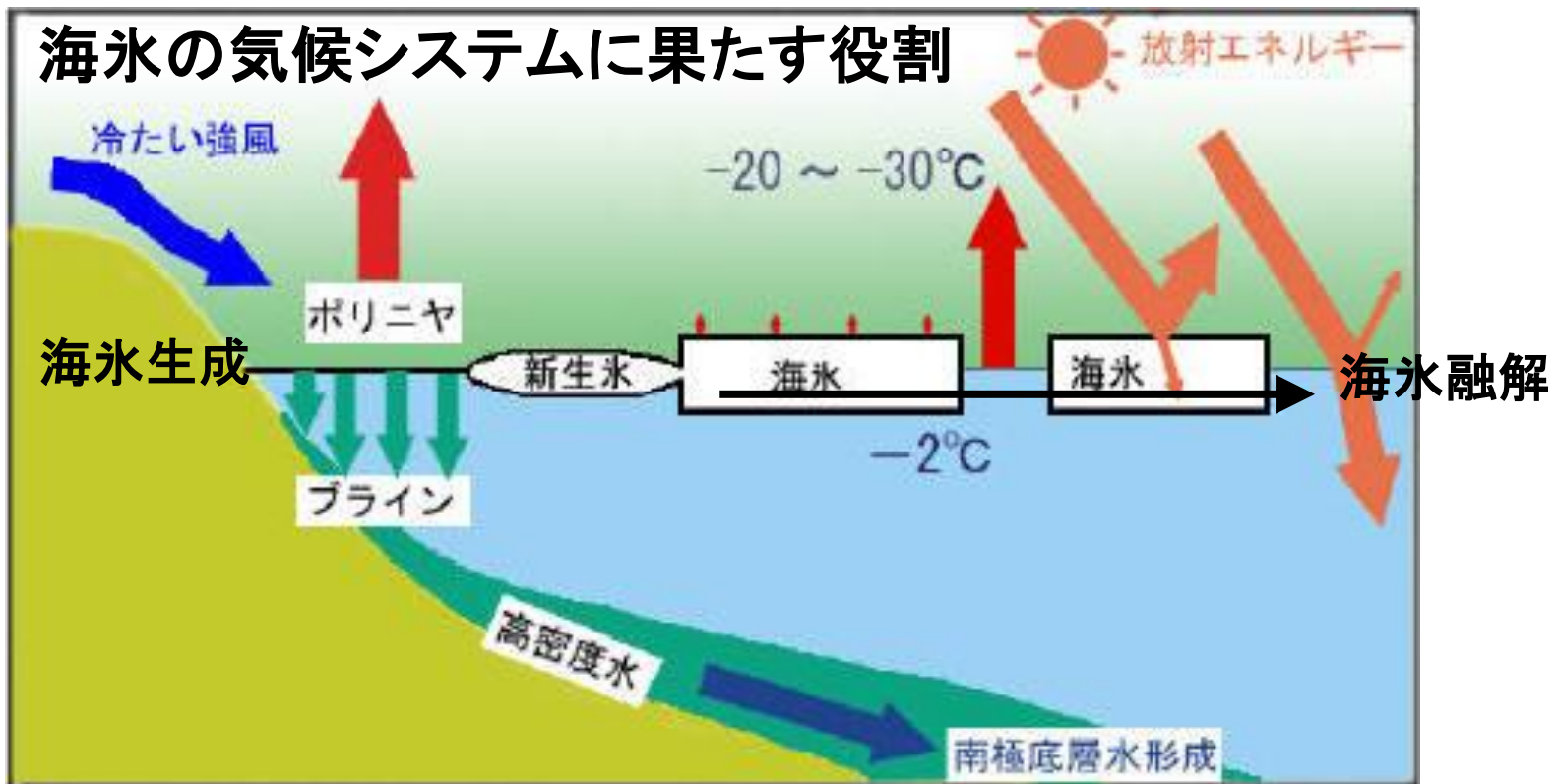


# オホーツク海:海氷生成と中層循環

—北太平洋の心臓—

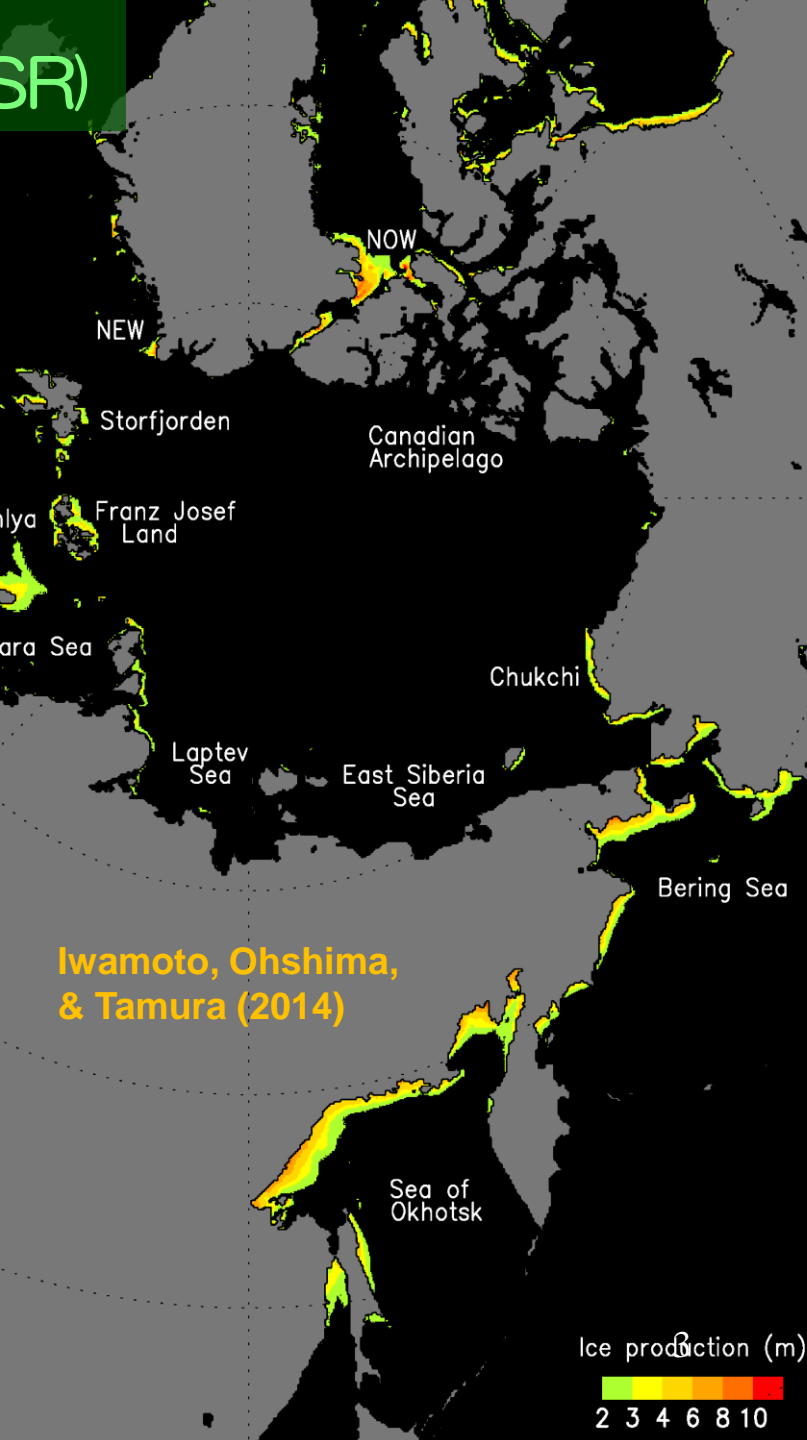
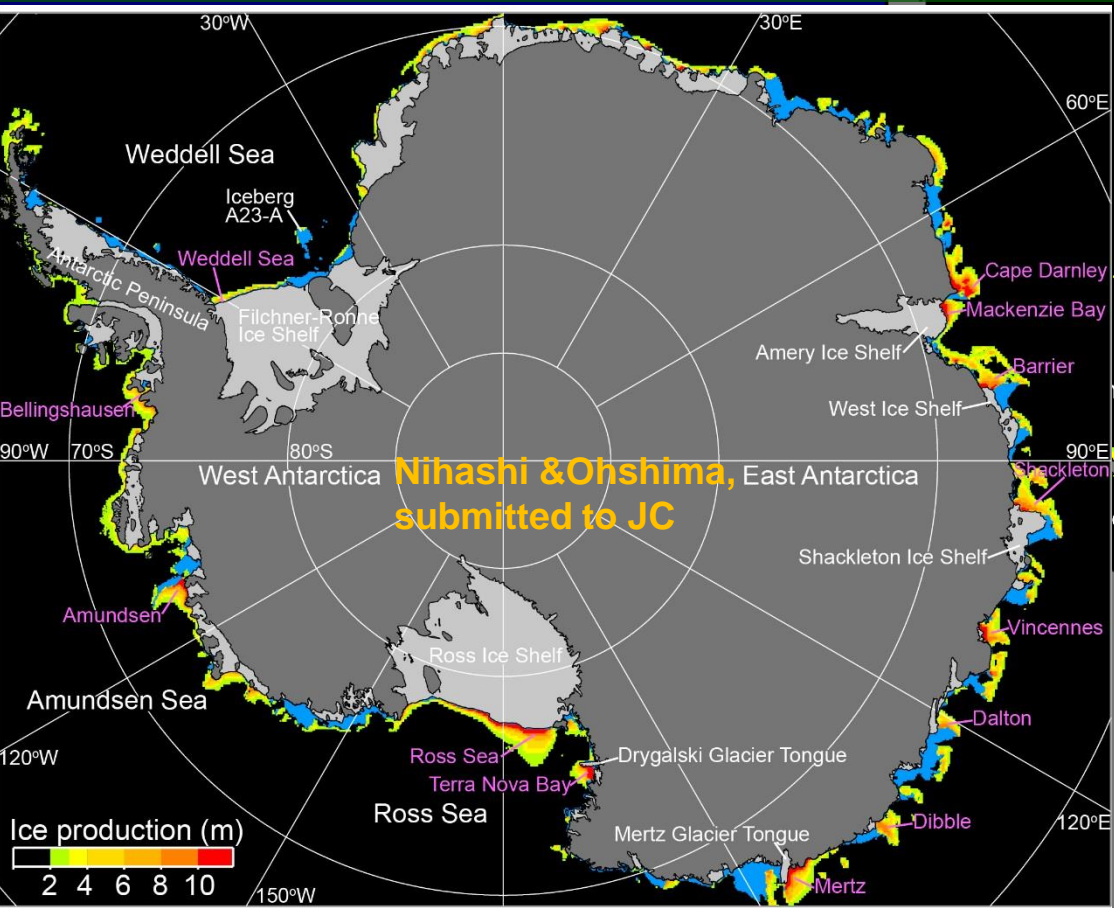
極域海洋学入門第3回



## 熱と塩の再分配・輸送：中深層水の生成

- ・北太平洋の中層水の起源
- ・海水の南方輸送(負の熱と淡水の輸送)
- ・温暖化に対する応答(海水域は影響大)
- ・物質循環・生態系との関係

# 海氷生産量のグローバルマッピング (by AMSR)

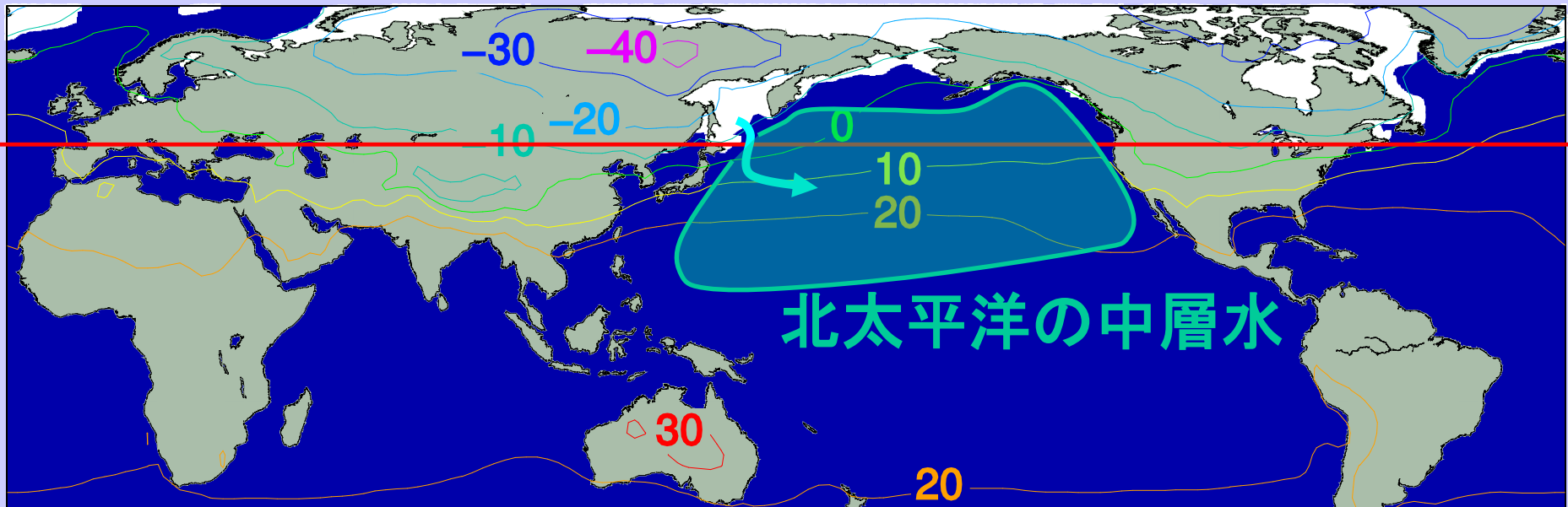


南極海: 高海氷生産  
 → 底層水生成  
 北極海: 低海氷生産  
 林-ツ海: 北半球で最大



# 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

# 寒極の地オイミヤコンで記録した 北半球の最低気温は？

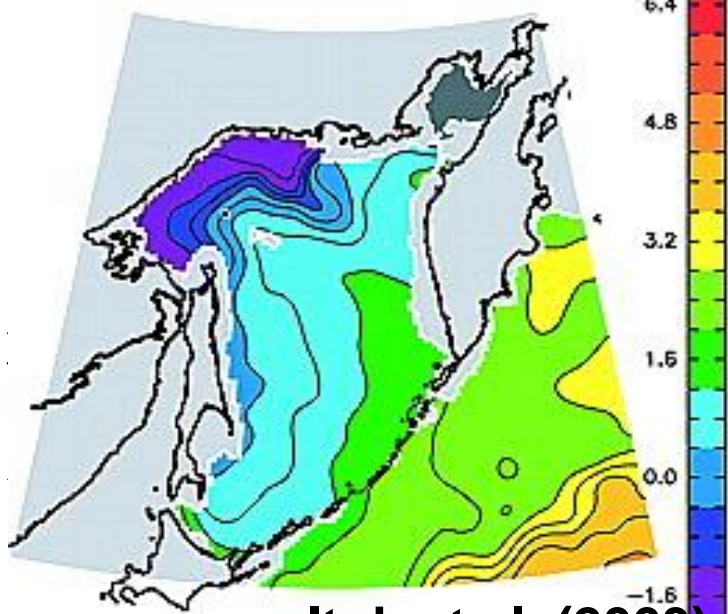
1. 約-70度

2. 約-60度

3. 約-50度

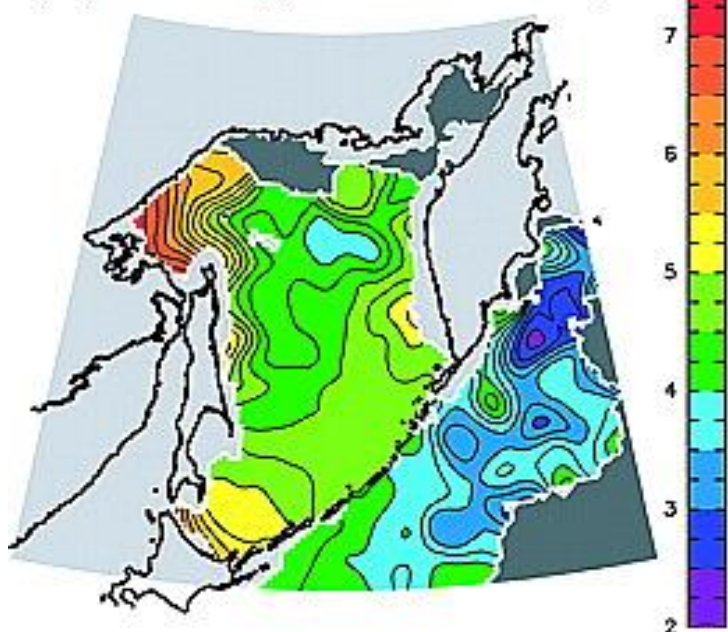
4. 約-40度

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

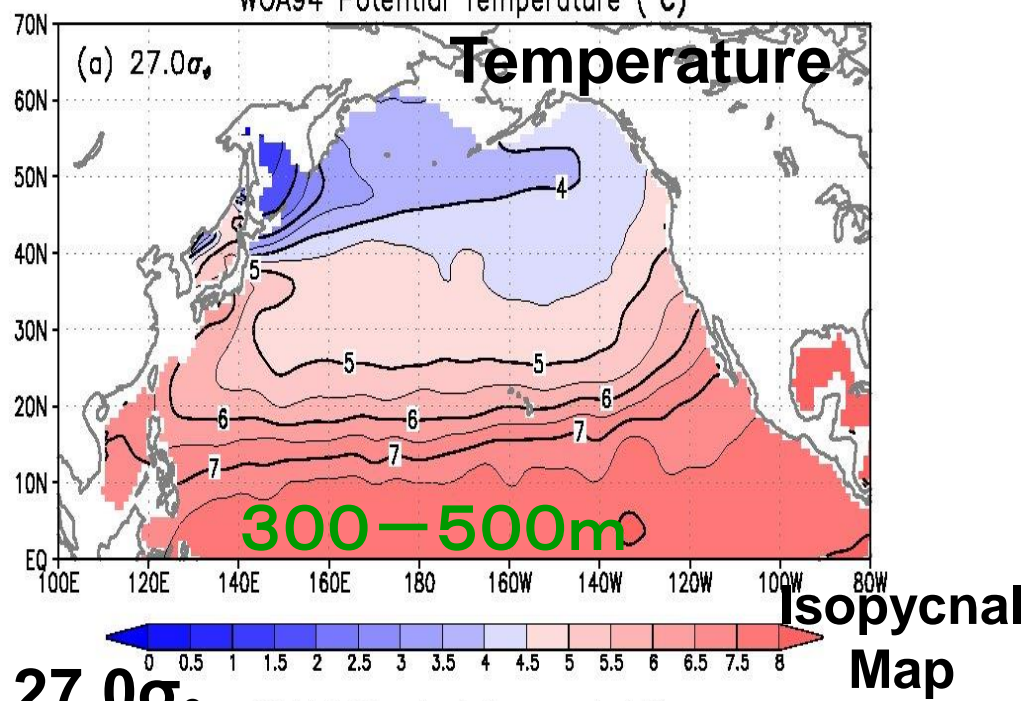


Itoh et al. (2003)

(c) Oxygen 26.8  $\sigma_\theta$

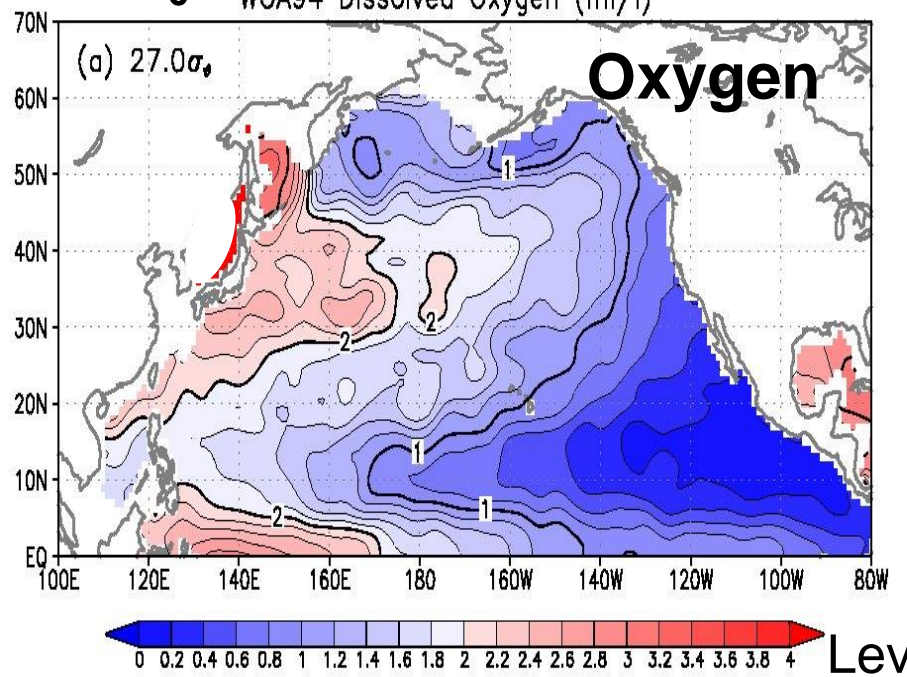


WOA94 Potential Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )



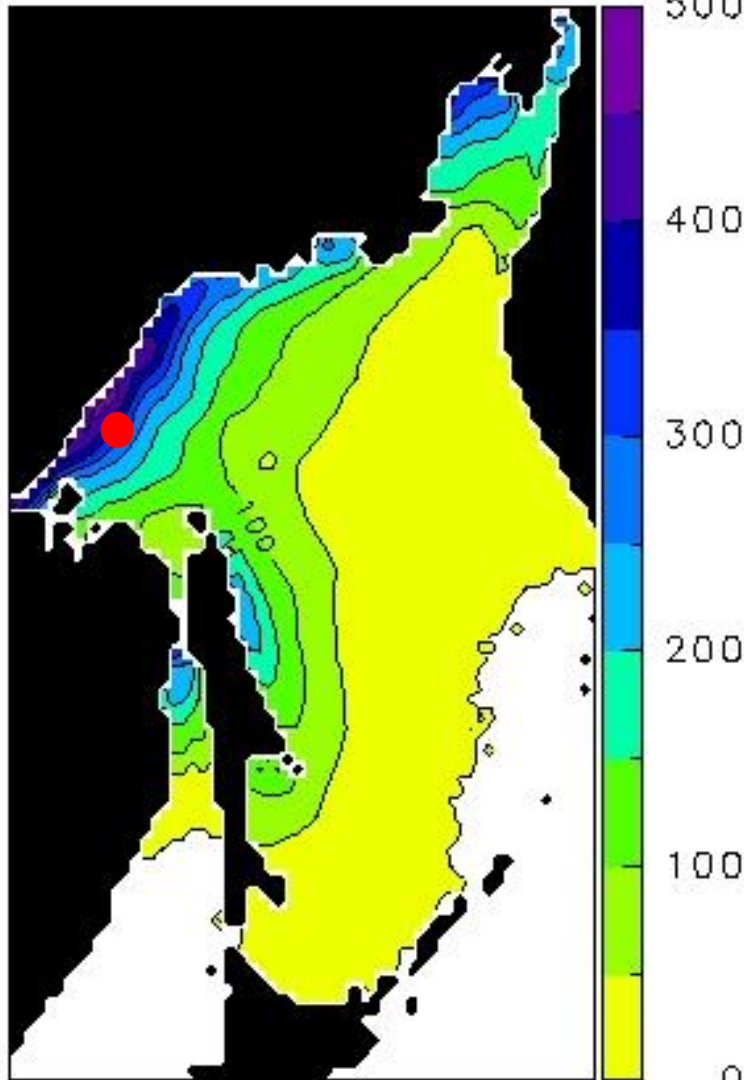
27.0  $\sigma_\theta$

WOA94 Dissolved Oxygen (ml/l)



# 海氷生産量の見積もり

(熱収支と衛星データより)

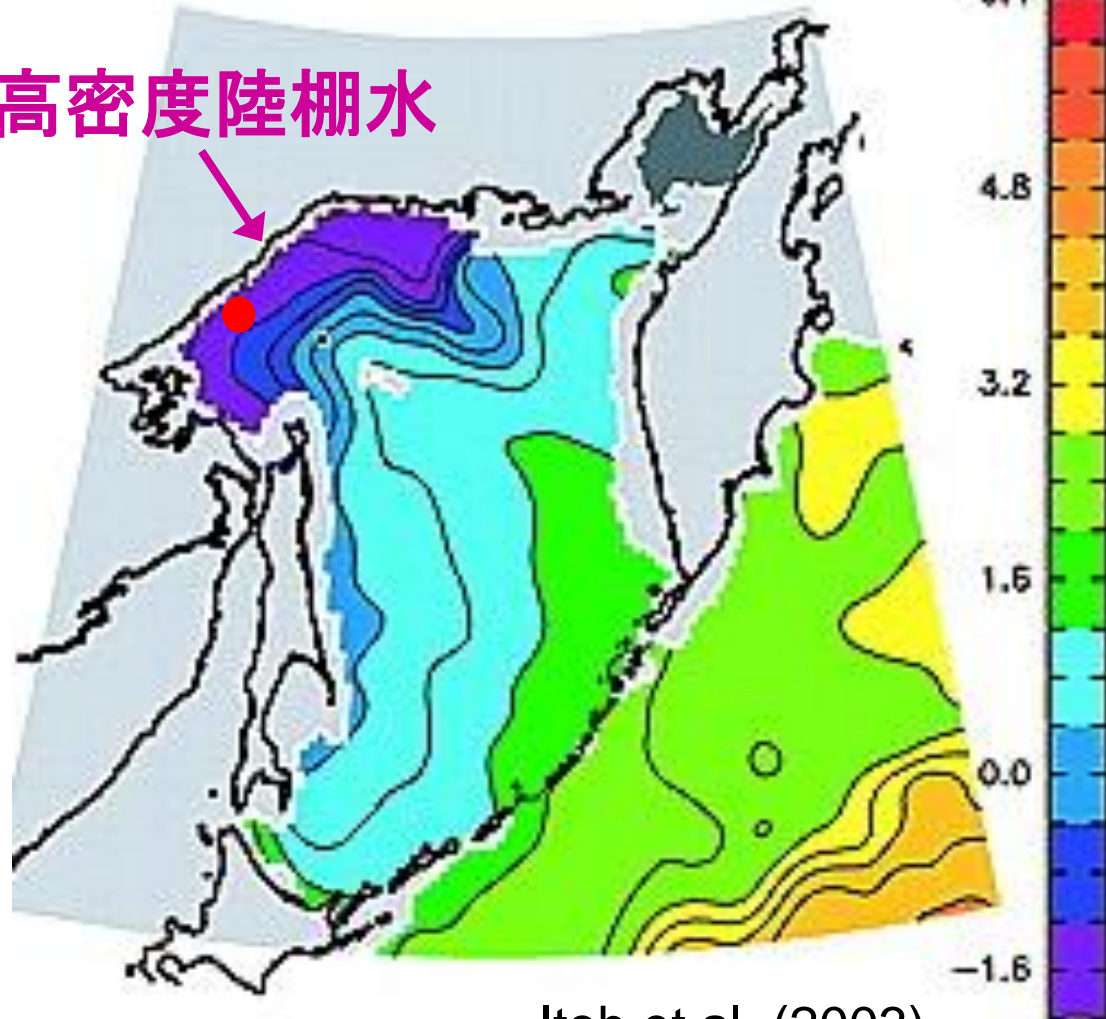


Ohshima et al.(2003)

# 中層(等密度面上)での水温

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

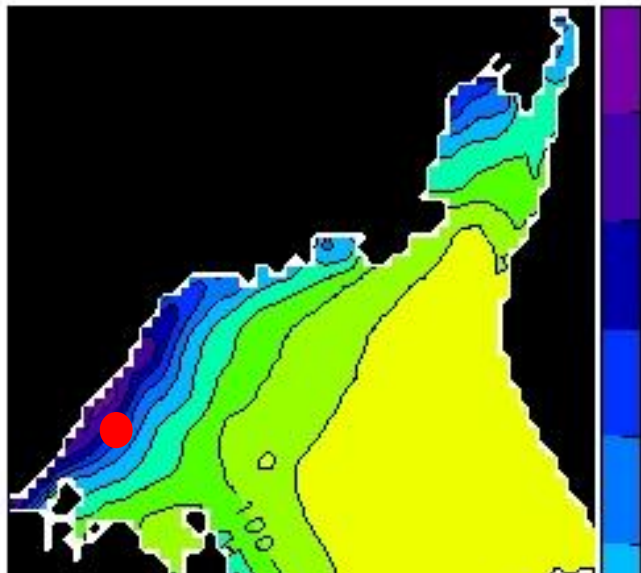
高密度陸棚水



Itoh et al. (2003)

# 海氷生産量の見積もり

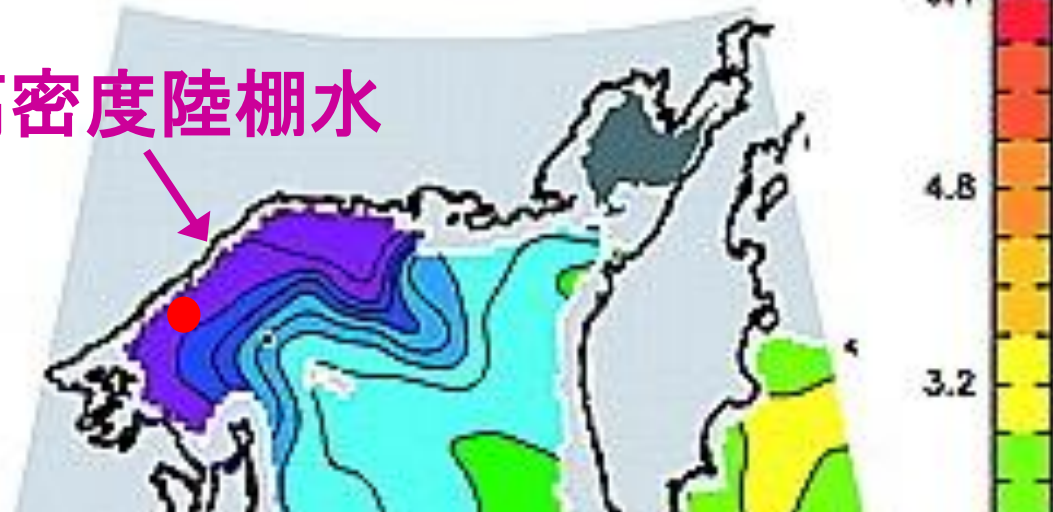
(熱収支と衛星データより)



# 中層(等密度面上)での水温

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

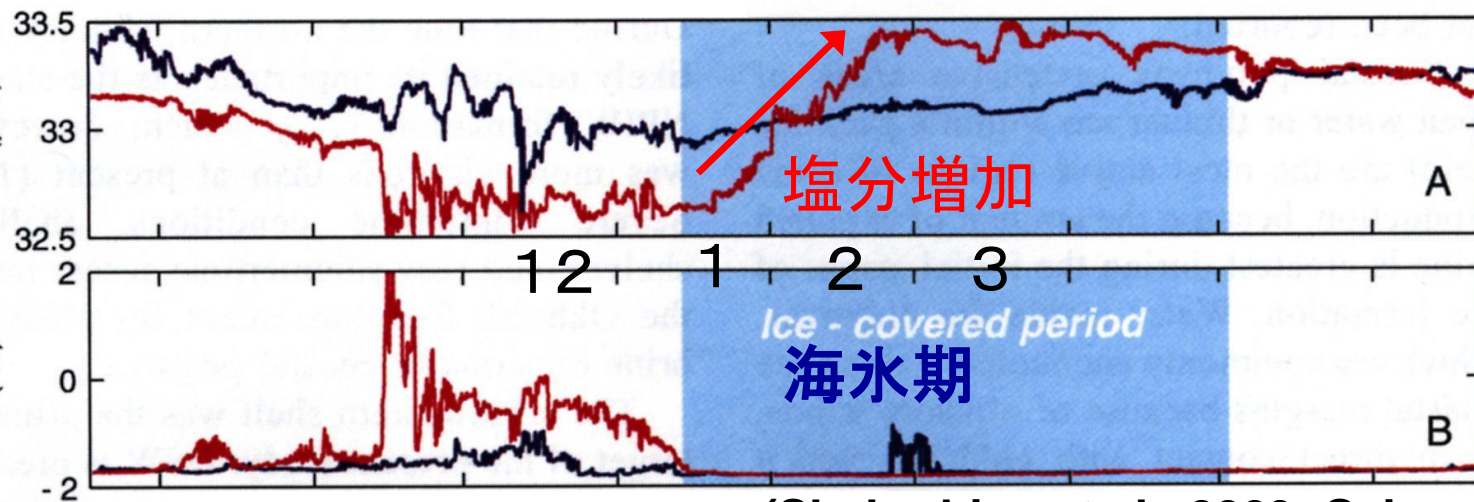
高密度陸棚水



# 高密度陸棚水生成を捉えた観測

塩分

温度



(Shcherbina et al., 2003; Science)



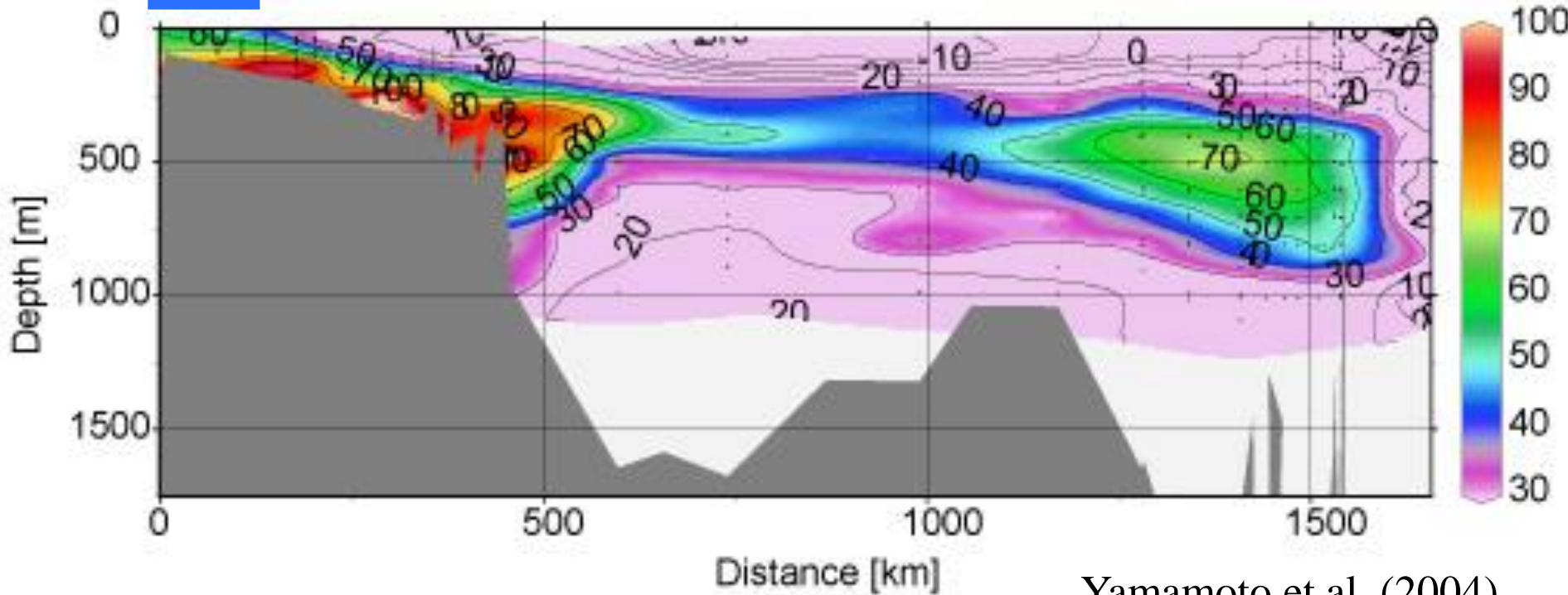
# フロンの断面図

高密度陸棚水の形成→中層水へ

オホーツク海

北太平洋

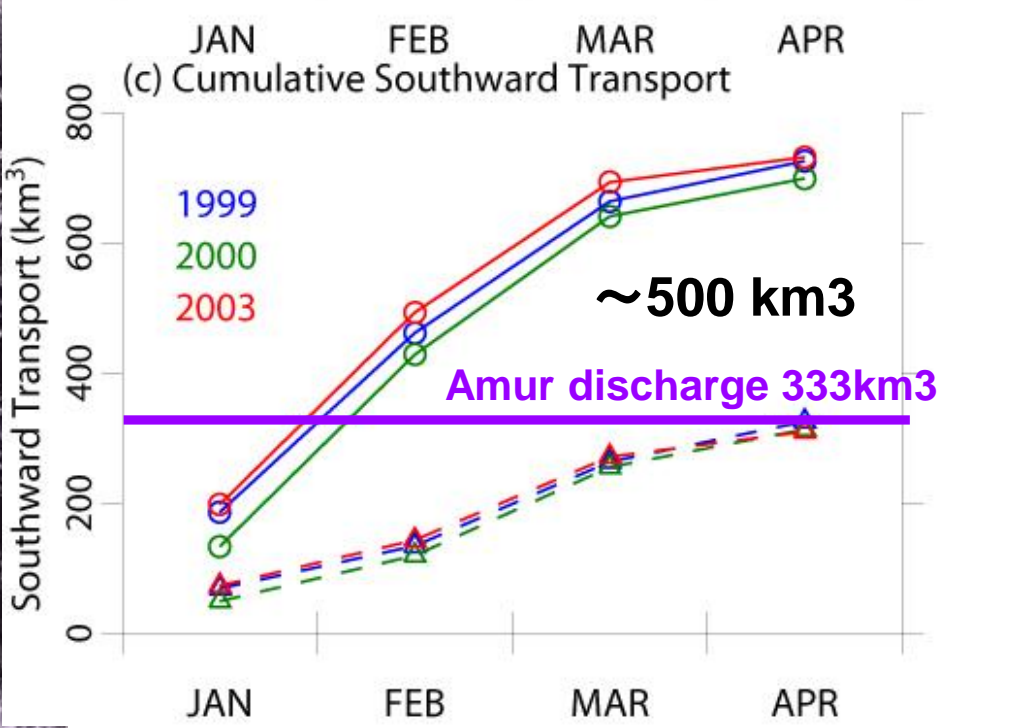
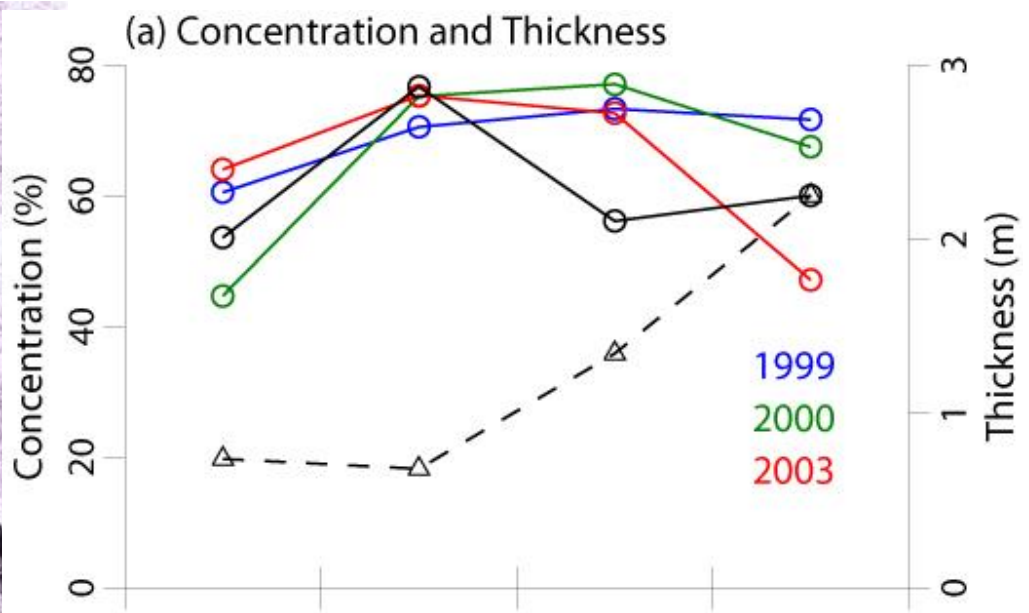
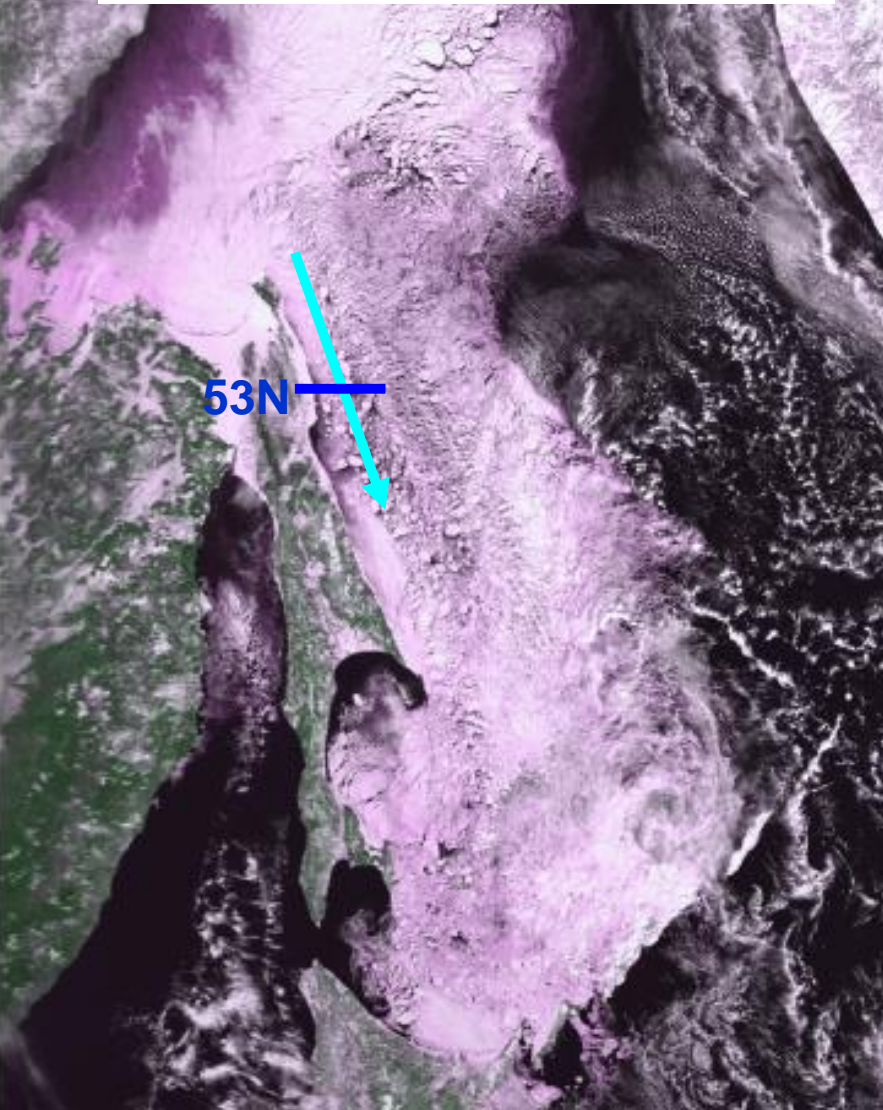
高海水生産



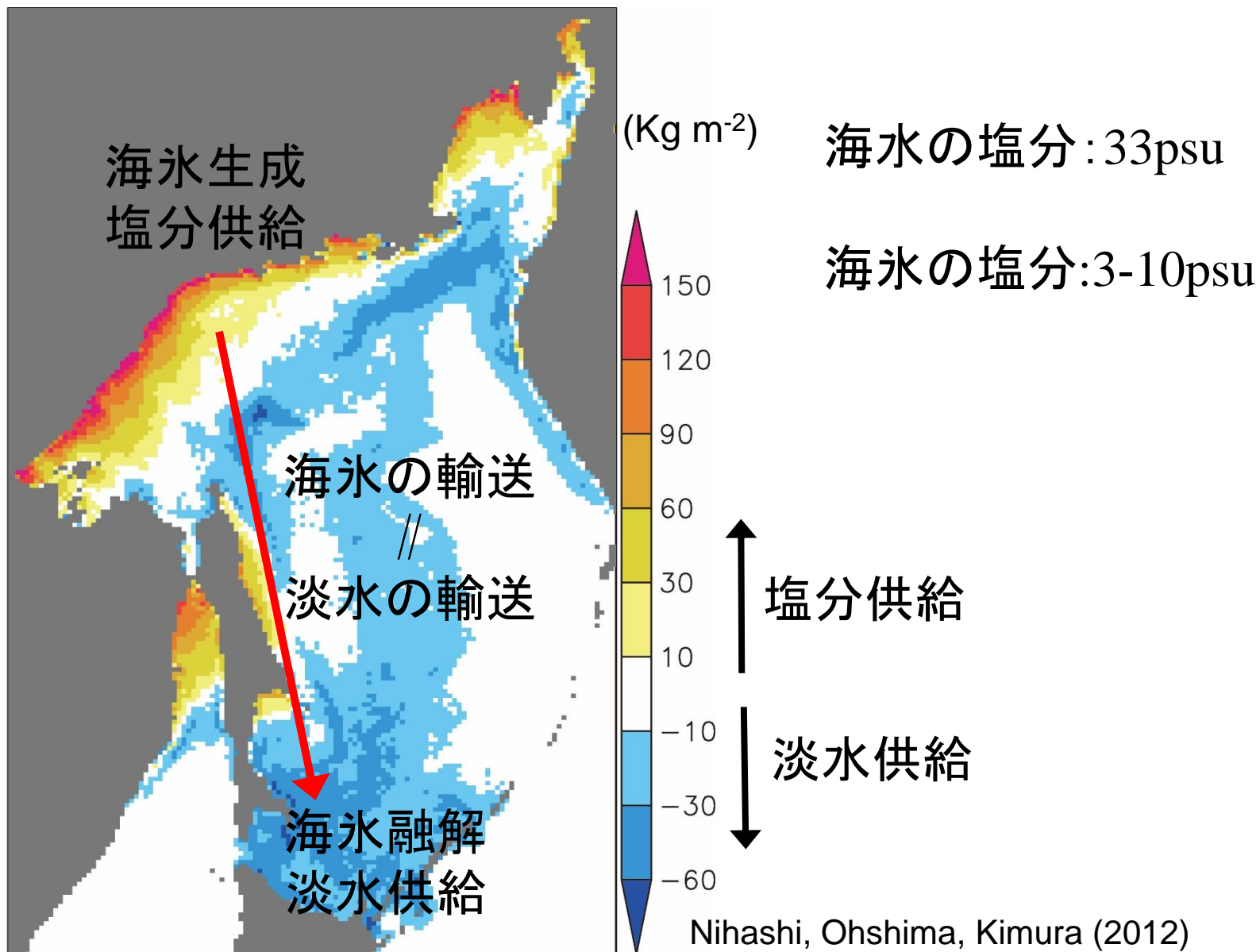
Yamamoto et al. (2004)

オホーツク海は北太平洋の心臓である！

(b) 海氷の南方への輸送量の見積もり  
 厚さ: 係留氷厚計  
 密接度: 衛星マイクロ波  
 漂流速度: ADCP



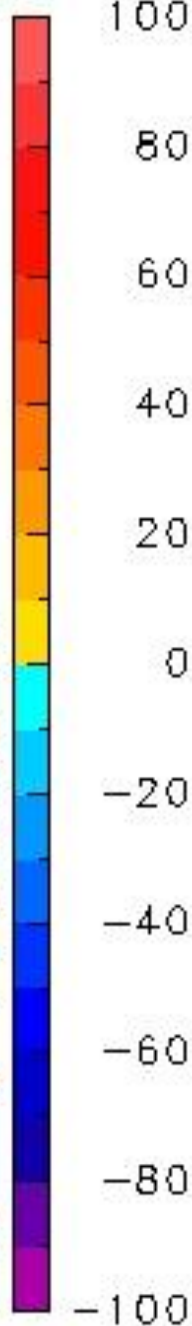
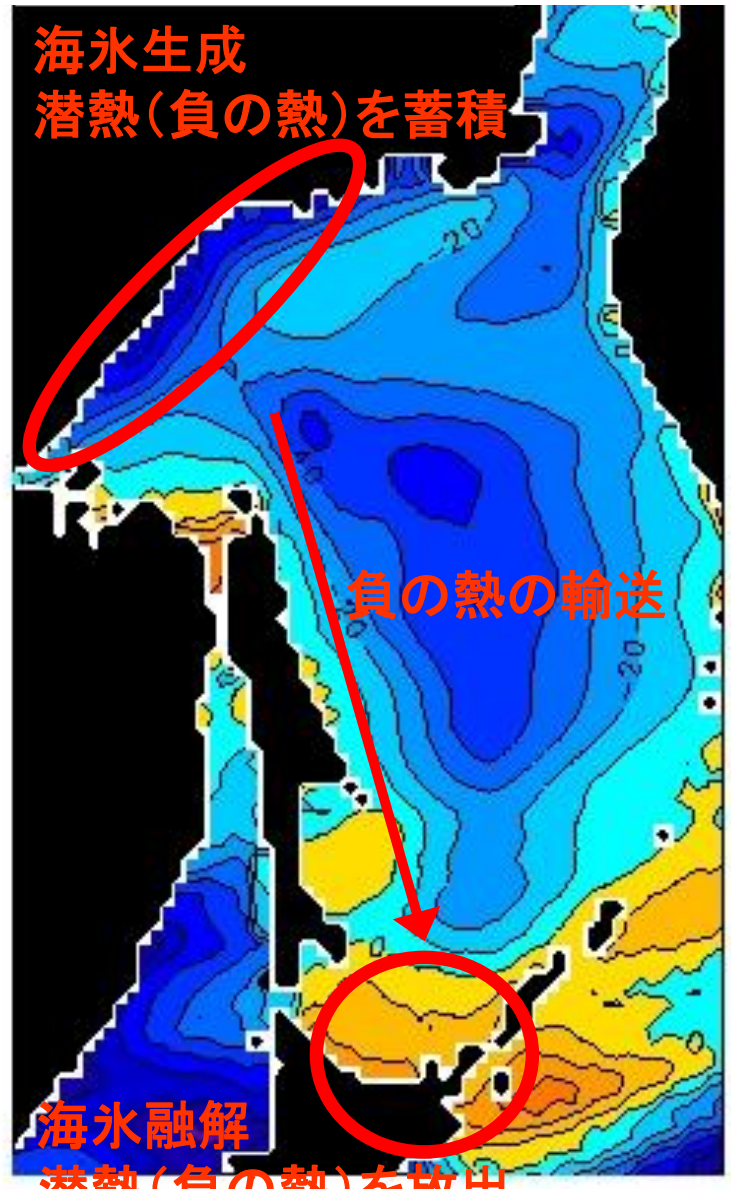
# 海水生成・融解に伴う年間の正味の塩分収支



# 年間の正味海面熱収支

大気から海洋が熱をもらう場合を正

(W/m<sup>2</sup>)



## 海氷による気候形成

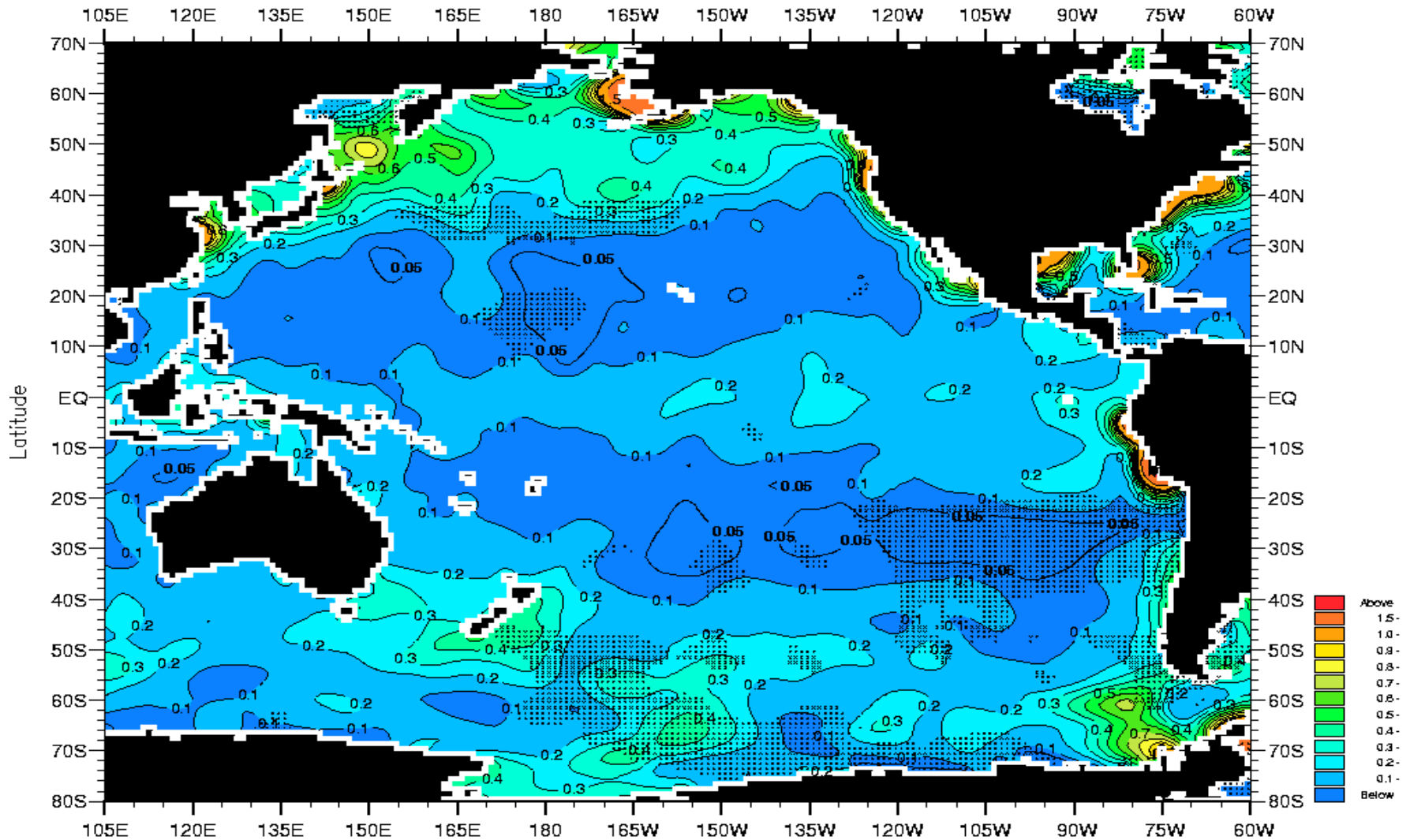
1mの海氷の融解(潜)熱  
= 全大気柱25-30度を昇温

北海道北部・東部域の  
寒冷な気候(特に夏季)は、  
海氷(+東樺太海流)が  
運ぶ負の熱によって形成

(Ohshima et al.,2003)

# 植物プランクトン色素(クロロフィルa)濃度

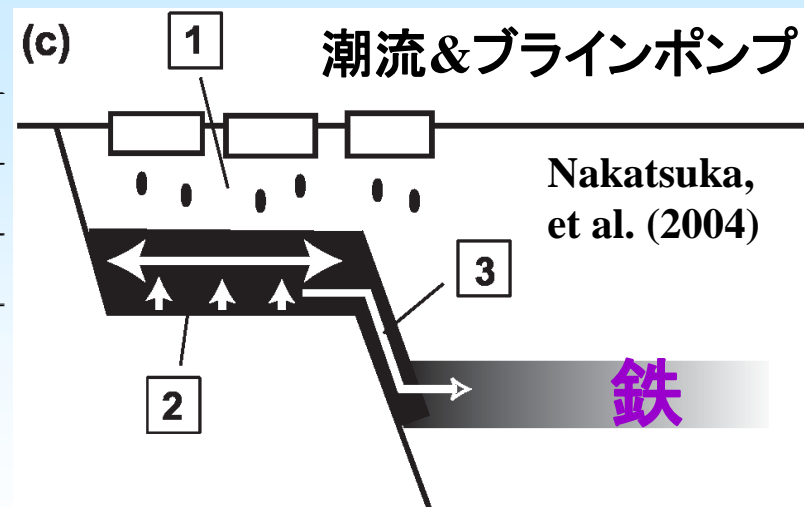
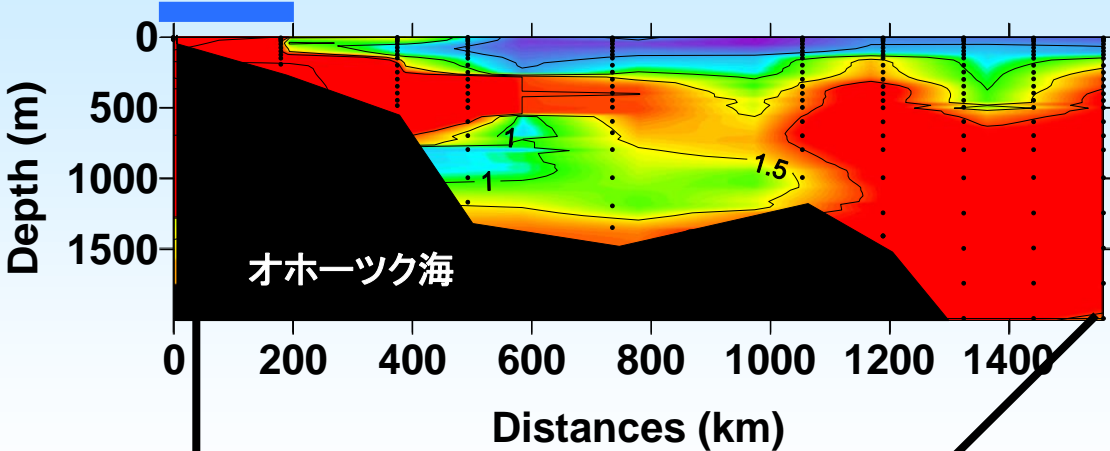
Longitude



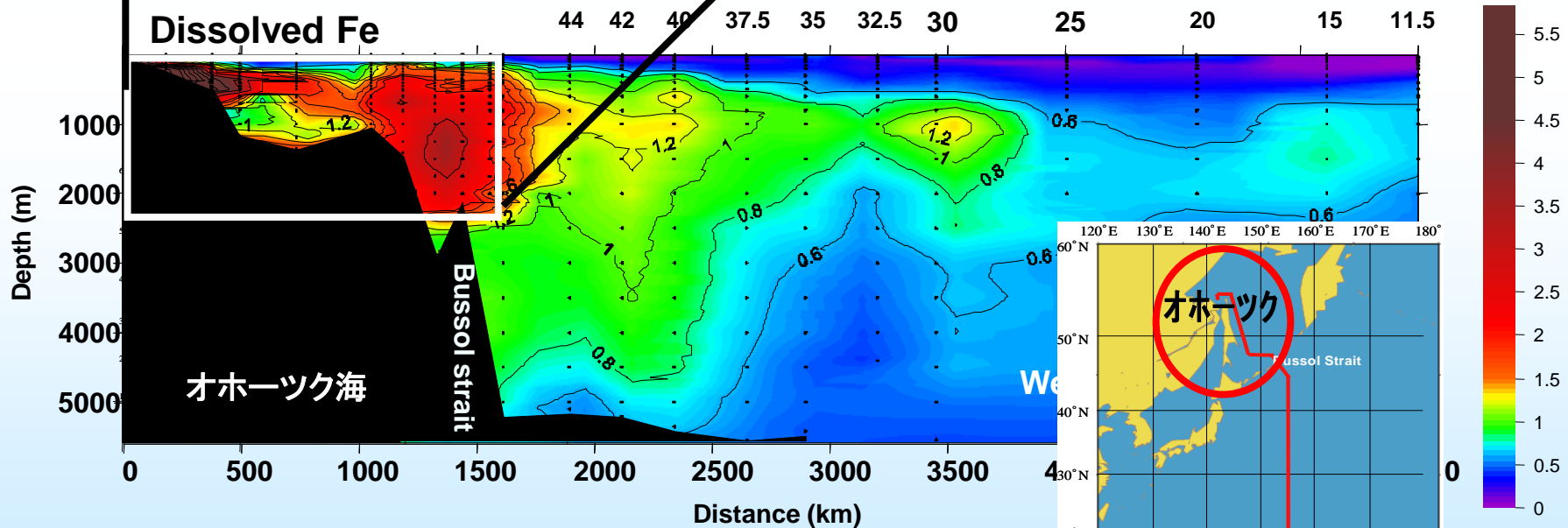
オホーツク海・西部北太平洋は生物生産が大きい

# オホーツク海からの鉄の輸送

高海水生産



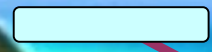
## オホーツク - 東経155線での鉄の断面図



Nishioka et al., 2013

アムール川

**鉄** 海水生成による重い水生成



オホーツク海

北太平洋

中層への潜り込み

**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**

巨大魚付林：  
アムールオホーツクシステム

Nakanowatari et al.(2007)

JST提供

(第3種郵便物認可)

# オホーツク海から循環

## 北太平洋に鉄分供給

オホーツク海に豊富に含まれる鉄分が、北太平洋の植物プランクトンの重要な栄養源となり、豊かな漁場を支えていることを北大低温科学研究所の西岡純准教授（水産科学）らが初めて突き止めた。しかし、地球温暖化に伴い、今後、オホーツク海から北太平洋への鉄分供給のメカニズムが崩れる懸念があり、西岡准教授らは温暖化と鉄分含有量との相関などについて研究を進めるとしている。

### オホーツク海～北太平洋の鉄分の流れ



### 北大低温研が解明

解明したのは、西岡純准教授のほか総合地球環境学研究所（京都）、北海道水産研究所（釧路）の担当者らでつくる研究グループ。近く米科学誌に分析した。

「ジャーナル・オブ・オフィシカル・リサーチ」の電子版に論文が掲載される。研究グループは二〇一〇四年にかけて、オホーツク海と北太平洋を結ぶ中層水の成分がほぼ一致することから、オホーツク海から鉄分が流れる親潮付近とオホーツク海との関係を明らかにする。

## 温暖化で減少 懸念も プラクトン重要な栄養分

層水の循環ルートがあることが分かった。また、鉄の含有量は一辺当たりの最大二百八十ナノ（一ナノは十億分の一）と、親潮付近以外の場所よりも三―五倍も高いことが分かった。

親潮が植物プランクトンに富むのは、これまで、主に黄砂などを含んだ大気から鉄が供給されるためと考えられてきたが、鉄の含有量などを具体的に測定した研究はなかった。今回の研究で、オホーツク海から流れてきた中層水に含まれる鉄が親潮付近で巻き上げられ、植物プランクトンの主要な栄養源になっていることが分かった。

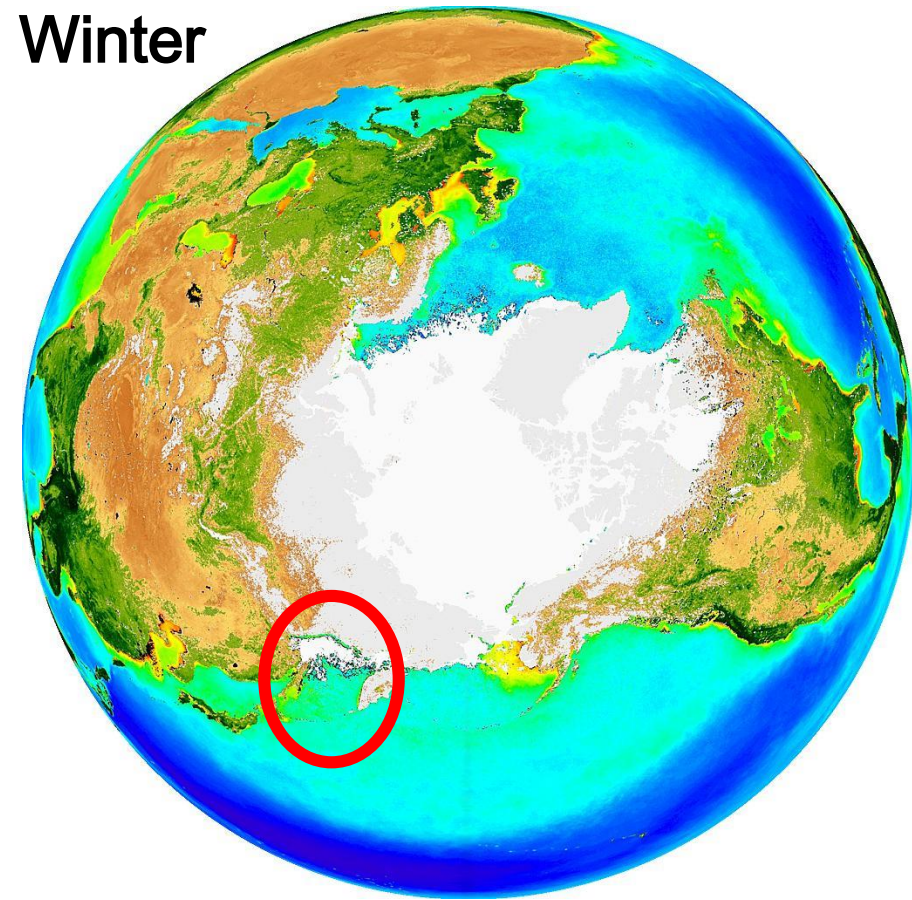
オホーツク海では、海水（流水）ができる際、塩分や鉄分を含んだ比重の重い海面近くの水が沈んで中層水になることが知られている。北大低温研の別の研究グループは一月、地球温暖化の影響で海水が減り、それに伴って中層水の生成量も減っていることを解明している。

このため、西岡准教授は「中層水の量が減れば、北太平洋への鉄分の供給量も減り、魚介類など生態系に影響が出る可能性がある」と話している。

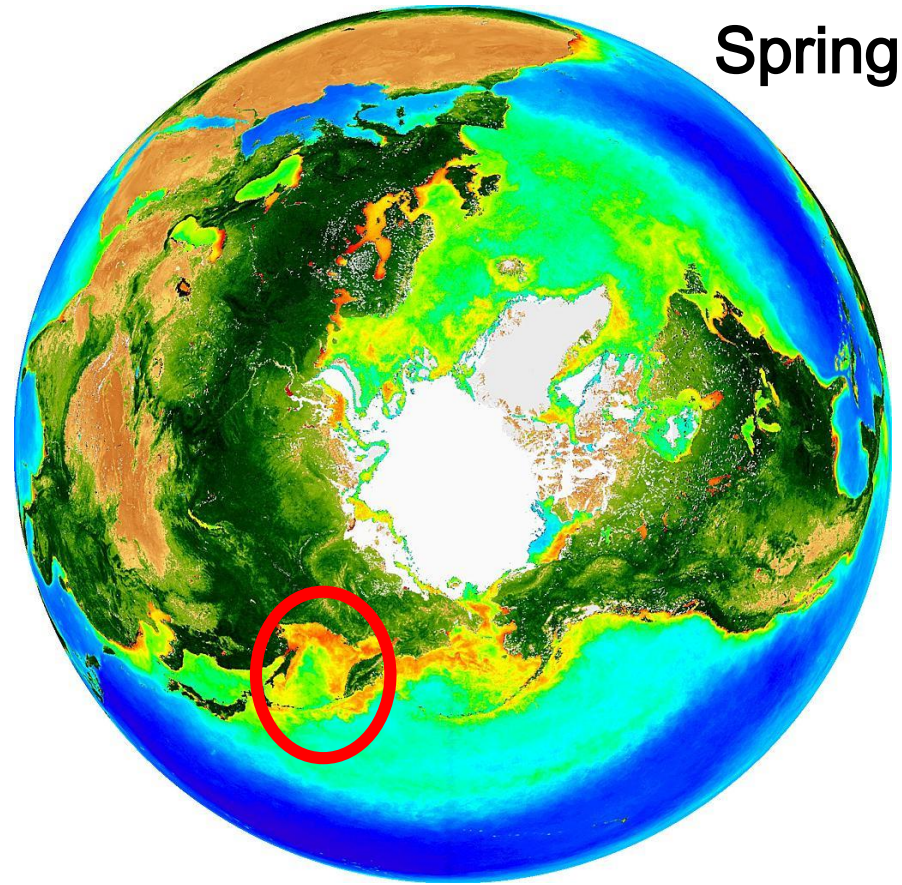


# 北半球の海氷と植物プランクトン

Winter



Spring



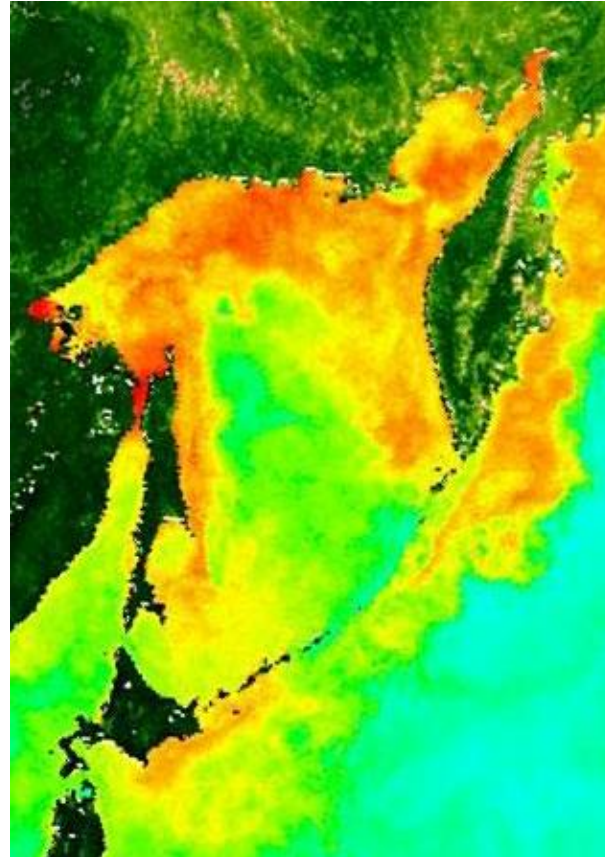
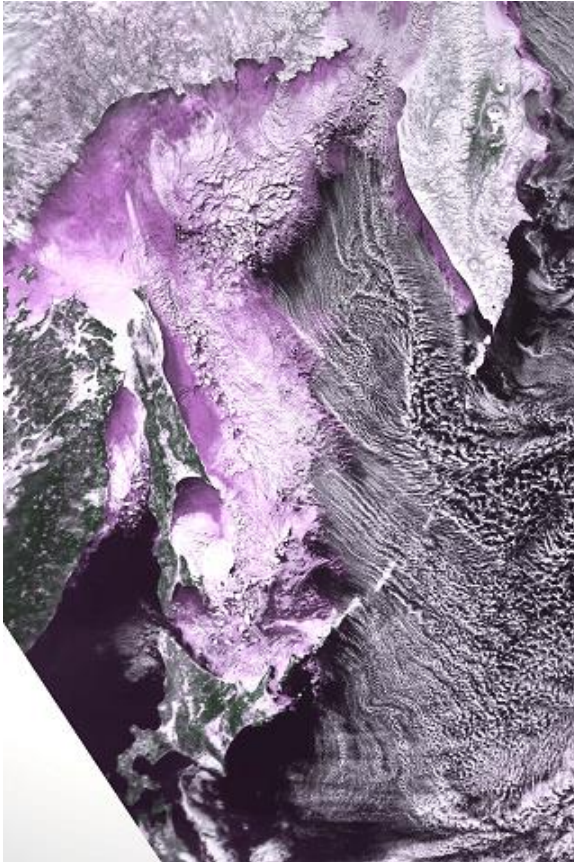
SeaWifs satellite image of Ocean color  
<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/>

**季節海氷域の高い生物生産**  
( Arrigo et al., 1998 ; Bluhm et al., 2008 )

# オホーツク海における海水発達と春季植物プランクトン増殖

海水衛星画像 (24 Feb. 1998)

春季植物プランクトンブルーム



高生物生産が豊かな  
水産資源を支える

Kitami Institute of Technology  
Snow and Ice Research Laboratory  
<http://snow.civil.kitami-it.ac.jp/>

SeaWiFS satellite image of Ocean  
color, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/>

高い生物生産を生み出す為には？

- 河川、●大陸棚、●海水??

# 海水が春季植物プランクトン大増殖にどのような役割を果たしているのだろうか？



海水の融解



増殖環境の変化

● 良好な光環境  
低塩分水による成層化

● 栄養塩  
(窒素、リン、ケイ素)  
● 微量栄養物質  
(鉄分)



植物プランクトン大増殖

2003

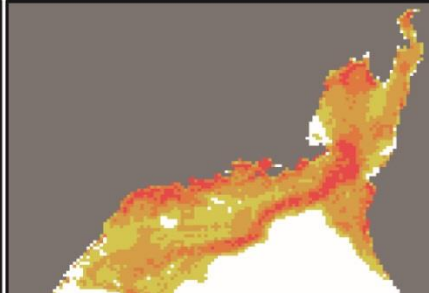
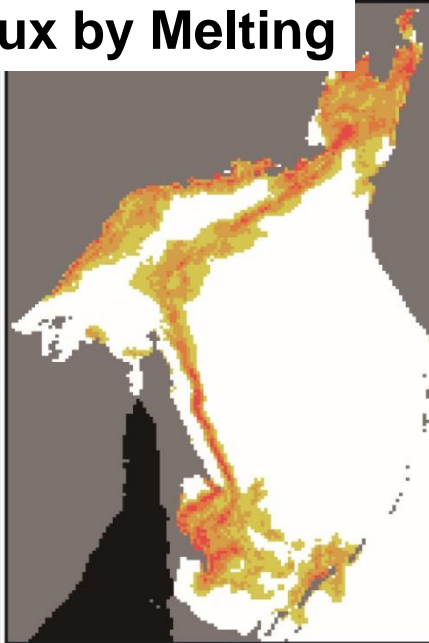
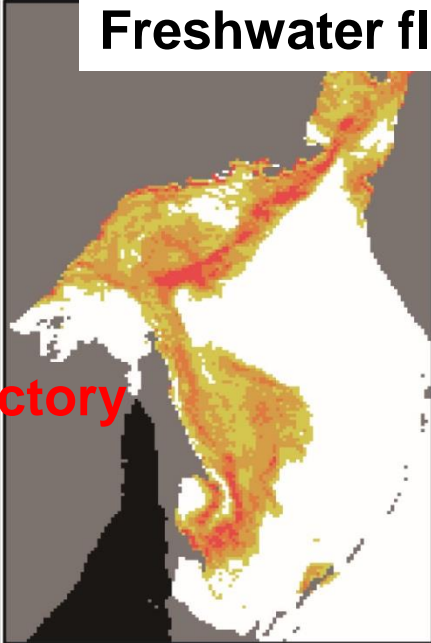
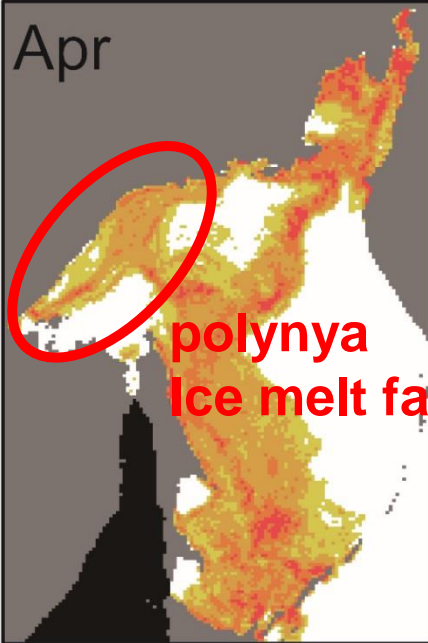
2004

2005

2006

Apr

Freshwater flux by Melting



polynya  
Ice melt factory

沿岸ポリニヤ(氷縁)

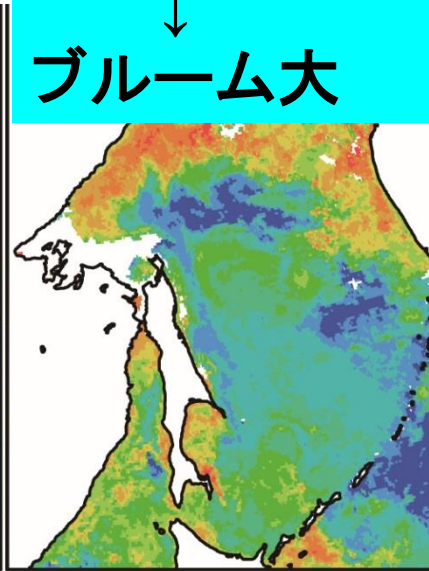
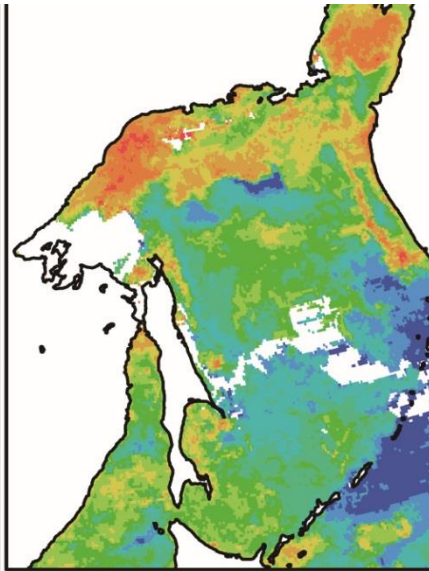
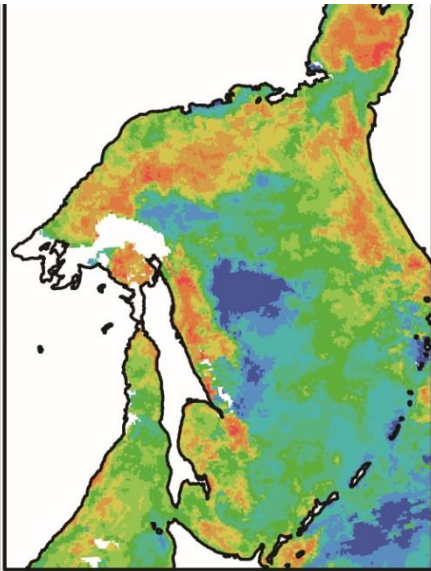
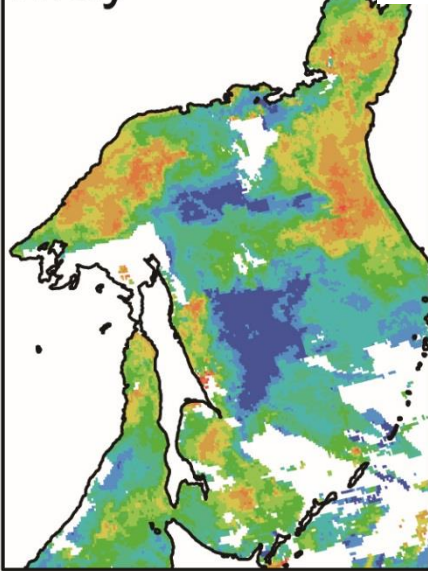
↓  
海水融解工場

↓  
成層強化・栄養供給

↓  
ブルーム大

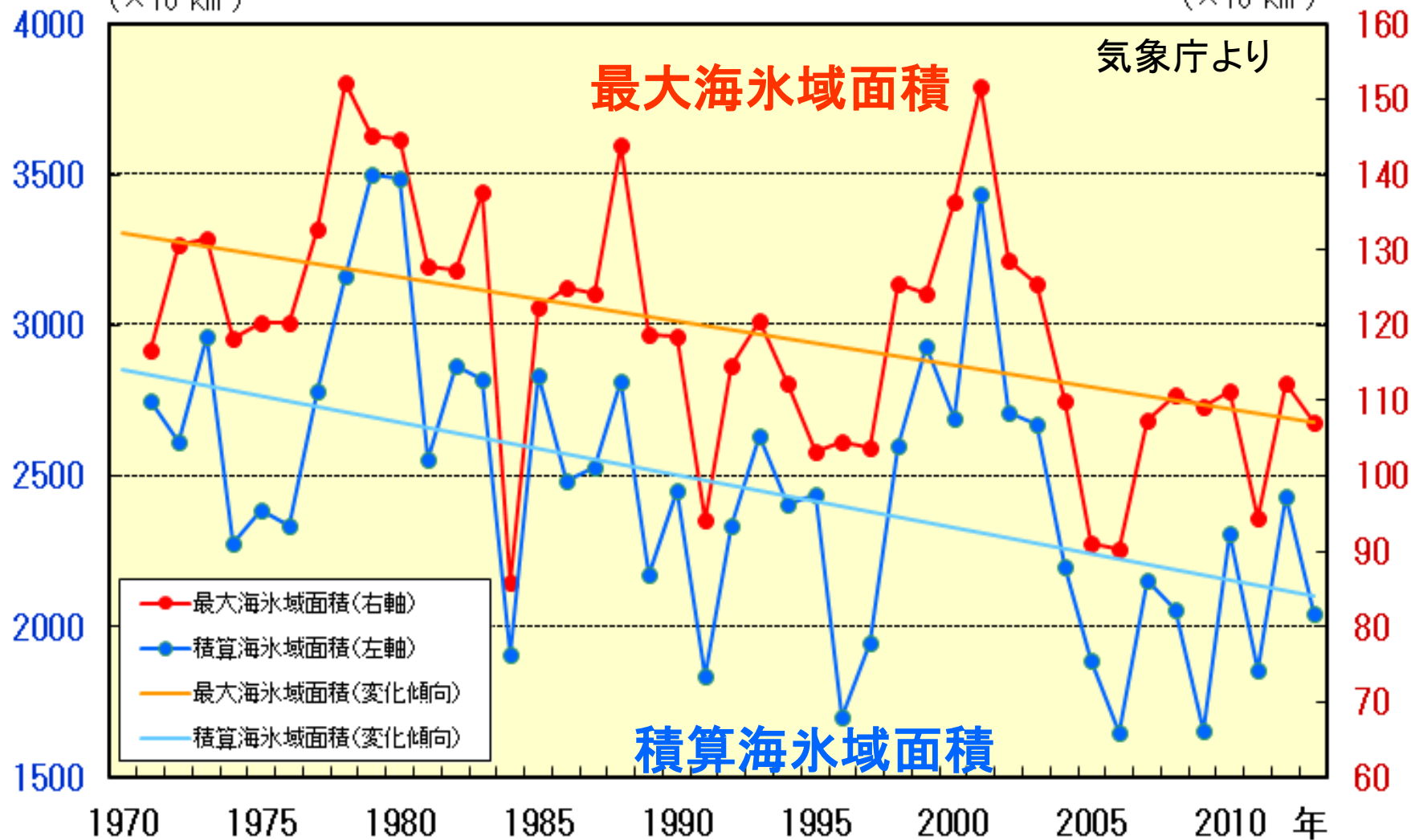
May

Aqua MODIS chlorophyll concentration



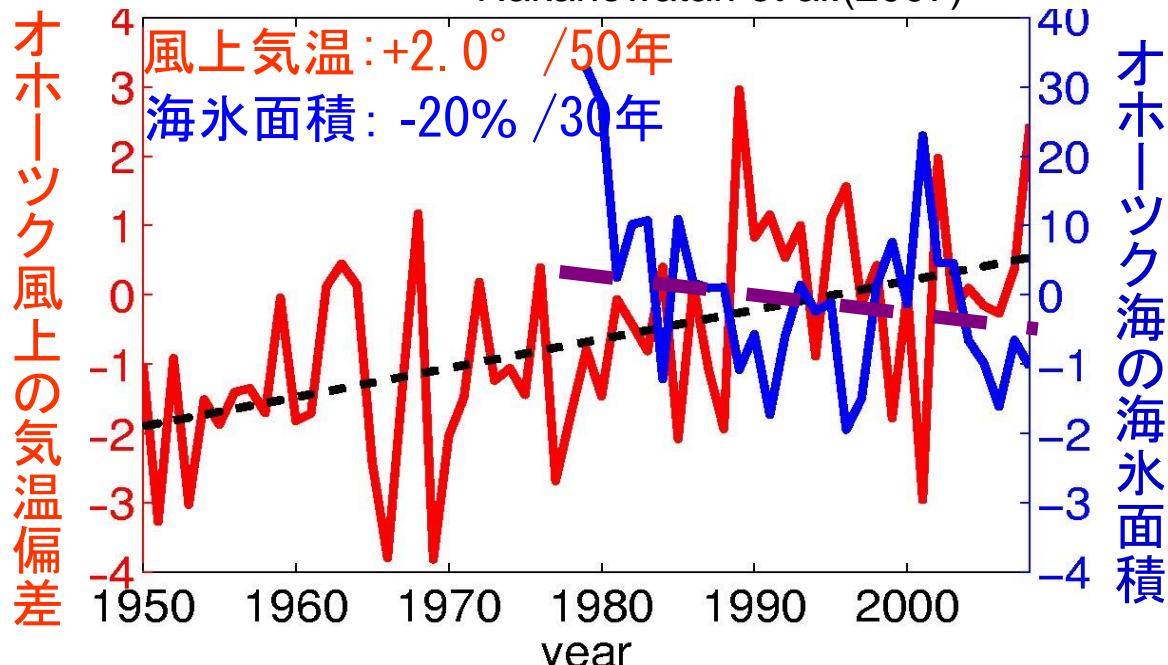
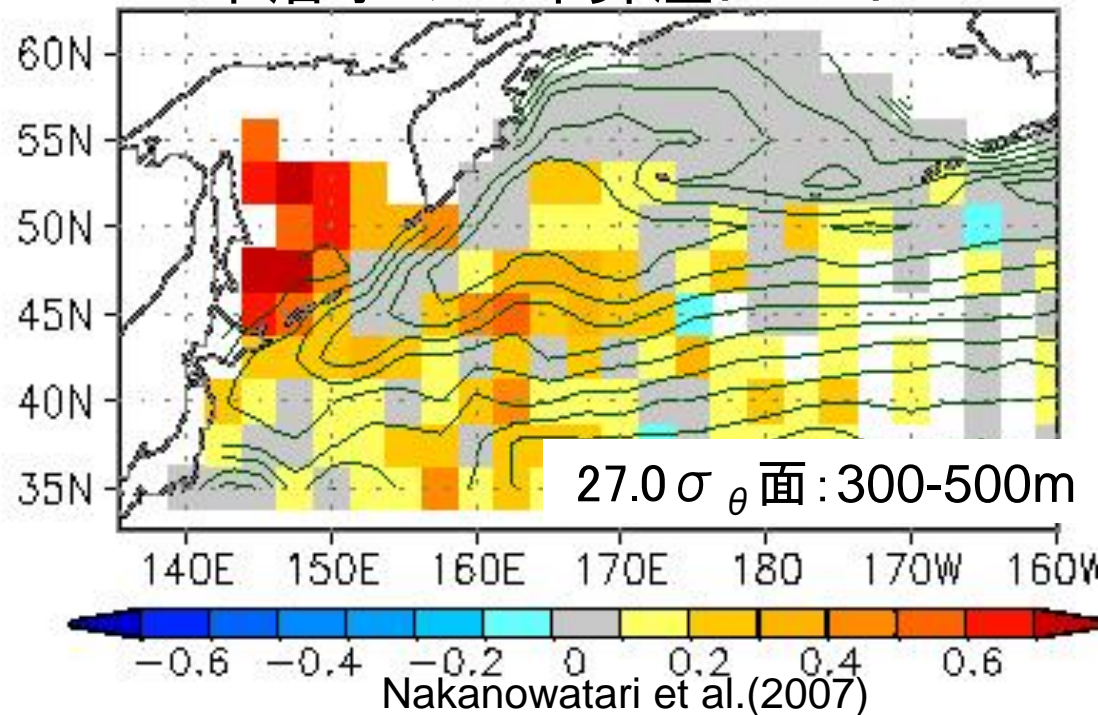
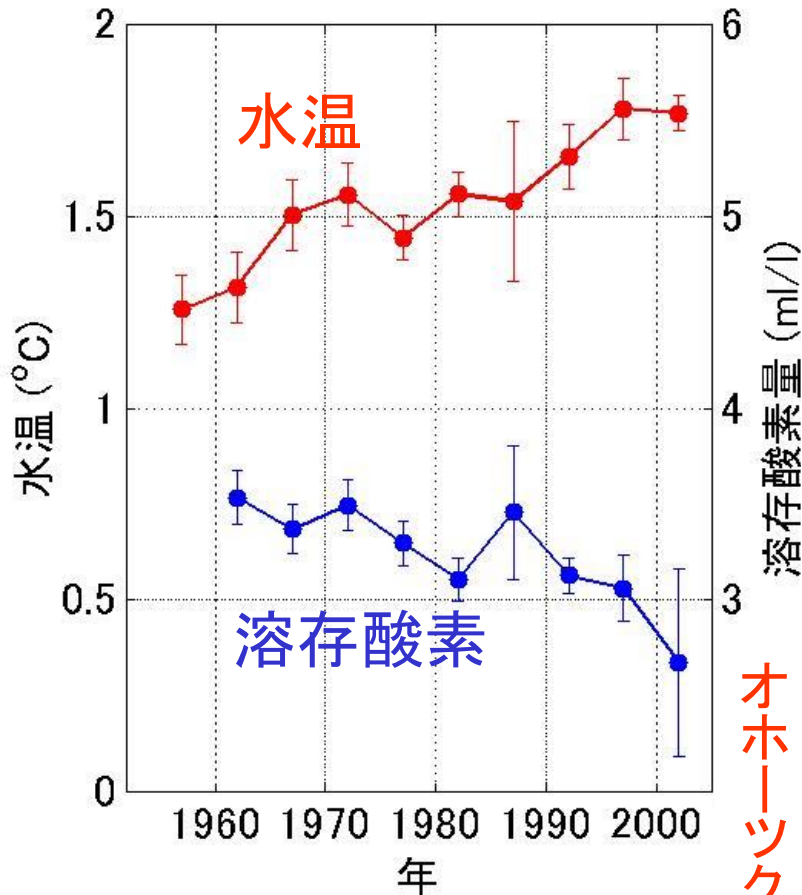
積算海氷域面積  
( $\times 10^4 \text{km}^2$ )

最大海氷域面積  
( $\times 10^4 \text{km}^2$ )



オホーク海の海氷面積は40年で約25%減少している

# 中層水の50年昇温トレンド

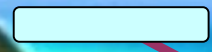


オホーツク海の中層水の50年間の変化

重い水の潜り込みは減っている!

アムール川

**鉄** 海水生成による重い水生成



オホーツク海

北太平洋

中層への潜り込み

**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)

温暖化

海水生産量減少

中層循環の弱化

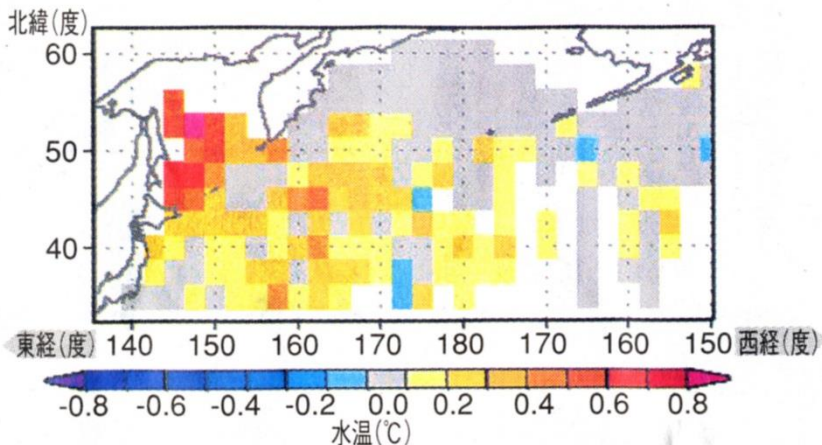
生物生産への影響?

Nakanowatari et al.(2007)

JST提供

研提供)

過去50年間の海水温の変化(北大低温)



# オホーツク海

## 温暖化、酸欠で“悲鳴”

オホーツク海から太平洋北部の水深二〇〇メートルから一〇〇〇メートルの「中層水」と呼ばれる海水の温度が過去五十年間で平均〇・六度上昇し、「海の温暖化」が急速に進んでいることが、北大低温科学研究所の調査で明らかになった。中層水に含まれる酸素量の減少も観測され、資源の豊富な北の海への影響が懸念される。

### 北大低温研が解析

オホーツク海では海面に近い海水は、海水の影響で塩分が濃く水温が低くなり比重も重くなるため、沈み込んで中層水となり、海水の循環が生まれる。

同研究所の若土正暁所長、大島慶一郎助教、中野渡拓也研究員による研究チームは、同研究所などが測定した最新のデータを含む一九五五

は、オホーツク海で一メートルから一〇・六〇・七メートル減少していた。

地球温暖化の影響で、オホーツク海の海水の生成量は減少が観測されている。研究チームは、海水が減ったために、水温の低い中層水の生成量も減り、結果としてオホーツク海から北太平洋にかけて水温を上げたのでは、と推論する。

### 50年間で0.6度

### 資源に影響懸念

年から二〇〇四年の北太平洋とオホーツク海、六万三千方所の中層水の水温と酸素量のデータを解析した。

その結果、水温が最も上昇していたオホーツク海西部で

〇・七度、オホーツク海全体で平均〇・六度の水温上昇がみられた。若土所長は「海水温で〇・六度の上昇は、オホーツク海上空の大気を百度上げる熱量に相当する」と説明する。

さらにオホーツク海の中層水が流入する親潮に沿って、太平洋北西部にも帯状に水温上昇の大きい海域が広がっている。海水に含まれる酸素量

若土所長は「オホーツク海は北太平洋に栄養分と酸素を送り込む心臓の役割を果たしているが、温暖化によってこの機能が弱っている。海が地球環境や世界の気候に果たす役割は計り知れない。今後は海の変化と影響にもっと注目すべきだ」と指摘する。研究結果は、米国地球物理学連合の学会誌「地球物理学研究レター」に近く公表される。