

海洋大循環を駆動する南極底層水に迫る

大島慶一郎（北海道大学 低温科学研究所）



自己紹介: 大島慶一郎(北海道大学低温科学研究所)

略歴

- 北海道釧路市生まれ帯広育ち(中3まで)
- 新設の北大地球物理学科海洋物理研究室の一期生
- 北大低温科学研究所海洋学部門助手(1986年)
- 北大低温科学研究所水・物質循環部門教授(2008年～)
- JSPSプログラムオフィサー兼任(2018-2022年)

主な研究活動

- 第32次南極地域観測隊にて昭和基地越冬(1990-1992年)
- 砕氷巡視船「そうや」によるオホーツク海観測(1996年～)
- ロシア船によるオホーツク海国際共同観測(1998-2001年)
- 白鳳丸等による南極海航海観測(2008,2009,2019,2020年)
- 北極海アラスカバロー沖観測開始(2009年より毎年)



特集

気候変動に挑む

気候変動特設サイトがオープン
北大の気候変動研究を動画と記事で紹介します

気候変動に挑む
Climate Change

Hokkaido Univ. About EN



氷河 海洋

海氷減少の巨大な影響を探る



大島慶一郎

北海道大学低温科学研究所 教授

12月1日よりウェブ特集
「気候変動に挑む」

10月21日にプレスリリース

全海洋の深層に広がる南極底層水の起源水形成機構を発見
～海中深く大量に生成される海氷が海洋大循環を駆動する～

SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE

OCEANOGRAPHY

Dominant frazil ice production in the Cape Darnley polynya leading to Antarctic Bottom Water formation

Kay I. Ohshima^{1,2*}, Yasushi Fukamachi², Masato Ito³, Kazuki Nakata⁴, Daisuke Simizu³, Kazuya Ono¹, Daiki Nomura^{2,5}, Gen Hashida³, Takeshi Tamura³

Antarctic Bottom Water (AABW) occupies the abyssal layer of the world ocean and contributes to the global overturning circulation. It originates from dense shelf water, which forms from brine rejection during sea ice production. An important region of AABW formation has been identified off the Cape Darnley polynya. However, it remains unclear why and how high ice production leads to AABW formation. Using moored acoustic measurements and a satellite microwave algorithm, we reveal that underwater frazil ice dominates in the polynya. This underwater ice formation prevents heat-insulating surface-cover ice forming, thereby enabling efficient ice production. The high ice production in the nearshore and longer residence times create high-salinity source water for the AABW. Underwater frazil ice occurs as long as strong winds continue and occasionally penetrates depths of at least 80 m. Deep-penetrating frazil ice is particularly prominent in this polynya, while it also occurs in other Antarctic coastal polynyas.

ケープダンレーポリニヤでの
大量のフラジルアイス生成が
南極底層水を形成する

SCIENCE ADVANCES | **FOCUS** Science Advances誌のFOCUS論文としてハイライトされる

Underwater ice boosts production of the world ocean's densest waters

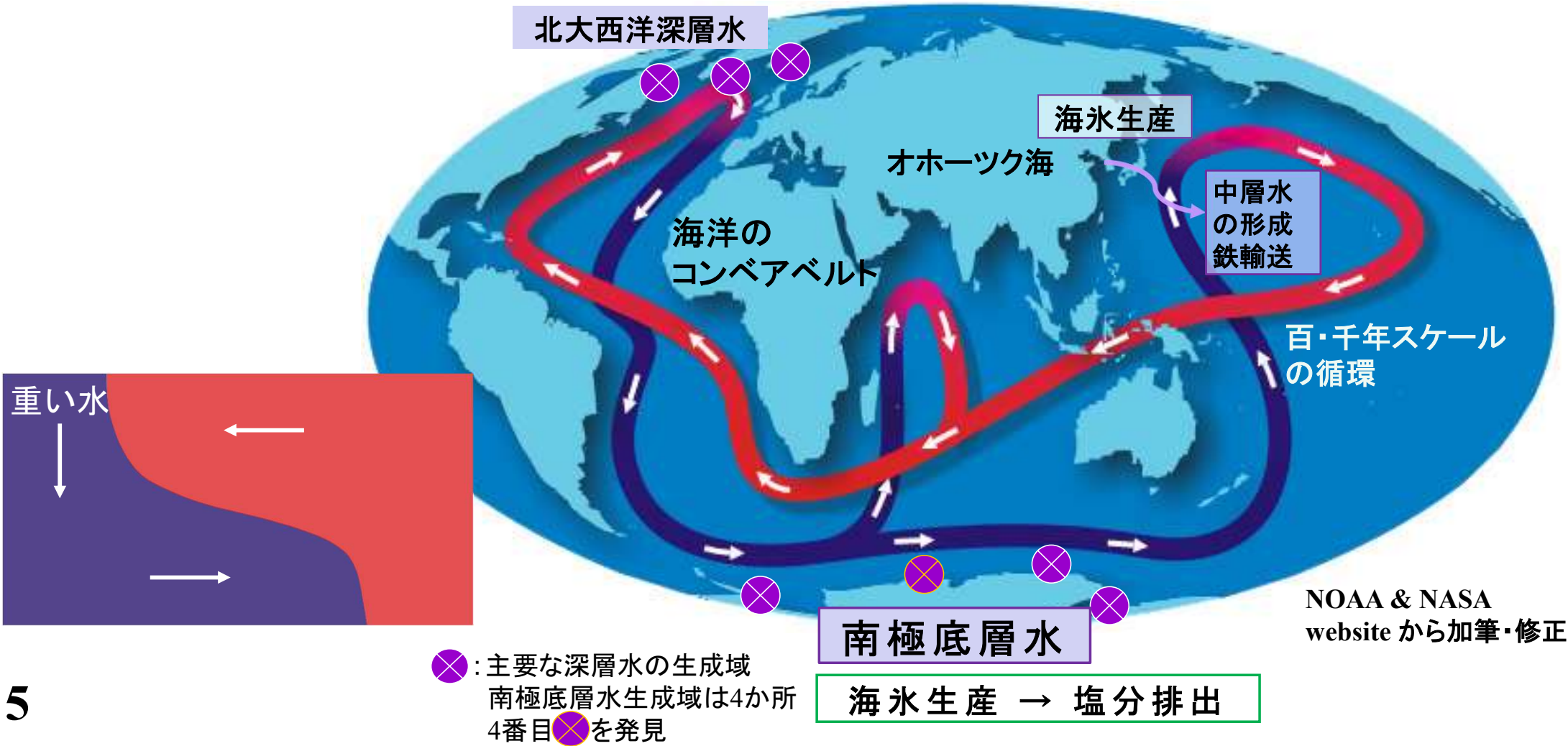
Michael Meredith*

Waters cooled below freezing point adjacent to Cape Darnley, Antarctica generate subsurface ice and produce dense waters that flood the global ocean abyss.

海中の氷が世界で一番重い海水の
生成をもたらす！

背景

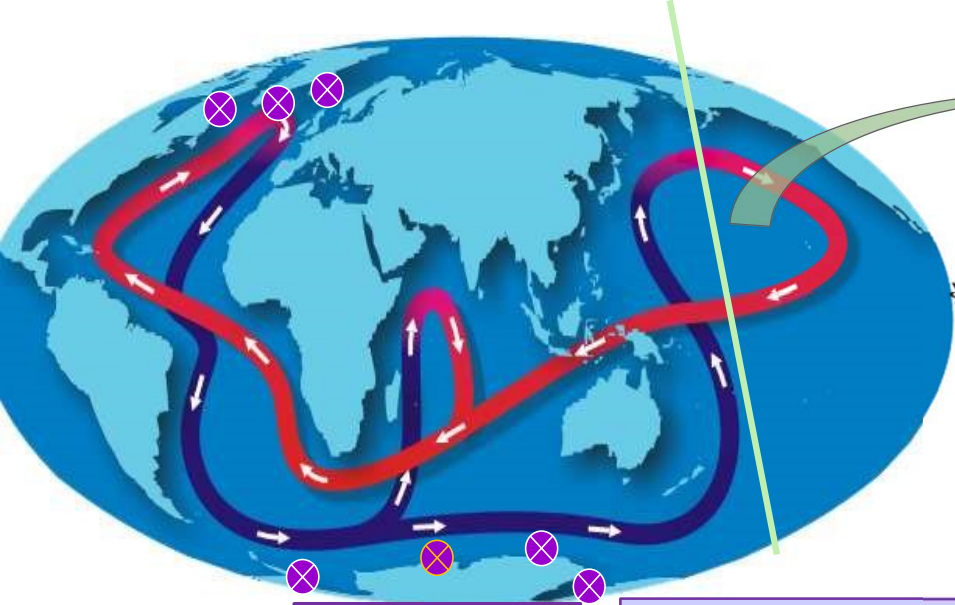
海洋大循環は重い南極底層水が潜り込んで駆動される:
~1500年で一巡りする循環:長期の気候変動を決める



背景

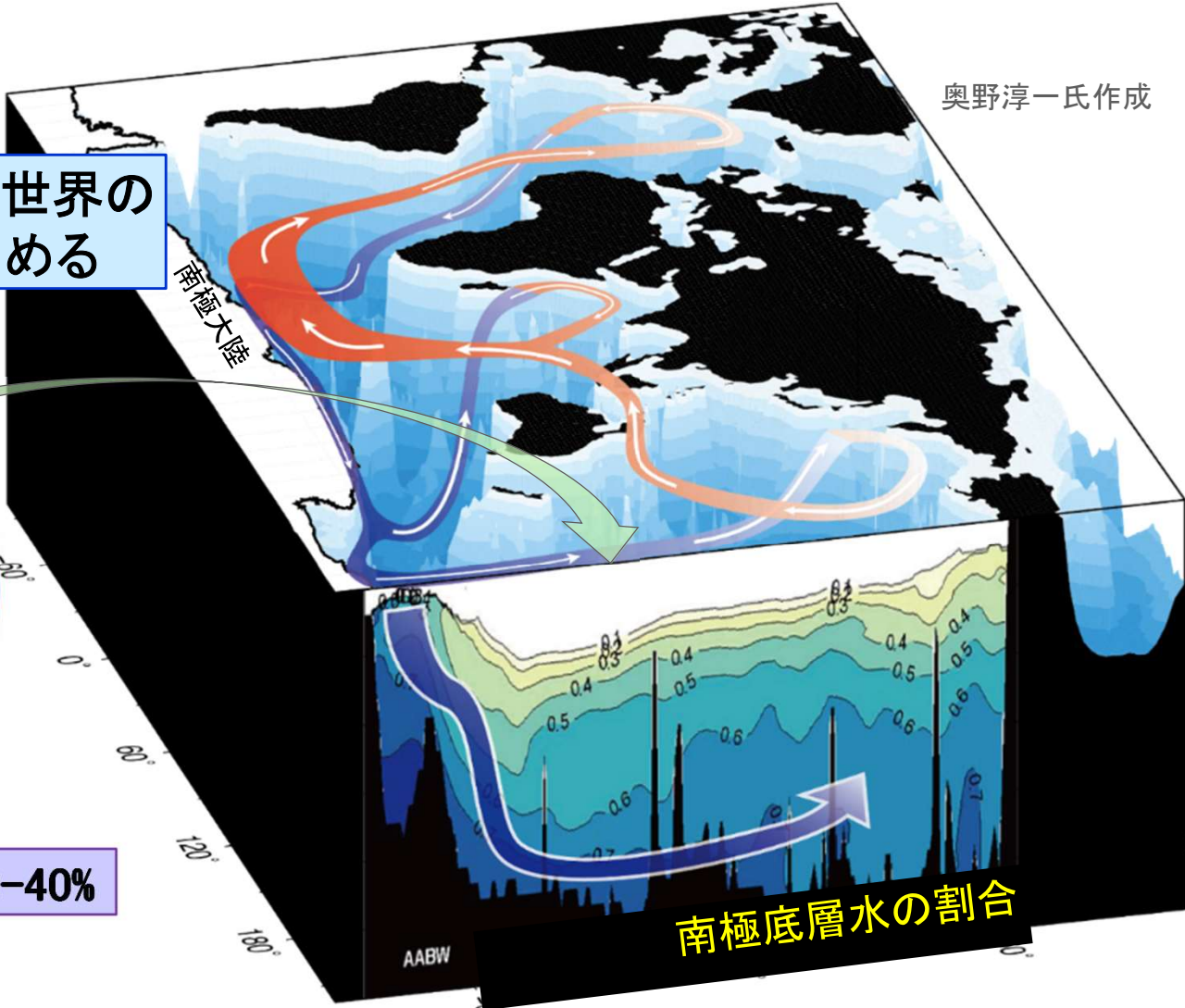
奥野淳一氏作成

世界で一番重い海水、南極底層水は全世界の深層に広がり全海水の30-40%も占める



南極底層水

→全海水の30-40%



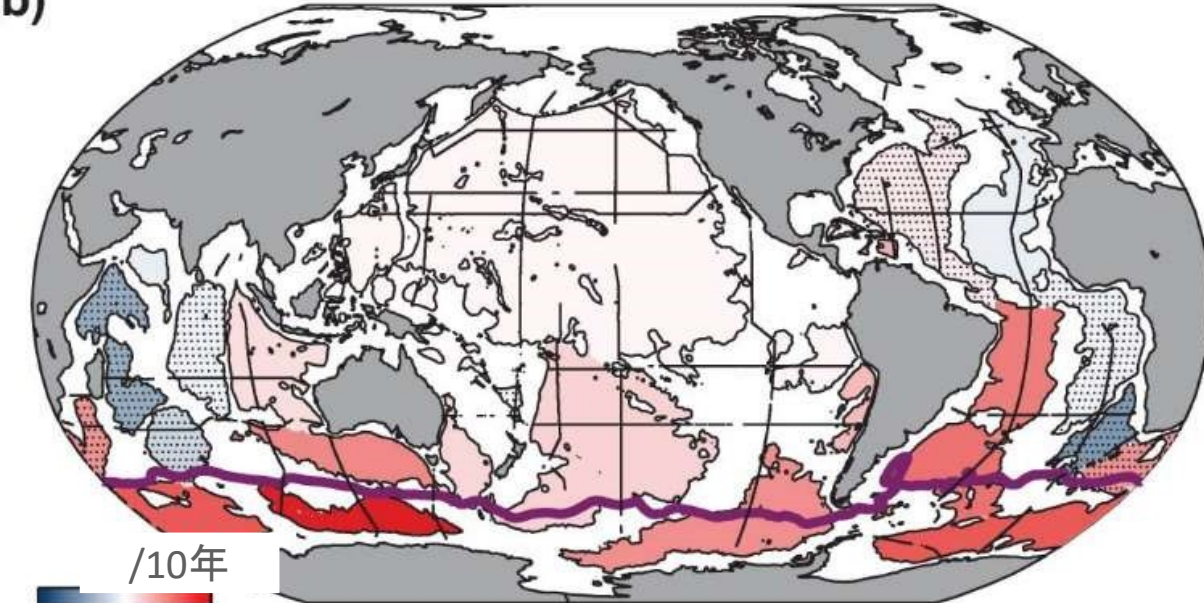
南極底層水の割合

太平洋の深層水の起源は南極底層水

背景

南極底層水の生成量は減少している→深層循環は弱まる？

b)



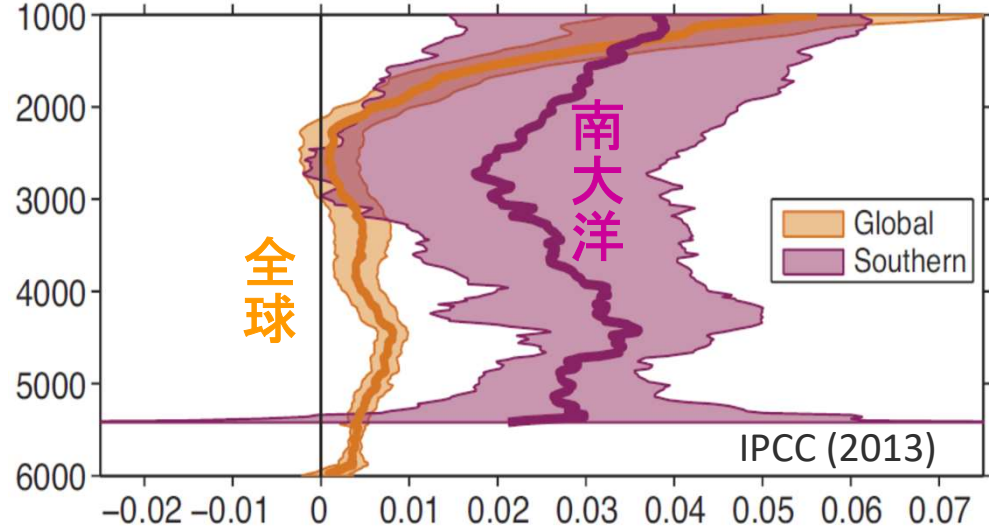
4000m以深での昇温率 (1992-2005)

-0.05 0 0.05
°C per decade

南極底層水の昇温化
→底層水の厚さが減少
→底層水の生成量の減少

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)
国連気候変動に関する政府間パネルによる

1000m以深での昇温率 (1992-2005)

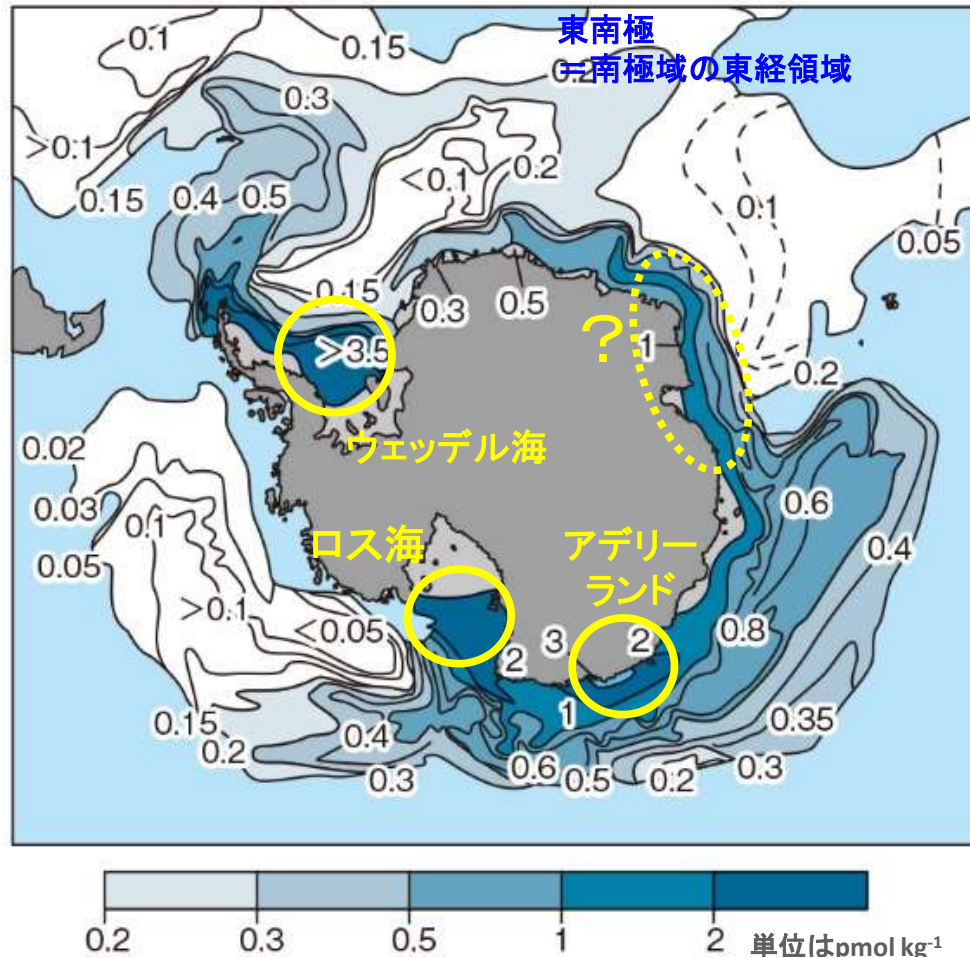


全球の深層では
南大洋のみが有意に昇温している！

背景

南極底層水の3大生成域：ウェッデル海・ロス海・アデリーランド沖

南極海の海底付近でのフロン(CFC)の濃度分布



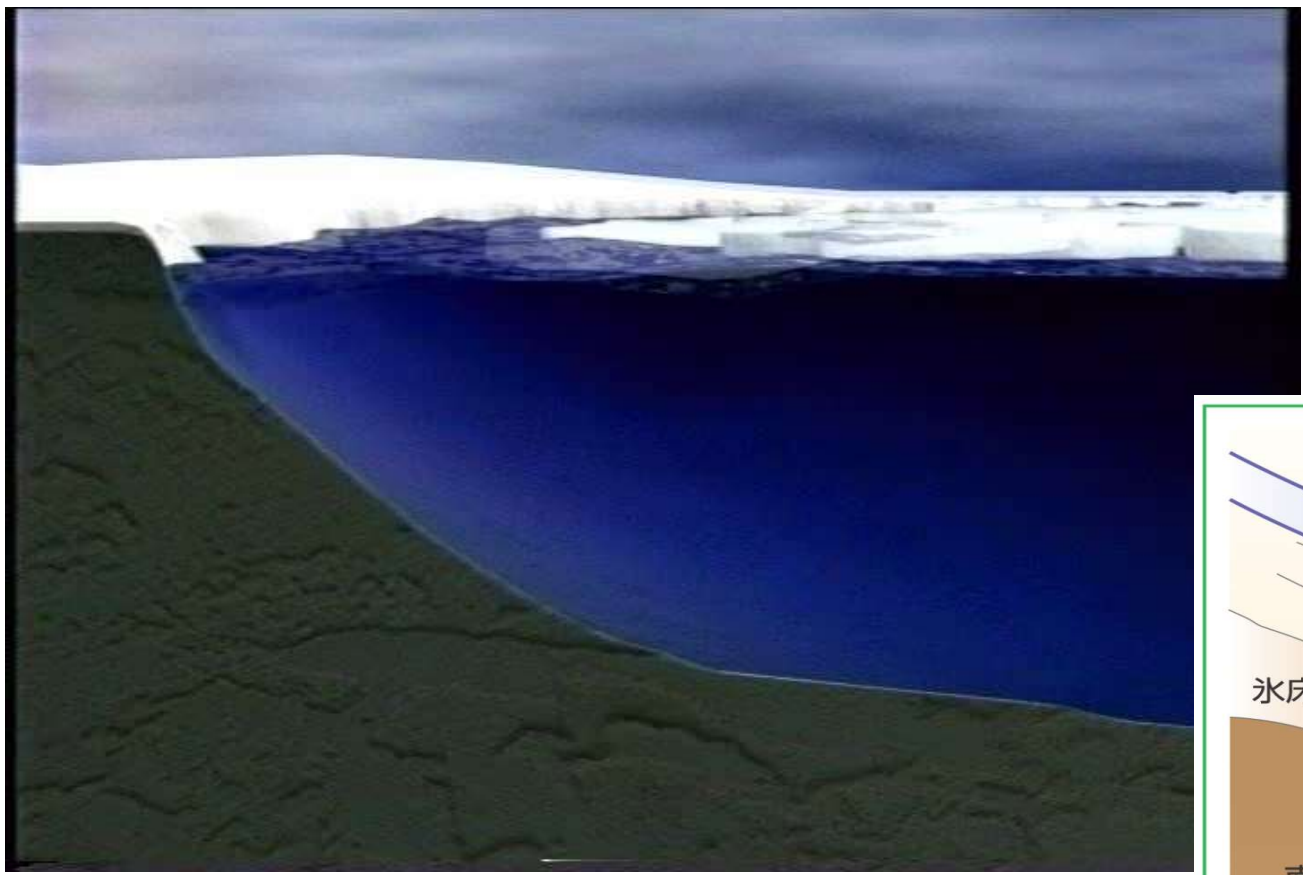
- ・ 東南極にも高フロン域がある
- ・ 未知の底層水生成域があるはず
- ・ それがどこかわかっていない

フロン(CFC)は人為起源：
底層にある高フロンは、
大気に接していた高フロン
の海水が潜り込んだ証

背景

南極底層水はどうやってできるか？

- ・ 海氷生成の際に排出される高塩分の高密度水が南極底層水の起源水
- ・ 高海氷生産域である沿岸ポリニヤで高密度水が生成
- ・ 高海氷生産域がわかれば、底層水の起源水形成域を推定できる
- ・ 人工衛星で高海氷生産域を推定する手法を開発



JST提供

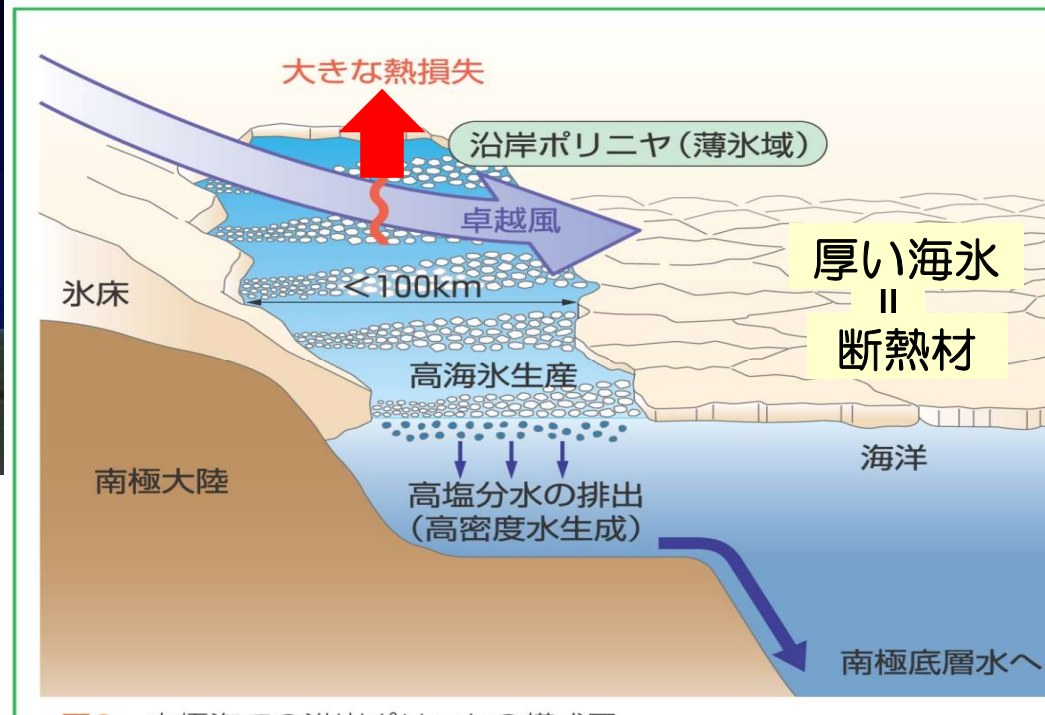
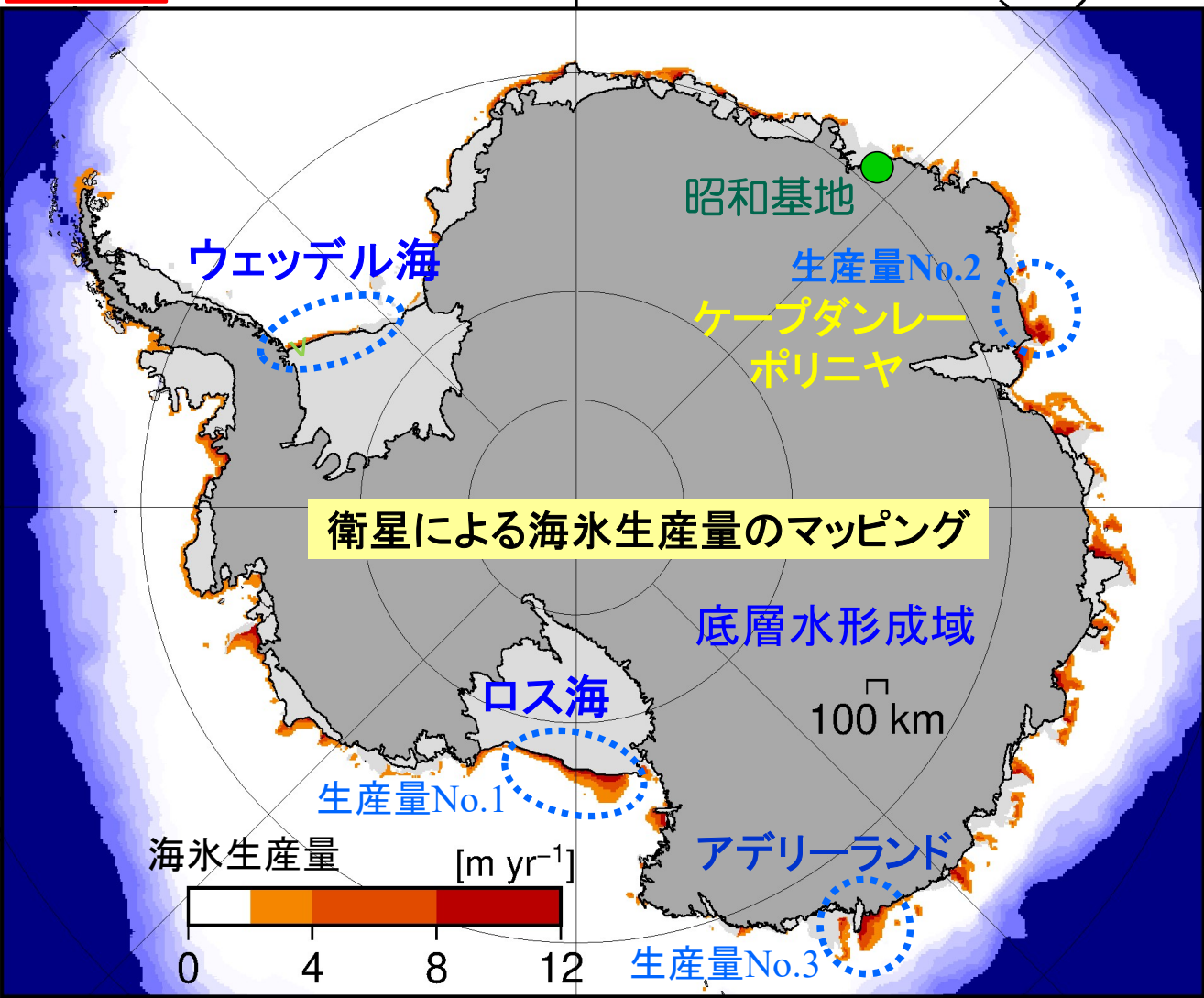


図1 南極海の沿岸ポリニヤの模式図

沿岸ポリニヤ → 海氷生産工場

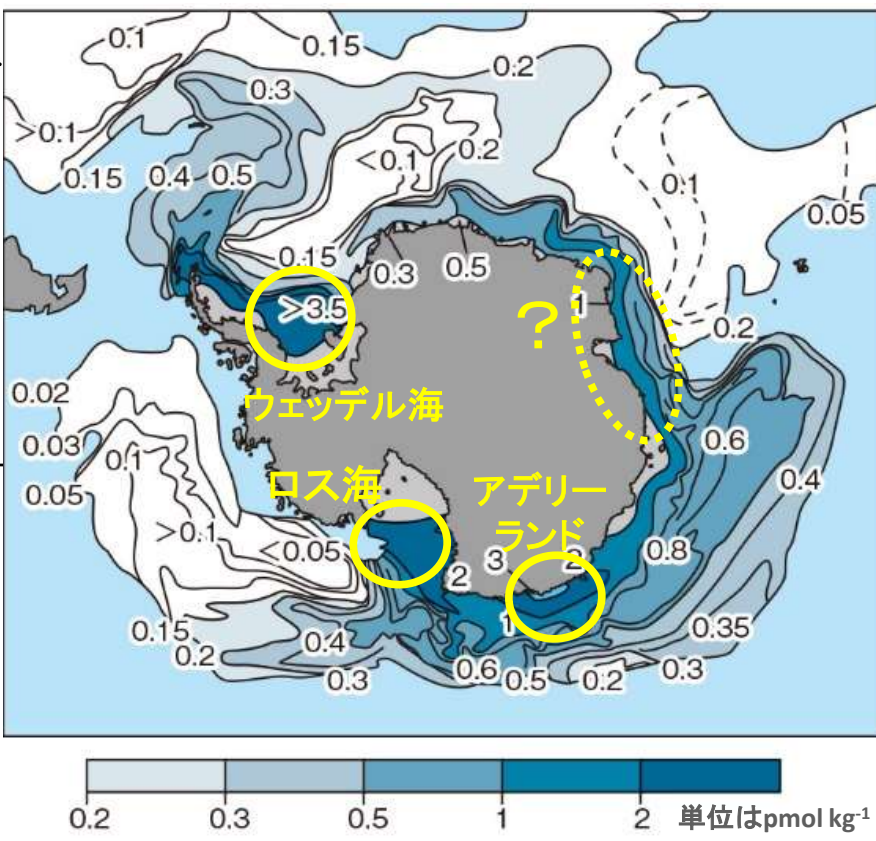
背景

海氷生産量マッピング: 衛星マイクロ波+熱収支



Tamura et al. (2008), Nihashi & Ohshima (2015)を加筆

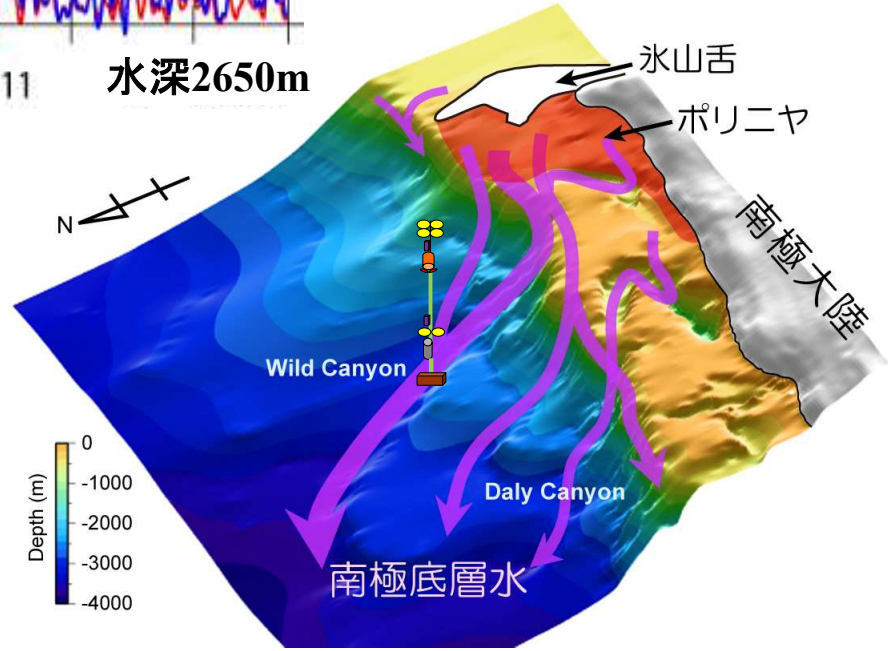
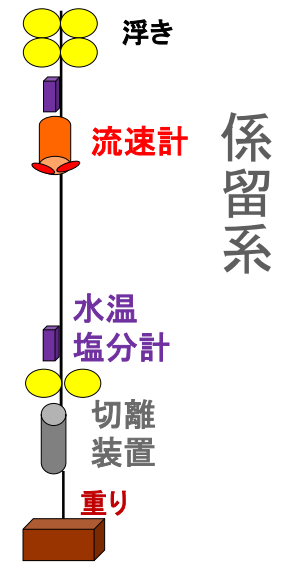
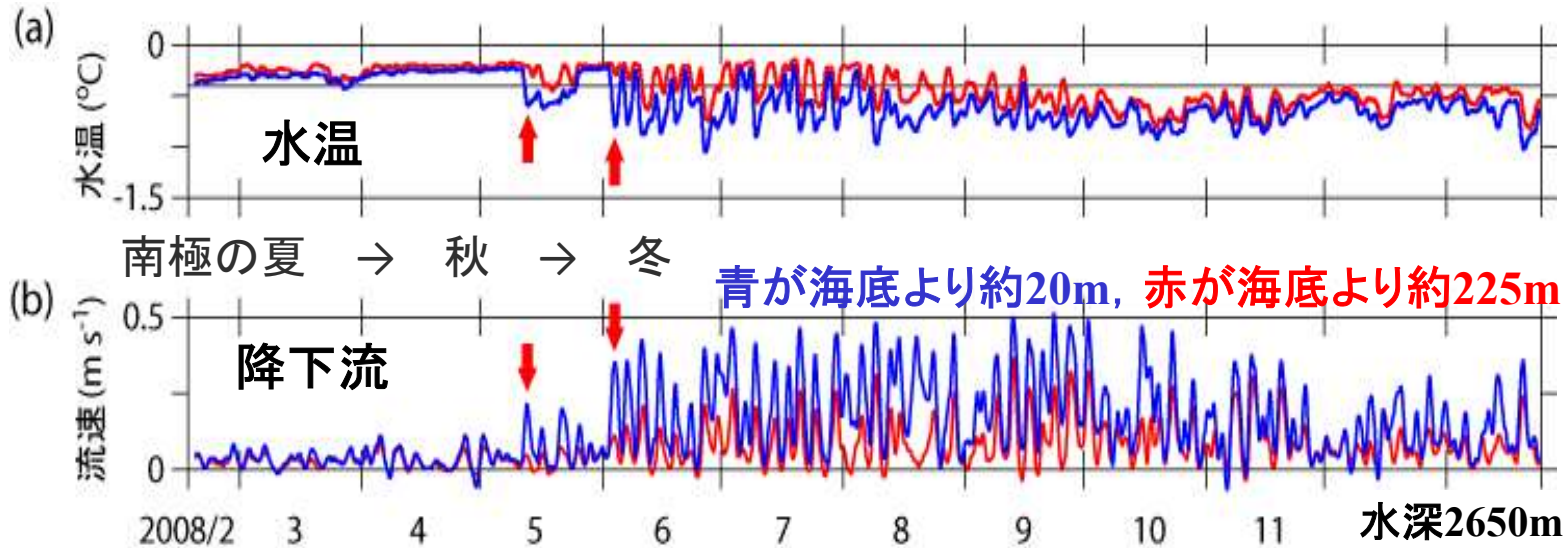
南極海の海底付近でのフロン(CFC)の濃度分布



Orsi et al.(1999)を元に青木が加筆

背景

係留系で捉えた、南極底層水の流出 (峡谷での1年間の時系列)

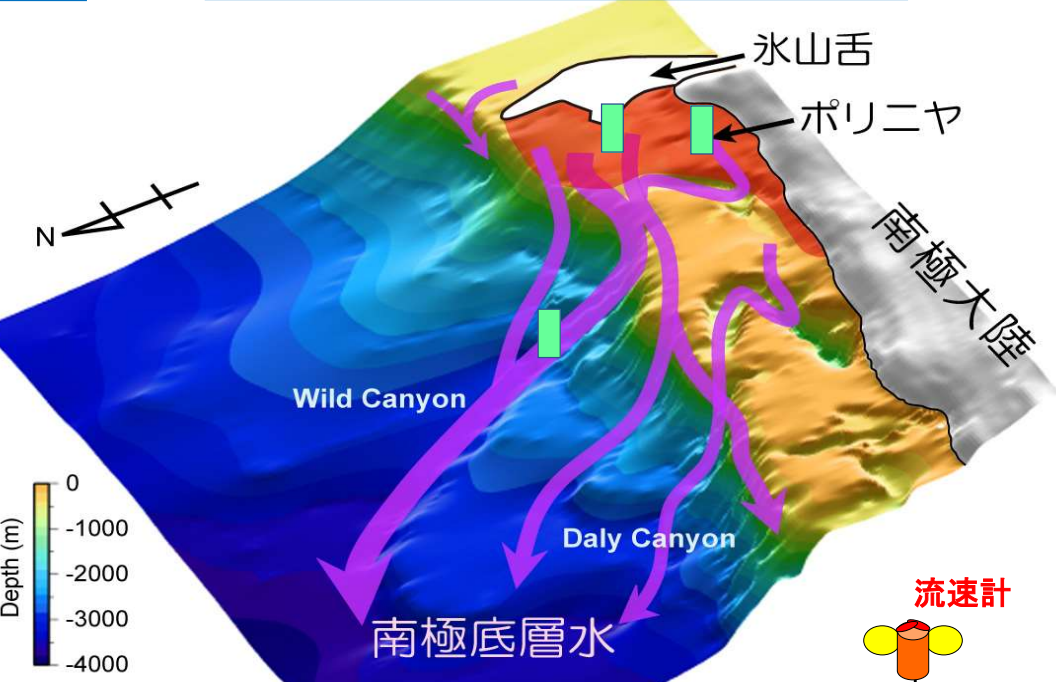
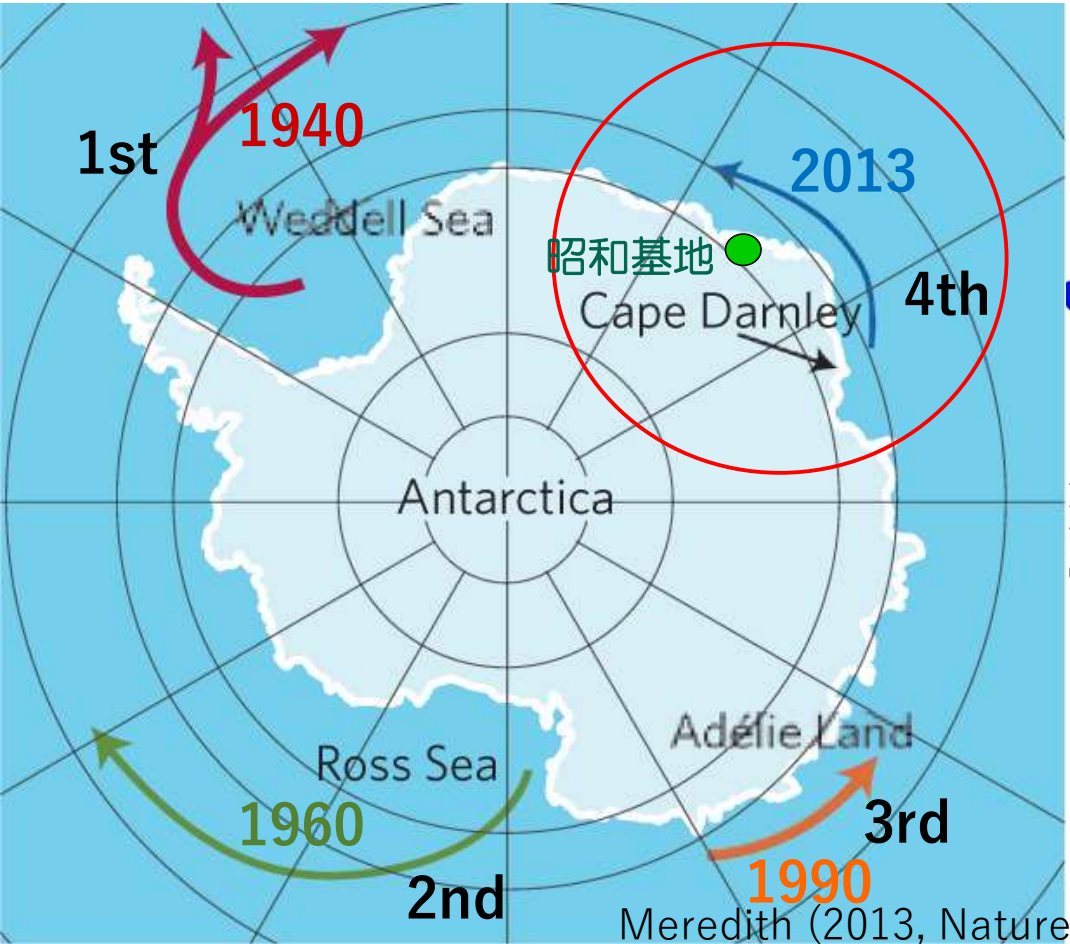


- ・冷たい重い水の到来に同期して降下流
- ・流れは底近くほど強い
- ・未知(第4)の南極底層水の発見

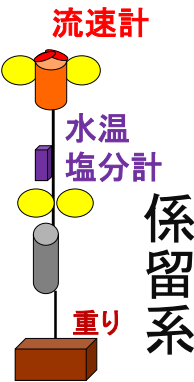
北大プレスリリース: 未知の南極底層水を発見
～海洋大循環を駆動する一番重い水～(2013年3月)

目的 未知(第4)の南極底層水の形成域の発見： ケープダンレーポリニヤ→底層水

なぜ・どのように底層水が生成される？ → ポリニヤ内での起源水の観測



南極地域観測隊による観測

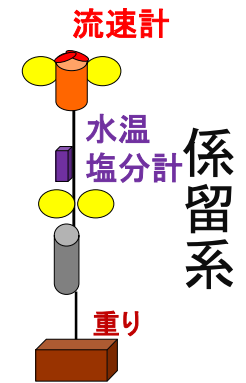
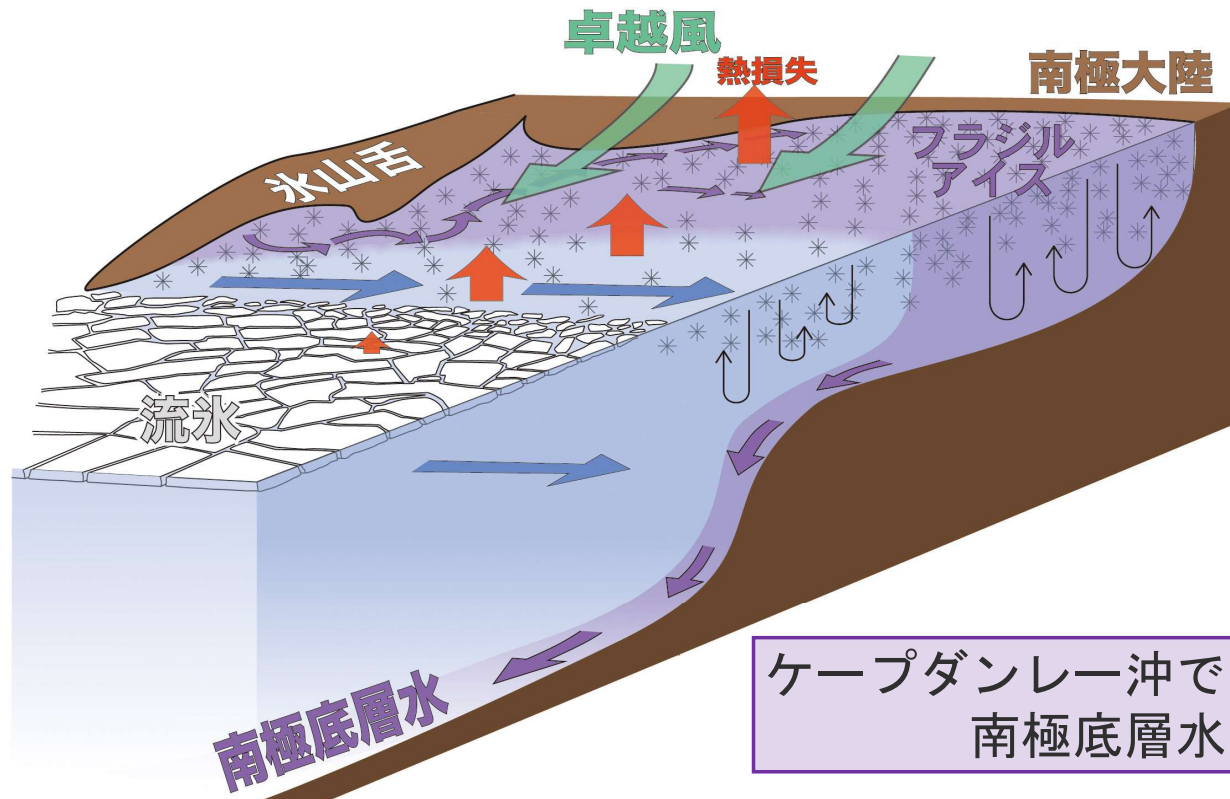


概要

プレス
リリース
10月21日

全海洋の深層に広がる南極底層水の起源水形成機構を発見
～海中深く大量に生成される海氷が海洋大循環を駆動する～

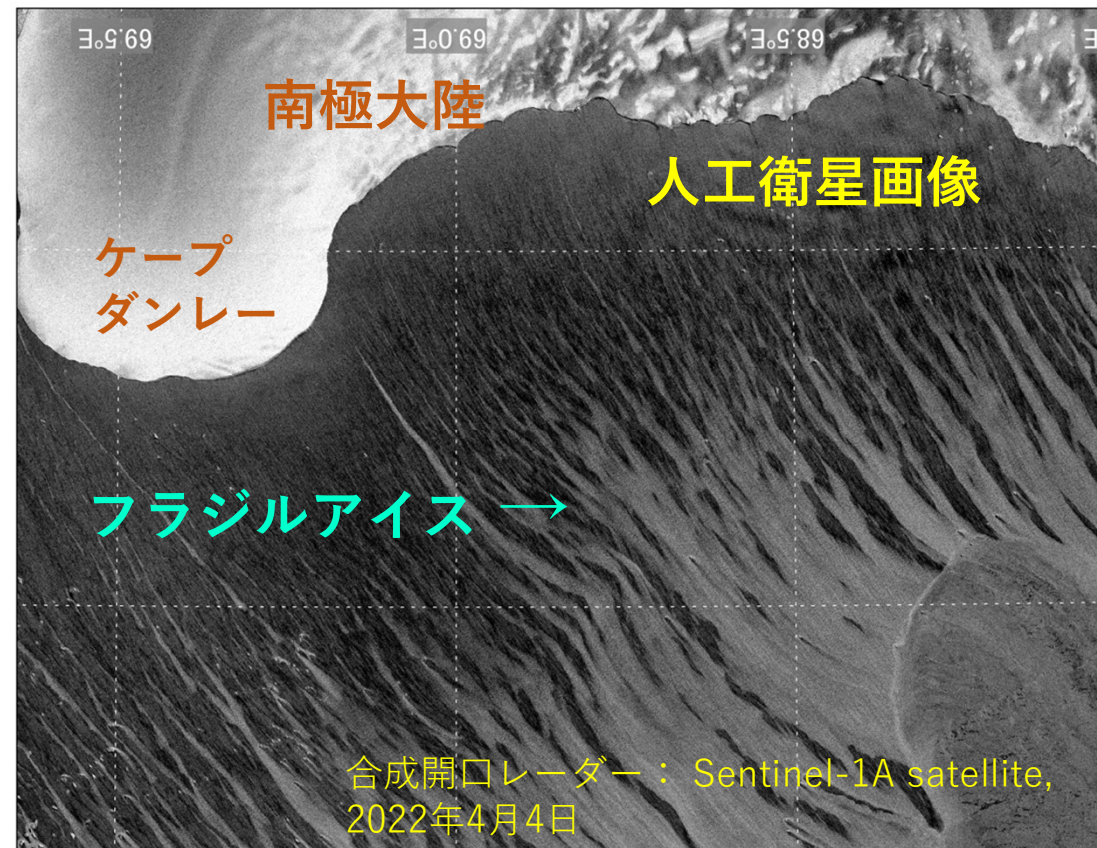
- ・南極底層水の起源水を作る海域（沿岸ポリニヤ）での通年の連続観測に成功。
- ・**フラジルアイス**（海中で生成される海氷）が大量に生成され重い水ができるメカニズムを発見。
- ・海洋大循環の駆動源である底層水の一形成機構の解明で、気候変動予測にも繋がることに期待。



ケーブダンレー沖でのフラジルアイス形成と南極底層水形成の模式図。

現場写真・画像

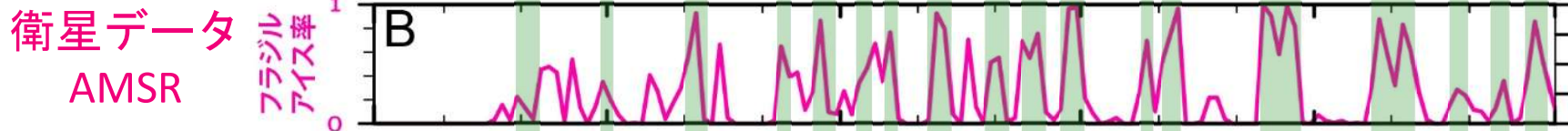
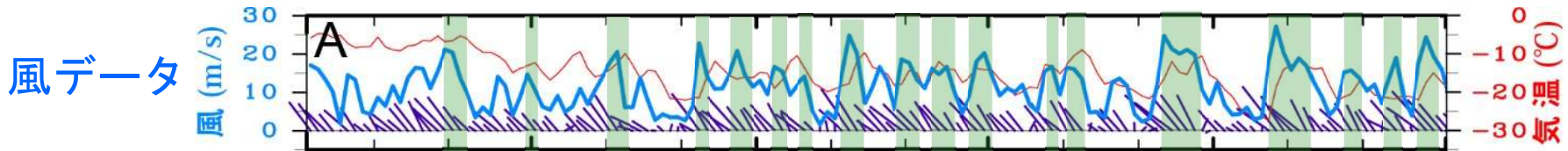
フラジルアイス：
乱流強度が強い時に、過冷却下の海中で生成される海氷



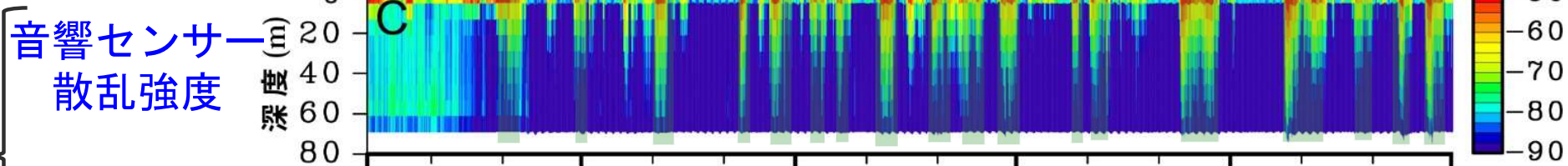
成果1

南極沿岸ポリニヤでは、初めての長期連続の海氷・海洋同時データの取得

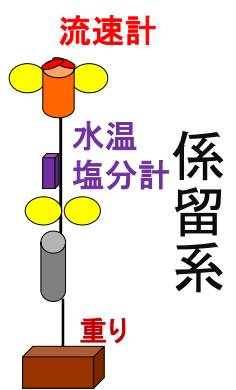
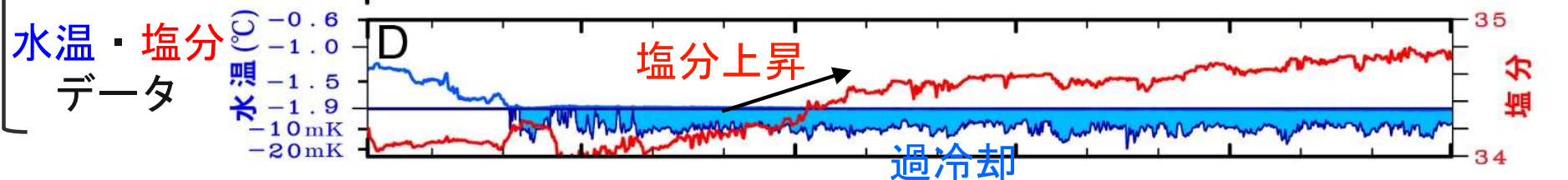
南極の夏 → 秋 → 冬



フラジルアイスを検知する手法



強いシグナル
フラジルアイス



- ・ 強風時に100m深程まで及ぶフラジルアイスの出現
- ・ 発見：こんな海中深くまで海氷生成が生ずる(過去の報告は30m深程)
- ・ 意味：冬中に頻繁に起こる → 予想を超える海氷生産

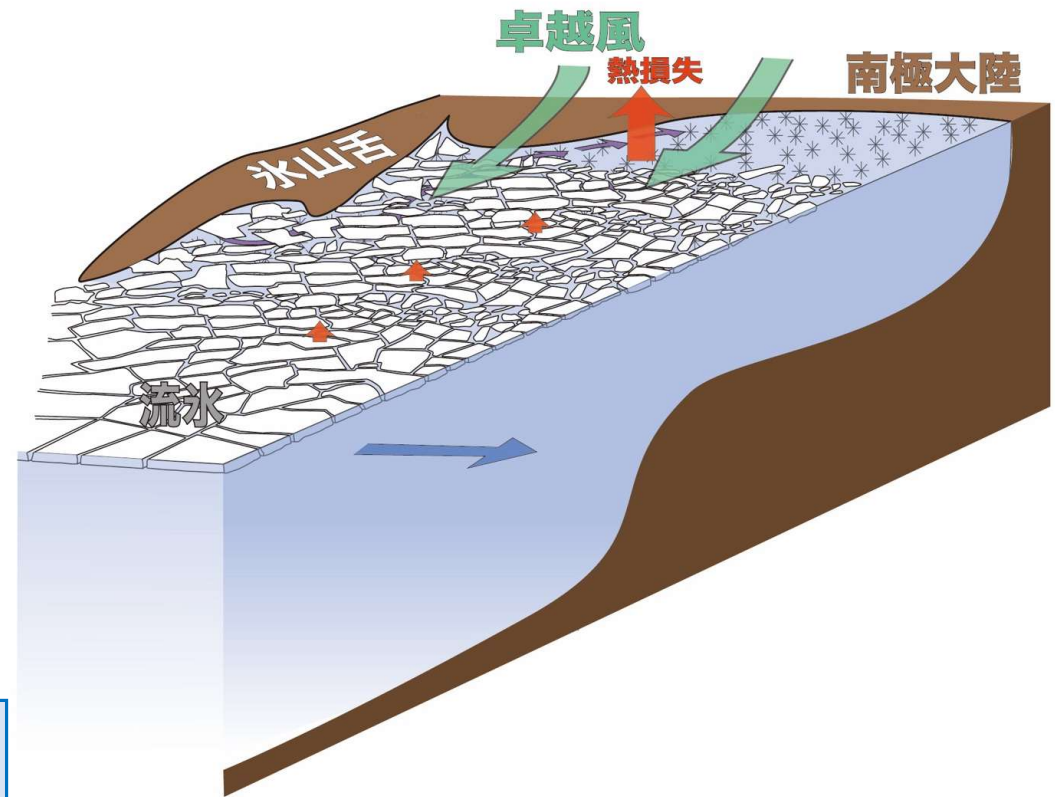
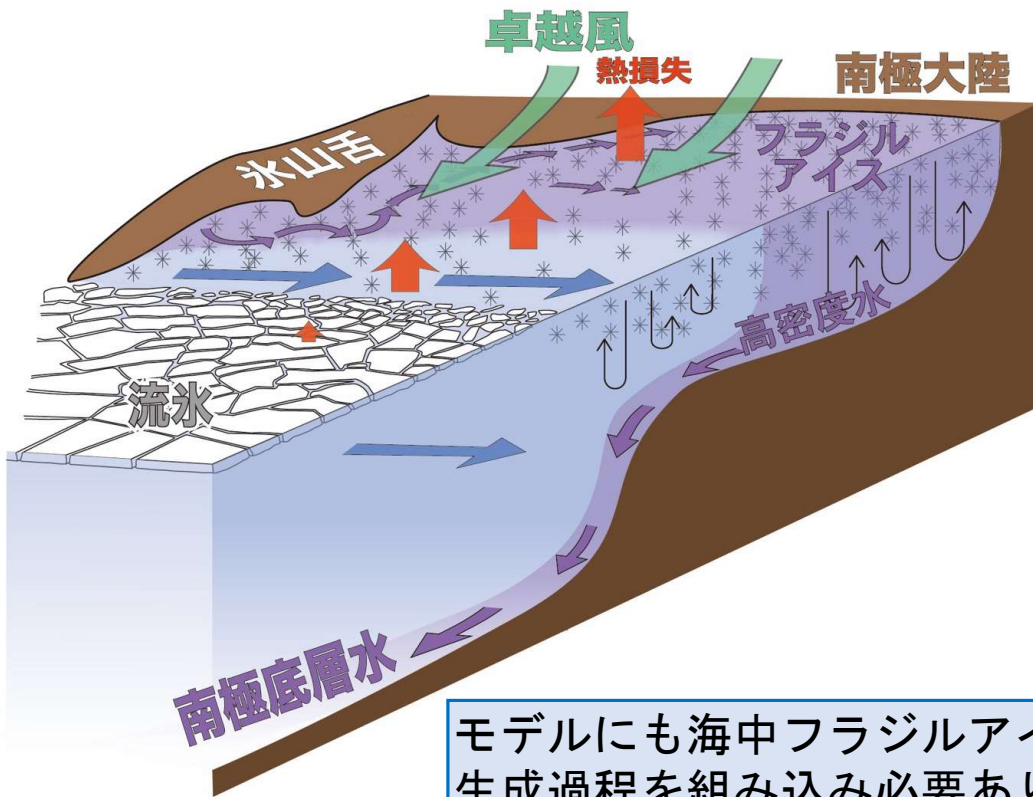
係留系データ

成果2

海中深くのフラジルアイス生成によって効率的に海氷生産が起こる仕組み

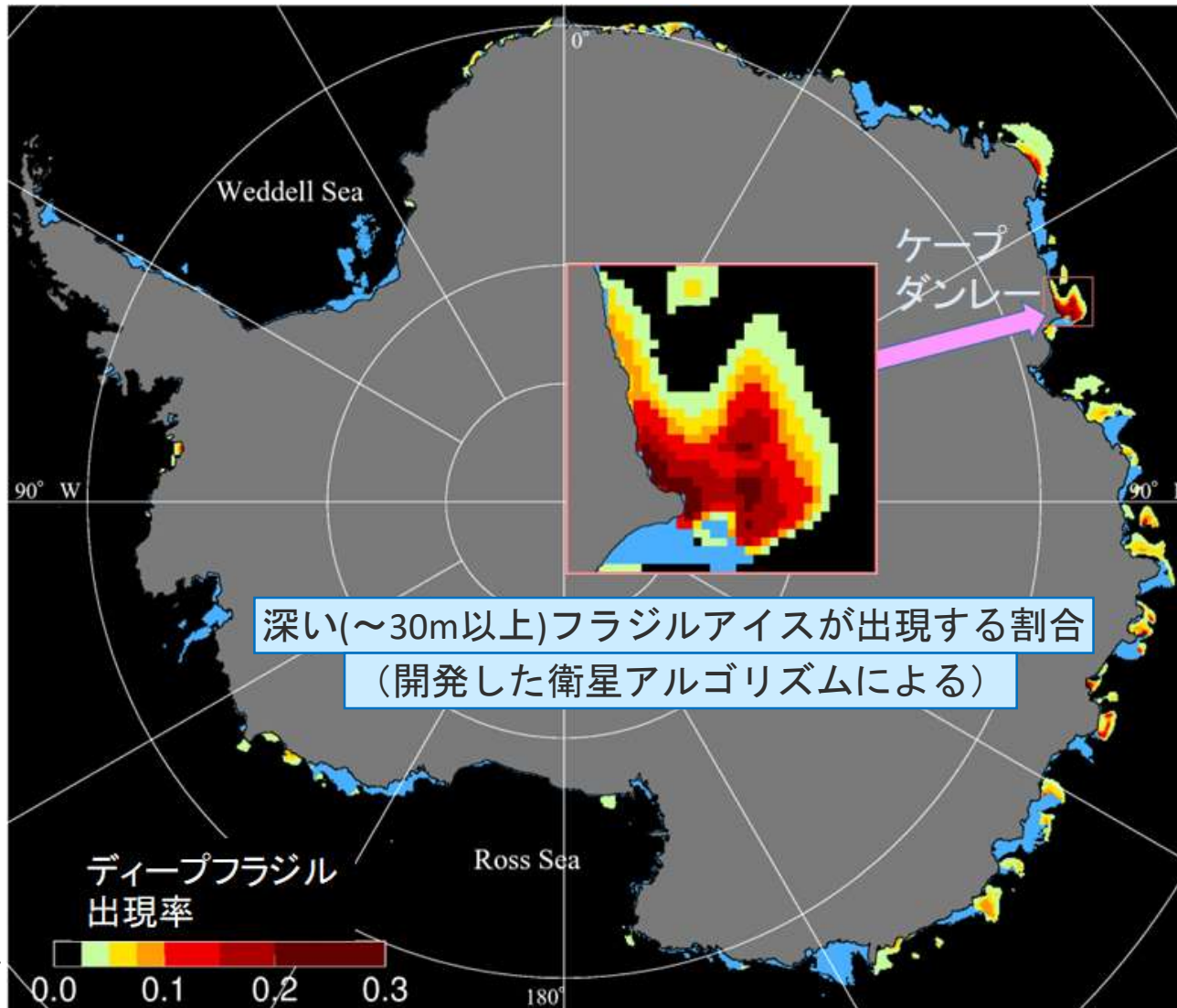
明らかになったポリニヤ高海氷生産過程
海中での海氷生成により開水面を維持

従来考えられていたポリニヤ過程



モデルにも海中フラジルアイス
生成過程を組み込み必要あり
→ 正しい底層水形成を表現

成果3 数あるポリニヤの中で、なぜケープダンレーポリニヤで底層水が形成されるのか？



ケープダンレーポリニヤでは

海中のフラジルアイス生成が圧倒的



効率的な海氷生産メカニズム

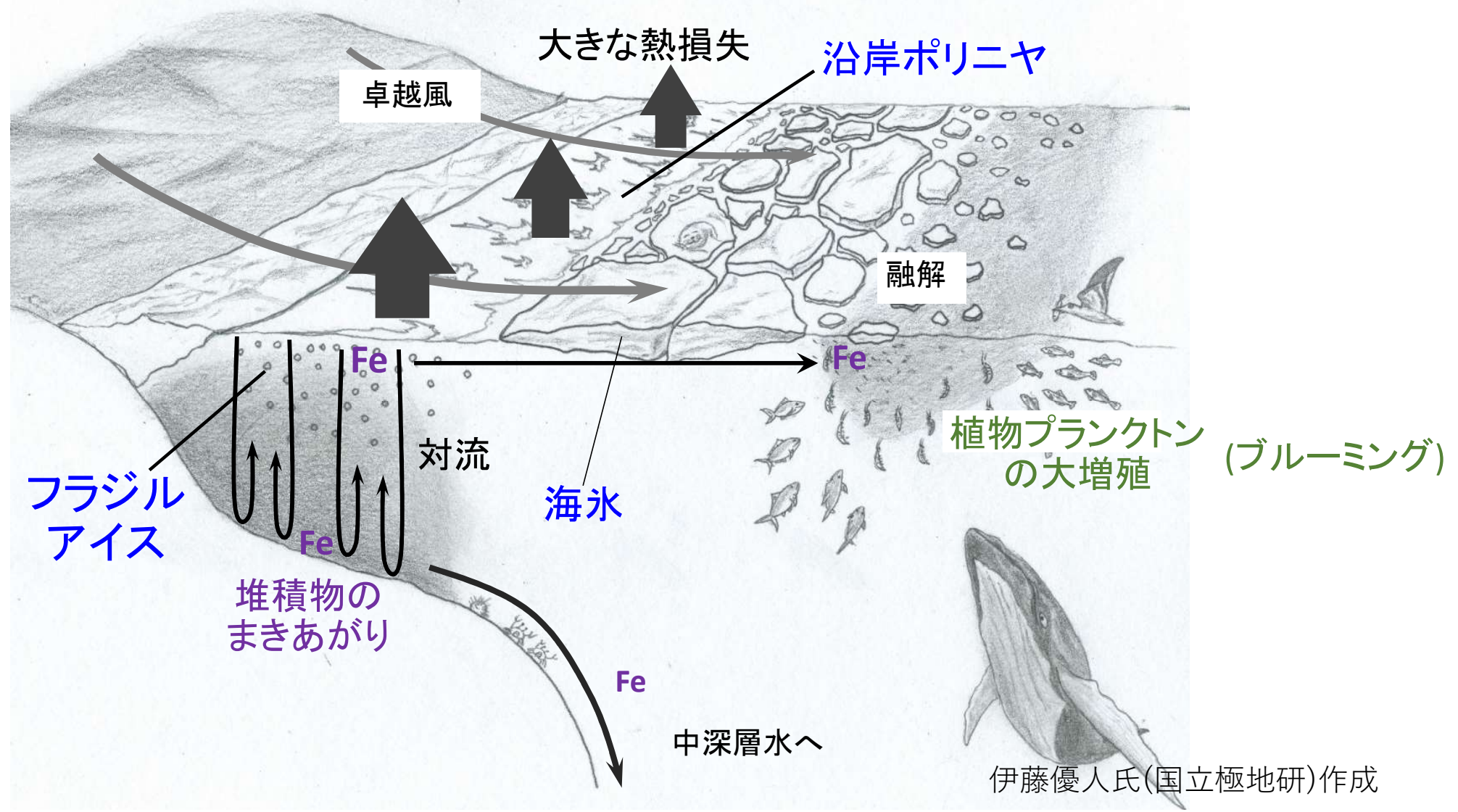


高密度水が生成→南極底層水の形成

ただし、他のポリニヤでも
深いフラジルアイス形成は生ずる！

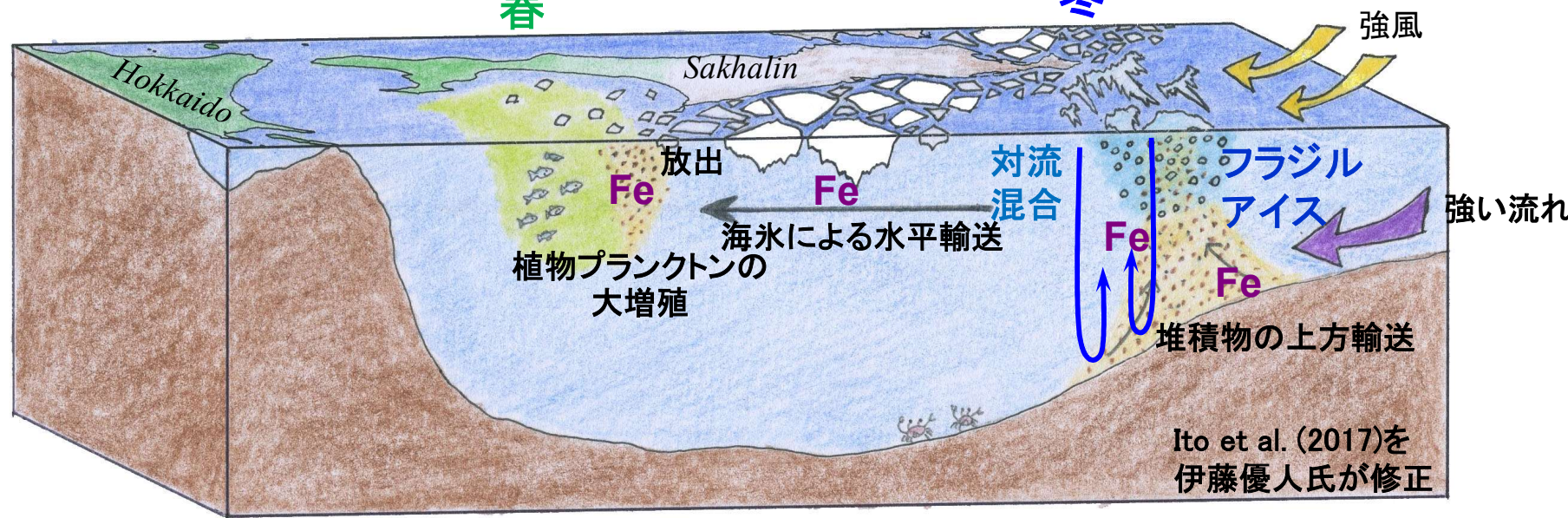
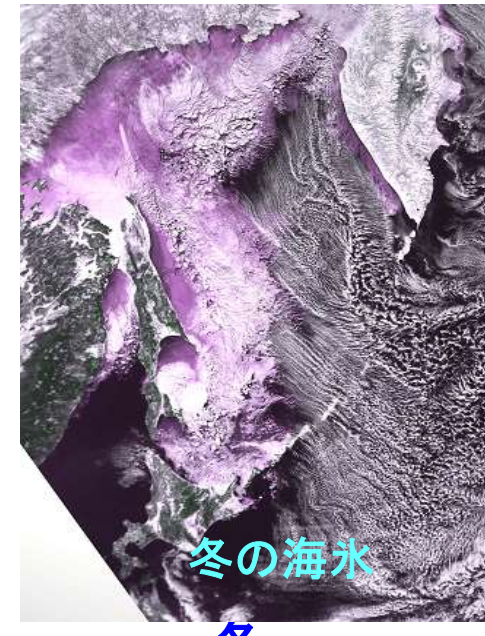
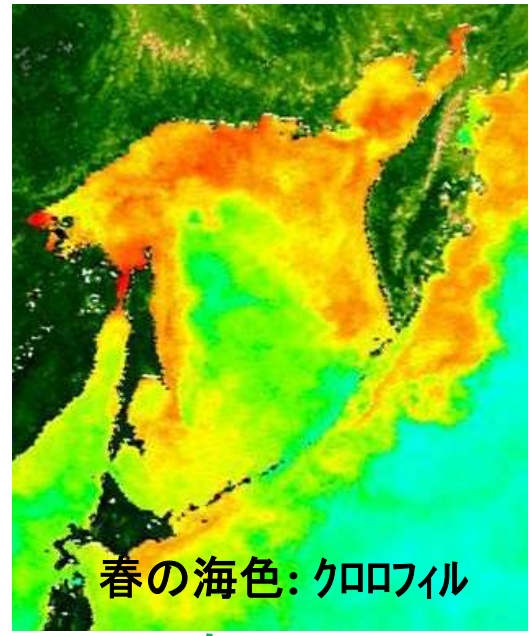
成果4

海中で卓越するフラジルアイス生成は物質循環・生物生産にも重要！



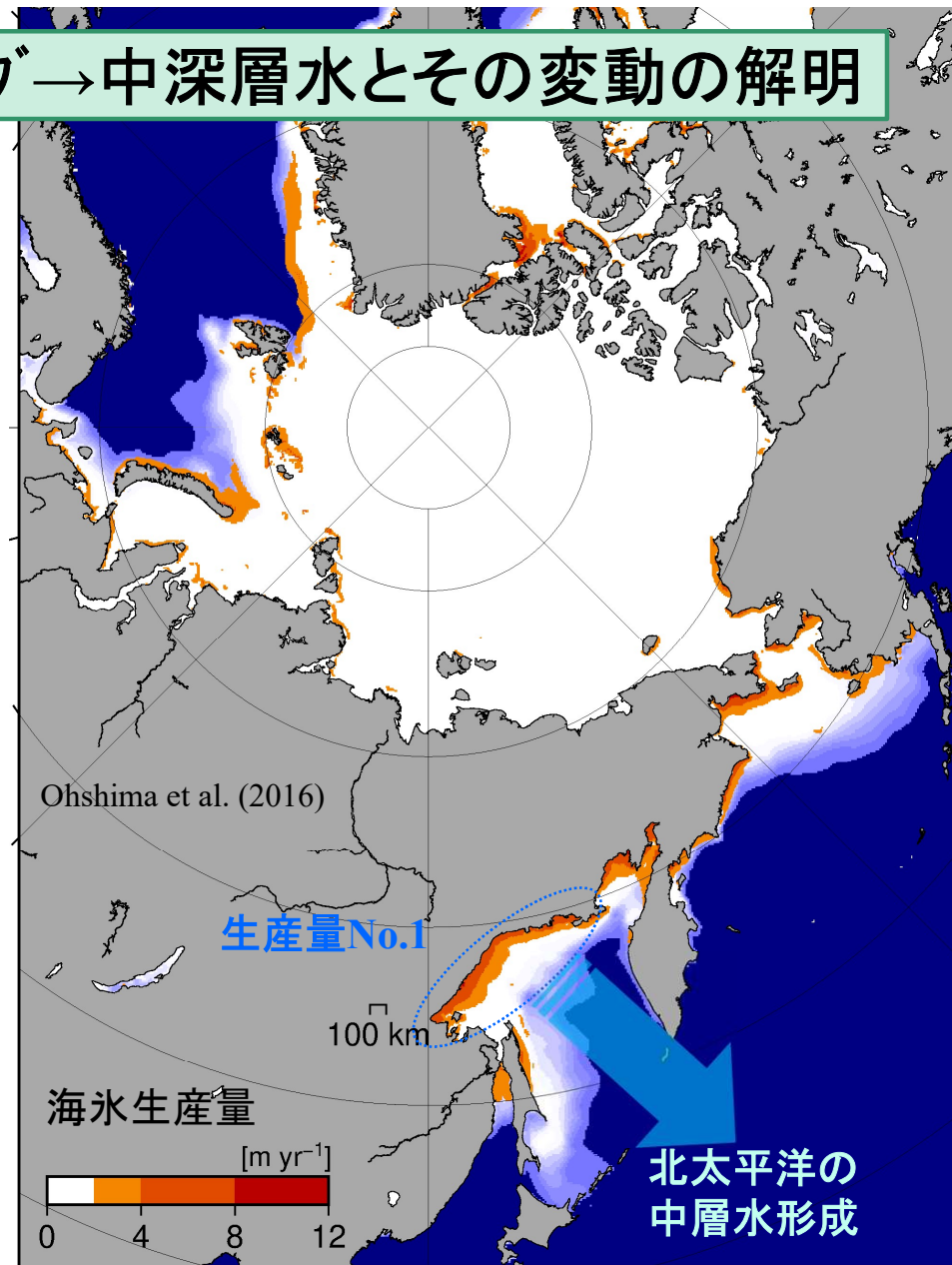
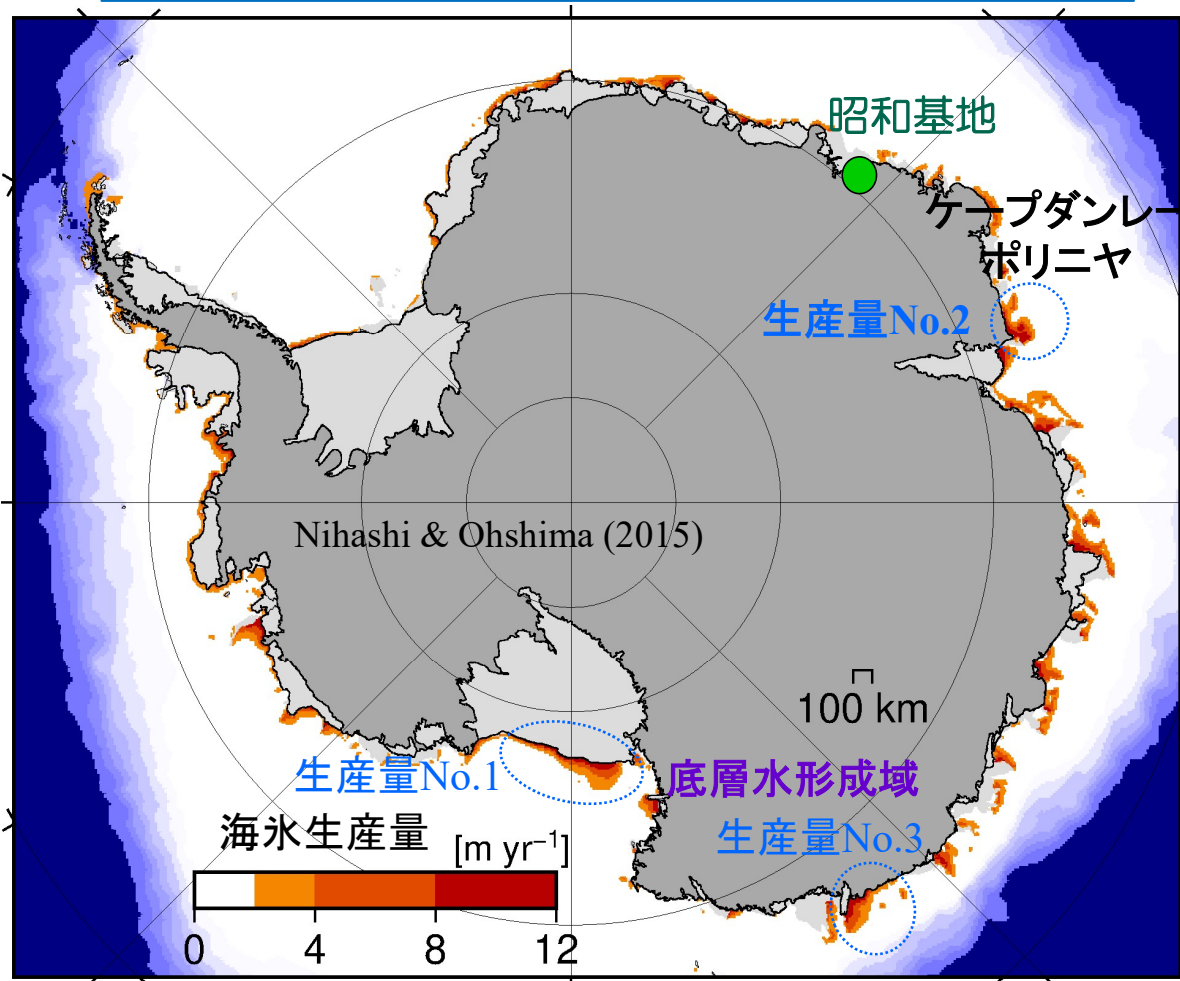
今後の展望1

オホーツク海における海氷を介する物質循環・生物生産



今後の展望2 海水生産量のグローバルマッピング→中深層水とその変動の解明

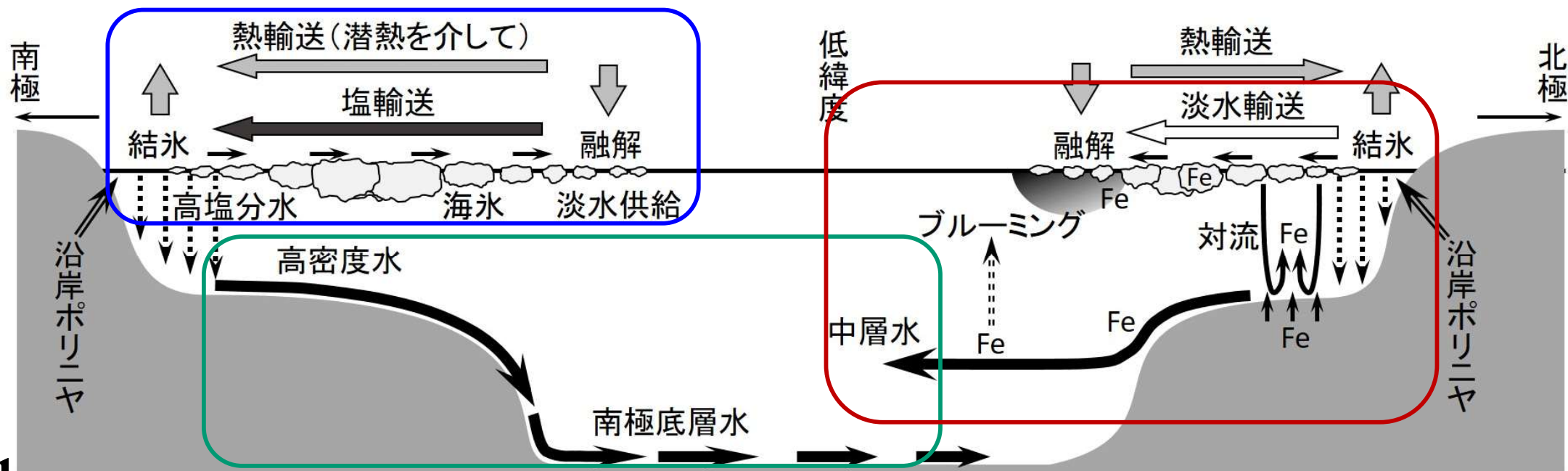
衛星マイクロ波から薄氷域を検知+熱収支計算



今後の展望3

「海氷が導く熱・塩・物質のグローバル輸送」の解明(科研S)

1. 海氷生産融解変動が誘起する中深層水・循環の変動解明
南極底層水の減少はすべての全球気候モデルでは表現されていない(IPCC)
2. 過去45年の海氷生産量・融解量のデータセット構築(世界初)
データセットは公開 → 様々なモデルの検証・境界条件データ
3. 海氷の結氷・融解に伴って生ずる物質(鉄)輸送プロセスの解明

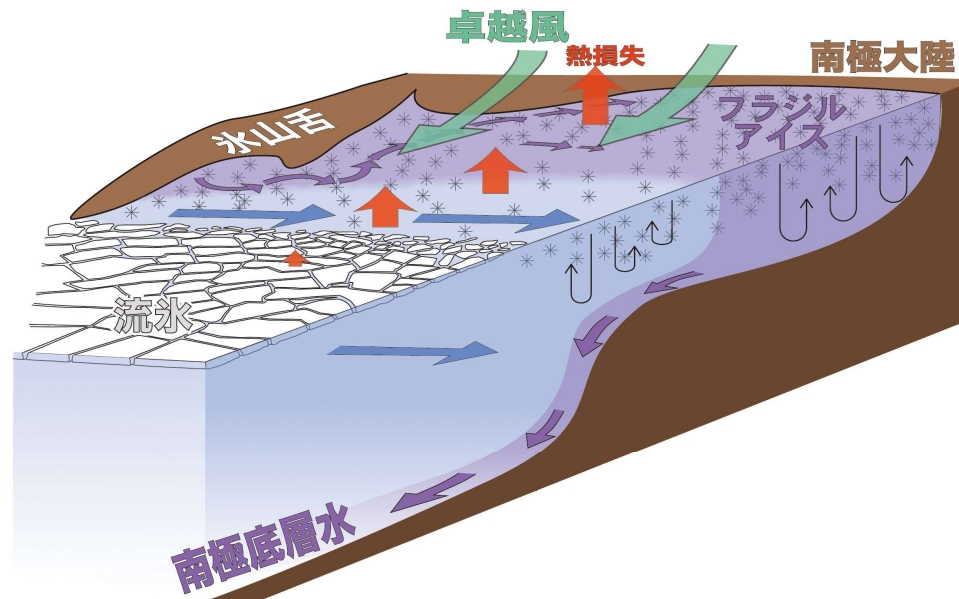


今研究の成果のまとめ

プレスリリース:
10月21日

全海洋の深層に広がる南極底層水の起源水形成機構を発見
～海中深く大量に生成される海水が海洋大循環を駆動する～

- ・ 南極沿岸で100mもの深さまで沈み込むような海水生成が生ずることを初めて観測（発見）
今までは深くても20-30m程度と考えられていた
- ・ これによって非常に効率的な海水生成が行われ、重い水が生成され南極底層水が形成
このシステムが最も有効に働く南極ケーブダンレー沖で底層水が形成
- ・ 今回明らかになった高海水生産過程を、今後モデルに取り入れることが必要
海洋大循環の駆動する底層・中層水形成をより正しく表現することになり、気候変動予測にも繋がる
- ・ この海中生成されるフラジルアイスは堆積物(栄養分)を取り込んで輸送することも示唆
植物プランクトン増殖を促進し高生物生産に寄与している可能性



連絡先

北海道大学低温科学研究所 水・物質循環部門 教授 大島慶一郎

TEL : 011-706-5481

E-mail : ohshima@lowtem.hokudai.ac.jp