

ALOSデータを用いた海氷観測手法の開発及び利用に係る研究

福島繁樹 (海洋研究室), 須藤幹男 (環境調査課),
 稲積 忍・古田 明・片桐 学 (第一管区海上保安本部),
 島田政信・滝口 太・鈴木明子・上村治睦 (宇宙航空研究開発機構)

Joint research on the best use and the development of the sea ice observation method using ALOS data

Shigeki FUKUSHIMA: Ocean Research Laboratory, Mikio SUDO: Environmental and Oceanographic Research Division, Shinobu INAZUMI, Akira FURUTA and Manabu KATAGIRI: Hydrographic and Oceanographic Department, 1st R.C.G.Hqs, Masanobu SHIMADA, Futoshi TAKIGUCHI, Akiko SUZUKI and Haruchika KAMIMURA: Japan Aerospace Exploration Agency

1 はじめに

オホーツク海の北海道近海は、毎年、冬期に海水に覆われる。この海水が、船舶航行や沿岸漁業の障害となっている。1970年3月、択捉島の単冠（ヒトカップ）湾で流氷により大規模な海難が発生した。この海難を契機として、海水情報センターが第一管区海上保安本部（以降、一本部という。）に設置された。

海水情報センターでは、流氷による海難ゼロを目指して毎年12月下旬から5月上旬頃まで、海上保安

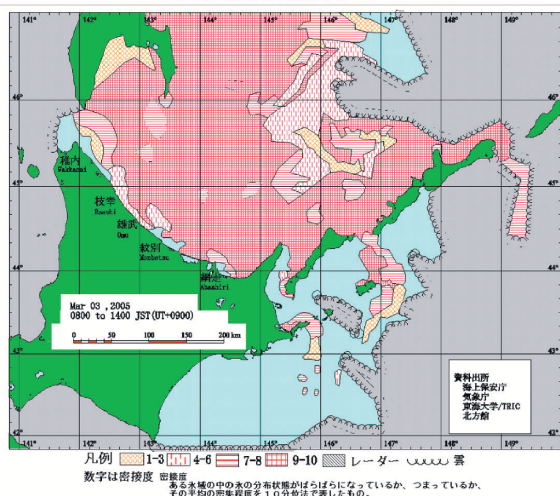
部署、気象官署、巡視船艇、一般船舶、当庁・防衛省の航空機及び衛星データを取りまとめ、毎日、17時にインターネットやFAXで最新の海水情報を提供している。（第1図参照）

衛星データについては、これまでTerra/MODIS, NOAA/AVHRR等の光学系センサの画像データが利用されてきた。しかし、冬期のオホーツク海は荒天の日が多く、ほぼ毎日のように雲に覆われることから、海水の分布状況を定常的に把握することが困難であった。そこで、雲を通過して海水の分布状況を把握できるマイクロ波センサの画像データが期待されていた。

海上保安庁海洋情報部では、「陸域観測技術衛星（ALOS: Advanced Land Observing Satellite）以降、ALOSという。」データの海水観測分野での利用実証に向けて、当該データを用いた海水分布図作成手法の開発及び利用の検討を行うため、宇宙航空研究開発機構（JAXA）と「ALOSデータを用いた海氷観測手法の開発及び利用に係る研究」を行っている。

この研究は、当初、1999年に宇宙開発事業団（NASDA）との間で「地球観測衛星データを活用した海水観測の共同研究」として始まった。最初の成果として、合成開口レーダ（SAR）の画像データが海水分布の把握に有効であることが確認された。続いて、国産の地球観測衛星（JERS-1/SAR）のデータ

海氷速報 (2005年03月03日)
 第一管区海上保安本部流氷情報センター



第1図 海氷速報
 Fig. 1 Sea Ice Condition Chart.

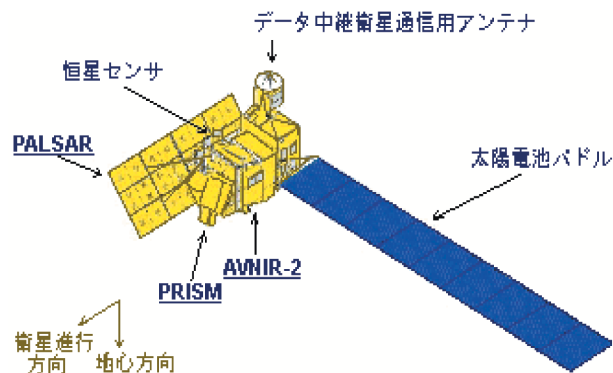
を使って、海水密接度画像分類アルゴリズムがJAXAによって試作された。2006年1月には、ALOSが種子島宇宙センターから打ち上げられ、2006年12月からこの衛星に搭載されているフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ（PALSAR: Phased array type L-band Synthetic Aperture Radar）で測得した画像データが、試験的に利用できるようになった。

本稿では、この共同研究の概要や進捗状況を紹介する。

2 ALOSの特徴

2.1 ALOSのミッションと搭載センサ

ALOSは、全地球規模で地図作成、地域観測、災害状況把握、資源探査ができる大型の地球観測衛星である。搭載センサは、第2図に示すとおりパナクロマチック立体視センサ（PRISM）、高性能可視近赤外放射計2型（AVNIR-2）及びフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ（PALSAR）の3つである。

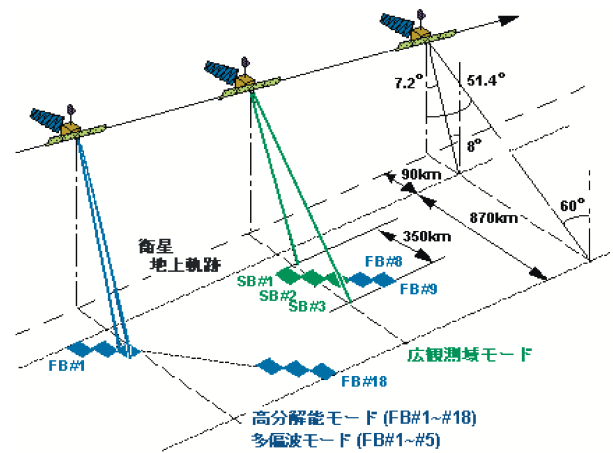


第2図 ALOSの外観
Fig. 2 Appearance of ALOS.

2.2 PALSARの特徴

PALSARは、船舶や航空機のレーダと同じようにマイクロ波（Lバンド：波長約24 cm, 周波数1.27 GHz）を照射し、その反射波をとらえて物を識別するもので悪天候・夜間でも地表や海面の凹凸が観測できることから、天候に左右されずに詳細な海水の分布が把握できる。使用する観測モードは、広観測域モード（ScanSAR）で、その観測幅は、第3図に示すとおり約250～350 km, 地上分解能は、約100 mである。衛星の軌道回帰周期は、46日であるが、観

測幅が広いことから、海水速報の包含区域を数日に1回観測できる。



第3図 PALSARのScanSARモードによる観測
Fig. 3 Observation by ScanSAR Mode of PALSAR.

3 共同研究の概要

3.1 目的

海上交通安全のための海水速報図作成に有用なALOS観測データの解析画像作成手法の開発や利用の検討をすることである。

3.2 実施内容

共同研究の実施内容は、大別して2つある。第一に、海水速報図作成に資するALOSの観測データを入力とした自動処理による海水密接度画像の作成手法を開発すること。また、作成された海水密接度画像について海水の判読精度向上のための検討・評価を実施することである。第二に、ALOSデータの利用拡大を意識した、ユーザへの海水速報公開するための利用手法を検討することである。

3.3 共同研究の分担

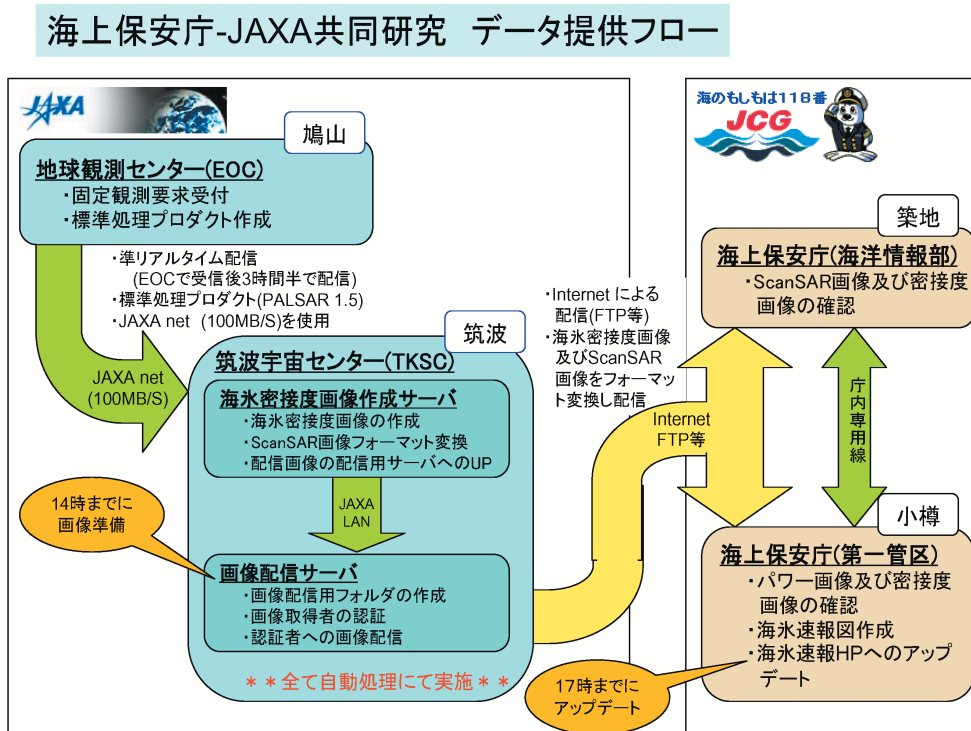
共同研究は、それぞれの保有する情報や能力を生かし、海保は、海水密接度画像、データ配信手法の検討及び試作結果を評価することである。また、利用手法について検討し、利用検証することである。

JAXAは、海水密接度画像作成アルゴリズムを開発し、衛星データを解析・処理し、現地調査データ

による比較・評価を実施することである。また、衛星データ配信手法を検討・試作し、海水分布図作成アルゴリズムを含む利用手法の検討を実施することである。

4 ALOSデータの配信方法の確立

ALOSが観測したデータをその日の海水速報に利用するため、既存のネットワークを利用した「準リアルタイム海水データ配信システム」が、第4図のとおり構築された。この配信システムに利用された回線は、筑波宇宙センター（TKSC）と海保（本庁）間がインターネット回線、また、本庁と一本部間が



第4図 準リアルタイム海水データ配信システム
 Fig. 4 Semi-Real-time Sea Ice Data Distribution System.

海保の専用回線である。

4.1 JAXA サイド

10時頃にオホーツク海でALOSにより観測されたデータが、埼玉県の鳩山にある地球観測センター（EOC）で直接受信され、標準処理プロダクトが生成される。このデータは、JAXAの専用回線でTKSCへ伝送される。TKSCでは、ScanSAR画像や海水密接度画像等が自動的に解析処理され、昼過ぎには画像配信用サーバに保管される。

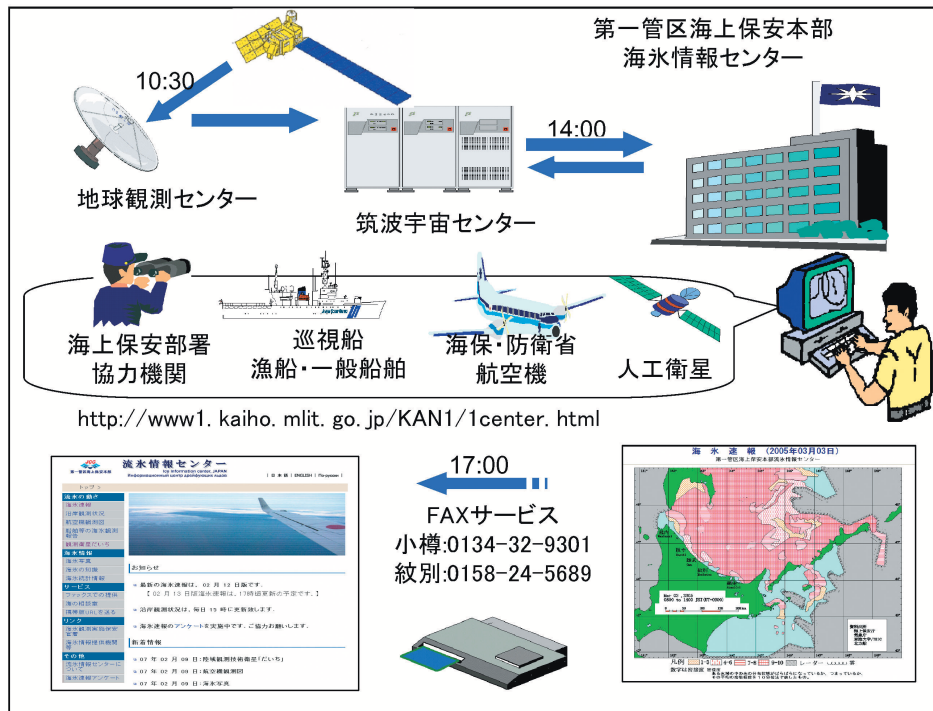
4.2 海保サイド

ALOSがオホーツク海上空で海水を観測してから海水速報が提供されるまでのデータ処理の流れを第5図に示す。

① 14時頃に一本部の海水情報センターが、TKSCの画像配信用サーバに保管されているScanSAR画像データや海水密接度画像データ等をFTPでダウンロードする。

② 海水情報センターでは、ALOSデータと陸上観測、海上観測、航空機観測、衛星観測データを地理情報システム（GIS）で加工・処理し、海水速報を編集する。

③ 17時頃には、海水情報が、一本部のHPやFAX等で提供される。



第5図 ALOS観測から海水速報提供までの流れ
 Fig. 5 Flow from ALOS Observation to Sea Ice Condition Chart Offer.

5 データ伝送試験

「準リアルタイム海水データ配信システム」の確実な運用に向け、回線状況、伝送データの容量、運用性の確認を行うため、画像データの伝送試験が、2006年11月から2007年7月にかけて数回行われた。

第1回目の伝送試験では、海保の専用回線が、特に細かったことから、データの伝送に長時間を要したり、伝送途中で中断するといった数々の問題が発生した。長時間伝送については、配信データの圧縮、解像度の低減により、また、伝送中断についてはTKSCのデータを、一旦、本庁のサーバーへ保管し一本部へ伝送するといった配信方法を工夫することにより解決した。

その後も伝送試験が繰り返し行われ、結局、来流水期には、次の仕様で画像が配信されることとなった。これらの5画像データ/1シーン分をTKSCから一本部へ伝送するのに要する時間は、2007年7月の伝送試験では、三十数分であった。

①ScanSAR画像(50%圧縮, 経緯度付) 第9図参照

②アンテナパターン補正画像(60%圧縮, 経緯度線付) 第10図参照

③海水密度度画像(GeoTiff, 経緯度線付) 第11図参照

④エッジ抽出画像(50%圧縮, 経緯度線付) 第12図参照

⑤海マスクと海水密度度合成画像(GeoTiff, 経緯度線付) 第13図参照

2008年2月以降には、海保の専用回線が整備され回線速度が向上することから、画像データの伝送時間が大幅に短縮されることとなる。

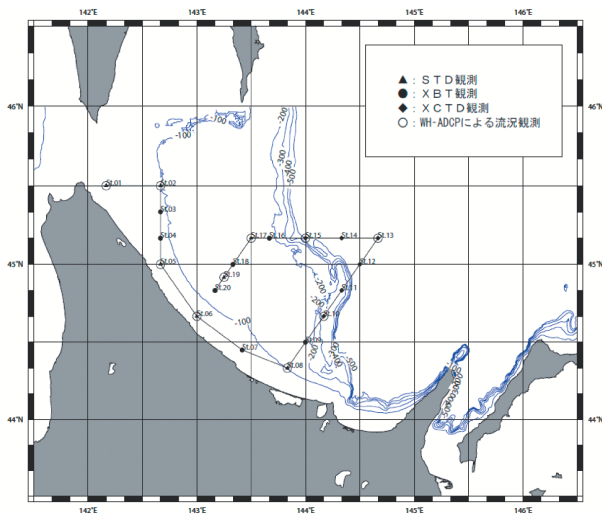
6 ALOSデータの検証

6.1 巡視船「そうや」による検証

2007年2月中旬に巡視船「そうや」により第6図に示す測線及び測点で水温、塩分及び流況観測が行われた。

JAXA関係職員も乗船し、搭載ヘリによる海水観測が4回行われた。当初、ALOSとの同期観測も計画されていたが、大型低気圧が接近したため観測が急遽中止となった。来流水期に、再度、同様な観測

が計画されている。



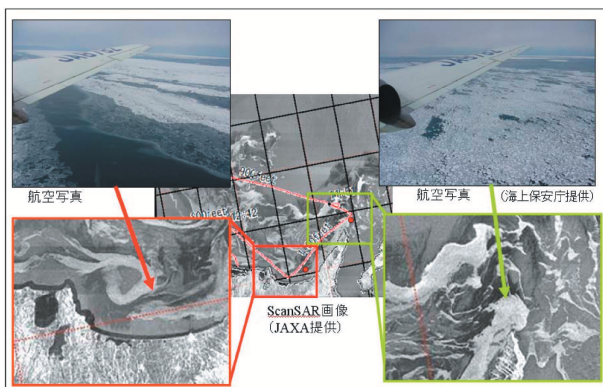
第 6 図 巡視船「そうや」による海水観測の測線と測点

Fig. 6 Line and Stations of Sea Ice Observation by Patrol Vessel "Souya".

6.2 航空機による検証

昨流水期に実施された航空機による海水観測は、合計で15回。この内、ALOSとの同期観測は5回行われた。

その中の一例を第7図に示す。2007年2月21日に測得されたALOSのSAR画像データと実海域の海水の分布状況を比較したものである。実海域の観測は、千歳航空基地所属の航空機により赤線で示す飛行ルートに沿ってカメラ、ビデオ撮影で実施された。高度約700 kmで撮影されたALOS画像と高度約



第 7 図 航空機による ScanSAR 画像の検証 (2007 年 2 月 21 日)

Fig. 7 Verification of ScanSAR Photo by Aircraft (February 21, 2007).

300 m で撮影された航空機からの画像は、その解像度、視野、及び撮影角度が大きく異なることから、流水群を対比させることは困難であるが、流水の大きな分布が比較できることが確認された。

7 海水分布図作成アルゴリズムの開発と改良

7.1 海水分布図作成アルゴリズムの開発

ScanSAR 標準データから海水密接度画像を自動的に作成するアルゴリズムが、JAXA により開発された。第 8 図にその流れ図を示す。

主な処理手順は、次のとおりである。

- ・スペckルノイズ低減

レンジ方向のパターンノイズ及びSARに特有なスペckルノイズ（斑点状のノイズ）低減を行う。

- ・散乱強度の入射角補正処理

ニアレンジ側（衛星に近い側）及びファーレンジ側（衛星から遠い側）の入射角が異なることから生じる散乱強度の違いを補正する。

- ・振幅画像の陸域マスク及び海マスク処理

陸域画素の影響を受けないようにするため、陸域画素を除去する。また、エッジ抽出処理をおこなって海マスクを作成し、海域ノイズを低減する。海マスク1つのサイズは、10 km×10 kmである。

- ・振幅画像の閾値2値化処理

海水域と海水面の画像のみに閾値自動決定法である判別分析法などを適用し、最適閾値での2値化処理を行う。

- ・海水密接度画像作成処理

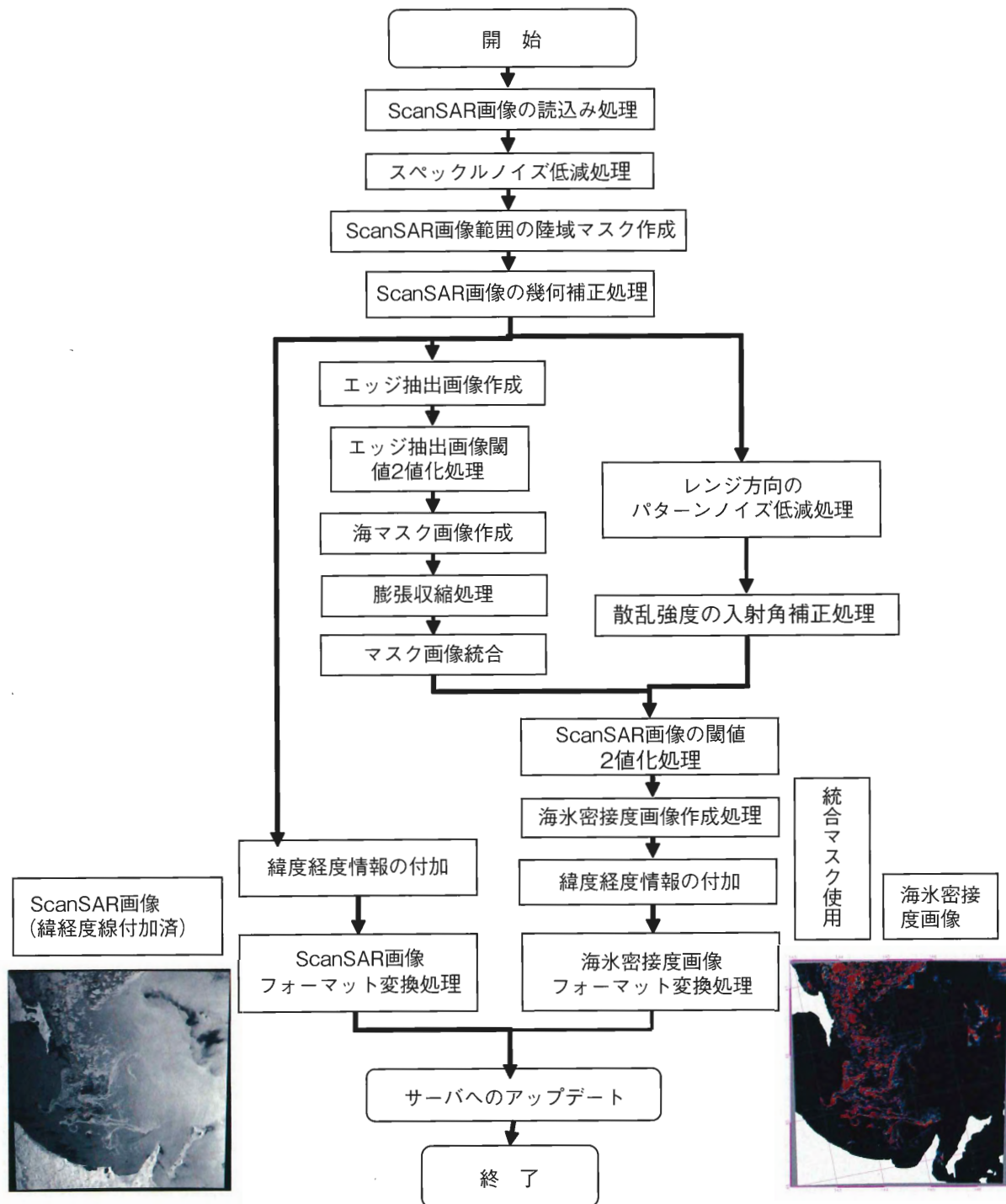
2値化画像から面積比による密接度を算出する。

- ・経緯度情報の付加

ScanSAR 画像の4隅の経緯度及び回転角を元に画像に経緯度情報を与え、経緯線を表示する。

7.2 海水密接度画像作成アルゴリズムの改良

ScanSAR 画像は、第 9 図に示すとおりレンジ方向及びアジマス方向に若干の後方散乱輝度差がある。昨流水期の当初には、シーン毎に明るさを補正する処理が行われたが、まだ、1シーン中でも傾向の異なる明るさのバラつきが発生する場合があった。こ



第 8 図 海水密接度画像作成フロー

Fig. 8 Flow to produce Sea Ice Concentration Chart.

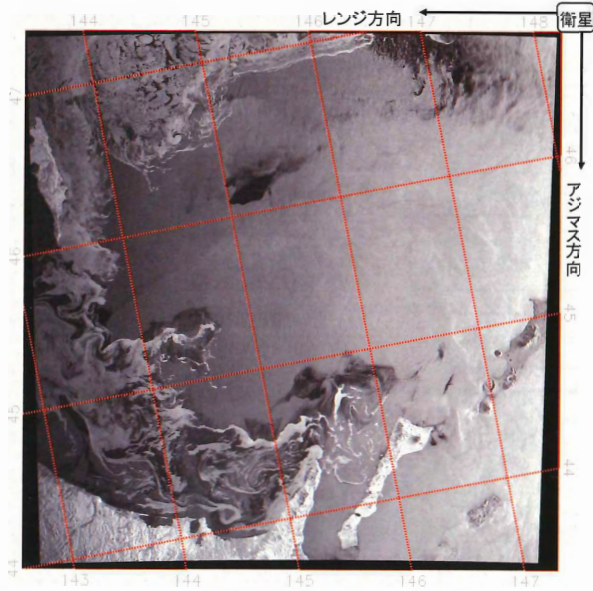
の傾向の異なる明るさを抑制するため、再度、平準化処理が行われ、ようやく信頼性の高い均一な画像が作成できるようになった。(第10図参照)

8 利用手法の検討

昨流水期の配信回数は、合計で27回。この内、18回が海水速報に利用された。当初、ScanSAR画像及

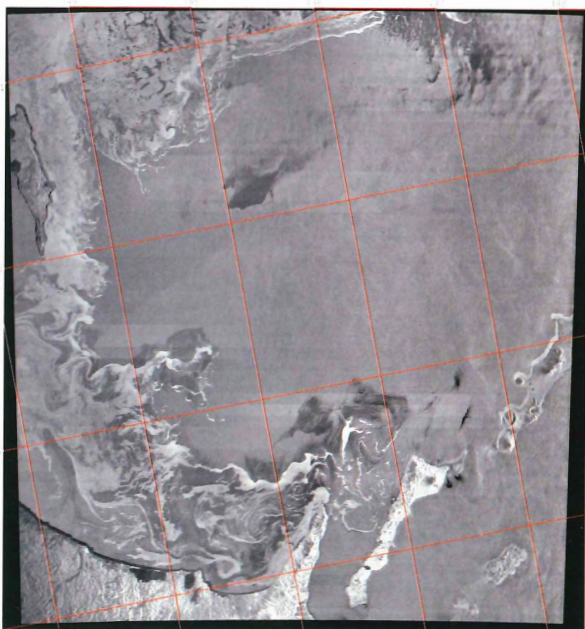
び海水密接度画像の2種類の画像が配信されていたが、ScaSAR画像の一部画像の左右(東西方向)に輝度差があったことから、一本部の要望により、シーズン途中からアンテナパターン補正済み画像が追加された。

海水速報の作成には、地理情報システム(GIS)が利用されている。利便性を考慮し、メルカトル図



第9図 ScanSAR 振幅画像 (改修前)
(レンジ方向及びアジマス方向に若干の後方散乱輝度差がある.)

Fig. 9 ScanSAR Amplitude Photo (before Repair).
(This figure has some backscattering brightness difference in the direction of a range, and the direction of an azimuth.)



第10図 ScanSAR 振幅画像改修後のアンテナパターン補正画像
(レンジ方向及びアジマス方向の後方散乱輝度差が平準化された.)

Fig. 10 Antenna Pattern Compensation Picture after ScanSAR Amplitude Photo Repaired.
(The backscattering brightness difference of the direction of a range and the direction of an azimuth were equalized.)

法, 世界測地系, 太い経緯線, 黒地の背景色が採用された。

海水密接度画像は, 大まかな海水の分布状況や海水の密接の度合いが一目で分かることから海水速報の作成作業にとって大変に便利なものである。

海水速報作成時には, ScanSAR 画像 (アンテナパターン補正済み画像も含む) が最も重宝されている。この画像により, 海水の詳細な分布状況が把握でき, 海水面の凹凸の度合いも推定できる。

しかし, 実際に, 日々のScanSAR 画像を航空機による観測結果やMODISの画像データと比較してみると, 次のとおり複雑である。

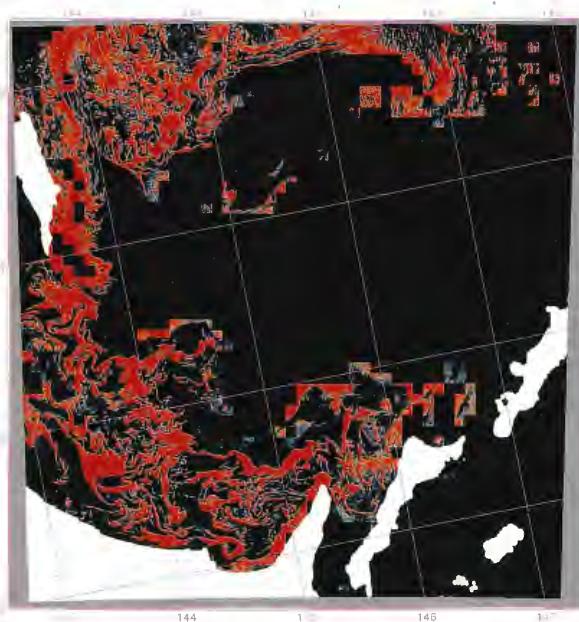
- ①後方散乱輝度が, 同程度でも海水面の場合と開水面の場合がある。
- ②海水域に判断のつかない輝度差が発生することがある。
- ③海面上に海水と誤認されやすい高・低輝度部があることがある。
- ④後方散乱輝度情報だけでは, 新成水域が確認できない。

これらの弱点を補うため, 海水速報作成の際に次のような工夫がされている。

- ①海水域から氷縁を追っていく。
- ②海水の形状から判断する。(航空機からの観測等の予備知識が必要)
- ③前日の海水の分布状況から推測する。(過去の経験が必要)
- ④他のデータと比較する。(可視域の衛星データ, 陸上観測データ)

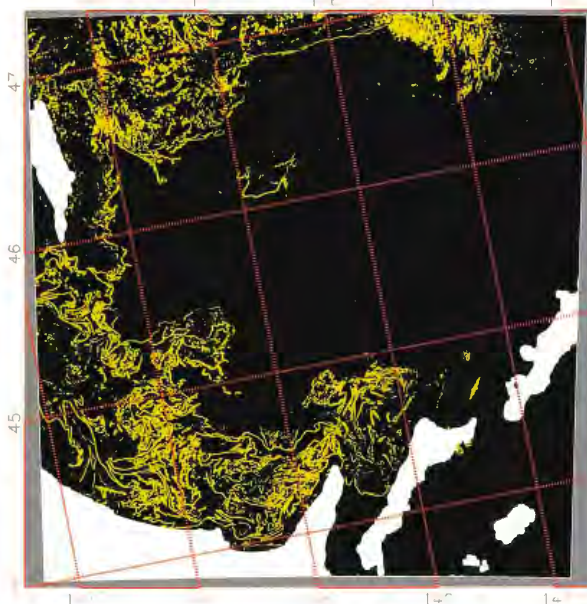
来流水期には, 平日のデータだけでなく, 土日や祝日のデータも配信される。総計で43回の配信が予定されている。

また, 配信される画像の種類も増加する。従来のScanSAR 画像, 海水密接度画像に加えて, エッジ抽出画像や「海マスクと海水密接度合成画像」が, JAXAから追加配信される。



第11図 海水氷濃度画像
(海水氷の濃度を色分けしたもので赤色になるほど濃度が高い。)

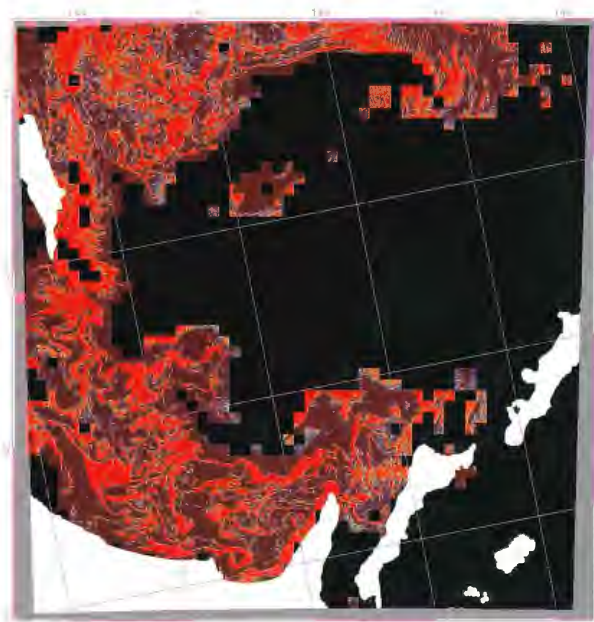
Fig. 11 Image Chart of Sea Ice Concentration.
(It is what classified the degree of sea ice concentration by color, and the concentration has so high that it becomes red.)



第12図 エッジ抽出画像
Fig. 12 Edge Extracted Chart.

このエッジ抽出画像は、第12図に示すとおり、後方散乱輝度差の大きい海域を強調した画像で、海水氷域と開水面との境界が分かる。

「海マスクと海水氷濃度合成画像」は、第13図に



第13図 海マスクと海水氷濃度合成画像
Fig. 13 Composed Chart with Sea Mask and Image Chart of Sea Ice Concentration.

示すとおりである。海マスクで覆われた海域が海水氷域で、それ以外が開水面を表す。さらに、この海水氷域が海水氷濃度表示海域と薄氷域に分離される。この分離方法が妥当かどうか確認することが、次期流水氷期の主要な検証課題である。

9 まとめ

ALOSデータの配信方法が確立された。流水シーズン中には、数日に1回の頻度で、10時頃に埼玉県鳩山にある地球観測センターでALOSの合成開口レーダで観測されたデータが受信され、14時頃に一部海水氷情報センターで画像データを入手し、他の観測データとGISで加工・処理し、17時頃には海水速報を一般へ提供できるようになった。

配信される画像データは、昨流水期の当初には、ScanSAR画像と海水氷濃度画像の2種類であったが、期間途中からアンテナパターン補正済み画像が追加された。来流水期には、さらに、エッジ抽出画像や「海マスクと海水氷濃度合成画像」が追加配信される。

ALOS画像データを利用することにより、海水速報の内容が充実し、インターネットのアクセス件数が前年比で約1.9倍と飛躍的に増加した。

10 今後の課題

今後の最も重要な課題は、グリーンアイスやニラス等の薄氷域を海水速報に如何に反映させるかである。これらの薄氷域は、海水の生成過程で初期に形成されるもので、船舶の機関冷却水の取水口を塞ぎ航行を阻害することから、海水情報として必要不可欠である。

現時点では、ScanSAR振幅画像や海水密接度画像により薄氷域の情報を見出すことは困難であるが、「海マスクと海水密接度合成画像」により薄氷域が表現できないか検討が始まった。この画像の中で、海マスクで覆われた海域が海水域、それ以外が開水面として表現され、さらに、この海水域が海水密接度表示海域と薄氷域に分離される。これが真値で実証できるか、が重要なところである。

この真値として考えられるものは、二つある。その一つは、何といてもALOSの通過に合わせ巡視船や航空機などで観測した現場観測値。もう一つは、ALOSに搭載されているAVNIR-2で観測された画像データである。このAVNIR-2は、PALSARと同時に観測できることから非常に有用である。来流水期には、航空機や巡視船による同期観測やAVNIR-2による同時並行観測が計画されている。

最後に、本稿を作成するにあたりご指導、助言をいただきました皆様に感謝の意を表します。

外部発表成果

1) 2007年2月 「ALOSデータを活用した海水情報の提供」口頭発表、海水観測に関するALOSワークショップ（北海道紋別）

2) 2007年2月 海上保安庁海洋情報部研究成果発表会「ALOSデータを用いた海水観測手法の開発及び利用に係る研究」ポスター発表

3) 2007年4月 特集_流水, 刻々と移動する海水をいち早く発見, だいちの目, 宇宙航空研究開発機構 (JAXA), P 36-41

4) 2007年5月 長 幸平, 福島繁樹, 豊田威信, 若林裕之: PALSARによる海水観測への期待, 小特

集ALOSの初期の利用と今後の展望, 「写真測量とリモートセンシング」, 日本写真測量学会, Vol. 46, No.3, 2007, P 11-15

5) 2007年9月 「ALOSデータを用いた海水観測手法の開発及び利用に係る研究」共同研究成果報告書

6) 2007年11月 海洋調査技術学会第19回研究成果発表会「ALOSデータを用いた海水情報の提供」ポスター発表