

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06216

研究課題名(和文) 統計的機械学習による環境変動が海洋生物の時空間分布に与える影響の解明

研究課題名(英文) Elucidation of impacts of climate changes on spatio-temporal distributions of marine animals using machine learning approaches

研究代表者

岡村 寛 (Okamura, Hiroshi)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横浜)・主幹研究員

研究者番号：40371942

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：魚の時空間モデル解析，再生産関係予測，加入尾数予測を行った．特に，ホッケに対して，統計的機械学習手法を用いて加入予測を行った．線形回帰モデル(LRM)，ランダムフォレストモデル(RFM)，勾配ブースティングモデル(GBM)を比較したところ，GBMの予測性能が最も高かった．GBMにおいて加入予測に最も影響する要因は親魚量であり，次いで高齢の漁獲率となった．海面水温については少し効果は見られたが，その影響は全体に弱く，温暖化トレンドよりも変動が効いているようであった．一方，LRMの中では水温が影響の強い要因となった．モデル間の違いは非線形性と変数の相互作用の重要性を示唆するものと考えられる．

研究成果の学術的意義や社会的意義

複数の海面水温データを取得し，北海道周辺の海面水温データセットを整備した．整備した海面水温データセットは，様々な解析に利用可能である．また，再生産関係を頑健に推定する統計手法の開発を行った．従来の頑健推定手法と比較して，外れ値の影響を軽減しつつ，自己相関を正確に推定することが可能な手法となっている．さらに，機械学習手法を活用して，加入尾数を精度良く予測する手法の開発を行った．これらは，水産資源の持続的利用に大きく貢献するものと考えられ，社会的な意義が大きい．また，手法をさらに発展・一般化させることにより，他分野のデータにも利用可能なものと考えられ，学術的な意義も大きい．

研究成果の概要(英文)：Spatiotemporal model analysis of fish, prediction of stock-recruitment relationship, and prediction of fish recruitment were conducted. In particular, we used statistical machine learning methods to predict recruitment for arabesque greenling. The linear regression model (LRM), random forest model (RFM), and gradient boosting model (GBM) were compared, and GBM had the best prediction performance; the most influential factor on recruitment in GBM was spawning stock biomass, followed by catch rates of older fish. SST had a small effect, but the overall effect was weak, and the variability seemed to be more effective than the warming trend. On the other hand, in LRM, SST was the most influential factor. The differences between the models suggest the importance of nonlinearities and variable interactions.

研究分野：水産資源学

キーワード：水産資源評価 漁業管理 機械学習 頑健推定 海面水温 予測

## 1. 研究開始当初の背景

海洋生物資源は海中にあることもあり、元となる資源量やその変化率が不明で、さらに気候変動に加え、漁業や生息地の人為的改変など、様々な要因の影響を受けるため、潜在的に不確実性が大きい。一般に、海洋環境の変化などにより幼稚魚期に資源量の大きな減耗を経験するため、直近年であっても正確な予測を行うことは難しい。また、主要なデータソースを漁業に依存することから、事前の研究デザインによってランダムなサンプリングを行うことはかなわず、予期せぬバイアスが混入する可能性がある。一方、近年は、水産資源の持続的利用の重要性が広く認識され、国連で採択された「持続可能な開発目標 (SDGs: Sustainable Development Goals)」の中で掲げられた目標のうち、14 番目は「海の豊かさを守ろう」というものになっている。

海の豊かさを守るためには、水産資源を持続的に利用する方法が重要であるが、そのためには水産資源の将来をできるだけ正確に予測できることが大切である。しかし、水産資源データの不確実性や、水産資源の背景となる個体群動態の複雑性・非線形性から、これまで正確な予測は困難であった。しかし、近年は、様々なデータが公開され利用可能になってきていること、またそれらをうまく活用して、予測性能を高める統計モデルの開発が進んでいることから、より新しい水産資源の予測手法を構築することが可能になってきている。

## 2. 研究の目的

本研究では、特に環境影響が大きい水産資源に対して、海面水温などの環境データを整備・活用し、それらのデータから水産資源の複雑な動態を精度良く予測することが可能な予測モデルの構築を目指す。統計的機械学習手法を活用して、環境変動と海洋生物の資源量 (指標値) の時空間変動の関係をできるだけ正確に予測する。さらに、時空間的な個体群動態の変化を記述する個体群動態モデルを構築し、それに基づく将来予測から漁業における最適な漁獲戦略を導く方法を探索し、実際の漁業資源の漁獲データへの適用を図る。

## 3. 研究の方法

複数の海面水温データを取得し、北海道周辺の海面水温データセットを整備する。整備した海面水温データセットを様々な解析に応用することを試みる。海面水温データと漁業資源データ (資源量の指標値である単位努力量あたり漁獲量 (CPUE: Catch Per Unit Effort) の時空間データ、資源評価から得られる資源量推定値や漁獲率など) を利用して、漁業資源の動態を予測するモデルの開発を行う。具体的には、機械学習手法などを活用して、持続可能な漁獲量を計算するためのもととなる再生産関係 (魚の親子関係) の頑健な推定モデルの開発、水産資源の予測において重要な役割を果たす加入尾数の予測モデルの開発などを行う。

## 4. 研究成果

我が国の重要水産資源であるホッケやゴマサバの時空間データに、ランダム効果によって時空間モデル分析を行うモデル vector autoregressive spatio-temporal (VAST) model を適用して分析を行った。特に、ゴマサバ太平洋系群の産卵量分布を VAST でモデル化し、マサバ産卵量と対応させることにより、種の判別誤差を考慮した密度の時空間変化を明らかにした。従来、マサバとゴマサバの産卵量の判別の精度は資源評価の重要な問題のひとつであったが、VAST による指標値は従来の指標値より優れており、資源評価のバイアスの軽減につながることを確認された。また、機械学習を用いて、伊勢・三河湾のカタクチイワシ漁獲量の時空間的分布の推定を行った。

近年、漁業法の改正に伴い、水産資源の持続的利用のための漁獲量 (最大持続生産量: MSY) の正確な推定が大きな課題のひとつとなっているが、その基礎となるものは漁業資源の再生産関係 (親と子の関係: 親となる魚がどのぐらいいれば、どのぐらいの子が漁業に加入してくるかを与える関数式) の推定である。水産資源の再生産関係推定では、大きな外れ値が出ることがしばしば問題となってきたが、そのような問題を解決するために、従来の方法を拡張して外れ値に頑健な再生産関係を推定する新しい方法の開発を行った。外れ値の出現頻度や再生産関係の形等を様々な変えたシミュレーション試験によって、新しい方法は、大きな外れ値や強い自己相関がある場合でも、最小二乗法や最小絶対値法のような従来の方法に比して、より正確で不偏に近い推定を行うことができることが分かった (図 1)。実際の再生産関係データに新しい方法を適

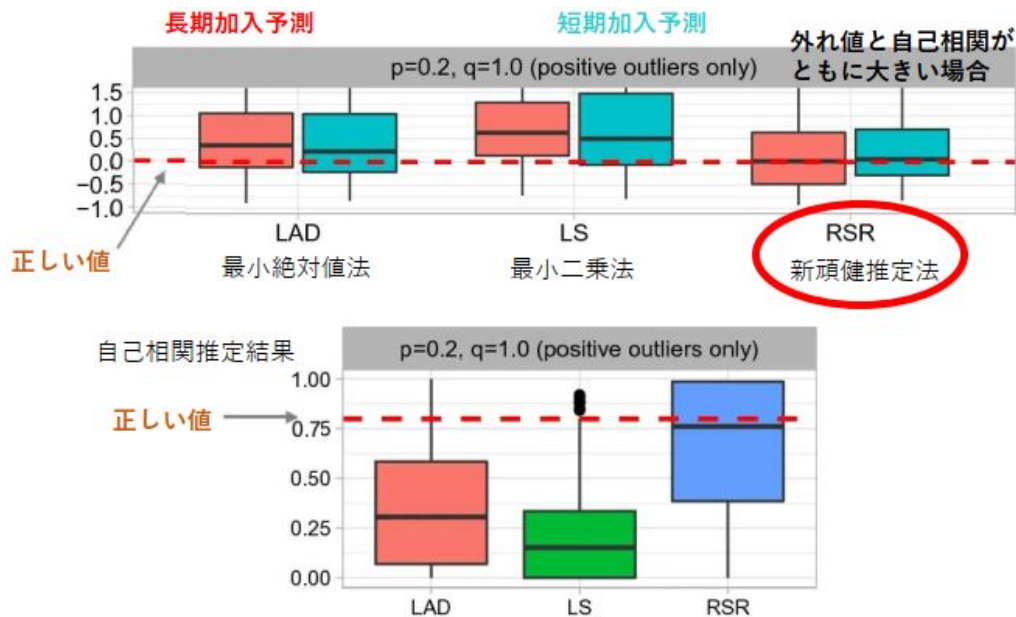


図 1. シミュレーションテストの一部の結果（外れ値が大きく自己相関も大きい場合）. 新しく開発した頑健な再生産関係の推定手法（RSR）は，長期・短期加入予測ともに従来の方法（最小絶対値法（LAD）・最小二乗法（LS））より優れていて，自己相関の推定も不偏に近かった．

用した結果，従来の方法に比して，再生産関係が大きく変化する場合があることが分かり，水産資源の持続的管理においても大きなインパクトを持つことが示唆された．新しい方法は，最小二乗法を特殊な場合として含むので，再生産関係推定に加えて，外れ値や自己相関を伴うような様々な状況に適用可能な方法となることが期待される．

海洋環境の情報整理・解析のために，複数の海面水温データを取得・比較して，北海道周辺の海面水温データセットを整備した．さらに，2019年夏季から秋季における特異な親潮と2020年の現況，西部亜寒帯循環との関係を調べ，2016年秋や2021年夏に北海道周辺で特異的に生じた高水温化について海洋熱波の観点から海洋物理ならびに気候学的な解釈を行った．

収集した海面水温の情報と資源評価で得られた情報を利用して，機械学習法を用いてホッケ道北系群の加入予測を行った．勾配ブースティングモデル，線形回帰モデル，ランダムフォレストモデルを比較したところ，勾配ブースティングモデルが最も高い予測性能を持つことが分かった．勾配ブースティングモデルにおいては，親魚量が加入量に最も大きな影響を与える要因となり，次いで高齢の漁獲率の影響が大きかった．海面水温については，効果は見られるものの，その影響は全体に弱く，温暖化などの影響よりも変動が効いているようであった．一方，線形回帰モデルでは水温が影響の強い要因となった．こうしたモデル間の違いは非線形性と変数の相互作用の重要性を示唆していると理解された．このことから，最適な漁獲戦略においては，親魚量の保護，高齢魚の漁獲率の低減のような方策が重要であると考えられた．

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kuroda, H., Y. Taniuchi, H. Kasai, T. Nakanowatari and T. Setou	4. 巻 12
2. 論文標題 Co-occurrence of marine extremes induced by tropical storms and an ocean eddy in summer 2016: Anomalous hydrographic conditions in the Pacific shelf waters off southeast Hokkaido, Japan.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmosphere	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） 10.3390/atmos12070888	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 Kuroda, H. and T. Setou	4. 巻 13
2. 論文標題 Extensive marine heatwaves at the sea surface in the northwestern Pacific Ocean in summer 2021.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing	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） 10.3390/rs13193989	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 Okamura, H., Osada, Y., Nishijima, S., and Eguchi, S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Novel robust time series analysis for long-term and short-term prediction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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） 10.1038/s41598-021-91327-8	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 Hiroshi Kuroda, Yuko Toya	4. 巻 12
2. 論文標題 High-Resolution Sea Surface Temperatures Derived from Landsat 8: A Study of Submesoscale Frontal Structures on the Pacific Shelf off the Hokkaido Coast, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 3326
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs12203326	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 濱田 孝治, 吉田 司, 岡村 寛, 原 武史, 鈴木 輝明	4. 巻 75
2. 論文標題 機械学習を利用した内湾における浮魚類群集の空間分布量の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_1129 ~ I_1134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_1129	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 Hiroshi Okamura, Shoko Morita, Hiroshi Kuroda	4. 巻 -
2. 論文標題 Forecasting fish recruitment using machine learning methods: A case study of arabesque greenling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 BioRxiv	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) 10.1101/2023.06.02.543365	査読の有無 無
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3件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 岡村 寛, 長田 穰, 西嶋 翔太
2. 発表標題 頑健な再生産関係の推定
3. 学会等名 水産海洋学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田晶子・千村昌之・濱津友紀・石野光弘・山下夕帆・西嶋翔太・岡村寛
2. 発表標題 北海道日本海およびオホーツク海におけるホッケ0歳魚と成魚の分布密度の時空間変化
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡村 寛・森田晶子
2. 発表標題 LIS: 複雑なCPUE標準化の解釈
3. 学会等名 令和5年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2023年

〔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
研究分担者	黒田 寛  (Kuroda Hiroshi)  (30531107)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(札幌)・主任研究員   (82708)	
研究分担者	森田 晶子  (Morita Shoko)  (40443387)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(札幌)・主任研究員   (82708)	

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
---------	---------