

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K14516

研究課題名(和文) 好適環境の利用率からアプローチするイワシ類資源量変動メカニズム

研究課題名(英文) Overlap between suitable nursery grounds for Japanese anchovy and Japanese sardine larvae

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・付加価値情報創生部門(情報エンジニアリングプログラム)・研究員

研究者番号：10625396

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マイワシとカタクチイワシの間に資源量変動に影響する種間競争が存在することを示すことを目的とし、両種の仔魚の耳石輪紋間隔から推定した成長速度とサンプリング地点からの逆粒子追跡実験によって推定した経験環境から、成長に好適な水温・クロロフィルa濃度を求めた。両種の産卵場・産卵月および好適環境分布の比較から、マイワシ仔魚の好適環境に占めるカタクチイワシ仔魚の好適環境面積の割合は低く、逆にカタクチイワシ仔魚の好適環境に占めるマイワシ仔魚の好適環境面積の割合は高かった。この結果は、カタクチイワシはマイワシからの種間競争の影響をより強く受けるという既往の研究を総合的である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイワシとカタクチイワシの資源量が逆相関となる現象は古くから知られ、両種が似た生態を持つことから種間競争の存在は長く指摘されてきたものの、種間競争を定量的に調べることは容易ではなく、検証が難しかった。本研究では特に資源量変動への影響が大きい仔魚期の成長速度に着目し、成長に対する好適環境の重複度という指標を導入することで、種間競争の定量化に成功した。また、両種の資源量を統計的に解析した最新の研究からは、種間競争はマイワシがカタクチイワシに一方的に影響を及ぼしている可能性が示唆された。本研究の結果はこの統計解析結果に種間競争が不均衡となる具体的なメカニズムの提示による裏付けを与えるものである。

研究成果の概要(英文)：We focused on overlapping suitable nursery grounds to detect the interspecific interaction between Japanese anchovy and Japanese sardine. Suitable nursery grounds are defined as the areas where larvae grow faster. If an area with both anchovy and sardine has a specific environmental condition suitable only for sardine growth, sardine will survive there more easily than the anchovy. Suitable conditions based on growth rates obtained from a combination of otolith analyses and backward particle tracking experiments were estimated. The sizes of suitable areas were estimated considering the ideal conditions for both species. The overlap ratio for suitable anchovy nursery grounds was higher than for sardine. Thus, although anchovy and sardine larvae occur in the same area, the area is often suitable only for sardine larvae growth. These results can explain the one-way interspecific interaction from sardine to anchovy that was suggested by the recent statistical analysis.

研究分野：水産海洋学

キーワード：マイワシ カタクチイワシ 耳石 種間競争

## 1. 研究開始当初の背景

マイワシ・カタクチイワシの資源量には数十年周期の逆位相の変動(魚種交替)が存在する(川崎, 1983)。相関解析を用いたこれまでの研究から、仔魚期の海洋環境が資源量変動の支配的な要因であることが示された(Yatsu et al., 2005)。寒冷期と温暖期を周期的に繰り返す太平洋では、寒冷期はマイワシが、温暖期はカタクチイワシが増加する傾向にある。この現象は、海盆スケールの寒暖がそれぞれの種の成長に適する水温環境・餌環境に結びついているためであると説明されている(Takasuka et al., 2007)。

しかし、海洋環境変動が第一の要因であったとしても、他の要因は資源量変動に影響しないのだろうか?これが本研究の核心をなす問いである。寒暖とイワシ類資源量の関係は相関関係から示された長期的な傾向に過ぎず、毎年の水温の高低がその年の資源量と必ずしも一致するわけではない。海洋環境以外で資源量変動に影響する可能性があるのは、仔魚の輸送分散と種間競争である。先行研究からは、イワシ類の仔魚は産卵場を流れる黒潮に乗って広域に分散するため、分布場によって成長速度が異なることが明らかとなっている(Nakata et al., 1995)。成長速度の差は生残率、ひいては資源量変動に直結するため、資源量決定への寄与は成長に好適な場所へ輸送された仔魚ほど大きい。また、イワシ類の仔魚は同じ海域に分布していれば同じ種類のプランクトンを食べることから、分布が重複する海域では餌をめぐる競合が存在すると考えられる。

しかし黒潮域から親潮域にかけて海洋を広く回遊するイワシ類の資源量変動研究において、種間競争が存在することを実証することは難しく、長く結論が出ていなかった。ところが最近になって、新しい解析手法によって種間競争が他の要因とは独立に資源量に何らかの影響を与えたことが示された(Nakayama et al., 2017)。種間競争があるとするれば、第一の候補は重複分布場における餌の競合である。本研究ではこの結果を受けて、他種の摂餌によって好適環境がどれほど減少したかを計算することで、種間競争の影響力を定量的に評価できると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究は、仔魚期の成長速度が生残を介して資源量変動に大きな影響を与えるという既往の研究成果をもとに、マイワシとカタクチイワシ仔魚の成長速度に対する好適環境を調べ、好適環境の時空間的重複度を計算することで、種間競争を定量的に評価することを目的とする。また、得られた結果をもとに資源量変動に対する種間競争の影響について考察を行う。

## 3. 研究の方法

イワシ類仔魚の成長に対する好適環境は、サンプリング仔魚の耳石輪紋の解析とサンプリング地点からの逆粒子追跡実験による生育環境の復元から行った。仔魚は過去の研究航海で採集したサンプル(マイワシ: 641 個体、カタクチイワシ: 1389 個体)を利用する。耳石に一日一本形成される耳石輪紋による日齢、採集時点での体長、輪紋間隔を用いて毎日の成長速度を推定することができる。逆粒子追跡実験では、水平解像度 10km の海洋再解析データセット FORA-WNP (Usui et al., 2017) の流速場と水温データ、および人工衛星 MODIS-AQUA による海面画像を用い、仔魚の輸送経路を推定して各日齢時に経験する水温とクロロフィル a (Chl-a) 濃度を求めた。実際の仔魚の餌は動物プランクトンの幼生であるが、既往の研究から Chl-a 濃度と動物プランクトン量の間には相関があることがわかっているため、本研究では成長速度に影響を及ぼす餌環境の指標として Chl-a 濃度を用いた。

粒子追跡実験では、仔魚の採集地点(図 1)から孵化日まで、仔魚の平均分布水深である水深

5m層に固定した粒子を逆追跡し、粒子周りの水温と Chl-a 濃度を記録した。

成長速度は日齢が進むとともに鈍化する傾向がある。この日齢依存性を排除して環境の影響を明確にするため、図 2a, b のように日齢ごとの成長率の平均と標準偏差を求め、図 2c, d のようにこの値から日齢ごとの標準化を行った。この標準化した成長率 (SGR) を本研究では成長速度の指標とし、水温・Chl-a 濃度と比較した。環境の成長に対する影響を厳密に測定するためには各日齢において比較を行うべきだが、得られたサンプル数には限りがあるため、本研究では特に仔魚期前期で摂餌開始直後の最も生残率が低い孵化後 3-15 日齢に着目し、この期間で平均した標準化成長率と環境の比較を行った。

好適環境の重複度は、マイワシとカタクチイワシの産卵が盛んな 3 月から 5 月にかけて、両種の産卵が見られる 130-142°E, 30-42°N の沿岸部から黒潮流軸までの範囲で計算した。計算するにあたり、水温は FORA-WNP、Chl-a 濃度は MODIS-AQUA のデータを用い、成長速度と環境の関係から求められた両種の好適環境の分布を求めた。

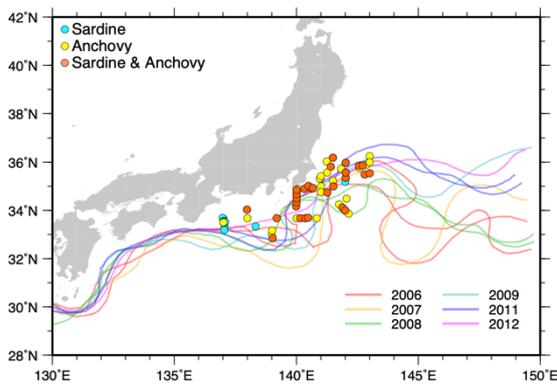


図 1：仔魚のサンプリング地点  
サンプリングは 2006 年から 2012 年にかけて、東京大学大気海洋研究所の白鳳丸・淡青丸による研究航海で行った。

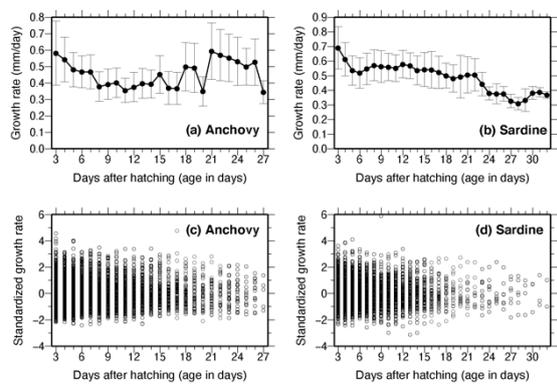


図 2：(a)カタクチイワシ、(b)マイワシの日齢ごとの成長率、(c)カタクチイワシ、(d)マイワシの日齢ごとの標準化成長率

#### 4. 研究成果

##### (1) 成長速度と水温・Chl-a の関係

孵化後 3-15 日齢のカタクチイワシ仔魚と水温・Chl-a 濃度の関係は図 3 のようになった。Chl-a 濃度は自然対数表示で示す。

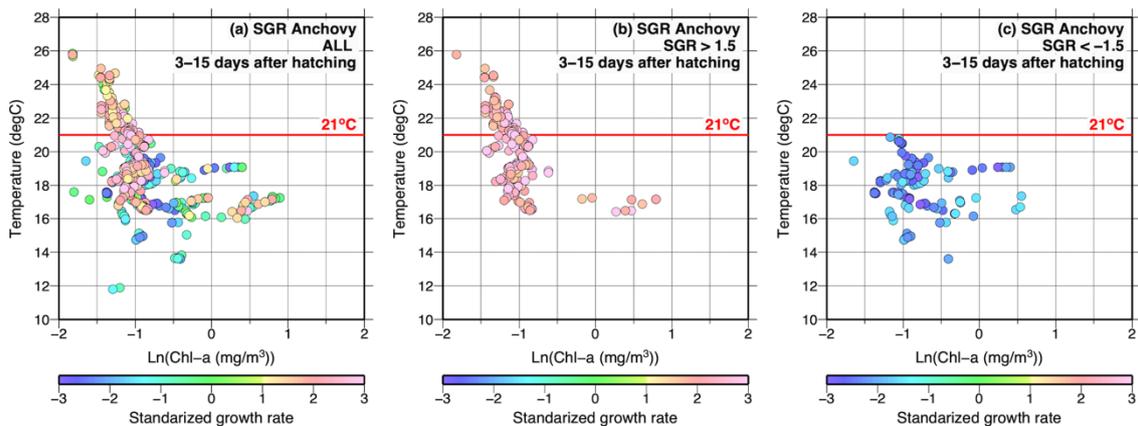


図 3：カタクチイワシの標準化成長率と水温・Chl-a の関係。(a)全てのサンプルのプロット、(b)標準化成長率が 1.5 以上のサンプルのプロット、(c)標準化成長率が -1.5 以下のサンプルのプロット

この結果は、カタクチイワシ仔魚は水温が 21°C 以下のとき標準成長率が -1.5 以下になることを示す。

孵化後 3-15 日齢のマイワシ仔魚と水温・Chl-a 濃度の関係は図 4 のようになった。

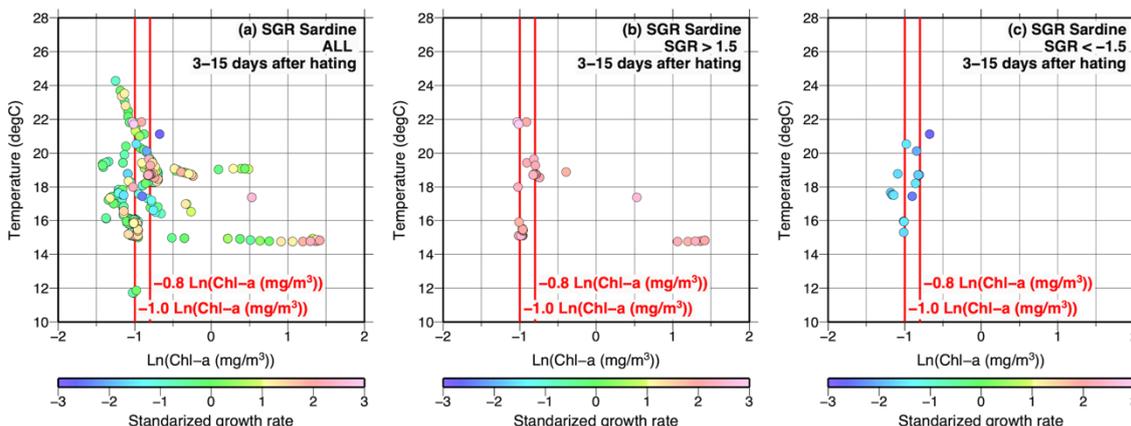


図 4 : マイワシの標準化成長率と水温・Chl-a の関係。(a)全てのサンプルのプロット、(b)標準化成長率が 1.5 以上のサンプルのプロット、(c)標準化成長率が-1.5 以下のサンプルのプロット

この結果は、マイワシ仔魚は  $\ln(\text{Chl-a}) > -1.0 \text{ mg/m}^3$  のとき標準化成長率は 1.5 以上となり、 $\ln(\text{Chl-a}) > -0.8 \text{ mg/m}^3$  では標準化成長率が-1.5 以下とならないことを示す。

以上の結果は、カタクチイワシ仔魚の成長は水温に依存し、成長速度は高水温であるほど高くなることを、マイワシ仔魚の成長は餌密度に依存し、餌密度が高くなるほど成長速度が高くなることを示唆する。

## (2) 重複度の計算

①で得られた結果から、海面水温 21°C以上をカタクチイワシ仔魚の成長に対する好適環境、 $\ln(\text{Chl-a}) > -1.0 \text{ mg/m}^3$  をマイワシ仔魚の好適環境と定義し、両種の好適環境の分布範囲を求めた。

図 5 は 2003 年の 3 月から 5 月までの好適環境分布である。

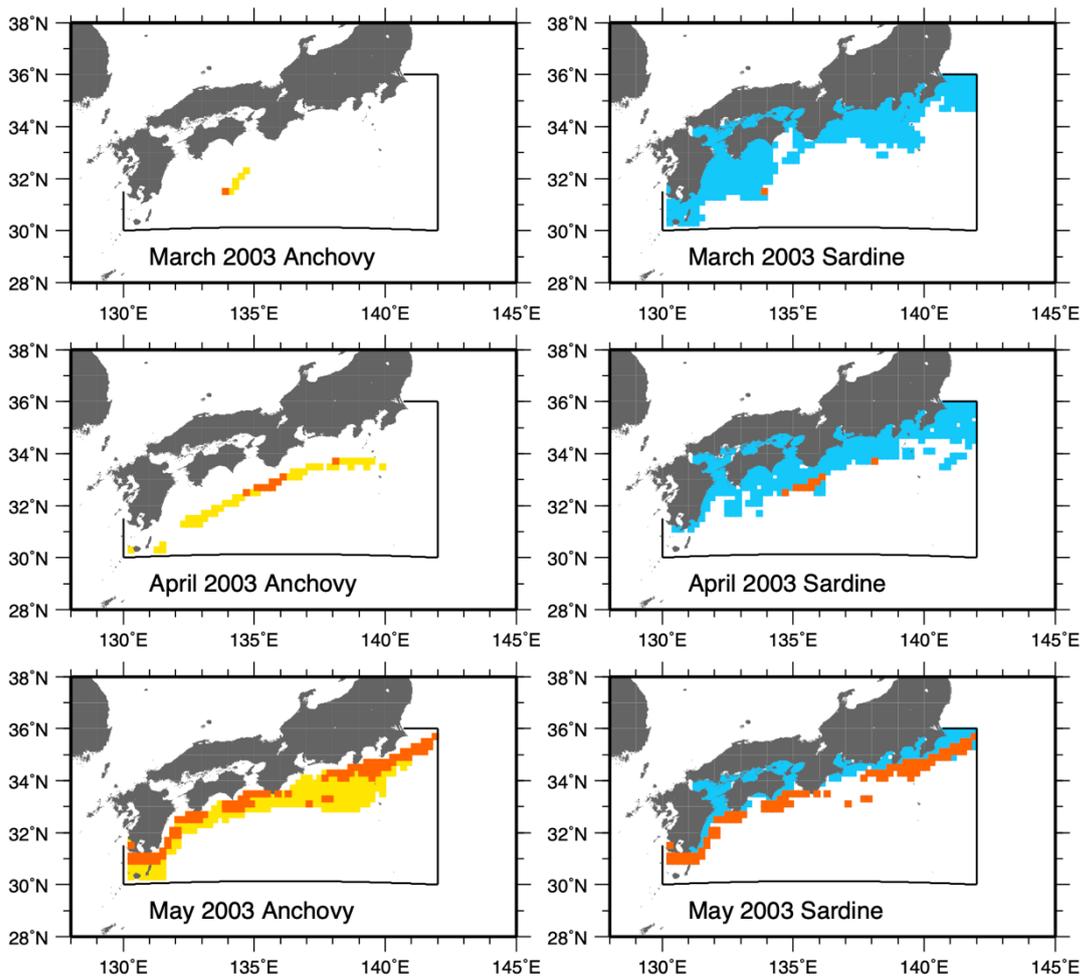


図 5 : 2003 年 3 月～5 月のカタクチイワシ (左列)、マイワシ (右列) の好適環境の分布。カタクチイワシのみに好適な環境は黄、マイワシのみに好適な環境は青、両種に好適な環境はオレンジで示す。

図5のように、産卵期初期の3月から4月にかけてはすでにChl-aはマイワシ仔魚の成長には十分な濃度になっているものの、まだ海水温が低くカタクチワシにとっては好適ではない。従ってこの間はマイワシとカタクチワシが同じ海域に共存していたとしても、マイワシ仔魚の方が早く成長することになる。5月になると海水温が上昇し、カタクチワシの好適環境も広がるが、春季ブルーム後期で依然としてChl-a濃度が高く、マイワシの好適環境と重複している場所も多い。カタクチワシとマイワシ仔魚の好適産卵海域面積に対し、両種にとって好適となっている海域面積の占める割合を図6に示す。2003–2012年の平均で、カタクチワシの好適環境のうち27.1%はマイワシと重複し、マイワシの好適環境のうち5.5%はカタクチワシと重複していた。

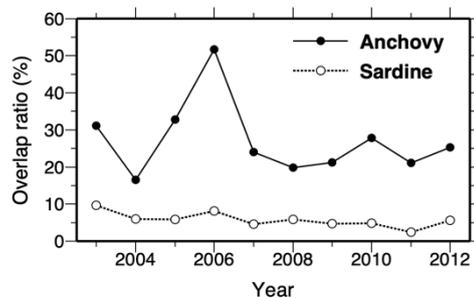


図6：カタクチワシ（黒丸＋実線）、マイワシ（白丸＋破線）の好適環境のうち、両種にとって好適となる海域面積が占める割合。

### (3) 資源量変動に対する考察

マイワシ仔魚とカタクチワシ仔魚はどちらも同じ動物プランクトン幼生を餌として利用する。孵化直後は遊泳能力に乏しいため偶然近くにいた餌を食べ、成長が早くなるにつれ遠くの餌も利用できるようになる。また、成長が早いほど捕食者から逃げやすく生残率が高くなる (Takasuka et al., 2003)。従って成長が早いことは生残に直結し、ひいては資源量の増加につながる。マイワシ仔魚とカタクチワシ仔魚は同じ場所に分布していることが多いが、その環境が片方へのみ好適であればもう一方の種は成長が遅れ、捕食者に優先的に食べられることになる。図6に示したように、カタクチワシ仔魚の場合、成長の早くなる自分の好適環境に同様に成長の早いマイワシ仔魚が存在することがしばしばあり、その場合は餌の取り合いとなって結果的に高成長となれない可能性がある。一方でマイワシ仔魚は主産卵期の3–4月には好適産卵海域に高成長となるカタクチワシ仔魚はほとんどいないので、カタクチワシの影響を受けにくいと言える。

Nakayama et al. (2007) が実施した資源量の詳細な時系列解析から初めて両種の種間関係はマイワシがカタクチワシに一方的に影響を与えるものであることが示唆されたが、この統計解析結果に対し両種は仔魚期から成魚期に至るまで似た食性と分布範囲を持つことからその理由を説明することが難しかった。本研究が提示した、仔魚期の成長が餌依存か水温依存による差異により好適環境の重複度が異なるという考え方は、資源量変動における種間関係のパラドックスを解決するものである。マイワシ、カタクチワシはともに水産重要種として資源量予測の需要が大きい、これまでは再生産関係と環境要因を元にした予測が主流だった。今後種間競争の影響を導入することで、特にカタクチワシの資源量予測精度が向上することが期待される。以上の結果は、論文にまとめ投稿した (Nishikawa et al., 2022, in press)。

### (4) 本研究の新規性

特に外洋に分布する魚に対して、種間競争の影響を調べることは非常に難しい。本研究で提示した、成長速度をコントロールする要因に着目し好適環境の重複度を調べるという手法は、種間競争の大きさを定量化する手段として画期的である。

#### <引用文献>

- Yatsu, A., Watanabe, T., Ishida, M., Sugisaki, H., and Jacobson, L.D. (2005) Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. *Fish. Oceanogr.* 14(4): 263–278.
- Takasuka, A., Oozeki, Y., and Aoki, I. (2007a) Optimal growth temperature hypothesis: why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 64: 768–776.
- Takasuka, A., Aoki, I., and Mitani, I. (2003) Evidence of growth-selective predation on larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in Sagami Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 252: 223–238.
- Usui, N., Wakamatsu, T., Tanaka, Y., Hirose, N., Toyoda, T., Nishikawa, S., Fujii, Y., Takatsuki, T., Igarashi, H., Nishikawa, H., Ishikawa, Y., Kuragano, T., and Kamachi, M. (2017) Four-dimensional Variational Ocean Reanalysis: A 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30). *J. Oceanogr.*, 73: 205–233.
- Nakayama, S., Takasuka, A., Ichinokawa, M., and Okamura, H. (2018) Climate change and interspecific interactions drive species alternations between anchovy and sardine in the western North Pacific: Detection of causality by convergent cross mapping. *Fish. Oceanogr.*, 27: 312–322.
- Takasuka et al. (2003)
- Nishikawa, H., Itoh, S., Yasuda, I. and Komatsu, K. (2022) Overlap between suitable nursery grounds for Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) and Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) larvae. *AQUA CULTURE, FISH and FISHERIES*. (in press)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 西川悠	4. 巻 584
2. 論文標題 マイワシ資源量高水準期・低水準期の加入量変動と海洋環境	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 月刊海洋	6. 最初と最後の頁 336-340
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Haruka Nishikawa	4. 巻 28
2. 論文標題 Relationship between recruitment of Japanese sardine ( <i>Sardinops melanostictus</i> ) and environment of larval habitat in the low-stock period (1995-2010)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fisheries Oceanography	6. 最初と最後の頁 131, 142
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/fog.12397	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nishikawa, H; Curchitser, EN; Fiechter, J; Rose, KA and Hedstrom, K	4. 巻 6
2. 論文標題 Using a climate-to-fishery model to simulate the influence of the 1976-1977 regime shift on anchovy and sardine in the California Current System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PROGRESS IN EARTH AND PLANETARY SCIENCE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40645-019-0257-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Takasuka Akinori, Nishikawa Haruka, Furuichi Sho, Yukami Ryuji	4. 巻 22
2. 論文標題 Revisiting sardine recruitment hypotheses: Egg production based survival index improves understanding of recruitment mechanisms of fish under climate variability	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fish and Fisheries	6. 最初と最後の頁 974 ~ 986
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/faf.12564	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nishikawa Haruka, Itoh Sachihiko, Yasuda Ichiro, Komatsu Kosei	4. 巻 -
2. 論文標題 Overlap between suitable nursery grounds for Japanese anchovy ( <i>Engraulis japonicus</i> ) and Japanese sardine ( <i>Sardinops melanostictus</i> ) larvae	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aquaculture, Fish and Fisheries	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aff2.39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------