

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654148

研究課題名(和文) レーダの3次元走査による海水厚の測定可能性

研究課題名(英文) Detectability of thickness of sea ice using 3D-scanning radar

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：寒冷海洋域での海水の長期変動を予測するためには、海水面積と同時に厚さの情報が必要不可欠。我々は、オホーツク海沿岸の紋別市に設置したXバンドドップラーレーダを用いて、冬季には海水観測モードで海水面積や海水域の短時間変動を観測している。本レーダは3次元走査が可能であるので、海水の3次元立体表示を行ったところ、海水域の凹凸が表示された。しかし、この凹凸が実際の海水の凹凸にどのように対応しているかどうかは、実測が無いので確認できていない。そこで、航空機で海水の凹凸を実測し、レーダ画面上の海水域の凹凸と比較した。その結果両者はきわめてよく一致し、レーダでも海水の凹凸が推定できることが実証できた。

研究成果の概要(英文)：Information of the thickness of sea ice is essential to predict a long-term change of the sea ice in the cold region. We have been observing sea ice using a X-band Doppler radar deployed in Monbetsu city. Three-dimensional display of observed sea ice echo indicates an irregularity of the sea ice area. However, it is not confirmed whether this irregularity is related to thickness of sea ice, or not. Therefore we measured horizontal distribution of the height of sea ice by using aircraft and compared it with the irregularity of the sea ice detected by the X-band Doppler radar. As a result, both data correlated very well. This fact demonstrates that thickness of the sea ice could be estimated by a three dimensional scanning radar.

研究分野：数物系

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：流水 レーダ 海水厚

1. 研究開始当初の背景

現在、オホーツク海はもとより北極海の海水が予測を上回る早さで激減している。温暖化にともなう海水量の変動は、海水量の減少⇒吸収する太陽熱の増加⇒海洋蓄熱量の増加⇒海水量の減少という正のフィードバックによって温暖化を加速するばかりではなく、海水生成に伴うブライン（高濃度塩水）排出量の減少による高緯度地方での海洋沈みこみ力の低下など大規模な海洋循環にも大きな影響を与えることから、その予測は大気・海洋・海水を結合した気候モデルにとって重要な課題となっている。

海水量に関しては、平均量を予測する経験式 (Yamazaki, 2000)、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 (Ohshima et al., 2006)、大気-海洋-海水-陸面を結合した領域気候モデルによる計算などが行われている (中村・三寺, 2008)。一方、熱量計算に最も重要な海水の質量に関しては、現在、海水に穴を開けて実測するか、砕氷船で割れた氷の厚みを測定するか、電磁誘導法やマイクロ波放射計を用いて間接的に推定するかのいずれかの手法で現場測定されてきた。これらは点か線かつ一時的なものである。また、衛星を用いたアルゴリズムでは、厚さ数cmまでの薄氷にしか適用できない (Tamura et al. 2007)。

我々は、オホーツク海沿岸に3次元走査型のドップラーレーダを設置して流氷の観測を行っている。このデータを用いて海水の3次元分布を作成したところ海水の凹凸が表現できることを見出したが、観測範囲内の海水の高さ分布に関しての実測が無く、レーダの3次元データを用いた海水の厚さ測定の可能性については、次の研究課題として残った。

2. 研究の目的

レーダの3次元データが示す凹凸度の物理的解釈と、海水の厚さ推定の可能性およびその応用性を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) オホーツク海沿岸の紋別市にある大山山頂に設置した既存のドップラーレーダで、流氷接岸時に6分毎に3次元走査 (-0.5度、0度、+0.5度、+1度の計4仰角で観測)を行った。このレーダデータを基に、等レーダ反射強度毎の3次元表示を作成し海水の凹凸度を可視化した。

(2) デジタル航空カメラを搭載したセスナ機で海水の凹凸を実測した。撮影範囲は海岸に沿って50km、沖合20kmまでである。航空機で撮影した地上画素寸法は20cm以内として撮影高度を決定し、撮影空白部が無いようにした。隣接する写真間のオーバーラップは60%、隣接するコース間の第度ラップは30%を標準とした。GNSS/IMU装置を使用した撮影を行うため、GNSS基準局は撮影対象地域内との基線距離を原則50km以内とし、電子

基準局の観測データを用いた。また、撮影面積は900平方km程度とした。用いたデジタル航空カメラは、撮影に使用するフィルターと組み合わせた画面距離および歪曲収差の検定値が0.01mm単位まで明瞭である。

(4) 撮影終了後、その結果に基づき地形図1/200,000に写真主点、コース番号、撮影縮尺、撮影日時を記入した評価図を作成し、それに航空機測量による海水の高度分布を重ねた。

4. 研究成果

セスナ機による測量は海氷上に雲があるとできないため、紋別空港に待機し快晴かつ風の無い2014年2月24日昼に実施した。図1と図2はそれぞれ測量を実施した時のRADARSAT画像とレーダ画像であり、図1の四角で囲んだ領域で空撮を実施した(図3)。

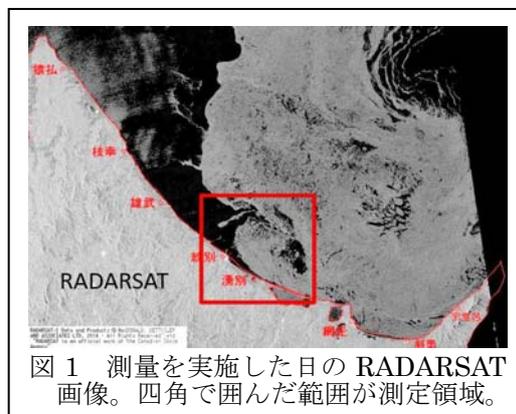


図1 測量を実施した日のRADARSAT画像。四角で囲んだ範囲が測定領域。

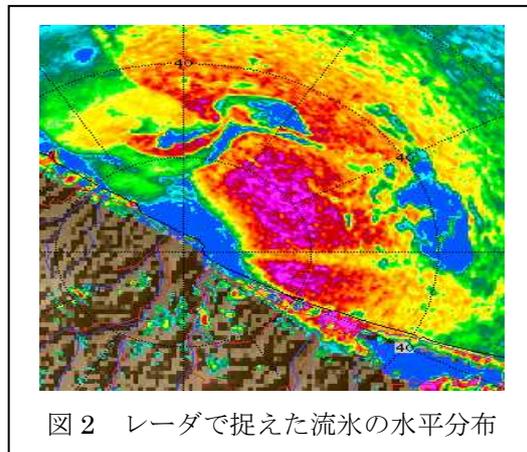


図2 レーダで捉えた流氷の水平分布

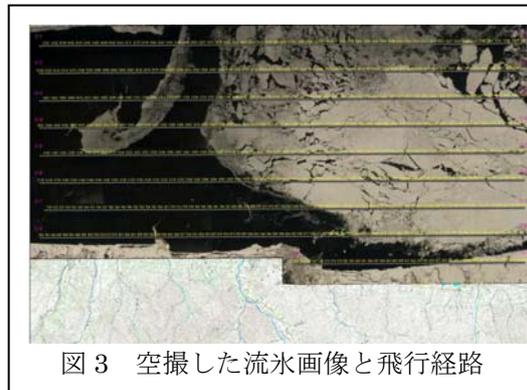


図3 空撮した流氷画像と飛行経路

図2と図3、すなわち空撮とレーダ画像を比較すると、レーダ反射強度と流氷密接度が良く一致しており、レーダを使うことで流氷域を正確にとらえることができるばかりではなく、より細かいスケールでの流氷の状態も示すことが可能であることが確認できた。

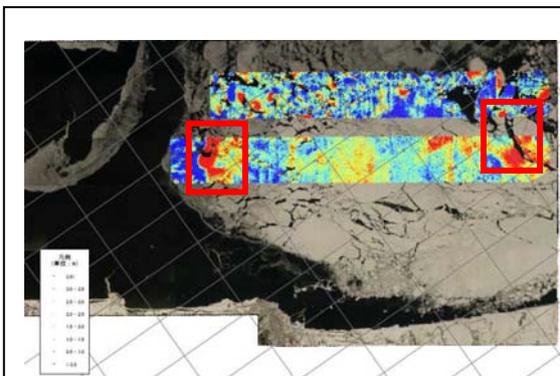


図4 空撮で測量した海氷の高度分布。四角で囲んだ領域が特に高い。

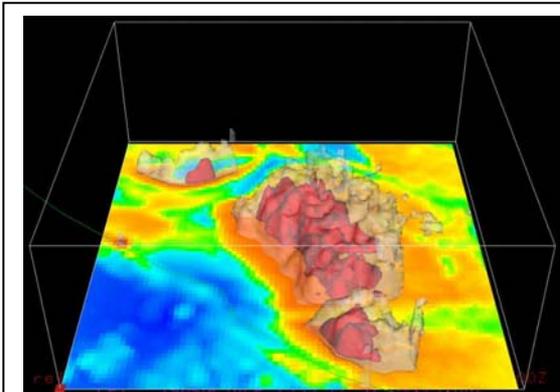


図5 レーダデータから作成した流氷の3次元立体表示

図4は図3に示した飛行経路に沿って作成した海氷の高度分布を示したものである。海氷の高度は0.5m間隔で示し、一番高いところでは3.5m以上であった。

図5にドップラーレーダデータを基に作成した流氷のレーダ画像の3次元表示を示した。図からは流氷の中央部が厚く盛り上がっていることが分かる。この図と図4の測量結果とを比較すると、両者が良く一致しており、レーダで捉えることが可能な流氷の凹凸部が、実際の流氷の凹凸部と対応していることが確認できた。

さらにドップラーレーダで6分毎に取得した画像を使って流氷の動きを動画化することが可能である。それによると、図4の四角で囲んだ海氷高度が高い2か所の領域は、海氷の動きが速く互いに衝突している箇所と一致していた。さらに、空撮で取得した画像を用いることで、レーダよりもより詳細な流氷の動きを計算から求めることもできた。

今後、両データの相関をとることで海氷厚推定式を作成し、かつ、詳細な海氷の画像データと本レーダでのみ示すことが可能な海

氷の収束・発散域との対応を行うことで、海氷の凹凸の物理的解釈を行い海氷流動モデルへの適用も可能である。

また、流氷の成長過程も調べることが可能な高精度の画像も数多く取得できた。特に、海氷域の風下に存在する幅数10mの極めて細いアイスバンドを発見した(図6)。このスケールの現象は、衛星はもちろん現有のレーダでもとらえることができず、もちろん従来の海氷モデルでは説明することはできないことから、新たな大気・海洋・海氷結合モデルの作成が必要である。



図6 流氷の風下で発見した極めて細いアイスバンド

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 Kayano, M., N. Kimura, Y. Nakano, and H. Yamaguchi, Effect of sea ice on spatial and temporal variation of spring bloom in the Sea of Okhotsk, Proc. 29th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice、査読無、2014, pp127-130.
- ② Nakano, Y., H. Yamaguchi and N. Kimura, Sea ice production and reduction in the Sea of Okhotsk, Proc. 28th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice、査読無、2013, pp220-2222.
- ③ Fujiyoshi, Y., K. Osumi, M. Ohi, and Y. Yamada, Sea ice identification and derivation of its velocity fields by X-band Doppler radar, J. Atmos. Ocean. Tech., 査読あり、2013, pp1240-1249.

[学会発表] (計 1 件)

- ① 藤吉康志、レーダを用いた流氷観測の現状と課題、第29回北方圏国際シンポジウム、2014年2月17日～19日、紋別市

民ホール（紋別市）（招待講演）

〔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

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