

エルサルバドル共和国  
空港・港湾運営自治委員会 (CEPA)

# エルサルバドル共和国 ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクト

## ファイナルレポート (要約版)

平成 26 年 6 月  
(2014 年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

株式会社 エコー

基盤
JR
14-017



エルサルバドル共和国  
空港・港湾運営自治委員会 (CEPA)

# エルサルバドル共和国 ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクト

## ファイナルレポート (要約版)

平成 26 年 6 月  
(2014 年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)

株式会社 エコー



略 語 表

ALMOB	Automatic Light Mixture Overboard
C.D.L.	Chart Datum Level
CA4	Four Central American countries:El Salvador, Guatemala, Honduras and Nicaragua
CA5	Five Central American countries:El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua and Costa Rica
CEPA	Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma or Executive Autonomous Port Commission of the Republic of El Salvador
CNR	National Registration Center of the Republic of El Salvador
COCATRAM	Comisión Centroamericana de Transporte Marítimo (The Central American Commission on Maritime Transport)
CPN	Comision Portuaria Nacional Guatemala (Guatemala National Port Commission)
D.L.	Datum Level
ECOH	Environmental Consultants for Ocean and Human
EPN	Empresa Portuaria Nacional (Nicaragua National Port Company)
EPQ	Empresa Portuaria Quetzal (Quetzal Port Company)
GPS	Global Positioning System
GVD	Geodetic Vertical Datum
JBIC	Japan Bank for International Cooperation
JICA	Japan International Cooperation Agency
JSCE	Japan Society of Civil Engineers
LMOB	Lean Mixture Overboard
LOA	Length overall
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
MLLW	Mean Low Low Water
MLW	Mean Low Water
MSL	Mean Sea Level
NAD27	North American Datum of 1927
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration United States Department of Commerce
OCDI	The Overseas Coastal area Development Institute
OD	Origin-Destination
PIANC	World Association for Waterborne Transport Infrastructure
SAPI	Study on Special Assistance for Project Implementation
SIECA	La Secretaría de Integración Económica Centroamericana (The Secretariat of Central American Economic Integration)
TDS	Tons Dry Solid
TOR	Terms of Reference
TSHD	Trailing Suction Hopper Dredger
TSS	Total Suspension Solid
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
USA	United States of America

USDA	U.S. Department of Agriculture
VBA	Visual Basic for Applications
WGS84	World Geodetic System 1984
WID	Water Injection Dredging

## 要 約





# 要 約

## 第 1 章 序論

エルサルバドル国はラ・ウニオン県に新港を建設することを決め、日本に対して港建設のマスタープランの準備とフィジビリティ調査を要請してきた。この要請に対して日本政府は、国際協力機構（以降、JICA）による 1997 年 10 月から 1998 年 12 月の間のフィジビリティ調査ならびのその報告書の提出によって応えた。この調査に引き続き、2001 年 7 月から 2003 年 1 月の間に、港の詳細設計が行われた。ラ・ウニオン港の建設は 2005 年 4 月に始まり、土木関連工事は 2008 年 12 月までに完了した（図 1.1 参照）。

延長 22.3 km のアクセス航路の初期浚渫を行っていた 2007 年に、内港航路と外港航路および泊地で多量の埋没が生じていることが明らかになった。航路埋没は開港後のスムーズな港湾運営を脅かす恐れがあったので、エルサルバドル政府と日本政府は、2008 年 7 月に急速な航路埋没の調査の必要性について協議し、両者は「ラ・ウニオン港開発事業に係る案件実施支援調査（SAPI）」の実施について合意した。SAPI 調査は JICA が担当し 2008 年 11 月から 2009 年 11 月の期間に実施された（図 1.1 参照）。

SAPI 調査によって、航路埋没は浮泥がより深いところへとゆっくりとズレ落ちていくことが原因であることが分かった。しかしながら、継続的な深淺測量の回数に限りがあることや、調査の期間が比較的短かったため、予測された埋没量の精度は信頼おける維持浚渫量を推定するには十分ではなかった。

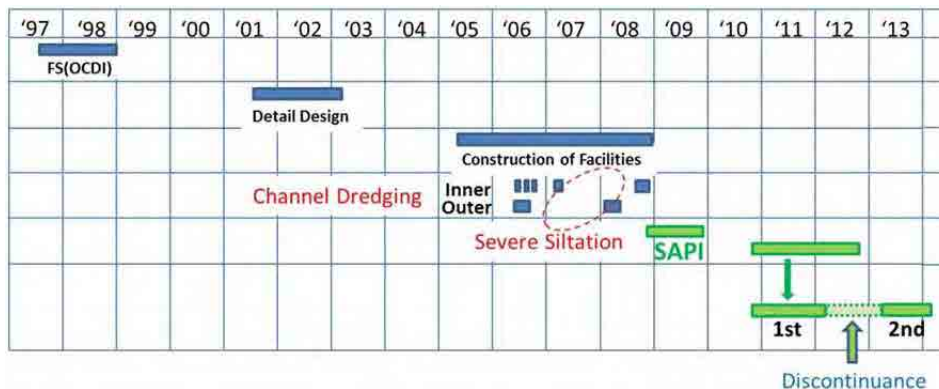


図 1.1 ラ・ウニオン港の歴史

大水深港湾としての港湾機能を適切に発揮するためには、浚渫コストだけでなく浚渫方法も財政活力にとって極めて重大な事項であり順調なターミナル運営のキー要因となる。そこで、CEPA は再び JICA に効果的かつ効率的な維持浚渫計画の策定を要請した。JICA と CEPA の議決に従って、JICA は第 1 年次調査団を 2011 年 1 月に派遣し、2012 年の 5 月までの約 1 年 4 か月にわたり一連の深淺測量とデータ解析を実施した。

調査と分析の結果、将来の船便の詳細な分析、詳細な需要予測および試浚渫のデータが効果的な維持浚渫計画の策定に必要不可欠であることが分かった。そこで、JICA と CEPA は、第 2 年次調査の開始に先立ち、ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクトに関する TOR を改訂することを協議し合意した。第 2 年次調査では、現状および将来の最適航路水深を技術的・財政的そして経済的に分析するために、工学的（技術的）課題だけでなく経済学的課題についても調査範囲に含めた。約 1 年間の中断の後、第 2 年次の調査が 2013 年 4 月に再開した。

第1年次および第2年次の調査目的は以下の3項目である。

- (1) 港の効率的で効果的な維持浚渫計画を策定するために、CEPA が持っているデータ、情報、解析などを活用する。
- (2) 航路・泊地の埋没を処理するための技術を移転する
- (3) 収集データと解析結果に基づき CEPA が行う浚渫計画の策定を支援する

第2年次調査団は、工学チームと経済チームの二つの副調査団で構成された。第2年次調査の適切な実施のために、JICA 本部に国内支援委員会が設置され工学チームを学術的技術的観点で支援し助言をおこなった。

## 第2章 技術移転

1年次調査では、CEPA 職員に対する技術研修を、2011年11月12日～12月9日の間に日本で実施した。二人の技術者がこの研修に参加し、浚渫作業の運営と管理、深淺測量の方法、潮位予測等について研修した。

2年次調査では、工学チームはカウンターパートや随時の参加者に対して、述べ12回の講義、演習、議論、OJT等を通じて技術移転を行った。移転された技術には深淺測量、潮位予測、潮位補正等に関する事項、航路埋没過程とその機構、レイキ浚渫、航路埋没量の経験的予測モデル、航路埋没のモニタリング方法、半円形人工島の影響、浚渫船のタイプ等が含まれている。

エコノミックチームは、16回の講義・ディスカッションを通じてカウンターパートおよびその他の参加者に対して技術移転を行った。その内容は、船舶寄港モデル、中米におけるコンテナ輸送の現状、ラ・ウニオン港および近隣諸港の料金水準についての確認、ラ・ウニオン港の潮位変化による期待待ち時間、港湾周辺地域における産業開発と港湾計画や誘致の関係などであった。

2013年8月27日にCEPA本部において、“Special Technical Assistance for Maintenance Dredging of the Port of La Union in the Republic of El Salvador”のタイトルのもとで、ワークショップを開催した。参加者は、CEPA側から17名、日本側から4名、JICA調査団から7名、JICAエルサルバドル事務所から4名であった。

## 第3章 現地調査とその成果

深淺測量や底質採取等の現地調査が、第1年次調査で実施された。

深淺測量は、2011年2月、2011年8月、2012年1月の3回実施した。得られた深淺データに基づいて、基本解析を行った。その結果、ラ・ウニオン港の延長22.3kmの航路は、かつてはD.L.-14mまで浚渫されていたが、現在はほとんど浚渫前の元の状態まで埋没してしまっており、航路としての水深は維持されていないことが分かった。

初期浚渫後約2年が経過した時に採取した底質を分析した結果、湿潤密度 $1,200 \text{ kg/m}^3$ 以下の浮泥層が、外港航路では0.5m、内港航路では1.0mの厚さで形成されていた。

航路内の浮泥層は比較的長期間にわたって存在する。このことは、維持浚渫計画に浮泥層の存在を考慮に入れると、維持浚渫量を少なくすることが可能であることを示唆している。

現地における調査団の経験に基づいて判断すると、周波数200kHzの測深機は浮泥層の上面を検知していると考えられる。したがって、船舶の航行が可能な水深は、周波数200kHzの音響測深機で測定した水深より、浮泥層の厚さだけ深いと考えられる。

## 第4章 航路埋没過程の解析と予測モデル

最初に、深浅測量のデータに基づいて指数関数型の経験的予測モデルを組み立てる。

次に、深浅データの解析を通じて航路埋没の過程と機構を明らかにする。解析結果に基づいて、原型の指数モデルの改良を行った。この新しいモデルを修正指数モデルと名付けた。

さらに、浚渫後数カ月以内に短期間に急激な埋没が生じることが明らかになった。急激な埋没は維持浚渫を継続している期間中は生じない可能性があることを考慮に入れて第二の予測モデルを構築した。このモデルを線形モデルと名付けた。

現在、修正指数モデルで予測した航路埋没量と線形モデルで予測した量の間には違いがある。前者で予測した埋没量は後者のそれより多い。後者はいまだ検証されていない仮説に基づいて組み立てられているので、その仮説が実測データで証明されるまでは現地適用を控えなければならない。

## 第5章 維持浚渫量と浚渫コストの見積もり

第5章では、第4章で構築した2つの予測モデルを使用して、維持浚渫量を見積もる。

現在、泊地、内港航路および外港航路はほとんど元の状態まで埋没している。最初に泊地と航路は再浚渫が必要である。航路維持目標水深9 m～14 mの範囲で1 mごとに、2013年7月測量の最新深浅図に基づいて再浚渫量を計算した。その結果を、表5.1にまとめた。

表 5.1 再浚渫量 (単位 : 1000 m<sup>3</sup>)

水深 (m)	外港水路	内港水路	泊地	総計
9.0	0	895	0	895
10.0	25	1,535	59	1,619
11.0	404	2,215	344	2,964
12.0	1,161	2,936	798	4,895
13.0	2,284	3,696	1,471	7,452
14.0	3,882	4,496	2,186	10,565

維持浚渫量は6種類の航路維持目標水深、つまり9、10、11、12、13、14 mについて計算した。サイクル時間、つまり連続する維持浚渫の実施間隔、は3、4、6、12カ月を想定した。ある航路維持水深であるサイクル時間のときの航路維持浚渫量を、修正指数もでると線形モデルで見積もった。計算においては、浮泥の層厚を考慮に入れた。見積もりの結果を図5.7に示す。

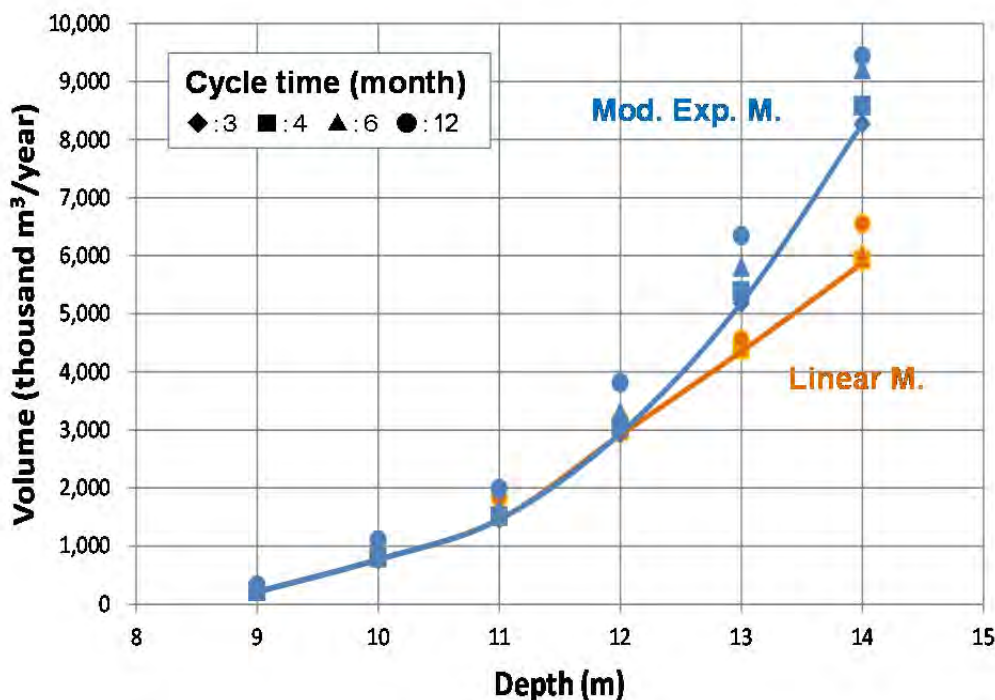


図 5.7 維持水深別の航路維持浚渫量

TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger) がラ・ユニオン港の再浚渫および維持浚渫に適しているという結果になった。というのは、4つのタイプの浚渫船の中で、TSHD が通航船舶に対する影響が最も少なく、生産性 (productivity) と費用効果 (cost efficiency) が最も高かったからである。

自船で浚渫を行うコストの方が外注契約で浚渫を行うコストより安く見積もられた。なぜなら、両者の直接費はほぼ同じであったが、自船浚渫の間接費が契約浚渫のそれよりはるかに安かったからである。契約浚渫の間接費は回航費、保険費、コンティンジェンシーに関する費用 (雑費) のほかに多くの種類の費用を含んでいる。これに対して、CEPA が考えている自船浚渫の間接費は、回航費、保険費、コンティンジェンシーだけである。しかしながら、以下の理由で、浚渫体制について、契約浚渫と自船浚渫のコスト比較だけで議論することは適切ではない。

もし CEPA が自前で浚渫船を保有すると、CEPA が現在考えている以上のかかりの費用がかかる。そして、浚渫作業を支援するための船団や施設は、長い経験とノウハウの蓄積があって初めて有効に機能する。コストとは別に、浚渫船の船員の訓練や教育等の課題もある。

さらに、浚渫船を調達する前に浚渫船の大きさと容量を設計するために航路埋没量を正確に予測する必要がある。しかし、本調査で開発した航路埋没量予測モデルは必ずしも十分信頼できるものではなく、今後、航路の埋没状況のモニタリングを通じてモデルの改良を行うことが必要である。

加えて、ラ・ユニオン港の発展と関連して目標維持水深が大きくなることに対して自船を保有することは、柔軟な対応が極めて困難になる。この問題は、(予測モデルの精度向上と違って) 将来にわたって継続する。

以上のことから判断して、航路の維持浚渫をある期間は契約ベースで行うことを提案する。

## 第6章 モニタリング計画の提案

第4章で構築した2つの埋没量予測モデルは、質的にも量的にも必ずしも十分でない深淺データに基づいている。さらに線形モデルは、検証されていない仮説を根拠としている。深淺測量によって航路水深をモニタリングすることが、モデルの予測精度を向上させまた線形モデルの維持浚渫に対する適用性を高める唯一の方法である。これが、モニタリングの第一の目的である。第二の目的は、浚渫直後の急激な埋没現象の確認である。

モニタリング計画は、CEPA自身が所有している装置を用いて自らが深淺測量を実施することを前提にしている。

第一の目的に対しては、泊地および航路における深淺測量を再浚渫の直前と直後に行わなければならない。その後は、深淺測量を2カ月程度の間隔（可能ならば1か月間隔）で繰り返す。第二の目的に対しては、まず深淺測量を再浚渫終了直後に実施する。その後、深淺測量を2週間の間隔で数か月間継続することを勧める。深淺測量は、浮泥の厚さの目安を知るために、常に38 kHzと200 kHzの二つの周波数の超音波を同時に使用しなければならない。

浚渫の記録や入出港する船舶に関する記録も同時に収集する。

## 第7章 CEPAが構築した将来需要予測モデルと市場配分モデルのレビュー

本章では、CEPAが構築した将来需要予測モデルおよび市場配分モデルのレビューを行った。

エルサルバドル、グアテマラ、ホンジュラス、ニカラグアのCA4諸国を発着するコンテナ貨物の将来伸び率については、CEPAが構築した将来需要予測モデルにおける推計結果を、そのまま次章以降の将来シミュレーションにおけるインプットとして利用した。

市場配分モデルについては、本モデルがCA4地域内の背後輸送にフォーカスした貨物配分モデルであり、海上輸送については考慮されてはいるものの不十分であることから、次章以降ではOCDI既構築の海上輸送モデルに、本市場配分モデルにおける陸上輸送部分の取扱い（ネットワーク構造、入力データなど）をほぼ踏襲したネットワークを追加した、インターモーダル輸送ネットワーク上の配分モデルを構築することとした。

## 第8章 船舶寄港モデル

本章の主眼は、ラ・ウニオン港の財務・経済分析を行うために必要な船舶寄港モデルを構築することにある。

そのため、はじめに、8.1節および8.2節において、エルサルバドルの諸港（アカフトラ、ラ・ウニオン）および中米5か国の主要港湾の現状を整理した。モデル構築にあたって必要となる取扱量などの経済的側面だけでなく、取扱能力に影響する各港の物理条件についても簡単に整理した。特に、その取扱容量がラ・ウニオン港の将来取扱量に大きな影響を与えるものと考えられることから、アカフトラ港の物理条件は重要なファクターと考えられる。

次に、8.3節において、中米太平洋岸に寄港する海上コンテナ輸送船社の戦略に関する分析・考察を行った。これもモデル構築や結果の検討にあたって重要な情報となるものである。ここでは、コンテナ船舶動静データに基づく船社別の定航サービス・ネットワークを作成し、変化を観察するというアプローチ（8.3.2）と、船社や関係者へのインタビュー調査（8.3.3）という2つのアプローチを併用した。

章の残りの部分では、船舶寄港モデルの概要および結果について説明した。最初に8.4節にお

いてモデル全般の概要を述べた後、船社の行動、コンテナ貨物配分モデル、入力データというモデルを構成する各要素について述べた。

8.5 節で示した海上コンテナ輸送ネットワーク（定航サービス・ネットワーク）は、船社の行動を理解するための基本情報として肝要である。ここでは、コンテナ船舶動静データに基づき、世界の 28 のコンテナ船社および 165 の港湾を対象とし、809 の定航サービスを含んだネットワークを構築した。

8.6 節で述べたコンテナ貨物配分モデルは、船舶寄港モデルの核となる部分である。確率的ネットワーク配分モデルを応用し、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上で、金銭費用と輸送時間の両方を考慮した一般化費用に基づき、コンテナ貨物の配分を行うものである。

8.7 節で述べた入力データも、船舶寄港モデルにとっては重要な要素である。なかでも最も重要なのは、港湾間および地域（ゾーン）間のコンテナ貨物輸送需要（コンテナ貨物 OD）である。これは、国間のコンテナ貨物 OD データや、地域経済・貿易・港湾貨物に関する様々な統計情報を組み合わせて推計するものである。同様に、陸上および海上輸送ネットワークにおける物理距離や輸送費用、陸上輸送における越境費用・時間などの情報も必要である。

本章の最終節（8.8 節）においては、コンテナ貨物配分モデルの計算結果を示した。計算手順とモデルに含まれる未知パラメータ（時間価値、分散パラメータ、トランジット輸送に関する補正係数）の推定結果を示した後、CA4 諸港の港湾取扱量およびその相手地域別内訳や船社内訳、CA4 諸国発着貨物の輸出入利用港湾の内訳、各定航サービスごとの輸送量などの観点からモデルの再現性を検討した。くわえて、推定された未知パラメータの大小による CA4 諸港における港湾取扱量推計値の相違についても検討した。

結果として、コンテナ貨物配分モデルは、CA4 諸国における現状の国際コンテナ貨物輸送をおおむね再現できていること、また入力を変化させた場合の反応もおおむね合理的であることを確認した。

## 第 9 章 ラ・ウニオン港への船舶寄港と経済分析

第 9 章は、主として船舶寄港モデルのアウトプットに焦点をあてる。

本章の最初のパート（9.1 節）では、ラ・ウニオン港における現行のアクセス航路およびその航行規則の現状について整理し、新しい航行規則を提案した。現行規則だけでなく、新しい規則に基づいた、船舶がアクセス航路に進入する際に生じる期待待ち時間を算出した。その結果、現行規則は、小型船が水深の浅い航路を航行するという現状においては有効であるものの、航路が増深され、様々なサイズの船舶が航行する状況を想定した場合には、新しい航行規則との期待待ち時間の差異は大きくなることがわかった。このため、航路が増深された場合には新しい航行規則の導入が必要である。

続く 9.2 節では、2020 年および 2030 年の将来定航サービス・ネットワークに関する多くのシナリオを用意し、そのなかからいくつかの基準に基づき実現可能性のあるシナリオを各年ごとに抽出した。図 9.12 および図 9.13 に、船舶寄港モデルによって航路水深ごとの実現可能シナリオごとに推計された、2020 年および 2030 年におけるラ・ウニオン港のコンテナ取扱量の予測値を示す。図には、1) 既存のフィーダーサービスやウェイポート（途中寄港）サービスのネットワーク修正シナリオ（航路水深-9~-12 m）、および 2) 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、本図より、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。

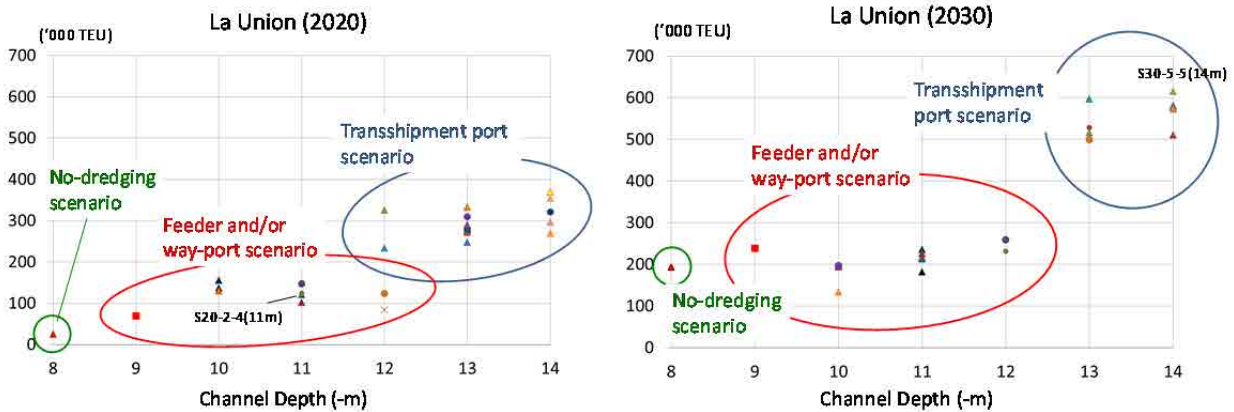


図 9.12 & 9.13 各実現可能シナリオにおける 2020 年および 2030 年のラ・ウニオン港コンテナ貨物取扱量の予測値

9.3 節においては、船舶寄港モデルによって推計されたコンテナ貨物取扱量等の出力をもとに、ラ・ウニオン港コンテナ部門における浚渫費用を除く純収入（港湾の期待収入からコンテナオペレーションコストを差し引くことによって得られる）、エルサルバドル国の港湾セクター（すなわち、アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計）コンテナ部門におけるラ・ウニオン港浚渫費用を除く純収入、およびエルサルバドル経済にとってのラ・ウニオン港浚渫プロジェクトの浚渫費用を除く純便益（浚渫実施シナリオにおけるラ・ウニオン港・アカフトラ港の純収益の合計及びエルサルバドルの輸出入貨物輸送費用と、浚渫未実施シナリオとの差分）を算出し、水深別に浚渫費用との比較を行った。ラ・ウニオン港の財務的観点から言えば、図 9.18 および図 9.19 に示すように、ラ・ウニオン港の利用料金が現行の水準のままである場合、どの航路水深においても浚渫費用を除く純収入は浚渫費用を常に下回ることがわかった。

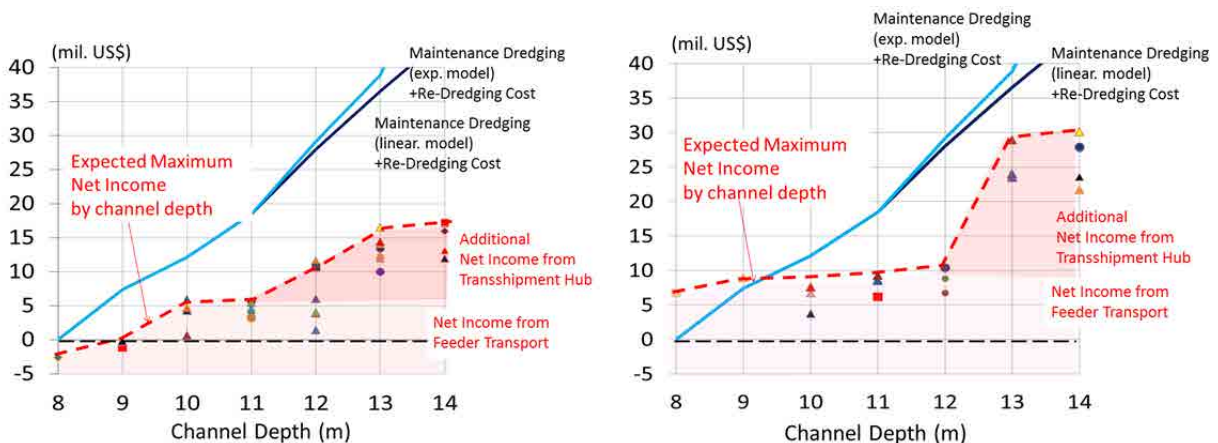


図 9.18 & 9.19 ラ・ウニオン港における航路水深別の純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（左：2020 年、右：2030 年）

一方で、9.4 節に示したように、ラ・ウニオン港の利用料金が引き上げられた場合には、各水深において純収入が最大となるようなシナリオにおいては、浚渫費用を除く純収入が浚渫費用を上回る結果となった（図 9.24 および図 9.25 参照）。すなわち、ラ・ウニオン港の利用料金引き上げは、財務的健全性を維持するためには必要不可欠であることが示唆される。しかしながら、料金引き上げは、近隣諸港に対するラ・ウニオン港の競争力を弱め、コンテナ取扱量を減少させる方向に働くだらう。特に、9.2.3(3)で示したような国境抵抗低減シナリオなどのように、将来的に輸送市場がより自由化される場合には、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だろう。

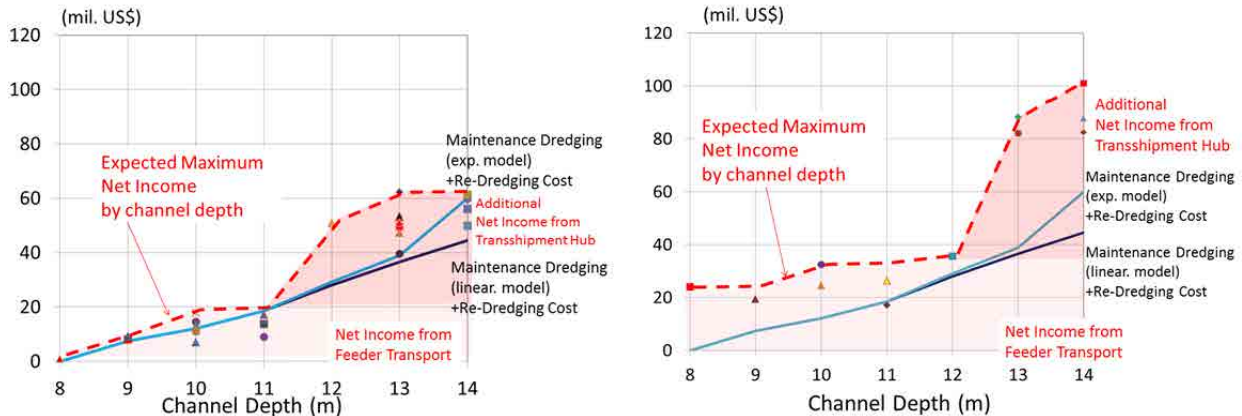


図 9.24 & 9.25 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および航路水深別浚渫費（左：2020年、右：2030年）

本章で実施したシミュレーションから得られたもう一つの重要な示唆は、将来定航サービス・ネットワークに関するラ・ウニオン寄港の実現可能シナリオとして、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ウェイポートサービスのネットワーク改善シナリオだけでなく、ラ・ウニオン港のトランシップ・ハブ化シナリオのうちいくつかも実現可能とされた点である（その結果は既に図 9.12 および図 9.13 などに示されている）。さらにこの場合には、エルサルバドル経済にとっても非常に有益である。しかしながら、留意すべき点は、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になる。

さらに本章から得られる最後の知見として、エルサルバドル国東部の地域開発が進展した場合には、ラ・ウニオン港のコンテナ取扱量や収入の増加に直結するということである（9.2.3(3)2) および 9.4.4)。当初計画通り、ラ・ウニオン港と背後のエルサルバドル東部地域の開発が一体的に実施されることが、将来のラ・ウニオン港の発展において重要な鍵を握っている。

## 第 10 章 需要と費用の連続変化を考慮した浚渫計画

第 10 章は、各年の収入、便益、浚渫費用を考慮した時系列分析の方法を提案した。

また、浚渫を行う最適タイミングに関する議論を行うため、具体的な試算を行った。初回および 2 回目の再浚渫における目標維持水深の組み合わせごとに、浚渫開始の最適年次やその際の純便益の計算を行った。計算にあたっては、再浚渫は 2 回までかつ 2 回目の浚渫は初回浚渫のちょうど 10 年後に実施するなどといった、多くの仮定を置いていることに注意が必要である。さらに、本章で示した計算結果は、各航路水深ごとに最大の純便益が期待される定航サービスネットワーク・シナリオに基づくものに限定されている。

本章で示した試算結果によれば、純便益を最大化する戦略は、今後数年以内に維持浚渫用の浚渫船を購入して航路水深を-12~13 m 程度に保つことであった。しかしながら、このような戦略は、ラ・ウニオン港の「トランシップ・ハブ」化が数年以内に成功する場合にのみ達成されるものであり、極めてリスクが高い戦略といえる。一方で、比較的リスクの小さいセカンド・ベストな戦略としては、たとえば、当初 10 年間は契約ベースの浚渫船で水深-10 m 程度を維持し、第 2 回の再浚渫で-13 m 程度まで増深するという戦略があげられた。このような「段階的戦略」は、大きな財務的リスクを避けるという観点から非常に有益であろう。



## 第 11 章 結論と提案

結論および提案は以下の項目についてとりまとめた。

### 11.1 結論

- (1) 航路埋没の現状
- (2) 浮泥層厚
- (3) 航路埋没機構と航路埋没予測モデル
- (4) 再浚渫量
- (5) 維持浚渫量
- (6) 適切な浚渫方法
- (7) 船舶寄港モデル
- (8) ラ・ユニオン港の経済・財務分析と政策シミュレーション
- (9) 時系列変化を考慮した最適浚渫計画
- (10) アクセス航路の航行規制

### 11.2 提案

- (1) 経験的に構築した予測モデルの適用性
- (2) 線形モデルの適用性
- (3) 適切な浚渫体制
- (4) 航路水深のモニタリングの必要性
- (5) 2周波数タイプの超音波測深機の使用
- (6) ラ・ユニオン港の料金水準
- (7) 「トランシップ・ハブ」シナリオ
- (8) エルサルバドル東部の地域開発
- (9) 財務リスクの拡大を避けるための段階的な浚渫投資計画の重要性
- (10) ラ・ユニオン港アクセス航路における新しい航路規制の必要性



エルサルバドル共和国  
ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクト

略語表  
要約

目 次

<b>第 1 章</b>	<b>序論</b> .....	<b>1-1</b>
1.1	ラ・ウニオン港開発の概要 .....	1-1
1.1.1	ラ・ウニオン港の開発.....	1-1
1.1.2	ラ・ウニオン港の港湾施設.....	1-1
1.2	ラ・ウニオン港の埋没問題の認識と SAPI 調査の開始.....	1-2
1.3	SAPI 調査の結果.....	1-3
1.3.1	フォンセカ湾と航路埋没機構.....	1-3
1.3.2	埋没速度と航路内水深の予測モデルの構築.....	1-3
1.4	本調査の目的と主要な調査内容 .....	1-3
1.5	参加技術者と調査の年表 .....	1-4
1.5.1	参加技術者.....	1-4
1.5.2	調査の年表.....	1-5
1.6	本報告書の各章構成・概要 .....	1-5
<b>第 2 章</b>	<b>技術移転</b> .....	<b>2-1</b>
2.1	日本における技術移転.....	2-1
2.2	カウンターパートに対する技術移転 .....	2-1
2.2.1	エンジニアリング分野の技術移転.....	2-1
2.2.1	経済分野の技術移転.....	2-3
2.3	ワークショップ .....	2-5
<b>第 3 章</b>	<b>現地調査とその結果</b> .....	<b>3-1</b>
3.1	深淺測量 .....	3-1
3.1.1	深淺測量の測線.....	3-1
3.1.2	航路と泊地の平均水深.....	3-1
3.1.3	超音波周波数 38 kHz と 200 kHz で測定された水深の違い.....	3-2
3.2	底泥の特性 .....	3-3
3.2.1	底泥採取位置と採取方法.....	3-3
3.2.2	泥土の状況と泥土層密度の鉛直分布.....	3-4
3.2.3	採取泥の物理的特性.....	3-6
3.2.4	圧密過程に伴う底泥密度変化の数値予測.....	3-6
3.2.5	航行可能水深のためのフルードマッド層厚の評価.....	3-7
3.3	現地調査の主要な結果 .....	3-7
<b>第 4 章</b>	<b>埋没過程の解析と予測モデル</b> .....	<b>4-1</b>
4.1	収集データ .....	4-1
4.2	航路の埋没速度と水深差（指数モデル） .....	4-1
4.3	航路内の埋没過程の解析 .....	4-3

4.3.1	内港航路の埋没.....	4-3
4.3.2	外港航路の埋没.....	4-6
4.3.3	浚渫直後の急激な埋没に関する物理的考察.....	4-8
4.4	航路の埋没予測モデル.....	4-10
4.4.1	原型指数モデルの修正.....	4-10
4.4.2	線形モデル.....	4-13
4.4.3	2つの埋没予測モデルの適用性.....	4-14
4.4.4	泊地航路と泊地の埋没モデル.....	4-14
<b>第 5 章</b>	<b>浚渫土量とコストの評価.....</b>	<b>5-1</b>
5.1	再浚渫土量.....	5-1
5.2	維持浚渫土量.....	5-1
5.2.1	航行可能水深.....	5-1
5.2.2	維持浚渫土量の評価方法.....	5-2
5.2.3	水深別維持浚渫土量.....	5-3
5.3	浚渫工法と浚渫船容量の検討.....	5-5
5.3.1	浚渫船の種類.....	5-5
5.3.2	適切な浚渫工法.....	5-7
5.3.3	浚渫船の必要容量.....	5-8
5.4	浚渫コストの積算.....	5-11
5.4.1	コスト積算の項目.....	5-11
5.4.2	再浚渫のコスト.....	5-12
5.4.3	維持浚渫のコスト.....	5-12
5.4.4	再浚渫コストの考え方.....	5-13
5.4.5	サイクルタイムを短縮する効果（目標水深 12m の事例検討）.....	5-14
5.4.6	浚渫体制についての提案.....	5-15
<b>第 6 章</b>	<b>再浚渫後のモニタリング計画の提案.....</b>	<b>6-1</b>
6.1	モニタリングの目的.....	6-1
6.2	埋没予測の妥当性の検証.....	6-1
6.3	浚渫直後の急激な埋没現象の確認.....	6-2
6.4	地形データの潮位補正.....	6-3
6.4.1	測量データの潮位補正の改良.....	6-3
6.4.2	ラウニオン港の基準面.....	6-4
<b>第 7 章</b>	<b>CEPA による需要予測モデルと市場配分モデル概観.....</b>	<b>7-1</b>
7.1	CEPA による需要予測モデルと市場配分モデルの概要.....	7-1
7.2	CA4 発着コンテナ貨物の成長率の推計.....	7-1
7.3	市場配分モデルの構築.....	7-2
7.4	ラウニオン港における市場配分量の推計.....	7-4
<b>第 8 章</b>	<b>船舶寄港モデル.....</b>	<b>8-1</b>
8.1	エルサルバドルの港湾.....	8-1
8.1.1	エルサルバドルの概要.....	8-1
8.1.2	エルサルバドルの港湾の概要.....	8-1
8.1.3	港の主要施設.....	8-1
8.1.4	タイプ別貨物量.....	8-1
8.1.5	アカフトラ港.....	8-2
8.1.6	ラ・ウニオン港.....	8-6

8.2	中米 5 か国太平洋岸の港湾 .....	8-8
8.2.1	中米 5 国の基本指標.....	8-8
8.2.2	港湾の位置.....	8-8
8.2.3	港湾施設.....	8-8
8.2.4	港湾管理・運営.....	8-9
8.2.5	寄港船舶・取扱貨物.....	8-9
8.2.6	取扱コンテナ貨物の特徴.....	8-10
8.2.7	将来開発・整備.....	8-10
8.3	中米地域におけるコンテナ動向 .....	8-11
8.3.1	中米地域における港湾のコンテナ取扱い.....	8-11
8.3.2	船社の考え.....	8-13
8.4	船舶寄港モデルの概要 .....	8-16
8.5	船社の行動 .....	8-17
8.5.1	定航輸送ネットワーク .....	8-17
8.5.2	運航船社.....	8-17
8.5.3	対象港湾.....	8-18
8.6	コンテナ貨物配分モデル .....	8-18
8.6.1	モデルの全体構成.....	8-18
8.6.2	コンテナ貨物配分モデルの定式化.....	8-19
8.6.3	海上輸送サブモデル.....	8-20
8.6.4	海上輸送運賃.....	8-20
8.6.5	陸上輸送費用および運賃.....	8-20
8.7	入力データ .....	8-21
8.7.1	コンテナ貨物 OD (コンテナ貨物輸送需要) .....	8-21
8.7.2	港湾サービスレベル.....	8-22
8.7.3	陸上輸送ネットワーク .....	8-22
8.8	コンテナ貨物配分モデルの計算結果 .....	8-24
8.8.1	未知パラメータの推定.....	8-24
8.8.2	モデルの再現性.....	8-24
8.8.3	モデルの感度分析.....	8-29
8.9	8 章のまとめ .....	8-32
<b>第 9 章</b>	<b>ラ・ウニオン港への船舶寄港と経済分析.....</b>	<b>9-1</b>
9.1	ラ・ウニオン港の航行管制の現状 .....	9-1
9.1.1	航路と航行ルール.....	9-1
9.1.2	潮位.....	9-1
9.1.3	航路水深による航行可能条件.....	9-1
9.2	船舶寄港モデルの計算と結果 .....	9-8
9.2.1	モデルを用いた 2010 年時点におけるラ・ウニオン寄港のシミュレーション .....	9-8
9.2.2	将来シミュレーション (2020 年および 2030 年) におけるシナリオ設定 .....	9-10
9.2.3	モデル計算結果.....	9-14
9.3	船舶寄港モデルでの経済および財務分析 .....	9-18
9.3.1	定義と検討手法.....	9-18
9.3.2	ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用 .....	9-20
9.3.3	エルサルバドル港湾部門のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用 .....	9-23
9.3.4	ラ・ウニオン港のコンテナ取り扱いによるエルサルバドルの経済的便益 .....	9-25
9.4	政策シミュレーションによる経済及び財務分析 .....	9-28

9.4.1	ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（港湾料金引き上げケース）	9-28
9.4.2	エルサルバドルの港湾部門のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（港湾料金引き上げケース）	9-30
9.4.3	ラ・ウニオン港のコンテナ取り扱いによるエルサルバドルの経済的便益（港湾料金引き上げケース）	9-32
9.4.4	ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（エルサルバドル東部の地域開発が進展したケース）	9-34
9.5	第9章の結論	9-35
<b>第10章</b>	<b>需要と費用の連続変化を考慮した浚渫計画</b>	<b>10-1</b>
10.1	方針	10-1
10.2	浚渫費用	10-1
10.2.1	再浚渫費用	10-2
10.2.2	再浚渫のための回航費	10-2
10.2.3	維持浚渫船購入費（自船により維持浚渫を行う場合のみ）	10-2
10.2.4	維持浚渫船の回航費	10-3
10.2.5	年間維持浚渫費用	10-3
10.3	浚渫のタイミングを考慮したコンテナ貨物取扱量、純収入・便益、浚渫費用に関する時系列変化の推計	10-4
10.3.1	コンテナ貨物取扱量および純収入・便益の時系列推計	10-4
10.3.2	再浚渫のタイミングを考慮した浚渫コストの時系列計算	10-6
10.4	浚渫のタイミングを考慮した時系列財務・経済分析の手法と試算例	10-8
10.4.1	時系列分析用計算シートの作成	10-8
10.4.2	最適な再浚渫実施タイミングと目標水深組み合わせの試算	10-8
10.5	第10章の結論	10-11
<b>第11章</b>	<b>結論と提案</b>	<b>11-1</b>
11.1	結論	11-1
11.2	提案	11-4

## 表リスト

表 1.1	2007年4月～2008年1月に堆積した土量と2002年詳細設計で予測された埋没量との比較	1-2
表 1.2	第1年次調査のカウンターパート	1-4
表 1.3	第2年次調査のカウンターパート	1-5
表 2.1	ワークショップのタイトルと講演者	2-6
表 3.1	底泥採取地点	3-3
表 3.2	採泥地点の土質特性	3-6
表 5.1	再浚渫土量(単位: 1000 m <sup>3</sup> )	5-1
表 5.2	維持浚渫土量の評価に用いる埋没予測モデル	5-2
表 5.3	修正指数モデルによる維持浚渫土量	5-4
表 5.4	ラ・ウニオン港における浚渫船の適用性	5-8
表 5.5	再浚渫に必要な浚渫船容量 (m <sup>3</sup> )	5-10
表 5.6	維持浚渫に必要な浚渫船容量 (m <sup>3</sup> )、修正指数モデルのケース	5-10
表 5.7	水深別浚渫コスト	5-12
表 6.1	CNRより提供されたエルサルバドルにおける鉛直方向の基準面	6-4
表 7.1	GDP 弾性値	7-2
表 7.2	取扱コンテナ成長率(2010=100)	7-2
表 7.3	後背地別輸送量マトリックス(2010)	7-3
表 7.4	TEU当りの輸送コスト (2010)	7-5
表 7.5	輸送時間 (2010)	7-5
表 7.6	2010年における後背地輸送マトリックス (ラウニオン港ありのケース)	7-6
表 7.7	2020年及び2030年のラウニオン港の将来市場配分予測 (シナリオ1)	7-8
表 8.1	エルサルバドル主要港の寄港船舶と貨物取扱量の推移	8-2
表 8.2	アカフトラ港の施設と現況	8-5
表 8.3	寄港コンテナサービス数とその変化	8-12
表 8.4	各港湾のサービスレベルの設定値	8-22
表 8.5	各ODノード・港湾間の走行時間および費用	8-23
表 8.6	各ODノード・港湾間の越境時間および費用	8-24
表 8.7	CA4諸港における相手地域(方面)別コンテナ取扱量シェア	8-26
表 8.8	CA4諸国発着コンテナ貨物の利用輸出入港別推計結果 (TEU)	8-26
表 8.9	アカフトラ港における船社別シェアの実績値と推計値 (2010年)	8-27
表 9.1	航路の年間航行可能時間	9-3
表 9.2	航路の平均日当り航行可能時間	9-4
表 9.3	期待待ち時間の計算結果	9-6
表 9.4	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)	9-9
表 9.5	各港における将来サービスレベルの設定値	9-10
表 9.6	2010年5月時点におけるアカフトラ港寄港定航サービス	9-11
表 9.7	2012年2月時点におけるラ・ウニオン港寄港定航サービス	9-11
表 9.8	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サービスのレベルを現状から変更するケースにおいて考えられ得る選択肢	9-12
表 9.9	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	9-13
表 9.10	ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける収入と支出	9-18

表 9.11	ラ・ユニオン港のタリフ（コンテナに関するもの）	9-18
表 9.12	コンテナターミナルオペレーションコスト	9-19
表 9.13	エルサルバドルにおける港湾部門の収入と支出	9-19
表 9.14	アカフトラ港のタリフ（コンテナに関するもの）	9-19
表 9.15	ラ・ユニオン港の経済的便益と航路浚渫プロジェクト費用	9-20
表 9.16	水深別モデル別浚渫費用	9-22
表 9.17	ラ・ユニオン港コンテナビジネスにおける水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2020年）	9-23
表 9.18	ラ・ユニオン港コンテナビジネスにおける水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2030年）	9-23
表 9.19	ラ・ユニオン港における純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）	9-23
表 9.20	ラ・ユニオン港における純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）	9-23
表 9.21	アカフトラ港・ラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2020年）	9-25
表 9.22	アカフトラ港・ラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2030年）	9-25
表 9.23	エルサルバドル港湾部門における純収益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）	9-25
表 9.24	エルサルバドル港湾部門における純収益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）	9-25
表 9.25	エルサルバドル経済における浚渫プロジェクト純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2020年）	9-27
表 9.26	エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2030年）	9-27
表 9.27	エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの経済的便益の水深別最大値（2020年）	9-27
表 9.28	エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの経済的便益の水深別最大値（2030年）	9-27
表 9.29	ラ・ユニオン港における新タリフ	9-28
表 9.30	港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収入（浚渫費用を除く、2020年）	9-29
表 9.31	港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収入（浚渫費用を除く、2030年）	9-29
表 9.32	港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港の浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）	9-30
表 9.33	港湾料金引き上げケースにおけるラ・ユニオン港の浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）	9-30
表 9.34	港湾料金引き上げケースにおけるアカフトラ港・ラ・ユニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2020年）	9-31
表 9.35	港湾料金引き上げケースにおけるアカフトラ港・ラ・ユニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2030年）	9-31
表 9.36	港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）	9-32
表 9.37	港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）	9-32
表 9.38	港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル経済にとっての浚渫プロジェクト	



トの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2020年）	9-33
表 9.39 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル経済にとっての浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2030年）	9-33
表 9.40 港湾料金引き上げケースにおける浚渫プロジェクトの経済的便益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）	9-34
表 9.41 港湾料金引き上げケースにおける浚渫プロジェクトの経済的便益（浚渫費用を除く）とラ・ユニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）	9-34
表 9.42 エルサルバドル東部開発が進展したケースにおけるラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益(2020)	9-35
表 9.43 エルサルバドル東部開発が進展したケースにおけるラ・ユニオン港における純収益と浚渫費用の水深別差分最大値（2020）	9-35
表 10.1 浚渫費用の内訳と発生するタイミング	10-1
表 10.2 実施前および目標水深の組み合わせごとの再浚渫費用（US\$）	10-2
表 10.3 実施前および目標水深の組み合わせごとの再浚渫のための回航費用（US\$）	10-2
表 10.4 各埋没予測モデルにおける目標維持水深ごとの維持浚渫船購入費用	10-3
表 10.5 各埋没予測モデルにおける目標維持水深ごとの維持浚渫船回航費用	10-3
表 10.6 目標水深ごとの年間維持浚渫費用	10-3
表 10.7 2010年におけるラ・ユニオン港航路水深別の仮想的コンテナ取扱量および収入・費用等の推計結果	10-4
表 10.8 浚渫形態（契約ベースまたは自船ベース）および初回・第2回再浚渫の目標水深の組み合わせごとの初回目標水深の最適開始年次および期待される純便益	10-10
表 10.9 浚渫形態（契約ベースまたは自船ベース）および初回・第2回再浚渫の目標水深の組み合わせごとの初回目標水深の最適開始年次および期待される純便益	10-10

## 図リスト

図 1.1	ラ・ユニオン港の歴史	1-1
図 1.2	ラ・ユニオン港のアクセス航路	1-2
図 3.1	航路部分の測線	3-1
図 3.2	泊地内の測線	3-1
図 3.3	航路内の平均水深の変化	3-2
図 3.4	二つの超音波、38 kHz と 200kHz、で測定した航路断面、測線 L19 (SAPI, 2009)	3-2
図 3.5	採取地点の位置図	3-3
図 3.6	採泥パイプを 0.3m 間隔で切断する様子	3-4
図 3.7	底泥サンプルの写真とその密度	3-5
図 3.8	底泥湿潤密度の鉛直分布、左：航路の外側、右：航路の内側	3-6
図 3.9	維持浚渫後の(a) 堆積高と(b)底部の湿潤密度の時間変化の予測	3-7
図 4.1	浚渫期間と測量時期	4-1
図 4.2	航路内外の平均水深の経時変化	4-1
図 4.3	アクセス航路の測線番号	4-2
図 4.4	埋没速度と航路内外の水深差の関係	4-2
図 4.5	水深の定義	4-3
図 4.6	航路の測線 L21～L18 の水深変化	4-4
図 4.7	測線 L21 の断面の重ね合わせ	4-5
図 4.8	上方へずらした後の断面の重ね合わせ、測線 L21	4-5
図 4.9	外港航路の測線 L08～L05 の航路内水深変化	4-6
図 4.10	外港航路の測線 L08～L05 の完全航路埋没	4-7
図 4.11	第 2 回目の浚渫直後の航路断面の重ね合わせ(2008 年 4 月 28 日と 5 月 5 日に測量)	4-8
図 4.12	2008 年 8 月 11 日(浚渫後約 3 ヶ月半経過) 測量の断面の重ね合わせ	4-8
図 4.13	測線 L07 と測線 L06 の航路断面の重ね合わせ	4-9
図 4.14	堆積物の空間分布	4-10
図 4.15	航路の埋没速度と水深差の関係、データ修正後	4-10
図 4.16	原型および修正指数モデルの予測結果と実測水深の比較(内港航路)	4-11
図 4.17	最終水深の概念の導入による原型指数モデルの修正(外港航路に対して)	4-12
図 4.18	原型および修正指数モデルの予測結果と実測水深の比較(外港航路)	4-12
図 4.19	内港航路と外港航路の航路水深の変化	4-13
図 4.20	線形モデルと修正指数モデルの接続	4-14
図 5.1	再浚渫土量計算に用いる航路形状	5-1
図 5.2	航行可能水深と計測水深の定義	5-2
図 5.3	維持浚渫間の航路底面高変化の模式図	5-3
図 5.4	水深別維持浚渫土量	5-4
図 5.5	土捨て場位置	5-9
図 5.6	浚渫業者との契約による浚渫コストの積算項目	5-11
図 5.7	が考えている自船を保有した場合の浚渫コストの積算項目	5-12
図 5.8	契約ベースの浚渫コスト(修正指数モデルと線形モデルのコストの比較)	5-13
図 5.9	自船での浚渫コスト(修正指数モデルと線形モデルのコストの比較)	5-13
図 5.10	再浚渫と維持浚渫コストの構成	5-14
図 5.11	サイクルタイムと年間維持浚渫量の関係	5-14
図 5.12	サイクルタイムと年間浚渫コストの関係	5-15
図 5.13	契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストの比較	5-15

図 5.14 契約ベースと自船での直接経費と間接費の比較（修正指数モデル 12m 維持水深 3 カ月サイクル） .....	5-16
図 5.15 水深別の浚渫コストと浚渫船容量 .....	5-17
図 6.1 Excel/VBA による後処理ツール .....	6-3
図 6.2 CNR による鉛直方向の基準高さ .....	6-4
図 8.1 エルサルバドルの主要港の貨物取扱量 .....	8-1
図 8.2 アカフトラ港の位置図 .....	8-2
図 8.3 アカフトラ港のレイアウト .....	8-3
図 8.4 ラ・ウニオン港のレイアウト .....	8-7
図 8.5 船舶寄港モデルの全体構成（出典：調査団作成） .....	8-17
図 8.6 中米地域におけるモデル対象港（赤字は本モデルにおける追加港湾） .....	8-18
図 8.7 コンテナ貨物配分モデルで考慮するインターモーダル輸送ネットワーク .....	8-19
図 8.8 本モデルで考慮する陸上輸送ネットワーク .....	8-23
図 8.9 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 .....	8-25
図 8.10 定航サービスごとのコンテナ輸送量推計結果の例（Maersk, 2010） .....	8-28
図 8.11 未知パラメータの感度[1] 荷主の時間価値 $v_t$ の相違による CA4 各港のコンテナ取扱 量の相違 .....	8-29
図 8.12 未知パラメータの感度[2] 分散パラメータ $\theta$ の相違による CA4 各港のコンテナ取扱 量の相違 .....	8-30
図 8.13 未知パラメータの感度[3] トランジット輸送に関する補正係数 $\alpha$ の相違による CA4 各港のコンテナ取扱量の相違 .....	8-31
図 9.1 ラ・ウニオン港の航路 .....	9-2
図 9.2 期待待ち時間の概念図 .....	9-5
図 9.3 航行可能時間帯の表示例 .....	9-7
図 9.4 現行の航行規則における期待待ち時間の計算結果 .....	9-8
図 9.5 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 .....	9-9
図 9.6 海上輸送ネットワークの設定例（2010 年基本ケースおよび将来シナリオ例のケース、 アカフトラまたはラ・ウニオンに寄港するサービスのみ表示） .....	9-14
図 9.7 各実現可能シナリオにおける 2020 年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） .....	9-15
図 9.8 各実現可能シナリオにおける 2030 年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） .....	9-15
図 9.9 各実現可能シナリオにおける 2020 年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） .....	9-16
図 9.10 各実現可能シナリオにおける 2030 年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） .....	9-16
図 9.11 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） .....	9-17
図 9.12 各実現可能シナリオにおける 2020 年コンテナ貨物取扱量の予測値 .....	9-18
図 9.13 ラ・ウニオン港における航路水深別の純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020 年） .....	9-22
図 9.14 ラ・ウニオン港における航路水深別の純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030 年） .....	9-22
図 9.15 エルサルバドルの港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計、航路 浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港における航路水深別浚渫費用（2020 年） .....	9-24
図 9.16 エルサルバドルの港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計、航路 浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港における航路水深別浚渫費用（2030 年） .....	9-24

図 9.17 航路水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020 年）	9-26
図 9.18 航路水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030 年）	9-26
図 9.19 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および航路水深別浚渫費（2020 年）	9-28
図 9.20 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および航路水深別浚渫費（2030 年）	9-29
図 9.21 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計、浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港における航路水深別浚渫費用（2020 年）	9-30
図 9.22 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計、浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港における航路水深別浚渫費用（2030 年）	9-31
図 9.23 港湾料金引き上げケースにおける水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020 年）	9-32
図 9.24 港湾料金引き上げケースにおける水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030 年）	9-33
図 9.25 エルサルバドル東部の地域開発進展ケースにおけるラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）と航路水深別浚渫費（2020 年）	9-34
図 10.1 港湾収入・費用の時系列計算に関する模式図（当初 10 年間は契約ベースの浚渫を行うと想定したケース）	10-6
図 10.2 港湾収入・費用の時系列計算に関する模式図（当初から自船ベースの浚渫を行うと想定したケース）	10-7

## 第 1 章 序論



# 第 1 章 序論

## 1.1 ラ・ユニオン港開発の概要

### 1.1.1 ラ・ユニオン港の開発

エルサルバドルは、貿易に大きく依存した経済構造を有しており、その物流の中心となる海運は同国にとって非常に重要な役割を担っている。しかしながら、同国における唯一の国際貿易港であるアカフルト港は、外海（太平洋）に面し、うねり等の自然条件により、取扱貨物量、特に迅速な荷役作業を要請されるコンテナの扱いに限界があり、同国の増加する海運貨物及び世界的な潮流である貨物のコンテナ化に対応できる施設がない状況にあった。

ラ・ユニオン県はエルサルバドル国の中では最も東に位置する県で、フォンセコ湾を隔ててホンジュラス国とニカラグア国に面している。フォンセコ湾の西側において湾口より 25 km 入ったところにクツコ港が建設されていた。この港の 1975 年の貨物取扱量は 236,000 トンであったが、1980 年後半から 1990 年初めの内戦時代に急激に減少した。そして同県は、ほかの県と比較して経済成長が遅れていた。

内戦の終結とともに、エルサルバドル国は、同県での港湾活動を通じて経済的産業的発展を刺激する目的もあって、ラ・ユニオン県に新港を建設することを決めた。この計画では、新港に中央アメリカの太平洋側におけるコンテナ貨物のハブ港としての機能も期待していた。

エルサルバドル政府は日本に対して港拡張のマスタープランの準備と短期施設整備計画のフィジビリティ調査を要請してきた。このうち後者について日本政府は、国際協力機構（以降、JICA）による 1997 年 10 月から 1998 年 12 月の間のフィジビリティ調査ならびのその報告書の提出によって要請に応えた。この調査に引き続き、2001 年 7 月から 2003 年 1 月の間に、港の詳細設計が行われた。そして、岸壁位置をすこし移動して、港名もクツコ港からラ・ユニオン港へと変更された。

総工費 214 億円、うち国際協力銀行（JBIC）からの円借款が 112.33 億円で、ラ・ユニオン港の建設が 2005 年 5 月に始まり、土木関連工事は 2008 年 12 月までに完了した。

以上に述べたラ・ユニオン港の歴史を図 1.1 に示す。

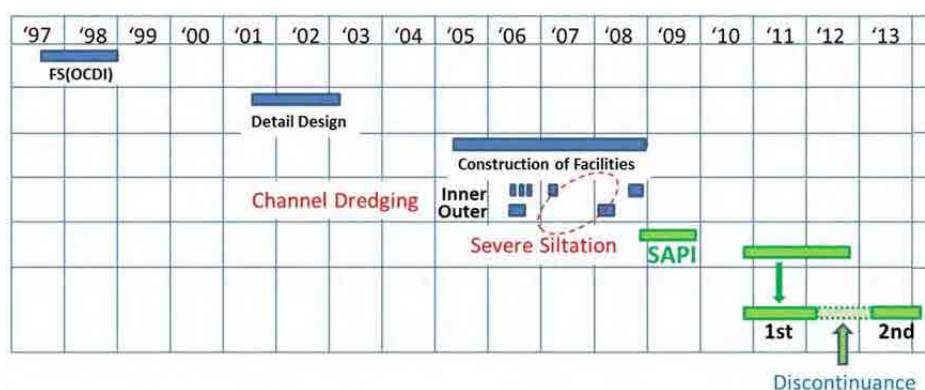


図 1.1 ラ・ユニオン港の歴史

### 1.1.2 ラ・ユニオン港の港湾施設

ラ・ユニオン港はパナマックス級のコンテナ船、50,000 DWT のバルク貨物船、25,000 DWT クラスの旅客船等を対象に設計されている。

航路は延長 22.3 km あり、チキリン岬とサカティョ島の狭水路によって内港航路と外港航路に分割される（図 1.2 参照）。前者は延長約 5.0 km、後者は延長約 17.3 km である。2008 年に浚渫が完了した時点で、内航航路は水深 14 m、底幅 140 m、外港航路は水深 14.5 m、底幅 137 m であった。内航航路のうち約 4.5 km は水深が 10 m 以下（最浅部は約 6 m）の区間を通っている。外港航路で水深 10 m 以下を箇所を通るのは約 1.5 km であり、最浅部の水深は約 9 m である。航路側面は勾配 1/5 で設計されている。しかしながら、航路は全域にわたって埋没しており、浚渫後の水深は維持されていない。

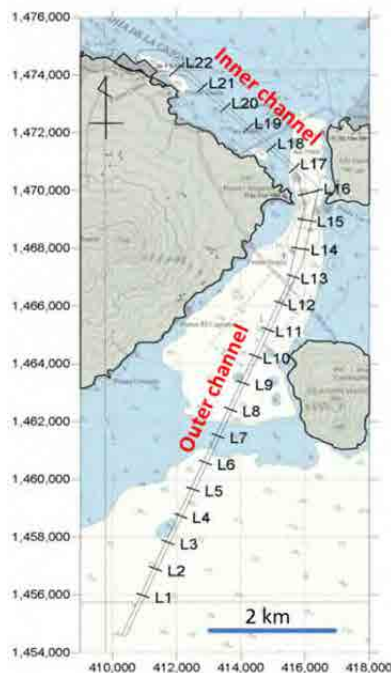


図 1.2 ラ・ウニオン港のアクセス航路

## 1.2 ラ・ウニオン港の埋没問題の認識と SAPI 調査の開始

2008 年 11 月末の竣工に向けてラ・ウニオン港の工事が行われていたときに、内港航路と外港航路および泊地で多量の埋没が生じていることが、浚渫工事と並行して行われていた深浅測量の結果から分かった（図 1.1 参照）。2007 年 4 月から 2008 年 8 月まで間の埋没土量は表 1.1 のように算定された。泊地と航路の埋没土量は着工前に予測されていて（詳細設計報告書、2002 年）、その値も表 1.1 に記載してある。実際の埋没量は、2008 年の時点で予測値の 4～8 倍になっている。

表 1.1 2007 年 4 月～2008 年 1 月に堆積した土量と 2002 年詳細設計で予測された埋没量との比較

Name	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	
		Obs.	Pred.
Harbor basin	657,000	158,000	478,000
Inner channel	626,000	1,973,000	453,000
Outer channel	1,660,000	2,389,000	312,000
Total	2,943,000	4,521,000	1,243,000



想定以上の速さで埋没が生じることの原因が特定できていないので、将来の埋没量を予測することも、適切な対策を講じることも不可能であった。このため、急速な埋没に関する詳細な調査が喫緊の課題となった。

そして、JBIC とエルサルバドル国の空港・港湾運営自治委員会（Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma ; CEPA）は、2008 年 7 月に急速な航路埋没の調査の必要性について協議し、両者は「ラ・ウニオン港開発事業に係る案件実施支援調査（SAPI）」の実施について合意した。SAPI 調査は JICA が担当し 2008 年 11 月から 2009 年 11 月の期間に実施された（図 1.1 参照）。

### 1.3 SAPI 調査の結果

SAPI 調査の結果から、埋没問題に関連する主要な結論を引用する。

#### 1.3.1 フォンセカ湾と航路埋没機構

フォンセカ湾は、広さ約 65 km、長さ約 45 km で、面積は 3,200 km<sup>2</sup> である。フォンセカ湾の底泥は、洪水時に多くの河川から浮遊状態で運ばれてきたものである。粒径の大きい掃流砂のほとんどはマングローブの沼地で捕捉される。シルトやクレイなどの浮遊物は河川水の流出時に拡散し、湾全体にわたって一様に広がって 0.2 から 1.2 m の厚さで堆積している。

内港航路周辺の海底面は、わずかな例外地点を除いてほとんどが泥で覆われている。中央粒径は、細砂成分を含む地点を除いて、0.013~0.034 mm となっている。外港航路の外側では細砂の成分が 30%~50% を占める。

しかしながら、航路内になると細砂の割合はわずかになり、中央粒径は 0.02~0.04 mm となっている。航路内で細砂の割合が僅かであると言うことは、砂成分は航路内に流入しておらず、シルトと泥だけが運び込まれているということの意味している。このことは、海底面上にある浮泥の薄い層が重力によってより深いところへとゆっくりとズレ落ちていくという埋没の機構の概念を支持するものである。航路内と航路外の浮泥の表面レベルに違いがある限りこの動きは継続する。

#### 1.3.2 埋没速度と航路内水深の予測モデルの構築

航路横断測量の測線上の平均水深の変化についてトレンド解析を行えば、航路内外の水深差とキャピタル浚渫からの経過時間を関数とした埋没速度の経験的な予測モデルが構築できる。

将来の航路内の水深を推定するモデルは、この埋没速度の予測式を時間積分して導ける。航路水深の予測モデルは過去の深浅測量成果に基づいて確認されている。そしてこのモデルで予測したところ、航路水深 14 m の場合の年間埋没量は 10 百万 m<sup>3</sup> となった。

### 1.4 本調査の目的と主要な調査内容

大水深港湾としての港湾機能を適切に発揮するために、コストだけでなく浚渫方法も財政活力にとって極めて重大な事項であり、臨時段階あるいはコンセッション状態での運営のいずれにおいても順調なターミナル運営のキー要因となる。そこで、CEPA は JICA に効果的かつ効率的な維持浚渫計画の策定を要請した。

JICA と CEPA の議決（2010 年 4 月 28 日）に従って、JICA は第 1 年次調査団を 2011 年 1 月に派遣し、2012 年の 5 月までの約 1 年 4 か月にわたり一連の深浅測量とデータ解析を実施した。第 1 年次調査は、以下の 2 項目を目的とした。

- (1) ラ・ウニオン港に大水深港湾にふさわしい機能を付加するための、効果的かつ効率的な航路維持計画の立案。
- (2) 航路と泊地の埋没対策に関する技術移転と CEPA が行う深浅測量データに基づいた現在の浚渫計画の見直しに対する支援。

第1年次に行った調査と分析の結果、将来の船便の詳細な分析、詳細な需要予測および試浚渫のデータが効果的な維持浚渫計画の策定に必要不可欠であることが分かった。そこで、JICA と CEPA は、第2年次調査の開始に先立ち、ラ・ウニオン港浚渫計画策定プロジェクトに関する TOR を改訂することを協議し合意した（2012年10月31日）。第2年次調査では、現状および将来の最適航路水深を技術的・財政的そして経済的に分析するために、工学的（技術的）課題だけでなく経済学的課題についても調査範囲に含めた。

第2年次調査の目的は以下の3項目である：

- (1) 港の効率的で効果的な維持浚渫計画を策定するために、CEPA が持っているデータ、情報、解析などを活用する。
- (2) 航路・泊地の埋没を処理するための技術を移転する。
- (3) 収集データと解析結果に基づき CEPA が行う浚渫計画の策定を支援する。

## 1.5 参加技術者と調査の年表

### 1.5.1 参加技術者

#### (1) 国内支援委員会

「エルサルバドル国ラ・ウニオン港浚渫策定プロジェクト」の適切な実施のため、JICA 本部、経済基盤開発部に国内支援委員会が設置された。委員会は航路埋没と浚渫に関する専門家で構成されていて、専門的かつ技術的見地から、経済基盤開発部長に対し助言を行う。

#### (2) 調査団

第1年次調査団は、株式会社エコーの技術者を中心とした、エンジニアリング部門の技術者で構成されている。

第2年次調査団は、大きく二つのサブチームに分けられ、エコーの技術者を中心として航路埋没問題と浚渫計画に関する調査を行うエンジニアリングチームと OCDI の技術者が港湾の需要予測や経済分析を行う経済チームで構成されている。

#### (3) カウンターパート

第1年次調査のカウンターパート2名（表 1.2 参照）に対しては、日本国内において技術移転を行っている。

第2年次調査では、CEPA は調査団の構成に対応して工学チームに対するカウンターパート3名と経済チームに対するカウンターパート8名を配置した（表 1.3 参照）。

表 1.2 第1年次調査のカウンターパート

氏名	所属
Mr. Mario Orantes	Navigation Aids
Mr. Abelino Cruz	Chief of Maintenance Department

表 1.3 第 2 年次調査のカウンターパート

	氏 名	所 属
Engineering Team	Mr. Andrés Abelino Cruz	Maintenance Manager, La Union Port
	Mr. Carlos Alejandro Molina Paz	Bathymetry and Dredging Specialist, La Union Port
	Ms. Egly Tatiana Chacón	Bathymetry and Dredging Specialist, La Union Port
Economic Team	Mr. Carlos Federico Paredes	Concessions Department, Advisor to the President
	Mr. Julio Romero	Concessions Department
	Ms. Patricia Callejas	Concessions Department
	Ms. Marta Eugenia Canales	Concessions Department
	Ms. Andrea Castillo	Presidency
	Mr. Alan Castillo	Concessions Department
	Mr. Juan Carlos Martinez	Concessions Department
	Mr. Damian Reyes	Market Analysis Division

#### (4) CEPA へ派遣の JICA 専門家

CEPA へ派遣された JICA 専門家は、池田秀文氏（第 1 年次調査）と角野 隆氏（第 2 年次調査）である。

#### 1.5.2 調査の年表

第 1 年調査と第 2 年次調査の年表は以下のとおりである。

[第 1 年次調査]	2011 年 1 月～2012 年 5 月
第 1 次現地調査	2011 年 1 月 25 日～2 月 21 日
第 2 次現地調査	2011 年 8 月 15 日～9 月 6 日
第 3 次現地調査	2012 年 1 月 15 日～2 月 6 日
[第 2 年次調査]	2013 年 4 月～2014 年 4 月
第 1 次現地調査	2013 年 4 月 10 日～5 月 5 日
第 2 次現地調査	2013 年 8 月 11 日～9 月 1 日
第 3 次現地調査	2013 年 12 月 4 日～ 15 日

#### 国内支援委員

第 1 回委員会	2013 年 4 月 1 日
第 2 回委員会	2013 年 8 月 9 日
第 3 回委員会	2013 年 11 月 19 日

#### 1.6 本報告書の各章構成・概要

第 2 章では、日本におけるカウンターパート研修、技術移転の内容、2013 年 8 月 27 日開催のワークショップ等について述べる。

第 3 章では、第 1 年次調査でおこなった現地調査（深淺測量と底質採取）の内容と、調査結果について述べる。

第 4 章では、最初に、過去の深淺測量成果に基づいて、指数関数で航路埋没を予測する経験的なモデルの枠組みをつくった。次に、深淺測量データの解析を通じて、航路埋没のプロセスおよ

び機構を明らかにした。その結果に基づいて、指数モデルを改良して修正指数モデルを構築した。さらに、浚渫直後に生じる急激な埋没という現象を明らかにした。この急激な埋没は維持浚渫を継続している期間には生じない可能性があることを考慮に入れて、航路の埋没を予測する第二のモデル、つまり線形モデルを組み立てた。二つのモデル（修正指数モデルと線形モデル）の適用性について、考察してある。

第5章では、航路の再浚渫量と維持浚渫量を見積もった。維持浚渫量に関しては、第5章で組み立てた二つの航路埋没予測モデルを使って、航路目標水深別に予測した。浚渫方法の検討では、4種類の浚渫船を比較して、TSHD（Self-propelling Trailing Suction Hopper Dredger）に絞り込んだ。再浚渫については契約ベースの浚渫コストを、維持浚渫については契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストを積算した。

第6章では、航路を再浚渫した後の航路埋没過程のモニタリング内容と方法について検討した結果を述べている。モニタリングの目的は、現在構築されている二つの埋没量予測モデル（修正指数モデルと線形モデル）の結果の妥当性の検証と再浚渫直後の急激な埋没現象の確認である。

第7章は、CEPAによって構築された、CA4諸国（エルサルバドル、グアテマラ、ホンジュラス、ニカラグア）を発着する将来コンテナ貨物需要推計モデルおよび市場配分モデルをレビューする。

第8章の主眼は、ラ・ウニオン港の財務・経済分析を行うために必要な船舶寄港モデルを構築することにある。モデルの概要について述べた後、船社の行動、コンテナ貨物配分モデル、入力データといったモデルを構成する各要素について説明する。最後に、コンテナ貨物配分モデルの計算結果が、いくつかの指標における再現性や、モデルに含まれる未知パラメータに関する感度分析を通じて検討される。

第9章は、船舶寄港モデルの出力に焦点が当てられる。ただし、章の冒頭では、ラ・ウニオン港のアクセス航路における現況や現行の航行規則について整理し、新しい規則を提案する。次に、ラ・ウニオン港の航路水深の設定値ごとに用意された将来定航サービスネットワークに関する多くのシナリオに基づき、船舶寄港モデルの計算を行い、将来コンテナ貨物取扱量等の出力を得る。モデルの出力から、ラ・ウニオン港における浚渫費用を除く純収入、アカフトラ港の純収入も含めたエルサルバドル国の港湾セクターにとっての浚渫費用を除く純収入、およびエルサルバドル国の経済にとってのラ・ウニオン港浚渫プロジェクトの浚渫費用を除く純便益が推計され、各水深ごとに浚渫費用と比較される。また、ラ・ウニオン港の利用料金引き上げや、エルサルバドル東部の地域開発、陸上越境輸送における国境抵抗の引き下げといった政策の実施を想定した場合についてのモデル計算や財務・経済分析も行われる。

第10章では、各年の収入、便益、浚渫費用を考慮した時系列分析の方法が示される。また、浚渫を行う最適タイミングに関する議論に資するため、具体的な計算例も示される。

第11章では、本調査の主要な結論と勧告について取りまとめている。

## 第 2 章 技術移転



## 第 2 章 技術移転

### 2.1 日本における技術移転

CEPA 職員に対する技術研修を、2011 年 11 月 21 日～12 月 9 日の間に日本で実施した。二人の技術者（Mr. Cruz Fuentes Andrés Abelino と Mr. Orantes Montigudo Mario René,）がこの研修に参加し、浚渫作業の運営と管理、深浅測量の方法、潮位予測等について研修した（写真 2.1）。



写真 2.1 国土交通省の浚渫船「海翔」での研修

### 2.2 カウンターパートに対する技術移転

#### 2.2.1 エンジニアリング分野の技術移転

##### (1) 第 2 年次 IC/R の説明、2013 年 4 月 16 日実施

第 2 年次調査の開始に当たり参加者 5 名に IC/R を現場（ラ・ウニオン港）で説明し、調査目的と内容の理解を深めてもらった。

##### (2) レイキ浚渫状況視察及び潮位補正方法の確認、2013 年 4 月 17 日実施

調査団はレイキ浚渫状況、方法を確認した。CEPA が行っている測量調査の潮位補正方法についてヒアリングし、潮位補正方法の問題点を指摘した。CEPA 側の参加者は 5 名だった。

##### (3) 合同測量調査（実習）、2013 年 4 月 19 日実施

現場において、深浅測量装置の取り付け、水深測定 of 校正、操船、データ取得等の測量実施方法について彼ら（参加者 5 名）から説明を受け、確認した（写真 2.2）。深浅測量方法について問題なかった。



写真 2.2 深浅測量の記録装置のセッティング

**(4) ラ・ウニオン港における潮位予測プログラムの解説、2013年4月22日実施**

測量後のデータ処理における潮位補正方法の基本的考え方を参加者（5名）に解説し、併せて補正に必要な潮位の予測プログラムを提供するとともに、使用方法を説明した。

**(5) 合同測量調査と潮位予測プログラムの説明と演習、2013年8月21日実施**

実際に深浅測量を実施し、そのデータを用いて測量実施後のデータ解析処理の実習を行った。実習では、提供した解析プログラム（改良版）を使用した。参加者は、6名である。

**(6) 航路埋没プロセスの解説、2013年8月22日実施**

ラ・ウニオンにおける航路埋没プロセスの解析結果を3名の参加者に説明し、議論した。構築した埋没量予測モデルを理解するための基礎知識となった。

**(7) 合同測量調査、2013年8月23日実施**

内港航路において、航路の縦断測量を実施した。参加者は3名だった。

**(8) 埋没予測モデルの修正、2013年12月6日実施**

第2年次調査以降の解析結果に基づく埋没予測モデルを説明した。参加者5名は、ラ・ウニオンの埋没過程についての理解を深め、モデルの修正内容を把握した。

**(9) 航路埋没モニタリング計画の説明、2013年12月6日実施**

参加者5名はモニタリング調査の重要性に関する理解を深めた。モニタリングによって精度の高い測量データを取得することの重要性を理解した。

**(10) 人工島建設が航路に及ぼす影響について、2013年12月9日実施**

CEPAは半円形の人工島を建設して航路埋没量を減らそうとする計画を検討している。彼らが期待している半円形人工島の効果は、土砂投棄の代替地として利用することと、埋没量が減ることである。土砂処分場としての人工島をラ・ウニオン港北側に建設した場合を想定した検討結果を説明した。フォンセカ湾内に点在する島々周辺の地形から推測される地形変化を説明し、航路に及ぼす影響が理解された。

**(11) 浚渫量の計算方法と航行可能水深、2013年12月10日実施**

参加者5名は、埋没予測モデルを利用した浚渫土量の計算方法を理解した。



## (12) 各種浚渫船の紹介、2013年12月12日実施

各種浚渫船の紹介をおこない（写真 2.3）、浚渫技術に関する理解が深まった。参加者は、13名であった。



写真 2.3 発表の様子

### 2.2.1 経済分野の技術移転

#### (1) 2013 第 2 年次 IC/R の説明、2013 年 4 月 16 日実施

第 2 年次調査の開始にあたって、IC/R の内容を説明した。CEPA からの 7 名の参加者は、本調査の主たる目的等について理解を深めた。

#### (2) CEPA モデルの計算方法、2013 年 4 月 26 日実施

CEPA が実施している将来需要予測の方法を確認した。参加者は 6 名だった。



写真 2.4 エコノミック・チームによる発表

#### (3) 船舶寄港モデル [1] モデルの概要と海上輸送サブモデルの説明 2013 年 7 月 11 日実施（Skype 会議）

船舶寄港モデルの概要を説明し、特に海上輸送サブモデルの内容と試算結果を説明し、CEPA 経済チームからの 4 名の参加者とモデルアウトプットのイメージを共有した。



写真 2.5 Skype 会議

(4) 船舶寄港モデル [2] コンテナ貨物配分モデルの推計結果 2013年7月18日実施 (Skype 会議)

(3)で説明した海上輸送サブモデルに陸上輸送も追加して構築した、コンテナ貨物配分モデルの推計結果について説明し、CEPA 経済チームからの4名の参加者と質疑応答を行った。

Vessel Calling Model と計算結果の概略を説明した。参加者は4名だった。

(5) 船舶寄港モデル [3] 修正結果の確認、2013年8月9日実施 (Skype 会議)

前回までの会議で出された意見等や追加情報(データベースに含まれていなかった航路の追加などを踏まえて再度計算されたモデルの結果を確認した。CEPA 経済チームからの参加者は3名だった。

(6) 船舶寄港モデル [4] モデルと計算結果のレビュー、将来シナリオに関するディスカッション、2013年8月12日実施

これまでに Skype 会議で実施した内容について、ハイレベルのスタッフ(コンセクション部長、ラ・ウニオン港長)も交えて概要を再度説明し、特に将来シミュレーションの際に考えられ得るシナリオについて意見交換を行った。CEPA からの参加者は6名だった。

(7) 交通配分モデルの基礎、2013年8月15日実施

コンテナ貨物配分モデルの基礎的理論である交通配分モデル(具体的には、最短経路探索手法および利用者均衡配分モデル)について説明した。CEPA 経済チームの4名の参加者は、演習を通じて利用者均衡配分モデルのアルゴリズムを学習した。

(8) 中米五か国の太平洋沿岸におけるコンテナ輸送の現状、2013年8月16日実施

中米五か国の太平洋沿岸におけるコンテナ輸送の現状について説明した。CEPA 経済チームの参加者4名は、コンテナサービスのルートや頻度は中米の船主の戦略によって変わり得ることを理解した。

(9) ラ・ウニオン港の料金、2013年8月25日実施

ラ・ウニオン港と近隣諸国の港の料金について説明した。CEPA 経済チームの参加者4名は、各港の料金について理解を深めることができた。

(10) 船舶寄港モデル [5] モデルの改良(海上運賃の考慮)、2013年8月27日実施

当日午後に行われるワークショップに先立ち、CEPA 経済チームの4名の担当者を対象に、モ

デルの改良点（海上運賃の考慮）について説明した。

**(11) ラ・ユニオン港の期待入港待ち時間の評価、2013年8月28日実施**

潮位変動とラ・ユニオン港の期待入港待ち時間の評価について説明した。参加者3名は、潮位変動を有効に活用すれば、航行可能時間を長くすることが可能であることを理解した。

**(12) 船舶寄港モデル [6] モデル再現性の検討とシミュレーション結果、プログラムの実行、2013年8月29日実施**

8/27に実施されたワークショップの内容について、経済チームの4名の担当者を対象に、特に再現性の検討とラ・ユニオン港の寄港を想定したシミュレーションの結果について説明した。また、計算プログラムのコピーを配布し、実行を行った。参加者はプログラムの操作方法を理解した。

**(13) 潮位変動を活用した水路航行、2013年12月6日実施**

潮位変動を活用した航路の航行可能時間について説明した。CEPA経済チームの参加者4名は、航行可能時間の計算方法の理解を深めた。

**(14) 地域／産業発展と港湾計画および振興、2013年12月9日実施**

港周辺地域の産業発展と港湾計画および振興の結びつきについて説明した。CEPA経済チームの参加者5名は、港湾政策の意義について理解を深めた。

**(15) DF/R の概要 [1] 船舶寄港モデル最終版の説明、2013年12月11日実施**

DF/Rの内容のうち、船舶寄港モデルの概要および推計結果について、最終的な内容を説明した。また、確率配分モデルの基本であるロジットモデルについて、その導出方法を説明した。CEPA経済チームの参加者5名は、これまで学んできたモデルの最終的な内容の確認を行い、またロジットモデルの導出方法についても理解を深めた。

**(16) DF/R の概要 [2] 財務・経済分析の方法、2013年12月12日実施**

DF/Rの内容のうち、財務・経済分析の方法について説明を行い、時系列分析についてはエクセルファイルの操作方法についても説明した。CEPA経済チームの参加者5名は、分析方法についての理解を深め、エクセルを用いた時系列分析の方法を習得した。

## 2.3 ワークショップ

2013年8月27日に、ワークショップ “Special Technical Assistance for Maintenance Dredging of the Port of La Union in the Republic of El Salvador” が、CEPA本部の最上階セミナー室で開催された。ワークショップのプログラム、講演タイトル、発表者は、表 2.1 のとおりである。発表者のうち、村上博士と中川博士は、国内支援委員会の委員である。写真 2.6 は、ワークショップの様子であり CEPA サイドはスクリーンに向かって左側に座っている。参加者は32名であった。

表 2.1 ワークショップのタイトルと講演者

START		12:00
0. Lunch	Invited by CEPA in order to enhance awareness of participants and presenters	12:00-12:30
1. Welcome Speech	By Mr. A. ARENE, President of CEPA	12:30-12:35
2. Opening Address	By Mr. T. KAWAKAMI, JICA HQ	12:35-12:40
3. Interim Report on Engineering Issues	By Dr. N.ONO, ECOH	12:40-13:20
4. Interim Report on Economic Issues	By Dr. R.SHIBASAKI, OCDI	13:20-14:00
5. Port Promotion examples in Japan	By Mr. M.KIHARA, MLIT	14:00-14:30
	< Coffee break >	
6. Field Study on maintenance dredging in the access channel of Banjarmasin Port, Indonesia	By Dr. K.MURAKAMI, TCU	14:45-15:15
7. Harbor siltation and countermeasures in Japan	By Dr. Y.NAKAGAWA, PARI	15:15-15:45
8. Case study of analysis of bathymetric data	By Dr. K.KATO, ECOH	15:45-16:05
9. Regional development and port	By Mr. T.SHISHIDO, OCDI	16:05-16:25
10. Closing Remarks	by Mr. T.KADONO, JICA Expert	16:25-16:30
CLOSE		16:30



写真 2.6 ワークショップの様子

### 第 3 章 現地調査とその結果



## 第 3 章 現地調査とその結果

### 3.1 深浅測量

#### 3.1.1 深浅測量の測線

ラ・ウニオン港には延長 22.3 km のアクセス航路があり、DL.-14 m まで浚渫されていた。

深浅測量は、図 3.1 と図 3.2 に示された測線に沿って行われた。第 1 年次調査において、3 回の深浅測量が行われた。その実施時期は、2011 年 1 月 31 日～2 月 2 日、2011 年 8 月 19 日～22 日、2012 年 1 月 19 日～21 日である。

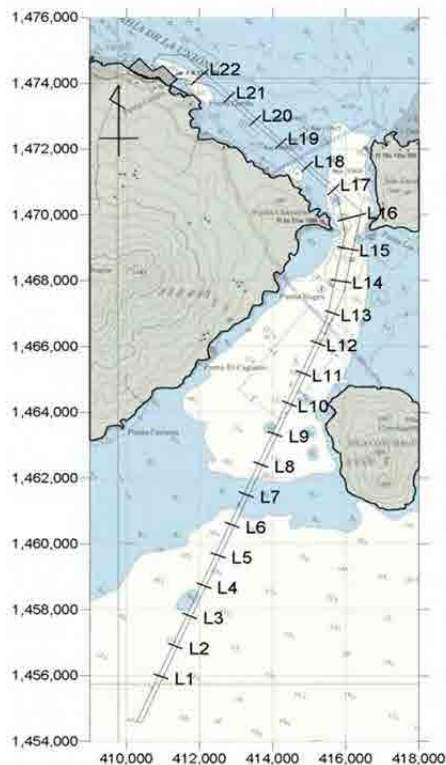


図 3.1 航路部分の測線

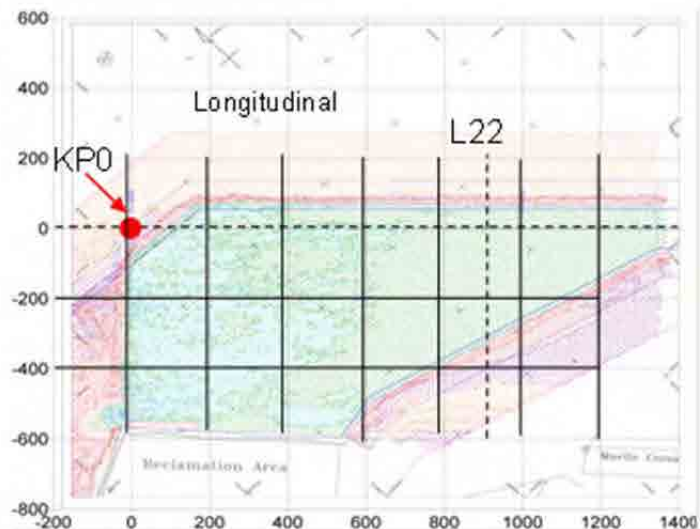


図 3.2 泊地内の測線

#### 3.1.2 航路と泊地の平均水深

航路幅（約 140 m）の平均水深を計算した。図 3.3 は本調査で測量して得られた泊地と航路の平均水深を過去の測量結果（2008 年 8 月、2008 年 12 月、2009 年 6 月）と比較したものである。キャピタル浚渫完了時の平均水深も黒丸で示してある。キャピタル浚渫の完了時期は、外港航路が 2008 年 4 月、内港航路が 2008 年 12 月である。

外港航路においては、2009 年 6 月以降の埋没は少なく局所的には KP13 や KP14 の地点のように窪んでいる所もある。一方、内港航路の埋没は激しく、KP3 と PK4 の地点の水深は 7.5 m まで浅くなっている。

現在は、航路全域にわたってほとんど元のレベルまで埋没しており、キャピタル浚渫完了時の水深は維持されていない。



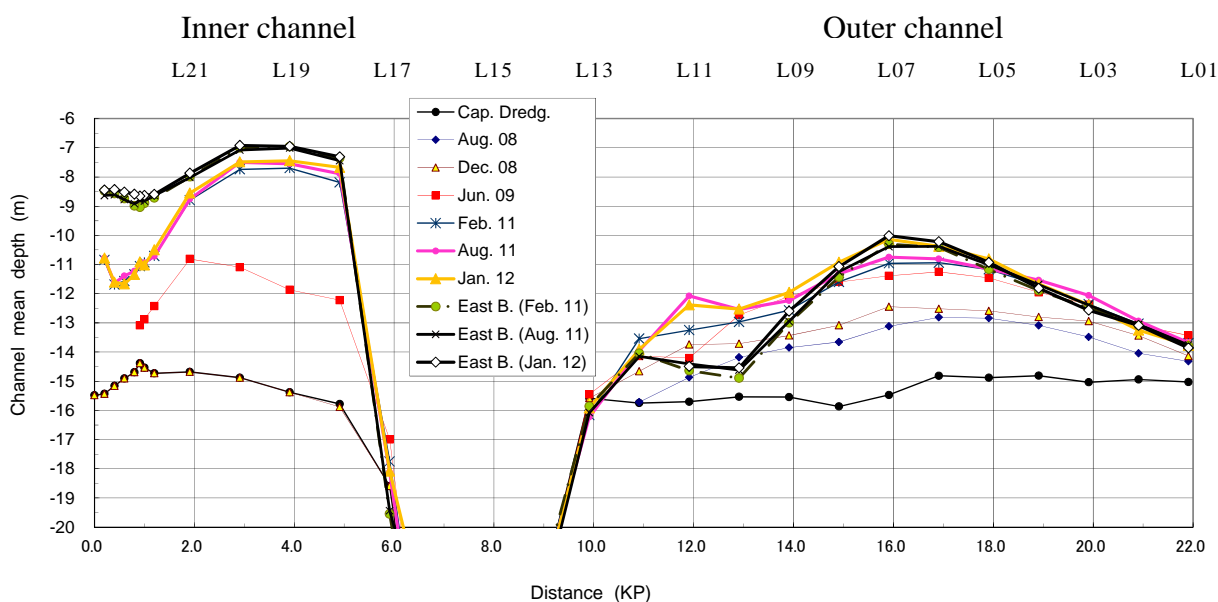


図 3.3 航路内の平均水深の変化

### 3.1.3 超音波周波数 38 kHz と 200 kHz で測定された水深の違い

SAPI 調査時の 2009 年 6 月に二つの周波数の超音波を用いて行われた深浅測量結果は、38 kHz の超音波で測定した水深と 200 kHz のそれの間に違いがあることを示している (図 3.4)。水深の違いは、2008 年 12 月のキャピタル浚渫完了後まだ圧密されていない状態の浮泥層に対応していると考えられる。

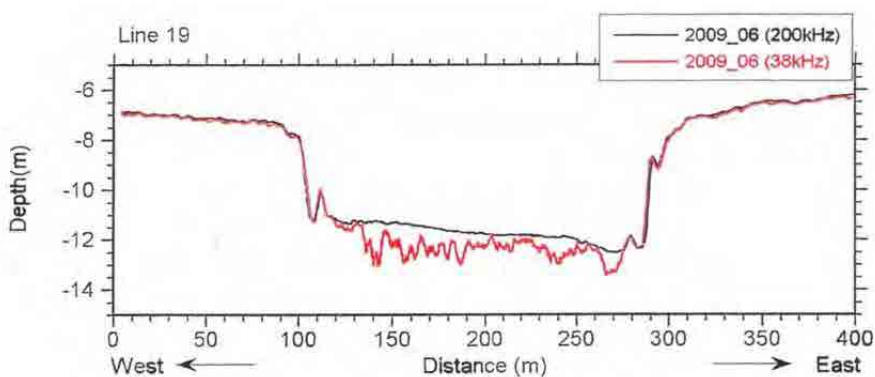


図 3.4 二つの超音波、38 kHz と 200 kHz、で測定した航路断面、測線 L19 (SAPI, 2009)

浮泥層が低周波数と高周波数の超音波にどのように応答するかについては多くの議論があるが、依然として定量的な結論は得られてない。2011 年 2 月 7 日～9 日に実施した泥の鉛直コア採取の結果によると浮泥層の表面の密度は約  $1.05 \text{ g/cm}^3$  である。SAPI 調査と今回調査での調査団の経験から判断すると、周波数 38 kHz の超音波は概ね密度が  $1.05 \text{ g/cm}^3$  のところで反射しているようである。一方、周波数 200 kHz の超音波は、浮泥で混濁した海水密度のすぐ上面の密度  $1.03 \text{ g/cm}^3$  付近で反射しているようである。

維持浚渫が行われているときは、航路埋没がすぐに生じるであろう。埋没の初期においては、



38 kHz と 200 kHz の測深結果に差が生じるであろう。

## 3.2 底泥の特性

### 3.2.1 底泥採取位置と採取方法

第 1 次調査において、表 3.1 に示す 5 地点で採泥調査が実施された。A 地点と B 地点は泊地及び航路の外側に位置し、C、D 及び E 地点は泊地及び航路の中に位置する。地点の位置は図 3.5 に示す通りである。

表 3.1 底泥採取地点.

No	KP (km)	y (m)	Approx. depth of mud surface layer (m)		Remarks
			As meas.	Ref. to DL	
A	0.20	+200	-8.7	-8.5	Outside basin
B	2.92	+200	-6.9	-6.7	Outside channel
C	0.20	0	-13.7	-13.5	Inside basin
D	2.92	0	-7.8	-7.6	Inside channel
E	15.91	0	-11.6	-11.4	Inside channel

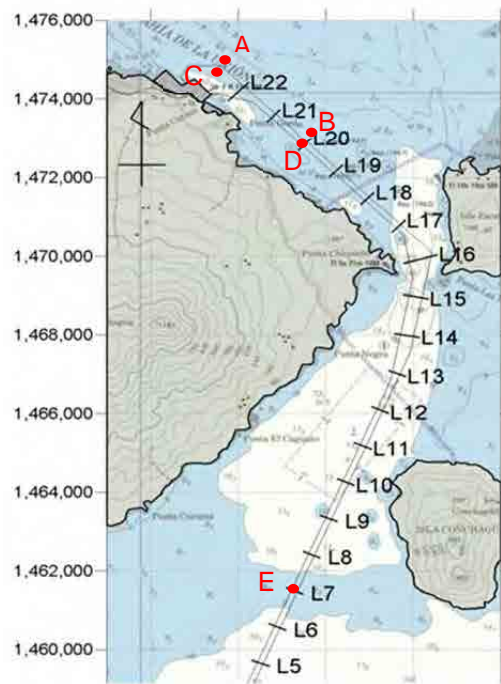


図 3.5 採取地点の位置図

各採取地点で、2 人の潜水士により、長い塩ビパイプ (1.5 m) と短い塩ビパイプ (0.5 m) を泥層に挿入した。底泥採取は表層の浮泥を採取することを目的とした。採泥したパイプは調査船上で 0.3 m 毎に切断した(図 3.6 参照)。浮泥の湿潤密度は、パイプ内に含まれる泥土の重量とパイプの容積から算定した。



(a) Cutting off the 0<sup>th</sup> and 1<sup>st</sup> sections.



(b) Splitting the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> sections.



(c) Splitting the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> sections.

図 3.6 採泥パイプを 0.3 m 間隔で切断する様子

### 3.2.2 泥土の状況と泥土層密度の鉛直分布

各切断パイプの中身の泥土は、湿潤密度を測定した後、密封用袋（ジップロック）に密封し、日本に郵送した。図 3.7 は密封用袋に入れた採取泥の写真である。

図 3.8 は、泥土層の湿潤密度を海底面下の採取層の深さに対してプロットしたものであり、航路外側と内側のもので分けて表示した。航路外側の泥土は、長年乱されない状態にあり、自重による圧密が進んでいる。密度変化の傾向は、海底面下 0.7 m の深さで底泥の湿潤密度が  $1.4 \text{ g/cm}^3$  を超えることを示唆している。

一方、航路の内側に堆積している底泥の密度は低く、採泥層の深さに対する密度の増加は緩やかである（図 3.8）。KP2.9 の D 地点は、図 3.3 に示すように浚渫後に約 7 m の堆積が生じている場所である。この泥土の層は 2 年かけて堆積したものであるが、いまだ圧密の進行過程にあるようである。航行可能な限界の密度 ( $1.2 \text{ g/cm}^3$ ) の深さは、海底面から 2 m 近くあったものと考えられる。



$$\rho_t = 1.08 \text{ g/cm}^3$$

(a) Mud sample from Site D  
(2<sup>nd</sup> Section)



$$\rho_t = 1.12 \text{ g/cm}^3$$

(b) Mud sample from Site D  
(4<sup>th</sup> Section)



$$\rho_t = 1.17 \text{ g/cm}^3$$

(c) Mud sample from Site B  
(2<sup>nd</sup> Section)



$$\rho_t = 1.27 \text{ g/cm}^3$$

(d) Mud sample from Site B  
(4<sup>th</sup> Section)

図 3.7 底泥サンプルの写真とその密度

KP0.20 の C 地点の堆積厚は、図 3.3 より約 4.5 m である。KP15.91 の E 地点の堆積厚もまた約 4.5 m であるが、2009 年 6 月以降の堆積は 0.5 m に過ぎない。D 地点に比較して、C 地点や E 地点の堆積層厚は小さくなっており、このことは、D 地点より C 地点や E 地点の湿潤密度が大きくなった理由かもしれない。

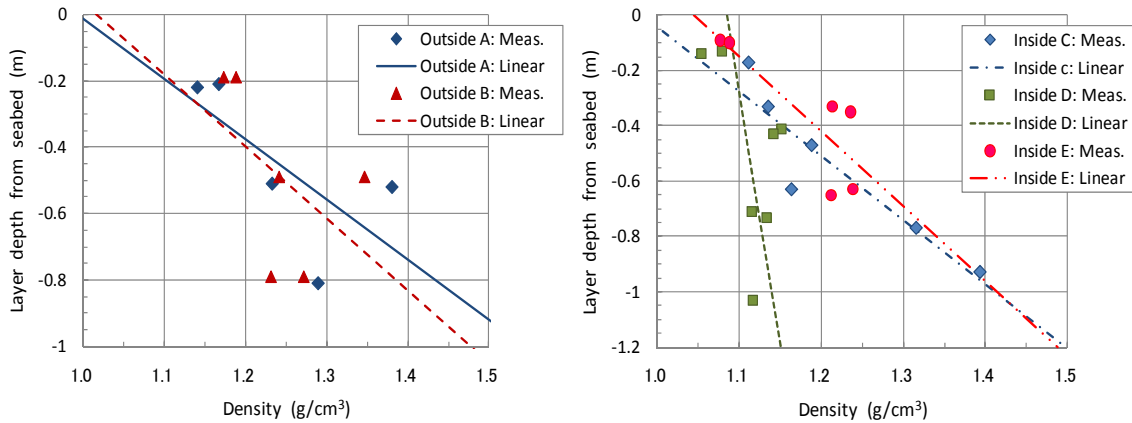


図 3.8 底泥湿潤密度の鉛直分布、左：航路の外側、右：航路の内側

### 3.2.3 採取泥の物理的特性

採泥された 40 サンプルは日本へ輸送し、(株) 応用地質に詳細な土質試験を委託した。湿潤密度と含水比は、全サンプルについて試験をおこない、その他の土質特性については、泥の特性は深さによる違いはないと考えられるため、各採取地点の鉛直層のサンプルを混ぜ合わせたものを用いて分析した。

表 3.2 は、土質特性の試験結果である。これらの 5 サンプルは海底の表層 1.0 m の泥土の特性を表すものである。D 地点のサンプルは他の地点より粒径が細かく、塑性指数が高い。D 地点は航路内外の水深差が大きいことにより、浮泥が急激に流入したものと推測される。

表 3.2 採泥地点の土質特性

Sampling site	Soil grain density $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	Median diameter $d_{50}$ (mm)	75% upper diameter $d_{75}$ (mm)	Liquid limit $w_L$ (%)	Plastic limit $w_L$ (%)	Plasticity index $I_P$	Organic content $C_0$ (%)	Ignition loss $L_i$ (%)
A	2.640	0.002	0.014	111.6	33.9	77.7	4.69	13.4
B	2.648	0.006	0.042	103.7	34.0	69.7	5.20	12.9
C	2.672	0.003	0.040	105.7	33.0	72.7	4.39	13.2
D	2.626	0.001	0.008	132.4	39.0	93.4	5.14	15.1
E	2.636	0.005	0.028	113.3	34.3	79.0	4.78	14.0

### 3.2.4 圧密過程に伴う底泥密度変化の数値予測

泊地や航路に堆積した浮泥は、細粒の泥土と海水の混合物である。その初期密度は 1.05 から 1.10 g/cm<sup>3</sup> あたりである。時間が経過すると、泥土の粒子は凝集し、3D スケルトン構造を構成する。個々の泥粒子の重量は、スケルトンへの加重として作用し、スケルトンからの水を排水する。スケルトンは収縮し、浮泥の湿潤密度は増大する。これが、泥土圧密の初期段階で生じる現象である。

泥土の圧密過程の計算は、鉛直 1 次元の圧密方程式を解くことである。圧密過程における荷重は泥層の重量のみとする。圧密過程の数値計算は、小林ソフトテック (有) の小林博士が実施した。

数値計算は 2 種類の計算を行った。一つは、圧密予測手法の検証を目的としたものである。もう一つは、維持浚渫を実施後の 12 ヶ月間の航路の埋没過程を予測するものである。航路内外の水深差は、実状に適した 3.0 m から 7.5 m の範囲で 4 段階設定して予測計算を行った。



図 3.9(a)に経過時間に対する埋没高さの予測結果を示し、図 3.9(b)に航路底部における湿潤密度の時間変化を示す。底部の泥土の湿潤密度は初期の3ヶ月で急速に増大する。また、初期の水深差の影響は小さい。図 3.9(b)は、航路底部の密度が航行可能な密度 $\rho_s = 1.20 \text{ g/cm}^3$ に到達するのは、浚渫後3から4ヶ月後であり、その堆積厚は1から2 mである。

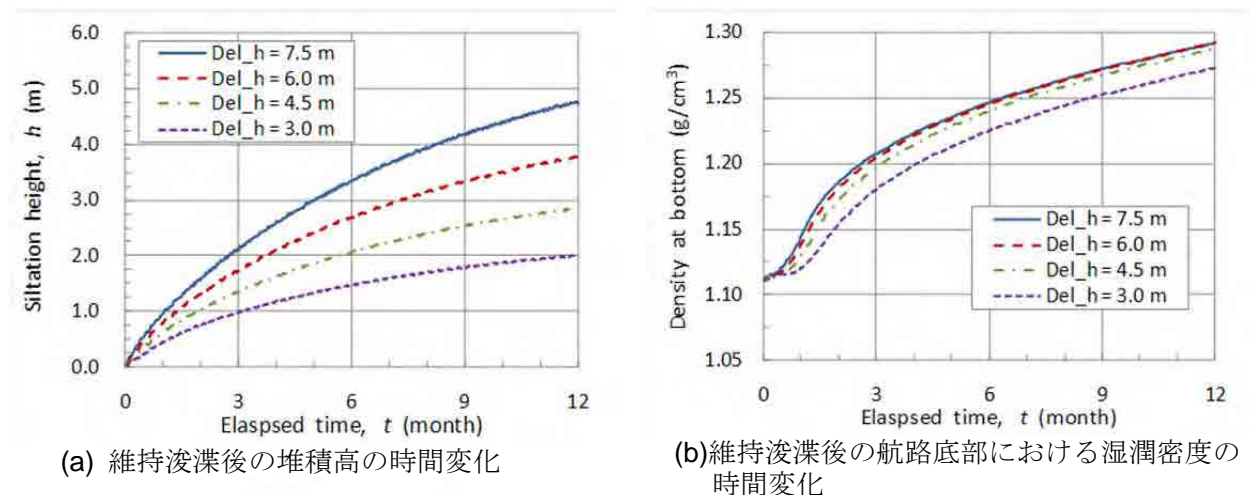


図 3.9 維持浚渫後の(a) 堆積高と(b)底部の湿潤密度の時間変化の予測

### 3.2.5 航行可能水深のための浮泥層厚の評価

泥土の圧密過程解析の主な目的は、航行可能水深を定義する限界密度 $\rho_s = 1.20 \text{ g/cm}^3 = 1,200 \text{ kg/m}^3$ 以下となる浮泥層の厚さを評価することである。

浮泥層厚の評価として、外港航路では波浪による付加荷重が作用することを考慮して 0.5 m に設定するのが安全であろう。内港航路では、圧密過程の解析結果は 2.0 m を示しているが、C 地点の現場データを考慮し、安全側の 1.0 m に設定する。

## 3.3 現地調査の主要な結果

本章では、測量結果と泥土特性の解析について整理した。調査より得られた主要な結果は以下の通りである。

- 測量調査結果より、内港航路と外港航路の両者とも航路は埋め戻されており、現在の航路水深は航路外側の水深と同じレベルとなっていることが確認された。
- 調査団の現場における経験から、200 kHz の音響測深機は浮泥層の上層を検出すると考えられる。従って、船舶の航行可能な水深は浮泥層により 200 kHz の測深値よりも深くなる。
- 航路内の浮泥層は航路内に比較的長い期間存在することから、この柔らかい泥土の層を考慮して維持浚渫計画を策定することで、維持浚渫土量を軽減できる可能性がある。
- 初期浚渫後約 2 年が経過した時点の底泥サンプルの解析より、湿潤密度が  $1,200 \text{ kg/m}^3$  以下の浮泥層が、外港航路で約 0.5 m、内港航路で約 1.0 m 形成されていることが確認された。



## 第 4 章 埋没過程の解析と予測モデル





## 第 4 章 埋没過程の解析と予測モデル

### 4.1 収集データ

埋没過程の解析のために収集したデータは、深浅図と浚渫記録である。図 4.1 は、浚渫の期間と深浅測量の実施時期を示したものである。2013 年 7 月の最新の深浅測量データも部分的に解析に取り入れた。

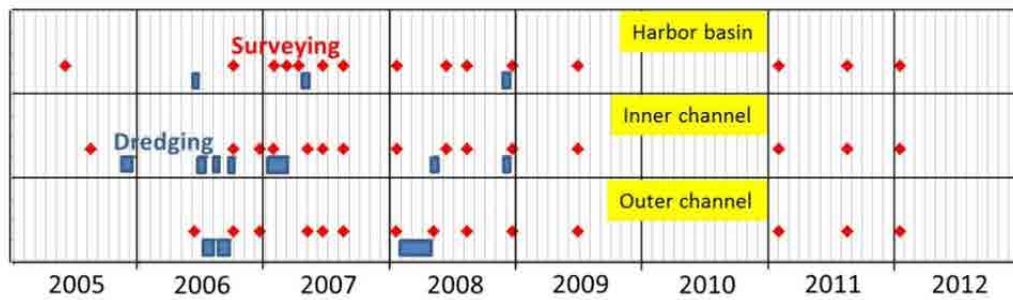


図 4.1 浚渫期間と測量時期

### 4.2 航路の埋没速度と水深差（指数モデル）

図 4.2 は航路内外の代表測線（図 4.3 参照）の水深変化を示したものであり、茶色の線は航路内の平均水深、青色の線と緑色の線はそれぞれ内港航路外の西側バンクと東側バンクの水深である。浚渫を行った期間は灰色（内港航路）と黄色（外港航路）の帯で表示した。この図より、浚渫後に航路埋没が生じていることが簡単に分かる。

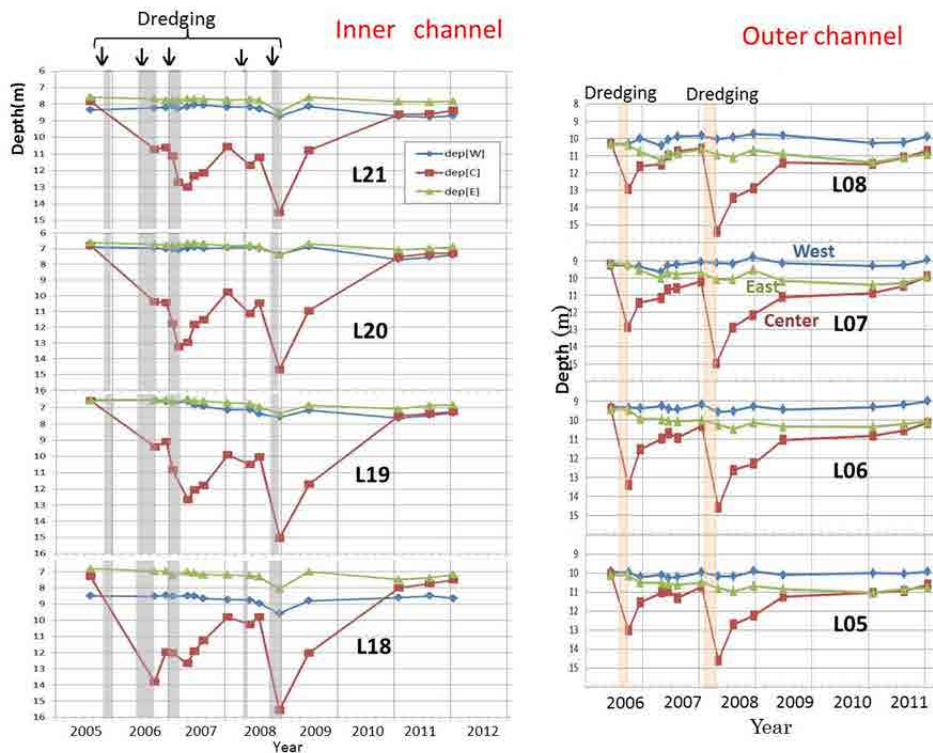


図 4.2 航路内外の平均水深の経時変化

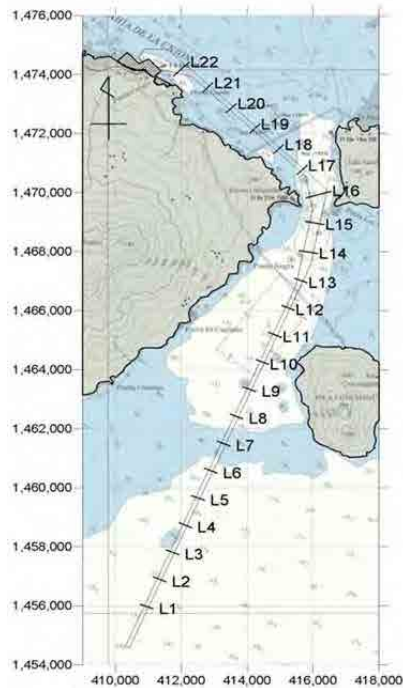


図 4.3 アクセス航路の測線番号

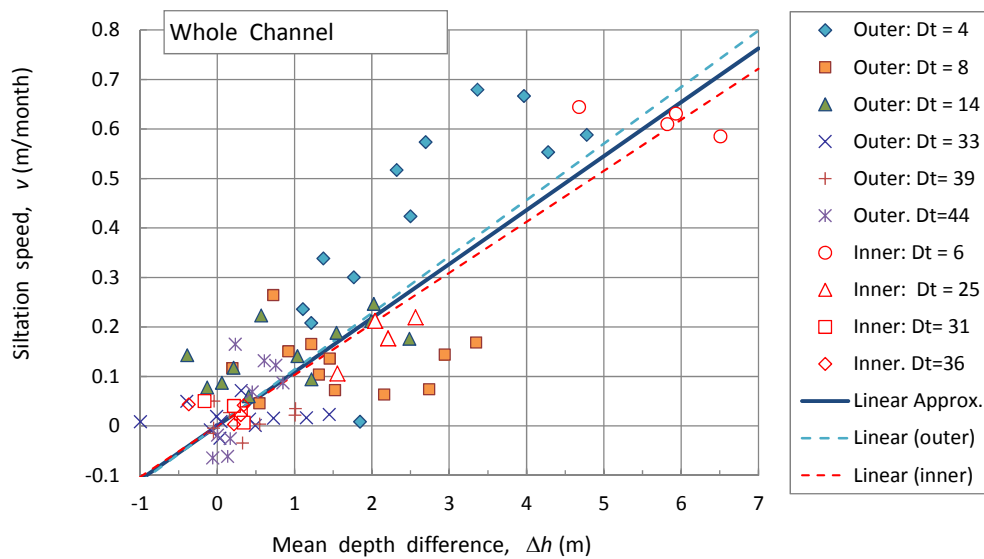


図 4.4 埋没速度と航路内外の水深差の関係

図 4.4 は、航路内の埋没速度と航路内外の平均水深差 $\Delta h$  (m)の関係である。各水深の定義を図 4.5 に示した。

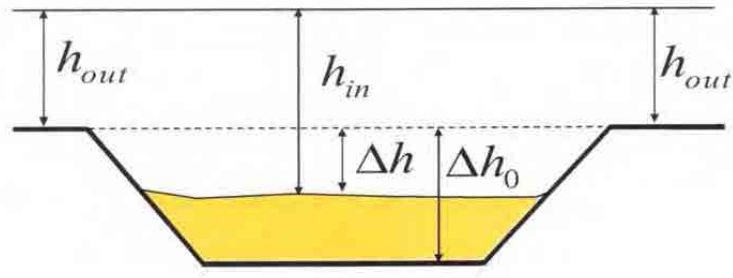


図 4.5 水深の定義

内港航路と外港航路のデータについて暫定的に回帰直線を引くと以下の関係を得る。

$$v = -\frac{d\Delta h}{dt} = 0.109 \Delta h \quad : \Delta h = h_{in} - h_{out} \quad : \text{航路部分} \quad (4.1)$$

経験公式 式(4.1)は簡単に積分でき、水深差 $\Delta h$  について次式を得る。

$$\Delta h = \Delta h_0 \exp[-at] \quad (4.2)$$

ここに  $a$  はアクセス航路について 0.109 である。以下において式 (4.2)を“原型指数モデル”と称する。

### 4.3 航路内の埋没過程の解析

#### 4.3.1 内港航路の埋没

図 4.6 は測線 L21～L18 の水深変化を示したものである。A の期間では、航路水深は全ての測線において直線的に浅くなる。一方、期間 B の水深変化は、赤い矢印で示した浚渫直後に相対的に速く、水深が浅くなるにつれて遅くなる。つまり、水深は指数関数的に変化した。期間 B の指数関数的な水深変化は図 4.6 のいずれの測線においても認められる。

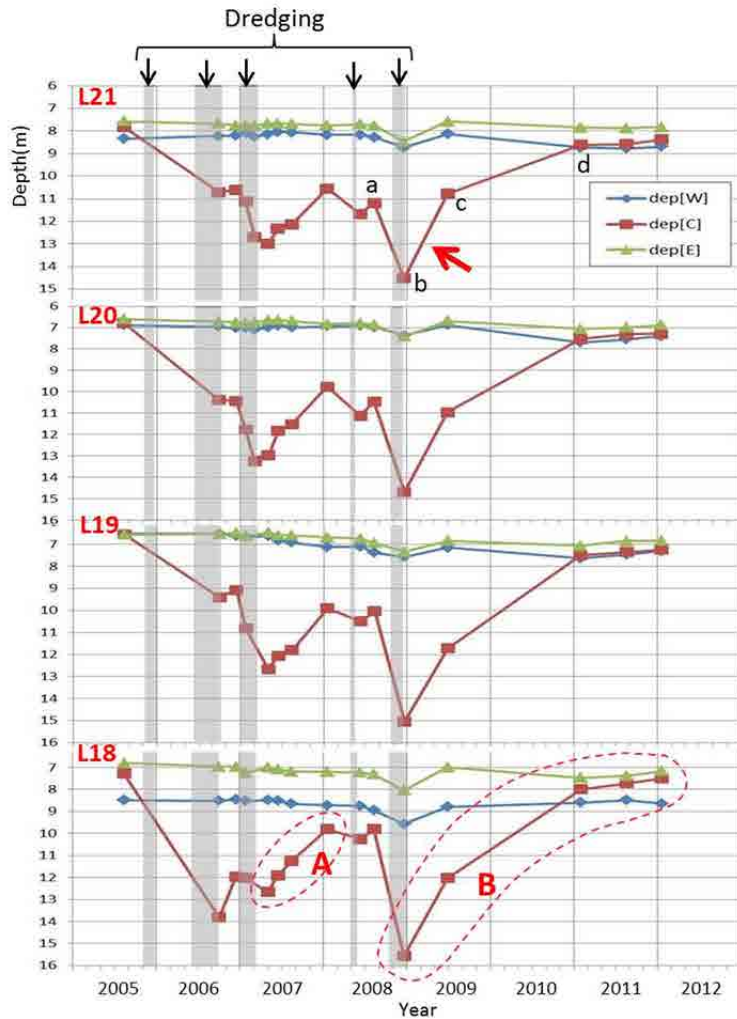


図 4.6 航路の測線 L21～L18 の水深変化

浚渫直後の埋没速度は速い。この状況を詳しく調べるために、測線 L21 の 3 つの航路断面を 図 4.7 に重ねて示した。これらは浚渫前の断面（2008 年 8 月；図 4.6 中に “a” としている）、浚渫完了直後の断面（2008 年 12 月；同 “b”）、浚渫後約 6 ヶ月が経過した時の断面（2009 年 6 月；同 “c”）である。

断面 “a” と断面 “c” は非常によく似ている。しかし、断面 “b” はこれらの 2 断面と 2 つの点で異なる。第一の違いは、航路水深であり、それはもちろん浚渫によるものである。第二の違いは、図 4.7 中に破線で囲んだ位置の航路法肩の高さである。浚渫直後（“b”）の航路法肩の高さは、他の断面の法肩より約 60 cm 低く、これは明らかに不自然である。残りの測線のデータについても同じように不自然な下方へのズレがあった。したがって、不適切な潮位補正や水深基準面の取間違いなどの何らかの系統的な誤差が含まれていると判断される。

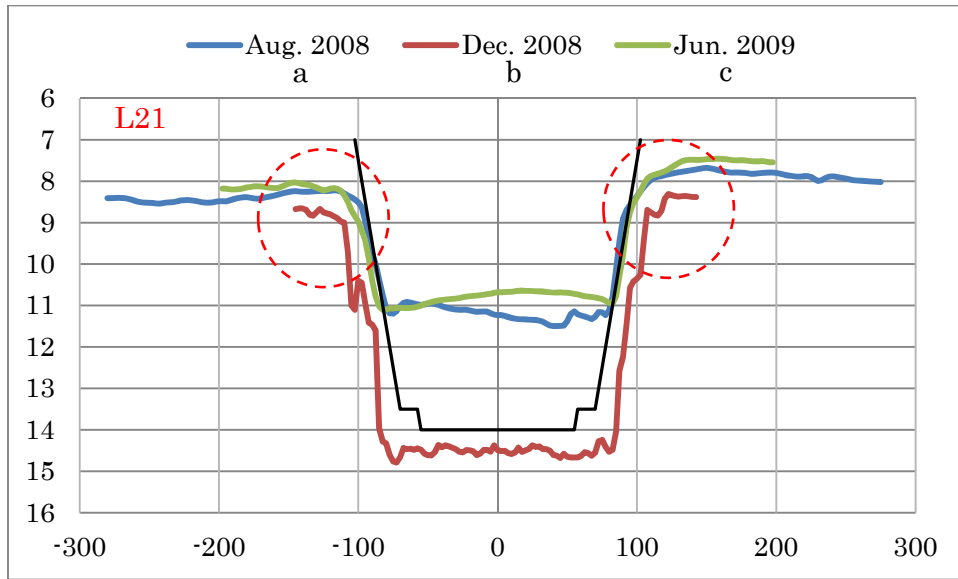


図 4.7 測線 L21 の断面の重ね合わせ

図 4.8 に、測線 L21 の浚渫直後の断面を、試みに 2 つの断面に重なるように上方に 60 cm シフトして示した。その結果、断面の整合性は全体としてよく改善されたので、この補正は適切であると考えられる。

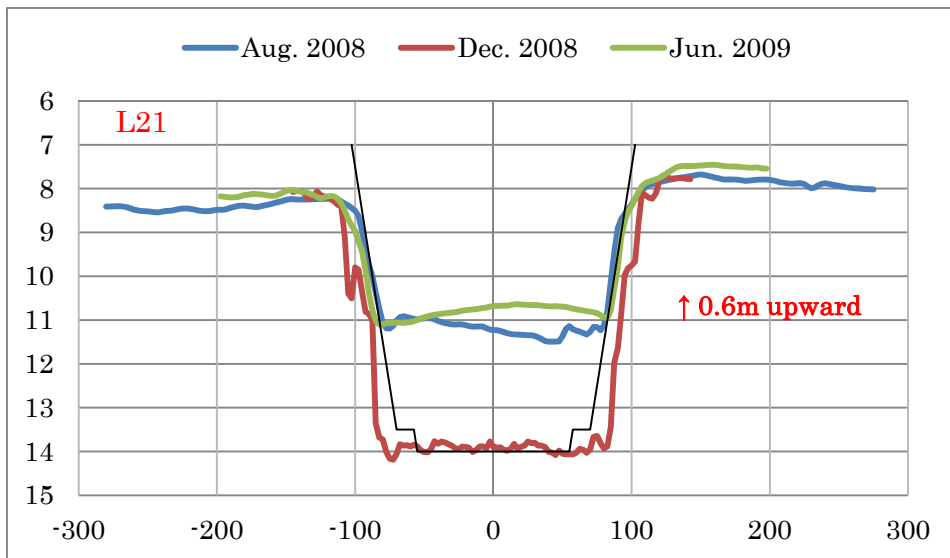


図 4.8 上方へずらした後の断面の重ね合わせ, 測線 L21  
(2008 年 12 月測量の断面を上方に 0.6 m シフトした)

### 4.3.2 外港航路の埋没

図 4.9 は外港航路の測線 L08～L05 の平均水深の変化を示したものである。平均水深は浚渫後に深くなる。浚渫直後には、水深が急激に浅くなり、それに続く期間になると図中に破線で近似したように水深は徐々に一定の速さで浅くなる。原型指数モデルではこの二つの埋没過程を同時に考慮している。

浚渫前の 2006 年 6 月の航路内の平均水深と航路外の東・西バンクの水深の 3 つの水深は同じである。外港航路の西側のバンクの水深はその後ほとんど変化していないのに対し、東側のバンクの水深は徐々に増加している（深くなっている）。航路内の水深は時間とともに埋没が進行して浅くなり、最終的には東側のバンクの水深と同じ水深になる。東側バンクの水深は浚渫前の水深より深くなっているため、航路内の水深は 2006 年の浚渫前の水深までは埋没しないことになる。

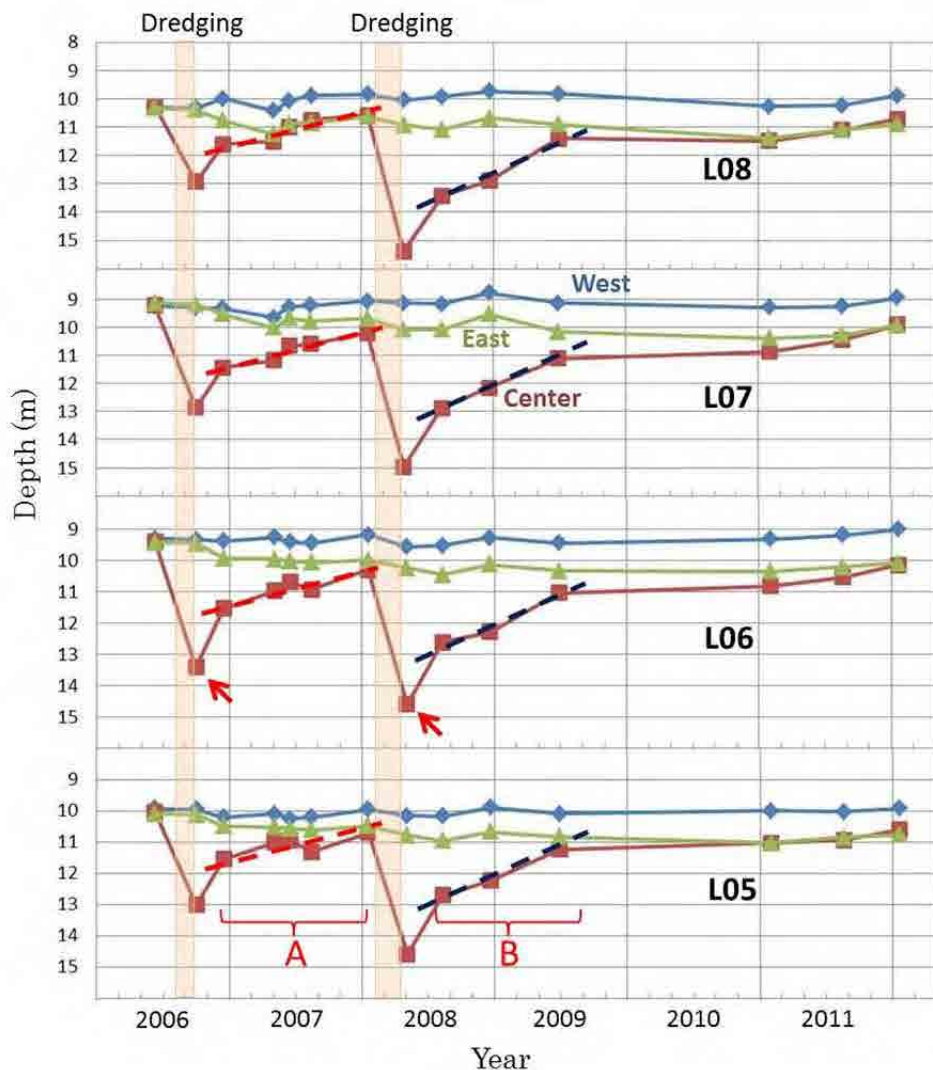


図 4.9 外港航路の測線 L08～L05 の航路内水深変化

次に、外港航路の測線 L08～L05 において埋没してしまった航路断面について調べる。考察には 3 種類の深浅図を用いた、つまり



1. 2006年6月10日測量の深浅データ；最初の浚渫前
2. 2008年1月18日測量の深浅データ；最初の浚渫後1年4カ月経過した時点
3. 2011年2月1日測量の深浅データ；2008年の再浚渫後2年8カ月経過した時点

図 4.10 は測線 L08～L05 について 3 断面を重ねた結果である。黒い線は計画航路断面を示して、これを目標に 2006 年および 2008 年に浚渫が行われている。

2006 年 6 月の時点（最初の浚渫前）の海底は平らであった。最初の浚渫は 2006 年 9 月 24 日に完了したが、2008 年 1 月には外港航路はほとんど埋没していた。航路内の埋没量は西側のほうが東側より多い。航路外の西側バンクの水深は変化しておらず安定しているのに対し、東側のバンクは 2008 年 1 月までに侵食を受け、2011 年 2 月までにさらに侵食が生じている。これらの地形変化の特徴は残りの測線の断面にも認められる。すべての測線において、航路内の水深が常に東側バンクの水深と同じかそれより深いということは最も重要でかつ興味ある状況である。

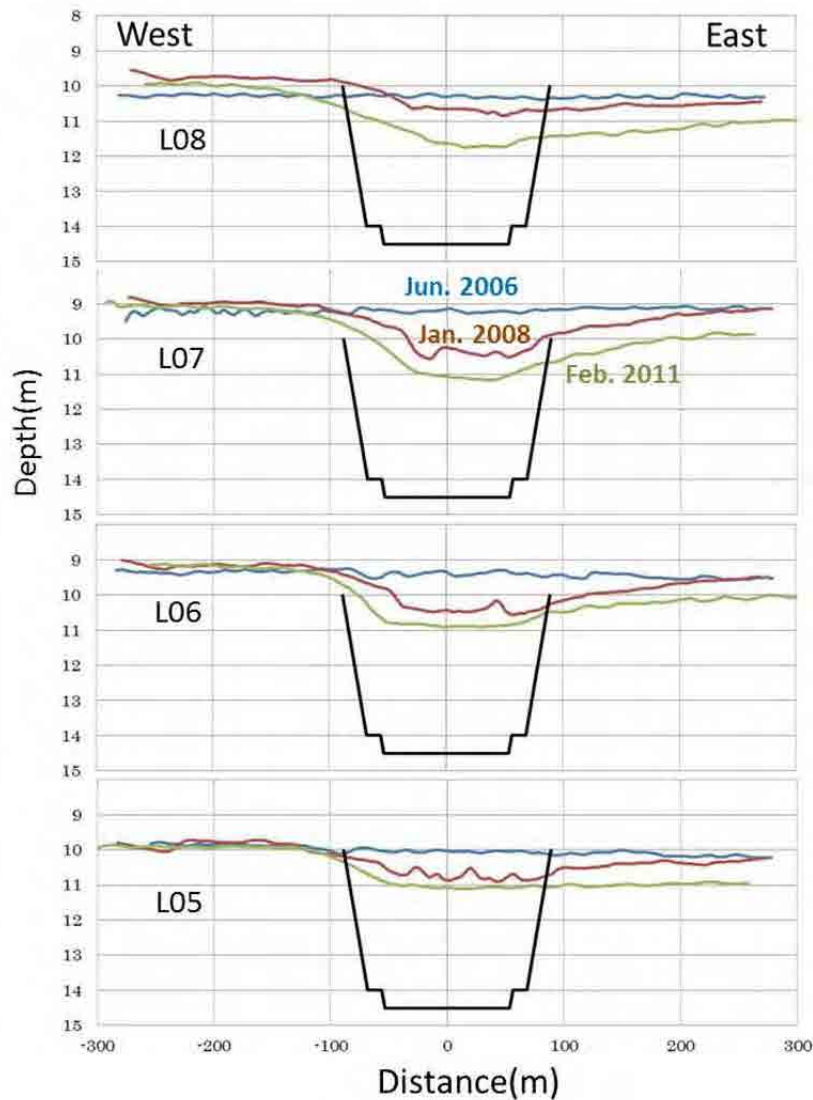


図 4.10 外港航路の測線 L08～L05 の完全航路埋没

### 4.3.3 浚渫直後の急激な埋没に関する物理的考察

再び図 4.9 を見よう。急激な埋没は、第 1 回目と第 2 回目の 浚渫完了直後に生じている。前者の急激な埋没は水深が 12m と 13m の間で生じているのに対して、後者は水深 14 m 付近で生じている。つまり、急激な埋没の発生は水深に依存するのではなく、浚渫完了直後というタイミングに依存している。

図 4.11 は、2008 年の 2 回目の浚渫直後である 2008 年 4 月 24 日と 5 月 5 日に測量された航路断面を、測線 L08～L05 について重ね合わせたものである。ほんの僅かな掘り残しが測線 L08 と測線 L07 にあるものの、航路はほとんど計画航路断面以上に浚渫されている。

図 4.12 は浚渫後約 3 カ月経過した 2008 年 8 月 11 日の断面を重ね合わせたものである。浚渫後 3 ヶ月間に厚さ 1.5 m～2 m の急激な堆積が生じていることが分かる。すべての測線において、航路断面全域にわたって埋没は航路底の水平状態を保って生じていて、航路側面での堆積は認められないので、流動性の高い底質、すなわち浮泥が航路内に堆積したと推察される。航路を開削浚渫する前にその周辺に存在した非常に流動性の高い底質が、航路開削によって航路内に流入することによって急激な埋没が生じたのかもしれない。ただし、現時点ではこれ以上のデータがないので、これは推測に過ぎない。

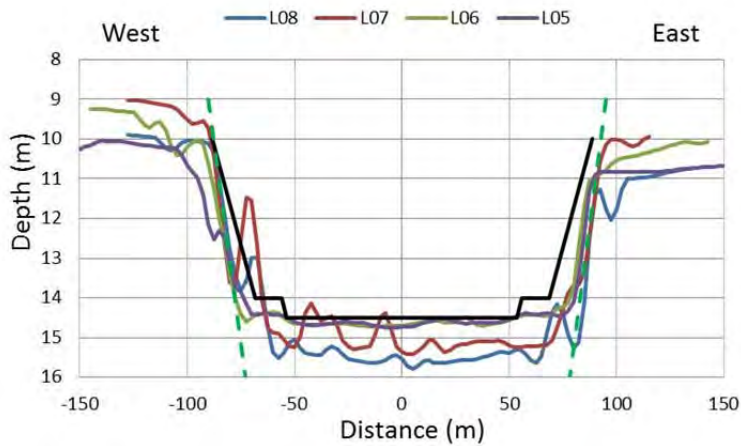


図 4.11 第 2 回目の浚渫直後の航路断面の重ね合わせ（2008 年 4 月 28 日と 5 月 5 日に測量）

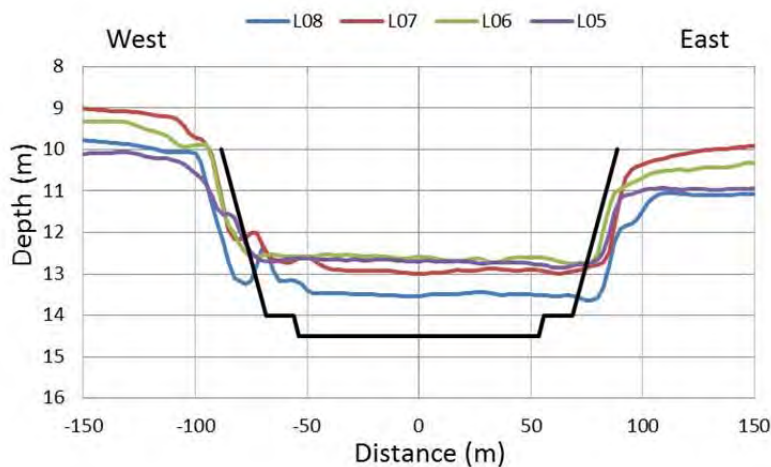


図 4.12 2008 年 8 月 11 日（浚渫後約 3 ヶ月半経過）測量の断面の重ね合わせ



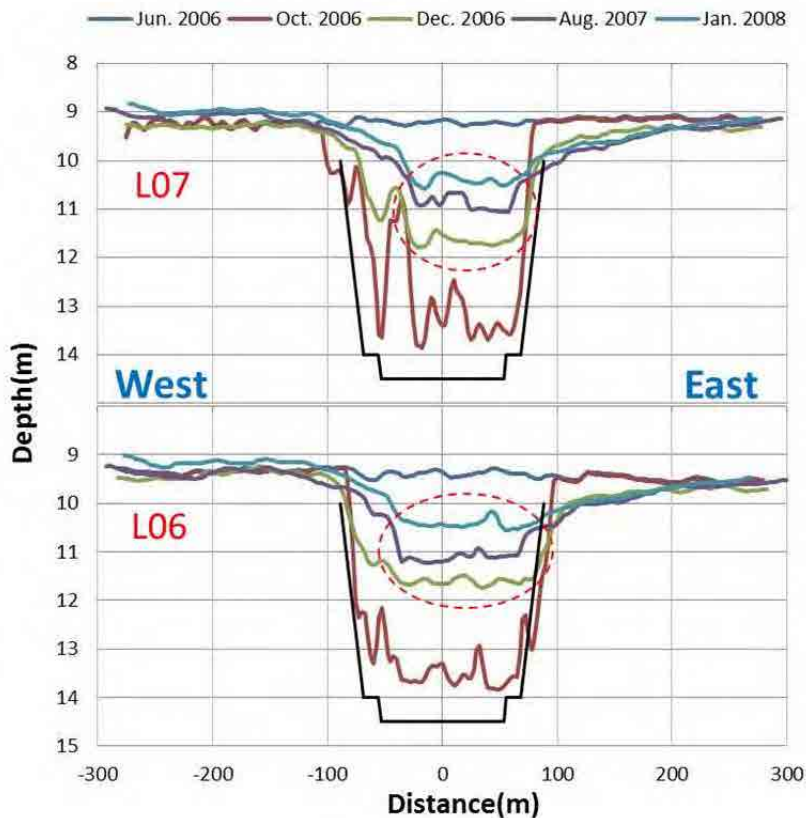


図 4.13 測線 L07 と測線 L06 の航路断面の重ね合わせ

次に、一定速度の緩やかな埋没について考察する。図 4.13 は測線 L07 と測線 L06 の航路断面を重ね合わせたものである。2006 年 12 月～2008 年 1 月の間に、一定速度の緩やかな埋没が生じた。断面の変化の状況から、西側バンクから航路内の西側の部分に堆積が生じていることが分かる。これは、沈降速度の大きい粗い底質の沈降によるものと考えられる。また、東側バンクでは侵食が生じている。さらに図 4.13 から読み取れることは、図中に赤色の破線で囲んだ航路の東側サイドでは平らで水平状態を保ちながら埋没が進行しているということである。これは航路の東側サイドには非常に流動性の高い底質、つまり浮泥が堆積しているためと考えられる。

最初のステージ、すなわち浚渫直後の数ヶ月間にわたる急激な埋没の発生、では、流動性の高い底質の堆積が航路幅全体にわたって水平になる。それに続く緩やかな埋没の第 2 ステージでは、航路西側の斜面に粗い粒径の底質が堆積して東側バンクの海底が侵食され、同時に浮泥のような流動性の高い底質が航路内の東寄りに堆積する。この状況を考慮に入れると、外港航路に堆積している底質の特性は図 4.14 のようになっていると推察される。つまり、浚渫直後の期間は、浮泥のような流動性の高い底質が航路内に流れ込み水平状態を保ちながら堆積する。その後、航路の西側斜面に沈降速度の大きい粗い粒径の底質が堆積し、浮泥のような流動性の高い底質は航路の東側に堆積する。

図 4.9 図 4.9 で説明したように、浚渫直後の急激な埋没の発生は航路内水深に依存せず、浚渫のタイミングに依存している。したがって、浚渫後の急激な埋没は航路開削以前にその周辺に存在していた非常に移動しやすい底質の流入によるものと考えられる。もしそうならば、急激な埋没は新しく航路を開削した時に限り一度だけ生じる現象であって、維持浚渫が継続的に行われている状況下では生じないことになる。

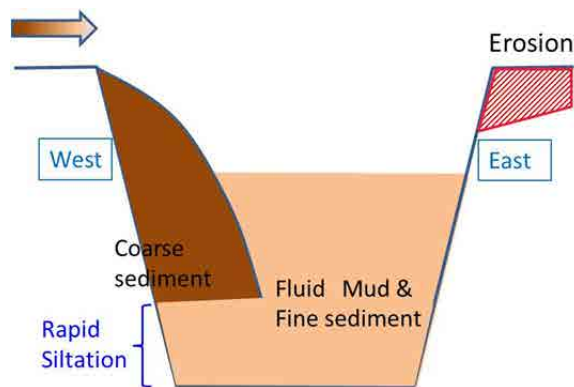


図 4.14 堆積物の空間分布

## 4.4 航路の埋没予測モデル

### 4.4.1 原型指数モデルの修正

#### (1) 内港 航路に対するモデルの修正

外港航路において、第2回目の浚渫直後の2008年12月の水深は2006年～2011年の間で最も深い。これに相当する水深データは、例として図4.7に示したように、下方にシフトされた状態だったので、上方に修正した。測線L21～L18の断面に対する修正の結果を図4.15に示す。図中で、○印は図4.4から再現した外港航路の原データであり、修正後のデータを●印で示している。断面データの全体をそっくり上方にシフトさせて修正したので、横軸上の航路内外の水深差は変化しないのに対し、縦軸の埋没速度は減少する。

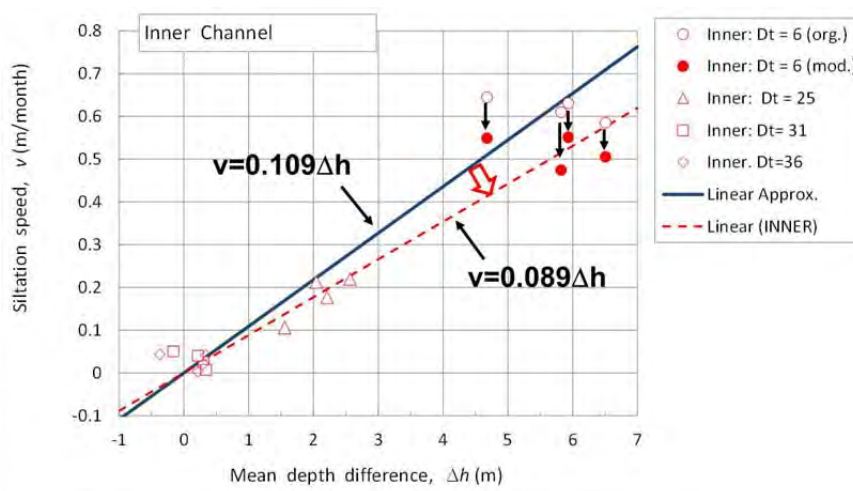


図 4.15 航路の埋没速度と水深差の関係、データ修正後

図 4.15 に見られるように、埋没速度と水深差の直線回帰式の勾配は  $a=0.109$  から

$$a=0.089, \tag{4.3}$$

へ減少する。内港航路に対して、この新しい係数を式 (4.2)で採用する。

図 4.16 は、原型指数モデルで予測した曲線（上図）と修正指数モデルで予測した曲線（下図）に内港航路の実際のデータを重ねて比較したものである。修正を施したデータは、赤い破線で囲んである。原型指数モデルを修正すると（下図）、予測された曲線の水深 9 m から 14 m 付近の勾配は現行の予測結果より幾分緩やかになっている。このことは埋没速度の減少を意味している。

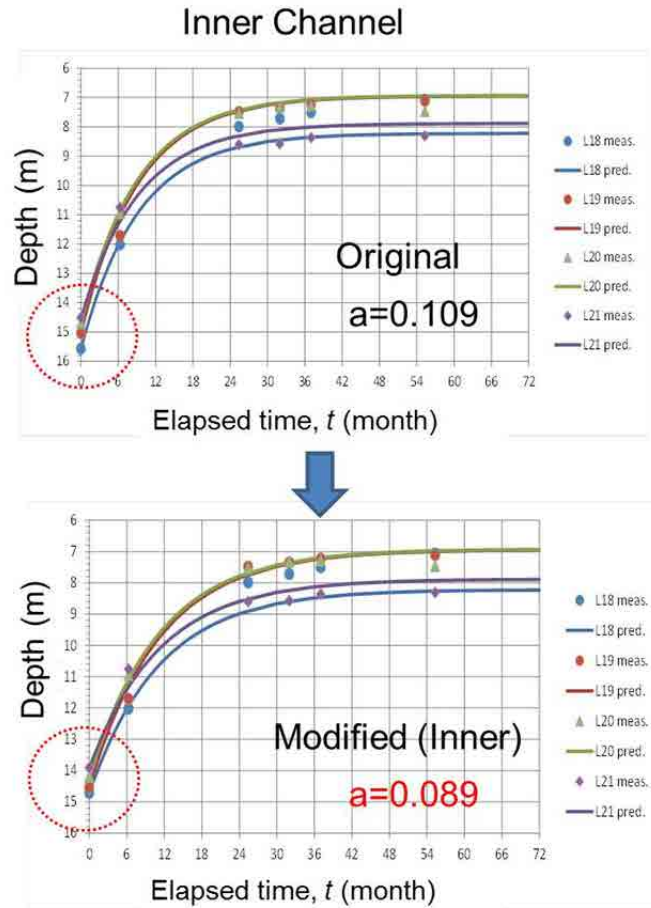


図 4.16 原型および修正指数モデルの予測結果と実測水深の比較（内港航路）

## (2) 外港航路に対するモデルの修正

外港航路の水深は埋没によって減少し、東側バンクのレベルに漸近する。東側バンクは浚渫後に侵食を受けるので、その水深は浚渫前より深くなっている。もし、維持浚渫を行わずに航路をそのまま放置していれば、航路水深はいずれ最初的水深、つまり西側バンクの水深、まで戻ってしまうだろう。しかしながら、維持浚渫が継続的に行われていけば、東側バンクの水深は常に西側バンクの水深より深いと考えられる。

東側バンクの効果を取り入れるもっとも簡単な方法を図 4.17 に示す。原型指数モデルの航路外的水深  $h_{om}$  と航路内外の水深差  $\Delta h_0$  を、それぞれ図 4.17 に定義する  $h_e$  と  $\Delta h_0$  で置き換えることである。以下では、東側バンクの水深  $h_e$  を最終水深と呼ぶことにする。なお、係数は  $a=0.109$  に固定して変更しない。

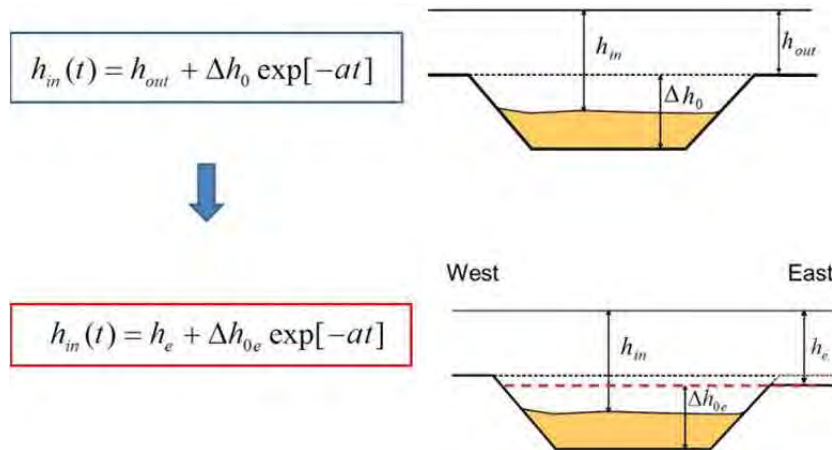


図 4.17 最終水深の概念の導入による原型指数モデルの修正（外港航路に対して）

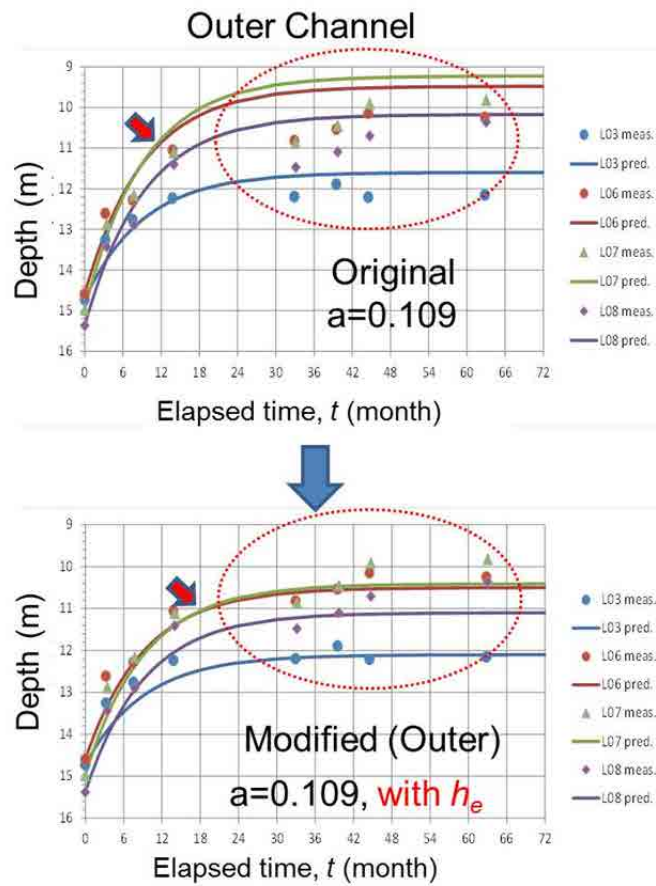


図 4.18 原型および修正指数モデルの予測結果と実測水深の比較（外港航路）

図 4.18 は、原型指数モデルで予測された曲線（上段）と修正指数モデルで予測された曲線を実測データとともに比較したものである。モデルに最終水深の考えを導入することにより、予測された曲線と実測水深は赤い点線で囲まれた浅海部でほとんど一致するようになった。さらに、図中に赤い矢印で示した点に注目すると、測線 L07 と L06 において水深 11 m まで浅くなるのが原型指数モデルでは 12 カ月後だったのに対し、修正指数モデルでは 18 カ月に延びている。つまり、外港航路でのモデル修正は埋没速度を遅くする結果となった。



#### 4.4.2 線形モデル

第4.2節で、外港航路の埋没過程は2つの連続するステージに分けられると説明した。つまり浚渫直後の急激な埋没とそれに続く期間の緩やかな埋没である。急激な埋没は新しく開削された航路に特有の一回限りの現象かもしれない。もしそうならば、維持浚渫を継続的に行っている場合には急激な埋没は生じない。ゆっくりとした埋没の生じる第2のステージでは、埋没速度は航路内の水深に関係なく一定である。第2ステージだけを対象として、試みとして、図4.19の点線の直線付近にプロットされたデータだけにに基づき、暫定的に、線形モデルをつかった。

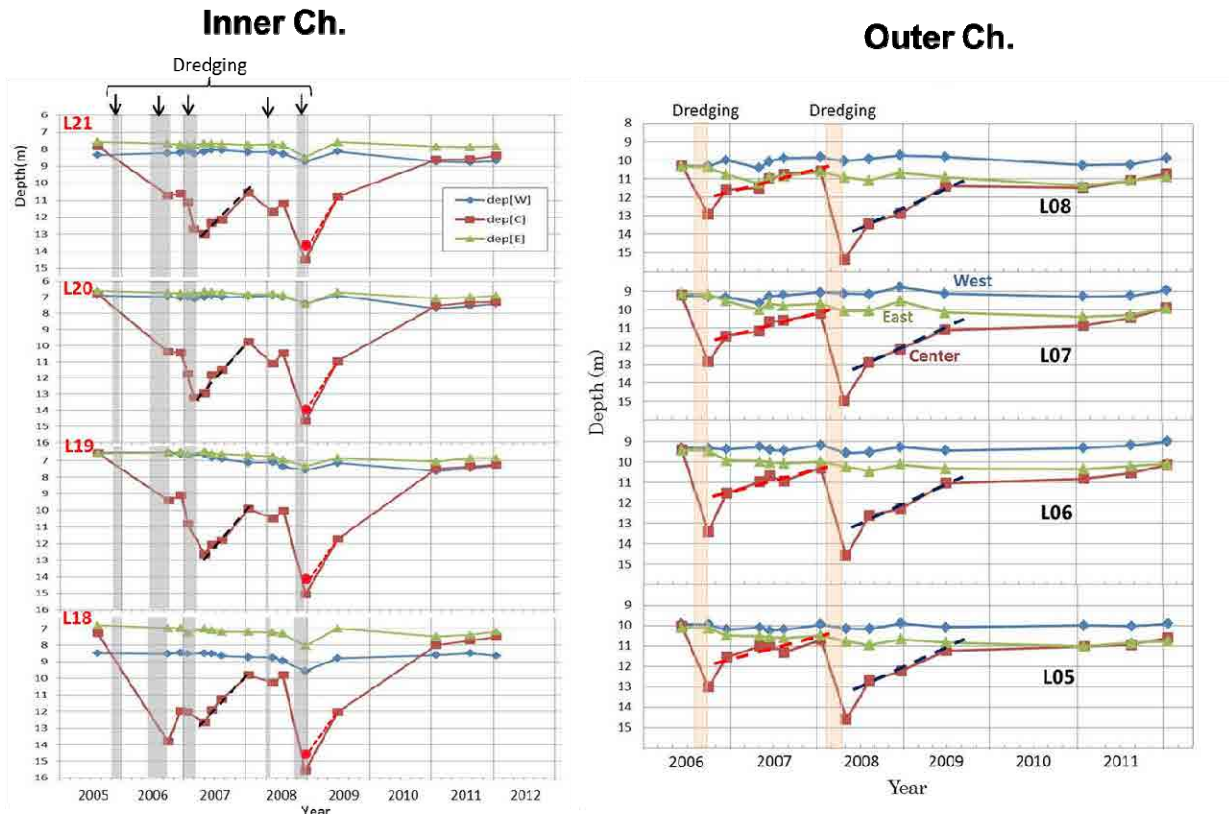


図 4.19 内港航路と外港航路の航路水深の変化

内港航路の平均埋没速度は 0.39 m/月であり、外港航路のそれは 0.14 m/月である。

$$v = -\frac{dh}{dt} = \begin{cases} 0.39 & \text{(Inner channel)} \\ 0.14 & \text{(Outer channel)} \end{cases} \quad (4.4)$$

この式を積分すると、航路内の水深は次式の直線で表わされる。

$$h = h_0 - vt \quad (4.5)$$

ここで、 $h$ は航路内の水深、 $h_0$ は航路の(浚渫直後の)初期水深、 $t$ は浚渫後の経過時間(単位:月)である。式(4.5)は、航路水深が時間に比例して直線的に変化することを意味しているので、以降このモデルを線形モデルと呼ぶことにする。

線形モデルは急激な埋没を考慮していない予測モデルなので、航路内外の水深差が大きいときには、埋没速度を小さく評価するという特徴がある。ところが、一方で水深差が小さいときには、埋没速度が実測データより大きくなり、さらに、時間が経過すると埋没が進行して、航路内の水深が航路外の水深より浅くなる。この不具合を解消し実測データとの整合を高めるために、水深差が小さい所で修正指数モデルと接続させることにした。具体的には、図 4.20 に実線で示すように、埋没速度で両者の連続性を確保した。

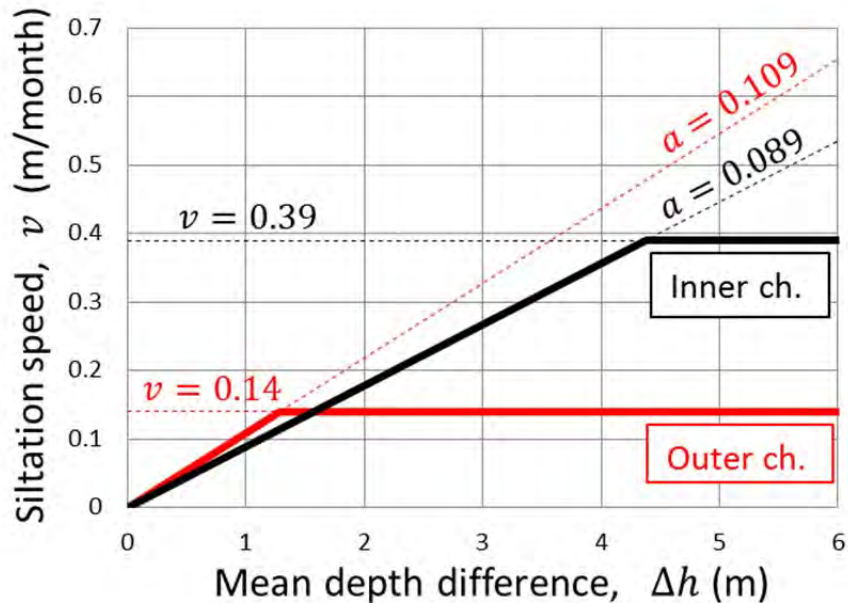


図 4.20 線形モデルと修正指数モデルの接続

#### 4.4.3 2つの埋没予測モデルの適用性

修正指数モデルは、浚渫後の航路内水深の変化を第1・第2ステージについて予測することができる。

維持浚渫が継続的に行われているときには、線形モデルを埋没量予測に適用することができるという可能性がある。しかし、線形モデルは一つの試みとしてつくられたモデルであるということを強調しておくことが極めて重要である。急激な埋没の発生は初めて航路を開削した直後に限られるに違いないという非常に大きな仮説が依然として残されている。したがって、仮説が測量データで証明されるまで、あるいは線形モデルの適用性がデータによって確認されるまでは線形モデルの使用を控えなければならない。

#### 4.4.4 泊地航路と泊地の埋没モデル

埋没は泊地でも生じている。しかし、残念ながら泊地の埋没を予測する経験モデルを構築するための十分な深浅データがない。そこで、最終水深の考えをモデルに取り入れた、外港航路のモデル(式(4.6))を泊地に適用する。

$$\Delta h = \Delta h_e + (\Delta h_{0e}) \exp[-at] \quad (4.6)$$

ここで、 $\Delta h_e$ は泊地航路と泊地の内外の最終水深差である。最終水深差 $\Delta h_e$ は、深浅図に基づいて、各測線毎に決めた。

## 第 5 章 浚渫土量と浚渫コストの評価





## 第 5 章 浚渫土量とコストの評価

### 5.1 再浚渫土量

ラ・ユニオン港の場合、航路や泊地は既に大量の泥土で埋め戻されているため、維持浚渫を実施する前に再浚渫する必要がある。以下、再浚渫と呼ぶ。再浚渫土量は、2013 年 7 月に実施された最新の測量データに基づいて評価した。

表 5.1 に、D.L.-9 m から D.L.-14 m まで 1 m 毎に変えた 6 つの目標水深に対して再浚渫土量を評価した結果を示す。再浚渫土量は、図 5.1 に示すような航路形状を考慮して計算した。また、ここでの再浚渫土量には、余堀分の土量（埋没に対応するための余掘り及び施工時において航路底面を計画形状より低くするための余剰掘削の両者）は含まれていない。

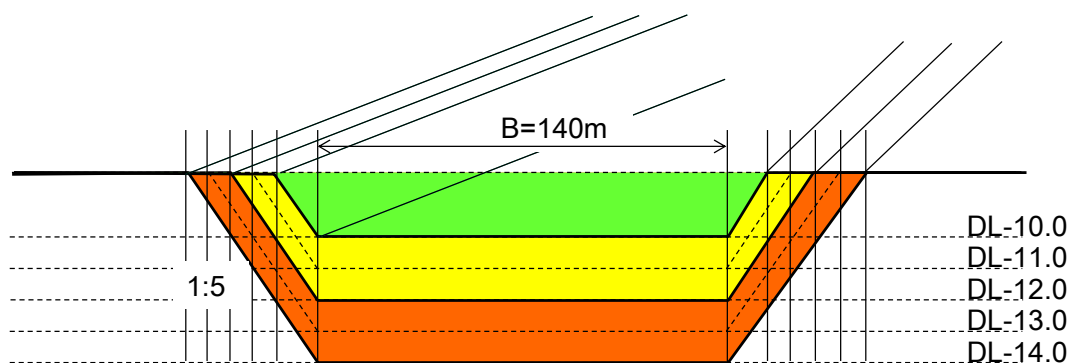


図 5.1 再浚渫土量計算に用いる航路形状

表 5.1 再浚渫土量(単位: 1000 m<sup>3</sup>)

Depth (m)	Outer Ch.	Inner Ch.	Basin	Total
D.L.-9.0	0	895	0	895
D.L.-10.0	25	1,535	59	1,619
D.L.-11.0	404	2,215	344	2,964
D.L.-12.0	1,161	2,936	798	4,895
D.L.-13.0	2,284	3,696	1,471	7,452
D.L.-14.0	3,882	4,496	2,186	10,565

### 5.2 維持浚渫土量

#### 5.2.1 航行可能水深

図 5.2 に、航行可能水深の定義を示す。本調査では、航行可能水深を密度 1,200 kg/m<sup>3</sup> 以下のフルードマッド層を含む水深として定義する。第 3 章の調査結果に基づき、フルードマッドの層厚は内港航路では 1.0 m、外港航路では 0.5 m に設定する。

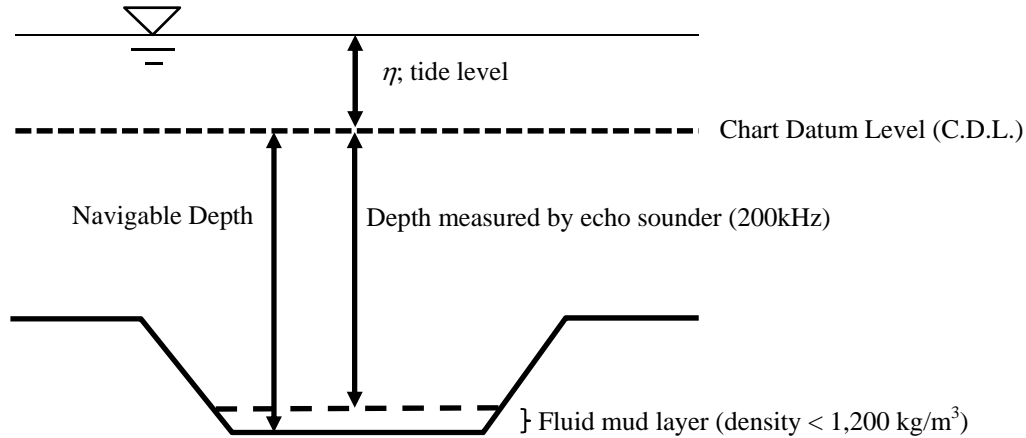


図 5.2 航行可能水深と計測水深の定義

### 5.2.2 維持浚渫土量の評価方法

第4章では、既往の測量成果をもとに埋没速度の解析を行い、修正指数モデルと線形モデルの2つの埋没予測モデルを構築した。この2つのモデルを用いて維持浚渫土量を評価した。

表 5.2 維持浚渫土量の評価に用いる埋没予測モデル

予測モデル	摘要
1. 修正指数モデル	$V = a\Delta h$ ● $a = 0.089$ (内港航路) ● $a = 0.109$ (外港航路) with 最終水深( $h_e$ )
2. 線形モデル	$V = \min(a\Delta h, V_{\max})$ ● $V_{\max} = 0.39$ m/月 (内港航路) ● $V_{\max} = 0.14$ m/月 (外港航路)

浚渫土量は維持浚渫の浚渫サイクル間における堆積土量より評価される。目標水深と航路の外側水深の水深差を $\Delta h_{tar}$ とし、維持浚渫を $T$ ヵ月サイクルで実施する場合、余堀分を含む必要な浚渫深 $D_x$ は以下のように計算される。

#### 1) 修正指数モデル

$$D_x = \Delta h_{tar} \exp[aT] \quad \text{for 内港航路} \quad (5.1)$$

$$D_x = \Delta h_e + (\Delta h_{tar} - \Delta h_e) \exp[aT] \quad \text{for 外港航路及び泊地} \quad (5.2)$$

#### 2) 線形モデル

$$D_x = v_{linear} T \quad (5.3)$$

ここで、 $a$ の値は内港航路では0.089、外港航路及び泊地では0.109である。 $\Delta h_e$ は最終水深と航路の外側水深との水深差(= $h_e - h_{out}$ )であり、 $v_{linear}$ は線形モデルにおける埋没速度であり、内港航路では0.39(m/月)、外港航路では0.14(m/月)である。

図 5.3 に、浚渫と航路底面高が上昇する過程の模式図を示す。式(5.1)について説明するため、L20(KP2.9)の位置の水深変化を想定する。ここで、航路外側の水深は DL-6.9 m である。目標水深を DL-11.0 m とすると、航路内外の水深差は  $\Delta h_{tar} = 4.1$  m となる。ここで、1.0 m のフルードマッド層厚を考慮すると、水深差は  $\Delta h_{tar} = 3.1$  m となる。浚渫サイクルを  $T = 6$  カ月とすれば、初期の水深差は  $D_x = 5.3$  m と算定されるため、目標の浚渫深は、DL-12.2 m となる。浚渫サイクルの 6 カ月間で、航路の底面は徐々に上昇し、最終的に DL-10.0 m (航行可能水深は DL-11.0 m) になる。6 カ月後に航路は再度 DL-12.2 m まで浚渫される。

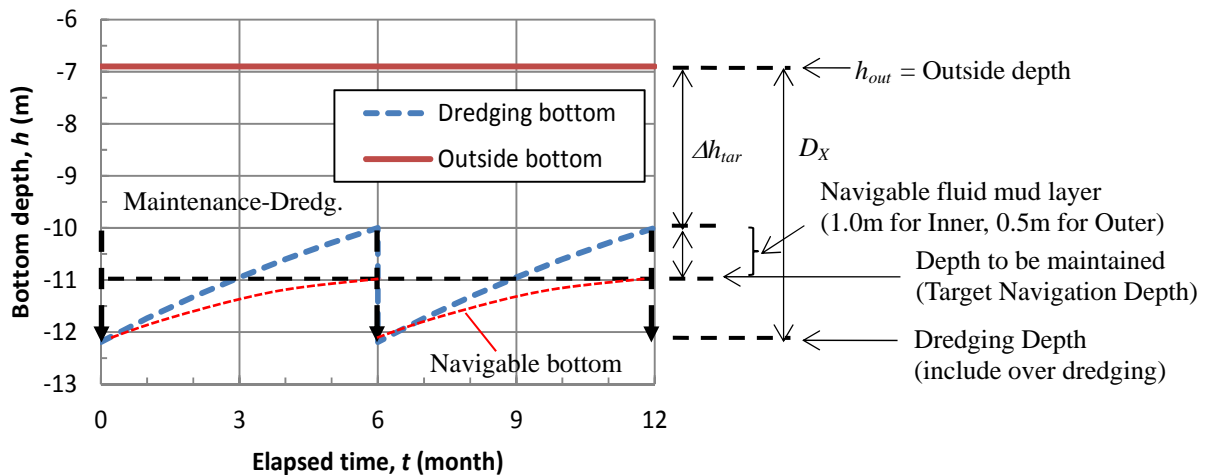


図 5.3 維持浚渫間の航路底面高変化の模式図

### 5.2.3 水深別維持浚渫土量

維持浚渫量は、DL-9.0 m, DL-10.0 m, DL-11.0 m, DL-12.0 m, DL-13.0 m、及び DL-14.0 m の 6 つの目標水深に対して計算した。維持浚渫サイクルは、3, 4, 6, 12 ヶ月とした。設定された浚渫サイクルと目標水深に対する維持浚渫量は、修正指数モデルと線形モデルの 2 つの予測モデルにより評価した。例として、修正指数モデルの予測結果を表 5.3 に示す。

図 5.4 は、目標水深に対する年間浚渫量の計算結果を示したものである。修正指数モデルによる浚渫土量は青色、線形モデルによるものはオレンジ色で表示されている。また、図中の曲線は各目標水深に対する最小値を結んだものである。

修正指数モデルと線形モデルを比較すると、浚渫土量は目標水深が 13 m より深くなると計算値の差が大きくなっていることが分かる。線形モデルにおける一定値の埋没速度は航路水深が 12 m 付近より大きい場合に効果が現れるため、修正指数モデルと線形モデルの差は目標水深が 12 m より深い場合に顕著になる。

表 5.3 修正指数モデルによる維持浚渫土量

目標水深 (m)	浚渫間隔 (月)	領域別の浚渫土量( $10^3 \text{ m}^3/\text{cycle}$ )			計 ( $10^3 \text{ m}^3/\text{cycle}$ )	計 ( $10^3 \text{ m}^3/\text{年}$ )
		外港航路	内港航路	泊地		
9.00	3.00	0	54	0	54	215
	4.00	0	75	0	75	224
	6.00	0	123	0	123	245
	12.00	0	323	0	323	323
10.00	3.00	0	193	0	193	770
	4.00	0	267	0	267	802
	6.00	0	435	0	435	871
	12.00	0	1,107	0	1,107	1,107
11.00	3.00	5	358	3	365	1,461
	4.00	7	495	4	505	1,516
	6.00	11	798	6	815	1,631
	12.00	33	1,937	19	1,988	1,988
12.00	3.00	164	519	53	736	2,944
	4.00	230	715	74	1,020	3,060
	6.00	384	1,140	125	1,650	3,300
	12.00	1,057	2,401	355	3,813	3,813
13.00	3.00	438	677	182	1,297	5,188
	4.00	613	928	256	1,797	5,390
	6.00	1,011	1,463	428	2,902	5,804
	12.00	2,620	2,532	1,190	6,342	6,342
14.00	3.00	818	831	419	2,068	8,272
	4.00	1,139	1,133	589	2,861	8,584
	6.00	1,857	1,766	982	4,605	9,210
	12.00	3,904	2,846	2,691	9,442	9,442

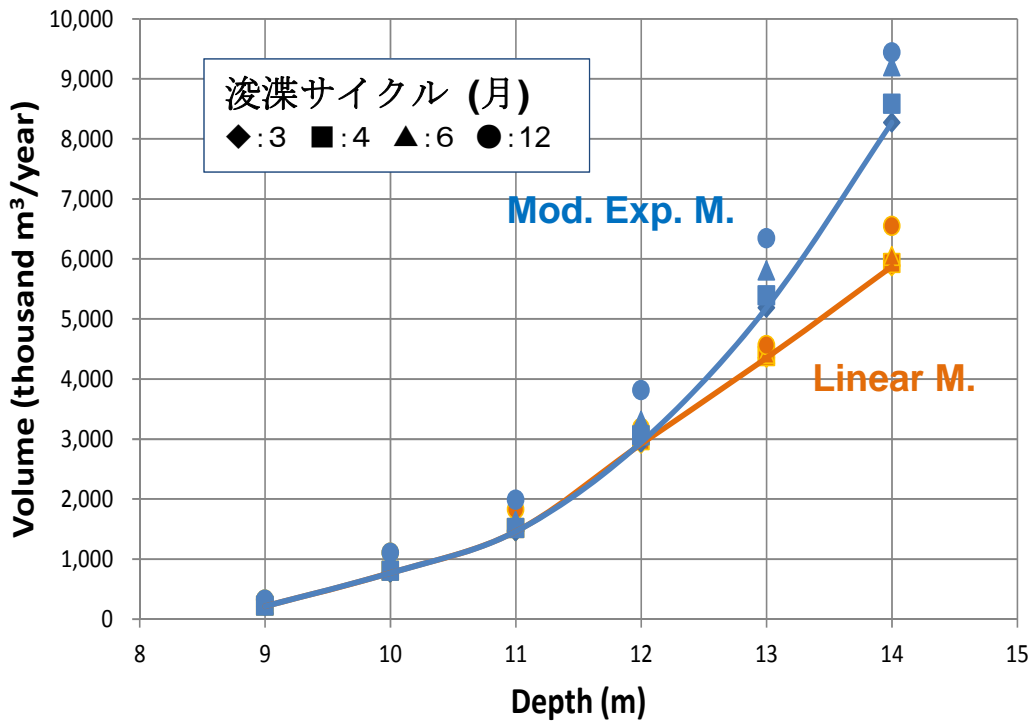


図 5.4 水深別維持浚渫土量

## 5.3 浚渫工法と浚渫船容量の検討

### 5.3.1 浚渫船の種類

#### (1) 非航式カッターサクシオン浚渫船 (CSD) (写真 5.1)

これは、ラダー先端に取り付けられたカッターヘッドで海底土砂を攪拌し、海水と混合された土砂を吸い上げる方法である。海水とともに吸い上げられた土砂は排砂管によって土捨て場に圧送される。経済的圧送距離は一般的に2~3キロメートルである。この形式の浚渫船の操船位置決めはスパッドと呼ばれる昇降し海底に差し込まれる2本の杭とラダーを通して海底に設置されたアンカーに連結しているスイングウインチワイヤーによって行われる。



写真 5.1 カッターサクシオン浚渫船

(出典: "IHC Beaver Cutter Suction Dredger" International Marine Consultancy)

#### (2) トレーラーサクシオンホッパー浚渫船(TSHD) (写真 5.2)

これはサクシオンパイプの先端に取り付けられたドラッグヘッドで土砂と海水を吸い込みポンプによって土砂と海水を吸い上げる方法である。吸い上げられた土砂は浚渫船に装備されたホッパーに積み込まれる。ホッパーが土砂で満杯になると浚渫船は自航し土捨て場に至り、ホッパーの底を開き土砂を捨てる。



写真 5.2 TSHD

(出典: "TSHD Glenn Edwards 10,000m<sup>3</sup>" The art of dredging.com)

### (3) Grab Hopper Dredger (GD) (写真 5.3 及び写真 5.4)

これは、クレーンに取り付けられたグラブバケットによって海底を掘削する方法である。つかみ取られた土砂は浚渫船に装備されたホッパー内に積み込まれる。ホッパーが満杯になると、浚渫船は自航して、土捨て場へ行きホッパーの底を開いて土砂を捨てる。ほかに台船形状で自船上にホッパーを保有せず、自航もできないグラブ浚渫船もある。台船形状のグラブ浚渫船は浚渫土砂を土運船に積み込む。



写真 5.3 グラブホッパー浚渫船

(出典: "Hopper Dredger CRANE" Axeonalias, RC Groups.com)



写真 5.4 グラブ浚渫船 (台船形状)

(出典: "The closing process of clamshell dredges in water-saturated sand" Dr. ir. S.A. Miedema et al.)

### (4) 非航バックホー浚渫船 (BHD) (写真 5.5)

これは、バックホーの油圧アームによって操作されるバケットで掘削する方法である。主構成は陸上で使用されるバックホーである。浚渫土砂は通常土運船に積み込まれる。バックホー浚渫船は通常2または3本のスパッドが搭載されており、これで位置決めおよびバックホーの掘削時の反力に対抗している。



写真 5.5 バックホー浚渫船  
(出典: “Mimar Sinan” Jan De Nul Group)

### 5.3.2 適切な浚渫工法

浚渫工法と適切な浚渫船を選択するには下記の要点を考慮すべきである。

- 1) 浚渫土砂の特性
- 2) 浚渫場所へのアクセス
- 3) 航路の最大維持水深
- 4) 浚渫場所の形状
- 5) 海象条件
- 6) 航行船舶への影響
- 7) 土捨て場
- 8) 生産性
- 9) 費用効果

上記項目の評価結果を表 5.4 にリストアップしている。表 5.4 によれば、カッターサクション浚渫船は、航路の航行船舶を阻害することとともに、主に海象条件及び土捨て場の条件を理由に除外する。また、バックホー浚渫船は、水深及び海将条件の理由により除外する。そして、グラブホッパー浚渫船は、費用効果とともに航路の航行船舶の阻害および生産性の理由を要因として除外する。

その結果、TSHD がラ・ユニオン港で適切な浚渫船であるとして選択された。

TSHD は表 5.4 に示すように他の浚渫船と比較して、航行船舶への影響、生産性および費用効果の面で特に評価されている。

表 5.4 ラ・ウニオン港における浚渫船の適用性

浚渫船の評価項目		カッターサクショ ン浚渫船	トレーラーサク ションホッパー 浚渫船	グラブホッパー 浚渫船	バックホー浚渫 船
1)	浚渫土砂の特 性	適用	適用	適用	適用
2)	浚渫場所への アクセス	適用	適用	適用	適用
3)	航路の最大維 持水深	適用	適用	適用	NG
4)	浚渫場所の形 状	適用	適用	適用	適用
5)	海象条件	NG	良好	適用	NG
6)	航行船舶への 影響	NG	良好	NG	NG
7)	土捨て場	NG	適用	適用	適用
8)	生産性	NG	高い	NG	NG
9)	費用効果	NG	高い	NG	NG
最終選択浚渫工法			選択		

注: 「NG」は「適用しない」ことを示す。

### 5.3.3 浚渫船の必要容量

浚渫船の泥艙容量（以下、容量）が小さいと予定期間内に浚渫を完了することができず、逆に大きすぎると不経済である。したがって、浚渫量と浚渫期間に見合った容量の浚渫船を選定しなければならない。

例えば、浚渫サイクルが3カ月の場合、浚渫しなければならない量に対して浚渫船の容量が大きくて1カ月で完了するようだと、稼働率は33%（1カ月/3カ月）であり、浚渫船の待機時間が長くなり無駄である。一方、浚渫船の容量が小さくて所定の量を浚渫するのに4カ月かかると、稼働率は133%（4カ月/3カ月）であり、3カ月の浚渫サイクルが維持できない。

つまり、浚渫船容量としては、

$$\text{稼働率} = (\text{ある容量の浚渫船が浚渫に要する期間} / \text{要求されている浚渫期間}) \times 100$$

が100%を超えない範囲で、できるだけ大きいものを選ぶ。



(1) 浚渫の物理条件

- |                    |                               |
|--------------------|-------------------------------|
| 1) 浚渫土             | シルト、粘土                        |
| 2) 泥艙内土量の積み付け効率    | 60%                           |
| 3) 浚渫場所から土捨て場までの距離 | 15 から 36 km (図 5.5 参照)        |
| 4) 浚渫および回頭時間       | 0.5 時間および 0.25 時間 (計 0.75 時間) |
| 5) 土捨ておよび回頭時間      | 0.15 時間および 0.15 時間 (計 0.3 時間) |
| 6) 船速 (満載)         | 10.2 kn                       |
| 7) 船速 (軽荷)         | 10.8 kn                       |

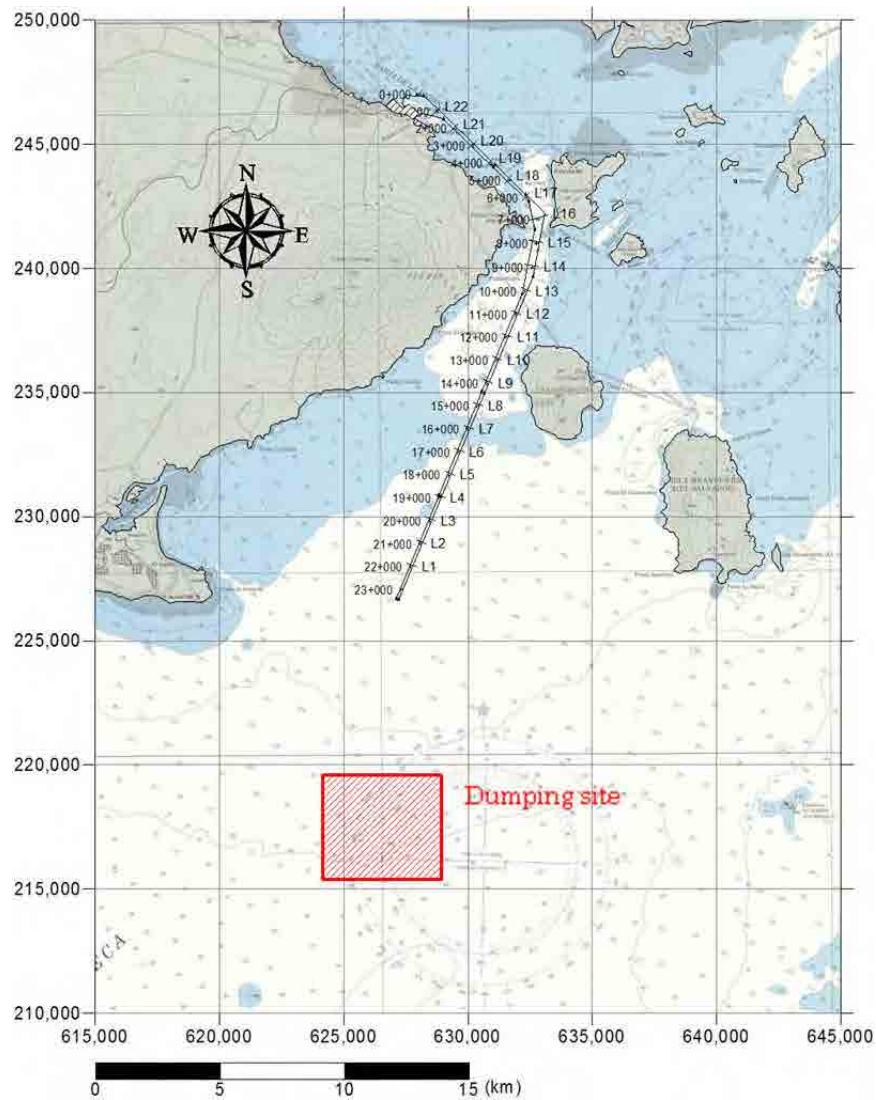


図 5.5 土捨て場位置

## (2) 浚渫の作業条件

- |                          |               |
|--------------------------|---------------|
| 1) 年間作業週間                | 44 週間 (220 日) |
| 2) 年間の点検及び作業不能週間:        | 8 週間          |
| (入渠しての定期点検工事 :)          | (4 週間)        |
| (修理、消耗品交換、手入れ等 :)        | (3 週間)        |
| (悪天候による就業不能日:)           | (1 週間)        |
| 3) 1 週間の作業日数             | 5 日           |
| 4) 1 日の実働時間 (作業効率 0.8) : | 19.2 時間       |

## (3) 稼働率の考え方

浚渫作業全体に要する時間のうち、浚渫船が浚渫場所から土捨て場までを往復する時間が相当の割合を占める。ラ・ウニオン港の航路は約 22 km と長く、土捨て場までの距離は最も近いところで 15 km、最も遠い所で 36 km となっている。このため、土捨て場までの往復時間は浚渫場所によって大きく異なるので、航路を短い区間に区切ってそれぞれの区間について計算しなければならない。ここでは、航路を 1 km 区間に区切ってこの計算を行った。

## (4) 必要な浚渫船容量の決定プロセス

再浚渫の場合は 1 年間で浚渫するケースについて検討する。維持浚渫の場合は 3、4、6、12 カ月サイクルのケース毎に検討する。

各ケースについて、浚渫船容量 1,000 m<sup>3</sup> の場合の稼働率を計算することからスタートする。計算された稼働率が 100 % を超えていた場合は、浚渫船容量を 500 m<sup>3</sup> 増加させて再度稼働率を計算する。浚渫船容量を 500 m<sup>3</sup> 刻みで増加させながらこの計算を繰り返し行い、最初に稼働率が 100 % を下回った浚渫船容量をそのケースに「必要な浚渫船容量」とした。

## (5) 必要な浚渫船容量

表 5.5 に、浚渫期間を 1 年として、再浚渫に必要な浚渫船容量及び稼働率を水深別に取りまとめた。表 5.6 に修正指数モデルのケースにおける水深別各浚渫サイクルの必要浚渫船容量及び稼働率を示す。

表 5.5 再浚渫に必要な浚渫船容量 (m<sup>3</sup>)

維持目標水深	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
浚渫船容量(m <sup>3</sup> )	2,000	3,000	5,500	8,500	15,000	18,000
稼働率(%)	(80)	(96)	(93)	(97)	(82)	(95)

表 5.6 維持浚渫に必要な浚渫船容量 (m<sup>3</sup>)、修正指数モデルのケース

維持水深 浚渫サイクル		9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m
		3 カ月	1,000 (39)	1,500 (92)	3,000 (87)	5,000 (99)	8,500 (99)
浚渫船容量 m <sup>3</sup>	4 カ月	1,000 (40)	1,500 (96)	3,000 (90)	5,500 (94)	9,500 (92)	15,000 (91)
	6 カ月	1,000 (44)	2,000 (78)	3,000 (97)	6,000 (92)	9,500 (99)	15,000 (98)
	12 カ月	1,000 (58)	2,000 (99)	4,000 (89)	6,500 (97)	11,000 (92)	15,000 (100)

下段のカッコ内の数字は、稼働率

## 5.4 浚渫コストの積算

### 5.4.1 コスト積算の項目

浚渫コストの積算は、浚渫を浚渫会社に委託して行う場合（契約ベースの浚渫）と浚渫船を保有して直営で浚渫を行う場合（自船での浚渫）について行う。自船での浚渫のコストは、現在 CEPA が考えている内容に基づいて積算した。

図 5.6 と図 5.7 は、それぞれ契約ベースの浚渫と自船での浚渫における積算の構成を示したものである。図 5.6 と図 5.7 を対応させたときに、同じ色付けになっている項目は同じ内容になっており、色付けしていない（白色の）項目は、考え方の異なる項目である。

二つの場合の積算構成は、最上段の項目が同じ色で対応しており、大枠では同じである。つまり、いずれの場合も浚渫コストは直接経費と間接費の和である。直接経費はいずれの場合も機械費、燃料費及び人件費で構成されるが、それらの内訳の項目において少し違いがある。間接費の内容は回航費を除いて、契約ベースの浚渫と自船での浚渫とで考え方および内容が異なる。

各項目の具体的積算方法については最終報告書に詳述してある。

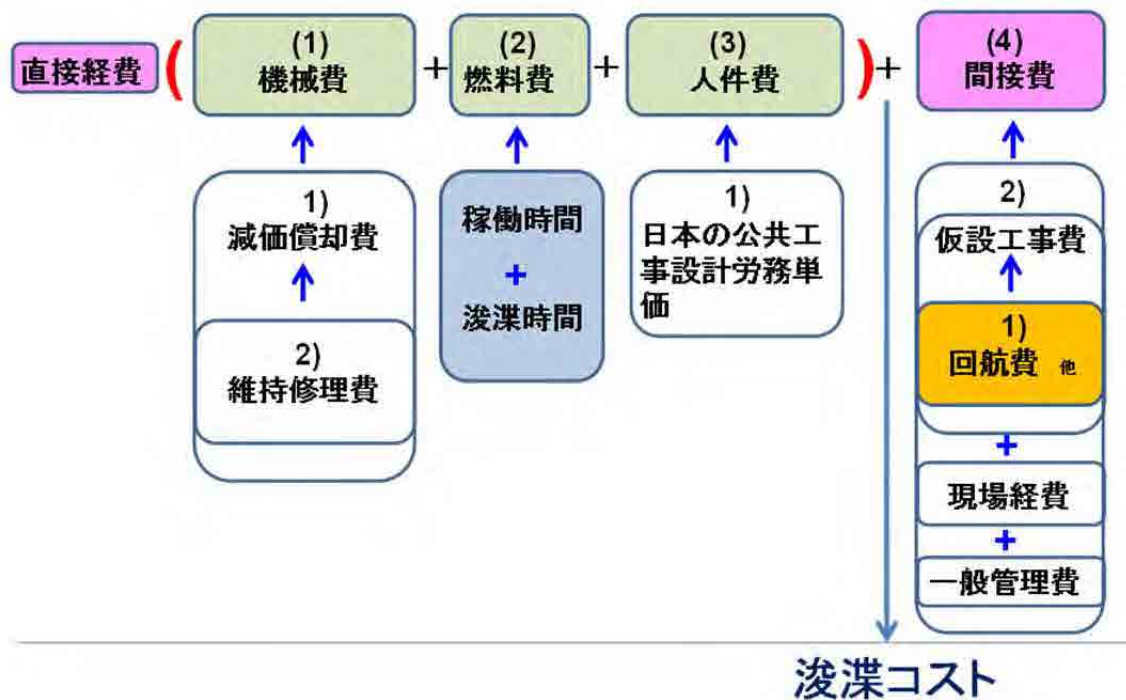


図 5.6 浚渫業者との契約による浚渫コストの積算項目

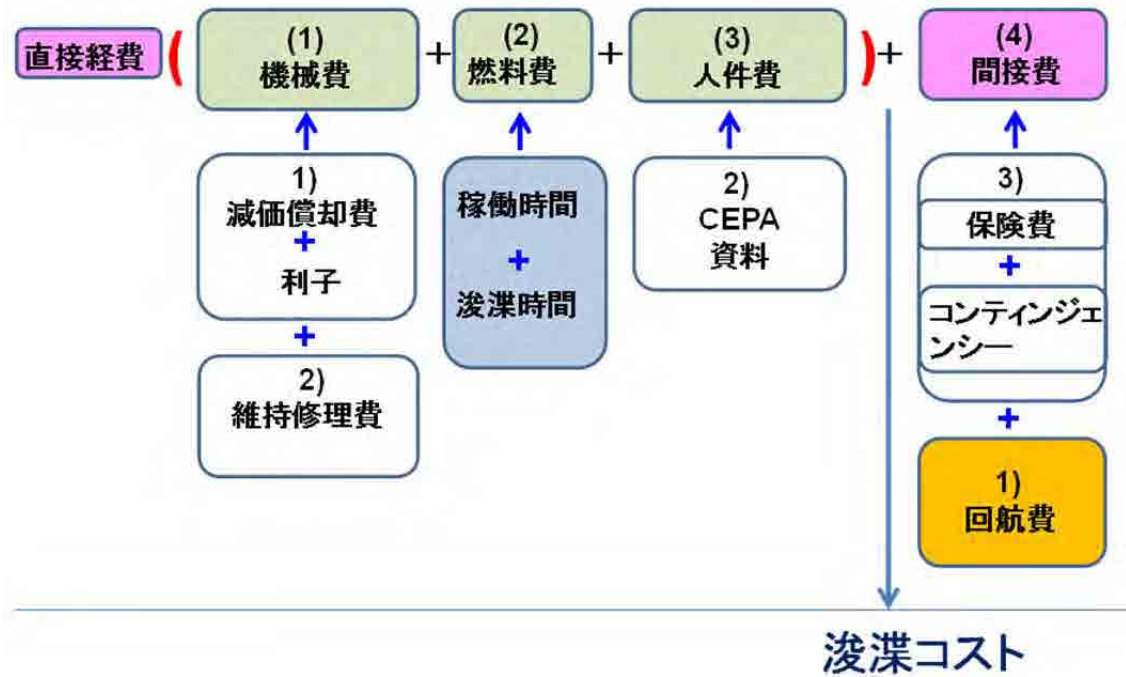


図 5.7 が考えている自船を保有した場合の浚渫コストの積算項目

#### 5.4.2 再浚渫のコスト

再浚渫は契約ベースで1年以内に行うこととし、自船での浚渫は考えない。表 5.7 に契約ベース浚渫による深さ別再浚渫土量と浚渫コストを示す。これらの費用には、ヨーロッパからの片道初期回航費及び定期検査のための1往復の点検回航費が含まれている。

表 5.7 水深別浚渫コスト

Depth (-m)	Hopper capacity (m3)	Operating hour (h)	Operating Month (m)	Volume (m3)	Dredging cost by contract base (US\$/m3)	Dredging cost by contract base (US\$)
9	2,000	3,366	9.6	895,000	13.79	12,342,319
10	3,000	4,064	11.5	1,619,000	10.87	17,603,115
11	5,500	3,941	11.2	2,964,000	9.34	27,686,793
12	8,500	4,096	11.6	4,895,000	7.15	35,010,001
13	15,000	3,464	9.8	7,452,000	7.31	54,466,014
14	18,000	4,020	11.4	10,565,000	6.47	68,371,225

#### 5.4.3 維持浚渫のコスト

航路の維持浚渫量は修正指数モデルと線形モデルで見積もった。図 5.8 は、契約ベースの浚渫コストを修正指数モデルと線形モデルについて示したものである。図中には、各水深の最終浚渫コストを曲線で結んである。同様に、図 5.9 は自船での浚渫コストを図化したものである。

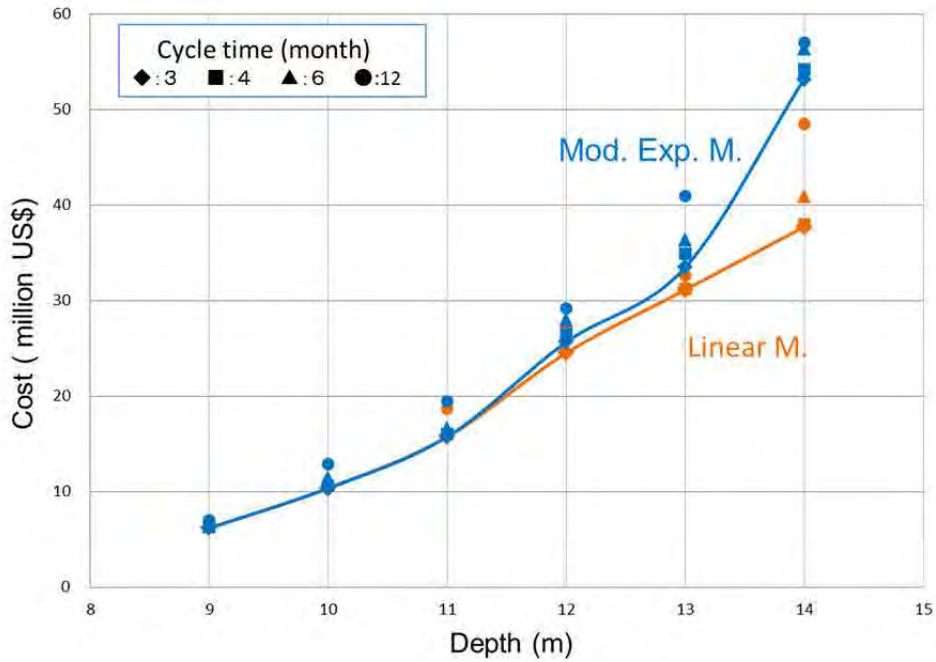


図 5.8 契約ベースの浚渫コスト（修正指数モデルと線形モデルのコストの比較）

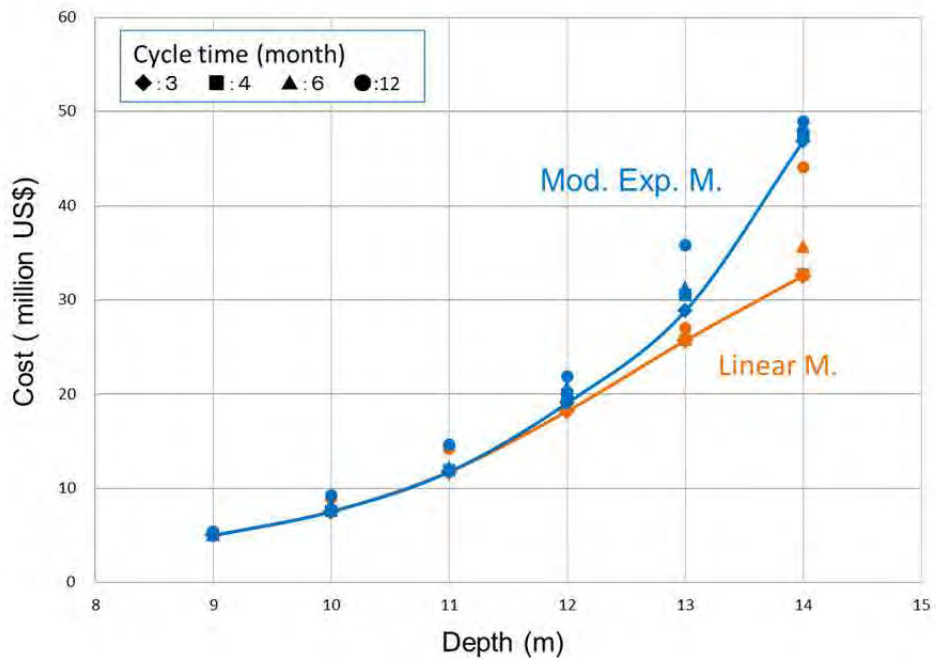


図 5.9 自船での浚渫コスト（修正指数モデルと線形モデルのコストの比較）

#### 5.4.4 再浚渫コストの考え方

再浚渫を行うときには、同時に将来の埋没を見越した余掘りが必要である。しかし、再浚渫のコストには、目標水深まで浚渫するときのコストだけしか積算していない。そこで、再浚渫のときの余掘りコストを図 5.10 に示した簡単な方法で取り扱うことにした。つまり、余掘りのためのコストは維持浚渫コストと同じであるとした。したがって、余掘りまで含めたコストは再浚渫コストと維持浚渫コストの和になる。



図 5.10 再浚渫と維持浚渫コストの構成

#### 5.4.5 サイクルタイムを短縮する効果（目標水深 12m の事例検討）

目標水深 12 m のケースについて、維持浚渫のサイクルタイムを短縮した場合に浚渫コストがどのように変化するかについて検討した。この場合の維持浚渫量は修正指数モデルで推定した。

水路全体の浚渫を瞬間的に終えることは全く不可能であり、ある期間が必要である。このため、ここでは最小サイクルタイムを 1 か月と仮定する。サイクルタイムが 1 ヶ月以下の状況をどうしても知りたいときには、図 5.11 から図 5.12 において図中の曲線を横軸のタイムサイクルが 0 の位置まで外挿すれば、大まかな見当がつく。

図 5.11 は、サイクルタイムと修正指数モデルで予測した年間維持浚渫量の関係である。サイクルタイムが短くなるにつれて、維持浚渫量も減少する。図中の黒い破線は、タイムサイクルが 1 か月短くなると、年間維持浚渫量が 0.11 百万  $m^3$  だけ減少することを示している。サイクルタイムが 3 ヶ月から 1 か月に短縮すると、年間維持浚渫量の減少率は 7.5 % である。

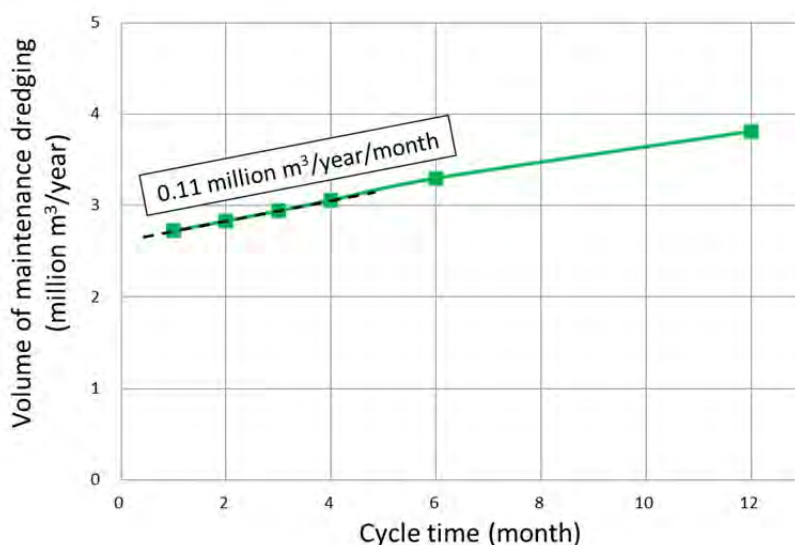


図 5.11 サイクルタイムと年間維持浚渫量の関係  
（目標維持水深 12 m、修正指数モデルで推定）

図 5.12 は、必要容量の浚渫船で浚渫する場合のサイクルタイムと浚渫コストの関係である。サイクルタイムが短くなると浚渫コストも安くなる。サイクルタイムを 3 ヶ月から 1 か月に短縮した場合に、浚渫コストは 3.9 % ほど減少するものの、それは維持浚渫量の減少率（図 5.11 参照）の約半分である。



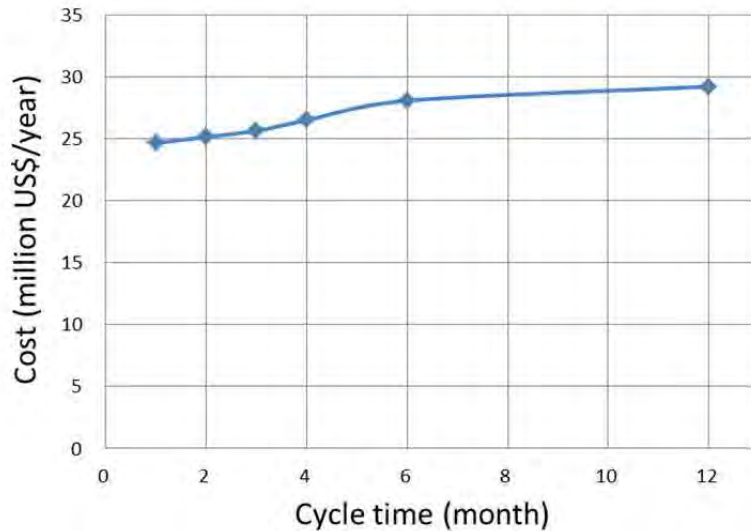


図 5.12 サイクルタイムと年間浚渫コストの関係

#### 5.4.6 浚渫体制についての提案

##### (1) 契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストの比較

図 5.13 は、最小浚渫コストをまとめて図化したものである。契約ベースの浚渫コストを赤の線で、また自船での浚渫コストを緑の線で表現してあるので、両者の比較が簡単にできる。この図を見ると、赤い線に対して常に緑の線が下にある。つまり、CEPA の考えている自船での浚渫コストが常に小さい。

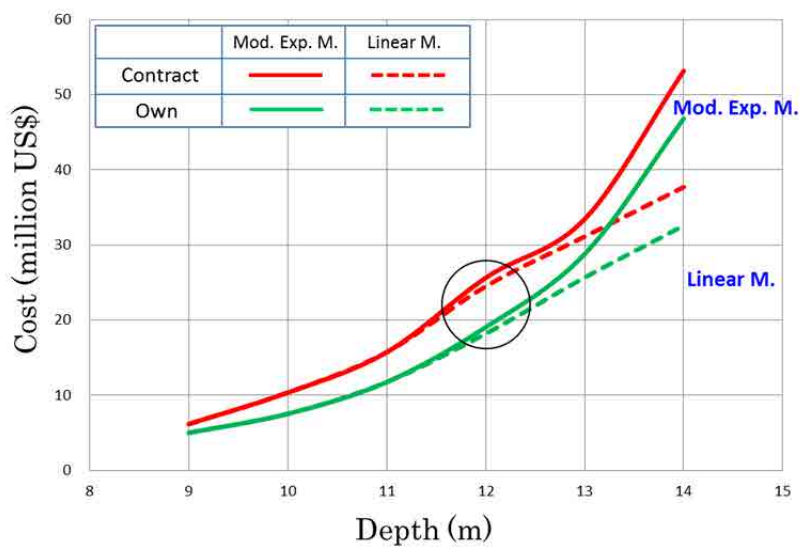


図 5.13 契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストの比較

図 5.14 は、図 5.13 の円で囲んだところの契約ベースの浚渫コストと自船での浚渫コストを直接経費と間接費に分けて比較したものである。図 5.14 より両者の直接経費はほぼ同じであるが、間接費は自船の場合が大幅に少ない。

契約ベースでの間接費は、回航費、保険費およびコンティンジェンシーに類する費用（雑費）の他に多くの種類の費用を考慮している。これに対して、自船の間接費は、回航費、保険費およびコンティンジェンシーだけである。しかしながら、以下の理由で、浚渫体制について、契約浚渫と自船浚渫のコスト比較だけで議論するのは適切ではない。

実際に、CEPA が自船を運営するには、契約ベースの浚渫で考慮している多くの種類の費用が掛かる。例えば、仮設費関連では以下のようなものがある。

- ・ 航路浚渫時の航行の安全を管理する安全監視船、調査及び出来形管理等を行う測量船、浚渫船の接岸離岸を補助するタグボート、病気等の緊急時に船員を運搬する交通船等の船団および乗組員が必要となる。
- ・ 浚渫船船団の修繕維持のために、機械修理保全施設（岸壁、斜路、修理工場）を有する等の維持修理管理部門が必要となる。
- ・ 浚渫の品質、出来形、工程等の技術管理のために、浚渫作業全般を管理する部門が必要となる。
- ・ また、新たに上記のような三部門が設けられたことで、土地、用水、電力等の役務費も増加する。

したがって、自船での浚渫の場合は、CEPA が考えている以上の経費が掛かることになる。

さらに、契約ベースの浚渫では考慮する必要はないが、自船での浚渫では必要になる項目がある。たとえば、初期浚渫期間の船員の訓練に伴う費用が必要となると共に、船員が不慣れな時期の作業効率が落ちるといった問題もある。

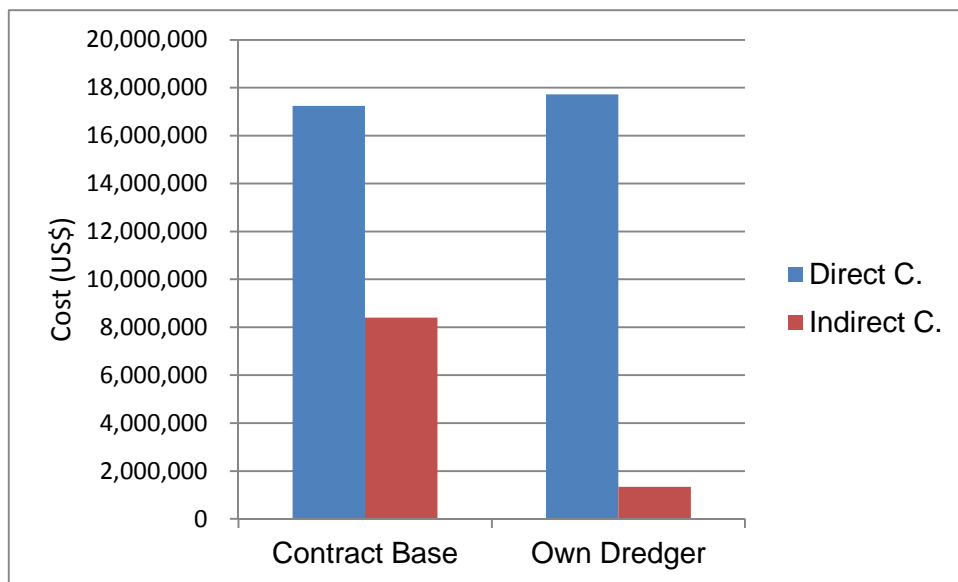


図 5.14 契約ベースと自船での直接経費と間接費の比較（修正指数モデル 12m 維持水深 3 カ月サイクル）

## (2) 埋没量予測モデルの精度

深淺測量データに基づいて、航路の埋没を予測する 2 つのモデルを経験的に構築した。残念ながら、現状においては、埋没量を予測した結果（図 5.4）も、また積算した浚渫コスト（図 5.8 と図 5.9）も、二つのモデルの間には隔たりがある。このように埋没量の予測精度が高くない状況



で、CEPA が浚渫船を保有することにはリスクが伴う。このことを、図 5.15 を用いて説明する。

図 5.15 は、CEPA が自船での浚渫を行うときの浚渫コストを示した図（図 5.9）に必要な浚渫船容量を追記したものである。例えば、航路維持水深を 13m とした場合、修正指数モデルで予測した維持浚渫量を浚渫するためには容量 8,500 m<sup>3</sup> の浚渫船が必要になるが、線形モデルで予測した維持浚渫量の場合は浚渫船容量 7,500 m<sup>3</sup> で浚渫が可能になる。つまり、現時点では例え維持水深を 13 m に固定したとしても、二つの埋没量予測モデルの結果に相違があるので、浚渫船の容量を適切に判断することが難しく、したがって CEPA が浚渫船の容量を決めて保有することには大きなリスクを伴う。

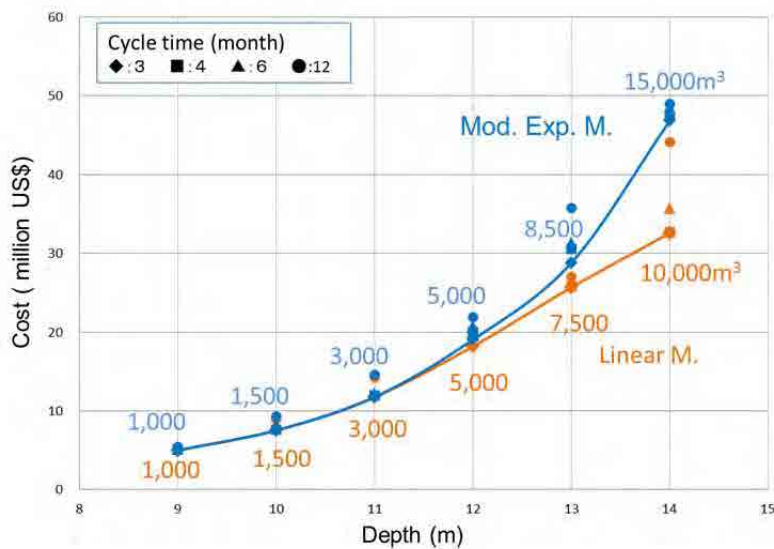


図 5.15 水深別の浚渫コストと浚渫船容量

### (3) ラ・ウニオン港の発展に伴う航路維持水深の増大

図 5.15 をみると、航路の維持水深が深くなるにつれて、必要な浚渫船容量も大きくなること分かる。このことは、CEPA が自船を保有することと港の発展の関係を難しくする。

その理由を、修正指数モデルで予測された埋没量に対する必要浚渫船容量（図中、青の線）で説明する。例えば最初に航路維持水深を 10 m とし、それに必要な容量 1,500 m<sup>3</sup> の浚渫船を建造したとする。しばらくして、より大きな喫水の船舶の入港に対応することが必要となり、航路維持水深を 11 m に変更した場合、それに伴って、その水深を維持するための浚渫船容量は 3,000 m<sup>3</sup> になる。この要求を満たすためには、容量 1,500 m<sup>3</sup> の浚渫船を廃棄あるいは売却して、新たに容量 3,000 m<sup>3</sup> の浚渫船を確保しなければならない。別の方法としては、容量 1,500 m<sup>3</sup> の浚渫船を残したまま、新たに容量 1,500 m<sup>3</sup> の浚渫船をもう一隻所有して 2 隻で維持浚渫を行うことが考えられる。

ラ・ウニオン港がさらに発展し、維持水深を 12 m に変更すると、また同じ問題が生じる。つまり、CEPA が自船を保有した場合は、ラ・ウニオン港の発展に対して航路水深を適切に維持するために追加の経費が発生する。

### (4) 提案

自船で浚渫を行うコストの方が外注契約で浚渫を行うコストより安く見積もられた。なぜなら、両者の直接費はほぼ同じであったが、自船浚渫の間接費が契約浚渫のそれよりはるかに安かったからである。契約浚渫の間接費は回航費、保険費、コンティンジェンシーに係る費用（雑費）

のほかに多くの種類の費用を含んでいる。これに対して、CEPA が考えている自船浚渫の間接費は、回航費、保険費、コンテインジェンシーだけである。しかしながら、以下の理由で、浚渫体制について、契約浚渫と自船浚渫のコスト比較だけで議論することは適切ではない。

もし CEPA が自前で浚渫船を保有すると、CEPA が現在考えている以上のかかなりの費用がかかる。そして、浚渫作業を支援するための船団や施設は、長い経験とノウハウの蓄積があって初めて有効に機能する。コストとは別に、浚渫船の船員の訓練や教育等の課題もある。

さらに、浚渫船を調達する前に浚渫船の大きさと容量を設計するために航路埋没量を正確に予測する必要がある。しかし、本調査で開発した航路埋没量予測モデルは必ずしも十分信頼できるものではなく、今後、航路の埋没状況のモニタリングを通じてモデルの改良を行うことが必要である。

加えて、ラ・ウニオン港の発展と関連して目標維持水深が大きくなることに対して自船を保有することは、柔軟な対応が極めて困難になる。この問題は、(予測モデルの精度向上と違って)将来にわたって継続する。

以上のことから判断して、航路の維持浚渫をある期間は契約ベースで行うことを提案する。

## 第 6 章 再浚渫後のモニタリング計画の提案



## 第 6 章 再浚渫後のモニタリング計画の提案

### 6.1 モニタリングの目的

経験的に構築した二つの予測モデルは、質的にも量的にも必ずしも十分ではない深浅測量データに基づいている。予測精度の向上と維持浚渫時に対する線形モデルの適用性を高めるためには、深浅測量によって航路水深をモニタリングしてデータを収集することが唯一で大切な方法である。

泊地については、これまでに深浅測量データは十分蓄積されておらず、泊地内の埋没量を予測する経験的なモデルを構築するまでには至っていない。このため、現時点では外港航路の修正指数モデルで泊地の埋没量を予測している。修正指数モデルを使用する妥当性を確認するためあるいは泊地用の予測モデルを構築するためには、泊地内の深浅データを収集することが重要でかつ不可欠である。

モニタリングの目的は；

予測された埋没量の適切さの証明  
浚渫完了直後の急激な航路埋没現象の確認

モニタリング計画は、深浅測量は CEPA が保有している装置を用いて彼ら自身が自ら行うことを前提に、立案した。

### 6.2 埋没予測の妥当性の検証

経験モデルで予測された埋没量の妥当性を検証するためには、実際の埋没量を測定することが基本的に必要である。再浚渫はラ・ウニオン港の活用を高めるために行うのであるため、再浚渫完了後は維持浚渫が繰り返されるはずである。この場合もモニタリングのための深浅測量を定期的に行わなければならない。しかし、深浅測量だけでは埋没量を把握することができない。精度の高い埋没量の推定には、浚渫量や浚渫場所等の浚渫記録を収集しなければならない。さらに、入出港船舶の記録も入手しなければならない。

#### (1) 深浅測量

- 1) 深浅測量は内港航路、外港航路、泊地において指定された測線に沿って実施する。
- 2) 深浅測量は再浚渫の直前と直後に行う。その後は、2 カ月に 1 回、もし可能ならば 1 カ月に 1 回の頻度で深浅測量を繰り返す。
- 3) 深浅測量は常に、38 kHz と 200 kHz の超音波を併用して行わなければならない。

#### (2) 浚渫量

実際の浚渫量は TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger) の容量と土砂投棄場への往復回数の積で見積もることができる。

#### (3) 埋没量の見積もり

最初に、連続する 2 回の深浅測量データから航路内のある区間の地形変化量が計算できる。次に、この地形変化量に、同じ区間で同じ期間内に浚渫した量を加える。この結果が、基本的な埋没量である。

### 6.3 浚渫直後の急激な埋没現象の確認

浚渫直後には急激な埋没が発生する。この現象を確認するためには深浅測量を短い時間間隔で繰り返す必要がある。急激な埋没現象を確認できる機会は、再浚渫完了直後の1回だけに限られるかもしれないことに留意されたい。

#### (1) 深浅測量

- 1) 深浅測量は内港航路、外港航路において指定された測線に沿って実施する。
- 2) 深浅測量は再浚渫の直後に実施しなければならない。その後は、2週間に1回の頻度で、数か月間継続する。
- 3) 6.2 (1) 3)と同様。

(2) 浚渫量： 6.2 (2)と同様。

(3) 埋没量の見積もり： 6.2 (3)と同様。

## 6.4 地形データの潮位補正

### 6.4.1 測量データの潮位補正の改良

航路の維持には、継続的な航路水深のモニタリングが必要である。2013年4月の現地調査時に、調査団はCEPAの職員が実施する測量調査を視察した。その測量調査では、CEPAの職員による計測機器の取付けや計測などの現地作業は、円滑に執り行われていた。しかしながら、データの後処理ツールが不足していたため、測量したデータの解析には多くの時間がかかっていた。

そのため、調査団は技術移転の一環として円滑に測量データの解析を行うツールを準備した。測量データの解析を迅速に行うため、Excelマクロを作成した。そのExcelマクロは、VBAでコードが書かれており、その主な機能は以下の通りである。

- 音響測深機 (EA-400) の計測データファイルの読み込み
- 計測位置を考慮した潮位の予測
- 潮位補正
- 緯度経度 (WGS84) と公共座標 (Lambert/NAD27) 間の座標変換
- 異常値の除去機能 (半自動化)
- 航路中心線基準の座標データ作成

図 6.1 は、Excelマクロのスクリーンショットである。図に示すように、水深データと位置座標データが、マクロブック上でコマンドボタンをクリックしていくのみで全て変換されるようになっている。このマクロとその使用方法については、2013年8月の現地調査において紹介された。

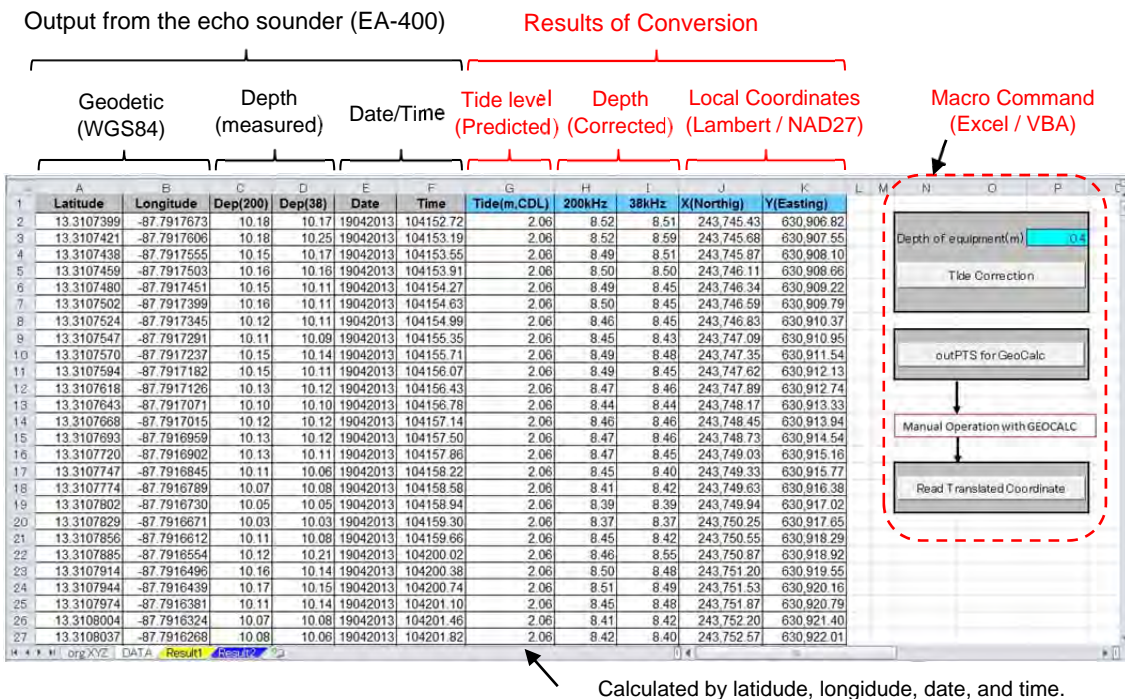


図 6.1 Excel/VBA による後処理ツール

## 6.4.2 ラ・ウニオン港の基準面

測量調査のための基準面を確認するため、調査団はエルサルバドル国の潮位予測を担当する CNR の職員とのミーティングを行った。CNR 職員とのミーティングは 2011 年 8 月 24 日に実施した。ミーティングの目的は、潮位レベルとエルサルバドル国で使用されている鉛直方向の基準面高さを明らかにすることである。

表 6.1 は、GVD（標高の基準面）と潮位レベルの関係を示したものであり、CNR より提供された資料である。CNR によれば、ラ・ウニオンにおいて水深の基準面は 1960 年より MLLW (= -1.3381 m)を基準に設定されているが、船舶航行に関しては、水深は MSL 下 1.5381 m(=1.3381+0.2)を基準面としている。ここで、0.2 m は航行安全のために付加されているものである。

表 6.1 CNR より提供されたエルサルバドルにおける鉛直方向の基準面

		La Unión	Acajutla	La Libertad
Highest Tide Obserbed	HTO	1.9812	1.5240	1.6154
High Water Springs	HWS		0.9601	1.0211
Mean High High Water	MHHW	1.2710	0.8656	0.9235
Mean High Water	MHW	1.1704	0.7711	0.8260
Mean Sea Level	MSL	0.0000	0.0000	0.0000
Mean Tide Level	MTL	-0.0518	0.0000	0.0061
Mean Low Water	MLW	-1.2771	-0.7742	-0.8138
Mean Low Low Water	MLLW	-1.3381	-0.8169	-0.8595
Low Water Springs	LWS		-0.9601	-1.0211
Low Tide Obseved	LTO	-2.2860	-1.4021	-1.4935

CNR 職員とのミーティングを通して、ラ・ウニオン港における基準面 (CDL) は MSL 下 1.5381 m であることが確認された。CDL と MSL の関係は図 6.2 に示す通りである。図中に示す CUT-9 はラ・ウニオン港岸壁の東南側の角にあるベンチマークである。

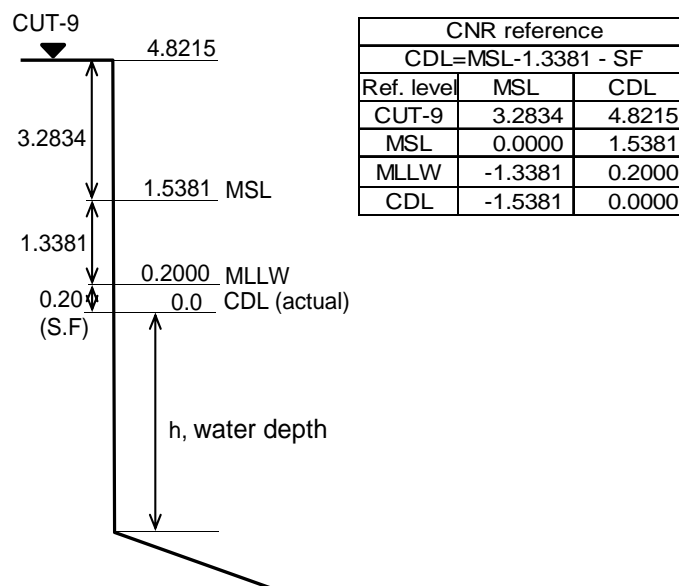


図 6.2 CNR による鉛直方向の基準高さ



## 第 7 章 CEPA による需要予測モデルと市場配分モデル概観



## 第 7 章 CEPA による需要予測モデルと市場配分モデル概観

この章では、CEPA により行われた CA4（エルサルバドル・グアテマラ・ホンジュラス・ニカラグア）の将来貨物量予測の手法と市場配分モデルの構築手法について示す。

### 7.1 CEPA による需要予測モデルと市場配分モデルの概要

CEPA により行われた「ラウニオン港の需要予測調査」では下記の 3 つの節で構成されている。

1. CA4 発着の取扱コンテナ成長率の推計
2. 市場配分モデルの構築
3. ラウニオン港における将来の市場配分量の推計

### 7.2 CA4 発着コンテナ貨物の成長率の推計

#### (1) コンテナ取扱量と GDP の過去データの入手

コンテナ貨物の過去の GDP 弾性値を推計するためには、CA4（エルサルバドル、グアテマラ、ホンジュラス、ニカラグア）発着の港湾の取扱コンテナ量と GDP の過去データを入手する必要がある。

CA4 の GDP の過去データは UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) とワールドバンクのウェブサイトから得ることが出来る。

CA4 各国発着のコンテナ貨物量は、貿易統計データベースである SIECA (The Secretariat of Central American Economic Integration) のデータから推計できる。解析には 2000 年から 2010 年までのデータを使用する。

#### (2) コンテナ取扱量の現況及び将来 GDP 弾性値の推計

コンテナ取扱量の現況 GDP 弾性値は 2000 年から 2010 年までの GDP の過去データから推計できる。

CEPA は回帰分析の手法を用いて、CA4 の GDP（独立変数）と輸出入コンテナ貨物（従属変数）との相関の程度を計算している。

CEPA は、現況 GDP 弾性値が 2030 年まで変わらないと仮定し、さらに、現況 GDP 弾性値が 2.0 を超える場合は、2030 年に向けて 2.0 となるよう直線的に減少すると仮定している。これは、発展途上国における弾性値の平均が 2.0 程度であることから、将来予測値が過大となるのを避けるための処置である。

表 7.1 GDP 弾性値

		2000-2010	2020	2030
EL SALVADOR	IMPORT	2.11	2.06	2.0
	EXPORT	4.57	3.28	2.00
GUATEMALA	IMPORT	0.96	0.96	0.96
	EXPORT	1.55	1.55	1.55
HONDURAS	IMPORT	0.99	0.99	0.99
	EXPORT	1.18	1.18	1.18
NICARAGUA	IMPORT	1.59	1.59	1.59
	EXPORT	2.82	2.41	2.00

出典: UNCTAD 及び SIECA、アメリカ・センサス局のデータより CEPA が計算

### (3) 取扱コンテナ成長率の計算

取扱コンテナ成長率は、将来 GDP 成長率と GDP 弾性値を掛けることで算定される。将来 GDP 成長率は USDA（アメリカ農務省 経済研究事業部）と IMF のデータから求める事が出来る。

計算式は下記のとおりとなる。

$$\text{取扱コンテナ成長率} = (\text{GDP 成長率}) \times (\text{GDP 弾性値})$$

表 7.2 取扱コンテナ成長率(2010=100)

		2010-2020	2010-2030
Import	El Salvador	200	395
	Guatemala	167	278
	Honduras	158	252
	Nicaragua	203	343
Export	El Salvador	340	776
	Guatemala	167	277
	Honduras	160	248
	Nicaragua	207	349

出典： El Salvador, Guatemala:USDA, Honduras, Nicaragua:IMF

## 7.3 市場配分モデルの構築

### (1) 輸出入コンテナ量の推計

市場の現況シェアを推計するため、CEPA は様々な CA4 のコンテナ流動データを収集・解析することで、CA4 港湾の後背地マトリックスを推計・構築している。

CA4 における正確なコンテナ流動データは存在しないため、CEPA はいくつかの仮定を用いて、既存データの処理を行っている。その手法を以下に示す。

- 1) CA4 各港の取扱貨物における、エリア別コンテナ量の算定

1. コカトラム (Central American Commission on Maritime Transport) のデータから CA4 各港におけるコンテナ総輸出入量が得られる。
2. CPN (Guatemala National Port Commission) のデータからケツアル港とサントトーマス港のエリア別輸出入取扱貨物量が得られる。  
CPN のデータは、アメリカ西海岸 (USWC)、アメリカ東海岸 (USEC)、EU、アジア、その他の太平洋エリア及びその他の大西洋エリアという 6 つのエリアに分けられる。このデータから各エリアの貨物量シェアが算定できる。
3. ケツアル港の運営状況・貨物取扱状況と近い事からコリント港、アカフトラ港の貨物のエリアシェアはケツアル港と同じである仮定し、同様にサントトーマス港とコルテス港、カスティージャ港が同じであると仮定する。
4. 港湾別エリア別コンテナ取扱量を算定するために、各港のコンテナ取扱量とエリア別のシェアを掛ける。

## 2) CA4 各国の取扱貨物における、エリア別コンテナ量の算定

1. SIECA から、CA4 各国へのエリア間の輸出入貨物量のデータが得られる。
2. SIECA のデータは、アメリカ、EU、アジア、その他の太平洋エリア及びその他の大西洋エリアという 5 つのエリアに分けられている。アメリカの貨物データを US トレードオンラインのデータを用いて、東海岸側と西海岸側に分け、各エリアの貨物のシェアを算定する。
3. CA4 各国別エリア別コンテナ取扱量を算定するために、エリア別のコンテナ総取扱量とシェアを掛ける。

## (2) 各港より各エリアに陸送配分される輸出入コンテナ量の推計

モデル構築の第 2 段階として、CA4 の各港を出入りする貨物が中央アメリカ地域の各港及び後背地へどのように配分されるかを整理する。このためには他港間同士の陸上輸送される輸出入コンテナ量を、実施調査に基づき計算する必要があった。算定は CA4 各国税関から提供されたデータを基に行った。

港別地域別コンテナ取扱量を求めるため、このシェアと各港の総コンテナ取扱量を掛け合わせた。データは各国別輸出入別に、太平洋側と大西洋側に分類した。

表 7.3 後背地別輸送量マトリックス(2010)

後背地別輸送量マトリックス 輸入: 太平洋側(2010)						(TEU)
	Acajutla	Quetzal	S Tomas / P Barrios	Pt. Cortes / Pt. Castilla	Corinto	Total
El Salvador (E)	484	43	10	16	25	578
El Salvador (W)	47,870	4,246	1,030	1,606	2,479	57,232
Guatemala	1,930	51,725	13,117	2,534	0	69,306
Honduras (N)	617	541	131	10,543	658	12,491
Honduras (S)	264	232	56	4,519	282	5,353
Nicaragua	89	0	0	1,220	15,504	16,813
Total	51,254	56,786	14,345	20,437	18,949	161,772

後背地別輸送量マトリックス 輸入: 大西洋側(2010) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	S Tomas / P Barrios	Pt. Cortes / Pt. Castilla	Corinto	Total
El Salvador (E)	179	16	123	140	9	468
El Salvador (W)	17,731	1,573	12,203	13,876	918	46,301
Guatemala	715	19,158	150,550	21,894	0	192,318
Honduras (N)	229	200	1,555	91,107	244	93,335
Honduras (S)	98	86	666	39,046	105	40,001
Nicaragua	33	0	0	10,542	5,743	16,317
Total	18,984	21,033	165,097	176,606	7,019	388,739

後背地別輸送量マトリックス 輸出: 太平洋側(2010) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	S Tomas / P Barrios	Pt. Cortes / Pt. Castilla	Corinto	Total
El Salvador (E)	230	1	0	11	27	269
El Salvador (W)	22,754	145	20	1,060	2,634	26,614
Guatemala	114	37,157	6,667	1,673	0	45,612
Honduras (N)	505	17	279	6,570	925	8,296
Honduras (S)	216	7	119	1,643	396	2,382
Nicaragua	68	0	0	806	5,369	6,242
Total	23,888	37,328	7,085	11,763	9,351	89,415

後背地別輸送量マトリックス 輸出: 大西洋側(2010) (TEU)

	Acajutla	Quetzal	S Tomas / P Barrios	Pt. Cortes / Pt. Castilla	Corinto	Total
El Salvador (E)	83	1	11	165	10	269
El Salvador (W)	8,241	53	1,094	16,293	954	26,635
Guatemala	41	13,458	172,028	25,707	0	211,234
Honduras (N)	183	6	7,195	100,946	335	108,665
Honduras (S)	78	3	3,083	25,237	144	28,545
Nicaragua	25	0	0	12,378	1,944	14,347
Total	8,652	13,520	183,411	180,725	3,387	389,695

#### 7.4 ラウニオン港における市場配分量の推計

ラウニオン港のポテンシャルマーケットシェアと将来取扱貨物量はロジットモデルにより算定される。

##### (1) 現在の輸送コスト及び輸送時間データの取得

CA4 各国の潜在需要を算定するためには、輸送時間及び海上輸送コスト、陸上輸送コストのデータが重要な要素となる。これらをいくつかの仮定の下、求めている。

表 7.4 TEU 当りの輸送コスト (2010)

(USD)

	Acajutla	La Union	Quetzal	Santo Tomas	Pt. Barrios	Pt. Cortes	Pt. Castilla	Corinto
Ocean Freight Rate								
to USWC	1,823.53	1,266.49	1,764.71	1,188.28	1,188.17	2,000.00	1,254.76	1,304.87
from USWC	1,823.53	1,266.49	1,764.71	1,188.28	1,188.17	2,000.00	1,254.76	1,304.87
to USG	1,764.71	2,115.00	1,647.06	2,115.00	2,115.00	1,647.06	2,115.00	2,058.82
from USG	1,764.71	2,115.00	1,647.06	2,115.00	2,115.00	1,647.06	2,115.00	2,058.82
to China	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00
from China	4,411.76	2,400.00	4,411.76	2,400.00	2,400.00	5,000.00	2,400.00	4,470.59
to EU	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00	2,400.00
from EU	3,529.41	2,400.00	2,941.18	2,400.00	2,400.00	3,235.29	2,400.00	3,470.59
THC (Terminal Handling Charge)	73.48	65.79	117.65	64.7		64.70	64.70	58.82
Land Transportation								
El Salvador								
East	346.64	73.67	621.88	764.35	769.66	562.45	558.88	623.67
West	127.07	269.98	402.79	560.23	565.25	604.12	520.35	429.15
Guatemala	287.04	629.68	150.51	450.66	450.66	568.68	623.45	976.88
Honduras								
North	680.95	495.70	786.22	233.91	233.91	88.81	86.90	746.71
South	614.98	274.47	1,079.59	542.82	542.82	452.33	368.56	395.74
Nicaragua	877.13	536.62	1,151.70	1,053.09	1,053.09	962.59	878.82	212.33

表 7.5 輸送時間 (2010)

(日)

	Acajutla	La Union	Quetzal	Santo Tomas	Pt. Barrios	Pt. Cortes	Pt. Castilla	Corinto
Ocean Transit Time								
USWC	6.90	7.38	6.76	12.09	12.09	12.11	11.55	7.55
USG	6.57	6.33	6.74	2.60	2.59	2.67	2.36	6.09
China	24.77	25.25	24.63	29.96	29.96	29.98	29.42	25.42
EU	18.16	17.92	18.33	15.65	15.65	15.73	15.42	17.68
Dwell Time in Port	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Land Transit Time								
El Salvador								
East	0.17	0.17	0.75	0.94	0.94	0.65	1.03	0.45
West	0.31	0.17	0.32	0.63	0.63	0.80	1.37	0.84
Guatemala	0.70	1.20	0.17	0.50	0.50	0.64	1.27	1.09
Honduras								
North	0.76	0.30	0.88	0.26	0.26	0.10	0.59	0.84
South	0.69	0.60	1.21	0.61	0.61	0.51	0.68	0.44
Nicaragua	0.98	0.59	1.29	1.18	1.18	1.08	1.24	0.24

(2) ラウニオン港のポテンシャルマーケットシェア

- 1) 時間価値を含めた総コストは上記のデータにより算定される。また、コストは海上輸送費と陸上輸送費である。
- 2)  $\theta$  をコスト係数、 $\gamma$  を時間係数とし、2010年における実際のマーケットシェアに近づくよう、推計シェアを算定する。
- 3) これらのデータを用いて、各港の効用とラウニオン港のポテンシャルマーケットシェアを算定している。

表 7.6 2010年における後背地輸送マトリックス（ラウニオン港ありのケース）  
後背地輸送マトリックス（2010：輸入：太平洋側） (TEU)

	Acajutla	Quetzal	S Tomas / P Barrios	Pt. Cortes / Pt. Castilla	Corinto	La Union	Total
El Salvador (E)	67	6	1	2	4	498	578
El Salvador (W)	30,012	2,890	289	285	2,134	10,692	46,302
Guatemala	9,802	59,481	9	0	0	14	69,306
Honduras (N)	15	1	1,029	10,995	1	449	12,490
Honduras (S)	11	0	1	8	113	5,220	5,353
Nicaragua	0	0	0	0	16,813	0	16,813
Total	39,907	62,378	1,329	11,290	19,065	16,873	150,842

後背地輸送マトリックス（2010：輸入：大西洋側） (TEU)

	Acajutla	Quetzal	S Tomas / P Barrios	Pt. Cortes / Pt. Castilla	Corinto	La Union	Total
El Salvador (E)	85	23	29	61	18	253	469
El Salvador (W)	15,313	1,412	11,769	10,434	1,262	6,111	46,301
Guatemala	4,577	17,212	149,886	20,555	0	87	192,317
Honduras (N)	0	0	1,891	91,444	0	0	93,335
Honduras (S)	0	0	576	28,012	15	11,397	40,000
Nicaragua	38	0	0	10,145	5,524	610	16,317
Total	20,013	18,647	164,151	160,651	6,819	18,458	388,739

後背地輸送マトリックス（2010：輸出：太平洋側） (TEU)

	Acajutla	Quetzal	S Tomas / P Barrios	Pt. Cortes / Pt. Castilla	Corinto	La Union	Total
El Salvador (E)	18	2	0	0	0	248	268
El Salvador (W)	19,808	1,950	73	29	293	4,482	26,635
Guatemala	4,286	41,324	1	0	0	1	45,612
Honduras (N)	75	10	1,486	5,669	13	1,043	8,296
Honduras (S)	19	0	2	7	167	2,186	2,381
Nicaragua	0	0	0	0	6,242	0	6,242
Total	24,206	43,286	1,562	5,705	6,715	7,960	89,434



後背地輸送マトリックス (2010 : 輸出 : 大西洋側)

(TEU)

	Acajutla	Quetzal	S Tomas / P Barrios	Pt. Cortes / Pt. Castilla	Corinto	La Union	Total
El Salvador (E)	7	0	1	13	0	248	269
El Salvador (W)	6,926	1,307	7,057	6,408	1,238	3,699	26,635
Guatemala	3,189	11,791	171,402	24,780	0	73	211,235
Honduras (N)	0	0	7,457	101,208	0	1	108,666
Honduras (S)	1	0	1,782	24,247	11	2,504	28,545
Nicaragua	27	0	0	12,134	1,905	281	14,347
Total	10,150	13,098	187,699	168,790	3,154	6,806	389,697

### (3) ラウニオン港の将来コンテナ取扱量

#### 1) シナリオ1 : CA4 各国のインフレーション率の違いを考慮したケース

CA4 各国のインフレーション率の違いは潜在需要の変化を推計する上で重要な要素であり、下記手順でインフレーション率を考慮した推計を行った。

a)USDA (アメリカ農務省) のデータベースから 2010 年を基準年としたインフレーション率のデータを入手する。 .

#### b)コストの変化

- ・輸送コスト : 2020 年及び 2030 年の海上輸送費は 2010 年のコストに、2020 年及び 2030 年の世界的インフレ率をそれぞれ掛け、その値を基準年の世界的インフレ率で割り返して算出する。
- ・ターミナルハンドリングコスト : 2020 年及び 2030 年のターミナルハンドリングコストは 2010 年のコストに、2020 年及び 2030 年の各国インフレ率をそれぞれ掛け、その値を基準年の各国インフレ率で割り返して算出する。
- ・陸上輸送コスト : 2020 年及び 2030 年の陸上輸送コストは 2010 年のコストに、2020 年及び 2030 年の各国インフレ率をそれぞれ掛け、その値を基準年の各国インフレ率で割り返して算出する。
- ・各係数 : 輸送時間に関する部分は 2010 年と同様であるとし、コストに関する要素は各国のインフレーション状況を考慮する。

	2010	2020	2030
World	100	135.7	179.73
El Salvador	100	136.26	174.63
Guatemala	100	156.13	228.59
Honduras	100	170.93	270.93
Nicaragua	100	191.48	311.75

以下に、2020 年及び 2030 年のラウニオン港における将来コンテナ取扱コンテナ量の市場配分予測を示す。

(アカフトラ港の取扱貨物の容量に制限がないケース)

表 7.7 2020 年及び 2030 年のラウニオン港の将来市場配分予測（シナリオ 1）  
2020 年のラウニオン港の将来コンテナ取扱量の市場配分予測(TEU)

La Union Port	IMPORT: Pacific	IMPORT : Atlantic	EXPORT: Pacific	EXPORT : Atlantic
El Salvador (E)	1,006	551	499	513
El Salvador (W)	22,422	15,235	9,528	8,856
Guatemala	0	315	5	2,099
Honduras (N)	1,987	0	2,017	5
Honduras (S)	8,335	51,388	3,573	24,070
Nicaragua	6	1,908	697	792
Total	33,756	69,397	16,319	36,335

2030 年のラウニオン港の将来コンテナ取扱量の市場配分予測

La Union Port	IMPORT: Pacific	IMPORT : Atlantic	EXPORT: Pacific	EXPORT : Atlantic
El Salvador (E)	1,997	1,164	987	1,030
El Salvador (W)	45,726	35,768	19,467	20,529
Guatemala	178	1,243	22	6,224
Honduras (N)	385	3	3,888	3
Honduras (S)	13,268	95,934	5,747	60,650
Nicaragua	30,600	2,243	8,916	880
Total	92,154	136,355	39,027	89,316

## 第 8 章 船舶寄港モデル



## 第 8 章 船舶寄港モデル

### 8.1 エルサルバドルの港湾

#### 8.1.1 エルサルバドルの概要

エルサルバドル共和国は太平洋に面し、グアテマラ共和国及びホンジュラス共和国と国境を接している。2011 年データによると国土面積は 21,949 km<sup>2</sup>、人口は 623 万人となっている（2011 年ワールドバンク）。サンサルバドルが首都である。アカフトラ港は太平洋に面し、ラ・ウニオン港は国土の東岸、太平洋と航路で繋がるフォンセカ湾の西側に位置している。

主な産業は、輸入した原料を使って製品を生産しているアパレル産業である。2011 年の中央銀行の数値では、GDP は 230 億 5400 百万 USD、一人当たりの GDP は 3,728.6USD となっている。内戦後に起きた地震やハリケーンで蒙った被害にも拘らず、GDP は確実に上昇している。

輸出額は 53 億 880 万 USD (FOB 価格)、輸入額は 101 億 1,820 万 USD (CIF 価格) である (2011 年値)。主な輸出品目は、アパレル、コーヒー、砂糖であり、輸入品目は油類や肥料、消費品目等の原料及び一次加工品や自動車などの資本財である。

#### 8.1.2 エルサルバドルの港湾の概要

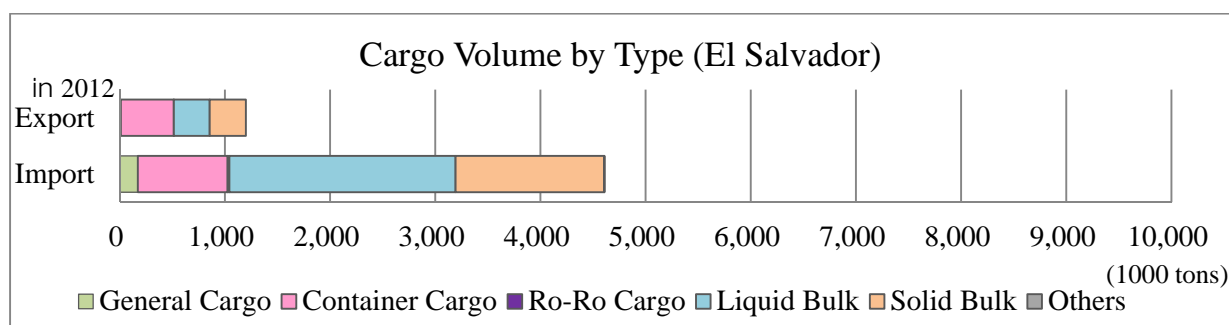
アカフトラ港、ラ・ウニオン港、コルサイン港、セネリヒカ・ラサ港の 4 港が 2012 年の COCATRAM の統計にリストアップされている。アカフトラ港とラ・ウニオン港は CEPA (港湾空港運営委員会) が運営する商港であり、コルサイン港は CORSAIN が運営する魚を揚げて背後で加工している港である。セネリヒカ・ラサ港はアルバ・ペテロが運営する民間港で油類を取り扱っている。

#### 8.1.3 港の主要施設

エルサルバドルでは、先進的な荷役機械を設置している港は無いが、2009 年に完成したラ・ウニオン港はコンテナの取扱い用にガントリークレーンを購入する計画である。アカフトラ港は、国内で最も多くの貨物を取り扱っているが、コンテナ取扱い用のガントリークレーンは無く、シップクレーンを使用しているのが現状である。

#### 8.1.4 タイプ別貨物量

2012 年の寄港船舶数は 742 隻で取扱い貨物量は 581 万 t である。輸出入別、タイプ別の内訳を図 8.1 に示す。コンテナ貨物の輸出货量は 42.5 % を占め、輸入量は 18.6 % を占めている。表 8.1 に 2007 年から 2012 年までの寄港船舶数と貨物量の推移を示す。



出典: JICA 調査団

図 8.1 エルサルバドルの主要港の貨物取扱量

表 8.1 エルサルバドル主要港の寄港船舶と貨物取扱量の推移

		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ship Call		855	729	651	620	725	742
Cargo Volume	Import	1,068	1,211	980	1,204	1,119	1,199
	Export	5,087	4,800	3,951	4,187	4,729	4,607
	Total	6,156	6,010	4,931	5,392	5,848	5,806

出典: JICA 調査団

### 8.1.5 アカフトラ港

#### (1) 概要

アカフトラ港はエルサルバドルの西部、隣国グアテマラに国境を接するソンソナテ州の太平洋側に位置している。首都のサンサルバドルから陸路で約 2 時間のところにあり、1960 年代に供用が開始されてから約 50 年が経過している (図 8.2 参照)。



出典: Worldatlas

図 8.2 アカフトラ港の位置図

#### (2) 港湾施設

アカフトラ港は太平洋側へ突き出した”F”字型をしており、3つのピアからなっている (図 8.3 参照)。ピア A は、全長 300 m で水深は 12 m ある。1957 年から 1960 年にかけて建設された最も古いピアであり、すでに 50 年以上経過している。構造は鋼矢板セル式構造であり、外洋に面した側は連続した構造となっており防波堤の役割をしている。ピア B は、杭式栈橋構造で建造されており、延長はピアの両側でそれぞれ 328 m (外洋側)、345 m (陸側) である。ピア C は、ピア B の建設から遅れて 5 年後に完成した。F 字の上辺にあたるピア A の先端から伸びるかたちで、角度をやや陸側に向けたかたちで延長 270 m、水深 14 m のピアである。ケーソン式構造で、防波堤の役目も兼ねており港内への波の進入を抑える役目も担っている。

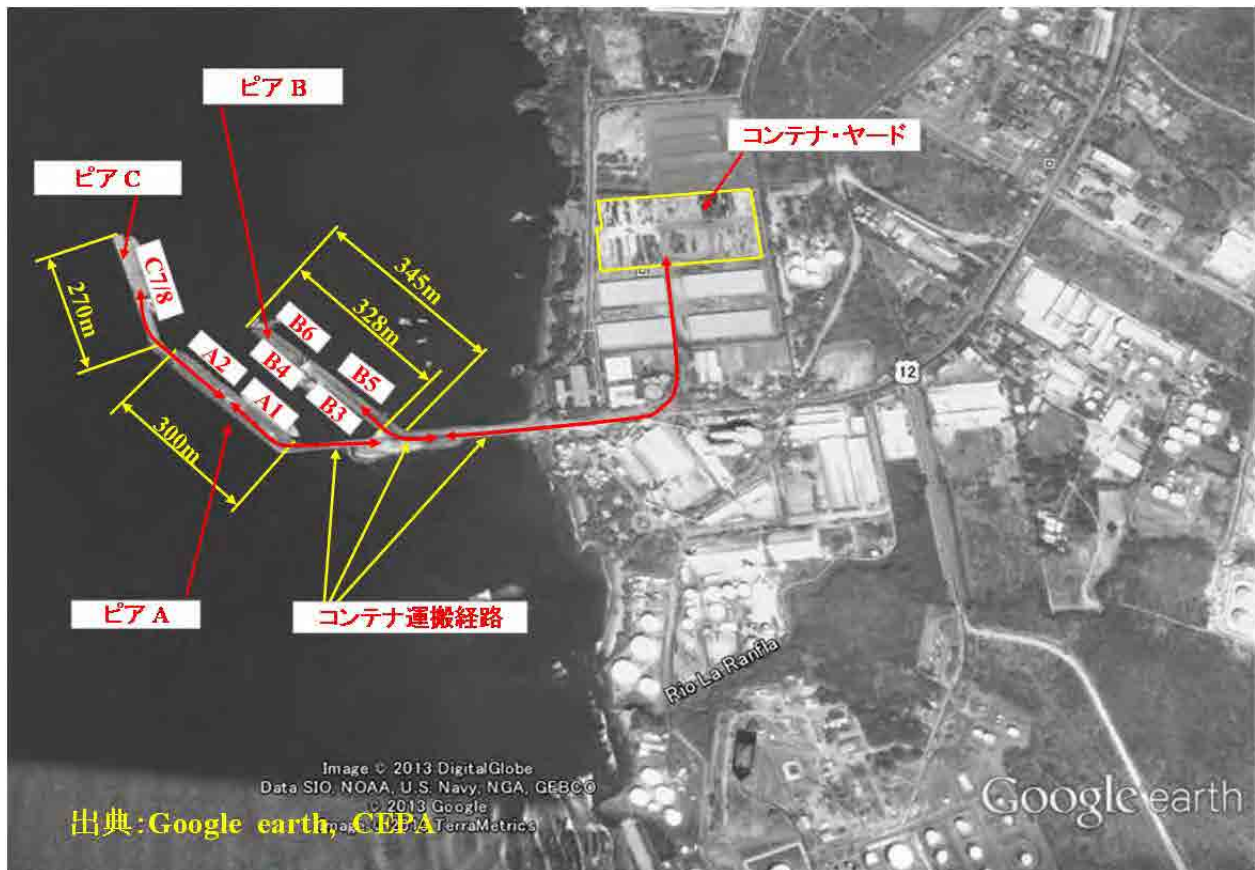


図 8.3 アカフトラ港のレイアウト

### (3) 港勢

#### 1) 貨物取扱量

##### a) 港湾で扱う全貨物量

アカフトラ港で取り扱う貨物は、一般雑貨、コンテナ化貨物、ドライバルク、液体バルクの4種類のカテゴリーに分類される。全取扱貨物量は2012年に396万tに達した。これは、2003年（10年前）に比べ36%の増加で2008年（5年前）に比べ11%の減少であった。全貨物量の71%は輸入で29%は輸出となっている。

##### b) コンテナ貨物（TEU）

アカフトラ港のコンテナ貨物は2012年に16万TEUの達した。そのうち82千TEU（51%）は輸入、78千TEU（49%）は輸出であった。

2012年におけるコンテナ貨物の品目別輸出入量の仕向け国と仕出し国を示す。仕出し国については中国が27%、米国が25%と2国で全輸入量の1/2超を占めている。輸入品目については、米国からはアパレル、紙、タイヤ、フルーツ、缶詰、鋼製品及びその他雑貨類、いっぽう、中国からは、アパレル、鋼製品、家庭用電気器具類が多数を占めている。

輸出の仕向け国については、米国が第一位（47.7%）でチリ（5.6%）、台湾（5.6%）、韓国（4.3%）が続いている。輸出国別品目は、米国へアパレル、コーヒー、冷凍食品、チリへはアパレル、冷凍食品、古紙等、台湾や韓国へは、アパレルやコーヒーとなっている。

## 2) 寄港船舶

アカフトラ港へ寄港した船舶で船種別に最も多いのはコンテナ船である。2012年には269隻が寄港し、続いてバルク船の115隻、一般雑貨船の83隻、液体バルク船の78隻、混在貨物船の7隻となっている。82隻の液体バルク船はオフショアの揚油ブイに接岸している。

### (4) コンテナ取扱容量

#### 1) コンテナ・オペレーションの運営

アカフトラ港のピアは建設から約50年以上経過しており、構造上の制約からコンテナ取扱用クレーンを設置することができないため、コンテナの揚げ降ろしにはコンテナ船に装備されたクレーン（シップクレーン）を使っている。

コンテナ荷役は、主にバース A-2、B-6、C-7/8 で行われており、1時間の荷役効率はクレーン1基当たり、13.5ボックスである。コンテナの荷役は民間会社に外注されている。

コンテナ荷役が行われる棧橋から背後のコンテナヤードまではコンテナを積載したトラックで約10分かかる。コンテナヤードの面積は約4万m<sup>2</sup>、蔵置容量は1回当たり2,500TEUである。コンテナのヤード内平均蔵置日数は4.9日で空コン比率は輸入で1%、輸出で33%となっている。

#### 2) コンテナ取扱容量

##### a) キーサイドの取扱容量

各ピアのバース利用率（BOR）はA-1で12%、A-2で44%、B-3で10%、B-4で23%、B-5で6%、B-6で14%、C-7/8で58%となっている。一般的に、BORが60%に達するとバースの利用率は高いとされ込み始めてきて、BORが65%を超えると新しいバースの建設が必要となるとされている。

バース A-2、B-6、C-7/8 では主にコンテナが取り扱われており BOR はそれぞれ 24 %、10 %、26 % となっている。しかし、これらのバースでは一般雑貨やバルク、混在貨物も取り扱われており、これらを含めたトータル BOR はそれぞれ、44 %、14 %、58 % と高くなっている。バース C-7/8 は利用率が高い状態となっており、バース B は、中央にバルクアンローダーが設置されているため、これ以上のコンテナの取扱い増を見込める状態ではない。しかし、バース A-2 はコンテナ増が見込める。

TEUベースのコンテナ見込み増数は、BORの上限値65%と現在利用率との差から計算できる。これより増加が見込めるコンテナ量は、バース A-2 では36,115 TEU、C-7/8 では6,054 TEUとなり、合計で42,000 TEUと見込まれる。従って、キーサイドのコンテナ取扱容量は年間202,000 TEUと見込まれる。

##### b) コンテナヤード（CY）の取扱容量

コンテナはコンテナヤードで取扱われ蔵置されるので、コンテナの取扱容量は蔵置容量と取扱いの回転率で決まる。これより年間のコンテナヤードの取扱容量は183,000 TEUと見込まれる。

CPEA は、コンテナ貨物量が増加した時の対応を次のように検討している。現行のヤード容量に加えて、11,000m<sup>2</sup>の倉庫の間にある未利用地をヤード用地に転用することで26,000 TEU増加し、蔵置段数の3段を4段に1段増やすことを予定している。これにより61,000 TEUの増となりこれらを加えたCY容量は、年間270,000 TEUとなる見込みである。



## (5) アカフトラ港岸壁劣化状況調査

### 1) アカフトラ港各岸壁

岸壁の諸元を表 8.2 に示す。

表 8.2 アカフトラ港の施設と現況

Berth		A berth	B berth	C berth
Year constructed		1957 to 1960	1969	1973 to 1974
Structure		Cell type	Steel pipe pile type	Caisson type
Heaviest Load	Allowable	A1,2,3: 3.0 ton/m <sup>2</sup> A4,5:AASHTO <sup>*</sup> 20-S16	B1,2,3: 0.815 ton/m <sup>2</sup> B4:1.56 ton/m <sup>2</sup>	3.5 ton/m <sup>2</sup>
Age (years)		53	44	39
Present situation		Repair works for steel sheet pile portion are being undertaken	No repairs are currently scheduled	No repairs are currently scheduled
Repair		Performed as needed	Performed as needed	Performed as needed
Current Status	Cathodic protection	External power supply method	External power supply method	
	Steel structures	Painting on steel sheet piles Now repairing on steel sheet pile portion	Painting on steel pipe piles	
	Concrete		Painting on concrete	Painting on concrete side surface

<sup>\*</sup>AASHTO : American Associations of State Highway and Transportation Officials

Source: CEPA, Study Team

### 2) 劣化度調査

#### a) 目視検査及び打撃検査

A、B 及び C 岸壁の下部工においては、ボート上より目視検査および、点検用テストハンマーによる打撃検査を実施した。A 岸壁鋼矢板部では連続して赤橙色のさびを視認した。B 岸壁では鋼管杭にさびは視認できなかった。赤さびのようにみられるものは黒色の塗装が剥げたもので、黒色塗装下地のさび止め塗装の色である。

#### b) シュミットハンマーテスト

A 岸壁スラブ底面の梁コンクリート及び C 岸壁エプロン部のコンクリートは、シュミットハンマーによるコンクリート強度測定が行われた。各測点にて 15 点試験し、上下差の大きい 5 点を除き 10 点の平均の値を試験結果とする。試験結果は、ピア A では 391 kg/cm<sup>2</sup>、ピア C の上部工端部では 469 kg/cm<sup>2</sup>、ピア C の上部工中央部では 248 kg/cm<sup>2</sup>であった。

#### c) アカフトラ港の港湾施設の残存寿命に関する考察

A 岸壁については、CEPA は既に鋼材の厚さを測定するなどして点検を実施し、パッチ当て等設計断面に修復中である。また、A 岸壁のコンクリート剥落部分においては、コンクリート断面修復が予定されている。したがって、これらの構造物については問題が改善されつつあり施設の

延命化に向けた対応策が継続中である。

B 及び C 岸壁については、年齢が古いにもかかわらず維持状況が良好であり、今後も現状の維持管理が継続することが望まれる。

以上より、残存寿命に関して検査結果と岸壁年齢を勘案して検討した結果、現状どおりの維持管理を継続していけば、例えば 5 年～10 年の期間内に施設が使用できない状態になることは推定しがたい状況である。CEPA は現在の施設の大規模な改修や拡張は計画しておらず、補修を手厚くすることで施設の延命を図っている。鋼構造物の残存寿命を予測するには現在 CEPA が行っている鋼材の厚さを測定することや、B 岸壁の鋼管杭で実施している電気防食が有効である。

コンクリート構造物ではすでに実施している防錆塗料を塗布し躯体と海水を遮断する方法が有効である。コンクリート構造物の残存寿命を予測するにはコア採取を行う等局部的な破壊を伴う方法として、コンクリート内の塩化物イオンの浸透深さを測定する方法、目視によって塩害やアルカリシリカ反応を観察する方法および、非破壊検査機器を用いる方法等がある。

アカフトラ港の施設の合理的な維持管理を実施するためには、定期的点検診断（鋼材の厚さ測定、コンクリート内の塩化物イオンの浸透深さ等）を行ってデータを蓄積するとともに適切な維持管理に利用することが今後 10 年、20 年と施設を利用するためには重要である。

## (6) 拡張計画

CEPA は、アカフトラ港のコンテナターミナルの拡張計画は予定していないが、港湾区域内に 200MW のガスを利用した発電所を建設する案がある。これは、ピア C からガスパイプラインを引き込み燃料となる天然ガスを供給する計画である。

## (7) アカフトラ港との道路連絡網

港湾と結ぶ道路連絡網は、港湾で取扱う貨物の円滑な物流を担うもので、港湾施設と同様に、あるいはそれ以上に重要なインフラである。アカフトラ港との道路連絡網を図 8.21 に示す。産業集積地である首都のサンサルバドルへは 85 km、グアテマラの国境アチャドゥーラまでは 45 km、グアテマラの太平洋岸に位置するケツァル港までは 205 km、大西洋側にあるサンホセ港までは 209 km、サントトマスまでは 527 km である。ホンジュラスとの国境 アマティージョまでは 273 km、ホンジュラスの大西洋側にあるコルテス港までは 486 km である。

### 8.1.6 ラ・ウニオン港

#### (1) 概況

ラ・ウニオン港は、首都から約 185 km の距離にあり、エルサルバドル国の東端、フォンセカ湾に面したラ・ウニオン県にある。エルサルバドル国東部地域の産業開発を振興し遅れていた経済状況を引き上げる拠点としての役割が期待され、コンテナ取扱を中心とする新たな港湾として開発がすすめられ、日本の円借款を使って 2005 年から建設が始まり 2009 年に完成し 2010 年に開港した。

#### (2) 港湾施設

ラ・ウニオン港は、コンテナバース（全長 340 m、水深 14 m）とマルチパーパスバース（全長 220 m、水深 14 m）および旅客バース（全長 240 m、水深 9.5 m）から成っている。主要な荷役機械は、ストラドルキャリア 5 基、シャーシトラック 10 台、リーチスタッカー 5 台であり、キーサイド・ガントリークレーンを設置する予定である。全長約 22 km の航路を有しており、完成直後から堆砂に悩まされ完成時-14 m あった航路水深は浅くなっており一部では-7.3 m の個所もあるなど、航路浚渫の必要性が生じている(参照 図 8.4)。

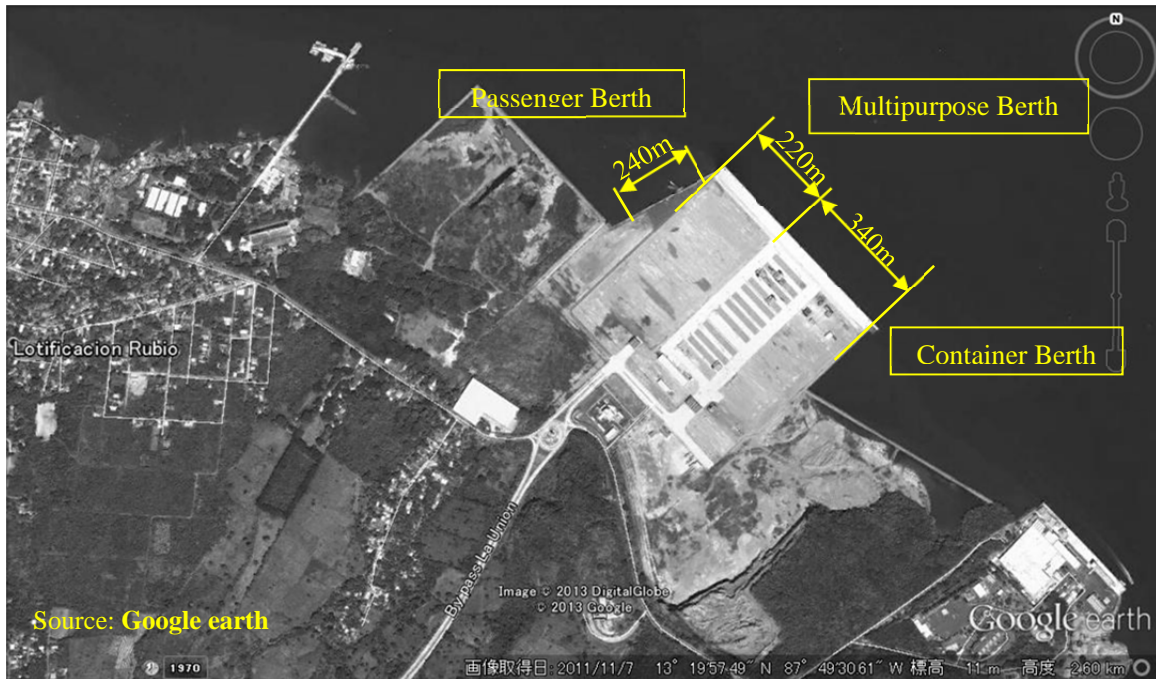


図 8.4 ラ・ユニオン港のレイアウト

### (3) 港勢

ラ・ユニオン港は 2010 年にオペレーションを開始し、コンテナの定期航路が就航していたが 2012 年末に就航できなくなった。その後、肥料を運搬するドライバルク船が週 1 回の頻度で入港している。建設時から問題となっていた堆砂の影響で航路水深が浅くなっている。

#### 1) 貨物取扱量

ラ・ユニオン港では、2010 年に貨物の取り扱いを始めた。表 8.20 に貨物取扱量を示す。2010 年には輸出入合計で 19,670t の貨物量を取り扱い 2011 年の 42,820 t から 2012 年には 118,424 t に増加したが、いずれも少ない取扱量であった。2010 年と 2011 年には一般雑貨を取り扱ったが 2012 年には取り扱われていない。ドライバルクは 2012 年には輸入のみで 37,540 t 取り扱われた。

ラ・ユニオン港のコンテナは 2010 年からオペレーションが始まり、2012 年には 18,398 TEU を取り扱った。2012 年の 12 月でオペレーションは完了して、それ以降、コンテナ船の寄港は無い。

#### 2) 寄港実績

2012 年には、57 隻の貨物船が入港しているが、内訳はコンテナ船が最も多く 48 隻、一般雑貨船が 5 隻、ドライバルク船が 4 隻となっている。コンテナ船の平均船型は 18,600 DWT で 1,000 ~1,200 TEU 積の大きさである。同様にドライバルク船の平均船型は 37,000 DWT、一般雑貨船は 2,200 DWT である。

### (4) 拡張計画

ラ・ユニオン港のマスタープランではフェーズ I からフェーズ IV まで計画されている。現行のフェーズ I に続いて、南東側へ延長するフェーズ II、反対に北西側に延長するフェーズ III、フェーズ II から南東側へ延長するフェーズ IV がある。コンテナ取扱量のキャパシティについては、フェーズ I で 75 万 TEU、フェーズ III では 250 万 TEU と計画されている。図 8.24 に拡張計画案を示す。

## 8.2 中米5か国太平洋岸の港湾

中米5か国太平洋岸の港湾の特徴及び共通点を把握するため、中米5国の経済概況、港湾の位置、港湾施設の概要、寄港船舶・取扱貨物の特徴、コンテナ港湾機能、ターミナルの運営、将来開発の視点から整理した。

### 8.2.1 中米5国の基本指標

中米5国の国土面積についてみると、グアテマラ、ホンジュラス、ニカラグアが10万 km<sup>2</sup>を超え、コスタリカは約5万 km<sup>2</sup>で半分以下、エルサルバドルは約2万 km<sup>2</sup>でコスタリカの半分以下である。

人口はグアテマラが約15百万人でホンジュラスが約半分の7.75百万人、以下エルサルバドル、ニカラグアが続きコスタリカが4.72万人と最も少ない。

GDPはグアテマラ、コスタリカが400億ドル超で、エルサルバドルが200億ドル、ホンジュラスが170億ドルで、ニカラグアは70億ドルと低い。一人当GDPはコスタリカが8,000ドルを超え、エルサルバドル、グアテマラが3,000ドル、ホンジュラスが2,000ドル、ニカラグアは1,000ドル台である。

### 8.2.2 港湾の位置

中米5国太平洋岸にはコンテナ港湾としてケッツアル港（グアテマラ）、アカフトラ港（エルサルバドル）、ラ・ウニオン港（エルサルバドル）、サンロレンソ港（ホンジュラス）、コリント港（ニカラグア）及びカルデラ港（コスタリカ）の6港がある。

アカフトラ港、コリント港及びラ・ウニオン港は首都から離れた位置に立地しているがその他の港湾は首都から100 km以内に位置している。

コリント港及びケッツアル港以外の港湾は幹線道路から15 km以下の場所に位置している。

アカフトラ港とグアテマラ国境、ラ・ウニオン港とホンジュラス国境及びサンロレンソ港とエルサルバドル国境との距離は概ね50 kmであるが、その他の港湾は国境との距離は100 km~400 kmの距離がある。

中米5か国太平洋岸の港湾は船舶が20ノットで航行する場合は1日で到達する距離にある。中米太平洋岸地域のハブ港湾となっているメキシコのマンサニージョ港あるいはパナマのバルボア港と中米5か国太平洋岸の港湾との間の距離は、20ノットで航行する船舶が、それぞれ概ね2ないし3日間、また、1日ないし2日間で到達する距離となっている。

### 8.2.3 港湾施設

ケッツアル港は掘込型の港湾でいくつかの地区の岸壁及びふ頭用地が整備されている。アカフトラ港はフィンガータイプの複数の栈橋と背後の陸上用地からなる。ラ・ウニオン港はフォンセカ湾の埋立により整備された岸壁と広いターミナル用地からなる。サンロレンソ港はフォンセカ湾の奥に位置し、海岸から離れ建設されたT字型の栈橋と陸上用地が橋で連絡されている。コリント港は半島内陸側の静穏な水域を利用した直線岸壁と背後港湾用地からなる。カルデラ港は直線岸壁と背後港湾用地からなる。

アカフトラ港以外の港湾は静穏度に関する問題はないが、いずれの港湾も適切な水深維持のための対策が必要である。

ラ・ウニオン港湾及びサンロレンソ港はフォンセカ湾内に位置して長い航路を有している。船舶が港湾を利用しようとする際に有用な情報を提供する SHIPPING ガイド社発行の港湾入港ガイドによると、コンテナ船岸壁の水深は、ケッツアル港は 11.0 m、アカフトラ港は 8 から 12 m、サンロレンソ港は 10.70 m、コリント港は 10.30 m～11.30 m、カルデラ港は 7.50 m～11.0 m となっている。また、入港可能な最大船型は、ケッツアル港が喫水 11.1 m (MLSW)、アカフトラ港がコンテナ船の喫水 11.89 m、サンロレンソ港が喫水 9.45 m (MLW)、コリント港が喫水 11.15 m、カルデラ港が喫水 10.0 m となっている。なお、ラ・ウニオン港に関する情報は掲載されていない。

コンテナ専用でない埠頭でコンテナが取扱われている港湾も多い。コリント港以外の港湾は岸壁ガントリークレーンが設置されていない。なお、コリント港のクレーンは現在故障している。各港湾のヤード容量は、ケッツアル港が 1,974 TEU、アカフトラ港が 3,753 TEU、コリント港が 1,500 TEU、カルデラ港が 700 TEU である。

#### 8.2.4 港湾管理・運営

アカフトラ港、ラ・ウニオン港は CEPA、サンソレンソ港は ENP、コリント港は EPN という政府機関が全国の港湾の管理機関として、自らターミナルの管理運営を行っている。ケッツアル港はケッツアル港を管理する公的機関である EPQ が管理運営にあっている。一方、カルデラ港は政府機関である INCOP の下で、民間のターミナルオペレータがコンセッション契約に基づきターミナルの運営にあっている。

いずれの港湾もいつでも利用が可能であるが、ラ・ウニオン港、サンロレンソ港、コリント港など潮位による入港制限がある。

#### 8.2.5 寄港船舶・取扱貨物

各港湾の 2012 年の寄港船舶数はケッツアル港は 1,247 隻、アカフトラ港は 552 隻、ラ・ウニオン港は 57 隻、サンロレンソ港は 190 隻、コリント港は 402 隻、カルデラ港は 611 隻で合計 3,059 隻であった。

寄港船の船種をみると、サンロレンソ港以外の港湾はコンテナ船の寄港が最も多い。ケッツアル港及びカルデラ港は油輸送船を除くすべての船種の船舶が寄港している。アカフトラ港は冷凍船、油輸送船及びクルーザー以外の船種の船舶が寄港している。サンロレンソ港の主な寄港船舶は、RORO 船、固体バルク船、油輸送船である。コリント港が在来船の寄港が多い。

各港湾の 2012 年の取扱貨物量は、ケッツアル港は 11,258 千トン（輸入 8,560 千トン、輸出 2,698 千トン）、アカフトラ港は 5,096 千トン（輸入 3,967 千トン、輸出 1,129 千トン）、ラ・ウニオン港 118 千トン（輸入 52 千トン、輸出 66 千トン）、サンロレンソ港は 3,903 千トン（輸入 2,395 千トン、輸出 1,598 千トン）、コリント港は 3,439 千トン（輸入 2,750 千トン、輸出 689 千トン）、カルデラ港は 4,732 千トン（輸入 4,032 千トン、輸出 700 千トン）で合計 28,546 千トン（輸入 21,756 千トン、輸出 6,790 千トン）であった

すべての港湾において輸出貨物量が輸入貨物量を上回っている。2012 年の輸出貨物の割合は、ケッツアル港では 76.0 %、アカフトラ港では 77.8 %、サンロレンソ港では 61.3 %、コリント港では 79.9 %、カルデラ港では 85.2 % となっている。

各港湾の主要貨物は次のとおりである。

ケッツアル港は輸出入固体バルク貨物及び輸出コンテナ貨物

アカフトラ港は固体バルク貨物の輸出入及び輸出液体バルク貨物

サンロレンソ港は輸入液体バルク貨物及び輸出固体バルク貨物  
コリント港は輸入液体バルク貨物、輸出入固体バルク貨物及び輸出コンテナ貨物  
カルデラ港は輸出入コンテナ貨物及び輸入固体バルク貨物

## 8.2.6 取扱コンテナ貨物の特徴

各港湾の2012年のコンテナ取扱量は、ケッツアル港は324,507 TEU、アカフトラ港は160,981 TEU、ラ・ウニオン港は18,398 TEU、コリント港は89,538 TEU、カルデラ港は184,315 TEUで合計777,379 TEUであった。

空コンテナの割合は概ね4分の1から3分の1となっている。全積荷コンテナに対する空コンテナは、アカフトラ港で53.8%、コリント港で47.5%、コリント港で47.5%、カルデラ港で41.9%及びケッツアル港で33.2%と高くなっている。ケッツアル港とコリント港ではトランジット及びトランシップメントコンテナが取り扱われ、ケッツアル港ではトランシップメントコンテナが取り扱われている。

## 8.2.7 将来開発・整備

ケッツアル港は、既存のコマーシャルバースに隣接して新コンテナターミナルが計画され2015年に供用開始(フェーズ1)の予定である。水深14.5 m、延長540 m(フェーズ1は300 m)のバース及び4基のガントリークレーンがコンセッション契約の下でTerminal de Contenedores de Barcelona (TCB)により整備される予定である。目標コンテナ取扱量は、3ないし5年後に15万TEU、5ないし10年後に60万TEUを見込んでいる。更に、既存のコマーシャルバースを延長400 mのマルチパーパスターミナルへの拡張プロジェクトも計画されている。なお、ケッツアル港は中米及びメキシコ南部地域のトランシップメント港湾になることを目指している。

アカフトラ港においては当面の課題に対応するためアクセス道路の完了及びコンテナヤード容量の拡張が計画されている。

ラ・ウニオン港は、航路整備の計画が検討されるとともに、ターミナル運営のコンセッションの関する準備が進められている。

サンロレンソ港については、ENPのサンロレンソ港事務所は航路を11 mに増深する計画を有している。

コリント港については、EPNは2014年に港外航路の浚渫を計画しており、その浚渫土量は5.6百万m<sup>3</sup>と推定されている。浚渫コストは前回の工事では12 USD/m<sup>3</sup>であったが、今回は5-7 USD/m<sup>3</sup>を見込んでいる。これは、土砂投棄及び回航費が前回より小さいと考えられることによる。また、現在故障中のガントリークレーンの修繕を検討している。荷卸の生産性は、ガントリークレーンの場合18-22 boxes/hで船舶ギアの場合は13から15 boxes/hであるが、利用料金の関係でMAERSKのみが岸壁クレーンを利用していた。加えて、EPNは現在利用されていない南埠頭の改良を望んでいる。なお、コリント港は将来的に新港湾法のもとでコンセッションを導入する可能性がある。

カルデラ港では、水深13 m、延長180 mの新バルクターミナルについて、INCOPが策定した計画に基づき、SPGCが現在建設工事を実施している。なお、航路及び泊地の維持は今後とも必要となることがあるが、航路及び泊地の改良及び維持は政府の責任となっている。なお、バース前面の水域の浚渫はSPCの責任となっている。

## 8.3 中米地域におけるコンテナ動向

### 8.3.1 中米地域における港湾のコンテナ取扱い

中米地域におけるコンテナ流動は増加してきており、それは、この地域における港湾のコンテナ取扱量に現れている。中米地域の港湾のコンテナ取扱量はこの10年間着実に伸長しており、表に示す22港の2008年のコンテナ取扱量は1000万TEUを超えている。

クリストバル港、バルボア港及びマンサニージョ港のコンテナ取扱量が際立った値を示している。これらの港湾は国際ハブ港湾としての機能を有し、その港勢は大きく伸びてきている。同表が示すもう一つの特徴は太平洋岸港湾のコンテナ取扱量の増加で、2001年にはカリブ海岸港湾の取扱量の4分の1であったものが、2010年にはその量を凌ぐまでになった。

MDS トランスモーダル社発行の「MDS Containership Databank (以降 MDS)」の2013年5月データによると、中米5国のコンテナ港湾に寄港する船舶は31隻ある。最大の船型は積載能力5,040TEUのコンテナ船で最少のものは860TEUである。

中米5国太平洋岸の港湾は、満載喫水で概ね11m以下の船舶に対応している。13m喫水クラスの船舶は満載でない状態で寄港していると考えられる。

2010年5月と2012年5月時点のMDSデータバンクに掲載されているこの地域の港湾に寄港するコンテナ航路の変化をみると、2010年の5月から2013年5月の間に就航サービスの数は13から9に減少しているが、複数船社による共同運航のサービスは3から6に増加している。また、スロットチャーターによるサービスを行う船社も1から4に増加している。

コンテナ船の船型を見ると、204TEUから4,420TEUと大きな幅がある。アカフトラ港に寄港するコンテナ船についてみると、905TEUから2,517TEUで返金1,577TEUとなっている。なお、ケッツアル港には4,000TEUのコンテナ船が寄港しているが、この船ケッツアル港で積替えられるアジア貨物を輸送している。

表 8.3 寄港コンテナサービス数と其の変化

MDS 2010.May

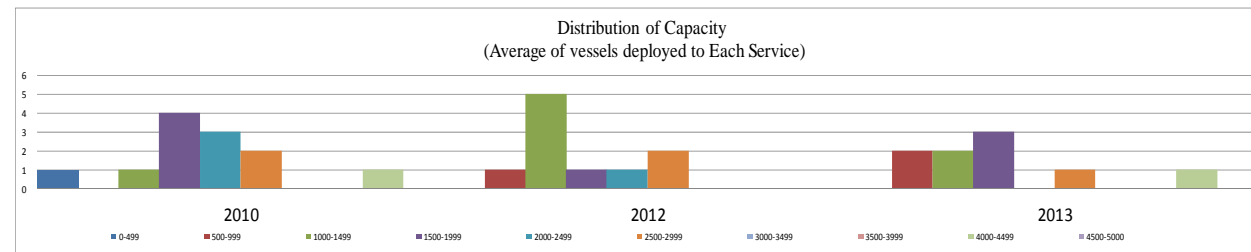
Called Port (CA -Pacific side)	Service	Shipping company	TEU Average of container ship	Service frequency
Acajutla Puerto Quetzal	-	APL	830	52
Acajutla Caldera	ANDEX 2	CSAV	1,695	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto	ACSA	CMA-CGM CSCL CCNI (Slot charter)	2,516	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera	MAREX	NYK	1,610	52
Acajutla Puerto Quetzal Caldera Balboa	MAYA	MSC	1,232	26
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera Balboa	WCCA	MAERSK LINE	1,695	52
Puerto Quetzal	NACSA	CCNI CSAV HAMBURG-SUD	1,892	52
	ALPALGA	CCNI MSC HAMBURG-SUD	4,184	52
	MPS	HAPAG-LLOYD	2,336	33
	WC	GREAT WHITE FLEET	204	52
	ALEX	NYK	2,706	52
Puerto Quetzal Caldera Balboa	PUMA	MSC	2,350	52
Puerto Quetzal Caldera	MXP	HAPAG-LLOYD	2,211	26
<i>Total Services</i>				13
<i>The number of services which call at Acajutla port</i>				6
<i>The number of services which call at Puerto Quetzal</i>				12

MDS 2012.Feb

Called Port (CA -Pacific side)	Service	Shipping company	TEU Average of container ship	Service frequency
Acajutla Puerto Quetzal	MCX/WECA 2	APL HAMBURG-SUD	1,100	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera Balboa	ACSA	CMA CGM MSC CSAV	1,000	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera	WCCA	MAERSK LINE MSC (Slot charter)	2,504	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera	MAREX	NYK	1,458	52
Acajutla Puerto Quetzal Caldera	MXC	CFS HAPAG-LLOYD (Slot charter)	1,304	26
La Union Puerto Quetzal Caldera Balboa	WCX/WECA	APL HAMBURG-SUD	1,324	52
Puerto Quetzal	WC	GREAT WHITE FLEET	2,625	36
	WAMS	HAMBURG-SUD CCNI	1,982	52
	MXP	HAPAG-LLOYD	2,294	26
Puerto Quetzal Caldera	WCSA	DOLE	910	52
<i>Total Services</i>				10
<i>The number of services which call at Acajutla port</i>				5
<i>The number of services which call at La Union port</i>				1
<i>The number of services which call at Puerto Quetzal</i>				10

MDS 2013.May

Called Port (CA -Pacific side)	Service	Shipping company	TEU Average of container ship	Service frequency
Acajutla Puerto Quetzal Balboa	WCX	APL	1,310	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera	TIKAL/WCCA	CMA-CGM CSAV	1,553	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Caldera	MAREX/CCE	NYK HAPAG-LLOYD	2,517	52
Acajutla Puerto Quetzal Corinto Balboa	WCCA	MAERSK LINE MSC (Slot charter) Evergreen (Slot charter)	1,922	52
Acajutla Puerto Quetzal San Lorenzo Corinto Caldera	WCA	Evergreen X-Press Feeders Hamburg-Sud (Slot charter)	905	52
Puerto Quetzal Caldera	WSA2	COSCO Evergreen PIL WAN HAI	4,420	46
Puerto Quetzal Caldera	WCSA	DOLE	910	52
Puerto Quetzal Balboa	WAMS	Hamburg-Sud CCNI Great White Fleet (Slot charter)	1,820	52
Caldera Balboa	PAN/CHL	MAERSK LINE	1,122	52
<i>Total Services</i>				9
<i>The number of services which call at Acajutla port</i>				5
<i>The number of services which call at Puerto Quetzal</i>				8



出典: Prepared from MDS Databank



## 8.3.2 船社の考え

### (1) CA5 太平洋沿岸サービス展開コンテナ船社の見解

エルサルバドル及び周辺国に事務所を置く船舶代理店、荷主等へのインタビュー調査により把握された船社の見解として次がある。

- a) それぞれのオペレーターは自らの方針に基づき事業を展開しているが、ほとんど全てのオペレーターが、中米 5 か国太平洋岸港湾をメキシコあるいはパナマにベースを置いたフィーダーサービス港湾として位置づけている。
- b) 多くのオペレーターはケッツアル港、アカフトラ港、コリント港及びカルデラ港にウィークリーサービスを提供している。しかし、貨物量の関係からこの中から寄港港湾を選択しサービスを展開しているオペレーターもあり、また、カルデラ港についてバース指定にかかる問題から寄港を避けているオペレーターもある。
- c) 多くのサービスは複数の船社による共同運航となっているが、これは単独のオペレーターでは運航に十分な貨物を集荷しきれないことによる。
- d) この地域のサービスに投入している船のサイズは様々で、今回のインタビュー調査で訪問した中では、最大のもの 22,800 TEU 級（船長 200 m、喫水 11 m）、最少のもの 670 TEU 級（喫水 8.5 m）であった。なお、数社がこの地域に投入するコンテナ船の船型は、パナマ運河第 3 閘門プロジェクトに完成によっても変化しないであろうとの考えを示した。
- e) すべてのオペレーターが、中米の市場は小さく、その規模が急激に拡大することはないと考えている。この地域の EU 及び南北アメリカの輸出入貨物はカリブ海側の港湾を使用し、パナマ運河を経由する貨物はほとんどないとのことである。
- f) 国境及び港湾での複雑な手続きについての指摘が多くあった。

### (2) 各港に関するコメント

#### a) アカフトラ港：

幾つか問題点が指摘され、その主なものは、i)うねりにより入港待ちは生じることがあること、ii)ピアは外海に面しているため悪天候時には安全上の問題があること、iii)コンテナ船向バースは満足できる状態にないこと、iv)岸壁水深(10 m)が大型船にとって十分でないこと、v)RORO 船は潮位条件ためランプのセットを待たざるを得ないことがあること及び3月から4月、8月から9月にはうねりの影響で入港できないことがあること、vi)コンテナヤードにおいて5台のストラドルキャリアが同時に作業できないこと、vii)アカフトラ港の港湾施設は老朽化していること、viii)B3 ピアはコンベアベルトがあるため貨物取扱に十分なスペースが得られないこと、ix)リーフアープラグが 140~160 必要であること、x)電力供給に問題があること及び xi)バルクキャリアは潮待が生じることがあることなどである。

一方で、複数の船社はコンテナ船に関しては問題がなく、また、CEPA のターミナル運営にも問題はないとの見解を持っている。しかしながら、税関、検疫及び警察の手続きに時間を要すること、特に税関及び警察のコンテナの検査に時間がかかることの指摘があった。税関のサンプル検査率は 16 % (輸出入貨物)、警察の場合は 6 % (輸入貨物)となっている。また、検査時間は 4 時間ほどであるが、待ち時間も含め 3 日かかることもあるとのことである。なお多くの船社から、

ケツアル港の新コンテナターミナルが供用されても、安全の問題と越境抵抗を考えるとアカフトラの貨物に移ることはないであろうとの考えが示された。

#### b) ラ・ユニオン港

多くの船社は、CEPA がコンテナ取扱ラ・ユニオン港にシフトすることを決定すれば船社は従わざるを得ないであろうが、船社が寄港地を選択するのであればラ・ユニオン港に移る船社はないとの考えを示した。ラ・ユニオン港の問題は港湾の陸上アクセス、検査場所の不足及び航路が浅いことである。また、初めてコンテナビジネスを展開する際にはリスクを伴うもので、貨物の発生集中場所がラ・ユニオン港周辺でなく、アカフトラ港に近いことは問題であるとの認識を持っている。加えて、エルサルバドルの貨物はそれほど多くなくまた、ラ・ユニオン港は主な経済活動地域から離れていることから、現時点で同港を利用する可能性はないとの考えを示す船社もあった。

しかしながら、肯定的な見解も示された。例えば、ラ・ユニオン港が一定の水深を提供すれば、いつも混雑しているメキシコのマンサニョに代わってトランシップメント港になるチャンスはあること、ラ・ユニオン港は利用者の視点で運営され、官僚的でないという利点を持っていること、船舶クレーンを備えた大きくない船を投入すれば航路水深は重大な問題ではなく岸壁クレーンも必要ではなく、十分な機器、高い効率性、時間短縮のような良好なサービスを提供すれば利用されるであろうこと、安全、保安の視点からラ・ユニオン港はアカフトラ港に比べ優位性を持つことなどの見解も示された。こうしたことから、十分な施設、高い効率性、手続きの短縮など良好なサービスを提供することで、ラ・ユニオン港は利用されうると思料される。

また、ラ・ユニオン港は近代港湾として優位点を有しており、現在指摘されている問題点に関しては、クレーンを設備したそれほど大きくない船舶を投入することで対応可能であるとの考えにたち同港湾に関心を寄せ津企業もあった。

#### (要請・提案)

ラ・ユニオン港がオペレーション、保管、陸上輸送でのコストを低減するサービスを提示することができ、潜在貨物があれば、船社は寄港を検討するとの考えを示す船社もある。

航路水深 12 m は船社の視点からみた一つの閾値で、船社がラ・ユニオン港に寄港を検討する際の基準の一つとして水深 12 m があるとの考えを示す船社がある一方で、潮位利用を考慮すると、航路水深は 11.0 ないし 11.5 m でも可能性はあるとの考えを示す船社もある。

多くの企業がガントリークレーンの設置は必須条件と主張し、また、港湾手続システムの導入を期待する船社もある。船社にとって重要なのはコストだけでなく安定的な効率性で時間の節約は利益を生む点も指摘された。

### (3) 船社の意向を踏まえたモデル解析の考え方

船社のこうした意向はモデルを用いたシミュレーションにおけるシナリオ設定に必要な情報を提供する。また中米の港湾に関する基礎的な理解はモデル構築及び入力条件の設定に必要である。

#### a) 太平洋岸港湾とカリブ海側港湾との間の機能分担

基本的に、アジア及び北米・南米西海岸の貨物は基本的に太平洋岸の港湾を利用し輸出入される一方で、欧州及び北米・南米東海岸の貨物は基本的にカリブ海側の港湾を利用し輸出入される。

加えて中米 5 国の貨物は基本的にパナマ運河を利用しないことを基本に考えることとする。

**b) 陸上輸送（越境輸送）と海上輸送（港湾利用）との間の関係についての基本的考え**

ある国で生産あるいは消費される貨物は自国の港湾を利用することを基本とする。しかし、エルサルバドルにはカリブ海側の港湾がないため、欧州あるいは北米・南米東岸から（へ）のエルサルバドル貨物はホンジュラス（コルテス港）及びグアテマラ（サントトマス港及びバリオス港）の港湾を利用する。同様にニカラグアもカリブ海に面し長い海岸線を有しているが大型の港湾がないため、欧州及び北米東岸から（へ）のニカラグアの貨物はホンジュラス（コルテス港）及びコスタリカ（リモン港）の港湾を経由する。一方、アジアあるいは北米・南米西岸から（へ）のホンジュラス貨物は、ホンジュラス平洋岸にはサンロレンソのような小規模の港湾しかないので、アカフトラ港、ラ・ウニオン港など近隣の港湾を利用することを基本におく。

**c) 現在の及び将来可能性のあるコンテナサービスネットワークパターン**

CA 4 の太平洋岸においてそれぞれの船社が提供している既存のコンテナサービスは 3 つのパターンに分類される。つまり、i)メキシコまたは北米西海岸港湾をベースとしたフィーダーサービスで、各国の港湾に寄港、ii)パナマ港湾をベースとしたフィーダーサービスで各国の港湾に寄港、及び iii)アジア・北米西海海岸の港湾と南米西海岸港湾の間の航路の下でのウエイポート及びフィーダーサービスで、ウエイポート就航船は選択された港湾に寄港、の 3 種である。加えて、将来シミュレーションにおいては、中米 5 国のある港湾が中米太平洋岸のハブ機能を有することを考慮する。

## 8.4 船舶寄港モデルの概要

本プロジェクトで構築する船舶寄港モデルの概要を図 8.5 に示す。主な入力データは、ラ・ウニオン港における航路水深を含む各港のサービスレベル、およびコンテナ貨物輸送需要（コンテナ貨物 OD）である。

モデルは大きく 2 つの部分から構成されている。ひとつめは、航路ネットワークを決定する船社の行動を考慮するパート、もうひとつは、コンテナ貨物配分モデルである。最初の船社行動パートは、各船社が、各港のサービスレベル（航路水深、岸壁水深）を前提に、各航路ごとに、寄港地やその順序、船舶サイズや頻度を決定し、全体としてどういうサービスネットワークを構成するかという部分を記述するものである。そのうえで、各船社の定航サービスネットワークをコンテナ貨物配分モデルに入力する。なお、コンテナ貨物配分モデルには、上記で入力された海上輸送ネットワークだけでなく、陸上輸送ネットワークも含まれる。コンテナ貨物配分モデルの計算結果から、入力した各船社の定航サービスネットワークが実際に成立し得るものかどうか検討する。

モデルのアウトプットは、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である。これ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。

なお、過去の JICA 調査団による需要予測モデル（1998 年、2002 年）においては、コンテナ貨物については、アカフトラ港における取扱いを基本的に中止しラ・ウニオン港に集約する前提でコンテナ貨物の配分を行っているものの、本プロジェクトにおいては、現状に即して原則としてアカフトラ港におけるコンテナ取り扱い機能も維持されとの想定に基づき、ラ・ウニオン港との分担も考慮したモデルを構築するものである（ただし、アカフトラ港においてはコンテナ貨物取扱環境の改善を企図したような大規模な投資は行われないと前提に基づき、容量に上限が存在すると仮定する）。また、本プロジェクトで構築するモデルは、ターミナル運営方式は入力としておらず、結果に影響しないため、たとえば現在ラ・ウニオン港で検討されている、コンセッション契約が実施された後でも基本的に有効である。

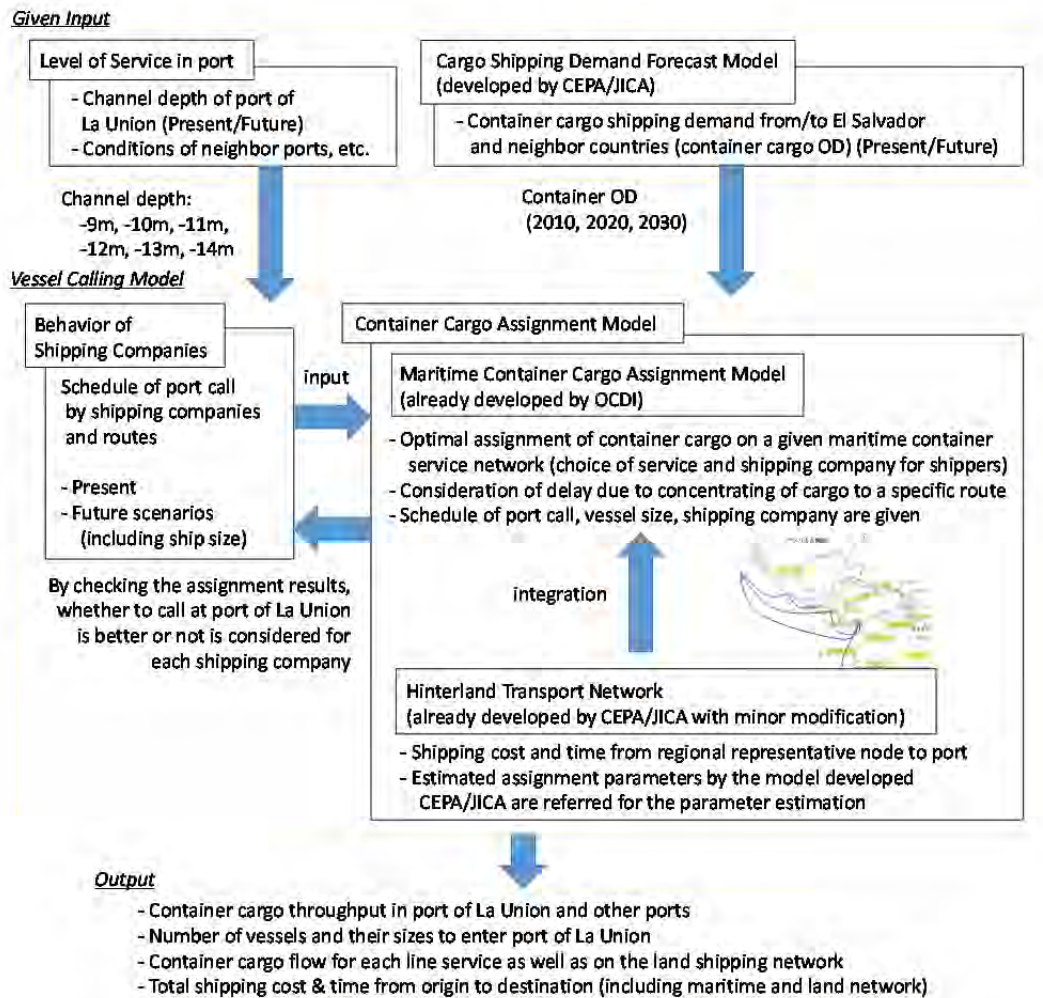


図 8.5 船舶寄港モデルの全体構成  
(出典：調査団作成)

## 8.5 船社の行動

### 8.5.1 定航輸送ネットワーク

現行（2010年時点）の定航サービスネットワークはMDSデータより作成する。MDSデータには、8.3.1でも述べたように、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。

### 8.5.2 運航船社

本モデルで考慮する船社は、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。

### 8.5.3 対象港湾

本モデルでは、全世界の定航サービスを対象としている。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。CI-online データによれば、全世界で 155 港がこれに相当する。これに Annex D2 に示す多少の増減を行う。

さらに、本モデルでフォーカスするエルサルバドルを中心とする中米 4 개국（エルサルバドル、グアテマラ、ホンジュラス、ニカラグア。以下 CA4 と略す場合がある）の港湾は比較的規模が小さいため、上記港湾に以下の港湾を追加する：ケツアル（グアテマラ）、サントトーマス・デ・カスティーリャ／プエルト・バリオス（グアテマラ）、アカフトラ（エルサルバドル）、ラ・ユニオン（エルサルバドル）、サンロレンソ（ホンジュラス）、コリント（ニカラグア）、および CA4 には含まれないものの、周辺の重要港としてコスタリカのカルデラ港。このうち、ラ・ユニオンおよびサンロレンソは 2010 年のコンテナ取扱量はゼロである。グアテマラのサントトーマス・デ・カスティーリャ港とプエルト・バリオス港は近接していることから一港として取り扱う。中米地域の対象港湾を図 8.6 に示す。



図 8.6 中米地域におけるモデル対象港（赤字は本モデルにおける追加港湾）  
（出典：調査団作成）

## 8.6 コンテナ貨物配分モデル

### 8.6.1 モデルの全体構成

輸出入貨物獲得のための港湾間競争を表現するためには、背後輸送ネットワーク上での荷主の利用港湾選択行動を考慮する必要がある。このため、OCDI が構築した既存の海上輸送ネットワ



ークモデル（8.6.2 で説明）を拡張し、CA4 における陸上輸送ネットワークを含めたインターモーダル輸送ネットワーク（図 8.7 参照）上でモデルを構築する。

モデルは原則として荷主の視点で構築される。各荷主は、会場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を選択する。ここで、モデル構築者の観測できない要素が反映可能な確率的配分モデルを導入することとする。一般に交通分野において、確率配分モデルは、シンプルな構造にもかかわらず高い再現性を有することが知られている。

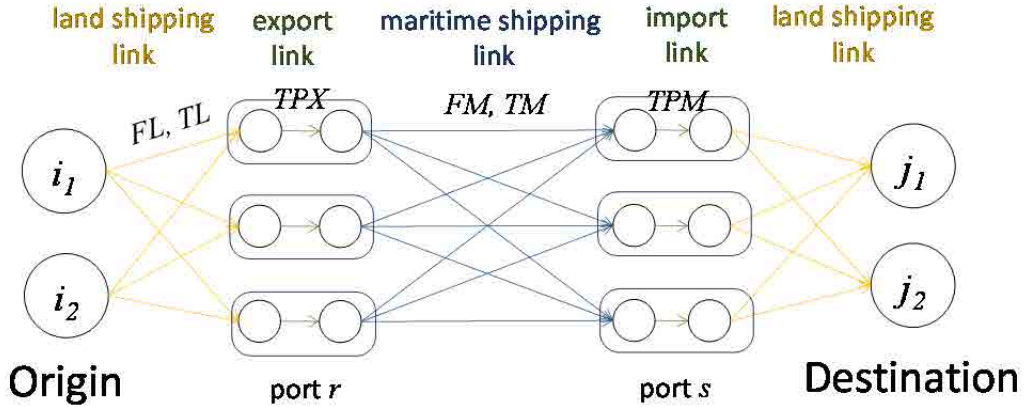


図 8.7 コンテナ貨物配分モデルで考慮するインターモーダル輸送ネットワーク  
(出典：調査団作成)

### 8.6.2 コンテナ貨物配分モデルの定式化

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  $Q_{ij}$ （TEU）（ $ij \in \Omega$ ； $\Omega$  は OD ペアの集合）として、 $Q_{ij}$  に含まれるある貨物  $m$  の輸送において効用  $U_{ijhm}$ （誤差項  $\varepsilon_{ijhm}$ ）を最大にする経路を  $h$  とすると、 $U_{ijhm}$  は選択されなかった経路  $h'$  の効用  $U_{ijh'm}$  よりも大きいはずなので、以下のようにあらわされる。

$$U_{ijhm} > U_{ijh'm}, \forall h \in H_{ij}, \forall h' \in H_{ij}, h \neq h', \forall ij \in \Omega, \quad (1)$$

$$s.t. U_{ijhm} = -G_{ijh} + \varepsilon_{ijhm} \quad (2)$$

ここで、 $G_{ijh}$ ：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）である。

誤差項  $\varepsilon_{ijhm}$  がガンベル分布に従うとすれば、発地域  $i$  から着地域  $j$  まで経路  $h$  により輸送される貨物量  $F_{ijh}$  は以下の式で表される。

$$F_{ijh} = Q_{ij} \cdot \frac{\exp(-\theta \cdot G_{ijh})}{\exp(-\theta \cdot G_{ijh}) + \sum_{h' \in H_{ij}} \exp(-\theta \cdot G_{ijh'})} \quad (3)$$

ここで、 $\theta$ ：分散パラメータである。

経路  $h$  の一般化費用  $G_{ijh}$  は陸上・港湾・海上輸送の一般化費用の合計で、以下の式で表される。

$$G_{ijh} = GL_{ir} + GPX_r + GM_{rs} + GPM_s + GL_{sj}, \forall r \in h, \forall s \in h \quad (4)$$

ここで、 $GL_{ir}$ ,  $GL_{sj}$  : 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一般化費用、 $GPX_r$  : 輸出港  $r$  における一般化費用、 $GM_{rs}$  : 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。

$$GL_{ir} = FL_{ir} + vt \cdot TL_{ir} \quad (\text{または } GL_{sj} = FL_{sj} + vt \cdot TL_{sj}), \quad (5)$$

$$GPX_r = vt \cdot TPX_r, \quad (6)$$

$$GM_{rs} = FM_{rs} + vt \cdot TM_{rs}, \text{ and} \quad (7)$$

$$GPM_s = vt \cdot TPM_s. \quad (8)$$

ここで、 $vt$  : 荷主の時間価値 (US\$/TEU/hour)、 $FL_{ir}$ ,  $FL_{sj}$  : 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)、 $TL_{ir}$ ,  $TL_{sj}$  : 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。

### 8.6.3 海上輸送サブモデル

(7)式に含まれる海上輸送時間  $TM_{rs}$  は、OCDI によって構築された既存の海上輸送サブモデルの計算結果を用いる。

### 8.6.4 海上輸送運賃

(7)式に含まれる海上輸送運賃  $FM_{rs}$  は、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。すなわち、寡占市場である海上コンテナ輸送市場には、供給者余剰が存在すると考えられる。

ここでは、輸出港  $r$ 、輸入港  $s$  の市場における均衡価格 (海上運賃)  $FM_{rs}$  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、

$$FM_{rs} = \max_{g \in G} MC_{grs}, \quad (9)$$

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。

### 8.6.5 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  $TL_{ir}$ ,  $TL_{sj}$  および運賃  $FL_{ir}$ ,  $FL_{sj}$  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。



$$TL_{ir} = TD_{ir} + \alpha \cdot TB_{ir} \text{ (または } TL_{sj} = TD_{sj} + \alpha \cdot TB_{sj} \text{), and} \quad (10)$$

$$FL_{ir} = CD_{ir} + \alpha \cdot CB_{ir} \text{ (または } FL_{sj} = CD_{sj} + \alpha \cdot CB_{sj} \text{).} \quad (11)$$

ここで、 $TD_{ir}, TD_{sj}$  : 陸上輸送リンクの走行時間 (hour)、 $TB_{ir}, TB_{sj}$  : 陸上輸送リンクの国境通過時間 (hour)、 $CD_{ir}, CD_{sj}$  : 陸上輸送リンクの走行費用 (US\$/TEU)、 $CB_{ir}, CB_{sj}$  : 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  $\alpha$  は、 $TB_{ir}, TB_{sj}$  や  $CB_{ir}, CB_{sj}$  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  $vt$  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。

## 8.7 入力データ

### 8.7.1 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  $q_{rs}$  を推計し、次に陸上輸送まで含めた輸送需要を推計する。

#### (1) 海上コンテナ OD

##### 1) 国・地域間 OD

国・地域間の OD 貨物量は、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。

##### 2) 港湾間 OD への分割

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。

##### 3) 中米地域の OD 分割

WTS データにおいては、中米 7 か国 (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) 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。

#### (2) 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(1)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。

1) 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。

2) 中米地域内のコンテナODについても、海上コンテナODと同様の方法で設定する。

### (3) 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(1)・(2)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。

## 8.7.2 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、CEPA提供データおよび他の情報源を総合して、表8.4に示す通り設定する。

表 8.4 各港湾のサービスレベルの設定値

港湾名		コンテナ取扱料金	最大岸壁水深	輸出リードタイム	輸入リードタイム	積替時間
		$CHC_r$ (US\$/TEU)	(m)	$TPX_r$ (hours)	$TPM_r$ (hours)	$TR_r$ (hours)
Puerto Quetzal	Guatemala	117.65	-13	60	24	48
Acajutla	El Salvador	73.48	-11	60	48	48
La Union	El Salvador	65.79	-8	60	48	48
San Lorenzo	Honduras	64.70	-8	60	48	48
Corinto	Nicaragua	58.82	-11	168	84	48
Caldera	Costa Rica	100.00	-11	48	24	48
Puerto Cortes/ Puerto Castilla	Honduras	64.70	-12	48	24	48
Santo Tomas De Castilla/ Puerto Barrios	Guatemala	64.70	-11	60	24	48
Other ports of the world		100.00	*	48	24	*

出典： JICA Study Team's estimation

\*: varied by port

## 8.7.3 陸上輸送ネットワーク

CEPA/JICAの構築した市場配分モデル（以下CEPA配分モデルとよぶ）では、CA4地域の陸上輸送ネットワーク（図8.8参照）を構築している。地理的特徴を踏まえ、エルサルバドルは東西2地域に、ホンジュラスは南北2ゾーンに分割する。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（(10)式に含まれる $TD_{ir}$ および $TD_{si}$ ）およびコスト（(11)式に含まれる $CD_{ir}$ および $CD_{si}$ ）はCEPA配分モデルの設定値を用いる（表8.5参照）。越境時間（(10)式に含まれる $TB_{ir}$ および $TB_{si}$ ）およびコスト（(11)式に含まれる $TD_{ir}$ および $TD_{si}$ ）は、世界銀行の提供する

Doing-Business データベースの Documents Preparation に要する時間（日数）の輸出入平均値をもとに表 8.6 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。

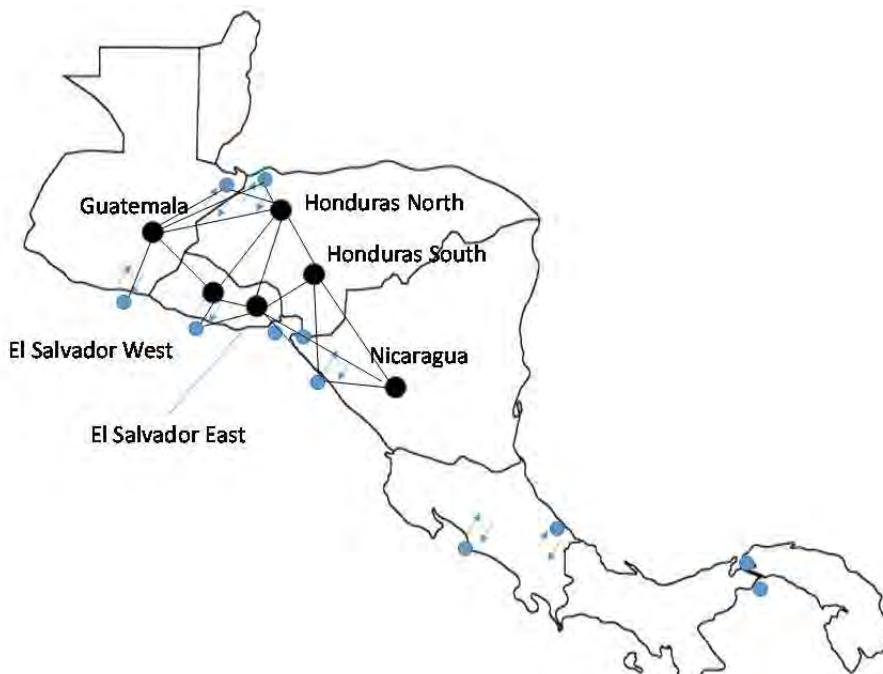


図 8.8 本モデルで考慮する陸上輸送ネットワーク

(出典：調査団作成)

表 8.5 各 OD ノード・港湾間の走行時間および費用

- 走行時間

(hours)

Zone Representative	Ports	Guatemala		El Salvador		Honduras		Nicaragua
		Quetzal	Santo Tomas	Acajutla	La Union	Pt. Cortes	San Lorenzo	Corinto
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)

Zone Representative	Ports	Guatemala		El Salvador		Honduras		Nicaragua
		Quetzal	Santo Tomas	Acajutla	La Union	Pt. Cortes	San Lorenzo	Corinto
Guatemala		151.5	450.0	286.5	630.0	568.5	723.0	990.0
El Salvador West		403.5	571.5	129.0	277.5	612.0	372.0	637.5
El Salvador East		603.0	774.0	328.5	73.5	600.0	186.0	439.5
Honduras North		774.0	220.5	649.5	495.0	88.2	504.0	771.0
Honduras 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

出典：CEPA

表 8.6 各 OD ノード・港湾間の越境時間および費用

- 越境時間

(hours)

Zone Representative	Ports	Guatemala		El Salvador		Honduras		Nicaragua
		Quetzal	Santo Tomas	Acajutla	La Union	Puerto Cortes	San Lorenzo	Corinto
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)

Zone Representative	Ports	Guatemala		El Salvador		Honduras		Nicaragua
		Quetzal	Santo Tomas	Acajutla	La Union	Puerto Cortes	San Lorenzo	Corinto
Guatemala		0	0	380	380	261	641	958.5
El Salvador West		278.5	278.5	0	0	261	261	578.5
El Salvador East		278.5	278.5	0	0	261	261	578.5
Honduras North		278.5	278.5	380	380	0	0	317.5
Honduras South		658.5	658.5	380	380	0	0	317.5
Nicaragua		919.5	539.5	641	641	261	261	0

出典： JICA team's estimation from Doing Business Database (by World Bank)

## 8.8 コンテナ貨物配分モデルの計算結果

### 8.8.1 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、ここまではすべて説明されている。(5)~(8)式に含まれる  $vt$  は荷主の時間価値 (US\$/TEU/hour) を表す。(3)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、8.6.5 の(10)式および(11)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 ( $3.0 < vt < 13.0$ 、 $0.001 < \theta < 0.05$ 、 $0.0 < \alpha < 0.5$ ) 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  $(vt, \theta, \alpha) = (8.0, 0.01, 0.3)$  を得た。

### 8.8.2 モデルの再現性

#### (1) 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 8.9 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/カスティージャ港 (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 港などいくつかの港で、現状と同程度の一

定量が推計された。

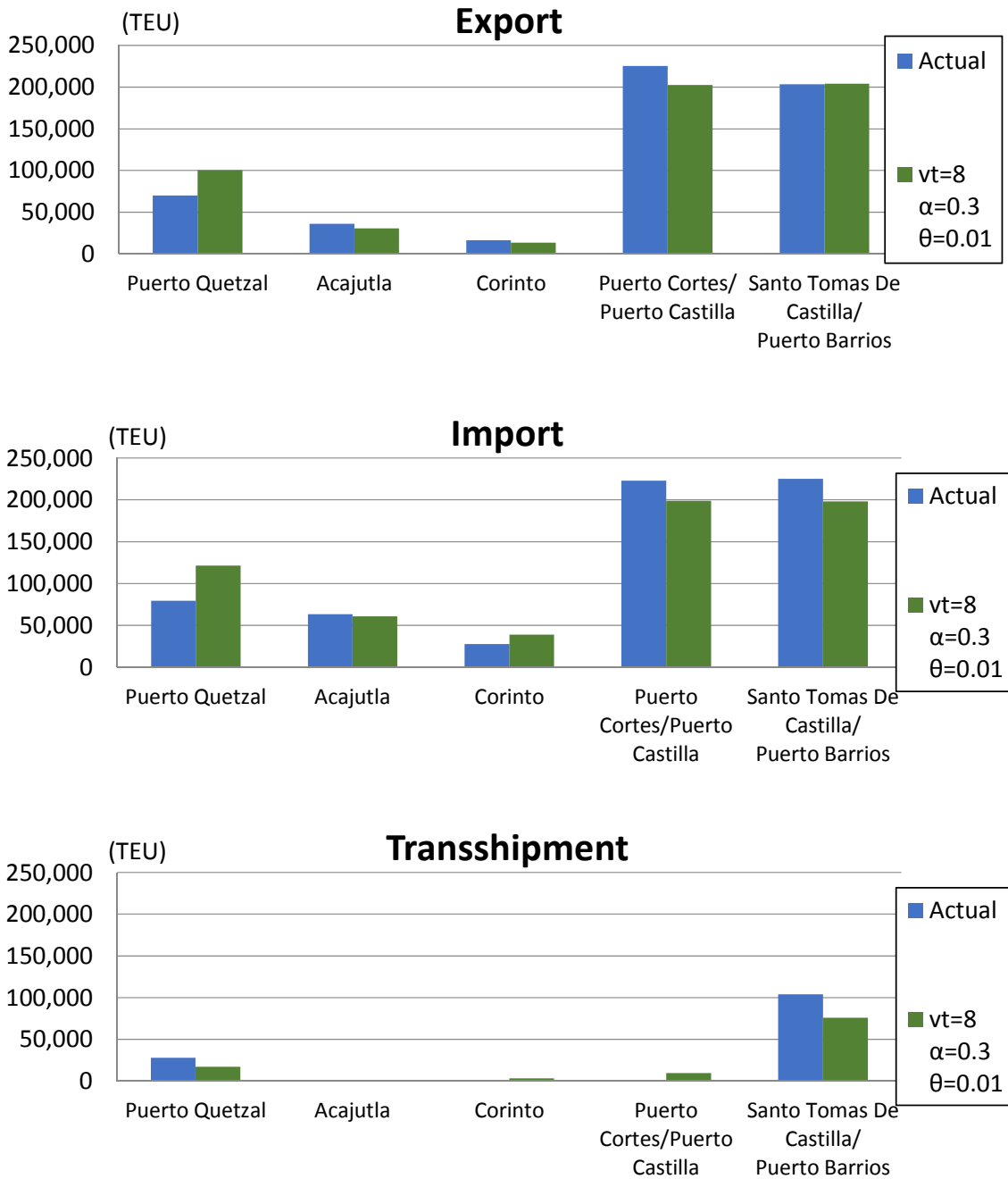


図 8.9 コンテナ貨物港湾取扱量における現状値と推計値の比較  
(出典：調査団による推計)

## (2) 相手地域シェア

表 8.7 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。

表 8.7 CA4 諸港における相手地域（方面）別コンテナ取扱量シェア

	輸出				輸入			
	カリブ海・大西洋岸 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
Puerto 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%
Puerto Cortes/ Puerto Castilla	201,016	99.3%	1,460	0.7%	195,669	98.4%	3,194	1.6%
Santo Tomas De Castilla/Puerto Barrios	201,395	98.6%	2,768	1.4%	191,493	96.6%	6,761	3.4%

出典：調査団による推計

### (3) CA4 発着貨物の輸出入港選択結果

表 8.8 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。これに相当する実績データも存在しないものの、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／カスティージャ港、またはグアテマラのサントトマス・デ・カスティージャ／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、一般に知られる実態をよく表していると考えられる。

表 8.8 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	Puerto Cortes/ Puerto Castilla	Santo Tomas De Castilla/ Puerto 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
Puerto 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
Puerto Cortes/ Puerto Castilla	20,724	44,083	4,294	73,511	31,863	24,381
Santo Tomas De Castilla/Puerto Barrios	147,589	39,324	1,030	7,445	1,825	1,031

出典：調査団による推計

#### (4) 輸送船社シェア

本モデルでは、船社別または定航サービス別の輸送貨物量が出力可能であることが一つの特徴である。表 8.9 は、アカフトラ港に寄港する各コンテナ船社の 2010 年取扱貨物量のシェアの実績値およびモデル推計値を比較したものである。

はじめにモデル推計値で見た場合、取扱量ベースと寄港船腹量ベースの船社シェアが多少異なっており、たとえば APL のように寄港船腹量に対して取扱量の大きい「効率的な」船社が存在する一方で、MSC、CSAV、China Shipping のように船腹量よりも取扱量の小さい船社も存在することがわかる。

また、実績シェア（取扱量ベース）と比較すると、NYK を除くすべての船社において、寄港船腹量ベースよりも取扱量ベースの推計値がより実績値に近い結果となっている。すなわち、MDS データベースなどから算出可能な寄港船腹量ベースで各船社の実際の輸送量を推計するよりも、本モデルの船社別輸送量の推計結果はより実績に近いことが示唆される。なお、その他の実績値と推計値の誤差を生む要因として、モデル計算が 2010 年 5 月の航路ネットワークに基づくものであり、年内に航路サービスの変更が行われた場合は変更前（4 月以前）や変更後（6 月以降）のネットワークが反映されていないこともあげられる。

表 8.9 アカフトラ港における船社別シェアの実績値と推計値（2010 年）

	実績値*	モデル推計値			
		取扱量ベース**		寄港船腹量ベース***	
		share	TEU/year	share	TEU/year
Maersk	37.5%	34,107	37.4%	352,560	32.6%
MSC	2.2%	2,800	3.1%	64,064	5.9%
CMA-CGM	8.7%	8,408	9.2%	104,684	9.7%
Hapag-Lloyd	0.9%	0	0.0%	0	0.0%
APL	24.0%	27,315	30.0%	116,272	10.7%
CSAV	5.4%	2,054	2.3%	120,132	11.1%
China Shipping	1.4%	6,337	7.0%	104,684	9.7%
NYK	19.8%	7,344	8.1%	167,440	15.5%
CCNI	0.0%	2,741	3.0%	52,342	4.8%
Total	100%	60,627	100.0%	1,082,178	100.0%

出典： \*CEPA (handling amount basis). \*\*calculation result of the model. \*\*\*Estimated form MDS Database.

#### (5) 航路サービスごとの推計結果

図 8.10 に、一例としてマースクによる中米諸港（パマナを除く）に寄港する全サービスの航路別輸送量の推計結果を示す。

実績値は当然入手できないものの、ヒアリング結果などから判断して、消席率（ロードファクター）などの傾向としては現状を概ね再現しているものと考えられる。

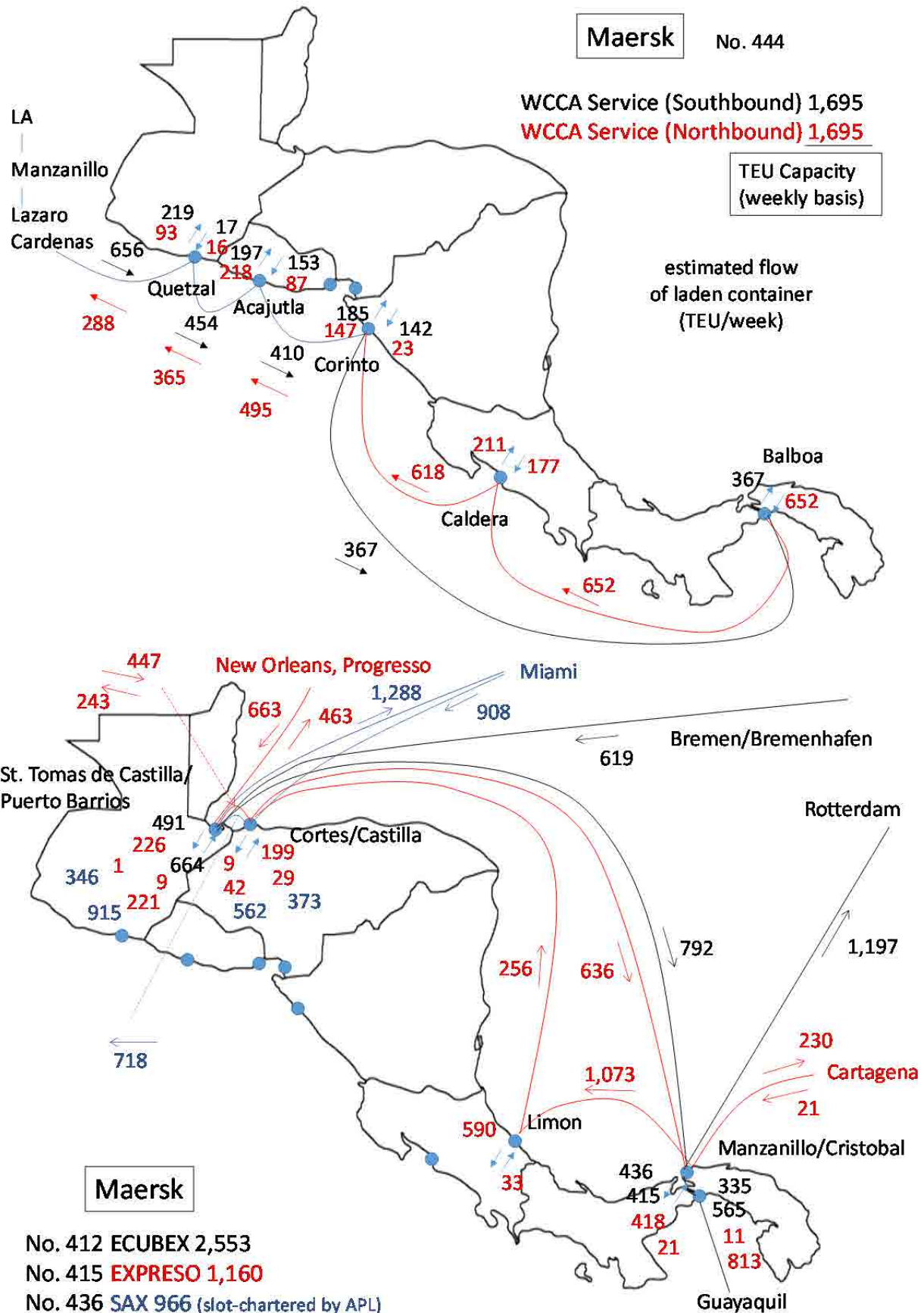


図 8.10 定航サービスごとのコンテナ輸送量推計結果の例 (Maersk, 2010)  
(出典：調査団による推計)



### 8.8.3 モデルの感度分析

モデルの感度分析として、以下では、3つの未知パラメータの値を変化させた場合のCA4各港のコンテナ取扱量の変化を示す。

#### (1) 時間価値に対する感度

図8.11は、時間価値パラメータ  $vt$  の大小による各港のコンテナ取扱量の相違を示したものである。特に輸出においては、時間価値の大きさと取扱量には一定の関係が見られる。すなわち、ケッツアル、アカフトラ、コリントの太平洋岸3港においては、時間価値が小さくなると取扱量が増加する傾向にある一方で、カリブ海側2港（コルテス／カスティージャ、サントトマス・デ・カスティージャ／バリオス）は時間価値が小さくなると取扱量が減少する傾向にあることがわかる。これは、時間価値が小さくなると、比較的成本のかかる陸上輸送を避け直近の港から海上輸送を利用する傾向が増加することに起因する（太平洋岸諸港から対北米東岸・欧州貨物を輸出する傾向が増加する）ものと思われる。

一方、輸入貨物については、輸出ほどは時間価値の大小に対する明確な相違は見られない。これは、輸出貨物は対カリブ海・大西洋岸地域貨物（北米東岸・欧州など）が中米貨物全体の約8割を占めるのに対し、輸入貨物は対カリブ海・大西洋岸地域貨物と対太平洋岸地域貨物（北米西岸・アジアなど）が約半々であることに関係しているものと思われる。

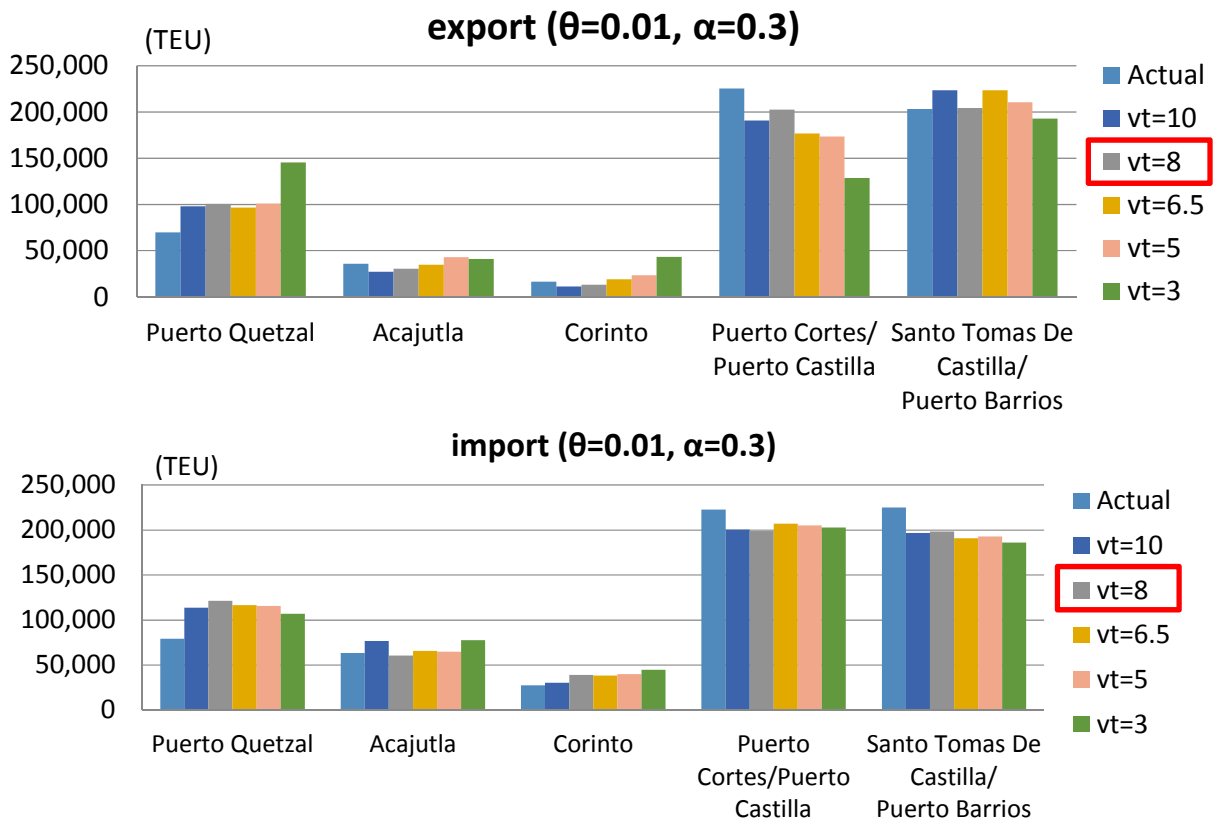


図8.11 未知パラメータの感度[1] 荷主の時間価値  $vt$  の相違によるCA4各港のコンテナ取扱量の相違 (出典：調査団による推計)

## (2) 分散パラメータに対する感度

図8.12は、分散パラメータ $\theta$ の大小による各港のコンテナ取扱量の相違を示したものである。(3)式に示される通り、 $\theta$ が小さい場合は、荷主は各ルート的一般化費用の差異に対して鈍感になる一方で、 $\theta$ が大きい場合には差異に敏感になる。図より、 $\theta$ が大きく一般化費用の差異に敏感な場合には、輸出貨物においてはアカフトラ港とコリント港の取扱量が若干減少する。輸入貨物の場合は、時間価値 $vt$ に対する感度と同様、 $\theta$ の大小による取扱量の相違には明確な傾向はみられない。

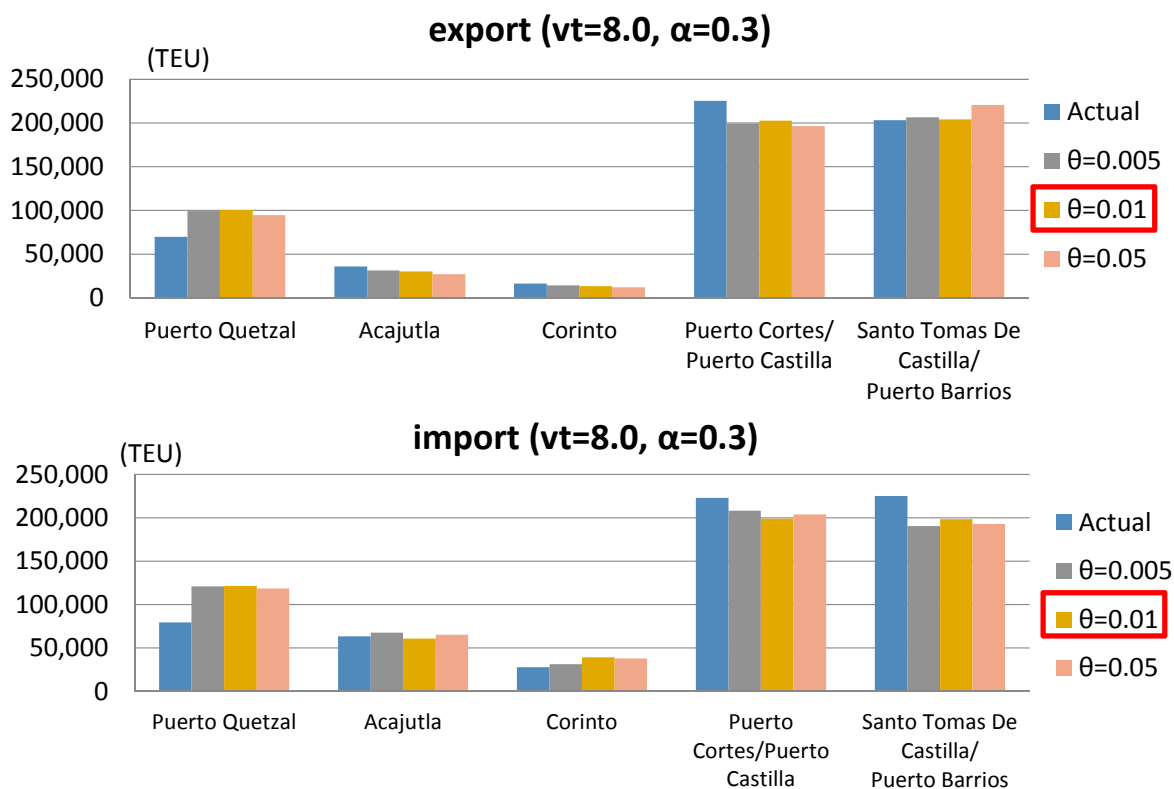


図8.12 未知パラメータの感度[2] 分散パラメータ $\theta$ の相違によるCA4各港のコンテナ取扱量の相違  
(出典：調査団による推計)

### (3) 陸上輸送における越境抵抗に対する感度

図 8.13 は、トランジット輸送に関する補正係数  $\alpha$  の大小による各港のコンテナ取扱量の相違を示したものである。 $\alpha$  が大きくなると国境抵抗が大きくなり、自国の港湾を利用する傾向が強くなる。逆に  $\alpha$  が小さくなると、ニーズに応じてより自由に港湾を選択することとなる。図より、特に輸出貨物についてはコルテス/カスティージャ港、輸入貨物についてはケッツアル港において、 $\alpha$  が小さくなると取扱量が増加する傾向にあり、国境抵抗が下がり競争が自由化した場合に背後圏を拡大するという意味で潜在的競争力を有するといえる。一方で、輸出貨物におけるコリント港のように、 $\alpha$  が小さくなると取扱量が減少する傾向が明確で、競争力が弱いといえる港湾も存在する。

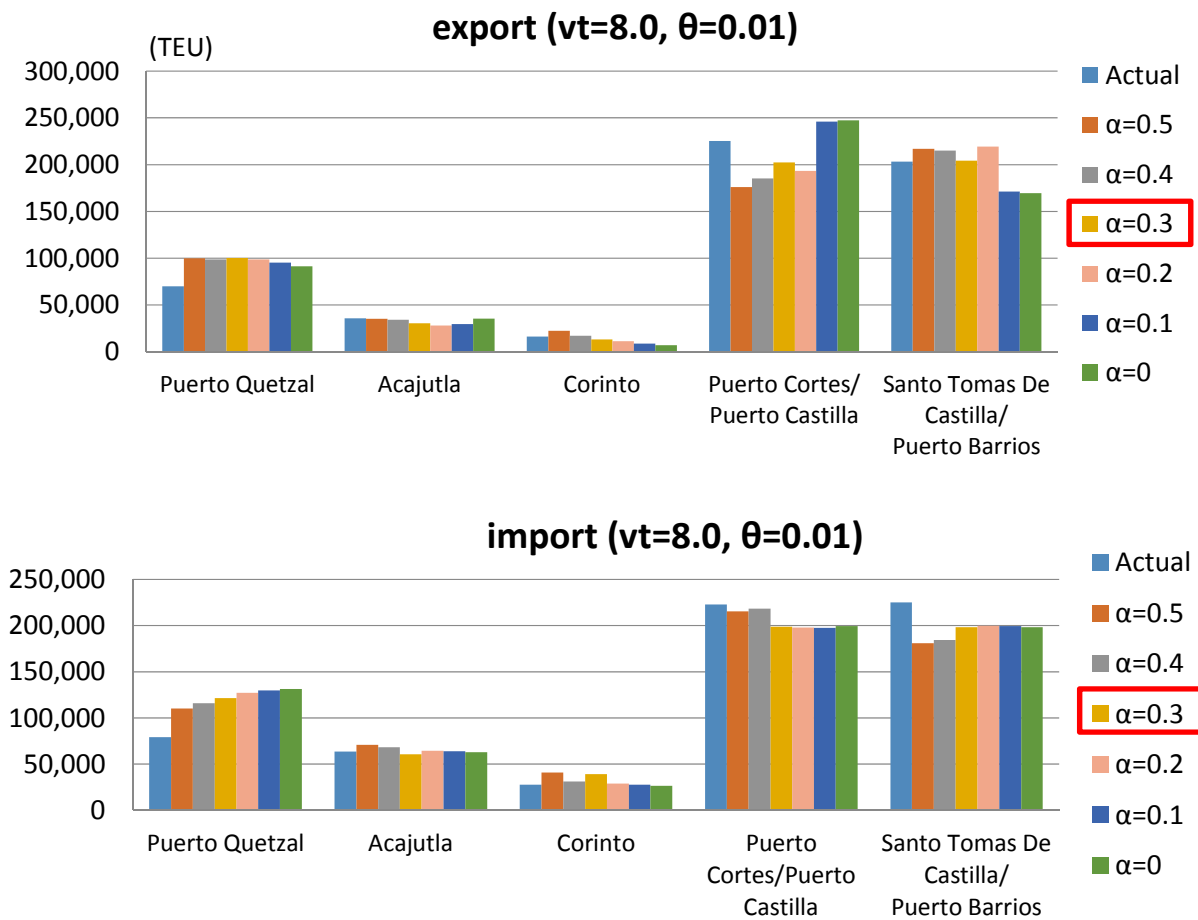


図 8.13 未知パラメータの感度[3] トランジット輸送に関する補正係数  $\alpha$  の相違による CA4 各港のコンテナ取扱量の相違

(出典：調査団による推計)

## 8.9 8章のまとめ

本章の主眼は、ラ・ユニオン港の財務・経済分析を行うために必要な船舶寄港モデルを構築することであった。はじめに、8.1 および 8.2 において、エルサルバドルの諸港（アカフトラ、ラ・ユニオン）および中米5か国の主要港湾の現状を整理した。モデル構築にあたって必要となる取扱量などの経済的側面だけでなく、取扱能力に影響する各港の物理条件についても簡単に整理した。特に、(5)で整理したアカフトラ港の物理条件については、その取扱容量がラ・ユニオン港の将来取扱量に大きな影響を与えるものと考えられることから、重要なファクターである。

次に、8.3 において、中米太平洋岸に寄港する海上コンテナ輸送船社の戦略に関する分析・考察を行った。これもモデル構築や結果の検討にあたって重要な情報となるものである。ここでは、コンテナ船舶動静データに基づく船社別の定航サービス・ネットワークを作成し、変化を観察するというアプローチと、船社や関係者へのインタビュー調査という2つのアプローチを併用した。インタビュー調査においては中米太平洋岸地域全般の配船戦略にくわえ、地域内各港についての評価コメントも収集した。

章の残りの部分は船舶寄港モデルの概要および結果について述べたものである。8.4 でモデル全般の概要を述べた後、船社の行動 (8.5)、コンテナ貨物配分モデル (8.6)、入力データ (8.7) というモデルを構成する各要素について述べた。8.5 における船社の行動に関する基本情報は、コンテナ船舶動静データ (MDS データ) に基づき、モデル対象となる船社・港湾について構築した定航サービスネットワークである。8.6 のコンテナ貨物配分モデルは、船舶寄港モデルの核となる部分である。確率的ネットワーク配分モデルを応用し、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上で、金銭費用と輸送時間の両方を考慮した一般化費用に基づき、コンテナ貨物の配分を行うものである。コンテナ貨物配分モデルに含まれる海上輸送サブモデルの詳細は、Annex D2 を参照されたい。8.7 で述べた入力データも、船舶寄港モデルにとっては重要な要素である。なかでも最も重要なのは、港湾間および地域 (ゾーン) 間のコンテナ貨物輸送需要 (コンテナ貨物 OD) である。これは、国間のコンテナ貨物 OD データや、地域経済・貿易・港湾貨物に関する様々な統計情報を組み合わせて推計するものである。同様に、陸上および海上輸送ネットワークにおける物理距離や輸送費用、陸上輸送における越境費用・時間などの情報も必要である。

最後に 8.8 において、コンテナ貨物配分モデルの計算結果を示した。計算手順とモデルに含まれる未知パラメータ (時間価値、分散パラメータ、トランジット輸送に関する補正係数) の推定結果を示した後、港湾取扱量などいくつかの指標によってモデルの再現性が検討・確認された。くわえて、推定された未知パラメータの大小による港湾取扱量推計値の相違についても検討した。その結果、コンテナ貨物配分モデルは CA4 諸国における現状の国際コンテナ貨物輸送をおおむね再現できていること、また入力を変化させた場合の反応もおおむね合理的であることを確認した。

## 第9章 ラ・ウニオン港への船舶寄港と経済分析



## 第 9 章 ラ・ユニオン港への船舶寄港と経済分析

### 9.1 ラ・ユニオン港の航行管制の現状

#### 9.1.1 航路と航行ルールの現状

##### (1) 航路の現状

ラ・ユニオン港は全長 22 km の航路（内港航路 5 km、外港航路 17 km）を有している。航路の底幅は内港航路が 110 m で外港航路は 107 m である。内港航路は水深-14 m で、外港航路は水深-14.5 m で浚渫された。2010 年から供用されているが、堆砂の影響で航路全体が埋め戻り、建設完了時の水深が維持されていない（図 9.1 参照）。

##### (2) 現在の航行管制ルール

ラ・ユニオン港への入出港船の航行は、港内の管理棟 6 階にあるコントロールタワーで管理している。ラ・ユニオン港の航行管制ルールはオペレーションマニュアルに記述されている。

#### 9.1.2 潮位

エルサルバドル国では、CNR が潮位に関する監督官庁であり、現地における観測に基づき、潮位の予測を行い、潮位表を発行している。海図の水深の基準に使用される CDL は、CNR により MSL より -1.5381 m と設定された。

#### 9.1.3 航路水深による航行可能条件

##### (1) ラ・ユニオン港の航路水深と船型

現在、航路の増深が予定されているが、水深が深くなれば浚渫費が多額になるため、寄港船舶の船型や寄港頻度から生じる収益と浚渫費を比較して最適な水深が選択されることになる。コンテナ船がラ・ユニオン港へ寄港する場合、現行では航路水深に基づくルールではなく最高潮位を利用して寄港している。

##### (2) 航路の航行可能時間

一般的には、航路における航行可能時間は、航路水深と寄港船舶の喫水及び潮位を考慮して運営されている。

航行可能時間の算定にあたって、検討条件として、船底からの余裕代として満載時喫水の余裕を PIANC（国際航路学会）の推奨に基づき 10 % とし、航路の航行速度は現状と同程度の 5 ノットとした。

表 9.1 に喫水別、航路水深別の航行可能時間の計算結果を示す。

日当たり平均航行可能時間は表 9.1 を利用して計算することができる。しかし、この値は、実際の航行可能時間と比較した場合、大潮や小潮を含んだ平均値なので実際の時間とは異なっている。従って、図 9.3 のアウトプットツールを使用して求める日付の航行可能時間を計算することが望ましい。表 9.2 に喫水ごとの日当たり平均航行可能時間の計算結果を示す。

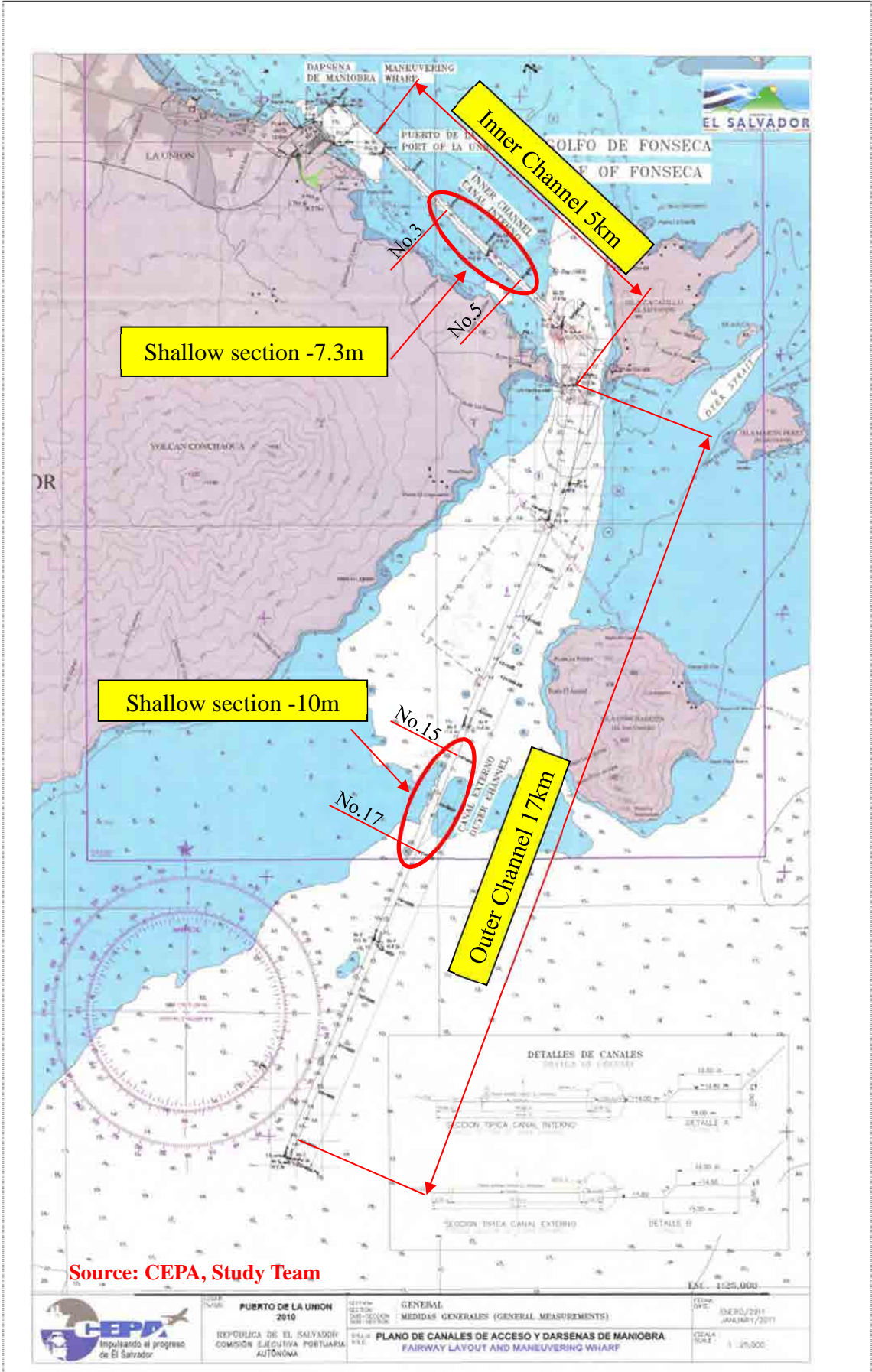


図 9.1 ラ・ウニオン港の航路



表 9.1 航路の年間航行可能時間

(Unit: hours)

Ship Draft (m)	Navigation channel depth							
	7.3m (present)	8.0 m	9.0m	10.0m	11.0m	12.0m	13.0m	14.0m
6.0	8,760							
6.5	8,506							
6.8		8,760						
7.0	6,376	8,585						
7.2		8,350						
7.4		7,683						
7.6		6,631						
7.8		5,431	8,760					
8.0	2,860	4,572	8,585					
8.2	2,358	3,976	8,082					
8.4	1,849	3,215	7,267					
8.5	1,569	2,950						
8.6		2,467	6,034	8760				
8.8		1,959	5,021	8709				
9.0		1,363	4,572	8,392				
9.2			3,735	7,767				
9.4			3,215	6,743				
9.5					8,760			
9.6			2,736	5,517				
9.8			2,215	4,605	8,634			
10.0			1,700	4,019	8,139			
10.2			1,077	3,500	7,370			
10.4				2,994	6,132	8,760		
10.6				2,515	5,081	8,740		
10.8				1,982	4,324	8,422		
11.0				1,423	3,783	7,840		
11.2					3,258	6,910		
11.4					2,779	5,615		
11.6					2,251	4,694	8,760	
11.8					1,746	4,078	8,192	
12.0					1,129	3,544	7,465	
12.2						3,046	6,253	8760
12.4						2,557	5,151	8747
12.6						2,026	4,375	8537
12.8						1,473	3,823	8055
13.0							3,313	6,967
13.2							2,828	6,129
13.4							2,302	5,250
13.6							1,796	4,127
13.8							1,190	3,599
14.0								3,081
14.2								2,608
14.4								2,070
14.6								1,529

Source: Prepared by the Study Team

表 9.2 航路の平均日当り航行可能時間

(Unit: hours)

Ship Draft (m)	Navigation channel depth							
	7.3m (present)	8.0 m	9.0m	10.0m	11.0m	12.0m	13.0m	14.0m
6.0	24.0							
6.5	23.3							
6.8		24.0						
7.0	17.5	23.5						
7.2		22.9						
7.4		21.0						
7.6		18.2						
7.8		14.9	24.0					
8.0	7.8	12.5	23.5					
8.2	6.5	10.9	22.1					
8.4	5.1	8.8	19.9					
8.5	4.3	8.1						
8.6		6.8	16.5	24.0				
8.8		5.4	13.8	23.9				
9.0		3.7	12.5	23.0				
9.2			10.2	21.3				
9.4			8.8	18.5				
9.5					24.0			
9.6			7.5	15.1				
9.8			6.1	12.6	23.7			
10.0			4.7	11.0	22.3			
10.2			3.0	9.6	20.2			
10.4				8.2	16.8	24.0		
10.6				6.9	13.9	23.9		
10.8				5.4	11.8	23.1		
11.0				3.9	10.4	21.5		
11.2					8.9	18.9		
11.4					7.6	15.4		
11.6					6.2	12.9	12.0	
11.8					4.8	11.2	11.2	
12.0					3.1	9.7	10.2	
12.2						8.3	8.6	24.0
12.4						7.0	7.1	24.0
12.6						5.6	6.0	23.4
12.8						4.0	5.2	22.1
13.0							4.5	19.1
13.2							3.9	16.8
13.4							3.2	14.4
13.6							2.5	11.3
13.8							1.6	9.9
14.0								8.4
14.2								7.1
14.4								5.7
14.6								4.2

Source: Prepared by The Study Team

### (3) 最大待ち時間

最大待ち時間は、航路において航行可能となる潮位を待つ最大時間のことを言う。滞船時間が

潮汐 1 サイクルあたり 12 時間（航路全体を航行する時間を含む）を超える場合は、コンテナ船は経済性の観点から寄港しないため検討は除外している。航路全体をとおして航行できない時間の合計は、1 年間の時間から航行可能時間を除外して算出している。

#### (4) 統計的期待待ち時間

期待待ち時間とは、1 年間をとおして、ランダムにコンテナ船がラ・ユニオン港に寄港した場合に、1 回の入港について待ちを生じる時間を計算するものである。期待待ち時間の概念を図 9.2 に示し、表 9.3 には、喫水毎、航路水深毎の期待待ち時間を示す。

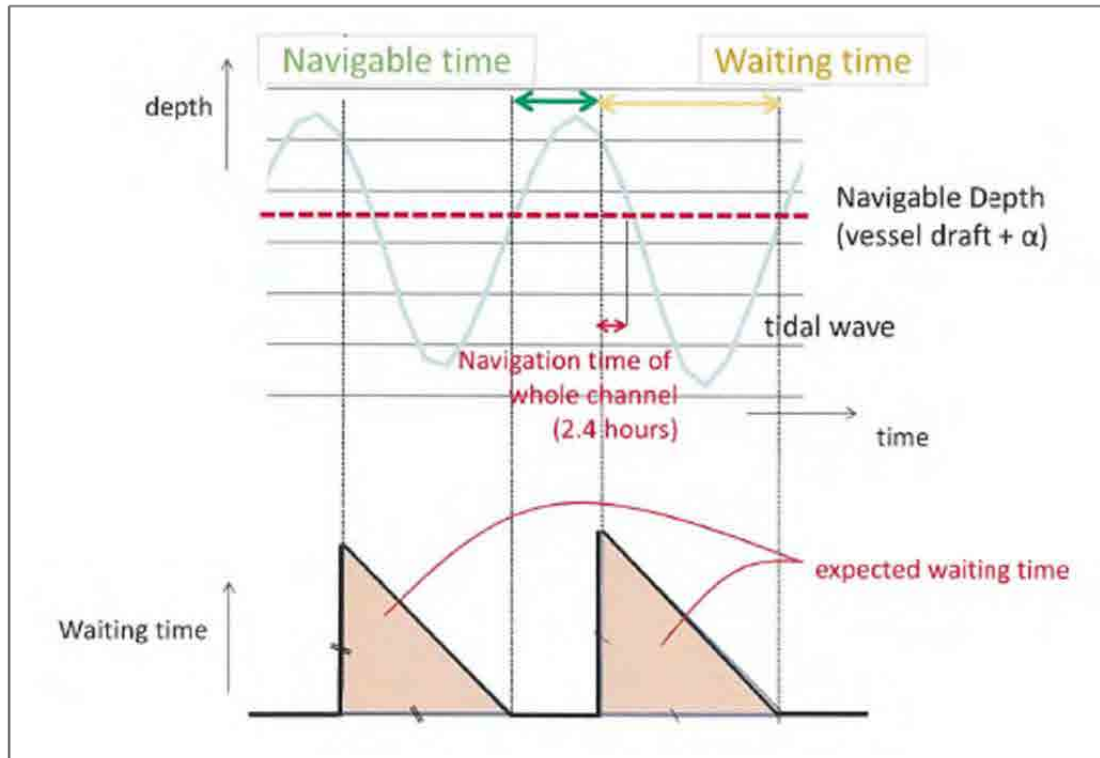


図 9.2 期待待ち時間の概念図

表 9.3 期待待ち時間の計算結果

Ship Draft (m)	Expected Waiting Time (hour)							
	7.3m(Present)	8.0 m	9.0m	10.0m	11.0m	12.0m	13.0m	14.0m
6.0	0.00							
6.5	0.02							
6.8		0.00						
7.0	0.33	0.01						
7.2		0.04						
7.4		0.12						
7.6		0.28						
7.8		0.49	0.00					
8.0	2.02	0.77	0.01					
8.2	2.46	1.21	0.07					
8.4	2.94	1.46	0.18					
8.5								
8.6		1.93	0.38					
8.8		2.35	0.68	0.00				
9.0		2.81	0.77	0.03				
9.2		3.3	1.36	0.11				
9.4			1.74	0.27				
9.5								
9.6			2.00	0.54	0.00			
9.8			2.52	0.86	0.01			
10.0			2.91	1.19	0.06			
10.2				1.53	0.17			
10.4				1.91	0.38			
10.6				2.32	0.67	0.00		
10.8				2.80	1.01	0.03		
11.0					1.34	0.10		
11.2					1.71	0.24		
11.4					2.09	0.51		
11.6					2.55	0.82	0.00	
11.8					3.04	1.15	0.05	
12.0						1.50	0.16	
12.2						1.87	0.36	
12.4						2.28	0.65	0.00
12.6						2.76	0.98	0.10
12.8							1.31	0.22
13.0							1.67	0.24
13.2							2.05	0.41
13.4							2.51	0.68
13.6							2.99	1.12
13.8								1.46
14.0								1.85
14.2								2.23
14.4								2.72
14.6								

Source: Prepared by The Study Team

### (5) コンテナ船の喫水と積載容量

コンテナ船の喫水と積載容量の関係は世界中で就航しているコンテナ船を MDS と FAIRPLAY データを基に分析することで算出できる。この関係の相関係数は、次の通りである。

$$Y=0.6624X^{3.4324} \quad (R^2=0.9324).$$

### (6) 航行可能時間帯の計算ツールの作成

航路における航行可能な時間帯を知るために調査団は計算ツールを作成した。入港日(年月日)、航路水深(m)、船舶の喫水(m)を入力すると、航路の航行可能時間帯が表示され、航行可能最低潮位がグラフで表示される。船底からのクリアランスは、PIANC の参考値から満載喫水の10%としている。図 9.3 に航行可能時間帯の一例を表示する。

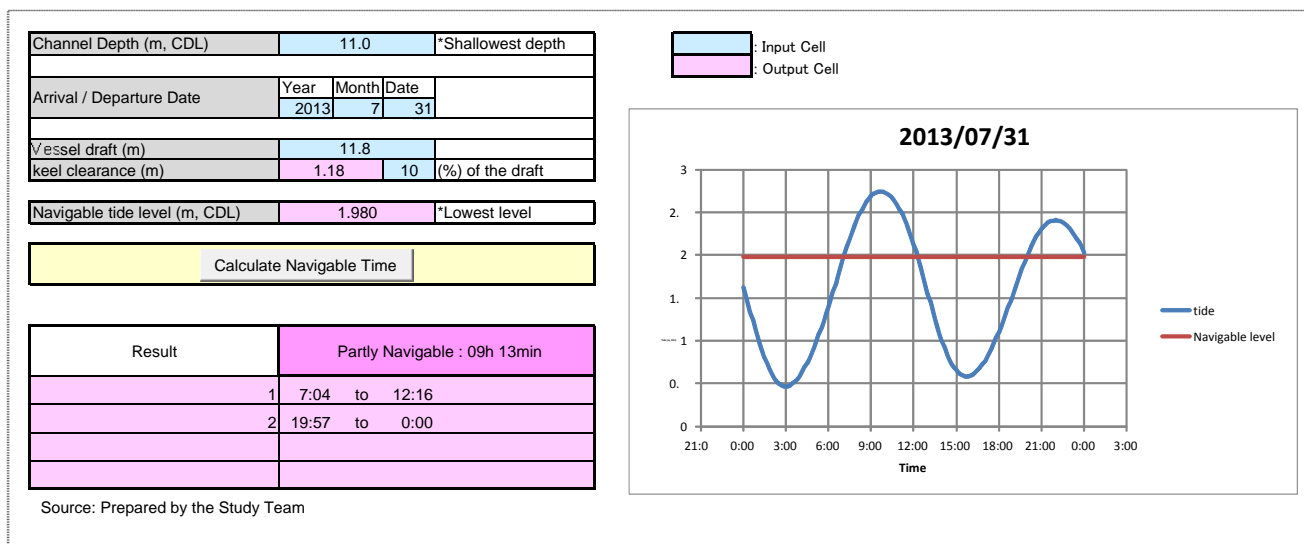


図 9.3 航行可能時間帯の表示例

### (7) 現在と提案する航行管理ルールと比較

(4)に示す同じ概念に基づき、現状の航行ルールにおける期待待時間は図 9.4 に示すような考え方で計算できる。図に示すように、満潮の前後2時間しか航行が許されていない現行の航行ルールにおける期待待時間は4.51時間と計算される。これは、表 9.3 に示す新たに提案する航行ルールを基に計算された値より大きくなっている。しかしながら、もし、わずかに大きい船(例えば、喫水が9m)が現状の航路水深で航行するとしたら、期待待時間は概ね3時間となるだろう。もっと正確に言えば、現行のルールでも、わずかに大きい船にサイズアップするだけで現状の浅い航路水深を航行することは可能である。しかしながら、将来、増深することで、いろいろな船型の船がラ・ユニオン港に寄港する機会を失うことになる。

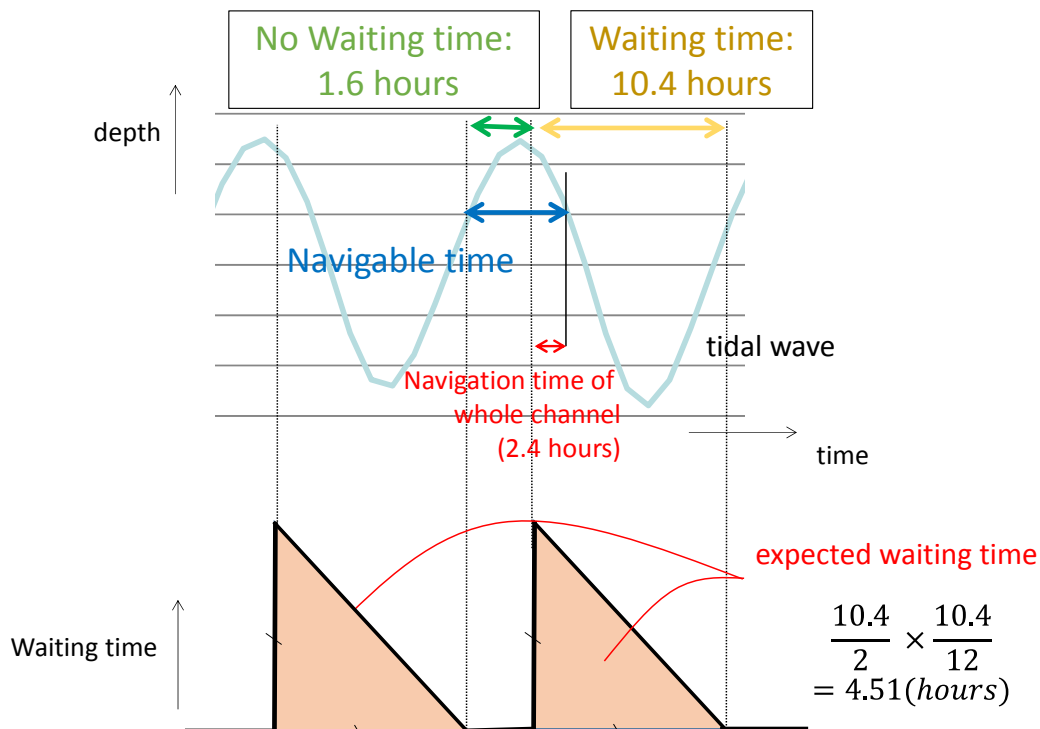


図 9.4 現行の航行規則における期待待時間の計算結果

## 9.2 船舶寄港モデルの計算と結果

### 9.2.1 モデルを用いた 2010 年時点におけるラ・ユニオン寄港のシミュレーション

2012 年はじめに、APL と Hamburg-Sud の共同運航により、図 9.5 に示されるようなラ・ユニオン寄港サービス（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。ここで、ラ・ユニオン港の航路水深を-8m と仮定すると、前節で示した方法により、ラ・ユニオン港のアクセス航路に当該船舶が入るときの期待待ち時間は、3.30 時間と推定される。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と同じとする。

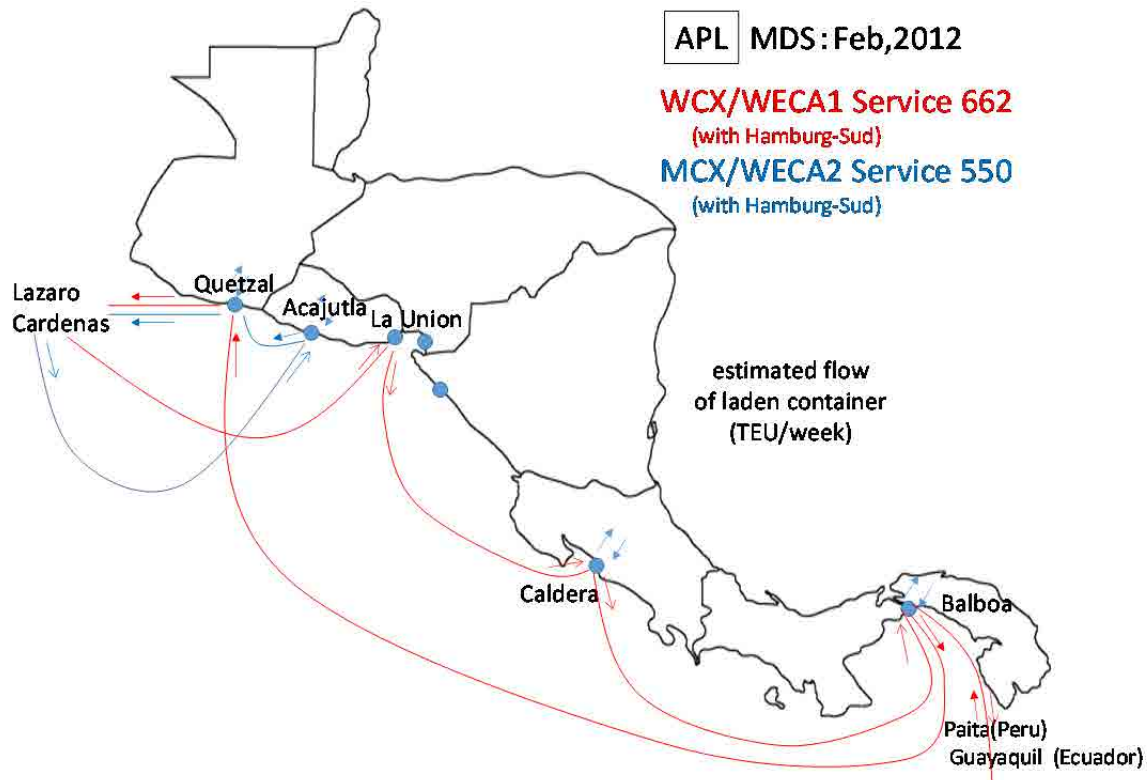


図 9.5 2012 年に提供された APL・Hamburg-Sud 共同運航によるラ・ウニオン港寄港サービスの航路  
(出典：APL ウェブサイトに掲載された情報をもとに調査団作成)

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 9.4 に示す。表中の現況ケースは、8.8.2(2)に示された現況再現ケースを表す。また、ラ・ウニオン港寄港ケースは、上記の定航サービスを追加した場合の計算結果である。

ラ・ウニオン港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は、輸出入それぞれ、3,563 TEU および 10,265 TEU であった。なお、モデル・シミュレーションでは実入りコンテナのみが対象であり、空コンテナは含まれないことに注意されたい。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非常によく再現していると考えられる。

もう一点下表からわかることは、ラ・ウニオン港で取り扱われるコンテナ貨物は、主としてコリント港からのシフトによるものという点である。下記計算結果によれば、アカフトラ港はむしろラ・ウニオン港寄港ケースでコンテナ取扱量を増加させている（ただし、ラ・ウニオン港に定期航路が寄港した場合に、常にアカフトラ港の取扱量も増加するとは限らない）。

表 9.4 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)

港湾	輸出		輸入	
	現況再現 ケース	ラ・ウニオン港 寄港ケース	現況再現 ケース	ラ・ウニオン港 寄港ケース
Puerto 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

Puerto Cortes/Puerto Castilla	202,477	194,281	198,855	207,297
Santo Tomas De Castilla/ Puerto Barrios	204,162	211,844	198,246	189,562

source: JICA Study Team's estimation

## 9.2.2 将来シミュレーション（2020年および2030年）におけるシナリオ設定

### (1) 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、8.7.2 で作成した 2010 年コンテナ貨物 OD に、CEPA によって推計された各国別輸出入別の伸び率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。

### (2) 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 9.5 に示す（ラ・ウニオン港のアクセス航路水深については、(3)で別途想定する）。表中では、直近の 10 年間で改善を想定した数値は着色されている。これらの想定のうちの一部は、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の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-12 m（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。

表 9.5 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 年間で改善されると想定した数値)

Port Name	2020				2030			
	Max. Draft	Lead Time		Transshipment Time	Max. Draft	Lead Time		Transshipment Time
		Export	Import			Export	Import	
(m)	TPX <sub>r</sub> (hours)	TPM <sub>r</sub> (hours)	TR <sub>r</sub> (hours)	(m)	TPX <sub>r</sub> (hours)	TPM <sub>r</sub> (hours)	TR <sub>r</sub> (hours)	
Puerto 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
Puerto Cortes/ Puerto Castilla	-12	48	24	24	-12	48	24	24
Santo Tomas De Castilla/ Puerto Barrios	-11	48	24	48	-12	48	24	48
other ports	∞	48	24	*	∞	48	24	*

source: forecasted by JICA Study Team

\*: 港湾によって異なる



### (3) 船社の行動（将来定航サービス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。本調査の船舶寄港モデルにおいては、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。

#### 1) 既存ネットワークの修正シナリオ

2010年5月時点では、アカフトラ港に寄港する定航サービスは表9.6に示した通り6つある。そのうち、単独の船社によって運航されている4つのサービス（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、ウェイポートサービスとよばれる。ウェイポート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9.7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9.5参照）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 9.6 2010年5月時点におけるアカフトラ港寄港定航サービス  
(出典：MDS データ等に基づき調査団作成)

運航船社	平均船腹量(TEU)	年間寄港回数	頻度
Maersk	1,695	104.0	twice a week (westbound and eastbound)
MSC	1,232	26.0	biweekly
NYK	1,610	52.0	weekly
APL	1,118	52.0	weekly
CMA-CGM/CSCL/CCNI	2,516	52.0	weekly
CSAV	2,599	23.1	4 times every 9 weeks (in other 5 times calling at Caldera instead of Acajutla)

表 9.7 2012年2月時点におけるラ・ウニオン港寄港定航サービス  
(出典：MDS データ等に基づき調査団作成)

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	weekly

調査団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。

- a) 頻度を増加させる。たとえば、2週に1便（バイウィークリー）であったものを週1便（ウィークリー）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回立ち寄るようになるなど（表9.6のMaerskの例参照）。
- b) 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、アカフトラとラ・ウニオンの2港に寄港するなど。
- c) 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。一方で、仮に十分な貨物需要が見込まれる地域であれば、十分な水深が確保されている港湾がなくても、船社としては小型船を用いて入港する。

以上の条件をふまえ、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9.8に整理した。

表 9.8 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サービスのレベルを現状から変更するケースにおいて考えられ得る選択肢

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

source: JICA Study Team's assumption

\* 2030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）

## 2) トランシップ・ハブとしての追加寄港

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 9.9 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-13 m）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-13 m）の船舶が入港するためには、ラ・ウニオン港の航路水深は-14 m 以上必要となる。

同時に、これも表 9.9 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 9.9 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 9.8 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確認できると考えられるためである。

表 9.9 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

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

source: JICA Study Team's assumption

\* only in 2020, \*\* only in 2030

## 3) 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-11 m）まで大型化すると想定する。図 9.6 は、モデル入力となる海上輸送ネットワーク・シナリオの設定例として、ラ・ウニオン港の航路水深が-12 m のときの一例を示す。

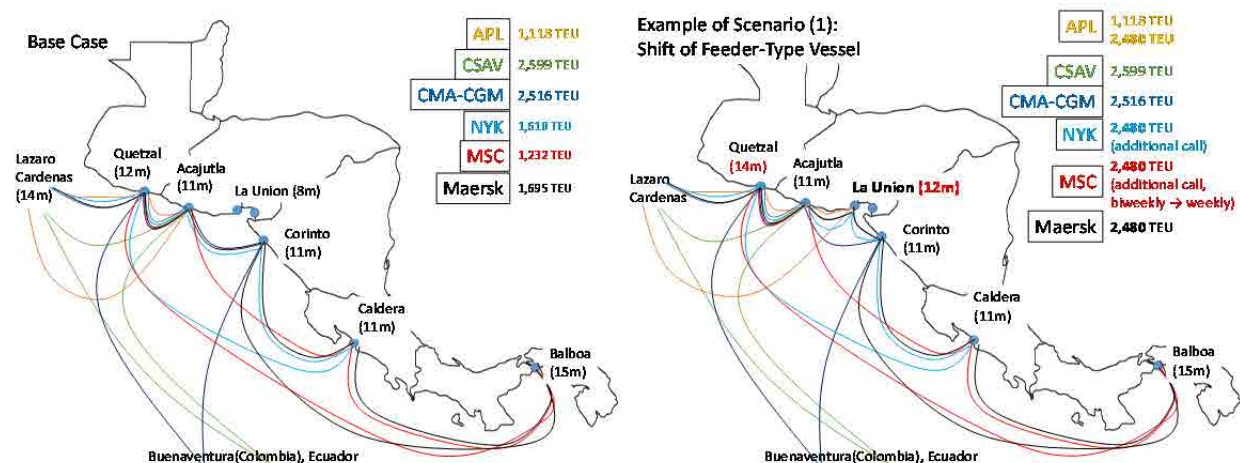


図 9.6 海上輸送ネットワークの設定例（2010 年基本ケースおよび将来シナリオ例のケース、アカフトラまたはラ・ウニオンに寄港するサービスのみ表示）

出典：調査団作成

### 9.2.3 モデル計算結果

#### (1) モデル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。計算結果は以下の観点から検討される。

- 1) モデル計算が収束するかどうか
- 2) 各船社が一定の貨物量を確保できるかどうか
- 3) 各航路の消席率があまりに小さくなりすぎたり大きくなりすぎたり（たとえば、100%を超えたり）しないか
- 4) 期待収入が追加的費用に対して小さすぎないかどうか

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。

#### (2) 計算結果の例：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コンテナ貨物取扱量を図 9.7 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 1) 既存のフィーダーサービスやウェイポートサービスネットワークの修正シナリオ（航路水深-9～-12 m）、および 2) 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～-14 m）の両方の結果が含まれている。また、航路水深が-8 m 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。

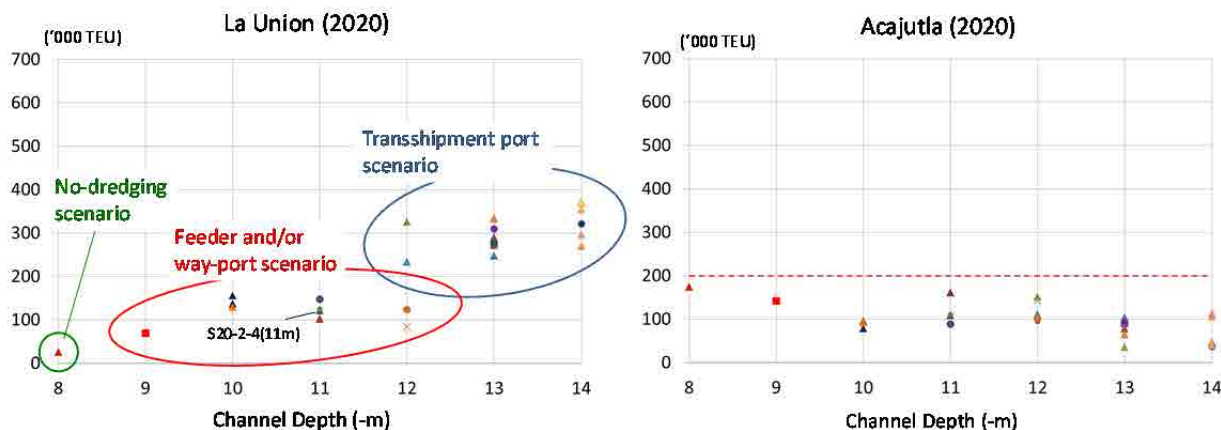


図 9.7 各実現可能シナリオにおける 2020 年コンテナ貨物取扱量の予測値  
(上：ラ・ウニオン港、下：アカフトラ港)

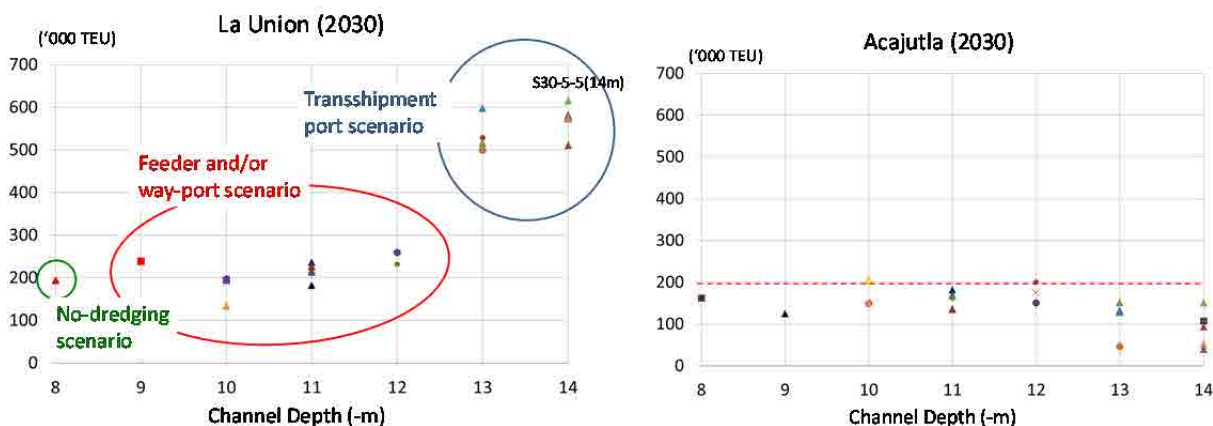


図 9.8 各実現可能シナリオにおける 2030 年コンテナ貨物取扱量の予測値  
(上：ラ・ウニオン港、下：アカフトラ港)

同様に、図 9.8 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 9.7 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、9.2.2(2)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。

### (3) モデルを用いた政策シミュレーション：ラ・ウニオン港の利用料金引き上げおよびエルサルバドル東部地域開発の進展

#### 1) ラ・ウニオン港における港湾利用料金の引き上げ

コンセッション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。港湾料金引き上げのインパクトを測るため、(1)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。

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 9.9 に示す。図 9.7 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 9.10 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、図 9.7 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。

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 9.11 は、2030 年の航路水深-14 m における、あるシナリオ（S30-5-5(14 m)）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。

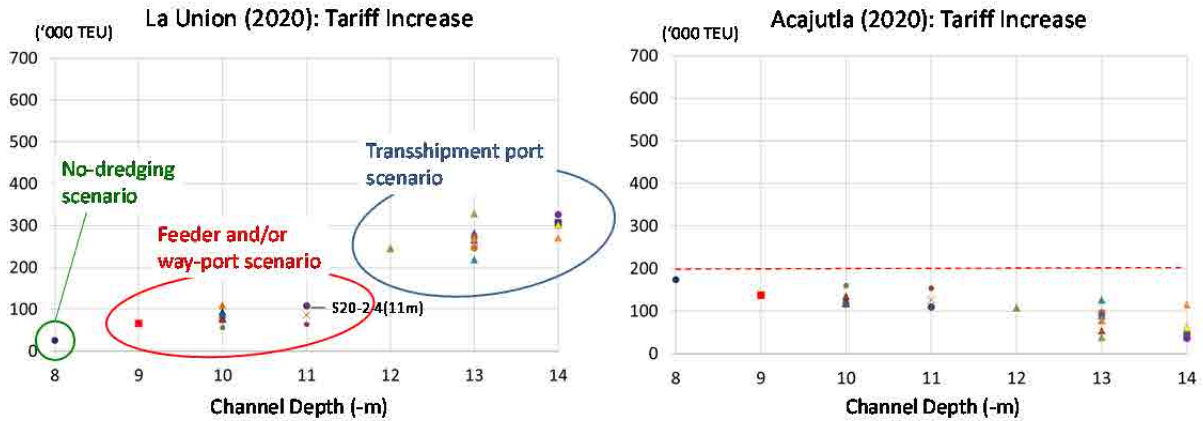


図 9.9 各実現可能シナリオにおける 2020 年コンテナ貨物取扱量の予測値  
(ラ・ウニオン港利用料金引き上げケース、上：ラ・ウニオン港、下：アカフトラ港)

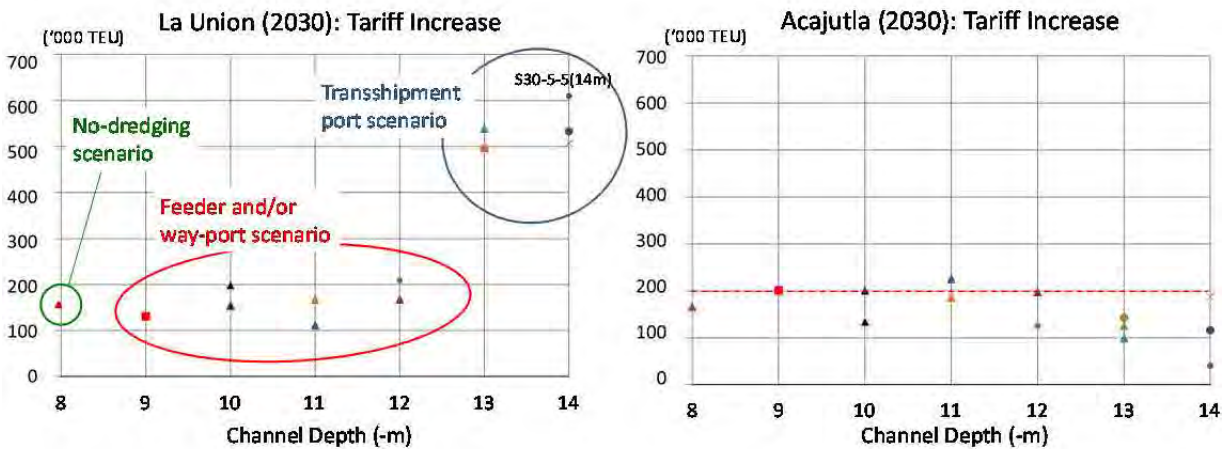


図 9.10 各実現可能シナリオにおける 2030 年コンテナ貨物取扱量の予測値  
(ラ・ウニオン港利用料金引き上げケース、上：ラ・ウニオン港、下：アカフトラ港)

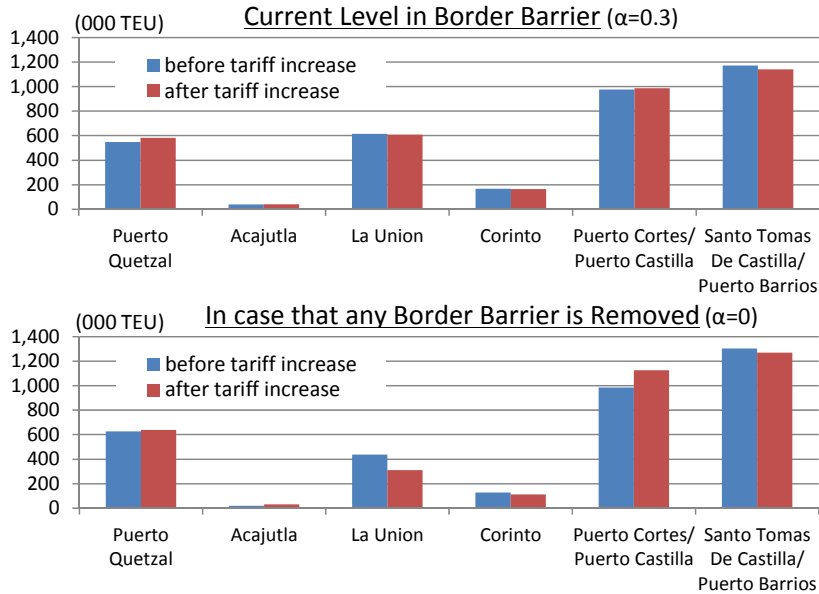


図 9.11 ラ・ウニオン港利用料金引き上げがコンテナ貨物取扱量に及ぼす影響の違い：国境抵抗現状ケース（上）および完全撤廃ケース（下）  
 （2030年-14m航路水深におけるシナリオ S30-5-5(14m)の例）

## 2) エルサルバドル東部における地域開発の進展

ラ・ウニオン港開発の当初計画においては、エルサルバドル東部地域の背後圏における地域開発計画と一体的な計画となっていた。このことを踏まえ、エルサルバドル発着の国際コンテナ貨物における、東西地域の発生集中量のバランスが変化した場合について、シミュレーションを行う。具体的には、8.7.1(2)1)に示したように、オリジナルのコンテナ OD においては、エルサルバドル発着コンテナ貨物の西部および東部地域のシェアは、それぞれ 94 %および 6 %と想定していた。本シミュレーションでは、この比率が、東部地域開発の進展により、2020 年時点において 70 %と 30 %に変化したと仮定する。なお、エルサルバドル国全体の発着貨物量はオリジナルのシミュレーションと変わらないものとする。

図 9.12 は、2020 年におけるエルサルバドル東部の地域開発進展ケースにおける、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値を示す。図 9.7 に示したオリジナルのシミュレーション結果と比較すれば、ラ・ウニオン港におけるコンテナ貨物取扱量は増加する傾向にある。特に、背後圏の成長が輸送量に直結するフィーダー／ウェイポートシナリオにおいて、大きな増加率が予測されている。しかしながら、ラ・ウニオン港とアカフトラ港合計の取扱量についてみれば、エルサルバドル国全体の発着貨物量は変わっていないため、オリジナルのシミュレーション結果からほとんど変化がない。

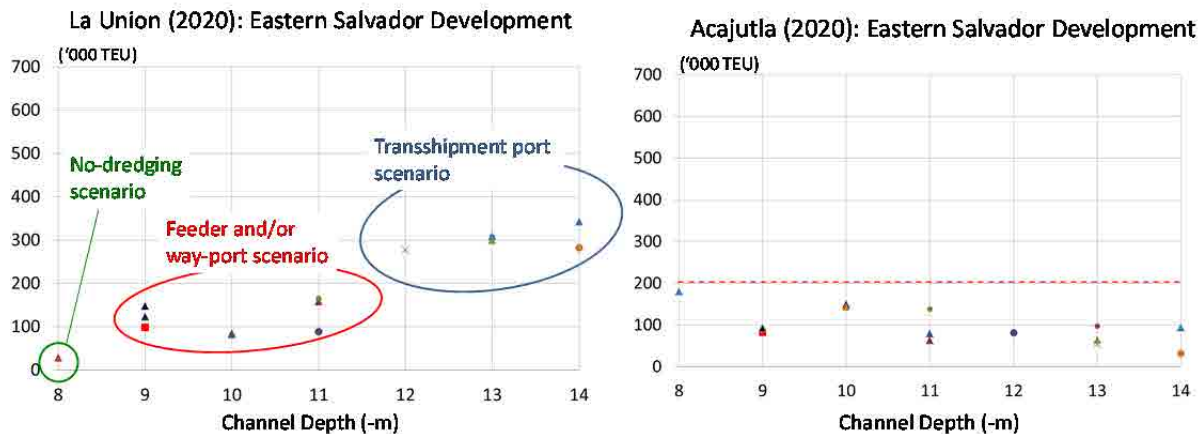


図 9.12 各実現可能シナリオにおける 2020 年コンテナ貨物取扱量の予測値  
(エルサルバドル東部開発進展ケース、上：ラ・ユニオン港、下：アカフトラ港)

### 9.3 船舶寄港モデルでの経済および財務分析

#### 9.3.1 定義と検討手法

##### (1) ラ・ユニオン港の純収益（浚渫費用を除く）

ラ・ユニオン港の最適航路水深は、航路水深別のラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用との差分を比較することで求めることができる。ここで、ラ・ユニオン港の純収益（浚渫費用を除く）とは、コンテナ船入港料及びコンテナハンドリングチャージによる収入から、コンテナオペレーションコストを差し引いたものとする（表 9.10 参照）。

コンテナ船とコンテナ貨物に課される料金は、ラ・ユニオン港のタリフを基に算出される（表 9.18 参照）。タリフによると、入港料・コンテナハンドリングチャージはコンテナ船のサイズ及びコンテナ取扱量により変化する。CEPA は、コンセッション後のタリフ計画検討報告書の中で、コンテナオペレーションコストを推計しており、報告書によるとコストについては、固定費の部分とコンテナ取扱量（ボックス当り）により変動する費用とで構成されている（表 9.12 参照）。

表 9.10 ラ・ユニオン港のコンテナビジネスにおける収入と支出

Revenue		Remarks
Charge for service to vessels	From Tariff of La Union port (see 表 9.11)	
Charge for service to container handling		
Expenditure (except for dredging cost)		
Container operation Cost	Estimated based on Financial Statements in the report on Concession's tariff Plan by CEPA (ESTRUCTURA TARIFARIA DE LA UNION) (see 表 9.12)	
<b>Net Income (except for dredging cost)</b>		Revenue – Expenditure

表 9.11 ラ・ユニオン港のタリフ（コンテナに関するもの）

Item	Remarks
a) Services Vessels	
Access Channel Usage, navigation aids and pilotage	@(0.42\$ * GT) MAX17,500GT
Berthing/unberthing, towing, mooring/unmooring and first 24-hour stay of the vessel at the berth	@(0.08\$ * GT) MAX17,500GT
Stay. For each meter of length for each hour or fraction after the first 24 hours until the vessel leaves the berth.	@(0.35\$ * LOA ) per 24hour



b) Services for Container Handling		
	Loading/unloading at the pier, transfer, loading/unloading in yard, reception and dispatch	@( \$ 111.84*BOX)

Source : ESTRUCTURA TARIFARIA DE LA UNION

表 9.12 コンテナターミナルオペレーションコスト

Item	Annual Cost (\$USD)	Remarks
Fixed cost	USD 2,683,832/year	Personnel expenses, Basic services, Use and consumption goods, Maintenance
Container volume depending cost	USD 15.52/box	Contracted services, Maintenance
Fixed and Container volume depending costs	USD 513,243/year USD11.47/box	Fuels and lubricants

Source: prepared from ESTRUCTURA TARIFARIA DE LA UNION

(2) エルサルバドルにおける港湾部門の純収益（浚渫費用を除く）

エルサルバドルにおける港湾部門の純収益（浚渫費用を除く）を考慮する場合、ラ・ウニオン港だけでなくアカフトラ港の収入や支出も検討する必要がある（表 9.13 参照）。

アカフトラ港のコンテナオペレーションコストは、ラ・ウニオン港の計算方法と同じと仮定する。アカフトラ港のタリフを表 9.14 に示す。

表 9.13 エルサルバドルにおける港湾部門の収入と支出

Revenue		Remarks
	Revenue from container business of port of La Union (same as in 表 9.10)	See 表 9.10 and 表 9.11
	Revenue from container business of port of Acajutla	From Tariff of Acajutla port (see エラー! 参照元が見つかりません。)
Expenditure (except for dredging cost)		
	Container operation Cost of La Union port(same as in 表 9.10)	See 表 9.10 and 表 9.12
	Container operation Cost of Acajutla port	Same method as La Union port
Net Income (except for dredging cost)		Revenue – Expenditure

表 9.14 アカフトラ港のタリフ（コンテナに関するもの）

Item	Remarks
a) Services to the Vessels	
Berthing/unberthing in Quay	@ (0.31\$ * GT)
Aid to Navigation	98.42 \$ /vessel
Stay in Quay	@ (2.92\$ * LOA) per 24hour
b) Services for Container Handling	
Loading/Unloading Quay, Yarrd (Full/Empty), Transfer	@ ( 124.92\$ *BOX) (Full , Empty )

出典：CEPA

(3) エルサルバドル経済における純利益（浚渫費用を除く）

航路浚渫により生じるエルサルバドル経済における純便益は、エルサルバドルの港湾部門の収益の増加分（(2)で推計したもの）とエルサルバドルのコンテナ輸送コストの減少分を合計したものと、「浚渫未実施シナリオ」とを比較することで得られる（表 9.15 参照）。

「浚渫未実施シナリオ」でのエルサルバドルの港湾部門の収益とエルサルバドル国内の運送業における輸送費用は、航路水深 8 m のケースの計算結果から求めることができる。

表 9.15 ラ・ウニオン港の経済的便益と航路浚渫プロジェクト費用  
(浚渫を実施しないシナリオとの比較)

Benefit		
	Increased/decreased revenue from container business of La Union port	From Tariffs of the ports
	Increased/decreased revenue from container business of Acajutla port	
	Increased/decreased shipping cost of Salvadoran export/import container cargo	Calculated by Model
Cost		
	Increased/decreased expenses of container operation of La Union port	Same method as La Union port
	Increased/decreased expenses of container operation of Acajutla port	

### 9.3.2 ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用

#### (1) 純収益と浚渫費用

モデルによる計算結果は、ラ・ウニオン港で取り扱われる TEU ベースの実入りコンテナ量を示している。空コンテナ量は前セクション (9.2.2(2)) で推計した空コンテナ率を用いて算出する。また、コンテナ量を box ベースで取り扱う場合は、アカフトラ港での現況の 20 フィート及び 40 フィートコンテナ数より算定した 1.7 TEU/box を乗じて変換する。

ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益は、表 9.11 で計算された収入から、表 9.12 で計算されたコンテナオペレーションコストを差し引くことで得られる。各実行可能シナリオごとに算定された 2020 年と 2030 年のラ・ウニオン港の純収益 (浚渫費用を除く) を図 9.13 と図 9.14 に示す。

浚渫費用も同図に示されている。浚渫費用は、土量を線形モデルで算出したケースと修正指数モデルで算出したケースのそれぞれにおいて用意されている (表 9.16 参照)。これらの浚渫コストには、請負契約による浚渫船を使用した場合の維持浚渫費用と再浚渫費用が含まれている。浚渫費用については、第 5 章で維持浚渫は 10 年間行くと仮定されていることから、表内において単年度当りの浚渫費用として取扱うために、再浚渫費用を 10 分の 1 し、維持浚渫費用に加えている。

各水深の最大純収益のケースは、ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける財務的観点から、CEPA にとって最良のシナリオとなる。それぞれのケースの収入と支出 (浚渫費用を除く) を

表 9.17 と表 9.18 に示す。

2020 年と 2030 年の、浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の差分が最大となる値を航路水深別に整理したものを表 9.19 と表 9.20 に示す。ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける財務的観点からの最適水深は、この差分が最大値となる水深である。航路水深-8m が 2020 年において、線形モデル及び修正指数モデルの両方で最大値となっている (ただし負の値をとる)。同様に 2030 年においても-8m が線形モデル及び修正指数モデルの両方で、最大値となっている。

表 9.16 水深別モデル別浚渫費用

単位: 千ドル

Channel Depth	8m (no dredging scenario)	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541

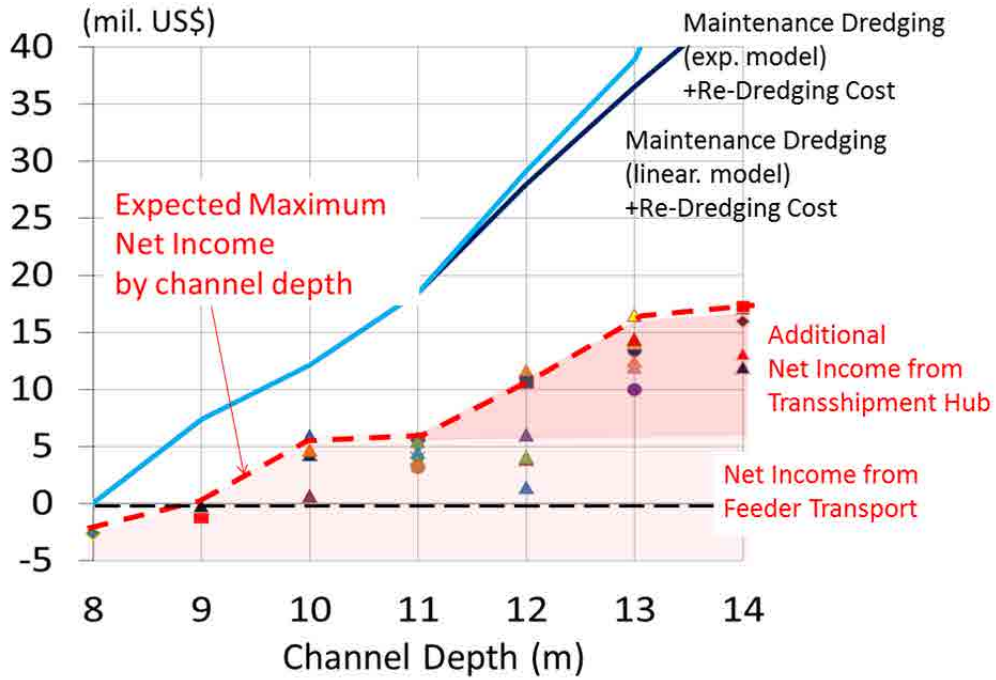


図 9.13 ラ・ウニオン港における航路水深別の純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020年）

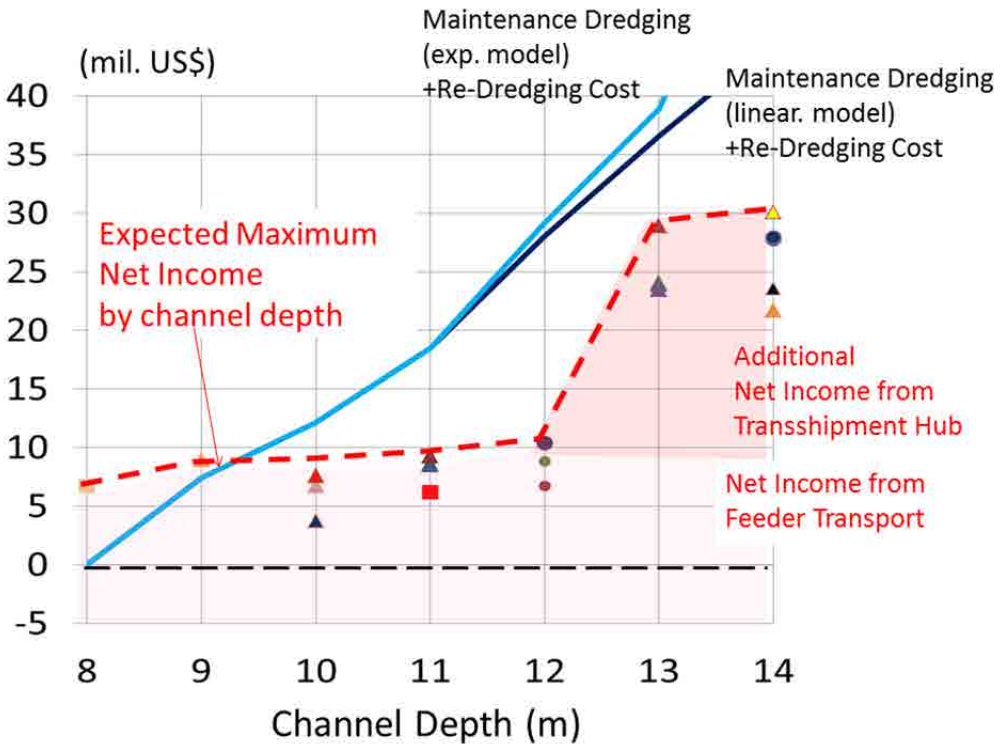


図 9.14 ラ・ウニオン港における航路水深別の純収益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030年）

表 9.17 ラ・ユニオン港コンテナビジネスにおける水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2020 年）

単位:千ドル

Channel depth	8m (no dredging scenario)	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	2,115	7,335	12,898	12,898	20,155	26,751	27,878
Expenditure	-4,755	-5,490	-6,983	-6,983	-8,525	-10,236	-10,626
Net Income	-2,641	1,845	5,917	5,917	11,630	16,515	17,253

表 9.18 ラ・ユニオン港コンテナビジネスにおける水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2030 年）

単位:千ドル

Channel depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	14,185	17,119	17,119	17,124	18,963	43,167	44,669
Expenditure	-7,489	-8,212	-8,212	-7,893	-8,596	-14,240	-14,565
Net Income	6,696	8,908	8,908	9,230	10,367	28,926	30,104

表 9.19 ラ・ユニオン港における純収益(浚渫費用を除く)と浚渫費用の水深別差分最大値（2020 年）

単位:千ドル

Channel Depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	-2,641	1,845	5,917	5,917	11,630	16,515	17,253
Dredging Cost							
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference							
Modified exp. model	<b>-2,641</b>	-5,570	-6,200	-12,590	-17,512	-22,395	-42,750
Linear model	<b>-2,641</b>	-5,570	-6,200	-12,590	-16,368	-20,048	-27,288

表 9.20 ラ・ユニオン港における純収益(浚渫費用を除く)と浚渫費用の水深別差分最大値（2030 年）

単位:千ドル

Channel Depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	6,696	8,908	8,908	9,230	10,367	28,926	30,104
Dredging Cost							
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference							
Modified exp. model	<b>6,696</b>	1,493	-3,209	-9,277	-18,775	-9,984	-29,899
Linear model	<b>6,696</b>	1,493	-3,209	-9,277	-17,631	-7,637	-14,437

### 9.3.3 エルサルバドル港湾部門のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用

#### (1) 純収益と浚渫費用

2020年と2030年のアカフトラ港とラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）をそれぞれ図9.15と図9.16に示す。また水深別浚渫費用も同図に示す。

エルサルバドルの港湾部門（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計）のコンテナビジネスにおける財務的観点からの、水深別の収入と支出（浚渫費用を除く）に関する最良シナリオを

表9.21と表9.22に示す。

2020年と2030年の、浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の差分が最大となる航路水深別のシナリオを整理したものを表9.23と表9.24に示す。アカフトラ港・ラ・ウニオン港両港のコンテナビジネスにおける財務的観点からの最適水深は、2020年において線形モデル及び修正指数モデルの両方で-8mである。また、2030年においても-8mが線形モデル及び修正指数モデルの両方で、最適水深である。

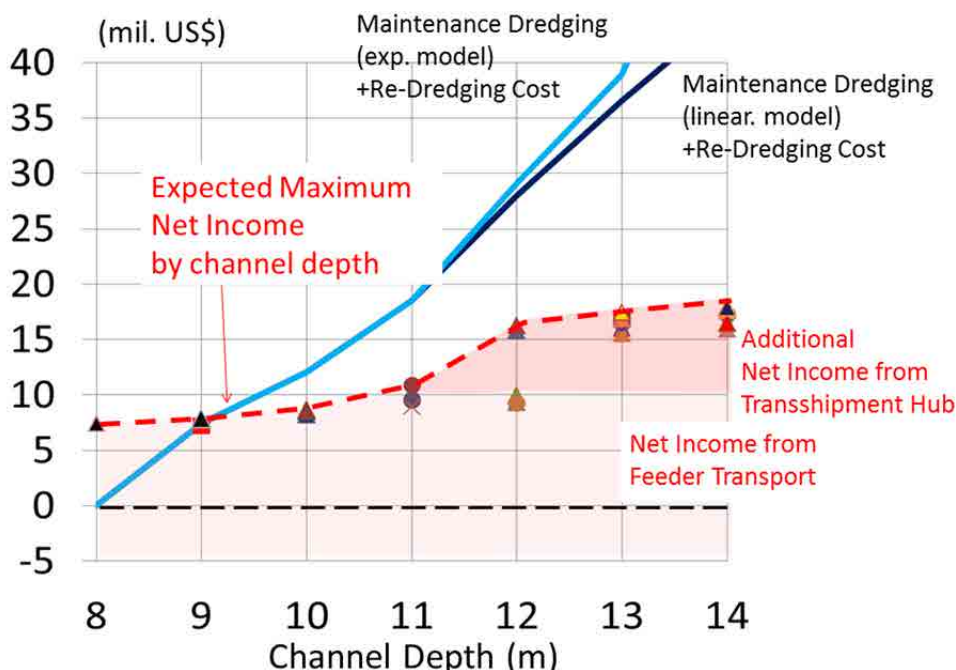


図 9.15 エルサルバドルの港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計、航路浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港における航路水深別浚渫費用（2020年）

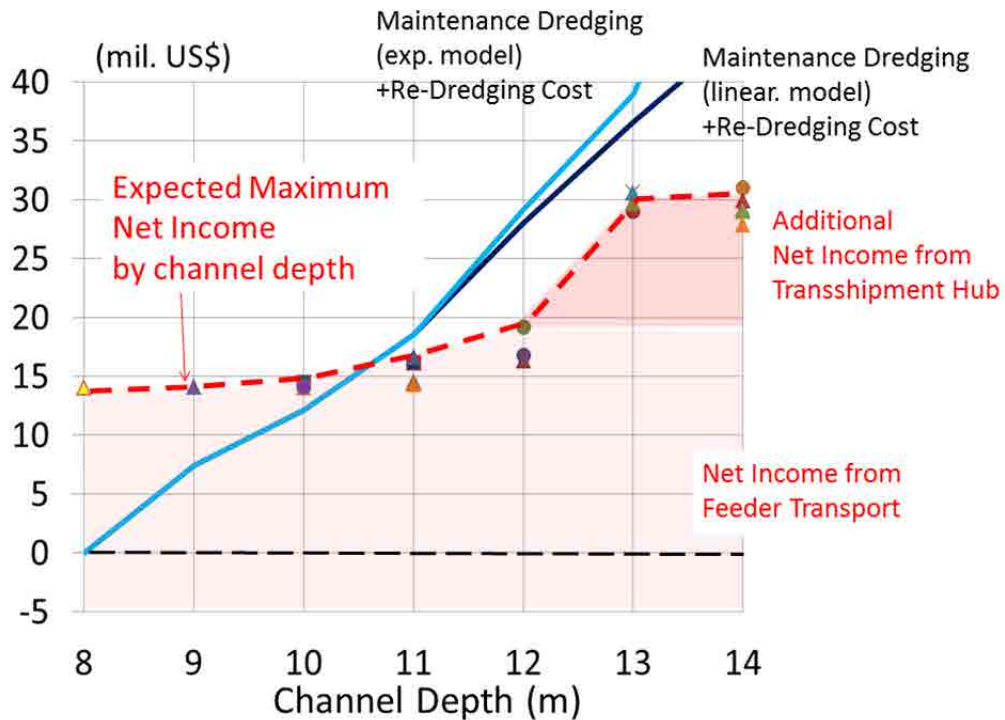


図 9.16 エルサルバドルの港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計、航路浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港における航路水深別浚渫費用（2030年）

表 9.21 アカフトラ港・ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2020年）

単位：千ドル

Channel depth	8m (no dredging scenario)	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	19,055	19,688	20,265	23,544	30,572	32,768	33,272
Expenditure	-11,625	-11,847	-12,064	-12,692	-14,336	-15,343	-15,416
Net Income	7,430	7,849	8,201	10,852	16,236	17,424	17,856

表 9.22 アカフトラ港・ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2030年）

単位：千ドル

Channel depth	8m (no dredging scenario)	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	28,003	28,213	28,318	31,078	34,495	50,066	51,295
Expenditure	-13,999	-14,134	-13,851	-14,494	-15,314	-19,475	-19,332
Net Income	14,005	14,079	14,466	16,584	19,181	30,591	31,964

表 9.23 エルサルバドル港湾部門における純収益（浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）

単位：千ドル

Channel Depth	8m (no dredging scenario)	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	7,430	7,841	8,201	10,852	16,236	17,424	17,856

Dredging Cost								
	Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
	Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference								
	Modified exp. model	<b>7,430</b>	426	-3,916	-7,655	-12,906	-21,486	-42,147
	Linear model	<b>7,430</b>	426	-3,916	-7,655	-11,762	-19,139	-26,685

表 9.24 エルサルバドル港湾部門における純収益（浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港浚渫費用の水  
深別差分最大値（2030年）

単位：千ドル

Channel Depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	14,005	14,079	14,466	16,584	19,181	30,591	31,964
Dredging Cost							
	Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910
	Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563
Difference							
	Modified exp. model	<b>14,005</b>	6,664	2,349	-1,923	-9,961	-8,319
	Linear model	<b>14,005</b>	6,664	2,349	-1,923	-8,817	-5,972

#### 9.3.4 ラ・ウニオン港のコンテナ取り扱いによるエルサルバドルの経済的便益

航路浚渫の経済的便益は、2020年及び2030年における様々なケースでのモデル計算結果（浚渫実施シナリオ）と、浚渫を行わなかったケース（浚渫未実施シナリオ）を比較することによって分析可能である。

ラ・ウニオン港の航路水深が深くなると、大型船が入港できるようになり、エルサルバドル港湾で取り扱われるコンテナ量も増加し、エルサルバドル港湾部門における収益も増加する。加えて、エルサルバドルの輸出入貨物の輸送費用が減ぜられる事が期待できる。航路浚渫プロジェクトはこのような経済的効果を生み出すことが期待される。

浚渫実施シナリオにおけるラ・ウニオン港・アカフトラ港の純収益の合計及びエルサルバドルの輸出入貨物輸送費用と、浚渫未実施シナリオとの差分が、航路浚渫プロジェクトにおける経済的便益を表している。2020年と2030年の経済的便益（浚渫費用を除く）を図9.17と図9.18に示す。また水深別浚渫費用も同図に示す。

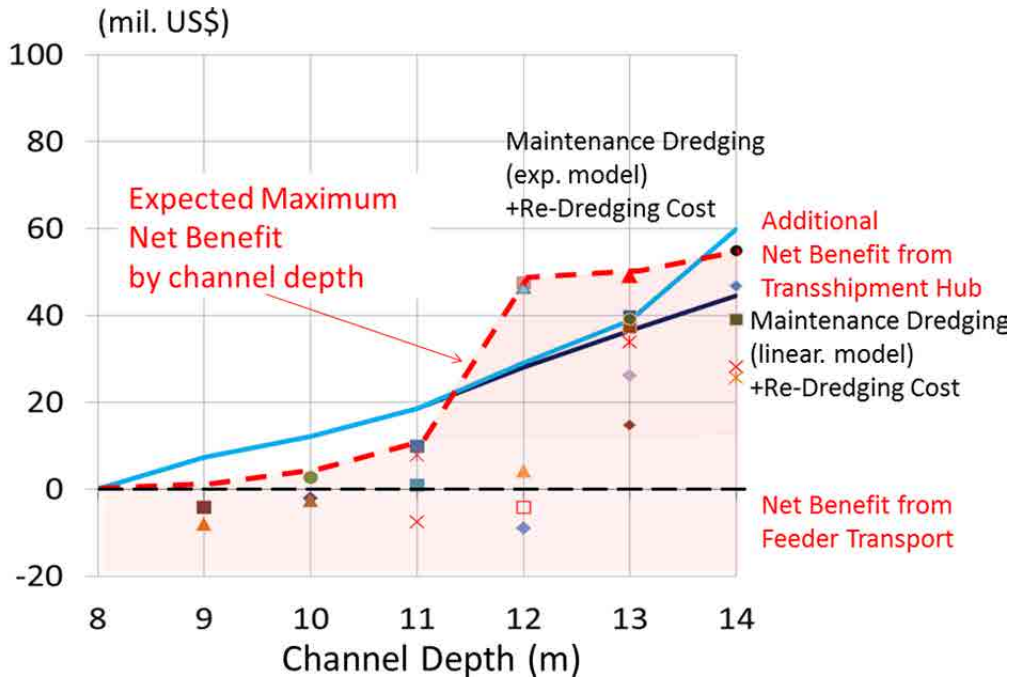


図 9.17 航路水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020年）

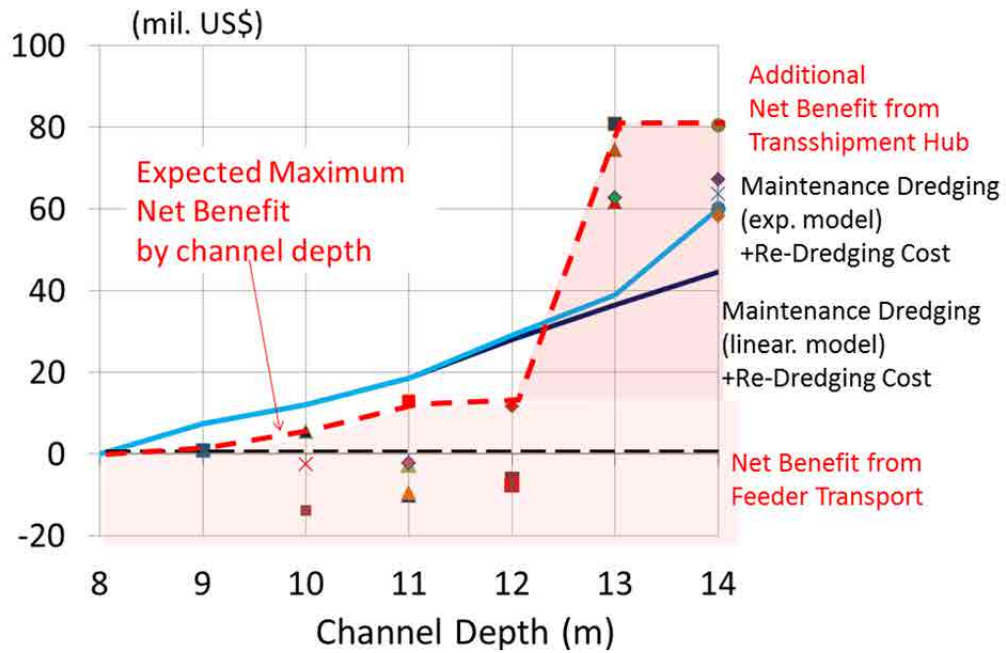


図 9.18 航路水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030年）



各水深における経済的便益が最大となるケースが、エルサルバドルにとって、経済的観点から最良のシナリオとなる。2020年及び2030年の水深別の港湾収益（浚渫費用を除く）とエルサルバドルの貨物輸送費用を整理した表を表9.25、表9.26に示す。

2020年及び2030年の水深別の経済的便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用を表9.27、表9.28に示す。エルサルバドルの経済的観点からの最適航路水深は、浚渫費用を除く経済的便益から浚渫費用を差し引いた値が最大値となる水深である。2020年では線形モデルでも修正指数モデルでも、-12mが最適水深であり、2030年では-13mが最適水深となる。

表 9.25 エルサルバドル経済における浚渫プロジェクト純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2020年）

単位：千ドル

Channel Depth	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Increase of net income for Salvadoran port sector derived from container business	411	1,132	2,008	8,371	9,380	10,426
Decrease of shipping cost of Salvadoran cargo	-4,563	1,593	7,931	39,139	39,632	44,446
Net benefit	-4,152	2,726	9,939	47,510	49,012	54,872

表 9.26 エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2030年）

単位：千ドル

Channel Depth	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Increase of net income for Salvadoran port sector derived from container business	74	462	523	523	16,587	16,587
Decrease of shipping cost of Salvadoran cargo	849	5,084	12,365	12,365	64,246	64,246
Net benefit	923	5,546	12,888	12,888	80,833	80,833

表 9.27 エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの経済的便益の水深別最大値（2020年）

単位：千ドル

Channel Depth	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Economic benefit	-4,152	2,726	9,939	47,510	49,012	54,872
Dredging cost						
Modified exp. model	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference						
Modified exp. model	-11,567	-9,391	-8,568	<b>18,368</b>	10,102	-5,131
Linear model	-11,567	-9,391	-8,568	<b>19,512</b>	12,449	10,331

表 9.28 エルサルバドル経済における浚渫プロジェクトの経済的便益の水深別最大値（2030年）

単位：千ドル

Channel Depth	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Economic Benefit	923	5,546	12,888	12,888	80,833	80,833
Dredging Cost						
Modified exp. Model	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear. Model	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference						
(Modified exp. Model)	-6,492	-6,571	-5,619	-16,254	<b>41,923</b>	20,830
(Linear. Model)	-6,492	-6,571	-5,619	-15,110	<b>44,270</b>	36,292

## 9.4 政策シミュレーションによる経済及び財務分析

### 9.4.1 ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（港湾料金引き上げケース）

#### (1) 純収益と浚渫費用

実現可能シナリオごとに推計された2020年と2030年のラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）と水深別浚渫費用を、図9.19および図9.20に示す。計算に使用した新タリフを表9.29に示す。

表 9.29 ラ・ウニオン港における新タリフ

Item	Remarks
a) Services to the Vessels	
Channel Usage	@(0.15\$ * GT)
Practical Pilot	@(701.79\$ per call)
Navigation Aids	@(263.18\$ per call)
Berthing and Unberthing	@(0.19\$ * GT)
Mooring and Unmooring	@(0.03\$ * GT)
Stay	@(0.09\$ * LOA * hour)
b) Services for Container Handling	
Dispatch	@(10.61\$ * TEU)
Wharfage	@(20.67\$ * TEU(Full container))
Loading/Unloading from Ship to Quay	@(82.88\$ * TEU)
Transfer from Quay to Yard	@(42.43\$ * TEU)
Loading/Unloading in Yard	@(29.17\$ * Laden TEU+26.21\$ * Empty TEU)

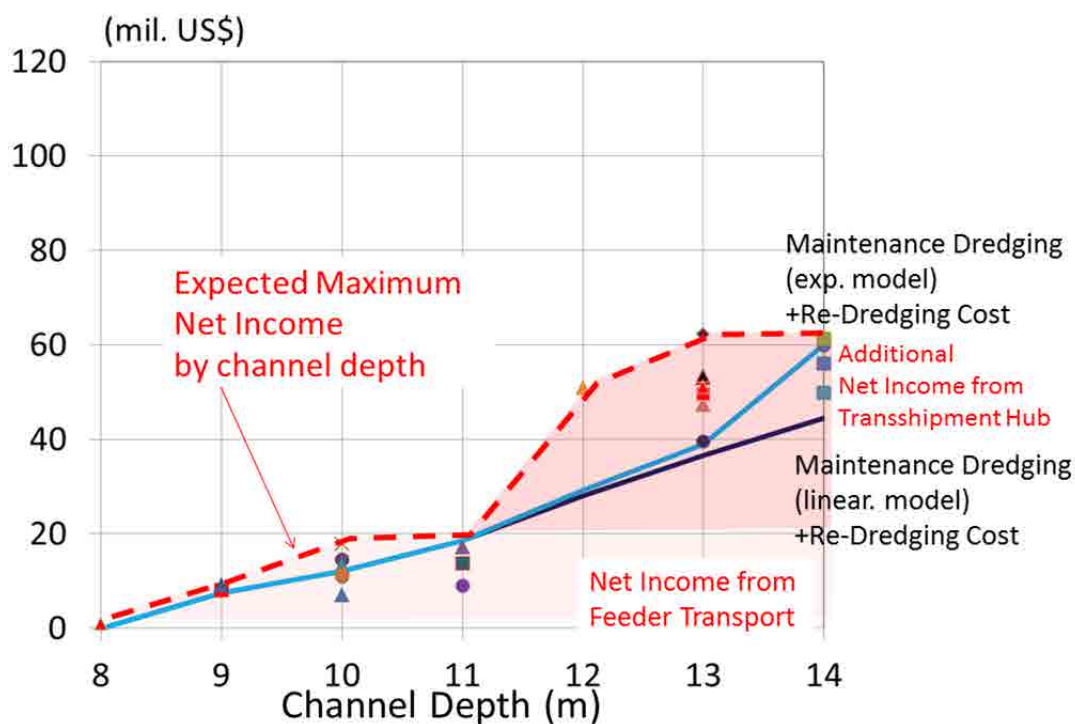


図 9.19 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および航路水深別浚渫費用（2020年）

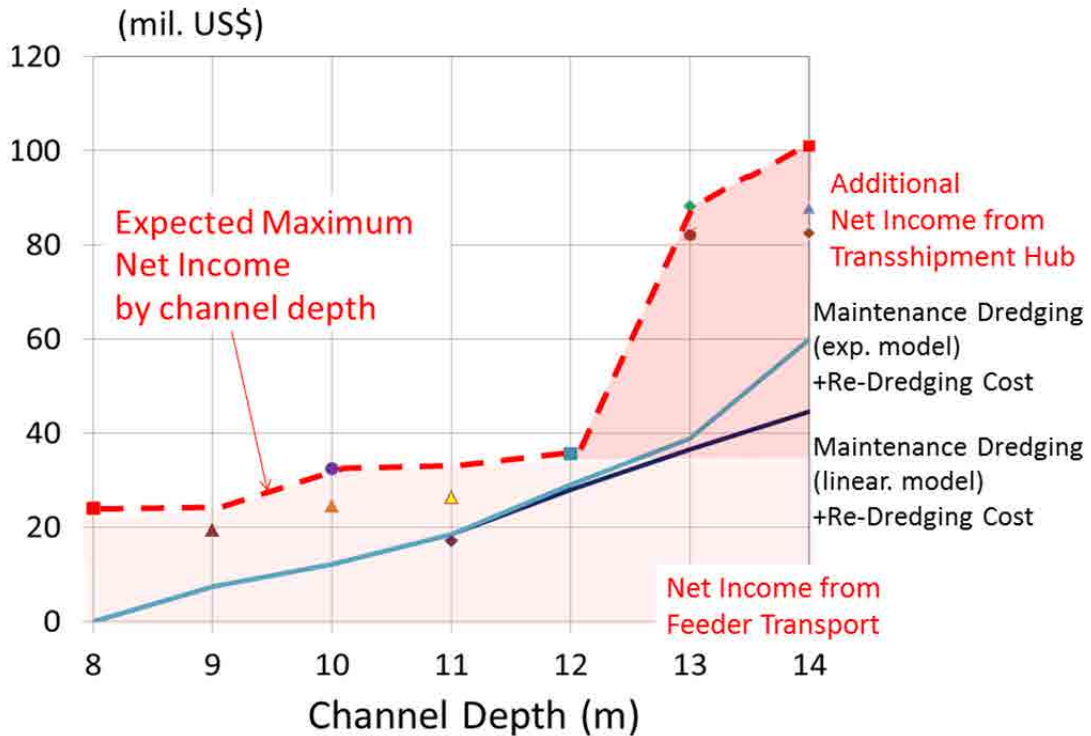


図 9.20 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および航路水深別浚渫費（2030年）

各水深ごとに純収益が最大となるケースは、ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける財務的観点から、CEPA にとっては最良のシナリオとなる。それぞれのケースの収入と支出（浚渫費用を除く）を表 9.30 と表 9.31 に示す。

2020年と2030年の、浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の差分が最大となる値を航路水深別に整理したものを表 9.32 と表 9.33 に示す。2020年においては、航路水深-13m が線形モデル及び修正指数モデルの両方で最大値となっている。2030年においても-13m が修正指数モデルの最大値となっており、線形モデルでは-14m が最大値となっている。

表 9.30 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ビジネスの水深別最大純収入（浚渫費用を除く、2020年）

単位：千ドル

Channel depth	8m (no dredging scenario)	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	5,644	14,548	23,970	23,970	59,636	72,381	72,381
Expenditure	-4,755	-5,433	-6,199	-6,199	-8,730	-10,127	-10,127
Net Income	888	9,115	17,772	17,772	50,907	62,255	62,255

表 9.31 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ビジネスの水深別最大純収入（浚渫費用を除く、2030年）

単位：千ドル

Channel depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	30,938	30,938	40,031	40,031	43,319	101,457	115,525
Expenditure	-6,914	-6,914	-7,574	-7,574	-7,683	-13,299	-14,465
Net Income	24,024	24,024	32,456	32,456	35,636	88,158	101,160

表 9.32 港湾料金引き上げケースにおけるラ・ウニオン港の浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）

単位:千ドル

Channel Depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	888	9,115	17,772	17,772	50,907	62,255	62,255
Dredging Cost							
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference							
Modified exp. model	888	1,700	5,655	-735	21,765	<b>23,345</b>	2,252
Linear model	888	1,700	5,655	-735	22,909	<b>25,692</b>	17,714

表 9.33 港湾料金引き上げケースにおけるララ・ウニオン港の浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）

単位:千ドル

Channel Depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	24,024	24,024	32,456	32,456	35,636	88,158	101,160
Dredging Cost							
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference							
Modified exp. model	24,024	16,609	20,339	13,949	6,494	<b>49,248</b>	41,157
Linear model	24,024	16,609	20,339	13,949	7,638	51,595	<b>56,619</b>

#### 9.4.2 エルサルバドルの港湾部門のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（港湾料金引き上げケース）

##### (1) 純収益と浚渫費用

2020年と2030年のアカフトラ港とラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）を、それぞれ図9.21と図9.22に示す。また水深別浚渫費用も同図に示す。

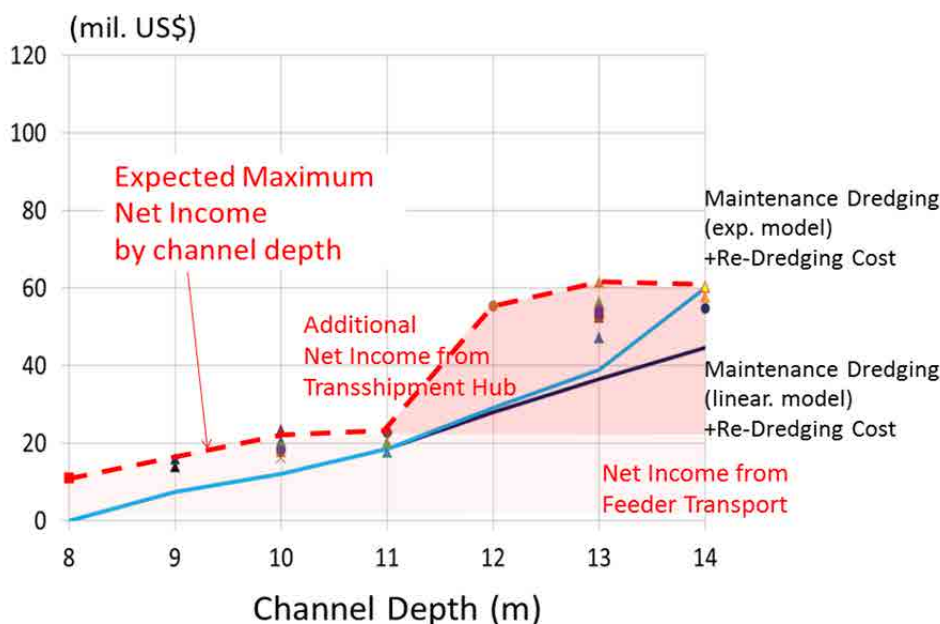


図 9.21 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計、浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港における航路水深別浚渫費用（2020年）

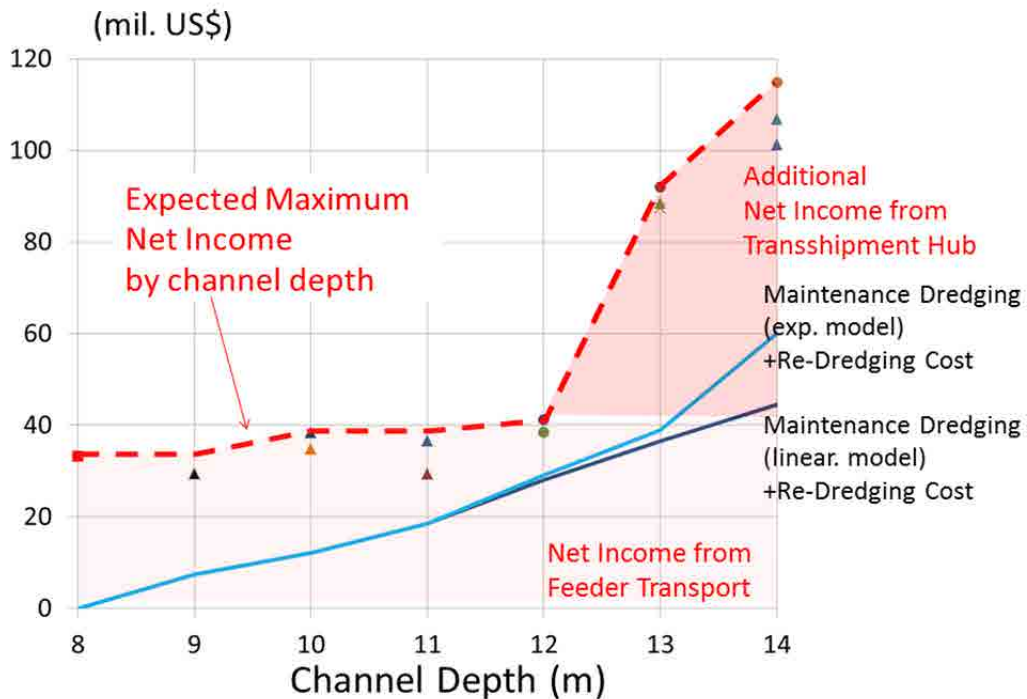


図 9.22 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計、浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港における航路水深別浚渫費用（2030年）

エルサルバドルの港湾部門（アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計）のコンテナビジネスにおける財務的観点からの、水深別の収入と支出（浚渫費用を除く）に関する最良シナリオを表 9.34 および表 9.35 に示す。

2020年と2030年の、純収益と浚渫費用の差分が最大となる値を航路水深別に整理したものを表 9.36 および表 9.37 に示す。アカフトラ港・ラ・ウニオン港両港のコンテナビジネスにおける財務的観点からの最適水深は、2020年において線形モデル及び修正指数モデルの両方で-12mである。また、2030年においては-13mが線形モデル及び修正指数モデルの両方で、最適水深である。

表 9.34 港湾料金引き上げケースにおけるアカフトラ港・ラ・ウニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2020年）

単位：千ドル

Channel depth	8m (no dredging scenario)	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	22,583	27,602	35,630	35,630	69,796	76,092	76,092
Expenditure	-11,625	-11,676	-11,748	-11,748	-14,433	-14,640	-14,640
Net Income	10,958	15,926	23,883	23,883	55,363	61,452	61,452

表 9.35 港湾料金引き上げケースにおけるアカフトラ港・ラ・ウニオン港コンテナビジネスの水深別最大純収益（浚渫費用を除く、2030年）

単位：千ドル

Channel depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	46,778	46,778	51,948	51,948	54,832	110,810	111,936
Expenditure	-13,496	-13,496	-13,613	-13,613	-13,633	-18,783	-19,742
Net Income	33,282	33,282	38,335	38,335	41,198	92,027	92,194



表 9.36 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）

単位：千ドル

Channel Depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	10,958	15,926	23,883	23,883	55,363	61,452	61,452
Dredging Cost							
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference							
Modified exp. model	10,958	8,511	11,766	5,376	<b>26,221</b>	22,542	1,449
Linear model	10,958	8,511	11,766	5,376	<b>27,365</b>	24,889	16,911

表 9.37 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル港湾部門の純収益（浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）

単位：千ドル

Channel Depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	33,282	33,282	38,335	38,335	41,198	92,027	92,194
Dredging Cost							
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference							
Modified exp. model	33,282	25,867	26,218	19,828	12,056	<b>53,117</b>	32,191
Linear model	33,282	25,867	26,218	19,828	13,200	<b>55,464</b>	47,653

### 9.4.3 ラ・ウニオン港のコンテナ取り扱いによるエルサルバドルの経済的便益（港湾料金引き上げケース）

浚渫実施シナリオにおけるラ・ウニオン港・アカフトラ港の純収益合計及びエルサルバドルの輸出入貨物輸送費用と、浚渫未実施シナリオとの差分が、航路浚渫プロジェクトにおける経済的便益を表している。2020年と2030年の各実行可能シナリオのもとでの経済的便益（浚渫費用を除く）を図9.23および図9.24に示す。また水深別浚渫費用も同図に示す。

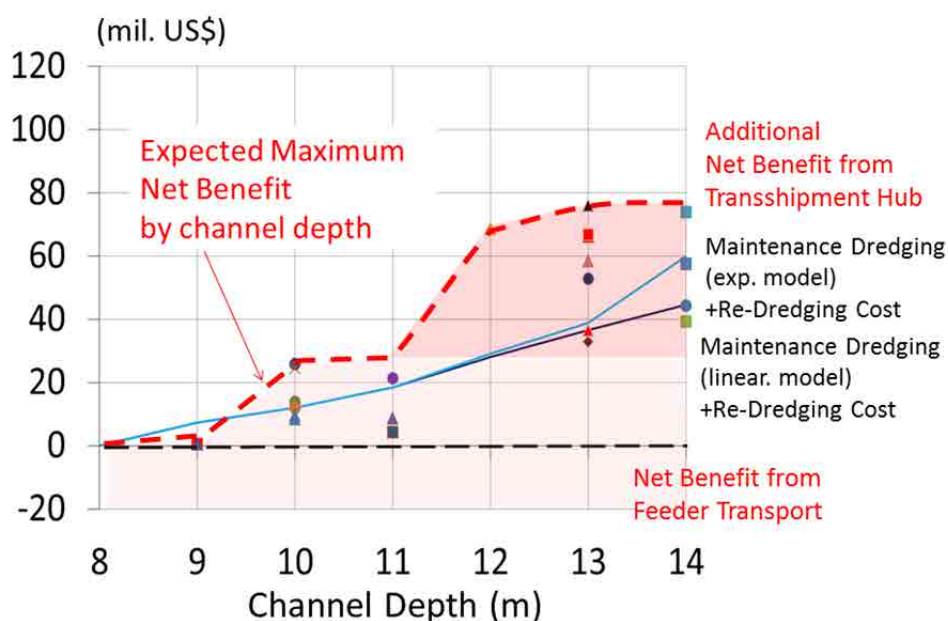


図 9.23 港湾料金引き上げケースにおける水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2020年）

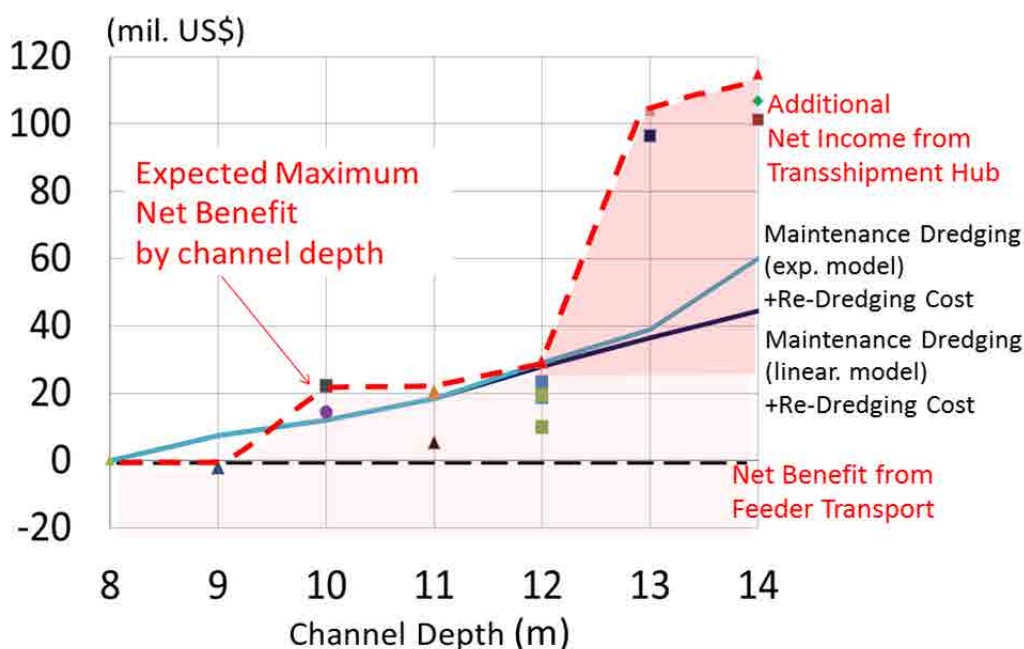


図 9.24 港湾料金引き上げケースにおける水深別のエルサルバドル経済便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用（2030年）

各水深における経済的便益が最大となるケースが、エルサルバドル国全体の経済にとって、最良のシナリオとなる。2020年および2030年の水深別の港湾収益（浚渫費用を除く）とエルサルバドルの貨物輸送費用を整理した表を表 9.39 および表 9.39 に示す。

2020年および2030年の水深別の経済的便益（浚渫費用を除く）と浚渫費用を表 9.40 および表 9.41 に示す。エルサルバドルの経済的観点からの最適航路水深は、浚渫費用を除く経済的便益から浚渫費用を差し引いた値が最大となる水深である。2020年では線形モデルでも修正指数モデルでも、-12mが最適水深であり、2030年では修正指数モデルにおいて-13mが最適水深、線形モデルでは-14mが最適水深となる。

表 9.38 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル経済にとっての浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2020年）

単位：千ドル

Channel Depth	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Increase of net income for Salvadoran port sector derived from container business	4,968	9,495	9,495	44,404	43,503	43,503
Decrease of shipping cost of Salvadoran cargo	-4,387	16,471	16,471	24,261	32,467	32,467
Net benefit	581	25,966	25,966	68,665	75,970	75,970

表 9.39 港湾料金引き上げケースにおけるエルサルバドル経済にとっての浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）の水深別最大値（2030年）

単位：千ドル

Channel Depth	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Increase of net income for Salvadoran port sector derived from container business	0	5,053	5,053	5,224	58,031	61,798
Decrease of shipping cost of Salvadoran cargo	0	17,114	17,114	24,107	45,732	53,072
Net benefit	0	22,168	22,168	29,332	103,764	114,871

表 9.40 港湾料金引き上げケースにおける浚渫プロジェクトの経済的便益（浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2020年）

単位：千ドル

Channel Depth	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Economic Benefit	581	25,966	25,966	68,665	75,970	75,970
Dredging Cost						
Modified exp. model	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference						
Modified exp. model	-6,834	13,849	7,459	<b>39,523</b>	37,060	15,967
Linear model	-6,834	13,849	7,459	<b>40,667</b>	39,407	31,429

表 9.41 港湾料金引き上げケースにおける浚渫プロジェクトの経済的便益（浚渫費用を除く）とラ・ウニオン港浚渫費用の水深別差分最大値（2030年）

単位：千ドル

Channel Depth	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Economic Benefit	0	22,168	22,168	29,332	103,764	114,871
Dredging Cost						
Modified exp. model	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference						
Modified exp. model	-7,415	10,051	3,661	190	<b>64,854</b>	54,868
Linear model	-7,415	10,051	3,661	1,334	67,201	<b>70,330</b>

#### 9.4.4 ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける純収益と航路水深別の浚渫費用（エルサルバドル東部の地域開発が進展したケース）

##### (1) 純収益と浚渫費用

各実現可能シナリオにおける2020年のラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）および水深別浚渫費用を図9.25に示す。

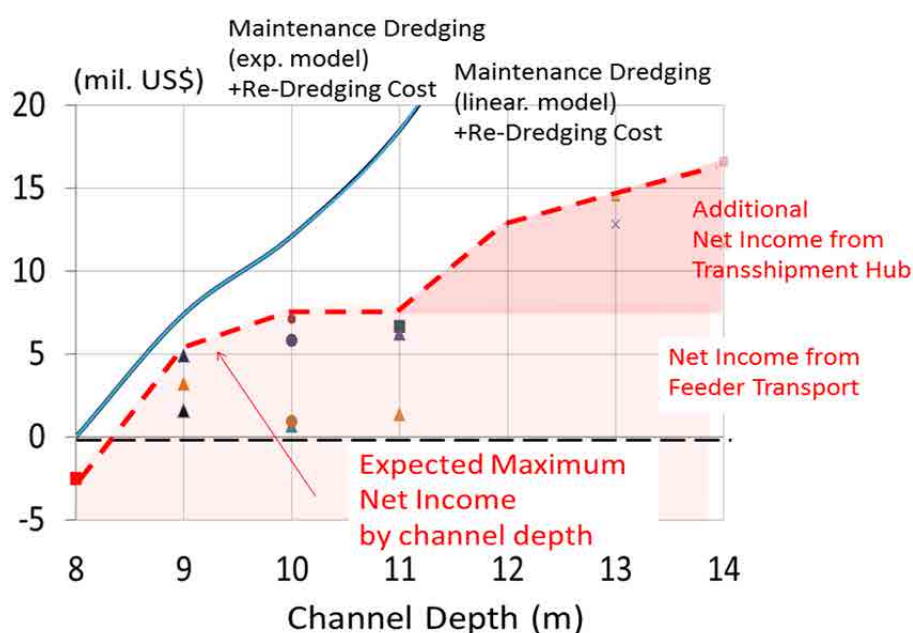


図 9.25 エルサルバドル東部の地域開発進展ケースにおけるラ・ウニオン港の純収益（浚渫費用を除く）と航路水深別浚渫費（2020年）



各水深ごとに純収益が最大となるシナリオは、ラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける財務的観点から、CEPA にとって最良のシナリオとなる。それぞれの水深において浚渫費用を除く純収益が最大となるケースの収入と支出（浚渫費用を除く）を表 9.42 に示す。

2020 年の、浚渫費用を除く純収益と浚渫費用の差分が最大となる値を航路水深別に整理したものを表 9.43 に示す。航路水深-8m が、線形モデル及び修正指数モデルの両方で最大値となっている。

表 9.42 エルサルバドル東部開発が進展したケースにおけるラ・ウニオン港のコンテナビジネスにおける水深別最大純収益(2020)

単位：千ドル

Channel depth	8m (no dredging scenario)	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Revenue	2,277	11,787	14,471	13,795	22,104	24,392	26,941
Expenditure	-4,795	-6,904	-7,374	-7,140	-9,246	-9,757	-10,337
Net Income	-2,518	4,883	7,097	6,655	12,858	14,635	16,604

表 9.43 エルサルバドル東部開発が進展したケースにおけるラ・ウニオン港における純収益と浚渫費用の水深別差分最大値 (2020)

単位：千ドル

Channel Depth	8m	9m	10m	11m	12m	13m	14m
Net Income	-2,518	4,883	7,097	6,655	12,858	14,635	16,604
Dredging Cost							
Modified exp. model	0	7,415	12,117	18,507	29,142	38,910	60,003
Linear model	0	7,415	12,117	18,507	27,998	36,563	44,541
Difference							
Modified exp. model	<b>-2,518</b>	-2,532	-5,020	-11,852	-16,284	-24,275	-43,399
Linear model	<b>-2,518</b>	-2,532	-5,020	-11,852	-15,140	-21,928	-27,937

## 9.5 第 9 章の結論

本章では、はじめに現行の航路およびその航行規則の現状を整理し、新しい航行規則を提案した (9.1 節)。現行規則だけでなく、新しい規則に基づいた、船舶がアクセス航路に進入する際に生じる期待待ち時間を算出した。その結果、現行規則は、小型船が水深の浅い航路を航行するという現状においては有効であるものの、航路が増深され、様々なサイズの船舶が航行する状況を想定した場合には、新しい航行規則との期待待ち時間の差異は大きくなることがわかった。このため、航路が増深された場合には新しい航行規則の導入が必要である。

9.2 節では、2020 年および 2030 年時点の将来定航サービス・ネットワークに関する多くのシナリオを用意し、そのなかからいくつかの基準に基づき実現可能性のあるシナリオを各年ごとに抽出した。続いて 9.3 節において、船舶寄港モデルによって推計されたコンテナ貨物取扱量等の出力をもとに、ラ・ウニオン港コンテナ部門における浚渫費用を除く純収入、エルサルバドル国の港湾セクター（すなわち、アカフトラ港とラ・ウニオン港の合計）コンテナ部門における浚渫費用を除く純収入、およびエルサルバドル経済にとってのラ・ウニオン港浚渫プロジェクトの純便益（浚渫費用を除く）を算出し、水深別に浚渫費用との比較を行った。ラ・ウニオン港の財務的観点から言えば、ラ・ウニオン港の利用料金が現行の水準のままである場合、どの航路水深においても浚渫費用を除く純収入は浚渫費用を常に下回る。一方で、ラ・ウニオン港の利用料金が

引き上げられた場合には、各水深において純収入が最大となるようなシナリオにおいては、浚渫費用を除く純収入が浚渫費用を上回る結果となった（9.4節）。すなわち、ラ・ウニオン港の利用料金引き上げは、財務的健全性を維持するために必要といえる。しかしながら、料金引き上げは、近隣諸港に対するラ・ウニオン港の競争力を弱め、コンテナ取扱量を減少させる方向に働くだろう。特に、9.2.3(3)で示したような国境抵抗低減シナリオなどのように、将来的に輸送市場がより自由化される場合には、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だろう。

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ウェイポート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。ラ・ウニオン港のトランシップ・ハブ化シナリオのうちいくつかは実現可能と判定され（9.2.3）、またこの場合はエルサルバドル経済にとっても非常に有益であることが示された（9.3および9.4節）。しかしながら、極めて重要な点は、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になる。

エルサルバドル国東部の地域開発が進展すれば、ラ・ウニオン港のコンテナ取扱量および収入の増加に貢献するだろう（9.2.3(3)2および9.4.4）。当初から、ラ・ウニオン港は背後のエルサルバドル東部地域の開発と一体的に開発する計画であった。東部地域開発は、将来のラ・ウニオン港の発展においても引き続き重要な鍵を握っている。

## 第 10 章 需要と費用の連続変化を考慮した浚渫計画



## 第 10 章 需要と費用の連続変化を考慮した浚渫計画

### 10.1 方針

前章では、2020 年または 2030 年単年を対象として、船舶寄港モデルの出力から算出された、浚渫費用を除くネットの収入・便益（純収入・純便益）と、5 章の結果から得られる浚渫費用の比較を行った。しかしながら、浚渫投資のタイミングについて検討するためには、各年の収入、便益、浚渫費用等を考慮した時系列的分析が必要となる。本章では、この時系列分析の手法と、試験的な計算結果について述べる。

ここで、浚渫プロジェクトの評価期間は、2014 年から 2033 年までの 20 年間とする。

### 10.2 浚渫費用

浚渫費用は、費用の発生のタイミングに応じて 2 種類に分けられる。ひとつめは、再浚渫の実施時や維持浚渫の開始時に発する初期費用である。これには、再浚渫コストだけでなく、浚渫船の回航費用や自家保有する際の浚渫船の購入費用なども含まれる。ふたつめは、定期的に発生する費用で、浚渫土量に応じて定められる維持浚渫費用が相当する。以上の内容を表 10.1 に整理する。

表 10.1 浚渫費用の内訳と発生するタイミング

費用の種類	費用項目	説明
プロジェクト開始時の初期費用	再浚渫費	- アクセス航路の現状および目標水深の組み合わせによって費用は異なる - 浚渫後の航路埋没予測モデル（修正指数モデル、線形モデル）には依存しない
	回航費	- 再浚渫のための浚渫船と、維持浚渫のための浚渫船の両方の船舶の回航費を考慮 - 浚渫業界の慣例に従い、回航費は契約地からラウニオン港までの費用のみを考慮（契約終了後、次の目的地まで移動するための回航費用は考慮しない）
	浚渫船購入費	- CEPA が自家保有の浚渫船を購入する場合のみ発生
毎年発生する定期的費用	維持浚渫費	- 維持水深によって費用は異なる - 契約ベースの浚渫と自船による浚渫でも費用は異なる

第 5 章で算定した修正指数モデルの浚渫費用に基づき、契約・自家保有の違いも考慮して、表 10.1 に示された各項目ごとに整理した費用を以下に示す。

### 10.2.1 再浚渫費用

再浚渫は、維持浚渫がリース船で行われるか自船で行われるかに関わらず、どんな場合でもリース船によって行われるものと想定する。また、再浚渫の土量は、浚渫後の埋没予測モデル（修正指数モデルか線形モデルか）に関わらず同じであると想定される。再浚渫実施前の水深と再浚渫実施後の目標水深の組み合わせごとの、再浚渫費用の算定結果を表 10.2 に示す。

表 10.2 実施前および目標水深の組み合わせごとの再浚渫費用（US\$）

目標水深 (-m) 実施前 水深 (-m)	9	10	11	12	13	14
8	11,455,845	16,455,908	26,256,770	32,762,463	50,747,583	64,652,814
9	0	9,967,799	18,772,670	29,136,071	41,940,063	61,271,406
10	-	0	13,913,678	24,120,906	37,825,632	55,014,013
11	-	-	0	17,685,342	30,798,126	50,189,111
12	-	-	-	0	21,348,500	34,729,346
13	-	-	-	-	0	25,188,008
14	-	-	-	-	-	0

### 10.2.2 再浚渫のための回航費

再浚渫のための回航費用も、維持浚渫の方式（リース船または自船）や埋没予測モデルによらず同じと想定される。再浚渫実施前の水深と再浚渫実施後の目標水深の組み合わせごとの、再浚渫のための回航費の算定結果を表 10.3 に示す。

表 10.3 実施前および目標水深の組み合わせごとの再浚渫のための回航費用（US\$）

目標水深 (-m) 実施前 水深 (-m)	9	10	11	12	13	14
8	668,511	872,625	1,339,710	1,851,270	3,062,827	3,062,827
9	0	552,061	1,062,338	1,602,691	2,246,381	3,062,827
10	-	0	756,170	1,339,710	1,983,405	3,062,827
11	-	-	0	974,680	1,675,953	3,062,827
12	-	-	-	0	319,740	1,924,538
13	-	-	-	-	0	1,266,447
14	-	-	-	-	-	0

### 10.2.3 維持浚渫船購入費（自船により維持浚渫を行う場合のみ）

維持浚渫船の購入費用は、自船による維持浚渫を行う場合のみ計上する。目標水深ごとに年間浚渫土量が異なるため、浚渫船のサイズに依存する購入費用も異なる。修正指数モデルを前提とした浚渫船購入費用を以下に示す。

表 10.4 各埋没予測モデルにおける目標維持水深ごとの維持浚渫船購入費用

目標水深 (-m)	費用 (US\$)
8	0
9	15,800,000
10	20,200,000
11	33,400,000
12	51,000,000
13	81,800,000
14	139,000,000

#### 10.2.4 維持浚渫船の回航費

維持浚渫船の回航費も、目標水深によって異なる。これは、年間浚渫土量および浚渫船のサイズが異なるためである。

表 10.5 各埋没予測モデルにおける目標維持水深ごとの維持浚渫船回航費用

目標水深 (-m)	費用 (US\$)
8	0
9	450,006
10	552,061
11	872,625
12	1,266,447
13	1,851,270
14	3,062,827

#### 10.2.5 年間維持浚渫費用

10.2.1 から 10.2.4 までの費用は、再浚渫を実施した年にもみ発生する費用である。これに対し、毎年必要な維持浚渫費用を、浚渫方式（契約ベースまたは自船ベース）ごとに整理したものを表 10.6 に示す。自船ベースの維持浚渫費用は、契約ベースの維持浚渫費用に比べて、浚渫船の資本費を 10.2.3 で考慮済みなため、同じ目標水深であれば常に安くなる。なお、第 5 章の Table 5.25 に示したように、自船ベースの維持浚渫費用においては、情報不足等の要因により一部の間接費が含まれていないことに注意が必要である。

表 10.6 目標水深ごとの年間維持浚渫費用

目標水深 (-m)	費用 (US\$/year)	
	契約ベース	自船ベース (間接費の一部を含まず)
8	0	0
9	6,120,185	3,615,751
10	10,283,006	5,756,123
11	15,623,243	8,818,581
12	25,474,352	14,336,801
13	33,215,909	21,618,484
14	52,793,877	34,759,302

### 10.3 浚渫のタイミングを考慮したコンテナ貨物取扱量、純収入・便益、浚渫費用に関する時系列変化の推計

#### 10.3.1 コンテナ貨物取扱量および純収入・便益の時系列推計

2020年および2030年における、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や浚渫費を除く純収入について、前章で推計を行った。以下では、いくつかの近似・仮定に基づき、2020年および2030年以外のコンテナ貨物取扱量(以降、時系列コンテナ取扱量)の推計を行う。また、推計されたラウニオン港およびアカフトラ港の時系列コンテナ取扱量に基づき、前章と同じ手法により、時系列の収入、浚渫費を除く経常経費、純収入を算出する。

#### (1) 現行 OD (2010年) における仮想的航路水深下のコンテナ取扱量推計

以降の計算を行う前に、2010年時点でラウニオン港の航路水深が現状(-8m)でなかった場合のコンテナ取扱量を推計する必要がある。前章と同様、航路サービスネットワークに関するシナリオを水深ごとに設定し、そのネットワークの元で推計されたラウニオン港およびアカフトラ港の取扱量を表10.7に示す。ここでは、ラウニオン港の料金引き上げ前後の各ケースについて計算を行っている。

なお、2010年時点では、前章で考慮したようなハブ港化シナリオは考慮しないため、水深が-11mより深くなっても、水深が-11mのときと結果は変わらないと想定している。

表 10.7 2010年におけるラウニオン港航路水深別の仮想的コンテナ取扱量および収入・費用等の推計結果

- ラウニオン港利用料金引き上げ前

水深 (-m)	アカフトラ				ラウニオン				輸送費用 ('000 US\$)
	実入り (TEU)	空 (TEU)	トラン シップ	入港料収 入('000 US\$)	実入り (TEU)	空 (TEU)	トラン シップ	入港料収 入('000 US\$)	
8	96,774	40,876	0	1,804	13,828	4,603	0	262	827,116
9	76,869	32,675	0	1,334	44,132	14,341	0	1,081	815,026
10	77,439	34,531	0	1,334	44,569	15,319	0	1,081	809,976
11	74,666	36,515	0	1,334	52,352	11,353	0	1,081	827,406
12	74,666	36,515	0	1,334	52,352	11,353	0	1,081	827,406
13	74,666	36,515	0	1,334	52,352	11,353	0	1,081	827,406
14	74,666	36,515	0	1,334	52,352	11,353	0	1,081	827,406



- ラウニオン港利用料金引き上げ後

水深 (-m)	アカフトラ				ラウニオン				輸送費用 ('000 US\$)
	実入り (TEU)	空 (TEU)	トラン シップ	入港料収 入('000 US\$)	実入り (TEU)	空 (TEU)	トラン シップ	入港料収 入('000 US\$)	
8	88,679	37,263	0	1,804	12,073	2,911	0	262	815,026
9	74,834	35,688	0	1,334	32,065	9,687	0	1,081	842,194
10	77,220	37,081	0	1,334	36,107	9,853	0	1,081	829,592
11	75,566	39,211	0	1,334	44,040	11,694	0	1,081	838,967
12	75,566	39,211	0	1,334	44,040	11,694	0	1,081	838,967
13	75,566	39,211	0	1,334	44,040	11,694	0	1,081	838,967
14	75,566	39,211	0	1,334	44,040	11,694	0	1,081	838,967

## (2) 2020 年および 2030 年における航路水深別コンテナ取扱量代表値の決定

前章で示したように、船舶寄港モデルによるコンテナ貨物取扱量の推計値は航路水深ごとに数多く存在するため、水深ごとの代表値をひとつ定める必要がある。ここでは、本調査の分析の主眼が、前章に示した図のように、各水深で期待される純収入または便益の最大値を結ぶような包絡線にあるとすれば、それを構成する各シナリオにおいて浚渫を行う最適タイミングや水深を求めることを目的に、水深ごとに期待される純便益が最大となるシナリオを、当該年次・水深の代表シナリオとして設定する。

## (3) 船舶寄港モデルの各年次（2010、2020、2030）推計結果の内挿による各年の航路水深別コンテナ貨物取扱量の推計

たとえば、2014 年におけるアカフトラ港・ラウニオン港の航路水深-8 m のときのコンテナ取扱量は、2010 年および 2020 年における水深-8 m のときの船舶寄港モデルによる推計結果を内挿することによって求める。また、たとえば 2027 年におけるアカフトラ港・ラウニオン港の航路水深-13 m のときのコンテナ取扱量は、2020 年および 2030 年における水深-13 m のときの船舶寄港モデルによる推計結果を内挿することによって求める。各港における入港料収入やエルサルバドル発着貨物の総輸送費用についても、同様の考え方によって求めることとする。

## (4) 浚渫前水深から浚渫後水深への移行

ある年に実施した再浚渫により水深が-x m から-y m へと増深された場合、再浚渫が行われた年までは、(3)に示した方法に従って推計した-x m における取扱量を、再浚渫の翌年からは-y m における取扱量を達成するものと想定する（すなわち、浚渫が実施された年次によらず、当該年次における水深だけで取扱量が決定すると仮定する）。図 10.1 に示される例では、水深-8 m から-10 m へ増深する初回の再浚渫が 2017 年に行われ、10 年後の 2027 年に-10 m から-13 m へ再度増深が行われるケースが示されている。この場合は、2017 年までは水深-8 m における取扱量、2018 年から 2027 年までは水深-10 m における取扱量、2028 年

以降は水深-13 m における取扱量を達成すると想定される。

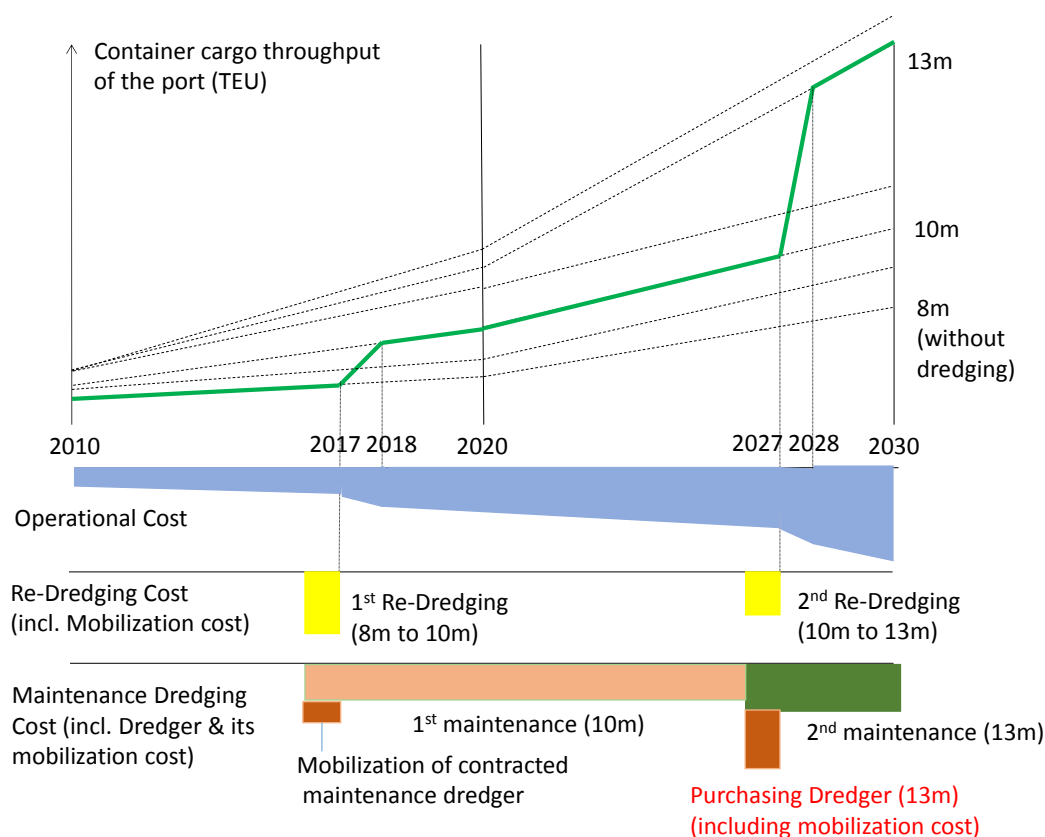


図 10.1 港湾収入・費用の時系列計算に関する模式図  
(当初 10 年間は契約ベースの浚渫を行うと想定したケース)

### 10.3.2 再浚渫のタイミングを考慮した浚渫コストの時系列計算

#### (1) 再浚渫および維持浚渫における仮定

本時系列分析の目的は、再浚渫を実施する最適のタイミングや財務的・経済的観点からみた最適目標水深を得ることにある。問題を簡単にするため、以降の計算では、20 年のプロジェクト評価期間中に、再浚渫は 2 回まで、また第 5 章で示した契約ベースの浚渫は 10 年間の契約を前提としていることをふまえ、2 回目の再浚渫は 1 回目のちょうど 10 年後に実施するものと仮定する。

もうひとつの重要な仮定は、一度浚渫船を購入したら、評価期間中は売却できないという想定である（好きなタイミングに残存価値に等しい適正価格で自家保有の浚渫船を自由に売却できると仮定すると、契約ベースで浚渫を行うことの経済的メリットが全く生じない）。かわりに、評価期間の期末（2033 年）に、残存価値を計上することとする。なお、浚渫船は必ずしもフル能力で操業しなければならないということはなく、当初から大型浚渫船を購入しつつ、最初の 10 年は比較的浅い水深を維持するという戦略もあり得る。また、計算の整合性を保つため、回航費についても残存価値を計上することとする。

## (2) 浚渫費用の計算

### 1) 契約ベースの浚渫の場合

前頁の図 10.1 には、10.2 で整理した浚渫費用の各項目がどのタイミングで発生するかについても示されている。この図に示される例では、初回および 2 回目の再浚渫はそれぞれ 2017 年および 2027 年に実施される計画であることから、-8 m から-10 m の再浚渫、-10 m から-13 m の再浚渫の費用（再浚渫および維持浚渫用の浚渫船 2 隻の回航費も含む）はそれぞれ当該年に発生することになる。

初回の再浚渫を実施した年から 10 年間（2017～2026 年）は、契約船による-10 m の維持浚渫費用が毎年発生する。2 回目の再浚渫の実施年（2027 年）からは、自船による-13 m の維持浚渫費用となる。ここで、2 回目の再浚渫以降は、自家保有の場合には評価期間終了時に浚渫船の残存価値が考慮されることをふまえれば、浚渫業者に委託する経費が発生する分だけどんなケースでも契約ベースより自船ベースの浚渫の方が費用が安くなることから、必ず自船による浚渫が選択される。言い換えれば、契約ベースによる浚渫は、浚渫船の残存価値が存在する期間（本計算では 20 年間）に再度の浚渫による増深が計画されている場合に限り、（自家保有の浚渫船を好きなタイミングで売却できないという仮定があるので）自船ベースによる浚渫よりも経済的にメリットが生じることになる。これは、当面は契約ベースで浚渫を行うことにより、将来の臨機応変な増深を可能にするという観点からみれば、経済学的に言うオプション価値に類似した考え方といえる。

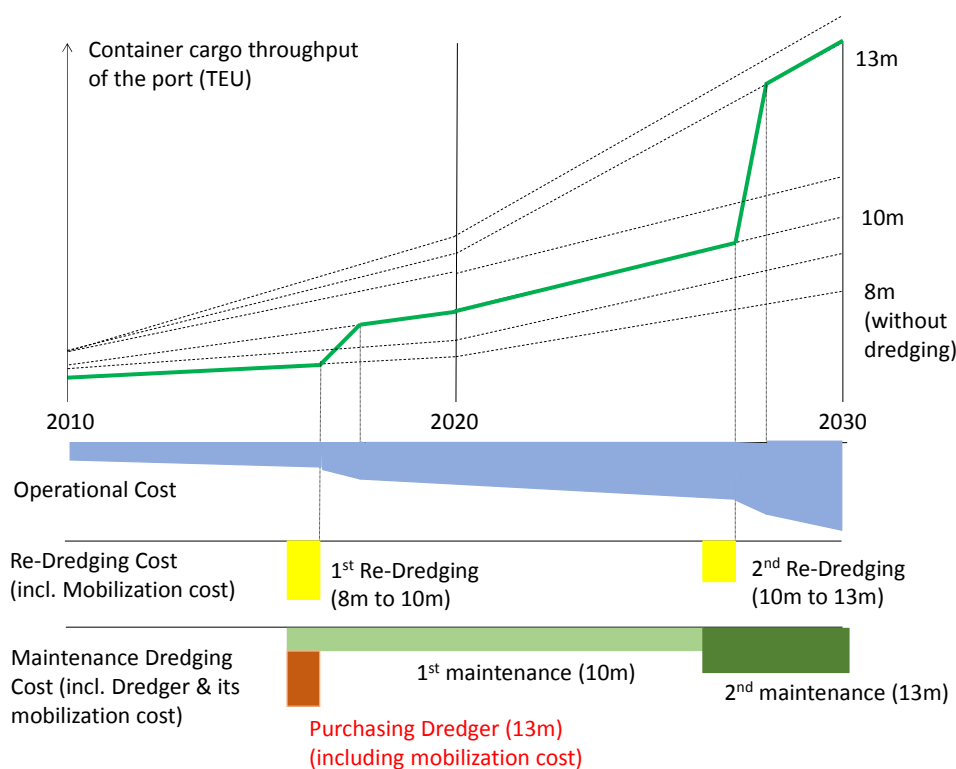


図 10.2 港湾収入・費用の時系列計算に関する模式図（当初から自船ベースの浚渫を行うと想定したケース）

## 2) 自船浚渫の場合

図 10.2 は、初回の再浚渫時から自船ベースの維持浚渫が行われる場合について、浚渫に関する各費用項目とその発生するタイミングが示されている。再浚渫、および再浚渫・維持浚渫用浚渫船の各回航費が発生するタイミングは、図 10.1 に示される契約ベースの維持浚渫と同じである。ここに示される例では、最初の 10 年と次の 10 年では維持水深が異なるため、最初の 10 年間の維持水深 (-10 m) においては、当初から 2 回目の 10 年間の維持浚渫能力 (-13 m) を見越して購入した浚渫船が 100% の能力を発揮する必要がない。言い換えれば、最初の 10 年間は投資した資本を部分的に遊ばせているということもできる。もし最初の 10 年と 2 回目の 10 年で維持水深が同じ場合には、2 回目の再浚渫は行われなことになる。

## 10.4 浚渫のタイミングを考慮した時系列財務・経済分析の手法と試算例

### 10.4.1 時系列分析用計算シートの作成

10.3 に示したアカフトラ港およびラウニオン港におけるコンテナ貨物取扱量、港湾料金収入や運営費、エルサルバドル発着貨物の輸送費や浚渫費用の時系列計算手法に基づき、エクセルベースの計算シートを作成する。

計算シートは、契約ベースおよび自船ベースの浚渫で異なるシートが用意されており、両者の計算結果を比較して、初回および 2 回目の再浚渫における目標水深の組み合わせごとに、純便益がより大きくなる方を採用するものとする。また、埋没予測モデルごとに異なるエクセルファイルが用意されている。港湾利用料金に変化した場合にも、料金計算式の異なる別のエクセルファイルを作成する必要がある。

### 10.4.2 最適な再浚渫実施タイミングと目標水深組み合わせの試算

初回の再浚渫が実施され目標水深が実現される計画年次、および初回および 2 回目の再浚渫における目標水深を図 10.4 の左上に黄色く着色したセルに入力すると、当該浚渫計画の純収入および純便益が算出される。

エクセルに付属するマクロを実行すると、初回および 2 回目の再浚渫におけるすべての目標水深の組み合わせについて、初回再浚渫の実施年次を 2015 年から 2024 年の間で変化させつつ計算を順次実行し、評価期間中の純収入およびエルサルバドル発着貨物の輸送費用における「浚渫実施シナリオ」と「浚渫未実施シナリオ」の差異を足しあげることによって得られる純便益を最大にする、初回再浚渫の実施年次が得られる。各目標水深の組み合わせごとに、最適な初回再浚渫の実施年次やそのときの純便益が、シートの右下に順次記録される。

10.2 および 10.3 に示した設定値のもとでマクロによって計算された、初回および 2 回目の再浚渫における目標水深の組み合わせごとの、最適な初回目標水深の開始年次および純

便益の計算結果を、表 10.8（ラウニオン港利用料金引き上げ前）および表 10.9（ラウニオン港利用料金引き上げ後）について示す。各表とも、契約ベースと自船ベースによる浚渫の計算結果を比較し、純便益のより大きい方が着色されている。これらの計算結果より示唆されることを以下に整理する。

- 1) 純便益を最大化するために初回再浚渫の目標水深が達成されるべき最適年次は、初回および 2 回目の再浚渫における目標水深の組み合わせや、浚渫形態（契約ベースか自船ベースか）によって異なる。また、契約ベースの浚渫と自船ベースの浚渫でどちらの方がより大きい純便益が期待されるかについても、各回再浚渫の目標水深の組み合わせによって異なる。表に示される結果より、一般的に、初回と 2 回目の再浚渫の目標水深の差異が小さいかゼロ（この場合は 2 回目の再浚渫は行われぬ）の場合は最初から自船ベースの浚渫を行う方が有利になりやすい。一方で、初回と 2 回目の再浚渫の目標水深の差異が大きい場合には、当初 10 年間は契約ベースで浚渫を行う方が純便益は大きくなる。
- 2) ラウニオン港の利用料金の引き上げ前（表 10.8）においては、多くのケースにおいて純便益はマイナスとなっている。つまり、「浚渫未実施（何もしない）シナリオ」が最適なケースが多い。その中で、例外的にいくつかの目標水深の組み合わせでは正の純便益が推計されており、たとえば初回再浚渫の目標水深が-12m、第 2 回再浚渫の目標水深が-13m の組み合わせにおいては、2014 年に初回再浚渫を実施しその後自船ベースの浚渫を行うときに最大の純便益が期待でき、これはすべての目標水深の組み合わせの中でも最大の純便益が期待できるケースであることがわかる。しかしながら、ここで計算される純便益は、10.3 で述べたように、当該水深において最も純便益が大きくなる定航サービスネットワーク・シナリオを入力したケースのものであり、より具体的に言えば、前章で示したように、ラウニオン港のトランシップ・ハブ化を前提とした計算結果であることに注意が必要である。いいかえれば、このような結果を期待して再浚渫や維持浚渫船購入などの投資を行うことには、大きなリスクが伴うといえよう。一方で、比較的リスクの小さいセカンド・ベストな戦略としては、たとえば、初回再浚渫の目標水深を-10m とし、第 2 回再浚渫の目標水深を-13m としたケースでは、2014 年に初回再浚渫を行い、最初の 10 年間は契約ベースの維持浚渫を行う場合が最適で、このときは、（もちろん実際に実現される定航サービスネットワーク・シナリオにもよるが）一定の正の純便益が期待できる。
- 3) ラウニオン港の利用料金引き上げ後（表 10.9）においては、多くの組み合わせにおいて、正の純便益が期待される。なかでも、初回再浚渫の目標水深を-13 m とし、その後 20 年間同じ水深を維持するケースでは、2016 年に再浚渫を実施し、以降は自船ベースの浚渫を行う場合に最大の純便益が期待され、これはすべての目標水深の組み合わせの中でも最大の純便益が期待できるケースとなっている。しかしながら、2) でみたのと同様に、このような戦略は 2017 年当初からラウニオン港のトランシップ・ハブ化が実現することを前提としたものであり、リスクが大きい。比較的リスクの小さいセカンド・ベストな戦略としては、2) と同様の、初回再浚渫の目標水深を-10 m とし、第 2 回再浚渫の目標水深を-13 m としたケース（2014 年に初回再浚渫を行い、最初の 10 年間は契約ベースの維持浚渫を行う）があげられる。

表 10.8 浚渫形態（契約ベースまたは自船ベース）および初回・第2回再浚渫の目標水深の組み合わせごとの初回目標水深の最適開始年次および期待される純便益  
（ラウニオン港の料金引き上げ前）

目標水深		契約ベース浚渫 ('000 US\$)				自船ベース浚渫 ('000 US\$)			
初回再浚渫	第2回再浚渫	初回目標水深の最適開始年次	純便益 (NPV)	エルサルバドル国港湾セクターの純収入	エルサルバドル国発着貨物の輸送費用削減額	初回目標水深の最適開始年次	純便益 (NPV)	エルサルバドル国港湾セクターの純収入	エルサルバドル国発着貨物の輸送費用削減額
8	8	2015	0	0	0	2015	0	0	0
8	9	2024	-1,347	-1,347	0	2024	-7,963	-7,963	0
8	10	2024	-2,086	-2,086	0	2024	-10,545	-10,545	0
8	11	2024	-3,226	-3,226	0	2024	-17,213	-17,213	0
8	12	2024	-4,956	-4,956	0	2024	-26,316	-26,316	0
8	13	2015	111,724	-89,254	200,978	2015	61,139	-139,839	200,978
8	14	2015	35,513	-167,775	203,287	2016	-49,976	-227,444	177,468
9	9	2024	-33,314	-32,310	-1,005	2024	-29,649	-28,644	-1,005
9	10	2024	-34,212	-33,207	-1,005	2024	-32,377	-31,373	-1,005
9	11	2024	-35,325	-34,321	-1,005	2024	-39,019	-38,014	-1,005
9	12	2024	-37,164	-36,159	-1,005	2024	-48,230	-47,225	-1,005
9	13	2015	53,198	-140,087	193,286	2015	21,434	-171,851	193,286
9	14	2015	-26,187	-221,782	195,595	2023	-91,324	-107,444	16,120
10	10	2024	-35,364	-52,047	16,683	2024	-25,265	-41,947	16,683
10	11	2024	-36,641	-53,324	16,683	2024	-32,055	-48,737	16,683
10	12	2024	-38,476	-55,159	16,683	2024	-41,262	-57,945	16,683
10	13	2015	57,280	-176,775	234,055	2015	40,715	-193,340	234,055
10	14	2015	-21,149	-257,514	236,364	2015	-73,129	-309,493	236,364
11	11	2024	-34,864	-78,623	43,759	2024	-20,951	-64,710	43,759
11	12	2024	-36,941	-80,700	43,759	2024	-30,376	-74,135	43,759
11	13	2015	36,163	-212,367	248,530	2015	36,717	-211,814	248,530
11	14	2019	-32,862	-186,969	154,108	2019	-64,304	-218,412	154,108
12	12	2016	14,955	-230,303	245,258	2015	64,475	-198,937	263,412
12	13	2015	155,315	-255,279	410,595	2015	188,432	-222,163	410,595
12	14	2016	79,605	-301,560	381,165	2015	76,256	-336,648	412,904
13	13	2018	155,091	-224,720	379,811	2017	182,474	-219,912	402,386
13	14	2021	112,445	-190,567	303,012	2020	106,577	-222,843	329,421
14	14	2024	25,047	-204,861	229,908	2020	49,384	-294,631	344,015

表 10.9 浚渫形態（契約ベースまたは自船ベース）および初回・第2回再浚渫の目標水深の組み合わせごとの初回目標水深の最適開始年次および期待される純便益  
（ラウニオン港の料金引き上げ後）

目標水深		契約ベース浚渫 ('000 US\$)				自船ベース浚渫 ('000 US\$)			
初回再浚渫	第2回再浚渫	初回目標水深の最適開始年次	純便益 (NPV)	エルサルバドル国港湾セクターの純収入	エルサルバドル国発着貨物の輸送費用削減額	初回目標水深の最適開始年次	純便益 (NPV)	エルサルバドル国港湾セクターの純収入	エルサルバドル国発着貨物の輸送費用削減額

8	8	2015	0	0	0	2015	0	0	0
8	9	2024	-1,347	-1,347	0	2024	-7,963	-7,963	0
8	10	2015	34,996	-21,379	56,375	2015	22,552	-33,823	56,375
8	11	2015	13,028	-43,347	56,375	2015	-7,567	-63,942	56,375
8	12	2015	20,181	-59,737	79,918	2015	-11,300	-91,218	79,918
8	13	2015	190,403	57,847	132,556	2015	139,818	7,262	132,556
8	14	2015	138,908	-26,985	165,893	2015	52,908	-112,985	165,893
9	9	2024	-38,131	-39,832	1,701	2024	-34,466	-36,167	1,701
9	10	2019	-33,230	-45,435	12,206	2019	-29,062	-41,268	12,206
9	11	2024	-40,143	-41,843	1,701	2024	-43,836	-45,537	1,701
9	12	2024	-41,981	-43,682	1,701	2024	-53,047	-54,748	1,701
9	13	2015	105,959	30,183	75,776	2015	74,196	-1,581	75,776
9	14	2015	51,291	-57,822	109,113	2016	-14,576	-117,475	102,899
10	10	2016	81,517	-50,110	131,626	2016	101,245	-30,382	131,626
10	11	2017	62,926	-65,158	128,083	2017	74,034	-54,049	128,083
10	12	2016	59,429	-92,228	151,657	2015	61,729	-94,331	156,059
10	13	2015	231,876	23,178	208,698	2015	215,311	6,613	208,698
10	14	2015	178,163	-63,871	242,034	2015	126,184	-115,851	242,034
11	11	2019	24,891	-88,849	113,740	2018	48,451	-71,689	120,140
11	12	2018	13,979	-119,945	133,923	2017	28,812	-111,661	140,473
11	13	2015	174,807	-21,841	196,647	2015	175,360	-21,287	196,647
11	14	2016	120,286	-100,846	221,133	2016	86,376	-134,757	221,133
12	12	2016	124,597	-63,526	188,123	2016	172,355	-15,768	188,123
12	13	2015	288,408	47,496	240,911	2015	321,524	80,613	240,911
12	14	2015	236,363	-37,885	274,248	2015	234,064	-40,183	274,248
13	13	2017	335,524	55,258	280,266	2016	367,391	78,474	288,917
13	14	2018	293,989	2,426	291,563	2017	291,982	-15,689	307,671
14	14	2019	187,758	-103,410	291,168	2018	220,141	-87,189	307,330

## 10.5 第10章の結論

本章では、各年の収入、便益、浚渫費用を考慮した時系列分析の方法を提案し、浚渫を行う最適タイミングに関する議論を行うため、具体的な試算を行った。計算にあたっては、再浚渫は2回までかつ2回目の浚渫は初回浚渫のちょうど10年後に実施するなどといった、多くの仮定を置いている。さらに、本章で示した計算結果は、各航路水深ごとに最大の純便益が期待される定航サービスネットワーク・シナリオに基づくものに限定されている。

本章で示した試算結果からは、純便益を最大化する最もよい戦略は、今後数年以内に維持浚渫用の浚渫船を購入して航路水深を-12～-13 m程度に保つことであることがわかったものの、このような戦略はラウニオン港の「トランシップ・ハブ」化が数年以内に成功する場合にのみ達成されうるものであり、極めてリスクが高い戦略といえる。一方で、比較的小さいセカンド・ベストな戦略は、当初10年間は契約ベースの浚渫船で水深-10 m程度を維持し、第2回の再浚渫で-13 m程度まで増深するというものである。このような「段階的戦略」は、大きな財務的リスクを避けるという観点から非常に有益であろう。





## 第 11 章 結論と提案



## 第 11 章 結論と提案

### 11.1 結論

本調査の結論は以下のとおりである。

#### (1) 航路埋没の現状

ラ・ユニオン港の延長 22.3 km の航路は、かつては D.L.-14m まで浚渫されていたが、現在はほとんど浚渫前の元の状態まで埋没してしまっており、航路としての水深は維持されていない。

#### (2) 浮泥層厚

現地における調査団の経験に基づいて判断すると、周波数 200 kHz の測深機は浮泥層の上面を検知していると考えられる。船舶の航行が可能な水深は、周波数 200 kHz の音響測深機で測定した水深より、浮泥層の厚さだけ深いと考えられる。

航路内の浮泥層は比較的長期間にわたって存在する。このことは、維持浚渫計画に浮泥層の存在を考慮に入れると、維持浚渫量を少なくすることが可能であることを示唆している。

キャピタル浚渫後約 2 年が経過した時に採取した底質を分析した結果、湿潤密度 1,200 kg/m<sup>3</sup> 以下の浮泥層が、外港航路では 0.5 m、内港航路では 1.0 m の厚さで形成されていた。

#### (3) 航路埋没機構と航路埋没予測モデル

ラ・ユニオン港では、浮泥層が密度流となって航路内に流れ込む結果、航路埋没現象が生じる。海底面に航路断面のような段差があるところはどこでも、重力の作用によって浮泥は低いレベルへと流れる。

航路横断測量の測線上の平均水深の変化についてトレンド解析を行って、航路内外の水深差とキャピタル浚渫からの経過時間を関数とした埋没速度の経験的な予測モデルが構築できた（式(4.1)）。

航路埋没速度の予測式を時間積分することによって、航路内外の水深差 $\Delta h$ を予測するモデル（式(4.2)）を導いた。このモデルを、原型指数モデルと名付けた。

2008 年 12 月測量の内港航路の深浅データは不自然に下方にずれていた。それは恐らく、不適切な潮位補正か基準面の取違いのような系統的な誤差によるものであろう。このデータを上方に補正し、それに伴って内港航路については原型指数モデルの係数を修正した（式(4.3)）。

外港航路で航路埋没が進行しているときに、航路外の西側領域の海底は変化しなかったが、東側領域の海底は侵食を受けた。そして、航路内の水深は埋没しても東側領域の水深より浅くなることはなかった。言い換えると、完全に埋没した時の航路内水深は、浚渫前の水深より深い。外港航路の埋没に対しては、この東側領域の効果を考慮に入れて（つまり最終水深の概念を導入して）、原型指数モデルを修正した（図 4.27 参照）。

浚渫完了直後に発生する急激な航路埋没は、もしかしたら新しく浚渫を行ったときに限って 1 度だけ発生するのかもしれない。もしそうならば、維持浚渫が継続的に行われているときには、急激な浚渫は発生しない。この仮説に基づいて、もう一つの新しい予測モデルを組み立てた。すなわち、埋没速度が一定（式(4.4)）で、航路内水深は時間に比例して浅くなる（式(4.5)）。この

モデルを線形モデルと名付けた。線形モデルは仮説を前提として組み立てたので、仮説が深淺データで証明できるが、データで線形モデルの適用性が確認できるまでは、その使用を控えなければならぬ。

残念ながら泊地については、経験的予測モデルを構築するのに有効な深淺データは何もないので、外港航路用の修正指数モデルを泊地の埋没予測に用いた。

#### (4) 再浚渫量

最初に、(現在埋没している) 泊地、内港航路および外港航路を再浚渫する必要がある。最新の測量結果(2013年7月)に基づいて、9 m~14 mの目標水深について1 mごとに再浚渫量を計算した。その結果は、表 5.1 に取りまとめている。

#### (5) 維持浚渫量

6 ケースの目標水深(具体的には、9、10、11、12、13、14 m)について、必要な維持浚渫量を計算した。タイムサイクルは、すなわち浚渫の繰り返し時間間隔、3、4、6、12 ヶ月として。ある特定の目標水深である特定のタイムサイクルのときの維持浚渫量を、修正指数モデルと線形モデルで推定した。計算では、浮泥の厚さを考慮に入れた。計算の結果は、図 5.7 に示されている。

#### (6) 適切な浚渫方法

4 タイプの浚渫船を比較した結果、ラ・ウニオン港の再浚渫および維持浚渫には TSHD (Trailing Suction Hopper Dredger) が適していると判断された。というのは、TSHD は通行船舶への影響が最も少なく、費用生産性 (productivity) と費用効果 (cost efficiency) が最も高かったからである。

#### (7) 船舶寄港モデル

財務的・経済的観点からラ・ウニオン港の分析を行うことを目的に、船舶寄港モデルを構築した。モデルの全体構成は図 8.5 に示した通りである。主要なモデルの入力変数は、ラ・ウニオン港のアクセス航路水深も含む各港のサービスレベルと、コンテナ貨物の輸送需要(コンテナ貨物 OD) である。モデルは2つのパートから構成される。すなわち、各定航サービスネットワークを決定する船社の行動を記述するパートと、コンテナ貨物配分モデルである。様々な考えられ得る定航サービスネットワークのパターンを、海上輸送だけでなく陸上輸送も含めた配分モデルであるコンテナ貨物配分モデルに入力し、その結果から、入力した定航サービスネットワークが成立可能であるかどうか、主にラ・ウニオン港におけるコンテナ取扱いの観点から検討されるものである。

コンテナ貨物配分モデルの妥当性は、各港湾のコンテナ貨物取扱量など 8.8 節に示したいくつかの指標についてモデル再現性を確認することによって検討された。また、モデルに含まれる3つの未知パラメータ(貨物の時間価値  $v_t$ 、選択肢間の一般化費用の相違に対する感度を表す分散パラメータ  $\theta$ 、トランジット輸送における越境抵抗に関する補正係数  $\alpha$ ) についての感度分析も行った。結果として、コンテナ貨物配分モデルは中米地域(CA4 諸国)における実際のコンテナ貨物輸送市場をおおむね再現し、入力値の変化に対する出力の変化もおおむね合理的であることが確認された。また、ラ・ウニオン港の想定航路水深ごとに、2020年および2030年時点における将来の定航サービスネットワークに関するシナリオを多く設定し、9.2 節に示した基準によって、水深ごとに、実現性のあるシナリオを複数選定した。

図 9.8 および 9.9 に示されたラ・ウニオン港およびアカフトラ港の将来コンテナ貨物取扱量に

ついでに推計結果から、将来定航サービスネットワークに関する実現性のあるシナリオの一つとして、ラ・ウニオン港が「トランシップ・ハブ」となり、基幹航路のコンテナ船が寄港する可能性があることが示された。また、港湾利用料金の引き上げや、ラ・ウニオン港周辺のエルサルバドル東部地域の開発の影響についても、モデルによりシミュレーションを行った。

なお本モデルは、ラ・ウニオン港を中心とした中米太平洋岸の定航サービスネットワークについて様々な将来像が考えられることを踏まえ、生起する可能性のある貨物流動パターンをできるだけ網羅的に把握することを目的としており、同じ航路水深のもとでも複数の予測結果が示されている。これらはすべて現実に生起する可能性のあるシナリオであり、モデル計算の前提通りオペレーションや諸手続きが効率的に行われたとしても、予測値のうち最小の値が実現されることも確率的にはあり得るものであることに注意が必要である。

## (8) ラ・ウニオン港の経済・財務分析と政策シミュレーション

船社寄港モデルより推計されたコンテナ貨物取扱量等の出力に基づき、入港料および荷役料の収入の合計から浚渫費用を除く港湾運営費用を差し引くことによって得られるラ・ウニオン港のネットの収入（純収入）、アカフトラ港の純収入も加えたエルサルバドルの港湾セクターにおける純収入、およびエルサルバドル国経済にとっての浚渫プロジェクトの純便益をアクセス航路の水深ごとに算出し、浚渫費用と比較を行った。

財務的観点から言えば、ラ・ウニオン港の利用料金が現行水準のままであると仮定した場合には、図 9.14 および図 9.15 に示したように、各航路水深において、純収入は浚渫費を常に下回る。一方、ラ・ウニオン港の利用料金が引き上げられた場合には、図 9.20 および図 9.21 に示したように、航路水深ごとに推計された期待最大純収入（航路水深ごとに純収入が最大となる定航サービスネットワーク・シナリオにおける純収入）は浚渫費用を上回ることがわかった。

もうひとつの政策シミュレーションとして、エルサルバドル東部における地域開発の進展を考慮したモデル計算を行った。図 9.13 および図 9.26 に示したように、エルサルバドル国の東部地域開発が進めば、ラ・ウニオン港のコンテナ貨物取扱量や収入の増加が見込めるといふ推計結果が得られた。

## (9) 時系列変化を考慮した最適浚渫計画

第 10 章では、各年次の収入、便益、浚渫費用を考慮した時系列分析の手法を構築した。また、浚渫実施の最適タイミングに関する議論に資することを目的に、具体的事例における試算を行った。この試算は、評価期間 20 年間のうちに再浚渫は 2 回まで、また 2 回目の再浚渫は初回の再浚渫実施後 10 年経過時に実施するなど、様々な仮定に基づき行われたものである。また、試算対象となる将来定航サービスネットワークのシナリオについても、各航路水深ごとに多く用意されたシナリオのうち、純便益が最大となるシナリオのもとの試算に限定されている。

## (10) アクセス航路の航行規則

ラ・ウニオン港のアクセス航路における航行の現状や現行規則についての整理、および航行船舶の喫水によって航行可能時間帯を変化させるという新しい航行規則の提案を 10.1 節において行った。また、新しい規則に基づく期待待ち時間を算出し、現行規則に基づく期待待ち時間と比較した。その結果、現行規則は、小型船が水深の浅い航路を航行するという現状においては有効であるものの、航路が増深され、様々なサイズの船舶が航行する状況を想定した場合には、新しい航行規則を導入する必要があることがわかった。

## 11.2 提案

### (1) 経験的に構築した予測モデルの適用性

修正指数モデルと線形モデルはともに深浅データに基づいて経験的に構築したものであり、航路埋没の物理的特性の考察は行っていない。これらのモデルは過去の状況と同じ条件のもとでの航路埋没を予測できる。しかしながら、異なる新しい条件のもとでの航路埋没の予測はできない。

例えば、今回のモデル組み立てに使用した深浅データのうちで、最も水深が深いのは 15 m 程度である。したがって、これらのモデルによる予測精度は航路水深が 15 m より浅い範囲では相当程度保証されている。留意してほしいのは、予測モデルは水深 15 m より深い状況を経験していないので、航路水深が 15 m より深くなると予測精度が低下するということである。

もう一つの例は、航路近くに埋没防止(軽減)のための人工的な構造物を設置した場合である。これは過去にない新しい条件であるので、これらのモデルは適用できない。この場合は、新しい条件下で測量して得た深浅データに基づいて新たなモデルを開発しなければならない。

### (2) 線形モデルの適用性

浚渫完了直後の急激な航路埋没は新規に掘削された航路だけに限って生じるという仮説の下で、線形モデルが構築されている。したがって再度強調しておきたいことは、この仮説が深浅データで証明されるかあるいは線形モデルの適用の妥当性がデータで確認されるまでは、線形モデルの使用を控えなければならないということである。

### (3) 浚渫体制

自船で浚渫を行うコストの方が外注契約で浚渫を行うコストより安く見積もられた。なぜなら、両者の直接費はほぼ同じであったが、自船浚渫の間接費が契約浚渫のそれよりはるかに安かったからである。契約浚渫の間接費は回航費、保険費、コンティンジェンシーに係る費用(雑費)のほかに多くの種類の費用を含んでいる。これに対して、CEPA が考えている自船浚渫の間接費は、回航費、保険費、コンティンジェンシーだけである。しかしながら、以下の理由で、浚渫体制について、契約浚渫と自船浚渫のコスト比較だけで議論することは適切ではない。

もし CEPA が自前で浚渫船を保有すると、CEPA が現在考えている以上のかかなりの費用がかかる。そして、浚渫作業を支援するための船団や施設は、長い経験とノウハウの蓄積があって初めて有効に機能する。コストとは別に、浚渫船の船員の訓練や教育等の課題もある。

さらに、浚渫船を調達する前に浚渫船の大きさと容量を設計するために航路埋没量を正確に予測する必要がある。しかし、本調査で開発した航路埋没量予測モデルは必ずしも十分信頼できるものではなく、今後、航路の埋没状況のモニタリングを通じてモデルの改良を行うことが必要である。

加えて、ラ・ウニオン港の発展と関連して目標維持水深が大きくなることに対して自船を保有することは、柔軟な対応が極めて困難になる。この問題は、(予測モデルの精度向上と違って)将来にわたって継続する。

以上のことから判断して、航路の維持浚渫をある期間は契約ベースで行うことを提案する。

### (4) 航路水深のモニタリングの必要性

経験的に構築された二つのモデルは、質的にも量的にも必ずしも十分でない深浅データに基づいている。特に線形モデルは検証されていない仮説に基づいている。深浅測量によって航路内の

水深をモニタリングすることが、予測精度を向上および維持浚渫量の予測への線形モデルの適用性を強める唯一の方法である。これがモニタリングの第一の目的である。第二の目的は、浚渫完了後の急激な埋没現象を確認することである。

第6章で述べたモニタリング計画は、深淺測量が CEPA 所有の測量装置を用いて CEPA 自身が行うことを前提としている。

#### (5) 2周波数タイプの超音波測深機の使用

深淺測量を実施する時は常に、38 kHz と 200 kHz の二つの周波数の超音波を同時に使用すべきである。高周波数の超音波は海水と浮泥の境界面で反射するのに対し、低周波数の超音波は堆積している泥の中まで到達するので測定結果は大きな水深値となる。低周波数と高周波数の超音波に対する浮泥の音響応答については多くの議論があるが、未だ定量的な結論は得られていない。それでもとにかく、低周波数の超音波で計測した水深と超音波のその差は、浮泥の層厚を判断する目安にはなるであろう。

#### (6) アカフトラ港の料金水準

ラ・ウニオン港における財務の健全性を確保する観点からいえば、利用料金の引き上げが必要である。もしラ・ウニオン港の料金が現行水準のままである場合には、すでに述べたとおり、アクセス航路の水深がどんな場合でも、期待されるネットの収入は浚渫費用を常に下回る。

一方で、利用料金の引き上げは、隣接港湾に対する競争力を弱め、結果として取扱量を減らす可能性があることに注意が必要である。特に、図 9.12 に示されるように、陸上越境輸送時の抵抗が削減されるなどよりマーケットが自由化される場合には、各港の料金水準はよりクリティカルな問題となる。

#### (7) 「トランシップ・ハブ」シナリオ

船舶寄港モデルの計算結果によれば、9.2 節の図 9.8、図 9.9 等に示されるように、ラ・ウニオン港がトランシップ・ハブ化するシナリオも、実現可能性のあるシナリオのひとつとして支持された。このようなシナリオにおいては、9.3 節の図 9.18、図 9.19 等に示されるように、エルサルバドル国の経済にとっても非常に有益である。

しかしながら、重要なのは、浚渫によってアクセス航路を増深すれば無条件にトランシップ・ハブ化するわけではないという点である。ラ・ウニオン港がトランシップ・ハブとなるためには、基幹航路の母船にとって魅力的な港湾となるよう様々な努力が必要である。前節(7)で述べたように、船舶寄港モデルによって推計されたラ・ウニオン港取扱量の予測値等は、実際に実現されるシナリオによって非常に幅があるものである。この中から、ラ・ウニオン港にとってより有利な定航サービスネットワークを形成し、予測値のなかでもより大きい値を実現していくためには、本プロジェクトで示したような科学的分析に基づき、ターゲットを見誤ることなく戦略的にポートセールスを行っていくことが重要である。このことは、コンセッションにより CEPA が地主型のポートオーソリティになってもなんら変わるものではなく、コンセッションと共同して戦略的にポートセールスを行っていくことが極めて重要である。

#### (8) エルサルバドル東部の地域開発

エルサルバドル東部地域の開発計画が進展すれば、ラ・ウニオン港のコンテナ貨物取扱量や収入の増加に貢献するだろう。すなわち、当初から計画されていたように、ラ・ウニオン港とエルサルバドル東部地域における背後圏の一体的な開発が、ラ・ウニオン港の将来的な発展にとって重要な鍵のひとつといえる。

### (9) 財務リスクの拡大を避けるための段階的な浚渫投資計画の重要性

表 10.8 および表 10.9 に示した各年の収入・便益・浚渫費用を考慮した時系列分析の試算結果によれば、ここで試算したような、各航路水深において純便益が最大となるようなシナリオが実現すると想定したケースにおいて、なかでも最も純便益が大きくなる戦略は、数年以内に-12～-13 m まで浚渫を行い、自家保有の浚渫船を導入して維持浚渫を行うことであった。しかしながら、このような戦略は、トランシップ・ハブが実現する場合にのみ期待された純便益が達成されるものであり、きわめてリスクが大きい。

一方、比較的リスクの小さいセカンド・ベストな戦略としては、初回の再浚渫は-10 m 程度までの増深にとどめ、最初の 10 年間は契約ベースで維持浚渫を行い、2 回目の再浚渫で-13 m 程度まで増深するというものである。このような段階的戦略は、巨大な財務リスクを回避するために非常に有益である。

### (10) ラ・ウニオン港アクセス航路における新しい航行規則の必要性

現行の航行規則は、小型船が水深の浅い航路を航行するという現在の状況においては十分に機能するものの、航路が増深され、さまざまなサイズの船舶が航行するようになる場合には、喫水ごとに定められた新しい航行規則が必要である。