

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310002

研究課題名(和文) 黒潮および黒潮続流域の環境変動がイワシ類仔魚の成長・生残に及ぼす影響

研究課題名(英文) Impacts of environmental variability on the growth and survival of larval sardine and anchovy in the Kuroshio and its extension

研究代表者

伊藤 幸彦 (Itoh, Sachihiko)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：80345058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円、(間接経費) 4,080,000円

研究成果の概要(和文)：黒潮および黒潮続流域におけるマイワシ・カタクチイワシ仔魚の成長・生残過程の解明を目的とし、現場での仔稚魚採集と耳石分析、環境の観測、および数値実験による研究を行った。2006年から2012年において、黒潮～黒潮続流域に分布する仔稚魚は資源全体の傾向を反映して分布密度が経年的に変化していたが、空間分布は黒潮流路の構造で大きく変化していた。粒子追跡実験の結果、黒潮流路の短期的変動により仔魚の輸送先や成長速度が大きく変わる可能性が示された。仔魚の成長速度は平均的には両種ともは水温と正相関を示したが、経年的にその傾向は異なり生残過程の違いが重要な要因であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify growth and survival processes of Japanese sardine and Japanese anchovy in areas around the Kuroshio and its extension, larval sampling, otolith microstructure analyses, observations of environmental condition, and numerical experiments were conducted. During the period from 2006 to 2012, larval density fluctuated interannually, reflecting the fluctuations of the abundances of whole stock level of each species. However, spatial distribution showed large variations that were related to the structure of the path of the Kuroshio. The results of particle tracking experiments suggested that short-term variations of the path of the Kuroshio drastically changed the transport and growth rates of larvae. While the growth rates showed positive correlation with temperature for both of the two species, there were significant differences when the samples were divided by years. Survival processes were suggested to be the important factors affecting these relationships.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学

キーワード：生物海洋

1. 研究開始当初の背景

マイワシ (*Sardinops melanostictus*) とカタクチイワシ (*Engraulis japonicus*) は西部北太平洋温帯域表層の主要な魚種であり、日本の重要な水産資源であると同時にサバやカツオ、マグロ類等のより大型の魚種や鯨類等の主要な餌として生態系の重要な地位を占めている。両種の資源量(成魚の個体群重量)は数十年スケールで大規模かつ逆位相で変動しており、ペルー沖やカリフォルニア沖等他の海域の近縁種資源量との同期的な傾向があることから、北太平洋海盆規模の環境変動との関連が示唆されてきた。マイワシ・カタクチイワシの寿命はそれぞれ約7年・3年程度と推定されているが、各年に生まれた個体数の経年変動は1歳時の生残個体数でほぼ決まることが知られている。例えば、マイワシは1980年代末以降数年間で劇的にその資源量を減らしたが、これは1988年からの4年間に1歳までの生残率が極めて低かったことが原因であった。

魚類の初期生活史における生残と環境の因果関係は、しばしば仔稚魚の成長速度を通して結びつけられている。カタクチイワシは成長の速い仔魚の生残率が高いという実証例が天然環境下で得られており、またマイワシ・カタクチイワシ両種の成長速度が水温や餌密度に関係しているという報告もなされている。

しかし、成長速度は耳石日輪分析によりふ化直後からの履歴が推定可能なのに対して、環境の情報はこれまではほとんどの場合採集時に得られるのみであり、環境と生残過程の関係を検証するには至っていない。同一仔魚群をラグランジュ的に追跡する試みも行われてきたが、仔魚が多く分布する黒潮前線域は海洋構造の時空間変動が大きいため多くのケースでは追跡の精度が低く、イワシ類に関する知見はごく一部の事例にとどまっている。

一方、近年高解像度の数値モデルに現場データを組み入れた海洋同化システムの発展により、日本近海の流動・環境変動は精度よく再現されるようになってきた。高精度の流動・環境場を用いて仔魚の輸送経路と経験環境履歴を再現する試みも行われている。

2. 研究の目的

本研究では、マイワシ・カタクチイワシ資源変動要因のキープロセスである仔稚魚期の成長・生残過程の解明を目的とし、現場での仔魚採集と耳石分析、環境データの解析、数値シミュレーションにより研究を実施する。特に「採集された仔魚がふ化以降の減耗を生き残った個体である」という事実に着目し、耳石日輪構造に記録された成長履歴と観測から取得された環境条件、さらには環境条件を数値的に復元することにより生残の必要条件を抽出することに注力する。

天然環境下においては、年齢や生理状態の

異なる親魚が広い海域に産卵し、ふ化した仔魚が経験する物理環境や餌の種類も様ではない。水温等の物理環境や餌密度は仔魚の成長に関する基本要因となることが飼育実験からわかっているが、これらの要因のみで成長速度や死亡率が一意に決定されることは現実的にはあり得ない。しかし、膨大な数の卵稚仔が減耗していく過程では、確率論的ではあっても環境に対する応答のわずかな差異が生残個体数の大きな差を生み得る。近年、海洋生態系は低次栄養段階までは数値シミュレーションによりその動態がよく再現されるようになってきた。ところが、餌密度から増重量を計算するエネルギーモデルはあるものの、資源変動の直接的な要因である仔稚魚期の死亡過程については全く再現されていない。本研究の結果、物理・餌環境と成長速度、死亡率の関係が得られれば、イワシ類資源変動のモデル化に大きく寄与するところが期待される。

3. 研究の方法

(1) 既取得資料の整理・分析

2006～2009年まで毎年黒潮～黒潮続流域においてマイワシ・カタクチイワシ仔魚の採集と分布域の詳細な環境計測を実施している。未分析の環境および仔魚試料の分析を実施し環境データや数値実験との組み合わせ解析に供する資料とする。

(2) 現場観測

マイワシ・カタクチイワシ両種の仔魚出現が期待される4～5月に、両種の主産卵場の1つである遠州灘～房総沖から黒潮を横断する観測線において仔魚の採集と物理・餌環境計測を実施する。

(3) 仔魚耳石分析

現場観測により採集した仔魚は船上で1次選別・冷凍後、研究室に持ち帰り種同定・体長計測・耳石分析に供する。採集尾数が多い場合等には必要に応じて分析の一部を外部に委託する。得られた体長・日輪の情報から、仔魚の逆算体長と成長速度を推定する。

(4) 物理・餌環境分析

現場で取得した資料のうち、栄養塩・クロロフィル濃度は船上での採水/ろ過試料を研究室に持ち帰り、それぞれ栄養塩自動分析装置、分光高度計で分析する。また、動物プランクトン試料は船上でホルマリン固定の上研究室に持ち帰り、種組成および個体密度を得る。

(5) 海洋データ同化システム・生態系モデル

海洋データ同化システムのハインドキャスト結果を出力し、現場観測データを加えて一部修正の上、輸送シミュレーション用の水温および流動場を与える。また、この高精度環境場と観測時のプランクトン分布から、低次生産モデルを用いて現場海域周辺における動植物プランクトン分布の時間的・空間的変動を明らかにする。

(6) 輸送シミュレーション

海洋データ同化システム出力と生態系モデルから得られる餌環境情報を用い、の既取得仔魚試料およびの新規取得仔魚試料の輸送経路を逆算し、産卵場から採集地点までの環境履歴を推定する。

4. 研究成果

2006年から2012年の4～5月の黒潮および黒潮続流域で採集されたシラス型仔魚から、約4,000尾のマイワシ仔魚、19,000尾のカタクチイワシ仔魚を同定した。同定した仔魚は採集地点毎に必要なに応じて分割した後、体長を計測した。採集した試料の体長範囲はマイワシが約5-25 mm、カタクチイワシが約5-30 mmであった。

2011年以前は採集を行った海域で全体的にカタクチイワシが卓越していたが、2011年以降はマイワシ仔魚の出現頻度が高まっていた。仔魚は黒潮と沿岸水域の前線帯に高密度で分布する傾向があったが、年よっては流軸近くにまで分布が見られた(図1)。流路の解析および粒子追跡実験から、これは経年的な流路の差異および短期的な流路変動が仔魚輸送パターンを変化させていたことが示唆された。

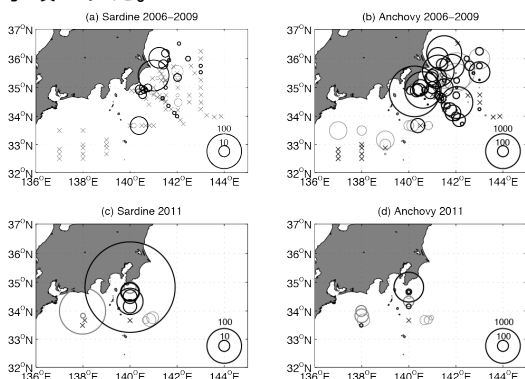


図1. ニューストンネットにより採集した仔魚尾数。(a) マイワシ 2006～2009年調査、(b) カタクチイワシ 2006～2009年調査、(c) マイワシ 2011年調査、(d) マイワシ 2011年調査。丸印は尾数を反映し、黒丸、灰丸、灰細丸はそれぞれ平均体長10 mm以上、体長未確定、平均体長10 mm未満、x印は採集なしを示す。

同定したマイワシ・カタクチイワシ仔魚から、約1,000尾のマイワシ、約1,500尾のカタクチイワシを耳石日輪分析に供した。耳石扁平石の輪紋数から求めた日齢はマイワシが最大で35日齢、カタクチイワシが48日齢であった。

採集時の体長は耳石径を用いたアロメトリー曲線で良く回帰された。そこで、逆算した各日齢時の体長も耳石径を用いたアロメトリー式で求めると仮定し、Biological Intercept法により各逆算日齢時の体長を求め、この日変化を日間の成長速度とした。

各逆算日齢時の成長速度は、逆算日齢、採

集日の日齢、採集年月、採集地点の環境により大きく異なった。逆算日齢と採集日の日齢範囲の条件を絞り込み、異なる海面水温範囲で採集された仔魚の平均成長速度を比較したところ、マイワシ・カタクチイワシとも、高水温帯で高成長速度となる傾向があった。しかし、成長速度の頻度組成を詳しく見ると、平均成長速度が低い群の一部は低成長側に頻度のモードが見られた。このことは、低成長個体の減耗により成長速度の平均値が高まるという機構が作用していることを示唆する。一方、平均成長速度が高い群は、群内での成長速度の上位値が高いことから、減耗だけではなく実際に環境の作用が高成長をもたらししている可能性も残された。

イワシ類をはじめ魚類の資源量変動は、多くの場合稚魚期の生残尾数に強く依存しており、またそれを支配する自然死亡率はしばしば経年的に大きく変動する。近年高度化が進む生態系モデルでは、物理環境の変化に伴う低次生産環境の変化が魚類生産に及ぼす影響が考慮されつつある。しかし、環境が成長速度を介して死亡率に影響を与えていることは示唆されているものの、その実態はほとんど不明であった。本研究は、イワシ類の耳石日輪と環境資料を解析することにより、成長モデル等の根拠となっている採集群の平均成長速度が個体の成長だけではなく、減耗の影響を受けていることを示した。

現在、黒潮域の集中的な観測による生産構造の解明や、粒子追跡実験による採集仔魚の経験環境復元が進展しており、今後これらの知見の統合により黒潮～黒潮続流域におけるイワシ類の成長・生残過程の理解が大きく進歩することが期待されている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

Sachihiko Itoh 他(著者5名の筆頭), Regeneration of a warm anticyclonic ring by cold water masses within the western subarctic gyre of the North Pacific, *Journal of Oceanography*, 査読有, 70巻, 2014, 211-223, DOI: 10.1007/s10872-014-0225-9

Haruka Nishikawa 他(著者7名の3番目と4番目), Transport and survival of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) eggs and larvae via particle-tracking experiments, *Fisheries Oceanography*, 査読有, 22巻, 2013, 509-522, DOI: 10.1111/fog.12041

Haruka Nishikawa 他(著者7名の3番目), Winter mixed layer depth and spring bloom along the Kuroshio front: implications for the Japanese sardine stock, *Marine Ecology Progress Series*,

査読有, 487 巻, 2013, 217-229, DOI: 10.3354/meps10201

Hitoshi Kaneko, Ichiro Yasuda, Kosei Komatsu and Sachihiko Itoh, Observations of the structure of turbulent mixing across the Kuroshio, Geophysical Research Letters, 査読有, 39 巻, 2012, DOI: 10.1029/2012GL052419

伊藤 幸彦, 海洋生態系に関わる親潮・黒潮海域の水塊と変動に関する研究, 海の研究, 査読有, 21 巻, 2012 年, <http://kaiyo-gakkai.jp/jos/uminokenkyu/vol21/21-2/21-2-ito.pdf>

Haruka Nishikawa, Ichiro Yasuda and Sachihiko Itoh, Impact of winter-to-spring environmental variability along the Kuroshio jet on the recruitment of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), Fisheries Oceanography, 査読有, 2011, 570-582, DOI: 10.1111/j.1365-2419.2011.00603.x

Sachihiko Itoh (著者 9 名の筆頭と 5 番目), Environmental variability and growth histories of larval Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) and Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) near the frontal area of the Kuroshio, Fisheries Oceanography, 査読有, 20 巻, 2011, 114-124, DOI: 10.1111/j.1365-2419.2011.00572.x

〔学会発表〕(計 9 件)

伊藤 幸彦(発表者), 複合生態系モデリング: 現状と課題、水産海洋学会シンポジウム、2013 年 11 月 15 日、京都大学

伊藤 幸彦, 気候変動と海洋生態系 ~ 風が吹くとイワシが増える? ~、第 99 回 アジ・サバ・イワシ長期漁況予報会議、2013 年 10 月 22 日、長崎西彼農業共同組合会議室

伊藤 幸彦(発表者), 春季の黒潮前線域における イワシ類仔魚分布・成長速度、東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会、2012 年 12 月 14 日、東京大学大気海洋研究所

小松 幸生(発表者), 多項目観測漂流ブイで見られた遠州灘沖の急激な水塊変動、2012 年度水産海洋学会研究発表大会、2012 年 12 月 16 日、伊藤国際学術研究センター

Kosei Komatsu et al., Impacts of epipycnal and diapycnal nutrient-transport by the Kuroshio on the productivity in the adjacent epipelagic waters, PICES Annual Meeting, 2012 年 10 月 19 日、広島国際会議場

Kosei Komatsu, Structure and variability of the Kuroshio Nutrient

Stream, ASLO Summer meeting, 2012 年 7 月 12 日、コラボしが 21、大津市

Sachihiko Itoh et al., Mixed layer depth and chlorophyll-*a* concentration in winter, ASLO Summer meeting, 2012 年 7 月 9 日、コラボしが 21、大津市

伊藤 幸彦(発表者), 春季の遠州灘~房総沖海域におけるイワシ類仔魚分布、2011 年度水産学会、2011 年 11 月 11 日、函館市公民会館

伊藤 幸彦, 海洋生態系に関わる親潮・黒潮海域の水塊と変動に関する研究、2011 年度日本海洋学会秋季大会、2011 年 9 月 28 日、九州大学筑紫キャンパス

〔図書〕(計 2 件)

小松 幸生 他、講談社、水産海洋学入門、2014、116-123

伊藤 幸彦 他、講談社、水産海洋学入門、2014、130-135

〔その他〕

第 1 回海のサイエンスカフェ講師 (伊藤幸彦)、2013 年 3 月 23 日、ヴァージンカフェ品川、主催: 日本海洋学会教育問題研究会

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 幸彦 (ITOH, Sachihiko)
東京大学・大気海洋研究所・准教授
研究者番号: 80345058

(2) 研究分担者

小松 幸生 (KOMATSU, Kosei)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号: 30371834

(3) 連携研究者

安田 一郎 (YASUDA, Ichiro)
東京大学・大気海洋研究所・教授
研究者番号: 80270792

渡邊 良朗 (WATANABE, Yoshiro)
東京大学・大気海洋研究所・教授
研究者番号: 90280958