

要約

さば類は我が国における海面漁業漁獲量において、魚種別漁獲量第1位の重要魚種である。さば類とは、マサバ *Scomber japonicus* とゴマサバ *S. australasicus* を示し、漁獲可能量 (TAC) による資源管理上は、マサバについては太平洋系群と対馬暖流系群、ゴマサバについては太平洋系群と東シナ海系群に分けられ、それぞれの系群について VPA による資源量の推定が行われている。この4系群のうち、マサバ太平洋系群は資源変動幅が最も大きく、直近の資源評価で資源量が最も多い。太平洋においては、年代によってマサバ、マイワシ *Sardinops melanostictus*、カタクチイワシ *Engraulis japonicus* のいずれかが優占する魚種交替がみられる。マイワシとカタクチイワシの魚種交替については、両種で産卵場や仔稚魚の好適な環境条件が異なることが報告され、太平洋十年規模変動指数 (PDOI) やアリューシャン低気圧等の大規模な海況・気象の変動と関係していると考えられている。しかし、マサバについては、仔稚魚期にはゴマサバとの判別が難しいこともあり、資源変動メカニズムに係る研究は少ない。

マサバに比べて、ゴマサバは暖水性・沖合性が強いとされる。東シナ海では DNA によってマサバとゴマサバ仔魚を判別し、出現水温はゴマサバの方が高かったことが報告されている。しかし、太平洋系群ではこのような報告はなく、マサバ太平洋系群とゴマサバ太平洋系群の資源変動は同期していないことから、太平洋で採集されるマサバ、ゴマサバ仔稚魚の基礎生態に係わる情報が求められる。

一般に、魚類は小卵多産型の繁殖戦略をとり、生活史初期における死亡率が最も高い。サバ科魚類については初期の死亡率が比較的高く、仔稚魚期における成長速度が初期生残率や加入量水準に大きく影響すると考えられている。マ

サバでは、稚魚期までの成長速度と加入量に正の関係が認められること、成長速度と水温には正の関係がみられること、10日齢までの経験水温と親魚量あたり加入量（RPS）に正の関係が認められることから、初期の成長速度が初期生残に重要であることが示唆されている。仔稚魚の成長に対しては、水温と餌料環境が最も重要な要素であるが、マサバ仔稚魚の成長速度に及ぼす水温や餌料密度の影響は明らかになっておらず、また資源加入したマサバの成長速度を調べた知見はないことから、初期成長速度と生残の関係は未だ不明な点が多く残されている。魚類一般に、仔稚魚期の成長速度が速い年に高い資源加入となる一方で、未成魚以降では資源量の増減に応じて成長速度が変化する密度効果が生じることが知られている。近年においても、マサバ太平洋系群の2013年級は加入量が多く卓越年級群を形成し、2013年以降に加入した年級では成長速度や成熟の遅れがみられている。密度効果による成長速度の低下は、生息場や餌料の競争の結果生じると考えられているものの、成長速度の変化を引き起こす要因を検討した研究はほとんどない。

本研究では、マサバ太平洋系群及びゴマサバ太平洋系群の主産卵場である伊豆諸島周辺海域から、主成育場である黒潮親潮移行域へと輸送される途中の海域である房総・鹿島灘海域においてサバ属仔稚魚を採集し、マサバ仔稚魚とゴマサバ仔稚魚の生態の違いを明らかにするため、時空間的な出現量と出現環境（水温、塩分、クロロフィル a 蛍光度、餌料プランクトン密度）の違いを調べた。次に、変動の大きい資源であるマサバを対象として、マサバ仔稚魚の成長速度に及ぼす水温と餌料密度の影響を調べた。また、資源加入個体としてまき網で漁獲されたマサバ1歳魚の初期成長速度を調べ、仔稚魚の成長速度と比較することで初期生活史において生じている成長速度選択的生残を検討した。次に、未成魚以降に生じるマサバの資源増加に伴う成長速度の変化とその要因を検討するため、卓越年級であるマサバ2013年級の加入前後の成長速度の変化を

整理するとともに、栄養状態、生息水温、胃内容物の変化と成長速度の変化の関係を解析した。最後に、本研究で得られた成果をもとにレジームシフトとの関係を考察した。

### 房総・鹿島灘海域におけるサバ属仔稚魚の出現状況

2015年、2016年の各年3-7月にかけて、房総・鹿島灘海域において表層と中層でサバ属仔稚魚を採集し、DNAによって種を判別してマサバとゴマサバの出現状況を比較した。その結果、両調査年ともにマサバが主体に採集された。採集量のピークとなった月は、2015年のマサバでは5月、2016年のマサバでは6月、ゴマサバでは2015年、2016年ともに3月であり、我が国周辺で行われている産卵量調査の結果とは必ずしも一致しなかった。各調査月とも、特定の距岸距離や黒潮流軸からの距離における調査点でマサバ仔稚魚、ゴマサバ仔稚魚ともに集中して採集される傾向にあった。マサバに比べてゴマサバ仔稚魚は、より沖合で採集され、採集量で重みづけした水温を比較すると、マサバに比べてゴマサバ仔稚魚の方がやや高水温帯で採集される傾向にあった。以上から、太平洋においてもゴマサバ仔稚魚の出現域にはマサバ仔稚魚よりも沖合性・暖水性の傾向が認められた。調査海域における餌料密度は2015年よりも2016年の方が高く、マサバ仔稚魚の出現量と餌料密度の関係については、2015年には弱い正の関係が認められ、2016年には有意な関係が認められなかったことから、2015年には餌料密度が採集量の制限要因となった可能性が示唆された。また、RPSは餌料密度が高かった2016年に高かったことから、マサバの加入には餌料密度が重要である可能性が示唆された。

マサバ仔稚魚の成長速度に及ぼす水温及び餌料密度の影響とマサバの仔稚魚期の成長速度選択的生残

マサバ仔稚魚の耳石の輪紋幅を成長速度の指標として、採集直前の成長速度と採集地点における水温・餌料密度の関係を、成長段階ごとに一般化線形混合モデルにより調べた。その結果、体長 5 mm 未満、5-7 mm、7-9 mm では水温と餌料密度の両方がベストモデルの効果として選ばれた。また、成長速度に対する効果の大きさは、餌料密度に比べて水温の方が大きかった。体長 9-11 mm では水温、体長 11 mm 以上では餌料密度がそれぞれベストモデルの効果として選択された。以上から、マサバ仔稚魚の成長速度に対しては、体長 11 mm 未満では水温の影響が大きい、体長 11 mm 以上では餌料の影響が大きく、稚魚への変態期（体長 12 mm）前後から餌料の要求が高まっていることが示唆された。

調査船で採集したマサバ仔稚魚を初期群、まき網によって漁獲された 1 歳魚（未成魚）を生残群として、両者の初期成長速度を比較した。その結果、2015 年級、2016 年級ともに初期群よりも生残群の方が初期成長が速く、マサバでは生活史初期において成長速度選択的減耗が生じていると考えられた。また、仔稚魚同士の成長速度を比較した結果、2015 年級に比べて 2016 年級の方が初期成長が速く、2016 年級の RPS は 2015 年級より高いと推定されていることから、仔稚魚期の高成長が高加入と関係していることが示唆された。

#### マサバ太平洋系群の資源増加に伴う生態の変化

マサバ 2009-2016 年級の成長速度を von Bertalanffy の成長式に当てはめて比較した結果、2009-2011 年級と 2013-2016 年級はそれぞれ近い成長速度を示し、後者で成長速度が遅かった。2012 年級では、3 歳までは 2009-2011 年級に近い成長を示したが、4 歳以降は成長速度の低下がみられ、卓越年級である 2013 年級の影響を受けたことが示唆された。成長速度の変化と栄養状態の関係を調べるため、体長-体重関係と相対肥満度を比較した結果、2009-2012 年級に比べて 2013-2016 年級では栄養状態が悪化しており、成長速度の結果と一致した。次に、

成長速度の変化を生息水温の変化から検討するため、各年級のマサバがまき網によって漁獲された位置における水温を比較した。その結果、特に南下期（11月から翌年4月）の未成魚で差が認められ、2013-2016年級はそれ以前の年級よりも低水温帯で漁獲されていた。最後に、成長速度の変化と餌料獲得状況の関係を検討した。まき網で漁獲されたマサバの胃内容物は漁獲時の誤飲の影響を受ける可能性が考えられたため、まき網で漁獲されたマサバとその操業位置付近で釣獲したマサバの胃内容物を比較した。その結果、まき網で漁獲されたマサバの胃からは誤飲物とみられる鱗や粘液が大量に出現し、胃内容物組成の定量評価は困難と判断された。そのため、2014年以降のマサバの胃内容物を定性的に評価した結果、摂餌個体率や餌料生物の出現個体数・種類は年々減少傾向にあった。以上から、マサバ2013年級の加入をきっかけとするマサバの資源増加に伴う成長速度の低下は、未成魚期における生息水温の低水温化と、全体的な餌料の不足が要因の一つと考えられた。

#### マサバ太平洋系群の資源動態とレジームシフト

マサバ仔稚魚を初期群、未成魚を生残群として、両者の初期成長速度を比較した結果、生残群は初期群に比べて初期成長速度が速く、成長速度選択的生残が働いていることが示された。また、初期群同士の成長速度を比較した結果、2015年級に比べてRPSが高い2016年級で成長が速かった。さらに、マサバ仔稚魚の成長速度は水温・餌料密度の両方の影響を受けること、仔魚期には水温の影響が強いが、稚魚期には餌料密度の影響を強く受けることが明らかになり、仔稚魚採集調査海域における水温・餌料密度が高い2016年にRPSが高かったことから、高水温・高餌料密度となる年に初期成長が速くなり、初期生残率が高くなると考えられた。

北西太平洋では年代によって優占する魚種が替わる魚種交替が生じる。マサバはカタクチイワシが優占する高水温レジームとマイワシが優占する低水温レジームの間に増加するとされてきた。カタクチイワシの産卵適水温、仔稚魚の成長適水温がそれぞれ 22°C, 22-30°C とされ、餌料要求が高くないのに対し、マイワシの産卵適水温、仔稚魚の成長適水温は 16°C, 16-18°C であり、餌料要求が高いことが知られている。サバ属の産卵適水温は 18°C と報告されていること、また本研究の結果、マサバ仔稚魚の成長速度は 22°C までの範囲で高水温ほど高成長であったこと、稚魚期以降に餌料要求が高まることが示された。以上から、マサバはカタクチイワシとマイワシの中間的な環境に適応している可能性が考えられた。カタクチイワシが適応する高水温レジーム下では、黒潮続流域での春季の混合層深度が浅くなり、下層からの栄養塩の供給が減少することで仔稚魚の餌料プランクトンが減少することが知られている。高水温レジームから低水温レジームへの移行が始まると、仔稚魚の成育場における餌料環境が改善され、また水温帯もマサバに適した水温に移行するため、マサバが優占すると推察された。その後、さらに低水温レジームへの移行が進むと、マサバ仔魚の成長にとって不適な環境となるだけでなく、マイワシとの競合が起こることで、マイワシが優占すると考えられた。しかし、マサバの産卵適水温、仔稚魚期の成長適水温、餌料生物生産力などの関係は複雑であり、今後さらに詳細で広域的な調査研究が必要である。

マサバは仔稚魚期には成長が速い年に加入量が多い一方、未成魚以降は加入量（資源量）が多いと成長速度が低下する密度効果が生じる。しかし、それらをもたらす要因は明らかにならなかった。本研究でマサバの資源増加前後で漁場水温と胃内容物分析結果を比較した結果、生息場が低水温域へと拡大したこと、摂餌個体率と胃内容物の出現率が減少傾向にあることが明らかになった。これらのほか、マサバの資源増加以降は回遊経路が沖合化していることか

ら、これらは全て成長速度を低下させる要因であると考えられた。密度効果によって産卵親魚の卵質の低下や仔稚魚の競合の激化が起こることが懸念され、密度効果による次世代の加入や生残に及ぼす影響は今後の重要な研究課題である。2017年のマサバ太平洋系群の資源量は資源評価が開始された1970年以降で最高と評価されているが、マイワシ太平洋系群の資源量も増加傾向にあること、PDOIがマイワシにとって好適な正の値を示していることから、今後マサバ資源は減少していくと考えられ、今後は資源減少期における生態系と生態の変化について研究を行うことが重要である。