### 国際コンテナ貨物のインターモーダル輸送 ネットワークモデルを用いた中米地域の コンテナ船寄港シミュレーション ~入港可能水深別の分析を中心に~

柴崎 隆一1·川上 泰司2·小柳 桂泉3·飯島 隆之4·角野 隆5

1正会員 (一財) 国際臨海開発研究センター 国際港湾政策研究所 政策研究室長 (〒102-0083 東京都千代田区麹町1-6-2 アーバンネット麹町ビル4階)

E-mail:shibasaki@ocdi.or.jp

<sup>2</sup>正会員 (独) 国際協力機構(JICA) 経済基盤開発部 (〒102-8012 東京都千代田区二番町 5 − 2 5 二番町センタービル) E-mail: Kawakami.Taiji@jica.go.jp

 $^3$ 非会員 (独)国際協力機構(JICA) 経済基盤開発部 (〒102-8012 東京都千代田区二番町 5-2 5 二番町センタービル)

E-mail: Koyanagi.Yoshimoto@jica.go.jp

4正会員 (一財) 国際臨海開発研究センター (〒102-0083 東京都千代田区麹町1-6-2 アーバンネット麹町ビル4階)

5正会員 (独) 国際協力機構 (JICA)

本稿は、筆者らが過去に構築した国際コンテナの海上ネットワーク配分モデルを陸上の国際背後輸送ネットワークまで含めた形で拡張し、中米地域へ適用して現状再現性を確認したうえで、特にエルサルバドルの港湾(アカフトラ、ラウニオン)に着目して、将来の国際コンテナ貨物輸送需要を所与としたコンテナ船寄港シミュレーションを実施した。なかでもアクセス航路が長く水深維持のため継続的な浚渫が必要なラウニオン港については、浚渫費用と船舶寄港により期待される経済効果を維持水深別に整理した。

結果として、推計されたパラメータのもとでのモデルの現状再現性がおおむね良好であることを確認し、また将来シミュレーションを通じて、ラウニオン港への寄港の妥当性や港湾利用料金の水準、トランシップ・ハブとしての可能性等について検討を行った.

**Key Words:** container shipping, intermodal transport, network assignment, Central America, cross-border transport

#### 1. はじめに

カリブ海と太平洋に挟まれた比較的狭いエリアに7つの小国(西から順に、グアテマラ、ベリーズ、エルサルバドル、ホンジュラス、ニカラグア、コスタリカ、パナマ)が存在する中米地域は、両岸の港湾で航路網が異なるため、国際貨物の陸上越境輸送が多いという特徴がある。また、パナマ運河が存在することから北米東岸〜東アジア航路などの基幹航路沿いにあり、エリア全体のコンテナ取扱量はさほど大きくはないものの、パナマ(太平洋岸:バルボア Baoboa 港、カリブ海岸:クリストバル Cristobal 港およびマンサニージョ Manzanillo PN 港)や、中米地域に隣接するメキシコ(マンサニージョ Manzanil-

lo MX 港, ラザロカルデナス Lazaro Cardenas 港) にハブ 港が成立しており、他の中米諸国でもハブ港を目指す動 きが見られる.

そこで本稿では、筆者らが過去に構築した国際コンテナの海上ネットワーク配分モデル<sup>1)</sup>を陸上の国際背後輸送ネットワークまで含めた形で拡張し、中米地域へ適用して現状再現性を確認したうえで、特にエルサルバドルの港湾(アカフトラ、ラウニオン)に着目して、将来の国際コンテナ貨物輸送需要を所与としたコンテナ船寄港シミュレーションを実施するものである。なかでもアクセス航路が長く水深維持のため継続的な浚渫が必要なラウニオン港については、浚渫費用と船舶寄港により期待される経済効果を維持水深別に整理する。以下、2で中

米におけるコンテナ輸送の現状を概観し、3.~5.でそれぞれモデルの概要、入力データ、計算方法や現状再現性について述べ、続いて6.~8.でモデルを用いたシミュレーションとして、現況におけるラウニオン寄港シナリオ、2020年および2030年将来シナリオ、ラウニオン港料金引き上げ時の将来シナリオを対象とした計算結果を示す.最後に、9.で結論を述べる.

#### 2. 中米におけるコンテナ輸送の現状

図-1 に、中米諸国における主要コンテナ港湾の位置 を、また図-2に、このうちパナマの港湾以外のコンテナ 取扱量の推移を示す. パナマと主要コンテナ港湾の存在 しないベリーズを除いた中米5か国の中で最大のコンテ ナ港湾は、コスタリカのカリブ海沿いに位置するリモン Limon 港で年間取扱量80万TEU前後であり、次いでホン ジュラスのコルテス Cortes 港、グアテマラのサントトー マス・デ・カスティーリャ Santo Tomas de Castilla 港,バ リオス Barrios 港と、カリブ海側の港湾が30~50万TEUほ どで続く. 一方、太平洋岸の諸港(グアテマラのケッツ アル Quetzal 港, エルサルバドルのアカフトラ Acajutla 港, ニカラグアのコリント Corinto 港、コスタリカの Caldera 港)のコンテナ取扱量はそれより小さく、年間10~30万 TEU程度となっている. なお、図-2には示されていない ものの、パナマ・バルボア港の2010年のコンテナ取扱量 は約276万TEU (うち95%がトランシップ貨物),パナマ の大西洋岸諸港(クリストバル, コロン, マンサニージ ョ)の合計取扱量は229万TEU(うち68%がトランシップ 貨物)であり、他港と比べて群を抜いている。また、メ キシコのマンサニージョ港(2010年取扱量約151万 TEU) やラザロカルデナス港(同80万TEU) も同じ太平 洋岸の中米諸港と比べると規模が大きい.

以上より、海上コンテナ流動の中心は米国ガルフ地域とメキシコ湾を挟んで対面するカリブ海側にあることがわかり、太平洋側にしか海岸線のないエルサルバドルや、地形の制約上カリブ海側に主要港湾の存在しないニカラグアは、太平洋岸の自国港湾を利用するか、他国のカリブ海岸港湾を利用するかの選択を迫られる。一方で、ホンジュラスの太平洋岸の海岸線はごく僅かであり、水深の浅いサンロレンソ San Lorenzo 港があるのみで、北米西岸やアジアなどからの輸入貨物等は同様の選択を迫られる。

CEPA (エルサルバドル国空港・港湾運営自治委員会)による、中米4か国 (グアテマラ、エルサルバドル、ホンジュラス、ニカラグア. 以下CA4と表記) 発着の国際海上コンテナ貨物の利用港湾の推計結果<sup>2</sup>を図-3 に示す. ここでは、輸出入別、また貿易相手地域(太平洋岸

諸国:北米西岸・アジア南米西岸・など、大西洋岸諸国:北米東岸・欧州・南米東岸など)別に利用港湾が示されている。また、以降の分析目的に応じて、エルサルバドルは西部(首都サンサルバドルを含む)と東部に、ホンジュラスは北部と南部にわけられている。図より、対大西洋岸貨物についてはエルサルバドルやニカラグアの貨物もホンジュラスやグアテマラの港湾を多く利用していること、逆にホンジュラス発着の対太平洋岸貨物の一部はグアテマラやエルサルバドルの港湾を利用していることがわかる。また、コリント港のサービスレベルにやや問題があるせいか、ニカラグア発着の対太平洋貨物の一部もエルサルバドルの港湾を利用している。



図-1 中米主要コンテナ港湾の位置図(赤字は海上輸送サブモ デルにおいて今回新たに追加した港湾)

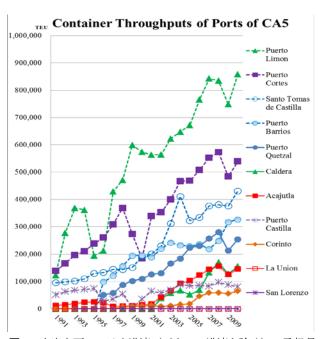


図-2 中米主要コンテナ港湾(パナマの港湾を除く)の取扱量 推移

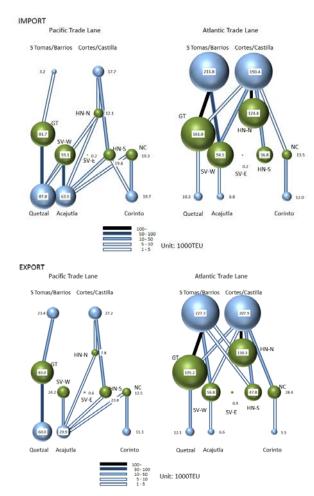


図-3 中米4か国発着国際海上コンテナ貨物の利用港湾2

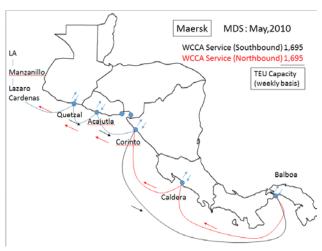


図4 中米太平洋岸に寄港するコンテナ航路の例(マースク)

図-4 に、中米太平洋岸港湾に寄港する定期コンテナサービスの例として、マースクの例 (2010年5月時点)を示す.この例は、北米西岸 (ロサンゼルス) やメキシコ太平洋岸とパナマのハブ港間を結ぶフィーダーサービスの一例であり、キャパシティ約1,700TEUのフィーダー船が東航・西航とも中米諸港に週1回寄港している.

#### 3. モデル

#### (1) モデルの全体構成

モデルの全体構成を図-5 に示す. 現状や将来におけるコンテナ貨物輸送需要(コンテナ貨物OD) や各港のサービスレベル(航路水深,岸壁水深,利用料金,リードタイムなど),およびシナリオごとの船社の行動(各航路の寄港地やその順序・船舶サイズ・頻度,航路同士を接続するトランシップ港などを含む定航輸送サービスネットワークの決定)や陸上輸送ネットワークを入力し、各船社・各航路(定航サービス)ごと,あるいは陸上輸送ネットワーク上のコンテナ貨物輸送量(リンクフロー)を出力するものである. 出力されたリンクフローを港湾単位で集計すると,入力した定航サービスネットワークごとに、中米各港のコンテナ貨物取扱量やサイズごとの入港隻数が算出できる. また,各貨物の発生地から最終目的地までの総輸送費用・時間も算出可能である.

モデルの対象は、既存の海上輸送モデル<sup>1)</sup>と同様、全世界の主要コンテナ港湾およびコンテナ貨物ODを対象とするものの、中米地域にフォーカスし、陸上輸送ネットワークはCA4のみを対象とする.

モデルは原則として荷主の視点で構築される.海上および陸上輸送を統合したインターモーダル輸送ネットワーク上において、各荷主は、海上および陸上の輸送時間および運賃に関する情報を元に輸出入港湾や船社を選択する.モデルは、モデル構築者の観測できない要素が反映可能かつ比較的シンプルながらも精度の高いモデルを構築できるとの観点から、確率ネットワーク配分stochastic assignment モデルを適用する.本モデルのネットワーク構成を図-6に示す.

発地域iから着地域jまでの貨物の経路集合を $H_{ij}$  その輸送需要(コンテナ貨物 OD)を $Q_i$ (TEU)

 $(ij \in \Omega; \Omega \text{ t OD } ^{\sim} \text{Po}$ 集合)とすると、観測者の 観察できない誤差項がガンベル分布に従うとすれば、経 路 hにより輸送される貨物量  $F_{ih}$ は以下の式で表される.

$$F_{ijh} = Q_{ij} \cdot \frac{\exp(-\theta \cdot G_{ijh})}{\exp(-\theta \cdot G_{ijh}) + \sum_{h' \in H} \exp(-\theta \cdot G_{ijh'})}$$
(1)

ここで, $G_{\bar{p}_1}$ : 発地域 i から着地域 j までの経路 h の一般化輸送費用(US\$/TEU), $\theta$ : 分散パラメータである.経路 h の一般化費用  $G_{\bar{p}_1}$  は陸上・港湾・海上輸送の一般化費用の合計であり,以下の式で表される.

$$G_{iih} = GL_{ir} + GPX_r + GM_{rs} + GPM_s + GL_{si}, \forall r \in h, \forall s \in h$$
(2)

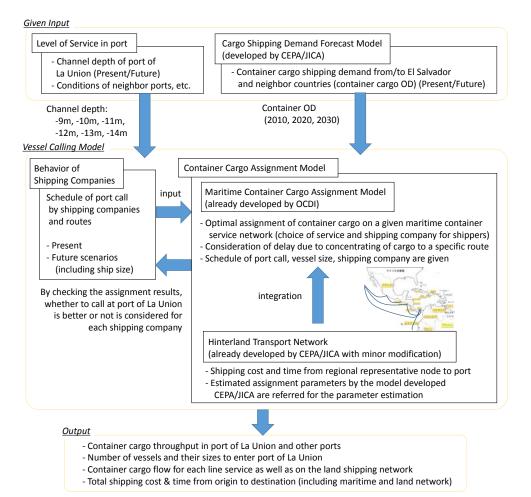


図-5 モデルの全体構成

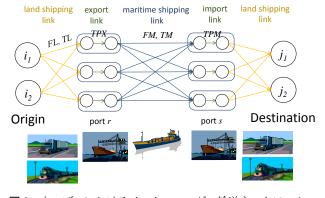


図-6 本モデルにおけるインターモーダル輸送ネットワーク

ここで、 $GL_nGL_g$ : それぞれ、発地域iから輸出港rまで、および輸入港sから着地域jまでの陸上輸送における一般化費用、 $GPX_r$ : 輸出港rにおける一般化費用, $GM_s$ : 輸出港rから輸入港sまでの海上輸送における一般化費用、および $GPM_s$ : 輸入港sにおける一般化費用である。各リンクの一般化費用は、以下の通り、運賃、および輸送時間に荷主の時間価値を乗じた時間費用の和で表される.

$$GL_{ir} = FL_{ir} + vt \cdot TL_{ir} \text{ ($\sharp$ $\downarrow$ $\circlearrowleft$ $GL_{sj} = FL_{sj} + vt \cdot TL_{sj}$)}$$
(3)

$$GPX_{r} = vt \cdot TPX_{r}$$
, (4)

$$GM_{rs} = FM_{rs} + vt \cdot TM_{rs}, \qquad (5)$$

$$GPM_{s} = vt \cdot TPM_{s}. \tag{6}$$

ここで、w: 荷主の時間価値(US\$/TEU/hour), $FL_s$ ,  $FL_{sj}$ : それぞれ,発地域iから輸出港rまで,および輸入港sから着地域jまでの陸上輸送費用(US\$/TEU), $TL_{sj}$ : それぞれ,発地域iから輸出港rまで,および輸入港sから着地域jまでの陸上輸送における陸上輸送時間(hours), $TPX_r$ : 輸出港rにおけるリードタイム(hours), $FM_{rs}$ : 輸出港rから輸入港sまでの海上輸送運賃(港湾利用料金を含む,US\$/TEU), $TM_{rs}$ : 輸出港rから輸入港sまでの海上輸送時間(hours),および $TPM_s$ : 輸入港sにおけるリードタイム(hours)である.ここで,輸出入港湾における一般化費用 $GPX_r$ および $GPM_s$ において時間項のみ考慮しているのは,一般に,船社が徴収する海上輸送運賃 $FM_{rs}$ に,トランシップ港における利用料金も含め,港湾料金が含まれる(その後船社より港湾運営者に支払われる)ためである.

# (2) 海上輸送サブモデル (海上輸送時間および運賃の 算出)

(5)式に含まれる海上輸送時間TM<sub>n</sub>は、既存の海上輸送モデル<sup>1)</sup>の計算結果を用いる<sup>1</sup>. また、海上輸送運賃FM<sub>n</sub>は、寡占市場である海上コンテナ輸送市場の需要と供給のバランスを反映し、一般に輸送コストとは異なると考えられる. そこで、ここでは、海上輸送モデルによって輸送コストを算出したうえで、それに基づき運賃を推計することとする. なお、輸送コストの算出方法は**付録**に示す.

海上コンテナ輸送市場は寡占市場と考えられるので、一般に運賃と限界輸送費用は一致しないと考えられる. しかしながら、寡占市場の経済理論において、供給量よりも価格で競争を行っているという状況を想定するベルトラン競争においては、価格が限界費用に一致することが知られている. 以下では、海上コンテナ輸送市場は各輸出入港湾のペアごとに存在すると想定する. この場合、各船社がひとつひとつの市場に参入・退出することは、

(寄港地を変化させるだけなので) 当該地域に航路を持つ船社にとっては比較的容易と考えられる. その結果として,均衡価格(海上運賃) は,完全競争下での価格に近づくことが考えられる.

もうひとつ留意すべき点は、ある市場(輸出入港湾ペア)についてみた場合、船舶サイズや航路構成が船社によって異なるため、限界輸送費用も船社によって異なると考えられる点である. limit pricing(限度価格)理論に基づけば、コスト構造上優位に立っている船社は、他船社の限界費用を下回るような価格を設定し、他船社の当該市場から退出を促すかもしれない. しかしながら、上記のようにこの市場では船社の参入・退出は容易なため、このような限度価格戦略は、一つの市場につき一つの均衡価格(運賃)を前提としている状況<sup>2</sup>では、コスト構造上優位に立っている船社にとっても多くの場合は良い戦略とは言えないだろう.

上記考察に基づき、輸出港r、輸入港sの市場における均衡価格(海上運賃) $FM_s$ は、当該市場に参加している船会社のうち最も限界費用が高い船社の限界費用に一致するものと想定できる。すなわち、

$$FM_{rs} = \max_{\varphi \in G} MC_{grs} \tag{7}$$

ここで, $MC_{grs}$ : 輸出港 r・輸入港 s の海上輸送における 船社 g の限界費用,G: 船社の集合である.各船社の限界費用は以下の通り表される.

$$MC_{grs} = \sum_{a \in k_a} \frac{d}{dx_a} c_a(x_a) \text{ if } TM_{grs} = TM_{rs}, \text{ or } (8)$$

$$MC_{grs} = 0 \text{ if } TM_{grs} > TM_{rs}.$$
 (9)

ここで、 $c_a$ : 各リンクaの輸送費用、 $k_g$ : 輸出港r・輸入港sの船社gによる海上輸送において輸送時間を最小にする経路、 $TM_{gr}$ : そのときの輸送時間であり、以下の通り定義される.

$$k_g = \arg\left[\min_{k'}\left\{\sum_{a \in k'} t_a(x_a)\right\}\right], k' \in K_g^{rs},$$
 (10)

$$TM_{grs} = \sum_{a \in k_g} t_a(x_a)$$
 (11)

ここで, $K_{rsg}$ :輸出港r・輸入港sの船社gによる海上輸送の経路集合, $t_a$ :各リンクaの輸送時間である.各リンクの輸送費用は**付録**を,輸送時間は文献<sup>1)</sup>を参照されたい.

#### (3) 陸上輸送費用および運賃

陸上輸送リンクにおける輸送時間  $TL_i$ ,  $TL_j$  および運賃  $FL_i$ ,  $FL_j$  については、以下に示す通り、走行時と国境通過時の所要時間・費用の和として定義する。ここで、陸上輸送運賃は、海上輸送とは異なり、中米における輸送市場(トラック業界)は十分競争的と考えられることから、市場における完全競争を仮定し、輸送費用で近似できるものと想定する。

$$TL_{ir} = TD_{ir} + \alpha \cdot TB_{ir}$$
 (および $TL_{si} = TD_{si} + \alpha \cdot TB_{si}$ ) (12)

$$FL_{ir} = CD_{ir} + \alpha \cdot CB_{ir}$$
 (および  $FL_{si} = CD_{si} + \alpha \cdot CB_{si}$ ) (13)

ここで、 $TD_{ir}$ 、 $TD_{ij}$ : 陸上輸送リンクの走行時間(hour), $TB_{ir}$ 、 $TB_{ij}$ : 陸上輸送リンクの国境通過時間(hour), $CD_{ir}$ 、 $CD_{ij}$ : 陸上輸送リンクの走行費用(US\$/TEU), $CB_{ir}$ 、 $CB_{ij}$ : 陸上輸送リンクの国境通過費用(US\$/TEU), $\alpha$ : トランジット輸送に関するパラメータである。トランジット輸送に関するパラメータである。トランジット輸送に関するパラメータ  $\alpha$  は、 $TB_{ir}$ 、 $TB_{ij}$ や  $CB_{ir}$ 、 $CB_{ij}$ が輸出入貨物についての書類準備や税関手続きに関する変数であることを考慮した補正係数であり,分散パラメータ  $\theta$ や時間価値 uと同様に,現状の選択結果を最もよく再現するように後ほど設定される。

<sup>1</sup>既存の海上輸送モデルリにおいては、各輸出入港湾間の運賃 は船社によらず同一と仮定してモデルには含めず、混雑による 遅延等を含めた海上輸送時間の均衡を考慮した利用者均衡配分 (UE) を行っている.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>各市場が唯一の均衡価格を有するという仮定を緩和することも可能である。この場合は、差別化された財による寡占市場に相当する。たとえば、柴崎ら<sup>3</sup>ではロジットモデルによって一つの市場において異なる運賃と輸送時間を考慮している。本モデルでは簡単化のためこのような考慮は行わない。

#### 4. 入力データ

#### (1) 船社の行動(定航輸送ネットワーク)

#### a) 定航輸送ネットワークデータの作成

現行(2010 年時点)の定航サービスネットワークは、既存モデル<sup>1)</sup>と同様、MDS Transmodal 社の提供する MDS containership databank データ(以下 MDS データ)より作成する. MDS データには、各コンテナ船の船舶名、IMO 番号、運航船社、共同運航船社、スロットチャーター船社、MDS 定義による航路区分、寄港地とその順序、年間寄港頻度、TEU キャパシティ、DWT、船速などの情報が含まれる. この船舶ベースのデータを、同じルートに就航する定期サービスごとに集約し、定航サービスネットワークデータを構築する.

なお、MDS データには残念ながら具体的な入出港日時の情報が含まれておらず、トランシップ港における本船とフィーダー船の接続スケジュールなどは不明である.このため、本モデルにおいては、トランシップ港においても、積み替え後の航路サービスの運行頻度の半分(たとえばウィークリーサービスであれば 3.5 日)を、平均的な待ち時間として考慮する.

#### b) 対象船社

本モデルで考慮する船社は、既存モデル 10で対象とした世界の 20 大コンテナ船社に加え、中米地域で定航サービスを展開する 8 つの中小船社を含む、合計 28 船社とする。これ以外の船社によって提供される定航サービスや、共同運航船社やスロットチャーター船社として割り当てられた船腹量はモデルの対象から除外する。この結果、MDS データ(2010 年 5 月時点)に記載されている 2857 サービスのうち、モデル対象となる航路は 988となった。これは全サービスの約 1/3 を占めるにすぎないが、主要航路はすべて含まれるため、キャパシティベースでいえば全体の 61.3%に相当する。また、アカフトラ港の実績と比較したところ、APL の中米太平洋岸フィーダーサービス(Lazaro Cardenas - Acajutla - Puerto Quetzal、平均船腹量 1,118 TEU、週 1 便)が MDS データに含まれていなかったため、これを追加した。

#### c) 対象港湾

本モデルでも,既存モデル<sup>1)</sup>と同様,全世界の定航サービスを対象とし,原則として,2010年コンテナ取扱量が50万TEU(内貿コンテナ,空コンテナを含む)を超える全港湾を対象とする.これに,図-1に示した中米諸国の港湾を追加し,合計164港を対象とする(図-7参照).対象港湾以外の港湾を上記定航サービスネットワークから除外し,最終的に,モデルの対象となる定航サービスは809となった.

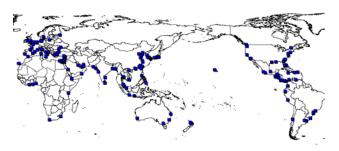


図-7 本モデルの対象港湾 (164港)

#### (2) コンテナ貨物OD (コンテナ貨物輸送需要)

発地域 i から着地域 j までのコンテナ貨物輸送需要 (OD 貨物量)  $Q_{ij}$  は以下の手順で求める。最初に輸出港 r から輸入港 s までの海上コンテナ貨物輸送需要  $q_{ss}$  を推計し、次に陸上輸送まで含めた輸送需要を推計する。

#### a) 海上コンテナOD

はじめに、国・地域間の OD 貨物量を、IHS 社によって提供される世界貿易サービス (WTS) データより入手する. WTS データは、世界の 100 の国と地域間のコンテナ貨物輸送マトリックス (TEU ベース) が提供されている. このマトリックスを、以下の作業の準備として51 の国と地域に統合する.

次に、上記の国・地域間 OD を、当該国・地域に属する各港の実入り・輸出入コンテナ貨物取扱量(すなわち、空コンテナおよびトランシップコンテナを除く)によって算出した港湾シェアに基づいて分割する。ここで、各港の実入り・輸出入コンテナ貨物取扱量は、CI-online から得られる各港湾の総コンテナ取扱量、およびDrewry(2011)から得られる各地域・港湾のトランシップ率・空コンテナ率を基に算出する。

なお、WTS データにおいては、中米 7 か国は一地域 として扱われている。中米地域については、カリブ海 側・太平洋側に OD を分割したうえで、それぞれの沿岸 地域ごとに各港湾への分割を行う。

#### b) 陸上輸送も含めたゾーン間OD

陸上輸送の考慮対象となる CA4 諸国については、上記で推計された港湾間 ODのうち、CA4 各国に属する港湾間 ODをいったん集約し、以下の方法でゾーン別に再度分割してコンテナ貨物 OD(以下 CA4 OD)を得るものとする. すなわち、国連貿易統計と CIECA による貿易データに基づき、CA4 各国の相手地域別貿易額を整理する. 貿易額ベースの相手地域別各国シェアを算出し、これをもとに CA4 ODを分割する. また、エルサルバドルとホンジュラスについては、固定された比率で2ゾーンに分割する. すなわち、エルサルバドルは西部地域94%・東部地域6%、ホンジュラスは北部地域70%・南

部地域 30% とする. なお, 中米地域内のコンテナ OD についても, 同様に設定する.

#### c) モデルの非対象船社による輸送量の除外

本モデルにおいては、各航路の容量制約を考慮するため、各航路のキャパシティと総輸送量のバランスが重要となる。このため、モデル対象 28 船社以外の船社によって輸送される需要は、本モデルの対象でないため、上記で推計した OD から取り除く必要がある。すなわち、各港における各船社の入出港船腹量シェアに比例するよう各港発着の貨物輸送需要を船社ごとに分割し、モデル対象船社分を集計したものをコントロールトータルとして(CA4 発着貨物については 100%対象とする)、またb)で得られたゾーン間 OD を初期パターンとして、フレーター法を適用する。

#### (3) 港湾サービスレベル

コンテナ取扱料金,輸出入リードタイム,トランシップに必要な時間については,各種の情報源を総合して,**表-1**に示す通り設定する.

12-1	口ではちゃく	9 6716	. ,,,,	以人间	
	取扱料	最大岸	リード	タイム	
   港湾名	金 <i>CHC</i> <sub>r</sub>	取八戶 壁水深	輸出	輸入	積替時間
101号位	(US\$/TE	型/N未 (m)	$TPX_r$	$TPM_r$	$TR_r$ (hours)
	U)	(111)	(hours)	(hours)	
Quetzal	117.65	-13	60	24	48
Acajutla	73.48	-11	60	48	48
La Union	65.79	-8	60	48	48
San Lorenzo	64.70	-8	60	48	48
Corinto	58.82	-11	168	84	48
Caldera	100.00	-11	48	24	48
Cortes/Castilla	64.70	-12	48	24	48
Santo Tomas De	64.70	-11	60	24	48
Castilla/Barrios	04.70	-11	00	24	40
世界のその他港湾	100.00	*	48	24	*

表-1 各港湾のサービスレベルの設定値

#### (4) 陸上輸送ネットワーク

CEPA<sup>2</sup>では、CA4 地域の陸上輸送ネットワーク(図-8 参照)を構築している。全 6 ゾーンの OD ノードは CA4 地域全 7 港湾とそれぞれ連結する。一方、メキシコやコスタリカなど周辺諸国への陸上輸送は一切含まない。

各リンクの走行時間((12)式に含まれる  $TD_{ir}$  および  $TD_{si}$ )およびコスト((13)式に含まれる  $CD_{ir}$ および  $CD_{si}$ )は  $CEPA^{2}$ の設定値を用いる(**表-2** 参照). 越境時間((12)式に含まれる  $TB_{ir}$  および  $TB_{si}$ )およびコスト((13)式に含まれる  $TD_{ir}$  および  $TD_{si}$ )は,世界銀行の提供する  $TD_{ir}$  からい  $TD_{ir}$  からい  $TD_{ir}$  からい  $TD_{si}$  か

る時間(日数)の輸出入平均値をもとに表-3に示す通り設定した。ここで、リンクによっては複数の国境を越えることに注意が必要である。たとえば、ニカラグアからアカフトラ港へのリンクは、途中でホンジュラス・ニカラグア国境、およびエルサルバドル・ホンジュラス国境を通過する。

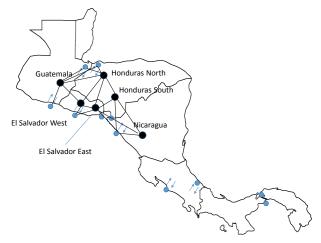


図-8 本モデルで考慮する陸上輸送ネットワーク2

表-2 各 OD ノード・港湾間の走行時間および費用<sup>2)</sup>

- 走行時間

(hours)

Ports Zone Representative	Quet- zal	Santo To- mas	Aca- jutla	La Un- ion	Cor- tes	San Lo- renzo	Corin to
Guatemala	1.7	5.0	3.2	7.0	6.3	8.0	11.0
El Salvador West	4.5	6.4	1.4	3.1	6.8	4.1	7.1
El Salvador East	6.7	8.6	3.7	0.8	6.7	2.1	4.9
Honduras North	8.6	2.5	7.2	5.5	1.0	5.6	8.6
Honduras South	12.0	6.0	6.8	3.1	5.0	1.9	4.6
Nicaragua	14.1	12.3	11.1	7.3	11.3	5.7	2.3

- 走行費用

(US\$/TEU)

Ports Zone Repre.	Quet- zal	Santo Tomas	Aca- jutla	La Union	Cortes	San Lo- renzo	Corin to
Guatemala	151.5	450.0	286.5	630.0	568.5	723.0	990.0
ES West	403.5	571.5	129.0	277.5	612.0	372.0	637.5
ES East	603.0	774.0	328.5	73.5	600.0	186.0	439.5
HD North	774.0	220.5	649.5	495.0	88.2	504.0	771.0
HD South	1080.0	541.5	615.0	274.5	451.5	169.5	417.0
Nicaragua	1270.5	1102.5	996.0	655.5	1012.5	510.0	207.0

<sup>\*</sup>港湾によって異なる

表-3 各 OD ノード・港湾間の越境時間および費用

#### - 越境時間

(hours)

Ports Zone Representative	Quet- zal	Santo To- mas	Aca- jutla	La Un- ion	Cor- tes	San Lo- renzo	Corin to
Guatemala	0	0	84	84	192	276	528
El Salvador West	240	240	0	0	192	192	444
El Salvador East	240	240	0	0	192	192	444
Honduras North	240	240	84	84	0	0	252
Honduras South	324	240	84	84	0	0	252
Nicaragua	516	432	276	276	192	192	0

#### - 越境費用

(US\$/TEU)

Ports Zone Repre.	Quet- zal	Santo Tomas	Aca- jutla	La Union	Cortes	San Lo- renzo	Corin- to
Guatemala	0	0	380	380	261	641	958.5
ES West	278.5	278.5	0	0	261	261	578.5
ES East	278.5	278.5	0	0	261	261	578.5
HD North	278.5	278.5	380	380	0	0	317.5
HD South	658.5	658.5	380	380	0	0	317.5
Nicaragua	919.5	539.5	641	641	261	261	0

#### 5. モデルの推計と再現性

#### (1) モデル計算の手順

#### a) 初期計算(m=0)

- 1) 最初に、4.(2)a) で作成した港湾間コンテナ  $OD q_n$ <sup>©</sup>を入力して海上輸送サブモデルを計算し、初期海上輸送時間  $TM_n$ <sup>©</sup>を算出する.
- 2) 同様に,海上輸送サブモデルより算出した海上輸送コストに基づき,初期海上輸送運賃  $FM_s^{(0)}$ を,3.(2)に示した方法で推計する.
- 3) 上記変数およびゾーン間コンテナ OD  $Q_{ij}$  を入力し、 3.(1)の(1)式に示される確率ネットワーク配分により、 インターモーダル輸送ネットワーク上での各経路のフロー $F_{iji}^{(0)}$ を算出し、これを港湾単位で集計することによって港湾取扱量の推計値を得る.

#### b) m回目繰り返し計算および収束判定

- 1)m-I 回目の経路フロー計算結果  $F_{ij}^{(m-l)}$ から,m回目計算の入力となる港湾間コンテナ OD  $q_{rs}^{(m)}$ を算出する(インターモーダル輸送ネットワーク上の海上リンクフローに相当する).
- 2) a)の初期計算と同様の手順により、港湾間コンテナ  $OD q_n^{(m)}$ およびゾーン間コンテナ  $OD Q_i$ を入力として、コンテナ貨物の経路フロー $F_{ij}^{(m)}$ を算出する。ただし、(7)式によって定義される海上運賃  $FM_n$ は参入船社数に応じて大きく変動し、このままではモデル計算の収束が難しいことから、以下に示す連続的かつ中米地域にフォーカスした需要・供給曲線を想定した式によって、

運賃の  $FM_n^{(m)}$ から  $FM_n^{(m)}$ への変化を推計することとする

$$FM_{rs}^{(m)} = \left\{ \frac{q_{rs}^{(m)}}{q_{rs}^{(m-1)}} \right\}^{\gamma_e} \cdot FM_{rs}^{(m-1)}$$
 (中米輸出貨物の場合) (7'-a)

$$FM_{rs}^{(m)} = \left\{ rac{q_{rs}^{(m)}}{q_{rs}^{(m-1)}} 
ight\}^{\gamma_i} \cdot FM_{rs}^{(m-1)}$$
(中米輸入貨物の場合)(7'-b)

$$FM_{rs}^{(m)} = FM_{rs}^{(m-1)}$$
 (他地域発着貨物) (7'-c)

ここで、 $\gamma_6 \gamma_i$ :輸出および輸入貨物の需要の価格弾力性パラメータであり、アカフトラ港の輸出入貨物需要を、相手港別に一港ずつ変化させたときに(7)式によって計算される運賃の平均変化率より、それぞれ 0.00207 (輸出) および 0.0394 (輸入) と設定した.

3) m回目の計算で推計された経路フローが、前回の経路 フローに比べて十分収束しているか、または規定の繰 り返し計算回数に到達したら、計算終了。そうでない 場合は、m=m+1として1)に戻る。

#### (2) 未知パラメータの推定

コンテナ貨物配分モデルには、vt,  $\theta$ , および $\alpha$ の3つの未知パラメータが含まれる。他のすべての入力変数は外生的に与えられるもので、ここまでですべて説明されている。(3)~(6)式に含まれる vt は荷主の時間価値(US\$/TEU/hour)を表す。(1)式に含まれる分散パラメータ  $\theta$  は、各経路の選択確率(経路間の一般化費用の差異)に対する感度を表す。また、(12)式および(13)式に含まれるトランジット輸送に関する補正パラメータ  $\alpha$ は、越境時間および費用に乗じられるパラメータである。

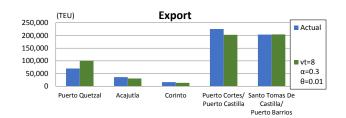
これら3つの未知パラメータは、コンテナ貨物フロー (港湾取扱量) の推計値が実績値に等しくなるように推計される. 想定された範囲内 (3.0 < w < 13.0, 0.001 <  $\theta$  < 0.05, 0.0 <  $\alpha$  < 0.5) での試行錯誤的な計算および格子探索法により、結果として、最適解として(w,  $\theta$ ,  $\alpha$ ) = (8.0, 0.01, 0.3)を得た.

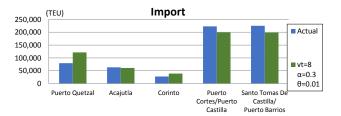
#### (3) モデルの再現性

#### a) コンテナ貨物港湾取扱量

上記パラメータ最適解のもとでのコンテナ貨物港湾取扱量のモデル再現結果を図-9 に示す. 図に示される通り,アカフトラ港の取扱量は輸出入ともよく再現されている. 一方で,ケッツアル港(グアテマラ) については輸出入とも過大推計となっている一方,コルテス/カスティーリャ港(ホンジュラス) については輸出入とも過小推計となっている.

またトランシップ貨物については、グアテマラの2港 などで、現状と同程度の一定量が推計された.





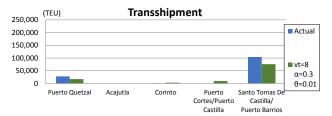


図-9 コンテナ貨物港湾取扱量における現状値と推計値の比較

#### b) 相手地域シェア

表-4 に、CA4 諸港における相手地域比率の推計結果を輸出入別に示す。ここでは、北米東岸・欧州などカリブ海側地域と、アジア・北米西岸など太平洋岸地域の2地域のシェアを示している。類似の実績データは存在しないため、実績値との比較は行えないものの、アカフトラ港における北米・南米東岸および欧州貨物は全体の10~20%と考えられており、モデルでその傾向が再現できているなど、おおむねモデルが現状を再現できているものと推察される。

#### c) CA4発着貨物の輸出入港選択結果

表-5 は、CA4 諸国発着コンテナ貨物の輸出入港の選択結果を示している。エルサルバドル発着貨物の半数以上がカリブ海岸諸港(ホンジュラスのコルテス/カスティーリャ港、またはグアテマラのサントトーマス・デ・カスティーリャ/バリオス港)を利用している一方で、ニカラグアのコリント港はほとんど利用されていないことなど、図-3 に示した実態をよく表していると考えられる。

表_/	$C\Lambda$	1	(井田)	別コンテナ取扱量シェア
7V-4	, H4	+ 5/4 /2 / /	( ) /	

		輸出			輸入			
	カリブ海・大西洋	羊岸諸国·地域	太平洋岸諸	国•地域	カリブ海・大西洋岸諸国・地域		太平洋岸諸国·地域	
	TEU	share	TEU	share	TEU	share	TEU	share
Quetzal	31,784	31.7%	68,622	68.3%	1,087	0.9%	120,318	99.1%
Acajutla	5,920	19.4%	24,560	80.6%	5,670	9.4%	54,957	90.6%
Corinto	3,365	25.3%	9,949	74.7%	2,169	5.6%	36,846	94.4%
Cortes/Castilla	201,016	99.3%	1,460	0.7%	195,669	98.4%	3,194	1.6%
Santo Tomas De Castilla/Barrios	201,395	98.6%	2,768	1.4%	191,493	96.6%	6,761	3.4%

表-5 CA4 諸国発着コンテナ貨物の利用輸出入港別推計結果 (TEU)

#### -CA4諸国輸出コンテナ

	Puerto Quetzal	Acajutla	Corinto	Cortes/Castilla	Santo Tomas De Castilla/Barrios
Guatemala	88,240	8,004	0	20,467	186,875
El Salvador West	5,376	13,961	0	29,267	11,227
El Salvador East	321	476	0	2,447	438
Honduras North	2,003	4,192	0	84,616	2,973
Honduras South	743	3,449	1	34,933	1,511
Nicaragua	3,722	398	13,314	30,746	1,138

#### -CA4諸国輸入コンテナ

	Guatemala	El Salvador West	El Salvador East	Honduras North	Honduras South	Nicaragua
Quetzal	90,548	17,925	880	9,766	2,280	4
Acajutla	4,347	35,003	2,238	11,396	7,182	455
Corinto	0	472	290	5,402	2,929	29,920
Cortes/Castilla	20,724	44,083	4,294	73,511	31,863	24,381
Santo Tomas De Castilla/Barrios	147,589	39,324	1,030	7,445	1,825	1,031

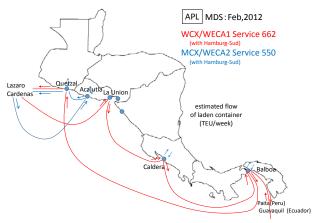
# 6. モデルを用いたシミュレーション [1]: ラウニオン港の現状寄港シミュレーション

#### (1) シミュレーション概要

2012 年はじめに、APL と Hamburg-Sud の共同運航により、図-10 に示されるような開港以来初のラウニオン寄港定期航路サービス(週 1 便)が開始された. 使用船舶は、キャパシティが 1,324 TEU で最大喫水 9.5m である. 残念ながらサービスは 2012 年末で休止となってしまったものの、ここでは、前章までで構築した MDS データを基にした 2010 年海上輸送ネットワークに、このサービスを追加したシミュレーションを行う. コンテナ貨物 OD や港湾サービスレベルなど、他の入力データはすべて前章までと同じとする.

#### (2) ラウニオン港アクセス航路における期待待ち時間

エルサルバドル東部,フォンセカ湾に位置するラウニオン港は,外洋からの入出港の際に,全長22kmのアク



**図-10 2012** 年に提供された **APL・Hamburg-Sud** 共同運航によるラウニオン港寄港サービスの航路

セス航路を通過する必要がある。潮汐を考慮すれば、ア クセス航路の水深と、入港船舶の喫水に応じて、1日24 時間のうち航行可能な時間が異なってくる. (2)の将来 シミュレーションにおいて、航路水深ごとの港湾取扱量 および浚渫費用の推計を行うため、ここでは航路水深と 入港船舶の喫水に応じて異なる平均的な入港待ち時間 (船舶がアクセス航路入口にランダムに到着すると仮定 した場合に予想される入港までの期待待ち時間)を算出 する. アクセス航路の航行に 2.4 時間かかるため、航行 可能な水深よりも潮位が浅くなる時刻の 2.4 時間前には 船舶は進入できなくなる. 喫水に対する余裕水深を10% (つまり、航路水深が喫水の 1.1 倍以上深い場合のみ航 行可能), また年間の潮位変化も考慮して算出した, 各 喫水および航路水深ごとの期待待ち時間を図-11 に示す. 図より、同じ航路水深であれば喫水が大きくなるほど期 待待ち時間が増え, 喫水が航路水深を 1m 程度以上上回 ると、場合によっては半日(潮汐1サイクル)以上待つ こととなり、入港が不可能となる. また、潮汐が存在す るため、航路水深と喫水が同じであっても期待待ち時間 はゼロとはならず、期待待ち時間がほぼゼロとなるのは、 喫水が航路水深より 1m 程度以上浅い場合であることも わかる.

本章で示す現状シミュレーションにおいては、ラウニオン港の航路水深を2012年頃の現行水深-8mにおける、当該船舶の満載喫水-9.5mの期待待ち時間:3.30時間をラウニオン寄港時に追加的に入力する.

#### (3) シミュレーション結果

本シミュレーションにおける,各港のコンテナ貨物取扱量の推計値を表-6に示す.表中の現況ケースは,5.(3)に示された現況再現ケースを表す.

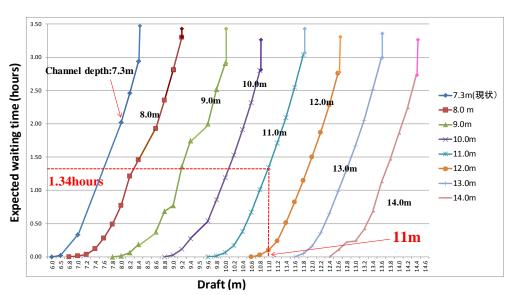


図-11 喫水別・航路水深別の期待待ち時間

表-6	ラウニオン寄港定航サービスを考慮した場合の CA4 諸港
	におけるコンテナ貨物取扱量の推計結果(TEU)

	車	<b>俞</b> 出	輸入			
港湾	現況再現	ラウニオン	現況再現	ラウニオン		
	ケース	寄港ケース	ケース	寄港ケース		
Quetzal	100,406	96,888	121,403	116,255		
Acajutla	30,479	31,637	60,621	65,136		
La Union	0	3,563	0	10,265		
Corinto	13,315	12,626	39,014	29,637		
Cortes/Castilla	202,477	194,281	198,855	207,297		
Santo Tomas De Castilla/Barrios	204,162	211,844	198,246	189,562		

ラウニオン寄港ケースの結果では、ラウニオン港の年間コンテナ取扱量(実入りのみ、空コンテナは含まない)は、輸出入それぞれ、3,563 TEU および 10,265 TEU と推計された.一方、ラウニオン港の 2012 年におけるコンテナ取扱実績は、空コンテナも含め輸出が 8,801 TEU、輸入が 10,317 TEU であった.空コンテナは、輸出入のインバランスを埋めるためにコンテナを移動させることによって発生することをふまえれば、シミュレーション結果は実績をよく再現していると考えられる.

また、下表より、ラウニオン港で取り扱われるコンテナ貨物は、主にコリント港(ニカラグア)やコルテス港(ホンジュラス)からのシフトと推察され、ニカラグアやホンジュラスの貨物が大部分を占めるというヒアリング調査の結果とも一致する.

# 7. モデルを用いたシミュレーション [2]: ラウニオン港の想定アクセス航路水深ごとの将来寄港シミュレーション(2020年, 2030年)

#### (1) 入力データ

#### a) コンテナ貨物OD

2020年および 2030年時点の将来コンテナ貨物ODは, 4.(2)で作成した 2010年コンテナ貨物ODに, CEPA<sup>4</sup>により推計された <sup>3</sup>各国別輸出入別の伸び率 (表-7 参照)を乗じることによって得る. ここで, CA4 諸国以外の世界の各国・地域間のコンテナ貨物需要は 2010年のままとする. したがって, 以降のシミュレーションは, 世界の国際海上コンテナ貨物輸送のマーケットにおいて, 中米地域の相対的な重要性が高まっている状況下での試算結果であるという点に注意が必要である.

表-7 各国発着国際海上コンテナ貨物の将来伸び率<sup>4</sup> (2010年を 100 とする)

		2020年	2030年
	El Salvador	340	776
± <b>&amp;</b> .1.	Guatemala	167	277
輸出	Honduras	160	248
	Nicaragua	207	349
	El Salvador	200	395
<b>益</b> 7	Guatemala	167	278
輸入	Honduras	158	252
	Nicaragua	203	343

#### b) 港湾サービスレベル

ラウニオン港および近隣諸港のサービスレベルも将来にわたって何らかの改善がなされることが想定される. 2020 年および 2030 年時点における各港サービスレベルの設定値を表-8 に示す(ラウニオン港のアクセス航路水深については、c)で別途想定する). これらの想定は、たとえばケッツアル港における新規コンテナターミナル開発計画のように、インタビュー調査など情報収集の結果を反映している一方で、アカフトラ港以外の各港湾で2030 年において最大喫水-12m(キャパシティが3,350 TEU の船舶に相当)に増深されるとの想定は、そうしないと想定する2030年の中米地域のコンテナ貨物輸送需要を捌ききれないというモデル計算上の要請に起因している.

さらに、ラウニオン港の取扱量シミュレーションにとって重要な要素であるアカフトラ港の取扱能力においては、現行のコンテナ貨物取扱能力に限界があることを特に想定し、柴崎ら <sup>1</sup>に示された各港の積込および荷卸時間に関する(7)式および(8)式について、アカフトラ港のみ以下のように書き直す.

$$t_u(x_a) = TL_a + TW_a \cdot \left\{ 1 + \left( \frac{XH_a - 200000}{10000000} \right) \right\}$$
  
if  $XH_a > 200000$ , or

$$t_u(x_a) = TL_a + TW_a$$
 if  $XH_a \le 200000$  (7')  
 $t_u(x_a) = TU_a + \left(\frac{XH_a - 200000}{1000000}\right)$   
if  $XH_a > 200000$ , or

$$t_{u}(x_{a}) = TU_{a}$$
 if  $XH_{a} \le 200000$  (8')

ここで、 $XH_a$ : アカフトラ港における年間総コンテナ取扱量(TEU、空コンテナを含む)、 $TL_a$ : 船積荷役に要する時間(hour)、 $TW_a$ : 船積リンクa において船積みされる貨物の出航までの期待待ち時間(hour)、 $TU_a$ : 船卸荷

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>IMF等から得られる GDP成長率の将来推計値に、対 GDP成 長率のコンテナ貨物発生集中量平均伸び率(GDP弾性値)を 乗じることによって、推計されている.

表8各港における将来サービスレベルの設定値(着色部が当該年次までの10年間で改善を想定した数値)

	2020				2030			
Port Name	Max. Draft	Lead Time		Transship-	Max.	Lead Time		Transship-
		Export	Import	ment Time	Draft	uft Export	Import	ment Time
	(m)	$TPX_r$ (hours)	$TPM_r$ (hours)	$TR_r$ (hours)	(m)	$TPX_r$ (hours)	$TPM_r$ (hours)	$TR_r$ (hours)
Quetzal	-14	48	24	24	-14	48	24	24
Acajutla	-11	60	48	48	-11	60	48	48
La Union	*	48	24	24	*	48	24	24
Corinto	-11	60	48	48	-12	48	24	48
Caldera	-11	48	24	48	-12	48	24	48
Cortes/Castilla	-12	48	24	24	-12	48	24	24
Santo Tomas De Castilla/ Barrios	-11	48	24	48	-12	48	24	48
other ports	$\infty$	48	24	*	$\infty$	48	24	*

<sup>\*:</sup>港湾によって異なる

役に要する時間 (hour) である. 空コンテナ率は, a)で 予測したエルサルバドル発着コンテナ貨物 OD における 輸出入の差を反映し, 輸出コンテナにおいては 2010 年 129.2%, 2020年33.3%, 2030年12.2%と想定する. 一方, 輸入コンテナにおいては全期間を通じ0%と想定する.

また、ラウニオン港を除く各港湾におけるコンテナ荷 役料金については、全期間を通じて変化しないと想定す る. ラウニオン港については、後ほど、荷役料金を引き 上げるケースについて政策シミュレーションを行う.

#### (2) 船社の行動(将来定航ネットワークの作成)

各船社は、各定航サービスについて、寄港地やその順序、船舶サイズ、頻度、トランシップ港などを含めたサービス水準を、自社の利潤を最大化するように、もしくは他の同様の原則に従って決定する。本モデルでは、28のコンテナ船社が世界中で提供するすべての将来定航サービスネットワークについて、外生的に与える必要がある。考えられ得る海上輸送ネットワークの組み合わせは無限に存在するため、現状ネットワークからの変更対象を中米関連航路に絞ったうえで、大きく分けて、1)現状ネットワークを前提とした(微)修正、および2)新たなハブ&スポークネットワークの構築、の2つのシナリオを用意する。

#### a) 既存ネットワークの修正シナリオ

2010年5月時点では、エルサルバドル・アカフトラ港に寄港する定航サービスは、表9に示した6航路となっている。そのうち、単独の船社によって運航されている4 航路(Maersk、MSC、NYK、APL)は、メキシコ(マンサニージョ港またはラザロ・カルデナス港)またはパナマ(バルボア港)のどちらか一方のトランシップ港湾、または双方の港湾からフィーダーサービスであり、比較的小さい船舶(平均船腹量1,700 TEU以下)で運航されている。

残りの2つのサービスは、上記フィーダーサービスよりもやや大きい船舶(平均船腹量2,500 TEU 前後)を用いて、中国・日本などの東アジアまたは北米東岸諸港を起点とし、コロンビア、エクアドル、ペルー、チリなどの南米西岸諸港まで運航するサービスが途中で中米太平洋岸地域に立ち寄るというもので、way-port サービスとよばれる。way-port サービスのもう一つの特徴は、比較的長距離の輸送を比較的大きい船舶で行っていることから、週当たりの寄港船腹量を実際の需要に応じた適正量に調整するため、複数船社による共同運航によって一社当たりの供給船腹量を減らすか(CMA-CGM/CSCL/CCNIの例)、あるいは単独船社で運航を行う場合は、他港(ここではコスタリカのカルデラ港)との交互寄港として年間寄港回数を減らす(CSAVの例)点にある。

表-10 には、同様の形式で 2012年にラウニオンに寄港していた定航サービス(図-10 参照)の概要を整理した.このサービスは、ラザロ・カルデナス港およびバルボア港で基幹航路に接続するフィーダーサービスであった.

表-92010年5月時点におけるアカフトラ港寄港定航サービス (MDS データ等に基づき作成)

運航船社	平均船腹 量(TEU)	年間寄 港回数	頻度
Maersk	1,695	104.0	週2回(西航および東航)
MSC	1,232	26.0	2週に1回
NYK	1,610	52.0	週1回
APL	1,118	52.0	週1回
CMA-CGM/ CSCL/CCNI	2,516	52.0	週1回
CSAV	2,599	23.1	9週間で4回(残り5回は カルデラに寄港)

表-102012年2月時点のラウニオン港寄港定航サービス

運航船社	平均船腹量 (TEU)	年間寄港回数	頻度
APL/Hamburg-Sud	1,324	52.0	週1回

表-11 エルサルバドル港湾に現在寄港している各コンテナ船社 が定航輸送サービス水準を現状から変更する際の選択肢

6041	船舶サイズ	年間寄港回数	
船社	(船腹量(TEU)および喫水)	(アカフトラ, ラウニオン)	
	1,240 (9m)	(104,0)	
	1,695 (10m, 初期値)	(52(西航),52(東航))	
Maersk	2,480 (11m)	(52(東航),52(西航))	
	3,350 (12m)*	(0, 104)	
	1,232 (9m, 初期値)	(26,0)	
MSC	1,790 (10m)	(52,0)	
MISC	2,480 (11m)	(52, 52)**	
	3,350 (12m)*	(0, 52)	
	1,240 (9m)	(52,0)	
NINTE	1,610(10m, 初期値)	(52(西航),52(東航))**	
NYK	2,480 (11m)	(52(東航),52(西航))**	
	3,350 (12m)*	(0,52)	
	1,118 (9m, 初期値)		
ADL (1)	1,790 (10m)	(52,0)	
APL(1)	2,480 (11m)	(0,52)	
	3,350 (12m)*		
CD 14 CCD 1/	1,790 (10m)	(52.0)	
CMA-CGM/	2,516(11m,初期值)	(52,0)	
CSCL/CCNI	3,350 (12m)*	(0,52)	
	1,790 (10m)	(22.1.0)	
CSAV	2,599(11m, 初期値)	(23.1,0)	
	3,350 (12m)*	(0, 23.1)	
	1,324 (9m, 初期值)		
APL(2)/	1,790 (10m)	(0,0)	
Hamburg-Sud	2,480 (11m)	(0,52)	
	3,350 (12m)*		

<sup>\*2030</sup>年かつラウニオンにのみ寄港する場合のみ選択可能 \*\* ラウニオン港に追加的に寄港(その他の選択肢はすべてアカフトラ港寄港の代替)

表-12 ラウニオン港においてトランシップ・サービスが提供される場合の選択肢

船	船舶サイズ(船腹量	年間寄港回数		
社	(TEU)および喫水)	(アカフトラ, ラウニオン)		
	2,480 (11m)*	104.0 (weekly, both direction)		
A/B	3,350 (12m)	East Asia - Lazaro Cardenas		
	4,230 (13m, initial)	- La Union - Miami - New York		
	2,480 (11m)*	52.0 (weekly)		
A	3,350 (12m)**	La Union, Corinto, Caldera, Balboa		

<sup>\*</sup> only in 2020, \*\* only in 2030

筆者らによるコンテナ運航船社へのインタビュー調査 によれば、コンテナ船社が需要の増加に対応する場合の 選択肢として、以下のような戦略が考えられる.

- 1) 頻度を増加させる. たとえば, 2週に1便であったものを週1便に, あるいは週1回の寄港であったものを東航・西航時の週2回立ち寄るようにするなど(表-9の Maersk の例).
- 当該地域の寄港地を増やす. たとえばエルサルバドルにおいて、アカフトラ・ラウニオン2港に寄港する等.
- 3) 船舶サイズを大型化する. この場合, もし当該港の水

深が不十分である場合には,近隣港湾にシフトする可能性がある.

以上をふまえ、各船社が現状のサービスレベルを変化させる場合に考えられ得る選択肢を表-11 に整理した。

#### b) トランシップ・ハブとしての追加寄港シナリオ

ラウニオン港のトランシップ・ハブとしてのポテンシャルを評価するため、表-12 に示すように、2 社の共同運航により東アジア(上海・香港・深センなど)と北米東岸(ニューヨーク、バージニア、サバンナ、マイアミ)を結ぶ基幹航路(平均船腹量 4,230 TEU、喫水-13m)がラウニオン港に寄港する例を考える。このサービスは、現行においては中米周辺地域ではメキシコのラザロ・カルデナス港にのみ寄港している。

東航の場合はラザロ・カルデナス港寄港の直後に、西航の場合はラザロ・カルデナス港寄港の直前に、ラウニオン港に追加的に寄港することを想定する. 現行のサービスへの追加寄港を想定するため、1)の MSC や NYK と同様、スケジュールがタイトになることを考慮し、ラウニオン港アクセス航路へ進入する際の期待待ち時間は0.2 時間を超えないように当該航路の船舶サイズを設定するものとする. すなわち、デフォルトのサイズ(平均船腹量4,230 TEU、喫水-13m)の船舶が入港するためには、ラウニオン港の航路水深は-14m以上必要となる.

同時に、これも表-13 に示すように、基幹航路の運航船社のうちの1社によって提供される、ラウニオン港で上記の基幹航路と接続して積み替えを行う新しいフィーダーサービスも設定する。事前の試行により、新しいフィーダーサービスは、ラウニオン港から東へ向かい、コリント、カルデラ両港を経由してパナマのバルボア港まで行って折り返すルートとする。ラウニオン港からアカフトラ、ケッツアル方面への西航のフィーダーサービスは、事前の試行的計算において十分な貨物量が確保できなかったため、今回は設定しない。

表-12 に示す基幹航路およびフィーダー航路をラウニオン港に就航させることを想定した A 船社は、現状においては中米太平洋岸地域に定航サービスは有していない(ため、表-9 には含まれていない). 今回の将来シナリオにおいて、このような船社によるラウニオン港の利用を想定した理由は、中米太平洋岸地域の海上コンテナ輸送市場に新規参入する船社の方が、ラウニオン港をトランシップ・ハブとして利用することの効果を明確に測ることができると考えられるためである.

#### c) 上記サービスの組み合わせによるシナリオ設定

コンテナ貨物配分モデルへの入力となる海上輸送ネットワークに関するシナリオは、上記で述べた各船社のサービスに関して取り得る選択肢の組み合わせとなる。ラ

ウニオン港のアクセス航路水深ごとに、各港へ入港可能な最大サイズの船舶を想定しつつ、10~15 くらいの組み合わせ(シナリオ)を設定する. 同時に、CA4 諸国の貨物輸送需要が増加していることを踏まえ、その需要を満たすように、上記のとおり各シナリオで個別にサイズを設定した船舶を除く、当該地域に就航するすべてのコンテナ船が、一定水準(平均船腹量 2,480 TEU、喫水-11m)まで大型化すると想定する.

#### (3) シミュレーション計算の実施および結果の検討

上記で述べた各シナリオごとに、モデル計算が行われる. 計算回数は、各年ごとに 100 回を超える. 計算結果を以下の観点から検討する.

- a) 計算の収束状況
- b) 各船社の貨物量(一定の貨物量を確保できるか)
- c) 各航路の消席率(あまりに小さすぎたり大きすぎたり しないか)
- d) 期待収入が追加的費用に対して小さすぎないか

結果として、2020年において用意された104のシナリオのうち23シナリオ(航路水深-9mから-14mまで含む)が、2030年においては用意された121のシナリオのうち22シナリオが、実現可能性のあるシナリオ(「実現可能シナリオ」)として採択された。ここで、各「実現可能シナリオ」が実際に実現する確率は、シナリオごとに異なると考えられ、「実現可能性の最も高い実現可能シナリオ」を選定することはできないことに注意が必要である。

もうひとつの留意点は、各シナリオは、アクセス航路の水深ごとに、当該水深の航路を航行可能な最大サイズの船舶を前提として設定されていることである。すなわち、ある航路水深のもとで、あるシナリオが実現可能であると判断された場合は、自動的に、それより深い航路水深のもとでも、当該シナリオが実現可能であることを意味する.

# (4) シミュレーション結果: 各実現可能シナリオごと のコンテナ貨物取扱量

2020年における、各航路水深における実現可能シナリオごとのラウニオン港およびアカフトラ港の実入りコンテナ貨物取扱量を図-12に示す。この図には、前節で整理したふたつのシナリオの大枠、すなわち a) 既存のフィーダーサービスや way-port サービスネットワークの修正シナリオ(航路水深-9~-12m)、および b) トランシップ・ハブとしての追加的船舶寄港シナリオ(航路水深-12~-14m)の両方の結果が含まれている。また、航路水深が-8m のときの「浚渫未実施シナリオ」の結果も図に示されている。

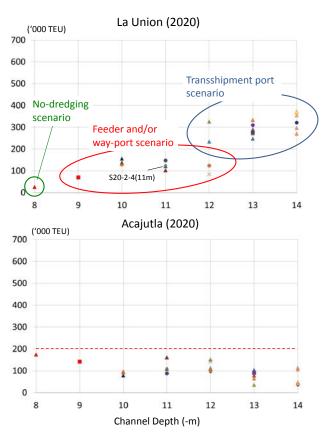


図-12 各実現可能シナリオにおける 2020 年実入りコンテナ貨物取扱量の予測値(上:ラウニオン港,下:アカフトラ港)

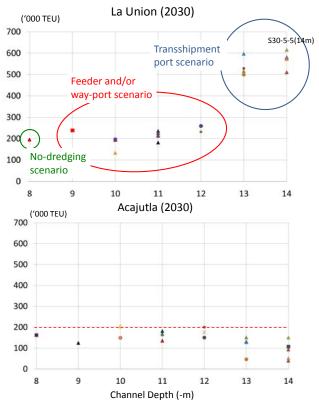


図-13 各実現可能シナリオにおける 2030 年実入りコンテナ貨物取扱量の予測値(上:ラウニオン港,下:アカフトラ港)

図より、アクセス航路の水深が深くなるにつれ、平均 的に見ればラウニオン港のコンテナ貨物取扱量は増加し ていく傾向が読み取れる.一方、アカフトラ港の取扱量 は、ラウニオン港の航路水深が増加するとやや減少する.

同様に、図-13 には 2030年の取扱量を示す. ここでも、ラウニオン港については図-12 に示される 2020年の結果と同様の傾向を示している. 一方で、ラウニオン港航路水深とアカフトラ港取扱量の関係は、2020年ほど明確ではない. これは、(1)b)で考慮したように、アカフトラ港においては、取扱容量に関する制約が存在することとも関係しているものと考えられる.

# (5) シミュレーション結果に基づくシナリオ別の港湾収入・経済便益と浚渫費用の比較

a) ラウニオン港コンテナ部門の収益と浚渫費用の比較 ここでは、ラウニオン港において推計される港湾収入 と航路浚渫費用を比較する.収入項目としては、船舶入 港料と荷役料金を、費用項目としては港湾取扱コストと 浚渫費用を考える.表-13に示す浚渫費用は、請負契約 による浚渫船を使用した場合の年間維持浚渫費用と再浚 渫費用(一年あたり費用に換算)が含まれている. 航路 の埋没に関する2種類のモデル(修正指数モデルおよび 線形モデル)ごとに、航路水深別に推計される. なお、 ラウニオン港アクセス航路における埋没予測モデルの推 計結果については、著者らにより別途投稿予定である.

各実行可能シナリオごとに算定された 2020 年と 2030 年のラウニオン港における浚渫費用を除く収益(収入の合計から港湾取扱費用を差し引いたもの), および浚渫費用を図-14 に示す. 図では, 各航路水深ごとに浚渫費用を除く収益が最大となる実現可能シナリオが包絡線で結ばれている. この包絡線より下部が, 実現可能な(浚渫費用を除く)収益の範囲を示している.

ラウニオン港コンテナ部門における財務上の最適水深は、純収益(浚渫費用を除く収益から浚渫費用を差し引いたもの)が最大となる水深であり、包絡線上の実現可能シナリオを対象とした場合、2020年および2030年の双方において、かつ線形モデルおよび修正指数モデルの双方において、現状の航路水深-8mが最大となる.2020年のケースでは、その場合でも純収益は負の値となる.

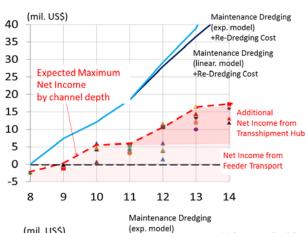
### b) エルサルバドル国コンテナ港湾部門の収益と浚渫費 用の比較

図-15 には、ラウニオン港だけでなくアカフトラ港の収益(港湾収入および取扱費用)も含めた、エルサルバドル国コンテナ港湾部門の収益(ラウニオン港航路浚渫費用を除く)と浚渫費用の関係を示す。なお、アカフトラ港の料金体系を表-17 に示す。この場合でも、包絡線上の実現可能シナリオを対象とした場合、2020 年およ

び 2030 年の双方において、かつ線形モデルおよび修正 指数モデルの双方において、航路水深-8m が最大となっ ている.

表-13 水深別航路浚渫費用 単位: 千ドル

埋没モデルのタイプ	8m(未浚)	巣シナリオ)	9m	10m
修正指数モデル	0		7,415	12,117
線形モデル	0		7,415	12,117
埋没モデルのタイプ	11m	12m	13m	14m
修正指数モデル	18,507	29,142	38,910	60,003
線形モデル	18,507	27,998	36,563	44,541



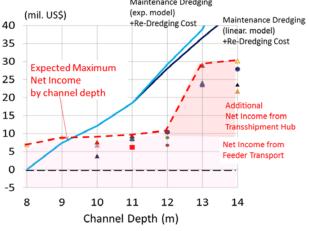
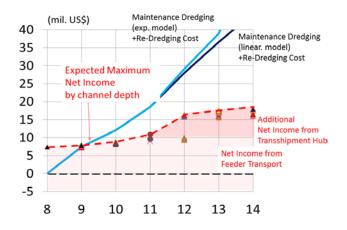


図-14 ラウニオン港コンテナ部門における航路水深別の浚渫 費用を除く収益と浚渫費用(上:2020年,下:2030年)



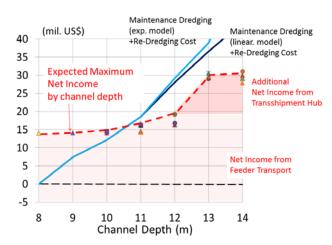


図-15 エルサルバドルコンテナ港湾部門におけるラウニオン港 航路水深別の浚渫費用を除く収益とラウニオン港における浚渫 費用(上:2020年,下:2030年)

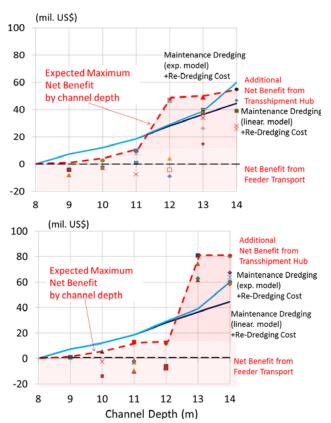


図-16 航路水深別の浚渫費用を除くエルサルバドル国における 経済便益とラウニオン港における浚渫費用(上:2020年, 下:2030年)

#### c) エルサルバドル国経済便益と浚渫費用の比較

エルサルバドル国コンテナ港湾部門の収益に加え,エルサルバドル国発着国際海上コンテナ貨物の輸送費用の増減も考慮した,エルサルバドル経済にとっての便益と浚渫費用を比較する.ここで,比較対象となる without シナリオとしては, 航路水深-8m の浚渫未実施シナリオを用いる. 航路水深-9m 以深の浚渫実施シナリオと浚渫

未実施シナリオの,エルサルバドル国コンテナ港湾部門の浚渫費用を除く港湾収益(b)で算出)およびエルサルバドル国発着国際海上コンテナ貨物の輸送費用の合計の差異を便益と定義し、これと浚渫費用を比較する.結果を図-16に示す。包絡線上の実現可能シナリオを対象とした場合、2種類の埋没予測モデルのいずれにおいても、2020年では-12mにおいて純便益(便益から浚渫費用を差し引いたもの)が最大となり、2030年では-13mにおいて最大となった。

### 8. モデルを用いたシミュレーション [3]: ラウニオン港の利用料金引き上げ時における将 来寄港シミュレーション (2020年, 2030年)

#### (1) シミュレーション概要

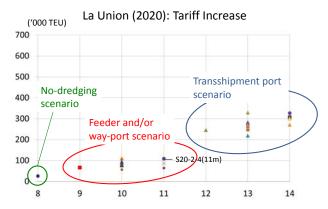
7.で見たように、ラウニオン港における現行の料金水準を前提とした場合には、ラウニオン港コンテナ部門の浚渫費用を除く収益は、ほとんどのシナリオにおいて浚渫費用を上回ることができず、赤字となる。現在ラウニオン港において進められているコンセッション契約(民間港湾運営企業への長期貸借契約)が締結された暁には、ラウニオン港のコンテナ取扱料金が引き上げられる見込みであることを踏まえ、ここでは、7.(2)で用意したすべてのシナリオに対して、現行の取扱料金 65.79 US\$/TEUから、約3倍弱の新料金 (185.76 US\$/TEU) に引き上げられたケースを想定し、再度モデル計算を行った。

#### (2) コンテナ貨物取扱量の推計結果

ラウニオン港料金引き上げケースにおける,2020 年のラウニオン港およびアカフトラ港のコンテナ貨物取扱量の推計結果を図-17 に示す.図-12 に示される料金値上げ前の結果と比較すると,航路水深ごとに推計されたラウニオン港のコンテナ貨物取扱量は小さくなってはいるものの,さほど大きな差とは言えない。また,アカフトラ港のコンテナ貨物取扱量はほとんど変化がない。

同様に、図-18に示される 2030年のラウニオン港およびアカフトラ港のコンテナ貨物取扱量の推計結果を見ても、図-13に示される料金値上げ前の結果と比較して、ラウニオン港のコンテナ貨物取扱量はやや小さくなっている一方で、アカフトラ港のコンテナ貨物取扱量は一部のシナリオでコンテナ取扱能力の上限(20万 TEU)を超える結果が推計されている.

以上の結果より、ラウニオン港の利用料金引き上げは、 ラウニオン港のコンテナ貨物取扱量に対して負の影響を 与えるものの、その影響はあまり大きくないということ が示唆される.



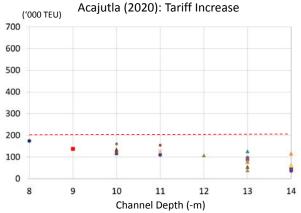
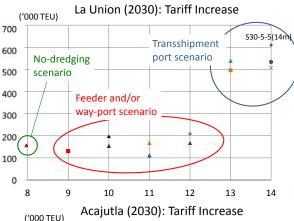


図-17 各実現可能シナリオにおける 2020 年実入りコンテナ貨物取扱量の予測値(ラウニオン港利用料金引き上げケース,

上: ラウニオン港,下: アカフトラ港)



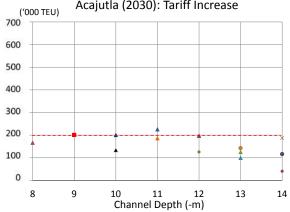
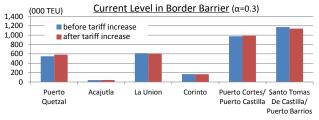


図-18 各実現可能シナリオにおける 2030 年実入りコンテナ貨物取扱量の予測値(ラウニオン港利用料金引き上げケース, 上:ラウニオン港,下:アカフトラ港)



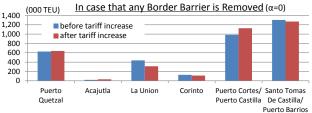


図-19 ラウニオン港利用料金引き上げがコンテナ貨物取扱量に 及ぼす影響の違い:国境抵抗現状ケース(上)および完全撤廃 ケース(下)(2030年-14m航路水深におけるシナリオの例)

港湾料金引き上げによる負のインパクトについてさらに検討するため、陸上輸送における越境輸送抵抗の有無に関するシミュレーションを行う。図-19 は、2030年の航路水深-14mにおける、あるシナリオ(S30-5-5(14m))のもとで、ラウニオン港料金引き上げが CA4 諸港のコンテナ貨物取扱量に及ぼす影響について、シミュレーション結果を整理したものである。現状の国境抵抗が維持された場合(トランジット輸送に関する補正係数  $\alpha=0$ 3)は、ラウニオン港利用料金の引き上げによる取扱量の減少はごくわずかにとどまるものの、もし国境抵抗が完全に撤廃された場合( $\alpha=0$ )は、両者の相違はより大きくなることがわかる。

### (3) シミュレーション結果に基づくシナリオ別の港湾 収入・経済便益と浚渫費用の比較

#### a) ラウニオン港コンテナ部門の収益と浚渫費用の比較

実現可能シナリオごとに推計された 2020 年と 2030 年 のラウニオン港コンテナ部門の浚渫費用を除く収益と浚渫費用を, 図-20 に示す。包絡線上の実現可能シナリオを対象とした場合, 2020 年においては、航路水深-13mのとき 2 種類の埋没予測モデルともに純収益が最大となる。2030 年の場合は、修正指数モデルを前提とした場合は-13m、線形モデルを前提とした場合は-14m において純収益が最大となる。

### b) エルサルバドル国コンテナ港湾部門の収益と浚渫費 用の比較

2020 年と 2030 年のエルサルバドル国コンテナ港湾部門における浚渫費用を除く収益と浚渫費用の関係を図21 に示す. 包絡線上の実現可能シナリオを対象とした場合, 2 種類の埋没モデルのどちらを前提とした場合でも, 2020 年においては航路水深が-12m のとき, また2030年においては-13mのとき, 純収益が最大となる.

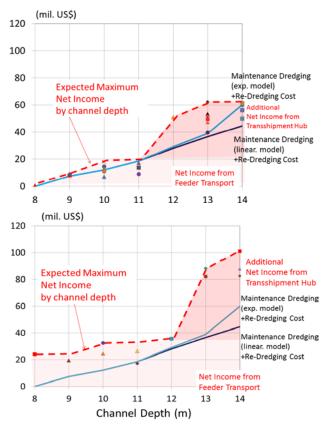


図-20 港湾料金引き上げケースにおけるラウニオン港コンテナ 部門の浚渫費用を除く収益および航路水深別浚渫費 (上:2020年,下:2030年)

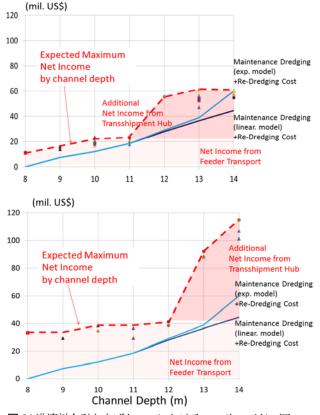


図-21 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル国コンテナ港湾部門の収益とラウニオン港における航路水深別浚渫費用(上:2020年,下:2030年)

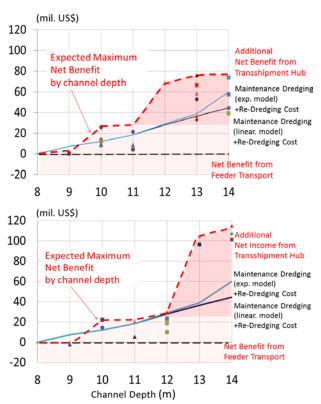


図-22 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル国便益 とラウニオン港における航路水深別浚渫費用 (上: 2020年,下: 2030年)

#### c) エルサルバドル国経済便益と浚渫費用の比較

2020 年と 2030 年のエルサルバドル国経済便益と浚渫費用の関係を図-22 に示す. 包絡線上の実現可能シナリオを対象とした場合, 2020 年においては, 2 種類の埋没モデルのどちらを前提とした場合でも航路水深が-12mのときに純便益が最大となり, また 2030 年においては,修正指数モデルを前提とした場合は-13m,線形モデルを前提とした場合は-14mで純便益が最大となる.

### (4) シミュレーション結果から得られる示唆

本章のシミュレーションにより, ラウニオン港の利用料金が引き上げられた場合には, 各航路水深において純収入が最大となるようなシナリオ(包絡線上の実現可能シナリオ)においては, 浚渫費用を除くラウニオン港コンテナ港湾部門の収益が浚渫費用を上回る結果となった. 前章における料金引き上げ前の赤字の状況と比較すれば, ラウニオン港の利用料金引き上げは, 当該港湾の財務的健全性を維持するためには必須ともいえる状況である.

また、現在の環境においては、利用料金の引き上げが 港湾取扱量に及ぼす影響は軽微であることもわかった. しかしながら、料金引き上げが近隣諸港に対するラウニ オン港の潜在的な競争力を弱めることに疑いはなく、た とえば図-19 で示した国境抵抗低減シナリオでは料金引 き上げによる取扱量の減少が大きくなっているように、 将来的に輸送市場がより自由化されるような状況では、 料金引き上げによる競争力の低下は、よりクリティカル となることが予想される.

#### 9. 結論

本稿では、取扱量は小規模ながらも基幹航路沿いに位置し、また航路網の異なる2つの大洋(カリブ海・太平洋)に挟まれた小国で構成されるという特徴を有する中米地域に着目し、筆者らが過去に構築した国際コンテナの海上ネットワーク配分モデルを陸上の国際背後輸送ネットワークまで含めた形で拡張したうえで、当該地域に適用した。推計されたパラメータのもとでのモデルの現状再現性がおおむね良好であることを確認したうえで、特にエルサルバドルの港湾(アカフトラ、ラウニオン)に着目した、現況および将来の寄港シミュレーションを実施した。将来シミュレーションの実施にあたっては、各船社の定航サービスネットワークに関する多くのシナリオを用意し、そのなかから計算結果等に基づき「実現可能シナリオ」を抽出した。

アクセス航路が長くまた水深維持のため継続的な浚渫が必要なラウニオン港のコンテナ港湾部門,アカフトラ港まで含めたエルサルバドル国全体のコンテナ港湾部門,また輸送費用削減効果も含めたエルサルバドル国経済全体を対象に,浚渫費用と船舶寄港により期待される経済効果を維持水深別に整理した.その結果,ラウニオン港の利用料金が現行の水準であるとした場合には,ほとんどのシナリオにおいて期待される収益や便益は,ラウニオン港アクセス航路の維持浚渫費用を下回る結果となった.一方で,現在実際に想定されている水準までラウニオン港の利用料金を引き上げた場合には,各航路水深においてラウニオン港コンテナ部門の純収入が最大となるようなシナリオにおいては,浚渫費用を除く収益が浚渫費用を上回る結果を得た.

また、本稿で想定した将来定航サービスネットワークに関するラウニオン寄港のシナリオは、アカフトラ港に現在寄港しているようなフィーダーサービスやway-portサービスの改善だけでなく、基幹航路の寄港についても含まれていた。これらラウニオン港のトランシップ・ハブ化シナリオのうちのいくつかは実現可能と判定され、またこの場合はエルサルバドル経済にとっても有益であることが示された。しかしながら、浚渫によってアクセス航路が増深された場合に必ずトランシップ・ハブが実現するわけではないということには留意すべきである。トランシップ・ハブ実現のためには、基幹航路に就航する母船を惹きつけるための様々な努力が必要となる。

なお、本研究で構築したモデルは、今後、世界の他地域にも適用していく予定である。すでにカンボジアを中心としたメコン下流地域についてはシミュレーションを実施済みであり、別の機会に報告する予定<sup>5)</sup>である。

#### 付録 海上輸送サブモデルにおける輸送費用算出

海上輸送サブモデルは、4.(1)a)で説明した MDS データから構築した定航サービス輸送ネットワーク上で、コンテナ貨物を配分する問題として定義される <sup>1)</sup>. 各定航サービスは、港湾間の航行を表す航走リンクおよび港湾内での待機を表す停泊リンクで交互に構成される. 同一船社のサービスは、荷卸、積込、積替の各リンクで結節されている. 当該港湾が輸出港・輸入港である貨物は、船社選択リンクを経て O ノードまたは D ノードと結ばれる.

このサブモデルでは、既存文献  $^{1}$ と同様に、所要時間 のみの最小化を目的関数として利用者均衡配分問題を解いているものの、3.(2)で示した海上輸送運賃の計算のため、3.(2)の(8)式に示すように、サブモデル内で同時に海上輸送コストも算出する必要がある。以下に各リンク a における 1TEU あたり輸送コスト  $c_a$ の定義式を示す。

#### (1) 航行リンク

航行リンクにおける費用としては、海上輸送における 燃料費、資本費(船費)、その他運航費(変動費)、お よび運河通航料金を考慮する.

$$c_m(x_a) = \left\{ \left( FC_a + CC_a + OC_a \right) \cdot \frac{l_a/v_a}{24} + CT_a \right\} / \frac{x_a}{freq_a} \quad (A1)$$

ここで、 $FC_a$ : コンテナ船1隻あたりの燃料費(US\$/隻/日), $CC_a$ : コンテナ船の船費(US\$/隻/日), $CC_a$ : コンテナ船のその他運航費(US\$/隻/日), $CT_a$ : パナマ運河およびスエズ運河通航料金(US\$/隻)である.  $x_d$ freqaは,コンテナ船1隻あたりの平均輸送コンテナ量(TEU/隻)を表している.

燃料費 FCaは以下の通りに定義される.

$$FC_a = FP \cdot FR_a \cdot \frac{cap_a}{Vcap_a} \tag{A2}$$

ここで,FP: 燃料価格(US\$/ton,2010 年平均価格として FP = 587.0 と設定), $FR_a$ : コンテナ船の燃費(ton/日), $Vcap_a$ : コンテナ船のサイズ(TEU/隻)である.ここで,複数船社の共同運航,またはスロットチャーターの船社がある場合には, $Vcap_a$  と各船社の一隻あたりキャパシティ  $cap_a$  が異なることに注意が必要である.燃費  $FR_a$  は海洋工学上の知見に基づき,以下のように想定される.

$$FR_a = \frac{6.49 * DWT_a^{\frac{2}{3}} \cdot v_a^{3}}{10^6}$$
 (A3)

ここで  $DWT_a$ : 船舶の DWT であり、ここでは以下の式で近似する.

$$DWT_a = 11.89 \cdot Vcap_a + 4414.0$$
 (A4)

船費 CCaは、以下のように定義される.

$$CC_a = SP_a \cdot \frac{ir}{\left\{1 - \left(1 + ir\right)^{-PP}\right\}} \cdot \frac{1}{365 \cdot ODR} \cdot \frac{cap_a}{Vcap_a}$$
 (A5)

ここで, $SP_a$ : コンテナ船の船価(US\$/隻),ir: 利子率(ここではir = 0.02 と想定),PP: 償却年数(ここではPP = 15年と想定),ODR: 年間稼働率(ここではODR = 0.9 と想定,すなわち,年間 365\*0.9=329 日稼働と想定)である。ir/{1-(1+ir)ir}は複利計算下での年間支払率である。コンテナ船の船価  $SP_a$ は Drewryに基づき以下の通り設定する.

$$SP_a = (0.0099 \cdot Vcap_a + 8.0) \cdot 10^6$$
 (A6)

コンテナ船のその他運航コスト $CC_a$ は、人件費、保険、開発・営業費などから構成され、Drewryに基づき以下の通り設定する.

$$OC_a = (0.7915 \cdot Vcap_a + 4276.0) \cdot \frac{cap_a}{Vcap}$$
 (A7)

1隻あたりの運河通航料 $CT_a$ は以下の通り設定する.

$$CT_a = 72.0 \cdot \frac{x_a}{freq_a}$$
 (パナマ運河) (A8)

$$CT_a = SDRrate \cdot (\beta_1 \cdot scrnt_a + \beta_2)$$
 (スエズ運河) (A9)

ここで、SDRrate: スエズ運河通航料徴収において用いられる通貨単位 SDR への変換率(ここでは 2010 年の平均値として SDRrate=1.5 US\$と設定), $scmt_a:$  コンテナ船のスエズ運河純トン, $\beta_1,\beta_2:$  スエズ運河庁によって定められる係数である.パナマ運河の通航料はコンテナ単位(72.0 US\$/TEU)で定められているのに対し,スエズ運河の通航料は船舶単位で定められており,船舶サイズが大きくなるほど 1TEU あたりの通航料は小さくなることに注意が必要である.スエズ運河純トン  $scmt_a$  は以下の式で定義される.

$$scrnt_a = 10.92 \cdot Vcap_a - 1137.0$$
 (A10)

#### (2) 積込・荷卸・積替・船社選択リンク

これらのリンクにおいては、港湾荷役料金 *THC<sub>a</sub>*を考慮する必要がある.ここで、積替時の荷役料金は、積込・荷卸時の荷役料金の2倍よりは小さいという現状を反映するため、以下のように設定する.

$$c_{i}(x_{a}) = SSN, c_{u}(x_{a}) = SSN$$
 (A11), (A12)

$$c_r(x_a) = 1.5 \cdot CHC_a$$
,  $c_c(x_a) = CHC_a$  (A13), (A14)

ここで、 $c_l$ : 積込リンクのコスト関数(US\$/TEU)、 $c_u$ : 荷卸リンクのコスト関数(US\$/TEU), $c_r$ : 積替リンクのコスト関数(US\$/TEU), $c_c$ : 船社選択リンクのコスト関数(US\$/TEU), $c_s$ : 船社選択リンクのコスト関数(US\$/TEU), $c_s$ : 船社選択リンクのコスト関数(US\$/TEU), $c_s$ : 船社選択リンクのコスト関数(US\$/TEU)である。積替リンクにマイナスのコストを付与することはできないので,積込・荷卸リンクではなく,船社選択リンクにおいて積込・荷卸時の荷役料金を付与する。

#### 参考文献

- 1) 柴崎隆一,東俊夫,渡部富博,鳥海重喜:船舶寄港 データベースに基づくコンテナ貨物配分モデルによ る世界主要港湾のトランシップ貨物量の推計,土木 計画学研究・講演集,No.47,2013.
- 2) Lacayo, M., Romero, J., Callejas, P., Canales, M., Castillo, A., Kadono, T. and Shibasaki, R.: Analysis on Changes of Container Market Share among Central American Ports Caused by Salvadoran Port Development, proceedings of the 33rd PIANC World Congress, San Francisco, USA, 2014. (掲載決定済)
- 3) 柴崎隆一,渡部富博,家田仁:船社・荷主の最適行動を考慮した国際海上コンテナ輸送の大規模シミュレーション,67(4),pp.455-474,土木学会論文集D3,2011.
- Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma (CEPA): A Report for the Project for Improvement of Port Operation and Management in the Republic of El Salvador
- 5) Shibasaki, R., Suzuki, M., and Shishido, T.: Intermodal Freight Simulation in Southern Mekong Region: Route Choice Model for International Container Shipping, the 5th International Conference on Transportation and Logistics (TLOG 2014), Bangkok, Thailand, 2014. (投稿中)

(2014.4.25 受付)

A VESSEL CALLING SIMULATION IN CENTRAL AMERICA USING INTERMODAL SHIPPING NETWORK MODEL OF INTERNATIONAAL CONTAINER CARGO FOCUSING ON THE NAVIGABLE DEPTH OF PORT AND CHANNEL

Ryuichi SHIBASAKI, Taiji KAWAKAMI, Yoshimoto KOYANAGI, Takayuki IIJIMA and Takashi KADONO