

ここまできた北極海の海氷観測 海氷の厚さを知る

北見工業大学 工学部 社会環境工学科
館山一孝

■はじめに

●海水の面積・密接度データセット

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年代以降の夏期海水面積の急激な減少が報告されている(e.g. Perovich et al., 2012)。

●海水の厚さ、積雪データセット

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)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**観測のための手法開発

海氷厚推定アルゴリズム の開発



海氷の分類～氷厚から（WMOの定義）

| 気象庁の定義 | 氷厚 (cm) | | | | | |
|------------|---------|-----|----|----|-----|-----|
| | 1 | 10 | 30 | 70 | 120 | 200 |
| 新成氷 | | | | | | |
| ダークニラス | 1 | 5 | | | | |
| ライトニラス | 5 | 10 | | | | |
| 蓮葉氷 | 8 | 10 | | | | |
| 若年氷 | | | | | | |
| 薄い板状軟氷 | 10 | 15 | | | | |
| 厚い板状軟氷 | 15 | 30 | | | | |
| 一年氷 | | | | | | |
| 薄い一年氷 | 30 | 70 | | | | |
| 並の一年氷 | 70 | 120 | | | | |
| 厚い一年氷 | 120 | 200 | | | | |

二年氷, 多年氷

新生氷(厚さ～10cm)

ニラス(Nilas) :

静穏な湾などで、膜状の氷が軟らかい板状の氷に成長したもの。海の色が透けている。
暗いニラス (厚さ5cm以下)
明るいニラス (厚さ5cm以上)



蓮葉氷(Pancake ice) :

グリース・アイスや海綿氷がうねりに揺らぎながら固まってできた氷の円盤。氷盤同士がぶつかり合い、角を削り合って縁がまくれ上がった白い縁取りがあるのが特徴。



若年氷(厚さ 10~30cm), 一年氷

板状軟氷(Grey ice) :

蓮葉氷の隙間が凍ったり、ニラスが成長して厚さが増したものの。表面に積雪は無く、灰色の裸氷。



一年氷(First-year ice) :

表面に積雪がある30cm以上の氷。



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：

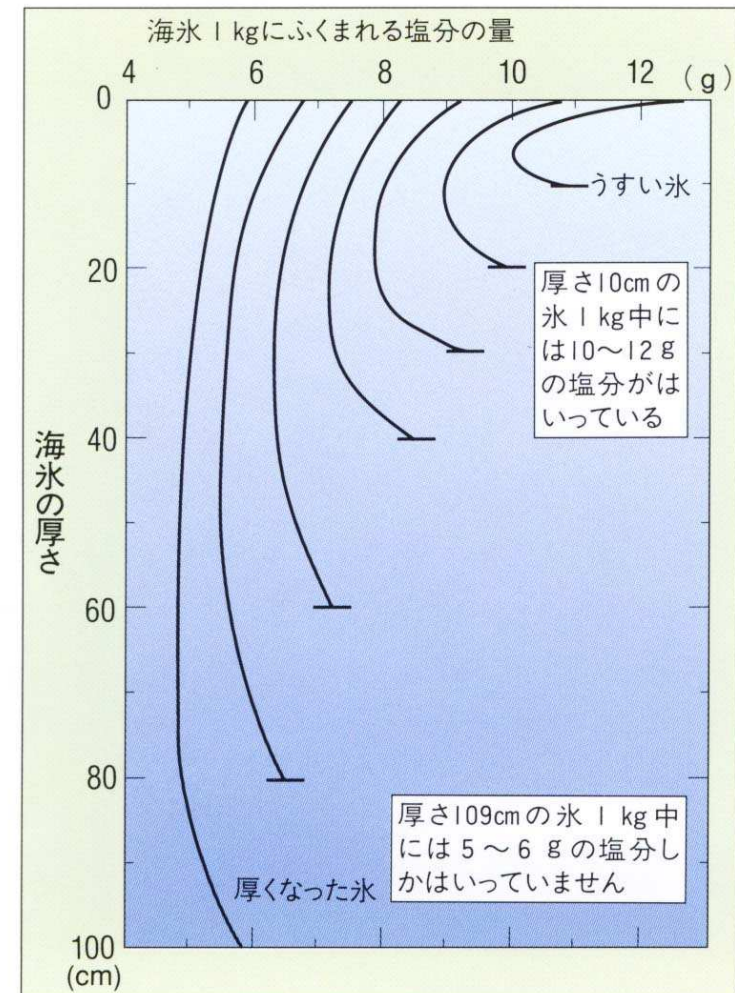
成長期に純水部分の結氷が進みブラインチャンネルから下方に押し出される

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

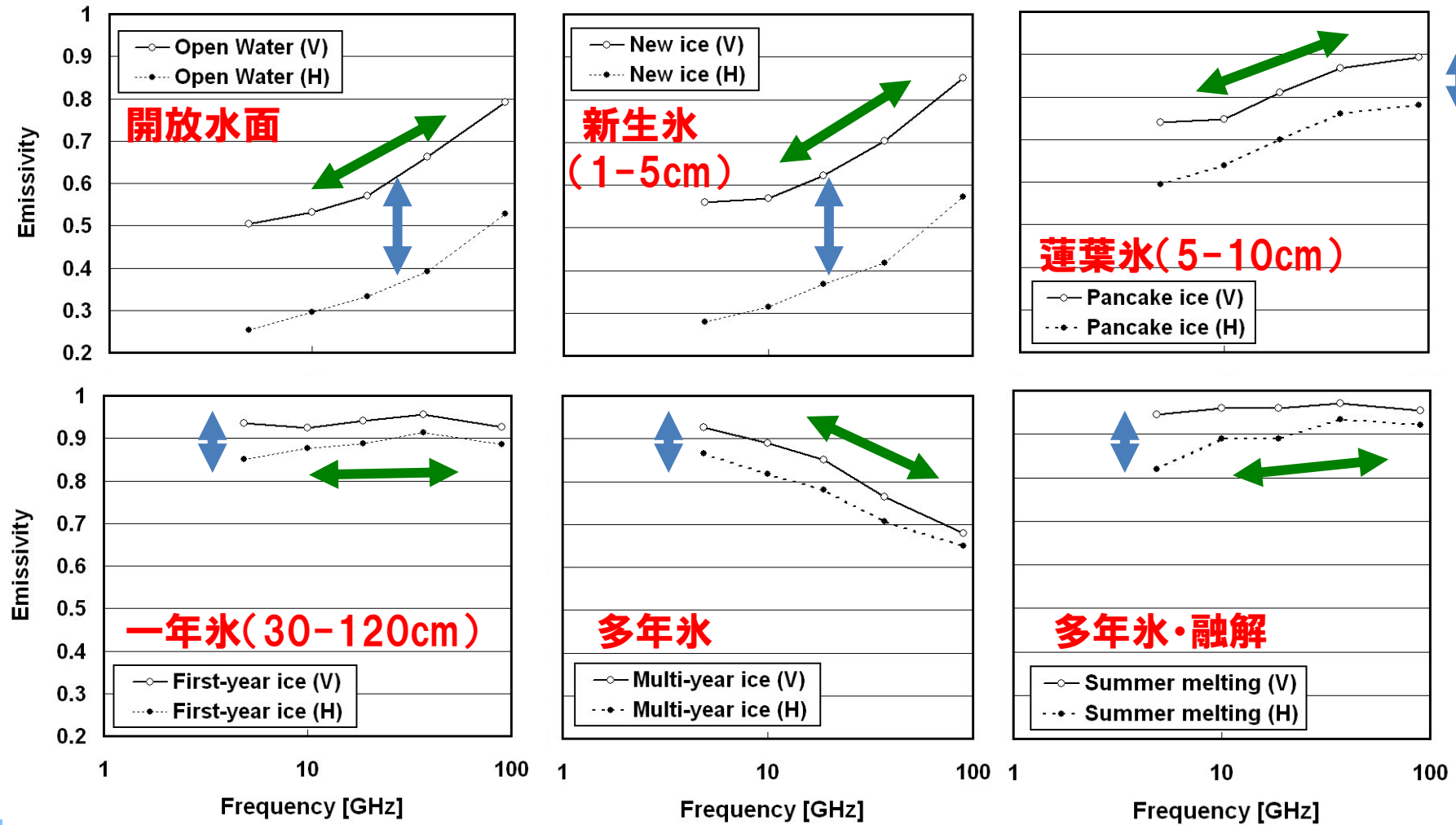


氷厚と塩分の関係

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



海水厚推定アルゴリズムの開発方法

現地調査 (船舶 & 氷上)

EM (Electro-Magnetic induction device)

PMR (Passive Microwave Radiometer)

IPS (Ice Profiling Sonar) WHOI Buoy

衛星リモートセンシング マイクロ波放射計

AMSR-E, AMSR2

海水推定アルゴリズム

- **PR-GR** アルゴリズム

夏季観測データから
厚い海水データが不足

- **改良型アルゴリズム**

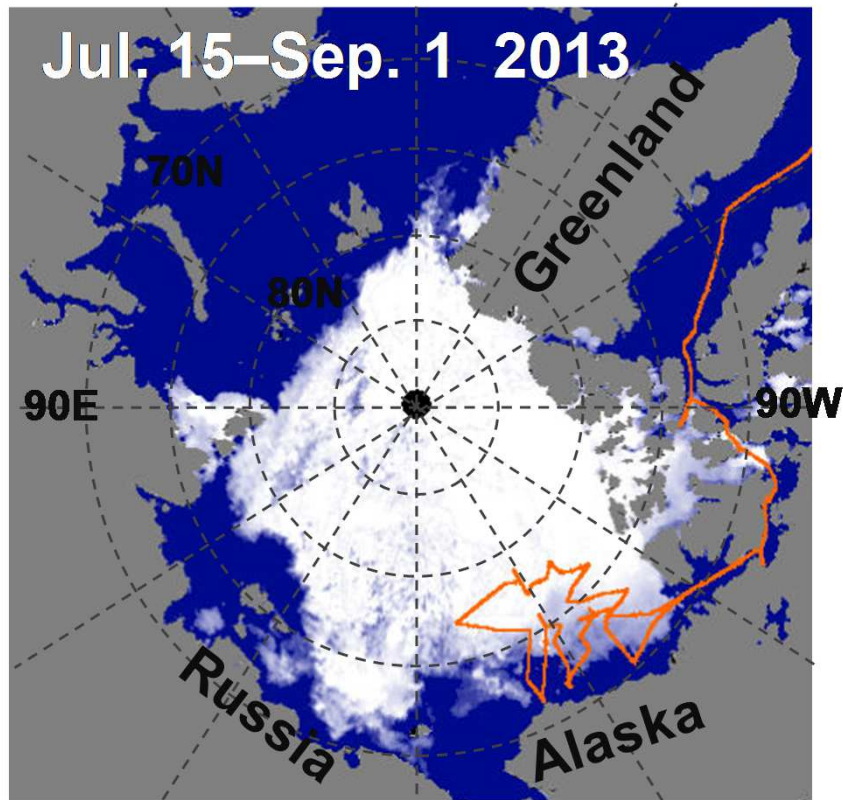
“**IJIS**氷厚アルゴリズム”
(Krishfield et al., 2014)

evaluate and improve
for thick ice, all season
including melt pond

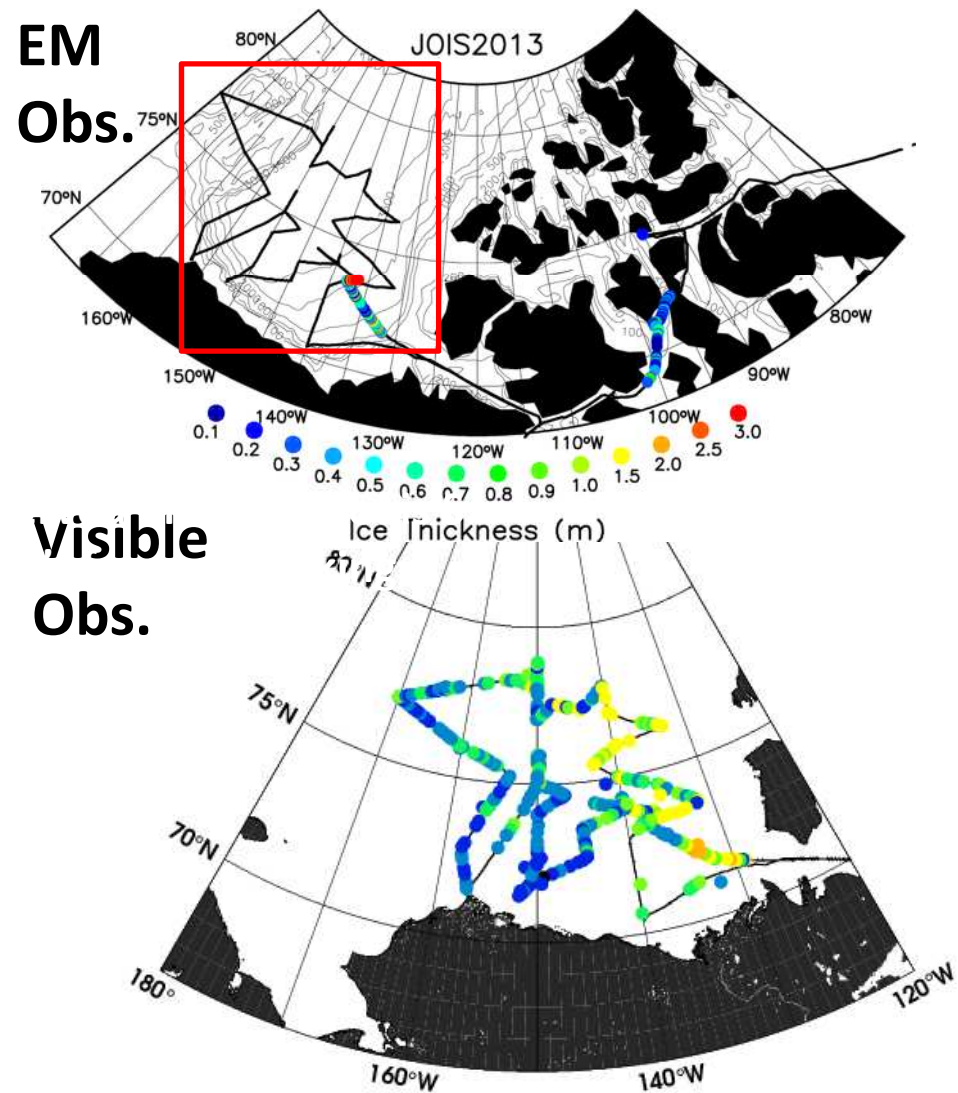
北極海の海水厚分布の 監視

NSR, NWP

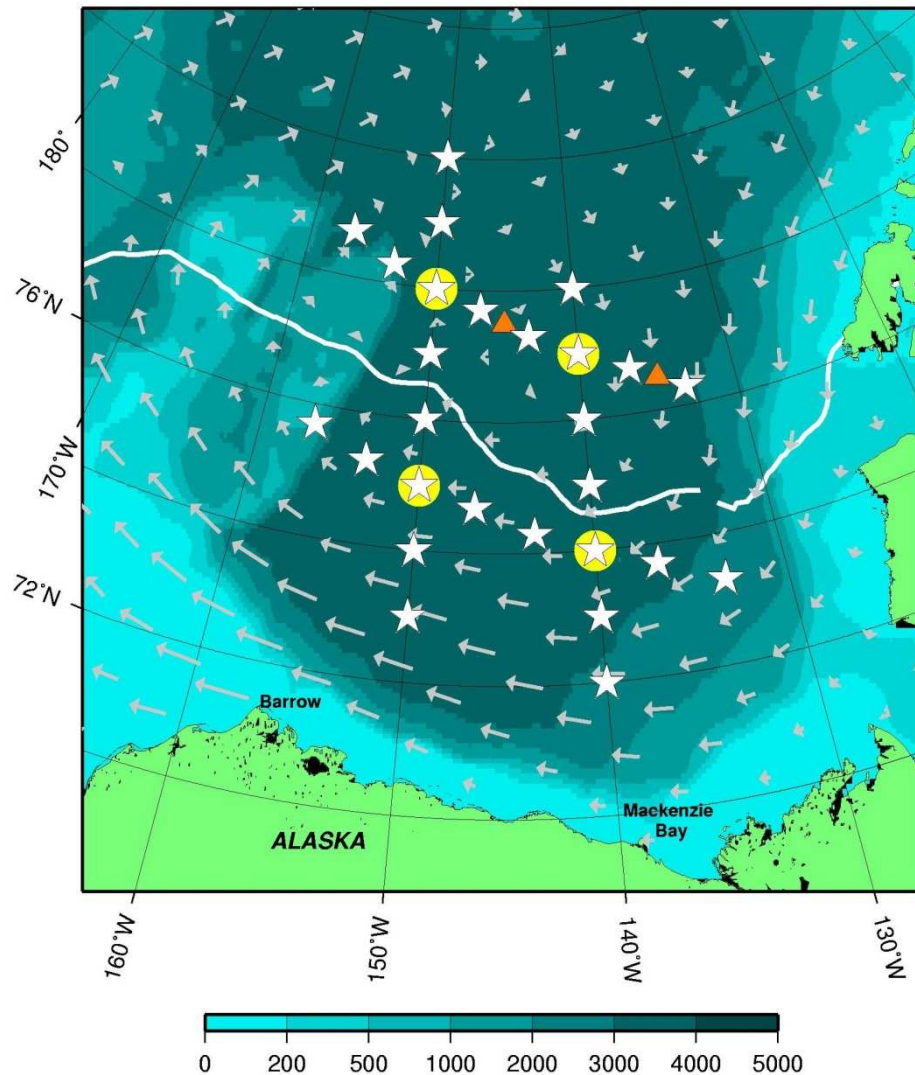
EMと目視観測による海氷厚観測(2013年7月~9月)



Cruise track



係留ブイの氷厚計(ULS)による氷厚観測



Buoy Positions

A: 75 N, 150 W

B: 78 N, 150 W

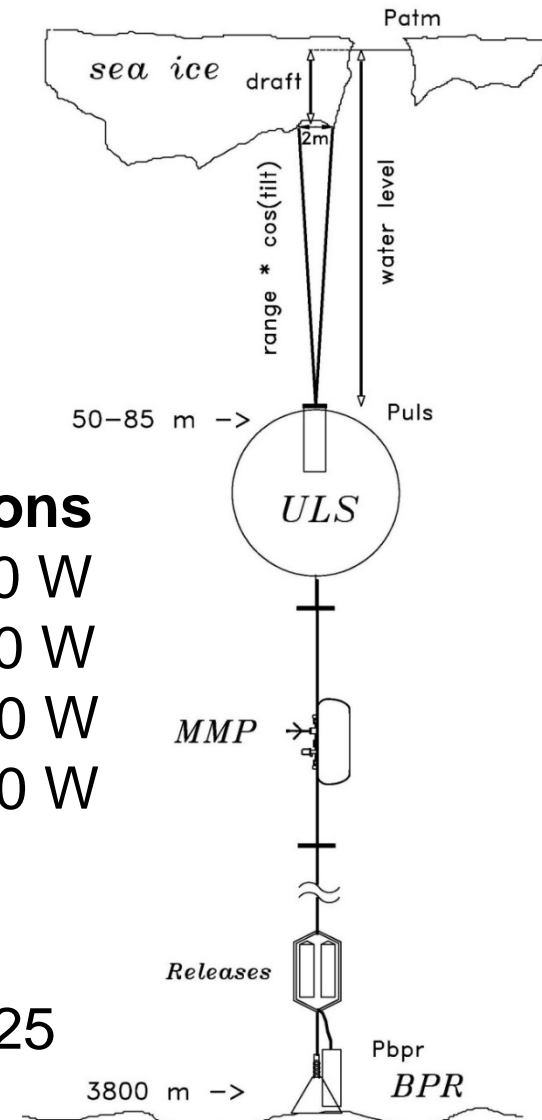
C: 77 N, 140 W

D: 74 N, 140 W

Duration

2003.5.17

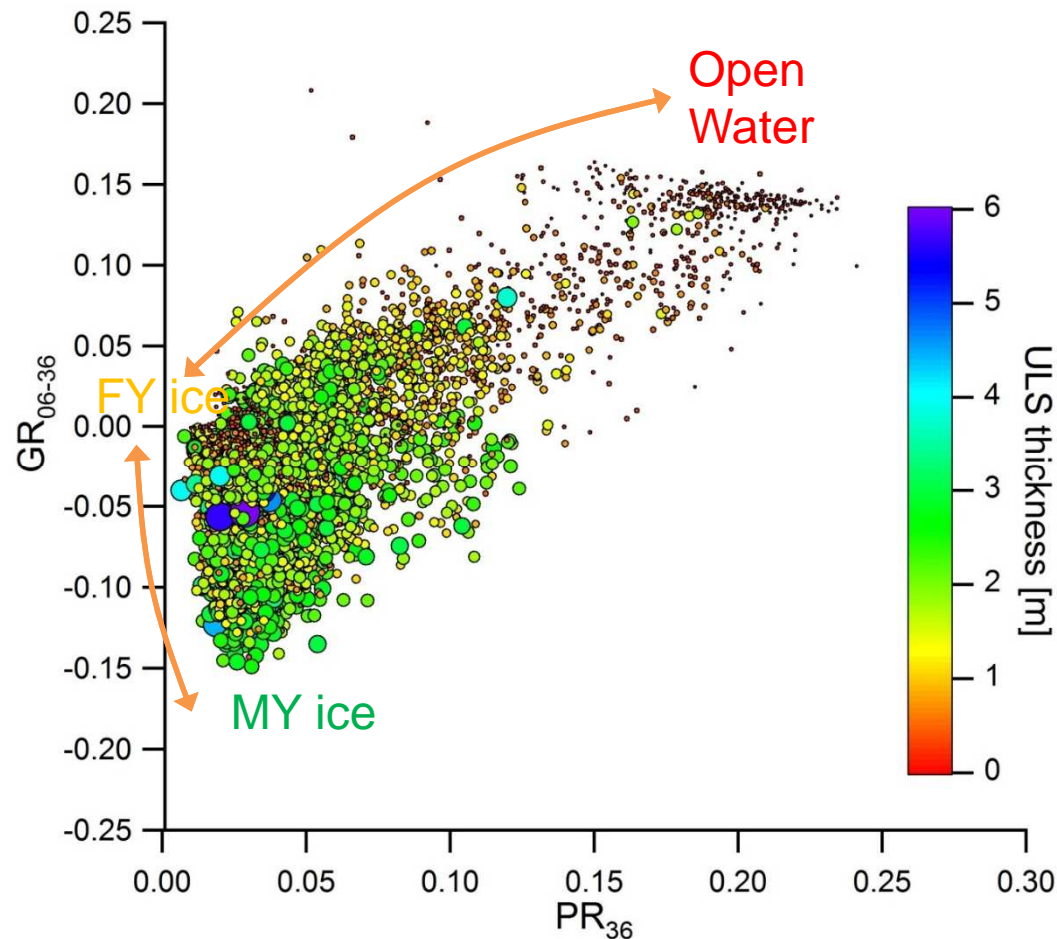
- 2011. 8. 25



PR_{36} と GR_{06-36} を用いた氷厚推定アルゴリズム

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

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



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

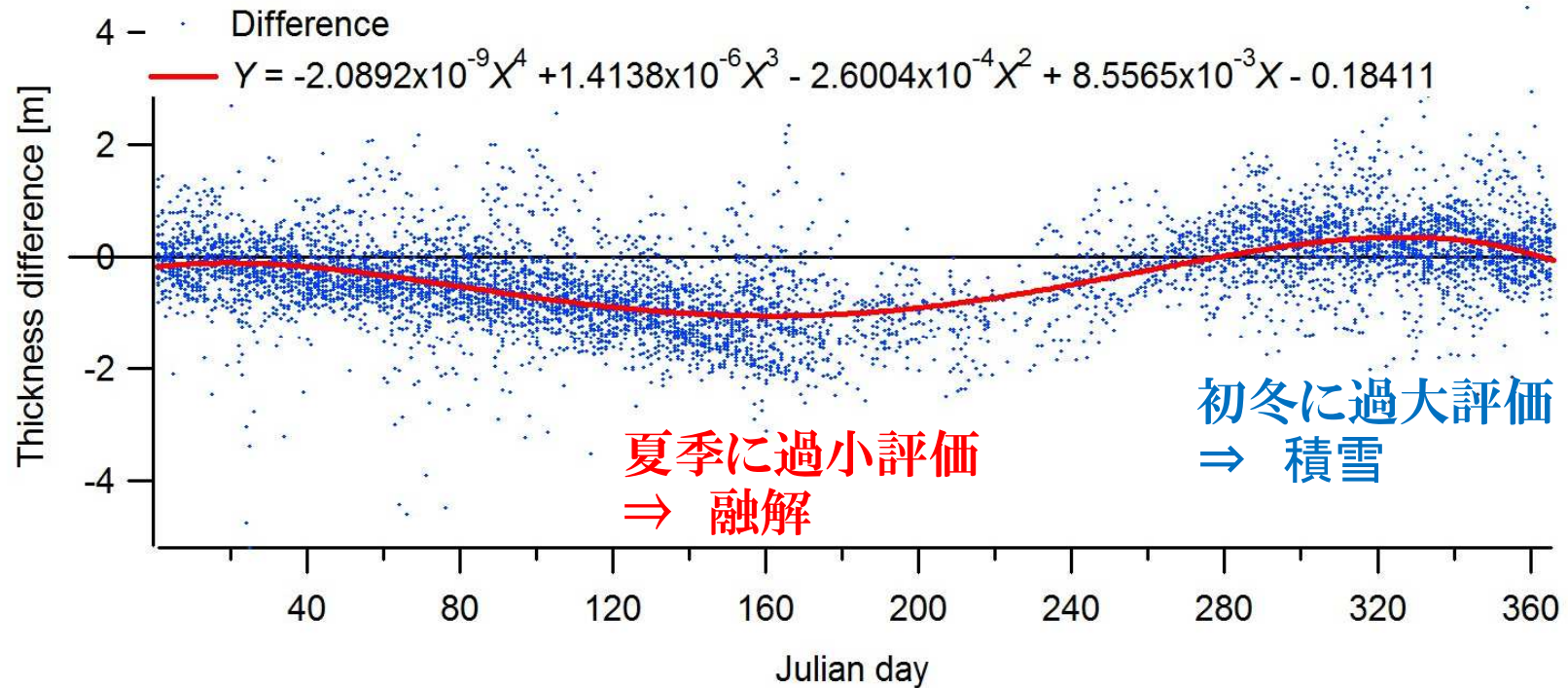
$$GR_{06-36} = \frac{TB_{06V} - TB_{36V}}{TB_{06V} + TB_{36V}}$$

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

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

推定氷厚と実測氷厚の差の季節変動(2002-2011年)

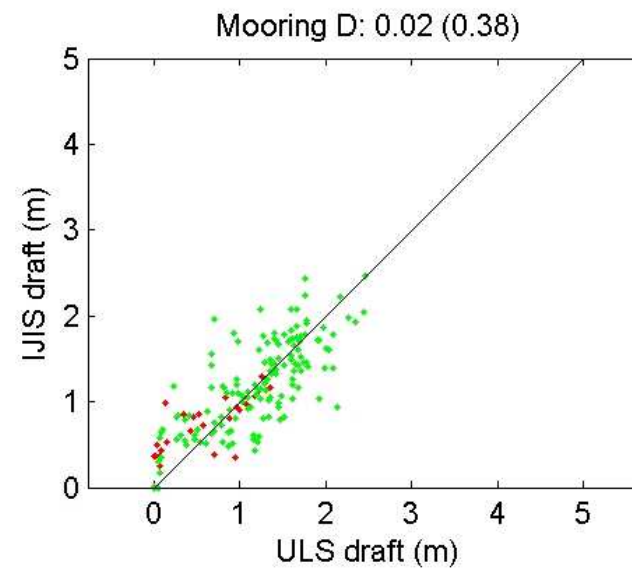
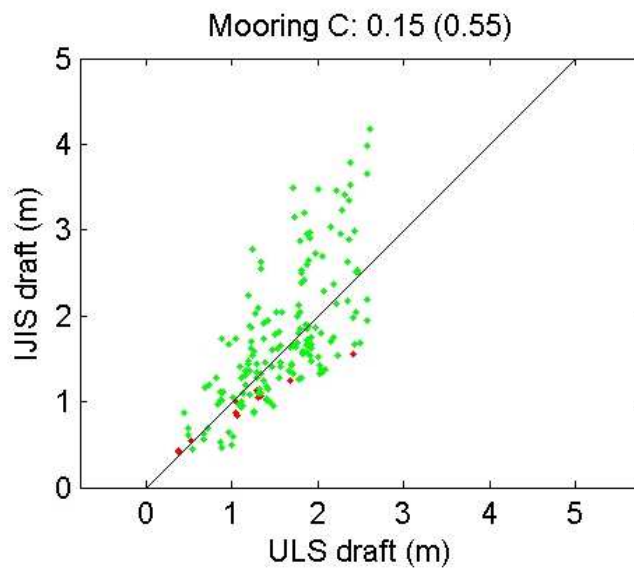
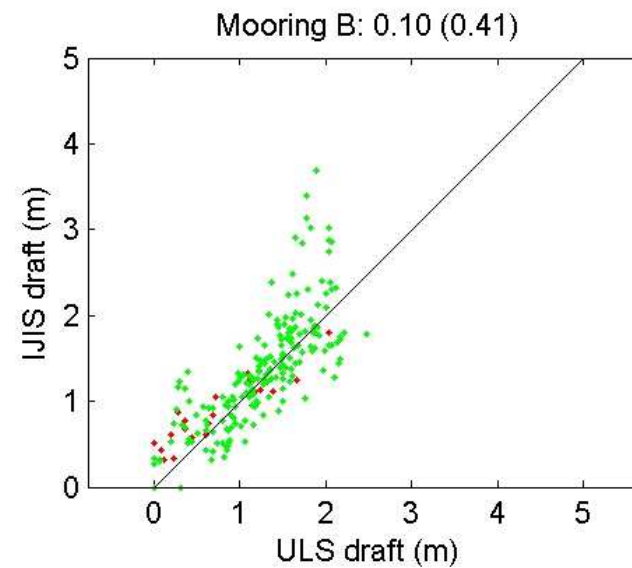
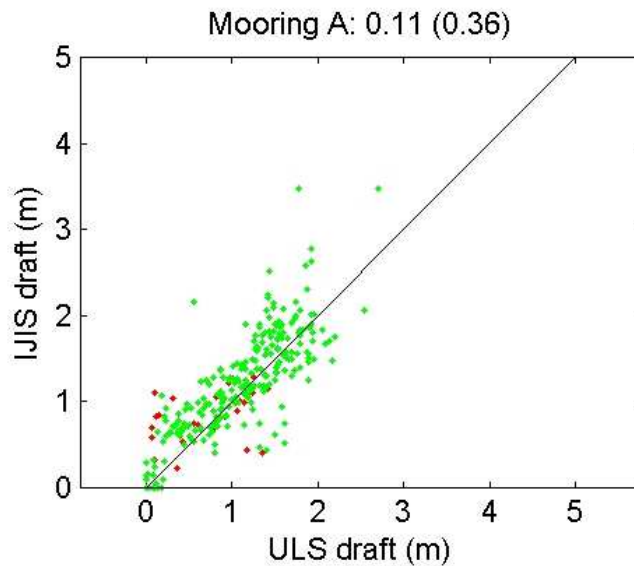
AMSR-E/AMSR2氷厚と係留系ブイのULS氷厚の比較



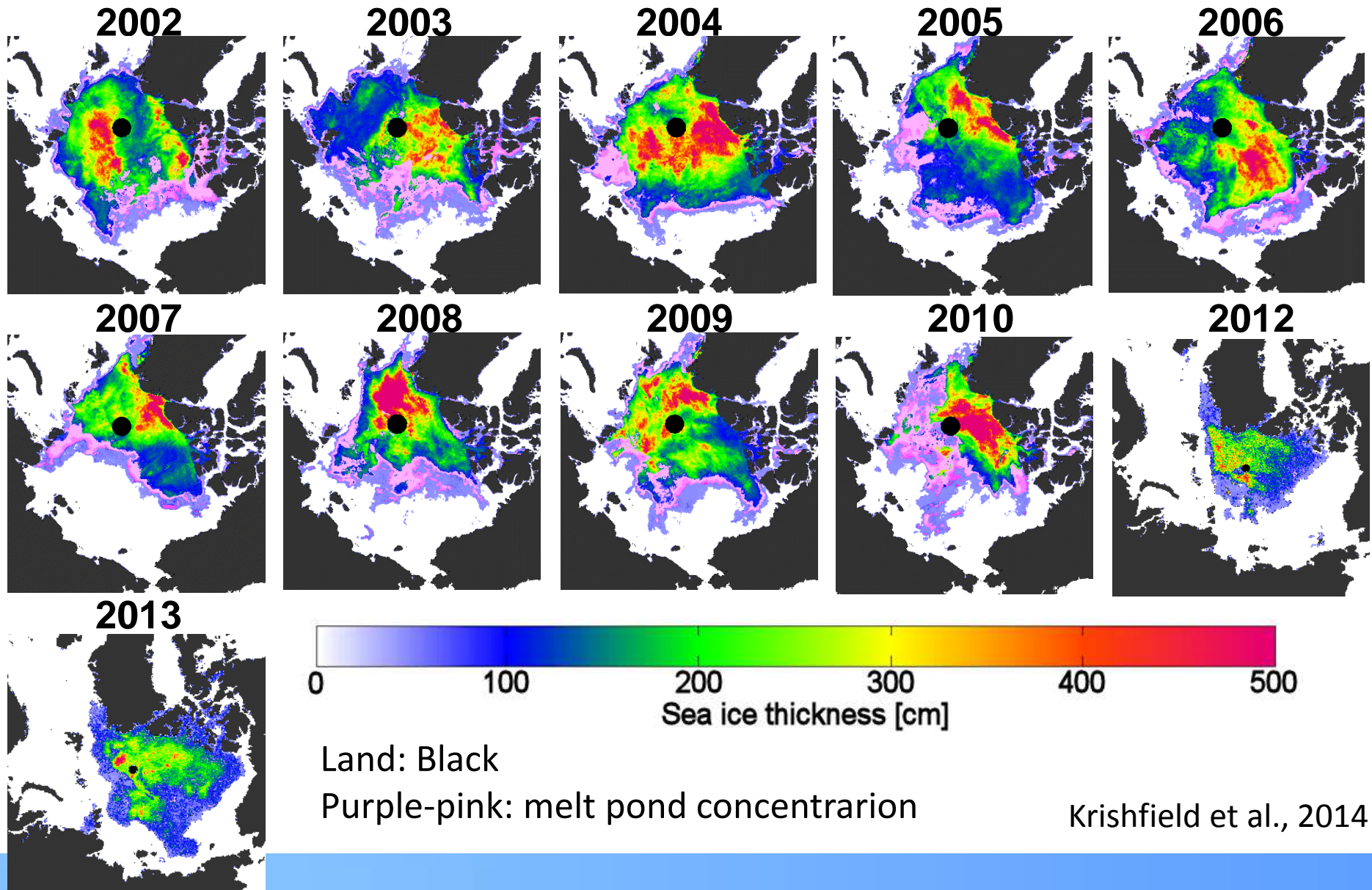
$$H_{\text{modified}} = H_{\text{AMSR-E}} - Y$$

$$\begin{cases} X = \text{Julian day} \\ Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e \end{cases}$$

ULS氷厚とAMSR-E氷厚 (IJISアルゴリズム) の比較



AMSR-E/AMSR2による北極海氷厚・マルチポイント分布 (毎年9月10日)

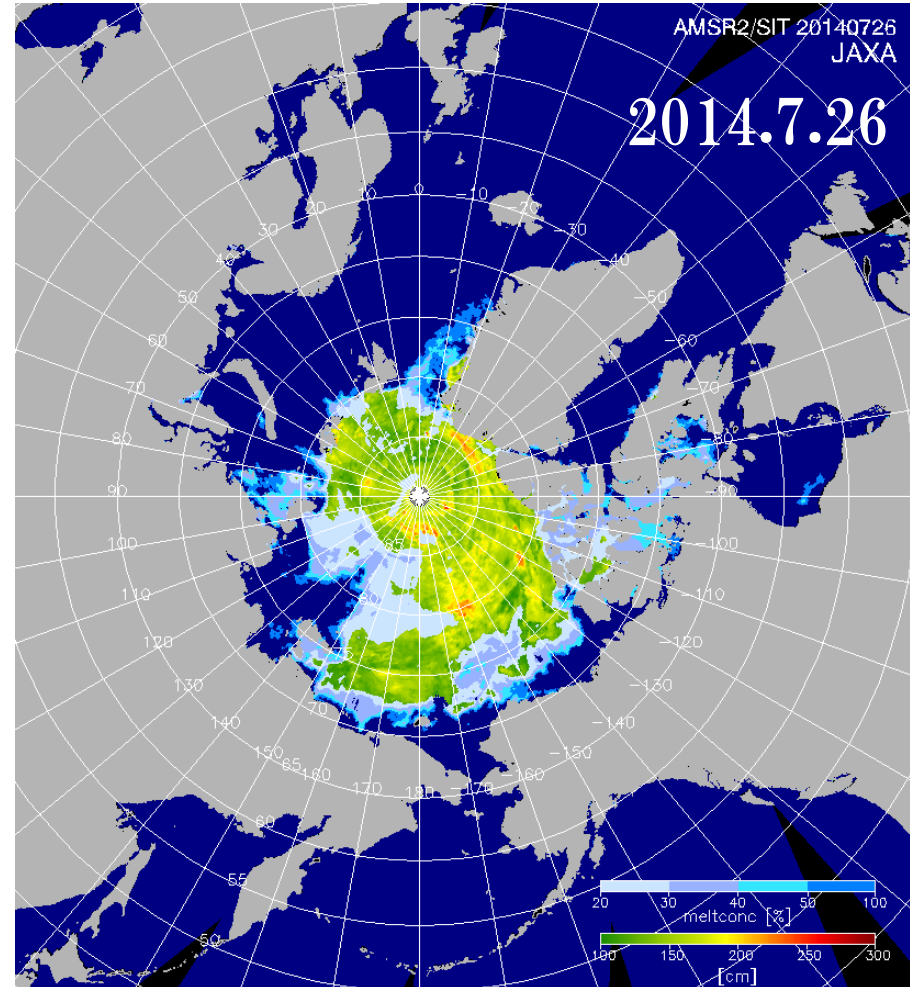
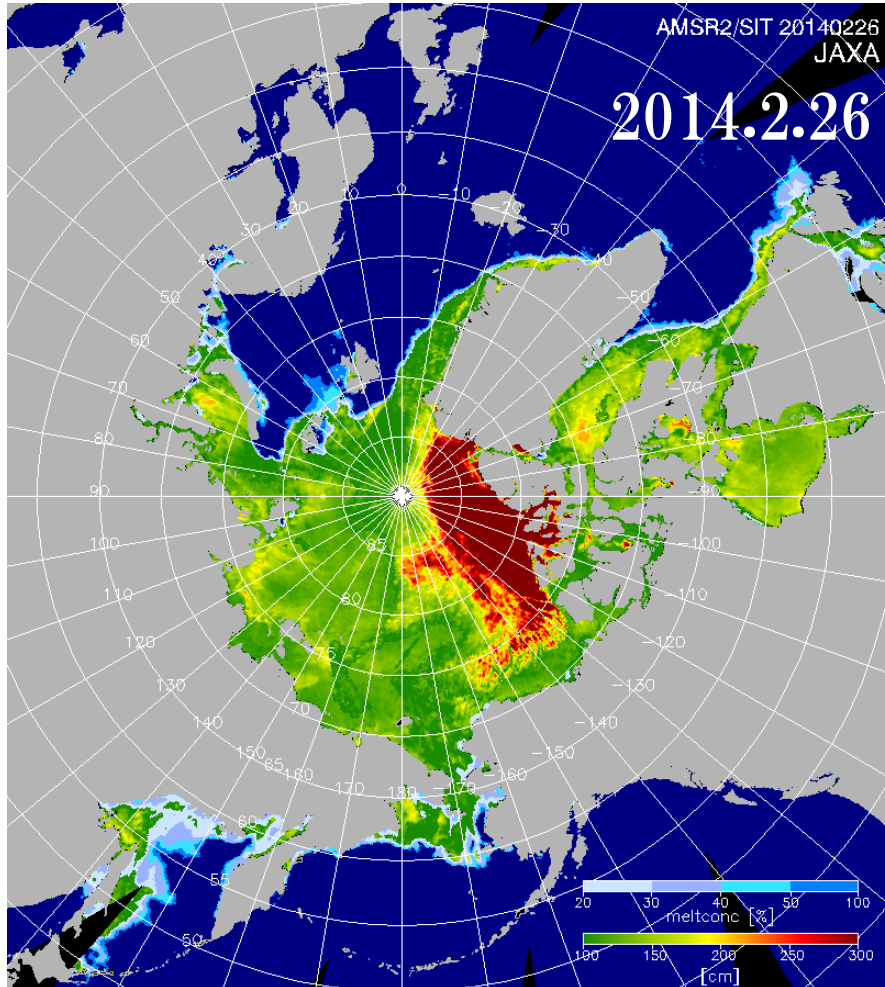


Krishfield et al., 2014

北極海氷厚分布データセットの 公開状況

■本研究で開発した海氷厚分布の例（IJIS）

1m厚以下+融解(青), 1m~5m厚(緑~黄~赤)



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) 0 100 200 300 400 500
Melt Ice Conc. (%) 20 30 40 50

NiPR JAXA

※ 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 the graph page

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

■まとめ

- NASA team アルゴリズムを利用して一年氷と多年氷を分離，現場観測データからそれぞれ氷種に氷厚スケールを割り当てた。
- 一年氷は PR_{36} ，多年氷は GR_{06-36} を使用。
- 年変動成分（融解，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