

衛星情報と現場観測に基づくオホーツク海の家氷生成機構の検証

豊田威信、木村詞明（北大低温研）、館山一孝（北見工大）、西尾文彦（千葉大学）

はじめに オホーツク海南部は北半球で最も低緯度に位置する季節海氷域であり、熱力学的には海氷成長の限界にある。従って、そこに分布する海氷はどのように成長して、どのような特性を持つのかは興味深い。そこで、この海域の家氷の実態および成長過程を明らかにするために、1996 年以来毎年 2 月に巡視船そうやを用いて海氷観測を行ってきた。本日は、その中から 1) 海氷構造から推定される成長過程、および 2) 海氷の氷厚分布を衛星から推定する可能性についてリモートセンシングデータの解析結果を交えてお話をする。

海氷構造から推定される成長過程 バスケットを用いて 2003~2005 年に集中的に採取した海氷コアの解析から、(1)粒状氷(frazil ice)は全体氷厚の 48%を占め、短冊状氷(39%)よりも卓越していること(表 1)、(2)いずれも層状構造が発達しており、結晶や厚片(5mm)の鉛直構造などから推定した全体の平均層厚は 12cm であること、(3)氷厚 1m を超える海氷コアはいずれも 3 個以上のブロックから成ること(平均ブロック厚 35cm)などが明らかになった(Toyota et al., 2005 IGS)。これらの結果は、この海域では海氷の力学的な成長(ridging/rafting)が本質的であることを示している。一方で、2004 年は 2003 年よりもコラムナー構造が卓越しているなど、海氷の構造特性には年による差が顕著にあることも見出された(表 1)。この原因を調べるために、AMSR-E から面相関法によって日々の海氷域の漂流速度を求め、後方漂流跡線解析を行った。個々の漂流跡線に沿って ECMWF 客観解析データを用いて海氷の成長量を計算し、熱力学的な成長量の見積もりを行った。その結果、年々変動には熱力学的な成長量よりも、力学的な収束場との関わりが深いことが示唆された。

海氷の氷厚分布を衛星から推定する可能性について 海氷域の重要な基礎物理量の中で、氷厚分布は最も計測が困難なパラメータの一つである。衛星画像 SAR による氷厚分布のリトリバルを目的として、2005 年 2 月 14 日の観測で巡視船そうやと航空機 Pi-SAR の同期観測が行われた。船舶においては電磁誘導センサ(EM)による氷厚計測と超音波距離計による表面凹凸の分布の計測を行い、航空機 Pi-SAR においては X-band と L-band のマイクロ波による後方散乱係数の観測を行った。ここでは、氷盤の形成過程と関わりが深いと考えられる L-band のデータを用いる。これら三種類のデータを比較検証することにより、SAR データから氷厚分布を抽出する可能性について吟味した。EM による氷厚計測は変形を受けた氷も計測が可能であり、検証実験も行っており、精度もある程度保証されている(Uto et al., 2005 IGS)。超音波距離計による表面凹凸の計測においては、生データから船体の運動をある程度除去可能であることが示され、低周波パスフィルターを用いてシグナルを取り出すことができた。SAR データは計測値を 3×3 ピクセル(1 ピクセルは 2.5m)で平均化して航路に沿ったデータを取り出した。解析の結果、1km で平均したデータと比較すると、これら三種類のデータは互いに大変良い相関があることが見出された(図 1 abc)。これはすなわち、表面凹凸の分布の情報を SAR データは的確に捉えており、季節海氷域においては氷厚は表面凹凸と密接に関連しているためと解釈される。特に VV 編波の後方散乱係数から氷厚への回帰直線の RMS は 0.16m と大変良いので、この回帰式を用いて氷厚分布も描画したところ、リッジの連なりも明瞭に識別できた。以上の結果は L-band の SAR による氷厚分布の推定の可能性を示している。

表 1. 海水構造の統計 (上段は占有率、下段は平均層厚、 B_L は平均ブロック長)

	N	Snow ice	Frazil	Columnar	g/c	Mean H_L	Mean B_L
2003	16	7%	59.8	29.6	3.5		
		3.7cm	6.2	7.1	1.4	8.6cm	34.5cm
2004	9	9.30%	48.6	36.9	5.1		
		6.8	9.2	13.5	3.6	14.8cm	34.7cm
2005	2	7.30%	9.9	79.4	3.4		
		2.9cm	2.7	14.1	1.1	13.5cm	32.1cm
Total	27	8.60%	48.2	38.6	4.6		
		5.0	7.5	11.2	2.4	11.9cm	35.4cm

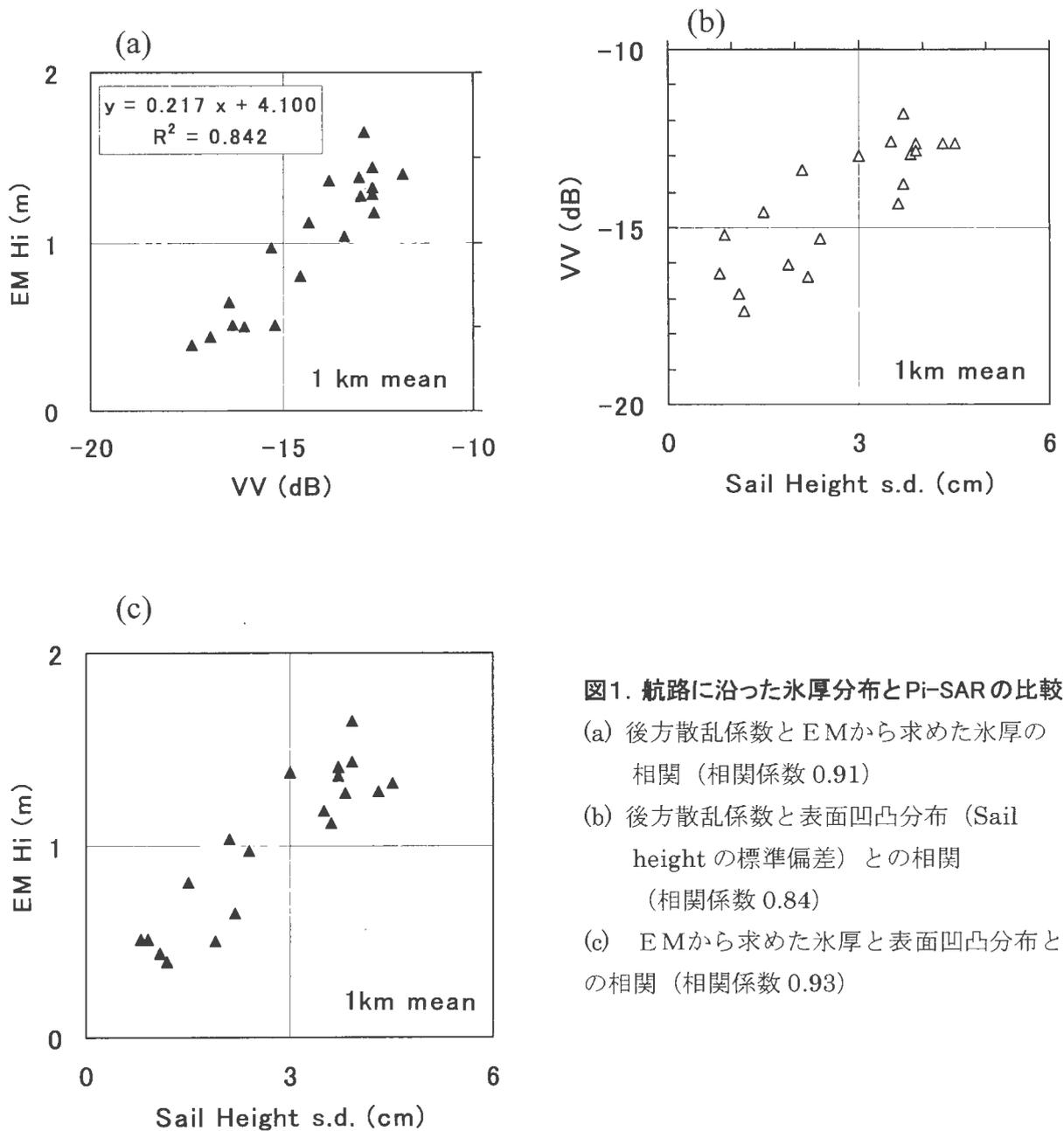


図1. 航路に沿った氷厚分布とPi-SARの比較

- (a) 後方散乱係数とEMから求めた氷厚の相関 (相関係数 0.91)
- (b) 後方散乱係数と表面凹凸分布 (Sail height の標準偏差) との相関 (相関係数 0.84)
- (c) EMから求めた氷厚と表面凹凸分布との相関 (相関係数 0.93)

衛星情報と現場観測に基づくオホーツク海の 海氷生成機構の検証

豊田威信、木村潤明(北大低温研)、鐘山一幸(北見工大)、西尾文彦(千葉大)

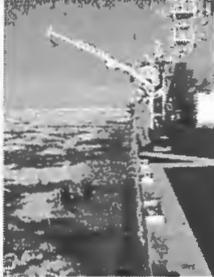
1. はじめに
オホーツク海の高氷観測概要

2. 解析結果

2.1 海氷の構造特性の年々変動
(海水コア解析&AMSRデータ
による成長履歴の推定)

2.2 氷厚分布の見積もり
(EM氷厚、表面形状&PI-SAR)

3. まとめ



海氷サンプリング手法の開発

従来の海氷サンプリング



竹竿とロープを用いて採集
⇒厚い氷の観測には不向き

バスケット観測



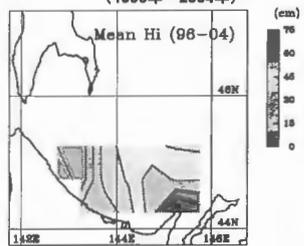
- * 効率よく厚い海水コアの取得が可能
- * このため、氷温の測定が可能
- * 様々な氷厚の海水コアを同一手法で取得可能
- * 海氷上の積雪の観測が可能

従来の氷厚計測の手法 (ビデオ画像解析)




(1996年～2004年)

Mean Hi (96-04)



サンプル数: 計25664個

全体的に20~60cm、東部>西部

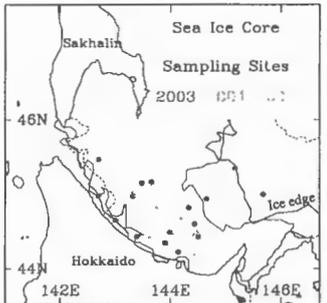
はじめに

- ・ 背景
 - 1) 季節海氷域の海氷の消長過程を観測から明らかにしたい。
 - 2) 1996年以降、毎年2月に「そうや」を用いてオホーツク海南部の海氷の特性を調べてきたが、やや薄い氷に偏る傾向があった。1mを超える厚い氷も含めて海氷の一般的な特性を明らかにしたい。
 - 3) 厚い氷も含めた氷厚分布を明らかにしたい。
- ・ 目的

海氷の構造特性について
オホーツク海南部の海水コアを取得して解析し、成長過程にとって何が本質的であるかを明らかにすること。(年々変動、etc)

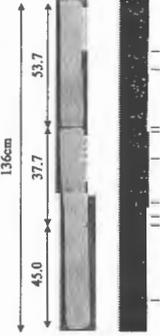
氷厚分布について
リモートセンシングの手法を用いて氷厚分布を把握する可能性について現場観測をもとに吟味すること。

Observation site



海氷コア: 27地点

海氷コア解析例 (2004 No.4)



136cm
53.7
37.7
45.0

密度 kg/m ³	塩分 ‰	δ ¹⁸ O ‰	ブライン体積 %
特徴			
・ 粒状氷が卓越 (全体の56%)			
・ 層状構造が明確 (平均層厚10cm)			
・ 表層に形成される snow iceが氷の内層に見られる。			
・ 厚さ約40cmの3個のice blockによって形成。			

Snow ice

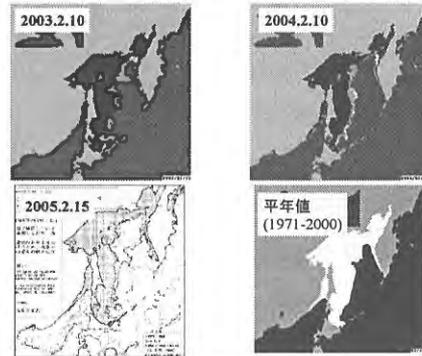
海水構造のまとめ

	N	Snow ice	Frazil	Columnar	g/c	平均層厚 平均ブロック長	
						Mean H _i	Mean B _i
2003	16	7%	59.8	29.6	3.5	8.6cm	34.5cm
2004	9	9.30%	48.6	36.9	5.1	14.8cm	34.7cm
2005	2	7.30%	9.9	79.4	3.4	13.5cm	32.1cm
Total	27	8.60%	48.2	38.6	4.6	11.9cm	35.4cm

有意な年々変動あり 20cm(inner) 12cm(outer) (Jeffries97)

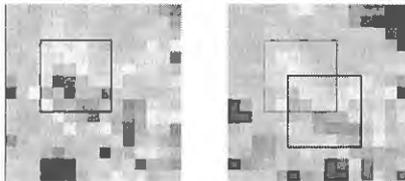
2004年ではなぜコラナー構造が卓越していたか？

観測時の水況概況



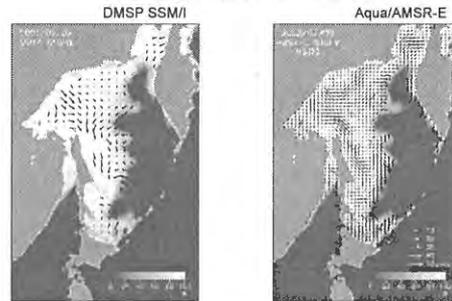
海水漂流速度の計算

使用するデータ: Aqua/AMSR画像 (89.0GHz輝度温度、6.25×6.25kmグリッド)



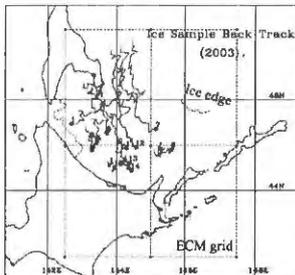
面相関法を用いて計算
窓画像の大きさ: 37.5×37.5km
画像の時間間隔: 24時間 (ascendingどうし、descendingどうしを用いる)
得られた結果に対しフィルタリングを行い、37.5×37.5kmグリッドの日平均データを作成

漂流速度分布の比較



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)

海水サンプルの後方漂流跡線解析 (2003年の例)



オリジナルデータ: AMSRから求めた日々の漂流速度
気象データ: ECMWF客観解析

$$X(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t-1} X'(i) \exp\left[-\left(\frac{t-i}{R}\right)\right]}{\sum_{i=0}^{t-1} \exp\left[-\left(\frac{t-i}{R}\right)\right]}$$

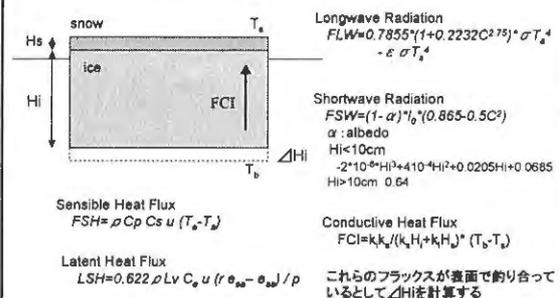
(R=100km)

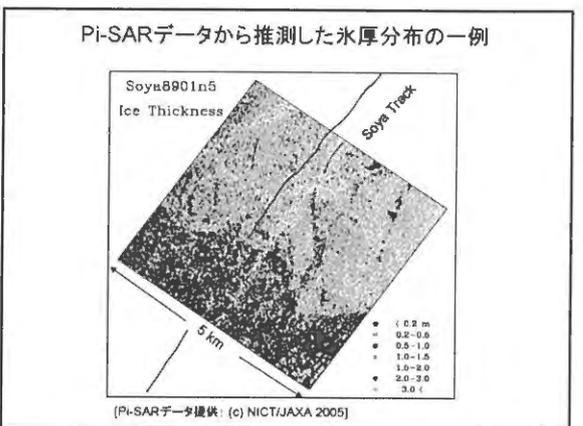
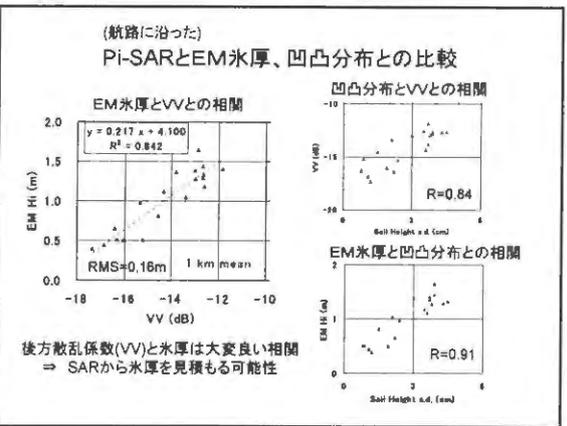
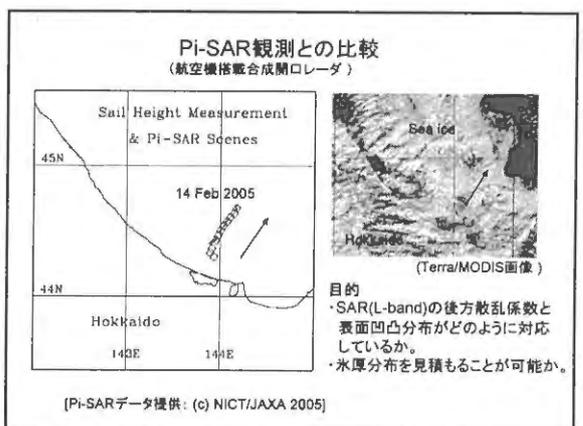
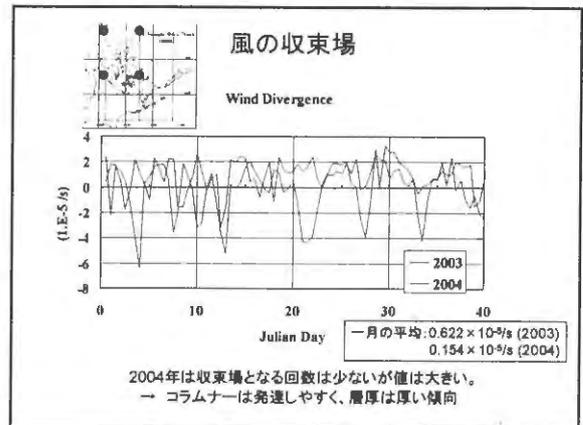
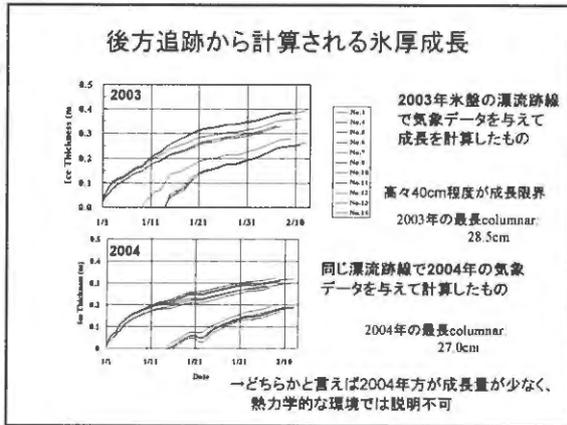
海水成長速度を計算する

下面結氷だけでどの程度成長が可能か？

2003年と2004年の特性の違いを説明可能か？

氷厚発達の計算方法





Summary

- 海氷の構造特性:
frazil iceが全体の約半分を占め、最も頻度が高い。また、いずれも層状構造が発達しており、主として結晶構造をもとに推定した平均厚度は約12cmであった。これらの結果から、氷厚発達過程においては、熱力学的な下面結氷よりも、frazil iceの累積、氷盤のrafting/ndgingという力学的な過程が本質と考えられる。
また、構造特性の年々変動も力学的な過程から説明可能であることが示された。北極域よりも南極域の海氷に近い特性と言える。
- 氷厚分布の見積もり:
表面形状分布は氷厚および後方散乱係数と良い相関があり、このため、Pi-SARデータから広域の氷厚分布を見積もることの可能性が示唆された。

Acknowledgment

- 海氷観測
: 巡視船そうや、一管海洋情報部(海上保安庁)、大島慶一郎(北大低温研)
- 電磁誘導センサー(EM)計測
: 宇都正太郎、岡修二、瀧本忠教(海技研)
- 航空機搭載型合成開口レーダー(SAR)データ提供
: 中村和樹(NICT)、江淵直人(北大低温研)