

全球アルゴ観測システムのフロートデータ活用術

海洋研究開発機構 地球環境部門

海洋観測センター 全球海洋環境研究グループ

細田 滋毅

川合 義美

佐藤 佳奈子

スーパーレッスン目次

- ① 海中をはかること：海洋観測とアルゴ
- ② 全球海洋観測システム「Argo（アルゴ）」
- ③ アルゴフロートで得られるデータ
- ④ アルゴフロートデータの実践的活用術
 - I. アルゴデータフォーマット・品質管理（佐藤）
 - II. Pythonで実際にArgoデータを読み込んでグラフを描いてみましょう（川合）
- ⑤ 参考情報

質問は随時受け付けますので、遠慮なく
Zoomの挙手ボタン等でお知らせください！

①海中をはかること：海洋観測とアルゴ

海の理解や環境を守る取り組みが国内外で進んでいる



SDGs目標13：“気候変動に具体的な対策を”

SDGs目標14：“海の資源を守り、大切に使う”



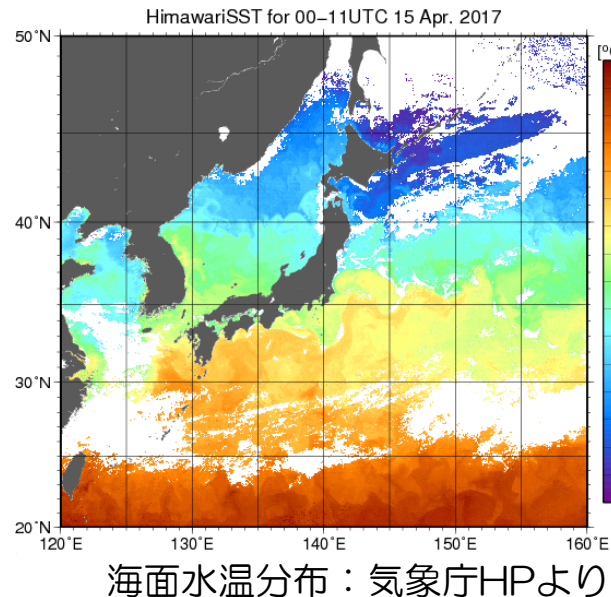
2021 持続可能な開発のための
2030 国連海洋科学の10年

2016年6月の第49回IOC 執行理事会に提出されたロードマップが、UN Decade Ocean 『国連海洋科学の10年』の基本となった。2017年の第29回IOC総会にて決議され、第72回国連総会における「海洋及び海洋法」にて、2021年から2030年までの期間を「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」（以下、『国連海洋科学の10年』）と宣言することとなった。

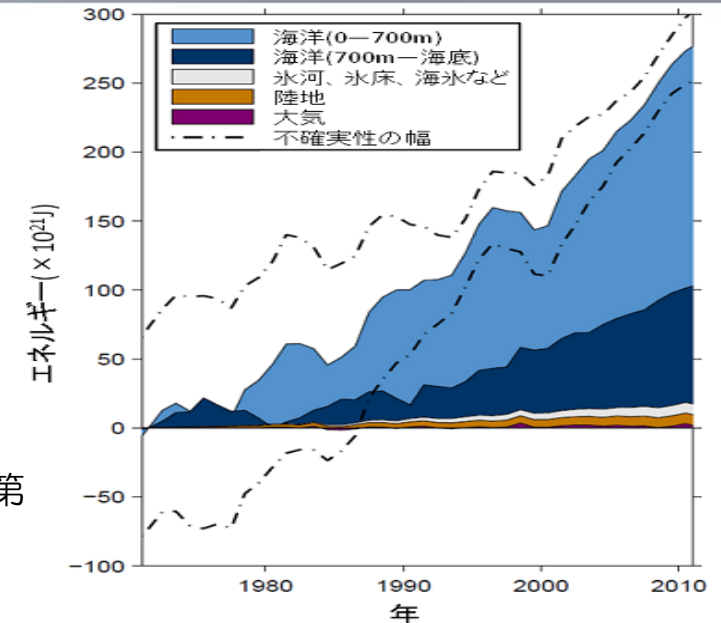
海をもっと観測すること、現実をしっかりと把握することが、科学の進歩につながり人類にとって大切な海を理解できる道！
⇒ アルゴ計画もその重要な要素の1つ

例えば、気候変動、地球温暖化を支配する海洋： その謎を解き明かすには？

人為起源の温暖化ガスにより発生した熱が、総量として海中に蓄積されていることはほぼ間違いないが、その再分配のメカニズムを明らかにすることで、より正確な海洋貯熱量の把握、ひいては温暖化将来予測が可能となる。



地球表層の熱エネルギーの推移。IPCC 第5次報告書より参照

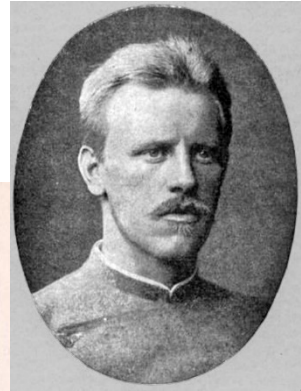
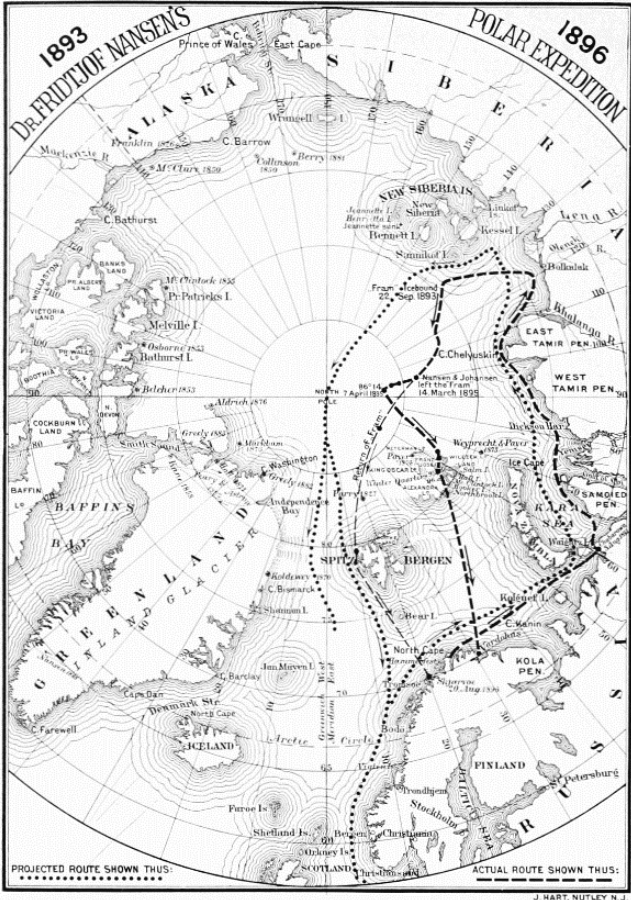


衛星の海面の情報から推定できるが、海水は電磁波を通さないため海の中を直接見ることはできない
⇒現場で海水を採取し、測器で計測するしかない。

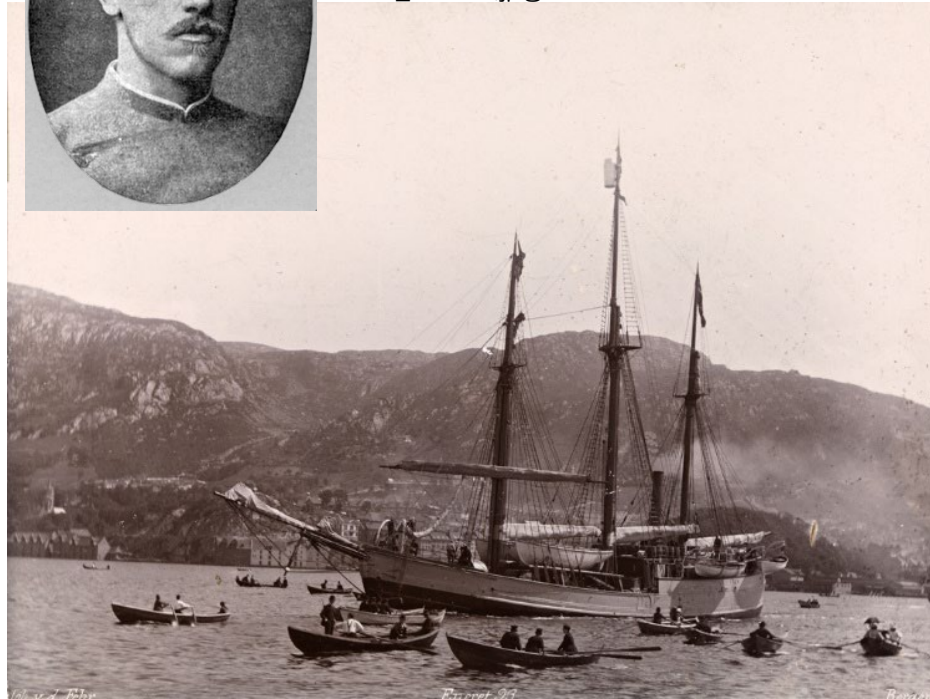
海の中を直接計測することが必要



海中を計測することへの尽力



フラム号：
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/91/Fram_Berge_n_1893.jpg



19世紀末、ノルウェーの探検家フリチョフ・ナンセンが北極を観測したのが最初。この観測が、現代海洋観測の先駆けと言われている。

彼らは、海氷にも耐えうる特別な船「フラム号」をつくり、海氷の中に3年以上閉じ込められる過酷な航海を成し遂げた。その間、海水特性や海流などの詳細な観測を行い、以降これを基本として海洋観測が行われている。

その技術と知識は、現在でも海運、漁業に必要な情報の収集として活用されている。

ナンセンがフラム号に乗船して観測を実施した北極航路図（Wikipedia引用：
<https://www.wikiwand.com/ja/%E3%83%8A%E3%83%B3%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%81%AE%E3%83%95%E3%83%A9%E3%83%A0%E5%8F%B7%E9%81%A0%E5%BE%81>）。

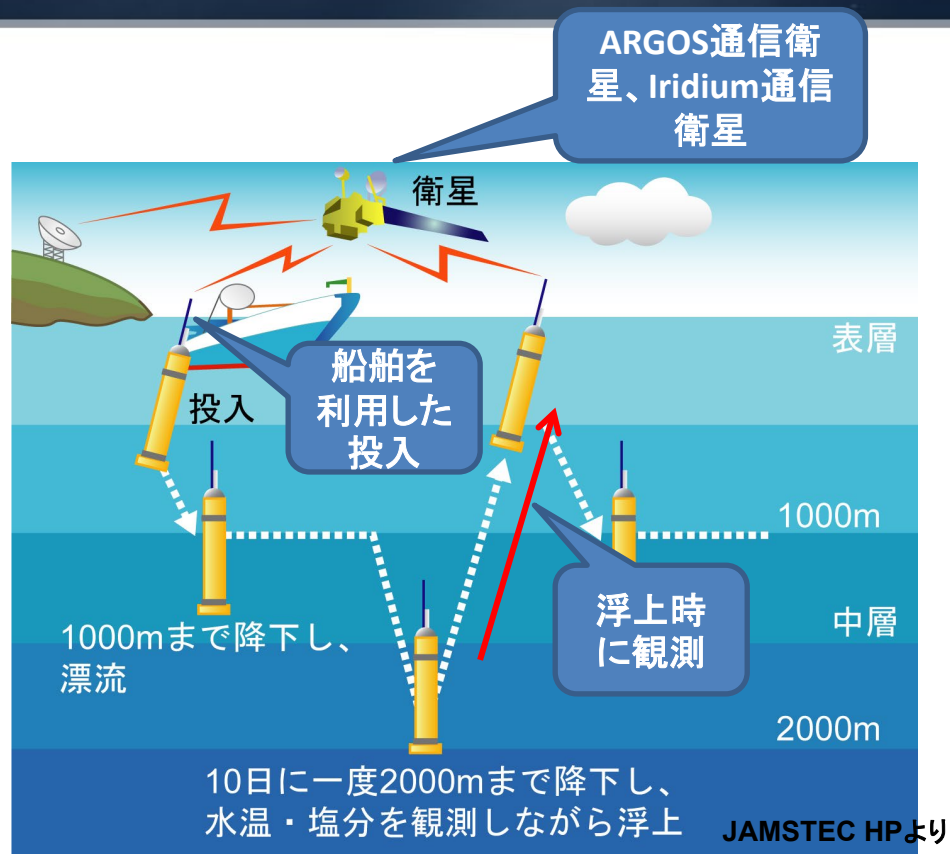
現代の海洋観測（船舶観測とアルゴ）

現代の海洋観測で使われているJAMSTECの海洋地球研究船「みらい」（左）と、アルゴフロートと呼ばれる漂流型自動観測ロボット（右）

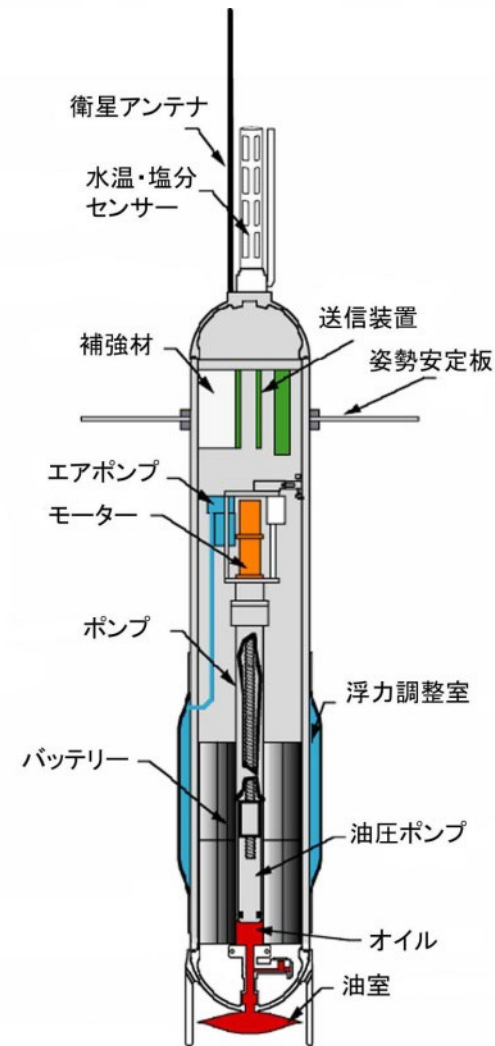


近年は、観測船の装備・性能が格段に向上、より詳細かつ高精度なデータが得られるようになってきた。さらに、アルゴフロートのような自動観測ロボットを活用した海洋観測が急速に発展している。

②全球海洋観測システム「Argo（アルゴ）」



投入後、自動で海面から2000mまでの水温・塩分の観測、浮上後陸上への即時通信までの一連のサイクルを10日毎に約4年間行う。



重量20-40kg
長さ150-250cm、
主にセンサー部、浮
沈装置、バッテリー
からなる。

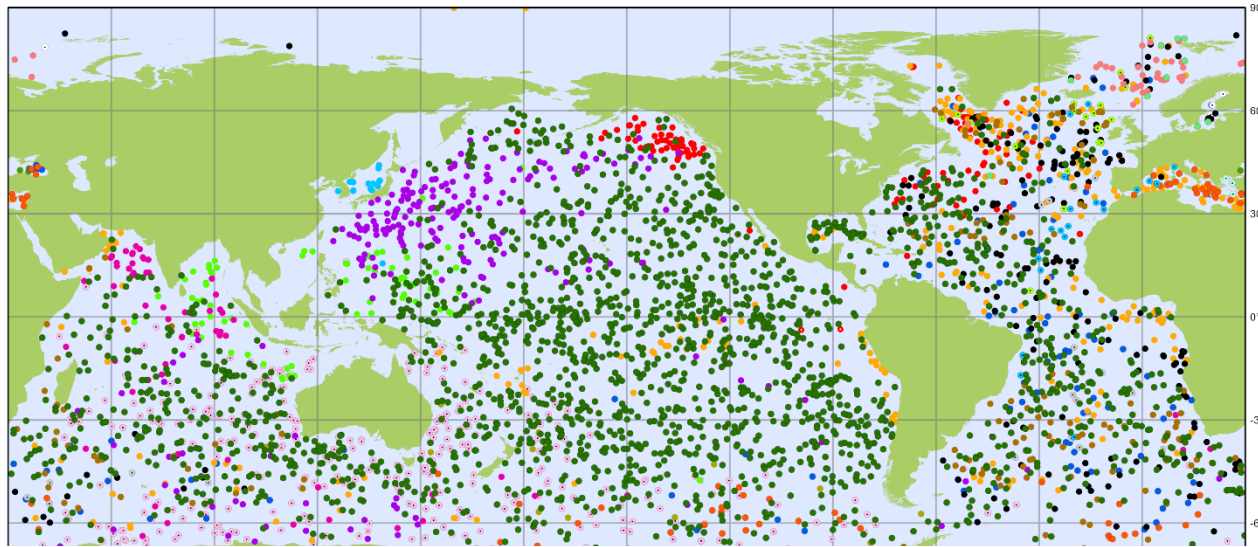
小型、軽量かつ安価

国際連携による「Argo計画」 気候変動・全球海洋観測の「革命」

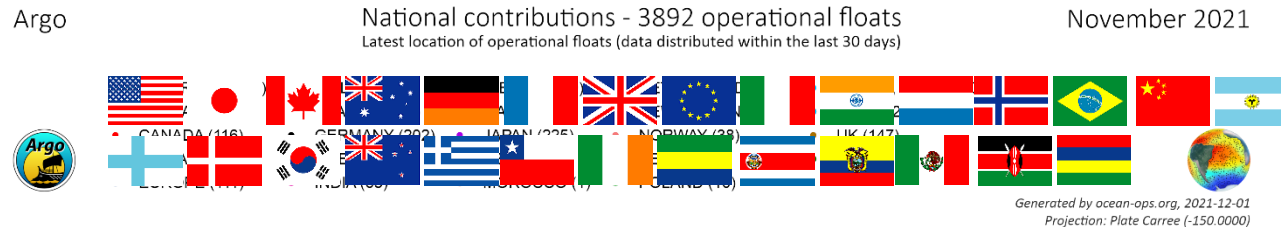
多くの国が協力し、水平3×3度に1台の割合、3000台以上のアルゴフロートを展開

⇒全世界の海洋内部の水温、塩分変化を精密に計測、モニタリングを実施

➤2021年11月末現在、24カ国・地域がフロート展開に参加、3892台が稼働中
➤国別順は、米(2131)、豪(306)、仏(276)、日(225)、独(202)、英(147)、加(116)、EU(111)、伊(80)、中(75)、インド(63)...

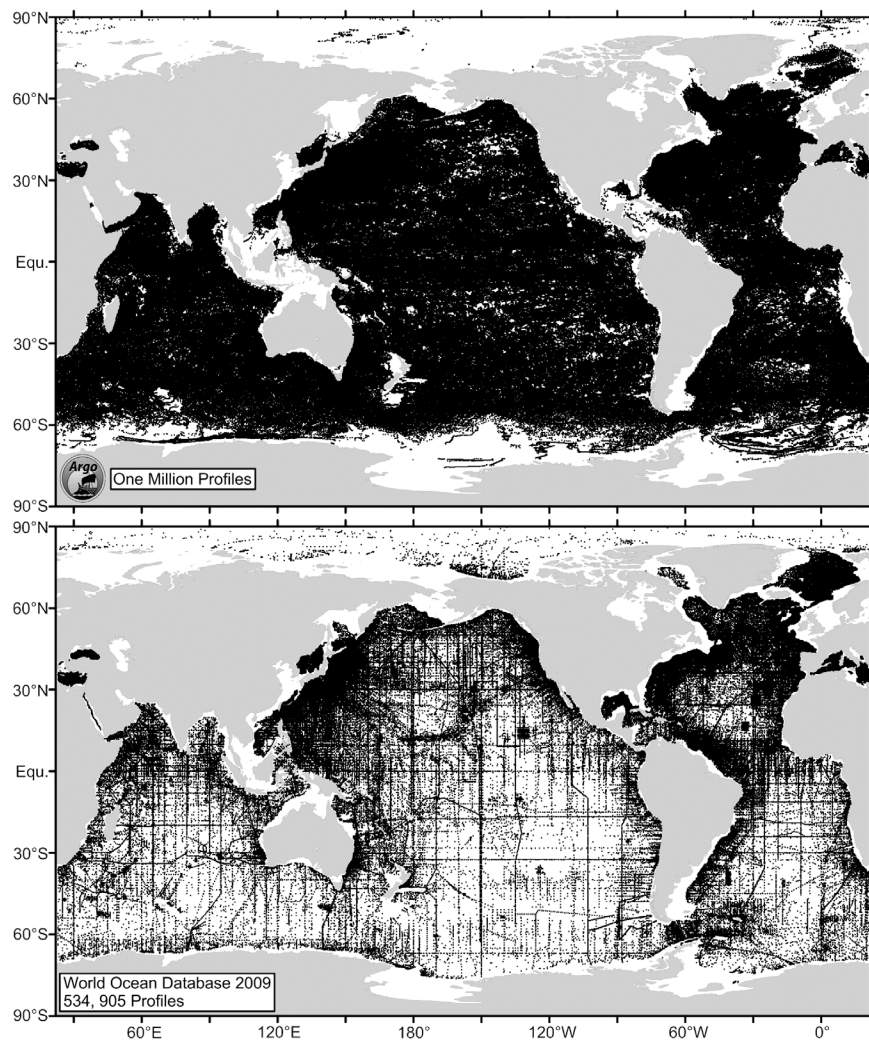


4分に1回、1日に360回、1か月に11,000回の観測



全球アルゴ観測網と稼働状況 (Argo情報センターより)
<https://www.jcommops.org/ftp/argo/Maps/>

有史以来の観測データ数を既に超えた（革命1）



2007年10月末、当初目標の**3000台**、
2012年11月4日、通算**100万**データを取
得！2017年末、200万データを超えた！

時間・空間的にまんべんなくデータを取得

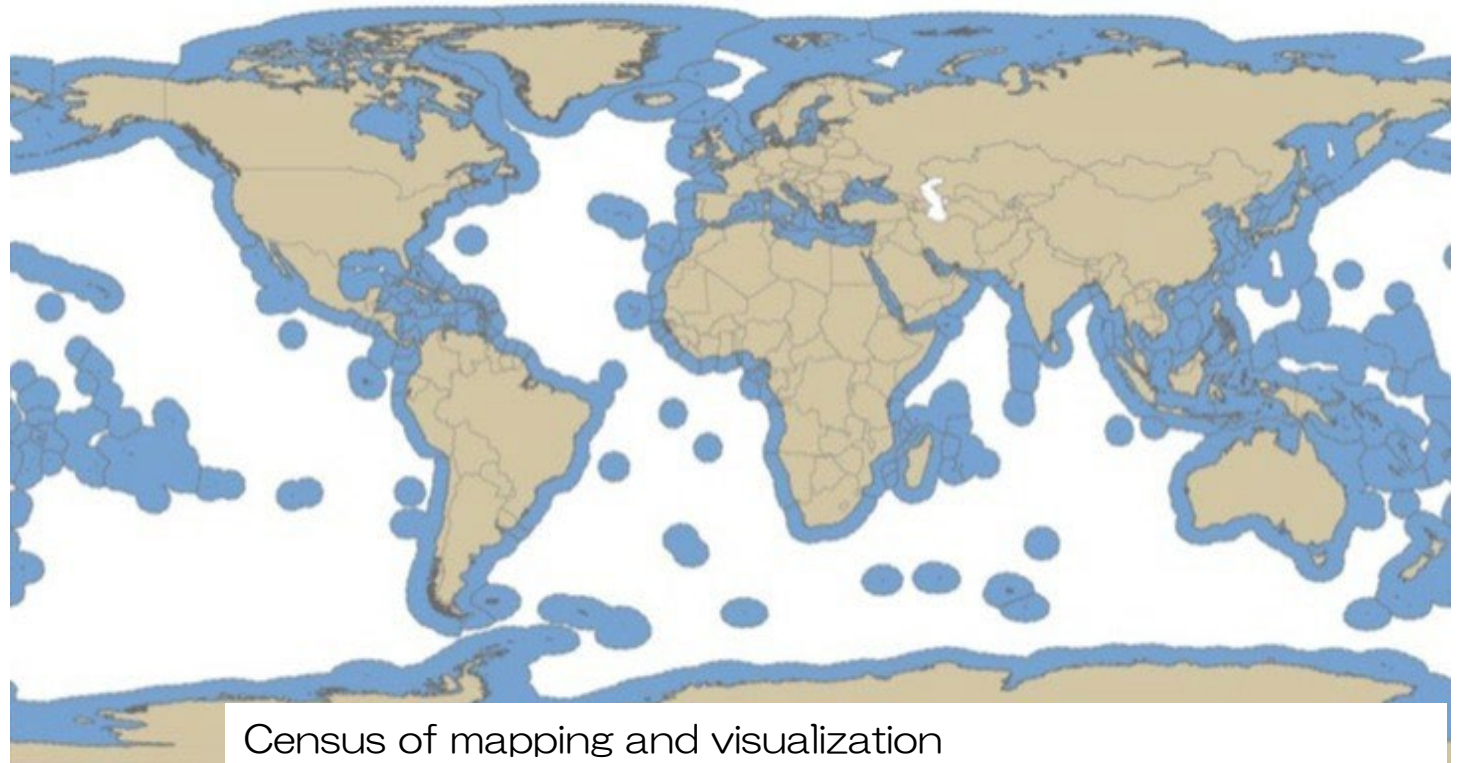
一方、近代海洋観測開始以降（1870年～）
蓄積された船舶観測による水温・塩分プロ
ファイル（約**50万**点）程度

短期間で従来の観測データ量
の2倍以上を獲得

EEZを超えた国際協力を実現（革命2）

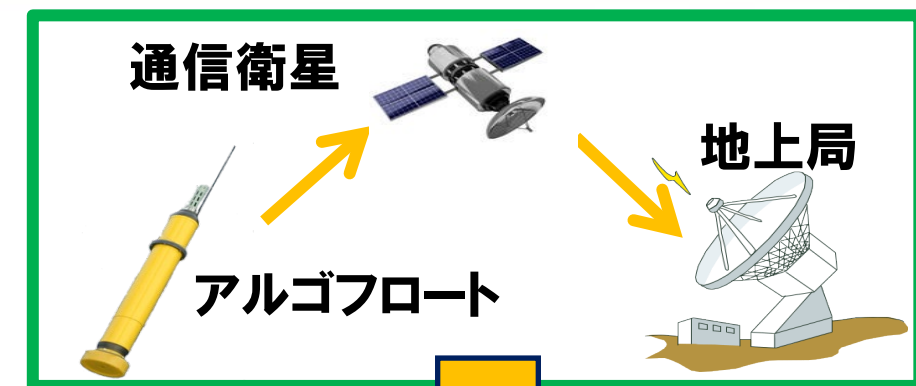
国連海洋法条約：EEZ（排他的経済水域）では、自国の海岸から200マイル内の資源管理、環境保全、科学調査などの権利を主張できる。

⇒他国EEZ内の観測は、許可が下りない限り原則不可能



アルゴ計画による特定のフロート観測に限り、原則として他国EEZ内でも観測できる（（IOC XX-6））

24時間以内にデータを公開し誰でも利用可能（革命3）



世界アルゴデータ集積センターGDAC(仏・米)

公式にはGDACがアルゴデータ公開サイト



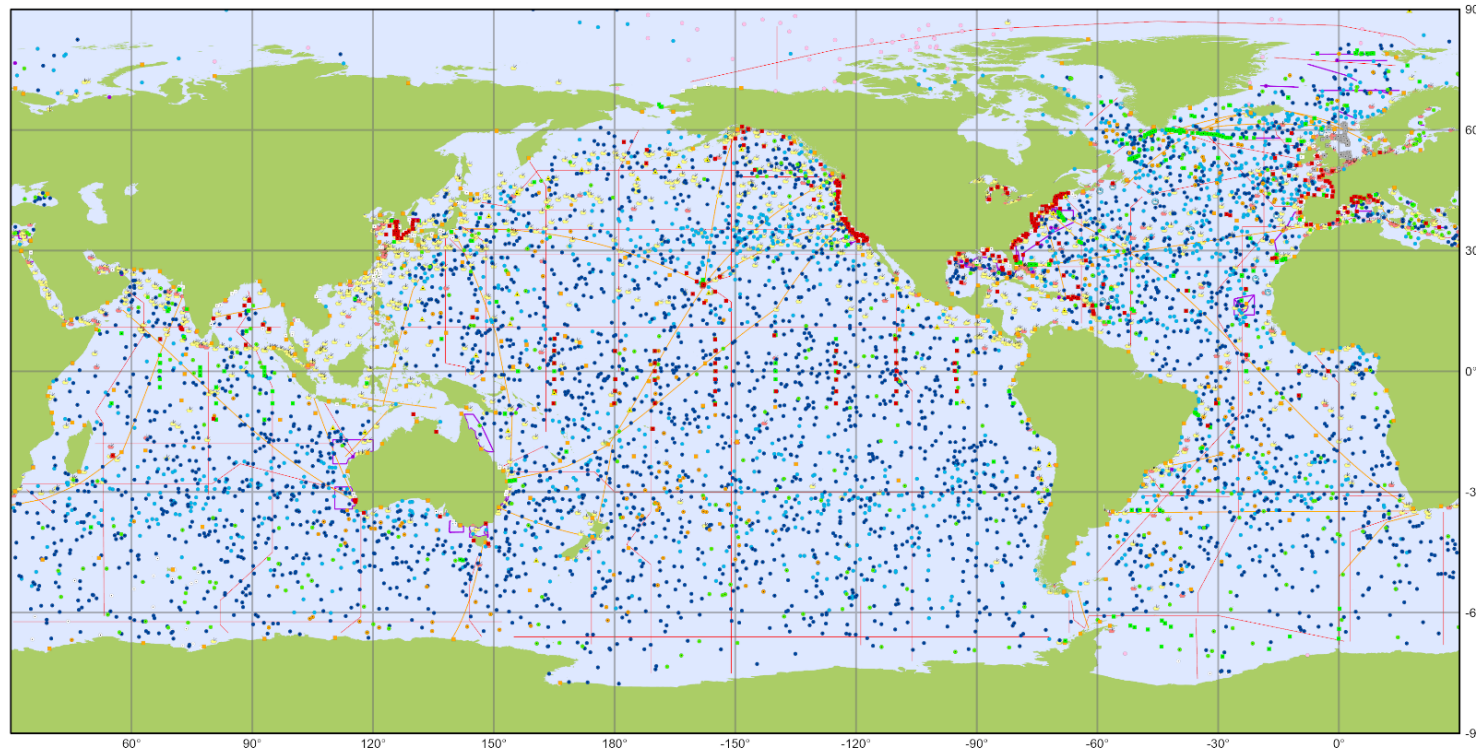
他に類を見ないシステムティックなデータ管理・公開体制を実現

アルゴ観測システムが生み出すビックデータ

今や様々な観測機器、システムによって全球がカバーされ、リアルタイムで海洋がモニタリングされている。

その根幹を担うのが、Argoフロートが送信するデータ。

今現在、リアルタイムで1日およそ400ほど配信される高精度観測データから、どのような新しい成果を生み出すか、またその根本となるデータの品質担保が課題。



OceanOPS HPより

Global ocean observing system

November 2021

In situ operational platforms monitored by OceanOPS

Mobile systems

- Core floats - Argo
- Deep floats - Argo
- Biogeochemistry floats - Argo
- Underwater gliders - OceanGliders
- Drifting buoys - DBCP

Fixed systems

- Polar buoys - DBCP
- Animal borne sensors
- ▲ Tsunameters - DBCP
- Offshore platforms - DBCP
- Moored buoys - DBCP

Ship based measurements

- Ocean reference stations - OceanSITES
- Sea level gauges - GLOSS
- High Frequency radars
- Manned weather stations - SOT/VOS
- Automated weather stations - SOT/VOS

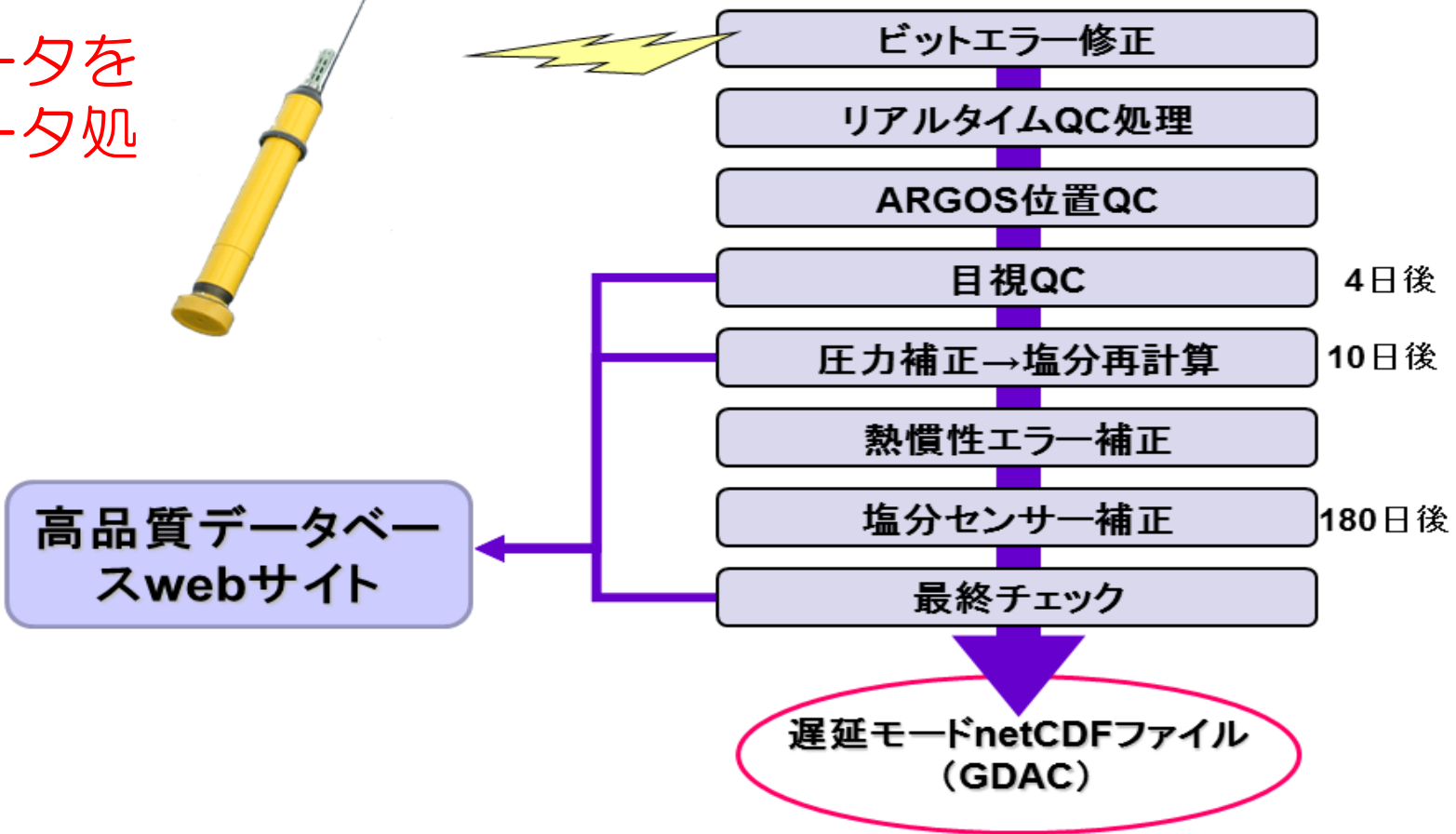
Reference lines and areas

- Radiosondes - SOT/ASAP
- Repeat hydrography - GO-SHIP
- eXpendable BathyThermographs - SOT/SOOP
- Sampled sites - OceanGliders

遅延データ処理実施状況の報告

—遅延データが公開されるまでの流れ—

高精度なアルゴデータを
保持するためにデータ処
理手続きを統一

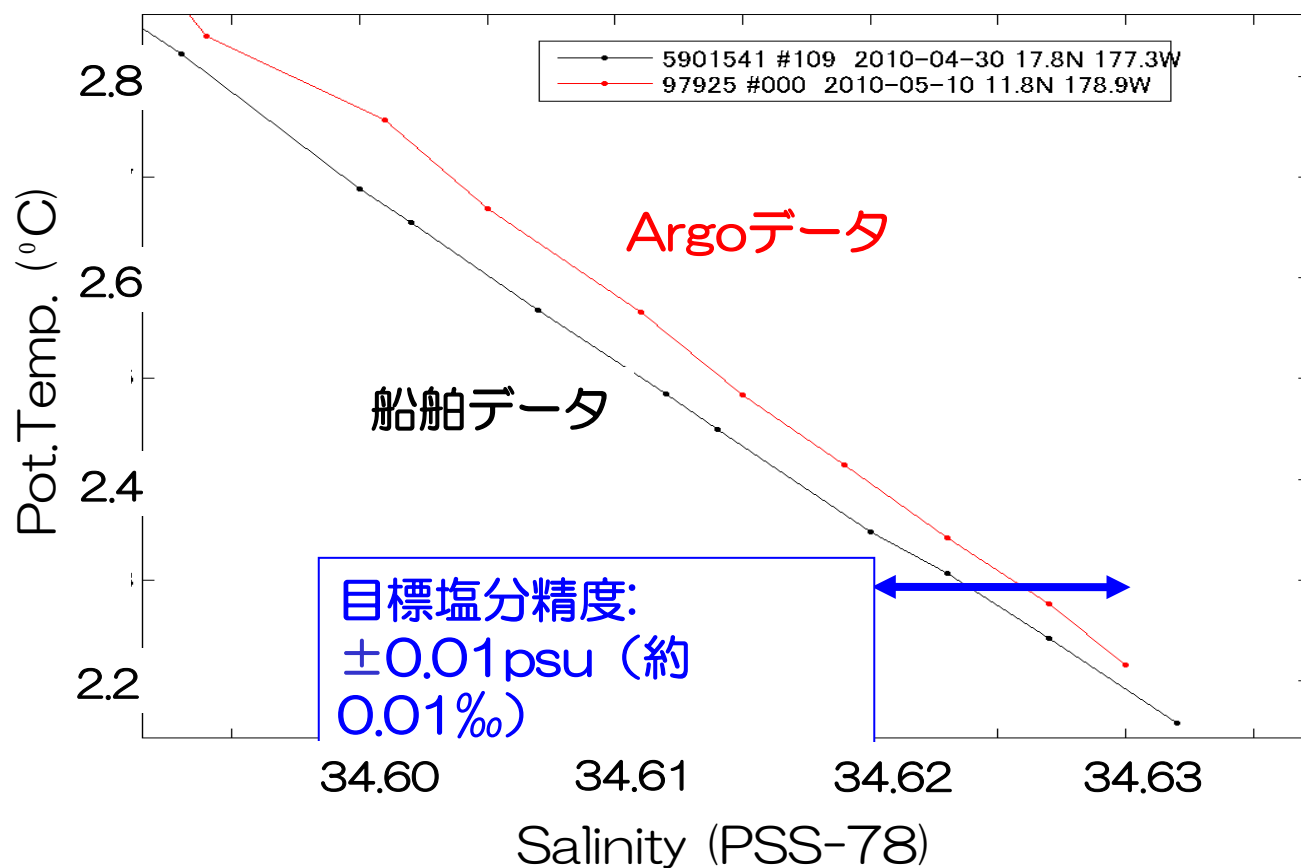


研究ニーズにも耐えるような、高精度のデータに仕上げる。最終的には人の目によるチェックが重要。

データの品質管理

どのようにアルゴデータの品質を担保するか？

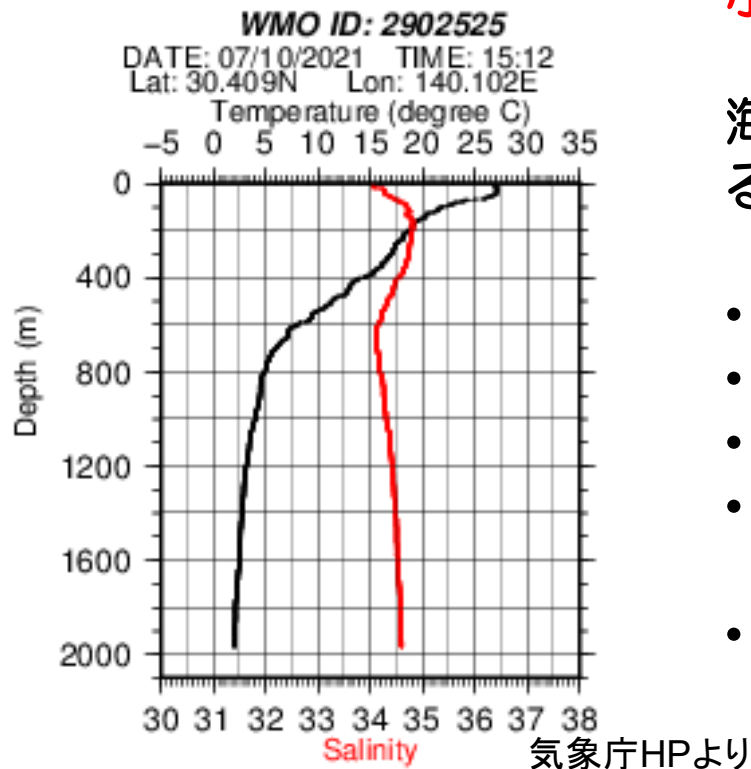
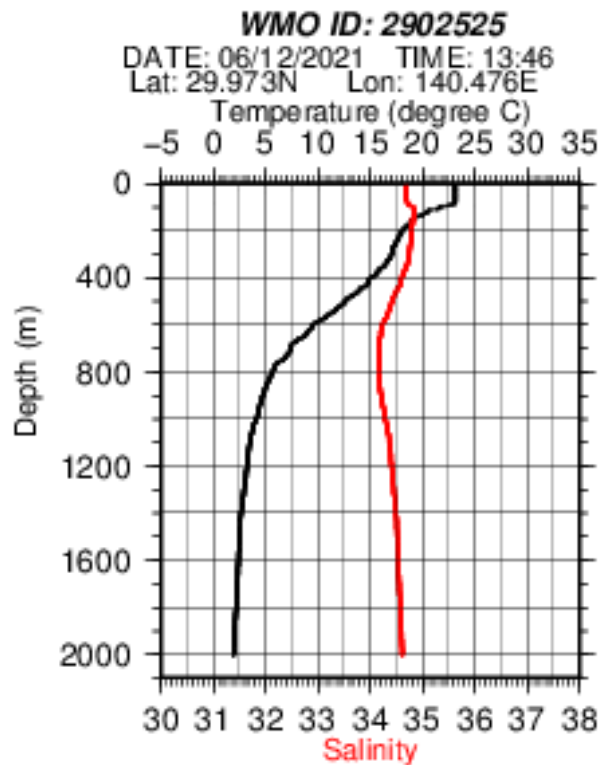
国際アルゴ計画で決められた研究目的に耐えるデータ品質管理精度
(圧力: ± 2.4 dbar, 水温: ± 0.005 °C, 塩分: ± 0.01 PSS-78).



現状で、過去に収集された歴史的データに基づいて補正を行うのが最もよい方法とされ、アルゴ共通の手法として採用されている

③アルゴフロートによって得られるデータ

ある水温（黒）、塩分（赤）プロファイルデータ（北緯30度、東経140度付近をアルゴフロートが観測中）
左：2021年6月12日、右：2021年7月10日
（30日後）



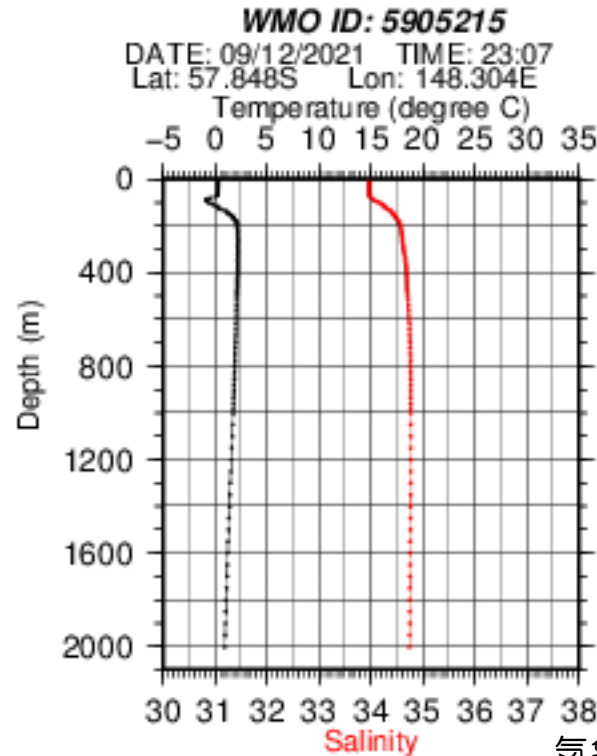
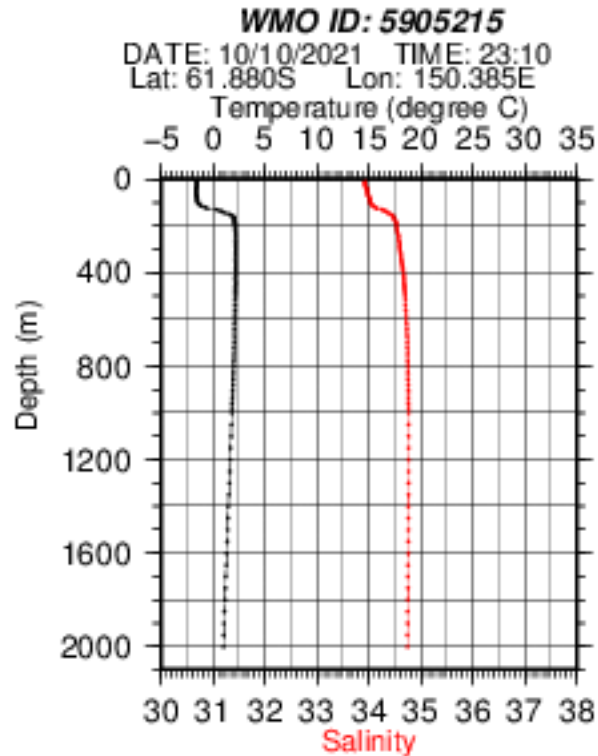
基本的に海洋は、密度が小さい（軽い）海水が上層に、大きい（重い）海水が下層に存在する。一般的には**水温が高く、塩分が小さい海水は上層**にくる傾向がある。

海洋の研究者は、この図だけで1日中議論することができる！例えば・・・

- 表層水温と等温度層の時間的变化
- 塩分と水温との関係
- 中層や深い方での微妙な時間的变化
- 地理的な位置関係と海流、海底地形の影響
- ...

さまざまな海域でのプロファイルデータの違い

ある水温（黒）、塩分（赤）プロファイルデータ（南緯60度、東経110度付近をアルゴフロートが観測中）
左：2021年10月10日、右：2021年12月9日（60日後）



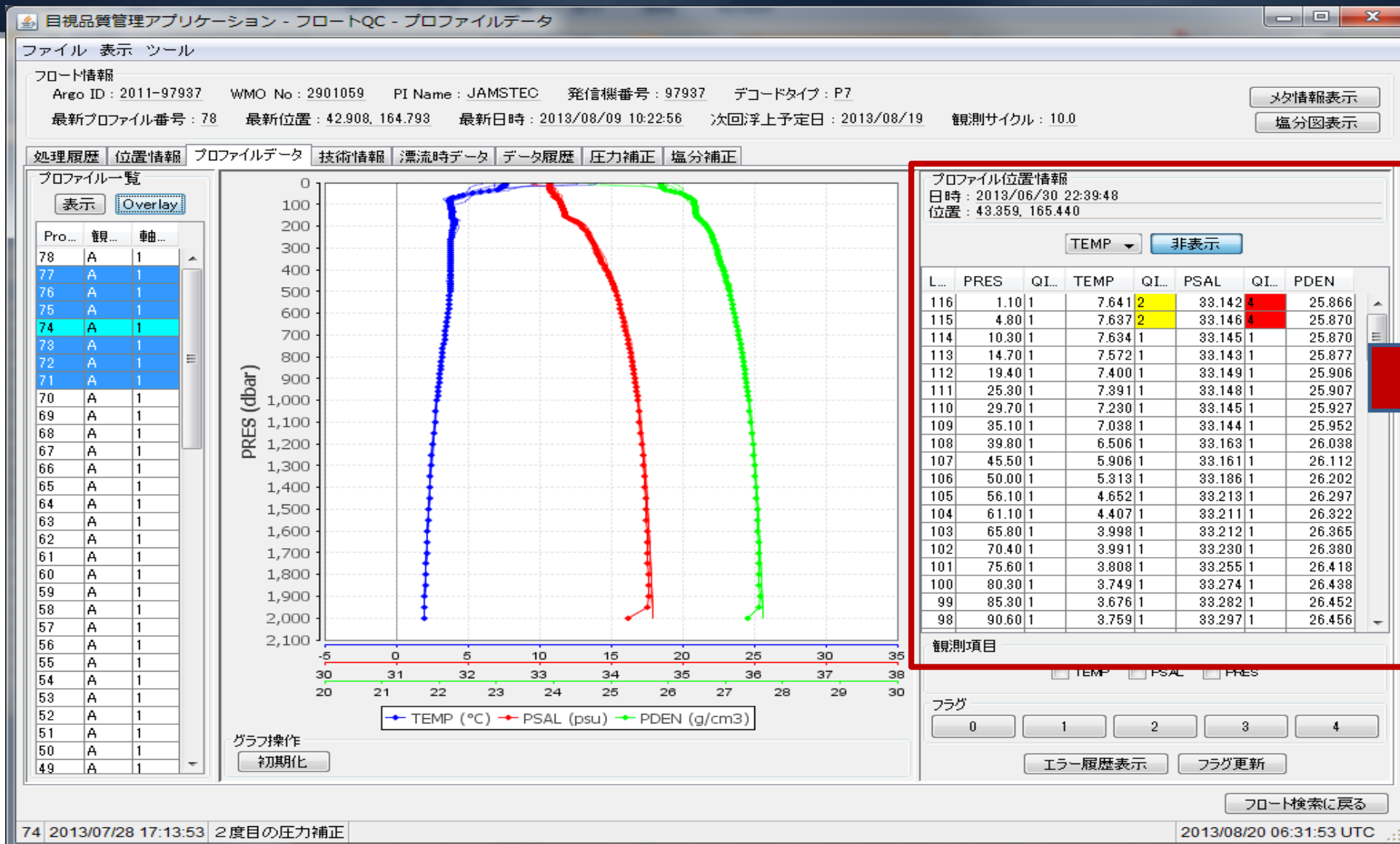
気象庁HPより

基本的と異なり、南大洋では水温が非常に低いため、水温が低い海水でも上層にくる傾向がある。

北太平洋亜熱帯の暖かい海と全く異なるプロファイルの形。
さらに、時間的にも表層付近では水温に微妙な変化がみられる。

⇒なぜそのような変化が起きたのか、海洋物理研究者は多角的な分析により原因究明し、新たな知見を見出す。

アルゴフロートのデータはどんなもの？



例では、水圧 (PRES)、水温 (TEMP)、塩分 (PSAL)、海水密度 (PDEN) が下層から上層に向けて計測されて記録される。同時に、データの精度を「品質フラグ」として表す。その他、位置情報、軌跡情報など多様なデータを収録。

④参考情報

海洋データの統計手法による格子化 (MOAA GPV)

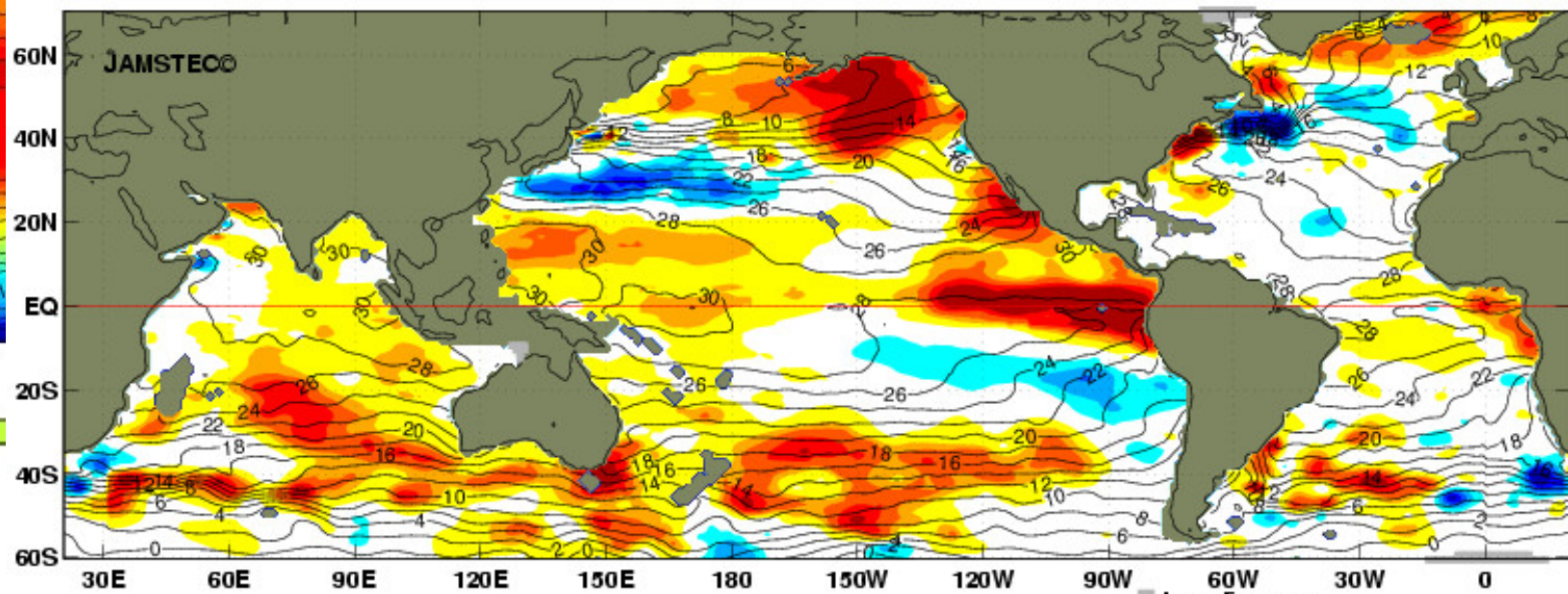
2014年6月の全世界の海
表面水温分布

Temperature OI (°C)
[Jun. 2014 Pres.=10 C.I.=2]

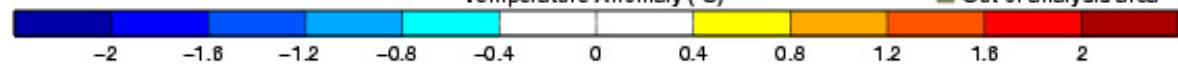


平年からの
水温偏差

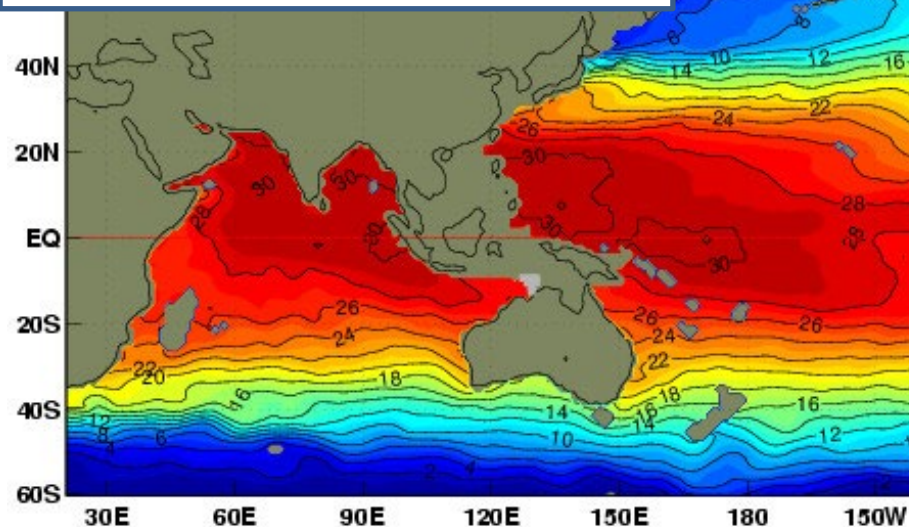
Temperature OI (°C)
[Jun. 2014 Pres.=10 C.I.=2]



Temperature Anomaly (°C)



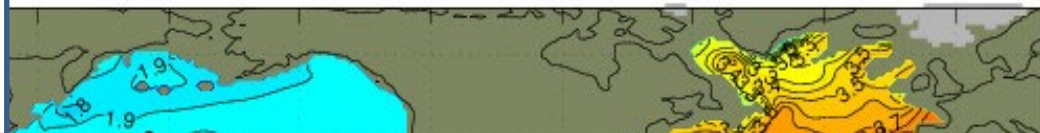
Large Error area
Out of analysis area



海洋データの統計手法による格子化 (MOAA GPV)

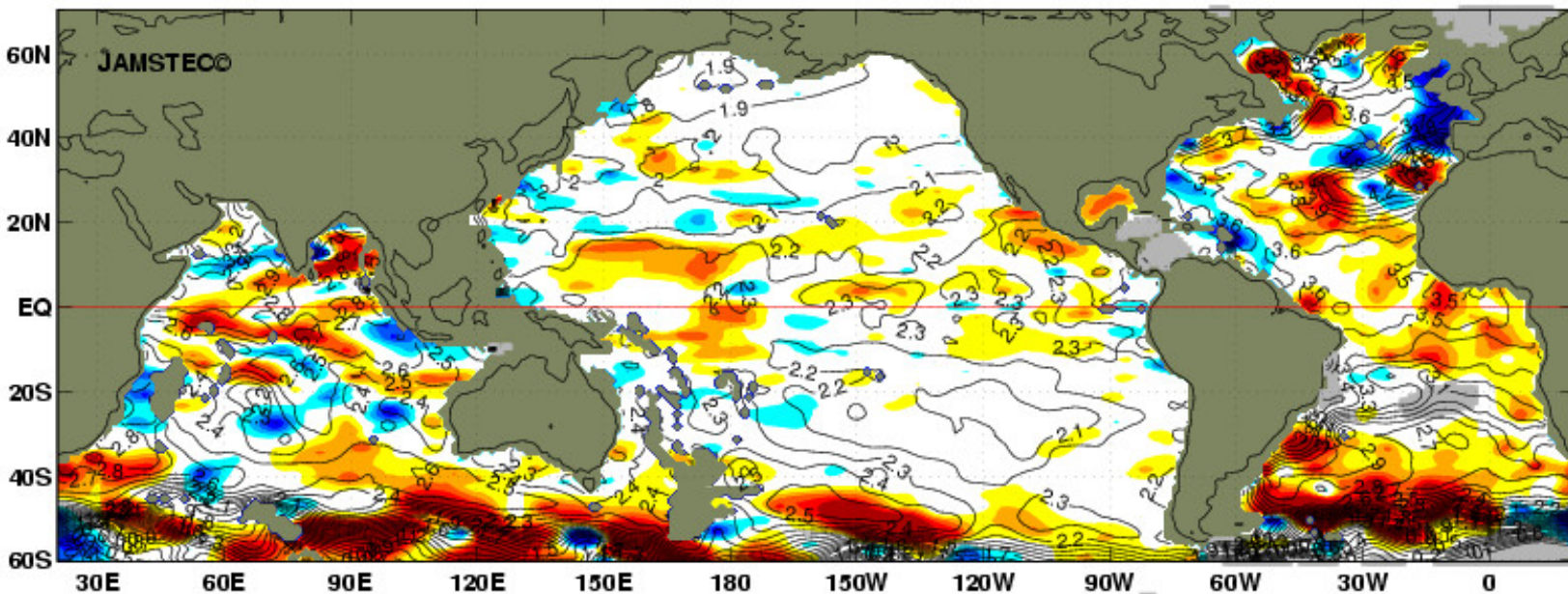
2014年6月の全世界の
海表面水温分布
(2000m深)

Temperature OI (°C)
[Jun. 2014 Pres.=2000 C.I.=0.1]



平年からの水温
偏差
(2000m)

Temperature OI (°C)
[Jun. 2014 Pres.=2000 C.I.=0.1]



Temperature Anomaly (°C)

-0.1 -0.08 -0.06 -0.04 -0.02 0 0.02 0.04 0.06 0.08 0.1

0 0.4 0.8 1.2 1.6 2 2.4


Websiteとプロダクト（リンク集）


- JAMSTEC Argo関連Web、データセット、プロダクト（現在Webページ改修中）
 - Web page：JAMSTEC研究活動、Argo太平洋地域センター、Japan Argo
 - Dataset：MOAA GPV（格子化水温・塩分）、MILA GPV（混合層）、G-Yomaha（海洋中層流速）、AQC（高精度品質管理Argoデータ）

※各アドレスはJAMSTEC海洋観測研究センターのHP
(<https://www.jamstec.go.jp/goorc/j/>) を参照

- 気象庁Argo <https://ds.data.jma.go.jp/gmd/argo/data/indexJ.html>
- 国際Argo計画（英語） <https://argo.ucsd.edu/>
- GDAC（英語：仏） Coriolis：<ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/argo>
- Argoデータ切り出し（英語、EuroArgo） <https://dataselection.euro-argo.eu/>
- OceanOPS（英語、Argo） <https://www.ocean-ops.org/board?t=argo>
- ArgoViz（英語） <https://argovis.colorado.edu/>
- Argo DOI（英語） <http://www.argodatamgt.org/Access-to-data/Argo-DOI-Digital-Object-Identifier>
- Global Argo Marine Atlas（英語） <https://argo.ucsd.edu/data/data-visualizations/marine-atlas/>


OceanOPS (Webサイト)



Integrated information, maps and tools to help coordinate and monitor global ocean observation efforts. 

Click here to enter the integrated dashboard

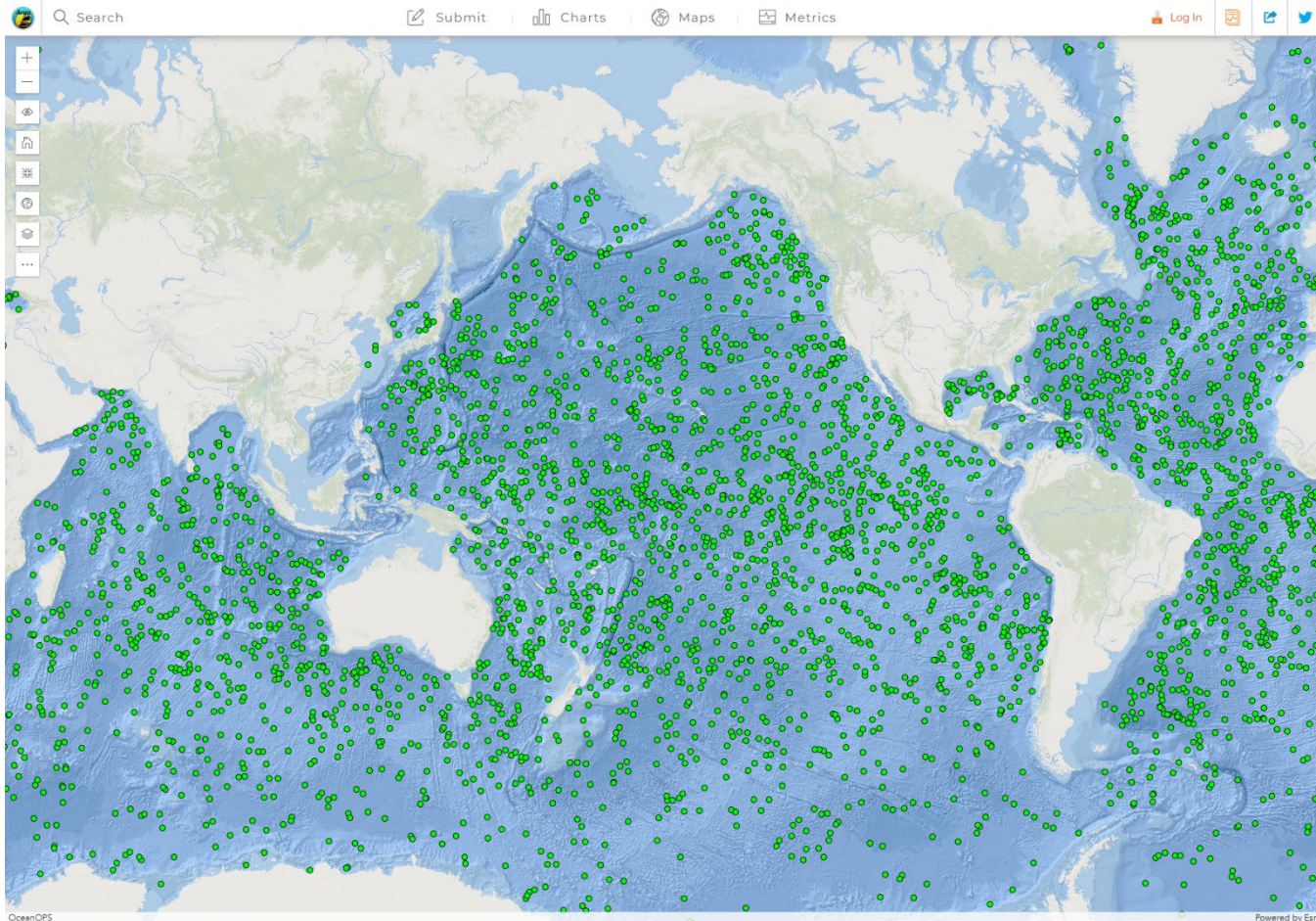
Or select a specific observing system



- OceanOPSは、GOOS（グローバル海洋観測システム）で取り扱う各種観測システムのデータを取得し、海洋の現在の監視および将来の状態を評価するための各種情報を提供。
- 世界の海洋観測システムとネットワークの状態を監視・報告しながら、観測システムの運用をサポートし、各種データの送信と交換の実現を目的。
- OceanOPSはまた、各種運用に関するサービス、気候、海洋、環境のユーザーへのデータ配信を無償で支援。
- 現在、OceanOPSはグローバルネットワークから送られてくる1日10万件以上の観測データを提供。

URL: <https://www.ocean-ops.org/board>

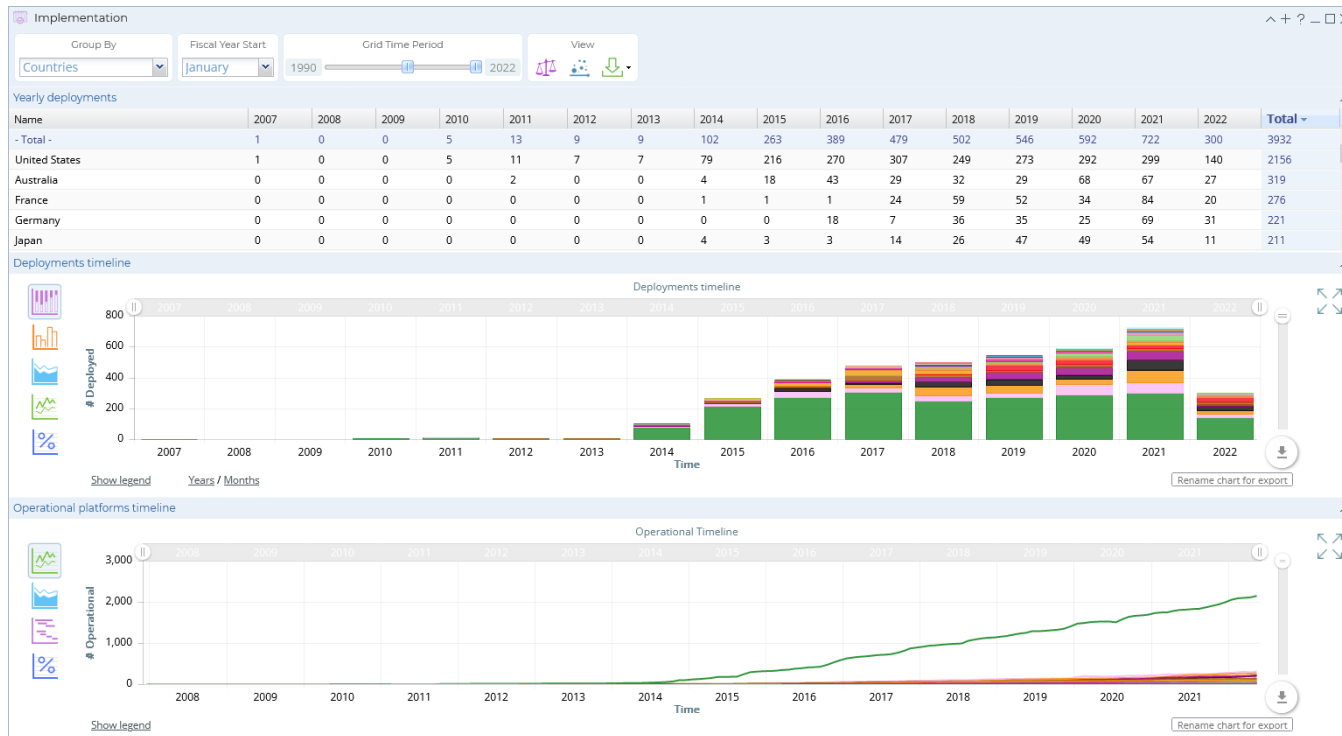
OceanOPS : Argo dashboard



- OceanOPSのArgoダッシュボードでは、フロートタイプ、データ伝送システム、投入国、フロート展開年、搭載センサータイプなどのメタデータに基づく各種Argo観測を検索可能。
- 静的およびインタラクティブなマップも閲覧可能であり、アルゴ観測網の健全性と過去の状況を監視可能。
- EEZへの流入を監視し、その展開場所を正確に通知することで、国連海洋科学委員会（IOC）で定められたルールに基づく情報提供を実施。

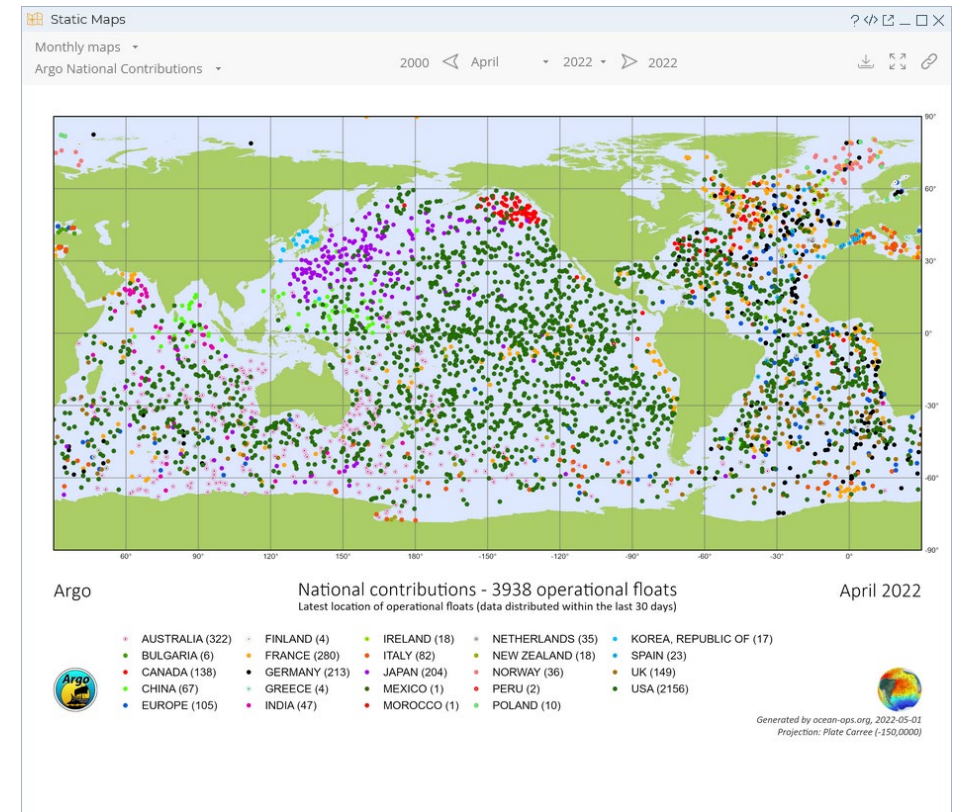
URL: <https://www.ocean-ops.org/board?t=argo>

Argoダッシュボードのコンテンツ例

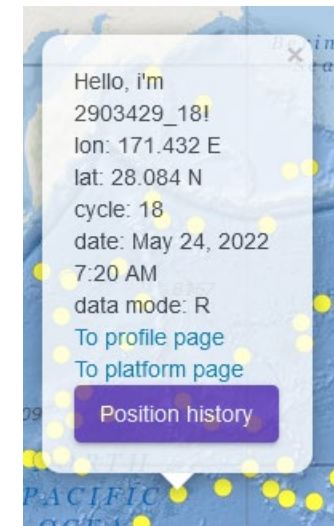
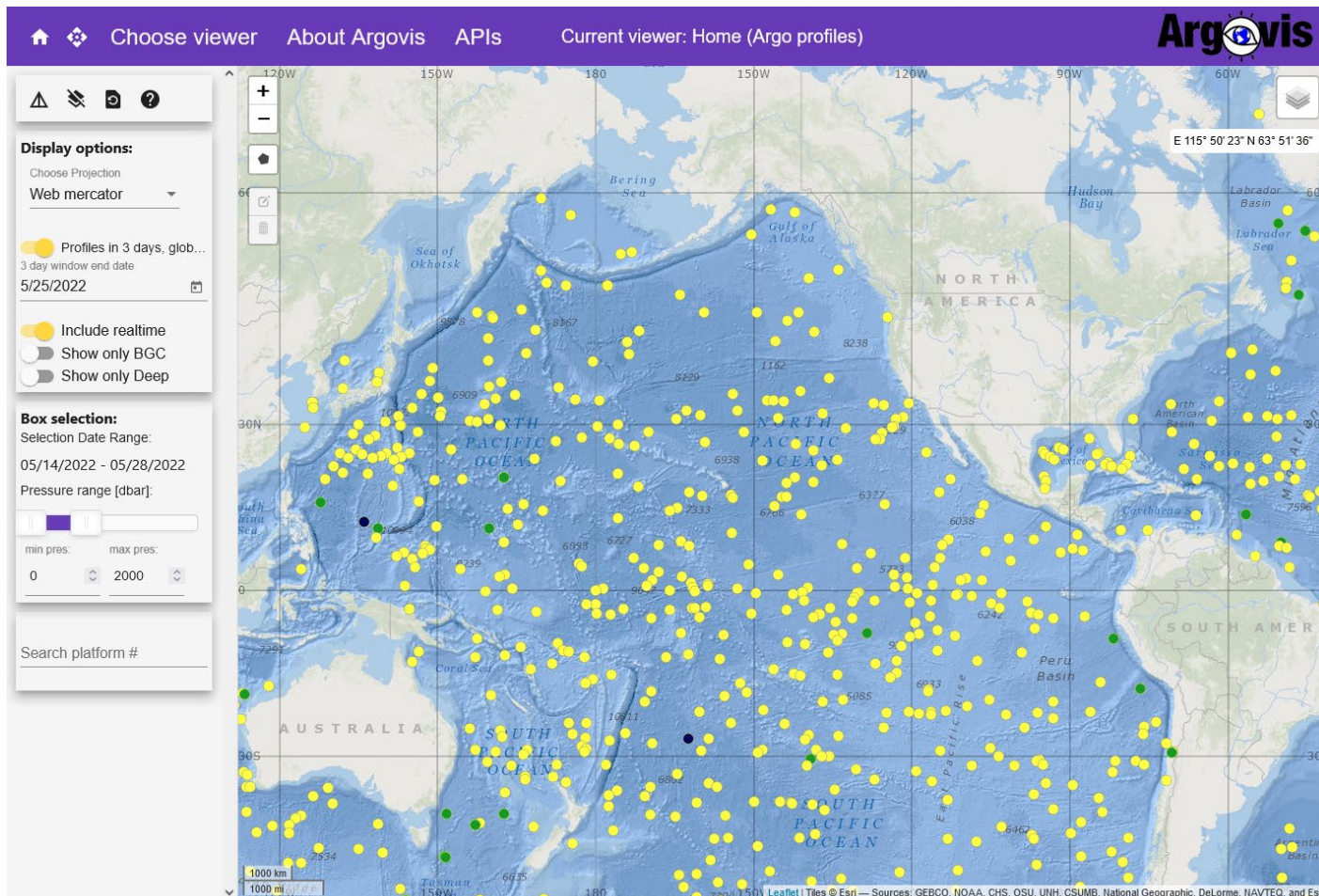


各年の各国Argoフロート投入数の推移と、その累積統計情報。

各月のArgoフロート稼働状況と国別マップ。



ArgoViz (アルゴデータ可視化ツール (英))



- 温度、塩分、生物地球化学データを可視化し、GUIから直接データにアクセス可能。
- ArgoVizの格子化・可視化モジュールにより、フロート軌跡の予測や、格子化された各種変量を比較したり、大気場とアルゴデータを一緒に可視化可能。
- 今後も、衛星や他の地球科学データセットを使用したモジュールが追加される予定。

URL: <https://argoviz.colorado.edu/>

Core page for profile Id: 2903429_18

Date: 2022-05-23 22:20
 Cycle number: 18
 Latitude: 28.084 N
 Longitude: 171.432 E
 Position QC: 1
 Dac: aomi
 Parameters: pres, temp, psal
 Positioning system: GPS
 Platform type: SOLO_II
 Data mode: R

Links to other Argovis pages:
[Link to platform 2903429 page](#)
[Back to map](#)

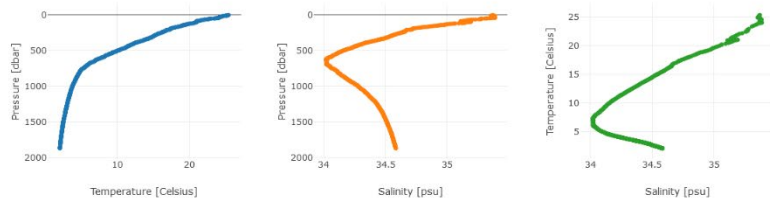
External links:
[Link to profile data on Argo GDAC](#)
[Link to Euro-Argo visualization of this platform](#)
[Link to platform on JCOMMOPS](#)

[Download data as JSON](#)

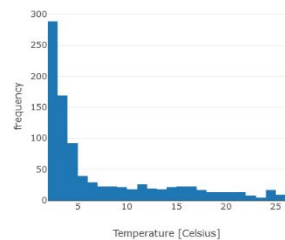
Profile location



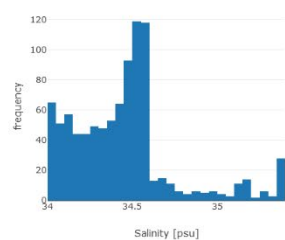
Profile measurements



Histogram of: Temperature [Celsius]



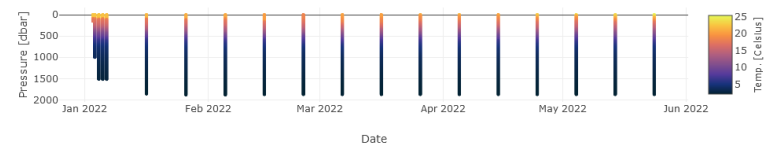
Histogram of: Salinity [psu]



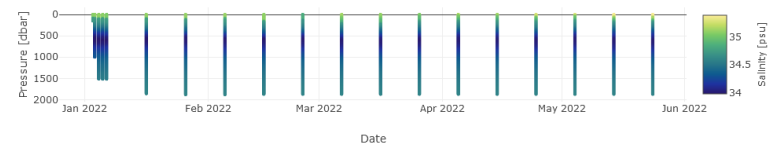
Profile location



Temperature measurements



Salinity measurements



Disclaimer: profiles with Iridium (Positioning System GPS) plot only 200 points max.

[Download data as JSON](#)

[To platform PT, PS, and TS plot pages](#)
[To JCOMMOPS page](#)
[To main page](#)

Export table to csv	Export table to xls	Export table to txt								
Link to GDAC data	Dac	Parameters	Positioning syst...	Lat	Lon	Link to profile p...	Date reported	Cycle number	Core Data m...	Num. of meas.
2903429_18 data	aomi	pres, temp, psal	GPS	28.084 N	171.432 E	2903429_18 page	2022-05-23 22:20	18	R	942
2903429_17 data	aomi	pres, temp, psal	GPS	27.883 N	171.257 E	2903429_17 page	2022-05-14 03:20	17	R	942
2903429_16 data	aomi	temp, pres, psal	GPS	27.749 N	170.839 E	2903429_16 page	2022-05-04 08:12	16	R	942
2903429_15 data	aomi	psal, temp, pres	GPS	27.754 N	170.760 E	2903429_15 page	2022-04-24 13:04	15	R	943
2903429_14 data	aomi	temp, psal, pres	GPS	27.703 N	170.926 E	2903429_14 page	2022-04-14 18:23	14	R	942
2903429_13 data	aomi	temp, psal, pres	GPS	27.737 N	171.127 E	2903429_13 page	2022-04-04 23:24	13	R	942
2903429_12 data	aomi	pres, psal, temp	GPS	27.836 N	171.341 E	2903429_12 page	2022-03-26 04:30	12	R	942
2903429_11 data	aomi	psal, temp, pres	GPS	27.909 N	171.429 E	2903429_11 page	2022-03-16 09:26	11	R	944