

学位論文題名

Satellite-based horizontal and vertical habitat estimation
for loggerhead turtles (*Caretta caretta*) and bigeye tuna
(*Thunnus obesus*) in the North Pacific Ocean

(北太平洋におけるアカウミガメおよびメバチマグロの
衛星データに基づいた水平・鉛直生息域の推定)

学位論文内容の要旨

1. 序 論

ハワイを拠点としたはえ縄漁業は、中部北太平洋においてかじき類やまぐろ類を対象としてかめ類の混獲を回避しながら操業を行っている。これまでのアカウミガメの高い混獲率は、はえ縄浅縄操業回数の歴史的な削減措置を勧告するきっかけとなった。これらの2種の遊泳行動様式や生息環境の把握は、アカウミガメ混獲回避を望むメバチ対象漁業者に有益な情報提供の可能性がある。

太平洋メバチは高度回遊性魚類で持続的利用のためには正確な資源評価、および国際管理体制が必要とされており、本種の現段階における資源状態は乱獲状態にはないが、その可能性が懸念されている。現在の資源評価方法には実際の操業情報を取り入られており、この情報に基づいたメバチの水平・鉛直生息域の情報は、持続可能なメバチ漁業を継続させるための情報となり得る一方で、正確な資源評価のための付加情報となる。

北太平洋に生息するアカウミガメは絶滅危惧種に指定されており、特にカジキを対象としたはえ縄浅縄操業で混獲される。現在、混獲数が17匹に達すると直ちにその時点から次年度まで漁業が停止することが決定されており、実際、2006年3月から2007年1月まで漁業が停止した。このように、アカウミガメの水平・鉛直行動様式と生息域を把握することは分布生態を明らかにするとともに、その情報に基づいた混獲回避のための混獲可能海域の推定は重要である。

そこで本論文ではアカウミガメの混獲を減らし、かつ持続的なメバチ漁業を継続するための当該2種の水平・鉛直行動を明らかにし、漁業者への混獲回避に向けた情報提供を目標とし、以下に示す事項を遂行した。

- (1)衛星追跡データと人工衛星環境データとを使用して北太平洋におけるメバチとアカウミガメの生息域と鉛直行動を明らかにする。
- (2)漁業データと人工衛星データを使用して、アカウミガメ混獲回避のための情報を提供する“TurtleWatch”システム(アカウミガメ監視システム)を構築する。

これらの結果は、漁獲対象種と絶滅危惧種の継続的な保護・管理のために必要不可欠な情報となる。

2. 使用データと解析方法

本研究では北太平洋を対象海域とし、使用データは対象種に装着した衛星追跡標識（ポップアップアーカイバルタグ：PAT と深度記録タグ：SDR タグ）、ハワイ周辺海域におけるはえ縄操業データと AVHRR 水温データ、および Jason-1 海面高度データである。

2.1 中部北太平洋におけるメバチ鉛直遊泳行動の時空間変動

2002 年～2007 年、4°N から 32°N の中部北太平洋でポップアップアーカイバルタグを取り付け、再捕されたメバチ 29 個体から得られたデータを使用した。位置補正はタグに記録された照度と水温データに unscented カルマンフィルター処理にて行った。2 個体から高解像度の鉛直遊泳データが得られたため、本研究では日中(10:00 - 14:00)のメバチ鉛直遊泳行動を、(1)shallow, (2) intermediate, (3) deep, の 3 タイプと定義した。鉛直遊泳データは四半期別に緯度経度 2° 格子に集約し、(2)と(3)をはえ縄で潜在的に漁獲される深度として定義した。また、一般化加法モデルによりはえ縄深縄で最も漁獲可能性が高い海域を推定した。

2.2 TurtleWatch: ハワイ周辺海域におけるはえ縄漁業による若齢アカウミガメ混獲減少のためのツール

1994 年～2006 年までの 100 個体以上のアカウミガメ衛星追跡タグデータ、はえ縄操業データとアカウミガメ混獲データに一致する AVHRR 水温データを使用した。「TurtleWatch」構築のために、アカウミガメ混獲が最も起こり得る海域を水温頻度分布によって定義し、その分布域を抽出した。この結果を実際の漁業に適用するために、2005 年～2007 年までののはえ縄操業データを使用し、混獲可能海域配信前後の操業分布域について比較検討した。

2.3 アカウミガメの鉛直遊泳行動：海洋構造の海域・季節変化による応答

2002 年～2004 年までの中部北太平洋においてはえ縄漁業によって捕獲された、若齢アカウミガメ 17 個体に取り付けられた衛星追跡タグから得られた鉛直遊泳データを使用し、鉛直遊泳行動と海洋変動との関連を解析した。解析対象海域を黒潮続流分岐域（Kuroshio Extension Bifurcation Region: KEBR）、ハワイ周辺はえ縄漁場（Hawaii-based Longline Fishing Ground: HLFG）、カリフォルニア海流域（California Current region: CC）に区分した。タグデータの位置補正は、ベイズ定常空間モデルにより行った。補正された位置情報を使用して、水温、海面高度データを抽出した。最も深い潜行水深、潜行時間、遊泳水深の時間帯を調べ、遊泳行動タイプを分類するために k-mean クラスタ分析を行った。分類された遊泳行動タイプに影響する海洋環境の効果を各解析対象海域毎に調べた。また、はえ縄漁具の出現、アカウミガメの出現、15m 以上潜行するといった確率を海面水温に基づいて計算し、2005 年～2007 年までにはえ縄漁具との遭遇率とアカウミガメ混獲水温帯の条件付き確率とを計算した。

3. 結果と考察

3.1 中部北太平洋におけるメバチ鉛直遊泳行動の時空間変動

衛星追跡タグデータを取り付けた 29 個体のメバチは日周移動を行い、夜間は 0m~50m、日中は 300m~400m の水深帯を遊泳していた。日中の遊泳行動は表層、中層、深層へ潜行する 3 パターンに分けられ、それぞれ 24.4%、18.8%、56.8%であった。1~3 月は、表層と中層に分布しており、分布域は 14°N~16°N の範囲(浅い低酸素層)、および 28°N の北部海域(例水域)であった。メバチは低酸素海域に適応できるとの報告があるが、主に低酸素海域での餌生物の鉛直移動に影響を受けていることが考えられる。4 月~6 月にかけてメバチの生息水深はさらに深くなり、表層が暖水で覆われる 10°N の南部海域、および 18°N と 28°N とで囲まれる海域に分布していた。これはメバチの体温調節機構に関連していると推察されるが、表層ではより暖かい海水に適応する必要があるだろう。このように表層における暖冷水の分布は、メバチ滞留時間に影響していると考えられる。これは GAM による結果と一致しており、緯度と時期は当然ながら重要であるが、表面水温がメバチの分布域を決定する上で重要な役割を担っている。GAM による結果は、10 月~12 月の 18°N~20°N において表面水温が最も顕著に影響していることを示した。この結果は、ハワイ周辺のはえ縄漁業で報告されたメバチ漁獲量が高い時期と漁獲海域に一致していた。

3.2 TurtleWatch: ハワイ周辺海域におけるはえ縄漁業による若齢アカウミガメ混獲減少のためのツール

カジキを対象とした漁業によるアカウミガメ混獲尾数は、1994 年~2006 年 1 月~3 月にかけて北太平洋亜熱帯フロント域で多かった。この高い混獲率はアカウミガメ生息水温、および浅縄操業域の水温に密接に関係しており、両者ともに 17.5°C~18.5°C の範囲にあり、当該海域における過去のアカウミガメ生息水温帯と一致した。衛星追跡タグを取り付けたアカウミガメは 15.6°C~17.1°C の冷水域に出現し、上述の混獲された海域に比べて体サイズは小さい傾向を示した。これらの結果に基づいて、18.5°C 以上の暖水域で浅縄操業を行うよう保護措置が勧告されたが、この勧告は NOAA TurtleWatch によって配信された北太平洋アカウミガメ生息水温分布図に基づき行われ、2006 年 12 月 26 日に漁業者、および経営者に電子媒体と紙媒体によりリリースされた。TurtleWatch による配信効果を評価するためにリリース前後における操業実態を比較検討した。その結果、2007 年第 1 四半期(1 月~3 月)における操業は 18.5°C 等温線の北側で行われた。全体的にその努力量は増加し、アカウミガメ混獲率は低下を示し、TurtleWatch で推定した混獲海域では 66.7%の混獲率であった。混獲率の低下は、大型の釣り針サイズによる若齢個体の混獲回避の結果であること、および漁具設置水深とアカウミガメ鉛直遊泳行動とが一致しなかったことが混獲を減らした一つの要因としても考えられた。このように操業海域におけるアカウミガメ遊泳行動データが混獲回避海域の推定精度を高めるために今後必要であろう。

3.3 アカウミガメ鉛直遊泳行動: 海洋構造の海域・季節変化による応答

アカウミガメは、約 60%を水深 5m 以浅の表層で、80%以上を水深 15m

以浅の海域に滞留した。これは、アカウミガメの表層における摂餌行動によることが考えられる。昼夜の行動パターンの違いは、昼間は潜行回数が多く、夜間は少ないことが明らかとなり、昼間は索餌、夜間は休息していることが示唆された。遊泳データの多変量クラスター分析の結果、本種の遊泳行動は4つのタイプに分類でき、3つのタイプは深い水深帯を長時間、1つのタイプは浅い水深帯を短時間に遊泳していることを示した。この結果はキプロス周辺海域におけるアカウミガメの行動パターンと良く一致した。

アカウミガメの水平行動には海域別の特徴が認められ、17個体中16個体が放流後西へ移動し、HLFGへ加入した。また、遊泳行動には季節性が確認され、特に北太平洋亜熱帯フロントの緯度方向の季節変化と一致していた。第1四半期(1月~3月)には、亜熱帯フロント北部の混合冷水域に分布し、頻度は少ないが長期間深い水深に分布していた。第3四半期(7月~9月)には、亜熱帯フロント南部の成層化した海域に現れ、短時間、浅い水深に滞在した。これらの結果は、この海域における海洋構造の季節変化に応答した遊泳行動であることが推察された。

5個体は180°よりさらに西部であるKEBRへと移動した。KEBRにおけるアカウミガメは、中規模暖冷水渦に影響を受けた遊泳行動を示した。このように渦が存在する高いEKE(Eddy Kinetic Energy)を示す海域では、深い水深帯を長期間遊泳する傾向にあった。また、1個体は中部太平洋に戻るまでにBaja Californiaまで移動し、徐々に遊泳水深が深くなる傾向を示した。逆にHLFGに戻る際には遊泳水深が浅く、その結果速い移動を示した。

モデルによって計算された第1四半期(1月~3月)のHLFGにおけるはえ縄漁具との遭遇率は、2005年~2007年に報告されたアカウミガメ混獲域よりも冷水域で高かったが、実際の混獲は少なかった。これは水平、鉛直的な漁具との遭遇率が低かった可能性が考えられる。

4. 結論

本論文では、ハワイを拠点とするはえ縄漁業で重要な2種、メバチとアカウミガメ、の水平・鉛直生息域の変動を明らかにするために漁業データと衛星追跡タグデータ、および人工衛星による海洋環境データを使用した。本研究で得られたメバチの生息域情報は、深縄で最も漁獲されるといった情報提供とともにその正確な資源評価に貢献できるだろう。アカウミガメの生息域情報は、現在漁業経営者や漁業者へ提供しているNOAA TurtleWatchへフィードバックされている。これに加えて、本論文で解析した衛星追跡タグから得られた北太平洋におけるメバチとアカウミガメ鉛直遊泳行動の詳細解析は、漁獲対象種と絶滅危惧種とを同時に議論した意味では初めての報告でもあり、北太平洋の生態系におけるメバチとアカウミガメの生態を理解するためには必要不可欠な情報である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 齊 藤 誠 一
副 査 教 授 桜 井 泰 憲
副 査 教 授 帰 山 雅 秀
副 査 准教授 平 譯 享
副 査 教 授 Jeffrey Polovina (ハワイ大学客員教授)

学位論文題名

Satellite-based horizontal and vertical habitat estimation for loggerhead turtles (*Caretta caretta*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the North Pacific Ocean

(北太平洋におけるアカウミガメおよびメバチマグロの
衛星データに基づいた水平・鉛直生息域の推定)

ハワイを拠点としたはえ縄漁業は、中部北太平洋においてカジキ類やマグロ類を対象とし、カメ類の混獲を回避しながら操業を行っている。これまでのアカウミガメの高い混獲率は、はえ縄浅縄操業回数 of 歴史的な削減措置を勧告するきっかけとなった。これらの2種の遊泳行動様式や生息環境の把握は、アカウミガメ混獲回避を望むメバチ対象漁業者に有益な情報提供の可能性がある。

太平洋メバチは高度回遊性魚類であり、その持続的利用のためには正確な資源評価および国際管理体制が必要とされている。現段階における本種の資源状態は乱獲状態にはないが、その可能性が懸念されている。現在の資源評価方法には実際の操業情報が取り入られており、この情報に基づいたメバチの水平・鉛直生息域の情報は、持続可能なメバチ漁業を継続させるための情報となり得る一方で、正確な資源評価のための付加情報となる。

そこで本研究ではアカウミガメの混獲を減らし、かつ持続的なメバチ漁業を継続するために必要な当該2種の水平・鉛直行動を明らかにし、漁業者へ混獲回避に向けた情報提供をすることを目標とした。

本研究では、メバチとアカウミガメの水平・鉛直生息域の変動を明らかにするために漁業データと衛星追跡タグデータ、および人工衛星による海洋環境データを使用した。本研究で得られたメバチの生息域情報は、深縄で最も漁獲されるといった情報提供とともにその正確な資源評価に貢献できる。アカウミガメの生息域情報は、現在漁業経営者や漁業者へ提供している NOAA “TurtleWatch”へフィードバックされている。これに加え

て、解析した衛星追跡タグから得られた北太平洋におけるメバチとアカウミガメ鉛直遊泳行動の詳細解析は、漁獲対象種と絶滅危惧種とを同時に議論した意味では初めての研究報告であり、北太平洋の生態系におけるメバチとアカウミガメの生態を理解するためには必要不可欠な情報である。

特に審査員一同が評価した点は以下の通りである。

1. 中部北太平洋におけるメバチ鉛直遊泳行動の時空間変動は、夜間は 0m~50m、日中は 300m~400m の水深帯を遊泳し、日中の遊泳行動は表層、中層、深層へ潜行する 3 パターンに分けられことが明らかにした。
2. “TurtleWatch”というハワイ周辺海域におけるはえ縄漁業による若齢アカウミガメ混獲減少のためのツールを開発した。
3. アカウミガメ鉛直遊泳行動と海洋構造の海域・季節変化による応答を明らかにした。さらに、昼夜の行動パターンの違いは、昼間は潜行回数が多く、夜間は少ないことを明らかにし、昼間は索餌、夜間は休息していることを示唆した。

本研究は、衛星リモートセンシングやバイオロギング技術を応用して、当該2種の水平・鉛直行動を明らかにし、漁業者への混獲回避に向けたダイナミックな海洋保護区モデルの開発に挑戦したものである。本研究を発展させることにより、“オペレーショナル”水産海洋学をさらに一歩進め、このモデルを実際の漁業へ応用して、効率的で持続可能な漁業の推進に貢献できることを期待している。

審査員一同は、本研究が、北太平洋の生態系におけるメバチとアカウミガメの生態を理解するための重要な知見を得、漁獲対象種と絶滅危惧種の継続的な保護・管理のために必要不可欠な新しい予測手法を開発したものと認め、本論文が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。