

衛星センサー(SSM/I, AVHRR, SAR)および流氷レーダーによる オホーツク海南部の海水移動観測

榎本浩之^{1,2}、木村詞明³、羽二生博之¹、長谷川智一¹、館山一孝⁴、白澤邦男⁵、浦塚清峰⁶

¹北見工業大学、²観測フロンティア、³NASDA/EORC、⁴オホーツク流氷科学研究所、⁵北大低温研、⁶通信総合研究所

1. はじめに

海氷移動の観測は、海氷密度、海氷厚さと組み合わせることにより、海氷のmass fluxの検討を可能し、海氷域の気候研究にとって重要である。また海氷域での防災のための情報としても重要である。近年、衛星観測による海氷移動解析が行なわれるようになってきたが(NSIDC, http://nsidc.org/NASA/GUIDE/SSMI/SSMI_tech_note.pdf)、これは全天候性のマイクロ波センサーが利用できるようになり、比較する画像ペアが得られやすくなったためである。マイクロ波データとしては、北大低温科学研究所の流氷レーダーのような陸上設置型の沿岸レーダーの利用(石田,1975 大井,1993、大井ほか 1997)、衛星搭載型の合成開口レーダーやマイクロ波散乱計、マイクロ波放射計などがある。また、可視や赤外の観測データは、好天時のみの観測となるが、観測の空間分解能、時間分解能が優れているため詳細な観測が可能となる。この研究では現在利用できるデータより作成された海氷移動の観測結果を比較し、空間・時間分解能、観測域の広さの違いの有効性を検討した。

2. 使用したデータおよび解析方法

この研究ではRADARSAT 衛星の合成開口レーダー(SAR)、NOAA衛星のAVHRR、DMSP衛星のマイクロ波放射計 SSM/I らの衛星センサーによる観測および北大低温研流氷レーダーによる観測を比較した。観測日は1998年2月24-25日である。この期間、上記のセンサーの組み合わせによる観測が可能であった。1998年2月24-25日はRADARSAT SARの12時間観測モードによる観測が実施され、また同時期の2月24日にはAVHRRについては3時間のインターバルをおいた観測ペアがあり、SSM/I データは1日1回の観測が早朝に行なわれていた。また、流氷レーダー観測データは3時間毎の連続観測データがあるので、より詳細な海氷動態の観測が可能であった。

表1にこの研究で使用した各データの観測範囲、空間分解能および観測時間を示す。

表1 使用したデータ

センサー	観測範囲	空間分解能	ウィンドウ	観測間隔
SSM/I	オホーツク海全域	12.5km	75km	1日(連続)
AVHRR	オホーツク海南部	1.1km	13km	3時間
SAR	紋別沖(100x100km)	20m	5km	12時間
流氷レーダー	北海道沿岸	数十m~	数km	3時間(連続)

補足1. 観測間隔は、「連続」とあるものはこの時間間隔で定期的な観測が続けられているもの、その他は観測軌道、天候などの条件によって影響される。2. RADARSAT/SARはdawn/duskモードという日の出/日没時の1日2回の観測モードを使用した。3. NOAA/AVHRR観測可能日の割合:雲量50%以下で、地表面が観察可能な日はオホーツク海北部(北緯50度以北)で冬期間(12月~3月)の約4割程度、南部(北緯50度以南)では約2.5割。(12月、1月:北部 約1.5割、南部 約0.5割。2月、3月:北部 約6.5割、南部 約4.5割)(1999年の場合)。

海氷移動ベクトルの算出は、面相関法を用いて行なった。SSM/Iは12.5kmのデータを6x6のウィンドウで、AVHRRについては12x12kmのウィンドウで相関のある場所を探している。SARは9x9、流氷レーダーはいったん GIF フォーマットの画像に収録し、各ピクセルを約100mグリッドに再分したものを、5x5のウィンドウで計算している。計算後のベクトルについては、周辺のベクトルとの相関を検討して、異常な計算結果を取り除く操作をしている。

3. 結果

SSM/I SSM/I による海氷動態観測は近年、盛んに開発/改良、利用されてきた(Kimura and Wakatsuchi, 2000)。SSM/I により、半球スケールの広域において、毎日~3日毎の定期的な海氷移動観測が可能である。図1にSSM/Iより得られた北半球およびオホーツク海の観測結果を示す。細実線は地上気圧の等値線であり、海氷の移動は地衡風と良い相関があることが Kimura and

Wakatsuchi (2000) によって調べられている。図1では75km間隔でベクトルが表示されているが、100km以上のスケールをもつ移動の観測が可能である。

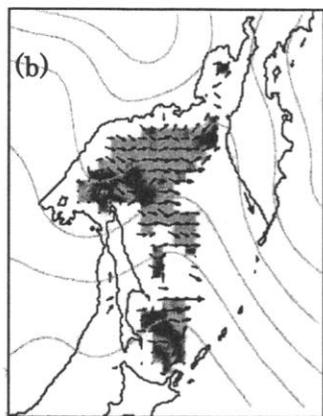
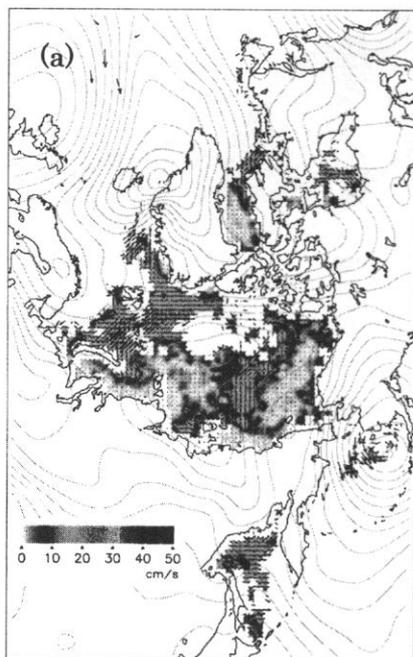


図1 SSM/Iより得られた(a)北半球及び(b)オホーツク海の観測結果(観測間隔:1日、1998/02/24-25)。

AVHRR 次に、NOAA/AVHRRの観測結果を図2に示す。NOAAによる海氷移動の観測は、これまで行なわれていたが、悪天時の観測ができないため、連続データを得ることは難しかった。しかし、

一辺数百キロの観測範囲において、1.1kmの分解能による観測から得られる海氷移動データは有効であり、図1では海洋の渦が、海氷をトレーサーとして観測されている。このように数10kmのサイズを持つ沿岸部の海氷渦の観測にはAVHRRが有効である。またAVHRRの可視画像と組み合わせて使用することもできて、海氷状況を表すのに利用できる。さらにマイクロ波放射計などの海氷分布・移動解析の検証データとしても有効である。AVHRRによる観測は天候に影響されるが、観測可能な場合は沿岸付近まで観測が可能になる。SSM/Iでは沿岸付近、約100km以内の観測は、現在の解析精度では難しい。



図2 NOAA/AVHRRによる海氷移動解析。(観測間隔:3時間)

SAR SARの解析からは詳細な海氷運動の様子が観察された(図3)。この解析結果は2月24日17時より2月25日5時の12時間の観測インターバルでの解析結果である。海氷域の回転、発散や変形なども詳細に観測が可能である。

流氷レーダー 次に流氷レーダーによる観測データの結果の例を図4に示す。流氷レーダーの3時間毎に記録されているデータからは、海氷の動きが時間とともに変化し、15-18時では北西に向かっていった海氷が、やがて北向きに、さらに東向きになったことがわかった。SARの解析結果は、これらの変化の最初と最後の比較から抽出されたものである。紋別オホーツクタワーの気象データは、原因と考えられる風向の変化を示していた。



図3 RADARSAT SAR(1998/02/24 17:25-25 05:36)による海氷移動解析。

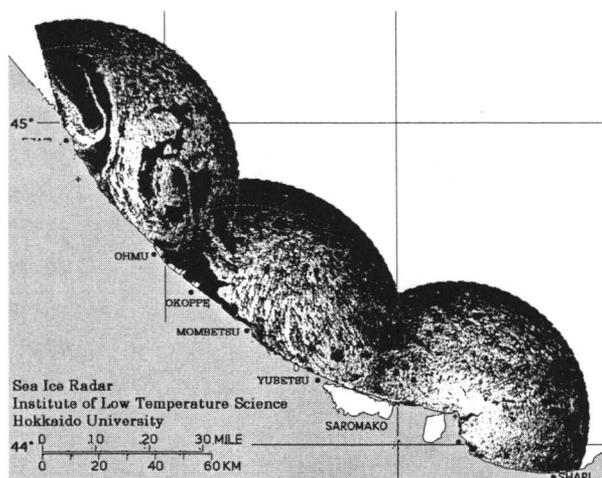


図4 北大流氷レーダーのペア画像により得られた海水の動き (1998/02/24 18:00-21:00 観測間隔3時間)。

4. 沿岸防災の観点から

- 観測の問題点と改良について-

a) 観測頻度

各センサーの解析結果の比較から、SSM/I による広域の観測及び毎日の定常観測の有効性が、AVHRR からは100km程度半径の海氷の回転など詳細な観測が可能であり、SAR からはさらに詳細な観測、流氷レーダーでは詳細かつ短いインターバルの観測で複雑な動態が観測できることがわかった。海氷変動のモニターや防災の観点からは、連続した観測が必要であり、それを可能にしているのは現在のところSSM/Iと流氷レーダーである。

また、同空間分解能であっても観測インターバルが長くなると、SARと流氷レーダーの比較から見られたように、詳細な動態観測が難しくなってくる。SSM/Iのようなマイクロ波放射計の観測インターバルの向上は、Ascending、Descendingの両モードを使うことにより2倍になる。さらに2つの衛星に搭載されることが予定されており、1日4回の観測が可能になる。観測インターバルの増加は観測空間分解の向上を伴っていなければ、有効な解析ができないが、AMSRでは空間分解能が約2倍向上するため将来の利用が期待される。

b) 沿岸部の観測

SSM/Iは広域観測では利点があるものの、沿岸

部の海氷移動の観測に限界がある。

北海道の防災上の観点からは、沿岸部で海氷の動きが重要であるため、現在のところ有効な連続観測方法は流氷レーダーのみである。マイクロ波放射計も空間分解能も2倍になるがそれでも、現在の面相関解析手法では沿岸域50km内の観測や100km以下の渦の観測は依然難しい。沿岸部では、面相関法のウィンドウサイズにより解析が制限されているので手法の改良が必要である。

c) 海氷の移動の不確定さと渦の影響

サハリンにそって南下する流氷が、どこに流れてくるかという問題は、サハリン沿岸での油流出事故などの対策上重要な問題である。サハリンから南下したブイデータ (Mochizuki et al., 1995) からは、サハリン沿岸では単調だった移動がサハリン通過後に海氷縁辺部付近で経路が複雑になったことが示されている。複雑な海洋の渦のどこに乗るか、どこで海氷縁に近づくかによってその後の進路に大きな差があることが示唆される。このような渦の観測にはAVHRR程度の観測分解能が必要である。

d) 分解能の改良(100km以下の渦の観測)

将来は、AMSRなどのセンサーによる観測が期待される。今のところ、SSM/I 85GHzの輝度分布そのものの連続表示による海氷の渦構造の観測

が有効である。面相関法では表示・追跡しにくい海氷動態が、連続画像の観察からは推定される。図5に画像のサンプルと観測例を示す。



図5 フィルター処理後のSSM/I 85GHzの連続画像表示によって観察されたオホーツク海南部の海水渦の例。

面相関法では観測空間分解能が悪くなるので、AVHRR並みの詳細な観測に追いつくには、粒子追跡のような手法など、本来の分解能をなるべく維持したままでの特徴的な構造を追跡できるような手法の検討が必要であろう。また、大井ほか(1997)のような微小単位での特徴抽出による追跡方法の衛星への利用も今後の課題である。

5. まとめ

測定インターバルや空間分解能、観測範囲の異なる多種類のセンサーによる海氷移動の観測の比較から、広域の海氷移動、中規模の渦の影響、沿岸部の複雑な海氷の動きの観測に対し、以下のような結果が得られた。

1. SSM/I による観測は全天候性で、毎日の観測も可能であり、広域の海氷運動の観測に有効である。ただし、沿岸部の解析、直径200km程度以下の渦の観測などは難しい。

2. AVHRRは沿岸付近まで観測が可能になる。数10kmのサイズを持つ渦や、沿岸部の海氷観測にも有効。ただし、天候に左右される。オホーツク海南部での利用は難しいことがあるが(1999年の例)、北部では観測頻度は良好である。
3. SARでは数km程度のスケールで、詳細な海氷運動が観察可能。データの連続入手が課題。
4. 流氷レーダーは、観測範囲は狭いものの、SSM/Iのカバーできない沿岸部をカバーする。また衛星観測のインターバル時間内での、短時間の複雑な運動の観察が可能である。

謝辞 使用したSSM/IデータはNSIDCより、SARデータはRADARSATより提供された。本研究は宇宙開発事業団「国際北極圏研究センター(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)の一環として行われた。また学術振興会科学研究費「衛星ミリ波画像を用いたオホーツク海の流氷流動解析における流体工学的計測技術の応用」(代表:羽二生)の補助を受けた。

参考文献

- 石田 完(1975)レーダ情報の数値解析による流氷の流動、低温科学物理編、33、173-176。
- Kimura, N. and M, Wakatsuchi (2000) Relationship between sea-ice motion and geostrophic wind in the Northern Hemisphere, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 3735-3738.
- Mochizuki, S., Aota, M., Takatsuka, T. and Truskov, P. (1995) Tracing of ice flow in Sea of Okhotsk by satellite-tracked drifters, *Proc. 10th Intern. Symp. Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu, Japan 192-197.* (in Japanese with English abstract).
- 大井正行(1993)残差推定法によるレーダ画像間の移動ベクトルの算出、第7回札幌国際コンピュータグラフィックスシンポジウム、Nov.29-30,札幌
- 大井正行、石川正雄、田内康、横山悦郎、野村厚志、三池秀敏(1997)オプティカルフローによるレーダ動画像の速度ベクトル場の算出、第2回インタメデアシンポジウム、Mar.11-12,札幌。