

ISSN 1346-7328

国総研資料 第768号
平成25年12月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.768

December 2013

衛星AISを活用した北極海航路航行実態分析手法に関する検討

安部 智久・押村 康一・谷本 剛・西川 綾乃

An Examination on Measures for Vessel Movements Monitoring along the Northern Sea Route by the
Utilization of Satellite AIS

Motohisa ABE, Koichi OSHIMURA, Tsuyoshi TANIMOTO, Ayano NISHIKAWA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

衛星AISを活用した北極海航路航行実態分析手法 に関する検討

安部智久*・押村康一**・谷本剛***・西川綾乃**

要 旨

近年の海氷面積の減少などにより、現在北極海航路の利用への期待が高まっているが、その実現性を評価するためには、その基本的情報となる航行可能時期や航行速度などの北極海航路の航行実態を捉えることが必要である。

本研究は、衛星 AIS を用いた北極海航路の航行実態の把握に向けた研究開発に関する国土技術政策総合研究所と宇宙航空研究開発機構との共同研究の成果ならびに評価を取りまとめたものである。これまでに衛星 AIS を用いて航行実態の把握が技術的に可能であることが明らかとなっている。

キーワード：北極海航路，衛星 AIS，海氷，航行実態

* 港湾研究部 港湾計画研究室長
** 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 衛星利用推進センター
*** 港湾研究部 港湾計画研究室 研究官

An Examination on Measures for Vessel Movements Monitoring along the Northern Sea Route by the Utilization of Satellite AIS

Motohisa ABE *
Koichi OSHIMURA **
Tsuyoshi TANIMOTO ***
Ayano NISHIKAWA **

Synopsis

Expectation for the utilization of Northern Shipping Route (NSR) is higher than ever because of the recent decrease of sea ice areas. However, in order to examine the feasibility of the NSR, it the status of navigation of the area such as shipping period or vessel speed, etc. must be monitored.

National Institute for Land and Infrastructure Management and Japan Aerospace Exploration Agency launched a trial development of a satellite AIS (Automatic Identification System) with a view to monitoring the vessel movements in the NSR. This technical note introduces the progress and evaluation of the project so far. Such vessel monitoring is possible by utilizing a satellite AIS technology.

Key Words: Northern Shipping Route, Satellite AIS, Sea Ice, Vessel Movements

* Head of Planning Division, Port and Harbour Department
** Japan Aerospace Exploration Agency Satellite Applications and Promotion Center
*** Researcher, Port Planning Division, Port and Harbour Department

目 次

1. はじめに	1
2. 北極海航路に関連した最近の動向と研究の目的	1
2.1 北極海航路に関連した最近の動向	1
2.2 本研究の目的	4
3. 衛星AISに関する技術開発	4
3.1 衛星AISの概要	4
3.2 衛星AISでの観測実績・技術的評価	7
4. 衛星AISを用いた航行実態分析の試み	11
4.1 使用データの概要	11
4.2 船舶数と船種別内訳	12
4.3 月別の航行水域と海氷との位置関係	12
4.4 北極海地域における平均的航行速度の分析	16
4.5 海氷中の航行速度の詳細分析	17
4.6 航行ルートの詳細分析	21
5. 技術開発の評価	21
5.1 これまでの成果	21
5.2 今後の課題	21
6. おわりに	23
謝辞	23
参考文献	23

1. はじめに

2012年において、北極圏地域の海域（以下「北極海」とする）における夏季の海氷面積が過去最少を記録した。これは地球温暖化によるものと考えられており、今後もこの傾向は続くものとみられている。

海氷面積の減少は、北極海における航路の航行可能時期の長期化をもたらすこととなり、欧州とアジアとの航行距離がスエズ運河経由よりも北極海航路を利用する場合の方が短いことなどから、当該航路の商業的利用に注目が集まっている。

しかし北極海航路の航行においては航行安全の確保や速度低下が懸念される海氷中の航行が依然として不可避であるなど課題も多く、今後の商業的利用のためには、まず北極海航路の利用可能時期や、航行可能速度等の航行実態を把握することが不可欠であると考えられる。船舶の航行実態を把握する手段としては船舶の発信するAIS（Automatic Identification System）信号を受信し分析するという手法が有効であるが陸上局により観測可能な範囲は概ね20～30海里（37km～55km程度）程度であることから、北極海地域の航行実態の観測を行うためには相当数の陸上局を環境の極めて厳しい極圏において設置する必要がある。このため北極海航路の利用実態はロシアの当局からの通航実績に関する情報に依存するという状況にある。

このような中で、国土技術政策総合研究所（国総研）と宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、2012年8月より衛星AISを活用した北極海航路の航行実態把握に関する試みを実施している。これは国総研、JAXA、並びに関東地方整備局の間での衛星データによる港湾整備・船舶動静把握への適用に関する共同研究の一部として実施されているものである。

本資料は、2013年8月末時点までの研究の成果等を取りまとめたものである。

2. 北極海航路に関連した最近の動向と研究の目的

2.1 北極海航路に関連した最近の動向

1) 北極海航路の概要

北極圏の定義は地理学に北緯66度33分以北の地域であり、この地域では冬至に太陽が昇らない極夜となり、夏至には太陽が沈まない白夜となる。

北極海の定義は、IHO（国際水路機関）の定義によればユーラシア大陸、北米大陸、グリーンランドに囲まれた面積約1,400km²の世界最小の海洋である¹⁾。一年の大半が海氷におおわれているが、海流の影響を受けるノルウェー沖では海氷が他の地域よりも少ない。

北極海を通過する航路は、欧州とアジア・北米大陸を結ぶ最短ルートとして期待されている。図-2.1に示すように、現在3つの航路が存在し、ユーラシア大陸沿いを通り欧州とアジアを結ぶものを北東航路（Northern Sea Route）、欧州と北米大陸を結ぶものを北西航路（Northwest Passage）、極点を通過するものを中央航路（Central Arctic Route）と称している。ロシアは北東航路を北極海航路（Northern Shipping Route：以下 NSR）と称し、航路での航行管理を行っている。ソビエト時代においてはNSRの航行は制限されており、国際的に解放されたのは1989年以降であるとされている²⁾。NSRは、ロシア側の拠点港であるムルマンスク港から幾つかの海域を通過して東シベリア海へ至るが、これらの海域の間には、海峡や浅瀬といった難所がある。またNSRは欧州とアジアを結ぶ輸送のみでなくロシアの極東地域への輸送として利用されており、北極海沿岸地域にはこの拠点となる港湾がいくつか存在する（図-2.2）。

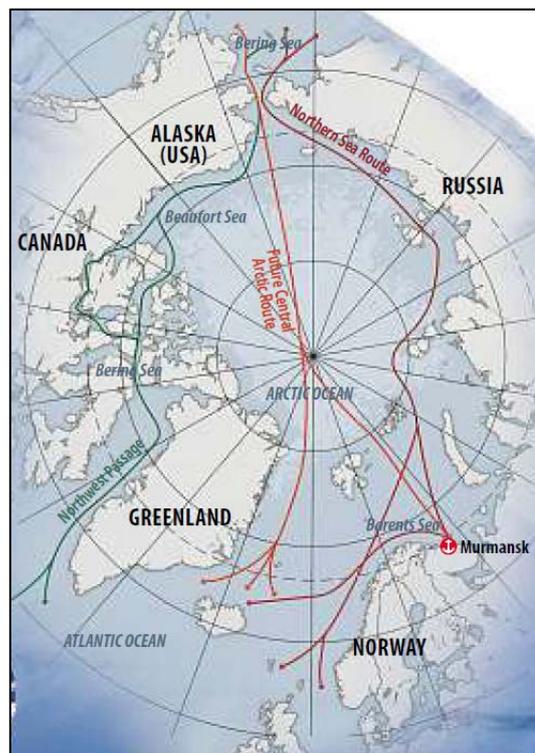


図-2.1 北極海を通過する航路（出典：文献³⁾）

2) 北極海航路利用に向けた気運の高まり

近年NSR利用の気運が高まっているが、それは主に以下の理由による。

第一は、北極海における海氷面積が減少傾向にあり、最近では夏季においてNSR上で海氷が観測されない（ただしこの場合でも、氷塊は存在する場合がある）時期があることである。JAXAによる衛星「しずく」を用いた観測によれば、北極海での海氷面積は2012年9月にその時点での観測史上最少を観測している。



図-2.2 北極海地域での主要な港湾

表-2.1 北極海航路による航海距離
ロッテルダム港からの航路距離の比較(海里)

	北東航路(A)	スエズ運河ルート(B)	(A)/(B)
ムルマンスク	1,630		
カラゲイト海峡	2,153		
ベーリング海峡	4,704		
苫小牧	7,034	11,609	60.6%
横浜	7,397	11,279	65.6%
釜山	7,697	10,949	70.3%
上海	8,257	10,568	78.1%

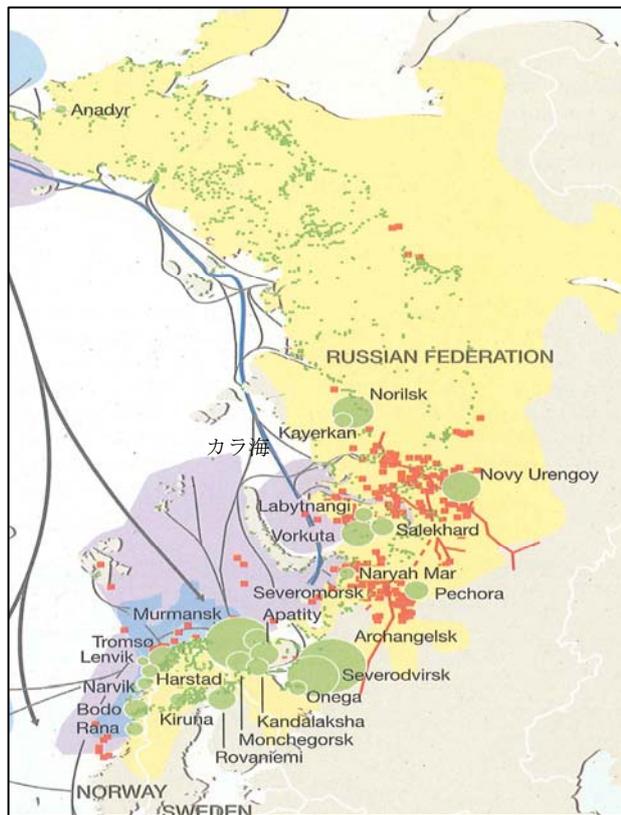


図-2.3 北極海地域における石油資源の分布 (出典：文献⁴⁾)

第二は、NSRを通過することで欧州とアジアとの輸送距離が大幅に短縮されることである。表-2.1は、欧州とアジアの主要港（ロッテルダム）間の距離について、NSR経由と現在の一般的なルート（スエズ運河経由）とを比較したものである¹⁾。いずれの場合でも、約4割の輸送距離の短縮となっており、輸送時間・燃費等で有利となりえる。

第三は、NSRを通過することで現在海賊の発生が大きな輸送上のリスクとなっているソマリア沖の航行を避けることが可能となる。

第四は、北極海沿岸地域での資源開発への期待である。図-2.3は、北極海沿岸地域の産業活動や石油・ガス資源の生産・埋蔵地域を示したものであるがノルウェー沖からカラ海にかけて豊富な石油・ガス資源（赤：採掘基地、紫：埋蔵地）があることが分かる。これらがアジア地域へ輸出されることとなれば、NSRは効率的な輸送ルートとなり得る。

一方で、NSRの利用には海氷の存在や厳しい気象条件によるデメリットも伴うことが指摘されている。文献²⁾においては、以下の事項が指摘されている。

- ・極海で航行可能な船舶とする必要があり、耐氷性のあるアイスクラスという船級の取得が必要となる。一般的に、アイスクラス船の建造コストは通常^{20~30%}程度（ダブルハルとする場合には50%）増となる。特殊な船舶構造となるため、積載量が減少し、また海氷が無い通常^{の海域での燃費が悪くなる。}
- ・大きな喫水の船の建造が難しい。
- ・氷塊への衝突を防ぎまた衝突の際の衝撃を小さくするため船速を抑える必要がある。
- ・空気中の水分が船に凍り付くアイシングの恐れがある。この氷は船舶の荷重負荷となり、船の重心がぐずれて危険を伴う場合がある。

3) 北極海航路の利用に関する規則

NSRの航行規則は、ロシアの連邦機関である北極海航路局（以下 ANSR）が所管している。以下は文献⁵⁾ から、その概要を示す。

NSRの航行は許可制となっており、船主またはその代理人の申請に基づいてANSRが許可証を発行する。申請においては、NSRにおける予定航路や航行日、航行船舶の諸元、アイスクラス取得状況などが含まれる。ANSRは書類の不備や航行に必要なアイスクラスを船舶が取得していない場合を除いては、許可を行うこととされている。

表-2.2 北極海航路の航行許可の基準

7月～10月期におけるIceClassのIce1～Ice3船舶

Ice Class	氷海航行方法 (A 単独航行、 B 砕氷船先導)	カラ海				ラプテフ海				東シベリア海				チュコト海			
		①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
なし	A	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	B	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Ice1	A	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	B	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Ice2	A	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	B	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
Ice3	A	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+
	B	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+

- ①-ロシア気象庁公式発表による極限的氷状
- ②-ロシア気象庁公式発表による厳しい氷状
- ③-ロシア気象庁公式発表による中程度の氷状
- ④-ロシア気象庁公式発表による軽い氷状
- +航行許可
- 航行禁止

ANSRは予めアイスクラス船舶のNSR通航許可の基準を定めている。その一例を表-2.2に示す。海域ごとに航行可能なアイスクラスの条件が示されている。氷の状態には4つのカテゴリーがあり、この判断はANSRが行っているものと考えられる。この表によれば、必ずしも砕氷船によるエスコートは必須でなく、またアイスクラスではない船舶の航行が許可される可能性もある。

船舶が砕氷船のエスコートで航行する場合には、船舶は砕氷船によるエスコートサービスを提供する会社と契約を結ぶ。その他、ロシア国籍を持つ海水での航行に熟知したパイロットのガイドの乗船を求める場合もある。

砕氷船のエスコートに要する費用は、1日約5万米ドル(文献²⁾)という指摘もあるが、近年ではスエズ運河との競合を意識した料金の設定を行っているとの指摘もある(当所が行ったヒアリング調査による)。

2012年においてNSRの通航数は、6月中旬から11月中旬の間の46航海、2013年においては6月中旬から11月下旬までの71航海とされている⁶⁾。

4) アイスクラスの概要

船舶が海水という特殊な条件下で航行を行うためには、氷による圧力に耐えつつ航行できる構造・推進能力を備えるなどの配慮が必要である。

このような船舶の要件を定めたものがアイスクラス船級であり、複数の船級協会が定めたアイスクラス船級があるが、この整合を図るため、国際船級協会 (IACS) は2006年に統一的な船級としてPolar Class (極海クラス) を作成した。表-2.3は、世界の主要なアイスクラス階級の対照表である(表の縦方向が同一の階級であることを示す)。この表に示すアイスクラスは、砕氷船以外の貨物船等に関するものであり、砕氷船に関してはさらに厳しい階級が設けられている。例えばIACSのPolar Classでは、PC1からPC5までは砕氷船の階級、PC6ならびにPC7は砕氷船以外の貨物船等に関するものである。これらの階級が規定する船舶の性能を表-2.4に示す。

表-2.3 異なる船級協会のアイスクラスの対照

船級協会	アイスクラスのカテゴリー(左ほど厳しい条件での航行を規定)				
Finish-Swedish Ice Class Rules	IA Super	IA	IB	IC	Category II
Russian Maritime Register of Shipping (Rules 2007)	Arc 5	Arc 4	Ice 3	Ice 2	Ice 1
Nippon Kaiji Kyokai	IA Super	IA	IB	IC	ID
China Classification Society	B1*	B1	B2	B3	B
Korean Register of Shipping	ISS	IS1	IS2	IS3	IS4
Lloyd's Register of Shipping	1SS	1A	1B	1C	1D
IACS	PC6	PC7			

出典：文献2) 5) などから筆者作成

表-2.4 アイスクラスの区分と船舶の性能 (IACS)

区分	対応する航行条件	対象
PC1	極海において通年航行可能	砕氷船
PC2	中程度の多年氷内において通年航行可能	砕氷船
PC3	多年氷が一部存在する二年氷内において通年航行可能	砕氷船
PC4	多年氷が一部存在する厚い一年氷内において通年航行可能	砕氷船
PC5	多年氷が一部存在する中程度に厚い一年氷内において通年航行可能	砕氷船
PC6	多年氷が一部存在する中程度に厚い一年氷内において、夏季と秋季において航行可能	砕氷船以外
PC7	多年氷が一部存在する薄い一年氷内において、夏季と秋季において航行可能	砕氷船以外

5) 北極海航路の利用可能性に関する既往の研究

海氷域では航行条件が厳しくまた航行可能時期も制約があることから、北極海航路が商業的に成立するかといった観点から研究がおこなわれている。

文献⁷⁾によれば、シップアンドオーシャン財団はNSRの利用可能性について国際的な調査研究を行い、通年航行の場合の輸送コストを貨物1トン当たり21米ドルと試算している。対象はバルク・コンテナ併用船である。この検討では、季節毎に海氷中の航行速度を設定しており例えば7月の航行の場合で6～8ノットと仮定している。

最近の研究では、Furuichi and Otsuka (2013) がコンテナ船を対象として、年間のNSRの航行可能日数を変数としてコンテナTEUあたりの輸送コストを試算している⁸⁾。この試算によれば、積載能力4,000TEUクラスのコンテナ船を年間105日NSRへ投入し、残りの日数を従来のスエズ運河経由とした場合で、約1,211米ドル/TEUとしている。これは積載能力8,000TEUクラスのコンテナ船(年間を通じてスエズ運河経由)による輸送コストとほぼ同じ水準とされている。

2.2 本研究の目的

上記の試算においては、年間のNSR航行日数や海氷中の航行速度は一般的と考えられる数値を所与として与えているが、実際には航行海域や海氷の条件に影響されることが予想される。また航行船舶の船種や年間の航行可能日数といった基本的な航行実態についても十分に把握されているとは言えない現状にある。

このため本研究では今後のNSRの利用可能性評価に寄与する当該航路の実態把握を衛星AISにより行うことを目的とした。具体的には、以下の実態把握を目指すこととした。

- ①北極海における航行船種の把握
- ②北極海における季節別の海氷の位置と船舶の航行海域との関係の実態把握
- ③海氷中の航行速度やルート等の個別の航行についての詳細実態の把握
- ④NSRの航行時期と海氷との関係

本共同研究においては、JAXAは衛星によるAIS情報の取得に関する技術的な面から検討を行い、一方国総研は取得されたAIS情報が上記の目的を果たすために十分なものであるか検討することとした。なお、検討においては海氷との関係も重要であることから、海氷密接度に関する衛星「しずく」のマイクロ波観測データも合わせて使用している。

以降、第三章では技術的な検討の結果、第四章では北極海地域の航行実態把握に関する検討の結果、第五章で研究成果に関する考察の結果を示す。

3. 衛星AISに関する技術開発

3.1 衛星AISの概要

1) AIS (Automatic Identification System) について

AISは、船舶の位置、針路、速力や安全に関する情報等を、自動的にVHF帯電波で送受信し、船舶局相互間及び船舶局と陸上局との間で情報の交換を行うシステムである。

1974年の海上における人命の安全に関する条約(SOLAS)条約(2002年発効:162か国加盟)により、国際航海に従事する300総トン以上の船舶、旅客船、国際航海に従事しない500総トン以上の船舶に搭載が義務付けられている。世界でAISを搭載している船舶は10万隻以上といわれている⁹⁾。

2) 衛星AISについて

これまで沿岸に設置された陸上局を利用してAIS信号を収集してきた。そのカバーエリアは陸上局から20～30海里(37km～55km程度)程度の範囲であったが、AIS受信機を衛星に搭載することでより広いエリア(衛星高度が700km程度の場合、視野半径は約2000km程度に及ぶ)をカバーして、陸上局よりも広い範囲でAIS信号を受信できるというメリットがある。

一方、衛星視野(カバーエリア)が広いため、船舶交通の多い地域では、数多くの船舶からの信号が衛星受信機に

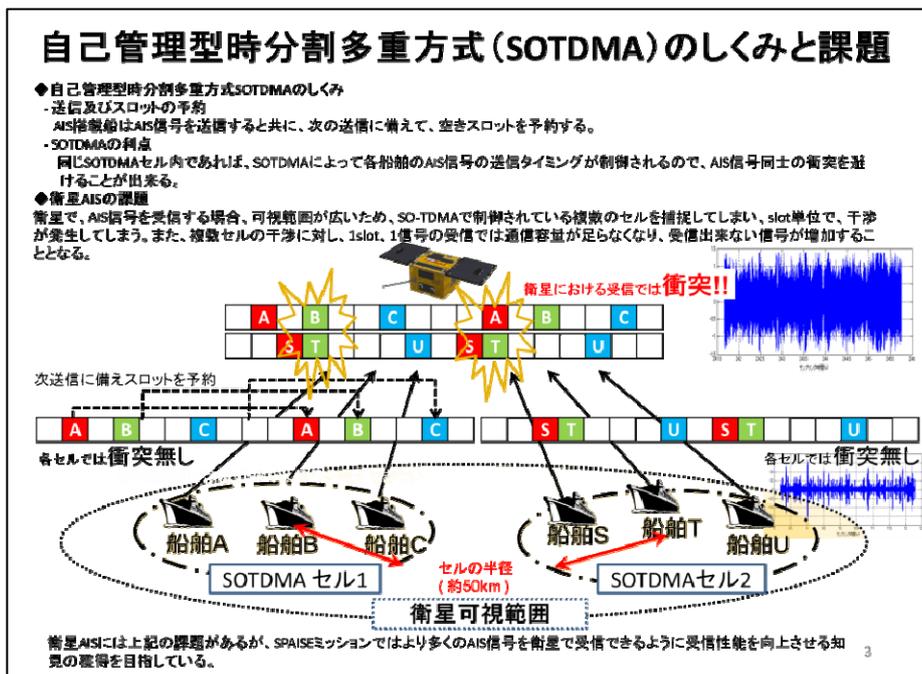


図-3.1.1 衛星 AIS 信号の衝突と対応方策 (出典：JAXA)

到達することからAIS信号が互いに衝突し、AIS受信数が大きく減少するデメリットがある。AIS信号の衝突については図-3.1.1にその概要を示す。

3) SDS-4, SPAISEの概要

小型実証衛星4型：SDS (Small Demonstration Satellite) -4は、50kg級の小型衛星で、2012年5月18日に打ち上げられた。6か月のミッション期間を超えて、現在も運用を継続している。短期・低コストで小型衛星ミッションを実現するプロジェクトであり、SDS-4に搭載の技術実証機器は、以下の4つである。

- ・衛星搭載船舶自動識別実験 (SPAISE)
- ・平板型ヒートパイプの軌道上性能評価 (FOX)
- ・フランスが開発した熱制御材試験装置の実証実験 (IST)
- ・水晶発振式微小天秤 (QCM)

衛星搭載船舶自動識別実験：SPAISE (スパイス) (Space based AIS Experimentの略)では、船舶からのAIS信号を衛星軌道上で受信することで、全球における船舶の航行情報を得ることができる。日本では初めての試みであり、衛星搭載用AIS受信機の機能性能の確認及び軌道上の混信状況の評価を行うことで、将来のシステム化やAIS信号受信性能向上のための知見を獲得することを目的としている。

4) SDS-4の軌道とAIS観測領域

SDS-4の場合、衛星高度677km、周期は約98分で、1日16回地球を周回する(1周回を「1パス」という)。厳密な回帰軌道ではないが、おおよそ3日で同じ場所に到達する。なお、軌道により観測範囲が異なるため、データの取得範囲・取得

量はその都度多少異なる。

衛星の電力・熱制約(電力消費量の制約や、動作機器の発熱で温度が上昇しすぎないようにする制約)により、打上げから6か月間は、衛星AISについては1日4400秒(73分)のデータ取得で運用した。2012年11月18日以降は1日320分に拡大して運用している。SPAISEによる信号受信エリアは以下の通りである。

- ・ある瞬間において、経度方向約5,000km、緯度方向約4,500kmのエリアがSPAISEの信号受信エリアとなる。
- ・衛星はほぼ南北方向に秒速7.5kmで周回していることから、SPAISEの信号受信エリアも南北に移動していく。
- ・地上のある1点を固定して考えた場合、衛星の移動に伴い、約10分の間、SPAISEの信号受信エリアに含まれることとなる。

1パス(1周回)で衛星は経度方向に22度西に動くことから、あるパスの西側の一部(4割程度)は次のパスでも観測し、随時西にずれていくという形でデータ取得を行う。

一例として日本周辺東経110-東経165度を観測する場合、

- ①東経150-西経165度を観測するパス
- ②東経128-東経173度を観測するパス
- ③東経106-東経150度を観測するパス
- ④東経84-東経128度を観測するパス

の4パスで約6時間、90分間隔で多少重なりながら観測するイメージとなる。図-3.1.2は、日本付近でのデータの取得例である。パス毎に明確に観測エリアが分離されるのではなく若干の重なりを持ってデータが取得されている。

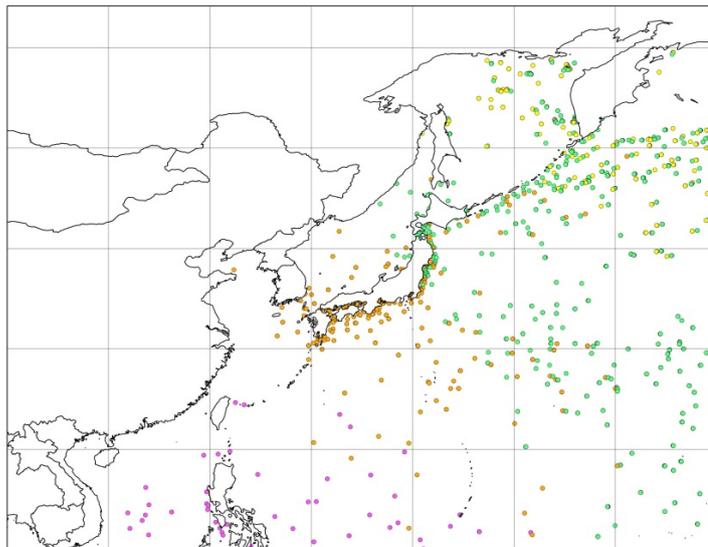


図-3.1.2 ある1日の午前中における4パスでのデータ取得例
(1パス目：黄，2パス目：緑，3パス目：橙，4パス目：桃)

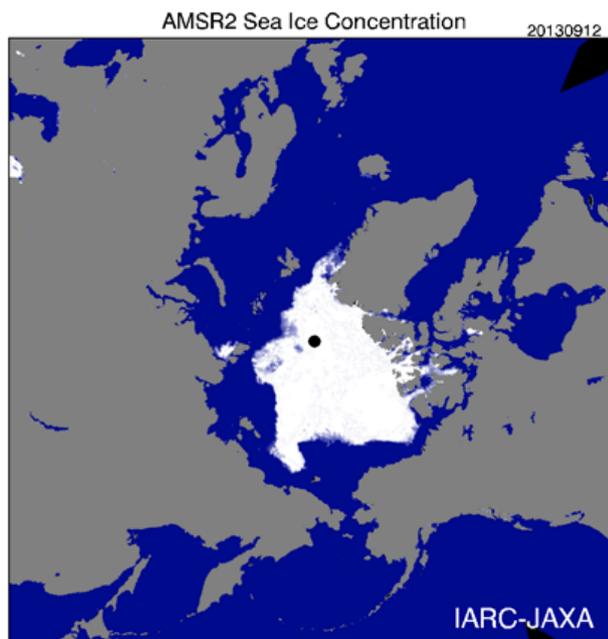


図-3.1.3 GCOM-W1 AMSR2による海水氷密度（2013年9月12日）

5) AMSR2の海水データ

北極海の船舶動静には、海水分布が大きく影響する。海水については、第一期水循環変動観測衛星（GCOM-W1）に搭載の高性能マイクロ波放射計2（AMSR2：Advanced Microwave Scanner Radiometer 2）で観測ができることから、北極海の船舶動静の研究にあたっては、海水のリモートセンシングデータも使用することとした。

AMSR2は、地表や海面、大気などから自然に放射されるマイクロ波とよばれる電磁波を、7GHzから89GHzまでの6つの周波数帯で観測するセンサである。自然に放射される

物の性質や含まれる水分量、表面の状態や温度などで決まり、非常に微弱である。AMSR2はこのような微弱なマイクロ波を地上700kmにおいて周回する衛星で受信し、そのマイクロ波の強さを非常に高い精度で測定することができる。

例えば、AMSR2で海面から放射されるマイクロ波の強度を測定することにより、0.5度の精度で海面水温を計測することができる。また図-3.1.3のように、海水から放射されるマイクロ波の強度から、海水氷密度の推定を行い、オホーツク海や北極海の海水分布や面積を知ることができる。海

氷密接度（Sea Ice Concentration）とは、視界内或いはある海域等の場所を限定し、海面に対して氷に覆われている海面の割合を示したものである。

3.2 衛星AISでの観測実績・技術的評価

1) 観測実施期間等

SDS-4 では、衛星運用制約のため、衛星 AIS は常時運用ではなく隔週運用が基本であり、観測日についても1日70分あるいは320分(2012年11月18日以降)の間、実験海域の観測をするためのON/OFFをしている。表-3.2.1、表-3.2.2に北極海域における観測実績（夏季）を示す。

表-3.2.1 2012年の観測実績（運用制約1日73分）

	観測日数・パス数	平均観測時間 (分)／日
8月	14日・25パス	13分
9月	13日・26パス	14分
10月	19日・46パス	18分
11月	7日・11パス	11分

表-3.2.2 2013年の観測実績（運用制約1日320分）

	観測日数・パス数	平均観測時間 (分)／日
7月	14日・142パス	98分
8月	14日・152パス	102分
9月	13日・124パス	84分

衛星は1日16周回するため、1日に16回の観測機会がある。2012年では1日平均2パスにおいて観測するため約12%を、2013年では1日平均10パス観測のため約60%の観測機会を北極海の観測のために使用したことになる。ただし、このパス数には北極上空の全ての観測時間をカバーしておらず、部分的な観測となっているパスも含む。

図-3.2.1は1パスでの北極海域でのデータ取得状況を示す。赤で示す軌道を通過する際、図の赤点で示す位置でAIS信号のデータを取得できた。水色の枠は、ある瞬間での衛星AISの信号取得エリアを示す。

2) 北極海での船舶観測の状況

SDS-4 搭載衛星 AIS により、北緯 66 度以北の北極圏において、1日約 500 隻(2013年8月の観測実績、1日320分観測の場合)の船舶の AIS 信号（メッセージ1～3：船舶の位置に関する情報）の取得に成功している。なお、5日間観測した場合には合計で800隻超の船舶が観測されていることから、1日の観測では北極海を航行する100%の船舶は捕捉されていないものと推測される。

以下に、2012年のピーク時で1日約400隻（2012/10/3の観測実績、1日73分観測）の取得図（図-3.2.2）と、2013年の夏季で1日約500隻(2013/8/25の観測実績、1日320分観測)の取得図（図-3.2.3）を示す。なお当該図でのプロット数は船舶数ではなく観測されたAIS信号数を表すことに注意が必要である。

衛星 AIS で受信できる AIS 信号のうち、多くの船舶は北欧のノルウェー沿岸に集中している。さらに、欧州沿岸は船舶の多いエリアであることから、北極海上でも衛星視野に欧州を含む場合など、衛星 AIS では北欧付近を中心に AIS 信号の衝突が起こっており、信号の収集が困難な領域が含まれることが判明している。このため、他の北極海域に比べ、欧州付近については衛星 AIS から推測される船舶の数が実数より少なくなるものと考えられる。

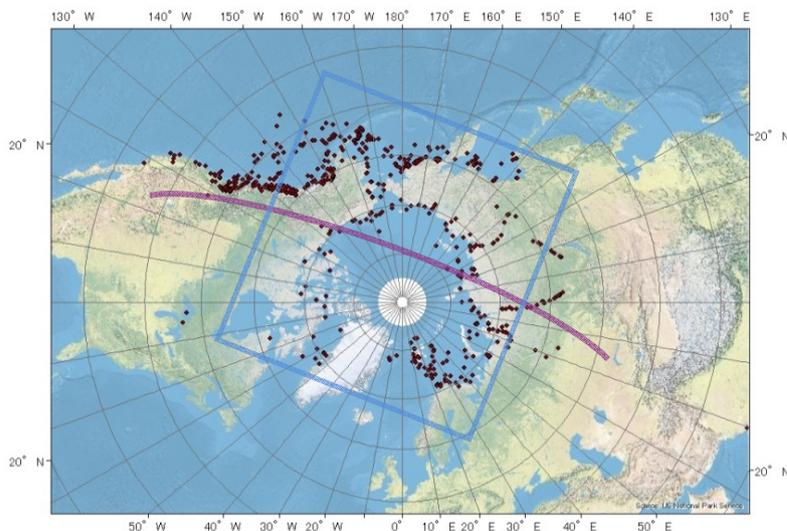


図-3.2.1 北極海域の軌道1パスとデータ取得状況（2013年9月8日）

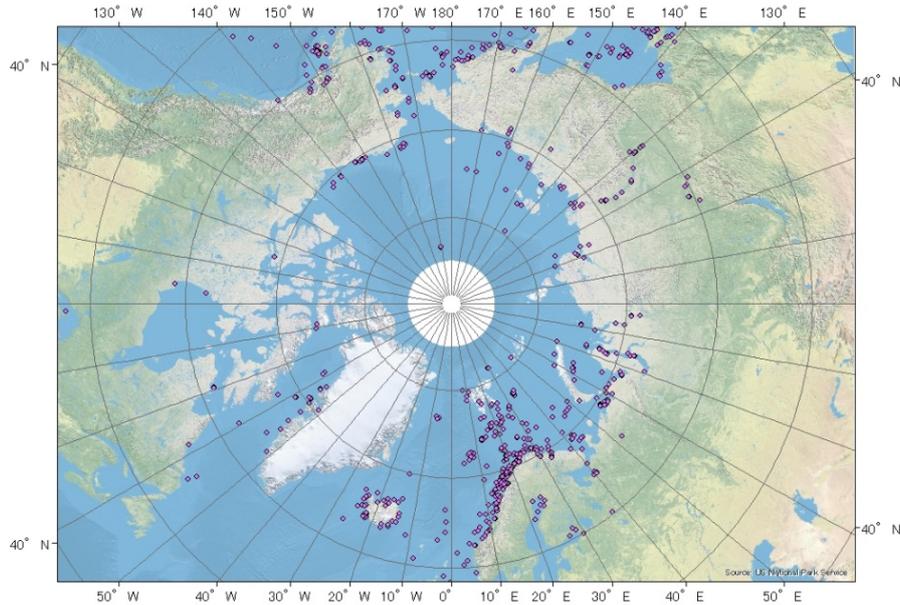


図-3.2.2 SDS-4 の AIS 信号取得結果 (2012 年 10 月 3 日)

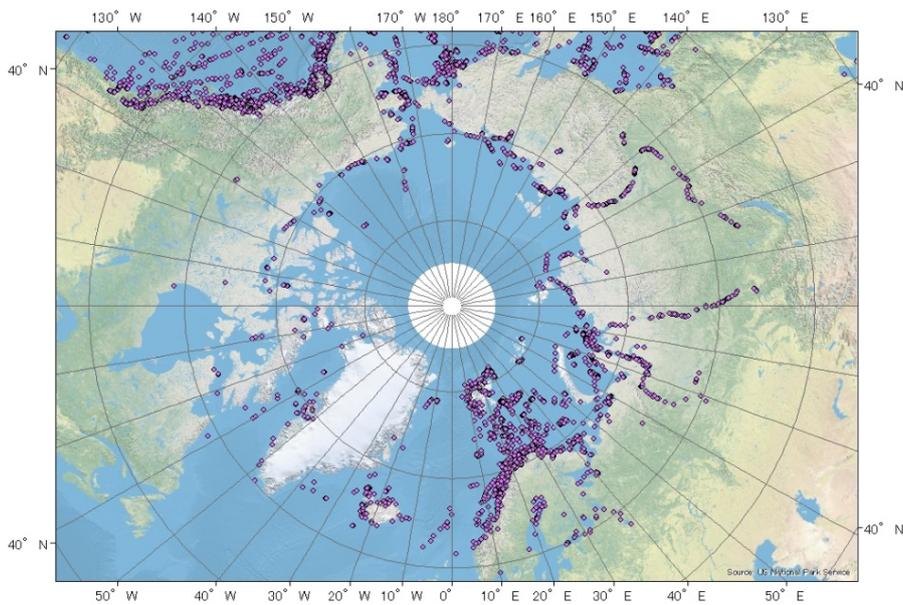


図-3.2.3 SDS-4 の AIS 信号取得結果 (2013 年 8 月 25 日)

北極域（北緯 66 度-90 度）の船舶の 5 日間での観測実績は以下の通りである。

①2012 年夏季：8 月-10 月の 7 週分（1 日 2.4 パス）

- ・ 1 船舶あたり 5 日間で平均 2.0 回観測（うち 5 日観測できたもの 6%，4 日観測できたもの 7%）
- ・ 5 日間での船舶観測数の平均：530 隻（5 日間の観測を 4 週間に亘り行った実績の平均値）

②2013 年夏季：8 月-9 月の 4 週分（1 日 10.2 パス）

- ・ 1 船舶あたり 5 日間で平均 3.1 回観測（うち 5 日観測できたもの 29%，4 日観測できたもの 15%）

- ・ 5 日間での船舶観測数の平均：840 隻（5 日間の観測を 4 週間に亘り行った実績の平均値）

2013 年の夏季を例にとれば，1 船舶あたり 5 日間で平均 3.1 回観測されたことは，1 船舶あたり 1 日間平均で約 0.6 回観測されたことを意味する。

AIS 信号には，位置情報を含むメッセージ 1-3 の他に，メッセージ 5（航行の目的地等の航海関連情報等）がある。メッセージ 5 は信号長が長いことから，衛星 AIS では信号衝突等の混信の機会が多く，メッセージ 1-3 に比べ取得しにくい。メッセージ 5 の取得割合も時期・場所によって異なるが，例えば，北極海の北東航路エリア（東経 50 度-西

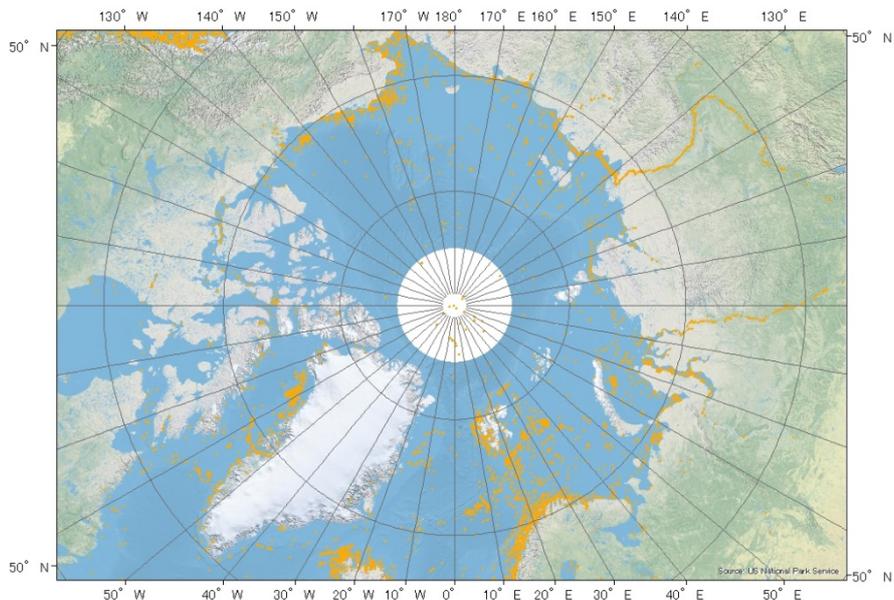


図-3.2.4 2012年6月-9月(観測日数:38日)のSDS-4でのAIS信号取得結果

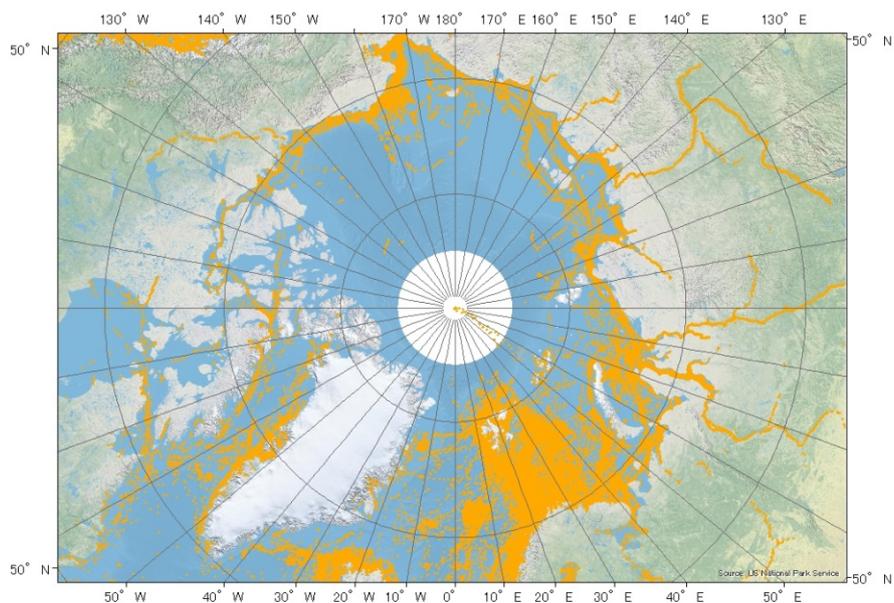


図-3.2.5 2013年6月-9月(観測日数:56日)のSDS-4でのAIS信号取得結果

経 175 度) の 2013 年 8 月には、メッセージ 1-3 が取得できた船舶のうち、約 2/3 の船舶についてメッセージ 5 が取得できている。衛星 AIS でメッセージ 5 が取得できない場合は、他のデータベース等で目的地等の航海関連情報を入手することが必要となる。

また AIS 信号には、クラス B といわれる小型船舶局向けの簡易型 AIS もあり、小型船は任意で搭載することができる。クラス B は AIS のメッセージ 18, 19 を用いる。北極海域では、SDS-4 の衛星 AIS では 1 日 4 ないし 5 隻のクラス B の AIS 信号の受信ができる。

3) 技術的な達成状況等

SDS-4 に搭載した衛星 AIS では、衛星打上げから 6 か月間の定常フェーズで、全球ベースで約 40 万個の AIS 信号の受信に成功した。打上げ 6 か月以降も順調に AIS 信号を受信しており、観測時間の増大もあって、打上げ 1 年間で全球ベースで総数 360 万を超える AIS 信号の受信に成功した。2012 年と 2013 年の 6-9 月における北極海地域での AIS 信号の取得結果を示す (図-3.2.4 並びに図-3.2.5)。

データの取得は 5,000km 幅でできており、衛星 AIS の特徴の一つである広域なデータ取得が宇宙 (衛星高度 680km) から可能であることが確認された。一方、船舶の過密域等

で信号衝突が起りやすい等，衛星 AIS の弱点についても明らかになった。

北極海地域の AIS 信号の詳細解析の例として 2 例をあげる。図-3.2.6 はロシア沿岸における信号取得の多い箇所を示す。主要な港湾等夏季に船舶の活動が活発なエリアとなっていることが分かる。図-3.2.7 はロシア沿岸における船籍別の船舶分布状況を示す。ロシア船籍の他，各船籍別の出現頻度等の評価が可能である。

衛星 AIS での信号を増やすためには，信号の衝突を緩和するためのアンテナ設計や，地上での干渉除去の信号処理

等が重要となり，依然として今後の課題が多い分野である。また，今回は衛星 AIS 1 機で運用しているが，SDS-4 の 1 日 100 分の観測の場合，1 船舶あたり 1 日間平均で約 0.6 回の観測にとどまる。このため，1 機でもより長い観測時間を確保しつつ，複数の衛星を用いて観測をすると，船舶の捕捉率をより実用的なレベルに近づけられることが期待される。既に，世界的には衛星 10 機以上を用いた観測システムが構築されつつある。こうしたシステムを使用すれば，1 日の観測頻度も高くなる。



図-3.2.6 ロシア沿岸での AIS 信号の取得の多い箇所

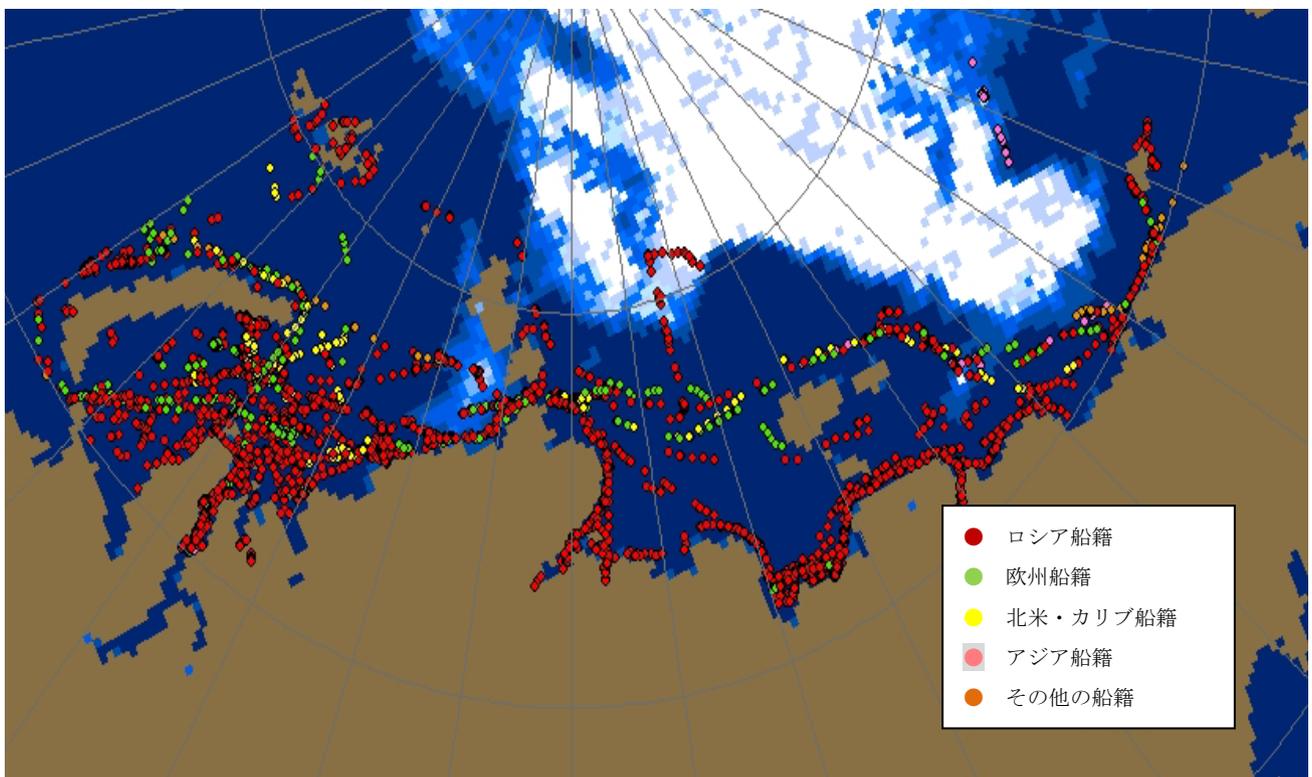


図-3.2.7 SDS-4 での信号取得結果（ロシア沿岸の船籍別の船舶分布状況，2013 年 8 月）

4. 衛星AISを用いた航行実態分析の試み

4.1 使用データの概要

北極海を航行する船舶の概要を把握するため、衛星AISデータを用いて航行実態の分析を行った。分析対象期間はNSRの航行可能期間とされる7月～11月の前後1ヶ月を含む、6月～12月の7ヶ月間とした。観測日を表-4.2.1に示す。

また、航行実態分析の対象海域については北極海地域の東経29度以東～ベーリング海峡までとし、図-4.1.1に示す範囲としている。対象海域は、図-4.1.2に示すとおり、チュクチ海(1)、東シベリア海(2)、ラプテフ海(3)、カラ海(4)、バレンツ海(5)の5つの海域に区分した。

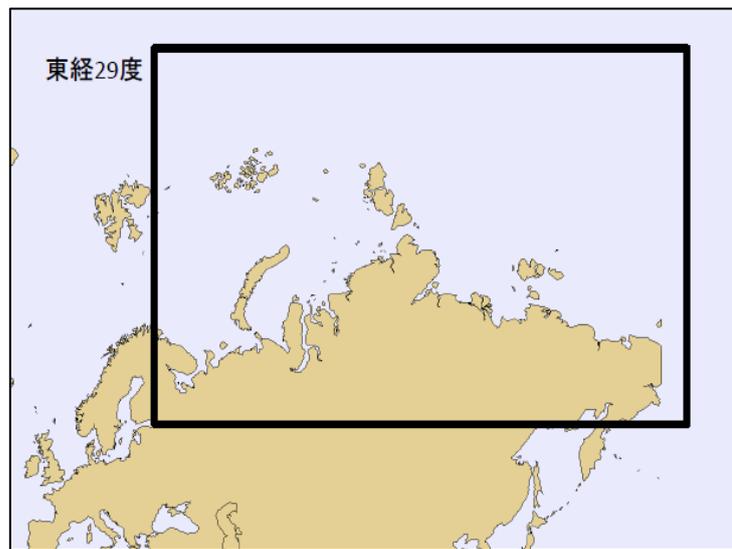


図-4.1.1 航行実態分析の対象範囲

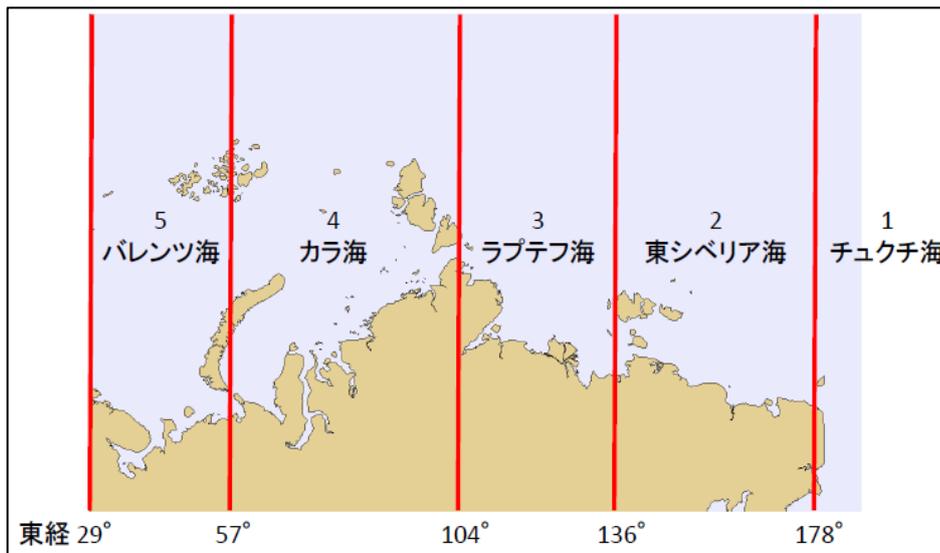


図-4.1.2 北極海地域の海域区分

表-4.2.1 観測日ならびに船舶数・船舶種別

観測日	全船	船種が判明した船舶	船種不明の船舶	バルク船	一般貨物船	コンテナ船	タンカー	旅客船	漁船	調査船	砕氷船	その他
2013/6/8~6/14	269	191	78	11	19	3	11	10	103	7	4	23
2013/6/22~6/28	299	213	86	7	24	4	19	9	110	10	3	27
2013/7/6~7/12	321	208	113	6	23	3	14	15	96	11	5	35
2013/7/20~7/26	374	251	123	11	27	4	20	17	106	9	5	52
2013/8/3~8/9	409	263	146	13	34	3	23	14	98	18	5	55
2013/8/24~8/30	427	277	150	13	42	4	24	10	99	17	4	64
2012/9/1~9/7	195	126	69	4	28	0	8	5	45	16	2	18
2012/9/17~9/21	192	116	76	2	19	2	5	4	33	18	3	30
2012/9/29~10/5	305	218	87	9	34	4	15	4	87	17	5	43
2012/10/13~10/19	231	182	49	6	25	2	16	4	70	10	5	44
2012/10/27~11/2	187	153	34	10	14	5	18	6	67	6	4	23
2012/11/17~11/23	84	67	17	4	6	3	5	3	33	2	4	7
2012/12/1~12/7	168	132	36	11	8	4	12	7	67	2	3	18
2012/12/16~12/21	147	125	22	13	14	4	12	3	57	2	3	17
合計	3,608	2,522	1,086	120	317	45	202	111	1,071	145	55	456

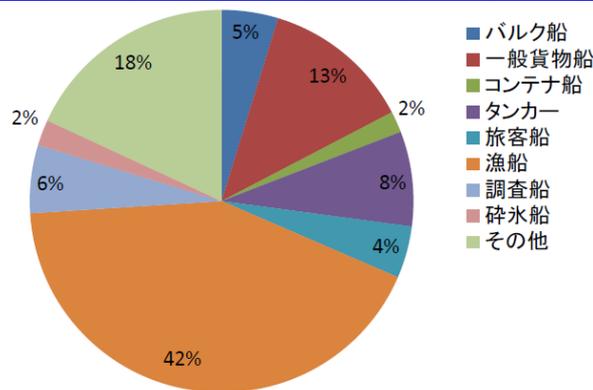


図-4.2.1 船種別内訳

4.2 船舶数と船種別内訳

対象海域にて観測された船舶数と船種別内訳を表-4.2.1並びに図-4.2.1に示す。各観測週に観測された船舶数は84～427隻で、観測された全船舶（3,608隻）のうち約7割（2,522隻）については、国総研が有する船舶データベースとの照合により船名や船種が判明した。船種別では全体の42%を漁船が占めており、つづいて一般貨物船13%、タンカー8%、バルク船5%の順となっている。コンテナ船は全体の2%とほとんど航行していない状況である。

すなわち、北極海地域においてはバルク船、一般貨物船ならびにタンカーが主な輸送手段となっていることが伺え、月別にもこの動向には変化がない。

4.3 月別の航行水域と海氷との位置関係

北極海での航行実態を分析するにあたっては、海氷との関係を考慮し分析することが重要である。このため北極海における航行水域と海氷位置の関係を把握するため、月別の航跡図（全船種）に同月15日のAMSR2海氷データによる海氷範囲を着色した図を、図-4.3.1～図-4.3.7に示す。

ただし、2012年の9～12月の航跡図は、観測パス数の制約

によりデータ数が少なく航跡長が短いため、矢印表記（船舶が観測された位置の矢印によるプロット）としている。最も観測数の多い2013年8月（図-4.3.3）においても観測時間の制約から航跡図は連続的な曲線とはならないが、時期ごとの大まかな航行範囲や航行密度を捉えることができる。

6月は海氷の無いバレンツ海周辺を航行する船舶が大部分であり、海氷が存在するカラ海や東シベリア海では船舶の航行は殆ど見られない。7月はカラ海の家氷が溶け始め、6月と比較して同海域を航行する船舶が増えており、カラ海や東シベリア海において海氷中のNSR上を航行する船舶も確認できる（円内）。8月は東シベリア海の家氷も無くなり、海氷が残るのは図中央のビルキツキー海峡周辺のみであり、NSR全域で航行船舶を確認できる。9月はNSR周辺に海氷は見られず、10月から東シベリア海に海氷が出来はじめている。11月に入るとカラ海の一部、ラプテフ海と東シベリア海が海氷に覆われているが、その海氷中を航行する船舶が確認できた（円内）。12月はバレンツ海とカラ海の一部で航行船舶が確認できるが海氷中の航行船舶は見られない。

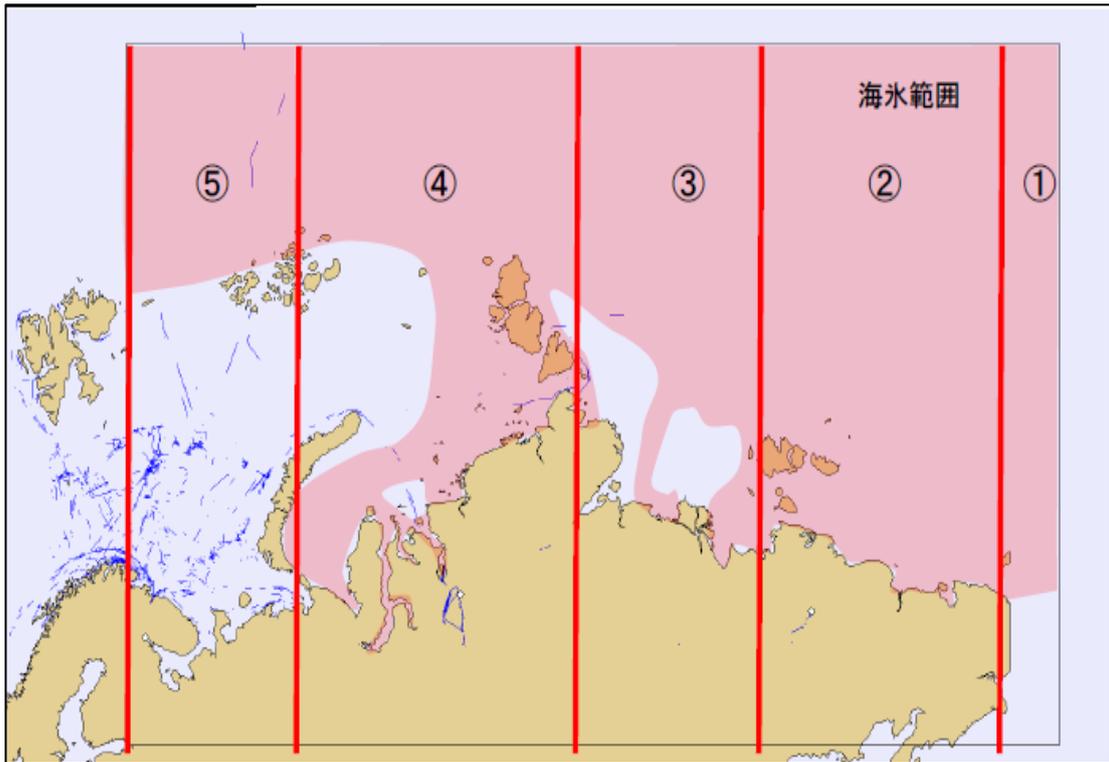


図-4.3.1 航跡図 (2013年6月)

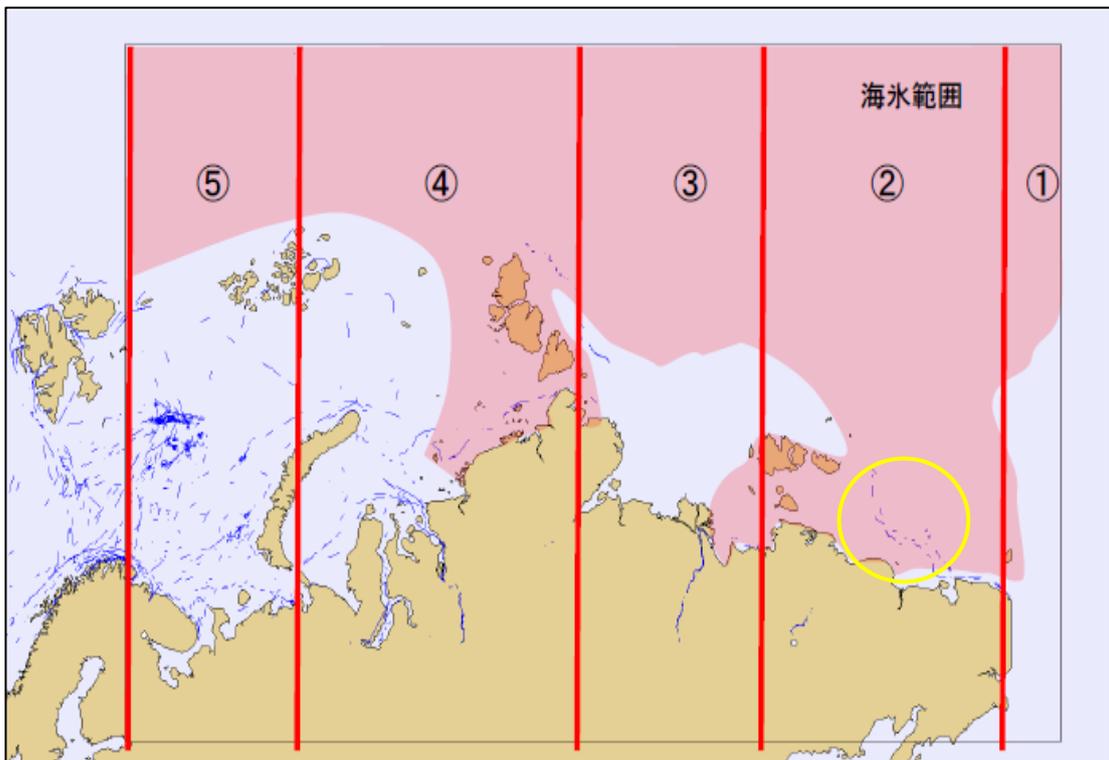


図-4.3.2 航跡図 (2013年7月)

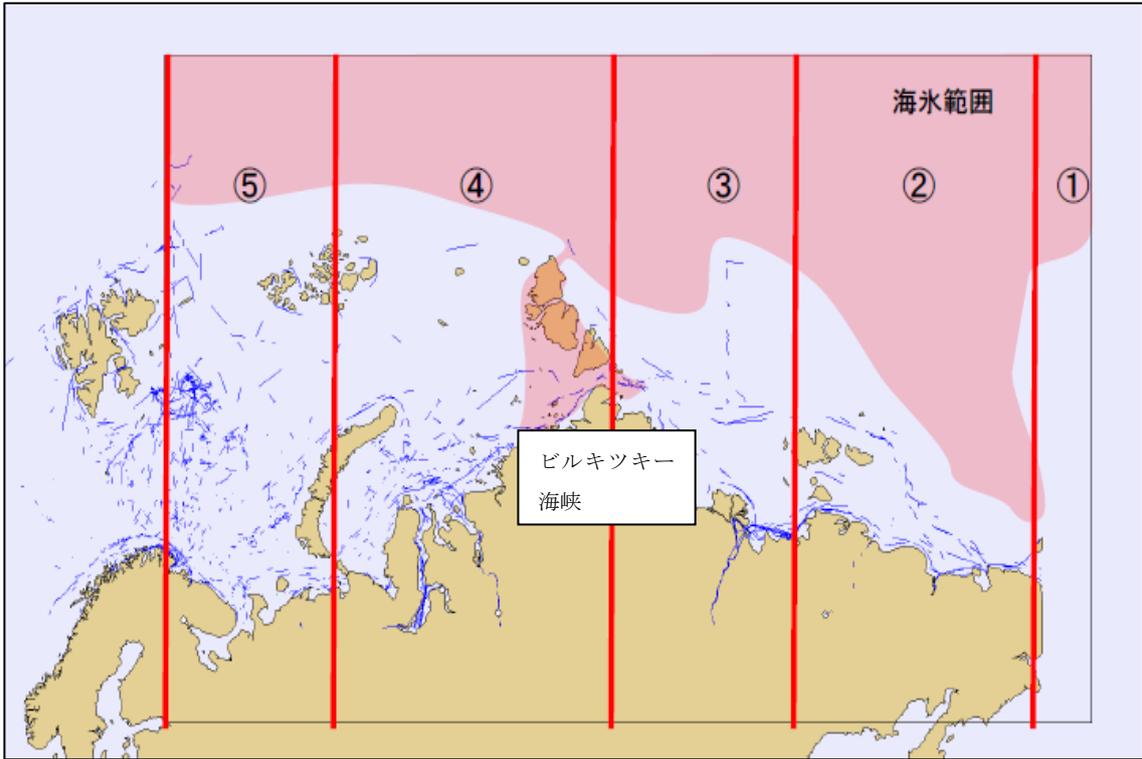


図-4.3.3 航跡図 (2013年8月)

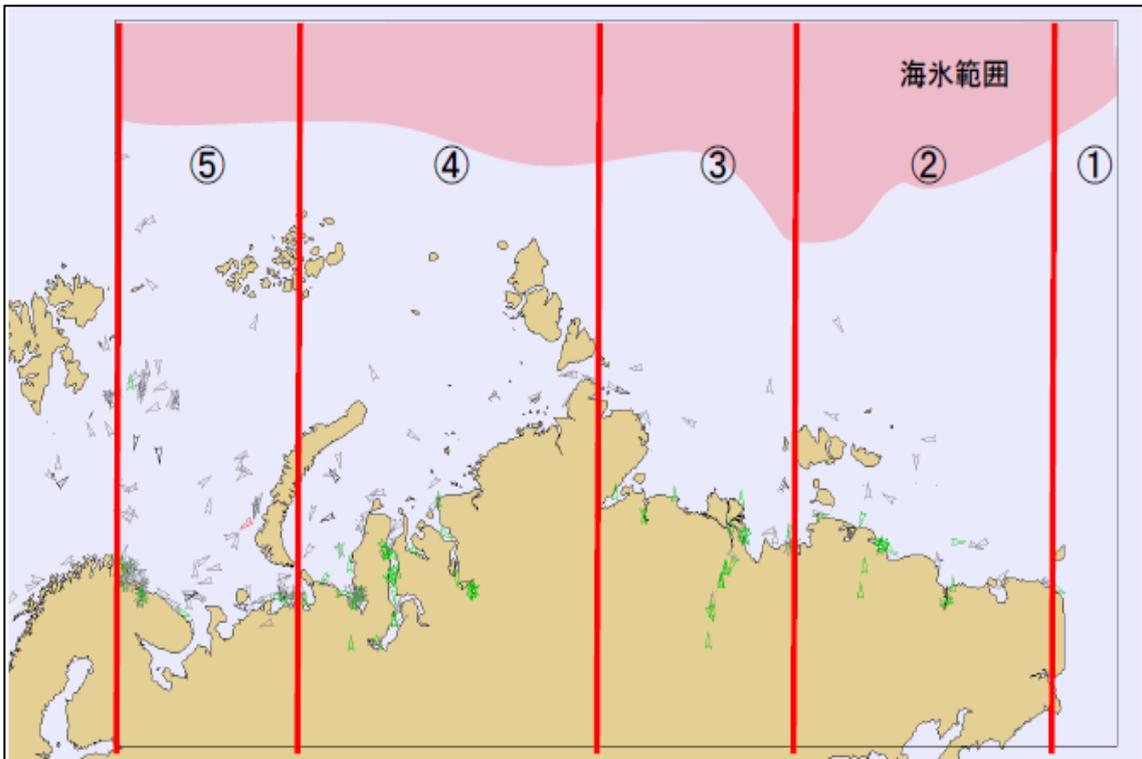


図-4.3.4 航跡図 (船舶の分布) (2012年9月)

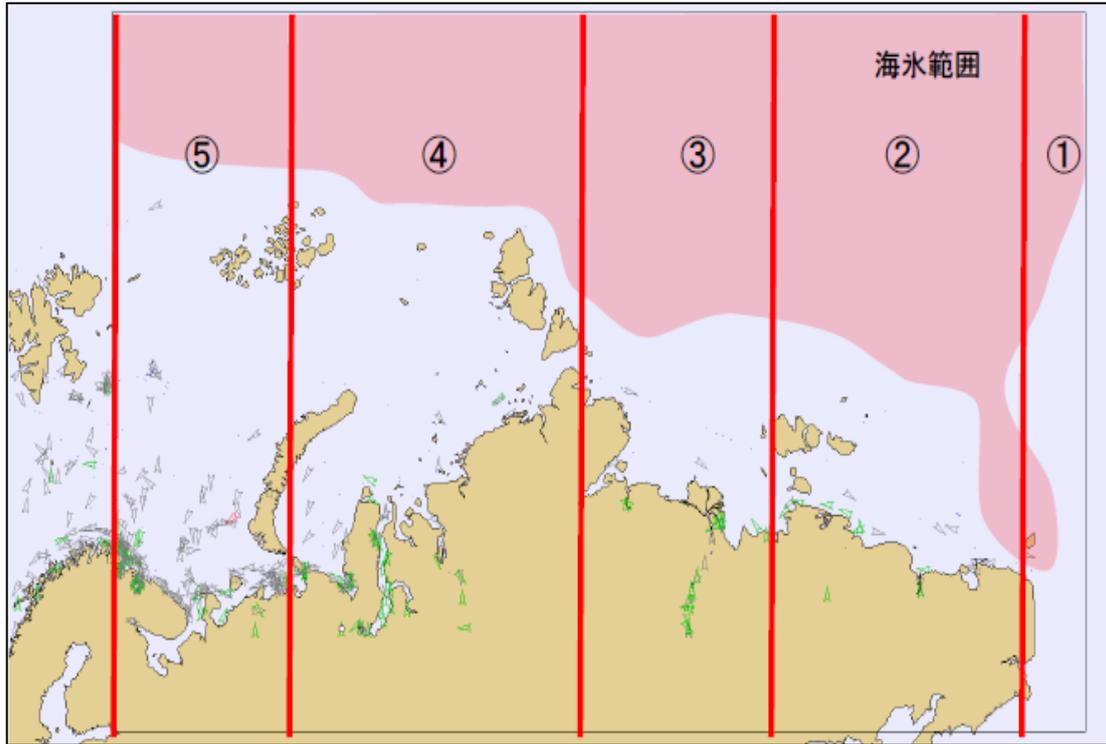


図-4.3.5 航跡図（船舶の分布）（2012年10月）

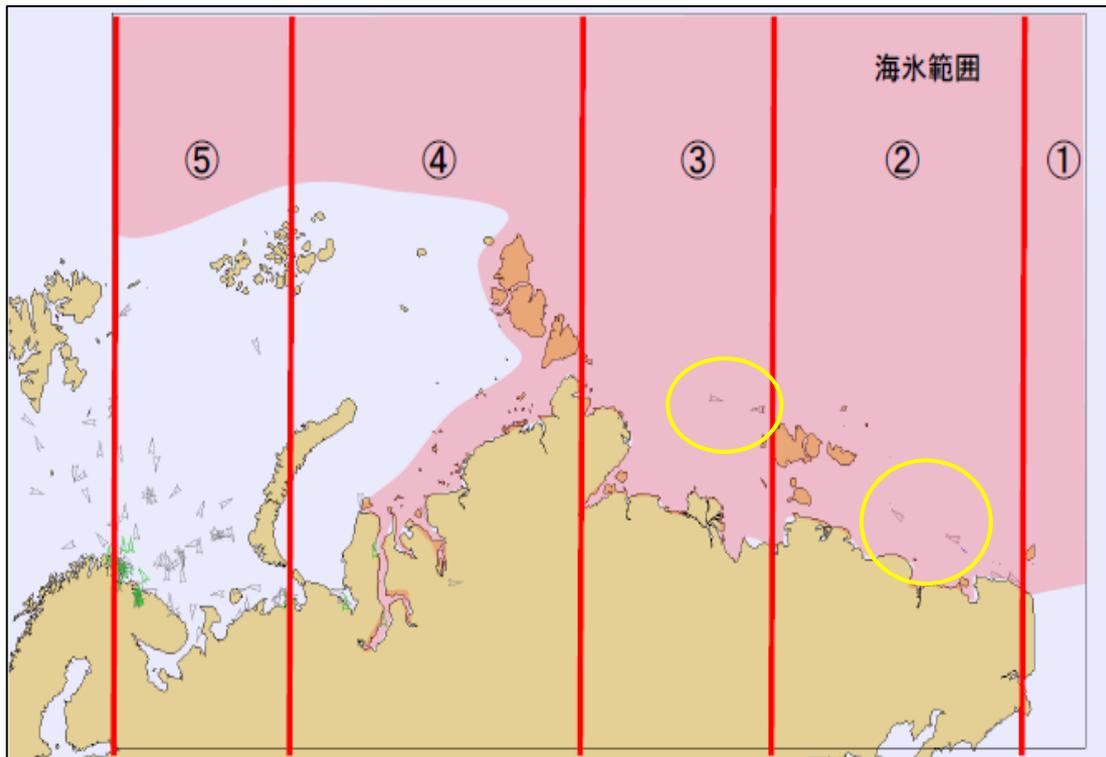


図-4.3.6 航跡図（船舶の分布）（2012年11月）

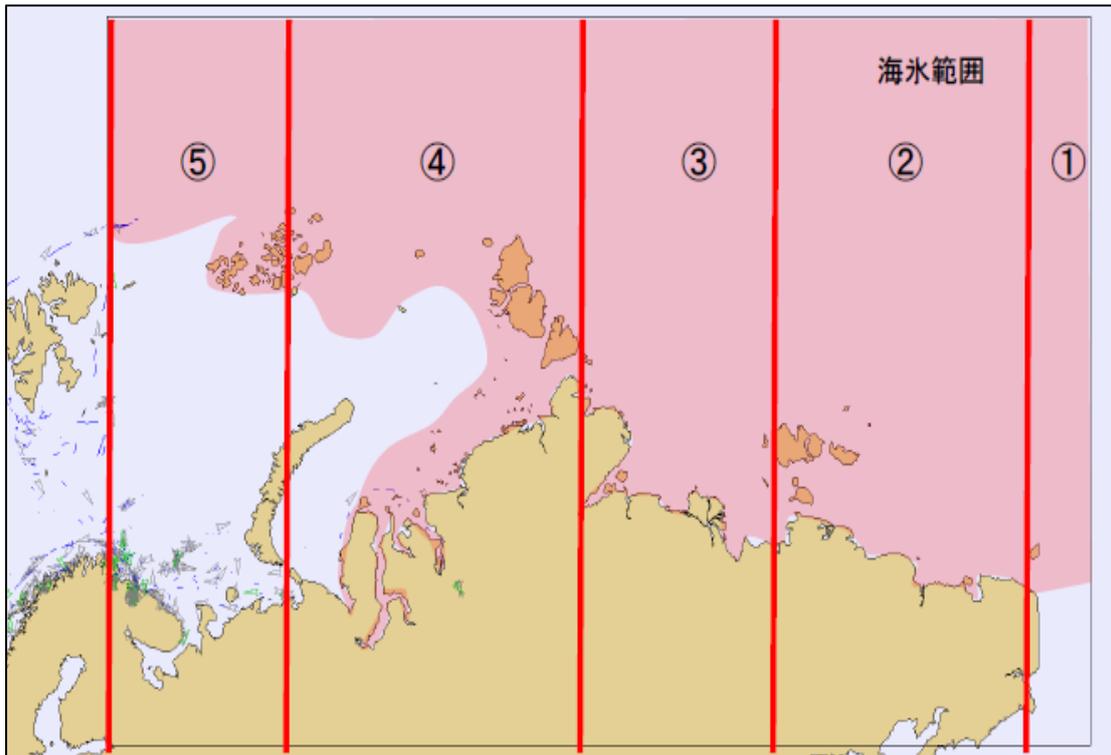


図-4.3.7 航跡図（船舶の分布）（2012年12月）

一般的にNSRの利用可能期間は7月～11月の5ヶ月間と言われている（文献²⁾）が、これらの分析より、衛星AISデータを活用して船舶が実際にNSRを利用した期間の検証が可能であることが示唆される。

4.4 北極海地域における平均的航行速度の分析

北極海における各月・海域・船種による航行速度の違いを分析した。ここでは8月の実績値は2012年の観測データを用いている。

対象海域で観測されたバルクキャリア（BC）、コンテナ船（CC）、一般貨物船（GX）、タンカー（TN・TP・TR）、砕氷船（SI）のうち、観測された航行速度の分析を行った結果を表-4.4.1に示す。

1) 月別平均速度

月別平均速度は7月、8月が他月と比較して若干速度が低下している。これはこれらの月が厚い海氷が残っている海域があるためと考えられる。

2) 海域別平均速度

海域別平均速度は2：東シベリア海、3：ラプテフ海が他海域と比較して若干速度が低下している。年間通じて海氷が殆ど存在しない5：バレンツ海が他海域と比較して一番速度が速い。

3) 船種別平均速度

船種別平均速度は全体的では約10.0ktで船種毎の大きな差は見られないがコンテナ船が一番速く、一般貨物船とタ

ンカーが若干遅い結果となっている。

4) 海域・月別平均速度

海域・月別平均速度については、全般的に3：ラプテフ海のものが遅くなっている。これは海氷が残りやすいことや狭い海峡がこの水域にあることが要因とみられる。また2：東シベリア海・7月の速度が7.0kt、3：ラプテフ海・7月の速度が6.8kt、4：カラ海・8月の速度も6.6ktと他月と比較して若干低下している。これは、海氷中を航行した影響によるものと推測される。なお、「3：ラプテフ海・6月の14.0kt（砕氷船1隻、データ数N=11）」といったように、6月の海氷中の航行としては例外的でやや速いと考えられる船速も観測されている。

5) 船種・海域別平均速度

船種・海域別平均速度では、コンテナ船は海域1, 2, 3では観測されていない。コンテナ船は海域4, 5において多くみられるが、船速は速く平均約12.0kt程度である。

一般貨物船、バルク船、タンカーは平均では約10.0kt程度であるが、海域によって速度のばらつきが見られる。これは観測された時期や海氷の有無が影響していると見られる。砕氷船は他船と比較して航行速度が比較的安定している。ここでは、航行速度の平均的数値についてデータ分析を試みたが、上記でみられた航行速度の差は、船種によるものもあるが海氷の影響が大きいことが推察される。このため次節以降において海氷の影響について詳細な分析を試みた。

表-4.4.1 北極海航行における平均的航行速度

海域区分		海域・月別平均速度			船種・海域別平均速度			
1	チュクチ海	海域	月	平均速度	船種	海域	平均速度	
2	東シベリア海	1	6月	- (N=0)	BC	1	9.7kt (N=17)	
3	ラプテフ海		7月	9.2kt (N=39)		2	7.0kt (N=51)	
4	カラ海		8月	11.2kt (N=3)		3	5.0kt (N=13)	
5	バレンツ海		9月	10.8kt (N=6)		4	10.3kt (N=7)	
			10月	11.4kt (N=16)		5	11.7kt (N=170)	
月別平均速度			2	11月	15.1kt (N=5)	CC	1	- (N=0)
月	平均速度			12月	- (N=0)		2	- (N=0)
6月	11.1kt (N=415)			6月	- (N=0)		3	- (N=0)
7月	9.3kt (N=607)			7月	7.0kt (N=129)		4	11.8kt (N=192)
8月	9.6kt (N=16)			8月	10.1kt (N=3)		5	12.3kt (N=52)
9月	10.5kt (N=54)			9月	10.9kt (N=24)	GX	1	11.4kt (N=11)
10月	11.0kt (N=154)			10月	10.4kt (N=26)		2	10.0kt (N=33)
11月	11.8kt (N=40)	11月		11.5kt (N=26)	3		8.3kt (N=33)	
12月	11.8kt (N=130)	12月		- (N=0)	4		9.1kt (N=47)	
海域別平均速度		3		6月	14.0kt (N=11)		5	9.9kt (N=201)
海域	平均速度			7月	6.8kt (N=33)	TN TP TR	1	9.6kt (N=19)
1	10.3kt (N=69)			8月	11.2kt (N=3)		2	7.9kt (N=69)
2	8.4kt (N=208)		9月	8.3kt (N=10)	3		10.2kt (N=7)	
3	8.6kt (N=78)		10月	8.5kt (N=21)	4		9.1kt (N=87)	
4	10.6kt (N=418)		11月	- (N=0)	SI		1	10.9kt (N=22)
5	11.1kt (N=643)		12月	- (N=0)		2	9.5kt (N=55)	
船種別平均速度			4	6月		11.3kt (N=147)	3	10.5kt (N=25)
船種	平均速度			7月		10.0kt (N=197)	4	10.2kt (N=85)
BC	10.2kt (N=258)			8月		6.6kt (N=4)	5	14.8kt (N=33)
CC	11.9kt (N=244)			9月	10.7kt (N=6)	5	6月	10.8kt (N=257)
GX	9.7kt (N=325)			10月	11.0kt (N=34)		7月	10.7kt (N=209)
TN・TP・TR	9.8kt (N=369)	11月		11.2kt (N=2)	8月		10.0kt (N=3)	
SI	10.8kt (N=220)	12月		11.0kt (N=28)	9月		11.6kt (N=8)	
		5		6月	10.8kt (N=257)		10月	12.2kt (N=57)
				7月	10.7kt (N=209)	11月	10.6kt (N=7)	
				8月	10.0kt (N=3)	12月	12.1kt (N=102)	
				9月	11.6kt (N=8)			
				10月	12.2kt (N=57)			

4.5 海水中の航行速度の詳細分析

観測データの中から6~11月にNSRを通過したと見られる船舶ならびにそれら船舶をエスコートしたとみられる砕氷船のみを延べ26隻抽出し、海水中和海水外の航行速度について分析した結果を表-4.5.1に示す。海水中和海水外の判断は、4.3の分析結果を考慮し、航行速度を取得した位置と同時期の海水分布から判断した。この際アジアもしくは欧州の港湾が目的地となっている航行（すなわちNSRを通過したと考えられる航行）の判定については、衛星AISが受信したメッセージ5を利用することができた。

26隻の内訳をみると、砕氷船の他貨物船についてはバルク船・一般貨物船・タンカーがあるが、コンテナ船は見られない。また船のサイズは3,000~120,000DWT程度と幅がある。

観測した中では、船舶No12~23 (No16を除く) は海水中の航行は観測されておらず、8~15kt程度の航行速度である。これ以前に航行した船舶No1~11については海水中の航行が観測され速度の低下がみられる（例えばNo4ならびにNo6のチュクチ海）。No24以降においても海水中和みられる航行データがあるが、船速の大きな低下は見られない。この

分布を示す図-4.3.5と図-4.3.6を見ると、10月中旬から11月中旬の約1カ月の間で急激に海氷範囲が拡大しているものの、海氷が形成され始めて間もないことから海氷の厚さが十分に発達していないためと推測される。

また、表-4.5.1のデータを用いてNSR航行船舶の月別・海域別平均速度を分析した結果を表-4.5.2に示す。一般的な動向として、7月~8月上旬は海水中和航行した場合には速度低下が見られ（概ね海水中の航行速度は平均7~8kt程度に低下）、8月中旬~9月は海水中の航行自体が見られない。10月~11月には再び海水中の航行が見られるが速度は大きく低下していない。これは海氷の厚さが未発達であることに起因していると思われる。

図-4.5.1~図-4.5.5は個別の航行について、観測された速度と海氷の位置との関係を示したものである。観測時間の制約等から航跡を連続的に把握できていない訳ではないが、海氷内・海氷外について複数回の観測ができていないものについては海水中には速度が低下する傾向が確認できる。この中で、図-4.5.1については、貨物船と砕氷船がほぼ並んで航行する状況が見られたことから、当該貨物船が砕氷船にエスコートされていた状況が捕捉されたものとみられる。

表-4.5.1 NSR を通過したと見られる船舶の航行速度（船舶ごとの平均値）

No	船種	船長 (m)	DWT	平均速度(kt)					AISで観測 された時期
				バレンツ海 5	カラ海 4	ラプテフ海 3	東シベリア海 2	チュクチ海 1	
1	砕氷船	149	3,581	—	—	—	7.5	8.2	6/27-7/12
2	タンカー	164	16,168	—	10.5	—	6.7	—	6/26-7/10
3	タンカー	164	16,038	10.5	9.6	—	6.9	8.1	6/24-7/12
4	砕氷船	149	3,581	8.5	9.3	—	—	—	—
5	砕氷船	150	2,750	—	7.8	5.9	7.1	6.6	7/6-7/22
6	砕氷船	150	2,750	—	—	—	—	9.6	—
7	砕氷船	150	2,750	—	—	—	6.1	—	7/21-7/26
8	バルクキャリア	225	75,603	—	4.6	5.0	7.4	5.8	6/23-7/22
9	砕氷船	149	3,581	10.7	—	—	—	10.9	—
10	砕氷船	149	3,581	—	—	—	6.1	—	7/21-7/26
11	タンカー	249	117,055	—	—	—	—	—	—
12	タンカー	228	73,965	—	7.6	6.2	—	—	7/21-7/26
13	タンカー	158	23,050	10.0	10.0	—	—	—	—
14	タンカー	158	23,050	—	5.9	7.3	—	—	8/3-8/9
15	タンカー	183	47,187	—	—	—	8.6	—	8/4-8/8
16	タンカー	183	47,187	11.0	8.0	—	—	—	8/5-8/9
17	貨物船	89	3,030	13.8	13.0	—	—	—	8/24-8/29
18	バルクキャリア	225	75,603	9.0	10.0	—	—	—	8/3-8/4
19	砕氷船	149	3,581	13.9	9.6	—	—	—	8/3-8/5
20	タンカー	228	74,997	—	8.9	7.9	—	—	8/6-8/27
21	砕氷船	159	3,505	10.0	—	—	10.0	10.7	8/5-8/29
22	一般貨物船	159	19,150	19.2	15.3	—	13.2	—	8/27-8/29
23	タンカー	158	23,050	—	—	—	11.2	13.6	8/24-8/29
24	タンカー	158	23,050	—	—	—	11.0	—	8/24-8/29
25	バルクキャリア	225	75,603	—	—	—	—	—	9/17-9/18
26	バルクキャリア	225	74,750	—	—	—	13.4	11.2	9/18-9/21
27	タンカー	288	84,682	—	—	—	9.6	12.5	10/13-10/16
28	バルクキャリア	190	43,732	14.2	11.5	12.5	—	—	10/17-10/29
29	タンカー	288	84,682	12.9	—	—	12.5	11.4	10/17-10/29
30	タンカー	288	84,682	—	—	—	13.2	14.8	11/17-11/18
31	砕氷船	149	3,581	—	—	—	11.6	16.0	11/17-11/22

平均速度の上段：海水中の速度
下段：海水外の速度

表-4.5.2 NSR を通過したと見られる船舶の航行速度（全体の平均値）

時期	平均速度 (kt)					全体
	バレンツ海 5	カラ海 4	ラプテフ海 3	東シベリア海 2	チュクチ海 1	
6月	—	—	—	—	—	—
7月	9.4	9.7	—	—	—	9.5
8月	—	7.6	5.4	6.5	7.3	6.7
9月	10.0	10.9	12.4	—	10.6	10.7
10月	—	7.7	7.7	—	—	7.7
11月	12.0	10.9	12.0	10.6	11.9	11.0
12月	—	—	—	—	—	—
1月	—	—	—	12.6	10.1	11.9
2月	—	—	—	12.5	11.4	12.0
3月	13.2	11.5	12.5	—	11.7	12.4
4月	—	—	—	11.8	15.7	13.2
5月	—	—	—	—	—	—
6月	—	—	—	—	—	—

平均速度の上段：海水中の速度
下段：海水外の速度

注) 上記の二つの表については NSR を通過したと見られる船舶のうち欧州～アジア間を航行していると判断された 26 隻を抽出したものである（上記 26 隻以外の、ロシア国内における短距離輸送に使用されたと判断される船舶の航行は分析の対象としていない）。

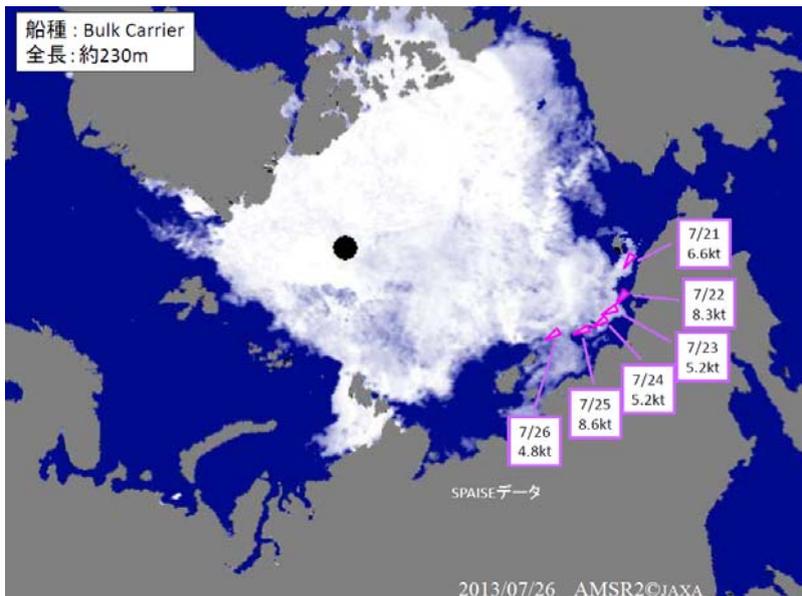
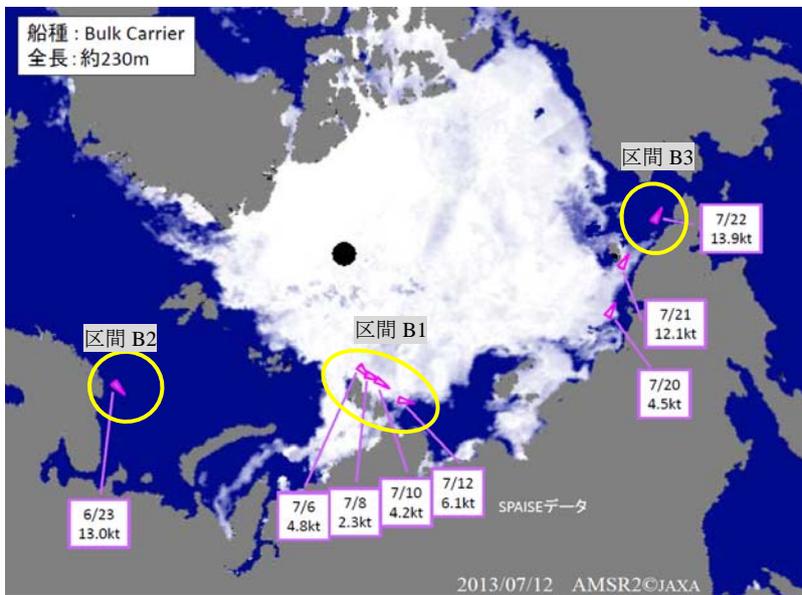
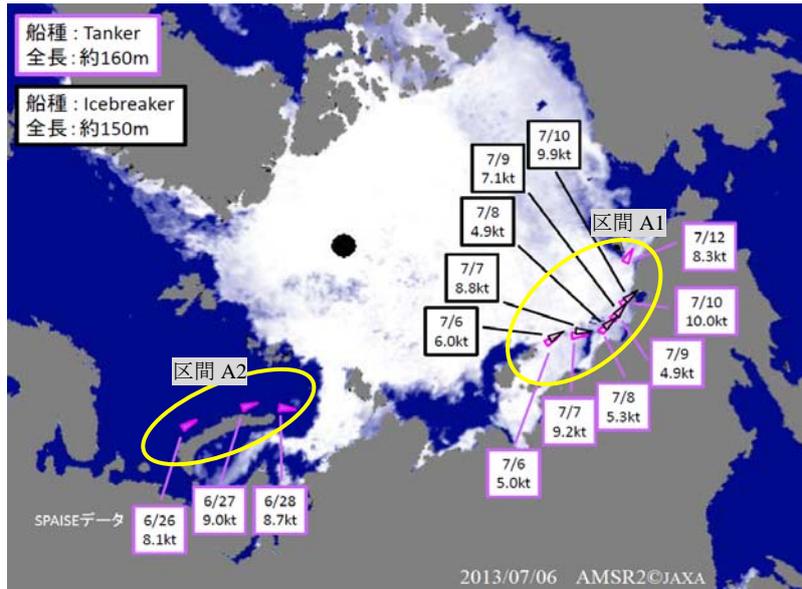


図-4.5.1～図-4.5.3 NSRの航行観測事例

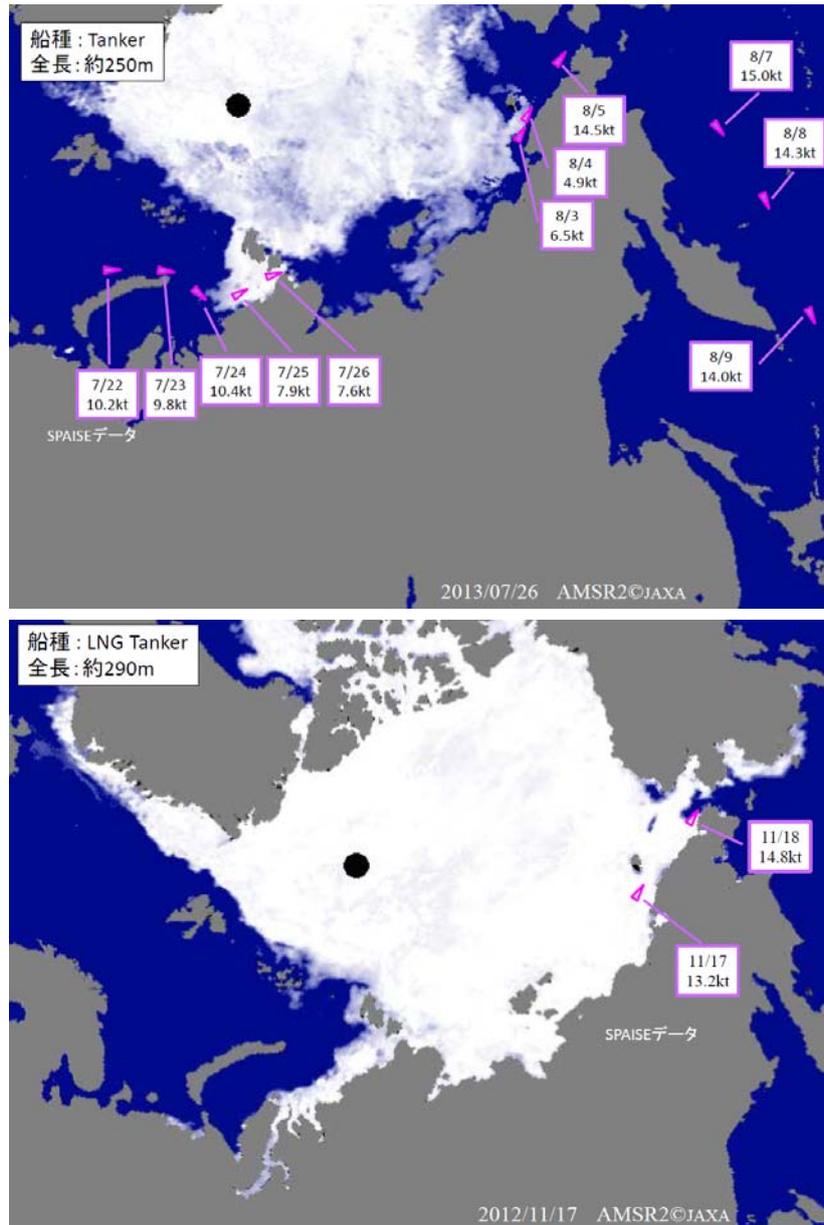


図-4.5.4～図-4.5.5 NSRの航行観測事例

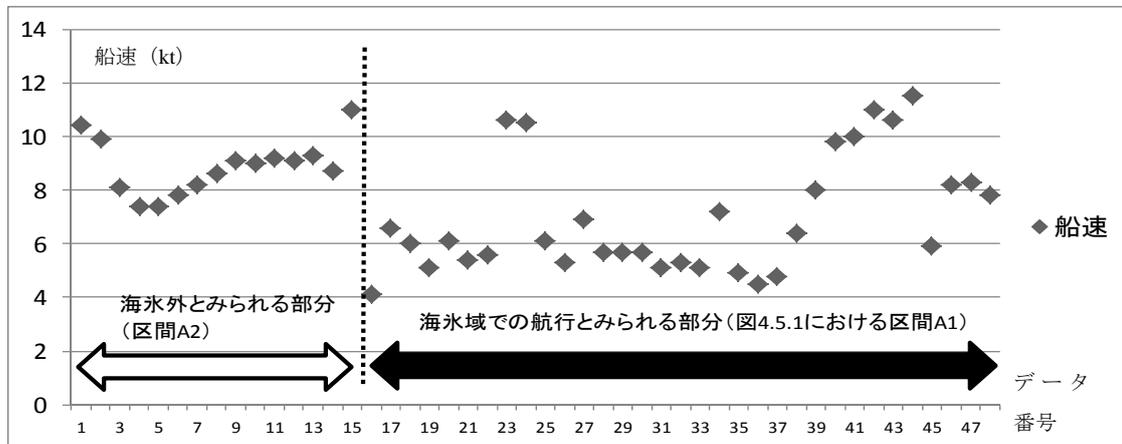


図-4.5.6 NSRの航行観測事例 (航行速度の変動) 表-4.5.1でのNo3

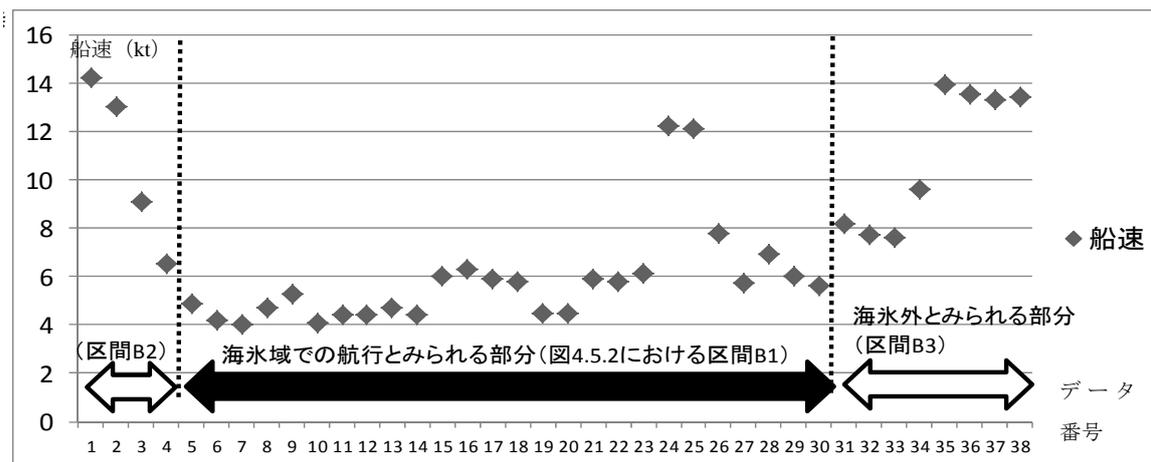


図-4.5.7 NSRの航行観測事例（航行速度の変動）表-4.5.1でのNo6

また表-4.5.1で示された航海については、複数回その速度が観測されている。この速度変動を示した例を図-4.5.6、図-4.5.7に示す。海水中では航行速度が低下しているが、同じ海水中でも速度は変動していることがわかる。現在、北極海の海氷については海氷密度や厚さなどに関する研究が進められており、海氷の状態を示すパラメータと航行速度との関係が分析できれば、今後北極海での海氷の条件に応じた航行速度の予測も可能となろう。今後AMSR2海氷データによる海氷密度等々の海氷パラメータと航行速度等々の関係について定量的な評価がなされることが期待される。

4.6 航行ルートの詳細分析

詳細な航行ルート进行分析するため、別の衛星AISデータ（カナダのExactEarth社によるデータ）による分析を行った。NSR上に殆ど海氷が存在しない9月の航跡図を図-4.6.1に示す。航路上に海氷が存在しない時期であるため、砕氷船によるエスコートは確認されなかった。この分析により、北極海航路の一般的な航行ルートを把握した。図-4.6.1によれば、ノバヤゼムリヤ島ならびにノビシビルスク諸島の南北において複数の航行ルートが把握された。

複数ルートの存在については、例えば航行の難所と言われるサニコフ海峡は、航路水深が13mしかないため喫水が11 mに制限されている。衛星AISデータの喫水データから、サニコフ海峡を航行する全船舶の喫水が11 m以下、北側を通過している船は、11 m以上であることが把握されている。

図-4.6.1より明らかとなった航行ルートを海氷分布図に重ねた図を図-4.6.2に示す。一般的な航行ルートと、AMSR2海氷データを重ねることにより、概ね9月～10月においては航路上の海氷がなくなる等々の分析を行うことができることがわかる。

5. 技術開発の評価

5.1 これまでの成果

「SDS-4」と称される衛星1機による衛星AISデータの取得で観測時間の制約もあるなかでの分析ではあるが、以下のようなNSR航行に関する全般的な傾向の分析が技術的に可能であることが確認できた。

- ①北極海の船舶航行状況、海氷との関係
- ②航行海域、航行時期、船種、海氷の有無の相違に考慮した平均的な航行速度
- ③通行時期と海氷との関係
- ④海氷中の平均的な航行速度低下

これらの情報はNSRの実用性・コスト評価に寄与するものであると考えられる。

5.2 今後の課題

今後、さらに詳細な分析を行うためには以下の点を改善する必要がある。

- ・2013年5月下旬より1日あたりのパス数を増やして運用された結果、2012年における観測と比べ船舶の航跡をとらえやすくなり、海氷中の航行速度の変動や砕氷船によるエスコートの状況も一部捉えることが出来た。その結果、2013年においてはNSRを航行したと公表されている船舶（文献⁶⁾）の9割以上について最低1回以上捕捉することができている。

しかしこの一方、航行上の難所の特定や砕氷船によるエスコートによる速度低下の有無、船舶の喫水と航行ルートとの関係、航行速度と海氷密度等との関係など詳細な分析を安定的に行うためには、現状の船舶の捕捉率（1船舶当たり1日平均約0.6回）では不足であると考えられ、さらに衛星の数を増やすことや、国際的な連携を進めるなど観測の強化が期待される。

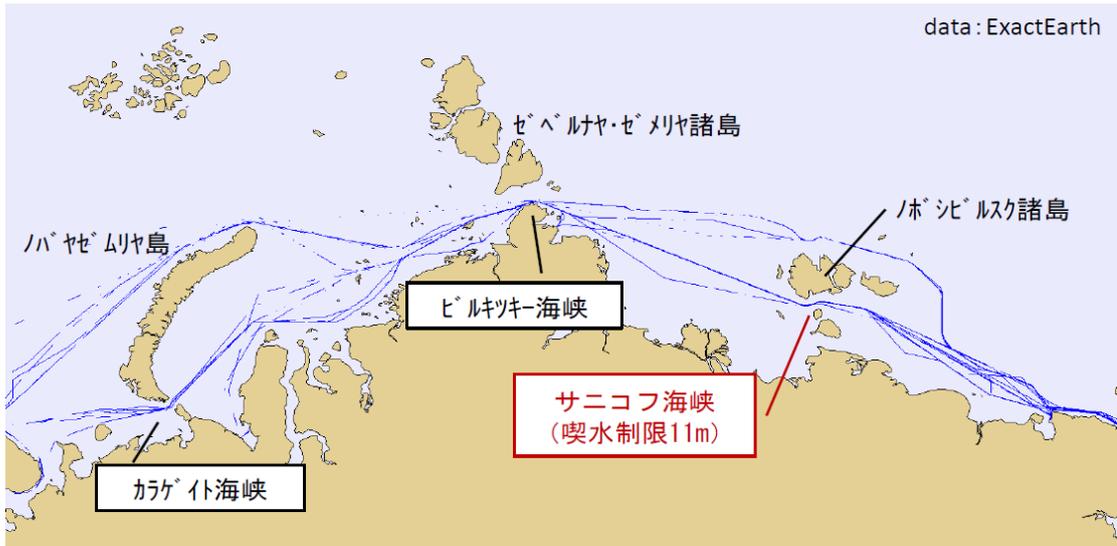


図-4.6.1 NSRにおける一般的航行ルート

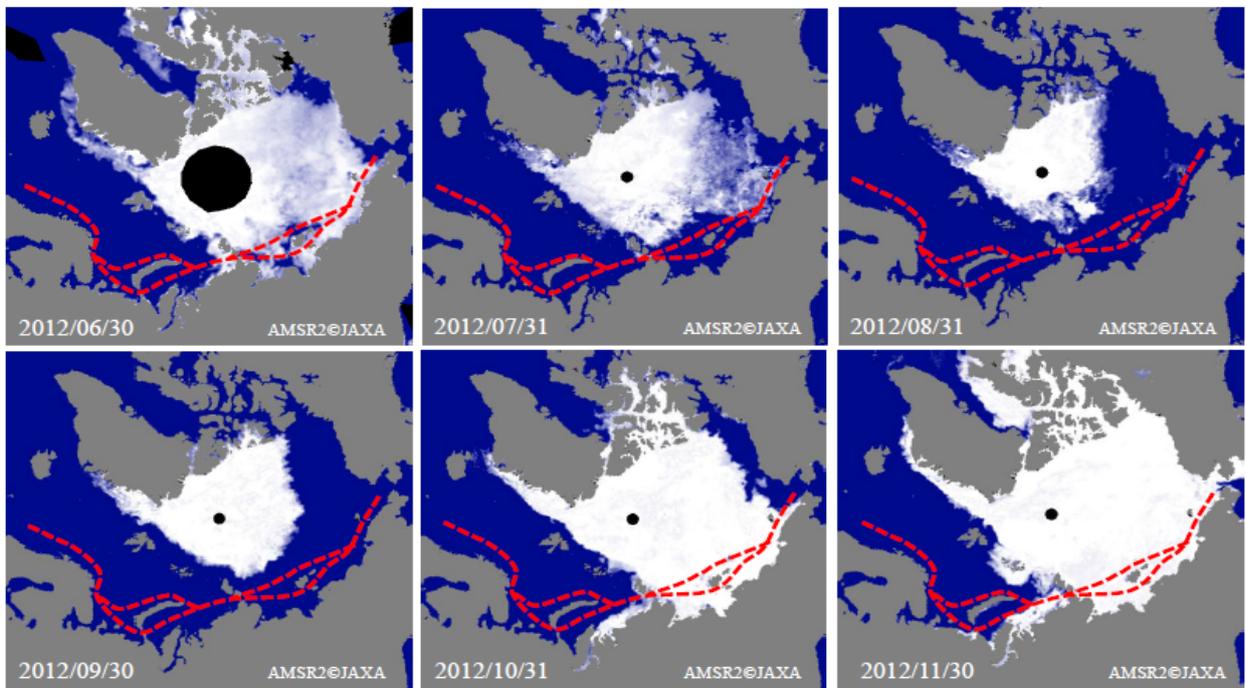


図-4.6.2 NSR の航行ルートと海氷との関係（2012年）

- ・北極海の東側における航行隻数は現在多くはないものの、図-3.2.1 に示す通り北極海観測時のカバーエリアは欧州まで含んでいることから、北極海の衛星 AIS データの取得においては AIS 信号間の衝突による影響を受けており、これが船舶の捕捉率を低下させる一因になっている。衛星の数を増やすと同時に、AIS 信号間の衝突の低減に向けた衛星 AIS 独自の技術開発が期待される。
- ・SDS-4 で取得される衛星 AIS データのメッセージ 5 情報（目的地等）についての取得割合を向上させることが望ましい。近年中国・韓国が NSR の積極的利用に乗

り出しているが、メッセージ 5 の情報を用いることでアジアを目的地とする船舶の目的地が容易に把握できることとなる。この観点からも、AIS 信号間の衝突低減に向けた技術開発が期待される。

- ・北極海のみ衛星 AIS データの取得では、航行船舶の発着港をすべて把握することはできない。メッセージ 5 の情報（目的地情報）を用いることで、北極海航路を航行している船舶の目的地がアジア方面であれば、欧州～アジア間での輸送であることが特定できる。しかし船舶の目的地が欧州方面である場合には、欧州～アジア間での輸送であっても、北極海航路の欧州側で

その船舶が捕捉された場合には、この船舶がアジアから来たものか、ロシア国内から来たものかの判定はできない。このためこのような船舶については例えば国総研が開発したNILIM-AIS等によってアジア海域で航行していることを確認する必要がある。北極海と同時に周辺のアジア地域・欧州地域まで観測を行うことができれば、上記のような特定がより容易となる。衛星AISを補完する情報の収集の強化やシステムの連携の推進が期待される。

6. おわりに

本研究は、我が国で初めて衛星AISデータの取得を目的に衛星を開発・運用し、取得データからNSRの実用可能性について分析を行うことができるか検討を行ったものである。

衛星1機でかつ運用時間の制約があるという限られた観測環境ではあるが、本研究での分析結果から、衛星AISがNSRの実用可能性を評価するためのデータの提供可能性を有することが、技術的な観点から示されたといえる。

NSR利用の社会的インパクトは大きく、また我が国が他のアジア諸国（中国、韓国）に後れを取らず、積極的な対応（例えば、ロシアとの北極海航路利用に関する協力体制の整備や、北極海航路のアジア地域におけるゲートウェイ港湾の整備など）を行うためにも、NSRの航行実態の把握は重要であると考えられる。今後の技術開発並びに実用化に向けた取組みが期待される。

またこのような衛星AISデータや海氷に関するデータを蓄積・分析することにより、より正確なNSRのコスト試算等が可能であり、今後の研究の強化に向けた取組みが期待される。

今後も引き続き衛星を用いたAISデータの取得ならびにその利用可能性を検証していく予定である。

なお、本資料での航行速度等に関する考察は、これまでの限定的な取得データから分析されたものである。今後さらにデータの蓄積がなされた場合には考察結果が異なりうる点に留意されたい。

謝辞

本研究の実施においては、衛星AISデータの解析において高橋宏直氏、柴田勝規氏、川辺有恒氏からご支援を賜りました。

また安藤和也氏（中国地方整備局、元港湾計画研究室員）にはデータの分析でご尽力を頂きました。

大塚夏彦氏（北日本港湾コンサルタント株式会社）から

は、北極海航路の航行の分析に関して貴重なご助言を頂きました。

ここに謹んで謝意を表します。

(2013年11月15日受付)

参考文献

- 1) OPRF(2012): 日本北極海会議報告書
- 2) Kjerstad, K. (2011): Ice Navigation, Tapir Academic Press
- 3) IAPH(2012): Ports and Harbor, August
- 4) UNEP(2010): Protecting Arctic Biodiversity
- 5) 北海道建設部（2013）：北極海航路可能性調査事業委託業務報告書
- 6) <http://www.arctic-lio.com/>
- 7) 野澤（2006）：氷海工学，成山堂書店
- 8) Furuichi, M. and Otsuka, N. (2013): Cost Analysis of the Northern Sea Route and the Conventional Route Shipping, Proceedings of IAME(International Association of Maritime Economists) Annual Conference, Marseille, France
- 9) 米国ORBCOMN社による情報による。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 768 December 2013

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019