

DMSP SSM/I の 85GHz を使用したオホーツク海海氷の観測

○館山一孝, 榎本浩之, 高橋修平, 百武欣二 (北見工業大学), 西尾文彦 (北海道教育大学釧路校)
Observation of Sea Ice Using 85GHz Channel of DMSP SSM/I in Sea of Okhotsk

○K. Tateyama, H. Enomoto, S. Takahashi, K. Hyakutake, F. Nishio

Microwave radiometer for 19GHz, 22GHz and 37GHz of DMSP SSM/I has been used for the sea ice observation. Although SSM/I has also 85GHz channel, this channel has not been used for sea ice observation, because this channel is considered to be affected by vapor. But, 85GHz has higher resolution than the other channels, and the effect of vapor is thought to be small in polar region in winter.

This study uses AMR (Airborne Microwave Radiometer) data which has 89GHz channel to develop new algorithm for sea ice classification, and attempted to apply the algorithm to SSM/I.

This study utilized ER (Emissivity Ratio) calculated by 89 or 85GHz channel as an available parameter. As a result, ER algorithm by using SSM/I dataset in Sea of Okhotsk could classify floe, thin ice, newly formed ice, fast ice and open water.

1. はじめに

現在、米国の衛星 DMSP に搭載されているマイクロ波放射計 SSM/I の 19, 22, 37GHz のデータセットが海氷モニタリングに一般的に使用されている。SSM/I は 85GHz のチャンネルも持っているものの、赤外領域に近い高周波であることから水蒸気の影響が考えられ、これまで海氷観測には使用されていなかった。しかし、85GHz は他のチャンネルの 2 倍の空間分解能を持っており、冬期の極域では水蒸気の影響が少ないので 85GHz が海氷観測に十分に使えるのではないかと現在注目され、利用が始まっている。

一方で我が国でも 1999 年に打ち上げ予定の ADEOS II では 89GHz のチャンネルを持つ高性能マイクロ波放射計 AMSR が搭載されるので、新しい解析法の開発が望まれている。また、2000

年には AMSR と同スペック・改良版の AMSR-E を搭載する NASA の衛星 EOS-PM1 が打ち上げられ、ADEOS II とともに国際地球観測システム (IEOS) を構成し、今後の海氷観測の主力になると期待されている。

本研究では表 1 のように AMSR と同じチャンネルを持つ NASDA の航空機搭載マイクロ波放射計 AMR の 1996 年 2 月に行われたオホーツク海における観測結果をもとに、新たな海氷分類のアルゴリズムの開発を試み、SSM/I への応用を行った。

表 1. AMSR, AMR, SSM/I のチャンネル

| センサー | 周波数 (GHz) / 偏波 | | | | | |
|-------|----------------|------|------|------|------|------|
| | 6.9 | 10.6 | 18.7 | 23.8 | 36.5 | 89.0 |
| AMSR | | | | | | |
| AMR | V, H | V, H | V, H | V, H | V, H | V, H |
| SSM/I | | | 19.3 | 22.2 | 37.0 | 85.5 |
| | | | V, H | V | V, H | V, H |

2. データと観測地点

使用したデータと観測期間を表 2 に示す。

表 2. 使用したデータと観測期間

| プラットフォーム / センサー | 観測期間 | 備考 |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|
| B-200 / AMR | 1996/02/17 | パッチャマイクロ波 VTR 画像有り |
| SPOT / HRV | 1996/02/17 | 可視 (マルチスペクトル) 分解能: 20m |
| DMSP / SSM/I | 1995/12/01 ~ 1997/03/31 | パッチャマイクロ波 |
| NOAA / AVHRR | 1996/03/01 ~ 1997/03/31 | 可視 (マルチスペクトル) 分解能: 1.1km |
| ADEOS / AVNIR | 1997/02/07 | 可視 (マルチスペクトル) 分解能: 16m |

AMR と HRV の北海道東岸のデータは NASDA との共同研究により使用した。SSM/I のデータセットは NSIDC から CD-ROM で配布されたものを使用した。AVHRR は北見工大で受信したもので、オホーツク海全域のデータを使用した。AVNIR は NASDA で受信・処理したもので、サハリン東部沿岸を使用した。

3. 解析方法

3.1 89GHz を使用した海氷分類アルゴリズム

AMR の 89GHz は海面と海氷の輝度温度の差が 10~20K あるので単チャンネルでも海氷分布を判別するのは可能であり、サロマ湖湖氷の観測から氷厚が厚いと輝度温度も高いという氷厚依存性も見られた。しかし、SSM/I の 85GHz の単周波では海氷の種類の違いはおろか、海氷分布さえも特定できない (佐々木, 1996) ため、他のチャンネルとの組み合わせによるアルゴリズムを検討した。

89GHz を使用した新たなパラメーターとして

37GHz との射出率比 ER (Emissivity Ratio) を用いた。射出率は物体固有の値であり、チャンネル i における輝度温度 $T_{B,i}$ とは

$T_{B,i} = \epsilon_i \cdot T$ (射出率) $\cdot T$ (物体の表面温度) の関係で近似されるので、射出率比 ER _{i} を

$$ER_{37V,89V} = \frac{\epsilon_{37GHz \cdot V-pole}}{\epsilon_{89GHz \cdot V-pole}} = \frac{T_{B37GHz \cdot V-pole}}{T_{B89GHz \cdot V-pole}}$$

と定義した。

ER では物体の表面温度がキャンセルされるため、寒い日や暖かい日、日射等によって値が揺らがないというメリットが考えられる。37GHz を選んだ理由は海氷の温度分布を反映しており、89GHz との比をとることで海氷の表面状態を分類することが期待されるためである。また、チャンネル間の浸透深さ・誘電特性の違いから ER が大きい値を取るときは海氷が厚いと予想される。(図 3 参照)

3.2 データサンプリング

AMR 観測の際に同時に撮影されていた VTR の画像から表 3 のように海面、氷盤 (1 年氷)、薄氷 (蓮葉氷)、ダークニラスをサンプリングした。

表 3. サンプリング項目

| 項目 | 特徴 | 氷厚 (推定) |
|--------|------------|---------|
| 氷盤 | 直径 100m 以上 | 30-60cm |
| 薄氷 | 蓮葉氷等 | 10-30cm |
| ダークニラス | 灰色の薄氷 | 5-10cm |
| 海面 | 密接度 0% | |

4. 結果

4.1 AMR の観測結果

AMR によるオホーツク海観測結果から、ER を使用した海氷分類は図 2-a のようになり、以下

のようなアルゴリズムが得られた。

- 氷 盤 : $1 < ER_{37V, 85V}$
- 薄 氷 : $0.86 < ER_{37V, 85V} < 0.96$
- 海 面 : $ER_{37V, 85V} < 0.86$

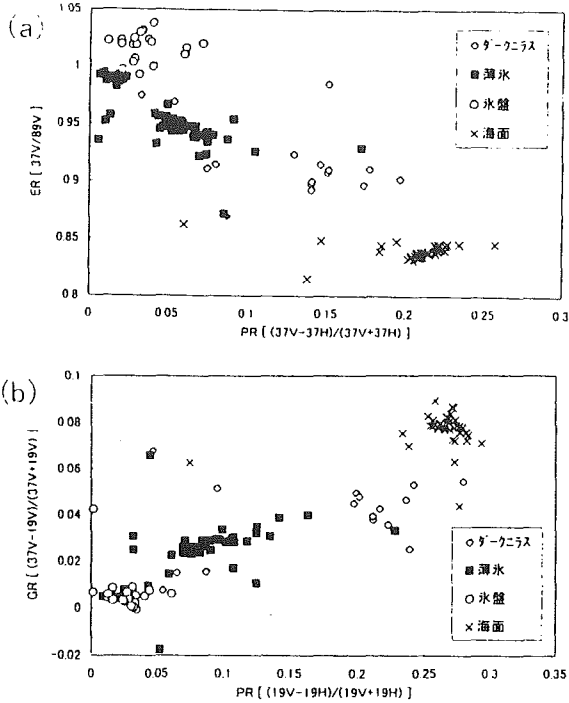


図 2 (a)ER アルゴリズムによる海氷分類
(b)NASA Team アルゴリズムによる海氷分類 (Cavalieri et al, 1992)

図 2-b の NASA Team のアルゴリズム (Cavalieri et al, 1992) による分類と比較すると氷盤と薄氷、海面の分離に優れていることがわかった。

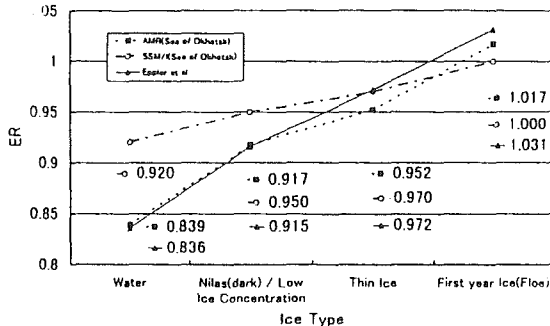


図 3. $ER_{37V/85V}$ による ICE TYPE の分類

図 3 は Eppler ら (1992) によって求められた射出率をもとに計算した $ER_{37V, 85V}$ と AMR 観測によって得られた $ER_{37V, 85V}$ を Ice Type に分類して示した図である。これを見ると、AMR の観測結果から設定した海氷分類が妥当であると思われる。

今回の観測結果では雲の影響は特に見られなかった。これは、もともと悪天候では観測しないことと、平均飛行高度が約 570m と人工衛星に比べてかなり低いため、水蒸気による影響が顕著なノイズとなるのに十分な大気の厚さがないためと考えられる。

4.2 SSM/I への適用

4.2.1 チャンネル合成

SSM/I の 85GHz の空間分解能 (12.5km) と他のチャンネルの空間分解能 (25km) が違うために、低分解能チャンネルの 1 ピクセルの値を図のように 4 倍してチャンネル合成した。

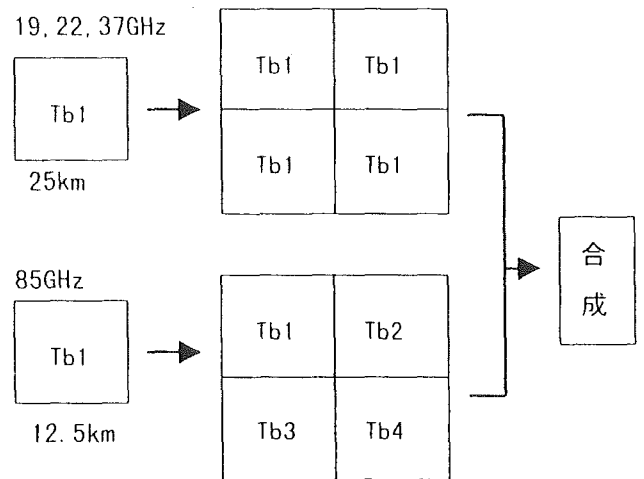


図 4. チャンネル合成の概念図

4.2.2 SSM/I 用 ER アルゴリズム

AMR で開発した ER アルゴリズムを SSM/I の

データを用いて海氷分類を画像化し、同じ日の AVHRR の可視画像と比較したことでこのアルゴリズムにはいくつかの改良が必要であることが分かった。

第一に AMR や過去の論文の結果と比較すると、使用しているセンサーの周波数が前者のものより若干低いために $ER_{37V, 85V}$ の値が図 3 のようになり、アルゴリズムの閾値の変更が必要となった。第二に顕著な水蒸気の影響が見られるためノイズの除去が必要なこと、第三にオホーツク海で広域に見られる沿岸ポリニヤの薄氷と他の薄氷域と区別するために新たなパラメータが必要となった。

4.2.3 水蒸気によるノイズの除去

全体を通して水蒸気の影響が比較的小さく、特にオホーツク海ではほとんど水蒸気の影響は見られなかった。しかし、3 月以降に太平洋や日本海で低気圧性の雲による顕著なノイズが見られる日が何日かあった。このノイズを除去するために様々なチャンネルの組み合わせを試したが、Comiso (1994) が使用している Weather Filter の

$$TB_{22v} - TB_{19v} > 14$$

がシンプルで分離性能が高かった。NOAA の可視画像と比較した結果、上記の Weather Filter では閾値が低いためノイズが除去しきれないことがわかり、本研究では、

$$TB_{22v} - TB_{19v} > 12$$

と設定した。

4.2.4 薄氷域の詳細な分類

ポリニヤは

1. 海氷域内で直線的でない輪郭で囲まれた開水面。
2. 1 のような海氷域内で砕け氷が浮いていた

り、厚さ 30cm 以下の薄氷がはっている状態。と雪氷辞典（日本雪氷学会編，1990）で定義されている。ER アルゴリズムでは AVHRR との比較から 1 の開水面は十分に判別できることが確認された。しかし、2 の 'Very Thin Ice' とはいえる薄氷のはった沿岸ポリニヤは判別できなかった。オホーツク海沿岸では徐々に氷厚が増加する数百 km もの広域な沿岸ポリニヤが長期的に存在し、何故この不安定な状態が長期間持続するのか注目されている。

本研究ではこの薄氷のはったポリニヤを新生氷というカテゴリーで区別し、19GHz の水平偏波と 85GHz の垂直偏波の ER（以後 $ER_{19H, 85V}$ ）を使用して $ER_{37V, 85V}$ との差を求め、

$$0.30 > ER_{37V, 85V} - ER_{19H, 85V} > 0.23$$

で新生氷と設定した。19GHz の水平偏波は新生氷と薄氷域の輝度温度の差が 10~30K であり、新生氷判別のパラメータとして使用した。

表 4. ER アルゴリズムとカラーテーブル

| 項目 | 閾値 | カラーテーブル |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 開水面 | $ER_{37V, 85V} < 0.92$ | 水色 |
| 新生氷 | $0.92 < ER_{37V, 85V} < 0.97$ $0.23 < ER_{19H, 85V} - ER_{37V, 85V} < 0.30$ | 黄 |
| 低密接度域 | $0.95 < ER_{37V, 85V} < 0.97$ | 緑 |
| 薄氷域 | $0.97 < ER_{37V, 85V} < 1.00$ | 青 |
| 氷盤域 | $1.00 < ER_{37V, 85V} < 1.20$ | 紫 |
| 沿岸定着氷 | $1.20 < ER_{37V, 85V}$ | 白 |

4.3 ER アルゴリズムの評価

ER アルゴリズムによる SSM/I の海氷分類図を図 5-a に示す。同日の AVHRR の画像（図 5-b）と比較すると氷盤、薄氷、ポリニヤ、沿岸定着氷の分類が良く表現されていることがわかる。さらに、陸地の影響による沿岸部のノイズ（長、

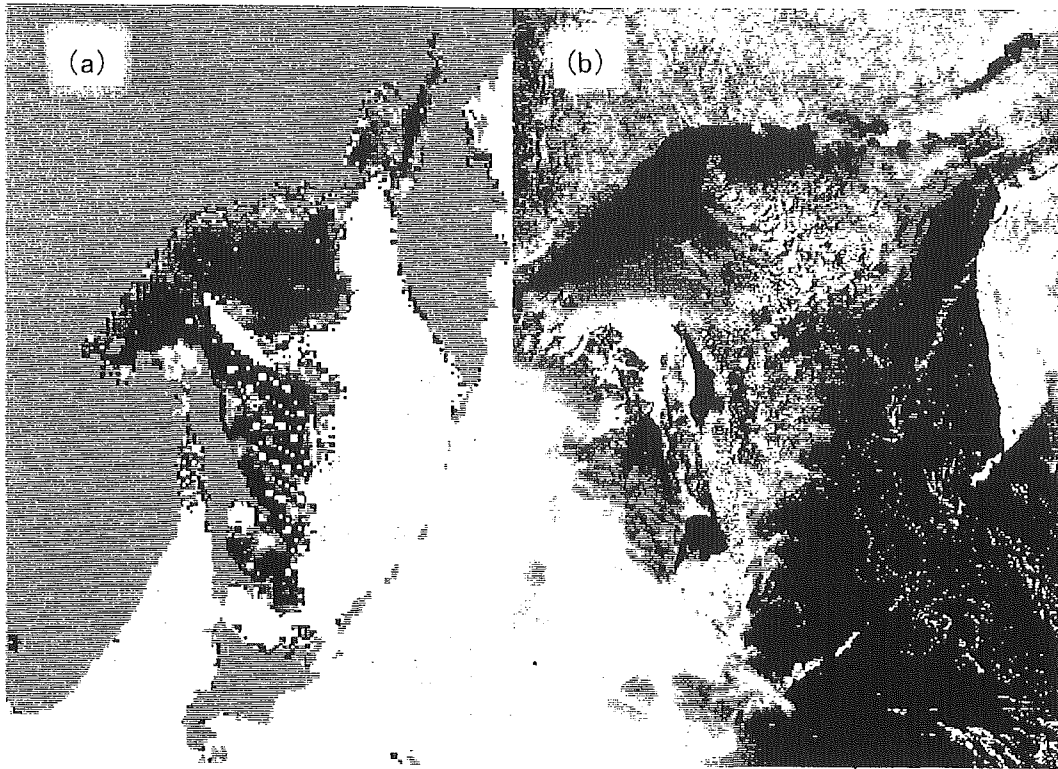


図 5. 1996 年 3 月 30 日のオホーツク海の海水分布

- (a) SSM/I データを使用した ER アルゴリズムによる海水分布図
- (b) AVHRR の ch1, ch2 の合成可視画像

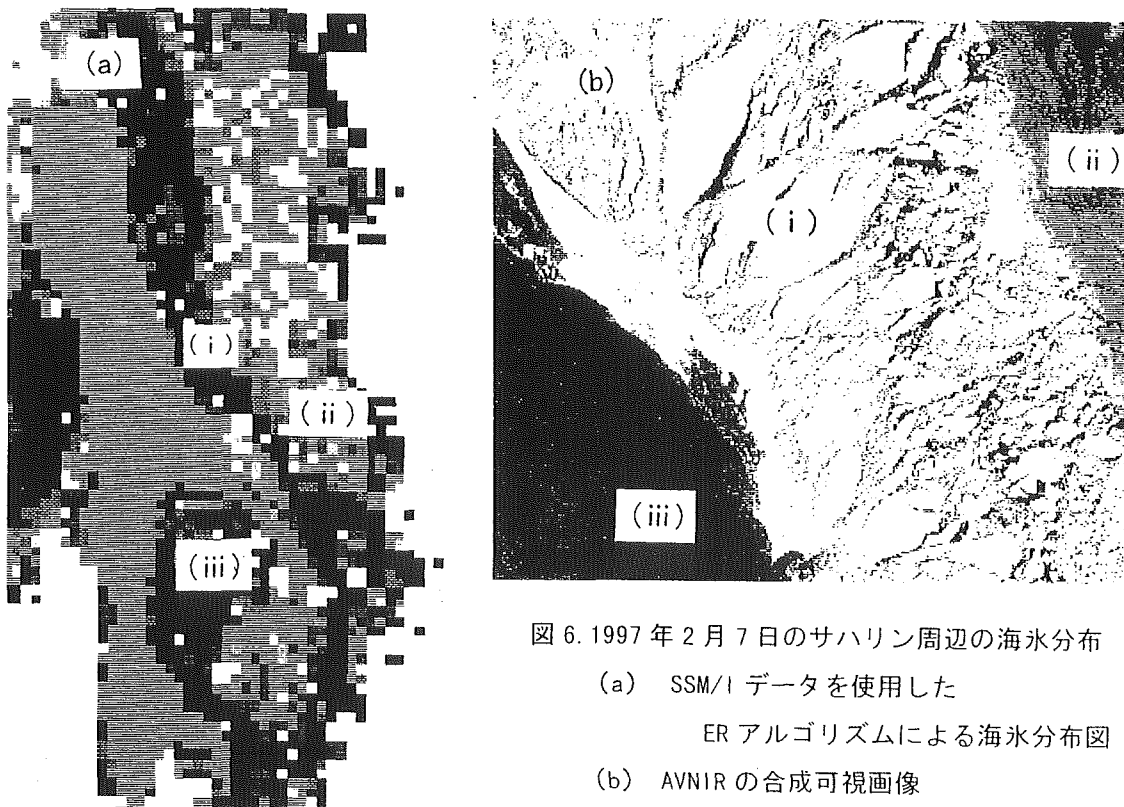


図 6. 1997 年 2 月 7 日のサハリン周辺の海水分布

- (a) SSM/I データを使用した ER アルゴリズムによる海水分布図
- (b) AVNIR の合成可視画像
- (i) 氷盤域 (ii) 薄氷域 (iii) 新生氷域

1996) が減少し、空間分解能が 2 倍になったことから北海道等の沿岸付近での海氷分布も議論できるようになった。

詳細な可視画像との比較をするために、AVHRR の分解能より約 70 倍高精度の AVNIR の画像と比較した。AVNIR がこの高分解能から新生氷・ニラスと開水面の判別が可能であることを利用し、サハリン東部沿岸とテルペニア湾において氷盤域、薄氷域、新生氷域と比較した。

結果として、サハリン東部沿岸を東樺太海流に乗って南下してくる氷盤群とそれより沖の薄氷域とは明瞭に区別できた。また、テルペニア湾の新生氷も開水面や他の薄氷域と区別ができていた。

5. まとめ

85GHz を使用した新しい海氷分類アルゴリズムとして 85GHz の垂直偏波と 37GHz の垂直偏波の比 $ER_{37V-85V}$ と 85GHz の垂直偏波と 19GHz の水兵偏波の比 $ER_{19H-85V}$ を定義した。Weather Filter には Comiso (1994) の $TB_{22V}-TB_{19V}$ を用いた。これらのパラメーターを海氷分類を行った。

その結果、従来のアルゴリズムの 2 倍の分解能であるため、これまでわからなかった現象や細かい地形の結氷状態まで判別できた。また、従来より表現力が豊かな海氷の表面状態の分類ができた。

6. 今後の課題

ER アルゴリズムでは結氷面積の見積もりと表面状態の分類が可能であるが、密接度計算ができないため改良が必要である。

また、オホーツク海では ER アルゴリズムで良い結果が得られたが、北極海・南極海への適

用にはまだ問題がある。今後はこれを解消し、オホーツク海と同様な季節的に結氷するバレンツ海、ポリニヤが見られるラプテフ海、ノースウォーター等、現地の実測データが取られている地域との整合性を検討したい。

参考文献

Cavalieri D.J. et al , NASA sea Ice Variation Program for the DMSP SSM/I : Final Report, NASA Technical Memorandum 104559 , NASA , 1992

長 幸平ら , オホーツク海における SSM/I データを用いた海氷密接度アルゴリズムの評価と改良 , 日本リモートセンシング学会誌 , Vol.16 , No2 , pp.47-58 , 1996

COMISO J.C. , Ice concentrations derived using the bootstrap algorithm , NSIDC Letter attached CD-ROM , 1994.

DUANE T.EPPLER et al , Passive Microwave Signatures of Sea Ice , Microwave Remote Sensing of Sea Ice , Geophysical Monograph 68 , pp.47-71,1992

日本雪氷学会編 , 雪氷辞典 , 古今書院 , 1990

佐々木 保徳 , 海氷 , 気象研究ノート , 第 187 号 , pp.37-51, 日本気象学会 , 1996