

北極海航路に係る産学官連携協議会(2021年7月28日)

AISデータを用いた北極海航路の 分析とモデル化



東京大学大学院 工学系研究科
レジリエンス工学研究センター 技術経営戦略学専攻 准教授
柴崎 隆一

本日の内容

1. イントロダクション:

グローバル・ロジスティクス・ネットワークとAIS

2. アジア＝欧州間貿易における競合ルート:

スエズ運河を対象としたAISデータ分析の例

3. AISデータを用いた北極海航路の分析:

航海速度最適化と排出規制区域の設定シミュレーション



グローバル・ロジスティクス・ネットワーク

～国境を越えて世界を流れる貨物～

柴崎 隆一 編
アジア物流研究会 著

成山堂書店

1. グローバル・ロジスティクス・ヒストリー

第1部 世界の海上輸送

2. コンテナ輸送の過去・現在・未来
3. 世界のエネルギー輸送
4. 世界貿易を支える2 大運河
5. 海賊対策:グローバル・ロジスティクス・リスクへの対応
6. 北極海航路:新しい航路への期待

第2部 世界各地の陸上貨物輸送

7. チャイナ・ランドブリッジ:一帯一路構想の行方
8. シベリア・ランドブリッジ:欧亜にまたがる国土を活かすロシア
9. 中央アジア:世界最大の陸封地域
10. 東南アジア:GMS 回廊とメコン川の利用可能性
11. 南アジア:成長の鍵を握る物流
12. 北米大陸:大陸横断鉄道のさきがけ
13. アフリカ:経済回廊開発と内陸国

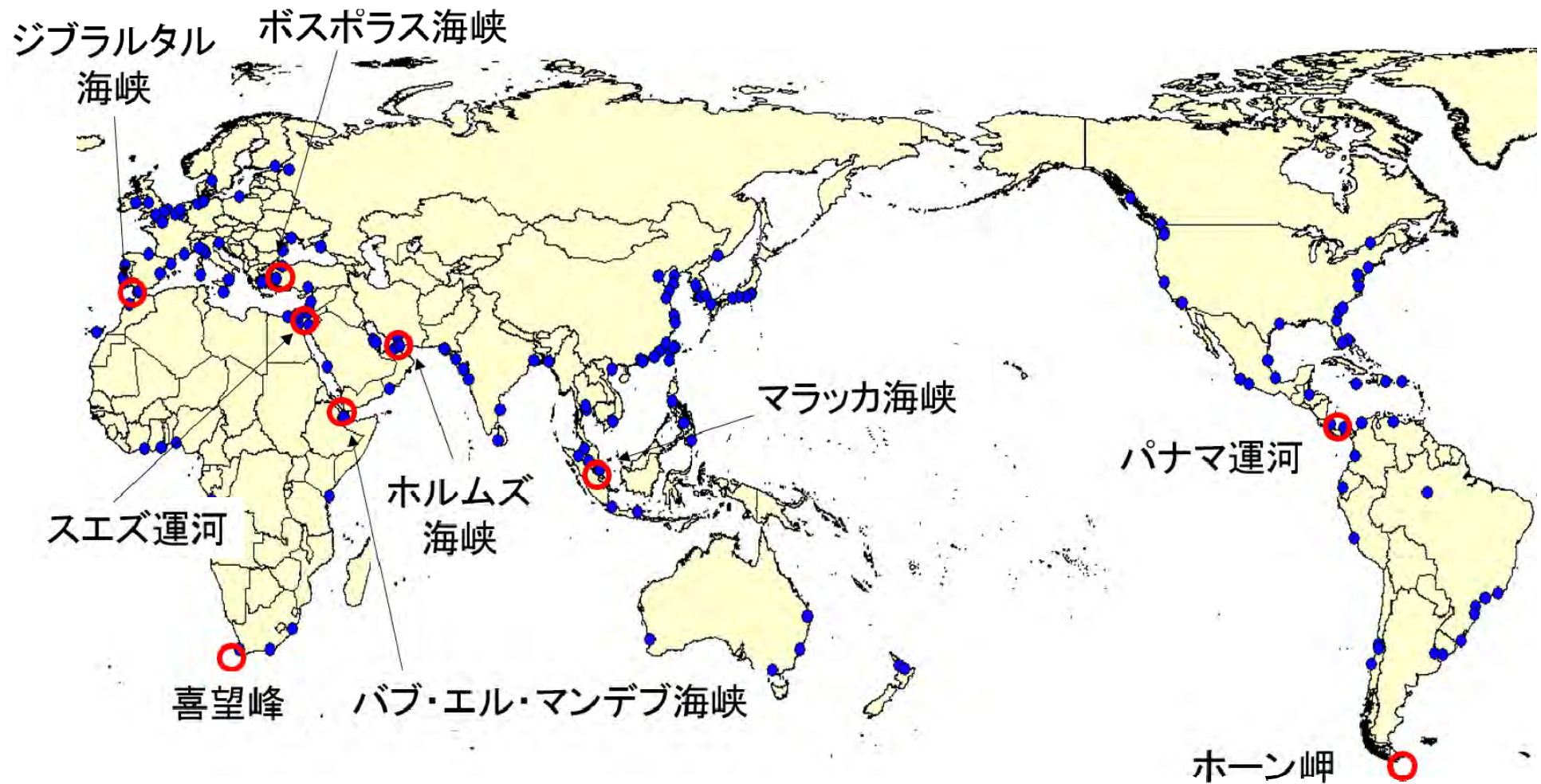
物流は「派生」需要

最終目的ではなく、他の最終的な目的を達成するために必要とされる

⇔ 本源的需要（貿易，交易）

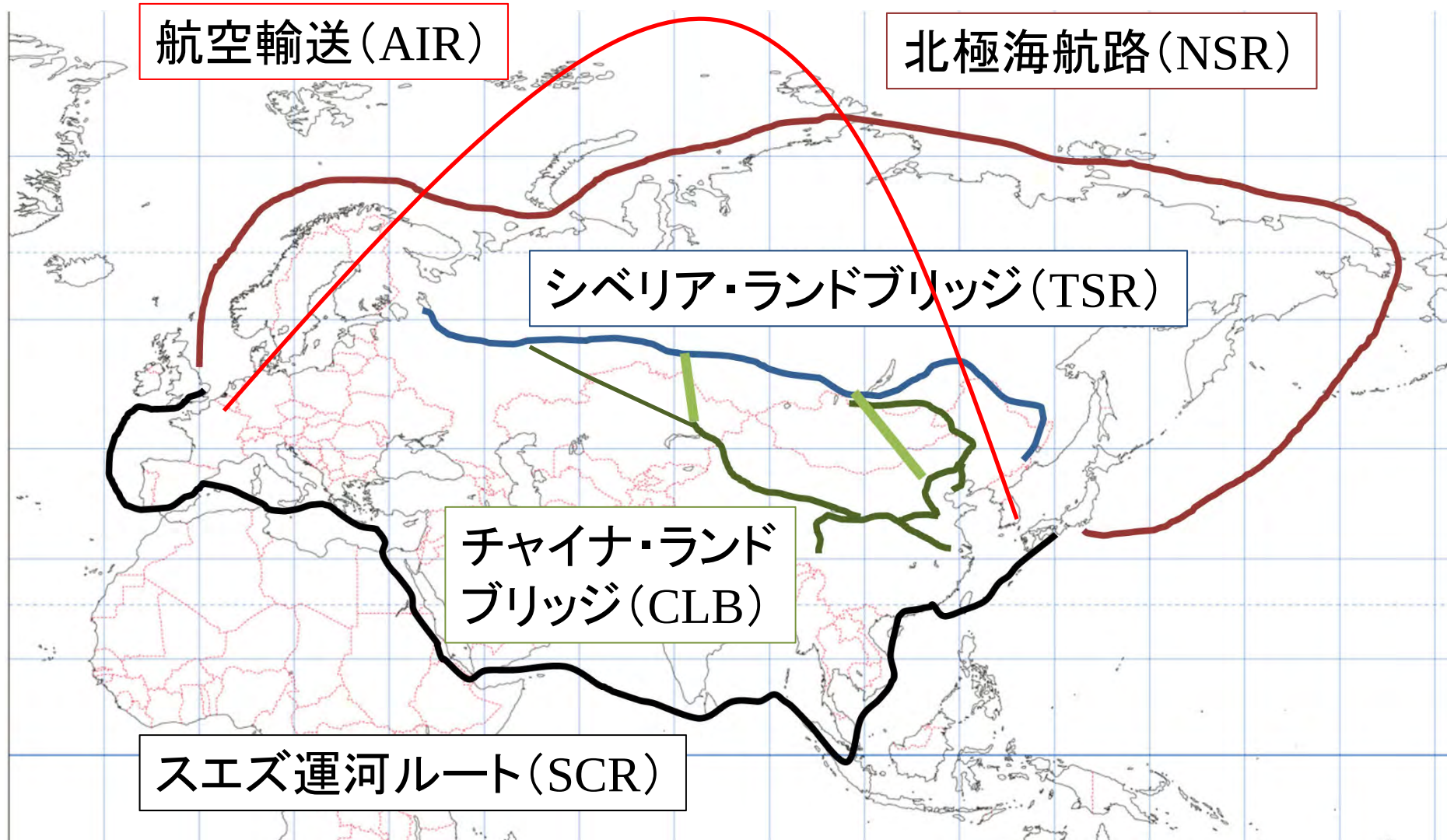


世界の主要コンテナ港湾と 世界海運のチョークポイント



スエズ運河とその競合ルート: 北極海航路と一帯一路

International Shipping Route between East Asia and Europe



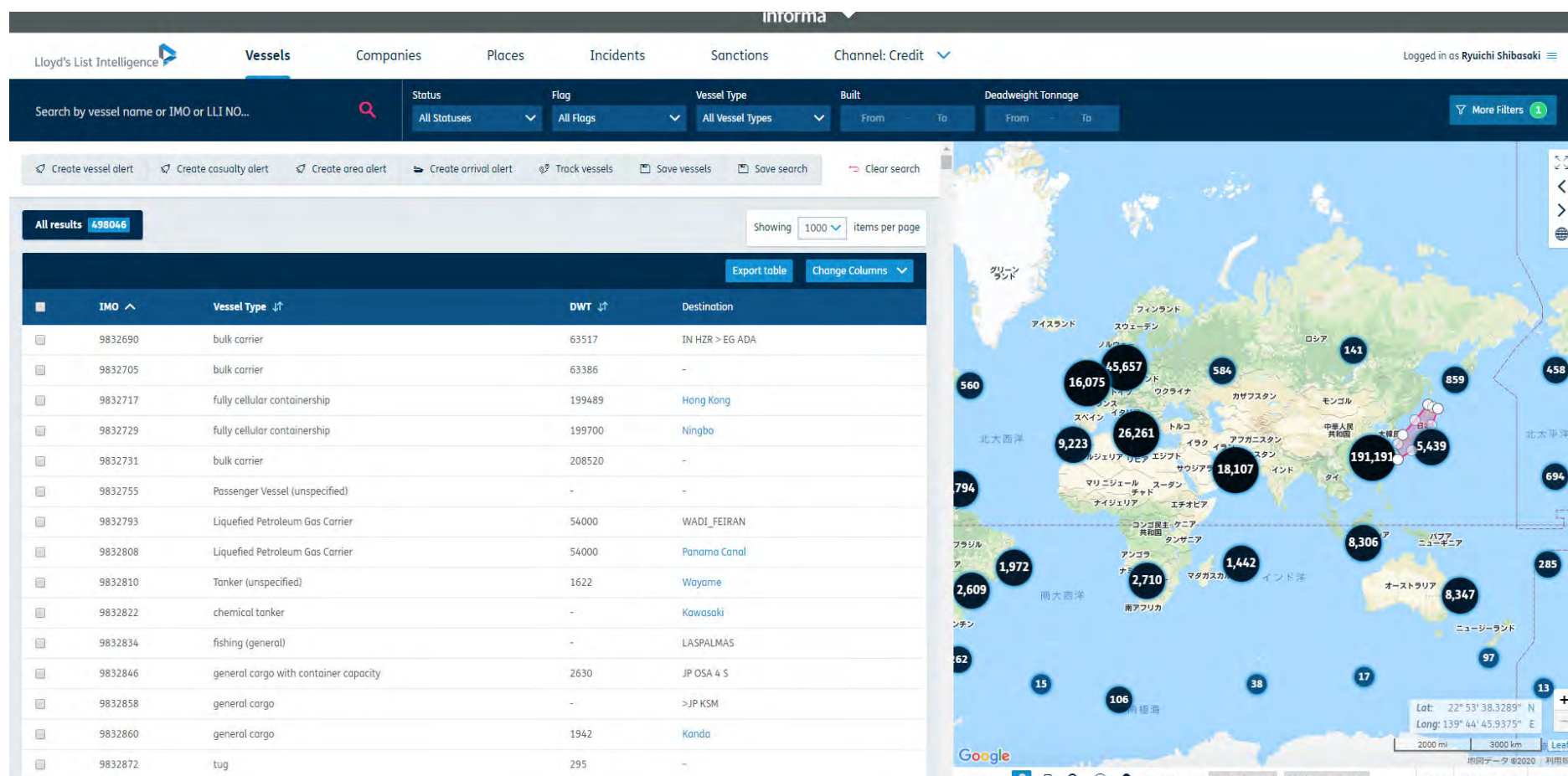
AISとは・・・

Automated Identification System (船舶自動識別装置)

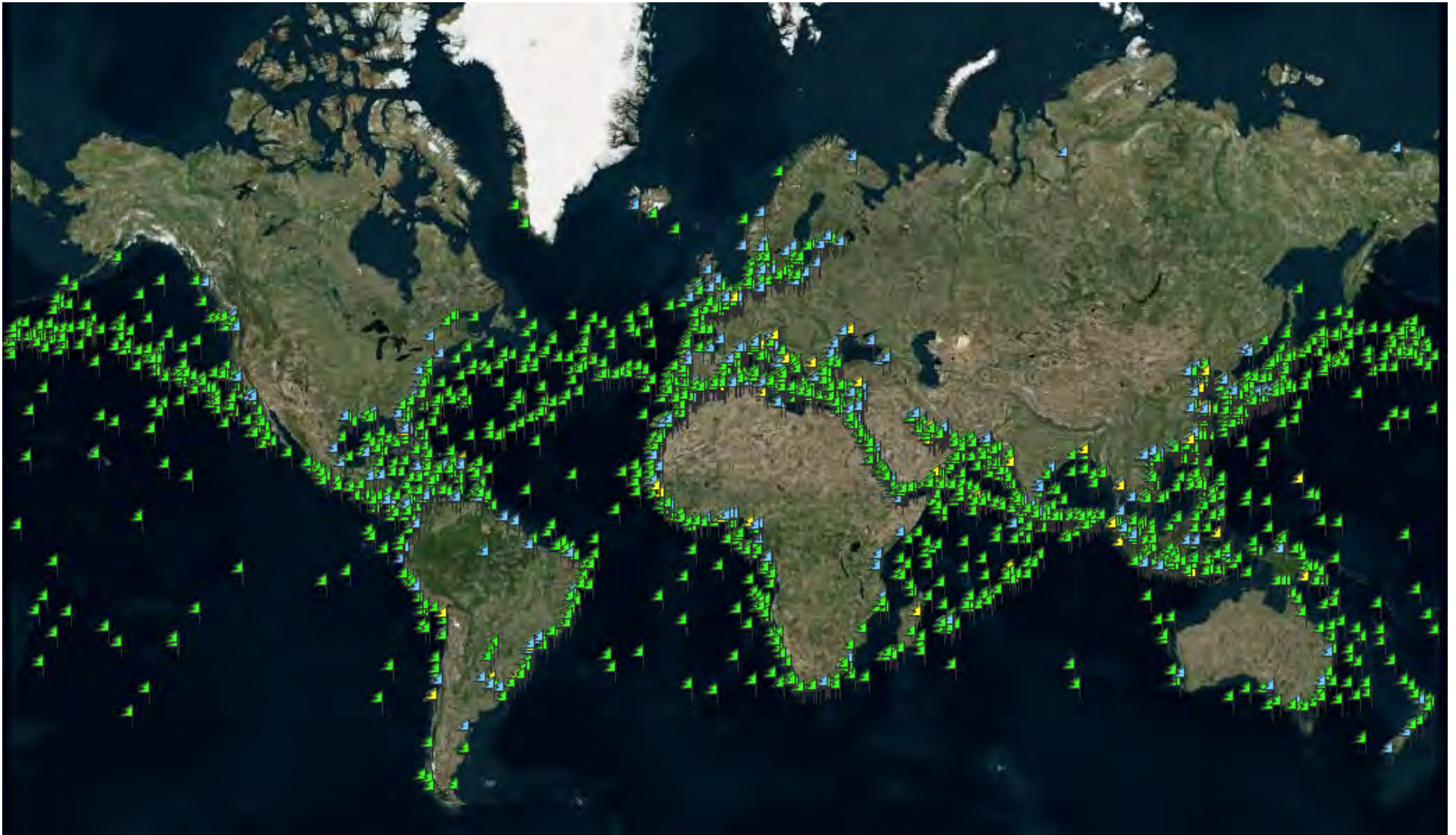
- 呼出符号、船名、位置、針路、速力、目的地などの船舶情報をVHF帯電波で自動的に送受信し、船舶局相互間、船舶局と陸上局間で情報の交換を行うシステム
- 対応ソフトウェアがあれば受信したデータを電子海図上やレーダー画面上に表示可能
- 2002年にIMO(国際海事機関)の主導によりSOLAS条約改正によって盛り込まれ、2008年には一定以上のサイズの全船舶に搭載が義務化

AISデータからわかる情報

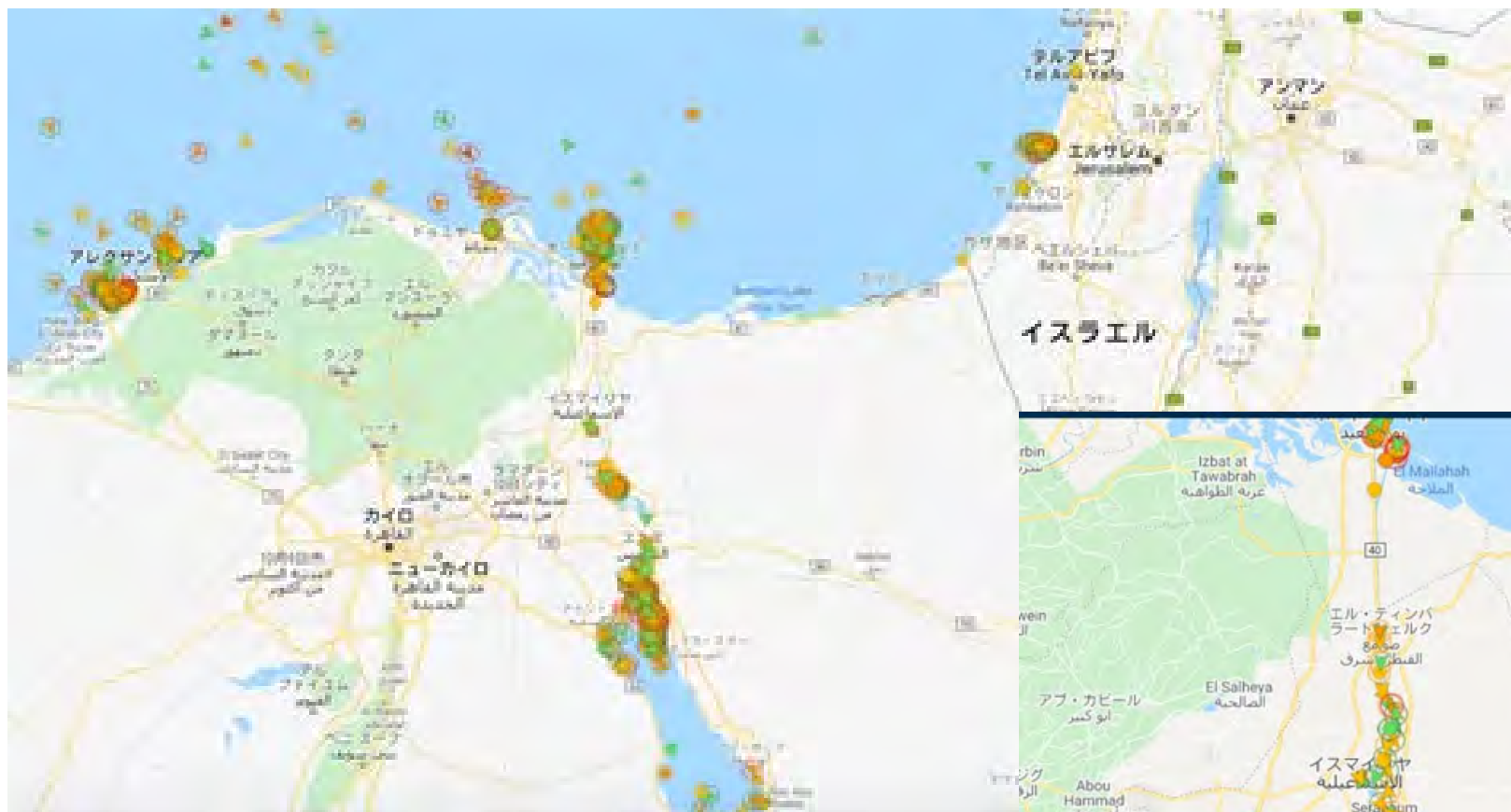
- 静的情報: IMO番号, DWT(載貨重量トン数), 船舶諸元, 船種
- 動的信息: 緯度経度, 対地速度, 対地針路
- 航海関連情報(マニュアル入力): 喫水, 目的地
- 貨物の中身(空であるかどうかも含め)は直接はわからない



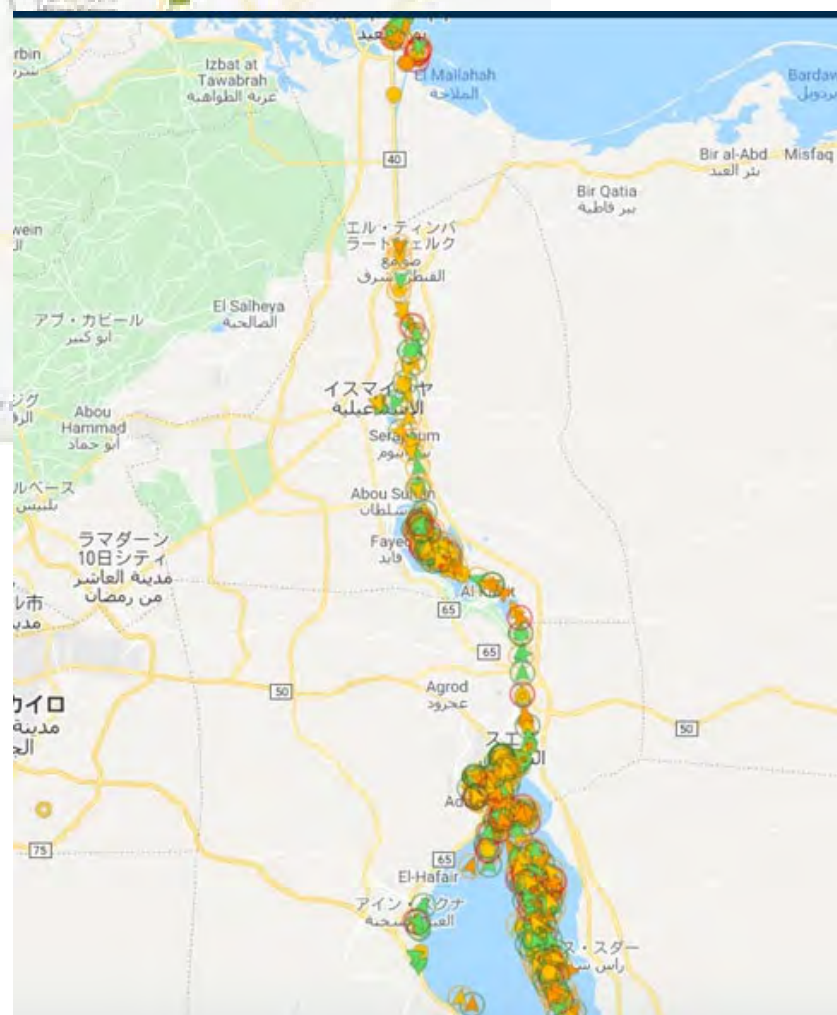
Global Maritime Shipping Network: 1. Containership



Source: seasearcher (AIS-based)



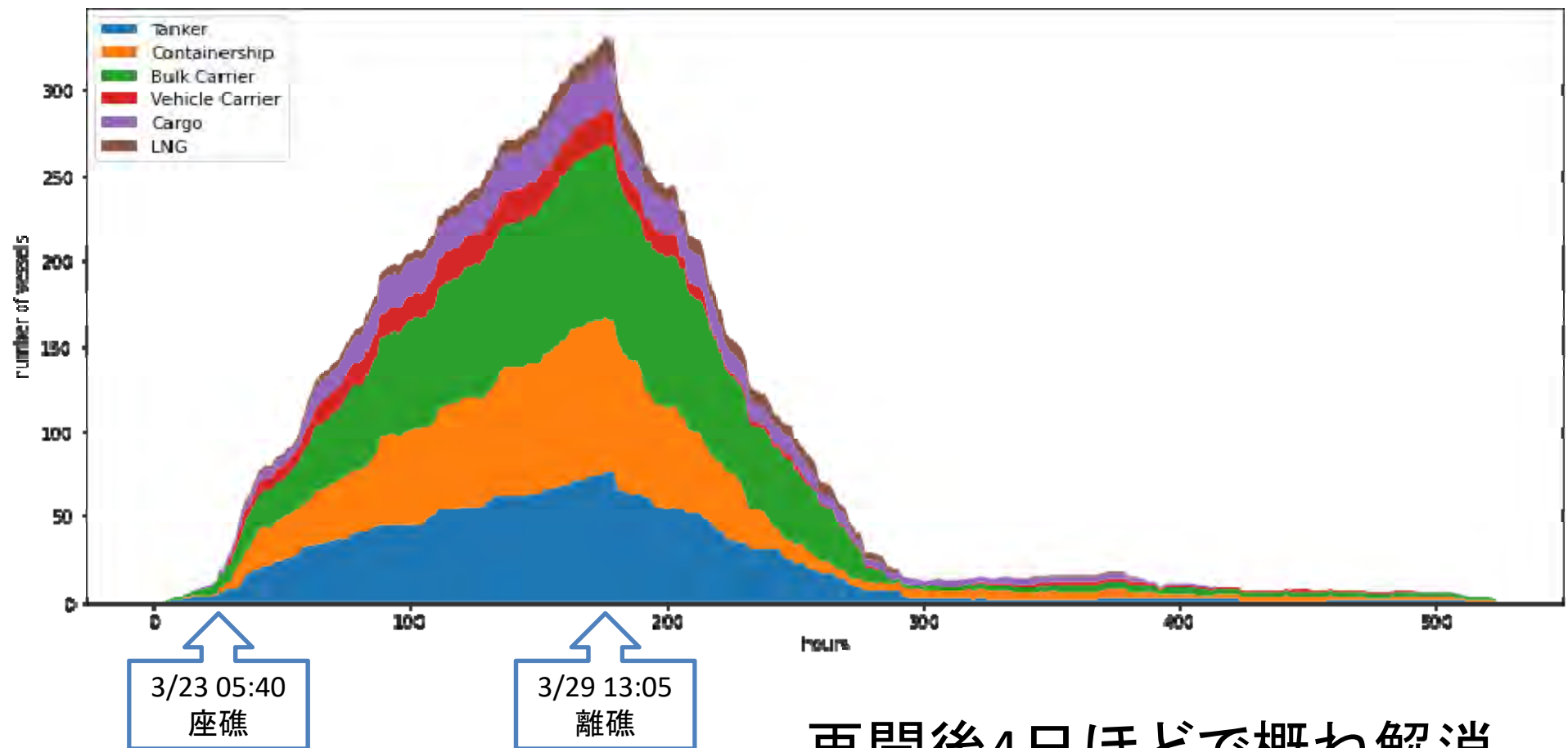
2021.3.26



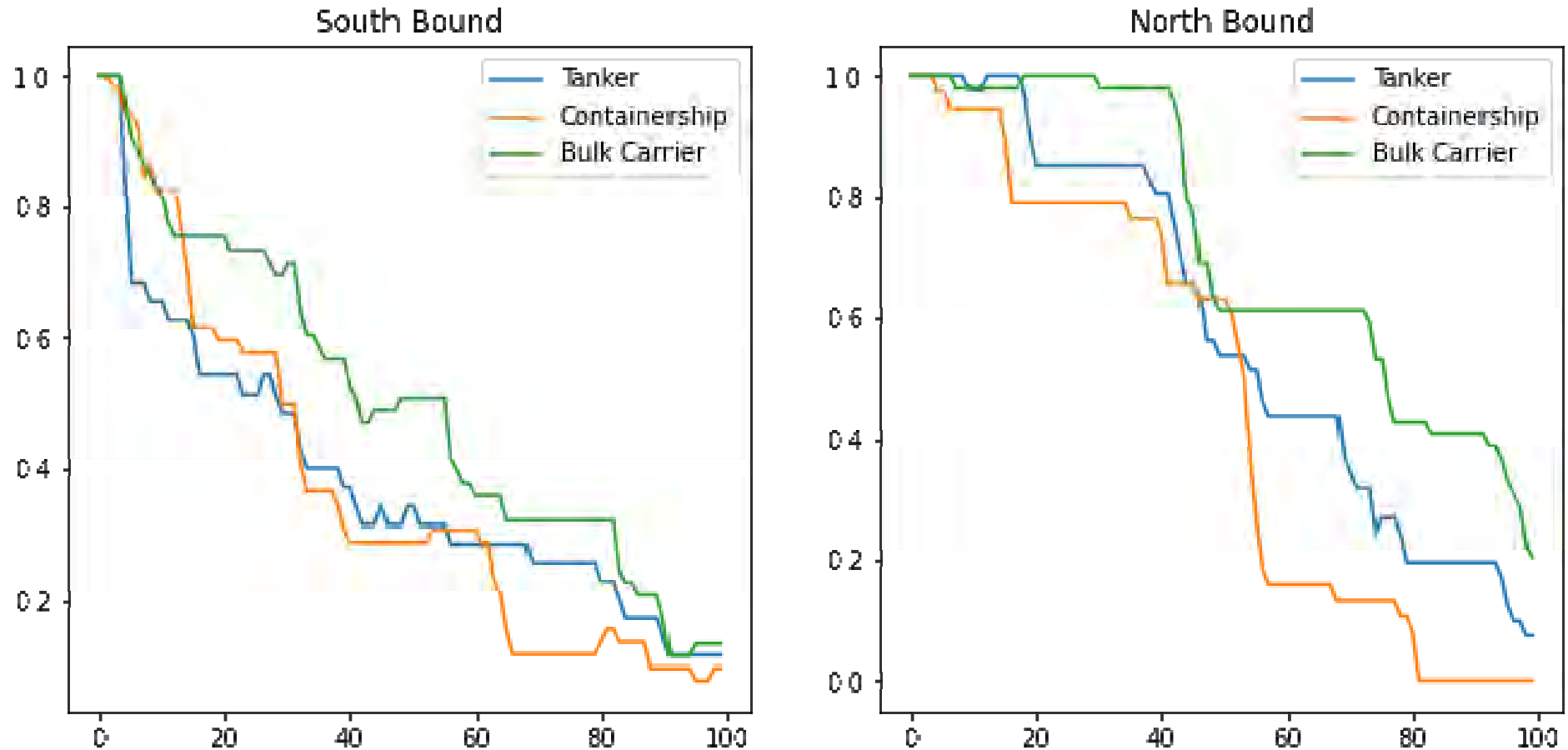
2021.3.30

■ 待機船舶数の推移(両方向合計)

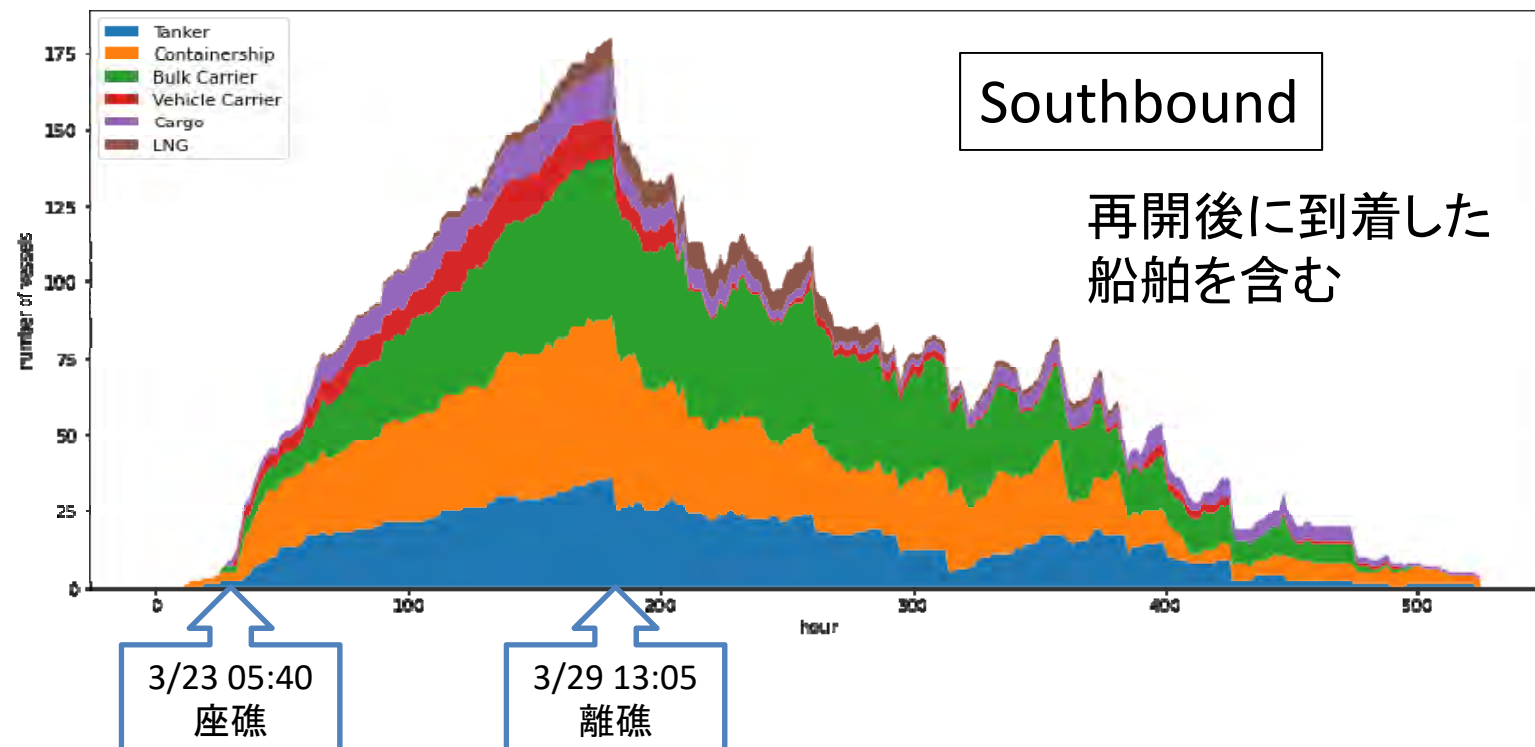
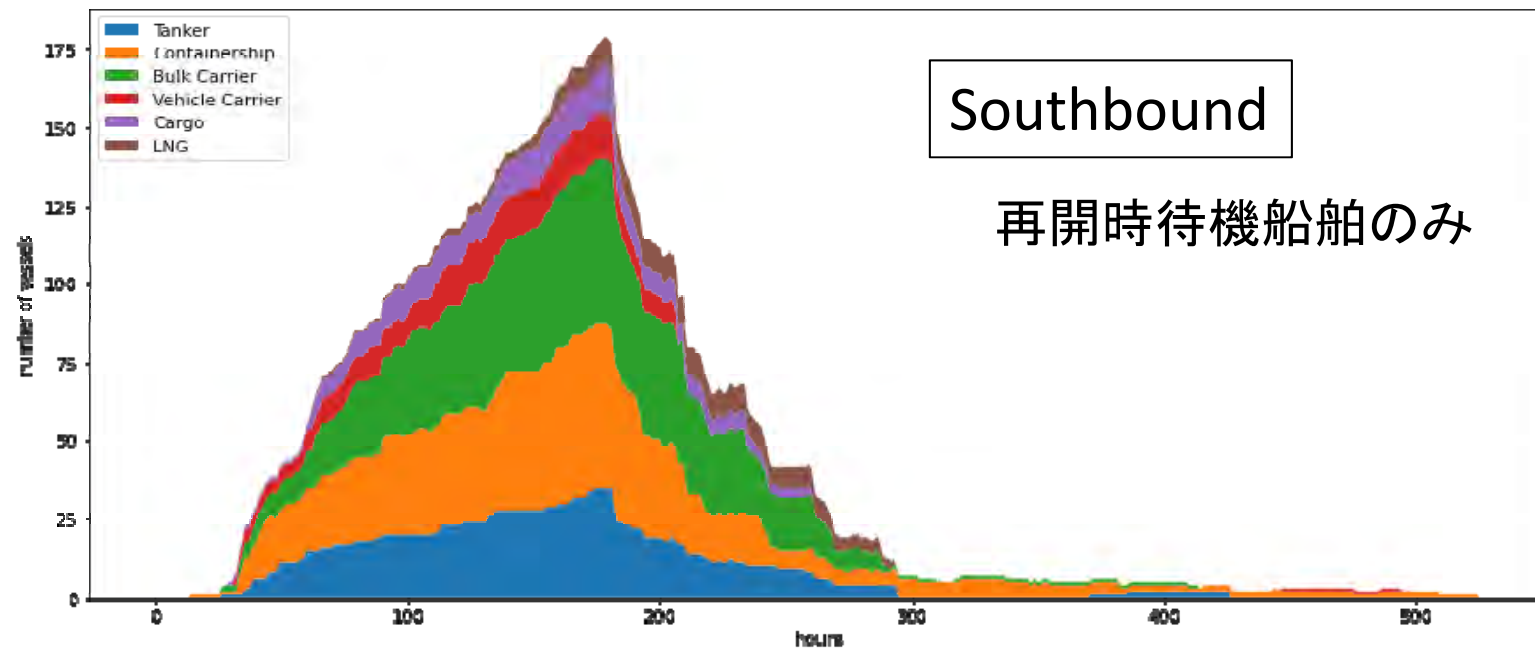
* 通航再開時に運河周辺で待機していた船舶のみを対象

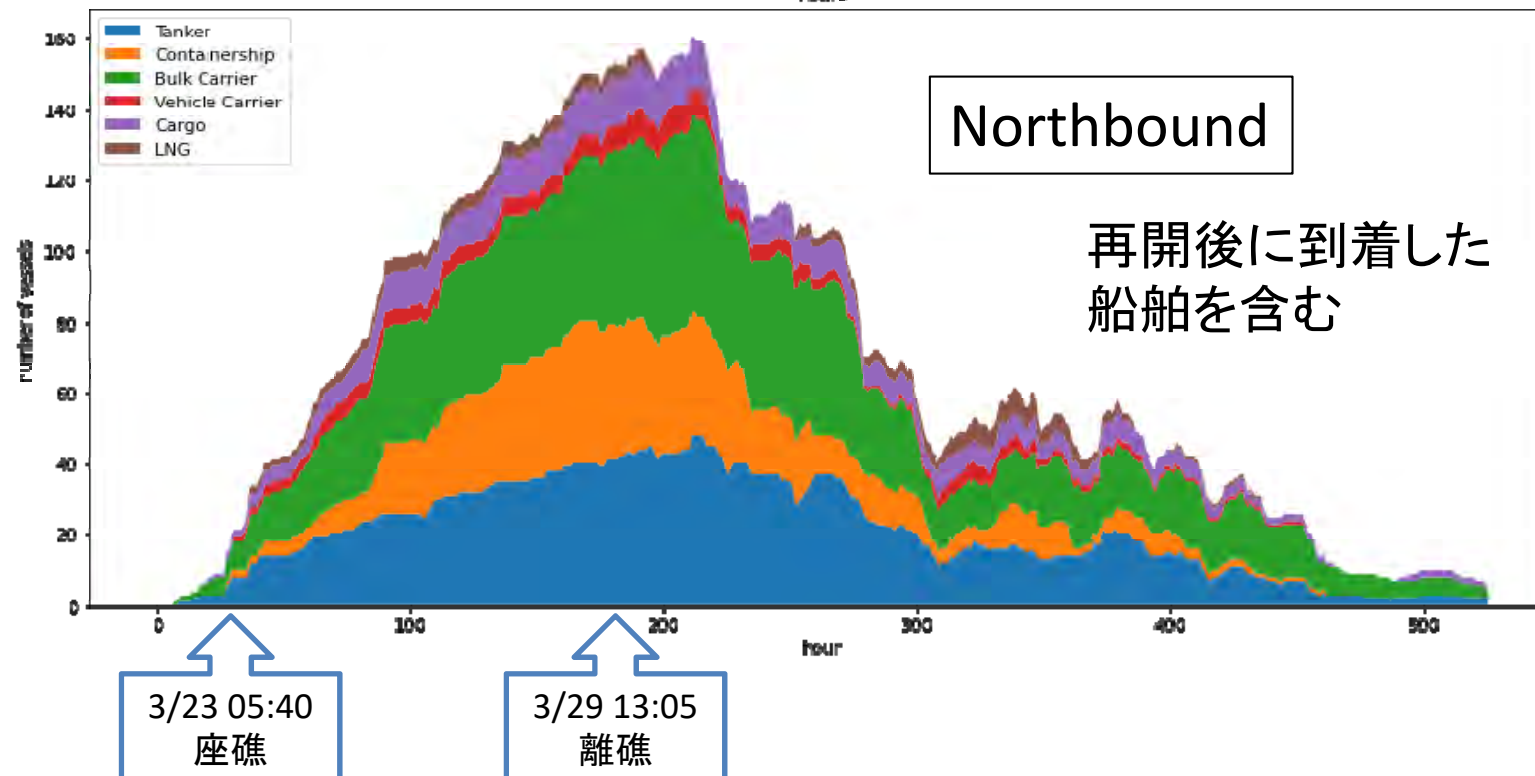
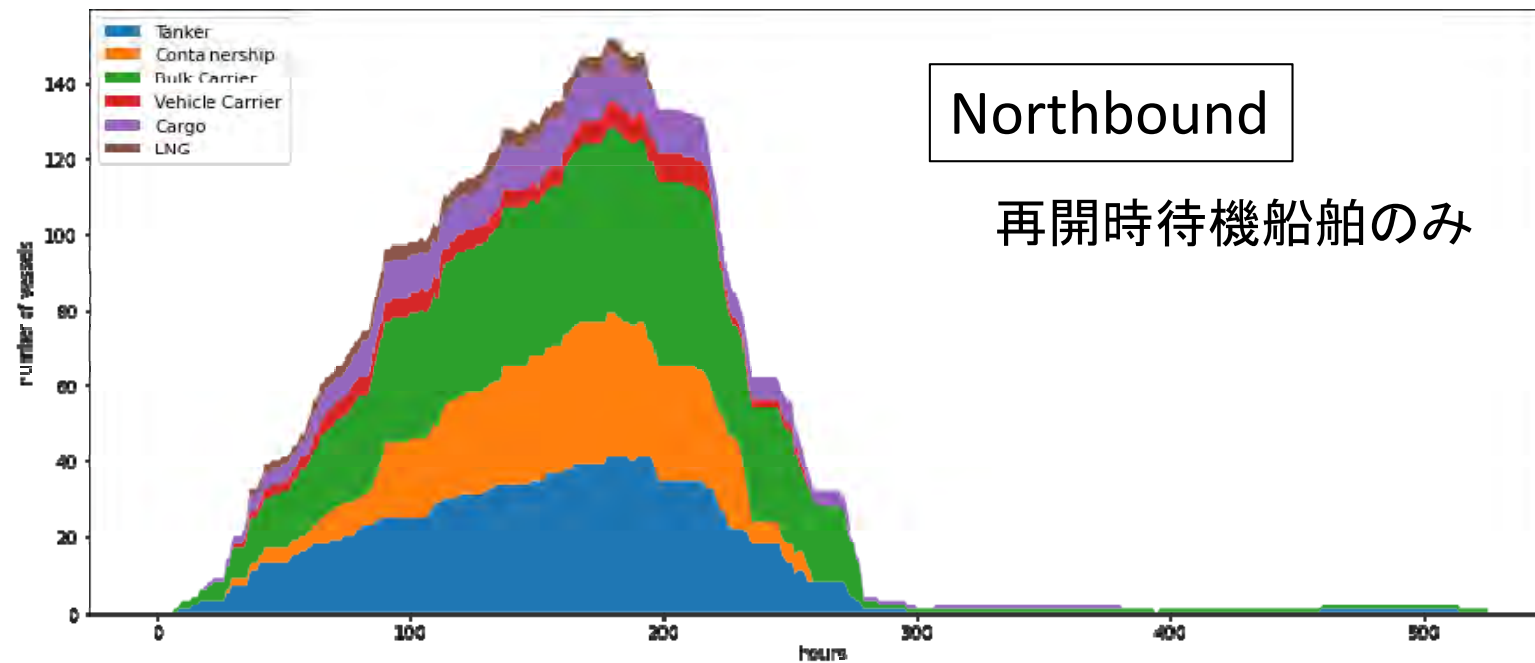


船種別の待機船解消率の推移

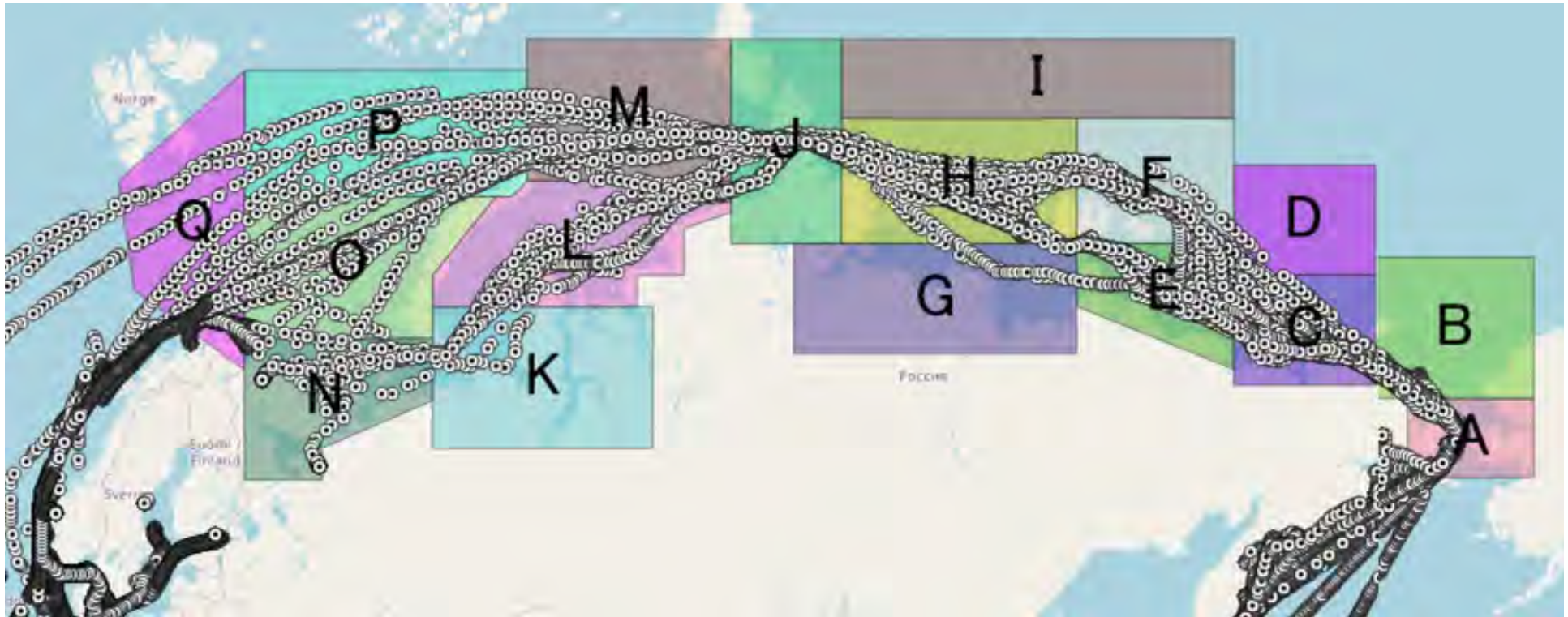


特にNorthboundでコンテナ船が優先されていることがわかる





AISデータを用いた北極海航路の航行速度最適化

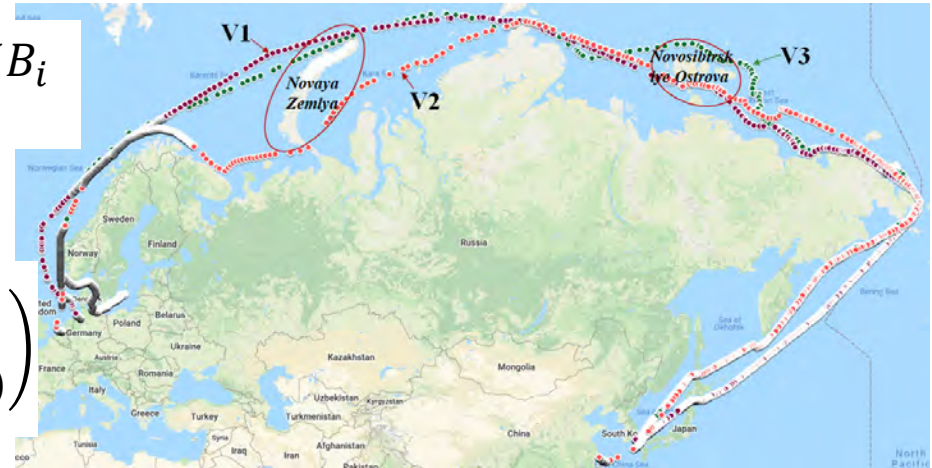


3件の航海例について, ①運航コスト最小化, ②船舶排出ガス最小化の2基準でそれぞれ運航速度を最適化

$$\min_{S_{t,l_n,i}^{Op}, \delta_a^{HFO}} Cost_i = K_i + Oper_i + Fuel_i + Em_i + IB_i$$

$$\min_{S_{t,l_n,i}^{Op}, \delta_a^{HFO}} Emission_i =$$

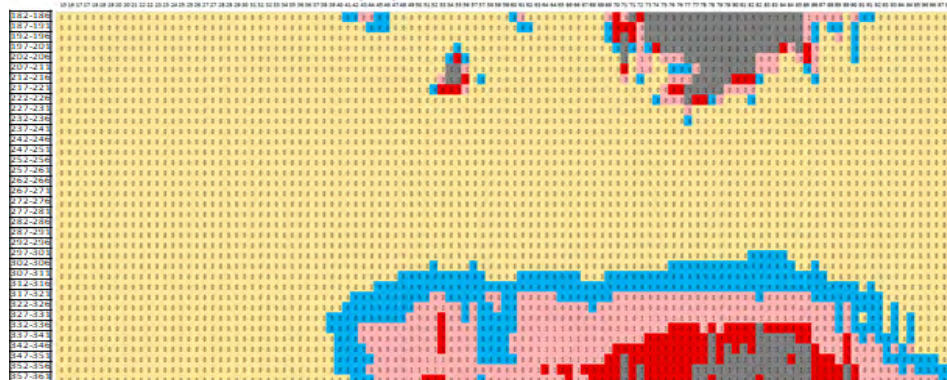
$$\sum_{e=1}^4 \sum_{n=1}^N \left(\delta_a^{HFO} \times (F_{l_n,i} \times EF_{MGO,e} \times GWP_e) + (1 - \delta_a^{HFO}) (F_{l_n,i} \times EF_{HFO,e} \times GWP_e) \right) \forall l_n \in a$$



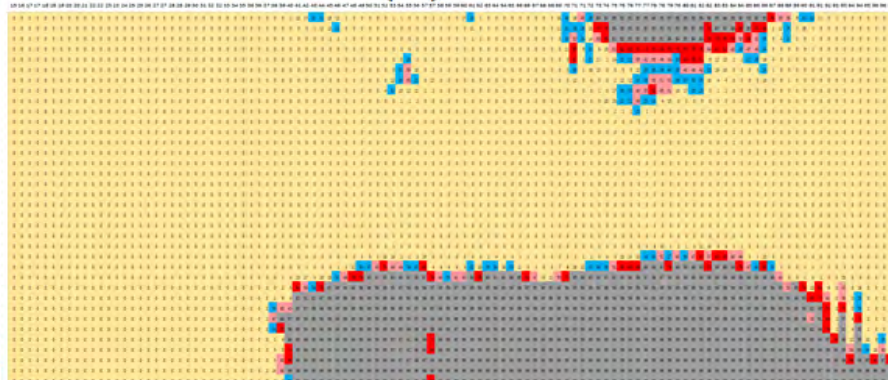
- ✓ 氷況を考慮(海水厚・海水密接度)
- ✓ Free ice (無氷)・Medium ice・Heavy ice・航行不能の4期間で検証
- ✓ 砕氷船のエスコートが必要な時期・区間については, 速度が変更できないと仮定
- ✓ 環境税の有無別に結果を比較
- ✓ 排出管理区域(ECA)の最適な設定(δ_a^{HFO})も同時に決定

Vessel/voyage Specifications	V1	V2	V3
Gross tonnage of vessel (GT)	34,882	15,549	26,787
Lifetime of vessel years (LT_i)	10	10	10
Ice class	Arc 4	Arc 4	Arc 4
New building price USD ($Price_i^{NB}$)	55,000,000	20,937,200	26,263,100
SFC base g/k Wh ($SFC_{i,d}^{Main}$)	170	170	170
Design speed knots (S_i^d)	19	16.3	14.8
Power of the main engine ($P_{ref,i}^{Main}$)	31,808	4,590	10,470
Reference draft ($drf_{ref,i}$)	11	9.8	11
Auxiliary engine power KW (P_i^{AuxEng})	1,400	624	1,075
Boilers power KW (P_i^{Boi})	430	192	330
Minimum speed knots (S_i^{Min})	3	3	3
Origin-destination	Busan-Bremerhaven	Jiangsu-Rotterdam	Busan-Harnosanc
Voyage distance (nm)	7479.33	8193.59	7849.58
Ice threshold levels (m)	$I_i^1=0.1, I_i^2=0.3, I_i^3=0.6, I_i^4=0.9$ (common for all vessels because they have the same ice class)		

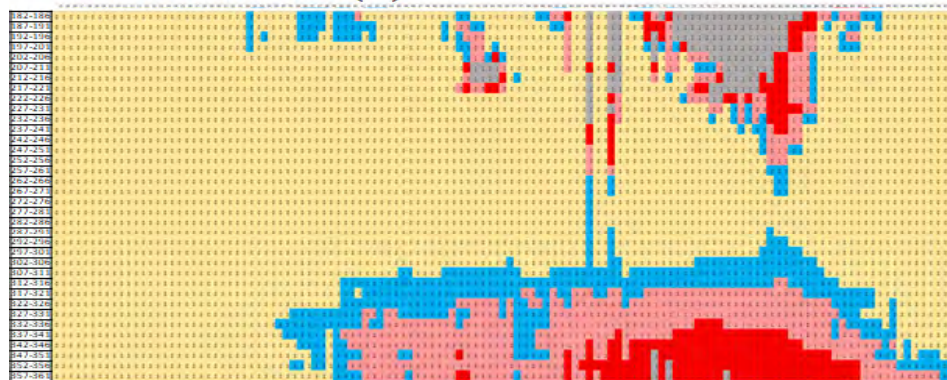
V1: Ice Thickness (m)



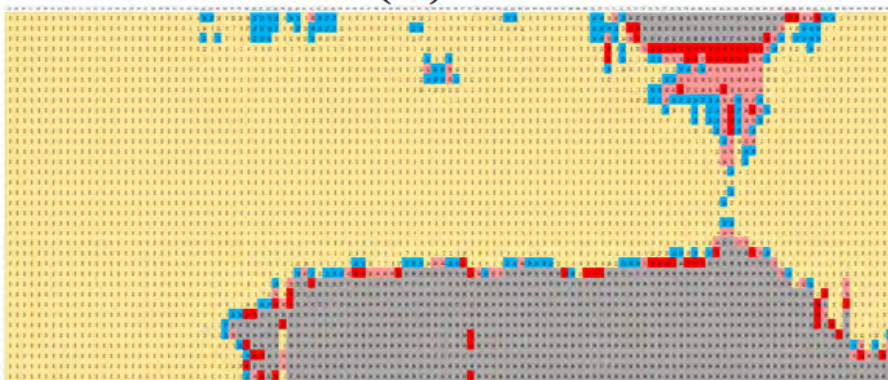
V1: Ice Concentration (%)



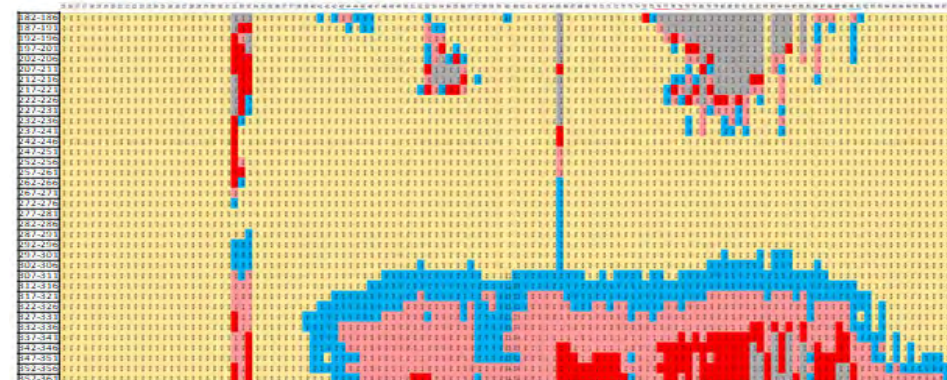
V2: Ice Thickness (m)



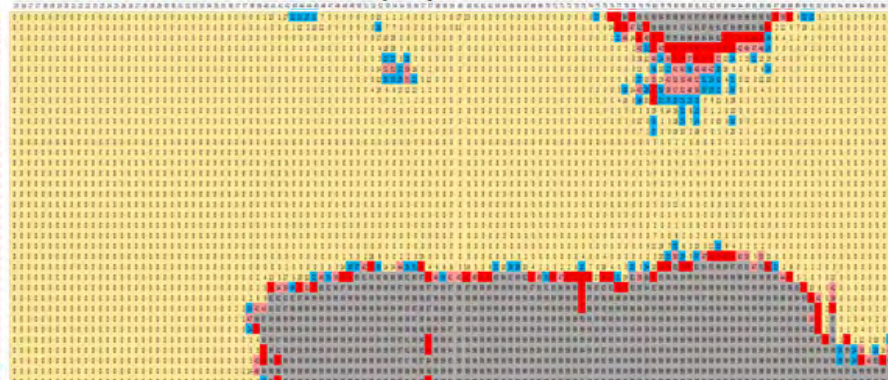
V2: Ice Concentration (%)



V3: Ice Thickness (m)



V3: Ice Concentration (%)



<0.1m	
0.1m – 0.3m	
0.3m – 0.6m	

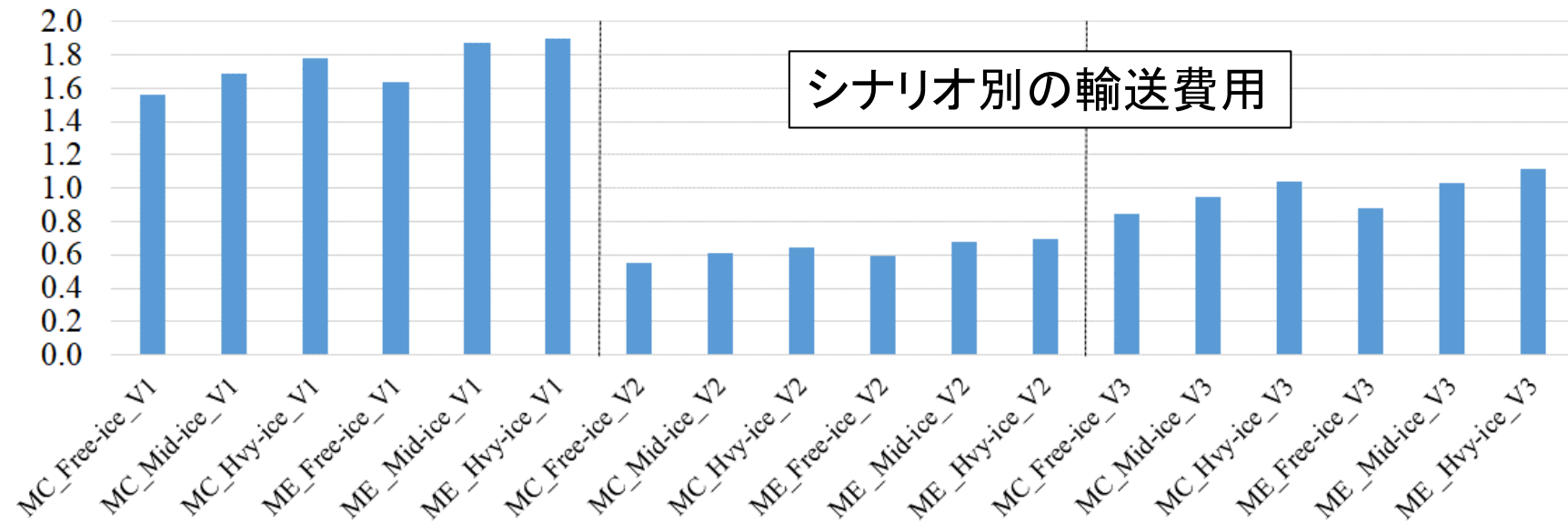
0.6m – 0.9m	
> 0.9m	

< 20%	
20% – 40%	
40% – 60%	

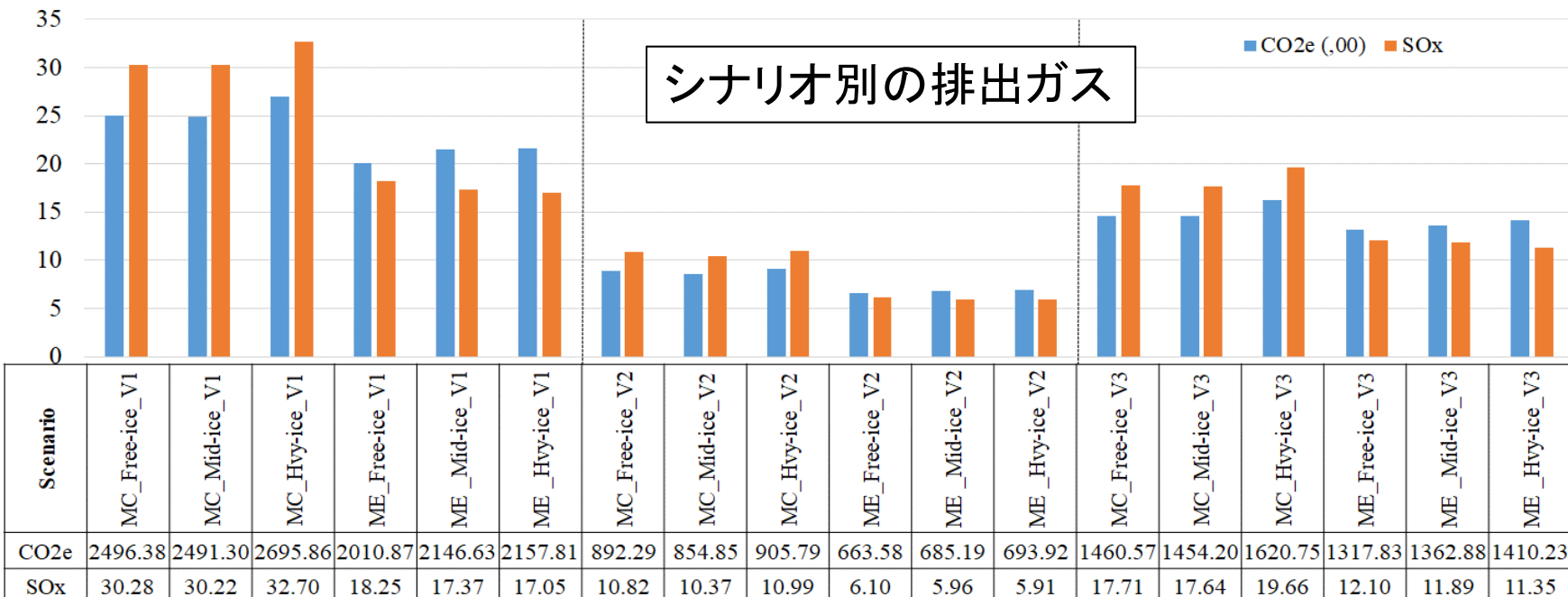
60% – 80%	
> 80%	

推計結果(1)

Total Cost USD Millions



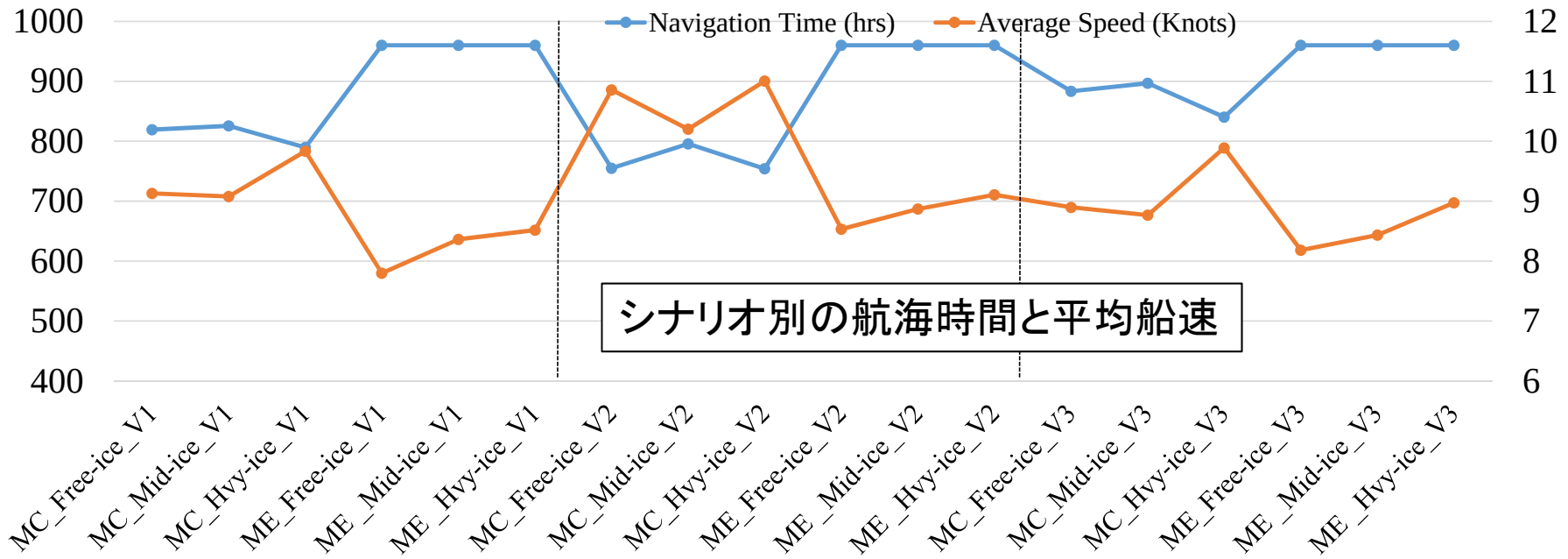
CO2e (,00), SOx in Tons



推計結果(2)

Voyage Duration (Hours)

Average Speed (Knots)

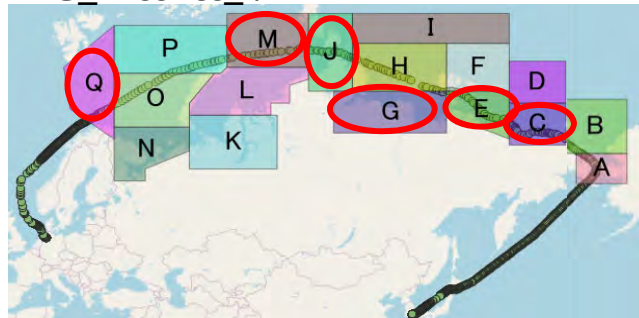


No of Legs with Ice Breakers

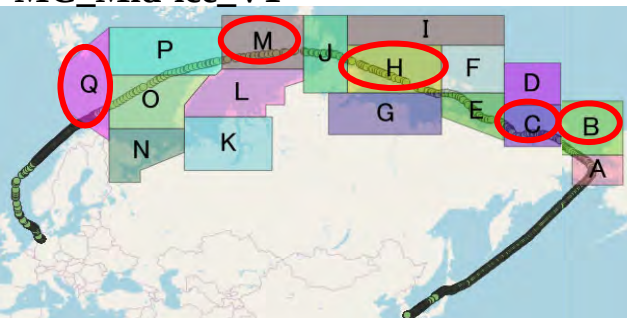


各船舶の各季節において輸送費用が最小となる排出制限区域の設定

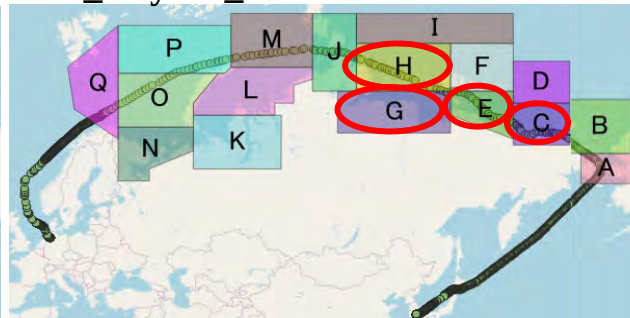
MC_Free-ice_V1



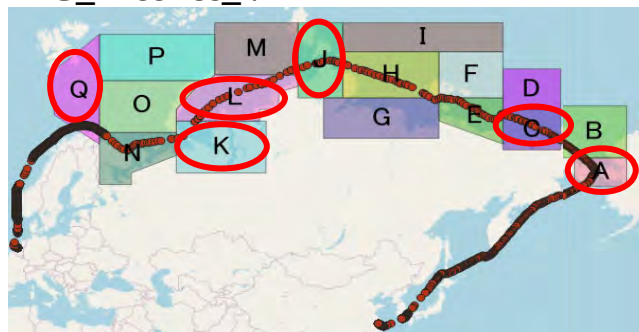
MC_Mid-ice_V1



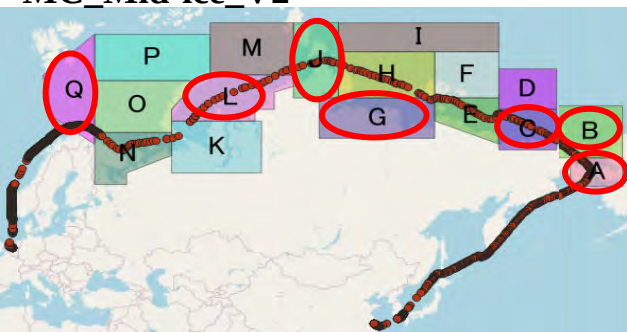
MC_Hvy-ice_V1



MC_Free-ice_V2



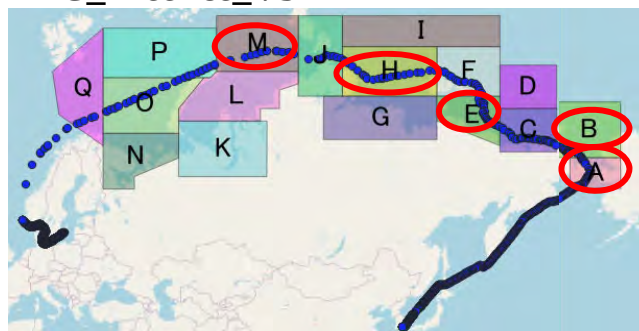
MC_Mid-ice_V2



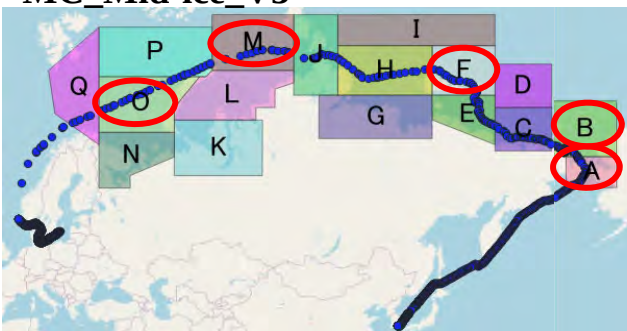
MC_Hvy-ice_V2



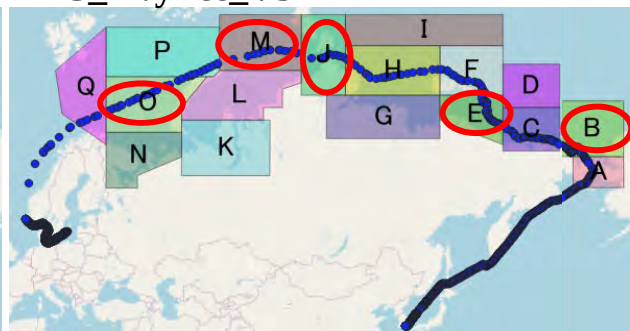
MC_Free-ice_V3



MC_Mid-ice_V3



MC_Hvy-ice_V3



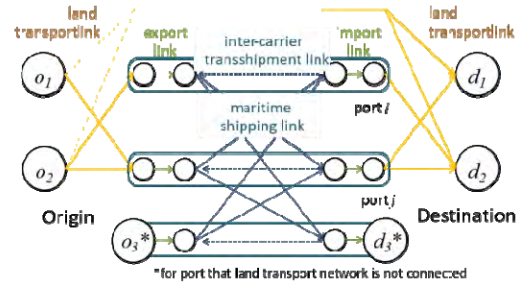
今後の展開①: 北極海航路を含めた世界物流シミュレーション



Container Shipping Demand (OD Cargo Volume) Q^{ij}

Intermodal International Container Cargo Integrated Model

Incremental network assignment using AI or Nothing assignment.



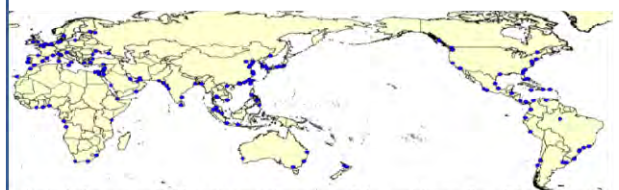
	Port	Maritime
Freight Charge (US\$/TEU)		FM_{rs}
Shipping Time (hours)	TPX_i, TPM_s	TM_{rs}

Shipping Time & Cost
 FO_{rs}, TM_{rs}

Maritime OD
 q^{rs}

Global Maritime Container Shipping Network Submodel

(user equilibrium assignment model with consideration of vessel capacities)



- ✓ Including around 150 major container ports of the world as well as all local ports in the focal area
- ✓ Including 30 world major shipping companies as well as local companies in the focal area
- ✓ Assigned based on shipping time
- ✓ Freight charge is assumed to be different from shipping cost

今後の展開②：北極海航路の経済インパクト推計

既往文献や現地インタビュー調査に基づき以下の4要素が変動すると想定
(他の要因は固定)

(1) NSR航行可能期間

- (A) 4ヶ月(現行) (B) 6ヶ月(夏および秋シーズン)
- (C) 9ヶ月 (D) 年中(12ヶ月)

(2) NSR通航料金

- (I) タリフ通り (II) タリフの半額

(3) ドル＝ルーブル為替レート(NSR通航料がルーブル建てのため)

- (i) 1USD = 25RUB (ii) 60 RUB(現状) (iii) 80 RUB

(4) 燃料費(バンカー価格)

- (X) 150 USD/ton (Y) 350 USD/ton(現状) (Z) 600 USD/ton

$4 \times 2 \times 3 \times 3 = 72$ のシナリオを用意

SCGEモデルを用いた経済・貿易変化シミュレーション

The Global Trade Analysis Project model (GTAP)

- **Input:** population, skilled labor, unskilled labor, capital, natural resources, total factor productivity, tech change in transportation
- **Output:** Bilateral Trade Volumes / GDP
- 140 zones, 57 commodities
- Economic activity of household, government and Producer in each zone under the equilibrium of demand and supply in all markets

The estimated changes in factors

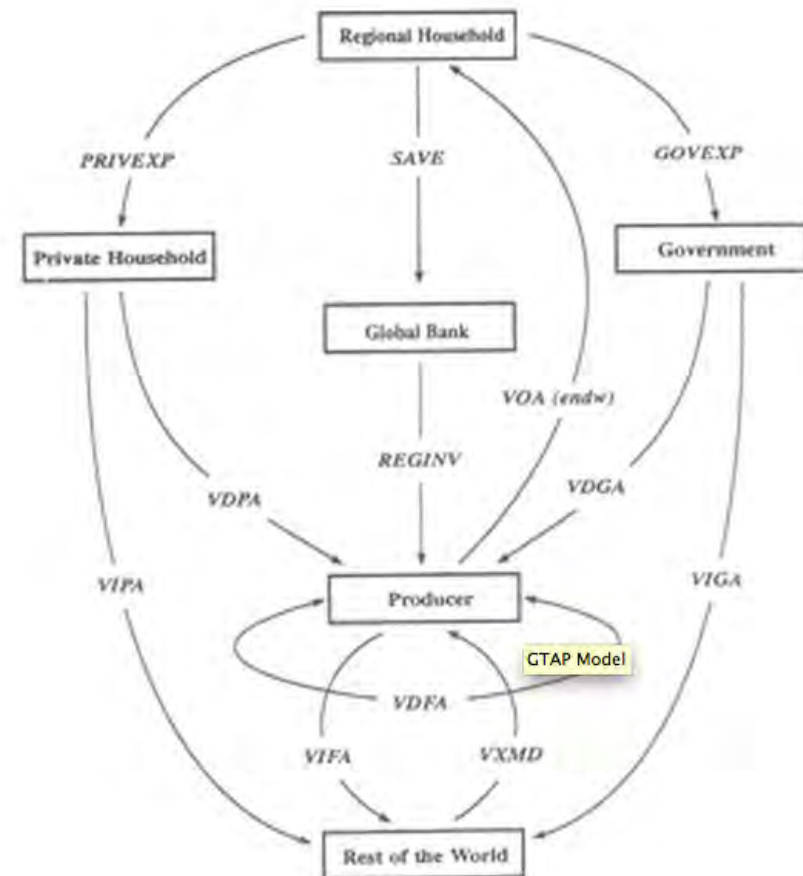
Pop, Natural resources, Productivity and etc.

Changes in trade cost

GTAP Database 9 (2011)

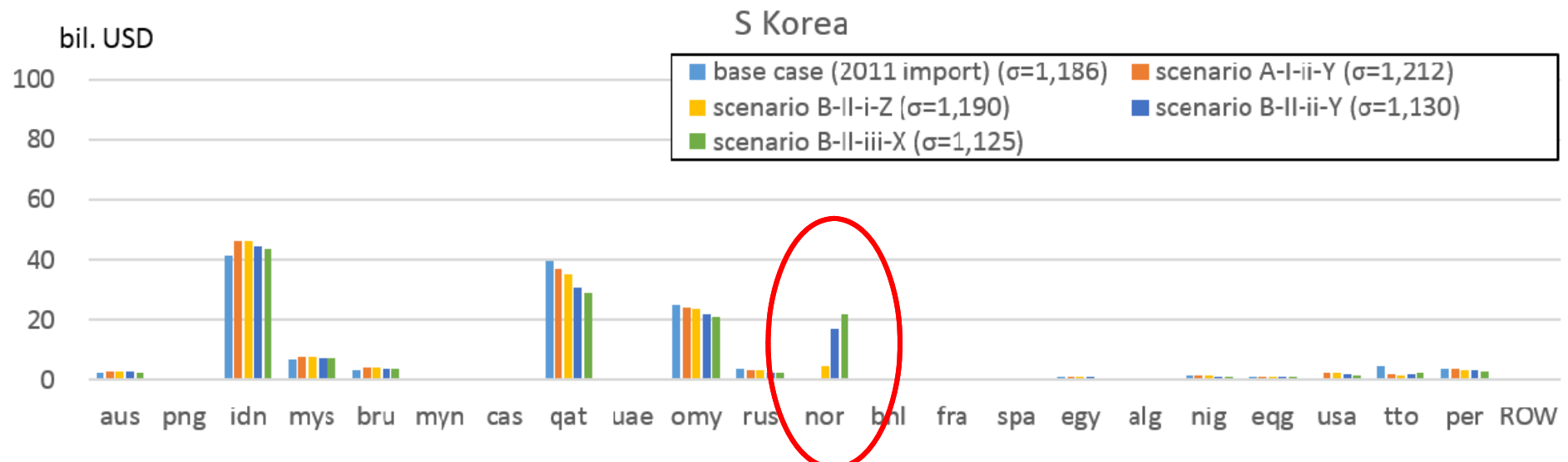
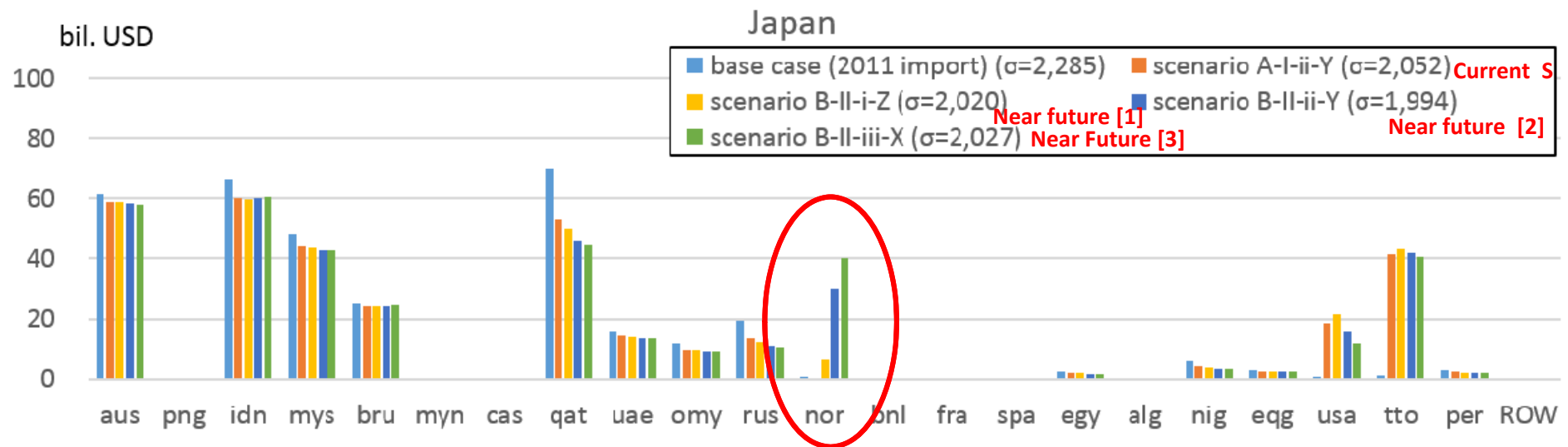
Equilibrium Calculation

Estimated economic situation and bilateral trade



Amount of natural gas import of each East Asian country by supplying country by scenario

In case the greenfield project is considered ($\theta = 0.23$)



Thank you for your kind attention

