

学 位 論 文 題 名

夜間可視衛星画像データを用いた
日本海におけるスルメイカ漁場形成機構の解明

学位論文内容の要旨

【結 言】

アカイカ科イカ類に属するスルメイカ (*Todarodes pacificus*) は、日本と韓国の重要な水産資源の 1 種であるが、その資源変動は大きい。本種は、1998 年に日本の TAC (Total Allowance Catch : 漁獲可能量) 対象種に選定され、より精度の高い資源評価と漁業管理が求められるようになった。スルメイカの漁獲量は、1970 年前後をピークに急激に減少し、1986 年には 10 万トン以下にまで減少したが、1989 年以降は増加の傾向にある。本種の資源変動は、資源自体の再生産—加入過程の成否、および漁獲努力量と漁場形成の時空間的变化などの要因が考えられる。

これまでのスルメイカ資源と生態に関する調査研究では、調査船による漁獲・観測データや様式放流・再捕などにより、その分布・豊度や回遊経路が調べられている。しかし、年間を通じた生息海域全体での分布・移動、あるいは海洋環境と統合した漁場形成に関する知見は断片的である。スルメイカ漁業の特徴として、イカ釣りのための照明を用いた漁法があげられる。この灯りは、夜間可視衛星画像からも確認されており、これと海洋環境との比較により、時空間的なスルメイカの漁場形成や、資源の動態を明らかにすることは可能と判断される。

そこで本研究では、主に人工衛星による夜間可視画像データを用いて、イカ釣り漁船の灯りを漁場形成の指標として使用できるかを検証し、その画像を用いて日本海におけるスルメイカの索餌・産卵回遊経路およびスルメイカ漁場の季節・経年変化を調べた。さらに、スルメイカの回遊と漁場形成に関わる海洋環境との関係を明らかにすることを目的とした。

【使用データ】

〈衛星データ〉

人工衛星データは格子からなっており、格子サイズは各衛星によって異

なる。各格子は画素値(Digital Number ; DN)として表されており、水温やクロロフィル濃度の算出には、特定のアルゴリズム式によって算出される。以下に使用した衛星データについて記述する。

1. 米国軍事気象衛星 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)搭載の OLS(Operational Line Scan)センサーによる 1994 年から 1999 年までの 6 年間の夜間可視衛星画像データ：格子サイズは 2.7km、画素値(DN)は 0～63 の値で表されている。数値が大きいほど観測している輝度値が大きいことを示している。
2. NOAA(National Oceanographic Atmospheric Administrator)衛星搭載の AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)センサーによる 1994 年から 1999 年までの 6 年間の海面水温データ：格子サイズは 1km、画素値は 0～255 で、以下の推定式によって水温を算出している。海面水温 (°C) = $0.15 \cdot \text{DN} - 2.0$ 。
3. Orbview2/SeaWiFS(Sea Wide Field Sensor)による 1997 年 9 月から 1999 年 12 月までの約 2 年半の海面クロロフィル濃度データ：格子サイズは 9km、画素値は 0～255 で、以下の推定式によって海面クロロフィル濃度を算出している。海面クロロフィル濃度(mg/m^3) = $10^{0.015 \cdot \text{DN} - 2.0}$ 。

〈現場水温データ〉

スルメイカ漁場の水温鉛直構造を調べるために、韓国水産振興院によって公表された水温データを用いた。

【解析方法】

1. 解析の整合性を持たせるために、各衛星データの格子サイズを全て NOAA/AVHRR センサーによる水温データの 1km に一致させた。
2. DMSP/OLS による夜間可視衛星画像データから、スルメイカ漁船分布を推定するために、夜間可視衛星画像データと山形水産試験場調査船「最上丸」の集魚灯の光量との比較を行った。次に、夜間可視衛星画像データから、日本海における空間的なスルメイカ漁船分布を抽出するために、日本海全域の輝度値ヒストグラムを調査した。漁船分布域とそれ以外の分布域とのしきい値決定には、判別分析法を用いた。
3. 1994 年～1999 年までの DMSP/OLS 月合成画像を作成し、スルメイカ漁船分布の季節変動を用いて日本海の海域区分を行った。スルメイカ漁場は、ある程度の広がりをもって分布しているため、対象海域の海域区分を行うための衛星画像データの格子サイズを、1km 格子から 30' (約 54km) 格子に再構築した。再構築された対象海域の格子総数は 385 個である。そして、各格子間について階層型クラスター分析を行った。階層型クラスター分析は、個体間の似ている度合いを距離で評価し、距離

の近いものから同じクラスターであると判定し、融合していく方法である。次に、6年間の各格子に占める漁場面積アノマリーの経年変化を調べた。漁場面積は、各格子に占めるピクセル数の割合(%)とし、格子毎にアノマリーを計算し、その経年変化を調べた。各格子総数は2,365である。正アノマリーの場合は、漁場面積が6年間の平均よりも拡大の傾向を示し、負のアノマリーの場合は縮小傾向を示すことになる。

4. 3で区分されたスルメイカ漁場の水温、およびクロロフィル濃度との関係について調べた。また、スルメイカ漁場における水平的な水温フロント、海色フロント、および水温鉛直構造について調べた。

【結果と考察】

〈夜間可視衛星画像データと最上丸との比較〉

光量88kwである最上丸による光は、夜間可視衛星画像上において最大3ピクセル、平均1.6ピクセル、すなわち周囲2km以内に影響を及ぼしていることが明らかとなった。また、最上丸と考えられる高輝度域から周囲2kmの画素値を調べたところ、最大DN値は51、平均DN値は20.5であった。これらのことから、光量88kwの光でも夜間可視衛星画像データから抽出が可能であることが示された。

〈スルメイカの回遊経路、漁場形成〉

夜間可視衛星画像の季節変動によって、日本海を9つの海域に区分することができた。9つに区分された海域の季節変動から、スルメイカの回遊経路を、北上回遊パターンと南下回遊パターンの2つに大別することができた。北上パターンの一つは、日本沿岸を北上するパターンで、二つ目は韓半島東岸域を北上し、大和堆を経て北部日本海へ回遊するパターンである。南下回遊パターンの一つは、北部日本海から日本沿岸を経て対馬海峡へ回遊するパターン、二つ目は日本海北部海域から大和堆を経て韓半島東岸域へ回遊する、あるいは大和堆から隠岐諸島を経て対馬海峡へ回遊するパターンである。このように区分された海域から、スルメイカの北上・南下回遊パターンが明らかとなった。

9つに区分された海域をもとに、各海域におけるスルメイカ漁場面積分布アノマリーの経年変化に調べた。その結果、北上回遊期(1~10月)に変動が大きかった年は、1998年と1999年の韓半島東岸海域、大和堆、北部日本海であった。このことから、1998年と1999年のスルメイカ回遊経路が沖合に形成されていた可能性が示唆された。南下回遊期(9月~12月)に漁場面積の拡大が見られた年は1996年で、その海域は韓半島東岸海域、ウルルン島周辺海域であった。したがって、1996年は韓半島東岸海域、およびウルルン島周辺海域において好漁場が形成されていたことが示唆さ

れる。さらに、1996 年と 1998 年は、典型的な豊漁年と不漁年である。不漁年の 1998 年では、北上期におけるスルメイカ漁場の沖合化によって漁獲量が減少し、逆に豊漁年の 1996 年では、ウルルン島周辺海域における漁場面積の拡大が漁獲量増加につながったことが考えられた。

〈スルメイカ漁場と海洋環境との関係〉

各スルメイカ漁場における海面水温は、1998 年が高い傾向を示した。特に、5 月の韓半島東岸海域と日本沿岸海域、9 月～12 月の韓半島東岸海域、対馬海峡周辺海域において、その傾向が確認できた。この 1998 年における水温の昇温傾向は、1998 年のスルメイカ漁場の沖合化との関係が示唆された。

各スルメイカ漁場のクロロフィル濃度は、春と秋に高濃度ピークが確認できた。特に、韓半島東岸海域におけるクロロフィル濃度は、他のスルメイカ漁場に比べて、年間を通してクロロフィル濃度は高い傾向を示した。これはスルメイカ回遊経路を考慮に入れると、幼稚仔、あるいは成熟した親イカにとって索餌といった生態学的側面から好適環境が維持されていたと推定された。

スルメイカ漁場が形成されていた海域の水温鉛直構造の解析から、韓半島東岸海域には鉛直フロント構造、およびウルルン渦が確認できた。スルメイカ漁場は、フロント域の内側、すなわち沿岸陸棚域に形成されていることが明らかとなった。また、フロントやウルルン渦の縁ではクロロフィル濃度も高い値を示した。これは、フロントやウルルン渦構造がクロロフィル濃度を増大させるだけでなく、スルメイカの索餌活動に強く影響を与えていることを想定させる。これらのことから、韓半島東岸海域のスルメイカ南下回遊経路は、高クロロフィル濃度で対馬暖流の影響をあまり受けない韓半島東岸海域の陸棚海域を回遊していることが考えられる。

【おわりに】

本研究では、人工衛星によるデータを用いることで、日本海におけるスルメイカの回遊・漁場に関する知見と海洋環境との関係を、より具体的に解析することができた。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 innovative な方法の提案である。

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	助教授	長 浩 平 (東海大学)
副 査	助教授	桜 井 泰 憲
副 査	助教授	米 田 國三郎

学 位 論 文 題 名

夜間可視衛星画像データを用いた

日本海におけるスルメイカ漁場形成機構の解明

近年、国連海洋法により、排他的経済水域 (EEZ) 内での十分な資源の開発利用と、もし資源が必要以上にある場合に、それを他国に利用させることを義務付けられている。このような状況の中から、わが国周辺水域の環境収容力を明らかにすることを目的に従来の資源量推定法に加え、広い海域の資源量や生産環境を、短時間かつ高精度に探査できる新しい資源量推定法やリアルタイム海洋生物資源環境モニタリングシステムの開発が急務である。そして、持続的に海洋生物資源を利用する視点や資源回復計画案の策定上からも、いつ、どこに、どのくらいの資源が利用可能かリアルタイムで知る必要がある。

本研究で対象としたアカイカ科イカ類に属するスルメイカ(*Todarodes pacificus*)は、日本と韓国の重要な水産資源の1種であるが、その資源変動は大きい。本種は、1998年に日本のTAC (Total Allowance Catch : 漁獲可能量) 対象種に選定され、より精度の高い資源評価と漁業管理が求められるようになった。スルメイカは、日本におけるイカ類総漁獲量の大半を占めており、重要な水産資源の一つである。スルメイカの国内漁獲量は1970年代をピークに徐々に減少し、1986年に最も低く、1980年代後半から再び増加の傾向にある。本種の漁獲量の変化はその資源量の変化を反映しているとされ、漁獲量と秋季の日本海南西海域におけるスルメイカ幼生の分布豊度との間には高い相関があることが指摘されている。

これまでのスルメイカ資源と生態に関する調査研究では、調査船による漁獲・観測データや様式放流・再捕などにより、その分布・豊度や回遊経路が調べられている。しかし、年間を通じた生息海域全体での分布・移動、あるいは海洋環境と統合した漁場形成に関する知見は断片的である。スルメイカ漁業の特徴として、イカ釣りのための照明を

用いた漁法があげられる。この灯りは、夜間可視衛星画像からも確認されており、夜間可視衛星画像はきわめて短時間に広域にスルメイカ漁船分布情報を提供してくれる手段である。

そこで本研究では、主に人工衛星による夜間可視画像データを用いて、イカ釣り漁船の灯りを漁場形成の指標として使用できるかを検証し、その画像を用いて日本海におけるスルメイカの索餌・産卵回遊経路およびスルメイカ漁場の季節・経年変化を調べた。さらに、スルメイカの回遊と漁場形成に関わる海洋環境との関係を明らかにしようとしたものである。

特に審査員一同が評価した点は以下の通りである。

1. DMSP/OLS による夜間可視衛星画像データから、スルメイカ漁船分布を推定するために、夜間可視衛星画像データと山形水産試験場調査船「最上丸」の集魚灯の光量との比較を行い、このデータによるスルメイカ漁船分布推定法を開発した。
2. 階層型クラスター分析を応用して、夜間可視衛星画像の季節変動によって、日本海を 9 つの海域に区分し、9 区分された海域の季節変動から、スルメイカの回遊経路を、北上回遊パターンと南下回遊パターンの 2 つに大別できることを示した。
3. 不漁年の 1998 年では、北上期におけるスルメイカ漁場の沖合化によって漁獲量が減少し、逆に豊漁年の 1996 年では、ウルルン島周辺海域における漁場面積の拡大が漁獲量増加につながったことを示唆した。
4. スルメイカ漁場が形成されていた海域の水温鉛直構造の解析から、韓半島東岸海域には鉛直フロント構造、およびウルルン渦が確認できた。スルメイカ漁場は、フロント域の内側、すなわち沿岸陸棚域に形成されていることを明らかにした。
5. 夜間可視衛星画像はきわめて短時間に広域にスルメイカ漁船分布情報を提供してくれる手段である。この手段を海洋に応用した例は少なく、本研究のような水産海洋学への応用はきわめて新規性が認められる。

以上の諸点は、日本海におけるスルメイカ分布と回遊に関する重要な知見を得たものであり、さらに夜間可視衛星画像という新しい観測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、本論文が、博士（水産科学）の学位論文として価値あるものと認定した。