

2025 年度未踏ジュニア提案書

提案するプロジェクトのタイトル

水中ドローンを使用した水中自己位置推定システム「UmiNavi」の開発

提案者に関する事項

メインクリエータ（代表者）の氏名	松本 慎太郎
グループの場合、メンバーの氏名	

以下の入力欄は必要に応じてサイズを変更できます。図や表の挿入も推奨します。

1. 提案するプロジェクトの簡単な説明（200 字以内）

次のページにある「2. 提案内容」に記載される内容を、簡潔にまとめてください。

「UmiNavi」は、高価だった水中での自己位置推定技術を低コストで実現するオープンソースプロジェクトです。
従来、水中での位置推定は高価な音波システムが必要で、利用が限られていました。
本プロジェクトは安価なセンサーとアルゴリズムで自己位置推定を低コストで実現します。
これにより生態系のモニタリングや水産養殖など、水中ドローン活用を容易にし、「高価で手が出ない」という開発者の悩みを解消します。

2. 提案内容

“UmiNavi”は、個人レベルのドローン開発にも使用可能なオープンソースプロジェクトです。これまで非常に高価であった高精度な水中での自己位置推定を可能にすることが特徴です。

水中ドローンの開発者に向けてオープンソースにすることで、ホビーとしての水中ドローンへの使用はもちろん、研究や産業、例えば、環境調査やインフラ調査、養殖の現場など幅広い用途での使用が見込まれ、様々な分野で社会に大きく貢献できると考えます。

2.1 開発背景・目的

近年、搭載したカメラやセンサーで様々な情報を収集する水中ドローンの応用範囲は急速に拡大しています。

海底地形のマッピング、生態系のモニタリング（例：特定地点の水温変化の調査）、インフラ点検（ダム壁面、港湾施設）、さらには水産養殖（網の監視、給餌状況確認）など、その需要は多岐にわたります。しかし、これらのミッションを効率的かつ高精度に実行する上で、共通の課題が存在します。それが「水中における高精度な自己位置推定」です。

そこで、「水中における高精度な自己位置推定」がもっと安価で正確にできると社会の様々なニーズに応えられるだろうと考えました。

具体的に、水中ドローンを活用する上で以下のようないくつか致命的な問題があります。

・調査、点検の効率低下

例えば、海底の特定の場所を繰り返し調査したい、広範囲のインフラを効率よく点検したいと思っても、正確な位置が分からなければ、同じ場所に戻ることすら困難です。手探りのような作業になり、時間もコストも膨大にかかってしまいます。

・データ価値の低下

取得した映像やセンサーデータも、「どこで」取得された情報なのかが不明確では、その価値は大きく損なわれます。環境の変化を地図上で把握したり、異常箇所を正確に特定したりすることができません。

陸上であれば、GPS で容易に解決が可能なこの問題も、電波が届かない水中では一気に困難になります。現在主流の解決策は、音波を利用した測位システムですが、これらは極めて高価(百万円~)であり、システムによっては海底や水上に音響機器を設置する必要があるなど、運用上の制約も大きいのが実情です。

結果として、高精度な水中自己位置推定は、一部の専門機関や大企業に限られた技術となっており、私のような個人開発者や大学の研究室、スタートアップなどが手軽に利用できる状況ではありません。

私自身、2023 年より水中ドローンを開発(詳細は 4 章参照)していますが、コスト的なハーダルから水中の自己位置推定ができていませんでした。

この課題をなんとか克服できないか?

そのヒントは、私自身のこれまでの経験にありました。

私は 2022 年、陸上においてカメラを用いた自己位置推定技術(vSLAM)と、慣性情報を取り得するセンサ (IMU) を用いた自己位置推定技術の精度を GPS と比較する研究を行いました。

その結果、カメラを利用した自己位置推定技術は GPS と同等の精度を持つことが確認されました。さらに、IMU のデータを融合する(センサーフュージョン技術)ことで、より高精度な自己位置推定が可能であると考察しました。

この研究成果より、

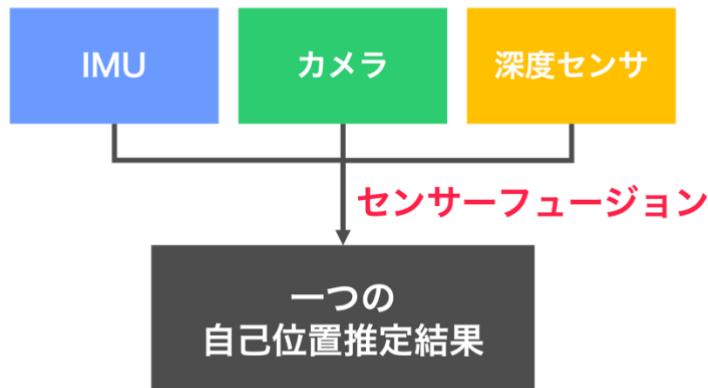
「陸上で実証した vSLAM にさらに精度が向上可能な IMU データを組み込み、水中ならではの絶対的な情報源である深度データを加えれば、高価な音響測位に匹敵する精度を、低コストで実現できるのではないか?」

という着想を得ました。

また、水中ドローンのニーズが膨大であるにも関わらず、技術が限定的であり開発の妨げになっていることも問題であると考えます。

この技術を公開することにより、水中ドローン開発者がより気軽に開発に着手できることで、水中ドローンの発展に寄与できると考え、オープンソースにしたいと考えています。

それぞれセンサにて自己位置推定を実施



高精度な自己位置推定結果を実現

UmiNavi では、安価な市販カメラ(複数台), IMU, そして高精度な水圧センサ(深度センサー)を搭載した水中ドローンを用い、これらのセンサデータを拡張カルマンフィルタ(EKF)等のアルゴリズムを用いてリアルタイムに統合(センサフュージョン)することで、高精度な 6Dof(3 次元位置 +3 次元姿勢)の自己位置推定を実現するシステムを開発します。

技術	精度	コスト	運用性	制約
音響測位システム(USBL)	高	非常に高い (数百万円~)	やや複雑	母船が必要
音響測位システム(LBL)	最高	非常に高い (数百万円~)	複雑	環境に設置が必要
慣性航法(INS)	中~低 (時間経過で劣化)	中~高	容易	ドリフトの蓄積
従来の画像ベース自己位置推定	中	低い (5万円程度)	容易	環境依存
UmiNavi(本提案)	中~高	比較的低い (10万円程度)	容易	少ない

そして、本プロジェクトの最も重要な目標として、開発したソフトウェアと、それを実装するためのハードウェア構成(センサ選定、配置、3D プリント用データなど)をすべてオープンソースとして公開することを掲げます。

私自身が開発で感じた「高価で手が出ない」というフラストレーションを、他の誰もが経験しないようにしたい。

UmiNavi が、世界中の水中ドローン開発者や研究者が自由に利用・改良できるプラットフォームとなることで、水中ドローンの応用可能性をより広げることを目指します。

2.2 開発詳細

2.2.1 システム概要

「UmiNavi」は、GPS信号が利用不可能な水中環境において、水中ドローンの自己位置及び姿勢推定(State Estimation / Pose Estimation)を高精度にかつ低コストで実現するためのオープンソースフレームワークの構築を目的としています。

本システムは、センサープラットフォームとしての機体(ハードウェア)と、マルチセンサーフュージョンに基づく自己位置推定ソフトウェアの2つの主要要素に分け開発を行います。

機体には、視覚情報取得のための複数カメラ、慣性情報取得のためのIMU(Inertial Measurement Unit)、および正確な深度情報を得るための水圧センサを搭載します。

ソフトウェアは、これらのセンサーから非同期に取得されるノイズを含むデータをリアルタイムで統合処理し、6自由度(3次元位置ベクトル+3次元姿勢角)の状態を推定します。

2.2.2 システムの開発

水中ドローン(AUV)の機体開発においては、高水圧環境下での運用への対応が、最も重要な課題の一つとなっています。

本研究では、既存の私が開発している水中ドローンの機体を基盤とし、自己位置推定用の新たなセンサの搭載を実施します。

この機体の筐体には、Blue Robotics社製の防水エンクロージャ(WTE)を採用しております、これにより最大水深140mまでの耐圧性能を実現し、内部電子機器の保護およびシステム全体の信頼性が向上します。



【使用予定のコンポーネント】

・カメラ(4台)

機体の前方・左右にそれぞれ2台ずつ配置し、広視野角の視覚情報を取得します。これにより、Visual Odometry/SLAMでの特徴点マッチングの安定性向上や、テクスチャの乏しい環境下でも高精度な認識が実現します。

・IMU

3軸加速度センサー、3軸ジャイロセンサーを統合したMEMSベースのIMUを搭載し、機体の角速度と直線加速度を計測します。

これにより、短時間での高周波な運動を正確に推定できます。

使用予定のモジュールとしては、Sony Spresense IMUボードを検討しており、複数のIMU(計16基)のデータ統合により、低ノイズ密度の実現が可能となります。

・水圧センサー(MS5837)

±2mmの分解能を持つ高精度MEMS水圧センサーを採用し、正確な深度情報を取得します。

このデータは、IMUの積分誤差によるZ軸方向のドリフト補正や、vSLAMにおけるスケール不定性の解消に利用されます。

・演算ユニット(Raspberry Pi等)

USB、CSI、I2C、SPIなどの複数のセンサーインターフェースを備えたシングルボードコンピュータを用い、後述するセンサーフュージョンアルゴリズムをリアルタイムで実行します。

計算負荷に応じて、NVIDIA JetsonシリーズなどのエッジAIプラットフォームへの移行も検討しています。

【オープンソースハードウェアとしての再現性】

内部コンポーネントのレイアウトや固定治具は3DCADで設計し、3Dプリンタで製作します。

設計ファイル(STEP形式等)を公開することで、ハードウェア構成の再現性を担保し、他の開発者による改良やカスタマイズを容易にします。

2.2.3 位置推定ソフトウェアの開発

ソフトウェアの中核は、異種センサーから得られる情報を確率的かつ統計的に統合し、高いロバスト性を持つ自己位置推定を実現するセンサーフュージョンアルゴリズムです。

1. Visual-Inertial SLAM(VI-SLAM)

・コア技術

カメラ映像から高精度な特徴点（例：SURF, ORB）を抽出し、フレーム間の対応付け（Feature Matching）を行うことで機体の移動量を推定する Visual Odometry (VO) を基本とします。

さらに、ループ閉じ込み検出（Loop Closure Detection）と姿勢グラフ最適化（Pose Graph Optimization）を組み込むことで、大域的な位置ずれを補正する SLAM 技術を採用します。

・IMUとの統合

IMU から得られる高周波な角速度・加速度情報を、vSLAM の特徴点追跡や状態推定プロセスに直接組み込む密結合方式を採用します。これにより、vSLAM が苦手とする高速な運動や特徴点の乏しい環境下での推定精度および頑健性が大幅に向 上します。

具体的には、EKF (Extended Kalman Filter) ベースやグラフ最適化ベース（例：因子グラフ/Factor Graph）の VI-SLAM アルゴリズムの実装を検討しています。

2. 絶対深度情報によるドリフト抑制

VI-SLAM や IMU 時間経過に伴う積分誤差（ドリフト）が避けがたい問題です。

そこで、水圧センサーから得られる高精度な絶対深度情報を、センサーフュージョンの状態更新ステップに観測情報として組み込むことで、Z 軸方向のドリフトを効果的に抑制するとともに、推定結果のグローバルな整合性を向上させることを目標とします。

3. センサーフュージョンフレームワーク

カメラ(vSLAM), IMU, 水圧センサーから得られる非同期かつ不完全、そしてノイズを含む観測データを、各センサーのノイズモデル(分散共分散行列)を考慮しながら統合し、現時刻における状態量(位置、姿勢、速度等)の事後確率分布を推定することを目的とします。

具体的な手法として、拡張カルマンフィルタを使用しようと考えています。これは、非線形システムに対する状態推定手法として広く使用されており、計算負

荷の観点から有力な候補であると考えています。

2.2.4 手法のデメリット

- **計算負荷の問題**

VI-SLAM は計算リソースを大量に消費するため、エッジデバイス上のリアルタイム処理には多くのエネルギーを消費することとなり、音波を使用した手法と比較し消費電力が多くなります。

- **環境依存性**

本手法は視覚情報と IMU に依存するため、視界不良環境では位置ドリフトが DVL より急速に増加する可能性があります。

2.3 既存の研究・比較点

- SVIn2

(<https://github.com/sharminrahman/SVIn2?tab=readme-ov-file>)

SVIn2 は、VI-SLAM に深度センサーとソナーを統合し、低コストでの水中自己位置推定を行うオープンソースソフトウェアです。

SVIn2 も低コスト化を目指していますが、UmiNavi はソナーを使用せず、カメラ・IMU・深度センサーに構成を絞ることで、SVIn2 よりもさらに徹底したコスト削減とシステム構成のシンプル化を追求します。

オープンソースの範囲として、SVIn2 はソフトウェアのみが公開されていますが、UmiNavi はソフトウェアに加えて、センサー選定や配置、3D プリント用データを含むハードウェア構成情報全体をオープンソース化することを目標としています

3. あなたが自分の貴重な時間を使ってこのプロジェクトを実現したい理由

私がこのプロジェクトを実現させたい理由は、水中ドローン開発の技術的ハードルを下げ、より多くの個人開発者に可能性を開きたいという思いからです。

2023年に水中ドローン開発を始めた際、高精度な自己位置推定がなければ効果的な水中調査は不可能だと痛感しました。しかし、従来の音響測位システムは数百万円もの高額投資が必要で、個人開発者や小規模研究室には手が届きません。

この状況が、個人研究での水中ドローン技術の発展と普及を妨げていると感じました。

これまでの私の研究経験を活かせば、カメラとIMU、そして水圧センサーを組み合わせることで、従来の10分の1程度のコストで実用的な精度を実現できる可能性があります。

そして、この技術をオープンソース化することで、世界中の個人開発者が水中ドローン開発に参入する障壁を大きく下げられると確信しています。

水中ドローンには環境調査から養殖支援まで幅広い応用可能性があります。

UmiNaviを通じて、こうした可能性を大企業や研究機関だけでなく、私のような個人開発者たちにも開放し、水中ドローン技術の一般化に貢献したいため、このプロジェクトを実現させたいです。

4. このプロジェクトについて現在までに取り組んだこと

このプロジェクトを実施しようと考えた理由として、これまでに取り組んできた2つの研究があります。ひとつは、水中ドローンの開発、もう一つはGPS非依存での自己位置推定についてです。

4.1 水中ドローンの開発(2023年-)

本研究は、環境調査を目的とした水中ドローンを開発するものである。

2023年から開発を開始し、JAMSTECや琵琶湖で試験を行っている。

3人の中高生チームで開発に取り組んでおり、私はチームリーダーとしてプロジェクトを主導している。

4.1.1 開発背景

近年、地球温暖化などの影響により、湖や海の環境が悪化している。たとえば、水温上昇による魚の生息域の変化や、琵琶湖における全層循環の停止が報告されている。そのため、海や湖の環境調査や気候モニタリングを行うために、複数地点で深い水深にも対応できる長期間の観測が可能な水中ドローン(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)が求められている。

しかし、現在市販されている環境調査用水中ドローンは1機あたり数百万円と高価であり、複数地点での観測が困難である。この課題を解決するため、1機あたりのコストを10万円以下に抑えつつ、水深・水温・水中映像などの環境情報を長期間安定して観測できる水中ドローンの開発に行うこととした。

4.1.2 開発目的

本研究では、低コストで高性能な水中ドローンを開発し、水環境の包括的な調査システムの実現を目指している。具体的な開発目標は以下の3つである。

1. 耐圧性能の向上

水深140mまでの耐圧性能を実現し、琵琶湖全域での環境調査を可能にする。

この性能は琵琶湖最深部(約104m)を含む湖沼全域の調査を可能にするだけでなく、沿岸域から深水域に至るまでのさまざまな生態系や環境変動を観測できるようになる。

これにより、従来観測が難しかった深層域での環境変化を詳細に把握することが可能となる。

2. 高精度データの取得

高精度での水深・水温・画像データの取得を実現する。特に水温データは、琵琶湖の全層循環という重要な生態学的現象を観測するうえで不可欠である。

琵琶湖の全層循環とは、冬季に表層水が冷却されて密度が上昇し、深層水と入れ替わることで起こる鉛直混合現象である。この現象により、深層への酸素供給が行われ、底生生物の生存に必要な溶存酸素が補給される。また、深層に蓄積された栄養塩が表層へと運ばれることで、プランクトンをはじめとする生物の生産活動が支えられている。

しかし、近年の地球温暖化の影響により琵琶湖の全層循環の停滞が観測されており、生態系への深刻な影響が懸念されている。そのため、高精度な水温データの取得は、この重要な環境変動を監視する上で不可欠である。

3. 低コスト化による多点観測

第三に、一機あたりのコストを10万円以下に抑えることで、多点同時観測を実現可能にする。従来の水中ドローンは数百万円という高額な費用が必要であり、複数地点での同時観測が経済的に困難であった。

本研究では、低コスト化を実現しながらも必要な性能を確保することで、より広範囲での同時観測を可能にし、水中空間的により詳細な環境モニタリングを実現する。これにより、琵琶湖全域における水温構造の変動や、全層循環の進行状況をより正確に把握することが可能となり、効果的な環境保全策の立案に貢献することを目指す。

4.1.3 開発概要

2023年7月より、3人の中高生チームで水中ドローンの開発を進めており、私はチームリーダーとして予算管理やタスク管理などのマネジメントを行っている。

また、技術面では、3D CADによる内部部品の設計、3Dプリンタを用いた部品製作、動作プログラムの開発、MATLABによるデータ分析を担当している。

4.1.4 開発詳細

1. 機体概要

水中ドローンは、データ取得を行うセンシング部と、浮力を調整し機体の動きを制御する浮力調整機構部の2つの独立したコンポーネントから構成されている。

センシング部には、高精度水温センサや水圧センサを搭載し、環境データを取得する機能と、4Kカメラによる映像記録機能を備えている。また、浮力調整機構部へ制御信号を送り、機体の動作を管理する。

浮力調整機構部は、圧縮炭酸ガスを用いて風船に空気を出し入れすることで浮力を調

整する。電磁弁を制御することでガスの流れを管理し、従来のモーター制御方式に比べて省電力化を実現した。これにより、外部電源を必要としない長期間のデータ収集が可能となった。

以下写真は、センシング部と浮力調整機構部の画像である。



センシング部及び浮力調整機構部

2. データセンシング機構の開発

水深 100m 以上の地点では、地上の 10 倍以上の圧力がかかるため、防水性・耐圧性が非常に重要となる。

このような高圧環境に対応するために、耐圧容器として Blue Robotics 社の防水エンクロージャ (WTE) を採用した。この耐圧容器は水深 140m までの耐圧性能を持ち、琵琶湖を含む広範囲の水域における調査を可能にしている。

耐圧容器の選定理由は、その高い信頼性にある。この耐圧容器は JAMSTEC(海洋研究開発機構)や NOAA (アメリカ海洋大気庁) といった国際的な研究機関で広く使用されており、厳しい環境下でも実績がある。また、設計面では優れた密閉性と耐久性が保証されており、複数回の使用や長期間の観測においても安定した性能を発揮できる。

温度センサには、Measurement Specialties 社製 TSYS01 を採用し、± 0.1 °C という高精度での温度データ取得を実現した。

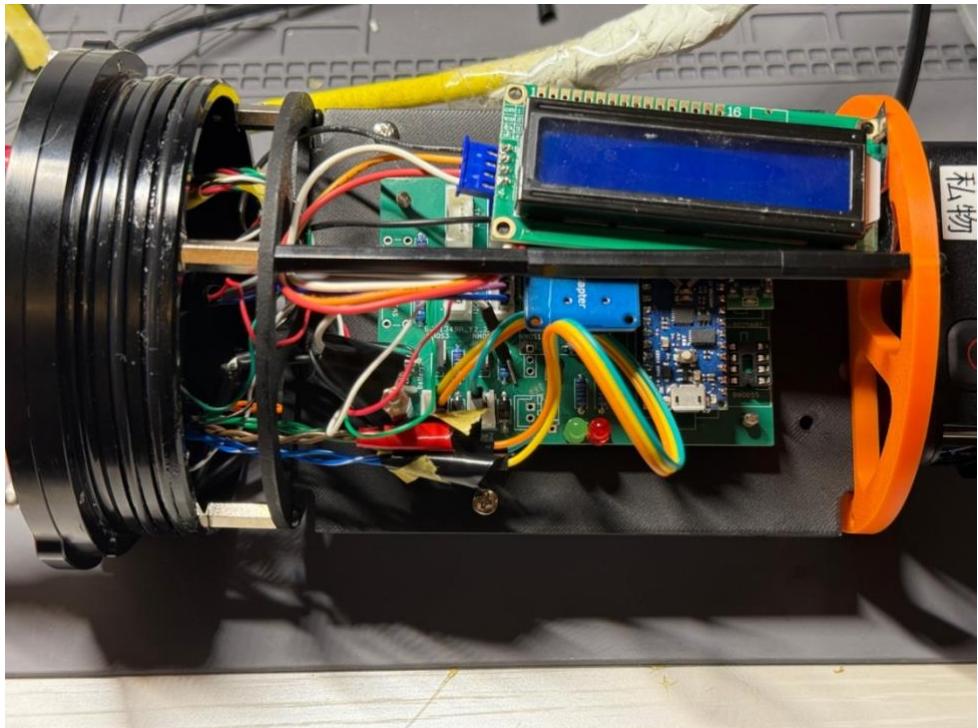
水圧センサには Blue Robotics 社製 MS5837 を採用し、解像度は ±2mm、絶対精度は ±100cm に達しており、正確な深度データの取得が可能となっている。

さらに、機体内部に 4K カメラ (GoPro Hero10) を搭載し、4k 解像度での物理情報(映像データ)の取得が可能となった。これにより、水中環境での視覚的モニタリングを高い精度で行える様になり、生態系や物理的な環境変化を詳細に記録できる。

電源には 10000mAh の大容量リチウムイオンポリマーバッテリーを使用しており、長期間のデータセンシングが可能となり、フィールドでの連続観測に対応できるようになっ

ている。

電子基板やカメラなどの各コンポーネントを機体内部に確実に固定するため、部品を3DCADで設計し・3Dプリンタで製造した。機体の内部構造は、衝撃や振動に対する耐性を考慮した設計となっており、過酷な水中環境下でも安定した性能を発揮する。



設計・製造を行なった内部固定部品

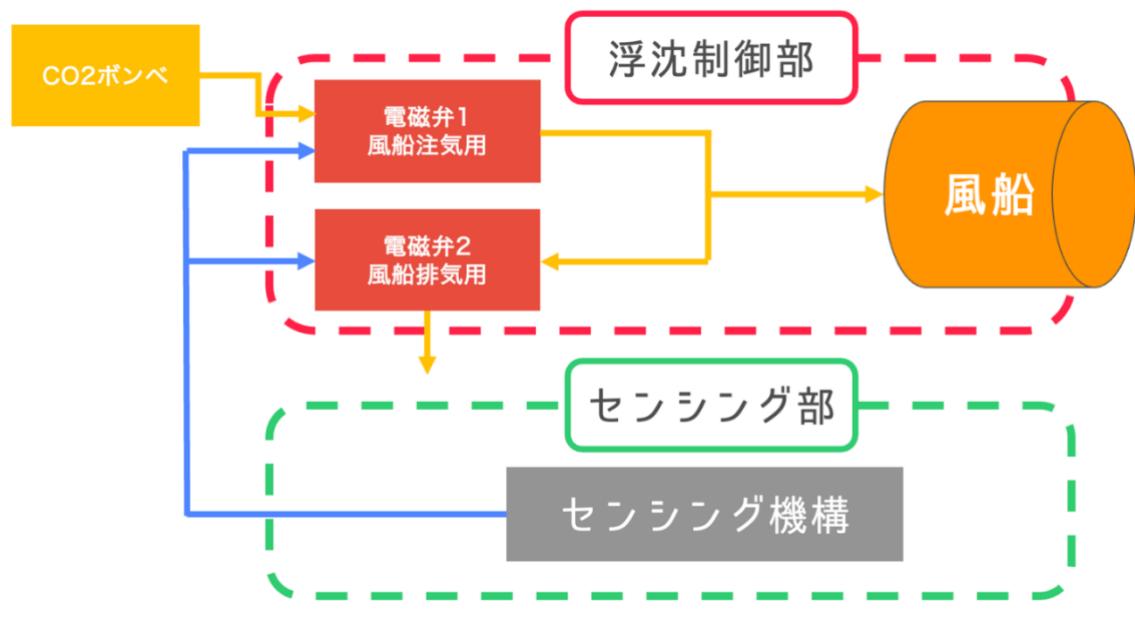
3. 浮力調整機構の開発

我々が開発した機体は、動力に圧縮炭酸ガスを使用し、2つの電磁弁を制御することでガスの流れを調整し、風船を膨らまし、萎ませることで機体の浮力を制御している。

この圧力調整機構の概略図を次ページに示す。

浮力調整機構部の筐体には、直径100mmの塩ビ管を用い、ドリルで穴を開けたものを使用している。そして、電子部品である電磁弁のみエポキシパテを用いて防水加工をしている。

本機構により、浮力の調整が可能となり水中環境や水深の変化に応じた柔軟な浮力制御が可能となる。また、この設計により機体の軽量化とメンテナンスの容易さも実現している。



圧力調整機構 概略図

4.1.5 これまでの試験

水中ドローンの性能を実証するため、複数回にわたる試験を実施した。

ここでは、その中でも特に重要な3種類の試験を紹介する。

1. 信楽川試験(2023年11月)

水中ドローンの浅深度(水深3m程度)における防水性能、耐圧性能、および浮力調整機構の動作の確認するために、2023年11月に琵琶湖下流の信楽川にて試験を実施した。

試験は成功し、すべてのデータを正常に取得できた。

以下の画像は、試験中の水中ドローンの様子を示している。

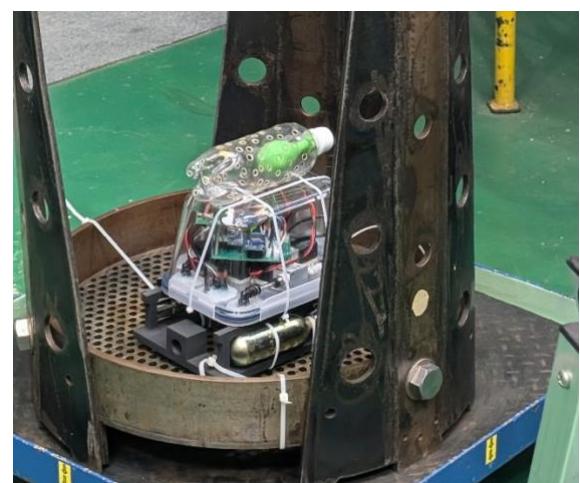


2. JAMSTEC耐圧試験

水中ドローンの深深度(水深30m程度)における防水性能、耐圧性能、および浮力調整機構の動作の確認するために、2024年7月にJAMSTEC(海洋研究開発機構)の加圧装置を用いて試験を実施した。

この試験は、水深約30m相当の圧力環境を再現し、すべてのデータが正常に取得された。

以下の画像は試験の様子である。



3. 琵琶湖実地試験

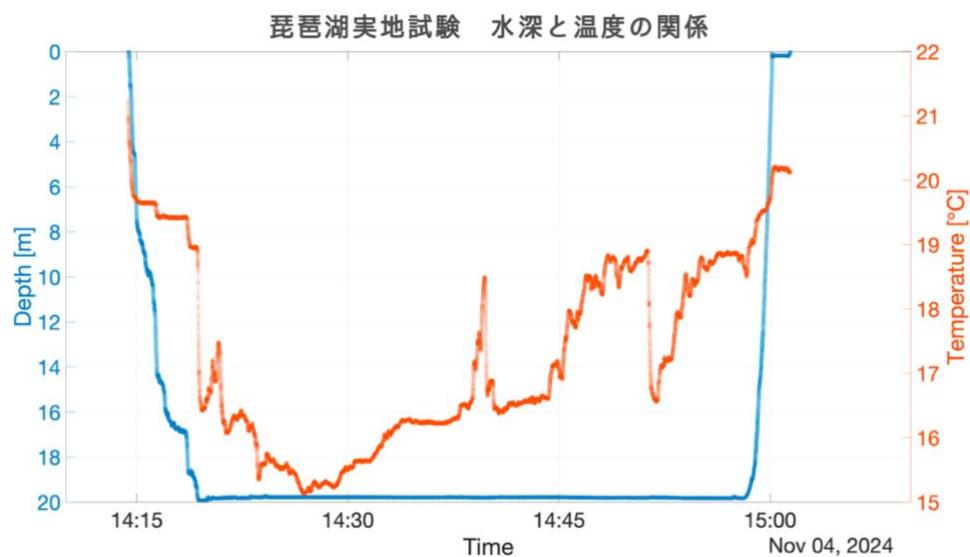
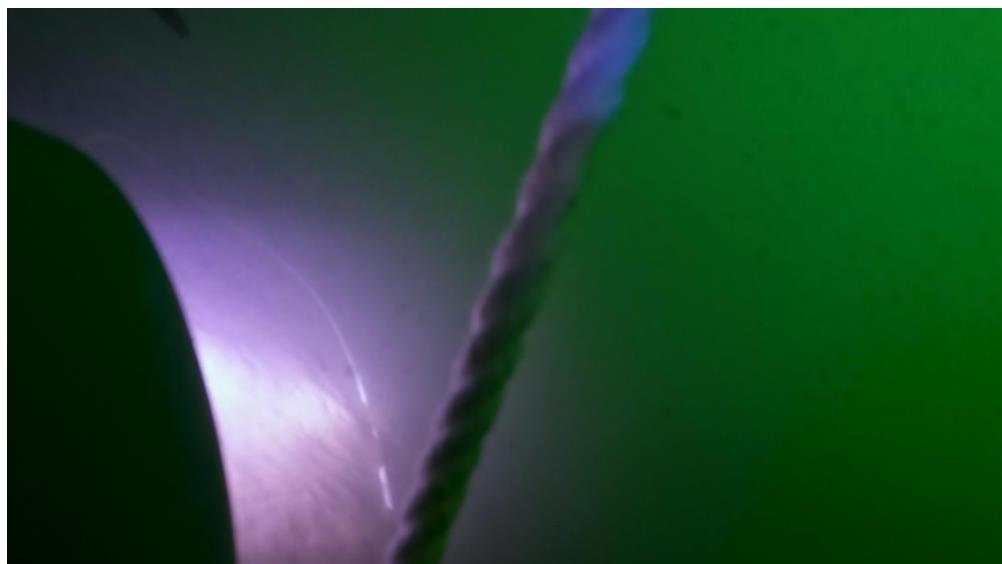
開発した水中ドローンの性能を実際の自然環境で確認するため、琵琶湖において実地試験を実施した。

この試験の主な目的は、まず深度 20m における耐圧性能の確認であり、水中での極端な圧力環境でも機体が安定して動作するかを確かめることである。さらに、試験では水圧と水温のデータを高周期で取得し、データ収集が正確に行われるかどうかを検証する。

加えて、試験では 4k カメラを使用し、高画質な湖底映像の撮影も行なう。これにより、水中の環境などといった詳細な視覚的記録を得ることができ、今後の調査やデータ解析に役立てる。

試験は 2024 年 11 月 4 日 14 時に琵琶湖の北部、安曇川沖付近で実施し、成功を収めた。すべての機構が正常に動作し、4K カメラによる湖底撮影や高精度な水深・水温データの取得が実現した。

以下に、数値解析ソフト MATLAB を使用して作成した水温と水深のグラフを示している。



4.2 GPS 非依存の位置推定手法における実環境での適用性評価

本研究では、GPS に依存しない位置推定手法の有効性を評価するため、IMU(慣性計測装置)と vSLAM(Visual Simultaneous Localization and Mapping)の精度を GPS と比較した。

中高生 3 人で研究を行い、私はリーダーとしてチームを主導した。研究成果は MathWorks が主催する「MATLAB EXPO 2023」で研究発表ポスターを出展し、ポスターセッションで 1 位を獲得した。(以下の URL よりポスターが確認できます)

<https://www.matlabexpo.com/content/dam/mathworks/mathworks-dot-com/images/events/matlabexpo/jp/2023/Evaluation-of-real-world-applicability-of-gps-independent-location-estimation-methods.pdf>

4.2.1 研究背景

GPS は自己位置推定に広く利用されているが、GPS 信号が届かない場所では代替の位置推定技術が求められる。例えば、山岳地帯の峡谷や都市部の高層ビル群、水中など、さまざまな環境で正確な位置情報が必要とされる場面が多い。

本研究の目的は、実環境で GPS 非依存の位置推定手法を評価し、それぞれの技術の利点と限界を明らかにすることである。この比較を通じて、GPS が使用できない状況における最適な位置推定手法を見つけ出すことを目的としている。

4.2.2 IMU 及び vSLAM 技術の概要について

一方、vSLAM(Visual Simultaneous Localization and Mapping)は、画像データを用いて自己位置推定と環境マッピングを同時に行う技術である。今回は、単眼カメラでは距離計算が難しいため、間隔 50cm の 2 台のカメラを使用したステレオカメラ方式の vSLAM を採用した。

4.2.3 実験手法

実験では、IMU と vSLAM による位置推定が GPS と比較してどの程度の精度であるかを検証した。自転車にスマートフォン(IMU センサを内蔵)と 2 台のカメラを取り付けた自作の観測装置を使用し、実際に道路を走行しながらデータを収集した。カナダにて IMU と vSLAM のデータを用いてそれぞれ自己位置推定を行い、GPS との比較によって精度を評価した。

実験のルートは、カナダの住宅街にある道路の直線約 100m であり、GPS 信号の受信が可能な環境下で行った。



走行したルート

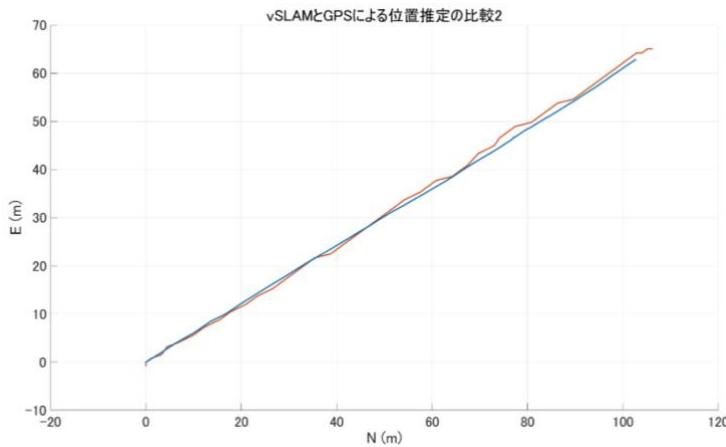


自作した観測装置

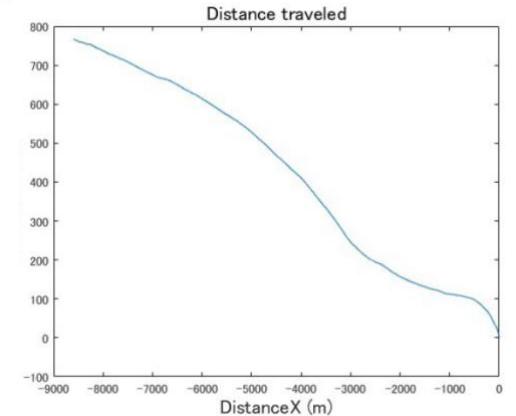
4.2.4 結果

vSLAM による位置推定は GPS とほぼ同等の精度を示した。fig. 11 に示すように、GPS と vSLAM の位置推定結果はほぼ一致しており、約 100m の走行距離に対して GPS に近い精度を実現できた。

一方、fig. 12 が示すように IMU のみを用いた位置推定では、進行方向に対する移動距離で大きな誤差が生じた(X 軸方向に約 -9000m、Y 軸方向に約 800m のズレが発生)。このことから、IMU 単体での位置推定には精度の限界があると考えられる。



vSLAM を用いた自己位置推定結果



IMU を用いた自己位置推定結果

5. 提案者がこれまで制作したソフトウェアまたはハードウェア

1. 成層圏観測機器の開発 「成層圏での紫外線(UV-B)の調査」

(2021年 中2)

一般社団法人 e-kagaku 国際科学教育協会が主催する「スペースバルーンプロジェクト 2021」において、「成層圏での紫外線(UV-C)の調査」をテーマに観測機器(ロガー)を開発し、バルーンを用いて成層圏への打ち上げを実施した。

当時、私は中学2年生であり、中高生7人から成るチームのリーダーとしてプロジェクトを主導した。

1.1. 開発背景

近年の技術の進歩により、人間が成層圏に容易に到達することが現実味を帯びてきている。しかし成層圏には、地上には届かない、大気圏内で除去される波長の短い人体に有害な紫外線(UV-C)が存在する。

今後、人間が成層圏に進出する際、紫外線が人体に及ぼす影響と、それを防ぐためのコーティングの有効性について調査する必要があると考えた。

1.2. 観測機器の開発

観測機器には3個の紫外線量センサを外部に露出する形で取り付け、センサの上に透過率の高い透明シートを配置した。このシートには、紫外線を除去するコーティングとして市販の日焼け止めと工業用のUVカット剤の2種類を塗布し、未塗布センサとの紫外線量の比較を行った。

さらに、気温、気圧、GPSデータの取得および成層圏での動画撮影も実施した。

以下は観測機器の画像である。



fig. 1 開発した観測機器

1.3. 結果・考察

2021年9月20日、沖縄県宮古島市から成層圏に向けて観測機を打ち上げ、正常にデータを取得することに成功した。

その結果、日焼け止めが工業用UVカット剤よりも優れたUVカット効果を持つことが明らかとなった。未塗布のものと比較した場合、日焼け止めは約70%の紫外線カット効果を示した。

したがって、人体が成層圏に短時間滞在する場合、日焼け止めで十分な紫外線防止効果が得られることが示された。

fig.2は、観測機で成層圏より撮影した地球の画像である。



fig. 2 観測機で成層圏より撮影した地球



fig. 3 放球時の写真

2. 機械学習によるサンゴ礁の検出（2023年 中2-中3）

前述した成層圏探査プロジェクト「スペースバルーンプロジェクト2021」で取得した宮古島周辺の画像データを用い、深層学習(YOLOv2)を活用した画像からのサンゴ礁検出を数値解析ソフトウェア MATLAB を用いて開発した。

研究成果は MATLAB の開発元である MathWorks が主催する「MATLAB EXPO 2022」において研究発表ポスターを出展し、ポスターセッションで1位を獲得した。
(ポスターは本報告書末尾に添付)

2.1. 研究背景

地球温暖化などの影響で、サンゴ礁が白化(サンゴが白くなり、最終的に死亡する現象)するケースが増加している。宮古島周辺でも同様の現象が確認されており、この問題への対策が急務である。そこで、サンゴ礁を自動検出し、迅速かつ容易にサンゴの分布を確認できる方法の開発が必要だと考えた。

従来、サンゴ礁のリモートセンシングは主に衛星からの分光計測(波長帯ごとの計測)に依存しており、1度の調査に莫大な費用がかかってしまう。

しかし、画像を用いたサンゴ礁の検出であれば、より安価に計測が可能であると考えた。

2.2. 深層学習ネットワークモデルの開発

画像からのサンゴ礁検出には、深層学習ネットワークモデル YOLOv2 を使用した。他の手法としては DPM や Faster R-CNN があるが、YOLOv2 を選定した理由はその処理速度の優位性にある。DPM や Faster R-CNN は画像の領域推定と分類が分離されているため、処理が複雑である。

一方、YOLO は画像認識を回帰問題として捉え、領域推定と分類を同時にを行うことで処理速度を向上させている。

ネットワークの学習には、自作の観測ロガーで取得した 350 枚の画像データを使用し、サンゴ礁のラベリングを行った。

fig.4 は観測ロガーより撮影した宮古島周辺の画像である。

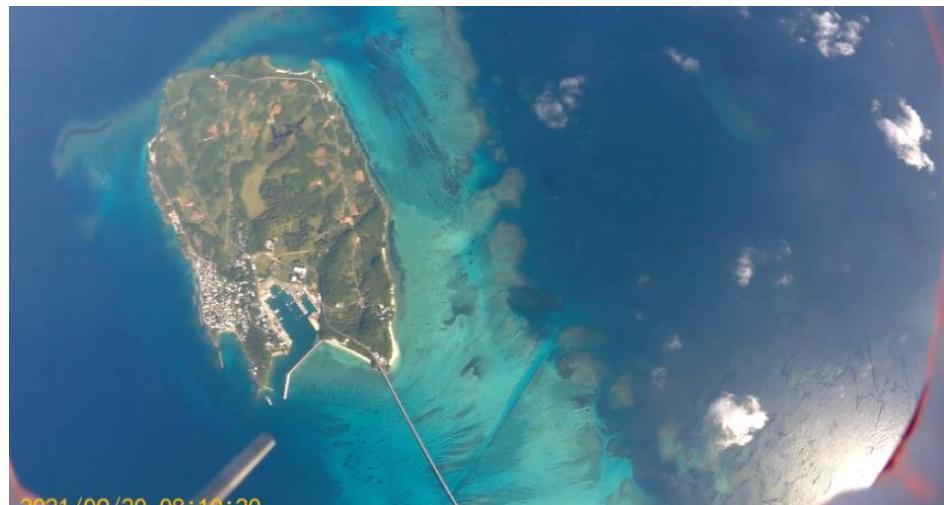


fig.4 観測機器より撮影した宮古島周辺画像

2.3. 結果

開発した深層学習モデルを用いたサンゴ礁の検出は、高い精度を示した。fig.5,6 に示すように、サンゴ礁を明確に認識することができた。

正答率については 80%を超える、高い精度での検出に成功した。



fig. 5 サンゴ礁の検出結果 1



fig. 6 サンゴ礁の検出結果 2

3. 超小型人工衛星(CubeSat)「IWATO」の開発（2021年- 中2-）

一般社団法人 e-kagaku 国際科学教育協会が主催する「衛星プロジェクト」において、2022年より 10cm 角の超小型人工衛星(1U CubeSat)「IWATO」の開発に携わっている。

私は衛星に搭載する各種センサの検証と評価を行う試験検証班に所属するとともに、衛星との通信を確立し、軌道上での運用を行う地上運用システムの構築・開発も担当している。

3.1. 開発概要

「IWATO」は 10cm 角の超小型人工衛星であり、2025 年 4 月に国際宇宙ステーション(ISS)から宇宙へ放出される予定である。

衛星には、GPS を用いた位置情報の取得、IMU を用いた機体の姿勢測定、バッテリー残量や温度のシステムモニタリングといった基礎的な運用データを取得し送信する機能が備わっている。

特筆すべき機能として、「レーザーリフレクタ」を搭載している。

レーザーリフレクタは地上からのレーザー光を効率よく反射し、高精度な位置測定を可能にする装置である。地上局が衛星に向けて強力なレーザー光を発射し、反射光の到達時間を精密に測定することで、センチメートルオーダーの精度で衛星の軌道情報を取得する。この技術は衛星レーザー測距(SLR: Satellite Laser Ranging)として知られ、宇宙飛行物体の軌道を高精度に測定することができる。

SLR 技術の実証により、将来的にはすべての宇宙飛行物体にこの装置を取り付け、スペースデブリの軌道を正確に把握することで宇宙空間の安全性向上が期待される。

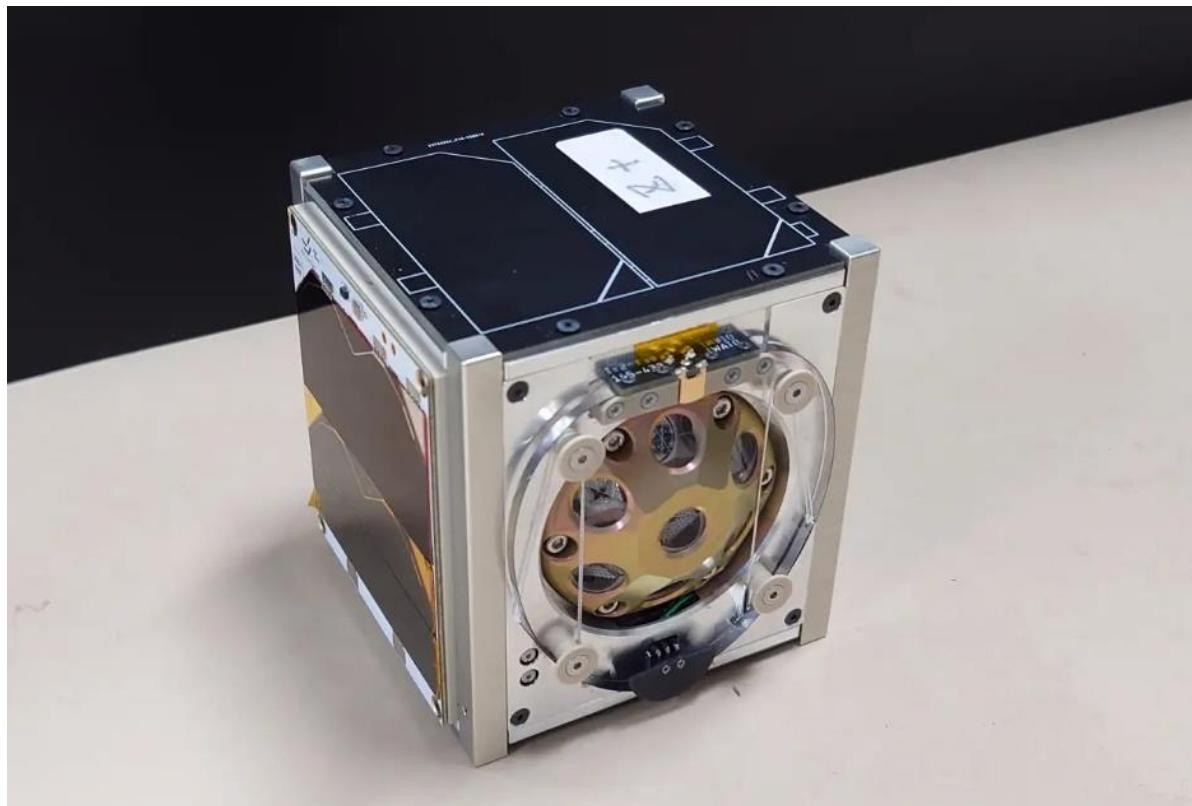


fig. 7 開発中の人衛星「IWATO」

3. 2. 試験検証班での活動

私は中学2年生の時から、人工衛星に搭載するセンサの選定および検証・評価を担当する「試験検証班」に所属していた。

特に、衛星の姿勢を測定するIMU(慣性測定装置)センサの選定と性能評価に注力してきた。IMUセンサは、衛星の向きや動きを計測するための重要な装置であり、その正確なデータ取得は衛星の姿勢制御に直結する。

ここでの研究成果を発展させ、「GPS非依存の位置推定手法における実環境での適用性評価」というテーマでまとめ、MATLAB EXPO 2023にて研究発表ポスターを出した。ポスターーションでは、来場者から高い評価を受け、最優秀賞である1位を獲得した。次項4で詳細を述べる。

3. 3. 衛星運用システムの開発

高校1年生からは、人工衛星との通信を確立し、軌道上での運用を行う地上運用システムの開発に従事している。

私は主に、衛星から取得するデータを保存・管理するためのデータベース構築、運用システムを収容するケースの設計、さらにはシステム全体の動作検証などを担当している。



fig. 8 開発中の様子

4. ニューラルネットワークおよびLLMを用いた魚類の検出と分類

(2024年高2)

本研究は、水中の映像から魚類を自動的に検出および分類することで、海洋生態系の変化を効率的に把握する方法の構築を目的としている。

気候変動の影響で海洋生物の分布が変動していることから、生態系の動態を迅速に評価する必要が高まっている。このため、YOLOv4 を用いた魚類の検出およびOpenAI の大規模マルチモーダルモデル(LMM)を活用した分類手法を導入した。

4人で研究を行い、私はリーダーとしてチームを主導した。研究成果は MathWorks が主催する「MATLAB EXPO 2024」で研究発表ポスターを出し、ポスターセッションで2位を獲得した。
(ポスターは本報告書末尾に添付)

4.1. 研究背景

気候変動による海洋環境の変化が、海洋生物の分布に大きな影響を及ぼしている。

魚類をはじめとする海洋生物は、海水温の上昇や酸性化に敏感であるため、分布範囲が変動しやすい。このような影響を把握するためには、対象生物の分布や個体数を高頻度で観測し、生態系への影響評価を行う必要がある。しかし、従来の手法では映像や画像データの分析に大量の労力を要するため、効率的な方法の開発が求められていた。

そこで本研究では、深層学習とLMMを活用した自動化技術を導入し、迅速かつ精度の高い調査を目指した。

4.2. 検出手法

YOLOv4による検出、カルマンフィルタによるトラッキング、LMMによる分類という流れを構築することで、効率的かつ精度の高い魚類の検出および分類システムを構築した。

深層学習モデルYOLOv4と大規模マルチモーダルモデルLMM(GPT-4-Turbo)を組み合わせ、魚類の検出および分類を効率的に行う手法を構築した。まず、YOLOv4を用いて水中映像内の魚類を高速に検出した。YOLOv4は、短時間で物体を認識するモデルであり、本研究では転移学習を用いることで多様な魚種を精度高く検出可能とした。

次に、カルマンフィルタを活用して検出した魚の位置を追跡し、各フレーム間で魚の移動を予測した。これにより、映像内で連続する魚の動きも正確にトラッキングすることが可能となつた。

検出された魚の種類を特定するために、LMM(GPT-4-Turbo)のイメージキャプショニング機能を用いた。これにより、検出された魚の画像をLMMが解析し、特定の魚種として分類することができた。従来の方法と比較して、LMMの導入により分類作業が迅速化され、一般的な魚種に対して高精度の分類を実現した。

4.3. 結果

開発したシステムは、YOLOv4 および LMM を活用することで、魚類の検出と分類において高い精度を達成した。

fig.9 および fig.10 に示す通り、YOLOv4 による魚類の検出正答率は 76~77%を記録し、高い精度で魚類を識別することに成功した。

分類については、一般的な魚種の正答率が 90%を超えること、LMM による迅速な分類が可能であることが確認された。一方、一般的でない魚種においては正答率が 5割程度にとどまり、分類の精度向上が今後の課題とされる。

また、トラッキングモデルの精度(Multi-Object Tracking Accuracy; MOTA)は約 73%であり、魚類の位置追跡においても優れた精度を示した。

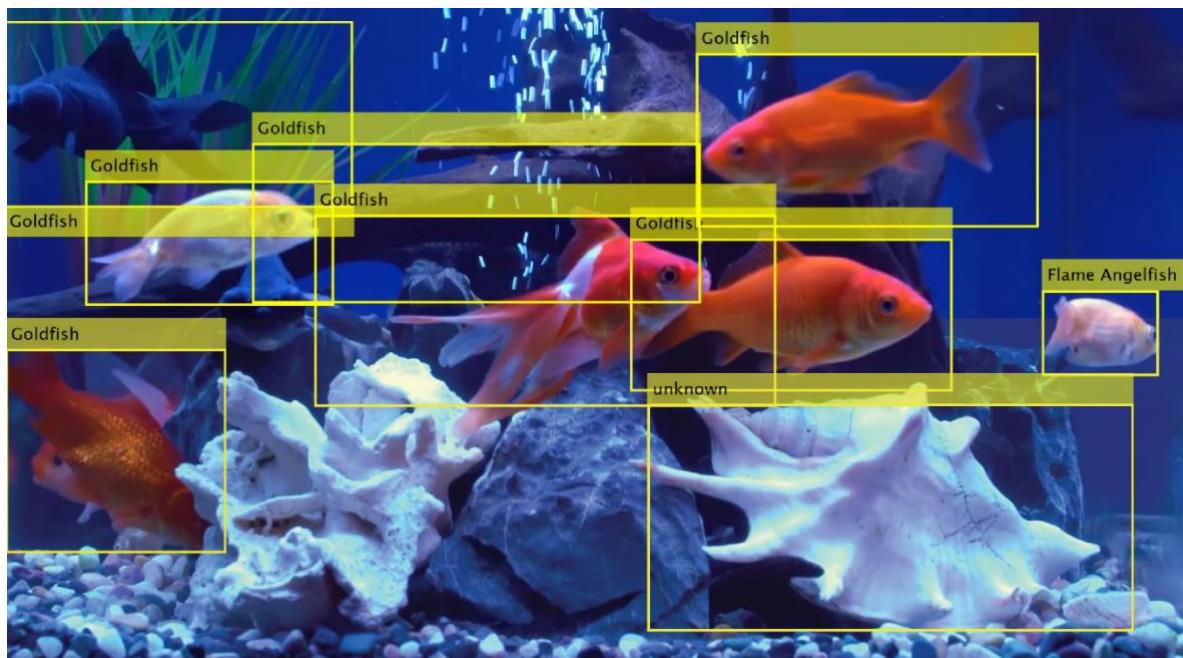


fig. 9 検出結果 1

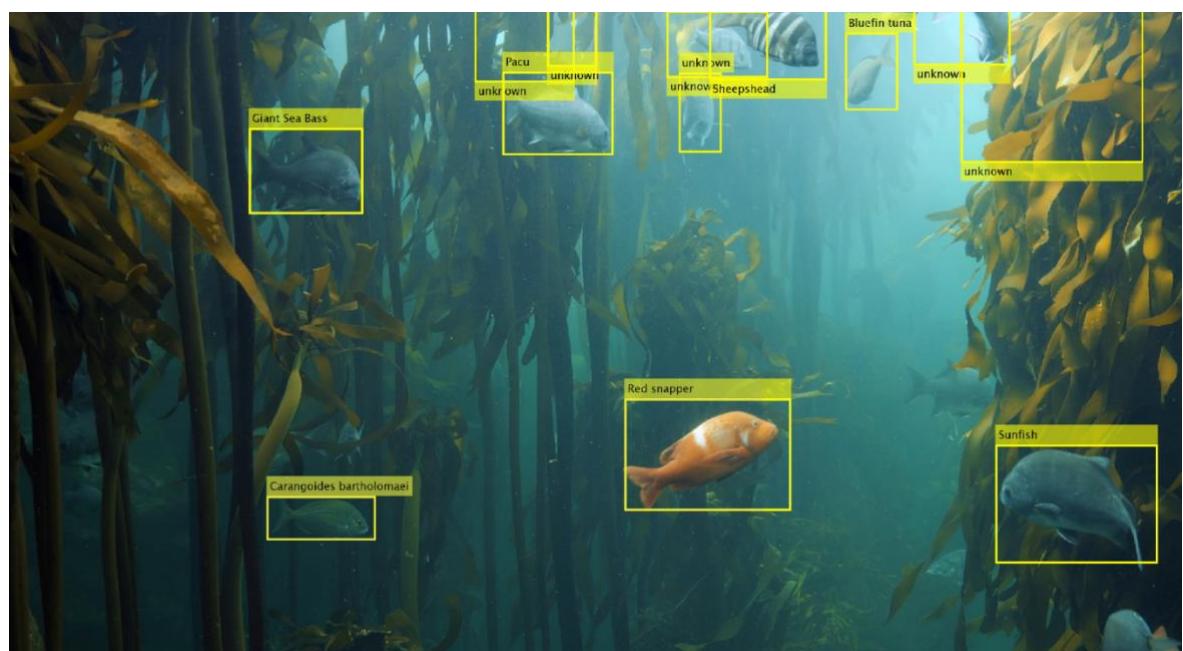


fig. 10 検出結果 2

6. 週あたりの作業時間の目安

学期中：1日2時間 * 週4日

夏休み中：1日3～5時間 * 週4日

7. 開発費の使用計画

1. 検証用水中ドローンの部品代 7万円
2. 自己位置推定に使用するカメラ代 5万円
3. 自己位置推定に使用する IMU 代 4万3千円
4. 自己位置推定に使用する深度センサ代 1万5千円
5. 水中ドローンに搭載する演算ユニット (Raspberry Pi もしくは Jetson nano) 5万円
6. 消耗品(部品の固定治具を作成するためのフィラメント代など) 5万円
7. 予備費 20万円

8. 自己アピール

私を一言で表現すると、「好奇心の塊」です。気になることは深堀りし、行動せずにはいられない性格です。

【好奇心旺盛の原点】

私は幼少期から未知の世界への強い憧れを抱いていました。好奇心を刺激するものには没頭せずにはいられず、幼稚園児の頃から科学館の宇宙展示に熱中していました。宇宙への強い関心が芽生えたきっかけは、ブラックホールでした。それは光さえも吸い込むという驚くべき特性を持つことや、まだまだ解明されていないことの多い天体であることに、強く心を惹かれ、宇宙の謎を自ら解き明かしたいという思いが芽生えました。

【プログラミングとの出会い】

小学4年生のとき、プログラミングを本格的に習い始めました。入会時に代表の先生から聞いた「科学技術は人に利益をもたらすが、使い方を誤れば人を殺す兵器ともなりうる」という言葉に感銘を受け、将来は、人の役に立つ機械を作りたいと強く決意しました。

プログラミング言語を習うほかに、様々な言語を独学でマスターしました。

【モノづくりに魅入られる】

プログラミングを学ぶうちに、機器の製作にも興味を持ち、電子回路やはんだ付けなどの知識や技術を身につけました。ハードウェアとソフトウェア製作両面での試行錯誤を重ねることで、もっと学びたい！向上したい！何より楽しい！とモノづくりに魅入られました。

【今後の希望】

自ら製作した機器で宇宙や水中などの未知の分野を解明したいと考えるようになりました。今後も、解明されていないことを自らの手で解明し、社会に役立つ研究を行っていきたいです。