

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「海洋生物多様性および生態系の保全・
再生に資する基盤技術の創出」

研究課題「黒潮と内部波が影響する沿岸域におけ
る生物多様性および生物群集のマルチスケール変
動に関する評価・予測技術の創出」

研究終了報告書
[1年追加支援期間分]

研究期間 2018年4月～2019年3月

研究代表者：山崎秀勝
(東京海洋大学学術研究院
海洋環境科学部門、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

プランクトンの多様性を実測するためにケーブルオブザバトリに搭載したプランクトンカメラ(CPICS)より大量のプランクトン画像が蓄積されてきた。これらの画像の解析を手動で行うことは現実的でない。そこで AI を応用した画像認識の方法を用いることにより自動分類方法を確立することを目指した。当初、Woods Hole 海洋研究所(WHOI)の研究者が開発した方法を用いていたが解析が期待通り進まないため、新たな共同研究者としてサンパウロ大学の Lopes 教授に本研究に参加してもらうことにした。Lopes 教授の研究室(Laboratory of Plankton System, LAPS)が開発している自動分類プログラム(LAPS Plankton Detector, LPD)は Random Forest (RF)の手法を用いている。

LPD を用いて CPICS 画像を解析したが、動物プランクトンばかりでなく、Marine Aggregates も 1 日周期で変動している結果が得られた。動物プランクトンは日周鉛直移動を行うため、1 日周期で変動するのは不思議ではないが Marine Aggregates は日周鉛直移動を行うことは考えられないので Marine Aggregates の自動分類に問題があることが分かった。そこで、Marine Aggregates を 6 タイプのパターンに分類し、それぞれのパターンを別々に分類することで Marine Aggregates の自動分類の精度が画期的に向上した。LPD の自動分類プログラムの開発と並行して、山崎研究室でも独自に Matlab の Deep Learning を用いた自動分類プログラムの開発を行った。一方、LAPS では Matlab は商用ソフトとして高価であるため、無償で公開されている Python を使って Random Forest と Deep Learning を組み合わせた自動分類システムを構築し、公開の準備を進めている。

LAPSが開発したプランクトンカメラ(Chameleon)は赤外光を用いてプランクトンの撮影を行っている。一方、CPICS は白色光を用いているためプランクトンはこの光に引き寄せられて蟻集している可能性がある。そこで、Chameleon と CPICS を同時に用いて夜間の日周鉛直移動が盛んな時間帯の計測を行った。CPICS から得られた甲殻類映像数は Chameleon の約 5.8 倍であることが分かった。

ケーブルオブザバトリの観測結果によれば濁度計の値が夜間上昇する。この原因は動物プランクトンが蛍光光度を測定するために照射している青の光に引寄せられたためであると考えたが立証するに至らなかった。そこでブラインシュリンプ (Artemia)及び沿岸域で採取した動物プランクトンを用いた室内実験を行った。この結果、濁度の上昇は動物プランクトンが蟻集することにより発生することを実証することができた。

CPICS の動物プランクトンの画像によれば、波高が高くなるほど動物プランクトンの出現数は減少することを H29 年度に報告したが、大島北端に設置した ADCP のデータを精査することにより同様の結果が得られた。また、同様な傾向をイスラエルの共同研究者が提供した ADCP のデータからも得ることができた。流動ないし乱流が強くなった場合、動物プランクトンが海底に退避しているかを検証するためには、その様子を撮影することが望ましい。そこで CPCIS 及び Chameleon を海底に設置し、夜間と日中の海底付近の状態を撮影することを試みた。撮影時は静穏な状態であったにも関わらず海底付近は懸濁物質が多く撮影は極めて困難であることが判明した。

SUNTANS に動物プランクトンを粒子化し、日周鉛直移動のパターンと流れによる粒子の分散の関係を検討した。初めに、2次元の内部潮汐バージョンを用いて数値実験を行った。この結果、日周鉛直移動は動物プランクトンの蟻集を促進させ、分散を抑制する効果があることが判明した。さらに、3次元のモデルで実験を行い、動物プランクトンの日周鉛直移動は、同様の蟻集効果があることを明らかにした。

(2) 顕著な成果

< 優れた基礎研究としての成果 >

1. CPICS と Chameleon の比較実験

概要: CPICS はすでに実用化され一般ユーザーへの販売も開始されている。研究成果は未

だ限定的であるが、今後多くの論文が出されることが期待できる。白色光であるためにプランクトンの画像は鮮やかなカラーで現れている点は優れている。しかしながら、フラッシュとして白色光を用いていることが動物プランクトンの出現数にどのような影響を及ぼしているか不明である。一方、Chameleon は赤外光を使うため、鮮やかなカラーで撮影することはできないが動物プランクトンは赤外光に蝟集しないため出現数にバイアスを及ぼすことはない。CPICS と Chameleon の比較実験を行った結果、CPICS 出現数は、夜間、少なくとも Chameleon の約 5.8 倍であることが分かった。この実験から今後のプランクトンカメラの開発を進める指針を提供することができた。

2. 流れと動物プランクトンの出現数の関係

概要： オブザバトリから得られた CPICS の画像により、動物プランクトンの出現数と波高の間に強い相関があることが分かった。また、この関係は動物プランクトンの遊泳力とも関係していることが分かった。さらに、ADV のデータを用いて乱流強度を推定する方法を新たに採用し、出現数と乱流強度の関係を同様に導くことができた。これらの結果は、ADCP の散乱強度と流速の関係と整合性があることが突き止められた。強い流れを避けて動物プランクトンがどこに行くのかは未解決問題である。海底の境界層には Logarithmic 境界層(乱流)と Linear 境界層(粘性流)で構成されている。Linear 境界層は高々数ミリメートルであったとしても、極めて静穏であるために数ミリメートルの個体が退避するには適している環境であることが考えられる。しかしながらこの点に関しては立証することは困難で、現時点では仮説の域を出ない。

3. 動物プランクトンの日周鉛直移動のパターンが分散に与える影響

概要： 本研究課題が対象とした伊豆海嶺域において動物プランクトンの日周鉛直のパターンがどのように流れ等によるプランクトンの分散に影響するかを調べるために SUNTANS に動物プランクトンを模した粒子を組み込んだ数値実験を日周鉛直移動のパターンを変化させを行った。日周鉛直移動を行わない場合と日周鉛直移動の移動距離を変化させた場合で比較した。この結果、日周鉛直移動が分散を抑制する傾向は明らかであり、日周鉛直移動がプランクトンを蝟集させる効果があることも分かってきた。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1. プランクトン画像の自動分類プログラムの開発

概要： サンパウロ大学の Lopes 教授との共同研究により精度の高い自動分類プログラムを開発した。LAPS が新規に開発した自動分類プログラム(LPD V2)は Random Forest(RF)の手法に加え Deep Learning(DL)の手法を用いて自動分類を行うことができる。RF あるいは DL を選択するかはユーザーの判断で行うことができる。当初考えていた、はじめに RF、次に DL といった固定式のアルゴリズムでなく、対象とする画像に合わせた組み合わせが望ましいと考え、現在のアルゴリズムを構築した。現在、LPD V2 をサンパウロ大学のサーバー上で Manual と共に公開する準備を進めている。

2. 濁度計と動物プランクトンの走光性について

概要： 現在、濁度計と蛍光光度計を組み合わせた計測器が販売されている。例えば、YSI EXO、Wetlab FLNTU、JFE Advantech RINKO Profiler など。濁度計そのものは、一般に、赤外光を用いて測定されているが、蛍光を測定するためには青の光を照射しなければならない。多くの動物プランクトンは、この青の光に正の走光性を持っており、この光にどの程度、動物プランクトンが蝟集し、このため濁度がどの程度バイアスするか検討されていない。ケーブルオブザバトリのようなある特定水深で蛍光光度と濁度を同時に測定する場合、その影響を考慮しなければならない。そこで、室内実験を行い動物プランクトンの蝟集が濁度に大きな影響を与えることを明らかにした。このため、係留系等に設置した濁度、蛍光光度センサーのデータを解析する場合は注意が必要である。また、本実験結果は、今後の測器の開発に一石を投じる成果である。

§ 2. 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

山崎グループ

研究題目：黒潮と内部波が影響する沿岸域における生物多様性および生物群集のマルチスケール変動に関する評価・予測技術の創出

(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

Dr. Lan Smith (JAMSTEC) 動物プランクトン日周鉛直移動に関する数値実験 (国内)

増永英治 助教(茨城大学) SUNTANS

Prof. Rubens Lopes (Sao Paulo University) 自動分類プログラム、濁度、プランクトンカメラ

Prof. Greg Ivey (The University of Western Australia University) OCEANS data 解析

Prof. Amatzia Genin (The Hebrew University of Jerusalem) CPICS データ解析、濁度

Prof. Rudi Strickler (University of Wisconsin) CPICS データ解析、濁度

Dr. Scott Gallager (Woods Hole Institution of Oceanography) CPICS データ解析

Prof. Oliver Fringer (Stanford University) SUNTANS