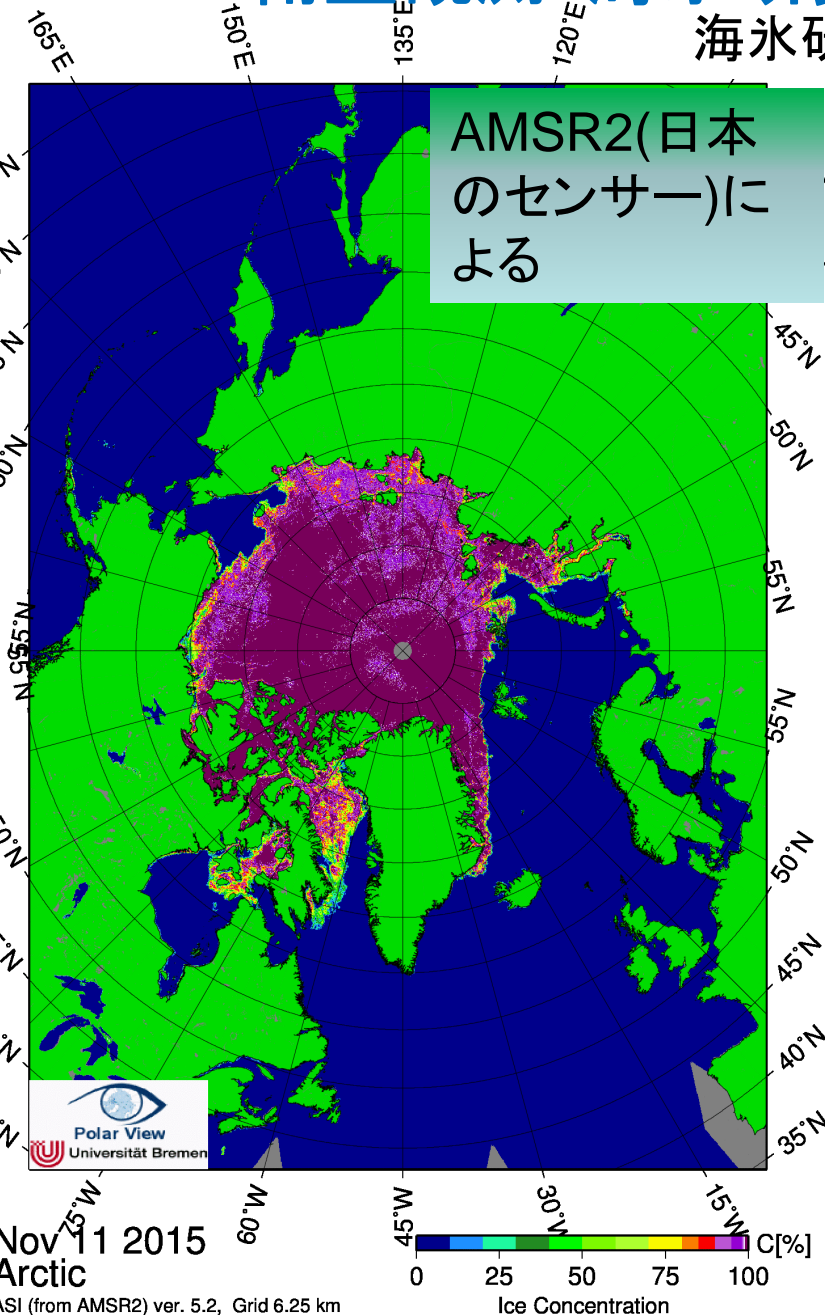


6. 衛星観測：海水研究の生命線

海水研究は衛星リモートセンシングにより進展してきた



AMSR2(日本のセンサー)による

1972年前 種々の沿岸観測データを収集して解析

1972 **ESMR**

マイクロ波放射計により、初めて
全球での海水分布がわかるようになる

1978 **SMMR**

1987 **SSM/I**

分解能 25km
現在も継続

2002 **AMSR, AMSR-E**

日本の衛星センサー
分解能 6.3-12.5km

2012 **AMSR2**

日本の衛星センサー

今後 **AMSRの後継機 ?**

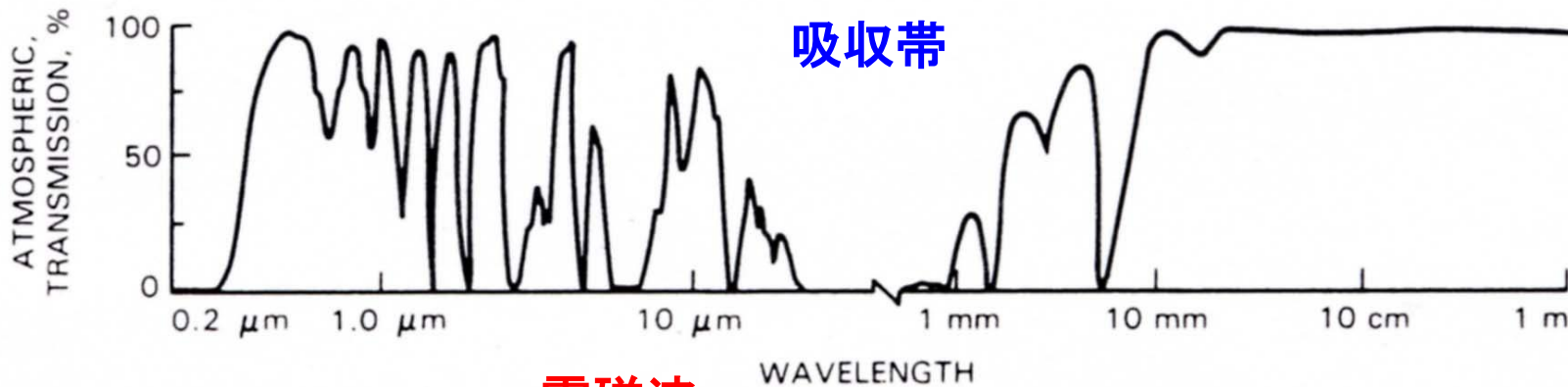
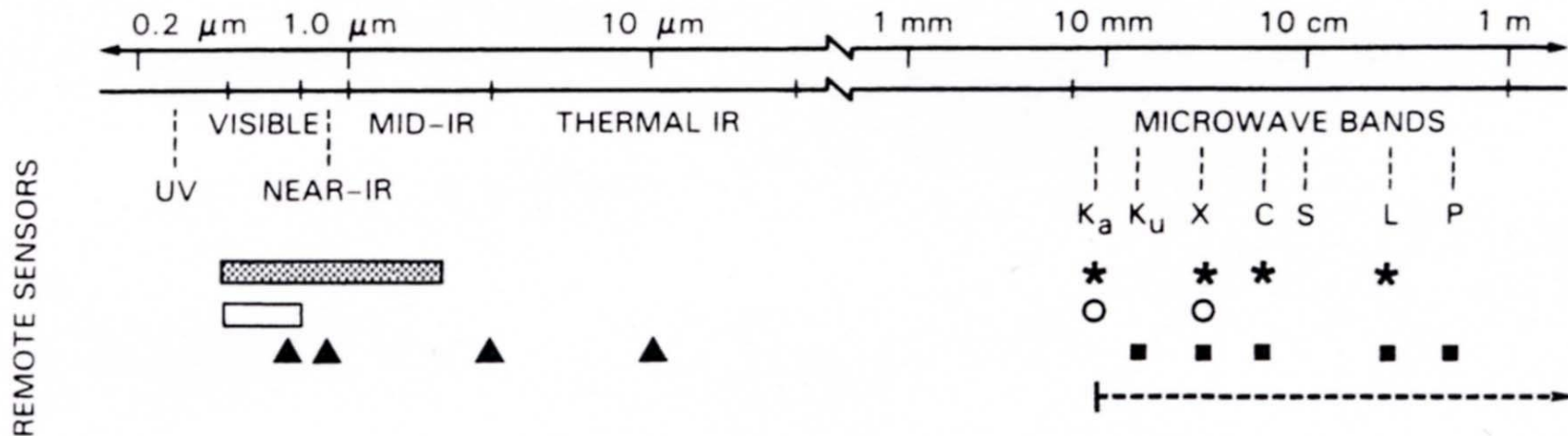
日本のセンサー
AMSRシリーズは
今や海水研究
の生命線



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)



電磁波

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

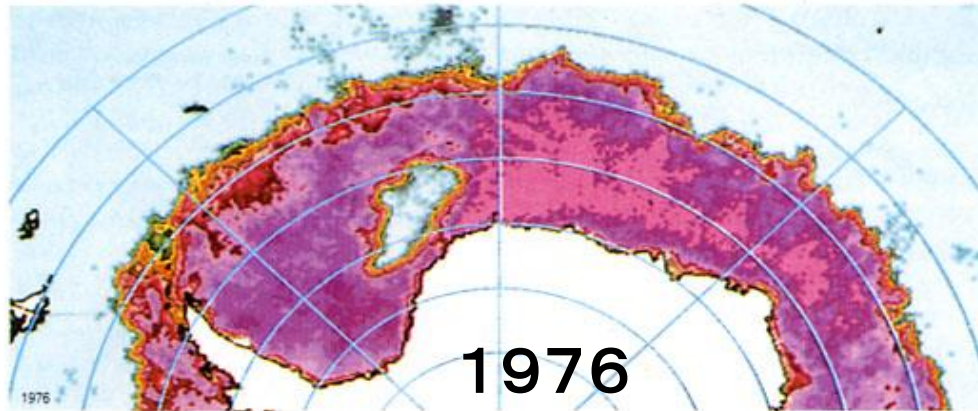
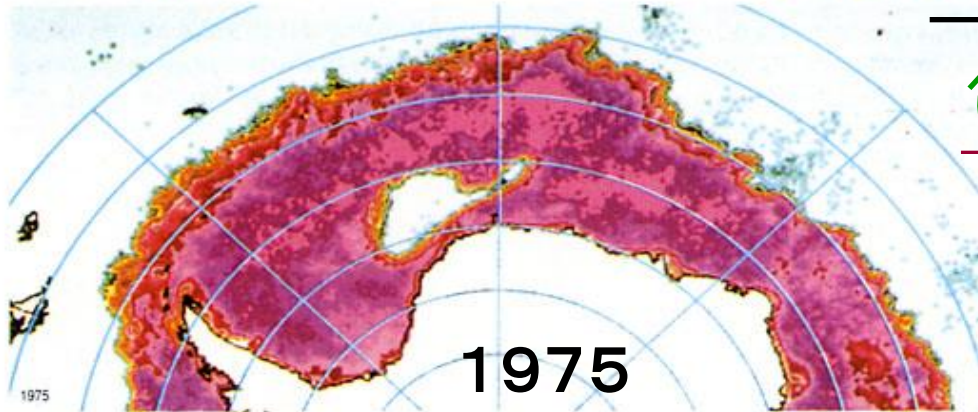
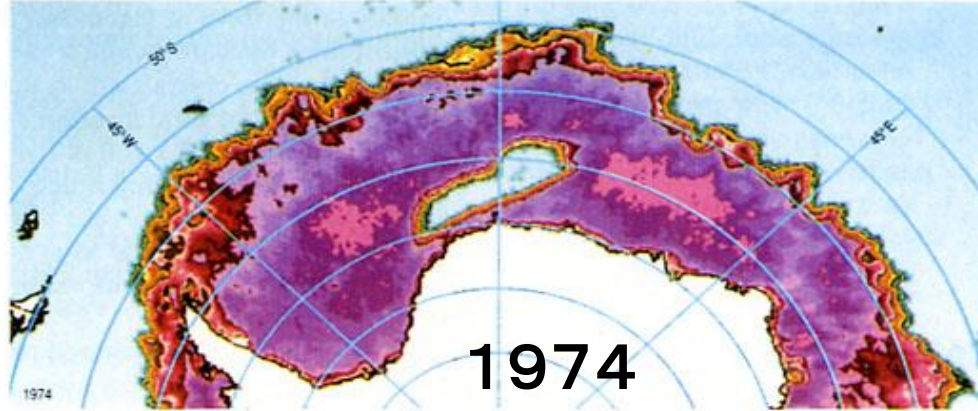
- SAR, RAR, and Scatterometers
- Radar Altimeter
- * Passive Microwave Radiometers

(衛星)リモートセンシング

- 能動センサー(自ら電磁波を出し、そのはね返りを測定)
レーダー (radar) : パワー大
 - 〔 合成開口レーダー(SAR: Synthetic Aperture Radar)
 - 〔 マイクロ波散乱計
 - 〔 マイクロ波高度計
- 受動センサー(物体から射出される電磁波を測定)
放射計 (radiometer) : パワー小
 - 〔 マイクロ波放射計 (SSM/I, AMSR)
 - 〔 可視・赤外放射計 (“ひまわり”などもそう)

ウェッデルポリニヤ

マイクロ波放射計による (冬季)



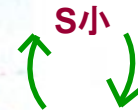
ポリニヤ形成メカニズム

熱、水蒸気、CO₂など

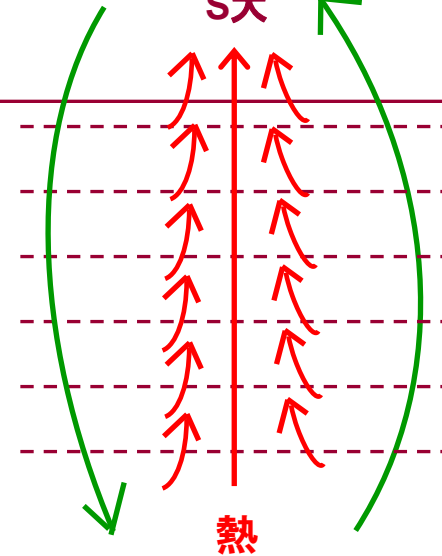


大気

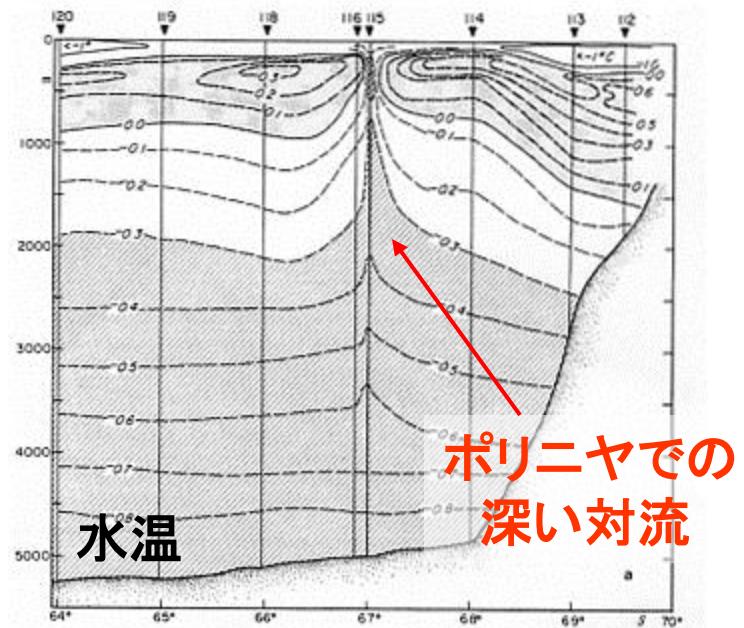
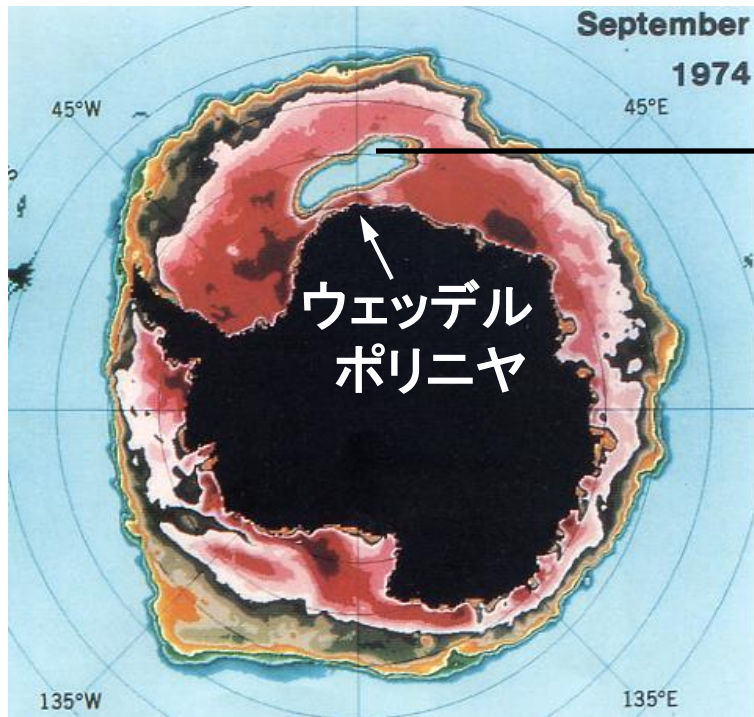
冷却



S大

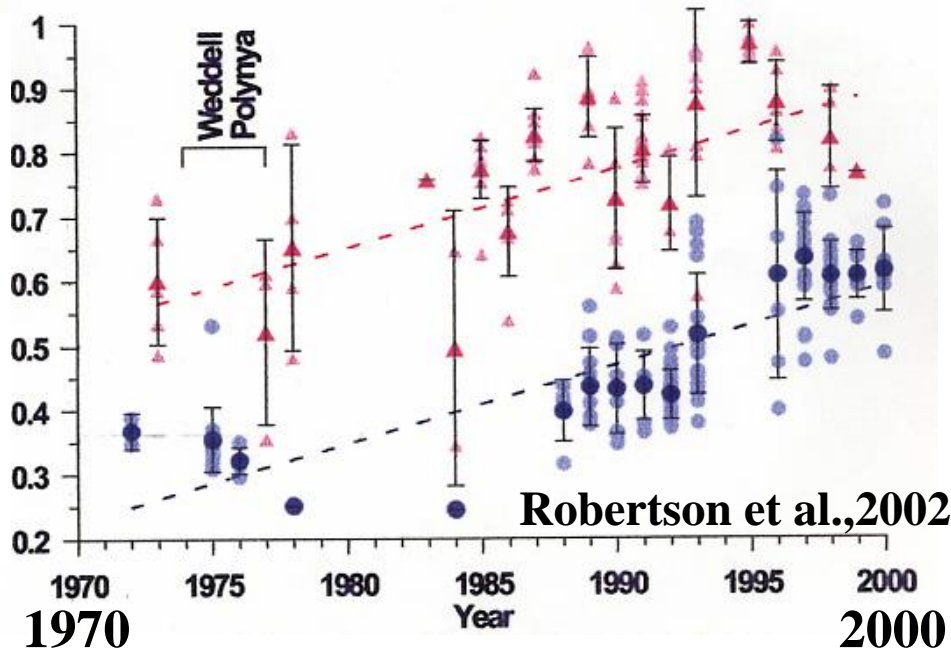


deep convection



Gordon, 1978

深層水の最大水温



Robertson et al., 2002

ウェッデルポリニヤ
(1974-1976)

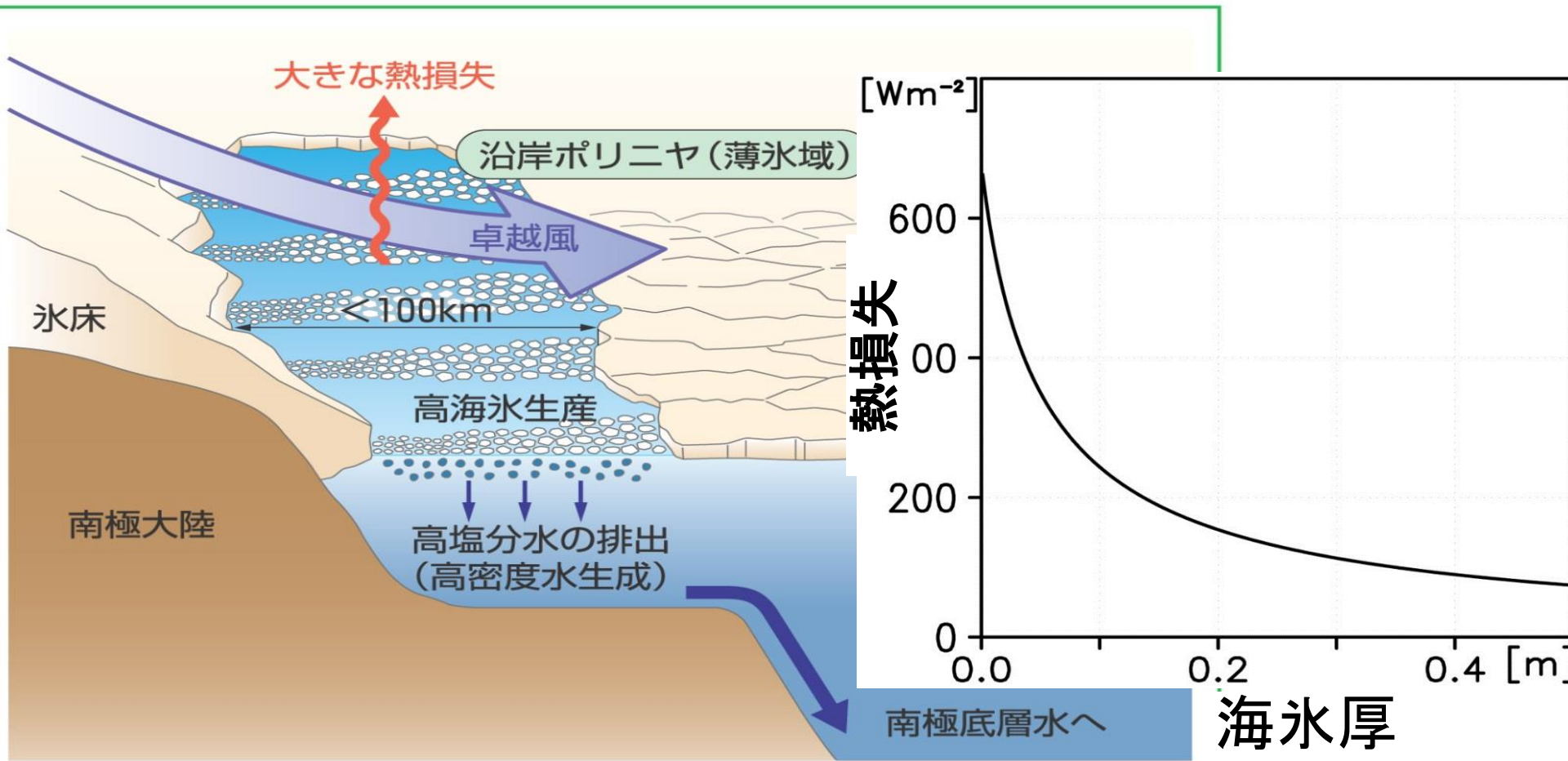
↓

深い対流

↓

中深層水の低温化

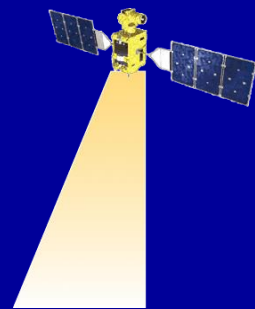
沿岸ポリニヤ → 海氷生産工場



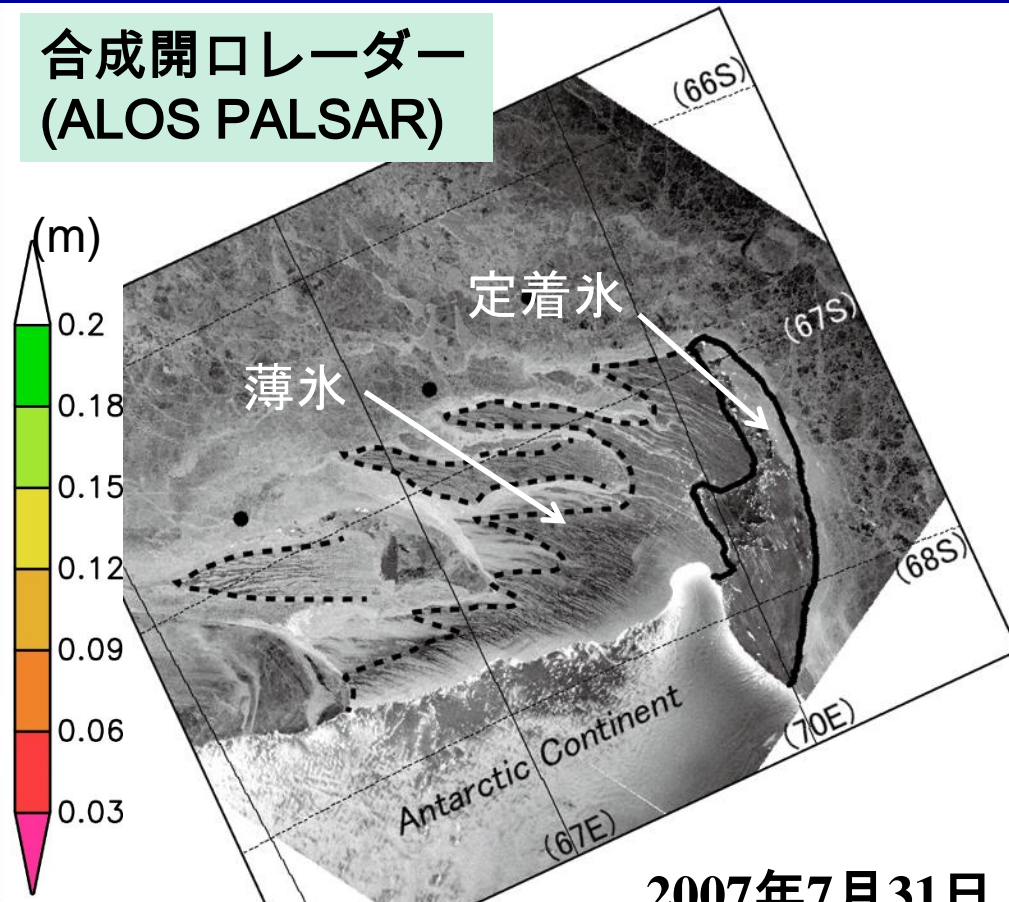
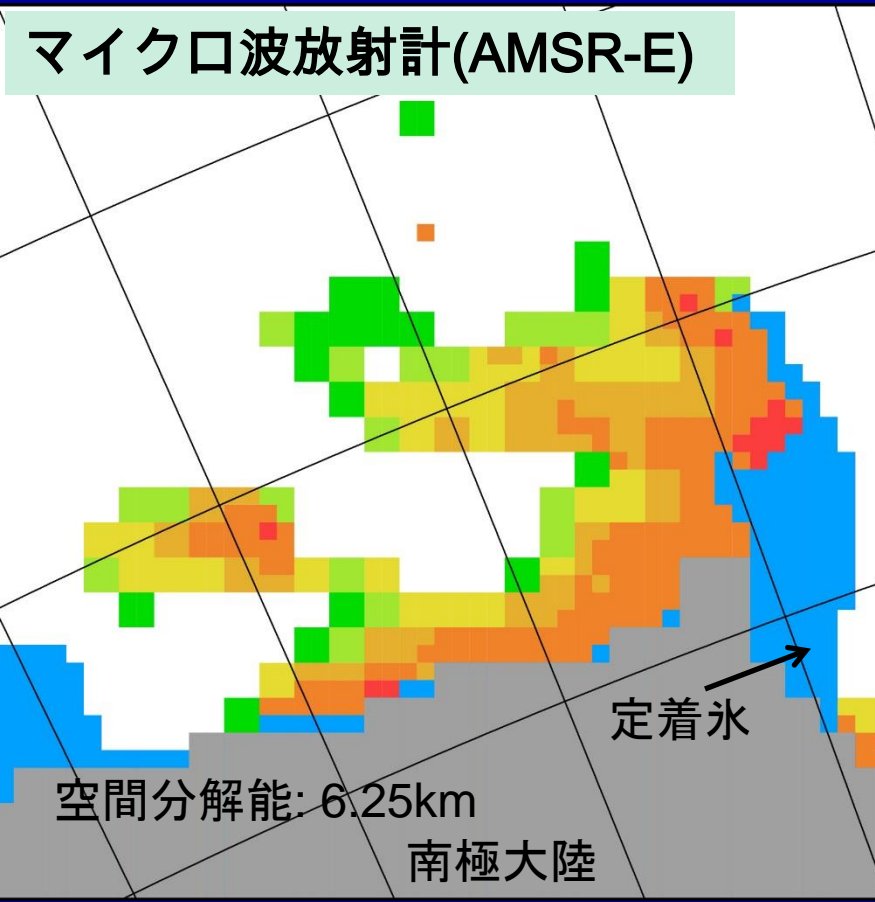
海氷がたくさんできるほど、塩分が排出され、重い水ができる

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

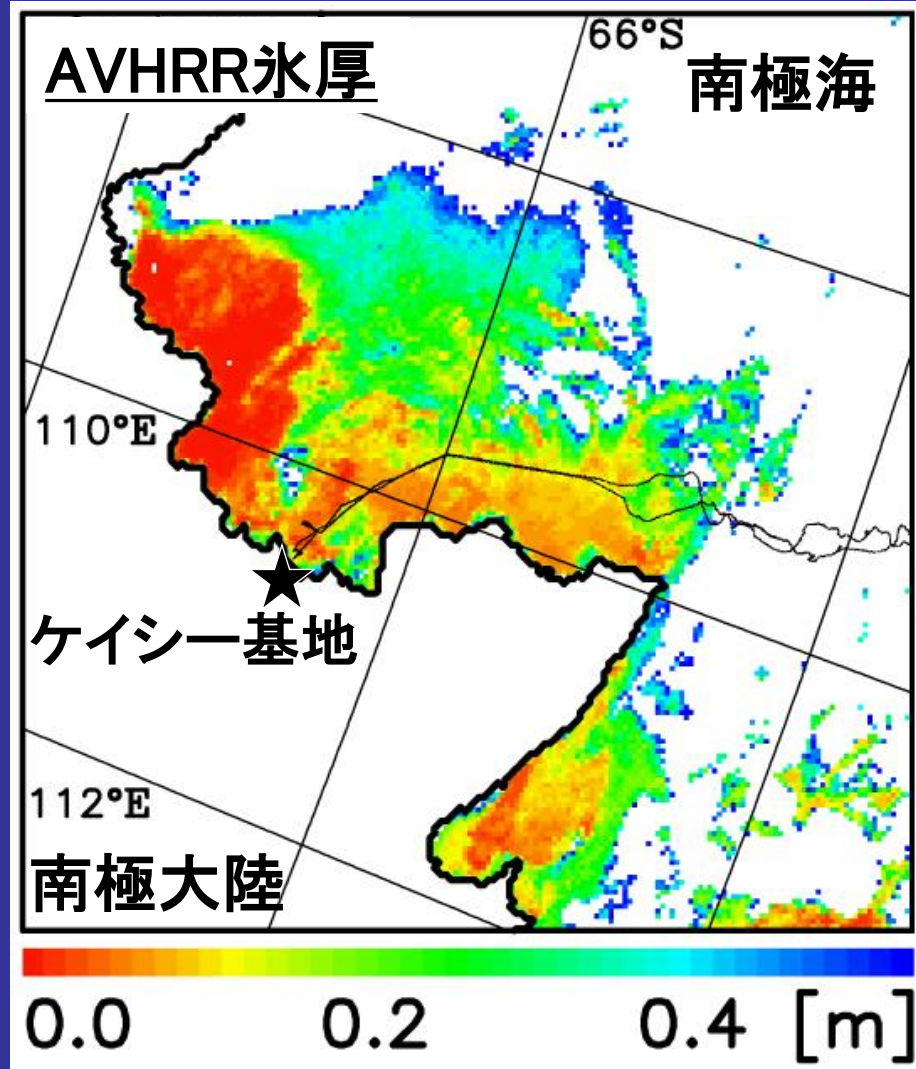
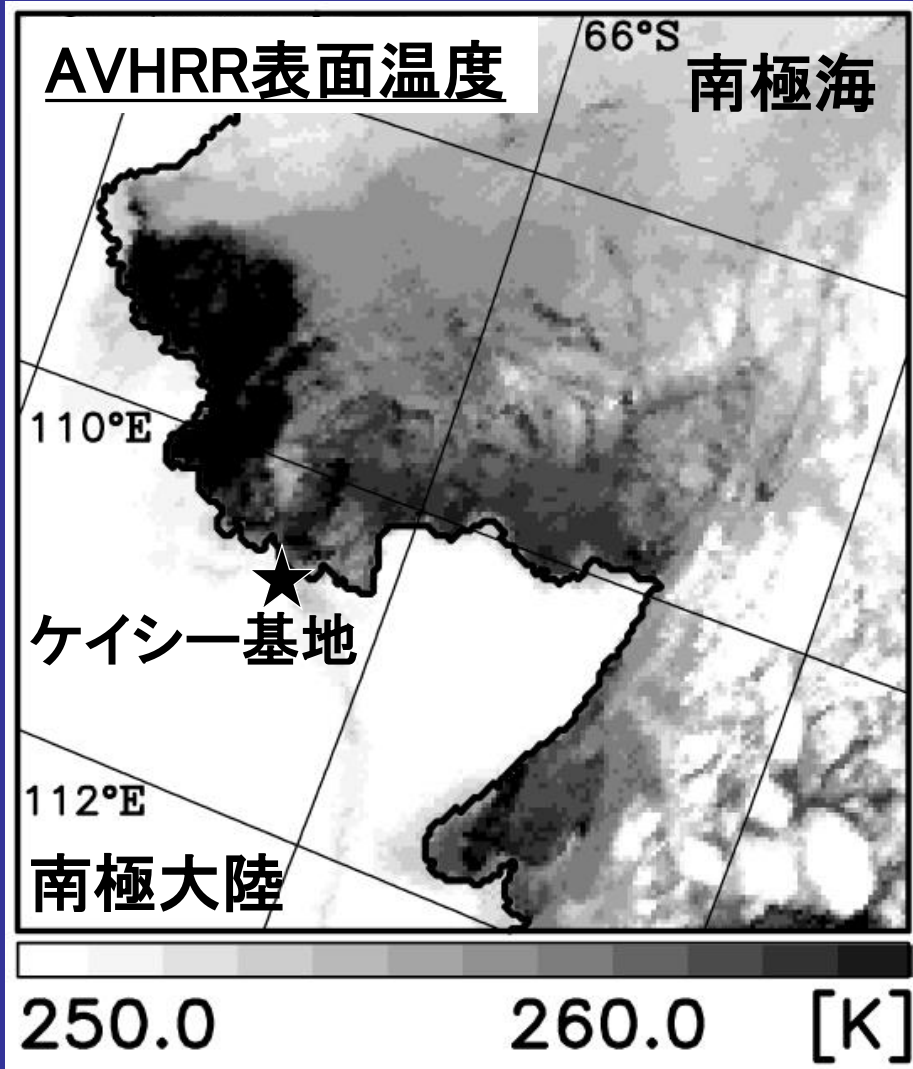


海水生産量を全球で毎日見積もることができる



2007年7月31日

(ケープダンレーポリニヤ, 東南極)

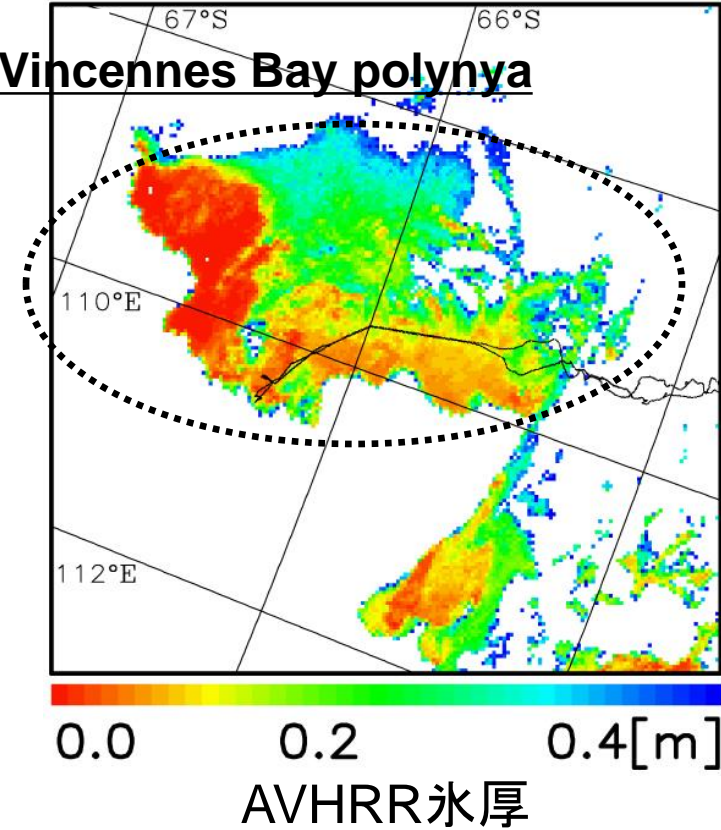


ヴィンセンヌス湾ポリニヤ (2003年10月19日)

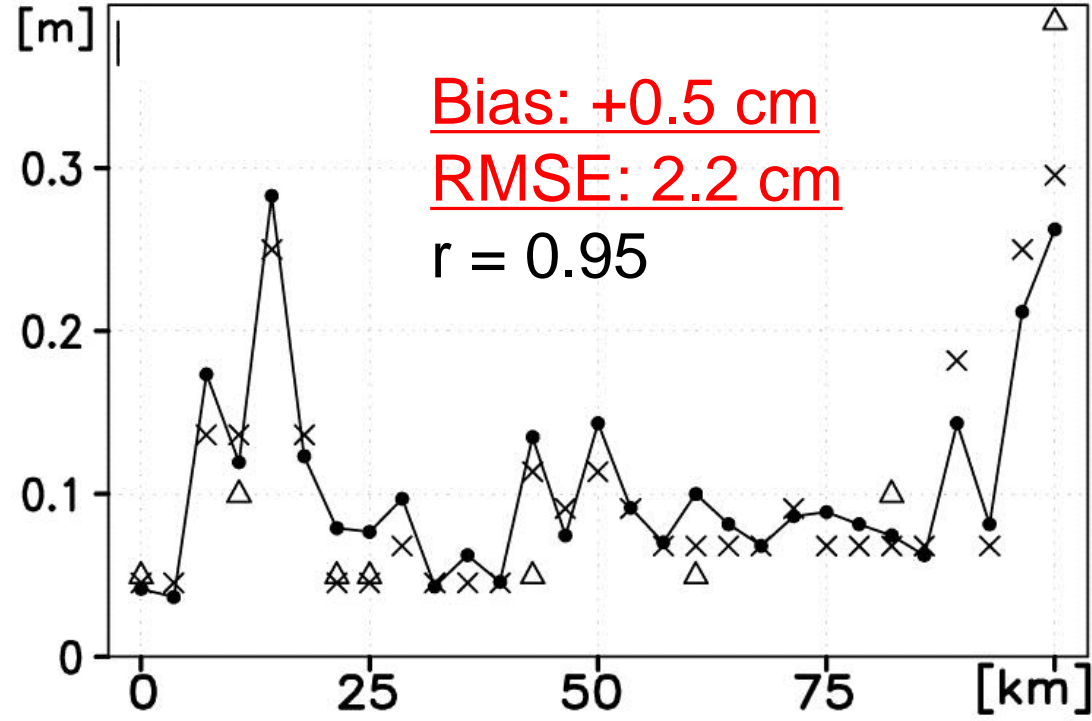
ARISE

(Antarctic Remote Ice Sensing Experiment)

September-October 2003



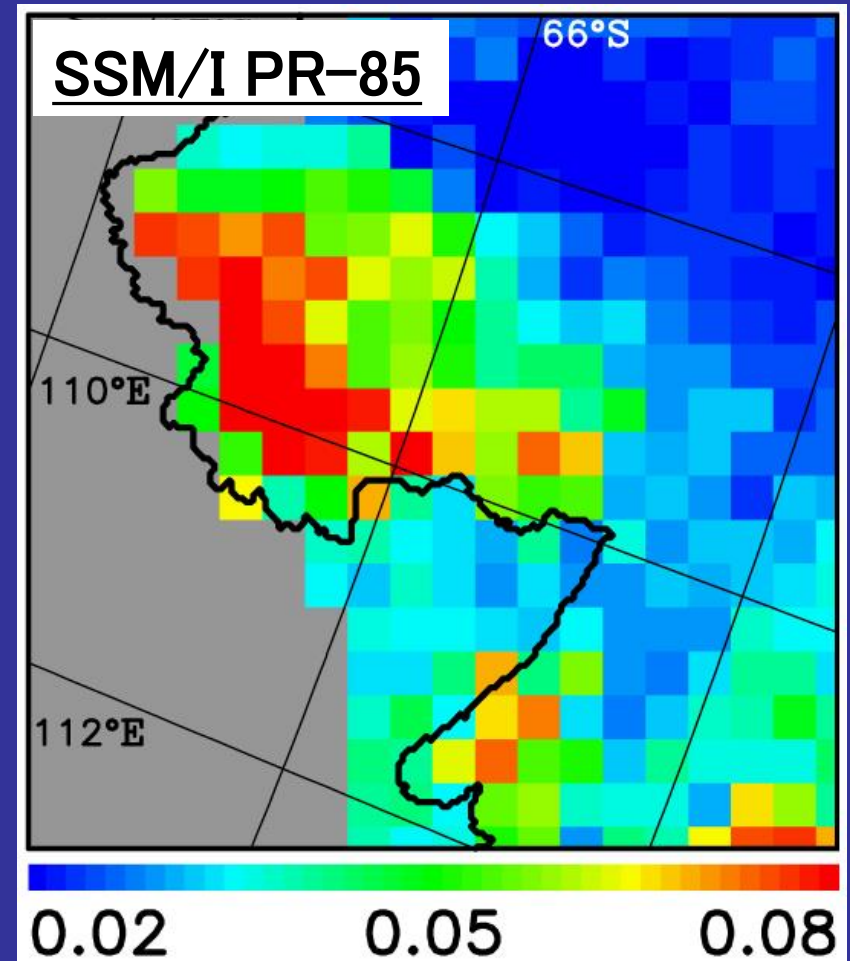
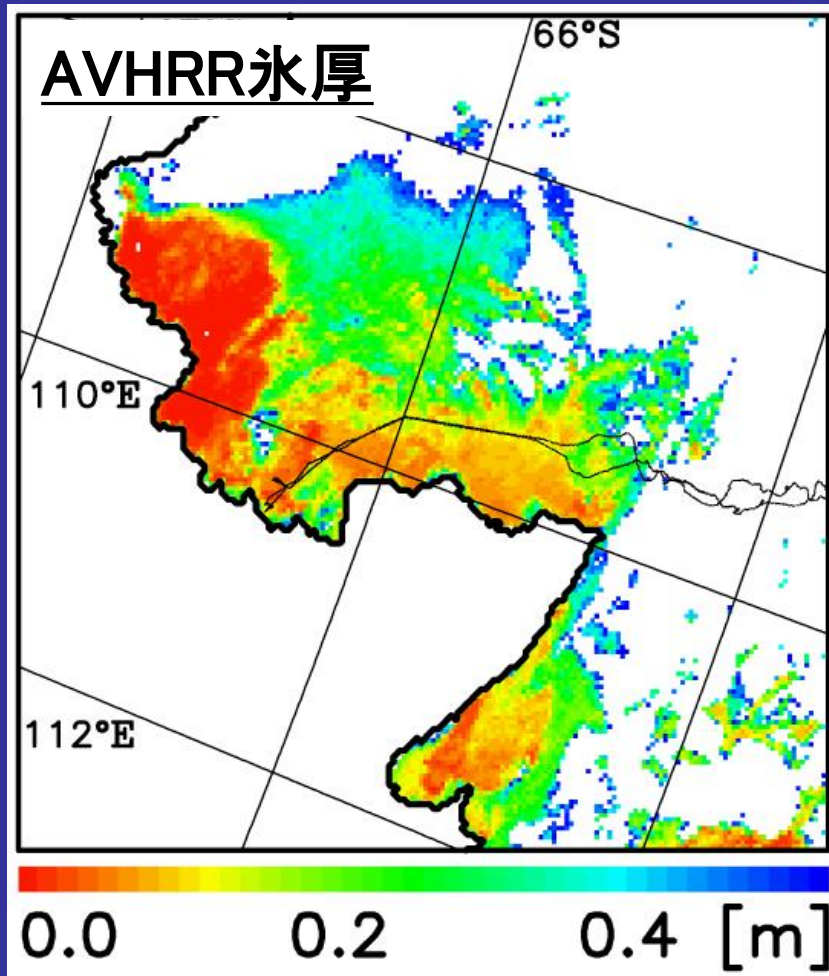
現場氷厚とAVHRR氷厚の比較



- : 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。

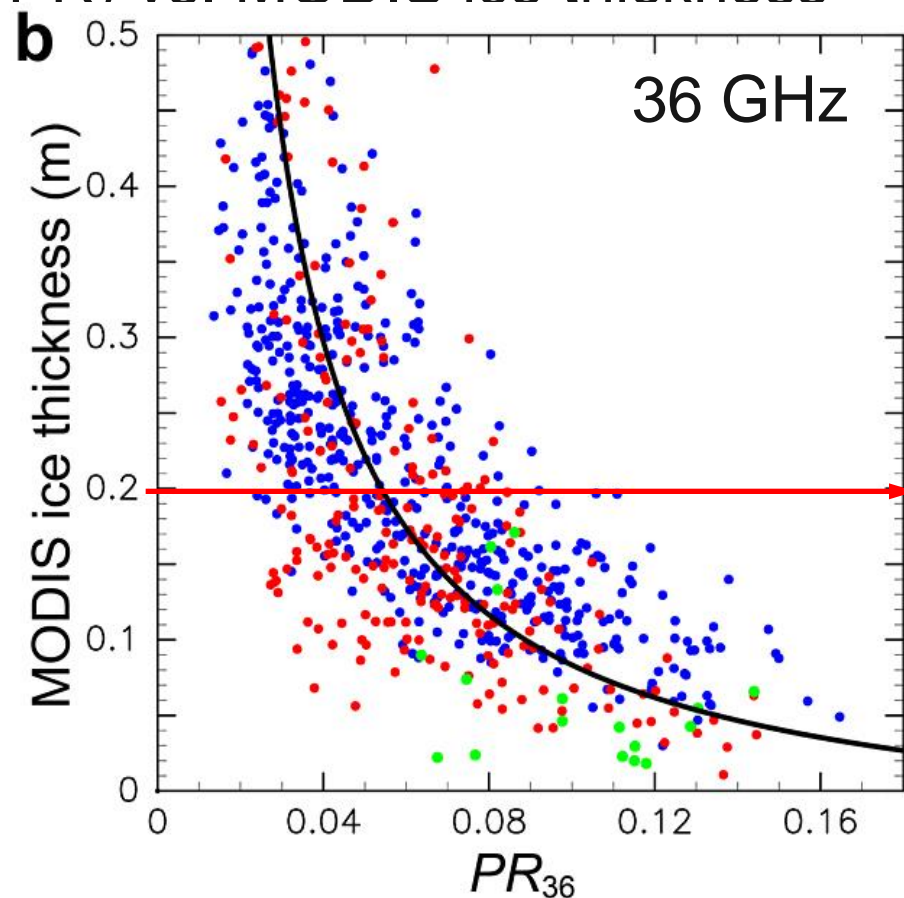
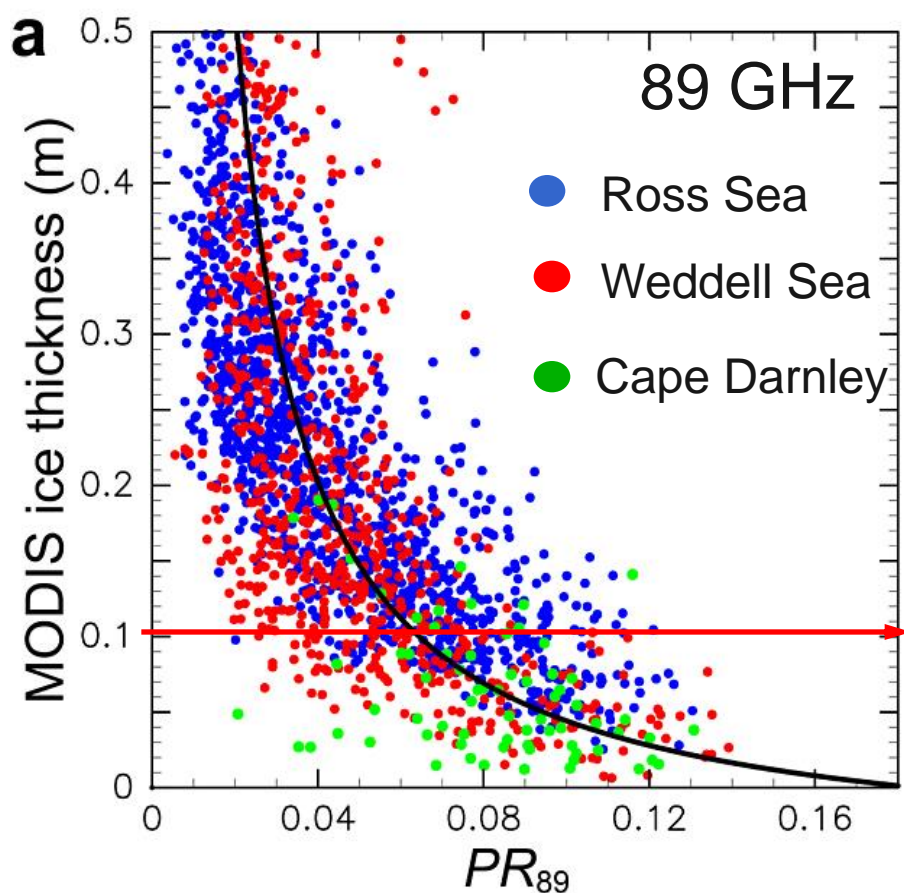
AVHRR氷厚 ↔ SSM/I PR (polarization ratio) の比較



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

AMSR-E Polarization Ratio (PR) vs. MODIS ice thickness

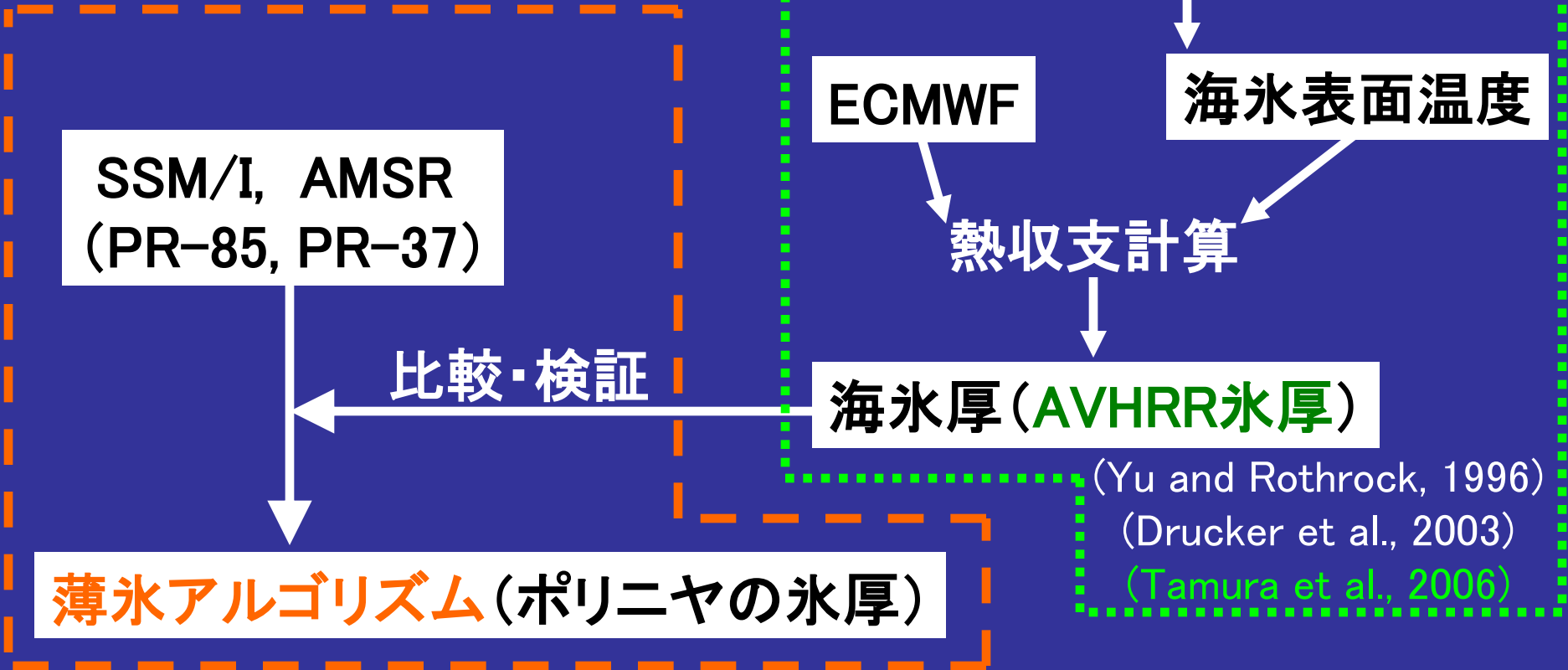


南極海での薄氷厚アルゴリズム

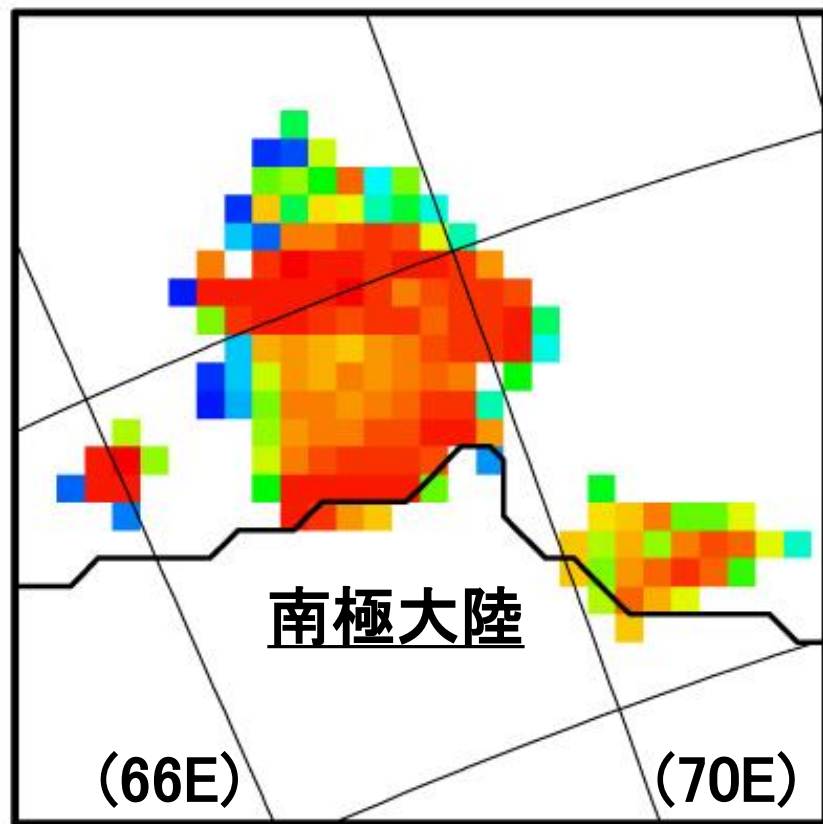
Ice thickness up to 20 cm is estimated from fitted exponential curve

89GHz: higher spatial resolution, but needs water vapor correction

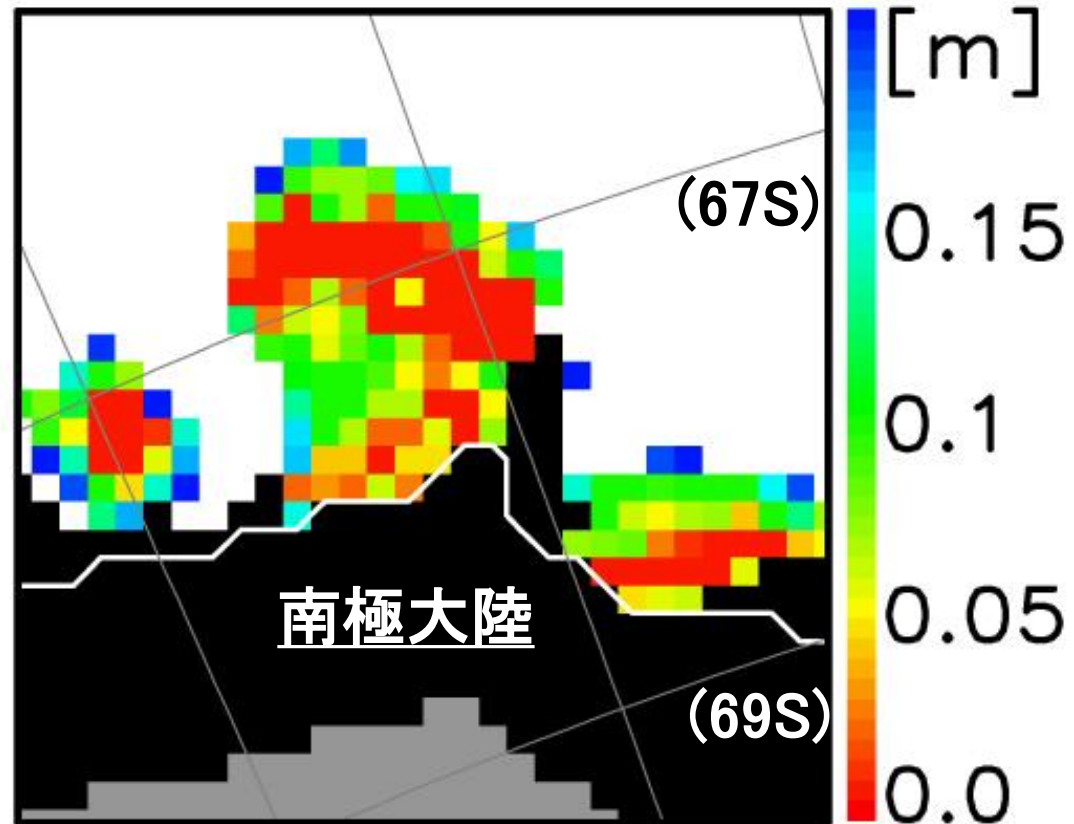
氷厚導出の流れ



ダーンレー岬ポリニヤ(1997年4月20日)



AVHRR氷厚



SSM/I氷厚

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

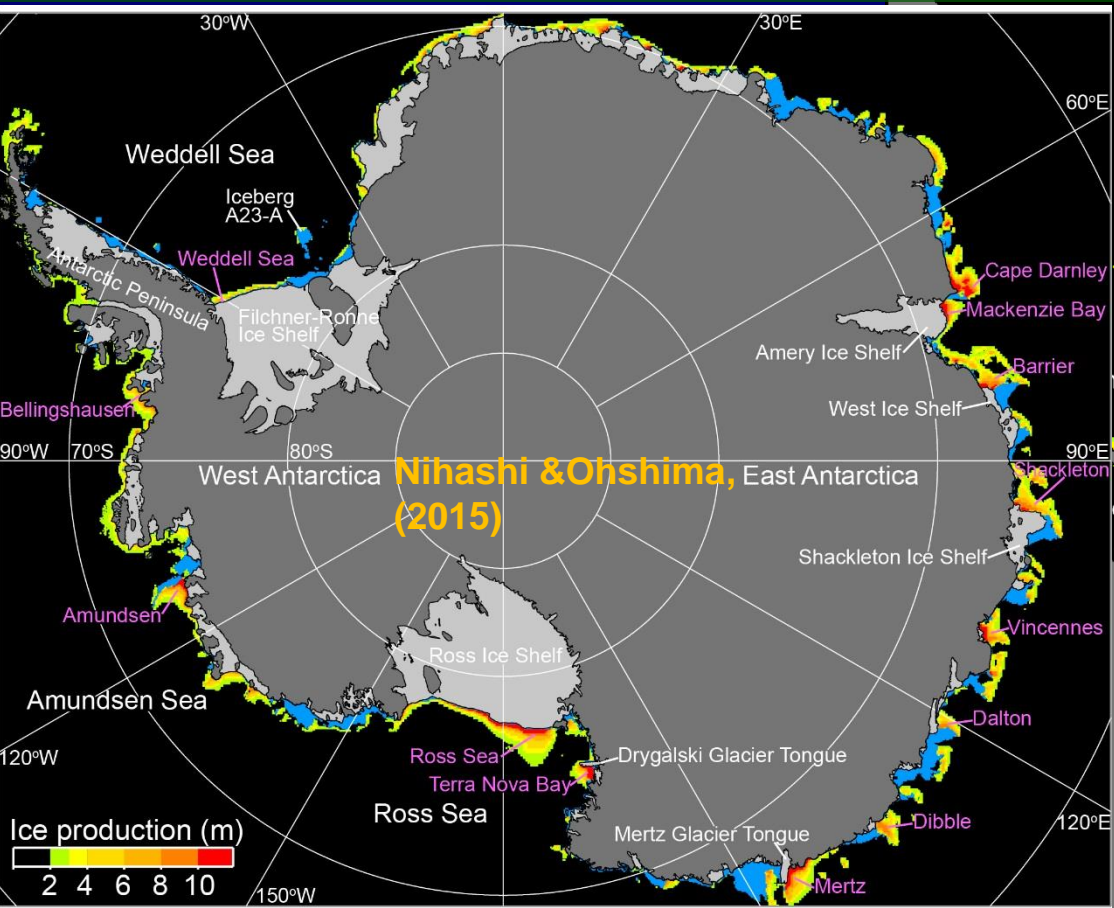
$$V = FC / (\rho_i L_f)$$

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 \longrightarrow 全て海氷生産へ

(海洋下層からの熱流入は無視)

海氷生産量のグローバルマッピング (by AMSR)



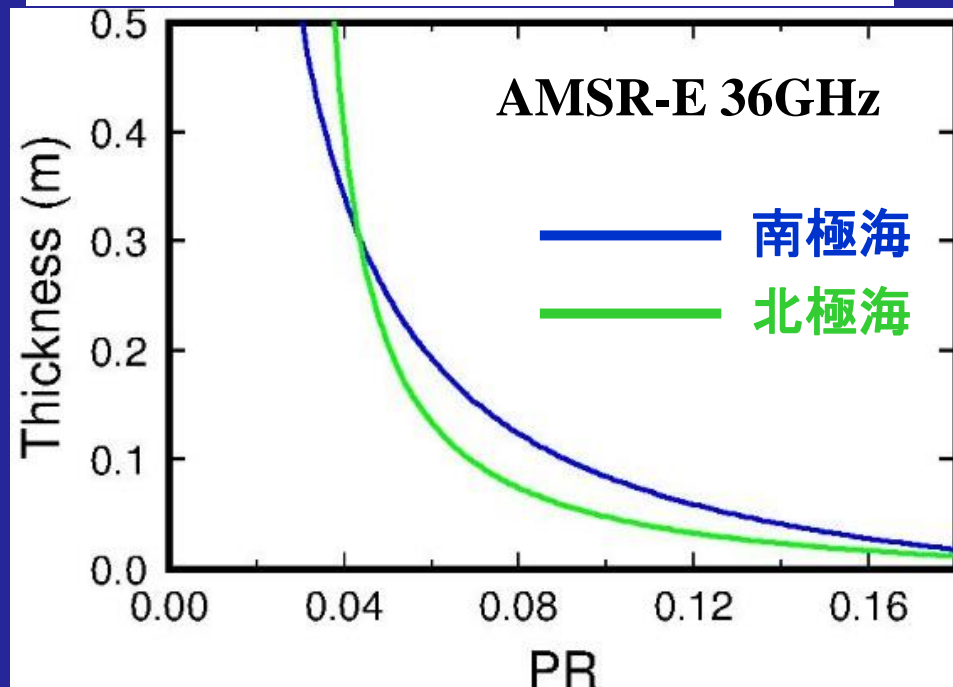
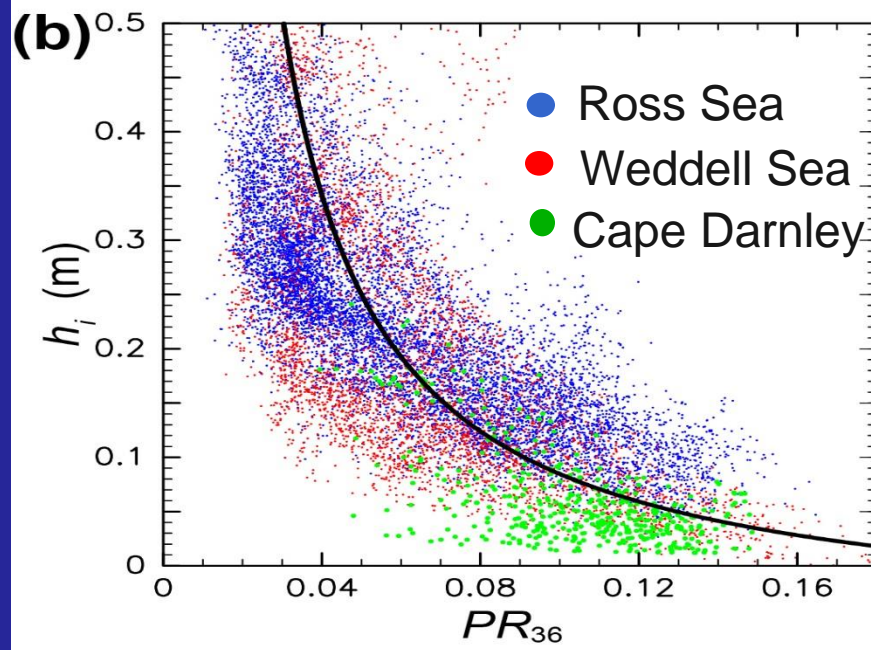
南極海: 高海氷生産
 → 底層水生成
 北極海: 低海氷生産
 林-ツ海: 北半球で最大

Iwamoto, Ohshima, & Tamura (2014)

Ice production (m)
 2 3 4 6 8 10

海域ごとのアルゴリズムの違い
↑
卓越する海氷種類の違い
↑
気象要素や地勢の違い

全球汎用アルゴリズムの作成



Ross Ice Shelf

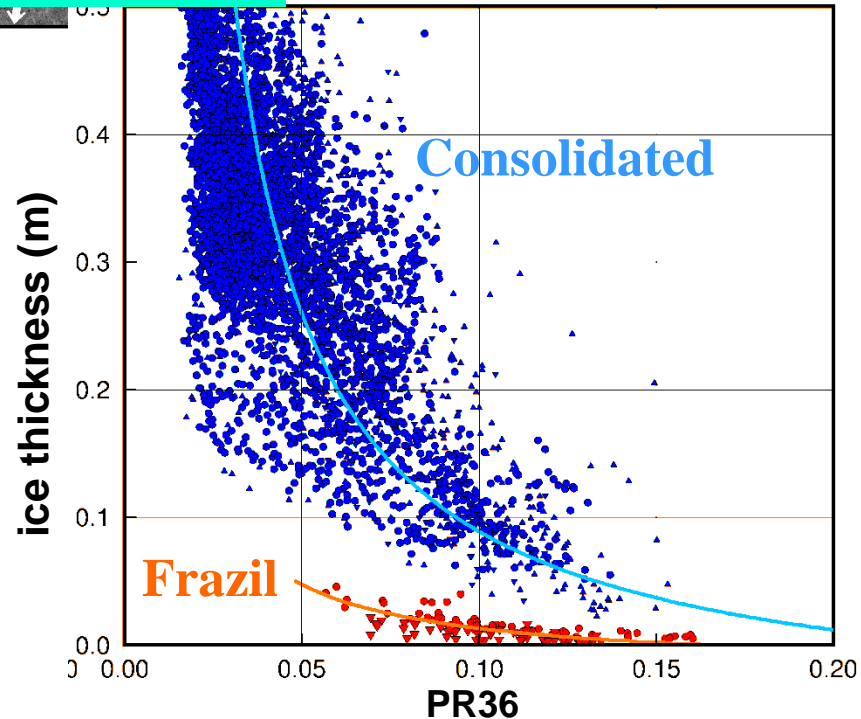
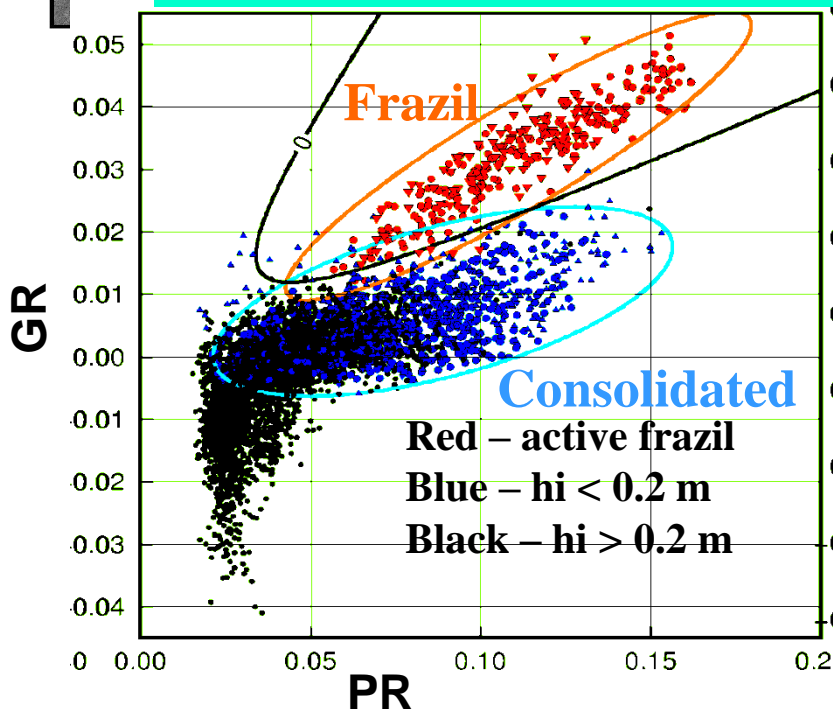
20cm/s 50 km

-15 -10 -5

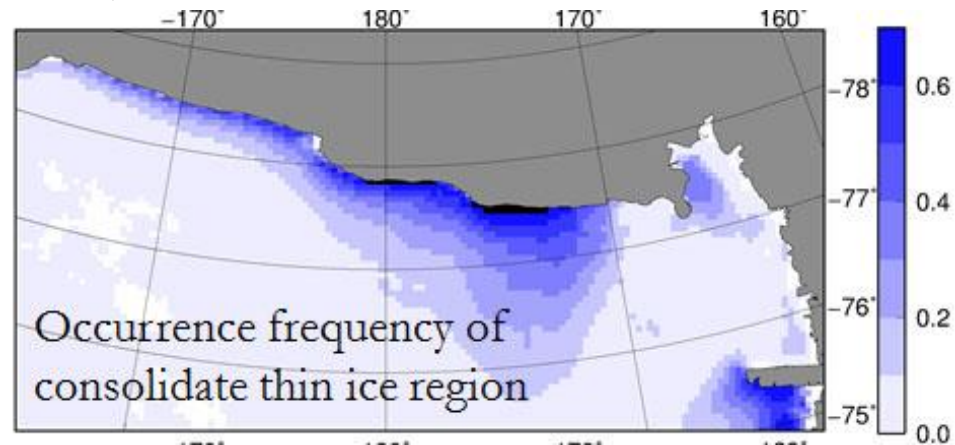
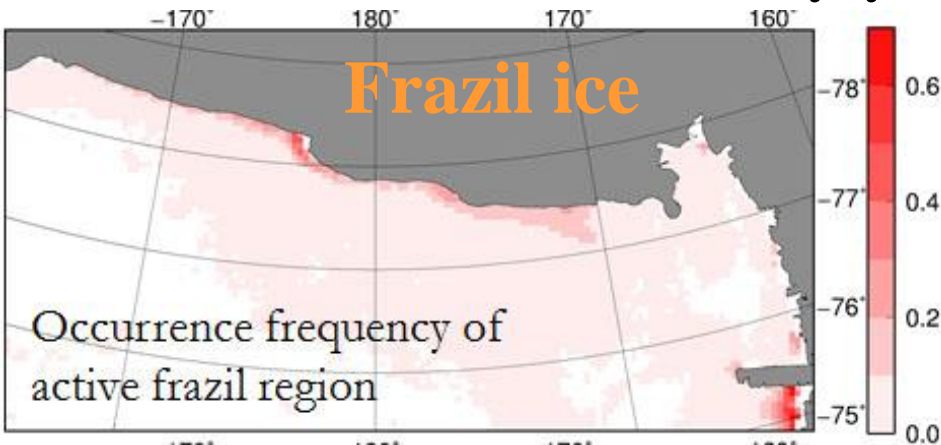
Consolidated thin ice

Frazil ice

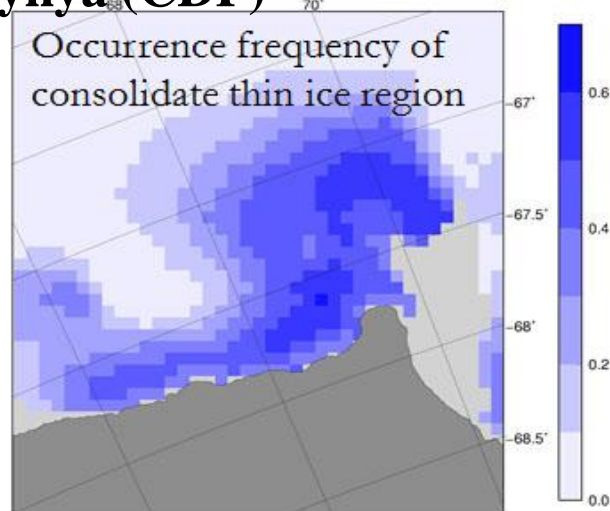
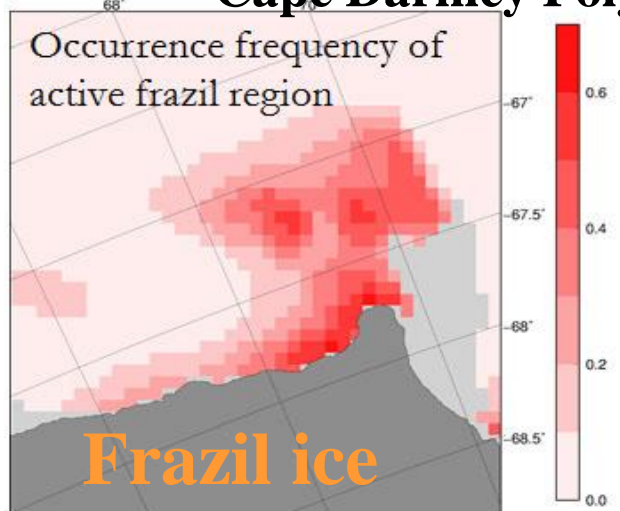
全球汎用薄氷アルゴリズムへ



Ross Ice Shelf Polynya (RISP)



Cape Darnley Polynya (CDP)



Frazil 型の割合

海水生産量: 従来→今回 (増加率)

RISP 12%

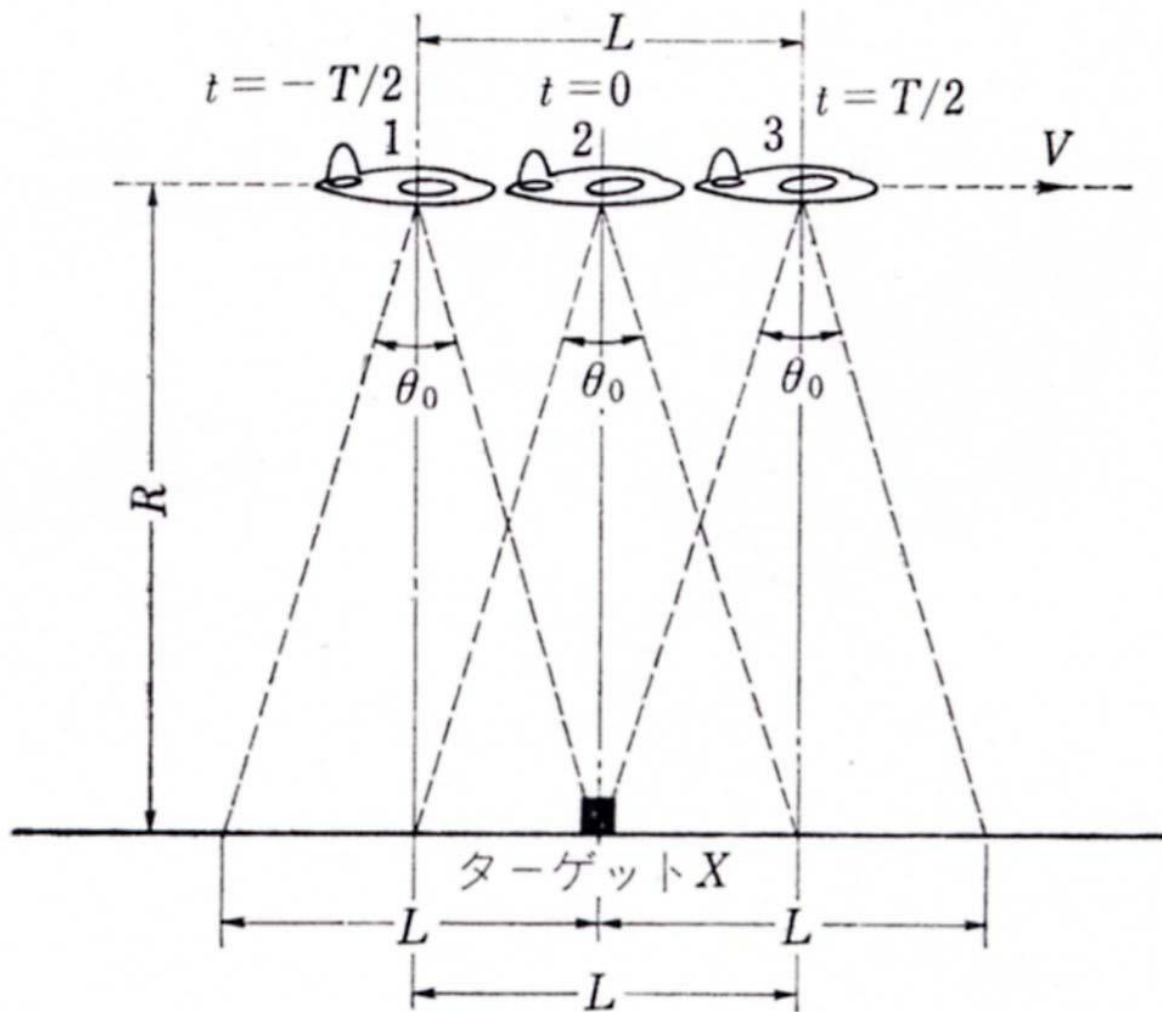
300km³ → 412 km³ (37%増加)

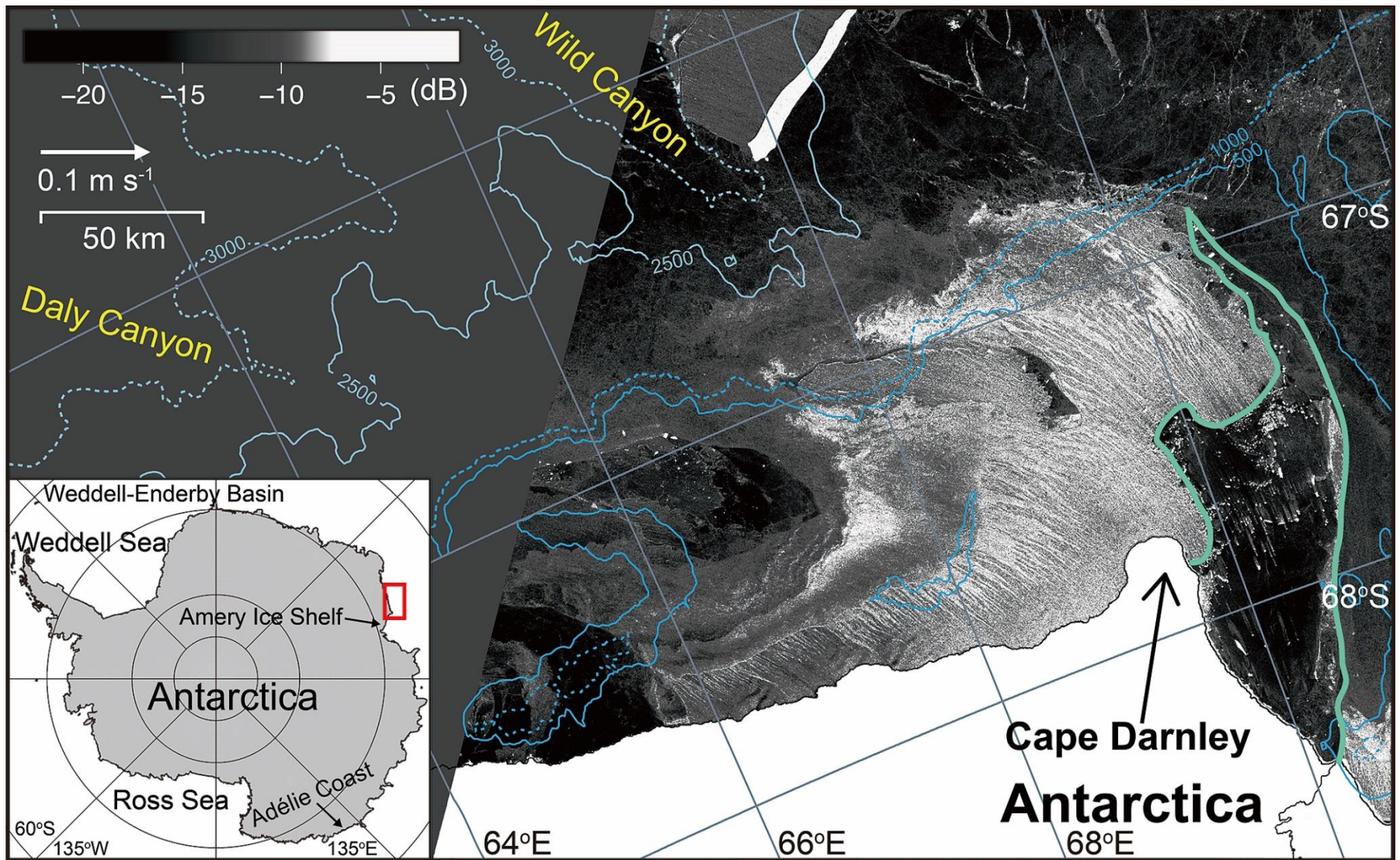
CDP 38%

134km³ → 301 km³ (120%増加)

合成開口レーダー

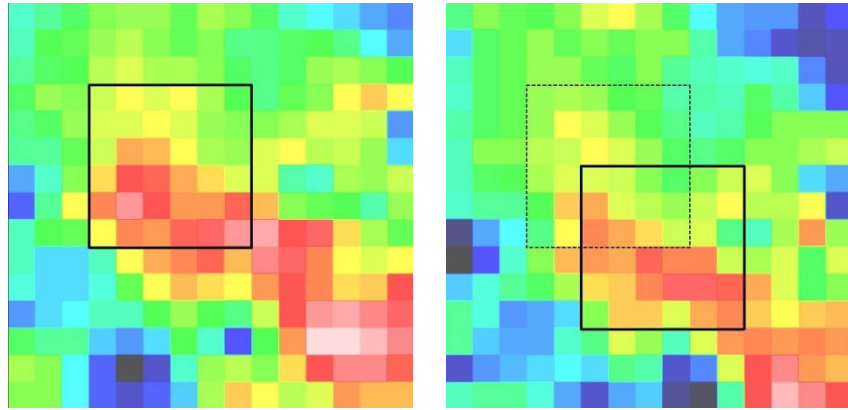
飛行方向にデータを合成することで、
アンテナ幅を大きくする効果を生む。
→ 分解能がよくなる





衛星合成開口レーダー（SAR）で観測されたケーブダンレーポリニヤ

海水漂流速度の計算方法 (AMSR-E)



面相相関法を用いて計算

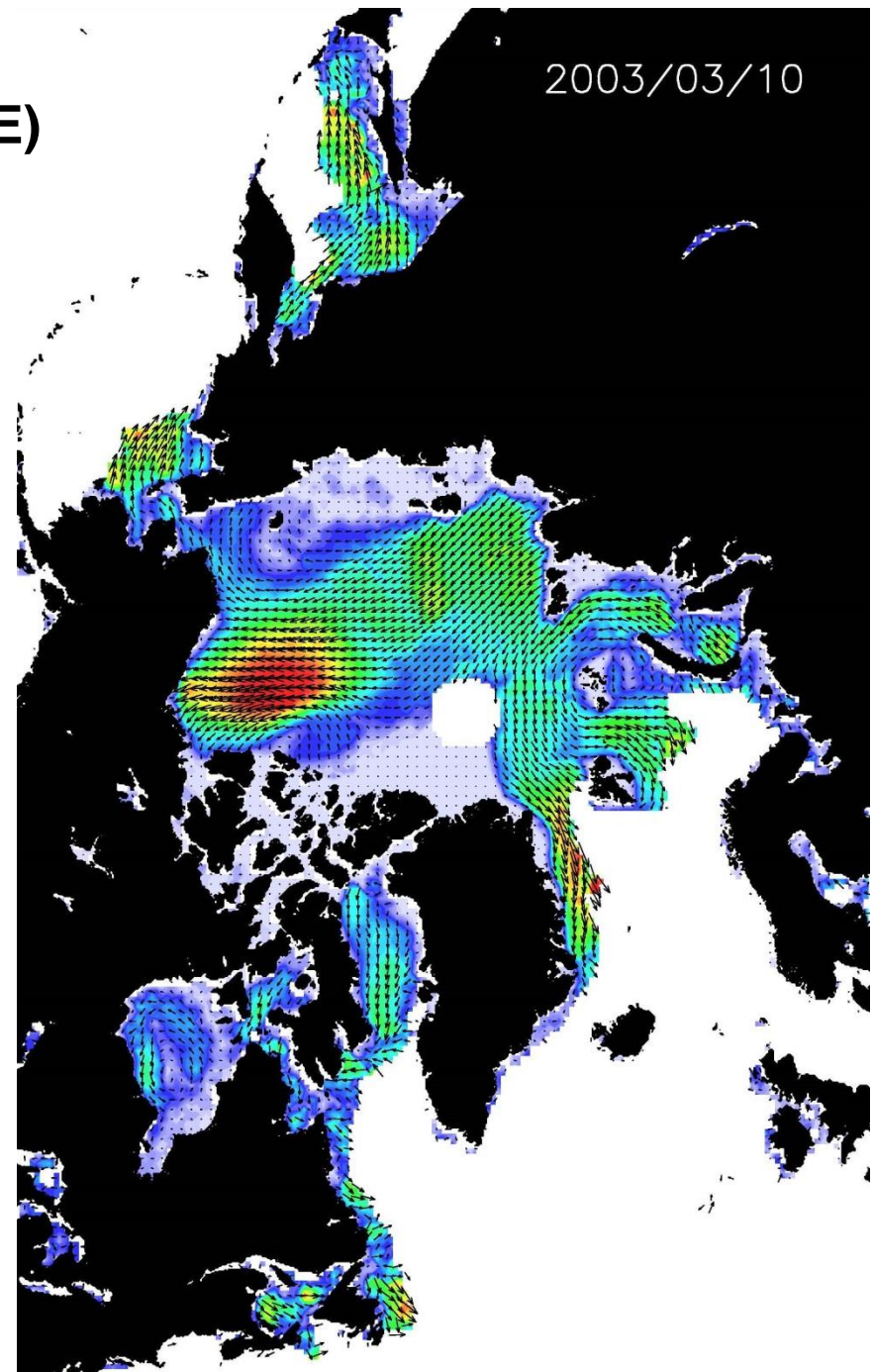
窓画像の大きさ: 37.5×37.5 km

画像の時間間隔: 24時間

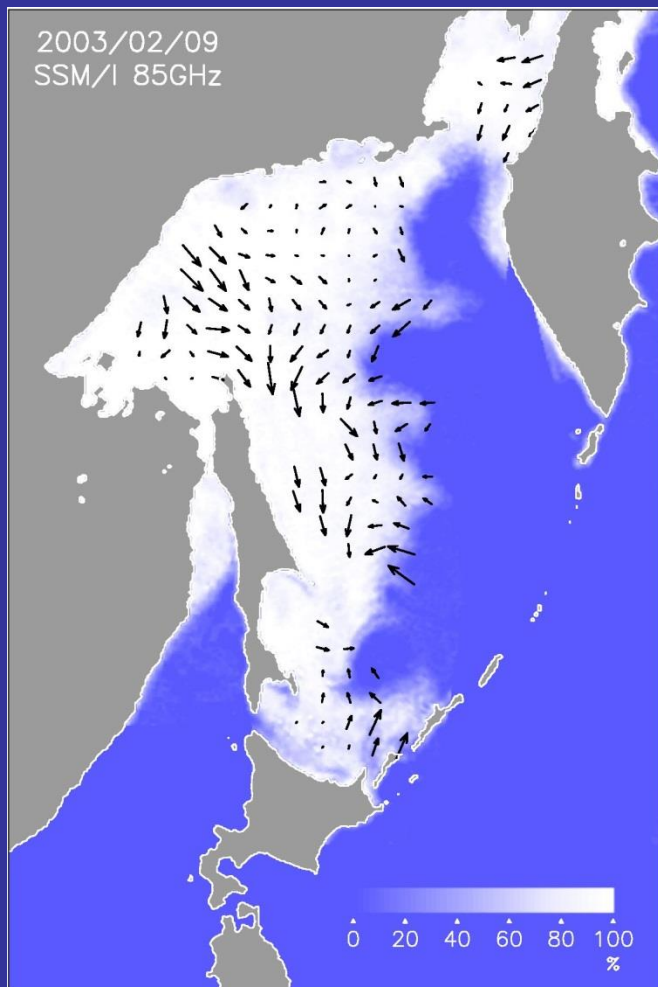
(ascendingどうし、descendingどうしを用いる)

→ 37.5×37.5 kmグリッドの日平均データを作成

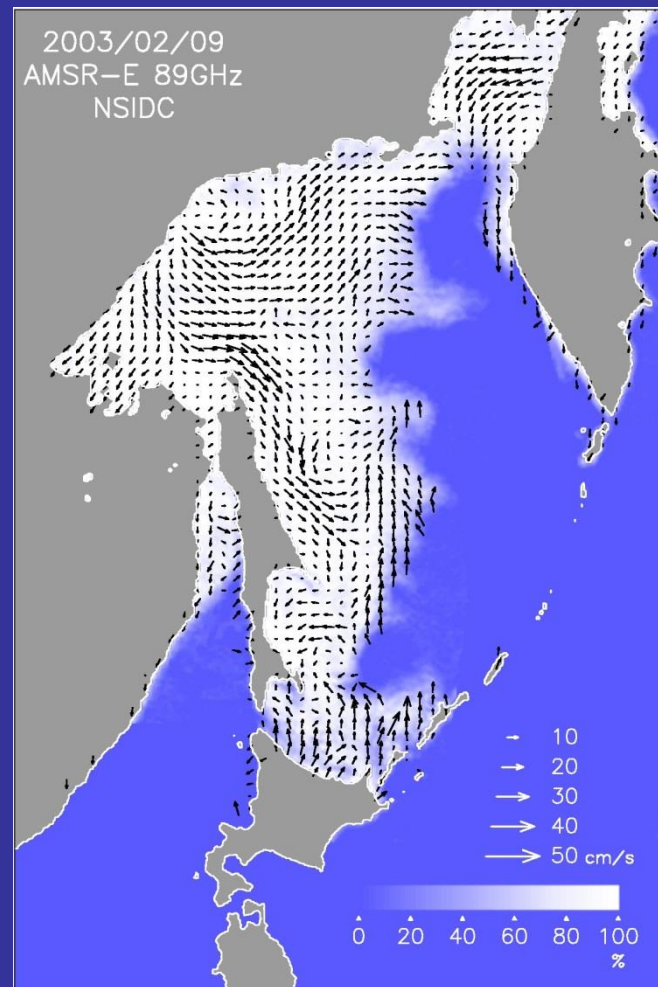
北半球全域の海氷域でほぼ欠測なく結果が得られる



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



DMSP 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

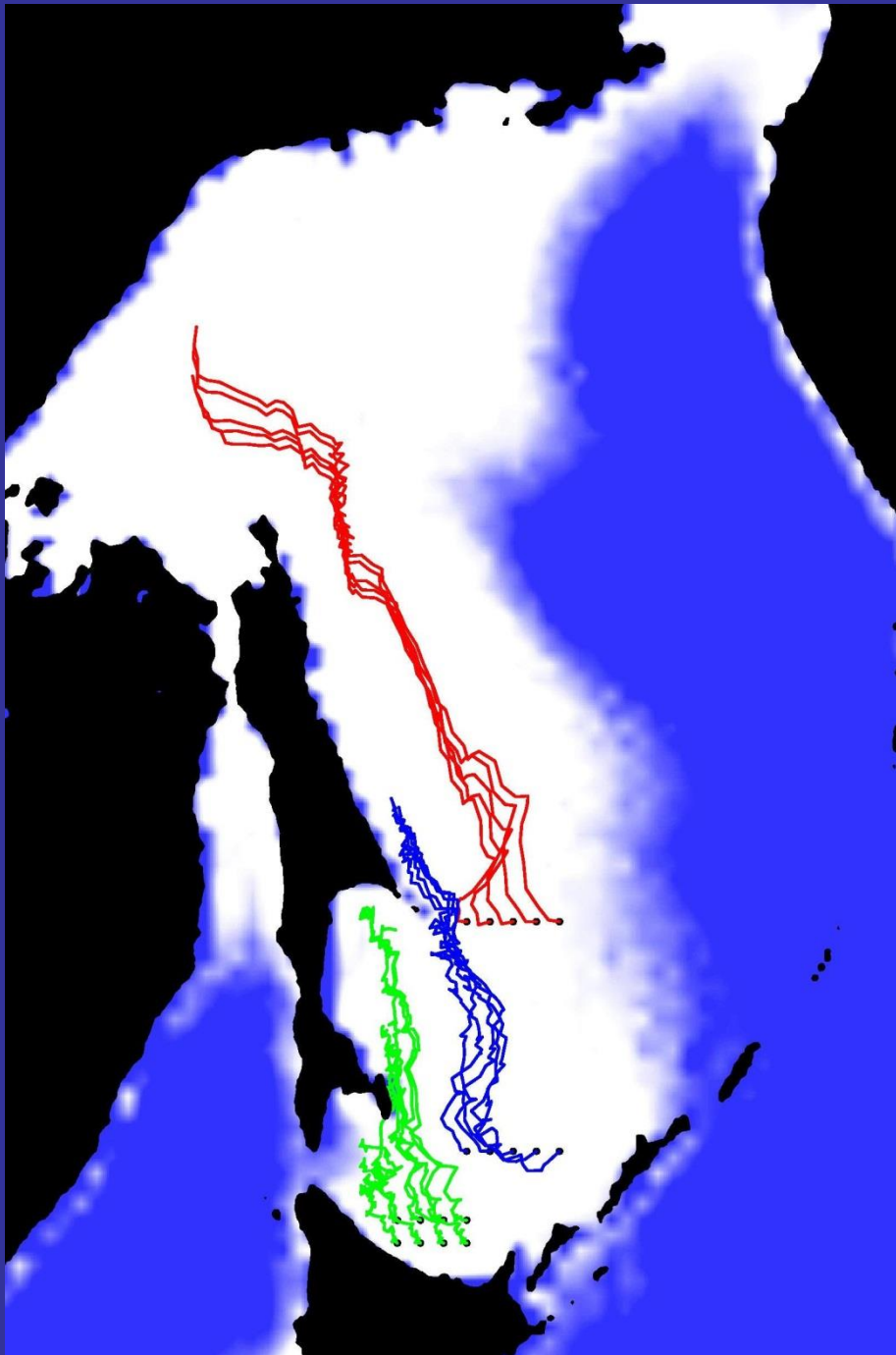
多くはテルペニア湾から
一部はアニア湾付近から

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

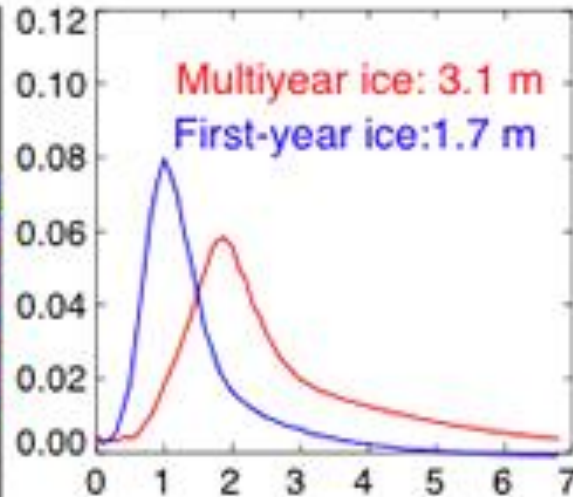
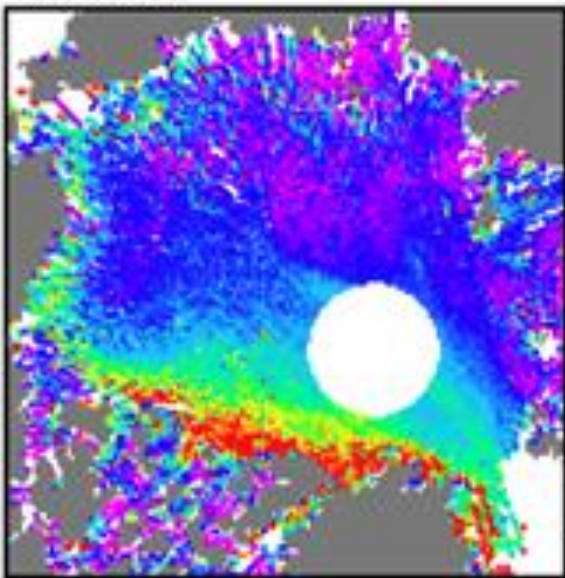
より北部(赤線起点)の海水

北西部陸棚域で生成されたものが到達



ICESat Thickness Estimates

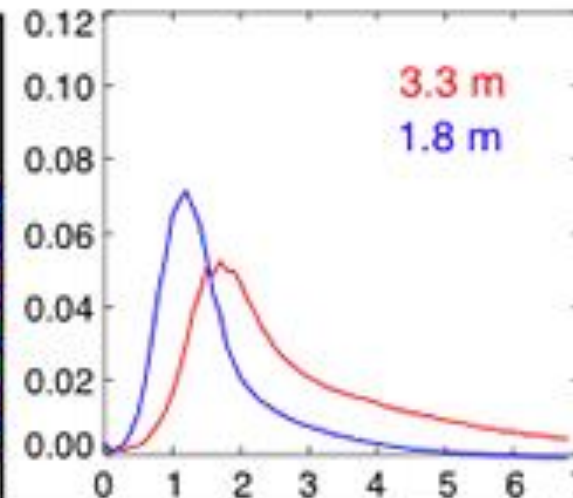
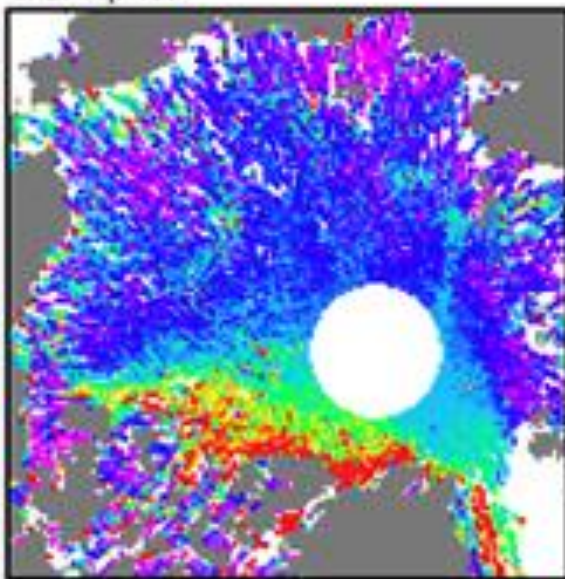
Feb-Mar 06



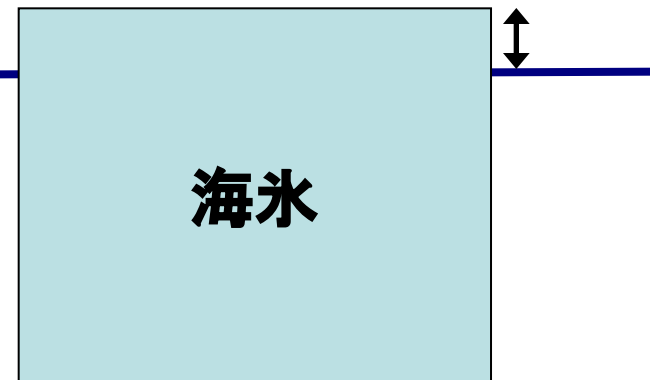
ICESat による氷厚観測

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

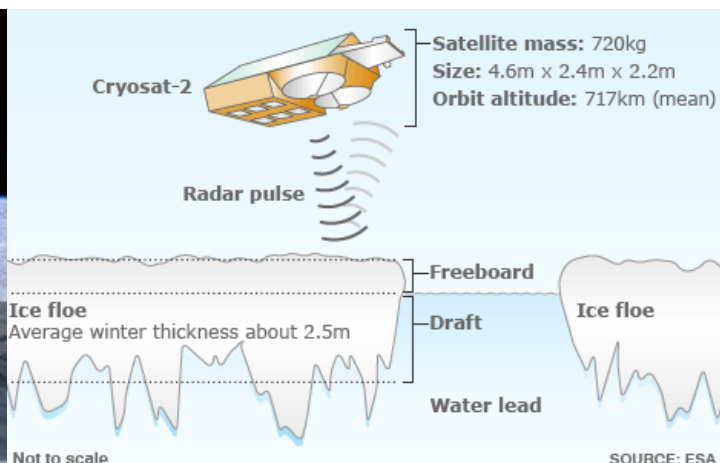


Feb-Mar 08



→ **CRYOSAT**

ESA's ice mission is designed to acquire accurate measurements of the thickness of land and sea ice and determine how it is changing.



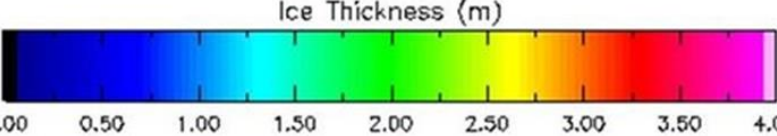
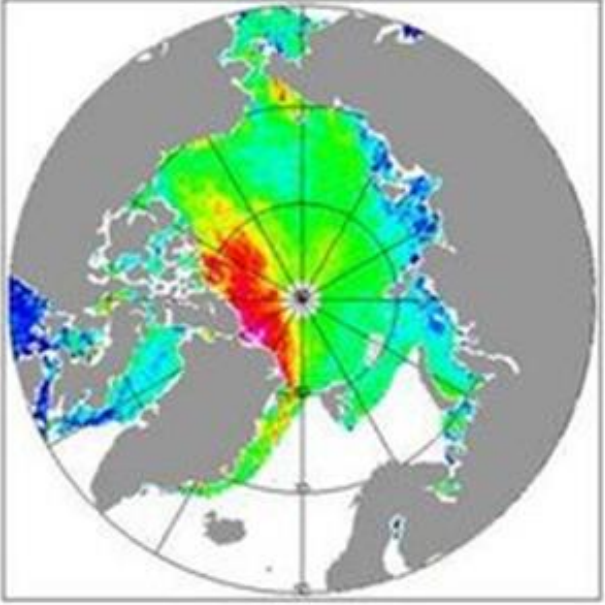
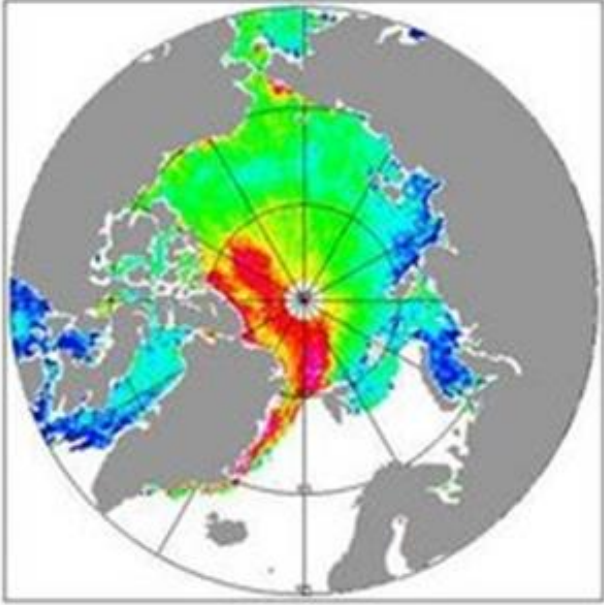
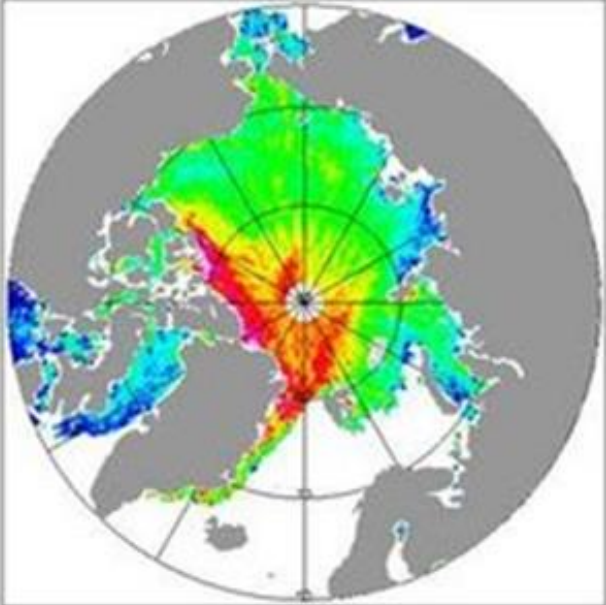
Spring (April) Ice thickness

<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-2396437>

2011

2012

2013



http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth

h/
 Living Planet Symposium 2013/New dimensions o