

オホーツク海の氷厚データセットの開発

館山 一孝 (㈱オホーツク流水科学研究所)

榎本 浩之 (北見工業大学土木開発工学科, 地球観測フロンティア)

1. はじめに

近年, 地球温暖化傾向が社会的に問題になり, 北極海の海水の薄氷化が注目され始めている (Rothrock et al., 1999). 大気-海洋相互作用において, 海水は熱・物質交換を制限する重要な役割を持っており, 海水の薄氷化が地球環境に与える影響は多大である. こうした背景で, 我が国は身近に凍る海であるオホーツク海を抱え, 海水を研究する場に恵まれてきたが, オホーツク海全域の氷厚変動は明らかになっていない. 本研究は, 唯一過去にさかのぼって現在の氷厚と比較することの出来る衛星データ, 特に昼夜・天候を問わず毎日のデータが存在するマイクロ波放射計データに着目し, 船舶の実測データと比較することで, 海水の厚さ情報の抽出とデータセットの開発を試みた.

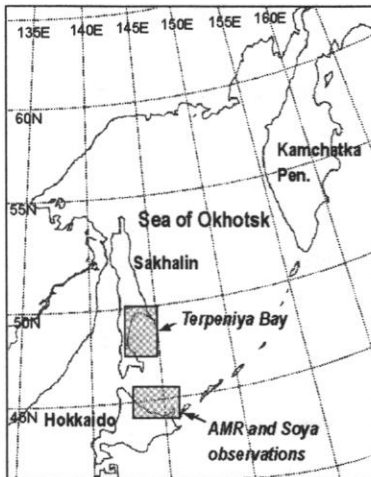


図1. オホーツク海における本研究の観測エリア. 灰色の四角で示されたエリアは船舶と衛星による氷厚実測ポイントを表す.

2. 使用したデータ

(1) マイクロ波データ

マイクロ波データは, 航空機搭載型マイクロ波放射計 AMR によるサロマ湖・オホーツク海南部の観測データと, 米国の軍事気象衛星 DMSP の7チャンネルマイクロ波放射計 SSM/I のデータを使用した. それぞれのセンサーのチャンネルを表1に示す.

表1. AMR と SSM/I のチャンネルと空間分解能

	AMR	SSM/I
周波数 (GHz)	6, 10, 18, 23, 37, 89	19, 22, 37, 85
偏波	V, H	V, H (22GHz は V のみ)
空間分解能	(0.16x0.44)~ (0.09x0.3)km ²	(25) ² ~(12.5) ² km ²

(2) 氷厚実測データ

氷厚実測データは, 1996 年から 1998 年の2月に行われた海上保安庁の砕氷船「そうや」による観測データを使用した. このデータは海上技術安全研究所と北海道大学低温科学研究所が図1に示すオホーツク海南部北海道沿岸域において, 航行中海氷の破断面をビデオカメラで連続撮影し, その後手作業によって氷厚を読取ったもの (Shimoda et al., 1997; Uto et al., 1999; Toyota et al., 1999) を提供して頂いた.

そうやの実測データからは 10cm 以下の薄い氷のサンプルデータが得られなかったため, 10cm 以下の薄い氷のデータは ADEOS 衛星の高性能可視近赤外放射計 AVNIR (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer) を用いた. オホーツク海で典型的な薄い氷であるダークニラスが十分な広さを持って長期間観測でき

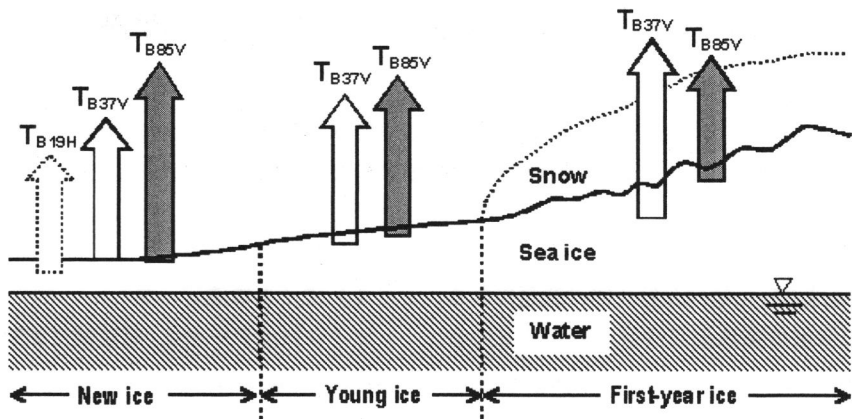


図 2. 海水のマイクロ波放射モデル. T_{B19H} は SSM/I の 19GHz の水平偏波, T_{B37V} は 37GHz の垂直偏波, T_{B85V} は 85GHz の垂直偏波の観測輝度温度をそれぞれ表している.

るのは、サハリン中部のテルペニヤ湾に限定される(図1)。このテルペニヤ湾で観測されたダークニラスの厚さを7cmに固定し、SSM/Iの放射輝度温度データと比較を行った。

表2に本研究で使用したマイクロ波データと実測氷厚データの概要を示す。

表 2. 本研究で使用した観測データのまとめ

Data	1996		1997	1998
Microwave Radiometer	AMR	SSM/I	SSM/I	SSM/I
Ground truth	Drilling	Ship	Ship AVNIR	Ship

3. 氷厚推定

氷厚推定にあたって、Cavalieri (1994) によって開発された一年氷より若い氷の種類を判別するパラメータ PR (Polarization Ratio) の氷厚識別性能を検討した。PR は次式で表され、海水表面の凹凸を反映した値である。

$$PR = [TB19V - TB19H] / [TB19V + TB19H] \quad \dots (1)$$

図3から、実証氷厚データと PR の相関は高

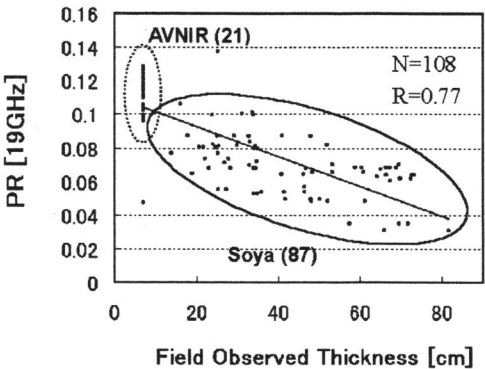


図 3. PR と実測氷厚の関係

く(R=0.77), PR は高い氷厚識別能力を持つことがわかった。しかしながら, PR は一年氷(氷厚 35cm 以上)と新生氷(氷厚 10cm 以下)の間で分散が大きい。このことから, 少なくとも例えば厚さ 60cm の海水を 10cm の厚さと混同しないようにするため, PR を補足するような新たなパラメータを開発し氷厚推定式を作ることが必要である。

上記の必要性から, サロマ湖上での AMR および地上検証のデータを用いて新たな氷厚識別パラメータの開発が行なわれた (Tateyama et al., 2000; Tateyama and Enomoto, 2001)。図4に示すように湖氷上ではマイクロ波放射計チャンネルの周波数が高くなるにつれて湖氷の厚さや積雪の有無といった表面状態の違いに対

する観測される輝度温度の変動が大きくなっていく傾向が見られた。

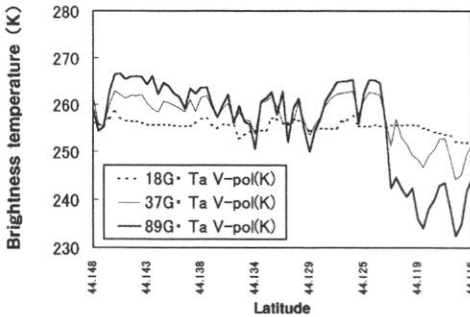


図4. 1996年2月17日に行われたAMRのサロマ湖観測結果。

サロマ湖のAMR観測結果から、次式で示される氷厚識別パラメータ $R_{37V/89V}$ が定義された。

$$R_{37V/89V} = T_{B37V} / T_{B89V} \quad \dots(2)$$

$R_{37V/89V}$ は 37GHz の垂直偏波 (T_{B37V}) と 89GHz の垂直偏波 (T_{B89V}) における輝度温度の放射特性の違いを反映し、89GHz の垂直偏波の変動が意味することを考慮すると、密接度が 100% の海水域では海水の厚さの違いを反映していることが予想される。つまり、 T_{B37V} は T_{B89V} に比べてほとんど一定とみなせるため、 $R_{37V/89V}$ の値が大きいときは T_{B89V} が低く、これは表面温度が低い、つまり氷厚が厚いことを意味し、逆に $R_{37V/89V}$ の値が小さいとき T_{B89V} は大きくなっており、表面温度が高い、つまり氷厚が薄いことを意味する。また、 T_{B89V} では開水面の判別が困難であるが、開水面を容易に判別できる T_{B37V} との比をとっているため $R_{37V/89V}$ での判別が可能になっている。このとき T_{B37V} は低くなり、 T_{B89V} はほとんど変化しないので $R_{37V/89V}$ は海水の値よりかなり低い値を示す。

SSM/I データへの適用の際、 $R_{37V/85V}$ が 0.92 以上 0.97 以下かつ $R_{19H/85V}$ が 0.70 以上 0.83 のとき次式で表される経験式を用いて新生氷を

識別する性能を強化した。

$$R_{37V/85V} = 0.3 \cdot (R_{37V/85V} - R_{19H/85V}) + 0.6 \cdot R_{37V/85V} + 0.29 \dots(3)$$

ここで、 $R_{19H/85V}$ は T_{B19V} と T_{B85V} の比を表す。図2に示したように T_{B19V} は他のチャンネルに比べて薄い海水でも浸透深さが比較的深いため、 T_{B85V} とのコントラストが得られて新生氷を識別することができる。

図5に示すように、 $R_{37V/85V}$ を用いることで薄い氷と厚い氷を明確に区別できることがわかった。

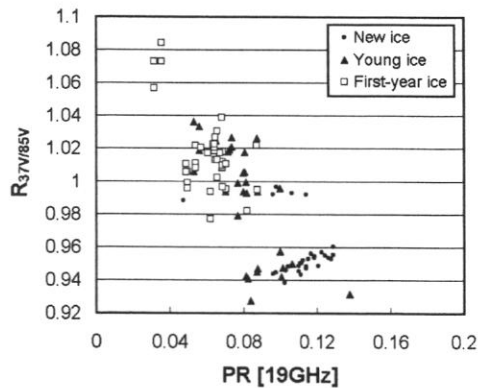


図5. PR と $R_{37V/85V}$ による海水分類. New Ice は実測氷厚が 10cm 以下, Young Ice は 10cm 以上 35cm 未満, First-year ice は 35cm 以上の海水をそれぞれ表す。

重回帰解析から、PR と $R_{37V/85V}$ の2つパラメータを用いた以下の氷厚推定式が求められた。

$$H = -537.33 \cdot PR + 83.88 \cdot R_{37V/85V} - 6.91 \quad \dots(4)$$

ここで $H(\text{cm})$ は推定氷厚を表す。

(4)式で得られた推定氷厚と実測氷厚の関係は図6に示され、相関係数は有意水準 95% で 0.81、標準偏差は 14cm という高い値が得られた。PR と $R_{37V/85V}$ を組み合わせて精度の高い氷厚推定式を得られた理由として、PR が全体的

に氷厚識別能力が高いことと、 $R_{37V/85V}$ ではニラスといった新生氷と厚い氷の間でコントラストが大きいなどの両者の利点の相乗効果で精度が向上したと考えられる。

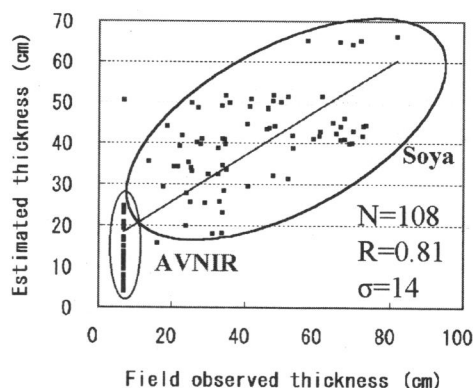


図6. PR と $R_{37V/85V}$ から(4)式によって求めた推定氷厚と実測氷厚の関係。

4. 氷厚データセット

本研究の成果から、今後も引き続きアルゴリズムの改良が必要とされているものの、初めてオホーツク海の氷厚を面的な時系列データとして得ることができた。現在処理が終わっている1991年12月から2001年4月に関してはCD-ROMにデータを保存して試験的に配布を行っているので興味のある方は連絡を頂きたい。CD-ROMに掲載されているデータは、毎日の氷厚分布及び密度度分布、オホーツク全体の海水面積、体積、平均厚さ、平均密度度、欠測点数の時系列である。近い将来、北見工業大学のWebサーバを通じて準リアルタイム(3日前)の氷厚分布データを配信する予定である。

この氷厚データセットから、気候モデルの精度向上やブライン排出量を計算して明らかにされることが期待される。

謝辞

AMRのデータ及びAVNIRの画像はNASDAから提供されたものを使用した。SSM/IのデータはNSIDC(National Snow and Ice Data Center)

からCD-ROMで供給されたものを使用した。そうやの氷厚データは海上技術安全研究所と北海道大学低温科学研究所が取得し処理したものを提供して頂いた。

本研究は宇宙開発事業団「IARC-NASDA 情報システム及び衛星データを利用する北極圏研究」(代表:榎本)の一貫として行われた。また、ホクサイテック財団の平成12年度若手研究者研究奨励補助金(申請名「人工衛星リモートセンシングによる海水の厚さ・体積情報抽出法の確立」)を受けて行われた。

参考文献

- Cavalieri, D. J. (1994): A microwave technique for mapping thin ice, *J. Geophys. Res.*, 99(C6), 12,561-12,572.
- Rothrock D. A., Y. Yu, and S. A. Maykut (1999): Thinning of the Arctic sea-ice cover, *Geophysical Research Letters*, 26(23), 3469-3472.
- Shimoda, H., T. Endo, K. Muramoto, N. Ono, T. Takizawa, S. Ushio, T. Kawamura, and K. Oshima (1997): Observations of sea-ice conditions in the Antarctic coastal region using ship-board video cameras, *Antarctic record*, 41, 355-365.
- Tateyama, K., H. Enomoto, S. Takahashi, K. Shirasaki, K. Hyakutake, and F. Nishio (2000): New passive microwave remote sensing technique for sea ice in the Sea of Okhotsk using 85-GHz channel of DMSP SSM/I, *Bulletin of Glaciological Research*, 17, 23-30.
- Tateyama K. and H. Enomoto (2001): Observation of sea ice thickness fluctuation in the seasonal ice covered area during 1992-1999 winters, *Annals of Glaciology*, in press.
- Toyota, T., J. Ukita, K. I. Ohshima, M. Wakatsuchi, and K. Muramoto (1999): A measurement of sea ice albedo over the southwestern Okhotsk Sea, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 77(1), 117-133.
- Uto, S., H. Shimoda, and S. Oka (1999): Preliminary study on sea ice observation using a ship-born laser altimeter, The fourteenth international symposium on Okhotsk Sea & sea ice and international workshop on rational evaluation of ice forces on structures abstracts, Mombetsu, 31 January - 4 February, 72-77.