

## 講演会

# 令和2年度 CPC 交流セミナー

(一社)寒地港湾空港技術研究センター

※役職は当時のものです

## 第1回「赤潮・貝毒の発生予防に関する新展開」



寒地土木研究所 水産土木チーム  
研究員

稲葉 信晴 氏

皆さん、こんにちは。本日は令和2年度第1回目のCPCセミナーにてお話しさせていただきます、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所水産土木チームの稲葉と申します。本セミナーでは「赤潮・貝毒の発生予防に関する新展開」というタイトルでお話をさせていただ

うと思っていますので、どうぞよろしくお願ひします(図1.1)。

最近、気象災害の激化や北海道沿岸で獲れる魚が変わってきているといった地球温暖化の影響と考えられている現象が、北海道や日本各地で起こってきています。ここ数年ではブリやカツオなど温暖な海を好む魚種の漁獲量が北海道でも増加していますし、温暖化が桜、ソメイヨシノの開花に影響を及ぼし、九州の一部の地域では将来的に開花しなくなるのではといった可能性なども指摘されています。植物の開花時期の変化だけでなく、動植物の生息域の変化等も温暖化の影響で既に始まっています。

本セミナーでは海のプランクトンに着目し、地球温暖化による海洋環境の変化が赤潮・貝毒プランクトンの発生にどのような影響を及ぼすか、またこれまで私自身が取り組んだ研究を基に、これから深刻化する可能性があるかと危惧される、赤潮や貝毒の防御技術についての新展開

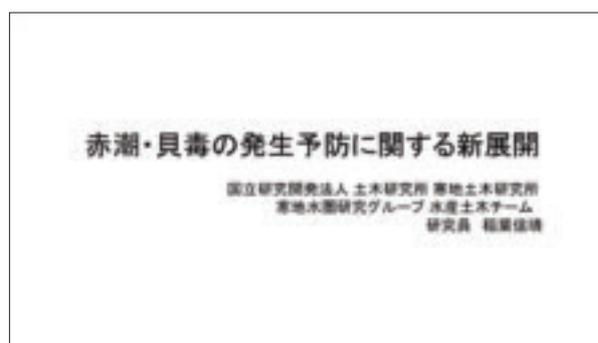
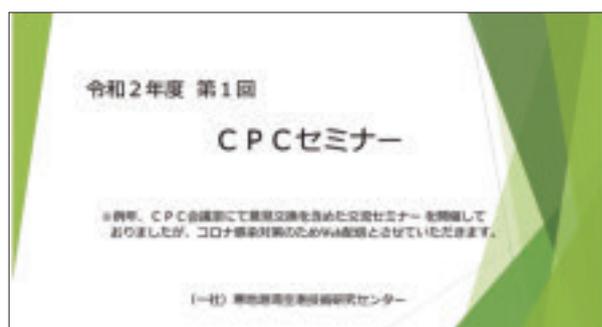


図 1.1

についても一部ご紹介したいと思っています。

早速ですが、最初に赤潮や有害有毒藻類ブルームとは何なのかについて、簡単に説明させてください。こちらの右上の写真は九州の八代海で2009年に発生した *Chattonella* 赤潮ですが、この写真からもわかるように海水が一部着色しています。このように植物プランクトンの大量増殖や集積の結果生じる海水の着色現象のことを赤潮と呼んでいます。併記している有害有毒藻類ブルーム、Harmful algal bloom、略称でHABというのですが、それは何なのでしょう（図1.2）。有害有毒藻類ブルーム（HAB）とは、赤潮のように海水が着色するほど高密度にはなっていないが、関与する生物に悪影響を与えるプランクトン種の個体群増加も含めた意味の専門用語になります。つまりHABは赤潮を含みますが、赤潮イコールHABではないわけです。

北海道周辺で特に問題になるのがホタテなど二枚貝の毒化を引き起こす種によるHABです。毒化した二枚貝が検出された場合は出荷停止になるなど、漁業者に経済的な被害が出ます。北海道では出荷停止による漁業被害は多かれ少なかれ毎年のように起こっているのです。また海外ではHABによるマナティーやクジラ等の海産哺乳類の大量死なども報告されています。

こちらのスライドはパリで開催された第12回有害藻類に関する政府間パネルIPHABで示された、1987年以降のHAB発生記録と件数を

示した全球分布図ですが、HABの発生がこれまでに認められた場所が灰色やオレンジのドットで示されています。この分布図からHABが地球規模で発生している環境問題であるということがよくわかると思います（図1.3）。

それでは地球全体の環境問題であるHAB発生に関して温暖化による影響は具体的にどのようなことがあるのでしょうか。左端の記事はアメリカ連邦政府の行政機関である米国環境保護庁、Environmental Protection Agency、EPAですが、日本における環境省のような機関とっていただければいいと思います。それが2013年に発表した記事です。温暖化によってHABを引き起こすプランクトン種の増殖環境が好適化し、発生頻度や強度、地理的分布域の拡大が懸念されると警告しています。実際にその後の研究でそれらを立証する研究成果が世界中から次々と発表されています。

こちらのスライドの真ん中は日刊水産経済新聞の切り抜きになりますが、ワシントン大学教授で海洋酸性化センターの所長のクリンガー博士は、大気中の二酸化炭素濃度の上昇が温暖化とともに海水の酸性化を引き起こし、海洋の酸性化がカキの幼生を大量斃死させた可能性が高いという研究成果とともに、温暖化そして海洋酸性化に対する対策が急務であるということを述べています。

動植物の分布域の北上は海でも起きています。先程、ブリやカツオのような温かい海を好



図 1.2

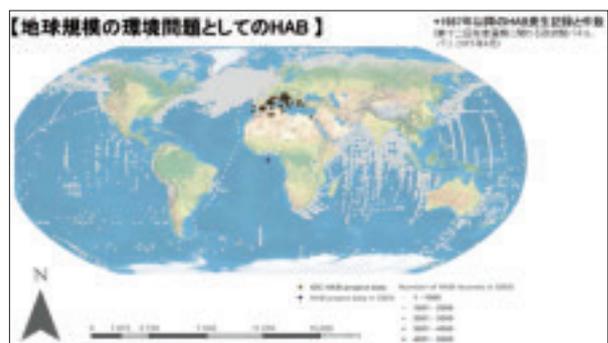


図 1.3

む魚が北上してきているお話を少ししましたが、同様に暖水海性のプランクトンも北上してきています。こちらの右上と右下の研究論文は道総研や北海道大学の研究チームが2016年に発表した論文になりますが、北海道沿岸域に既に暖水海性の有害有毒藻類種 HAB 種の北上が確認されています。道南の畜養のスルメイカやエゾアワビ、定置網に入網したサケが斃死するなどの漁業被害が実際に発生しています (図 1.4)。

こちらのスライドの左側の青で囲った部分は、これまで北海道沿岸域に分布していた HAB 種です。それから右の赤で囲った方は、近年温暖化で北上が確認されている暖水海性の HAB 種になります。従来の HAB 種の方の左上は麻痺性貝毒の原因種の *Alexandrium*、そして左下は下痢性貝毒の原因種の *Dinophysis* の写真です。これらの毒化を引き起こす有害有毒鞭毛藻が海水中に大量に増殖することで、二枚貝が摂餌し、貝の体内で毒が濃縮され毒化を引き起こします。毒化した貝類を食べてしまった場合の症状としては、麻痺性貝毒の場合、舌や唇の痺れや重症な場合は体が思うように動かなくなり、最悪のケースでは呼吸困難などで死に至ることもあります。下痢性貝毒の場合ですと、下痢や吐き気、嘔吐などを引き起こすことが知られています。加熱すれば大丈夫だろうと考える方もいらっしゃるかもしれませんが、これらの毒は熱に安定で、一般的な調理加熱では

分解しないのも特徴です。

「毒化、毒化」と言うと貝を食べるのが急に怖くなってしまったかもしれません。しかし基本的に出荷されている貝類は都道府県において出荷前の検査で問題ないと判断されたものが出回っているため、心配しないでください。また貝毒発生の予察のための定期的なモニタリング調査も各都道府県で実施されています。

右の赤枠内はこれまで北海道で生息が確認されていなかったが、ここ何年かで出現してきている HAB 種になります。有害ラフィド藻や有害渦鞭毛藻にあたる、一般的に暖水海性と考えられている種類の HAB 種で、真ん中の *Cochlodinium* は隣の韓国で猛威を振るう養殖魚の斃死被害が大きく恐れられている種類です。こちらの *Karenia mikimotoi* はわが国で *Chattonella* 赤潮に次ぐ漁業被害を出している要注意な HAB 種になります。これらの HAB 種が函館湾や北海道日本海側の沿岸域からも見つかっており、論文中でも温暖化との関連性やこれまで北海道に分布していないとされていた HAB 種の今後のモニタリング強化の必要性などが指摘されています (図 1.5)。

次のスライドはここ 10 年の日本国内でどんな HAB による漁業被害が出ているかの代表例になります。最初に 2009 年・2010 年、八代海・有明海で連続発生し 80 億を超える膨大な漁業被害を出した赤潮です。これは *Chattonella antiqua* と呼ばれる有害ラフィド藻が原因の赤潮



図 1.4



図 1.5

が養殖ハマチなどの大量斃死を引き起こし、甚大な漁業被害を発生させた事例です。その他にも伊万里湾では2017年・2018年・2019年と3年連続で *Karenia mikimotoi* 赤潮が発生し、トラフグやマグロの斃死により4億～5億円もの被害が発生し、愛媛県沿岸域でも2018年・2019年と数億円もの被害が出ています。2019年には北海道オホーツク海で麻痺性貝毒によるホタテの出荷の停止、そしてそれに伴う自主休漁が実施されています。このようにHABの発生は漁業者にとって脅威であり死活問題と考えられるため、HAB発生の抑制技術の開発は喫緊の課題だということがわかりいただけます（図1.6）。

それではHAB被害軽減対策としてはどんなことが実施もしくは提案されてきているのでしょうか。対策は間接法と直接法の大きく二つに分けられます。間接法としては法的規制や水質・底質などの環境改善です。緊急対策としての水平あるいは鉛直方向への生簀の移動や餌止めが挙げられます。法的規制や緊急対策は一定程度効果を上げていえるでしょう。ただ根本的な解決にはなっていません。直接法としては物理的方法・化学的方法、生物学的方法が提案されており、右上の写真にあるような海面への粘土散布が韓国や日本の一部地域で実施されています。ただ、粘土散布の場合、ターゲットとする生物以外や底質環境にも悪影響があるのではという点が懸念されています。また化学

薬品を海に投入するといった化学的方法もあまり現実的ではないと考えられます。一方で、もともと環境に生息する生物を利用した手法についての研究が進められており、それらを用いた環境にやさしい手法の確立が期待されています（図1.7）。

次のページ以降は、北海道大学名誉教授で赤潮研究の第一人者である今井一郎先生らとともに私自身も研究を進めているアマモ場や藻場に生息する海洋細菌を用いたHABの生物学的な軽減手法の確立に向けた研究についてご紹介したいと思います。

こちらのスライドではHABの原因藻類の増殖を抑える海洋細菌、殺藻細菌と増殖阻害細菌について簡単にご説明致します。殺藻細菌はHABの原因藻類を積極的に攻撃・殺滅し、その死細胞を利用して増える細菌です。増殖阻害細菌は運動脳低下あるいは増殖脳の異常を引き起こし、HABの原因藻類の増殖を阻害する細菌です。こちらの中央に写真がずらっと並んでいますが、こちらは *Chattonella antiqua* の様々な状態の写真です。一番左の写真が正常状態の *Chattonella* で、それ以外は何らかの阻害を受けた細胞です。写真Bでは殺藻細菌の添加により細胞が破裂している様子がわかると思います。写真C・D・Eでは *Chattonella* 細胞が球状になったり、通常の細胞の何倍もの長さの棒状になったり、いびつに変形したり、様々な形態的な異常が見られますが、これもある特定の細



図 1.6



図 1.7

菌を添加した時に起こることがわかってきています。ちなみにこの研究は私が博士課程の時に発見した研究成果の一部です(図 1.8)。そして HAB の原因藻類に対してこのような活性を示す細菌がアマモ場や藻場に多く存在していることが近年わかってきています。

次のスライドで示している結果はアマモの葉っぱを少量の 3.3 グラム添加した実験区と 0.6 グラム添加した実験区、添加した培地内における HAB 原因種の増殖を示したものです。Control 区が右肩上がりに対して、アマモの葉っぱを添加した区では、たった 0.6 グラム加えた区でも *Chattonella* 及び *Heterosigma* とともに増殖が劇的に抑制されているということがわかるとおもいます(図 1.9)。実際にアマモの切れ端を加えただけで赤潮の発生が抑えられた時の衝撃は今でもはっきり覚えています。ただこの時点の結果はかなり大雑把な実験計によるものでしたので、ポテンシャルとしてはすごいけれど、実際に何がこの現象を引き起こしたのかを

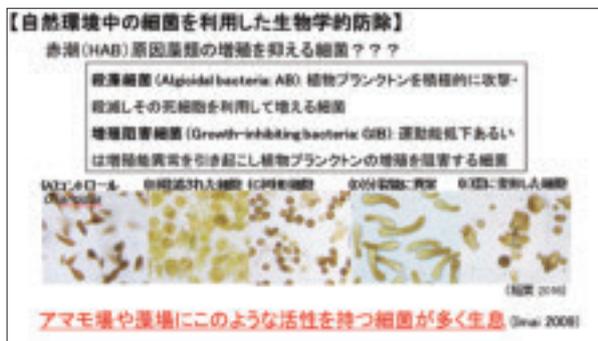


図 1.8

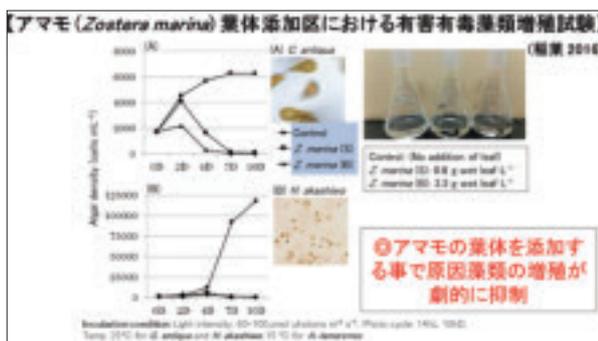


図 1.9

しっかり検証しなくてはという一層強い思いが生まれたことも覚えています。

こちらのスライドは八代海宮津湾のアマモ場における増殖抑制細菌の時間的変動を調査した時の結果ですが、アマモの葉っぱの表面から通常の海水中に存在する密度の 1,000 倍以上の密度の殺藻細菌が検出されました。たった 1 グラムのアマモに 5,000 万細胞以上の殺藻細菌が検出されたのです。またアマモ場の海水中からは、5 月から 8 月にかけてコンスタントにこれらの細菌が検出されているのもわかると思います。9 月末は出ていないのですが、これはこの時期にアマモが枯死し、ほとんど流出してしまったからと考えられます(図 1.10)。

次の研究結果はアマモ場の維持回復の活動を精力的に行っている岡山県日生町海域のアマモ場及び周辺海域にて、特定の殺藻細菌 3 種の分布をアマモ繁茂期の 6 月と衰退期の 9 月に調べたものですが、やはり前のスライドと同様に 6 月により高い密度で広範囲から検出されていることがわかります(図 1.11)。これらの結果は赤潮が頻繁に発生する梅雨の時期や夏季にアマモ場があることで HAB 原因種の増殖を抑制する細菌が周辺海水中に供給されるという可能性があるということがわかります。これらの研究結果は、アマモ場の衰退流出による、その場の増殖抑制細菌の生息基質の減少がこれら細菌の生息密度を低下させることを示しており、アマモの生活史を考慮した視点がとても重要である

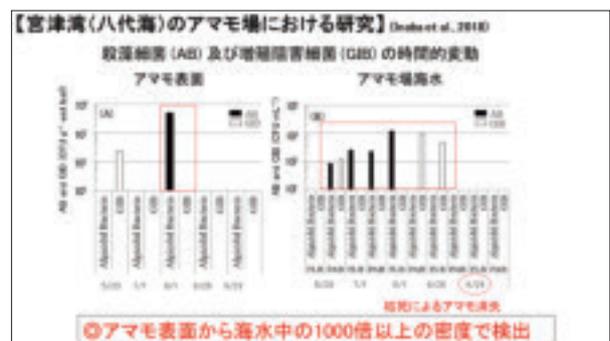


図 1.10

ことを教えてくれるわけです。

こちらのスライドはアメリカ合衆国ワシントン州に位置するピュージェット湾のアマモ場と藻場における増殖抑制細菌の分布をワシントン大学や米国海洋大気庁の研究チームと調査した時の研究結果になります。なぜいきなりアメリカが出てくるのかと思った方がいらっしゃるかもしれませんが、アメリカの沿岸域でも貝毒や赤潮は問題視されており、抑制・緩和する技術の確立が求められていますので、日本と状況はさほど変わらないわけです。しかもアマモ場や藻場の増殖抑制細菌の存在は日本初の発見ですので、この現象が他地域でも起こっているのかを確認する上でも重要な研究フィールドになったわけです。実際にこの調査からピュージェット湾の広範囲にわたるアマモ場や藻場に有害赤潮種 *Heterosigma* や麻痺性貝毒種 *Alexandrium* の増殖を抑制する細菌が分布していることや、特定のアマモ場にこれら細菌が多いということが初めてわかりました (図 1.12)。

これら細菌が高頻度で検出された、スライドの左側にあるアマモとコアマモで形成されるアメリカ最大のアマモ場があるパディラ湾、ピュージェット湾の海盆の一つでフィヨルドである右側のフードカナルは HAB の発生がほとんどない場所として経験的に知られていた海域です (図 1.13)。これらアマモ場から供給される膨大な量の HAB 原因種の増殖を抑制する細菌が、HAB 発生を未然に予防している可能性が高いことが、本研究で示されたわけです。

また当該海域で問題となっている 2 種類の HAB 原因種のシスト、シストとは植物の種のような細胞のことを指していますが、それらの分布も調べたところ、アマモ場の泥からシストは未検出だったにも関わらず、アマモ場が激しい嵐によって流出したウエスコット湾の底泥から *Heterosigma* のシストが検出されたことから、アマモ場が流出して以後戻らなかった場所は、HAB の抑制機能が低下するという可能性が高いことが考えられました (図 1.14)。

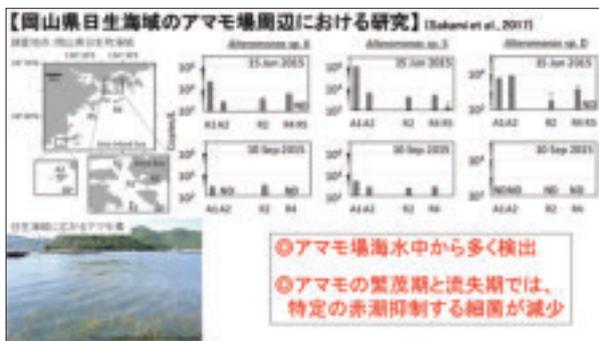


図 1.11



図 1.13

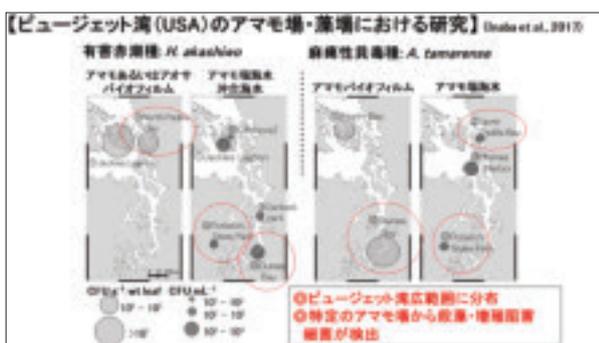


図 1.12



図 1.14

これまでの説明でアマモ場や藻場に HAB の原因藻類の増殖を抑制する細菌が多く分布していることや、密度が季節的に変化すること、そして本現象がある特定の地域だけの現象ではなく、世界的に共通の現象である可能性が高いことなどが、地道な研究によって裏付けされてきたことがおわかりいただけたかと思います。ただ、この時点ではアマモ場や藻場にこれらの細菌が多いということはわかったのですが、実際にどのくらい効果があるのかという疑問を持たれた方もいるかと思います。

こちらのスライドは微生物ループと生食連鎖を図示化したものになります。1980年代後半までは植物プランクトン・動物プランクトン・魚類といった従来の食物連鎖、ここでは生食連鎖と書いていますが、この経路しか知られていませんでした。これに植物プランクトンやその他の生物の死骸や糞などに由来する有機排出物が細菌によって利用されて原生動物に繋がるといった食物連鎖が存在し、この原生動物がさらに動物プランクトンに捕食されることによって生食連鎖に再度繋がっていくという、微生物ループという経路があることが解明されたのです(図 1.15)。この発見で、これまでわき役と考えられていた細菌を含む微生物が、実際に生産者としても主役に匹敵する役割を果たしていることがわかり、分解者としてだけでなく、生産者としての研究も盛んにされるようになりました。

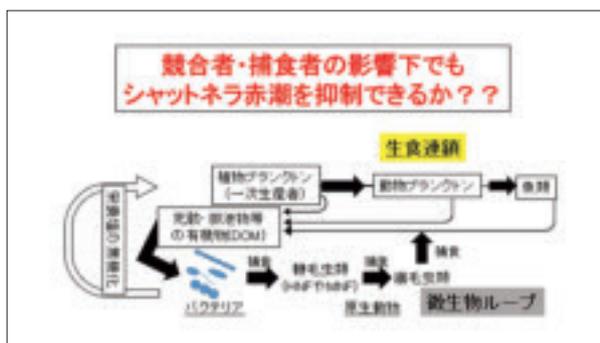


図 1.15

少し話がそれましたが、ここで焦点を当てている細菌も普段から食物連鎖の中で、食うか食われるかの関係の中で生活しており、捕食者が多い場合などは効果を発揮する前に捕食されてしまうことも考えられます。また競合者が多くいる場合は増殖を抑えられてしまうかもしれません。そこでアマモ場に生息する HAB の増殖を抑制する細菌の効果を検証するために、より自然環境に近い形の試験を繰り返し行い、効果を検証した結果を次のスライドで示しています。

こちらの結果は人工的に作成した Chattonella 赤潮にアマモ場の海水を添加した実験水槽中の微生物を 8 日間計測した結果を示しています。一番上のグラフは目合いが  $1\mu\text{m}$  のフィルターでろ過したアマモ場海水を添加した区の細菌区。中央は  $10\mu\text{m}$  の目合いのフィルターでろ過したアマモ場海水を添加した区、こちらは細菌及び細菌の捕食者を含む区です。一番下はろ過せずにそのままアマモ場海水を添加した区になります。この結果を見ていただくと  $1\mu$  の目合いのフィルターでろ過した区と全くろ過せずにそのままアマモ場海水を添加した区では Chattonella 赤潮が消滅しています。しかし  $10\mu\text{m}$  の目合いのフィルターでろ過した区では Chattonella は減少しませんでした。 $10\mu\text{m}$  の目合いのフィルターでろ過した区では細菌の捕食者である鞭毛虫類の増加とともに細菌数が減少したことから、Chattonella の増殖を抑制する細菌も同時に捕食され、Chattonella 密度が減少しなかったと考えられます。ただ細菌のみの区と細菌の捕食者もさらに高次の捕食者に消費される未ろ過区で Chattonella 赤潮が消滅したことから、捕食者や競合者がいる環境でもアマモ場海水が赤潮発生を抑制する可能性が高いことが示されました(図 1.16)。

これまでは主にアマモ場に生息する細菌の HAB 抑制効果についてお話ししてきました

が、こちらのスライドではアマモではなく、海藻に付着する同様の効果を発揮する細菌についてもご紹介したいと思います。スライドの上に左からマコンブ・ウミトラノオ・ピリヒバ・アナオサの写真がありますが、これら4種の海藻の表面に生息する殺藻細菌の密度を調査した結果が当該スライドになります。これを見ても8月でマコンブ以外の3種の海藻から多くの殺藻細菌が検出され、調査期間中には全海藻類から HAB 種を含む食物プランクトンの増殖を抑制する細菌が検出されました (図 1.17)。これらの結果はアマモだけではなく海藻にも HAB を抑制する効果がある可能性を示しています。

こちらは先ほどのスライドで殺藻細菌が多く検出されたアオサの遊走子を用いて人工的に造成したアオサ場における HAB の増殖抑制細菌の分布を調査した結果になります。左の写真のようにアオサの遊走子の放出を促進した海水に付着担体として軽石を、写真中央のバスケット

にこのように入れて、天然の海面に人工的なアオサ場をつくり、調査を行いました。これらの調査から人工的に造成したアオサ場からも、複数種の HAB の増殖を抑制する細菌が検出され、生息場として利用されているということがわかりました (図 1.18)。

これらの結果により将来的に実際に海藻の生えていない場所にも人工的な藻場を造成することで赤潮や貝毒の発生予防を念頭に入れた環境フレンドリーな整備手法の構築が現実味を帯びてきたと言えるかもしれません。アマモ場や藻場は海のゆりかごと呼ばれ、様々な魚介類の産卵場であり、仔稚魚期の生息場・餌場として機能していることが知られています (図 1.19)。また近年ではアマモ場や藻場が大気中で増加する二酸化炭素の固定の場としての機能が低いことも報告されており、温暖化を緩和するためにも重要な生物として注目を集めています。そして今回の話ではアマモ場や藻場が HAB の抑制場として機能している可能性についても紹介さ

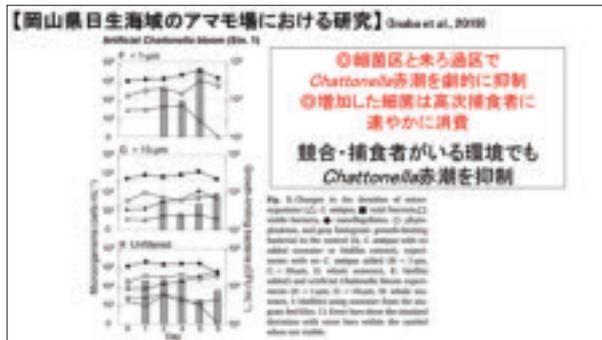


図 1.16



図 1.18

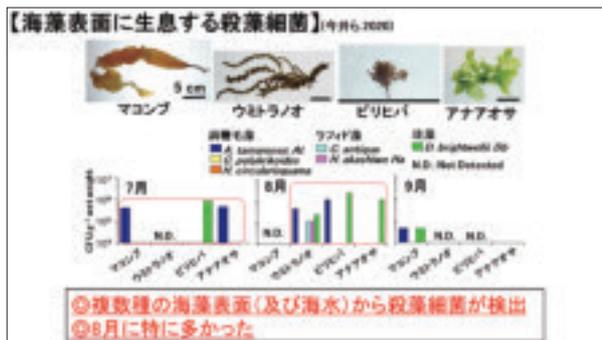


図 1.17

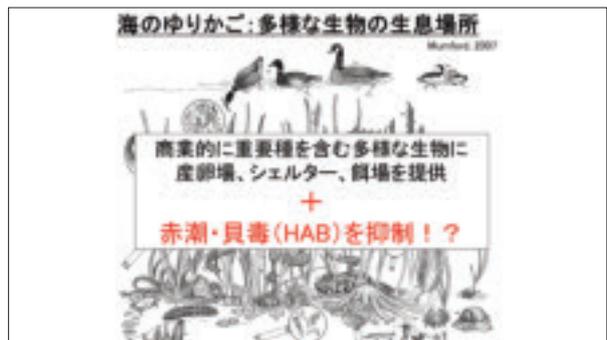


図 1.19

せていただきました。

このように海の生物や環境にとって、また我々人間にとっても重要と考えられるアマモ場や藻場ですが、ここ数十年の間に地球規模で減少していることも報告されています。また沿岸海域の HAB の発生頻度の増加がアマモ場や藻場の減少時期と一致することも世界中で指摘されていることから、人間活動の拡大による海の環境の変化が本来あるべき機能を低下させて、赤潮や貝毒など HAB の発生を促進しているとも考えられます。これらを総括しますと、今後は藻場やアマモ場の保全や保護などの健全な沿岸生態系を回復するための一層の取り組みやアマモ場や藻場の HAB 発生抑制機能を応用したより実践的な手法や技術の確立が将来的な地球温暖化の影響の緩和や安全・安心で持続可能な

水産物の供給に繋がり、我が国の水産資源の維持・回復・増大に寄与すると考えられます (図 1.20)。

本日は長い間、本セミナーにお付き合いいただき、誠にありがとうございます。本セミナーでご紹介させていただいた内容は、北海道大学・京都大学・水産研究教育機構・ワシントン大学・米国大気海洋局らの研究チームと協力して実施した研究でございます。もし論文が欲しい場合や発表内容に関する相談等がございましたら、寒地土木研究所水産土木チームの稲葉までお気軽にご連絡いただければと思います (図 1.21)。

それではこれにて発表を終わりとさせていただきます。

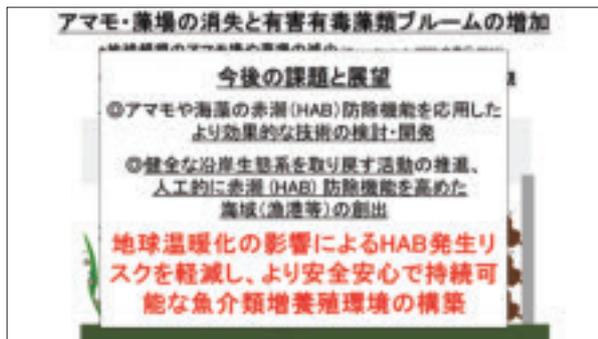


図 1.20



図 1.21

## 第 2 回 「北極海航路の現状と動向」



北海道大学 北極域研究センター  
教授  
森木 亮 氏

ご紹介いただきました北海道大学 森木でございます。皆様、北極海航路についてはかなりの下情報をお持ちだと思いますので、なるべくオンラインの会議等で最近得た情報とかも最後

の方に混ぜて行って、皆様にも新しい情報をお伝えできればと思っているところでございます。それではよろしくお願ひ致します。

今日は「北極海航路の現状と動向」ということで話させていただきます (図 2.1)。この背景になっているのは、苫小牧港に 2019 年に入った北極海航路を実際に走ってきた船でございます。皆様の中には直にご覧になった方もいらっしゃるかと思います。

大変ベーシックなところからやりますが、こ

ここで言う北極海航路とは何かということですが、北極海を渡って大西洋と太平洋をつなぐルートのうち、ロシア沿岸を通るものとカナダ沿岸を通るものがございますけれども、今回言うのはロシア沿岸を使う方のルートです。ここを利用すると欧州～アジアの海上輸送距離を今回は SCR と略称しますが、スタンダードなスエズ運河経由より3～4割短縮できるということがございます。また現在、ソマリア海峡、また昔からですがマ・シ海峡（マラッカ・シンガポール海峡）には、実際に海賊の被害が出ます。こういうものを避けるということが出来ます（図2.2）。あるいは中東で紛争が起きるとスエズ運河なども注目されることがあるので、そういうものを避ける代替ルートとしても期待される部分があるということがございます。こちらは北極航路の全容でございます。ポイントということで中東とマ・シ海峡に潜在的な危険というものがございます（図2.3）。

今日の発表の構成ですが、まず NSR が注目

される背景は何か、そして利用の現況はどうか、そして皆様ご案内の部分もあろうと思いますが欧州～北海道間のコンテナ試験輸送についてお話しします。それから今後の動向と致しまして、北極に関係する各国の北極の政策が今どうなっているかという話、これが日本とどう関係しているかという話と、そもそも NSR の現時点における優位性というのはどのようなものになっているのか、北海道がその NSR の中でどういう立場をとっていけば良いのかという展望、ここはいささか考察が入りますけれども、そういうものについてお話していきたいと思えます（図2.4）。

まず背景の一つとしては、やはりグローバルな環境の変化、平たく言ってしまうと地球温暖化が影響しています。特に北極域においては全球平均の2～3倍に及ぶということで、変化が著しいということがございます。これは短期間で終わるものではなくて、気候とか環境システムが長期にわたる変化を行います。今何が起って



図 2.1

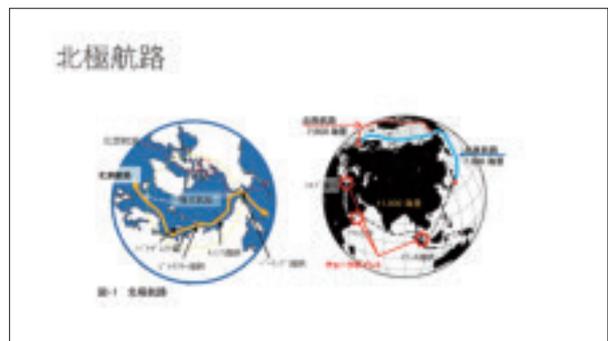


図 2.3



図 2.2

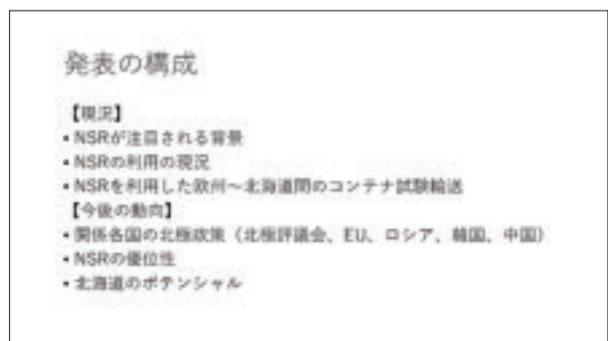


図 2.4

いるかという、北極海陸域では陸水の融解、これによって地盤が緩んで建物が倒壊するということも起きています。降水量は増大し、海域においては今回一番関係がある海水の消退が特に夏に著しいです。あるいは淡水流入の増加で酸性化してきます。当然、陸水が溶けるのでいささか海面が上がってくるというような変化が起きます。この変化はわが国が位置する中緯度にも影響してきます。代表的には、魚種によって生息場所がシフトしてしまっで獲れなくなってしまうというような、水産資源を含む生態系への影響があります。北極海航路が利用できるようになるというのも一つの影響と言えると思います（図 2.5）。

今の通航状況がどうなっているかと言うと、海水は長期的に減少傾向です。特に夏季の海水面積の減少が顕著になっています。夏季、9月、10月頃においては今言っている NSR においては、ほぼ氷に会うことなく通航できるという状況が今起こっています。多年氷、夏になっても溶けない氷というのは減ってきています。温暖化の影響を 2%シナリオとか 1.5%シナリオとかで見積もっていますが、大きく見積もるといわず北極海が 1 年氷だけ、要するにその年のうちには溶けてしまうという氷しかない海域になる可能性も示唆されています。近年の NSR においては夏季の 1.5~2 カ月程度は無氷になっているということです。砕氷船のエスコートは要らないということです。こういう海水消退と

いうのは、船舶の航行難易度を緩和するとともに、航行可能期間が長くなるということで、NSR の海運上の価値が高くなってきているということがあります（図 2.6）。

もう一つ、現在 NSR の通航量が増えているというのはロシアが北極域についてエネルギー資源開発を大々的にやっているということもあります。NSR の貨物量の増大のほとんどが北極海沿岸から積み出される LNG 及び原油輸送になっています。ロシアではカラ海沿岸から LNG 及び原油の通年での積出しと海上輸送を拡大しています。これは「Yamal LNG Project」という名前でヤマル半島の方から出てきています。特に欧州側の輸送については冬季も行っているということです。通年輸送を彼らはやっているわけです。オビ湾沿岸でも、これは一部日本資本も入るといことになりましたが、新たな LNG 生産拠点「Arctic LNG II」ということで開発中です。予定では 2023 年に生産開始ということになっております（図 2.7）。

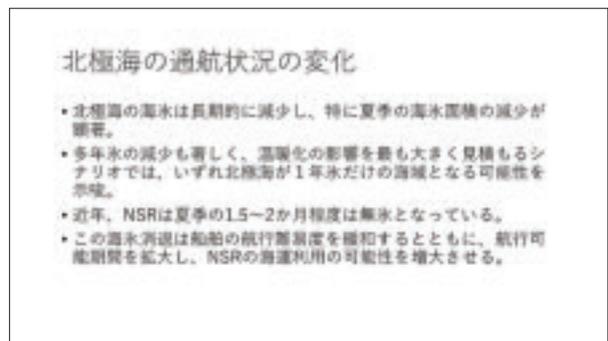


図 2.6

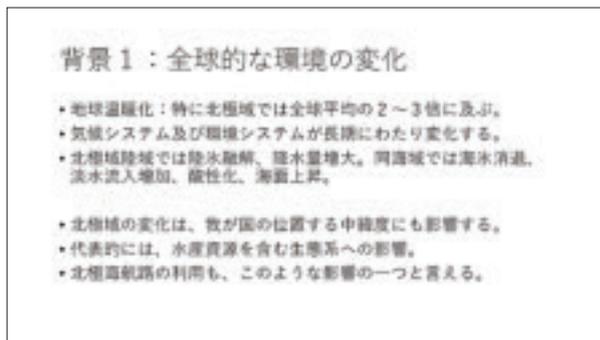


図 2.5

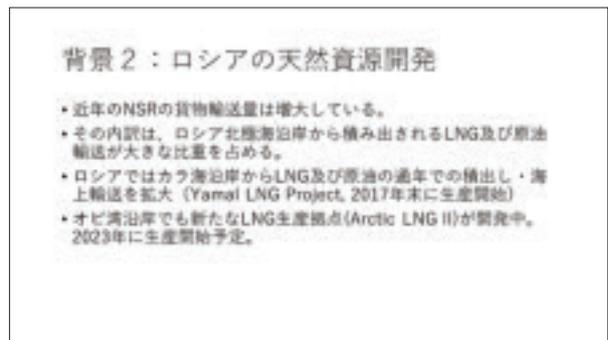


図 2.7

現在の輸送量でございますけれども、緑色のバーが全貨物量ということで2018年からぐっと伸びております。これは2017年末に Yamal LNG が生産開始をしたということで、そこから出てくる LNG タンカーがかなり入っていると。トランジット輸送、これは欧州からアジアまでトランジット、途中寄港することなく、NSR を通航路として抜ける輸送でございます。これは気候の変化あるいは船舶燃料の高騰というのが2010年代初めにあって、そういうものから注目されて2013年頃まで増えていたのですが、燃料価格の低下あるいはそれまで輸送していた貨物について需要がなくなってくるということが起きて一旦なくなってしまいます。その後、後でも述べますけれども、中国船社 COSCO が北極圏における輸送に積極的に参加してきたということで、現在はトランジットの貨物も増加に転じています。全体の量に比べれば少ない量ですが増加しています。COSCO は風車設備、木材、飼料といったものを貨物船で輸送しています。バルクもあれば貨物もあるわけです (図 2.8)。一部はこれも後で述べますが、日本にも COSCO の NSR 航行船舶は寄港しております。

ここからは寒地港湾さんも入っておられる JAXA との共同研究での調べについてです。こちらは船種ごとになります。大雑把ですが、青のひし形が貨物船系、全部入ってしまして、ジェネラルカーゴもコンテナもタンカーも入っ



図 2.8

ています。やはりこれが増えているということです。灰色の三角のヘビーカーゴというのは LNG 基地の資材の運搬で使われていて、2016年頃がピークだったので増えていましたが、今はあまり隻数がありません。クルーズ船、北極圏クルーズというのも一つ研究のテーマにしておられる先生もいてホットな分野だったのですが、とりあえずこの NSR の区域ではこの期間中は1~4航行で横ばいです。2020年はなくなるかと思ったら1航行だけ残っていましたが (図 2.9)。コロナウィルスがある間のクルーズは厳しいのかなという感じがしています。ただしポテンシャルがある部門であることは確かなようです。

トランジット通航の回数ですけれども、青色がトランジットの航行になっています。要するに寄港せずにアジア~欧州をつなぐ航行です。緩やかに増加しています。船籍別に見てみると、ロシアが自分のところを通って運ぼうというのが多いのですけれども、あとは外国籍船でポルトガル、マーシャル、中国、香港です。中国と香港は COSCO の船が入っております。そういったところの船がここを通航しているということでございます (図 2.10)。

日本への寄港でございますけれども、これが2012年頃から直近2020年まで細々とではございますけれども寄港している船があります。北海道につきましては2017年以降、釧路港と苫小牧港に寄港して貨物を荷揚げしています。荷



図 2.9

は家畜飼料と 2019 年にはコンテナが 20 本ぐら  
い上がりました。40TEU 上がっています (図  
2.11)。

NSR 航行貨物船の日本における仕出港と仕  
向港を地図上に落とすとこうなります。新潟と  
か坂出については積出になっておりますが、ほ  
とんどが仕向地ということになります。LNG  
が上がっている例が多いです。あとは飼料関係  
をヨーロッパから持ってきている。今回に関し  
ては建築用の木材を運んだということになって  
おります (図 2.12)。

こちらはそのコンテナの試験輸送でございま  
す。2019 年夏に皆さんご案内の方もいらっ  
しゃると思いますけれども、COSCO の子会社  
である Specialized Carriers ということ、コ  
ンテナも一般貨物も両方使える船、重量物船を  
持っている、そういう特殊船を持っている会社  
になります。ここが木材チップをフィンランド  
から中国へ輸送するアイスクラス、氷海を航行  
可能な貨物船を利用して、そのオンデッキと

あとは船倉の中に 40 フィートコンテナを積ん  
だということでございます。中身は住宅建築用  
の木材が入っていると。国際輸送のコンテナ輸  
送としては 2 例目ということでございます。以  
前、ロシアの原子力貨物船がムルマンスクとカ  
ムチャッカ半島間を輸送した例があります。コ  
ンテナの中には温湿度計や衝撃計を装着し、貨  
物環境を計測しているということございま  
す (図 2.13)。

こちらは 9 月 13 日にヘルシンキ港を出港、  
24 日に NSR に進入、10 月 1 日にベーリング海  
を抜けて、苫小牧港には 10 月 9 日に入港しま  
した。NSR 横断に 8 日間、全行程 27 日とい  
うことで、南回りに比べてかなり早い日程で入  
ってきているということになります。こちらの真  
ん中が海水の面積でございますが、この間、今  
回については海水がかなり、ロシア沿岸につ  
いてはほとんどありません (図 2.14)。衛星で  
見る限りなし、海面から見ても海水に会うこ  
とはなく、12.2kn というのでかなり快調なス



図 2.10



図 2.12

NSR航行貨物船の日本への寄港

2017年～2020年上期の寄港、及中継地、寄港し、貨物積出港上、向は家畜飼料、コンテナ (中継地)

船名	船種	寄港地	中継地	積出港	積込港
2017	Blue Sea 40,000GT	ロシア沿岸	フィンランド	LNG	ロシア
2017	Prospect 17,750GT	フィンランド	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2017	SEF Nereus 41,000GT	フィンランド	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2017	Reda Aurora 33,000GT	フィンランド	ロシア沿岸	LNG	ロシア
2017	Phoen Bay 32,000GT	ロシア沿岸	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2018	Tan Yu 37,240GT	フィンランド	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2018	Ocean Prince 30,840GT	ロシア沿岸	ロシア	ロシア	ロシア
2018	Tan Yu 37,240GT	フィンランド	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2018	Wang 33,000GT	ロシア沿岸	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2018	Wu 25,120GT	ロシア沿岸	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2018	Reda Aurora 33,000GT	フィンランド	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2018	Wang 33,000GT	ロシア沿岸	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2018	Tan Yu 37,240GT	フィンランド	ロシア沿岸	ロシア	ロシア
2018	Prospect 17,750GT	ロシア沿岸	ロシア沿岸	LNG	ロシア
2018	Edwin Tai 36,800GT	ロシア沿岸	ロシア沿岸	LNG	ロシア
2018	Tan Yu 37,240GT	フィンランド	ロシア沿岸	ロシア	ロシア

図 2.11

NSRを利用した欧州～北海道間のコンテナ試験輸送

- 2019年夏、フィンランドの船舶管理会社、COSCO Shipping Specialized Carriers Co., Ltd.がフィンランドから中国へ輸送するアイスクラス貨物船を利用して、フィンランドと日本間の第一回欧州～北海道間の試験輸送を実施した。
- 試験輸送としては2019年、同船、ロシア沿岸の貨物船がペトロブロフスク・カムチャツカ半島間を航行し、ロシア沿岸の試験輸送を実施している。
- コンテナ試験輸送は、うち20個をオンデッキ、20個を船倉内に積み込んで、オンデッキ試験輸送、船倉内コンテナ試験輸送の両方を実施し、船倉内試験輸送の試験結果を計測した。(注文)

Ship name	Tianjin
Ship type	Multi purpose, general cargo
Tonnage	26,787 GT, 37,115 DWT
Dimension	104,389 95m, Breadth 28.5m, Draft 21.0m, BuR 2008
Speed	14.8kn, 17.1 (100%)(kn dead) ice class Arc4-PS(A)

図 2.13

ピードでここを突破しました。速達性において有利であるということが示されたということでございます。

ここまでが日本の関係で、ここからが北極に関して各国はどういうことを考えているのかということを紹介させていただきます。

北極評議会とって、北極に関する多国間の政策調整を行う場があります（図 2.15）。ここで取り組む課題になっているのが、全球に広がる環境変化というのが北極海に非常に大きく影響しているということです。北極評議会というのは参加国のクラス分けがありまして、北極に面している 8 カ国というのが議決権を持っています。日本を含めたオブザーバー国がそこに協力する協賛会員みたいな形で入っているということです。議論の内容は利用と環境保全の両立ということで、海運のような利用についても考えていきます。グローバルな変化の緩和策を講じるだけではなくて、避けられない変化として行っているのだから、それによって資源開発、

海運利用機会が出てくるのであれば、それも利用していこうという立場で取り組んでいるということでございます。

皆さん、ご存知の方もいらっしゃると思いますが、北極評議会とは何かということでございます。こちらは 1996 年オタワ宣言に基づき、基本的に北極圏の 8 カ国によって設置されました。持続可能な開発と環境保護といった共通の課題を扱うこととなります。軍事・安全保障、これは大きな問題なのですが、これはここでは扱いません。收拾がつかないものはここでは扱わないということです。メンバー国はこちらの 8 カ国、実際に面している国ということになります。常時参加者ということで先住民団体、これも非常に大きな問題ということになっておりますので、彼らの保護ということも問題になっていきますので、彼らの代表が入っています。オブザーバーということで日本を含めた国が入っています。日本は 2013 年にオブザーバー資格が承認されましたということでございます（図 2.16）。

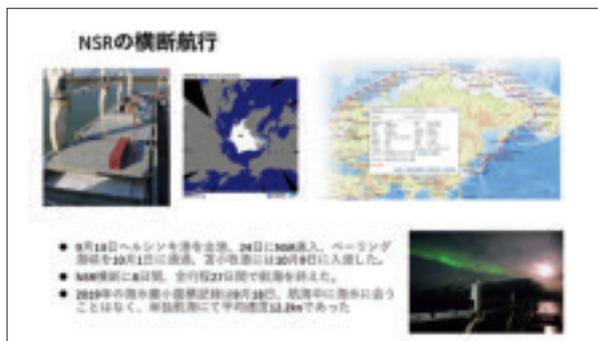


図 2.14

また、EU の国も評議会に入っているのですが、EU 自体も自分の方針というものを持っています。EU の現在の北極圏の政策面ですけれども、その 3 番目に北極海の持続可能な発展というのが入っております（図 2.17）。海運として使用するのも、持続可能な範囲で利用できるなら、ちゃんとそれも利用していきたいと。均衡のとれた総合的な持続可能な発

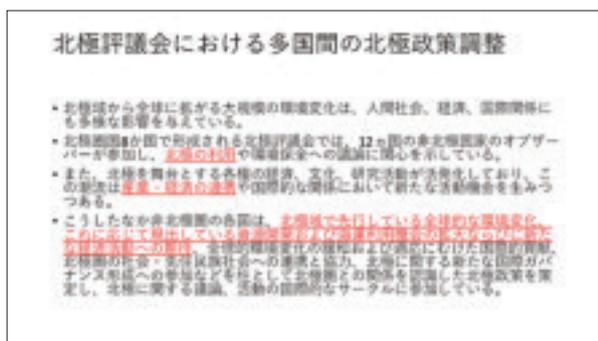


図 2.15

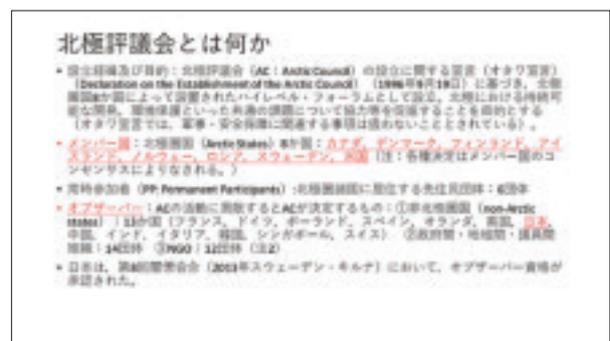


図 2.16

展、あくまで気候変化や環境が大事ですけども、それを持続可能な形であれば利用もちゃんと進めて行きましょうという姿勢をとっています。

ロシアがより積極的な立場です。これも後で詳細を述べますが、新たにインフラです。インフラというのは整備体制の更新、例えばアイスクラスの氷海航行が可能なコンテナ船を導入して、コンテナ輸送計画を立てようというものをご発表して進めております。一方でここは一応国連海洋法条約で、北極については環境保護のために沿岸国はより規制を他の国に及ぼすことができるということを利用して、いろいろと通れる船の要件などを定めているのですが、そういうものを使いやすくするという改善はあまりしてなくて、どちらかと言うと自分でサービスを行って皆さんにサービスを提供しますという方向なのかなという懸念も少し感じられます。現在の北極政策は2035年までということですが、この中には当然北海

道航路の発展というものも入っています。2021年5月、今年5月からは北極評議会の議長ともなるということがございます（図2.18）。

こちらがロシアのある経営者が打ち出しているNSRの貨物予測でございます。ロシアの北極域の開発についてはロスアトム社、もともとは原子力関係の会社ですけども、ここが北極海航路の開発については大きな権限を与えられています。2019年12月の国際会議で示した目標は、2024年には8,000万トンです。まだ3,000万トンくらいなのですが、これが8,000万トンになりますという目標を示していました。こちらの予測ではこれを超えて、最大では2030年くらいには1億3,000万トンくらいになるというような、基本的に今考えられているプロジェクトが全部実施されればこういう予測になりますという、非常に野心的な予測を行っております（図2.19）。当然これは政府も関係しているところですが、政府も含めて非常に野心的な予想を立てて、それに向かっていくために政策を行っているということでございます。

開発計画でございます。ロシア船社が通年のコンテナサービスを提供するというので、何をやるかと言うと、東西のハブ港をつくります。西の方はムルマンスクあたり、東の方はカムチャッカ半島あるいはウラジオストクあるいはサハリンあたりに、仮の丸を付けています（図2.20）。そこからフィーダーサービスを出す。



図 2.17

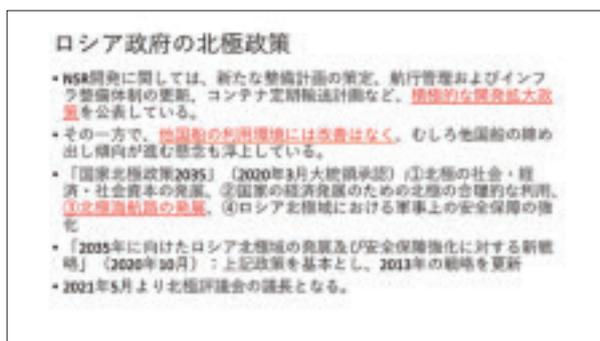


図 2.18

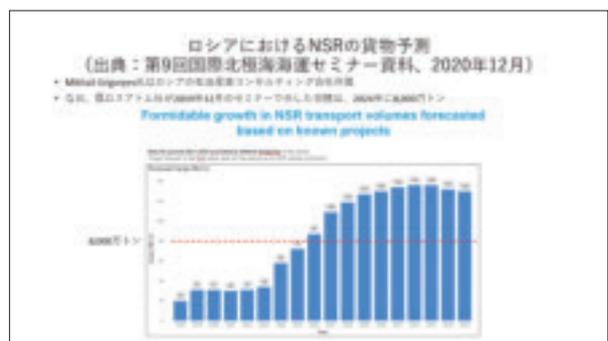


図 2.19

このハブの間はアイスクラスのコンテナ船でつなぐ。そういう航行情報サービス、どこで氷が出たとか、そういう情報サービスもリアルに一層充実させようということ考えているということでございます。

こちらがそのタイムラインでございます。まず2024年前後あたりまでに物流インフラの整備、2024年～26年ぐらいで試験操業を始めて、2026年以降にはフルスケールのオペレーション。物流インフラとは何かと言うと、先程の西と東のハブ港を整備します。フェーズ1とフェーズ2ということで段階的整備をやっていきます。フリートということで、先程のアイスクラス、氷海航行可能なコンテナ船体造っていきましょうという話です。そして2022年くらいまでに設計を終えて2023年くらいには試験船を造る。2024年以降くらいにはメインのフリートを造っていくということを考えているとのこと。これが2020年7月時点のネットでしたけれども、国際会議でこういうことを発表しております(図2.21)。

こちらは一つ時が先に行きまして、2020年末12月にまた国際会議があったのですけれども、その場でより数字を整えてきてロシア政府が出して参りました(図2.22)。先程は2026年プラスでしたけれども、2035年までにNSRのインフラを充実させるとしています。ステージ1としては2019～2024年に西側部分、先程ムルマンスク辺りに丸がしてありましたね。あそこの

整備を加速させます。ステージ2は、全域で通年運用、要するに冬になっても休まないような運用を2030年くらいまでに達成しようとしています。ステージ3、2035年までには競争力、南回りに比べても競争力があるようなサービスを確立しようじゃないかという野心的な話であります。2020年9月18日にはこれに関してNSR通航船舶に対する要件についての連邦政令を改正しているということも行っています。

こちらは英語ですけれども、先程概要を述べたことが発表されたものの原文になります(図2.23)。

航路啓開のための原子力砕氷船というのも6隻を2020年から27年に順次就航させていこうということ。一番初めの Arktika という船は2020年に既に就航しているということ。ございまして、原子力砕氷船は現在もあるのですけれども追加でこのように投入していこうということをやっています(図2.24)。これが冬にはエスコートして氷を割っていくということ



図 2.21

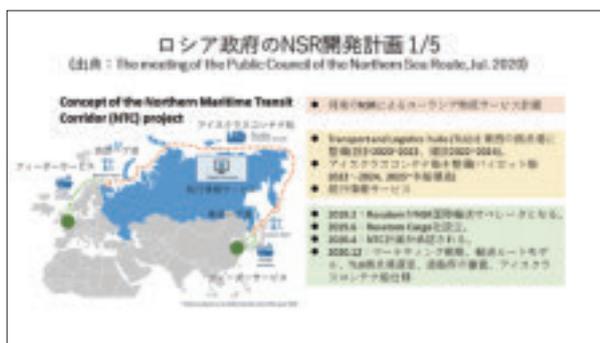


図 2.20

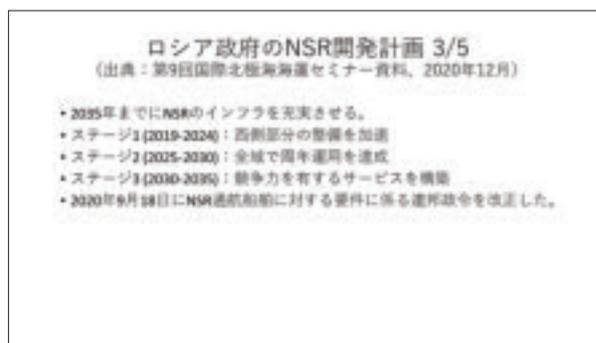


図 2.22

になります。

以上がロシアですが、次に韓国はどうやっているかということをご紹介します。

韓国というのは北極に関しては割とニューカマーです。1990年代から入りました。90年代はまず基本的な調査から入っています。2002年には観測ステーションを設置しました。2009年には砕氷観測船、日本で言えば南極で使っているような観測船、これを北極・南極両方で運用しています。2013年には日中と同時に北極評議会のオブザーバーとなって、ある意味で追いついてきたということをご紹介します。同時2013年には北極に関する基本政策を出しています。あと海運にも興味を持っていて、2017年には韓国の船主協会が北極経済評議会、先程の北極評議会とはまた違いますけれども、経済団体、これに加盟したということをご紹介します。現在の「Arctic Policy Master Plan」は先ほどのものの2代目になりますけれども、改訂版では当然海運、物流、エネルギーに関して、

北極圏国と協力してやっていくというようなことを言っています（図 2.25）。経済活動については北極の経済活動への参加を誘導していくということで、これは直接というよりは間接的でご紹介しますけれども、北極海の活動に嚙んでいこうということです。はじめは科学研究から始めたのですが、経済活動にも嚙んでいこうという姿勢を明確にしております。

こちらは韓国船社が NSR で運航した船、あるいは韓国に寄港した NSR の船ですが、数としてはそんなに多くはないです。日本もあまり多くはないのですが、それに比べてもあまり多くはないという状況です（図 2.26）。これは先ほどにも関連しますが、釜山港において NSR を通ってきた船にどのようなサービスをしたかということがここに書いてあります（図 2.27）。

最後に中国です。中国に関しても北極海政策として大きな文書は公表していないということですが、基本的にオブザーバー国という



図 2.23

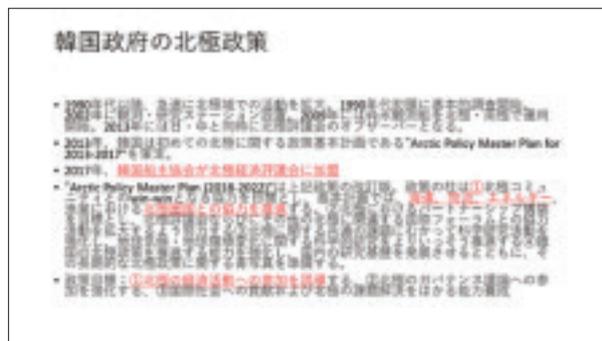


図 2.25



図 2.24



図 2.26



これだけロシアがかなり力を入れているのですけれども、先程申し上げたようにトランジット航行の増え方は緩やかです。その辺り何が優位で何が優位でないか、要するにどこを狙ってNSRが使われていく可能性があるのかということをご整理します（図 2.32）。優位な条件として海氷の消退というのは、当然温暖化は簡単に止まらないことでもありますので、海氷の消退は当面継続します。ただし冬季に砕氷船が必要な状況というのはすぐには変わらないだろうと思います。ただ砕氷船のチャーターが一番のコストになりますが、これ自体はループルが現在安くて、それもしばらくは続くだろうということで、チャーターコストというのは下がっていくのかなと。メリットであった船舶燃料が節約できるという効果は燃料の値段が下がると低下してしまう。距離短縮による節約効果は下がっていると。砕氷船のコストは相対的に下がっていたメリットを相殺してしまう。また今後、北極圏の環境保護のために燃料規制、要するに重油は使わない、軽油のような白油を使え、というような規制が今一部で導入されつつあるので、これがあるとどうしても高くなってしまいうので、コスト増ということもあり得るのかなと。もう一つデメリットを言っておくと、先程も少し言いましたけれども、海峡によっては最小航路水深があるところがあって、そこではどうしてもスエズ周りより浅くなってしまいうので、そうするとコンテナ船系が制限されて、要するに

メガキャリアというものが使えない。こうなるとスケールメリットではなくて、貨物単位当たりの値段が高くなってしまいます。以上からNSRが単純にコストでスエズ運河周りに優位性を持つことというのは当面想定できません。一般貨物の通年輸送が現実性を持って物理的にできて、実際にそっちを使ってみようというのが出てくるのは、まだしばらく先であろうと思います。もっと大幅に海面が溶けてしまうというような時にはならないとできないなど。ただし、航行期間の拡大というのは確実になっております。輸送サービスとしての魅力は年々向上するとともに、輸送コストもだんだん氷の条件が緩やかになってくるので、これはどちらも年とともに改善する可能性はこれから先あるということでございます。

ロシアは一般の事業で砕氷船を多量に建造するということはとてもじゃないけれどもできないのですけれども、そこをロシア政府が政府の負担で氷海コンテナ建造船とか砕氷船などを、インフラ整備コストを負ってでも国家プロジェクトとしてやっていこうとしています。それによってロシア船社による通年コンテナ輸送サービスを実現したいと言っていますので、どこまで彼らが負担するかによりますけれども、これによって他の国が利用できるようなサービスが提供される可能性はあるということでございます（図 2.33）。一方、全面的に利用できるということは考えにくくて、ニッチなところで利用

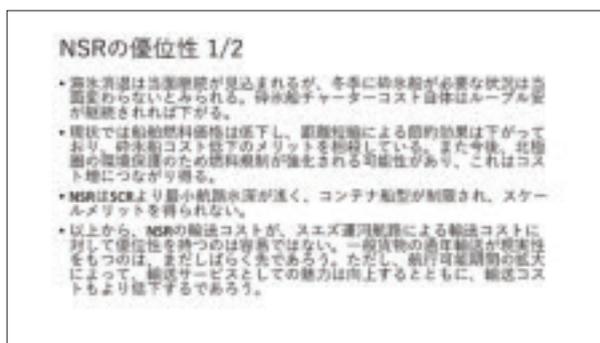


図 2.32

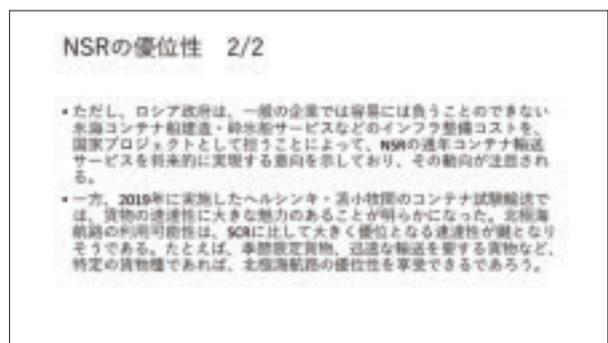


図 2.33

されるというモデルの方が大きいと。先程言いましたように、南回りだと40日近く掛かってしまうというのが標準ですけれども、先程申しましたように29日、30日以下で到達できることもあるので、速達性の必要な貨物については有利であるということがあるので、全部の貨物ではなくても、季節限定とか、迅速な輸送を利用する貨物等のニッチな貨物種に対して、北極海航路の優位性を享受する形でサービスを提供するということが、今の段階でもあり得るし、これから先それがより良くなるという可能性があるというところが、一つの突破点なのかなと考えております。

こういう状況下で北海道のポテンシャルはどうかということですが、北海道は北極海航路からアジアに向かう際に、最初に出会う経済地域かつ物流拠点であるという地理的優位性を持っていて、北極海航路戦略の重要な拠点

となりえます。これまでの実績では、欧州発、北海道向けのバルク貨物(家畜飼料)が商業ベースで輸送されており、2020年10月にも家畜飼料が釧路港に荷揚げされています。これは先程のコンテナの実験ではなくて商業ベースで一部の貨物は成り立っているということです。ただし、これは不定期で入ってきているものですから、今後、安定的に活用するには、より大きな安定した貨物需要というのが必要です。当然それは北海道の中だけで大きく安定した貨物というのは見つからないので、やはりより大きな地域から潜在的な需要を見つけると。それも同じパイの奪い合いだとなかなか競争が激しくなってしまうので、既存の貨物シフトではなくて、新たな産業を生み出して、新たな需要貨物を見つけないというのが、事業化していくための一つの道なのかと考えております(図2.34)。

以上、ご清聴ありがとうございました。

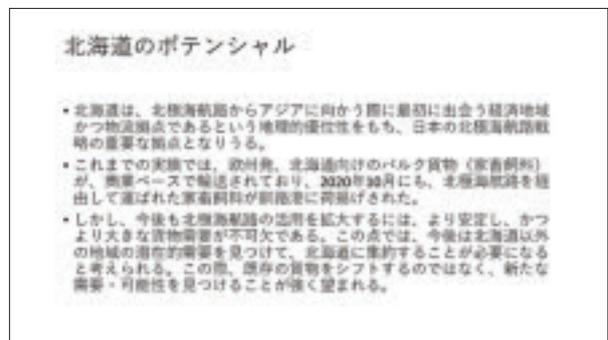


図 2.34



北海道大学 北極域研究センター  
教授 森木 亮氏