2015年度水産海洋シンポジウム

豊かな魚類生産を支える黒潮ーその生物生産の仕組みと変動機構ー

日時:3月21日(土)9:30~16:20

場所:東京海洋大学 講義棟 34番講義室

共催:日本海洋学会,日本海洋学会

コンビーナー: 髙橋素光(水研セ西海水研)・齊藤宏明(東大大海研)・山田陽巳(水研セ西海水研)

 挨拶:和田時夫(水産海洋学会会長)
 9:30-9:35

 趣旨説明:髙橋素光(水研セ西海水研)
 9:35-9:40

座長 山田陽巳 (水研セ西海水研)

1. 海洋生態系間比較から見る黒潮海流域における小型浮魚類の資源量変動と生物特性 9:40-10:05 高須賀明典(水研セ中央水研)・大関芳沖(水研セ東北水研)・黒田寛(水研セ北水研)・ 奥西武(水研セ東北水研)

2. 餌環境がマアジの成長・生残過程に与える影響

10:05-10:30

髙橋素光・佐々千由紀(水研セ西海水研)・西内耕(水研セ)・塚本洋一(水研セ北水研)

3. 中深層性魚類マイクロネクトンの構造と表層生態系への影響

10:30-10:55

佐々千由紀(水研セ西海水研)

4. 黒潮域におけるEcopath構築の試み

10:55-11:20

亘真吾 (水研セ中央水研)・村瀬弘人 (水研セ国際水研)

小训也中天小训》"竹椒如人(小训也国际小训)

-昼休み (水産海洋学会幹事会) -

11:20-12:30

座長 平田貴文(北大院地球環境)

座長 梅澤 有(長崎大院水産・環境)

5. 黒潮の栄養塩輸送及びその東シナ海の基礎生産に与える影響

12:30-12:55

郭新宇・王玉成(愛媛大沿岸セ)・趙亮(天津科技大)

6. 東アジア縁辺海の河川栄養塩供給変化に対する低次生態系の応答

12:55-13:20

高山勝巳・広瀬直毅(九大応力研)・鬼塚剛(水研セ瀬戸内水研)

7. 黒潮フロント域の栄養塩供給機構

13:20-13:45

長井健容 (海洋大)

一休 憩一

13:45-14:05

14:05-14:30

8. 衛星から見る黒潮域の植物プランクトン群集別一次生産速度

14:30-14:55

9. 黒潮域における浮遊性カイアシ類の種多様性と群集構造 宮本洋臣 (水研セ東北水研)

平田貴文 (北大院地球環境)

10. 安定同位体比を用いた食物網解析

14:55-15:20

冨樫博幸 (水研セ東北水研)

11. 黒潮域における物理環境とイワシ類仔稚魚の輸送・成長特性

15:20-15:45

伊藤幸彦(東大大海研)・西川悠(JAMSTEC-CEIST)・小松幸生(東大新領域/大海研)・安田一郎(東大大海研)

座長 髙橋素光 (水研セ西海水研)

総合討論 15:45-16:15

閉 会:山田陽巳(水研セ西海区水研) 16:15-16:20

水産海洋学会賞授与式、2015年度水産海洋学会総会

16:30-18:00

開催趣旨: 黒潮が日本列島に沿って流れることにより形成される多様な物理環境は、我が国周辺の豊かな魚類生産を育む重要な要因である。黒潮域は、親潮域と比べれば生物生産は低いものの、多くの魚種が産卵場や成育場として利用している。それは、減耗の激しい生活史初期に黒潮域の高水温環境でより速く成長することが、生残に有利に働くためである。しかし、貧栄養の亜熱帯水が輸送されるにも関わらず産卵場や成育場が形成される理由や、黒潮の流量や流軸変化に伴う物理環境変動に対する生態系の応答には、不明な点が多い。

黒潮域とその周辺海域における生態系の構造と機能を理解することは、親潮域や日本海も含めた日本周辺海域における魚類資源の来遊や加入量変動要因を解明する鍵となる。本シンポジウムでは、黒潮とその周辺海域において、海洋物理環境変動に対する生態系の応答機構を把握し、黒潮が日本の豊かな魚類生産を支える仕組みを明らかにすることを目的とする。

海洋生態系間比較から見る黒潮海流域における 小型浮魚類の資源変動と生物特性

○高須賀明典¹・大関芳沖²・黒田寛³・奥西武²
¹水研セ中央水研²水研セ東北水研³水研セ北水研
キーワード: 魚種交替・初期生態・産卵生態・海洋生態系間比較

魚種交替

世界各地の海洋生態系において、小型浮魚類は気候変動に対応して数十年規模の劇的かつ周期的な資源変動を繰り返してきた。特に、カタクチイワシ(Engraulis spp.)とマイワシ(Sardinops spp.)の間で優占魚種が入れ替わる「魚種交替」現象は、黒潮海流域の他、フンボルト、カリフォルニア、ベンゲラ海流域でも見られ、その変動様式は、概ね環太平洋海域間で同期し、環太平洋海域と南アフリカ沖で逆になる傾向があった。特に、黒潮海流域とフンボルト海流域の魚種交替パターンは酷似している。この魚種交替が気候変動に起因することは明白だが、生物学的メカニズムには不明な点が多い。

ここでは、黒潮生態系が魚類生産を支える仕組み を考える材料として、黒潮海流域における魚種交替 の生物学的メカニズムの仮説を総説した上で、資源 変動と生物特性の海洋生態系間比較を紹介する。

黒潮海流域における魚種交替仮説

世界各地の湧昇域では、カタクチイワシとマイワシの摂餌戦略の違いによって魚種交替を説明する栄養差異仮説が有力視されてきた。この仮説は、カタクチイワシはついばみ摂餌に有利なのに対し、マイワシは濾過摂餌に有利であることに着目する。しかし、黒潮海流域では、食性や栄養段階に魚種間差はほとんど見られなかった。黒潮海流域では、混合層、表面水温、基礎生産とつながる過程によってマイワシの資源変動を説明する仮説が有力である。一方、水温は初期成長や産卵に直接的にも影響することから、成長速度最適水温や産卵最適水温の魚種間差から魚種交替を説明する仮説も考えられる。魚種間での水温特性の相似性・相違性は資源変動の相似性・相違性を良く反映していた。

海洋生態系間比較

物理要因 (水温・塩分) 及び生物要因 (クロロフィル・動物プランクトン) に対するカタクチイワシとマイワシの産卵応答特性を黒潮海流域とカリフォル

ニア海流域間で比較した。物理要因に対する応答では、黒潮海流域のカタクチイワシは高温性・広温性、低塩性・広塩性、マイワシは低温性・狭温性、高塩性・狭塩性の特徴を示した。この魚種間関係は黒潮海流域とカリフォルニア海流域間で逆転していた。これは逆転した水温レジームの下で魚種交替が同期する説明となり得る。生物要因に対する応答では、黒潮海流域のカタクチイワシは産卵エネルギーを産卵時の餌に依存する"income breeder"の特性を示したのに対し、マイワシは産卵前の蓄積エネルギーに依存する"capital breeder"の特性が強かった。一方、カルフォルニア海流域のカタクチイワシとマイワシは共に"capital breeder"の特性を示した。

現在、ペルー海洋研究所との共同研究覚書に基づ いた強固な共同研究体制の下、黒潮海流域とフンボ ルト海流域における魚種交替の比較研究プロジェク トを進めている。両海流域の小型浮魚類の資源変動 及び海洋環境特性を整理・比較する表を作成してい る。環境要因に対する産卵応答特性の比較では、フ ンボルト海流域のカタクチイワシは、黒潮海流域の マイワシに似た低温性・狭温性の特徴を示した。 黒 潮海流域とフンボルト海流域間でも魚種間関係の逆 転が見られた。生物要因に対する応答では、フンボ ルト海流域のカタクチイワシとマイワシは共に "capital breeder" の特性が強い可能性が示唆された。 モロッコ王国小型浮魚資源調査能力強化プロジェ クト (JICA) との共同では、大西洋北西アフリカ沿 岸域のマイワシ Sardina pilchardus の環境要因に対 する産卵応答特性において、黒潮海流域のマイワシ に似た低温性、高塩性等の特徴が見えつつある。

海洋生態系間比較から、環境に対する生物応答特性は属特有ではなく魚種特有であることが明白である。カタクチイワシとマイワシの関係は海洋生態系が異なれば逆転すら起きる。それぞれの海流域における環境に対する生物応答特性の魚種間差は資源変動特性の魚種間差に密接に結びついている。

餌環境がマアジの成長・生残過程に与える影響

○髙橋素光¹・佐々千由紀¹・西内 耕²・塚本洋一³ ¹水研セ西海水研,²水研セ,³水研セ北水研 キーワード:マアジ・成長速度・海洋環境・加入量

1. はじめに

東シナ海南部において,2~3月に孵化したマアジ 仔魚は,黒潮や黒潮分派流によって表層を北東へ輸送され,4月頃には稚魚へと発育し,5~6月には標準体長5~8cmに成長して近底層に蝟集する(Sassa et al. 2006, 2009).これまでに,東シナ海の表層において,成長の速い個体が選択的に生き残って近底層に蝟集するこが示された(Takahashi et al. 2012).近底層における稚魚の分布密度は翌年の加入量を反映することから,加入量変動要因を解明するためには,表層における海洋環境が仔魚および初期稚魚の成長に与える影響を理解することが重要である.本研究では,東シナ海表層に分布するマアジ仔稚魚の成長速度と環境条件および近底層における稚魚密度との対応関係を検討した.

2. 材料と方法

東シナ海大陸棚縁辺域の表層において,2005~2010年の4月に採集されたマアジ仔稚魚を用いた. 仔稚魚の体長を計測した後,耳石を摘出し,光学顕微鏡下において日輪数および日輪間隔を計数・計測した.マアジの耳石には,仔魚から稚魚へ発育する過程において,二次核が形成される(Xie et al. 2005).本研究では,採集された仔稚魚を二次核の有無に基づいて仔魚と稚魚に区分し,個体毎に成長過程を逆算推定して採集前5日間の瞬間成長速度(% d¹)を求め,相対成長速度に変換した.その後,仔魚と稚魚がそれぞれ3固体以上解析された調査点において,平均相対成長速度と20 m深水温および餌となる小型カイアシ類(Sassa et al. 2008, unpublished)の分布密度との対応関係をステップワイズ重回帰分析によって解析した.

東シナ海南部の産卵場付近から流された粒子は、1~2ヶ月で北緯約30度までの中・南部に拡散することと、その間にマアジは近底層に出現する体長にまで成長することが報告されている(Kasai et al. 2008; Takahashi et al. 2012). そこで、東シナ海中・南部で採集された仔稚魚の耳石日輪データを用いて、孵化後10日間(仔魚期前半)と二次核形成前10日間(仔魚期後半)における平均成長速度を求め、近底層における稚魚の平均密度と仔魚期前・後半の平均成長速度との対応関係を回帰分析によって解析した.

3. 結果と考察

マアジ仔魚の平均相対成長速度は、水温の上昇に伴い 15~23℃の範囲において増加する傾向にあり、20 m 深水温とパラカラヌス科コペポダイト幼生密度の関数で表された。東シナ海におけるマアジ仔魚は、Paracalanus parvus のコペポダイト幼生を高い割合で摂餌していることから(Sassa et al. 2008)、仔魚の成長速度は、水温に加えて主要な餌生物の多寡に影響されることが明らかになった。

一方,体長約12 mm以上の稚魚の平均相対成長は、水温のみで最もよく表された。マアジは、仔魚から稚魚へ発育する過程において瞬発遊泳速度が急激に増加するため(Masuda 2006, 2011)、稚魚は、仔魚よりも能動的に索餌して大型の餌生物を効率的に摂餌することが可能と考えられる。その結果、稚魚の成長速度は、環境中の餌密度よりも水温によってよりよく説明されると考えられた。

仔魚期後半における成長速度は,2005~2009年の間,増加する傾向にあり,2010年には低下した.この成長速度の経年変化は,近底層における稚魚密度と同じ位相を示し,両者の関係は,指数関数で表された.一方,仔魚期前半における成長速度と稚魚密度との間に有意な相関関係は見出されなかった.東シナ海中・南部において仔稚魚が採集された海域におけるパラカラヌス科コペポダイト幼生の分布密度も,近底層における稚魚の分布密度と同じ位相で変化したことから,高い餌密度が速やかな成長を促進し,近底層への加入増につながったことが示唆された

Hjort (1914)は、魚類資源の加入失敗は栄養源が卵黄から餌生物に切り替わる時点における大量斃死に起因するとした「Critical Period」仮説を提唱したが、Houde (2008)は、「Critical Period」仮説は加入量変動を説明するには限定的で、仔稚魚期を通した累積的な死亡要因を考慮する必要があることを指摘している、仔魚期後半から稚魚初期は、生態学的にも生理学的にも大きな変化を遂げる発育段階であるため、本研究結果は、仔魚から稚魚へ移行する時期の餌環境が、その後の成長・生残過程に強く影響することを示唆している。

中深層性魚類マイクロネクトンの構造と表層生態系への影響

〇佐々 千由紀 (水研セ西海水研)

キーワード:黒潮域・仔魚・産卵場・ハダカイワシ科

はじめに

中深層性魚類は分離浮遊卵を産み、大部分の種は 仔魚期を外洋域の200 m以浅の表層で過ごす。各種仔 魚は明瞭な日周鉛直移動を行わず種固有の分布深度 をもち、一部の種間に深度の重複が認められるもの の、鉛直的な棲み分け構造が世界各地で報告されている。稚魚期には表層から中深層へと移動し、多中 の種は活発に日周鉛直移動を行うようになる。中深 層性魚類の仔魚は沖合・外洋表層の仔魚群集中で常 に卓越するため水産重要種の仔魚との餌を巡る競 関係が指摘されてきたが、その知見は極めて乏しい。

本発表では、黒潮域における中深層性魚類仔魚の季節変動、群集構造、成長・死亡率および動物プランクトンへの捕食圧について、水産重要種仔魚と対応させながら、最近の研究成果を紹介する。ここでは、多獲性浮魚類の重要な産卵・成育場である土佐湾、東シナ海南部および薩南海域を対象海域とする。

季節変動

群集構造

マアジ、マサバ、ゴマサバおよびタチウオなどの 重要な産卵・成育場である2月の東シナ海南部におけ る仔魚の群集構造を海洋環境との対応で明らかにし た。出現上位36種のうち、中深層性魚類の仔魚が全 個体数の67%を占め、水産重要種(17%)を大きく上 回った。各測点の仔魚組成に基づく群集解析の結果、 黒潮群集、陸棚縁辺群集および陸棚群集の3つに区 分され、その分布様式は水温によって最もよく説明 できた。高水温で貧栄養な環境に出現する黒潮群集 において仔魚の個体数密度および種多様性が最も 高かった。殆どの中深層性魚類の仔魚は水産重要種 に比べてより陸棚縁辺から外洋域に主に分布した が、黒潮系水の陸棚への乗り上げにより、中深層性 魚類仔魚はマアジやサバ属の仔魚の分布域まで輸送 され出現し、これらが混合した陸棚縁辺群集を形成 した。冬季の東シナ海南部において中深層性魚類の 仔魚は空間的に水産重要種と一部重複しており、潜 在的な餌の競合者であることが示唆された。

成長、死亡および動物プランクトンへの捕食圧

2月の薩南海域はスルメイカ冬季発生群の産卵場であり、かつてマイワシの大産卵場が形成された海域でもある。近年の調査船調査によると、本海域は中深層性魚類の主要6種が仔魚群集の約7割を出めており、各種の分布は黒潮前線の位置と明瞭に関連している。主要種のうちの3種(アラハダカ、オオクチイワシおよびヨコエソ)について仔魚期の成長率および従来の知見がない死亡率を明らかにした。さらに、成長式から推定した日間摂餌量と仔魚の体長別現存量より、3種仔魚の単位面積当たりの1日の摂餌量(mg DW d⁻¹ m⁻²)を算出し、動物プランクトン現存量および生産量に与える捕食圧を推定した。

今後の課題

餌料環境が乏しいと考えられているにも関わらず、 黒潮域において様々な種の中深層性魚類の仔魚が 高密度で共存し、季節や海域によっては水産重要種 の仔魚と同時に出現する。黒潮域における中深層性 魚類仔魚の共存メカニズムを明らかにすること、さ らに水産重要種仔魚との餌を巡る競合関係を定量 的に把握することは、多くの魚種が生物生産の低い 黒潮域を産卵・成育場として利用できる理由を考え る上で重要な示唆を与える。その為には、今後、よ り詳細な仔魚の時・空間分布、摂餌および成長・生 残の把握と共に、黒潮域における餌料プランクトン の生産・変動メカニズムの解明が必要である。

黒潮域における Ecopath 構築の試み

○亘 真吾 (水研セ中央水研)・村瀬弘人 (水研セ国際水研)

キーワード: Ecopath・黒潮・親潮・サブブロック

Ecopath は現存量や生産量、胃内容物組成と行った比較的 入手しやすい情報から、生態系モデルの構築が可能で、漁業 と生物、生物間の相互作用などを検討する目的で世界各地の 海域で構築されている。我が国の太平洋側においては、これ までモデル構築には至っておらず、漁業と生物の関係を検証 することを目的とし Ecopath の構築を試みた。

Ecopath は、1つの生態系の中の被食捕食関係の物質収支のバランスが釣り合った状態を推定するモデルである。太平洋側の黒潮域、親潮域について、当モデルの適応を考える際、両海域の基礎生産の違い、マサバやマイワシなど浮魚類のように、黒潮域で産卵し、移行域親潮域に回遊し成長するような分布が両海域に跨る生物、黒潮域、親潮域の各域内のみで生活史が完結する生物など、様々な生物の特徴を考慮する必要がある。従来の手法でEcopathの構築する場合、両海域を別々の生態系として複数のEcopathを構築する方法がとられていたが、この方法では回遊する浮魚類の特徴をモデルの中で十分に組み込むことができない。

近年、Ecopath の開発チームが地中海を対象とし、海域を複数の海区(サブブロック)に分割し、それぞれの海区内で生活史が完結する生物とサブブロックを跨がって全域に分布する生物に分けた、分布域の違いを考慮したモデルが構築されている。このモデル構成のコンセプトを用いることで、黒潮域と親潮域の生物相の違いや、浮魚類の回遊も考慮できると考えられる。今回、サブブロックの構造をもつ我が国太平洋側のモデル構築を行った。

黒潮沿岸域(沖合底曳網漁業操業海域)、親潮沿岸域(沖合 底曳網漁業操業海域)、沖合域(北緯30度、北緯50度、東経 150度で囲まれた太平洋側海域)の3つのサブブロックに分 割し、それぞれの各サブブロック内で生活史が完結する構成種と複数のサブブロックに移動、回遊する構成種とに分類した。基本的にサブブロック毎に Ecopath を構築するが、各サブブロックは回遊種によって結びついているサブモデル構造となっている。

モデルの構成種は植物プランクトンから海産ほ乳類まで37の構成群を設定し、浮魚類、高次捕食者など海域全体に跨がって分布するものを11群、1つのサブブロックの系で完結するものを26群とした。モデル構築に必要なパラメータは、基本的に既往の文献値を用いた。胃内容物組成で定量的な情報がない場合は定性的な情報を元にパラメータを調整し、被食捕食関係の釣り合ったモデル構築を試みた。黒潮域、親潮域を含めた Ecopath の構築状況(図1)と本モデルの実効可能性について報告する。

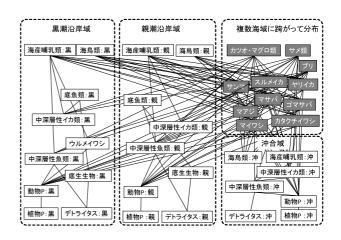


図1 太平洋側を37の構成群に分類し構築したEcopathの被食捕食関係のフロー図。白枠黒字は1つのサブブロックで生活史が完結する構成群、灰色枠白字は複数のサブブロックに跨がって生息する構成群を示す。

黒潮の栄養塩輸送及びその東シナ海の基礎生産に与える影響

○郭新宇・王玉成 (愛媛大・沿岸環境科学研究センター)・趙亮 (天津科技大学)

キーワード:栄養塩・黒潮・東シナ海・基礎生産

黒潮が北西太平洋の低緯度から中緯度に大量の熱を運び、日本及び東アジアに温暖な気候をもたらしていることは周知の事実である。熱と同様に、溶存物質である栄養塩も黒潮によって低緯度から中緯度に運ばれている。たとえば、東シナ海の PN 断面(図1)における過去の20年余りの気象庁の定期観測データから求めた平均的硝酸塩フラックス(=流速と硝酸塩濃度の積)は、水深400m付近で最大値を示し(図2)、その断面積分から東シナ海の黒潮が平均で170 kmol s⁻¹の硝酸塩を下流域に輸送していることが分かった⁽¹⁾。また、この硝酸塩輸送量は、琉球海流と黒潮再循環が加わることにより日本南岸黒潮本流域で1000 kmol s⁻¹にも達することがわかってきた⁽²⁾。

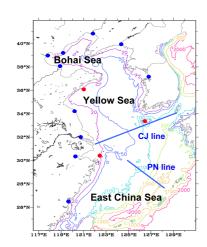


図1. 数値モデルの範囲と断面位置。河川は点で表す。

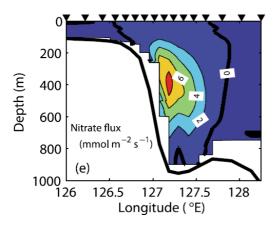


図2. PN 断面における硝酸塩の輸送量。

黒潮の亜表層にある栄養塩は黒潮本流域で下流側に輸送されるだけでなく、東シナ海の大陸棚にも運ばれ、そこでの基礎生産に寄与している。この過程は東シナ海(図1)を対象とする低次生態系モデル(図3)によって定性的に示された⁽³⁾が、定量的な評価まで至っていない。

本研究では、図3に示された低次生態系モデルを改良し、 東シナ海における基礎生産の季節変化を再現した(このケースを標準計算と呼ぶ)上で、黒潮起源、長江起源、台湾 海峡起源、大気起源、堆積物起源の栄養塩を1つずつ無く して再計算を行い、標準計算との差からそれぞれの栄養塩 の基礎生産への寄与を定量的に評価する。

上述のモデル実験から、黒潮起源栄養塩は東シナ海の大陸棚(<200m)全体の基礎生産の6割以上を支えることが分かった。この割合は海域によって変化し、水深50mより浅い沿岸域では小さく、水深50mより深い大陸棚及び陸棚縁では大きくなる。

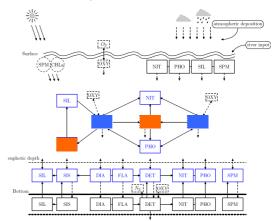


図3. 東シナ海の低次生態系モデルの構造 参考文献

- (1) Guo et al. (2012): JGR, 117, C01026, doi:10.1029/2011JC007292.
- (2) Guo et al. (2013): Biogeosciences, 10, 6403-6417, doi:10.5194/bg-10-6403-2013.
- (3) Zhao and Guo(2011): Ocean Science, 7, 27-43, doi:10.5194/os-7-27-2011.

東アジア縁辺海の河川栄養塩供給変化に対する低次生態系の応答

〇高山 勝巳¹·広瀬 直毅¹·鬼塚 剛²

(1. 九大応力研 2. 水研セ・瀬戸内水研)

キーワード:物理生態系結合モデル・東アジア縁辺海・長江河川水・栄養塩

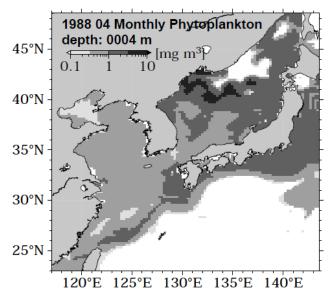
1. はじめに :

2. モデル構成:

海洋循環モデル RIAMOM (Lee et al., 2003)に、4 要素の低次生態系 (NPZD) モデルを結合させた。NPZD モデルの各種パラメータは Onitsuka et al. (2007) と同様である。計算領域は北西太平洋域、解像度は水平 $1/4^\circ$ x $1/5^\circ$ 格子、鉛直 38 層である。モデル外力と光のデータには JRA25 を使用し、開境界条件として WOA09 の月毎の DIN 濃度を、DIN 以外は PHY=0.01, 200=0.08, DET=0.01 [mmo IN m^{-3}] をそれぞれ与えた。河川からの栄養塩供給がある場合 (Rd_on)と無い場合 (Rd_off) の 2 つの実験をおこなった。

3. 結果:

図はモデル積分開始から 10 年後の 1988 年 4 月の 表層(水深 4m)における Rd_on 実験と Rd_off 実験の 植物プランクトン(PHY) 濃度(クロロフィル a 濃度 [mg m⁻³]に換算)である。Rd on 実験では東シナ海か ら黄海の広い範囲で PHY 濃度が 0.3~1.0mg m⁻³とな っている。河川から栄養塩が常に供給され続けるた め、高い PHY 濃度の状態が持続する。一方、Rd_off 実験は河川からの栄養塩供給が無いため、中国や黄 海の沿岸域で Rd on 実験と比べて PHY 濃度が低い。 しかし、九州西方域や日本海南西部の PHY 濃度は、 Rd_on 実験よりも高い。この理由は動物プランクト ン(Z00)による PHY の捕食に原因がある。 Rd_on 実験 の場合、沿岸の DIN を利用して PHY が増殖すると共 に Z00 も増える。この高濃度の Z00 が九州西方や日 本海南西部まで移流・拡散され、その海域の PHY を 捕食し、PHY 濃度が低下する。一方、Rd_off 実験で は沿岸で DIN 供給が無いため PHY が増殖できず、か つ Z00 濃度も低い状態のまま沖合へ移流・拡散され る。九州西方や日本海南西部の PHY は Z00 に捕食さ れる頻度が減少し、結果として PHY 濃度が上昇する。 これが、河川栄養塩供給が無いにも関わらず、九州 西方や日本海南西部で PHY 濃度が上昇する理由であ ると考える。この結果は、東アジア縁辺海の河川栄 養塩供給が沿岸だけでなく、沖合の生態系変化にも 影響を及ぼすことを示唆している。



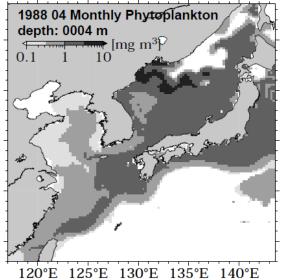


図:1988 年 4 月の(左)河川栄養塩供給あり(Rd on)実験と(右)供給なし(Rd off)実験のPHY濃度[mg m⁻³]

黒潮フロント域の栄養塩供給機構

長井健容 東京海洋大学

1) はじめに

日本太平洋側沿岸域を北上する黒潮は、水平・鉛直方向の熱・物質輸送や、海域の物理、化学、生物環境に多大な影響を及ぼす。貧栄養として特徴づけられる黒潮の上流域である薩南、南西諸島海域では、多くの浮魚類が産卵を行い、黒潮はそれらの稚仔魚を下流方向に輸送するため、輸送経路である黒潮フロント域における基礎生産は、稚仔魚の生残に重要であると推察できる。しかしながら、黒潮フロント域で基礎生産を支える栄養塩を供給する機構については明らかではない。従って、季節的・経年的に起こる黒潮の変動に対して、栄養塩供給に依存する海域の生態系が如何に応答するかは、不明である。本研究では、黒潮に栄養塩を供給する主要な物理メカニズムを検証し、それらを定量して相対的な重要性を明らかにすること、また黒潮の変動に伴った栄養塩供給や生態系の応答の把握・予測に役立てることを目的とする。

2) これまでの結果

本研究においては、黒潮で栄養塩を供給する機構を等密度面に沿った(i)等密度面輸送とそれを横切る(ii)等密度面を横切る輸送とに分けて研究を遂行している。「(i)等密度面輸送」には、中規模の渦が黒潮から切離すること、黒潮の蛇行に伴う鉛直流等をその成因として挙げる事が出来る。一方「(ii)等密度面を横切る輸送」は、乱流混合や、二重拡散対流を挙げる事が出来る。本研究プロジェクトで「栄養塩供給機構の解明」を分担する著者、長井(東京海洋大学)は、2009年10月に取得した現場観測データに、3次元ω方程式を用いて、

Quasigeostrophic近似を満たすバランスした鉛直流をO(10 m day¹)と推定し、黒潮の蛇行に同調する低塩分水の舌状分布を説明した (Nagai et al. 2012)。Clayton et al. (2014)は、同航海で得た栄養塩の断面データを用いて、バランスした鉛直流が引き起こす、等密度面に沿った栄養塩の鉛直フラックスが水深 60 m でO(100 mMol m²day¹)に及ぶと推定した。しかしながら、蛇行するフロントに沿って湧昇や下降流が繰り返し発生する事を鑑みると、推定された大きな栄養塩の鉛直上向きフラックスは、その前後で発生するであろう下向きフラックスと打ち消し合うため、正味の輸送を生じ難いと考える事ができる。正味の栄養塩供給に至るためには、等密度面に沿った輸送に加えて等密度面を横切るフラックスが必要である。Nagai et al. (2009)が行った2008年8月

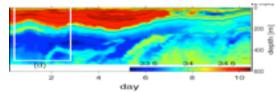


図1 黒潮流軸に沿って投入したEM-APEXフロートで取得した 塩分。白実線は、MicroRider-Navisフロートの観測領域 の黒潮フロント域の現場観測データをはじめとし、2009 年10月、2011年8月、2012年8月に取得した観測データ は、黒潮流軸の躍層内で O(10-8-10-6 W kg-1)と典型的な 外洋域の躍層の散逸率の10-1000倍大きい乱流運動エネ ルギー散逸率を示した。この時、同時に観測したADCP による水平流速の鉛直シアは、黒潮流軸直下で帯状の構 造を示したことから、内部波の砕波がそこで発生してい る事が推察できる。このような黒潮流軸直下における著 しい乱流運動エネルギー散逸率の観測結果は、Kunze (1985)やWhitt and Thomas (2013)らの、近慣性内部波 の捕捉と砕波がフロントの流れの水平・鉛直シアに伴っ て発生し得るとした理論的研究結果を支持するものであ る。Nagai et al. (査読中)は、この様なフロントにおける 近慣性内部波が、黒潮が蛇行する事で自励的に発生する という仮説を検証するために、水平高解像度(1 km)の非 静水圧モデルに観測した黒潮断面を初期条件として用い て数値実験を実施した。その結果、風や冷却等の海面強 制力無しで黒潮の発達した蛇行の谷と峰から近慣性内部 波がO(10 mW m-2)で生成されることが判った。従っ て、黒潮流軸直下で直接観測した著しい乱流運動エネル ギー散逸率や、それに伴った等密度面を横切る栄養塩フ ラックスは、風が生成した近慣性波のみならず、黒潮か ら自励的に発生した近慣性内部波が流軸直下で砕波する 事で発生していると考える事が出来る。また、2013年7 月に実施したフロートを用いた黒潮流軸に沿った微細構 造観測結果から、流軸直下で低塩分水が数日及び近慣性 周期で変動している事が判った。さらに、その塩分極小 層 (100-300 m 深)付近では、乱流運動エネルギー散逸率 は小さいもの、水温の散逸率が流軸直下300 km に亘っ て著しく大きい事が判った。この結果は、黒潮流軸直下 且つ有光層直下において二重拡散対流に伴う混合が無視 できない栄養塩供給経路である可能性を示すものである と考える。発表では、これらに加えて渦解像モデルを用 いた渦の切離に伴う栄養塩の等密度面輸送解析結果につ いて紹介させて頂く予定である。

衛星から見る黒潮域の植物プランクトン群集別一次生産速度

〇平田貴文1

1:北大院地球環境

キーワード: 衛星・植物プランクトン・群集組成・一次生産速度・Chla/C

【1. はじめに】

これまで、海洋の植物プランクトン群集全体の一次生産速度の測定・推定は、船上培養実験、衛星リモートセンシングやモデリングを通じて行われてきており、その知見は生態系研究だけでなく、(例えば)炭素循環といった化学物質循環の研究にも大きな貢献をしてきた。一次生産を担っている植物プランクトンは多様であり、その群集構造の特徴は、高次生態系を含めた生態系を分類する指標となるかもしれない。また、各植物プランクトン群集の生産力の知見は、各食物鎖における生物エネルギー転送の強靭さ(あるいは脆弱さ)を評価するためにも有用であると考えられる。群集別一次生産速度の現場測定や推定は容易ではない。複雑な環境下にある現場海洋での群集別一次生産速度に関する知見は、海洋生態系モデル相互比較計画(MARine Ecosystem Model Intercomparison Project)や

群集別一次生産速度の現場測定や推定は容易ではない。 複雑な環境下にある現場海洋での群集別一次生産速度に関する知見は、海洋生態系モデル相互比較計画 (MARine Ecosystem Model Intercomparison Project) や CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5)といった研究計画で見られるモデルによるシミュレーション研究に依存しているところが大きく、観測そのものや観測に基づいた群集別一次生産速度の推定の例は比較的少ない。本発表では、生態系構造と生物生産性の関係に関する知見が少ない黒潮表層を対象に、地球観測衛星を用いて観測された海色データをより推定された群集別一次生産速度および群集別クロロフィルー炭素比(Chla/C)を紹介する。

【2. 材料と方法】

植物プランクトン群集の一次生産速度は、各群集によって吸収される光量 (PUR, Photosynthetically Usable Radiation)および各群集による光利用効率 (光合成量子収率)により表すことができる。この表現を利用して、衛星観測より求められる(i)海洋表層の各植物プランクトン群集構造、(ii)各群集に対する光吸収係数、および(iii)全群集に対する一次生産速度から、各植物プランクトン群集の一次生産速度を推定する。また、群集別クロロフィルーaの時間差分と、推定された群集別一次生産速度を利用し、群集別の Chla/C を見積もる。利用した衛星データは、NASA SeaWiFS によって 1998 年から 2007 年までに観測された海色反射率やクロロフィルーa、およびこれらを用いて導出された植物プランクトン群集全体の一次生産速度(Behrenfeld and Falkowski, 1997)である。ただし、群

集別一次生産量推定に利用する際に必要となるパラメータは、黒潮域で観測された植物プランクトン全群集の光吸収係数から取得した。光吸収係数は、水産総合研究センター中央水産研究所所属の蒼鷹丸により2013年4月16~24日に実施された航海において、御前崎沖(S0ライン)および房総半島沖(SBライン)によって取得した採水サンプルを以下のように処理して得た:船上で海水をGF/Fフィルターを用いて濾過し、液体窒素を用いて冷凍保存した濾過サンプルを研究室へ持ち帰り、分光光度計SHIMADZUMPS-2450を用いてQuantitative Filter Technique(QFT)により、植物プランクトン色素の光吸収係数を測定した。

【4. 結果】

珪藻の一次生産速度は沿岸や黒潮続流域以北で高く(最大約 1gC/m²/d)、黒潮外側域以南では著しく低かった(最小0.01gC/m²/d)以下)。ハプト藻の一次生産速度は、黒潮域及び続流域で相対的に高く(最大約 0.9gC/m²/d)、黒潮外側域以南で小さかった(最小約 0.04gC/m²/d)。このように一次生産速度のダイナミックレンジは、ハプト藻より珪藻の方が大きかった。また、黒潮領域における珪藻およびハプト藻の光合成量子収率間の相関は小さかった一方で(r=0.26)、ハプト藻の光合成量子収率は PAR と負の相関を示した(r=-0.41)。Chla/C 比は、珪藻・ハプト藻ともに大きく変動し、珪藻では 0.008-0.09(平均 0.025)である一方、ハプト藻では 0.001-0.05(平均 0.004)であった。このように、Chla/C のダイナミックレンジは、珪藻よりハプト藻の方が大きく、特にハプト藻の Chla/C では PAR との相関が顕著であった(r=-0.76)。

【5. 結論】

現場観測が困難であった、綱レベルでの植物プランクトン 群集別の一次生産速度、光合成量子収率、および群集別 Chla/C 比の推定を、黒潮域を対象に衛星海色データを用い て行った。筆者の知見によれば、衛星データを用いたこれ ら変数の推定は、世界でも例が少ない(綱レベルの群集別 一次生産速度)か、世界初(群集別光合成量子収率および 群集別 Chla/C)である。黒潮域では、一次生産速度のダイナミックレンジはハプト藻より珪藻で大きく、Chla/C のそれは珪藻よりハプト藻の方が大きい可能性が示唆された。

黒潮域における浮遊性カイアシ類の種多様性と群集構造

宮本 洋臣

(水研セ東北水研)

キーワード:多変量解析・黒潮流軸・PT ライン・経年変動

【緒言】

本州南方海域は、多様な魚種の仔稚魚の成育場として利用され、そこでの餌料環境、つまり動物プランクトンの現存量や生産量は、仔稚魚の生残を左右する要因の一つと考えられている。本海域での動物プランクトンの分布は、黒潮に関連する様々な時空間スケールの環境変動(たとえば、蛇行、前線波動、分枝の流入など)によって影響されることが知られる。しかし、従来の研究では、環境要因に対する応答について群集レベルで検討した例は乏しく、環境との関係が十分把握されているとは言いがたい。そこで筆者は、黒潮周辺海域における動物プランクトンの群集構造を明らかにするために、本州南方海域の黒潮横断観測によって得られた試料の分析を進めてきた。本発表では、房総沖の動物プランクトン、特にカイアシ類群集の特徴と、海洋環境との関連について紹介する。

【材料と方法】

動物プランクトン試料(全78 試料)は、1974~1998年5月に気象庁「凌風丸」によるPTライン観測において採集された。採集には、NORPACネット(目合0.33 mm)を用い、150 m から表面までの鉛直曳きを通常ライン上の5定点(PT-1~5)で行った。採集後、得られた試料は、ただちに5%フォルマリン海水によって固定された。また、現場の水温と塩分の鉛直分布は、ネット採集とほぼ同時に行われた物理観測によって調べられた。陸上研究室にてフォルマリン試料中のカイアシ類成体を実体顕微鏡下で種ごとに同定計数した。得られた個体数データを基にBray-Curtisの指数を用いた群平均法によるクラスター解析を行い、サンプル間の種組成の類似性を明らかにした。

【結果および考察】

カイアシ類成体の現存量は、15~317 inds/m³で変動した。 調査を通じ159種のカイアシ類が出現し、多くの試料でカラヌス目カイアシ類が優占していた(30~75%, 平均59%)。 クラスター解析の結果、類似度65%で5つのグループに類 型化された(グループ A、B、C、D、E)。環境との比較を行った結果、以下のような関係が認められた。

グループ $A \ge B$: 黒潮外側域(200 m 水温 16 度で定義)に出現した。両グループ間の水温・塩分の違いは、認められなかったが、グループ A は日中に、グループ B は夜間に出現していたため、日周鉛直移動の影響が示唆された。グループ C: 表面水 $(0\sim30~m)$ が高温・低塩時に出現し、外側域に主に分布したが、内側域にもしばしば見つかった。 $1980\sim1984$ 年に主に分布した。

グループ D: 内側域に分布し、特に 200 m 水温で 14 度付近に多く見つかった。1985 年以降に出現した。

グループ E: 200 m 水温で 12 度以下の内側域に主に出現した。

このように沿岸と外洋の間の環境勾配に応じてカイアシ 類群集も変化することが示された。

種組成について着目すると黒潮外側域に出現したグループBとCでは外洋性種が出現し、種多様性が高かった。一方、グループEでは、沿岸性種 Paracalanus parvus s.l. が卓越し、多様度指数は最も低かった。しかし、同様に内側域に出現したグループDでは、外洋性種が出現し、多様度指数は、グループA、B、Cに匹敵した。また、外洋種の多くがグループDで特異的に増加しており、現存量が多く多様性の高いカイアシ類群集が黒潮北縁で形成されることが示された。この結果は、黒潮北縁では、内側域に移入した外洋性カイアシ類が増加することにより、特徴的な生物相が形成されていることを示唆している。講演時には、これまでに調査を行った他海域の結果も含めて紹介する予定である。

安定同位体比を用いた食物網解析

冨樫博幸 (水研セ東北水研)

キーワード: 安定同位体比・食物網・餌資源・ベイズ推定

1. はじめに

生物体を構成する有機物の炭素・窒素安定同位体比は、捕食に従って特定の割合で高くなることが知られ、生物の食性や栄養段階の推定に有効なツールとなっている。水産研究においても、食物網の構造解析として安定同位体比を用いた手法が注目され、大きな成果を上げている。例えば、魚類の安定同位体比を測定することで、その餌資源を識別することが可能となり、さらに、複数の餌資源の中でどの餌がどの程度、体の形成に寄与しているのかを定量的に把握することができる。近年、生物の炭素・窒素安定同位体比の測定は、測定機器の普及・高精度化に伴い、迅速かつ簡便にできるようになってきた。その一方で、個体間のばらつきを含めた多量のデータをどのように解釈するのかといった、新たな課題が出始めている。そこで本シンポジウムでは、演者が対象とする仙台湾の食物網構造を紹介した上で、各魚類における餌資源の寄与率を最新の統計解析により評価した実例を示す。

2. 調査地,及び方法

試料の採集は、仙台湾の6定点において、2011年6月から2013年9月の期間、年4回の頻度で行った。魚類の採集にあたっては、(独)水産総合研究センター東北区水産研究所の若鷹丸、及び小型底曳船により、目合い1.5cmの底曳網を用いて採集した。得られた試料は、調査日、種毎に30個体以上胃内容を観察し、4つの食性グループ(魚食魚、甲殻類食魚、ベントス食魚、及びプランクトン食魚)に分類した。また、魚類の炭素・窒素安定同位体比は、個体毎にクロロホルム:メタノール=2:1液にて24h以上脱脂したのち測定した。餌資源の寄与率の推定には、ベイズ推定を利用した混合モデル(Parnell et al. 2010)を採用した。このモデルは、複数の餌資源からの寄与率を推定でき、また、個体間のばらつきをモデルに組み込むことができる。

3. 結果,及び考察

調査期間中、安定同位体比を測定した試料はそれぞれ、魚食魚 753 個体、甲殻類食魚 297 個体、ベントス食魚 727 個体、及びプランクトン食魚 154 個体であった。図1は、ヒラメ・イシガレイ等を含む、調査期間全体の魚食魚における炭素・窒素安定同位体比の2次元マップである。魚食魚の主要な餌資源は、植物・動物プランクトンをエンドメンバーとした、カタクチイワシ(Engraulis japonicus)、及びイカナゴ(Ammodytes personatus)

であった。安定同位体比から、魚食魚における餌資源の寄与率を推定したところ、寄与率は、調査年、及び季節によって大きく変動していた(図2). 例えば、魚食魚がイカナゴを採餌する割合は、秋に減少する一方で、甲殻類やベントスの採餌割合は、同季節に増加していた。このことは、たとえ魚食性であっても、季節を通じ単一の餌資源を利用しているわけではなく、むしろ季節に応じて複数の餌資源を利用し、生態系のエネルギーフローが変化していることを意味していた。以上のことより、安定同位体比の利用は、食物網の構造解明だけではなく、被食捕食関係の量的・質的変化を評価するデータとしても活用できると考えられた。

なお、本研究は水産庁委託事業「放射性物質影響解明調査」の 一部として実施した。

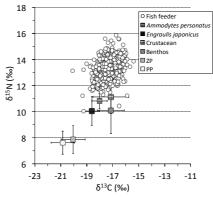


図1. 魚食魚,及びその餌資源の炭素・窒素安定同位体比マップ.

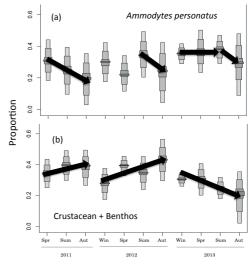


図2. 安定同位体比から推定した, 魚食魚における餌資源の寄与率の季節的変化。(a) イカナゴ、(b) 甲殻類・ベントス.

黒潮域における物理環境とイワシ類仔稚魚の輸送・成長特性

〇伊藤 幸彦 1 ・西川 悠 2 ・小松 幸生 3 ・安田 一郎 1 東大大海研・ 2 JAMSETC-CEIST・ 3 東大新領域/大海研

キーワード:マイワシ・カタクチイワシ・成長速度・粒子逆追跡実験・経験環境復元

1、はじめに

西部北太平洋のマイワシ・カタクチイワシ等、イワシ類資源は数十年スケールで大規模に変動する。資源量はそれぞれマイワシが寒冷期、カタクチイワシが温暖期に高水準となること、またマイワシ資源変動が太平洋の他海域と同期的に変動することから、これらの資源変動と気候変動との関連が指摘されてきた(Kawasaki 1983)。西部北太平洋では、1980年代半ばまで高水準であったマイワシが、1990年前後に急減したことが知られている(Watanabe et al. 1995)。仔魚輸送実験や高解像度モデルの解析からは、卵稚仔輸送経路である黒潮流軸付近で1990年前後に水温が上昇、冬季混合層が浅化したことが仔魚の生息環境悪化につながった可能性が指摘されている(Itoh et al. 2009; Nishikawa et al. 2011)。

水温や餌等の環境は、直接的に個体の生理や活力に作用し、被食逃避への影響を介して個体群の生残率にリンクしていると考えられる。近年の研究から、イワシ類においても、成長速度が個体の生残や年級の形成に大きな影響を与えていることが明らかとなってきた(例えば Takasuka et al., 2003, Takahashi et al., 2009).しかし、同じ採集地点、同じ日齢でも大きくばらつくことのある成長速度が、環境とどのようにリンクしているか、十分に明らかになっているとは言えない。また、強流が産卵場に近接する日本南岸域では、フィールドで採集された仔稚魚の由来推定も容易ではない。

そこで本研究では、黒潮〜黒潮続流域で採集したイワシ類仔稚魚の耳石から成長履歴を分析し、 粒子輸送実験と組み合わせることで、仔稚魚の輸送・成長特性と環境との関係について精査した。

2、資料と方法

2006~2009, 2011~2012年の4~5月に実施された淡青丸KT-06-5, KT-07-6, KT-07-9, KT-08-7, KT-09-3, KT-11-5, KT-12-5 航海において、常磐・

房総沖(~黒潮続流上流)の物理環境調査とイワシ類仔魚の採集を行った。仔魚は舷側からのニューストンネット、船尾からの MOHT (Hu et al. 2001)により採集、船上で凍結後、研究室に持ち帰り計数・体長計測、耳石分析(一部は 99%エタノール溶液で固定後)に供した。

3、結果・考察

8 回の調査でマイワシを約 3000 尾,カタクチイワシを 19000 尾採集した。2009 年までは、マイワシの採集尾数はカタクチイワシに比べ、出現、尾数ともに少なかったが、房総沖の黒潮内側~流軸にかけても4月段階で体長20 mm以上の個体が採集された。2009 年までと比較して2011 年はマイワシが多く、カタクチイワシは少なかった。2011 年4月16日、房総半島南沖の黒潮内側域、SST 17.0℃の観測点では、マイワシ・カタクチイワシ混成のパッチが存在し、平均体長はそれぞれ19 mm,21 mmであった。

分析個体を採集時の日齢および逆算日齢で区分し水温と比較した結果、表面水温 18-19℃で採集されたカタクチイワシ仔魚群の 20 日齢時, 25 日齢時,30 日齢時の平均成長速度が他の水温区に比べて有意に高かった。しかし、成長速度の頻度分布は水温区間で大きく異なっており、低成長群が少なく頻度が歪んだ区で結果として平均値が高くなっているという現象も見られた。このことは、採集個体を平均して得られた成長速度が高いことが、必ずしも良い環境を代表しておらず、むしろ高い捕食圧を反映してしまう可能性を示唆している。講演では粒子輸送実験を用いた仔魚の産卵場推定および実験から復元した経験環境を用いた成長速度との関係検討についても紹介する。