

オオミズナギドリと 貨物船で海流を測る

— 新たな観測手法がひらく海流予測の新展開 —

地球情報館公開セミナー 第200回（2016年6月18日開催）

宮澤泰正 アプリケーションラボ
ラボ所長代理／海洋・大気環境変動予測応用グループ グループリーダー

海流をコンピュータで予測する

皆さんは天気予報をよくご覧になると
思います。実は海にも高気圧や低気圧
に相当するものがあり、海流や渦の変動
がそれにあたります。私たちのグループ
は、スーパーコンピュータを使った海流
などの予測に取り組んでいます。これは
海中の天気予報とでもいえるものです。

太平洋は全体的に、大きく時計回りの
風が吹いています。基本的にはこの風
に吹き回されて海水が動くので、海流も
時計回りの循環になっています。ただし
海洋には小さな渦がたくさんあります。

図1は日本周辺の海流の様子を、海洋
研究開発機構（JAMSTEC）アプリケ

ーションラボで開発した「JCOPE-T」
という海流予測モデルを使ってスーパー
コンピュータで計算したものです。渦の
回り方によって色分けしてあり、赤が反
時計回り、青が時計回りの渦を示してい
ます。日本列島の太平洋岸には黒潮と
いう非常に強い海流があり、その周囲に
はたくさんの渦が存在していることが分
かります。

海流を予測するには、まず現在の海
流や渦の状態を観測して、その情報を
コンピュータに入力してやる必要があり
ます。

その初期状態から出発してどのように
変化していくのかを計算するのですが、

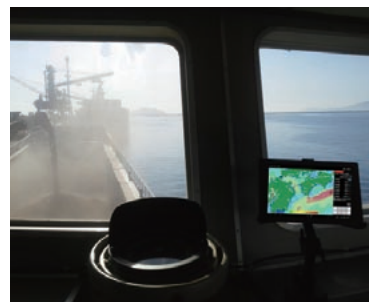


図2：海流予測の船橋での利用例

計算結果は時間の経過とともに実際の
海の状態からずれていってしまいます。
そこで観測データをもとにコンピュータ
の計算結果を修正して、それを新たな
初期状態として計算していきます。それ
を繰り返して海流を予測するのです。こ
のような手法を「データ同化」といいま
す。天気予報などでも使われている技
術です。

海流を予測する場合、1ヵ月ほど先の
計算結果は実際の観測結果から、かなり
ずれてしまいます。私たちは週に1度（最
近は2度）、初期状態を更新して、コンピ
ュータの計算結果を修正しながら2ヵ月
先まで予測を行っています。

実社会にも役立っている海流予測

海流の予測は船の燃費向上などに役
立てることができます。たとえば石油タ
ンカーは、遠く中東からインド洋、台湾、
沖縄を経て、日本の南岸にあるさまざま
な石油基地にやって来ます。そのとき黒
潮に乗れば燃料を節減できます。JAMSTECの研究者が中心となって立
ち上げたベンチャー企業であるフォーキ
ャスト・オーシャン・プラスが、日本郵
船と共同で行った実験の結果、海流予
測を利用して48時間で最大約9%の燃料

海流の予測は、船の燃費向上や汚染物質の拡散を知ることなどに役立ちます。
予測はスーパーコンピュータを使って行いますが、そのとき
出発点となるのは現在の海の状態です。そのため、観測によって
海のいまの状態を知ることがまず必要です。現在は人工衛星などの
観測データをもとに海流予測が行われていますが、海はとても広いので、くまなく、
そして詳しく観測するのは非常に困難です。そこで、オオミズナギドリという水鳥や
日本各地の港を結ぶ貨物船などを利用して海の小さな現象まで捉え、
海流予測の精度向上に生かそうという研究が進められています。

節減が確認できました。このように海外
の港と行き来する外航船で、実際に私
たちの海流予測を利用していただいて
います。

最近では日本各地を結ぶ内航貨物船
でも、海流予測を利用していただくよう
になりました。図2は、タブレット端末
を船橋に置いて利用しているところデ
す。内航海運は実は、トラックなど自動
車による貨物輸送に匹敵するほど、多く
の貨物を運んでいます。船での貨物輸
送は非常に効率がよく、同じ重量の貨
物を運ぶのに自動車の5分の1のエネル
ギーで済みます。海流予測によって、そ
のような内航貨物船を効率的に運用で
きる可能性があります。

海流予測は、放射性物質や汚染物質
が日本周辺の海域に拡散していく様子
を推定することにも利用できます。東北
地方太平洋沖地震のときに福島原子力
発電所から海に流れ出した放射性物質
の広がりを推定したり、津波によって
流出したフッ素化合物の量を推定したり
するときなどにも使われました。

海の現在を知るための観測

海流をきちんと予測するには、まず観
測によって海の現在の状態を把握する
ことが必要です。海流予測を行うのに必
要なデータを得るための観測には、いく
つか方法があります。

その1つが漂流ブイです。その名の通
り、海を漂流しながら人工衛星と通信し
て自分の位置を知らせます。漂流ブイの
位置を追跡することで、海の流れを知る
ことができるのです。

人工衛星によって得られた海面高度
や海面水温などの観測データも、海流

予測に利用されています。図3は海面高
度を観測する衛星の1つで、アメリカの
Jason-2という衛星です。海流予測にと
って、海面高度のデータは非常に重要
です。海面高度が高いところは天気デ
いう高気圧、高度が低いところは低気
圧にあたります。人工衛星で、海の高
気圧と低気圧を観測するのです。

海水は風と同じように高気圧から低
気圧の方へ流れます。そのとき高気圧
の周りには時計回りの渦ができ、低気圧
の周りには反時計回りの渦ができます。
これは空の天気でもまったく同じです。
海面高度（海面の凹凸）の情報から、
海流を知ることができるのです。

海面高度を観測する人工衛星は、海
面をくまなく観測できるわけではありません。
観測されない隙間があるため、海
流の観測は100kmほどのスケールより小
さな現象は観測できません。100kmより
小さな渦については、コンピュータで計
算して隙間を埋めて推定しています。

また、沿岸に近づくほど渦は小さくな
ります。コンピュータで計算すると小
さい渦も現れるのですが、それが正しい
かどうかは、実際に観測してみないと分
かりません。ですから現状で分かるより
も細かい現象を観測することが必要な
のです。

動物や船で細かいデータを集める

私たちとしては、できるだけ細かい現
象を捉えることができる観測を増やして
いきたいと考えています。新型の人工衛
星の開発も進んでいますが、そのような
従来の方法とはまったく異なる新しい手
法にも、私たちは注目しています。それ
は動物を利用する「バイオリギング」や、



みやざわ・やすまさ。1967年、長野県生まれ。
京都大学大学院数理工学研究科修了。博士（理
学）。(株)三菱総合研究所を経て、2004年より
JAMSTEC地球環境フロンティア研究センター技
術研究員。2017年より現職。専門は海洋物理学。
観測データと数値モデルの融合による海流予測
研究に携わる。

船を利用する「シッピングロギング」という
技術です。

陸上の天気の場合、一般の人たちに
観測してもらうことも可能です。皆さん
いろいろなところを歩き回っていますか
ら、たとえば気温や気圧を測定するセン
サーを搭載したスマートフォンのデー
タを収集して、気温や気圧を調べるよう
なこともできます。

しかし海の場合、人が簡単に行くこと
はできません。それならば海で活動する
動物に情報を集めてもらおうというのが
バイオリギングです。ペンギンやトド、
ウミガメや大型の魚などにカメラや各種
センサーを取り付けて、さまざまな情報

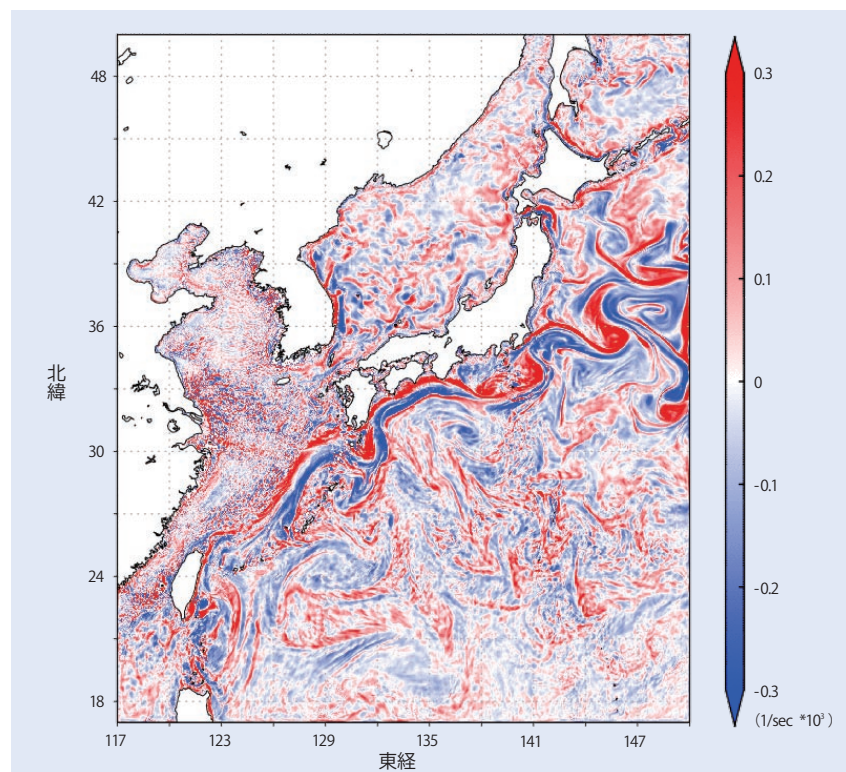


図1：モデルで再現した日本周辺の海流

沖縄から九州、関東の南岸を走る流れが黒潮である。小さな渦が多く存在していることが分かる。

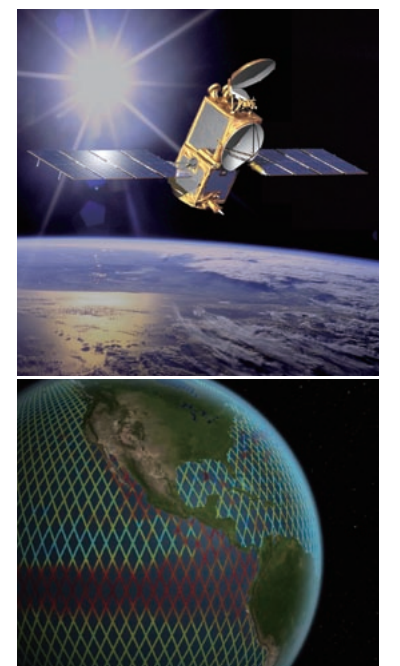
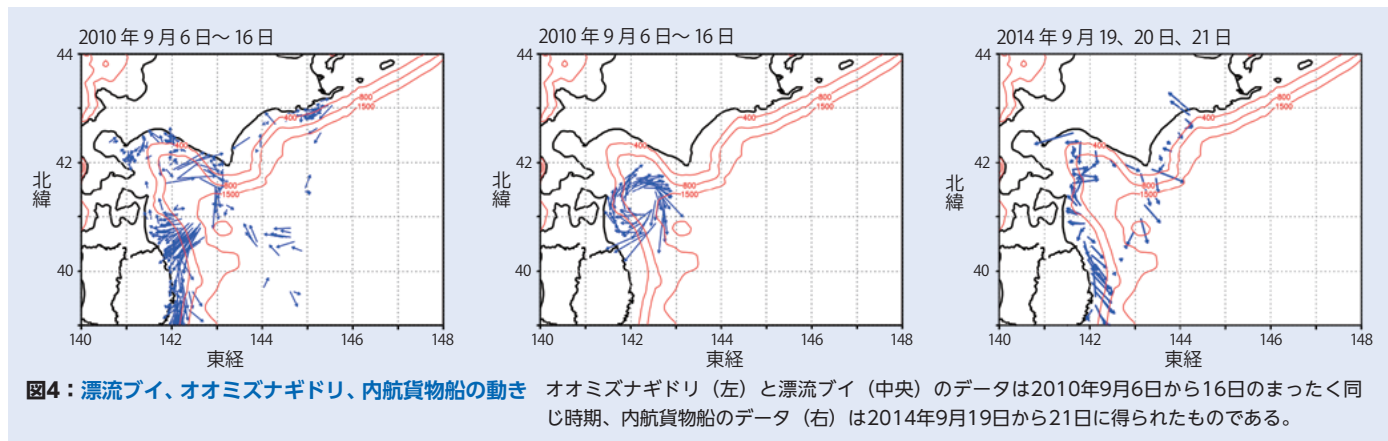


図3：海の高さを観測する人工衛星

海面高度を観測するためのJason-2衛星
(上) と、衛星による海面高度の観測のイ
メージ (下)。斜めの格子状に色が付いた
部分が衛星で観測できる領域で、観測で
きない隙間がある。



を集める研究がすでに行われています。最近のセンサーは、小型のものでも加速度や地磁気、温度や気圧などを計測し、GPS機能まで搭載しているものもあります。動物は巣から出て遠くまで行って餌を捕り、また巣に戻ってくる習性

があります。戻ってきたときにデータを記録した機器を回収します。動物ではなく、仕事で海に出ていく人たちに観測していただく方法もあります。現在、海上技術安全研究所と共同で、内航貨物船に私たちの海流予測情報を

利用して効率的な運航のために使ってもらうと同時に、航行中に海流を観測してそのデータを提供してもらう試みをしています。このように船に情報を集めてもらう技術をシプロロギングといいます。

水鳥のデータで海流予測を改善

津軽海峡では西から東に津軽暖流が流れています。津軽海峡の東側では、暖かい水が津軽海峡から流れ出てきて、時計回りの渦ができています。この海域について、漂流ブイ、オオミズナギドリという水鳥、そして内航貨物船から得られた海流のデータを比較したのが図4です。

オオミズナギドリは、海の上に浮かんでいるときは、エネルギーを節約するために自分では動かず海流に流されることが知られています。そのためGPSを使ってオオミズナギドリの位置を計測することで、どのように流されたのか、つまり海流の様子が分かります。

一方、貨物船は海流によって、進もうと思った方向からずれて進みます。そのようなずれを偏流といいます。図4の内航貨物船のデータは、そのような偏流をもとにして得られた海流の様子です。

図4の漂流ブイとオオミズナギドリのデータは、2010年夏と同じ期間に観測したものです。青い矢印が、どちらも時計回りの渦を示しています。別の年に得られた内航貨物船での偏流のデータからも、時計回りの渦が見られました。これらの結果を見て、海流予測の精度向上にバイオリギングやシプロロギングを使えるのではないかと考えて研究を進めることにしました。

人工衛星など従来のデータだけから

予測した結果と、オオミズナギドリや内航貨物船のデータを同化した予測結果を比較したのが図5です。オオミズナギドリと内航貨物船のどちらも、赤い円のあたりの黒い矢印が変化していることが分かります。このように修正した海流情報を、ほかの漂流ブイ（図4中央）などデータ同化に使わない観測結果と比較したところ、修正しない場合に比べより観測に一致する結果となり、精度の改善を実現することができました。

オオミズナギドリは、南はオーストラリアから、北はカムチャツカ半島まで、広い範囲に分布しています。内航貨物船の場合は沿岸も効率的に観測できます。水鳥や船を利用して人工衛星の観測の隙間を埋めるような部分のデータを得ることで、海流予測の精度を改善していけるのではないかと考えています。

水鳥の位置情報を海流予測以外にも利用

オオミズナギドリの位置情報は、海流予測以外にも使うことができます。オオミズナギドリは海に浮かびながら、海中の魚を捕って食べることがあります。魚はプランクトンを餌にしていますから、オオミズナギドリがいた場所にはプランクトンも多いと推定できます。実際に人工衛星で観測した海のプランクトンの分布と比べてみると、オオミズナギドリの分布と合致します。バイオリギングを進めることで、海の生態系の情報も得られるのです。

オオミズナギドリのデータから、風についての情報を得ることもできます。オオミズナギドリは羽ばたかずに風に乗って移動します。そのときの移動速度は風向や風速に関係しているので、移動速

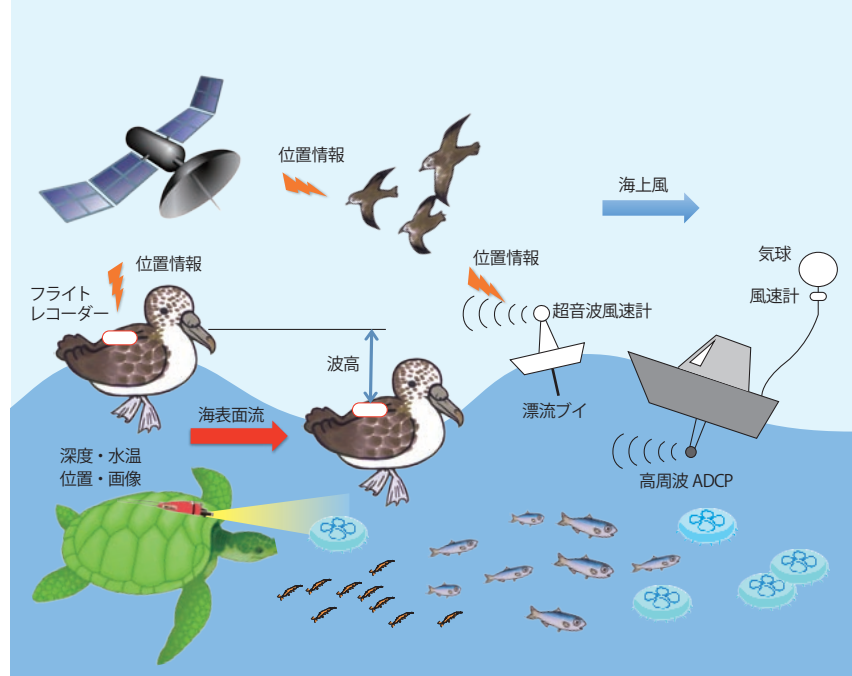


図6：今後の観測検証計画 科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業CREST課題「サイバーオーシャン：次世代型海上ナビ機構」 代表：佐藤克文・東京大学大気海洋研究所教授、より。

度から風向や風速が分かるのです。

オオミズナギドリは、台風の辺縁あたりならば普通に飛ぶことができます。オオミズナギドリから台風接近時の風に関する情報を得ることで、台風の進路予測の精度向上にも寄与できる可能性がありますと考えられています。

また、ハシボソミズナギドリという別の種類の水鳥を使って、環境のモニタリングをしようという試みもあります。水温の分布が変化すると、餌になるオキアミの分布が変わるのに伴って、ハシボソミズナギドリの分布も変わります。そのような情報を、気候変動のモニタリングに使えるのだということが分かってきています。

また海洋汚染のモニタリングにも利用できます。水鳥は海の生態系の最上位クラスですから、汚染物質を濃縮して内臓にため込みます。工業活動によってPCB（ポリ塩化ビフェニル）やDDT（ジクロロジフェニルトリクロロエタン）などの微量の化学物質が環境中に放出されます。水鳥による濃縮を通じて、海洋の汚染がどのように広がっているかの把握にも使えるのです。

今後の課題と観測検証計画

バイオリギングで問題になるのが電力や通信です。電力については、特に海に潜るような動物の場合、太陽エネルギーが使えません。そこで、動物自身、

たとえば魚の尾ひれの振動を利用して発電する研究などが行われています。

現状では巣に戻った動物から機器を回収してデータを得ています。しかし私たちのように、海流予測などにデータを使う研究者にとっては、1ヵ月前に収集されたデータよりも、リアルタイムのデータが欲しいのです。そのため、たとえば人工衛星経由でのデータ通信など、リアルタイムでの通信技術についての研究も進められています。

バイオリギングで得られたデータが実際の海の状態を示したもののなかどうか、まだ厳密に検証されているわけではありません。そのため別の観測機器で得られたデータと厳密に比較する必要があります。そこで現在、東京大学大気海洋研究所のグループを中心に、観測検証計画が進められています。バイオリギングのセンサーを取り付けてある鳥やウミガメなどのすぐ近くで、ADCP（超音波流速計）という高精度の海流観測機器や漂流ブイなどで観測し、得られたデータを比較しようという計画です（図6）。

センサーの高度化や小型化も進んでいます。通信技術の研究が進めば、観測データが自動的にどんどん得られるような時代が来るのではないかと期待しています。そしてさまざまなデータを海流予測のモデルに入れて精度を向上させていければと考えています。