

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–

The aim of this study is the quantitative visualization of fishing operations to promote the coexistence of offshore wind power and coastal fisheries. To achieve this aim, I proposed a methodology which can analyze operational realities by integrating GNSS tracking data, landing records, fishing logbook data, and fuel records. In the case of the tuna longline fishery in Matsumae, Hokkaido, this method showed primary fishing grounds do not directly overlap with the designated offshore wind power promotion area; however, navigation routes between ports and these grounds intersect the area. If travel distance per trip increases by one nautical mile due to offshore wind farm construction, the analysis calculated that it would lead to an annual increase in fuel consumption of approximately 31 liters per vessel. In addition, this study identified seasonal patterns with operational efficiency peaking in July and August and established baselines for catch efficiency and fuel efficiency. Also, a comparative validation showed that excluding logbook data resulted in extracting approximately 1.7 times more GNSS data points; the overall spatial distribution trends of fishing activity, though, remained almost the same.

Keywords: Offshore wind power, Coastal fisheries, Visualization, GIS, Matsumae town

概要：

本研究では、洋上風力発電と沿岸漁業の共存を目的として、操業実態の定量的な可視化に取り組んだ。そして、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、操業実態を解析する手法を提案した。北海道松前町のマグロ延縄漁業に提案手法を適用した結果、漁場と促進区域の重複は確認されなかった一方、港から漁場への航路が促進区域を横断していることが明らかになった。また、洋上風車建設により 1 回の操業における総移動距離が 1 nm 増えるごとに、1 隻あたり年間で約 31L の燃油消費量が増加すると試算された。また、7月、8月に効率がピークとなる季節性や、CPUE・燃油効率などのベースラインを提示することができた。さらに、操業日誌データがない場合と比較検証した。その結果、操業日誌データを用いない手法では約 1.7 倍多くの GNSS 航跡データ件数を抽出したものの、利用頻度分布図は類似の傾向を示した。

キーワード： 洋上風力発電, 沿岸漁業, 可視化, GIS, 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	研究目標	3
1.4	高度 ICT コースにおける本研究の位置付け	4
第 2 章	関連研究	5
2.1	洋上風力発電と漁業の関係性	5
2.2	既存の調査手法とその限界	6
2.3	本研究のアプローチと位置付け	6
第 3 章	提案手法	7
3.1	対象フィールドと漁業概要	7
3.2	使用データセット	7
3.3	GNSS 航跡データの特徴	10
3.4	構築したデータセットの概要	11
3.5	分析手法と評価指標	13
第 4 章	結果	16
4.1	利用頻度分布の可視化	16
4.2	洋上風車建設予定海域との空間的重複	20
4.3	操業効率の現状評価	21
第 5 章	考察	26
5.1	空間利用実態の解釈とデータ統合の意義	26
5.2	促進区域との関係と海域利用調整への示唆	27
5.3	操業効率指標からみたリスク評価	28
5.4	ベースラインとしての有効性	29
第 6 章	結論	31

6.1	本研究のまとめ	31
6.2	社会的・学術的貢献	32
6.3	今後の展望	32
参考文献		37

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[1]。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。

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車が稼働しており、2024年末時点で稼働中の洋上風力発電設備は7サイト、総発電容量は約0.25GWである[5]。また、2026年1月5日には長崎県五島市沖で8基の洋上風車が稼働を開始した。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計画されている。

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ヒアリングやアンケートの結果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

北海道松前沖は、日本国内においても風況に恵まれた海域である。2024年7月30日、国は再エネ海域利用法に基づき、同海域を「海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域」（以下、「促進区域」という）に指定した。これにより、発電事業者の公募・選定および建設に向けたプロセスが今後本格化することとなる。

しかしながら、大規模な洋上風車の建設が既存の漁業活動に与える影響については、未だ定性的な議論に留まることが多い。従来、漁業影響評価は漁業者の経験則やヒアリングに依存する傾向にあり、客観的なデータに基づく検証が十分になされてこなかった。実際、「北海道松前沖における協議会意見とりまとめ」[11]においても、発電事業による漁業への支障が生じたか否かを「客観的に認める」ことの重要性が指摘されており、科学的根拠に基づく判断材料の欠如は、事業者と漁業者の合意形成や補償交渉を難航させる大きな要因となり得る。

一方で、横山 [6] は、沖合洋上風力発電の導入に際して漁業関係者が懸念する事項に対応するには、どのような情報が最低限必要であり、その情報を得るためにどの調査手法をどう組み合わせるべきかを明確にすることが重要であると指摘している。また、資源量の変動要因として、洋上風力発電施設の影響と自然変動とを識別できるよう、長期的かつ継続的なデータ蓄積が不可欠であることも述べている [6]。しかし、全国的な調査スキームの議論が進む一方で、個別の漁業や地域スケールで操業実態を具体的に示した事例は限られており、こうした枠組みを現場レベルで支える実証的なデータの整備が求められている。

本研究の目的は、洋上風力発電の開発が予定されている北海道松前町を対象とし、同町の主要産業であるマグロ延縄漁業の操業実態を定量的に可視化することである。客観的なデータに基づき、洋上風車建設が漁業活動に与え得る影響を検証するためのベースラインを構築する。これにより、将来的な影響評価を科学的に行うための基盤を確立し、地域漁業と再生可能エネルギー事業の持続的な共存に寄与することを目指す。

1.3 研究目標

1.2 節の研究目的を達成するため、本研究では以下の具体的な達成目標を設定する。

まず、松前さくら漁業協同組合および地元漁業者の協力のもと、各種データ（GNSS 航跡データ、水揚げ記録、給油記録、および操業日誌データ）を統合した詳細な操業データベースを構築する。その上で、洋上風車建設前の現状として、以下の 2 点を定量的に明らかにすることを目標とする。

1. 操業海域の空間分布と促進区域との重複状況の解明

漁業者が利用する漁場および航路を可視化し、2024 年 7 月 30 日に指定された促進区域（図 1.1 参照）との地理的な位置関係や重複度合いを定量化する。特に、協議会資料において重要魚種として言及されているマグロの漁期（7 月～翌 1 月）における空間利用の実態を詳細に特定する。

2. 漁獲効率および燃油効率の季節変動特性の評価

季節ごとの海域利用の変化と、それに伴う漁獲効率（CPUE）や燃油効率の推移を算出する。これにより、将来的に洋上風車建設による迂回や漁場喪失が生じた際、それが漁業に与える影響を試算するための基礎数値を導出する。

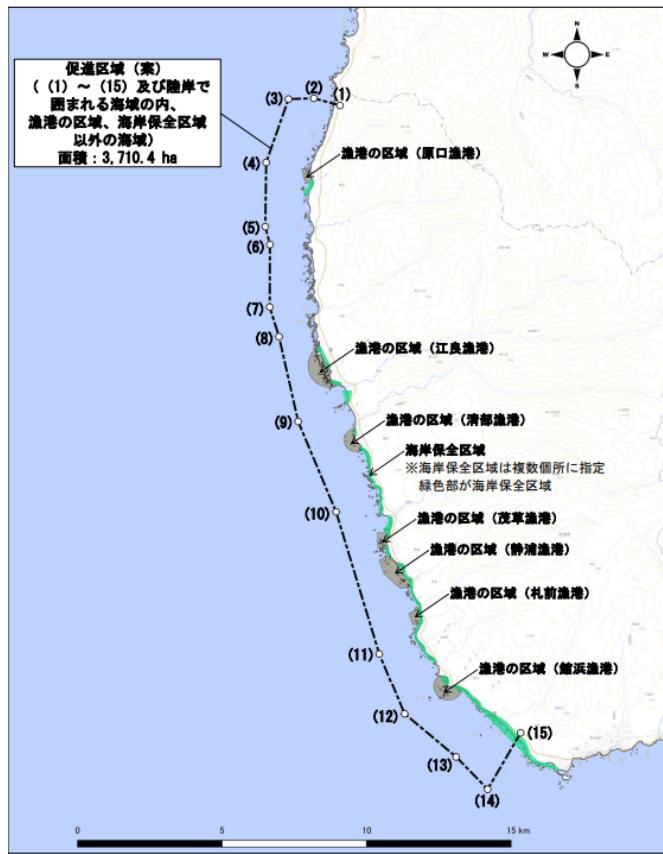


図 1.1: 2024 年 7 月 30 日に指定された北海道松前沖の促進区域 (図の出典: 経済産業省)

1.4 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、GNSS 航跡データ、水揚げ記録、操業日誌データ、給油記録を組み合わせ、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、水揚げ記録、操業日誌データ、給油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, 15]、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, 16]。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 [17]。

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 [18]。

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 [17]。

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 [19]。

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 [20]。

本研究は、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、水揚げ記録、操業日誌データ、給油記録を統合し、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（以下、「同漁協」という）に加入する漁業者によるマグロ延縄漁業である。同漁協は、2023年時点で正組合員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 4 日 ~ 2025 年 11 月 27 日
水揚げ記録	2023 年 7 月 4 日 ~ 2025 年 11 月 27 日
操業日誌データ	2024 年 7 月 9 日 ~ 2025 年 11 月 27 日
給油記録	2022 年 12 月 27 日 ~ 2025 年 11 月 26 日

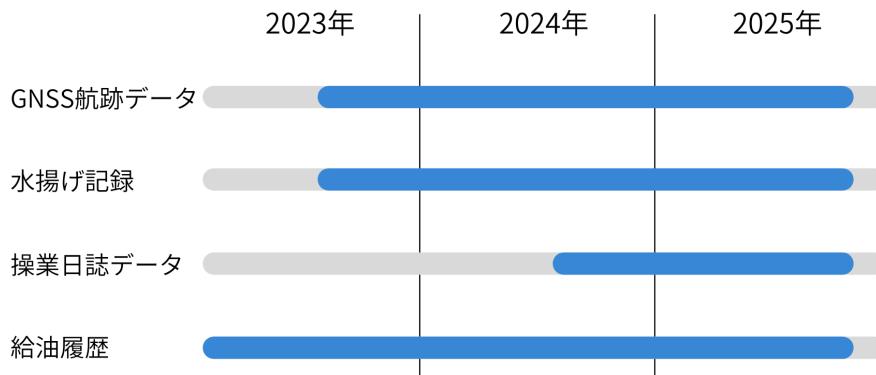


図 3.1: 使用データセットの収録期間

- 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

同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) [21] 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。同漁協のマグロ漁業者は、マグロ漁期であっても他の漁法で操業を行っている場合がある。また、3.2.2 項の水揚げ記録だけでは、マグロ延縄漁業を行っ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、同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。この信憑性を検証するため、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「漁船 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%)の外れ値が確認された。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憑性を有していると判断した。

3.2.4 給油記録

同漁協で管理している給油記録である。

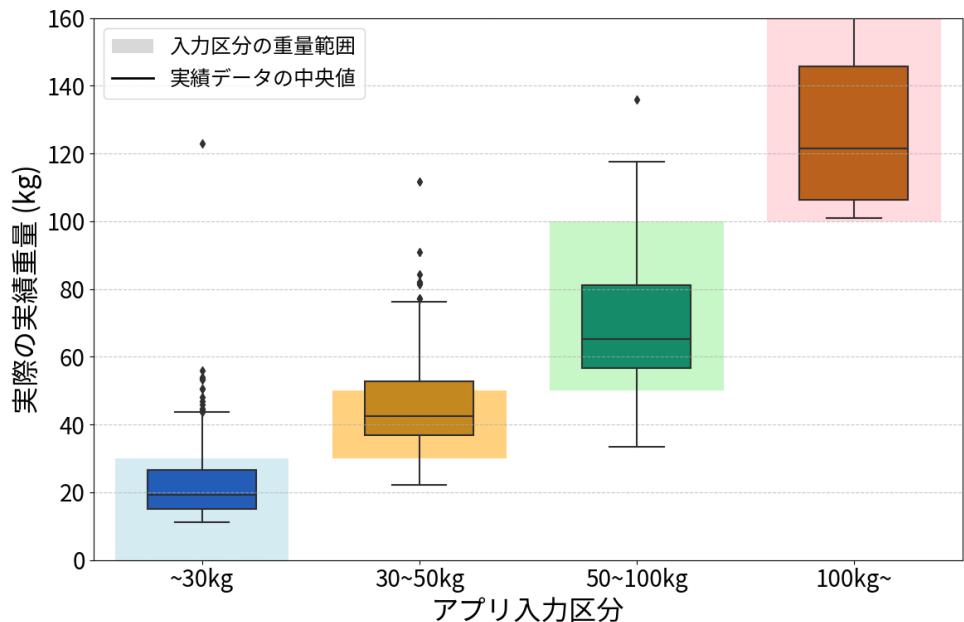


図 3.2: アプリ入力区分ごとの実績重量の分布

- **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。本研究では 29 隻の対象漁船のうち、同漁協を通じて給油を行っており、給油記録が存在する 27 隻のデータを使用した。

3.3 GNSS 航跡データの特徴

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、水揚げ記録または操業日誌データとの照合による GNSS 航跡データの抽出処理を行った。本研究対象海域において収集された GNSS 航跡データは、通信インフラとして採用した LPWA (Low Power Wide Area) ネットワークの通信圏域による地理的制約を受けた。具体的には、沿岸から離れた一部の沖合や岬の影となる海域において、データの欠損が確認された。本研究では、こうした通信環境に起因するデータの欠損を許容しているため、以降のデータセットには航跡が断続的となる区間が含まれる点に留意が必要である。

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、出漁した全操業日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

同漁協が管理する水揚げ記録を参照し、「対象漁船 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漁船の 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、他の漁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漁船だけでなく、同日に出漁したもののが漁獲に至らなかった漁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 構築し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し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、同日に他の漁船がマグロ以外の漁獲を行っていた場合も、マグロを漁獲していたとみなしてカウントされ、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: 構築したデータセットの基本統計量

データセット	漁期	期間	操業	参加	平均	データ
			日数	漁船数	隻数/日	件数
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たことを示している。

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憑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利用頻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 1 km (0.539 nm) 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

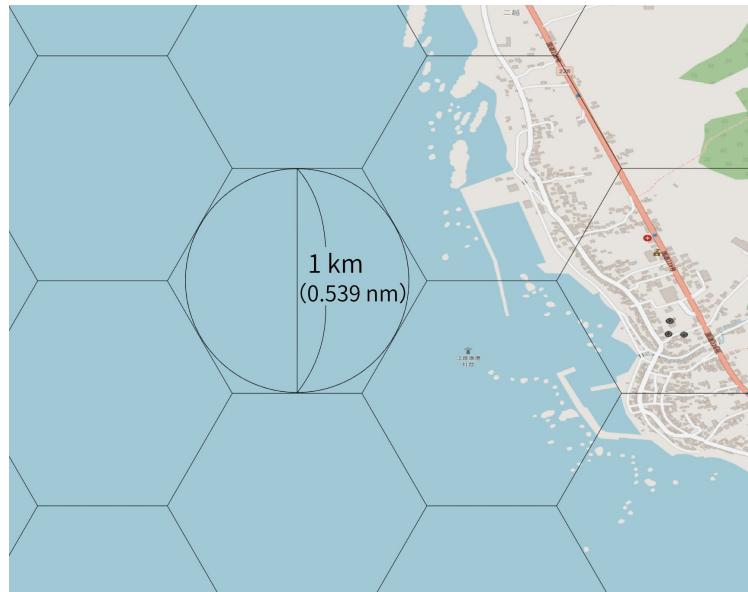


図 3.3: 内接円直径 1km (0.539 nm) の六角形グリッド

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頻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利用頻度の定義

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「利用頻度」と定義した。

3. 分位数 (Quantile) による階級区分

算出された利用頻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頻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 : Catch Per Unit Effort)」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。

両指標を併用する理由は 2 つある。第一に、洋上風車建設に伴う迂回行動や漁場の変化はまず「移動距離」の変化として現れるため、CPUE は空間的な影響を直接的に捉える感度の高い指標となる。第二に、漁業経営においては燃油コストが主要な支出を占めるため、 E_o を用いることで移動距離の変化が実際の経済効率に及ぼす影響を定量化できる。

以下に各指標の定義を示す。

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。緯度・経度情報から 2 点間の距離 D を求めるにあたっては、地球を球体と近似し、以下の Haversine の公式を用いた。

$$D = 2R \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (3.1)$$

ここで、 R は地球の半径 (6,371 km)、 ϕ_1, ϕ_2 は 2 点の緯度、 λ_1, λ_2 は 2 点の経度である。

2. 評価指標の定義

- **単位努力量あたりの漁獲量 (CPUE)**

1 回の操業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。

$$\text{CPUE} = \frac{W}{D} \quad (3.2)$$

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)**

燃油効率は、一定期間における漁獲総量 W_{total} を燃油使用量 F_{total} で除して算出した。

$$E_o = \frac{W_{\text{total}}}{F_{\text{total}}} \quad (3.3)$$

本研究では、GNSS 航跡データと給油記録を統合し、各航跡ポイントに燃油使用量を配分する手法を採用した。具体的には、給油間隔に基づく均等配分を行い、給油日 A から次回給油日 B までの期間に取得された GNSS ポイント数 N を計算し、給油量 Q_B を期間内の全ポイントに均等配分した（各ポイントの燃油使用量 = Q_B/N ）。

なお、給油記録が存在しない 2 隻 (matsumae01, matsumae03) については、給油記録がある 27 隻の平均燃油消費率 (0.106 L/ポイント) を適用した。この推定による追加燃油は総燃油使用量の 5.7% に相当した。

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、洋上風車建設前の操業効率（CPUE・燃油効率）の分析結果を示す。

4.1 利用頻度分布の可視化

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における出港から入港までの航跡を反映させた利用頻度分布を、それぞれ図4.1aおよび図4.1bに示す。

結果として、両年に共通して利用される海域と、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頻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4.1a）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4.1b）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、低い利用頻度の航跡が広く拡散している様子が捉えられている。

Visualizing an Utilization of Sea Area

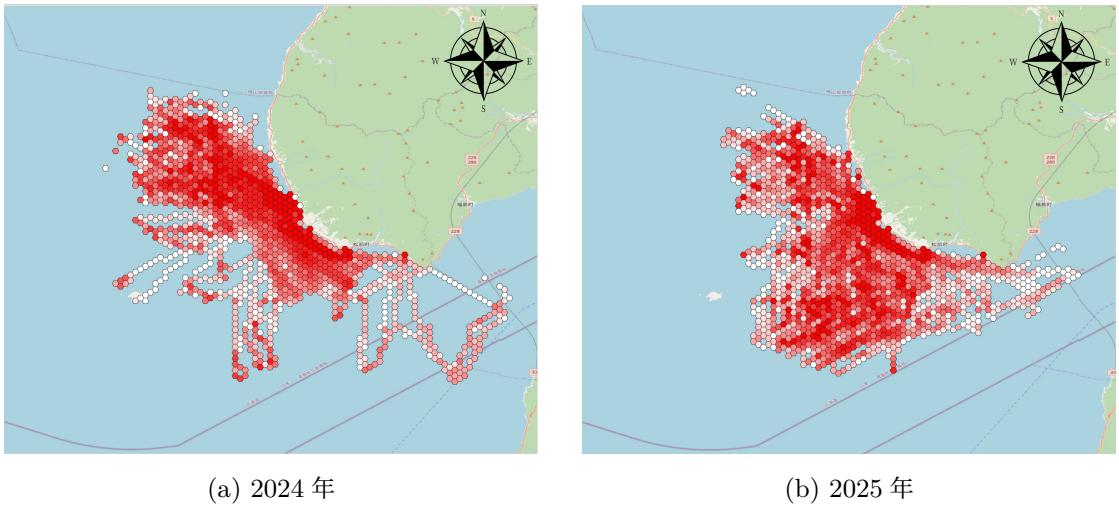


図 4.1: 操業日誌データに基づく利用頻度分布

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利用頻度分布を年順に、図 4.2 に示す。

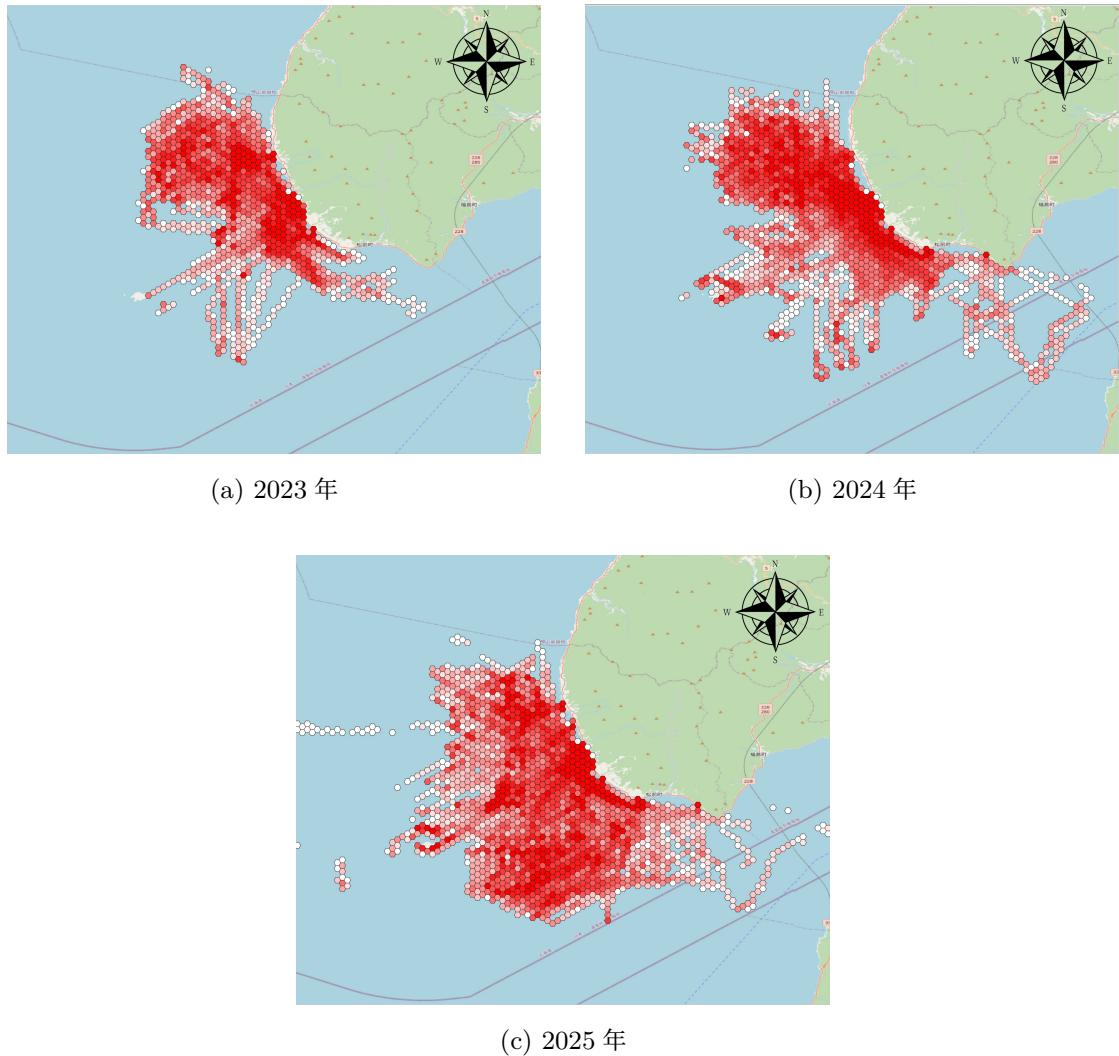


図 4.2: 水揚げ記録に基づく利用頻度分布の経年変化

図 4.2 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 4.2a）は、高頻度な海域が北西側に集中しており、利用頻度分布は 3 カ年の中で最も集中している。2024 年（図 4.2b）では、依然として北西側が利用の中心となりつつも、南西側での利用が増えていることが確認できる。2025 年（図 4.2c）では、高頻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利用頻度分布図（図 4.1b）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（2024年または2025年）における「操業日誌ベース」と「水揚げ記録ベース」の結果を比較したものを、それぞれ図4.3、図4.4に示す。両年ともに、水揚げ記録ベースの利用頻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。

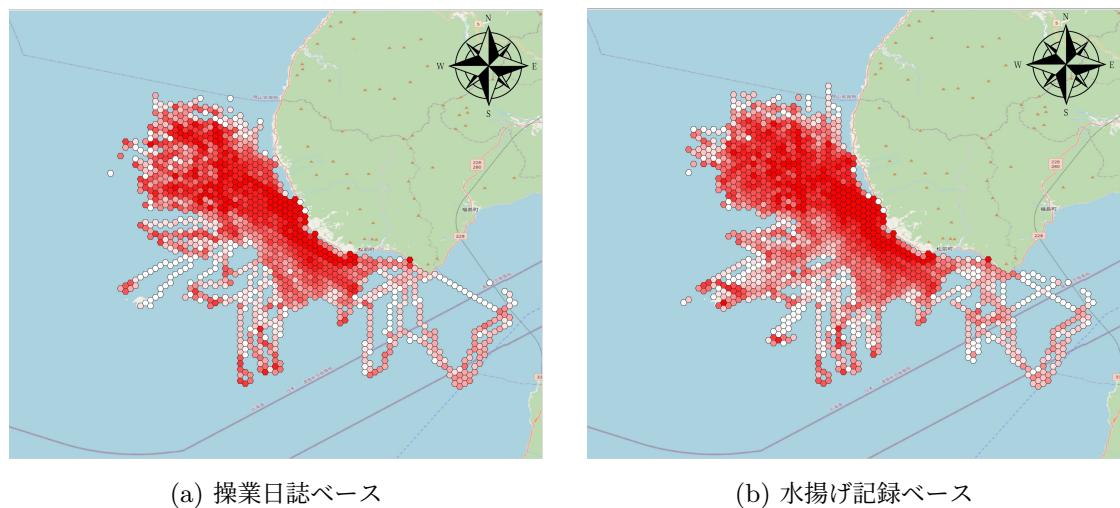


図4.3: 抽出手法による分布の比較（2024年）

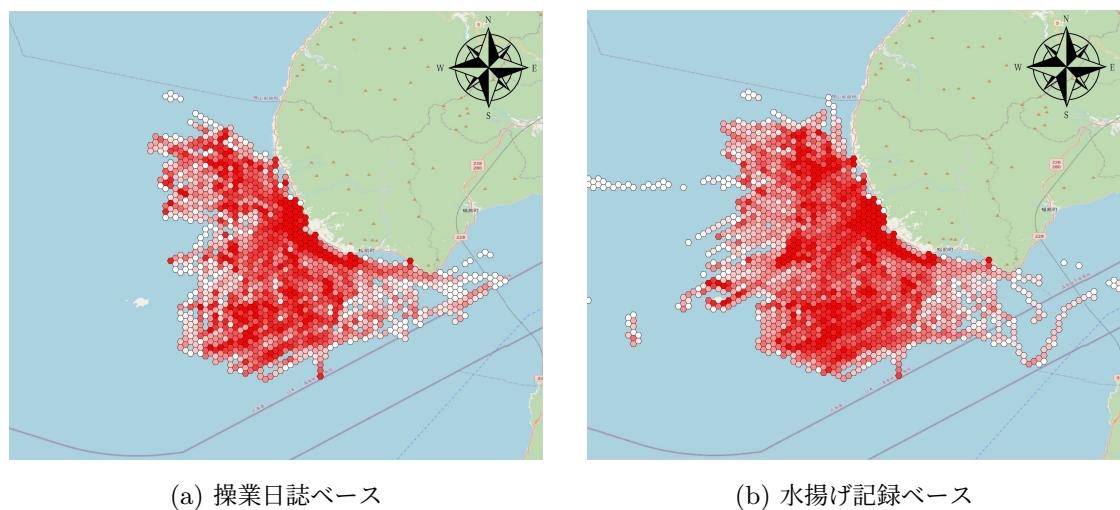


図4.4: 抽出手法による分布の比較（2025年）

以上の比較から、どちらの手法でも利用頻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 4.5 に示す。ここでは、最も網羅性の高い「操業日誌ベース（2024 年）」の利用頻度分布を背景に用い、その上に促進区域の輪郭線を黄色のラインで重ねて表示した。また、同漁協から提供された投繩開始地点も緑色の点でプロットしている。南北方向に配列された地点群からは西側へ、東西方向に配列された地点群からは南側へと投繩が行われている。

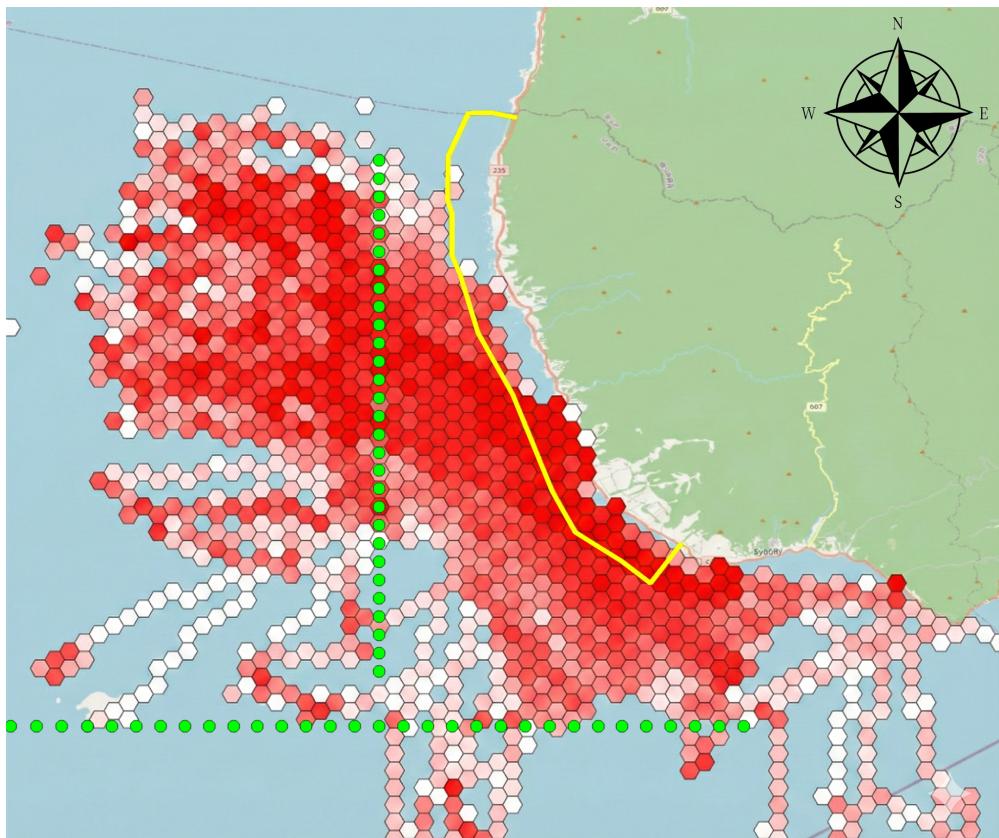


図 4.5: 利用頻度と促進区域の空間的重複

図 4.5 を見ると、促進区域内側の南側には利用頻度が高いグリッドが複数存在しているが、緑色の点で示した投繩開始地点は促進区域から少なくとも 2 nm 離れており、直接的な重複は確認されなかった。

4.3 操業効率の現状評価

本節では、4.1 節で示された漁場の広範囲化、南西へのシフトの傾向が、コストに及ぼす影響を定量的に評価する。評価指標として、単位努力量あたりの漁獲量を示す CPUE および投入コストに対する生産性を示す燃油効率 (E_o) を用いて、2024 年と 2025 年を比較した。

4.3.1 CPUE の推移

まず、漁獲量 (kg) を総移動距離 (nm) で除した CPUE の推移を評価する。1 回の操業あたりの総移動距離を努力量とし、漁獲量との関係を図 4.6 に、漁期ごとの総漁獲量・総移動距離および CPUE の比較を表 4.1 に示す。

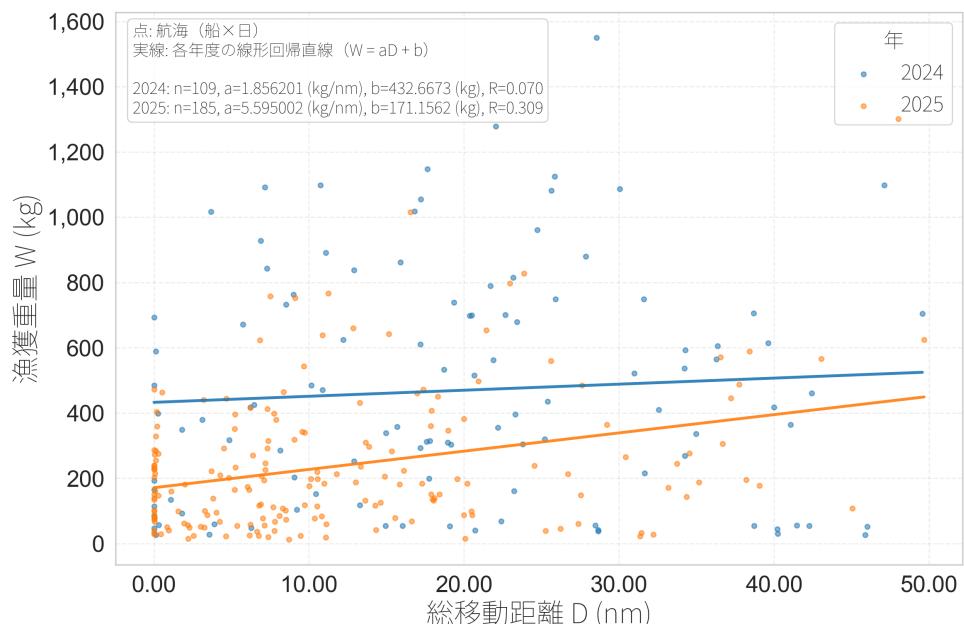


図 4.6: 1 回の操業あたりの総移動距離と漁獲量の関係（2024 年 vs 2025 年）

表 4.1: 漁期ごとの CPUE の比較

漁期	総漁獲量 (kg)	総移動距離 (nm)	CPUE (kg/nm)
2024 年	55,763	2,945.7	18.93
2025 年	59,104	3,079.6	19.19

分析の結果、主要操業期間（7月～11月）の総移動距離と総漁獲量に基づくと、2024年の年間平均 CPUE は 18.93 kg/nm であったのに対し、2025 年は 19.19 kg/nm となり、結果として、CPUE は 2024 年と 2025 年で大きな違いは見られなかった。

努力量と漁獲量の相関分析

図 4.6 に示した散布図に基づき、移動距離が漁獲量にどの程度貢献したかを評価するため、両者の相関係数を算出した（表 4.2）。移動距離と漁獲量の関係性を評価するため、ピアソンの積率相関係数 (R) を算出し、無相関検定（両側 t 検定）を用いて統計的有意性を評価した。有意水準は 5% ($p < 0.05$) とした。

表 4.2: 移動距離と漁獲量の相関係数

漁期	総移動距離と漁獲量の相関係数 (R)	P 値
2024 年	0.070	0.470
2025 年	0.309	< 0.001

表 4.2 に示すように、2024 年は相関係数が $R = 0.070$ ($p = 0.470$) であり、統計的に有意な相関は認められなかった。2025 年は $R = 0.309$ ($p < 0.001$) であり、弱い正の相関が確認された。

4.3.2 燃油効率の推移

投入された燃油に対する生産性を示す燃油効率 (E_o) の算出結果を表 4.3 に示す。ここで、燃油使用量は GNSS 航跡データと給油記録を統合し、給油間隔に基づく均等配分方式により各航跡ポイントに燃油使用量を配分して推定した値である。

表 4.3: 漁期ごとの燃油効率（漁獲重量 / 推定燃油使用量）

漁期	総漁獲量 (kg)	推定燃油使用量 (L)	総量ベース E_o (kg/L)	月別平均 \bar{E}_o (kg/L)
2023 年	46,815	13,248	3.53	9.83
2024 年	55,763	18,163	3.07	2.10
2025 年	59,104	14,815	3.99	6.44
全期間	161,681	46,226	3.50	6.36

※燃油使用量は、GNSS 航跡データの各ポイントに給油間隔に基づき燃油使用量を配分して推定した値。※給油記録が存在しない 2 隻については、全船平均の燃油消費率 (0.106 L/ポイント) を適用。

表 4.3 より、燃油効率は年度間で変動が見られる。2023 年は 9.83 kg/L、2024 年は 2.10 kg/L、2025 年は 6.44 kg/L となった。ただし、2023 年については、VMS の導入が 2023 年

6月中旬以降段階的に行われたため、漁期前半のデータが一部欠損しており、燃油使用量が過小評価されている可能性がある点に留意が必要である。具体的には、8月時点で稼働していたのは8隻のみであり、残りの21隻は9月以降に順次稼働を開始したため、2023年7~8月の燃油効率は実態よりも高く算出されている可能性がある。

4.3.3 月別燃油効率の変動特性分析

年間を通じての効率の変動を把握するため、月別の燃油効率の推移を比較した（図4.7）。棒グラフは月別漁獲量（kg）を、折れ線グラフは燃油効率（kg/L）を示す。点線は期間平均燃油効率を表す。

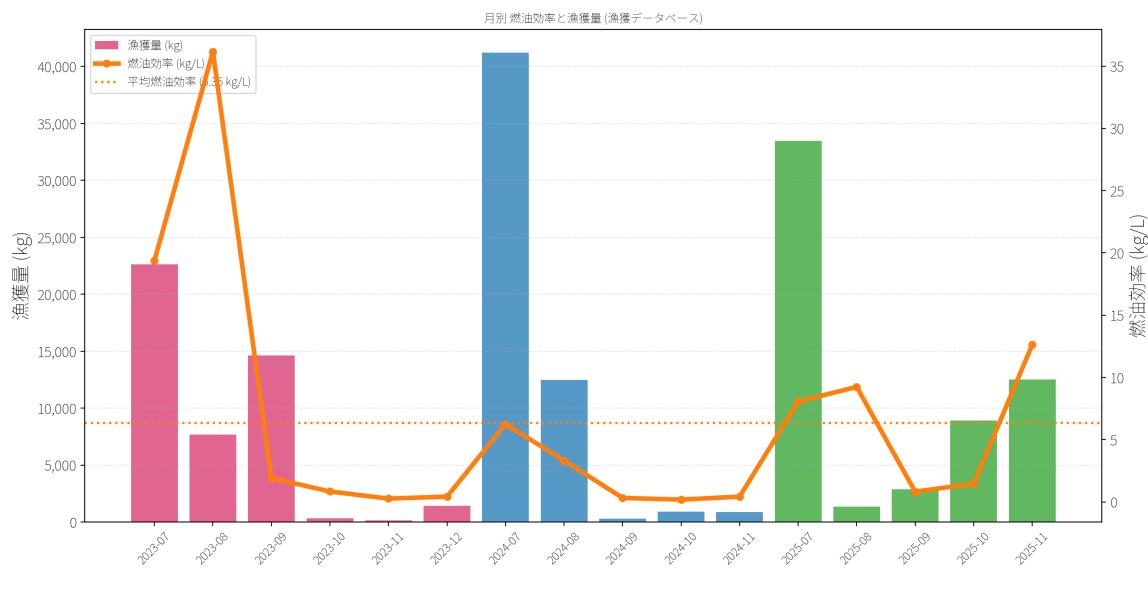


図4.7: 月別燃油効率と漁獲量の推移（2023年～2025年）

図4.7を参照すると、2023年7~8月は燃油効率が極端に高い値を示しているが、これはVMSの導入が2023年6月中旬以降に段階的に行われたためである。そのため、2023年7~8月は漁獲量に対応する燃油使用量が十分に捕捉できておらず、燃油効率が過大評価されている。

そこで、VMSが概ね全船に導入された2023年9月以降のデータのみを抽出し、再度可視化を行った（図4.8）。

Visualizing an Utilization of Sea Area

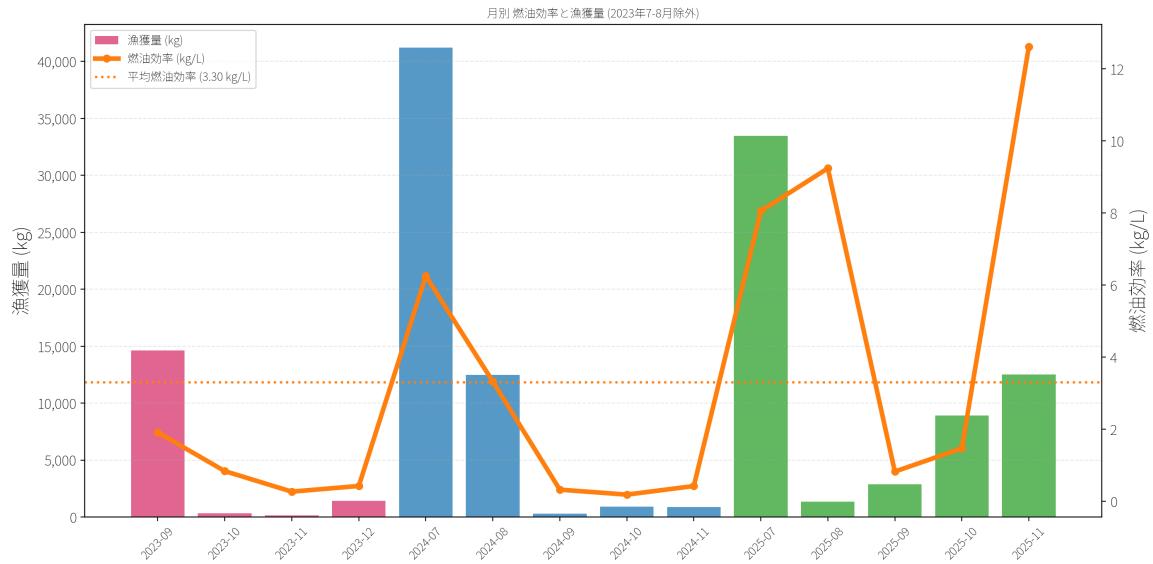


図 4.8: 月別燃油効率と漁獲量の推移（2023 年 9 月～2025 年 11 月）

図 4.8 を参照すると、VMS 導入初期を除外することで、より信頼性の高い燃油効率の季節変動が確認できた。2024 年は 7 月に 6.25 kg/L、8 月に 3.32 kg/L と平均値の 3.30 kg/L 以上の効率を示したのち、9 月以降は 0.50 kg/L 以下に低下した。2025 年は 7 月に 8.06 kg/L、8 月に 9.24 kg/L を記録したのち、9 月、10 月に平均以下まで低下したものの、11 月は 12.62 kg/L と高い値を示したことが特徴的である。

4.3.4 月別 CPUE の変動特性分析

年間を通じての効率の変動を把握するため、月別の CPUE の推移を比較した（図 4.9）。

Visualizing an Utilization of Sea Area

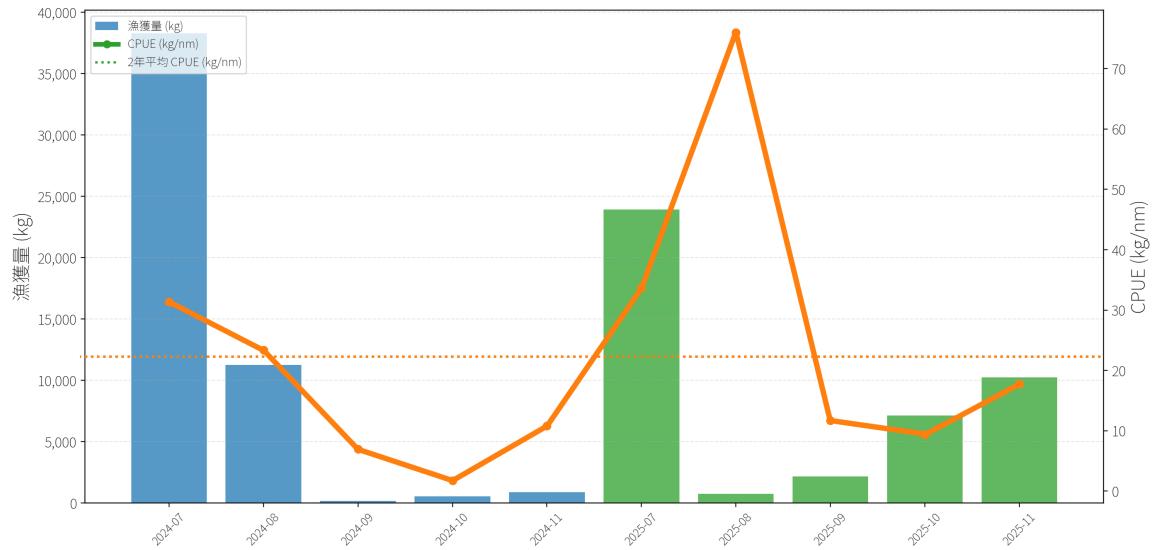


図 4.9: 月別 CPUE と漁獲量の推移 (2024 年～2025 年)

図 4.9 を参照すると、2024 年は 7 月が 31.33 kg/nm で CPUE のピークとなり、1.75 kg/nm を記録した 10 月まで減少した後、11 月にかけて 0.80 kg/nm まで回復が見られた。2025 年は 8 月が漁獲量が少ないものの、昨年の 3 倍以上である 76.01 kg/nm の CPUE であった。各年ともに 7 月、8 月が平均の 22.27 kg/nm 以上の CPUE を記録しており、漁期初期に CPUE が高い傾向が確認された。

第5章

考察

本章では、第4章で得られた可視化結果と操業効率分析に基づき、(1) 松前沖のマグロ延縄漁業における空間利用の特徴、(2) 促進区域を含む海域利用調整に向けた示唆、(3) 影響評価のためのベースラインとしての有効性について考察する。特に、洋上風車建設に伴う移動の増加が漁業者に与える潜在的なインパクトを定量的に評価し、具体的な共存策を提案する。

5.1 空間利用実態の解釈とデータ統合の意義

5.1.1 操業日誌ベースの可視化が捉える「操業範囲」

操業日誌データに基づく利用頻度分布（図4.1）は、漁獲の有無に依存せず、出港から帰港までの全航跡を網羅している。そのため、漁場だけでなく、魚群探索を含む実運用上の操業範囲を直接的に示しているといえる。本研究の結果、2024年、2025年ともに松前町沿岸から北西方向に高頻度の利用域が形成されており、当該海域が中核的な漁場として恒常に利用されていることが示唆された。一方で、2025年には2024年と比較し低い利用頻度が広域（特に南西側）に拡散する傾向が見られた。これは、4.3節で確認された「弱い正の相関（移動するほど漁獲が増える）」とも整合しており、2025年はマグロの回遊ルートが、例年よりも沿岸から離れた海域にシフトしていた可能性が考えられる。この場合、近場での操業に見切りをつけ、沖合で操業をした漁船のみが漁獲を確保できたことで、距離と漁獲の相関が確認されたと解釈できる。

5.1.2 水揚げ記録ベースとの比較が示す評価上の注意点

水揚げ記録ベースの分布（図4.2）は、漁獲実績のある日の操業のみを抽出しているため、対象魚種であるクロマグロの来遊している海域を把握するには適している。一方で、水揚げ記録ベースの分布では「探索したが漁獲に至らなかった海域」の情報が欠落するリスクがある。本研究の比較結果（図4.3、図4.4）では操業日誌ベースと水揚げ記録ベースの両手法の

分布形状に大きな差異は見られなかったものの、この点は評価上の注意点として考慮すべきである。洋上風力発電の影響評価においては、漁獲が高い場所だけでなく、そこに至るまでの「探索・移動プロセス」も保護されるべき対象である。したがって、合意形成の場においては、水揚げ記録だけでなく、本研究で提案した操業日誌ベースの可視化結果を併用することが望ましい。

5.2 促進区域との関係と海域利用調整への示唆

5.2.1 促進区域と漁船航行経路の空間的関係

促進区域との空間的重複の評価（図 4.5）において、緑の点で示した投繩開始地点は促進区域から少なくとも 2 nm 離れており、直接的な漁場重複は確認されなかった。しかし、海域利用調整において重要なのは実際に漁獲をしている海域だけではない。操業日誌ベースの利用頻度分布は、主要漁場（北西沖）へ向かうための「漁場への航路」も可視化している。促進区域は沿岸に沿って帯状に指定されており、港から漁場へ向かう漁船にとって、この区域が操業の障壁となる可能性がある。もし洋上風車そのものや工事を行う船舶によって航路が制限されれば、漁船は区域を迂回する必要が生じる。これは、単なる移動時間の増加だけでなく、次節で述べる燃油使用量の増加といったリスクにも影響を与える。

5.2.2 共存策に向けた運用的な提案

本研究の分析結果は、促進区域の評価において、単に漁場の位置的な重複を避けるだけでなく、港から漁場への航路を確保することの重要性を示唆している。これらを踏まえ、漁業と発電事業が共存するための具体的な運用案として、以下の 3 点を提案する。

1. **漁場への航路の確保:** 促進区域の配置が、複数ある港から漁場へ向かう最短ルートを遮断しないよう配慮すること。具体的には、区域内またはその周辺において、漁船が安全かつ効率的に航行可能なルートを明確に設定する必要がある。
2. **検証された既存システムによる情報共有:** 本研究のデータ検証（3.2.3 項等）により、操業日誌アプリ「マグログ」の利用が定着し、地域漁業における情報インフラとして機能していることが確認された。今後は、本システムを単なる記録ツールとしてだけでなく、洋上風力発電事業との共存プラットフォームへと拡張することも検討すべきである。具体的には、工事を行う船舶の位置情報や海域規制情報をリアルタイムに共有する機能の実装が、今後の沿岸漁業と洋上風力発電の共存に向けた重要な検討課題となる。
3. **操業効率を考慮した工程の調整:** 4.3 節で明らかになった通り、CPUE および燃油効率が高い時期（7 月～8 月）は漁業者にとって極めて重要な期間である。この時期にお

ける洋上風車の建設工事や、工事を行う船舶の往来を抑制するなど、漁期の繁閑や効率の変動に応じた柔軟な工程調整が求められる。

5.3 操業効率指標からみたリスク評価

5.3.1 移動負担の増加に伴う操業効率への影響試算

4.3 節の分析では、2024 年の燃油効率（月別平均 \bar{E}_o ）が 2.10 kg/L と、2025 年の 6.44 kg/L と比較して低かったことが示された。これは、2024 年は推定燃油使用量が 18,163 L と最も多かった一方、漁獲量は 55,763 kg であり、単位漁獲量を得るためにより多くの燃油を投入せざるを得なかったことを意味する。

洋上風力発電の導入に伴い、実際にどの程度の「迂回」が発生するかについて、日本海洋センターの指針においては、発電設備や工事を行う船舶の周囲に半径 0.270 nm (500m) の安全水域 (Safety Zone) を設定することが推奨されている [27]。これは、進路上に 1 つの障害物 (工事区画等) が存在する場合、その回避には直径換算で少なくとも 0.540 nm (約 1km) 規模の空間的調整が必要となることを示唆している。

また、Gray ら (2016) は、こうした施設による海域占有が漁船の航行可能域を狭める「空間的圧迫 (Spatial Squeeze)」を引き起こし、移動時間の延長と燃油使用量の増大を招くと指摘している [28]。米国では約 10 nm の迂回が生じた事例も報告されているが [29]、本研究では前述の国内指針に基づき、安全水域の直径 (0.540 nm) を基準とした現実的な迂回シナリオを設定した (表 5.2)。

評価に際しては、2025 年の操業実績データ (表 5.1) をベースラインとし、以下の算出モデルを用いた。

表 5.1: 試算に用いた 2025 年の操業基礎パラメータ

項目	値	備考
年間推定燃油使用量 (F_{total})	14,815 L	GNSS 航跡データより推定
年間総移動距離 (D_{total})	3,079.6 nm	GNSS 航跡より算出
年間総航海回数 (N)	185 回	操業日誌データより
平均燃費係数 (F_{rate})	4.81 L/nm	F_{total}/D_{total}

算出方法

1 航海あたりの迂回距離を Δd (nm) とした時、年間で増加する燃油使用量 ΔQ (L) は次式で定義される。

$$\Delta Q = \Delta d \times N \times F_{rate} \quad (5.1)$$

ここで、迂回距離 Δd については、日本海洋センターの指針に基づく安全領域（半径 0.270 nm）[27] を基準として、片道および往復での回避を想定した現実的なシナリオを設定した。

表 5.2: 指針に基づく安全水域回避を想定した燃油消費への影響試算

シナリオ	想定される回避行動	追加距離/航海	追加燃油使用量/年
微小な迂回	進路の微修正	約 +0.162 nm	約 +144 L
局所的な迂回	安全水域 1 つ分の回避	約 +0.540 nm	約 +480 L
標準的な迂回	複数領域または広域回避	約 +0.810 nm	約 +720 L

※「局所的な迂回」の +0.540 nm は、指針 [27] で示される安全領域（半径 0.270 nm）の直径に相当する物理的な最小回避距離として設定した。※追加燃油使用量は、2025 年の推定燃油使用量 (14,815L) および平均燃費係数 (4.81 L/nm) を基準に算出。

表 5.2 に示す通り、指針に準拠して安全水域を 1 つ回避するだけの局所的な迂回 (+0.540 nm) であっても、年間で約 480L の燃油が追加消費される計算となる。これは「漁獲量が変わらない」前提の数値であるが、実際には回避行動による時間のロスが実操業時間の減少を招く可能性もある。したがって、海域利用調整においては、単に通行が可能であるかだけでなく、こうした安全水域回避に伴うエネルギー損失を最小化する航路設定が不可欠である。

5.3.2 季節性を踏まえた「海域利用調整表」の提案

月別推移（図 4.7、図 4.8）より、CPUE および燃油効率は 7 月～8 月にピークを迎え、9 月以降に低下する傾向が確認された。効率が高い時期は、短い移動・少ない燃油で多くの漁獲が得られる「稼ぎ時」であり、この時期の操業阻害は経済的損失が大きい。そこで、本研究のデータに基づき、工事やメンテナンス作業が漁業に与える影響を最小化するための「海域利用調整表」を表 5.3 に提案する。

表 5.3: 操業データに基づく海域利用調整表

月	漁業実態（データ特性）	漁業への影響リスク可能性
7月	最盛期。 CPUE および燃油効率が最高値を示す。	極めて大
8月	高水準維持。 高い操業効率が維持される。	大
9月	過渡期。 年変動があるが、7、8月よりも漁獲量は低下傾向。	中
10月	漁期後半。 一定の操業は継続しているが漁獲量は年変動あり。	中
11月	漁期後半。 漁獲努力量（出漁回数）が減少する。	小
12月～	漁期終盤。 対象漁業の操業が最も少ない。	極小

このように、定量的な操業効率データに基づいて「施工の影響が相対的に小さい時期」と「操業効率が高く影響を最小化すべき時期」を明確化することで、事業者と漁業者の双方が納得感のある海域利用調整の枠組みを構築できると考えられる。

5.4 ベースラインとしての有効性

5.4.1 ベースラインの意義

本研究は、洋上風車建設前の操業実態を、位置情報と操業記録の統合により定量化した点に最大の価値がある。これまでには「漁業者の勘」として定性的に語られていた事象（例：夏は近くで釣れる、今年は遠くまで行った等）が、数値データとして裏付けられた。将来的に建設後の同種データを取得できれば、本研究で構築した 2024-2025 年のデータをベースライン（比較基準）として、空間利用の変化や効率の悪化を統計的に検証することが可能となる。これは、科学的根拠に基づく順応的な管理（Adaptive Management）を実現するための基礎となる。

第6章

結論

6.1 本研究のまとめ

本研究では、北海道松前沖における洋上風力発電と沿岸漁業の共存に向け、異種データ（GNSS航跡、水揚げ記録、操業日誌アプリ、給油記録）を統合することで、マグロ延縄漁業の操業実態を「空間」と「効率」の両面から定量的に可視化した。従来、漁業影響評価は漁場の消失に焦点が当たられがちであったが、本研究のデータ分析は、移動経路と燃油効率・CPUEという新たな評価軸を用いて評価を行った。本研究で得られた主要な知見は以下の2点に集約される。

1. **漁場保全と航路確保の両立課題:** 3カ年の空間利用分析の結果、マグロ延縄漁業の主要漁場は促進区域外の北西沖に形成されており、発電設備設置予定海域との直接的な重複は確認されなかった。しかし、港から漁場へ至る航路は促進区域を横断しており、洋上風車建設が漁場への物理的な障壁となるリスクが定量的に示された。すなわち、漁場そのものは保全可能であっても、移動経路の確保がなされなければ、実質的な操業機会が損なわれる構造にある。
2. **漁業者からの操業データ提供に基づく共存ベースラインの確立:** 本研究の最大の特長は、地元漁業者から直接提供された高精細な操業データを用いた点にある。漁業者へのアンケートや水揚げ記録だけでは見えない「漁獲に至らなかった操業」を含めた解析を行ったことで、漁業実態を正確に反映した評価が可能となった。この現場の実態に基づくベースラインの構築が、事業者と漁業者がデータに基づいて議論し、共存を実現するための基盤となるものになる。

6.2 社会的・学術的貢献

本研究の社会的意義は、洋上風力発電と沿岸漁業の共存に向けた議論において、客観的な数値データに基づく判断材料を提示した点にある。これまで感覚的に示されることの多かった操業への影響や負担を、移動距離・航路や燃油効率という具体的な指標で可視化したことは、事業者と漁業者が具体的な調整（航路や時期の検討、漁業補償額の提案）を行う上で有用な情報となる。

また、学術的には、性質の異なる複数のデータを組み合わせることで、単一のデータだけでは捉えきれない詳細な操業実態を明らかにした点に意義がある。本研究で用いた、漁業者の記録とVMSからのデータを突き合わせるアプローチは、複雑な利用実態を持つ沿岸域において、実効性のある海域利用調整を行うための有効な手法の一つであると考えられる。

6.3 今後の展望

最後に、本研究の成果を発展させ、共存を実現するために取り組むべき今後の課題を述べる。

6.3.1 多魚種・通年データの統合による全体像の解明

本研究では主要漁業であるマグロ延縄漁業に焦点を当てたが、当該海域ではスルメイカ漁や刺し網漁など、季節や操業形態の異なる多様な漁業が営まれている。海域利用調整の実効性を高めるためには、これら他魚種のデータも同様の手法で可視化し、海域利用の季節的・空間的な全体像を明らかにすることが不可欠である。

6.3.2 繼続的なモニタリングとBA (Before-After) 調査

本研究で構築した「空間」と「効率」の定量的評価は、あくまで洋上風車建設前(Before)のベースラインである。洋上風力発電が漁業に与える真の影響を検証するためには、今後、工事期間中および運転開始後(After)においても継続的にデータを取得し、本研究の結果と比較を行う「BA (Before-After) 調査」を実施する必要がある。この時系列的な比較検証を通じて初めて、予測された「迂回による燃油効率の悪化」や「漁場アクセスの阻害」が実際にどの程度発生したかを事後評価し、必要に応じた順応的な対策を講じることが可能となる。

6.3.3 解析手法のオープンソース化と透明性の確保

本研究で開発した一連の解析プログラム（異種データの統合、操業効率算出等のアルゴリズム）については、オープンソースソフトウェア(OSS)として公開し、誰でも利用可能な

状態にすることを計画している。その公開に向けた整理として、本手法の全体像を図 6.1 に示す。

本図は、4 種類の入力データ（GNSS 航跡データ、水揚げ記録、操業日誌データ、給油記録）が Python による統合処理を経て、空間分析と操業効率評価の 2 軸に展開される過程をまとめたものである。各データは漁船 ID と日付をキーとして照合され、移動距離の算出には Haversine の公式を適用している。具体的な解析プロセスとして、空間分析では QGIS を用いて内接円の直径が 1km (0.539 nm) の六角形グリッドによる集計を行い、利用頻度分布の可視化および促進区域との重複評価を実施する。一方、操業効率評価では、CPUE および E_o （燃油効率）を算出し、操業実態を定量化している。

このように解析手法をブラックボックス化せず、再現可能な形で共有することは、本研究の透明性を担保するだけでなく、同様の課題を抱える他海域の研究者が本手法を容易に適用することを可能にする。これにより、洋上風力発電と漁業の共存に向けた知見の蓄積に貢献したい。

Visualizing an Utilization of Sea Area

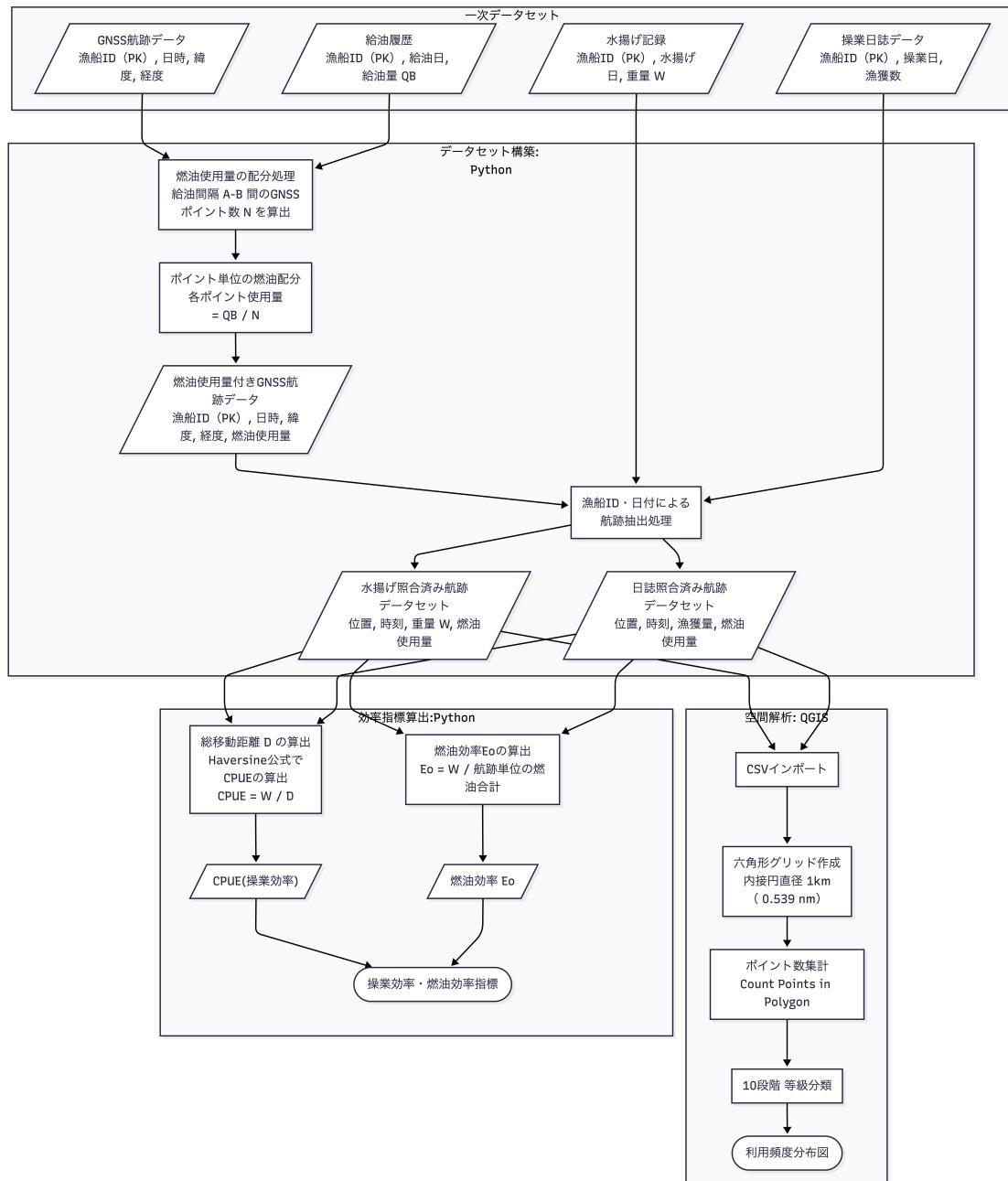


図 6.1: 本研究におけるデータ処理フローと解析手法の全体像

謝辞

本研究の実施にあたり、和田雅昭教授、松前さくら漁業協同組合マグロ延縄部会及び関係者の皆様、ゼミ生の小笠原海都さんに大変お世話になりました。ありがとうございました。

発表・採録実績

発表等

- [1] 令和 7 年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会 2025 Joint Convention, the Hokkaido Chapters of the Institutes of Electrical and Information Engineers, Japan,
「沿岸漁業と洋上風力の共存に向けた海域利用の可視化」,
若手優秀論文発表賞, 発表者 : 祐川雅治, 和田 雅昭, 2025 年 11 月 3 日.

参考文献

- [1] 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].
- [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] 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].
- [6] 横山 純, 「洋上風力発電設備の整備に伴う漁業影響の解明に向けた業務に携わって」, 『漁港漁場漁村研報』, 第 58 号, pp. 13–17, 2025 年.
- [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, 濁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, pp. 65–81, 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] 北海道松前沖における協議会, “北海道松前沖における協議会意見とりまとめ,” 2024年7月. [Online]. Available: <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001757978.pdf>. [Accessed: Dec. 15, 2025].
- [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] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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].
- [19] L. M. Allen-Jacobson, A. W. Jones, A. J. Mercer, S. X. Cadrian, 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].
- [20] 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].
- [21] 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>. [Accessed: 27-Nov-2025].
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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/yoho_furyoku/pdf/018_03_00.pdf. [Accessed: Nov. 27, 2025].
- [25] 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].
- [26] G. F. Jenks, “The Data Model Concept in Statistical Mapping,” *International Yearbook of Cartography*, vol. 7, pp. 186–190, 1967.
- [27] 日本海洋センター, “洋上風力発電設備周辺の海域における航行安全対策に関する指針（案）,” 2023 年. [Online]. Available: <https://www.jpmac.or.jp/file/1679964073593.pdf>. [Accessed: Dec. 19, 2025].
- [28] M. Gray, P.-L. Stromberg, and D. Rodmell, “Changes to fishing practices around the UK as a result of the development of offshore wind farms,” The Crown Estate, London, Tech. Rep., 2016.
- [29] K. Samoteskul, J. Firestone, J. J. Corbett, and J. Callahan, “Changing vessel routes could significantly reduce the cost of future offshore wind projects,” *Journal of Environmental Management*, vol. 141, pp. 146–154, 2014.

図目次

1.1	2024年7月30日に指定された北海道松前沖の促進区域(図の出典: 経済産業省)	4
3.1	使用データセットの収録期間	8
3.2	アプリ入力区分ごとの実績重量の分布	10
3.3	内接円直径1km (0.539 nm) の六角形グリッド	13
4.1	操業日誌データに基づく利用頻度分布	17
4.2	水揚げ記録に基づく利用頻度分布の経年変化	18
4.3	抽出手法による分布の比較(2024年)	19
4.4	抽出手法による分布の比較(2025年)	19
4.5	利用頻度と促進区域の空間的重複	20
4.6	1回の操業あたりの総移動距離と漁獲量の関係(2024年vs2025年)	21
4.7	月別燃油効率と漁獲量の推移(2023年~2025年)	23
4.8	月別燃油効率と漁獲量の推移(2023年9月~2025年11月)	24
4.9	月別CPUEと漁獲量の推移(2024年~2025年)	25
6.1	本研究におけるデータ処理フローと解析手法の全体像	34

表目次

3.1	使用データセットの名称と収録期間	8
3.2	構築したデータセットの基本統計量	12
4.1	漁期ごとの CPUE の比較	21
4.2	移動距離と漁獲量の相関係数	22
4.3	漁期ごとの燃油効率（漁獲重量 / 推定燃油使用量）	22
5.1	試算に用いた 2025 年の操業基礎パラメータ	28
5.2	指針に基づく安全水域回避を想定した燃油消費への影響試算	29
5.3	操業データに基づく時期別・漁業影響リスク評価	30