

東アジアと欧州間のコンテナ輸送を 対象とした北極海航路の利用によるCO2排出 量と輸送費用の削減効果に関する研究

東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科
海運ロジスティクス専攻
指導教員 黒川 久幸 教授
発表者 郭 天淳

2015/8/17

1

発表の流れ

1. はじめに 研究背景 研究目的
2. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式
3. 検討対象及び検討データ
4. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計
5. 北極海航路の活用が有効な港湾
6. コンテナ船の転配
7. 転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果
8. おわりに

2015/8/17

2

発表の流れ

1. **はじめに 研究背景 研究目的**
2. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式
3. 検討対象及び検討データ
4. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計
5. 北極海航路の活用が有効な港湾
6. コンテナ船の転配
7. 転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果
8. おわりに

2015/8/17

3

はじめに

• 研究背景

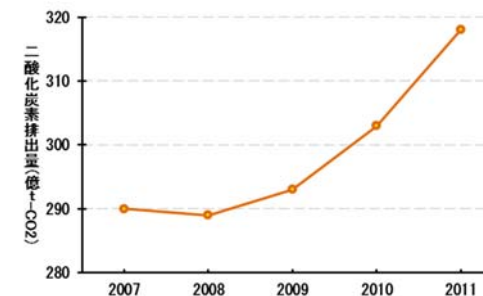


図1:世界CO2排出量の推計

外航海運から排出される
2007年の温室効果ガス
約**8.5億トン**。世界全体の
二酸化炭素排出量の約**3%**
約ドイツ全年の二酸化炭素
排出量の合計より多い



外航海運における
二酸化炭素排出量の削減を努力すべき

出典:「日本航海学会論文集 No.124, 国際海上コンテナ輸送におけるCO2排出量削減策の実行可能性に関する研究」

2015/8/17

4

はじめに

研究背景

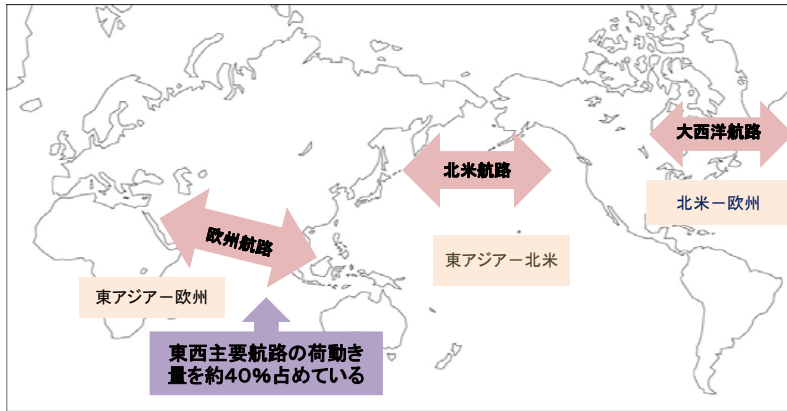


図2: 国際海上コンテナ輸送の東西主要航路

はじめに

研究背景: 北極海航路

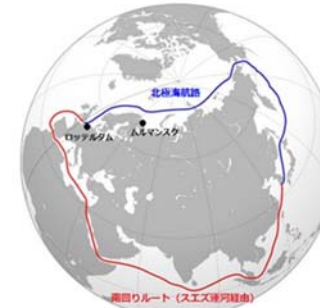


図3: 北極海航路の概念図

北極海航路 概要

- 太平洋と大西洋を結び、海上物流を可能とする
- 東西通航として主要航路
- 船舶の大きさを制限する
- 通航環境によって通航時間帯を制限

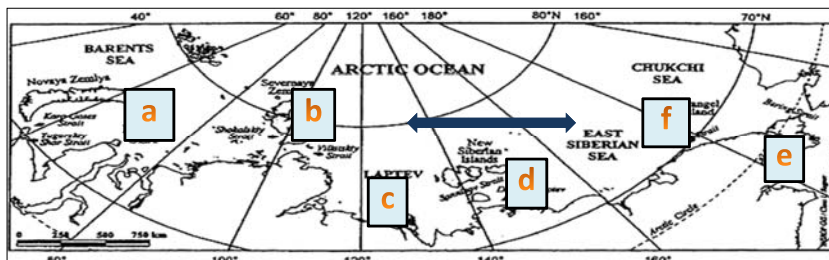
出典:「東アジア～欧州航路におけるNSR・SCR組合せ輸送の経済的フィジビリティーコンテナ輸送,完成自動車輸送,LNG輸送」

はじめに

研究背景: 北極海航路 水深の制約

表1 欧州航路港湾距離

番号	名前	水深(m)
a	カラゲイト	30
b	ピルキッキー海峡	100
c	ドミトリアブテフ	10
d	サニコフ海峡	13
e	ロング海峡	40
f	ペーリング海峡	50



2015/8/17 図4 北極海航路海峡

はじめに

研究背景: 北極海航路



図3: 北極海航路の概念図

注目される理由:

既存のスエズ運河等を通過する東アジアと欧州間の航路と比較して、**航海距離が短く、航海日数の短縮が可能**

⇒二酸化炭素排出量の削減だけでなく、輸送費用の削減ができるのではないかと考えました。

出典:「東アジア～欧州航路におけるNSR・SCR組合せ輸送の経済的フィジビリティーコンテナ輸送,完成自動車輸送,LNG輸送」

はじめに

• 既存研究

古市らの研究

水深などの制約条件を考慮し、4000TEUのコンテナ船が北極海航路を利用すると、現状の同サイズのコンテナ船による既存航路輸送に比べて、削減効果が得られる

北極海航路の通行可能期間により、長ければ長いほど削減効果が大きい

不足点:

北極海航路通航の船型制限(4000TEU)のため、他の航路から転配する必要があることがある。転配を考慮し、**転配方案、転配後の削減効果**についての内容を検討されなかった。

はじめに

• 既存研究: 東アジア港湾



図5: 東アジア港湾

古市らの研究

南北に広がっている航海距離の**短縮効果が異なる**



不足:
有効な港湾を明確されていない

はじめに

• 研究目的

そこで本研究では、北極海航路を用いた東アジアと欧州間のCO₂排出量と輸送費用の削減効果を検討することを目的とする。

北極海航路では水深の制約から4,000TEUまでのコンテナ船しか航行できないため、他の航路からの転配を考慮し、**転配後の削減効果**について検討する。

また、**東アジアの港湾**は南北に広がっているため、港湾毎に北極海航路を用いた場合の航海距離の短縮効果が異なる。そこで、東アジアを南北に3つのエリアに分けて、北極海航路を用いた場合の効果の違いを比較し、効果的な北極海航路の活用についても検討する。

発表の流れ

1. はじめに 研究背景 研究目的
2. **二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式**
3. 検討対象及び検討データ
4. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計
5. 北極海航路の活用が有効な港湾
6. コンテナ船の転配
7. 転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果
8. おわりに

二酸化炭素排出量の算出式

燃料消費量の算出式

$$Fo = 6.87 \times 10^{-5} \times \{DSP - (1 - 0.65 \times Lf) \times DWT\} \times Dsp^{-1/3} \times V^2$$

$$DSP = 1.37 \times DWT + 1660$$

Fo: 燃料消費量 (kg/km)
 DSP: 船舶の満載排水トン (t)
 Lf: 消席率
 DWT: 船舶の載貨重量 (t)
 V: 船舶の速力 (km/h)

二酸化炭素排出量の算出式

$$CO_2 = C \times Fo \times \left(DST \times \frac{DEM}{W} \right)$$

CO₂: CO₂排出量 (t-CO₂)
 C: 換算係数 (t-CO₂/kg-Fuel)
 DST: 航海距離 (km)
 DEM: 輸送需要量 (TEU/年)
 W: 船舶の積載量 (TEU)

輸送費用の算出式

輸送費用構成

表2 輸送費用構成

コンテナ船 北極海航路 輸送総費用	運航費	燃料費(航海時)
		入出港費
	船費	荷役費
		船員費
		修繕費
		減価償却費
		利益
	コンテナ 関係費	コンテナ償却費
		コンテナ修繕費
		コンテナ利益
	NSR通航 特定費用	砕氷船貸出料
		北極海通航料

輸送費用の算出式

運航費公式

運航費公式

$$Num = Fo * DST * C1 * f * N +$$

燃料費は船舶1キロメートルあたりかかるの燃料費を計算し、それに航海距離を掛けて算出する。

$$(C2 * W + C3) * f' * f * N +$$

港費は入出港湾の港湾係数を掛けて計算する。

$$C4 * (Df + Ds) * 2$$

荷役費は、1TEUコンテナかかるの費用と往復荷動き量を掛ける。

Num: 運航費用 (万円/年)
 C1: 燃料油単価 (万円/kg)

C2: 入出港費単価の係数 (万円/TEU)
 C3: 入出港費単価の係数 (万円)
 C4: 1TEUあたり荷役費 (万円/TEU)
 f: 航海回数 (回/(隻・年))
 f': 1航海中の寄港回数 (回)

N: 就航隻数 (隻)
 Df: 往路の輸送需要量 (TEU/年)
 Ds: 復路の輸送需要量 (TEU/年)

輸送費用の算出式

船費公式

船費公式

$$C = C9 * hu * N +$$

船員費とは、船員に支払う給料のことである。船員数と年間1人あたりの船員費及び就航隻数の積で求める

$$(C10 + C11 + C12) * C13 * W * N$$

船費

修繕費、減価償却費、利息

減価償却費にはコンテナ船の耐用年数に対して固定資産の減価償却を行う費用。利息には船舶購入したときの支払利息である。

C: 船費 (万円/年)
 C9: 船員単価 (万円/(人・年))
 C10: 船舶修繕係数
 C11: 船舶減価償却係数
 C12: 船舶利息係数
 C13: 船価 (万円/TEU)
 hu: 船員数 (人/隻)
 N: 就航隻数 (隻)

C13: 船価 (万円/TEU)
 hu: 船員数 (人/隻)
 N: 就航隻数 (隻)

輸送費用の算出式

- コンテナ関係費 公式

- コンテナ修繕費、減価償却費、利息公式

$$K = (C14 + C15 + C16) \times C17 \times (Df + Ds) \times CT / 2$$

K: コンテナ関係費
(万円)

C14: コンテナ修繕係数

C15: コンテナ償却係数

C16: コンテナ利息係数

C17: 1TEUコンテナ価額
(万円/TEU)

CT: 1サイクル時間(年)

- NSR通航特定費用 公式

- 砕氷船賃出料

NSR通航の場合、ロシア政府が派遣するIce Pilotの先導が必要である。そのための費用であるIce Pilot料については参考から参考し、通航時一日当り673USDと設定する。

- 北極海通航料

Omre A. (2012年) は5.0 USD/GTと設定しており、本研究には実態を反映した現実的な水準としてNSR利用料を5.0 USD/GT程度に設定する。

就航隻数の算出式

- 就航隻数の算出式

$$N = D / (f \times W)$$

$$f = Q / CT$$

N: 就航隻数(隻)

D: 往復路の輸送需要量の最大値
(TEU/年)

f: 航海回数(回/年)

W: 輸送能力(TEU)

CT: 1サイクル時間(年/回)

Q: 計算の対象期間(年/年)

- 1サイクル時間の算出式

$$CT = T_{航海} + T_{荷役} + T_{入出港} + T_{その他}$$

CT: 1サイクル時間(年/回)

T航海: 航海時間(年)

T荷役: 荷役時間(年)

T入出港: 入出港時間(年)

発表の流れ

1. はじめに 研究背景 研究目的
2. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式
3. 検討対象及び検討データ
4. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計
5. 北極海航路の活用が有効な港湾
6. コンテナ船の転配
7. 転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果
8. おわりに

検討対象と検討データ

- 対象港湾

参照項目: サービス上の港の寄港回数、寄港毎のコンテナ取扱量、
港湾間距離。

航路: アジア—北米東岸航路、アジア—北米西岸航路、アジア—欧州航路

港湾の抽出: アジア上位5港、北米東岸や西岸航路上位13港

アジア上位15港、欧州上位6港

サービス: アジア～ 三つのサービス

北米～ 二つのサービス

検討対象と検討データ

- 対象港湾(欧州)



図6 欧州航路港湾分布

出典: Yahoo世界地図より作成
2015/8/17

検討対象と検討データ

- 対象港湾(北米)

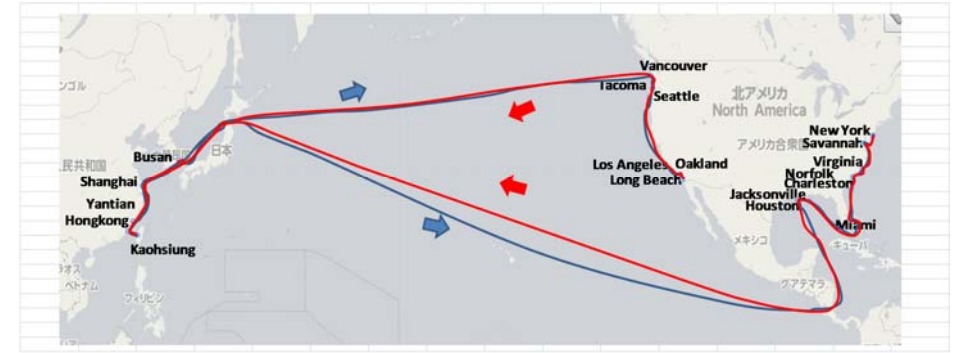


図7 北米航路港湾分布

出典: Yahoo世界地図より作成

検討対象と検討データ

- 対象港湾距離(欧州)

表3 欧州航路港湾距離

サービス 1	距離NM	サービス2	距離NM	サービス3	距離NM
Busan	Shanghai 451.07	Dalian	Qingdao 265.83	Shanghai	Kaohsiung 590.64
Shanghai	Ningbo 109.7	Qingdao	Tianjin 414.49	Kaohsiung	Yantian 342.81
Ningbo	Shenzhen 782.49	Tianjin	Shanghai 632.07	Yantian	Singapore 1454.13
Shenzhen	Guangzhou 57.49	Shanghai	Xiamen 554.31	Singapore	Port Kelang 202.82
Guangzhou	Tanjung 1476.79	Xiamen	Hong kong 280.91	Port Kelang	Le have 7927.01
Tanjung	Rotterdam 8287.44	Hong kong	Antwerp 9698.19	Le have	Southampton 105.9
Rotterdam	Hamburg 300.61	Antwerp	Zeebrugge 136.32	Southampton	Felixstowe 169.68
Hamburg	Rotterdam 300.61	Zeebrugge	Antwerp 136.32	Felixstowe	Southampton 169.68
Rotterdam	Tanjung 8287.44	Antwerp	Hong kong 9698.19	Southampton	Le have 105.9
Tanjung	Guangzhou 1476.79	Hong kong	Xiamen 280.91	Le have	Port Kelang 7927.01
Guangzhou	Shenzhen 57.49	Xiamen	Shanghai 554.31	Port Kelang	Singapore 202.82
Shenzhen	Ningbo 782.49	Shanghai	Tianjin 632.07	Singapore	Yantian 1454.13
Ningbo	Shanghai 109.7	Tianjin	Qingdao 414.49	Yantian	Kaohsiung 342.81
Shanghai	Busan 451.07	Qingdao	Dalian 265.83	Kaohsiung	Shanghai 590.64
合計	22931.18	合計	23964.24	合計	21585.98

出典: BLMより作成

検討対象と検討データ

- 対象港湾距離(北米)

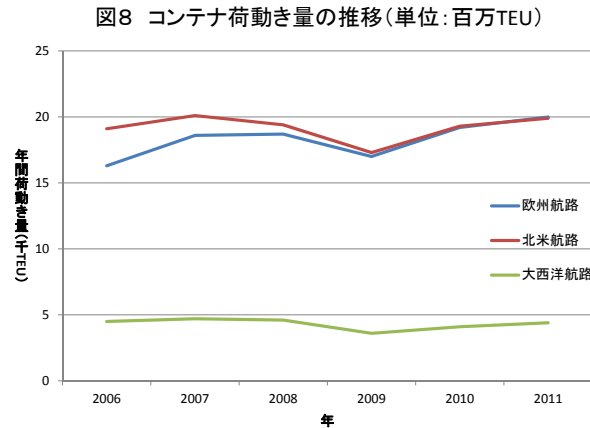
表4 北米航路港湾距離

アジア-北米西-アジア	距離NM	アジア-北米東-アジア	距離NM
Hongkong	Kaohsiung 343.01	Hongkong	Kaohsiung 343.01
Kaohsiung	Yantian 342.81	Kaohsiung	Yantian 342.81
Yantian	Shanghai 796.53	Yantian	Shanghai 796.53
Shanghai	Busan 451.07	Shanghai	Busan 451.07
Busan	Vancouver 4637	Busan	Houston 9639.08
Vancouver	tacoma 359.1	Houston	miami 901.05
tacoma	Seattle 24.43	miami	jacksonville 298.43
Seattle	Oakland 794.43	jacksonville	charleston 177.26
Oakland	Los Angeles 357.47	charleston	Norfolk 398.27
Los Angeles	Long Beach 3.64	Norfolk	Virginia 14.8
Long Beach	Los Angeles 3.64	Virginia	Savannah 440.08
Los Angeles	Oakland 357.47	Savannah	New York 698.83
Oakland	Seattle 794.43	New York	Savannah 698.83
Seattle	tacoma 24.43	Savannah	Virginia 440.08
tacoma	Vancouver 359.1	Virginia	Norfolk 14.8
Vancouver	Busan 4637	Norfolk	charleston 398.27
Busan	Shanghai 451.07	charleston	jacksonville 177.26
Shanghai	Yantian 796.53	jacksonville	miami 298.43
Yantian	Kaohsiung 342.81	miami	Houston 901.05
Kaohsiung	Hongkong 343.01	Houston	Busan 9639.08
合計	16218.98	合計	451.07
			Shanghai 796.53
			Yantian 342.81
			Kaohsiung 343.01
			Hongkong 343.01
			合計 29002.44

出典: BLMより作成

検討対象と検討データ

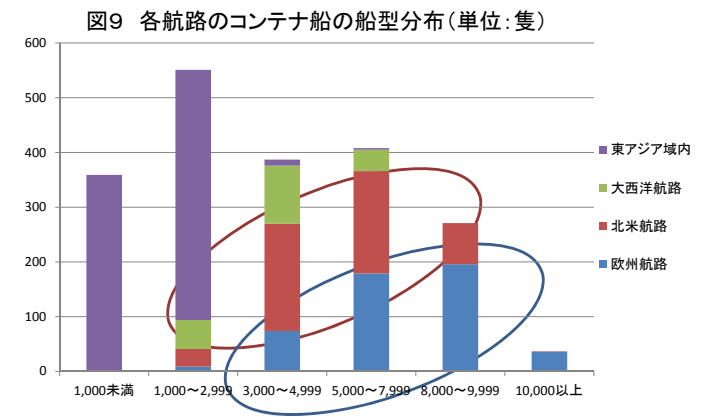
- 荷動き量及び就航船舶



出典: 日本郵船調査グループ編(2012年版)より作成

検討対象と検討データ

- 荷動き量及び就航船舶



出典: 日本郵船調査グループ編(2012年版)より作成

発表の流れ

- はじめに 研究背景 研究目的
- 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式
- 検討対象及び検討データ
- 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計**
- 北極海航路の活用が有効な港湾
- コンテナ船の転配
- 転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果
- おわりに

二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計

- 現状の推計

表5 現状の推計値

		欧州航路		北米航路	
		東航	西航	東航	西航
CO ₂ 排出量 万t-CO ₂ /年	東航	576	28%	447	73%
	西航	1446	72%	167	27%
	合計	2022	100%	614	100%
輸送費用 億円/年	東航	20407	35%	20249	64%
	西航	38395	65%	11254	36%
	合計	58802	100%	31503	100%

二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計

- 現状の就航隻数の推計
- 現状の就航1サイクル時間

1サイクル時間 = 航海時間、荷役時間、入出港時間等

重回帰分析:各サービスにおける実際のサービスの運航時間と途中の寄港回数、運航距離、船型

※ 荷役時間は船型に比例し、入出港時間は寄港回数に比例すると仮定

(出典:国際輸送ハンドブック2011年版)
2015/8/17

29

二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計

- 現状の就航隻数の推計
- 現状の就航1サイクル時間

表6 欧州航路, 北米航路の重回帰分析の結果

項目	欧州航路		北米航路	
データの数	30		51	
決定係数	0.9878		0.9675	
項目	係数の値	t値	係数の値	t値
船型	0.0123*	2.1866	0.0228**	4.0486
寄港回数	21.5224**	4.2323	17.4908**	3.0233
航海距離	0.0097*	2.4673	0.0107**	3.4758

2015/8/17

30

二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計

- 現状の就航隻数の推計

表7 欧州航路における推計の隻数と実際の隻数

平均船型	欧州航路 隻数			合計
	サービス1	サービス2	サービス3	
1000	0	0	0	0
2000	3	3	3	9
4000	23	23	24	70
6500	56	55	58	169
9000	62	60	64	185
11500	6	6	6	18
13000	5	5	6	16
合計	155	151	161	467

表8 北米航路における推計の隻数と実際の隻数

平均船型	北米航路 隻数		
	西	東	合計
1000	0	0	0
2000	20	12	32
4000	117	78	195
6500	109	77	186
9000	43	32	75
11500	1	0	1
合計	289	200	488

2015/8/17

31

発表の流れ

1. はじめに 研究背景 研究目的
2. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式
3. 検討対象及び検討データ
4. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計
5. 北極海航路の活用が有効な港湾
6. コンテナ船の転配
7. 転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果
8. おわりに

2015/8/17

32

北極海航路の活用が有効な港湾

有効な港湾

表9 パターン分別

パターン	欧州航路	北極海航路
現状	A+B+C	—
パターン①	B+C	A
パターン②	C	A+B
パターン③	—	A+B+C

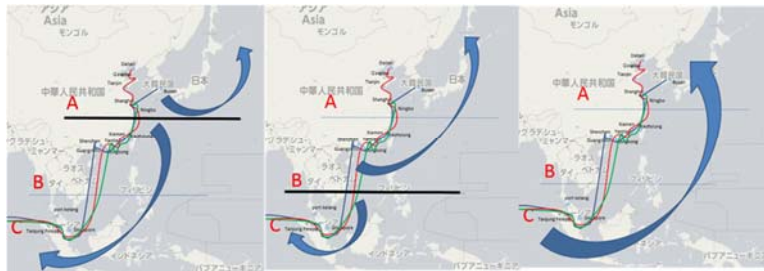


図10 パターン別の輸送

北極海航路の活用が有効な港湾

欧州航路の3ヶ月間二酸化炭素排出量

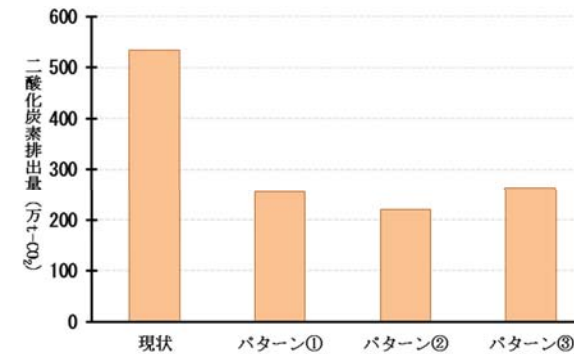


図11 パターン別の二酸化炭素排出量

北極海航路の活用が有効な港湾

欧州航路の3ヶ月間の輸送費用

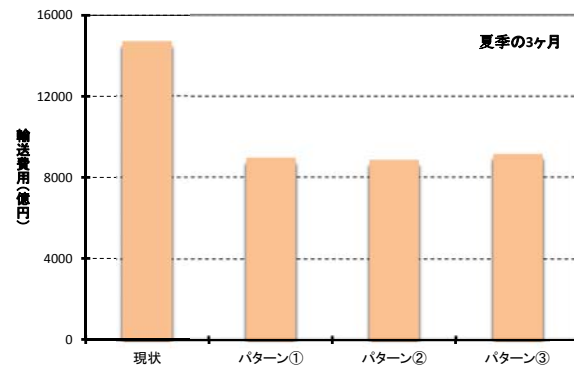


図12 パターン別の輸送費用

北極海航路の活用が有効な港湾

欧州航路の二酸化炭素排出量

表9 パターン分別

パターン	欧州航路	北極海航路
現状	A+B+C	—
パターン①	B+C	A
パターン②	C	A+B
パターン③	—	A+B+C

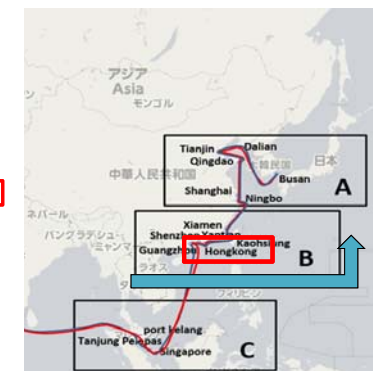


図13 パターン②の輸送方法

発表の流れ

1. はじめに 研究背景 研究目的
2. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式
3. 検討対象及び検討データ
4. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計
5. 北極海航路の活用が有効な港湾
6. **コンテナ船の転配**
7. 転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果
8. おわりに

2015/8/17

37

コンテナ船の転配

- 転配方針

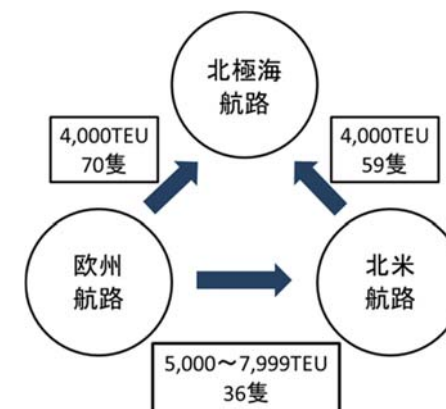


図14 転配方針

2015/8/17

38

発表の流れ

1. はじめに 研究背景 研究目的
2. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式
3. 検討対象及び検討データ
4. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計
5. 北極海航路の活用が有効な港湾
6. コンテナ船の転配
7. **転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果**
8. おわりに

2015/8/17

39

転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果

- 全年二酸化炭素排出量の削減効果

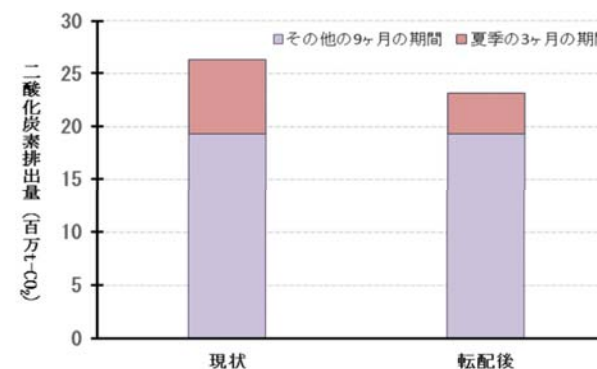


図15 二酸化炭素排出量の削減効果

2015/8/17

40

転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果

• 全年輸送費用の削減効果

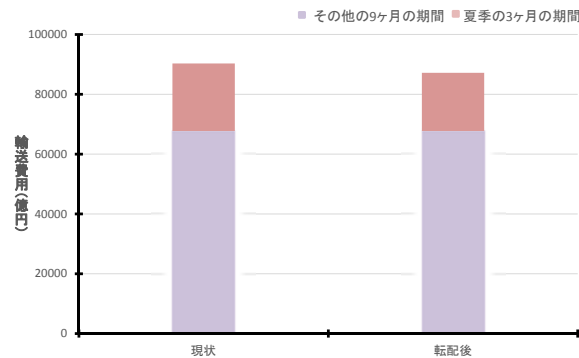


図16 輸送費用の削減効果

転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果

• 3ヶ月間二酸化炭素排出量削減効果(航路別)

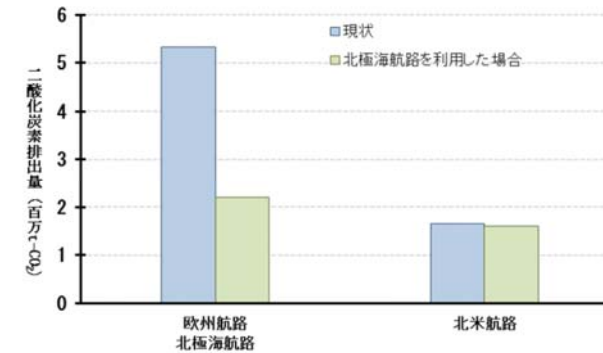


図17 航路別の削減効果

転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果

• 3ヶ月間輸送費用削減効果(航路別)

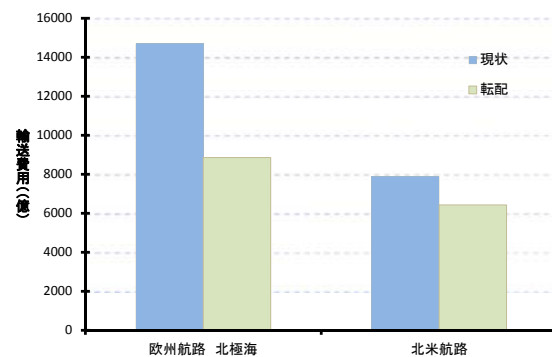


図18 航路別の輸送費用の削減効果

発表の流れ

1. はじめに 研究背景 研究目的
2. 検討対象及び検討データ
3. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の算出式
4. 二酸化炭素排出量、輸送費用及び就航隻数の推計
5. 北極海航路の活用が有効な港湾
6. コンテナ船の転配
7. 転配を考慮した二酸化炭素排出量と輸送費用の削減効果
8. **おわりに**

おわりに

- 結論
- 二酸化炭素排出量と輸送費用の削減策として北極海航路を活用する方は、非常に有効であることが分かった。
その削減量は、夏季の欧州航路の排出量の約58%、北米航路も含めた年間の排出量の約12%に達することが分かった。これは、コンテナ船の減速や大型化といった他の削減策と遜色のない削減効果である。
輸送費用では、夏季の欧州航路の輸送費用の約40%、北米航路も含めた年間の輸送費用の約8%に達することが分かった。
- また、東アジアの港湾で北極海航路を活用するのが有効な港湾は、HongKong港以北にある港湾であることが分かった。

2015/8/17

45

おわりに

- 今度の課題
- I. 近年、欧州と東アジア間の資源輸入出において、北極海航路を用いて輸送を行うことが話題となっているため、今後、LNG船やバルク船などを利用した場合の削減効果を検討する必要があると考えている。
- II. 北極海航路の利用の現状において、毎年の夏季の通三ヶ月間に通航できるが、これから、地球温暖化の影響で、さらに海氷を溶け、北極海航路の通航できる期間が長くなる可能性がある指摘されている。今後、通航できる期間が長くなった場合の、CO2と輸送費用の削減効果について検討する必要がある。
- III. 将来、北極海の海氷がなくなることが予測されているため、水深が深くなり、4000TEUよりの大型化船が北極海航路に通航できるようになると考えている。従って、将来の通行できる最大船型を推計し、その船型を用いて輸送を行った場合のCO2と輸送費用の削減効果について検討する必要があると考えている。

2015/8/17

46

ご清聴ありがとうございました

2015/8/17

47