

南山大学 オープン・リサーチ・センター
2008年度 第5回公開研究会



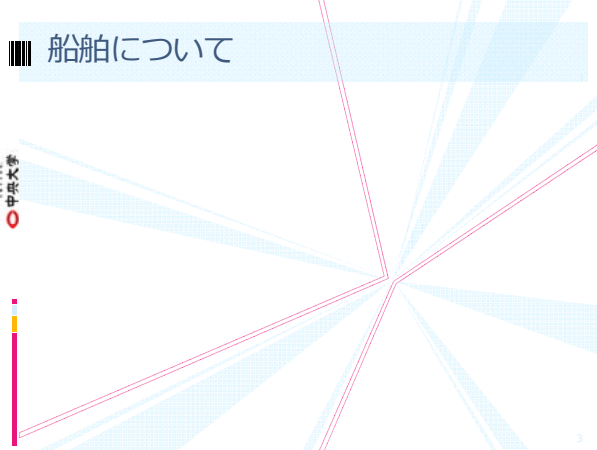
2009年2月28日
中央大学 鳥海重喜

船舶動静データを用いた船舶の航路ネットワークの分析と北極海航路による航海距離短縮効果の推計

目次


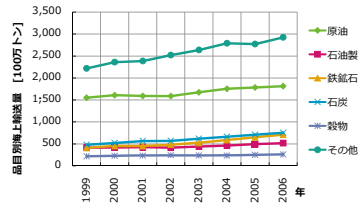
- 船舶について
- 船舶動静データを用いたコンテナ貨物船の航路ネットワークの分析
- 船舶が沿岸で消費する油量の推計
- 通航不能エリアが生じた場合の影響
- 北極海航路が実現した場合の航海距離短縮効果の推計
- まとめ

船舶について



船舶の特徴

- 低速大量輸送機関
- 高エネルギー効率（低環境負荷）
- 物流における重要な輸送モード

2002年を境に、いずれの品目も年に数%から10%近い伸びを示す

主要品目別海上輸送量（重量ベース）

船舶の大きさの単位トン

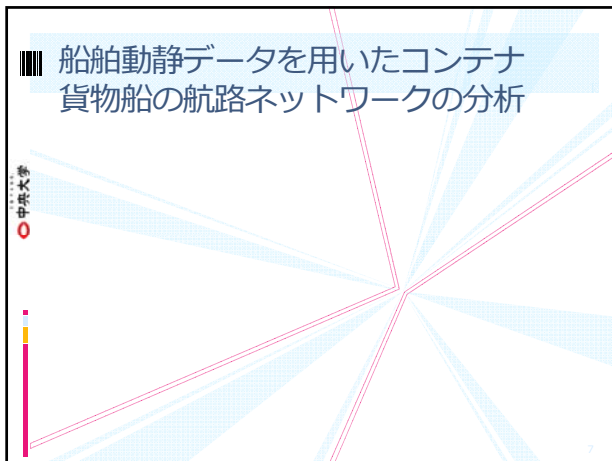
- 総トン数（Gross Tonnage）
 - 船舶の大きさ（体積）を表す
- 純トン数（Net Tonnage）
 - 旅客または貨物の積載場所の大きさ（体積）を表す
- 載荷重量トン（Dead Weight Tonnage）
 - 船舶に積み込める貨物の重量を表す
- 排水量トン（Displacement Tonnage）
 - 船舶の重量を表す
- TEU（Twenty feet Equivalent Unit）
 - コンテナ船の積載能力を表す
 - 1TEUは20フィートコンテナ1個分を表す。コンテナの大きさをもとに、20フィートコンテナの個数に換算する。例えば、40フィートコンテナは2TEUとなる。



内航船（国内のみを航海）の種類



出典：（財）内航海運安定基金/日本内航海運組合総連合会



船舶動静データ

- Shipping Movements Database
 - 提供元：Lloyd's Marine Intelligence Unit
 - 対象期間：2007年1月1日～2007年12月31日
 - 対象船種：500GT以上の下記船種
 - Container Carrier
 - RoRo/Container Carrier
 - Container Carrier Refrigerated
 - Bulk/Container Carrier
 - 対象船舶数：約4,800
 - 対象OD数：約364,000
(うち、日付が明確なODは約297,000)

SHIPID	寄港地と出帆日	出帆日	前の寄港地と出帆日	次の寄港地と到着日
227111	1530	462	2007/03/06	2007/03/08
227111	1530	576	2007/03/06	2007/03/09
227111	1530	2993	2007/03/06	2007/03/06
227111	1530	2913	2007/03/06	2007/03/06
227111	1530	2969	2007/03/06	2007/03/06
227111	1530	1832	2007/03/07	2007/03/06
227111	1530	2984	2007/03/11	2007/03/11
227111	1530	1462	2007/03/16	2007/03/16
227111	1530	2831	2007/03/17	2007/03/17

船舶動静データの特徴

- 船舶動静データからわかること
 - 船舶別の年間航海数
 - 船舶別の訪問地点数
 - 船舶別の平均航海日数
 - 船舶のコンテナ積載能力
- 船舶動静データのみではわからないこと
 - 船舶別の平均航海距離 (航路長)
 - 船舶別の平均船速
 - 航海ごとのコンテナ積載量

航路ネットワークの構築

入手しやすいデジタルデータが存在していないので・・・

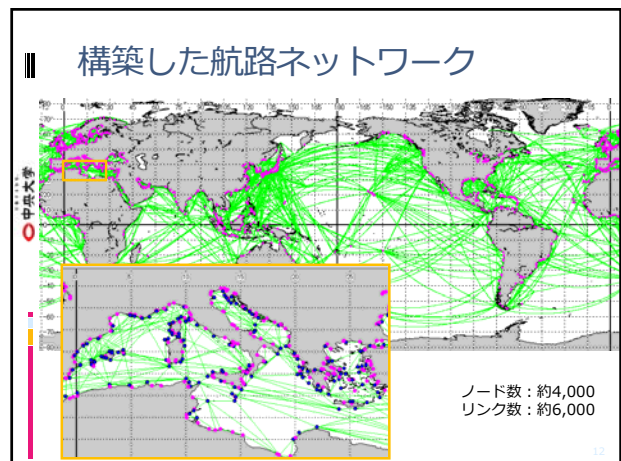
- ウェイポイント (変針点) とそのつながり (リンク) を入力する
 - 世界距離図表 (日本航海士会編) をベースとする
 - リンクは大圏航路とする
 - リンクが陸地と重なる場合は、適宜ウェイポイントを入力してリンクを分割する
- 港と近隣のウェイポイント (複数) とをリンクで結ぶ
 - 付近の地形を考慮する
- 近隣の港どうしもリンクで結ぶ

世界距離図表 (日本航海士会編)

デジタル世界地図

- GSHHS --- A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database
 - NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) のNGDC (National Geophysical Data Center) が無償提供 アメリカ国立海洋大気庁
 - 幾何的整合性がとられた多角形で構成
 - 大陸・湖・湖に浮かぶ島・湖に浮かぶ島の池等の階層構造
 - 5段階の詳細度
 - 最高精度のデータは約1000万の頂点で構成
 - 低精度のデータは、折れ線分の簡略化 (Douglas-Peucker法) を利用

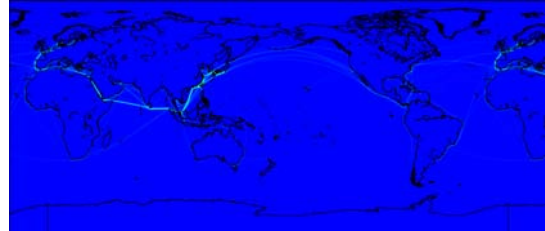
<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html>



経路への配分

- 出港地と着港地とを結ぶ最短経路に配分する
 - 気象, 地政学的リスク等の影響はないものと仮定する
 - 大型船 (5,000TEU以上) は, パナマ運河を通航できないものとする (Panamax制限)
- 各航海の所要時間は,
 - (到着日 - 出港日) × 24時間
 - とし, 同日の場合は12時間とする
- 年間航海数が10未満の船舶は除外する

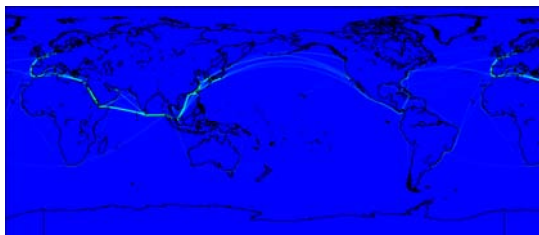
コンテナ貨物船の推計航路



通航船舶数ベース



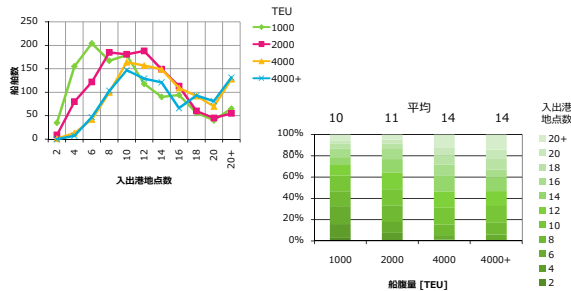
コンテナ貨物船の推計航路



通航船舶のTEUベース

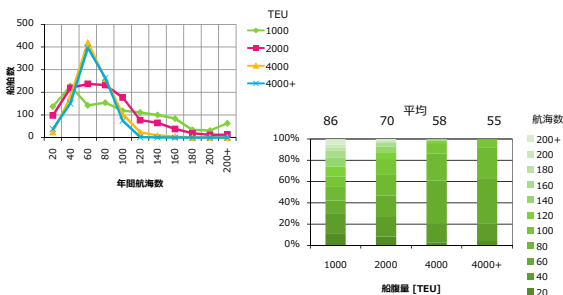


船舶別入出港地点数



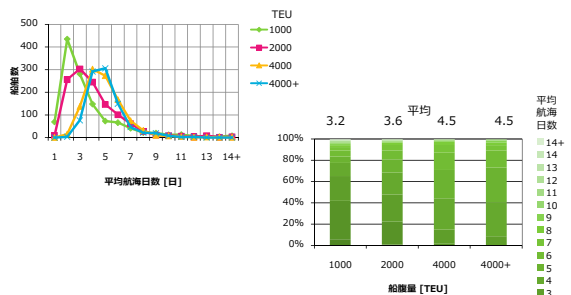
小型船ほど入出港する地点が少ない

船舶別年間航海数

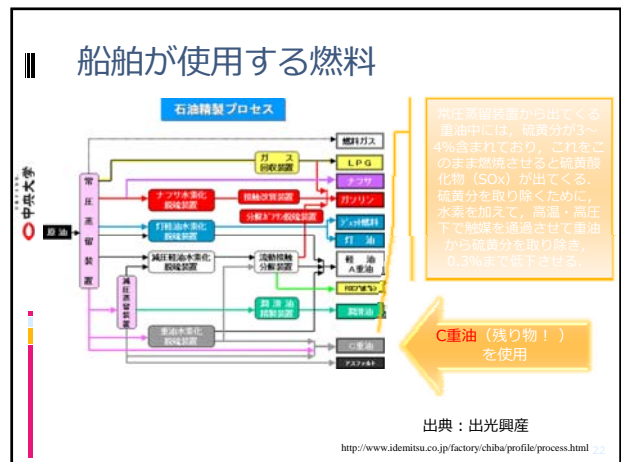
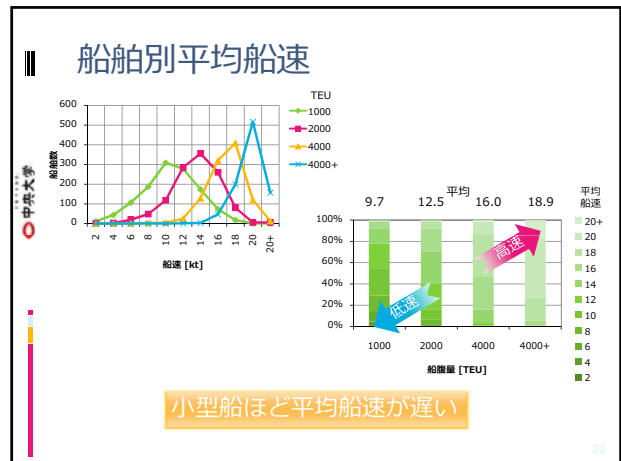
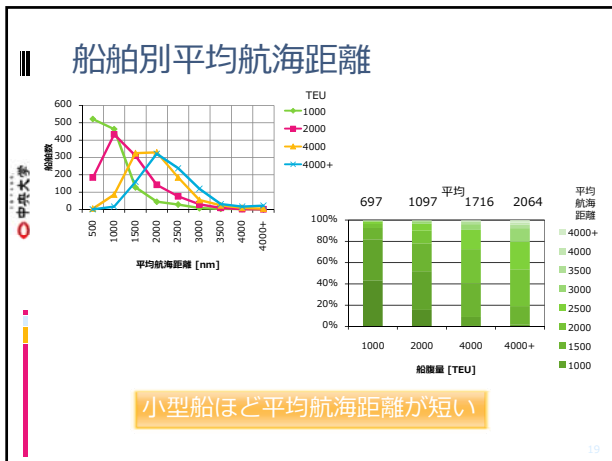


小型船ほど年間航海数が多い

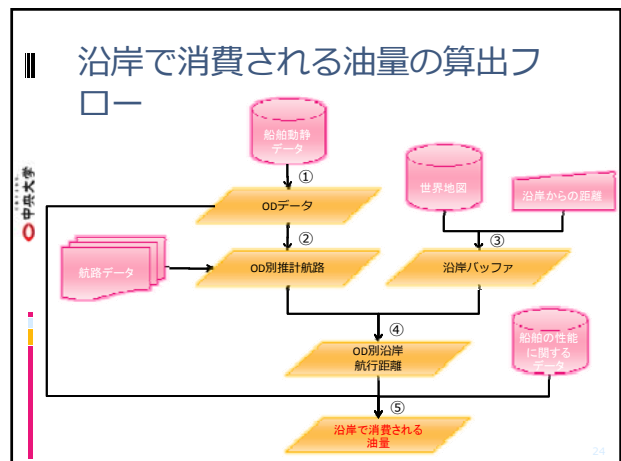
船舶別平均航海日数

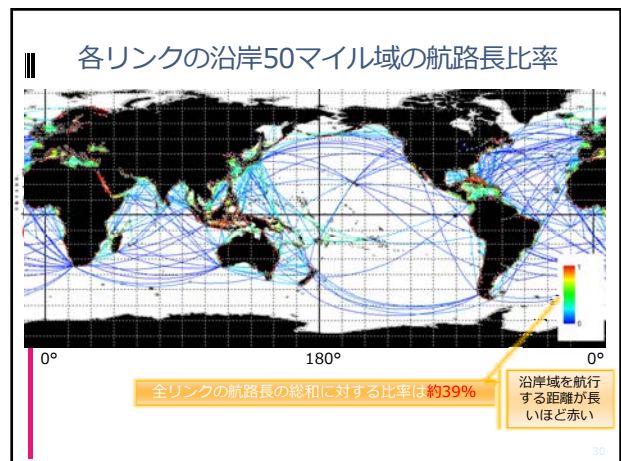
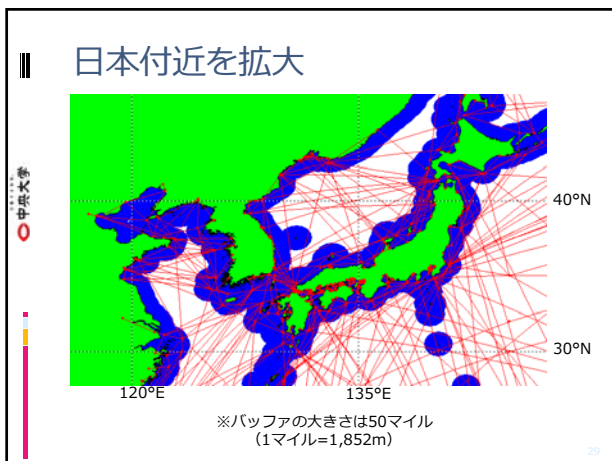
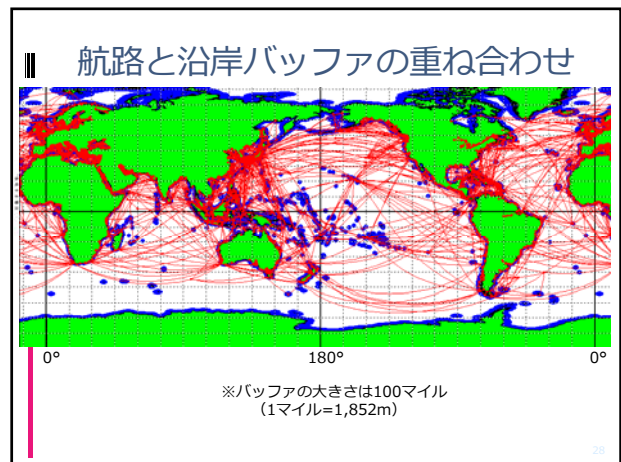
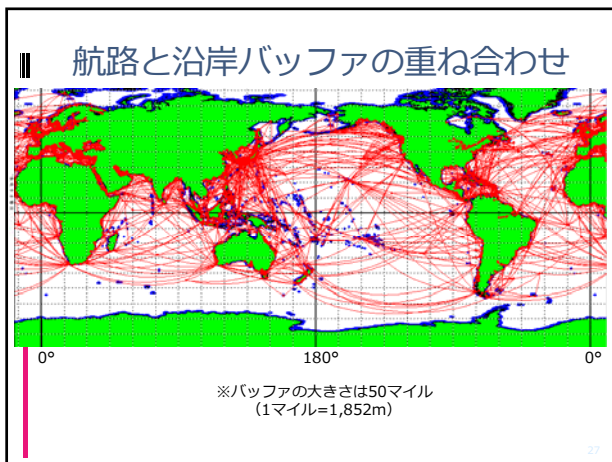
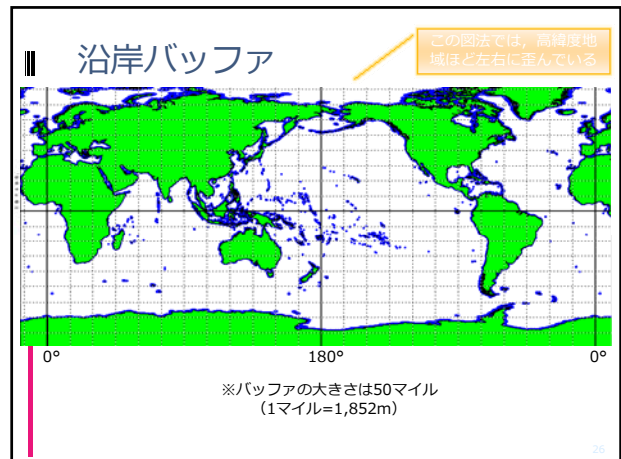
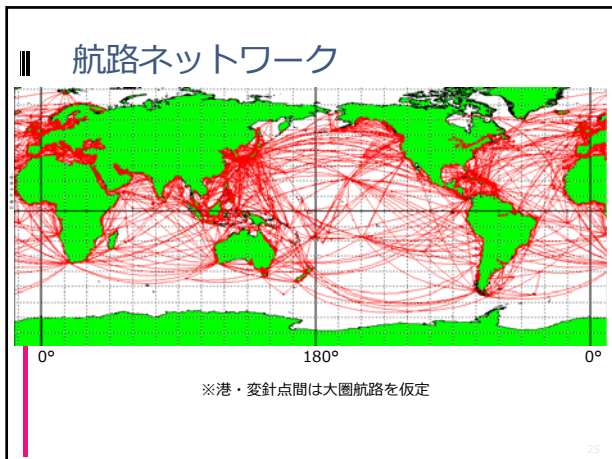


小型船ほど平均航海日数が短い

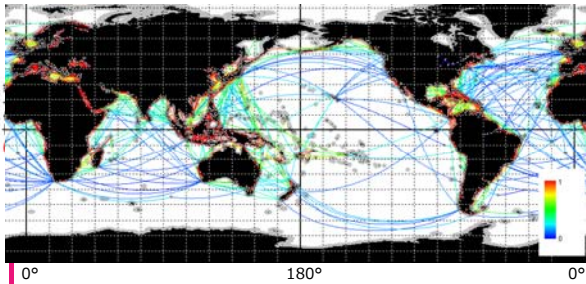


- ### わかっていること・わかっていないこと
- わかっていること
 - 船舶の動静 (OD)
 - 船種別 (コンテナ船・油タンカー・RORO船・等) 船腹別 (オーバーパナマックス等) の大まかな燃費
 - わかっていないこと
 - 航路 (経路)
 - 航行速度 (燃料消費量は速度に依存)
 - 船舶ごとの燃費



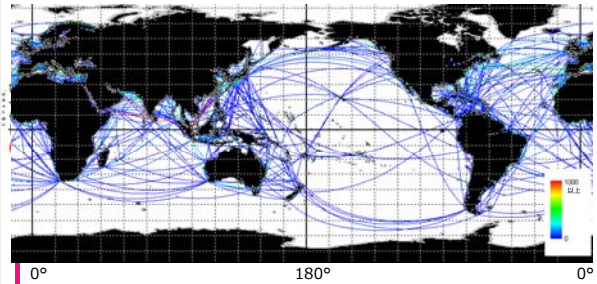


各リンクの沿岸100マイル域の航路長比率



全リンクの航路長の総和に対する比率は約53%

油タンカー(2005年)の推計航路

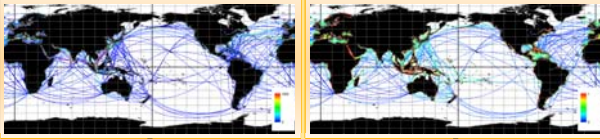


リンクの色は、通航する船舶数を表わしている

船舶の沿岸通航量

通航隻数

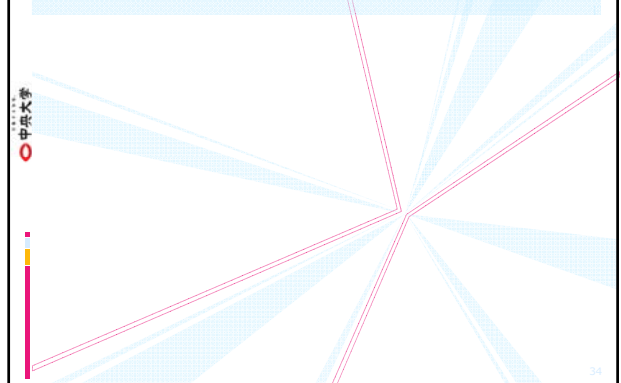
沿岸航路長



沿岸50マイルを航行する船舶の通航量(距離×隻数)は、全通航量の約66%

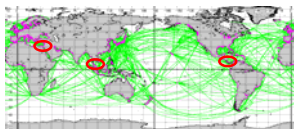
沿岸100マイルでは全通航量の約79%

通航不能エリアが生じた場合の影響

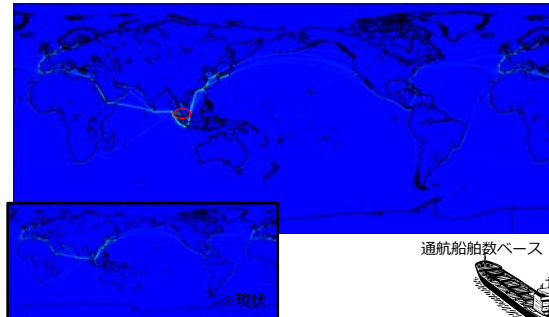


シナリオ

- マラッカ海峡
 - 船舶の通航が非常に多い
 - 近年、海賊行為が多発
- パナマ運河・スエズ運河
 - パナマ運河…太平洋とカリブ海を結ぶ
 - スエズ運河…地中海と紅海を結ぶ



コンテナ貨物船の推計航路 (マラッカ海峡を通航不能とした場合)



通航船舶数ベース

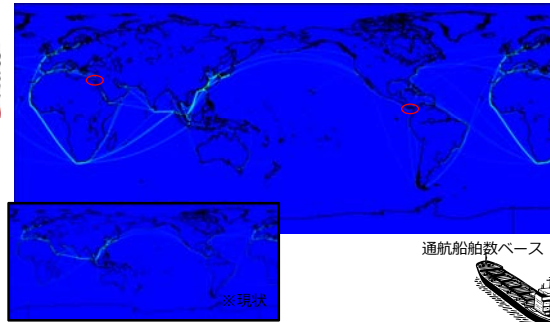


マラッカ海峡が通航不能になると・・・

- 影響する航海数
 - 21,888航海（全航海の約7.4%）
- 影響するコンテナ数（積載可能量）
 - 58,540,494TEU（全航海の約9.2%）
- 平均迂回距離
 - 1,737nm
- 平均迂回日数
 - 5.4日（通常時の船速で航行すると仮定）

コンテナ貨物船の推計航路

（パナマ運河・スエズ運河を通航不能とした場合）



通航船舶数ベース

※現状

パナマ運河・スエズ運河が通航不能になると・・・

- 影響する航海数
 - 9,544航海（全航海の約3.2%）
- 影響するコンテナ数（積載可能量）
 - 44,517,285TEU（全航海の約7.0%）
- 平均迂回距離
 - 5,935nm
- 平均迂回日数
 - 17日（通常時の船速で航行すると仮定）

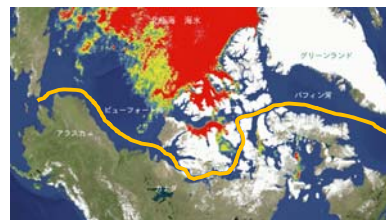
北極海航路が実現した場合の航海距離短縮効果の推計

北極海航路に関する研究プロジェクト

- 「国際北極海航路計画」(International Northern Sea Route Programme : INSRP)
 - 1993年～1999年
 - フリチョフ・ナンセン研究所（ノルウェー）
 - 中央船舶海洋設計研究所（ロシア）
 - シップ・アンド・オーシャン財団（日本）
- 「北極海航路の利用促進と寒冷海域安全航行体制に関する調査研究」(JANSROP Phase II)
 - 2002年～2005年
 - 海洋政策研究財団（日本）

JANSROP Phase2の目的は、我が国にとって重要なエネルギー資源を確保するため、東ユーラシア・極東地域における石油・天然ガスをはじめとする天然資源の存在を明確にするとともに、北極海航路の利用促進と寒冷海域での船舶の安全航行体制を調査することにある。

北極海(北西部)の海水、観測史上最も早く減少 (2008年8月18日プレス発表)

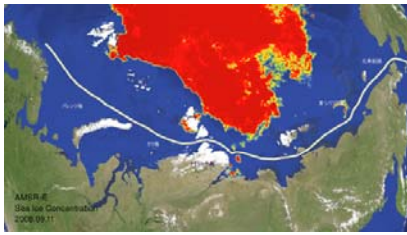


北西航路：デンマーク領グリーンランド南端のデービス海峡、バフィン湾からカナダの北極域であるランカスター海峡、ハーロー海峡を経て、グリーンランド・ウェールズ島の東または西を通り、セクトリア島の南、アムンゼン海、ヒュンフォード海、アラスカ沿岸のチェクナ海、ベーリンの海への抜ける航路。ニューヨーク・東京間をバハマ経由(10,000nm)のおよそ3分の2(7,000nm)で短縮。

株式会社ウェザーニューズのグローバルアイスセンターでは、温暖化の影響とされている北極海の海水の状況を監視していますが、8月17日、北極海北西部の夏季の海水が観測史上最小であった昨年よりも早く海水が減少し、北極海北西部の航路に沿って海水が融解していることを確認しました。これに伴い、カナダ北側の北極海航路における船舶航行の更なる実現性が見え始めてきました。当アイスセンターでは、今後も徐々に氷の融解が進む北極海を中心とした海水を引き続き監視するとともに、世界の海水の最新情報を提供してまいります。

<http://weathernews.com/jp/c/press/2008/080818.html>

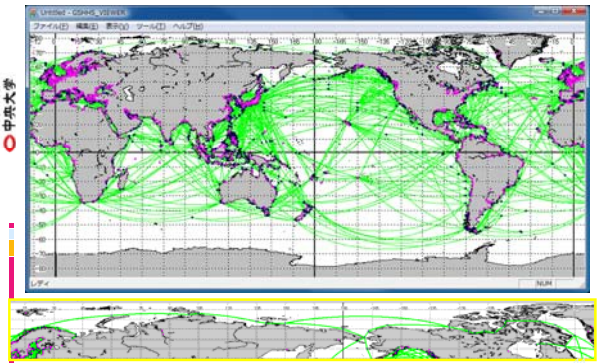
観測史上初！北極海の両側（北東・北西）の海水が消滅（2008年9月16日プレス発表）



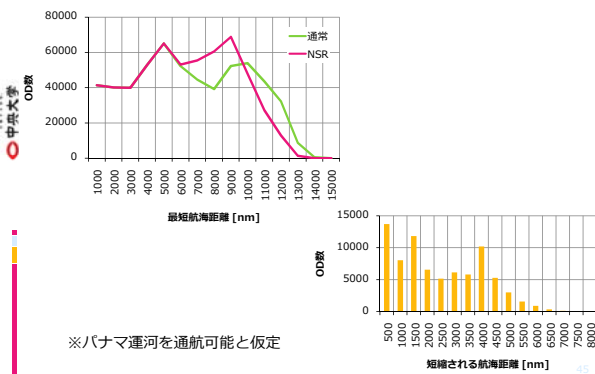
株式会社ウェザーニューズのグローバルアイスセンターでは、9月10日、北極海北東部のロシア側航路（北東航路）に沿って海水が消滅していることを確認しました。先月18日、北極海北西部のカナダ側航路（北西航路）に沿って海水が消滅し北極海の海水が観測史上最も早く減少していることを当アイスセンターで確認しましたが、両側（北東・北西）の海水が消滅したのは1978年に始まった衛星による観測史上初。地球温暖化による影響であると考えられます。

http://weathernews.com/jp/c/press/2008/080916_2.html

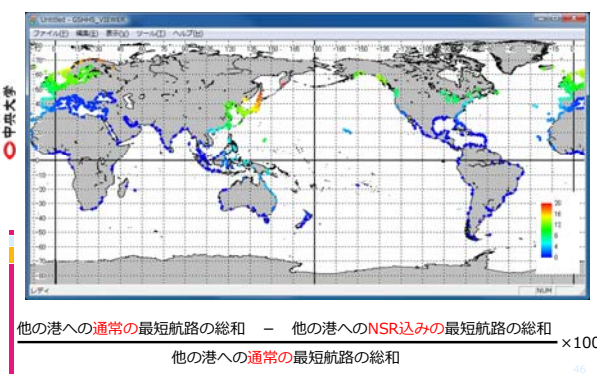
北極海航路の設定



最短距離分布（単位OD）



港別短縮効果（単位OD）



シミュレーション

- 対象OD
 - 出港日が6月1日から8月31日
(4,315隻, 76,353航海)
- 仮定
 - 出港地と着港地とを結ぶ最短経路に配分
 - ・ 気象, 地政学的リスク等の影響はない
 - ・ 大型船 (5,000TEU以上) は, パナマ運河を通航不可 (Panamax制限)
 - 各航海の所要時間は,
(到着日 - 出港日) × 24時間
ただし, 同日の場合は12時間

※大型船であっても, 平均船速からみてパナマ運河を通航したと考えられる場合は, パナマ運河経由とする

推計項目

- ① 北極海を通航する船舶数・総TEU
- ② 最短距離分布
- ③ 港ごとの短縮効果 (TEU, 輸送量)
- ④ 船舶ごとの航海短縮日数
- ⑤ 減速航海による消費燃料削減効果

- ### ①北極海を通航する船舶
- 船舶数：148（全船舶の約3.4%）
 - 平均積載量：約4,955TEU（全船舶の平均は約2,424TEU）
 - 航海数：245（全ODの約0.3%）
 - 平均航海日数（通常ルート）：約22日
 - 平均航海距離（通常ルート）：10,465nm
 - 平均航海距離（NSR）：8,824nm（▲15.7%）
 - 短縮距離の総和：約40万nm（地球18周半）
 - ODパターン数：46
 - 総積載量：約118万TEU（全体の約0.7%）

短縮効果（輸送距離）の大きいOD

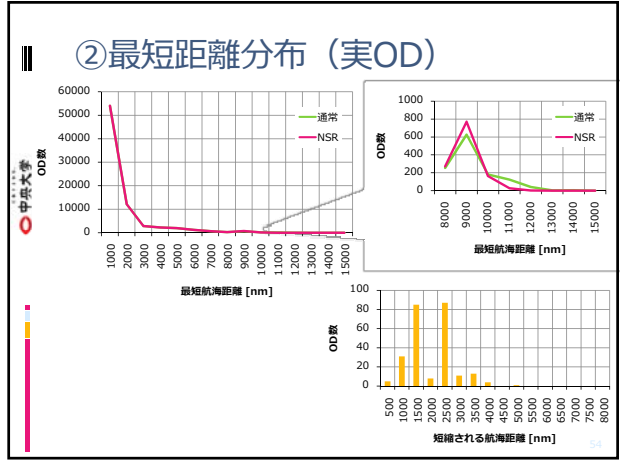
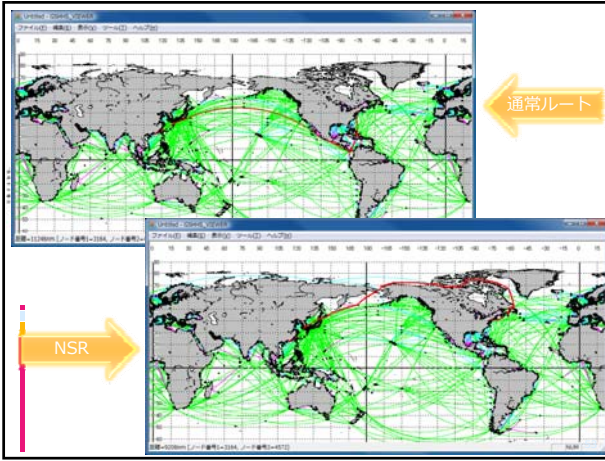
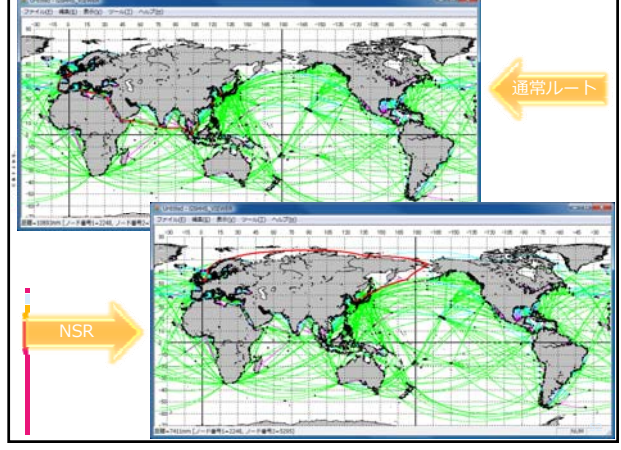
RANK	NAME1	AREA1	NAME2	AREA2	PM	通常航海距離 [nm]	NSR航海距離 [nm]	短縮距離 [nm]	短縮率 [%]
1	Savannah	USA	Busan	CHI	P	13,164	8,635	4,529	34.4
2	Felixstowe	UKE	Busan	CHI		10,693	7,411	3,282	30.7
3	Shanghai	CHI	New York	USA	P	12,280	8,529	3,751	30.6
4	Shanghai	CHI	Portsmouth(VA USA)	USA		12,459	8,708	3,751	30.1
5	Bremerhaven	NEU	Lanshan	CHI		10,920	7,835	3,085	28.3
6	Shanghai	CHI	Hamburg	NEU		10,710	7,799	2,911	27.2
7	Kingston(JAM)	GAR	Qingdao	CHI		13,313	9,752	3,561	26.7
8	Antwerp	NEU	Shanghai	CHI		10,442	7,923	2,519	24.1
9	Shanghai	CHI	Felixstowe	UKE		10,377	7,873	2,504	24.1
10	Kaohsiung	CHI	New York	USA	P	11,768	8,969	2,799	23.8
11	Shanghai	CHI	Cartagena(COL)	SA		13,249	10,131	3,118	23.5
12	Kaohsiung	CHI	Savannah	USA	P	12,336	9,537	2,799	22.7
13	Qingdao	CHI	Boston(USA)	USA		10,796	8,401	2,395	22.2
14	Hong Kong	CHI	Boston(USA)	USA		11,405	9,056	2,349	20.6
15	New York	USA	Busan	CHI		10,151	8,067	2,084	20.5
16	Qiangyang	CHI	New York	USA		10,238	8,154	2,084	20.4
17	Hong Kong	CHI	New York	USA	P	11,534	9,208	2,326	20.2
18	Shanghai	CHI	New York	USA		10,613	8,529	2,084	19.6
19	Kaohsiung	CHI	New York	USA		10,997	8,969	2,028	18.4
20	Hong Kong	CHI	New York	USA		11,246	9,208	2,038	18.1

※PMの「P」はPanamax（パナマ運河通航不可）を表す

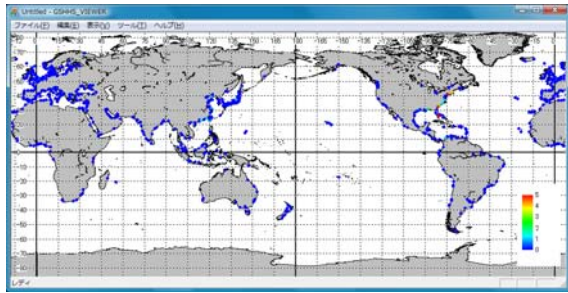
短縮効果（輸送量）の大きいOD

RANK	NAME1	AREA1	NAME2	AREA2	PM	通常航海距離 [nm]	NSR航海距離 [nm]	短縮距離 [nm]	短縮率 [%]	TEU 合計	TEU×短縮距離
1	Felixstowe	UKE	Busan	CHI		10,693	7,411	3,282	30.7	96,103	315,410,046
2	Hong Kong	CHI	New York	USA		11,246	9,208	2,038	18.1	136,131	277,434,978
3	Kaohsiung	CHI	New York	USA		10,997	8,969	2,028	18.4	107,955	218,892,740
4	Savannah	USA	Busan	CHI		9,744	8,635	1,109	11.4	180,778	200,482,802
5	New York	USA	Busan	CHI		10,151	8,067	2,084	20.5	47,234	98,435,656
6	Hamburg	NEU	Hong Kong	CHI		9,984	8,478	1,496	14.9	56,320	83,891,520
7	Shanghai	CHI	New York	USA		10,613	8,529	2,084	19.6	38,390	80,004,700
8	Antwerp	NEU	Shanghai	CHI		10,442	7,923	2,519	24.1	30,060	75,721,140
9	Kaohsiung	CHI	New York	USA	P	11,768	8,969	2,799	23.8	17,664	49,441,536
10	Charleston	USA	Xiamen	CHI		10,635	9,436	1,199	11.3	41,064	49,236,736
11	Charleston	USA	Hong Kong	CHI		10,849	8,996	1,153	10.6	41,631	48,000,543
12	Le Havre	NEU	Hong Kong	CHI		9,513	8,702	811	8.5	49,652	40,267,772
13	Shanghai	CHI	Portsmouth(VA USA)	USA		12,459	8,708	3,751	30.1	10,156	38,086,168
14	Miami	USA	Busan	CHI		9,407	8,889	518	5.5	71,841	37,213,658
15	Houston	USG	Hong Kong	CHI		13,106	10,944	2,162	16.5	15,234	32,935,908
16	Kaohsiung	CHI	Thamesport	UKE		9,862	8,347	1,515	15.4	16,200	24,543,000
17	New York	USA	Yantian	CHI		11,256	9,218	2,038	18.1	11,777	24,001,528
18	Hong Kong	CHI	New York	USA	P	11,534	9,208	2,326	20.2	10,234	23,804,284
19	Savannah	USA	Busan	CHI	P	13,164	8,635	4,529	34.4	5,117	23,174,883
20	Le Havre	NEU	Yantian	CHI		9,535	8,712	823	8.6	26,345	21,881,895

※PMの「P」はPanamax（パナマ運河通航不可）を表す



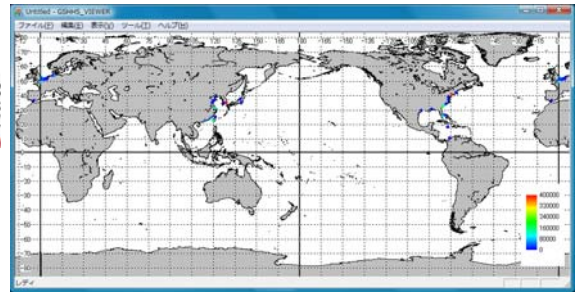
③港ごとの短縮効果 (TEU比率)



$$\text{TEU比率} = \frac{\text{NSRを経由する船舶 (航海) のTEUの総和}}{\text{その港に寄港する全船舶 (全航海) のTEUの総和}} \times 100$$

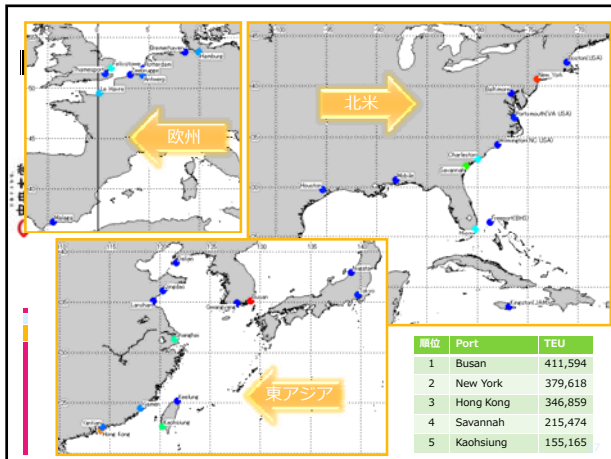
※対象は671港

③港ごとの短縮効果 (TEU)

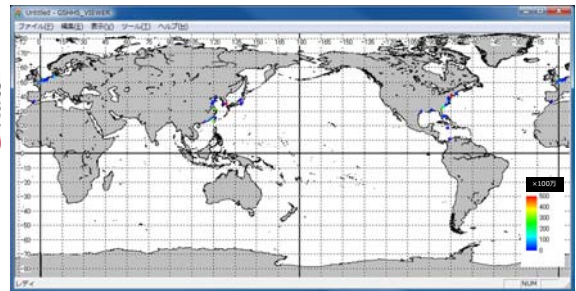


TEU = その港に寄港する船舶 (航海) のTEUの総和

※対象は36港

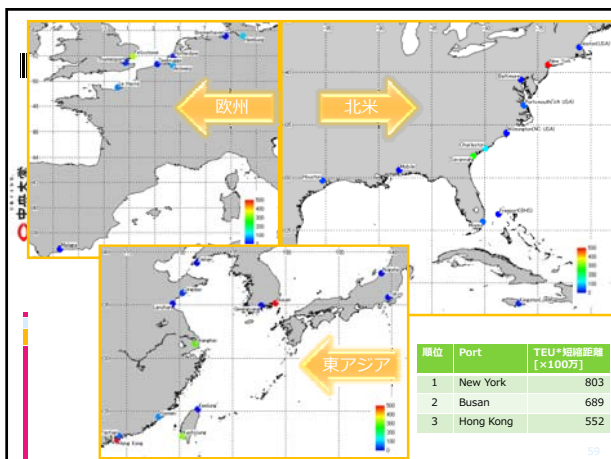


③港ごとの短縮効果 (輸送量)



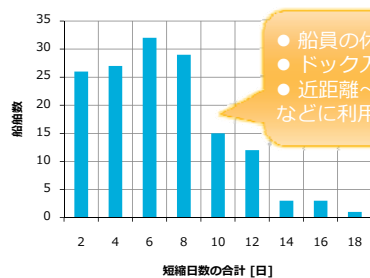
輸送量 = その港に寄港する船舶 (航海) のTEU × 短縮距離の総和

※対象は36港



④船舶ごとの航海短縮日数

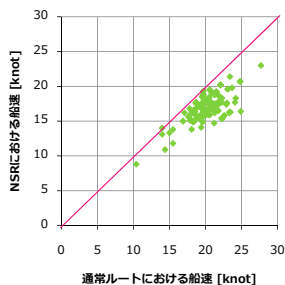
- 通常ルートにおける船速を維持したと仮定
- 航海距離が短くなった分、所要日数が短縮



- 船員の休暇
- ドック入り
- 近距離～中距離の航海などに利用可能

⑤減速航海による消費燃料削減効果

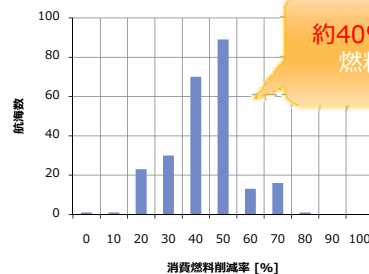
- 通常ルートにおける**所要日数を維持**したと仮定
- 航海距離が短くなった分、**船速が低下**



減速航海による消費燃料の削減効果を推計

⑤減速航海による消費燃料削減効果

- 船舶の機関出力 (= 消費燃料) は **船速の3乗**に比例



約40%~50%の燃料削減!

まとめ

まとめ (1)

- 航路ネットワークを構築
- 船舶動静データをもとにコンテナ船の航路を推計
 - 小型船ほど**平均航海距離が短く**、**平均船速も遅い**
- 船舶が沿岸で消費する油量の推計
 - 沿岸50マイルを航行する船舶 (タンカー, 2005年) の通航量 (距離×隻数) は、**全通航量の約66%** (沿岸100マイルでは約79%)
 - 通航量が多い地域とNO₂の濃度が高い地域がよく一致

まとめ (2)

- 通航不能エリアが生じた場合の影響を評価
 - マラッカ海峡やパナマ・スエズ運河が封鎖された場合、コンテナ船への影響が大きい
- 北極海航路が実現された場合の航海距離短縮効果をコンテナ船の船舶動静データを用いて推計
 - 影響がある船舶・航海は全体からみれば**少数**
 - **中国と北米・欧州**を結ぶ航海をする**大型船**にメリット
 - 通常ルートにおける船速を維持すれば、航海に要する**日数を1週間程度短縮可能** (船舶ごとに集計)
 - 通常ルートにおける所要日数を維持すれば、減速航海により**消費燃料を約40%~50%削減可能**

今後の展望

- 各国の貿易量、各港のコンテナ取扱量をもとにしたOD需要の配分
- 航路の有無がOD需要に与える影響を分析
 - 例えば、北極海航路が活用されると、ODが変化する可能性がある
 - 積出港・荷揚港が変わる
 - 寄港地の順序が変わる
 - 就航する船舶が変わる可能性がある (航路の制約)
 - パナマックスを考慮しなくてもよい → 船舶の大型化
- 陸路 (トラック, 鉄道) および空路をネットワーク上に整備し、輸送モードの選択モデルを構築