

北極氷融解とロシア北方航路NSRの商業航路への期待

海事研究家、工学博士
大阪大学・神戸大学(非常勤講師)
野澤和男

はじめに

- § 1. 地球温暖化と北極海氷の融解
- § 2. NSRの経緯
- § 3. 北極海航路NSRの現状
- § 4. 北極海航路NSRの実用化の課題
- § 5. NSR航行船舶の砕氷性能

砕氷船に先導された耐氷商船

NSR Shipは遙々、ノルウェーから 我々の近くまで来ていた！

13万4千5百m³LNG船

2012年11月7日ノルウェー

ハンメルフェスト出発 → 北九州

東京 2012 12/6 7刊 産経 厚月

北極海航路で初 LNG輸送成功

日本向けにロシア企業

【ウラジオストク＝共同】ロシア政府系天然ガス独占企業ガスパロムは五日、北極海航路を利用した液化天然

市戸畑区の受け入れターミナルに到着した。



地球温暖化による海氷減少に伴う同航路の活用に向けて弾みがつきそうだ。
タンカーは約十三万四千五百立方メートルのガスを積載し、十一月七日にノルウェー北部ハンメルフェストを出発。

原子力砕氷船も伴走しながら、バレンツ海、カラ海、ベーリング海峡などを経由し日本に到着した。

ロシアの北極圏ではヤマル半島などで大規模なガス田開発計画があり、同社は「今回の成功は、北極海航路を利用したアジア太平洋地域や欧州市場へのロシアのLNG供給を可能にするものだ」と成果を強調した。

同社などによると、北欧から北東アジアに輸送する場合、北極海航路を使えばエジプト

のスエズ運河を経由するルートに比べて距離換算で約40%、日数換算で約二十日の短縮が可能となる。

今回の航海では、前半のバレンツ海やカラ海でほとんど海水がななく、その後、ベーリング海峡にかけて最大で厚さ三十センチの海水に遭遇したという。

輸送されたLNGは九州電力が火力発電所用の燃料として購入した。



ノルウェーから日本に向けて北極海を航行するLNGタンカー「ガスパロム」提供・時事

歴史的背景 (次頁参照) : 1973年10月第4次中東戦争が引き金となった石油価格の大幅な引き上げは第1次オイルショック、さらに第2次オイルショック(1979年)へと発展した。この事件は世界経済に大打撃を与えた。就中、中東に原油の殆どを依存していた日本では安定供給を揺るがす未曾有の出来事となった。丁度その頃、1969年米国アラスカ・ノーススロープでのオイル発見を契機にカナダ・アメリカ北極圏に膨大な量のオイル、LNG資源が埋蔵されている事が確認され、開発・輸送研究が進められていた。有名な「Manhattan号の実験航海」はこの時期に行われた。北極圏の資源開発・氷海輸送が喫緊の世界的関心事となり、氷海関連の工学的興味を急激に高揚させた。

造船国日本ではVLCC級大型砕氷タンカーを建造し北極海の分厚い氷を砕きベーリング海峡を抜けて資源を輸入するという壮大な計画が立てられた。カナダとの氷海開発プロジェクトが開始され、砕氷商船の引き合いも到来、産学官の氷海関連研究や視察が進められ盛況を極めた。筆者はその渦中の一人として砕氷船舶や氷海構造物の開発設計に重要な砕氷抵抗や氷荷重の研究に携わった。^{注)}

その後、幸いにもオイルショックは収束したが技術者が夢に抱いた巨大砕氷タンカーは建造される機会がなく21世紀を迎えた。エネルギー節減、環境重視、多様化と時代は移り、氷海ブームの活況は薄れたがエネルギー問題が解決した訳でもなく氷海工学関連の課題は尽きることはない。時代は新しい課題を生む。その一つが1990年代に始められたロシア北極圏航路NSR(Northern Sea Route)の国際利用研究(INSROP)であった。船舶航路の短縮に係わるこの課題は地球温暖化の進行が追い風となり実用化に向かって今、加速されている。本講演の課題、「北極氷融解とロシア北方航路NSRの商業航路への期待」はこのような歴史的経緯の延長線上にある。

^{注)} 筆者の氷海工学の研究の動機は上述の歴史的背景にあり、「氷海工学」(2006、成山堂出版社)の出版につながる。氷海関連知識、砕氷抵抗、砕氷船、NSRなどが既述。ハングル訳は2010年にソウルで出版。

氷海工学との出会い

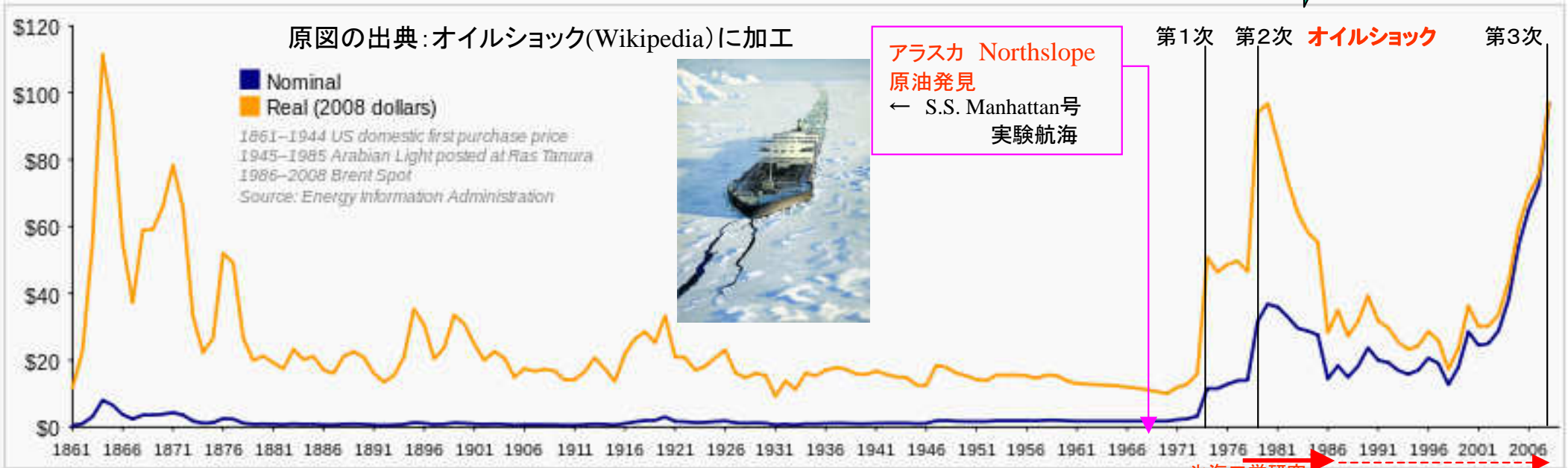
1. 第1次、第2次オイルショック
2. 北極海石油、LNG資源輸入画策
3. 砕氷タンカー・氷海技術が盛況に
4. 氷海工学研究大盛況



氷海工学:野澤和男著、成山堂出版社(2006)

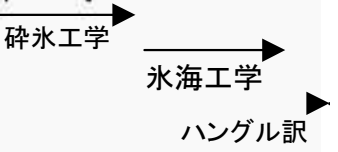
<http://www011.upp.so-net.ne.jp/ice-technology/index.html>

氷海工学の隆盛

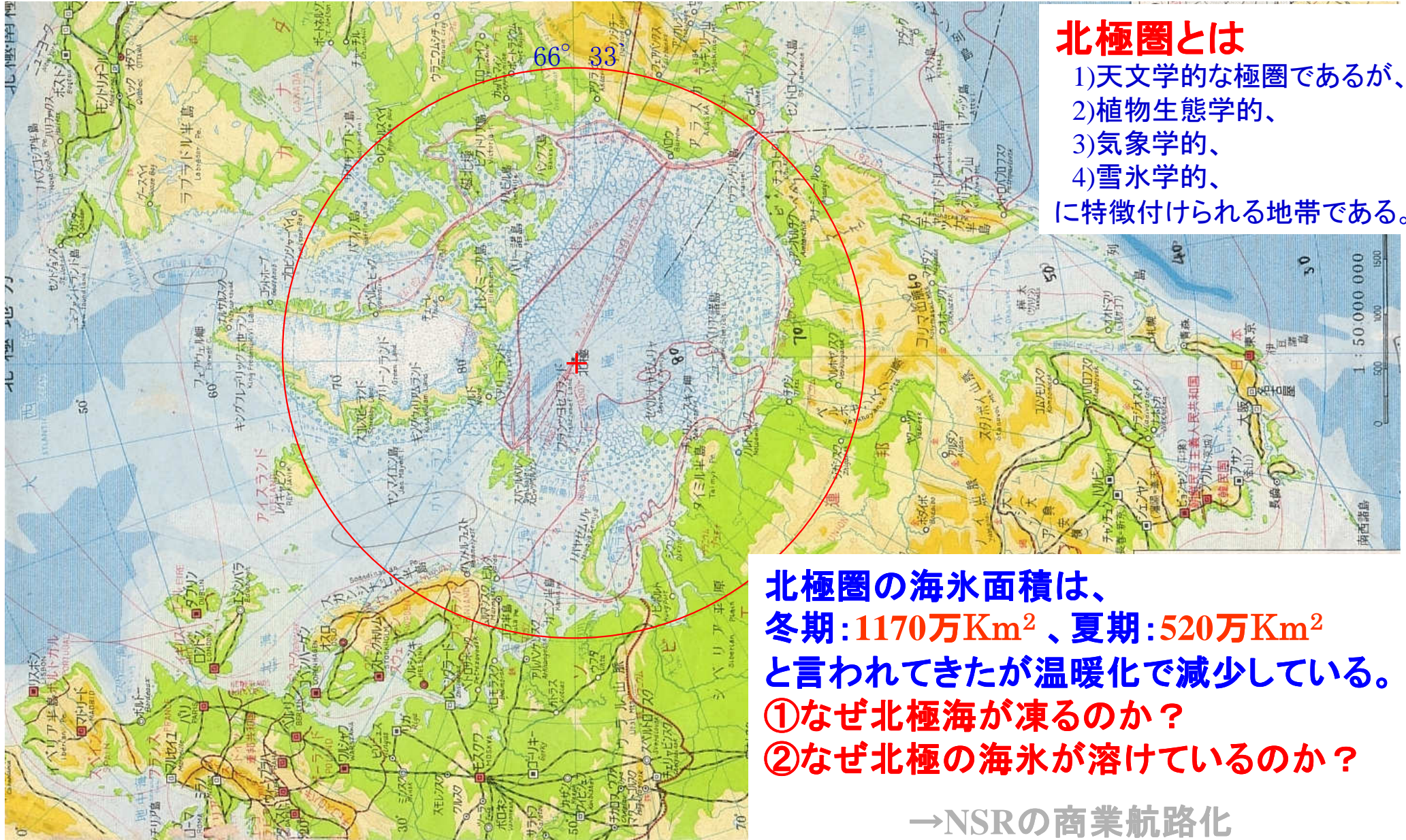


1861年～2007年の原油価格。100年近く続いた安値が1970年代に破られたことがわかる。

- 実質 (物価変動補正)
- 名目 (当時の金額)



はじめに: 北極点を中心に据えて地球を地軸の方向から眺めると、永久氷や流氷で覆われる面積約1400万Km²の北極海がそのまわりに広がっており、これを取り囲むロシア連邦、アラスカ、カナダ、グリーンランド、スカンディナヴィア諸国などの国々が北極圏(北緯66° 33'以北)に乗り出すかたちで対峙している。**この北極圏で今何が起きているのか?**



§ 1. 地球温暖化と北極海水の融解

(1)なぜ北極海が凍るのか？

①気温の低下が著しい北極圏の冬：

①地球の自転軸の傾斜は太陽の公転軌道に対して $23^{\circ} 27'$ である。この地軸の傾斜と高緯度が極圏を極寒とし氷を張らせる原因となる。図1に緯度と日照時間の変化を示す。秋分点から春分点までの間は北極圏側が太陽から離れる側に傾斜しているために夜が長く、昼が短い。北極圏 $66^{\circ} 33'$ では太陽を見ない極夜が1日あり、高緯度になるほど極夜日が増える。たとえば、北緯70度のAlaska North Slopeではおよそ11月20日から1月20日の間は太陽が出ず、極点では全く太陽を見ない。太陽の出ない日が続き、熱放射が減少して気温を継続的に低下させる。

②太陽光線の地表に対する入射角 α は高緯度になるほど減少するので単位面積あたりの放射熱量 I が低減し、気温を低下する。 $I = \sin \alpha = \sin(66.5 - \psi)$ ψ : 緯度

①、②が相乗的に気温を低下させて氷結させ、その融解を阻む。

②氷成長と気温の関係：“積算寒度： $\sum T \cdot D(\text{degree} \cdot \text{days})$ ” ←年間の氷点下の気温と日数の積の総和

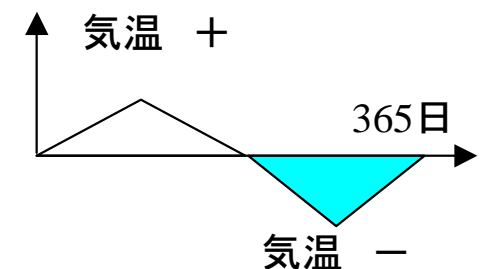
ステファンの理論→氷厚 h_i は積算寒度の平方根に比例する。

$$h_i \propto \sqrt{(\sum T \cdot D)}$$

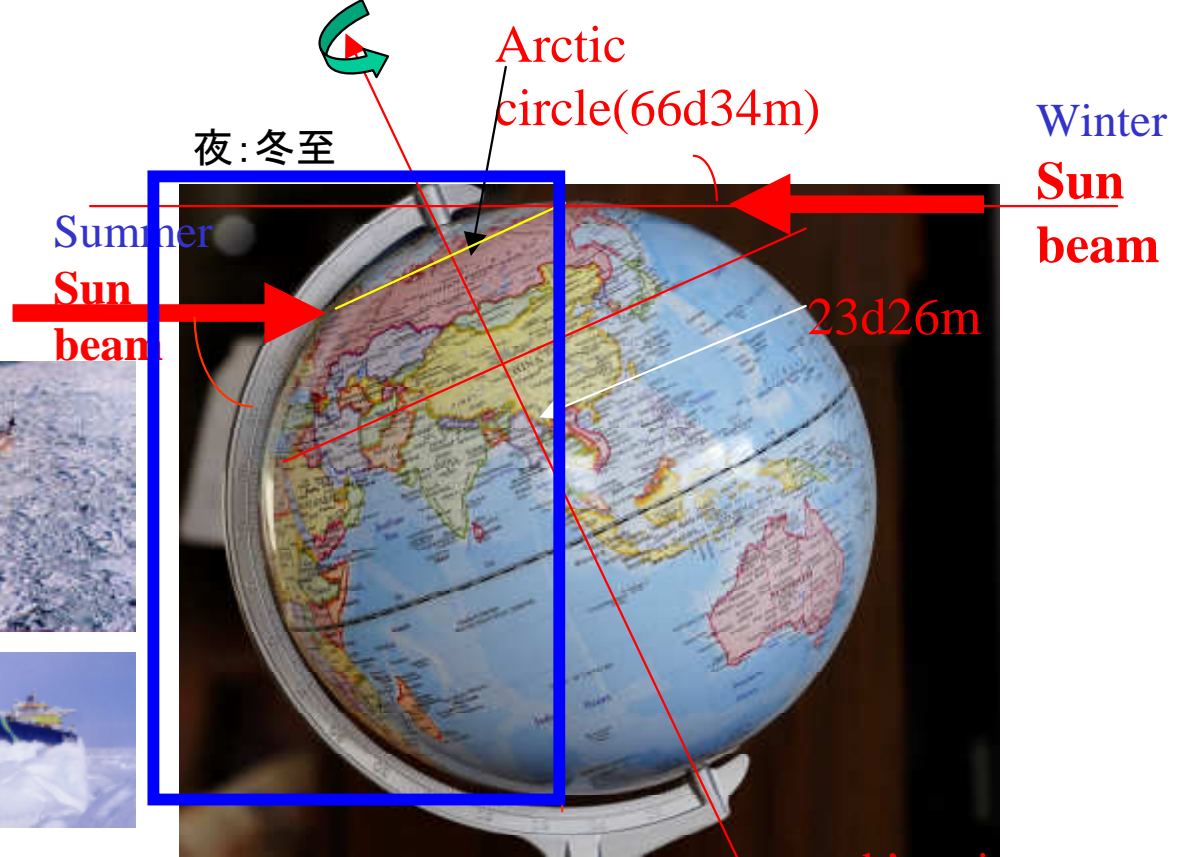
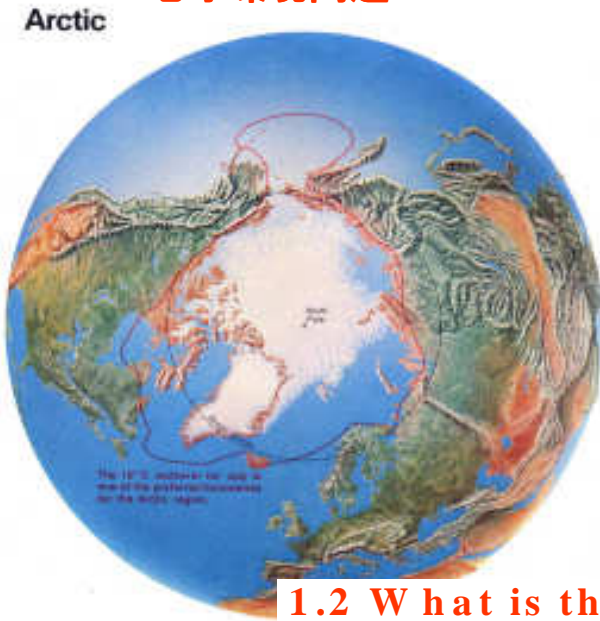
例えば、Point Barrow(N71°)： 約 $8,500^{\circ}\text{C} \cdot \text{D}$ → $h_i=2.2\text{m}$

McMurdo Sound (N70°)： 約 $13,000^{\circ}\text{C} \cdot \text{D}$ → $h_i= 2.75 \sim 3.35\text{m}$

∴ 温暖化で平均気温が上昇すれば、積算寒度↓、氷厚↓、海氷面積↓



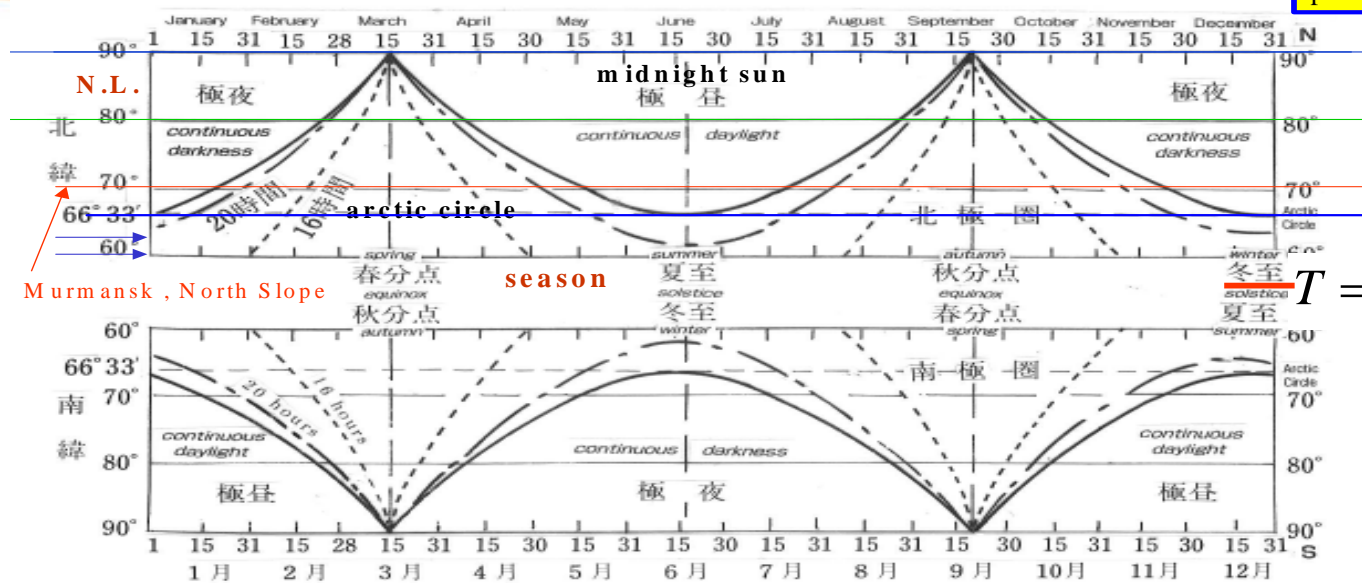
- Open Sea → NSR 船舶航行
- 地球環境問題



1.2 What is the Arctic? (the northern hemisphere)

earth's axis

図1地軸の傾斜



日照時間と緯度 ψ (冬至)

$$T = \frac{24}{\pi} \arccos(0.43 \tan \psi)$$

(the southern hemisphere)

Degree days of cold: integration of temperature

Point Barrow: 8500deg.days → 2.2m ice

McMurdo Sound: 13,300d.days → 2.75-3.35m ice

図2 緯度と日照時間

(2)何故、氷が溶けているのか？地球温暖化と北極圏に及ぼす影響

①**地球温暖化**:現在の地球の平均気温は 14°C だが、これは図3に示すように CO_2 や水蒸気などの「地球温暖化ガス」の働きによるものである。(これが全く存在しなければ地表面から放射した熱は地球の大気を素通りしてしまい、平均気温は -19°C になると言われている。)産業革命以降、石油、石炭等の化石燃料を大量に燃やし続けた結果、大気中への CO_2 の排出が急増したために、温室効果が増強し地表面平均気温が上昇している。

②温暖化が北極圏に及ぼす2つの影響

温暖化により平均気温が上昇すると、

1) **生態系北限の上昇**:物植物の生態系バランス変化、絶滅種の危惧、生産性が増大し、種の多様化が進む。ツンドラ北方林と動物の種、生物相が極方向に移動、食物連鎖、**人間生活への影響**

2) **海氷の衰退**:結氷時期が遅くなり融解時期が早まる。→ 結氷厚さ/領域の減少

CO_2 濃度 \uparrow → T \uparrow → Sea ice成長 \downarrow → Ice area \downarrow 、太陽光反射 \downarrow → T \uparrow $h \propto \sqrt{\Sigma (T \cdot D)}$
(沿岸システム) 負の相乗効果

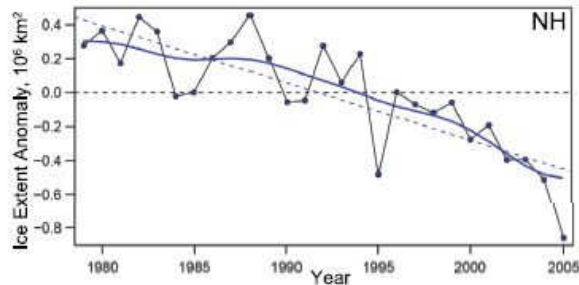
・氷厚が減少し被覆面積(ice coverage)が減少 → **Open seaの拡大**

・沿岸や河川の結氷域が減少→**船舶航行容易**→船舶活動の活発化→ **NSR商業化促進** →**海運**

・**沿岸資源**:原油、LNG等資源開発が容易→生産活動の活発化→支援船、船舶輸送活発化

∴ **地球温暖化** → **人間社会、農業/漁業、産業活動に大きな影響**を及ぼす。

(北極)



(南極)

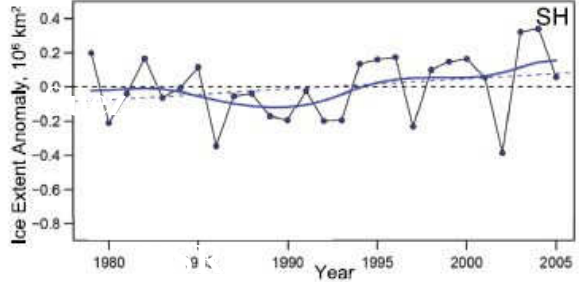


図4 海水面積の変化

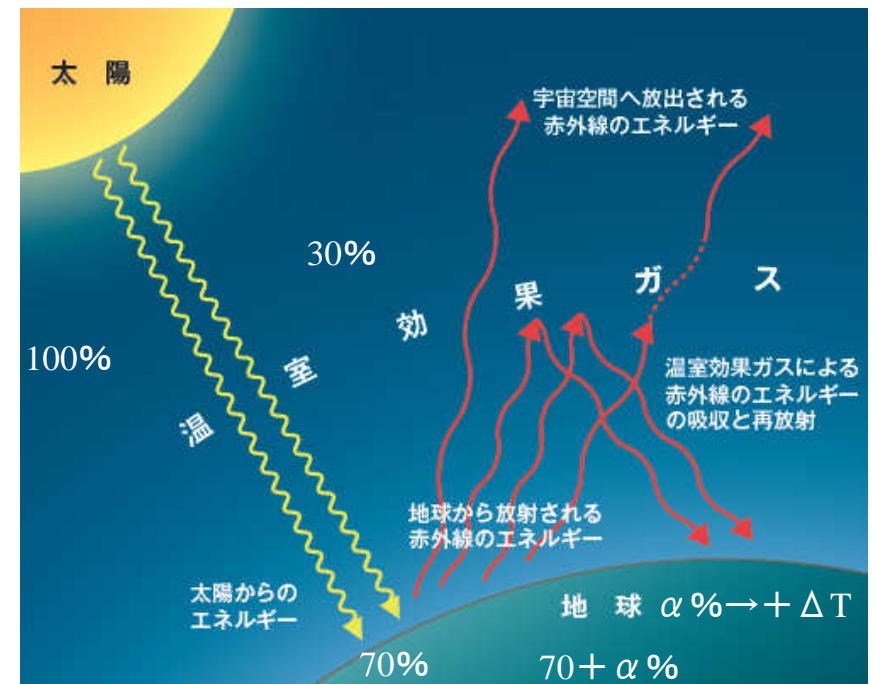


図3 温室効果ガスによる温暖化のメカニズム

<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2008/06-07.pdf>

12 → 11 0.92
6.7 → 4.5 0.67

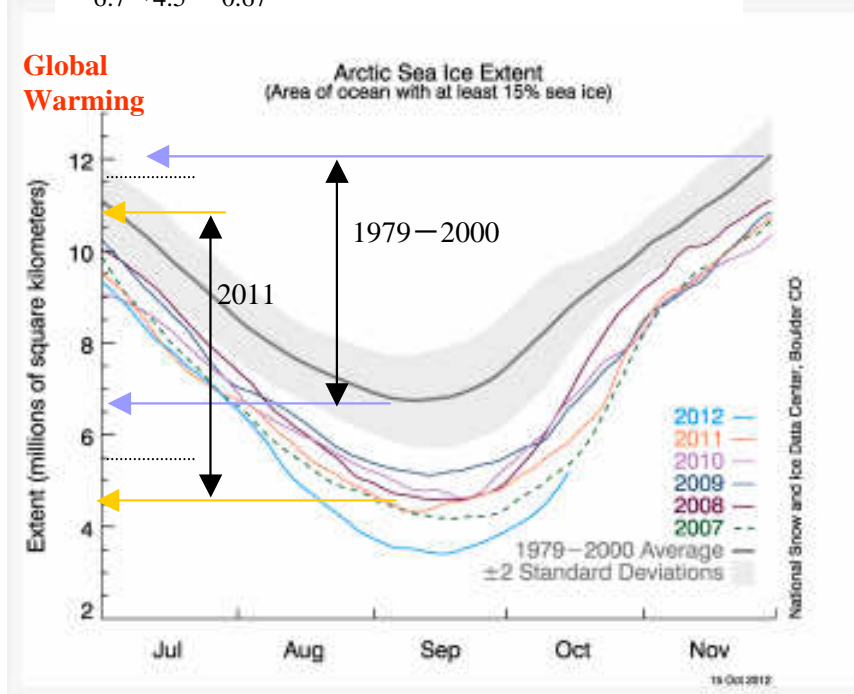
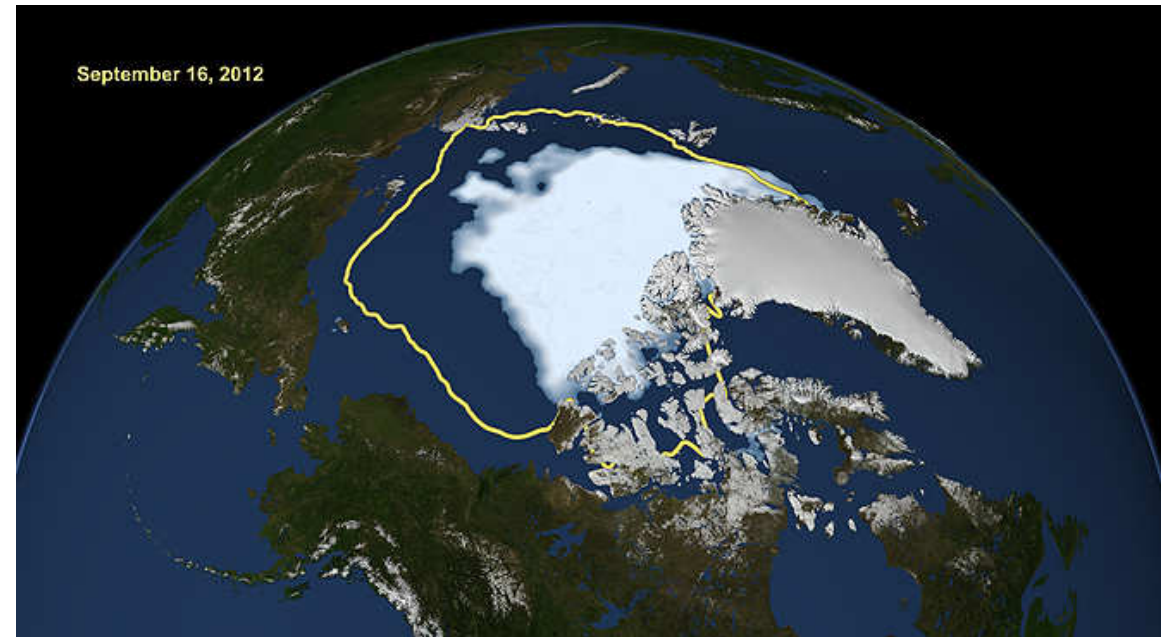


図5 海水面積の変化: National Snow and Ice Data Center

<http://nsidc.org/arcticseaicenews/>



<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/2012-seaicemin.html>

§ 2. NSRの経緯

以下、出典： INSRP関係各種報告書（財団法人S&O財団）、氷海工学（野澤和男）

(1) NSR研究

NSR (Northern Sea Route: 北極海航路) とは、ロシア北極海を通過する航路である。日本－欧州間の航程について言えば、南回り航路（従来のスエズ航路、約11,400海里）の約60%となり、商業航路として経済的効果は極めて大きい。この可能性を評価するために、ロシア、ノルウェー、日本(SOF)、ドイツ等の氷海関連機関が中核となり、国際プロジェクトとしてINSROP (International Northern Sea Route Programme) が下記のテーマで実施され、膨大な報告書が作られている。

Phase1(1993-1995):

- ① 北極海の自然条件と氷海航行技術
- ② 北極海航路が自然、生態系・社会環境に及ぼす影響
- ③ 北極海航路の経済的評価
- ④ 北極海航路啓開に関わる政治的・法制的背景

Phase2(1997-1998):

- ① 北極海の地理情報システムの構築
- ② NSR運航シミュレーションによる総合評価



図6 NSRと南回り航路(Suez)



Exploitation Sites of Natural Resources

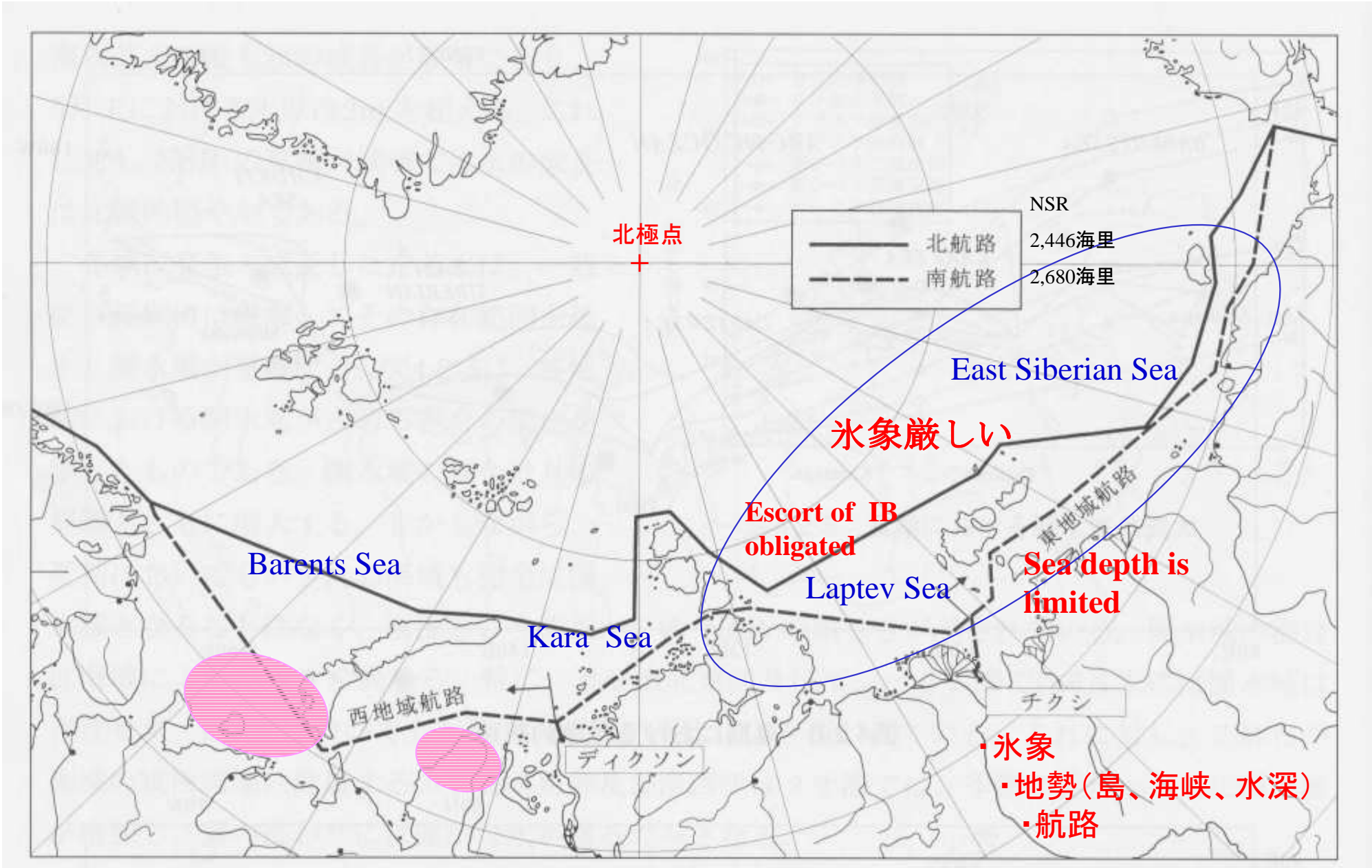


図7 NSR設定航路の一例 (ロシア中央船舶海洋設計研究所CNIIMFが設定)

INSROPの結論(2000年頃の評価)

①NSR商業利用に向けたINSROP研究、②ロシアSA15型多目的貨物船「Kandalaksha」によるNSR実験航海が終了、**成果**はINSROP Symposium Tokyo '95 (1995年)、オスロ「北極海航路に関する国際ユーザ会議」(1999年) および国際フォーラム「拓け行く北の海:そして守るべきもの」(2003年)で発表され次の結論を得た。

- ①NSR商業化に関し砕氷船や全地球測位システムGPS技術を使えば**通年航行**が可能。
- ②通年航行の**運航コスト**:50型BCでは貨物1トンあたり**21ドル**である。(通常航路は**18ドル**)
- ③同航路に対応した貨物積載量47,000t級の**建造コスト**は3300万ドル(36.3億円)となる。
通常貨物船は2200万ドル(24.2億円)である。
- ④NSR航行の**運航コスト**高は**将来の航行船舶数の増加**で解消する可能性がある。

冬期、夏期の航行シミュレーション:氷象:1953-1990年の年平均データ 使用

(1) NSR 経由	航海日数	(1)/(2)
Winter period:	42—46	1.2
Summer period:	29—31	0.83
(2) Suez 経由	約 36	(1.0)

■上記の比較は**1990年迄の氷象**を使用したもので北極海の冬期の過酷な海氷により船舶航行性能が減少し、40%の距離のメリットが失われ、Suez航路より不利な結果となっていた。

!!! ところが、2012年現在、近年の地球温暖化により北極海沿岸の氷が溶解し船舶が航行しやすくなった。 →NSR商業化

(2) NSR航行の船舶とは

NSR航行のイメージ：

耐氷商船（Ice Strengthening Ship）： 図8

砕氷船に先導された耐氷商船の状況： 図9、表紙

耐氷商船：氷海航行海域の厳しさに依存して所要のice ruleを満たした構造

耐氷商船の特徴：砕氷船首装備商船よりも、むしろBulbous Bowを持つ通常タンカー船型が多い。満載/バラスト両状態、航行域：氷海域/ Open Sea（両海域航行）

航行条件：ロシア発行のIce Passportの取得の義務

Convoy：ロシアの原子力砕氷船の先導、海氷破碎・航路啓開が必要

推進装置：氷海プロペラ（FPP），Azipod(全方位型ポッドプロペラ)を装備

船の種類：現在までの実績航海ではOil Tanker、Bulk Carrierが主であるが、今後の商業化にはLNG Tanker、Container ship、Cruise Ship等の多様な船舶の航行が必要。



NSR航行LNG船では耐着氷のために凸凹のない上部構造物形状となる。

→Yamal LNG C. Concept

studied for DNV & MPGs¥6
NAMIsip_motion_1.wmv

studied for DNV &
MPGs¥manhattan08年07月16日20時
14分-外部入力(1:RZ2)-番組名未取
得.mpg

S.S.Manhattan:L=307m,11.5Mt 43,000ps h=1.1m le



図8 耐氷商船「プリシト」

§ 3 NSRの現状と課題

●北極海領有権

北極評議会：5カ国+8カ国
(obs.)+5カ国(adhoc obs.)

●日本北極会議→政府への提言

●中国、韓国の北極圏への興味

背景

§ 1 温暖化→海氷融解

→氷縁後退→商業航路

§ 2 NSR研究の経緯

§ 3 NSRの現状と課題

(1) ロシアの動向

Putin大統領の演説(2011)

NSR通年航行実現に向けて

(3)ロシアOil/LNG掘削サイトと船

(1) Prirazlomnoye in Pechora Sea

Oil --> Murmansk by IT
Sovcomflot

70000dwt Shuttle Tanker

Mihail Ulyanov 2009/May

Kirill Lavrov 2009/Nov.

(2) Timan Pechora →Varandey

pipe line transportation.

→ Europ 3 IB Shuttle tankers

Vasily Dinkov

Kaptan Gotsky

Timofei Guzhenko by Samsung

(3)Stokman Offshore Gasfield

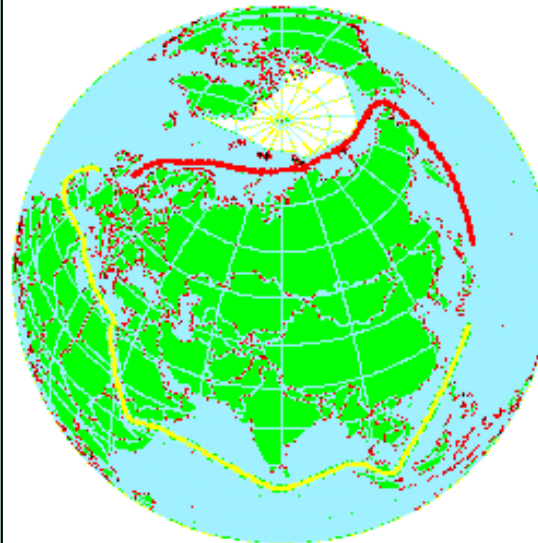
→ delayed

(4)Yamal Project Oil & Gas

(5)Sakhalin2 Project LNG tanker

Mitsubishi Grand Elena/G.Aniwa

Mitui 1 ship



§ 4 NSR実用化課題

★北極の海氷融解速度

★ロシアのNSR政策

★NSR航行関連整備

★NSR vs Suez

§ 5 NSR航行用船舶の 砕氷性能

(2).NSR航行の実績

①INSROP→feasibleを受けた
NSR航海の実績づくり

1997: Lunni, Uikku

2009: German

shipping c.Beluga 2 ships

2010: 計4隻

SCF Baltica 11,700dwt 9.5days

NordicBarents 44,000dwt 9.0days

Georg Ots Passenger ship 7.0days

Tor Viking supply vessel 9.0days

2011: 計34隻

STIHeritage 74,000dwt 8.0days

VladimirTikhonov 162,000dwt 7.5d

2012: 計46隻

Ob River(135,000m³LNG c.)

②商業航路実現への整備へ

Infra., harbor, Nuclear IB, S.Ship

→Commercial Navigation

(1) ロシアの動向

Putin大統領の演説(2011) —NSR通年航行の実現に向けて—

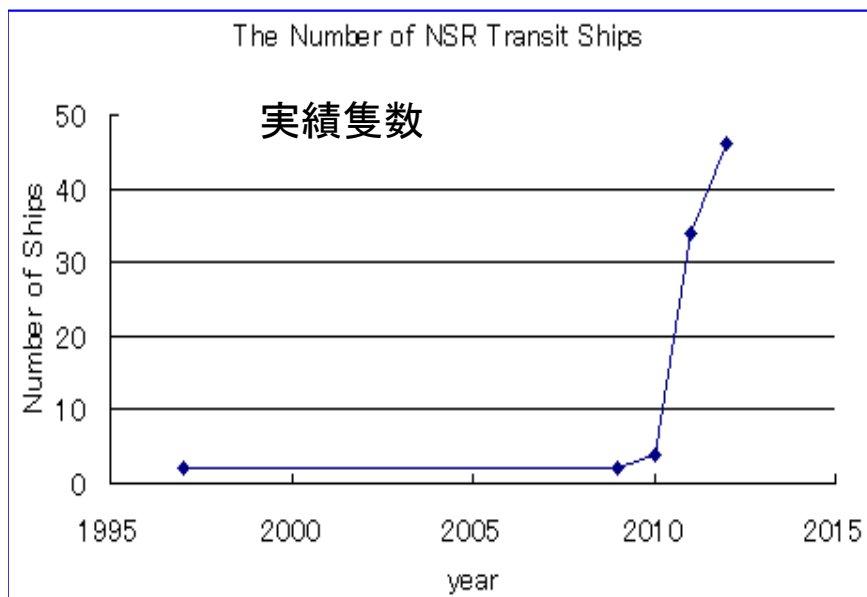
- ① Prime Minister Vladimir Putin: Arkhangelsk, Russia, Sept 22 (Reuters) -
- ・近い将来、ヨーロッパからアジアへの高速輸送航路としてNSRはスエズと競合
 - ・輸送費用が安く/安全/高品質な国際海運輸送航路としてのNSRの重要性を強調
 - ・NSRルートを選択する国営・民間会社は疑いなく経済的優位性を得るであろう。
- ② NSRの商業化への熱意： ← 原油、ガスP.L. 国有化
- ・ヨーロッパマーケットからアジア太平洋地域への最短航路は北極圏を横切ることによりスエズ航路7,000 nmから4,000nmに短縮
 - ・高騰するエネルギーの輸送の必要性が促進する。
- ③ 氷のない北極の夏の到来：地球科学者の予測によれば、
- ・地球温暖化による北極氷の融解が進み10年を経ずして氷のない北極の夏を迎えるであろう。
 - ・この予想のもとに、Sovkomflot*等の会社は高い経費を投じてNSR経由の実験航海の実績を増加させている。今夏の北極氷の記録的後退は中国へのエネルギー輸送をスピードアップし国営会社Sovkomflotの船舶輸送ビジネスを促進させた。

* Russian maritime shipping company specializing in petroleum and LNG shipping, a 100% state-owned corporation founded in 1995

白海港湾都市ArkhangelskのArctic Forumで当局者は通年航行の実現のためには・油流出防止インフラの整備/港湾の刷新・さらなる砕氷船を建造が必要であると述べた。

(2)NSRの商業航路化を目指す

ロシアはNSRの商業航路化、通年航行実現に向けて実績作りを急いでいる。以下に、1997年から2012年迄のNSR航行実績の推移（隻数、船種、航行日数、支援形態）を見る。



- ①1997年： Lunni & Uikku（フィンランドの砕氷型商船、Azipod装備）
- ②2009年： German shipping company Beluga sent 2 vessels

③2010年NSR航海実績

studied for DNV & MPGs¥6
NAMIShip_motion_1.wmv

2010年の夏から秋にかけてRosatomflot※運営の原子力砕氷船の支援の下、4隻の商船がNSR航海を実施した。

i) SFC-Baltica:

117,000dwt Aframax tanker Ice class Are 5 (リベリア船籍)

7万tonのgas condensateを積み8/14 Murmanskを出港 Bering straitを8 / 27に通過、太平洋を南下して最終目的地の中国寧波に9/6に到着した。全航海日数は23日、NSR通過には10日要した。

●Murmansk－上海間の航続距離はNSRを使用すると6,000SM、Suez 回りでは12,000SM、NSRは距離的に約半分となる。

●原子力砕氷船の誘導(Rossiia, Taimyr, 50Let Pobedy)にてNovaya- Zemlya からCape Dezhnevに至った。

※ロシア国営会社で原子力砕氷船を運営し、NSR航路での原子力砕氷船による航行支援、航路啓開、水先案内、救助作業、物資運送などを行う。



SCF Baltica itinerary under ice pilotage of atomic icebreakers Rossiya, Taimyr, 50 Let Pobedy from Novaya Zemlya to Cape Dezhnev (Moscow Time)



- ◆ — actual itinerary (dates marked in white)
- — i/b 50 Let Pobedy itinerary

④2011年NSR航海

2011年は計34隻がNSRを航海した。内訳は
15隻：液体貨物(682,000tons), 3隻：bulk (110,000tons), 4隻：冷凍貨物(鮭)
(27,500tons), 2隻：一般貨物, 10隻：バラスト状態 計約82万tons

i) Perseverance :

Murmanskを2011年7月末に出航、70,000 tons of gas condensateを積んでaverage speed 7.6 knots、15日で走破した。

ii) Panamaxtype tanker “STI Heritage”:

2011年7/19にMurmanskを離れ8/16に目的港タイMap Ta Phutに着いた。NSRをaverage speed 14 knotsで8日間で航行した。貨物は61.000 tonsのgas condensate (for Novatek, Russia’s second largest gas producer) である。

船体要目：

Ship Type: Oil products tanker, built: 2008,

L × B × L/B= 228 × 32 × 7.13

Gross Tonnage: 40,865t,

Dead Weight: 73,956 t



iii) Vladimir Tikhonov “Suezmax tanker owned by SCF Group (Sovcomflot)

160,000 tonnes deadweight (ice-class 1A)、NSR航行史上の**最大タンカー** gas condensate cargoを運ぶ。

2011年8/31、New Siberian Islands archipelagoの北側の水深の深い新しいルートを通ってCape Desire (a cape at the northern end of Severny Island, in Novaya Zemlya, Kara Sea, Russia.)からBering StraitのCape Dezhnev (the most difficult part of the high-latitude route from Europe to Asia) までの全行程2,200海里を**7.5日 (12.2kts)**で航海した。

船の要目：

Ship Type: **Crude oil tanker**、 year built: 2006

L x B x L/B = 281 x 50 m x 5.62

Dead Weight: **162,397 t** , Gross Tonnage: 87,146 t

Speed (Max / Average): 15.5 / 14.8 knots



原子力砕氷船2隻 “50 let Pobedy” and “Yamal”がエスコートした。

この航海によりNSR航路は次の優位性が確認できた。

- ①スエズ航路に比べて運行期間の大幅な削減
- ②西シベリアOil/LNG採掘サイト (Barents, Pechora, Kara Seas) から世界マーケットへの輸送に極めて経済的で戦略的に重要

⑤2012年NSR航海 46 隻がNSRを航海した。

●LNG tanker “Ob River” from Norway to arrive in Japan

ハンメルフェストを2012年11月7日に出航し戸畑に12月5日に入航した。NSR航行期間は11月9日～11月18日（10日間）で、原子力砕氷船（50 Years of Victory, Russia, Vaugach）に先導された。Barents海、Kara海の氷は少なかったがRaptey海のVirkitsiy Str. からBering Str. (Cape Dezhnev)間には約30cmのyoung ice中を進んだ。（11月としては予想以上に薄い：筆者注）

●Ob River※（Gazpromがチャーター 134,738m³ LNG carrier）はLNG船として初めてNSR航路を通過してNorway:Statoil's gas plant in Hammerfestから日本の戸畑にLNGを運んだ。LNG船のtank上部は突起の少ない直線状の構造物に覆われ、着氷被害が受けにくい形状をしている。（次ページの写真）

●Ob Riverは今年の10月には空荷でNSR航路を航海しており、今回と併せてNSR航海の可能性を実証した。

●スエズ運河経由平均所要日数43日からNSR経由28日と35%の航海日数短縮。

※船種：LNG tanker、建造年：2007、L x B×L/B= 288×44 m×5.18

総トン数：100,244t、載貨重量トン：84,682t、速力(最大/平均)：11.6 / 11.6kts



“Ob River”

(3) ロシア北極海でのオイル、LNG掘削サイトと船

西シベリアのバレンツ海、カラ海、ヤマル半島および東のサハリン等の掘削サイトではオイル、ガスが生産中あるいは生産が予定されている。これをNSRを航行する耐氷商船で輸送する計画である。下記の掘削サイトの地理、概要、船および課題を見てみる。

1) Prirazlomnoye in Pechora Sea

2) Timan Pechora/Varandey

3) Shtokman Offshore Gas field in Barents

4) Yamal Project Oil & Gas

5) Sakhalin Project 2

図8 北極圏バレンツ海、カラ海の油ガス田とパイプライン

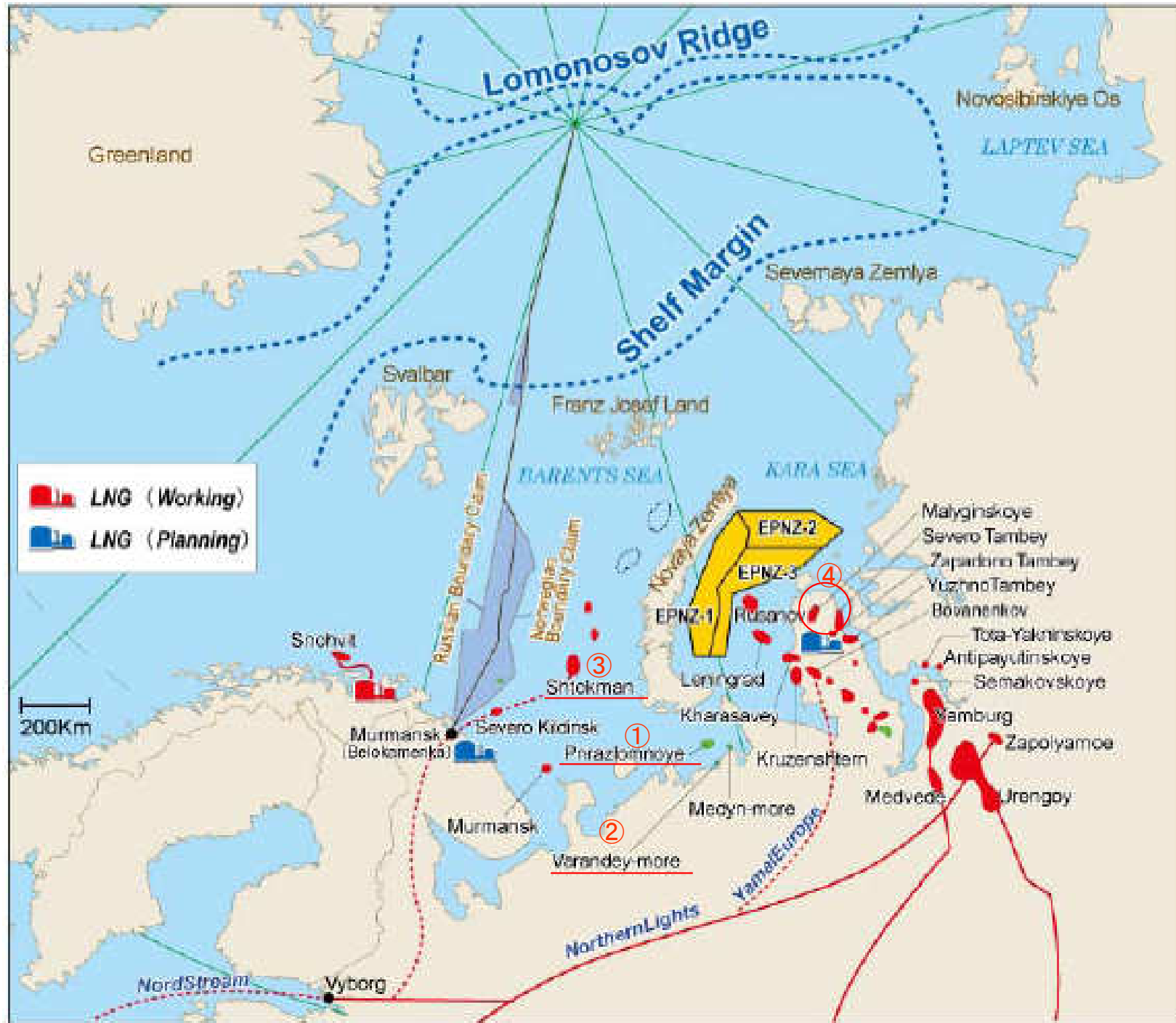


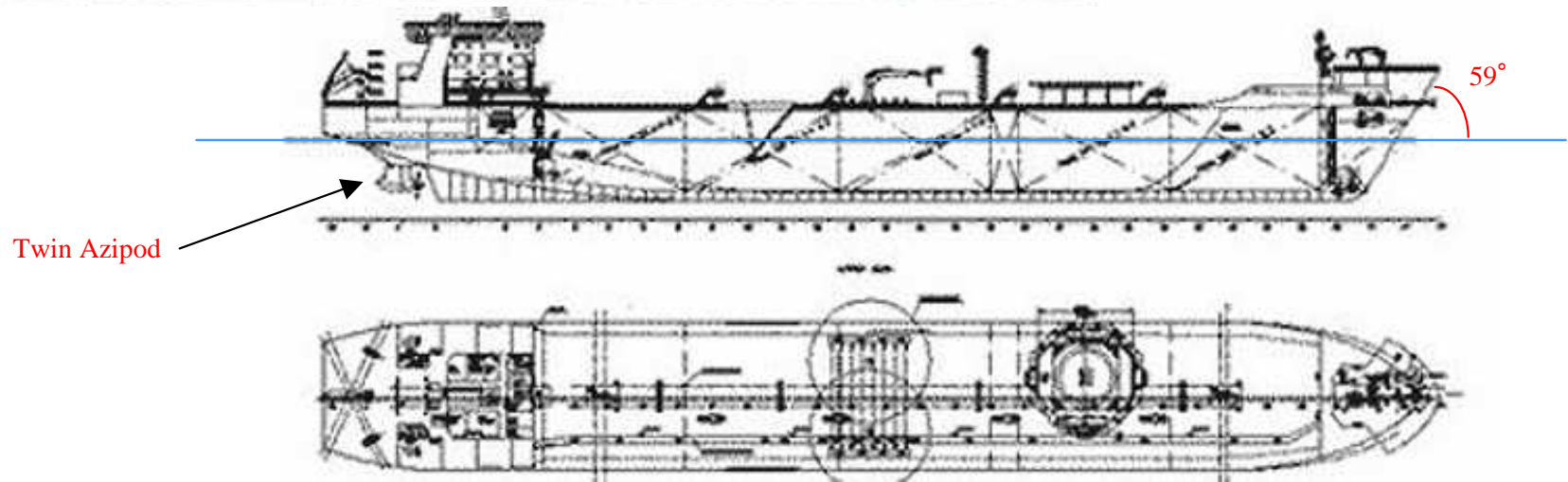
図 北極海バレンツ海、カラ海のオイル、LNG掘削サイトとパイプライン 出典:木村真澄、ロシアにおける石油・天然ガス開発の現場と展望

1) Prirazlomnoye in Pechora Sea

- ① **Gazprom, Sovcomflot & Sevmomegaz:**
marine transportation of oil
- ② **Prirazlomnoye offshore field** → Mulmansk: moored floating storage & offloading vessel (FSO) 6.5Mton/year
- ③ **Shipping: Sovcomflot ordered 70,000ton DAT shuttle tanker x 2** ※
to Admiralty Ship Yard
- ④ ※ **Ship Principal Dimension:**
L x B x d x L/B x B/d x PS
259 34 14m 7.62 2.42 **8.5MW (1.16万PS) x 2 set** with Azipod,
Vs=3kts in 1.2mIce
- ⑤ **Ice Class: RMS (Russian Maritime Register of Shipping): LU6**
Lloyd's Register of Shipping: **1A Super Ice Class**
- ⑥ ※ **Sister ship: Ice strengthening tanker** : no Bulb 耐氷タンカー
1'st Ship: **Mihail Ulyanov** 2009 May
2'nd Ship: **Kirill Lavrov** 2009 Dec.
Prirazlomnoye oil field-floating terminal "Belokamenka"

Admiralty Shipyard, 31.10.2008 M/T "Mikhail Ulyanov"

Aker Arctic



2) Timan Pechora: Varandey

- ① **Port Varandey is located on the Barents Sea coast of Russian Arctic region.**
It is the export terminal for Naryanmarneftegaz, a joint venture between Lukoil & ConocoPhillips, operating in the Timan-Pechora oil producing province of Northern Russia.
- ② **Oil is transported from the wells in Timan-Pechora through a new 159km heated pipeline(530mm Φ) to terminal.**
- ③ **IB Shuttle tankers owned by Sovcomflot transport from Varandey to Europe & USA**
IB Shuttle tanker : 3 ships with AZIPODs, Ice Class: LU6, 1AS ordered to SHI:
 - Vasily Dinkov
 - Kapitan Gotsky (2008)
 - Timofei Guzhenko

Loa	x	B	x	D	x	d	x	L/B	x	B/d	x	PS	x	Vs	x	Vice
256		34		21		14		7.52		2.42		20MW (2.72万PS)		16.0		3

(hi=1.5 m)
- ④ **Special hard paint to resist ext. low temp. adhesion, fully encl. nav. bridge -40c.deg, winterization(anchor, sea chest, lifeboat..)**

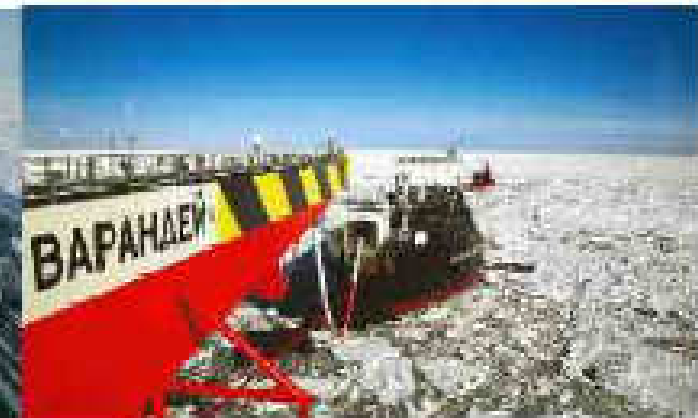
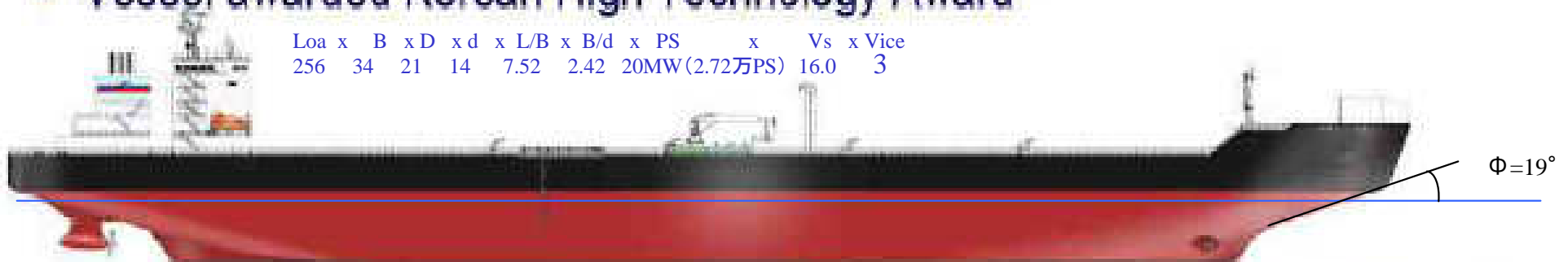
World's first Arctic Oil Shuttle Export system now in full service with three 70.000 tdw Aker Arctic DAS™ vessels, built by Samsung

Aker Arctic



- Another new Aker Arctic DAS™ concept design
- Direct export for onshore oil
- Third vessel "Timofei Guzhenko" delivered last week
- 1,7 m icebreaking capability by 2 x 10 MW pods, ice class ARC6
- Vessel awarded Korean High Technology Award

Loa x B x D x d x L/B x B/d x PS x Vs x Vice
 256 34 21 14 7.52 2.42 20MW(2.72万PS) 16.0 3



3) Shtokman Offshore Gasfield in Barents

初期計画

- ① **One of the largest gas field: 3.2 trillion m³ located 290km west of Novaya Zemlya, 650km northeast of the port of Murmansk**
- ② **Export are expected to commerce in the first half of the next decade, with gas being piped ashore from a subsea wellhead completion**
- ③ **Gas will be processed at the rate of around 30 billion m³ /year and liquefied at plant near Murmansk, producing 15 million ton of LNG and transport to American market**
- ④ **10-15 LNG carriers needed for the first phase of this project**

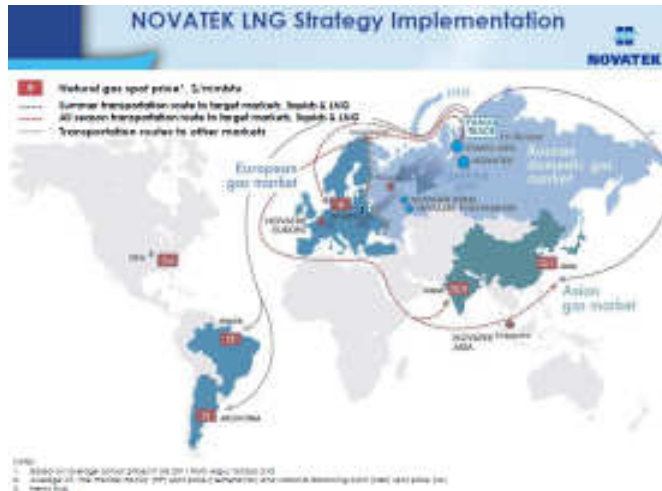
の予定であった。

→ 開発遅延へ*)

2009年、米国のシェールガス増産により米国向けのスポットが欧州市場に向かう事になったが、従来から欧州に天然ガスを供給してきた**ガスプロム**は価格体制や長期契約など旧態依然の姿勢を崩さなかったためにカタールやノルウェーがシェアを伸ばす結果となった。ロシアの天然ガスの需要が減り、**シュトクマンガス田開発は3年間先送り**される事になった。

ロシアは世界のLNG関連企業との**連携**を強めるとともに、**ヤマル半島**等におけるLNG事業推進政策を展開し始めた。

4) Yamal半島で掘削されるLNGの船舶輸送



LNG Shipping Scenarios



Key issues to be resolved

- ◆ Target markets
- ◆ LNG carrier design approval
 - ◆ Ice class, Winterization & LNG tank system (Moss, SPB, membrane)
- ◆ # of ships required

Shipping Scenarios

- ◆ Direct transportation to markets
- ◆ Transshipment
 - ◆ Ice-free port or Ship-to-Ship
 - ◆ Combination of different options

Tests conducted by Aker Arctic confirm that the LNG Carrier design is able to provide all-season independent navigation

Yamal LNG Carrier Concept



Based on operational experience from ice class tankers at Lukoil's Varandey project (Barents Sea) and Norilsk Nickel's arctic operations

Main concept - Double Acting Ship (DAS):

- Bow – forward movement in open water and thin ice
- Astern – reverse movement through thick ice and ice ridges
- Three shaft propulsion system (two AZIPOD's and one center shaft)

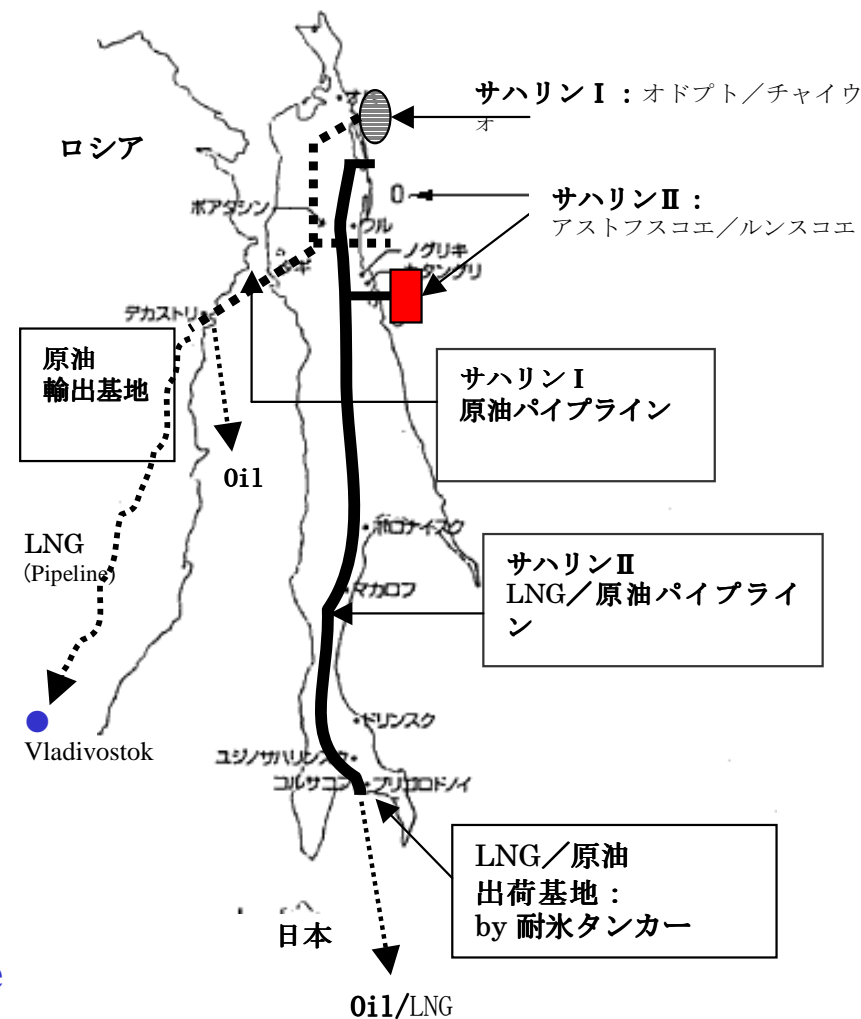


Ice model tests have validated the Arc 7 170,000 m³ LNG Carrier basic design

- Ice going capabilities: 2.3-2.4 meters (even ice)
- Confirmed speed: 19.5 knots in open water and 5.5 knots in even ice of 1.5 meters

5) Sakhalin 2 Project

- ① **World's largest integrated oil & gas project on Sakhalin isl. in the sub-Arctic region of Russian's Far East**
- ② **Project: Gazprom, Shell, Mitui & Mitsubishi and incorporates Russian's first Liquefied Natural Gas plant and associated export facilities (by pipe line)**
- ③ **In 2004, a Japanese-Russian consortium was established by NYK & Sovcomflot to ship LNG from the Prigorodnoye terminal near Yuzuno-Sakhalinsk in Russian to Japan, South Korea & Baja California (Mexico)**
- ④ **LNG carrier x2 ordered to MHI, 145,000m³, Class 1C (0.4m) Grand Elena/Grand Aniva, (Principal Dimension)**
 Loa x B x d x L/B x B/d x PS x Vs(kts) x type
288 49 11.5 5.755 4.26 23,600kW 19.5 Moss
- ⑤ **LNG carrier : 1隻: Mitui (Moss), 2隻: HHI (Techni Gaz Trans)**



注) **Sakhalin 1 :**

Gas : Site (pipe line) → Dekastri → Vladivostok

Oil : Site → Dekastri → by 耐氷商船 → 輸出



The Grand Elena is one of two LNG carriers constructed for the Sakhalin II project.

§ 4. 北極海航路NSRの実用化の課題

(1) 商業航路確立のためのロシアが急ぐ課題

- NSR航路の**経済的合理性提示**→国際物流Networkの中で経済的優位性を船社に認知
- **輸送航路**としての最終的確立と証明(資源開発サイトからの欧州、アジア地域・・・)
- ロシアNSR航路政策(通行規則：**Ice class②** , **Ice passport③**、通行料、原子力砕氷船先導料・・・)の明確化
- ロシア原子力砕氷船団の更新と確立
- NSR(2,550nm)の**整備とインフラ**：海図の正確化、水深図、関連施設、航路標識
- **氷海航行支援技術**の確立
- **緊急救難、捜査体制**の確立
- **氷海商船の多様化実績**：船種(バルク、オイルタンカー、LNG、コンテナ船、客船・・・)
- **氷海船舶工学の深化**：性能、馬力(Open sea、Ice sea: Broken ice/Level ice)、構造、強度、艀装 etc
- **氷海環境影響評価法**の確立、Oil spill対策・補償
- **海氷勢力の動向予測**
- **北極海territorial claims**の収束 by 5 countries etc ①

●中国の資源外交の急速展開と北極海へのアプローチ

背景：北極氷融解加速↑シーレーン、海底資源、地政学的環境変化↑資源獲得競争紛争↑

中国のアプローチ：経済成長を支えるため安定資源の確保↑ 年8%の経済成長要、諸海域で紛争↑

●石油外交展開：石油消費量↑ → 中東、ロシア、中央アジア、南米、アフリカ ← 新帝国主義

●北極海への関心：**CAA**(Chaineese Arctic and Antarctic Administration)国家海洋極地考察弁公室

中国北東部に冬期訓練基地： 部門12345

南極大陸：南極海調査 2011年までに27回

●北極域調査研究所：“黄河” → 北極への関心 → 政策・外交戦略？ ← 資源に対する貪欲さ

●地政学的（領土権）に不利だが、

①今後の北極海の政治的・法的政策決定に発言力を持つことを望んでいる。→沿岸諸国 の主権に基づく領土権に対し、北極海を人類共通の財産であると主張し国際法の役割を求めている。

↑ Francois Perreault

②まだ中国政府からの国際社会を刺激するような専制的発言は出ていないが、中国の科学者や学者などからは、本格的な行動に移すべきだとの声が高まりつつある。 ↑ Calitlin Cambell

●姿勢：北極氷融解→安全保障環境を変える可能性： i) 生物生態系、少数民族保護、 ii) 海底地下資源、 iii) 航行航路短縮 →ロシア管轄権下の科料等北海政策 ← 中国が懸念↓
アドホックに留まる。評議会警戒心？←却下←2008年北極評議会常任オブザーバー申請

●具体的アプローチ：90年代北極探検調査→2004年“黄河”をノルウェー領スバルバード諸島に設置
→2009年ノルウェーと北極環境科学調査2国間ダイアログ開始、温家宝アイスランド訪問海洋北極研究へ

●世界最大級砕氷船“雪龍”（ウクライナ産）を保有、2014年国産IB調達のため2011年から第12次5カ年計画で極地環境総合調査、生態系、気候変化、関連先端技術研究 北極における科学的知見の深化を進めている。→総じて北極資源エネルギーへの中国の貪欲なアプローチの姿勢が窺える。



中国の現在保有砕氷船

“M/V Xuelong (雪龍)”

1993年ウクライナ製造、2007年改装

L × B × d × HP hi level ice VS
167 22.6 9.0 17,900 FPP ×1 1.1m × 1.5kts

First Chinese polar research icebreaker

Aker Arctic has been selected for the conceptual and basic design of the new Polar Research Vessel for China

中国の次期砕氷船

The polar research icebreaker for China will be designed to accommodate a total of 90 persons and will have a length over all of about 120 meters, a maximum breadth of 22,3 m and draught of 8,5 m. The vessel will have the ability to break through 1,5 m of level ice at 2 to 3 knots speed, including multi-year ice. The vessel will be fitted with twin azimuthing propeller drives. Ice class will be PC3 and the vessel will have dual classification from China Classification Society (CCS) and Lloyds Register (LR).



● 韓国の極海へのアプローチ:

アラオン “Araon” 2009就航、
L × B × HP hi level ice Vs
109.5 19.0 13,600 2Azimuth 1.0m 3kts

● **韓国・ロシア科学共同研究センター設立のために協議:**

● **共同探査活動:** 韓国政府砕氷船「アラオン号」はカナダの研究陣とカナダ領域における共同探査活動を始める。

● 韓国の国土海洋部は**韓国・ロシア科学共同研究センター設立のために協議中**。2012年末までに具体的設立計画が策定される。

● **共同研究プログラム:** 国土海洋部はカナダ、アメリカとカナダボーフォート海の排他的経済水域 (EEZ) で共同研究プログラムを推進することに合意したと発表した。

● **北欧諸国と海運協力強化:**

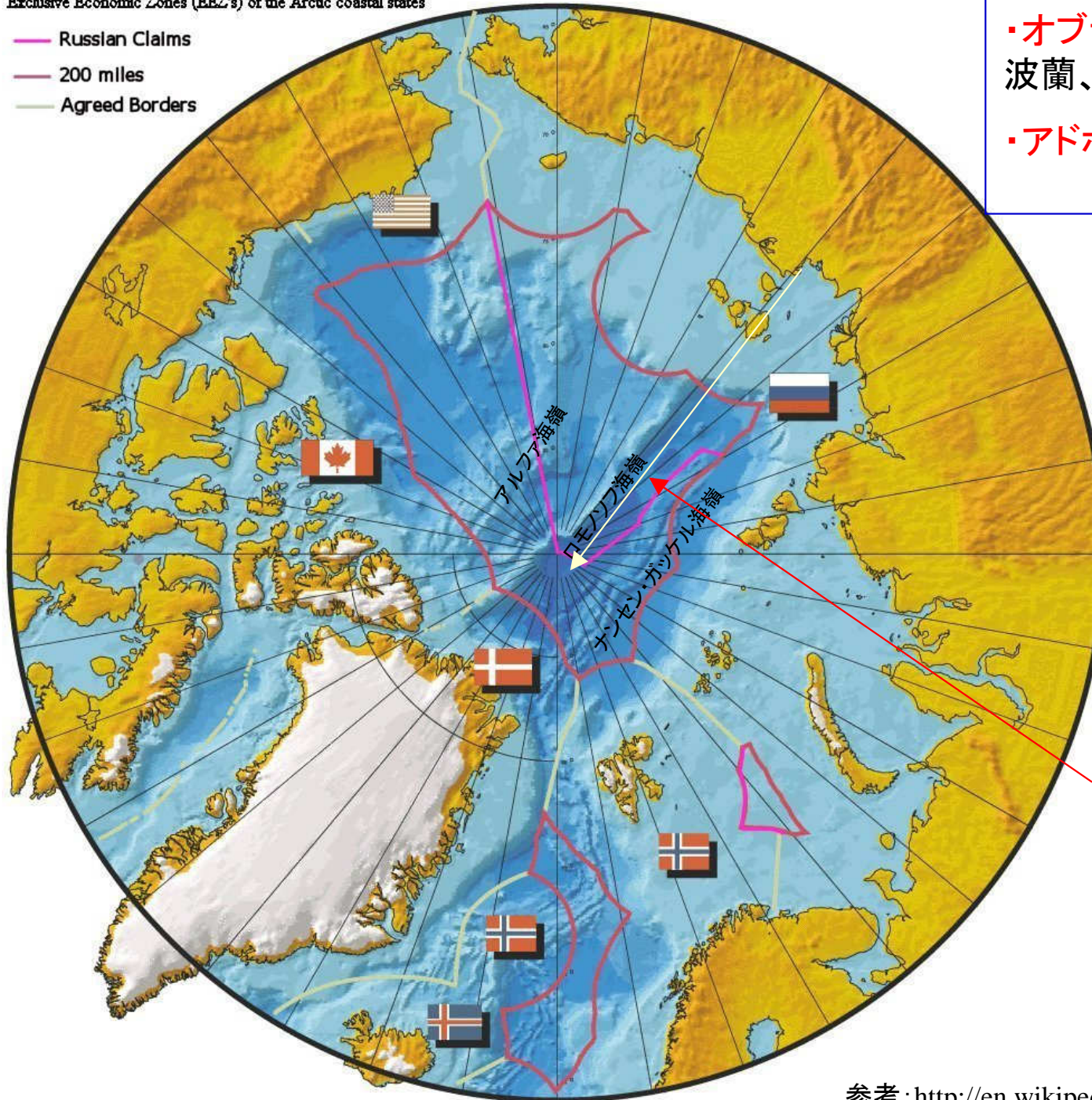
国土海洋部は北欧の海運 国のデンマーク、ノルウェーと海運の協力のネットワークを強化するために、海運共同セミナーの開催と覚書 (MOU) を締結する予定である。さらに、地球温暖化により北極航路の経験とノウハウを持つ北極海近隣諸国との協力のネットワークを強化し、NSR試験航海、北極の商業化を積極的に推進する。ノルウェーは優先目標として北極海開発を目指しており、北極圏資源開発・輸送などにおいて共同研究を希望している。



(2) 北極海 territorial claims

Exclusive Economic Zones (EEZ's) of the Arctic coastal states

- Russian Claims
- 200 miles
- Agreed Borders



- ・北極評議会：
米、加、丁抹、ノ威、露
- ・オブザーバー： 仏、独、
波蘭、西、蘭、英
- ・アドホック・オブ：日、伊、
中、韓、EU

ロモノソフ海嶺が
ロシアの大陸棚
に繋がっていると
するとロシアの
領有権が拡大す
る。

**(3)
Ice Class**

**Russian
MRS**

Small open ice

hi=----0.4m

hi= -- 0.55m

hi= ---0.7m

hi=0.6-0.8m

hi=0.8-1.0m

hi=1.1-1.3m

hi=1.1-1.3m

hi=2.1-3.4m

hi=3.5-4.0m

RMRS has ice strengthening notations for navigation in small open ice to close perennial ice.

Notation	Ice description
UL	Independent navigation in the Arctic in summer and autumn in light ice conditions and in the non-arctic freezing seas all the year round.
L1	Independent navigation in the Arctic in summer in broken open ice and in the non-arctic freezing seas all year round in light conditions.
L2	Independent navigation in the non-arctic seas in small open ice.
L3	Independent navigation in the non-arctic seas in small open ice.
L4	Independent navigation in the non-arctic seas in small open ice, short period.
LU1	Independent navigation in small open ice in the non-arctic seas, short period and in compact ice up to 0.4m thick in a navigable passage astern an icebreaker.
LU2	Independent navigation in small open ice in the non-arctic seas, and in compact ice up to 0.55m thick in a navigable passage astern an icebreaker.
LU3	Independent navigation in small open ice in the non-arctic seas, and in compact ice up to 0.70m thick in a navigable passage astern an icebreaker.
LU4	Independent navigation in young open arctic ice up to 0.6m thick in winter and spring, and up to 0.8m thick in summer and autumn. Navigation in a navigable passage astern an ice breaker in young arctic ice up to 0.7m thick in winter and spring and up to 1.0m thick in summer and autumn.
LU5	Independent navigation in young open arctic ice up to 0.8m thick in winter and spring, and up to 1.0m thick in summer and autumn. Navigation in navigable passage astern an icebreaker in young arctic ice up to 0.9m thick in winter and spring and up to 1.2m thick in summer and autumn.
LU6	Independent navigation in young open arctic ice up to 1.1m thick in winter and spring, and up to 1.3m thick in summer and autumn. Navigation in navigable passage astern an icebreaker in young arctic ice up to 1.2m thick in winter and spring and up to 1.7m thick in summer and autumn.
LU7	Independent navigation in young open arctic ice up to 1.1m thick in winter and spring, and up to 1.3m thick in summer and autumn. Navigation in navigable passage astern an icebreaker in young arctic ice up to 1.2m thick in winter and spring and up to 1.7m thick in summer and autumn.
LU8	Independent navigation in close young and biennial arctic ice up to 2.1m thick in winter and spring and up to 3.1m thick in summer and autumn. Ramming rammer of ice ridges. Navigation in a navigable passages astern an ice breaker in biennial arctic ice up to 3.4m thick in winter and spring and in perennial ice in summer and autumn with no restrictions.
LU9	Independent navigation in close perennial arctic ice up to 3.5m thick in winter and spring, and up to 4.0m thick in summer and autumn. Ramming rammer of ice ridges. Short ramming rammer of the young and biennial close ice segments.

**Finnish-SIR
Lloyd's R.S.**

IC

IB

IA

IA Super

**Arctic Class
7 ~ 11**

(4) Ice Passport

Ice Passport and Russian regulation

Courtesy of
Shunichiro Namikawa
Pre-contract services
Approval Center Japan
March 26, 2004

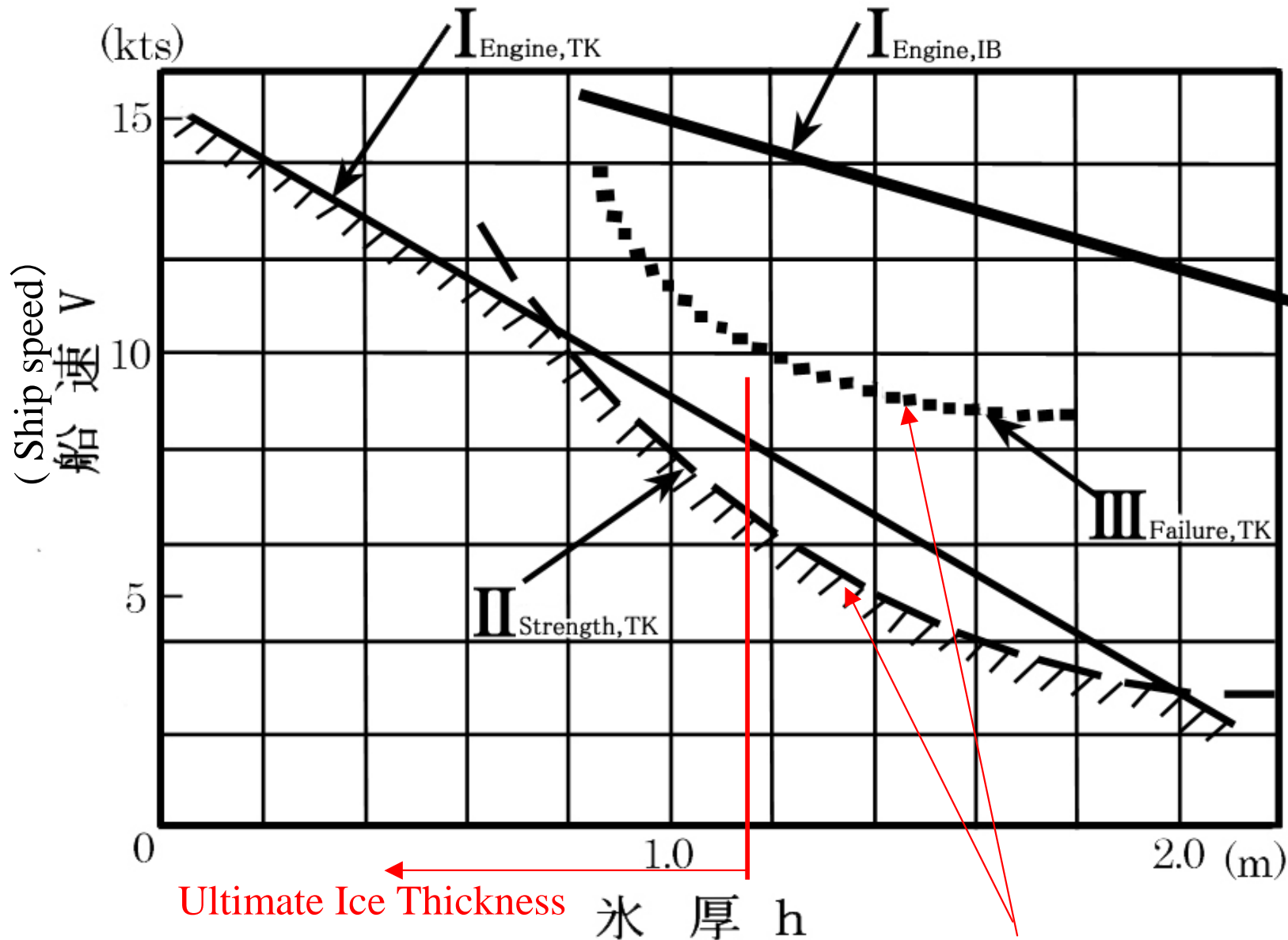
Courtesy of Primorsk Shipping Co. Ltd.

The Annex specifies the content of **Ice passport**

- > Concise information about the ship
- > Ice class
- > Ice performance curves, Diagrams of safe speeds
- > Safe stopping distance between the ice breaker and the escorted ship
- > Minimum permissible curvature of the channel
- > Ultimate ice thickness against ice pressure due to narrowing of the channel

Ice performance curves, Diagrams of safe speeds

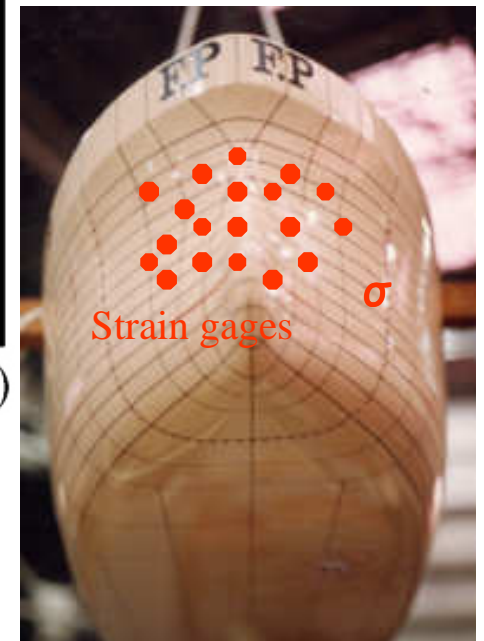
野澤和男:氷海工学(成山堂書店)参照



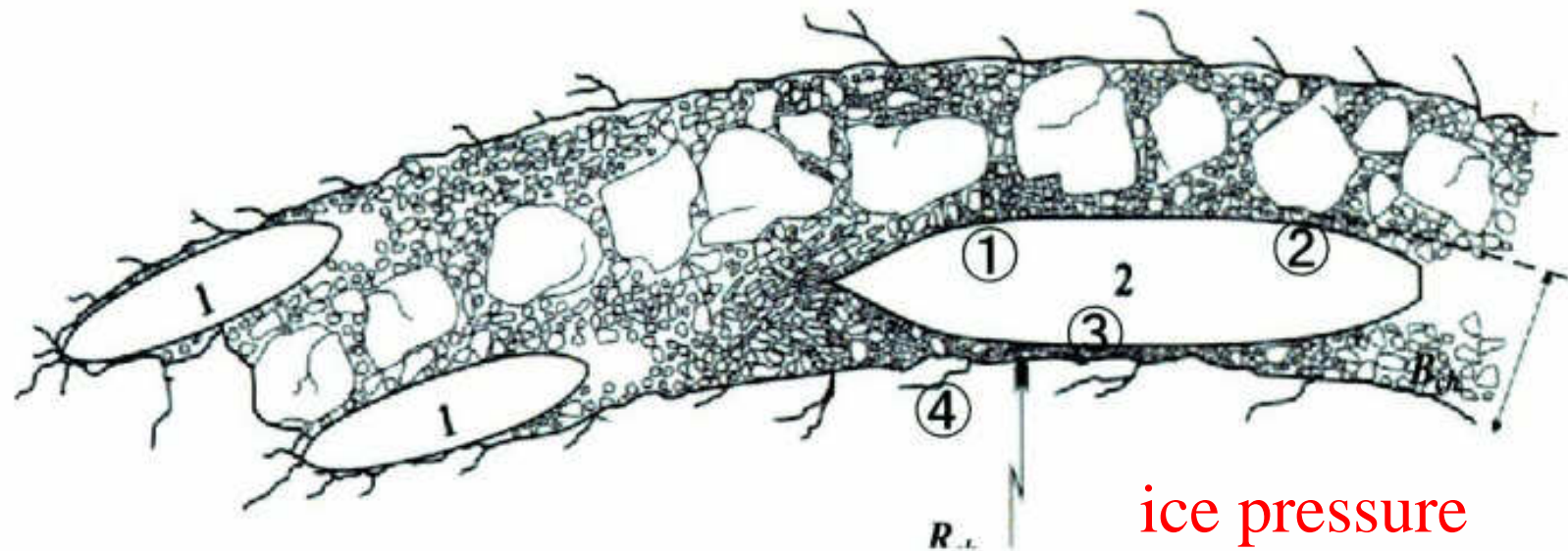
(schematic figure)

Curves determined based on yield and failure strength σ by ice impact (actual experimental data base)

説明用写真



Minimum permissible curvature of the channel



1- icebreakers; 2- escorted ship; R_{ch} – channel radius; B_{ch} – “clear” channel beam

Ice contact at ①、②、③ → The ship will stick in the ice channel

Icebreaker should break ice around ④

(schematic figure)

§ 5. NSR航行用船舶の砕氷性能の考察

(1) NSR航行用船舶の特徴

NSR航行商船は、独航型砕氷商船ではなくロシアの原子力砕氷船にエスコートされて随伴する耐氷商船が主流となるであろう。

耐氷商船：氷海航行海域により所要のice ruleを満たし所定の氷象/氷厚に堪える構造をもつ船。Ice class 1AS(氷厚0.8~1.0m)程度であるが、Yamal LNG船のようにLU8 class(氷厚2.3~2.4m)を期待する場合もある。

原子力砕氷船の先導：冬期のNSR航法は、ロシア政府の監督下、氷況が軽微である場合を除き、原子力砕氷船*が2,3隻で先導して航路を啓開し、耐氷商船は砕氷された水路(Broken ice channel)中を随伴する航法(Convoy)をとる。

* Russia operates six nuclear-powered icebreakers: **Russia, Soviet Union, Yamal, 50 Years of Victory, Taimyr and Vaigach**. Former 4 of them are the Arctic class with a draft of 11 m. Latter 2 icebreaker, Taimyr and Vaigach, were shallow waters type with a draft of 8.1 m. The most powerful icebreaker are under construction.

Broken ice 中推進性能：耐氷商船は絶え間なくBroken iceと衝突・接触し押し分け、破碎しながら航行する。Broken ice 中推進性能と船体衝撃構想の2つの見地から船型設計が重要になる。

船の種類：現在のNSR航行船はOil Tankerや Bulk Carrierが多いが 今後の商業化航路となるためには付加価値のある貨物や商品を運ぶ種々のタイプの船 (LNG Tanker、Container ship、Car carrier、Cruise Ship・・・) の航行が必要になる。

耐氷商船の特徴: 航路に“Open sea”と“Ice sea”を持つ。推進効率の見地から船は Bulbous Bow 装備の通常タンカー船型が多くなる。

推進装置: 通常プロペラ (FPP) 或いはAzipod(全方位型ポッドプロペラ)を装備する。

【設計のポイント】

- ① Ice Sea中では、Thin Level Ice、Broken Ice、Broken Channel中の碎氷性能がよい。
- ② Open Sea中の推進性能がよい。
- ③ タンカーではIce/ Open Sea中両海域で満載、バラストの両状態で性能がよい。

氷象:

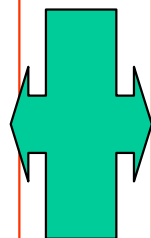
Thick Level Ice/ Ridge

Thin Level Ice

Broken Ice

Broken Channel

Open Water



船舶:

Icebreaker

Icebreaking Tanker.....

Ice Strengthening Ship
with bulbous bow/ with Azipod

DAT(Double acting tanker), Ice
Strengthened

[studied for DNV & MPGs¥NMRI ice tank Demo1.mpg](#)

[studied for DNV & MPGs¥7 SR204巡視船\(BrokenIce\).mpg](#)

抵抗・馬力/プロペラ/操縦性

Hull form(Ice sea Performance / Open sea)

(2) 砕氷船舶の一般知識

以下、野澤和男:氷海工学(成山堂書店)参照

① 砕氷船舶の実例と氷海水槽実験の例

Bulbous bowを装備するNSR航行用船舶の砕氷性能を考察する前に、砕氷型船舶について概要を復習する。

1) 砕氷船舶の例

1) Arctic&Manhattan MPG

2) Arctic Operation MPG

3) Nuclear Icebreaker MPG

2) Ice Tank Test

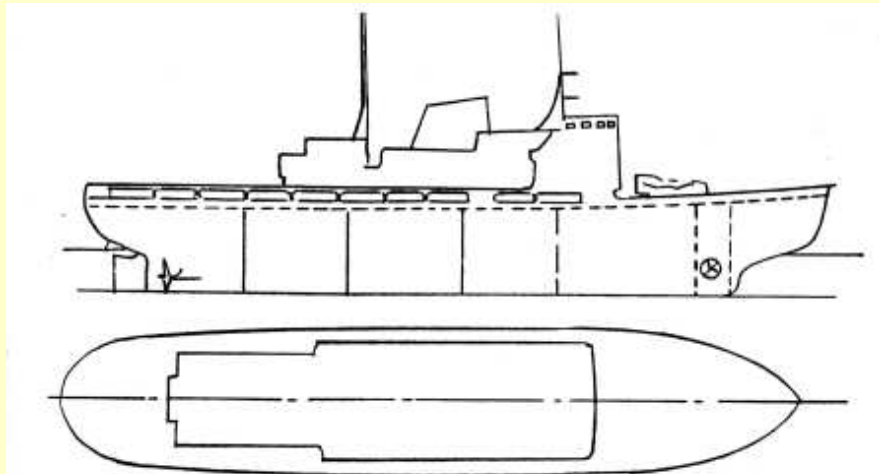
1) Performance in Level Ice MPG

➤ [studied for DNV & MPG's NMRI ice tank Demo1.mpg](#)

2) Performance in Broken Ice MPG

➤ [studied for DNV & MPG's SR204巡視船\(BrokenIce\).mpg](#)

CCGS R Class Icebreaker "Pierre Radison" (from ITTC1984 report)



出典: Canadian Coast Guard www.ccg-gcc.gc.ca

Built at 1978

**Arctic class 3、Exponential bow、
Diesel Electric Propulsion:AC-R-DC**

L x B x d=98 x 19.5 x 7.2m

Dispt.x BHP=8,311t x 13,600ps、2 x FPP , $\phi=18\text{deg}$.

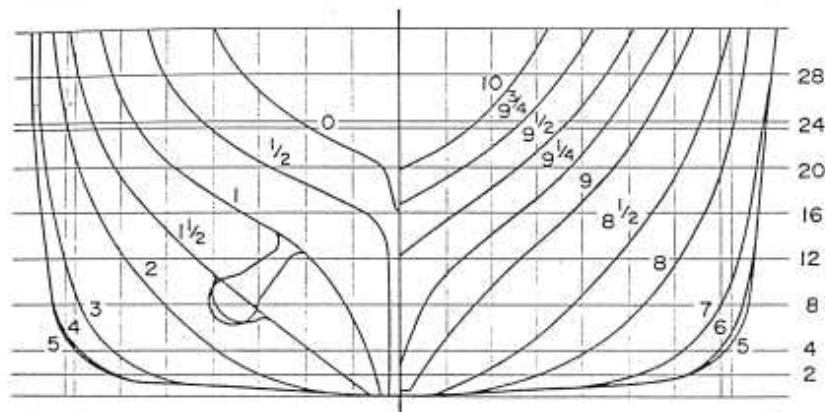
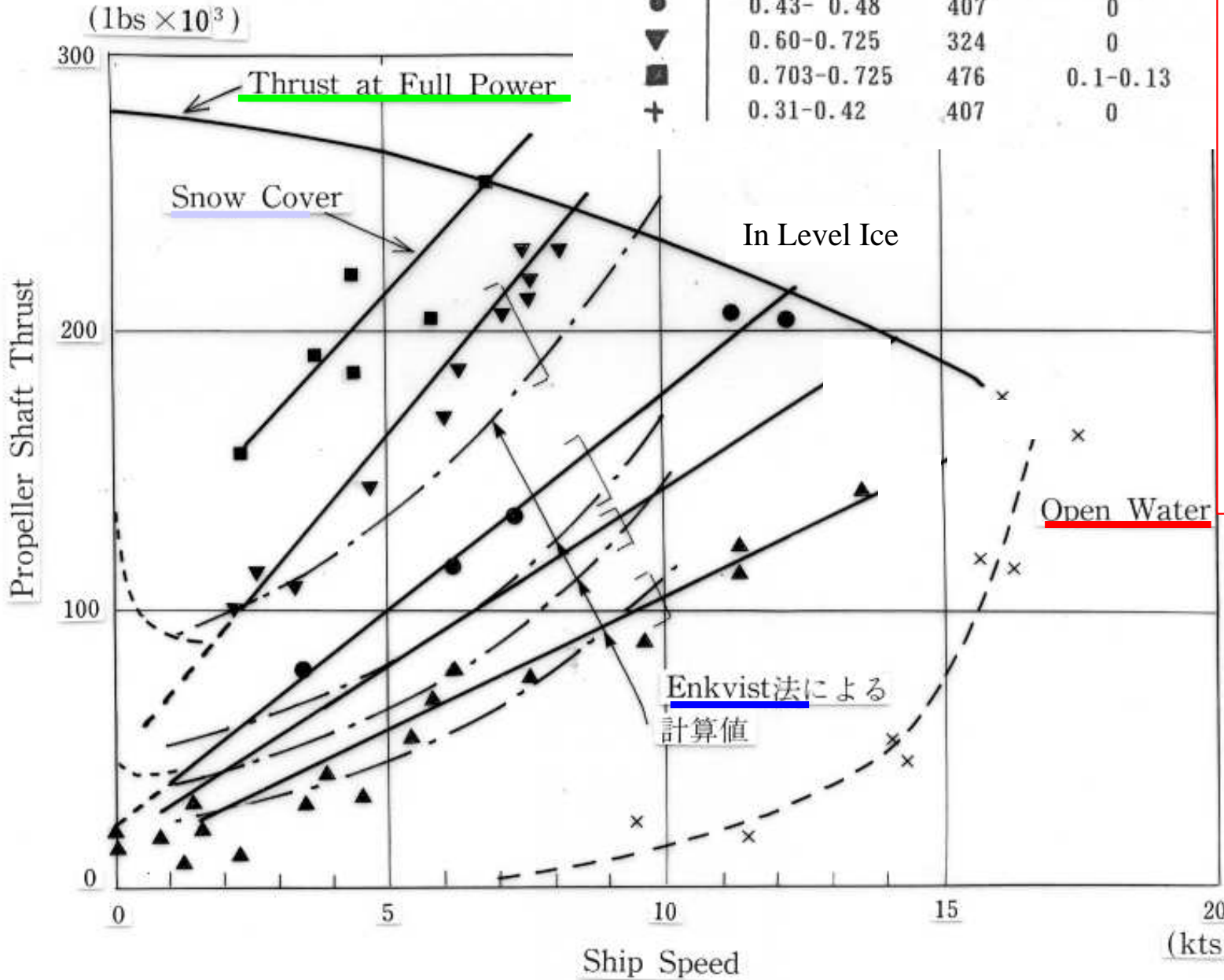


Fig.5-63
Lines of CCGS R Class
Icebreaker "Pierre Radison"

Signal	Ice Thickness Range (m)	Strength (kPa)	Snow Cover (m)
▲	0.2 - 0.25	—	0
●	0.43- 0.48	407	0
▼	0.60-0.725	324	0
■	0.703-0.725	476	0.1-0.13
+	0.31-0.42	407	0



Actual test at 1978 & 1979

North west route & Gulf of St. Laurent

Flexural strength: 400-500kPa

- Ris is linear to V_s
- Snow effect is large
- Measured/ Enkvist's method

Fig.5-65
 Effective Thrust of CCGS Icebreaker "John Franklin" (Sister ship of "Pierre Radison") (Field test)

5) Icebreaking Characteristics of Icebreaker 5

① Bow form and Icebreaking mode

➤ Icebreaking parameters : ϕ , α , β → **important to assess R_i**

➤ Icebreaker: Generally, **ice plate is pushed down by bow, broken** into cusped fragments by bending and pushed (**displaced**) ice plate into water.

[7_SR204巡視船\(BrokenIce\).mpg](#)

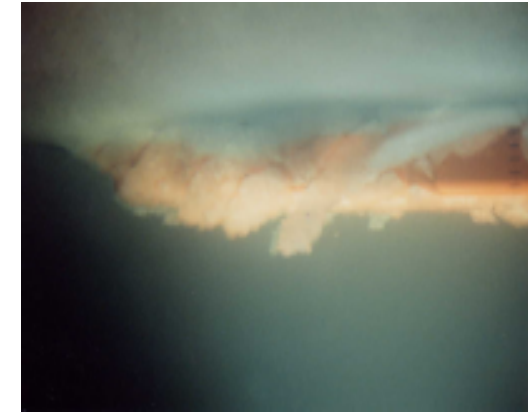
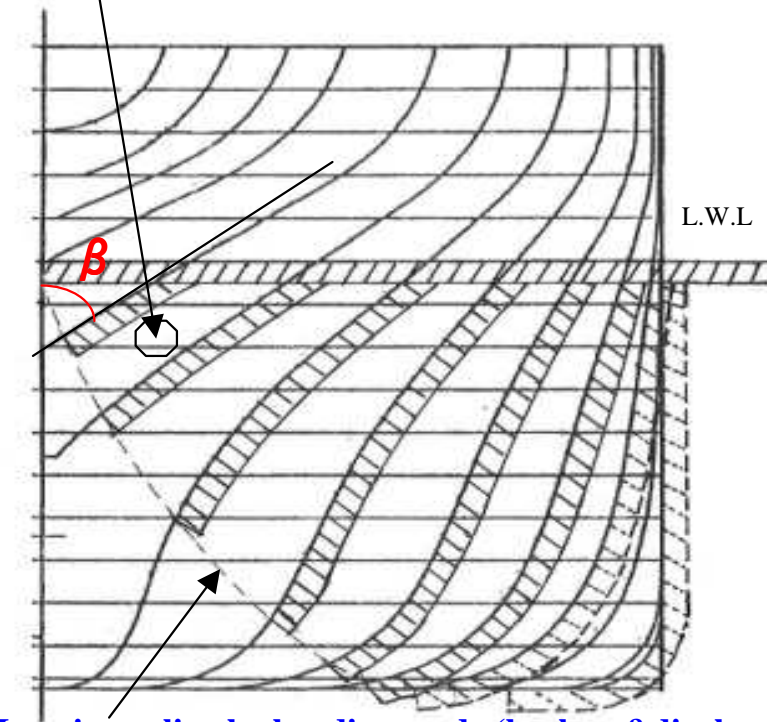
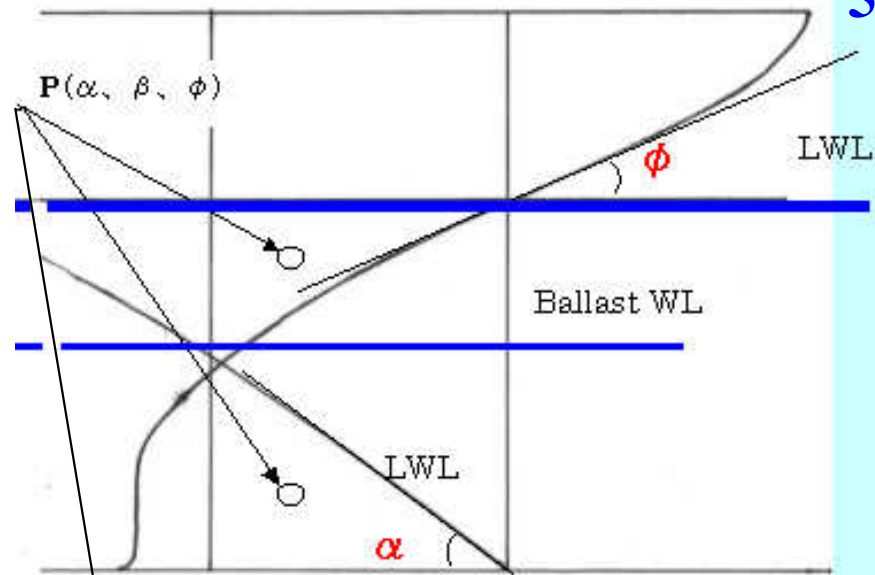


Photo1 Example of Icebreaking Pattern of Icebreaking Ship (left: bottom view, right: side view), courtesy of NMRI Japan)

Fig.4 Icebreaking Pattern of Icebreaking Tanker

(2) Broken Ice 中の砕氷抵抗 (Theory of Kashteljan-Poznjok-Ryvlin: 一例)

$$R_{\text{broken ice}} = R1 + R2 + R3 + R4$$

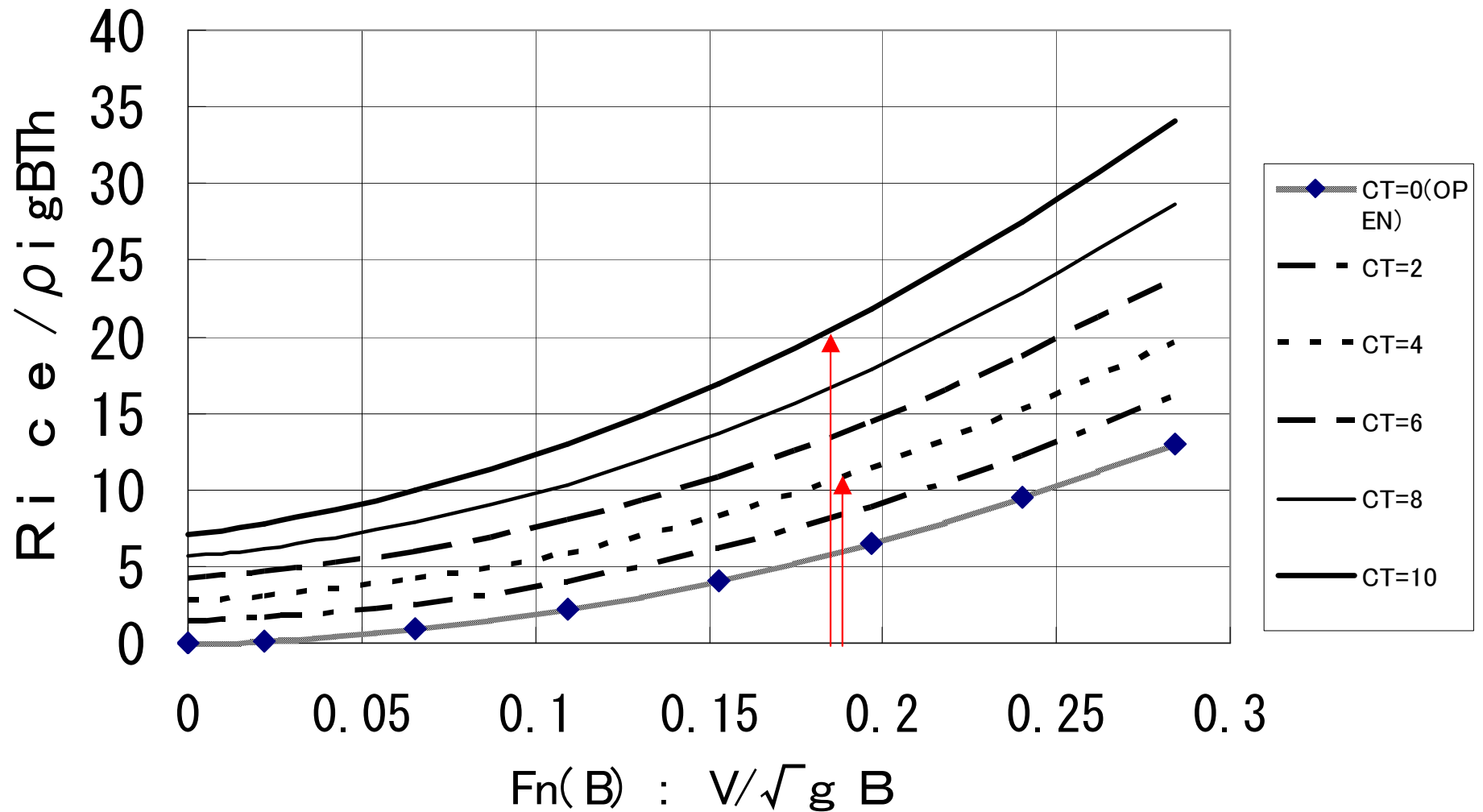
- 1) Resistance caused by Inertia : R1
- 2) Dissipative Resistance (water resistance by pushing aside): R2
- 3) Static Resistance(ice stiffness) & Effect of Ice Compression : R3
- 4) Water Resistance : R4

Broken Ice 中の砕氷抵抗はLevel Ice 中砕氷抵抗よりも一段と複雑で開発途上といえる。しかし、古典的なKashteljan-Poznjok-Ryvlinの理論はEnkvistの理論同様、砕氷現象メカニズムを着実に分析し船体形状の影響も取り入れた計算法で、丹念に補正を施せば実用に耐える計算法である。

この理論によると、砕氷抵抗 R_t は、R1:砕氷塊を左右或いは船底に加速度を持って移動させる慣性抵抗、R2:砕氷板が船体或いは周囲の氷板を押し付ける摩擦作用による散逸抵抗、R3:氷の剛性や圧縮による静的抵抗、 R_w :水抵抗等の総和で表せる。

ナイフエッジ型船首を持つ通常型砕氷船の場合は、Broken Iceを船首側方にを排除し、船首傾斜角の小さなExponential bowや Spoon bowを持つ砕氷船ではBroken Iceを船首側方および船底方向へ押しこむように排除する。この傾向を入れて計算式を補正すると実験値に近い値を推定できる。

Ice Resistance in Broken ice (CT effect: non-dimensional)



Broken Ice中で Ct =4の抵抗はCt =10の約半分、水抵抗の2倍程度である。

→Broken ice中での抵抗増加は大きく耐氷商船のBroken ice中推進性能が重要である。

(3) 耐氷タンカーの砕氷抵抗の課題と改良

① 耐氷タンカーの特徴:

①氷海域/Open seaの両海域を航行、②Bulbous Bow装備、③タンカーでは (Full/Ballast)

②推進性能上の課題：上記の条件を満たす最適BOW形状の設計

例えば、氷海域/Open sea中で抵抗/馬力の少ない船首尾形状を見出す事である。

➡ 砕氷船舶の一般知見を基に下記のようなBulbous Bow船型の砕氷性能を考察する。

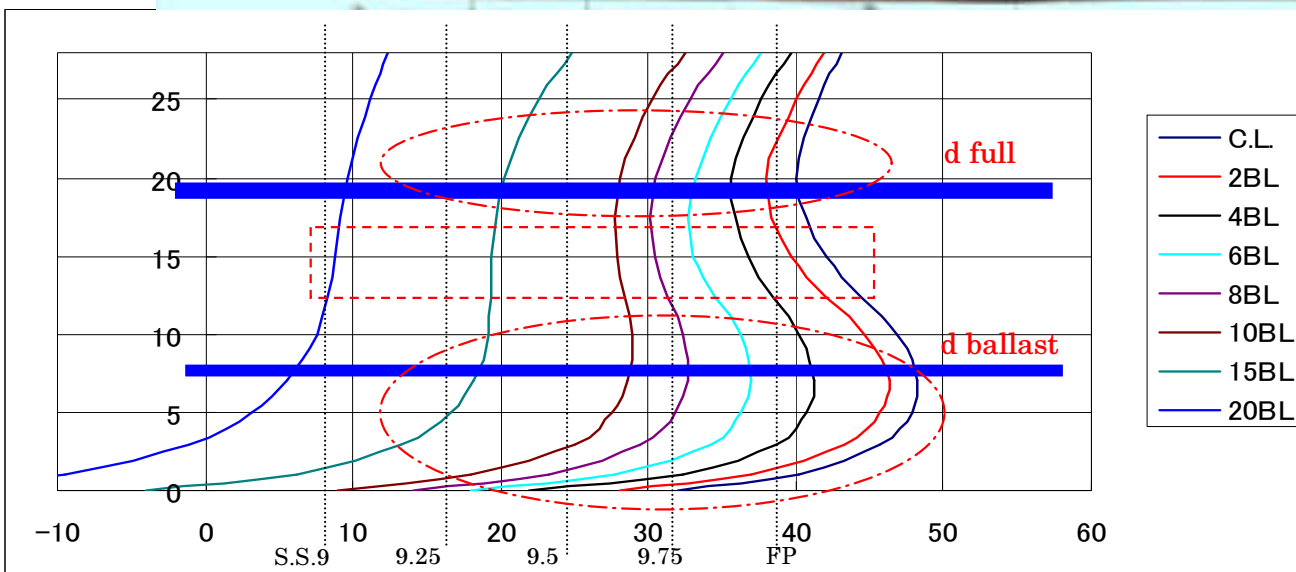


Fig.2-1 Typical Conventional Bulbous Bow Tanker Navigating Draft in Open Sea (Tanker Model "A")

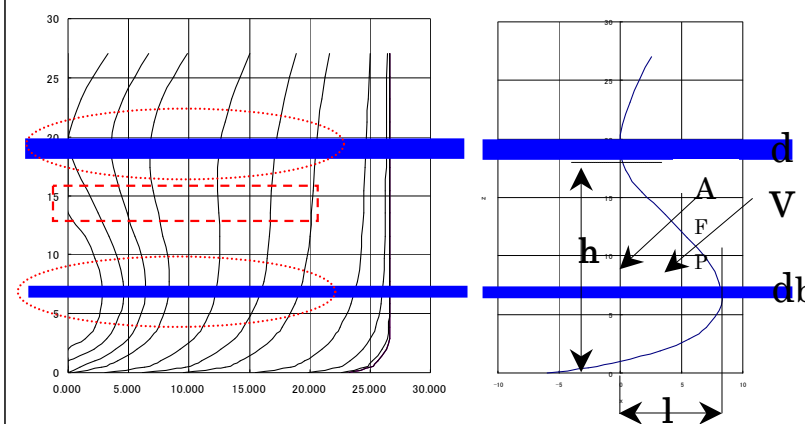


Fig.2-2 Typical Conventional Bulbous Bow

出典: ISOPE2009 :A Consideration on Bow Design of Arctic Tanker transiting in Thin Level Ice and in Broken Ice Channel by K. Nozawa)

3. ICEBREAKING CHARACTERISTICS OF CONVENTIONAL BULBOUS BOW TANKER

Completely different from the icebreaking bow. ← Vertical stem, Buttock line and Frame line.

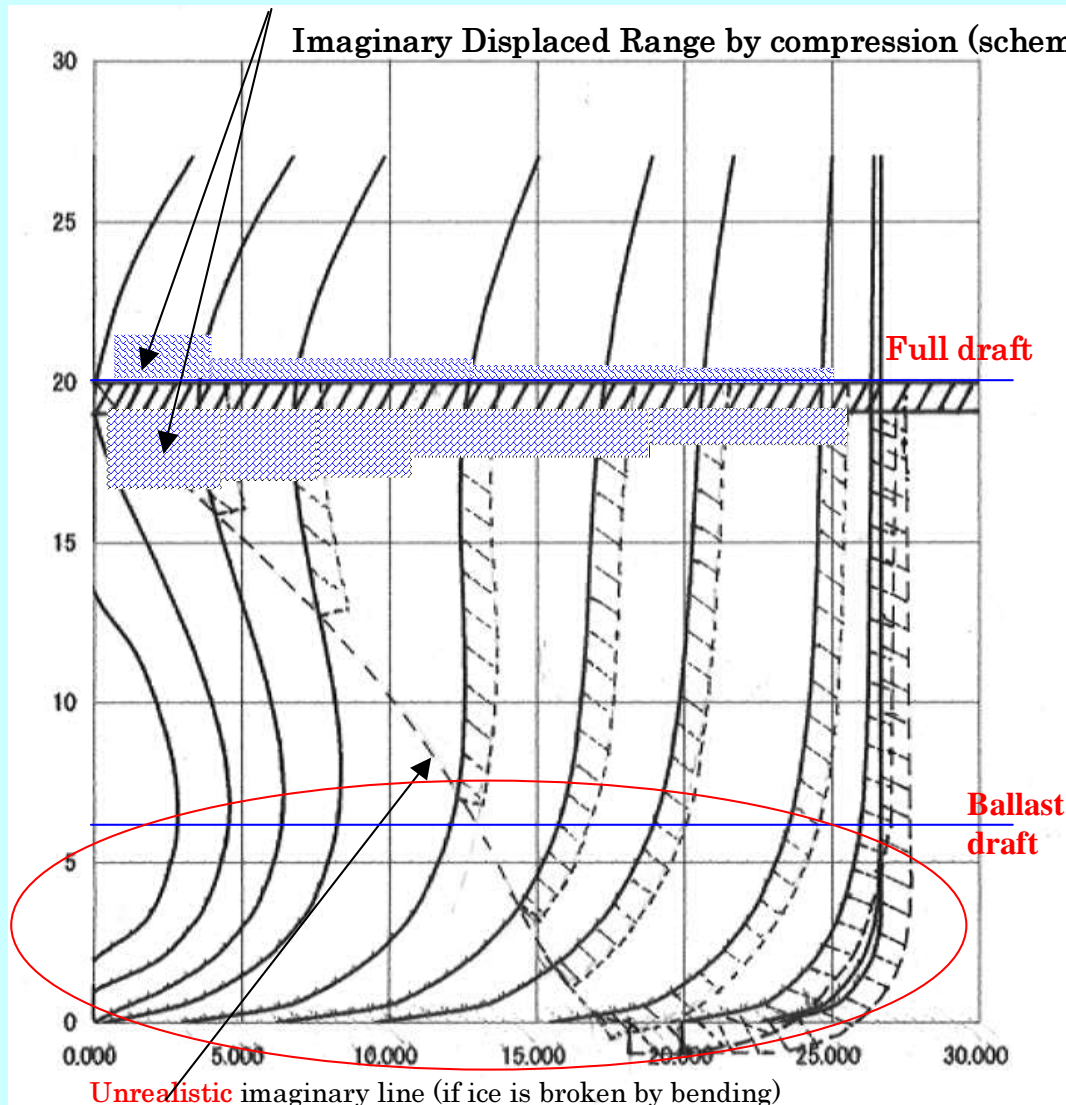


Fig.5 Icebreaking Pattern of Conventional Bulbous Bow Tanker (Imaginary)



Photo2 Icebreaking Pattern of Ice Strengthened LNG Carrier with Bulb (courtesy of Kawasaki Zousen)

※Bulbous Bow付Tanker船型の船体表面傾斜は垂直に近く砕氷抵抗は増大する。

4)Hull surface inclination angle: ψ_F (Fig.9-1,9-2)

13

$$\tan \alpha = \frac{\tan \phi}{\tan \psi}$$

$$\cos \psi = \frac{\tan \beta}{\sqrt{A}}$$

$$\psi_F = 90 - \psi$$

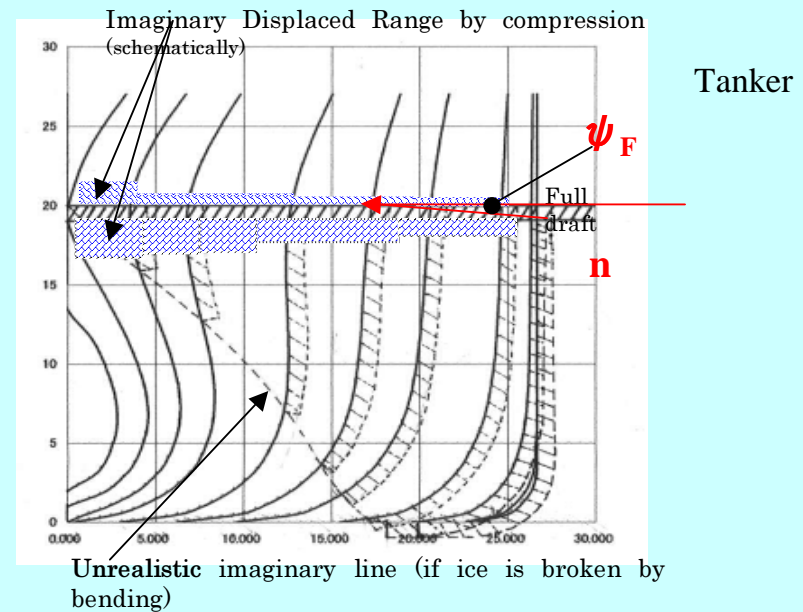
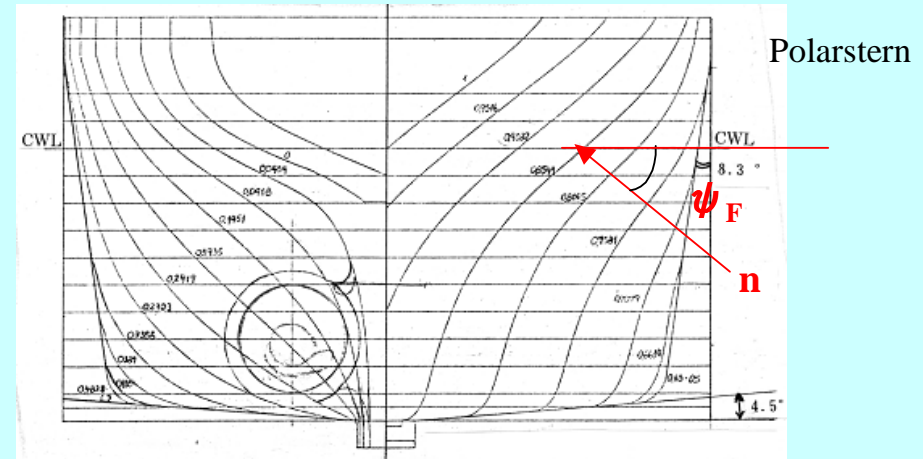
$$\psi_{Frict.} = \arctan(f)$$

$$\psi_F > \psi_{Frict.}$$

$$f = 0.1 - 0.2$$

$$\psi_F > \psi_{Frict.} = 5.7 - 11.3 \text{deg.}$$

ψ_F が ψ_{Frict} (摩擦角) より大きければ、
氷は船体表面で滑り、曲げで破砕する。



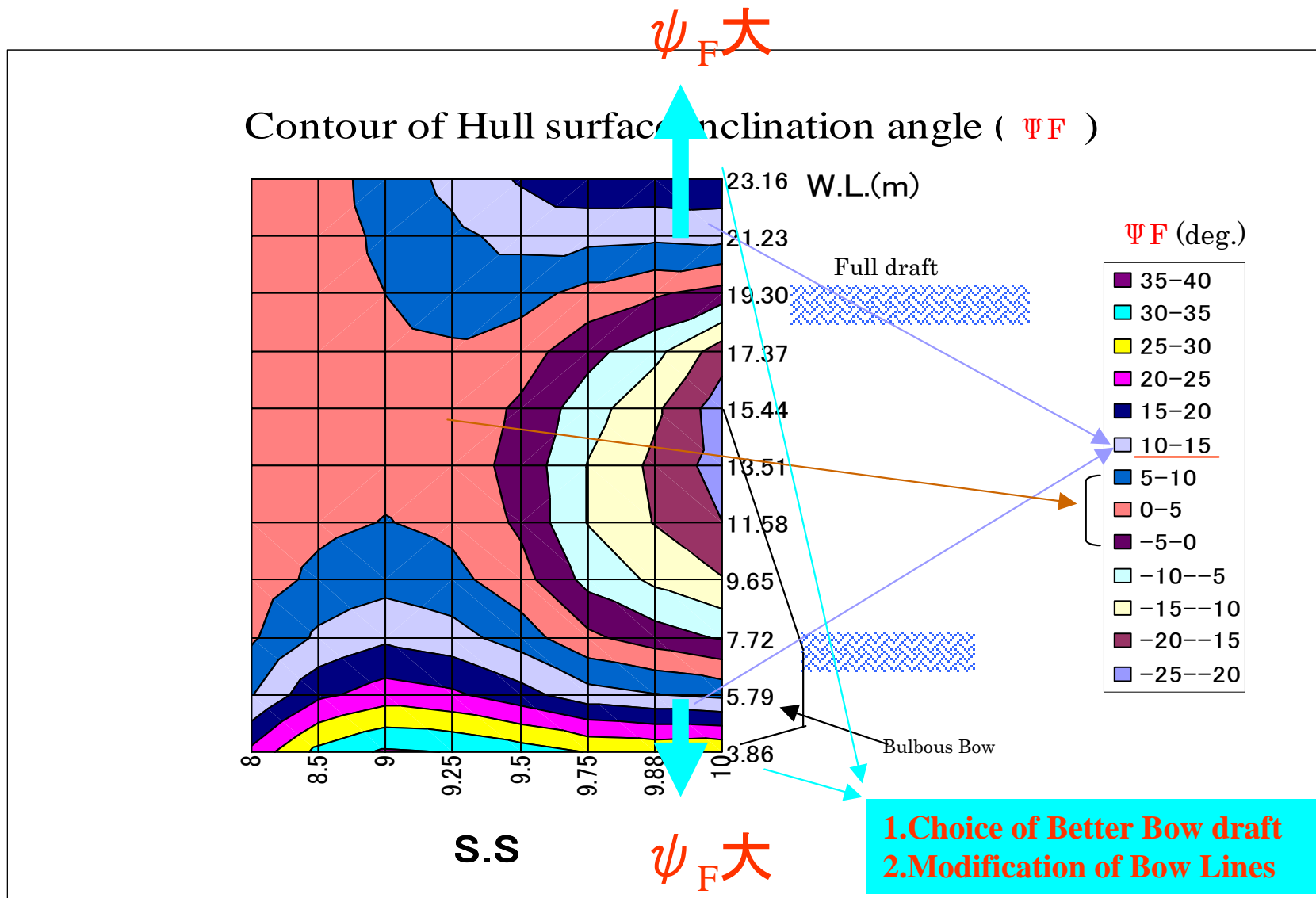


Fig.9-2

Contour of Hull Surface Inclination Angle:

Full draft → deeper draft
 Ballast draft → shallow draft にすると
 ψ_F が大となり、砕氷性能が向上する。

A PROPOSAL of Configuration of Bow to improve Icebreaking Resistance

Methods:

- 1) Change of Fore Draft only when navigating in Sea Ice by Trim(hull shape as it is)
- 2) **Modification of Bow Configuration:**

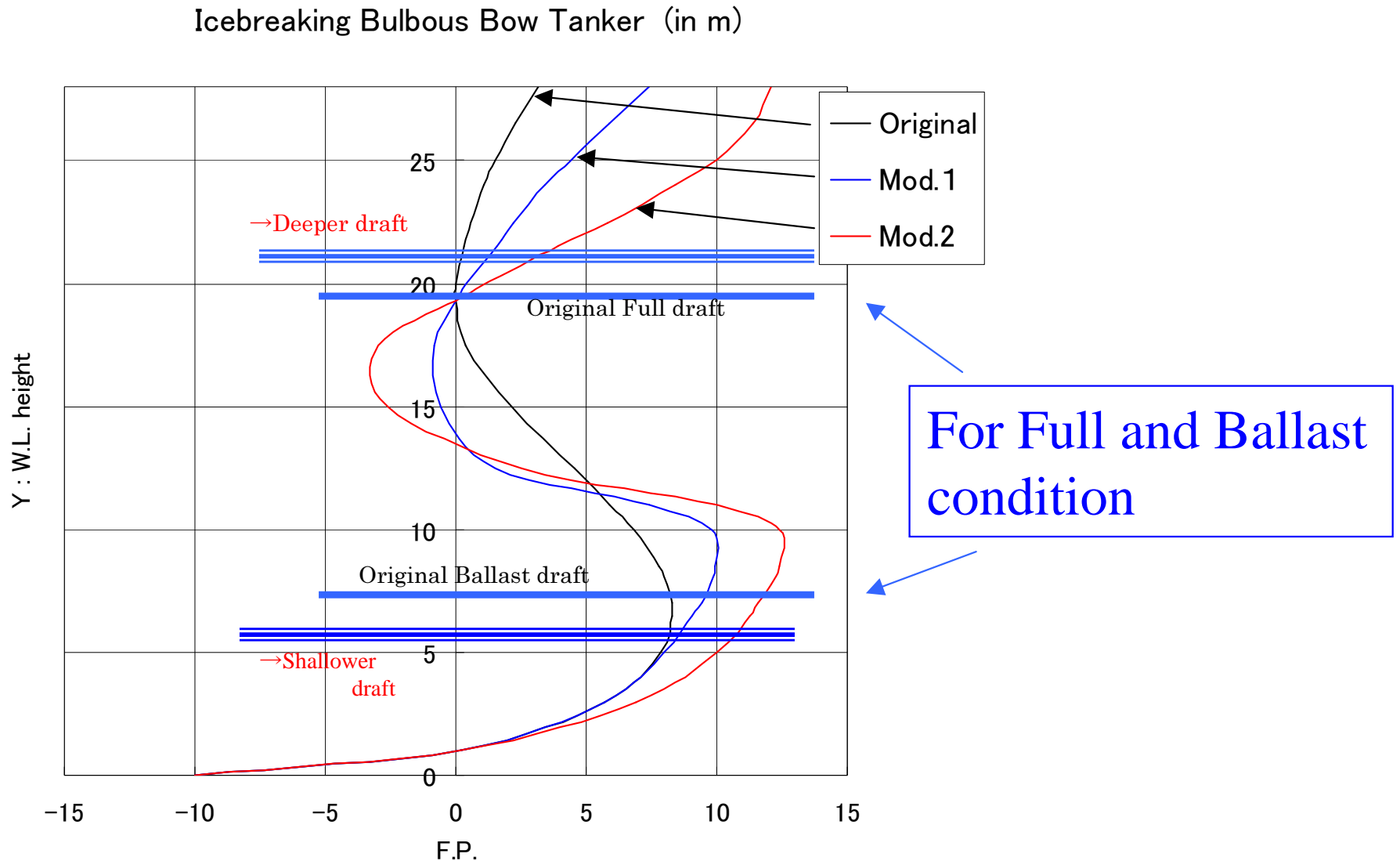
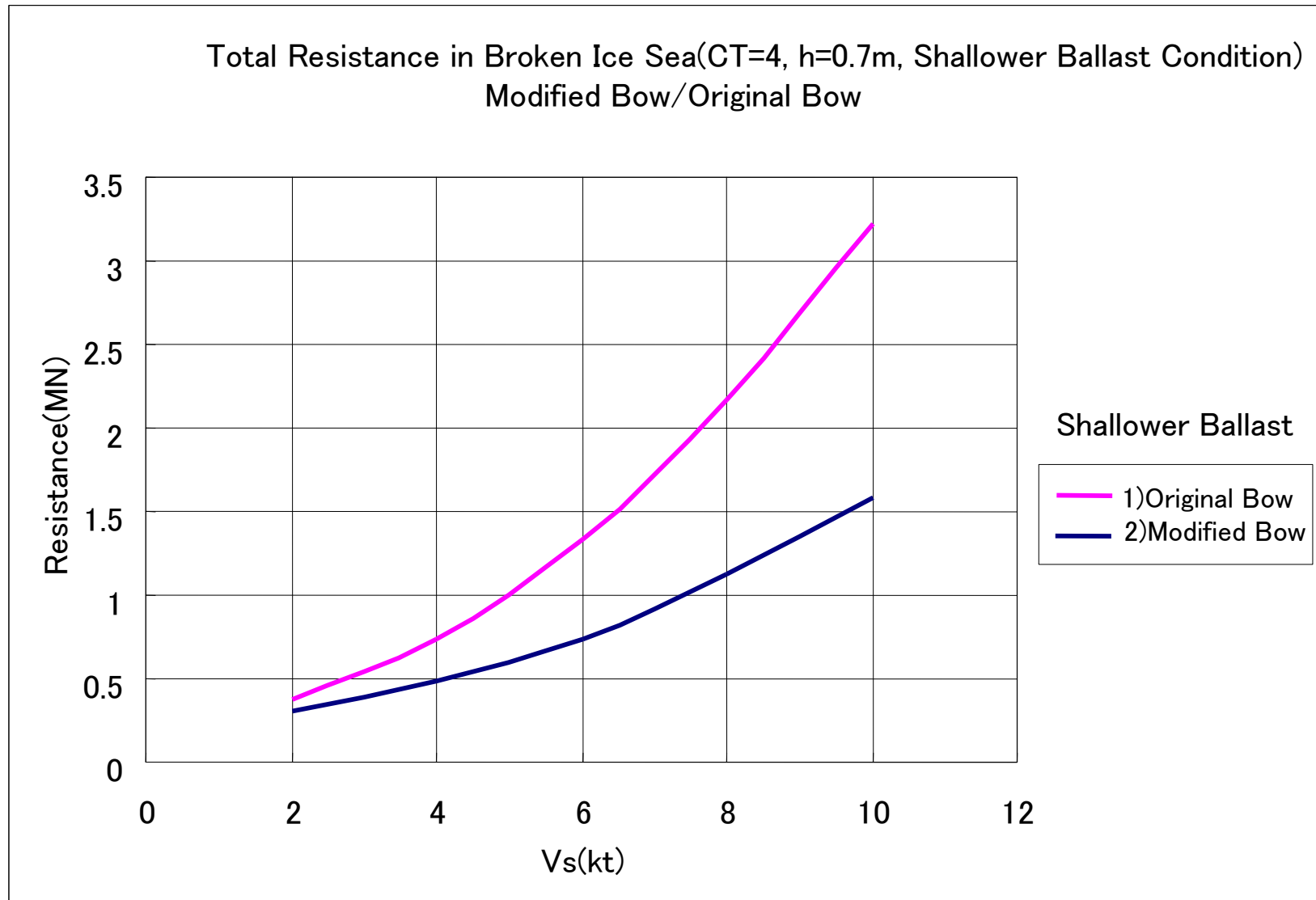


Fig.11 Modification of Bow Configuration for Improvement of Icebreaking Performance(Mod.1 & Mod.2)



$$R_{iB} = (R_S + R_{vm}) f(C_T) + R_D + R_{OW}$$

$$R_{vm} = \overline{V^2 B \tan^2 \phi \rho_i (h + 0.218l) (1 + \eta_{fs} \cdot \eta_{fc})}$$

§ おわりに

①**ロシアのNSRの課題**：2013年4/11開催予定の Sankt Peterburg International conference “NSR: state, problems and prospects“の講演題目。
Keywordsをみると、本講演の視点の妥当性が再確認できる。

- NSR輸送システム、最近のインフラと商船隊
- NSR船舶航行のための運輸省の役割と法律
- NSR航行のための操船と水路学
- NSRの捜査救助施設と航空機の役割、オイルスピル
 - Port Sabetta for Yamal LNG
 - NSRの水産漁獲類の展望と輸送
 - 気候/氷海面積の変動と最適NSR航路
 - NSR輸送を増加させるロシア内陸水運の可能性
 - ロシア砕氷船艦隊の将来展望
 - 北極で稼動する新造および現有船舶の要求性能
 - Vessels GC “Sovcomflot” by the NSRによる貨物輸送
 - MMC “Norilsk Nickel”による輸送システム
 - ヨーロッパ、アジアへの商用航路NSR
 - NSR船舶のリスク
 - NSRのクルーズおよび乗客輸送

②**日本はNSR 航路へ更なる関心を寄せ発言力を強化する要あり。**

③**日本造船界はNSR耐氷商船の開発・建造にも注力すべきである。**

Fine