

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400468

研究課題名(和文)小笠原諸島東方沖の「深海のオアシス」の出現条件

研究課題名(英文)Formation conditions for "abyssal oasis" east of Ogasawara Islands

研究代表者

市川 香 (Ichikawa, Kaoru)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：40263959

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：小笠原周辺海域では生物活動が活発ではないが、局所的な「オアシス」のように深海漁場が形成される。漁業者にGPS機能付カメラを委託し、メカジキの漁場位置の分布データを新たに取得した。高分解能の数値モデルでは、急峻な海底斜面で発生した内部潮汐が特定の領域内にのみ伝播する様子が確認されたが、その領域の縁部分に漁場位置が集中することが分かった。この縁部では水平流の収束・発散が卓越するが、それと深部音響反射層の出現・消失が対応することも確認された。これらは、日中に深部に沈降している動物プランクトンが、水平流の収束に伴って特定の場所に集積することで、深海漁場が形成されると考えると矛盾しない。

研究成果の概要(英文)：Biological activities are generally low in the center of the Pacific subtropical gyre where Ogasawara islands locate. But abyssal fishing there is locally quite active, as an "oasis". Exact abyssal fishing points are newly recorded, and they are found to locate at the edge of propagation areas of internal tides. Significant divergence/convergence of horizontal internal tidal currents are recognized in these areas, and they are confirmed to be related with disappearance/appearance of the deep scattering layers of sound echos. These suggests that zooplankton sinking in the daytime are accumulated at a place by convergence of horizontal internal tidal currents, so that an abyssal fishing point is formed at the point.

研究分野：海洋物理学

キーワード：深海漁場 内部潮汐 メカジキ 漁獲位置分布 高分解能数値モデル 潮流の収束・発散 深部音響反射層 小笠原諸島

1. 研究開始当初の背景

下層からの湧昇で栄養塩が表層に供給される亜寒帯循環に比べて、太平洋亜熱帯循環の中央部の生物活動は活発ではない。しかし小笠原諸島周辺の深海では、メカジキやダイオウイカなどの大型生物が豊富に存在していて、あたかも砂漠のオアシスのように局所的に生物が豊富な深海漁場が形成されている。こうした「深海のオアシス」が形成される原因は明確ではなく、出現場所や時期についての把握すら正確になされていない。

2. 研究の目的

そこで本研究は、現場観測データと漁獲データと高分解能の数値モデルのデータを併用して解析することで、「深海のオアシス」が形成される場所や時期を特定し、深海漁場の形成要因について考察する。これまでに、大潮期に深海のオアシスが明確になるという報告があることから、特に内部潮汐に注目し、流速場の大潮期と小潮期の違いや、中規模渦の接近によって生じる密度構造の変化の影響を調べる。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、現場観測、漁獲位置、数値モデルの三種類のデータセットを使用した。数値モデルは、広域を高い時空間分解能で取り扱えるJAMSTECのJCOPE-Tモデルを用いた。解析には、1/36° 水平格子、鉛直46層の父島周辺(26.5° ~ 28.5° N, 143.15° ~ 143.5° E)の毎時データを用いた。

現場観測は、小笠原水産センターの父島周辺の18定点の水温塩分観測に、流速プロファイルと音響エコー強度の観測を追加して実施して頂いた。さらに、特定の測点を2時間毎に繰り返し計測する連続観測も実施した。

漁獲データはこれまで大まかなエリアで分類されてきたため、漁場位置の正確な分布は把握されていなかった。そこで小笠原水産センターと父島漁業組合の協力を得て、縦縄漁法でメカジキの漁獲があった地点を8台のGPS機能付の防水カメラで撮影することで、新たに341地点の漁場位置の測位データを収集した。

(2) 数値モデルは長期間の連続データが使用できるため、定量的な解析が行いやすい。そこで、数値モデルの長期時系列データを解析し、内部潮汐の挙動について調査した。図1に示すように、小笠原諸島周辺の急峻な海底斜面を擾乱源として、鉛直断面内を特定の方向にのみ擾乱が伝搬する内部波の特性を持った潮汐周期の水温変動が顕著に表現されていた。この内部潮汐変動成分について、大潮・小潮の起潮力の変化や、中規模渦の接近による密度場の変化でどう変質するかについても考察した。

さらに、間欠的な現場観測データを用いて

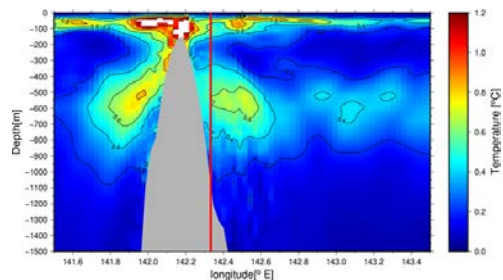


図1 水温の標準偏差の27° Nにおける鉛直断面図

数値モデル内の半日周期の温度場の変動を検証したところ、主温度躍層よりも下層の300~800m付近の変動は観測結果とよく一致していたが、上層の再現性は高くなかった。これは、JCOPE-Tモデルで使用した海面フラックスの水平・時間解像度が粗いことと、高い鉛直解像度が必要となる内部潮汐波の海面での反射の再現性が低いためだと考えられる。そこで、以下の解析に関しては、300~800m付近にのみ着目して解析を行った。

(3) 2015年の1年間にGPS機能付防水カメラによって収集された漁獲位置のデータと、数値モデルに再現された内部潮汐の流速場との比較を行い、深海漁場が形成される場所と内部潮汐との関連性について検討した。特に、内部潮汐に伴う変動として、等温層の鉛直移動と、水平流の収束・発散に分けて検討し、深海漁場の形成位置との関連性を議論した。

(4) さらに、深海漁場形成と密接に関連すると考えられる動物プランクトン量の変動を見積もるために、音響測深の深度別の反射強度を計測し、日中に深部で強い音響反射物が記録される層(Deep Scattering Layer; DSL)を抽出した。定点での時系列現場観測データでDSLが潮汐周期内でどう変化するかを調べ、数値モデル内の内部潮汐の変動との対応関係を調査して、深海漁場の形成要因の解明を試みた。

4. 研究成果

(1) 数値モデル内での内部潮汐周期の変動強度について調べると、大潮・小潮などの起潮力の変化の他に、中規模渦によって主温度躍層の深度が変化することで強度変化が生じることが確認された(図2)。

高気圧性渦が小笠原諸島付近に到達すると主温度躍層が深くなり、密度の成層強度を示す浮力振動数は水深400~500m付近で大きくなる(図2右)。逆に低気圧性渦が当該海域に存在する場合には主温度躍層が上昇する傾向となり、浮力振動数が大きい深度は200m付近まで上昇する(図2左)。内部潮汐の強度(図2下段の等値線)が大きくなるのは、浮力振動数の大きな層が小笠原諸島周辺

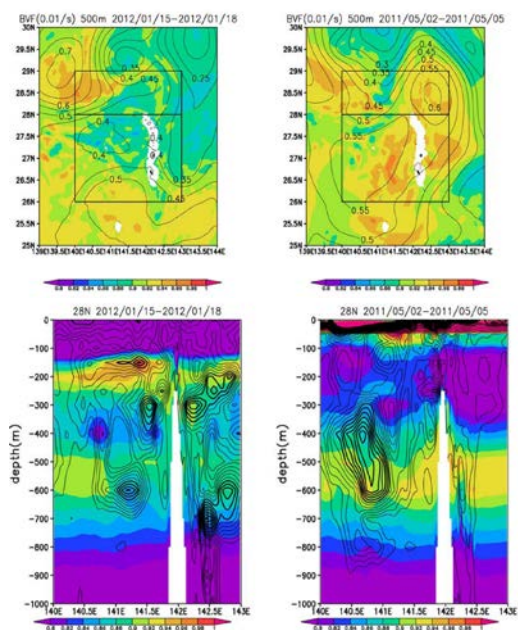


図2 2012年1月15~18日(左)と, 2011年5月2~5日(右)の数値モデルの結果。色は浮力振動数で, 成層強度を示す。上段は500m深での水平分布, 下段は28°Nにおける鉛直分布を示している。上段の等値線は海面高度, 下段の等値線は潮流成分の強度を示す(Verlamov et al., 2015より)。

の海底斜面上に到達している場合(図2右)であった。

水平流である潮流が急峻な斜面上を流れる際に地形に沿って鉛直方向成分の流れが生じ, その場所の成層を上下に揺らすのが内部潮汐の擾乱源である。従って, 斜面を流れる潮流の速度が大きいか, 斜面付近の成層が強いと, 発生する内部潮汐の強度が大きくなる。前者は大潮・小潮の起潮力の変化に対応し, 後者は中規模渦の接近による密度構造の変化に対応していることが確認できた。

(2) GPS機能付きのカメラを用いることで, メカジキの漁獲のあった正確な場所の記録を初めてデータ化することができた。

得られた漁場位置のデータは, 図3のよう

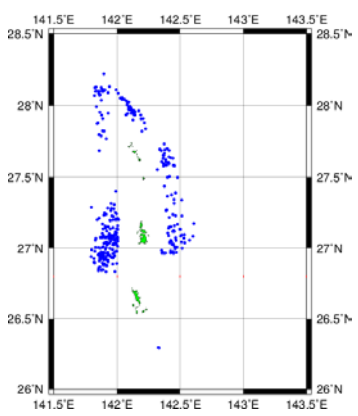


図3 GPSカメラによって収集した深海漁場の位置

な分布となった。父島や兄島の東西に, 島からやや離れた場所に分布している。ただし, 東側に比べると西側の27.5°N付近には漁場が分布していないなど, 東西で非対称な分布になっている。なお, 26.8°N以南に漁場が分布していないのは, 父島漁業組合の漁獲領域外となるためであり, 漁場形成条件とは無関係である。

次に, この漁場分布がどんな要因で決定されたかを, 数値モデルの内部潮汐を解析して調べた。なお, メカジキの産卵期(4~7月)には場所によらずどこでも針掛かりするという報告があるので, 漁場形成要因を調べるには不適であると判断し, 以下の解析では除外した。ただし, 全体的な漁場分布の傾向は図3と変わらなかった。

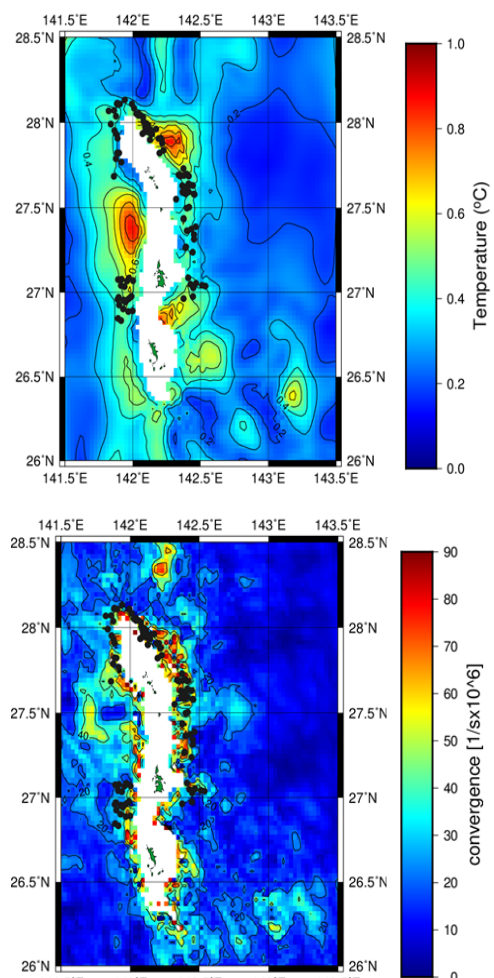


図4 500m深における水温の標準偏差(上)と, 水平流速の収束・発散の強度(下)の分布。図中の黒点は, 非産卵期のメカジキの漁場位置。

図4は, 縦縄漁法の漁獲深度付近の500m深における水温変化の標準偏差と, 潮流成分の水平成分の収束・発散の分布を示したものである。メカジキの漁場位置と比較すると, 水温変化の大きな27~27.5°N, 142°E付近や27.8°N, 142.3°E付近には漁場が形成されていないことがわかる(図4上段)。

一方、これらの海域は水平流の収束・発散は小さく(図4下段)、むしろその周辺の収束・発散が大きい海域で漁場が形成されていたことが確認できる。

水平流の収束・発散が小さく水温変化の大きい場所では、層厚を保ったまま等温層が鉛直に上下していると考えられる。しかし、内部潮汐の伝達は擾乱源から特定の方向の範囲内に限定されているため(図1)、こうした上下する等温層の縁部では、等温層の上下動擾乱を打ち消すように等温層の層厚が変化していて、結果として外部海域に擾乱が伝達しないと考えられる。つまり、こうした縁部においては、層厚の変化が生じるように水平流の収束・発散が大きい。しかも流入・流出するのは水平の等温層なので、水温の変化は小さいことになり、図4の結果と整合している。

(3) 上記の漁場形成との対応関係を考えてみると、内部潮汐が通過する範囲の縁部で、水平流が収束・発散して層厚の変化が大きい場所が、深海漁場の形成場所として選択されていることになる。

そこで、流速の収束・発散と生物生存状況との対応を見るために、2016年9月2日の定点連続現場観測で得られたDSL深度の時間変化と、同日の数値モデルの水平流速の収束・発散との対応を調べた。すると、水深400m付近のDSLは、水平流速が収束すると出現し、発散すると消失する傾向があることがわかった。

DSLを構成する音響の反射粒子が動物プランクトンであると仮定すれば、日中に捕食されるのを避けるために日内鉛直移動して水深400m付近に沈降している動物プランクトンが、水平流の収束によって周辺から特定の場所に集積することで総数が増えれば、反射粒子数の増大によってDSLが形成されると考えられる。動物プランクトンを捕食する小型魚も動物プランクトンを求めて収束域に集積するとすれば、水平流の収束と深海漁場の形成に対応関係が生じることは矛盾しない。

(4) ただし、縦縄漁法ではメカジキが針掛りした時刻がわからないため、実際に潮流が収束する位相でメカジキが漁獲されているかの確認ができていない。また、今回は漁獲位置を用いて漁場形成を議論しているが、これには漁業努力による観測バイアスが含まれている可能性がある。例えば図4上段で水温変動の大きい海域で漁場が形成されない理由は、実は海洋物理・生物学的なものではなく、単純に漁具の設置に支障があるためかもしれない。

これらの点に関しては、メカジキが漁獲された時刻を記録したり、図4上段で水温変動が大きい海域内でDSLが形成されるか否かを確認したりするなど、追加観測を行う必要

がある。これらは、今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Verlamov, S.M., X. Guo, T. Miyama, K. Ichikawa, T. Waseda and Y. Miyazawa, M2 baroclinic tide variability modulated by ocean circulation south of Japan, *Journal of Geophysical Research*, 120(C5), doi: 10.1002/2015jc010739, 2015, 査読有

[学会発表] (計 2 件)

- ① 浅田 凌, 市川 香, 田中 優平, S.M. Varlamov, 宮澤 泰正, 内部潮汐が父島周辺のメカジキの漁業量変動に与える影響評価, 日本海洋学会 2016 年度秋季大会, 2016 年 9 月 12 日, 鹿児島大学工学部 (鹿児島県鹿児島市)
- ② 市川 香, 宮澤 泰正, 小笠原沖深海のダイオウイカの出現予測, RIAM フォーラム 2014, 2014 年 6 月 6 日, 九州大学筑紫キャンパス (福岡県春日市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.jamstec.go.jp/jcope/vwp/ogasawara2/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市川 香 (ICHIKAWA, Kaoru)
九州大学応用力学研究所・准教授
研究者番号: 40263959

(2) 研究分担者

宮澤 泰正 (MIYAZAWA Yasumasa)
(独) 海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・グループリーダー
研究者番号: 90399577

(4) 研究協力者

田中 優平 (TANAKA Yuhei)
東京都小笠原水産センター・研究員

小山靖弘 (KOYAMA Yasuhiro)
NHK エンタープライズ深海プロジェクト・ディレクター