

学 位 論 文 題 名

マルチセンサーリモートセンシングと海洋 GIS による

マイワシ漁場形成および資源変動に関する研究

学位論文内容の要旨

【緒 言】

我が国は、平成9年から排他的経済水域(EEZ)の主要魚種についてTAC(漁獲可能量)による漁獲管理を開始した。適正なTACを設定するには、正確なABC(生物学的許容漁獲量)の算出が急務である。一方で、効率的な操業のための漁業の情報化も急務である。この2つは、資源保護と漁獲効率向上という両極に位置する問題であるが、21世紀の水産資源管理は、漁業現場と直結したものになる必要がある。

多獲性浮魚類は、21世紀の食糧問題を考える上では、タンパク源として重要である。そこで本研究はマイワシ(*Sardinops melanostictus*)を研究対象とした。日本周辺のマイワシ漁獲量は、高資源水準期の1990年代前半の年間約450万トンから、現在は年間約10万トンに急激に落ち込んでいる。マイワシ資源の回復は、日本の水産業にとって重要問題である。

しかし、これまでのマイワシ漁場形成機構や、資源変動機構に関する研究成果は、船舶による点の観測データを利用したものが多い。衛星を利用した例は、水温画像と漁場を比較した研究のみで、北上回遊の重要な要因である餌環境についてはほとんど研究例がない。衛星のもつ時空間的なデータ取得の優位性を生かした面的な解析が必要である。また餌環境の解明も必要である。最近では海色等の情報も衛星から取得可能であり、加えて長期間の時系列のデータが揃いつつある。衛星センサーを複合的に組み合わせて餌環境や回遊環境を総合的に解明することが期待されている。

そこで本研究は、衛星データによる漁場形成機構の解明と、衛星データによる中長期の海洋環境変動の解明および水産資源変動との関係を明らかにすることを目的とする。本研究では、衛星データの複合利用/マルチセンサーリモートセンシングと海洋GIS(地理情報システム)の手法を適用する。本研究では、餌環境を示すと思われるクロロフィル画像に注目し、漁場形成から資源変動までのクロロフィルの影響について議論する。本研究

は、マイワシの時間スケールを、数日スケール、数年スケール、10年スケールで分けて解析した。

【使用データ】

〈衛星データ〉

本研究では、海面水温、クロロフィル、海面高度、海上風を把握するために、以下の衛星データを利用した。

1. NOAA/AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)による1981年から2000年までの海面水温データ：空間解像度は1kmと9km、時間解像度は1日と1ヶ月
2. ADEOS/OCTS(Ocean Color Temperature Scanner)による1996年から1997年までの海面水温データ：空間解像度は700m、時間解像度は1日
3. Nimbus-7/CZCS(Coastal Zone Color Scanner)による1978年から1986年までの植物プランクトンデータ：空間解像度は18km、時間解像度は1ヶ月
4. ADEOS 衛星搭載の OCTS(Ocean Color Temperature Scanner)による1996年から1997年までのクロロフィル-aデータ：空間解像度は700mと9km、時間解像度は1日と1ヶ月
5. Orbview2/SeaWiFS(Sea Wide Field Sensor)による1997年から2000年までのクロロフィル-aデータ：空間解像度は9km、時間解像度は1ヶ月
6. TOPEX、ERS-1/2 の Altimeter による1996年から2000年までの海面高度データ：空間解像度は0.25度、時間解像度は1ヶ月
7. DMSP/SSM-I による1995年から2000年までの海上風速データ：空間解像度は1度、時間解像度は1ヶ月

〈現場データ〉

本研究では、マイワシ漁場位置および資源変動の把握、衛星データの検証と海域の分割、漁場水深の把握のために、以下のデータを利用した。

1. まき網漁船船間連絡情報データ：漁業情報サービスセンターが収集した操業位置に関する情報
2. マイワシ資源データ：Wada and Jacobson(1998)および石田ら(2002)によるバイオマス、余剰生産率、再生産成功率の理想的再生産曲線からのずれ
3. 船舶データ：漁業情報サービスセンターが収集した下層水温データ、函館海洋气象台が観測した、水温、クロロフィル濃度等のデータ
4. SeaBAM データ：NASA が収集した、アルゴリズム開発者用クロロフィル濃度等のデータ
5. ETOPO5：NGDC(米国)による標高・水深データ

【解析方法】

〈数日スケールのマイワシまき網漁場形成機構〉

1. 全てのまき網マイワシ漁場データをマイワシの資源水準により 5 年で区切り、地図上にプロットして過去の漁場形成域画像を作成した。
2. 全てのまき網マイワシ漁場データと ETOP05 とのマッチアップから、漁場形成水深のヒストグラムを作成、漁場形成水深画像を作成した。
3. ADEOS/OCTS とまき網漁船船間連絡情報データとのマッチアップから漁場の水温、クロロフィルを求めた。また漁獲量を加えて、3 次元の散布図を作成した。散布図から求められた好漁場が形成される好適環境マップを作成した。
4. 局所オペレータによる分散値を求め、水温、クロロフィルの潮境抽出を行い、潮境マップを作成した。
5. 漁場形成前後 3 日間の水温およびクロロフィルの変動傾向を求めた。また時系列画像同士の演算処理で、短期変動傾向マップを作成した。

〈数年、10 年スケールのマイワシ資源変動と海洋環境変動との対応析〉

1. 解析海域を分離するため、黒潮等の指標水温の平均的な分布位置を船舶観測の下層水温データから求め、産卵域(黒潮域)、南側索餌回遊域(黒潮続流域)、北側索餌回遊域(親潮域)、漁場域の 4 海域に分割した。
2. 偏差海面高度と平均海面高度の和を求め、絶対海面高度を算出した。
3. 植物プランクトン濃度から、クロロフィル-a 濃度への換算式を SeaBAM データセットから算出、CZCS データを補正した。
4. 衛星水温およびクロロフィルと函館海洋気象台の現場データと比較検証した。
5. 1996 年～2000 年の水温、クロロフィル、海面高度、海上風のイソプレットを作成し数年スケールの海洋環境の特徴を抽出した。
6. 1998 年と 1999 年の比較画像を作成し、両年で海洋環境に差異があるのかを検討した。
7. 1978 年～2000 年までの資源データと衛星データ(水温、クロロフィル)の各点での相関係数を求め、相関係数マップを作成した。
8. 1981 年～2000 年の水温、1978 年～2000 年クロロフィルデータからトレンドを求め、トレンド分布マップを作成した。

【結果と考察】

〈数日スケールのマイワシまき網漁場形成機構〉

全漁場位置データの分布マップからマイワシ漁場は、陸棚沿いに形成されており、資源状態で分布域が狭まることを示した。またマイワシ漁場は 200m 以浅で 60%、700m 以浅で 80%が形成されていた。漁場の水温・クロ

ロフィル・漁獲量の関係から、特定の水温（春の例では 15～16℃）、クロロフィル（春の例では $3\mu\text{g/l}$ ）に好漁場が分布することが明らかとなった。水温・クロロフィル・漁獲量の 3 次元散布図は南下・北上回遊期によって異なっており、回遊・成長過程での水温・クロロフィル環境の違いがあることが明らかとなった。3 次元散布図から求められた好漁場環境には、実際の漁場が 78% の確率で分布していた。好漁場環境の空間分布は、潮境の分布と一致することは過去の知見と同じ結果であった。衛星は漁場形成前後に当該位置の環境情報を得ることができるが、本研究では、前後 3 日間の短期的な変動傾向を算出した。その結果、水温の下降海域、クロロフィルの上昇海域で漁場が形成されることが判明した。マイワシがクロロフィル分布に影響を受けることが示された。過去の漁場形成、漁場水深、水温・クロロフィルの好適環境、短期的な環境の変動を結合した GIS マップを作成した結果、全ての情報が揃った GIS 画像を用いて、漁場形成域を狭い範囲で絞り込むことが可能になった。

〈数年スケールのマイワシの資源変動と海洋環境変動との対応〉

水温とクロロフィルについては、1998 年を境に黒潮続流、親潮域を中心に高めの海域が多く分布していることが判明した。海面高度についても、1999 年以降、黒潮続流域を中心に高めに推移する海域がみられた。海上風は 1998 年以降親潮域で強いという傾向がみられた。1998 年と 1999 年と比較する両者の差分画像から、水温は、産卵域で 1999 年の水温が低い、回遊域は親潮、黒潮続流とも 1999 年が高いこと、クロロフィルは、1999 年のほうが広く高い海域が分布していることが判明した。ただし三陸沖のクロロフィルは 1999 年のほうが少なかった。海面高度は黒潮続流を中心に 1999 年のほうが高い値で推移していること、海上風は黒潮続流域を中心に 1998 年のほうが高い値が分布していることが判明した。本研究でみられた 1998-99 年の急峻な環境の変化は、すでに指摘されている レジームシフトである。1999 年はマイワシの新規加入が急減した年で、本研究の結果からマイワシの新規加入減少の要因として黒潮続流から親潮域での水温の上昇、三陸沖でのクロロフィルの減少、黒潮続流での海面高度の上昇による環境変化が影響していること、それらがレジームシフトによって引き起こされていることが示唆された。餌環境という視点では、レジームシフトによって稚仔魚が分布する索餌域のクロロフィルが減少したために餌環境の悪化し、これが新規加入の減少につながり、結果として資源に影響を与えたと考えられる。

〈10 年スケールのマイワシ資源変動と海洋環境変動との対応〉

マイワシ資源変動において、数年スケールでみた年毎の加入の成否は重要な問題であるが、マイワシの資源変動はより長期的な周期を持ってい

る。衛星から得られた時系列の水温とクロロフィルのデータから 1980 年代以降の長期トレンドを求めた結果、1980 年代前半から、各季節とも広域で水温の上昇傾向がみられ、およそ 1 度の上昇が確認された。一方クロロフィルは、秋の親潮域を中心に 1980 年代前半に比べ 20~30%の減少がみられた。NASA も同様の解析を行っており、太平洋全体で 30%近い減少があったと報告している。資源変動と海洋環境変動との相関係数を日本周辺の全点で求めマップ化した結果、春の親潮系水を中心としたブルーミング域および秋の親潮域におけるクロロフィルとマイワシ再生産成功率等が正相関、冬の黒潮続流における水温が再生産成功率等と負の相関となった。これらの結果から、マイワシの回遊過程において、黒潮続流の水温が稚仔魚期の生育環境に影響を与え、三陸沖のクロロフィルが稚仔魚期の餌環境に影響を与え、最後に親潮域のクロロフィルが仔魚および成魚の餌環境に影響を与え、最終的にこれらの環境要因が累積して資源変動に影響を及ぼすと考えられる。黒潮を中心とするマイワシの発生域に加えて、索餌場である三陸沖および親潮域でのクロロフィルのモニタリングはマイワシ資源変動を解明する上で重要である。従来成果では水温や水温偏差といった物理環境を中心とした解析が多かったが、本研究では、船舶では大量のデータを得られにくいクロロフィルについて、衛星を使って面的に解析し、マイワシ資源に影響を与えられとされる海域と季節を特定することができた。

【おわりに】

本研究では、マルチセンサーリモートセンシングと海洋 GIS を用いて、大量の衛星データを効率的に処理し、日本周辺のマイワシの漁場形成・資源変動と海洋環境変動とを関連づけて解析した。特に、マイワシの漁場形成から資源変動までのクロロフィル分布の餌環境としての重要性を示すことができた。これらの技術的な成果として漁業 GIS を提案、またマイワシの資源変動と海洋環境を結びつけた資源環境モデルを提案した。これは、海洋生態学的研究や水産海洋学的研究を発展させる上での、一つの先駆的な提案であり、水産資源管理手法の新しい提案である。

学位論文審査の要旨

主査	教授	齊藤 誠一
副査	教授	三浦 汀介
副査	教授	飯田 浩二
副査	教授	福島 甫 (東海大学)
副査	助教授	米田 國三郎
副査	助教授	桜井 泰憲

学位論文題名

マルチセンサーリモートセンシングと海洋 GIS による マイワシ漁場形成および資源変動に関する研究

我が国は、平成9年から排他的経済水域 (EEZ) の主要魚種についてTAC(漁獲可能量)による漁獲管理を開始した。適正なTACを設定するには、正確なABC(生物学的許容漁獲量)の算出が急務である。TACに選定されている数種の多獲性浮魚類は、21世紀の食糧問題を考える上でも、タンパク源として非常に重要である。一方で、それらの資源の効率的な漁獲活動のためには漁業の情報化も急務である。

本研究で対象としたマイワシ(*Sardinops melanostictus*)はTAC魚種に選定されており、その漁獲量は、高資源水準期1990年代前半の年間約450万トンから、現在は年間約10万トンに急激に落ち込んでいる。従って、マイワシ資源の回復は、日本の水産業にとって重要問題であり、その資源変動要因を理解する上で、資源と環境との関係を、いろいろな時空間スケールで把握する必要がある。

これまでのマイワシ漁場形成機構や資源変動機構に関する研究は、船舶による点の観測データを利用したものがほとんどである。衛星データを利用した研究は、水温画像と漁場を比較したものだけで、北上回遊の重要な要因である餌環境に関する研究はほとんどない。衛星観測による時空間的なデータ取得の優位性を生かした面的な解析が必要である。近年、海色等の情報も衛星から取得可能になり、加えて長期間の各種の時系列データが利用可能である。そこで、衛星センサーを複合的に組み合わせて餌環境や回遊環境を総合的に解明することが期待できる。

本研究は、衛星データを複合利用したマルチセンサーリモートセンシングと海洋GIS(地理情報システム)の手法を適用して、漁場形成機構の解明および中長期の海洋環境変動と資源変動との関係を明らかにすることを目的としたものである。特に、数日スケールの漁場形成、数年スケールおよび10年スケールの資源変動という3つの時間スケールに注目して考察したものである。

特に審査員一同が評価した点は以下の通りである。

1. 漁場形成日の前後 3 日間の短期的な変動傾向を算出し、水温の下降海域、クロロフィルの上昇海域でマイワシ漁場が形成される傾向があることを示した。
2. 数年スケールでのマイワシの新規加入減少の要因として、黒潮続流から親潮域での水温の上昇、三陸沖でのクロロフィルの減少が考えられ、それには黒潮続流での海面高度の上昇による環境変化が影響していることを示唆した。
3. 衛星から得られた時系列の水温とクロロフィルのデータから 1980 年代以降の長期トレンドを解析し、1980 年代前半から、各季節とも広域で水温の上昇傾向がみられ、およそ 1 度の上昇があることを確認できた。一方クロロフィルは、秋の親潮域を中心に 1980 年代前半に比べ 20～30%の減少があることを確認できた。
4. 船舶では大量のデータを得られにくいクロロフィルについて、衛星を使って面的に解析し、マイワシ資源に影響を与えている海域とその季節を特定することができた。

以上の諸点は、北西太平洋亜寒帯域におけるマイワシの回遊とその生息環境との関係に関する重要な知見を得たものと認め、さらに大量の衛星データを解析して新しい手法を応用した水産科学研究であるとして高く評価できる。

よって審査員一同は、申請者が博士（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。