

海氷移動ベクトルプロダクト

Sea Ice Motion Vector Product

宮川 卓也¹、松本 隆則¹

MIYAKAWA Takuya, MATSUMOTO Takanori

Abstract

The Meteorological Satellite Center has developed a sea ice motion vector product and has been disseminating this to the Office of Marine Prediction of the Japan Meteorological Agency since March 2009. The sea ice motion vector product is the sea ice drift velocity vector and is derived by tracking sea ice cover in two visible channel imageries using pattern matching. This product is produced 6 times per day in the daytime. Because this product can depict sea ice drift in detail, it is useful for sea ice monitoring in the Sea of Okhotsk.

要 旨

気象衛星センターは海氷移動ベクトルプロダクトを開発し、2009年3月から気象庁海洋気象情報室への提供を行っている。海氷移動ベクトルは2枚の可視画像間のパターンマッチングにより海氷分布を追跡し、漂流速度データを算出したプロダクトである。昼間の画像を使用して1日に6回算出されている。海氷移動ベクトルプロダクトはオホーツク海の海氷漂流分布を細かく捉えることができるため、海氷の実況監視等に役立つと考えられる。

1. はじめに

気象衛星センターでは、気象庁海洋気象情報室で作成される海氷情報図の作成に使用される海氷画像を毎日提供している。これらは気象衛星センターで受信した静止気象衛星ひまわり6号(MTSAT-1R)や極軌道衛星NOAAが取得した画像からオホーツク海域を切出した画像である。これらの画像データから面的な拡がりに関する情報は得られるが、海氷の拡がりの傾向を知るためには海氷の漂流速度が必要であり、衛星画像データを利用した海氷の移動量の検出を開発することとなった。松本・今井(2008)では、MTSAT-1Rの可視チャンネルの画像から海氷移動ベクトルを算出する手法を気象衛星センターの計算機システムに導入した。MTSAT-1Rの可視チャンネルの解像度はオホーツク海南部ではおおよそ1.7km程度であり、北海道沿岸域での細かな海氷分布が検出

できることから、漂流速度の分布も細かく検出することが可能である。2009年3月11日から正式に作成を開始し、海洋気象情報室に提供しており、海氷監視業務に使用されている。本稿では、当プロダクトの処理内容について報告する。

2. 算出アルゴリズムの概要

海氷移動ベクトルの算出アルゴリズムは松本・今井(2008)による手法を用いている。この手法では画像全体に対してパターンマッチングを行うことで、海氷域だけではなく雲域や開放水面についても移動ベクトルを算出し、算出された移動ベクトルのばらつきの度合いに基づいて海氷移動ベクトルの抽出を行う。雲域や開放水面域で取得される移動ベクトルの分布は、海氷の移動ベクトルの分布に比べてばらつきが大きくなる。このばらつきを定量的に評価す

¹気象衛星センターデータ処理部システム管理課
(2009年10月26日受領、2009年12月14日受理)

るためにベクトルのエントロピー及びベクトルの方向の一様性に関する指標を計算し、一定の閾値を設定して、ばらつきが小さいものを海氷移動ベクトルとする。

3. 算出処理

図1に海氷移動ベクトル作成処理の流れを示す。

3.1 データ

このプロダクト作成では HRIT 可視チャンネル画像データを使用している。HRIT 画像データから図2に示すようなオホーツク海全体を含む矩形領域を切り出す。海氷移動を測定する2枚の画像の時間間隔は、海氷域の多くで1画素以上の海氷の移動量が得られるように、4時間としている。時間間隔が短す

ぎると、移動量が小さくなり、漂流速度の大きい海氷しか追跡できない。

3.2 画像位置合わせ

MTSAT-1R の観測データから作成された HRIT 画像は衛星の軌道制御・姿勢制御の運用の影響で画素の位置ずれが発生している事がある。気象衛星センターでは各種のプロダクトの作成前に、赤外チャンネル画像のランドマークデータを使用した画像位置合わせを行っており、画素の位置ずれが少ない HRIT 画像が用意されている。この処理により画素の位置ずれは赤外半画素以下(赤外1画素は衛星直下点で4km)に抑えられている(伊達、2008)。海氷移動ベクトルでは4時間間隔の2枚の画像から数画素の移動を検出するため、画素の位置ずれが大きいと移動量の誤差が大きくなる。

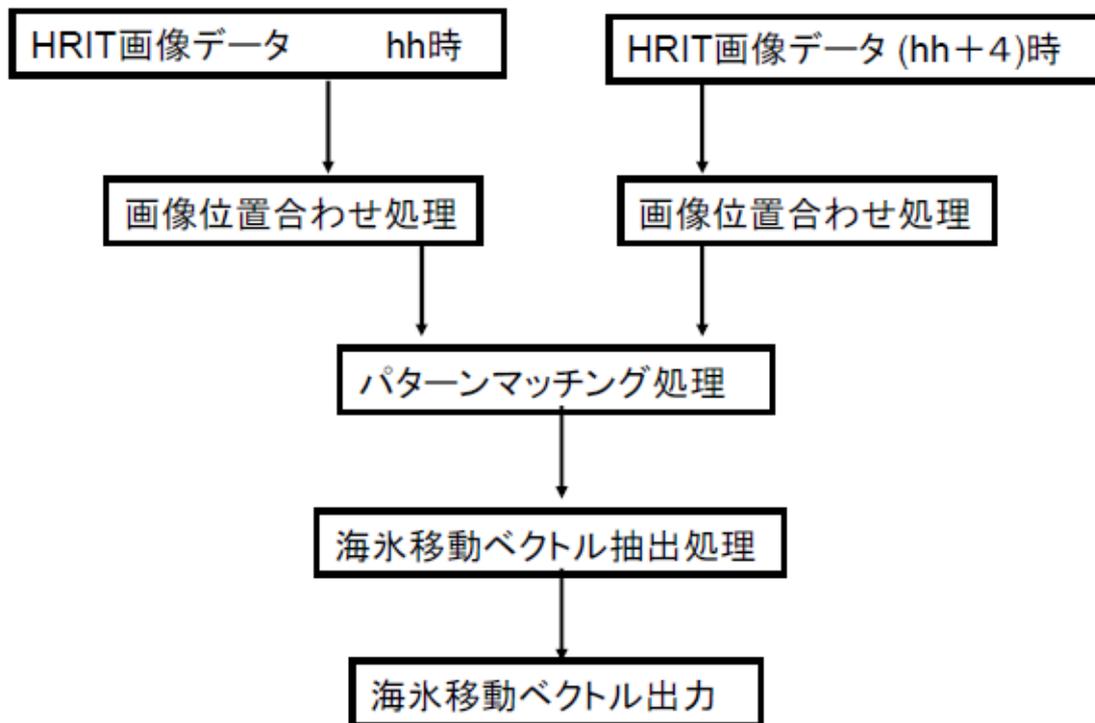


図1 海氷移動ベクトル作成処理の流れ

海氷移動ベクトル処理では画素の位置ずれをさらに小さくするために、可視画像のランドマークデータを使用した画像位置合わせを行う。可視チャンネルの画像の解像度は赤外の4倍(直下点で1km)なので、可視ランドマークデータを使用することで画素の位置ずれはさらに小さくできる。可視ランドマークデータによる補正処理は伊達(2006)と同じ処理であるが、使用するランドマークは対象海域であるオホーツク海近くの海岸線のみを使用している(図2)。可視ランドマークによる補正によって、画像位置ずれは可視半画素程度におさえられるようになる。

3.3 パターンマッチング

画像位置合わせが完了した画像データから、テンプレートとサーチエリアを切出しパターンマッチングを行う。テンプレートのサイズは8×8画素、サーチエリアのサイズは32×32画素である。使用しているFFTサブルーチンの制限でこれらのサイズが2のべき乗になるようにしているが、松本・今井(2008)で使用されているテンプレートサイズ9×9画素、サーチエリアサイズ31×31画素、とほぼ同じ大きさとしている。9×9画素のテンプレートのサイズは、松本・今井(2008)でオホーツク海の海氷分布のパターンに対して適切なサイズであることが示されている。テンプレートとサーチエリアのサイズから探索範囲は±12画素となり、これが検出できる

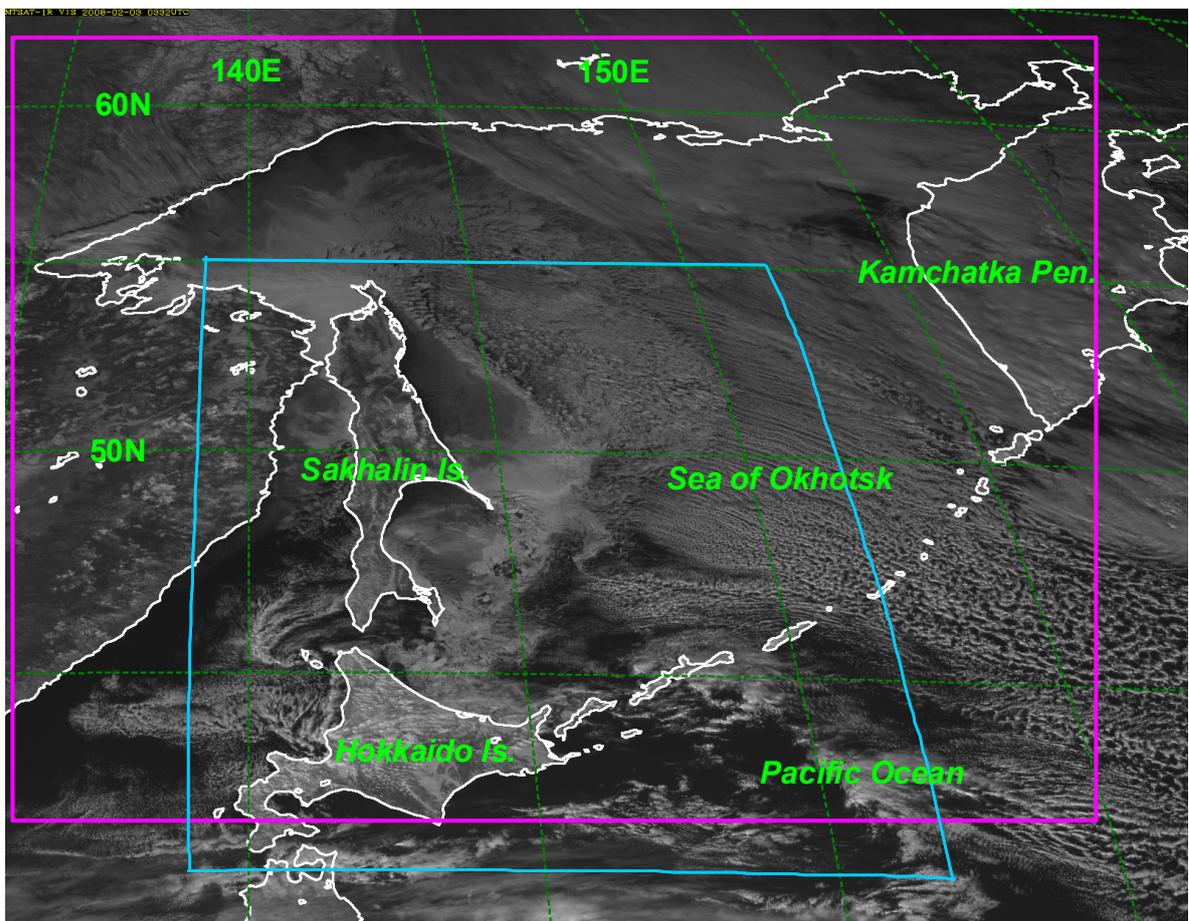


図2 海氷移動ベクトルの算出範囲

HRIT 画像上の移動ベクトル算出範囲(ピンク線)と、可視ランドマークの利用範囲(水色)。2008年2月3日の04UTの全球観測の可視画像の上に描画している。算出範囲は右上が東経167度、北緯64度、左下が東経136度、北緯42度となる領域である。

最大の移動量となる。移動量を測定する 2 枚の HRIT 画像の時間間隔は 4 時間で、最大で 1m/s 程度と考えられる海氷の漂流速度に対しても十分な探索範囲となっている。パターンマッチング処理では、相互相関係数が最も大きくなる位置を移動先として移動ベクトルを算出する。この処理では全ての画素についてその画素を中心としたテンプレートを設定し、全ての画素について移動ベクトルを算出している。

3.4 海氷移動ベクトル抽出

各画素毎に算出された移動ベクトルから、ベクトル分布のばらつきを示すベクトルのエントロピーと方向の一様性に関する指標を計算する。これらの計算では 9×9 画素の 81 個の移動ベクトルデータが使用される。

計算されたエントロピーと方向の一様性に関する指標から、エントロピーが 0.4 以下、または、エントロピーが 1.4 以下且つ方向の一様性に関する指標が 0.6 以上、の何れかの条件を満たす場合、海氷移動ベクトルとして抽出する。

抽出に使用するエントロピーと方向性指標の閾値は経験的に決定した値である。松本・今井(2008)では 2 番目の条件を、エントロピーが 0.6 以下且つ方向の一様性に関する指標が 0.8 以上としており、その設定よりも閾値を若干緩和してある。これは閾値を厳しく設定すると、氷縁域の海氷漂流の複雑な分布を追跡している移動ベクトルがリジェクトされてしまうことが多いためである。しかし、条件を緩和することにより海氷移動ベクトル以外の移動ベクトル(誤ベクトル)も多く抽出されてしまう。エントロピーや方向の一様性に関する指標の閾値を厳しくするにつれこれらの誤ベクトルは少なくなるが、漂流分布の細かな様相を追跡している海氷移動ベクトルが抽出されなくなってくる。

エントロピーと方向の一様性に関する指標の条件を通過して抽出されてしまう誤ベクトルの特徴のひとつとして、周囲のベクトルと比較して非常に大き

な誤ベクトルである場合に、旨く除去できていないことがわかった。原因の 1 つは、周囲のベクトルにばらつきが少ない場合には、エントロピーが低くなることである。もう 1 つの原因は、方向の一様性に関する指標が、(ベクトル和の大きさ)と(ベクトルの大きさの和)の比であるので、周囲のベクトルの大きさが小さい場合には大きい誤ベクトルによって方向の一様性に関する指標が 1 に近づき、ばらつきが小さいと評価されてしまうことである。このような誤ベクトルを除去するために、移動ベクトルを周囲のベクトルと比較する以下のテストを追加した。

$$|\mathbf{V} - \mathbf{V}_{\text{ave}}| < 2.0 \times \sigma \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{(\sum |\mathbf{V} - \mathbf{V}_{\text{ave}}|^2 / N)} \quad (2)$$

$\mathbf{V} = (u, v)$; 検査対象のベクトル

$\mathbf{V}_{\text{ave}} = (\sum u / N, \sum v / N)$; 周囲のベクトルの平均
N; 周囲のベクトルの数

式(1)の条件を満たさない移動ベクトルは誤ベクトルであると判断する。比較に用いる周囲のベクトルは、9×9 画素の中に含まれる 80 個のベクトルである。

このテストを追加したことにより、図 3 に示すように、誤ベクトルの除去が効果的に行われるようになった。

3.5 海氷移動ベクトル出力

各画素で算出された移動ベクトルのうち、海氷移動ベクトルと判別された移動ベクトルのみをファイルに出力する。HRIT 画像の画素の位置に対応する北緯と東経及び、移動ベクトルから換算した漂流速度ベクトルの東西成分と南北成分をファイルに出力する。

3.6 運用

海氷移動ベクトルプロダクトのルーチン処理は可視チャンネル画像を使うため、昼間の画像データを使用して実行される。02~07UT の 6 回の全球観測

画像の取得後に処理を開始し、これらの観測画像をパターンマッチングの 2 枚目の画像として処理を行

う。時間間隔は 4 時間としており、1 枚目の画像は 22~03UT の全球観測画像が使用される。

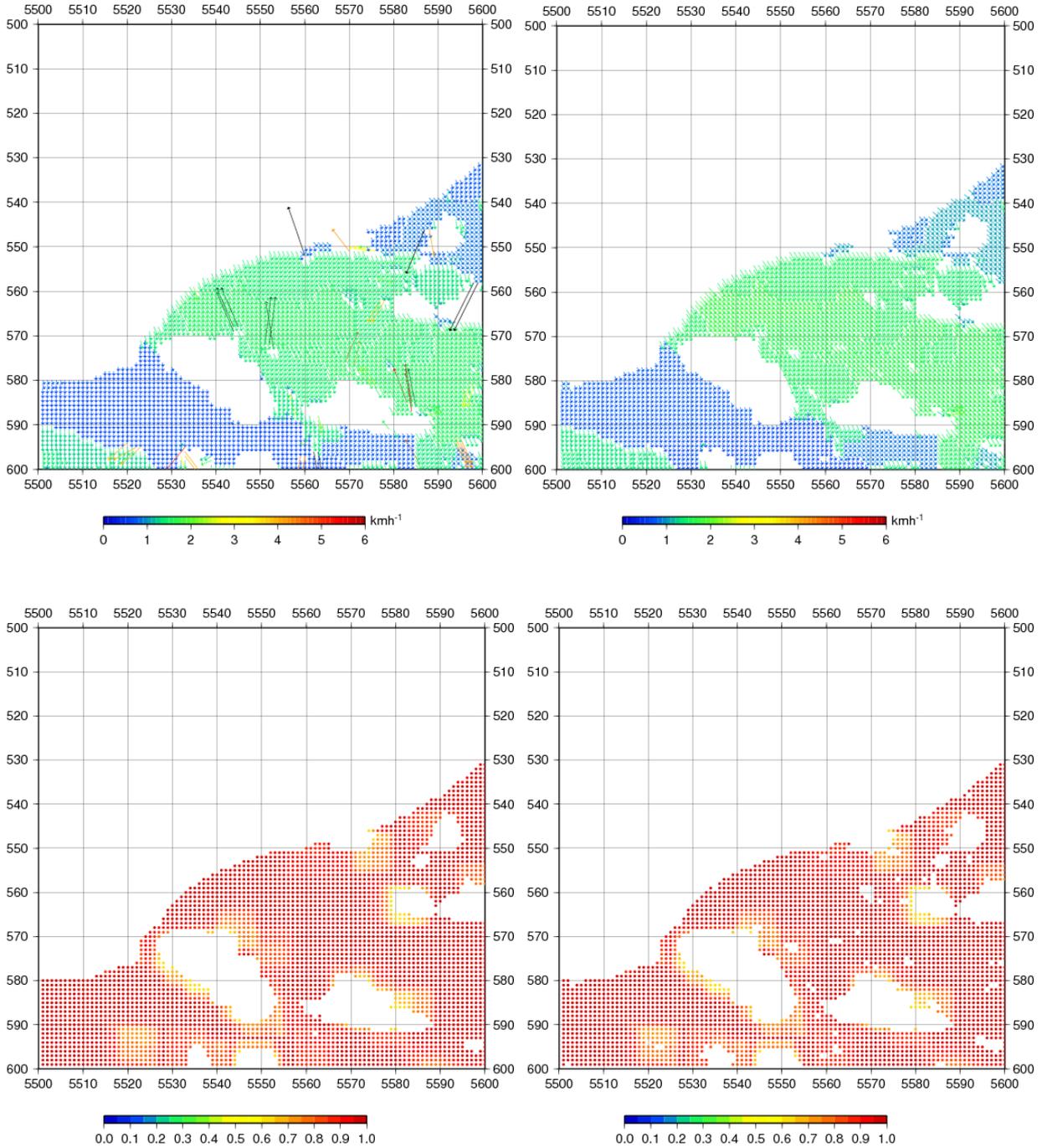


図 3 海氷移動ベクトル抽出処理に追加した新規のテストの効果

エントロピーと方向の一様性に関する指標を使って海氷移動ベクトルを抽出した結果(左)と、新規のテストを追加した結果(右)を示す。上段は海氷移動ベクトルとして抽出された移動ベクトル、下段は抽出された移動ベクトルの方向の一様性に関する指標であり、それぞれ HRIT 画像の各画素ラインとピクセルの座標上に描画している。周囲のベクトルと大きく異なって誤ベクトルと考えられるベクトルが除去されるようになる。

4. 算出結果

図4及び図5に海氷移動ベクトルプロダクトの例を示す。プロダクトには海氷移動ベクトルとして抽出された漂流速度のみが HRIT の1画素毎に含まれている。このデータを緯度・経度 0.1 度ごとの格子データにするため、半径 5km 内にある漂流速度データを平均化した値を作成して描画している。北海道沿岸に沿う海氷漂流の分布や、沖合いでの渦や蛇行などの複雑な漂流分布が捉えられている。

海氷移動ベクトルプロダクトの結果を確認するために、2枚の画像の特徴的な氷盤などを目視で追跡して作成した移動ベクトルとの比較を行った。漂流速度の東西成分と南北成分の比較結果を図6に示す。目視による追跡が必ずしも真の値であるとは言えないが、プロダクトの移動ベクトルと目視で追跡した移動ベクトルはよく一致しており、パターンマッチングによる海氷域の追跡は適切に行われていると考えられる。

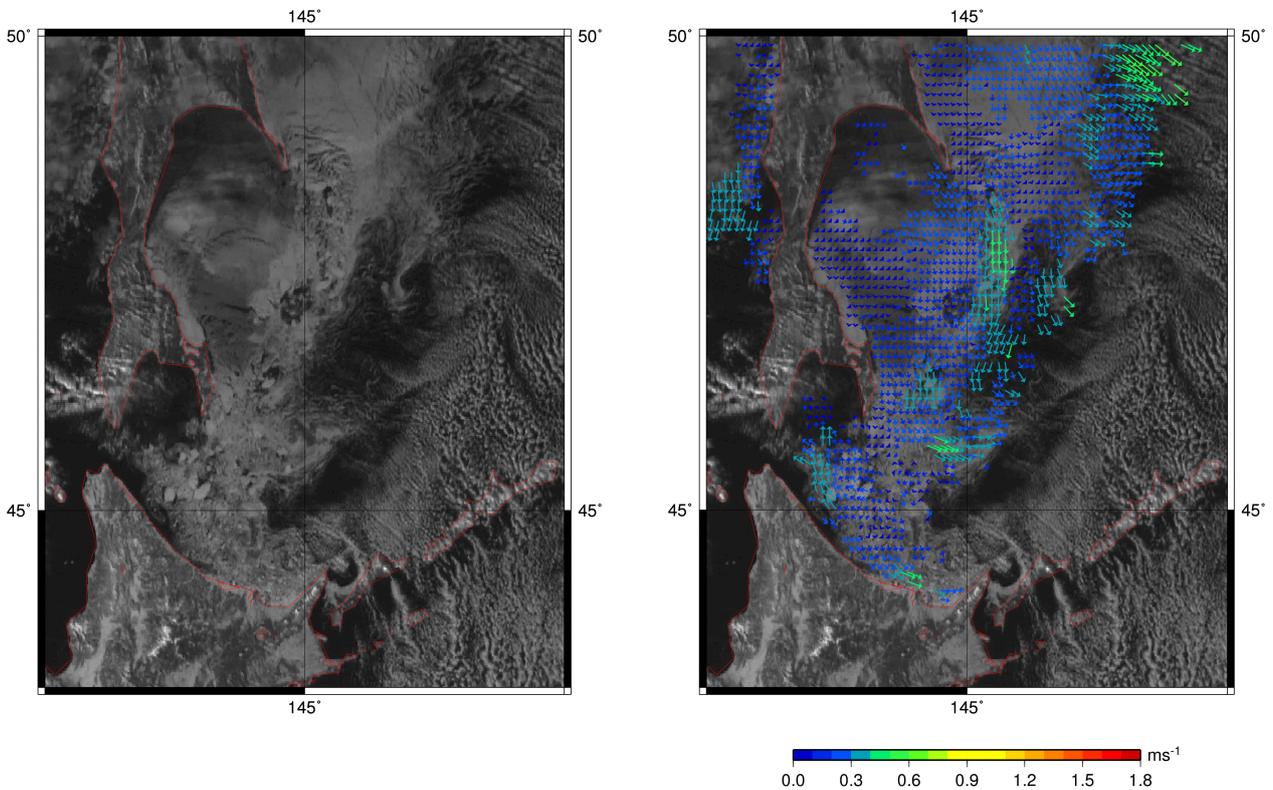


図4 海氷移動ベクトルプロダクトの例 -1

2008年2月4日 02UT~06UTの海氷移動ベクトルプロダクト。06UTの可視画像(左)と、06UTの可視画像に海氷移動ベクトルを重ねたもの(右)。海氷移動ベクトルは0.1度毎に半径5km内の移動ベクトルを平均化して描画した。

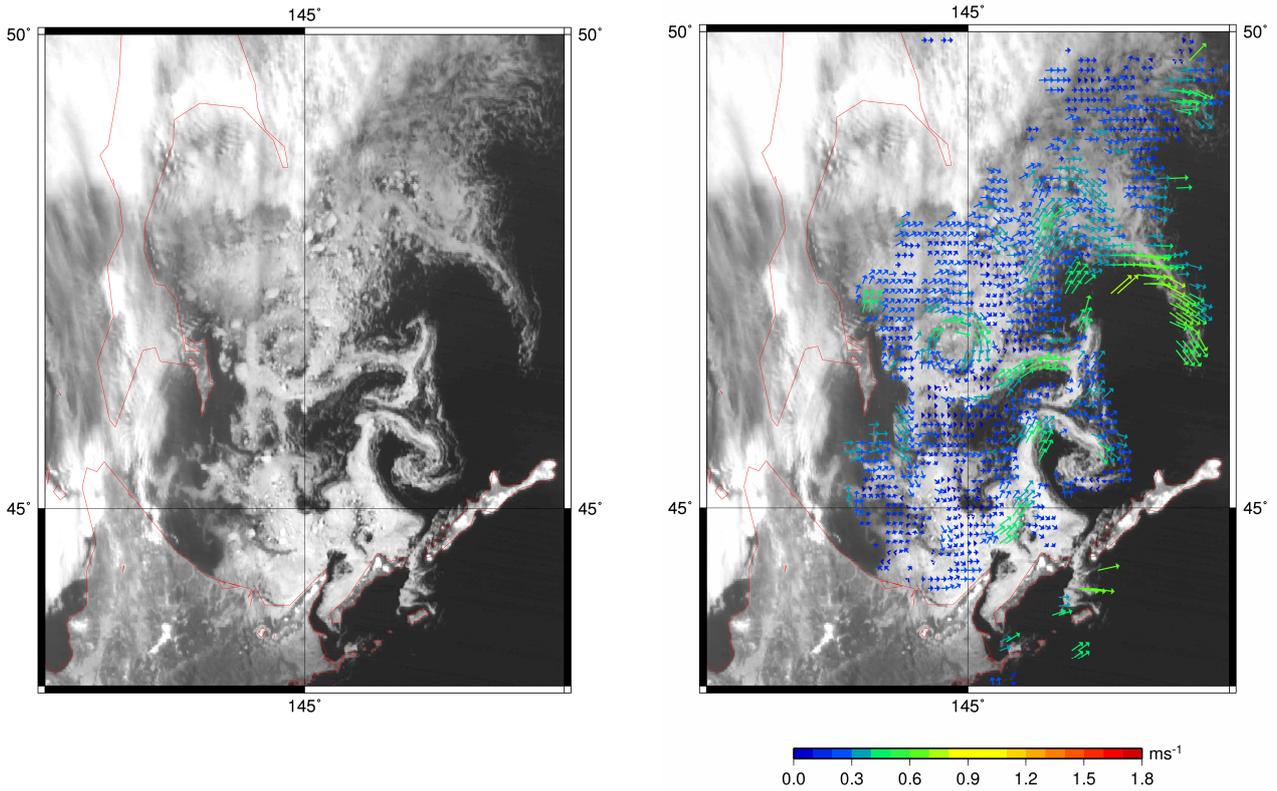


図5 海氷移動ベクトルプロダクトの例 -2

2008年3月13日 01UT~05UTの海氷移動ベクトルプロダクト。05UTの可視画像(左)と、05UTの可視画像に海氷移動ベクトルを重ねたもの(右)。海氷移動ベクトルは0.1度毎に半径5km内の移動ベクトルを平均化して描画した。

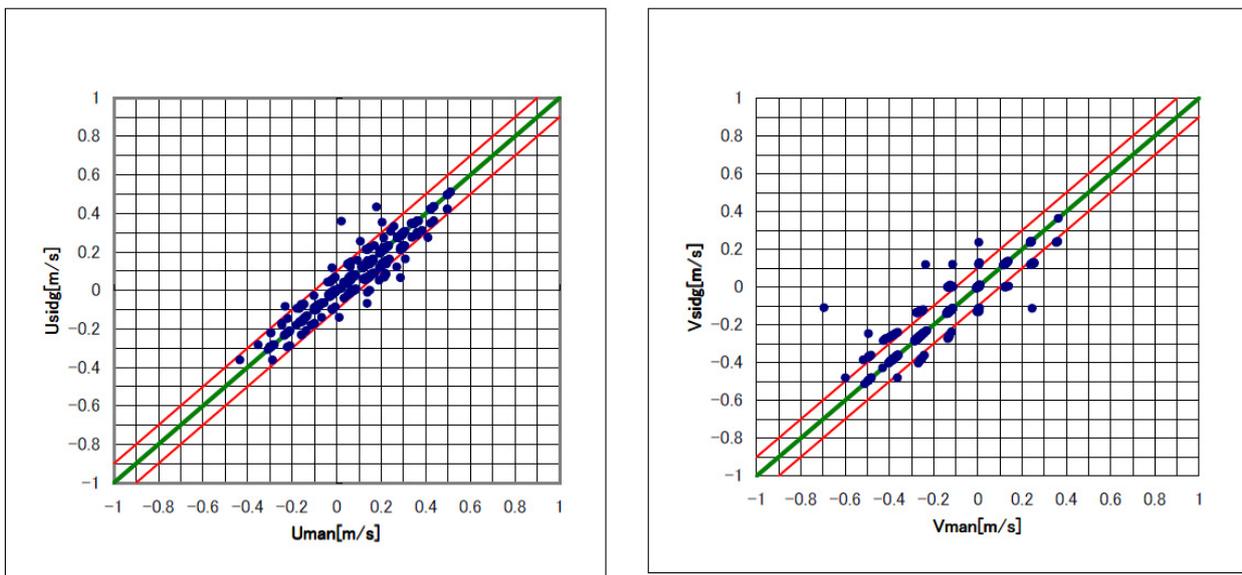


図6 海氷移動ベクトルと目視による画像追跡の比較

目視で追跡した移動ベクトルと、その半径5km以内で算出された海氷移動ベクトルを散布図で比較している。横軸は目視による追跡で算出した漂流速度、縦軸は海氷移動ベクトルプロダクトの漂流速度である。左のグラフが東西成分、右のグラフが南北成分である。緑と赤の線は分布をわかりやすくするために引いた補助線である。

使用したデータは2008年2月3日、4日、6日の01~05UTの観測データで、比較に使用されているベクトルの数は全部で562個である。

5. プロダクトを利用する際の注意

(1) 漂流速度の解像度

海氷移動ベクトルは HRIT 画像から切り出された図 2 の領域の全ての画素で算出されている。パターンマッチング処理により移動量は画素数で算出されるが、HRIT 画像の画素間の地表面での距離は一定ではないため、1 画素あたりの距離は場所によって異なっている。HRIT 画像の画素の間隔は衛星の直下点では約 1km であるが、直下点から離れると大きくなり、例えばオホーツク海南部北海道沿岸では南北 1.7km 東西 1.1km 程度で、サハリン島北部の東岸付近では南北 2.4km 東西 1.1km 程度となる。このため海氷移動ベクトルプロダクトの漂流速度の解像度も、オホーツク海南部では約 12cm/s 程度の解像度であるが、サハリン島北部の東岸付近では約 17cm/s の解像度となる。

(2) 誤ベクトルの扱い

このプロダクトでは移動ベクトルの分布の特徴から海氷移動ベクトルを抽出しているが、雲域や開放水面域を追跡したベクトルが海氷移動ベクトルとして抽出されてしまった、誤ベクトルが残っていることがある。このため必要に応じて、誤ベクトル算出に使用された画像や、その前後の画像データを確認したり、別途推定される海氷分布と照らし合わせるなどして、誤ベクトルを除去する必要がある。

(3) 移動ベクトルの取得率

海氷域は晴天域でしか観測できないため、海氷移動ベクトルプロダクトも、1 枚目と 2 枚目の画像でいずれも晴天域となっている海域でのみ生成される。海氷移動ベクトルプロダクトに含まれているのは、海氷移動ベクトルとして抽出されたデータのみであるため、実際の海氷域のうちどの程度の割合のデータを作成できているかは知ることはできない。図 7 では曇天等に影響されずに海氷移動ベクトルがどの程度生成されているかを調査した結果を示している。

まず、米国の観測衛星 Aqua に搭載されたマイクロ波放射計 AMSR-E のデータから作成された海氷密接度分布から、一定の密接度以上の海域を「海氷有り」とする。海氷密接度分布のデータは米国雪氷データセンターが作成したものを利用した。マイクロ波放射計では曇天の影響を受けずに海氷域が観測できるので、密接度が毎日算出されている。図 7 は、「海氷有り」の海域で海氷移動ベクトルが抽出されている割合を算出して、時系列にしたものである。全くベクトルが取得できないことも多いこと、広く晴れ渡ることも多くはないことがわかる。また北海道沿岸域では曇天の影響が大きく、抽出される海氷移動ベクトルは多いときでも海氷域の 3~4 割程度であることがわかる。海氷移動ベクトルに含まれているベクトルの数が少なくても、海氷域が少ないことを意味するわけではないので、利用にあたっては海氷域の広がりに関する他の情報も参照することも必要である。

6. まとめ

HRIT 可視画像から算出された海氷移動ベクトルプロダクトにより、オホーツク海での海氷漂流速度の分布が把握出来るようになった。海氷分布の変動は海氷の漂流によるところが大きいため、漂流速度の分布を知ることは海氷の実況監視に役立つと考えられる。海氷移動ベクトルプロダクトは昼間の 4 時間の間の漂流の測定結果であることから、短時間の風や海流の変動が反映されている部分も大きいと考えられ、実況情報として提供する場合には、必ずしも時間スケールの長い現象を反映していないことを理解しておく必要がある。また晴天時のみ算出されるプロダクトであり、曇天の多い冬季のオホーツク海では毎日連続して出力されるプロダクトではない。海氷の移動はむしろ低気圧などが通過する曇天時に大きいと考えられるため、今後は衛星搭載マイクロ波放射計の観測データ等、雲の影響の少ないセンサーを用いた海氷移動ベクトルの開発が課題となって

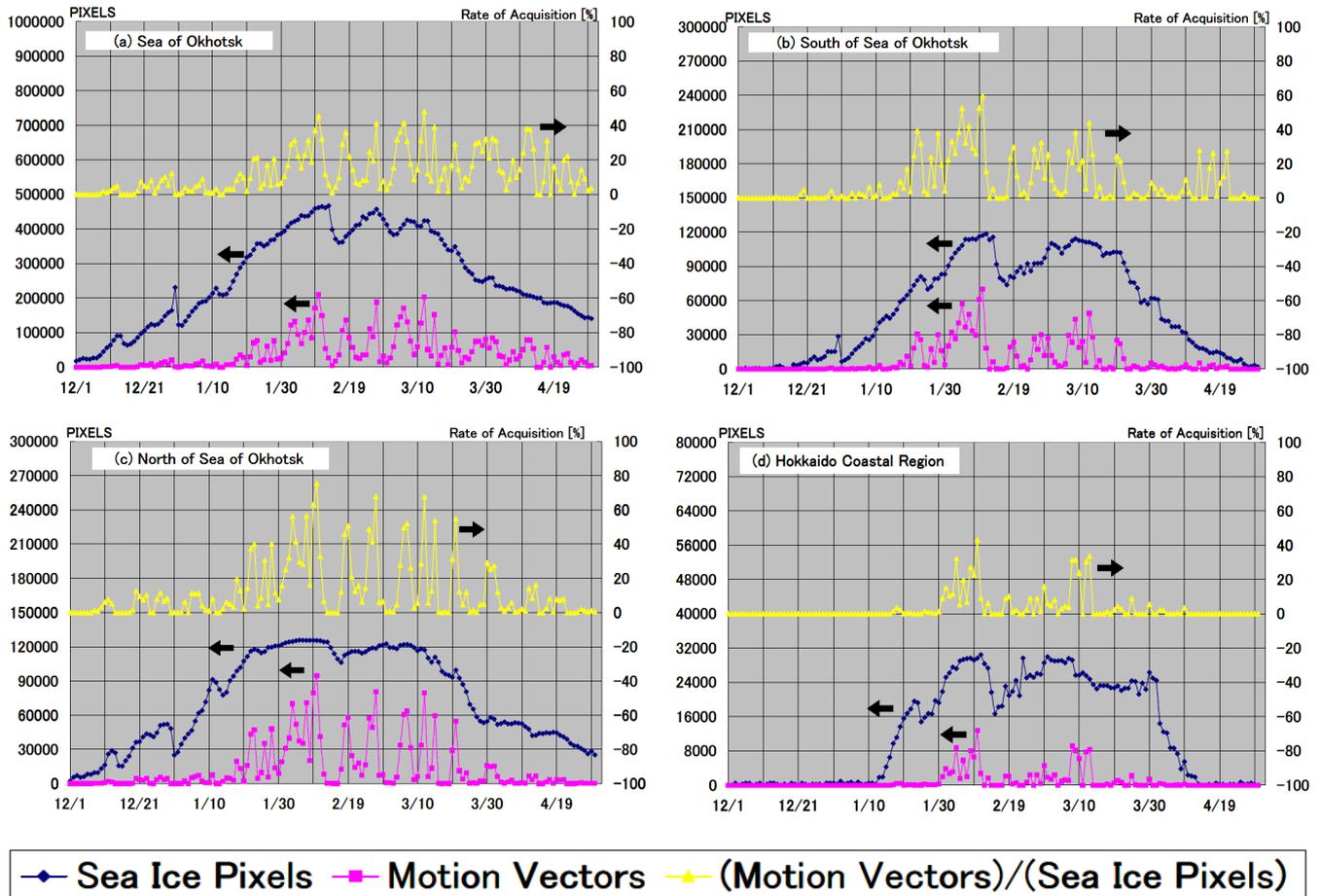


図7 海氷移動ベクトルの取得率

(a)オホーツク海全域、(b)オホーツク海南部(141E~149E、43N~50N)、(c)オホーツク海北部(140E~148E、48N~54N)、(d)北海道沿岸(141E~146E、42N~46N)、(e)北海道沿岸(141E~146E、42N~46N)。HRIT 可視画像上で、密接度データから海氷域と判断される画素の数(青線)、海氷移動ベクトルプロダクトが抽出された画素の数(赤線)、2つの比をとった取得率(黄線)の時系列。01UTと05UTの全球画像で作成された海氷移動ベクトルプロダクトを使用している。

いる。

参考文献

Matsumoto, T., and T.Imai, 2008 : Methodology of Extracting Sea Ice Motion Vectors from Geostationary Meteorological Satellite Data, Meteorological Satellite Center Technical Note, No 50, 15-30

伊達謙二、2008: ランドマーク解析を用いた HRIT データの位置補正、気象衛星センター技術報告 第50号、31-50.