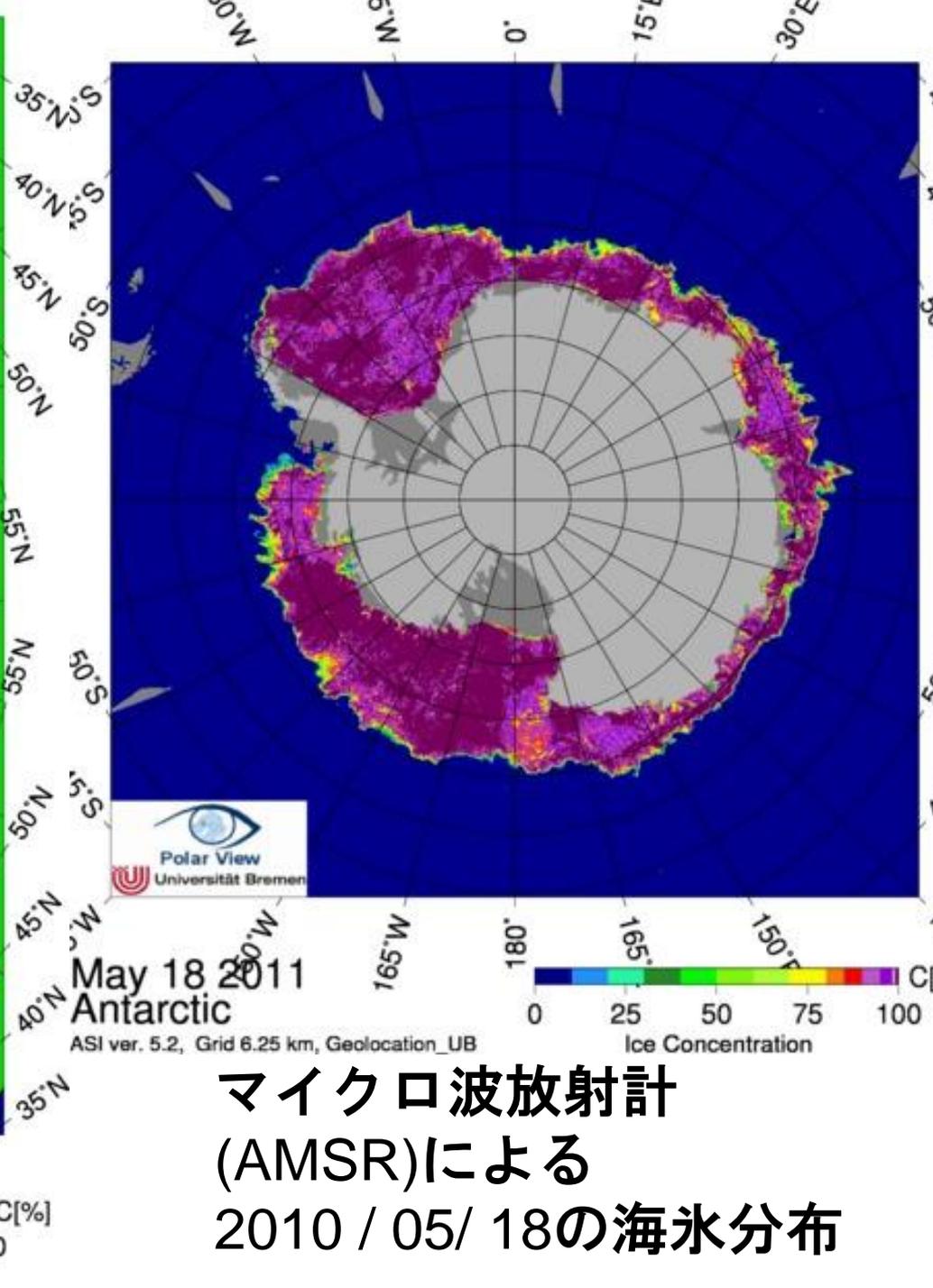
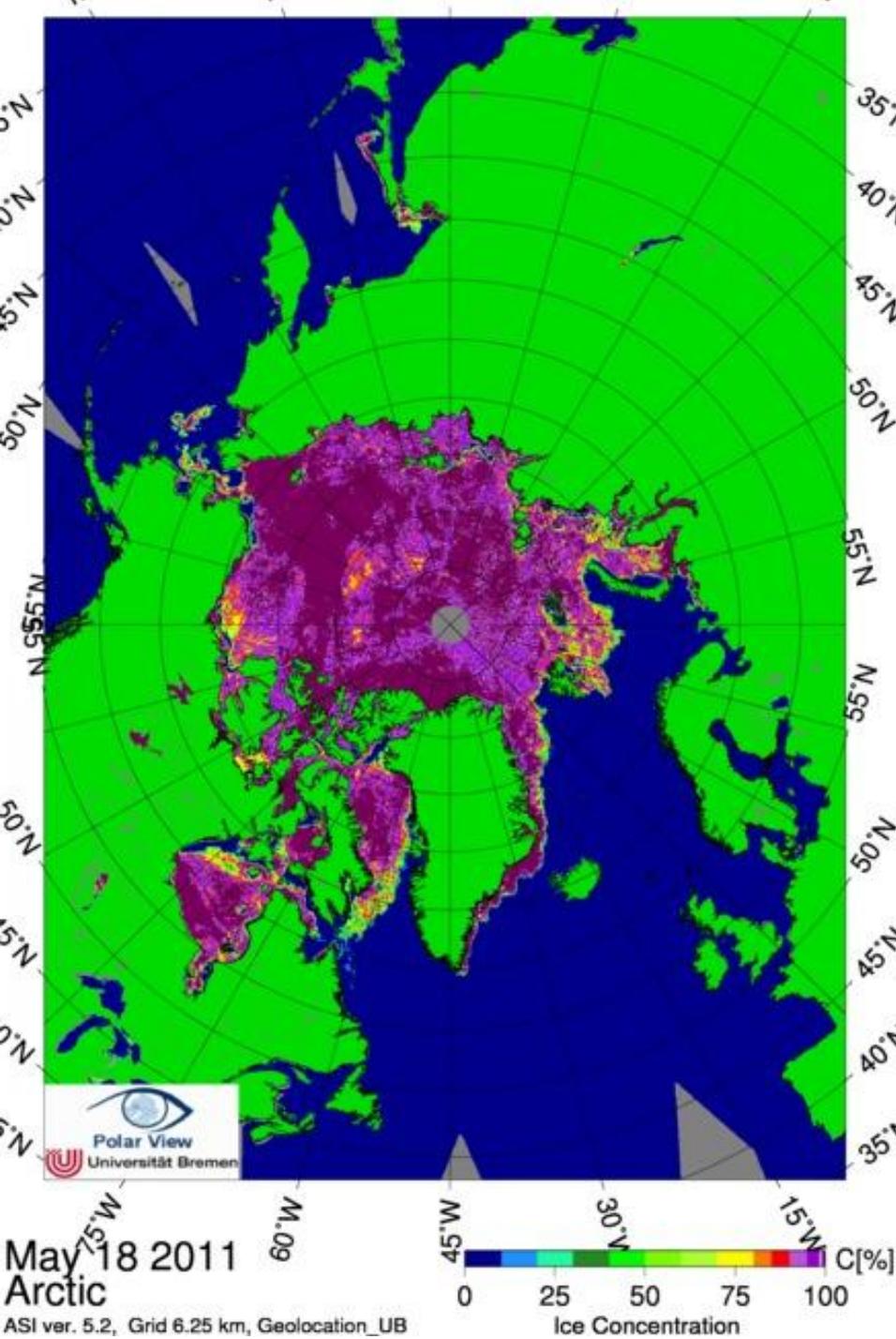


リモートセンシングによる海氷研究



マイクロ波放射計
(AMSR)による
2010 / 05 / 18の海氷分布

海水密接度：

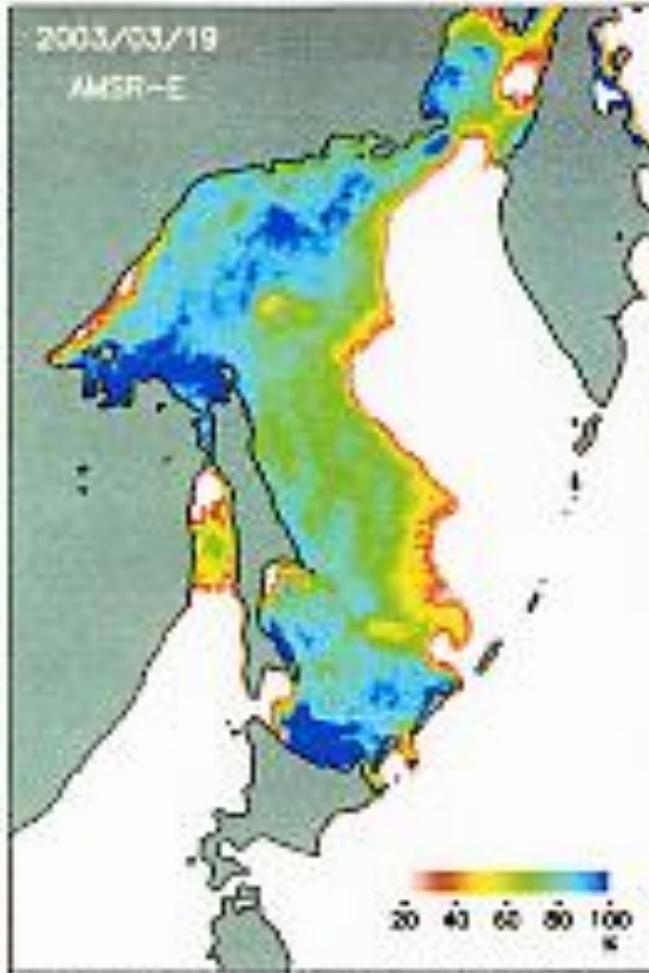
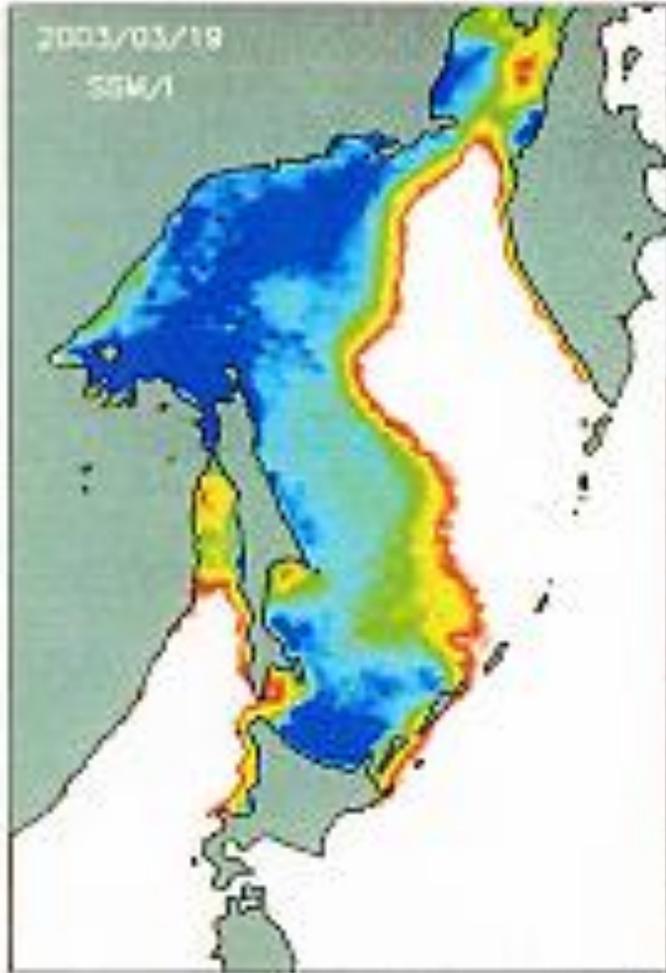
マイクロ波放射計による海水観測

SSM/I

分解能 25km

Aqua/AMSR-E

分解能 12.5km



1973

EMSR

1978

SMMR

1987

SSM/I

2002

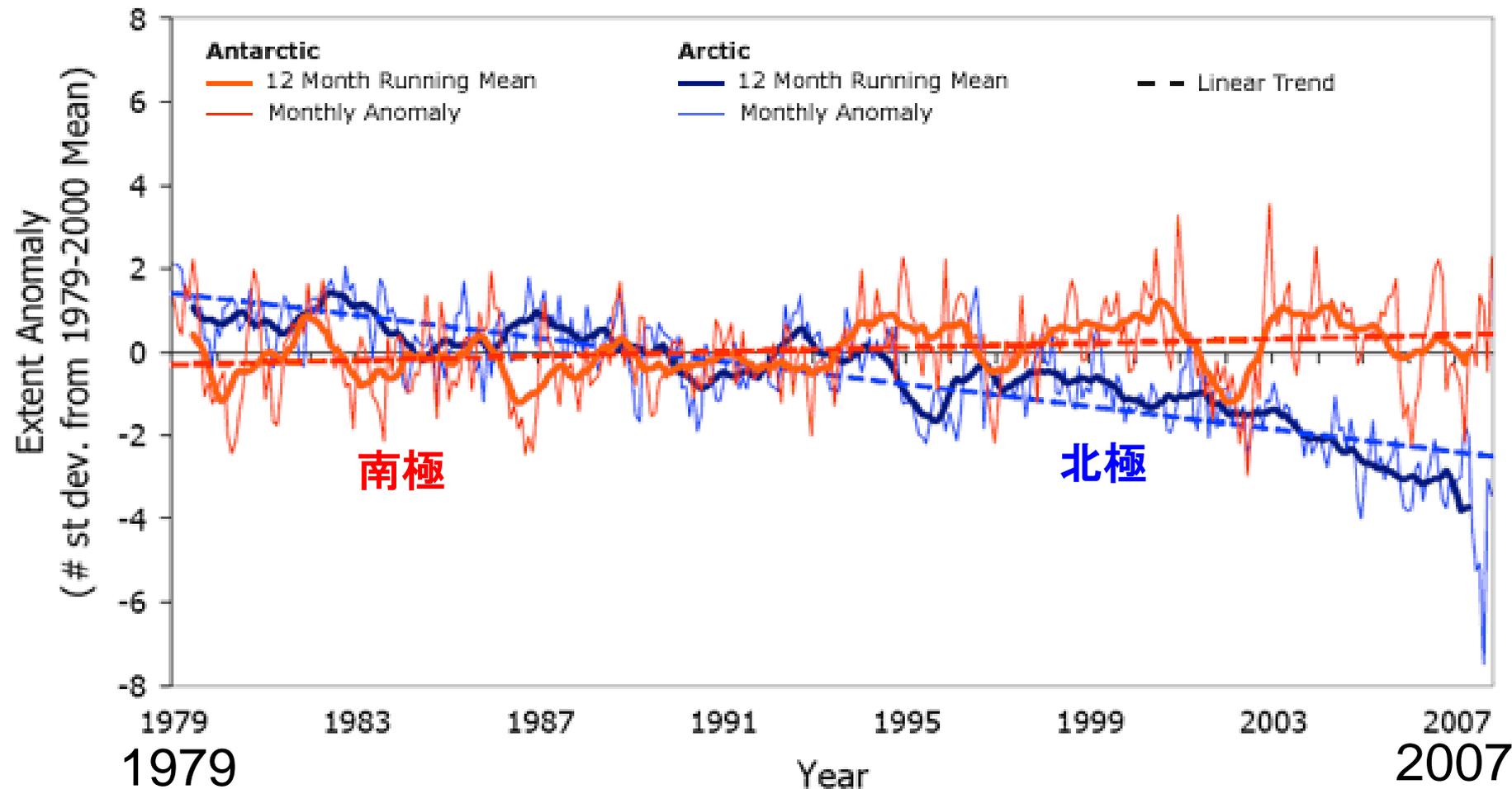
AMSR

(北大低温研 木村氏提供)

海水密接度：PR（偏波比）とGR（周波数依存）を用いる

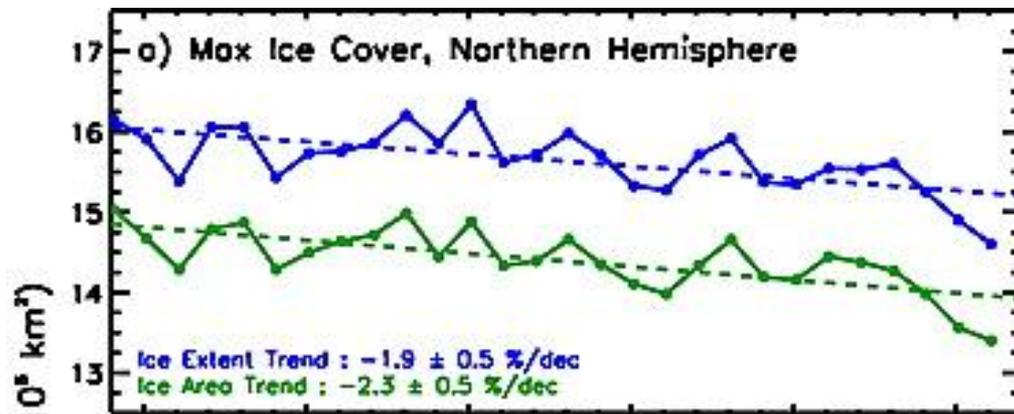
衛星マイクロ波放射計による海氷面積

Arctic and Antarctic Standardized Anomalies and Trends
Jan 1979 - Dec 2007

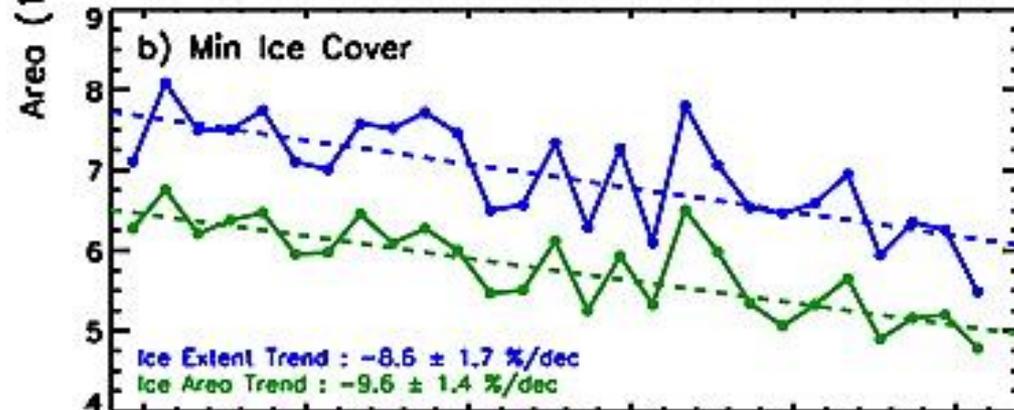


北半球

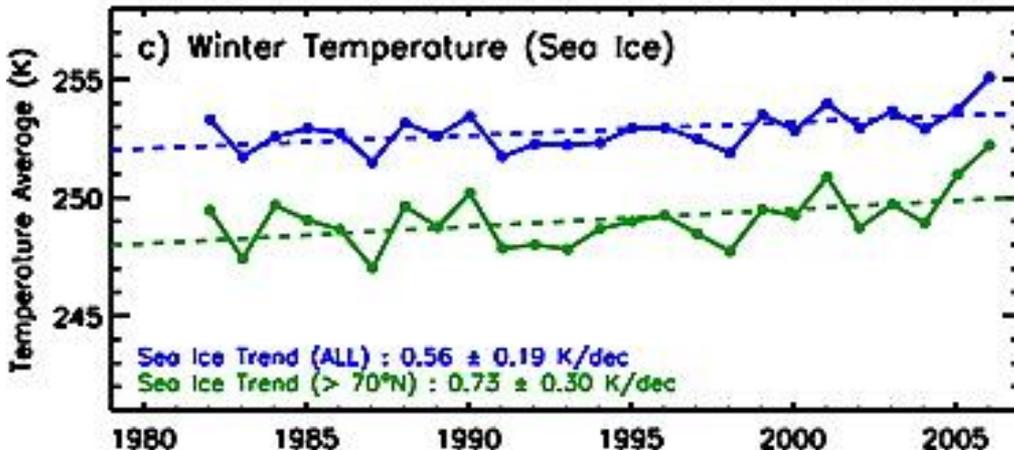
最大(冬)海冰面積
-2.5% / 10年



最小(夏)海冰面積
-9.6% / 10年



冬季海冰表面温度
0.75 K / 10年



1980

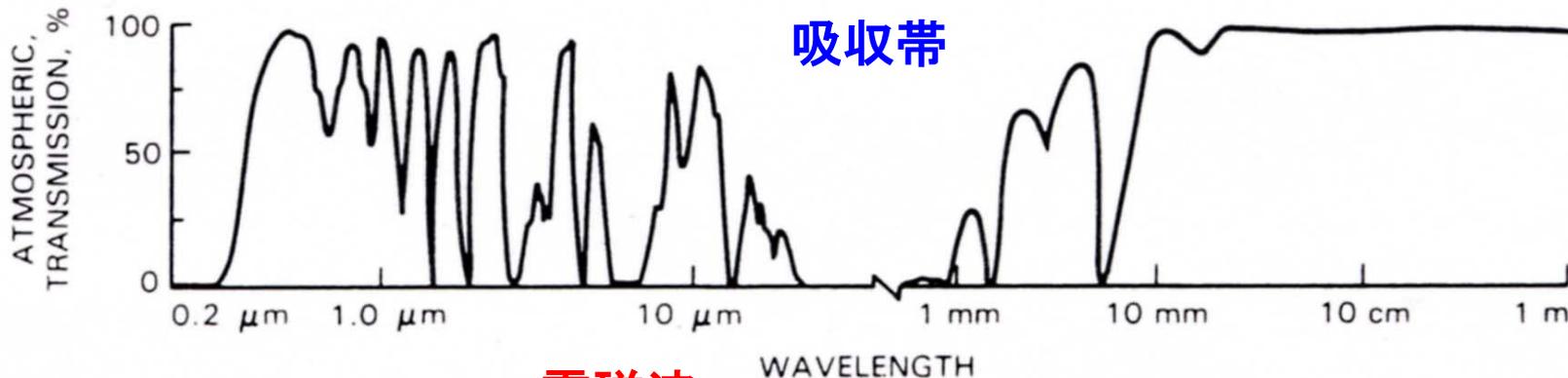
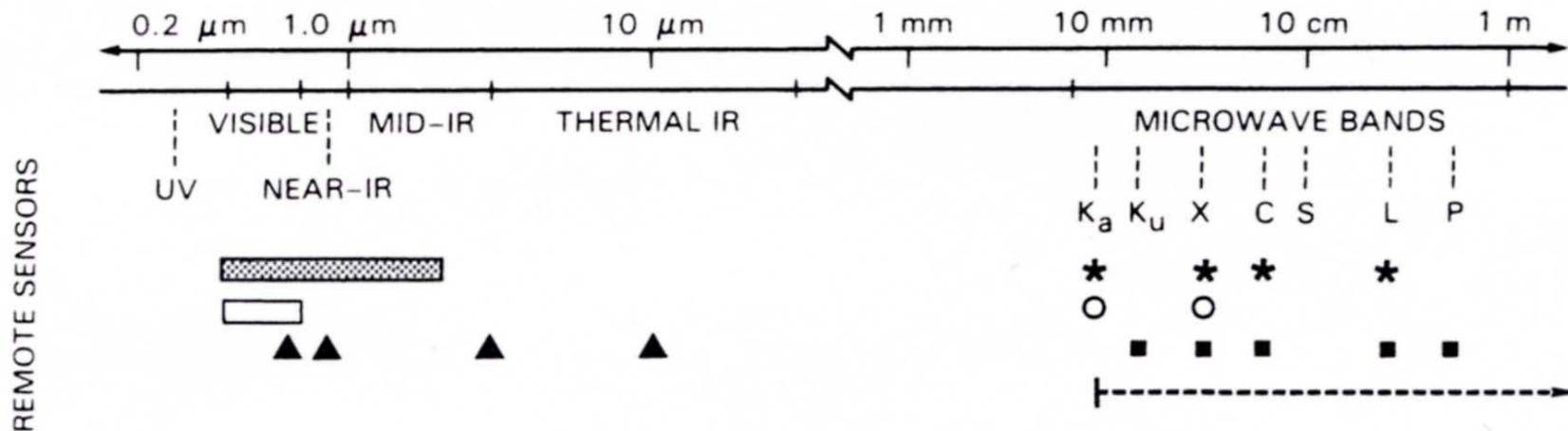
2005

可視光
太陽光の反射

赤外線
地球放射：温度

マイクロ波
(雲を突き抜ける)

10 GHz 1 GHz



電磁波

- ▲ Advanced Very High Resolution Radiometer
- Visible Photography
- ▨ Multi-Spectral Scanners
- Penetrates Through Clouds, Rain, and Snow

- SAR, RAR, and Scatterometers
- Radar Altimeter
- * Passive Microwave Radiometers

海水密接度：

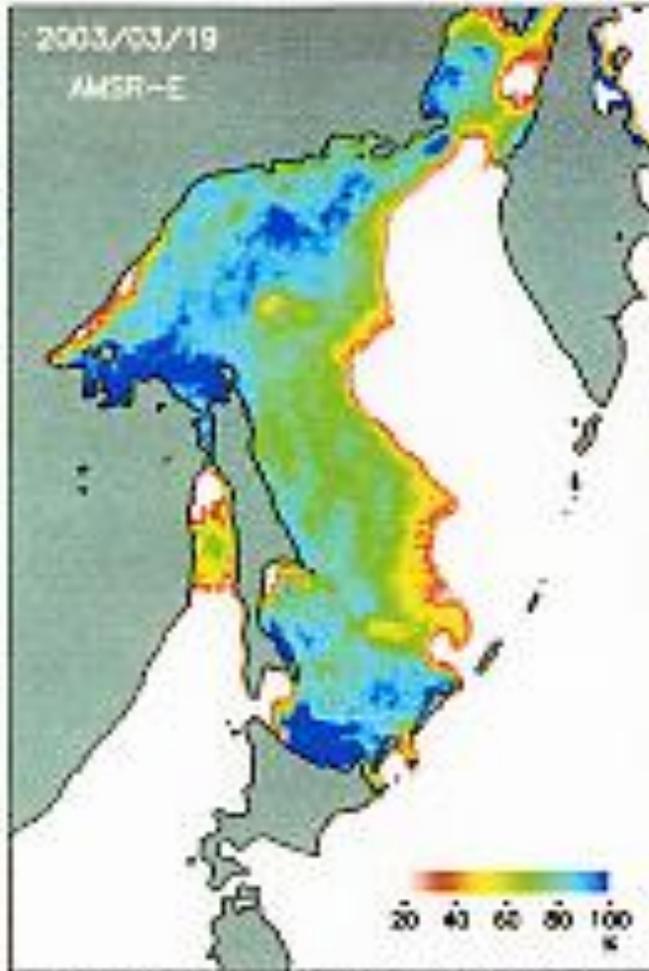
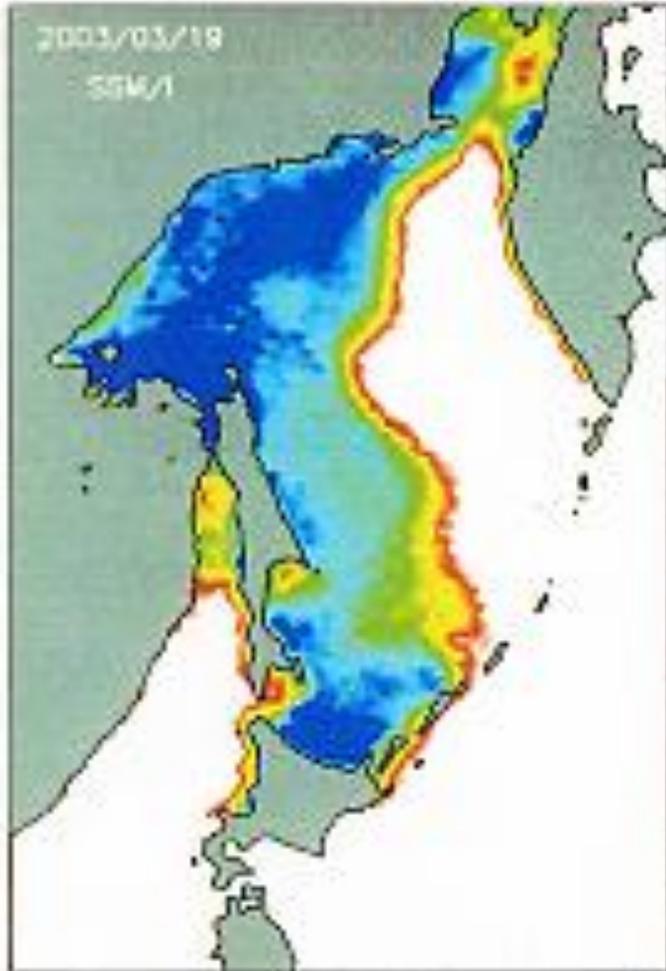
マイクロ波放射計による海水観測

SSM/I

分解能 25km

Aqua/AMSR-E

分解能 12.5km



1973

EMSR

1978

SMMR

1987

SSM/I

2002

AMSR

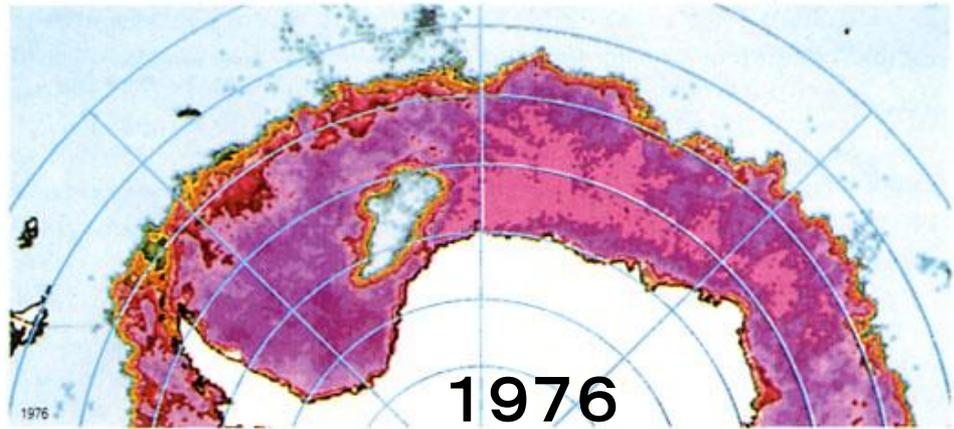
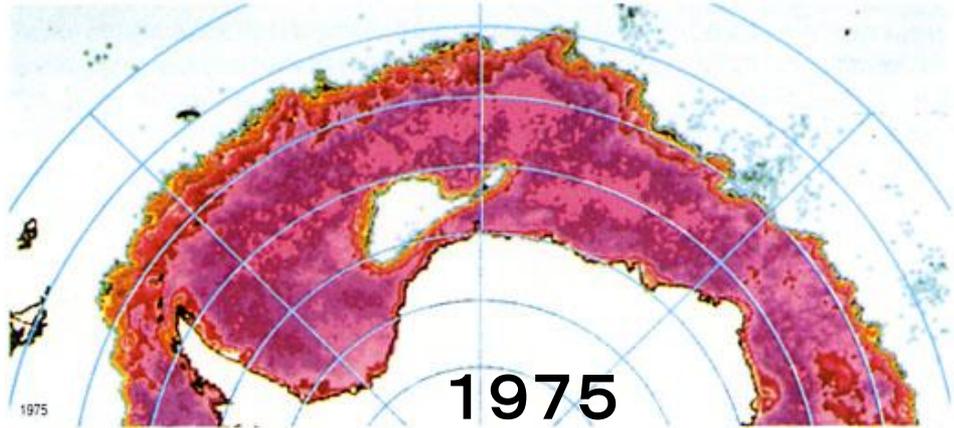
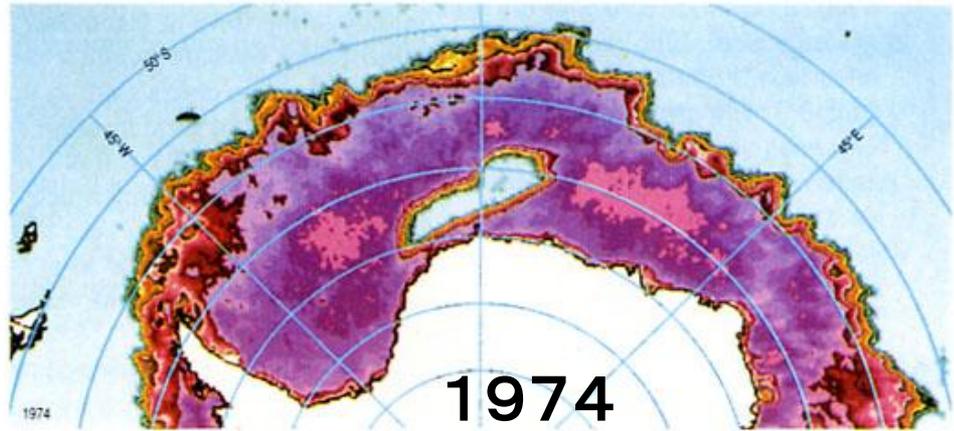
(北大低温研 木村氏提供)

海水密接度：PR（偏波比）とGR（周波数依存）を用いる

ウェッデルポリニヤ

(冬季:9月)

マイクロ波放射計による



ポリニヤ形成メカニズム

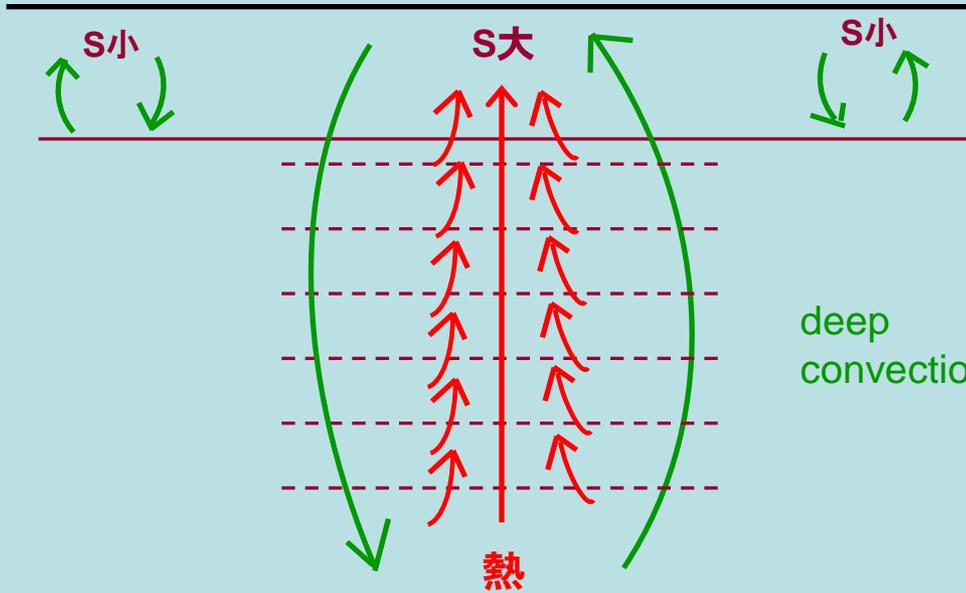
熱、水蒸気、CO₂など



大気

冷却

海面



deep convection

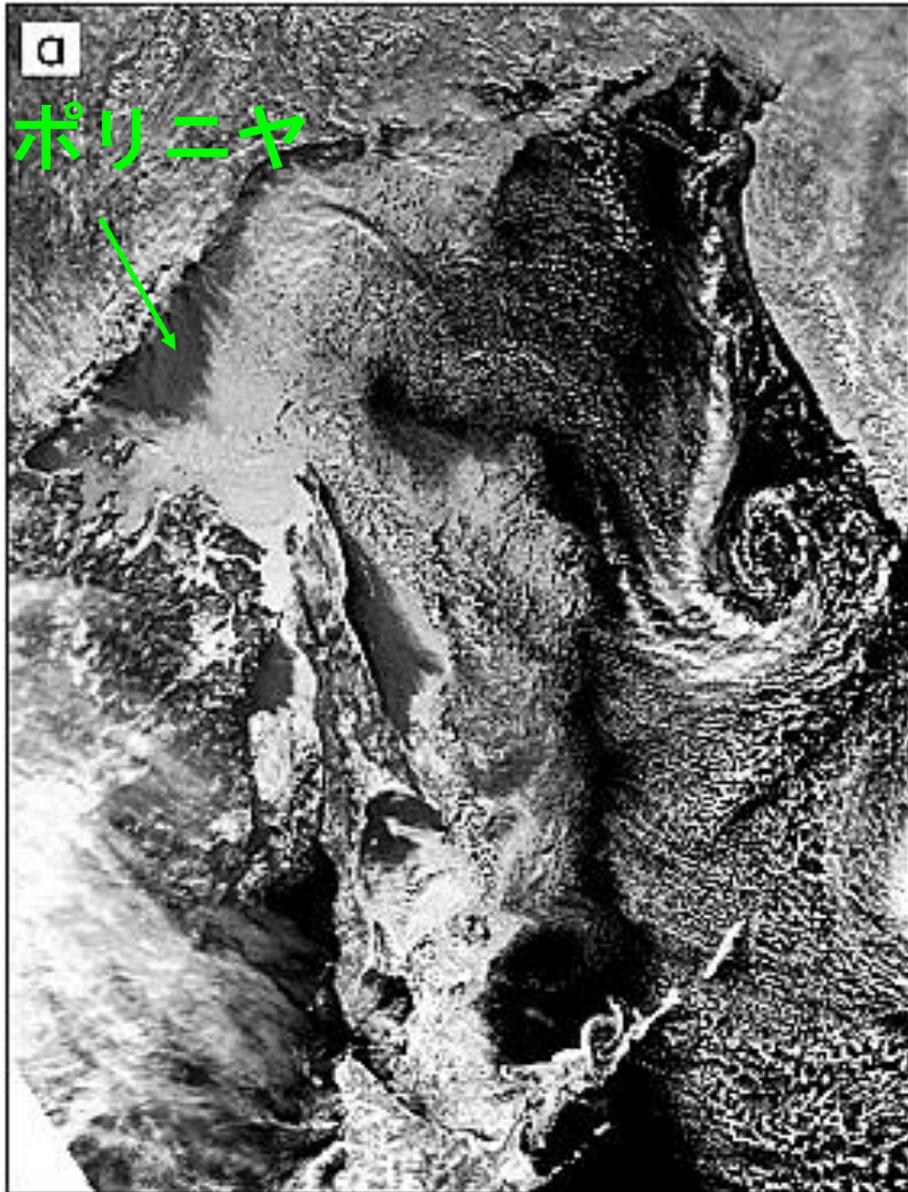
熱

S小

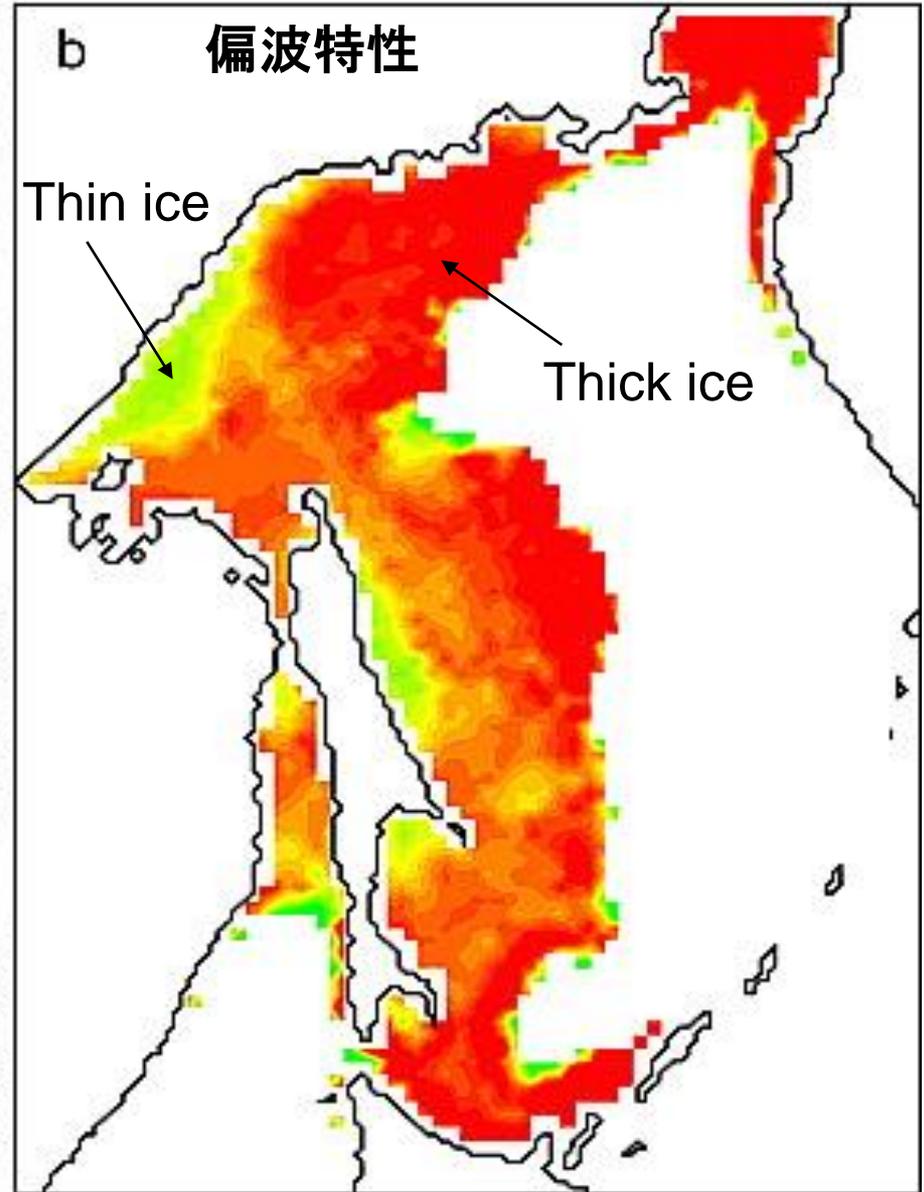
S大

S小

(AVHRR)



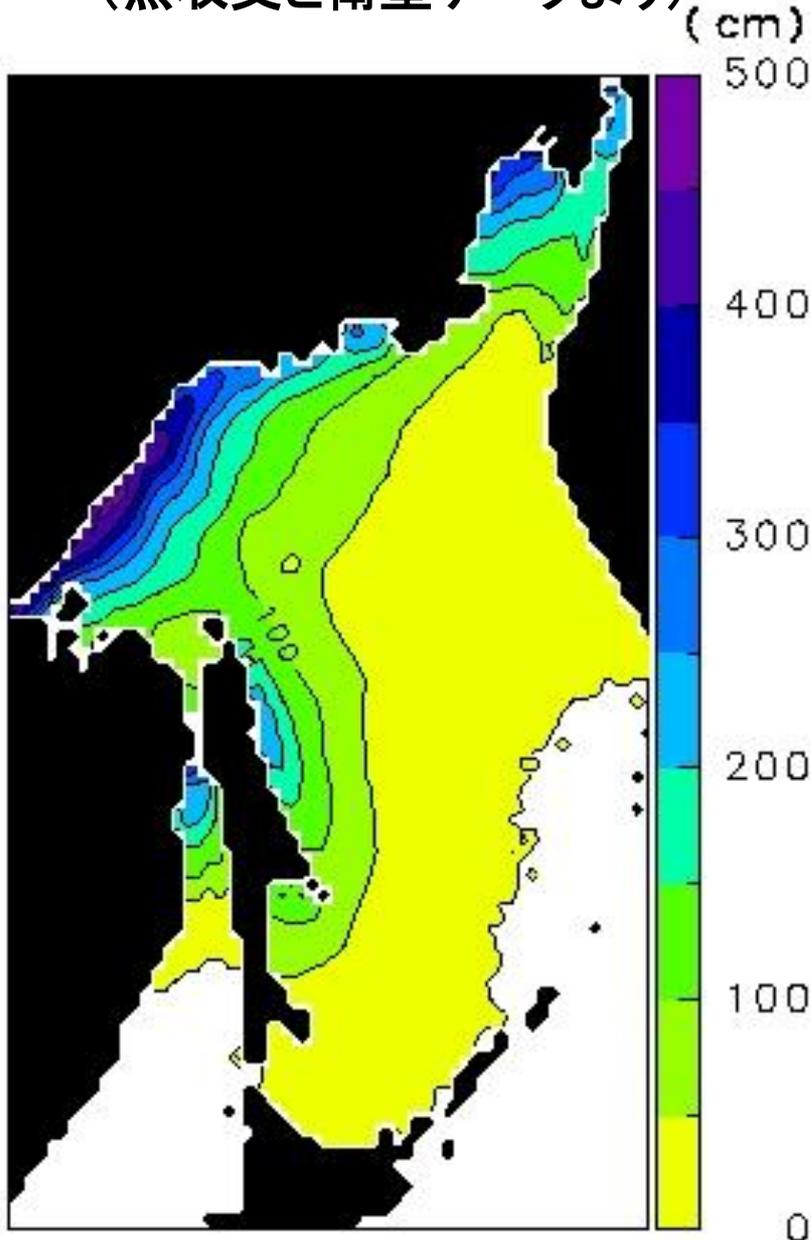
マイクロ波放射計(SSM/I)



Kimura and Wakatsuchi, 2004

海氷生産量の見積もり

(熱収支と衛星データより)

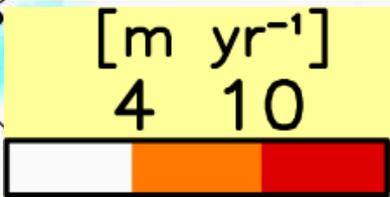
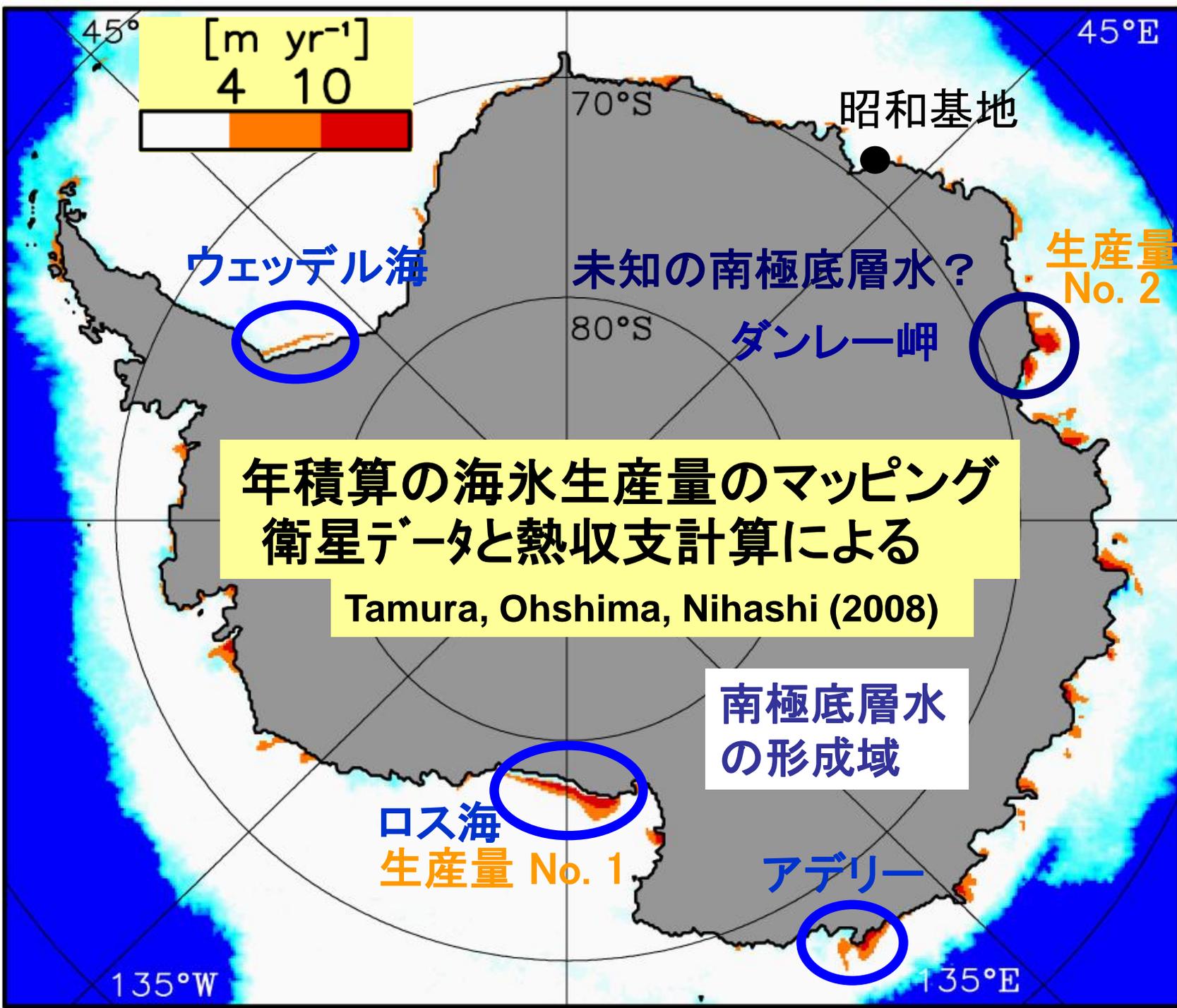


- ・マイクロ波放射計データ(SSM/I)より
ポリニヤ(薄氷域)を検知・
薄氷厚の推定

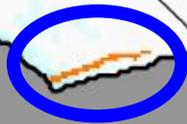
- ・熱収支計算より、大気に奪われた分の
熱が海氷生産に使われると仮定する

- ・年間累積海氷生産量として厚さに換算

Ohshima et al. (2003)

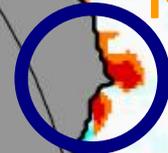


ウェッデル海



未知の南極底層水？

ダンレー岬



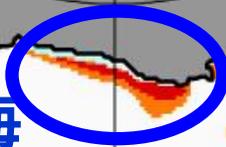
生産量
No. 2

年積算の海氷生産量のマッピング
衛星データと熱収支計算による

Tamura, Ohshima, Nihashi (2008)

南極底層水の
形成域

ロス海
生産量 No. 1



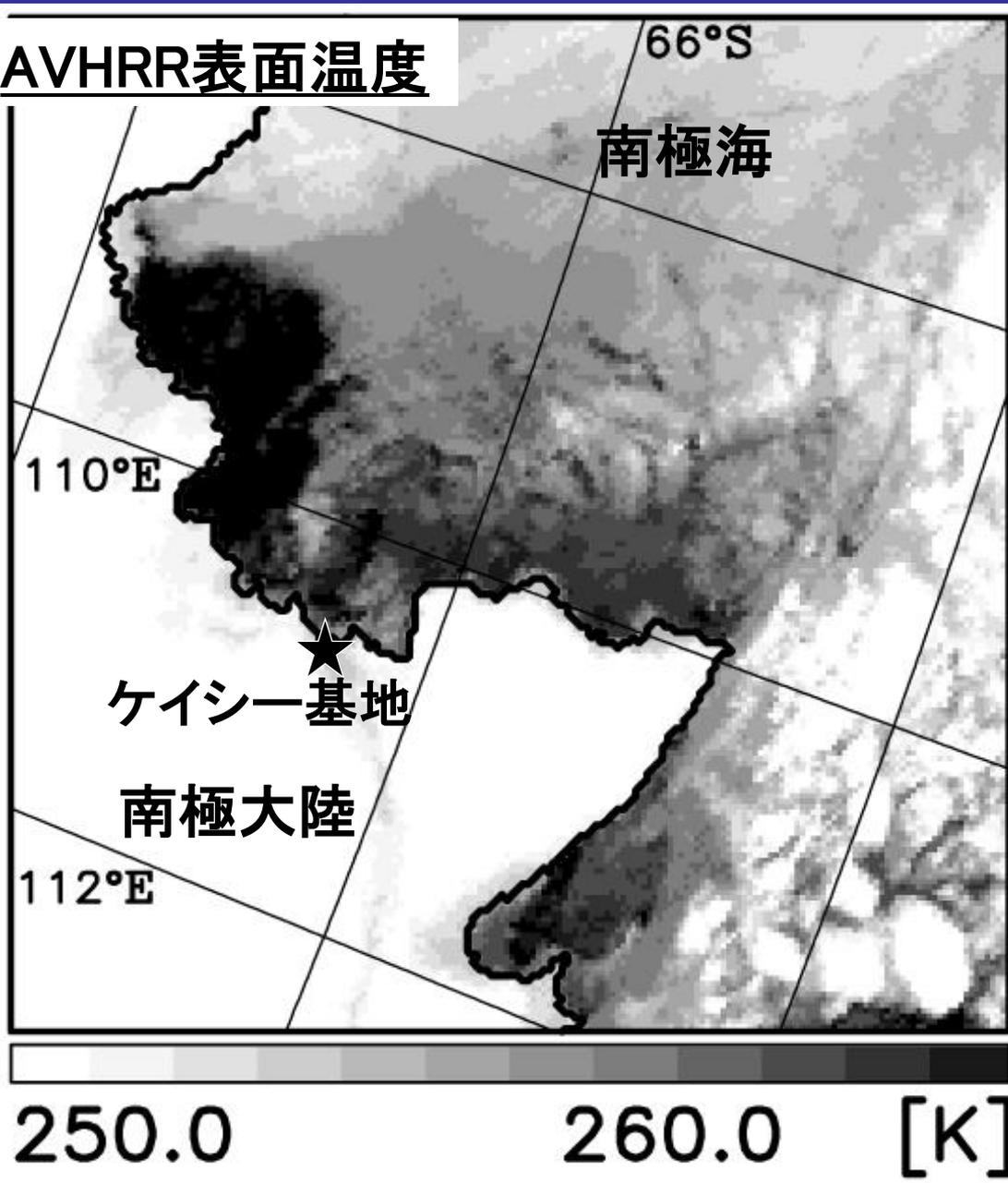
アデリー



135°W

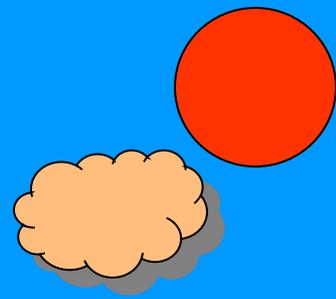
135°E

AVHRR表面温度



ヴィンセンス湾ポリニヤ (2003年10月19日)

大気海氷表面間熱交換の様子



2m高気温

$$H = K_i (T_w - T_s) / F_i$$

K_i : 海氷熱伝導係数

乱流フラックス

放射フラックス

海氷表面温度 (T_s)

海氷

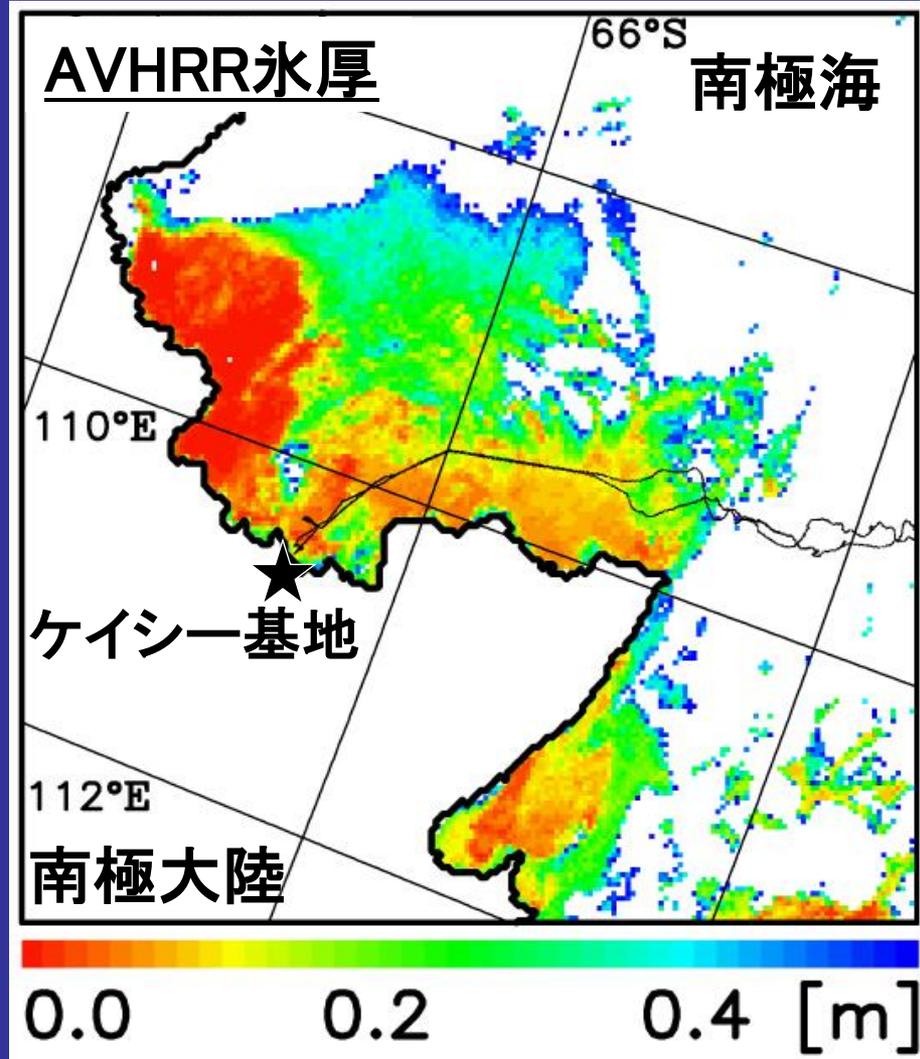
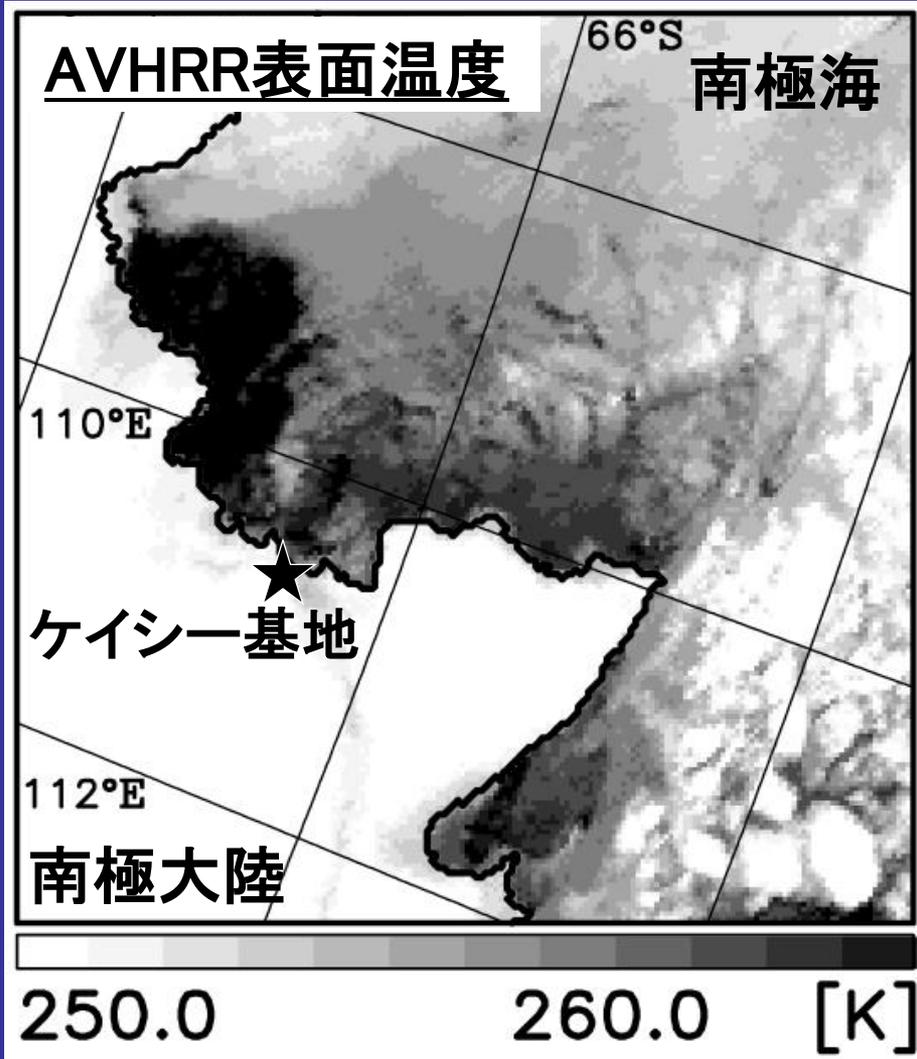
海氷内熱伝導フラックス (F_i)

氷厚 (H)

海

-1.86°C (T_w)

Yu and Rothrock (1996) に従って氷厚を導出

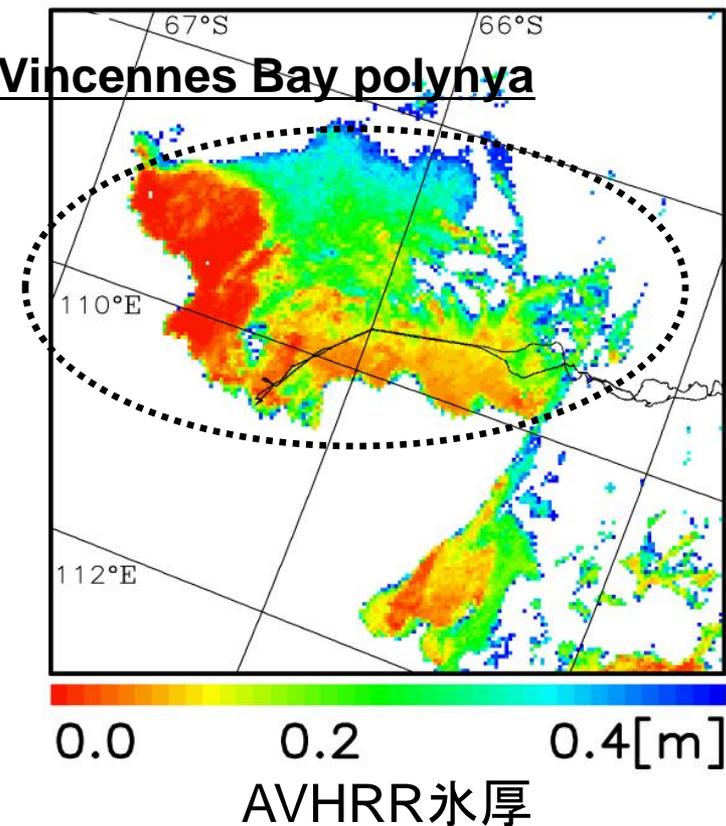


ヴィンセンヌス湾ポリニヤ (2003年10月19日)

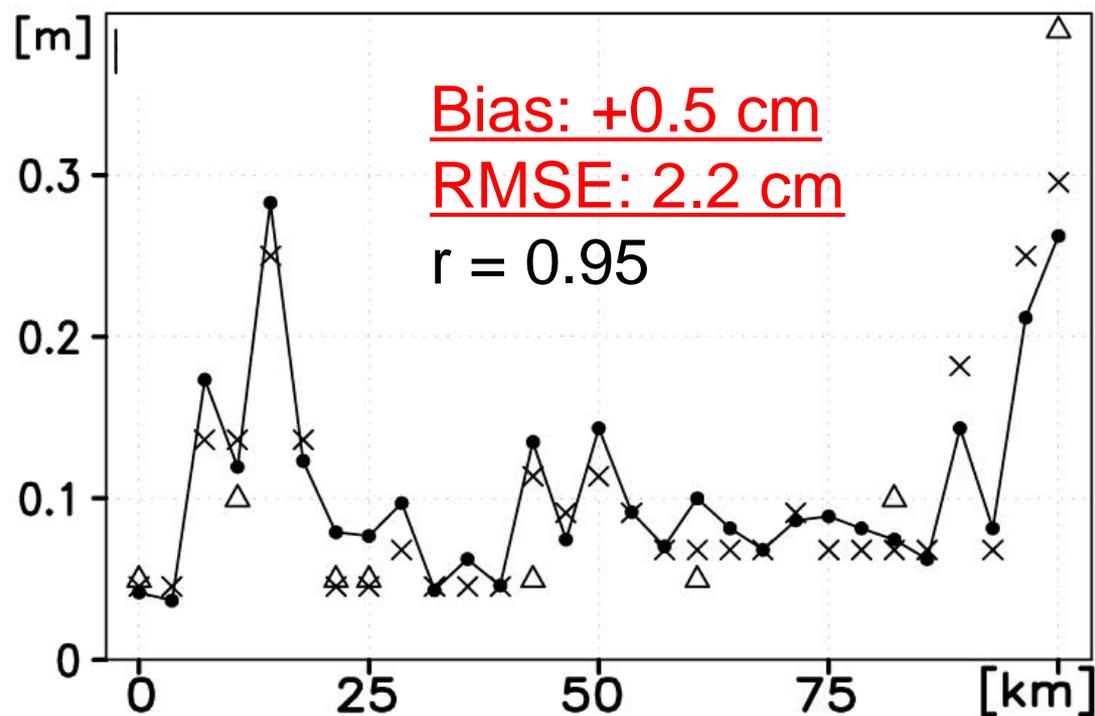
ARISE

(Antarctic Remote Ice Sensing Experiment)

September-October 2003



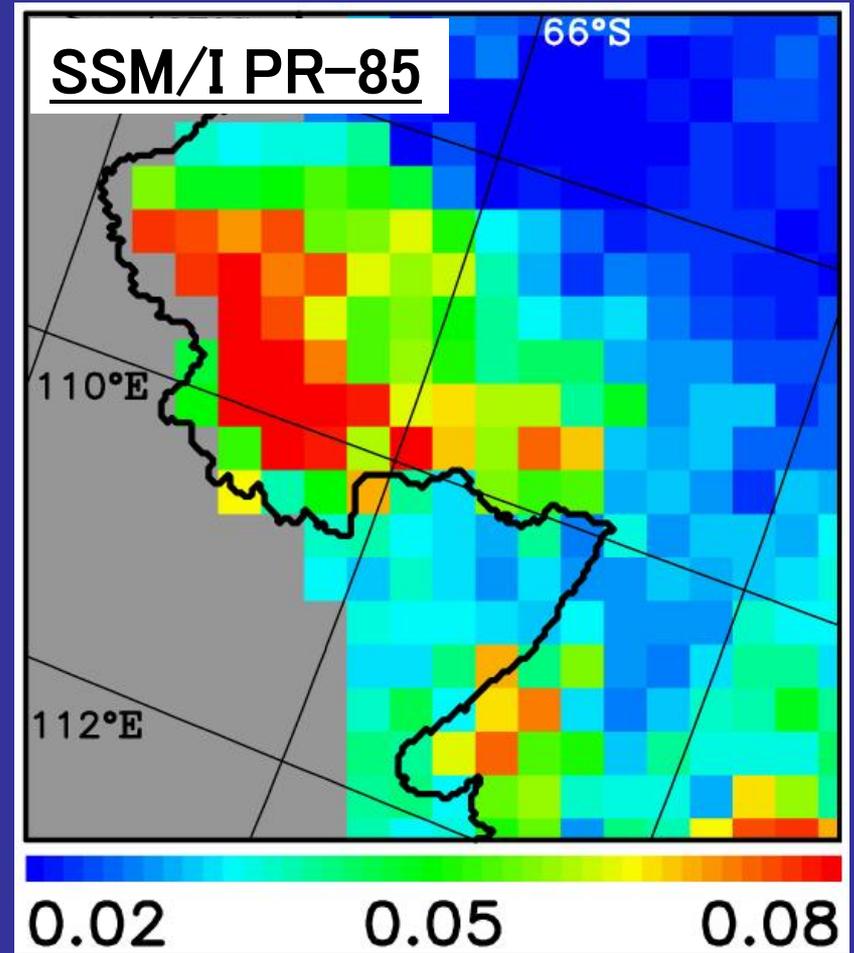
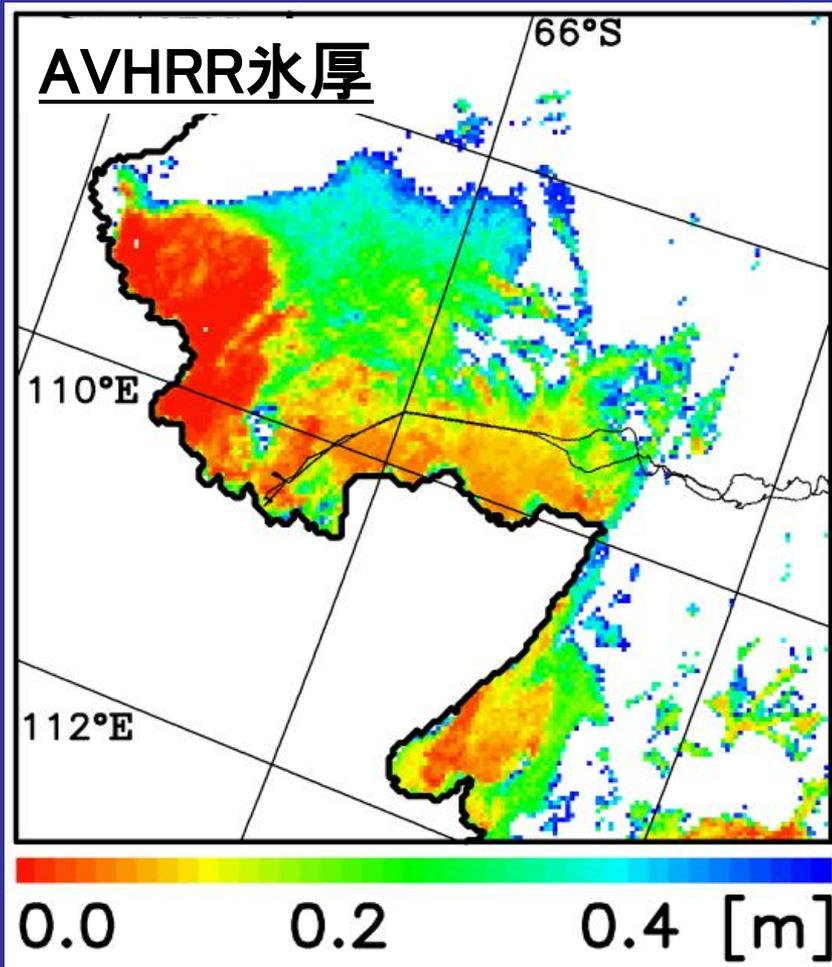
現場氷厚とAVHRR氷厚の比較



- : AVHRR 氷厚
- × : ビデオからの氷厚
- △ : 目視観測からの氷厚

AVHRRデータから海氷厚を見積もる方法が、南極海において適用できるかを、現場観測データと比較することによって検証する。

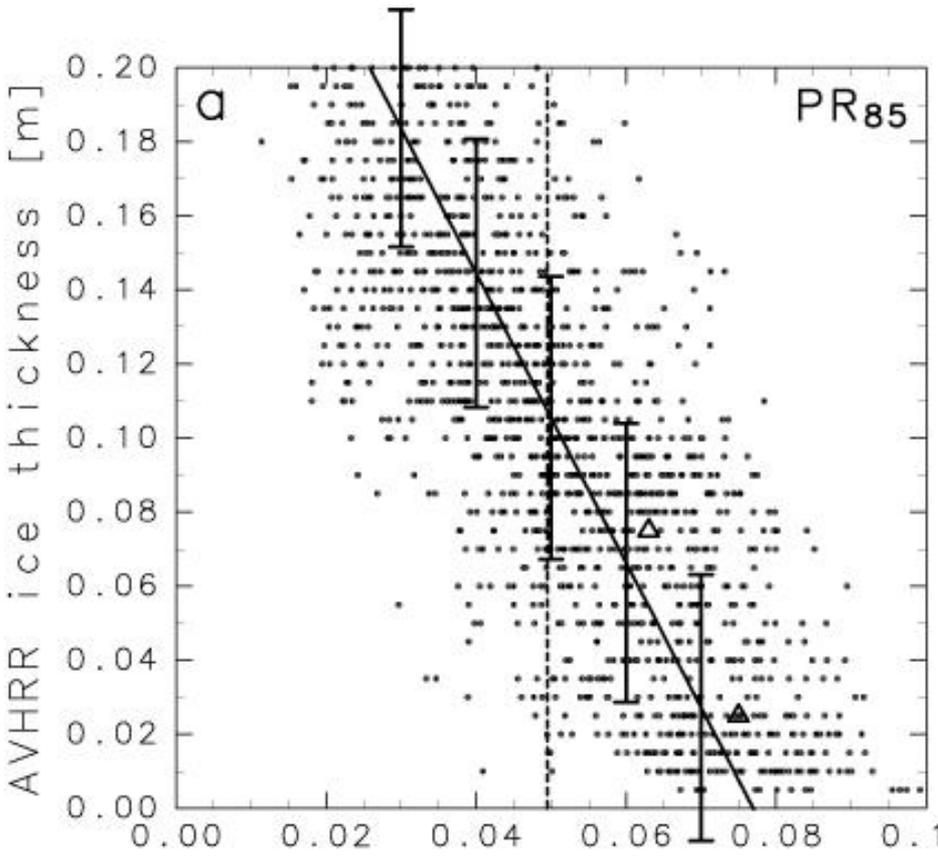
AVHRR氷厚 ↔ SSM/I PR (polarization ratio) の比較



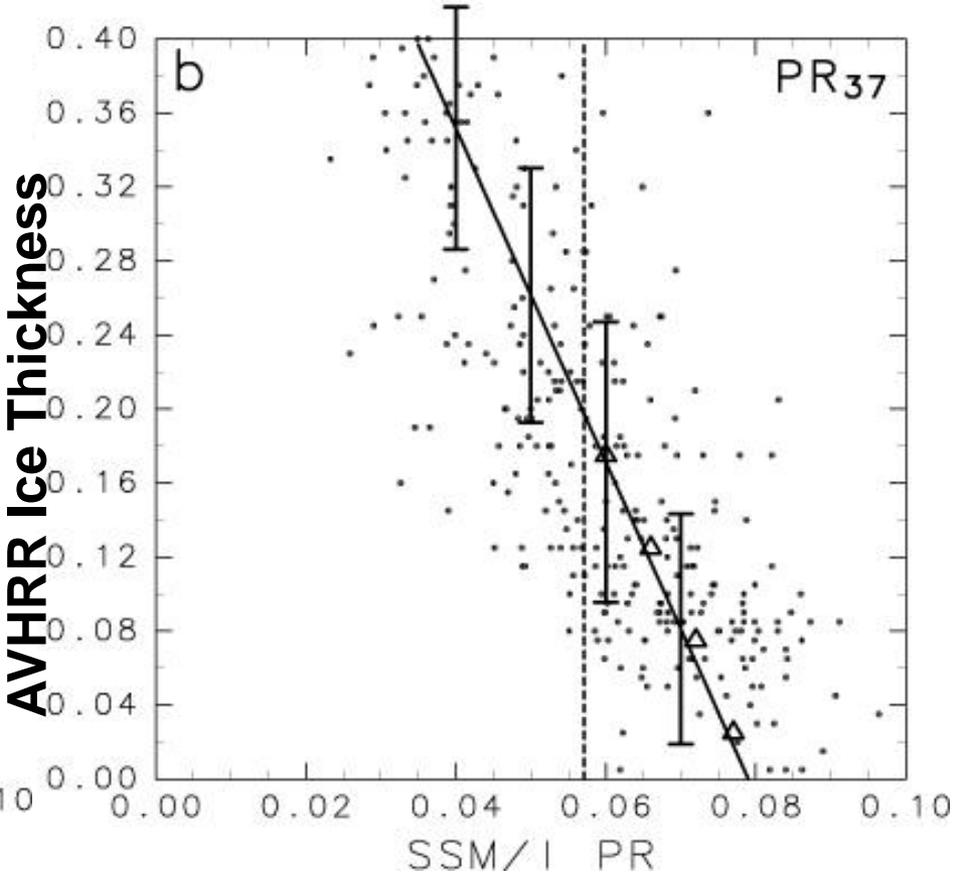
ヴィンセンネス湾ポリニヤ (2003年10月19日)

PR=垂直偏波と水平偏波の比

Scatterplot of AVHRR ice thickness and SSM/I PR



PR-85: 0-0.1 m



PR-37: 0.1-0.2 m

氷厚導出の流れ

(Tamura et al., revised)

SSM/I
(PR-85, PR-37)

比較・検証

薄氷アルゴリズム (ポリニヤの氷厚)

AVHRR ch4

AVHRR ch5

Key et al. (1997)

ECMWF

海水表面温度

熱収支計算

海水厚 (AVHRR氷厚)

(Yu and Rothrock, 1996)

(Drucker et al., 2003)

(Tamura et al., 2006)

熱収支計算 @海氷面

α : アルベド SE: 顕熱フラックス
SW: 短波放射 LA: 潜熱フラックス
LW: 長波放射 FC: 海氷内熱伝導

$$Q = (1 - \alpha) SW + LW + SE + LA + FC$$

- ・氷厚データ : マイクロ波放射計データによる氷厚アルゴリズム
- ・気象データ : ERA-40 (2m気温・露点温度, 10m風速, SLP)
+ ISCCP (雲量) + NCEP2 (2m気温・絶対湿度, 10m風速, SLP)

熱収支がバランスする($Q=0$)ような海氷面温度を決めると
熱伝導FCも求まり、FC=海氷から大気へ奪われる熱量

海氷生産量

$$V = FC / (\rho_i L_f)$$

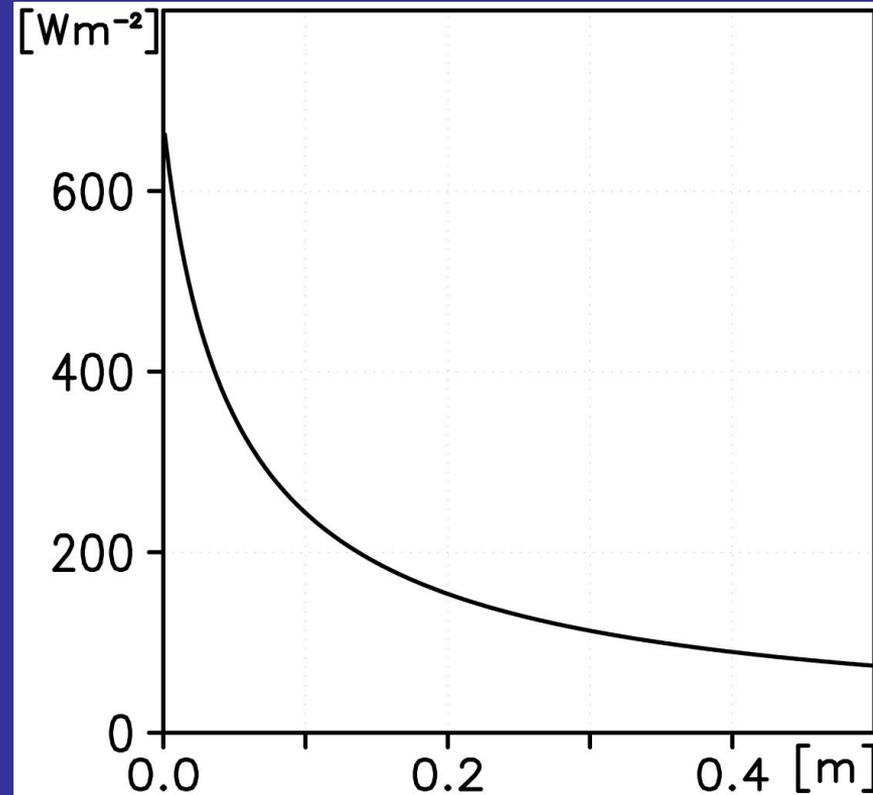
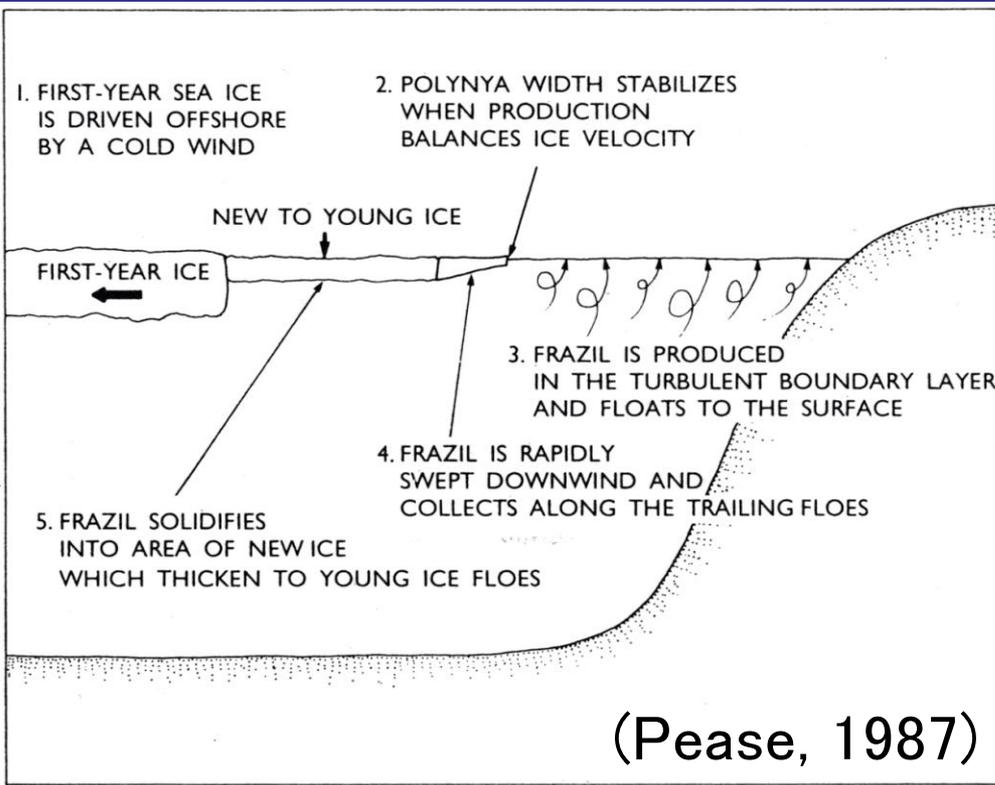
FC: 海氷の熱損失, ρ_i : 海氷の密度, L_f : 海氷融解の潜熱

結氷点の海氷域で大気に奪われる熱 → 全て海氷生産へ

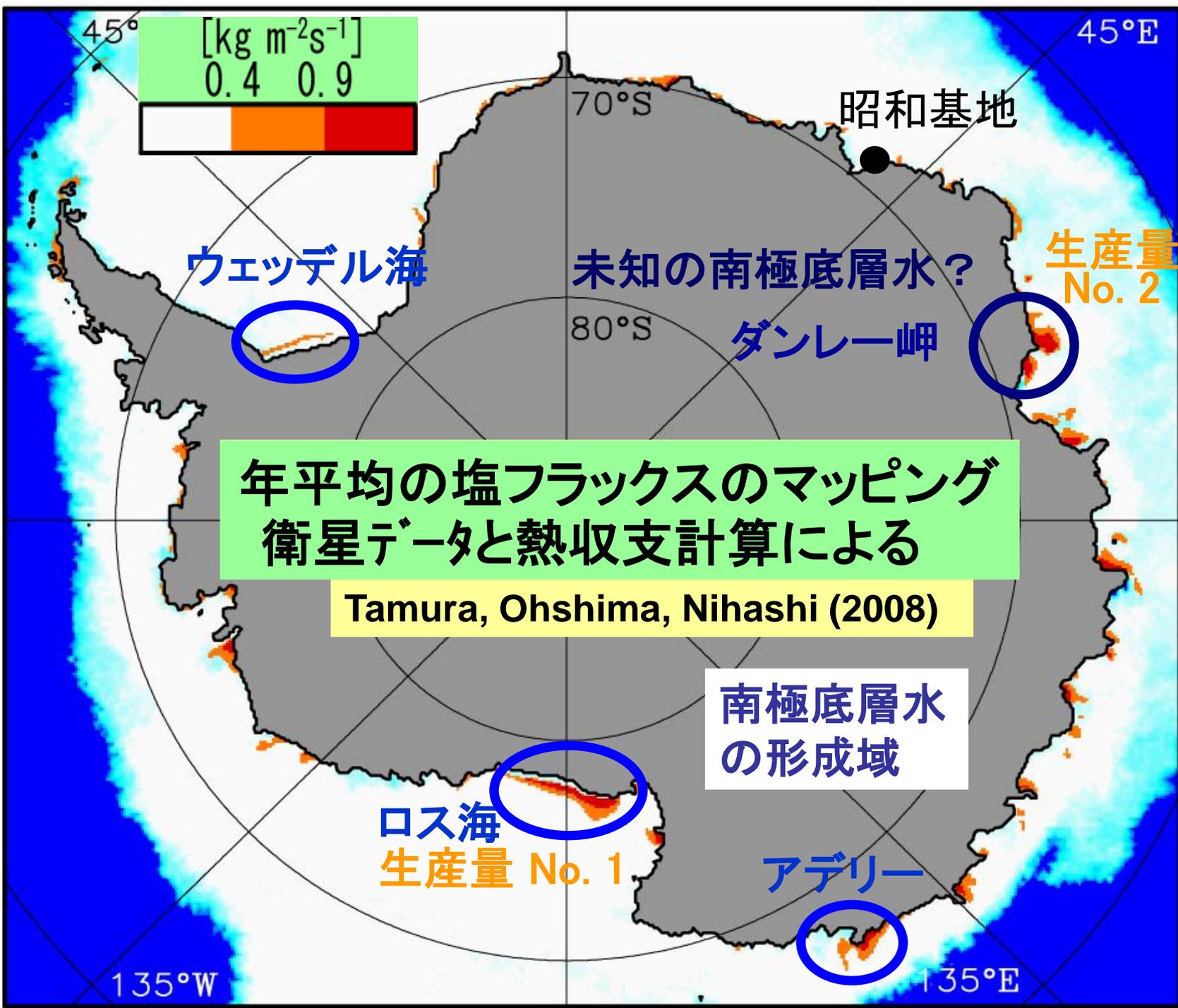
(海洋下層からの熱流入は無視)

沿岸ポリニヤとは？

- 氷厚0~0.2mの薄氷域
- 幅約数十km



海水厚と熱損失との関係



ウェッデル海

未知の南極底層水?

生産量
No. 2

ダンレー岬

年平均の塩フラックスのマッピング
衛星データと熱収支計算による

Tamura, Ohshima, Nihashi (2008)

南極底層水
の形成域

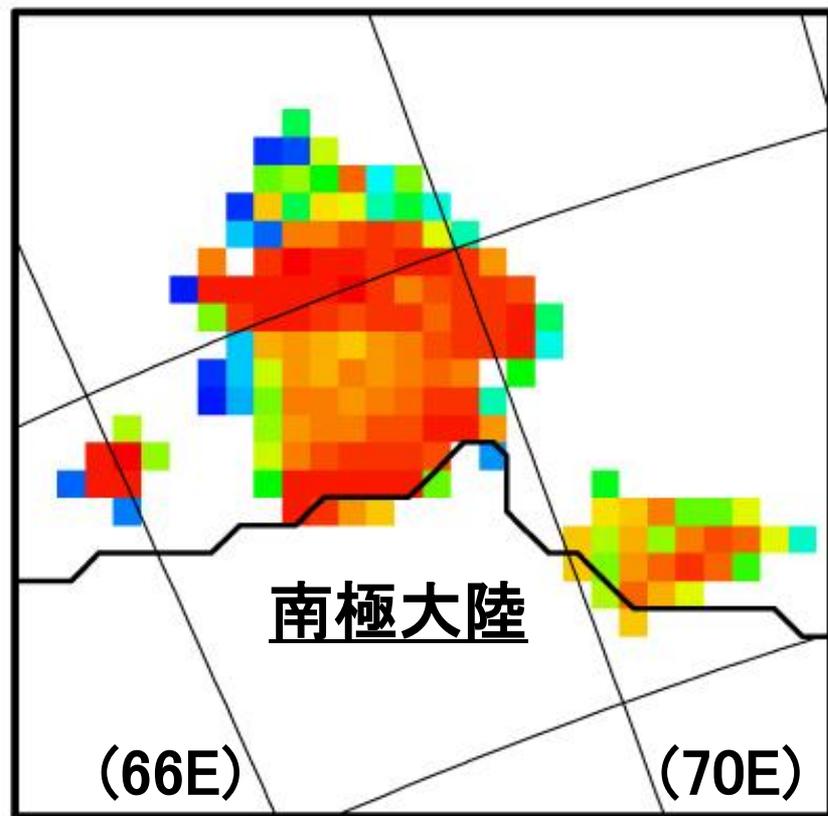
ロス海
生産量 No. 1

アデリー

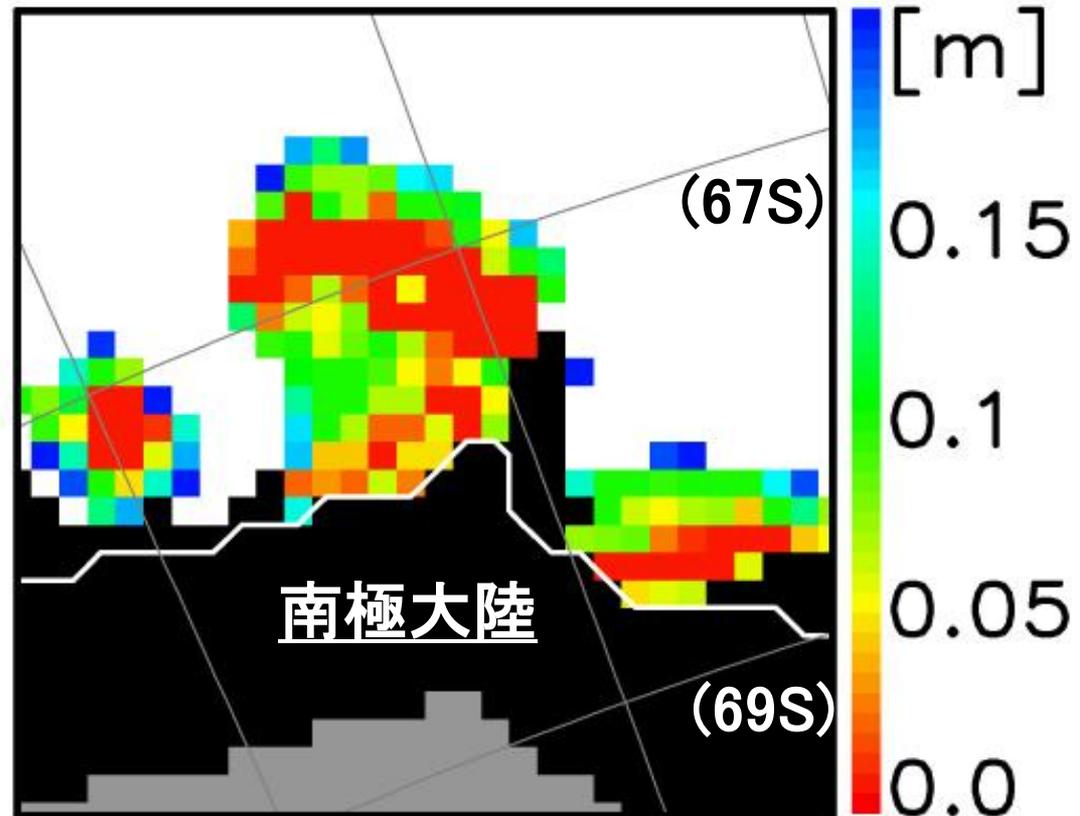
135°W

135°E

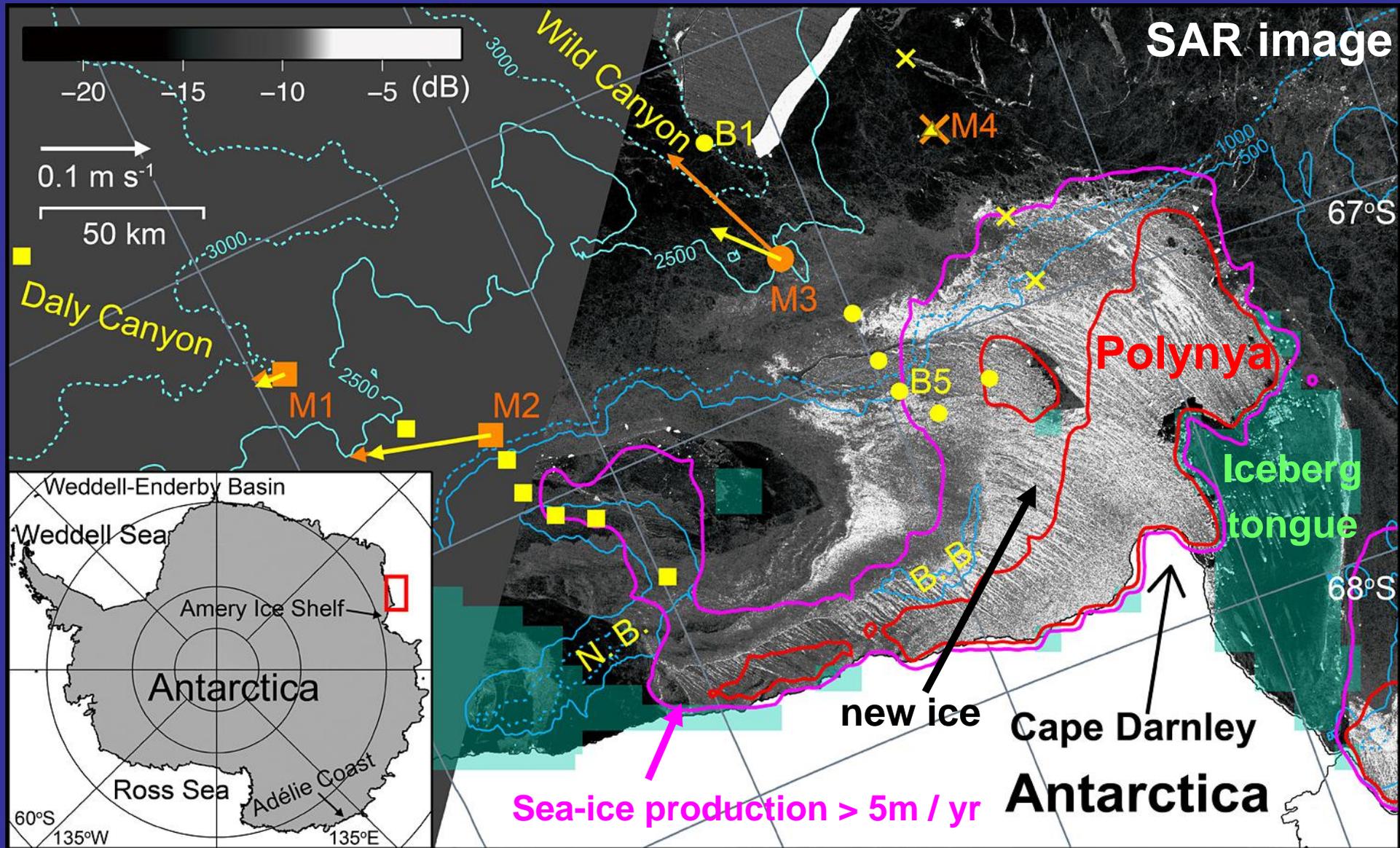
ダーンレー岬ポリニヤ(1997年4月20日)



AVHRR氷厚



SSM/I氷厚



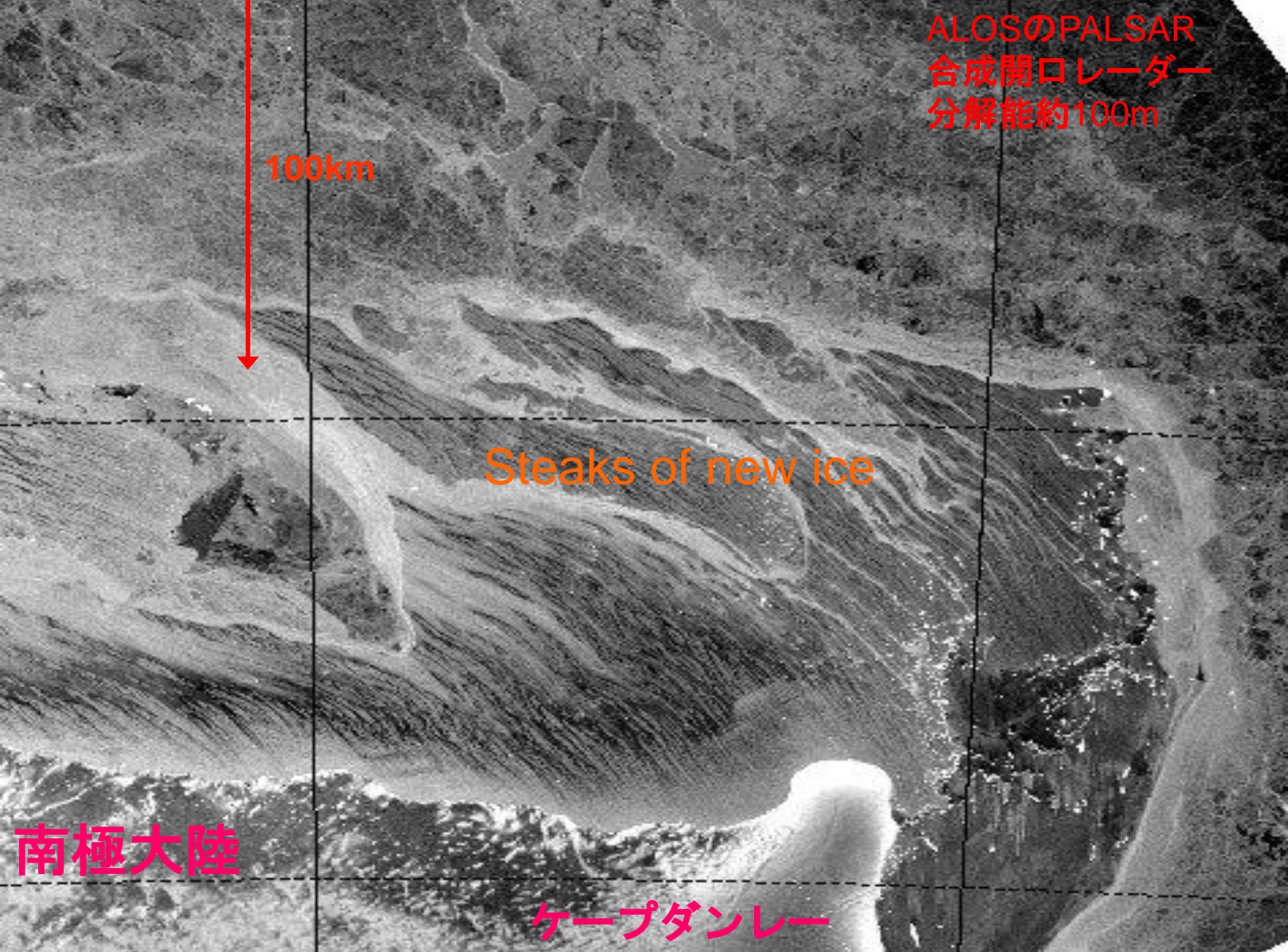
ALOSのPALSAR
合成開口レーダー
分解能約100m

100km

Steaks of new ice

南極大陸

ケープダンレー



分解能 ρ
resolution

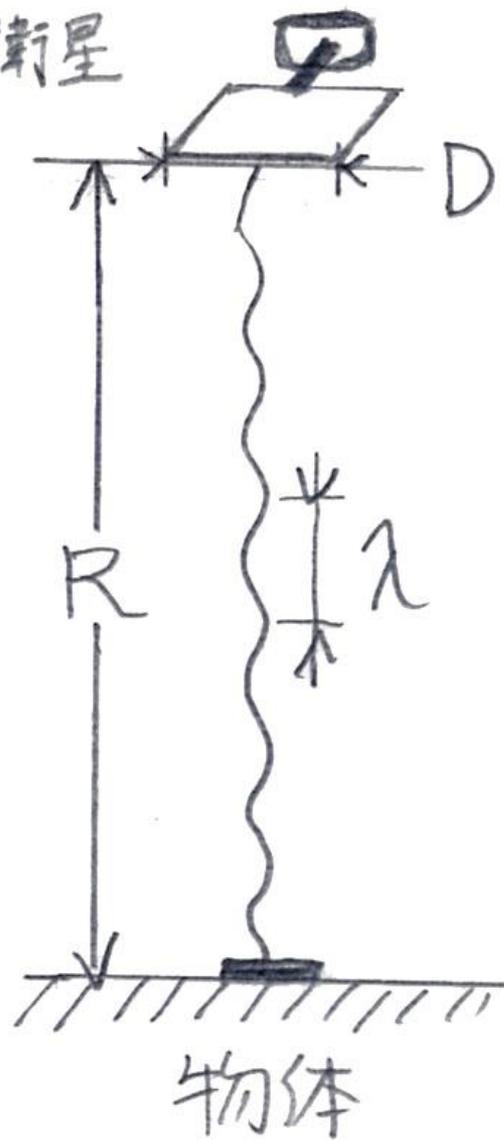
$$\rho = \frac{\lambda}{D} R$$

λ : 電磁波の波長

D : アンテナの長さ

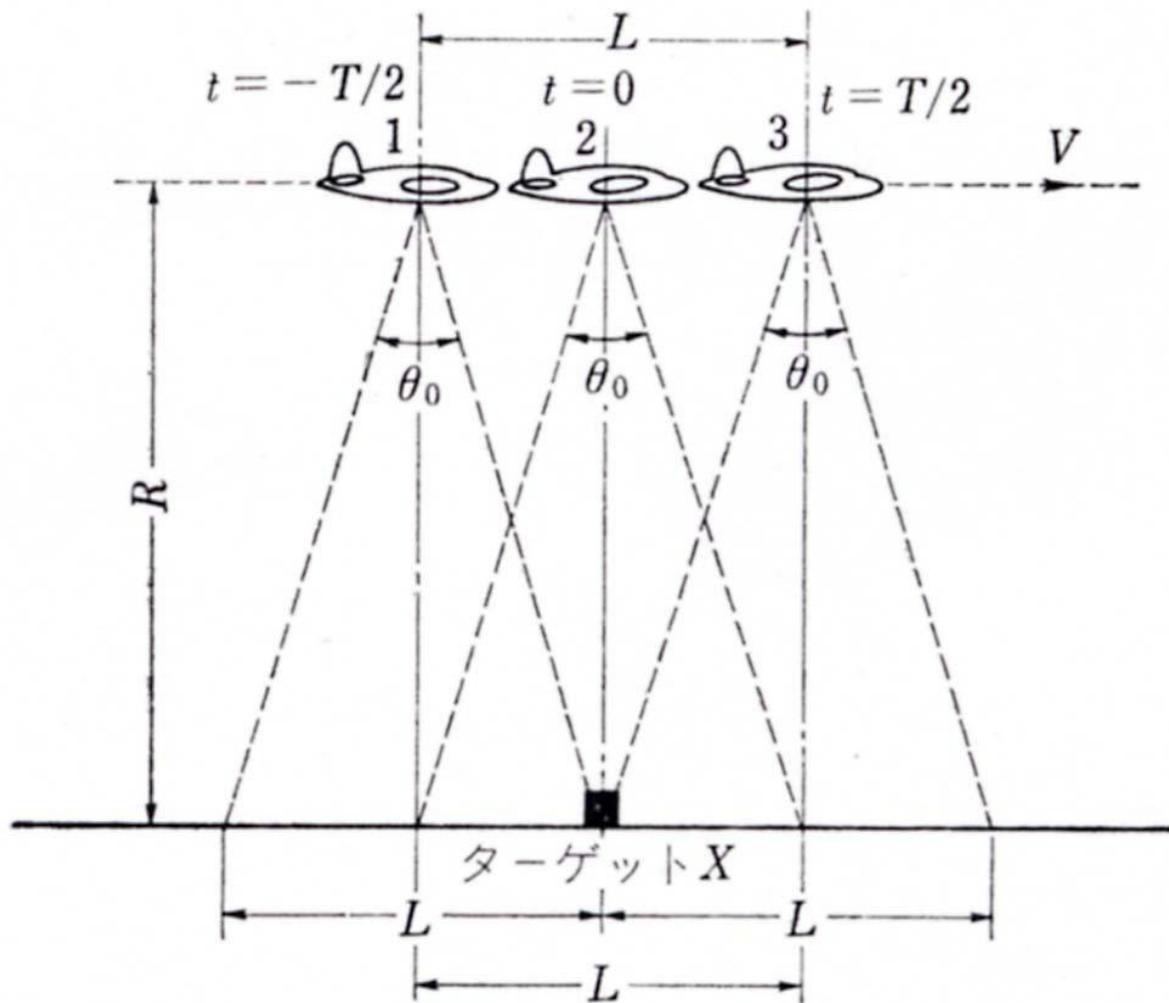
R : 物体までの距離

人工衛星



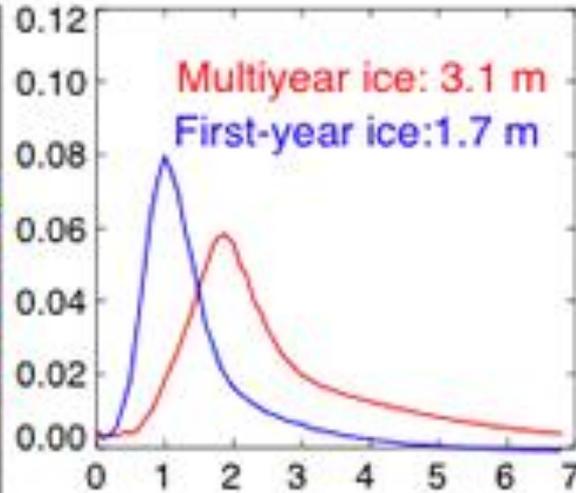
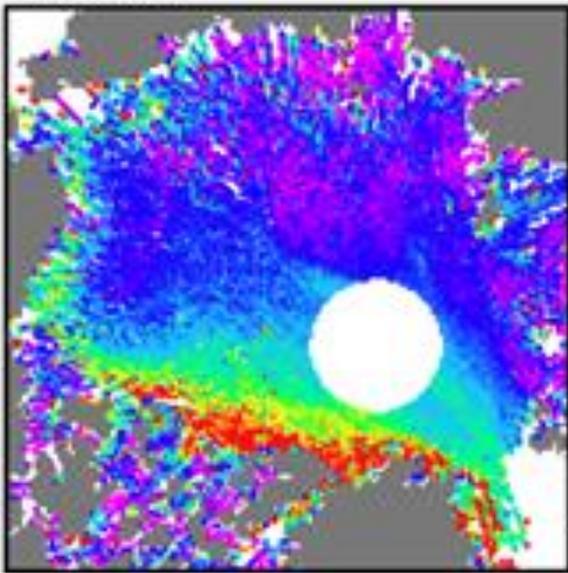
合成開口レーダー

飛行方向にデータを合成することで、
アンテナ幅を大きくする効果を生む。
→ 分解能がよくなる



ICESat Thickness Estimates

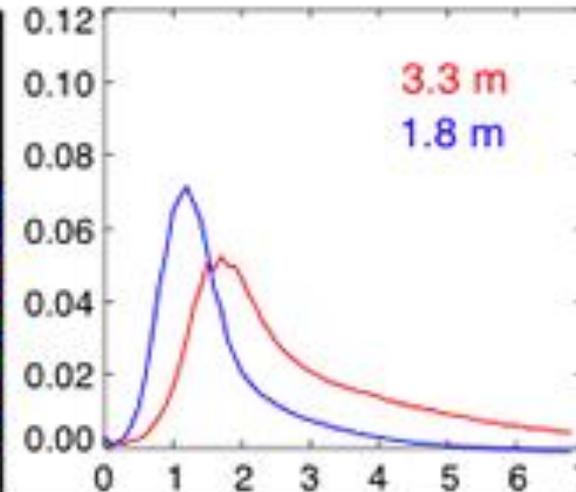
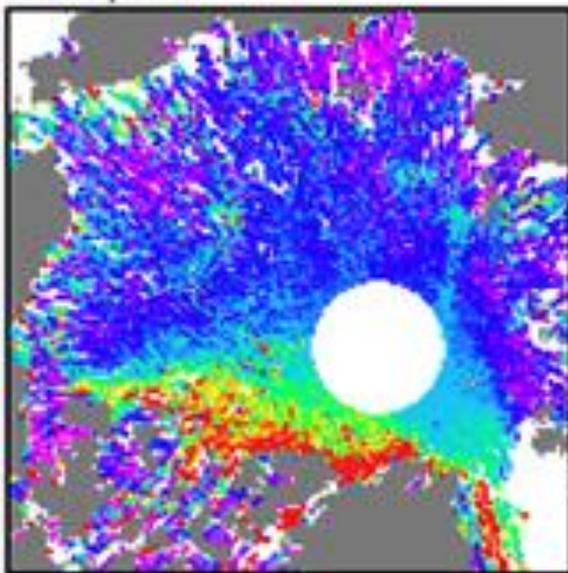
Feb-Mar 06



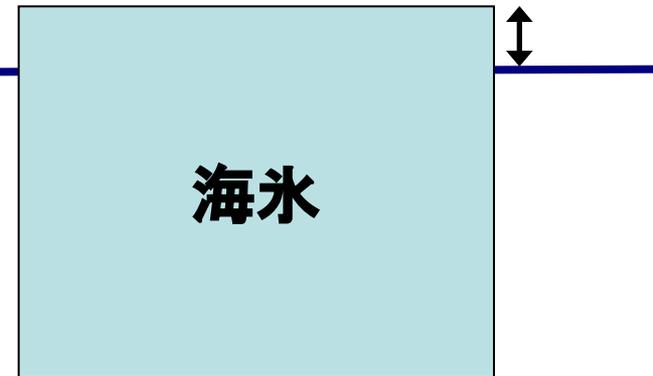
ICESat による氷厚観測

レーザーを用いて、海面から出ている氷の高さを計測し、アイソスタシーを仮定して、下に沈んでいる分（氷の厚さ）を推定する。

Mar-Apr 07

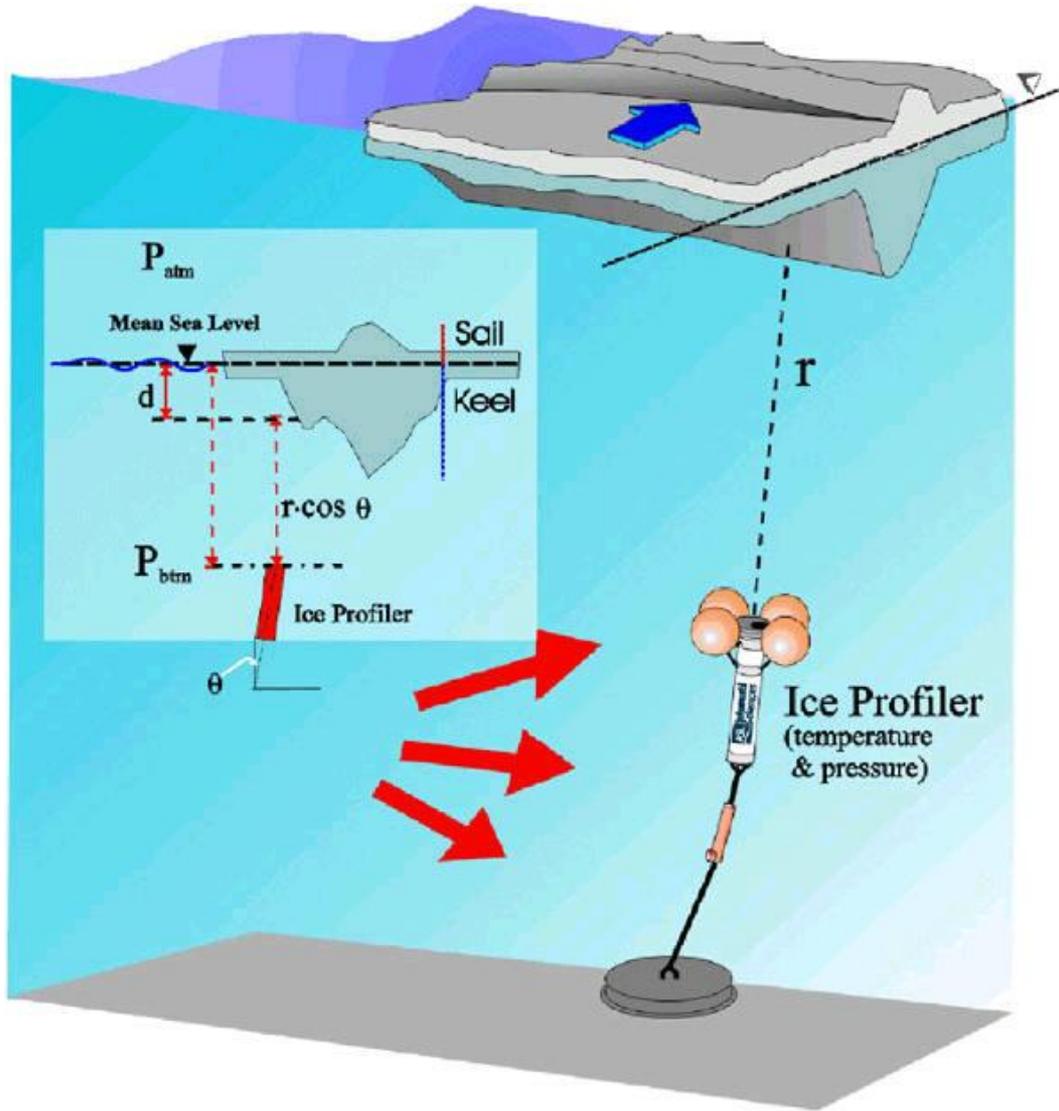


center courtesy Ronald Kwok, NASA Jet Propul



Feb-Mar 08

海氷を測る 一係留観測から一



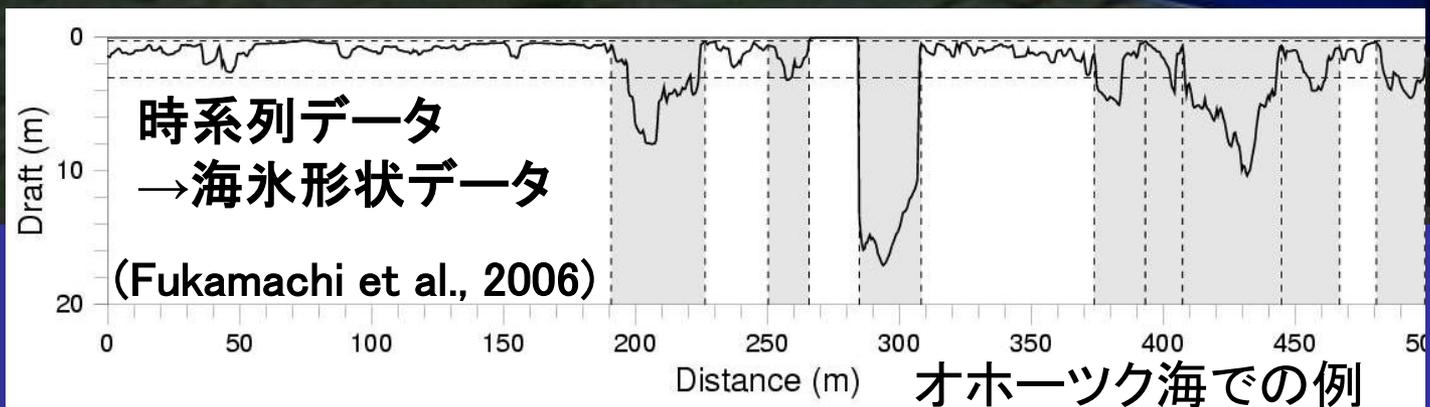
海氷の密接度や漂流といった量は人工衛星で観測可能であるが、最も基本的な物理量である「海氷の厚さデータ」は、衛星の観測からでは正確な値を得ることが（将来とも）難しいものである。氷厚データに関しては、その平均的分布（気候値）さえもよくわかっていない状況にある。長期連続した客観性の高い海氷厚データを得るには、超音波氷厚計（Ice Profiling Sonar）を長期係留する方法が現在もっとも有効な方法である。これは海水中に係留された測器より発信した音波のエコー時間を用いて海氷の厚さを測定するもので、データ取得・データ処理ともに簡単ではないので、国際的にもまだ限られた研究者にしか使われていない。

Courtesy of ASL Environmental Sciences Inc.

氷厚計の計測原理

マイクロ波放射計
合成開口レーダー

氷厚計 漂流速度計

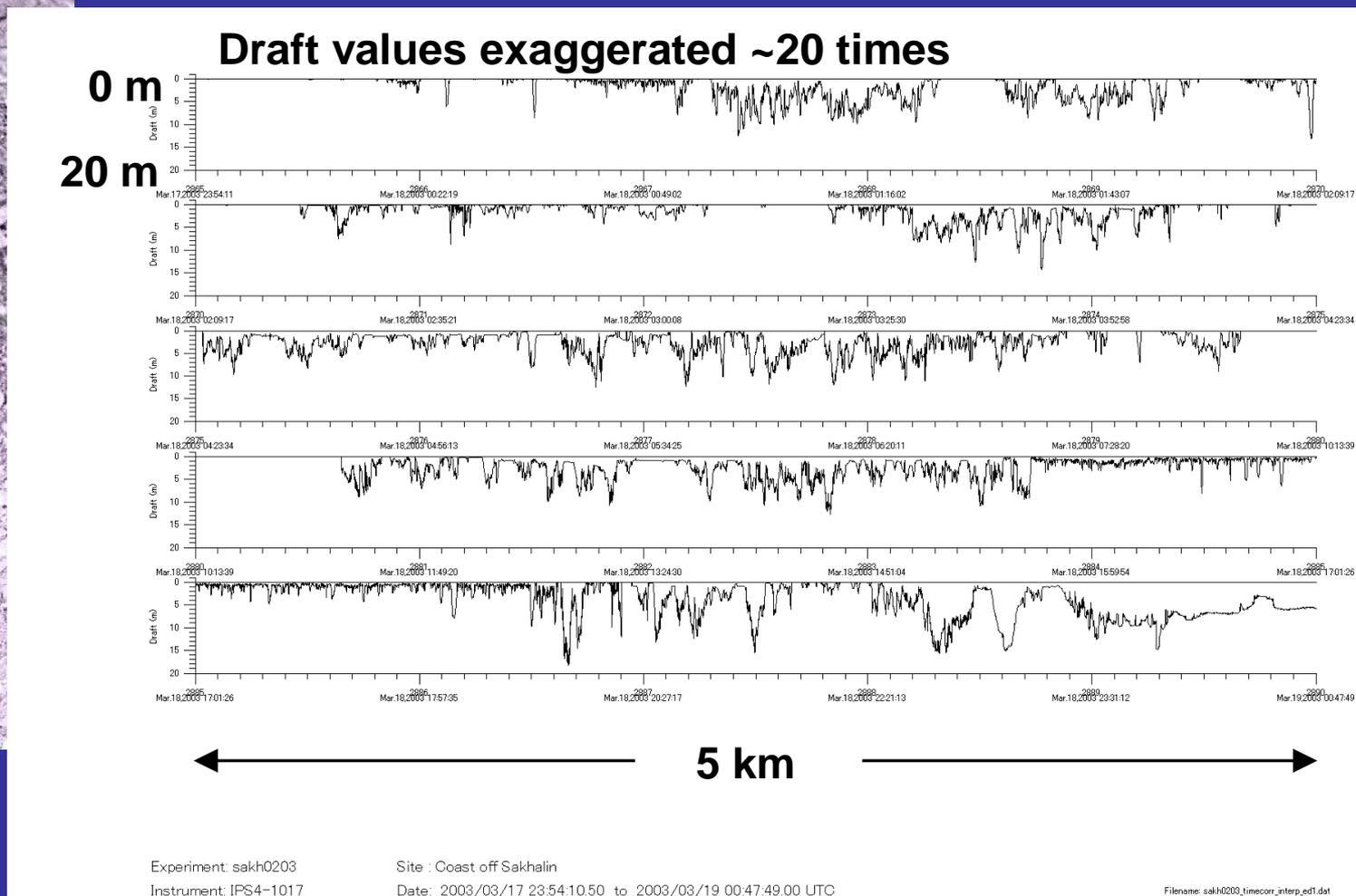
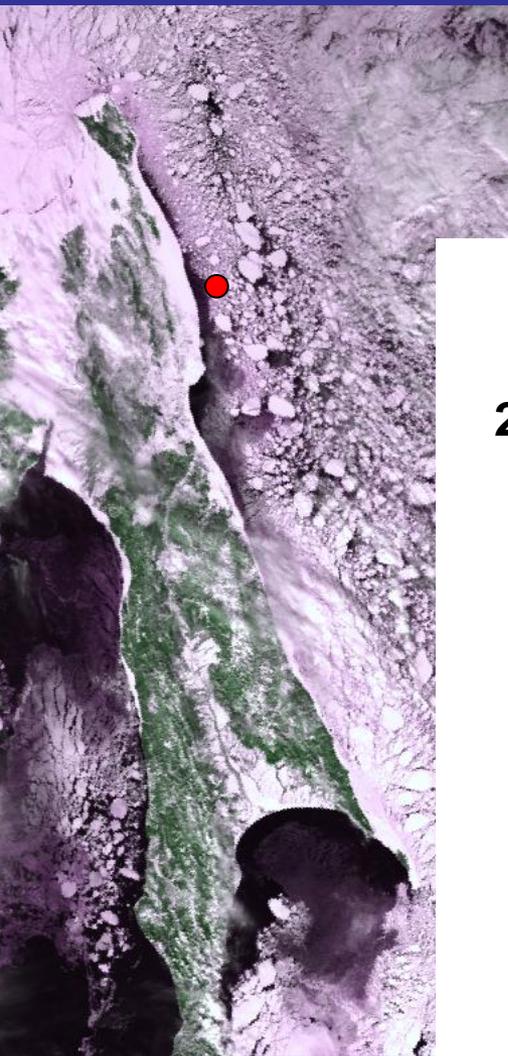


沿岸ポリニヤでの氷厚計(Ice Profiling Sonar), ADCP, CT計の設置

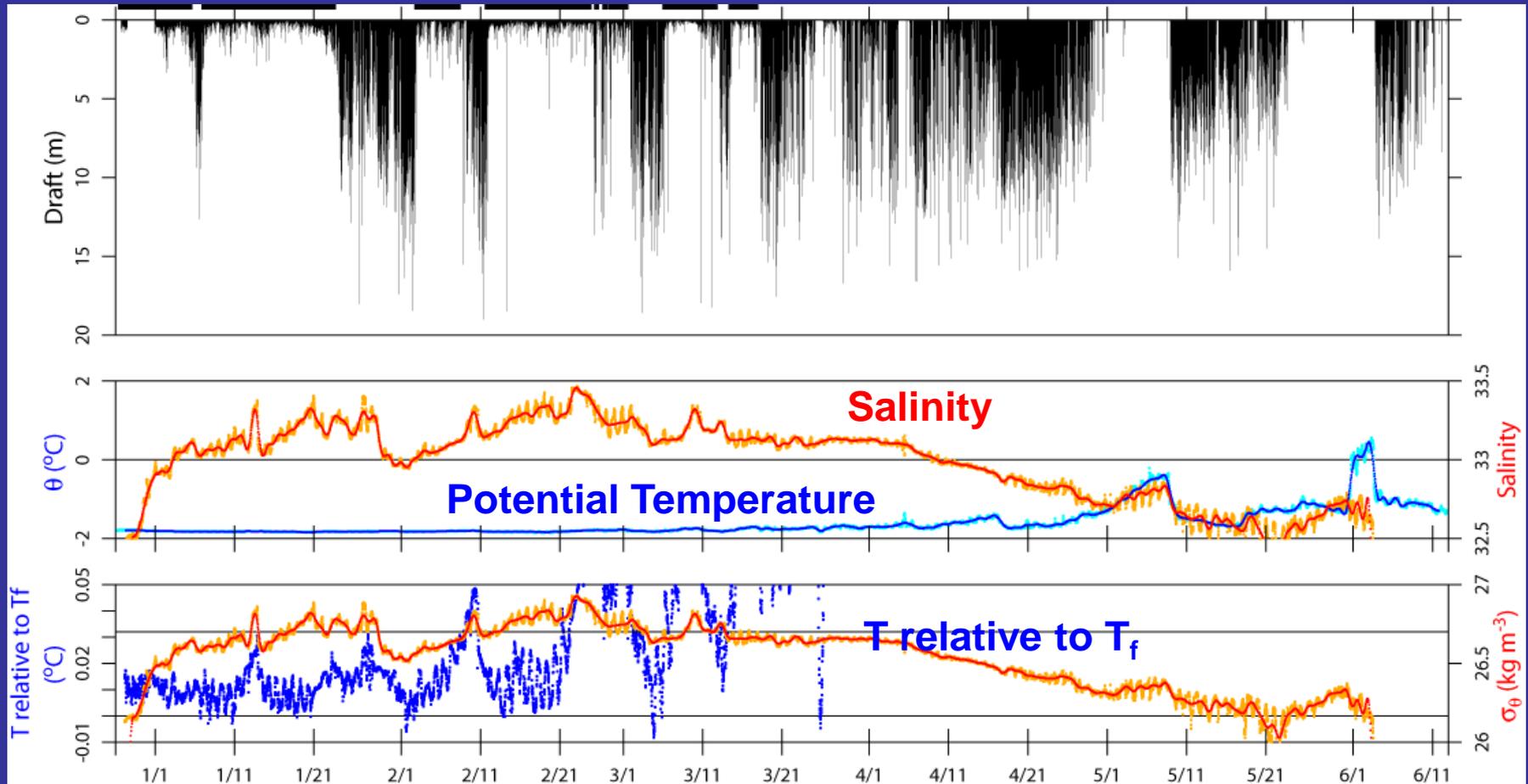
Mar. 18, 2003

2002年12月~2003年5月

Fukamachi et al., 2009



Ice Draft and Water Properties (at 24-m depth)



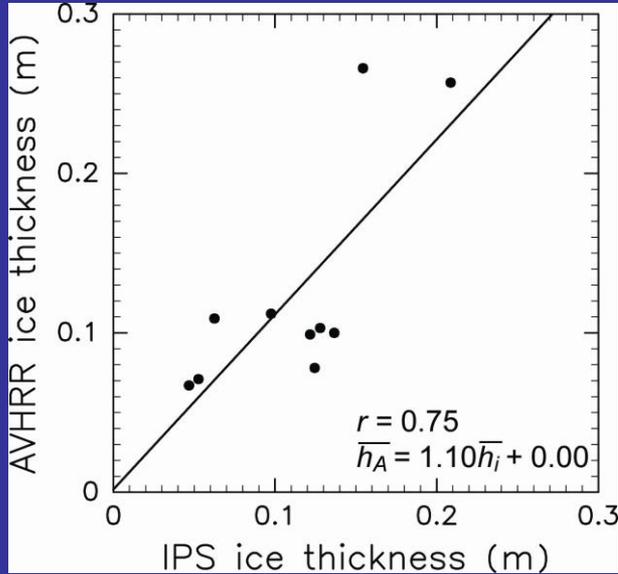
1. Salinity increase during thin-ice periods till March
2. Temperature very close to freezing point (T_f)



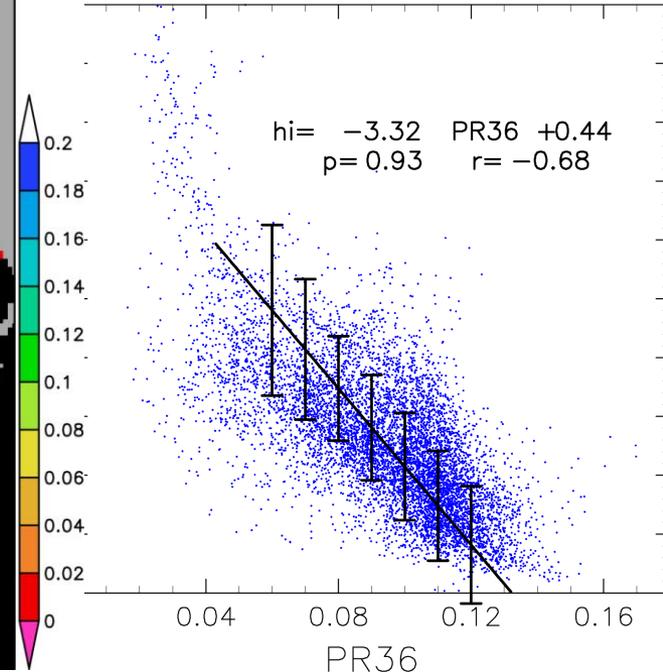
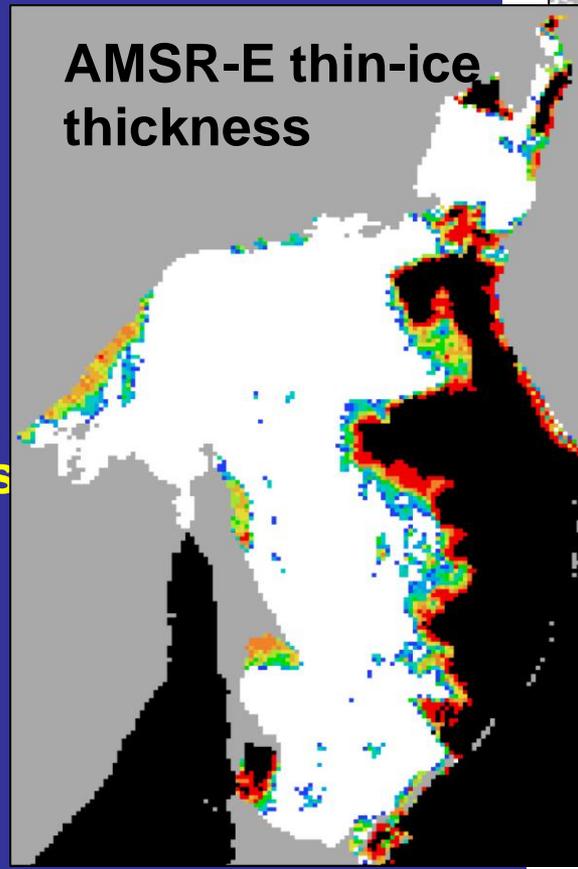
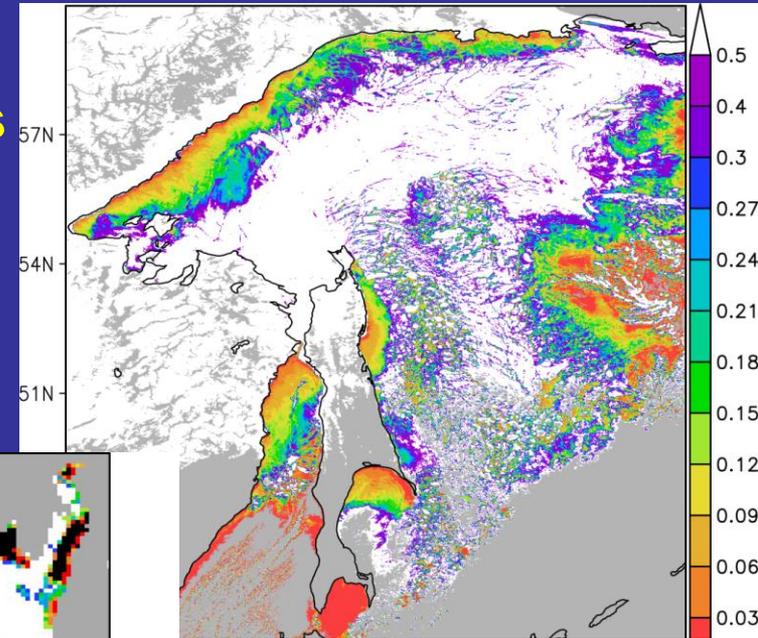
Brine rejection in polynya

Validation of thin-ice thickness based on satellite data

Nihashi et al. (2009)



AVHRR thin-ice thickness



IPS ice thickness



AVHRR thin-ice thickness

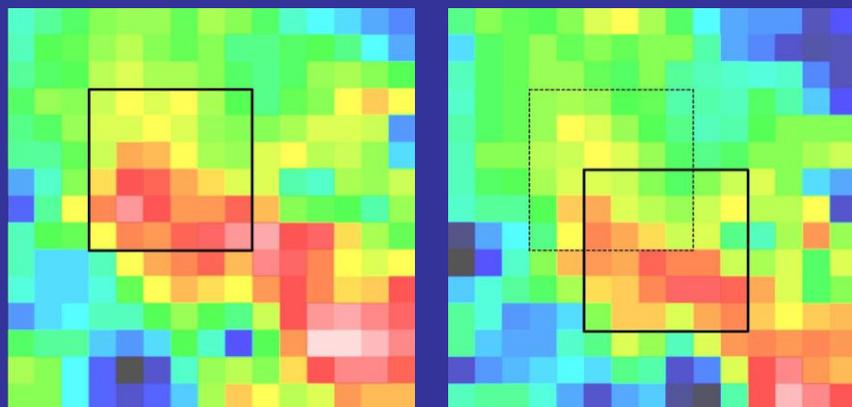


AMSR-E data



Thin-ice thickness

海水漂流速度の計算方法



面相相関法を用いて計算

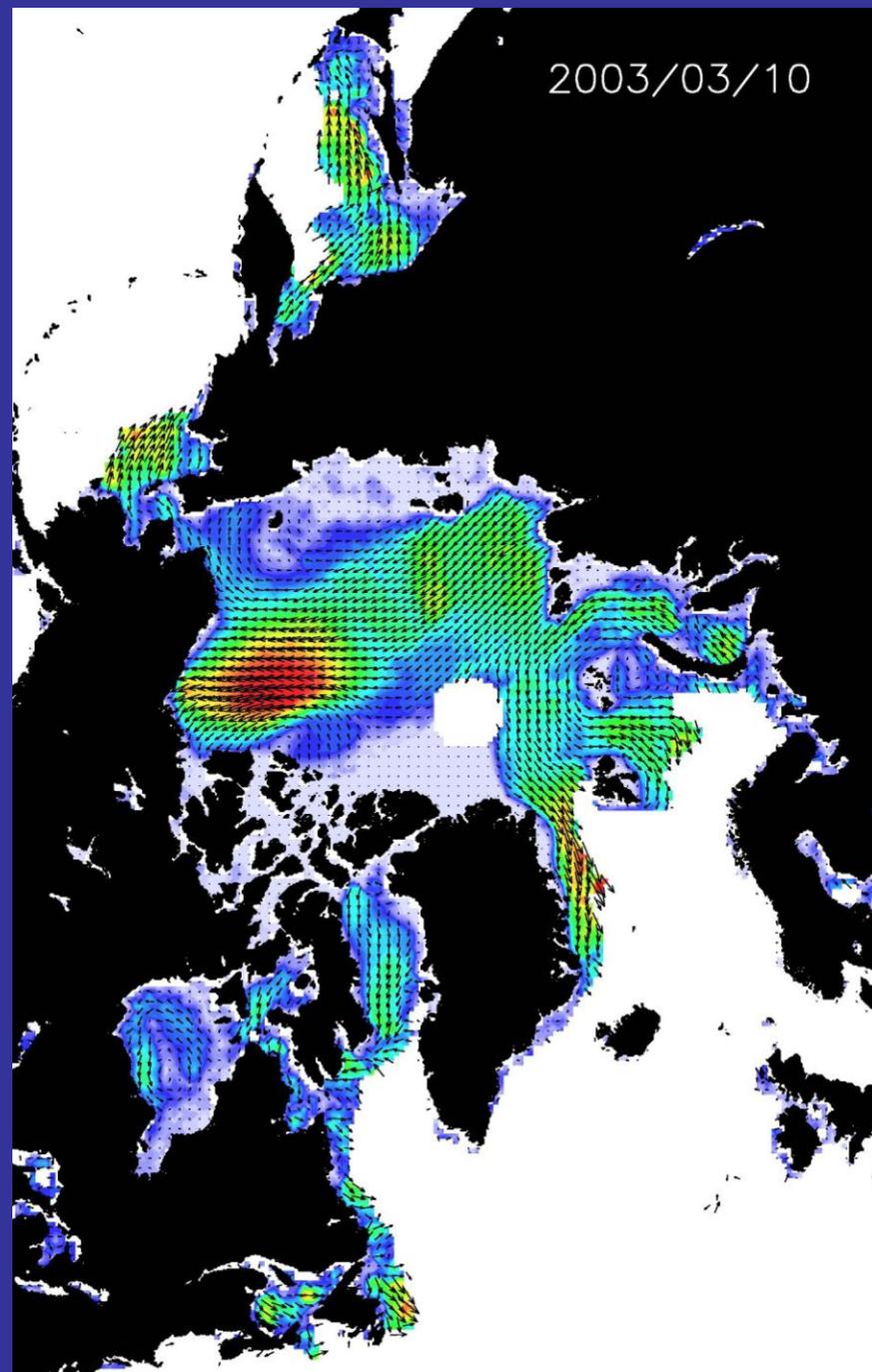
窓画像の大きさ: 37.5×37.5 km

画像の時間間隔: 24時間

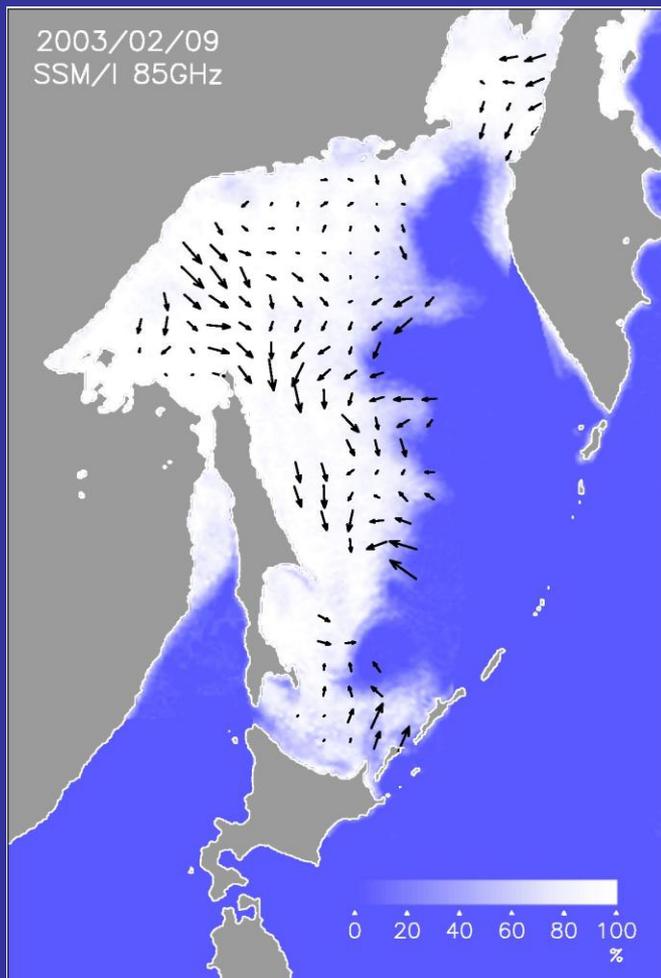
(ascendingどうし、descendingどうしを用いる)

→ 37.5×37.5 kmグリッドの日平均データを作成

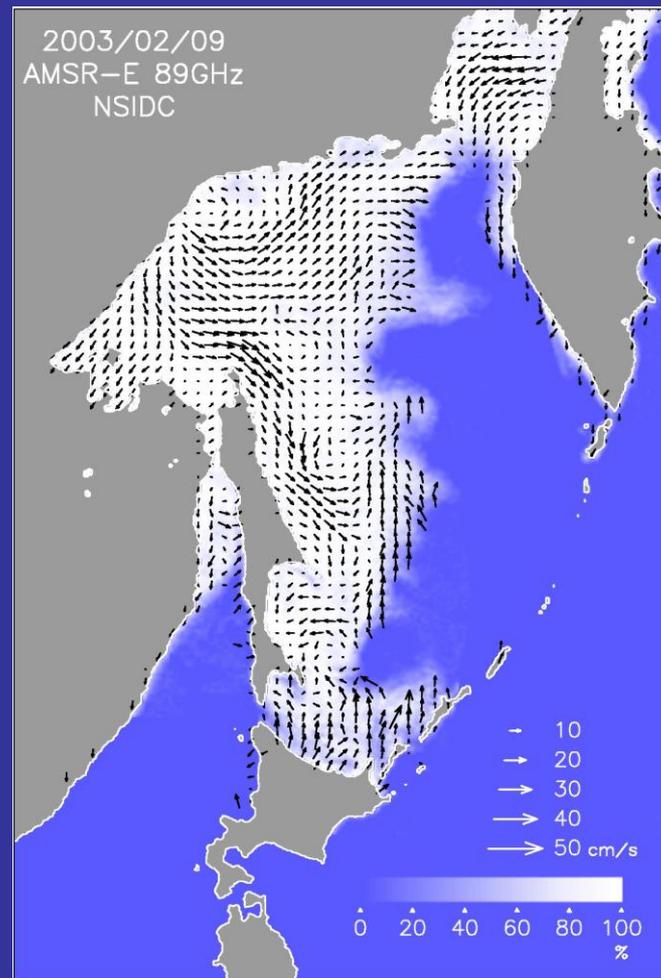
北半球全域の海氷域でほぼ欠測なく結果が
得られる



マイクロ波放射計データから計算された漂流速度場の比較



DMSR SSM/I



Aqua/AMSR-E

- ・ AMSR-Eから計算したものはSSM/Iによるものより圧倒的に良い(高解像度で欠測が少ない)

海水の前方軌跡

2003年1月1日 → 4月1日

北西部陸棚域からの海水

多くは樺太沿いに南方へ

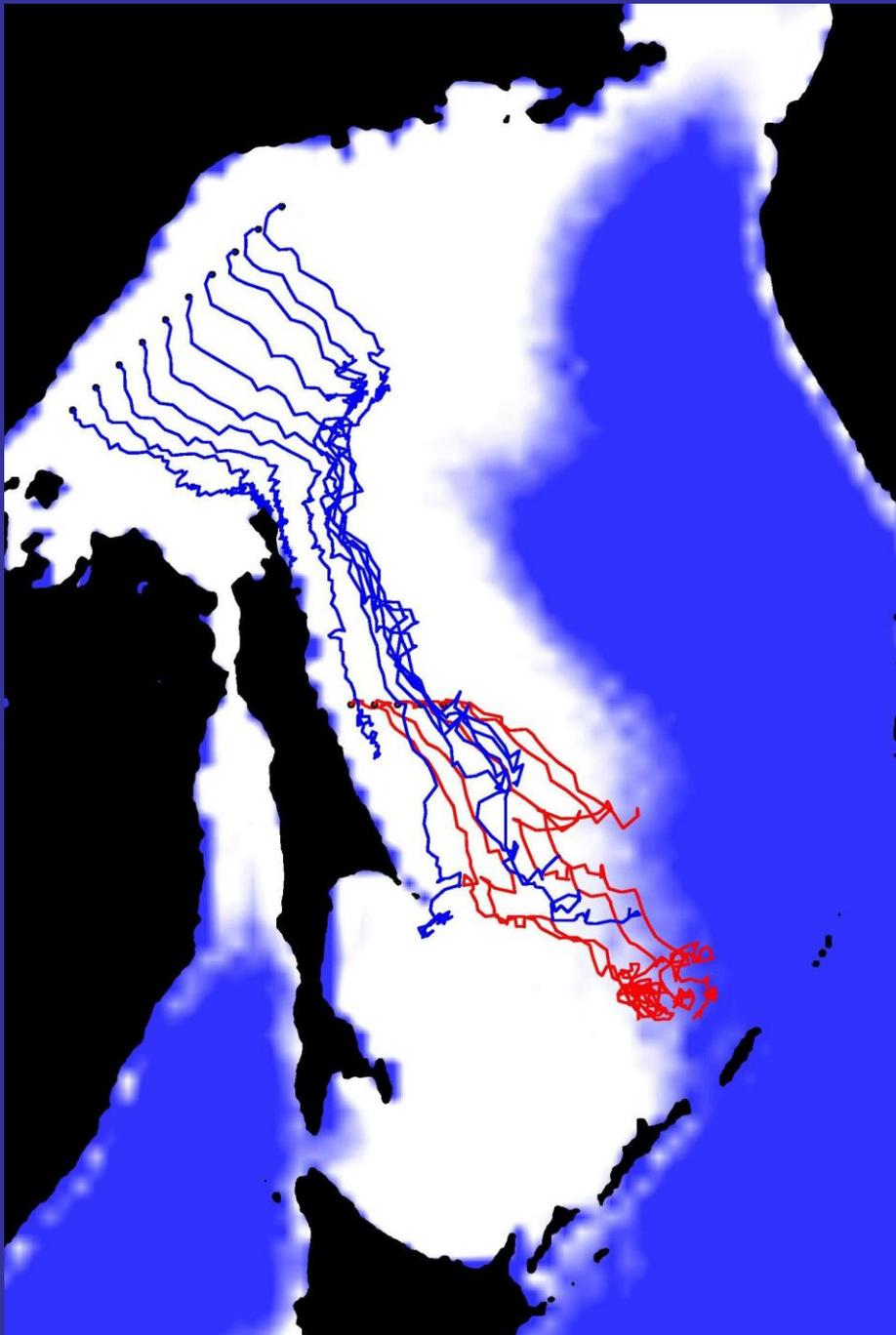
一部は樺太北部でほぼ停滞

樺太東部からの海水

多くは南西方向へ

その後千島海盆で渦に取り込まれている

- ・ どちらも北海道近海には達していない
 - ・ 1994年に流されたアルゴスブイと比べると、やや南下が遅い
- ※ 年による違いの可能性もあり



海水の後方軌跡

2003年3月15日 → 1月1日

北海道近海の海水

多くはテルペニア湾から

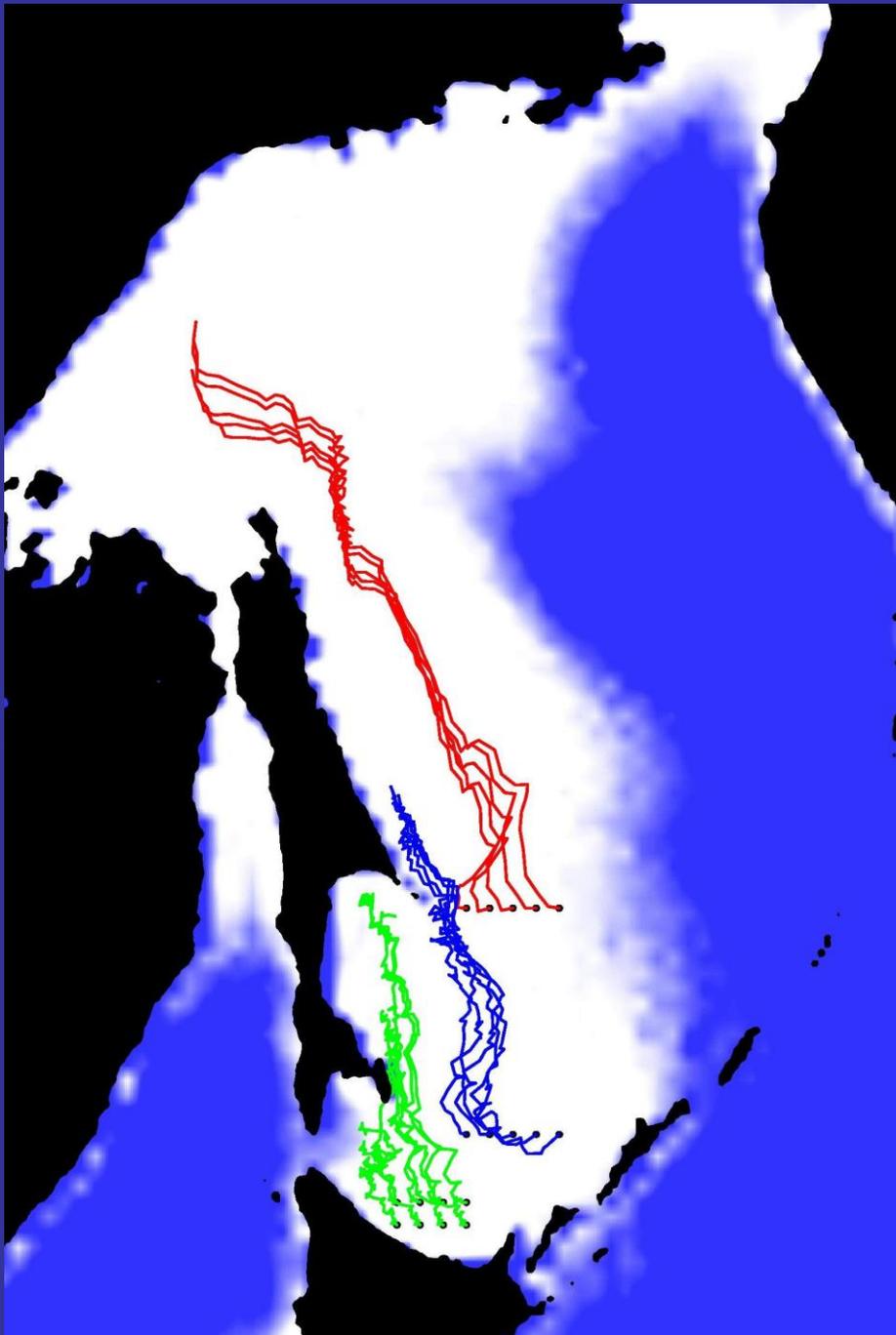
一部はアニア湾付近から

千島海盆南部の海水

樺太東岸の南下流にのったものが到達

より北部(赤線起点)の海水

北西部陸棚域で生成されたものが到達



北海道近海の点からの後方軌跡

— 4/19
— 4/14
— 4/9
— 4/4
— 3/30
— 3/25
— 3/20
— 3/15
— 3/10
— 3/5
— 2/28
— 2/23
— 2/18
— 2/13
— 2/8
— 2/3
— 1/29

- ・ 2月23日から3月20日にかけての海氷が
テルペニア湾方面から
= 観測された海氷の厚い期間と一致
- ・ その他の期間の海氷はアニア湾方面から
- ・ 両湾は北海道近海に達する海氷の多くの
部分の生産地のように思われる

