

# 지속가능한 전지구해양관측시스템 확대

(UN 해양과학 10년 도전과제 7)

이재학 (지오시스템리서치)

# Ocean Decade의 10 도전과제



1. 해양 오염 이해 및 극복



2. 해양생태계 및 생물 다양성 보호 및 복원



3. 전세계 인구에 지속가능한 영양 공급



4. 지속가능하고 공평한 해양 경제 개발



5. 기후변화에 대한 해양 기반 해결책 제공



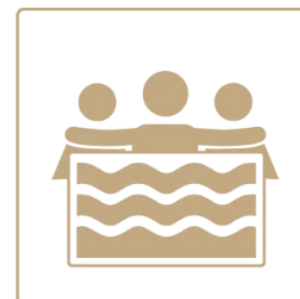
6. 해양재해에 대한 공동체 회복탄력성 강화



7. **지속가능한 전지구해양관측 시스템 확대**



8. 해양의 디지털화 구현



9. 모두를 위한 역량, 지식, 기술 및 참여형 의사 결정



10. 사회와 해양의 관계 회복

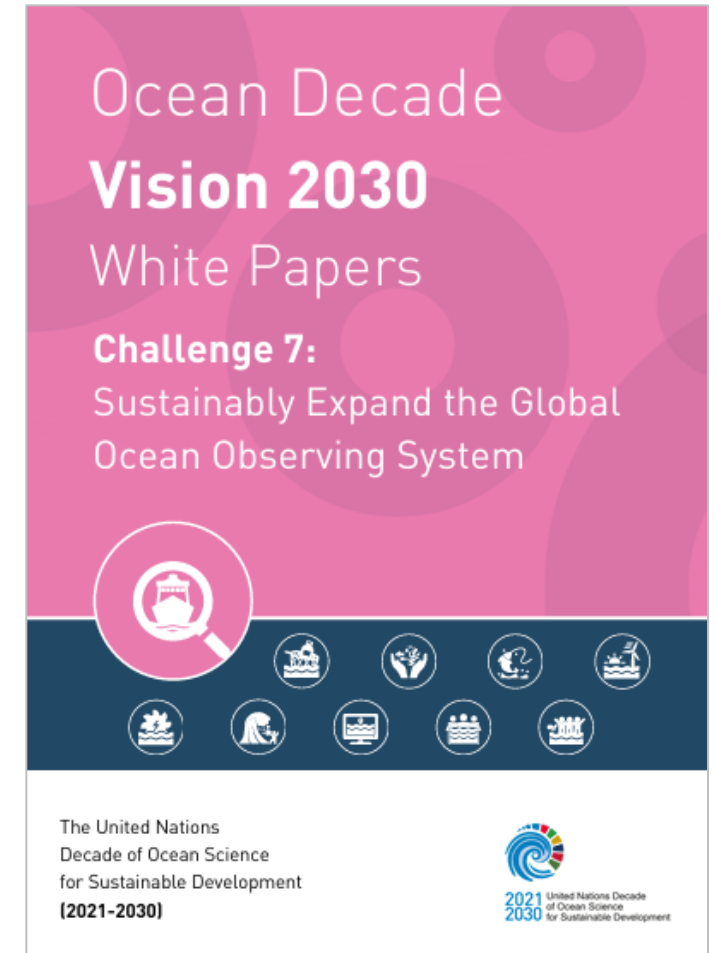
# 도전과제 7: 지속가능한 전지구해양관측시스템 확대

- 전지구해양관측시스템(GOOS) 확장 및 통합
- 해양·기후·생태계 자료를 장기적으로 수집·공유
- 국가·지역 간 자료 상호운용 및 지속가능한 관측 인프라 확보



# Global Ocean Observing System

- 설립: 1991년, IOC/UNESCO
- 후원: 세계기상기구(WMO), 유엔환경계획(UNEP), 국제과학위원회(ISC)
- 기후, 기상 및 재해 경보, 해양 건강 중점 해양관측 분야의 전지구 허브 역할 수행



# GOOS 네트워크 현황 (OceanOPS)

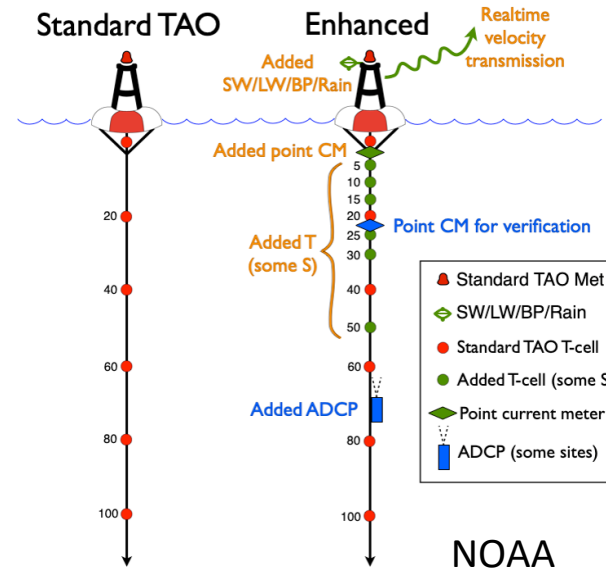




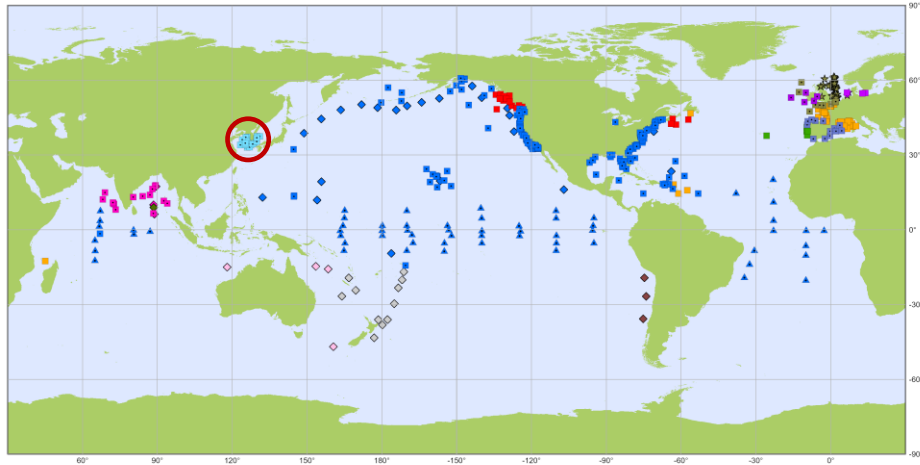
# Data Buoy Cooperation Panel (DBCP)

- 관측 변수: 수온, 염분, pCO<sub>2</sub>, 해류, 대기, 해저 변수
- 관측 수단: 계류, 표류 부이 (표층)

- 설립: 1985년, WMO & IOC/UNESCO
- Global Drifter Program, DART 포함
- National focal point of Korea: 기상청

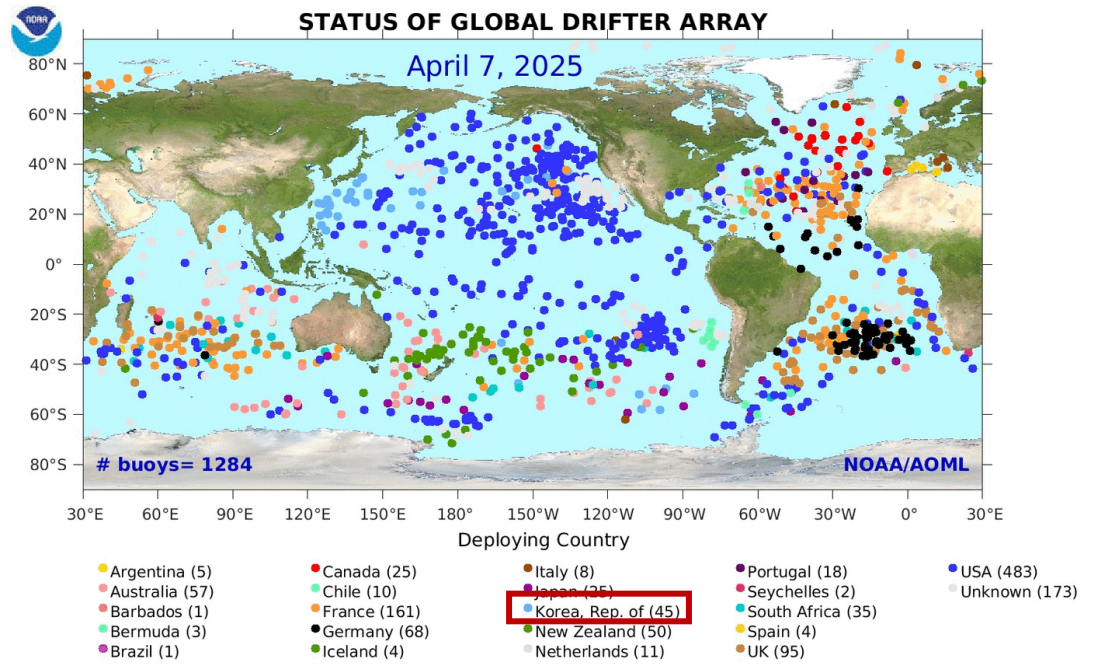


# Moored buoys and other fixed platforms

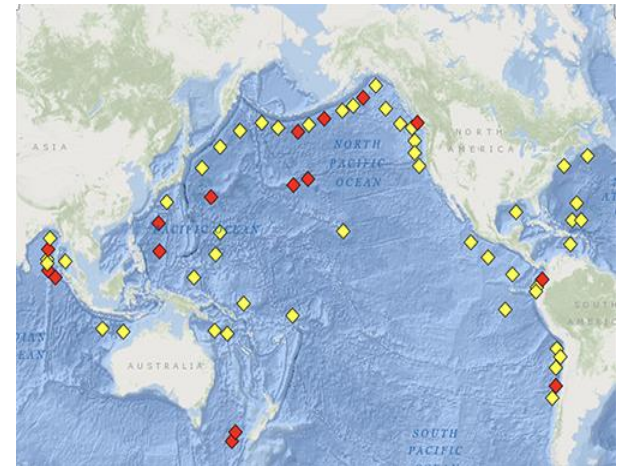
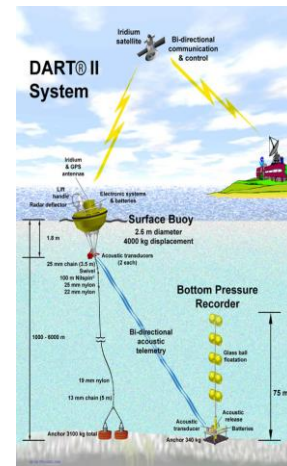
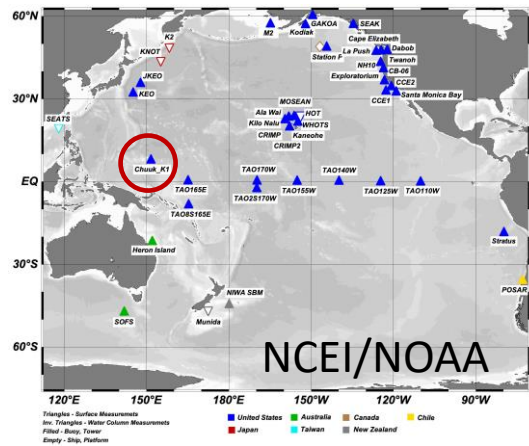


Data Buoy Cooperation Panel Moored buoys and other fixed platforms February 2025

# Global Drifter Program (GDP)



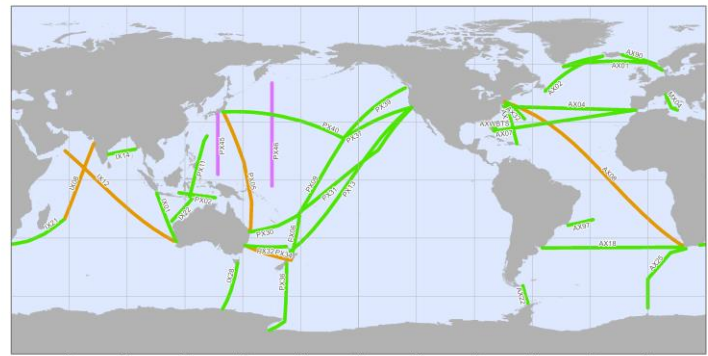
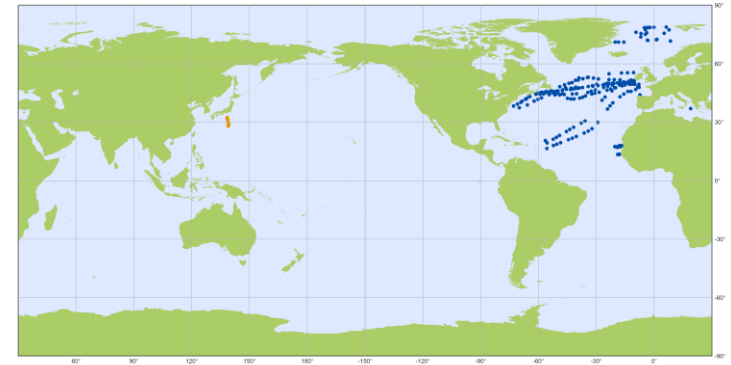
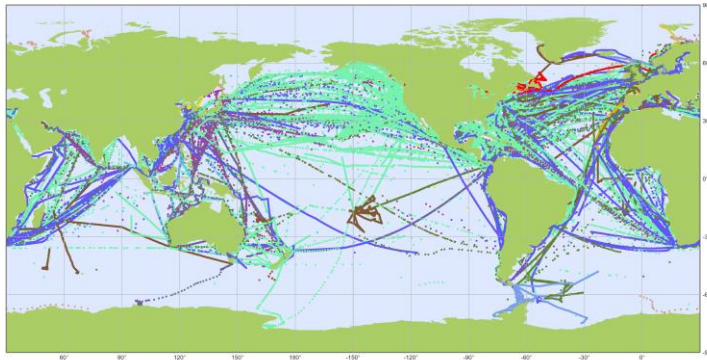
# CO2 Time-series and Moorings Project





# Ship Observations Team (SOT)

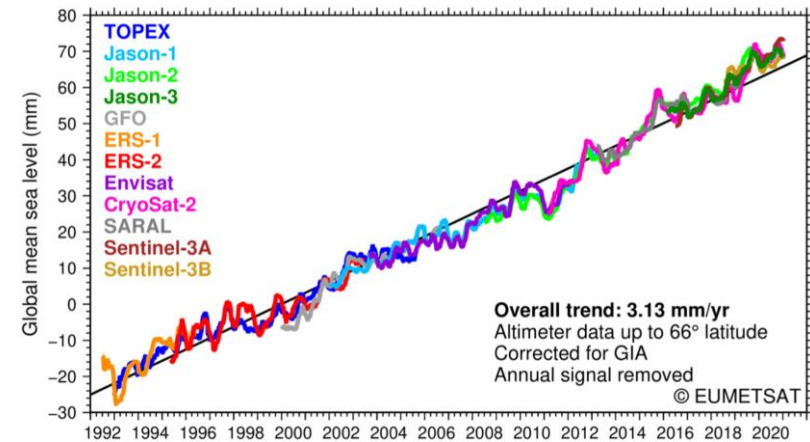
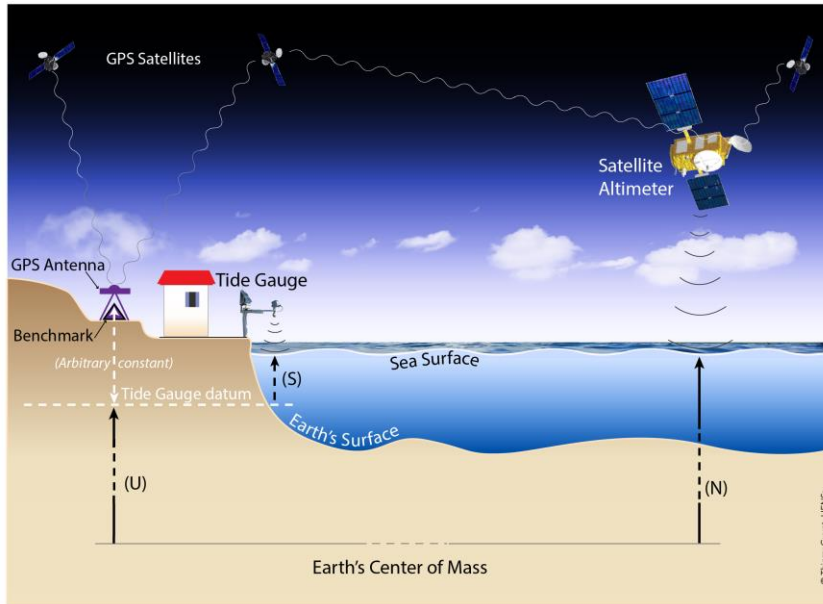
- 관측 변수: 대기 변수, 수온(XBT) 등
- 관측 수단: 선박





# Global Sea Level Observing System (GLOSS)

- 관측 변수: 해수면 높이
- 관측 수단: 연안 조위계

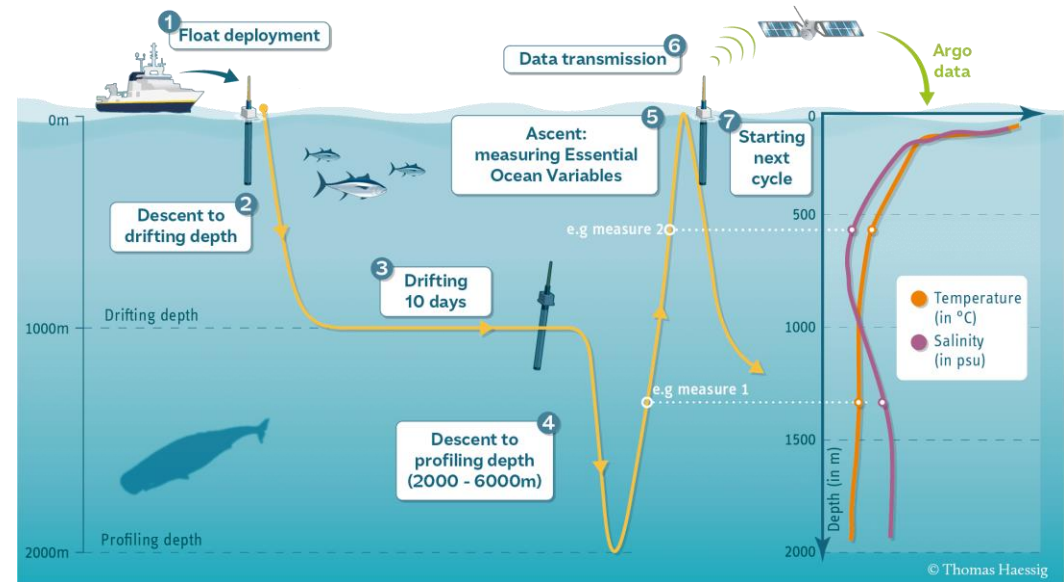
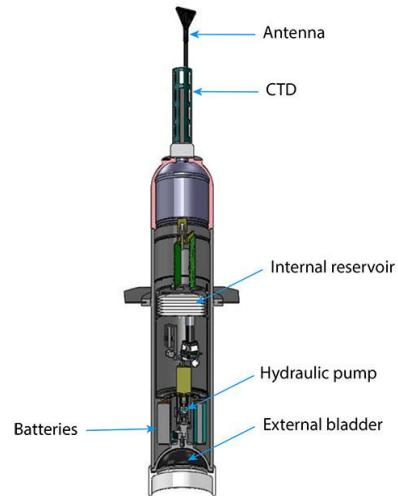




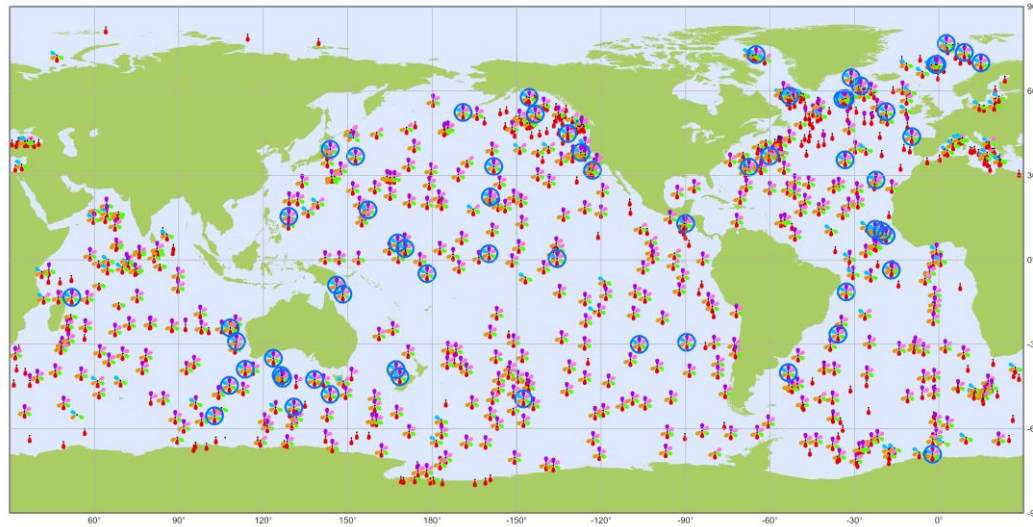
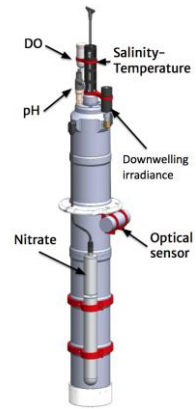
# Global Array of Profiling Floats (Argo)

- 관측 변수: 수온, 염분, 생지화학 변수
- 관측 수단: 무인 이동체 (0-6000m)

- Core Argo
- BGC Argo
- Deep Argo
- Polar Argo



# BGC Argo



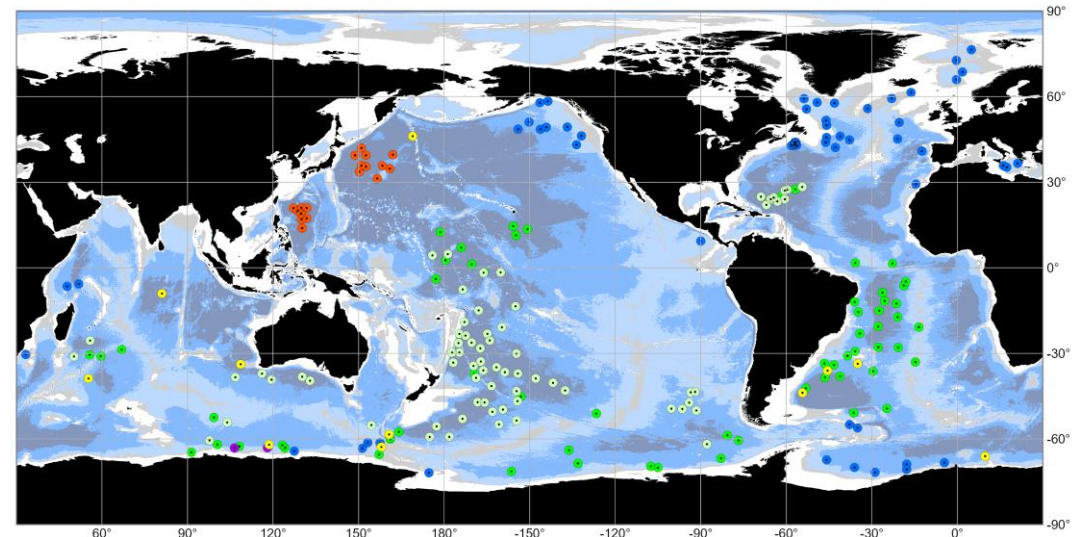
Biogeochemical Argo

Sensor Types

February 2025

*Latest location of operational floats (data distributed within the last 30 days)*

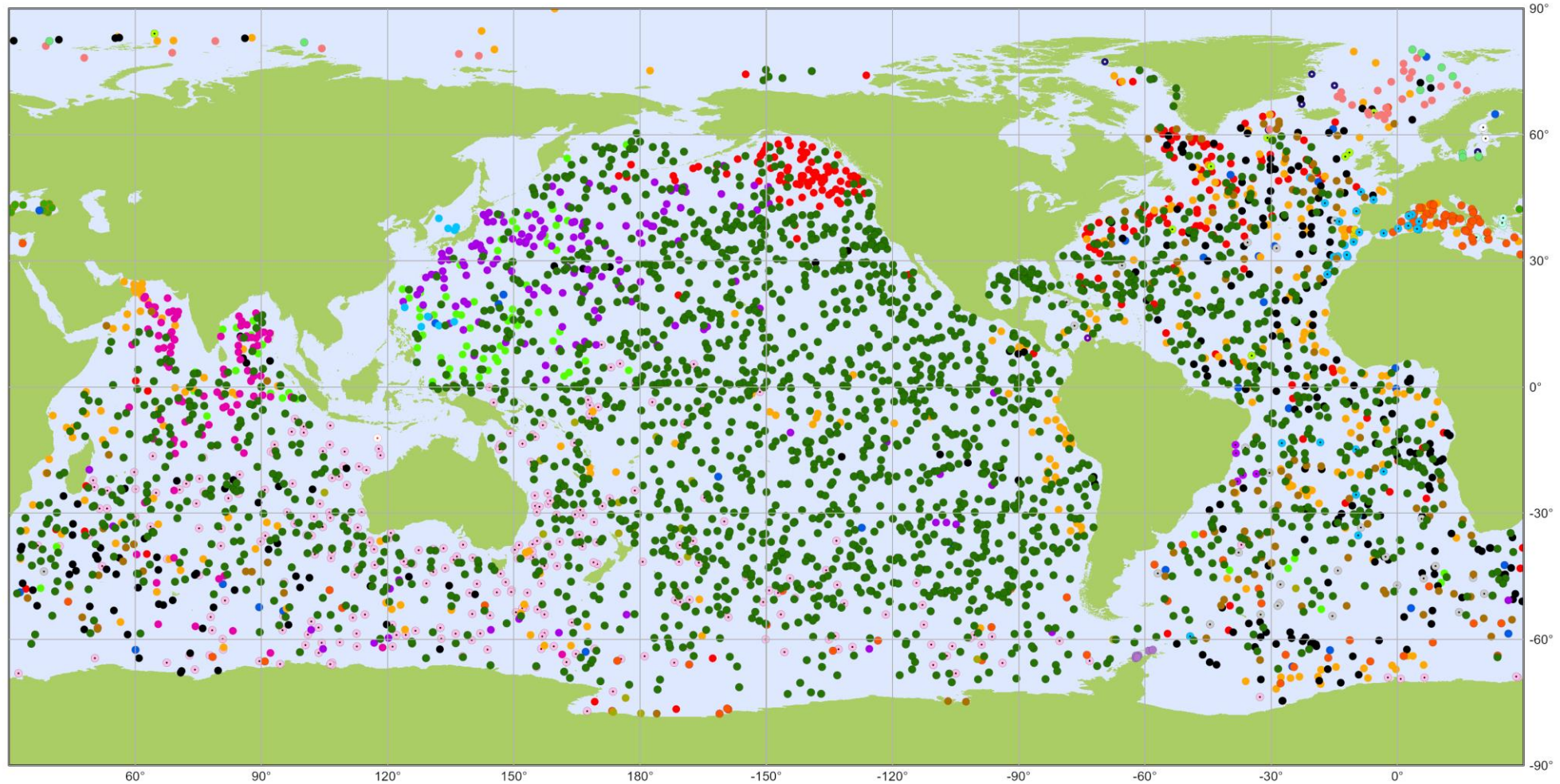
# Deep Argo



Deep Argo

Deep Float Models

February 2025



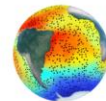
Argo

### National contributions- 4130 operational floats

October 2025

Latest location of operational floats (data distributed within the last 30 days)

- |                   |                |                 |                    |                          |               |
|-------------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------------|---------------|
| ○ AUSTRALIA (290) | ● COLOMBIA (1) | ● GERMANY (283) | ● ITALY (93)       | ● POLAND (12)            | ● UKRAINE (6) |
| ● BRAZIL (5)      | ● DENMARK (6)  | ● GREECE (6)    | ● JAPAN (156)      | ● PORTUGAL (4)           | ● USA (2296)  |
| ● BULGARIA (12)   | ● EUROPE (33)  | ● INDIA (95)    | ● NETHERLANDS (31) | ● KOREA, REPUBLIC OF (9) |               |
| ● CANADA (207)    | ● FINLAND (3)  | ● INDONESIA (1) | ● NEW ZEALAND (17) | ● SPAIN (32)             |               |
| ● CHINA (84)      | ● FRANCE (290) | ● IRELAND (9)   | ● NORWAY (32)      | ● UK (117)               |               |

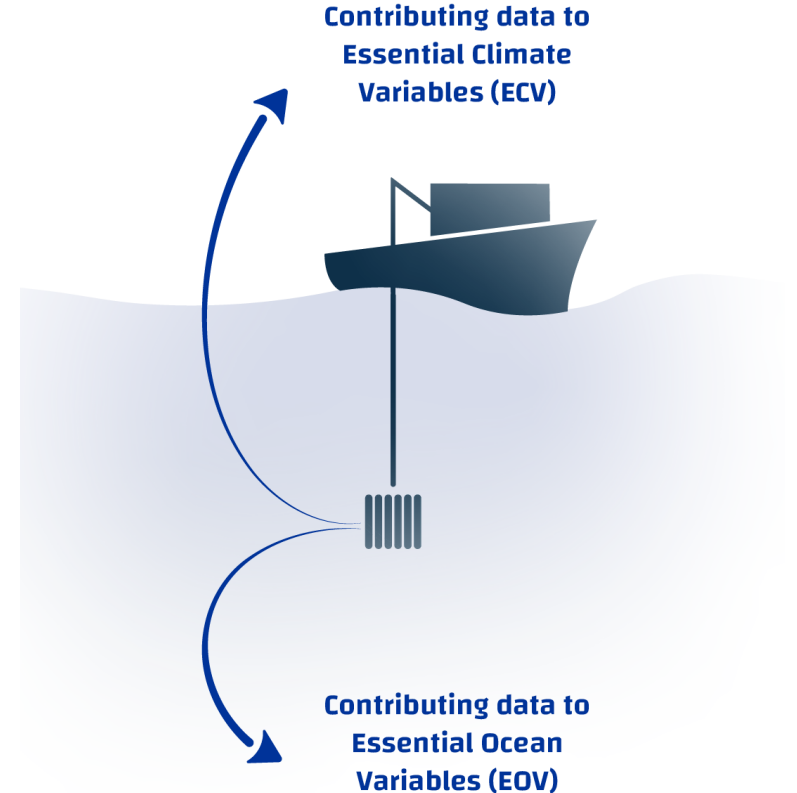


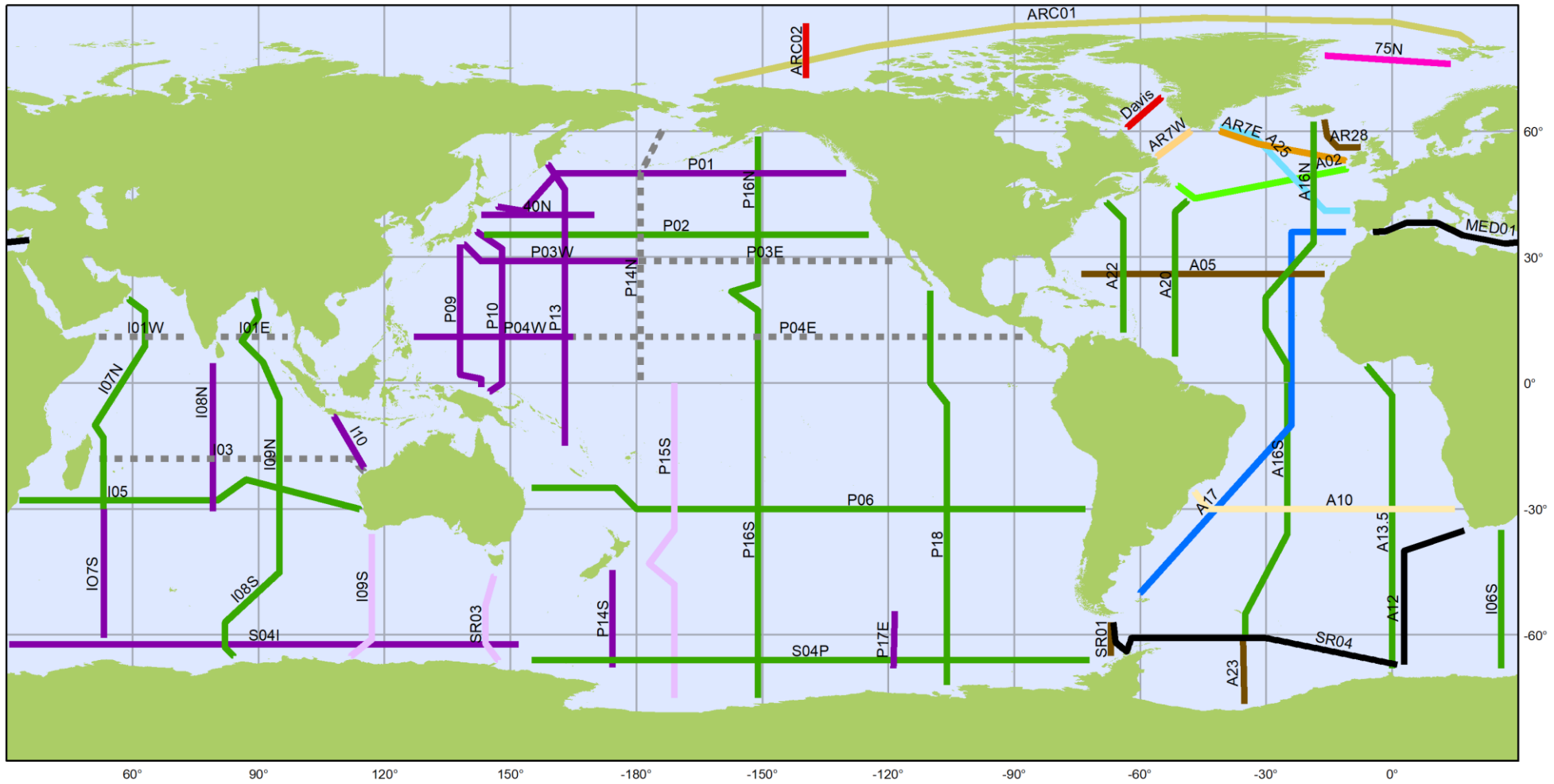


# GO-SHIP

- 관측 변수: 수온, 염분, CO<sub>2</sub>, 영양염 등
- 관측 수단: 선박 (고정 반복 관측 라인)

- Decadal full GO-SHIP
- High Frequency(yearly, biennial) GO-SHIP
- Associated GO-SHIP



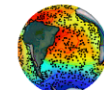


GO-SHIP

2012-2023 Survey (55 Core Lines): Lines by Nation

August 2019

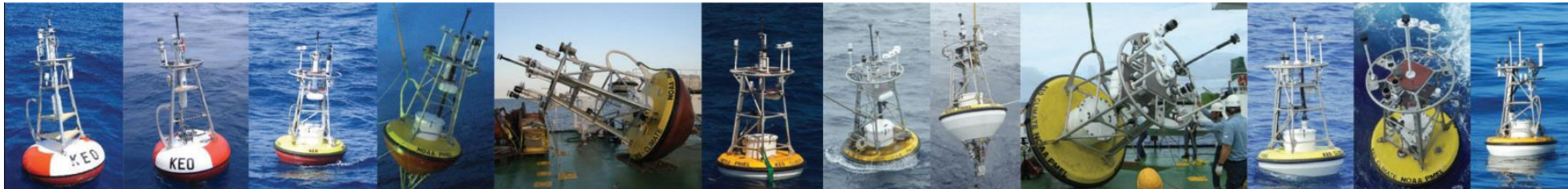
- |           |           |       |          |                  |
|-----------|-----------|-------|----------|------------------|
| — AUS     | — ESP     | — IRE | — NOR-UK | — USA-GER        |
| — CAN-USA | — FRA-ESP | — JAP | — UK     | — USA-UK-GER-ESP |
| — CAN-UK  | — GER     | — NOR | — USA    | — nil            |



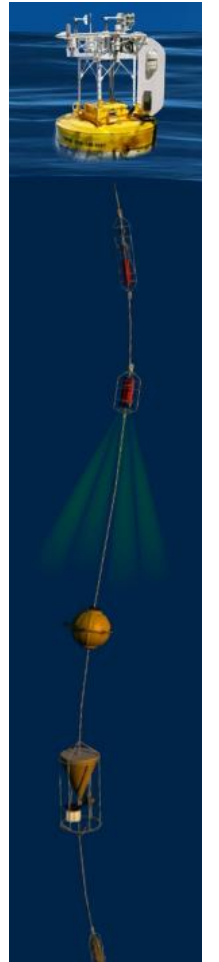


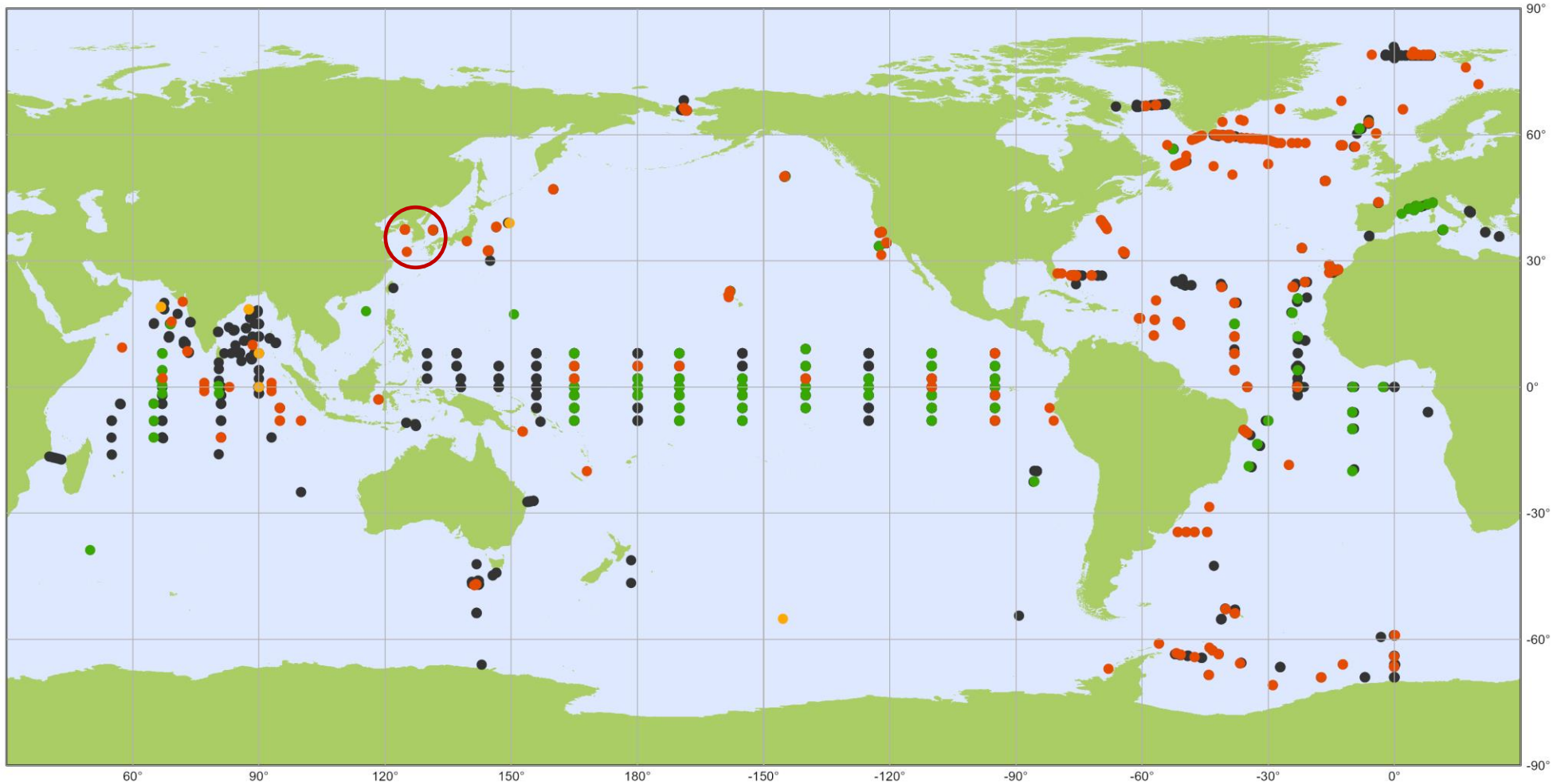
# OceanSITES

- 관측 변수: 해양, 대기 변수 (장기간 시계열 관측)
- 관측 수단: 계류, 고정 플랫폼



KEO NOAA Mooring Deployments: 2004 - Present





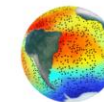
OceanSITES

### Platforms by status

February 2025

Information received from the platform operators

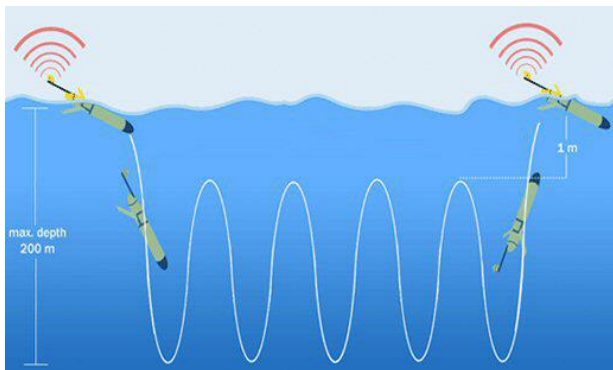
● REGISTERED ● OPERATIONAL ● INACTIVE ● CLOSED





# Ocean Gliders

- 관측 변수: 해양 변수
- 관측 수단: 무인 이동체

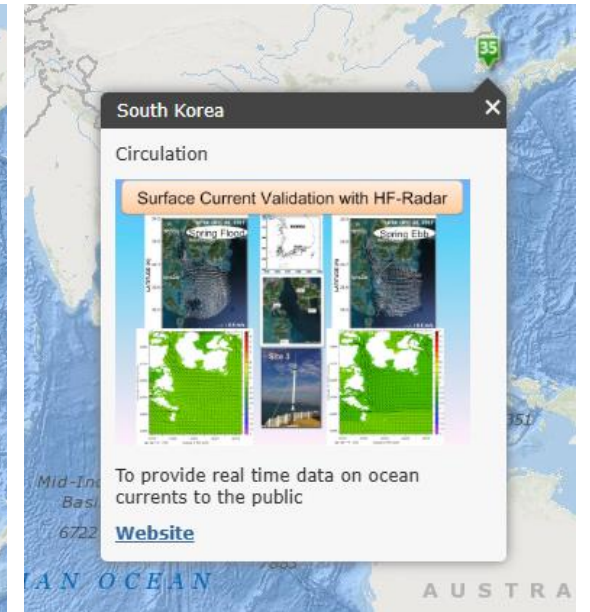




Global HF Radar  
Network

# Global HF Radar Network

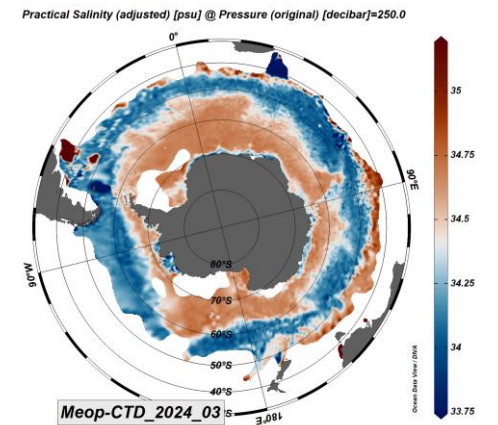
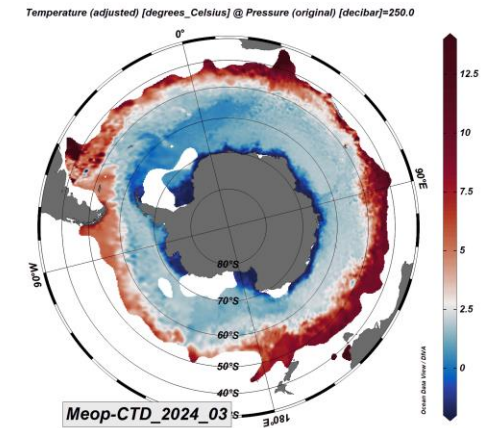
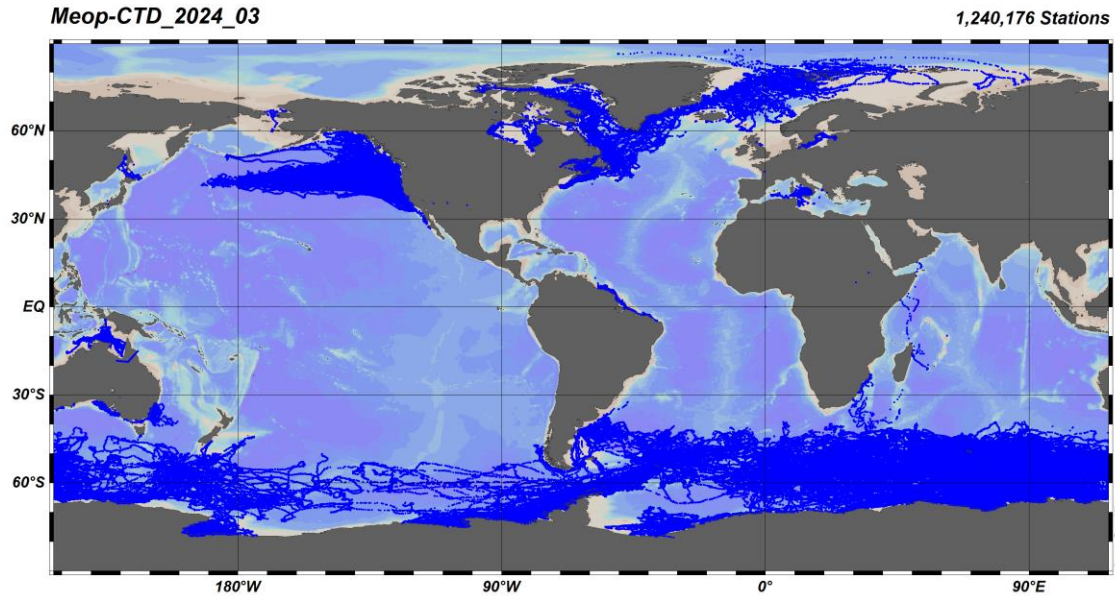
- 관측 변수: 연안 해류
- 관측 수단: 육상 설치 장비





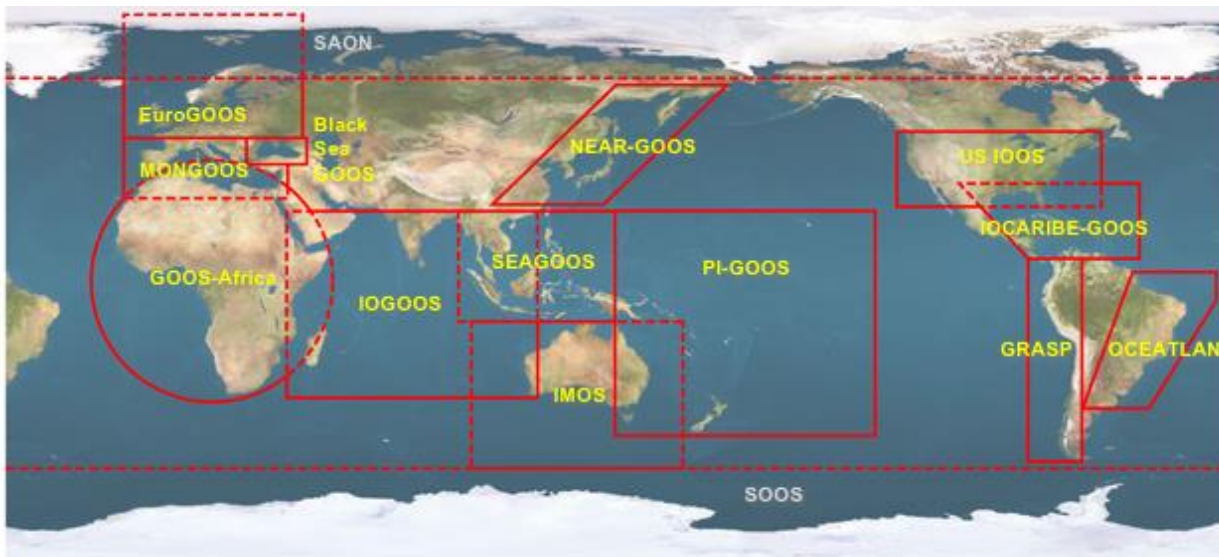
# Animal-Borne Ocean Sensors (AniBOS)




- 관측 변수: 수온, 염분 등
- 관측 수단: 해양 동물



# 국가 프로그램 및/또는 지역 네트워크

- 13개 GOOS 지역 협력체(GRAs)
- GRAs의 거버넌스, 관측 및 자료 처리 역량, 자원 확보는 매우 이질적임
- 국가 프로그램 예산 운영: 미국 IOOS, 호주 IMOS
- 회원국 회비 기반 운영: EuroGOOS



NEAR-GOOS Data Bases	
<b>China</b> 	<i>China Real Time Data Base</i> <i>China Delayed Mode Data Base</i>
<b>Japan</b> 	<i>Japan Real Time Data Base</i> <i>Japan Delayed Mode Data Base</i>
<b>Korea</b> 	<i>Republic of Korea Real Time Data Base</i> <i>Republic of Korea Delayed Mode Data Base</i>
<b>Russia</b> 	<i>Russian Federation Real Time Data Base</i> <i>Russian Federation Delayed Mode Data Base</i>

# 현황 개요

- **GOOS 플랫폼 및 운영**

- 현장 관측 플랫폼: 약 8,000여개, 84개국 300여개 프로그램 운영
- GOOS 운영센터: OceanOPS, 매일 12만 건 이상 관측 게시물 제공
- 해양 과학 투자: **소수 선진국(미국, 일본, 호주, 프랑스 등) 집중**

- **해양 관측 플랫폼**

- 9개 네트워크
- 위성, 항공기, 무인 이동체, 드론, 심해 케이블
- **주로 해양물리 및 기상 자료, 최근 생지화학 자료로 확대**

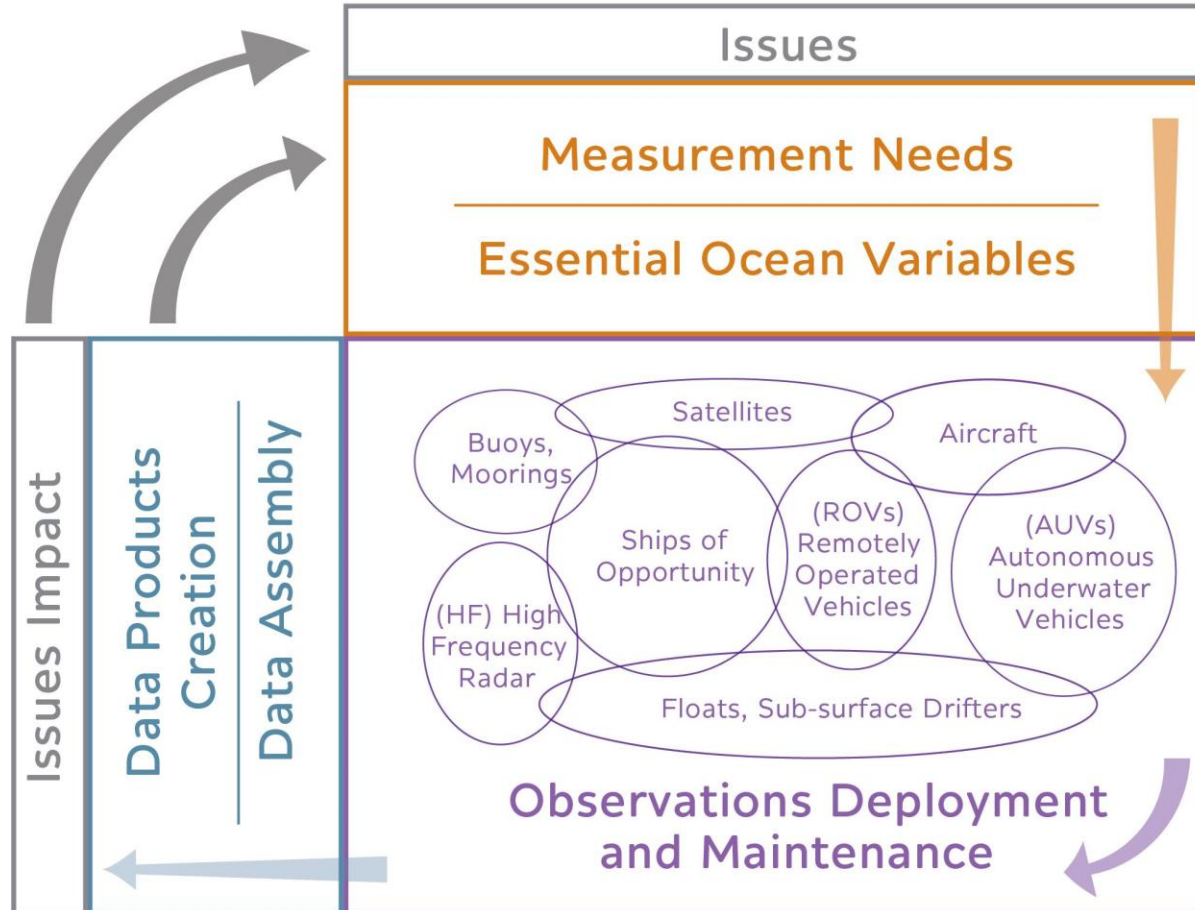
# 도전과제 7 달성을 위한 권고 사항

- 파악된 관측 수요에 대응하라: 관측 공백 지역 축소, **주제별** 우선순위
- 새로운 경제적 사고를 수용하라: 해양 투자 **경제 모델 활용**
- 파트너십이 핵심이다: 지역/국가/전지구, **경제/공공/민간/자선**
- 기술과 혁신이 핵심 축이 된다: **자율형 기술, AI/ML 도구**
- 확대되고, 역량 있고, 다양성을 갖춘 인력을 양성하라: 관측부터 **적용**까지

# OceanObs 10년 회의

- **OceanObs'99 (Saint Raphaël, France, 1999)**
  - **Argo 사업 시작**
- **OceanObs'09 (Venice, Italy, 2009)**
  - **Framework for Ocean Observing (FOO) 채택** : 필수해양변수(EOVs) 기반 물리/생지화학/생물 관측 수요 정의 및 이행 전략 제시
- **OceanObs'19 (Honolulu, USA, 2019)**
  - **136 Community White Papers** : 전지구 해양관측 권고사항 제시
  - UN Ocean Decade 논의의 축
- **OceanObs'29 (Qingdao, China, 2029)**
  - AdHoc Committee (2024, 한국 참여 없음) -> Program(4개) Committee (2025~) -> LOC

# Framework for Ocean Observing Process Diagram



# GOOS 2030 전략

- 관측부터 최종 사용자까지 **참여/파트너십 강화**
- **FOO 기반 통합 관측 시스템 구현**
- 혁신, 역량 개발, 지속발전 거버넌스를 통한 **미래 기반 구축**

# 사용자 수요 분석 및 우선 순위

사용자	수요 및 우선 순위
세계기상기구 (WMO)	국가 운영 서비스 (기상 예보 및 기후) 기반 회원국 EEZ - 해수면 기압, 해수면 온도, 해양 상층 대기 관측 기후 수요 - 온실가스 감시체계 (G3W)
전지구기후관측시스템 (GCOS)	기후 응용 - 심해/해빙아래/연안역 ECV 측정 확대, 기존 관측망에 생물/생지화학 센서 추가, 플랑크톤 분포/계절주기 관측 기준선 구축, 해수면 CO2, 해양 아황산질소 관측망, 열/바람응력 등 해수면 플럭스 관측 개선 확대
해양풍력 산업	부지 선정, 생태계 감시, 구조물 설계, 운영 최적화
해운업	안전 운항, 선박 성능, 항로 최적화 - 탈탄소화 해양 상태 관측
블루카본 산업	해양보호구역설정 - 연안 생태계 건강, 탄소 저장 용량 관측
해양 재생에너지 산업	에너지 장치설계/배치 및 생산 최적화, 설비 내구성/안정성 최적화 - 파랑, 조류, 기타 해양 상태 관측
해양 이산화탄소 제거 (CDR) 산업	위치 선정, 제거기법 효과/환경 안정성 평가, 탄소 배출권 거래 추적/보고 자료 - 탄소 역학 관측

# 사용자 수요 분석 (타 도전과제)

도전과제	권고 사항
1, 2, 4, 5, 6, 9	ML 포함 기술발전 활용, 자율적이며 비용 효율적인 모니터링 시스템 개발
2, 6	eDNA, 바이오 로깅, 이미징, 드론 등 혁신적인 생물학적 모니터링 기술 도입
2	심해, 취약 서식지, 자료 부족 지역 등의 관측 범위 확대
3, 4, 8	자료 분석 및 시각화 도구와 더불어 상호운용이 가능하고 표준화된 준실시간 자료에 대한 접근성과 이용 가능성 제고
5	CDR 활동에 대한 모니터링
6	기상/지진·지구물리/수문/해저 및 수심 측량/지질/생물/생태/공중보건 자료 통합
6, 8	사회적으로 의미를 지니는 자료를 우선순위로 삼아 그에 따른 자료 공백 및 상호운용성 문제를 파악하고 대응
10	지식 재산권 보유자, 지역 공동체, 이해관계자, 사회과학 및 시민사회와의 공동설계를 더욱 강조

# 우선순위 반영 핵심 사항

- 사용자 수요 반영

- 모든 도전과제에서 제시한 우선순위 반영

- FOO 기반 반영 원칙

- FAIR (검색 가능, 접근 가능, 상호운용 가능, 재사용 가능)

(Findable, **A**ccessible, Interoperable, **R**eusable)

- TRUST (투명성, 책임, 사용자 중심, 지속가능성, 기술)

(Transparency, **R**esponsibility, **U**ser focus, **S**ustainability, **T**echnology)

- CARE (공동 이익, 통제 권한, 책임, 윤리)

(**C**ollective Benefit, **A**uthority to control, **R**esponsibility, **E**thics)

# 기술 및 혁신적 해결책

- 문제점

- 해양 관측 기술 시장: **소규모, 선진국 편중**
- 연구선 및 관측 플랫폼: 매우 **불균등한 분포**

- 해결책

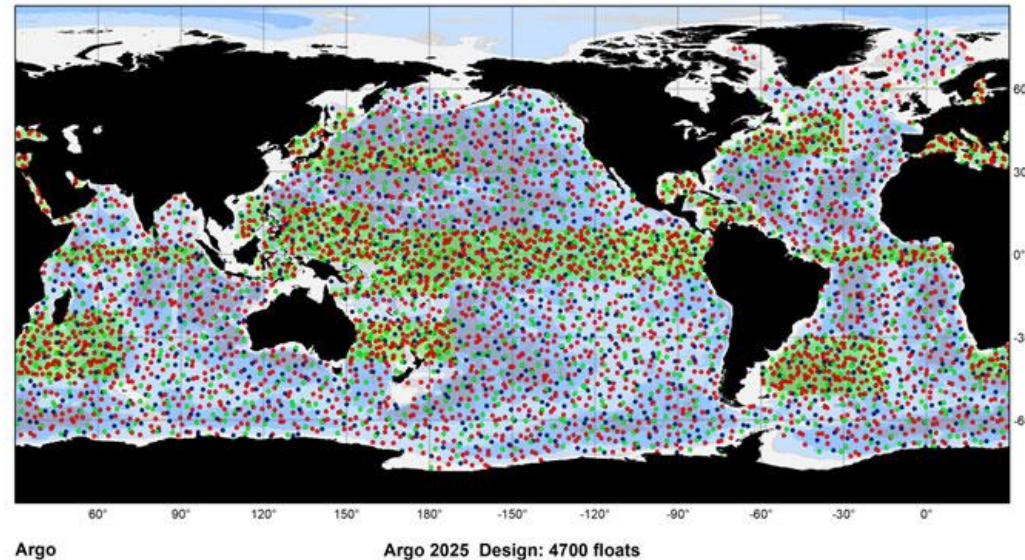
- 기술 수요의 명확한 정의 및 **민간 부문과 논의 필요** (투자는 반드시 수요에 입각)
- 새로운 관측 네트워크 활용, **자동화 기술 고도화, AI/ML 도구**
- 사용자(원주민, 지역공동체, 과학계, 산업계)를 위한 **관측 결과의 정보화**

**진행 현황: 관측 네트워크 확대**



# OneArgo

- **Argo's design: 4700 floats**  
Core: 2500, Deep: 1200, BGC: 1000



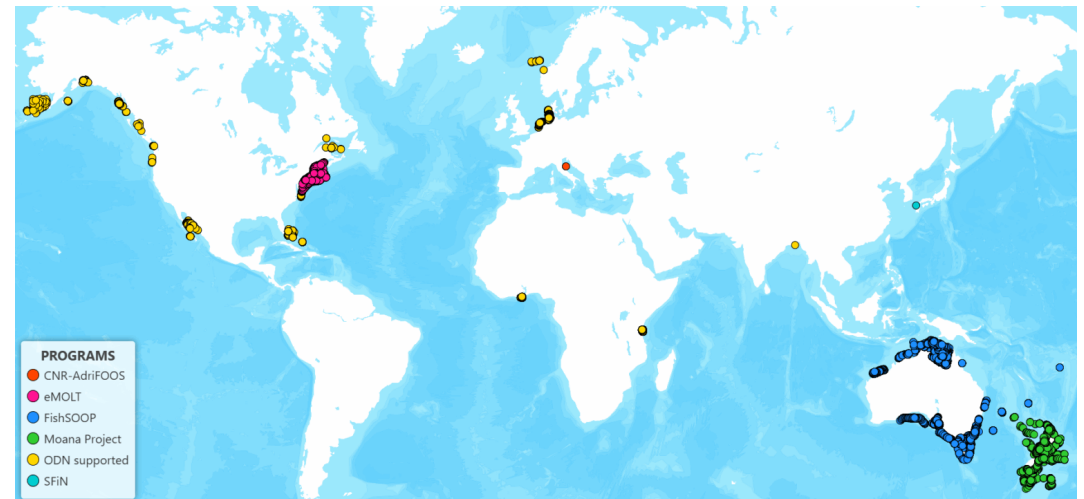
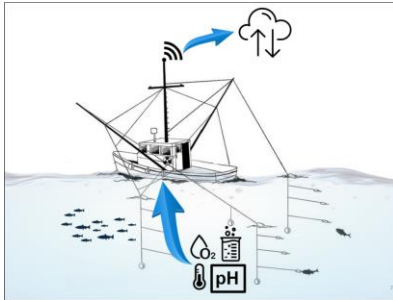
## Argo 전문가 연수회 (APEC 기후센터, 2024. 5.30)

- 가칭 'K-OneArgo' 구성 논의
- 국립기상과학원, 국립해양조사원, KIOST, 경북대, 부산대 등 전문가 40여 명 참여



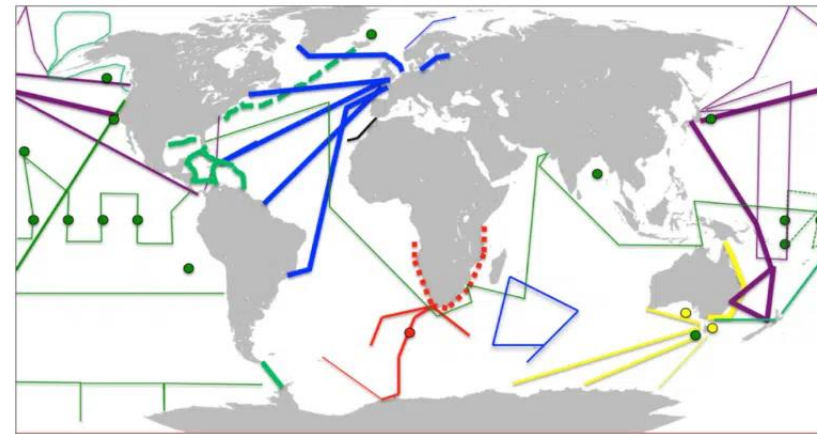
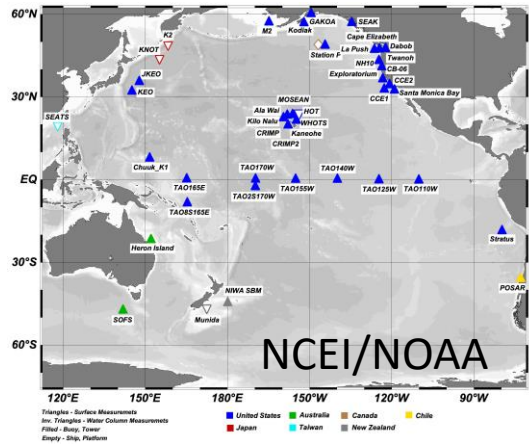
# Fishing Vessel Ocean Observing Network (FVON)

- 관측 변수: 해양 변수
- 관측 수단: 어선



# The Surface Ocean CO<sub>2</sub> Reference Observing Network (SOCONET)

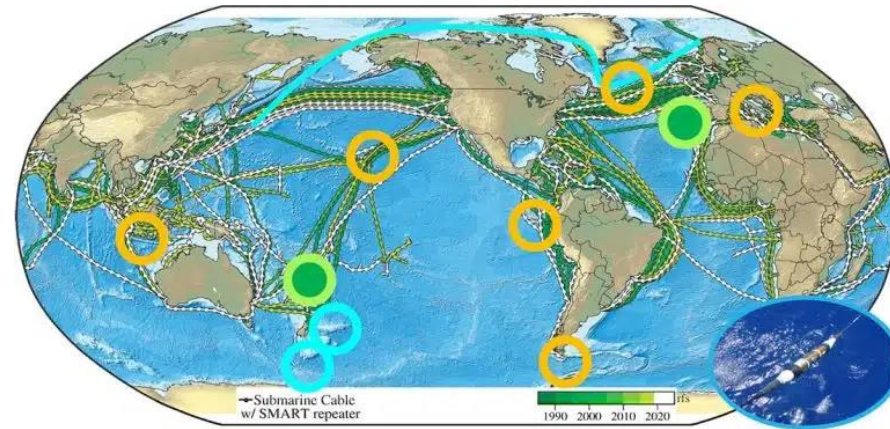
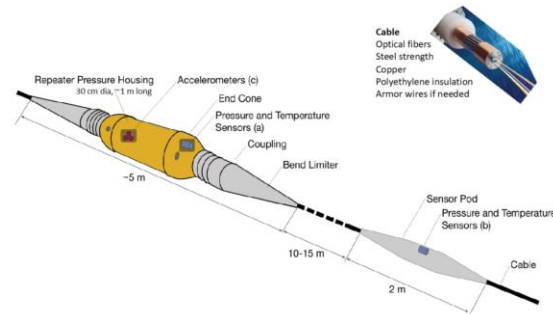
- 관측 변수: 해수면 및 대기 CO<sub>2</sub>
- 관측 수단: 계류, 선박





# Science Monitoring And Reliable Telecommunications Subsea Cables (SMART Cables)

- 관측 변수: 해저 수온, 압력, 지진가속도
- 관측 수단: 해저 통신 케이블



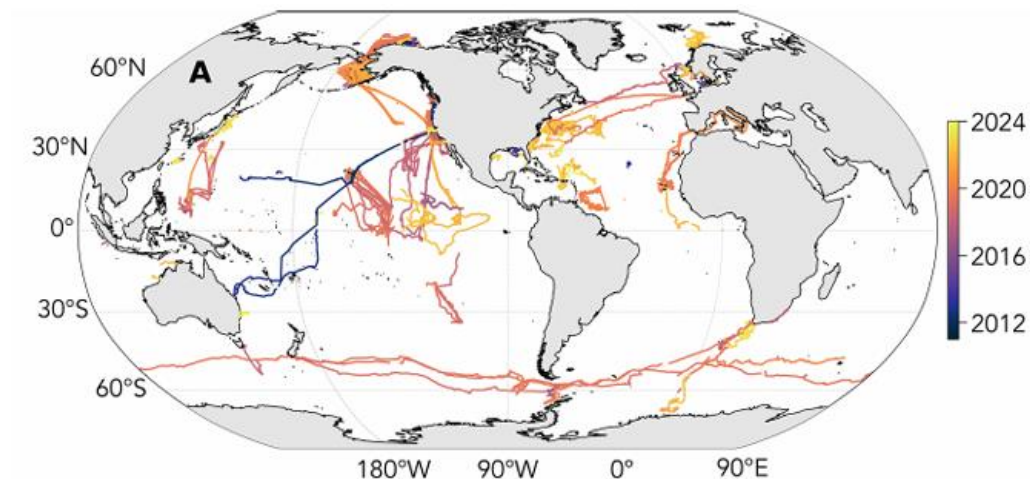
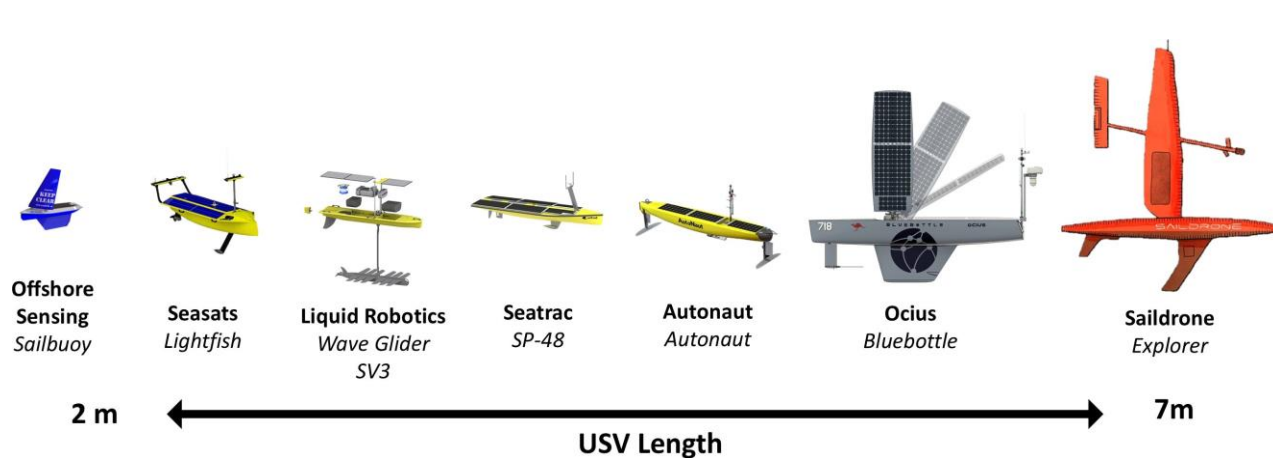
- Joint Task Force SMART Cables: ITU/WMO/UNESCO-IOC
- Sponsors: Gordon and Betty Moore Foundation (Intel 설립자)  
Schmidt Marine Technology Partners (Schmidt Family Foundation) (google CEO)



2021 United Nations Decade  
2030 of Ocean Science  
for Sustainable Development

# Uncrewed Surface Vehicles Network (USV)

- 관측 변수: 해양-대기 경계층 변수
- 관측 수단: 무인 부유체



Patterson et al. (2025)

# 우리 나라 현황

- **GOOS 관측망 참여**
  - EEZ (GLOSS, DBCP 부이, OceanSITES, HF radar)
  - 국지적 (Argo, 표층뜰개)
  - 국제협력 (DBCPC 부이, 표층뜰개)
  - 기타 참여 미비 (GO-SHIP, Gliders, USV, FVON)
- **계획 단계의 참여 낮음, 부분에 집착**
  - OceanOb 10년 회의 참여 저조
  - 네트워크 운영위원회/과학위원회 등 참여 저조
- **연속성 문제:** 연구과제 의존할 경우
- **파트너쉽**
  - 공공 주도, 다자 파트너쉽이 약함
  - 산업/방위, 연구/산업 -> 연구/산업/방위
- **관측 자료의 사용자용 정보화 저조**

# 중국

- **GOOS 관측망 참여**
  - EEZ (GLOSS, DBCP/GDP)
  - 확대 지속 (Argo)
  - 기타 참여 없음
- **계획 단계의 참여 증가**
  - OceanOb29 주도
  - 네트워크 거버넌스 참여 증가
- **연속성 문제 없음**
- **파트너쉽**
  - 연구/산업/방위 밀착

# 이정표

1. 전지구 해양 관측 역량 개선 확대  
(표준 및 모범 관행 활용)

2. **관측자료 -> 정보/지식 전환** 결과물 도출.  
자료 통합, 온라인 포털, 시각화 도구 개선 포함

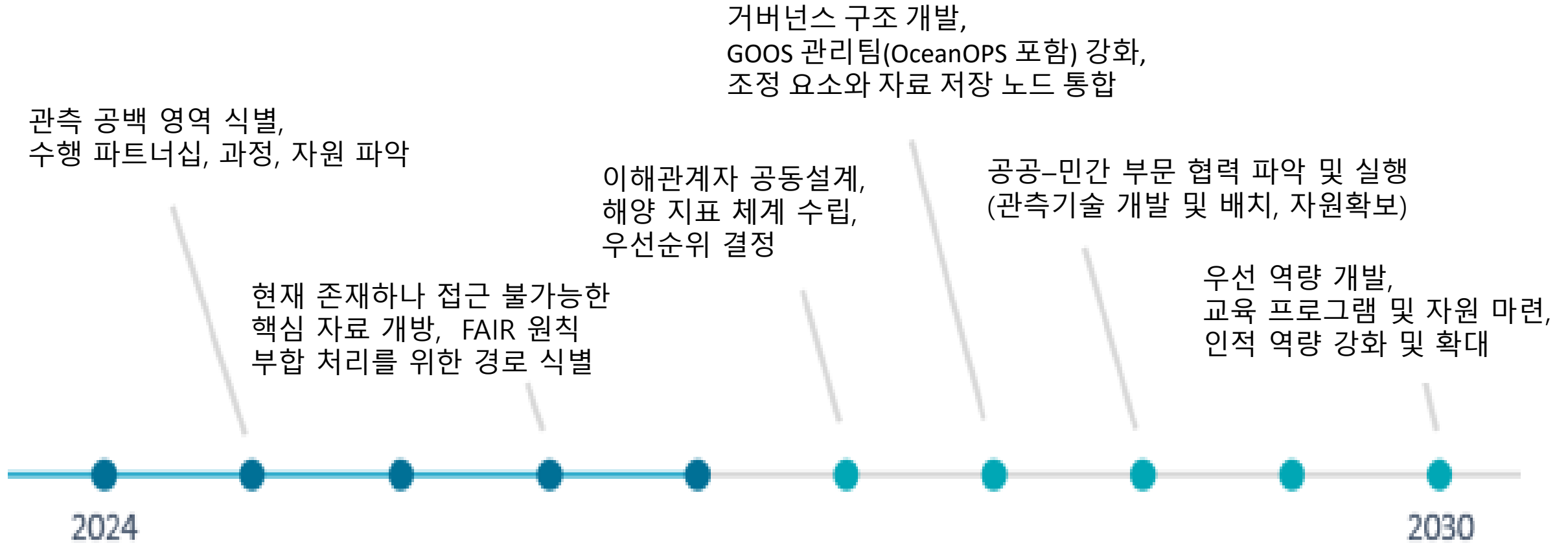
3. 기존 프로그램 보완, 우선순위 자료 공백  
을 메운 **혁신적인 기술, 센서, 플랫폼** 배치

4. 관측, 인프라, 교육, 역량개발 투자 가속  
화 및 다양화 (**해양 투자 경제 모델 활용**)

5. 기존 파트너십 유지, **공공-민간 부문 결합**  
**새로운 국제 파트너십** 구축, **해양 관측 책임의**  
**공동 분담/강화** 체계 마련

6. 국제적 해양 **관측 인력 확대 다양화**  
(해양 관측 가치사슬의 모든 측면 반영)

# 성공 지표





감사합니다