



Centre for
Robotics

協調型海洋ロボティクスと展開可能AI: 応用と可能性

クィーンズランド工科大学

マシュー・ダンバビン

2026年5月

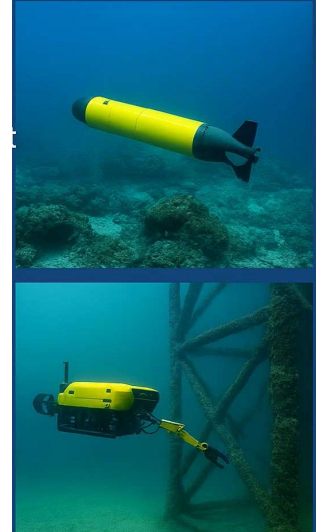
1

私の名前はマシュー・ダンバビン。本日は「協調型海洋ロボティクスと展開可能AI：応用と可能性」についてお話する機会をいただき、大変光栄に思う。この後15分から20分ほどかけて、この分野の概要を紹介したい。特に、現在の民生分野での用途と今後の発展に注目し、具体的な事例として、私が海外の研究者らと共同で進めてきたプロジェクトを紹介する。この講演を通じて、日本と豪クィーンズランド州の各種組織に対し相互協力や産業界との連携機会を浮き彫りにするとともに、この分野の未来像の一端を示すことができれば幸いである。

最先端の海洋ロボティクス

自律型潜水機(AUV)、自律型水上艦(ASV)、水中グライダーといった長距離自律型海洋ロボットには今や人工知能(AI)による知覚、適応ミッション計画、マルチロボット協調が統合され、浅海域のサンゴ礁から深海までの幅広い領域で、人的関与を最小限に抑えながら長期にわたって運用することが可能になっている。

ロボティクスとセンサー、通信、デジタルツインの緊密な結合(リアルタイムの海洋データ同化、衛星・音響リンク、クラウド解析など)により、ロボットはプラットフォームから意思決定支援インフラへと進化しつつある。



海洋ロボットとは一般に、AUV、ASV、水中グライダー、遠隔操作型潜水機を指す。これらはすでに何十年もの歴史を持っているため、開発の経緯や具体的な機能について詳細を語ることはしない。皆様もある程度はすでにご存じと思うが、そうでなければ講演後にお話しすることもできる。

いずれにしても、これらのロボットがさまざまな形で環境、産業、社会に貢献してきたことは言うまでもない。ここでは、現在の最先端のロボットシステムは、このスライドに示した方向に実際に向かっていると話しするにとどめたい。

日本と豪クィーンズランド州にとっての戦略的重要性

環境レジリエンスとモニタリング:

高度な海洋ロボティクスは、サンゴ礁、漁業、沿岸災害(サイクロン、津波、白化現象)の大規模観測を支えている。これは、クィーンズランド州のサンゴ礁保全や日本が推進する災害に強い海と方向性を一にするものである。

ブルーエコノミーと海洋産業:

ロボティクスは現在、自律検査、養殖、洋上エネルギー、海底マッピング、港湾運営に活用されている。これらは、クィーンズランド州と日本の双方が持続可能な海洋産業と海事自動化に向けて重視している分野でもある。

高度な協調型ロボットシステムの開発と応用は、日本とクィーンズランド州の両方にとって極めて重要な戦略的意義を持つ。

私がこのテーマに強い関心を持ち、本日ここで話しできることを非常にうれしく思っている理由は、私が拠点を置くクィーンズランド州と日本の課題、取り組み、機会に対してこのテーマが持つ戦略的重要性を確信しているからだ。もちろん関連するテーマは他にもあるだろうが、私自身はこの2つこそ、クィーンズランド州と日本の双方にとって直接的な重要性を持つものだと考えている。

なぜ今、協調型ロボティクスと展開可能AIが重要なのか

気候変動の影響と緊急性

気候変動によって海洋温暖化、海面上昇、異常気象が深刻化し、沿岸の生態系やインフラに大きな負荷をかけている。

オフショア産業の拡大

再生可能エネルギー、海底通信、養殖産業の成長に伴い、継続的な海洋モニタリングや調査に対する需要が高まっている。

自律技術の進化

自律型プラットフォームやエッジAIの成熟に伴い、過酷な海洋環境下でもAI実装により信頼性の高い運用が可能となっている。

運用システムへの移行

AIシステムが研究段階から実運用段階へと移行する中、標準化の推進や出力の信頼性確保に向けた協力が求められている。

単体の海洋ロボットシステムが海洋観測、物資輸送、介入コンセプトの実証といった特定の役割を果たせることは長く知られている。ただし、このような応用はこれまで、海洋環境のごく一部での実施に限られてきた。

しかし現在直面している課題や機会の規模を考えると、対応策を速やかに実行して大規模に展開するための手段が必要となっている。

私たちは今、まさに転換点にある。技術の急速な進歩によって、高度なセンシング、確かな意思決定、費用対効果に加え、洋上インフラ、漁業、ブルーカーボン、環境保全などの産業を大規模に展開するための接続要件も今や実現可能となっている。

協調型海洋ロボットシステムの定義

複数プラットフォームの連携

共通の海洋目的の実現に向け、多様なロボットプラットフォームがデータ交換やタスク調整を通じて連携している。

人間とAIの協働

人間のオペレーターが、AI駆動型ロボットシステムと協働しながら任務を統括し、戦略的な方向性を定めている。

組織間の統合

複数の組織が、共通のデータ標準、相互運用可能なシステム、共同運用の枠組みなどから成る協力を行っている。

おおまかな定義ではあるが、本日の講演ではこれらの点を重要なポイントとして取り上げたい。

展開可能AI: 海洋分野における特性

エッジ環境における効率性と堅牢性

海洋分野のAIは、限られた電力や通信帯域の下でも効率的に動作し、ノイズや欠損を含む海洋データも確実に処理できなければならない。

適応力と追加学習

展開可能AIには、全面的な再学習サイクルを踏まずに適応し、段階的に再調整することが求められる。

信頼性と解釈可能性

AIの判断は、特に安全性や環境に関わる重要な場面においては、運用者や規制当局が理解できるものでなければならない。

リアルタイム処理と意思決定

展開可能AIは、高度なタスクの自律的な実行に向けてシステムを安定的に制御すべく、大量のデータをリアルタイムで処理する必要がある。

海洋分野における展開可能AIとは、クラウド上のサーバーだけでなく、AUV、船舶、海洋ブイなどの海洋プラットフォーム上でも直接稼働するよう設計されたAIシステムであり、特に機械学習モデルやコンピュータビジョンモデルを指す。

海洋ロボティクス、特に水中ロボティクスはエッジAIシステムであり、こうしたシステムは随時、学習や再学習を行う必要がある。そのため、多くのAIシステムには、いかなる運用条件下でも堅牢性と信頼性を確保できるのかという懸念がつきまとう。

それにもかかわらず、海洋ロボットシステムへのAI導入は急速に進んでおり、その活用範囲は航行にとどまらず、インタラクションを伴う複雑なタスクにも広がりつつある。

協調型ロボティクスと展開可能AI の応用

ここからは残りの時間の大半を使って、協調型ロボティクスと展開可能AIの応用事例をいくつか紹介していきたい。紹介する事例は、私がクィーンズランド工科大学で海外の共同研究者らと共に進めてきたプロジェクトのものである。

サンゴ礁の再生と環境モニタリング

従来型調査の限界

従来のサンゴ礁調査手法では、効果的なモニタリングに必要な観測頻度や空間的カバレッジが確保できない。

協調型海洋ロボティクス

小型AUV群を用いれば、環境への影響を抑えつつ、サンゴ礁や海洋生態系の継続的なモニタリングが可能となる。

AIで強化されたセンシングと解析

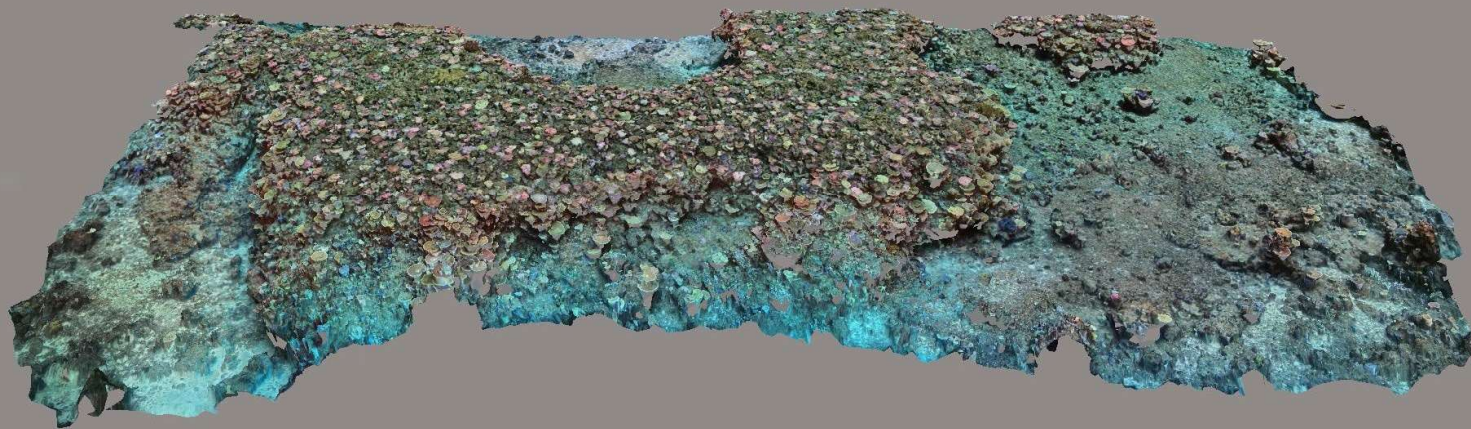
多様なサンゴ礁データを学習させたAIモデルを用いることで、白化現象や侵入種の検出精度が向上する。

能動的な介入

協調型ロボットシステムが物理的な作業を担当すれば、再生活動の規模を拡大できる。

最初に紹介するのは、現在世界中で活発な取り組みが進められているサンゴ礁の再生と環境マッピング。これらは特にクィーンズランド州にとって重要なテーマである。本スライドは、これらの分野で求められる主な要件や能力を示したものだ。以降のスライドでは、私の研究室が取り組んできた活動をいくつか紹介していく。

ロボットを活用した海底マッピング

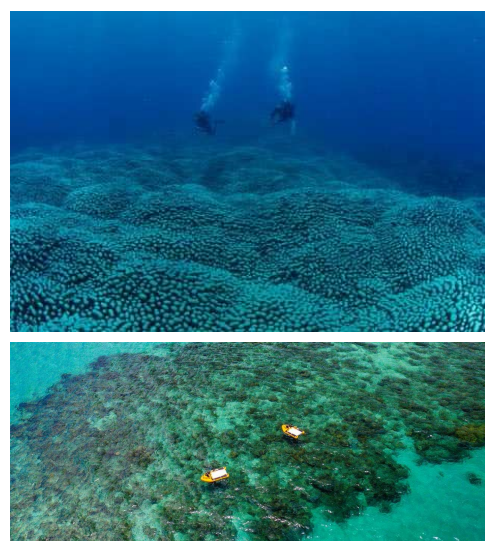
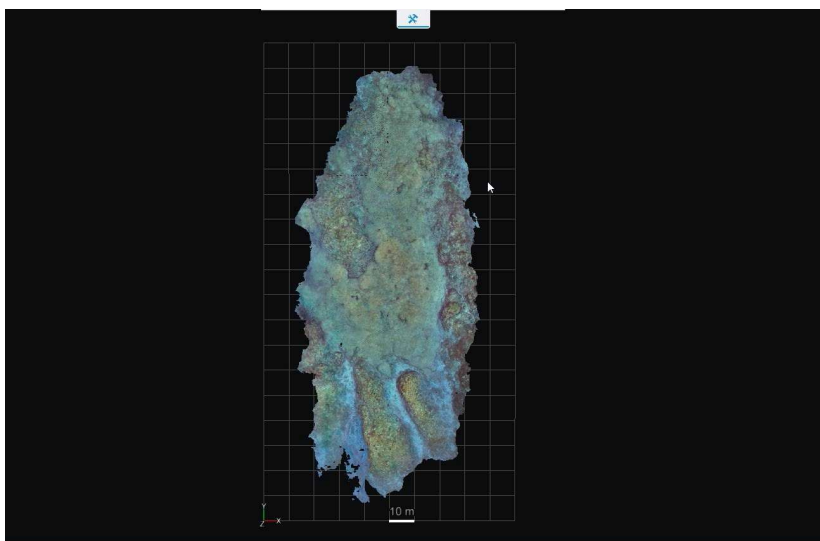


ご存じのように、ASVやAUVを用いたマッピングや写真測量は、多くのシステムにとって一般的な用途になりつつある。このスライドの画像は、深刻な白化現象が発生し始めたサンゴ礁の高解像度3Dマップだ。このモデルの作成には、私たちが所有する小型ASV「FloatyBoat」の1隻を使用した。約1,200平方メートルの対象エリア全体の撮影に要した時間は約90分であった。

ロボットを活用した海底マッピング

ご存じのように、ASVやAUVを用いたマッピングや写真測量は、多くのシステムにとって一般的な用途になりつつある。このスライドの画像は、深刻な白化現象が発生し始めたサンゴ礁の高解像度3Dマップだ。このモデルの作成には、私たちが所有する小型ASV「FloatyBoat」の1隻を使用した。約1,200平方メートルの対象エリア全体の撮影に要した時間は約90分であった。

協調マッピング



(画像: クィーンズランド工科大学およびバイオピクセル)

経路を最適化できる協調型ロボットシステムを使った場合はどうなるのか。このモデルは2026年1月に3隻の協調型ASVを用いて、わずか90分で撮影したものだ。このシステムを使うことで、グレートバリアリーフ最大のサンゴ群体をマッピングできた。対象となったサンゴ群体の面積は約3,900平方メートル、調査対象エリア全体では7,000平方メートルを超える。

協調マッピング

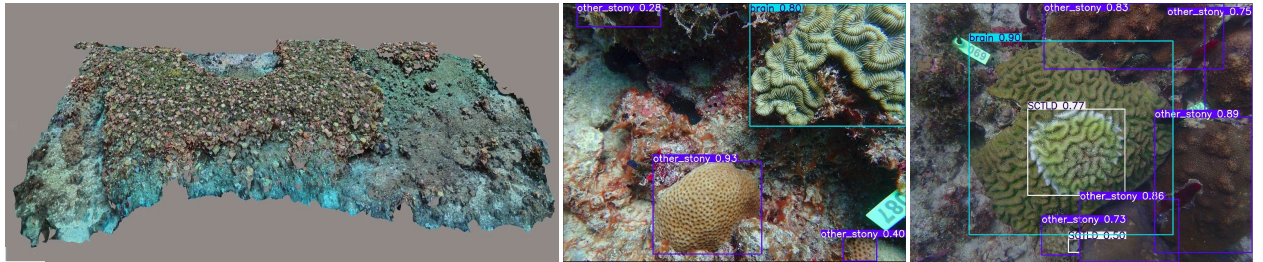
経路を最適化できる協調型ロボットシステムを使った場合はどうなるのか。このモデルは2026年1月に3隻の協調型ASVを用いて、わずか90分で撮影したものだ。このシステムを使うことで、グレートバリアリーフ最大のサンゴ群体をマッピングできた。対象となったサンゴ群体の面積は約3,900平方メートル、調査対象エリア全体では7,000平方メートルを超える。

展開可能AIによるリアルタイムかつ自動化された再生作業

AIを活用した
サンゴの移植



脆弱な種の回収



oceankind

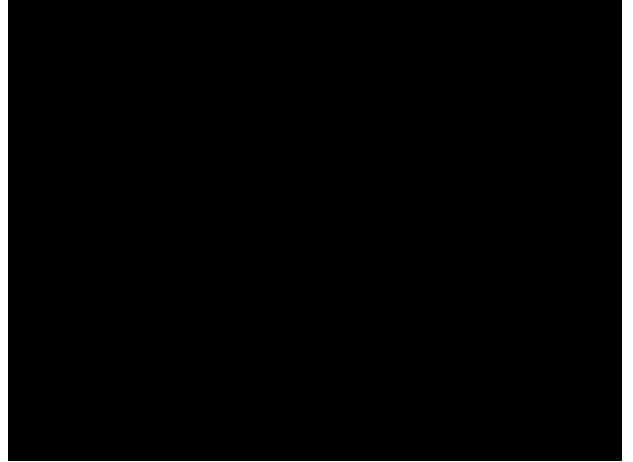
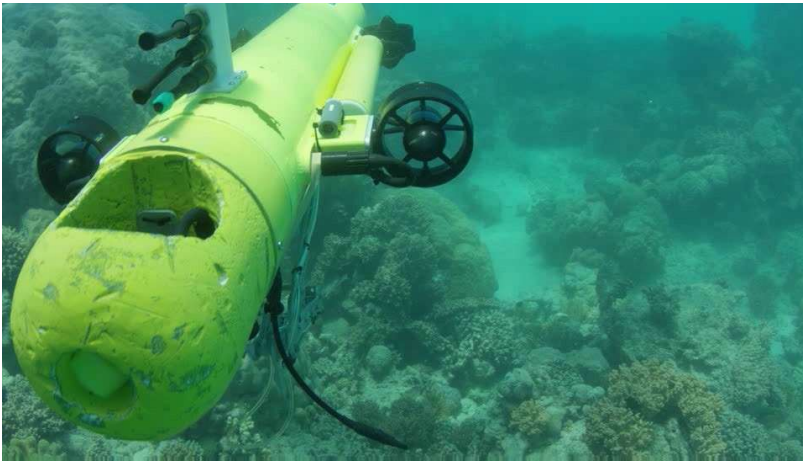
QUT Centre for Robotics

協調型ロボティクスに展開可能AIを組み合わせると、能動的な保全活動が可能になる。ここで紹介するのは、AIを搭載したASVやAUVを活用して、サンゴの移植とともにサンゴを脅かす病害虫の検出を行った事例である。特にハワイやカリブ海地域では、生き残ったサンゴ群体を見つけて救出するために、こうしたシステムが活用されている。

展開可能AIによるリアルタイムかつ自動化された再生作業

協調型ロボティクスに展開可能AIを組み合わせると、能動的な保全活動が可能になる。ここで紹介するのは、AIを搭載したASVやAUVを活用して、サンゴの移植とともにサンゴを脅かす病害虫の検出を行った事例である。特にハワイやカリブ海地域では、生き残ったサンゴ群体を見つけて救出するために、こうしたシステムが活用されている。

能動的な介入(オニヒトデ対策)



ロボティクスにAIだけでなく対象物との物理的インタラクションの手段も組み合わせると、私たちが「能動的な介入」と呼ぶ、知覚を行動に結び付けることが可能になる。ここで紹介しているのは、私たちが以前に開発したオニヒトデに薬剤を注入するシステムの例である。

能動的な介入(オニヒトデ対策)

ロボティクスにAIだけでなく対象物との物理的インタラクションの手段も組み合わせると、私たちが「能動的な介入」と呼ぶ、知覚を行動に結び付けることが可能になる。ここで紹介しているのは、私たちが以前に開発したオニヒトデに薬剤を注入するシステムの例である。

災害対応と沿岸レジリエンス

自然災害の影響

クィーンズランド州や日本のように自然災害の影響を受けやすい地域では、サイクロンや地震、津波が沿岸インフラを脅かすリスクとなっている。

自律型海洋システム

協調型的水上・水中ロボットを活用すれば、人間の立ち入りが限られた場所でも被害状況を迅速に評価できる。

AIを活用した被害分析

AIが被害状況を分析し、人間の介入を要する区域の優先順位を付けることで、復旧を加速できる。

国際連携

信頼に基づくパートナーシップにより、自然災害の影響を受けやすい地域での効果的な災害対応が可能となる。



2024年2月



2024年3月



2024年9月

次に紹介したい事例は、協調型ロボティクスを遠隔対応や沿岸レジリエンスに活用する可能性である。特にオーストラリアと日本は似通ったリスクに直面しているためだ。

環境モニタリングと同様に、近年は自然災害の影響評価にこうしたシステムを活用するための研究が増えつつある。協調型システムを活用すれば被害をより迅速に把握できるようになり、特に人工インフラについては大きな改善が期待される。

持続可能なブルーエコノミーの支援

産業と環境の調和

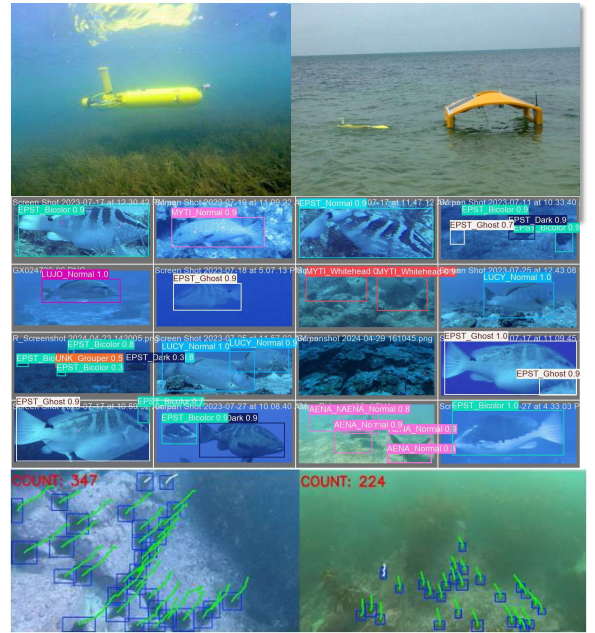
持続可能なブルーエコノミーを実現するためには、革新的なソリューションを通じた産業活動と環境保護との調和が必要になる。

協調型海洋ロボティクス

協調型海洋ロボティクスは、洋上エネルギー、漁業、養殖業の継続的なモニタリングを可能にすることで、安全性と効率性の向上をもたらす。

予知保全と介入のためのAI

展開可能AIは、故障の早期検知、予知保全、生息地に配慮した運用を促進することで、生態系への影響を最小限に抑える。



ガバナンス、課題、機会

軍民両用技術に関する責任の管理

民間市場向け海洋ロボティクス技術を開発する場合は、軍民両用規制を課される可能性を慎重に考慮する必要がある。

長期間の自律運用という課題

海洋ロボティクスを長期にわたって自律運用する場合、エネルギー、保守、システム健全性の管理が重要な課題となる。

マルチロボット協調

海洋という動的な環境下で複数のロボットシステムを協調的に運用するためには、分散制御、意思決定支援、情報伝達戦略の進化が不可欠である。

AIの信頼性向上による安全の確保

ミッションクリティカルな海洋用途での安全性を確保するためには、AIの検証、妥当性確認、説明可能性が極めて重要になる。

シミュレーションから実海域への移行

シミュレーション環境で学習させたモデルを実際の海洋環境に投入することは、依然として困難で今なお継続中の研究課題である。

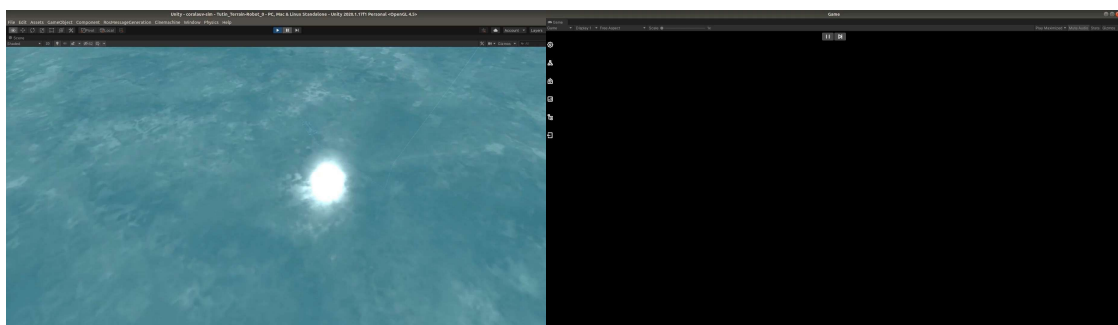
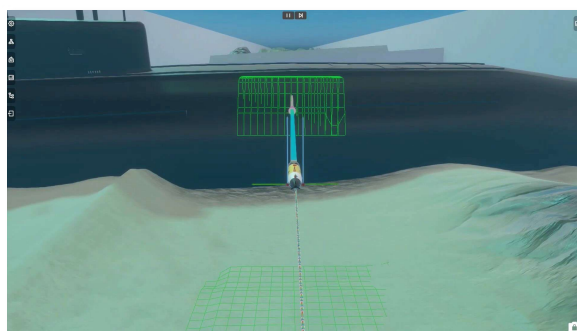
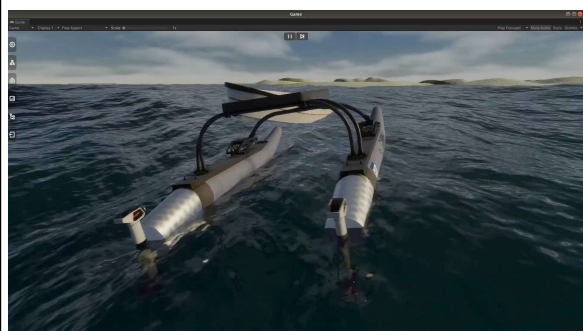
ここまで紹介してきたのは、協調型ロボティクスと展開可能AIを実際に活用している事例のほんの一部にすぎない。この分野では、クィーンズランド州でも日本でも非常に興味深い取り組みが数多く進んでいる。

ここからは少し視点を変え、これらのシステムが持つ商業的・科学的な可能性を真の意味で実現する上での課題とそこから生まれる機会について、いくつかお話ししたい。一つは、軍民両用技術に対して適用され得る規制への対処、もう一つは、極めて過酷になりがちな海洋環境においてシステムを長期運用可能とする方法である。

協調型ロボットの活用は拡大しているものの、通常は個々の企業や組織の枠内で運用され、共有されることはない。また、ロボットが正しく動作しているか、信頼できるかという点をどう確認するのかという問題もある。非常に高性能なシミュレーターも存在するが、そうしたシステムを実運用環境に移すのは極めて困難なものとなる可能性がある。

このように課題はあるものの、それは障壁を乗り越える機会でもある。ここからは、こうした課題のいくつかに対応するために、私の研究室が取り組んできたプロジェクトを紹介する。

高忠実度シミュレーターとデジタルツイン



私たちの研究グループは、高度なロボット行動の開発に向けて、コンピュータービジョンとAIを大いに活用している。開発を促進するため、高忠実度シミュレーターと小規模な環境デジタルツインを構築し、システムとアルゴリズム開発の堅牢性を高めている。

高忠実度シミュレーターとデジタルツイン

私たちの研究グループは、高度なロボット行動の開発に向けて、コンピュータービジョンとAIを大いに活用している。開発を促進するため、高忠実度シミュレーターと小規模な環境デジタルツインを構築し、システムとアルゴリズム開発の堅牢性を高めている。

海上衝突予防条約(COLREG)に準拠した信頼性の高い航行

- 複雑で動的かつ不確実性の高い環境における自律航行
- AIと協調型システムは、不確実性に対処しリスクを緩和する手助けとなり得る
- 混合船隊は大きな課題とともに開発機会ももたらす
 - ロボットプラットフォーム
 - 有人船舶
 - 各種センサー等を搭載した船舶と非搭載船舶
 - 異なる船種の混在



アムステルダム港のタイムラプス、2015年(ドローン・アディクツ)



J・グリーンソン、M・ダンバビン、J・フォード「COLREGルール2b:リスクを意識しCOLREGに準拠した予測的な経路計画」IEEEロボティクス・アンド・オートメーション・レターズ、2026年

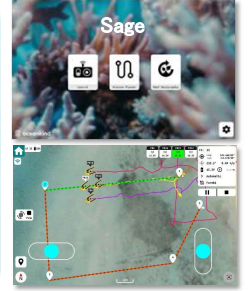
私たちが重点を置いているもう一つの分野は、COLREGを順守しつつリスクや不確実性だけでなく混合船隊にも対応できる、信頼性の高い航行ソリューションの開発である。ここでいう混合船隊とは、ロボット船と有人船、各種センサー等を搭載した船舶と非搭載船舶など、異なる種類の船舶が混在する船隊を指す。これらの船舶の間では情報が共有されないことが多い。

協調型ロボティクスの拡大を支える人的要因

再構成可能な
プラットフォーム



自己学習での
利用



協調型ロボットシステムを本格的に実現するためには、人的要素も考慮する必要がある。こうした技術で商業的に成立しているものは多くの場合、専門知識を持たないユーザーに使用されている。そのため、システムには使いやすさと信頼性に加え、エンドユーザー自身が再構成できることも求められる。ここで紹介するのは、私たちが開発した FloatyBoat システムの例である。このシステムは世界中の共同研究者や協力機関に提供され、環境保全に関する活動に活用されている。

協調型ロボティクスの拡大を支える人的要因

協調型ロボットシステムを本格的に実現するためには、人的要素も考慮する必要がある。こうした技術で商業的に成立しているものは多くの場合、専門知識を持たないユーザーに使用されている。そのため、システムには使いやすさと信頼性に加え、エンドユーザー自身が再構成できることも求められる。ここで紹介するのは、私たちが開発した FloatyBoat システムの例である。このシステムは世界中の共同研究者や協力機関に提供され、環境保全に関する活動に活用されている。

協調型ロボットアシスタント

人間とロボットの協働事例として最後に紹介したいのは、私の研究室で現在取り組んでいる新たな研究開発分野である。私たちはこれらのシステムを、現場における人間の能力を拡張するツールと位置付けている。研究成果は近いうちに論文として発表する予定だが、非常に有望な分野だと考えている。さらにこの研究は、環境保全だけでなくブルーエコノミー、漁業、そしてインフラ敷設・維持の分野でも、クィーンズランド州と日本に素晴らしい協力機会を生み出す可能性を秘めている。

協調型ロボティクス：持続的な海洋管理に向けたビジョン

持続的な管理への移行

断続的な海洋調査から、自律システムを活用した大規模かつ継続的な海洋観測・介入へと移行する。

人間によるガバナンスの役割

人間が自律型海洋システムの戦略統括とガバナンスを担うことで、責任ある海洋管理を実現する。

協調的な海洋保全

協力と連携を通じ、海洋を世界中の将来世代の共有資源として適切に管理する。

標準化におけるリーダーシップ

協調型海洋ロボティクスに関する技術標準、倫理基準、運用基準の策定を主導する。

クイーンズランド州と日本が実用化を通じて影響拡大を先導

高度な海洋ロボティクス技術が、サンゴ礁や生態系の管理、災害レジリエンス、次世代ブルーエコノミー産業を支えていく。

私は、これまで紹介してきた応用事例や機会に基づき、こうした技術の活用が環境と社会に貢献するというビジョンを有している。本スライドは、このビジョンの要点をまとめたものだ。

クィーンズランド州と日本の協働に向けた実践的アプローチ

共同海洋テストベッド

熱帯海域と温帯海域に共同テストベッドを設け、ロボットシステム相互運用性の効果的な検証と改善を促進する。

共同資金による人材育成

博士課程やポストドクタープログラムを通じて共通の人材基盤を構築し、クィーンズランド州と日本間の人的協力を推進する。

データとAIベンチマークの共有

共通のデータセットやAIベンチマークを活用することで、再現性と堅牢性を高めるとともに、重複した取り組みを削減する。

産業連携型パイロットプロジェクト

産業界と連携したパイロットプロジェクトにより、研究成果を実運用可能なシステムに展開し、明確なエンドユーザーと具体的な価値を創出する。

冒頭でお話ししたように、クィーンズランド州と日本の企業、研究機関、政府機関の間で、こうしたアイデアや機会を共に探求する機会があることを期待している。この最終スライドでは、そうした協働に向けて取り得るアプローチの要点をまとめている。

ご静聴いただき感謝する。本日の講演が皆様にとって有益なものとなれば幸いである。質問があれば、遠慮なくお尋ねいただきたい。