

平成 15 年度 研究成果報告

衛星データを用いた海氷変動の解析

COE 研究員：木村 詞明
担当教官：江淵 直人

主に人工衛星による観測データを用いて、海氷域の変動メカニズムを解明し、それが地球の気候システムの中で果たす役割を解明するための研究をすすめている。現在までに主に取り組んだのは、1) 南極海の海氷データセットの作成と、それを用いた海氷変動の解析、2) 流氷レーダー画像から海氷漂流速度を計算する手法の開発の二点である。南極海については、毎日の海氷密接度と海氷漂流速度のデータセットを作成した。漂流速度データセットは信頼性を重視したものと広範囲をカバーすることを重視したものの2種類を作成し、行う解析に応じて使い分けた。また、流氷レーダー画像からは1時間平均の海氷漂流速度データセットの作成に成功した。研究計画に挙げた個々の課題に対する取り組みと成果の詳細は以下の通りである。

1. 海氷の現場観測・地上レーダー観測・衛星観測の相互比較

現場での係留および船舶による観測、地上からのレーダーによる観測(流氷レーダー・HFレーダー)、衛星による観測のデータを相互比較することにより、それぞれの観測結果から物理量を算出するためのアルゴリズムの開発・改良を行い、さらに、異なる時間・空間スケールの現象が互いにどのような関係にあるかを解明するための解析をすすめている。まず、流氷レーダー画像から海氷の漂流速度場を導出する手法の開発をすすめた。計算には紋別局の流氷レーダーによって10分間隔で観測されたデータを用いた。10分から60分の時間間隔の画像から漂流速度を計算し、それらを組み合わせることにより海氷域上ではほぼ欠測の無い1時間平均の海氷漂流速度場のデータセットを作成した(例を図1に示す)。作成したデータセットの空間分解能は約1kmである。得られた漂流速度場には以下のような特徴が見られた。

- ・沿岸付近での10kmスケールの渦の消長と移動
- ・潮汐に伴う全体的な海氷の動き
- ・沿岸流に伴う約10km幅の沿岸付近の南東移流とその変化

また、全体的な海氷の動きは紋別港のタワー上で観測された風速とも良い一致を示した。海氷の動きは風速の変化に3時間から5時間遅れて応答していた。一方で、海氷が密な場合には風速の強さに関わらず海氷がほとんど動かない場合があることが分かった。これらの成果は極域気水圏シンポジウムで発表した。流氷レーダー画像から海氷漂流速度を計算するには短い時間間隔の観測が必要であるという結果を踏まえ、流氷レーダーの最後の観測となった平成15年度冬期にも10分間隔での観測を実施して頂いた。一方で、紋別沖に係留されたIce Profiling Sonarによる観測データを氷厚などの物理量に変換するための処理もすすめているところである。

平成16年度以降は、これらの結果を用いてマイクロ波放射計(SSM/I, AMSR-E)や光学センサー(AVHRR)等の衛星リモートセンシングデータ、またHFレーダーによる観測データから海氷の物理量とを算出するアルゴリズムの開発・改良を行う。また、異なるデータで観測される、空間規模の異な

る現象どうしの関係についても解析を行う予定である。具体的には、広範囲な解析のベースとなる分解能の悪いマイクロ波放射計データを用いた解析に、細かいスケールの現象による効果を取り入れることができるよう、パラメタライズを行いたいと考えている。

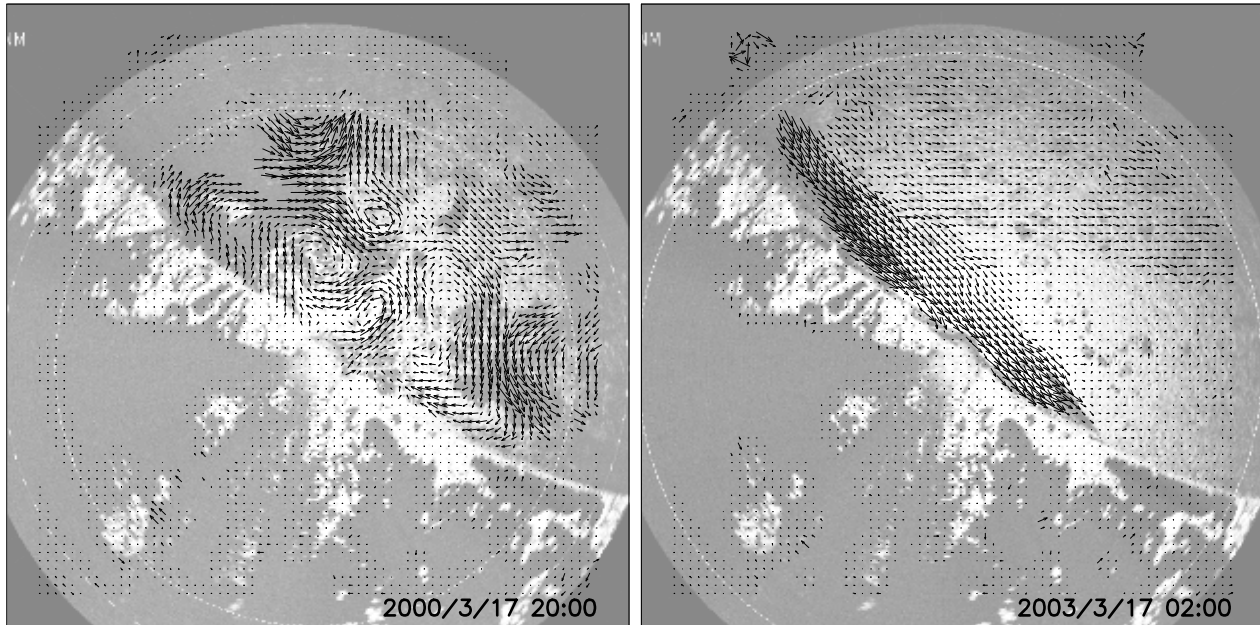


図1：紋別局の流氷レーダー画像から得られた1時間平均の海氷漂流速度。矢印の向きと大きさが、海氷の動く向きと大きさを示す。矢印の間隔は約1 km。左上から図の中央を通り右下に向かって海岸線がある。左は2000年3月17日の20時のもので、直径10 km スケールの渦がいくつか見られる。渦の向きは一様では無く、高気圧性の渦と低気圧性の渦が混在している。右図は2003年3月17日の2時のもので、沿岸に幅約10 km の南東向き海氷移流が見られる。また、この沿岸の移流の強さは日によって大きく異なる。

2. 海氷の力学的過程による厚さ変動の解析

これまでの解析から、オホーツク海などの比較的閉鎖された海域では、海氷どうしが相互に重なる過程が、海氷の厚さ増加と面積収支に大きな役割を果たすことが分かってきた。その過程の実態を解明するために二通りの方法で解析をすすめてつある。ひとつは、流氷レーダーによる海氷漂流速度場と、紋別沖に係留されたIce Profiling Sonarによる海氷の厚さ変化の情報を用いて、レーダー視野内での力学過程による厚さ変化を直接捉える方法である。これは、Ice Profiling Sonarによる観測データの初期処理が終わり次第詳しい解析に着手する予定である。もうひとつは、係留観測点で観測される海氷の後方軌跡と、その軌跡上で強い収束などを経験した履歴を追い、得られた履歴と係留点で観測された海氷の厚さや形状との関係を解析していく方法である。海氷の後方軌跡を追い履歴を知るため、マイクロ波放射計 AMSR-E のデータから海氷漂流速度と密接度を計算し、それを用いた解析をすすめてつある。

3. 海氷生成域の分布とそこでの海氷生成量の定量的評価

海氷はその生成時に熱と塩を海洋に、熱を大気に放出する。そのため、どこでどれだけ量の海氷が生成されているかを知ることは、海氷が大気海洋場に及ぼす影響を知るためにも非常に重要である。この課題に関連して、オホーツク海を対象とした沿岸域での海氷生成面積の見積もりについて昨

年度から取り組んでいたが、まずそれを論文にまとめ投稿した。

また、マイクロ波放射計 SSM/I による観測データを用い、新たに南半球の 10 年分の海氷密接度、漂流速度のデータセットを作成し、それらを用いて南極海での海氷生成域の分布と生成面積を知るための解析を行った。一般に、ある範囲内での海氷面積の増加は、そこでの新たな海氷生成と周囲からの海氷の流入によってもたらされる。そこで、密接度変化から計算される海氷面積の増加量から、周囲の点の漂流速度と密接度から計算される海氷の流入量を差し引くことにより、それぞれのグリッド内で生成される海氷量を計算した。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・南極海での海氷生成は沿岸域で集中的起きている
- ・ウェッデル海沿岸域での海氷生成は少なく、ロス海やインド洋沿岸域での生成量が多い
- ・海氷域内部での海氷面積の減少(融解や相互乗り上げによる)はほとんど起っていない

これらの結果を気象学会秋季大会で発表した。また、作成した海氷漂流速度のデータセットを用いて、海氷の動きと風速との関係についても解析を行い、その結果を論文にまとめ投稿した。

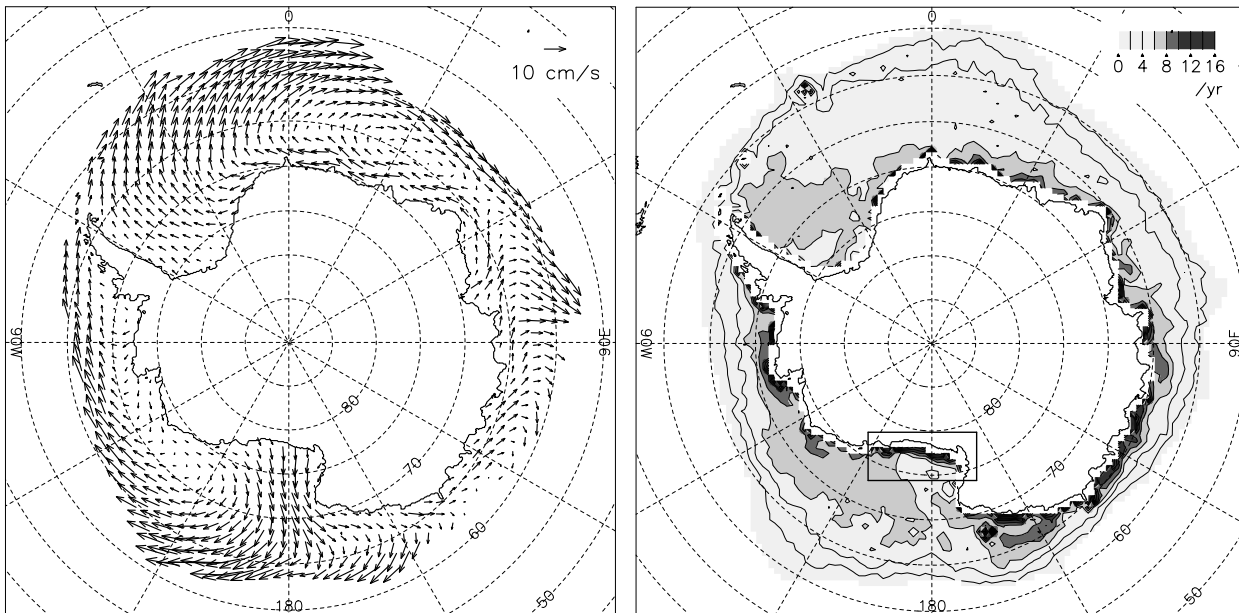


図 2：南極海の平均の海氷漂流速度場(左)と海氷生成域の分布(1年間に単位面積で生成される海氷面積：右)。左図の漂流速度の矢印の間隔は 150 km(データセットは 75 km グリッド)。南極海の花氷の動きは沿岸付近の西向きの動きと、沖合いの東向きの周極的な動きで特徴づけられる。海氷は、この海氷の動きが発散する場所で多く生成され、それは沿岸付近に集中している。ロス海の沿岸付近(右図の枠内)での年間の海氷生成面積は、ロス海域の全海氷面積とほぼ一致する。

4. 氷縁での海氷生成量・融解量の見積り

南極海の日々の氷縁位置の変化に注目して、海氷域の変化と風速との関係について解析を行うとともに、氷縁の移動速と氷縁付近での海氷漂流速との関係から海氷域の変動メカニズムを解明するための解析を行った。その結果、全ての海域で、風速と海氷漂流速の間には相関係数 0.7 から 0.9 の高い相関が見られた。また、風速と氷縁位置の移動速との間の相関係数は 0.5 から 0.8 であった。どちらも相関の強さは海域によって異なり、西南極で高く、東南極で低い傾向が見られた。

また、海氷漂流速と氷縁位置の移動速との比較から、海氷拡大期(3月から8月)の沖向き風時には氷縁位置は海氷の動きの2倍から4倍の速さで移動し、その他の場合には氷縁は海氷の動きとほぼ同

じ速さで移動することが分かった。この結果から、海氷域(氷縁位置)は大まかには以下の機構により変動していると予想される。

	沖向き風時	岸向き風時
海氷域の拡大期(3-8月)	海氷移流+海氷生成	海氷移流
海氷域の後退期(9-12月)	海氷移流	海氷移流

海氷域の拡大期の沖向き風時には、氷縁では海氷の生成が起こり、それによって海氷域が急速に拡大する。この結果は、海氷拡大期の氷縁の移動する速さが海氷の移流の効果のみで説明できる北半球の季節海氷域とは異なるものである。さらに、得られた結果をもとに、地衡風速の一定比率の速さでの移動として海氷域の変化を予測したところ、海氷域の短周期の変化だけでなく、海氷域の張り出しの海域や年による違いも説明可能であることが分かった。また、月平均で見れば氷縁では海氷拡大期には生成、後退期には融解が起きていることが分かった。

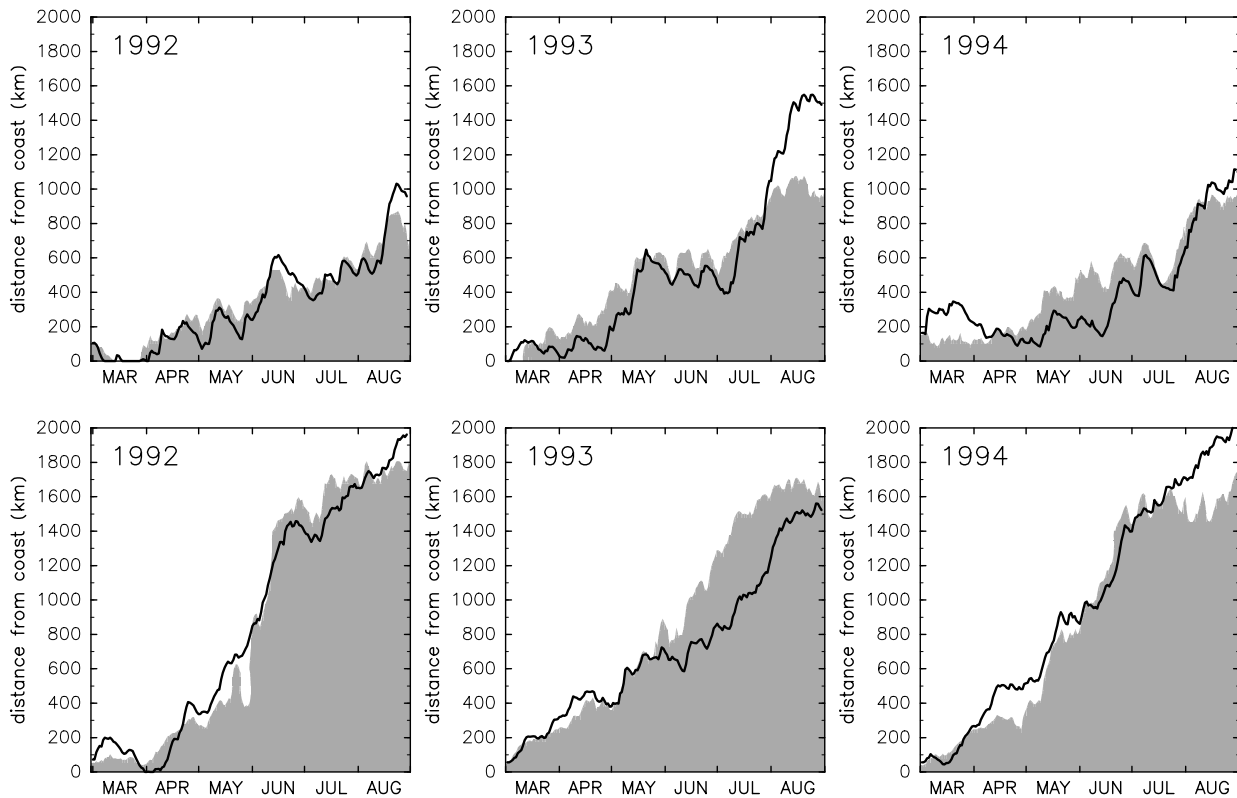


図3：上段はアムンゼン海(西経135度線上)の実際の海氷域(影部)と南北風速から予想される氷縁位置(実線)の時間変化の例。沖向き風時には地衡風速の7%、岸向き風時には風速の2%での変化を仮定しており、沖向き風時には海氷が沖向きに動く速さの約3.5倍の速さで海氷域が拡大している。つまり氷縁で海氷の生成が起きていることになる。下段はウェッデル海(西経5度線上)の例。沖向き風時には地衡風速の4%、岸向き風時には風速の2%での変化を仮定している。沖向き風時には海氷動く速さの約2倍の速さで海氷域が拡大している。

一方で、南極海を経度でいくつかの海域に分け、それぞれの海域での海氷面積の季節変化について解析を行った。それぞれの海域で、毎月の実際の海氷面積の変化量、課題3の手法によって計算できるそれぞれの海域の海氷域内部での海氷生成面積(−消滅面積)、隣接する海域からの流入量(−流出量)の見積もりを行った。これらの値を用いることにより、海氷生成面積に周囲の海域からの流域面積を

足したもののから、海氷域内部での消滅面積を差し引いたものを、その海域の氷縁での融解面積(あるいは生成面積)と考えることができる。解析の結果、以下のことが明らかになった。

- ・海氷域の急速な拡大期(2月-5月)には海氷域内での海氷の生成も急速に増えている
- ・隣接する海域からの流入・流出量は他の量に比べると、年間を通して小さい
- ・海氷域の拡大後期から後退期にかけて、ほとんど全ての海域で氷縁での急速な海氷融解がある

5. 北極海・南極海の海氷の年々変動と大気・海洋循環との関係

海氷の循環の年々変動の解析のために、マイクロ波放射計 SSM/I の 37GHz チャンネル(他の解析で用いている 85.5GHz チャンネルに比べて解像度は悪いが、より長期のデータが利用可能)および SMMR の 37GHz チャンネルデータを用いて 1979 年以降 23 年分の海氷漂流速度データセットを作成し、解析をすすめつつある。北極海、南極海ともにその海氷循環の年々変動は大まかには大気場の年々変動変動の影響を強く受けている。また、北極海の海氷の循環に関しては数年周期の変動は大気場の変動の影響を強く受けており、長期的な変化は海洋循環の変化を反映しているように思われるが、最近数年でまた状況が変化してきており、今後も注目していく必要がある。年々変動の原因に関する詳細な解析は平成 16 年度以降に行う予定である。

6. その他

上記の研究課題とは別に、マイクロ波放射計 SSM/I の EASE(Equal-Area Scalable Earth) -Grid データを用いた新しい海氷漂流速度データセットの作成を行っている。現在解析に使用している SSM/I データは一日の値を平均したものであり、特に海氷漂流速度の計算にはあまり適していない。EASE-Grid データの利用により、より高精度の漂流速度データセットの作成が期待できる。このデータセットは広く一般の研究者が利用しやすい形に整備していきたいと考えている。

・ 発表論文：2 編

題目： Processes of increase and decrease of sea ice area in the Sea of Okhotsk

著者： Noriaki Kimura and Masaaki Wakatsuchi

雑誌名： Journal of Geophysical Research

年月： 平成 15 年 4 月投稿、平成 16 年 3 月受理

題目： Sea ice motion in response to surface wind and ocean current in the Southern Ocean

著者： Noriaki Kimura

雑誌名： Journal of Meteorological Society of Japan

年月： 平成 16 年 1 月投稿、平成 16 年 5 月受理

・ 学会発表：2 講演

南極沿岸域における海氷生成量：木村詞明、日本気象学会 秋季大会、平成 15 年 10 月

流氷レーダー画像を用いた北海道沿岸の海氷の動きの解析：木村詞明・白澤邦男、極域気水圏シンポジウム、平成 15 年 11 月