

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21241045

研究課題名（和文）ドップラーレーダ情報を同化した海氷流動の短期予測システムの構築

研究課題名（英文）Establishment of short-term forecasting system of sea-ice area assimilating Doppler radar data

研究代表者

藤吉 康志（FUJIYOSHI YASUSHI）

北海道大学・低温科学研究所・教授

研究者番号：40142749

研究成果の概要（和文）：ドップラーレーダを用いて、様々な気象条件下でも確実に流氷域を検出できる方法を開発した。また、面相関法と実測した海氷のドップラー速度データを組み合わせた海氷の流動ベクトルの作成アルゴリズム（マッチング法）を完成させた。さらに、ドップラーレーダデータを毎時大気解析 GPV に同化することによって作成された風の間を使って我々の流氷モデルを走らせ、流氷域の短時間予測を実施し、ドップラーレーダデータと比較した。

研究成果の概要（英文）：We have established a new method to identify sea ice floes by X-band Doppler radar under various weather conditions. Using Doppler radar data and sea-ice velocity extracted from the cross-correlation method, we have developed a new matching method to derive high temporal and spatial horizontal distribution of velocity fields of sea-ice. Assimilating these values into Japan Meteorological Agency Grid Point Value (JMA-GPV) data, we have applied our sea ice model for short-term prediction of sea-ice and have compared the results with the Doppler radar data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	21,500,000	6,450,000	27,950,000
2010年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2011年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
年度			
年度			
総計	37,000,000	11,100,000	48,100,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：流氷予測、ドップラーレーダ、海氷モデル、データ同化

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化シミュレーションによれば、北海道のオホーツク海沿岸の冬は、我が国で最も早く温暖化の影響が現れる場所である。その理由は海氷の消滅である。また、オホーツク海の海氷は、北太平洋の海洋循環や気候に大きな影響を及ぼしているだけでなく、生物資源や野生動物の生息や移動手段として

も重要である。そのため、オホーツク海の海氷量に対しては、平均量を予測する経験式の作成、客観解析データと海面の熱収支式を組み合わせた季節変化の計算、大気-海洋-海氷-陸面結合した領域気候モデルによる計算などが行われていた。気象庁では、1週間先までの海氷変動予報計算を行い、週2回、同庁のホームページから計算結果を発信し

ている。しかし、気象庁のモデル計算は、計算格子が 12.5km と、民生利用の観点からは時間・空間分解能共に粗すぎる上、海氷モデルの点でも高解像度計算に移行するには難点があった。また、データ同化もなされておらず、海氷単独の計算である。海氷流動の計算には、伝統的に海氷野全体を一つの連続体として捉える連続体モデルと粘塑性体モデルが良く使われてきたが、これらのモデルは船舶航行の安全に資するような狭領域・短期間の計算に適するものではなかった。

実は、海氷流動モデルの時間・空間分解能を現状よりも高めるためには、モデルのスキームを改良する以前に致命的な問題があった。それは、モデルによる予測を検証するための、時間・空間分解能の高い海氷分布データが、オホーツク海沿岸には存在しないことである。静止衛星や複数の極軌道衛星データを組み合わせて海氷分布を作成したり、衛星で検出した海氷の動きをベクトル化する研究なども行われてきたが、我々が現在必要としている時間・分解能を満たしていなかった。北大低温研では、過去 30 年以上にわたって流氷レーダを用いた観測を行ってきたが、老朽化によって廃局となった。これらはデジタルデータではなかったため、流氷域を画像データとして海上保安庁に高々 1 日に数回提供するのみであった。また、気象庁では 2007 年度に釧路で新たにドップラーレーダを設置したが、周辺の山の影響で、冬季のオホーツク海上の海氷はもとより、雪雲の観測すら困難であった。冬季のオホーツク海の船舶・漁船の航行の安全にとって、流氷予測は極めて重要であるが、海上保安庁や気象庁の監視体制や予測は極めて不十分であった。

2. 研究の目的

本研究では、現在のオホーツク海域や、近い将来樺太近海や北極海などで重要となる海氷域における船舶の安全航行を実現するために、我が国で唯一海氷が存在するオホーツク海沿岸をモデル域として、ドップラーレーダ情報を同化した海氷の稠密・短時間変動予測モデルを開発することを目的とした。

更に、海氷域の現況とその短時間予測結果を同時公開することで海氷域の航行はもとより、陸路・空路をより安全なものとするために、観測データを受信・加工すると同時にモデルに組み込んで計算を行い、その結果を WEB 上でほぼリアルタイムに公開するシステムを構築する。これまでも、海氷流動の短時間予測への期待は、漁業関係者からは強く出されていたが、モデルと観測の両面から実力不足であった。しかし、オホーツク海沿岸の気象・海象の連続的かつ定量的な観測を行う体制が整ったこと、リアルタイムデータの同化も高速で行えるほどモデル研究が円熟

し、コンピューターの性能も高まったことで、ようやく本研究課題の実施が可能となった。

3. 研究の方法

本研究で主に使用するドップラーレーダは、ドップラー速度と速度幅も同時に測定できる。その時間・空間分解能は、それぞれ 6 分と 1km 以下である。海氷をドップラーレーダで観測するというシステムは、世界で初めてであり、本装置の特性を用いて従来の海氷検出アルゴリズムを完全に凌駕する新たな検出アルゴリズムを作成する。

北大低温研が展開している高精度な観測装置から得られるデータを用いたモデル検証実験を行い、また、オホーツク海上で現場観測を実施し、現段階では不確定なパラメータを決定する。

これまでの海氷流動モデルは、海氷を動かす風を客観解析データという極めて時空間分解能の悪いデータを用いて計算している。このような風のデータでは、詳細な海氷流動モデルに与える風のデータとしては不適切である。また、雪雲の中と外では風の強さが全く違うため海面の冷えが異なり、結果として海氷の動きや成長も異なる。そこでメソ気象モデルを用いてドップラーレーダのデータを同化した気象場の予測を行う。

上記の同化気象データを用いて海氷解像モデルを走らせ、海氷域の短時間予測システムを構築する。

4. 研究成果

冬のオホーツク沿岸は観測空白域であったため、紋別市郊外の大山と雄武にドップラーレーダを設置し海氷と雪雲の観測を開始した。しかし、観測データをリアルタイムで得ることは、観測結果の一般への公開と迅速なデータ解析と予測上重要であった。そこで、レーダデータを札幌の低温研へリアルタイム伝送、遠隔操作、ウェブサイトでの公開を可能とする光ネットワークリアルタイムモニタリングシステムを構築した。

本研究期間中に冬季の北西季節風時には、海岸に沿って長大な帯状雲が形成されることを見出し、これを「オホーツク海沿岸帯状雲」と名付けた。この雲は海上に多量の降雪をもたらす雪雲であり、内部に渦などの複雑な気流場が存在するため、オホーツク海沿岸での海氷生成、流氷の移動、及び沿岸の海流にも大きな影響を与える。図 1 に、直径数 10km のメソスケールの渦を 3 次元立体表示した図と、高さ 0.75km のレーダーエコー強度の水平分布と、オホーツク沿岸帯状雲内に発生したメソ渦に相対的な風の流線を重ねた図を示す。渦状エコーに沿った低気圧性の風の流れ、その後方に伸びる線上エコーに沿った気流の収束などが極めて明瞭にとらえ

られている。雲解像モデルを用いたシミュレーション結果から、大雪山系を迂回する風の変形が、この帯状雲の形成に重要であることが明らかとなった。さらに、オホーツク海沿岸に40m/s近い強風域（ダシ風）が複数存在することを見出した。従って、本システムは、陸・海・空の交通路の安全に対して、極めて重要なリアルタイムの情報を提供可能であることを実証した。

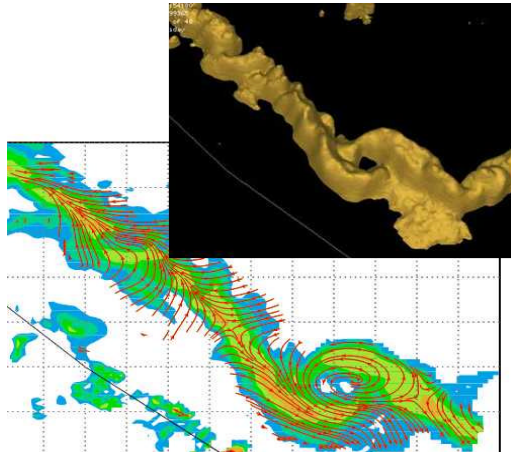


図1 メソ渦の3次元立体構造(上)と、高度0.75kmのCAPPIと渦に相対的な風の流線

海上保安庁の巡視船「そうや」に乗船し、オホーツク海南部海域で海氷の風に対する抵抗係数の実測に成功した。中立状態での抵抗係数の平均値は 3.02×10^{-3} となり、他の氷縁海域や季節氷海域の値と比べるとやや大きい値であった。海氷密度と抵抗係数の関係に大きな差はなかったが海氷種依存性が強く、板状軟氷で最大となり、大氷盤などの直径が500m以上の氷種、また薄く平滑な表面をもつニラス氷では小さかった。これにより、海氷の流動モデルに必要なパラメーターを決定することができた。

エコー強度、ドップラー速度、ドップラー速度幅という我々のシステムでのみ得られるデータから海氷域のみを抽出するアルゴリズムを完成させ、リアルタイムでWEBに公開した。この新しい海氷検出法によって降雪時や強風時に発生するシークラッターなど、様々な気象条件下でも確実に海氷域を検出することが可能となった(図2)。この新しい検出法は、北極航路が現実となった段階では航路の安全確保に大いに役立つであろう。また、2月の結氷時期に合わせて航空機測量による流氷域の撮影を行い、レーダで作成した流氷域の凹凸度と実測値との比較を実施した。

さらに、モニタリングから一歩進んで、これまで前例の無いドップラーレーダ情報を同化した、海氷の短時間予報モデルを開発

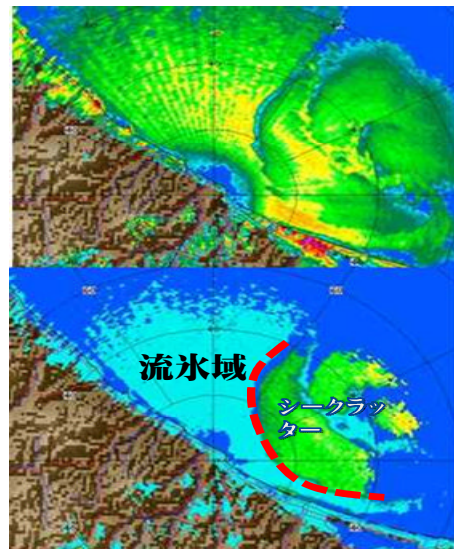


図2 レーダ反射強度のみではシークラッターが邪魔をするため海氷域の判別が困難である(上図)。一方、速度幅を用いることで、海氷域が明瞭に判別できる(下図)。

vector_deviation_0214_01

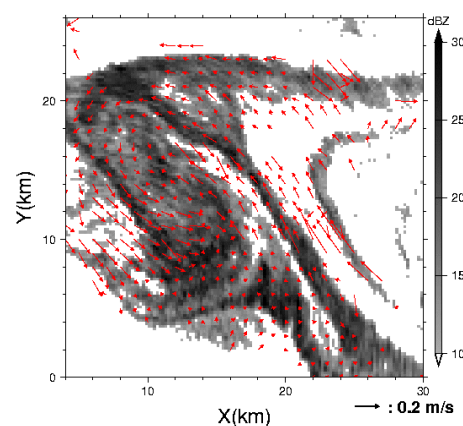


図3 グレー諧調で示した海氷域の上に重ねた、新しく開発したマッチング法で求めた海氷の移動ベクトル。

した。すなわち、面相関法と実測した海氷のドップラー速度データを組み合わせた海氷の流動ベクトルの作成アルゴリズム(マッチング法)を完成させた。これにより、精度の高い海氷の移動ベクトルの作成が可能となった(図3)。

さらに、ドップラーレーダデータと毎時大気解析GPVを3次元変分法で同化するプログラムを完成させ、このプログラムで作成した初期値を用いて、WRF(非静力雲解像モデル)による最大72時間先までの気象場の予測計算を実施し、かつ、予測した海上風データを用いて、流氷モデルを走らせ、10時間程度先までの流氷域の予測を実施し、現場での観測データと比較し、概ね良好な結果を得た。

以上のように、当初の研究目的と課題はほぼ達成できたが、我々が見出した新たなアルゴリズムを用いた海氷探知レーダの実用化と普及、および、レーダデータを同化した流氷予測モデルの予測信頼性を高めて、現業の海氷予測に利用してもらうことが残された研究課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

(1) Fujisaki, A., H. Mitsudera, and H. Yamaguchi, 2011: Dense shelf water formation process in the Sea of Okhotsk based on an ice-ocean coupled model, **J. Geophys. Res.**, 116, C03005(15p.) . doi:10.1029/2009JC006007 査読あり

(2) Fujisaki, A., H. Yamaguchi and H. Mitsudera, 2010: Numerical experiments of air-ice drag coefficient and its impact on ice-ocean coupled system in the Sea of Okhotsk, **Ocean Dynamics**, 60(2), 377-394 (2). doi 10.1007/s10236-010-0265-7 査読あり

(3) Fujisaki, A., H. Yamaguchi, T. Toyota, A. Futatsudera, M. Miyanaga, 2009: Measurements of air-ice drag coefficient over the ice-covered Sea of Okhotsk, **J. Oceanography**, 65, 487-498. doi:10.1007/s10872-009-0042-8 査読あり

[学会発表] (計11件)

(1) Fujiyoshi, Y., K. Osumi, and Y. Yamada: Retrieval of high temporal and spatial distribution of sea ice velocity fields using Doppler radar data, 27th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu City Hall (Hokkaido), Feb. 19-24, 2012.

(2) Noda, T., N. Kimura, Y. Fujiyoshi and H. Yamaguchi: Prediction of the Okhotsk sea ice by high-resolution model, 27th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu City Hall (Hokkaido), Feb. 19-24, 2012.

(3) 藤吉康志、大角光司、向笠康二郎、伊藤諒: ドップラーレーダを用いた海氷移動ベクトルの作成、渦状擾乱と突風域の検出、日本気象学会、国立オリンピック記念青少年総合センター(東京)、2011年5月18日。

(4) Nishizaki, D., H. Yamaguchi and N. Kimura: Analysis of sea-ice tracks in the Sea of Okhotsk by using satellite images, 26th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu City Hall

(Hokkaido), Feb. 20-25, 2011.

(5) Fujiyoshi, Y., M. Ohi, T. Kamisho: Simultaneous Doppler radar observations of sea-ice and snow clouds developed near the coast of the Sea of Okhotsk, International Symposium on Snow, Ice and Humanity in Changing Climate, (International Glaciological Society), Hokkaido Univ. (Hokkaido), June 21-25, 2010.

(6) Fujiyoshi, Y., T. Kamisho and M. Kawashima: Dual Doppler radar observation of thick cloud bands developed along the Hokkaido coast in the Sea of Okhotsk, 25th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea ice, Mombetsu City Hall (Hokkaido), Feb. 22-23, 2010.

(7) Yamaguchi, H.: Numerical prediction of sea ice change in the Sea of Okhotsk, Keynote Lecture, 25th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu City Hall (Hokkaido), Feb. 21-26, 2010.

(8) Kawauchi, M., H. Yamaguchi and N. Kimura: Numerical prediction of spilled oil behavior in the Sea of Okhotsk under ice-covered condition, 25th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu City Hall (Hokkaido), Feb. 21-26, 2010.

(9) Takahashi, S., H. Yamaguchi and N. Kimura: Effect of wind and sea ice distribution on the migration route of White-tailed Sea Eagle (*Haliaeetus albicilla*), 25th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu City Hall (Hokkaido), Feb. 21-26, 2010.

(10) Mitsudera, H., K. Uchimoto and T. Nakamura: Mechanisms of cold belt formation off the Soya warm current along the northeastern coast of Hokkaido, AGU Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei International Convention Center (Taiwan), June 23, 2010.

(11) 藤吉康志、川島正行、大井正行、藤原忠誠、上庄拓哉、向笠康二郎: 「オホーツク海沿岸帯状雲」のレーダーエコー特性 (1)、日本気象学会春季大会、つくば国際会議場(茨城県)、2009年5月28-31日。

[その他]

ホームページ等

<http://okh-radar.lowtem.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤吉 康志 (FUJIYOSHI YASUSHI)

北海道大学・低温科学研究所・教授
研究者番号：40142749

(2)研究分担者

三寺 史夫 (MITSUDERA FUMIO)
北海道大学・低温科学研究所・教授
研究者番号：20360943

川島 正行 (KAWASHIMA MASAYUKI)
北海道大学・低温科学研究所・助教
研究者番号：10281833

山口 一 (YAMAGUCHI HAJIME)
東京大学・新領域創成科学研究科・教授
研究者番号：20166622

(3)連携研究者

なし