



Tokyo University of Marine Science and Technology
Kurokawa Laboratory Master Degree Hiroka SUZUKI
17th. August. 2015

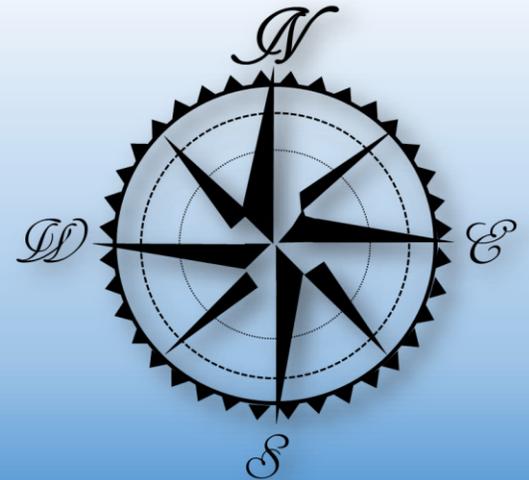
国際海上輸送における鉄鉱石輸入を対象とした 物流コスト及びCO₂排出量の削減に関する研究

A Study on the Reduction of Physical Distribution Cost and CO₂ Emissions in
International Marine Dry Bulk Shipping of Iron Ore

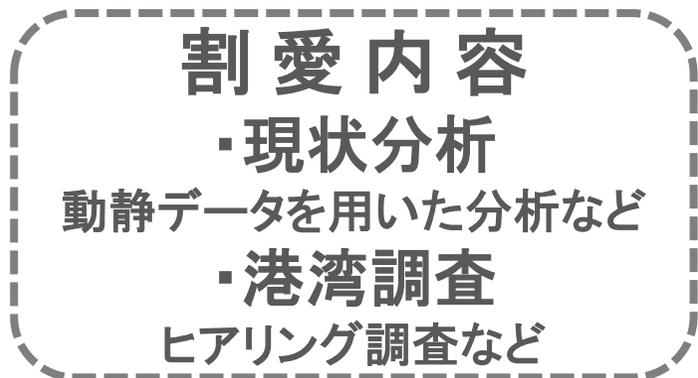
東京海洋大学 大学院 博士前期課程 海運ロジスティクス専攻

黒川研究室(物流設計研究室) 1355024 鈴木ひろか

指導教員:黒川 久幸 教授 2015.08.17



発表内容



序論

研究背景、政策、
既存研究、研究目的

対象

感度分析

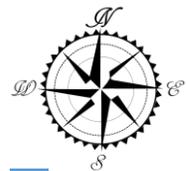
比較分析による検証

最適化

結論

分析のまとめ、
政策に対する提言

発表内容



割愛内容
・現状分析
動静データを用いた分析など
・港湾調査
ヒアリング調査など

序論

研究背景、政策、
既存研究、研究目的

対象

感度分析

比較分析による検証

最適化

結論

分析のまとめ、
政策に対する提言

研究背景

物流コスト

資源の90%以上を輸入に依存

- ・ 運賃の上昇
- ・ 高コスト構造に懸念

鉄鉱石船の用船料2.2倍 直近安値比、退役進み過剰感一服

2015/5/19 23:51 | 日本経済新聞 電子版

小 中 大 保存 リプリント

鉄鉱石を運ぶ大型ばら積み船、ケーブサイズのスポット（随時契約）**運賃が上昇**している。算定基準となる用船料（船会社が船主に支払うチャーター料）は主要航路平均で1日あたり1ル前後で、直近安値を付けた3月中旬の2.2倍になった。市況低迷が長引き、維持費の負担

日本経済新聞

エネルギー・穀物輸入、10港に集中 コスト4割減 資源別に指定

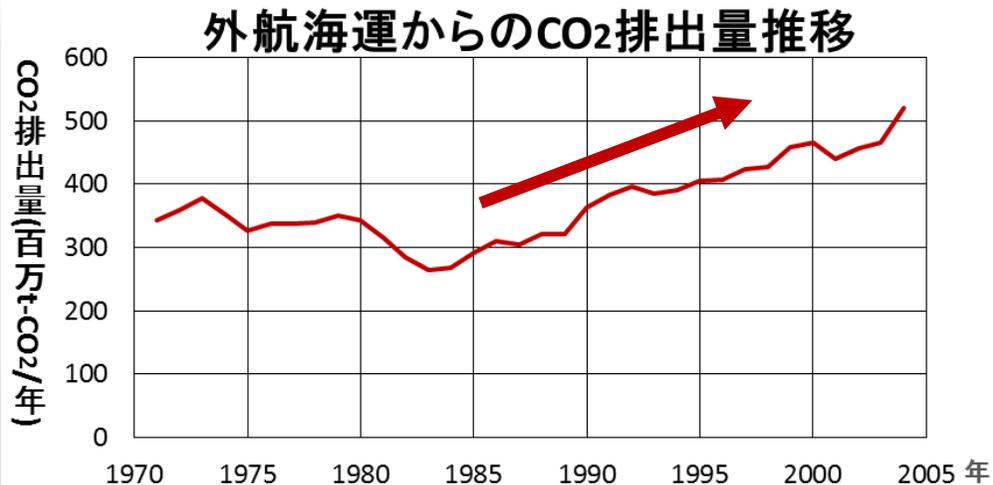
2014/10/12 2:01 | 日本経済新聞 電子版

小 中 大 保存 リプリント

国土交通省は円安で食糧やエネルギーなど原材料輸入の**高コスト構造に懸念**が強まっている。とを踏まえ、海上輸送網の効率化に乗り出す。全国10港に集中的に投資し、穀物、石炭、鉄鉱石大型船でまとめて輸入する取り組みを2018年にも始める。中国や韓国が国主導で大型港湾を整

（出典）日本経済新聞：2015/05/15・2014/10/12 より引用

CO₂排出量



（出典）国土交通省：平成20年度国土交通白書 より作成

国際海運からのCO₂排出量増加

排出量は**8.7億**t-CO₂/年(2007年)

- ・ 世界全体の排出量の約3%
- ・ ドイツ1国分の排出量に相当

政策:概要

物流コスト

政府:国際バルク戦略港湾政策



CO₂排出量

IMO: MARPOL条約付属書類の改正
国際海運からのCO₂排出量削減が義務付け

技術パッケージ
第一世代の規制
開始時期・2013年

技術的手法: EEDI
Energy Efficiency Design Index
<新造船対象>

運航的手法: SEEMP
Ship Energy Efficiency
Management Plan
<既存船対象>

経済パッケージ
第二世代の規制
開始時期・未定

全手法を促進: MBM
Market-Based Measures
<新造船・既存船対象>

政策：問題点

物流コスト

政府：国際バルク戦略港湾政策

船舶の船型大型化

- ・目標船型
- ・最大級の船型の効果
- ・導入する航路
- ・整備の優先順位

戦略港湾と連携港湾

- ・活用方法、連携方法

CO₂排出量

IMO：MARPOL条約付属書類の改正
国際海運からのCO₂排出量削減が義務付け

運航的手法

- ・ウェザールーティング
 - ・減速航海
 - ・会社毎のPDCAサイクル
- 運航面でのアプローチをすべき

理想状態や目標はあるものの
具体的な計画・課題に関しては検討が不十分

既存研究

物流コスト

ネットワークの設計

パナマ運河拡張後のアジア-北米東岸における
輸送ネットワークに関する研究

白天雲

費用算出

Technical Changes and Impacts on
Economic Performance of Dry Bulk Vessels

Shun CHEN・Koos FROUWS・Eddy Van De VOORDE

バルク貨物輸送の政策や計画

我が国へのドライバルク貨物輸送の
効率化に向けた一考察

赤倉健寛・瀬間基広

我が国のドライバルク港湾における政策効果の
検証に関する研究

鈴木理沙・黒川久幸・鶴田三郎

CO₂排出量

CO₂排出量の推計・算出

我が国貨物の国際・国内海上輸送による
CO₂排出量の推計

赤倉康寛・鈴木武・松尾智征

Greenhouse Gas Emissions Reduction Potential
from International Shipping

Joint Transport Research Centre of the OECD
and the International Transport Forum

船型や航路と削減効果

長江口深水航路を用いた鉄鉱石輸入における
二酸化炭素排出量の削減策に関する研究

咸曉黎・黒川久幸

The Importance of Economies of Scale for
Reductions in Greenhouse Gas Emissions
from Shipping

Reductions in Green Gas Emissions and Cost
by Shipping as Lower Speed

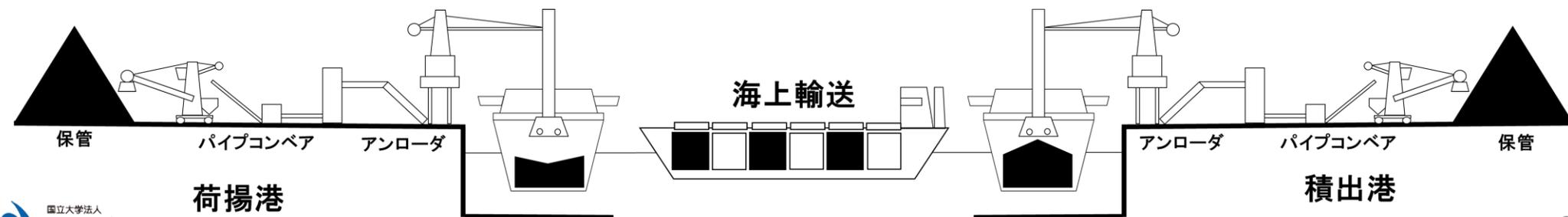
Hakkon LINDSTAD・Bjørn E. ASBJØRNSLETTA
Anders H. STRØMMANA



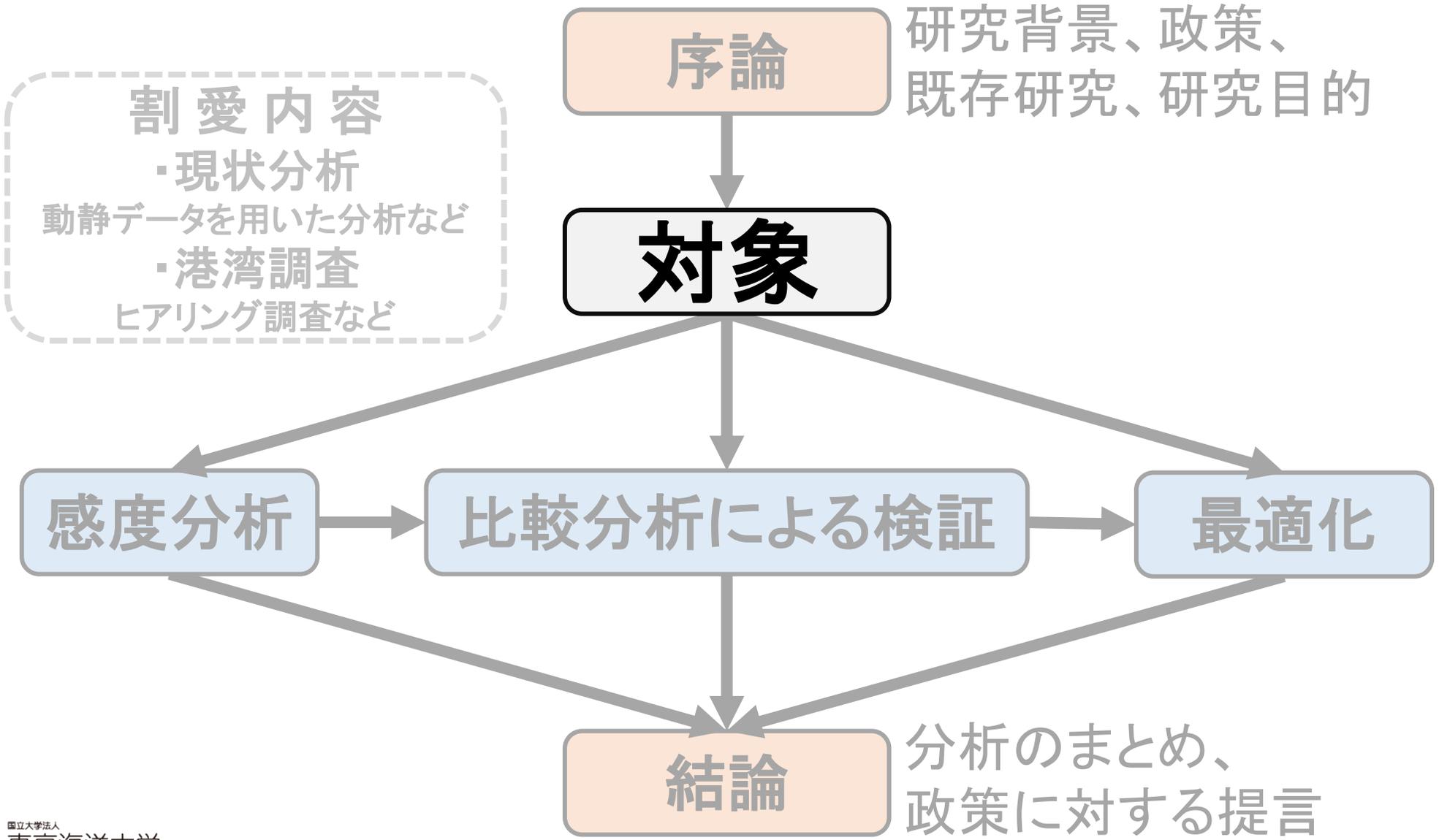
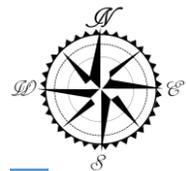
研究目的

物流コスト・CO₂排出量を削減 政策に対する提言

- * 大型化の船型目標
- * 優先順位
 - ・導入する航路、港湾整備
- * 港湾の連携方法
 - ・港湾数、連携すべき港湾

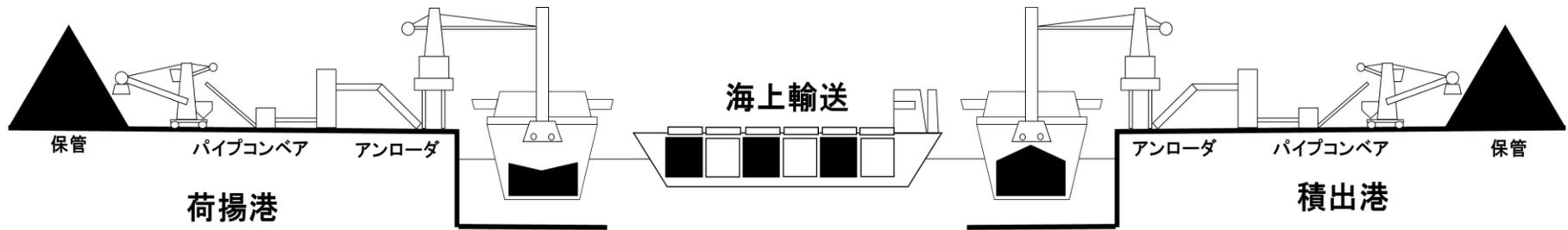


発表内容



研究対象

貨物：鉄鉱石
検討範囲：保管・荷役～海上輸送～荷役・保管



評価指標

物流コスト (USD/Year)

CO₂排出量 (t-CO₂/Year)

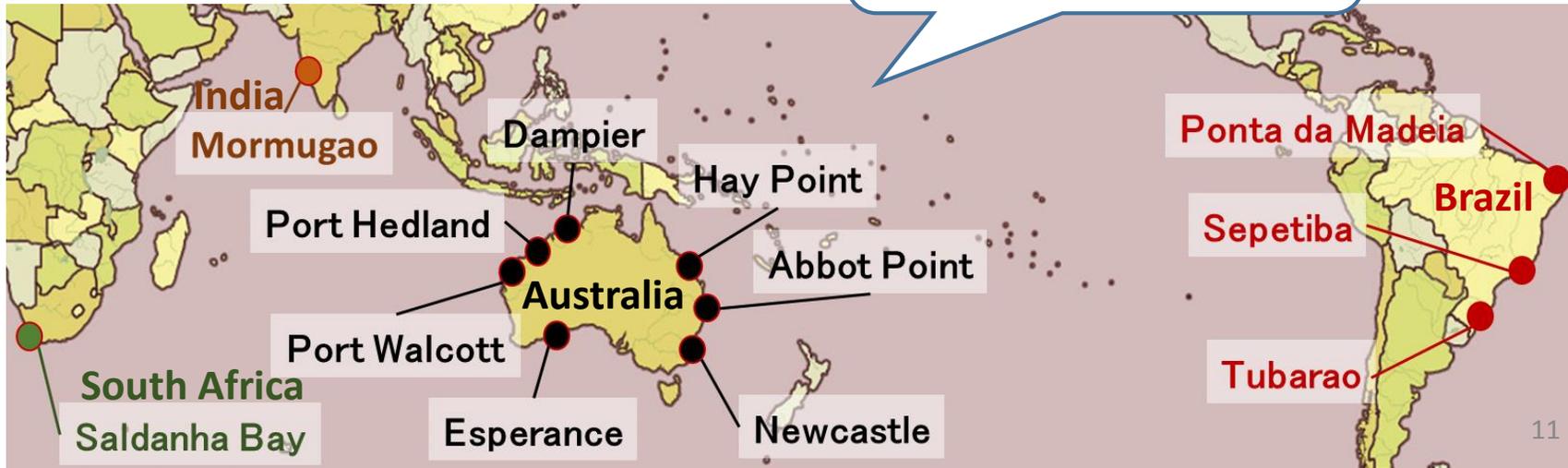
運航費 = 貨物費 + 燃料費 + 港費
船費 = 減価償却費 + 船員費 + 保険料

研究対象

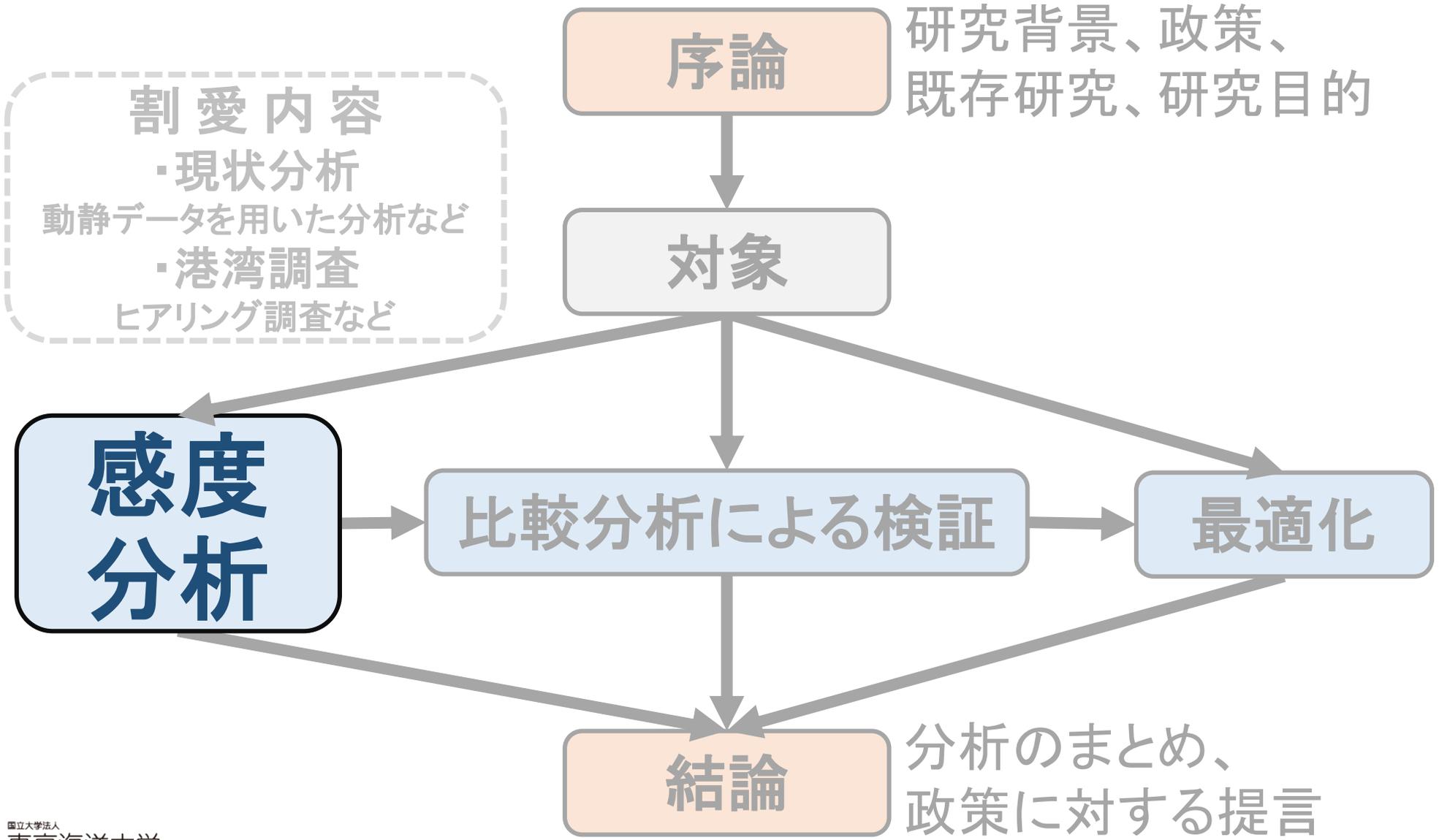
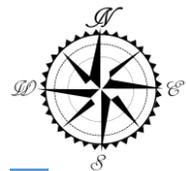


荷揚港13港
戦略港湾2港、連携港湾11港
※ 赤文字 : 戦略港湾
※ ○ : 大水深岸壁を有す港湾

積出港12港



発表内容



感度分析:内容

- (1)大型化の影響
- (2)需要量の影響
- (3)航海距離の影響
- (4)連携港湾数の影響
- (5)連携港湾間距離の影響

荷揚港:木更津

- ・戦略港湾
- ・鉄鉱石輸入量が最も多い

300万 t



1.2万 NM



20万DWT

基本設定

荷揚港:Sepetiba

- ・大水深岸壁を有する
- ・木更津港への輸出量が多い



積出港

感度分析：内容

- (1) 大型化の影響
- (2) 需要量の影響
- (3) 航海距離の影響
- (4) 連携港湾数の影響
- (5) 連携港湾間距離の影響

<目標>

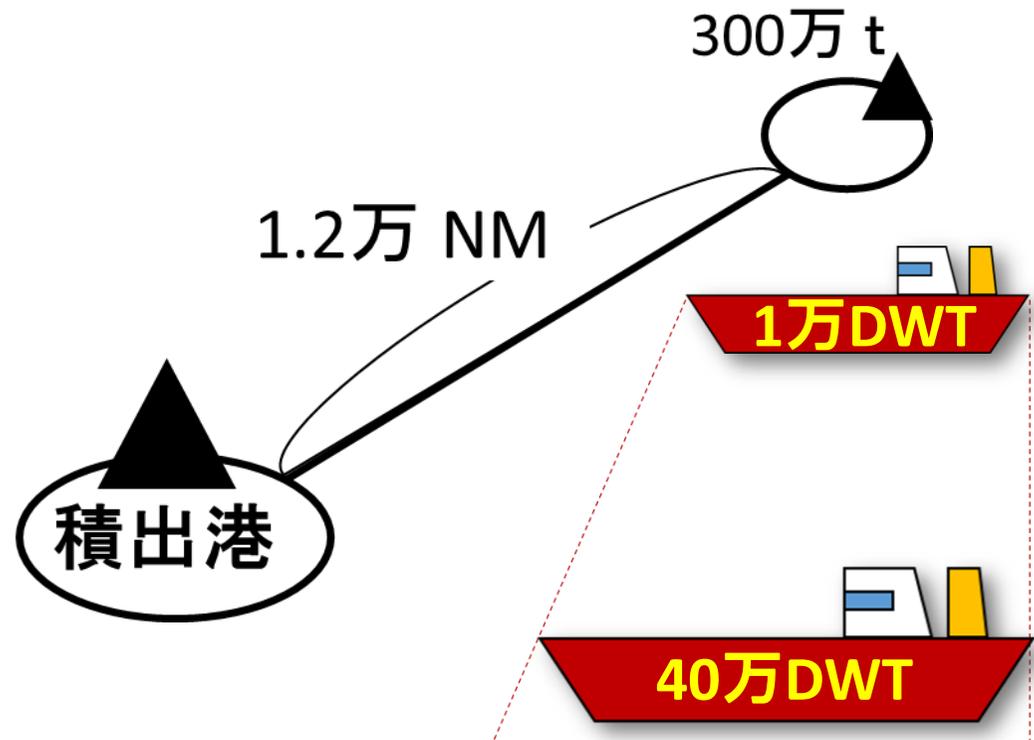
3. 2015年までに、現在主力となっている輸送船舶(注1)の満載での入港に対応するとともに、2020年までに、パナマ運河の拡張や一括大量輸送による物流コスト削減を見据え登場する**最大級の輸送船舶**(注2)の満載での入港に対応することを目指したものであること。

(出典) 国土交通省：国際バルク戦略港湾選定基準<鉄鉱石>添付資料② より引用



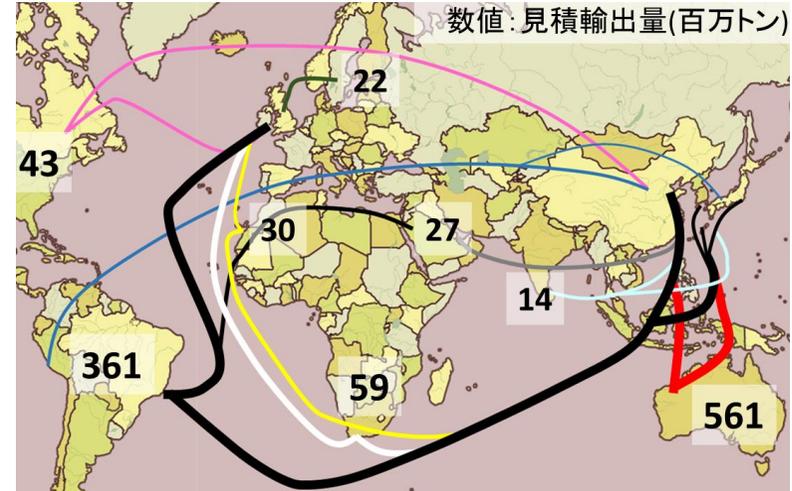
(出典) The Times: 2014.09.29

Vale finally able to look to the Max より引用

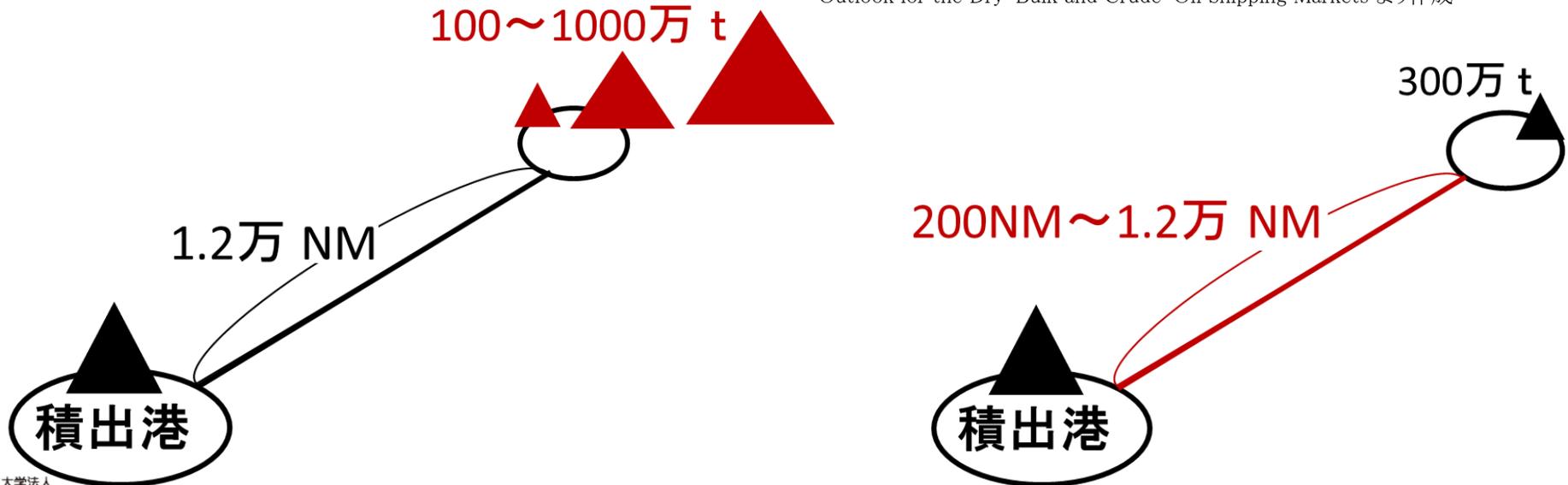


感度分析:内容

- (1)大型化の影響
- (2)需要量の影響
- (3)航海距離の影響
- (4)連携港湾数の影響
- (5)連携港湾間距離の影響

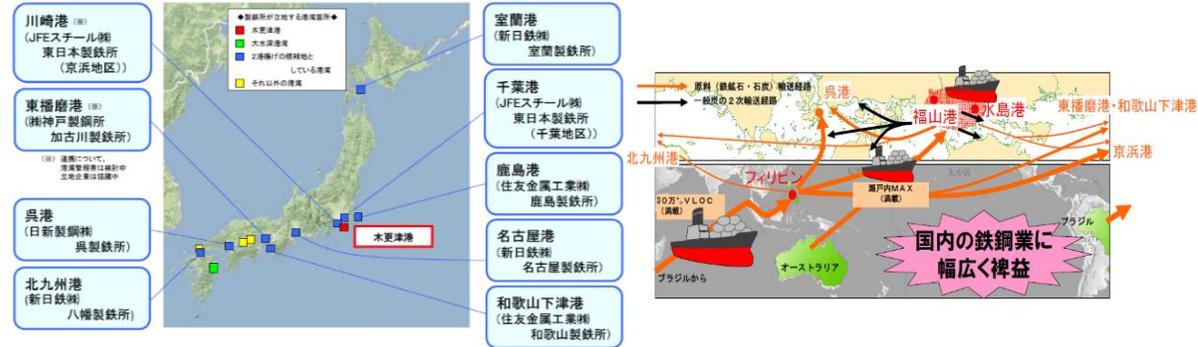


(出典) 日本郵船調査グループ:2014
Outlook for the Dry-Bulk and Crude-Oil Shipping Markets より作成

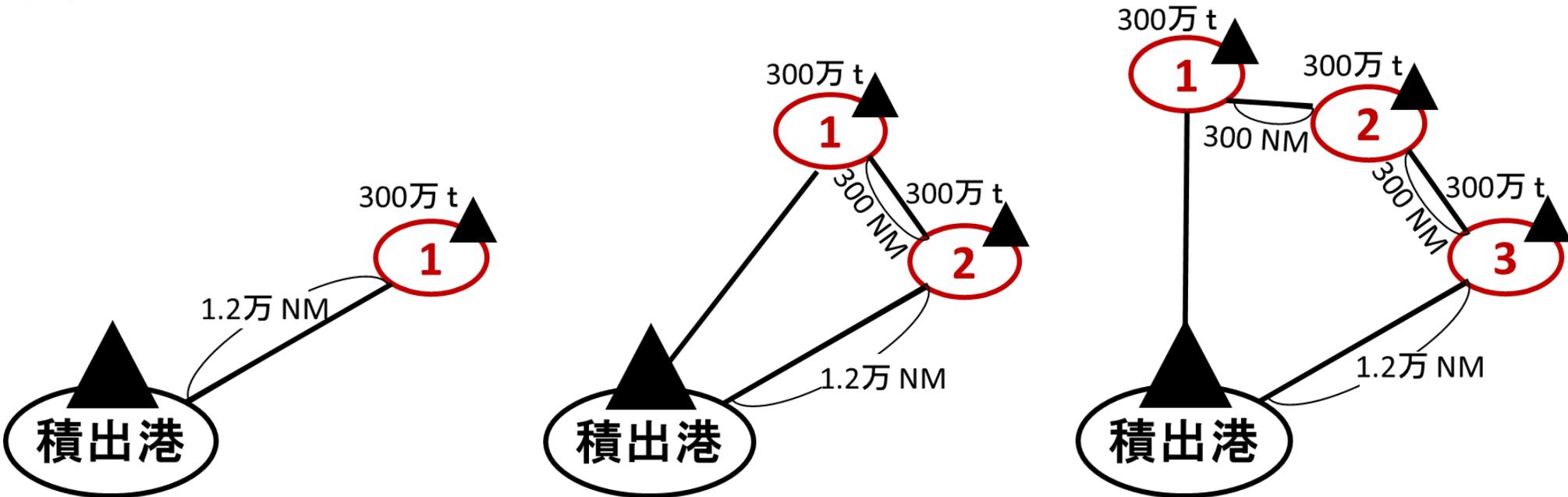


感度分析: 内容

- (1) 大型化の影響
- (2) 需要量の影響
- (3) 航海距離の影響
- (4) 連携港湾数の影響**
- (5) 連携港湾間距離の影響



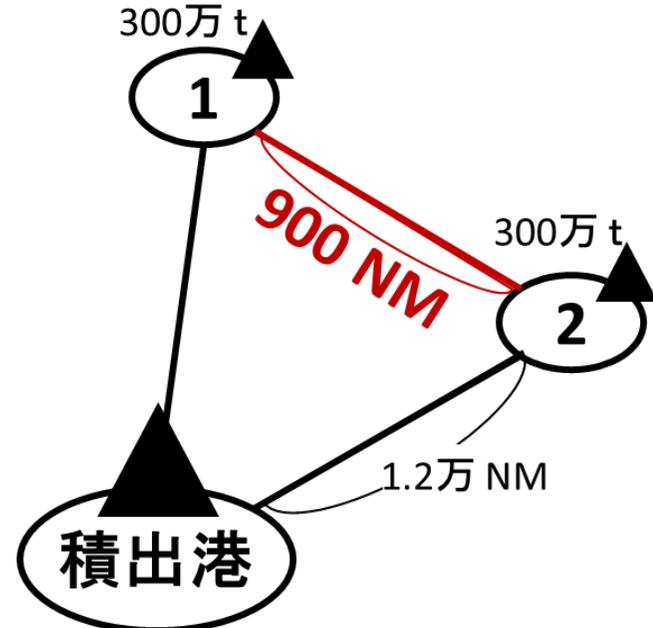
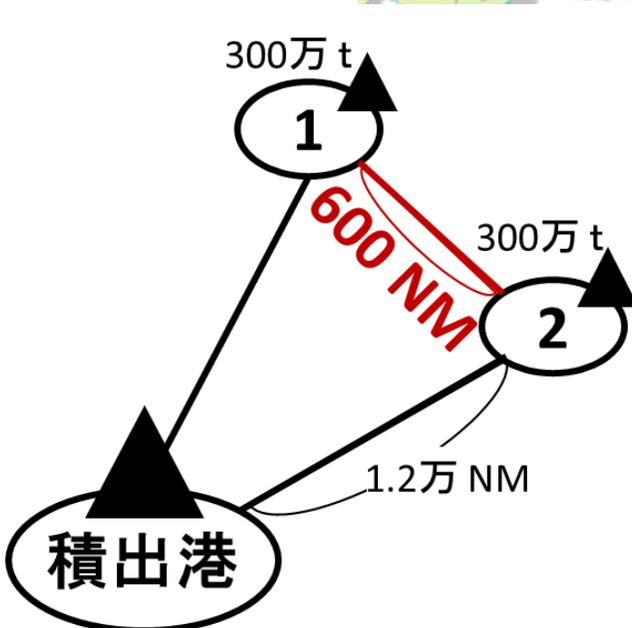
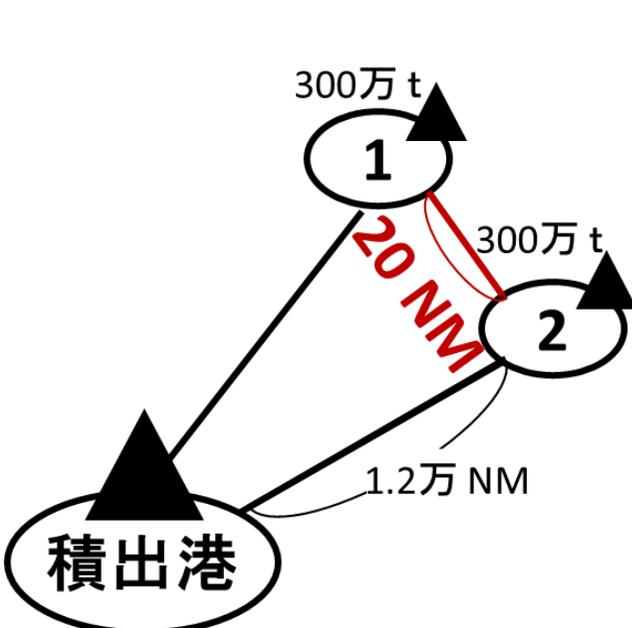
(出典) 千葉県・岡山県・広島県:2011:国際バルグ戦略港湾選定に向けた計画書 より引用



感度分析：内容

- (1) 大型化の影響
- (2) 需要量の影響
- (3) 航海距離の影響
- (4) 連携港湾数の影響
- (5) 連携港湾間距離の影響

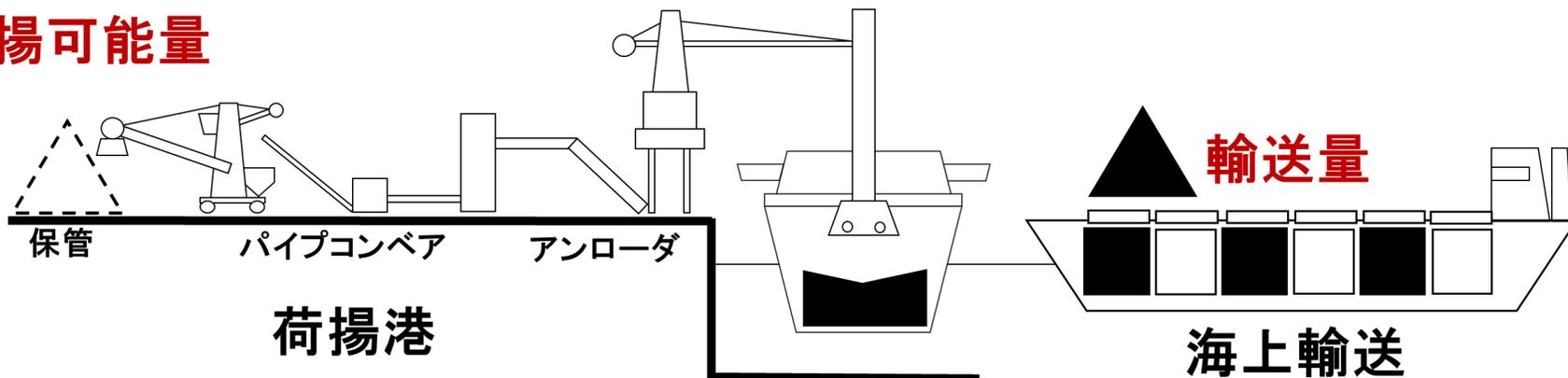
連携港湾
海外：中継基地



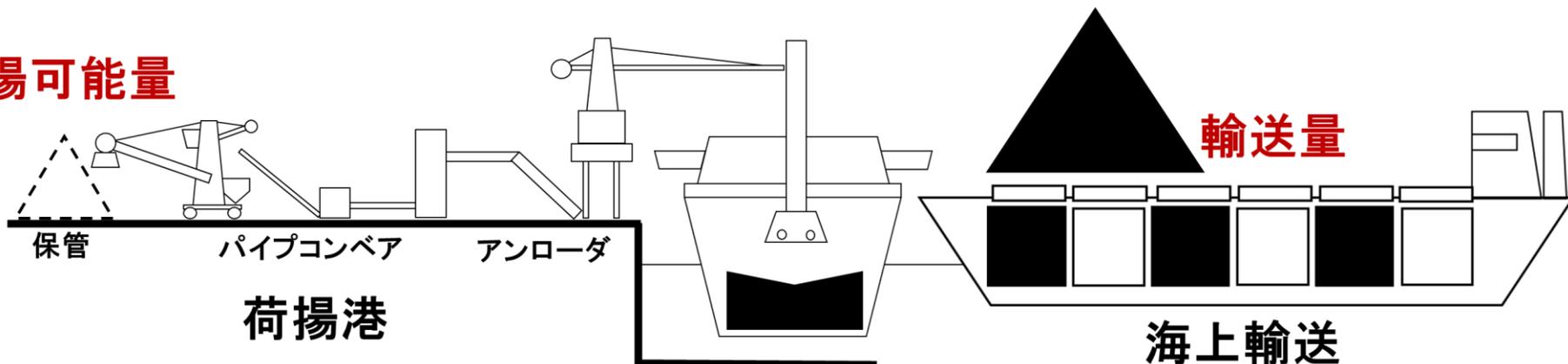
感度分析:内容

荷揚げ可能な貨物量に上限がある場合

荷揚可能量



荷揚可能量

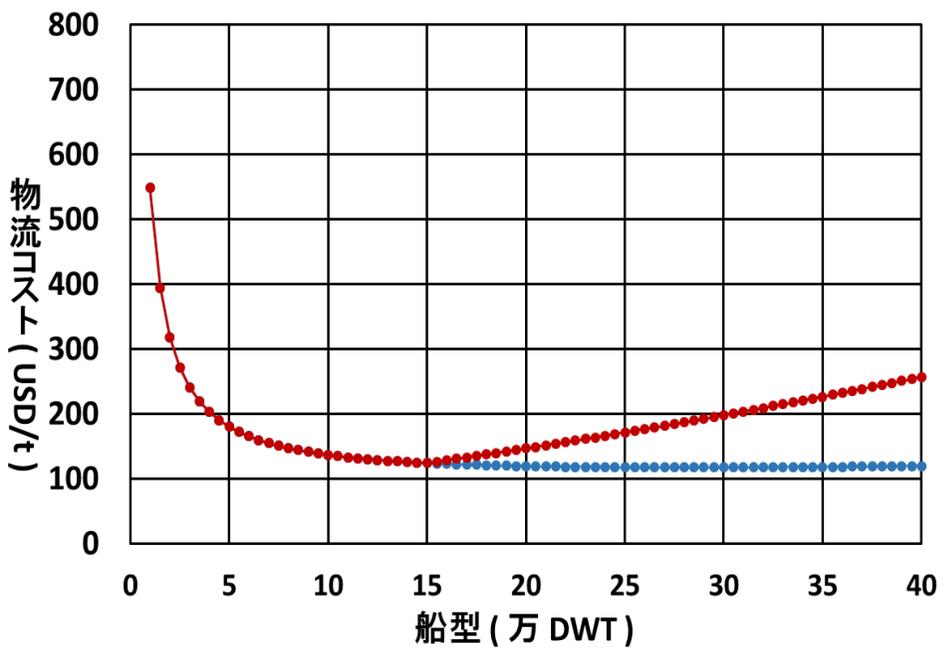




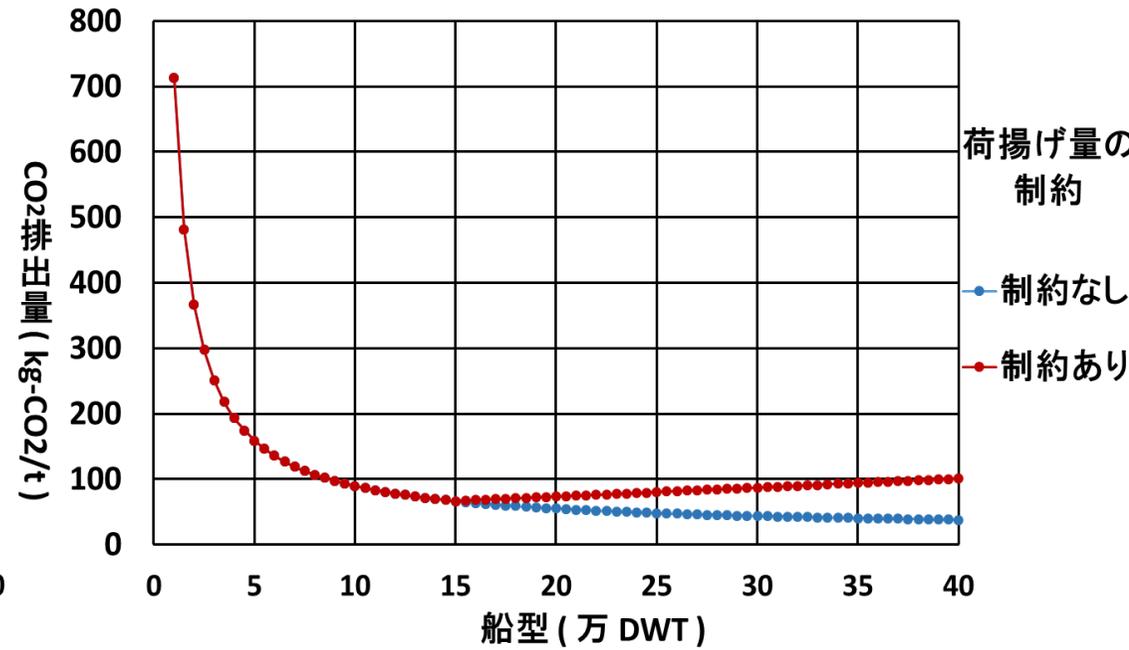
(1) 大型化の影響



船型と物流コストの関係

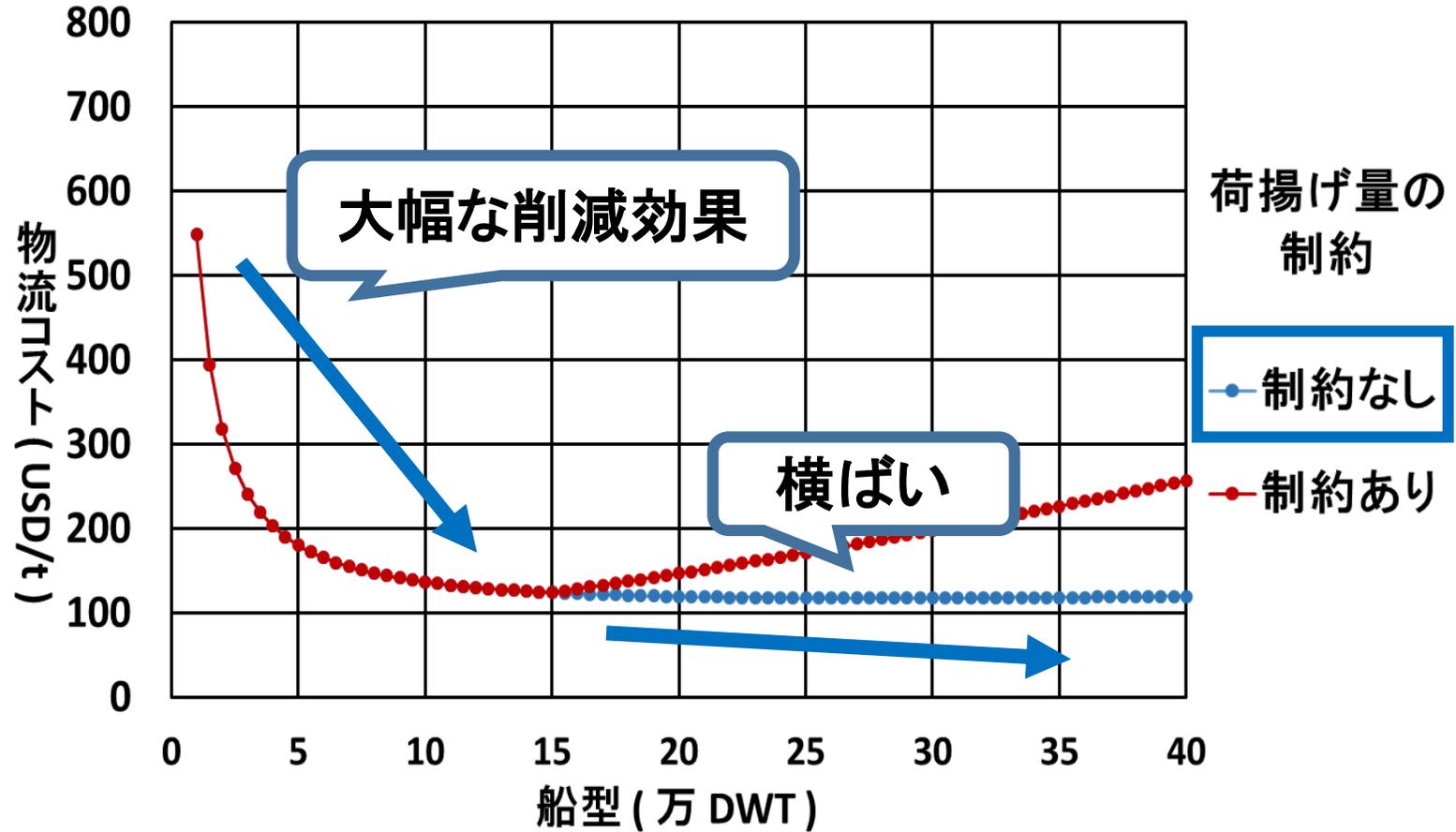


船型とCO2排出量の関係



(1) 大型化の影響

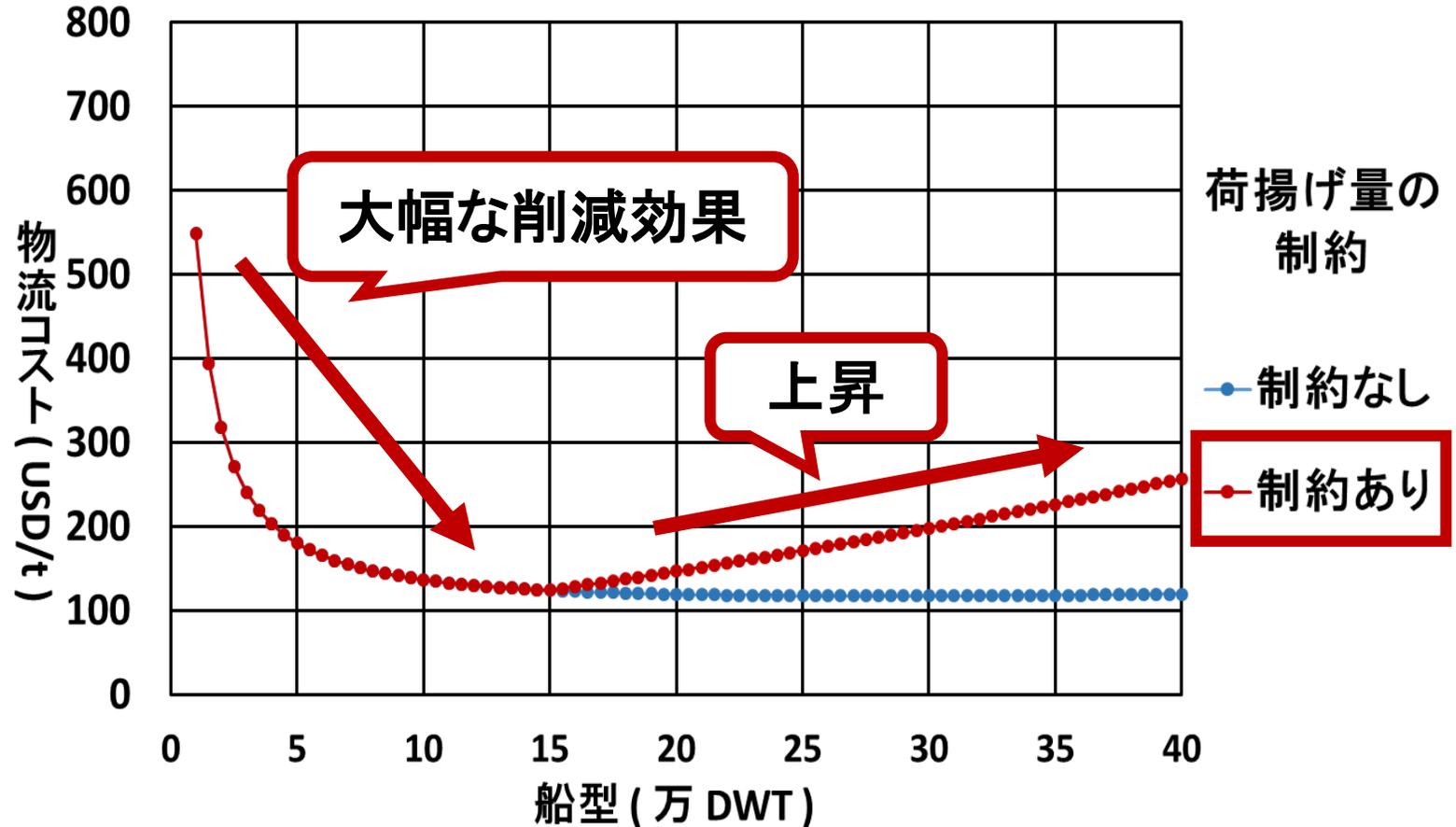
船型と物流コストの関係



削減効果: 大型化による寄港回数と必要隻数の減少

(1) 大型化の影響

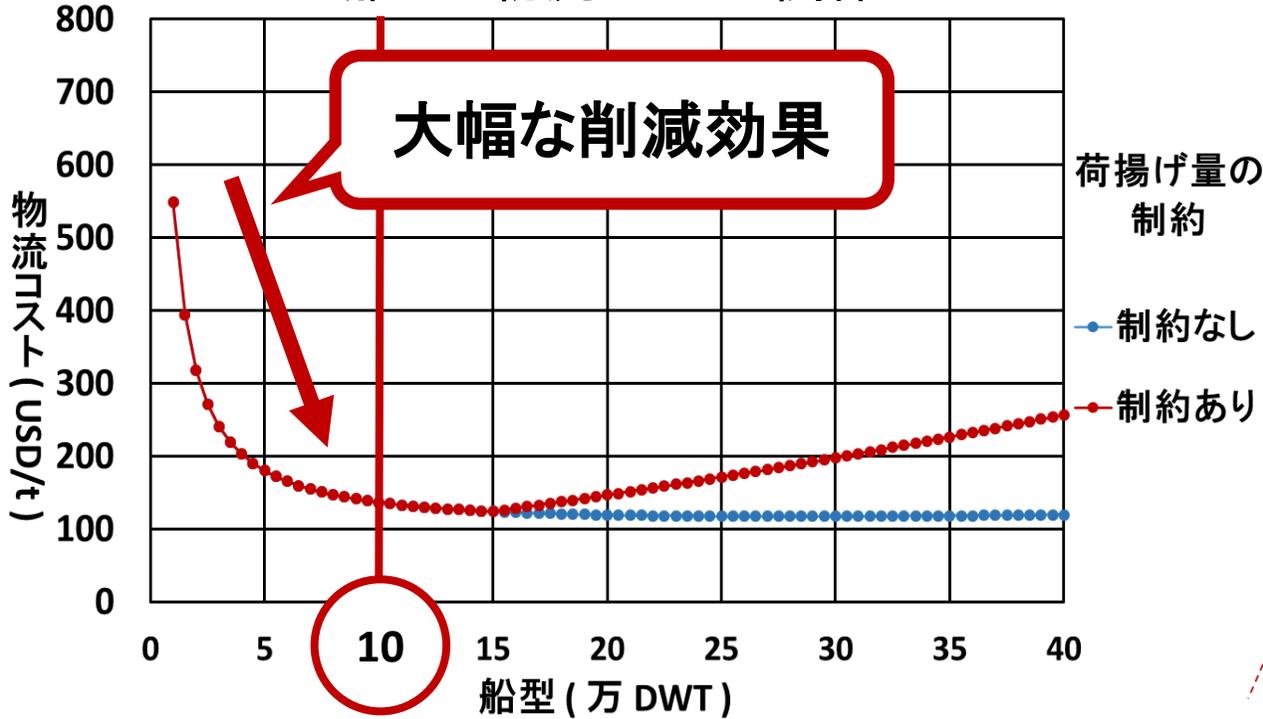
船型と物流コストの関係



荷揚げ可能な貨物量に制約: 適切な船型がある

(1) 大型化の影響

船型と物流コストの関係



一般バルク船
平均船型

6万DWT

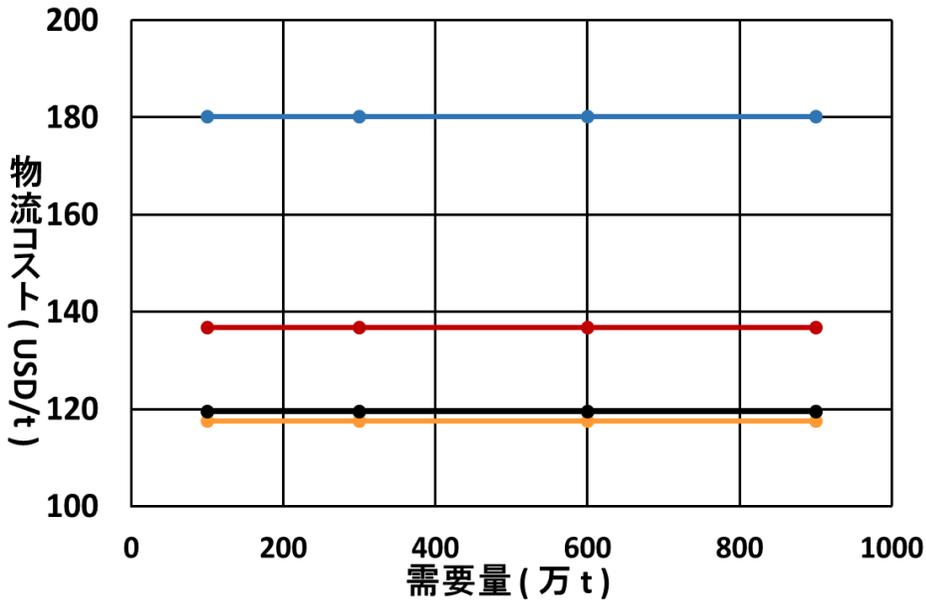
削減効果
8,566万 USD/Year

大型化目安

10万DWT

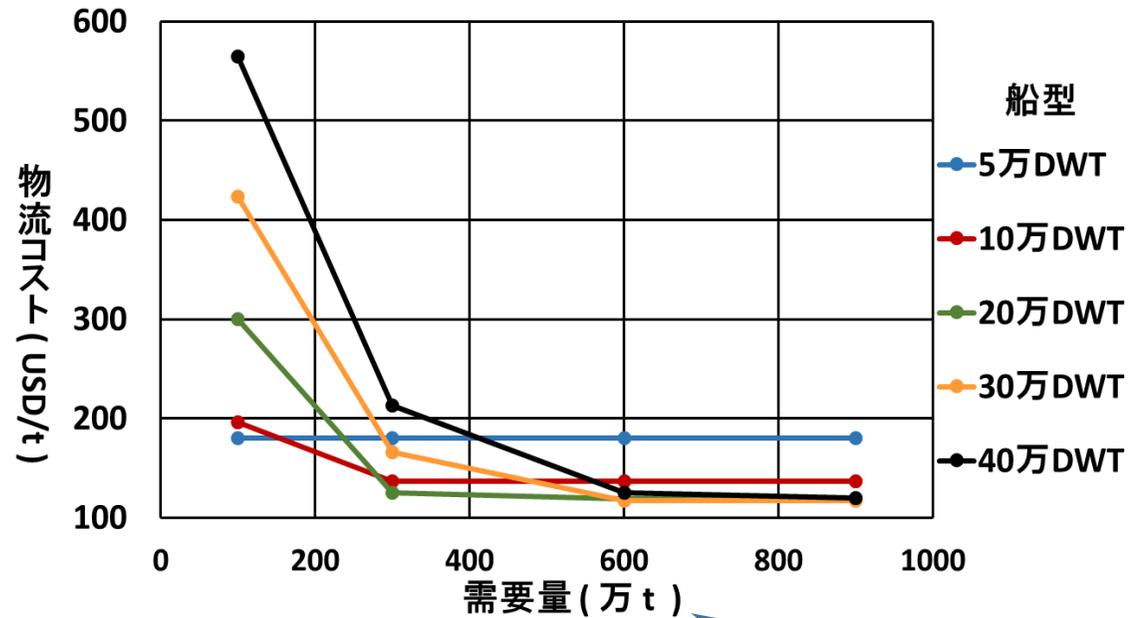
(2) 需要量の影響

荷揚げ可能な貨物量に制約なし



大型船の方が
コストが安い

荷揚げ可能な貨物量に制約あり



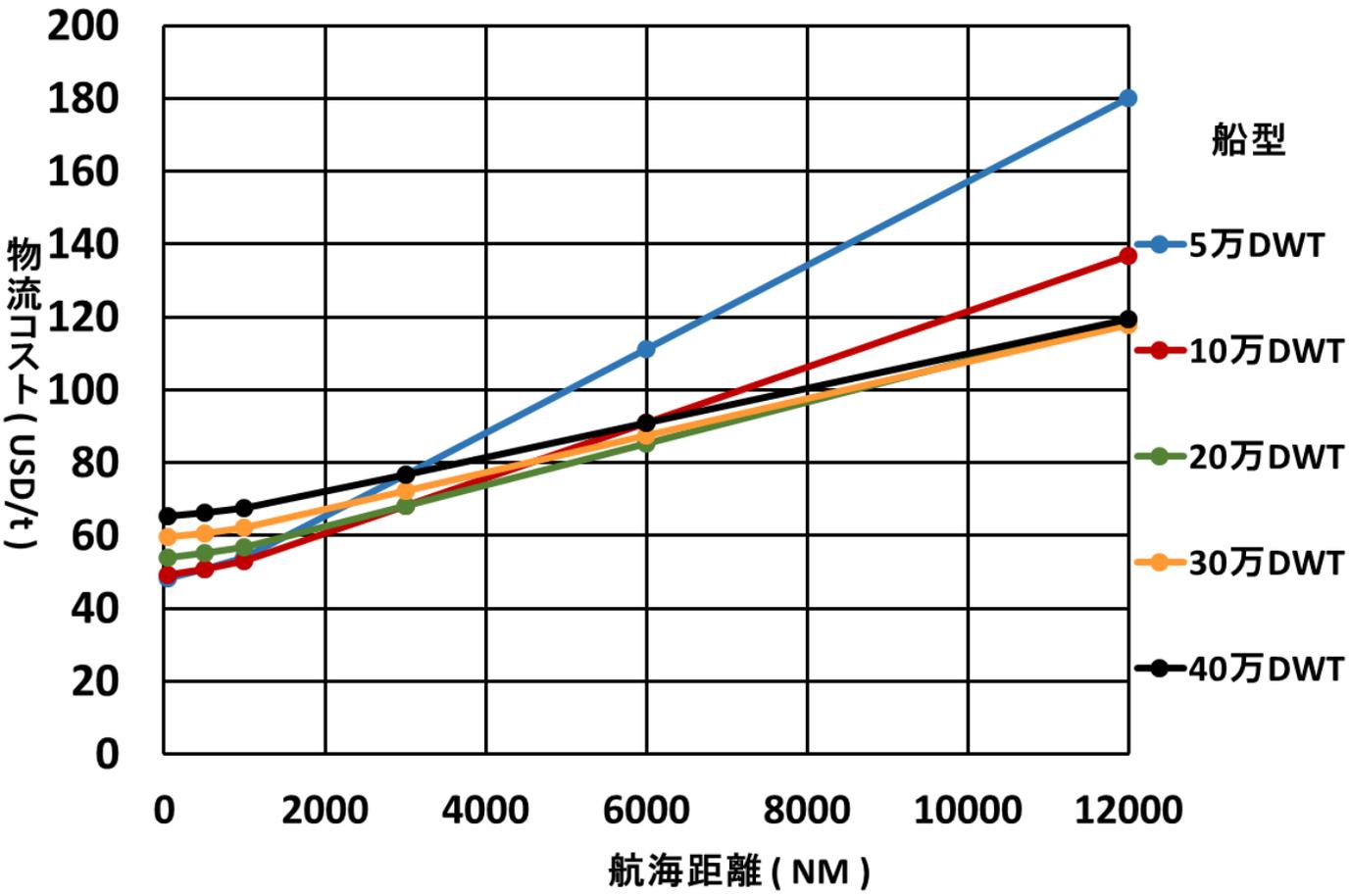
需要量に適した
船型が存在



(3) 航海距離の影響



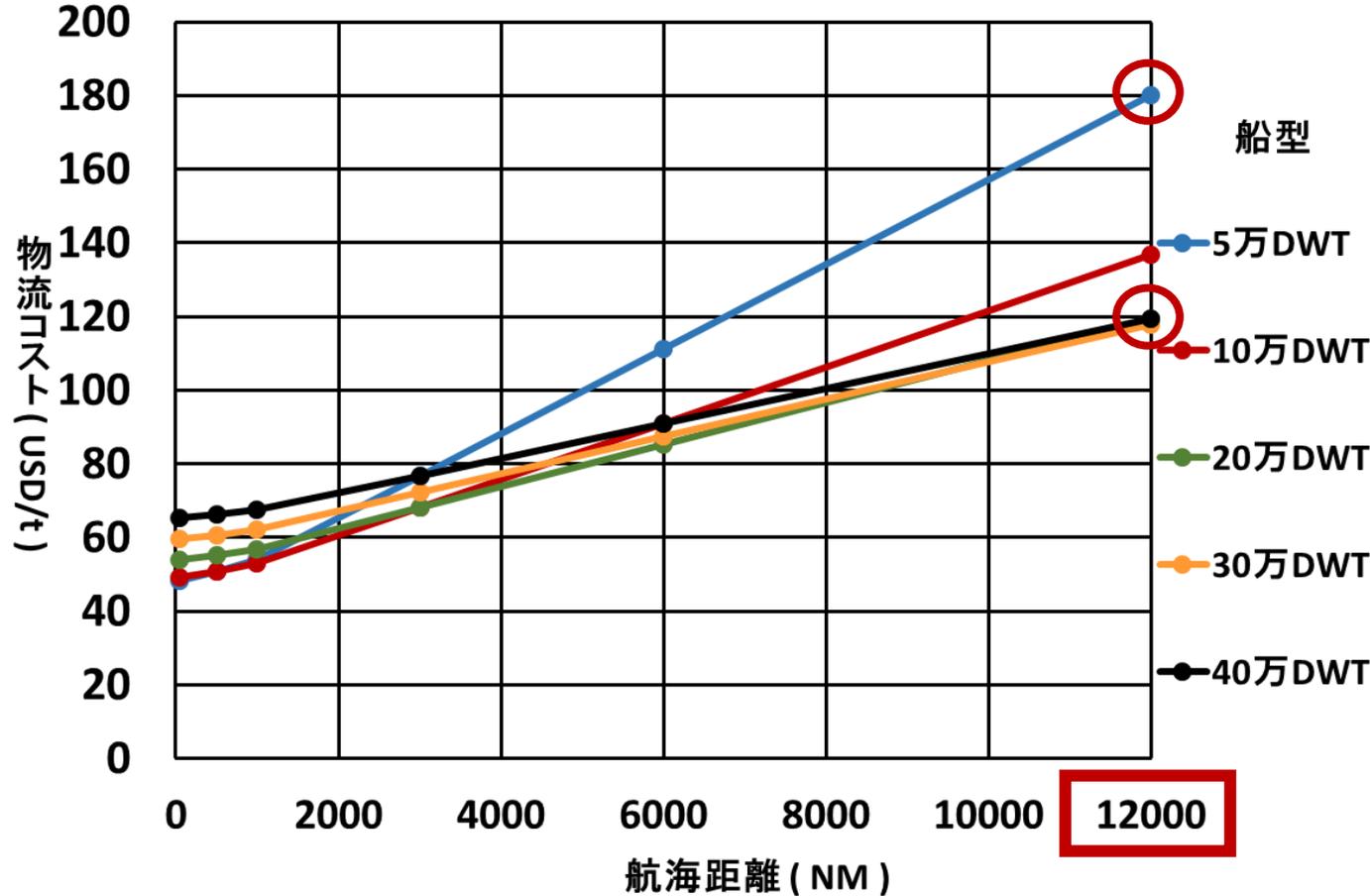
船型と物流コストの関係 (荷揚げ可能な貨物量に制約なし)



長距離になる程、コストは増加：燃料費などが上昇するため

(3) 航海距離の影響

船型と物流コストの関係 (荷揚げ可能な貨物量に制約なし)



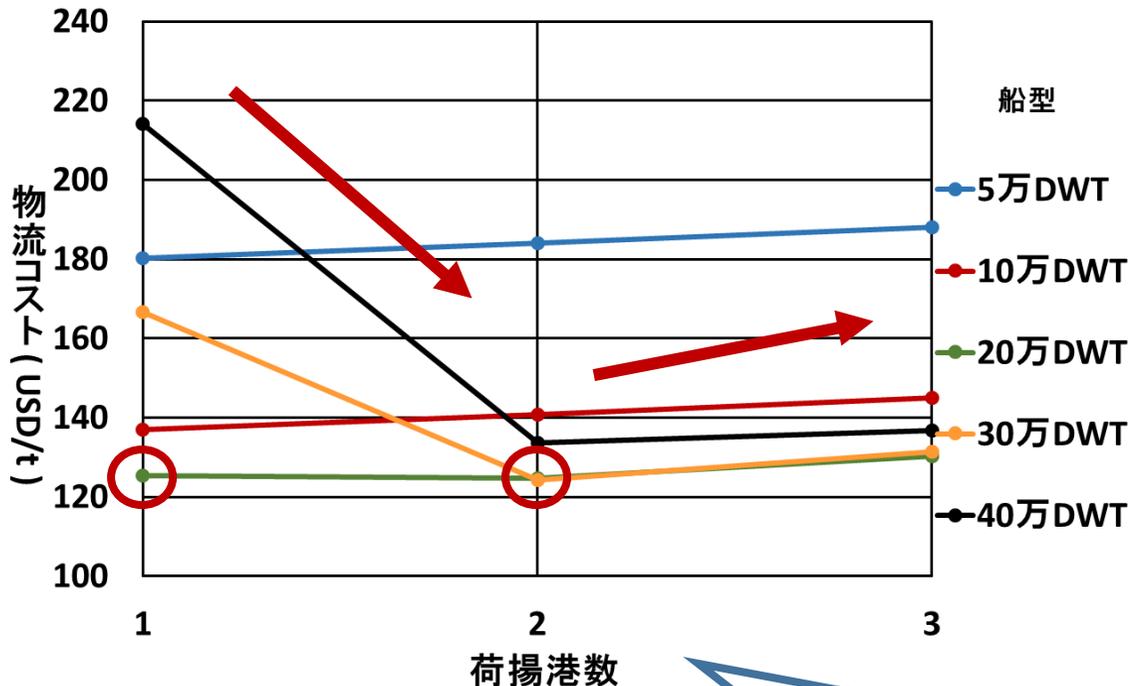
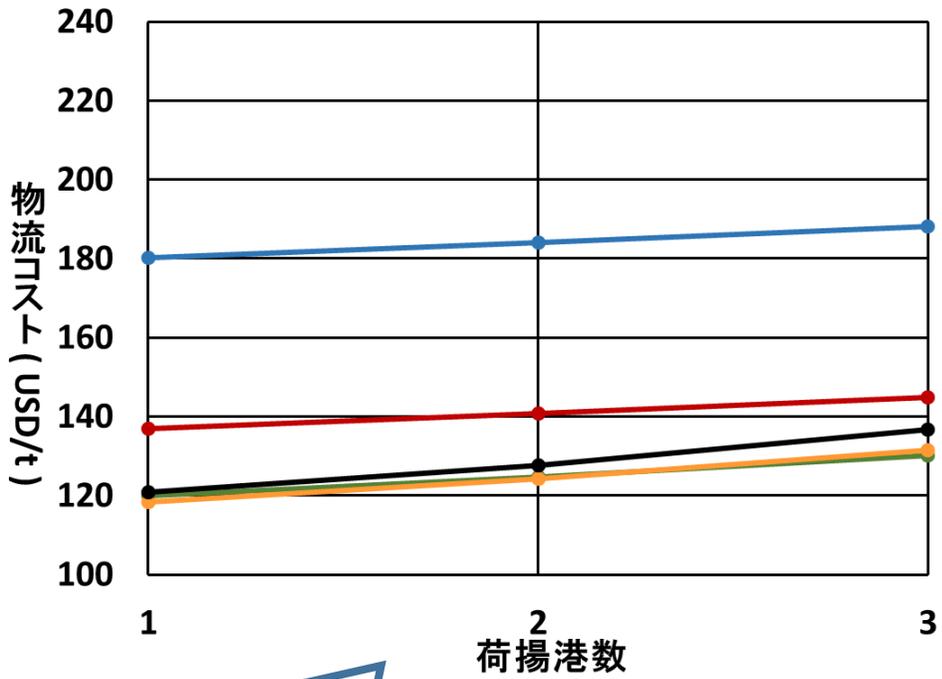
長距離になる程、コストは増加：燃料費などが上昇するため
30～40万DWTなどの大型船による削減効果大きい

(4) 連携港数の影響

船型と物流コストの関係

荷揚げ可能な貨物量に制約なし

荷揚げ可能な貨物量に制約あり

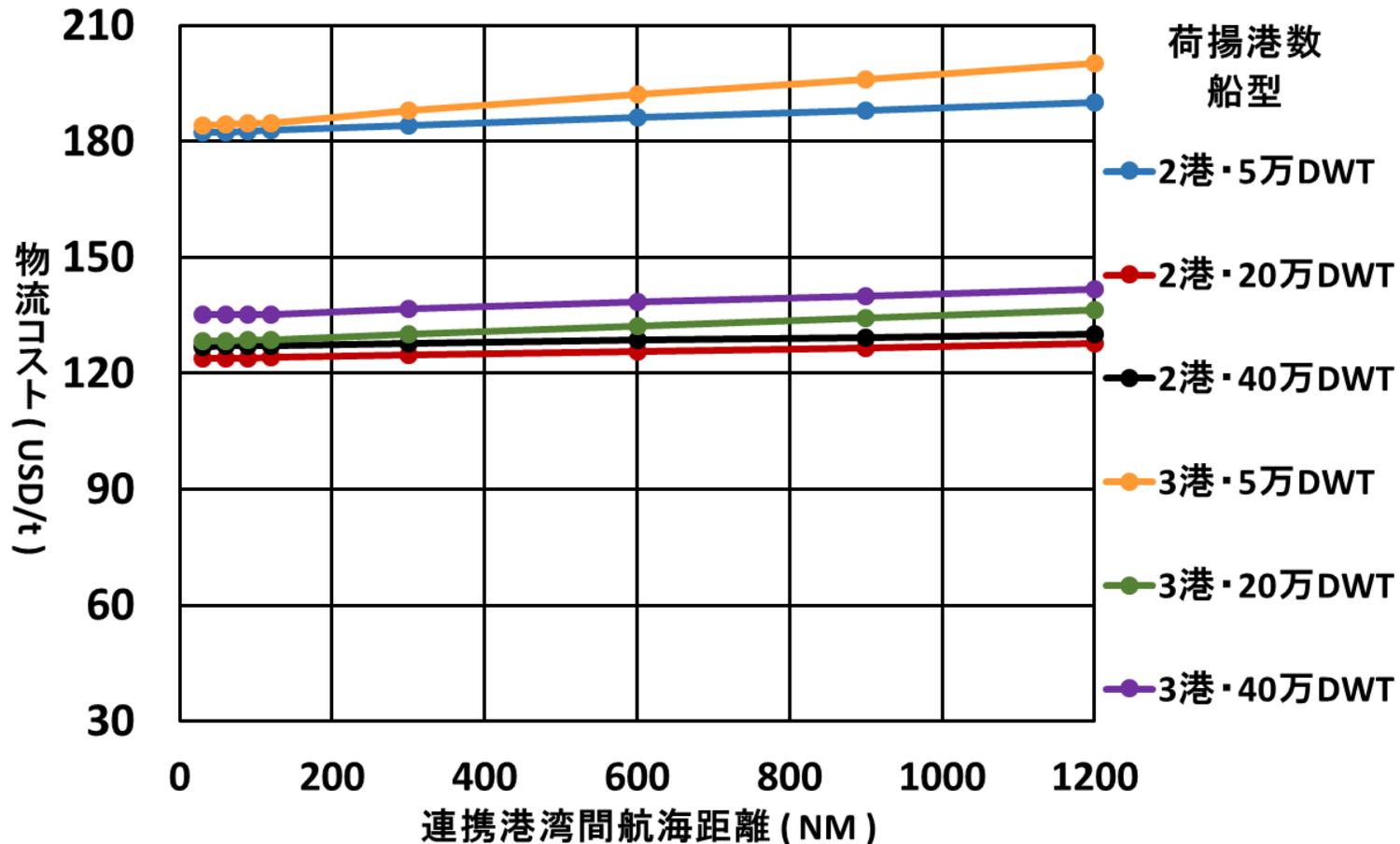


港数が増える程
コストも増加

港数に適した
船型が存在

(5) 連携港間距離の影響

船型と物流コストの関係 (荷揚げ可能な貨物量に制約なし)



連携港湾間距離が近距離な程、コストが安い

感度分析：まとめ

＊ 船型が大型化する程削減効果がある

- ・ 船型10万DWT程度まで大型化

＊ 大型化の優先順位

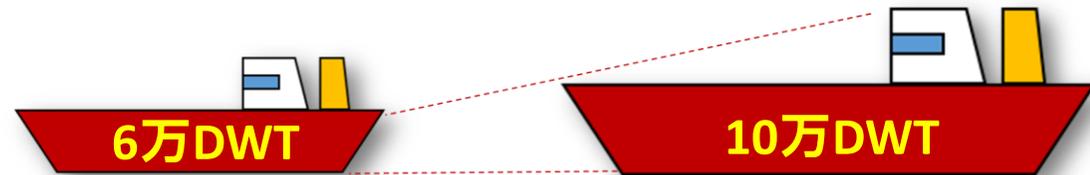
- ・ 需要量が多く
- ・ 航海距離の長い航路

＊ 荷揚げ可能な貨物量に上限

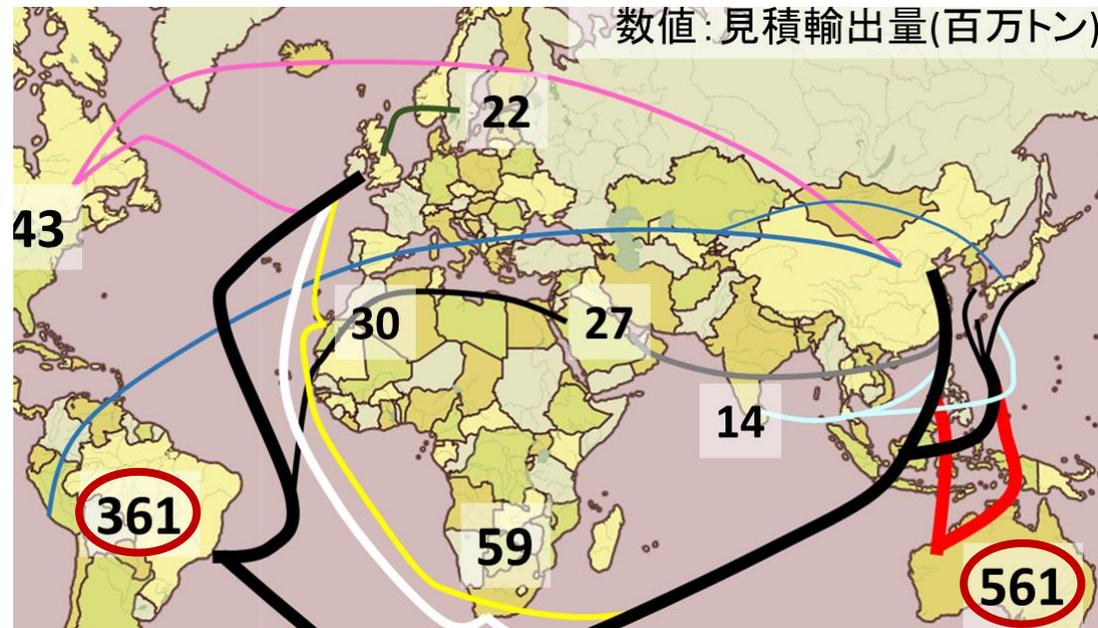
- ・ 適切な船型、連携港湾数が存在

＊ 複数の荷揚港に寄港する場合

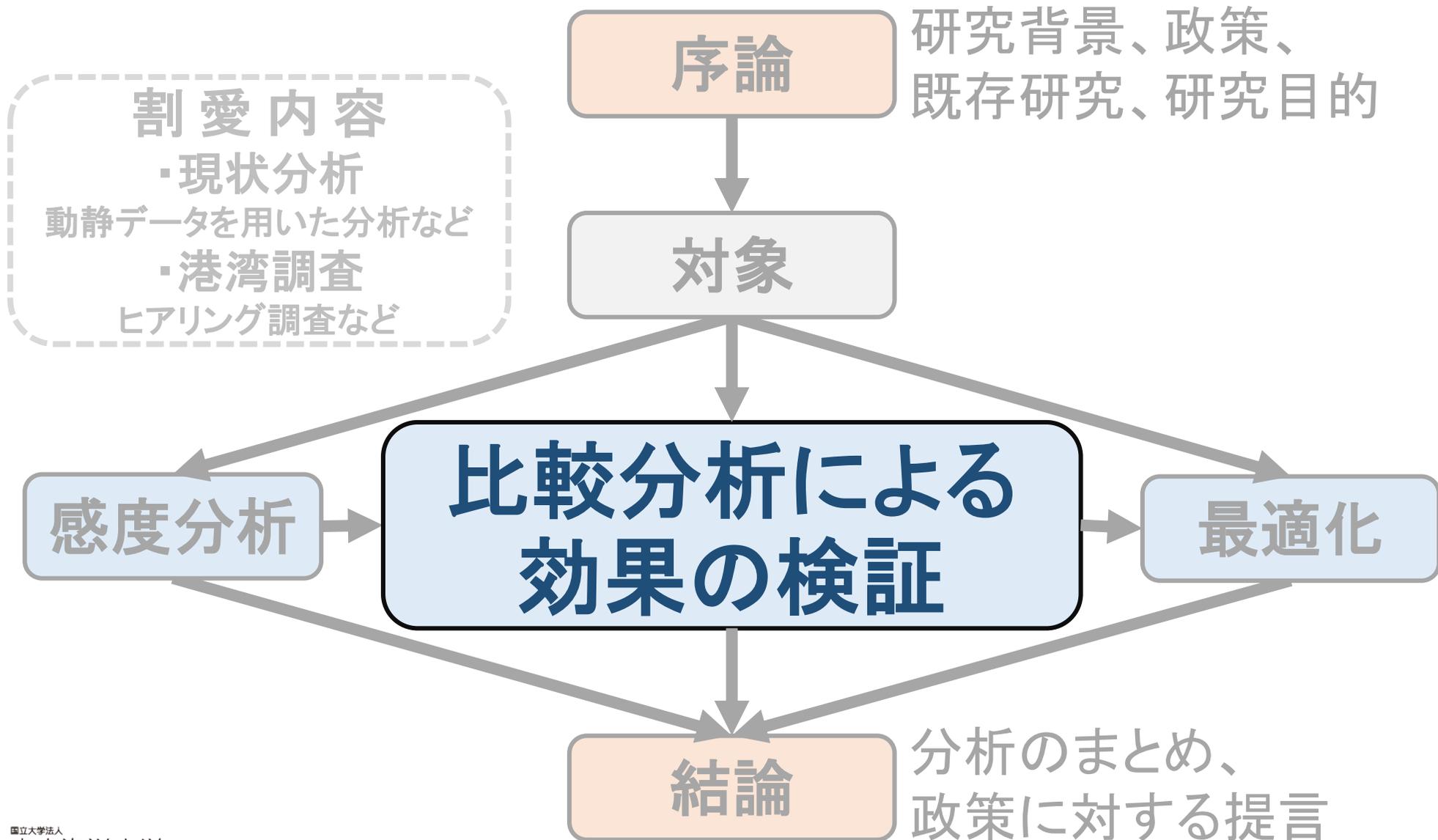
- ・ 2港程度で近距離の港湾



鉄鉱石海上荷動き量

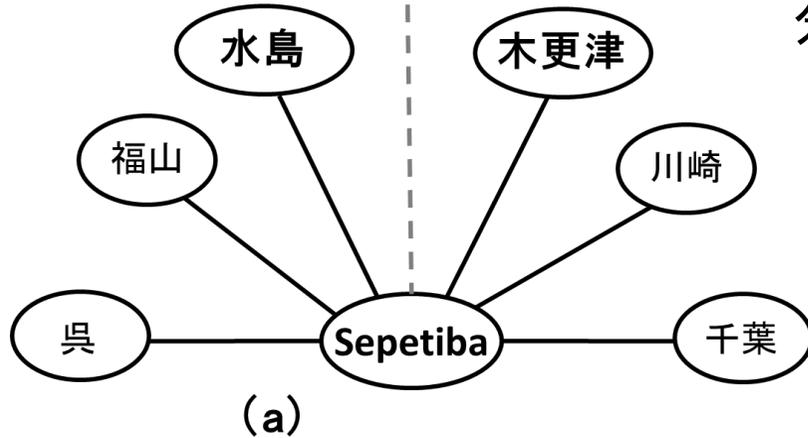


発表内容



比較分析: 内容

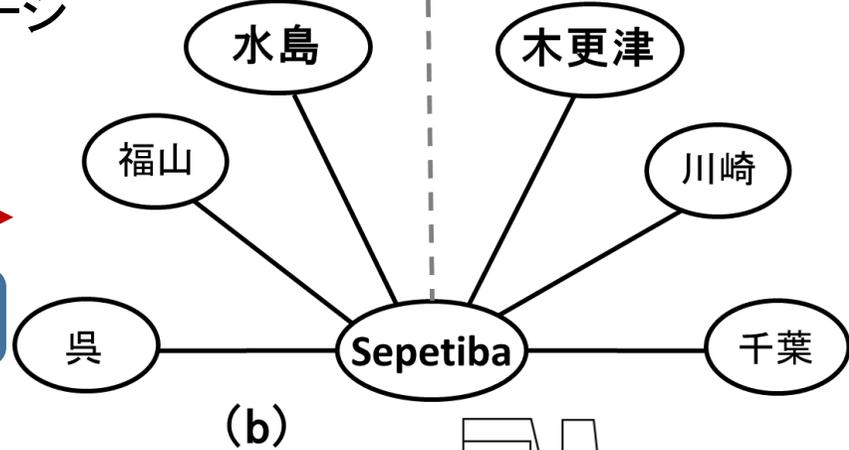
西日本 | 東日本



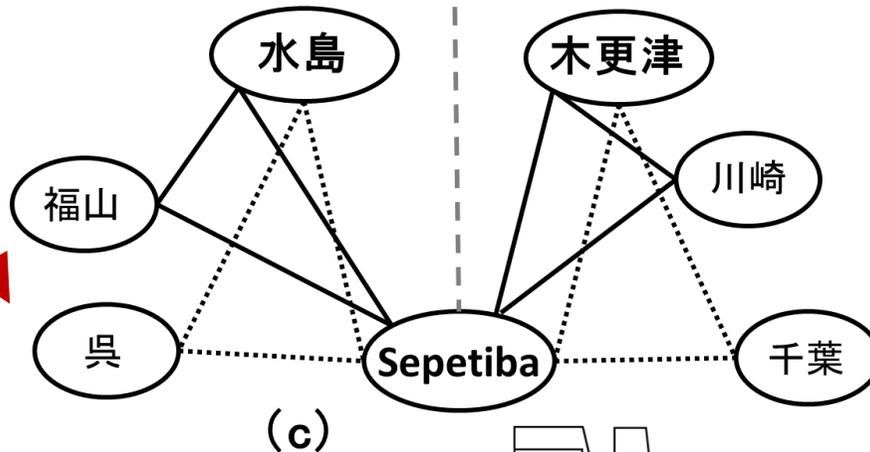
分析内容のイメージ

船型大型化

西日本 | 東日本



西日本 | 東日本



平均船型

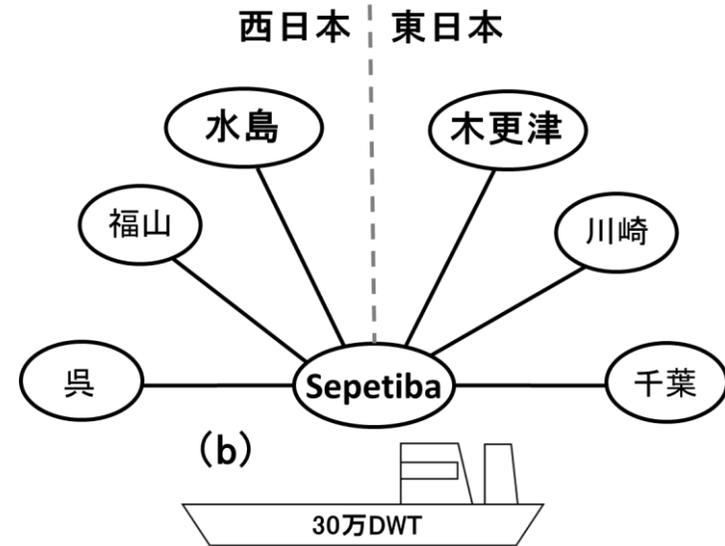
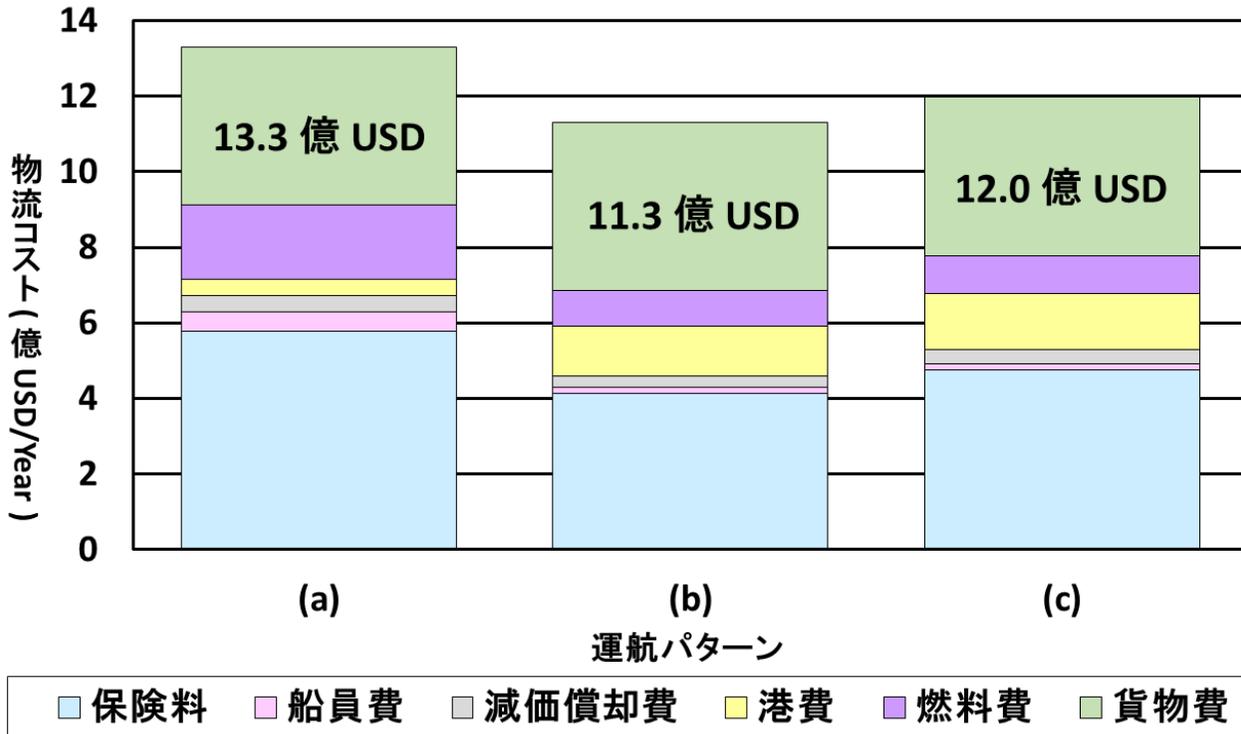
30万DWT

30万DWT

船型大型化
+
連携港湾

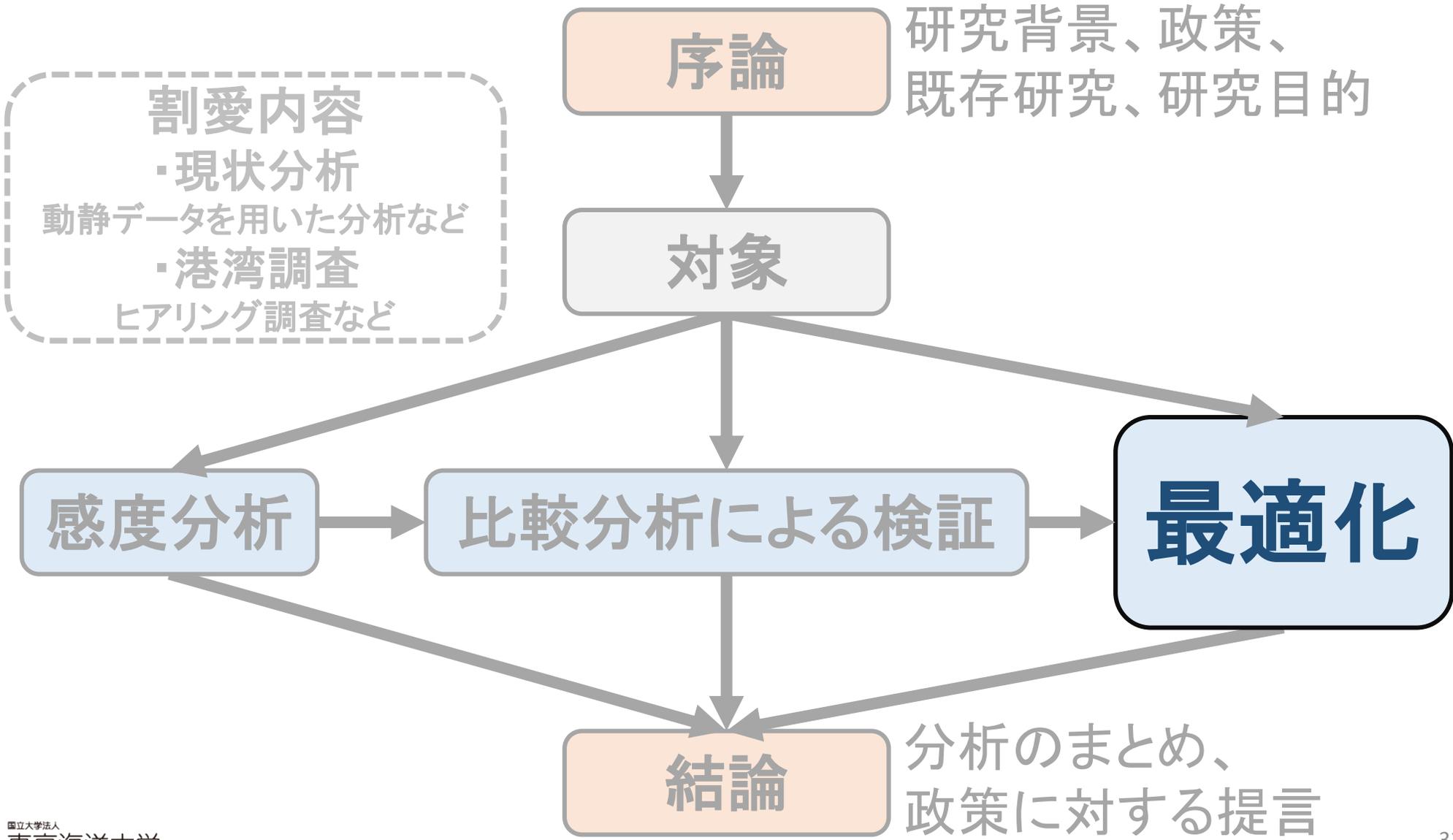
積出港: Seperiba
荷揚港: 13港

比較結果



船舶の大型化による削減効果 : 2億 USD/Year

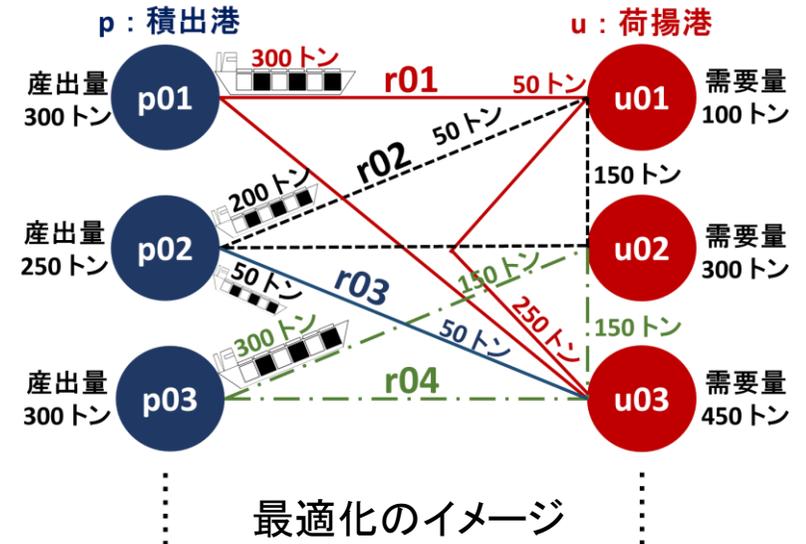
発表内容



最適化：概要とツール

* 総コストの最小化

- 物流コスト + CO₂排出量貨幣加算
- 運航パターン
- 制約条件：現実問題を想定



最適化ツール

- GLPK、SCIP (ソルバー)

```

mp18.dat - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(H)
mp15.mod : mp15.dat : 2015/07/08
コスト+CO2最適化 データ
mp1516の修正版

/* 船の集合 */
set SHIP := s1 s2 s3 s4;

/* 港の集合 */
set PORT := p01 p02 p03 p04 p05 p06 p07 p08 p09 p10 p11
p12 u01 u02 u03 u04 u05 u06 u07 u08 u09 u10 u11 u12 u13;

/* 船型の集合 */
set SH :=
s1 r01
s1 r02
s1 r03
s1 r04
s1 r05
s1 r06
s1 r07
s1 r08
s1 r09
s1 r10
s1 r11
s1 r12
s1 r13
s1 r14
s1 r15
s1 r16
s1 r17
s1 r18
s1 r19
s1 r20
s1 r21
s1 r22
s1 r23
s1 r24
s1 r25
s1 r26
s1 r27
s1 r28
s1 r29
s1 r30;

コマンドプロンプト - scip
s sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 2) 280184 del vars, 259349 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 0 ch
s sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 3) 280527 del vars, 260089 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 605
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 4) 280788 del vars, 260435 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 605
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 5) 280781 del vars, 260508 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 6) 280738 del vars, 260500 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 7) 281857 del vars, 260508 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 8) 28170 del vars, 260574 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 9) 281767 del vars, 260574 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 10) 281940 del vars, 260829 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
presolving (11 rounds):
  281940 deleted vars, 200829 deleted constraints, 0 added constraints, 85510 tighte
ned bounds, 0 added holes, 740 changed sides, 0 changed coefficients
0 implications, 0 cliques
presolved problem has 4 variables (0 bin, 0 int, 0 impl, 4 cont) and 1 constrain
ts
| constraints of type <linear>
Resolving time: 0.91

time | node | left | LP iter | LP it/n | mem | mdt | frac | lvars | lcons | cols | rows
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
0.1s | 0 | 0 | 0 | 0 | 528M | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0
0.1s | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.900987e+011 | Inf | 0 | 4 | 1 | 4 | 1
0.1s | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.882226e+011 | 3.882226e+011 | 0.00% | 4 | 1 | 4 | 1
0.1s | 0 | 0 | 0 | 0 | 528M | 0 | 0 | 4 | 1 | 4 | 1
0.1s | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.882226e+011 | 3.882226e+011 | 0.00% | 4 | 1 | 4 | 1

SCIP Status : problem is solved [optimal solution found]
Solving Time (sec) : 9.06
Solving Nodes : 1
Primal Bound : +3.88222619740417e+011 (2 solutions)
Dual Bound : +3.88222619740417e+011
Gap : 0.00 %

SCIP: write solution mp18.txt
written solution information to file <mp18.txt>
SCIP:
  
```


最適化：定式化



船型 k 、航路 r の1航海あたりのコスト

総コストの最小化

$$\min. \text{CST} = \text{CO1} + \text{貨物費} + \sum_{(k,r) \in \text{SR}} \left(\begin{array}{l} \text{燃料単価} \\ \text{CO2}_{k,r} + \text{CO3}_{k,r} + \frac{\text{船費単価}}{\text{CO2排出量}} \cdot \text{CO4}_k + \text{CO6}_{k,r} \end{array} \right) \cdot \text{船型別・航路別就航回数} \cdot y_{k,r}$$

港費単価

1隻あたりの就航可能回数

年必要隻数

CO1: 定数総需要量に比例

CO2・CO3・CO6 (運航費): 就航回数に比例

CO4 (船費): 隻数に比例

制約条件

- ① 積出港と荷揚港間の流出入量は等しい
- ② 年間輸送能力 \geq 総輸送需要量
- ③ 船型別・航路別の輸送貨物量、就航回数は0以上

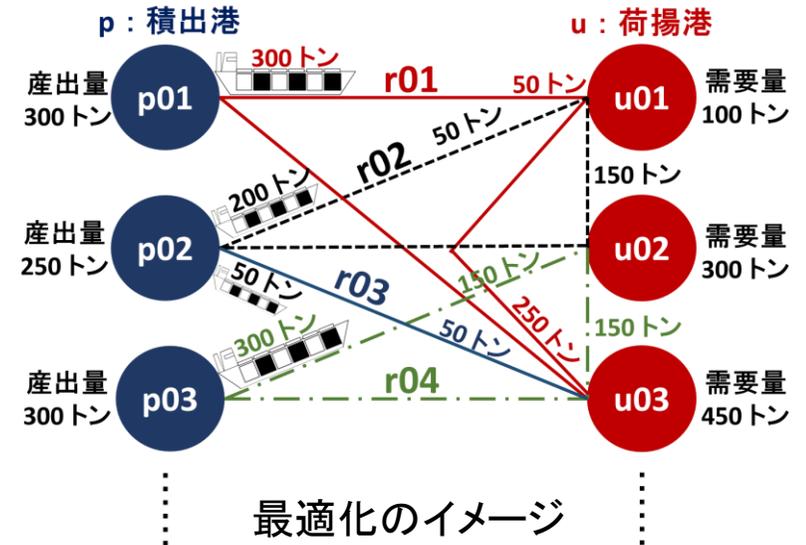
最適化：概要とツール

* 総コストの最小化

→ 物流コスト + CO₂排出量貨幣加算

→ 運航パターン

→ 制約条件：現実問題を想定



最適化ツール

→ GLPK、SCIP (ソルバー)

```

mp18.dat - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
mp15.mod : mp15.dat : 2015/07/08
コスト+CO2最適化 データ
mp15の修正版
/* 船の集合 */
set SHIP := s1 s2 s3 s4;
/* 港の集合 */
set PORT := p01 p02 p03 p04 p05 p06 p07 p08 p09 p10 p11
p12 u01 u02 u03 u04 u05 u06 u07 u08 u09 u10 u11 u12 u13;
/* 船種の集合 */
set SR :=
s1 r01
s1 r02
s1 r03
s1 r04
s1 r05
s1 r06
s1 r07
s1 r08
s1 r09
s1 r10
s1 r11
s1 r12
s1 r13
s1 r14
s1 r15
s1 r16
s1 r17
s1 r18
s1 r19
s1 r20
s1 r21
s1 r22
s1 r23
s1 r24
s1 r25
s1 r26
s1 r27
s1 r28
s1 r29
s1 r30
SCIPコマンドプロンプト - scip
s sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 2) 280184 del vars, 259349 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 0 ch
s sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 3) 280527 del vars, 260059 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 605
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 4) 280788 del vars, 260435 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 605
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 5) 280781 del vars, 260508 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 6) 280738 del vars, 260500 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 7) 281857 del vars, 260508 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 8) 281701 del vars, 260574 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 9) 281787 del vars, 260574 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 10) 281940 del vars, 260629 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
presolving (11 rounds):
  281940 deleted vars, 200629 deleted constraints, 0 added constraints, 85510 tighte
ned bounds, 0 added holes, 740 changed sides, 0 changed coefficients
0 implications, 0 cliques
presolved problem has 4 variables (0 bin, 0 int, 0 impl, 4 cont) and 1 constrain
ts
| constraints of type <linear>
Resolving time: 0.91
time | node | left | LP iter | LP it/n | mem | mdat | frac | lvars | lcons | cols | rows
| cuts | confs | nrbr | dualbound | primalbound | gap | - | 4 | 1 | 0 | 0
0.1s | 0 | 0 | 0 | 1 | 528M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0
0.1s | 0 | 0 | 0 | 1 | 3.900987e+011 | Inf | 0 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1
0.1s | 0 | 0 | 0 | 1 | 3.882226e+011 | 3.882226e+011 | 0.00% | 0 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1
0.1s | 0 | 0 | 0 | 1 | 528M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0
0.1s | 0 | 0 | 0 | 1 | 3.882226e+011 | 3.882226e+011 | 0.00% | 0 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1
SCIP Status : problem is solved [optimal solution found]
Solving time (sec) : 9.06
Solving Nodes : 1
Primal Bound : +3.88222619740417e+011 (2 solutions)
Dual Bound : +3.88222619740417e+011
Gap : 0.00 %
SCIP: write solution mp18.txt
written solution information to file <mp18.txt>
SCIP:
  
```

最適化：運航パターン

船型

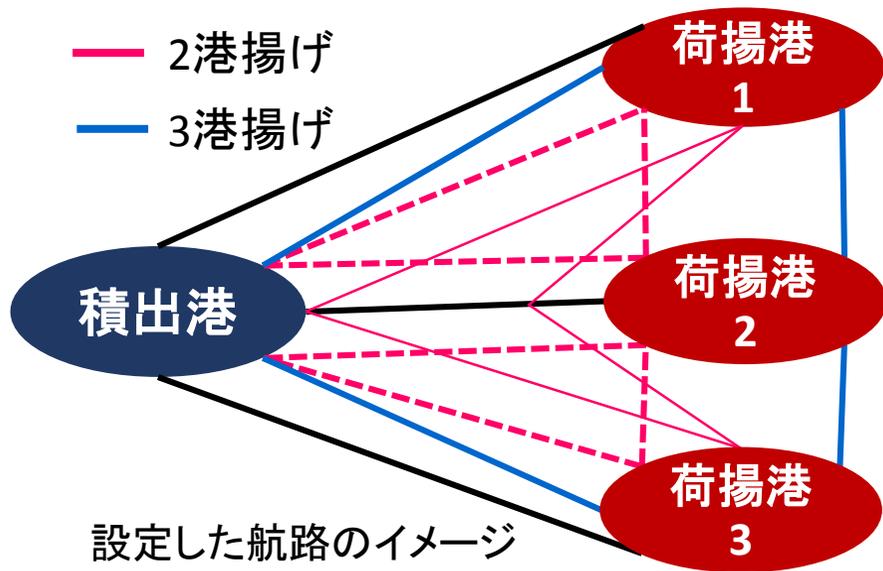


航路

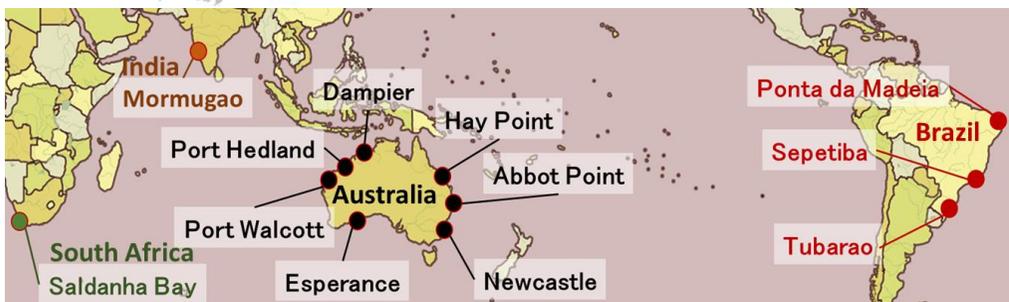


荷揚港数：1～3港
全航路を設定

- 1港揚げ
- 2港揚げ
- 3港揚げ



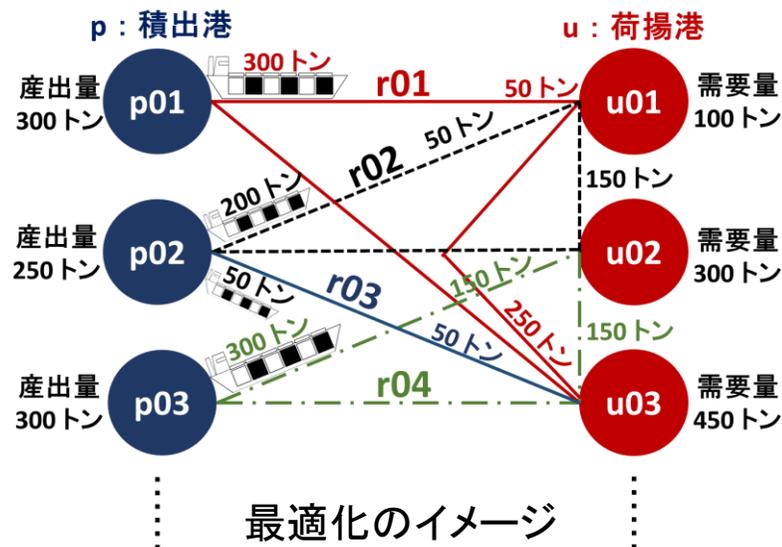
設定した航路のイメージ



最適化：概要とツール

* 総コストの最小化

- 物流コスト + CO₂排出量貨幣加算
- 運航パターン
- 制約条件：現実問題を想定



最適化ツール

- GLPK、SCIP (ソルバー)

```

mp18.dat - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(H)
mp15.mod : mp15.dat : 2015/07/08
コスト+CO2最適化 データ
mp1516の修正版

/* 船の集合 */
set SHIP := s1 s2 s3 s4;

/* 港の集合 */
set PORT := p01 p02 p03 p04 p05 p06 p07 p08 p09 p10 p11
p12 u01 u02 u03 u04 u05 u06 u07 u08 u09 u10 u11 u12 u13;

/* 船隻の集合 */
set SH :=
s1 r01
s1 r02
s1 r03
s1 r04
s1 r05
s1 r06
s1 r07
s1 r08
s1 r09
s1 r10
s1 r11
s1 r12
s1 r13
s1 r14
s1 r15
s1 r16
s1 r17
s1 r18
s1 r19
s1 r20
s1 r21
s1 r22
s1 r23
s1 r24
s1 r25
s1 r26
s1 r27
s1 r28
s1 r29
s1 r30

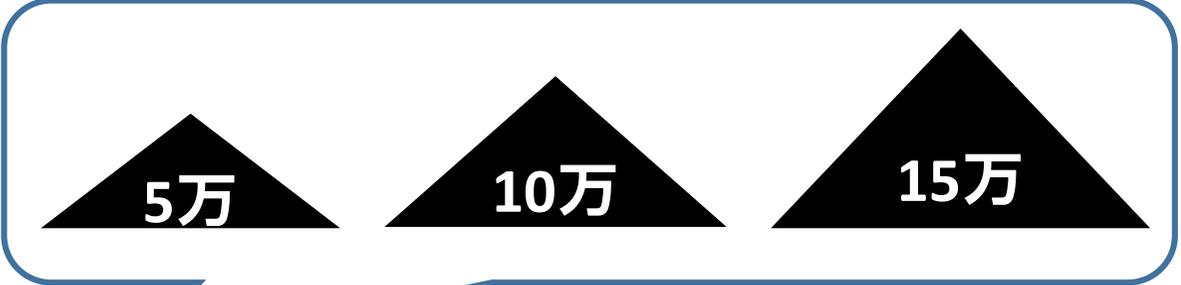
コマンドプロンプト - scip
s sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 2) 280184 del vars, 259349 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 0 ch
s sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 3) 280527 del vars, 260059 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 605
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 4) 280788 del vars, 260435 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 605
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 5) 280781 del vars, 260508 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 6) 280738 del vars, 260500 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 7) 281857 del vars, 260508 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 8) 28170 del vars, 260574 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 9) 281767 del vars, 260574 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 10) 281940 del vars, 260829 del conss, 0 add conss, 85510 chg bounds, 740
chz sides, 0 chz coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
presolving (11 rounds):
  281940 deleted vars, 200829 deleted constraints, 0 added constraints, 85510 tighte
ned bounds, 0 added holes, 740 changed sides, 0 changed coefficients
0 implications, 0 cliques
presolved problem has 4 variables (0 bin, 0 int, 0 impl, 4 cont) and 1 constrain
ts
   | constraints of type <linear>
Resolving time: 0.91

time | node | left | LP iter | LP it/n | mem | mdt | frac | lvars | lcons | cols | rows
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
0.91s | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 528M | 0 | 4 | 1 | 0 | 0
0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3.900987e+011 | Inf | 4 | 1 | 4 | 1
0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 528M | 0 | 4 | 1 | 4 | 1
0.91s | 0 | 0 | 3.862226e+011 | 3.862226e+011 | 0 | 0.00%
0.0 | 0 | 0 | 3.862226e+011 | 3.862226e+011 | 0 | 0.00%

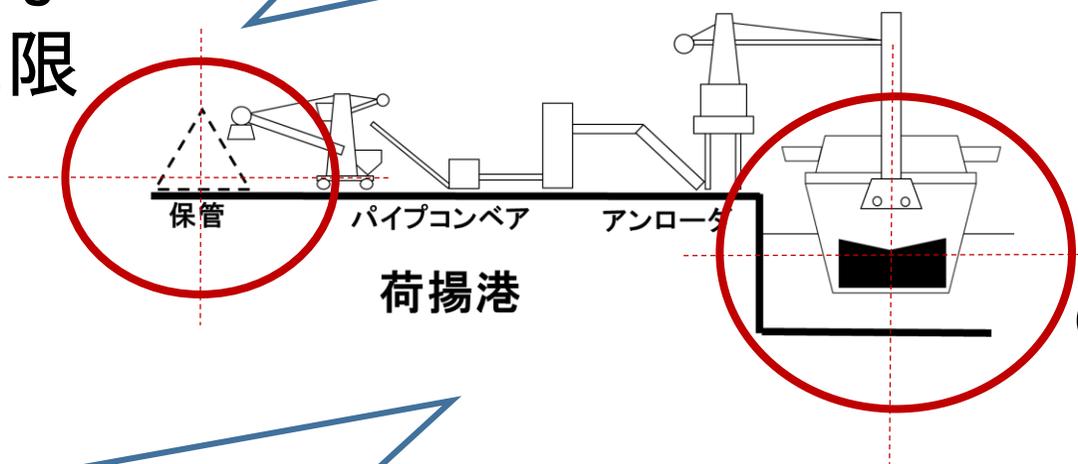
SCIP Status : problem is solved [optimal solution found]
Solving time (sec) : 9.06
Solving Nodes : 1
Primal Bound : +3.86222619740417e+011 (2 solutions)
Dual Bound : +3.86222619740417e+011
Gap : 0.00 %

SCIP: write solution mp18.txt
written solution information to file <mp18.txt>
SCIP:
  
```

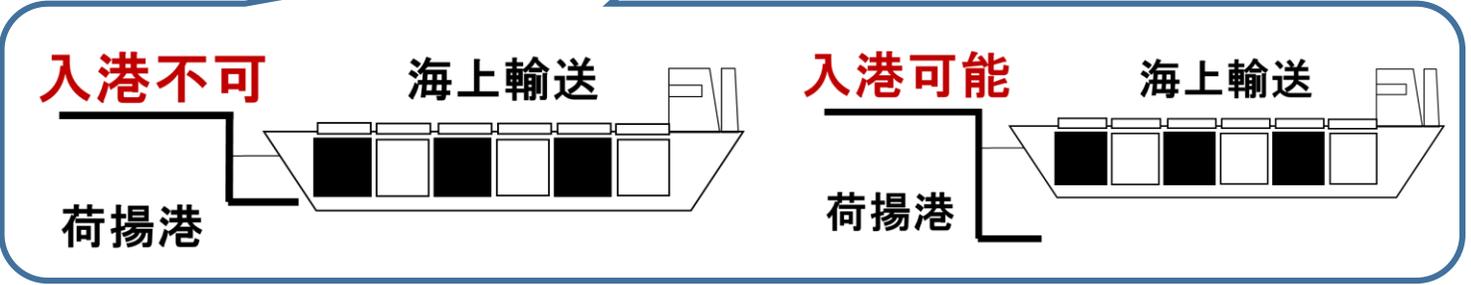
最適化：制約条件



① 荷揚げ可能な
貨物量の上限



② 水深の制約

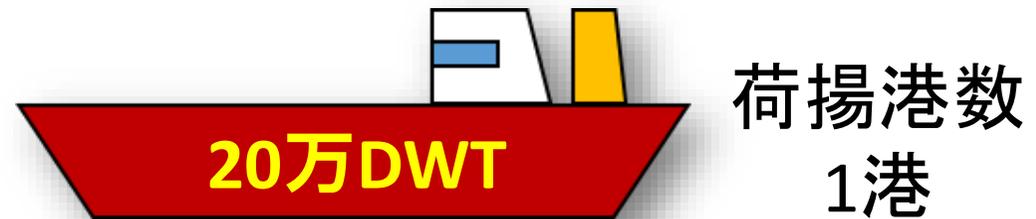
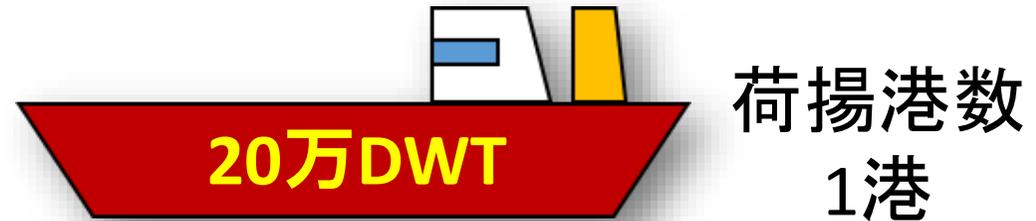


結果

貨物量の上限と総コスト



高頻度の運航パターン

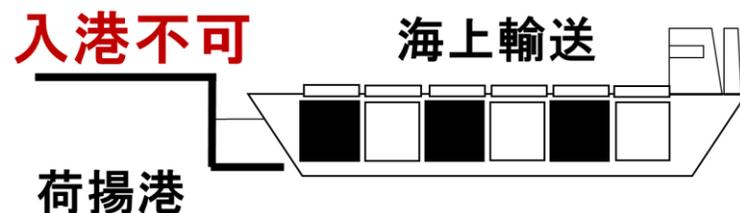
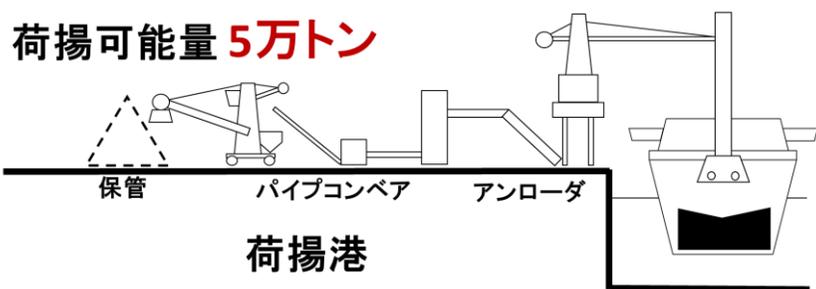


影響：貨物量の上限、各港湾の水深と船舶の必要船型

結果：制約条件の緩和

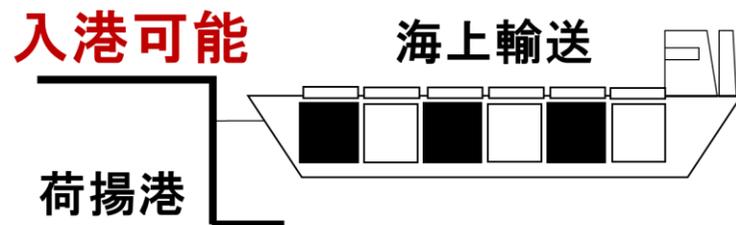
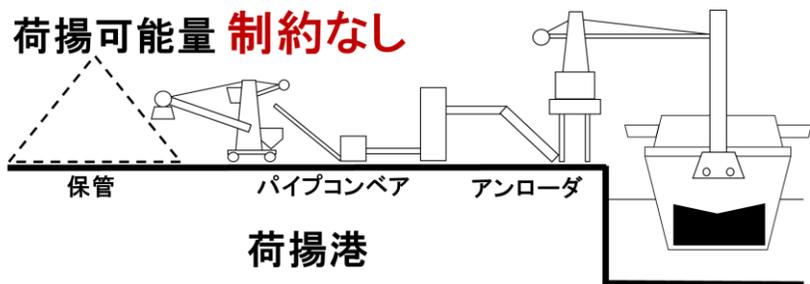
荷揚可能な貨物量の
上限の緩和
192億USD/年

貨物量＋水深の制約の緩和
189億USD/年



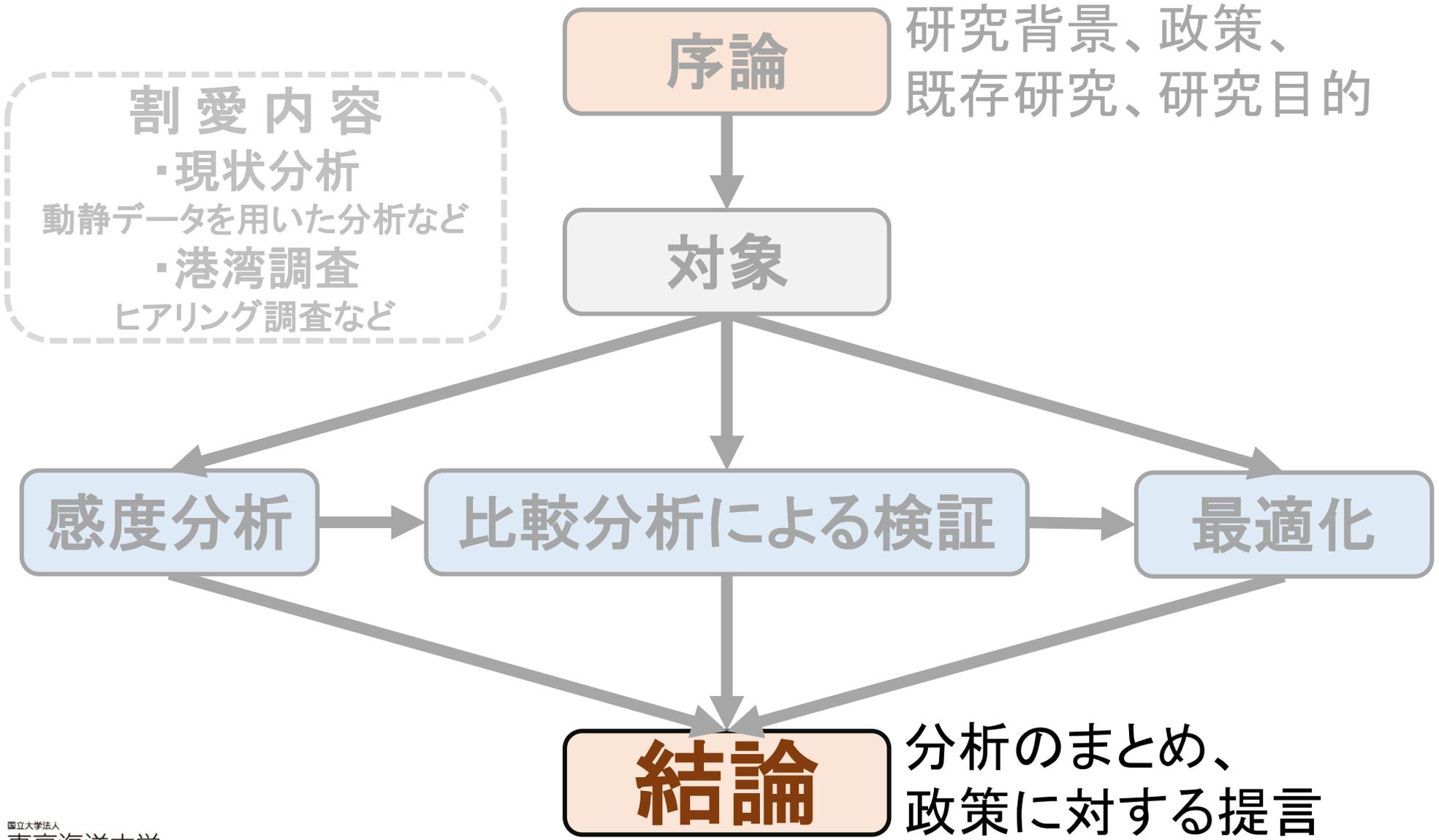
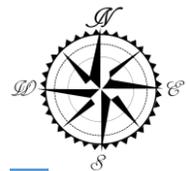
貨物量5万トンと制約なしの場合差額
-50億USD

貨物量5万トンと制約なしの場合差額
-53億USD



貨物量の上限：与える影響が大きい

発表内容



結論

* 運航パターン

- ・船型10万～20万DWT
→ 浚渫工事をせずとも、多くの港湾に入港可能
- ・船舶でシャトル輸送

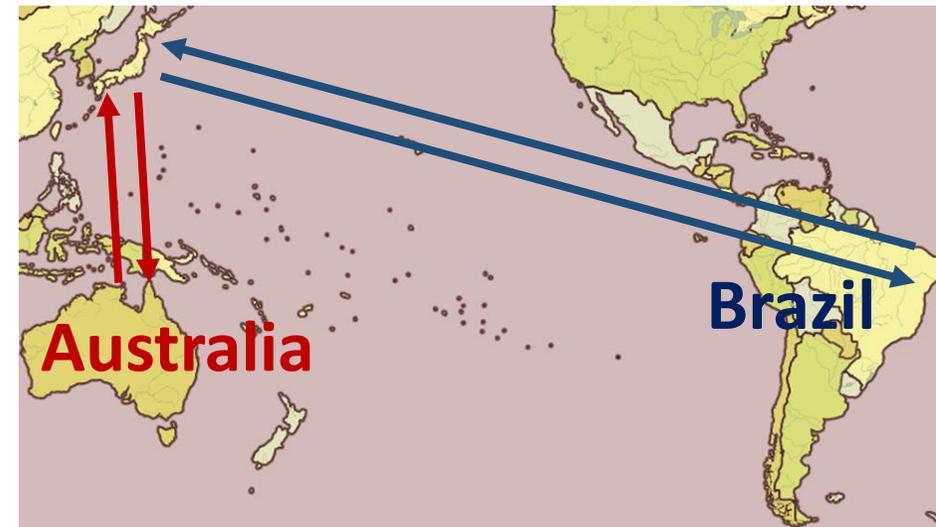


* 複数の港湾に寄港する場合

- ・2港程度の近距離の荷揚港

* 大型船を導入する優先順位

- ・航海距離が長距離、需要量の多い港湾間
→ オーストラリアやブラジルが候補



結論：制約条件下

* 荷揚げ可能な貨物量に制限があった場合

※船型に対して荷揚げ出来る貨物量が1/2以下の場合

- ・10～20万DWT程度の船舶で複数の荷揚港に寄港
- ・2港程度の近距離の荷揚港

* 港湾の整備

- ・水深の制約よりも貨物量の上限の制約の方が影響が大きい
- ・水深の整備よりも保管場所の整備を優先して行う

