

北極海の海氷移流が夏季海氷分布に及ぼす影響

Relationship between sea-ice motion and summer ice distribution in the Arctic

学籍番号 096655 田中 洋平

指導教員 山口 一 教授

(平成 23 年 3 月 24 日修了予定)

Keywords: 海氷, 北極海, リモートセンシング, 漂流速度

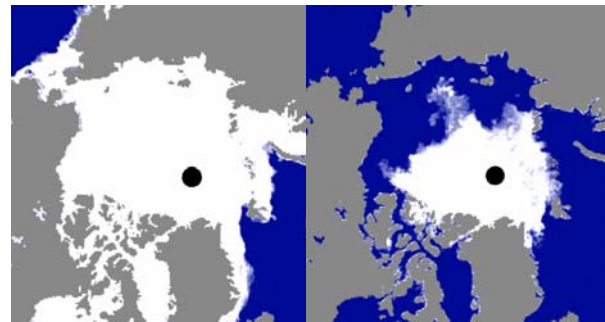
Keywords: Sea ice, Arctic Ocean, Remote Sensing, Drift speed

### 1. 背景と目的

近年、北極海の夏季海氷面積は減少傾向にあり、地球温暖化との関連から注目を集めている。しかし、その要因についてはまだ不明の点が多い。それを解明することは海氷減少のメカニズムを明らかにし、気候変動モデルの改良にも貢献するものである。一方、海氷の減少に伴い、北極海を經由して東アメリカ海岸・ヨーロッパとアジアをつなぐ北極海航路の利用が現実味を帯びてきた。その実現のためには海氷分布の予報、特に夏季の氷況を数カ月前に予報できることが重要である。

本研究の目的は夏季海氷面積の年変化の要因と海氷移流との関係を用いて明らかにし、その結果を用いて予測手法の検討を行うことである。先行研究の高石[1]は、前年の冬から春にかけての海氷の動きが夏の最小面積を決定する要因の一つであることを示したが、融解期以降の漂流が考慮できていない。

そこで本研究ではまず海氷漂流速度データが作成されていなかった夏季を含めた通年での漂流速度データセットを作成した。これを用いて夏季海氷域の減少過程を明らかにし、海氷移流と夏季海氷面積との関連性について研究し、考察する。



(a) March 14 2009 (b) September 13 2009  
Fig. 1 Sea-ice extent in the Arctic. (from NASA IARC)

### 2. データ

#### 2.1 データ概要

海氷データとして、人工衛星搭載のマイクロ波放射計による観測データを用いた。海氷密度は NSIDC[2]が配布する衛星 Aqua 搭載の AMSR-E センサーによるデータを用いた。海氷漂流速度データは NSIDC[2]が配布する AMSR-E の輝度温度データを用いて計算した。計算には面相関法を用いた。面相関法とはある輝度分布のパターンと最も相関の良い場所を次の時刻の分布の中から見つけ出すという計算手法である。得られたデータを補間することにより海氷域（密度 20%以上の海域）上に欠測値のないデータセットを作成した。解析期間は 2002 年 9 月から 2010 年 9 月までの 8 年間である。

#### 2.2 夏季の漂流速度データ作成

海氷漂流速度は先行研究においては 12 月から 4 月末までの計算しかなされていない。これまで漂流速度の計算には AMSR-E の中でも最も分解能の高い 89GHz チャンネルの輝度温度画像が用いられていた。ただ、89GHz のデータは他の周波数に比べて波長が短いため雲の影響を受けやすく、夏の雲量が多い北極海では計算がうまくいかない。そこで本研究ではより波長の長い周波数チャンネルである、19GHz と 37GHz の利用を検討した。

5 月から 11 月までの漂流速度について、19,37,89GHz の 3 つの周波数チャンネルから計算された結果の精度を、海氷上に設置した漂流ブイとの動きの比較によって検証した。比較に用いたのは IABP (International Arctic Buoy Programme[3])が配布しているデータである。計算成功率の高さと得られた結果の誤差の小ささから、本研究では 5 月から 11 月までの海氷漂流速度として 19GHz チャンネルデータから新たに計算したものを採用することにした (Fig. 2)。

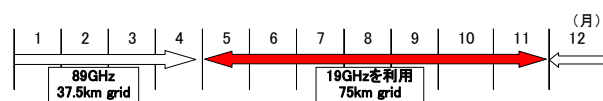


Fig. 2 Scheme of drift speed dataset.

### 2.3 漂流ブイとの比較

作成したデータセットを用いて 2 種類の計算期間において軌跡の誤差を評価する。2008 年 1 月 1 日から 4 月 30 日の 5 カ月間で比較すると最終点での位置の差は約 70km 以内に収まる (Fig. 3)。一方計算期間を 2007 年 9 月 15 日から 2008 年 9 月 14 日までの一年間に伸ばすと、誤差が蓄積されたためか、途中から軌跡の合わなくなるブイが極点に近い方に存在したが、最終点の距離は最大でも約 300km である (Fig. 4)。北極海は局地的に速い流れがないため、このスケールの誤差なら実用に耐えうると考えられる。

## 3. 夏季の海水融解過程

### 3.1 手法

北極海の海水域は 5 月から 9 月にかけて急速に後退する。その後退の過程について融解と流出のそれぞれの寄与の大きさを見積もった。

5 月 1 日の海水域上に粒子を 37.5km 間隔に配置し、海水面積が最小となる 9 月までその動きの追跡を行った。解析を行うにあたり、北極海を Fig. 5 の 15 のセクターに区分した。各セクターの大きさは 675km × 675km である。

5 月 1 日の時点で全てのセクターはほぼ完全に海水に覆われている。そこから毎日の海水漂流速度データをもとに個々の粒子を移動させる。各セクターからの流入量から流出量を引くことによって正味の流出量が得られる。

### 3.2 計算結果

Fig. 6 に 2004 年のセクター 4 の結果を示す。Fig. 6 内の青線はセクター内の粒子数より計算された海水域面積 (以下、換算海水域面積と呼ぶ) の変化である。また赤線はそのうち各セクターに隣接する海域への流出・流入による粒子数変化から計算した換算海水域面積である。赤線と青線の差が海水の融解量を示す。7 月以降に融解によって換算海水域面積が減少し 9 月下旬には流出量と大きな差が生まれている。2004 年のセクター 4 は海水面積の減少が主に融解によって起きていることが分かる。

セクター 1, 2, 3, 4, 8 では全ての年で融解の割合が高い。夏季の海水域の減少が顕著な領域において、融解が主な面積減少要因であることが分かった。

## 4. 海水移流と最小面積との関連性

海水域の融解の速さを左右する主要な要素として融解期の熱的条件と融解期開始時点の海水の厚さ分布が重要である。ここでは特に後者に注目する。北極海を網羅した毎年の氷厚データは存在しないため、本研究では海水の動きに注目することにより、氷厚分布の時間変化を間接的に推定することを試み、それと夏季海水分布との比較を行った。

氷厚分布の推定は 9 月と 12 月、2 つの時期に存在する海水の分布域の変化を計算することによって行う。

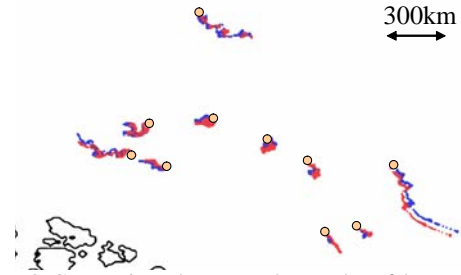


Fig. 3 Comparison between the tracks of buoys (red points) and those calculated from the ice velocity dataset (blue points), from January 1 to April 30, 2008. Circles show the start position.

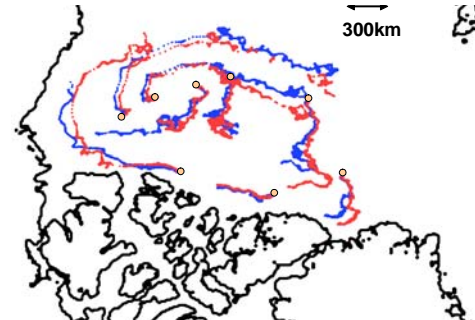


Fig. 4 Same as Fig. 3 except for a period from September 15, 2007 to September 14, 2008.

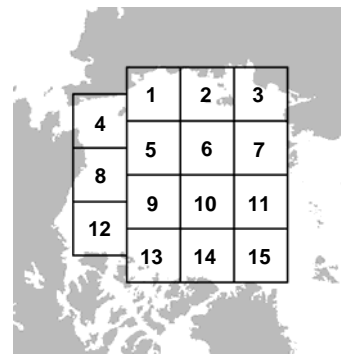


Fig. 5 Sector arrangement.

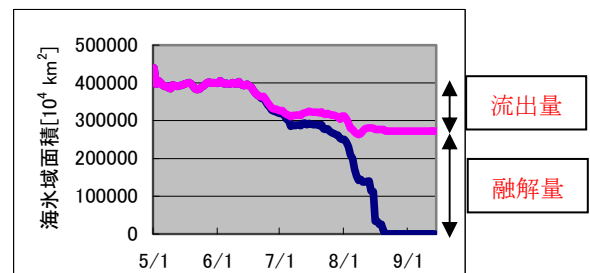


Fig. 6 Decrease of sea ice extent (blue line) and that by outflow (red line). Difference between two lines shows decrease by ice melting.

#### 4.1 12月からの計算

12月1日時点の海氷域上に配置した粒子の移動と最小海氷域面積との関係について解析を行う。これは冬から春にかけての海氷の収束と発散に着目したものである。

12月から粒子の移動を計算した際の5月時点での分布をFig. 7に示す。年毎に粒子分布の差があり、冬期から春季にかけての海氷移流パターンが年によって異なることが分かる。アラスカ沖の赤枠内に注目すると、2006年5月の粒子の密度は2007年5月に比べて高い。同年の9月の海氷分布を見ると、2006年にはその海域の海氷は多く残っており、2007年の海氷が無くなっていることが分かる (Fig. 8)。

カナダ多島海沿岸のセクター12にて12月からの計算における海氷域面積と密接度データから計算した海氷域面積の推移を示す (Fig. 9)。

特に注目したいのは換算海氷域面積の5月頃までの推移と、9月末の実際の海氷域面積である。このセクターでは最小期の海氷域面積が年によって大きく異なっている。2008年は最小期の海氷域が約半分の領域ほどに縮小してしまっている。2007年12月からの換算海氷域面積の推移を見ると、冬季から春季にかけて他のセクターに多く流出していることが分かる。12月から存在する厚い氷が多く流出したことによって、融解するスピードが速まり、他の年よりも最小面積が大きく縮小したと考えられる。同様の傾向が他の年にも見ることが出来る。セクター12は冬季から春季にかけての海氷の再配分が最小面積に効いているといえる。

15のセクターのうち、セクター4,5,7,8,12において冬季から春季にかけての海氷の移流と最小面積との間に明らかな関連性が見られた。

次に12月の計算における換算海氷域面積と最小海氷面積との関係を示す。Fig.10は多島海沿岸のセクター12の換算海氷域面積(5月1日)と最小海氷面積の分布である。両者の間には有意な正の相関が見られ、海氷の流出が少なかった年ほど、その後の海氷面積の減少が少なくなることが分かる。

さらに5月を含めた他の月での相関係数を計算した。Fig. 11はセクター9と12の換算海氷域面積と最小海氷面積との相関係数の推移を示している。セクター9は6月以降相関係数が上がるのに対し、セクター12は1月の時点ですでに係数が0.66と高い値になっている。アラスカ沖のセクター全般で高い相関関係が見られ、冬季から春季までの海氷の再配分が最小面積に大きく効いていることが分かった。

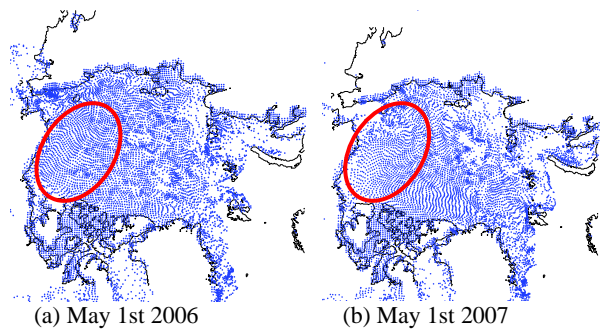


Fig. 7 Distribution of the particles calculated by ice drift speed.

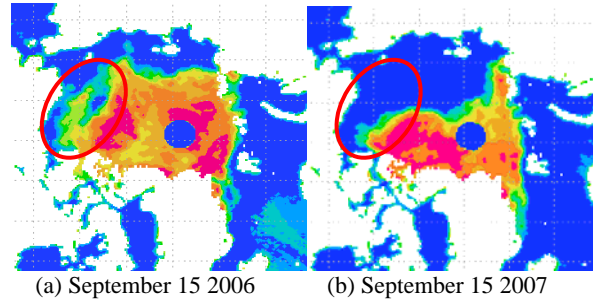


Fig. 8 Sea-ice concentration on September 15.

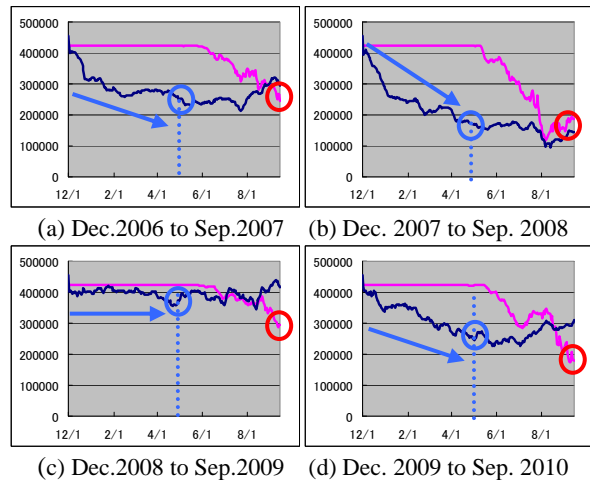


Fig. 9 Temporal changes of ice area (red line) and the area of thick ice (blue line).

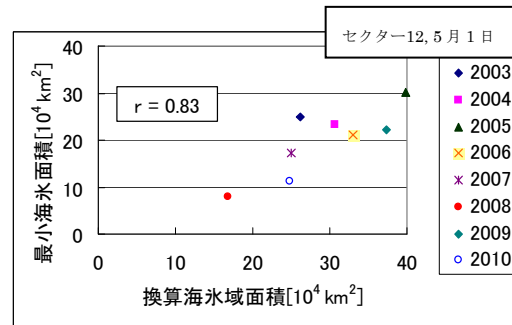


Fig. 10 Scatter plot of minimum ice extent versus thick ice area on May 1st.



## 4.2 9月からの計算

同様の粒子移流の計算を9月の海氷域上からも行った。これは最小期に残った多年氷を追跡することになる。多年氷は厚い氷が多いため、多年氷が多く存在する海域は翌年の夏に溶けにくいと予想できる。その分布の変化を見るため9月15日の海氷域上に粒子を置き、1年間の変化を追跡した。9月15日の海氷分布は年によって大きく異なるため、粒子の数とその初期分布はその年々によって大きく異なる。

以下12月からの計算と同じ要領で解析を進め、15のセクターのうち、セクター4,8,9,12の推移が5月以前の多年氷面積の変動と最小面積との関係が明瞭に見られた。同様に相関係数の月による変化の様子を見ていくと、傾向としては12月からの計算と近いが、相関係数は12月からの計算のものの方が高い海域が若干多い結果となった。

## 4.3 まとめ

多年氷の分布と冬季から春季にかけての海氷の再分配、共に最小海氷面積との関連性が見られた。海氷の動きと最小面積との関係が明瞭でないセクターについては、最小海氷面積の年による違いが少なかったことや、夏季の海氷融解に融解期の気象条件が大きく働いたことなどが考えられる。

上記の二つの結果を合わせれば5月以前に相関係数が比較的に高い海域が広く存在する (Fig. 12)。この結果を利用することで夏季の最小面積をある程度予測することができるだろう。

## 5. 結論

本研究では海氷移流が夏季海氷面積に与える影響を探ることによって、夏季の海氷分布に与える影響を把握するのが目的であった。以下に成果を述べる。

### 通年で海氷漂流速度データセットの作成

- 夏季のデータとして最も精度良く計算できる19GHzデータから算出したものを用いた。また、ブイのデータやSSM/Iのデータを用いてデータセットの妥当性を検証し、その高い精度を示した。

### 夏季の海氷融解過程の分解

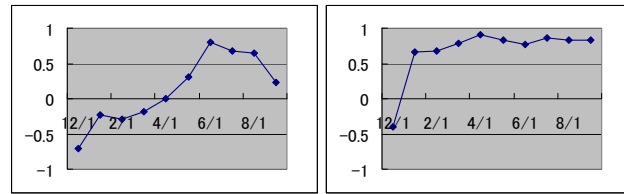
- ロシア沿岸・アラスカ沿岸の多くの海域において流出よりも融解の主たる過程であることが明らかになった。

### 海氷移流に注目した夏季最小面積との関連性の把握

- 9月時点から追跡した海氷と12月時点から追跡した海氷、これら二つの換算した海氷域面積の推移と夏季の最小面積との関連性を調べ、多年氷の存在や冬季から春季にかけての海氷の再分配が最小面積と大きく関わっていることを示した。また関連性の強さは海域ごとによって異なり、二つの解析をあわせることで広い海域にて5月以前に高い相関関係を得ることができる。

## 参考文献

- [1] 高石修平：北極海における冬季海氷データを用いた夏季氷況の予測，東京大学工学部，卒業論文，2010
- [2] The National Snow & Ice Data Center (NSIDC), <http://nsidc.org/>
- [3] International Arctic Buoy Programme (IABP), <http://iabp.apl.washington.edu/>



(a) Sector 9 (b) Sector 12  
Fig. 11 Temporal changes of correlation coefficient between thick ice area and the minimum ice extent.

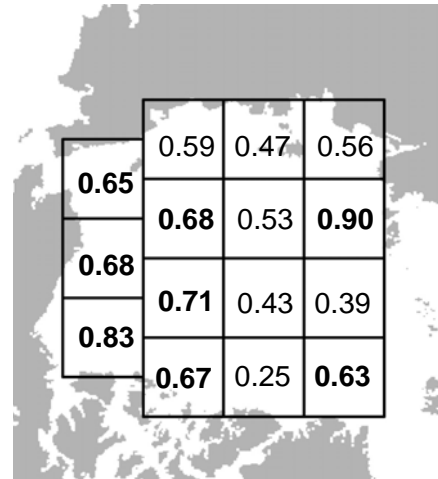


Fig. 12 Distribution of correlation coefficient between ice motion and the minimum ice extent.