

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会  
海洋科学技術委員会  
2022年1月11日

資料1

# 気候変動問題への対応のために 必要な取り組みについて： 観測・データを中心に

東北大学 大学院理学研究科  
須賀 利雄

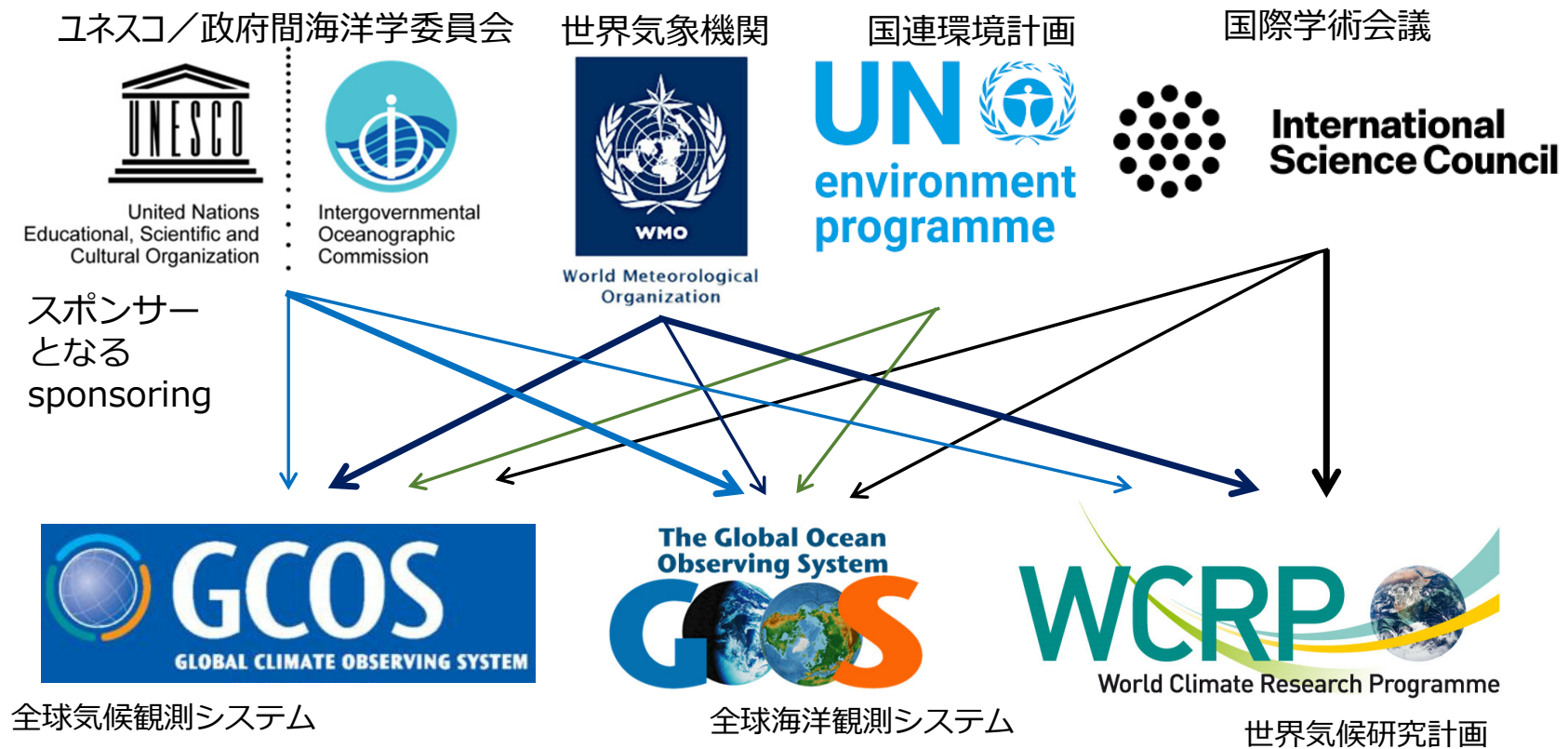
# 内容

海洋科学技術分野からの気候変動問題への貢献として、気候変動とその影響に関するモニタリング・予測の精緻化・高度化を念頭に置いて、**観測・データ**の側面から必要な研究基盤、強化すべき取り組みについて考える。

1. 国際的な枠組みと取り組み
2. 国際的な課題と対応
3. 日本の現状と課題

# 1. 国際的な枠組みと取り組み

## 気候に関わる国連機関のプログラム



# 1. 国際的な枠組みと取り組み



## 全球気候観測システム GCOS

- Second World Climate Conference (1990)の所産として1992年に開始された国際プログラム
- 目的：気候関連問題に対処するために必要な観測と情報を入手し、すべての潜在的なユーザーが利用できるようにする。
- 目的達成のため**必須気候変数 ECV**を定義・改定し、これに基づき大気・陸域・海洋の持続的な全球気候観測の状況を定期的に評価し、その改善のためのガイダンスを作成 →気候変動枠組条約締約国会議に報告
- ECVの要件
  - 気候系とその変化を特徴づけるために重要である。【関連性】
  - 地球規模での観測やその変数の導出は、実績のある科学的に理解された方法を用いて技術的に可能である。【実現可能性】
  - その変数に関するデータの収集・保存は、主に実証済みの技術を用いた観測システムにより、安価に実現できる。【費用対効果】

# 1. 国際的な枠組みと取り組み

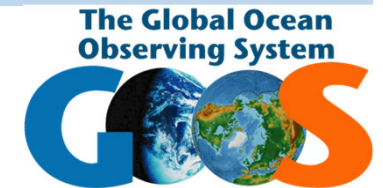
## 必須気候変数 ECV



- (目的別の) 必要とされる観測頻度・空間解像度・精度などを特定
- 現場観測と衛星観測でカバー
- 大気の変数については、WMOの統率の下、各国気象機関により組織的に観測されている。
- 海洋の変数の観測は、各国のボランティアな貢献に依存している。

Atmosphere	Land	Ocean
<b>Surface</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Precipitation</a></li><li>• <a href="#">Pressure</a></li><li>• <a href="#">Radiation budget</a></li><li>• <a href="#">Temperature</a></li><li>• <a href="#">Water vapour</a></li><li>• <a href="#">Wind speed and direction</a></li></ul>	<b>Hydrosphere</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Groundwater</a></li><li>• <a href="#">Lakes</a></li><li>• <a href="#">River discharge</a></li></ul>	<b>Physical</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Ocean surface heat flux</a></li><li>• <a href="#">Sea ice</a></li><li>• <a href="#">Sea level</a></li><li>• <a href="#">Sea state</a></li><li>• <a href="#">Sea surface currents</a></li><li>• <a href="#">Sea surface salinity</a></li><li>• <a href="#">Sea surface stress</a></li><li>• <a href="#">Sea surface temperature</a></li><li>• <a href="#">Subsurface currents</a></li><li>• <a href="#">Subsurface salinity</a></li><li>• <a href="#">Subsurface temperature</a></li></ul>
<b>Upper-air</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Earth radiation budget</a></li><li>• <a href="#">Lightning</a></li><li>• <a href="#">Temperature</a></li><li>• <a href="#">Water vapor</a></li><li>• <a href="#">Wind speed and direction</a></li></ul>	<b>Cryosphere</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Glaciers</a></li><li>• <a href="#">Ice sheets and ice shelves</a></li><li>• <a href="#">Permafrost</a></li><li>• <a href="#">Snow</a></li></ul>	<b>Biogeochemical</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Inorganic carbon</a></li><li>• <a href="#">Nitrous oxide</a></li><li>• <a href="#">Nutrients</a></li><li>• <a href="#">Ocean colour</a></li><li>• <a href="#">Oxygen</a></li><li>• <a href="#">Transient tracers</a></li></ul>
<b>Atmospheric Composition</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Aerosols</a></li><li>• <a href="#">Carbon dioxide, methane and other greenhouse gases</a></li><li>• <a href="#">Clouds</a></li><li>• <a href="#">Ozone</a></li><li>• <a href="#">Precursors for aerosols and ozone</a></li></ul>	<b>Biosphere</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Above-ground biomass</a></li><li>• <a href="#">Albedo</a></li><li>• <a href="#">Evaporation from land</a></li><li>• <a href="#">Fire</a></li><li>• <a href="#">Fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FAPAR)</a></li><li>• <a href="#">Land cover</a></li><li>• <a href="#">Land surface temperature</a></li><li>• <a href="#">Leaf area index</a></li><li>• <a href="#">Soil carbon</a></li><li>• <a href="#">Soil moisture</a></li></ul>	<b>Biological/ecosystems</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Marine habitats</a></li><li>• <a href="#">Plankton</a></li></ul>
	<b>Anthroposphere</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Anthropogenic Greenhouse gas fluxes</a></li><li>• <a href="#">Anthropogenic water use</a></li></ul>	

# 1. 国際的な枠組みと取り組み

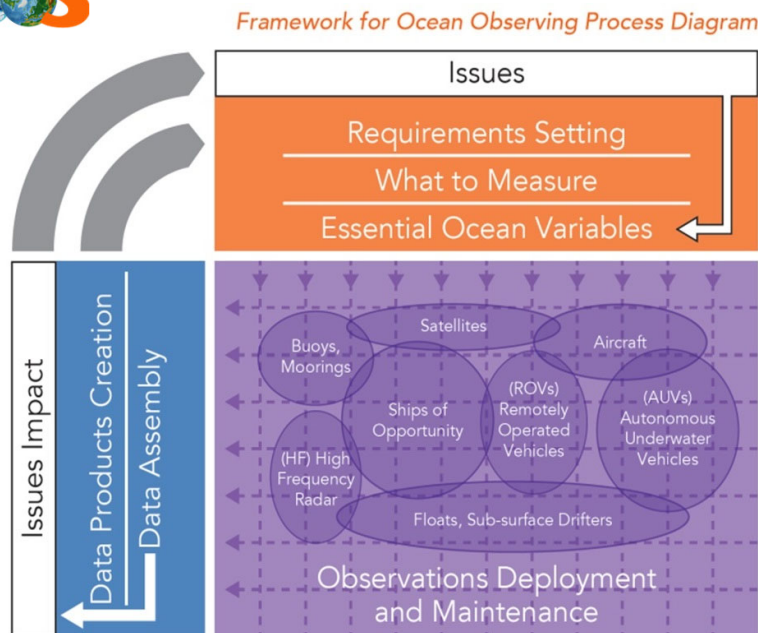
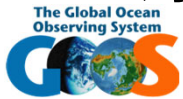


## 全球海洋観測システム GOOS

- Second World Climate Conference (1990)の要請に応え、1991年に開始された国際プログラム
- 目的：持続可能な開発、安全、福祉、繁栄に必要な不可欠な情報を提供する、真にグローバルな海洋観測システムの展開
- 重点分野：気候、予報・警報、海健康
  - “気候”はGCOSの海洋観測コンポーネントに対応
- Framework for Ocean Observing (FOO)を採用
  - **必須海洋変数 EOVS**を定義

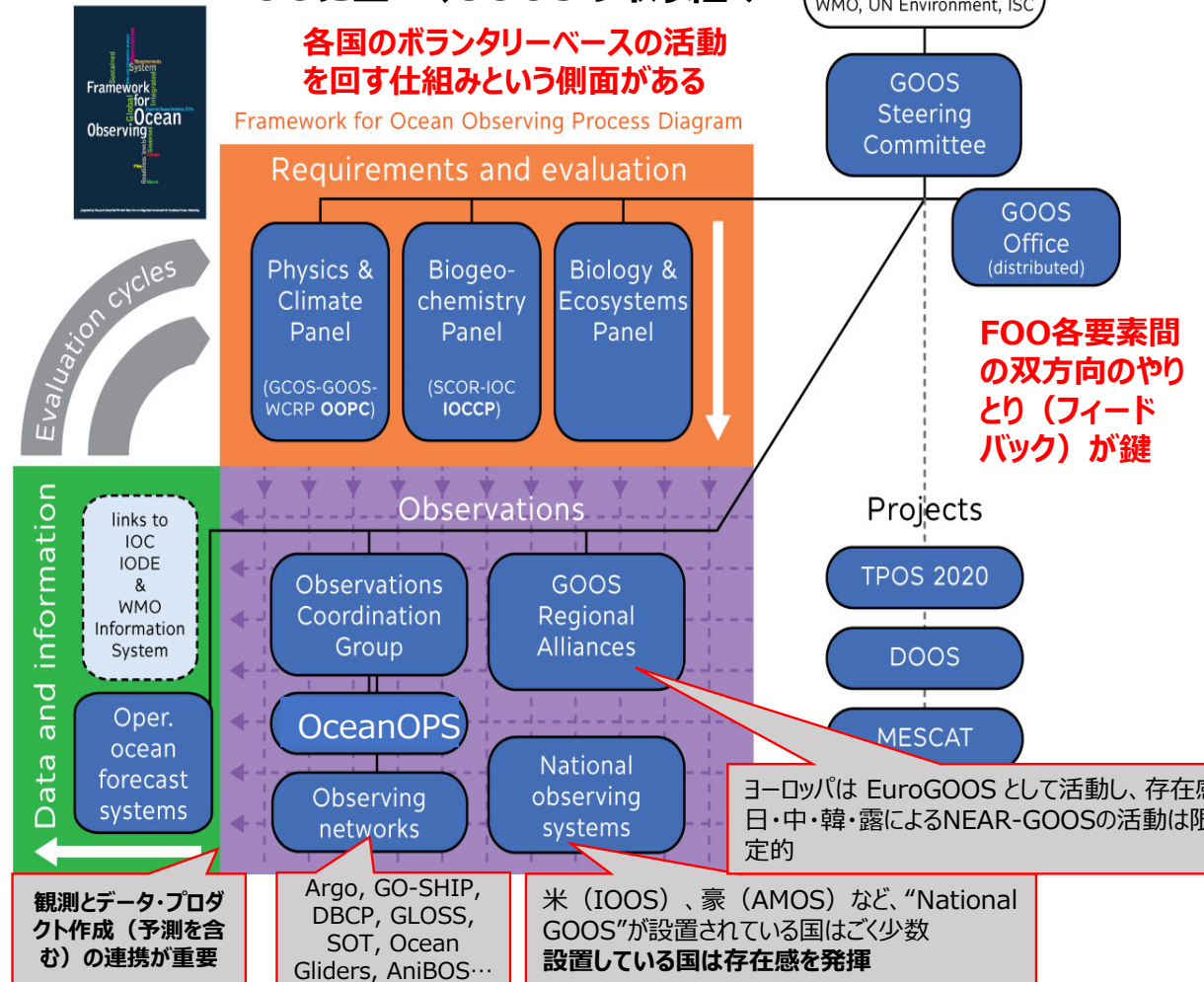
# 1. 国際的な枠組みと取り組み

## 海洋観測枠組み FOO



## FOOに基づくGOOSの取り組み

各国のボランタリーベースの活動を回す仕組みという側面がある

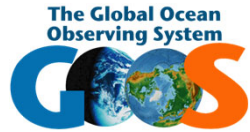


- 課題解決のために必要な観測変数を特定し、目的に適合した観測網をデザイン・実現して、データ・情報を供給する。
- 課題への効果を観測にフィードバックし改善



# 1. 国際的な枠組みと取り組み

## 必須海洋変数 EOV

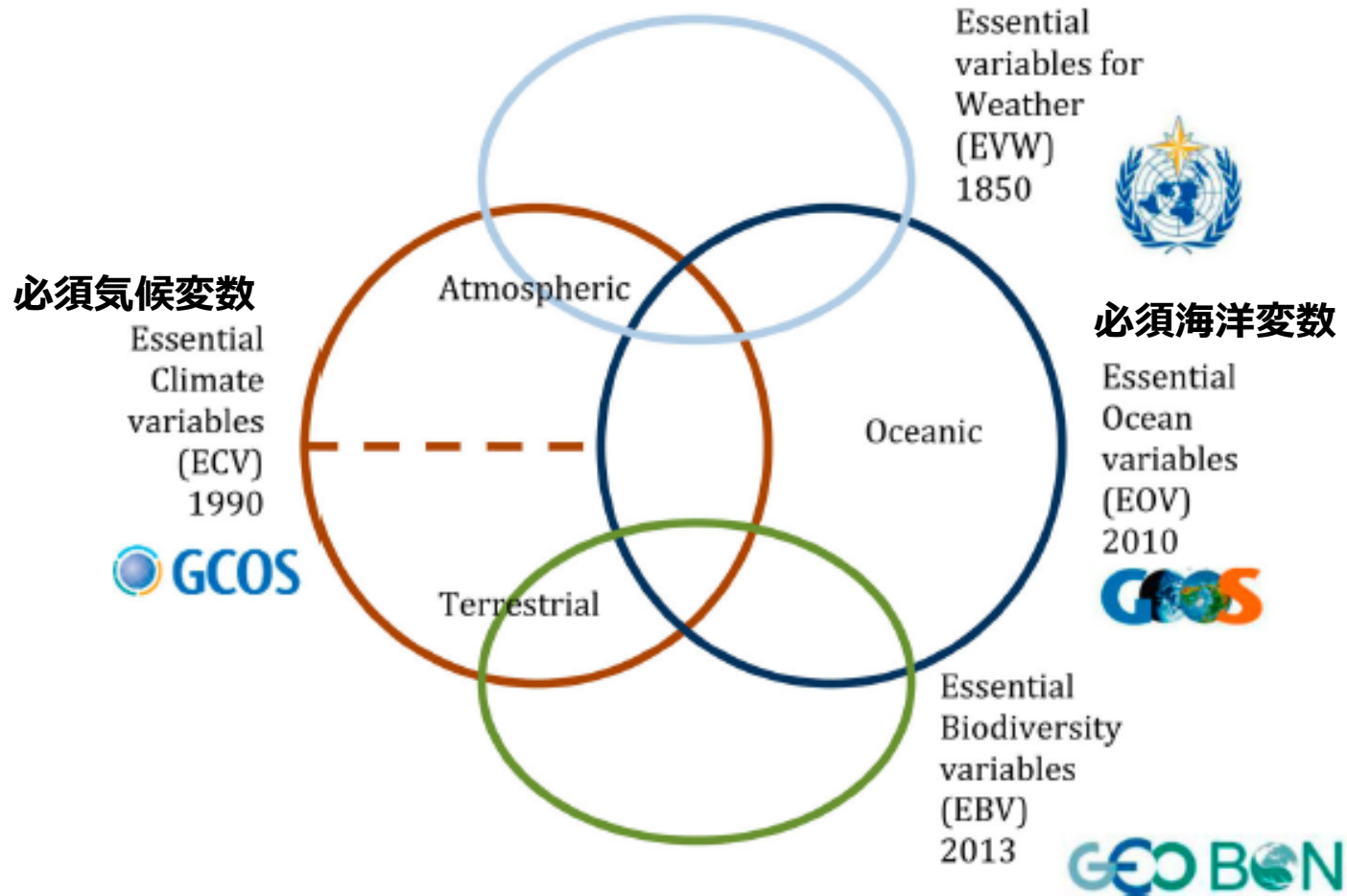


Physics	Biochemistry	Biology and Ecosystems
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Sea state</a></li> <li>• <a href="#">Ocean surface stress</a></li> <li>• <a href="#">Sea ice</a></li> <li>• <a href="#">Sea surface height</a></li> <li>• <a href="#">Sea surface temperature</a></li> <li>• <a href="#">Subsurface temperature</a></li> <li>• <a href="#">Surface currents</a></li> <li>• <a href="#">Subsurface currents</a></li> <li>• <a href="#">Sea surface salinity</a></li> <li>• <a href="#">Subsurface salinity</a></li> <li>• <a href="#">Ocean surface heat flux</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Oxygen</a></li> <li>• <a href="#">Nutrients</a></li> <li>• <a href="#">Inorganic carbon</a></li> <li>• <a href="#">Transient tracers</a></li> <li>• <a href="#">Particulate matter</a></li> <li>• <a href="#">Nitrus oxide</a></li> <li>• <a href="#">Stable carbon isotopes</a></li> <li>• <a href="#">Dissolved organic carbon</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Phytoplankton biomass and diversity</a></li> <li>• <a href="#">Zooplankton biomass and diversity</a></li> <li>• <a href="#">Fish abundance and distribution</a></li> <li>• <a href="#">Marine turtles, birds, mammals abundance and distribution</a></li> <li>• <a href="#">Hard coral cover and composition</a></li> <li>• <a href="#">Seagrass cover and composition</a></li> <li>• <a href="#">Macroalgal canopy cover and composition</a></li> <li>• <a href="#">Mangrove cover and composition</a></li> <li>• Microbe biomass and diversity (*emerging)</li> <li>• Invertebrate abundance and distribution (*emerging)</li> </ul>
Cross-disciplinary (including human impact)		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Ocean colour</a></li> <li>• <a href="#">Marine debris (*emerging)</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Ocean sound</a></li> </ul>



# 1. 国際的な枠組みと取り組み

## データから見た国際プログラム



## 2. 国際的な課題と対応



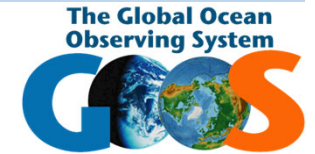
### GCOS Status Report 2021 で挙げられた課題

- パリ協定の目標達成を支援するために、観測コミュニティは物理的、化学的、生物学的サイクルを追跡するECVを通じて、知識のギャップに対処する必要がある。
- 特に気候変動の影響を受けやすい地域と、ECVの要件が、関連する時間的・空間的スケールをどの程度捉えているかに注意を払う必要がある。【脆弱性ごとに適した観測の必要性】

海洋について：

- オーバーターニング循環は、大気との熱および炭素交換、ひいては地球気候を制御する重要な要因であるが、これを直接測定するものはなく、それがどのように変化しているかを示す間接的な指標もまばらでしかない。これは、海洋の持続的観測における決定的な弱点である。
- エネルギーサイクル全体の不確実性は、海洋の熱吸収に支配されており、統合的な海洋観測システムを維持・拡張する必要がある。
- 海洋による炭素の取り込みは、全炭素収支の不確実性（経年変動）の支配要因の一つであり、観測システムを拡充する必要がある。

## 2. 国際的な課題と対応



### GOOSの課題と対応

- 2019年に**GOOS 2030 戦略**を発表：  
幅広いユーザーの要求を満たすように設計された海洋観測システムの拡大の必要性は明らかで、緊急を要する。  
真に統合された全球海洋観測システムのビジョンを提示  
→持続可能な開発、安全、福祉、繁栄に必要な必須情報の提供を  
幅広いパートナーシップで実現をめざす
- **国連海洋科学の10年**に3つのプログラムを提案：  
Ocean Observing System Co-Design (ObsCoDe)  
観測システムの設計・評価プロセスの変革 【FOOの実質化】  
Observing Together  
観測者と受益者コミュニティを結び付け海洋データへのアクセス・利用を変革  
CoastPredict  
全球沿岸海洋の観測・予測の科学の変革

## 2. 国際的な課題と対応

### 国際的な動向のまとめ

- 全球的な海洋観測システムの展開とそのデータの即時・無制限な供給が科学と社会のニーズに応えるべく進行中。
- 外洋域の物理変量が中心だった全球的・系統的な観測が、生物地球化学変量、生物・生態系変量、沿岸域に拡張されつつある。
- 観測とモデリングのコミュニティ間の連携体制の整備が進みつつある。
- 科学研究と技術開発の密接な協働の存在
- 研究とオペレーションの連携・フィードバックの存在

FOOを意識した国内体制（米、豪など）・地域協力体制（ヨーロッパなど）を整備した国々が上記の動きをリードし、その中で最先端の科学的成果も生み出されつつある。

## 3. 日本の現状と課題

### 気候変動に関わる海洋観測の現状

特定の研究分野・技術で優れている点はあるものの、継続的な「**科学研究と技術開発の密接な協働**」と「**海洋観測システムに対する戦略的な体制・取り組み**」に欠けている。

いくつかの例：

- ✓ Argoとその拡張に継続的に貢献しており、とくにDeep Argoについては米国に次いで世界をリードしている。
- ◆ BGC Argoへの取り組みは、国レベルや地域レベルでの目的を掲げて、観測からデータプロダクト作成までを戦略的に進めている米国や欧州に比べて遅れている。
- ◆ 2000m級の国産フロートを持たないため、研究者と技術者あるいは民間が連携した生物地球化学センサの開発や利用が進みにくい状況にある。
- ✓ GO-SHIPやそれに準ずる高精度の船舶観測に大きな貢献をしている。  
→ Deep ArgoやBGC Argoを支える高精度データの供給に重要な役割
- ◆ 水中グライダーの継続的な運用が部分的に始まっているものの、国レベルでの運用や新たな利用を支援する仕組みを整えている欧州・米・豪に比べると、その活動は限定的で、Ocean Glidersにも積極的に関与していない。

# 3. 日本の現状と課題

## 課題

- FOOを意識して、グローバルなデータ取得・プロダクト作成に貢献しつつ、地域的・国内的なニーズに対応した観測を組織的に行う必要がある →“National GOOS”立上げ
  - ▶ 温暖化・酸性化・貧酸素化などのモニタリング
  - ▶ 炭素収支の把握
  - ▶ 沿岸域へ影響の把握・予測
  - ▶ 極端気象現象への影響の把握・予測
  - ▶ 海洋熱波の予測…
- 観測からデータ品質管理・データプロダクト作成までのフローの強化
  - ▶ 例：AIも活用してBGC Argoデータと他データ（衛星含む）を統合したデータプロダクトを作成するセンターを設置（モデリングコミュニティとも連携）
- 科学研究と技術開発の継続的な連携
  - ▶ 例：観測プラットフォーム（フロート・グライダーなど）とセンサーの開発・改良（民間セクターとも連携）
- 国際的協力が不可欠であり、国際的な枠組みの中で活動する必要があることから、枠組み作りにリーダーシップをとれるような体制づくりと人材育成が重要
  - ▶ アジア太平洋地域の連携を促進し、地域リーダーとしてグローバルに発信