

第 107 回 対馬暖流系
アジ・サバ・イワシ長期漁海況予報会議
調査・研究発表

要旨集

日 時：平成 29 年 10 月 26 日 13：00～16：30

場 所：長崎西彼農協ビル 会議室

主 催：国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所

プログラム

調査・研究発表

13：00～13：30

「漁獲物の多様性と漁獲量との関係についての一考察

～読谷村漁協の大型定置網の漁獲データを分析して見えたこと～

加藤 美奈子（沖縄県水産海洋技術センター）

13：30～14：00

「東シナ海における人工衛星データによる漁船漁獲動向の把握の試み」

山田 東也（水産研究教育機構 西海区水産研究所）

14：00～14：30

「鹿児島県海域におけるキビナゴの漁獲特性と生物学的特性」

天野 裕平（鹿児島県水産技術開発センター）

14：30～15：00

「トビウオ類未成魚の漁況予測の改良について」

西村 大介（長崎県総合水産試験場）

15：00～15：15

休憩

特別発表

15：15～16：15

「地方自治体と連携した漁海況予測システムの運用と開発：

水産研究への応用と将来の展望」

瀬藤 聡(水産研究教育機構 中央水産研究所)・

黒田 寛(同 北海道区水産研究所/中央水産研究所)

漁獲物の多様性と漁獲量との関係についての一考察

～読谷村漁協の大型定置網の漁獲データを分析して見えたこと～

○加藤 美奈子¹・安富祖 仁²

(1:沖縄県水産海洋技術センター、2:琉球大学医学部)

1. はじめに

本県においては、かなり早い時期から漁業の状況を把握し、資源解析と流通分析を行うために、漁獲統計が整備されてきた。1989（平成元）年に現在の漁獲統計データベースの基盤となるシステムが構築され、IT 環境の変化に合わせ、数次にわたるシステムの更新を経て、現在に至っている。そのシステムが整備された当時、本県の漁船漁業における主要な漁法の一つは定置網であった。現在の定置網漁業の状況は、第 45 次沖縄農林水産統計年報（平成 27～28 年）によると、平成 25（2013）年では、大型定置網が 4 経営体、小型定置網が 30 経営体あり、漁獲量は大型定置網で 157 トン、小型定置網では 50 トンあったとされる。これは漁船漁業の漁獲量の合計 16,684 トンの 1.2%程度に相当する。

その中でも沖縄本島中部の西海岸にある読谷村漁協は、九州でも有数の規模を誇る大型定置網を設置し、それによる漁獲が 70%を占めている。同漁協の主要な漁獲の柱である定置網漁業は、受動的な漁法で、他の漁法に比べて資源に対する漁獲圧力が低く、持続可能な漁業生産を可能にし、将来にわたって地域の振興に貢献する可能性を持っている。

このように定置網漁業は、本県においても有望な漁業の一つになり得ると考えられるが、漁獲状況の変動が大きいことから、経営の不安定化をもたらし、継続的に操業することを困難にする可能性がある。

こうした状況を踏まえて、本県で長期的に操業が行われている同漁協の定置網の漁獲状況を分析することで得られた結果は、安定的な経営を行う上で重要な知見となりうる可能性がある。そのため、当センターで所有する約 30 年近い漁獲データを解析して、漁獲傾向を把握することに努めた。その結果、漁獲される魚種と漁獲量に関連性があることが明らかとなった。

2. 研究目的

調査対象とした定置網漁業は、安定的な漁獲データの収集が可能であり、当該海域における長期的なランダムサンプリングを行っているとも言える。そのため定置網の漁獲データを解析することは、その海域における長期的な資源動向の分析になると考えられる。

今回分析を行った読谷村漁協の大型定置網は漁協直営である。そのため、漁獲データは漁協ですべて把握されており、当センター漁獲統計システムで、約 30 年に渡ってデータが蓄積されている。このデータは、日別・漁協魚種別（県魚種も対応可能）まで分類が可能

となっている。

また定置網が設置されている場所は、沿岸から約 10 キロメートルの沖合にあり、直近の海岸線はアメリカ陸軍の施設（トリステーション）が占有しており、施設の設置以降、その沿岸では大規模な開発が行われることはなかった。そのため長期間に渡って安定した海岸線が保たれている。さらに沖合には、黒潮が流れているが、大きな蛇行が発生する海域ではない。よって陸域や海洋環境の変化が少ない安定した条件下で、約 30 年近くに渡り収集されたビックデータとなっている。

これまでの分析状況は、年別、漁協別、月別、海域別（東シナ海、中城湾、金武湾）、魚種別による集計を行い、主要な漁獲対象となっている魚種とその漁獲変動についての把握することに留まっていた。漁獲量の変動要因を探索するためには、さらに詳細なレベルでの分析が必要である。実際に日々漁獲の状況は変化しているため、それにアプローチした分析を行い、この要因を探索することが、資源状況と漁獲量の動向を把握することにつながる考えた。そこで本研究では、ミクロな視点からデータ分析を行い、その要因を探索することを試みた。

3. 研究方法

沖縄県水産海洋技術センター漁獲統計システム（以下、漁獲統計）でデータベース化された 1989 年 1 月から 2017 年 8 月までのデータについて、読谷村漁協の定置網で漁獲されたもの対象に、データの抽出を行なった。データの件数は約 26 万件に上った。なお、この漁獲統計のデータは、セリ山ごとに、漁協（市場）・年・月・日・所属・出荷者コード・漁協魚種コード・県魚種コード・漁場・本数・漁獲量（kg）・単価（円/kg）・販売金額（円）・仲買人・セリ番号の入力が可能となっている。またデータベース上には、文字情報はなく、当該情報に関するものはコードに置き換えられており、全て数字データとなっている。ただし、変換表を利用すれば、文字情報（漁法、魚種等）を対応させることは可能である。

こうして抽出されたデータについて、マーケティングの分析で用いられることが多いデータマイニングの手法であるアソシエーション分析を実施した。それにより、一緒に漁獲される魚種の組み合わせ（ルール）を把握し、その関連性の程度を明確にした。さらにそのルールの発生状況と漁獲量の関係についても分析を行った。また、漁獲傾向と定置網が設置されている地点の表面水温（1989 年 1 月～2017 年 9 月まで日別のデータ）とも比較を行った。なお統計解析には、R を用いた。

4. 結果

1989 年から 2017 年までの漁獲データについて、日ごとに漁獲される魚種の組み合わせ（ルール）で、支持率（一緒に漁獲される確率）を 60%以上として、年ごとにパターン化した結果は以下のとおりだった。

- (1) ルールには複数のパターンが存在する

- (2) 一緒に漁獲される魚種の中には、必ず「だつ」¹が含まれていた
- (3) 漁獲される「魚種の数の多さ」＝「漁獲量の多さ」にはならなかった
- (4) 漁獲される魚種相互に関連性があるときと、全くないときがあった
- (5) 表面水温と漁獲量及びルールの間には明確な関連性は見出せなかった

5. 考察

ルールと漁獲量との関係性を比較検討したところ、ルールを構成する魚種が多くなると、4年以内に漁獲量が増加する傾向が見られた。これは漁獲される魚種が多様化し、それらの相互の支持率が高まると、将来的な漁獲量の増加する可能性を示すと考えられる。逆に、ルールを構成する魚種が減少した後には、タイムラグはあるが連動して漁獲量の減少がみられたため、魚種の多様性が弱まったときに漁獲量が減少する可能性を示唆している。

また、魚種相互に関連性があるときの中心または主要な位置に来ていたのは「だつ」だった。漁獲物としてはあまり重視されない（危険で取り扱いにも困る上に、単価も安い）ためほとんど注目されることはないが、「だつ」はかなりの確率で漁獲されることが多かった。漁協の関係者も「だつ」は通年で漁獲されているとの印象があるとの話だった。すなわち「だつ」と何かの魚種が漁獲されている状況だったと言える。このように通年で、コンスタントに漁獲される魚種が存在することも明らかになった。

6. 今後の課題

ルールを構成する魚種の組み合わせについて分析を進めて、その組み合わせが発生する原因について検討する必要がある。また読谷以外の大型定置網の漁獲傾向についても、同様の分析を行い、結果の精査を進める必要がある。

参考文献

- 1.内閣府沖縄総合事務局農林水産部統計調査課（2017）,第45次沖縄農林統計年報
- 2.石原修(2016),「沖縄県地域づくりネットワーク地域連携の事例紹介」,平成28年度沖縄県地域づくりネットワーク まちづくりシンポジウム 地域創生を目指して～官民連携の成功事例に学ぶ地域活性化の取り組み～基調講演配付資料
- 3.小谷祐一郎（2015）,「グラフ」で視覚的に確認、比較するのが第一歩 ビールとオムツの実証分析（1）,日経 BigData,
<http://business.nikkeibp.jp/atclbdt/15/recipe/101500001>,2017年10月2日閲覧
- 4.小谷祐一郎（2015）,SUMIF関数による「クロス集計」で、支出が増える要因を探る ビールとオムツの実証分析（2）,日経 BigData,
<http://business.nikkeibp.jp/atclbdt/15/recipe/101500002>,2017年10月2日閲覧
- 5.小谷祐一郎（2015）,2つの支出データの類似度合いを示す「相関係数」 ビールとオム

¹ 県魚種分類名。複数種が含まれる。具体的にはリュウキュウダツ、テンジクダツなどが考えられる。

- ツの実証分析 (3) , 日経 BigData, <http://business.nikkeibp.jp/atclbdt/15/recipe/101500003>,2017年10月2日閲覧
6. 小谷祐一郎 (2015), データの関係を関数の形で表す「回帰分析」ビールとオムツの実証分析 (4) , 日経 BigData, <http://business.nikkeibp.jp/atclbdt/15/recipe/101500004>,2017年10月2日閲覧
 7. 小谷祐一郎 (2015) , 「重回帰分析」で実は相関していない変数を洗い出す ビールとオムツの実証分析 (5) , 日経 BigData, <http://business.nikkeibp.jp/atclbdt/15/recipe/101500005>,2017年10月2日閲覧
 8. 小谷祐一郎 (2015) , 時系列データの重回帰分析の妥当性を検証する ビールとオムツの実証分析 (6) , 日経 BigData, <http://business.nikkeibp.jp/atclbdt/15/recipe/101500006>,2017年10月2日閲覧
 9. 沖縄県水産試験場 (2001), 定置網情報第5号
 10. 本永文彦 (1988), 市場情報収集解析システムの開発 (漁業種類、魚種コードの作成), 昭和 s62年度沖縄県水産試験場事業報告書. 91-108
 11. 本永文彦 (1989), 市場情報収集解析システムの開発, 昭和 63年度沖縄県水産試験場事業報告書 91-92
 12. 加藤美奈子他 (2002), 漁獲情報収集管理事業, 平成 12年度沖縄県水産試験場事業報告書, 58-59
 13. 加藤美奈子他 (2003), 漁獲情報収集管理事業, 平成 13年度沖縄県水産試験場事業報告書, 64-65
 14. 加藤美奈子他 (2004), 漁獲情報収集管理事業, 平成 14年度沖縄県水産試験場事業報告書, 61-64
 15. Butchart et al. (2010) Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines, Science 328,1164-1168

東シナ海における人工衛星データによる漁船漁獲動向の把握の試み

○山田 東也¹・齋藤 勉²・稲掛 伝三²

(1:水産研究教育機構 西海水研、2:同 中央水研)

はじめに

近年、我が国周辺海域において外国漁船による操業が活発に行われ、我が国の水産資源の資源評価にこれらの漁獲動向を考慮する必要性が高まっている。東シナ海において近年増加している虎網・灯光敷網漁船は、強力な集魚灯を用いており、そのモニタリングには人工衛星夜間可視画像データの利用が有効と考えられる。そこで水産研究・教育機構では、平成26年度より人工衛星データを利用して外国漁船の漁船操業実態の把握を行うための研究を行っている。作業開始から3年が経過し、実際の漁獲量の把握など解決しなければならない問題点はあるものの、衛星データ利用のための技術整備については一定の成果があげられたと考えられ、今後は資源評価に関わる基礎的資料として活用するための作業に移っていくことになる。

今回、これまで行ってきた衛星データ利用のための技術整備について紹介する。

材料と方法

NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) の VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite : 可視赤外イメージャー・放射計) の DNB(day/night band)を用いて、緯度・経度・放射輝度情報を含んだ夜間光情報データファイルを作成して検討に用いた。また、実際の漁船の操業位置、操業形態等については、主に西水研所属の漁業調査船陽光丸による目視やレーダー等情報を検討に用いた。

NPP 衛星データの解像度

日本周辺海域での NPP 衛星データの解像度(ピクセル間隔)は DNB で 0.8km 程度が最大と推定される。灯光漁船がこれよりも狭い間隔で存在する場合、漁船数のカウントにおいて誤差が生じることになるが、漁獲動向把握の主なターゲットである虎網漁船については、その網の浮子網長が約 800~1200m に達する(松下、2013)ことから、おおむね NPP 衛星データの解像度で対応できる。

月明かり・雲の有無の影響について

月明かりおよび雲の有無は灯火光の判別に大きな影響を与える。月明かりは、海面自身に反射して海域全体の輝度レベルをあげ、灯光漁船の輝度のピークの判別を困難とするほか、雲に反射した月明かりは擬似的な輝度のピークを作り出すため、月齢に対応させた輝

度のピークの判断が必要となる。

東シナ海における漁船情報の収集

NPP 衛星データの検証用現場データとして、西水研所属漁業調査船陽光丸でレーダー画像と目視による漁船種別情報を収集し、NPP 衛星データの輝度のピーク抽出の検証、漁船種別操業海域(図 1)、漁船種別輝度の判別(図 2)を行った。

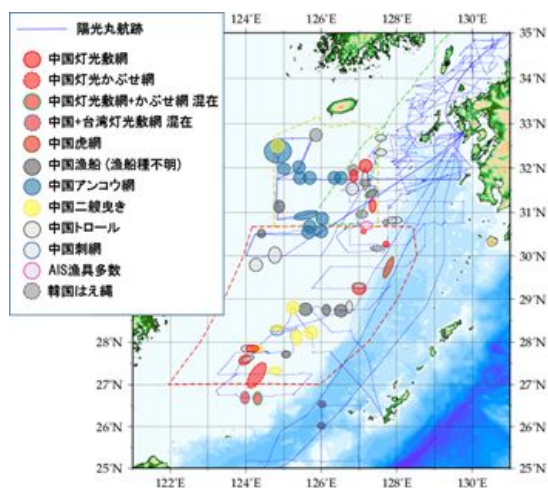


図 1. 目視による漁船種別分布
(陽光丸 2015 年 4 月～2016 年 2 月)

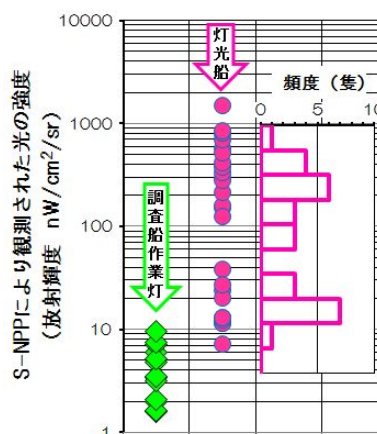


図 2. 人工衛星による灯光漁船の
光の強さの分布例

これらの現場データは、陽光丸の調査海域に季節的偏りがあるため、特に操業海域については情報の取り扱いに注意が必要だが、漁業種別輝度情報を蓄積することによって漁業種別に NPP 衛星データを処理することが可能となり、より詳細な漁船動向を把握することができる。

今後

NPP 衛星データを利用して灯光漁船の漁獲動向を把握し、資源評価の検討資料の一つとして活用する手法を検討しているが、東シナ海においては物理的制約も多く、実際の魚種別漁獲量の推定には至っていない。漁業種別漁船数や漁獲対象種の経年変化に対応するために NPP 衛星データの解析を継続する必要があるのはあらためて述べるまでもないが、現在は、特定の漁船漁獲情報を把握する試みとして AIS(Automatic Identification System)情報を活用した漁船漁獲動向の整理を行っている。

文 献

松下吉樹(2013) 東シナ海で行われている浮魚漁業技術について. 西海ブロック漁海況調査研究報告, 20, 1-6.

鹿児島県海域におけるキビナゴの漁獲特性と生物学的特性

○天野 裕平¹・野元 聡¹・厚地 伸²

(1:鹿児島県水産技術開発センター、2:鹿児島県熊毛支庁)

はじめに

キビナゴはニシン目ニシン科に属する沿岸性の小型浮魚類で、鹿児島県海域のほぼ全域に分布し、主に流し刺網や棒受網によって漁獲されている。また、本種は鹿児島県を代表する特産魚の一つで、「かごしま旬の魚」の夏の魚に選定されており、県民に広く愛されている。しかしながら、鹿児島県産のキビナゴの生態については、肥後ほか（1985）や小沢ら（1989）などがあるが知見が少ない。今回は、鹿児島県において重要な水産資源であるキビナゴの漁獲特性と生物学的特性について報告する。

漁獲量

鹿児島県のキビナゴ漁獲量は昭和 62 年から平成 19 年までは増減を繰り返しながら 1,600 ～2,000 トンの間で推移していたが、平成 20 年以降は減少傾向が続き、平成 27 年は 1,244 トンと過去最低となった。海域別漁獲量を確認すると、甕島海域が県内漁獲量のうち約 40% を占め、県内最大のキビナゴ産地であった。また、海域別漁獲量の推移では、特に甕島海域での減少が顕著であることが明らかになった。

成熟

水田ほか（2000）に従い、卵巣の成熟度を 7 段階に分けて区分し、組織観察した。その結果、4～10 月に排卵後濾胞が確認され、この時期が産卵期であることが示唆された。また、GSI（生殖腺指数：生殖腺重量/体重×100）が 4 を示すときに、成熟期となる卵母細胞が確認されたことから、GSI>4 が成熟の指標となりうることが示唆された。

成長および回遊

北薩海域、甕島海域、熊毛海域のキビナゴの孵化日とその後の成長を明らかにするため、耳石の輪紋の計数および計測をおこない、Biological Intercept 法により孵化後の被鱗長を算出した。その結果、甕島海域では春生まれ群と秋生まれ群の成長に差が確認されたが、北薩海域と熊毛海域では生まれ月の違いによる成長の差は確認されなかった。また、北薩海域で 9～10 月に漁獲された個体と甕島海域で 8～10 月に漁獲された個体は春生まれ群であり、熊毛海域で 9～12 月に漁獲された個体と同様の成長様式だった。一方、甕島海域で 4～6 月に漁獲された個体は秋生まれ群であり、北薩海域で 12～翌 1 月に漁獲される秋生まれ群と同様の成長様式を示していた。

春生まれ群について、北薩海域の主漁期である9～10月におけるCPUE（漁獲努力量：漁獲量/隻/日）と甌島海域の9～12月の総漁獲量には有意な正の相関が認められ、両者が同一群であることが示唆された。また、甌島海域の9～12月におけるCPUEとその翌月に熊毛海域で漁獲される漁獲量にも有意な正の相関が認められたことから、両者は同一群であり、甌島-熊毛海域間で回遊していることが示唆された。

秋生まれ群についても海域間の関係について調べてみると、北薩海域の11～翌1月におけるCPUEと甌島海域の主漁期である翌4～6月の総漁獲量には有意な正の相関が認められ、両者が同一群であることが示唆された。

以上の結果から、春生まれ群は、孵化した年の夏季から秋季に甌島海域で漁獲対象となり、水温の低下する秋季以降に熊毛海域へ回遊することが示唆された。一方、秋生まれ群は孵化した年の秋季から冬季に北薩海域で漁獲対象となり、越冬後の春季から初夏にかけて産卵親魚に成長し、甌島海域および北薩海域で漁獲されていた。

漁獲量変動

近年キビナゴの漁獲量が減少傾向にあることから、漁獲量変動の要因について検討した。

甌島海域では、主漁期（4～7月）の総漁獲量と甌海峡中央部の冬季（11～翌2月）の表層水温に正の相関が認められ、秋生まれ群の越冬期が低水温だと主漁期が不漁となることが示唆された。

また、熊毛海域では総漁獲量と7～10月の黒潮北縁域の位置に正の相関が認められ、黒潮が接岸すると不漁となることが示唆された。一方で、大隅海域では主漁期（5～6月）の漁獲量と黒潮北縁域の位置に負の相関が認められ、黒潮が離岸すると不漁となることが示唆された。黒潮の離接岸と両海域のキビナゴ漁獲量に関係が見られたことから、流向・流速等の各種流況データを用いた詳細な検討を行う必要があると考えられた。

文 献

肥後伸夫，寺田和彦(1985)甌島周辺海域におけるキビナゴ漁業に関する研究I:荒人埼沖の産卵場における卵の着床について,鹿児島大学水産学部紀要,34(1),97-109.

小沢貴和，角輝秀，増田育司，松浦修平(1989)甌列島産キビナゴの個体群構造,日本水産学会誌,55(6),985-988.

水田浩二，中田実，一丸俊雄，征矢野清(2000)五島周辺海域におけるキビナゴ雌の性成熟,長崎県水産試験場研究報告,26,1-7.

トビウオ類未成魚の漁況予測の改良について

○西村 大介

(長崎県総合水産試験場)

はじめに

長崎県総合水産試験場では、8月下旬から10月上旬にかけて、船曳網によって漁獲されるトビウオ類未成魚（小トビ）の漁況予測を実施している。船曳網の漁場は、北松地区および上五島地区（図1）であるが、北松地区については、松村（1992）が、トビウオ類未成魚の漁獲量変動要因について重回帰分析を用いて解析しており、その解析結果を基に、適宜、変数に改良・修正等を加えながら、重回帰分析を用いて、現在まで漁況予測を実施してきたところである。

長崎県へ来遊する主なトビウオ類未成魚は、ホソトビウオ、ツクシトビウオ、ホソアオトビの3種であるが、これまでは、漁況予報を実施するにあたり、重回帰分析の目的変数として3種が混じった“小トビ”の漁獲量を用いてきた。そこで、予測精度向上を目的として、“小トビ”漁獲量を、魚種別に分解し、それぞれの魚種において改めて重回帰分析を試みたので、その結果について報告する。

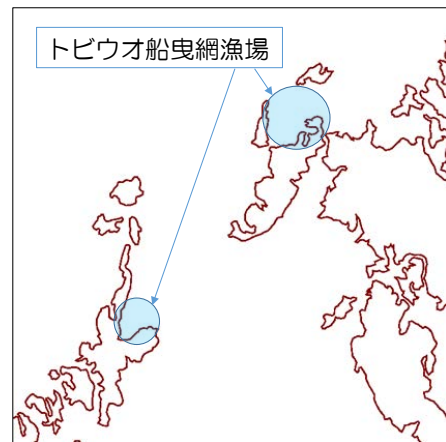


図1 長崎県におけるトビウオ船曳網の主な漁場

材料と方法

目的変数：2000年から2016年の精密測定データ時に得られたトビウオ類未成魚の魚種別の割合を用いて、“小トビ”漁獲量から、3種の未成魚の漁獲量を算出し、目的変数とした。

説明変数：これまでの“小トビ”漁獲量を目的変数とした重回帰分析で用いてきた説明変数を、3種それぞれに応じた目的変数に整理して説明変数とするとともに、今回新たに8月の山口県萩の降水量を説明変数として追加した。用いた説明変数は以下に示す。また、各魚種に用いた説明変数は表1に示す。

X1：稚魚期の水温（萩沖表面水温7月平均値）

X2：漁場形成条件（漁期中の北寄りの風が吹いた日数）

X3a：産卵親魚の漁獲量（長崎県標本漁協のツクシトビウオ漁獲量（4～7月））

X3b：産卵親魚の漁獲量（長崎県標本漁協のホソトビウオ漁獲量（4～7月））

X4：産卵親魚の漁獲量（九州南部地区標本漁協のホソアオトビ漁獲量（1～6月））

X5：漁獲努力量（北松地区標本漁協の漁期中の延べ出漁隻数）

X3Na：産卵親魚の漁獲量（山口県通定置のツクシトビウオ漁獲量（5～6月））

X3Nb：産卵親魚の漁獲量（山口県通定置のホソトビウオ漁獲量（5～6月））

X6：雨の影響（山口県萩の8月の降水量）

表1 各魚種毎の重回帰分析のために選定した説明変数

目的変数	選定した説明変数							
ホソアオトビ未成魚	X1	X2			X4	X5		X6
ツクシトビウオ未成魚	X1	X2	X3a			X5	X3Na	X6
ホソトビウオ未成魚	X1	X2		X3b		X5	X3Nb	X6

結果と考察

3魚種毎の重回帰分析の結果、ホソアオトビでは1%の水準で、ホソトビウオでは5%の水準で有意な重回帰式が得られ、これらを用いて漁況予測が出来る見通しがたった。しかし、ツクシトビウオでは有意な重回帰式は得られず、今後の課題となった。得られた重回帰式は以下に示す。

ホソアオトビ： $Y=20.924X1+0.040X4+0.253X5-0.165X6-481.931$

ホソトビウオ： $Y=1.709X2+0.016X3b-25.820$

今回、“小トビ”漁獲量を、魚種別に分解したところ、漁獲の主体はホソアオトビであった。これまで漁況予測では、トビウオ類未成魚を目的変数とした重回帰分析を行ってきたが、今回のホソアオトビ未成魚を目的変数とした重回帰分析と同じような説明変数が採択されており、漁獲の主体であるホソアオトビ未成魚の漁獲量変動を説明するような説明変数がトビウオ類未成魚でも採択されていると考えられた。

また、分解した“小トビ”漁獲量の魚種別割合の経年変化をみると、これまで漁獲の主体であったホソアオトビの割合が近年減少傾向にあり、漁獲の主体ではなくなっていた。このことから、これまでのようなホソアオトビが漁獲の主体であった時代のトビウオ類未成魚を目的変数とした重回帰分析では、漁況予測がうまくいなくなる可能性が示唆され、魚種別の漁況予測を早く確立する必要があると考えられた。

文 献

- 一丸俊雄（2007）九州北西部海域におけるトビウオ類の生活史と未成魚群の資源加入に関する研究. 長崎水試研報（博士学位論文）. 33: 7-110.
- 河野光久（1995a）日本海南西部におけるトビウオ類稚魚の分布. 山口外海水試研報. 25: 1-6.
- 松村靖治（1992）長崎県北部沿岸域におけるトビウオ未成魚の漁獲量変動要因. 日水誌. 58: 1049-1055.

地方自治体と連携した漁海況予測システムの運用と開発 ～水産研究への応用と将来の展望～

○瀬藤 聡¹・○黒田 寛^{2,1}・高橋大介²・戸谷夕子²・岡本七海²・青木一弘¹・奥西 武³・
笈 茂穂³・清水勇吾¹・種子田雄⁴・森永健司⁵・杉松宏一⁶・阿部祥子⁷・チーム FRA-ROMS⁸

(1:水産研究教育機構 中央水研、2:同 北水研、3: 同 東北水研、4: 同 西海水研、
5: 同 国際水研、6: 同 水工研、7: 同 日水研、8: 水産研究教育機構)

FRA-ROMS の概要および水産海洋研究・事業への適用

資源変動や漁場形成と海洋物理環境との関連性は従来から指摘されているが、これらの機構については不明な点が多く、解析には、産卵・回遊に密接に関わる我が国周辺海域の中規模構造を表現できる長期間の海洋データセットが不可欠である。そこで、国立研究開発法人水産研究・教育機構は、黒潮や親潮など日本近海域の中規模海況変動をモニタリングするとともに、現況再現と2ヵ月後までを予測するための海況予測システム FRA-ROMS (Kuroda et al. 2017; <http://fm.dc.affrc.go.jp/fra-roms/index.html>) を開発し、2012年5月より運用することで、1993年から2ヶ月将来先までの空白域の無い詳細な海況の3次元情報を解析する体制を整備した。これにより、水産庁漁海況予報事業においては、本システムによる客観的数値予測に基づく予報が可能になった。本システムは、海洋大循環モデル、データ同化システム、現場データ流通システムの三つの要素で構成されている。海洋大循環モデルは ROMS (Regional Ocean Modeling System) を基盤として、静水圧近似を施したプリミティブ方程式に基づき、中規模変動が解像できる格子間隔 (1/10°格子) を採用している (Kuroda et al. 2013)。データ同化システムは三次元変分法を基盤としたもので、水温と塩分を同時に推定するスキームを採用することによって効果的に観測値を取り込み、かつ海域ごとの特性に応じた設定を採用することによって現象を適切に再現できるよう設計した (Fujii and Kamachi 2003)。データ同化に用いる観測値には衛星海面水温、衛星海面高度、現場水温塩分プロファイルが利用されているが、現場水温塩分値には GTSP データとともに、日本沿岸に稠密に展開されている地方自治体の水産試験研究機関の現場観測値をリアルタイムでシステムに組み込めるよう、現場データ流通システムを独自に開発し、これにより、データ同化に用いる準リアルタイムデータ量は飛躍的に増加した。海況予測システム FRA-ROMS は、運用開始から4年が経過した現在では、多面的に活用が進んでいる。以下に水産海洋研究に関わる活用例を紹介したい。

主要な水産資源の魚群の出現状況や来遊経路を予測することは、効率的な漁船操業を図る上での関心事であるとともに、資源変動の把握や漁業を管理する上での重要な課題でもある。石井ら (2016) 他は、春から初夏にかけて日本南岸域に北上回遊するカツオ若魚の漁場形成時期と海域の経年変化を分析し、変化の要因がカツオの生態学的特性に密接に関

係していることを明らかにした。久野・瀬藤（2015）は熊野灘で採捕されたブリ幼魚の出生海域を探るため、ブリ幼魚の生理的特性を組み込んだ計算機実験を実施し、実験によって推定された出生海域が、船舶調査によって特定された親魚の産卵海域と一致することを示した。さらに、資源変動解析にもモデル出力が利用されている。浮魚類の資源が変動する要因として、発育段階初期の死亡率や成長速度が候補に挙げられるが、これらを評価するには孵化から仔稚魚に至るまでの生残過程、輸送過程で経験する海洋環境などを見積もる必要がある。多くの場合、数値モデルやデータ同化モデルの流動場を用いた粒子追跡実験によって、仔稚魚の経験した海洋環境や生育環境を分析することが有効である（品田・黒田、2016;他）。また、上記のような水産変動と海洋環境との関係性を評価するためには、飼育実験などによって、水産生物の生理特性を理解、定量化することが欠かせない（奥西ら、2016 他）。さらに、モデル出力は、魚類のみならずプランクトンなどの餌料環境や栄養塩動態などの研究にも利用されている。一つは、大型クラゲや赤潮などの有害生物の発生予測あるいは発生要因の解明であり、また、Kodama et al.（2015）は春季東シナ海中東部に出現する特徴的な栄養塩分布構造に着目し、それが東シナ海流動場の季節変動特性に起因することを明らかにした。

現在進行中の各種開発・改良

現在、FRA-ROMS の出力を水産資源研究に利用するために、FRA-ROMS を利用した海洋モデルやサブシステムの各種開発が並行して実施されている。まず、FRA-ROMS の格子幅は $1/10^\circ$ （約 10km）であり、沿岸域あるいは沖合域漁場周辺の海況（例えば、潮目など）をピンポイントで再現、予測するには十分ではない。このため、日本全国 $1/50^\circ$ 高解像度海況予測システムの開発が実施されている。本システムには、FRA-ROMS に導入されていない潮汐、潮流だけではなく、全ての河川から流出する日別淡水流量を推定、導入している。その結果、沿岸域での海況変動ならびに沖合域での潮目の再現性は著しく向上した。また、最近、経常的な運用を行うための現況解析と 10 日予測実験のフレームワークが開発され、北日本域を対象とする試験的な運用計算も実施されつつある。さらに、 $1/50^\circ$ 高解像度海況予測システムの出力を漁場予測に用いるための研究開発も進みつつある。例えば、現行の $1/50^\circ$ 高解像度海況予測システムは低次生態系モデルと結合していないため、海面クロロフィル前線などに沿って分布する漁場推定は直接的には不可能である。そこで、モデル流速に基づき見積もられる有限時間リアプノフ指数から、海面クロロフィル前線に対応するような潮目（ラグランジュ前線）を推定できる手法を構築し、ハビタットモデルに基づいて漁場推定・予測ができるサブシステムを開発している。

現行の FRA-ROMS に関わる開発・改良も続けられている。その一つとして、FRA-ROMS の海洋モデルと同化モデルを改良して、FRA-ROMS における日本海・東シナ海の再現性を向上し、平成 33 年度以降、水産機構の海況予測システムを FRA-ROMS に一本化するための取り組みが行われている。また、FRA-ROMS のシステムそのものを改良するのではなく、

FRA-ROMS から出力された予測値のバイアスを客観的に修正する手法（気象分野では「ガイダンス」と呼ばれる）もいくつか開発され、すでに事業に適用されている手法もある。例えば、東北ブロックの漁海況予報事業では、客観的なバイアス補正を行った 100m 予測水温を用いて高精度な海況予報を実現している。さらに、FRA-ROMS に同化する準リアルタイム海洋データの拡充も行われている。UCTD や Glider など最新の測器で計測された高密度水温塩分プロファイルデータを Tesac 形式に変換した後、メールで配信し、FRA-ROMS に転送するシステムもその一つであり、これらのデータを同化する実験も進みつつある。

最後に、FRA-ROMS や関連モデルの出力を、効果的かつ簡易に水産資源研究に用いるためのサブシステムも開発されつつある。例えば、東北水研で開発・運用されている海洋環境データ解析支援システムでは、海洋モデルの出力が大容量であり、海洋物理の専門知識をもたない研究者が解析しづらい問題点を解決するために、比較的簡単に FRA-ROMS の出力を切り出し、可視化し、また、粒子追跡などを実施することができるサブシステムを構築しており、東北ブロック各県担当者を対象とする漁況解析研修会などでも利用されている。また、平成 26 年度から北水研と道総研は共同研究契約を締結して、1/50°高解像度海況予測システム上で粒子の順追跡ならびに逆追跡を道総研サーバーで実行できるサブシステムを構築するとともに、道総研の担当者が多様な水産資源研究への適用方法を模索できる研究体制を構築し、最近では、研究論文としての成果も公表されつつある (Kawai et al. 2016)。また、粒子追跡関連手法の改良も実施されている。一つは、粒子逆追跡の不確実性を軽減するために Isobe et al. (2009) が提案した「双方向粒子追跡法」であり、本手法を FRA-ROMS に適用し、簡易に使えるようにするための基盤開発を実施しており、また、広域の 1/10°FRA-ROMS と狭域の 1/50°高解像度海況予測システムとを横断して粒子追跡が可能な「入れ子型粒子追跡手法」なども構築しており、近い将来、日本全国地方自治体の全ての研究者が簡単に海洋モデルの出力を用いた水産資源研究ができるようなシステムの構築を目指している。

こうした一連の流れにより、地方自治体あるいは水産研究機関により取得された海洋モニタリングデータが一旦海況予測システムに吸収され、その出力が水産資源研究や事業へとスムーズに利用されることになる。

文 献

- Fujii, Y. and M. Kamachi (2003) Three-dimensional analysis of temperature and salinity in the equatorial Pacific using a variational method with vertical coupled temperature-salinity empirical orthogonal function modes. *J. Geophys. Res.*, 108(C9) : 3297.
- 石井光廣, 小林 豊, 瀬藤 聡, 本多 修 (2016) 黒潮流路の南側に発生する低水温域とカツオ漁場形成の関係. *水産海洋研究* 80 : 222-230.
- Isobe, A., S. Kako, P.-H. Chang and T. Matsuno (2009) Two-way particle-tracking model for specifying sources of drifting objects: Application to the East China Sea shelf. *J. Atmos. Ocean*

Tech., 26 : 1672-1682.

Kawai, T., D. Tazono, A. Shinada, H. Kuroda and N. Yotsukura (2016) Spatial distribution of *Sargassum siliquastrum* and *S. boreale* on Rebun and Rishiri Island, Hokkaido, Japan. *Algal Resources*, 9 : 77-86.

Kodama, T., T. Setou, M. Masujima, M. Makoto and T. Ichikawa (2015) Intrusions of excess nitrate in the Kuroshio subsurface layer. *Cont. Shelf Res.*, 110 : 191-200.

久野正博, 瀬藤 聡 (2015) FRA-ROMS を用いた熊野灘に来遊するモジャコの輸送実験. 黒潮の資源海洋研究 16 : 83-91.

Kuroda, H., T. Setou, K. Aoki, D. Takahashi, M. Shimizu and T. Watanabe (2013) A numerical study of the Kuroshio-induced circulation in Tosa Bay, off the southern coast of Japan. *Cont. Shelf Res.*, 53 : 50-62.

Kuroda, H., Setou, T., S. Kakehi, S. Ito, T. Taneda., T. Azumaya, D. Inagake, Y. Hiroe, K. Morinaga, M. Okazaki, T. Yokota, T. Okunishi, K. Aoki, Y. Shimizu, D. Hasegawa and T. Watanabe (2017) Recent advances in Japanese fisheries science in the Kuroshio-Oyashio region through development of the FRA-ROMS ocean forecast system: Overview of the reproducibility of reanalysis products. *Open J. Mar. Sci.*, 7 : 62-90.

奥西 武, 長谷川大介, 笥 茂穂, 黒田 寛, 瀬藤 聡, 安倍大介, 清水勇吾, 高橋正知, 米田道夫 (2016) FRA-ROMS 利用によるマサバ加入量予測と今後の展望. 黒潮の資源海洋研究 17 : 4.

品田晃良, 黒田 寛 (2016) 高解像度沿岸モデルの可能性と現在の取り組み, 黒潮の資源海洋研究 17 : 6.