

オホーツク海沿岸に設置した2台のドップラーレーダによる海氷と雪雲 のリアルタイム監視と短時間予測システムの構築

藤吉康志¹，大井正行²，川島正行¹，山田芳則³

¹北海道大学低温科学研究所、²J2 Co.,Ltd.、³気象庁気象研究所

1. はじめに

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はなく、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が、これでは現場での航行や作業の観点からは時間・空間分解能共に粗すぎる。

実は、海水流動モデルの時間・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、また、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。また、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(Tabata, 1972; Aota, 1999)、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。

2. 本システムの特徴と概要

北大・低温研では、Cバンドの流氷レーダ網によるオホーツク海沿岸の流氷観測に代えて、新たに、Xバンドドップラーレーダを2005年11月に紋別市郊外の大山に、また2007年12月に雄武に設置し海氷と雪雲の観測を開始した。図1に2台のレーダの設置点と、観測範囲を示した。旧流氷レーダ3台による観測範囲と比較すると、網走から知床にかけて観測範囲がやや狭くなっている。世界的にも、流氷が接岸する地域でレーダ監視を行っている場所は、アラスカのバローを初めとして複数地点存在するが、いずれも使用しているレーダは反射強度のみしか測定できないため、従前の流氷検出の限界を超えるものではない。現在、流氷をドップラーレーダで観測している、あるいは観測可能なのは、世界で唯一、本システムのみである。

我々は、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水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、本ドップラーレーダシステムを用いた雪雲と海氷のリアルタイムデータをWEBで公開するシステムを構築した(<http://okh-radar.lowtem.hokudai.ac.jp/>)。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水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もほぼ完成した。

これまでも、海水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、ようやく本システムの構築が可能となった。

また、2012年12月から紋別の大山にあるオホーツクスカイタワーに、広角レンズをとりつけた高感度の1眼レフカメラを設置し、オホーツク海を眺望する画像の公開を開始した（<http://okh-radar.lowtem.hokudai.ac.jp/CAM>）。

3. オホーツク海沿岸に発生するダシ風の検出

世界各地にダシ風と呼ばれる、陸から海に向かう強風が吹く場所がある。北海道でも、日高しも風、羅臼や寿都ダシ風などが有名である。この強風域は冬季の陸上交通にとって大きな障害となるが、強風域が海上であるため、その3次元構造や出現特性を調べた研究は極めて少ない。本観測システムは、少なくとも我が国では唯一ダシ風を長期にわたって観測可能である。

図2は、2010年2月20日の事例であり、この場所（枝幸町風烈布）では、風速30m/s近い強風帯が谷筋を川に沿って吹き抜けていた。強風帯は、高さ幅とも約1kmであり、海岸から沖合約40kmまで吹き出していた。筋状エコーは、初めはこの強風軸に沿って形成されていたが、その後、北から南下してきたメソーフロントと地形性の強風との間の強い収束で急速に発達し、フロントの南下と共に移動しながら弱まった。このような、フロントの通過と地形性の風との収束で発生・強化されたバンド状エコーは日本各地で発生し、諫早バンド・長崎バンド・淀川チャンネルのような豪雨機構の解明にも適用可能と考えている。

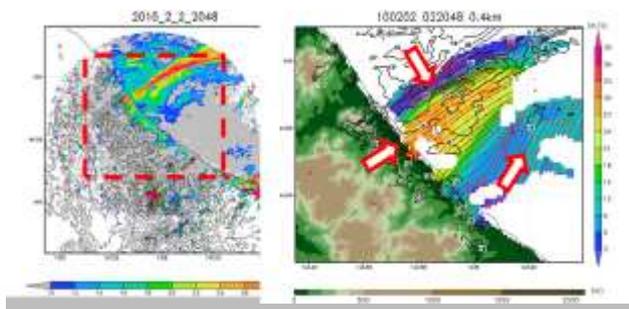


図2左：陸から海に向かって伸びる雪雲のレーダエコー（高度400m）と、右：左図の赤枠で囲った領域内の絶対風速と流線。

4. 海氷検出と海氷移動ベクトルの正確な導出アルゴリズムの作成

海氷の実況と予測は、冬季のオホーツク海の船の航行に極めて重要な情報である。雪雲と違って海氷の動きは遅いが、本レーダーシステムで十分検出可能である。そこで、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た（Fujiyoshi et al., 2012）。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3）。

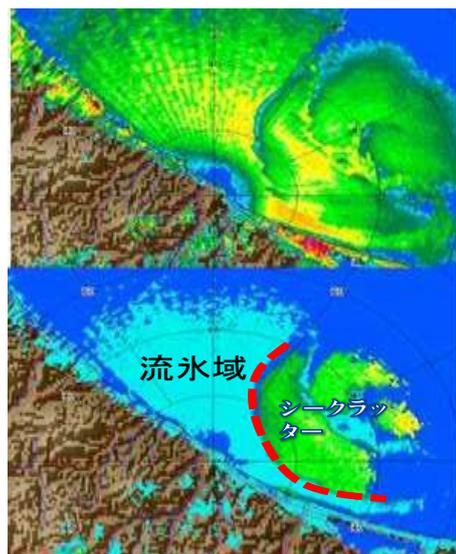


図3 レーダ反射強度のみではシークラッターが邪魔をするため海氷域の判別が困難である（上図）。一方、速度幅を用いることで、海氷域が明瞭に判別できる（下図）。

本システムでは、海岸から沖合60kmまでの海氷の水平分布を6分毎に観測しており、これを動画化することで、海氷の移動を可視化できる。しかし、海氷の短時間予報を行うためには、少なくとも海氷の移動ベクトルを定量化する必要がある。これまでは、面相関法のみで移動ベクトルを作成していたが（例えば、Kimura, 2005）、丸い円盤が

同じ場所で回転するような場合にはこの方法では検出できないなど、手法自体に限界があることと、その精度の検証がこれまでは行われてこなかった。そこで、面相関法で求めた海氷の移動ベクトルか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を完成させた (図 4)。これにより、毎秒数 10 cm 程度の精度の高い海氷の移動ベクトルの作成が可能となった。

これらの新しい海氷の検出法と移動ベクトルの作成法は、北極航路が現実となった段階では航路の安全確保と航路予測に大いに役立つであろう。

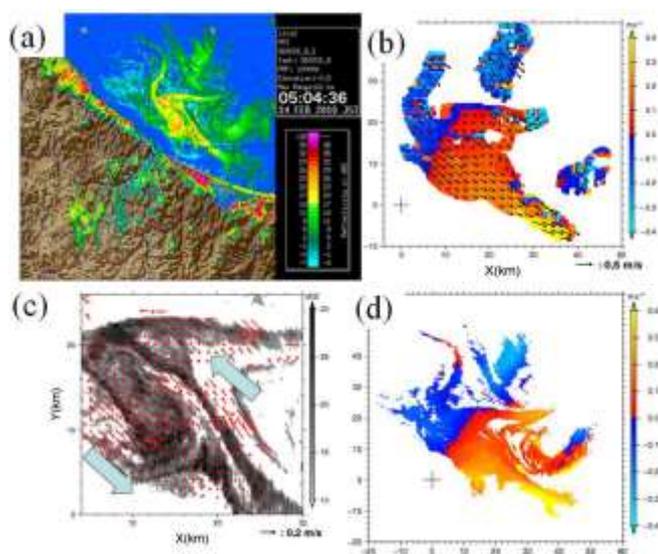


図 4 (a) 海氷のレーダ反射強度画像 (2010 年 2 月 14 日 5 時 04 分)、(b) 面相関法から計算した海氷移動ベクトルとドップラー速度、(c) 海氷内の相対移動ベクトル (平均移動ベクトルかからの偏差)、(d) 実測したドップラー速度。

5. まとめ

北海道オホーツク沿岸海域では流氷期においても流氷観光、海上輸送および漁業の経済活動が営まれている。流氷観光では絶えず分布域が移動する流氷を観光船で追いかける必要があり、限られた航行時間で効率的に運行するためには高精度な流氷移動予測の情報が必要としている。海上輸送では資材や水産物の輸送に加え、オホーツク海の石油・天然ガスパラントからの通年供給が始まり、

沿岸域の海上交通が盛んになることが予測されている。流氷期の物資輸送のリスクやコストは流氷のために高くなりやすく、流氷情報網の構築によりこれらの軽減を図ることができる。漁業では流氷期の始まり終わりの海産物は付加価値が高いため操業を行なっているが、流氷を絶えず監視(目視できる範囲に限られる)しての活動となる。レーダによる広範囲な流氷分布や移動を把握できることにより安全かつ効率的な操業が可能となる。

また、北極海の流氷が激減している現在、北極海の航路開拓や資源開発が世界的に検討されつつある。そのため、流氷域の安全・安心な航海や操業のための流氷検出技術およびその分布や移動に関する予報技術、さらにこれらの適切で分かりやすい情報発信は喫緊の課題となっている。このように、オホーツク海沿岸の流氷分布の高精度・短時間かつ信頼度の高い情報を提供する本システムは、まさに、流氷が接岸する南限の北海道のみで試行が可能であり、本地域の経済活動・船舶の航行に多大な貢献をすると共に、北極海での応用展開という将来展望も有している。

謝 辞

本システムの設置・維持に際しては、紋別市および興部町、北海道網走土木現業所興部出張所、本研究所の技術部の皆さんに大変お世話になりました。また、レーダエコーの解析にあたっては、研究室に在学した多くの大学院生(特に、上庄拓哉、大角光司、伊藤 諒、向笠康二郎)に貢献していただきました。記して感謝致します。

引用文献

- Aota, M., 1999: Long-term tendencies of sea ice concentration and air temperature in the Okhotsk Sea coast of Hokkaido. *PICES Sci. Rep.*, 12, 1-2.
- Fujiyoshi, Y., K. Osumi, M. Ohi, and Y. Yamada, 2012: Sea ice identification and derivation of its velocity fields by X-band Doppler radar. *J. Atmos. Ocean. Tech.* (submitted)
- Kimura, N., 2005: Sea ice motion derived from images by Aqua/AMSR-E. *Proc. 28th Symp. on*

Polar Meteorology and Glaciology, National Inst.
Polar Res., Tokyo, 30 Nov.-1Dec., pp.53.

Tabata, T., 1972: Radar network for drift ice

observations in Hokkaido, In: T. Karlsson (ed.),
Sea ice: Proc. International Conference (pp. 67-71).
National Research Council, Reykjavik.