

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「イノベーション創発に資する  
人工知能基盤技術の創出と統合化」  
研究課題「サイバーオーシャン：  
次世代型海上ナビ機構」

## 研究終了報告書

研究期間 2016年12月～2019年3月

研究代表者：佐藤 克文  
(東京大学大気海洋研究所 教授)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

海洋に生息する動物に搭載した小型装置によって得られるデータから、風・流れ・波・水温といった海洋物理環境に関する情報を抽出し、データ同化によってモデル計算の初期値精度を高め、気象や海洋環境予測の精度向上を示す。これが本プロジェクトで目指している目標である。2年4ヶ月間の研究期間中、いくつかの海域において、動物由来のデータにより、モデルによる計算結果の精度が向上するという具体例を示す事が出来た。

野外調査としてオオミズナギドリ調査、ウミガメ調査、そして動物由来のデータ精度を検証するための新青丸航海を行った。新青丸航海では、船から係留した観測ブイやピトー管を備えたドローンにより、海上風・表層流・波浪を測定し、船に備え付けられたCTDによる水温鉛直プロファイルを得た。これらの真値と動物由来のパラメータを比較した結果、気象予測や海洋環境予測での利用に対して十分な精度が得られていることを確認する事が出来た。

ウミガメから人工衛星経由で送られてくる水温鉛直プロファイルモデル(JCOPE2M および SINTEX-F)に同化する数値実験を行った。三陸沖とオーストラリア北部のアラフラ海の2箇所のモデル海域における結果では、いずれも初期値の精度を上げ、後者においては3ヶ月後の水温予測の精度を向上させることが判明した。

オオミズナギドリの飛翔経路から推定した風情報を、大気・波浪・海洋データ同化予測システム(NHM-LETKF)に用いて数値実験を行った。2015年9月の台風接近に伴い内陸で生じた集中豪雨を再現出来るか否かを調べたが、3羽のデータから集中豪雨を再現することは出来なかった。しかし、モデル内の風の計算結果には、同化の効果が認められた。また、全球大気データ同化システム(AFES-LETKF)にも2016年9月の延べ28羽の海上風データ同化実験を行い、三陸沖の衛星による海上風観測と同程度の観測インパクトを持つことが確認された。

将来、動物由来のデータを用いた気象予報を行うためには、リアルタイムでかつ長期間にわたってデータが送られてくるのが望ましい。現在、ウミガメに用いている装置からは、約1年間にわたって人工衛星経由で水温鉛直プロファイルがほぼ毎日送られてくるが、海鳥に用いている装置は、記録時間が1日に限られており、またデータを得るためには動物を再捕獲する必要がある。そこで、海鳥に取り付けるフライトレコーダーの改良を進め、より長期間記録が可能となる大容量型リチウムイオン電池を新たに開発し、これを搭載した新規装置の作製を行った。さらに、装置を回収せずとも、繁殖地に戻ってきた際に繁殖地に設置した受信機に自動でデータを送信する装置を新たに導入した。最終的には得られたデータがインターネット上に自動アップロードされるのが望ましい。それを見据えて、繁殖地の船越大島にソーラー電源システムと携帯電話回線(WiMAX)を用いたライブモニタリングシステムを設置し、繁殖地の映像と音声に関する情報がリアルタイムでインターネット経由で得られる様になった。

これまでは海鳥やウミガメから得られるデータを、人がさまざまな判断をしながら解析して物理パラメータを計算していた。将来、動物由来のデータを気象予報に利用するためには、人間の判断や作業を介さない自動抽出が必要となる。本プロジェクトで蓄積された解析ノウハウを元に、ウェブ上のサイト経由でデータをアップロードすると、自動的に物理パラメータが抽出され、その後、そのデータを欲しい人がサイトからダウンロードが出来るシステムを立ち上げた。

海鳥に搭載した記録計によって得られるデータから、海上風や表面流を抽出する解析アルゴリズムに加え、波浪情報を抽出するアルゴリズムを新たに考案することが出来た。大型水槽内で人工的に波を起こし、そこに浮かべたブイの上に海鳥に搭載する記録計を載せデータを取得した。新規に開発されたアルゴリズムをもちいて加速度時系列データから算出した波高や周期は、人工的に起こした波の実測値と良く一致することを検証することが出来た。

## (2) 顕著な成果

### < 優れた基礎研究としての成果 >

#### 1.

##### 概要:

東北沖の親潮黒潮混合水域では、寒流と暖流が複雑に混ざり合っている。6頭のアカウミガメに人工衛星対応型発信器を取り付けて放流したところ、水面から最大 150mに到る潜水を繰り返して、水温鉛直プロファイルを得た。そのデータを数値モデル(JCOPE2M)に取り込んだところ、水温フロントや中規模渦の位置や規模をより正確に把握出来るようになった。ウミガメ由来の実測値はアルゴや船舶による測定値と遜色のない精度を有し、計算結果の精度向上に貢献した(Ocean Dynamics 誌に掲載された)。

#### 2.

##### 概要:

西パプアに産卵上陸したヒメウミガメ5頭に人工衛星発信器を取り付けたところ、アラフラ海を回遊する3ヶ月間に合計886回の深度水温プロファイルデータを得た。それをモデル(SINTEX-F)でデータ同化したところ、初期値が改善され、3ヶ月後の水温予測値が実測値に近づいた。エルニーニョやダイポール現象といった熱帯地方の水温情報は、世界の気象の季節予測を大きく左右することが知られており、本研究成果は今後の季節予測に新たなトレンドをもたらす可能性がある(論文投稿中)。

#### 3.

##### 概要:

横風を受けつつ目的地へ移動する海鳥が、風の影響を打ち消す方向に頭を向けて飛ぶことで、流されることなく目的地に向かって進んでいることを発見した。ランドマークがある陸上を移動する鳥が同様の事を行っているのは知られていたが、目印のない外洋を飛ぶ鳥が、何らかの手段で目的地の方角を知り、さらに横風の影響を相殺していたという驚くべき能力が判明した。論文は Science Advances 誌に掲載され、朝日・読売・Yahoo ニュースなどで広く紹介された。

### < 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

#### 1.

##### 概要:

海鳥に取り付けるフライトレコーダーの改良を進めた。従来品に比べて4割蓄電量が増えたりリチウムイオン電池を組み込んだ装置を作製した。新規装置は2019年1月から4月にかけて、南インド洋のクロゼ諸島におけるワタリアホウドリ調査に用いられた。さらに、直接対気速度を測定するための防水型ピトー管を開発した。実験環境下における性能テストは終了している。

#### 2.

##### 概要:

海鳥から得られたGPSデータをアップロードすると、自動的に海上風や表層流といった物理データが抽出されるウェブシステムが出来た。現在は、プロジェクトメンバー内でのみ公開し、各種基礎研究に用いられているが、加速フェーズ期間内に、データ同化によりモデルの初期値や予測値が改善される具体例をいくつも示すことが出来れば、天気予報会社などにデータを有料で提供出来るようになる可能性がある。

#### 3.

##### 概要:

加速度時系列データを用いて動物の行動パターンを判別するといった基礎研究を進めてきた。これまでは野生動物の生態研究が唯一の出口であったが、飼い猫の行動自動判別を行うサー

ビス業へ展開するため、猫専用の行動計測ウェアラブルデバイス Catlog の企画・開発に着手した。飼い猫の睡眠・休息・運動・飲食排泄などの行動時間配分を日々モニタリングすることにより、飼い主は猫の日々を把握できる様になる。

<代表的な論文>

Takeshi Doi, Andrea Storto, Takuya Fukuoka, Hiroyuki Suganuma and Katsufumi Sato. Impact of temperature measurements by sea turtles on seasonal prediction around the Arafura Sea. (Submitted)

Yasumasa Miyazawa, Akira Kuwano-Yoshida, Takeshi Doi, Hatsumi Nishikawa, Tomoko Narazaki, Takuya Fukuoka and Katsufumi Sato. Temperature profiling measurements by sea turtles improve ocean state estimation in the Kuroshio-Oyashio confluence region. Ocean Dynamics 69: 267-282 (2018)

Yusuke Goto, Ken Yoda, Katsufumi Sato. Asymmetry hidden in birds' tracks reveals wind, heading, and orientation ability over the ocean. Science Advances 3, e1700097 (2017).

## § 2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 「バイオリギングデータ同化」グループ

研究代表者: 佐藤 克文 (東京大学大気海洋研究所 教授)

研究項目

- ・装置開発
- ・波浪検証実験
- ・野外調査
- ・データ同化

② 「気象海洋観測精度検証」グループ

主たる共同研究者: 小松 幸生 (東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授)

研究項目

- ・気象海洋観測
- ・観測データ解析

③ 「サイバーオーシャン」グループ

主たる共同研究者: 齊藤 馨 (東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授)

研究項目

- ・ウェブカメラ設置
- ・ウェブサイト公開

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

・リトルレオナルド社

動物搭載型小型記録装置(データロガー)の製造を依頼。特に海鳥に取り付けるフライトレコーダーの基板と電池の接続や、GPS アンテナのカバー改良、およびエポキシ樹脂による防水耐圧加工を依頼した。

・バイオロギングソリューションズ社

動物搭載型記録装置から得られるデータより、海洋物理環境情報を自動抽出し、ウェブ上で公開するシステムの作製を依頼。

・ATTACCATO(アタッカー) 合同会社

海鳥用フライトレコーダーに用いる大容量型リチウムイオンバッテリーの作製を依頼。次世代の電池材料として有望視されるシリコン系負極とニッケル系正極、高結着性無機系バインダ、耐熱性セパレータをそれぞれ用いて、エネルギー密度が一般的な車載電池より4割高い二次電池が開発された。その電池を搭載したフライトレコーダーは2019年1月から3月にかけて、インド洋亜南極圏のクロゼ諸島においてワタリアホウドリに取り付けられた。

・株式会社 RABO

家猫に加速度センサーなどを取り付け、時系列データから行動判別するアルゴリズム開発に対してアドバイスし、必要な機材の貸し出しを行った。2018年2月22日の猫の日に創業された。