

海氷状況モニタリング

～より詳しく氷況を知る

衛星リモートセンシングによる海氷厚の推定

北見工業大学 工学部 社会環境工学科
舘山一孝

■はじめに

●海氷の面積・密接度

1979年に衛星観測が開始されて以降、35年分のデータが蓄積されている。北極海では2000年代以降の夏期海氷面積の急激な減少が報告されている（e.g. Perovich et al., 2012）。

内閣官房総合海洋政策本部 我が国の北極政策 抜粋

北極海航路

- 北極海航路の自然的・技術的・制度的・経済的課題について明らかにするとともに、海氷分布予測システムや気象予測システム等の航行支援システム構築等、我が国海運企業等の北極海航路の利活用に向けた環境整備を進める。

鉱物資源

- デンマーク王国領グリーンランド島北東海域内での探鉱プロジェクトに参画しているグリーンランド石油開発株式会社に対して、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）を通じて引き続き出資支援を行う。

平成27年10月16日 第14回総合海洋政策本部会合



■ 氷海開発の需要増加

近年の北極海の海氷減少を受けて利用され始めた**北極海航路**の利用や氷海域における安全な**海底油田開発**のため、衛星・航空機を用いた氷況監視技術の開発が必要とされています。



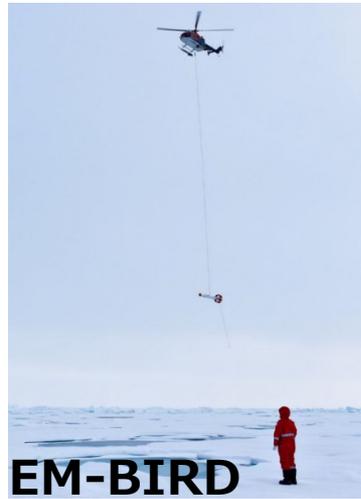
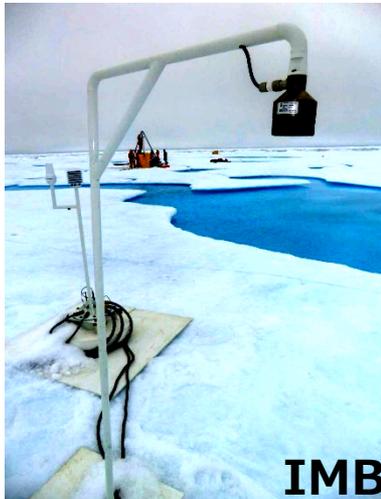
海氷の工学的情報

危険度（厚さ、強度、速度）
砕氷困難性（積雪深、変形度）
即時性
高分解能

●海氷の厚さ，積雪深

潜水艦や係留ブイのソナー（e.g. Rothrock et al., 2008; Melling et al., 2005）, 漂流ブイ（Richter-Menge et al., 2006）, 船舶（目視、EM）、航空機（EM-BIRD、IceBridge）によって取得された現場観測データが存在し、北極海では近年薄氷化傾向を示しているものの、断続的・短期的であり、時間や場所が限定。

⇒ 衛星観測による**広範囲・長期連続**観測のための手法開発が必要



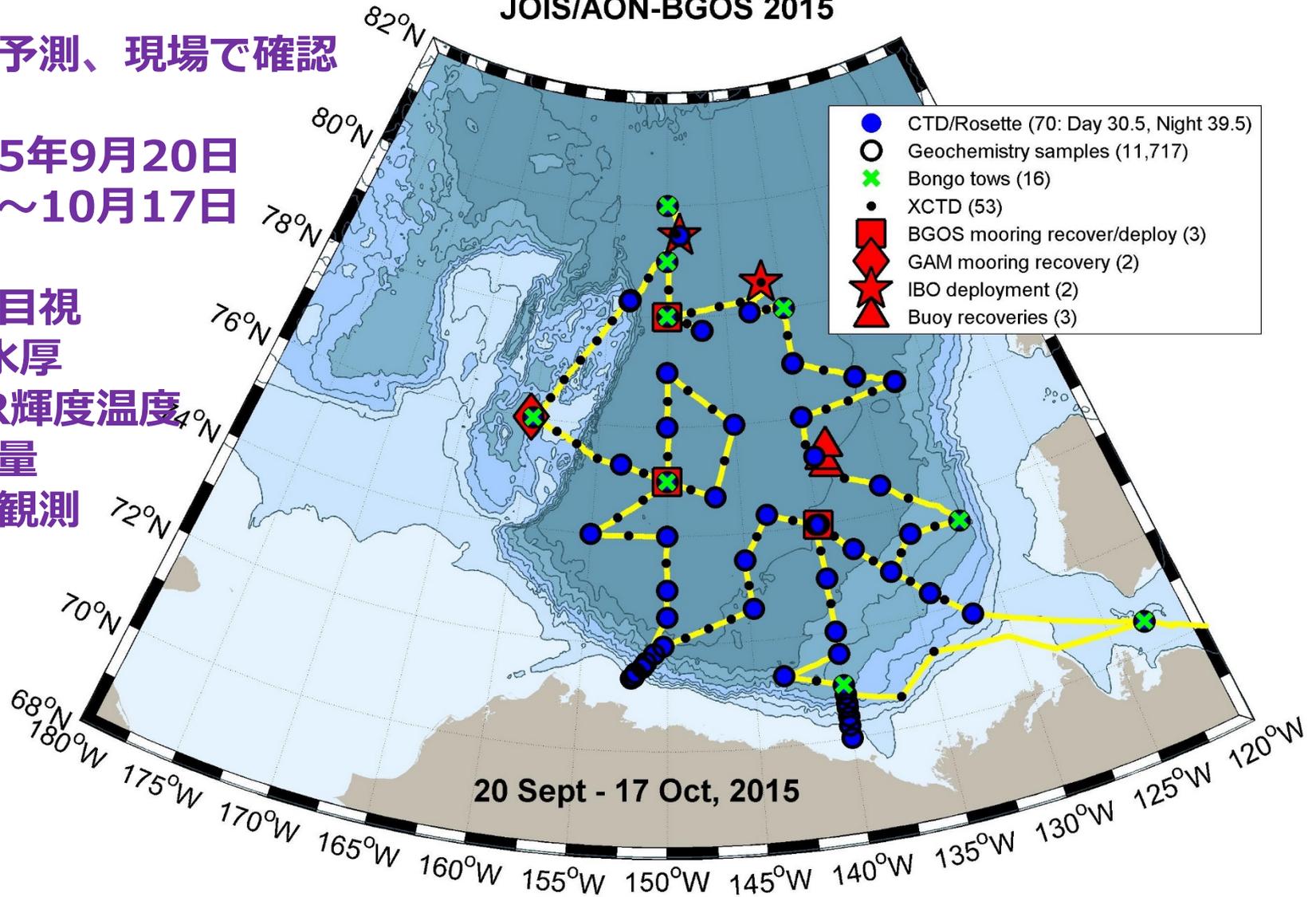
■ GRENEにおける北極海観測 (2015年)

JOIS/AON-BGOS 2015

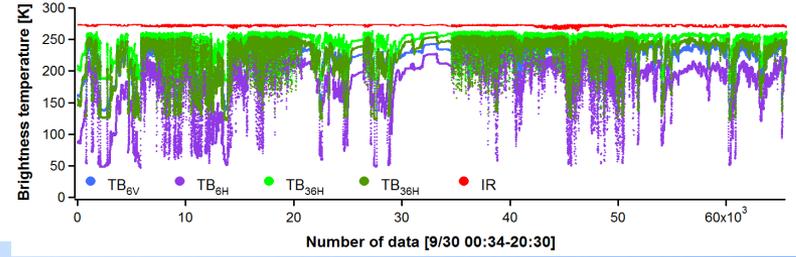
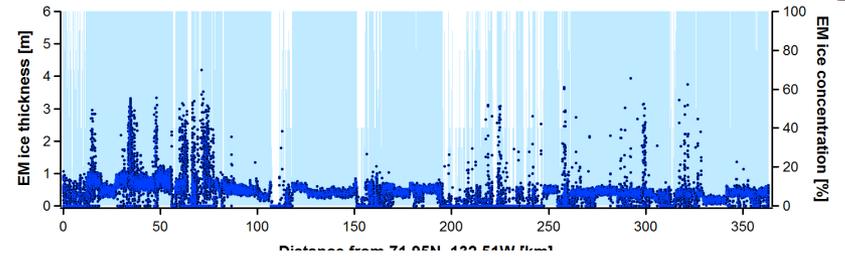
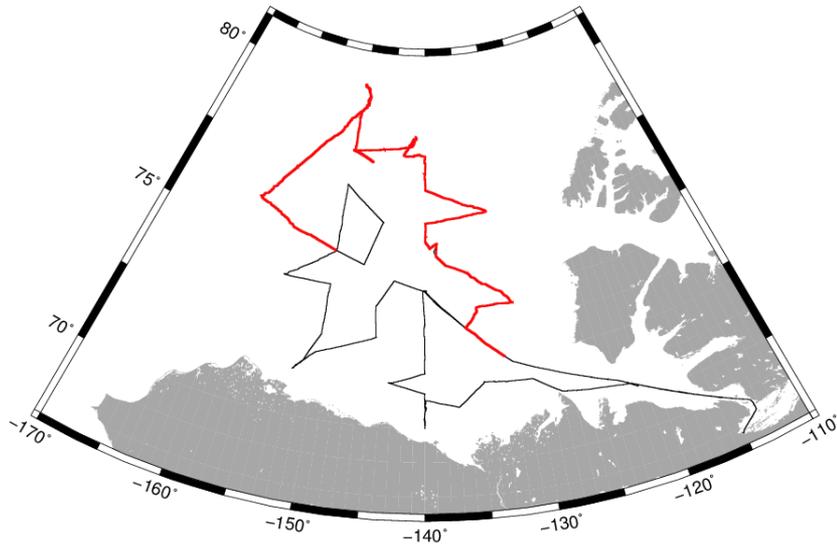
海氷予測、現場で確認

2015年9月20日
~10月17日

海氷目視
EM氷厚
PMR輝度温度
着氷量
氷上観測



GRENEにおける北極海海水観測の概要(2015年)



■ JOIS2015 北極海調査 2015.09.24



■ JOIS2015 北極海調査 2015.09.25 降雪でニラスが急成長



■ JOIS2015 北極海調査 2015.10.12 北極熊



Photo: Jenny Hutchings

■ JOIS2015 北極海調査 2015.10.06 薄氷サンプリング

Photo: Jenny Hutchings



■ JOIS2015 北極海調查 2015.09.28 氷上観測

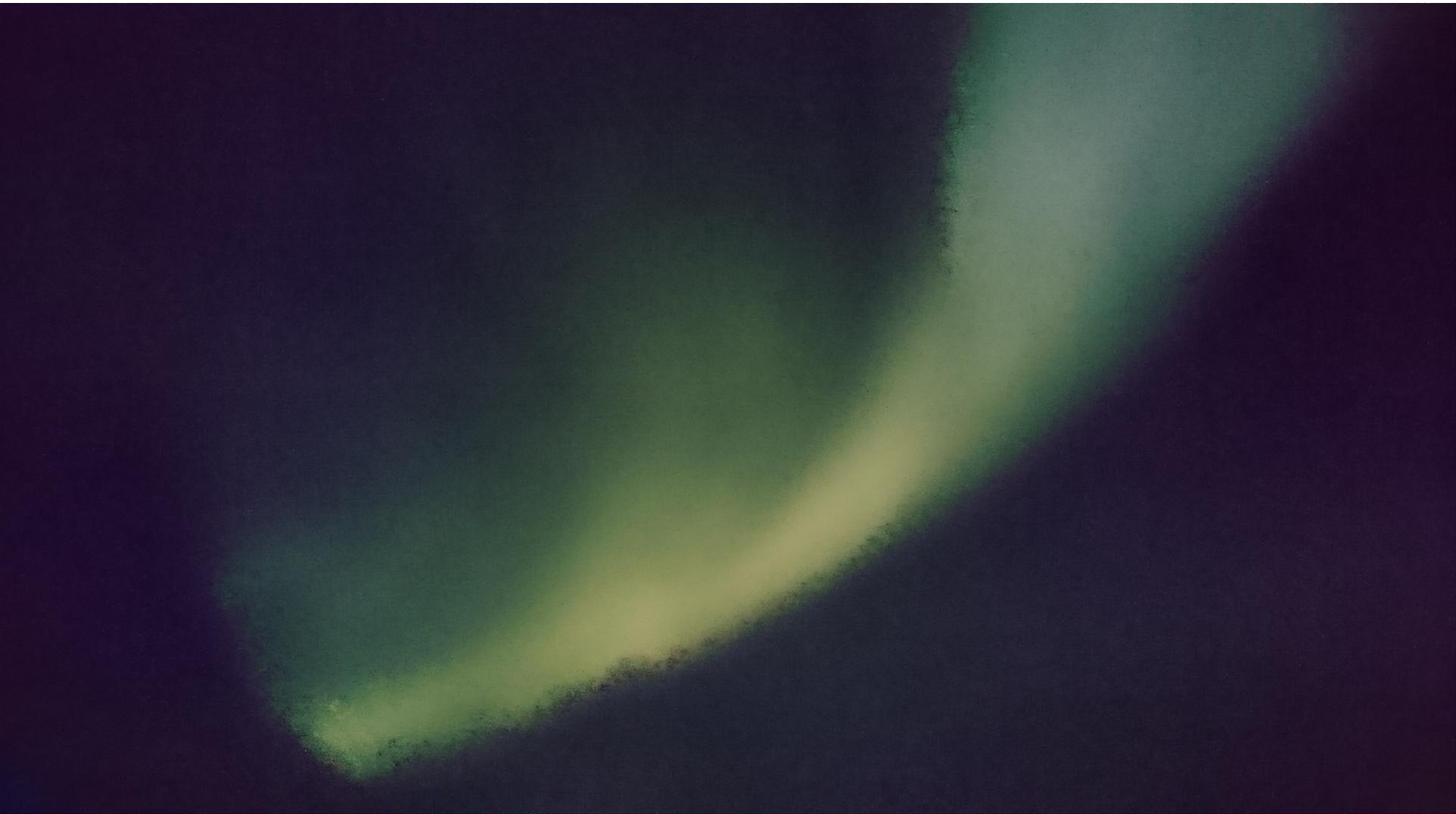
All Photo: Mengnan Zhao



■ JOIS2015 北極海調査 2015.10.06 夜間海氷目視観測



■ JOIS2015 北極海調査 2015.10.07 オーロラ



■ 衛星による海氷厚観測

既往の海氷厚推定手法

- **可視・近赤外 > 断続的（天候）、薄氷限定**

NOAA/AVHRR: Yu and Rothrock [1996], Drucker et al. [2003].

- **受動マイクロ波 > 薄氷限定**

DMSP/SSMI, Aqua/AMSR-E: Tamura et al. [2007]

- **能動マイクロ波 > 断続的**

ERS/SAR: Kwok et al. [1999], Giles et al. [2008]

- **レーザー/レーダー高度計 > 断続的**

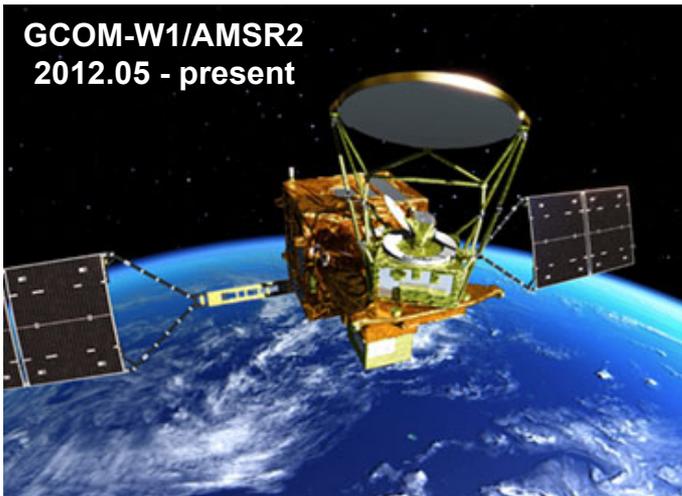
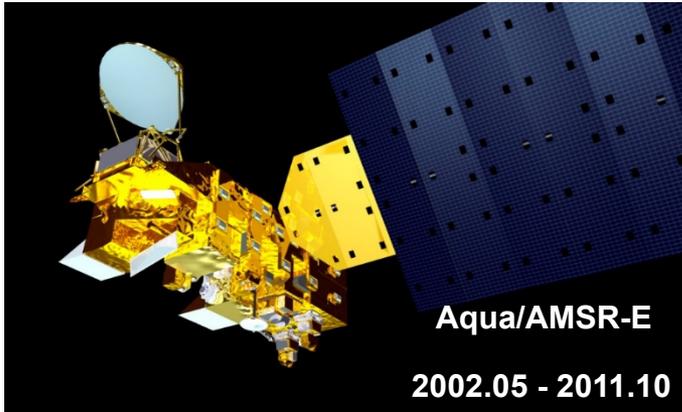
ICESat: Kwok et al. [2007]

Cryosat-2: Laxon et al. [2013]

本研究（JAXA, GRENE）⇒ 毎日、厚い海氷

■ 受動マイクロ波放射計による海氷厚観測

観測される物理量 > 輝度温度 T_B (K)

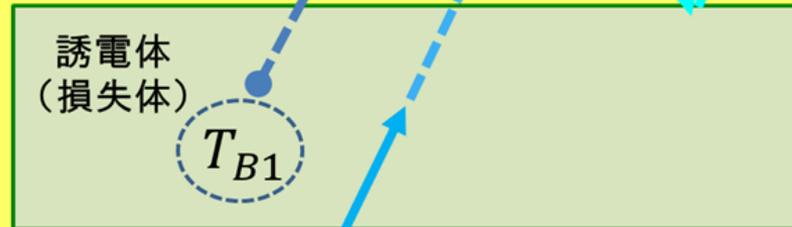


$$T_B = (1 - \beta - \lambda)T_{B1} + \beta T_{B2} + \lambda T_{B3}$$

測定困難

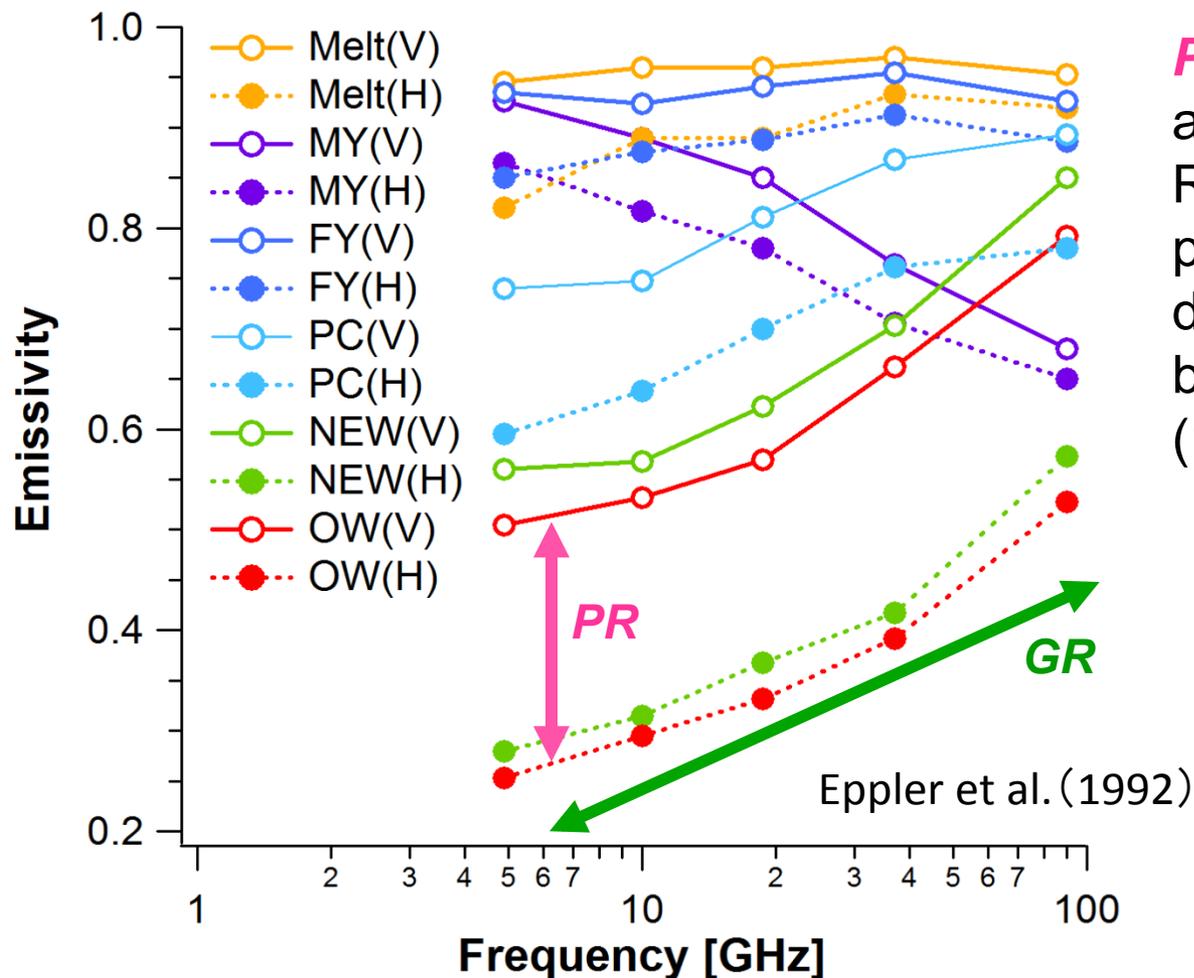
放射成分
透過成分
反射成分

T'_{B1} T'_{B2} T_{B3} T'_{B3}



海氷のマイクロ波放射特性

海氷表面から種類・厚さ情報を抽出

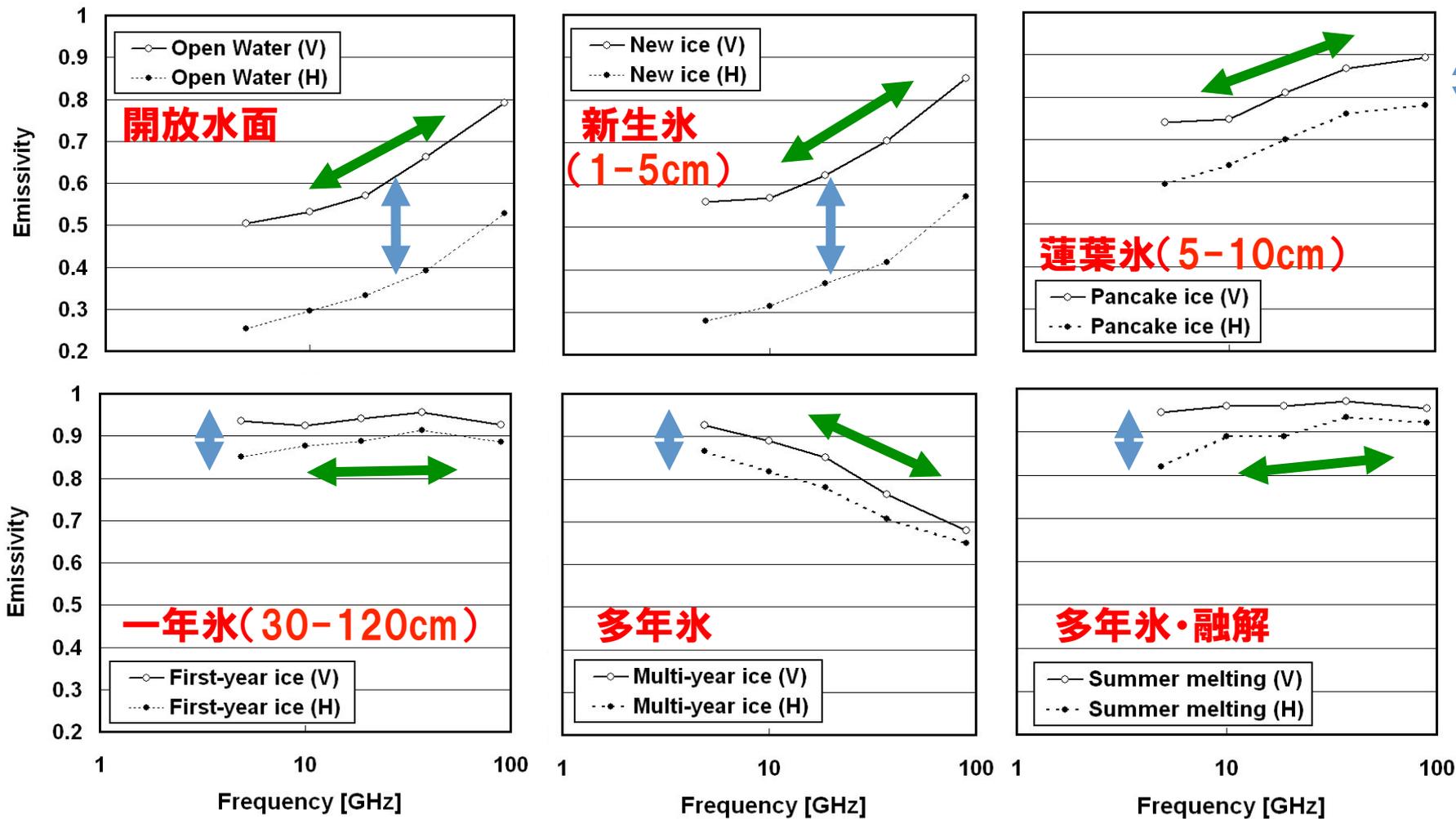


PR (Polarization Ratio) and **GR** (Gradient Ratio) were defined as parameters which can distinguish ice types by Cavalieri et al. (1984)

海水のマイクロ波放射特性 Eppler et al. (1992)

(垂直と水平の)偏波差: 氷厚増加とともに減少

(高周波と低周波)周波差: 氷厚増加とともに傾きが正から負へ



ブラインの排出機構

海氷の成長に伴い、ブラインは徐々に移動する

1. ブライン細胞移動 :

ブライン内部の濃度の違いから高温側（下方）へ徐々に移動

2. ブライン押し出し :

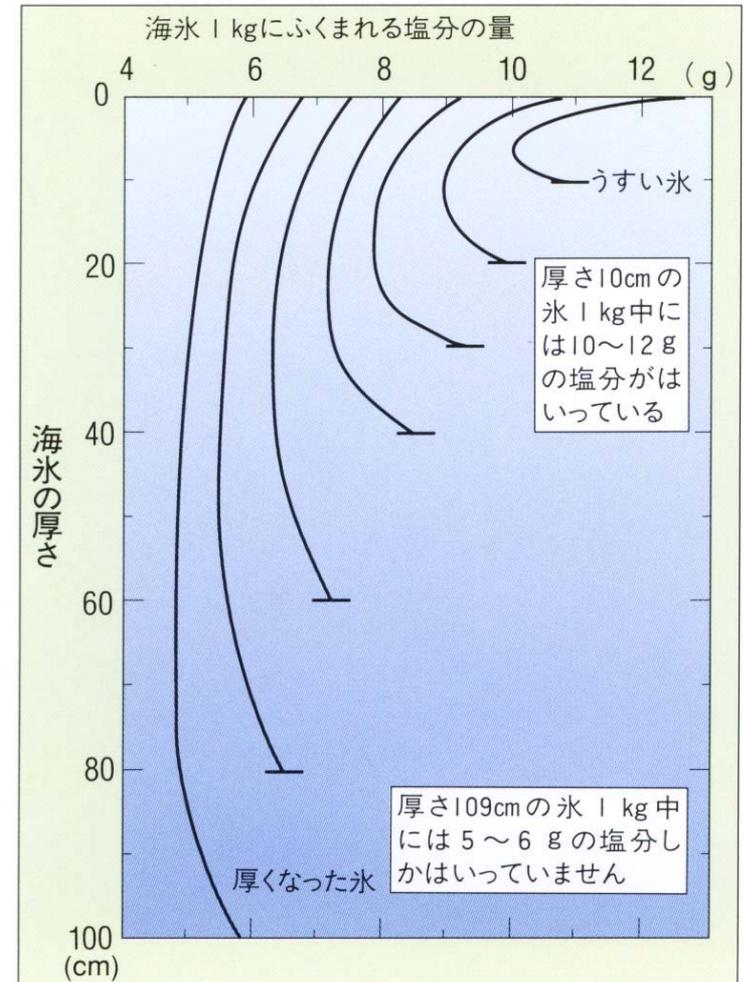
成長期に純水部分の結氷が進みブラインチャンネルから下方に押し出される

3. ブライン重力落下 :

ブラインは高密度のため重く、徐々に下方へ移動

4. ブライン流出 :

融解期に表面の融解水とともに洗い出される



氷厚と塩分の関係

係留ブイのソナー式氷厚計データ

(Krishfield et al., 2014)

米国ウッズホール海洋研究所による4系設置

ブイの設置位置:

- A: 75N, 150W
- B: 78N, 150W
- C: 77N, 140W
- D: 74N, 140W

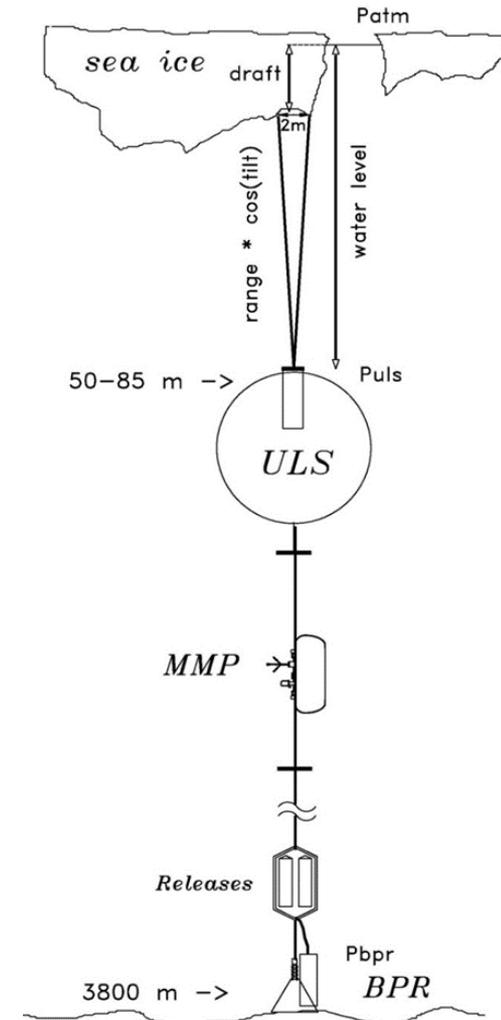
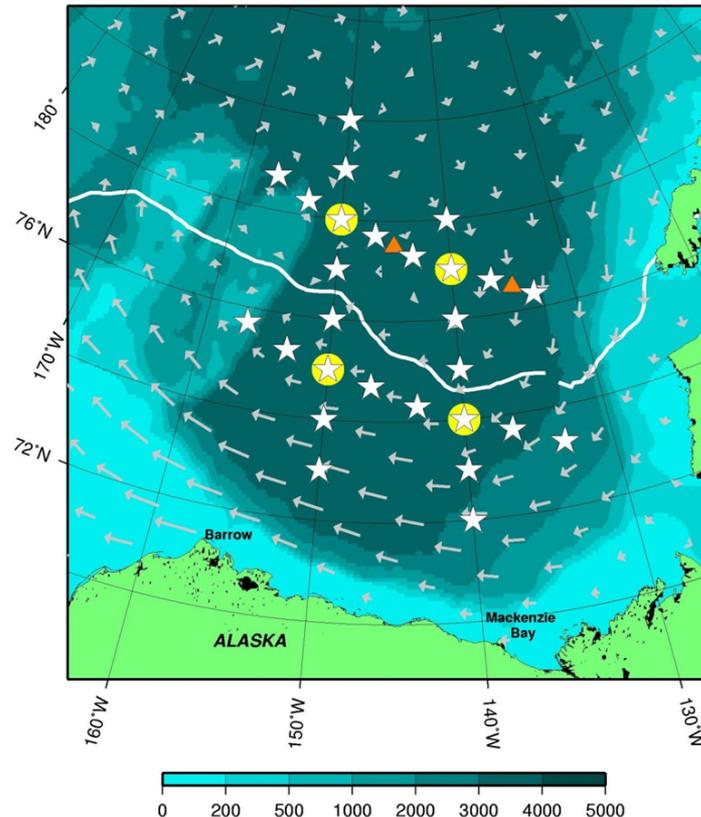
観測期間:

2003.5.17- present

センサー:

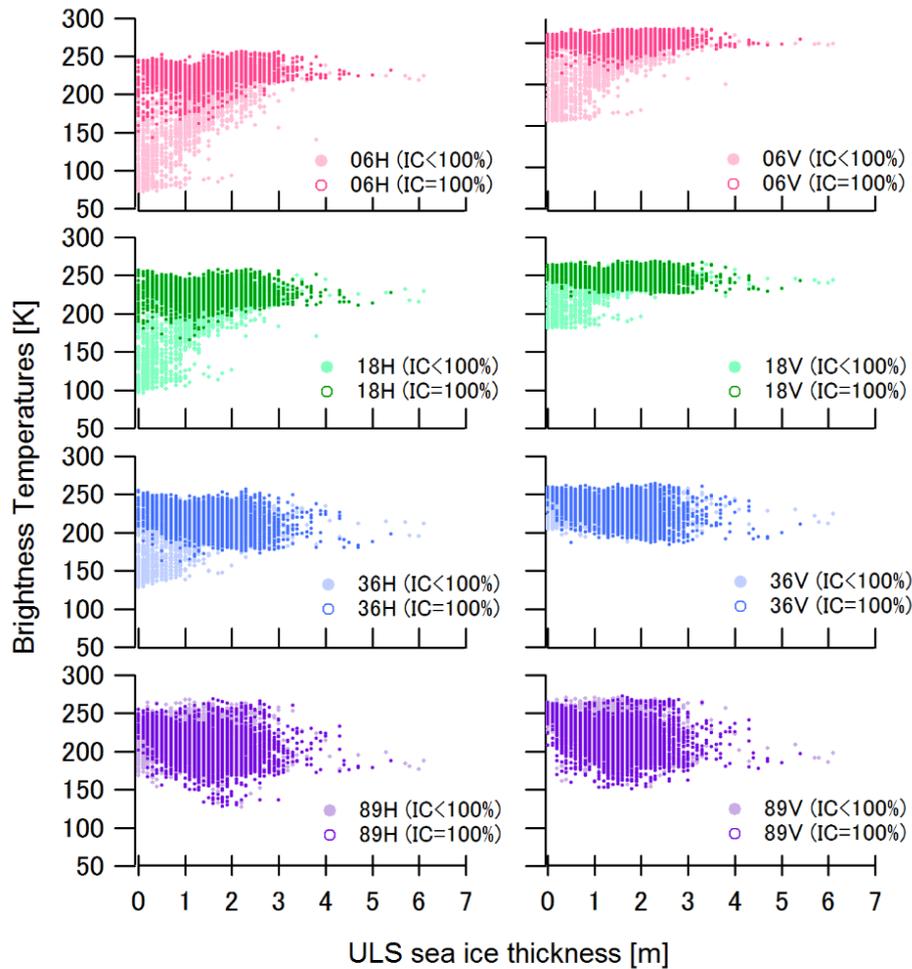
Upward Looking
Sonar (ULS)

foot print size = 2m

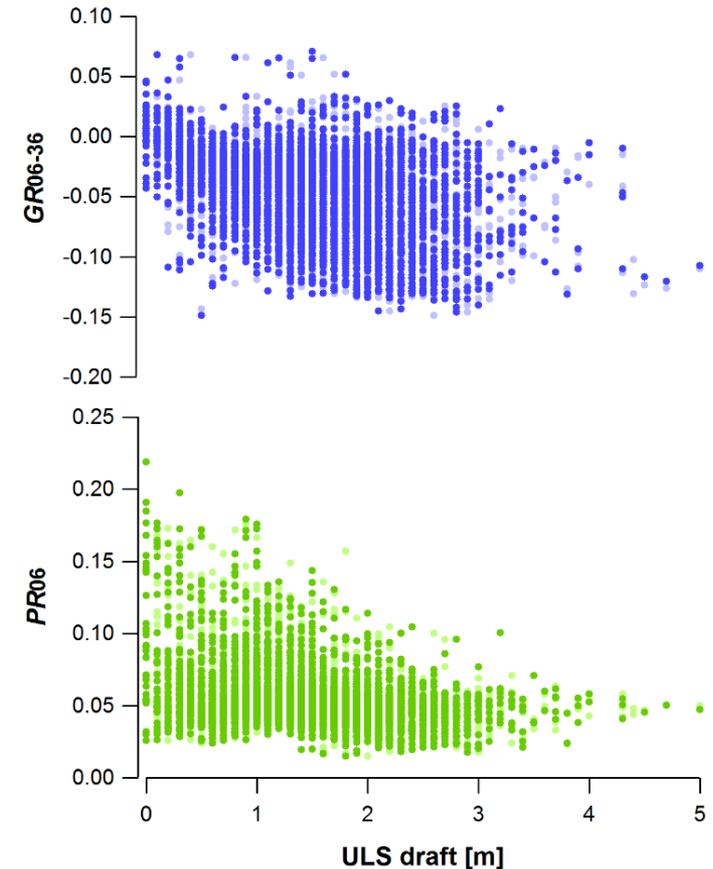


AMSR-E輝度温度とULS氷厚データの比較

輝度温度



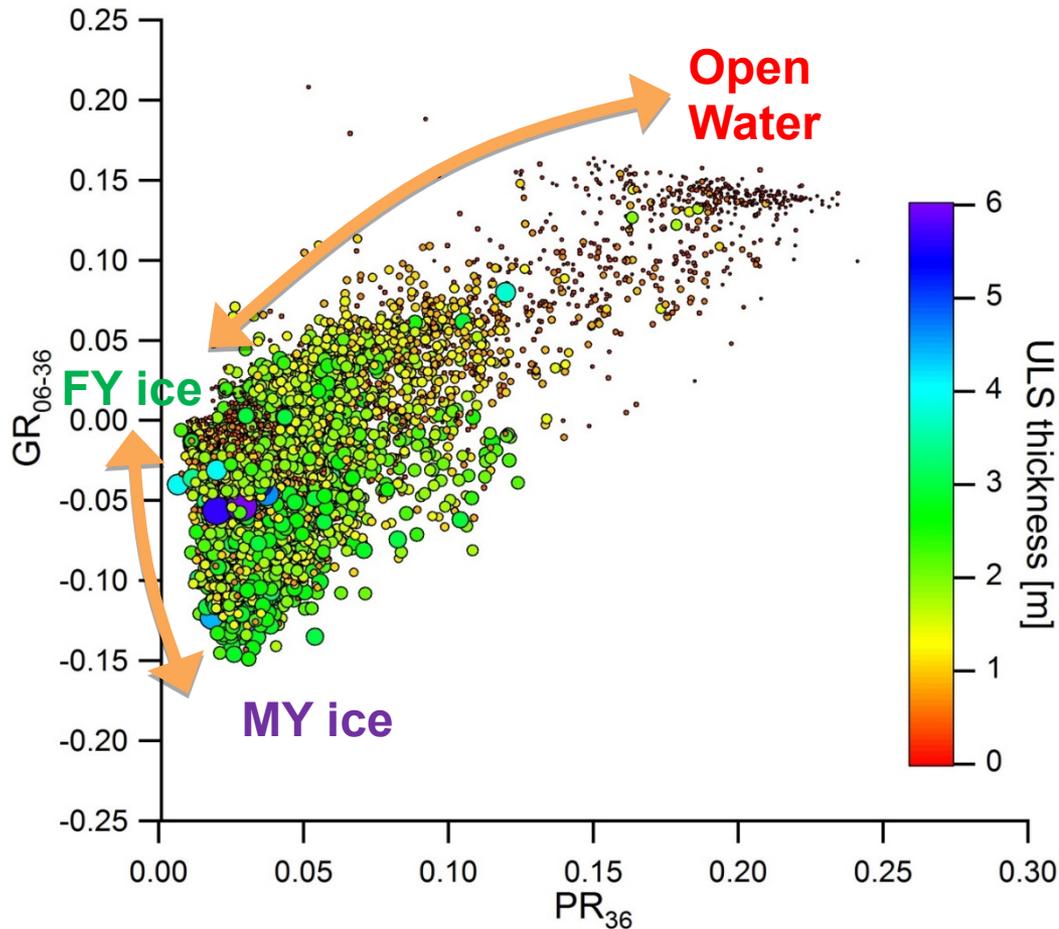
PR_{06} and GR_{06-36}



海水厚推定アルゴリズム PR_{36} and GR_{06-36}

If $GR_{06-36} \leq -0.035$ then PR_{36} 氷厚 (一年氷)

If $GR_{06-36} > -0.035$ then GR_{06-36} 氷厚 (多年氷)



$$PR_{36} = \frac{TB_{36V} - TB_{36H}}{TB_{36V} + TB_{36H}}$$

$$GR_{06-36} = \frac{TB_{06V} - TB_{36V}}{TB_{06V} + TB_{36V}}$$

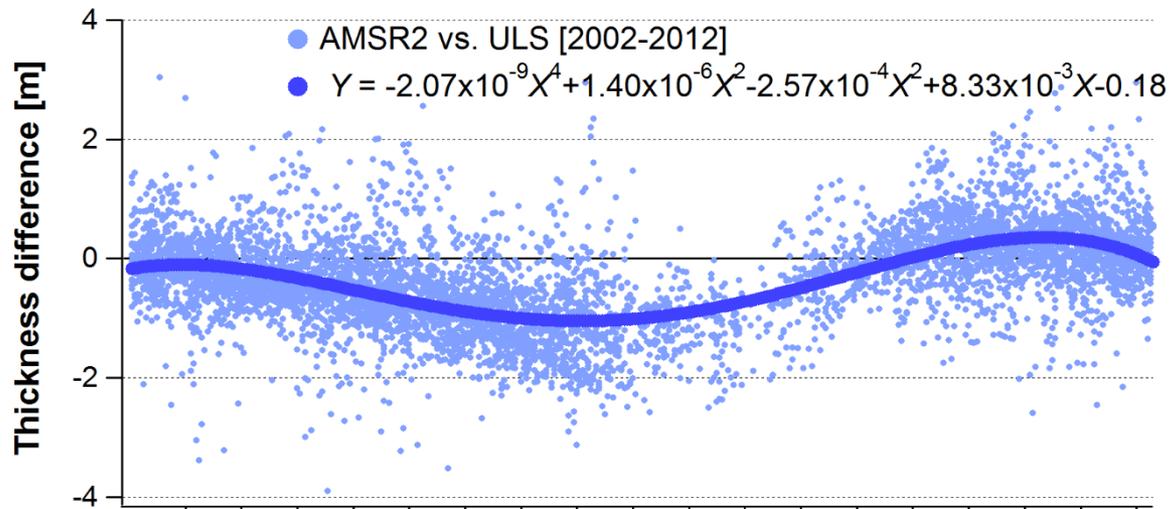
$$PR_{36} \text{ thickness [m]} = 2.34 \exp\left(\frac{PR_{36} - 0.0019}{0.0283}\right) + 0.085$$

$$GR_{06-36} \text{ thickness [m]} = 0.244 \exp(-20.785 GR_{06-36}) + 0.162$$

AMSR-E/AMSR2推定氷厚とULS実測氷厚との差の季節変化

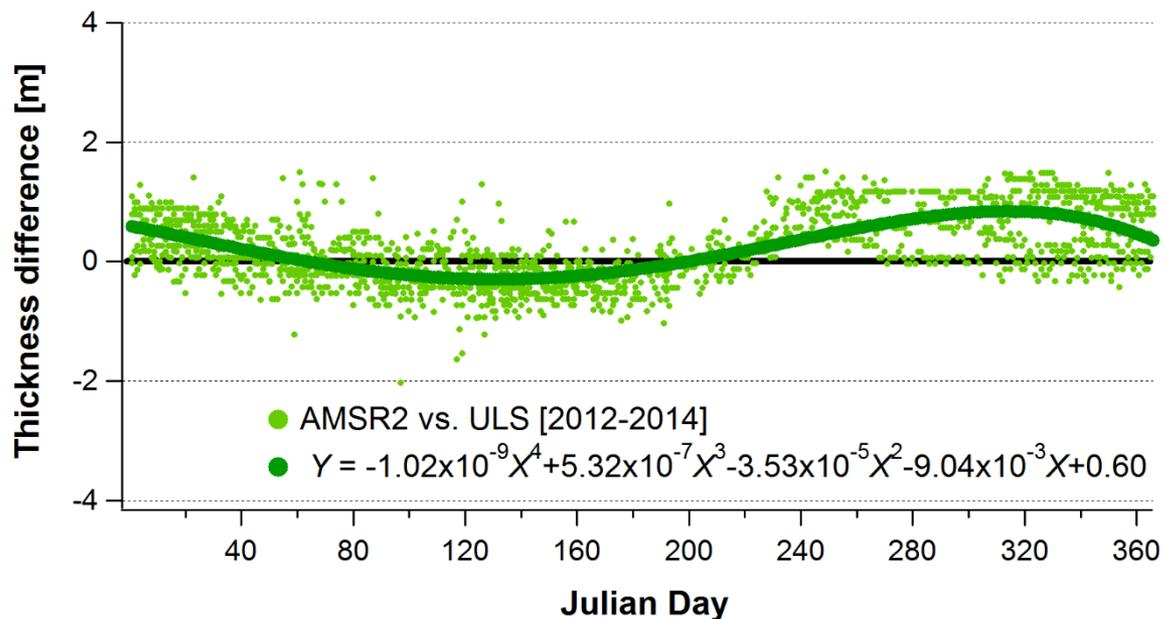
AMSR-E 2002-2011

Melt pond
Snow cover



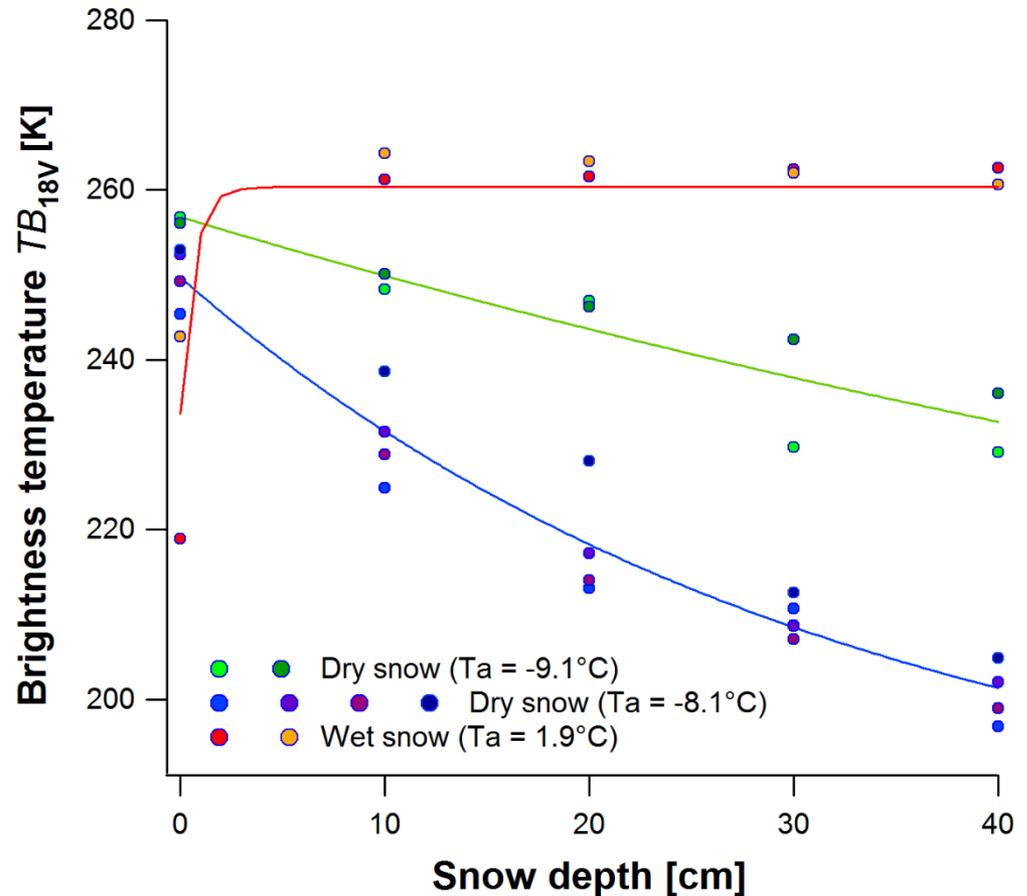
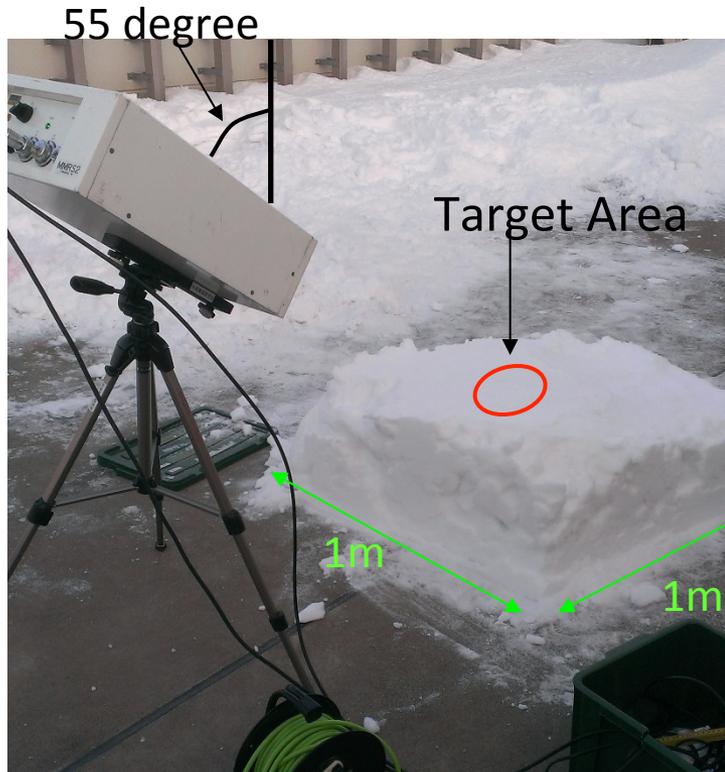
AMSR2 2012-2014

Overestimation
offset



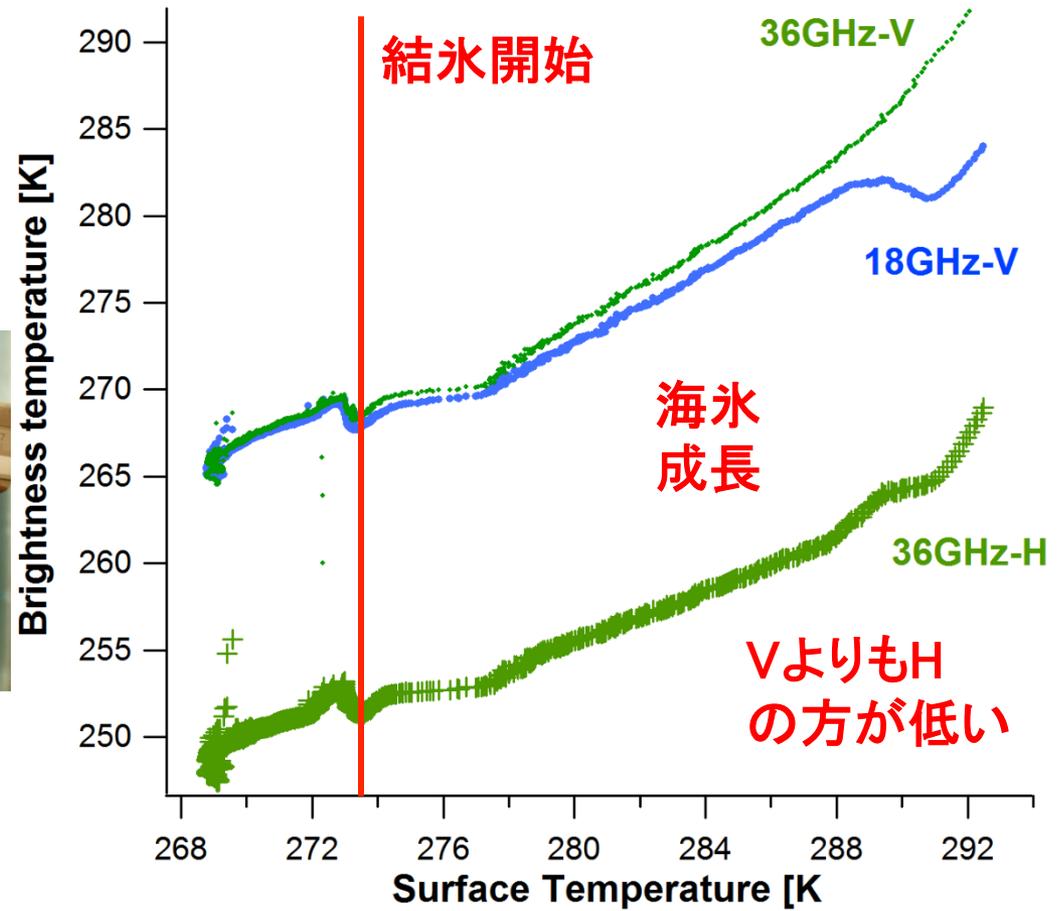
誤差の季節変化の原因検討

陸上積雪・融解再現実験 → 結氷期・融解期の誤差要因



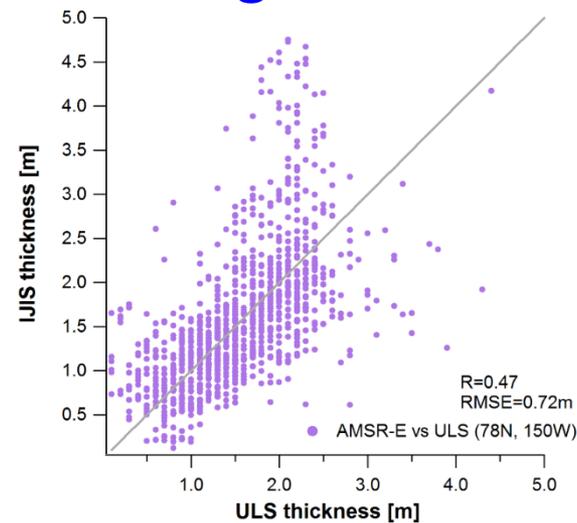
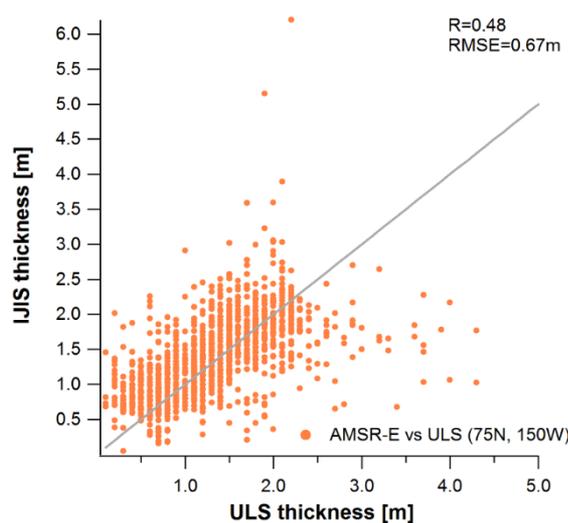
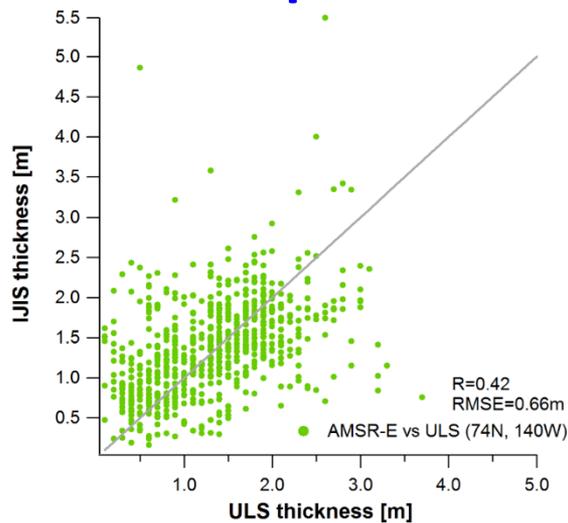
誤差の季節変化の原因検討②

結氷・融解再現実験 → 海氷塩分、密度との関係

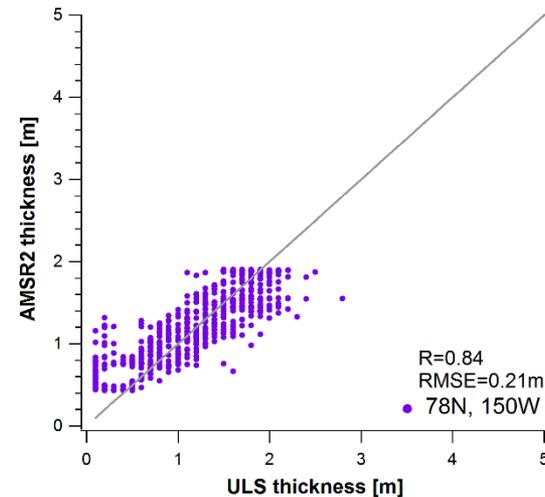
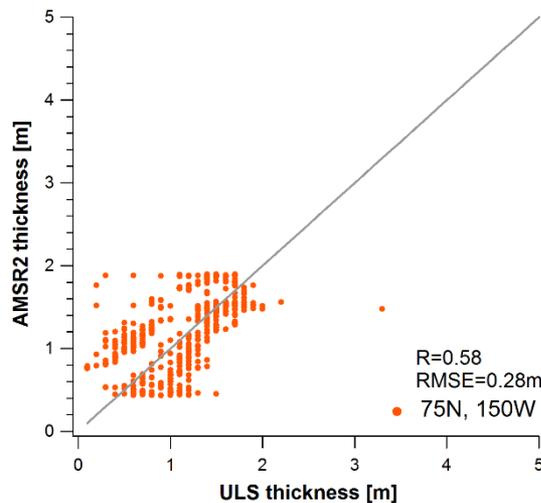
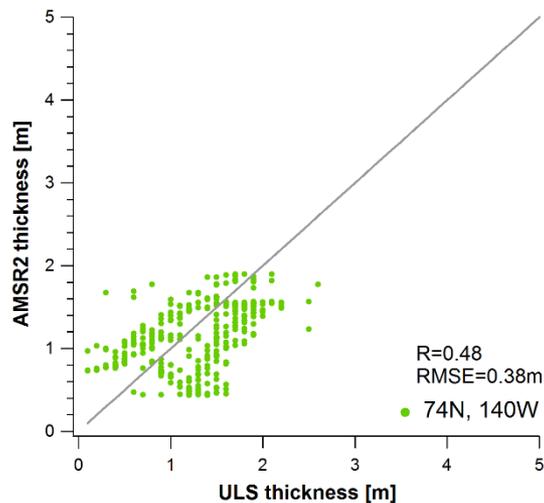


AMSR-E/AMSR2推定氷厚とULS実測氷厚の比較(誤差最大72cm)

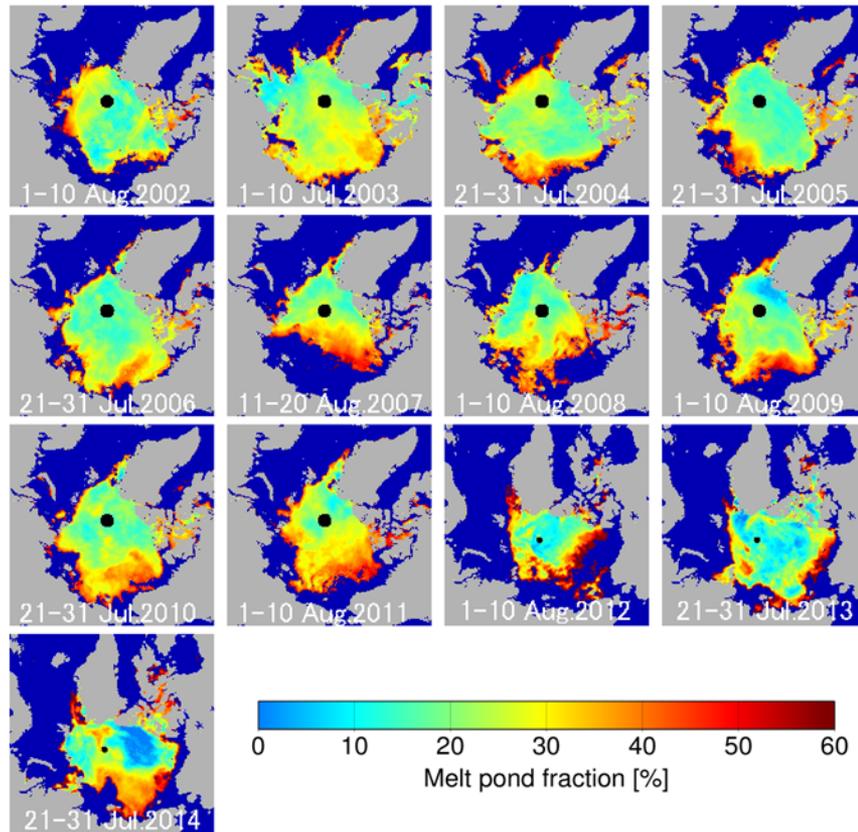
Relationship between AMSR-E draft vs. ULS draft during 2020-2011



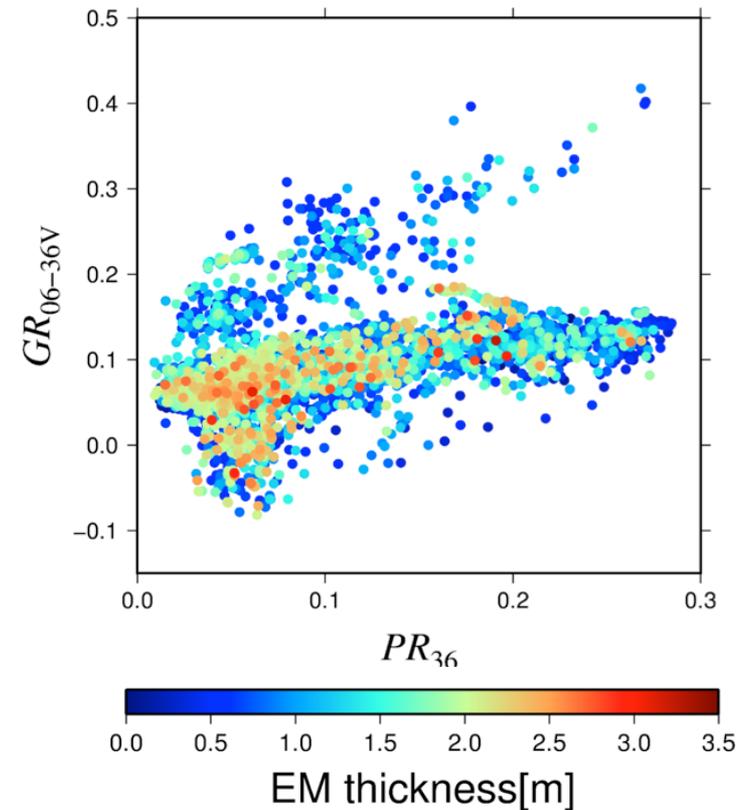
Relationship between AMSR2 draft vs. ULS draft during 2012-2014



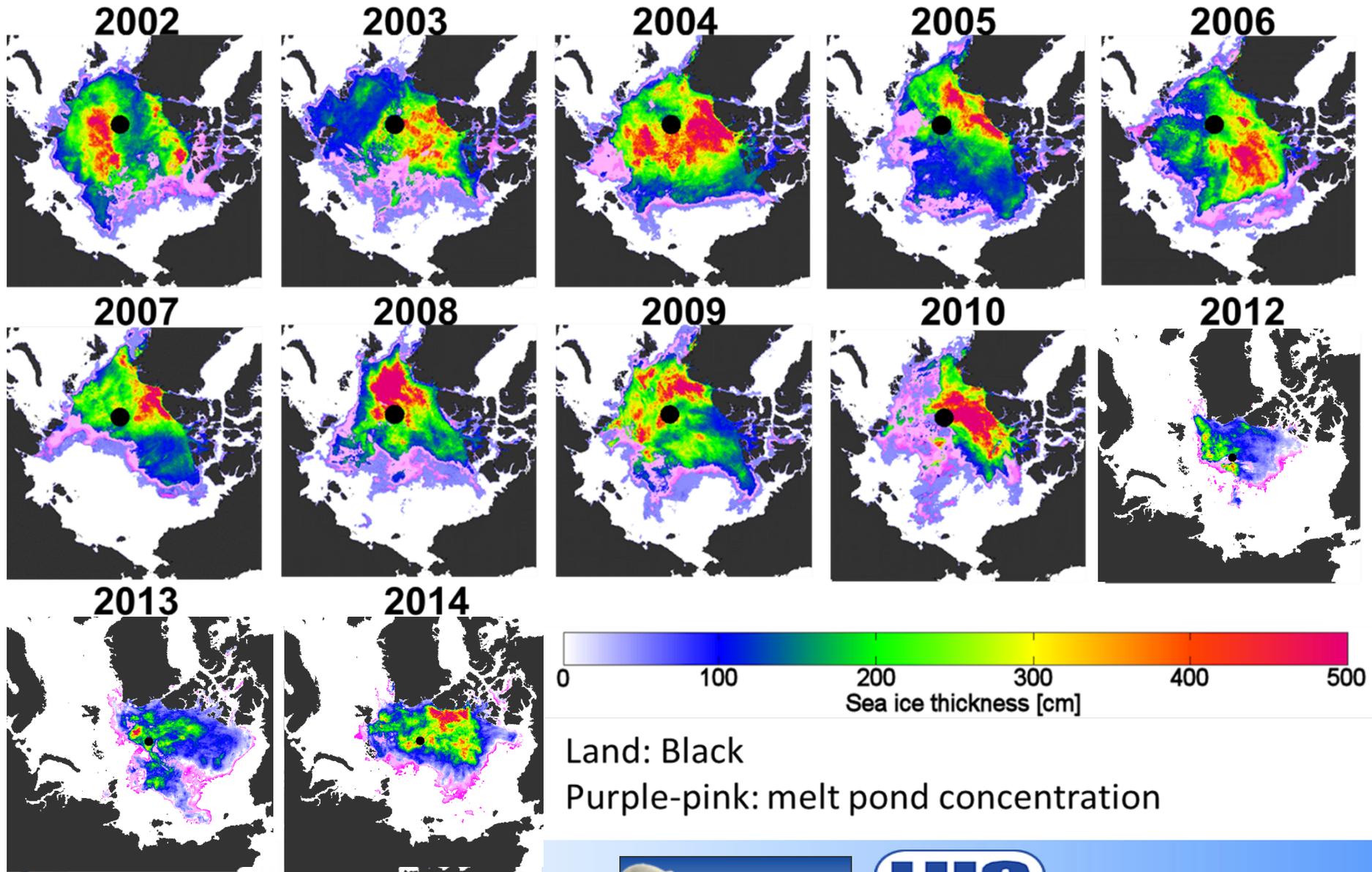
Melt pond fraction calculated from AMSR-E/AMSR2



Portable PMR PR_{06} and GR_{06-36}



Distribution of ice thickness using AMSR-E/AMSR2 Every 10th of



■ 北極域データアーカイブ (ADS VISHOP)



ADS VISHOP

検索

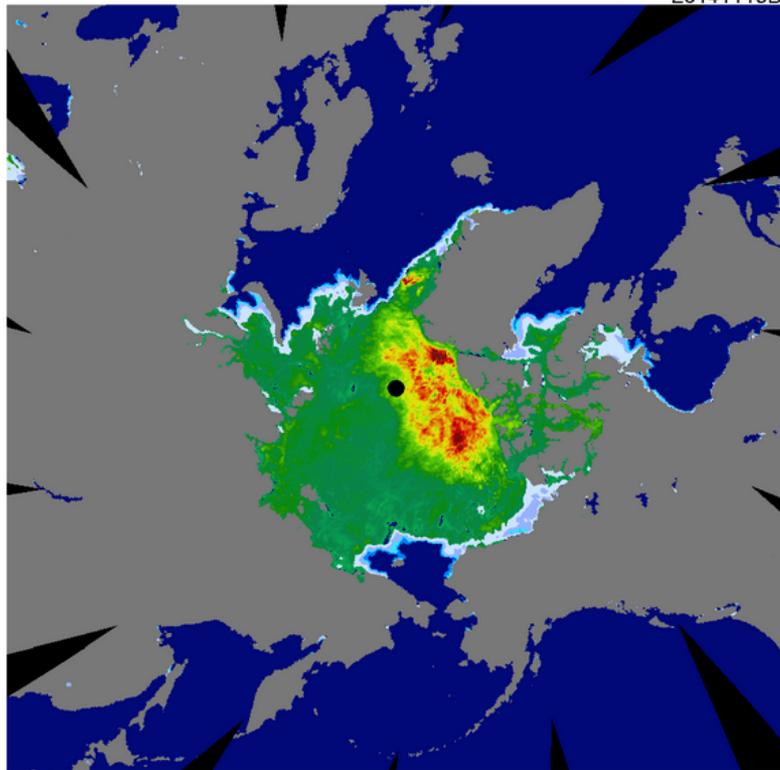
Home

Applications

About Us

FAQ

AMSR2 Sea Ice Thickness + Melt Ice Conc. 20141115D



Sea Ice Thickness (cm) Melt Ice Conc. (%)

※ zoom/move image area by mouse click (left-drag:zoom, right-drag:move, double-click:reset)

Prev. Latest Image Next.

Search

2014 11 15



2005 2010 speed control

save as animation

Region Select

Arctic Antarctic

Orbit Select

Descend Ascend

Image Select

SeaIceThickness

Sea Ice Forecast for 2014

date : 2014/07/01 Overlay

produced by Yamaguchi Lab.

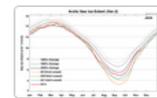
Climate Data Overlay

1980's Average: Overlay

1990's Average: Overlay

2000's Average: Overlay

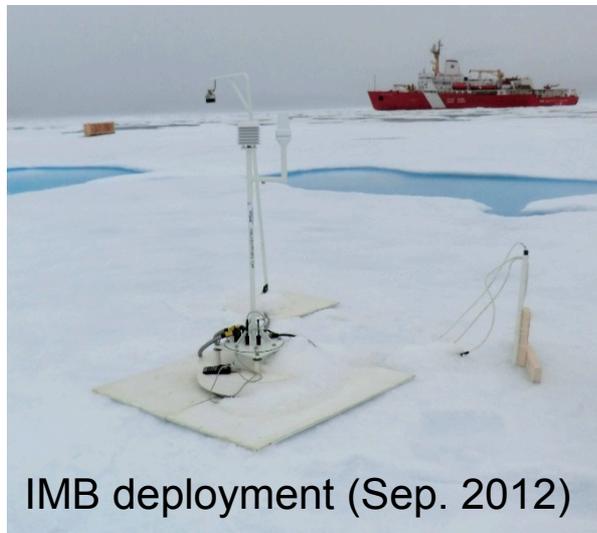
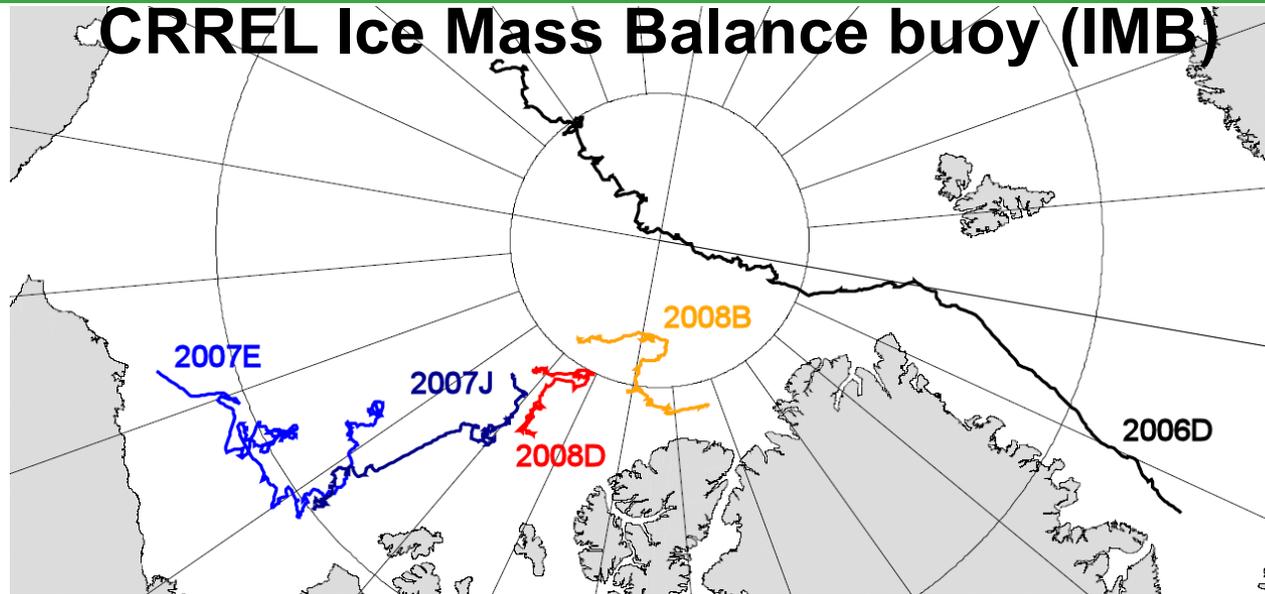
Sea-Ice Extent Information



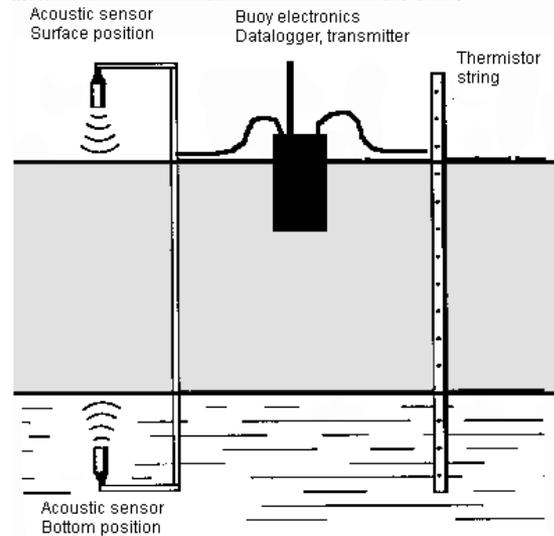
>Click and show SIE Graph Page

Copyright 2012 - National Institute of Polar Research. All right reserved. | [Data Policy](#) [Privacy Policy](#)

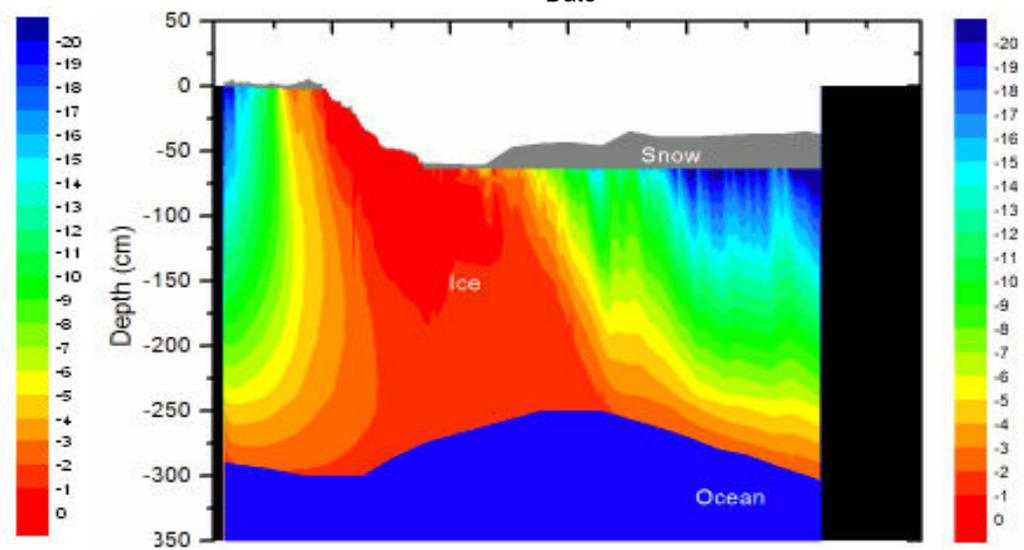
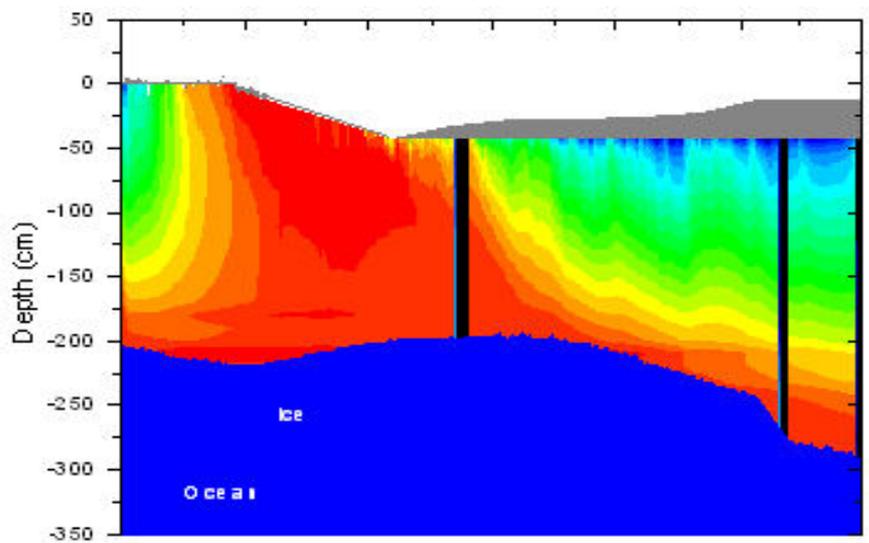
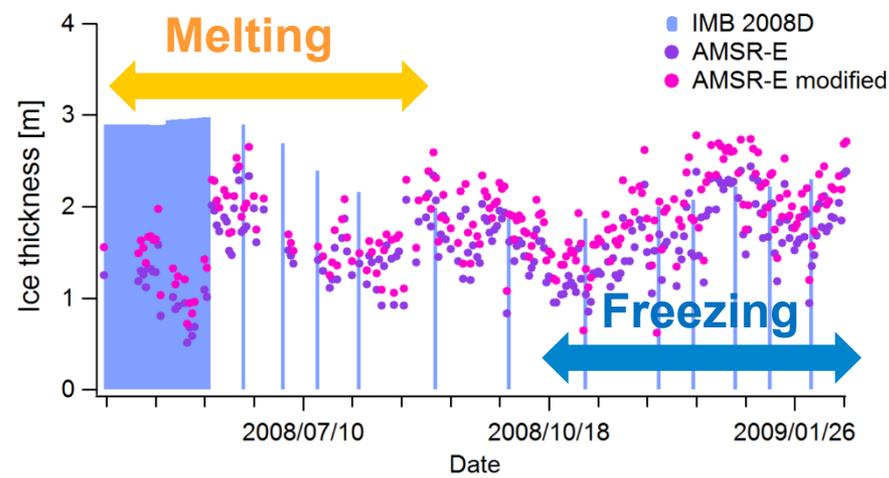
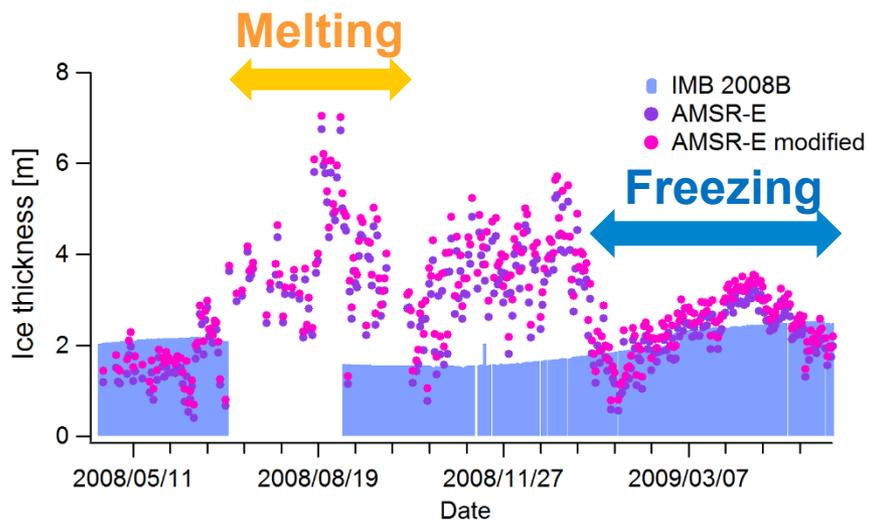
Comparison with other in-situ thickness dataset



IMB deployment (Sep. 2012)



Examples of comparison between IMB and AMSR-E



■まとめ：開発中の海氷厚アルゴリズム

- ・ 既往アルゴリズムを利用し、現場観測データから**一年氷**と**多年氷**を分離，それぞれの氷種に定量的な氷厚スケールを割り当てた。
- ・ **一年氷**は**PR₃₆**，**多年氷**は**GR₀₆₋₃₆**を使用。
- ・ **年変動成分（塩分，密度，積雪など）**を経験的に補正
- ・ **融解期のエラー** ⇒ メルトポンドマスク

■今後の課題

- ・ 年変動成分を理論的に説明，補正
- ・ 海氷上の積雪深の推定
- ・ 北極海以外への応用（南極海）

