

研究紹介

北大水産・阿部

これまでの研究

私がこれまで、主に人工衛星を用いて、海洋表層の物理プロセスについて研究を行ってきました。対象海域は赤道から北極までグローバル。具体的なテーマは以下の通り。

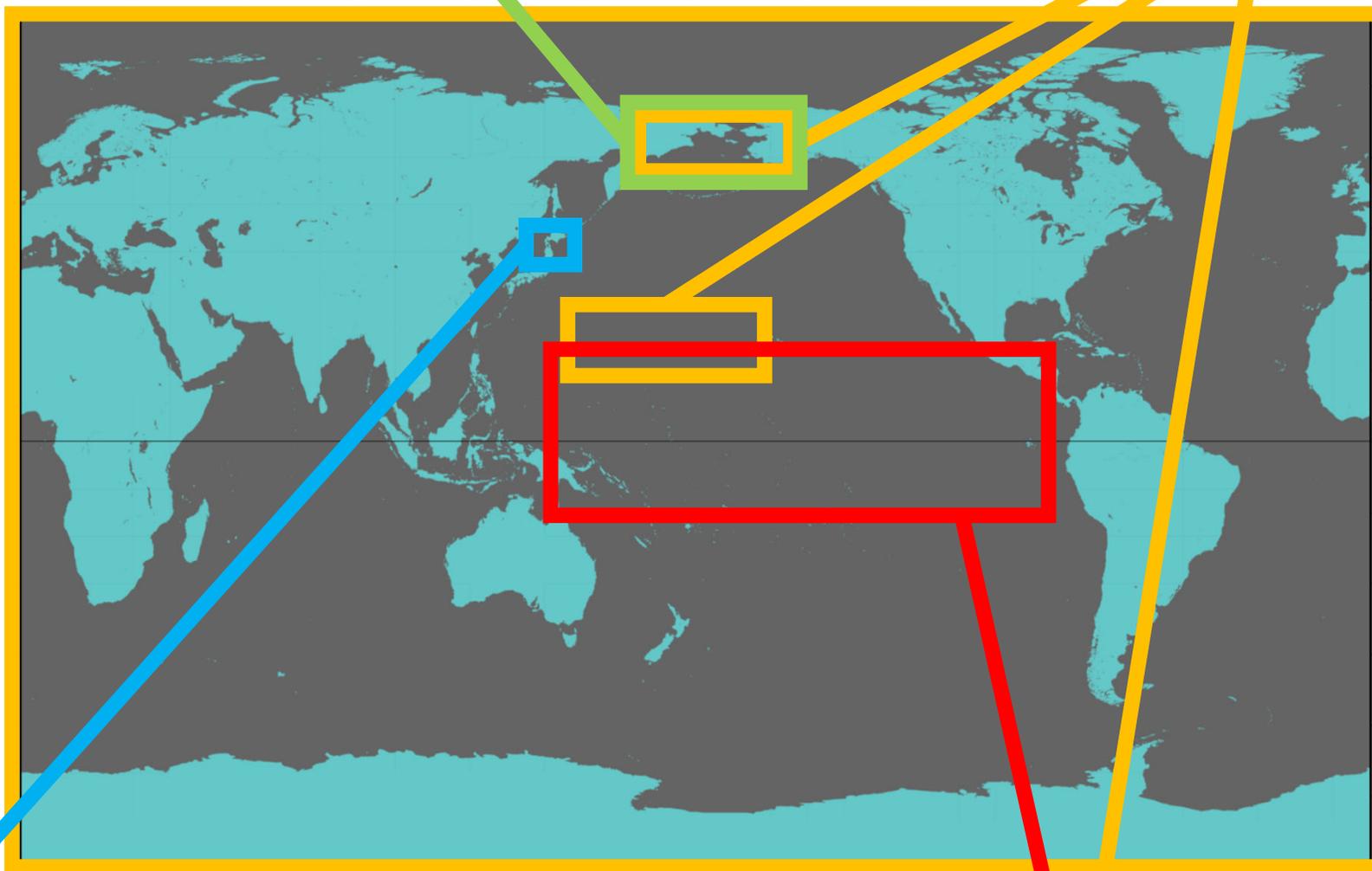
- ①人工衛星による全球海面塩分の精度評価と塩分変動
- ②北太平洋の海洋循環と大気海洋相互作用
- ③海洋短波レーダで見る津軽海峡の流れ
- ④ベーリング海

これまでの研究

研究テーマを海域別に図示すると以下の通り。

④植プランクトン動態

①海面塩分



③海洋短波レーダ

②海洋循環と大気海洋相互作用

これまでの研究

今でこそ、研究に生物要素を取り入れていますが、研究のベースとなっているのは**海洋物理**の知識です。

学生時代は、理学部物理学科に所属していました。流体力学に興味があり、研究室選びの際は、広大な海洋に内在する物理過程を学びたいと思い、**海洋物理の研究室**を選択しました。

人工衛星をツールとして、学生時代は主に外洋域の研究に、最近では沿岸域の研究に取り組んでいます。また、熱帯・亜熱帯域から北極海まで対象海域は様々です。

これ以降、テーマ別に紹介していきます。

①海面塩分

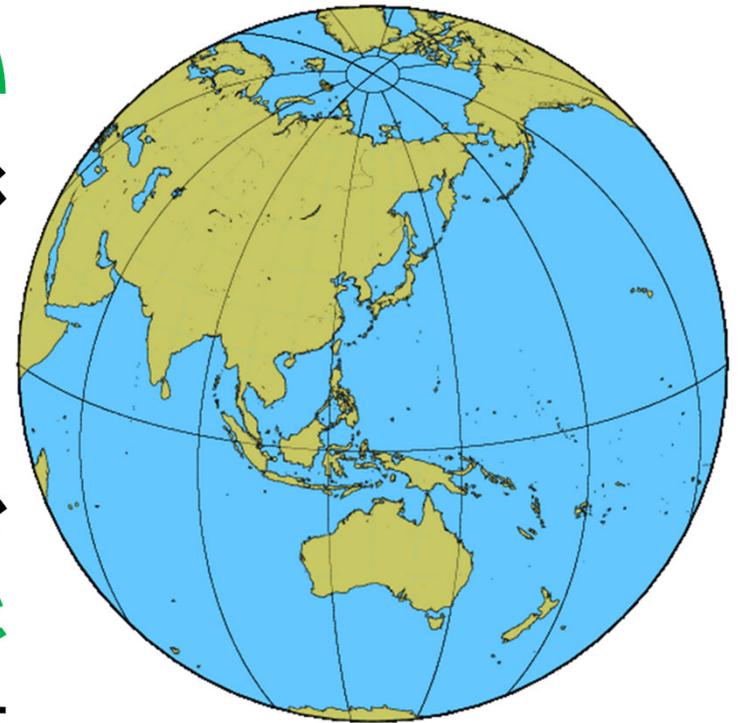
①海面塩分

塩分：海洋は地球の巨大な貯水タンク

海洋は、地球の水(河川, 湖沼, 大気, 氷河, 海洋の合算)の97%を占めるように、地球の巨大な貯水タンクと言えます。

全球の水循環における海洋の役割は極めて大きい
ため、海洋からどれだけ水分が蒸発し、海洋へ淡水
が流入したのかを知る必要があります。

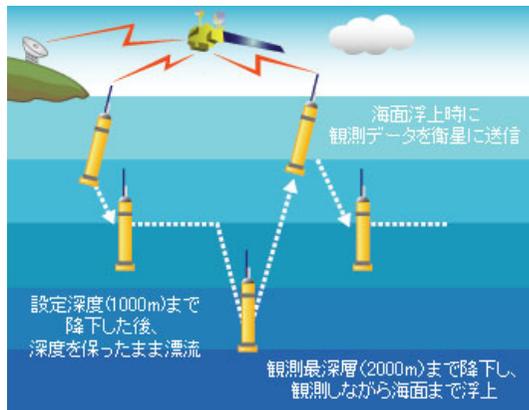
蒸発や淡水流入の様子を捉えるには、淡水と塩分
の混合率の指標である塩分濃度(以降、「塩分」と
略)の時空間的な分布を正確に知る必要があります。



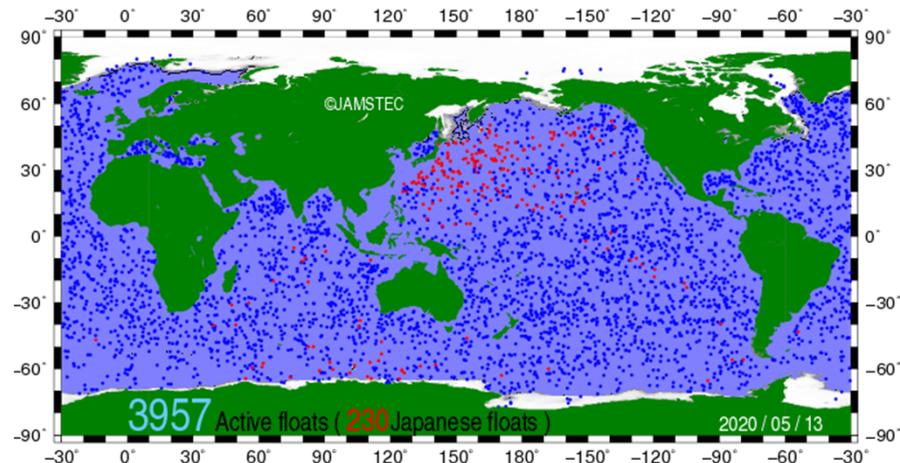
①海面塩分

従来の塩分観測

海洋の表層から中層までの塩分分布は、2000年代に始まった**Argoフロート**と**ジェット**と呼ばれる全球的な塩分(および水温)観測網により明らかになっています。このプロジェクトは、自身の浮力調整機能により浮き沈みし、海洋表層から中層までのデータを取得する漂流型観測測器・Argoフロートを海にたくさん投入し、**全球の海洋構造を明らかにするための国際プロジェクト**です。



アルゴフロートの動作サイクル概念図



Argoフロートによる観測の仕組み
(Japan Argo HPより転載).

全球に展開されているArgoフロートの分布図
(JAMSTEC Argo HPより転載).

①海面塩分

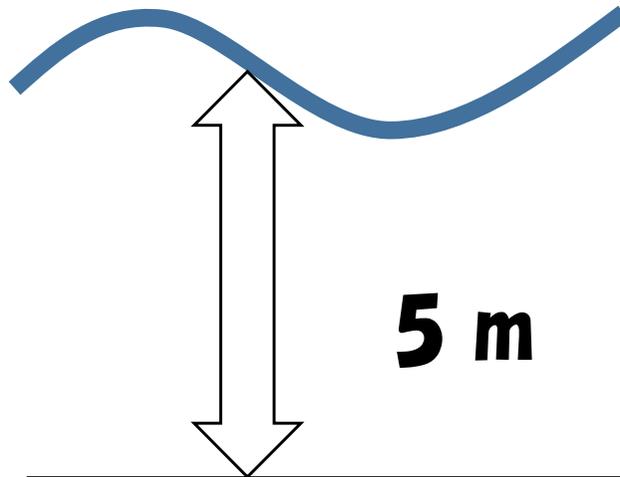
従来の塩分観測 ～問題点～

Argoプロジェクトにより全球海洋の塩分分布のおおまかな特徴が明らかに。

しかし、Argoフロートによって得られるのはせいぜい海面下5mまでです。

しかし、この海面から5mまでの表層は、大気-海洋間の蒸発・降水の影響、河川流出、海水の結氷・融解に伴い、塩分がダイナミックに変化します。

また、Argoフロートは平均的に300km×300km(北海道と同程度の面積)に1台という割合でしか分布しなく、塩分の詳細な分布は得られません。



①海面塩分

人工衛星による塩分観測

そこで**人工衛星**が登場します。

人工衛星は、**電磁波**を使って遠隔的に様々な海面の情報を取得します。

可視域

例えば、黒潮など南方系の水は澄んだ青色となっており、北方系の水は透明度の低い緑がかかった色になっています。可視域における海の色の違いを人工衛星によって観測することで、植物プランクトンに含まれているクロロフィルa濃度の分布が得られます。

赤外域

可視光より波長の長い赤外域では、水温観測に利用されます。例えば空港に設置されているサーモグラフィー。これはゲートを通過する人の体表面から放射される電磁波の強度を測定し、温度に変換していますが、これと同じ原理で、人工衛星も海面水温を測っています。

①海面塩分

人工衛星による塩分観測

海面塩分の観測には、波長の長い**マイクロ波**が使われます。

マイクロ波は、身近なところでは携帯電話の電波や、電子レンジ(英語名 Microwave oven)などで、またレーダーや通信分野でも幅広く使われています。

海面から放射される電磁波は、**低周波マイクロ帯で塩分に「感度」があること**が知られています(感度とは、塩分の変化に対し電磁波の強度が変化することを意味)。したがって、人工衛星が受信する海面からの電磁波の強度変化から、海面塩分を逆推定することができます。

しかし**信号が極めて微弱**であるため、塩分観測に要求される**技術水準が極めて高く、近年まで実現できませんでした**。

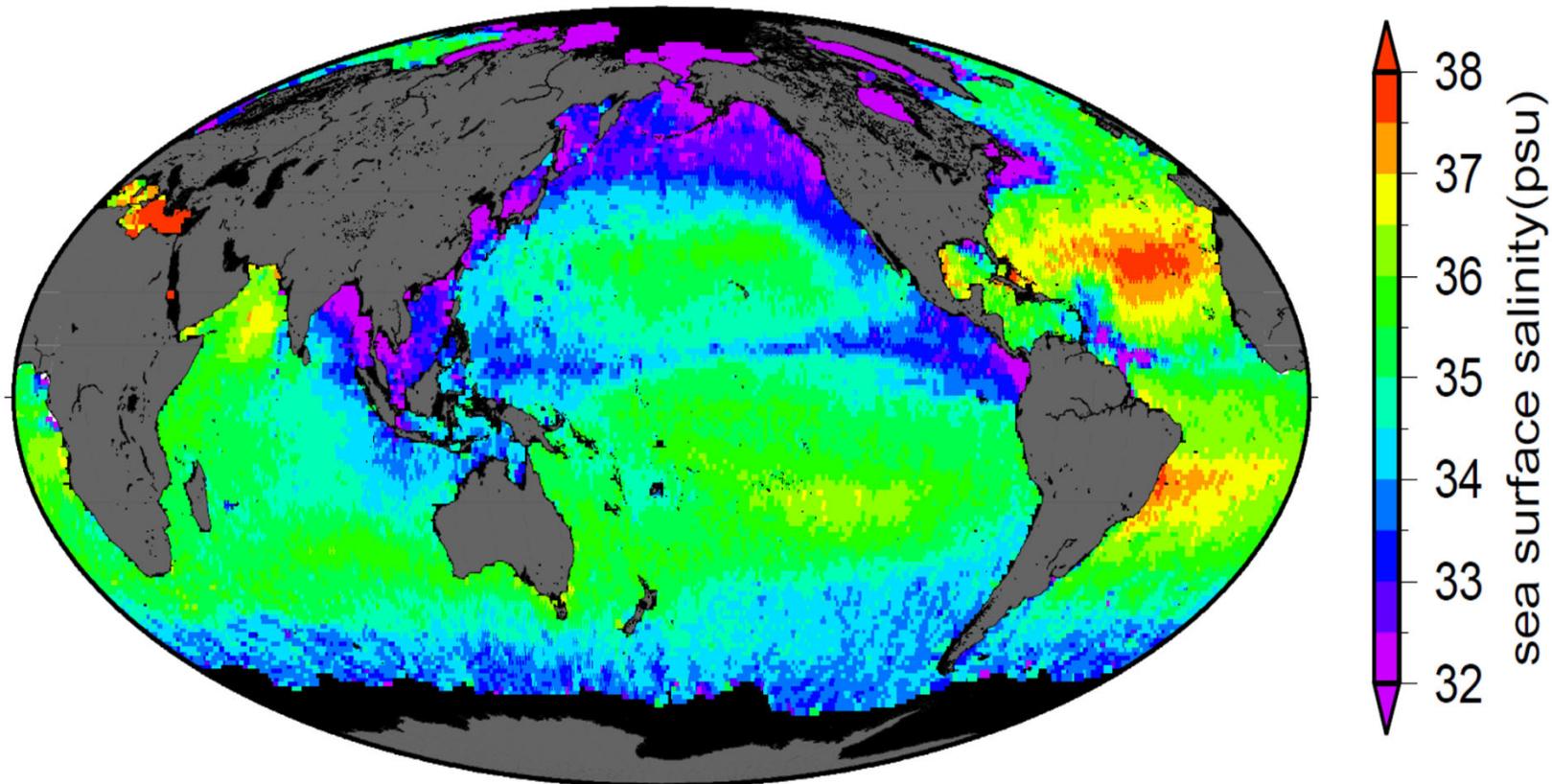
①海面塩分

海面塩分に関する研究 ～衛星観測～

2011年6月、史上初の本格的な塩分観測衛星ミッションAquarius/SAC-Dが米国宇宙航空局(NASA)により打ち上げられました。

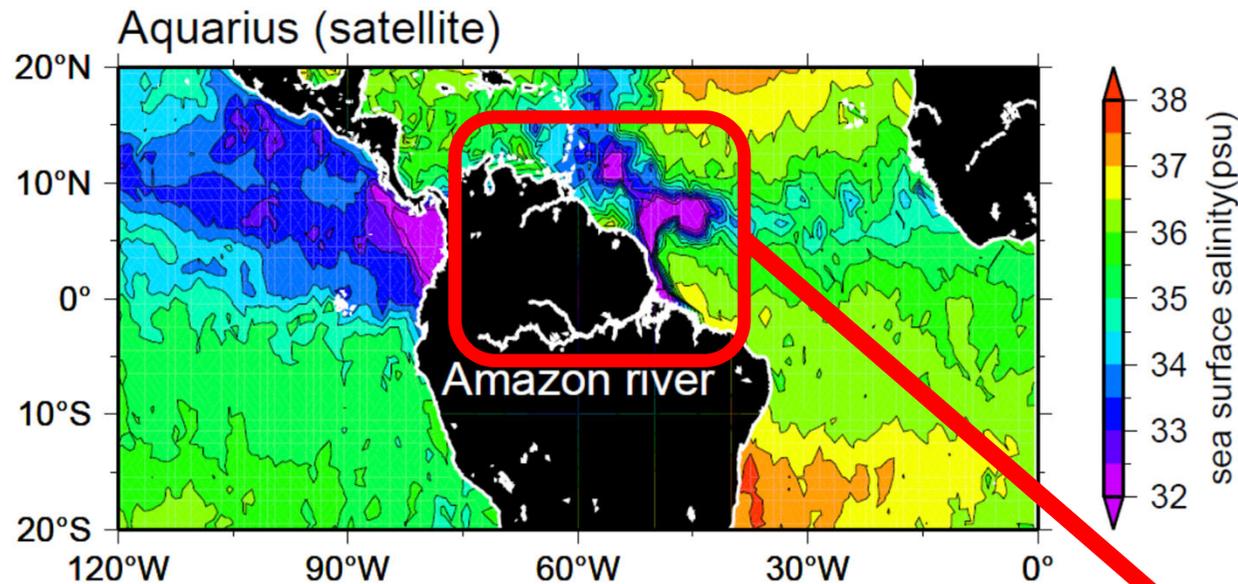
可能な限り精度を上げるため、マイクロ波を受信するアンテナを大きくする(直径2.5m)などの工夫が凝らされています。

Aquarius (satellite)

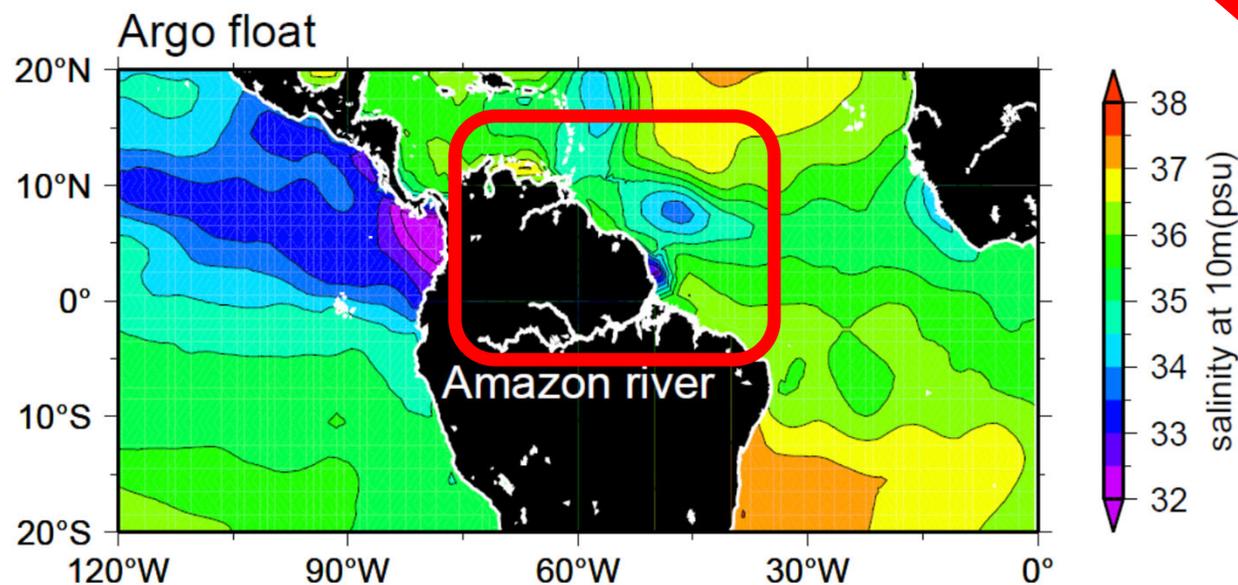


Surface Salinity from Space

A new era has come!



**南米・アマゾン
川の河川流出**



**従来の観測測器では
捉えることが困難な
河川流出が明瞭に捉
えられている。**

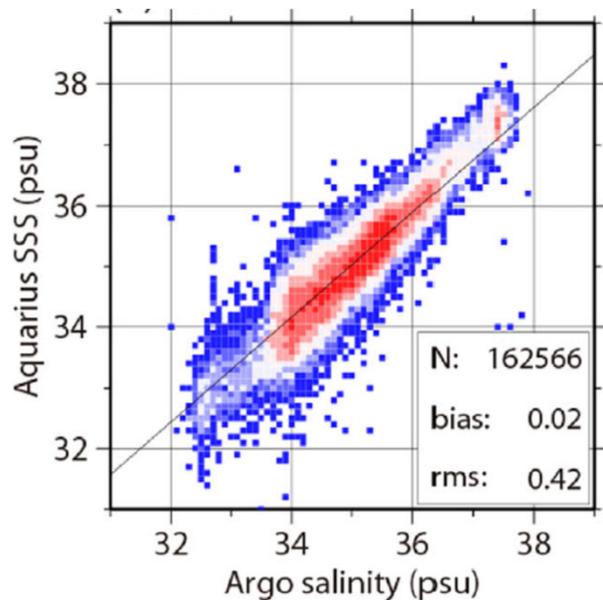
**このようなマップが
毎週得られる。**

①海面塩分

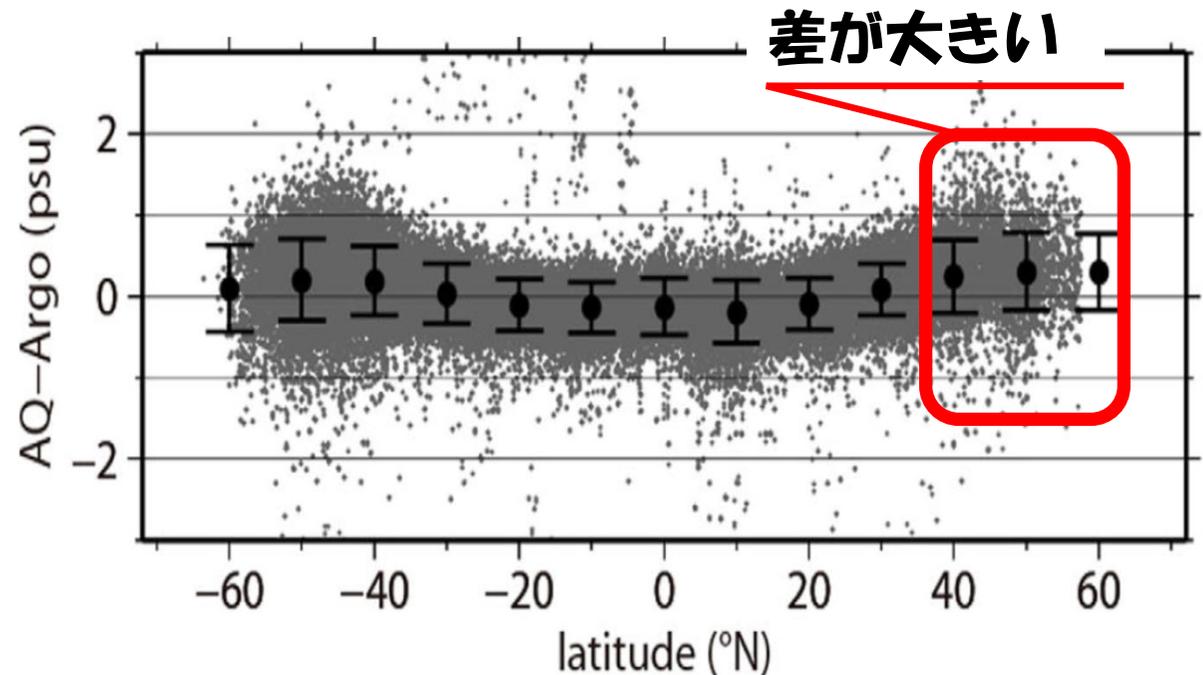
人工衛星による海面塩分計測 ～精度評価の研究～

人工衛星による海面塩分は、電磁波を使って遠隔的かつ間接的に推定した値です。その推定値を現場の観測データと比べて検証する必要があります。

Argoフロートによる観測データと比較検証したところ、衛星・現場塩分の値は概ね一致することが分かりました。同時に、水温が低い高緯度域において、衛星塩分が現場塩分からのずれが大きいかも示されました。これはマイクロ波の塩分感度が海域によって異なることを示唆する結果です。



Aquarius海面塩分とArgoフロート表層塩分(10m以浅)の比較



Aquarius海面塩分とArgoフロート表層塩分の差の緯度分布 (Abe and Ebuchi, 2014)

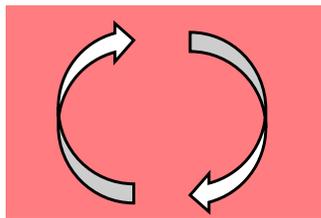
①海面塩分

海面塩分に関する研究 ～応用～

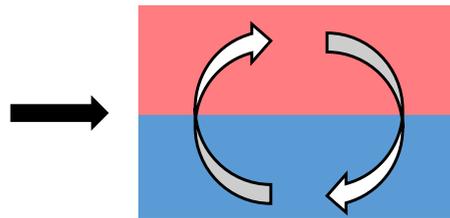
空間解像度の高いAquarius海面塩分データで、興味深い現象が次々と明らかに。

例:赤道不安定波動 (Lee et al., 2012), 大陸河川の淡水流出 (Gierach et al., 2013)

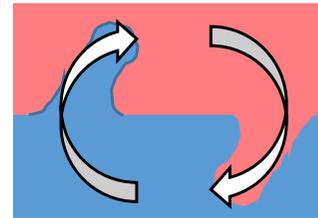
私は、数100kmスケールの大きさを持つ海洋の中規模渦に着目し解析しました。



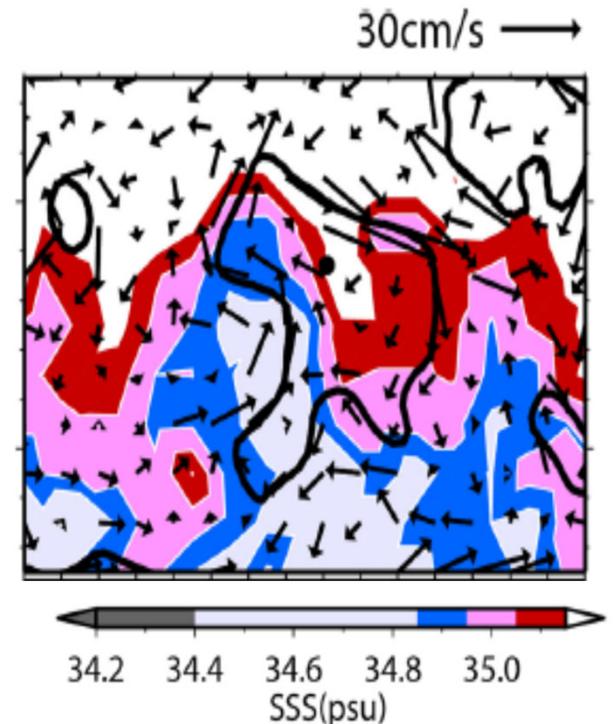
渦があるだけでは何も起こらない



南側だけ雨が降り、北:高塩分、南:低塩分のコントラスト形成



渦がかきまぜ、時計回りの塩分模様形成



渦が降水により低塩化した海水をかき混ぜる様子を捉えることに成功

Aquariusが捉えた、中規模渦が降水後に形成された低塩水をかき混ぜる様子(Abe et al., 2019).

①海面塩分

まとめ

- ・塩分に限らず人工衛星による海洋観測では、海面の情報しか得られないものの、多くの変数が取得可能。
(例：海面水温、海面塩分、海上風、クロロフィルa濃度)
- ・これら衛星変数を組み合わせたり、場合によっては現場観測データを組み合わせることで、海洋環境、ひいては水産資源の理解向上に資する知見が得られます。
- ・特に塩分は、衛星観測の歴史が10年程度と浅く（水温は50年程度）、これからも発展が期待できる分野だと考えています。

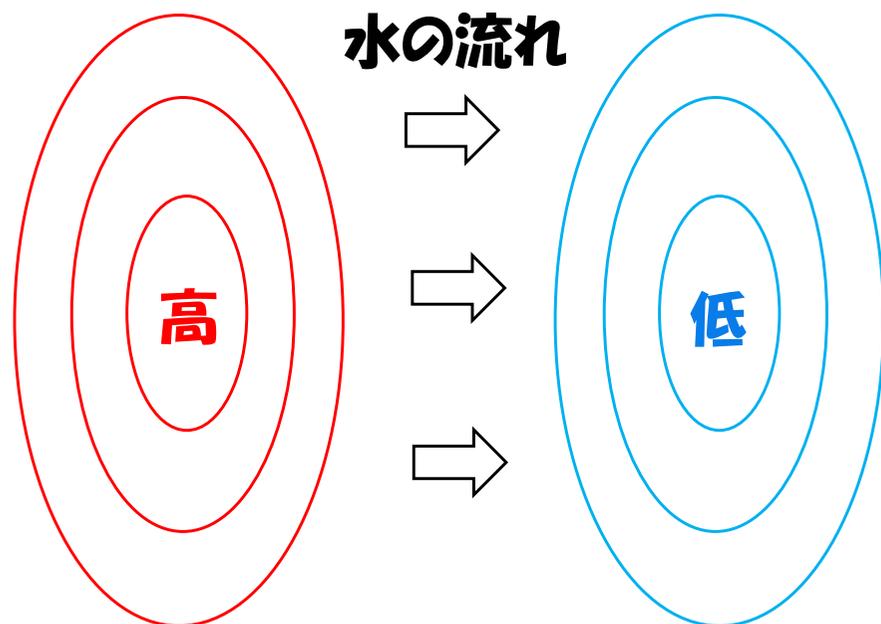
②北太平洋の海洋循環 と大気海洋相互作用

②北太平洋の海洋循環と大気海洋相互作用

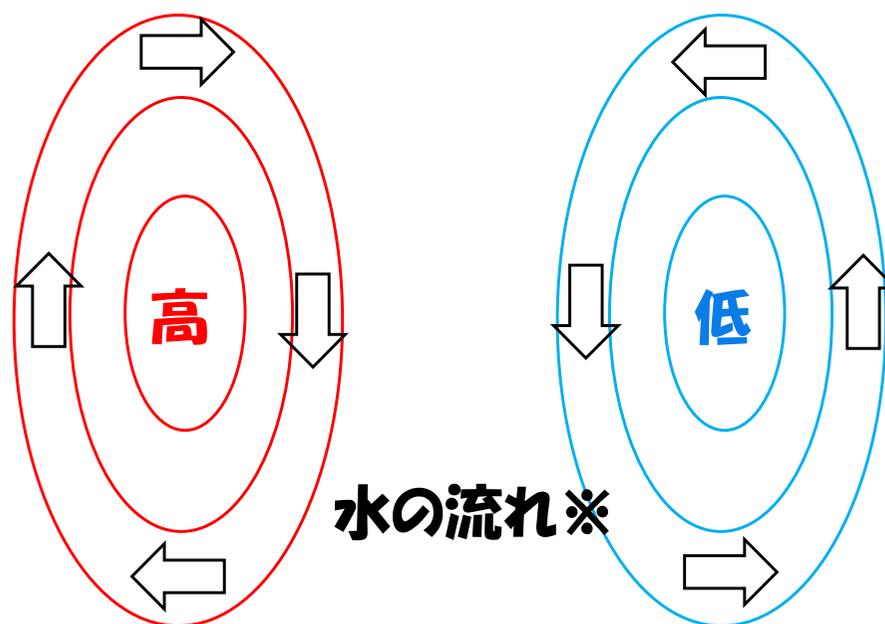
外洋域の研究で良く登場するのが**地衡流**という概念です。
これは圧力傾度力とコリオリ力がバランスする流れです。

例えば以下のような、水面の高低分布が与えられたとします。
小さな空間スケール(左)では圧力勾配を解消する方向に水は流れますが、
大きな空間スケール(右)では、海面の高低を維持するような流れが生じます。
後者の流れを地衡流と呼びます。

数km以下の空間スケール



数10km以上の空間スケール



※北半球の場合

②北太平洋の海洋循環と大気海洋相互作用

北太平洋の海面高度の分布を以下に示します(2000db基準)。

亜熱帯循環の内部で海面高度が高いので、地衡流は以下のような時計回りの循環となります。その一部が黒潮や北赤道海流となります。

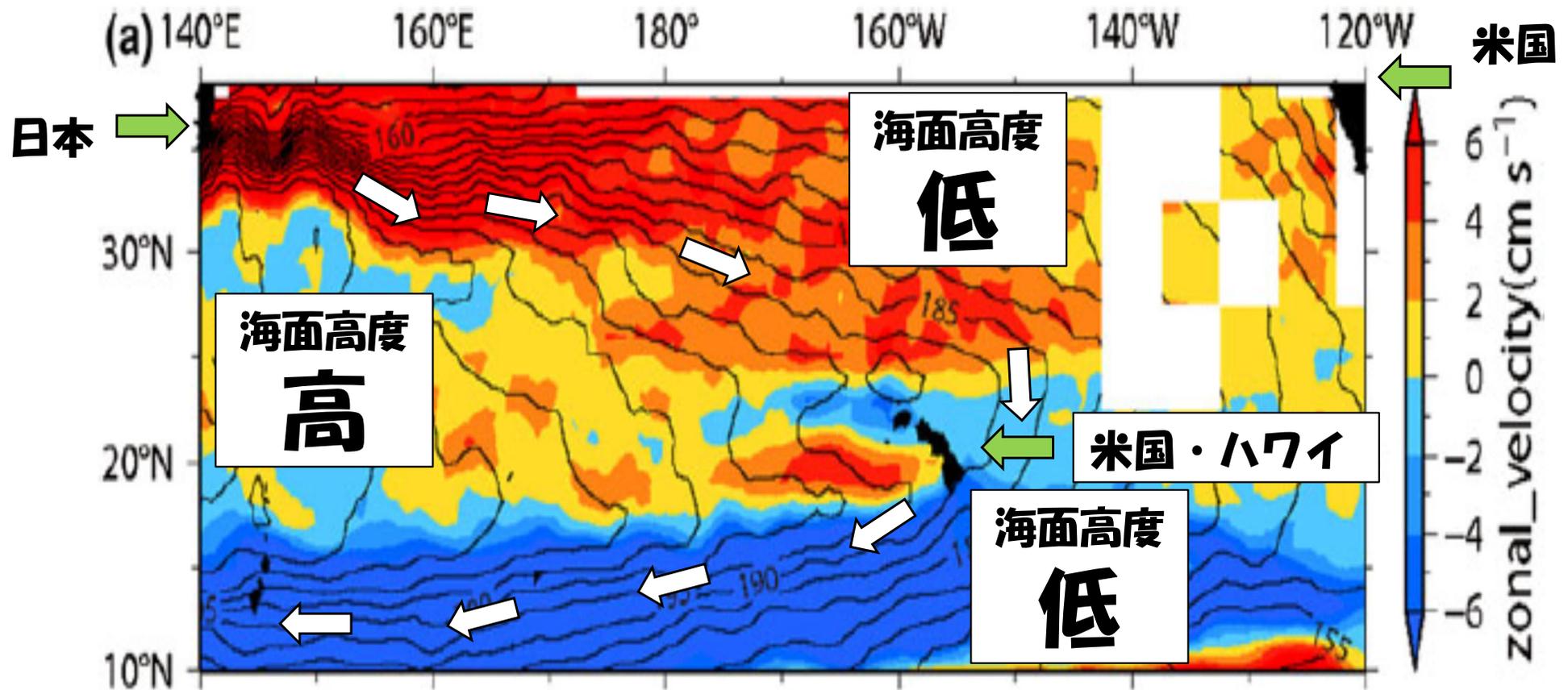
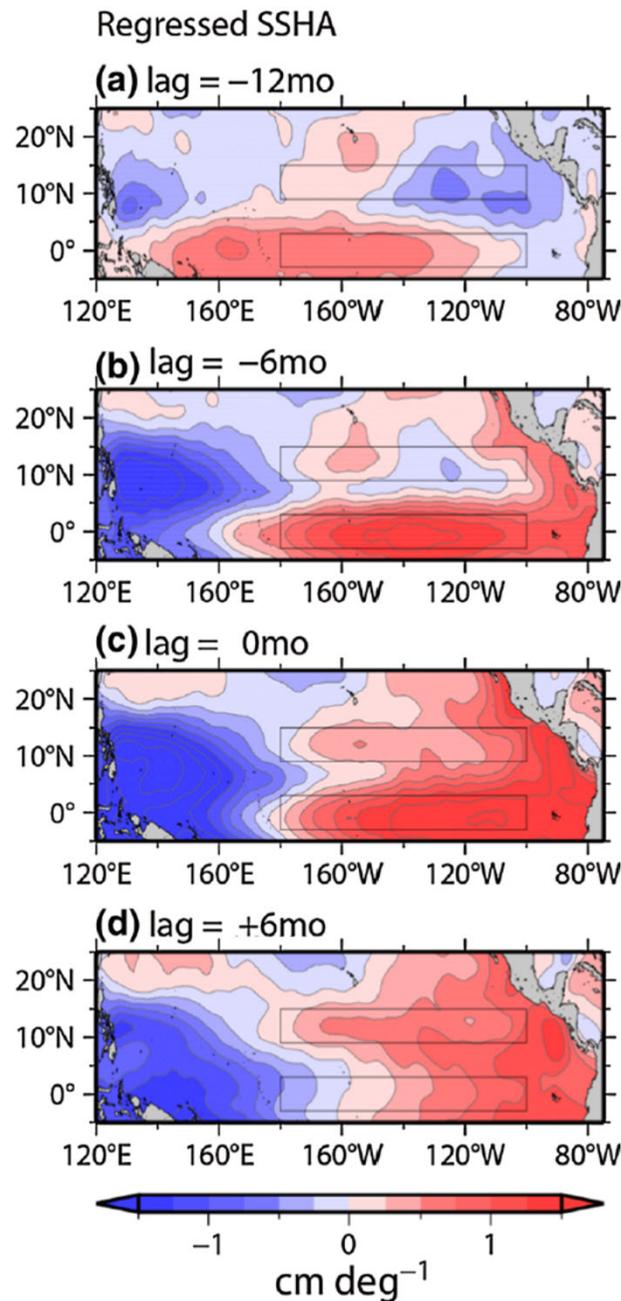


図1：衛星・現場観測データを組み合わせて構築した表層流速の東西成分(cm/s)。赤が東向き流速，青が西向き流速。(Abe et al., 2013)

②北太平洋の海洋循環と大気海洋相互作用



コリオリ力があることで、**ケルビン波**という惑星波動が生じます。

ケルビン波とは、岸に沿って進む数10~1000kmの大きさをもつ波動で、北半球では岸を右手に見ながら伝搬します（南半球は左手）。

左図は、エルニーニョが発生する前後での太平洋での海面高度を表し、赤が高く、青が低いことを表します。

エルニーニョは、南米ペルー沖での大規模昇温として特徴づけられますが、それが起きる前には、西部太平洋で海面高度が上昇し、それが赤道ケルビン波として東進します。

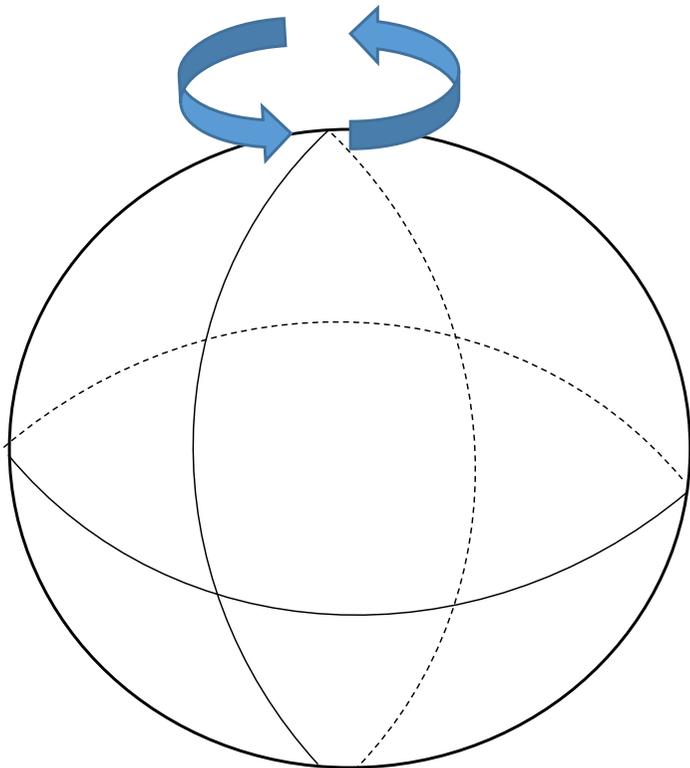
東岸に到達後、分離し、アメリカ大陸西岸に沿って南北各々の方向で伝搬します。その波動は、何千キロも離れたアラスカまで到達すると言われてています。

②北太平洋の海洋循環と大気海洋相互作用

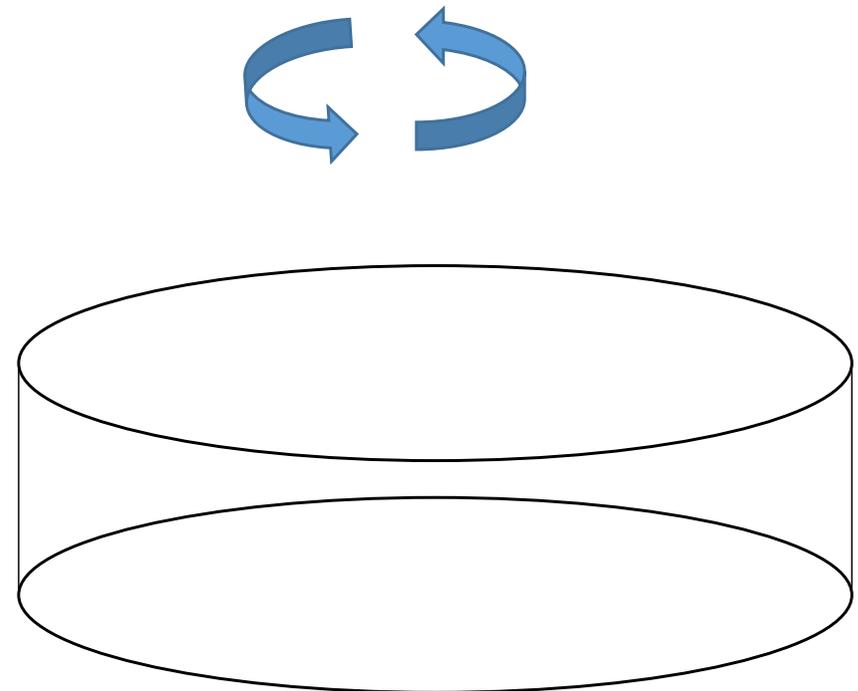
ケルビン波は、地球が球体であっても円盤状であっても、どちらでも生じます。

実際の地球は球体ですが、球体が回転するからこそ生じる惑星波動があります。それが**ロスビー波**です。

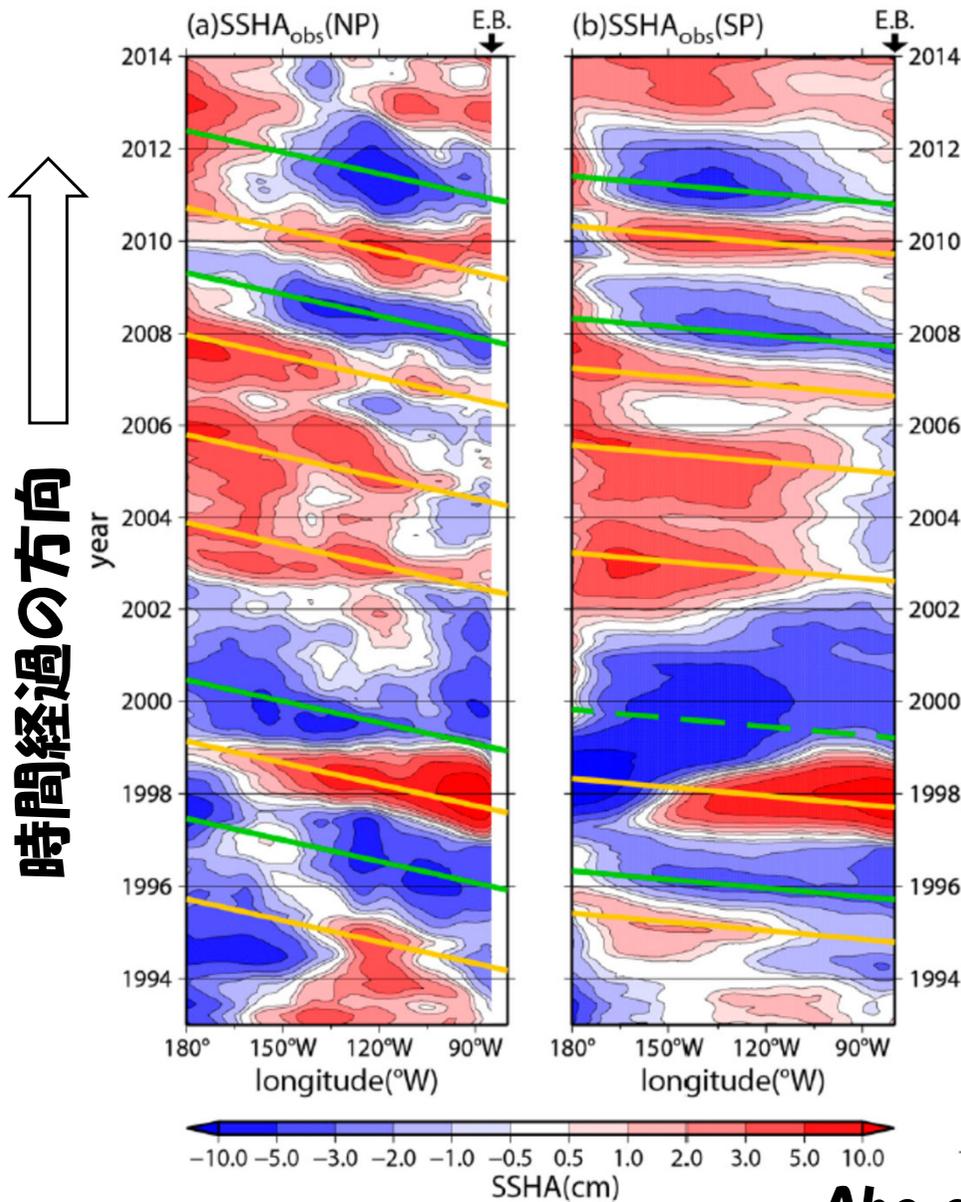
球体の地球が回転



円盤の地球が回転



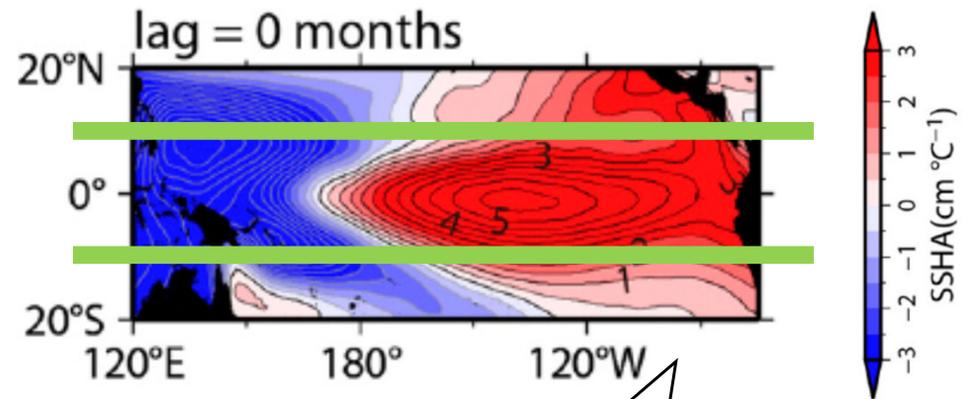
②北太平洋の海洋循環と大気海洋相互作用



左図は、下図の緯度において、海面高度の時間発展を見たものです。

海面高度の情報が時間の経過と共に西に伝搬している様子が分かります。

太平洋東部で発生した海面変位は、ロスビー波として、数か月から数年かけて太平洋を横断します。



Abe et al. (2016)

こちらが西向き

二つの緯度で、海面高度の時間発展を見たのが左図。

②北太平洋の海洋循環と大気海洋相互作用

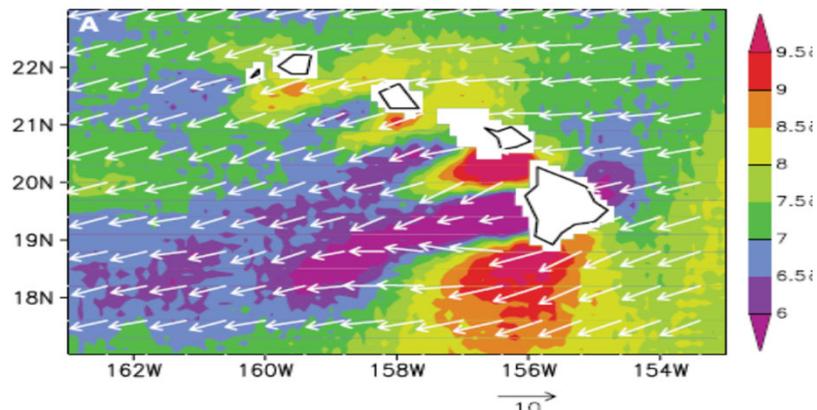


図2：衛星搭載マイクロ波散乱計によるハワイ諸島後方の海上風の分布 (Xie et al. 2001).

東太平洋で発生したロスビー波の西方伝搬が、時間差を伴って、北太平洋の海流の変動に影響していることを明らかにしました(Abe et al., 2013).

その発生要因として、エルニーニョに関連した風の間が重要であり、降水帯として認識されている熱帯収束帯がその役割を担っていることを突き止めました(Abe et al., 2014)

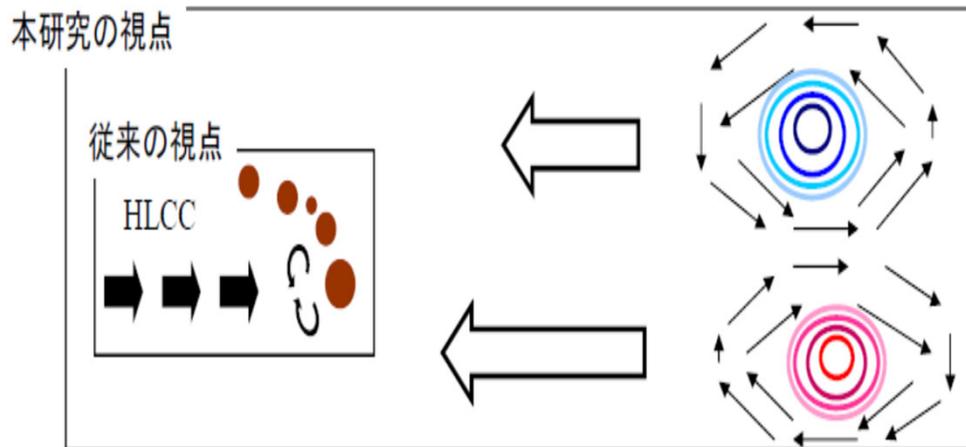


図3：本研究(Abe et al. 2013)が提唱するハワイ風下反流の経年変動メカニズム

③ 海洋短波レーダで 見る津軽海峡の流れ

工事中

③ 海洋短波レーダ @ 津軽海峡

JAMSTECむつ研究所が
運用している海洋短波レーダ

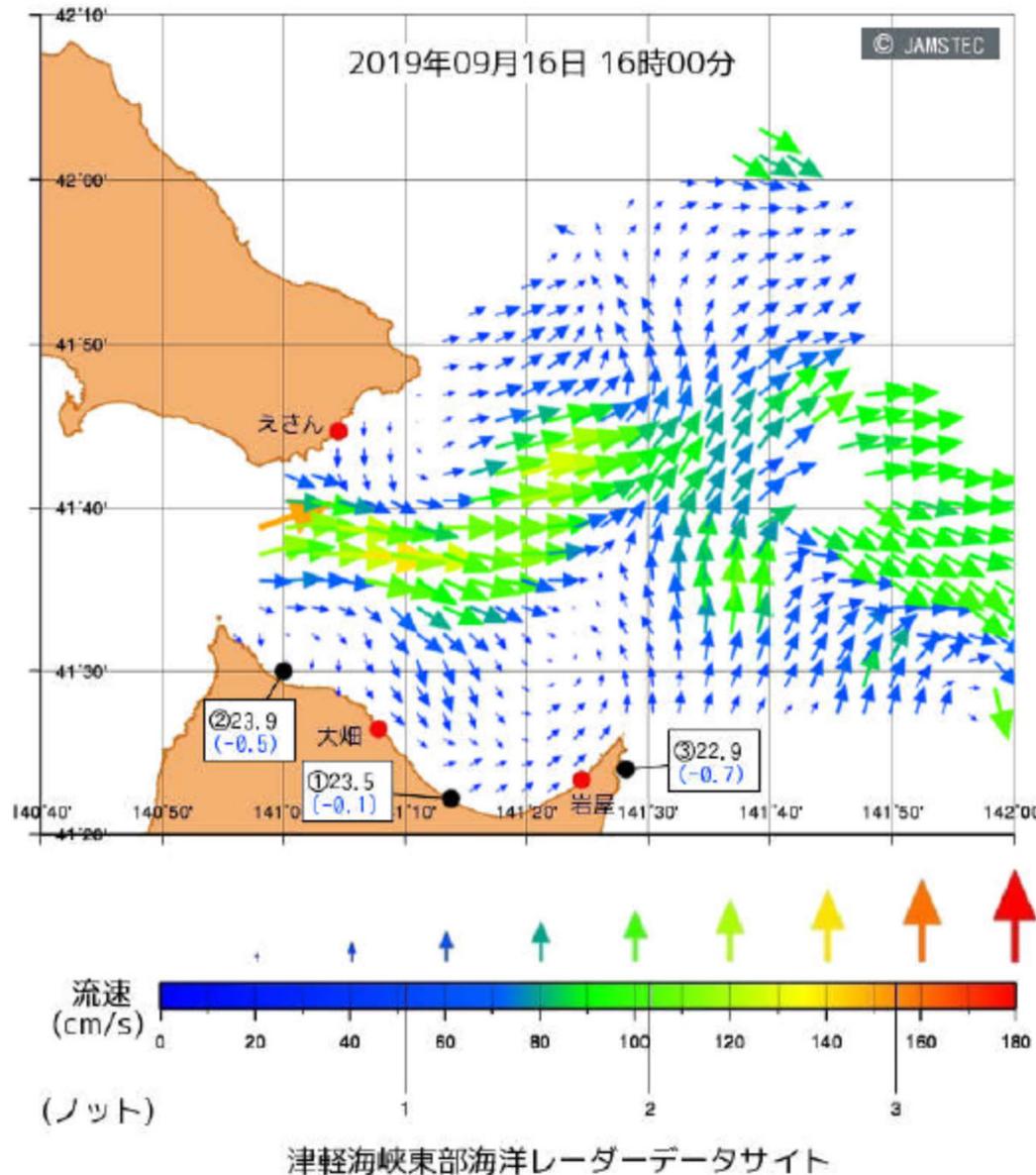


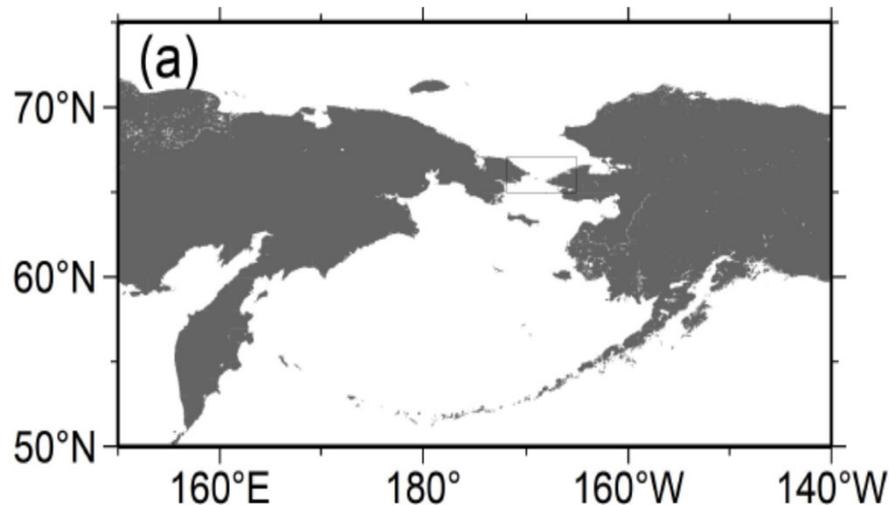
図1 むつ研究所が運用している海洋短波レーダ (HFR) システムが取得した表面流速マップの一例. 津軽海峡東部海洋レーダーデータサイト (MORSETS) で公開されている図面から転載.

④ベーリング海

④ベーリング海

ベーリング海は、アリューシャン列島、アラスカ、シベリアで囲まれた海域です。

北極海の入りにあたるこの海域は、冬に海氷に覆われ、夏に海氷が無くなる**季節海氷域**です。



ベーリング・チャク千海



**浜辺に打ち上げられた
海氷 @ 北海道紋別**

④ベーリング海

ベーリング海峡(図1)は、冬季に海氷に覆われ、夏季は開放水面となる季節海氷域。

海氷融解に伴う大規模な植物プランクトンのブルームは、表層で多量の有機物を生成。水深50mの海底に堆積(Grebmeier et al., 1988)。

ベントスバイオマスの高い“biological hotspots” (図2)を形成。

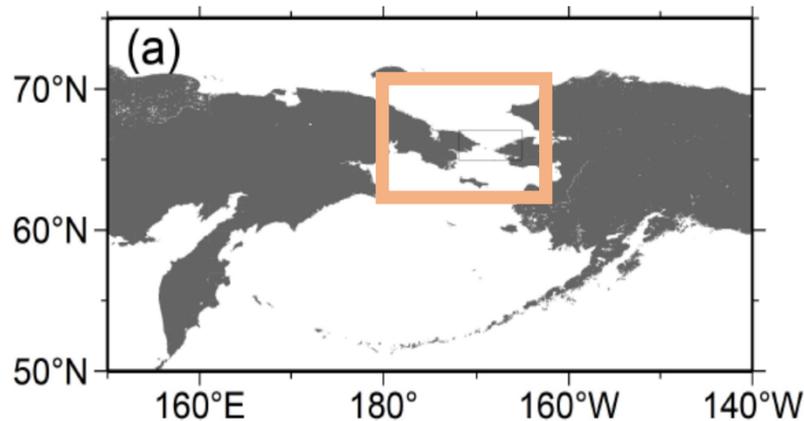


図:対象海域

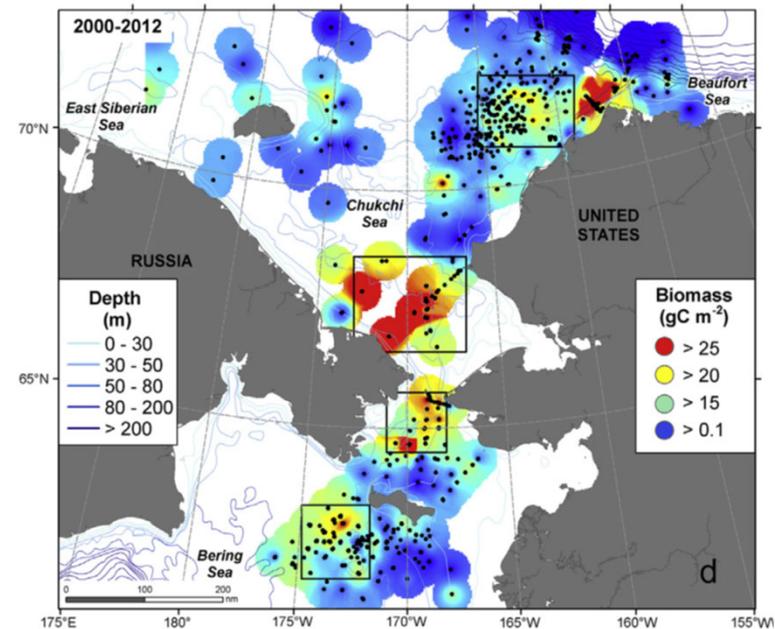
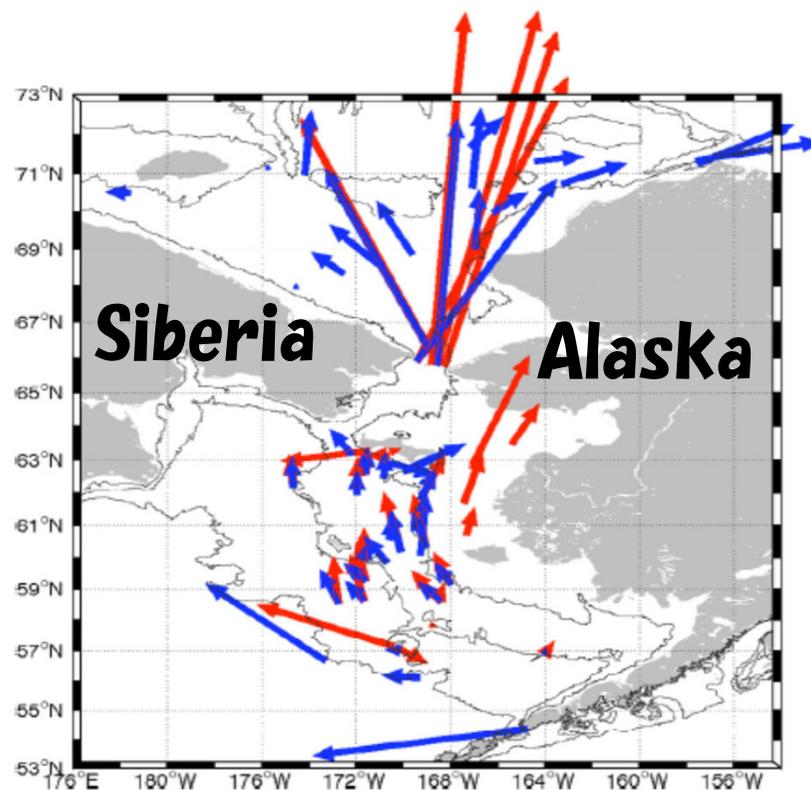


図:ベーリング海・チャクチ海におけるベントスバイオマス (Grebmeier et al. 2015).

④ベーリング海

一方で、ベーリング海峡は東西幅がわずか 80km と狭いため、そこを通過する流れは 100cm/s にも達します(図3)。

(Woodgate and Aagaard, 2005; Danielson et al., 2014).



海底付近でも、表層と同程度に流れが強いので、堆積物の巻上げを引き起こしている可能性があります。

図：係留系の流速計が計測した流速ベクトルの合成図。表層(10-20m深)と下層(30-60m深)。南風時。(Danielson et al. 2017).

④ベーリング海

係留系による物理・生物観測を実施

係留系 (2016年8月~2017年7月).

- ・蛍光度, 濁度 (海底上部 3m)
- ・ADCP流速・流向 (海底上部 6m)

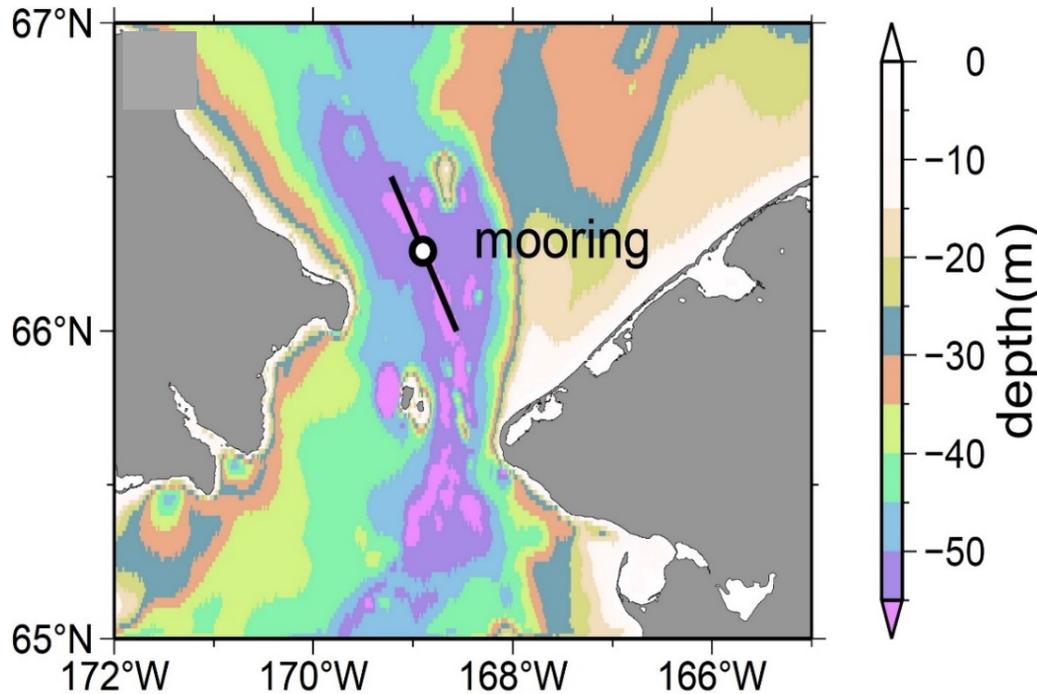


図: ETOPO1水深と係留系設置点

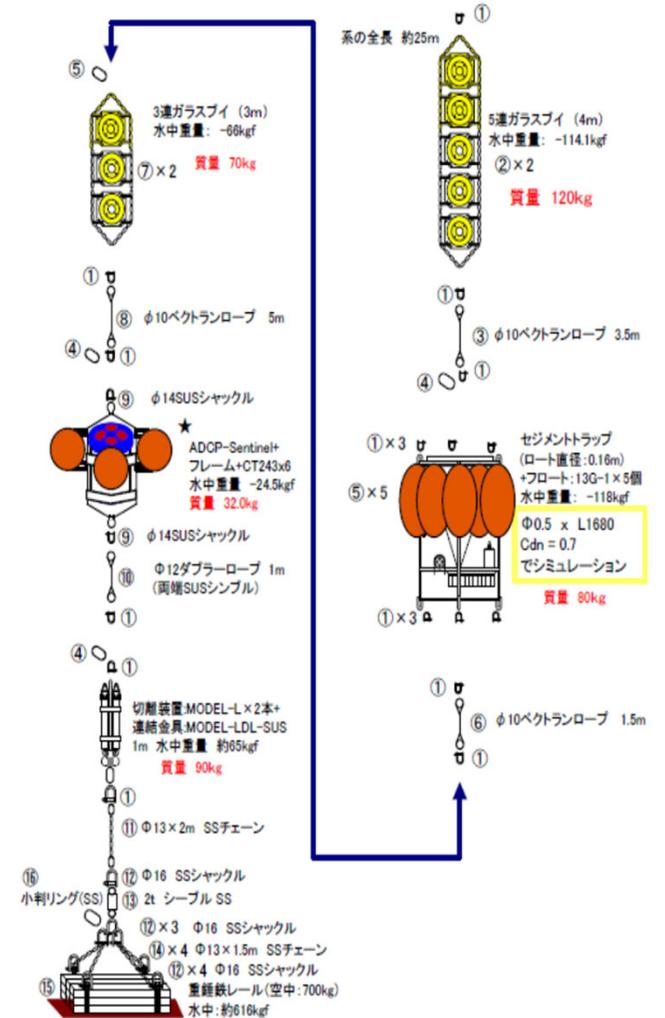
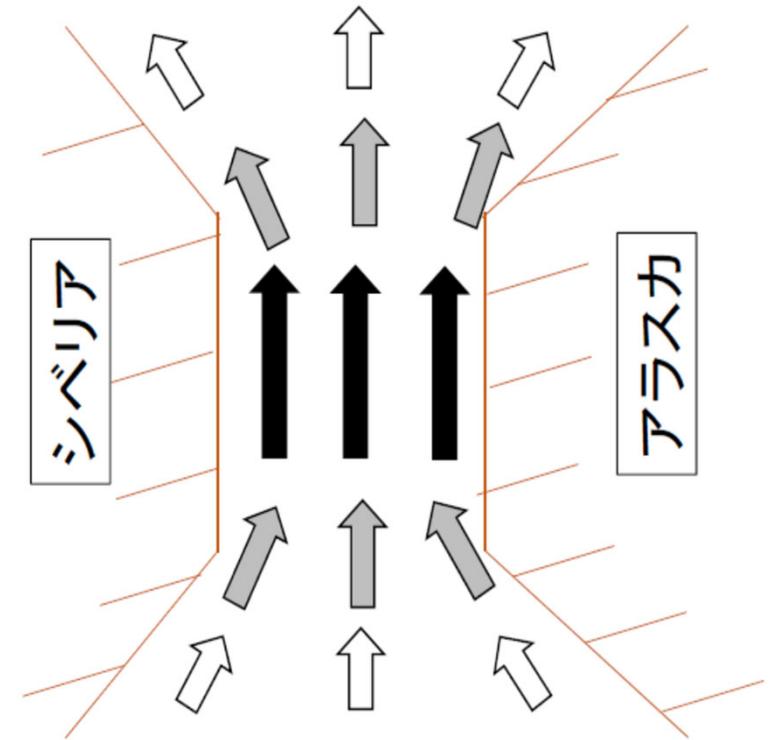


図: 係留系のデザイン

④ベーリング海

得られた結果は以下の通り.

- ①北向きの風が, 北向きの海流を強化.
- ②海峡部は幅が狭く, 流速増加が顕著.
- ③植物プランクトンを含む海底堆積物のまき上げ(デイスチャージ)が発生.
- ④北に輸送され沈降するため, チャク千海南部の biological hotspots 形成に寄与.
- ⑤春季は, 植プランクトン時に生成される有機物が沈降し, 海底にチャージ.



①~⑤が 1 年周期でループ

Abe et al. (2019)