



四次元変分法データ統合システムを用いた 全球長期海洋環境の再現

増田 周平、長船哲史、杉浦望実、土居知将、邊見 忠

海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター

全球的な海洋環境に関連する科学的疑問

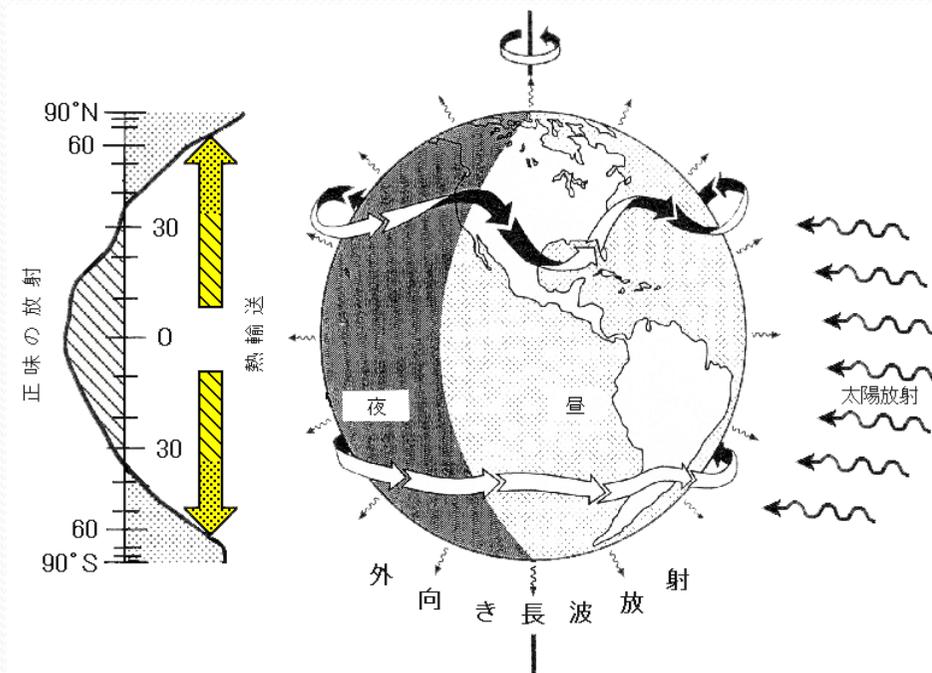
海洋貯熱量はどのように変化するのか

海面水位はどのように変化するのか

気候変動(主に大気の変動)に伴い海洋循環がどのようにかわるのか

海洋酸性化は海洋環境場のどのような変化に敏感か

(例えば、IPCC第5次レポート)



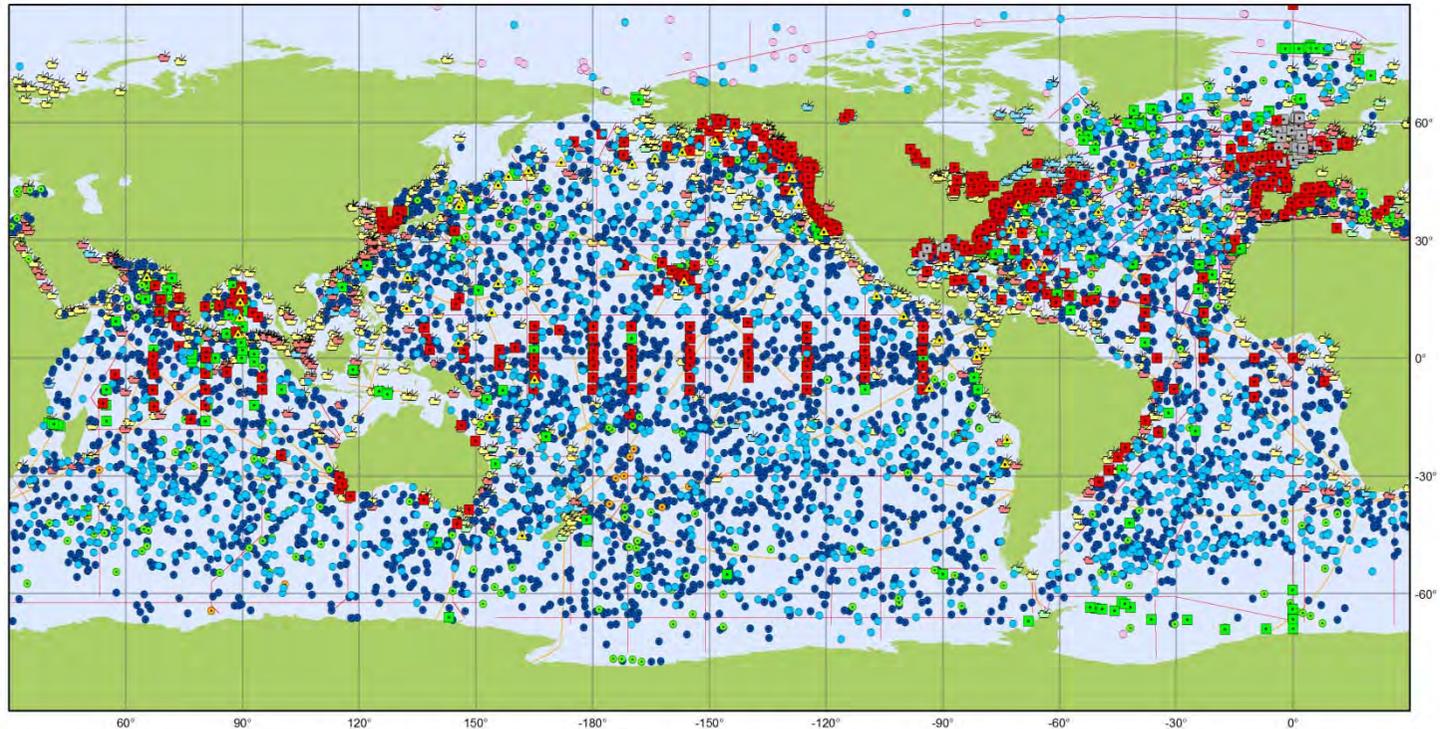
気候を駆動する太陽放射

【出典】 気象庁訳：K. E. TRENBERTH, J. T. HOUGHTON, L. G. METRAFIHO、IPCC(1995) 第1章、P61

<http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/01/01080501/02.gif>

世界の海洋観測の現状

JCOMM 2016 Observing System Status



Main in-situ Elements of the Global Ocean Observing System

June 2016

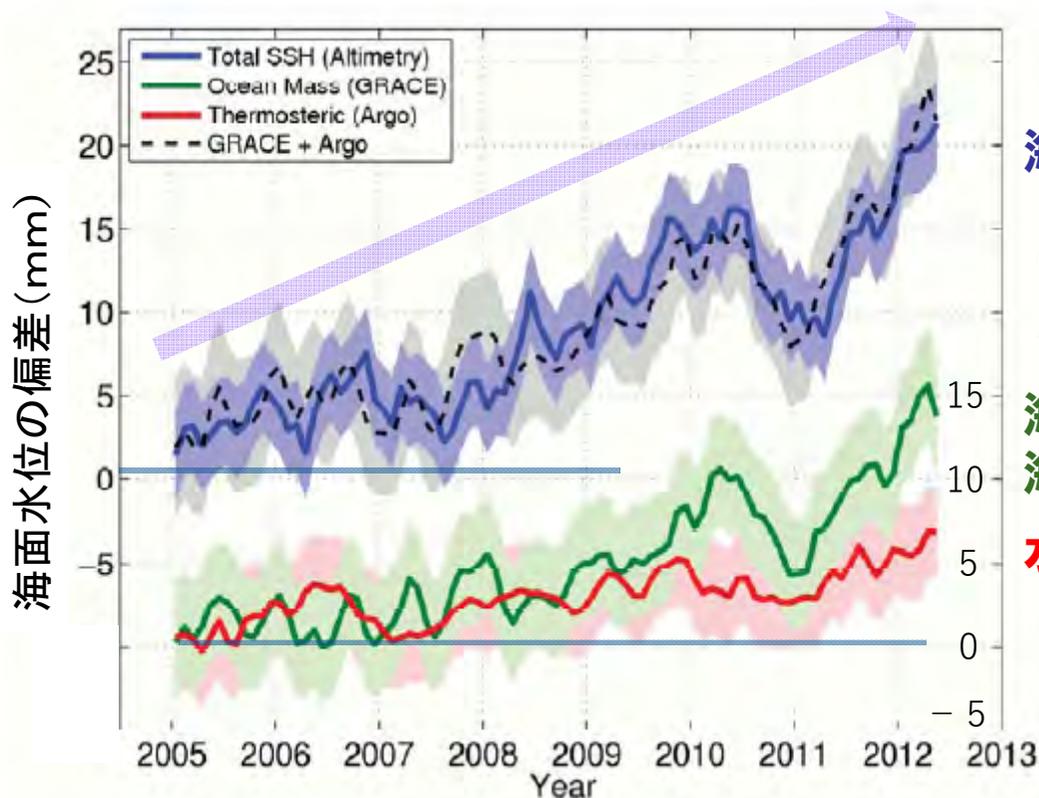
Argo	DBCP	OceanSITES	SOT	ASAP Radiosondes (7)	SOOP XBTs (46)
● Argo (3758)	● Surface Drifter (1442)	■ Platforms (331)	● VOSClm-Automated (103)	—	—
● Deep-Argo (16)	■ Fixed Platform (104)	GO-SHIP	● VOSClm-Manned (354)	—	—
● Bio-Argo (275)	● Ice Buoy (29)	— GO-SHIP (61)	● VOS-Automated (147)	—	—
■ Moored Buoy (474)	● Tsunameter (46)	—	● VOS-Manned (1161)	—	—



Generated by www.jcommops.org, 07/07/2016

GOOS HPより抜粋(http://www.goosocean.org/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=123)

明らかになってきた海面水位の長期変化



海面水位の衛星観測
2005-2013年では1年で約0.3cmの上昇。ただし気候変動成分を含みます。

海水が増減したことによる海面水位変動

水温変動による海面水位変動

熱膨張による海面水位変動と陸氷の融解による海水質量の増加が同程度のインパクトを持っている。

水温観測の分布の時間変化

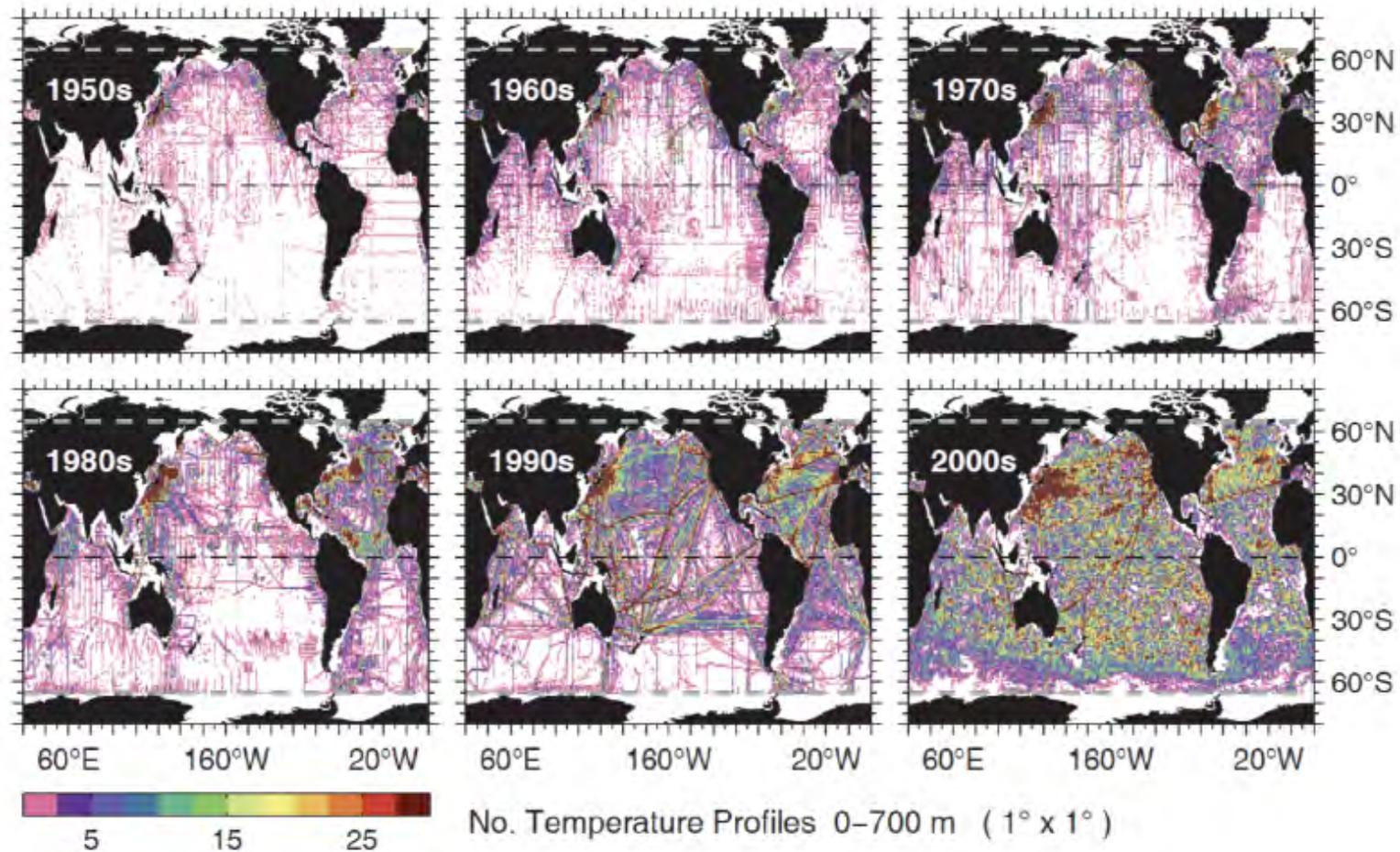


Figure 3.A.1: Number of temperature profiles extending to 700 m depth in each 1° × 1° square, by decade, between 65°N and 65°S.

全球的な海洋環境に関連する科学的疑問に答える ための全球長期海洋環境再現

海洋貯熱量はどのように変化するのか

海面水位はどのように変化するのか

気候変動(主に大気の変動)に伴い海洋循環がどのようにかわるのか

海洋酸性化は海洋環境場のどのような変化に敏感か



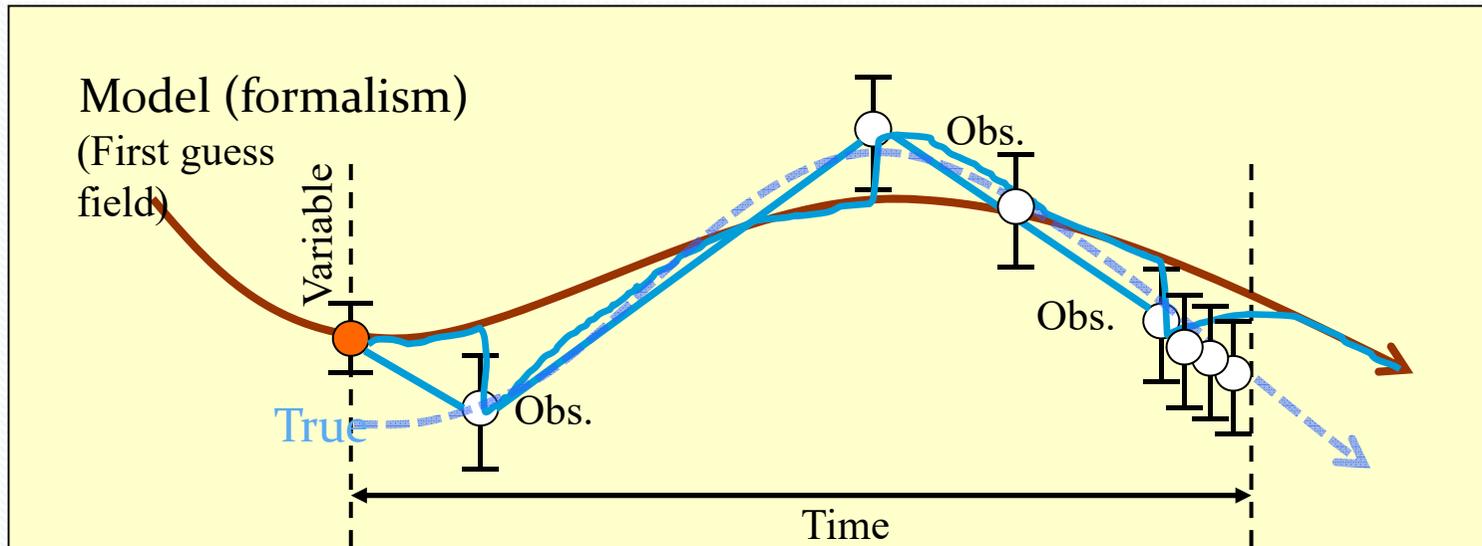
観測情報だけからでは、過去から現在までの長期変化の動態を把握することや
その変動メカニズムを明らかにすることは難しい。



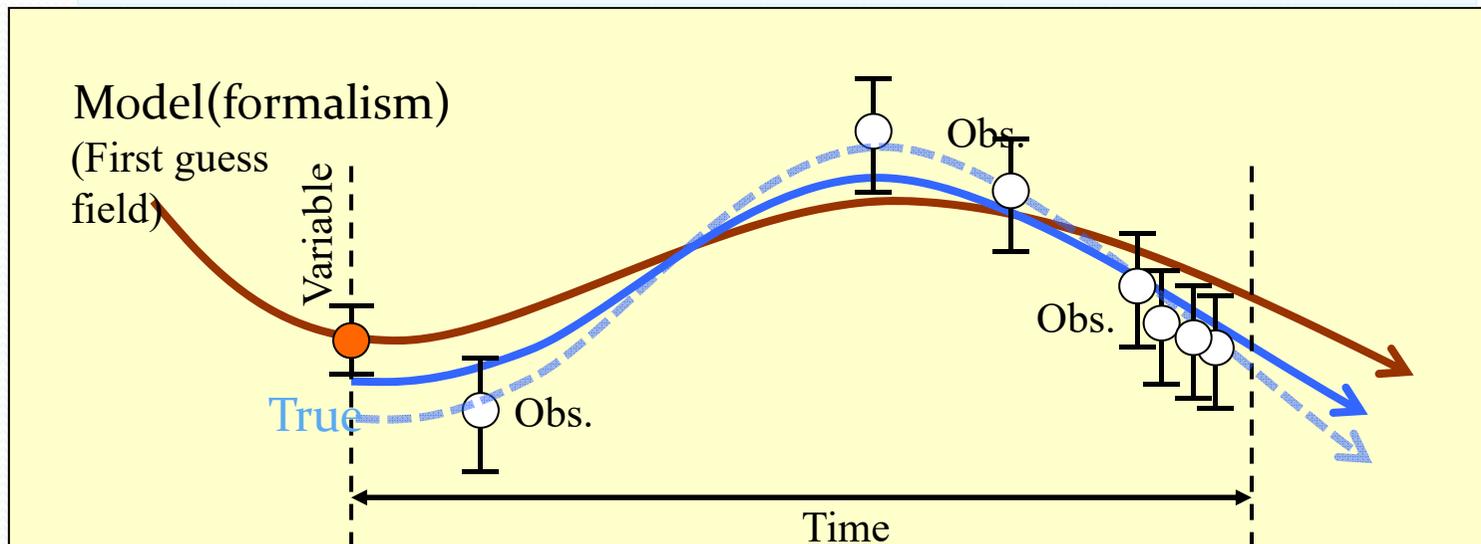
**時間方向まで含めた観測データの力学補間
= 海洋環境再現 (Ocean State Estimation) が必要**

スプーサー手法を用いた海洋環境再現

Interpolation / Sequential data assimilation

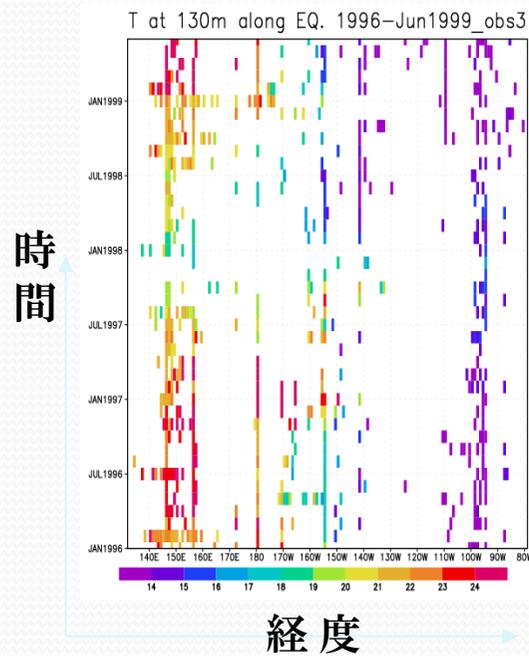


Seek a best time trajectory through smoother approach



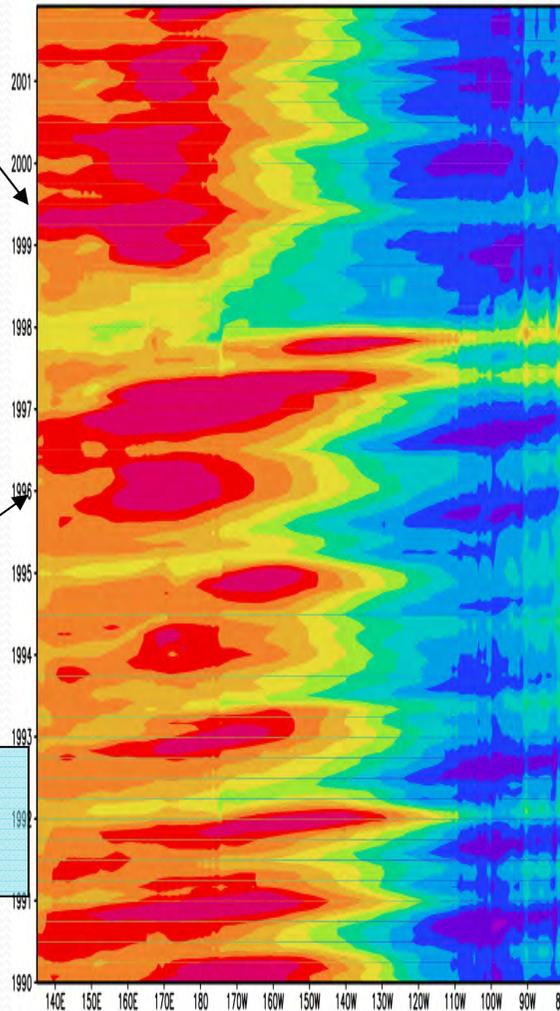
海洋環境再現の概念図

観測データ
(離散的)

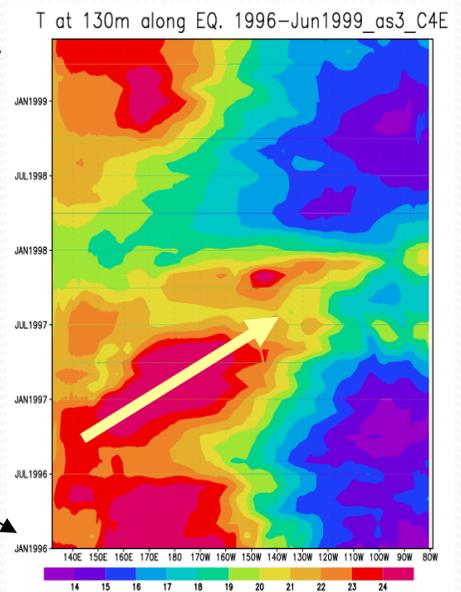


モデルの出力
(連続)

T at 130m along EQ. 1990-2001 fg



同化の出力
(連続)



太平洋赤道上130m深の水温の
時間変化の例(96-99年)

データ統合 =
時空間的に不連続な
観測データを数値モデル
の定式化を利用し
力学的に補間する

本課題の研究スキーム

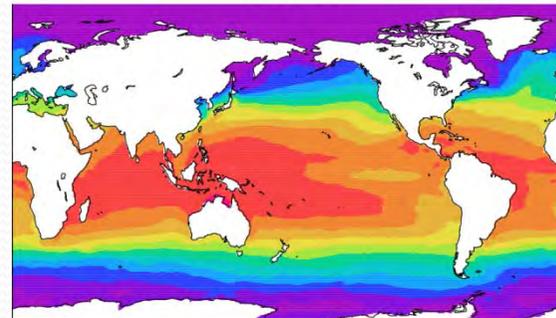


機構内外で取得されるさまざまな海洋観測データ

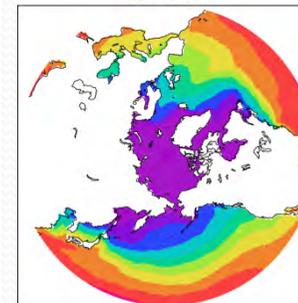
アプローチ

ESの資源を最大限活かして**全球全層データ統合システム**を構築・運用する。

ESTOC2 SST



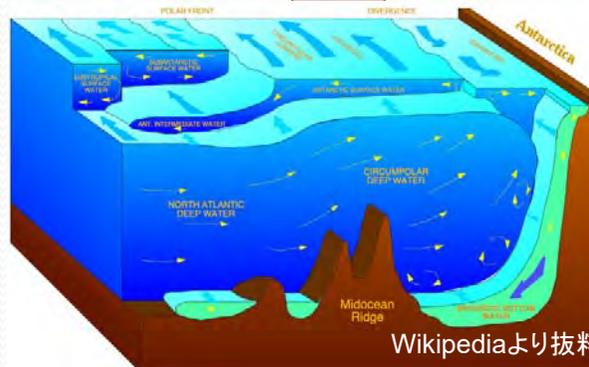
ESTOC2 SST



☆海洋観測データに関する時間方向まで含めた力学補間を実施する。

目的

データ統合システム、データセットを用い新たな科学的知見の発見に結びつける。=>力学の解明・現象の予測



Estimated State of Ocean for Climate research (ESTOC; 海洋環境再現データセット)

OGCM:

GFDL MOM3, quasi-global 75°S-80°N
horizontal res: 1°x1°, vertical res:45 levels

(Osafune et al., 2015, Doi et al., 2015)

Spinup:

1. 3000-year with a climatological forcing (accelerated method)
2. 120-year as climatological seasonal march.
3. 10-year with interannual forcings from NCEP/DOE.

H28年度の主な開発項目:

- 深海フロートデータの統合
- 全球海面高度 (Global Mean Sea Level) データの統合
- 海洋鉛直混合データの統合 (再現される循環場の刷新)
- 生物化学変量の再現のためのフロートデータ統合

control variables: initial T, S, 10-daily surface fluxes

first guess: executed from the last of Spinup 3

assimilated elements: OISST, T, S (Ensembles ver.3 inclusive of Argo float data + Mirai RV independent dataset) AVISO SSH anomaly

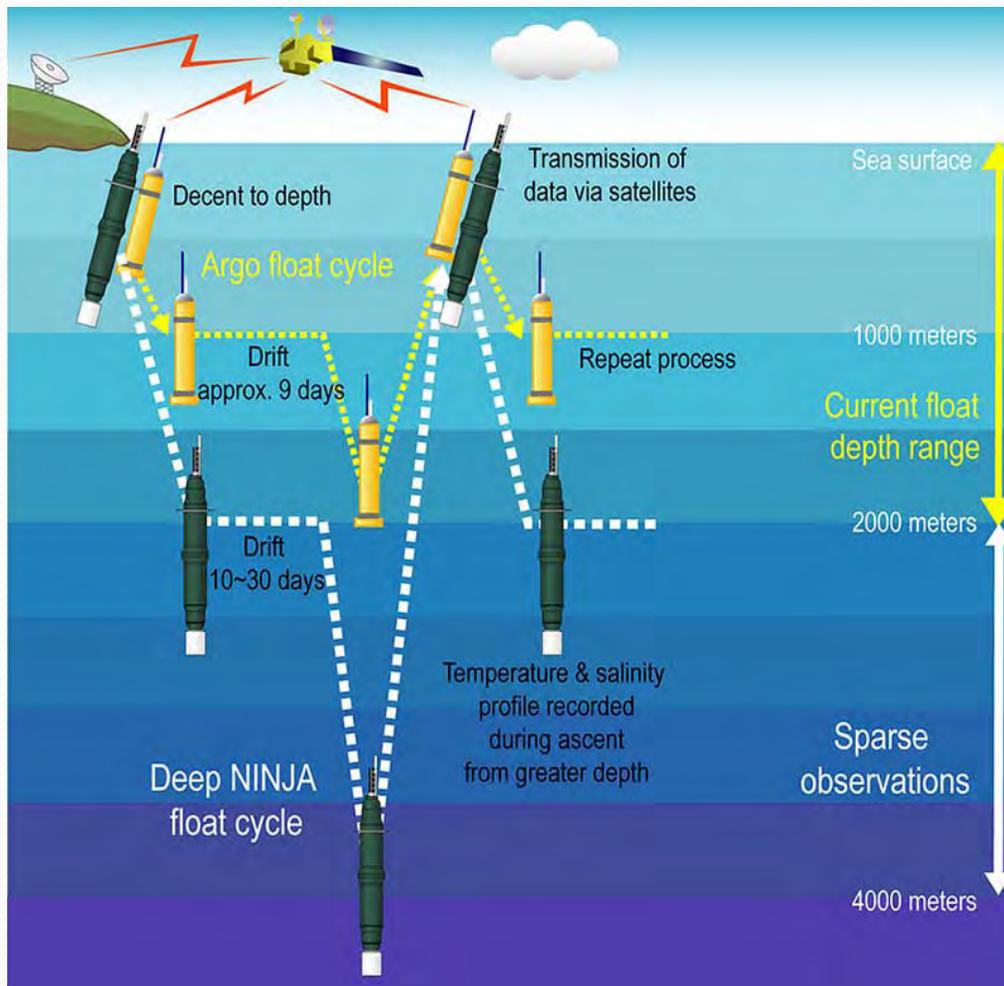
水温、塩分、流速、海面高度、熱フラックス、淡水フラックス、風応力、硝酸塩、植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタス、溶存無機炭素、溶存酸素

全球的な海洋環境に関連する科学的疑問 との対応

- 深海フロートデータの統合 → 海洋貯熱量はどのように変化するか => 昨年度 Osafune et al., (2015)の更新
- 海面高度データの統合 → 海面水位はどのように変化するか
- 海洋鉛直混合データの統合 (OMIXプロジェクト) → **ポスター発表** → 気候変動(主に大気の変動)に伴い海洋循環がどのようにかわるのか
- 自動昇降型海洋観測ブイデータの統合 → 海洋酸性化は海洋環境場のどのような変化に敏感か => 昨年度 Doi et al., (2015)の更新

深海フロートとは？

We have to know more about deep ocean



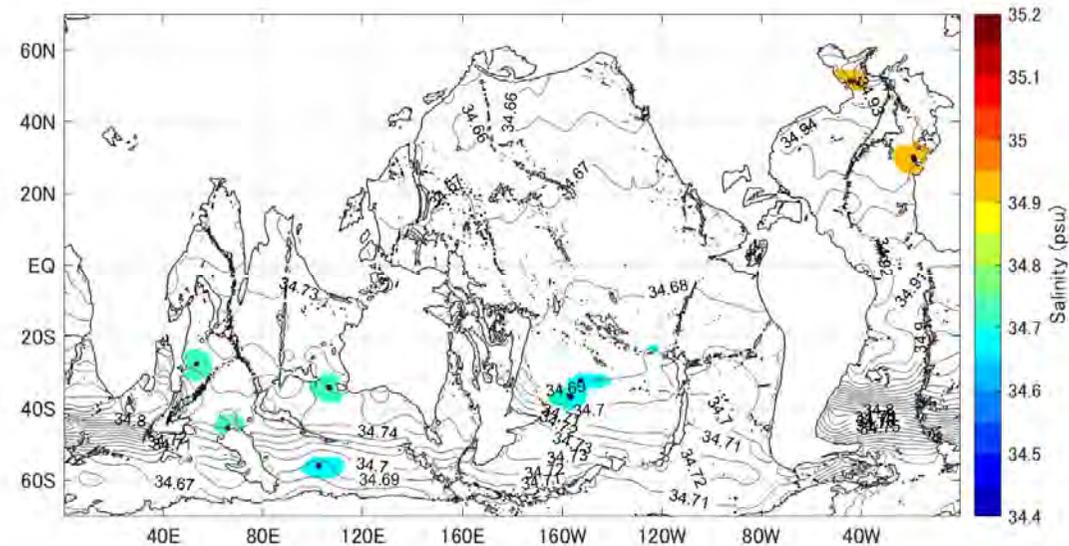
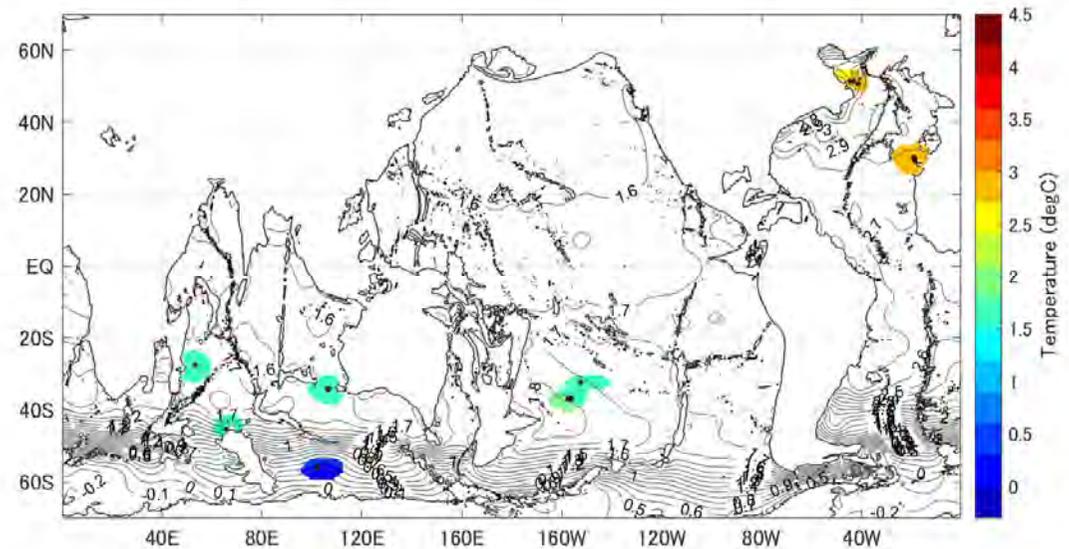
Deep Ninja developed by JAMSTEC/Tsurumi-Seiki

MOAA GPV(深海用)による3000m深での水温・塩分分布

MOAA GPV(深海用)

- ・月毎水平2次元最適内挿法
- ・水平1度格子
- ・第一推定値:WOA13月平均気候値
- ・データ:リアルタイムQC済みArgoデータ(2016年11月のDeep NINJA,Deep Arvor)

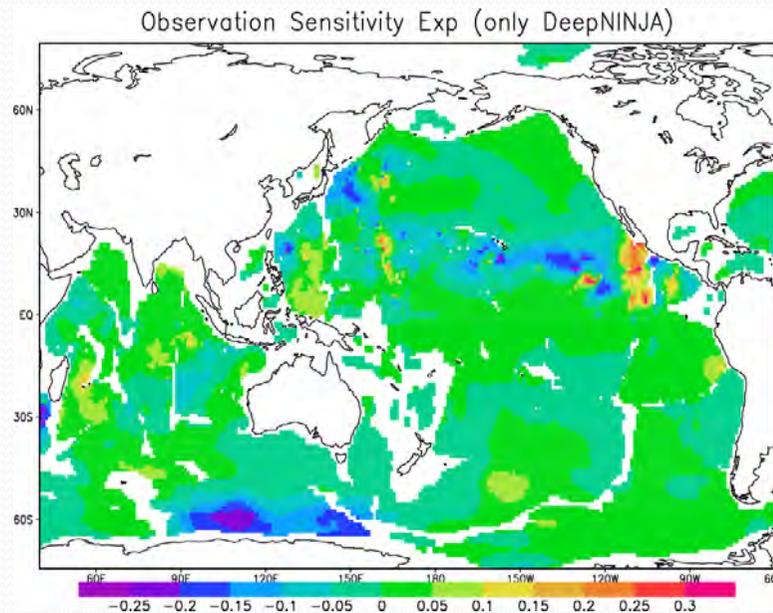
コンターはWOA13月平均気候値、客観解析値(白色域は陸域またはデータがない海域)



深海フロートデータの統合

OSE for integrated ocean observation network

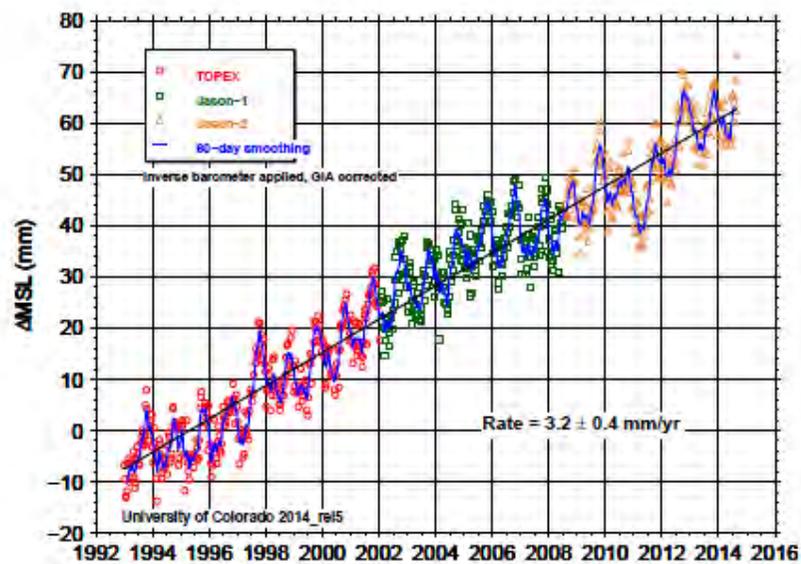
JAMSTEC is trying **OSEs** for available data of DeepNINJA/ BGC float by using **ESTOC** system.



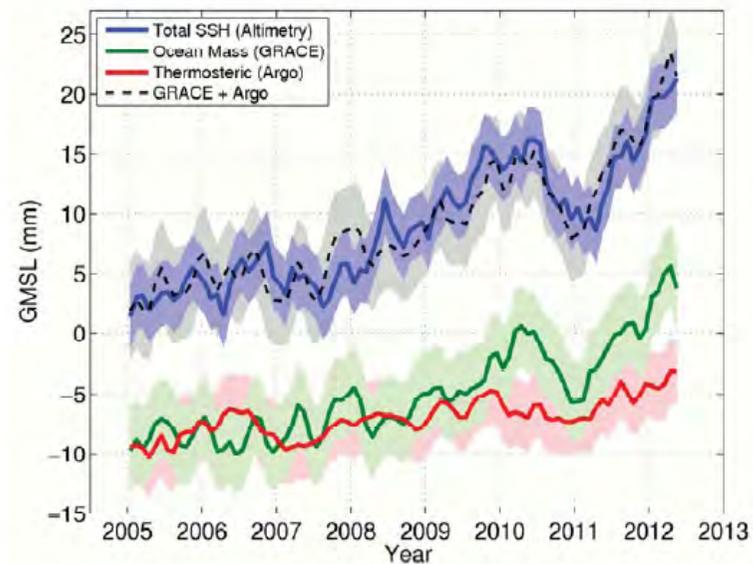
A tentative OSE result for 2012-2016 DeepNINJAs.
Difference in the 3000m-depth temperature estimation.

The differences in Southern Ocean (Indian sector) and North Pacific regions largely show improvement in the state estimation by long-term DeepNINJA monitoring.

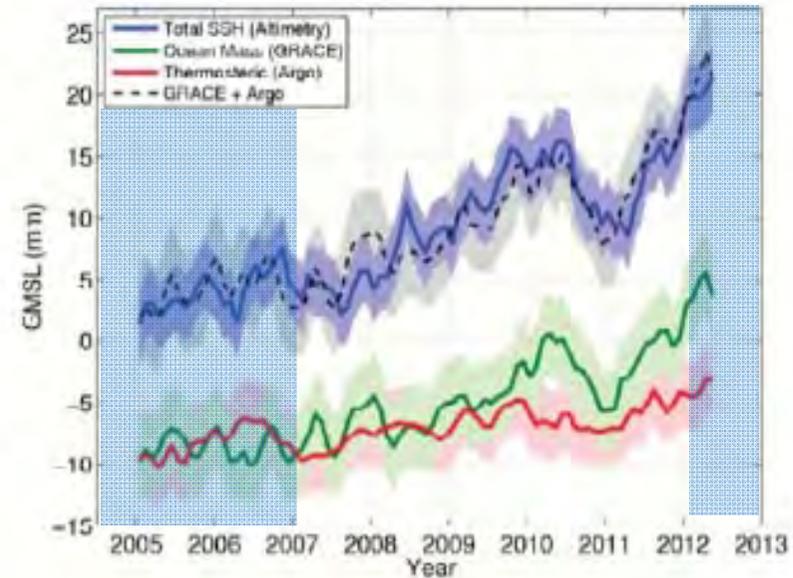
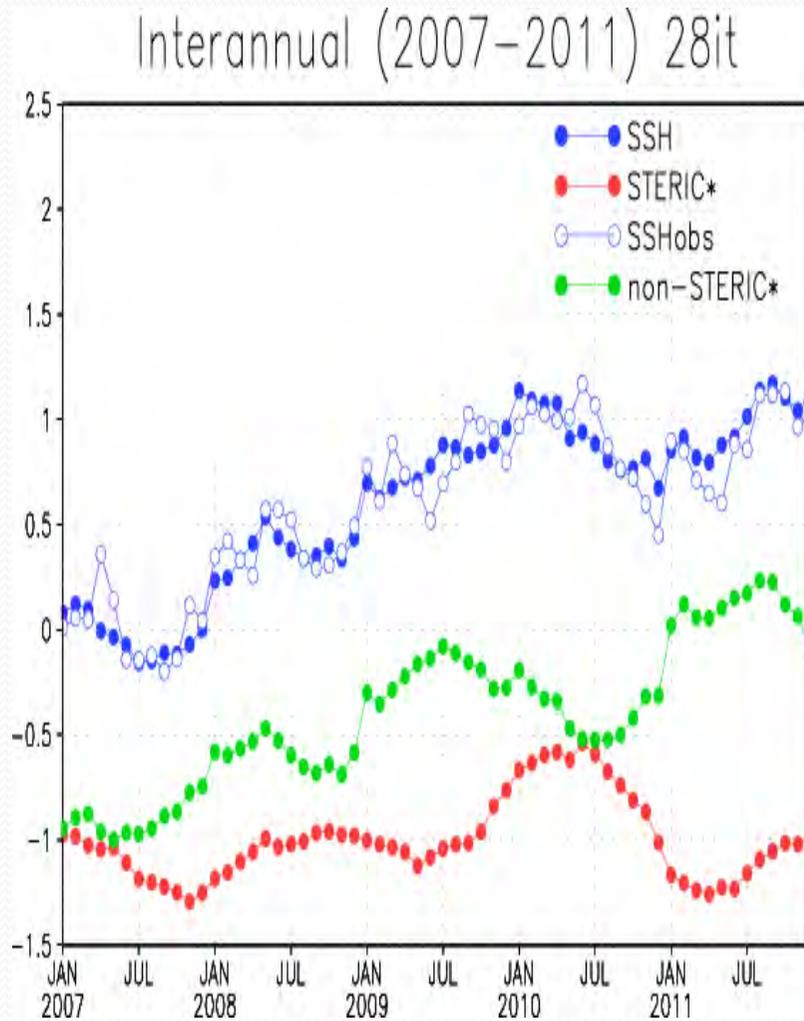
海面高度データの統合



Global Mean Sea Level Time Series by Univ. of Colorado



全球海面高度変化の再現



海面水位変化の再現(左)。この期間ではIPCC5thRep(右)とよく一致している。

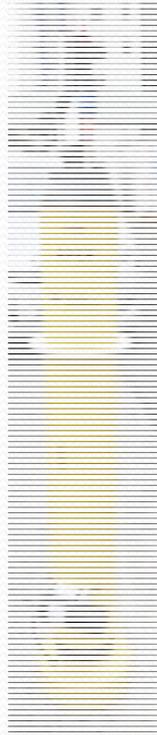
2次元の時間変化+モデル内でのメカニズムを検証できる

BGCフロートデータの統合

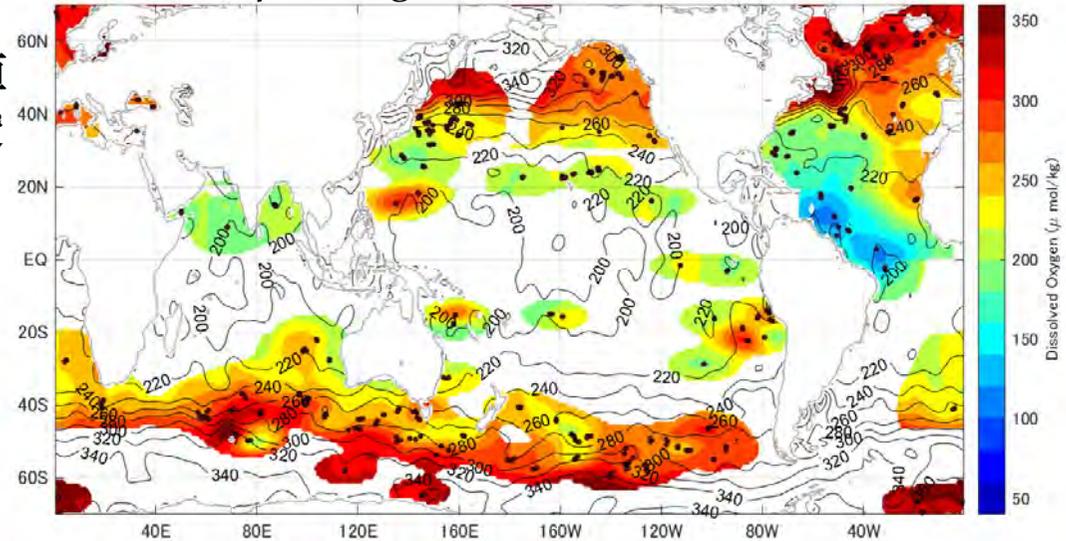
MOAA GPV (溶存酸素濃度用) による10m深の溶存酸素濃度分布

MOAA GPV (溶存酸素濃度用)

- 月毎水平2次元最適内挿法
- 水平1度格子
- 第一推定値: WOA13月平均気候値
- データ: リアルタイムQC済み溶存酸素センサー付Argoデータ (2014年1月)



溶存酸素 ($\mu\text{mol/kg}$)



コンターはWOA13月平均気候値、色は客観解析値
(白色域は陸域または殆どデータがない海域)

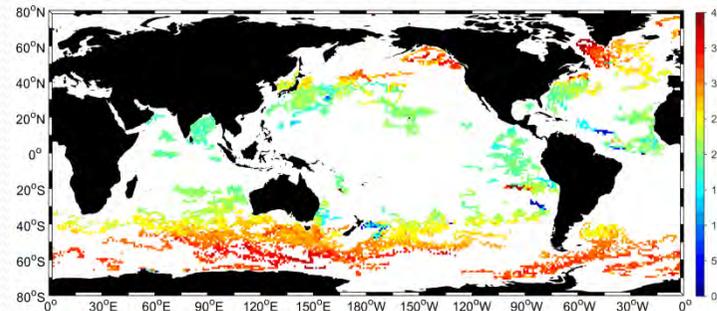
海洋酸性化の切り札
BGC-Argo

生物化学フロートデータの統合

OSE for integrated ocean observation network

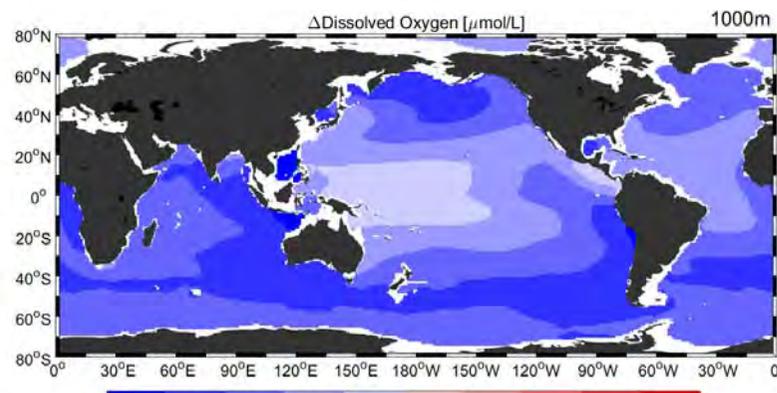
JAMSTEC is trying **OSEs** for available data of DeepNINJA/ BGC float by using **ESTOC** system.

DO distribution by float obs [$\mu\text{mol/L}$]



	ctl	estim.	Δ cost	(%)
Optimized Case 1	2.49060E+05	2.41454E+05	-7.60600E+03	-3.05
Optimized Case 2	2.01618E+04	1.92948E+04	-8.67000E+02	-4.30

3-4% cost reduction by green's function scheme



BGC float data impact from 55-yr OSE
(DO difference from case without float data)

地球シミュレータによる社会貢献と イノベーションの創造に向けて

科学的に新しい知見の獲得

IPCC AR5報告などで注目されている地球温暖化等に伴う深層まで含んだ熱・物質の再配分、海面高度変化などを観測情報をベースに精緻に再現・診断することができ、地球システムのメカニズム解明に貢献できる。

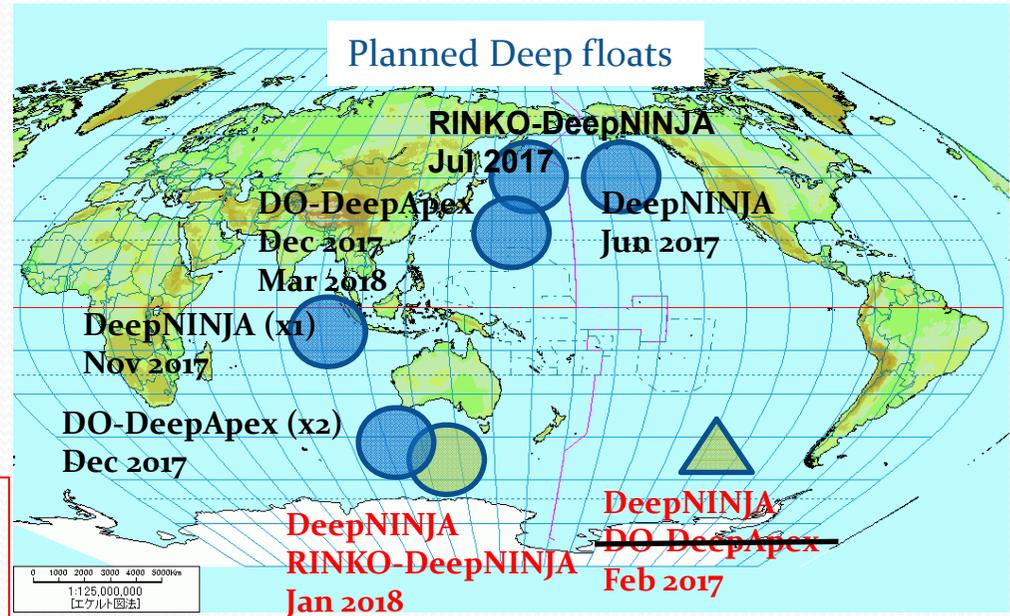
リソースの効率的運用の促進

新しいセンサー、観測機器開発などに伴うデータ統合を介した情報の有効利用(ポスター:海洋鉛直混合観測データを用いた全球海洋環境再現実験)、国際的な観測システム網の最適(cost-effective)化への寄与(国際DeepArgo計画、国際BioGeoChemicalArgo計画)。

Deep float observations Southern Ocean (JAMSTEC)

2017-2018 on-going activity & plan (JAMSTEC)

Based on **G7 Tsukuba Communiqué** (2016), JAMSTEC initiates construction of **integrated ocean observation network** with various types of float (Argo, Deep, BGC). According to JAMSTEC science target, we plan to deploy 4 DeepNINJA, and 5 DO-Apex, 2 Rinko-DeepNINJA during Feb 2017 – Mar 2018.



DeepNINJA =====	
North Pacific	1
Indian Ocean	1
Southern Ocean	2
DO Deep =====	
DO-DeepApex (T, S, p, DO)	
North Pacific	2
Indian Ocean (south of Australia)	2
Southern Ocean	1(X)
Rinko-DeepNINJA (T, S, p, DO)	
North Pacific	1
Southern Ocean	1



DO-DeepApex



DeepNINJA

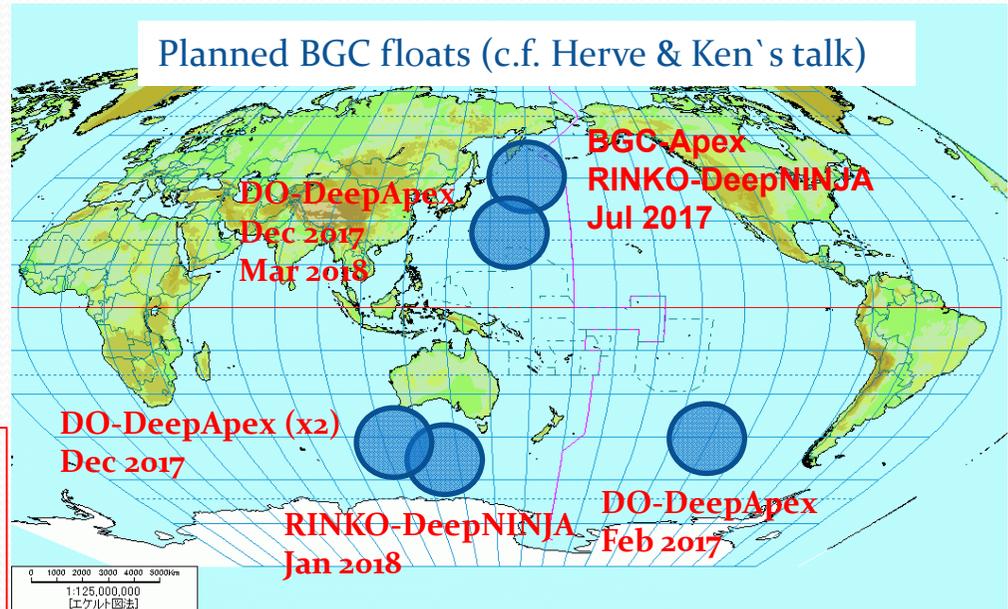


RINKO-DeepNINJA
(coming soon)

Toward integrated ocean observation network (JAMSTEC)

2017-2018 on-going activity & plan (JAMSTEC)

Based on **G7 Tsukuba Communiqué** (2016), JAMSTEC initiates construction of **integrated ocean observation network** with various types of float (Argo, Deep, BGC). According to JAMSTEC science target, we plan to deploy **over 40 floats** during Feb 2017 – Mar 2018.



(Additional 3 BGC-floats, TBD)

Argo (NAVIS/Apex)		
North Pacific		25
Southern Ocean		4
DeepNINJA		
North Pacific		1
Indian Ocean		1
Southern Ocean		2

=====BGCs=====

DO-DeepApex (T, S, p, DO)	5
Rinko-DeepNINJA (T, S, p, DO)	2
BGC-Apex (T, S, p, DO, Chl, BS)	1
BGC-Navis? (T, S, p, DO, NO ₃ , Chl, BS)	3(?)



DO-DeepApex



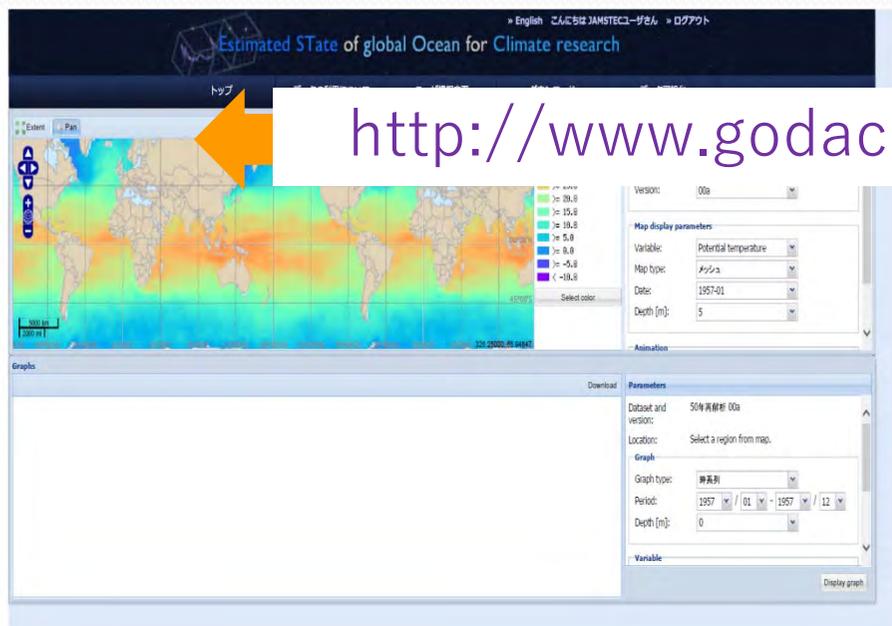
BGC-Apex



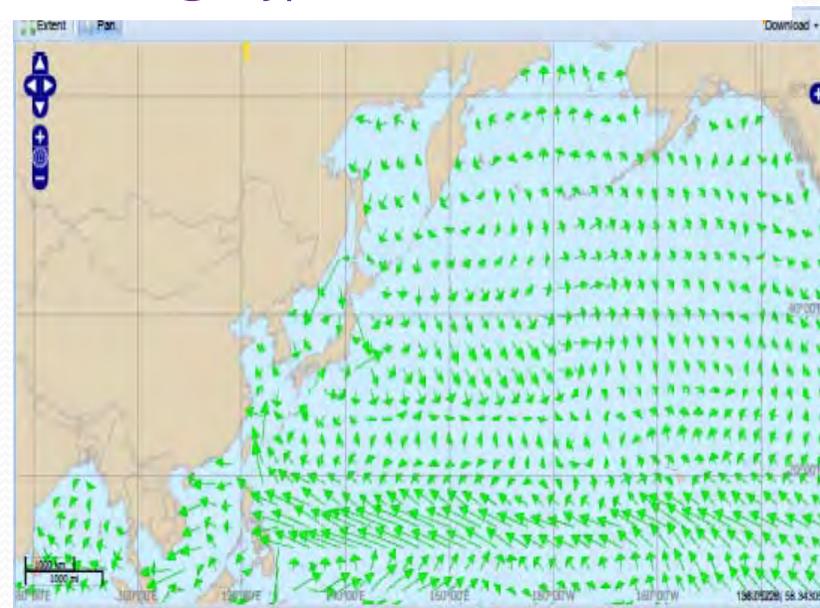
RINKO-DeepNINJA
(coming soon)

ESTOCの公開

ESTOCのダウンロード件数を地球情報センター、国際海洋環境情報センターでまとめた結果である。平成27年度は約40,000件のダウンロードがあった。



<http://www.godac.jamstec.go.jp/estoc/e>



CEIST/GODAC

まとめと今後

- 深海観測を統合したESTOCを用い多角的な方面から解析を進め、気候変動における深海の役割を詳らかにする。
- 海面水位の全球変動に関するメカニズム解明を進める。
- 生物化学変量のデータ統合に関しては、ESTOCが世界的にみても稀有なデータセットである。今後国際的に展開されていくであろうBGCフロート研究などと、有機的に結びつけた研究開発が新たな展開を生む。
- 作成したデータセットESTOCは
<http://www.godac.jamstec.go.jp/estoc/j/>から一般に公開されている。