

## ムーンショット目標 8

2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現

# 実施状況報告書

## 2023 年度版

台風制御に必要な予測と監視に貢献する

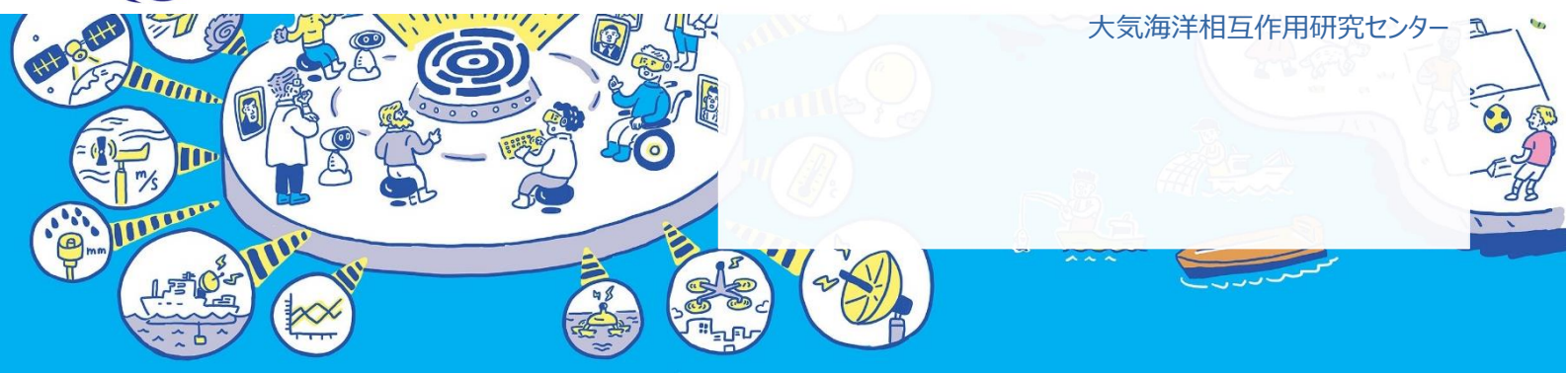
海の無人機開発

**森 修一**

海洋研究開発機構 地球環境部門

大気海洋相互作用研究センター

 **MOONSHOT**  
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



# 1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

## (1) 研究開発プロジェクトの概要

気象制御を行うための正確な予測を実現するためには、まず予測計算の初期値となる正確な観測データが必要である。また、人為的に介入した後の気象が予測された制御状態にあるか否か、その継続的な監視が重要となる。台風については、その発生発達に重要な中心周辺域の海上気象や海面水温、海洋表層(深さ150m程度まで)熱構造の継続的な監視が求められるが、現在まだ航空機や衛星では難しくボトルネックとなっている。本プロジェクトでは、自律的に台風を中心周辺域を追跡可能な仮想係留(Virtual Mooring: VM)機能を持ち、発生発達に伴う移動と共に台風中心周辺域における海上気象と海洋表層を気象制御に必要な精度で継続的に監視可能な海上無人観測機(VMドローン)を開発する。

表1 VMドローン開発3年計画の概要

		FY2022	FY2023	FY2024
1	開発	開発	開発	
2	製造	試作2機		運用2機?
3	海域試験	JAM岸壁	駿河湾	
4	みらい航海		MR23-XX	MR23-XX

今(2023)年度は、前(2022)年度に実施したラボ試験や水槽試験、国内沿岸海域試験(駿河湾)結果等に基づき、VMドローン試作機の①船体構造や制御アルゴリズム改良、ならびに②大気海洋センサー類の防水機能や動揺補正アルゴリズムの改良を継続する。

これら改良を施した試作機により、今年度前半に国内沿岸海域試験(駿河湾)を繰り返した上で、③海洋地球研究船「みらい」による熱帯北西太平洋航海(6-7月予定)を用いた短期外洋試験(フィリピン東方沖、約1週間)を実施する。短期外洋試験では、所要の航行性能や、大気海洋センサーの正常動作、衛星通信等を用いた航行制御(VM機能)やデータ通信機能の正常動作を確認する。また、これらの各種開発試験と併行して、最終(2024)年度の長期外洋試験(同海域、約1ヶ月間)に向けた準備作業を実施する。

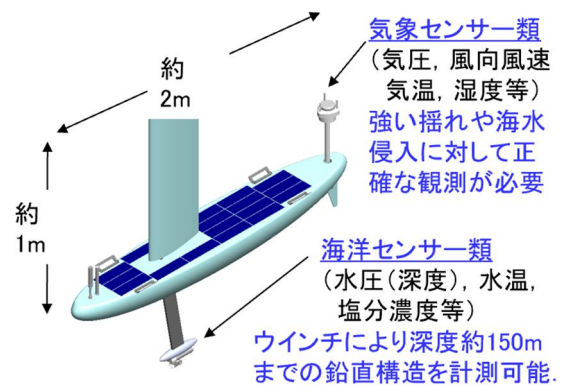


図1 VMドローンの当初構想イメージ

## (2) 研究開発プロジェクトの実施状況

研究開発項目1「強風雨波浪環境対応のVirtual Mooring (VM) 技術開発」では、初年度に実施した水槽試験や国内沿岸海域試験結果等に基づき試作機の改良を行い、今年度初めに国内海域試験を再度行った上で、夏季のフィリピン東方沖にて短期外洋試験を実施し、外洋環境における船体制御状態やデータ通信状況を確認した。

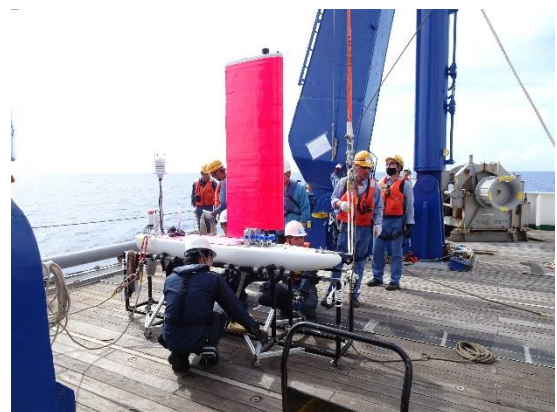


図2 海洋地球研究船「みらい」の後部甲板上でVMドローン試作2号機の外洋試験に向けた整備作業の様子。

研究開発項目 2:「強風雨波浪環境対応の大気海洋観測センサー群開発」では、初年度のラボ試験や国内沿岸海域試験の結果等に基づき大気・海洋観測センサーの改良を行い、今年度初めに国内海域試験を再度行った上で、夏季のフィリピン東方沖にて短期外洋試験(約 1 週間)を実施し、外洋波浪環境における観測データ取得と評価を行なった。

研究開発項目 3「強風雨波浪環境にある熱帯北西太平洋域での試験運用」では、2023 年海洋地球研究船「みらい」熱帯北西太平洋航海(6-7 月)における VM ドローン試作機の短期外洋試験(フィリピン東方沖, 約 1 週間)を実施すると共に、2024 年度「みらい」熱帯北西太平洋航海に対する MSR 申請(外国の管轄水域における海洋の科学的調査の同意申請)等の準備を行なった。

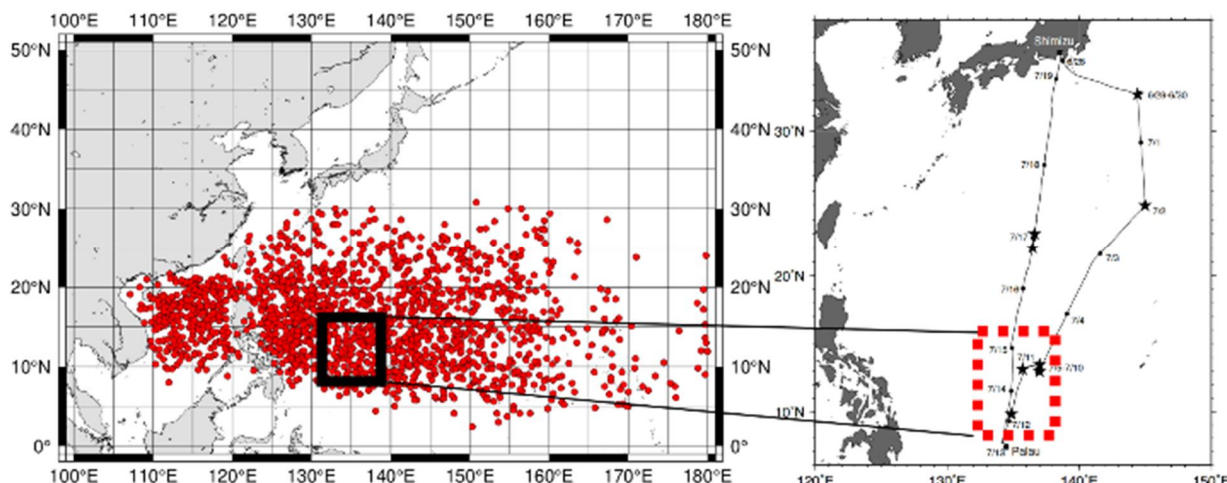


図 3 気候学的な台風発生地点(赤丸、1951-2021 年、デジタル台風\*2 より作成)(左図), および海洋地球研究船「みらい」2023 年航海(MR23-05 Leg.1)の航路(右図). VM ドローン試作 2 号機の短期外洋試験は右図の赤破線枠内の定点観測海域で実施.

### (3) プロジェクトマネジメントの実施状況

研究開発全体の進捗状況把握のため、PM, PI, および PM 補佐にて大よそ月 1 回の打合せを行うと共に、作業現場でのオンサイト会合によりハードウェア開発等の進捗状況を随時確認した。本要素研究プロジェクト終了後における VM ドローン開発の継続に向け、関連性の強いコア研究プロジェクトへの将来的合流について協議を行った。

研究成果の展開方法として、本研究開発プロジェクトで開発される VM アルゴリズム、船体設計、および観測センサー防水対策技術等について、知財運用会議に諮った上で代表機関から知財申請を検討している。また、広報・アウトリーチ活動の一環として本プロジェクトのホームページを 2022 年 11 月に立ち上げており、沿岸試験や外洋試験の様子等を掲載すべく、研究代表機関内で調整中である。

データマネジメントに関しては、各種開発試験等で取得したデータのうちインベントリデータのみホームページ上での公開(取得データそのものは非公開)に向け調整を行っている。なお、2023 年度実施および 2024 年度実施予定の外洋試験で取得される観測データ(海上気象および海洋表層)は、プロジェクトホームページ上にインベントリデータを公開すると共に、品質管理終了後に代表機関データ公開サーバー(航海・潜航データ・サンプル探索システム DARWIN(Data and Sample Research System for Whole Cruise Information)から公開する予定である。



## 2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目 1: 強風雨波浪環境対応の Virtual Mooring (VM) 技術開発

研究開発課題 1: 強風雨波浪環境対応の Virtual Mooring (VM) 技術開発

課題推進者: 森 修一 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)

当該年度実施内容:

初年度に実施した水槽試験や国内沿岸海域試験(駿河湾)結果等に基づき試作機の改良を行い, VMドローン試作2号機を製作した. これまでに製作した各試作号機の概要は以下の通り.

### 試作0号機(2022年度前半) 船体作成試験・水槽試験用

+ 実船体作成に対する基礎事項の現地確認

(必要な費用・人員・期間等)

+ 船体抵抗実測試験(CFD等との整合性確認)

+ 船体強度実証試験(落下試験等)

### 試作1号機(2022年度後半) 国内沿岸海域試験用

+ 必要装備の作成・実装

+ 帆や舵, 制御記録システム, 電源, 観測センサー等との電装と通信確認

+ 船体への耐候性・視認性付与(塗装等)

+ 国内沿岸域での動作試験と改良

### 試作2号機(2023年度前半) 外洋試験用

+ 船体や帆, キール等の改良

+ 軽量化, 強化, バランス調整. 積載量増等の改良

+ 制御システム(ソフト・センサー等)の改良

+ 衛星通信の実装

+ 海洋表層用センサーの実装



図4 試作機の変遷. 試作0号機(左), 試作1号機(中), 試作2号機(右).

この試作2号機を用いた国内沿岸海域試験(駿河湾)を繰り返した上で更に改良を加え, 年次計画に沿って海洋地球研究船「みらい」熱帯北西太平洋航海(MR23-05 Leg.1, 2023年6月28日~7月20日)に搭載し, 夏季のフィリピン東方沖にて短期外洋試験を行ない, 初の外洋環境における船体制御状態や航行性能, 衛星データ通信状況等を確認した.

しかしながら, 当該試験では十分な船体制御を得ることができない不具合があり, 結果的に外洋試験実施期間が数日に留まってしまうなど, 予定外の結果となった. 主たる不具

合は、ジャイロや GPS など船体センサー類等に起因するものと推定され、航海終了後に不具合解消に向けた改良作業を行なった。

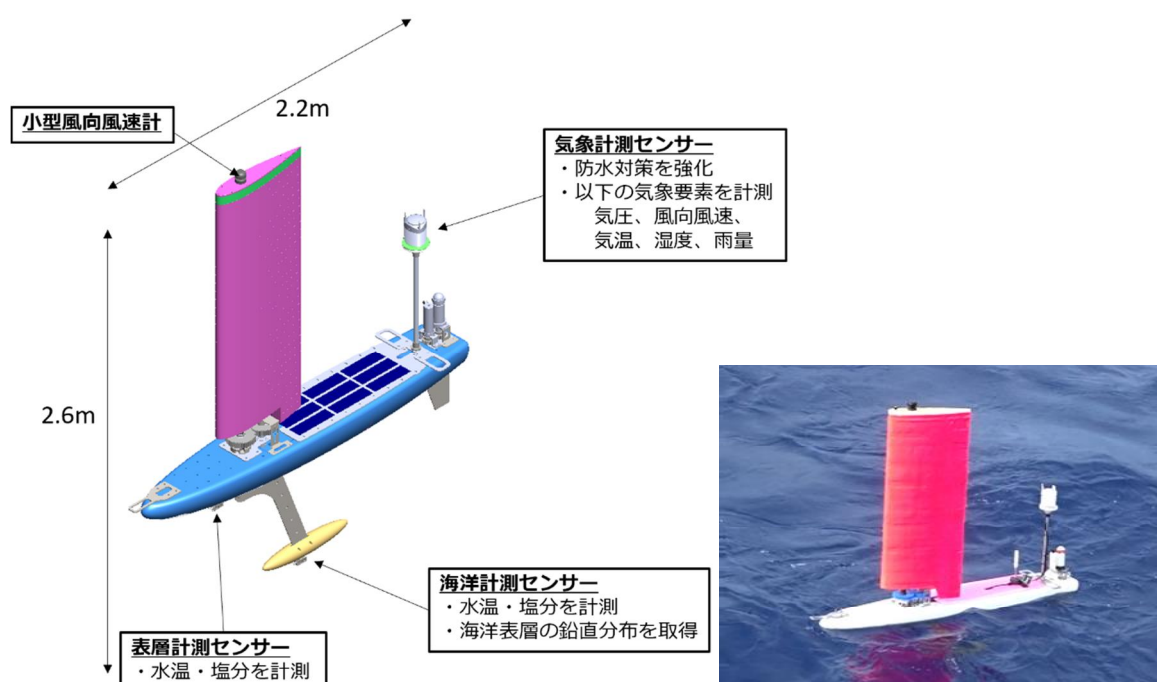


図 5 VM ドローン試作 2 号機の概要(左)と国内沿岸海域試験(駿河湾, 2023 年 6 月)における実機写真(右). 船体重量や強度, バランス等を新設計としたほか, セイル頂部に小型風向風速計, 船体底部に表層計測センサー等を新設している.

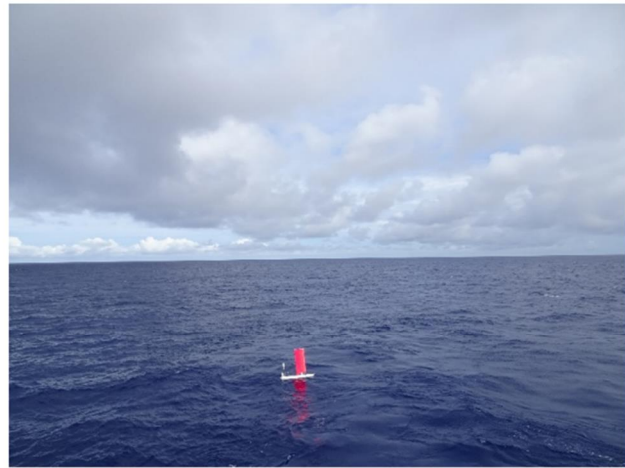
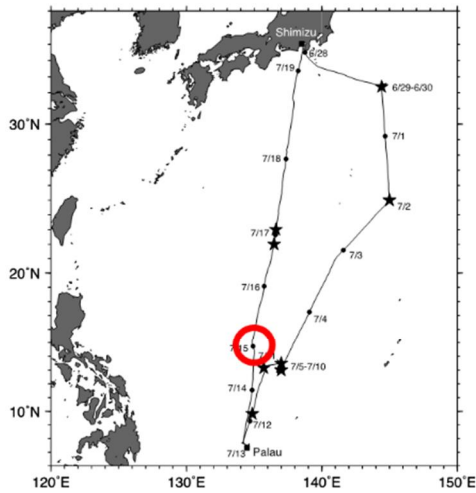
(2) 研究開発項目 2: 強風雨波浪環境対応の大気海洋観測センサー群開発

研究開発課題 1: 強風雨波浪環境対応の大気海洋観測センサー群開発

課題推進者: 勝俣昌己 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)

当該年度実施内容:

大きな船体動揺環境下でも十分な精度を保持し, かつ一時的な水没に対しても耐え得る防水機能を有する大気海洋観測センサーの開発改良を継続中である. 初年度のラボ試験や国内沿岸海域試験の結果等に基づき, 大気海洋観測センサーの改良を行なった上で, VM ドローン試作 2 号機に艤装し, 国内沿岸海域試験(駿河湾)を繰り返し観測精度の評価検討を行なった. さらに, 年次計画に沿って海洋地球研究船「みらい」熱帯北西太平洋航海(MR23-05 Leg.1, 2023 年 6 月 28 日~7 月 20 日)に搭載し, 夏季のフィリピン東方沖にて短期外洋試験を行ない, 初の外洋波浪環境における観測データ取得と精度評価を行なった.



海上気象計測システム「SOAR」  
(海面高度23m)  
気圧・風向風速・気温・湿度・ほか

表層海水分析装置 (水深5m)  
水温・塩分・ほか



図6 「みらい」航海の航路図(左上)に示した短期外洋試験の実施海域(赤丸), 外洋試験の検証に用いる「みらい」大気海洋センサーの種類と設置場所(下), および「みらい」から見た外洋試験中のVMドローン試作2号機と大気海洋状態(右上, 2023年7月14-15日).

投入時刻: 14日 2315UTC → 回収時刻: 15日 0623UTC (計約7時間)  
海域: 14° 45' N, 139° 00' E 周辺天候: 晴れ(低い非降水性積雲多し)  
風速 < 約 5m/s 有義波高 ~ 約 1m

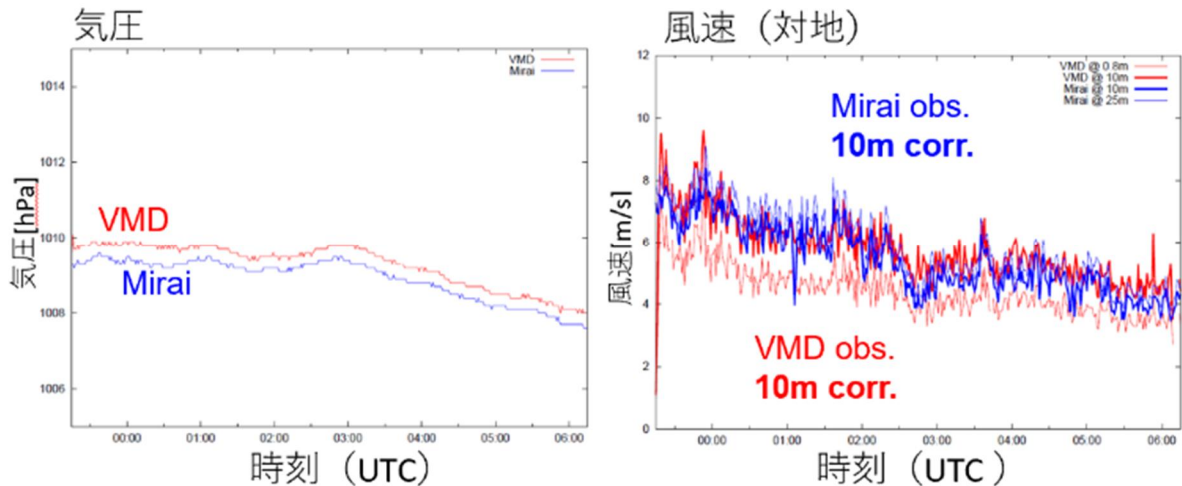


図7 短期外洋試験(2023年7月14-15日)において, VMドローン試作2号機で得られた気圧(左)と風速(右), および「みらい」観測データとの各比較(例).

気圧: ほぼ両者の変動傾向は一致するものの, 0.5hPa程度のバイアスあり(課題目標である1hPa以下は満たしている). VMDセンサーは高さ0.8m → 「海面」との差は約0.1hPa → 説明しきれない. 「みらい」の海面更正にも問題ないか, など詳細検討中.

風速: 10m高での風速に換算すると, ほぼ1m/s以内の差で一致. 誤差の傾向が時間帯で異なる(例: 0230~0415UTCはVMD > Mirai). 差の大小が時間帯で異なる原因など, 詳細検討中.



- (3) 研究開発項目 3: 強風雨波浪環境にある熱帯北西太平洋域での試験運用  
 研究開発課題 1: 強風雨波浪環境にある熱帯北西太平洋域での試験運用  
 課題推進者: 横井 覚 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)

当該年度実施内容:

年次計画に沿って、海洋地球研究船「みらい」熱帯北西太平洋航海(MR23-05 Leg.1, 2023年6月28日～7月20日)において、夏季のフィリピン東方沖にてVMドローン試作2号機の短期外洋試験を行なった。

試験の実施に際しては、「みらい」甲板上における試験準備作業や、A フレームクレーンによる海上への展開方法、洋上試験中における監視方法、試験終了後のゾディアックボートによる試作機の曳航と A フレームクレーンによる揚収方法など、あらゆる試験手順の安全性や MSR 申請(外国の管轄水域における海洋の科学的調査の同意申請)<sup>\*1</sup> など関係諸国地の調整について、代表機関の研究安全委員会で審議された。その結果、数多くの審議コメントに応じて試験手順を修正の上で出航し、結果的に外交問題や事故もなく、試作機を破損や亡失することなく試験を終えた上で、「みらい」甲板上に回収した。

さらに、最終(2024)年度における長期外洋試験に向けて、2024年度「みらい」熱帯北西太平洋航海に対する MSR 申請等の準備作業を行なった。

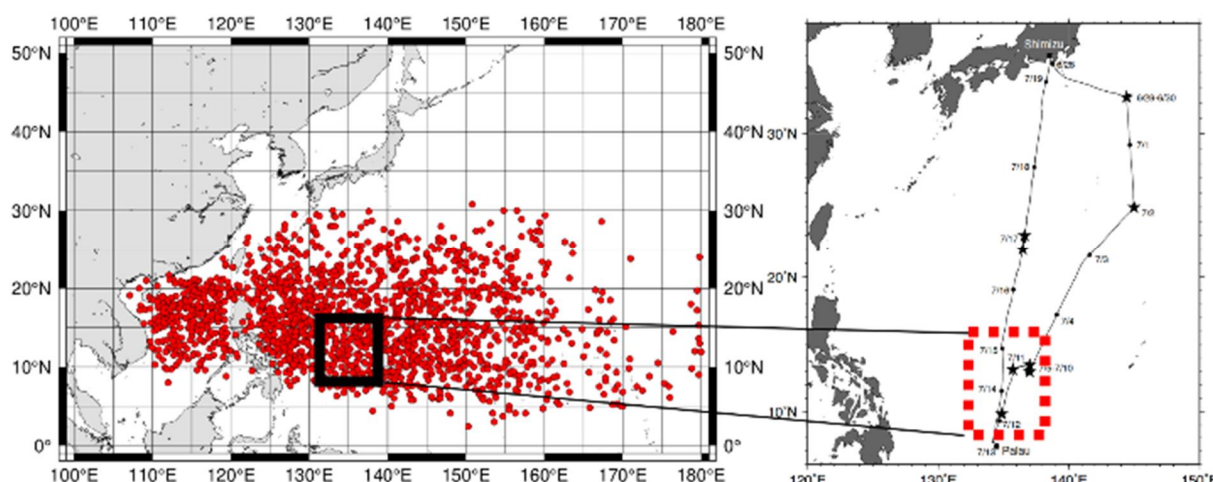


図 8 気候学的な台風発生地点(赤丸、1951-2021年、デジタル台風<sup>\*2</sup>より作成)(左図)、および海洋地球研究船「みらい」2023年航海(MR23-05 Leg.1)の航路(右図)。VMドローン試作2号機の短期外洋試験は右図の赤破線枠内の定点観測海域で実施。

\*1 外国の管轄水域(領海、排他的経済水域(EEZ)又は大陸棚(延長大陸棚含む))において海洋の科学的調査(Marine Scientific Research: MSR)を実施する場合、国連海洋法条約に基づき、沿岸国に対して調査開始予定日の少なくとも6ヶ月前(2024年1月)までに外交ルートを通じて申請し、同意・許可(クリアランス)を得る必要がある(以下、「MSR申請」)。なお、国連海洋法条約を批准していない米国に対しても同様の手続きが必要(近接海域であるグアムも対象のため)。また、条約で求められている6ヶ月前(2024年1月)までに沿岸国政府へ申請書を提出するため、研究代表機関内における決裁・調整の時間を考慮し、出港日の9ヶ月前(2023年10月)を目処に当該航海の首席研究者と申請書原案の打合せを実施し、8ヶ月前(2023年11月)までに文部科学省へ申請書および乗船者の暫定版名簿を提出する必要があった。

\*2 1 <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/reference/birthplace.html>.ja

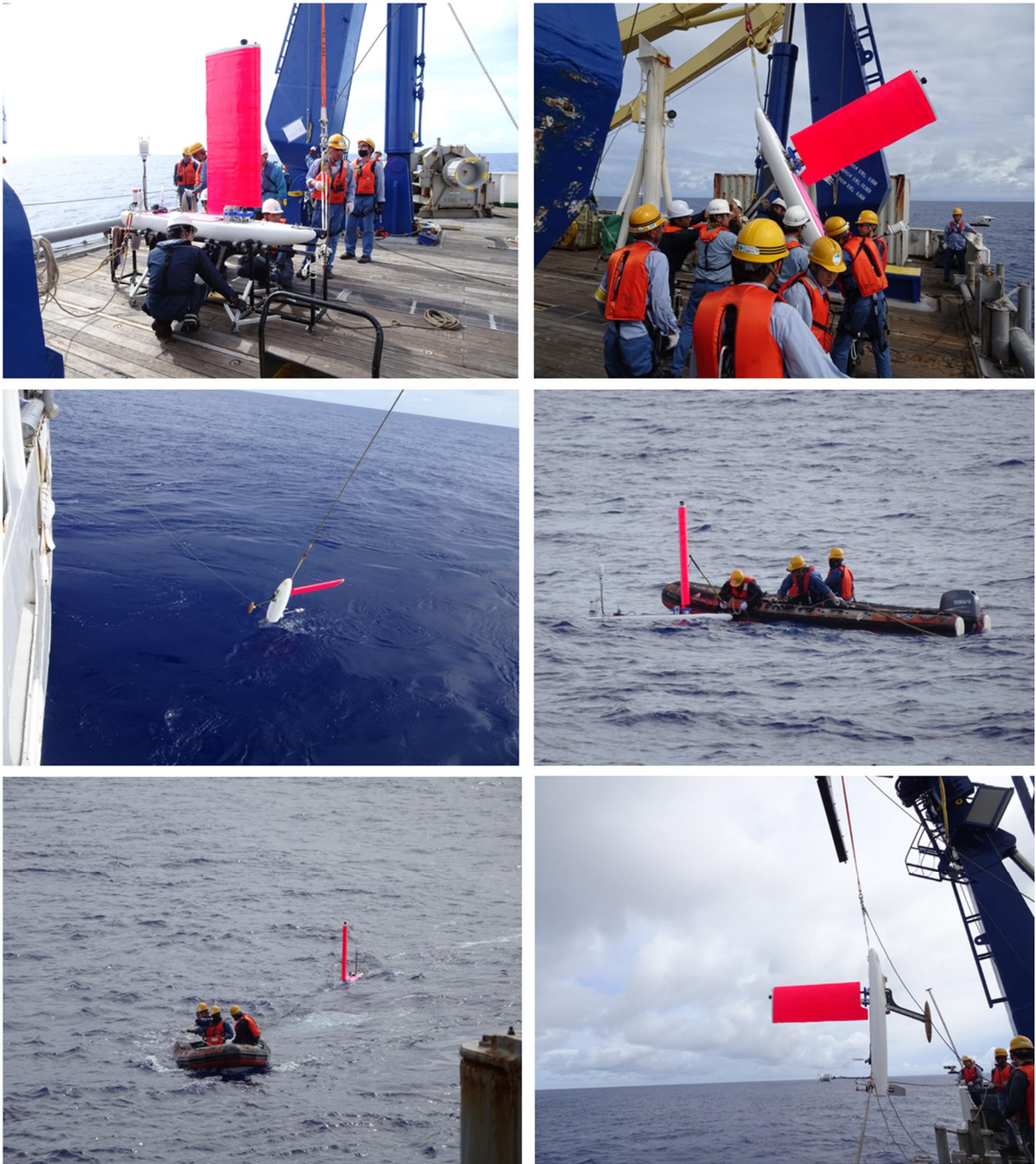


図 9 「みらい」熱帯北西太平洋航海における VM ドローン試作機の外洋試験の様子。後部甲板上における試験前の準備作業(左上), A フレームクレーン(写真両側にある青い構造物)による試作機の吊り上げ作業(右上), ゾディアックボートに乗った観測技術員による試験終了後における試作機の回収準備作業(中右), 試験海域から「みらい」舷側までゾディアックボートによる試作機の曳航作業(下左), A フレームクレーンによる試験終了後の試作機 の揚収吊り上げ作業(下右)



### 3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

#### (1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

##### 進捗状況の把握

- ・PM, PI, および PM 支援チームが全て同一研究機関に所属しているため、重要事項の連絡・調整は日常的な組織間の連絡体制で行うことができた。
- ・PM, PI, および PM 補佐にて大よそ月 1 回の打合せ(オンラインを含む)より研究開発全体の進捗状況を把握すると共に、必要に応じて作業現場でのオンサイト会合によりハードウェア開発等の進捗状況を適宜確認した。
- ・研究開発事業実施規約に基づき、プロジェクト推進に関わる重要事項を関係機関の間で協議するための運営会議は設置されており、2023 年 6 月にオンサイトで実施した。

##### 研究開発プロジェクトの展開

- ・本研究開発プロジェクトは実現可能性研究であり、試作された VM ドローンは将来的に台風制御コア研究プロジェクト等で利用されてこそ価値があるため、実用化に向けて十分な予算と開発期間により機能改善を図る必要がある。このため、コア研究プロジェクト「安全で豊かな社会を目指す台風制御研究」(筆保弘徳 PM) への将来的な合流について協議を行い、前向きに検討が進んでいる。

#### (2) 研究成果の展開方法

本研究開発プロジェクトで開発される VM アルゴリズム、船体設計、および観測センサー防水対策技術等について、その一部あるいは全部に対し、研究開発プロジェクト実施規約に基づき知財運用会議に諮った上で、代表機関から知財申請を検討している。ただし、これまでのところ知財申請を要すると判断された技術の開発は行っていない

#### (3) 広報、アウトリーチ

広報・アウトリーチ活動の一環として、PM 補佐を中心とした PM 支援組織により 2022 年 11 月早期に本研究開発プロジェクトのホームページが立ち上げられた。当該ホームページからの沿岸試験や外洋試験の様子等を掲載すべく、研究代表機関内で調整中である。

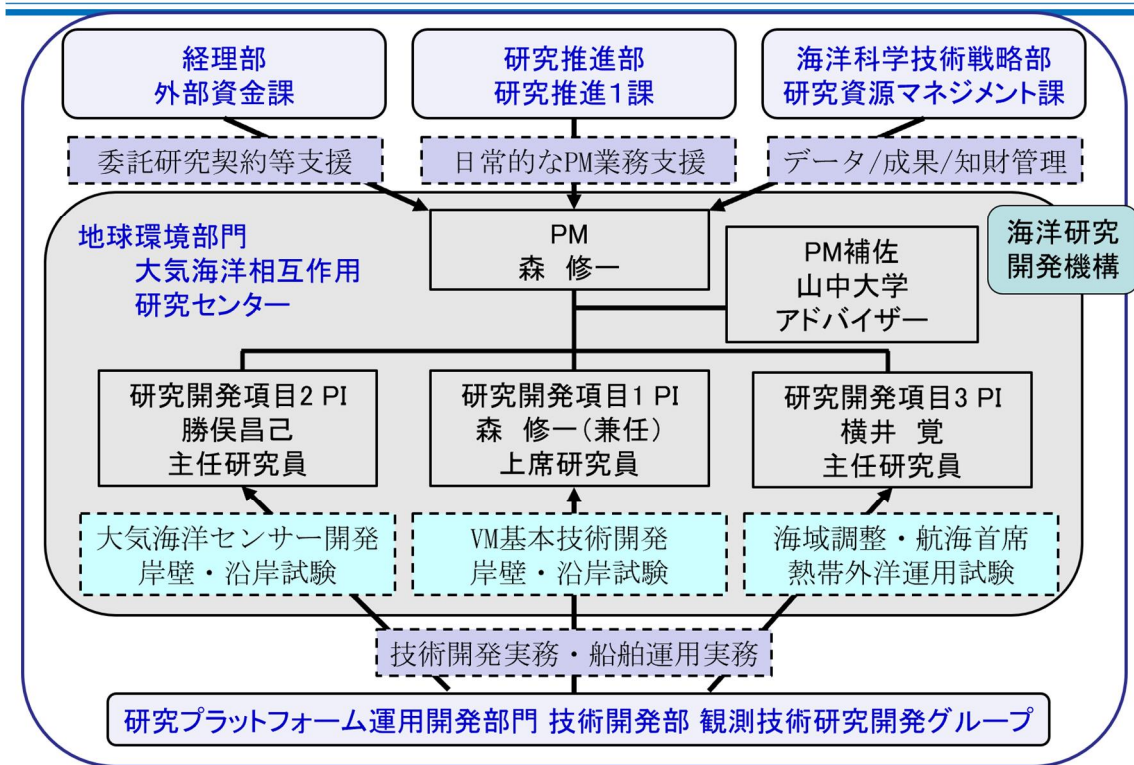
#### (4) データマネジメントに関する取り組み

- ・ラボ、岸壁、沿岸試験で取得した開発試験データは、基本的にプロジェクトホームページ上にインベントリデータのみ公開(取得データそのものは非公開)とする予定であり、調整を行っている。
- ・なお、2023 年度実施および 2024 年度実施予定の外洋試験で取得される観測データ(海上気象および海洋表層)は、プロジェクトホームページ上にインベントリデータを公開すると共に、品質管理終了後に代表機関データ公開サーバー(航海・潜航データ・サンプル探索システム DARWIN(Data and Sample Research System for Whole Cruise Information)から公開する予定である。

#### 4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図

PMを中心とした当該年度の研究開発プロジェクト推進体制を以下の図に示す。研究開発事業実施規約に基づき、プロジェクト推進に関わる重要事項を関係機関の間で協議するための運営会議は設置されており、2023年6月にオンサイトで実施した。また、知的財産権の協議のため知財運営会議を設置するが、これまでのところ知財申請を要する技術開発に至っていないため、今年度も開催されていない。

研究開発プロジェクトの体制図（研究開発及びPM活動支援体制）



## 5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT含む)	国内	国際
未登録件数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	0	0	0
口頭発表	3	0	3
ポスター発表	1	2	3
合計	4	2	6

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	0	0
(うち、査読有)	0	0	0

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	1	0	1
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	1	0	1

受賞件数			
国内	国際	総数	
0	0	0	

プレスリリース件数
0

報道件数
0

ワークショップ等、アウトリーチ件数
0