

令和3年(第21回)海上技術安全研究所研究発表会

VESTA-ICEによる 北極海航路のルーティングシステムの開発

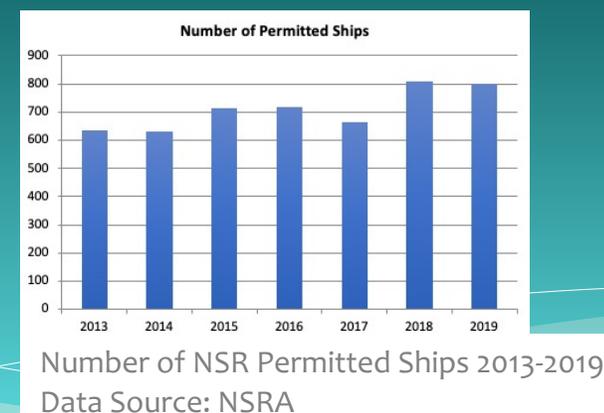
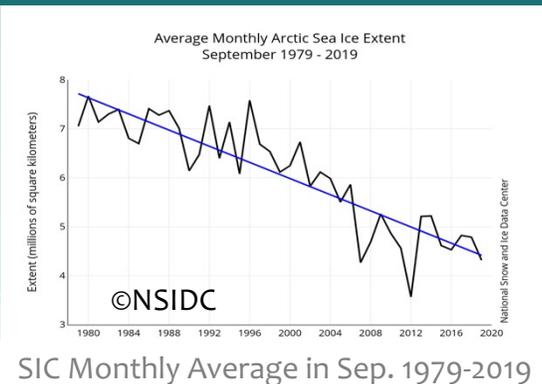


流体設計系
松沢 孝俊

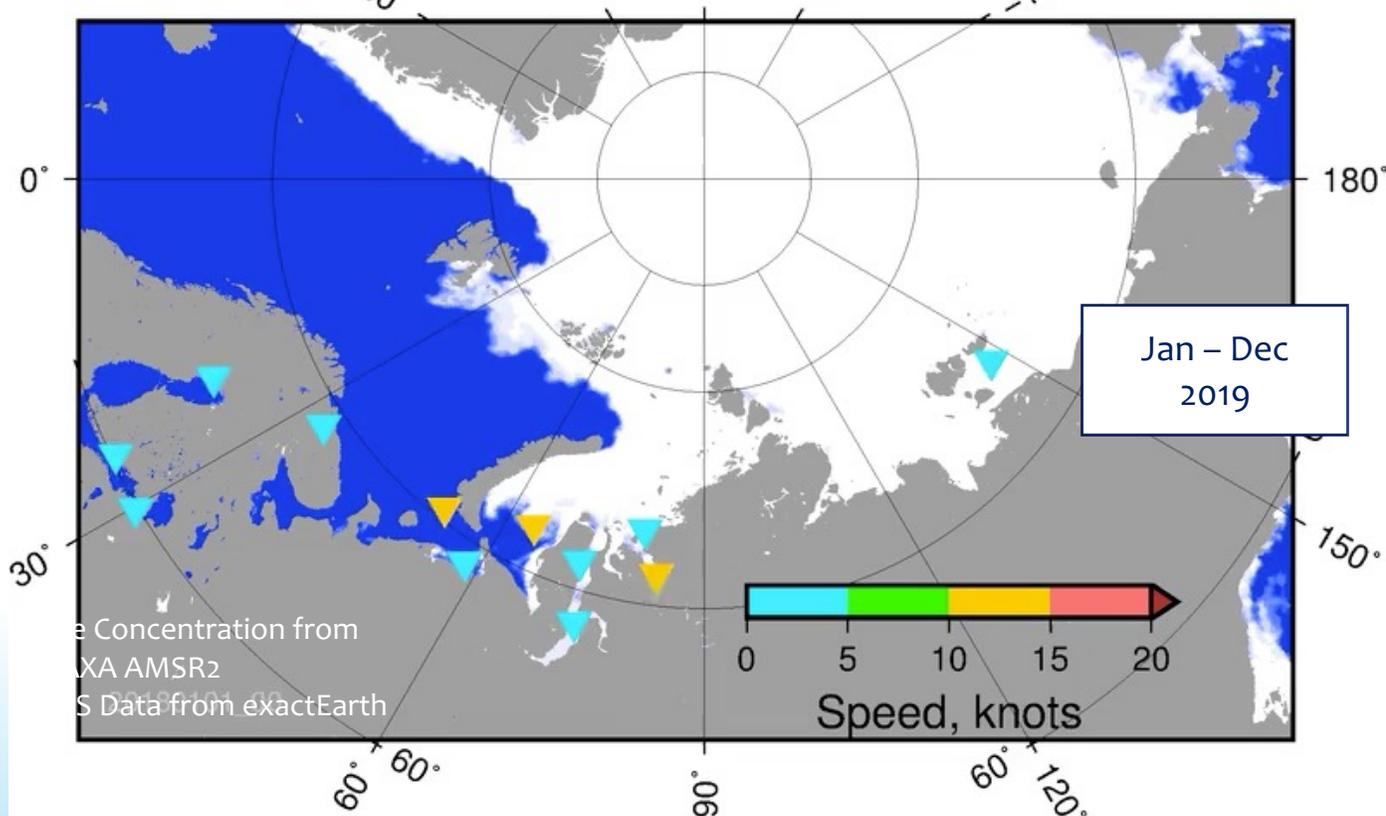


北極海航路の現況

- 北極海の通航機会の増大
- アイスクラス船建造の活発化
- 邦船社の参入（ヤマルLNG）
- Polar Code等の規制の強化
 - EEDI, EEXI, CII
 - HFO持込制限



北極海の海氷勢力は年々低下（左）通航数は増加（右）



なぜ北極海のルーティングシステムが必要なのか

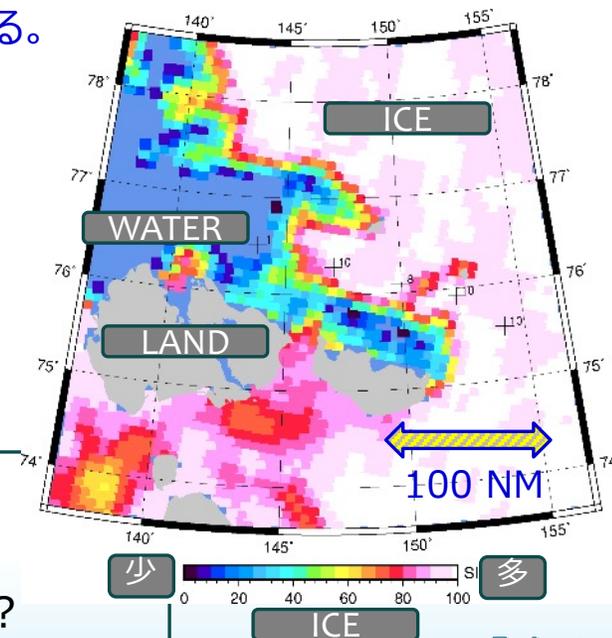
- ① 氷況によって航路が変わる。
- ② 安全な航路の選択には経験を要する。
- ③ 環境保全及びコスト最適化に関する不確定要素が多い。



氷況は時々刻々変化する。

避けるか進入するか
高度な判断が問われる。

コストは氷況に依存する。



船の氷中性能を踏まえたルート選択が必要

氷海中ルート選択の3大要素

氷況

予測する？
取得する？

船舶
性能

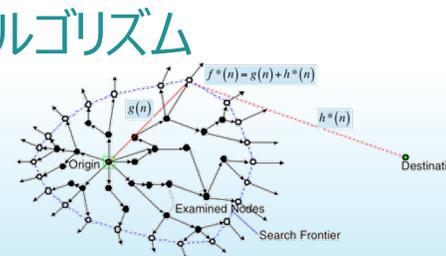
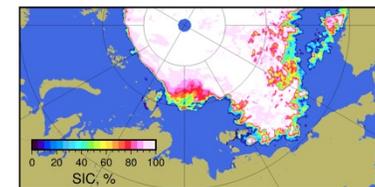
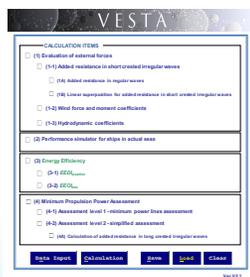
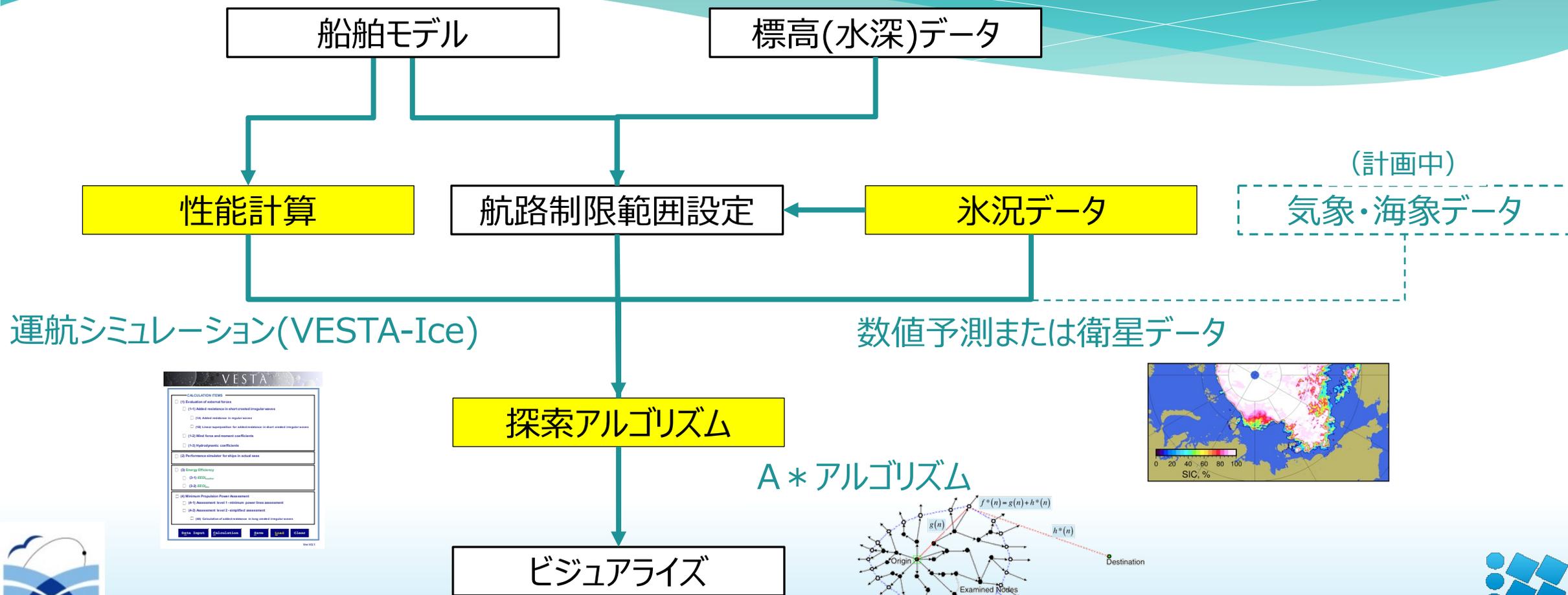
速度の低下は？
燃費の増加は？

航路
探索

何が最適か？
選択の理由は？

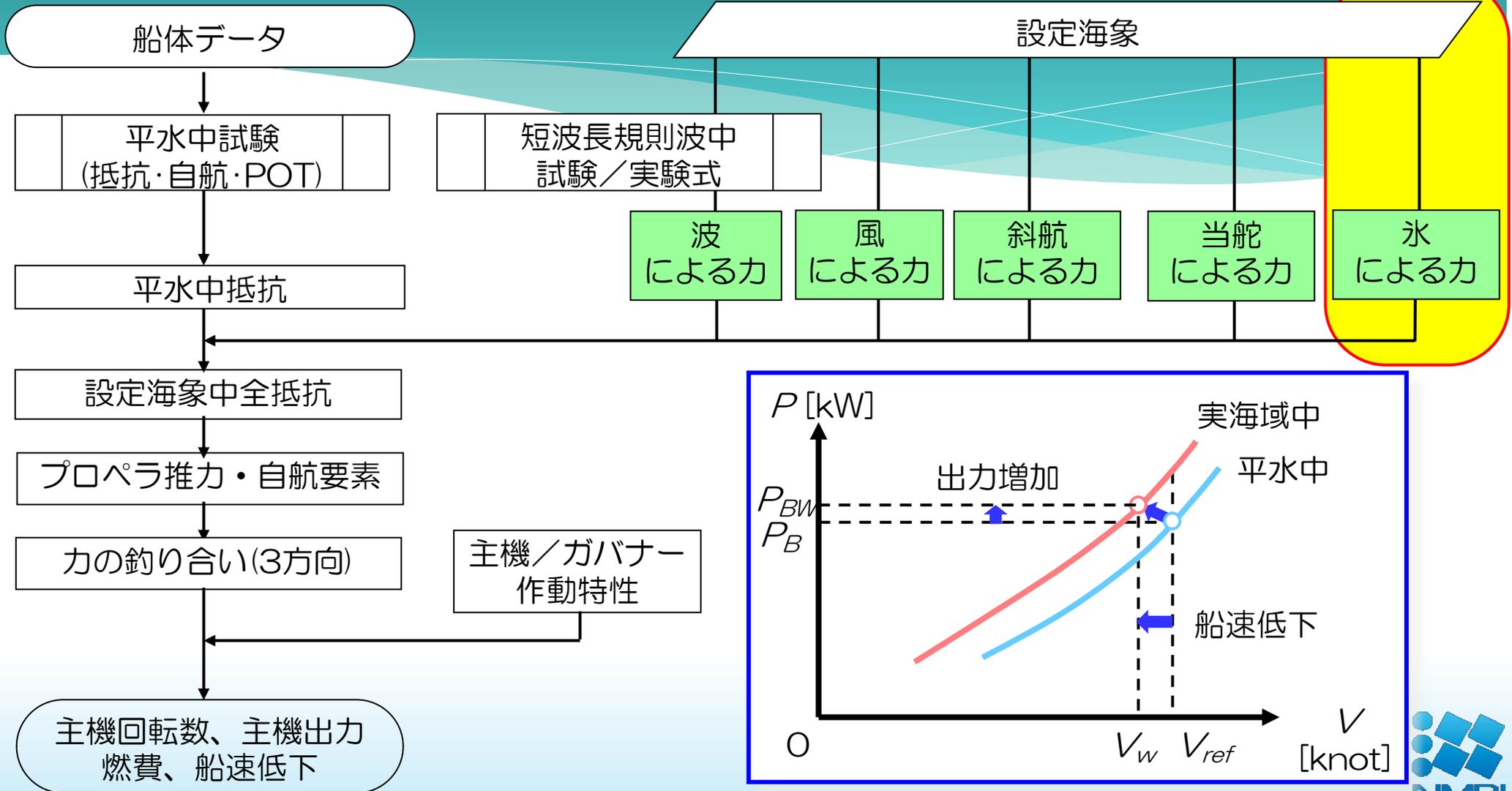
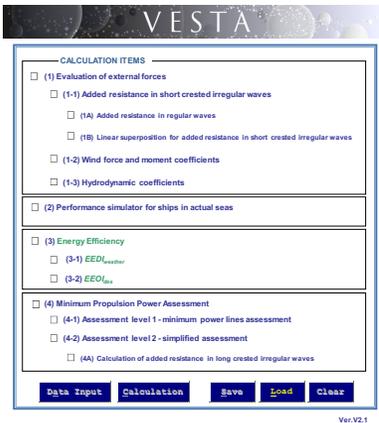


北極海向けルーティングシステムの構成



性能計算

VESTAを
ベースとして使用



性能計算（水中抵抗モデル）

船長より小さい氷盤に適する

主にKPRモデルを適用（KPR: Kashitelijan-Poznjok-Ryblin, 1968）

※ Lindqvist (1989)も考慮できる

$$R_{ICE} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (\text{衝撃} + \text{発散} + \text{静的})$$

$$R_1 = \bar{k}_3 \rho_i r h V^2 \tan^2 \alpha_0$$

$$R_2 = \bar{k}_2 \rho_i g r h B \frac{V}{\sqrt{gL}} (f_T + C_{WE} \tan \alpha_0)$$

$$R_3 = \bar{k}_1 \rho_i g \sqrt{rh} \left(\frac{B}{2}\right)^2 \left(1 + 4 f_T C_{WE} \frac{L_H}{B}\right)$$

C : 氷密接度

h : 氷厚 [m]

r : 氷盤代表長さ [m]

V : 船速 [m/s]

L, B : 船長, 船幅 [m]

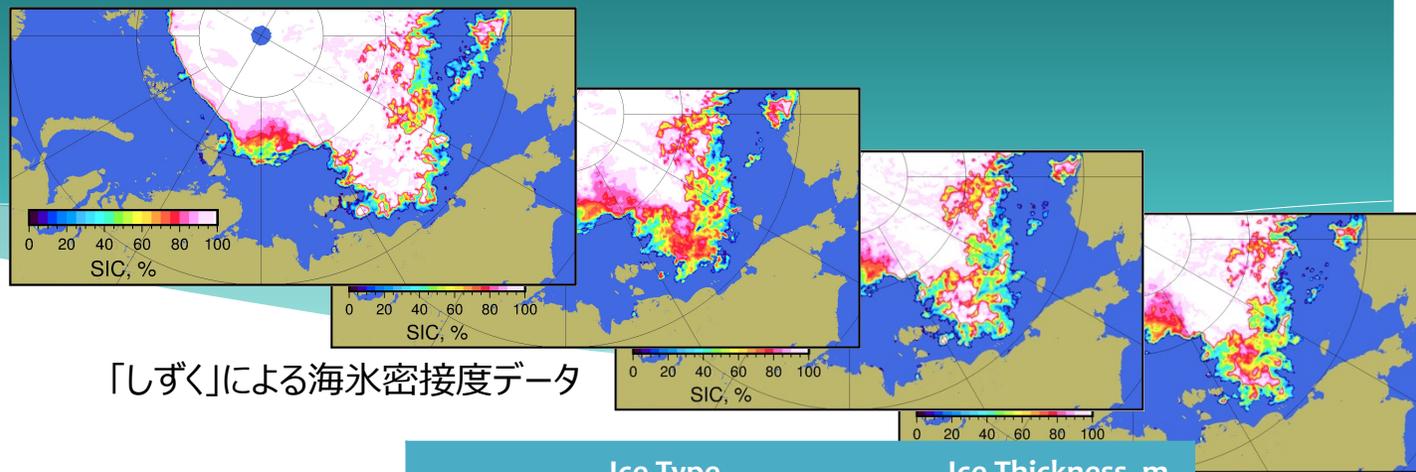
α : 船首開き角 [deg.]



Photo Source: Canadian Coast Guard AIRSS Pictorial Guide

使用データ

- 海水氷密接度（被覆面積率）
JAXA水循環変動観測衛星「しずく」(AMSR2)
- 氷種・氷厚
岡田 (2019), WMO (Egg Code)
- 地形・水深
GEBCO_2019, IHO/UNESCO
- 規則・規制
IMO, 露NSR庁 (NSRA)



- 抵抗計算
- 航路制限
(POLARIS含む)

氷海中の可航性指標

「未来の予測」と「過去の分析」の両方に対応する必要がある。



衛星観測

- AMSR2
- Daily
- 10km

数値予報

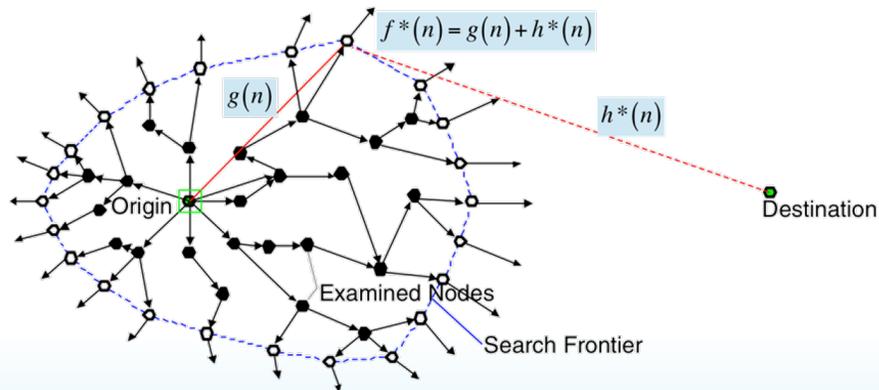
- IcePOM by 東大
- 6hrs (任意)
- 10km (任意)

Ice Type	Ice Thickness, m
New Ice	--
Grey Ice	0.1 -- 0.15
Grey-White Ice	0.15 -- 0.3
Thin First-Year Ice, 1st Stage	0.3 -- 0.5
Thin First-Year Ice, 2nd Stage	0.5 -- 0.7
Medium First-Year Ice Less than 1m	0.7 -- 1.0
Medium First-Year Ice	1.0 -- 1.2
Thick First-Year Ice	1.2 --
Second Year Ice	-- 2.5
Light Multi-Year Ice	-- 2.5
Heavy Multi-Year Ice	2.5 --

Egg Codeにおける氷種と氷厚の関係

探索アルゴリズム

- ① 対象船の喫水及びアイスクラス等によりマスキング
 - POLARISも考慮
- ② A*アルゴリズムで評価関数の最適解を探索
 - 距離／日数／燃料消費量で最適化

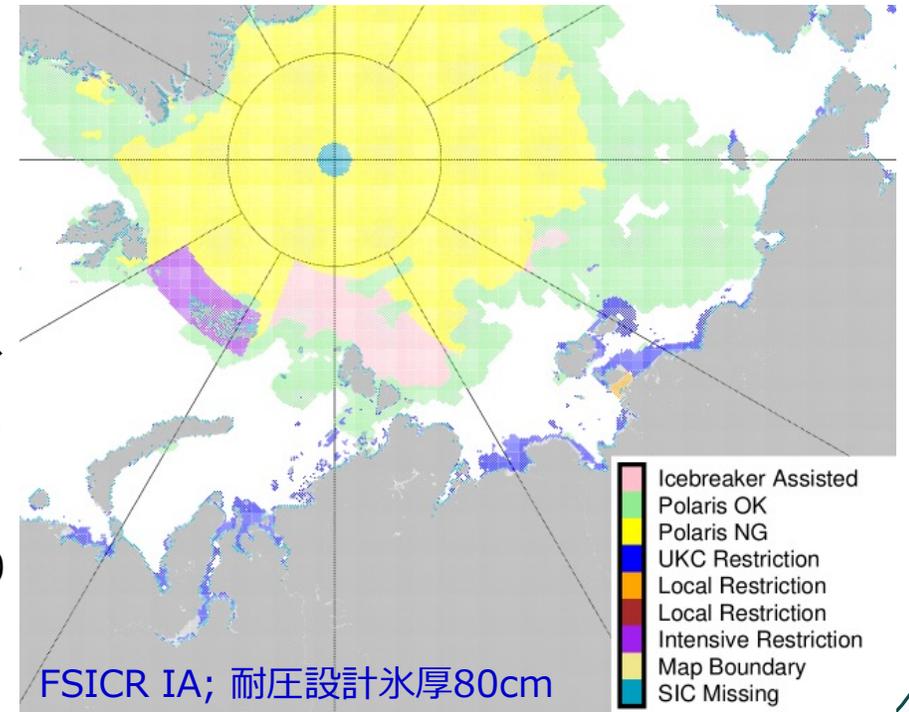


A*アルゴリズムの探索木 (Fu et al, 2006)

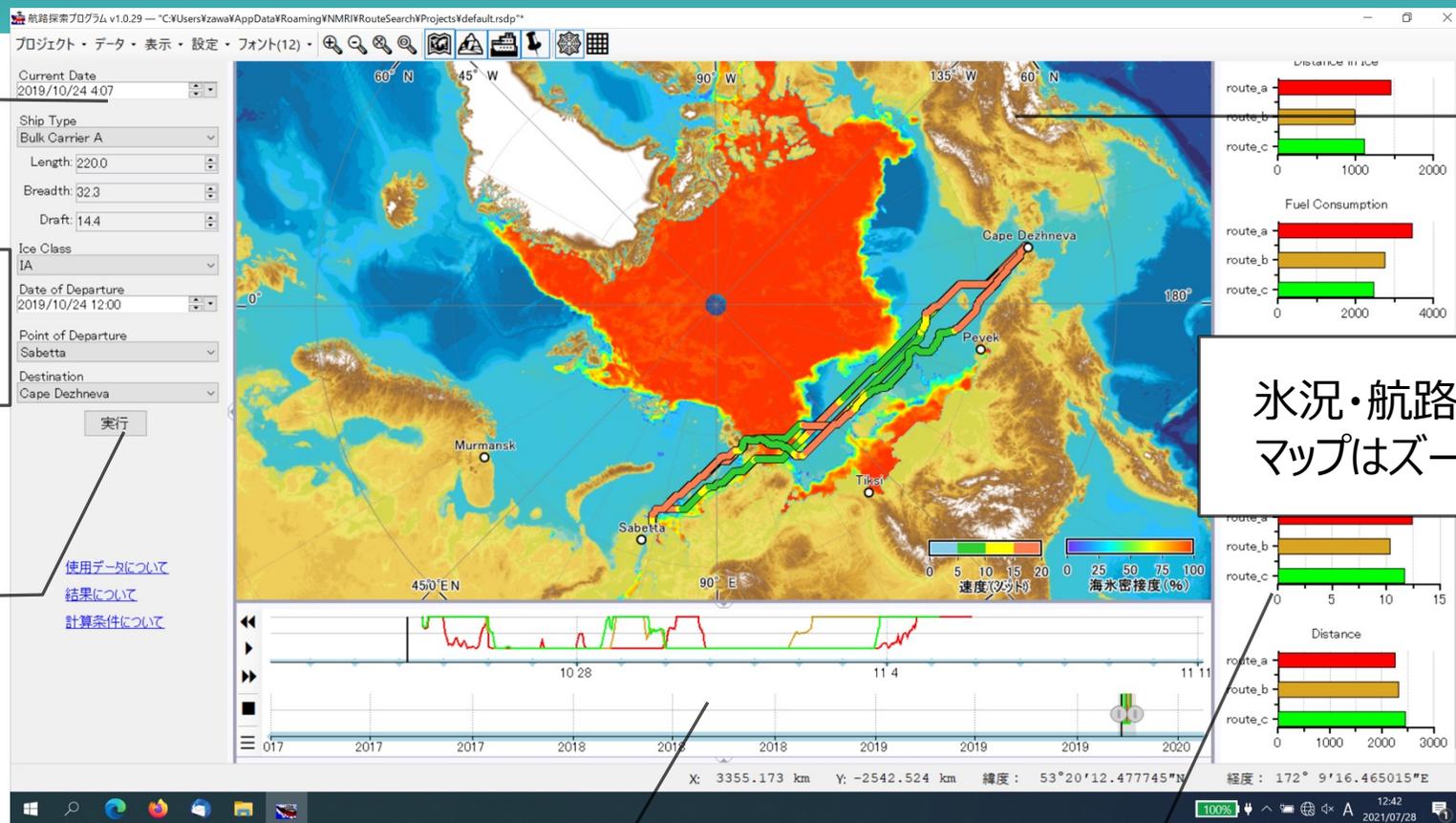
POLARIS

- Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System
- IMOにより提案されている可航性指標

緑：通航可能
黄：通航不可
ピンク：砕氷サービス
により通行可能
青・橙・茶：喫水に
よる通航制限あり



インターフェース



氷況の表示期間や
船の種類を選択

計算実行ボタン

氷況・航路をマップに重畳表示
マップはズームや移動等が可能

航路全体のタイムライン及び
アニメーション表示が可能

航路の評価をグラフで
比較表示

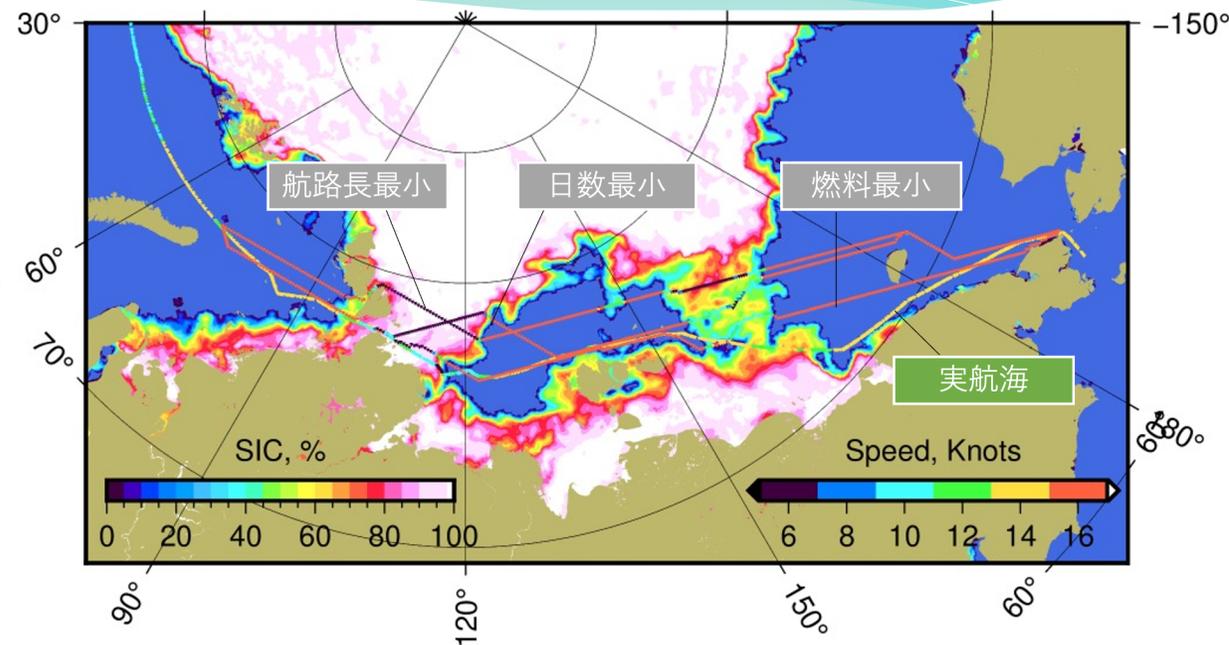
航路探索プログラム RouteSearch (仮名) 動作デモ



計算例 (Panamax BC/FSICR IA)

			最適化項目			実際
			距離	日数	燃料	
開水中+氷中	航路長	NM	2060.5	2140.6	2136.4	2244.9
	日数	Days	8.05	7.54	6.65	6.9
	平均速度	Knots	10.66	11.84	13.38	13.5
	燃料消費量	t	1325.2	1100.8	309.6	-
氷中のみ	航路長	NM	617.2	550.5	416.4	589.2
	日数	Days	4.21	3.31	2.08	1.9
	平均速度	Knots	6.1	6.93	8.36	12.8
	燃料消費量	t	3	1.7	0.6	-

※ Finnish-Swedish Ice Class Rules



このケースでは「燃料消費量を最適化」した場合とほぼ同じだった。

まとめ

開発した氷海航路探索システムは

- 船舶性能の詳細計算に基づく航路探索システムであることが特長。
- 氷況と航跡を同時に時間を追って連続表示できる。
- 船の性能や耐氷能力(アイスクラス)に応じた評価が可能。
- 複数条件による計算結果の並列表示により選択肢を提供する。

用途として

- 運航コストの定量的な比較検討
- アイスクラス船の性能設計適否の検証
- オンボードにおける航路決定支援

当面、運航実態の反映と多船種への対応について改良していく。

本研究の一部は、国土交通省総合政策局の受託事業により実施されました。
関係各位に深く感謝申し上げます。



ご清聴ありがとうございました。

