

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26850119

研究課題名(和文) サンマ索餌場としての黒潮-親潮混合域低次生産構造・経年変動機構の理解

研究課題名(英文) Environment in the Kuroshio-Oyashio transition region and the Pacific saury

研究代表者

西川 悠 (NISHIKAWA, Haruka)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター・特別研究員(PD)

研究者番号：10625396

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：サンマの資源量変動メカニズムを解明するため、資源量と海洋環境要因間の相関解析・物理-低次生態系結合モデルの解析・サンマ仔魚の耳石解析を組み合わせ、何が・いつ・どこが・どのようにサンマの資源量変動に影響を与えるかを検討した。研究の結果、1990年代後半以降は、サンマ仔魚の春季分布場である黒潮続流域・黒潮-親潮混合域において餌となるプランクトン密度の経年変動が、仔魚の生残を通して資源量変動に密接に関わっていたことが示唆された。また、プランクトン密度の経年変動は黒潮と親潮の相互作用により形成された黒潮水-親潮水二層構造の伸縮によって引き起こされたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to understand the mechanism underlying the stock fluctuation of the Pacific saury (*Cololabis saira*). For that purpose, I combined three methods, correlation analyses between stock and environmental factors, inverse simulation for understanding the physical-biological process by using a physical-lower level ecosystem coupled model and otolith analyses of larvae. This study suggested that the spring feeding condition of saury larvae in the Kuroshio Extension and Kuroshio-Oyashio transition region affected the stock level through the survival of larval stage. Behind the feeding condition fluctuation, there was an interaction between the Kuroshio and Oyashio. Due to the interaction, the distribution of the Kuroshio-Oyashio layered structure that provides a favorable environment for plankton changed year to year. These results will be helpful to prediction and management of the Pacific saury.

研究分野：水産海洋学

キーワード：サンマ 耳石解析

### 1. 研究開始当初の背景

サンマ (*Cololabis saira*) は日本の重要な水産資源の一つである。しかし、1990年代前半までは黒潮域の冬季水温が資源量変動に密接に影響していると考えられていたものの (Tian et al., 2003, 引用文献)、1990年代後半以降は資源量の指標となる CPUE (単位漁獲努力量あたりの漁獲量) と黒潮域冬季水温の間には有意な相関関係が見られず、近年の資源量変動メカニズムは謎に包まれていた。サンマの資源量変動メカニズムの解明を阻む要因の一つは、中部太平洋全域に及び広大な分布域である。この中で、何が・いつ・どこが・どのようにサンマの資源量変動に影響を与えるかを特定することは容易ではない。広域に分布する魚の資源量が環境要因によって変化することを想定した場合、資源量と海面水温等環境指標の空間的な相関係数分布を調べることが、従来の手法であった。しかし相関解析だけでは、本当にその環境要因が魚に影響を与えるのかは断言できず、たまたま検出された偽相関を信じることで、資源量予測に失敗する懸念もある。

### 2. 研究の目的

本研究では 1998 年以降のサンマ資源量変動に着目し、相関解析・耳石解析・物理-低次生態系結合モデルの解析を行い、物理過程までさかのぼってサンマの資源量変動メカニズムを解明することを目標とした。これらの解析の組み合わせは、信頼性の高いサンマ資源量予測モデルを可能にする。その詳細は次節で述べる。

### 3. 研究の方法

サンマ資源量に影響する環境要因を探するため、サンマの CPUE データと衛星から得られた水温等の環境データ間の相関関係を調べた。また、物理-低次生態系結合モデル (Sasai et al., 2006, 引用文献) を用いて資源量変動要因の経年変動が起こるメカニズムを検討した。この時点では相関係数の大きさ以外にある特定の環境要因が資源量に影響することを保証するものはない。しかし本研究ではこれらと並行して、2008 年から 2012 年にかけて黒潮域および黒潮親潮混合域で採集したサンマ仔魚の耳石を分析し、日成長率を求めた。耳石解析から、何日齢のときは成長率が高い/低いという情報が得られる。次に、各サンマ仔魚サンプルの採集地点から、観測値を同化させた海洋再解析データセット FORA-WNP (Usui et al., 2017, 引用文献) の流速場に粒子を乗せて採集地点から遡る計算を行った。この逆追跡実験によって、ある日齢における周りの水温やクロロフィル a 密度を求めることができ、日成長率のデータと合わせて成長の良かったときの環境が推定される。こうして得られた成長と環境の関係から、相

関解析から示された資源量変動要因候補の妥当性を検証した。

### 4. 研究成果

サンマ CPUE と環境要因間の相関解析では、1998 年から 2005 年にかけて、CPUE と 4-5 月の黒潮統流域~黒潮-親潮混合域 (30-40°N, 150-170°E) で平均したクロロフィル a 濃度の間に有意な正の相関関係が得られた (図 1)。

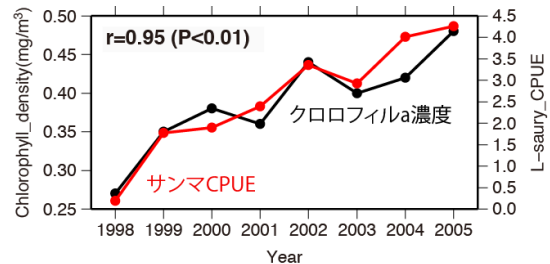


図 1: クロロフィル a 濃度とサンマ CPUE の経年変動。クロロフィル a 濃度は 4-5 月、30-40°N, 150-170°E での平均値。(Ichii et al., 2017, 引用文献, 雑誌論文 を改変)

4-5 月の同海域はサンマ仔魚の分布域であり、この結果は仔魚分布場での餌が多ければサンマ仔魚の生き残りが良くなり、資源量も増加すると解釈できる。次に物理-低次生態系結合モデルの結果を解析し、どのようにして 4-5 月の黒潮統流域・黒潮-親潮混合域の植物プランクトン密度 (クロロフィル a 濃度) 経年変動が起こるかを調べた。その結果、黒潮と親潮の接するフロントでは植物プランクトン密度が特異的に高い高生産帯が存在し、この高生産帯が伸縮することが、同海域の植物プランクトン密度経年変動につながることを示唆された。高生産帯の分布は、高密度で高栄養塩の親潮水の上に低密度な黒潮水が乗る層構造 (図 2) の分布と一致する。

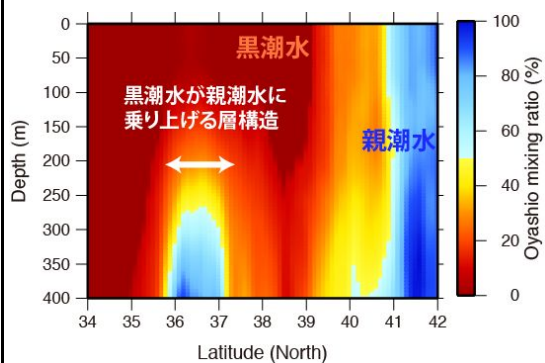


図 2: 黒潮水 (赤) が親潮水 (青) に乗り上げる層構造の例。図は 2005 年 4 月、155°E 断面。本研究では黒潮水と親潮水を水塊の混合比を用いて検出した (西川ら, 2016, 引用文献, 雑誌論文)

層構造がある場所で高生産となる理由は、風などによって表層に鉛直混合が生じたと

き、下層の親潮水から上層の黒潮水に栄養塩が流入しやすくなるためである。上層の黒潮水中では常に栄養塩が不足しているため、この鉛直混合によって黒潮水中の植物プランクトンが爆発的に増える。こうして、光合成の活性化に結びつきやすい黒潮水-親潮水二層構造の分布面積が多い年は、プランクトンが多くなる(図3)。

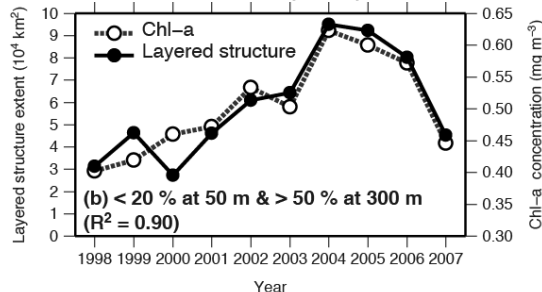


図3：クロロフィルa濃度と黒潮水-親潮水二層構造の分布面積(西川ら, 2016, 引用文献, 雑誌論文)

以上の結果は、黒潮水-親潮水二層構造の分布面積が、サンマ仔魚分布場の餌密度、ひいてはサンマの資源量に影響することを示唆する。一般に成長が早い仔魚は被食減耗のリスクが低下するために生き残りやすくなるという関係がある。そこで相関解析から示唆された餌の多寡がサンマ仔魚の生残に影響するという仮説を確かめるため、サンプリングによって得られたサンマ仔魚の耳石の解析、および逆追跡による生育環境(水温とクロロフィルa濃度)の推定を行った。耳石解析により得られた日成長率と水温・クロロフィルa濃度を比較したところ、非常に高温(23以上)であるか、非常に餌が多い(クロロフィルa濃度が1.0mg/m<sup>3</sup>以上)場合に、仔魚の成長率が高くなるという結果が得られた(図4)。

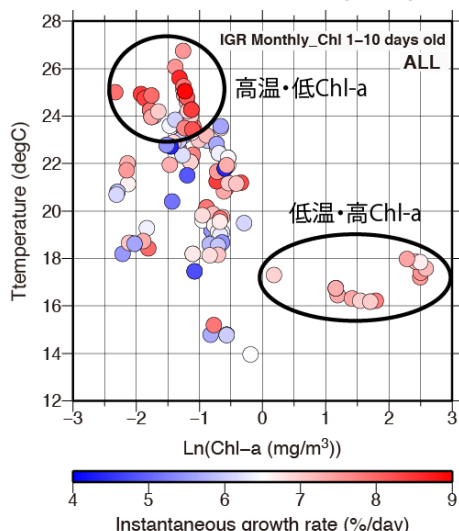


図4：サンマ仔魚日成長率と水温・クロロフィルa濃度の関係

4-5月の仔魚分布場においては、水温が23以上になることは稀であるので、餌が多い

ほど成長が良いという結果は、相関解析から得られた仔魚生残が餌に依存するという仮説を支持する。だがその一方で、高温環境であれば餌がなくても生き残りが良いという結果はどう解釈されるのか? 4-5月の黒潮続流域・黒潮-親潮混合域に出現するのは、春季に同海域で生まれたサンマである。しかしサンマの一部は冬季により南に位置し貧栄養な黒潮再循環域で生まれることが知られている。Tian et al. (2003) (引用文献)の黒潮域の冬季水温が高いほどサンマ資源量が多くなるという研究は、この冬季産卵群を念頭に置いたものであり、本研究の結果はこの研究とも矛盾しない。つまり、冬季産卵群の生残は水温に、春季産卵群の生残は餌量に依存していることが示唆される。では、最終的にサンマ資源量変動を決定するのはどちらの産卵群なのか? 1990年代前半までは黒潮域の冬季水温、後半以降は黒潮続流域・黒潮-親潮混合域の春季クロロフィルa濃度とCPUE間に相関関係が見出されたことを考慮すれば、資源量の主体が1990年代半ばに冬季産卵群から春季産卵群に移った可能性がある。従って、現在は春季産卵群が資源量の主体であり、資源量は4-5月の黒潮続流域・黒潮-親潮混合域クロロフィルa濃度経年変動に依存していると考えられる。資源量予測という観点からすれば、クロロフィルa濃度は衛星から観測可能であるものの、雲によって観測できないことがしばしばある。そこでクロロフィルa濃度の背景にある黒潮水-親潮水二層構造の分布に着目すると、こちらは水温等を同化させたシミュレーションによって高精度で推定可能である。つまり黒潮水-親潮水二層構造の分布を用いた資源量予測は比較的容易に行うことができ、この方法による資源量予測が実現すれば、サンマ資源の管理や有効利用に大きく貢献することが期待される。

以上のように本研究では、従来の相関解析による資源量変動要因推定に加え耳石解析を行うことで、高い信頼性を持つサンマ資源量変動メカニズムを提案した。また、1990年代半ばからサンマ資源量の主体となる産卵群が変化した可能性は、事実であればこれまでに指摘されていない大変興味深い現象であり、現在この仮説をまとめた論文を投稿中である。

#### <引用文献>

- Tian, Y., Aakamine, T., Suda, M. Variations in the abundance of Pacific saury (*Cololabis saira*) from the north-western Pacific in relation to oceanic-climate changes. Fish. Res., 60, pp439-454 (2003年).
- Sasai, Y., Ishida, A., Yamanaka, Y., Sasaki, H. Chlorofluorocarbons in a global ocean eddy-resolving OGCM:

Pathway and formation of Antarctic Bottom Water. Geophys. Res. Lett., 31 (2006年)

Usui, N., Wakamatsu, T., Tanaka, Y., Hirose, N., Toyoda, T., Nishikawa, S., Fujii, Y., Takatsuki, T., Igarashi, H., Nishikawa, H., Ishikawa, Y., Kuragano, T., Kamachi, M. Four-dimensional Variational Ocean Reanalysis: A 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30). J. Oceanogr., 73, pp205-233 (2017年).  
Ichii, T., Nishikawa, H., Igarashi, H., Okamura, H., Mahapatra, K., Sakai, M., Wakabayashi, T., Inagake, D., Okada, Y., Impacts of extensive driftnet fishery and late 1990s climate regime shift on dominant epipelagic nekton in the Transition Region and Subtropical Frontal Zone: Implications for fishery management of the central North Pacific., Progress in Oceanography, 150, pp35-47 (2017年). (査読あり)

西川悠, 碓氷典久, 蒲地政文, 田中裕介, 石川洋一, 春季黒潮続流域における黒潮水-親潮水二層構造の分布とクロロフィル a 濃度の経年変動, 海の研究, 25, pp.133-144 (2016年). (査読あり)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計4件)

Ichii, T., Nishikawa, H., Igarashi, H., Okamura, H., Mahapatra, K., Sakai, M., Wakabayashi, T., Inagake, D., Okada, Y., Impacts of extensive driftnet fishery and late 1990s climate regime shift on dominant epipelagic nekton in the Transition Region and Subtropical Frontal Zone: Implications for fishery management of the central North Pacific., Progress in Oceanography, 150, pp35-47 (2017年). (査読あり)

DOI: 10.1016/j.pocean.2015.03.007

西川悠, 碓氷典久, 蒲地政文, 田中裕介, 石川洋一, 春季黒潮続流域における黒潮水-親潮水二層構造の分布とクロロフィル a 濃度の経年変動, 海の研究, 25, pp.133-144 (2016年). (査読あり)

一井太郎, 西川悠, 五十嵐弘道, Kedarnath Mahapatra, 酒井光夫, サンマの加入量変動に関する海洋環境要因, 第63回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告, 63, pp.234-238 (2015年). (査読なし)

一井太郎, 西川悠, 五十嵐弘道, Kedarnath Mahapatra, 酒井光夫, 流し網調査に基づくサンマの加入量変動と海洋環境, 第62回サンマ等小型浮

魚資源研究会議報告, 62, pp.255-261 (2014年). (査読なし)

〔学会発表〕 (計3件)

西川悠, 碓氷典久, 蒲地政文, 田中裕介, 石川洋一, 春季黒潮続流域における黒潮-親潮水二層構造の分布とChl-a濃度経年変動, 日本海洋学会2016年度秋季大会, 2016年9月12日(鹿児島大学郡元キャンパス, 鹿児島県鹿児島市).

西川悠, 碓氷典久, 蒲地政文, 石川洋一, 基礎生産経年変動に対する黒潮続流域栄養塩鉛直分布の影響, 日本海洋学会2015年度春季大会, 2015年3月12日(東京海洋大学, 東京都港区).  
Nishikawa, H., Yamashita, Y., Sasai, Y. and Sasaki, H., Detecting the phytoplankton non-uniform distribution around the warm core rings, PICES Annual Meeting, 2014年10月23日 (Yeosu, Korea)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

西川悠 (NISHIKAWA, Haruka)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター・特別研究員 (PD)  
研究者番号: 10625396