

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：62611

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24810031

研究課題名(和文) 様々な海洋環境における海洋生態系動態メカニズムの解明

研究課題名(英文) Understanding the marine ecosystem dynamic in different environmental characteristics

研究代表者

山本 誉士 (YAMAMOTO, Takashi)

国立極地研究所・北極観測センター・特任研究員

研究者番号：70637933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：近年、気候変動による海洋生態系への影響が懸念されている。だが、その動態を広範囲かつ連続的に観測することは難しい。そこで、本研究では海洋生態系の高次捕食者である海鳥・オオミズナギドリにデータロガーを装着・回収することで、様々な海域(亜熱帯～亜寒帯)において彼らの採餌行動から生物資源ホットスポットを特定し、その形成の特徴を明らかにした。また、採餌域と海洋環境の相関からハビタットモデルを構築し、今後予測される水温上昇シナリオに対する彼らの応答を明らかにした。本研究の結果から、オオミズナギドリの採餌行動を指標とすることで、日本周辺海域における海洋生態系動態のモニタリングが可能であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The effect of climate-related changes on marine ecosystem has been one of the recent concerned issues. However, the continuous monitoring of marine ecosystem over large area is logistically difficult. In this study, the biological hotspots were identified from foraging areas of a pelagic seabird, streaked shearwaters, in different marine environment (subtropical, temperate, subarctic) using miniaturized data-loggers. Then, the characteristics of these hotspots were examined. Using the foraging-environment relationship, statistical models (i.e. habitat modelling) were established using the generalized additive model to predict their responses to the expected water temperature rise scenario. From these results, the foraging behaviour of streaked shearwaters can be an indicator (or monitor) of marine ecosystem dynamics around Japan.

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：環境動態解析

キーワード：海洋生態系 海洋環境 海鳥 データロガー 温帯 亜熱帯 亜寒帯 採餌行動

1. 研究開始当初の背景

近年、気候変動が海洋の物理環境を大きく変え、その変化が海洋生態系へも影響することが懸念されている。海洋表層の物理環境および一次生産量は、ARGO ブイシステムや衛星リモートセンシングによって広範囲の情報小空間スケールでモニターされている。だが、これらの手法ではより高次の生物のモニタリングは困難である。動物プランクトンや魚類の研究は、船をプラットフォームとした海洋生物調査と漁獲統計解析によっておこなわれている。しかし、船舶調査では観測範囲や観測頻度の制限により広域・連続的研究は難しく、また漁獲統計では漁業活動規模の地域間差などにより情報量や解析精度に大きな偏りがみられる。漁業活動が盛んな陸棚から斜面域といった外洋では捕食者も含めた生物量が大きく、また生物多様性も高い。一方、このような生物活動の高い場所は海洋環境の変化に対応して水平方向に移動したり、捕食者による消費により激しく変動したりすることが予想される。特に、海山などの地形的特徴に分布が左右されない浮遊資源ではそうである。そのため、浮遊生物などの生物資源動態を把握するためには、表層の生態的・生物的に重要な海域を水平方向に広く、かつ連続的に観測することが重要である。

海洋生態系の高次捕食者である海鳥の行動は、生物資源と相互作用しながら動的に変化し、海鳥は餌生物の豊富な海域を選択的に利用する。そこで、海鳥をプラットフォームとして海洋観測および生物資源探査をおこなうというアイデアが提唱された。海洋高次捕食動物の海上での行動を明らかにするため、最近では動物に小型記録計（以下、データロガー）を装着するバイオロギング手法が多く用いられている。本手法を用いた研究により、様々な動物種において採餌利用域が特定され、衛星リモートセンシングにより観測された海洋環境との対応関係が記載的に報告されている。

日本周辺の海域は亜寒帯から亜熱帯域までを含む。そして、海域によって鉛直混合が盛んであったり、密度躍層が発達したりと海洋物理環境が大きく異なることが知られている。それに伴い、一次生産者である藻類の種類と分布、食物網構造、そして二次消費者のタイプやその動態も海域によって全く違うものになっていることが予想される。例えば、亜寒帯や温帯海域では海洋フロントなど、海洋物理的特徴のある場所に生物は局所的に集中して分布する。一方、亜熱帯海域では成層化するため、表層の生産性は一様に低く、生物は点在して分布する。また、亜寒帯や温帯海域における先行研究では、高次捕食動物の分布と一次生産性の指標となるクロロフィル a 濃度との関連が強い。しかし、表層生産性が低い熱帯海域では高次捕食動物とクロロフィル a 濃度には相関がみられず、局所

渦や水温構造の変移が生物動態に影響すると考えられている。そのため、各海域において生物資源動態の特徴や海洋環境との関係を明らかにする必要がある。

申請者はこれまでオオミズナギドリ *Calonectris leucomelas* という海鳥の生態解明を目的とし、バイオロギング手法を用いて彼らの採餌域と海洋環境の関係について研究してきた。その結果、海洋環境の変化に伴う餌資源の時間的・空間的な変動に対して、彼らは採餌域や行動を柔軟に変化させて応答することが明らかになった。オオミズナギドリは北西太平洋の亜寒帯～亜熱帯海域にかけて広く分布しており、数百キロ～千キロに及ぶ広い行動圏をもつ。この様に様々な海洋環境で採餌をおこない、機動性が高く、かつ生物資源を探知することに秀でたオオミズナギドリを用いることで、様々な海域における海洋生態系動態の特徴を明らかにできるのではないかと、という着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では様々な海域（亜熱帯、温帯、亜寒帯）で繁殖するオオミズナギドリにデータロガーを装着し、彼らの採餌域の時間的・空間的変動パターンと海洋環境情報の解析から、各海域における海洋生態系の動態の特徴および環境応答メカニズムを解明することを目的とする。

3. 研究の方法

南西諸島仲ノ神島（24°11'N, 123°34'E）にあるオオミズナギドリの繁殖地において、2012年10月および2013年9月に野外調査を実施した。微細な時間・空間スケールで海鳥の行動を記録することのできるGPSデータロガーをオオミズナギドリに装着し（図1）約1週間後に回収した（10羽中5羽から回収）。回収時には胃内洗浄法により、捕食した餌を採取した。また、照度を約1年間記録することができるジオロケータというデータロガーを装着し（図1）、翌年の繁殖期に装着個体を再捕獲して回収した（20羽中5羽）。ジオロケータに記録された照度データを解析することで、一日1点の位置を推定することができる。照度から推定された位置の推定誤差は約100kmと粗いが、長期的に位置情報を得ることができるため、海洋環境の季節変化に回答した採餌域の変化を明らかにすることができる。



図1. オオミズナギドリに装着したGPS（左）とジオロケータ（右）。

台風に伴う悪天候およびそれによる調査スケジュール遅延のため、2013年には三貫島(39°18'N, 141°58'E)と御蔵島(33°52'N, 139°14'E)では野外調査を実施することができなかった。そのため、申請者が過去の調査で取得しているジオロケータのデータを解析することで、それらの繁殖地が位置する海域の海洋物理・生物環境を明らかにし、数理モデルを用いて将来の海洋環境変化による海洋生態系への影響を予測することを試みた。

仲ノ神島で採取した餌サンプルの多くは消化が進んでおり、外見から魚種を特定することが難しかった。そのため、国立極地研究所において、サンプルの肉片からDNAを抽出し、遺伝子情報に基づいて種を特定した。

4. 研究成果

亜熱帯海域に位置する仲ノ神島のオオミズナギドリは、主に与那国島や台湾周辺の沿岸域、および大陸棚から斜面域にかけて餌を採っていた(図2)。餌サンプルのDNA分析の結果から、本繁殖地における主な餌はトビウオとイカ類であることがわかった。

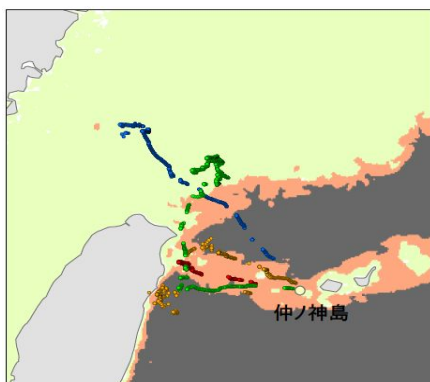


図2. GPS データロガーで記録された仲ノ神島のオオミズナギドリの採餌移動軌跡(4 個体)。黄色は大陸棚域(200m 以浅)、オレンジは斜面域(200m~1000m)、グレーは深海域(1000m 以深)。

亜熱帯海域におけるオオミズナギドリの採餌域には、顕著な季節変化は見られなかった。一般的に、熱帯海域では通年で水温が高く、温帯海域や亜寒帯海域に比べて、水温は季節的に大きく変化しない(図3)。また、熱帯海域では温かい水により表層が成層化する、さらに三陸海域の様に暖流と寒流が存在しないため、表層と深層の水が混ざることがなく、表層の基礎生産性は一様に低い(図3)。だが、大陸棚に沿って海流が流れる斜面域では、栄養塩を多く含んだ深層の海水が表層に向かって上昇し、局所的に生産性が高まることが知られている。夏期の表層のクロロフィル a 濃度は繁殖地周辺では低い、大陸棚から斜面域にかけて高い(図3)。そのため、本海域において、オオミズナギドリは沿岸域や台湾北方の大陸棚~斜面域にかけて餌を採

っていたと考えられる。以上の結果から、熱帯海域においては、生物資源の季節的な動態は乏しく、水温などの動的な特徴よりも、海底地形などの、より静的な特徴が生物資源のホットスポット形成に影響することが示唆される。

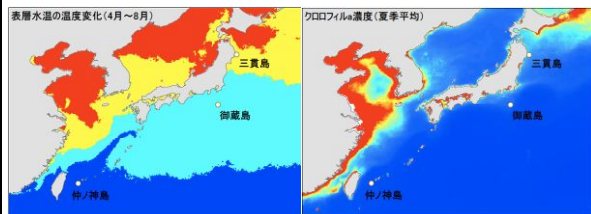


図3. (左) 表層水温の4月~8月にかけての温度変化。青:5 以下、水色:5~10、黄色:10~15、赤:15~20。

(右) 夏期の平均クロロフィル a 濃度(基礎生産性の指標)。濃度は青から赤にかけて高くなる。

一方、亜寒帯域に位置する三貫島および温帯域に位置する御蔵島では、採餌域は春から夏にかけて北上を示した。基礎生産性は三陸北部~道東にかけて高く、またこれらの海域における水温の季節変化は5~15 と大きい(図3)。そのため、温帯から亜寒帯にかけて、浮魚類は季節的に北に回遊することが知られている。その様な資源動態に合わせて、オオミズナギドリも採餌域を季節的に北上させていると考えられる。つまり、彼らの採餌域を指標とすることで、三陸海域の温帯~亜寒帯にかけての生物資源の動態をモニタリングすることができると期待される。

そこで、三貫島と御蔵島それぞれのオオミズナギドリの海上分布密度と海洋環境との相関関係を調べ、一般化加法モデル(GAM)によりハビタットモデルを構築した。海洋環境情報には、衛星リモートセンシングによって測定された表層水温、海面高度、クロロフィル a 濃度、および深度と繁殖地からの距離を用いた。そして、構築されたモデルを用い、IPCC の気候変動モデルにより予測された今後の海水温の上昇(+4)を反映した海洋環境情報を作成し、オオミズナギドリの海上分布の変化を明らかにした(図4)。その結果、亜寒帯域では彼らの採餌域は北上し、一方で温帯海域では北上および外洋域に移動していた。三貫島における主な餌はカタクチイワシであり、一方で御蔵島における主な餌はカタクチイワシとトビウオである。海洋環境の変化に対するオオミズナギドリの応答の違いは、彼らが主とする餌の違いに起因すると考えられる。このことから、温暖化による海洋環境変化に対する生物資源の応答は、種により異なることが示唆される。これらの結果は、彼らの餌種などの生態情報をきちんと把握することで、オオミズナギドリの海洋生物資源変動モニターとしての有効性を示したと考える。

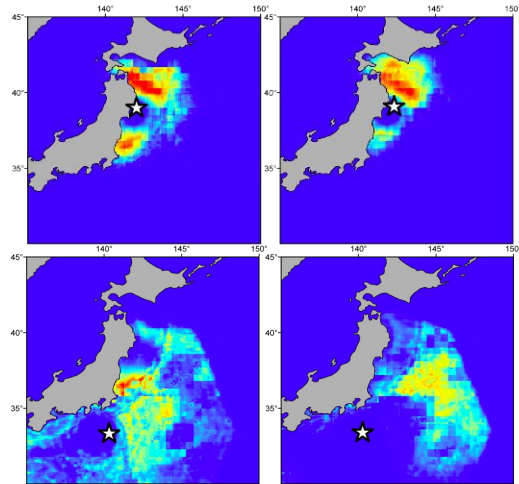


図 4. 海洋環境変動に対するオオミズナギドリ の採餌域の変化 : (上図) 三貫島、(下図) 御蔵島、(左) 5 月平均水温、(右) 水温上昇シナリオ。青から赤にかけて予測分布密度は高くなる。

本研究により、亜熱帯海域、温帯海域、亜寒帯海域における生物資源動態の特徴の違いが明らかになった。また、海上の広範囲を移動して採食する海鳥を指標とすることにより、海洋生態系の動態をモニタリングできる可能性が示唆された。今後はより強固な数理モデルを構築することで、信頼精度の高い予測をおこなうことを試みる。また、オオミズナギドリを用いることでトップダウン的に資源動態変化を明らかにすることができるが、一方でその下位に位置する植物プランクトン、動物プランクトン、魚類への影響および捕食・被食関係の変化についても併せて明らかにする必要があるだろう。

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 6 件)

Takashi Yamamoto, Akinori Takahashi, Katsufumi Sato, Nariko Oka, Maki Yamamoto, Philip Trathan (2014) Individual consistency in migratory behaviour of a pelagic seabird. Behaviour 151, 683-701, 査読有 (DOI:10.1163/1568539X-00003163)

Atsuo Ito, Rei Yamashita, Hideshige Takada, Takashi Yamamoto, Kozue Shiomi, Carlos Zavalaga, Tomoya Abe, Shinichi Watanabe, Maki Yamamoto, Katsufumi Sato, Hiroyoshi Korno, Ken Yoda, Tomohiko Iida, Yutaka Watanuki (2013) Contaminants in tracked seabirds show regional patterns of marine pollution. Environmental Science &

Technology 47,7862-7867, 査読有 (DOI:10.1021/es4014773)

Takashi Yamamoto, Akinori Takahashi, Nariko Oka, Masaki Shirai, Maki Yamamoto, Nobuhiro Katsumata, Katsufumi Sato, Shinichi Watanabe, Philip Trathan(2012) Inter-colony differences in the incubation pattern of streaked shearwaters in relation to the local marine environment. Waterbirds 35, 248-259, 査読有 (DOI:http://dx.doi.org/10.1675/063.035.0207)

山本誉士 (2013) 繁殖を終えたオオミズナギドリはどこに行くのか? Mikurensis 2, 3-11, 査読無 (<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=374987129276934&set=a.374987112610269.1073741826.123346951107621&type=3&theater>)

〔学会発表〕(計12件)

Takashi Yamamoto, Akinori Takahashi, Katsufumi Sato, Nariko Oka, Yutaka Watanuki."Spatial utilization of streaked shearwaters in the Northwestern Pacific". PICES 2014 FUTURE Ocean Science Meeting, Big Island, Hawaii, USA, 2014年4月15-18日 (口頭発表)

Takashi Yamamoto, Akinori Takahashi, Nariko Oka, Masaki Shirai, Maki Yamamoto, Nobuhiro Katsumata, Katsufumi Sato, Shinichi Watanabe, Philip Trathan."Inter-colony differences in the incubation pattern of streaked shearwater in relation to the local marine environment". Pacific Seabird Group annual meeting, Juneau, Alaska, USA, 2014年2月19-22日 (口頭発表)

山本誉士, 高橋晃周, 佐藤克文, 岡奈理子, 山本麻希, Trathan Philip."海鳥の渡りにおける個体行動の再現性". 第32回大会日本動物行動学会, 広島大学, 広島県, 2013年11月29日~12月1日 (ポスター発表)

山本誉士."オオミズナギドリの渡り行動". 第9回日本バイオロギング研究会シンポジウム, 東京大学大気海洋研究所, 千葉県, 2013年11月8日 (口頭発表)

Takashi Yamamoto, Akinori Takahashi, Katsufumi Sato, Nariko Oka, Maki Yamamoto, Philip Trathan."Individual consistency in migratory behaviour of a pelagic seabird". 第9回日本バイオロギング研究会シンポジウム, 東京大学大気海洋研究所, 千葉県, 2013年11月7日 (ポ

スター発表)

山本 誉士."ジオロケータを用いた研究手順と解析方法". バードリサーチ鳥学講座, 行徳野鳥観察舎, 2013年2月17日(招待講演)

山本 誉士."樹に登る海鳥!?ここまで分かったオオミズナギドリの生態". 行徳野鳥観察舎(市川市)公開講座, 行徳野鳥観察舎, 2013年2月17日(招待講演)

山本 誉士, 高橋晃周, 佐藤克文, 岡奈理子."オオミズナギドリの空間利用～目視観察・バイオロギングデータを用いた分布予測～". 第8回日本バイオロギング研究会シンポジウム, 北海道大学水産学部, 2012年10月27日(招待講演)

山本 誉士, 高橋晃周, 佐藤克文, 岡奈理子, 山本麻希, Philip Trathan."オオミズナギドリの渡り行動の再現性". 日本鳥学会2012年度大会, 東京大学弥生キャンパス, 2012年9月14-17日(口頭発表)

[図書](計1件)

山本 誉士."月の満ち欠けとオオミズナギドリの行動変化". 分担執筆, 種生物学会和文誌第38号生物リズムの生態学, 種生物学会編, 文一総合出版発行, 2014年12月出版予定(採録決定済)

[その他]

[学術雑誌等又は商業誌における解説]

山本 誉士."冠島でオオミズナギドリに装着したジオロケータで判明した越冬海域の一例(カラー口絵)". ALULA, 46, p1, 2013年5月.

山本 誉士."冠島でオオミズナギドリに装着したジオロケータで判明した越冬海域の一例(プレスリリース)". ALULA, 46, pp32-33, 2013年5月.

山本 誉士."冠島でオオミズナギドリに装着したジオロケータで判明した越冬海域の一例(追記)". ALULA, 46, pp34-35, 2013年5月.

山本 誉士."ジオロケータの仕組み". Bird Research News, 10, p3, 2013年2月.

山本 誉士."ジオロケータを用いたオオミズナギドリの生態解明". Bird Research News, 10, pp4-5, 2013年2月.

[アウトリーチ活動]

日本野鳥の会東京支部における講演."数千キロを移動する謎, 最新調査機器を駆使して海鳥の魅力を語る, オオミズナギ

ドリの秘密". 謎東京都新宿区日本野鳥の会東京支部, 2013年11月20日.

[報道関連情報]

京都新聞. 2012年12月25日「冠島で繁殖のオオミズナギドリ 渡りルート判明」

毎日新聞. 2013年1月8日「オオミズナギドリ数千キロも 越冬ルート初判明 生態解明に大きな意義」

読売新聞. 2013年2月3日「オオミズナギドリ越冬の移動経路解明」

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本 誉士 (YAMAMOTO, Takashi)

国立極地研究所・北極観測センター・特任研究員

研究者番号: 70637933