

## はじめに

- 1) オリノコ川は、南米第3位の流域規模 101 万 km<sup>2</sup> を有する国際河川である。流域には鉄鉱石、ボーキサイト等の鉱物資源が豊富で、ヴェネズエラ政府はその流域開発を最重要基軸に位置付け、石油依存度の高い経済構造からの脱却施策を展開している。その開発の優先課題に、流通動脈としてのオリノコ川舟運水路の整備強化を掲げ、効率的で信頼性ある舟運航路の確保を目的に、環境天然資源省オリノコ・アブレプロジェクト推進総局 (MARN-PROA) を主機関 (運河庁-INC、水工研究所-LNH、ガイアナ開発公社-CVG は関連機関) として、シウダッド・ガイアナ市より下流デルタ地域を対象とする総合的河川改修計画の策定、ならびに優先プロジェクトの F/S 調査の実施を決定し、その技術協力支援を日本政府に要請した。
- 2) オリノコ流域の航行可能な水路としては、オリノコ本川、アブレ支川、ポルトゲサ支川の3河川がヴェネズエラ国内にあり、その総延長は約 2,100 km に達する。シウダッド・ガイアナ市より下流デルタのリオグランデ航路 339 km は、オリノコ舟運航路の中で最も重要な区間に位置づけられており、公式には雨期の水深を 44 フィート、乾期の水深を 34 フィートに整備し、載荷量 65,000 トン(DWT)のパナマックス型クラスの船舶を航行可能にすることを目標としている。しかし、上流からの大量の土砂流出により、運河庁 (INC) が実施する航路維持のための浚渫量は年間 1,850 万 m<sup>3</sup> におよび、その浚渫費用負担は輸出貨物の国際競争力の弱体化を招いている。加えて、航路内への浚渫土砂の舞い戻りに因る浚渫効率の低下、さらには浚渫船のトラブル発生に因る浚渫稼働時間の減少等は、航路水深の確保を困難にしている。このため船舶は載荷調整をしながら輸送している状況である。
- 3) 本調査は、オリノコデルタ地域の主要派川であるリオグランデ水路、マカレオ水路、マナモ水路を対象に、将来の貨物輸送需要に対応する効率的な舟運システムを予測し、技術的、経済的に評価でき、かつ環境にも配慮した信頼性ある舟運航路の確保のための総合的な河川改修計画の策定を目的とする。

## 貨物量の予測

- 4) 調査対象地域の貨物流動は、内陸道路輸送で少量の一般流通貨物がベネズエラ北部港湾を通過するが、殆どの貨物は舟運でリオグランデ航路を通過し外洋に搬出される。その総通過量は約 2,005 万トン/年 (1997 年統計) で、最大貨物は約 900 万トン/年の鉄鉱石である。その他の主要貨物としては、直接還元鉄、鉄製品、ボーキサイト、アルミ地金、原油等のシウダッドガイアナ市に立地する約 10 社からの工業製品があり、これら主要貨物のみで総通過量の約 95% を占める。
- 5) 政府が進める輸出鉄鋼産業の育成や高付加価値産業の導入等により、鉄鉱二次製品等が増加し目標年 2020 年の高成長のケースで将来総貨物輸送需要は流入出あわせて 2,800 万トン/年に増大すると見込まれる。しかし、反面、過去 20 年間減少してきた鉄鉱石の輸出傾向はさらに継続し、2003 年以降のフェロミネラ社の鉄鉱石輸出货量は 400 万トン/年まで減少すると予測される。

舟運システム

- 6) オリノコデルタの舟運システムの決定に重要な役割を果たす鉄鉱石輸送を中心に、貨物輸送需要を見込んだ将来の舟運システムの予測を行った結果は下記の通りである。検討に考慮した事項は、デルタ内の舟運ルート、鉄鉱石輸出のための洋上に浮かぶ積替基地 (TV) の有無、あるいは新港建設の位置、輸送船舶の船型等である。

オリノコデルタにおける将来舟運システム (目標年次 2020 年)

輸送貨物	段階	舟運システム	
鉄鉱石	①段階 現在- 2003 年頃	リオグランデ水路を航路とし、現在の TV とシャトル船 2 隻は継続使用。	現状の輸送システムと同じ。
	②段階 2003- 2007 年頃	リオグランデ水路を航路とし、現在の TV は退役するが、2 隻のシャトル船を継続使用。	現在の積替システム (TV) を維持する場合には別の中古船を改造して TV とするか、あるいは現 TV を維持修理する必要がある。
	③段階 2007- 2013 年頃	リオグランデ水路を航路とし、現在の TV とシャトル船 1 隻が退役、残りの 1 隻を継続使用。	欧州への輸出には、パナマックス型で航行可能喫水まで積載し輸出先まで直接輸送する方法、あるいは追い積み満載にする方法がある。
	④段階 2013 年 以降	リオグランデ水路を航路とし、現在の TV とシャトル船 2 隻ともに退役。	航路水深を適正に維持し、パナマックス型船舶がプエルト・オルガス港で満載して輸出先へ直接運航することが望ましい。留意すべきことは、パナマックス型船舶の使用は適切な輸出先を選定することにより、競争力を保持できることである。
他の貨物 (鉄鉱石以外)	現在 - 2020 年	鉄鉱石以外の貨物輸送は現在の年間 1,100 万トに対して、2020 年に年間 2,400 万トと見込まれる。現在多く使用されているスモールハンディサイズの船型は、2020 年まで変化はしないと思われる。たとえ大型化するとしてもパナマックス型に荷役設備がないため、ハンディマックスより大きくなることはない。	

- 7) 政府が推し進める分権化および民営化政策に沿って CVG 所有企業を民営民営化する過程で、各々の企業に専用埠頭を所有させたため、港湾管理者として総合的に責務を果たす管理組織がプエルト・オルガス地域には不在である。国家の発展戦略を取り込み、持続可能な経済発展を推進するためには、貨物輸送需要に対応する港湾計画、開発調整、維持管理、運営、利用促進等の幅広い活動機能を担う港湾管理組織の設立が必要である。
- 8) ボカグランデ航路における船舶通行容量 (トリップ数) は、旧運輸省が 1991 年に実施したシミュレーション推算では年間 1,100 隻程度としている。しかし、年間 900 隻の現在でも船舶通行が集中する場合、待ち時間は約 6 時間にもおよんでいることに加えて、通行量は今後も増加する傾向にあり、2010 年に 1100 隻、また計画目標年の 2020 年には 1300 隻になる見込みである。従って、近い将来、航路容量の不足問題がますます顕著になることが予想される。さらに、河川洪水流の存在および一方向通行の運用をせざるを得ない狭隘航路を原因とする海難事故も現在のボカグランデ航路では発生している。このような状況のもとで航路通行容量の増大、および船舶通行の安全性の向上を目指すための船舶航行支援システム (VTMS) の導入、ならびに船団構成システムの開発調査の実施が望まれる。特に、VTMS への投資は長期的には海上保険料の軽減等で見合うので早期の導入を提言する。

- 9) マカレオ水路のバージ輸送環境を、鉄鉱石輸出量が将来 400 万ト/年になる状況のもとで検討整理した。積替施設としては、現在プンタペスカドーレス沖に係留している TV 施設を継続使用するか、マカレオ河口部に新港を建設するかの 2 案である。検討の結果、鉄鉱石のみをマカレオ水路を通してバージ輸送する案は、経済分析ではその妥当性は検証されず、実施する正当性は無いものと判断する。従って、鉄鉱石の輸送という観点にのみならず、オリノコ・アプレ軸地域開発の進展、熟度に応じて将来再検討することを提言する。

### 河川改修計画

- 10) 河川改修計画の検討対象水路は、貨物需要予測、河道の航路特性、改修・維持費用等の上記検討の総合的評価に基づき、オリノコデルタの主要 3 水路中もっとも効率的な舟運航路として位置付けられた延長 339km のリオグランデ水路とする。改修計画は、①構造的対策、②非構造的対策、ならびに現在実施している③浚渫事業の改良対策の 3 つの柱から構成することとした。

#### 河川改修計画

対象水路	リオグランデ水路 (総延長 339km)		
現状の問題点	莫大な維持浚渫量と困難な航路水深の維持		
改修基本方針	①構造的対策	②非構造的対策	③浚渫改良
	水路改修		航路維持管理
	- 河川構造物設置による維持浚渫量の低減	- 河川構造物によらない維持浚渫量の低減	- 航路水深の確保
	- 川幅を狭めて流量を航路に集中させる河川構造物の建設 - 派川の締切構造物の建設	- 深淺測量の実施による航路線形の定期的な見直し	- 稼働時間の増加 - 航路床の不陸差の最小化 - 航路内への浚渫土の舞い戻りの解消

- 11) [① 構造的対策]: リオグランデ水路の「河床高の縦断変化は河道幅・流量に対応する掃流力の増減に規定される」という河道特性を構造的対策の基本とする。この掃流力の増加策に着目した改修対策案は、a)分岐水路を締め切り、局所的な「点对応」で本川航路の流量を増加させて掃流力を増大する案、および b)河川沿いに水制工、導流堤等を建設し、連続的な「線対応」によって川幅を狭めて掃流力を増大させる 2 案が考えられる。しかし「線対応案」はリオグランデ水路のような大規模河川で、かつ浚渫区間も長く対策施設規模が膨大になる場合には、経済的な妥当性はなく非現実的である。従って、適用可能な対策案としては「点对応」に絞られる。

#### 構造的対策案の適用性

対策案		適用性
a) 点对応	派川・派流の締切	航路に流量を効率的に集中させて水深を増加させる案。リオグランデ水路において技術的に適用可能。
b) 線対応	水制工の設置	浚渫区間延長が長く、緩流河川であるリオグランデ水路では不経済、かつ非現実的である。
	導流堤の設置	浚渫区間延長が長いリオグランデ水路では不経済、かつ非現実的である。

- 12) **【構造的対策の代替案】**：この視点からリオグランデ航路全 7 箇所の維持浚渫区間に対して対策案を検討した結果、唯一グアルグアポー・バラカスー・ジャジャ区間だけが「点対応」の構造的対策を適用する可能性のある区間と技術的に判断された。オリノコ本川の約 40%の流量が流れるトルトラ水路を長さ 2.2km の締切堤で締め切り、本川航路のピーク流量を増加させて、年間 380 万 m<sup>3</sup> の維持浚渫を解消させる案である。本調査では環境影響への軽減策として、締切堤の上下流に水流を確保するために、越流タイプの締切堤も代替案に盛り込んだ。事業費は、完全締切堤防案、および越流堤案それぞれ約 101 百万ドル、129 百万ドルと積算された。

技術的に可能な対策案

水路名	浚渫区間名	浚渫区間延長 km (年間浚渫量 百万 m <sup>3</sup> )	点対応策の適用妥当性(M/P 検討結果)	具体的な検討案 (F/S 対象)
リオグランデ水路	(1) サソフェリックス	8 (1.61)	×	—
	(2) アラマ	4 (1.04)	×	—
	(3) グアルグアポー・バラカスー・ジャジャ	19 (3.82)	○	トルトラ水路の締切による航路流量増大案
	(4) アラグアイト	1 (0.10)	×	—
	(5) サカハナーグアソ	16 (1.51)	×	—
	(6) クアポ	2 (0.40)	×	—
	(7) ポカグランデ	78 (10.00)	×	—
計		128(18.48)	—	—

- 13) **【構造的対策案の環境への影響】**：トルトラ水路が締め切られた場合、水路のほぼ全川にわたり水流が停滞し、長期的には越流堤案でも土砂堆積により水路は閉塞されることが予想される。トルトラ水路周辺の当該水路に依存する地域住民に大きな影響を与えることになり、住民移転等が必要になる可能性が高い。
- 14) **【② 非構造的対策】**：「INC による深淺測量の実施によって航路情報を更新し、維持浚渫量低減の視点から舟運航路線形の定期的な見直し」を提案した。リオグランデ水路で現在浚渫が実施されている区間は、河岸変動の視点からは比較的安定しているが、その河床高は流況によって変化している。従って、現在 INC が浚渫前後に実施している航路部を対象とする深淺測量のみならず、対象区間の全水域に対する定期的な深淺測量を実施して、滞筋の位置・深さ等の動向特性を把握し航路法線を見直すことは、維持浚渫量の低減と船舶の安全な航行の観点から重要である。

上記表の<③浚渫改良>に関わる事項については以下に述べる。

浚渫改良計画

- 15) 現在リオグランデ航路で水深維持のために稼働中の浚渫船は、INC 所有のリオオリノコ号、グアヤナ号、および中国港湾局との請負契約に基づくハンジュン号の計 3 隻で、これらは全てトレイリングサクシオン型の浚渫船で、土砂投棄の方法はグアヤナ号がホッパー型で他はサイドキャスト型となっている。

16) 浚渫効率向上の視点からの主なる技術的改良策は以下の通りである。

- (a) **[航跡記録装置の導入]**: トレイリングサクションによる浚渫面は極端に不陸が発生しやすい。不陸差の最小化を計り浚渫効率向上を計る改善策としては、浚渫作業記録を深淺測量図上に示す航跡記録保存装置を導入し、掘り残し個所の位置と深さを正確に追跡できるようにする必要がある。既に INC は GPS 衛星からデータを受信し浚渫船に位置補正情報を知らせる中継基地を設置している。これに追加して深淺図上に浚渫航跡を表示し記録する装置、ならびにジャイロの方位と連携しドラグヘッドの位置・深度を表示し記録する装置等を導入すれば、航跡記録装置は完成できる。費用は INC 所有の 2 隻分で約 19 万ドルと見積もられる。
- (b) **[バージ捨土方式への切替]**: サイドキャスト排砂形式の場合には航路幅に比べてアーム長が短いために、排出土砂の航路への舞い戻りが発生している。特に外航路ボカグランデの舞い戻り率は非常に高い。この舞い戻り解消のために、サイドキャスト方式の代わりにバージ捨土方式への切替検討を提案する。3,500 m<sup>3</sup> 容量のバージ 1 隻と 4,000 馬力のプッシャーボート 1 隻から構成される船団を 2 セット導入し、浚渫船リオオリノコ号と組み合わせて使用する案で、総コストは約 22 百万ドルである。
- (c) **[浚渫稼働時間の改善]**: 浚渫船の稼働記録によると、リオオリノコ号とグアヤナ号の年間稼働時間の合計は 3,000 時間にも満たず、先代のイコア号一隻の年間稼働時間約 6,000 時間の半分以下である。このため、実績浚渫量は計画量を満たせず、必要な航路水深の確保が困難になっている。稼働時間が短い理由には各種の要因が複雑に絡んでおり、問題解決のためには、浚渫の実施体制の見直し、浚渫船団構成の検討に係わる本格的で、かつ総合的な調査を実施することが必要である。
- 17) **[フラッフ調査]**: ボカ・グランデにおけるフラッフの浚渫方法等を効果的に検討するためには、その物理特性の把握が不可欠である。しかし、現場で試料採取し分析した調査は過去実施されておらず、現在のところ入手可能な特性資料としては音響測深機による深淺記録に限られている。従って、室内試験を実施するために必要なフラッフ試料を航路現場から採取し、自然含水比、単位体積重量、粒度分布、粘着力等の物理特性を把握すべきである。特に、深度と圧密経過時間、並びに密度等の関係を圧密試験の結果から把握し、攪拌工法の適切な実施頻度等を含む浚渫手法の確立をする。さらに捨土工法、混合工法等を比較検討し、最適な浚渫工法を模索する必要がある。
- 18) **[維持浚渫組織の検討]**: 航路浚渫を効率的に進めるために、オリノコ舟運航路の組織改革を検討する特別委員会を 2～3 年以内に設立することを提言する。INC による計画、管理、運営のもとで、民間企業等の他組織への浚渫業務の委譲についても政府の分権化政策に沿って検討する必要がある。この場合、INC の役割は、計画と調整に集中し、浚渫事業の実施は第 3 者に委ねる事になる。

#### 経済分析

- 19) **[構造的対策事業]**: 現在の維持浚渫方式との比較から経済評価を実施した結果、唯一の構造対策案であるグアルグアポーバランカスージャジャ区間の完全締切堤案と越流堤案の代替案双方ともに投資費用に対し得られる便益が小さく、経済的妥当性は無いと判断される。当然財務的にも困難な事業と判断されるので、事業実施は見合わせるべきである。

構造的対策事業の経済分析結果

	完全締切堤案	越流堤案
費用便益比率 (B/C)	0.95	0.74
内部収益率(EIRR)	—	—
経済的妥当性	無し (×)	無し (×)

- 20) [浚渫改良事業]： GPS 増設（航跡記録装置の追加設置）案のみ実施する場合と GPS 増設とバージ船の導入をあわせて実施する場合について評価を行なった結果、下表に示すように両案とも経済的に妥当性があると判断される。浚渫改良の実施によって船舶輸送効率向上の便益に加えて、現況で約 25%と言われる低い浚渫効率がバージ捨土方式の導入により大幅に向上することが見込まれ、その結果、INC の財務収支の改善に寄与する事が期待できる。

浚渫改良事業の経済分析結果

	GPS 増設案 (航跡記録装置)	GPS 増設案 + バージ船導入案
費用便益比率 (B/C)	43.76	4.36
内部収益率(EIRR)	493 %	53 %
経済的妥当性	有り (○)	有り (○)

## 結論

将来のオリノコ川舟運航路の維持管理を効果的にするために実施した河川総合改修計画調査の結論は、以下の通りである。

- 21) [舟運ルートと船舶サイズ]： リオグランデ水路は、オリノコデルタ流域の水路の中で最も大型船の舟運航路に適した水路として推奨される。舟運水路規模としては、現在のみならず将来の貨物需要に対応するべくパナマックス型船舶（65,000DWT）クラスが通行可能な水深・幅を確保する必要がある。
- 22) [河川改修]： 締切堤による構造的対策は、維持浚渫量を減少させる手法として二次元水理解析の結果から技術的には可能と評価されたが、建設費が割高であるために経済的な妥当性がなく、かつ財務的にも困難な事業と判断される。加えて、環境上も派川締切による水流の激み、土砂堆積等の発生によって、地域の動植物生態系や漁業生産活動、域内舟運交通等の自然・社会環境に与える悪影響が多大であると予測される。さらに、河川の改修によって便益は期待できるものの、大規模改修によって発生が予想される河川形態や河道変動等の「最新水理解析ツールを用いても解析が困難な長期的リスク」が残存する対策となる。以上からリオグランデ航路の水深を増加させる構造的対策は、妥当性がないと判断される。

[水理解析シミュレーション]： 本改修計画調査では、対象河川区域が広大で、かつ分派・合流を繰り返す水路網の複雑さ等を勘案して2段階の水理シミュレーション解析手法を採用している。第1段階解析では、1次元水理解析手法を用いて対象地域全体の水路網を再現すると共に、改修計画の基本的着眼点となる河道変動特性を明らかにし、マクロ的な視点から流路変更等の実現性のある改修計画検討を行っている。第2段階解析では、構造対策案による水理効果を詳細に評価するために、2次流を考慮した2次元水理解析を用いて航路の河床低下の効果のみならず、河岸部の侵食、複雑な湾曲部河床の滞筋変動等に着目し検討を進めた。この二段階水理解析手法は、今後予定されている同種の分派・合流を繰り返す複雑な水路網に対する河川計画調査の実施へ参考になるものと評価される。

23) [浚渫改良]： 維持浚渫手法は、技術、経済、財政、環境等の総合的な視点から効率的な航路確保のための唯一現実的な維持管理工法であると判断される。この浚渫手法のより効率的な実施のために、その現状を当該調査 S/W の枠内で分析検討した結果、下記の改良策が技術的にかつ経済的にも可能案として評価された。

- ・河床面の不陸を正確に把握し、的確かつ効率的な浚渫業務の実施が可能となるように、既設 GPS システムへの「航跡記録装置ならびに土砂吸入口の位置制御管理装置」等の補強設備の追加導入
- ・浚渫排出土砂の航路への舞戻を最小化するためのバージシステムの導入
- ・適切な雇用システムおよび機器部品の管理システムの改善、ならびに浚渫船そのものの維持管理手法の改良等による浚渫船の不稼働時間の低減

## 提言

上記調査の結果を受け、維持浚渫を将来にわたり継続し、安全で効率的かつ信頼性あるオリノコ川舟運航路を確保するために、MARN-PROA は関連実施組織と協力して以下の提言事項の実施促進を早急に図る必要がある。

- 24) [総合的な浚渫調査]： 維持浚渫の効率化に向けて、ソフト対策（浚渫の実施体制等）、ハード対策（浚渫船団構成等）に係わる本格的で、かつ総合的な調査の実施。
- 25) [フラップ特性調査]： ボカグランデ外航路における適切な浚渫作業手法の確立を目的とした総合的なフラップの物理特性調査の実施。
- 26) [組織検討委員会の設立]： 現在の組織制度上の不足点を補い、INC の計画、管理、監督の基に実施する維持浚渫業務の民間委託等の検討をする委員会の設立。またオリノコ川流域開発を促進するために、将来の輸送貨物量、ならびに船舶交通量に対応できるよう、プエルトオルダス港を総合的に管理する港湾管理組織を設立し、航路・港湾をそれぞれ一元的に管理する航路・港湾管理組織の協調体制作りの確立。
- 27) [船舶航行支援システムの導入]： 航路幅が狭く常時一方向通行の運用をせざるを得ないリオグランデ航路の安全で効率的な航行の確保、ならびに将来の通行量増大への対処するために、航路内全ての船舶の位置を常時把握して、その動向を調整管理する船舶航行支援システム（VTMS）の導入。
- 28) [航行ルートの定期的な見直し設定]： 非構造的対策として INC による定期的深浅測量に基づき、維持浚渫量の低減を目的とする航行ルートの水溜筋への見直し設定。