

論文の内容の要旨

水圏生物科学専攻

平成 30 年度博士課程進学

氏名 石川 和雄

指導教員名 伊藤 幸彦

論文題目 東シナ海から黒潮沿岸域におけるマアジの輸送過程に関する研究

海産魚類にとって、海流による輸送は生活史で最初に経験する生息海域間の受動的な移動である。成長後に大規模な回遊を行わない魚種では、輸送が分布域を決定する大きな要因となる。マアジ *Trachurus japonicus* は東シナ海から日本沿岸の陸棚に生息し、東シナ海から日本の沿岸に複数の産卵場が形成されること、特に東シナ海南部の産卵量が大きいことが知られている。マアジは海域を跨ぐような長距離の産卵回遊が確認されておらず、輸送が資源構造に与える影響は大きい。しかし、黒潮の影響を強く受ける沿岸域（黒潮沿岸域）では、東シナ海南部の産卵場からの輸送様式や黒潮から沿岸への詳細なマアジの輸送過程がわかっていない。そこで本研究は、漁獲資料の解析と数値実験によって、輸送過程を統合的に理解することを目的とした。そのために、まず東シナ海および黒潮沿岸域の産卵場から黒潮の流路に沿った輸送の実態を明らかにするため、黒潮沿岸域におけるマアジ稚魚の漁獲資料を解析した。次に、黒潮から沿岸に至る輸送過程として暖水波及に着目し、定地水温とマアジ稚魚漁獲量の変動の関係を調べた。さらに、漁獲資料から示唆された輸送様式を、粒子輸送モデルによって検討し、マアジ輸送の全体像を推定した。

1. 黒潮流下方向のマアジ稚魚輸送様式：漁獲資料の解析

黒潮流路に沿ったマアジの輸送を明らかにするために、黒潮沿岸域におけるマアジ稚魚の漁獲資料の解析を行った。漁獲量は、2005–2015 年における鹿児島県、宮崎県、高知県、和歌山県、三重県、静岡県、神奈川県 の 7 県の定置網、および愛媛県のまき網漁業によるマアジ水揚げ資料から、尾叉長 (FL) およそ 50–150 mm と想定される最小サイズ区分の銘柄の日別漁獲重量を用いた。この資料を週平均、対数変換、正規化等の処理を施し、県ごとに平均することで各県にお

ける漁獲重量指数を得た。また、これらの漁獲物から定期的に抽出されたサンプルの体長組成から、最小銘柄の漁獲重量指数に対応する体長の代表値を推定した。さらに、漁獲重量指数は銘柄の平均体重の変化の影響も受けるため、漁獲重量を体長から換算した体重で除して、個体数に相当する量（個体数相当量）を求めた。最後に、各県における季節的な稚魚出現を欠測の少ない各年の漁獲重量指数から検出するため、漁獲開始時期を漁獲重量指数の立ち上がりで定義した。

稚魚の漁期はおおむね晩冬に始まるが、全ての県で4-5月に体長が最小（50-70 mm FL）となり、その後増加した。夏以降は各県ともおおむね130 mm FL以上で推移するものの、神奈川県では秋季に80-120 mm FL個体が出現する年もあった。漁獲重量指数、体長の長期週平均値から求めた個体数相当量には、各県で3月下旬から5月にピークが見られた。各年の漁獲重量指数から求められる各年の漁獲開始時期は、4-6月に集中して出現していた。

体長が最小となる4-5月は、漁獲開始時期と重なっており、成長速度からふ化時期は2-3月と推算された。マアジの産卵期は東シナ海南部では2-3月、黒潮沿岸域西部（鹿児島県-高知県）では1-5月、東部（三重県-神奈川県）では5-7月とされている。黒潮沿岸域西部由来のふ化群が主群であれば4-8月に小サイズの出現が想定されるが、その時期に最小体長個体は集中していなかった。よって、各県に共通して出現する春季の稚魚は、2-3月の東シナ海南部で由来であることが示唆された。同様の解析を秋季に神奈川県水域に出現した小型個体にも適用すると、ふ化時期は7-8月と推定され、黒潮沿岸域東部の影響が示唆された。以上のことから、東シナ海南部産卵場からの黒潮流路に沿った輸送により黒潮沿岸域全域にマアジ稚魚に供給されていること、一方、神奈川県等の黒潮沿岸域東部では秋頃に近傍海域で産卵された個体の寄与が大きいと考えられた。

2. 黒潮暖水波及がマアジ稚魚の沿岸への輸送におよぼす影響：漁獲資料・水温資料の解析

黒潮上流域から輸送されるマアジ稚魚が陸棚に定着するためには、黒潮から沿岸側へマアジを輸送する機構が必要である。そこで、輸送機構として黒潮から沿岸側への暖水波及に着目し、沿岸の定地水温とマアジ稚魚漁獲量を用いて暖水波及とマアジ稚魚漁獲量の関係を検討した。定地水温は水産研究・教育機構が運用している長井（神奈川）、片田（三重）、串間（宮崎）水温ブイデータを、マアジ稚魚漁獲量は水温ブイ近傍にある定置網の日別漁獲量をそれぞれ用いた。暖水波及の検出は、時系列のレジーム検出を行う手法である Sequential t-test Analysis of Regime Shifts (STARS) を用いた。神奈川県・大楠定置網と宮崎県・東定置網に水温・塩分計を設置し、衛星海面水温画像と近傍の潮位変動を合わせて解析することで、暖水波及を識別し、これによって STARS のパラメータを決定した。このパラメータを用い、長井、片田、串間ブイから暖水波

及を検出し、それぞれ神奈川、三重、宮崎の3県の定置網計12ヶ統で、暖水波及前後でのマアジ稚魚漁獲量増減を調べた。漁獲量が暖水波及後に有意に増加するかどうかは、二項検定により確かめた。

大楠定置網、東定置網の水温時系列から STARS によりカットオフ長6-11日、昇温幅0.45℃以上という基準で、暖水波及が検出できることがわかった。暖水波及に対する漁獲量変動の応答様式は、各県、定置網ごとに異なったが、暖水波及に対して漁獲量が有意に増加する定置網が各県に存在した。神奈川県では、長井ブイに最も近い大楠定置網において、暖水波及発生後2日間の平均漁獲量が、発生前2日より有意に多かった。ただし、県内4定置網全てのデータを用いた解析では、有意性は見られなかった。三重県では、全ての定置網で有意になる事例が存在し、県全体の検定でも有意であった。4定置網で一致するカットオフ長と漁獲量平均期間はなかったものの、カットオフ長9-11日、平均期間6-7日で有意になる割合が高かった。宮崎県では、東定置網を除く3定置網で有意な事例が認められ、県全体でも有意だった。

これらの結果から、黒潮から沿岸域へマアジ稚魚を輸送する機構の1つとして、暖水波及の役割が明らかとなった。ただし、海域や定置網の位置によって応答が異なっていた。この要因としては、水温ブイと定置網までの距離や地形、暖水波及する過程の違いが考えられた。漁獲量の増加が、必ずしも直後ではないことについては、近傍に輸送されたマアジ稚魚の回遊やその後の潮流の動きで入網する間接的効果の存在が示唆された。

3. 輸送-成長-回遊モデルによる輸送過程の検討

漁獲資料と水温の解析によって示唆された黒潮による東シナ海から下流への季節的な輸送、および暖水波及による黒潮から沿岸への輸送過程に着目し、数値モデルを用いて受動的な輸送様式の再現と成長・回遊効果の検討を行なった。流動・水温場は FORA-WNP30 再解析データ（解像度1/10°）を使用した。稚魚の成長・遊泳を考慮するため、Gompertz 成長モデルから水温依存の体長成長を再現し、体長に比例する遊泳速度を組み込んだ輸送-成長-回遊モデルを構築した。初期条件として粒子を水深・水温・塩分で規定される産卵場に配置し、流動・水温場で移動と成長を計算した。また、黒潮沿岸の擾乱を一定程度再現可能な MOVE / MRI.COM-JPN（解像度1/33°×1/50°）を用いた粒子追跡実験を行い、暖水波及による黒潮から沿岸への輸送の効果を検討した。

計算の結果、東シナ海南部に2-3月に配置した粒子は、鹿児島県から神奈川県までの黒潮沿岸域全域に輸送された。また、秋に黒潮沿岸域東部に配置した粒子は、大半が黒潮沿岸域東部に到達していた。東シナ海および黒潮沿岸の各海域からの輸送先は、海域内と黒潮に沿った下流に

位置する隣接海域が多かった。さらに、MOVE / MRI.COM-JPN において、平均化により擾乱を除いた流動場と、日別の流動場を用いた実験も行った。その結果、東シナ海の黒潮前線および流軸付近から黒潮沿岸の浅海部への輸送量は、日別の流動場を用いたケースが圧倒的に多く、暖水波及など黒潮前線から派生する擾乱の重要性が示された。

これらの実験結果から、漁獲資料の解析で示唆された黒潮沿岸域に到達する個体の2つの由来、および暖水波及の効果も支持された。すなわち、春季においては遠隔の東シナ海から、秋季の黒潮沿岸域東部においては近傍の海域から個体が輸送されていること、また暖水波及に相当する前線性擾乱の効果は確率論的ではあるものの輸送に寄与していることが示された。そして、東シナ海に配置された個体の少ない割合が東シナ海に滞留しており、この自己連結性が黒潮によって一方向に輸送されるマアジの資源構造の維持に関係していることが示唆された。

以上、本研究では、生態学的な知見が断片的で資源構造に不明な点が多く残るマアジを対象に、東シナ海から黒潮沿岸域における輸送過程を、漁獲資料と定地水温の解析、および数値実験により調べた。漁獲資料の解析からは、遠隔の東シナ海南部の産卵場が、黒潮沿岸域全域にマアジ稚魚を供給する重要な産卵場であることが示された。一方、黒潮沿岸域東部においては、特に秋季には海域内および近傍における産卵が稚魚の供給源となっていることが示唆された。黒潮から沿岸への輸送機構としては、暖水波及が重要な役割を果たしていることが漁獲資料と定地水温の解析から明らかになった。これらの解析結果は数値実験によってその傾向が確認され、黒潮沿岸域におけるマアジの輸送過程の統合的解釈が本研究によって初めて示された。東シナ海から黒潮沿岸域には様々な沿岸性魚類が分布し、多くが黒潮による輸送の影響を受けている。今後、これらの魚種とマアジの資源構造や生活史戦略の比較を通して、黒潮沿岸域の魚類相の維持機構や黒潮と暖水波及が果たす役割の理解が進むことが期待される。