

# 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, consectetuer 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, consectetuer 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

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	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
<b>第2章</b>	<b>関連研究</b>	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
<b>第3章</b>	<b>提案手法</b>	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	分析手法と評価指標	9
<b>第4章</b>	<b>分析結果</b>	13
4.1	空間分布の可視化結果	13
4.2	操業効率および燃油効率の分析結果	14
<b>第5章</b>	<b>結果</b>	15
5.1	空間分布の可視化結果	15
5.2	操業効率の分析結果	15
<b>第6章</b>	<b>考察</b>	16
6.1	促進区域における航行安全性と海域利用調整	16
6.2	業効率の季節性に基づく工事時期への提言	16
6.3	洋上風車建設前のベースラインとしての有効性	16
<b>第7章</b>	<b>結論</b>	17

7.1	本研究のまとめ	17
7.2	今後の展望	17
参考文献		19

# 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 $2^{\circ}\text{C}$ より十分低く抑制し、さらに $1.5^{\circ}\text{C}$ 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・前処理の手順について記述する。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、給油履歴）を統合し、マグロ延縄漁業の操業実態を抽出するための手法について説明する。

### 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

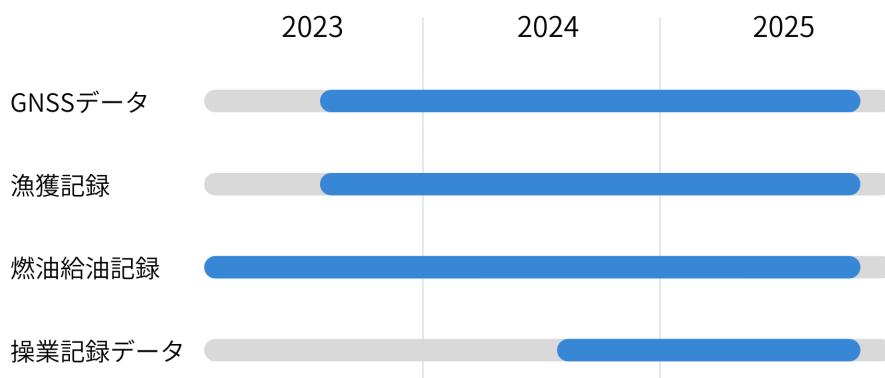


図 3.1 使用データセットの収録期間

- 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 年のデータを用いて両者の総重量の差異を計測したところ、誤差は約 6.69 % に留まることが確認された（操業日誌データの重量は各サイズ区分の中央値を用いて算出）。この結果から、本操業日誌データは分析に用いる上で十分な精度を有していると判断した。

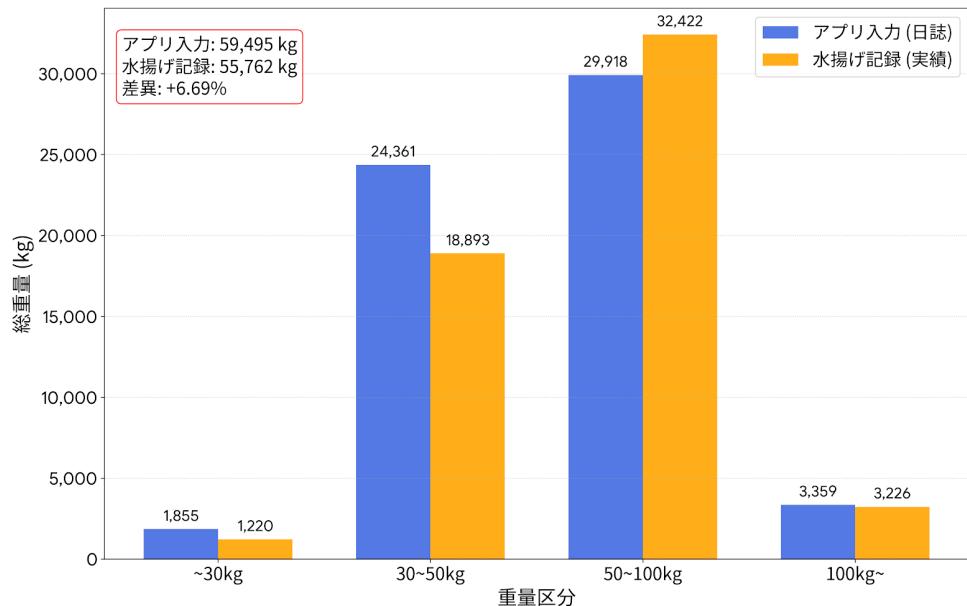


図 3.2 水揚げ記録と操業日誌入力値の重量誤差

### 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。

## 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 を用いて以下の手順で統合およびフィルタリングを行った。

### 3.3.1 マグロ操業の特定とフィルタリング

本研究の分析対象となるマグロ延縄操業の航跡のみを抽出するため、以下のフィルタリング処理を実装した。

1. **異常値の除外:** GNSS 航跡データにおいて、速度が 25 ノットを超えるレコード、およびセンサの異常と思われる、計測点間の移動距離が 1 マイル以上となるレコードを除外した。
2. **操業日誌との照合:** GNSS 航跡データと操業日誌データを漁船 ID および日付をキーとして結合した。これにより、マグロ漁を行った日の航跡のみを抽出した。
3. **操業の切り分け:** GNSS 航跡データの先頭から操業 ID を振り、データ上で記録間隔が 1 時間以上空いている場合、別の操業が行われたと判断し、操業 ID を更新した。
4. **移動距離によるフィルタリング:** 同一の操業 ID を持つ GNSS 航跡データの中から、港内での作業や漁港間の移動などを除外するため、1 回の総移動距離を用いたフィルタリングを行った。松前町の漁業者へのヒアリング調査により、マグロ延縄漁の平均的な移動距離は 16~27 マイル (約 30~50km) 程度であることが示された。この知見に基づき、本研究では保守的な閾値として 6 マイル (約 11km) を設定し、閾値未満の航海データを分析対象から除外した。

## 3.4 分析手法と評価指標

本節では、3.3.1 の処理を経て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である QGIS (Ver. 3.42.1) を使用した。

### 3.4.1 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 1 km 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。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。QGIS の「六角形グリッドを作成 (Create Hexagonal Grid)」ツールを用いてグリッドを生成した。

#### 2. GNSS 航跡データの集計

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。

#### 3. Jenks 自然分類法を用いたヒートマップ作成

集計された各グリッドのポイント数を「操業密度」と定義し、その空間分布をヒートマップとして可視化した。密度の階級区分には、Jenks の自然分類法 (Jenks Natural Breaks Classification) を採用した。本手法は、データのヒストグラム（度数分布）における「自然な切れ目 (Natural Breaks)」を統計的に検出し、クラス内部の差異を最小化しつつ、クラス間の差異を最大化するように境界値を決定する。これにより、データ値が近似しているグリッド同士を適切にグルーピングできる。本アルゴリズムは、全データの平均からの偏差平方和 (*SDAM*) に対する、各クラスの平均からの偏差平方和の総和 (*SDCM*) の比率を最小化するように、クラス境界を決定するアルゴリズムである [24]。具体的には、以下の式で表される「分散の適合度 (Goodness of Variance Fit: *GVF*)」を最大化することを目的とする。

$$GVF = 1 - \frac{SDCM}{SDAM} \quad (3.1)$$

ここで、*SDAM* (Sum of Squared Deviations from Array Mean) および *SDCM* (Sum of Squared Deviations from Class Means) は次式で定義される。

$$SDAM = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.2)$$

$$SDCM = \sum_{j=1}^k \sum_{i \in C_j} (x_i - \bar{x}_j)^2 \quad (3.3)$$

ただし、 $N$  はデータ総数（グリッド数）、 $k$  はクラス数、 $x_i$  は個々のデータ値（各グリッド内の計測点数）、 $\bar{x}$  は全データの平均値、 $C_j$  は第  $j$  クラスに含まれるデータの集合、 $\bar{x}_j$  は第  $j$  クラスの平均値を示す。これにより、操業密度が高い海域と、使用頻度の低い海域を統計的に有意な基準で区分し、漁業者の経験的な認識と合致した可視化を実現する。

### 3.4.2 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。

両指標を併用する理由は 2 つある。第一に、風車建設に伴う迂回行動や漁場探索の変化はまず「移動距離」の増加として現れるため、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. 航海距離の算出

1 回の航海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。

$$D = 2R \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (3.4)$$

ここで、 $R$  は地球の半径（6371 km）、 $\phi_1, \phi_2$  は 2 点の緯度、 $\lambda_1, \lambda_2$  は 2 点の経度である。

#### 2. 評価指標の定義

本研究では、操業の効率性を多角的に評価するため、以下の 2 つの指標を定義した。

- **単位努力量あたりの漁獲量（CPUE）**

一般的に延縄漁業の CPUE 算出には「釣り針数」が努力量として用いられるが、本研究では前述した移動コストの変化を評価するため、1 回の航海における総移動距離  $D$  を漁獲努力量（Effort）と定義した。これに基づき、単位移動距離あたりの漁獲量を本研究における CPUE として次式で算出した。

$$\text{CPUE} = \frac{W}{D} \quad (3.5)$$

ここで、 $W$  は当該航海における漁獲重量（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,  $E_o$ )**

消費燃油量あたりの漁獲量として定義した。本研究で用いる給油履歴は、航海ごとではなく一定期間ごとの給油量  $O_{\text{total}}$  として記録されているため、同期間内の漁獲総量  $W_{\text{total}}$  を用いて期間全体の効率として算出した。

$$E_o = \frac{W_{\text{total}}}{O_{\text{total}}} \quad (3.6)$$

## 第4章

# 分析結果

本章では、前章で述べた手法に基づき、松前町沖におけるマグロ延縄漁業の操業実態を解析した結果を示す。本研究では、操業日誌アプリ「マグログ」が導入された2024年漁期のデータを主たる分析対象とし、詳細な空間分布および操業効率を算出した。また、比較対象としてアプリ導入前の2023年漁期についても、水揚げ記録とGNSS航跡データを統合することで同様の解析を行った。なお、解析期間は各年ともマグロ漁の主要漁期である7月から翌1月までとした。

### 4.1 空間分布の可視化結果

#### 4.1.1 2024年漁期の操業実態（アプリ導入後）

操業日誌データとGNSS航跡データを統合し、ゼロキャッチ（漁獲なし）の日を含む全操業日を対象に作成した2024年漁期のヒートマップを図??に示す。なお、図中の黄色い枠線は、洋上風力発電の促進区域（または有望な区域）の境界を示している。

#### 4.1.2 2023年漁期の操業実態（水揚げ記録ベース）

比較対象として、アプリ導入前の2023年漁期のヒートマップを図4.1に示す。2023年は操業日誌データが存在しないため、漁協の水揚げ記録に記載のある日付（実際に漁獲があった日）のGNSS航跡データを抽出して解析を行った。

図??（2024年）と比較すると、主要な高密度海域の位置は概ね一致

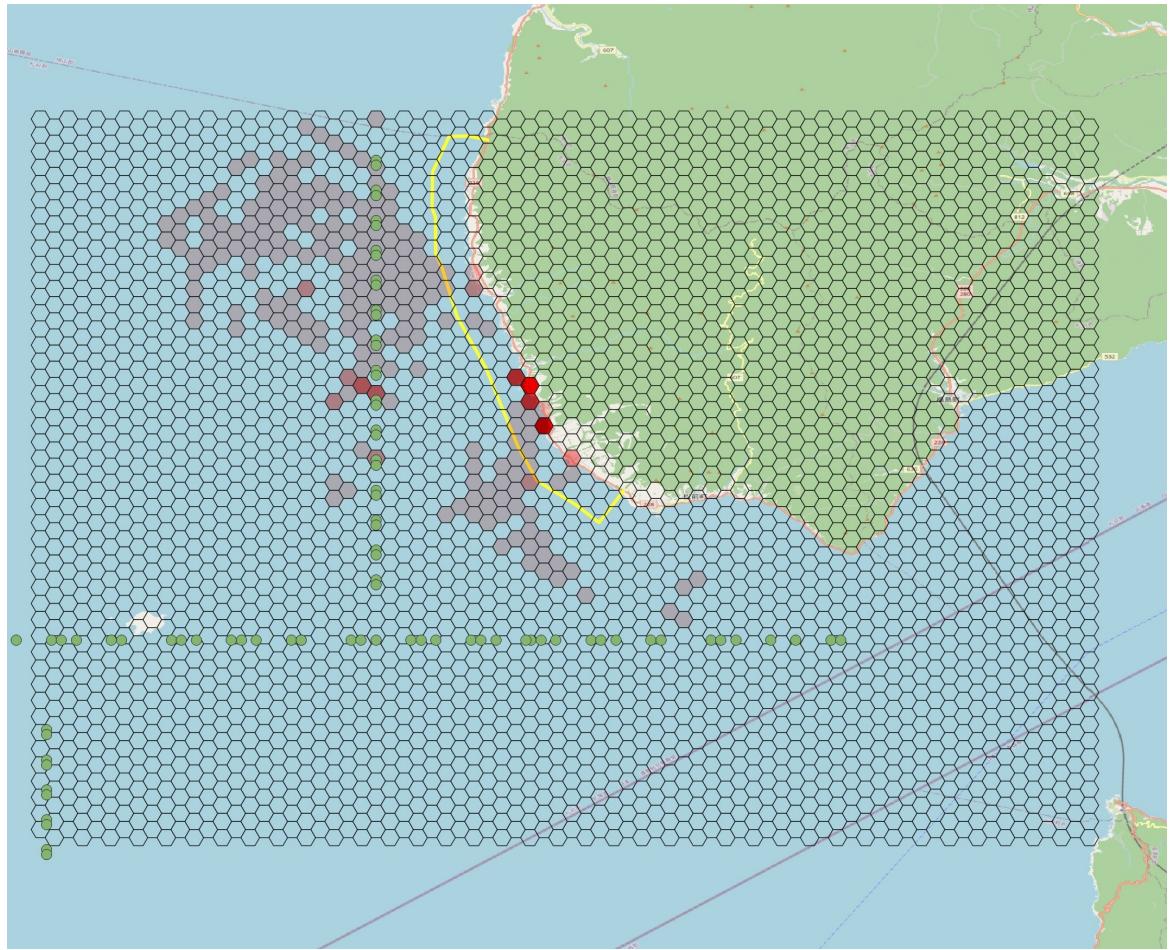


図 4.1 2023 年漁期の操業密度分布（水揚げ記録・GNSS 統合データ）

## 4.2 操業効率および燃油効率の分析結果

### 4.2.1 単位移動距離あたり漁獲量 (CPUE) の推移

2023 年および 2024 年漁期における月ごとの単位移動距離あたり漁獲量 (CPUE) の推移を比較した結果を図??に示す。

### 4.2.2 燃油効率 ( $E_o$ ) の推移

給油履歴と水揚げ記録に基づいて算出した燃油効率 ( $E_o$ ) の季節変動を図??に示す。

## 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](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](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](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, 「我が国の海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](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](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](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](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。 $\text{\TeX}$  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。