

オホーツク海における流氷移動ベクトル推定手法に関する検討

北見工業大学大学院	学生会員	○佐野	史弥
北見工業大学	正会員	中山	恵介
北見工業大学	正会員	館山	一孝
株式会社豊水設計	正会員	佐藤	之信
北見工業大学	正会員	駒井	克昭

1. はじめに

オホーツク海は千島列島により太平洋との海水の交換が抑制されており、陸域からの栄養が流れこむことで、太平洋と比較して栄養塩等が高濃度で存在し、その結果、1次産業が活発となり豊かな漁場が形成されている。春先には、流氷により輸送された栄養を利用し、プランクトンが大量に発生することからも、その栄養の高さを想像することができる。過去の研究により、流氷は北方圏における自然河川と同じ程度の窒素、リン濃度を示しており、流氷がどのように輸送されるかはオホーツク海の生態系にとって重要であると考えられる。さらに、北方圏に生息する生物からみると、流氷は栄養を輸送するだけでなく、トドやオオワシの休息の場として利用されていたり、流氷下ではクリオネ等の生物が生息していることから、生物に対して重要な場を提供している。しかし近年、地球規模での環境変動により流氷の輸送量に大きな変化が現れていることが指摘されており、流氷の接岸量が減少する可能性がある。そこでまず、将来において流氷の輸送がどのように変化するかを検討するための準備として、現在までのデータを利用し、流氷がどのように輸送されているかを理解する必要があると考えられる。過去の研究において、館山ら(2011)は、衛星データを利用した流氷の空間分布および流氷厚さの推定手法を提案しており、推定された流氷厚を利用することで流氷の移動を推定することができる可能性があることを示している。しかし、流氷がオホーツク海全域を覆っているわけではないため、これまでに有効な流氷移動ベクトルを推定する手法は提案されていない。そこで本研究では、館山ら(2011)により利用されている衛星データを利用し、流氷移動ベクトルを推定するための手法を提案し、その精度検証まで行うことを目的とする。

2. 流氷厚分布とその特性

本研究では、米国の軍事気象衛星DMSIに搭載されているマイクロ波放射計SSM/IおよびSSMISのデータを使用し、推測された流氷厚データを利用した。解析対象例として流氷が広範囲に発生し、典型的な流氷発達時のデータとして利用できる2002年2月4日のデータを利用して解析手法の説明を行う。解析領域の流氷厚の空間分布データは、南北に161メッシュ、東西に264メッシュで構成されており、1メッシュあたり約12.5kmである(図-1)。流氷厚さデータを利用して水平空間移動ベクトルを推定する場合、どの程度の空間スケールを代表値として用いるかという問題が発生する。そこで本章において、例としてあげた流氷厚さの空間分布データを利用し、流氷厚さの代表空間スケールを推定することとする。代表スケールの推定にはスペクトル解析を利用することとし、対象とする流氷厚さデータは、最も流氷が長距離にわたり存在している東経143度における南北方向データを利用することとした。その結果、約210 kmが卓越する代表スケールとして得られた。

3. 流氷移動ベクトルの推定

流氷厚の空間分布図を利用し移動ベクトルを推定するために、(1)Particle Image Velocimetry (PIV) を利用した移動ベクトルの推定、(2)未推定移動ベクトルの空間補間の実施、(3)流れ関数を利用した移動ベクトルの推定の3行程を実施する。PIVを利用した移動ベクトルの推定において、以下の2つの仮定が成り立つものとして解析することとなる。1つ目は、流氷厚さの発達や衰退が解析データ間隔の1日で大きく変化しないこと。2つ目は、流氷同士

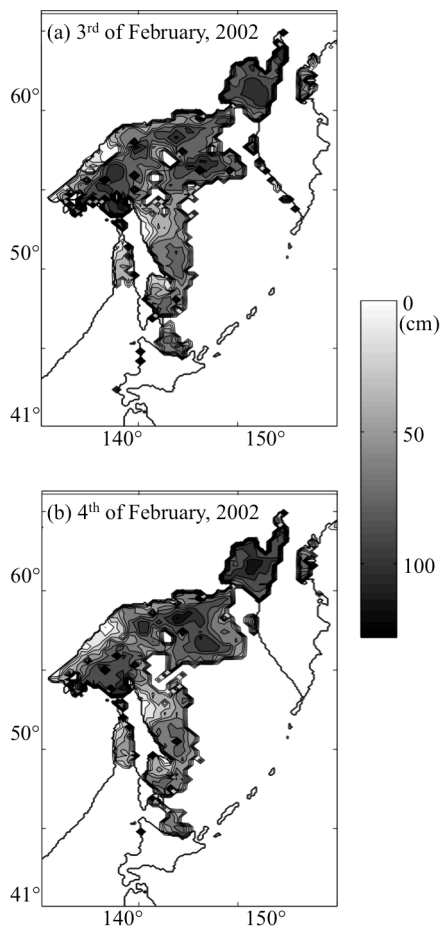


図-1 オホーツク海周辺における衛星による流氷厚分布図。(a) 2002年2月3日。(b) 2002年2月4日。

キーワード 流氷, オホーツク海, 衛星データ, 重み関数, Particle Image Velocimetry, 流れ関数
 連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165番地 北見工業大学大学院社会環境工学専攻 TEL 0157-26-9501

重なりやのし上がりなどによる流氷厚さの急激な増大や減少が発生しないことである。PIVを利用する際、データの空間解像度と解析したい現象の2つの空間スケールを考慮して適当なウィンドウサイズを決定する必要がある。第2章における検討の結果、流氷厚さの代表空間スケールは約210kmであると得られた。ウィンドウサイズがこの210km以上の大きさになってしまうと、PIVにより得られる移動ベクトルは210km以上のスケールのみを抽出した結果となってしまうことから、ウィンドウサイズを約60km(メッシュ数5)、約140km(メッシュ数11)、約190km(メッシュ数15)の合計3種類を用意して計算を実施することとした。流氷が存在しない箇所では移動ベクトルを推定できないため、距離により指数関数的に重みが減少する関数を利用して、未推定領域に対して空間補間を実施した。第1段階のPIVと同様に空間補間のための代表距離 L を与えなくてはならないため、PIVの最大空間スケールがメッシュ数約15であったことを考慮し、それ以上の現象を削除してしまわないように、1メッシュ、3メッシュ、5メッシュ、10メッシュの4種類を与えた。重み関数を利用した移動ベクトルの補間では、急激に移動の方向が変化する等の移動ベクトルが含まれる結果となり、実際の移動ベクトルと明らかに異なる解が得られる可能性がある。そのような不自然な移動ベクトルを修正するため、流れ関数を利用した修正方法を利用することとした。流れ関数を利用するにあたり、流氷移動ベクトルは水平面内で保存を満たしていると仮定することとした。最終的に得られた流氷移動ベクトルを図-2に示す。

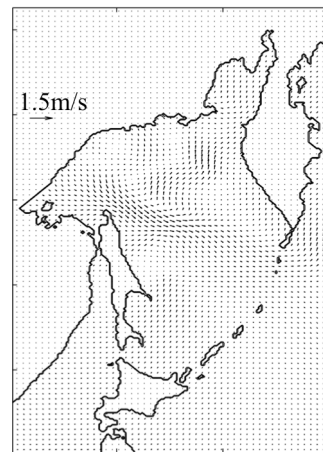


図-2 PIV から流れ関数の利用までの解析を実施した流氷移動ベクトル。 window size : 15 mesh, L : 3 mesh.

4. 再現性の検討

第3章により推測された12種類の流氷移動ベクトルを対象に保存型の移流計算を行い、精度検証を行った(図-3)。2002年のデータで最小の誤差を示したのはウィンドウサイズ15メッシュ、代表距離3メッシュの条件で相対誤差44.29%あることがわかった。この誤差を有する原因としては主に三つあると考える。一つ目に、第2段階における空間補間である。この解析方法は他の解析方法とは異なり、物理的根拠がなく、誤差を生じやすい結果となってしまった。二つ目に、流氷厚の空間分布データのメッシュ範囲が約12.5km四方と大きく、詳細な流氷厚さを推定できないため誤差値に影響を及ぼしているのではないかとと思われる。三つ目に、新しく生成される流氷を考慮していない点である。流氷が接岸している北部に陸が位置している場合に北風が与えられると、移流された流氷と陸域の間に流氷の存在しない領域が与えられてしまう。他の年でも同様の結果が得られるかを調べるために、流氷の量が特に多かった2001年、2003年のデータを第3章と同じ方法で解析し、精度検証を行った結果、2001年はウィンドウサイズ15メッシュ、代表距離5メッシュの条件で相対誤差41.11%、2003年はウィンドウサイズ11メッシュ、代表距離5メッシュの条件で相対誤差53.39%という結果が得られた。3年間の結果の共通点として、ウィンドウサイズは11~15メッシュ、代表距離 L は3~5メッシュの条件の中で最小の誤差を示したデータが良い結果を出していることがわかった。

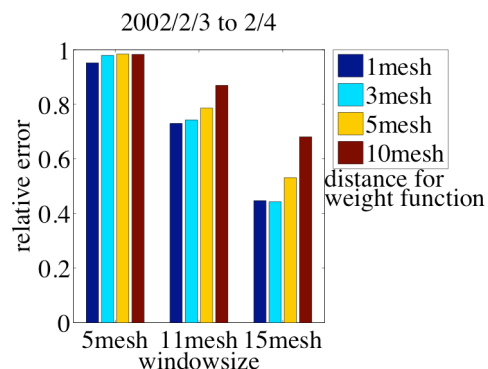


図-3 推測された流氷移動ベクトルを対象に保存型の移流計算を利用した精度検証結果。

5. おわりに

本研究で得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- ・流氷移動ベクトルをPIVや空間重み関数、流れ関数を利用して推定することができた。
- ・ウィンドウサイズは11メッシュ~15メッシュ、代表距離 L は3メッシュ~5メッシュの条件において比較的小さい誤差で流氷移動ベクトルを推測することができた。

本研究で提案した手法だと最小誤差が40%程度であり、オホーツク海の流氷の輸送形態のおおよそを把握することは可能であるが、接岸する領域などの詳細の把握は難しい点がある。今後は、誤差が小さくなるために手法の改善や新たな手法の提案が課題である。

参考文献

- ・ Aynur Abliz, 中山恵介, 丸屋靖幸, 桑江朝比呂, 岡田知也, 石田哲也: 安定同位体比による知床ラウス川を通じた海起源栄養塩の流域内分布, 水工学論文集, 第55巻, pp. 1303-1308, 2011.
- ・ 館山一孝, 榎本浩之: 衛星リモートセンシングによるオホーツク海氷厚変動の監視, 土木学会論文集B3(海洋開発), 67(2), I_721-I_726, 2011.