

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19218

研究課題名（和文）漁業従事者と人工知能技術の協調による持続可能な漁場状態監視に関する研究

研究課題名（英文）Research on sustainable fishery condition monitoring through cooperation between fishermen and artificial intelligence technology

研究代表者

小川 哲司（Tetsuji, Ogawa）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70386598

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、気象・海況情報を用いて漁場の状態を監視・説明可能にする基本技術や監視インタフェース設計について検討を行った。具体的には、未操業海域に対するラベルなしデータを効率的に活用して良漁場モデルを半教師あり学習することで、実際の漁場の検知漏れを防ぎながら予測範囲を過去の操業海域に限定することなしに高精度に絞り込む技術を開発し、高知県土佐清水市で実施されているマルソウダ曳縄漁を対象として有効性を明らかにした。また、良漁場予測結果を表示するウェブインタフェースを開発し、予測結果を日々更新のうえ漁師や水産の専門家と共有した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

広大な未操業海域に対するデータの効率的利用は、漁獲に関するデータ収集が容易でない状況において良漁場を高精度に予測するための効果的な手段である。このように、ラベルなしデータを有効活用してシステムを効率的に構築・成長させる方法論の確立は、漁場の監視のみならず機械学習技術を社会実装するための本質的な課題であり、本研究を通じて得た予測技術およびその評価の枠組みに関する知見は広く学術的意義がある。また、漁場の高精度な監視・予測技術は、気象・海況情報を手掛かりに経験と勘に頼って意思決定を行っている現在の漁場の在り方を、データに基づく資源管理型の漁業に転換する足掛かりとなり得るもので、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：This study explored fundamental technologies and the design of monitoring interfaces to enable the assessment and explanation of fishing ground conditions using meteorological and oceanographic data. Specifically, we developed a technique that accurately narrows the prediction range of optimal fishing grounds, while preventing detection omissions of actual fishing grounds. This method does not restrict predictions to previously operated sea areas, and instead utilizes unlabeled data from unexplored regions through semi-supervised learning. The effectiveness of this approach was demonstrated in the bullet tuna trolling fishery in Tosashimizu City, Kochi Prefecture. Additionally, we created a web interface to display daily updated predictions of optimal fishing grounds, which were then shared with fishermen and fisheries experts.

研究分野：知覚情報処理，ヒューマンインタフェース，水圏生産科学

キーワード：半教師あり学習 深層ニューラルネットワーク 海況シミュレーション 漁場状態監視 マルソウダ曳縄漁

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本の沿岸漁業では、対象とする魚種や漁法について地域ごとに特色がある。例えば、高知県土佐清水市ではマルソウダ漁と節加工が一体となった地域経済や文化が形成されている。しかし、そうであるが故に、近年の漁業従事者の減少や高齢化、黒潮大蛇行に伴う不漁は、地域経済を脅かすまでに至っている。このような状況において、漁場の高精度な状態監視や最適な漁場の推定による漁業の効率化は、漁場探索のための時間や燃料費を削減できるのみならず、地域経済や文化の維持と発展に直結する可能性がある。

その一方で、漁業従事者の意思決定支援に対する人工知能(AI)技術の利活用は他分野と比べて進んでいない。その主たる理由は、漁場のセンシングの難しさにある。実際、海中にセンサを投入した場合のメンテナンス(定期的なバッテリー交換、貝や藻の除去、等)のコストは非常に高く、センサのメンテナンスの負担を漁師に強いデータ収集や、海域の網羅的なセンシングを前提としたAIシステムの運用は現実的ではない。さらに、近年各地で観測されている異常な不漁など、過去の統計が全く役に立たない事例も、ビッグデータを前提とするAI技術の利活用に対する高い障壁となっている。したがって、網羅的な観測を前提としない漁場の監視と、漁師の日々の活動の中で自動的にデータが集まり、それらを使って漁場監視モデルを効率的に成長させる仕組みが、漁に関する意思決定支援において求められている。

2. 研究の目的

本研究では、マルソウダ曳縄漁を対象とした漁場の状態監視・予測技術の開発を通じ、AIシステムと漁業従事者が協調的かつ持続的に進化するための技術基盤を確立することを目指す。漁場の監視・予測の問題は、漁場の状態が実際に操業を行った僅かな地点でしか観測できないことに加え、年によって著しく異なるため、過去のビッグデータに頼り切るといった機械学習のアプローチが通用しない難題である。それに対し、海洋物理学に関する知識や漁業に関する知見に頼りながら、漁業従事者と協調してシステムを成長させることでこの問題を解決しようとするのが本研究の狙いであり、そのための基本技術として漁師の意思決定に適した漁場の監視・予測モデリングと情報提示法(インタフェース設計)を明らかにすることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

一般的に、機械学習技術を用いた自動良漁場予測では、実際の良漁場を漏れ無く検知しようとする良漁場と予測される範囲が広がり、予測範囲を狭めようとする良漁場の検知漏れが生じる。これは、漁業従事者の意思決定を阻害する要因となるため、良漁場の検知漏れを増やさず予測範囲を狭める技術の開発を重要視して検討を行った。

- (1) 網羅的な観測を必要としない漁場監視モデリング: 気象情報(気温や風速等)と海況情報(海水温、塩分濃度、潮流等)から漁場の良し悪しを判断する漁場状態モデル、および漁師が有する事前知識の活用や良漁場判定の厳格化に基づき漁場予測結果を絞り込む技術について検討を行った。また、未操業海域のうち良漁場ではない海域を高い信頼性で予測する技術を確立し、予測された海域のデータを負例として漁場状態モデルの学習に陽に用いることで高精度に良漁場を絞り込む方式を検討した。
- (2) 漁場監視インタフェースの基本設計と評価: 良漁場の予測結果を表示するウェブインタフェースを開発し、予測結果を日々更新しながら漁師や水産の専門家に情報提供を行った。漁師や水産の専門家からのフィードバックを通じて、漁師の意思決定指針を言語化することを試みた。

本研究で対象としているマルソウダ曳縄漁は黒潮大蛇行発生以降漁が安定せず、用船調査および操業中の船上映像からの漁獲尾数計測が当初の想定通り実施できなかった(なお、開発した漁獲尾数計測ソフトウェアは研究協力者の高知県水産試験場に提供済みであり、実装・実証実験が継続されている)。そのため、操業情報が日々集まることを想定した技術開発ではなく、少ない操業情報を効果的に活用して漁場監視システムを効率的に改善するための技術開発に焦点を当てた。例えば、漁場状態の解像度向上のため、当初の計画では操業中の船上映像から漁獲尾数を計測して用いる予定であったが、用船調査の回数減少を見越し、操業情報から漁獲量(正確には漁獲時間)を推定することで対応した。

4. 研究成果

【研究の主な成果】

気象・海況情報から漁場の状態を高精度に推定し、漁師に効果的に提示するための研究・開発成果として、以下の三点について述べる。

- (1) 事前知識の活用と良漁場判定の厳格化に基づく予測範囲の絞り込み技術
- (2) 未操業海域に対するラベルなしデータを活用した予測範囲の絞り込み技術
- (3) 漁場状態監視インタフェース

(1) 事前知識の活用と良漁場判定の厳格化に基づく予測範囲の絞り込み技術

良漁場を表現するモデルとして、気象・海況情報を入力として用いた畳み込み自己符号化器^[1]を構築した。予測範囲を絞り込むために、事前知識を用いた予測範囲の制限、良漁場判定の厳格化、を提案した。前者は、過去の操業における良漁場の位置・水深情報を入力として用いることで実現した。この処理は、海域全体から良漁場を予測するのではなく、過去に操業した場所から良漁場を選択することを意味する。後者は、気象・海況情報の全属性を用いて良漁場スコアを計算し一度の閾値処理で判定するのではなく、属性ごとにスコア計算と閾値処理を行い、全属性で条件を満たした場合のみ良漁場と判定することで実現する。高知県土佐清水市で実施されたマルソウダ曳縄漁7年分の操業データと気象庁のウェブサイトから取得した気象データ、JAMSTECより提供されたJCOPE-T海洋シミュレーションデータ^{[2][3]}を用いて提案法の有効性を検証した。

事前知識の利用の有無と閾値処理の方法を変え、予測範囲の絞り込み効果を検証した結果、事前知識の利用と良漁場判定の厳格化の有効性を明らかにした。実際、良漁場の検知漏れの増加を2割程度に抑えつつ、予測範囲を劇的に(約7割)絞り込むことに成功した。以上の成果の一部は日本水産学会の大会にて発表を行い、水産・海洋に関する査読付き国際会議(OCEANS2023)に採択された^[4]。漁場の絞り込み技術は当初の計画には含まれていなかったものであるが、漁師や水産・海洋の専門家との意見交換を通じて漁場選択に関する意思決定において必須であるという結論に至ったため、漁場状態監視の基盤技術として重要視して開発したものである。

(2) 未操業海域に対するラベルなしデータを活用した予測範囲の絞り込み技術

未操業海域に対するラベルなしデータを活用して良漁場予測モデルを半教師あり学習することで、良漁場(正例)の予測範囲を高精度に絞り込む技術を開発した。成果(1)で述べた技術では、操業海域のデータのみを用いて良漁場予測モデルを構築した。そのため、信頼性の高い予測結果を得るには大量の操業情報が必要となり、持続可能性の点で問題があった。そこで、未操業海域のラベルなしデータから負例(良漁場ではない海域のデータ)を抽出し良漁場モデルの学習に陽に用いることで予測範囲を絞り込む、半教師あり学習の枠組みを提案した。具体的には、良漁場らしさと相関の高い漁場滞在時間を予測するモデルを構築し、このモデルを用いて未操業海域の漁場滞在時間を予測した。そのうえで、滞在時間が短いと予測された海域のデータを信頼できる負例として抽出した。このようにして抽出した負例と過去の正例から良漁場か否かを判定する二値分類器を構築し良漁場予測を行った。

成果(1)と同様のマルソウダ曳縄漁を対象とした実験により、提案した半教師あり学習に基づく良漁場予測の有効性が明らかになった。予測範囲を過去の操業海域に限定しない条件において、成果(1)で述べた方式と比較してAUCで13.6%の性能向上を達成し、事前知識を用いることなく高精度に予測範囲を絞り込めることを実証した(可視化の結果は図1を参照)。この成果は、パターン認識に関する査読付き国際会議に投稿された。

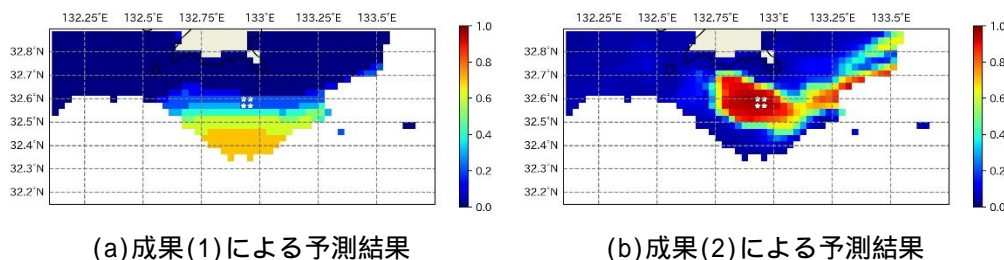


図1: 過去の操業位置に関する事前知識を用いない場合の良漁場予測結果(2015年3月28日午前6時)。地図上の白い星()が同時間に実際に操業を行った地点(良漁場)を表す。赤~青の色がついている海域が予測対象であり、良漁場である可能性(良漁場度)が高いと予測された海域が赤色、低いと予測された海域が青色で示される。色がついていない(白色の)海域は予測対象外の海域を表す。成果(2)のモデルでは、事前知識なしでも高精度に良漁場の絞り込みができていることが見て取れる。

(3) 漁場状態監視インタフェース

漁場状態の推定結果を提示するウェブインタフェースを開発し、予測結果を日次で更新のうえ、実際に漁師や水産の専門家に対して情報提供を行った（インタフェースの例は図2を参照）。それにより用船調査に基づくデータ収集や漁場状態監視システムの評価が可能となり、2022年度は試験的に探索船7隻による調査が実施された。

また、漁師、水産の専門家と意見交換を行い、出漁の判断、出漁時・漁場探索中・作業中の意思決定方針、および意思決定のための拠り所、マルソウダの生態と黒潮大蛇行の影響などに関する情報を得た。これらの知見は整理され、研究協力者の高知県水産試験場と共有された。さらに、実際に複数の漁師に漁場状態監視インタフェースを閲覧・利用してもらったうえで、良漁場予測システムに期待することを確認した。これらのフィードバックは、漁場の予測範囲の絞り込みを重要視した予測モデリングおよび学習方式、インタフェースの設計および改良に繋がった。



図2：漁場状態監視インタフェースの例。高知県土佐清水沖のマルソウダ（メジカ）曳縄漁を対象として毎時の良漁場予測結果を表示可能。予測結果は日次で更新した。過去に操業した海域から良漁場を予測（選択）するか、未操業の海域も予測対象とするかは選択可能。

【成果の国内外の位置づけとインパクト】

- (1) 漁場状態を表現するモデルを構築する際は、実際に釣りが行われた局所的な海域（良漁場）のデータのみを用いるのが一般的である。そのため、実際の良漁場を漏れなく検知するためには、漁場の絞り込みが困難になる（過検知が増加する）。これは、漁師が漁場選択に関する意思決定を行うに際し致命的な問題である。提案した漁場の絞り込みを考慮したモデリングは、この問題を解決するために重要な技術と言える。また、過検知の削減に対する強い要求は、漁業支援のみならず正例のみでモデルを構築するタスクに共通する課題であり、本研究で検討したシンプルなアルゴリズムに基づくアプローチは広くインパクトがあるものと考えられる。
- (2) 広大な未操業海域は良漁場か否かに関する情報が与えられていないが、そのような膨大なラベルなしデータを効率的に利用すれば、漁獲に関する網羅的なデータ収集が容易ではない状況においても良漁場の予測結果を高精度に絞り込むために効果的であることが明らかになった。このような半教師あり学習（厳密には、positive-unlabeled learning^[5]）を良漁場予測に用いた研究は、研究代表者が知る限り本研究が初めてである。また、利用可能なラベルなしデータを有効活用してシステムを効率的に構築・成長可能にすることは、漁場の監視のみならず機械学習技術を社会実装するに際し本質的な課題であり、得られた技術的な知見は広くインパクトがあるものと考えられる。

【今後の展望】

本研究で開発した良漁場予測技術や監視インタフェース、およびその関連技術（漁獲尾数計測技術など）は、研究代表者および協力者が委員として所属している高知マリンイノベーション運営協議会にて開発・実運用に向けた検討が継続されており、高知県が運用する情報発信システムNABRAS（なぶらす）^[6]に導入する計画である。

< 引用文献 >

- [1] Yuka Horiuchi, Teppei Nakano, Yasumasa Miyazawa, Tetsuji Ogawa, “Inlier modeling-based good fishing ground detection for efficient bullet tuna trolling using meteorological and oceanographic information,” *Proc. MTS/IEEE OCEANS 2022 Chennai Conference and Exhibit*

(OCEANS2022), Feb. 2022.

- [2] Yasumasa Miyazawa, Akira Kuwano-Yoshida, Takeshi Doi, Hatsumi Nishikawa, Tomoko Narazaki, Takuya Fukuoka, Katsufumi Sato, ``**Temperature profiling measurements by sea turtles improve ocean state estimation in the kuroshio-oyashio confluence region,**'' *Ocean Dynamics*, vol. 69, pp. 267–282, 2019.
- [3] Yasumasa Miyazawa, Sergey M Varlamov, Toru Miyama, Xinyu Guo, Tsutomu Hihara, Keiji Kiyomatsu, Misako Kachi, Yukio Kurihara, Hiroshi Murakami, ``**Assimilation of high-resolution sea surface temperature data into an operational nowcast/forecast system around japan using a multi-scale three-dimensional variational scheme,**'' *Ocean Dynamics*, vol. 67, pp. 713–728, 2017.
- [4] Haruki Konii, Teppei Nakano, Yasumasa Miyazawa, Tetsuji Ogawa, ``**Narrow down forecast range: Using knowledge of past operations and attribute-dependent thresholding in good fishing ground prediction,**'' *Proc. MTS/IEEE OCEANS 2023 Limerick Conference and Exhibit (OCEANS2023)*, June 2023.
- [5] Jessa Bekker, Jesse Davis, ``**Learning from positive and unlabeled data: a survey,**'' *Machine Learning*, vol.109, no.4, pp. 719–760, 2020.
- [6] 高知県水産振興部水産業振興課 , ``**NABRAS,**'' <https://kmi-nabras.pref.kochi.lg.jp/index.html>(参照 2024-06-13)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Haruki Konii, Teppei Nakano, Yasumasa Miyazawa, Tetsuji Ogawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Narrow Down Forecast Range: Using Knowledge of Past Operations and Attribute-Dependent Thresholding in Good Fishing Ground Prediction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. MTS/IEEE OCEANS 2023 Limerick Conference and Exhibit (OCEANS2023)	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） 10.1109/OCEANSLimerick52467.2023.10244346	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 -

〔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 兒新治紀, 中野鐵兵, 宮澤泰正, 小川哲司
2. 発表標題 気象・海況情報を用いた良漁場予測における予測範囲の絞り込み
3. 学会等名 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 兒新治紀, 中野鐵兵, 宮澤泰正, 小川哲司
2. 発表標題 気象・海況情報を用いた良漁場予測における予測範囲の絞り込みに関する取り組み
3. 学会等名 マリンITワークショップ2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 兒新治紀, 中野鐵兵, 宮澤泰正, 小川哲司
2. 発表標題 良漁場予測範囲絞り込みのための未操業海域データの活用
3. 学会等名 マリンITワークショップ2024
4. 発表年 2024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
研究協力者	宮澤 泰正 (Miyazawa Yasumasa) (90399577)	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 (アプリケーションラボ)・ラボ所長代理	
研究協力者	林 芳弘 (Hayashi Yoshihiro)	高知県水産試験場・漁業資源課・チーフ	

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