

人工衛星データを用いたオホーツク海における海氷移流経路の年変動の解析
Analysis of interannual differences in sea-ice tracks in the Sea of Okhotsk by using satellite images

学籍番号 47096657 西崎 大祐

指導教員 山口 一 教授

(平成 23 年 3 月 24 日修了予定)

Keywords: 海氷, オホーツク海, リモートセンシング, 海氷移流経路

Keywords: Sea ice, Sea of Okhotsk, Remote sensing, Sea-ice track

1. 序論

オホーツク海は最も低緯度にある季節海氷域であり、2月から3月には北海道沿岸域も海氷で覆われる[1]。海氷は中に植物プランクトンや栄養分を閉じ込めて漂流してくることから、好漁場を形成するための極めて重要な存在と考えられている[2]。また、海氷はサハリンでの資源開発に伴う汚染物質や流出油といった様々な物質を運んでくる可能性がある。さらに、海氷の由来によって北海道沿岸域の氷況が異なると予想される。こうしたことから、北海道沿岸域に漂流して来る海氷がどこから、どのように来るのかを把握することは重要である。

しかしながら、北海道沿岸域に達する海氷の移流経路についての研究は殆ど無い。これは海氷の動きに関する現場観測が困難なためである。過去には Kimura (2010) [3]が人工衛星データを解析することで、海氷の動きおよび移流経路を算出する方法を示した。

本研究では[3]をベースに、2種類の人工衛星による観測データから、オホーツク海の家氷漂流速度データセットを作成し、北海道沿岸域に達する海氷の移流経路の算出を行う。また、解析結果を用い、海氷移流経路を決定する要因および北海道付近の家氷の移流経路と海氷厚さとの関係を考察する。さらに、解析により得られた知見から、オホーツク海における海氷の挙動に関する今後の研究への提言を行う。

2. 研究手法とオホーツク海南部の海氷の挙動

2.1 使用データの特徴と手法の全体像

本研究では AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS) および AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) の2つのセンサーから得られる人工衛星データを用いた解析を行った (Fig.2)。AMSR-E は国産のマイクロ波放射計であり、本解析では周波数 89GHz チャンネル画像を海氷漂流速度の計算に使用した。分解能は 6.25km である。AVHRR は可視・赤外放射計であり、分解能は 1.1km である。その画像データは、同データを受信・処理している北見工業大学雪氷研究室提供のものを使用した。

各センサーにはそれぞれ長所、短所が存在する。AMSR-E の長所は雲や日射条件の影響を殆ど受けないため、広範囲の連続した観測が可能であるという点である。しかしながら、分解能が粗いため局所的な海洋現象を捉えることができない。

一方の、AVHRR は分解能が良く、細かい空間スケールでの海洋現象に伴う海氷の動きを捉えることが可能である。しかし、可視・赤外域を観測していることから、曇っている部分の家氷が観測できないという短所をもっており、データの時間的、空間的な連続性に乏しい。

そこで、本研究ではこれら2つのセンサーから得られるデータを使用し、各センサーの長所を活かし、短所を補う解析を行った。

2.2 衛星データの解析手法

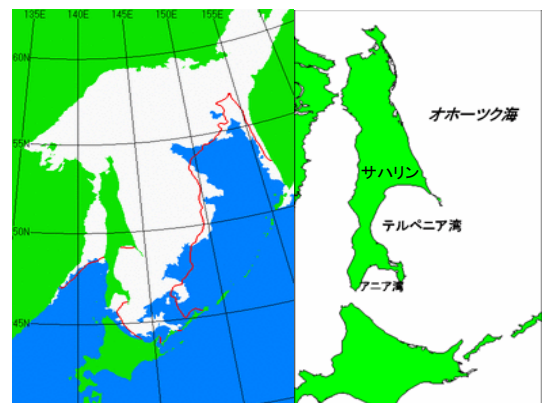


Fig.1 Sea of Okhotsk (left: sea-ice distribution on March,10 2010)[1]

2.2.1 AMSR-E

解析期間は 2003 年から 2010 年までの 8 年間である。本研究では AMSR-E データから得られる海水漂流速度グリッドデータは、[3]によって作成されたデータを使用した。これは、画像内に設定した窓画像内の輝度温度分布のパターンマッチングにより漂流速度を算出したものである。

Fig.3 は AMSR-E データの解析により得られる海水漂流速度の例（以下、AMSR-E-velocity とする）を示したものである。AMSR-E データは雲の影響を殆ど受けないことから、毎日の海水漂流速度グリッドデータを作成することが可能である。

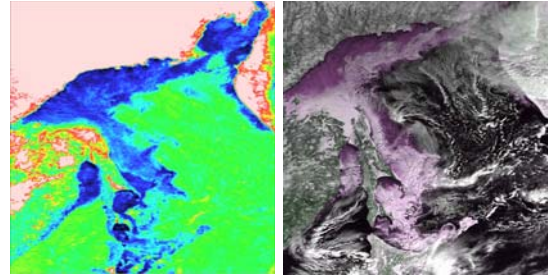


Fig.2 Satellite images (left:AMSR-E , right:AVHRR)

2.2.2 AVHRR

AVHRR 画像からの海水漂流速度の算出は、氷盤を目で追跡することにより行う。晴れており、かつ氷盤が認識できる日の画像データを選び、連続した画像上の氷盤の移動を追跡する。そして、各氷盤の移動分から算出した漂流速度データを距離による重み付けにより補間し、37.5km×37.5km の海水漂流速度グリッドデータを作成した。Fig.4 は補間後の海水漂流速度のグリッドデータ（以下、AVHRR-velocity とする）を示したものである。この図は Fig.3 と同じ日のものであるが、テルペニア湾南部に存在する時計回りの渦など、AMSR-E データでは捉えることのできなかつた細かいスケールの海洋現象に伴う海氷の動きが捉えられている。AVHRR 画像を用いた海水移流の追跡が可能な日は年間 15 日程度である。

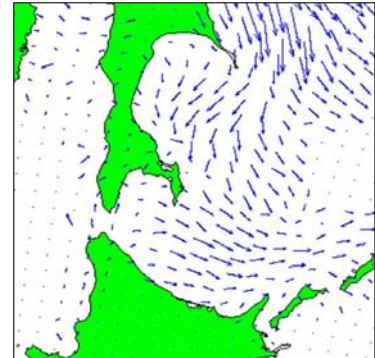


Fig.3 AMSR-E-velocity (ex:on March 1,2005)

2.2.3 補正データ作成

毎日の AMSR-E-velocity に AVHRR-velocity で捉えられた細かいスケールの動きを取り入れるため、以下の手順で補正 AMSR-E-velocity の作成を行った。

まず、得られた AVHRR-velocity の各グリッドの値から、同じ日にちの AMSR-E-velocity の各グリッドの値を減算する。Fig.5 は AVHRR-velocity (Fig.4) から同日付 AMSR-E-velocity (Fig.3) の値を減算した結果を示したものである。この「差」は AMSR-E で捉えることのできなかつた細かいスケールの海洋現象による海氷の動きを反映したものであると考えられる。「差」には一冬の間定常的なものとそうでないものがある。テルペニア湾南部の渦に代表される局所的な流れの多くは一冬の間定常的に見られる。そのため、基本的に AMSR-E-velocity の補正は、「差」の各年の平均値を計算し、それを毎日の値に加算することによって行う。しかし、テルペニア湾中央の海域においては、その海氷の疎密により海氷の漂流方向が変化し、「差」が一冬の間一定とみなすことが妥当でないことが分かった。そこで、この海域のみ海氷密度により年平均の「差」を場合分けし、AMSR-E-velocity の補正を行った。

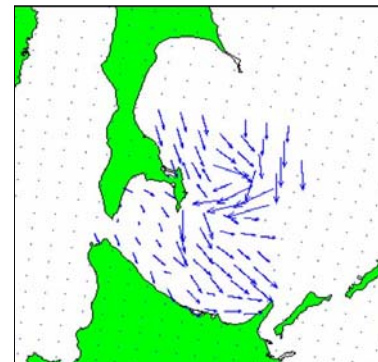


Fig.4 AVHRR-velocity (ex:on March 1, 2005)

2.3 移流経路算出

AVHRR-velocity を用いて補正した AMSR-E-velocity を積分することで、海氷の後方軌跡を算出する。結果の妥当性を検証するため、後方軌跡の計算結果と、AVHRR 画像から長期間追える氷盤を選び、その位置を追跡した結果の比較を行った。(Fig.6,7) 青線は AVHRR 画像を用いた氷盤追跡の結果を、赤線は後方軌跡の算出結果を示しており、各箇所かで計算開始の日付と氷盤及び粒子の位置を合わせてある。補正前 (Fig.6) と比べ、補正後の AMSR-E-velocity を用いた計算結果 (Fig.7) には、大幅な精度の向上が見られた。

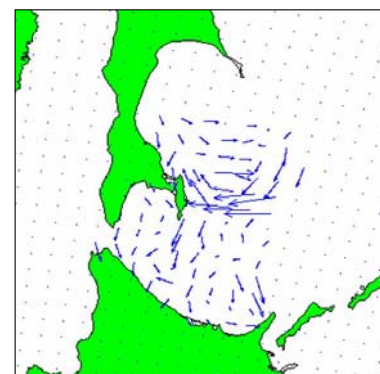


Fig.5 difference between AVHRR-velocity and AMSR-E-velocity (ex:on March 1, 2005)

3. 海氷の移流経路とその由来

3.1 移流経路算出

AMSR-E-velocity を補正した2003年から2010年までの海氷漂流速度データを用いて、各年の海氷移流経路を算出した。北海道沿岸域の海氷の勢力が最も強くなる時期は2月上旬から3月上旬と、年によって異なるが、ここでは3月1日の時点で北海道沿岸域に存在する海氷がどこから、どのような経路で漂流してきたのかを見ていく。Fig.8は2003、2004、2007、2008年の海氷の後方軌跡の算出結果である。北海道沿岸付近の10点に粒子を配置し、各点3月1日から前年12月15日までの計算を行った。これらの結果から、北海道沿岸域の海氷の移流経路は年と場所によって大きく異なることが分かった。

大部分はサハリン中～北部の東沿岸域およびテルペニア湾から漂流してくるという結果が得られた。これらの海域は多くの海氷が生成されており[4,5]、そこで生まれた海氷が移流してくると考えることに矛盾は無い。また、2003年や2007年に顕著に見られるように、テルペニア湾南部の渦は、サハリン中～北部で生まれた海氷を北海道沿岸に運ぶ重要な役割を果たしている。

3.2 経路の年による違い

海氷の動きは風と海流で決まるが、一般的にはその時間変化は風の変化によるところが大きいと考えられている。しかし、オホーツク海の南部においては海流と海氷の状態が非常に重要な要素となっている。サハリン中～北部の東沿岸域で生成された海氷が北海道沿岸に到達する過程は Fig.8 の2004年のように、東樺太海流と呼ばれる海流に伴いテルペニア湾を南西方向に横切る経路と、2003、2007年のようにテルペニア湾の外側から湾南部の時計回りの渦を通る経路の2つに大別される。テルペニア湾の海氷密接度が比較的低い2004年、2008年は、東樺太海流に伴いテルペニア湾を横切る経路が多く見られた。また、密接度の値が高い2003年、2007年はテルペニア湾の外側を経て、湾南部の渦を通る経路となっている。以上より、移流経路の年による違いは、風、テルペニア湾中央の海域の密接度、そしてテルペニア湾南部の渦に影響されると考えられる。

4. 海氷移流経路と海氷厚さとの関係

北海道沿岸域の海氷は、高緯度の海域で生成され、長い時間かけて漂流してきたものほど厚さが大きいと予想できる。そこで、海上保安庁の巡視船「そうや」による北海道沿岸域の氷厚モニタリングの結果[6]と、その海域に存在する海氷の中で北緯50度以北から移流してきた海氷が占める割合との比較を行った。比較する氷厚は、厚い氷に注目するため、その海域での平均値に標準偏差を足した値を用いた。Fig.9はその比較結果である。北海道付近に達する海氷の厚さは、その移動距離と関係があることが示され、高緯度の海域から来ているものほど厚いことが分かった。

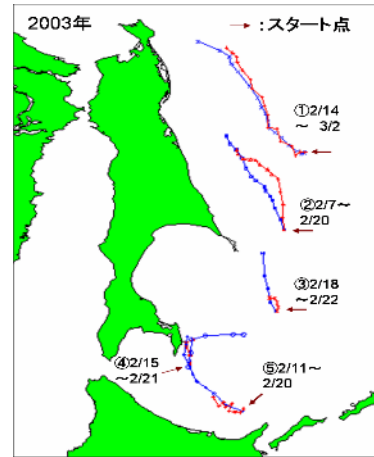


Fig.6 Comparison of ice tracks by AMSR-E velocity with trajectories of ice floes detected by AVHRR images

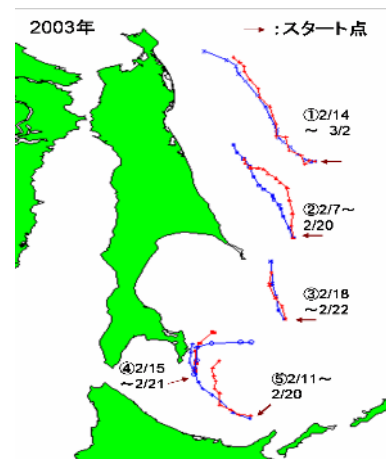


Fig.7 Comparison of ice tracks by corrected velocity with trajectories of ice floes detected by AVHRR

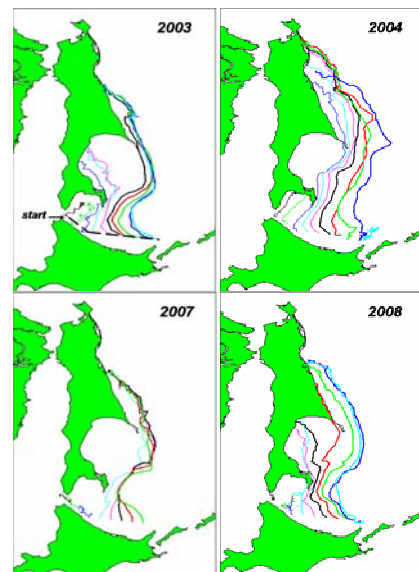


Fig.8 Back trajectories of sea ice started from 10 points in Hokkaido coastal area

5. 結論

5.1 まとめと成果

本研究では2つの人工衛星データから得られるデータを解析することで、オホーツク海南部の細かいスケールの海洋現象を捉えた8年分の海氷漂流速度のデータセットを作成した。それらを用いてオホーツク海における海氷移流経路の算出を行った。また、年による移流経路の違いを決める要因の考察や、海氷厚さと経路の関係を調べた。解析結果により、以下の知見が得られた。

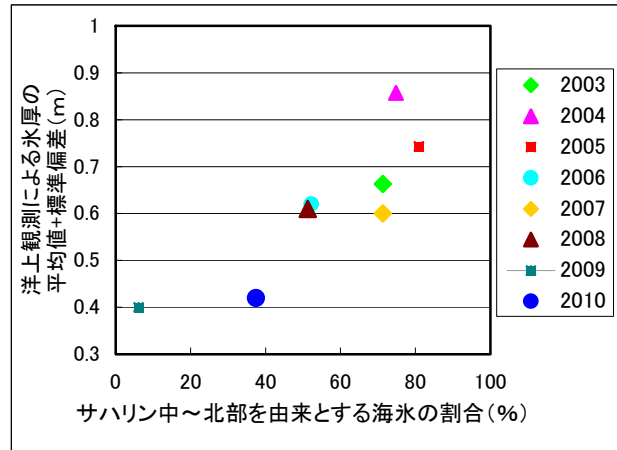


Fig.9 Relationship between ice thickness and origin of sea ice

【1】北海道沿岸域の海氷は様々な由来のものが混ざっている。

- ・ 年により由来は異なるが、その多くはサハリン中～北部の東沿岸およびテルペニア湾で生成されたものである。

【2】オホーツク海における海氷移流経路は年による違いが大きい。

- ・ サハリン中部より高緯度で生成された海氷が北海道沿岸域に到達するためには、オホーツク海南部の東樺太海流およびテルペニア湾南部の時計回りの渦が重要な役割を果たしている。
- ・ オホーツク海南部には大きく分けて2種類の移流経路があり、どちらの経路を経て漂流して来るかはテルペニア湾中央の海域の海氷密接度により影響される。

【3】北海道沿岸域で観測される海氷の厚さは、その移動距離と関係がある。

- ・ 高緯度の海域から漂流して来るものほど厚く、南部で生成されるものほど薄い。

5.2 オホーツク海における海氷の挙動に関する今後の研究への提言

本研究の結果から、オホーツク海における海氷の挙動を正しく捉えるためには、南部の海域の細かいスケールの海流を考慮することが不可欠であることが示された。さらに、この海域では本研究で取りあげた海流以上に細かいスケールの様々な海流が存在し、海氷の挙動に影響を与えていると思われる。それらの海流を正しく把握することで、より精度の高い海氷の挙動および移流経路を解明できると考えられる。

また、数値モデルにより、オホーツク海南部の海氷の挙動を再現するにはテルペニア湾南部の渦をその年々変化も含めて再現することと、海氷密接度の影響による移流経路の違いを再現することが不可欠である。そして、人工衛星による観測データから算出した実際の海氷の動きとの比較を行うことで、今後、数値モデルの更なる較正を図ることができると考える。

参考文献

- [1] 気象庁ホームページ 海洋の健康診断表 <http://www.data.kishou.go.jp/shindan/>
- [2] 青田昌秋：「白い海、凍る海 オホーツク海の不思議」（東海大学出版会 1993）
- [3] Kimura,N Sea ice tracks in the Sea of Okhotsk derived from satellite images , Proceedings of the 25th International Symposium on Okhotsk Sea&Sea Ice , pp.130-133 , 2010
- [4] Ohshima, K. I., Watanabe, T. and Nihashi, S. Surface heat budget of the Sea of Okhotsk and the role of sea ice on it, Journal of Meteorological Society of Japan , 81,653. 677, 2003
- [5] Kimura,N and Wakatsuchi,M Increase and decrease of sea ice area in the Sea of Okhotsk:Ice production in coastal polynyas and dynamic thickening inconvergence zones, Journal of Geophysical Research, Vol. 109, C09S03, 2004
- [6] 北海道大学 低温科学研究所 2010年2月 巡視船「そうや」海氷観測速報