

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	環境および生態系への影響	4
2.2	従来の漁業影響調査および資源調査手法	5
2.3	漁業者の認識と社会的受容性	6
2.4	経済的影響の定量的評価と因果推論	6
2.5	本研究の位置付け	7
第3章	研究対象と使用データ	8
3.1	対象フィールドと漁業概要	8
3.2	使用データセット	8
3.3	データ統合と前処理手法	10
第4章	分析手法	12
4.1	GISを用いた空間利用の可視化	12
4.2	操業効率および燃油効率の定義	13
第5章	結果	14
5.1	空間分布の可視化結果	14
5.2	操業効率の分析結果	14
第6章	考察	15
6.1	促進区域における航行安全性と海域利用調整	15
6.2	業効率の季節性に基づく工事時期への提言	15
6.3	洋上風車建設前のベースラインとしての有効性	15

第7章 結論	16
7.1 本研究のまとめ	16
7.2 今後の展望	16
参考文献	18

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[4]。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[1]。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、当時の菅内閣総理大臣は「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されている。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[2]。

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[3]、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[5]。世界的に見ればまだ導入量は少ないものの、今後10年で急速な拡大が期待されている。

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[6]。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[7, 8, 9]。

特に、漁獲量への影響は科学的な知見が十分に蓄積されておらず、多くの議論が定性的な証言や推測に基づいたままとなっている。この不透明性が、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。

以上の背景を踏まえ、本研究では、定性的な議論にとどまりがちな「漁業への影響評価」を、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的とする。

1.2 研究目的

本研究の目的は、洋上風力発電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証言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数値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。本稿では、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、具体的に以下の 2 点を明らかにする。

1. 操業海域の空間分布および促進区域との位置関係
2. 漁獲効率および燃油効率の季節的変動特性

さらに、将来的には、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おこなうことで、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、洋上風力発電が海洋環境や地域社会に与える影響に関する既存研究、およびその調査手法について述べる。洋上風力発電の導入は世界的に加速しているが、漁業との共存は共通の課題となっている。

先行研究は主に、1. 海洋生態系への物理的・生物学的影響、2. 従来の漁業資源調査および影響評価手法、3. 漁業者や地域社会の受容性、4. 統計的因果推論を用いた経済的影響評価、に大別される。本節ではこれらの知見と手法の限界を整理し、本研究の位置付けを明確にする。

2.1 環境および生態系への影響

洋上風力発電設備の建設・稼働が海洋生態系に与える影響については、洋上風力発電が盛んな欧州を中心に知見が蓄積されている。Boehlert and Gill (2010) は、海洋再生可能エネルギー開発に伴う騒音、電磁界、生息地の改変といった環境ストレス要因を包括的に整理し、これらが海洋生物に及ぼす影響は、施設の規模や立地環境によって大きく異なると指摘している [11]。この指摘は、洋上風力発電の影響が一様ではなく、建設予定海域ごとの詳細な実態把握に基づいた影響評価が不可欠であることを示唆している。

また、個別の影響要因に関する研究として、Bailey et al. (2014) が、風車の建設段階における杭打ち音が海洋哺乳類や魚類に回避行動を引き起こす可能性を指摘している。彼らは、建設工事が一時的に生物の分布を変える可能性がある一方で、長期的な個体数への影響を検出するには、長期間にわたる継続的なモニタリングが必要であると結論づけている [12]。

国内においても、環境省の技術講習会などで、水中騒音がマダイ等の魚類や海産哺乳類に与える生理的・行動的影響（聴覚閾値や威嚇反応など）を定量的に評価する手法や、パッシブ音響モニタリング等の新たな調査技術の導入に関する議論が進められている [13]。

また、Lindeboom et al. (2011) は、オランダ沿岸に位置する洋上風力発電所（エグモント・アーン・ゼー洋上風力発電所、OWEZ）における短期的な生態学的影響を包括的に調査

し、風車基礎や洗掘防止用の岩石が新たな生息基盤となることで、底生生物やカニ類、魚類の生物多様性および個体数が増加したことを報告している。彼らは、風車施設が実質的な保護区や人工魚礁として機能し、特定の生物群集に対してプラスの効果をもたらす可能性を示唆している。[18]。この研究は、海上風力発電が生態系に与える影響が多面的であり、ネガティブな影響だけでなく、ポジティブな効果も存在し得ることを示している。

2.2 従来の漁業影響調査および資源調査手法

海上風力発電の建設前後における漁業資源量の変化や、漁業への影響を評価するために、従来から用いられている標準的な手法が存在する。これらは主に調査船などを用いる「科学的調査」と、漁業活動から得られるデータを利用する「漁業情報に基づく調査」に分類される。

2.2.1 調査船による調査

資源量推定において最も標準的に用いられるのが、調査船を用いた調査である。特に底魚類を対象としたトロール網調査は、定められた地点において科学的調査船が試験操業を行うものであり、対象海域の生物量や種組成を客観的に把握する手法として確立されている。環境アセスメントの文脈においても、国内の指針に基づき、建設予定海域における事前のトロール調査や流し網調査等による魚類の分布状況把握が求められている [17]。

しかし、これらの手法は調査船の運航コストが高額であるため、調査頻度が季節に1回や年に数回といった低頻度に限られることが多い。また、トロール調査は点や線の情報であるため、海上風車のような局所的な構造物が魚群の微細な移動経路や分布に与える影響を捉えるには、時空間的な解像度が不足しているという課題がある。

2.2.2 操業活動による調査

もう一つの手法は、漁業者の操業活動から得られるデータを用いる調査である。これには、漁協の水揚げ統計や、漁業者が記録する操業日誌が含まれる。これらのデータは、単位努力量あたりの漁獲量である CPUE を算出することで、資源量の変動トレンドを把握するために用いられる。

従来の紙媒体による操業日誌は、位置情報が漁区単位や漁場名といった粗い粒度でしか記録されないことが多く、Shimada et al. (2022) が指摘するように、海上風車建設による局所的な漁場の喪失やミクロな影響を検出するには限界があった [10]。

しかし近年では、ICT 技術の活用により、この解像度の課題を克服する試みもなされている。例えば、和田ら (2013) は、小型漁船に GNSS ロガーやタブレット端末を導入することで、詳細な操業位置と漁獲情報を紐付け、高精細な資源量分布の可視化が可能であることを

実証している [20]。このアプローチは、漁獲依存型データであっても、適切なデジタル化を行うことで、洋上風力発電の影響評価に求められる高い時空間解像度を達成できる可能性を示唆している。

2.3 漁業者の認識と社会的受容性

洋上風力発電の導入に対する漁業者の態度や懸念に関しては、社会科学的なアプローチによる研究が行われている。Alexander et al. (2013) は、スコットランドの漁業者を対象とした調査において、開発事業者と漁業コミュニティの間の信頼の欠如が紛争の主要因であると指摘している [14]。彼らの研究によれば、漁業者は自分たちの知識やデータが計画に反映されていないと感じており、この手続き的公正の欠如が、プロジェクトへの強い反発を生んでいる。

Hooper et al. (2015) は、英国における洋上風力発電所とカニ・エビ漁業の共存の可能性について、漁業者と開発者双方へのインタビューを実施した。その結果、漁業者は風車建設による操業エリアの実質的な喪失や漁具の破損リスク、航行安全性の低下を具体的な懸念として挙げており、物理的な共存が可能であっても、心理的・実務的な障壁が高いことを明らかにしている [8]。

これらの先行研究は、漁業者の懸念が単なる感情的なものではなく、操業実態や将来の不確実性に根ざしたものであることを示している。しかし、これらの多くは定性的な調査に留まっており、懸念の妥当性を検証するための定量的なデータ分析は十分に行われていない。

2.4 経済的影響の定量的評価と因果推論

再生可能エネルギー施設の導入が地域経済に与える影響を、統計データを用いて定量的に評価する試みも進められている。Jensen et al. (2018) は、デンマークにおける陸上および洋上風力発電所の建設が周辺の地価に与える影響を分析したが、統計的に有意な影響は見られなかつたと報告している [15]。また、Ando (2015) は、日本における原子力発電所の立地が地域経済に与える影響を Synthetic Control Method、いわゆる SCM を用いて分析し、因果効果推定の有効性を示した [16]。

Shimada et al. (2022) は、この SCM の手法を日本の洋上風力発電と漁業生産の関係に応用した画期的な研究である。彼らは、銚子・北九州・五島の 3 地域の海面漁業生産統計を分析し、風車建設が地域の漁獲量全体に対して統計的に有意な負の影響を与えていないことを明らかにした [10]。しかし、Shimada et al. (2022) も指摘しているように、自治体単位のマクロな統計データでは、個々の漁業者が直面する局所的な漁場の変化や、操業効率の低下といったミクロな影響を捉えきれないという課題が残されている。

2.5 本研究の位置付け

以上の関連研究を踏まえると、現状の課題として以下の 3 点が浮き彫りとなる。

第一に、洋上風力発電の環境影響評価に関する制度報告では、魚類・底生生物・音響・流況など多様な評価項目を含めるべきことが指摘されている一方で、既存の海洋資源調査が必ずしも漁業への影響を正確に測れていない可能性があるとして、知見不足だというという留保が示されている。[19]。

第二に、Shimada et al. (2022) が行ったようなマクロな統計解析では、Hooper et al. (2015) が指摘した局所的な操業エリアの喪失や航行リスクを直接的に検証できない点である [10, 8]。

本研究は、GNSS ロガーによる操業位置情報と、操業記録を統合することで、これらの課題に応えるものである。低頻度な科学調査や粗い統計データといった従来の手法では捉えきれなかった、漁業者がどこで、どのように操業しているかという具体的なプロセスを可視化し、将来の風車建設に向けた精緻なベースラインを構築することを目的とする。

第3章

研究対象と使用データ

本章では、本研究の実証フィールドである北海道松前町の地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詳述する。特に、複数のデータソース（GNSS、水揚げ記録、操業日誌、燃油履歴）を統合し、マグロ延縄漁業の操業実態を正確に抽出するための独自の手法について重点的に説明する。

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沖である。この海域は対馬海流が流入する津軽海峡に面しており、クロマグロ（以下、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所属するマグロ延縄漁業である。本研究では、同漁協所属の漁船 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、漁船の行動、漁獲実態、および生産コスト（燃油）を定量化するために、以下の 4 種類のデータを統合して使用した。

3.2.1 GNSS 航跡データ

対象漁船に搭載された GNSS ロガーから取得された航跡データである。

- データ形式: CSV 形式
- サンプリング間隔: 30 秒
- 収録項目: 漁船 ID、日時 (JST)、緯度、経度、対地速度 (knot)、進行方向

本データは、漁船の高精細な移動経路を把握するための基礎情報として用いる。

3.2.2 漁獲・水揚げ記録

松前さくら漁協の販売管理システムより抽出された、2022年から2025年11月までのマグロの水揚げデータである。

- **対象期間:** 2022年～2025年11月
- **解像度:** 1個体ごとのレコード（1匹単位で管理）
- **対象魚種:** クロマグロのみ
- **収録項目:** 水揚げ日、漁船ID、重量(kg)、単価など

本データは「実際に水揚げされた（換金された）正確な重量」を示す正解データとして機能するが、水揚げが無かった日（操業したが釣れなかった日）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（マグログ）

漁業者がスマートフォン上の操業日誌アプリ（通称：マグログ）に入力した記録データである。本研究において、このデータは以下の2つの重要な役割を担う。

1. **マグロ操業日の特定（ゼロキャッチの把握）:** 松前町の漁業者は、マグロ漁期であっても海況や時期により他の魚種（イカ、根魚など）を狙う場合がある。GNSSデータ単体では「何の魚を獲りに行ったか」を判別することは困難である。また、前述の「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（ゼロキャッチ）を把握できない。操業日誌データには、漁獲がゼロであった場合でも操業記録が残るため、これをGNSSデータと照合することで、当該航海が「マグロ延縄操業」であったことを正確に特定することが可能となる。
2. **サイズ別漁獲尾数の把握:** 本データには、漁獲したマグロのサイズ区分ごとの本数が記録されている。サイズ区分は以下の通りである。
 - ~25kg, ~30kg, ~50kg, ~75kg, ~100kg, 100kg~

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、漁協の公式な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、ズレ（誤差）は約6.69%に留まることが確認された（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。

3.2.4 燃油給油履歴

漁業者が漁協を通じて精算した給油代金の履歴データである。

- **収録項目:** 精算日、漁船 ID、油種（A 重油または軽油）、給油量 (L)
- **データの性質:** 本データは毎回の航海ごとの消費量を計測したものではなく、1週間から2週間ごとの給油および精算のタイミングで記録されたものである。したがって、本研究では日次単位ではなく、月次単位でデータを集約することで燃油消費量を算出した。

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クリーニングを行った。

3.3.1 データのクリーニングと正規化

まず、生データに含まれる欠損値や物理的にあり得ない異常値を除外した。また、データソースによって漁船名の表記揺れが存在したため、船名対応表（マスタデータ）を作成し、すべてのデータセットにおいて漁船 ID (`vessel_id`) の正規化を行った。

3.3.2 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、以下の多段階のフィルタリング処理を実装した。

1. **異常値の除外:** GNSS データにおいて、対地速度が 25 ノットを超えるレコード、および計測点間の移動距離が 1km 以上となるレコード（位置飛び）を、測定エラーとして除外した。
2. **操業日誌との照合 (Intent Matching):** GNSS 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 (Inner Join) した。これにより、漁業者が「マグロ漁を行った」と記録している日の航跡のみを抽出した。
3. **航海 (Trip) の分離:** GNSS データ上で記録間隔が 1 時間以上空いている場合、別の航海（または操業）が行われたと判断し、セッションを分割した。
4. **移動距離によるフィルタリング:** 抽出された航跡データの中から、港内での作業やごく近距離での他漁業（採介藻漁業等）を除外するため、1 回の航海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 24~30 マイル（約 44~55km）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、これ未満の航海データを分析対象から除外した。

3.3.3 データの集計 (Aggregation)

以上の処理を経て抽出されたデータを基に、月別および漁船別のクロス集計を行った。燃油データが日次で存在しないことを考慮し、漁獲量（水揚げ記録に基づく重量）と燃油消費量をそれぞれ月単位で合計し、月ごとの燃油効率 E_o (kg/L) を算出した。これらの集計結果は CSV 形式で保存し、後の可視化プロセスに使用した。

第4章

分析手法

ここでは**「どうやって分析したか」**（Methods）を書く。ここを読めば他の人も同じ実験ができるように書く

4.1 GIS を用いた空間利用の可視化

何をしたか: 対象海域を「直径 1,000m（または面積 1km²など正確に）」の六角形グリッドで覆った。なぜ六角形か: 正方形グリッドに比べて中心間の距離が等しく、生物の行動圏や連続的な移動データの表現に適しているため（という一般論を少し入れると良い）。使用ソフト（QGIS Ver. X.X）も記載。

4.1.1 六角形グリッドによる空間分割

各グリッド内に含まれる GNSS ポイント数をカウントする「ポイント・イン・ポリゴン」処理を行ったことを記述。

4.1.2 Jenks 自然分類法を用いたヒートマップ作成

分類手法: 単なる等間隔ではなく「Jenks の自然分類法（Natural Breaks）」を採用した理由（データの偏りを考慮し、クラス間の分散を最大化するため）を説明。Jenks 自然分類の公式を載せると良い。

可視化: 操業密度を 5 段階の色分けで表現し、ヒートマップ化した手順

4.2 操業効率および燃油効率の定義

4.2.1 球面距離（Haversine の公式）による移動距離算出

GNSS の緯度経度から移動距離を求めるために使用した数式（中間報告書にある $d = 2R \arcsin \dots$ の式）を提示し、各変数の定義（ R =地球半径など）を説明。Python で実装したこと記載。

4.2.2 燃油効率指標 E_o の定義と算出モデル

本研究で定義した効率の計算式 $E_o = W/O$ （ W : 総漁獲重量、 O : 燃油使用量）を提示。なぜこの指標を用いたか（単位燃油あたりの生産性を測るため）を簡潔に。

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] 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].
- [2] 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].
- [3] 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].
- [4] 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].
- [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] 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.
- [7] 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].
- [8] 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].
- [9] 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].
 - [10] 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.
 - [11] 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.
 - [12] 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.
 - [13] 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].
 - [14] 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.
 - [15] 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.
 - [16] 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.
 - [17] 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].
 - [18] 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.
 - [19] 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].

Visualizing an utilization of sea area

- [20] 和田 雅昭, 畑中 勝守, 戸田 真志, 他, “沿岸漁業における操業情報の可視化と共有,” 日本水産工学会誌, vol. 50, no. 1, pp. 31–36, 2013.

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。