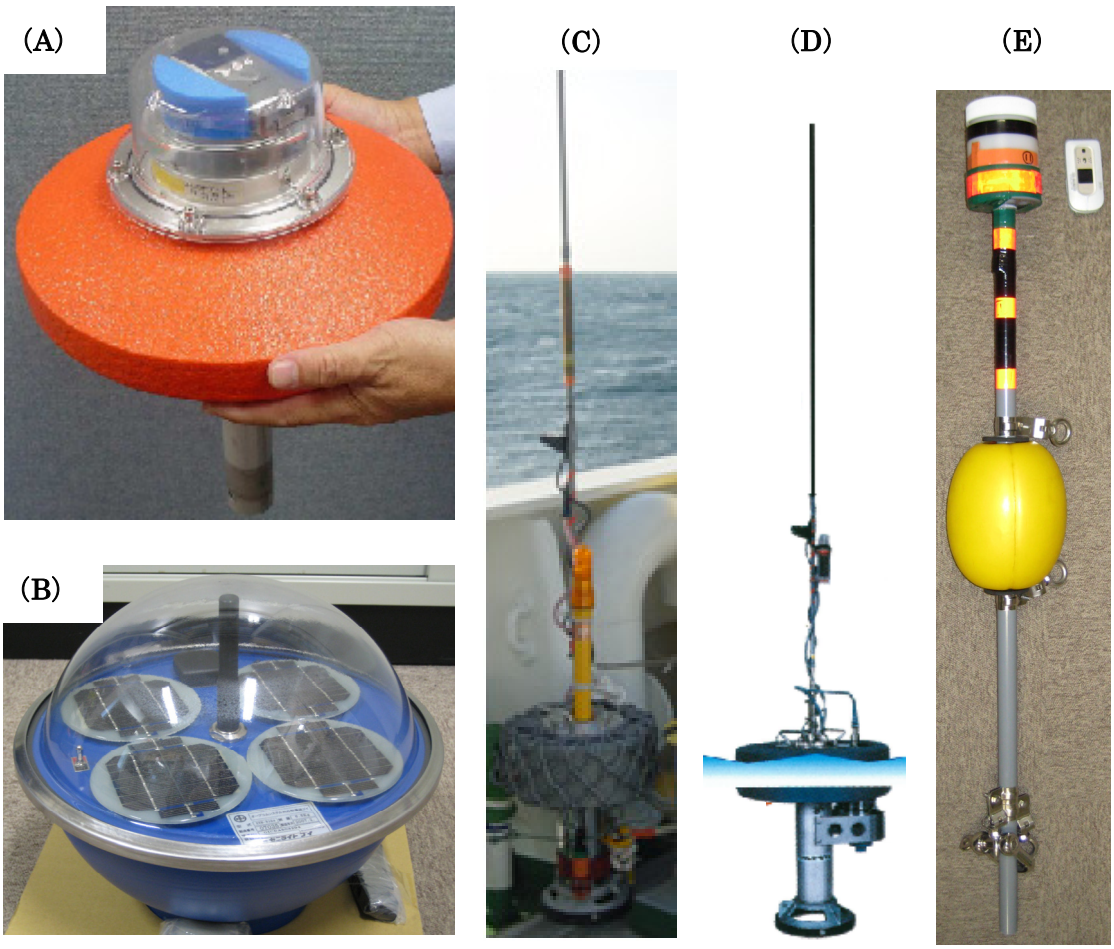

図 2.　代表的な小型漂流ブイの概観写真例（一部、各社リーフレットからの加筆転載あり）

４．GPS 機能付き携帯電話を用いた漂流ブイ観測システムの概要

今回開発した、GPS 機能付き携帯電話（以下、GPS ケータイと呼ぶ）を搭載した漂流ブイおよび当該観測システムの概略図を、図 3 に示す。基本的な構成は、安価で小型・軽量、単純機構で取り扱いやすさを重視した自作漂流ブイと、Web ならびにインターネット環境を利用した一連の観測環境であり、既存の携帯電話事業者（携帯キャリア）における提供サービスやインフラを利用する設計コンセプトである。

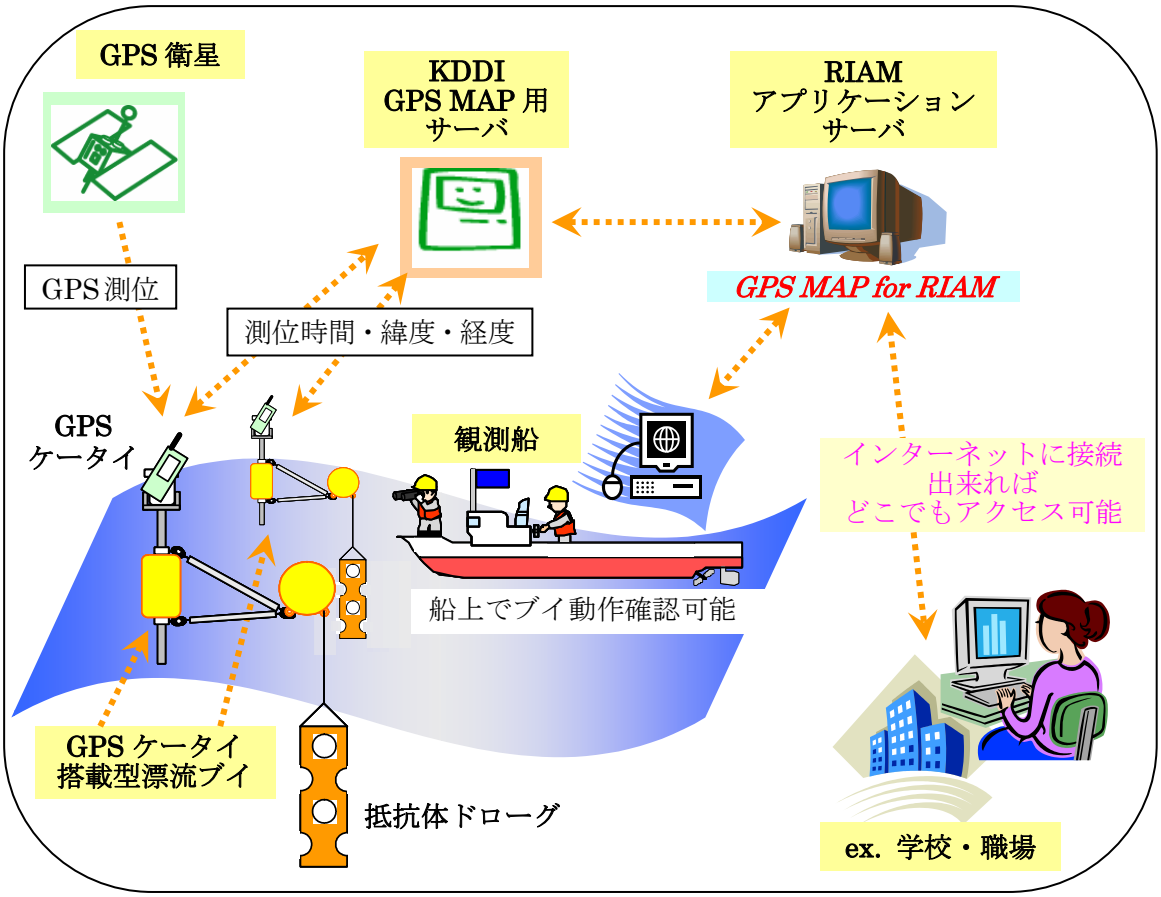

図 3.　新規開発した漂流ブイ観測システムの概略図

４．１．携帯キャリアの選定

現在、携帯キャリアならびに GPS ケータイは種々存在する。GPS ケータイを用いた国内キャリアにおける GPS 位置情報サービスは、NTT DoCoMo・KDDI（au）・SoftBank・Willcom から提供されており、子供たちの安全確保や老人の徘徊抑止などを目的とした製品・サービスの需要も年々高まりを見せている（なお、Willcom は PHS 事業のため、通信カバーエリアが狭く、海上での利用が大幅に制限されるため、本開発では当初から検討除外している）。また、携帯キャリア以外にも、インクリメント・ピーやアイビス、ゼンリンデータコ

ムなどが GPS ナビサービスに参入するなど、GPS を取り巻く位置情報提供サービスは本格化し始めた。この背景には、総務省令（事業用電気通信設備規則）の改正により、2007 年 4 月以降に市場へ新規投入される 3G（第 3 世代移動通信）携帯端末は原則として、GPS モジュールを内蔵し、「110」「118」「119」番といった緊急通報時における携帯電話位置情報通知機能の標準搭載が義務化されたことが、根底にあると思われる。

このような情勢の中、いち早く GPS 機能搭載に取り組んできた KDDI（au）は、米国の Qualcomm 社と SnapTrack 社が共同開発した位置測位技術「gpsOne」を 2001 年から国内で初めて採用するなど、GPS を用いた位置情報検索分野においては、現在でもリーディングカンパニーとして非常に評価が高い。逆に、携帯電話加入者数で最大シェアを誇る NTT DoCoMo は、PDC（Personal Digital Cellular）方式の 2G（第 2 世代移動通信）時における当該分野の開発速度が鈍く、3G の FOMA でようやく本格着手し始めた。また SoftBank は、2G から 3G への技術開発（移行）自体が当初計画より大幅に遅れたことなどから、両キャリアとも当該分野では後発の感が否めない。現在では、NTT DoCoMo および SoftBank は、一般の携帯電話アプリケーションソフト（アプリ）から利用できる GPS 位置検索サービスの更なる拡充への取り組みを加速させる中、前者は「Posiseek」と呼ばれる専用端末（音声通話・データ通信不可）を利用した位置情報サービス等の提供や、後者は海外における GPS 機能を生かしたサービスを提供するなど、携帯キャリア間でのサービス差別化、それに伴う顧客争奪戦が繰り広げられている。

本開発で利用する携帯キャリアの選定には、GPS ケータイによる位置計測性能（GPS 測位精度）と本システム開発に対して柔軟性を有するキャリアサービス（インフラ）を重視し、各携帯キャリア端末を利用した性能評価を実施すべきであろう（維持費・通信費等は、どのキャリアも大差はない）。今回は、前述した点や既存資料、本システム開発に対する柔軟性などを精査した結果、KDDI（au）を本開発で利用する携帯キャリアに選定した（携帯キャリア間における GPS 性能評価やサービス内容についての報告は、別の機会に譲る）。

４．２．GPS ケータイ型漂流ブイ観測システムの動作概要

ここで、当該システムの動作概要を簡単に説明する。まず、現場海域へ投入する漂流ブイに搭載する GPS ケータイ（au by KDDI）は、あらかじめ設定した時間間隔で GPS 衛星から自身の位置情報（緯度・経度）と測位時間を受信する。これにより、各ブイの時々刻々における漂流地点が把握できる。なお、同観測時は、KDDI による法人向け位置情報提供サービス「GPSMAP」を利用する。GPSMAP とは、GPS ケータイが搭載する位置測位機能を活用した位置情報提供サービスである。例えば、GPS ケータイを持った外勤者や配送車両の現在位置を、インターネットに接続された管理用 PC の web 画面からリアルタイムに把握できるのはもとより、緊急時の呼び出しや伝達事項の送信、携帯電話紛失時における保存データの消去（情報漏洩リスク軽減）なども簡単に操作することができる。

本観測システム内で利用する GPS ケータイは、観測を継続している間、専用アプリが常

時稼動するようになっており、自動で位置情報の取得・転送が可能である。しかしながら、専用アプリの常時稼動により、携帯端末のバッテリ持続時間が通常待機時に比べて短くなる傾向にあることが多少デメリットである（小型外部補助バッテリを付属させることで、かなりのバッテリ寿命延長は可能であることは確認済み）。

そして、当該情報は GPS ケータイから KDDI の専用サーバを介して、別途構築したアプリケーションサーバに保存・管理され、観測船や外部機関等にあるインターネット接続済み PC から Web ブラウザを介して操作・閲覧することができるようになる。また、ユーザ側は PC 画面上に表示させたい諸量（例えば、各ブイの軌跡や流速など）について、データを保存・管理しているアプリケーションサーバ内で解析処理させ、その結果をリアルタイムにブラウザ上に表示させるような指令を出すことも可能である。

５．GPS ケータイ型漂流ブイの構成

従来、観測時に使用していた市販の漂流ブイは、空中重量で約 20kg、アンテナ部が約 3m ある、GPS 受信部を装備した太洋無線製ラジオブイであるが、測器運搬や海域投入・回収の作業時に若干手間取るなど、操作性にやや難があった。そのため、本開発における GPS ケータイ型漂流ブイは、操作性を重視して、空中重量を約 1kg 程度、海域投入時において海面から突出する部分までの高さを約 0.5m 程度になるように設計・製作を行なった（海中に放流するので、浮力計算などは事前に計算済みで設計している）。また、海上風による風圧流の抑制と所望深度における海流の追随を目的に（例えば、Niiler *et al.*, 1987；William and Richard, 2001）、直径 0.6m、長さ 1m の抵抗体ドローグ（穴開き円筒型；Michida and Yoritaka, 1995）を付属した。

今回作製した自作漂流ブイの概観図を図 4 に示す。同図に示すように、GPS ケータイはブイ先端に配置したプラスティック製収納瓶内へ防水封入し、一定時間間隔による GPS 衛星との通信により、ブイの位置情報を受信し、サーバ側へ当該情報を送信する仕組みを持たせている。また先にも述べたが、漂流ブイ自体の小型化・軽量化により、測器運搬時や現場観測時における作業者負担が大幅に軽減されることが期待される。

ちなみに、従来利用していた太洋無線製漂流ブイと今回開発した GPS ケータイ型漂流ブイの実機写真と海域投入時の風景を、図 5 に示す。

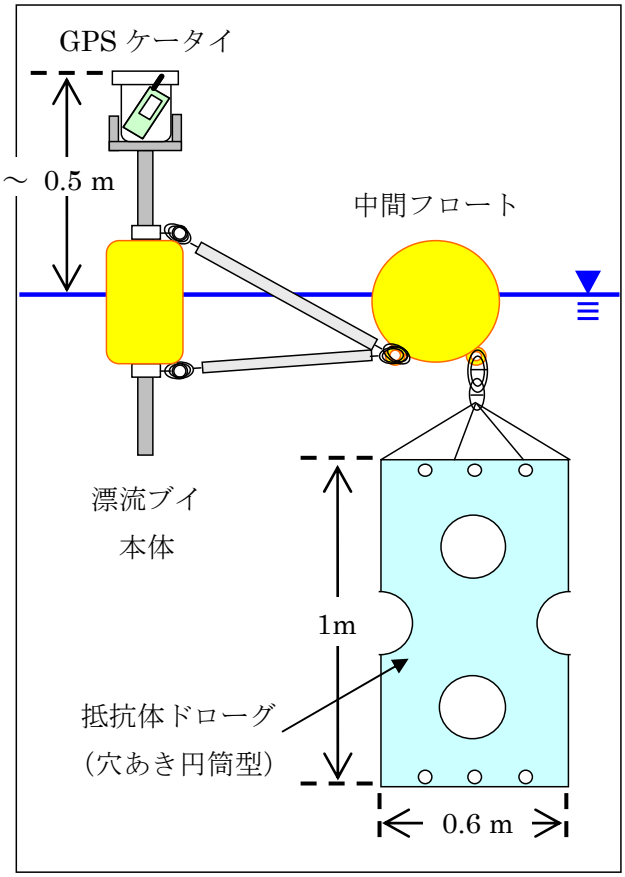

図 4.　GPS ケータイを搭載した漂流ブイの構成図

図 5.　従来利用していた漂流ブイ（左）と新規開発した
GPS ケータイ型漂流ブイ（右）の実機写真と海域投入時の風景

６．GPSMAP を利用した漂流ブイ観測環境（GPSMAP for RIAM）の構成

本システムにおける観測データ取得環境ならびにデータ管理・解析環境は、筆者（九州大学応用力学研究所）が扇精光株式会社ならびに KDDI 株式会社の御協力のもと、共同開発を進めたもので、言わば、「プチ」産学連携プロジェクト的な意味合いで発足させた中での産物である。

扇精光株式会社（http://www.ougis.co.jp/）は長崎に本社を構え、気象機械の販売修理業・建設コンサルタント・OA 機器販売・ソフト開発・GIS 関連業務など、幅広く且つ技術力に富んだ、非常にユニークで注目すべき企業である。当社は、現在、GPS ケータイおよび GPS MAP を活用した、幼稚園・自動車学校の送迎バスやコミュニティバスのリアルタイム位置情報サービスを展開中であり、このことをインターネット検索で知った筆者は、そのノウハウを全くジャンルが異なる海洋分野においても応用できるのではないかと考えた。その後、相談を持ちかけたところ、GPSMAP サービスを提供している KDDI も、ユーザ仕様にカスタマイズ可能な「GPSMAP type2」がサービスインしたばかりで運用実績がなかったこともあって、三社で共同開発することに至ったのが本開発の経緯である（メインサポートは扇精光株式会社である）。

海洋観測を実施する場合、観測機器の設定は観測事前にセットアップするのが一般的であり、観測途中で計測時間や計測モードを変更するのは容易なことではない。このことは漂流ブイ観測においても同様であり、一旦ブイを現場海域に放流すると、わざわざ回収した上でブイの設定変更をしなければならず、非常に不便なケースが発生する。また例えば、石井（2007）が開発した漂流ブイ観測専用アプリケーションなどを流用し、現場特性を把握しながらブイ連続観測を継続しないと、観測したのはよいものの、後日データ解析を行なった時に結果として当該観測自体が水泡に帰す場合も想定され得る。そのため、リアルタイムに各漂流ブイの位置情報を識別しながら、流速や軌跡、収束･発散値などの物理諸量を確認していくこと、そして、遠隔操作による漂流ブイの観測設定変更機能や危険回避に伴うブイ緊急呼び出し機能を観測システムに搭載することは、漂流ブイ観測を実施する上で非常に重要である。

本開発では、GPS ケータイを利用するに加え、そのサービスに付随する KDDI 提供の位置情報提供サービス「GPSMAP type2」といったユーザカスタマイズが可能なサービスを利用することで、以下に示す「GPSMAP for RIAM」と名付けた漂流ブイ観測システムを構築した。GPS ケータイにより測位した位置情報（緯度・経度）は、現在標準とされている世界測地系（World Geodetic System 84 ; WGS84）によるものであるが、観測時に利用する漁船などに搭載されている GPS 機器は、従来日本で標準利用されていた日本測地系（TOKYO）のものがまだ多く残っている。そのため、正確かつ迅速にブイを回収する時の情報を漁船側に即座に提供できるように、観測された世界測地系の位置情報を日本測地系に座標変換できる機能も追加した。なお、測地系変換に関しては、一部、石井（2006）に紹介しているので、そちらを参照されたい。

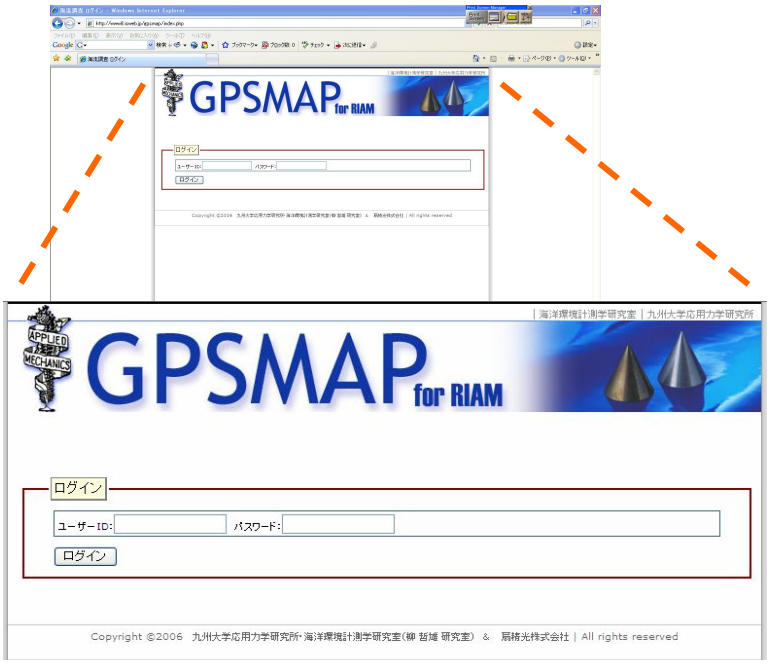

図 6.　新規開発した漂流ブイ観測用 Web システム「GPSMAP for RIAM」の Web ブラウザ表示画面（上）およびログイン画面拡大図（下）

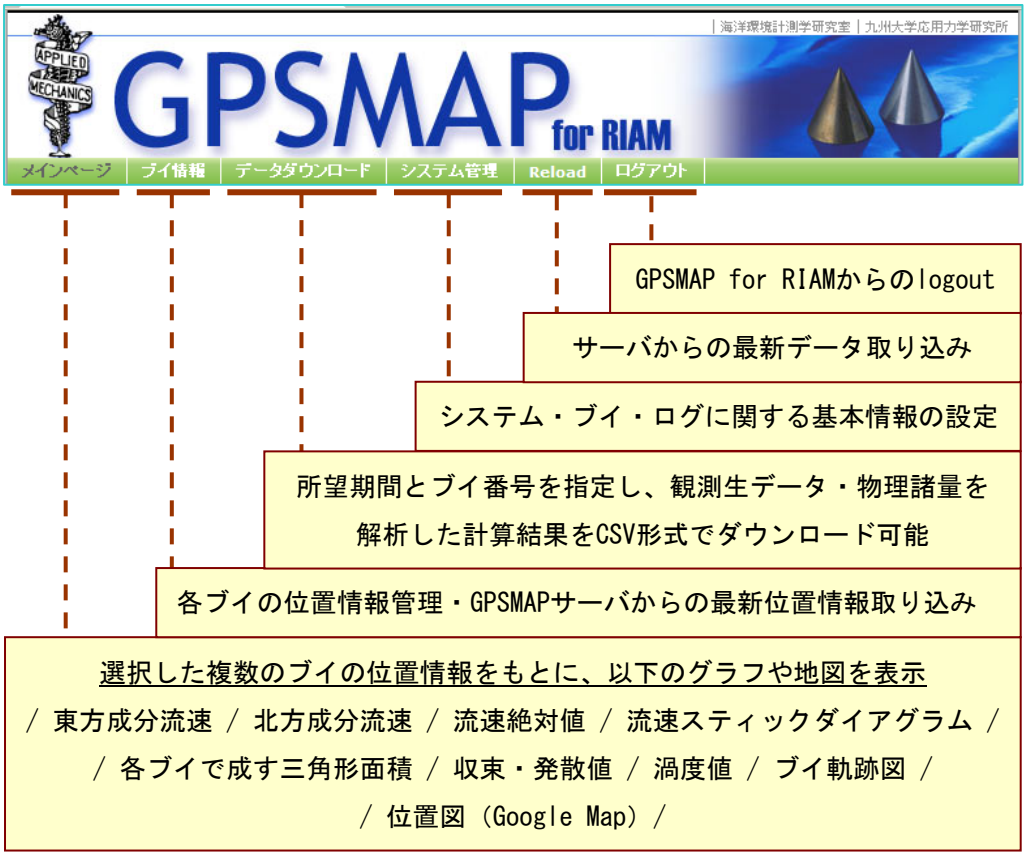

図 7.　GPSMAP for RIAM　の機能概要

図 6 に、Web ブラウザ上に表示した「GPSMAP for RIAM」のログイン画面を示す。ここで、サーバでのユーザ認証を行ない、実際のシステムを利用することになる。また図 7 に、本システムの機能概要を示し、各タブ稼動時における表示の一例を図 8～13 に紹介する。なお、本システムの基本構成は、PHP（Hypertext Preprocessor；動的に Web ページを生成する Web サーバの拡張機能の一つで、そこで使われるスクリプト言語のこと）と MySQL（高速性と堅牢性に定評のあるデータベース管理システム）を利用したものであり、PC ブラウザからのユーザ要求に対して動的に解析処理ができるように設計している。参考資料には、山田（2006）や日本 MySQL ユーザ会（2006）などを利用した。

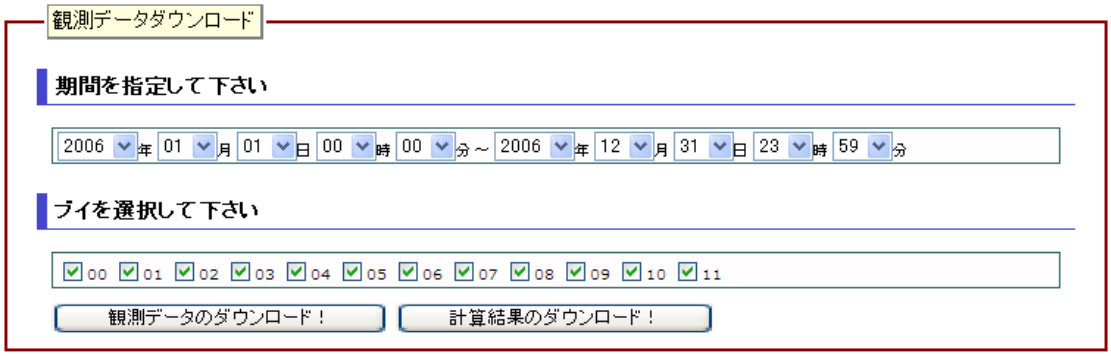

図 8.　GPSMAP for RIAM におけるデータダウンロード画面（観測生データおよびアプリケーションサーバで解析した物理諸量結果を Web からダウンロード可能）

図 9.　GPSMAP for RIAM におけるメインページ画面の一例

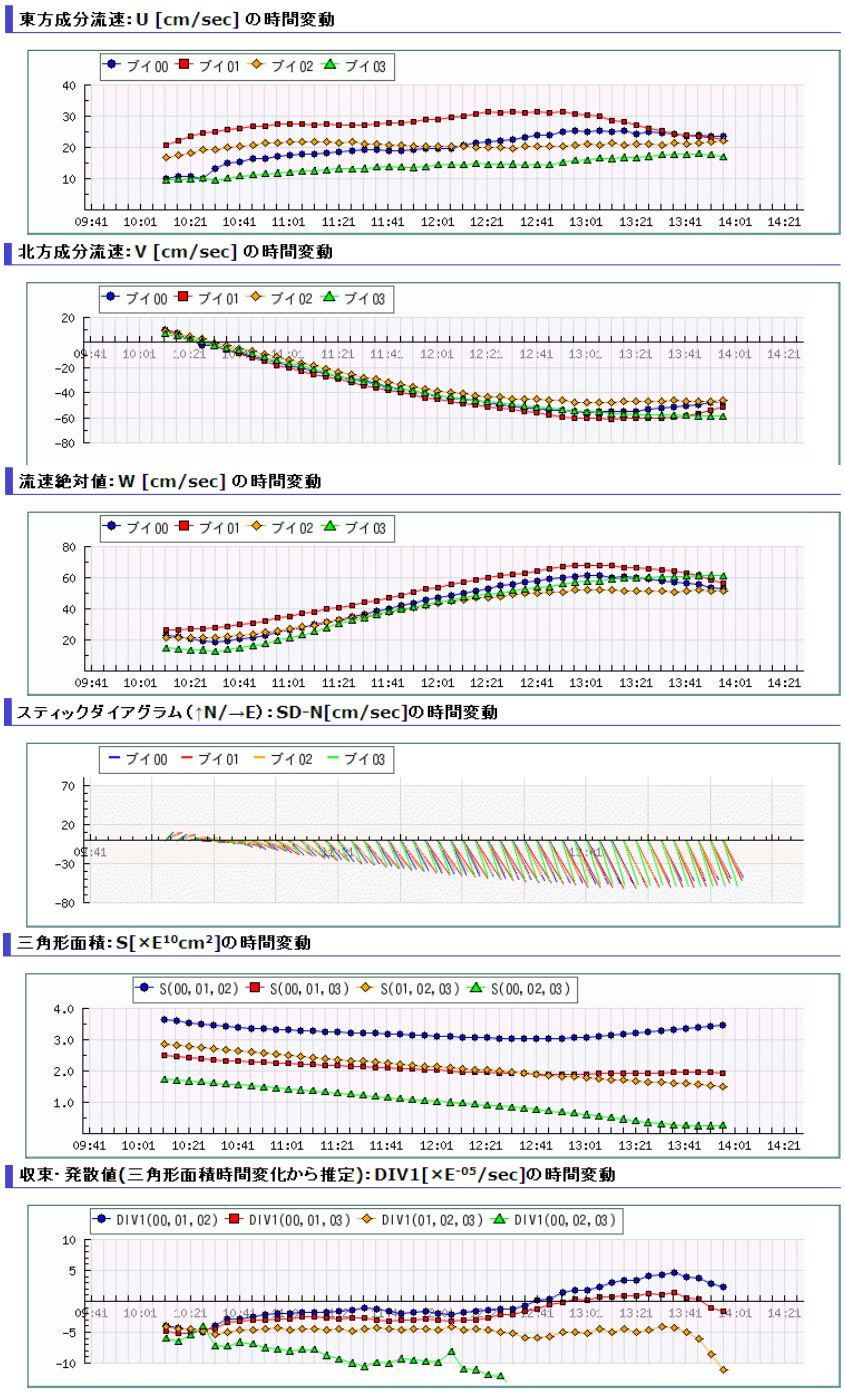

図 10.　図 9 で選択した条件に合わせ解析された描画結果の一例
なお、5 分間隔データに対して 1 時間 LPF を施したものである。
（LPF の cut-off 周波数は手動で変更可能な上、raw data の連続表示も可能）

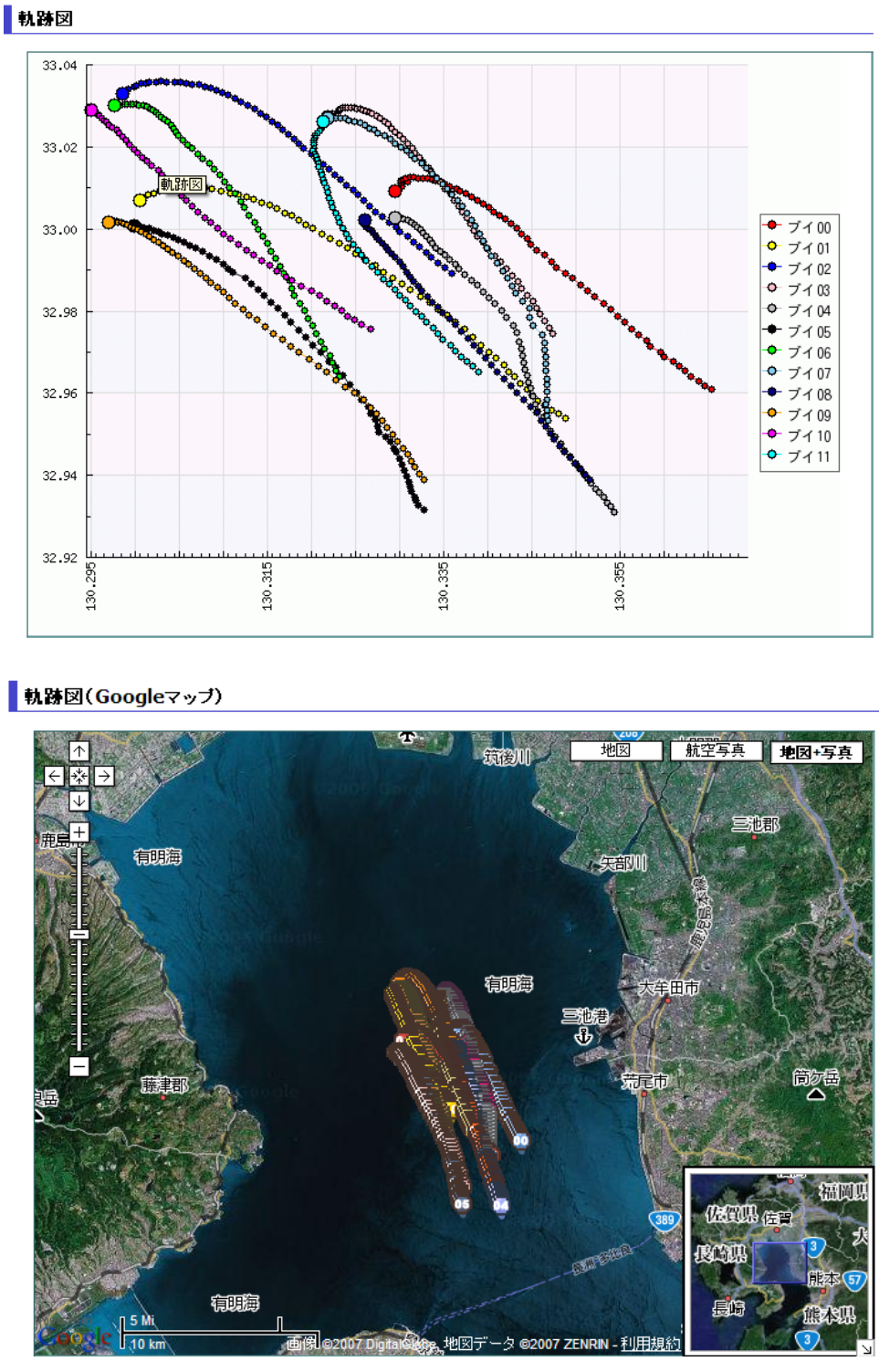

図 11.　放流中の GPS ケータイ型漂流ブイの軌跡を GPSMAP for RIAM 上に描画した一例
上図における大丸は描画初期地点、小丸は計測間隔ごとのブイの位置を示す。

全てのブイ | ブイ00 | ブイ01 | ブイ02 | ブイ03 | ブイ04 | ブイ05 | ブイ06 | ブイ07 | ブイ08 | ブイ09 | ブイ10 | ブイ11

各ブイの最新情報

ブイ	年月日	HMS	緯度(φ)	経度(λ)	X	Y	U	V	W	精度
00	2006/[redacted]	15:44:09	33°31.39′	130°28.5′	-48767.8	58140	-0.01	-1.46	1.45	A
01	2006/[redacted]	16:52:11	33°31.46′	130°28.44′	-48857.9	58277.2	0.62	4.89	4.93	A
02	2006/[redacted]	16:52:11	33°31.46′	130°28.46′	-48825	58262.3	11.36	-3.28	11.82	A
03	2006/[redacted]	16:52:06	33°31.46′	130°28.44′	-48858	58262.4	-2.71	-0.2	2.71	A
04	2006/[redacted]	16:52:11	33°31.46′	130°28.47′	-48819.1	58264.1	10.8	-3.68	11.41	A
05	2006/[redacted]	16:52:06	33°31.46′	130°28.45′	-48845.8	58275	0.71	3.02	3.1	A
06	2006/[redacted]	16:52:11	33°31.44′	130°28.45′	-48846	58241.1	-13.69	-0.25	13.68	A
07	2006/[redacted]	16:52:08	33°31.45′	130°28.45′	-48843.6	58252.8	2.58	-4.48	5.16	A
08	2006/[redacted]	16:52:06	33°31.47′	130°28.44′	-48854.8	58280.9	10.98	-2.65	11.29	A
09	2006/[redacted]	16:52:10	33°31.45′	130°28.46′	-48826.6	58255.2	6.4	-1.57	6.58	A
10	2006/[redacted]	16:52:10	33°31.46′	130°28.43′	-48869.9	58263.1	-9.73	2.8	10.12	A
11	2006/[redacted]	16:52:16	33°31.45′	130°28.44′	-48862.9	58259.1	-4.86	0.02	4.85	A

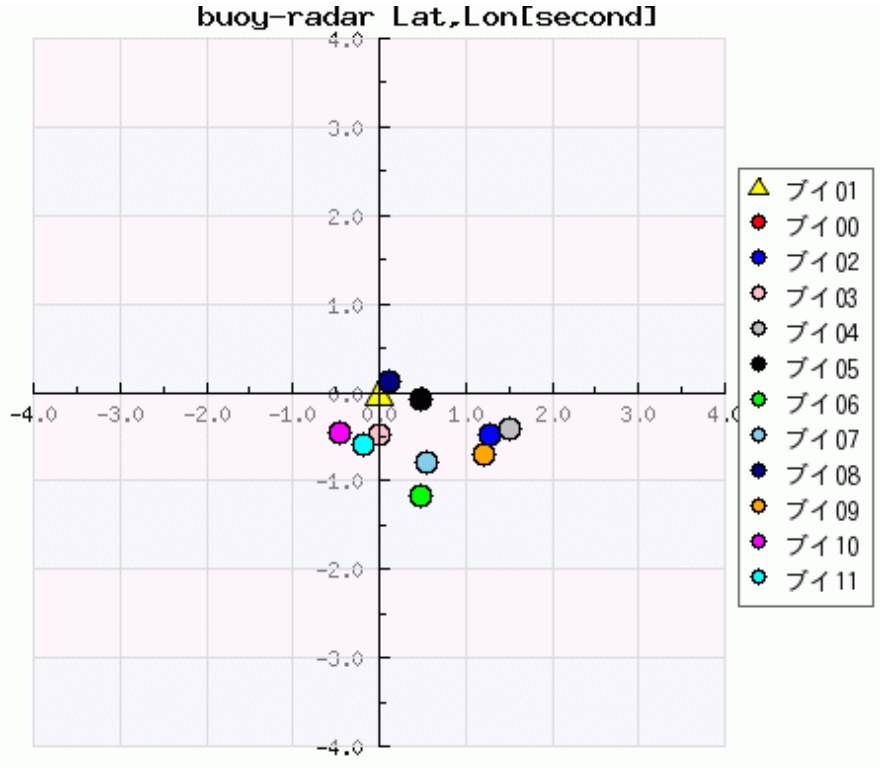

図 12.　GPSMAP for RIAM におけるブイ情報画面の一例
各ブイの最新情報表（上）とブイ間の相対的な位置関係の一例を示す（下）

図 13.　GPSMAP for RIAM におけるシステム管理画面の一例

７．おわりに

今回、GPS 機能付き携帯電話を搭載した自作漂流ブイおよび当該ブイを用いた海洋観測における一連のデータ取得環境を設計・開発した。これにより、搭載機能の変更や拡充、観測インフラの整備・改良が自前で好きなように構築することが出来るようになった。中でも、従来市販品とは異なり低価格で小型・軽量に構成可能な GPS ケータイ型漂流ブイの測器拡充により、三次元的な海洋収束・発散場の現場観測がコストパフォーマンスの高い計測環境で実施できるようになり、今後この分野の研究進展が大いに期待されるところである。本開発が、物理的視点からのアプローチとして、海洋物理場と海洋基礎生産場の関連究明の一端を担うことが出来れば、幸いである。

なお、本稿で紹介した一連の開発技術については、現在、関係各位と調整の上、特許もしくは実用新案として特許庁へ申請を行なう予定である。

謝辞

本開発を遂行するにあたりお世話になりました、扇精光株式会社・山口文春氏、小淵和哉氏、橋口誠氏、KDDI 株式会社・岩本栄隆氏に感謝の意を表します。また、本稿の文章校正を快く引き受けて頂きました、東アジア海洋大気環境研究センター海洋生態系分野・柳哲雄教授に厚く御礼申し上げます。

著作権

本システムおよび本稿に掲載されている情報（文章・写真・図表・イラスト等）は著作権の対象となっています。著作権は、九州大学応用力学研究所・東アジア海洋大気環境研究センター海洋生態系分野ならびに扇精光株式会社に属するものとし、日本著作権法および国際条約により保護されています。著作権法上認められている例外を除き、著作権者に無断で転載・複製等を行なうことはできません。本システムおよび本稿で出典を明示していないものは、九州大学応用力学研究所・東アジア海洋大気環境研究センター海洋生態系分野の独自データですので、取り扱いには特にご留意下さい。

参考文献

石井大輔 (2006)： 緯度・経度から平面直角座標系への変換について. 九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート, **7**, 85-90.

石井大輔 (2007)： 漂流ブイ計測用可視化システムおよび流動場解析ツールの開発. 九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート, **8**, 7-12.

石井大輔, 柳哲雄, 吉川裕, 増田章 (2007)： 漂流ブイと海洋レーダーを用いた対馬海峡における表層収束・発散場の評価. 海の研究, **16**, 237-251.

川合英夫, 坂本久雄, 百田方子 (1969a)： 黒潮表層水の収束発散に関する研究-Ⅰ. 南西海区水産研究所研究報告, **1**, 1-14.

川合英夫, 坂本久雄 (1969b)： 黒潮表層水の収束発散に関する研究-Ⅱ. 南西海区水産研究所研究報告, **2**, 19-38.

Michida,Y., R.Takimoto, P.Sojisuporn and T.Yanagi (2006)： Divergence/convergence field observed with GPS tracked drifters in the Upper Gulf of Thailand. Coastal Marine Science, **30**, 27-35.

Michida,Y., and H.Yoritaka (1995)： Survivability of the surface drifters deployed by Hyodrographic Department of Japan for the period from 1988 to 1994. J. Japan Soc. Mar. Surv. Tech., **7**, 21-28.

日本 MySQL ユーザ会 (2006)： MySQL 徹底入門. 翔泳社, 384pp.

Niiler, P.P., R.E. Davis, and H.J. White (1987)： Water-following characteristics of a mixed layer drifter. Deep-Sea Res., **34**, 1867-1881.

大久保明 (1979a)： 拡散と増殖のバランス. 海洋と生物, **1**, 32-35.

大久保明 (1979b)： 拡散不安定とパッチネスの発生. 海洋と生物, **3**, 54-57.

白山義久 (2003)： 海洋生態系と生物多様性の保全. 生物の科学 遺伝, **57**, 35-40.

William J.E. and Richard E.T. (2001): Data Analysis Methods in Physical Oceanography (Second and Revised Edition). Elsevier, 104-106.

山田祥寛 (2006): 独習 PHP. 翔泳社, 432pp.

柳哲雄, 石井大輔, 日向博文, 石丸隆 (2005): 植物プランクトンパッチネス構造の生成機構. 2005 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 203.

柳哲雄, 石井大輔, 屋良由美子, 日向博文, 石坂丞二 (2008): 有明海湾奥部における表層低塩分水の水平収束・発散とクロロフィル α 濃度の関係. 海の研究, **17**, 39-48.