

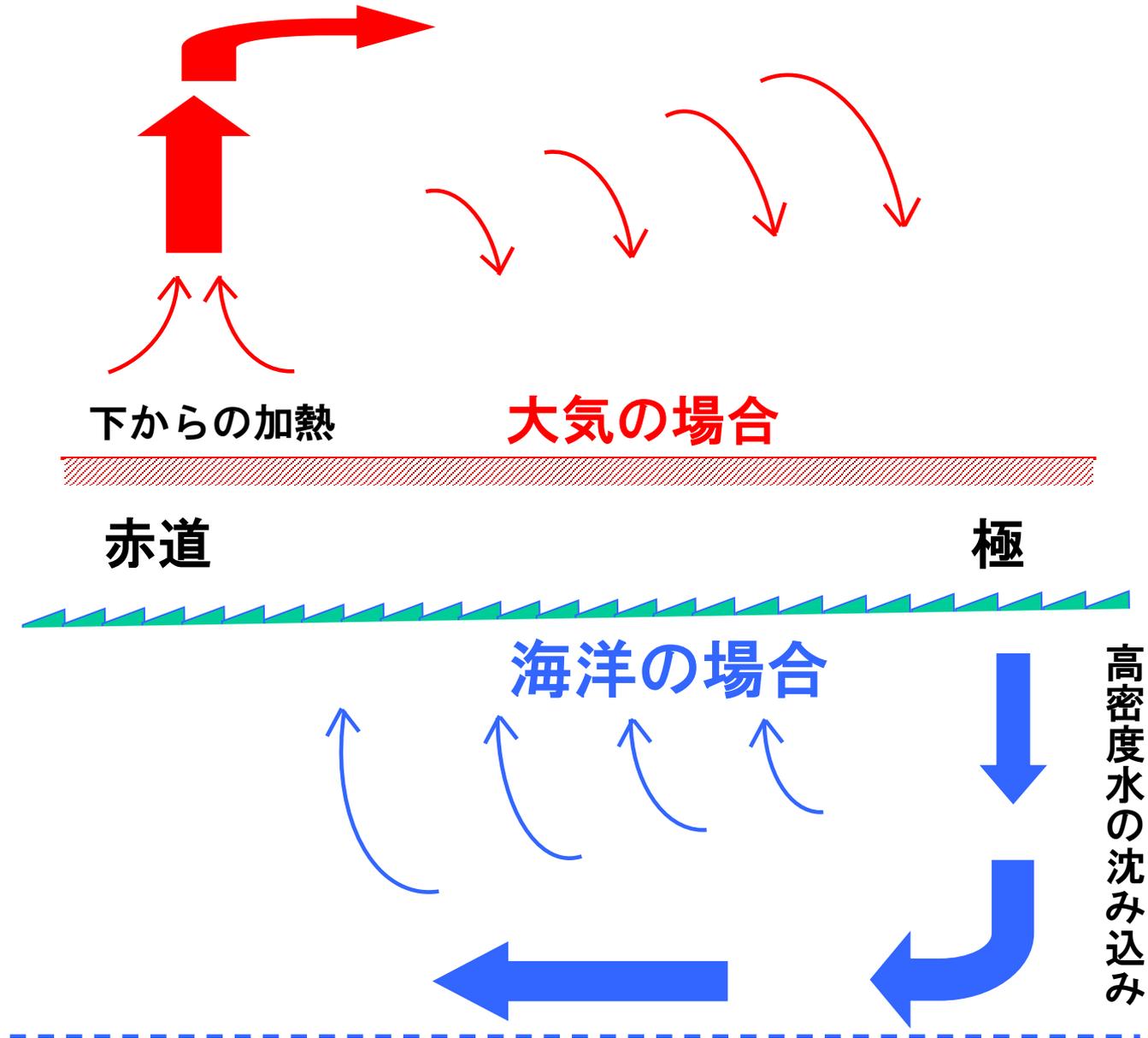
海氷がつくる海洋大循環とその変動

北海道大学低温科学研究所 大島 慶一郎

シンポジウム

「激変する地球環境の現状と未来像」

大気と海洋の地球規模鉛直循環



海洋子午面循環：熱塩循環（百-千年スケール）

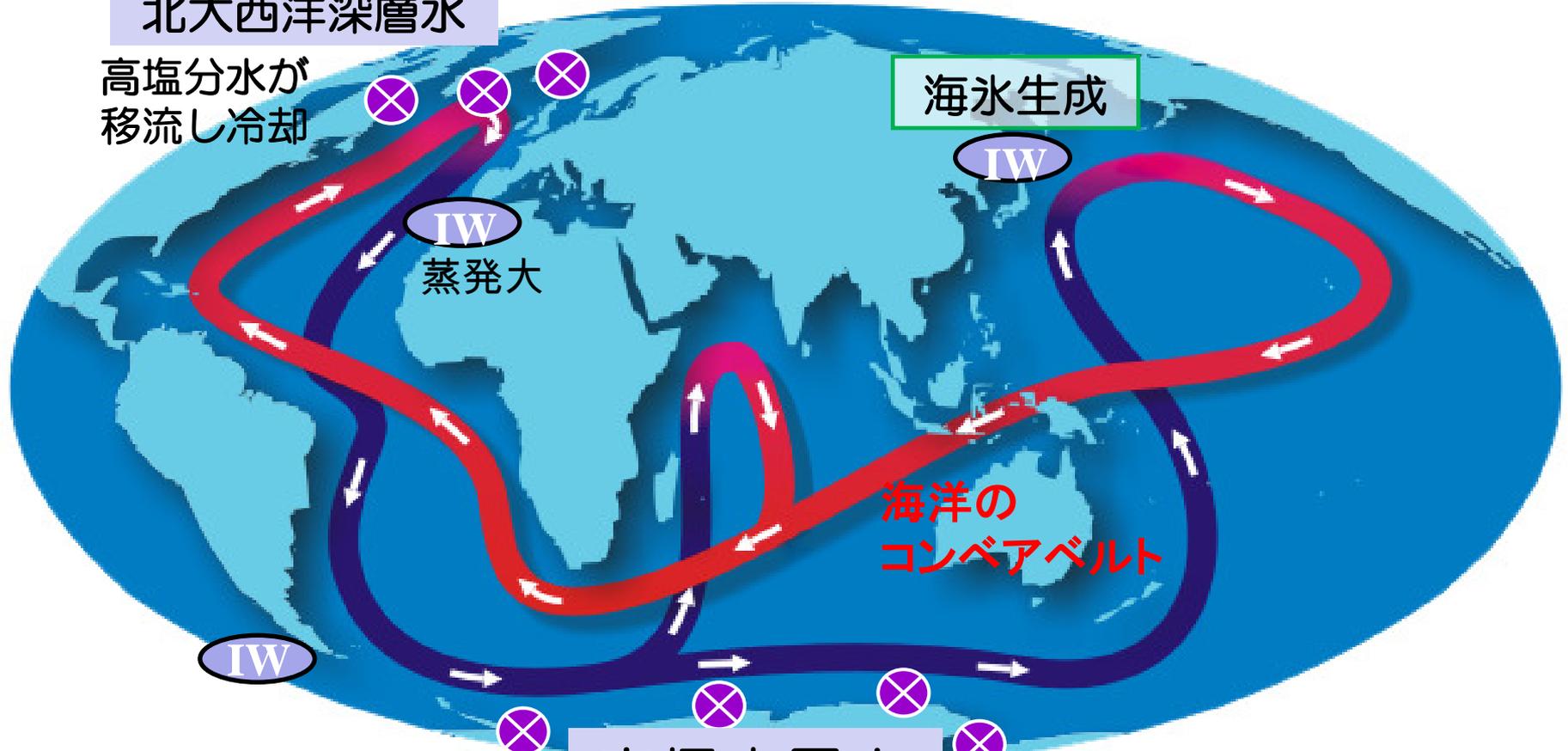
深層水・中層水形成

海水生成（塩分排出）
蒸発—降水

北大西洋深層水

高塩分水が
移流し冷却

海水生成



南極底層水

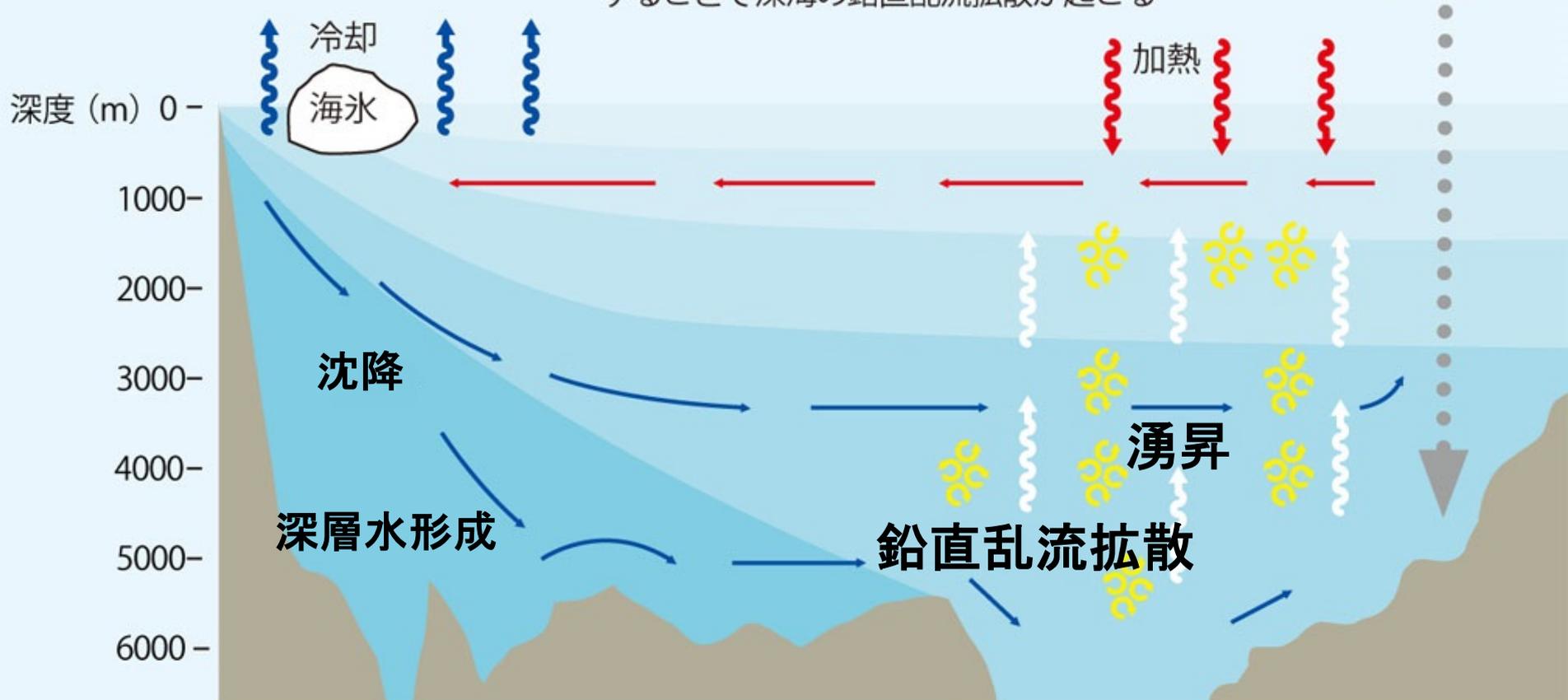
海水生成 → 塩分排出

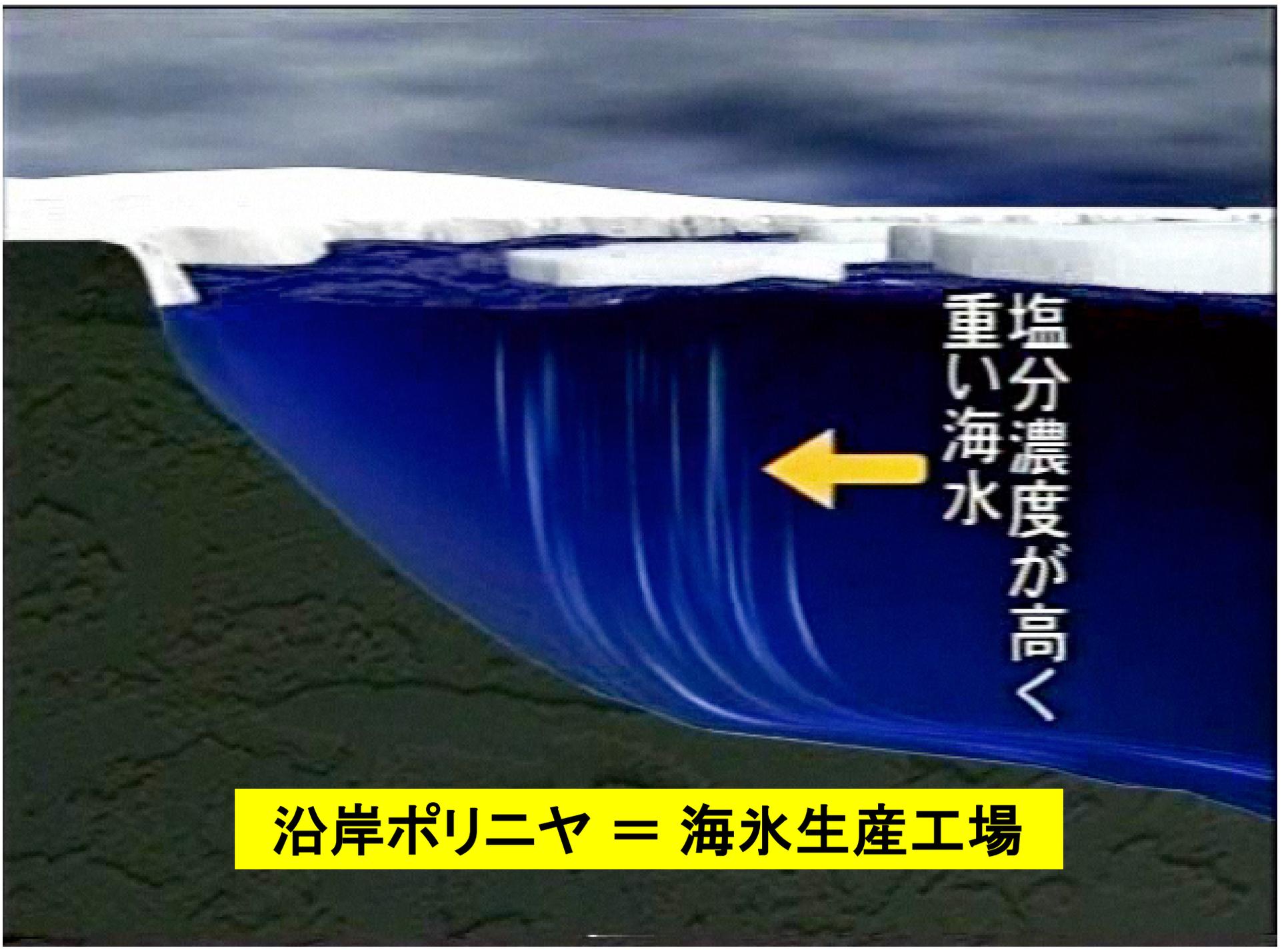
Modified from NOAA
and NASA website

海洋子午面循環はどう閉じる？

月

→月の潮汐力が海水を動かすことにより海底地形上で内部重力波が励起され、それが砕波することで深海の鉛直乱流拡散が起こる

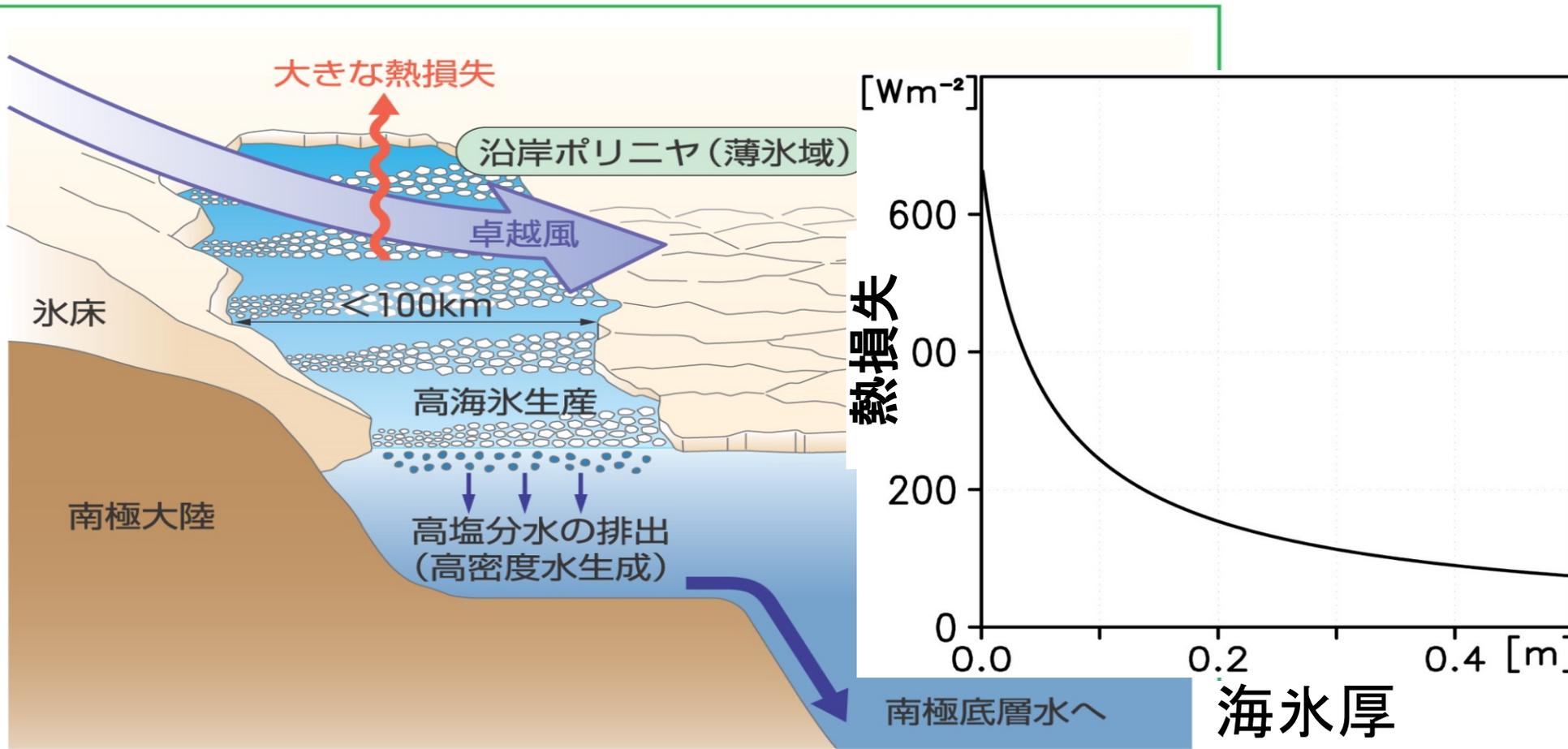




塩分濃度が高く
重い海水

沿岸ポリニヤ = 海水生産工場

沿岸ポリニヤ → 海氷生産工場

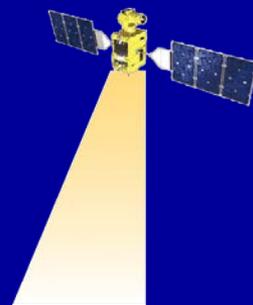


海氷がたくさんできるほど、塩分が排出され、重い水ができる

マイクロ波放射計による薄氷厚アルゴリズム

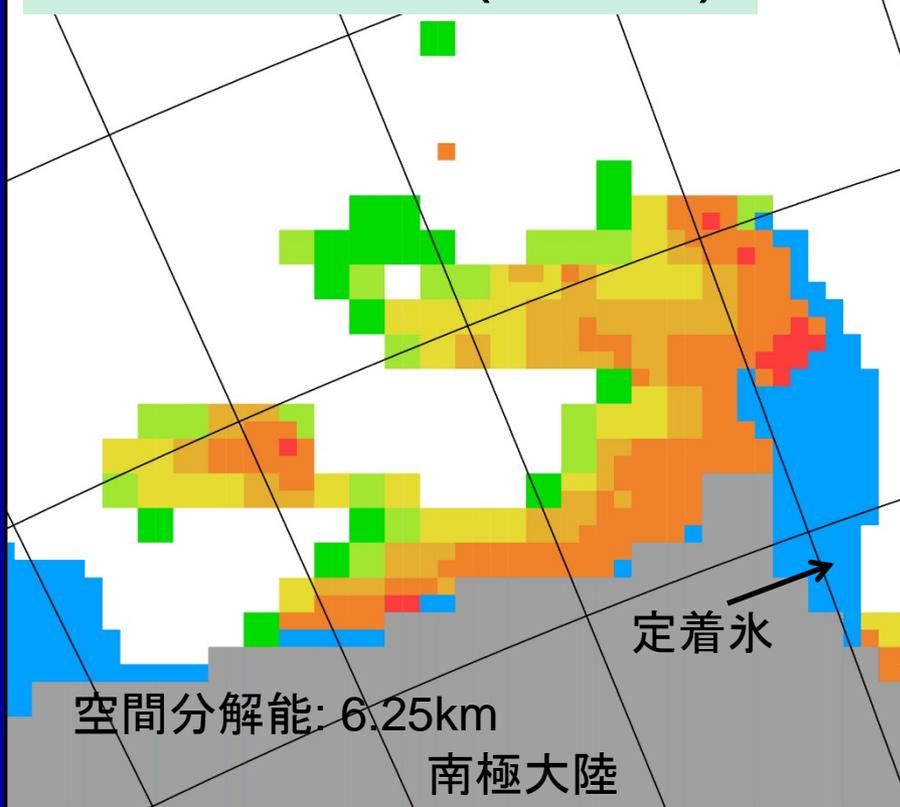
→ 熱収支計算による熱損失 = 海氷生産量

- ・ マイクロ波放射計 (AMSR) により薄氷厚検出 (アルゴリズム)
- ・ 熱収支計算 ← 氷厚データ + 大気データ
- ・ 奪われる熱はすべて海水生産に使われると仮定



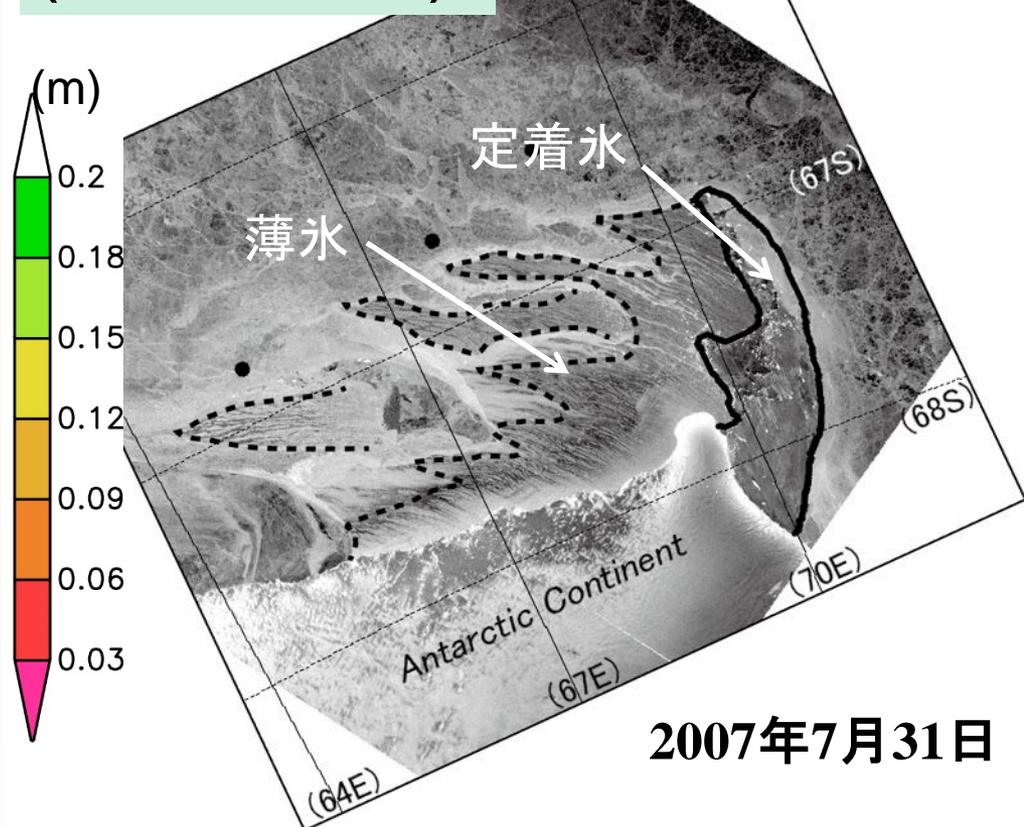
海氷生産量を全球で毎日見積もることができる

マイクロ波放射計 (AMSR-E)



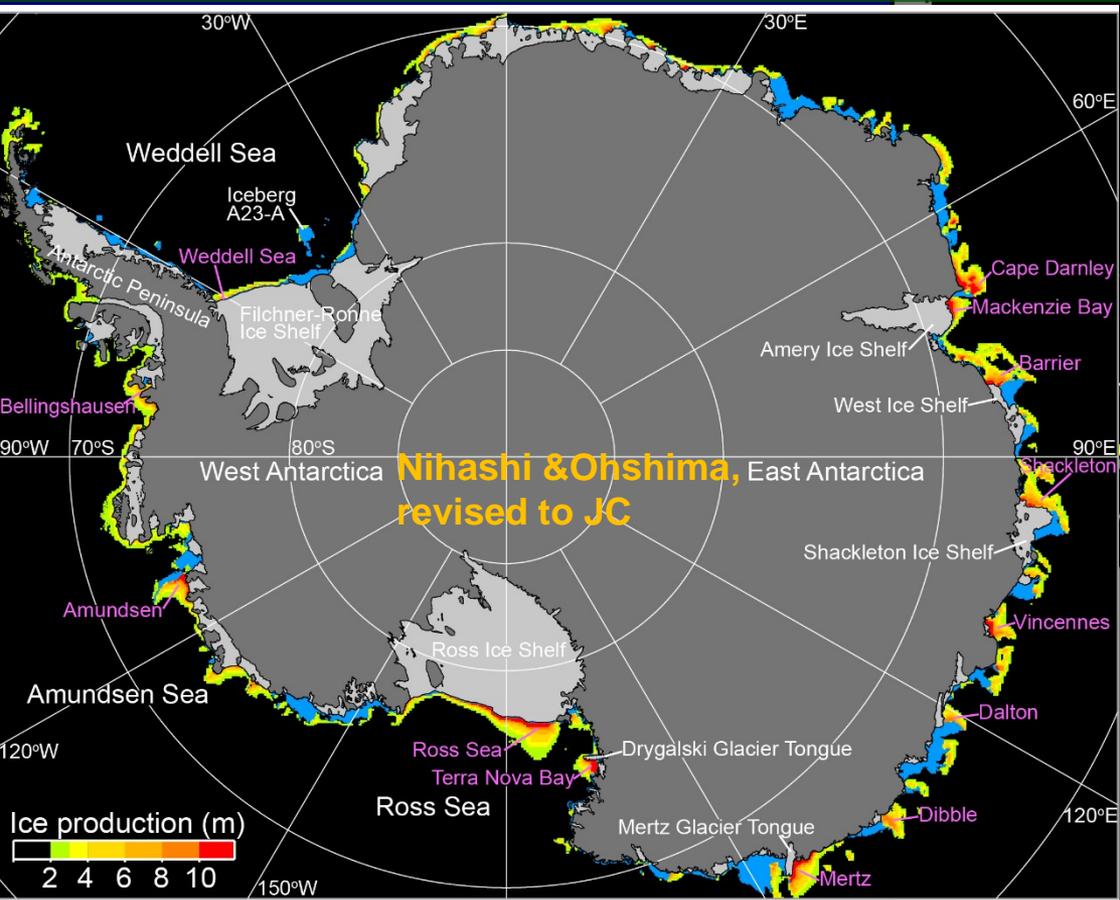
(ケープダンレーポリニヤ, 東南極)

合成開口レーダー (ALOS PALSAR)

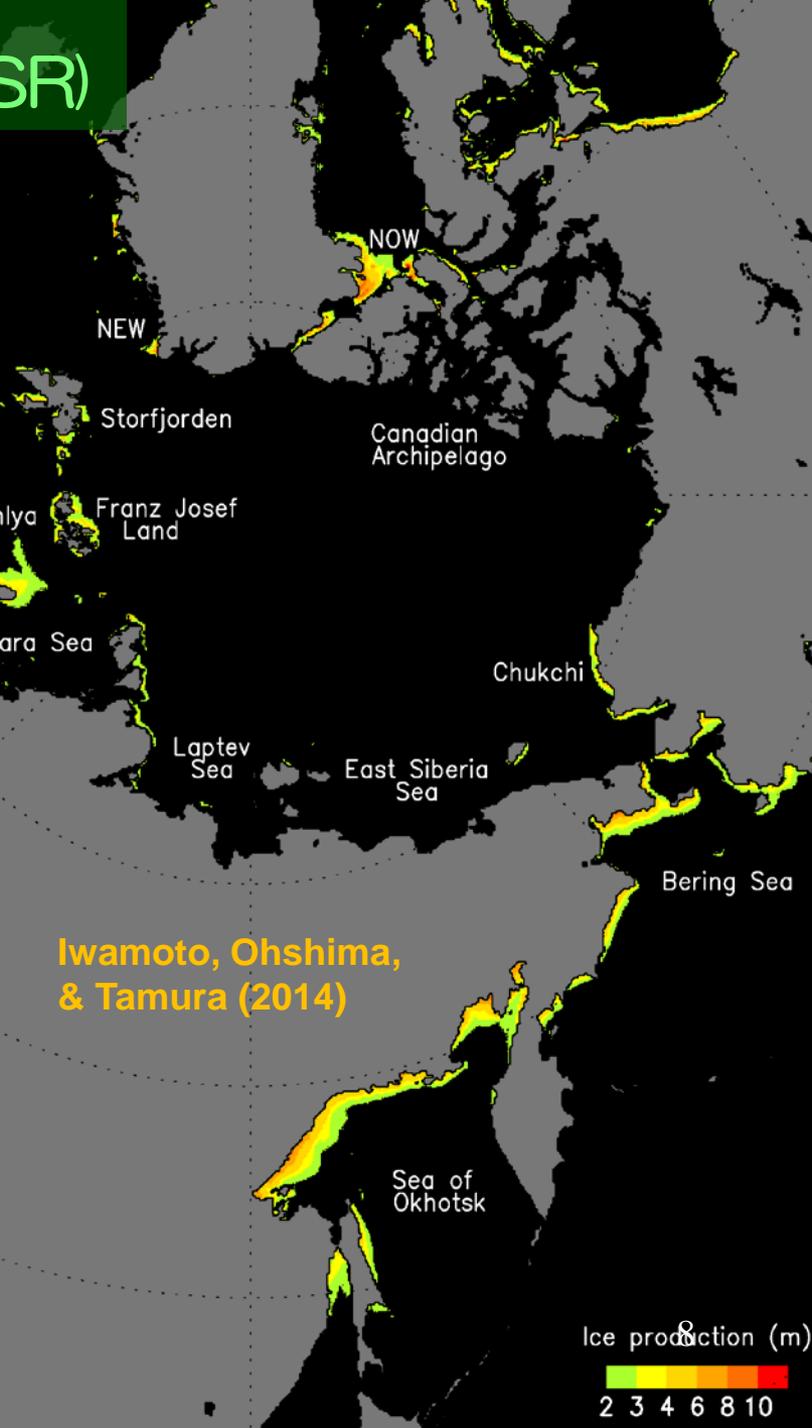


2007年7月31日

海氷生産量のグローバルマッピング (by AMSR)

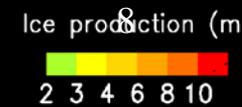


Nihashi & Ohshima, East Antarctica revised to JC



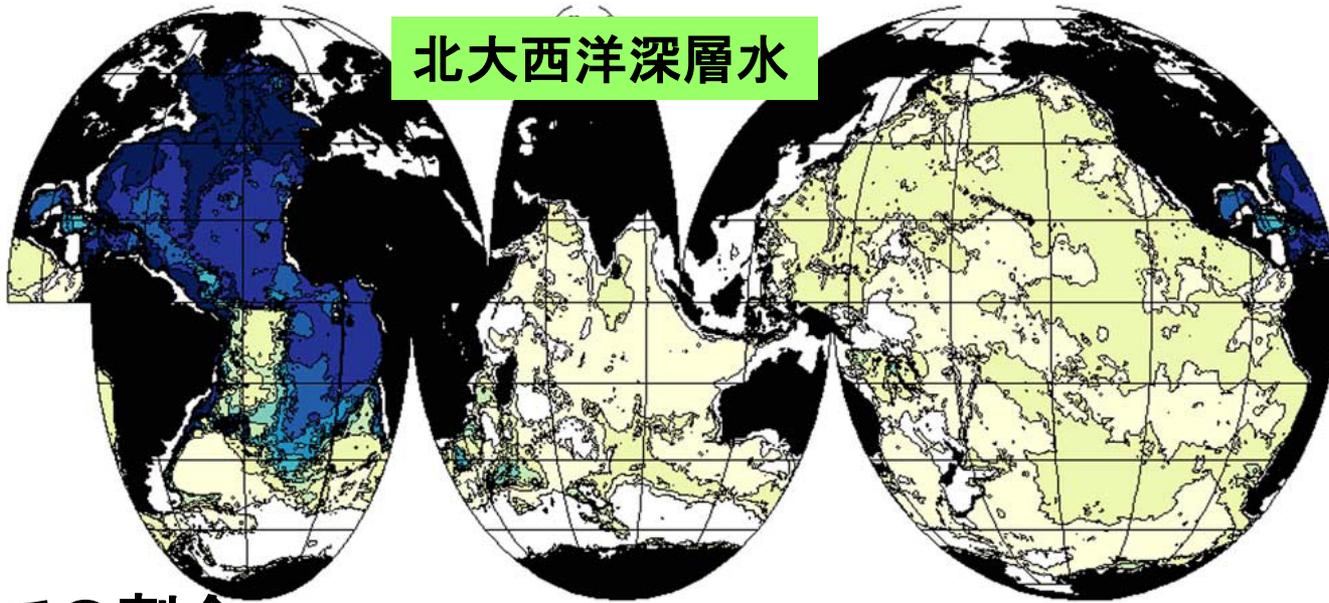
Iwamoto, Ohshima, & Tamura (2014)

南極海: 高海氷生産
 → 底層水生成
 北極海: 低海氷生産
 林-ツ海: 北半球で最大



Johnson(2008)

北大西洋深層水

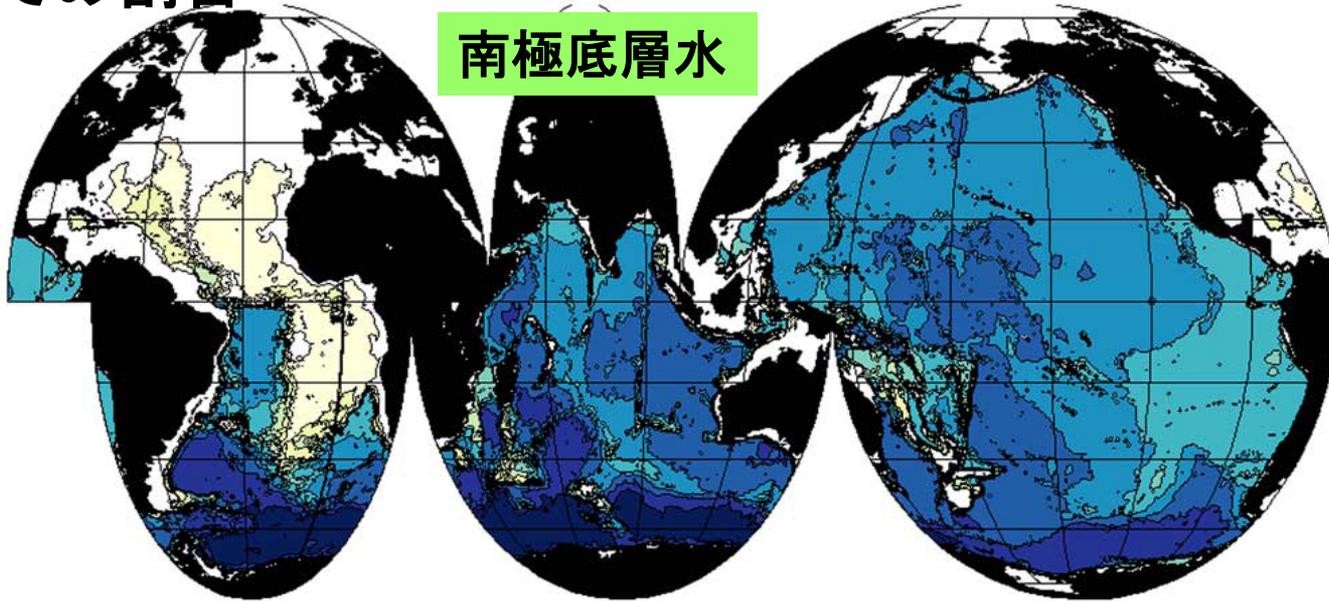


海水の性質から
2つの深層水の
割合を同定

ポテンシャル水温
塩分
渦位
溶存酸素
硝酸
リン
シリカ

底層での割合

南極底層水



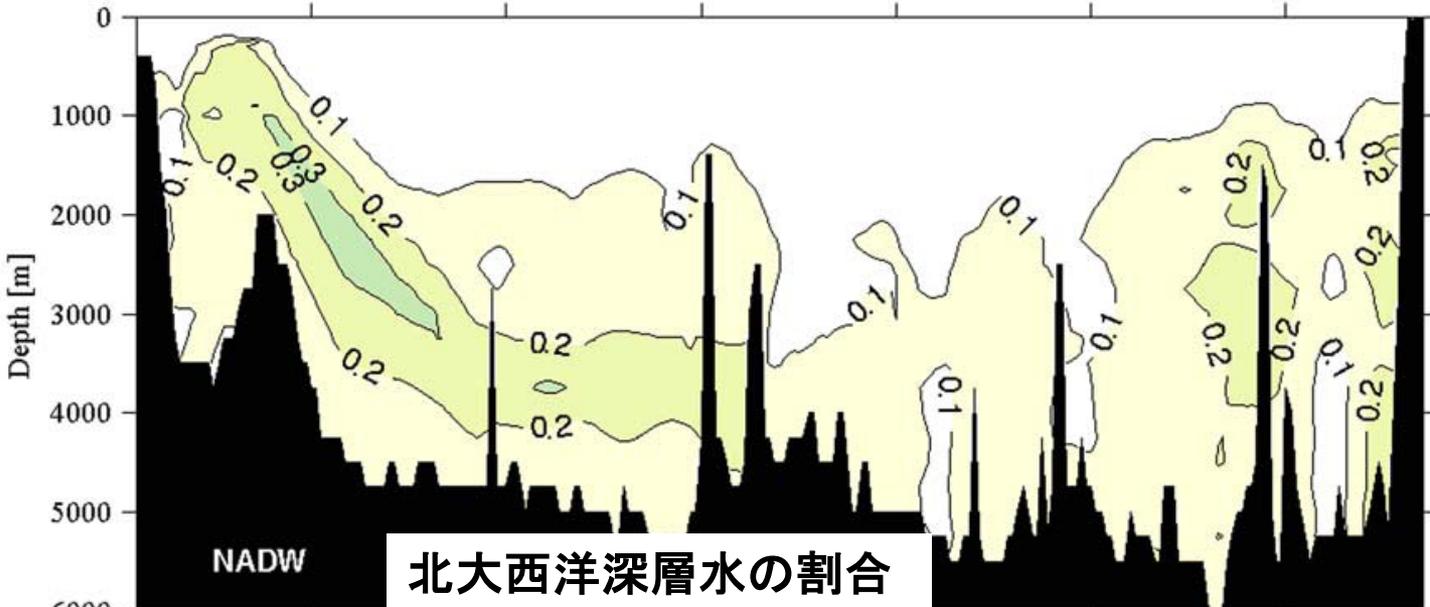
Bottom Fraction

Johnson(2008)

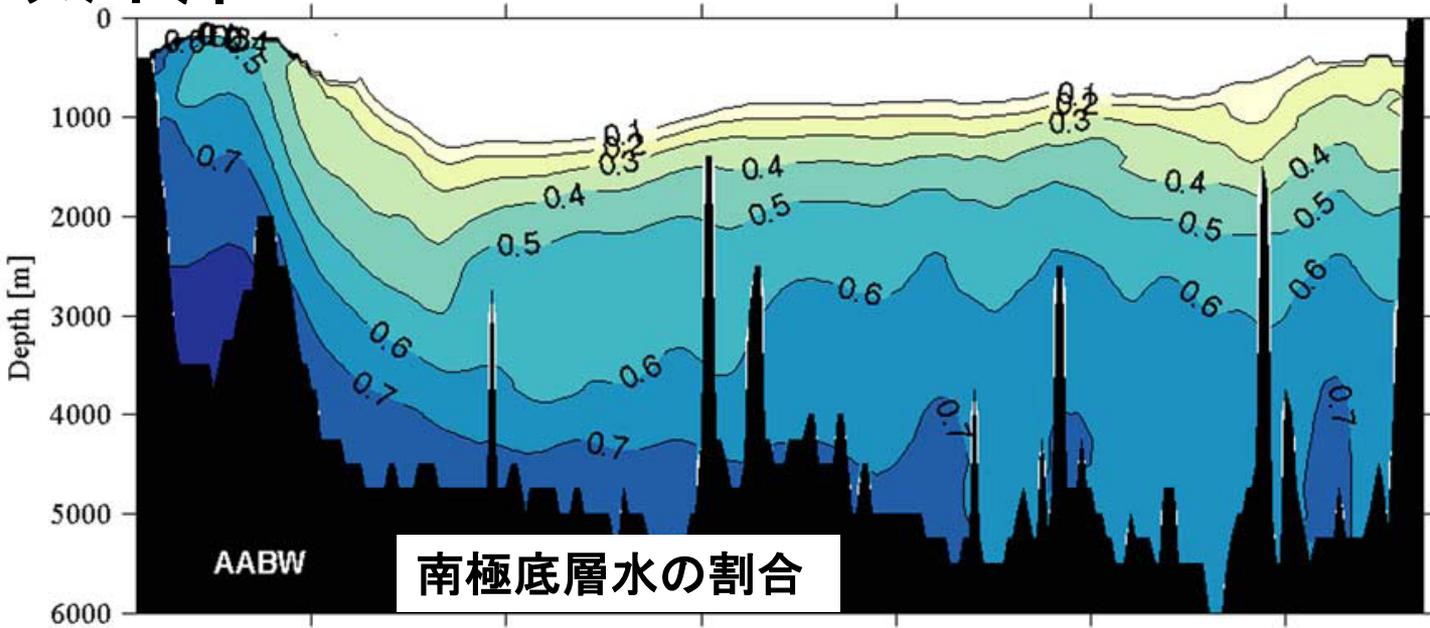
海水の性質から
2つの深層水の
割合を同定

ポテンシャル水温
塩分
渦位
溶存酸素
硝酸
リン
シリカ

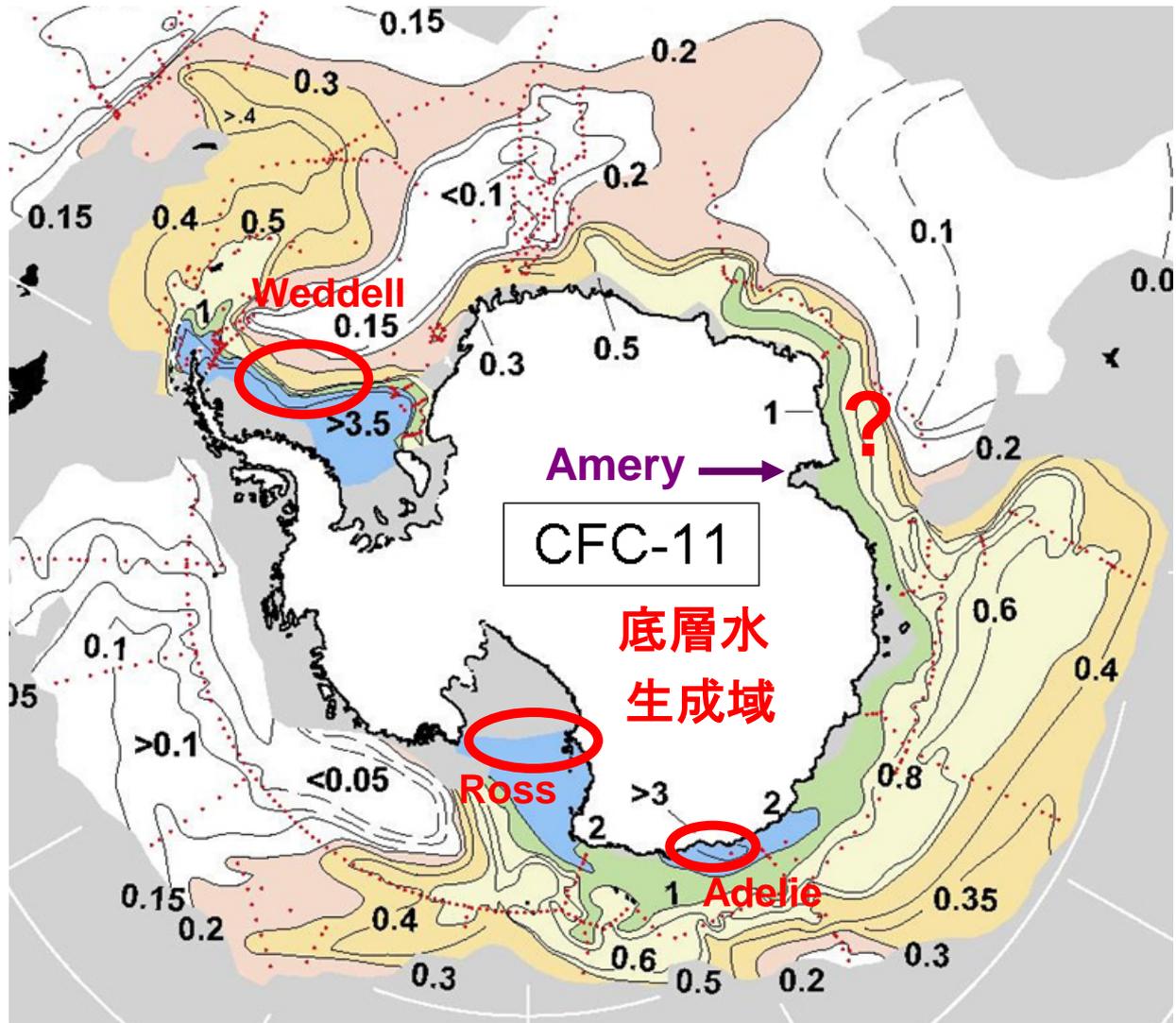
南極底層水は
全海水の30-40%
を占める



太平洋



Latitude [° N]

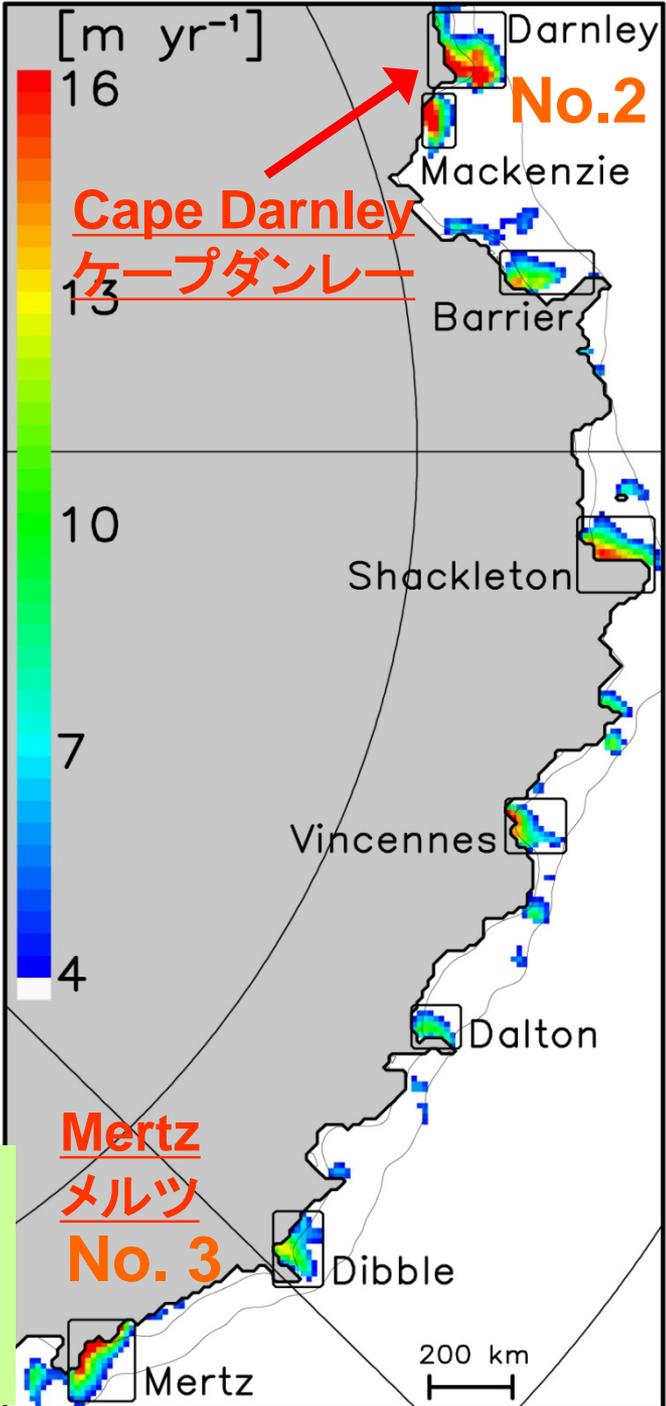
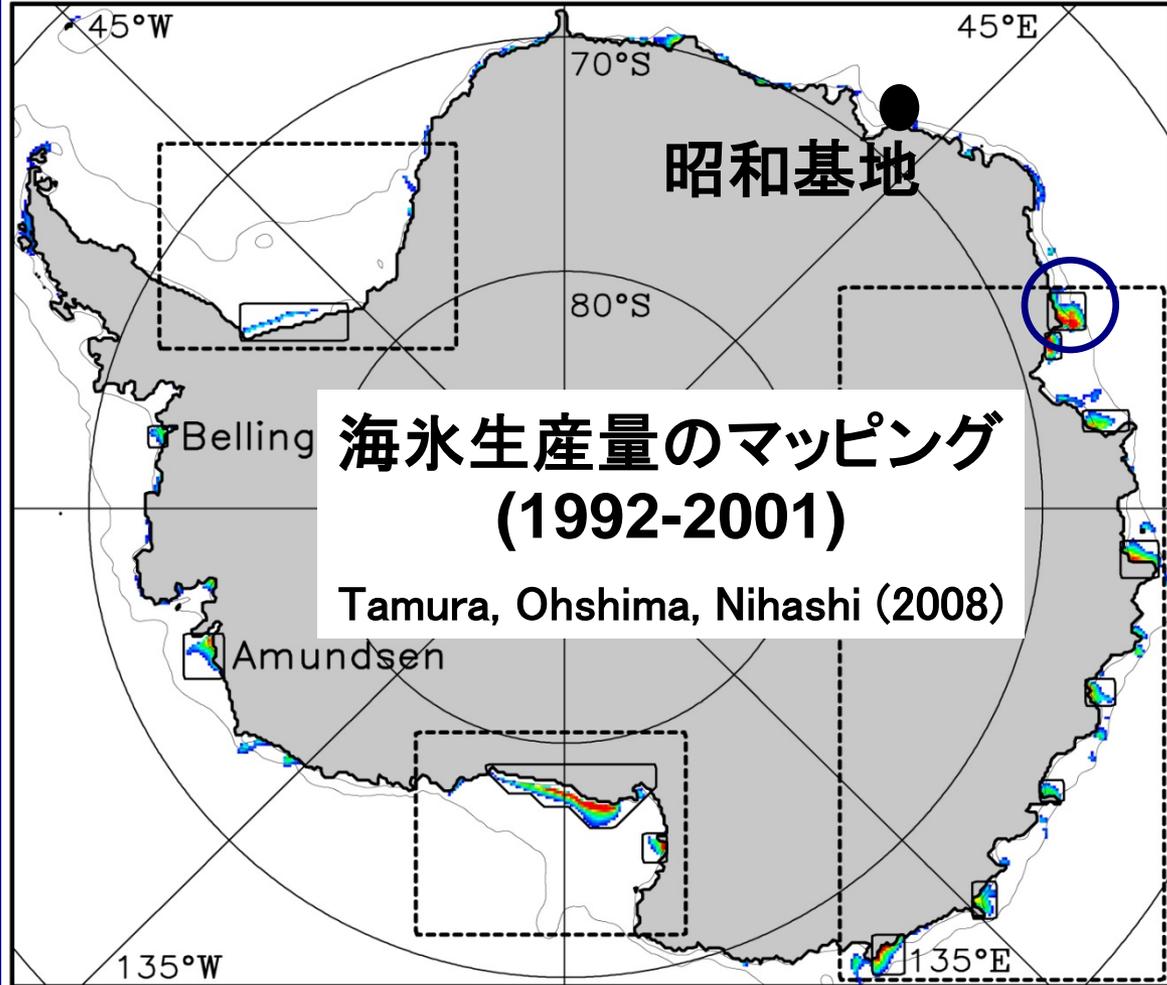


3大底層水生成域に加え
東南極にも底層水の
生成域があるのでは？

- Jacobs and Georgi (1977)
- Middleton and Humphries (1989)
- Mantisi et al. (1991)
- Golovin et al. (2011)

底層のフロン(CFC-11)濃度 (Orsi et al., 1999)

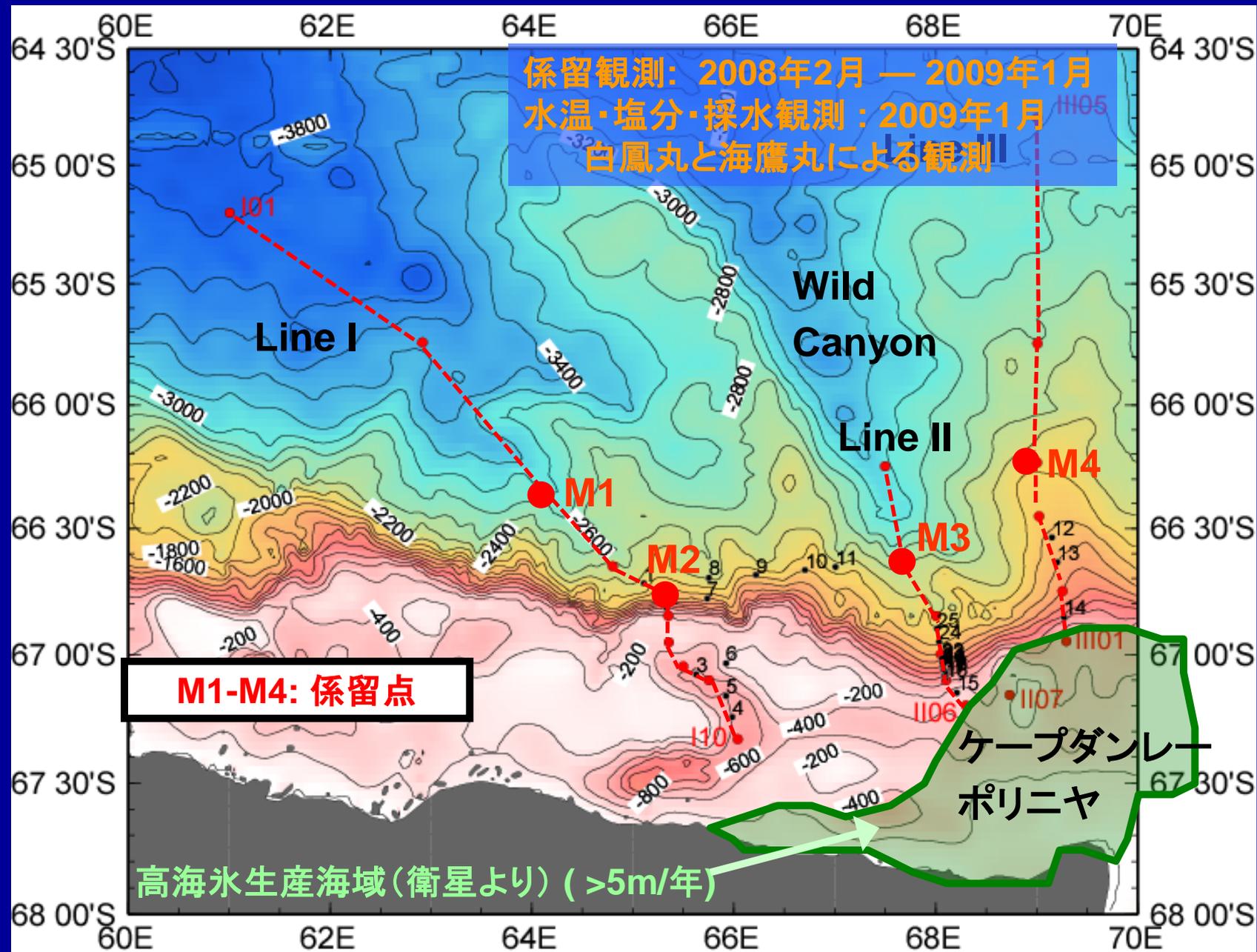
Slide provided by S. Rintoul



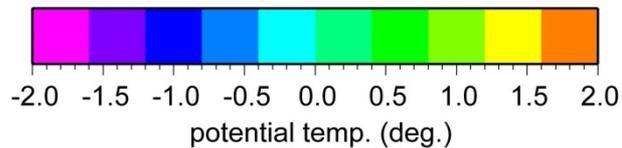
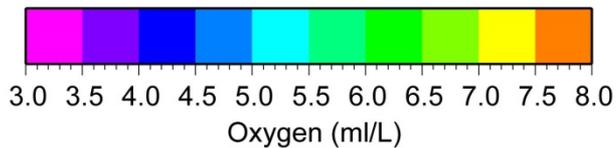
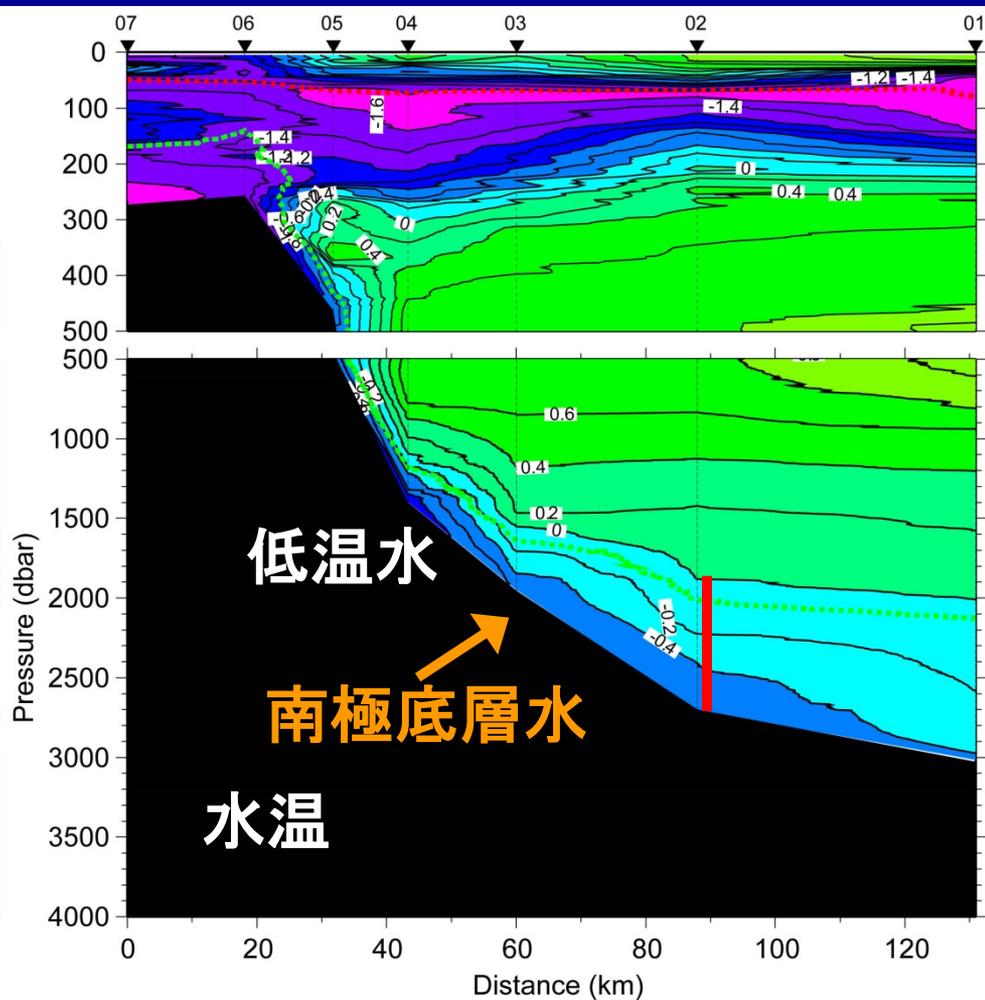
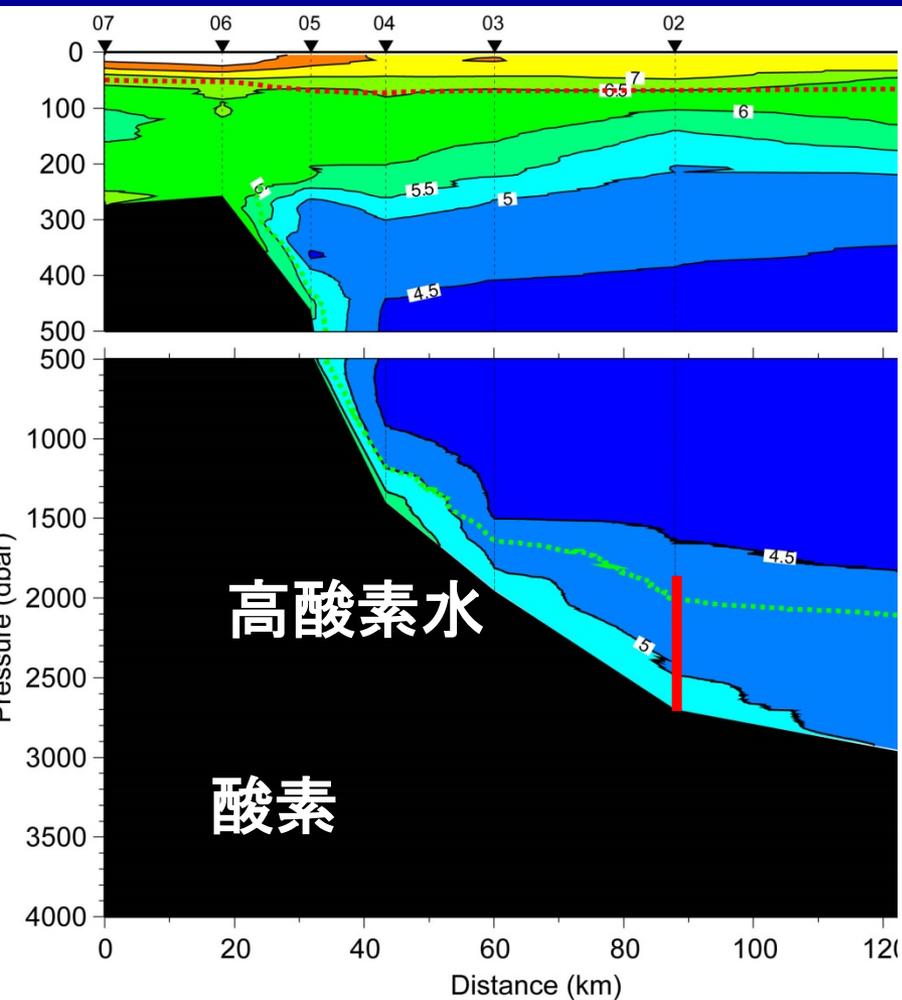
The Darnley polynya on the west side of Prydz Bay is another potential source of dense water that is just beginning to be explored.

from Descriptive Physical Oceanography (Talley)

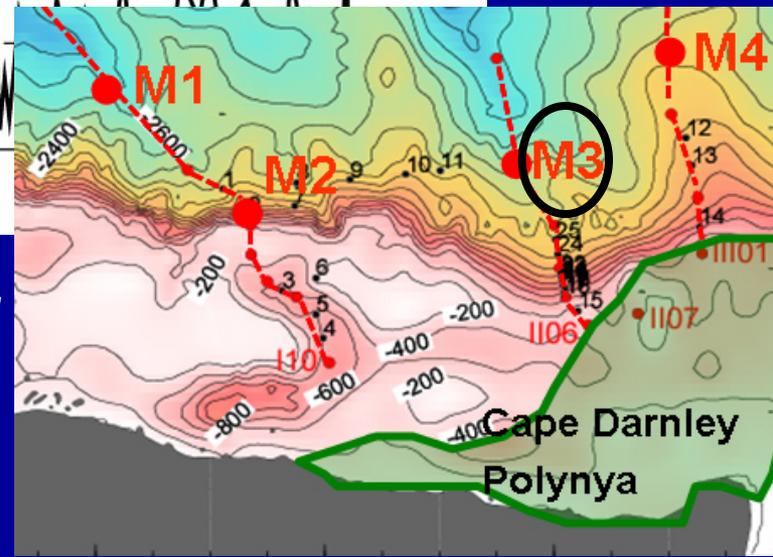
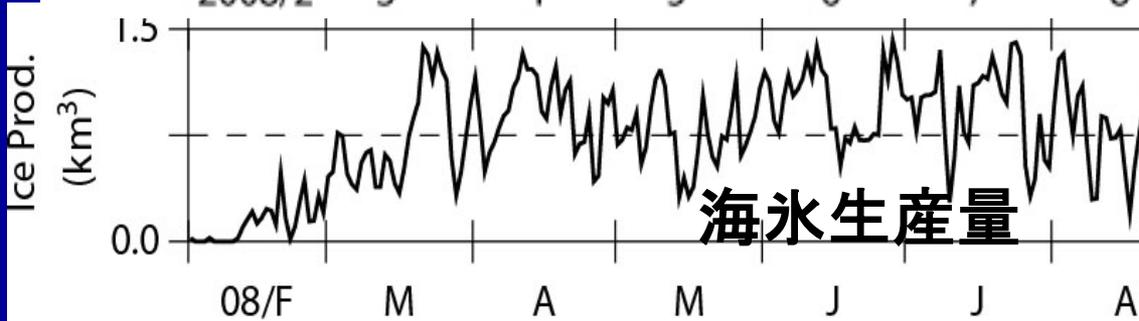
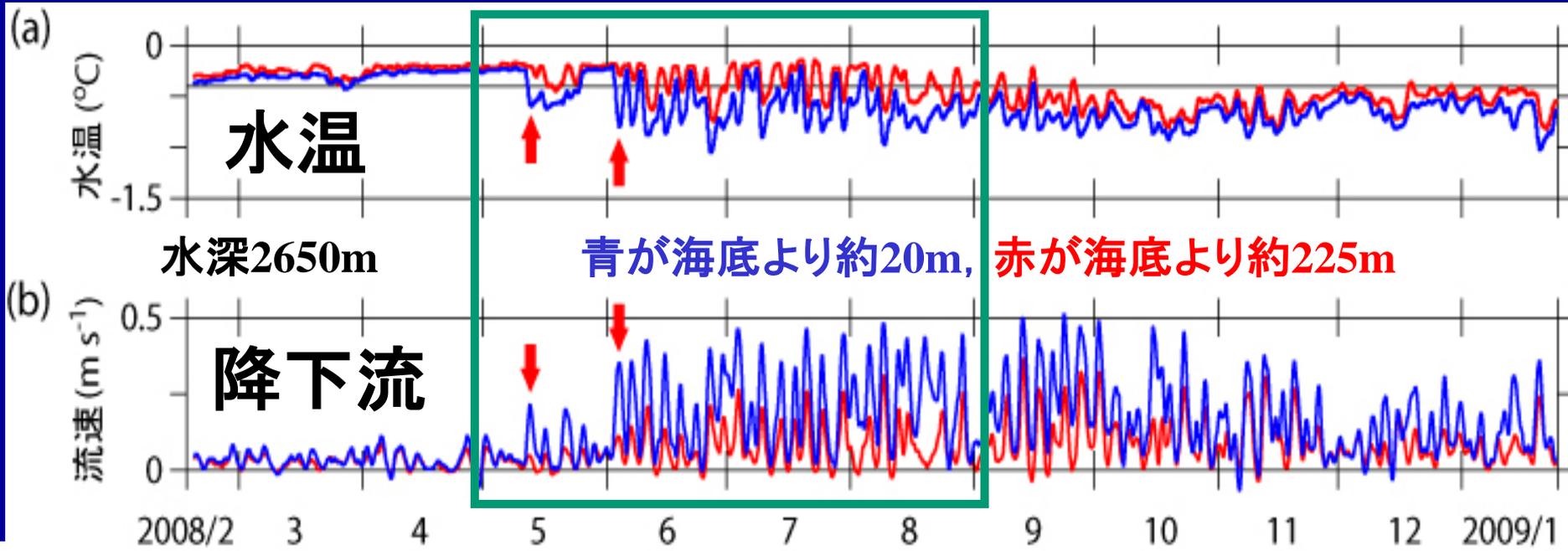
ダンレープロジェクト: 白鳳・海鷹 → 日本南極観測のテーマ



ケーブダンレー沖：日本のIPYの集中観測海域

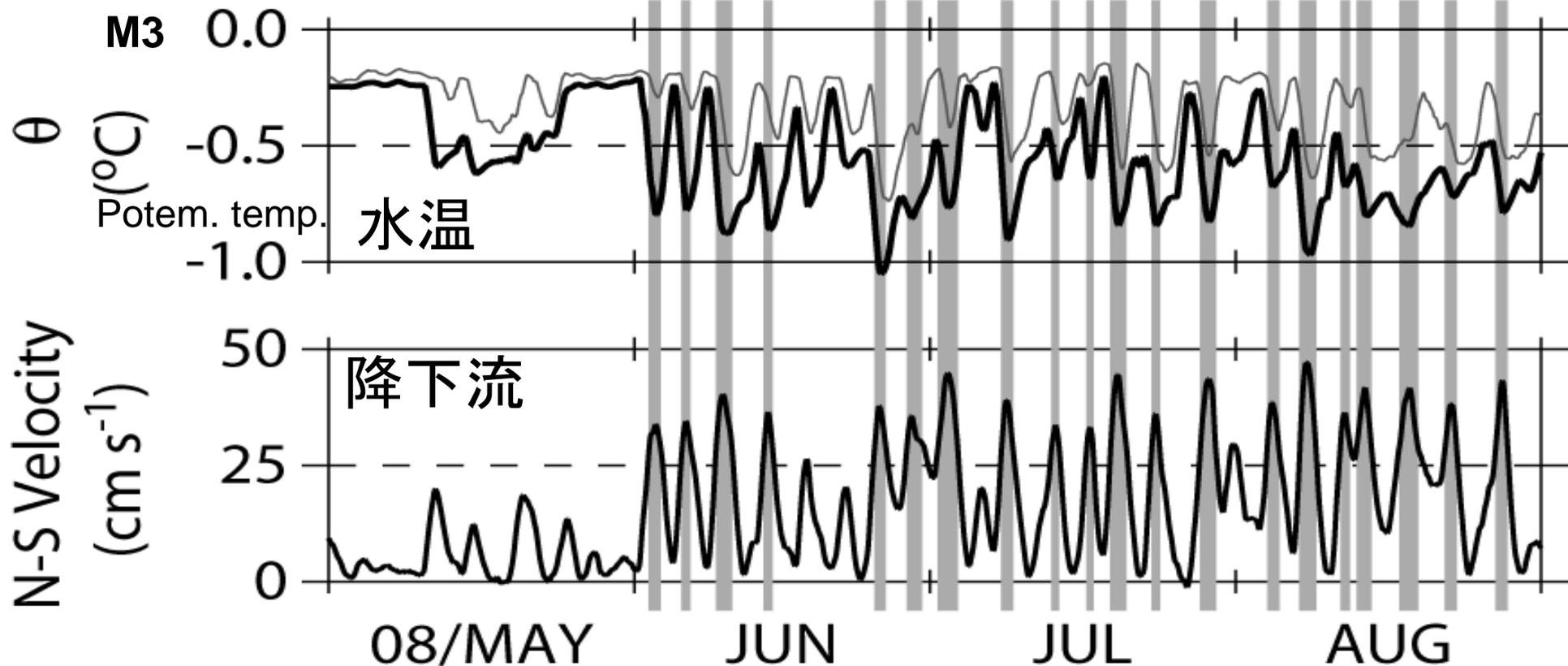


係留系で捉えた、南極底層水の流出 (峽谷での1年間の時系列)



- ・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
- ・全底層水の約10%がここから潜り込む

Ohshima et al. (2013)

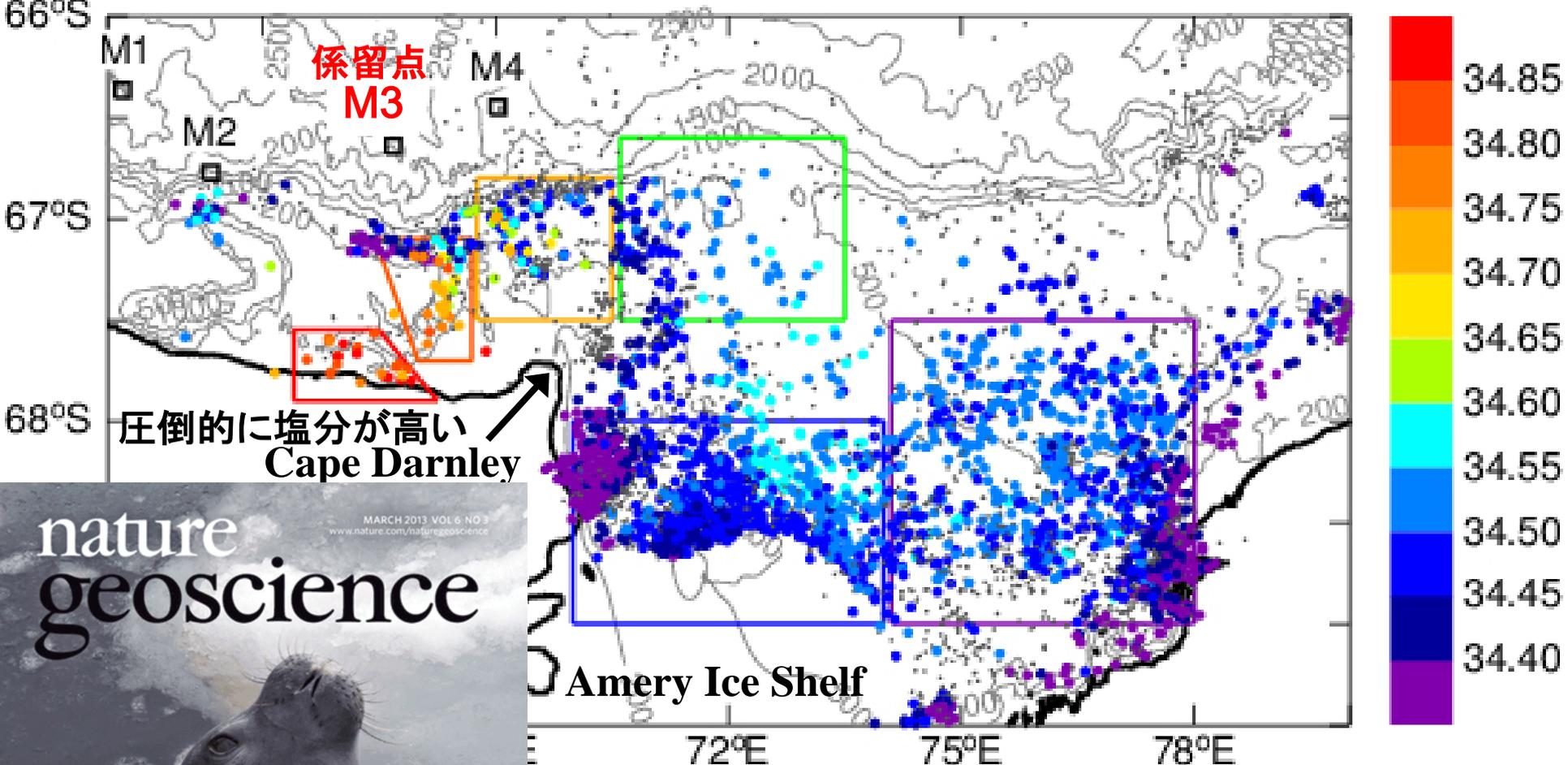


太線: 海底から20m, 細線: 海底から224m

シェード線: 降下流が0.3 m/s 以上

約4日周期で0.4m/s程度の降下流: 冷たい重い水と同期
→ 傾圧不安定? 地形性ロスビー波?

底層水生成の際の特徴: 地球流体力学の興味深いテーマ

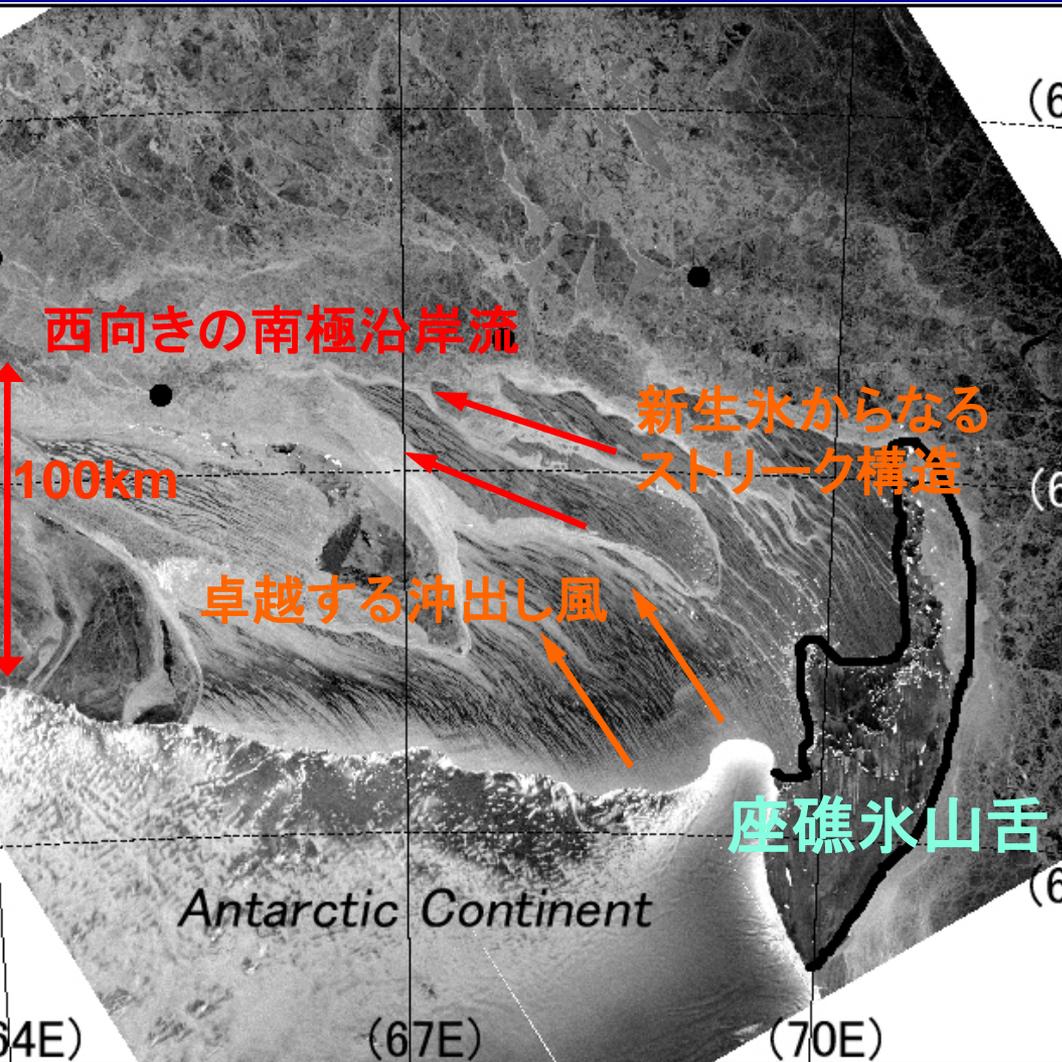


アラシデータによる海の底層での塩分

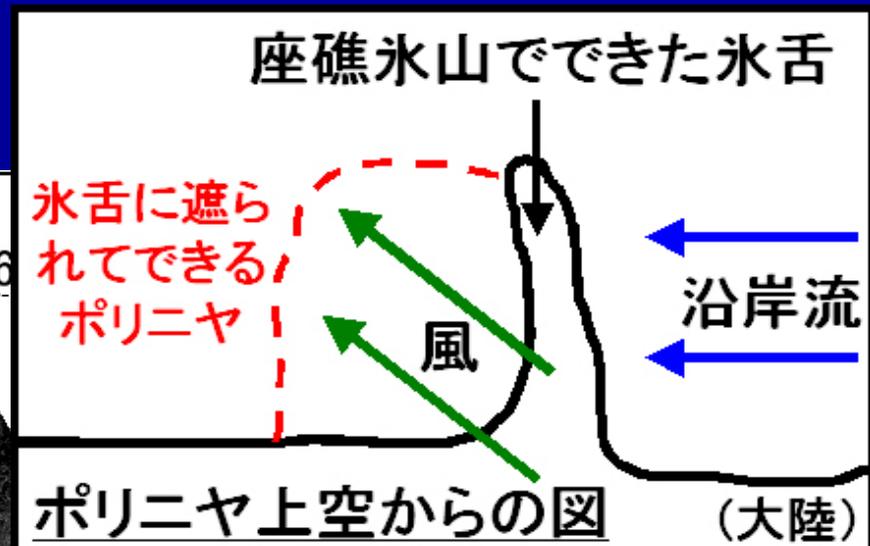
Ohshima, Fukamachi, Williams et al. (Nature Geoscience., 2013)

Antarctic Bottom Water tracked to the sea-ice edge

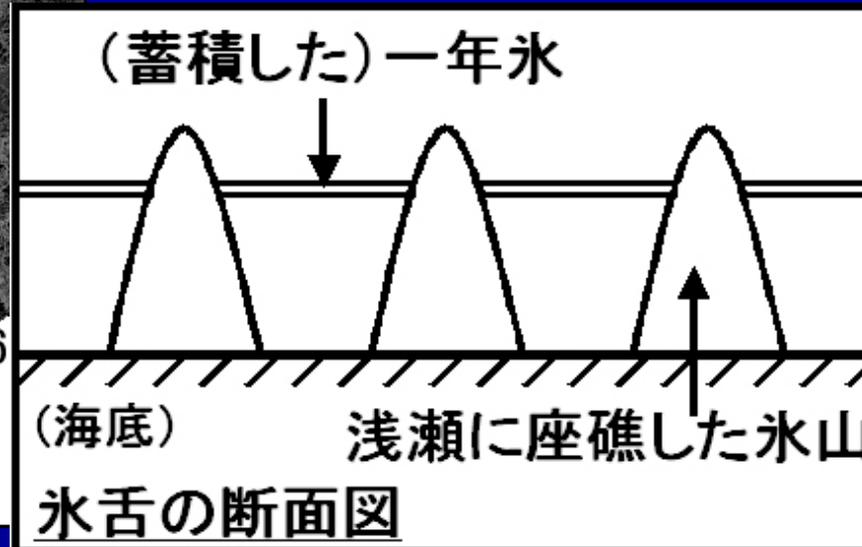
大きな海氷生産量はなぜ？ なぜ巨大なポリニヤができるか？



合成開口レーダ (JAXAの PALSAR)

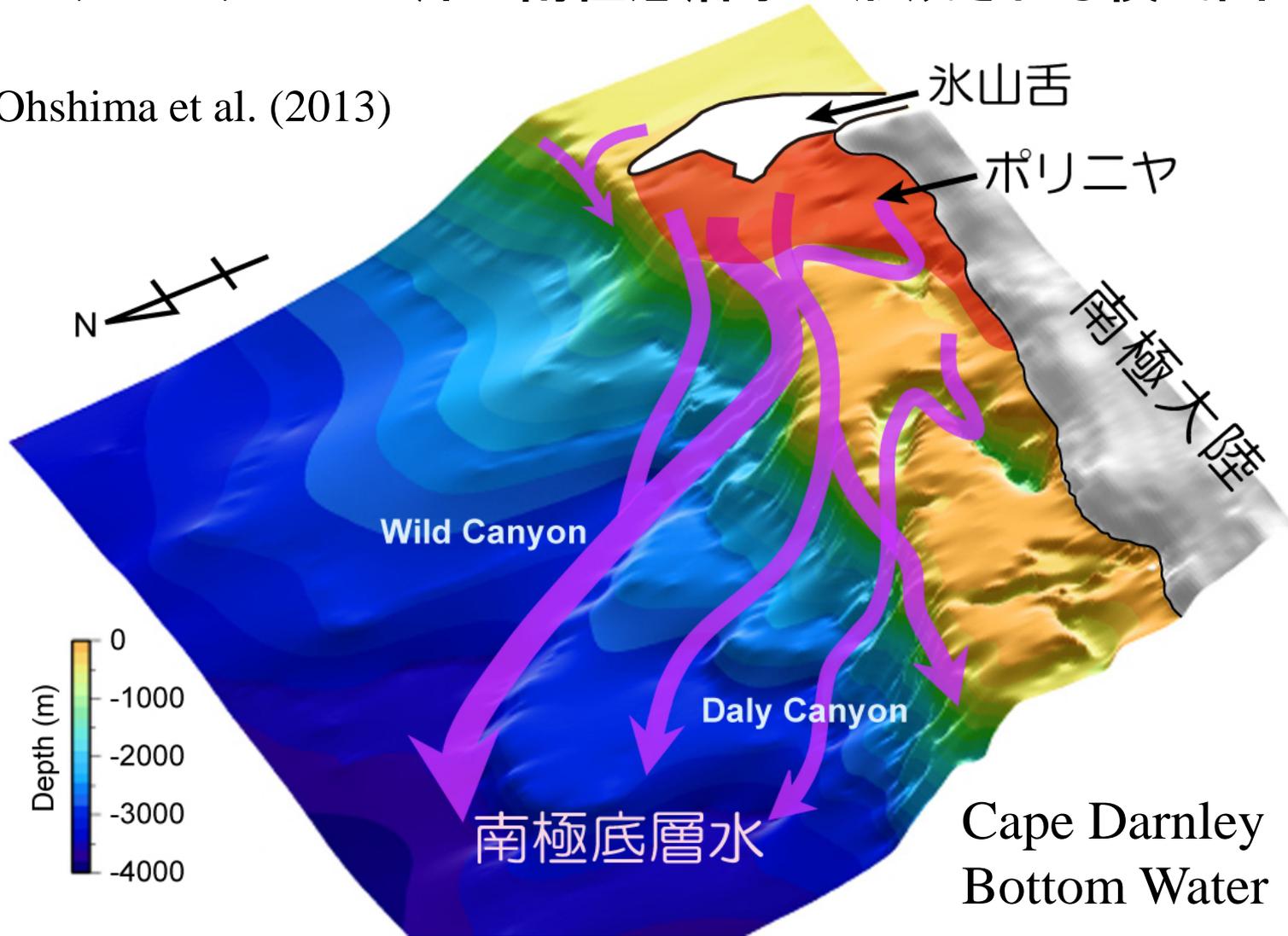


冰山舌によるフィルター効果

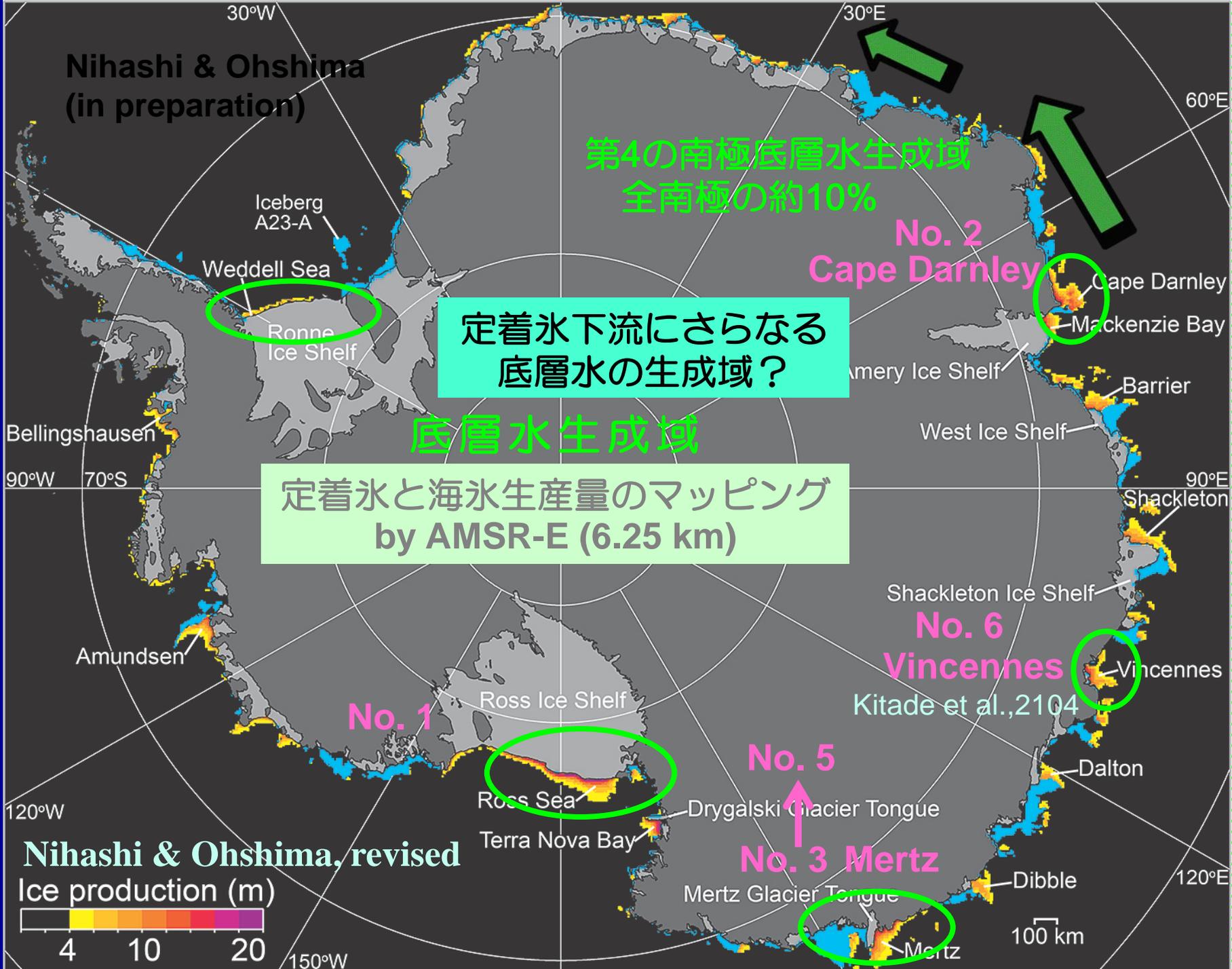


ケープダンレー沖で南極底層水が形成される模式図

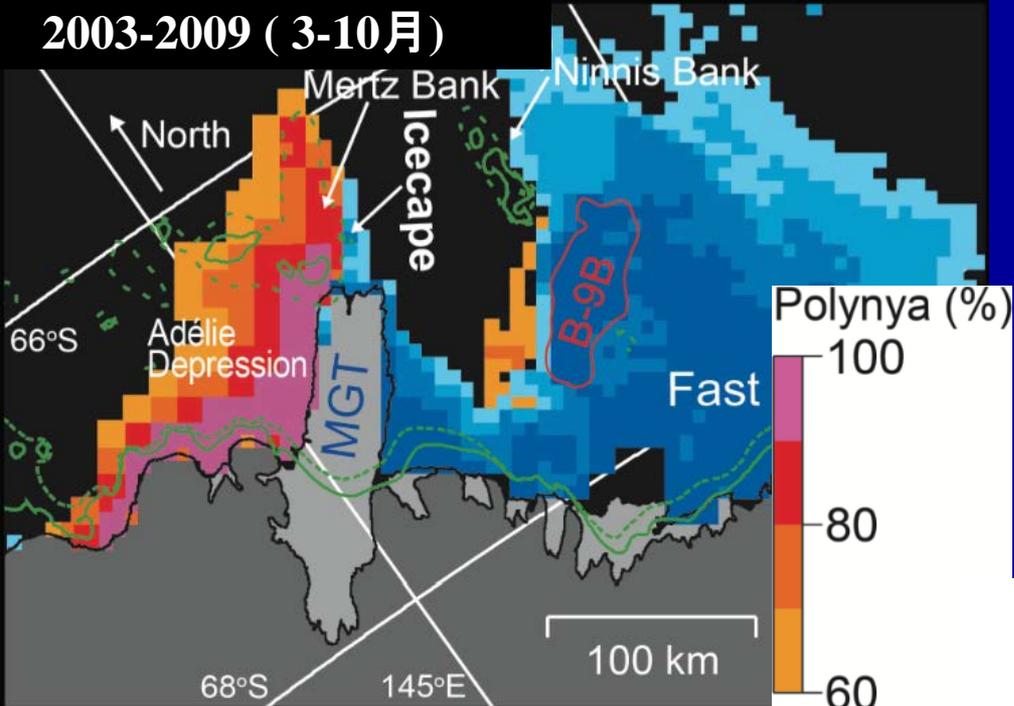
Ohshima et al. (2013)



南極大陸から張り出す氷山舌の下流に、多量に海氷が生産される海域(沿岸ポリニヤ)が作られる。この高海氷生産によって重い水が作られ、その重い水が海の峡谷に沿って沈み込み、周りの水と混合しながら南極底層水となって、南極海さらには全世界の海洋深層に拡がっていく。



2003-2009 (3-10月)



メルツポリニヤ

メルツ氷河の崩壊

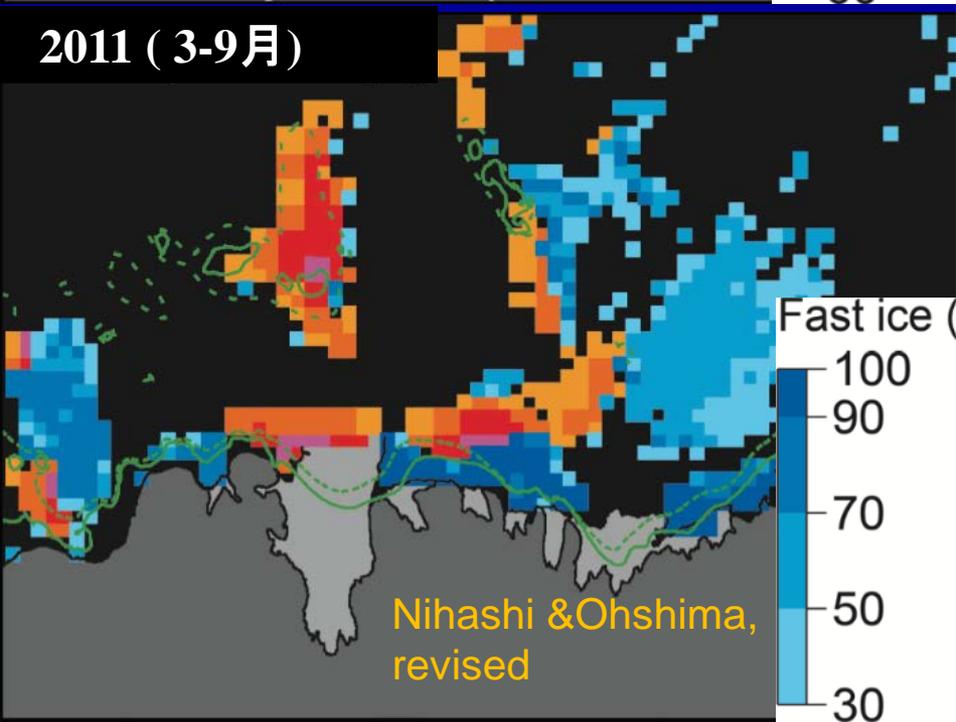
ポリニヤ域の減少

海水生産 減少

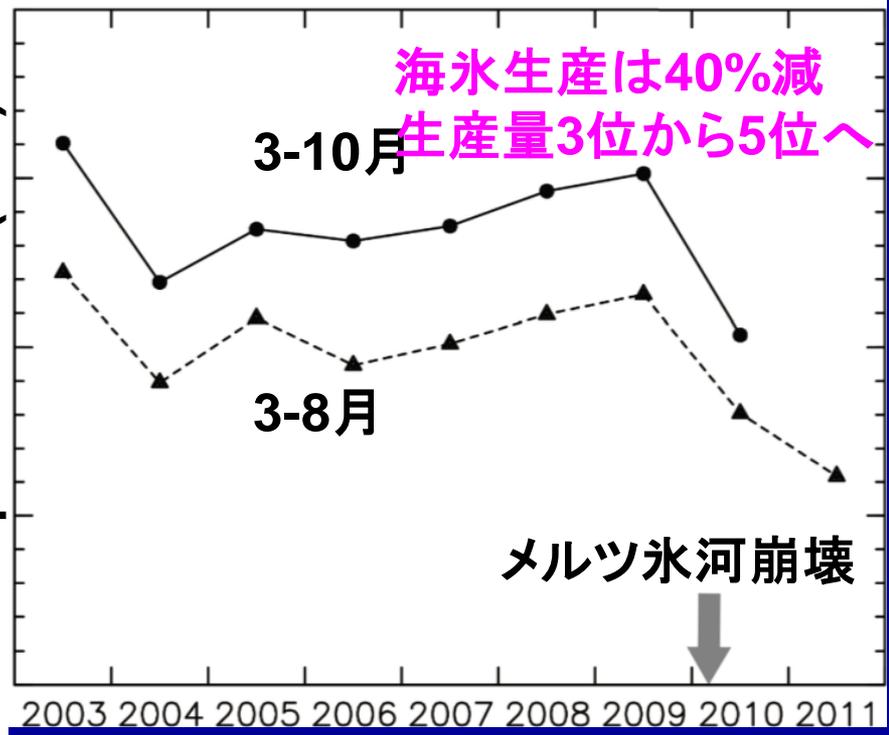
(Tamura et al., 2012)

底層水 減少 (Aoki et al, 2013)

2011 (3-9月)

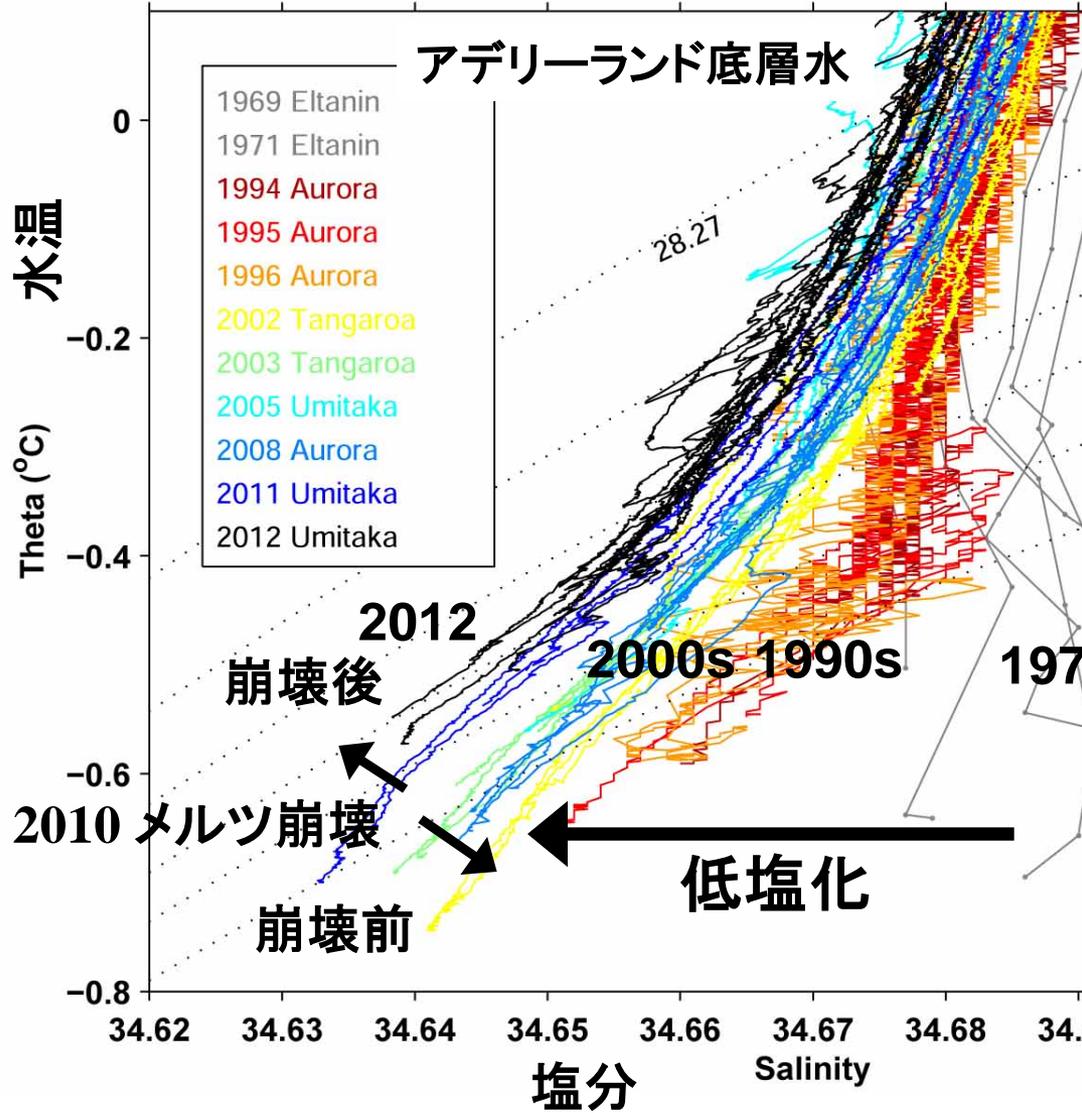


Ice production (km³)



メルツ氷河崩壊

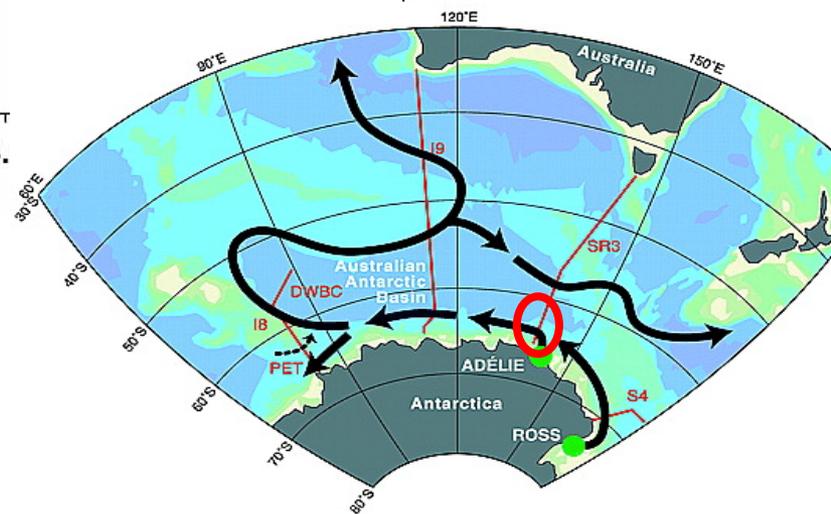




低塩化の原因

- 棚氷の融解加速
- 降水（雪）－蒸発の増大
- ポリニヤでの海水生産減

Aoki et al., 2013



南極大陸は氷の大陸： 地球上の氷の約90%は南極氷床



南極大陸の概念図

南極の氷床融解「限界点、越えてしまった」 NASA

南極の氷が全部溶けたら...
地球全体の海面が約70メートル上昇

2014.5.13

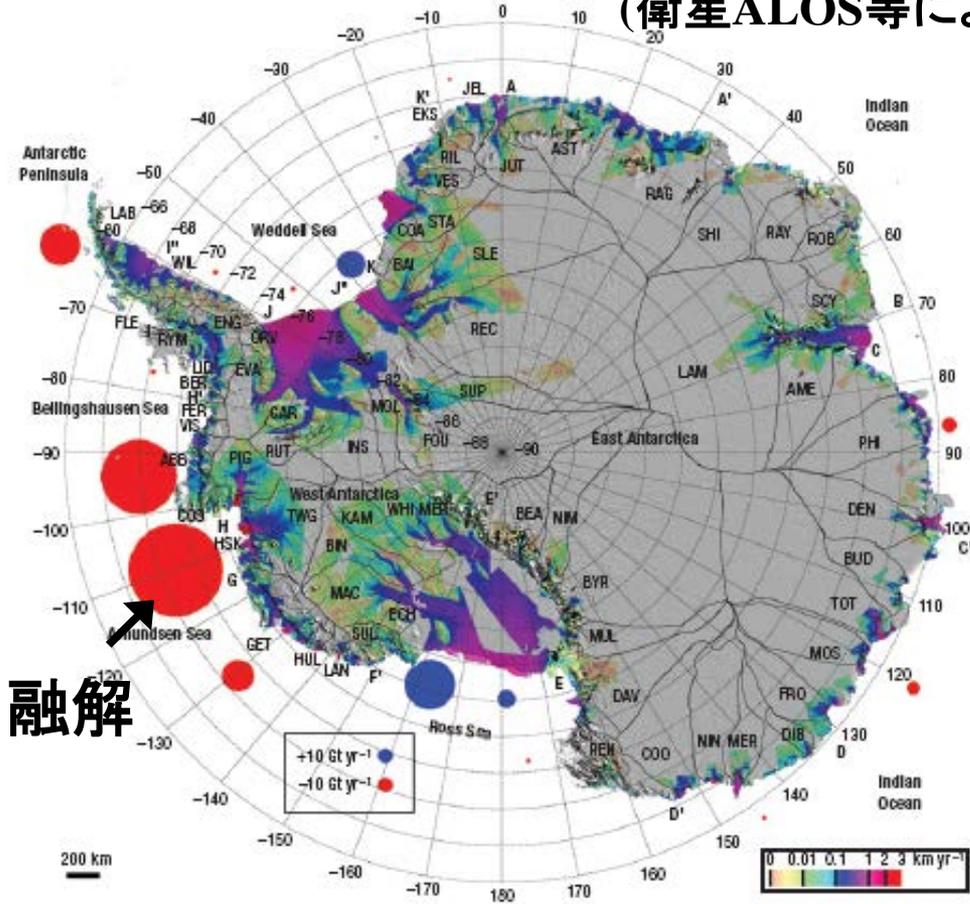


南極大陸の一部で、温暖化する海の影響により氷床の融解に歯止めがきかなくなり、将来の大幅な海面上昇が避けられそうにないとする研究結果を米航空宇宙局(NASA)などの研究チームが12日、発表した。

NASAの研究者は「南極の氷が将来崩壊せずにはすむ限界点を越えてしまった」と警告。IPCCが昨年、世界の平均海面が今世紀末に最大82センチ上昇するとの報告書をまとめたが「上方修正が必要」と指摘している。

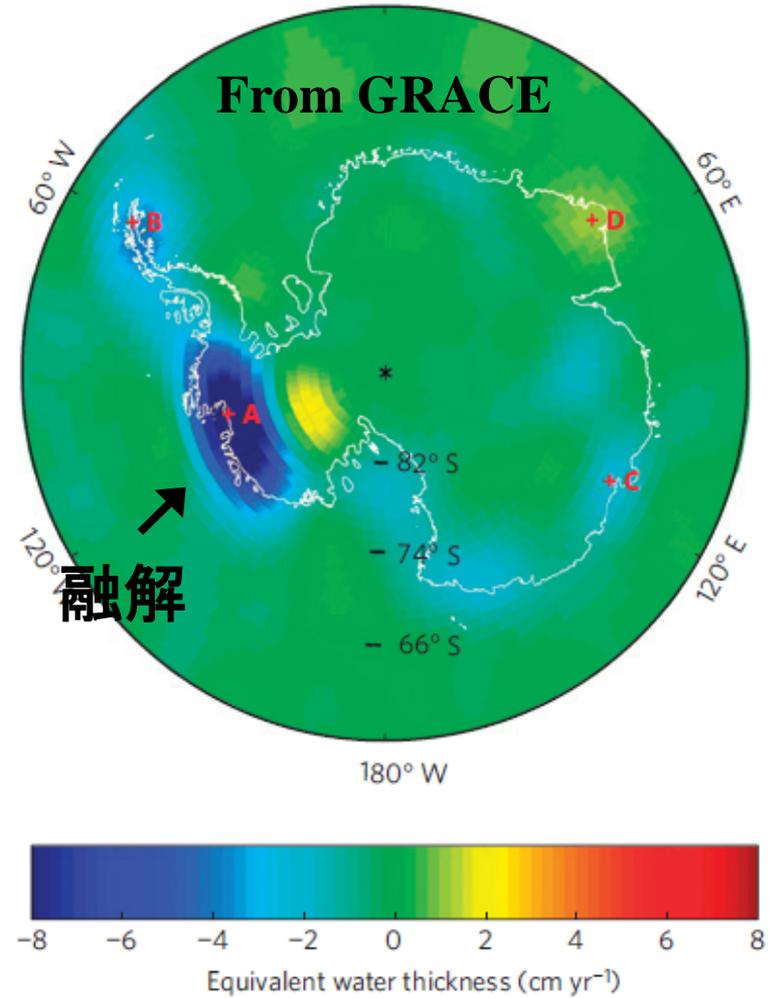
- Antarctic ice-sheet loss driven by basal melting of ice shelves, Pritchard, 2012, Nature.
- Twenty-first-century warming of a large Antarctic ice-shelf cavity by a redirected coastal current Hellmer, 2012, Nature.
- Oceans melt Antarctica's ice from below free ,Tollefson, 2013, Nature.
- Ice-Shelf Melting Around Antarctica, Rignot, 2013, Science.
- Rapid sea-level rise along the Antarctic margins in response to increased glacial discharge. Rye, 2014, Nature Geoscience.

氷床の速度などから推定 (衛星ALOS等による)



(Rignot et al. 2008)

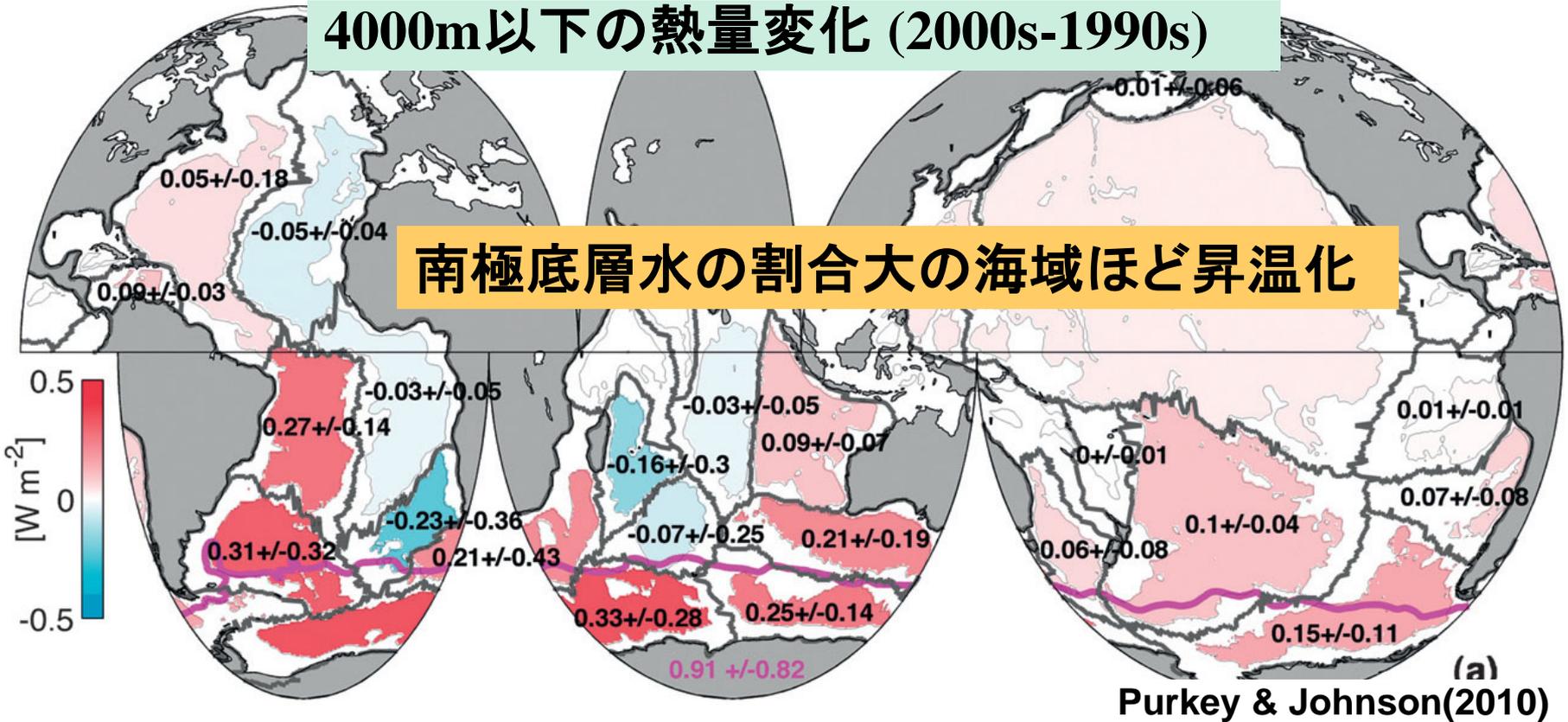
重力の変化から推定



(Chen et al., 2008)

4000m以下の熱量変化 (2000s-1990s)

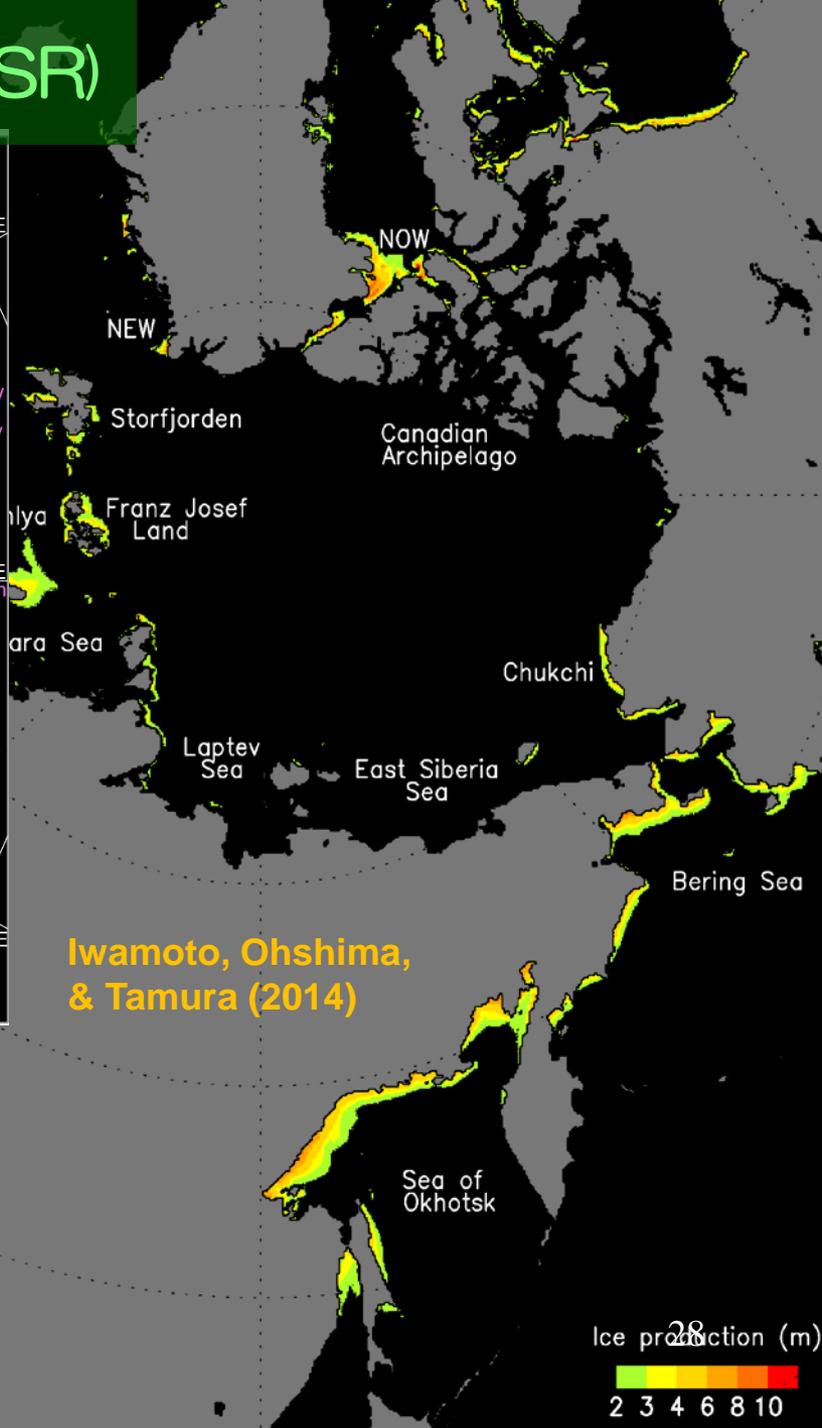
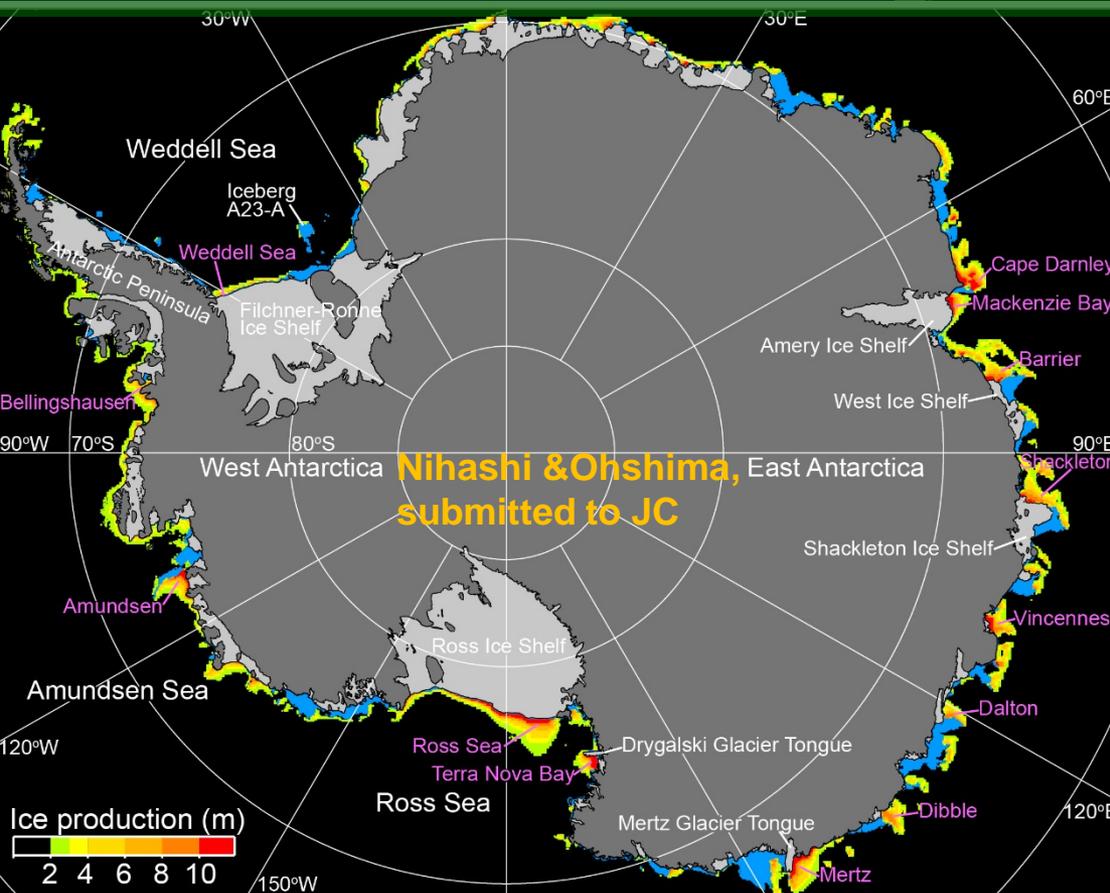
南極底層水の割合大の海域ほど昇温化



南極底層水の昇温化・低塩化・低密度化

- 底層水生成の減少？ Purkey and Johnson(2012)
- 海洋熱塩循環の弱化??
- 全球の気候のダイナミックな変化???

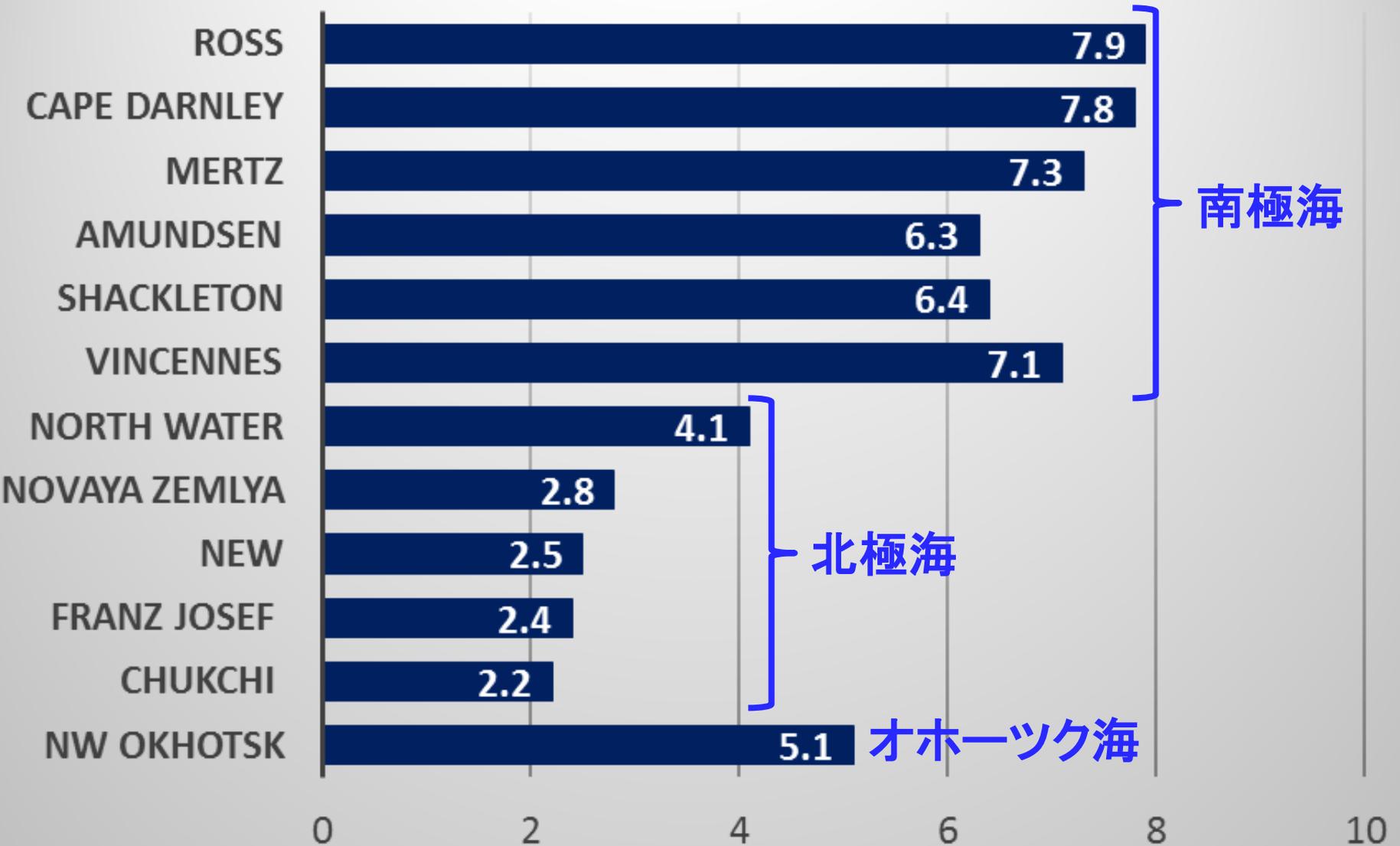
海水生産量のグローバルマッピング (by AMSR)



↓
南極海
海水の動き発散(外向)
ポリニヤ活動大
高海水生産

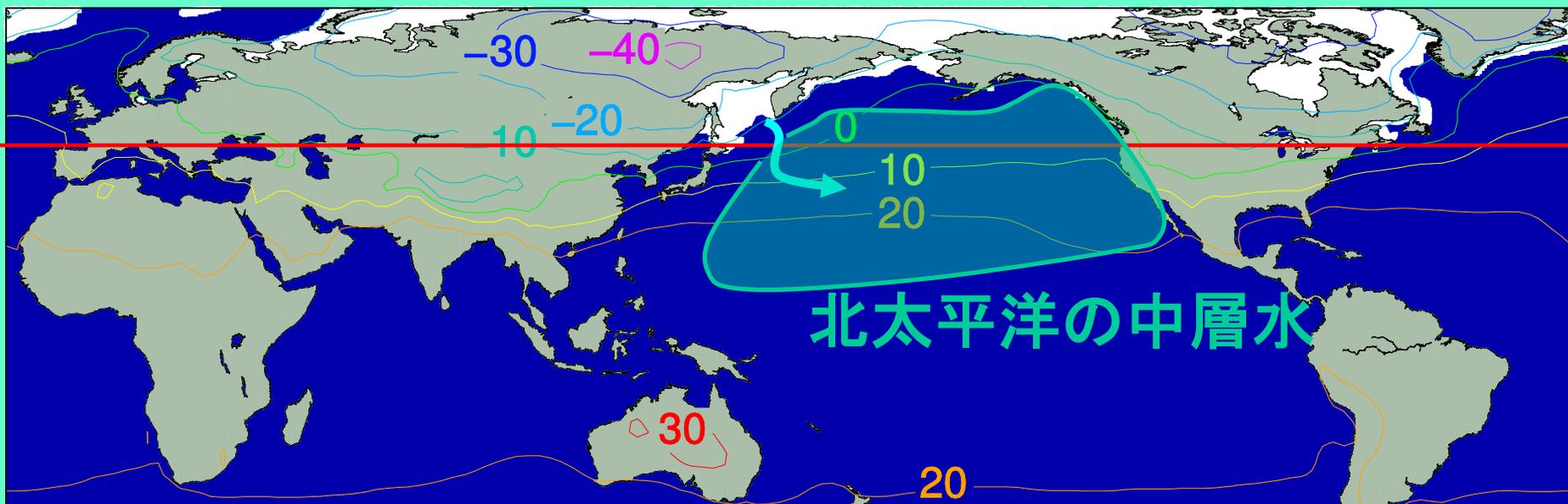


ポリニヤでの年間海氷生産量（海氷厚さに換算 m/年）



グローバルな目でみたオホーツク海

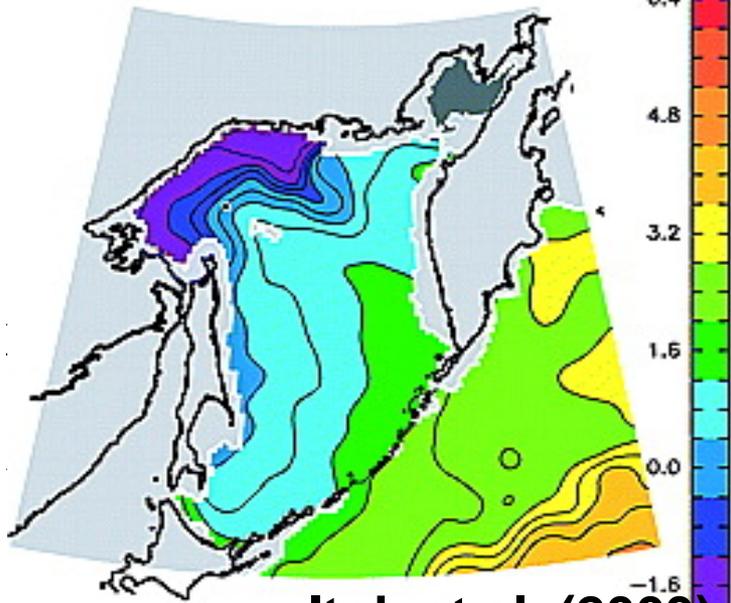
2月の海氷分布と平均気温(2001年)



Nihashi et al., 2009

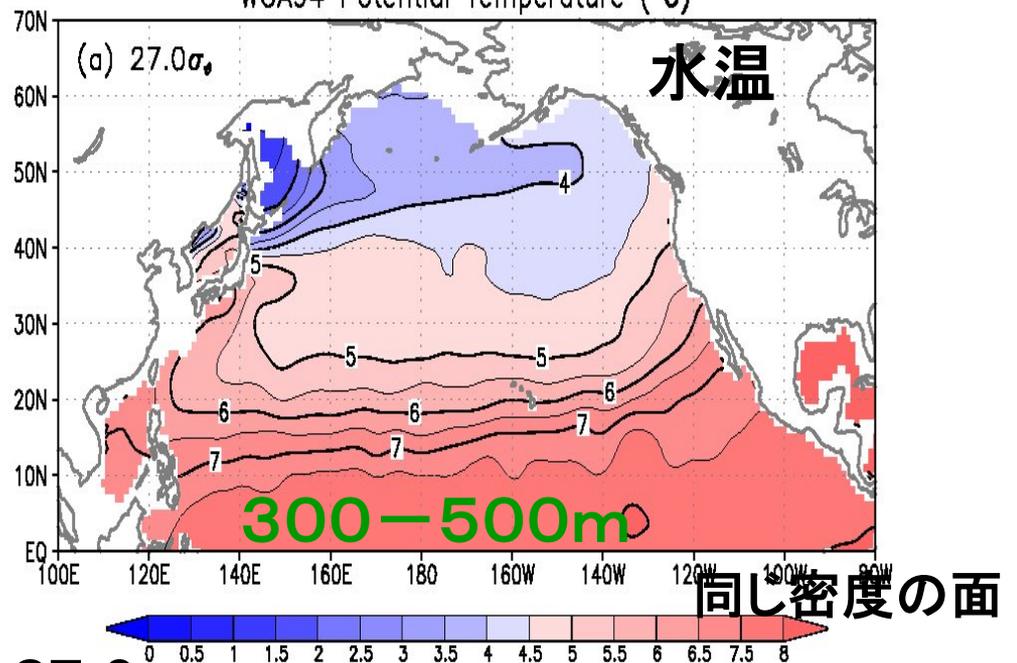
- ・風上が北半球の寒極 → 北半球における海氷域の南限
- ・多量の海氷生産 → 北太平洋で一番重い水ができる場所
→ 大気・陸からの熱・物質を北太平洋中層水(200-800m)へ

(a) Potential Temperature 26.8 σ_θ



Itoh et al. (2003)

WOA94 Potential Temperature (°C)

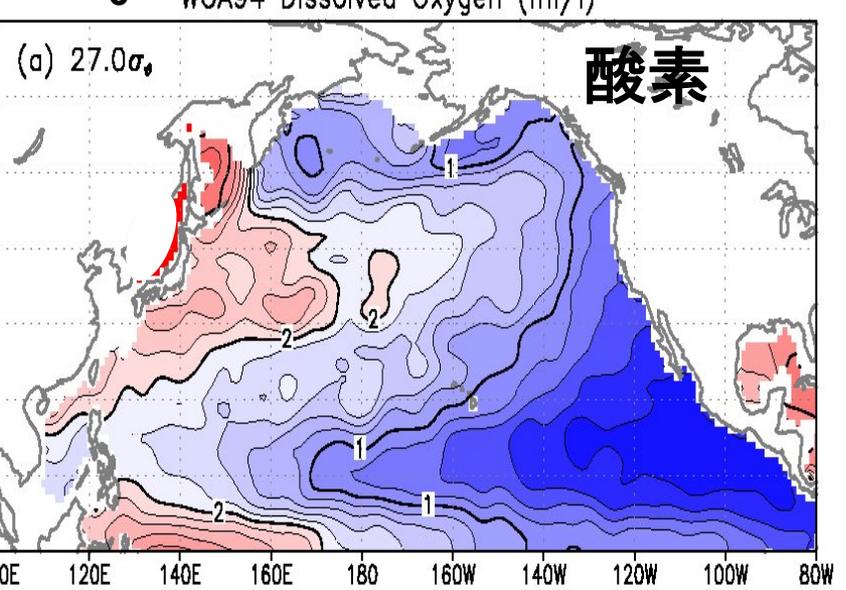
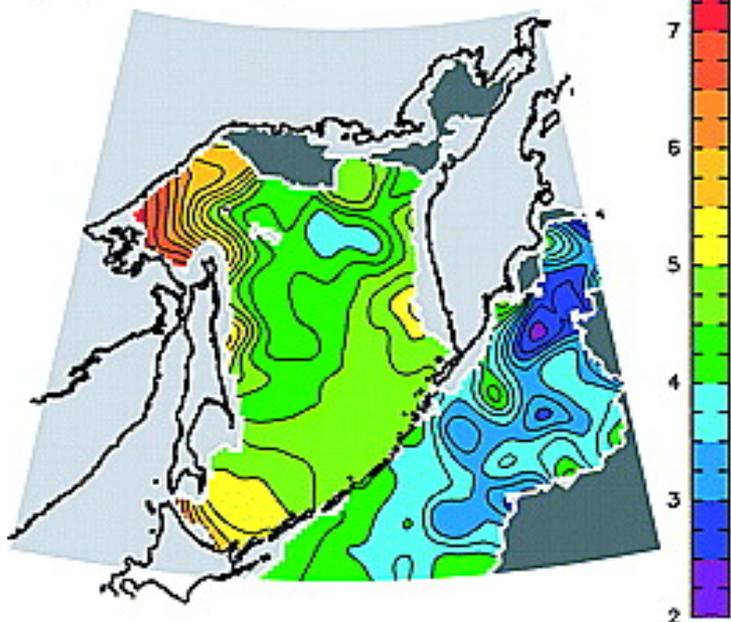


中野渡氏作成

27.0 σ_θ

WOA94 Dissolved Oxygen (ml/l)

(c) Oxygen 26.8 σ_θ

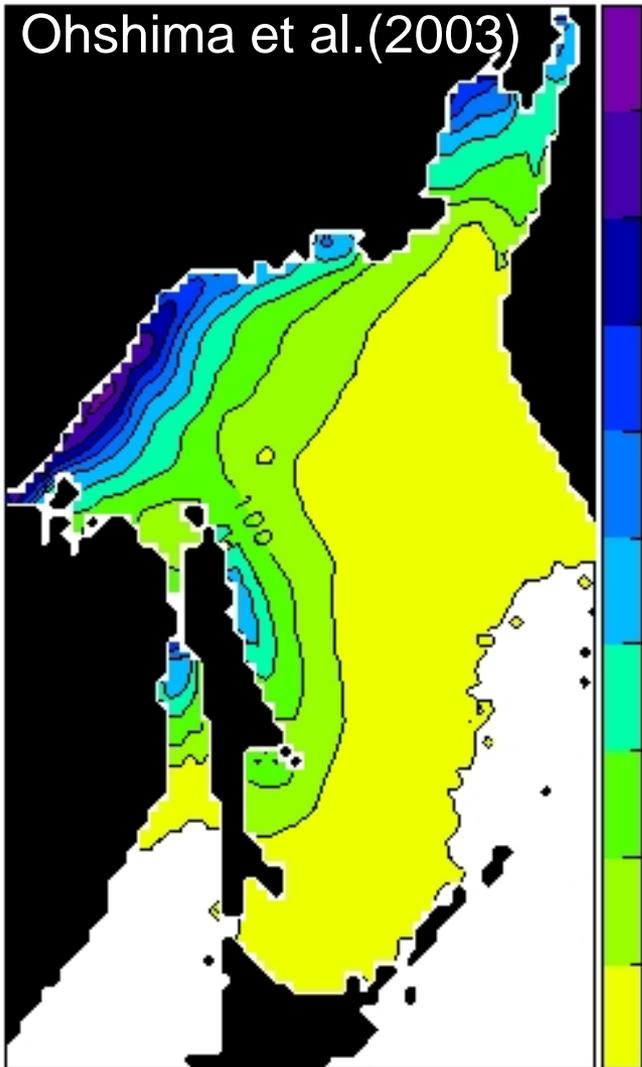


Levitus

海氷生産量の見積もり

(熱収支と衛星データより)

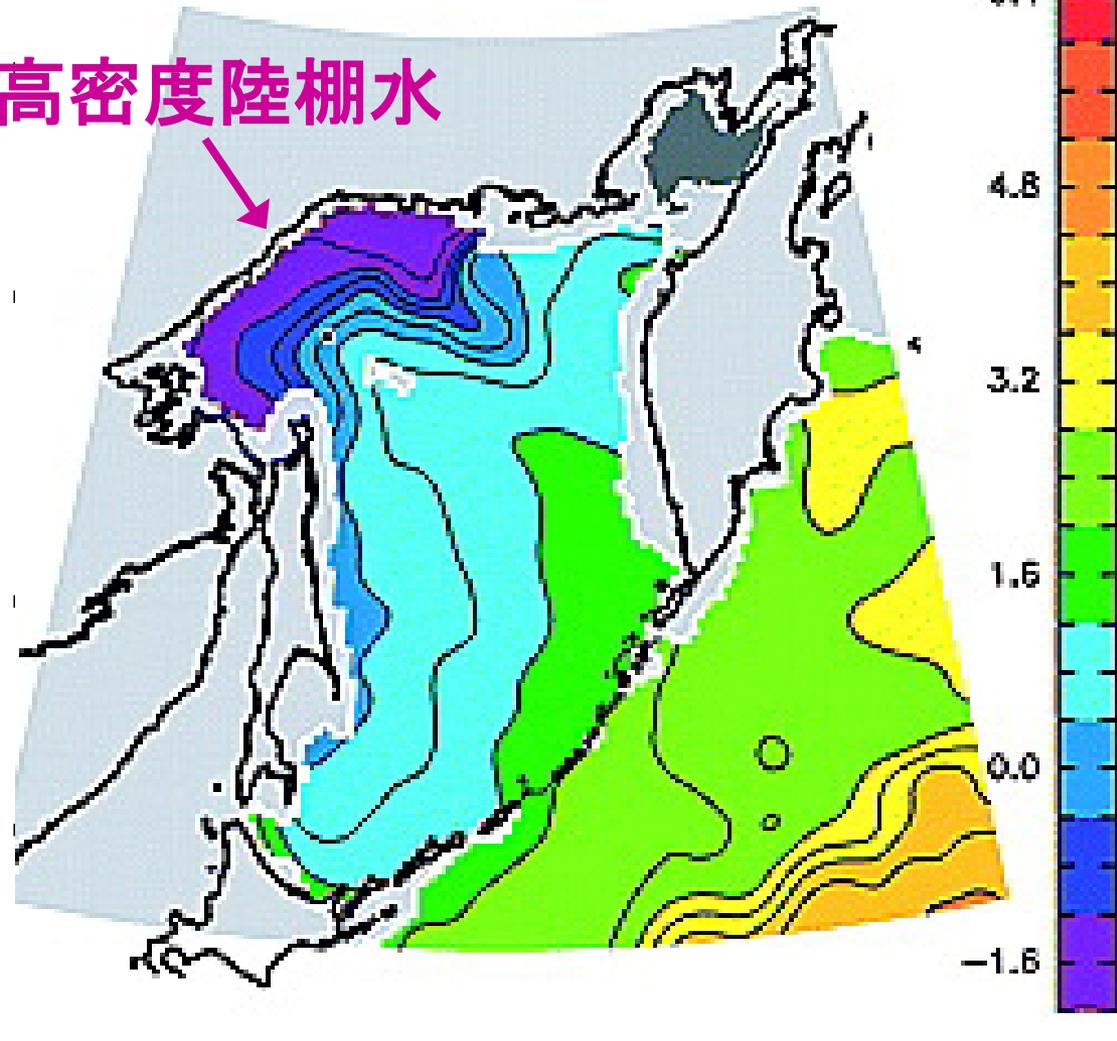
Ohshima et al.(2003)



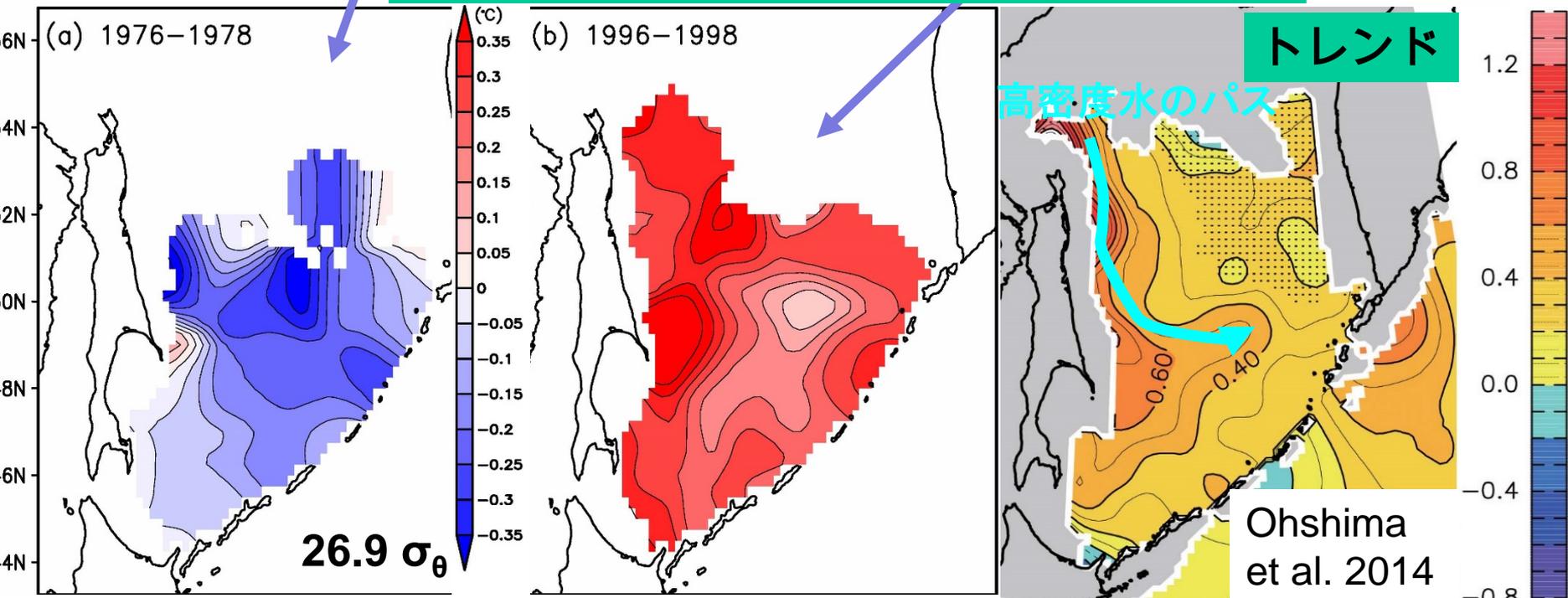
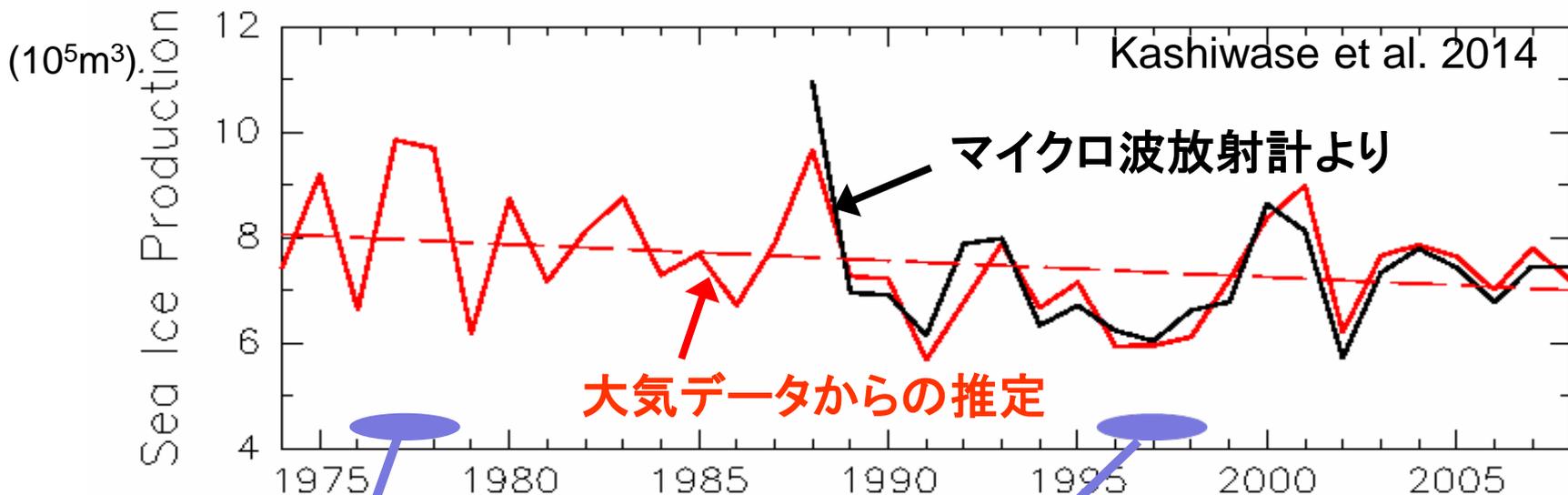
中層(等密度面上)での水温

(a) Potential Temperature $26.8 \sigma_\theta$

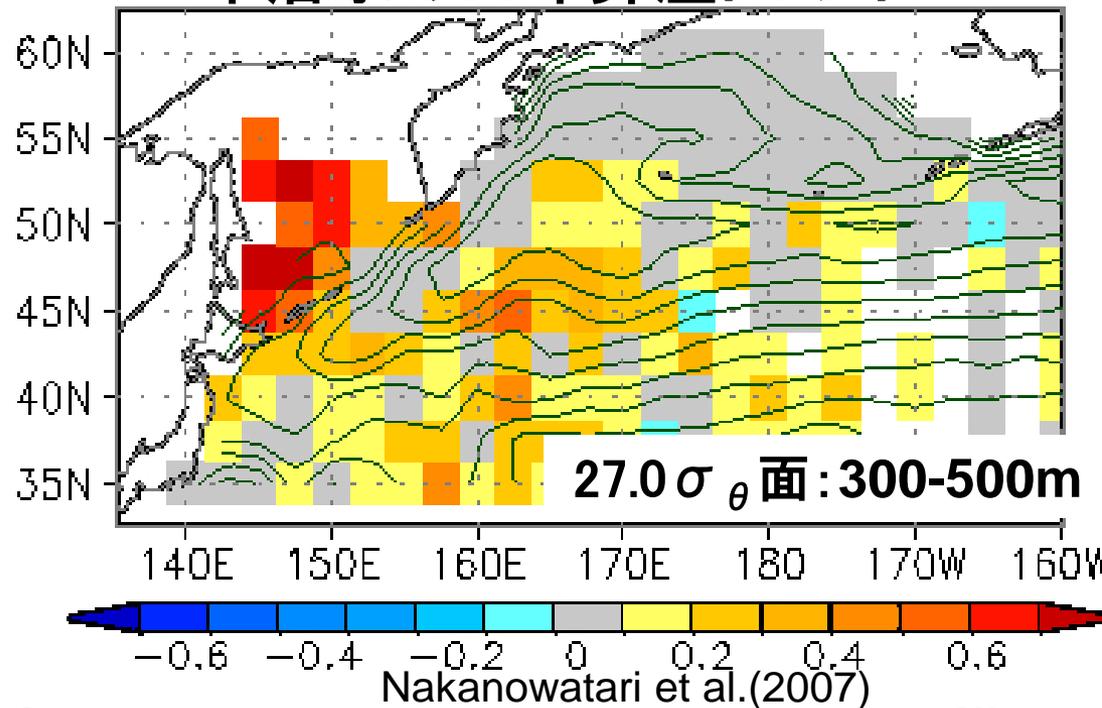
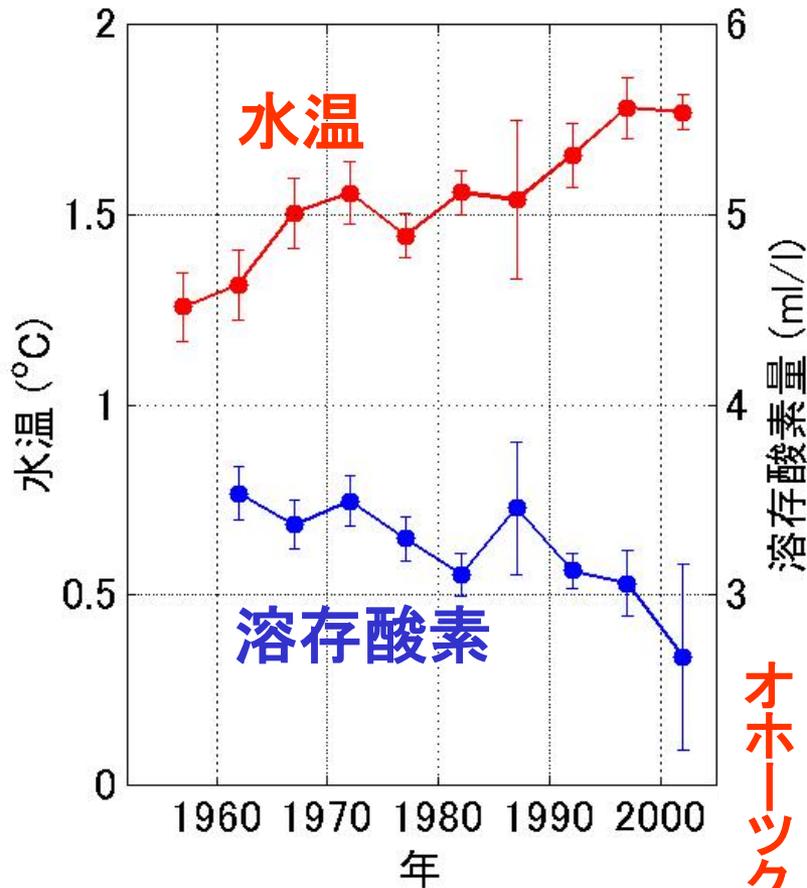
高密度陸棚水



オホーツク海のポリニヤにおける海水生産量の長期変動



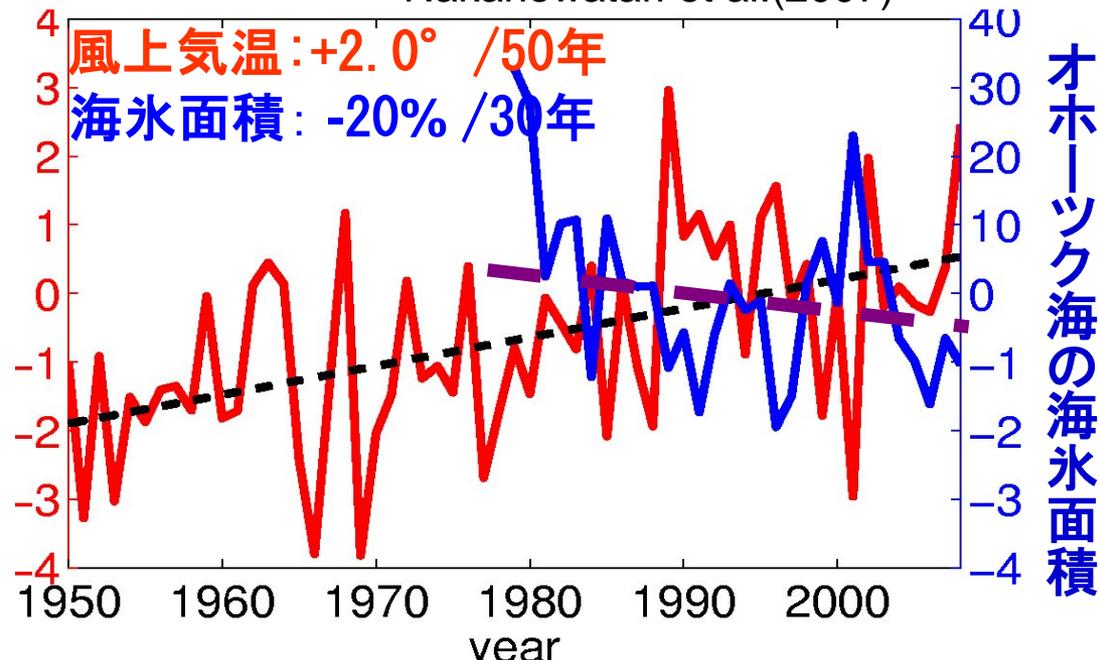
中層水の50年昇温トレンド



オホーツク海の中層水の50年間の変化

重い水の潜り込みは減っている！

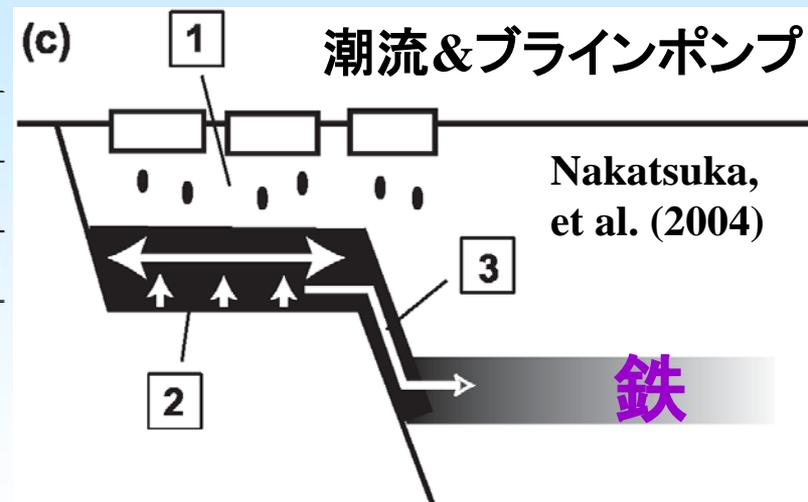
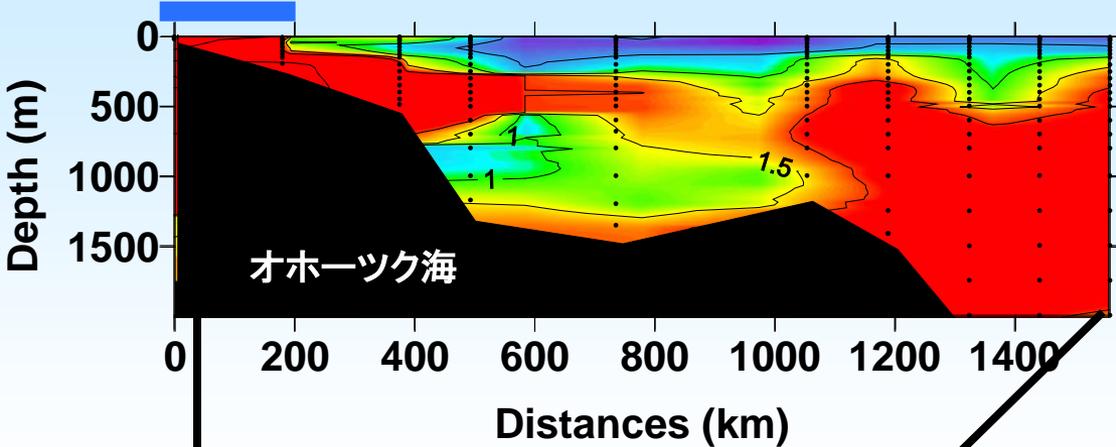
オホーツク海上の気温偏差



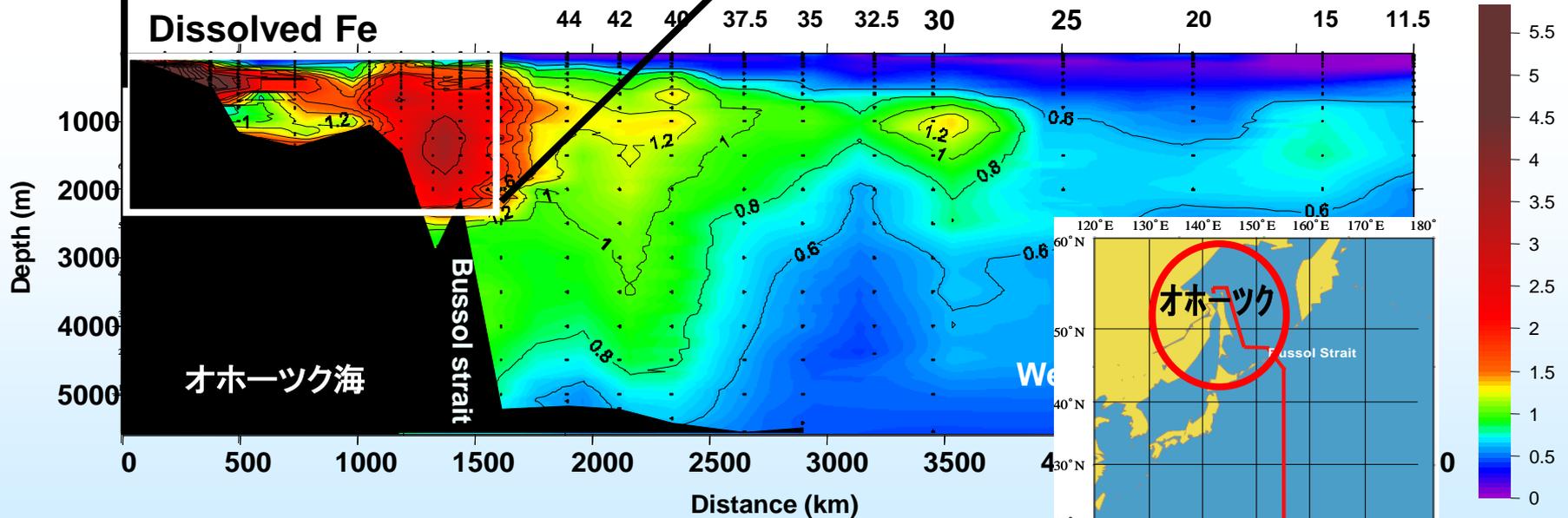
オホーツク海の新氷面積

オホーツク海からの鉄の輸送

高海水生産



オホーツク - 東経155線での鉄の断面図



Nishioka et al., 2013

巨大魚付林： アムールオホーツクシステム

アムール川

鉄

海水生成による重い水生成

鉄

鉄

生物生産に不可欠
西部北太平洋の高い
生物生産を支えている

Nishioka et al.(2007)

中層鉄仮説

温暖化

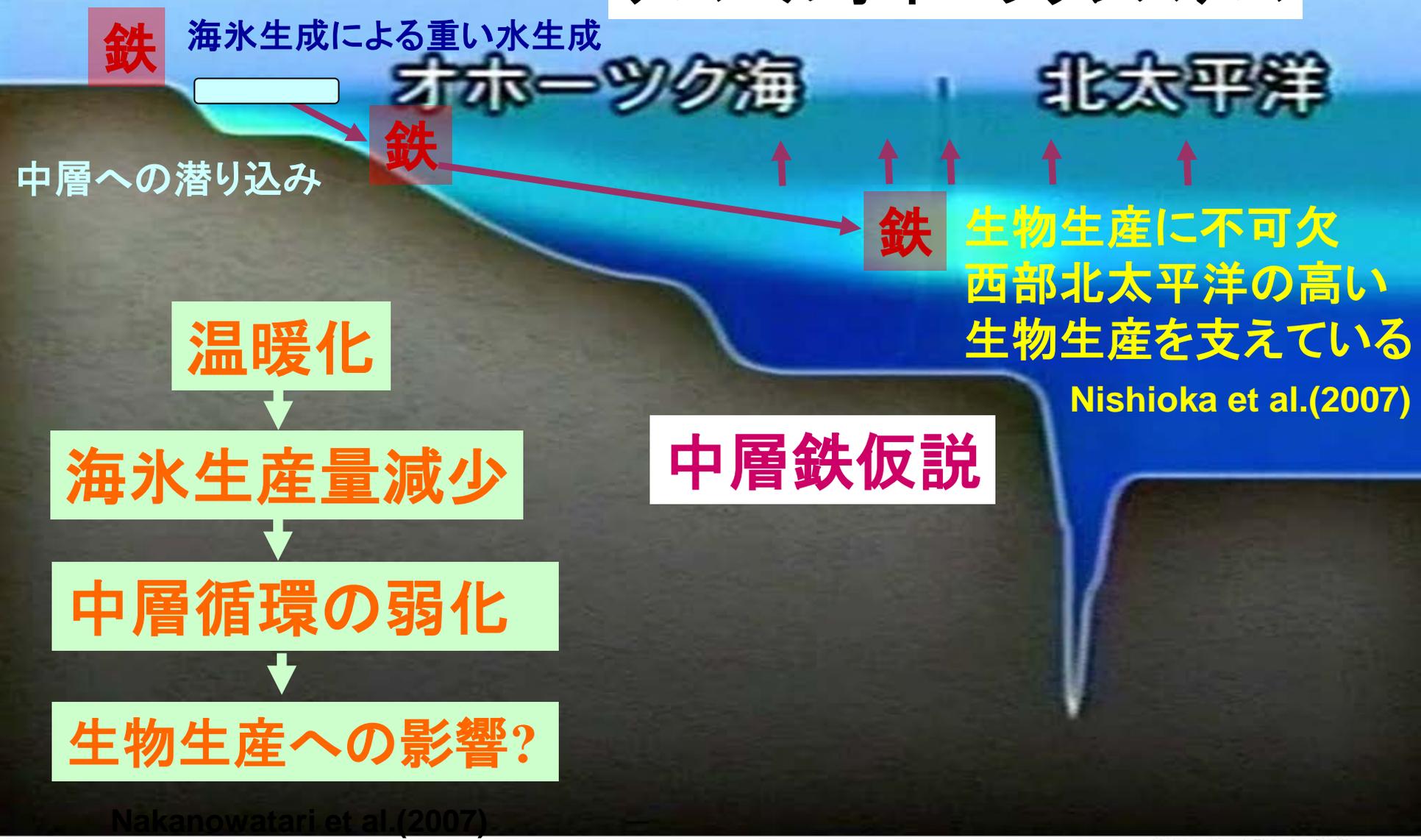
海水生産量減少

中層循環の弱化

生物生産への影響?

Nakanowatari et al.(2007)

JST提供



		海氷生産量	熱塩フラックス
南大洋	SSM/I	<u>利用可能</u>	<u>利用可能</u>
	AMSR	2015	2015
北極海	SSM/I	<u>利用可能</u>	2016
	AMSR	2014	2016
オホーツク海	SSM/I	2014	2015
	AMSR	<u>利用可能</u>	<u>利用可能</u>

海氷生産量データセット

→ 海氷・海洋結合モデルの検証データ

南大洋

Kusahara et al.(2010a, 2010b, 2011), Williams et al.(2010, 2011)

Cougnon et al. (2013), Graham, et al. (2013)

北極海

Kawaguchi et al.(2011)

オホーツク海

Nakanowatari et al. (in press)

海氷域での熱塩フラックスデータセット

→ 様々なモデルの境界条件

南大洋

Galton-Fenzi et al. (2012), Urakawa & Hasumi (2012), Nakayama et al. (2014)

ご清聴有難うございました