

卒業論文

沿岸漁業と洋上風力発電の共存に向けた海域利用の 可視化

公立はこだて未来大学
システム情報科学部 情報アーキテクチャ学科
高度 ICT コース 1022134

祐川雅治

指導教員 和田雅昭
提出日 2026 年 1 月 27 日

BA Thesis

Visualizing an Utilization of Sea Area for the Coexistence of Coastal Fisheries and Offshore Wind Power

by

Masaharu SUKEKAWA

Advanced ICT Course, Department of Media Architecture
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

Supervisor: Masaaki WADA

Submitted on January 27th, 2026

Abstract–

(Abstract should be about 150–200 words. Following is a sample text.) Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna. Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci. Aenean nec lorem. In porttitor. Donec laoreet nonummy augue. Suspendisse dui purus, scelerisque at, vulputate vitae, pretium mattis, nunc. Mauris eget neque at sem venenatis eleifend. Ut nonummy. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna. Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci. Aenean nec lorem. In porttitor. Donec laoreet nonummy augue. Suspendisse dui purus, scelerisque at, vulputate vitae, pretium mattis, nunc. Mauris eget neque at sem venenatis eleifend. Ut nonummy.

Keywords: GIS, Visualization, Offshore wind power, Fisheries, Matsumae

概要：

(概要は約 400 字とすること。以下はダミーテキスト) いろはにはへとちりぬるをわかよたれそつねならむういのおくやまけふこえてあさきゆめみしえひもせず。いろはにはへとちりぬるをわかよたれそつねならむういのおくやまけふこえてあさきゆめみしえひもせず。いろはにはへとちりぬるをわかよたれそつねならむういのおくやまけふこえてあさきゆめみしえひもせず。いろはにはへとちりぬるをわかよたれそつねならむういのおくやまけふこえてあさきゆめみしえひもせず。いろはにはへとちりぬるをわかよたれそつねならむういのおくやまけふこえてあさきゆめみしえひもせず。いろはにはへとちりぬるをわかよたれそつねならむういのおくやまけふこえてあさきゆめみしえひもせず。いろはにはへとちりぬるをわかよたれそつねならむういのおくやまけふこえてあさきゆめみしえひもせず。

キーワード： GIS, 可視化, 洋上風力発電, 漁業, 松前町

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	研究目的	2
1.3	高度ICTコースにおける本研究の位置付け	3
第2章	関連研究	4
2.1	洋上風力発電と漁業の関係性	4
2.2	既存の調査手法とその限界	5
2.3	本研究のアプローチと位置付け	5
第3章	提案手法	6
3.1	対象フィールドと漁業概要	6
3.2	使用データセット	6
3.3	データ統合と前処理手法	9
3.4	構築されたデータセットの概要	11
3.5	分析手法と評価指標	12
第4章	結果	15
4.1	操業密度分布の可視化	15
4.2	洋上風車建設予定海域との空間的重複	19
4.3	操業効率の現状評価	20
第5章	結果	21
5.1	空間分布の可視化結果	21
5.2	操業効率の分析結果	21
第6章	考察	22
6.1	促進区域における航行安全性と海域利用調整	22
6.2	業効率の季節性に基づく工事時期への提言	22
6.3	洋上風車建設前のベースラインとしての有効性	22

第7章 結論	23
7.1 本研究のまとめ	23
7.2 今後の展望	23
参考文献	25

第1章

序論

1.1 背景

近年、世界規模での環境変動への懸念が急速に高まっている。特に、産業革命以降の温室効果ガス排出量の増加は、地球温暖化と気候変動を引き起こし、異常気象、海面上昇、生態系の変化を通じて人類社会に深刻な影響を与えている。こうした状況を受け、国際社会は気候変動対策を強化する方向へと舵を切るようになった。

その大きな転換点となったのが、2015年採択されたパリ協定である。パリ協定は「世界の平均気温上昇を産業革命前と比較して 2°C より十分低く抑制し、さらに 1.5°C に抑える努力を追求する」ことを国際的に共有された目標として掲げた枠組みである[5]。この協定では、すべての締約国に対して温室効果ガス排出削減のための自主的な貢献目標（NDC: Nationally Determined Contribution）を設定し、定期的な報告と更新を課すことで、長期的な気候安定化に向けた取り組みを促進している。パリ協定の採択を受け、世界各国で再生可能エネルギーの導入が急速に進んでいる。国際再生可能エネルギー機関（IRENA）の統計によれば、2015年から2025年の間に世界の再生可能エネルギー発電容量は、約1,851GWから約4,448GWへと増加し、特に太陽光発電と風力発電が成長を牽引した[2]。世界的な脱炭素化の潮流の中で、再生可能エネルギーはエネルギー安全保障の観点からも重要度を増している。

日本においてもこの流れは顕著である。2020年10月、日本は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2050年までに温室効果ガス排出量の実質ゼロを目指す方針を明確に打ち出した。この宣言を受けて洋上風力発電の促進を含む多くの政策が整備され、特に再生可能エネルギーの主力電源化が国家戦略として位置づけられるようになった。政府が策定した「第6次エネルギー基本計画」では、2030年までに温室効果ガスを46%削減し、さらに50%削減に向けて挑戦を続けるとしている。また、再生可能エネルギーの電源構成比は36–38%を目標としている[3]。

しかし、日本は国土面積が限られているうえ、山岳地域が多く、陸上での大規模風力発電

の設置には制約が多い。そのため、近年特に注目されているのが洋上風力発電である。日本の排他的経済水域（EEZ）は世界第6位の広さを持ち、風況も比較的安定している地域が多いことから、洋上風力はエネルギー源として高い潜在性がある。政府の導入目標では、2030年に10GW、2040年に30–45GWの導入目標が掲げられており[4]、日本の再エネ拡大戦略において洋上風力は中核を担う位置付けとなっている。

現状、日本国内では北海道石狩湾新港、秋田県能代・秋田港など複数の地点で着床式洋上風力が稼働しており、2024年末時点で稼働中の洋上風力発電設備はおよそ4地域、総発電容量は約0.25GW程度である[6]。世界的に見ればまだ導入量は少ないものの、今後10年で急速に拡大することが期待されている。

しかし、洋上風力発電の導入には大きな課題も存在する。その最たるもののが、地元漁業者や漁協との合意形成の困難さである。秋田県では、洋上風力発電の導入をめぐって漁業者から反発があり、補償金の交渉や操業区域への懸念が解消されず、合意形成が難航した事例が報告されている[7]。これに限らず、国内外のいくつかの先行研究でも共通して、漁業者は洋上風車建設が漁場環境や操業の安全性、漁獲量にどのような影響を与えるかが明確でないことを懸念していると指摘されている[8, 9, 10]。

特に、漁獲量への影響については、科学的な知見が十分に蓄積されていない。例えば、洋上風車の建設や稼働によって、水中音が魚類の行動にどの程度影響するのか、あるいは、洋上風車の設置に伴う海底地形の変化が漁獲量にどのような変化をもたらすのかといった点は、データが不足している。その結果、多くの議論が漁業者の経験則や個別の証言に依存した定性的なものに留まり、評価が困難になっている。この不透明性こそが、漁業者と事業者の合意形成を阻害し、洋上風力の普及における最大のボトルネックのひとつとなっている。

1.2 研究目的

本研究の目的は、洋上風車の建設予定地となっている北海道松前町において、主要漁業であるマグロ延縄漁業の操業実態を定量的に可視化し、将来的に洋上風車が漁獲活動に与え得る影響を検証可能なベースラインを構築することである。

従来、洋上風力発電の導入に伴う漁業影響評価は、漁業者の経験則や定性的なアンケートに依存することが多く、客観的な検証が困難であった。この不透明性が、事業者と漁業者の合意形成を阻害する一因となっている。そこで本研究では、水産資源解析分野で確立された手法を社会的課題に応用し、定性的な情報を定量的なデータへと転換することを試みる。

具体的には、松前町の漁業者の協力のもと、以下のデータを統合的に解析する。

- 漁船に搭載されたGNSSロガーによる航跡データ
- 漁協が保管する漁獲量および燃油給油の記録
- 操業日誌アプリに入力された操業データ

これらのデータを組み合わせることで、単なる操業位置の把握にとどまらず、操業行動と漁獲量、燃油効率を関連づけた分析を行う。本研究では、洋上風車建設前のデータを対象に、将来の建設後データと比較するためのベースラインとして、以下の 2 点を明らかにする。

1. 操業海域の空間分布および洋上風車の建設予定海域（促進区域）との位置関係
2. 燃油効率および漁獲量・燃油効率の季節的変動特性

さらに、継続的に、洋上風車建設後に同様のデータを取得し、ベースラインとの比較を行うことで、洋上風車建設が漁獲活動に与える影響を定量的に評価することを目指している。

1.3 高度 ICT コースにおける本研究の位置付け

高度 ICT コースでは、社会の問題を発見し、ICT を用いてその解決に資する価値ある情報システムの創造を目指す。

本研究は、洋上風力発電の導入に伴う漁業との海域利用調整という、近年の政策的にも社会的にも極めて重要なテーマを対象としている。海域利用の対立は顕在化しており、漁業者の操業実態が十分に可視化されていないことが合意形成を阻害する一つの要因となっている。漁業者がいつ、どこで、どのように操業しているのかという情報は、従来は漁業者自身の経験や口頭での説明やアンケートといった定性的なものに依存しており、第三者が実態把握することは困難であった。そこで本研究では、漁船位置情報と操業記録を組み合わせ、漁業者の操業実態を定量的に把握する情報システムを構築する。

以上のように、本研究は、社会的課題の解決に ICT を適用する実践的な取り組みであり、情報システム分野の学術的・実務的な両側面に貢献する位置付けにある。

第2章

関連研究

本章では、まず洋上風力発電が漁業活動に及ぼす様々な影響について、国内外の既存研究を概観する。次に、これらの影響を評価するために用いられてきた従来の手法に着目し、その現状と課題を整理する。最後に、これらの課題を解決する新たなアプローチとして、本研究が提案する GNSS 航跡データと操業記録を統合した解析手法の有効性を示し、本研究が当該分野においてどのような位置付けにあるかを明確にする。

2.1 洋上風力発電と漁業の関係性

洋上風力発電の導入は、海洋空間の利用形態に大きな変化をもたらし、先行利用者である漁業者に対して物理的・社会的な影響を及ぼす。

物理的な影響としては、洋上風車建設時の杭打ち音や稼働音による水中騒音が、魚類の回避行動や生理的ストレスを引き起こす可能性が指摘されている [12, 13, 14]。一方で、洋上風車の基礎構造物が人工魚礁として機能し、底生生物や魚類の生息密度を高める効果などのポジティブな影響も報告されており [12, 19]、その影響は海域や魚種によって一様ではない。

社会的な側面においては、漁業者と開発事業者との合意形成が最大の課題となっている。Alexander ら (2013) や Hooper ら (2015) は、漁業者が抱く懸念の根本には、漁場の喪失や漁具の破損といった直接的な被害だけでなく、将来の不確実性に対する不安や、開発プロセスにおける信頼関係の欠如があることを指摘している [9, 15]。日本国内においても、漁獲量への影響が科学的に不透明であることが合意形成を難航させる要因となっており [7, 8]、Shimada ら (2022) が指摘するように、水揚げ記録では検出できない局所的な操業実態の変化を捉えることが求められている [11]。

2.2 既存の調査手法とその限界

洋上風力発電の漁業影響を評価するために、従来は主に科学的調査や水揚げ記録による分析の手法が用いられてきた。

科学的調査には、調査船を用いたトロール網調査などの生物学的調査が含まれる。これらは客観的な生物データを取得できる反面、広域かつ連続的な観測を行うには多額のコストと継続的な予算確保が必要となるため、調査頻度が限られ、時空間的な解像度が不足するという課題がある [23]。

一方、漁協の水揚げ記録や従来の操業日誌を用いた分析は、長期間の漁獲量の変化を把握する上では有効である。しかし、これらのデータには詳細な位置情報が記録されていないため、漁業者がいつ、どこで、どのように操業していたのかを正確に把握することは難しい。Shimada ら (2022) は、水揚げ記録のみでは局所的な操業の変化や空間的な利用実態を十分に評価することができず、洋上風力発電の影響検出においても限界があることを指摘している [11]。

さらに、Allen-Jacobson ら (2023) は、位置情報を持たない水揚げ記録に基づく分析では、洋上風車と漁業活動との空間的な関係を高精度には把握できず、その影響を過大または過小に評価してしまう可能性があることを示している [1]。

2.3 本研究のアプローチと位置付け

2.2 で示した既存手法の限界に対し、近年では ICT 技術を活用したスマート水産業の取り組みが進められている。和田ら (2011) は、小型漁船の GNSS 位置情報と操業日誌を統合して解析することで、従来の手法では把握が困難であった資源の空間分布や資源量を、高精度に可視化・推定できることを実証している [21]。

本研究は、この和田ら (2011) の可視化手法を、洋上風力発電の影響評価という新たな課題領域に応用する点に特徴がある。Allen-Jacobson ら (2023) が指摘したような粗い位置情報に起因する評価の過大・過小評価を克服するため、本研究では 30 秒間隔の GNSS 航跡データと操業日誌などを統合し、より詳細に空間利用と操業効率を定量化する。これにより、定性的な議論に留まりがちであった漁業影響評価を、客観的なデータに基づく定量的なプロセスへと転換することを目指す。

第3章

提案手法

本章では、本研究の対象フィールドである北海道松前町沿岸の海域特性および対象漁業の概要を述べるとともに、解析に用いたデータセットの仕様、およびデータの統合・可視化の手法について記述する。特に、複数のデータソース（GNSS 航跡データ、水揚げ記録、操業日誌データ、給油記録）を統合し、マグロ延縄漁業の操業実態を抽出する手順、および比較手法について詳述する。

3.1 対象フィールドと漁業概要

本研究の対象フィールドは、北海道南端に位置する松前町沿岸である。この海域は対馬海流が流入する津軽海峡に面しており、マグロをはじめとする豊かな水産資源に恵まれた好漁場である。対象とする漁業は、松前さくら漁業協同組合に加入する漁業者によるマグロ延縄漁業である。同漁業協同組合は、令和5年現在で正組合員217名が所属しており、各種網漁業、延縄漁業、釣り漁業、採介藻漁業および養殖漁業を複合的に営んでいる。その中でマグロ漁業の水揚げ金額は、全体の7.7%を占めている。本研究では、これらの漁業者が使用する漁船29隻（2024年時点）を分析対象とした。

3.2 使用データセット

本研究では、漁船の動静、漁獲実態、および操業効率を定量化するために、表3.1に示す4種類のデータを統合して使用した。

各データセットの詳細について以下に説明する。

3.2.1 GNSS 航跡データ

対象漁船に搭載されたVMS（Vessel Monitoring System）から取得された航跡データである。

表 3.1 使用データセットの名称と収録期間

データ名称	収録期間
GNSS 航跡データ	2023 年 7 月～2025 年 11 月末
水揚げ記録	2022 年 7 月～2025 年 11 月末
操業日誌データ	2024 年 7 月～2025 年 11 月末
給油履歴	2022 年 12 月末～2025 年 6 月末

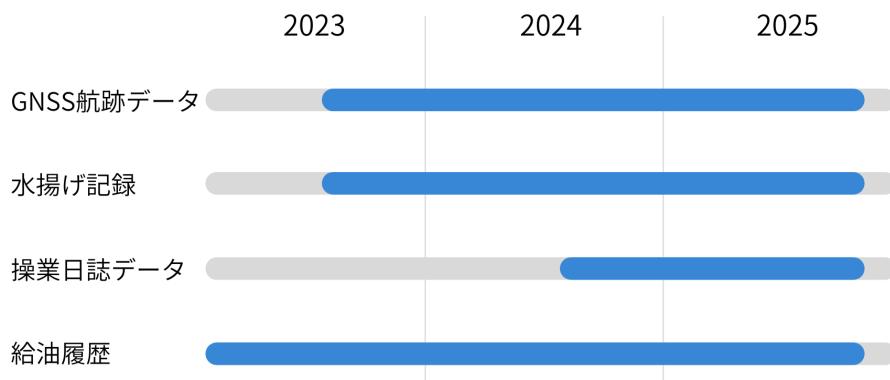


図 3.1 使用データセットの収録期間

- サンプリング間隔: 30 秒
- 収録項目: 漁船 ID (PK)、日時、緯度、経度、速度、進行方向など

3.2.2 水揚げ記録

松前さくら漁協で管理しているマグロの水揚げデータである。

- 対象魚種: クロマグロ
- 収録項目: 漁業者名 (PK)、水揚げ日、マグロ重量など

本データは実際に水揚げされた正確な重量を示すデータとして機能するが、操業した上で漁獲できなかった日の情報が含まれないという制約がある。

3.2.3 操業日誌データ

漁業者がスマートフォン上の操業日誌アプリに入力したデータである。利用しているアプリは「マグログ」(2024 年度に公立はこだて未来大学プロジェクト学習「スマート道南」チーム開発) [22] であり、漁業者が操業終了後に日誌情報を入力し、クラウド上に保存する仕組

みとなっている。

- 収録項目: 漁船名 (PK)、操業日、海区番号、サイズ区分ごとの漁獲数など
- サイズ区分: ~30kg, ~50kg, ~75kg, ~100kg, 100kg~

本研究においてこのデータは、GNSS 航跡データがマグロの漁獲を行っている時のものかどうかを判断するために使用する。松前町のマグロ漁業者は、マグロ漁期であっても他の魚種を漁獲している場合がある。GNSS 航跡データ単体では何を漁獲していたかを判別することは困難である。また、3.2.2 の水揚げ記録だけでは、マグロ狙いで出漁したが漁獲が無かった日を把握できない。操業日誌データには、漁獲が無かった場合でも漁業者が操業記録を残しているため、これを GNSS 航跡データと照合することで、当該操業がマグロ延縄漁であったことを特定することが可能となる。

なお、操業日誌のサイズ区分および入力値は漁業者の目測に基づくものであるため、漁協で記録されている水揚げ記録と比較して重量のズレが生じる可能性がある。この信頼性を検証するため、2024 年 7 月から 2025 年 11 月までの期間において、同一の「日付」および「船 ID」で記録され、かつ双方の報告尾数が完全に一致した 1,676 件を対象として、アプリ入力区分ごとの実績重量の分布を調査した（図 3.2）。各入力区分における実績重量の分布を箱ひげ図を用いて確認した結果、全ての区分において、データの主要な分布を示す四分位範囲が、それぞれの正解重量範囲の内部に概ね収まっていることが確認された。「30~50kg」区分においては、分布の上側（50kg 以上）への若干の逸脱は見られるものの、箱の大部分は適正な範囲内に位置しており、漁業者による目測判定が高い精度で行われていることを示唆している。

一方で、四分位範囲の 1.5 倍を基準として外れ値を検出した結果、全 1,676 件中 25 件（全体の約 1.5%）確認された。これらは、入力区分と実績重量が大きく乖離している事例（例：~30kg 区分に対し 50kg 以上の入力値など）であり、入力時の押し間違い等のヒューマンエラーに起因するものと考えられる。

以上の結果より、一部に誤入力や目測の誤差は含まれるもの、データ全体としては実態を正確に反映しており、本研究の分析に用いる上で十分な信頼性を有していると判断した。

3.2.4 給油履歴

松前さくら漁協で管理している給油代金の履歴である。

- 収録項目: 漁船名 (PK)、給油日、油種 (A 重油または軽油)、給油量
- データの性質: 本データは毎回の操業ごとの給油を計測したものではなく、給油のタイミングで記録されたものである。

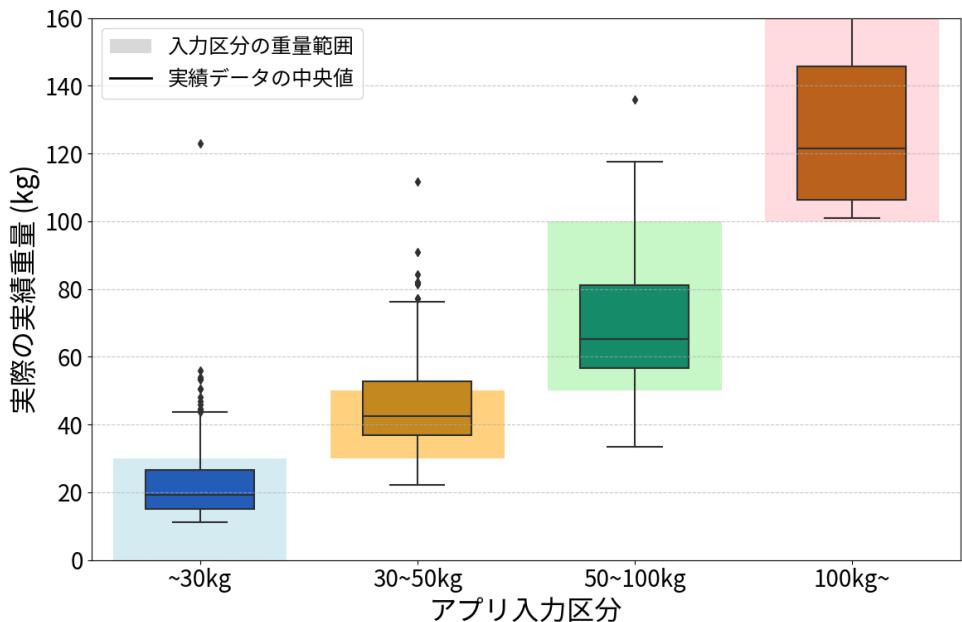


図 3.2 アプリ入力区分ごとの実績重量の分布

3.3 データ統合と前処理手法

収集されたデータは形式や記録頻度が異なるため、Python を用いて統合処理を行った。本研究では、GNSS 航跡データに対する速度制限や移動距離、位置飛びに基づく機械的なフィルタリング処理は適用せず、水揚げ記録または操業日誌データとの照合による抽出処理のみを行った。一般的な漁船航跡解析では、異常値を除外するために厳格なフィルタリングを行うことがあるが、本研究対象海域においては、通信インフラとして利用している LPWA (Low Power Wide Area) ネットワークの通信エリアに地理的な制約が存在した。具体的には、沿岸から離れた沖合海域や、岬の陰となる海域において GNSS 航跡データの受信頻度が低下し、データが断続的になる傾向が見られた。

この状況下でデータ送信間隔などのフィルタリング処理を適用した場合、本来有効であるはずの操業データまでもがノイズとして過剰に棄却され、解析可能なデータ数が著しく減少することが予備解析により確認された。実際、2024 年の GNSS 航跡データに対してフィルタリング処理（位置飛び 1 マイル以下、総移動距離 3 マイル以上等の条件）を適用してマグログデータと結合した結果、元データ約 79 万件に対し、最終的な抽出データは 60,541 件（約 7.6%）まで減少した。そのため本研究では、通信環境に起因するデータの不連続性を許容し、可能な限り多くの操業実態を捕捉することを優先して、機械的なフィルタリングを行わない方針を採用了。

具体的には、目的に応じて以下の 2 種類の航跡データセットを構築した。

3.3.1 操業日誌データに基づく航跡データセット

操業日誌データと GNSS 航跡データを照合し、両データ間で漁船名および日付が一致するレコードのみを抽出して構築したデータセットである。これにより、漁獲が全く無かった日を含む、出漁した全操業の航跡が網羅されている。

- **対象期間:** 2024 年、2025 年
- **特徴:** 漁獲の有無に関わらず全ての航跡が含まれるため、努力量が投入されたものの成果に結びつかなかった海域も含めた、正確な海域利用実態を可視化できる。

3.3.2 水揚げ記録に基づく航跡データセット

漁協が管理する水揚げ記録を参照し、「対象船 29 隻のうち、少なくとも 1 隻以上にマグロの水揚げがあった日」を特定し、その該当日における全対象船の GNSS 航跡データを抽出して構築したデータセットである。

従来の手法では、水揚げ実績と航跡を 1 対 1 で照合するのが一般的であるが、本研究では漁業者へのヒアリング調査により得られた「ある一隻がマグロ漁に出ている日は、他の船も同様にマグロ漁を行っている可能性が高い」という意見に基づき、この手法を採用した。これにより、実際に水揚げを記録した船だけでなく、同日に出漁したものの漁獲に至らなかつた船の操業も含めて抽出している。本研究の主眼である「操業実態の可視化」に関しては、3.3.1 で述べた操業日誌データに基づく航跡データセットを用いることでより詳細に達成可能である。しかし、あえて本データセットを構築・併用する目的は以下の 2 点にある。

- **簡易手法の精度検証:** 操業日誌データと比較することで、水揚げ記録のみに依存した手法が、実際の海域利用をどの程度の精度で再現できるか、あるいはどの程度の操業を取りこぼしていたかを定量的に評価するため。
- **長期間のトレンド解析:** アプリ導入前（2023 年）には操業日誌データが存在しないため、2023 年から 2025 年にかけた 3 カ年にわたる漁場利用の経年変化の比較を行うためには、共通して利用可能な水揚げ記録に基づく本手法を用いる必要があるため。

3.4 構築されたデータセットの概要

3.4.1 基本統計量

3.3 の手法に基づき構築されたデータセットの基本統計量を表 3.2 に示す。解析対象期間は各年の 7 月から翌 1 月のマグロ漁期であり、総データ件数は約 64 万レコードである。

注目すべき点は、「1 日あたりの平均操業隻数」に顕著な違いが見られることである。2024 年を例に取ると、水揚げ記録ベースでは平均 11.88 隻であるのに対し、操業日誌ベースでは平均 5.82 隻となっている。この数値の乖離は、3.3.2 で述べたデータ抽出ロジックの差異に直接的に起因している。水揚げ記録に基づくデータセットは、漁業者へのヒアリングに基づき「1 隻でも漁獲があれば、その日の全漁船の航跡を抽出する」という拡張的な処理を行っているため、出漁日における船団全体の動き（漁獲が無かった船も含む）がカウントされ、結果として 1 日あたりの隻数が高く算出される。対して、操業日誌データに基づくデータセットは、「日付と漁船 ID が共に一致したレコードのみを抽出する」という厳密な照合を行っているため、実際にアプリで操業を報告した個々の漁船のみがカウント対象となる。この定義の違いが平均値の差として表れていると考えられる。

表 3.2 構築されたデータセットの基本統計量

データセット	年度	期間	操業	参加	平均	データ
			日数	船数	隻数/日	
水揚げ記録	2023	7/04 ~ 12/13	38	26	5.63	89,640
	2024	7/09 ~ 11/10	26	29	11.88	175,987
	2025	7/03 ~ 11/27	31	30	13.19	166,921
操業日誌	2023	-	-	-	-	-
	2024	7/09 ~ 11/15	28	29	5.82	103,698
	2025	7/03 ~ 11/27	33	29	8.18	108,102

3.4.2 データセット間の網羅性と差異

アプリ導入の効果とデータの正確性を検証するため、2024 年～2025 年シーズンにおける「水揚げ記録」と「操業日誌データ」の日付レベルでの突合を行った結果を以下に示す。

1. ゼロキャッチデータの捕捉（操業日誌データのみに存在する日付）

両データを比較した結果、操業日誌データにのみ存在し、水揚げ記録には存在しない日付が計 17 日確認された。具体的には、2024 年の 8 月 29 日、9 月（2, 5, 13, 16, 17, 28 日）、10 月（1, 6, 17 日）などが該当する。これらは、出漁したもののが漁獲がなく、

水揚げ記録として残らなかった操業日である。この結果は、本研究で構築した操業日誌データセットが、従来の手法では欠落していた操業を正確に捕捉できている可能性を示している。

2. アプリ入力の漏れ（水揚げ記録のみに存在する日付）

一方で、水揚げ記録にはあるが操業日誌には記録がない日付は、2024年10月16日および10月27日のわずか2日（全期間の約1.6%）に留まった。これはアプリの入力漏れや通信エラーによるものが可能性として考えられるが、欠損率は極めて低く、本データセットが分析に耐えうる十分な信頼性と網羅性を有していると言える。

3.5 分析手法と評価指標

本節では、構築されたデータセットを用い、マグロ延縄漁業の操業実態を定量的に明らかにするための分析手法と評価指標について述べる。なお、本研究における空間解析には、オープンソースの地理情報システム（GIS: Geographic Information System）である QGIS (Ver. 3.42.1-Münster) を使用した。

3.5.1 GIS を用いた空間利用の可視化

洋上風車の建設予定海域（促進区域）と漁業活動の空間的な重複状況を評価するため、以下の手順で漁船の操業密度分布を可視化した。

1. 六角形グリッドによる空間分割

分析対象海域を内接円の直径が1kmの六角形グリッドで分割し、空間データの集計単位とした（図3.3）。六角形グリッドは、正方形グリッドと比較して隣接するセルの中心間距離が等しいため、移動体の経路や分布密度を表現する際の方向依存性（異方性）が低く、空間的なバイアスを軽減できる利点がある。グリッドの生成には、QGISの「グリッドを作成（Create Grid）」ツールを用い、グリッドタイプとして六角形（Polygon, Hexagonal Grid）を選択して作成した。

2. GNSS 航跡データの集計と操業密度の定義

CSV形式でインポートしたGNSS航跡データの各計測点が、作成した六角形グリッドのいずれに属するかを特定し、各グリッドに含まれる計測点数（ポイント数）を算出した。この集計処理には、QGISの解析ツールである「ポリゴン内のポイント数を数える（Count Points in Polygon）」を使用した。なお、本研究で使用するVMS端末の測位間隔は30秒で一定であるため、グリッド内の計測点数は当該海域における漁船の滞在時間（漁獲努力量）と等価であり、これを本研究における「操業密度」と定義した。

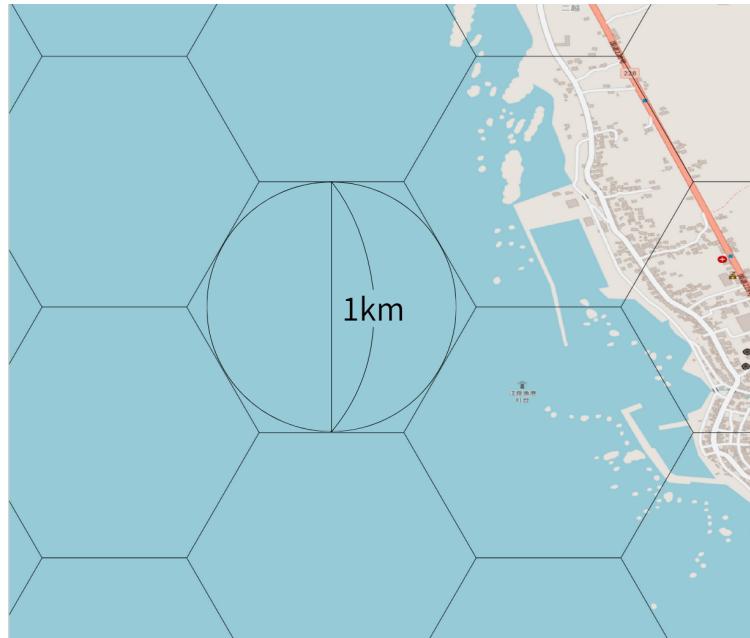


図 3.3 内接円直径 1km の六角形グリッド

3. 分位数 (Quantile) による階級区分

算出された操業密度の可視化にあたり、階級区分には「分位数分類 (Quantile Classification)」を採用し、全データを等量ずつ 10 階級 (10% 刻み) に分割して色分けを行った。本研究で比較を行う「水揚げ記録ベース」と「操業日誌ベース」のデータセット間には、レコード数に最大で 7 万件ほど (約 1.7 倍) の大きな開きが存在する。絶対値に基づく分類を用いた場合、データ数の多い年度のみが高密度と判定される恐れがあるため、分位数分類を用いることでデータ量の多寡に依存せず、各データセット内における相対的な主要漁場の位置関係を公平に比較可能とした。

3.5.2 操業効率および燃油効率の定義

本研究では、洋上風車の建設が漁業に与える影響を多角的に検証するため、物理的な移動負担を示す「単位移動距離あたりの漁獲量 (CPUE)」と、投入エネルギーに対する生産性を示す「燃油効率 (E_o)」の 2 つの指標を採用する。

1. 移動距離の算出

1 回の操業における総移動距離は、GNSS 航跡データに含まれる時系列の計測点間の距離を累積して算出した。本研究では漁場までの移動を含む全行程を評価対象とするため、距離によるフィルタリングは行わず、全ての移動距離を合算した。

2. 評価指標の定義

- **単位努力量あたりの漁獲量 (CPUE)**

1回の航海における総移動距離 D を漁獲努力量 (Effort) と定義し、次式で算出した。

$$\text{CPUE} = \frac{W}{D} \quad (3.1)$$

ここで、 W は当該操業における漁獲重量（水揚げ記録および操業日誌より取得）である。

- **燃油効率 (Fuel Efficiency Index, E_o)**

一定期間ごとの給油量 O_{total} と、同期間内の漁獲総量 W_{total} を用いて期間全体の効率として算出した。

$$E_o = \frac{W_{\text{total}}}{O_{\text{total}}} \quad (3.2)$$

第4章

結果

本章では、第3章で構築したデータセットおよび分析手法に基づき、松前町沿岸におけるマグロ延縄漁業の操業実態を可視化した結果について述べる。まず、本研究で提案する「操業日誌データ」を用いた解析により、海域利用実態を明らかにする。次に、水揚げ記録をベースとした手法との比較を行い、手法の違いが可視化結果に与える影響を検証する。さらに、3カ年にわたる漁場形成の経年変化を示した上で、洋上風車建設予定海域との空間的な重複状況を評価する。最後に、現在の操業効率（CPUE・燃油効率）の分析結果を示す。

4.1 操業密度分布の可視化

4.1.1 操業日誌データに基づく操業実態の可視化

2024年および2025年の操業日誌データに基づき、漁獲の有無に関わらず全ての操業を反映させた操業密度分布を、それぞれ図4.1および図4.2に示す。

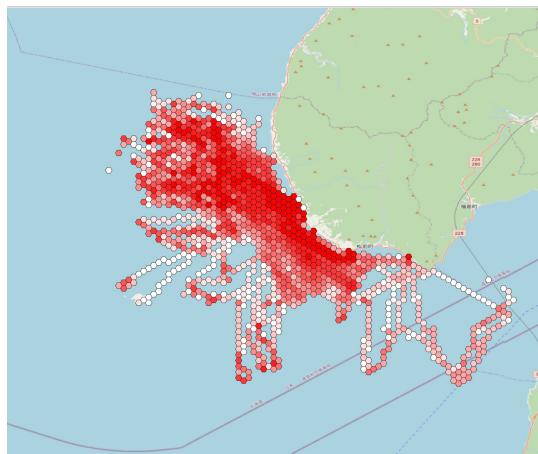


図4.1 操業日誌データに基づく操業密度分布（2024年）

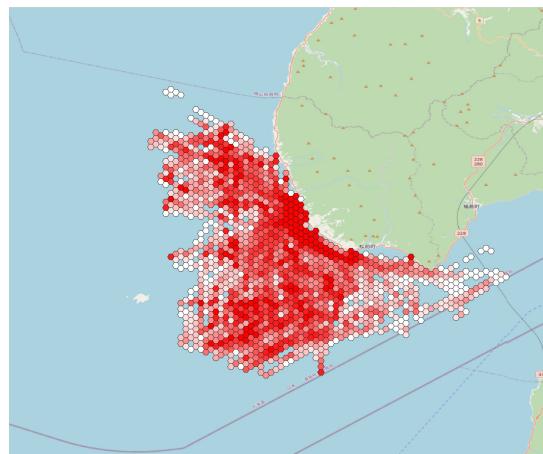


図4.2 操業日誌データに基づく操業密度分布（2025年）

結果として、両年に共通して利用される漁場と、年ごとに利用の有無が分かれる海域の双方が、明確に可視化された。まず共通点として、両図ともに松前町沿岸から北西方向にかけて高密度な漁場が形成されていることが分かる。この海域はマグロ延縄漁業の中核として恒常に利用されていることが示された。一方で、年度ごとの分布形状には次のような差異が可視化されている。2024年（図4.1）では、操業が北西側の海域に強く偏在しているとともに、一部の航跡が南の津軽海峡方面へと直線的に伸びている様子が確認できる。対して2025年（図4.2）では、2024年には見られなかった南西側や、従来操業が少なかった海域へと、薄い密度の航跡が広く拡散している様子が捉えられている。

4.1.2 水揚げ記録データに基づく操業実態の可視化

次に、水揚げ記録とGNSS航跡データを照合し、漁獲実績のある日を抽出して作成した操業密度分布を年度順に、それぞれ図4.3、図4.4、図4.5に示す。

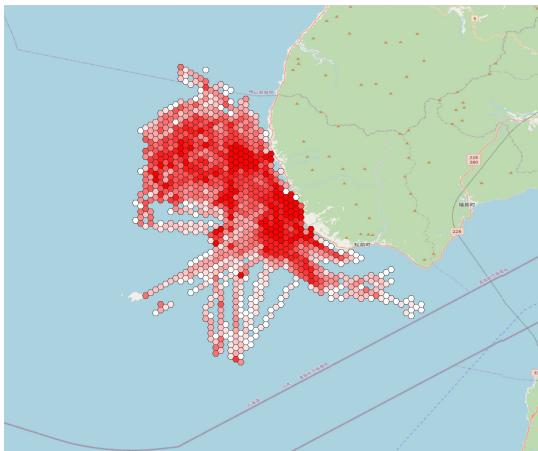


図 4.3 水揚げ記録に基づく操業密度分布
(2023 年)

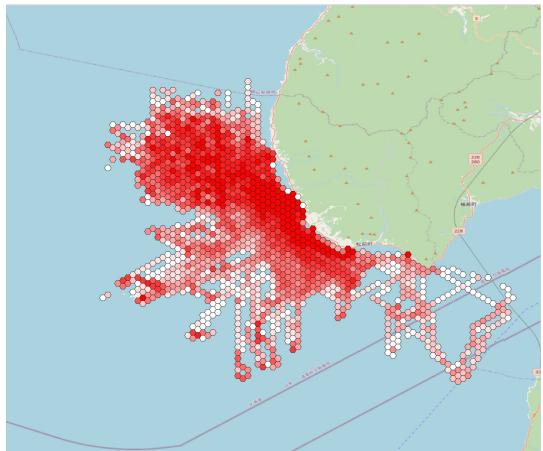


図 4.4 水揚げ記録に基づく操業密度分布
(2024 年)

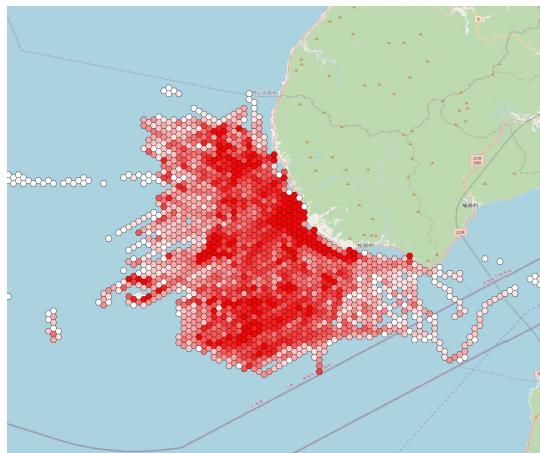


図 4.5 水揚げ記録に基づく操業密度分布
(2025 年)

図 4.6 水揚げ記録に基づく操業密度分布の経年変化 (2023-2025 年)

図 4.3 から図 4.5 を参照すると、3 カ年を通じて松前町沿岸北西部が中核的な漁場として機能している点は共通している。しかし、分布形状には年ごとに変化が見られる。2023 年 (図 4.3) は、高密度な領域が北西側に集中しており、操業範囲は 3 カ年の中で最もコンパクトになっている。2024 年 (図 4.4) では、依然として北西側が操業の中心となりつつも、南西側での操業が増えていることが確認できる。2025 年 (図 4.5) では、高密度域がより南西側へとシフトしている傾向が確認できる。特に 2025 年は、4.1.1 項の操業日誌データに基づく操業密度分布図 (図 4.2) でも確認された通り、漁場が広範囲に分布している様子が本手法でも捉えられている。

4.1.3 抽出手法による可視化結果の差異

ここで、同一年度（2024年または2025年）における「操業日誌ベース（図4.6, 図4.7）」と「水揚げ記録ベース（図4.8, 図4.9）」の結果を比較すると、両年ともに、水揚げ記録ベースの操業密度分布図の方が、操業範囲が広く見えるものの、分布の見え方には大きな差は無かった。

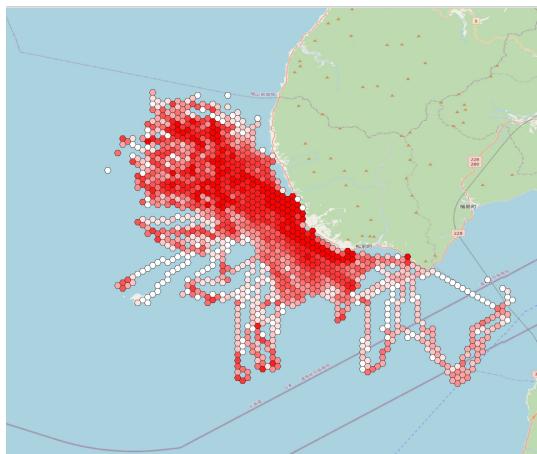


図4.7 操業日誌データに基づく操業密度分布（2024年）

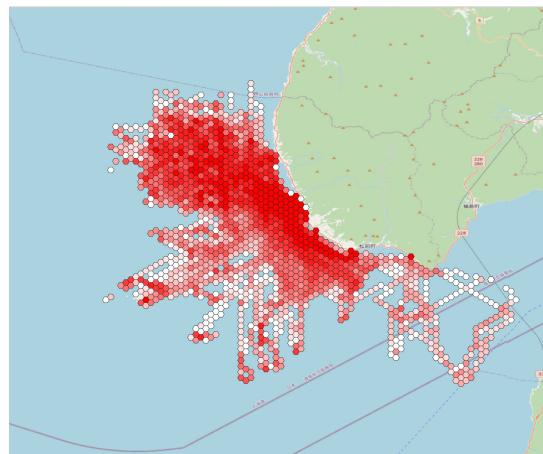


図4.8 水揚げ記録に基づく操業密度分布（2024年）

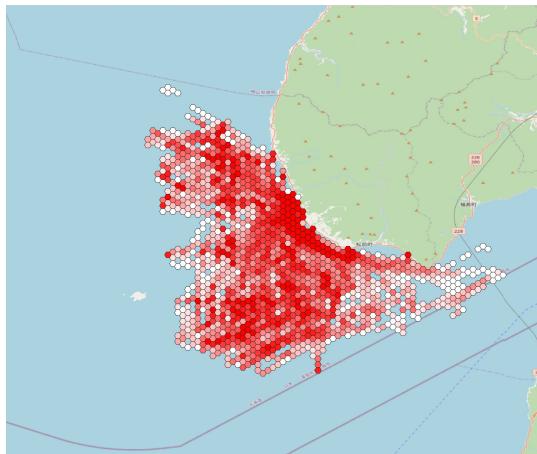


図4.9 操業日誌データに基づく操業密度分布（2025年）

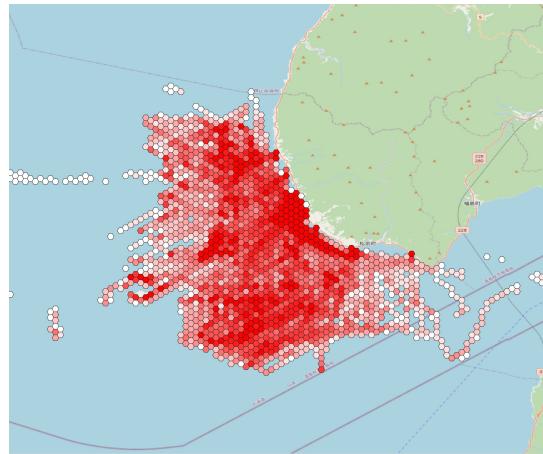


図4.10 水揚げ記録に基づく操業密度分布（2025年）

以上の比較から、どちらの手法でも操業密度分布の全体的な傾向や主要漁場の位置には大きな差異は見られなかった。すなわち、いずれの手法を用いても操業実態が可視化されており、主要な漁場の抽出には両手法とも有効であることが確認された。

4.2 洋上風車建設予定海域との空間的重複

4.1 節で明らかになった操業実態と、洋上風力発電の導入が検討されている「促進区域」との空間的な重複状況を評価した結果を図 4.11 に示す。背景地図には、最も網羅性の高い「操業日誌ベース（2024-2025 年）」の密度分布を使用し、その上に促進区域のポリゴンを重ねて表示した。

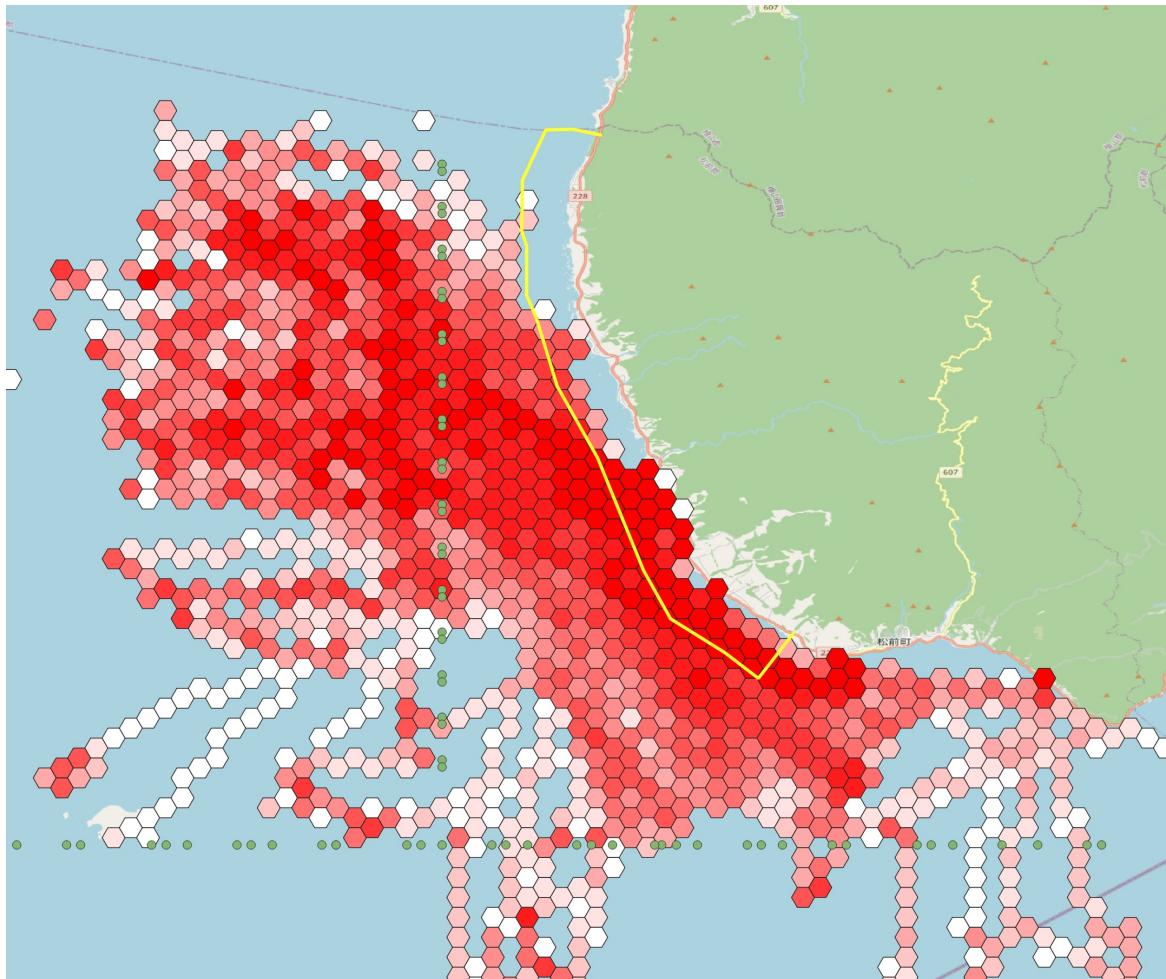


図 4.11 操業実態と洋上風車促進区域の空間的重複

図を参照すると、促進区域は【例：操業密度の高い主要漁場と直接的に重複している / 主要漁場の縁辺部に位置している】ことが確認できる。具体的には、促進区域の【例：南西側】において、高い操業密度を示すグリッドが多数含まれており、この海域はマグロ延縄漁業において日常的に利用されている重要漁場であることが定量的に示された。また、区域内部だけでなく、区域の【例：沖合側】にも操業実績が広がっていることから、当該区域は漁場と

してだけでなく、漁場へ向かうための「移動経路」としても機能している可能性が高い。したがって、この海域に風車が建設された場合、操業海域の喪失のみならず、迂回による移動コストの増加や、探索行動の制約といった影響が生じることが懸念される。

4.3 操業効率の現状評価

最後に、漁業への物理的・経済的負担の現状（ベースライン）を把握するため、単位努力量あたりの漁獲量（CPUE）および燃油効率の分析結果を示す。

4.3.1 CPUE の推移

1 航海あたりの総移動距離（努力量）と漁獲量の関係を図??に、年度ごとの CPUE の分布を図 4.12 に示す。

図 4.12 年度ごとの CPUE (kg/km) の比較

分析の結果、2024 年の平均 CPUE は【数値】kg/km であり、2025 年の【数値】kg/km と比較して【増加/減少】傾向にあった。（※ここにグラフから読み取れる傾向を書く：例「移動距離が伸びても漁獲量が増えない『空振り』の操業が増加しており、効率が低下している」など）

4.3.2 燃油効率の推移

投入された燃料（コスト）に対する生産性を示す燃油効率 (E_o) の算出結果を表 4.1 に示す。

表 4.1 年度ごとの燃油効率（漁獲重量 / 純給油量）

年度	総漁獲量 (kg)	純給油量 (L)	燃油効率 (kg/L)
2023	【数値】	【数値】	【数値】
2024	【数値】	【数値】	【数値】
2025	【数値】	【数値】	【数値】

表より、燃油効率は【例：年々悪化している】ことが分かる。これは、前項で示した漁場の遠隔化（沖合シフト）や探索距離の増加に対し、漁獲量が比例して増加していないことを示唆しており、漁業経営における燃料コストの負担が増大している現状が定量的に明らかとなった。

第5章

結果

5.1 空間分布の可視化結果

5.1.1 操業海域の空間的特徴

ヒートマップ（図）を引用し、「操業密度の高いエリア（赤色）は松前町沖の西側 XXkm 付近に集中している」といった事実を記述。

5.1.2 洋上風力発電促進区域との位置関係

促進区域の境界線と重ね合わせた結果、「漁場（高密度エリア）は区域外であるが、漁港から漁場へ向かう航跡（航路）は区域内を横断している」という事実を指摘。

5.2 操業効率の分析結果

5.2.1 年度別・月別の漁獲量推移

棒グラフなどを示し、月ごとの漁獲量の変化を説明（例：「7月にピークを迎え、冬場に低下する」）。

5.2.2 燃油効率の季節変動特性

燃油効率 E_o のグラフを示し、「7月～9月にかけて効率が最も高く、それ以外の時期は低い」というトレンドを数値と共に記述。

第6章

考察

この章は最終章である。第1章と最終章は対比がとれていることが望ましい。具体的には、「序論」ではじめたのなら「結論」で終わり、「はじめに」ではじめたのなら「おわりに」で終わる。「緒言」ではじめたのなら「結言」で終わる。

6.1 促進区域における航行安全性と海域利用調整

航行リスク: 結果 5.1.2 を受け、「漁場は被っていないから安心」ではなく、「通勤路（航路）が塞がれるリスク」があることを論じる。具体的影響: 風車を避けるための迂回が発生すれば、燃油コスト増や労働時間増につながる。また、荒天時の避難ルート確保などの安全対策（通航帯の設定など）が必要であると提言。

6.2 業効率の季節性に基づく工事時期への提言

重要時期の特定: 結果 5.2.2 を受け、7月～9月は漁業者にとって「少ない燃料でたくさん獲れる（＝利益率が高い）」最重要シーズンであると解釈。

工事への提言: この時期に海上工事（騒音、作業船の往来）を行うと、経済的打撃が最大になる恐れがある。したがって、効率の低い時期に工事をずらすなどの配慮が、実質的な共存策として有効であると主張。

6.3 洋上風車建設前のベースラインとしての有効性

比較の基準: 本研究のデータは「風車がない状態（Before）」の貴重な記録である。今後建設された後（After）に同様の調査を行えば、変化を科学的に検証できる（BACI デザインへの適用可能性）とまとめた。

第7章

結論

7.1 本研究のまとめ

行ったこと（GNSS 解析）、わかったこと（場所の住み分けはできているが航路が課題、夏が高効率）を簡潔に要約。

7.2 今後の展望

残された課題：通年データの蓄積、他魚種（イカ釣りなど）への展開、リアルタイム監視システムの構築など、今後やるべきことを挙げる。

謝辞

謝辞を記入する。

参考文献

- [1] L. M. Allen-Jacobson, A. W. Jones, A. J. Mercer, S. X. Cadrin, B. Galuardi, D. Christel, A. Silva, A. Lipsky, and J. B. Haugen, “Evaluating Potential Impacts of Offshore Wind Development on Fishing Operations by Comparing Fine- and Coarse-Scale Fishery-Dependent Data,” *Marine and Coastal Fisheries*, vol. 15, no. 1, p. e10233, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/mcf2.10233>. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [2] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Renewable Capacity Statistics 2023,” Abu Dhabi, 2023. [Online]. Available: <https://www.irena.org/Publications/2025/Mar/Renewable-capacity-statistics-2025>. [Accessed: 26-Nov-2025].
- [3] 経済産業省 資源エネルギー庁, “第6次エネルギー基本計画,” 2021年10月22日閣議決定. [Online]. Available: https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [4] 経済産業省, “2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略,” 2020年12月. [Online]. Available: https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [5] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), “The Paris Agreement,” Dec. 2015. [Online]. Available: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [6] 日本風力発電協会 (JWPA), “2024年12月末時点日本の風力発電の累積導入量,” 2025年2月18日. [Online]. Available: <https://jwpa.jp/information/11062/>. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [7] 山口健介・田嶋智・渡部熙・城山英明, 「我が国の洋上風力事業における漁業者との合意形成: 秋田県男鹿市、潟上市及び秋田市沖における事例と政策提言」, 日本海洋政策学会誌, 13号, pp65-81, 2023.

- [8] 桐原慎二, “洋上風力発電に対する漁業者の意向—青森県の漁業者を対象としたアンケート調査から—,” *水産工学*, vol. 57, no. 2, pp. 65–77, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18903/fisheng.57.2.65>. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [9] T. Hooper, M. Ashley, and M. Austen, “Perceptions of fishers and developers on the co-location of offshore wind farms and decapod fisheries in the UK,” *Marine Policy*, vol. 61, pp. 16–22, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.06.031>. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [10] K. Reilly, A. M. O'Hagan, and G. Dalton, “Attitudes and perceptions of fishermen on the island of Ireland towards the development of marine renewable energy projects,” *Marine Policy*, vol. 58, pp. 88–97, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.04.001>. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [11] H. Shimada, K. Asano, Y. Nagai, and A. Ozawa, “Assessing the Impact of Offshore Wind Power Deployment on Fishery: A Synthetic Control Approach,” *Environmental and Resource Economics*, vol. 83, pp. 791–829, 2022.
- [12] G. W. Boehlert and A. B. Gill, “Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development: a current synthesis,” *Oceanography*, vol. 23, no. 2, pp. 68–81, 2010.
- [13] H. Bailey, K. L. Brookes, and P. M. Thompson, “Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future,” *Aquatic Biosystems*, vol. 10, no. 1, pp. 1–13, 2014.
- [14] 赤松友成, “海洋生物の新しいアセスメント手法～水中騒音による影響を中心として～,” 平成30年度環境アセスメント技術講習会(仙台会場)資料2, 2018年. [Online]. Available: https://assess.env.go.jp/files/4_kentou/4-2_training/h30/sendai_h30_02.pdf. [Accessed: Nov. 27, 2025].
- [15] K. A. Alexander, T. A. Wilding, and J. J. Heymans, “Attitudes of Scottish fishers towards marine renewable energy,” *Marine Policy*, vol. 37, pp. 239–244, 2013.
- [16] C. U. Jensen, T. E. Panduro, T. H. Lundhede, A. S. E. Nielsen, M. Dalsgaard, and B. J. Thorsen, “The impact of on-shore and off-shore wind turbine farms on property prices,” *Energy Policy*, vol. 116, pp. 50–59, 2018.
- [17] M. Ando, “Dreams of urbanization: quantitative case studies on the local impacts of nuclear power facilities using the synthetic control method,” *Journal of Urban Economics*, vol. 85, pp. 68–85, 2015.
- [18] 経済産業省 資源エネルギー庁, 国土交通省 港湾局, “洋上風力発電に係る環境影響評価について,” 第18回 洋上風力促進ワーキンググループ 資料3, 2023年1月. [Online]. Available: https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei-kano/yojo_furyoku/pdf/018_03_00.pdf. [Accessed: Nov. 27, 2025].

- [19] H. J. Lindeboom *et al.*, “Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the Dutch coastal zone; a compilation,” *Environmental Research Letters*, vol. 6, no. 3, 035101, 2011.
- [20] 環境省 総合環境政策局, “洋上風力発電に係る新たな環境アセスメント制度の在り方にについて（報告書）,” 2022年3月. [Online]. Available: https://assess.env.go.jp/files/0_db/seika/1055_03/report.pdf. [Accessed: Nov. 27, 2025].
- [21] 佐野 稔, 前田 圭司, 高柳 志朗, 和田 雅昭, 畑中 勝守, 本前 伸一, 菊池 肇, 宮下 和士, “小漁業情報を用いた北海道北部沿岸域におけるマナマコの資源量推定,” 日本水産学会誌, vol. 77, no. 6, pp. 999–1007, 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2331/suisan.77.999>. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [22] 祐川 雅治, 石井紘翔, 伊禮莉, 小笠原海都, 小田祐希, 金田凌弥, 川浪昂矢, 神田空也, 齊藤良輝, “公立はこだて未来大学 2024 年度 システム情報科学実習グループ報告書,” 公立はこだて未来大学 プロジェクト学習, 2024. [Online]. Available: <https://www.fun.ac.jp/wp-content/uploads/2025/05/group11.pdf>. 神田空也 Soraya Kanda 齊藤良輝 Yoshiki Saito “公立はこだて未来大学 2024 年度 システム情報科学実習グループ報告書,” 公立はこだて未来大学 プロジェクト学習, 2024. [Online]. Available: <https://www.fun.ac.jp/wp-content/uploads/2025/05/group11.pdf>. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [23] 朱 夢瑤, “水産資源モニタリング手法の現状と今後の展望,” *OPRI Perspectives*, no. 21, pp. 1–10, 2021. [Online]. Available: https://www.spf.org/global-data/opri/perspectives/prsp_021_2021_zhu.pdf. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [24] G. F. Jenks, “The Data Model Concept in Statistical Mapping,” *International Yearbook of Cartography*, vol. 7, pp. 186–190, 1967.

付録

プログラムのソースリスト，その他関連資料などを，【必要があれば】載せる。必要ない場合は，このページごと削除すること。TeX の場合は main.tex 内の ¥appendix 以下の 2 行を削除（またはコメント化）すればよい。Word の場合は前のページの「改ページ」以降を削除すればよい。