ISSN 1346-7328
国総研資料　第923号
平 成 ２ ８ 年 ６ 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. 923　　June 2016

衛星AISを用いた北極海航路航行実態に関する研究
：2015年の航行実態を中心に

安部　智久・石澤　淳一郎・早川　哲也・千葉　雄文・清水　収司・
木下　真吾・岸田　正也

Study on Vessel Movements by Satellite AIS System:
Focusing on Actual Vessel Movements in 2015

Motohisa ABE, Junichiro ISHIZAWA, Tetsuya HAYAKAWA, Takefumi CHIBA,
Shuji SHIMIZU, Shingo KINOSHITA, Masaya KISHIDA

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

国土技術政策総合研究所資料
No.923　2016年6月
（YSK-N-347）

衛星AISを用いた北極海航路航行実態に関する研究
：2015年の航行実態を中心に

安部智久*・石澤淳一郎**・早川哲也***・千葉雄文****・清水収司**・木下真吾*****・岸田正也*

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，その実現性の評価や安全運航のためには，基本的情報となる北極海航路の航行実態を継続的に捉え，得られた知見をタイムリーに提供することが必要と考えられる．

このような問題意識の元，衛星AISを用いた北極海航路の航行実態の継続的把握に向け，国土技術政策総合研究所，宇宙航空研究開発機構，北海道開発局ならびに青森県は共同研究を実施した．

本資料はその成果の主要部分を2015年の航行実態を中心に取りまとめたものである．

キーワード：北極海航路，衛星AIS，海氷，航行実態，データベース

---

*　港湾研究部　港湾計画研究室
**　国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター
***　国土交通省　北海道開発局
****　青森県　県土整備部　港湾空港課
*****　中電技術コンサルタント㈱，元港湾研究部交流研究員

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1　国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019　Fax：046-842-9265　e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

Technical Note of NILIM
No.923　June 2016
（YSK-N-347）

Study on Vessel Movements by Satellite AIS System: Focusing on Actual Vessel Movements in 2015

Motohisa ABE *
Junichiro ISHIZAWA **
Tetsuya HAYAKAWA ***
Takefumi CHIBA ****
Shuji SHIMIZU**
Shingo KINOSHITA *****
Masaya KISHIDA *

Synopsis

Expectation for the utilization of NSR (Northern Shipping Route) is higher than ever due to the recent decrease of sea ice areas. However in order to examine the feasibility of the NSR in terms of cost and safety, it would be of great significance to grasp the current status of navigation and to provide such information in a timely manner continuously to the parties concerned.

Based on the recognition above, NILIM, Japan Aerospace Exploration Agency, Hokkaido Development Bureau, and Aomori Prefectural government launched a joint study with a view to continuous monitoring of the vessel movements in the NSR. This technical note introduces some of the results mainly focusing on the vessel movements in 2015.

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

---

* Planning Division, Port and Harbour Department, NILIM
** Japan Aerospace Exploration Agency
*** Hokkaido Development Bureau, MLIT
**** Aomori Prefectural Government
***** Former Visiting Researcher (Chuden Engineering Consultants)

National Institute for Land and Infrastructure Management,
Ministry of Land, Infrastructure ,Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone：+81-46-844-5019　Fax：+81-46-842-9265　e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

目　　次

1. はじめに …… 1

2. 本資料の位置づけ …… 1
  2.1 北極海航路に関する共同研究 …… 1
  2.2 本資料の位置づけ …… 2

3. 衛星AISデータの概要 …… 2
  3.1 衛星AISの概要 …… 2
  3.2 JAXAの衛星AIS …… 3
  3.3 マイクロ波放射計の海氷データ …… 5

4. 北極海航路航行数等に関する分析 …… 6
  4.1 分析の概要 …… 6
  4.2 トランジット航行数 …… 6
  4.3 北極海～北東アジア地域の航行数 …… 8
  4.4 特徴的な航行の状況 …… 10

5. 北極海地域内での航行実態分析 …… 11
  5.1 分析の概要 …… 11
  5.2 海氷の状況 …… 11
  5.3 ダイヤグラムの作成 …… 11
  5.4 航跡と海氷位置との関係 …… 11
  5.5 船速に関する分析 …… 18
  5.6 エスコートによる航行の実態 …… 20
  5.7 その他の分析 …… 20

6. 分析結果の活用に関する考察 …… 26
  6.1 衛星AISデータならびに分析結果の活用性 …… 26
  6.2 今後のデータベース化に向けての考察 …… 27

7. おわりに …… 27

謝辞 …… 28
参考文献 …… 28

付録 …… 29

１．はじめに

近年の北極海における海氷面積の減少は，北極海における航路の航行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や速度維持が懸念される海氷中の航行が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，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）程度であり，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．北極海航路の利用実態はロシアの当局など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，衛星AISの有用性を確認した[1]．さらに次の展開として，国土技術政策総合研究所，JAXA，北海道開発局（以下「北開局」），青森県の4者は2014年10月より共同研究を実施した．当該研究では衛星の基数を増やしデータの捕捉率を高めたほか，海氷等の年々状況の異なる北極海地域の航行環境を踏まえ，継続的な分析実施の枠組みや分析結果のデータベース化のあり方も検討事項に含めることとした．

本資料はその成果の主要な内容を2015年の北極海航路の航行実態を中心にとりまとめたものである．第２章において本資料の位置づけを示し，第３章において利用した衛星AISデータの概要を示す．第４章・第５章において2015年の航行実態を紹介し，第６章においてデータの利活用について考察する．

２．本資料の位置づけ

2.1　北極海航路に関する共同研究

近年の北極圏での海氷面積の減少などによる夏季の航行可能時期の拡大に伴い，北極海航路の商業利用への期待が高まっている．このため今後の北極海航路整備に向けて、陸域観測技術衛星２号（ALOS-2）及び小型技術実証衛星（SDS-4）で取得される衛星AISデータを用いて北極海航路整備への活用等についての実証を実施することを目的とした．北極海航路の利用可能性を研究する国総研，同航路のアジアの入口である北海道の港湾政策を担う北開局，ロジスティクス戦略で同航路寄港に取り組む青森県が衛星AISの機能向上を推進するJAXAと連携した共同研究の実施に至り，2014年10月から開始した．

共同研究での検討項目は以下のとおりである．

①北極海航行船舶の航行追跡頻度等の評価及び改善（JAXA，国総研）

②北極海航行船舶の速度把握による輸送コスト算定への活用研究（国総研，北開局）

③北極海航行船舶の北東アジア海域での航路選択の把握能力評価及び拠点港整備への衛星AISデータの活用研究（国総研，北開局，青森県）

④北極海，オホーツク海での調査船動静分析能力評価及び調査船基地港整備への衛星AISデータの活用研究（国総研，北開局）

⑤北極海観測における衛星AISデータマネジメントシステムの検討（国総研，JAXA，北開局，青森県）

これらの検討項目は３つの研究目標に区分される．

第一は，衛星AISの技術開発である．本共同研究から，新たな衛星（ALOS-2）によるデータの活用が可能となった．２基の衛星AISデータによる船舶の捕捉率や衛星AISデータの取得から活用までの時間等，技術的な課題目標に対する達成率を確認する必要がある．

第二は，衛星AIS技術を用いて北極海航路の航行実態がどの程度解明できるかを検証することである．船会社や荷主，港湾関係者，さらには北極海航路関係の研究者等，航行実態を必要とするユーザーは少なからずいるものと見られ，このような主体の利益となるために継続的にどのような分析を行なうべきかを検討する点である．このため，本共同研究では，潜在的なユーザーとなり得る主体に対するヒアリングを実施した．

第三は，得られた分析結果の活用方策の検討である．継続的な分析結果は，データベース化して広く関係者が使えるような形とすることが望ましいと考えられる．また当該データベース活用の一例として輸送コストの算定などが想定される．分析結果のデータベース化のあり方を検討しまたその有効性を確認することも目的に含まれている．

衛星AISを活用した過去の分析との関連性について以下に示す．文献[1]はJAXAによる衛星AISを活用しているが，衛星１基（SDS-4）での運用であった．当該共同研究ではこれが２基体制となりまた観測時間も増加していることから，より多様かつ精緻な分析が期待できる．文献[2]は多数の衛星を活用した民間会社による衛星AISデータを活用しているが，２ヶ月間の分析のみにとどまっている．本共同研究

では通年の衛星AISデータを利用している．すなわち，本研究では衛星２基により取得された捕捉回数の多いデータを通年に亘り分析できる体制が整った中での分析である．上記を踏まえ2015年を皮切りに経年的な分析を行なっていくこととしている．

2.2　本資料の位置づけ

本資料は，当該研究のこれまでの成果の主要な内容を，2015年の北極海航路の航行実態を中心に示すものである．

以下第３章では，分析に使用した衛星ならびに取得AISデータの概要等を示し，第４章並びに第５章では取得されたデータによりこれまでに行った分析の結果を示す．第６章においては実施した分析の利活用方策について検討した結果を示す．

本研究での北極海航路の位置等は**図-2.1.1**を参照されたい．

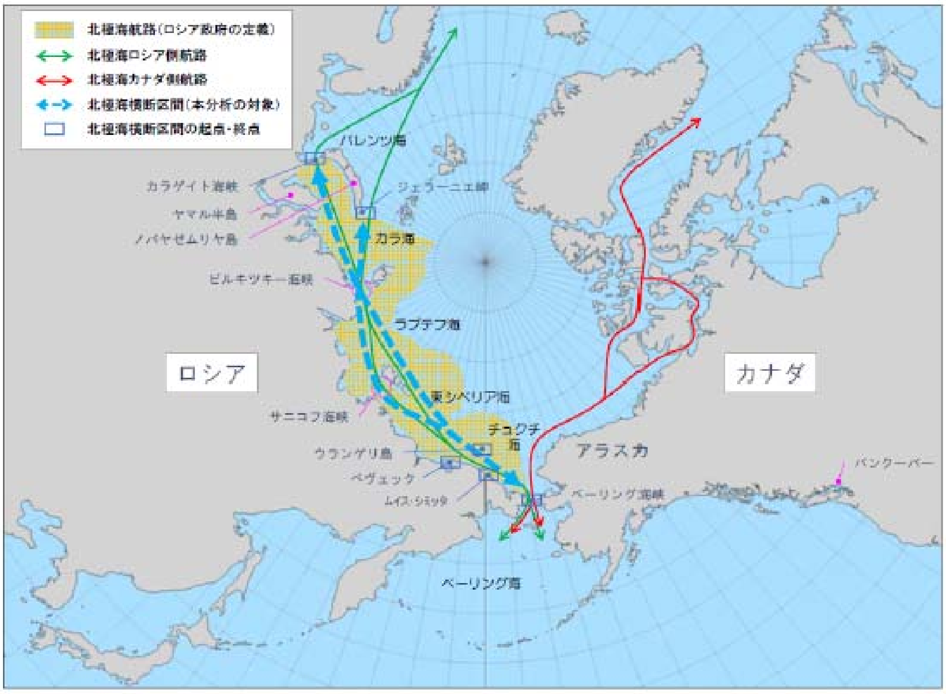


図-2.1.1　北極海航路の位置

３．衛星AISデータの概要

3.1　衛星AISの概要

船舶自動識別装置（AIS: Automatic Identification System）は，VHF 帯の電波を利用し，船名，船種，位置，針路，速度，目的地等を周辺船舶や陸上局に向けて自動的にリアルタイムで送信するシステムで，相互の情報交換を行うことで，船舶同士の衝突予防・海上交通安全等に利用されている．海上における人命の安全に関する条約（SOLAS 条約）に基づき，2008 年 7 月以降，国際航海に従事する 300 トン以上の船舶（旅客船は全て），国際航海に従事しない 500 トン以上の全ての船舶に対して搭載が義務づけられている．

近年では人工衛星から AIS 信号を受信する衛星 AIS がアメリカ・カナダ等の各国で開発・運用されている．沿岸に設置された陸上局では，AIS を収集するカバーエリアは海岸から 20〜30 海里（37km〜55km）程度の範囲であったが，高度 700km を周回する衛星に AIS 受信機を搭載することで，観測幅 5000km 程度と，より広いエリアの AIS 信号を 1 度に受信することが可能である．陸上局のみではカバーできなかった広範囲の船舶動向把握に利用されるようになってきている．

AIS信号は自己管理型時分割多重方式（SOTDMA）を用いて，船舶毎に信号を送信するタイミングを調整することによって，AIS信号同士の衝突を避けている．しかし衛星AISの場合には，カバーエリアが広いため，SOTDMAで制御しているセルを越えてAIS信号を受信してしまうため, 特に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の受信機に到達するため，信号同士が衝突して，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.

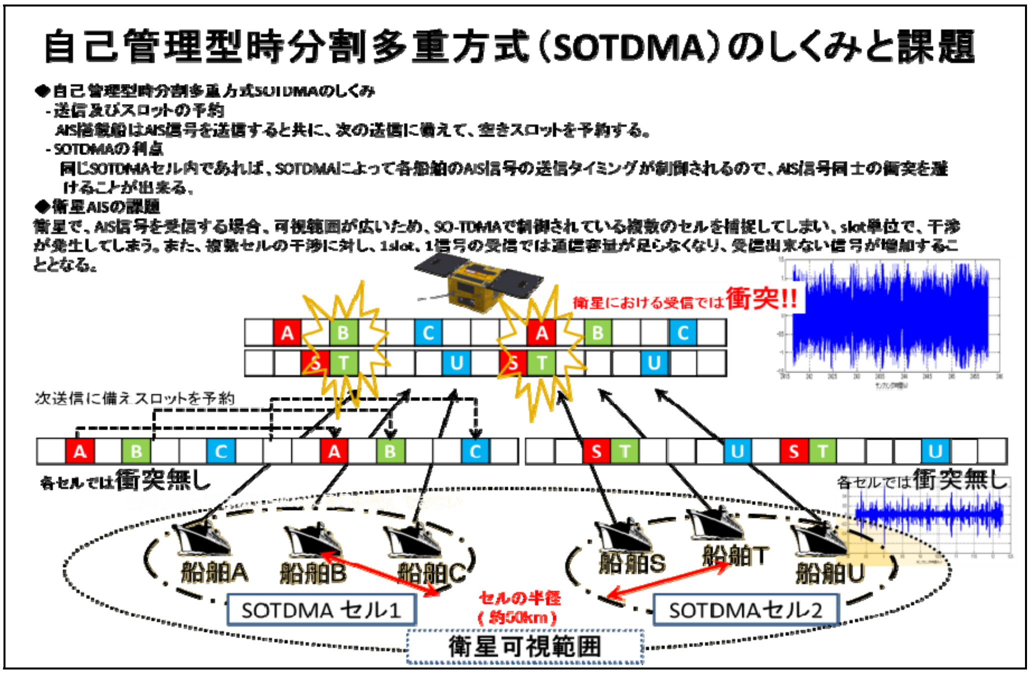


図-3.1.1 自己管理型時分割多重方式の仕組みと課題

3.2 JAXA の衛星 AIS

宇宙航空研究開発機構（JAXA）では，現在 2 機の衛星 AIS を運用している．1 つは 2012 年 5 月 18 日に打ち上げた小型技術実証衛星 4 型（SDS-4）に AIS 受信機を搭載し，衛星 AIS による受信実験（SPAISE1：SPace based AIS Experiment 1）を行っている．SDS-4 は短期・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，SPAISE1 を含め 4 つの技術実証機器が搭載されている．当初のミッション期間は 6 ヶ月間であったが，現在（2016 年 5 月）も運用を継続している．軌道は衛星高度 677km，周期約 98 分で，1 日に 16 回地球を周回する（1 周回を「1 パス」と呼ぶ）．厳密な回帰軌道ではないが，おおよそ 3 パスで同じ場所に到達する．現在 SPAISE1 は 1 日約 30,000 秒（土日は約 15,000 秒）観測が行われている．ただし，SDS-4 の他の 3 つの実証実験と排他的に実験を行うため，2 週間のうち 1 週間の隔週で運用が行われている．SPAISE1 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（図-3.2.1）．

・衛星はほぼ南北方向に秒速 7.5 km で周回していることから，SPAISE1 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 分間 SPAISE1 の信号受信エリアに含まれることになる．

1パス（1周回）で衛星は経度方向に約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，随時西にずれているという形でデータ取得を行う．

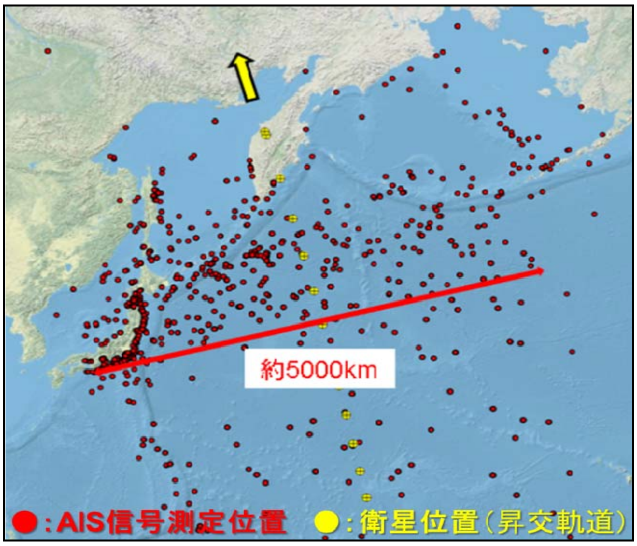


図-3.2.1 1パスで取得した船舶AIS信号と衛星軌道

また 2014 年 5 月 24 日，JAXA では L バンド合成開口レーダ（PALSAR2）を搭載する陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」（ALOS-2）のサブミッションとして，JAXA にとって 2 台目の衛星 AIS ミッションである SPAISE2 を打ち上げた．ALOS-2 の軌道は太陽同期準回帰軌道で，高度は 628km，周期は約 100 分，回帰日数は 14 日である．SPAISE2 は SPAISE1 と比較して，下記のような特徴がある．

・同一衛星に SAR（合成開口レーダー）と AIS を搭載し，同時に船舶を観測する世界初の衛星である．
・地上 AIS 用の AIS チャンネルである AIS#1，#2 に加え，ITU（国際電気通信連合）によって 2012 年に新たに追加された衛星 AIS 用チャンネルである AIS#3, #4 を受信することが可能である．
・AIS 復調処理を自動で行うことにより，常時運用の実現とデータ取得から 6 時間での配信が可能となっている．

SPAISE2 の当初のミッション期間は 1 年間であったが，その後現在（2016 年 5 月）まで順調に運用を続けている．SPAISE1 及び SPAISE2 のどちらも受信機により取得した AIS 信号を，SDS-4/ALOS-2 から日本の受信局または海外の受信局にデータを伝送して処理を行っている．SPAISE2 は PALSAR2 データ伝送の都合上，4,060 秒/日（2015 年 6 月 28 日まで）・9,000 秒/日（2015 年 6 月 29 日以降）に限定されている．そのため，日本の船舶が航行する領域を中心に観測計画が組まれている．

図-3. 2. 2 は全球の SPAISE1 及び SPAISE2 の 1 日（2015 年 9 月 28 日）に取得した AIS 信号をプロットしたものである．SPAISE2 は観測計画に合わせ，日本周辺海域を中心に，北太平洋域，アジア域，ソマリア域及び北極海で船舶信号を取得しているのに対し，SPAISE1 は SPAISE2 の観測領域に加え，東・南太平洋や大西洋の一部，アイスランド付近まで AIS 信号を取得している．通常同じ船の AIS 信号を受信するタイミングは 1 日数回程度に限られるが，SDS-4・ALOS-2 とも極軌道を周回しているため，北極域では衛星が飛来する頻度が低緯度地域より高く，かなりよい条件で観測が可能である．図-3. 2. 3 は同じ日の北極海での AIS 信号分布をプロットしたものである．SPAISE1 と SPAISE2 で観測時刻に違いがあるため，ビルキツキー海峡を船舶が通過していく様子がわかる．

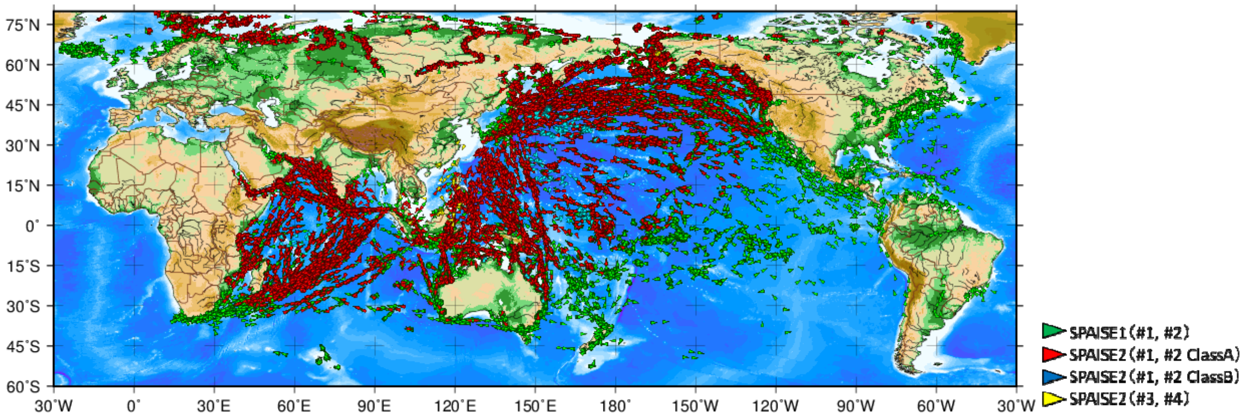


図-3. 2. 2 2015年9月28日にSPAISE1，SPAISE2で取得したAIS信号（全球）

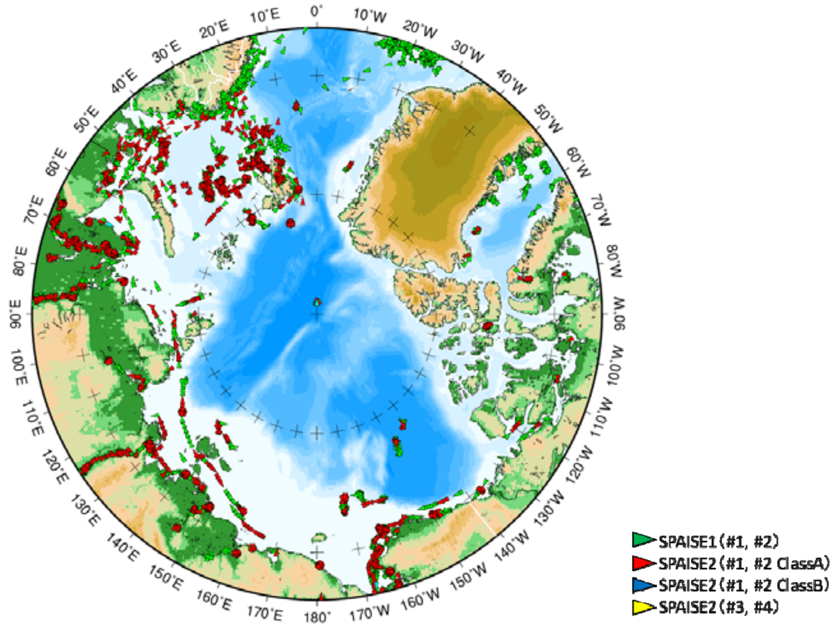


図-3. 2. 3 2015年9月28日にSPAISE1，SPAISE2で取得した全球及び北極海におけるAIS信号分布

ここで，船舶動静把握の観点からデータの取得状況を考察する．図-3.2.4 は，2015 年 9 月 1 ヵ月分の AIS データにより船舶の航跡を作成したものである．北極海全体をはじめ，北太平洋地域での航跡が良好に描けることが分かる．

また，個別の船舶 1 隻に着目し当該船舶が発信する AIS 信号が 1 日に最大何回取得されるかについてログデータから比較する．衛星 1 基の場合（文献[1]）で用いたデータ：SPAISE1）は 13 回，民間衛星の場合（文献[2]）で用いたデータ）は 42 回，衛星 2 基（今回の共同研究の場合：SPAISE1 ならびに SPAISE2）は 17 回となっているが日によってばらつきもみられた．これらの回数は，夏季の 3 週間分のログデータから算出したものである．また，SPAISE1 は隔週のデータ取得であるが，SPAISE2 は毎日の観測であるため航跡の描画について能力が大きく向上している．

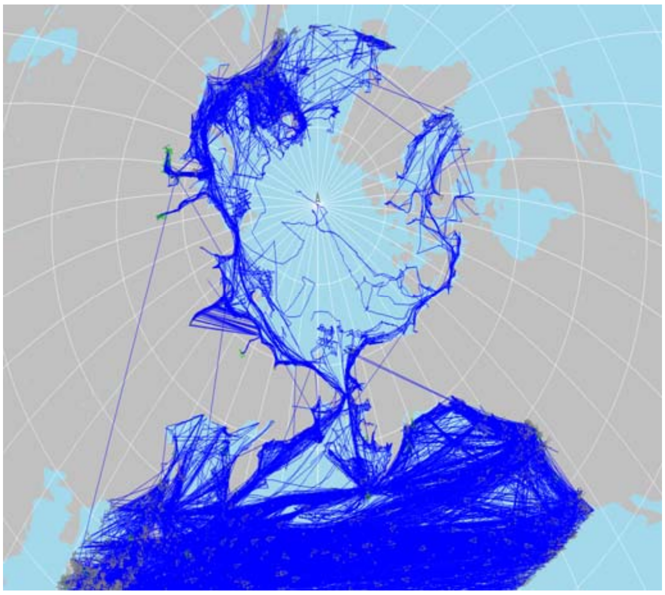


図-3.2.4 2015 年 9 月 1 月分の航跡

3.3 マイクロ波放射計の海氷データ

北極海の船舶動静には，海氷分布が大きく影響する．海氷については，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，海氷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．自然に放射されるマイクロ波の強度は，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 を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知ることができる．また図-3.3.1 のように，海氷から放射されるマイクロ波の強度から，海氷密接度（一定の海面に占める海氷面積の割合）の推定を行い，オホーツク海や北極海の海氷分布や面積を知ることができる．

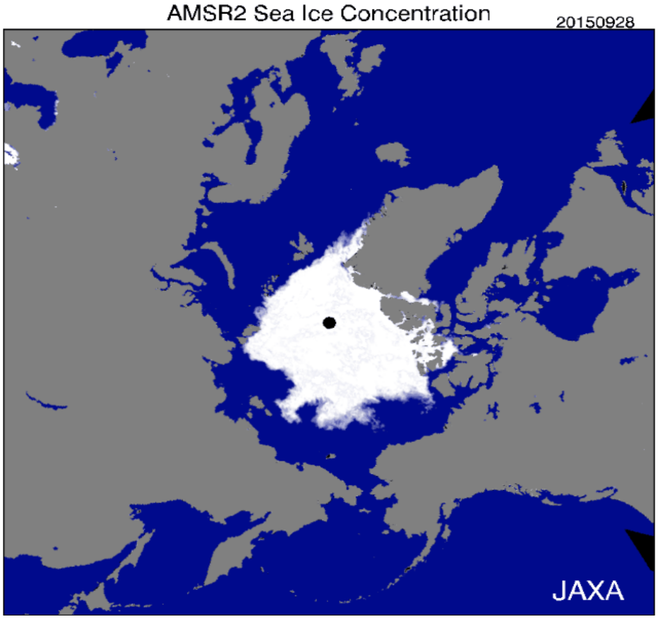


図-3.3.1 2015 年 9 月 28 日の海氷密接度分布

（極地研究所北極域データアーカイブ海氷モニタ）

（https://ads.nipr.ac.jp/vishop/vishop-monitor.html より）

４．北極海航路航行数等に関する分析

4.1　分析の概要

北極海航路に関する航行数は最も基本的な統計の一つである．現在の衛星AISシステムでは北西航路（ロシア側）ならびに北東航路（カナダ側）の双方ならびに北東アジア地域がカバーされている．このシステムから取得されたデータを用いて，2015年の北極海航路の航行数を分析した．航行数に関する統計はノルウエーに設置された情報機関であるCHNL(Centre for High North Logistics: 極北物流センター)によるロシア側の通過航海数に関するものが著名であるが，当研究においても**図-4.1.1**の青線の範囲として示すロシア政府北極海航路局定義の北極海航路（ロシア側）に準拠し以下の衛星AISシステムの利点を活用した分析を行なった．

・船舶の位置情報を得ることができるため，様々な発地・着地の航行を分析することができる．例えば，現在のCHNLによる統計はロシア側の北極海航路を通り抜けた貨物船の航行数を示している．当研究の手法では**図-4.1.1**の青線の範囲を突き抜けていない，青線の範囲内にあるヤマル半島からアジア地域へ抜けた航海や北極海航路のカナダ側の航行をも分析することができる．

・北極海航路を通航した船舶の，北東アジア地域での航行実態が分析できる．例えば津軽海峡の通過の有無も分析することができ，これは今後の港湾整備等の参考資料として活用できる．

・現在のCHNLによる統計は貨物船と砕氷船を主な対象としているが，衛星AISシステムでは調査船を含む多様な船種の動静が分析できる．

また船舶動静が把握されてから衛星AISデータが利用可能となるまでの時間は比較的短く（1日未満），航行数に関する結果も比較的迅速に得ることができる．

なお，衛星AISシステムの現状の問題点として，船舶数が多い海域での混信によるデータ捕捉率の低下があり，港湾内ならびにその周辺での船舶動静の把握は困難である．このため適宜寄港実績に関するデータであるロイズデータによる補完を行うこととした．

4.2　トランジット航行数

北極海航路（ロシア側）の完全横断航行をトランジット航行と定義し，2015年の航行数について対前年と比較した結果を**表-4.2.1**に示す．2015年の航行数は24航行であり対前年の31航行より減少している．船種別の航行数に着目すると，両年ともに貨物船（バルク船，タンカー，コンテナ船等）がシェア全体の大多数を占める一方で客船が少数ながら航行していたことが確認できる．なお，トランジット航行の航跡図の例を付録に示している．31航行はCHNLが公表している統計であるが，これを参照した理由については，2014年は陸域観測技術衛星２号（ALOS-2）が同年9月以降しか観測されておらず適切な比較ができなかったためである．

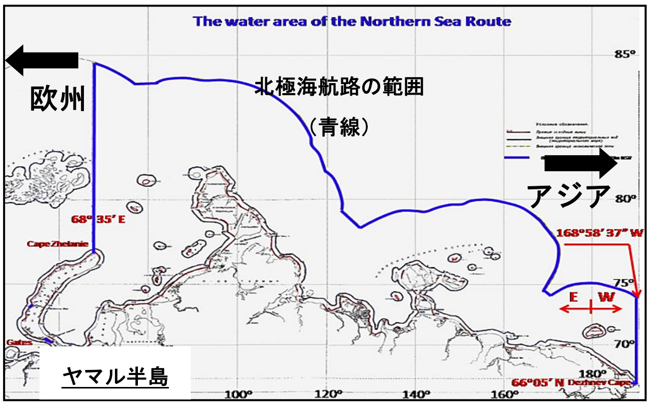


図-4.1.1 北極海航路（ロシア側）の定義

（出典：ロシア政府 http://nsra.ru/en/granici_smp/**）**

表-4.2.1 トランジット航行数の推移比較

船種	2015年 (当研究)	2014年 （CHNL）
貨物船(ﾊﾞﾙｸ船, ﾀﾝｶｰ, ｺﾝﾃﾅ船等)	19	22
客船	1	3
その他	4	6
航行数(隻)	24	31

表-4.2.2に2015年の航行数の詳細を示す．本表は船種を貨物船・タンカー等，客船，その他で区分し，北極海航路の航行について時系列で整理している．加えて，船種に応じた①ID，②船種，③北極海航路に入った方向をINとして（東側：E，西側：W），④その年月日，⑤北極海航路を出た方向をOUTとして（東側：E，西側：W），⑥その年月日，⑦北極海航路東側より先のOD（発地:Originと目的地:Destination）の確認（北東アジアである場合：○印を表示），⑧その場合に通行した海峡・海域を示している．本表より，2015年の24航行のうち北東アジアにおいて航行したのは13航行であり，このうち9航行が宗谷海峡を通航したことをはじめ，北極海航路（ロシア側）に入った方向については東側からが15航行を占め，その時期は概ね8月上旬から10月下旬迄であること並びに航海日数は概ね2週間前後であることが確認できる．

表-4.2.3に2014年の航行数の詳細を示す．CHNLによる本表では船名をはじめ，船籍，船種，総トン数，北極海航路（ロシア側）への出入に関する日付並びに目的地の記載があり，検証の対象とできる．

表-4.2.2　トランジット航行の一覧（2015年）

①ID	②船種	③IN	④DAY	⑤OUT	⑥DAY	⑦北東アジア	⑧海峡・海域
【貨物船，タンカー等】							
A01	fully cellular containership	E	150731	W	150812		
A02	general cargo with container capacity	E	150802	W	150811	○	宗谷
A03	general cargo with container capacity	W	150805	E	150815	○	太平洋
A04	combined chemical and oil tanker	W	150811	E	150826		
A05	reefer	E	150814	W	150825	○	宗谷
A06	general cargo with container capacity	E	150814	W	150830		
A07	roll on roll off	W	150902	E	150920		
A08	combined chemical and oil tanker	E	150909	W	151004		
A09	reefer	W	150905	E	150913	○	宗谷
A10	general cargo with container capacity	W	150912	E	150919	○	宗谷
A11	product tanker	E	150917	W	150926		
A12	general cargo	E	150920	W	151003	○	宗谷
A13	general cargo with container capacity	E	150930	W	151014	○	宗谷
A14	general cargo with container capacity	E	151002	W	151011	○	太平洋
A15	product tanker	W	151003	E	151017		
A16	general cargo	E	151007	W	151030		
A17	fully cellular containership	W	151022	E	151102		
A18	general cargo	E	151023	W	151111	○	宗谷
A19	product tanker	E	151025	W	151110		
【客船】							
B01	passenger (cruise)	W	150821	E	150903	○	宗谷
【その他】							
C01	semi-sub HL vessel	W	150827	E	150903	○	宗谷
C02	semi-sub HL vessel	E	150915	W	150930	○	太平洋
C03	semi-sub HL vessel	E	150925	W	151010	○	太平洋
C04	tug/supply	E	151011	W	151024		

表-4.2.3　トランジット航行の一覧（2014年）　　出典：CHNL

	Name of vessel	Flag	Type	GRT	Date and place of entering the NSR water area		Date and place of leaving the NSR water area		Days spent at NSR
List of the vessels crossed both Western and Eastern NSR boundaries									
1	Kapitan Khlebnikov	Russia	Passengers Ship	12 288	28.06.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	28.07.14	30
2	Tor Viking	Sweden	Tug / Supply / Icebreaker	3 382	03.07.14	c. Zhelania	c. Dezhnev	16.07.14	13
3	Anichkov Bridge	Russia	Oil/Chemical Tanker	27 829	05.07.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	17.08.14	43
4	Oden	Sweden	Icebreaker/Research	9 605	09.07.14	North of c. Zhelania	North of c. Dezhnev	17.08.14	39
5	Yaroslav Mydryy	Russia	Oil/Chemical Tanker	6 262	09.07.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	28.07.14	19
6	Hanseatic	Bahamas	Passengers Ship	8 378	02.08.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	02.09.14	31
7	Kapitan Khlebnikov	Russia	Passengers Ship	12 288	03.08.14	Karskiye Vorota	c. Dezhnev	20.10.14	78
8	Egvekinot	Russia	Chemical Tanker	4 110	18.08.14	c. Dezhnev	Karskiye Vorota	29.08.14	11
9	SCF Neva	Russia	Oil Products Tanker	29 902	19.08.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	28.08.14	9
10	Odoevsk	Russia	Trawler	1 895	20.08.14	c. Zhelania	c. Dezhnev	02.09.14	13
11	Oden	Sweden	Icebreaker/Research	9 605	22.08.14	North of c. Dezhnev	North of c. Zhelania	29.09.14	38
12	SCF Amur	Russia	Oil Products Tanker	29 844	24.08.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	31.08.14	7
13	Transshelf	Curacao	Heavy Lift Vessel	26 890	04.09.14	c. Dezhnev	Karskiye Vorota	20.09.14	16
14	Kunashir	Russia	General Cargo	6 540	05.09.14	c. Dezhnev	Karskiye Vorota	16.09.14	11
15	Egvekinot	Russia	Chemical Tanker	4 110	09.09.14	Karskiye Vorota	c. Dezhnev	19.09.14	10
16	Anichkov Bridge	Russia	Oil/Chemical Tanker	27 829	12.09.14	c. Zhelania	c. Dezhnev	20.09.14	8
17	SCF Amur	Russia	Oil Products Tanker	29 844	14.09.14	c. Zhelania	c. Dezhnev	21.09.14	7
18	Paramushir	Russia	General Cargo	6 540	16.09.14	c. Dezhnev	Karskiye Vorota	28.09.14	12
19	Igor Ilinskiy	Russia	General Cargo	7 095	18.09.14	c. Dezhnev	Karskiye Vorota	29.09.14	11
20	Polar King	Russia	General Cargo	7 085	28.09.14	c. Dezhnev	North of c. Zhelania	07.10.14	9
21	Kunashir	Russia	General Cargo	6 540	02.10.14	Karskiye Vorota	c. Dezhnev	17.10.14	15
22	Yaroslav Mydryy	Russia	Oil/Chemical Tanker	6 262	11.10.14	Karskiye Vorota	c. Dezhnev	16.10.14	5
23	Igor Ilinskiy	Russia	General Cargo	7 095	13.10.14	Karskiye Vorota	c. Dezhnev	28.10.14	15
24	Anichkov Bridge	Russia	Oil/Chemical Tanker	27 829	14.10.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	22.10.14	8
25	Spasatel Zaborshikov	Russia	Salvage/Rescue Vessel	2 634	14.10.14	Karskiye Vorota	c. Dezhnev	11.11.14	28
26	Palladiy	Russia	Oil Products Tanker	5 191	18.10.14	Karskiye Vorota	c. Dezhnev	30.10.14	12
27	SCF Neva	Russia	Oil Products Tanker	29 902	18.10.14	c. Zhelania	c. Dezhnev	29.10.14	11
28	SCF Amur	Russia	Oil Products Tanker	29 844	20.10.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	27.10.14	7
29	SCF Pechora	Russia	Oil Products Tanker	29 844	24.10.14	c. Zhelania	c. Dezhnev	04.11.14	11
30	Yuriy Tarapurov	Russia	General Cargo	6 395	29.10.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	16.11.14	18
31	Nordic Oshima	Panama	Bulk Carrier	41 071	04.11.14	c. Dezhnev	c. Zhelania	16.11.14	12

4.3　北極海～北東アジア地域の航行数

前項4.2とは別にベーリング海峡（最狭部）より以北を北極海と定義し，北極海から北東アジアにODを有する船舶の2015年の航行数を**表**-4.3.1に示す．年間の総航行数は128航行であり，このうち宗谷海峡の通行が72航行，津軽海峡の通航が25航行で全体の概ね8割（97航行）が日本海を航行している.また宗谷海峡並びに津軽海峡を通航した船舶を対象にODとなる国・港湾の情報を加えて分析した結果を**表**-4.3.2に示す．本表より北極海を航行し且つ宗谷海峡又は津軽海峡を通航した船舶の寄港先に着目すると，わが国の港湾では小樽港，青森港，八戸港並びに七尾港が該当し，一方で他国では韓国並びに中国の港湾が該当したことが確認できる．航跡図の例を付録に示している.

表-4.3.1　北極海～北東アジア航行の一覧（2015年）

ID	船種	Loa	全幅	DWT	GT	喫水	航行数	宗谷海峡	津軽海峡
Bulk Carrier									
B-01	bulk carrier	229	0.0	81,641	44,252	12.2	1		1
B-02	bulk carrier	229	32.3	82,000	43,673	14.6	1		1
B-03	bulk carrier	228	0.0	82,152	43,012	14.4	1		1
B-04	bulk carrier	224	0.0	80,679	42,709	14.4	1		1
B-05	bulk carrier	225	0.0	76,807	40,042	14.2	1		1
B-06	bulk carrier	225	0.0	76,781	40,042	14.2	1		
B-07	bulk carrier	224	32.2	74,090	39,035	13.9	1		
B-08	bulk carrier	199	0.0	64,000	35,000	13.3	1		1
B-09	bulk carrier	189	32.3	57,000	33,044	12.8	2		2
B-10	bulk carrier	189	0.0	57,015	33,044	12.8	2	1	
B-11	bulk carrier	189	32.3	55,085	31,815	12.6	2		1
B-12	bulk carrier	190	32.3	55,160	31,590	12.5	1		
B-13	bulk carrier	189	32.3	55,317	31,590	12.6	2		2
B-14	bulk carrier	189	32.3	53,594	31,261	12.5	2	1	1
B-15	bulk carrier	189	0.0	55,679	31,258	12.6	2		1
B-16	bulk carrier	189	32.3	53,206	30,018	12.3	4	2	1
B-17	bulk carrier	188	0.0	52,224	29,761	12.2	1		
B-18	bulk carrier	180	30.0	35,000	24,166	10.1	2	1	
							28	5	14
General Cargo									
G-01	general cargo	168	25.2	19,413	17,634	9.5	1	1	
G-02	general cargo with container capacity	156	0.0	18,043	14,784	10.3	1	1	
G-03	general cargo with container capacity	149	23.7	19,150	14,357	8.5	2	2	
G-04	general cargo with container capacity	138	21.3	12,764	9,618	8.0	1	1	
G-05	general cargo	141	0.0	11,759	9,524	8.5	1	1	
G-06	general cargo	141	0.0	11,744	9,524	8.5	3	2	1
G-07	general cargo with container capacity	132	19.9	7,365	7,095	6.9	3	3	
G-08	general cargo with container capacity	132	19.9	7,365	7,095	6.9	1		
G-09	general cargo with container capacity	134	16.5	9,200	6,540	7.1	4	4	
G-10	general cargo with container capacity	128	0.0	3,138	6,309	7.0	1	1	
G-11	general cargo with container capacity	129	17.8	7,212	6,263	6.6	2	2	
G-12	general cargo with container capacity	113	18.9	9,579	6,037	8.5	2	1	1
G-13	general cargo with container capacity	113	19.2	9,590	6,030	8.5	5	5	
G-14	general cargo with container capacity	113	19.2	9,575	6,030	8.5	2	2	
G-15	general cargo with container capacity	113	18.9	9,653	5,998	8.4	2	2	
G-16	general cargo with container capacity	113	18.9	9,653	5,998	8.5	2	2	
G-17	general cargo with container capacity	113	18.9	9,484	5,977	8.4	5	5	
G-18	general cargo with container capacity	97	17.3	4,706	3,936	6.0	4	4	
G-19	general cargo with container capacity	79	15.0	2,050	2,731	5.4	2		
							44	39	2
Tanker									
T-01	crude oil tanker	250	43.8	114,849	61,371	14.9	1	1	
T-02	product tanker	228	32.3	74,996	42,893	14.2	1		
T-03	product tanker	183	32.2	51,257	30,109	13.2	1		1
T-04	product tanker	181	0.0	45,955	28,747	12.2	2		1
T-05	product tanker	179	32.2	46,866	28,245	12.8	2		2
T-06	product tanker	158	26.0	23,050	14,937	10.0	1	1	
T-07	chemical tanker	120	20.4	12,822	8,278	8.7	1		
T-08	bunkering tanker	134	19.6	11,050	7,093	8.5	2	2	
T-09	combined chemical and oil tanker	127	17.9	10,926	6,441	8.3	1	1	
T-10	product tanker	113	18.3	4,999	5,191	6.4	1	1	
T-11	product tanker	106	15.7	6,026	4,110	7.2	1	1	
							14	7	4
RO-01	roll on roll off	176	24.5	22,910	18,574	11.4	2	2	
CO-01	fully cellular containership	132	19.4	8,441	6,420	7.4	1	1	
RF-01	reefer	103	17.0	3,642	4,295	7.2	2	2	
							5	5	0
Passenger (cruise)									
CR-01	passenger (cruise)	142	18.0	1,400	10,992	4.9	1	1	
CR-02	passenger (cruise)	111	17.0	1,226	6,752	4.8	1	1	
							2	2	0
Research									
RE-01	research	128	19.0	3,418	8,706	9.1	2		
RE-02	seismographic research	81	14.8	1,328	2,833	5.0	2	1	
RE-03	research	62	13.8	617	2,062	5.1	1		
RE-04	research	71	12.8	767	1,754	4.5	1		
							6	1	0
X-01	fire fighting tug/supply	67	0.0	1,700	1,951	5.0	2	2	
X-02	anchor handling tug/supply	70	17.0	2,490	2,558	4.5	2	1	
X-03	icebreaker	134	26.0	7,560	14,058	11.0	1	1	
X-04	icebreaker	134	26.0	7,554	14,058	11.0	1	1	
X-05	icebreaker/tender	111	0.0	3,070	7,487	7.6	2		1
X-06	semi-sub HL vessel	216	0.0	50,000	31,500	0.0	1		
X-07	semi-sub HL vessel	216	0.0	50,000	31,500	0.0	1		
X-08	semi-sub HL vessel	154	0.0	18,680	15,989	9.5	1	1	
X-09	salvage tug	68	16.4	2,801	2,658	5.2	2	2	
X-10	tug	53	0.0	930	1,373	5.1	2	1	1
X-11～X-20	不明（１０隻）	-	-	-	-	-	14	4	3
							29	13	5
						合計	128	72	25

表-4.3.2　北極海～北東アジア航行と関係国・港湾（2015年）

ID	航行数	宗谷海峡	津軽海峡	ODの国・港湾/通過海峡				
Bulk Carrier								
B-01	1		1	韓国港湾⇒津軽海峡				
B-02	1		1	中国港湾⇒津軽海峡				
B-03	1		1	韓国港湾⇒津軽海峡				
B-04	1		1	七尾港⇒津軽海峡				
B-05	1		1	中国港湾⇒津軽海峡				
B-06	1							
B-07	1							
B-08	1		1	韓国港湾⇒津軽海峡				
B-09	2		2	中国港湾⇒津軽海峡	津軽海峡⇒中国港湾			
B-10	2	1		韓国港湾⇒宗谷海峡	⇒八戸			
B-11	2		1	中国港湾⇒津軽海峡	⇒八戸			
B-12	1							
B-13	2		2	韓国港湾⇒津軽海峡	津軽海峡⇒韓国港湾			
B-14	2	1	1	韓国港湾⇒宗谷海峡	津軽海峡⇒秋田港			
B-15	2		1	八戸⇒	津軽海峡⇒秋田港			
B-16	4	2	1	韓国港湾⇒津軽海峡	⇒八戸	韓国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒韓国港湾	
B-17	1							
B-18	2	1		中国港湾⇒宗谷海峡	⇒八戸			
General Cargo								
G-01	1	1		RUS⇒宗谷海峡				
G-02	1	1		中国港湾⇒宗谷海峡				
G-03	2	2		中国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒韓国港湾			
G-04	1	1		RUS⇒宗谷海峡				
G-05	1	1		中国港湾⇒宗谷海峡				
G-06	3	2	1	中国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒韓国港湾	韓国港湾⇒津軽海峡		
G-07	3	3		宗谷海峡⇒RUS	RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS		
G-08	1							
G-09	4	4		RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS	韓国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS	
G-10	1	1		宗谷海峡⇒中国港湾				
G-11	2	2		RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS			
G-12	2	1	1	RUS⇒宗谷海峡	RUS⇒津軽海峡			
G-13	5	5		宗谷海峡⇒中国港湾	中国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒中国港湾	中国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒中国港湾
G-14	2	2		RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS			
G-15	2	2		RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS			
G-16	2	2		RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒中国港湾			
G-17	5	5		韓国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒韓国港湾	韓国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒中国港湾	韓国港湾⇒宗谷海峡
G-18	4	4		RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS	RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS	
G-19	2							
Tanker								
T-01	1	1		宗谷海峡⇒RUS				
T-02	1							
T-03	1		1	津軽海峡⇒韓国港湾				
T-04	2		1	津軽海峡⇒RUS				
T-05	2		2	韓国港湾⇒津軽海峡	津軽海峡⇒RUS			
T-06	1	1		宗谷海峡⇒中国港湾				
T-07	1							
T-08	2	2		RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS			
T-09	1	1		RUS⇒宗谷海峡				
T-10	1	1		RUS⇒宗谷海峡				
T-11	1	1		宗谷海峡⇒RUS				
RO-01	2	2		宗谷海峡⇒中国港湾	中国港湾⇒宗谷海峡			
CO-01	1	1		宗谷海峡⇒RUS				
RF-01	2	2		RUS⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒RUS			
Passenger (cruise)								
CR-01	1	1		宗谷海峡⇒小樽港				
CR-02	1	1		宗谷海峡⇒青森港				
Research								
RE-01	2			⇒八戸				
RE-02	2	1		韓国港湾⇒宗谷海峡				
RE-03	1							
RE-04	1							
X-01	2	2						
X-02	2	1		韓国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒SGP			
X-03	1	1		宗谷海峡⇒RUS				
X-04	1	1		宗谷海峡⇒RUS				
X-05	2		1					
X-06	1							
X-07	1							
X-08	1	1		宗谷海峡⇒韓国港湾				
X-09	2	2		韓国港湾⇒宗谷海峡	宗谷海峡⇒韓国港湾			
X-10	2	1	1	韓国港湾⇒津軽海峡	宗谷海峡⇒韓国港湾			
X-11	2							
X-12	1							
X-13	1	1		韓国港湾⇒宗谷海峡				
X-14	2							
X-15	2	1						
X-16	1							
X-17	1		1	韓国港湾⇒津軽海峡				
X-18	1	1		RUS⇒宗谷海峡				
X-19	2		2	中国港湾⇒津軽海峡	津軽海峡⇒中国港湾			
X-20	1	1		韓国港湾⇒宗谷海峡				
	128	72	25					

4.4　特徴的な航行の状況

(1)クルーズ船

貨物船のみでなく，クルーズ船も北極海航路を利用している．**図-4.4.1**は，クルーズ船が2015年において北極海航路（ロシア側）を航行の後，我が国の港湾へ寄港している状況を示す．寄港地・日時はロイズデータから特定した．

また，カナダ側についても，2014年に北極海航路のカナダ側を航行し我が国へ寄港したクルーズ船ならびにその姉妹船が，北極海航路のカナダ側を2015年に航行したことを確認した（**図-4.4.2**，**図-4.4.3**）．過去に我が国へ寄港した実績のある船社であることから，2015年は我が国への寄港はないものの2016年以降の動向が注目される．

(2)フルコンテナ船

本分析においてフルコンテナ船の北極海航路の航行を確認した．**図-4.4.4**に航跡図ならびにロイズデータから特定された寄港実績を示す．当該フルコンテナ船は，2015年において北極海航路を数回往復しており，極東地域へも寄港しているが，現在のところロシアの国内輸送に用いられている模様である．フルコンテナ船は１隻確認されているが，当該船舶のTEU積載量は約700TEU（約8,000DWT）である．コンテナ積載可能な一般貨物船の航行の一方で，フルコンテナ船の動向は今後注目に値するものと考えられる．

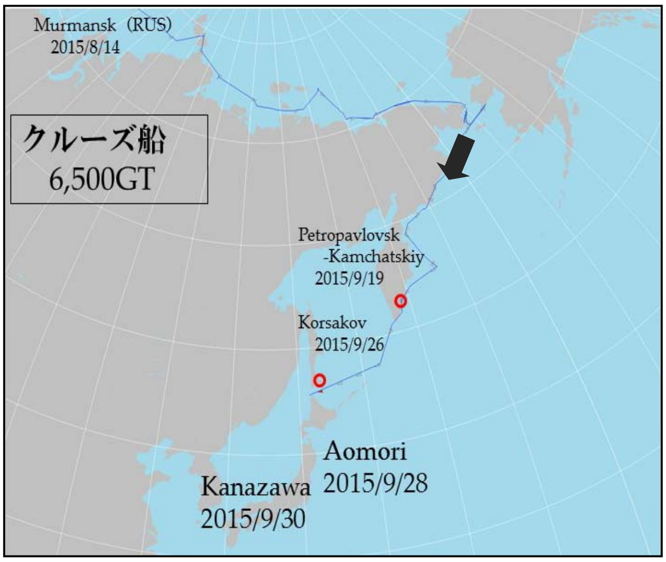


図-4.4.1　クルーズ船の航跡と寄港地

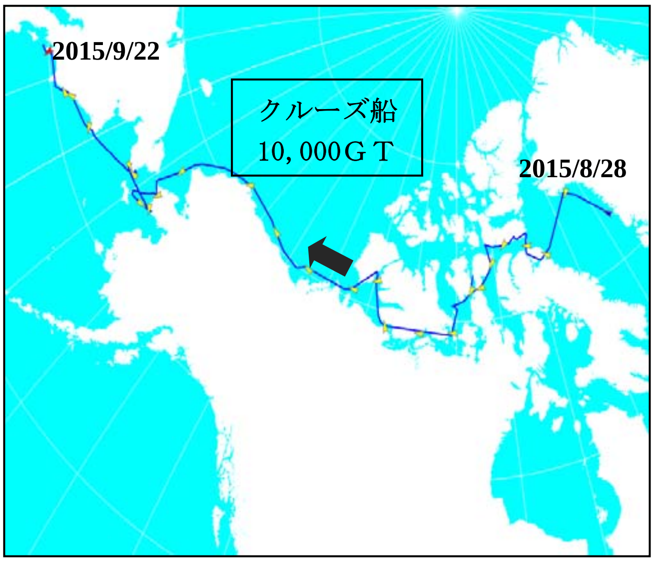


図-4.4.3　クルーズ船（カナダ側）の航跡

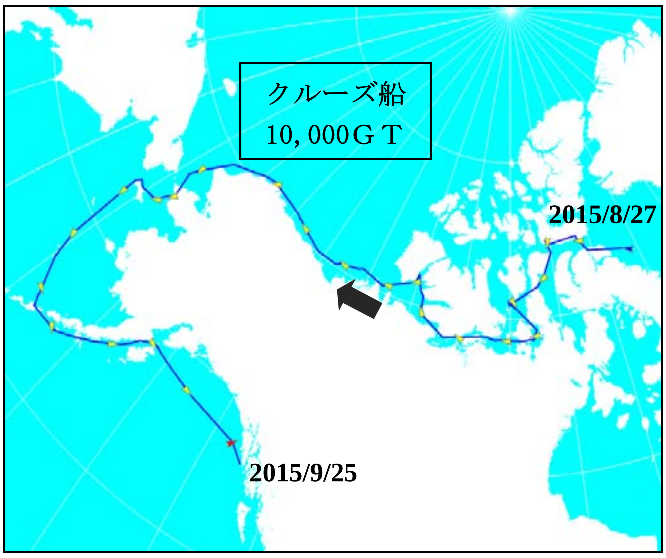


図-4.4.2　クルーズ船（カナダ側）の航跡

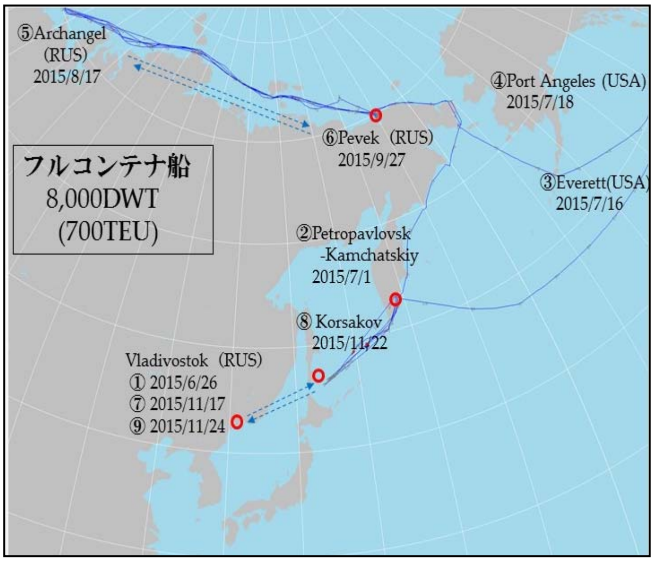


図-4.4.4　フルコンテナ船の航跡と寄港地

５．北極海地域内での航行実態分析

5.1　分析の概要

近年北極海航路の活用に向けた取り組みが進められている．例えば商船三井は，今後ロシアのヤマル半島からのLNG積出に対応するため砕氷LNG船を建造し，北極海航路を経由した輸送計画を公表している[3)]．また大塚らは，北極海航路を経由した場合の運航コストについて様々な分析を行なっている（例えばOtsuka et al.[4)]）．

このような取り組みにおいては，船舶の北極海地域内での詳細な航行実態が重要であると考えられる．本研究では，北極海航路の関係者にヒアリングを行った．その結果，船舶の航行ルートや実際の船速，さらに船舶航行上の安全性確保に関する情報ニーズが示された．本研究ではヒアリングにより得られた知見を参考にしつつ，今後の検討に有益と考えられる分析を試みた．2015年の分析結果を示す．

5.2　海氷の状況

2014年ならびに2015年の季節別の海氷密接度を**図-5.2.1**ならびに**図-5.2.2**に示す．両者とも，7月から海氷が減少を始め，9月において航路上の海氷が概ね消滅する．その後10月から急速に再結氷が始まり，11月には航路のかなりの部分が海氷で覆われるという傾向に変わりはない．しかし細部を見ると，2014年と2015年との間に差が見られる．例えば，2015年７月１日時点では2015年の方が海氷の面積は大きいが，その後の9月（1日，15日）の状況では2015年の方が海氷の面積は少ない．北極海航路付近の海氷の状況については依然として変動があり，基本的な情報として継続的に把握することが重要であると考えられる．

5.3　ダイヤグラムの作成

谷本らは文献[2)]において，北極海内での船舶航行ダイヤグラムの作成を試みた．これは横軸に時間，縦軸に経度を取り衛星AISデータにより捕捉された船舶の情報（時間，経度）をプロットし繋げることで，北極海航路内の船舶航行の全体像を可視化しようとするものである．同様の考え方に基づき，2015年7月上旬から11月末までの全てのデータ（調査船を除く）をプロットしたものが**図-5.3.1**である．なお，網掛けで大まかな海氷位置を示している．この図により，季節別の船舶航行数が把握できるほか，線の傾きを見ることで船速や定時性を把握することができる．例えば2015年において7月の傾きは小さくある区間を通過するのに10日要しているが，夏季における傾きはこれより大きく同一区間を通過するために8日～5.5日程度の場合もある．
また，貨物船と砕氷船の線が重なっている場合には，貨物船が砕氷船によりエスコートを受けていると推察することも可能である．

ダイヤグラムにおける貨物船の区分をアイスクラス別に整理したものが**図-5.3.2**である．アイスクラスはクラークソン社による船舶明細データによる区分を利用した．この図により，季節別にどの程度のアイスクラスがロシア政府から求められているかの実態を見ることができる．2015年においては，夏季において比較的低いクラス（1B, 1C）のアイスクラスを有した船舶が航行している他，アイスクラスを有しない船舶の航行も確認された．アイスクラスを有する船舶の確保・運航は有しない船舶よりもコストがかかるため，このような情報はコスト試算の有益な情報となり得る．なおアイスクラスとは「船体補強，設備・装備等が一定基準に達している船に対しその砕氷性能または耐氷性能を証明する公的な等級のこと」[5)]である．アイスクラスは船級協会が設定しているが協会により異なる．クラークソンデータでは，船舶毎にこれら協会から与えられたものと基に，1AS, 1A, 1B, 1C等に判別して示している．例えば1ASの性能は「多年氷が一部混在する中程度の厚さの一年氷の中を夏季又は秋季に航行する船」，1Aの性能は「多年氷が一部混在する薄い一年氷の中を夏季又は秋季に航行する船」として規定される．

5.4　航跡と海氷位置との関係

2015年の季節別の海氷位置に，衛星AISから取得された船舶（砕氷船ならびに貨物船）の航行位置を重ねたものを**図-5．4.1**～**図-5.4.5**（2015年，海氷密接度データは各15日時点）に示す．北極海航路において海氷の他，海域における水深が航行ルートに影響する可能性があることから，実際の航行ルートに関する情報は航海の計画における重要な要素となりえる．これらの図においては，船舶毎の航跡と同時点の海氷密接度が示されている．航跡は捕捉されたAISデータを全てプロットし重ねることで表示しており，航行ごとに色分けしている．季節ごとの大まかな航路の位置や海氷との関係を見て取ることができる他，元のログデータを参照すれば，詳細な船舶の位置・日付・船速・喫水・諸元等も把握することが出来る．詳細データにより例えば船舶の喫水ごとの通過海域の相違といった分析も可能である．

データを蓄積すれば経年的な比較も可能となる．例えば**図-5.4.6**は2015年夏季，**図-5.4.7**は2014年の同時期の図を比較したものである（海氷密接度は9月1日時点，8月並びに9月の２か月分の航跡を表示）．2014年は海氷が多く残り船舶は海氷を避けるように航行しているが，2015年は海氷が少なく航行ルートの選択において自由度が高かった状況が見て取れる．また2014年では航行の難所の一つと指摘されているビルキツキー海峡付近に夏季においても海氷が残っていた点が特徴的である．

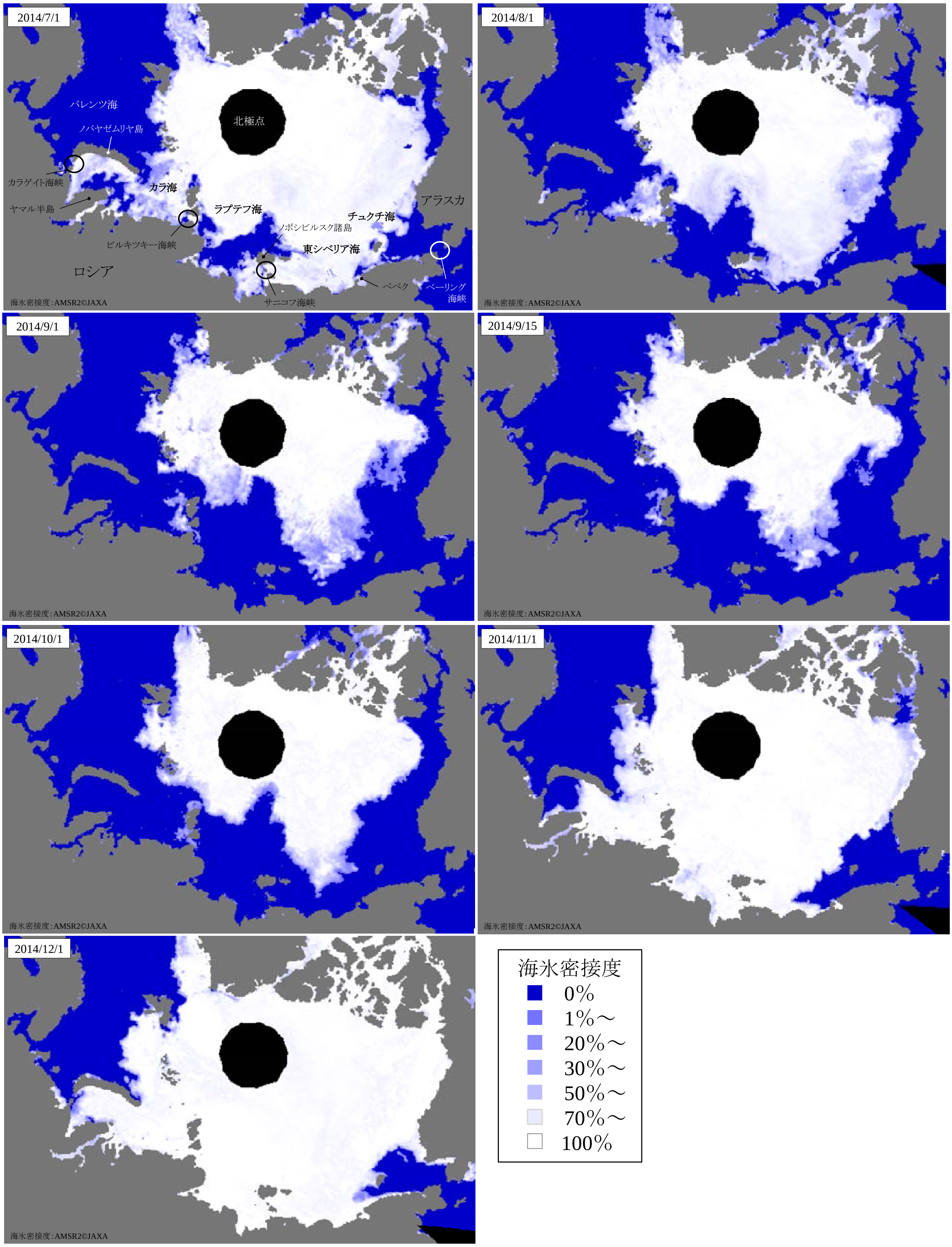


図-5. 2. 1　　季節別の海氷密接度（2014 年）

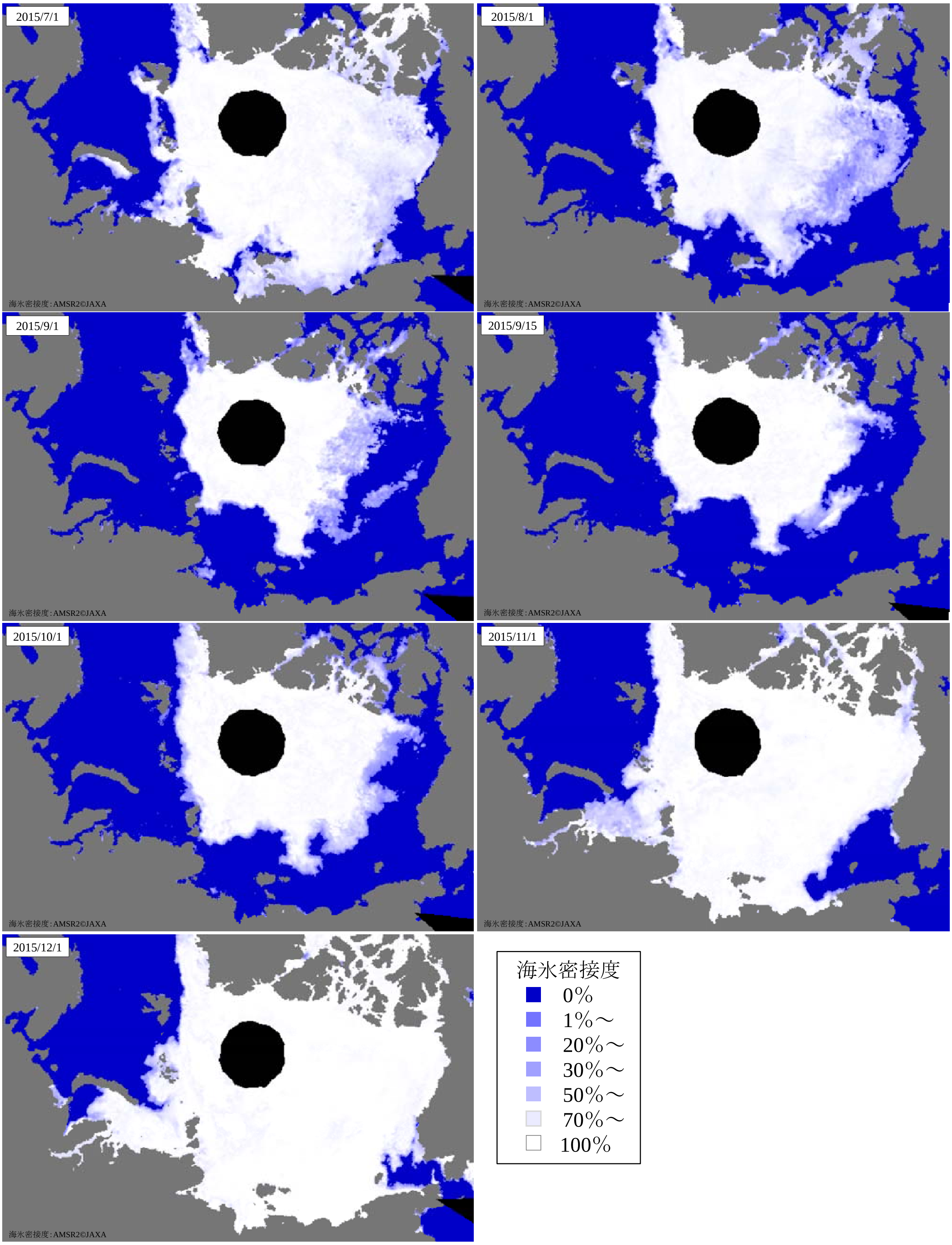


図-5.2.2　季節別の海氷密接度（2015 年）

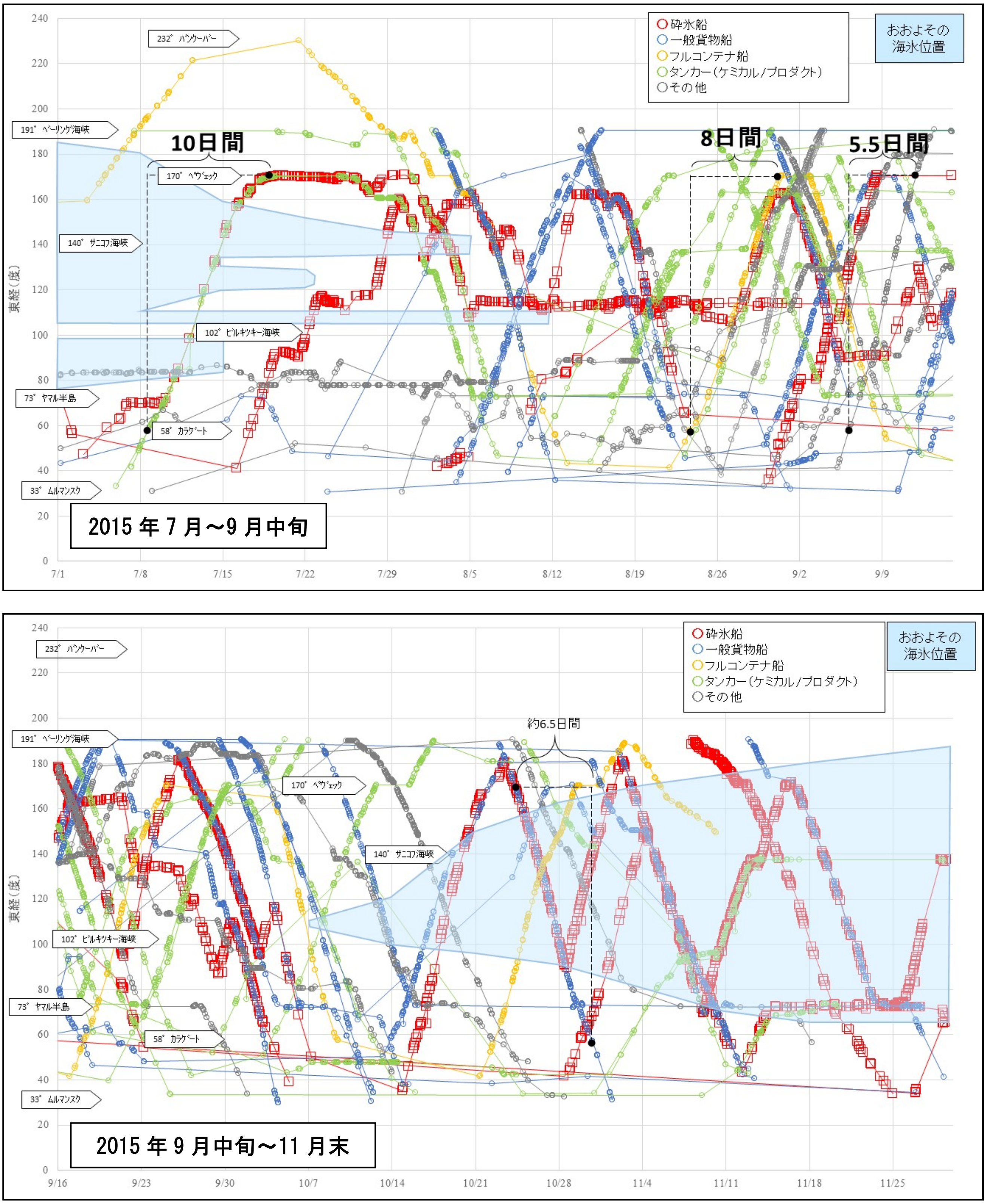
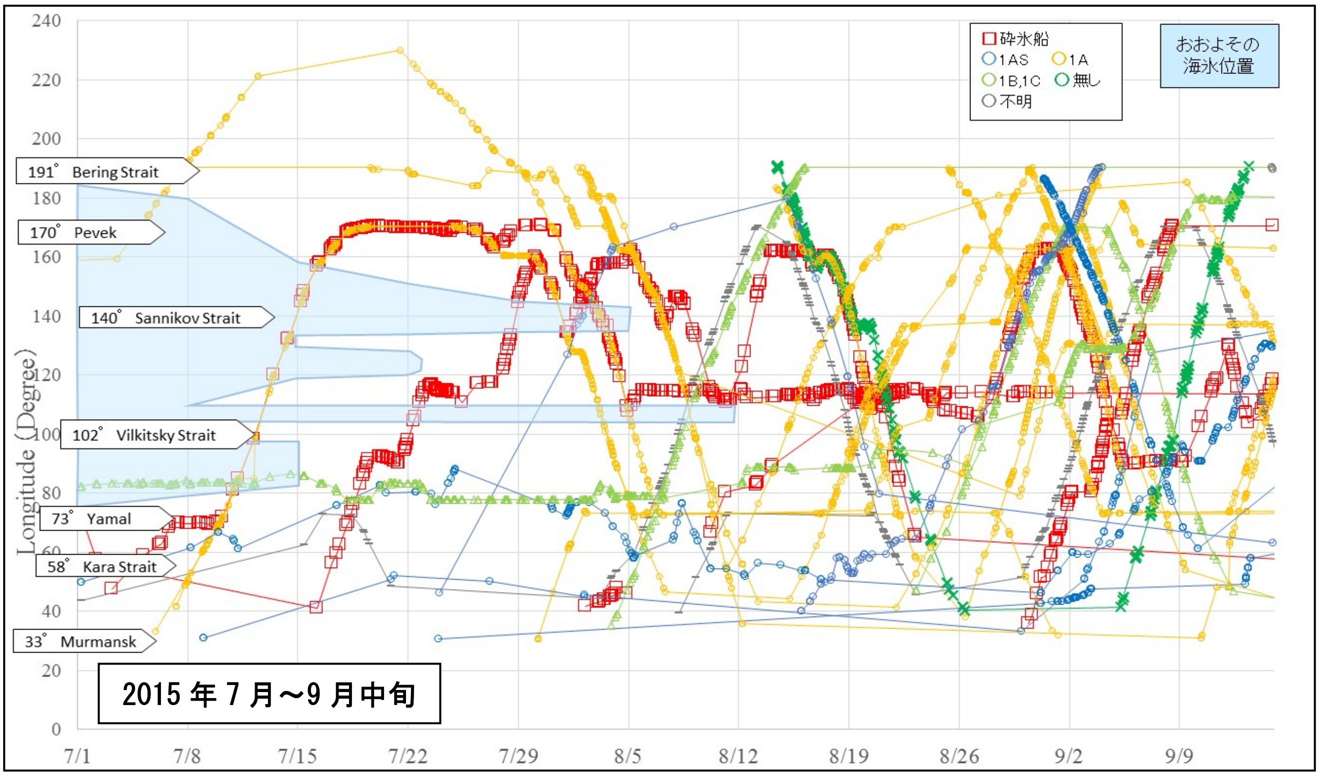


図-5.3.1　北極海地域内の航行ダイヤグラム（船種別）



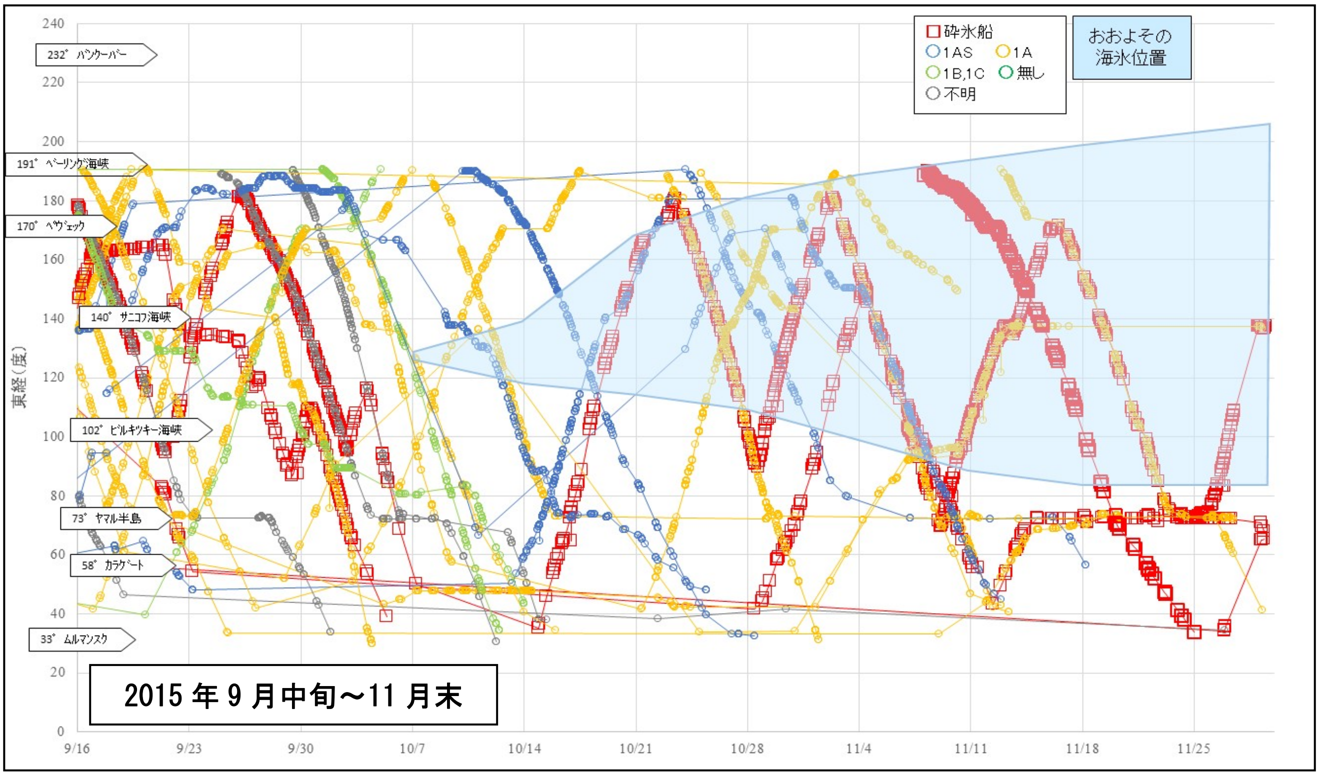
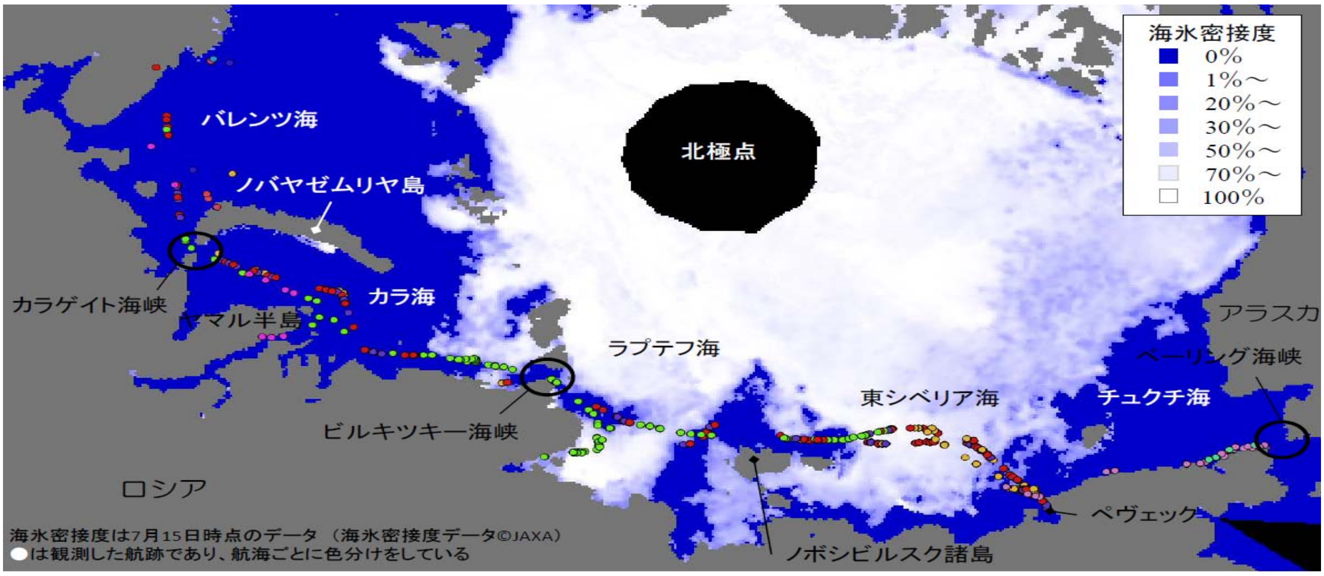
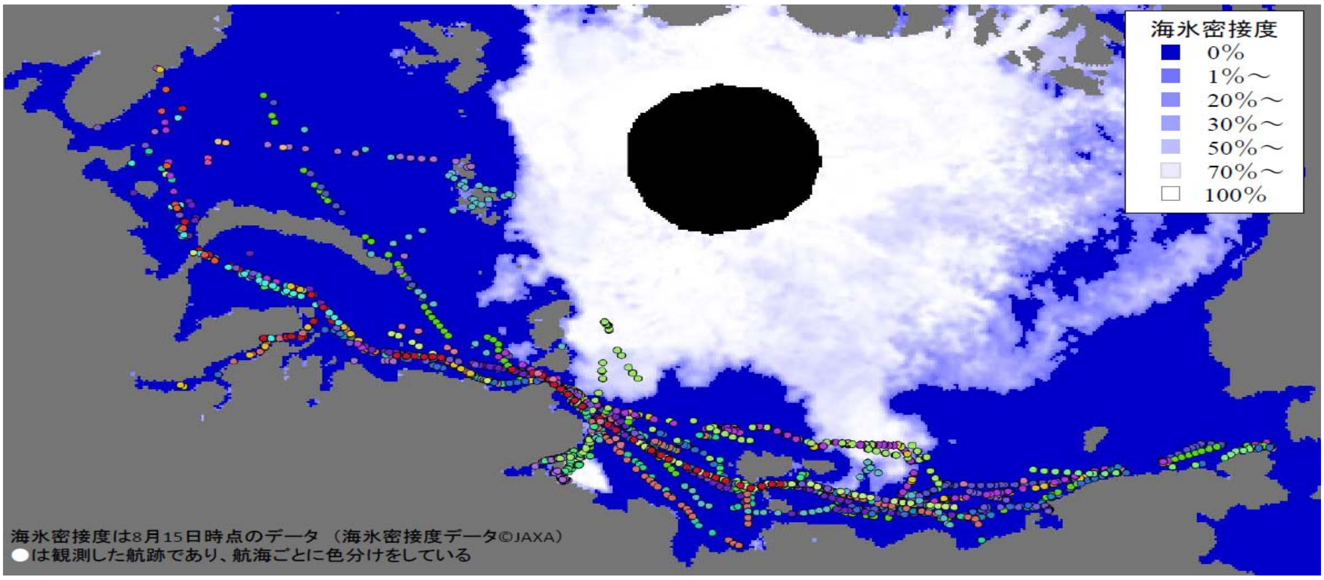
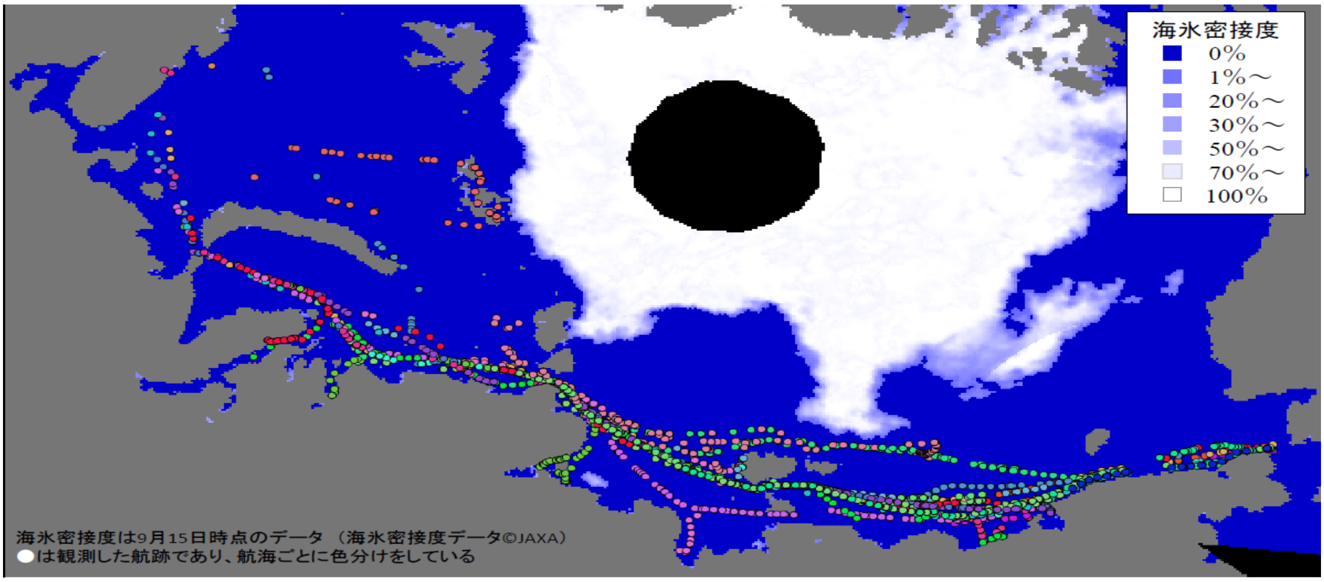


図-5.3.2　　北極海地域内の航行ダイヤグラム（アイスクラス別）







上から図-5.4.1，図 5.4.2，図 5.4.3　海氷位置と航跡との関係（上から順に７月、８月、９月のもの）

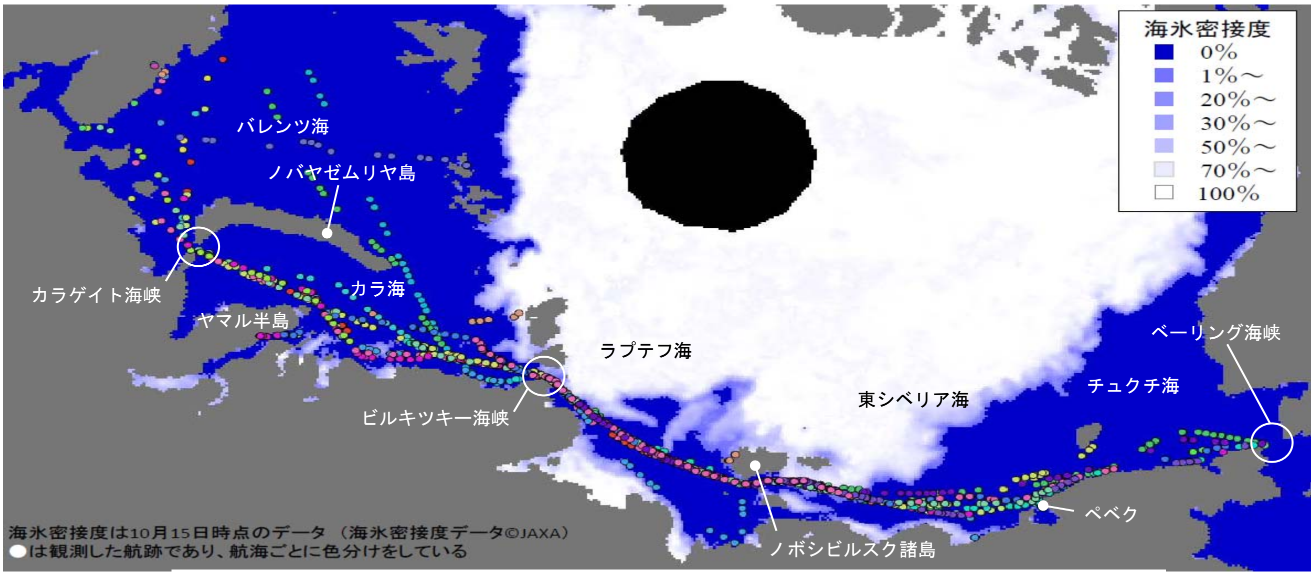


図-5.4.4 海氷位置と航跡との関係（１０月）

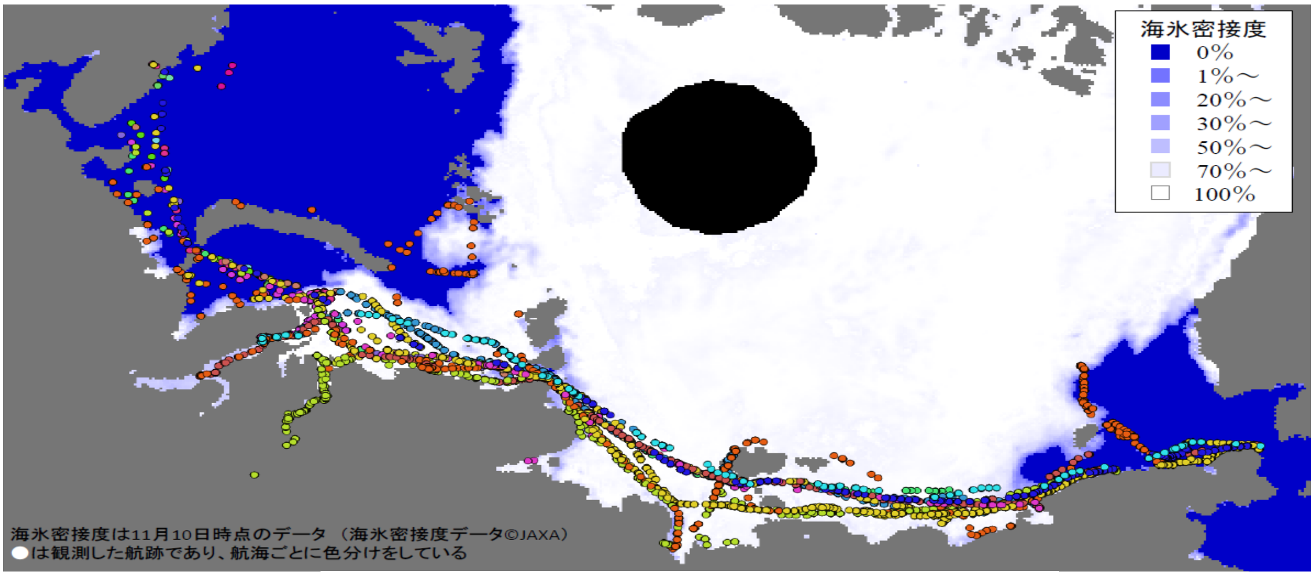


図 5.4.5　海氷位置と航跡との関係（１１月）

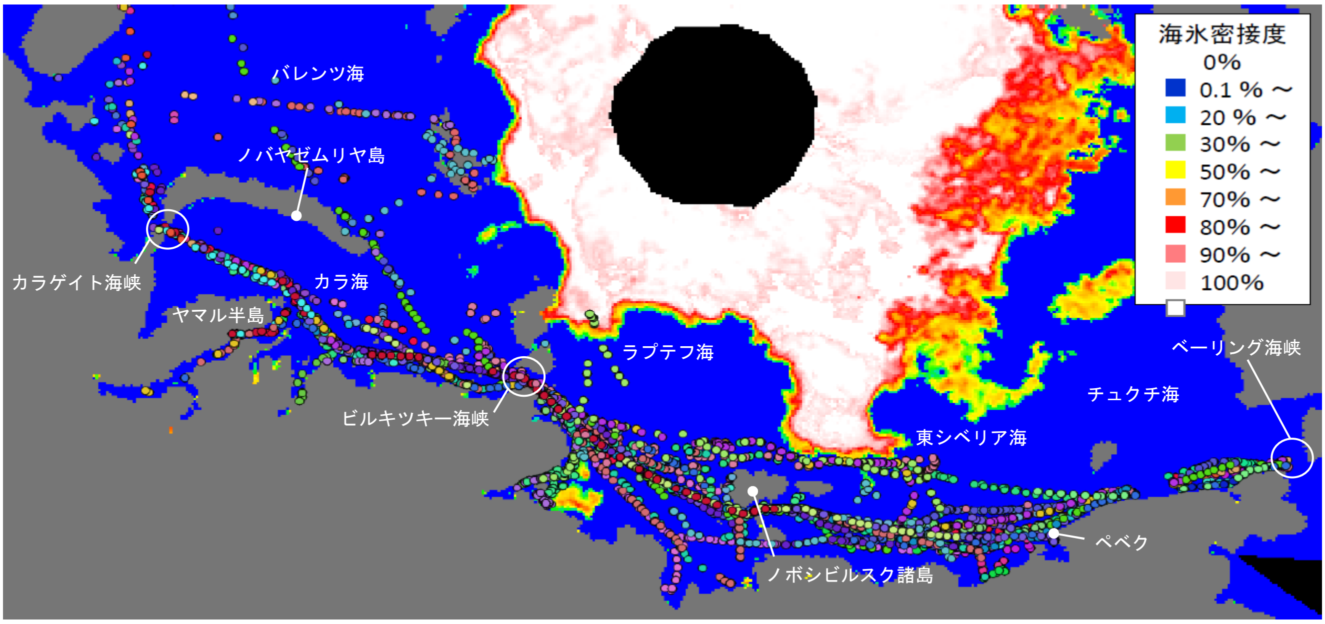


図-5.4.6　海氷位置と航跡との関係（2015 年夏季）

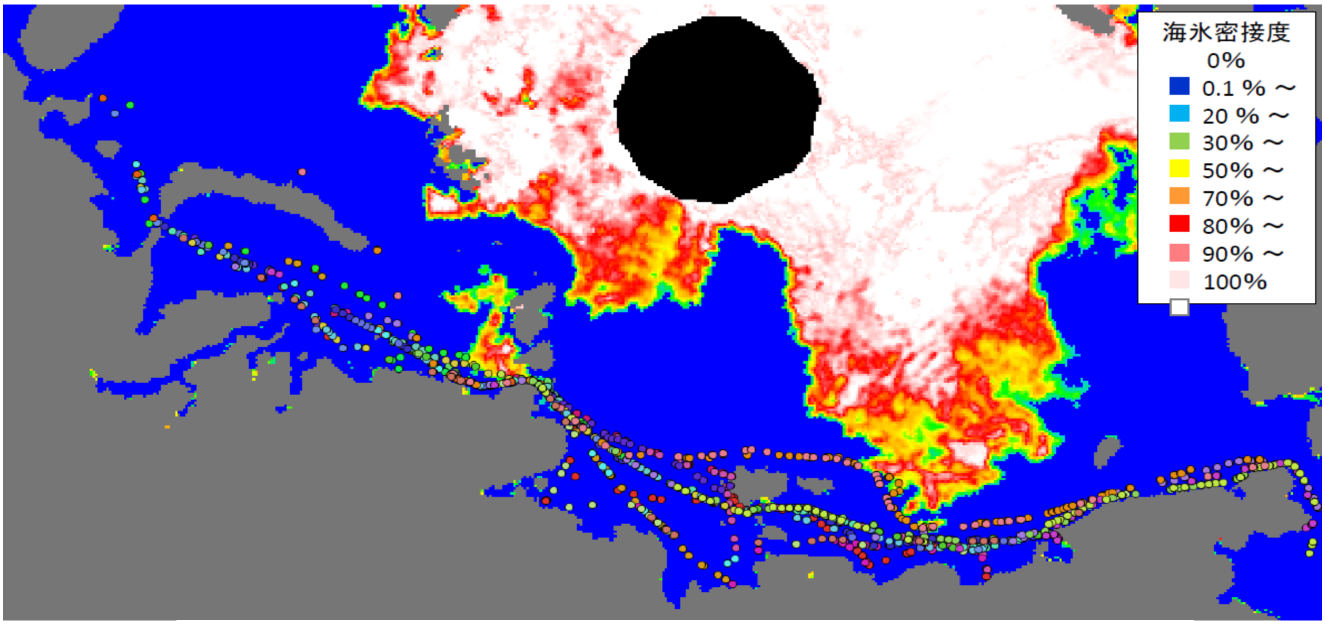


図-5.4.7　海氷位置と航跡との関係（2014 年夏季）

5.5　船速に関する分析

船速は北極海航路の通過時間や燃費に影響し，また貨物の荷主から見て，輸送リードタイム評価に関わる情報であると考えられる．船速は船種，季節，海氷の状態に依存すると考えられることから，これらに応じた平均的船速を分析した（**表-5.5.1**）．得られた衛星AISデータによる船速のうち砕氷船を除いたものを分析し平均値を求めている．

2015年においては，9月において海氷密接度が小さい海域を通過する船舶のデータが数多く取得されまた平均船速も11ノットと比較的大きい．一方7月ならびに11月においては，海氷密接度が大きい中での航行について平均船速が落ちている．同じ海氷密接度が80%以上の海域を航行する場合でも，11月は7月よりも比較的速度が速い．この要因としては，海氷の厚さが影響していると考えられる．11月はまだ海氷（1年氷）が十分に発達する前であることから，比較的速い船速が維持できるものと見られる．

平均的船速については，8月から10月までの間は10～11ノット程度で安定しており，他方7月までの期間は海氷密接度が40%を超える海域では5～7ノット程度に船速が低下，11月においても同様であるがやや船速は速く8ノット程度となっている．すなわち，北極海地域において，夏季の間は

安定して航行が可能であると見られる．

この他，船種による分析（**表-5.5.2**）や異なる海域毎の分析（**表-5.5.3**）等，区分を変更した分析も可能である．

表-5.5.2によれば，調査船以外の船舶の船速について差は見られず，10〜11ノット程度が平均的な船速となっている．また**表-5.5.3**によれば，海氷が発達しやすい東シベリア海においては，海氷密接度が高い海域でより多くのログデータが観測されており，他の海域より海氷に関して航行条件が厳しい中で船舶が航行していることが推察される．他方，ビルキツキー海峡付近も航行の難所と言われているが，区間が短いためログデータの数が少なく，本分析からは航行の難所であると考察することはできていない．また，**表-5.5.3**（下表）ではログデータ数を示しているが，多くのデータが取得できていることも分かる．

表-5.5.1　時期・海氷密接度毎の平均船速　（ノット）

月/日	海氷密接度						
	0%	0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%	**平均**
7/1-7/10	6.2	—	—	—	—	—	**6.2**
7/11-7/20	8.0	11.1	11.1	7.0	4.8	4.8	**6.9**
7/21-7/31	5.0	6.8	6.2	4.9	5.8	0.7	**3.7**
8/1-8/10	9.8	9.1	7.0	8.2	—	—	**9.7**
8/11-8/20	10.0	7.7	8.5	7.9	7.2	7.5	**9.7**
8/21-8/31	11.2	5.7	2.5	—	—	—	**11.1**
9/1-9/10	11.1	7.9	—	—	—	—	**11.1**
9/11-9/20	11.3	0.1	—	—	—	—	**11.3**
9/21-9/30	9.9	11.0	—	—	—	—	**9.9**
10/1-10/10	11.1	1.2	—	—	—	—	**11.0**
10/11-10/20	9.9	10.4	10.6	8.2	10.6	8.8	**9.9**
10/21-10/31	12.6	13.9	14.2	13.4	12.7	10.2	**11.5**
11/1-11/10	12.0	—	12.6	10.4	8.2	8.7	**9.4**
11/11-11/20	12.1	10.7	11.6	10.5	4.0	7.6	**9.0**
11/21-11/29	10.8	—	13.0	12.5	1.1	8.4	**8.0**
全期間	**10.5**	**9.9**	**10.3**	**9.8**	**7.9**	**8.1**	**10.1**

”—”は対象船舶の航行が無かった.

表-5.5.2　船種毎・海氷密接度毎の平均船速　（ノット）

船　種	海氷密接度						
	0%	-20%	-40%	-60%	-80%	-100%	平均
砕氷船	11.0	9.5	9.4	8.7	9.5	11.1	10.8
客船	11.7	5.1	2.5	—	—	—	11.0
コンテナ船	12.5	9.6	15.4	14.5	12.2	11.4	12.3
一般貨物船	12.0	11.8	11.1	11.0	8.7	9.9	11.6
タンカー	10.1	9.5	8.6	6.0	6.1	4.6	9.1
RORO船	12.5	11.4		0.5	7.8	8.4	10.3
冷凍船	12.9	9.4	7.1	8.3	7.2	7.3	12.3
調査船	6.3	8.5	12.2	6.0		8.6	6.3
重量物運搬船	11.3	0.0	—	—	—	—	11.3
タグ/補給船	9.2	8.9	9.1	9.9	10.5	8.0	9.3
全船種	10.6	9.8	9.9	9.1	8.8	9.8	10.3

”—”は対象船舶の航行が無かった.

表-5.5.3　海域・海氷密接度毎の平均船速（上段）とログデータ数（下段）　（ノット）

船　種	海氷密接度						
	0%	-20%	-40%	-60%	-80%	-100%	平均
東シベリア海	6.1	6.5	12.4	5.0	6.5	3.5	5.2
ﾋﾞﾙｷﾂｷｰ	6.3	9.2	—	8.8	6.2	—	6.7
その他	7.7	11.2	10.8	4.1	8.2	4.4	7.6
平均	7.3	8.6	11.8	4.9	6.7	3.6	6.5

”—”は対象船舶の航行が無かった.

船　種	海氷密接度						
	0%	-20%	-40%	-60%	-80%	-100%	合計
東シベリア海	288	31	16	13	**179**	**387**	914
ﾋﾞﾙｷﾂｷｰ	64	3	—	9	4	—	80
その他	966	24	10	48	28	40	1,116
合計	1,318	58	26	70	211	427	2,110

”—”は対象船舶の航行が無かった.

5.6　エスコートによる航行の実態

谷本らは文献[2)]において，北極海において航行上の難所があることを示している．難所では厳しい海氷条件等によりエスコートが必要とされ，通常船速が著しく低下する．ただし，砕氷船によるエスコートを使用することはコスト増加をもたらし，また船速の低下は輸送の安定性に対する懸念要因となる．

エスコートによる航行事例は複数見られるが，本研究においては，その代表的事例を４事例抽出した．この際には難所の箇所やエスコートの有無，海氷の状態，航行の実態（喫水等の諸元, 船速等）等が重要であると考えられるが，これらの情報は船舶運航の安全性評価に用いられることに鑑み，難所の地理的位置や通過日付，船速等についての詳細な分析も試みた．

(1) 2015年7月中旬

この事例は，海氷が融解していく時期の比較的厚い海氷が残っていると見られる海域を通過した事例である．砕氷船1隻が2隻のタンカーをエスコートするコンボイ（船団）を構成しており，**図-5.6.1**に位置とその海氷との位置関係を示す．7月16日から18日にかけては海氷密接度が高い海域を通過し船速が低下している（**図-5.6.2**）．ただし，船速がゼロにまで低下している時間帯は少なく，平均5ノット程度で通過している．**図-5.6.1**においても著しい傾きの変化は確認できないことから，一部低速で航行した区間はあったものの定時性は大きく損なわれていないことが確認される．

図-5.6.3は，7月16日1日分の航跡ならびに海氷密接度を最大の解像度で示したものである．海氷密接度の解像度は最大10kmメッシュであり，そのような中で当該コンボイは24時間のうちに5回捕捉された．本研究での衛星AIS観測体制によりこの図の程度の解像度を持った分析が可能となっているが，航行安全上の検討における必要な解像度についてはさらに検証が必要である．

(2) 2015年7月下旬

航路上の海氷が概ね融解している時期で，航路上に一部海氷が残っている事例である（**図-5.6.4**）．サニコフ海峡（東経140度付近）より東側に海氷がある区間があり，砕氷船の船速度が4ノット程度まで低下している（**図-5.6.5**）．しかし①の事例と比較して，海氷の影響を受ける度合いは小さいものと見られ，海氷通過のため速度の低下した区間はあったものの，定時性への大きな影響は確認できない．

(3) 2015年9月下旬

例年９月は海氷が航路上にはなく，北極海航路航行に最も適した時期と考えられる．このような時期においても砕氷船がエスコートを行っている事例があった．ペベク港付近からビルキツキー海峡付近までの長い区間，タンカーが砕氷船にエスコートされている状況が確認された（**図-5.6.6**）．

この区間は衛星からは海氷は確認できないが，ロシア当局はところどころに浮遊する海氷があるなど航行上のリスクがある場合には砕氷船のエスコートを求める場合もあると見られ，そのような事例の一つであると考えられる．**図-5.6.7**は船速の変化を示したものであるが，エスコート区間の端にあたる東経190度付近では船側の低下が見られる（船舶同士の待ち合わせによる待機のためのものと考えられる）ものの，東経100度付近に至るまで平均10ノット程度の安定した船速で移動している．

(4) 2015年11月中旬

この事例は，10月ごろから再び成長する海氷が完全に航路上にあり，長い区間のエスコートが必要になったと見られるものである（**図-5.6.8**）．海氷が十分発達せず薄いことから, 海氷中でも10ノット程度で概ね航行ができている一方, 著しく船速が低下する区間も確認できる（**図-5.6.9**）．ただし，11月24日以降（東経75度付近）はすでに目的地ヤマル半島に達していることから，この付近で船速が低下しているのは, 海氷の他の理由（待機等）もあるものと見られる．

これら①～④の分析においては船舶がエスコートを必要とするリスクの高い箇所を通過したと見られるものの，平均的な定時性は損なわれていない．ところどころで通過が困難な箇所があり，船速が大きく低下している区間もあることが予想されるが，現在の観測体制は常時観測ではないため全ての速度低下を捉える精度は確保されていない．谷本[2)]らの分析（数多くの衛星による常時観測に近いデータを用いた分析）では難所の通過に5～13時間を有した事例も報告されており，よりミクロな速度変化の分析が望まれる場合には，観測回数の増加等の改善についても検討が必要となる．

5.7　その他の分析

(1)冬季における航行実態

これまで冬季（概ね12月以降）における北極海地域での船舶航行実態に関する情報が少ないことから，2015年12月から2016年2月までの航行実態についても把握した（**図-5.7.1～図-5.7.3**）．12月においては砕氷船によるアジアへの航行が確認された他，欧州側では多くの船舶が航行している状況が確認される．船種としては，コンテナ船のほか，LNG船，フェリー，客船，砕氷船，調査船が確認されている．東側へはヤマル半島位までは通年航行している模様である．

(2)航行船の喫水情報可視化の試み

ヒアリングにおいては北極海航路地域では十分な海図がないことが安全な航行上の懸念事項として指摘された．**図-5.7.4**は北極海のある海域をメッシュで区切り，各メッシュを航行した船舶の最大喫水（衛星AISデータにより捕捉

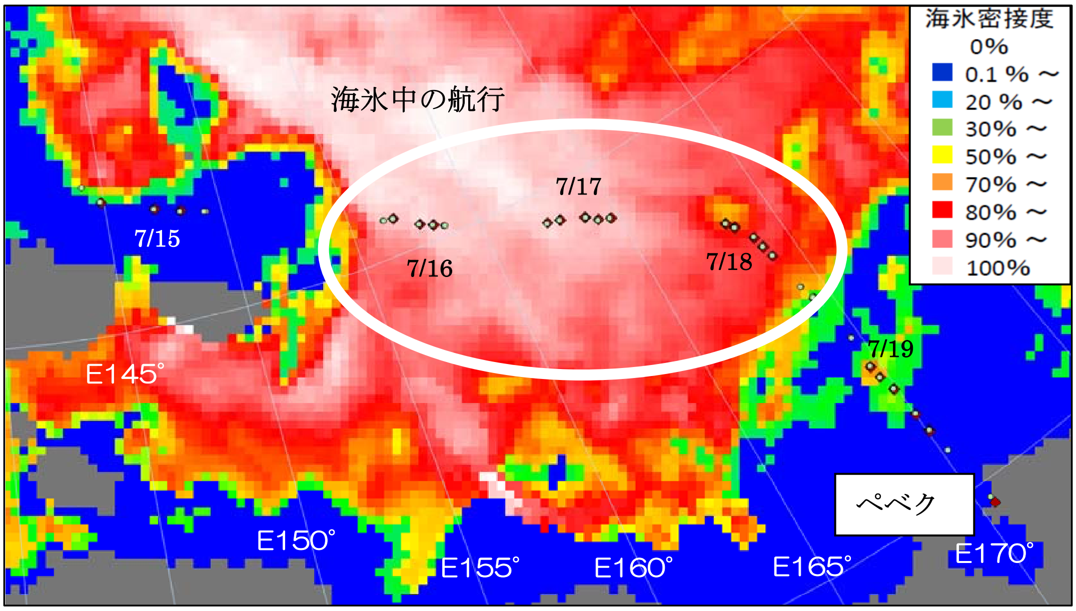


図-5.6.1　船舶の航行位置と海氷密接度

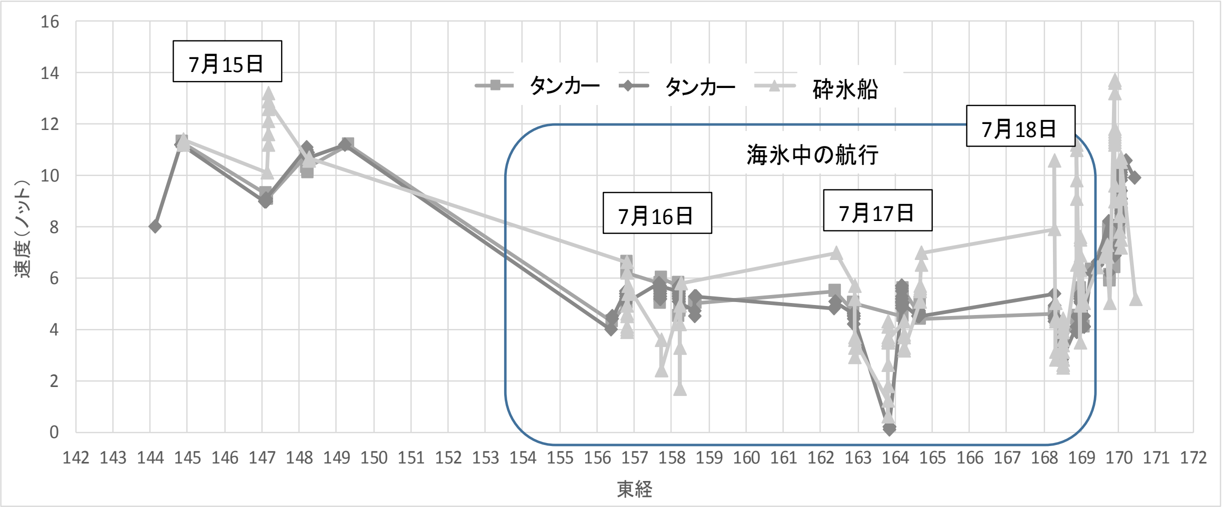


図-5.6.2　船速の変動

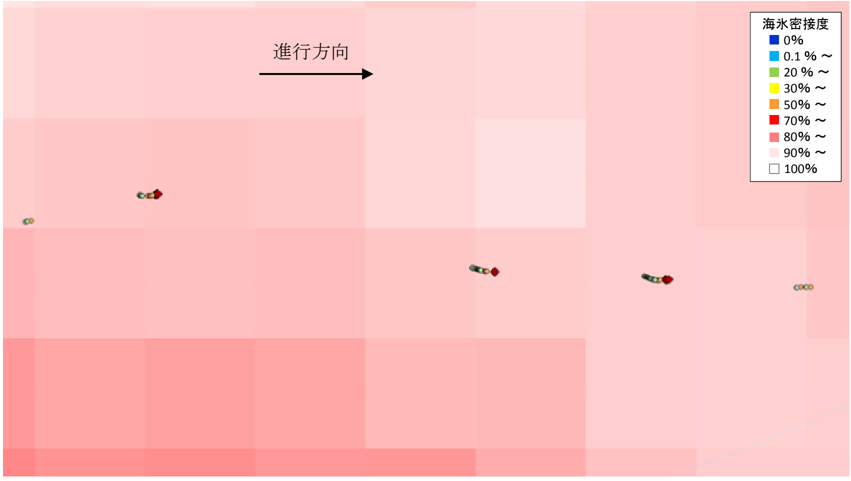


図-5.6.3　７月 16 日の航跡（１メッシュは 10 キロ四方）

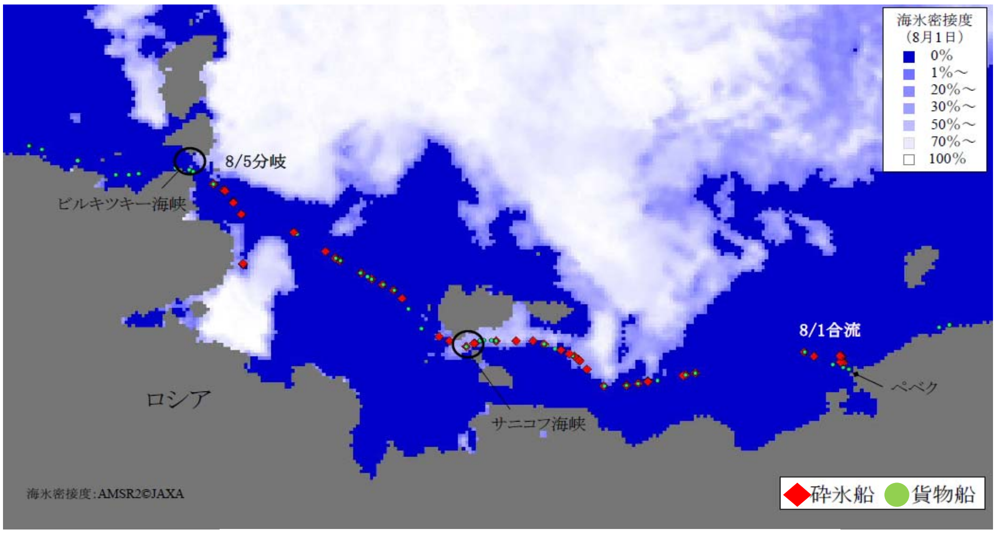


図-5.6.4　船舶の航行位置と海氷位置

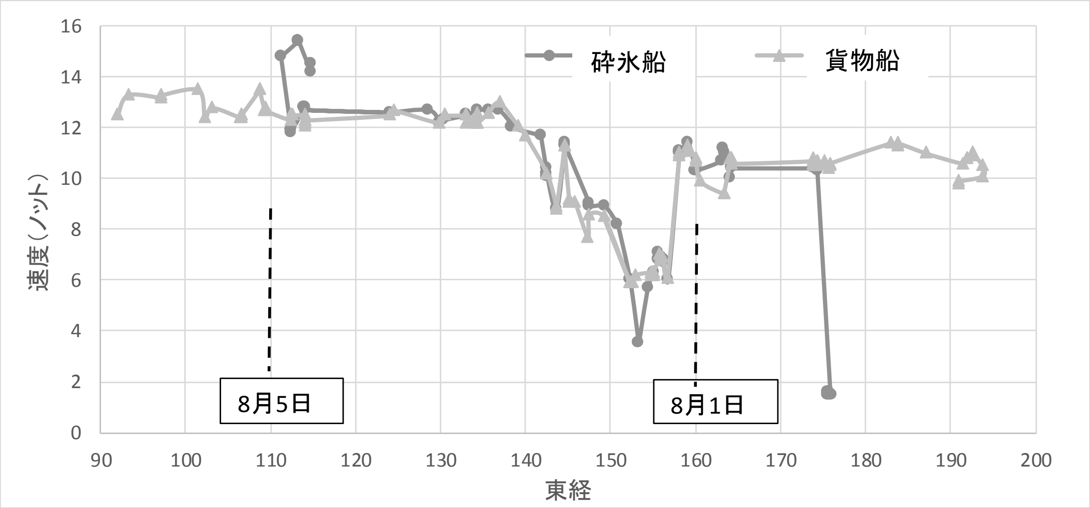


図-5.6.5　船速の変動

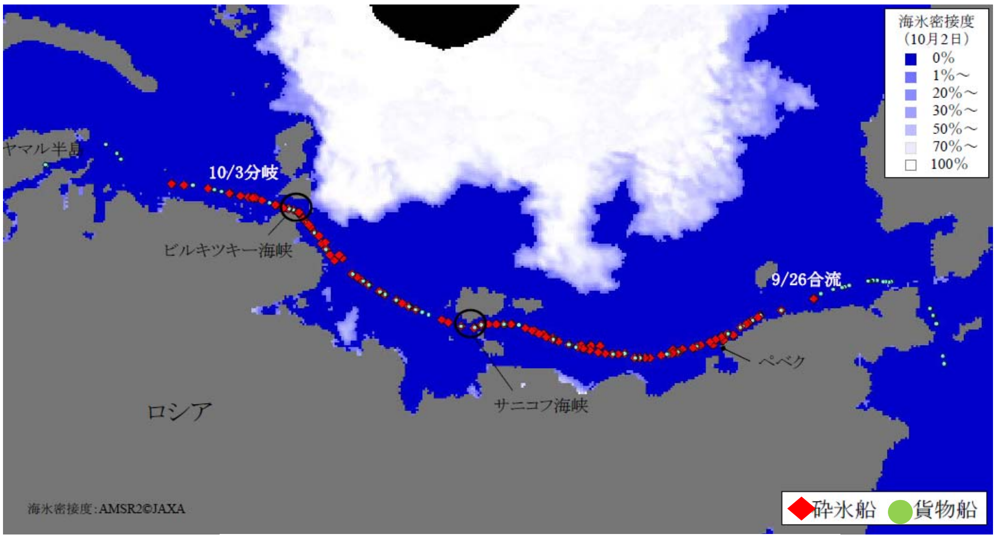


図-5.6.6　船舶の航行位置と海氷位置

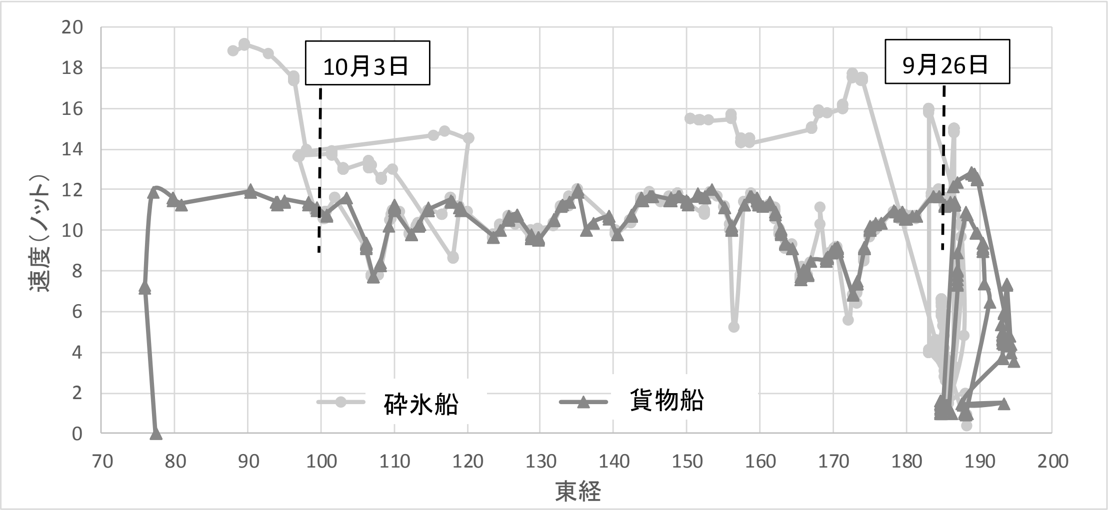


図-5.6.7　船速の変動

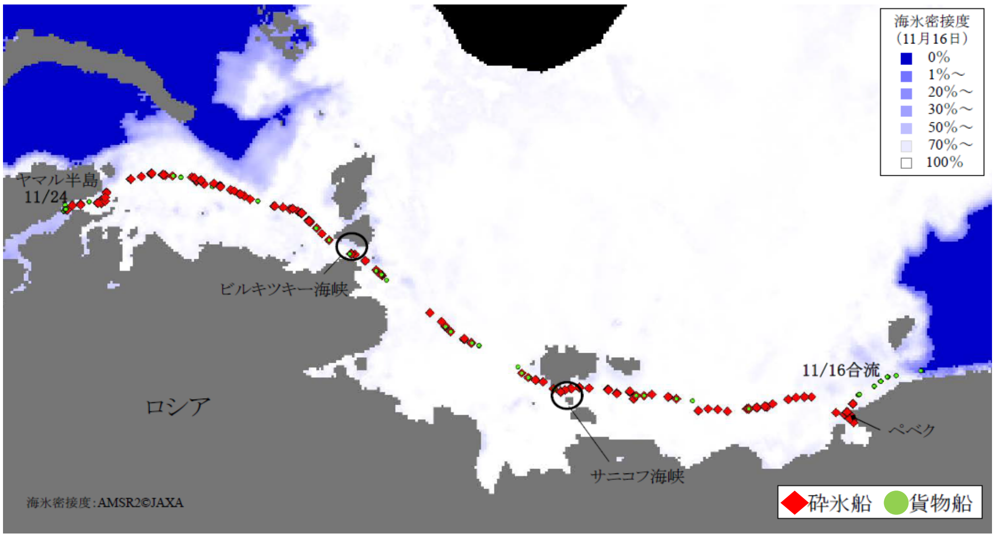


図-5.6.8　船舶の航行位置と海氷位置

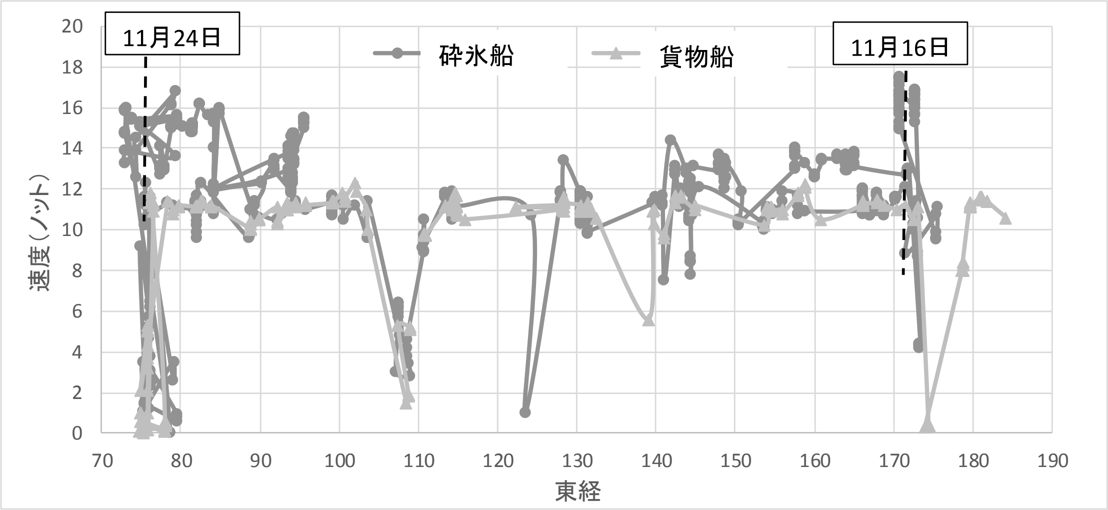


図-5.6.9　船速の変動

された実喫水）を抽出し各メッシュに示した図の例である．このような実績ベースの数値は，今後船舶の安全な航行の一助になるものと期待される．ただし現状では本図において最も深い喫水10mのメッシュを連続的につなぐことはできず，すなわち喫水10mにて航行しようとする船舶は航行ルートをこの図のみから特定することはできていない．これは衛星AISデータ数が必要数に達していないためであり，さらにデータを蓄積し実用に耐えるものとする必要がある．

(3)トランジット航行船舶の諸元

2015年に北極海航路のトランジット航行を行った船舶について，クラークソンデータにより諸元を分析した結果を**図-5.7.5**（全長），**図-5.7.6**（全幅），**図-5.7.7**（満載喫水）に示す．いずれも横軸に船舶規模（国際GT），縦軸に船舶の諸元を示したものである．

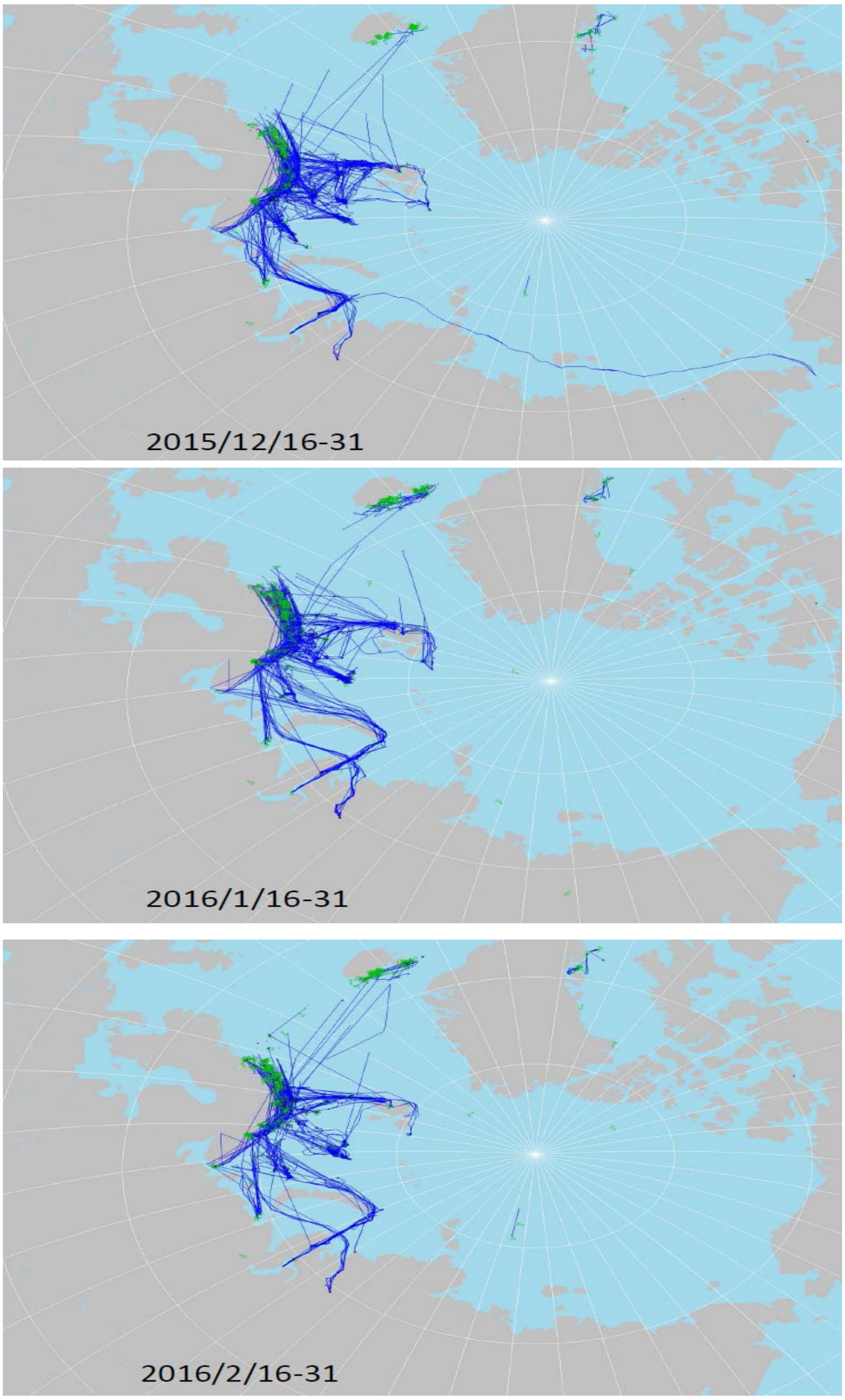


図-5.7.1〜図-5.7.3　冬季の航跡図（上から 12 月、１月、２月）

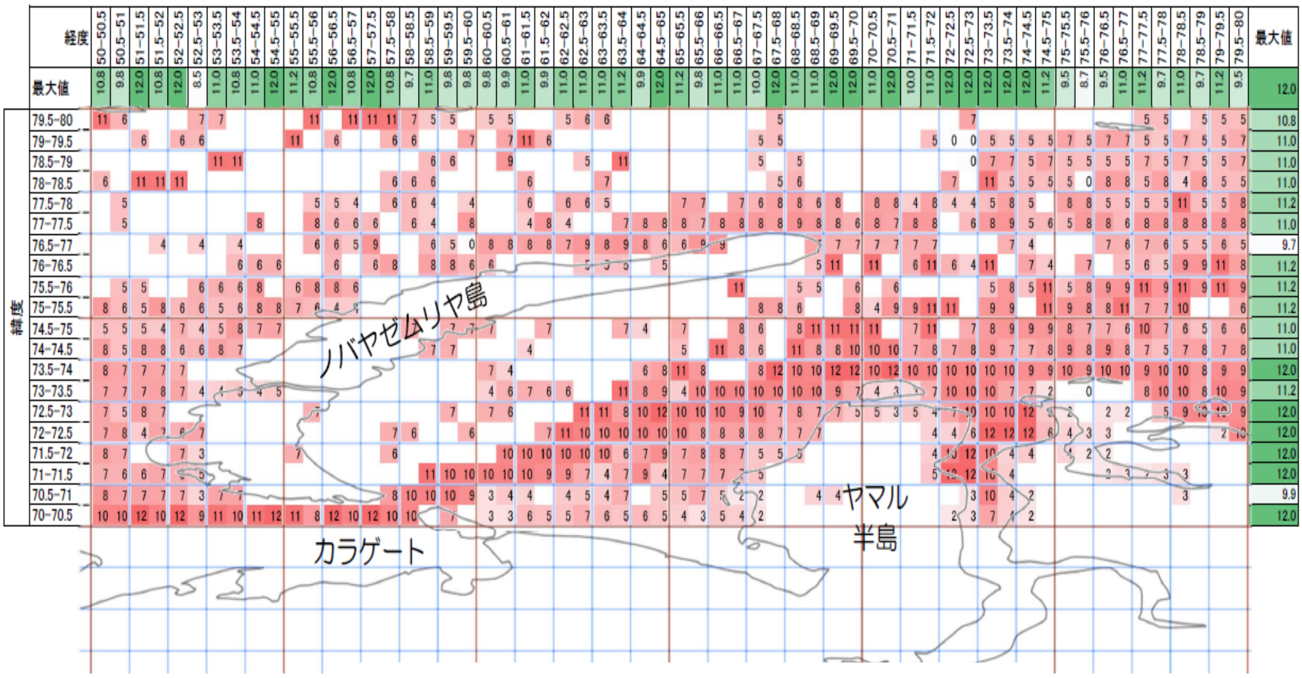


図-5.7.4　最大実喫水の分布

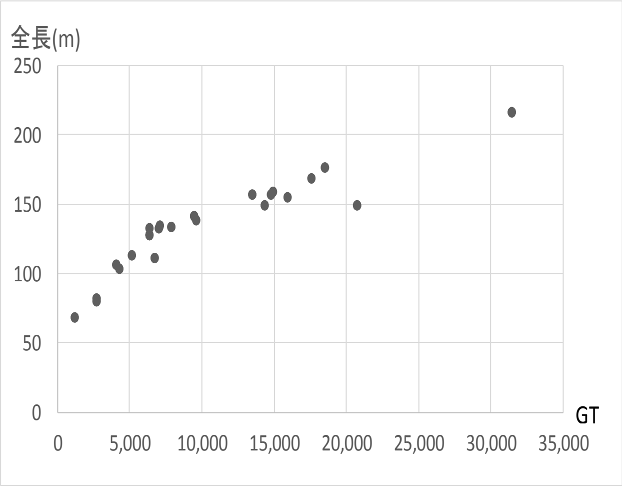


図-5.7.5　トランジット船の諸元（全長）

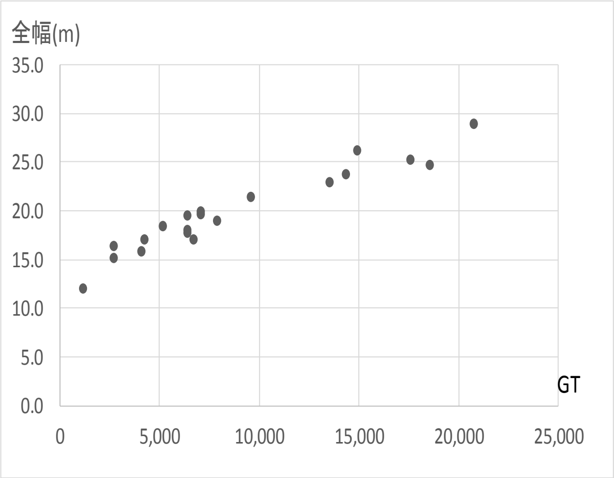


図-5.7.6　トランジット船の諸元（全幅）

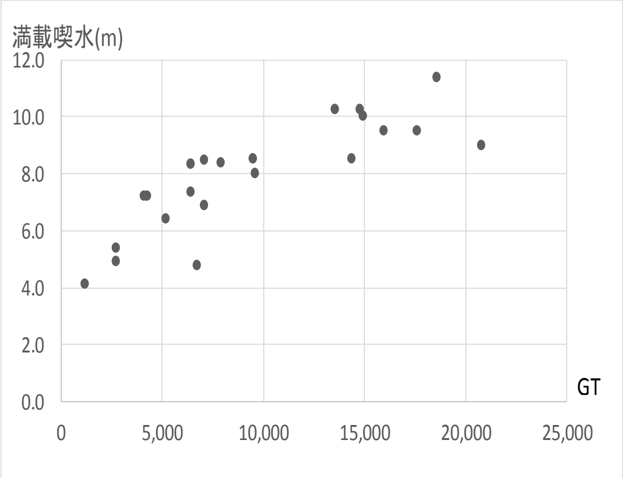


図-5.7.7　トランジット船の諸元（満載喫水）

これらの図は北極海航路を実際に航行できた船舶の諸元を示すものであり，このような情報の蓄積は今後の北極海航路への投入船舶規模の設定や，北極海航路航行船に対する水域施設や係留施設の計画における参考として活用可能と考えられる．

６．分析結果の活用に関する考察

6.1　衛星AISデータならびに分析結果の活用性

関係者へのヒアリングならびに北極海航路に関する文献収集整理を行い, 衛星AISデータ並びにその分析結果がどのように関係者に寄与しえるかを考察した結果を表-6.1.1に示す．

船社については，運航コストの判断においてアイスクラスやエスコートが求められる時期や航行ルート，投入可能な船舶規模，海氷中の航行実績（海氷中の航行は船舶を傷める可能性があるなどコスト増加要因となり得る）等が想定される．また実際の運航のための安全管理上，難所や救難が可能な船舶の位置，安全な船速等についての情報が必要となろう．実船の運航時には，陸上AISのカバー範囲よりもやや遠方に先行する他船の航行状況についてリアルタイムに近い形で把握できれば，今後の航行の状況を予測することもできる．

この他，周辺海域の船舶の動静を把握することはマーケティングにおける情報ともなり得る．

荷主については，北極海航路の輸送におけるリードタイムや輸送の安定性を把握し，北極海航路が利用可能であるかまたその場合の貨物輸送形態等を検討することとなる．

さらには近年北極海航路の実用化支援のための様々な調査研究が行われ例えば海氷の状態に応じた最適ルート選定航行支援システム等がその一例として挙げられるが，詳細な航行実態はその基本的データとして有益と考えられる．

本研究で用いた衛星AISデータの取得体制や蓄積データさらにはそれによる分析結果によって，これらの情報の蓄積と提供は可能であると判断できるが，今後はデータベース化を行い関係者に情報提供するとともにフィードバックを得て，必要な情報について深めていく必要がある．

表-6.1.1　AIS データに対するニーズ

主体	検討フェーズ	検討内容	必要なAISデータ・分析
船社	運行コスト判断	投入アイスクラス判断（船価、燃費に影響）	投入アイスクラスの実績（区間と時期）
		エスコート必要性の判断	エスコート区間等の実績（区間と時期）
		航行ルートと船舶諸元の選択	航行ルート詳細、航行船実喫水、海氷密接度等
		海氷中の航行によるコスト評価（海氷航行のための出力・燃費、保険、船が痛むことによるメンテナンス）	海氷中の航行回数、時期、区間、密接度、速度
	運行安全管理	周辺の船舶の位置・船速の把握による運航リスク回避	周辺の船舶の位置・船速等の航行状況
		難所についてのリスク管理	難所の実績（場所、エスコートの方法、所要時間等）
		救難船等の利用可能性の把握	救難船等の動きの把握
		海氷状態による船速の予測	船速と海氷の状態（密接度等）
	マーケティング	輸送対象貨物の検討	船種、船速、トランジットタイム、定時性等の実績
		クルーズ船の投入可否の判断	クルーズ船の通航実績
		北極海航路の船舶動静の把握	航行船の国籍・寄港地・時期等
荷主	マーケティング	北極海航路の利用可能性判断	輸送リードタイム、定時性についての実績
国等	政策判断	調査船の投入判断	主要国の調査船の活動状況
港湾	港湾整備	港湾整備に必要な諸情報の収集	航行回数、投入船の船種・諸元、船腹量、航行ルート（特に宗谷・津軽）等
		クルーズ船の通航状況	航行回数、航行ルート、船舶諸元等
		LNG等の輸送状況	LNG等の主要貨物の輸送状況
研究者	研究の実施	輸送コストや最適ルートのシミュレーションの際の基本情報・検証の対象	詳細な船舶動静（位置、時刻、船速）、航行ルート等
		海氷の状態と船速の関係分析	船速、密接度、厚さ等

6.2　今後のデータベース化に向けての考察

今後のデータベース化においては，必要な主体に対して必要なタイミングでデータが提供できることが必要であり今後そのようなデータベースの構造等を検討していく必要がある．

図-6.2.1は，現段階でのデータベースの基本概念を示したものである．3つのデータベースから構成される．

第一は，船舶のログデータから個別の船舶の動静に関するものである．衛星AISデータをエクセル等に変換しまた公表が不適切な情報を削除して掲載するものであり，北極海航路に関連する研究者が使用することが想定される．この際にはデータの秘匿性が配慮される必要がある．AISデータにより個別船舶の動静が詳細に判明できるが，他方でプライバシーの問題も懸念されるため公開するデータの内容や精度について検討が必要となる．

第二は，本研究で示したような分析結果を格納・提供するデータベースである．これは随時分析・更新され，船社や荷主等に提供されることが想定される．

第三はデータのリアルタイム性を活用するためのデータベースである．近年の技術開発により，衛星によりAISデータが取得されてから陸上へ送信されるまでの時間が短くなっており，リアルタイムに近い形でのデータの活用ができるようになっている．このようなリアルタイム性の活用ならびにデータベースへの反映についても検討する必要性があるものと考えられる．

７．おわりに

本資料は共同研究により得られた成果について 2015 年の航行実態を中心に分析結果を示したものである．主要な成果は以下の通りである．

第一に，衛星２基による観測体制によって，北極海航路の航行実態を分析するために必要な AIS データに関し，安定的にデータが取得できている状況を確認した．

第二に，衛星 AIS を活用した北極海航路の航行実態分析により，関係者による北極海航路の検討に貢献しえる種々の情報提供が可能であることを確認した．

第三に，北極海航路の関係者は北極海航路の検討のため情報をタイムリーに提供される必要があることから，分析結果をデータベースとして蓄積・公表することに意義があることを考察した．本研究ではその基本設計と今後の検討の方向性についても合わせて示した．

衛星 AIS データならびに本研究で構築した分析体制の有用性が確認されたことから，2016 年以降も引き続き衛星を用いた AIS データの取得ならびに分析結果の蓄積を行う予定である．海氷等の北極海航路の航行に関する条件は年々異なることから，当研究で実施した分析を継続的に行なうことは有益と考えられる．

また関係者の主体別に，情報ニーズは異なること，今後さらに北極海航路の活用への機運が高まった場合には，より精緻な情報ニーズも出てくる可能性があるため，今後も

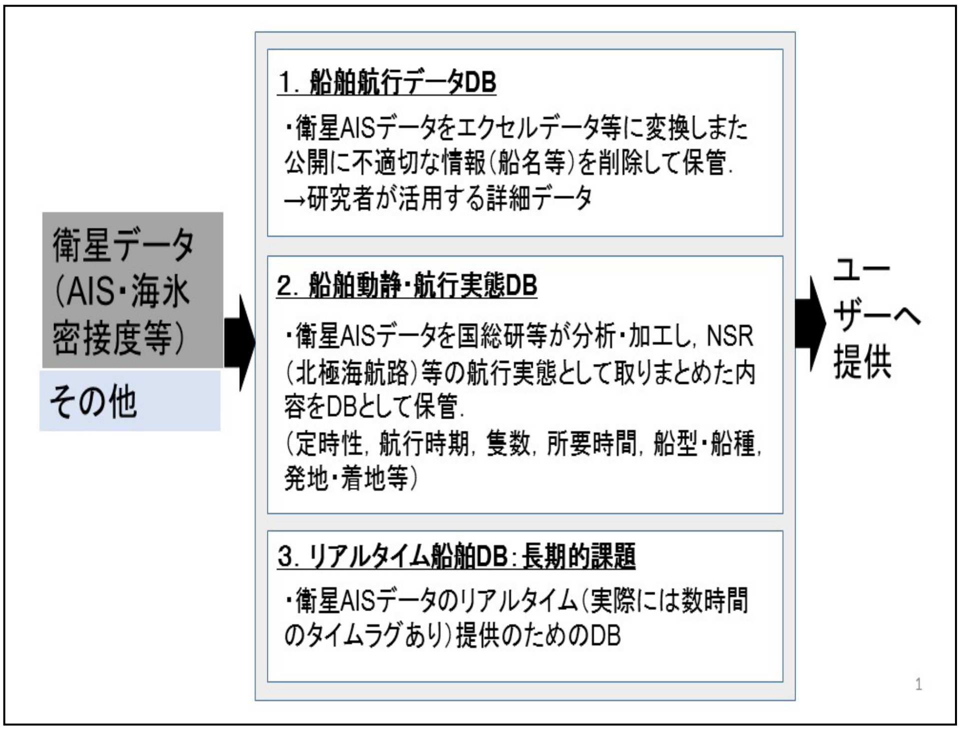


図-6.2.1　データベースの構成イメージ

さらにヒアリング等を重ねて，ニーズの明確化に努めたい．

なお，本資料での航行速度等に関する考察は，これまでの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．

トランジット航行ならびに北極海から北東アジアへの航行船舶の詳細な航跡図等を含む分析結果は，国総研ホームページにおいても公開しており随時更新予定である．
（http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/keikaku/ais.htm）

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（みなと研究総合財団）からご助言を賜りました．また多くの関係者の皆様からヒアリングの機会を頂きました．ここに謹んで謝意を表します．

（2016年5月31日受付）

参考文献

1）安部，押村，谷本，西川（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，国総研資料第768号.

2）谷本，安部（2014）：AISを活用した北極海航路航行実態に関する詳細分析，国総研資料第799号.

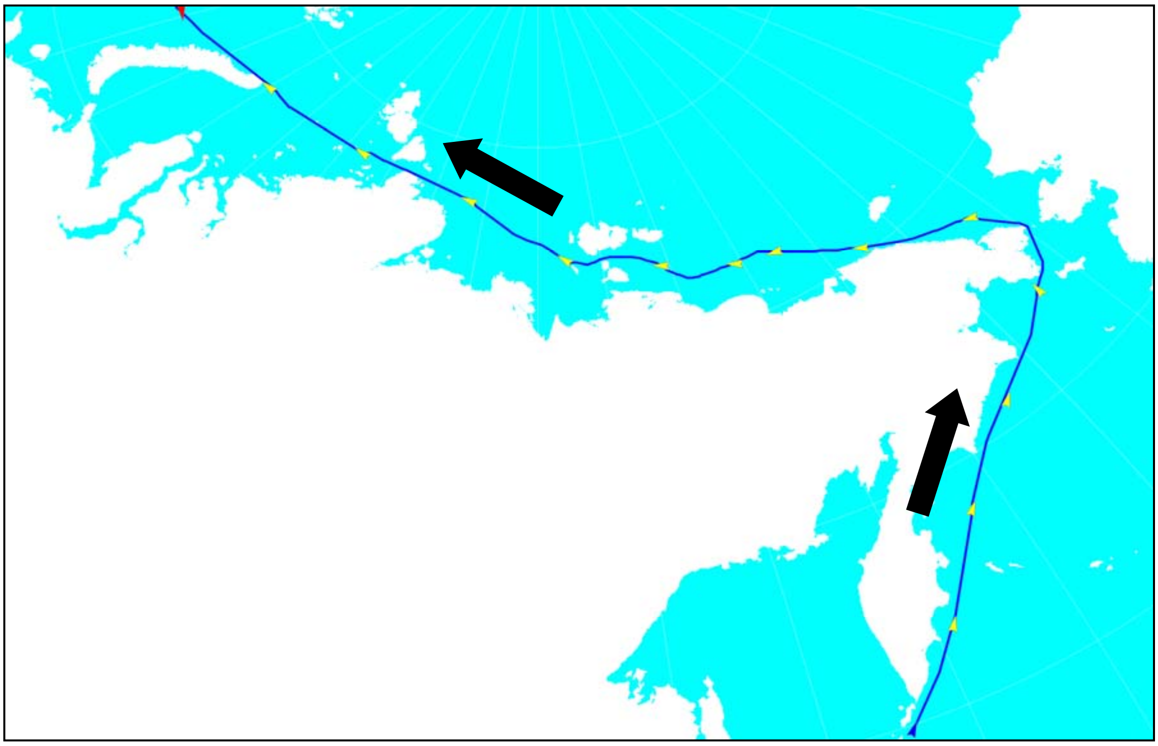
3）http://www.mol.co.jp/pr/2014/14042.html

4）Otsuka, N., Imai, K., Nakagawa, K., and Furuichi, M. (2016): Northern Sear Route Transport Scenarios for Various Cargoes, the 31st International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice.

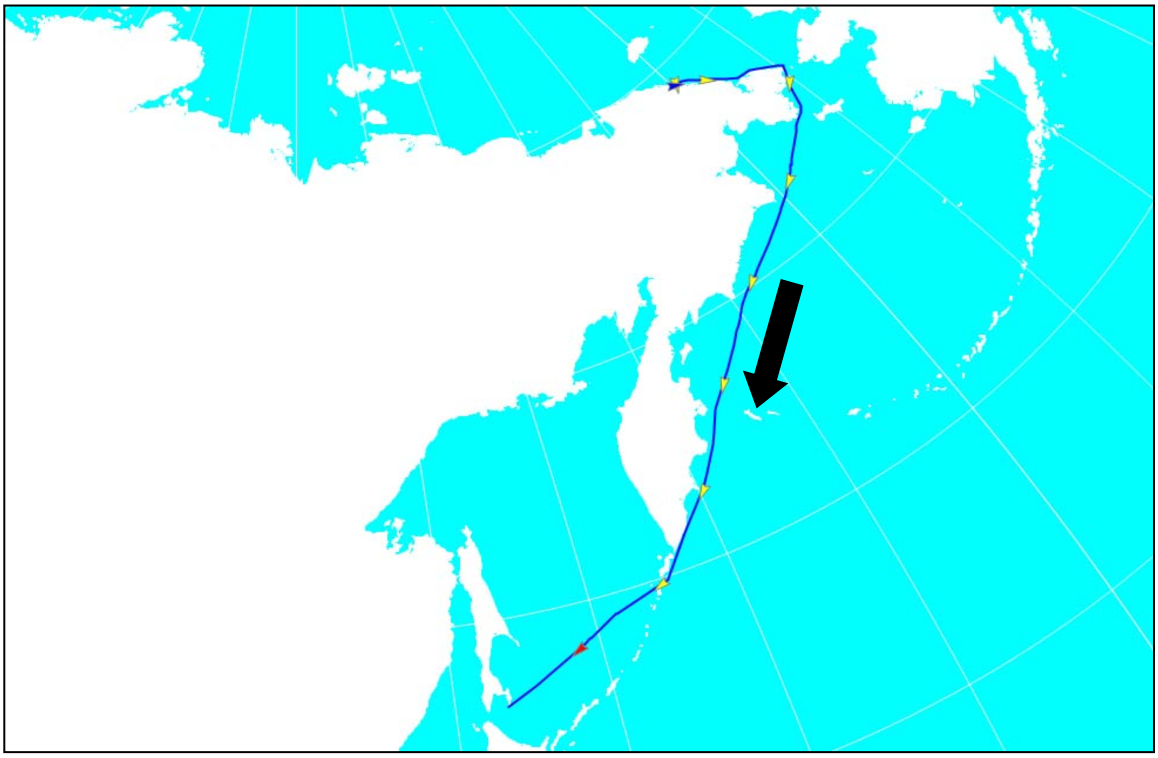
5) 日本海難防止協会（2015）：北極海航路ハンドブック.

本資料の印刷物は白黒印刷となっていますが，カラー版をご覧になりたい方は国総研ホームページに掲載されております。

付録



トランジット航行の航跡図の例



北極海から北東アジアへの航行図の例（トランジット航行以外）

上記は例であり 2015 年の航行船舶の航跡は国総研ホームページで公開されている。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 923　　　　June 2016

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
E-mail:ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp