

# 無人機による超広域海底探査への挑戦

九州工業大学若手研究者フロンティア研究アカデミー

西田 祐也



## 海洋探査の現状

地球表面の7割以上を占める海には海底資源が豊富にあると知られていますが、これまでに調査されている海底は全体の15%程度しかありません。また、計測された海底地形は1kmメッシュという非常に荒い解像度で計測されており、既存の調査結果から海底資源がある特徴的な地形を探し出すのは非常に困難です。海底資源の位置を特定するには、海中ロボットにより海底近くから高解像度で計測する必要があります。

海中ロボットは、搭乗者が直接的にロボットを操作する有人潜水艇(HOV: Human Operated Vehicle)、

支援船にいる操縦者がモニター越しに操作する遠隔操縦型海中ロボット

(ROV: Remotely Operated Vehicle)、プログラムによってあらかじめ設定された行動を自動的に行う自律型海中ロボット(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)の3種類に分けられます。HOV、ROVはリアルタイムに海底の様子を確認しながら観測地点を自由に決められますが、移動が制限(HOVは操縦者の安全、ROVは支援船と接続されたケーブル)されるため、

広域航行が必要な資源探査には向きません。一方、AUVはケーブル等で移動が制限されず、一定高度、一定速度で広域を航行しながら海底を観測できます。しかし、AUVはスペースや電力に限りがあり、予期せぬトラブルで自動航行を停止するため、現場海域までの輸送や展開・回収時には、HOVやROVと同様に支援船のサポートが必要不可欠です。支援船が必要である既存AUVは運

用コストが非常に高いため、AUVによる海底資源探査は頻繁に行われず、海底資源調査に必要な1〜10mメッシュの解像度の海底地形データがほとんど集まっていないのが現状です。

## 海洋探査技術の国際競技会

2015年12月に米国非営利組織のXPRIZE財団は、賞金総額が700万USDである海洋探査技術の国際競技会Shell Ocean Discovery XPRIZE(SOD-X)の開催を公表しました。

SOD-Xは決められた時間内に無人機(支援船レス)で陸地から離れた深海域の海底を広範囲に亘って調査する競技会のことであり、最終審査であるRound2では最大水深4,000mの海域において、24時間以内に最低250km以上の地形計測が求められています。世界でも類を見ない無人機による海底探査システムにて、既存のAUVによる調査の20倍以上の面積を1度に計測しなければならぬ本競技会のルールは、現段階の海洋探査技術を1段階も2段階も上に押し上げなければ達成できない、非常に困難な課題と言えます。また、本競技会は初の本格的な深海の海洋探査技術の国際大会であり、石油業

界大手のRoyal Dutch Shellがメインスポンサーを務めることから、本競技会のルールは水中ロボットに対する世界的なニーズであると考えられます。SOD-Xには25カ国から集まった32チームがエントリーし、2016年に技術提案書審査、2017年〜2018年にかけてRound1、2018年にRound2が行われました。

超難関な国際競技会であるSOD-Xに挑戦するため、著者を含む若手研究者4名が立ち上がり、九州工業大



図1 日本共同チーム Team KUROSHIO

学、東京大学生産技術研究所、海洋研究開発機構、海上・港湾・航空技術研究所、三井E&Sホールディングス、日本海洋事業株式会社、KDDI総合研究所及びヤマハ発動機株式会社との8機関で構成される日本共同研究チーム『Team KUROSHIO』を結成しました(図1参照)。Team KUROSHIOには、海中ロボットの開発、研究、運用、通信、データ処理に関する40名の専門家が所属しており、2016年からSOD-X優勝を目指し活動を行っています。無人機による広域海底探査の実現のため、我々は図2に示すような複数のAUVと洋上中継器(ASV: Autonomous Surface Vehicle)を組み合わせた探査システムを開発しました。SOD-Xの最低探査面積である250km<sup>2</sup>の海底地形を24時間以内に計測することは、一般的なソナーを搭載したAUV1台では不可能です。また、調査する海底の環境(起伏や潮流など)を予測し、AUVの運動の全てを事前にプログラミングすることは困難を極めます。そのため、AUVの状況に応じて臨機応変にAUVの設定を変更する必要がありますが、岸壁にある基地局から電波が届かな

い海中にいるAUVと直接通信することはできません。そこで、我々は並列航行する複数のAUVによって海底を同時計測し、洋上にいるASVによって海中のAUVをサポートする探査システムを提案しました。大容量のバッテリーや高出力の推進器を搭載したASVによってAUVを調査海域まで輸送することで、遠方の海域においてもAUVが最大効率で海底を調査することができます。航行中のAUVのナビゲーション情報は音響通信装置を介してASVに送られ、AUVの位置はASVに搭載した音響測位装置にて常に計測されます。基地局にいる操縦者は、ASVから衛星通信経由で送られるAUVの情報を見直し、必要に応じてAUVに命令を送ることが可能です。

**国際競技会準優勝までの歩み**

我々は提案した探査システムを資料にまとめ、2016年9月にXPRIZE財団に提出し、第1関門である技術提案書審査を通過してRound1進出チームである21チームに選ばれました。その後、我々の探査システムに必要な機能をTeam KUROSHIOの機関が所有するロボット(図3の右

側)に実装し、何度も実海域にて試験を実施し調整を行いました。無人機による探査システムの開発は手探りの状態で試行錯誤的に行われ、また各機関の本業の合間ではTeam KUROSHIOの取り組みを行えないため、進捗は計画時より大幅に遅れ、連日に亘り作業や調整に追われました。それでも4回に渡る実海域試験を経て何とか探査システムを実現でき、2018年1月に行われたRound1(当初、水深2,000mでの海底調査を予定していましたが、

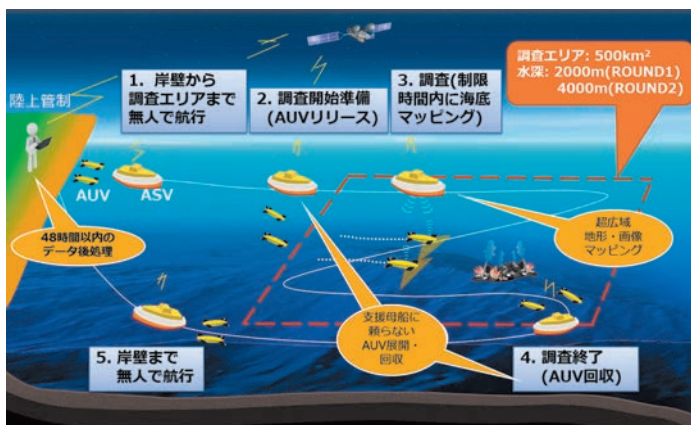


図2 無人広域海底探査システム



図3 Shell Ocean Discovery XPRIZE で使用したロボット

開催予定地が災害で壊滅的な被害を受け、水槽での技術審査に変更)を見事に通過し、Round2に進出する9チームに選ばれました。活動資金の都合上、Round1までは、我々が所有するAUVを改造して競技に臨みましたが、所有AUVでは

Round2の最大水深である4,000mまで潜航できません。Round2進出決定後、我々はこれまでに培った経験や技術を結集し、耐圧水深4,000mの広域探査AUVの開発に着手しました。通常は1年ほどかかるAUVの開発を半年ほどで行い、図3の左に示す2基のAUVを完成させ、Round2開催のギリギリまで調整を行いました。2019年10月にXPRIZE財団からRound2の開催地がギリシャのカラマタであると公表され、技術の漏洩を防ぐため各チームは別々の期間に実施することが通知されました。我々は日本から船便で1カ月以上かけて開発した探査システムをギリシャのカラマタに持ち込み、2019年12月9日〜12月19日にRound2の競技会に挑戦しました。開催地に到着後、慣れない場所にて機材の設置や調整を行い、湾内でのウエットテスト(図4)にて競技会前の最終確認を行いました。

Round2期間中にはじめて告知された調査海域の情報(図5参照)をもとに綿密に調査計画を立て、12月13日に1回目のチャレンジを行いました。岸壁から出港したASVは順調にAUVを曳航しながら27km先にあ

る調査海域に到着し、AUVの切り離しを試みましたが切り離すことができず、チャレンジが中止になりました。ロボットを回収後、原因を調査したところ海面のうねりによって曳航ロープがフレームに絡まり、その状態で大きな張力が発生し電線が断線していたことが分かりました。事前に行った実海域試験では発生しなかった断線問題に対処するため、ロープが絡まらないよう曳航フレームを突貫作業で改造し、次のチャレンジの準備を行いました。2回目のRound2期間において最も悪く、AUVおよびASVの運用が困難な海況でした。曳航フレームを改造したとしても高い波や大きなうねりを受けるとケーブルの断線の恐れがあるため、調査海域に到着する前にAUVを切り離すよう計画を変更し、2回目のチャレンジを行いました。ASVが沖に出ると予想通りに波風が強クロボットが大きく揺動していましたが、無事にAUVを切り離し調査海域にて海底地形計測を開始しました。AUVが航行中に、漁船や大型タンカーが接近し、また予想以上に天候が悪化するなどのアクシデン

トがありました。AUVは23時間の海底地形計測に、ASVは遠隔による31時間の無人航行に成功ということができました。2回目のチャレンジでは1台のAUVが故障により使用できませんでしたが、我々のRound2の結果は非常に高く評価され、2019年5月31日にモナコにて開催された授賞式でTeam KUROSHIOは準優勝に輝き、賞金100万ドルを手に入れました(図6)。今後は獲得した賞金をもとに開発した探査システムをより良いものにするべく研究を続ける予定です。



図4 ウエットテスト中に行った曳航試験



図6 モナコで開催された授賞式

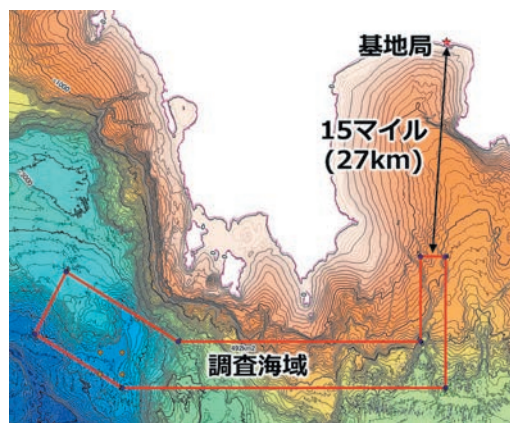


図5 Round2の調査海域