

社会開発調査部報告書

No. 2

ブラジル連邦共和国

リオデジャネイロ州

グアナバラ湾水質汚濁防止計画調査

要 約

平成 6 年 3 月

国際航業株式会社

社調二

JR

94-034

JICA LIBRARY



1119846(2)

国際協力事業団

ブラジル連邦共和国

リオデジャネイロ州

グアナバラ湾水質汚濁防止計画調査

要 約

平成 6 年 3 月

国際航業株式会社

国際協力事業団

27741

序 文

日本国政府はブラジル連邦共和国政府の要請に基づき、同国のグアナバラ湾水質汚濁防止計画調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は平成4年3月から平成6年1月までの間、5回にわたり、国際航業株式会社の杉山 明氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、リオデジャネイロ州政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対して、心より感謝申し上げます。

平成6年3月

国際協力事業団
総 裁 柳 谷 謙 介

伝達状

平成6年3月

国際協力事業団
総裁 柳谷 謙介 殿

ブラジル連邦共和国グアナバラ湾水質汚濁防止計画調査の最終報告書を提出いたします。本報告書は平成4年3月6日および10月2日、平成5年3月12日および11月1日に国際協力事業団と国際航業株式会社との間で締結された契約に従って作成されました。

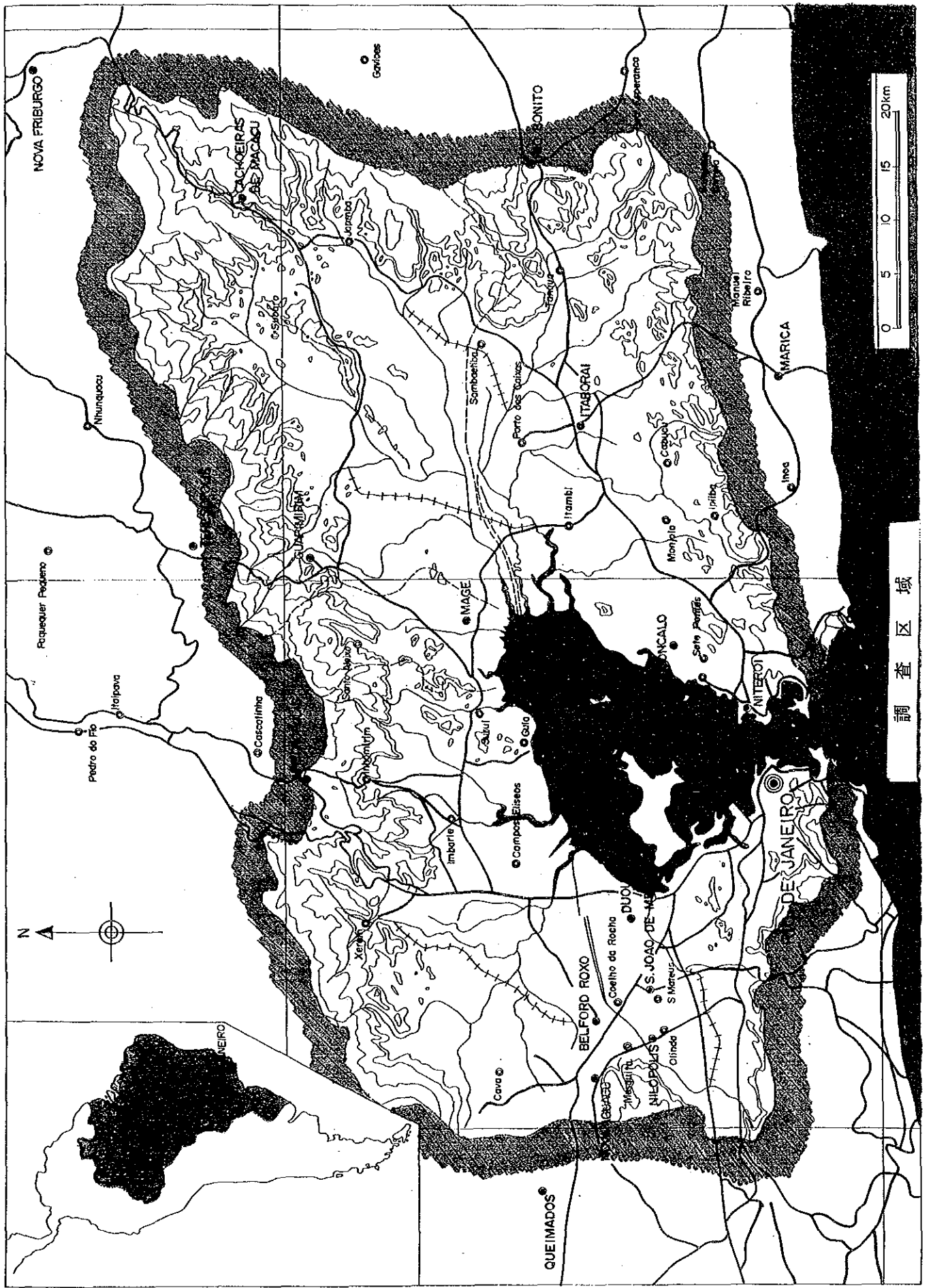
本報告書には、グアナバラ湾および流域の環境の現状に関する調査結果と、同湾の水質改善および生態系回復を目的として策定されたマスタープランが記載されています。

環境の現状に関しては、本報告書に付した「グアナバラ湾及び流域環境情報図」にまとめられています。また、本報告書で提案されているマスタープランには、目標年、目標水質、目標削減負荷量、適用可能な対策の効果とコスト、目標年までに目標水質を達成するための最適な対策組合せが含まれています。

調査団は、提案されたマスタープランの実施がグアナバラ湾及び周辺の住民および水生生物にとって大切な環境の改善に大いに寄与するものと期待しています。

本報告書の提出にあたり、全調査期間にわたり多大なご支援を賜った貴事業団、作業監理委員会、外務省、環境庁、建設省、運輸省、神戸市、海外経済協力基金、在ブラジル日本大使館ならびにブラジル連邦政府及びリオデジャネイロ州政府の関係各位に対し心から感謝の意を表すものであります。

グアナバラ湾水質汚濁防止計画調査
調査団長 杉山 明



調査区域

＜ 計 画 概 要 ＞

本調査の最終成果であるグアナバラ湾水質汚濁防止計画マスタープランの概要を以下に記す。

1. マスタープランの対象地域（本文中の図3-1参照）

グアナバラ湾（面積約400km²、うち約50km²は島礁）及びその流域（面積約4,000km²）（12の行政単位（地方自治体）が含まれる）

2. 流域及び水域区分（本文中の図8-1参照）

東部流域 : Sub-basin No. 1～ 6
 北東部流域: Sub-basin No. 7～14
 北西部流域: Sub-basin No.15～18
 西部流域 : Sub-basin No.19～24
 島礁部流域: Sub-basin No.25～29
 水域 : A～I

3. 対策優先地域（本文中の図16.3-1参照）

Classification	Definition	Sub-basin No.
Influential Sub-basins	現況の流出負荷量が多い流域	4, 5, 6, 8, 17-1 17-5, 17-6, 19-1 19-2, 20, 21, 23
Potentially Critical Sub-basins	最近の人口増加・土地利用変化等から見て今後流出負荷量が増加する可能性の高い流域	9-2, 9-3, 10-2, 10-5, 16-2, 16-3
Important Beach and Water Areas	水質が改善された場合に得られる社会的・経済的及び生物資源的な便益が大きい水域	A, D, F, H

4. 目標年次

短期計画目標年次：2000年

中期計画目標年次：2010年

長期計画目標年次：とくに定めない

5. 目標水質

グアナバラ湾の水域をその用途によりA～Dの4つに類型化し、類型ごとに短期及び中期の目標水質を設定した。

グアナバラ湾の水域類型 : 本文中の表16.5-1参照
短期計画の水域区分 : 本文中の図16.5-1参照
中期計画の水域区分 : 本文中の図16.5-1参照
短期及び中期計画目標水質: 本文中の表16.5-2参照
長期計画目標水質 : 1960年代前半より以前のレベル

6. 目標削減負荷量

現時点ですべての水域が中期計画の目標水質(BOD)を達成するためには、北西部・西部・東部の各流域で流出負荷量の40%前後を削減しなければならない。したがって、将来削減しなければならない負荷量は、この値に今後の人口・生産活動の増加に伴う流出負荷量の増加分を加えた値となる。また、湾のBOD濃度に対する内部生産の寄与率は60%にも達するので、有機汚濁を改善するためには栄養塩類の削減が不可欠である。

7. 適用可能な対策

グアナバラ湾の水質改善対策としては、1994年に開始されるIDB/OECFの融資による下水道と下水処理場の整備事業があり、そのStage 1(目標年:2000年)が完了すると、新設の6つの下水処理場で約280万人分の下水が1次処理される。そこで、本調査では、このIDB/OECF ProgramのStage 1は実現されるという前提で優先地域の対策を検討した。

Influential Sub-basinに適した対策(本文中の表16.7-1参照)

(1) 生活系排水処理

活性汚泥処理、安定化池(広い用地の確保が可能な流域)、ファベールの
汚水処理(ファベール人口の多い流域)、湾外放流(湾口に近い流域)

(2) 産業系排水処理

モニタリングの強化、共同処理施設の設置（業種の同じ工場が集中している流域）

(3) 面源負荷の削減

森林保全、土地利用規制、ゴミ収集率の向上

(4) 出水時河川負荷の削減

滞水池・スワール分水槽の設置、堆積汚泥のしゅんせつ

Important Beach and Water Areaに適した対策

(1) 汚染底泥のしゅんせつ

(2) 流況改善（水路の拡幅）

(3) 背後流域からの流出負荷削減（Influential Sub-basinで提案したものと同様）

Potentially Critical Sub-basinに適した対策

(1) 下水処理場の設置（安定化池・酸化溝方式による分散処理）

(2) 土地利用規制

8. 対策の最適な組合せ

適用可能な対策の中から、水質改善効果の定量評価が可能な対策のみを組み合わせ、どの程度目標流出負荷量に近づくことができるかを、BODを指標として計算した。そして、これらの組合せの栄養塩類削減効果とコストも考慮して、各流域に最適と判断される対策の組合せを以下のように選定した（本文中の図16.9-1参照）

① 東部流域（Sub-basin No. 1～6）

1次処理下水処理場（IDB/OECF Program、Stage 1） + 3次処理^{*}

概算事業費：US\$ 65 millions + 55 millions

なお、この対策のみでは目標流出負荷量を5～10ton/dayオーバーするので、産業系負荷の削減（排水規制の強化、水産加工場の共同処理施設の設置等）を併せて実施する必要がある。

* 3次処理は維持管理に高度な技術を必要とするので、適用する場合には十分な実証実験を行うべきである。

② 北東部流域（Sub-basin No. 7～14）

安定化池（北西部流域サラブイ地区と同規模のもの）の設置

概算事業費：US\$ 235 millions

なお、この流域では今後開発が急速に進む可能性が強いので、厳しい土地利用規制を適用する必要がある。

③北西部流域 (Sub-basin No.15~18)

1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program, Stage 1) + 安定化池 (イグアス地区 + サラ
ブイ地区)

概算事業費: US\$ 80 + 490 millions

この他、都市化が進行している地区に対する厳しい土地利用規制、排出負荷量の多い
石油化学系工場を対象にした共同排水処理施設の整備を行うべきである。

④西部流域 (Sub-basin No.19~24)

1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program, Stage 1) + 湾外放流 (アレグリア地区)

概算事業費: US\$ 115 + 140 millions

この他、面源発生負荷量の削減に効果のあるファベラにおける汚水・ゴミ収集シス
テムの改善を実施すべきである。また、湾外放流システムの採用に当たっては、重金
属・有害物質を含む産業排水はシステムから除外すること、外洋及び沿岸に対する環
境影響を事前に評価することが不可欠である。

⑤島礁部流域 (Sub-basin No.25~29)

3次処理 (ゴベルナドール島)*

概算事業費: US\$ 25 millions

* 3次処理は維持管理に高度な技術を必要とするので、適用する場合には十分な
実証実験を行うべきである。

⑥水域 (A~I)

ゴベルナドール島及びフンドン島の西側水路の拡幅・増深*

* この効果は汚濁シミュレーションにより予測されたが、拡幅・増深の規模は仮定的
なもので、確定されてはいない。したがって、概算事業費は算出していない。

9. 今後の課題

マスタープランを実施するためには、これと整合性のあるグアナバラ湾流域の総合開発
計画の策定、流域管理委員会の設置などいくつかの課題を解決する必要がある。また、
具体的な計画の立案または手法の開発が急がれる対策については、それらの実行可能性
調査をできるだけ早く実施する必要がある。

目 次

序 文

伝達状

計画概要

1 . 序論	1
2 . 流域の自然条件	8
3 . 流域の社会経済条件	8
4 . 湾の海象条件	12
5 . 湾の水質・底質の汚染	15
6 . 湾内の水生生物	17
7 . 環境の歴史の変遷と湾の利用状況	17
8 . 流域内の汚濁源と排出負荷量	19
9 . 流域からの流出負荷量	22
10 . 湾の水質予測のための数値シミュレーションモデル	22
11 . シミュレーションモデルの検証	22
12 . 流域の将来の社会経済フレーム	24
13 . 対策を実施しない場合の湾の将来水質	24
14 . ソフトウェアタイプの対策の現状と問題点	24
15 . ハードウェアタイプの対策のレビューと評価	26
16 . マスタープラン	27
16.1 グアナバラ湾の環境変化の社会経済的な背景	27
16.2 グアナバラ湾の生態系回復がもたらす便益	27
16.3 対策優先地域の選定	27
16.4 目標年次	31
16.5 目標水質	31
16.6 目標削減負荷量	31
16.7 適用可能な対策の選定とその効果	34
16.8 流入負荷量削減対策の費用	41
16.9 対策の最適な組合せ	42
17 . マスタープランの実施に当たって留意すべき事項	46
18 . 実行可能性調査の実施が望ましいプロジェクト	46
<付録> グアナバラ湾及び流域環境情報図の説明	47

1. 序 論

1.1 調査の背景

ブラジル連邦共和国リオデジャネイロ州の州都リオデジャネイロ市の前面に位置するグアナバラ湾は、平穏な水面・白砂の海岸・緑濃いマングローブ林を抱く世界的な景勝地であり、同時に漁業・海上交通・レクリエーション等の場として多面的に利用されてきた。

しかし、近年は湾岸地域への人口・生産活動の集積が著しく、それに伴って増加した生活排水・産業排水・ゴミが同湾の水質汚濁を急速に進行させ、水域の利用に様々な障害が発生しているほか、漁獲高の減少やマングローブ林の衰退も引き起こしている。

このため、ブラジル連邦政府は同湾を緊急に再生する必要があると考え、1991年7月に総合的な水質汚濁防止計画の策定に対する協力を日本政府に要請した。「グアナバラ湾水質汚濁防止計画調査」（以下、本調査と呼ぶ）はこのような背景のもとに1992年3月から日本・ブラジルの協同調査という形で本格的に開始され、1994年3月に終了した。

1.2 調査の目的

本調査は、①グアナバラ湾及び同湾に流入する河川流域における水質汚濁の現状及び汚濁メカニズムを把握し、グアナバラ湾生態系回復のための総合的な水質汚濁防止計画を策定すること、②調査の過程を通じてブラジル側研究者への技術移転を行うことを目的として実施された。

1.3 調査対象地域

調査地域はグアナバラ湾とその流域で、湾の面積は約400km²（このうち約50km²は島礁）、流域の面積は約4,000km²である。

1.4 調査の概要

本調査の最終目標であるグアナバラ湾水質汚濁防止計画マスタープランを策定するために

は、①目標年及び目標水質の設定、②対策優先区域の選定、③流域ごとの目標削減負荷量（目標流出負荷量）の算出、④適用可能な対策の選定と評価、⑤主要な対策のコストの算出、⑥水質改善がもたらす社会経済的便益の評価等を行う必要がある。

このため、本調査では、(1)グアナバラ湾の汚濁機構の解明、(2)汚濁の背景となっている社会経済条件の解明、(3)水質改善技術の検討という3つの大きな目的を設定し、図 1-1に示すような項目及び手順で作業を進めた。

1.5 調査の実施体制

日本側は国際協力事業団（JICA）が調査の推進母体となり、国際航業（株）の技術者12名から成る調査団が、作業監理委員会の助言を受けながら調査を実施した。日本側の作業監理委員会及び調査団の構成メンバーは表 1-1、1-2に示すとおりである。

いっぽう、ブラジル連邦側はリオデジャネイロ州環境特別プロジェクト局（SEMAMPE）が調査の推進母体となり、SEMAMPE次長を委員長とする実施計画委員会及び運営委員会、リオデジャネイロ州環境工学財団（FEEMA）総裁を委員長とする技術委員会が組織された。これらブラジル側委員会の構成メンバーは表 1-3、1-4、1-5に示すとおりである。

1.6 調査工程

本調査の作業工程は3つのフェーズに区分され、各フェーズでは以下に示すような作業が実施された。

（1）第1フェーズ：1992年3月～1992年9月

- ①国内準備作業
- ②第1次現地調査（乾季調査）
- ③第1次現地調査結果の解析と中間レポート(1)の作成

（2）第2フェーズ：1992年10月～1993年2月

- ①第2次現地調査（雨季調査）と中間レポート(2)の作成
- ②第1・2次現地調査結果の解析と最終レポート(1)の作成

(3) 第3フェーズ：1993年3月～1994年3月

- ①第3次現地調査（補足調査）とワークシート(3)の作成
- ②第1～3次現地調査結果の解析とインテリシート(2)の作成
- ③マスタープランの策定とドラフトファイルシート(1)の作成
- ④ファイルシート(1)の作成

1.7 報告書

報告書は要約、主報告書、付属報告書1,2、資料集の5分冊より構成されている。要約及び主報告書には巻末に縮尺1/100,000の「グァナバラ湾及び流域環境情報図」とその説明書が付されている。

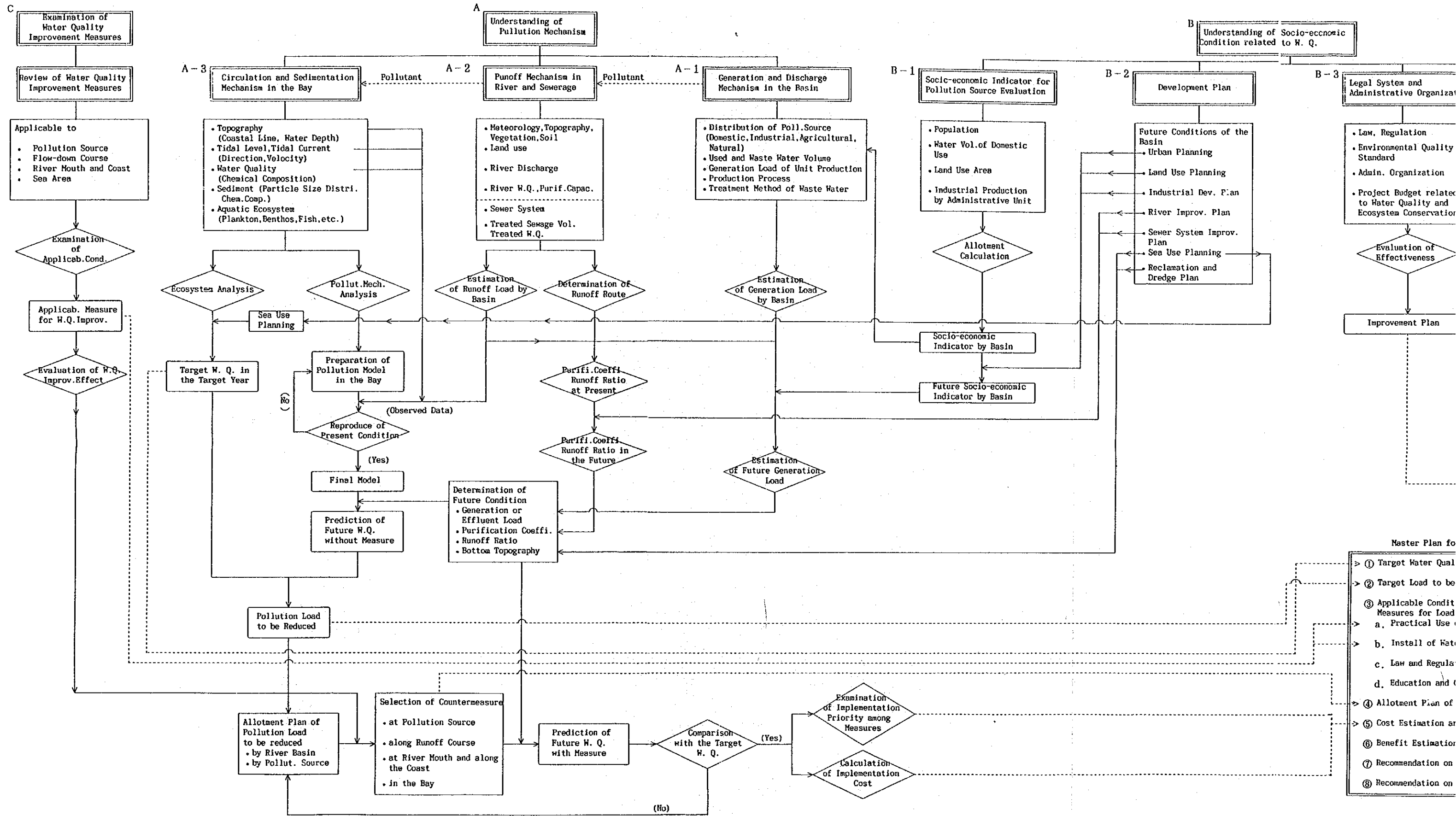


図 1-1 マスタープラン策定の手順

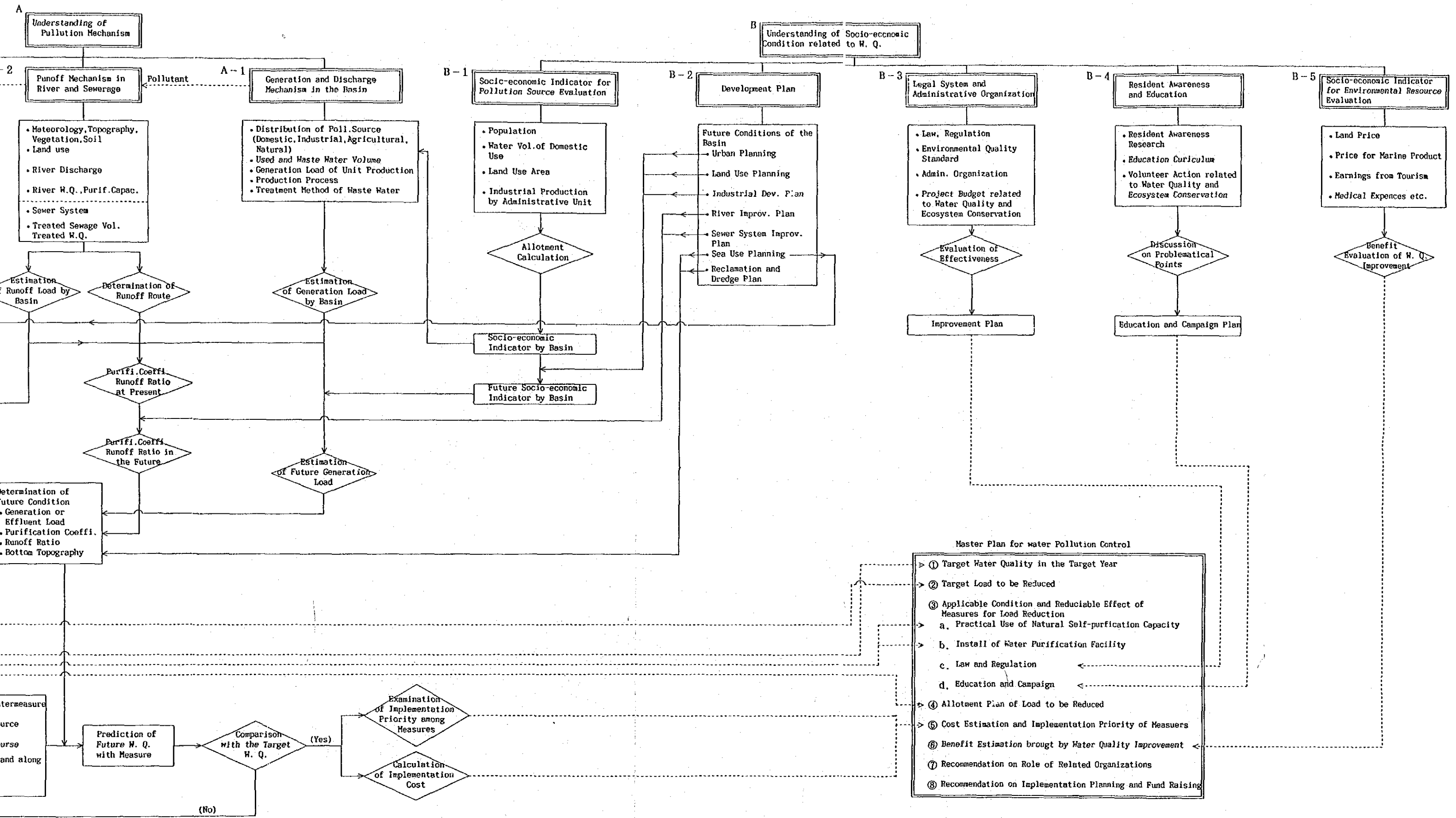


表 1-1 作業監理委員会メンバー

氏 名	所 属
今井千郎（委員長）	国際協力総合研修所
長谷川清	建設省土木研究所
岡積敏雄	建設省関東地方建設局
細川恭史	運輸省港湾技術研究所
中尾典隆	神戸市環境局
早川哲夫（1993年6月まで）	環境庁水質保全局
太田 進（1993年7月から）	環境庁水質保全局

表 1-2 JICA調査団メンバー

氏 名	担 当
杉山 明	総括
菊田武保	水質保全計画
梁田文雄	水文・水理・気象
百足彰子	水質・底質分析（1）
中根毅彦	水質・底質分析（2）
早川栄一	土地利用
河合英男	生態系
小原 克	地域開発・社会経済
Constantino A. Pessoa	水質汚濁発生源分析
田島正廣	汚濁流出解析
井下恭次	湾内汚濁解析
喜納政治	業務調整

表 1-3 実施計画検討委員会メンバー

NAME	POST / INSTITUTION
Manuel Sanches (until April, 1993)	President of GEDEG (Chairman), (SEMAMPE)
Roberto D'Avila (May to August, 1993)	President of GEDEG (Chairman), (SEMAMPE)
Geraldo Lessa (from September, 1993)	President of CODEG (Chairman), (SEMAMPE)
Rosangela Costa	Director of Administration (IEF)
Dora Negreiros	Special Assistant (FEEMA)
Amarilio P. de Souza	Sanitary Engineer (FEEMA)
Carolina Dubex	Sociologist (SECPLAN)
Helder G. Pinho da Costa	Engineer (FEEMA)
Leila Heizer Santos	Engineer (FEEMA)
Katia Leite Mansur	Geologist (DRM)
Marcia Marques Gomes	Biologist (UERJ)
Monica Cardoso Ferraz	Architect (SECPLAN)
Victor M. Barbosa Coelho	Engineer (FEEMA)
Mihai Constantin Cauli	Architect (SECPLAN)
Ronaldo F. de Oliveira	Biologist (FEEMA)

表 1-4 運営委員会メンバー

NAME	POST
(SEMAMPE/GEDEG/CODEG)	
Manuel Sanches (until April, 1993)	President of GEDEG (Chairman)
Roberto D'Avila (May to August, 1993)	President of GEDEG (Chairman)
Geraldo Lessa (from September, 1993)	President of CODEG (Chairman)
Helder G. Pinho da Costa	Advisor
Victor M. Barbosa Coelho	Engineer
Amarilio Pereira de Souza (FEEMA)	Consulting Engineer
Adir Ben Kauss	President
Eduardo R. Ferreira Neto	Director
Victoria Braille	President's Assistant
(SERLA)	
Carlos Carbonel	
(DEFESA CIVIL)	
Paulo G. dos Santos Filho	
(IEF)	
Axel Schimidt Grael	President
(CEDAE)	
Mauricio Abramant Guerbatin	President's Assistant
(GERSOL)	
Altamirando de Moraes	
(COMLURB)	
Sergio Augusto da C. Lobato	President's Assistant
(INPH)	
Alberto Homsí	
(DIH)	
Ana Claudia de Paula	
(CAPITANIA dos Portos)	
Luiz Gonzaga da Silva	

表 1-5 技術委員会メンバー

Name	Charge
(FEEMA) Adir Ben Kauss Rene Justen Eduardo Rodrigues Ferreira Neto Elizabeth Cristina da Rocha Lima Kikue Higashi Anselmo Frederico Neto Ilma Conde Perez Tania Muniz Maria Regina Fonseca Marcio Henrique Krause de Almeida Walter Yoshihiko Aibe Sergio Sahlit Elza Aparecida Baezzo Moreira	Chairman of Technical Sub-Committee Coordinator (until August, 1992) Coordinator (from Sept., 1992) Water Quality Conservation Plan Water and Sediment Quality Analysis Ecosystem Hydrology and Hydraulics Pollution Source Land Use and Socio-Economy Pollution Mechanism Pollution Runoff Mechanism Hydrodynamic Model Pollution Source Laws and Regulations
(INPH) Berenice Mota Vargas Theo Agostinho Masson Paulo Cesar Maiorano Marcos Dourado Luis Carlos Pucci	Hydrodynamic Model Current Measurement Current Measurement Current Measurement Current Measurement
(COPPE/UFRJ) Renato Parkinson Martins Isabel Marcia Gonsalves do N. Gurguel Lucia Vercosa Carvalheira	Hydrodynamic Model
(IEF) Axel Schmidt Grael	Land Use
(SERLA) Weber Figueiredo da Silva	River Survey

2. 流域の自然条件

流域の北縁には標高1,000~2,000mの山地が東西に伸び、南縁にも標高500~1,000mの山地が海岸線にほぼ平行して伸びている。

流域からは大小45の河川が湾へ流入している。北東部流域から湾奥に流入する河川（ガビミリン川、カセレブ川など）は流域面積が大きく、下流にはマングローブが繁る広い塩性湿地を有する。これに対して西部流域からリオデジャネイロ市を通過して湾へ流入する河川は、流域面積が小さく勾配が急で、しばしば洪水を発生する。

リオデジャネイロ市（南緯25度付近）の月平均気温は2月が最高で26.5℃、最も寒い7月でも21.3℃あり、グアナバラ湾流域は亜熱帯気候区に属する。平均年間降雨量はリオデジャネイロ市では1,177mmであるが、山地部では2,500mmを超える。

1991年に撮影されたランドサット画像の解析結果によると、市街地は流域面積の約20%、森林は約30%、草地（農地を含む）が約40%であるが、1984年に撮影された画像と比較すると最近の7年間で市街地は87km²増加し、森林は95km²減少している（図 2-1）。

市街地は湾の西側ではリオデジャネイロ市を中心にイグアス川、エストレラ川の流域にまで広がり、湾の東側ではニテロイ市を中心にサンゴンサロ、イタボライに広がっている。森林は標高200m以下の地域にはほとんど残っていない。

流域の山地上部には広く岩が露出し山麓には岩屑堆積物が分布しているところから、過去には大規模な浸食や土壌流出があったと考えられるが、ランドサット画像の解析や現地踏査の結果からは近年発生したと考えられるそれらの現象の痕跡を見いだすことはできなかった。

3. 流域の社会経済条件

流域には12の行政単位（地方自治体）が含まれているが、全域が流域内にあるのは7つで、残りの5つは一部が流域の外にはみ出している（図 3-1）。

1991年の国勢調査の結果（人口は地方自治体ごとに都市部と農村部に分けて集計されている）にもとずいて見積った流域内の人口は合計約7,594,000人で、その80%は西部地域（リ

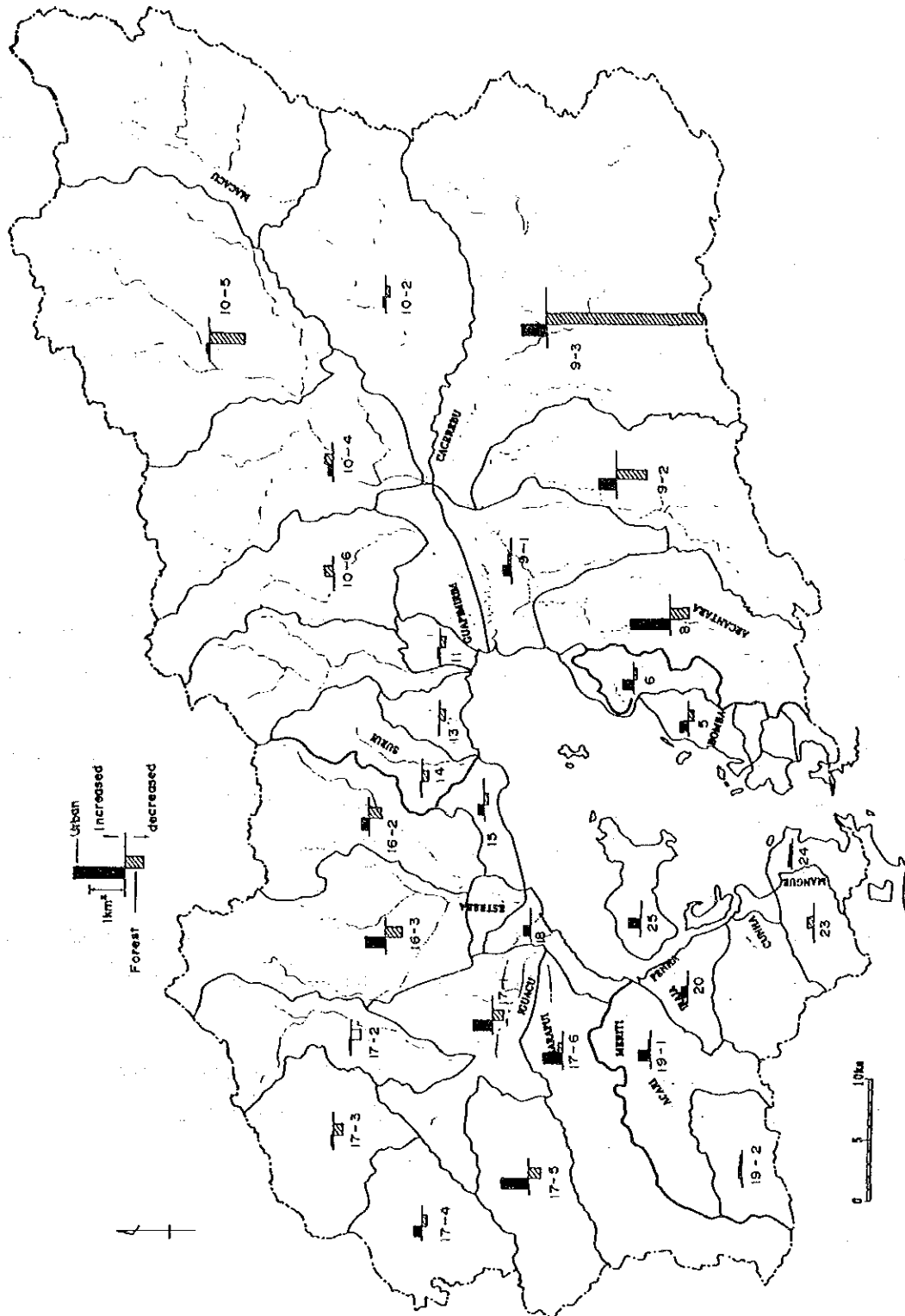


図 2-1 1984年と1991年間の市街地及び森林の面積変化

オデジャネイロ、サンジヨンドメリチ、ニロポリス、ノバイグアスの4市)に集中している(図 3-2)。

人口密度は地域差が大きく、リオデジャネイロ、ニテロイを含む7つの市が3,000人/km²以上となっているのに対して、マカクなど5つの市は500人/km²以下である。1980年代の流域全体の人口増加率は1970年代より低下しているが、イタボライ、リオボニト、カシヨエリョスデマカクなど人口密度の低い市では上昇を続けている。

リオデジャネイロ市がかかえる都市問題の重要な要素であるファベラ(不法占拠により形成された過密住宅地)の人口は、1991年で約800,000人で、この10年間に約40%増加したと発表されている。しかし、実際のファベラ人口はこれよりはるかに多いと言われている。ファベラはリオデジャネイロ市以外にも分布している。

流域内には農地は少なく、オレンジ・バナナ・キャッサバなどがそれほど農業や肥料をつかわずに生産されている。

グアナバラ湾はかつてはエビ・カニ・各種魚類の豊かな漁場であったが、現在は約5,000人の漁師が最大で6 ton/dayの魚類と1 ton/day程度の貝類を水揚げしているに過ぎない。

グアナバラ湾流域には約6,000の工場があり、その約90%は従業員が49人以下の中小企業である。主要な業種は化学・冶金・食品などで、どの業種でも流域内の生産額の90%以上はリオデジャネイロ市を中心とした西部地域で生産されている。

1991年の国勢調査結果で見ると、リオデジャネイロ、ニテロイ、ニロポリスを除く8つの自治体では生活排水処理施設の整備率が極めて低く、早急な対策が望まれる。

リオデジャネイロ州環境特別プロジェクト局(SEMAMPB)の予算は州の行政関係予算の約1.5%、リオデジャネイロ市都市環境局の予算は市予算の約0.5%である。

4. 湾の海象条件

グアナバラ湾は面積が約400km²、平均水深が5.7m、湾口の幅は最も狭い部分で1.6kmで、閉鎖性の強い浅い湾である。湾内には多数の島礁が分布するため海底地形は複雑であるが、湾口から北々東に水深の大きな凹地が伸び、これが後述するように湾内の海水交換や水質

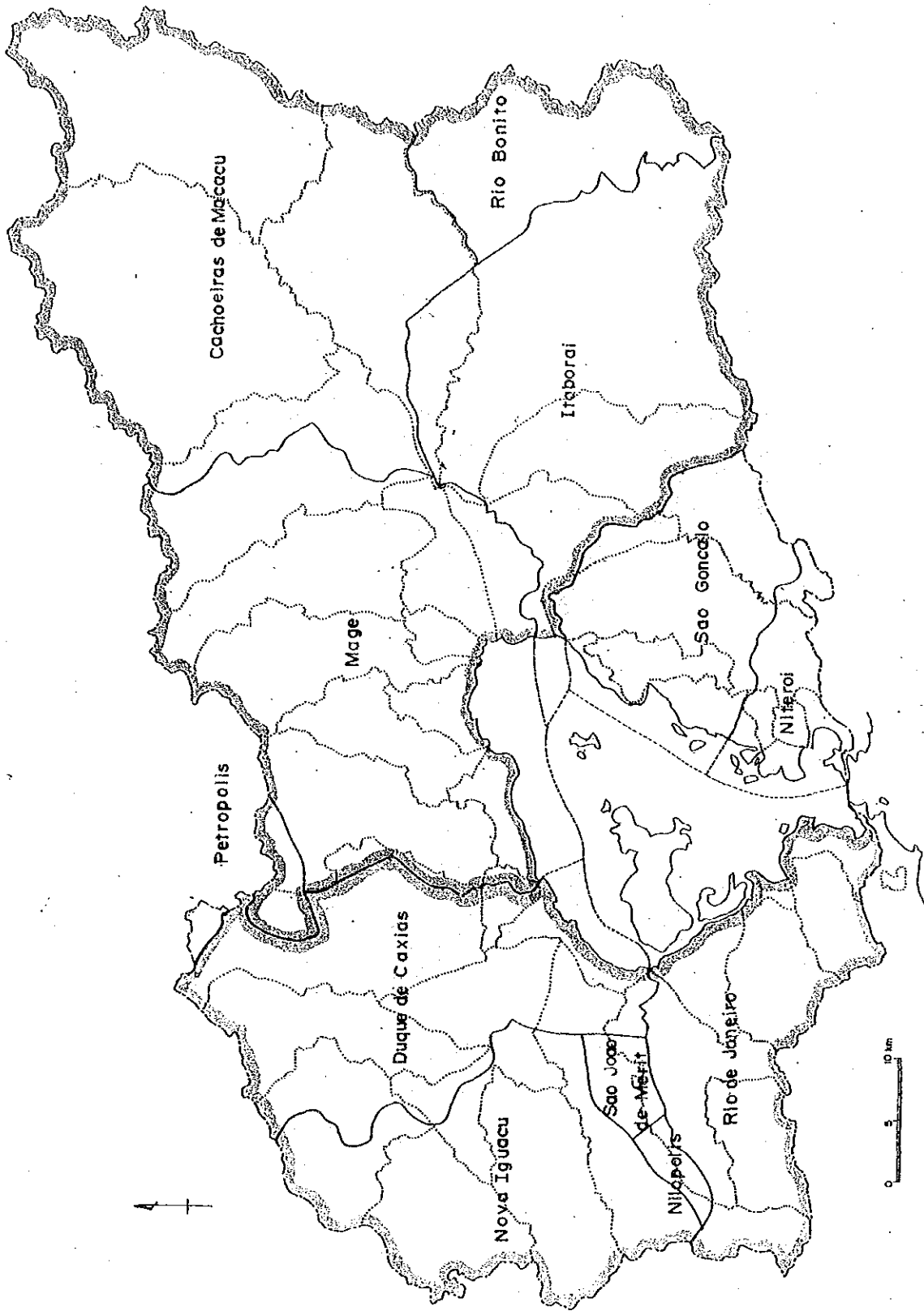


図 3-1 グアナバラ湾流域に属する地方自治体

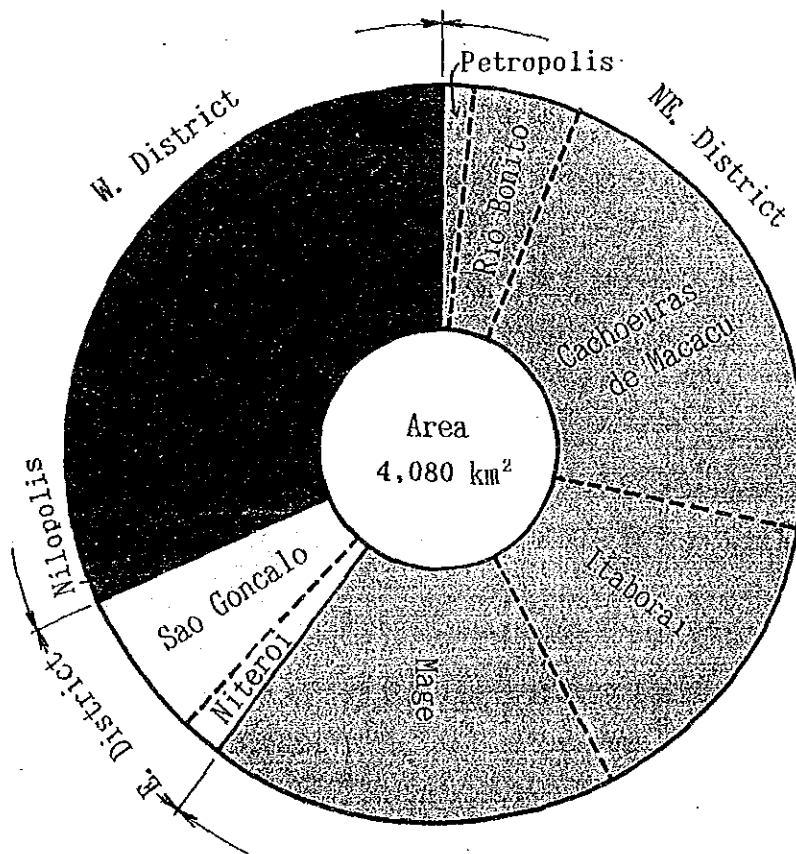
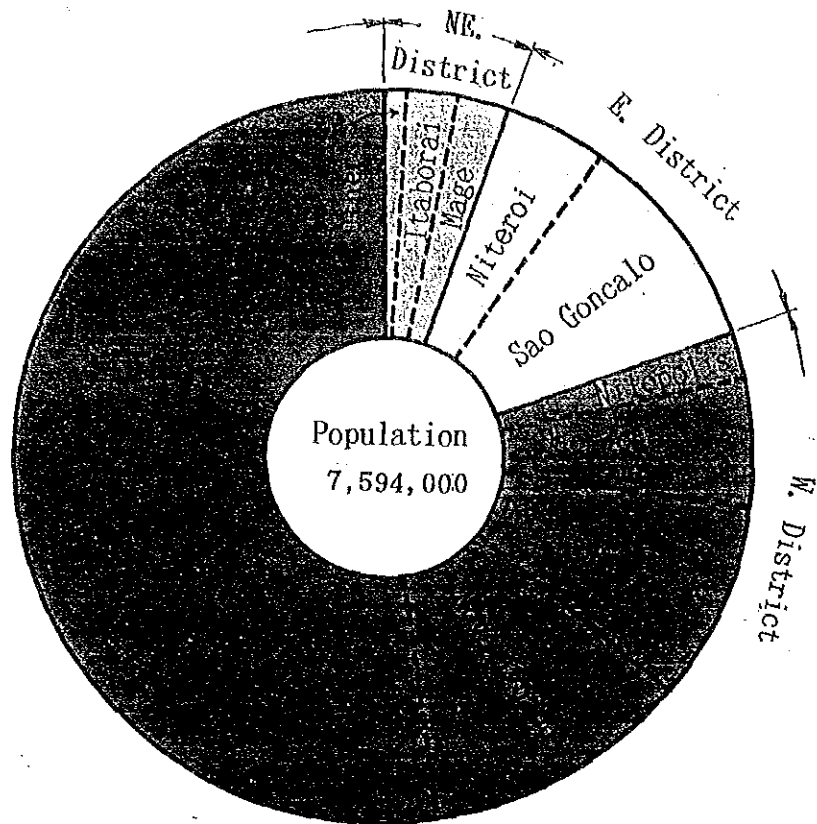


図 3-2 地方自治体の人口及び面積の比率

分布を強く規制している。

湾奥部の海底には主としてシルト以下の細粒堆積物が分布し、音波探査記録によるとそれが10m以上の厚さで堆積している区域もある。新旧海図の比較や Pb^{210} の濃度から求めた湾奥部の上部20~50cmの堆積速度は2~3cm/yearという大きな値になる。湾口部から北々東に伸びる水深の大きな凹地には主として砂が分布している。

大潮期におけるリオデジャネイロ港（フィスカル島）の潮位差は、最大1.46m、平均1.25mであるが、湾奥（パケタ島）は湾口（アルマソン）に比べて潮位差が10cm以上大きい。

湾内の潮流の最大流速は湾口部で150cm/sec、湾中央部で30~50cm/sec、湾奥のパケタ島付近で20~30cm/secである。ゴベルナドール島西側の水路でも150cm/secという大きな値が観測されたが、これは河川水の影響が加わった結果である。

湾口での観測によると、上層では下げ潮の時間帯が上げ潮の時間帯よりも長いのに対し、下層では両者が同じくらいであった。また、上層では下げ潮時の最高流速が上げ潮時のそれより大きかったのに対し、下層では両者がほぼ等しかった。したがって、海水交換は上層より下層でより活発に行われていると考えられる。

湾内の表層の塩分濃度は大局的には湾奥ほど低い。河川流量の増加する雨季には湾口付近の深い部分にまで低い塩分濃度が出現する。また、湾の表層の水温は河川流量が減少する乾季に全体的に高くなり、下げ潮時が上げ潮時より高い。これらの事実から、湾内の水温及び塩分濃度の分布は河川から流入して表層を拡散する淡水と湾口部から流入する外洋の海水に規制されていることが分かる。

湾奥では水深1.5~3mのところに海水密度（sigma-t）の不連続面が年間を通じて形成されている。雨季には河川流量が増加するためにこのような成層構造がより明瞭になるが、強い風が吹くと成層構造は破壊される。湾口に近い水域では年間を通じて成層構造は見られない（図 4-1）。

湾奥部の上層ではしばしば植物プランクトンの増殖による高い溶存酸素（DO）濃度が出現したのに対し、底層ではしばしばDO濃度が0に近い値を示した。DO濃度の不連続面は通常水深3m付近で、そこは密度（sigma-t）の不連続面のやや上方に当たる。

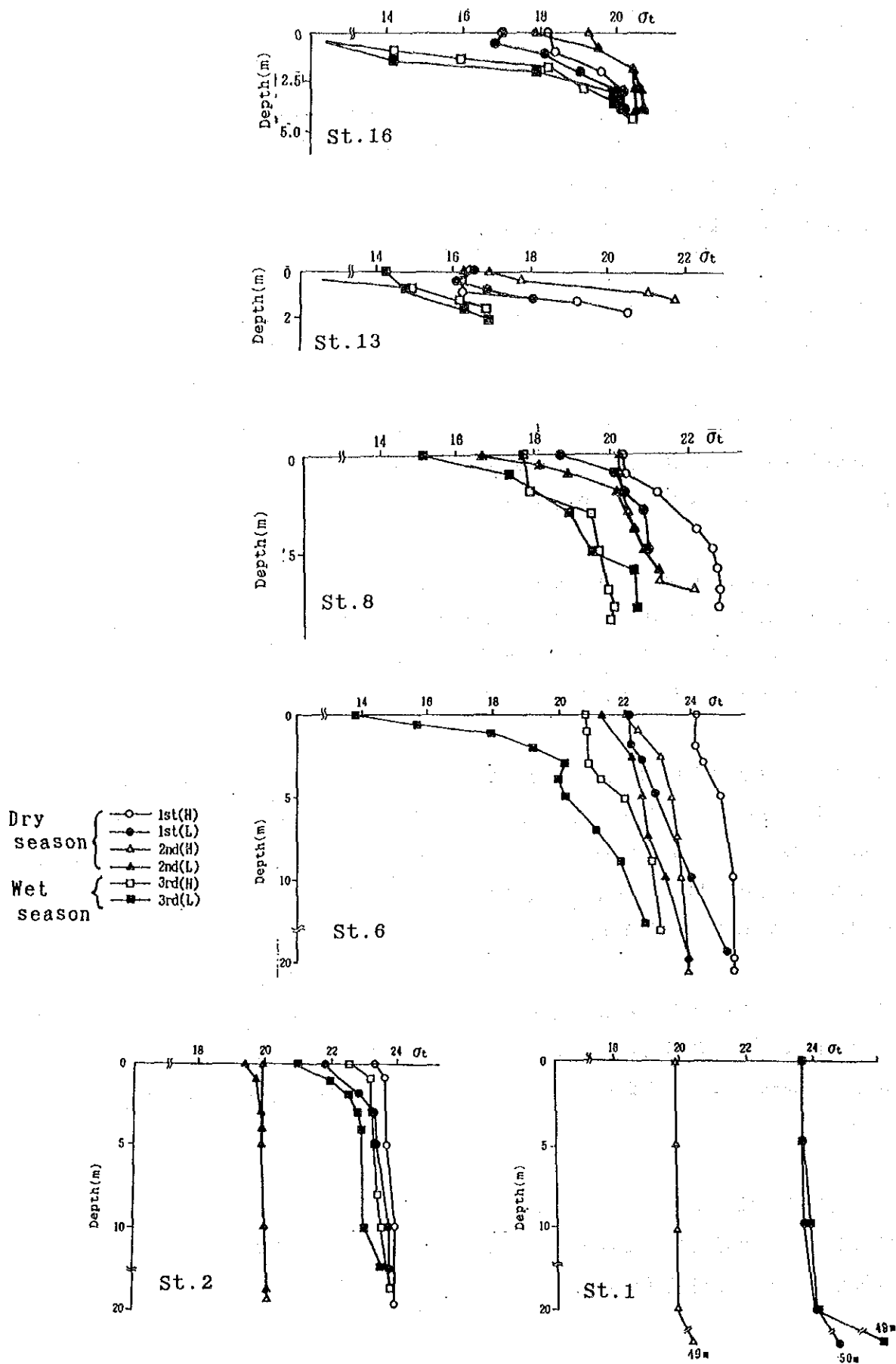


図 4-1 海水密度 (Sigma-t) の鉛直分布

5. 湾の水質・底質の汚染

湾内の水質は潮時・天候により絶えず変化しており、項目によっても濃度分布のパターンが異なるが、河川観測や潮流観測の結果と対応させて見ると、負荷量の多い河川の河口が近くにあり海水交換の悪い水域で水質が全般的に悪くなっている。また、一般に、雨季は乾季に比べて水質が悪く、下げ潮時は上げ潮時より水質が悪い。

有機物・栄養塩類・大腸菌群などの濃度は大局的に見るといずれも、湾口から北々東に伸びる水深の大きな凹地で最も低く、湾奥西側、ゴベルナドール・フンドン両島西側水路、ジュルジュバ湾などで高い。

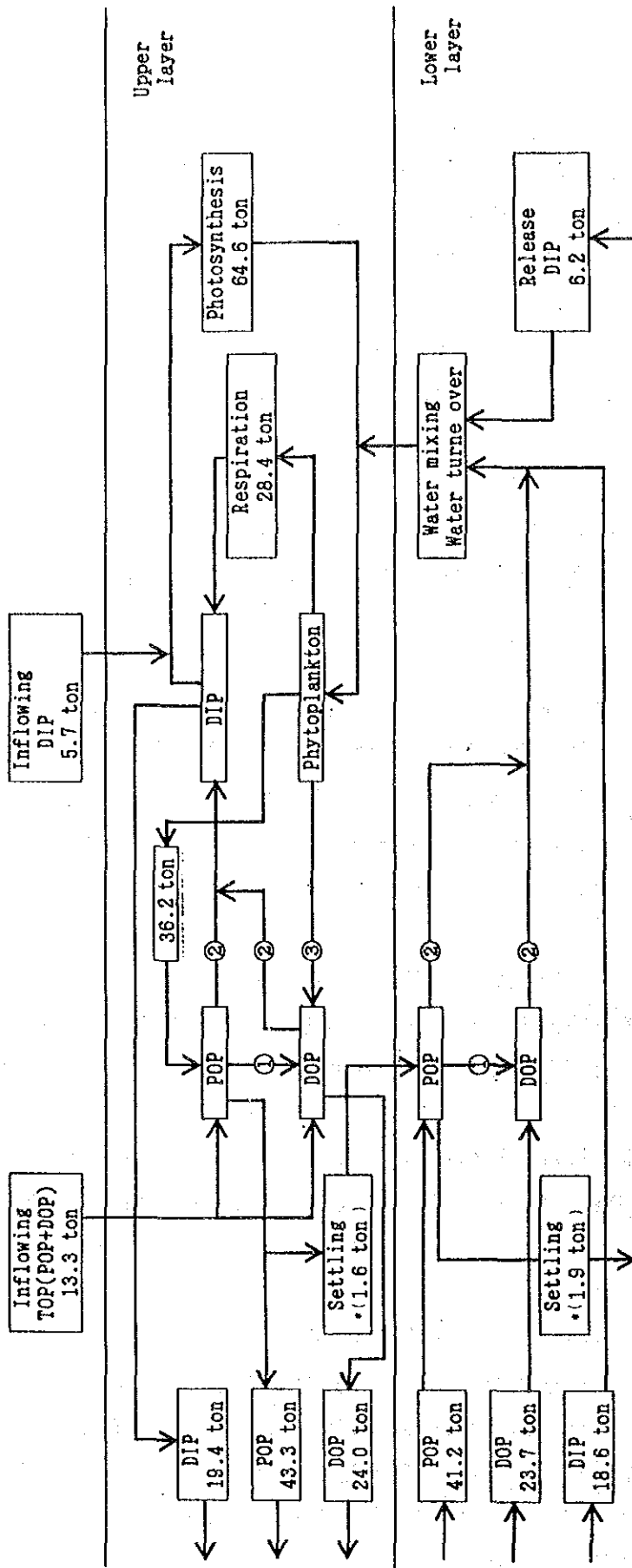
水中の重金属類は鉛（Pb）と総水銀（T-Hg）が1、2の地点でやや高い値を示したほかは、水質基準値以下であった。有害物質類はいずれも検出限界値以下か極めて低い濃度を示した。

表層底質中の重金属類は湾奥西部とフンドン島の東側で相対的に高い濃度を示したが、それでも日本で設定されている基準値以下の低い値である。州環境工学財団（FEEMA）は、重金属類のうちとくにクロム（Cr）と水銀（Hg）が1980～1986年の間、サラプイ川とメリチ川の河口付近で高い濃度を示したが、1987～1989年には低くなったと報告している。PCBなどの有害物質は湾内の底質中からは検出されなかった。

4地点で柱状試料を採取し、海底堆積物の鉛直方向の汚染状態を調べたところ、どの地点でも海底下20～50cmより浅い部分で各種汚濁物質の濃度がそれ以深より顕著に高くなっていた。とくに、湾奥西側の地点では重金属類の濃度が他の地点に比べて高かった。

実験室で測定した底質からの汚濁物質の溶出速度を用いて算出した湾底全体からの溶存性無機態リン（DIP）の溶出量は、流域から流入する総リン（T-P）の量の1/3程度と見積られる。

水質分析結果と1次生産量・溶出速度・沈降速度・酸素消費速度に関する実験の結果を用いて湾内の栄養塩類（リン）の収支を解析した。日射量が大きく、栄養塩類が流域及び底質から十分に供給されるために、湾内では多量の植物プランクトン（POP）が生産され、その量は流入・溶出する無機リン（DIP）の約6倍に相当する（図5-1）。植物プランクトンを有機物（COD(Mn)）に換算すると、湾内で生産される有機物の量は現在流域から流入している有機物量の約3倍と見積られる。



- ① Decomposition
- ② Ionization
- ③ Extracellular production

* The value of settling rate seems to be underestimated considering the values of release rate

図 5-1 グアナバラ湾のリンの収支 (雨季)

6. 湾内の水生生物

植物プランクトンの分布密度は雨季・乾季を通じてとくに湾奥部と湾の西側で極めて高く、主体は珪藻類及び藍藻類である。水中のN/P比が6~15であるのに対して植物プランクトンのN/P比が5~7.5であることから、グアナバラ湾の植物プランクトンの生産を制限しているのはリンであると考えられる。

動物プランクトン（主体はCopepoda類）の分布密度は植物プランクトンに比べて極めて低く、両者の量的関係は逆相関を示す。このことから動物プランクトンは植物プランクトンに依存せずに生息しており、内部生産に果たす役割は極めて小さいと言える。

底生生物は、底質の汚染が著しく底層のDO濃度が低い湾奥部では分布密度が極めて低いか全く見られない。これに対して、ゴベルナドール島の南では、底質の汚染が著しく底層のDO濃度が低いにもかかわらず二枚貝類が多量に産出する。これは後者の区域の底質がシルト混じりの砂で、硫化水素を含まないためと考えられる。湾口部に近い区域では底生生物の種類が多い。

付着生物は種類が多く、湾口部付近でとくに多く産するムラサキガイ（*Perna perna*）は漁民の重要な収入源ともなっている。

連邦環境再生天然資源院（IBAMA）の調査結果とニテロイの魚市場における調査から、湾内における漁獲高は最高で6 ton/day程度と見積られる。魚類のうち、Tainha, Parati, Sardinha等は成長期を湾内で過ごすのに対し、Enchova, Linguado, Corvina, Pescadinhas等は繁殖のために湾に入ってくる。いずれにしても、グアナバラ湾は魚類が育つ上で重要な役割を果たしていると言える。

ガピミリン川とカセレブ川の下流に広がるマングローブ林は比較的よく保全されているが、南東部には人間活動の影響が現れている。これに対してエストレラ川からイグアス川にかけて広がるマングローブ林は衰退が著しい。ここでは底質中にHgが高い濃度で検出された。

7. 環境の歴史的変遷と湾の利用現況

グアナバラ湾沿岸の開発は16世紀中頃に始まった。種々の資料から判断して同湾の水質汚濁が顕著になったのは1960年代に入ってからで、とくに1980年代以降に激しくなった。し

Current Use of Coast and Water Area of the Guanabara Bay
 Uso Atual da Costeira e da Espelha da Água da Baía de Guanabara

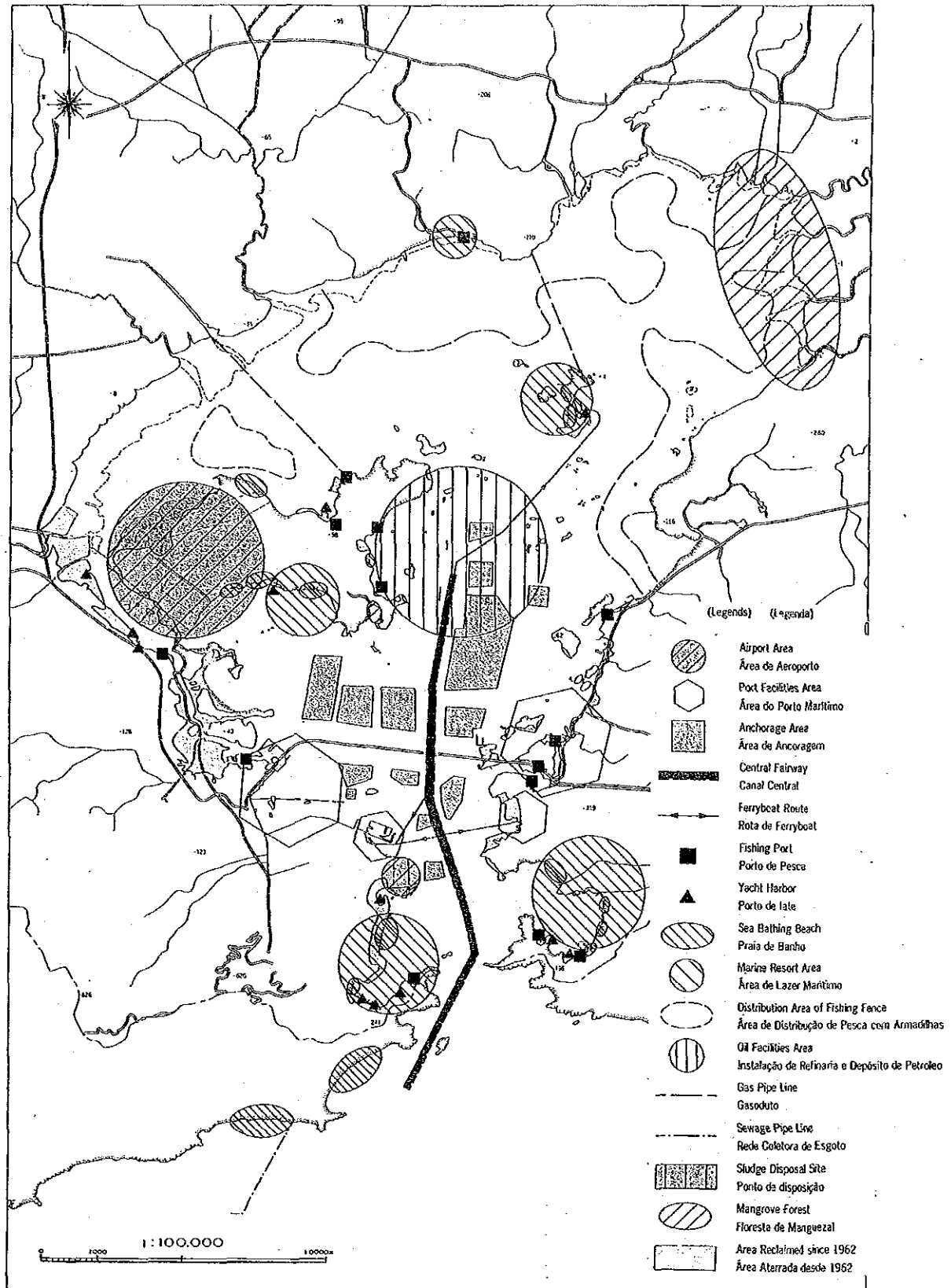


図 7-1 グアナバラ湾の利用状況

かし、同湾はまだ海上運輸・エネルギー貯蔵・漁業・観光レクリエーション・生活居住等の場として多目的に利用されている（図 7-1）。

グアナバラ湾沿岸の住民・漁師・環境団体・ヨットクラブの会員等1,700人を対象にして実施したアンケート調査の結果によると、多くの人々が生態系保全の場としての同湾の重要性を認識しており、水質を改善することにより同湾が障害なしに多目的に利用できるようになることを希望している。

連邦政府及びリオデジャネイロ州政府も1990年代に入ってから同湾の環境改善に本格的に取り組み始め、国際金融機関等の融資によるグアナバラ湾の再生を目的としたいくつかのプロジェクトが始まっている。

8. 流域内の汚濁源と排出負荷量

人口と発生負荷量原単位から見積られた生活系発生負荷量の合計はBODで約383ton/dayである。浄化槽の維持管理状態が悪いことから見て排出負荷量もこれに近いと考えられる。いっぽう、FEEMAがモニタリングしている117の工場の排出負荷量の合計はBODで約80ton/dayである。したがって、BODで見ると産業系の排出負荷量は生活系の20%程度であるが（図 8-1）、COD(Mn)で見ると80%程度になる。

地域別に見ると、西部流域（Sub-basin No.19~24）は流域全体の生活系発生負荷量（BOD）の48%、産業系排出負荷量の43%を占め、北西部流域（Sub-basin No.15~18）はそれぞれ30%と27%を占める。産業系排出負荷量の大きな業種は食品と化学で、前者は東部流域（大部分がSub-basin No.5）に、後者は北西部流域（主としてSub-basin No.17-1）に集中している。

流域内には州上下水道公社（CEDAE）の管理する下水処理場が6つある（表 8-1）。これらの処理場で処理される下水の流量は約224,400m³/day、放流水によるBOD負荷は5.2ton/dayである。下水処理場に流入している産業系汚水の量や質が不明のため、生活系の下水処理人口を正確に算出することはできないが、100万人以下（流域内全人口の13%以下）と推定される。

表 8-1 グアナバラ湾流域内の既存の下水処理場

No.	STP-1	STP-2	STP-3	STP-4	STP-5	STP-6	STP-7	STP-8
Name	PENHA	ETIG	ETEG	ETAR-ALRJ	ETAR-TECA	ICARAI	REALENGO	ACARI
Sub-Basin No.	20	25	25	25	25	2.3	19-2	19-2
Superintendence	CEDAE	CEDAE	CEDAE	INFRAERO	INFRAERO	CEDAE	CEDAE	CEDAE
Treatment Method	ASM+TF	ASM	TF	ASM	OD	ASM	TF	ASM
Av. Flow (ton/day)	122,746	22,977	3,959	2,401	1,002	60,408	2,968	11,340
Water Quality(BOD)								
Inflow (mg/l)	217	243	345	334	219	231	179	161
Treated (mg/l)	20	26	78	84	50	27	9	7
Removal Ratio (%)	91	89	77	77	77	91	95	96
Effl. Load (kg/day)	2,494	699	305	202	50	1,633	27	80
Beneficial Pop.	493,370	103,419	25,389	14,844	4,047	325,920	9,745	33,750
Receiving Body	Guanabara B.	Guanabara B.	Guanabara B.	Guanabara B.	Guanabara B.	Guanabara B.	R. Acari	R. Acari
Sludge Volume								
Sludge Treatment	Gramacho							
Inflow of Industrial Waste Water	Nothing	Nothing	Nothing	Nothing	Nothing	?	?	Nothing

Water quality, removal ratio and effluent load are described in BOD.

Treatment Method

ASM : Activated Sludge Method

OD : Oxidation Ditch

TF : Trickling Filter

9. 流域からの流出負荷量

本調査では1992年5月～1993年4月の間、毎月1回、主要25河川の流量と水質を観測した。流量の大きな河川の水質はガビミリン川を除いて著しく悪く、平均でBODが20mg/l以上、DOが5mg/l以下である。流出負荷量で見ると、メリチ川、サラブイ川を含む上位9河川が主要20河川による総流出負荷量の90～95%を占めている（図 9-1）。

流域の土地利用状況が対照的な2本のモデル河川について、流量・水質の観測結果から比流出負荷量を算出した。次にその結果を用いて、人口密度と降雨量をパラメータとする流出負荷量推定モデルを作成し、Sub-basinごとに年間流出負荷量を晴天時と雨天時に分けて算出した。

この結果によると、観測期間中の全流域からの平均流出負荷量はBODで331ton/dayで、西部流域（Sub-basin No.19～24）が45～50%、北西部流域（Sub-basin No.15～18）が30%前後を占める。北東部流域（Sub-basin No.7～14）は面積で60%、流出水量で35%を占めるにもかかわらず、流出負荷量では12～18%を占めるに過ぎない。

また、晴天時と雨天時に分けてみると、1992年の場合は年間流出負荷量の約50%が雨天時に流出していて、面源に由来する負荷の比率が大きいことが判明した。

10. 湾の水質予測のための数値シミュレーションモデル

条件を変えた場合の湾の水質を予測するために、流動モデル・拡散モデル・富栄養化モデルから成る数値モデルを導入した。

複雑な海底地形を表現するためにボックスモデルではなくメッシュモデルを採用した。また、通常は湾内の水質が表層と底層で大きく異なっていることを考慮して、1層モデルではなく2層モデルを採用した。さらに、湾内での植物プランクトンの増殖が著しく、この現象を組み込まないと有機汚濁現象の再現性が悪くなるので、富栄養化モデルを採用した。

11. シミュレーションモデルの検証

これらのモデルを本調査に適用するうえで必要な境界条件と各種パラメータを検討し、モ

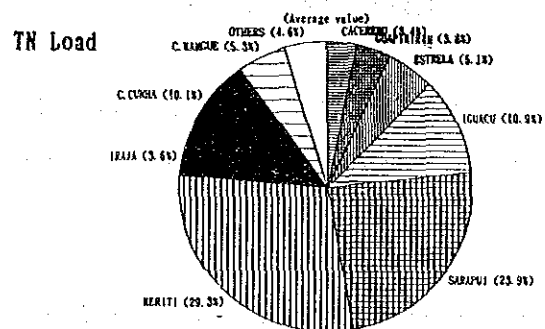
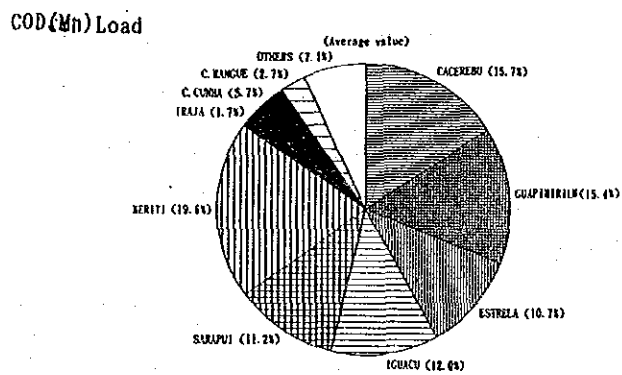
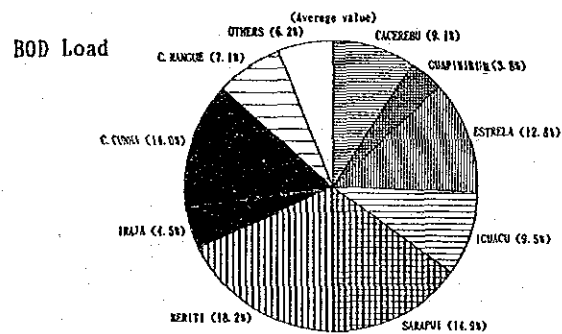
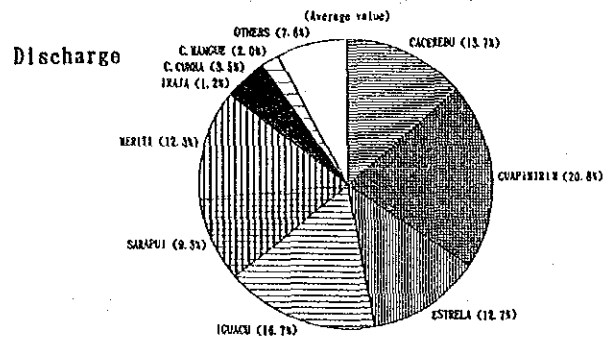


図 9-1 主要河川の流量及び流出負荷量の比率 (1992年5月~1993年4月)

デルに流出水量と流出負荷量（季節別平均値）を与えて現況の流況と水質を再現した。

河川水が湾内の塩分濃度・水温等に与えている影響が大きいことから、計算は雨季と乾季について行った。計算結果は観測値と満足すべき程度に一致した。

12. 流域の将来の社会経済フレーム

望ましいシナリオと悲観的なシナリオに従って、将来の人口・基本的な衛生サービス・経済活動を予測した。グアナバラ湾流域内の地方自治体の人口増加パターンを4つに類型化した後、地方自治体別に2000年と2010年の人口を予測した。

13. 対策を実施しない場合の湾の将来水質

流出負荷量推定モデルに悲観的シナリオで予測された2000年及び2010年の人口を与え、Sub-basinごとの将来流出負荷量（BOD）を算出した。その結果によると、2000年における流出負荷量は現在の13.6%増、2010年には25.5%増となる。

シミュレーションモデルに悲観的シナリオで算出した流出負荷量を与えて、対策を実施しない場合の将来の湾内水質を予測したところ、湾の平均BOD濃度（年平均値）が2000年には0.3mg/l（10.2%）、2010年には0.6mg/l（19.5%）上昇する。湾の北東部はBOD濃度の上昇率が最も高く、約23%に達する（図 13-1）。

14. ソフトウェアタイプの対策の現状と問題点

リオデジャネイロ州におけるソフトウェアタイプの水質改善対策、すなわち負荷の発生・排出を抑制する各種の社会システム（行政・法律・経済・教育等の制度）の現状と問題点を検討した。

リオデジャネイロ州では環境保全にかかわる行政組織及び法制度は形式的にはすでに十分整備されているが、これに効力を持たせる州政府の熱意が不足している。また、水質改善に協力した企業や住民が経済的な利益を受けるような制度（水道料金逓増システム、汚水処理施設の設置に対する優遇税制度など）を整備することも必要である。

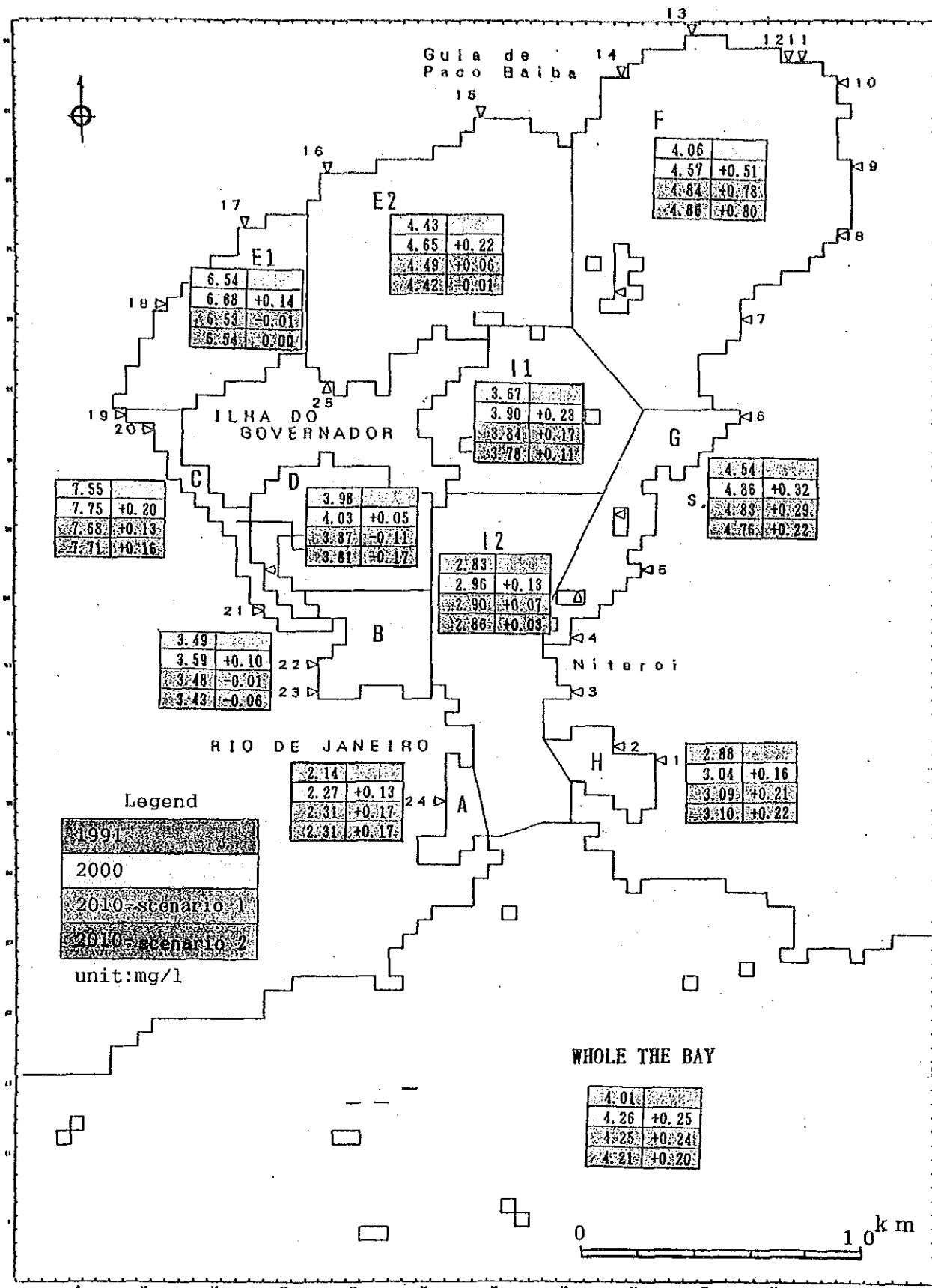


図13-1 無対策の場合のグアナバラ湾の将来水質 (BOD)

15. ハードウェアタイプの対策のレビューと評価

汚染された水から汚濁物質を除去する各種の技術（污水処理技術）をここではハードウェアタイプの対策と呼び、それぞれについて原理・長所・短所・実績等を整理したうえでグアナバラ湾流域への適用性を検討した。

流域内の既存及び計画中の下水処理場ではもっぱら活性汚泥法が採用されているが、用地に余裕のある郊外では、建設コストが安く維持管理の容易な安定化池や酸化溝方式による処理が有利である。

産業系排水の処理対策としては共同処理施設が効率的である。グアナバラ湾流域に分布する工場の多くは施設の古い中小規模の工場である。したがって、州政府または地方自治体が共同処理施設を整備した工場団地を用意して、これらの工場が施設を更新する際にここへ移転させることが望ましい。

面源負荷を削減する方法としては污水・ゴミの収集処分システムの改善、滞水池、スワール分水槽等が効果的である。後2者は出水時の河川負荷を削減できるだけでなく洪水防御対策にもなる。

また、河川や湾に堆積している汚泥の除去、水路の拡幅・増深も流況を改善し貯留負荷を除去するという点で効果がある。ただし、汚泥の除去は発生源対策を先行させないと短期間で効果が消滅する。

下水の湾外放流は有機物だけでなく、栄養塩類・バクテリアなども排除することができるために、湾内の水質を改善する効果は極めて大きいと予想されるが、湾外の環境や生態系に及ぼす影響に関して事前に十分な調査を行う必要がある。

16. マスタープラン

16.1 グァナバラ湾の環境変化の社会経済的な背景

15世紀以降、グァナバラ湾流域には次第に人口・産業が集積し、土地利用が改変され、汚濁物質の排出が増加した。その結果、グァナバラ湾とその流域の環境資源としての価値が低下するとともに環境改善に要する費用が潜在的に増加しつつある。図16.1-1はこのようなグァナバラ湾流域の環境変化の社会経済的構造を示したものである。

16.2 グァナバラ湾の水質改善がもたらす便益

グァナバラ湾の水質悪化が原因となっている社会経済的な損失を裏返すと、同湾の水質改善がもたらす社会経済的便益を理解することができる。表16.2-1はこの便益を分類・整理したものである。

事業の投資効果を知ることはその事業を実施するかしないかを決定するうえで重要ではあるが、市場価値による評価が難しい環境を対象とした事業の場合には、その事業がもたらす便益の経済評価が極めて難しい。

本調査では水質改善がもたらす親水性レクリエーションの場の増加、土地価格の上昇、漁獲高の増加のみについてVictor Coelho氏の方法により便益の経済的評価を試みた。その結果、親水性レクリエーションの場の増加は年間約US\$12,000,000、土地価格の上昇はUS\$1,700,000,000、漁獲高の増加は年間約US\$400,000の便益をもたらすと算定された。

16.3 対策優先地域の選定

グァナバラ湾の水質を改善し生態系を回復するためには多額の投資が必要であるが、その投資も配分方法を誤ると十分な効果を発揮しない。そこで、本調査で得られた各種のデータにもとずいて、投資を優先的に配分すべき地域として、①Influential Sub-basin; 現況の流出負荷量が多い流域、②Potentially Critical Sub-basin; 最近の人口増加・土地利用変化等から見て今後流出負荷量が増加する可能性の高い流域、③Important Beach and Water Area; 水質が改善された場合に得られる社会的・経済的及び生物資源的な便益が大きい水域を選定した。図16.3-1はこれらの対策優先地域を示している。

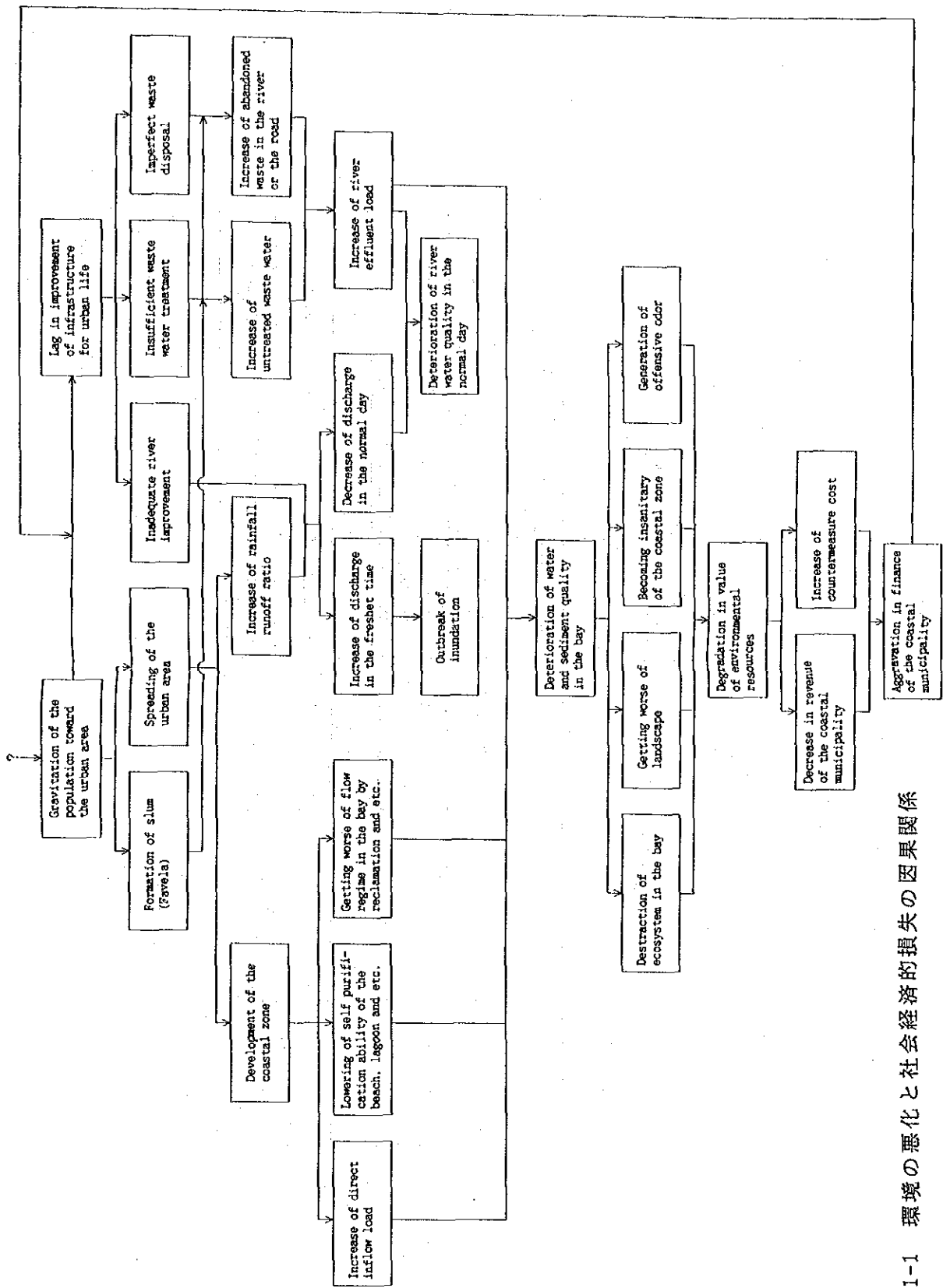


図 16.1-1 環境の悪化と社会経済的損失の因果関係

表16.2-1 グアナバラ湾の水質改善をもたらす社会経済的便益

Visible Benefit	Direct Use	Water Use	Industrial Waters, Fishery, Navigation
		Recreation	Sea Bathing, Fishing, Yachting, Sightseeing Cruises
	Indirect Use	Recreation Aesthetics Relaxation	Picnic, Walking, Bird-Watching, Sightseeing, Residential Environment
		Others	Natural Purification Capacity
Invisible Benefit	Potential Use	Optional Value	Possibility for Long-Term Use
	Non-Use	Existing Value	Heritage (Natural Preservation), Study Field

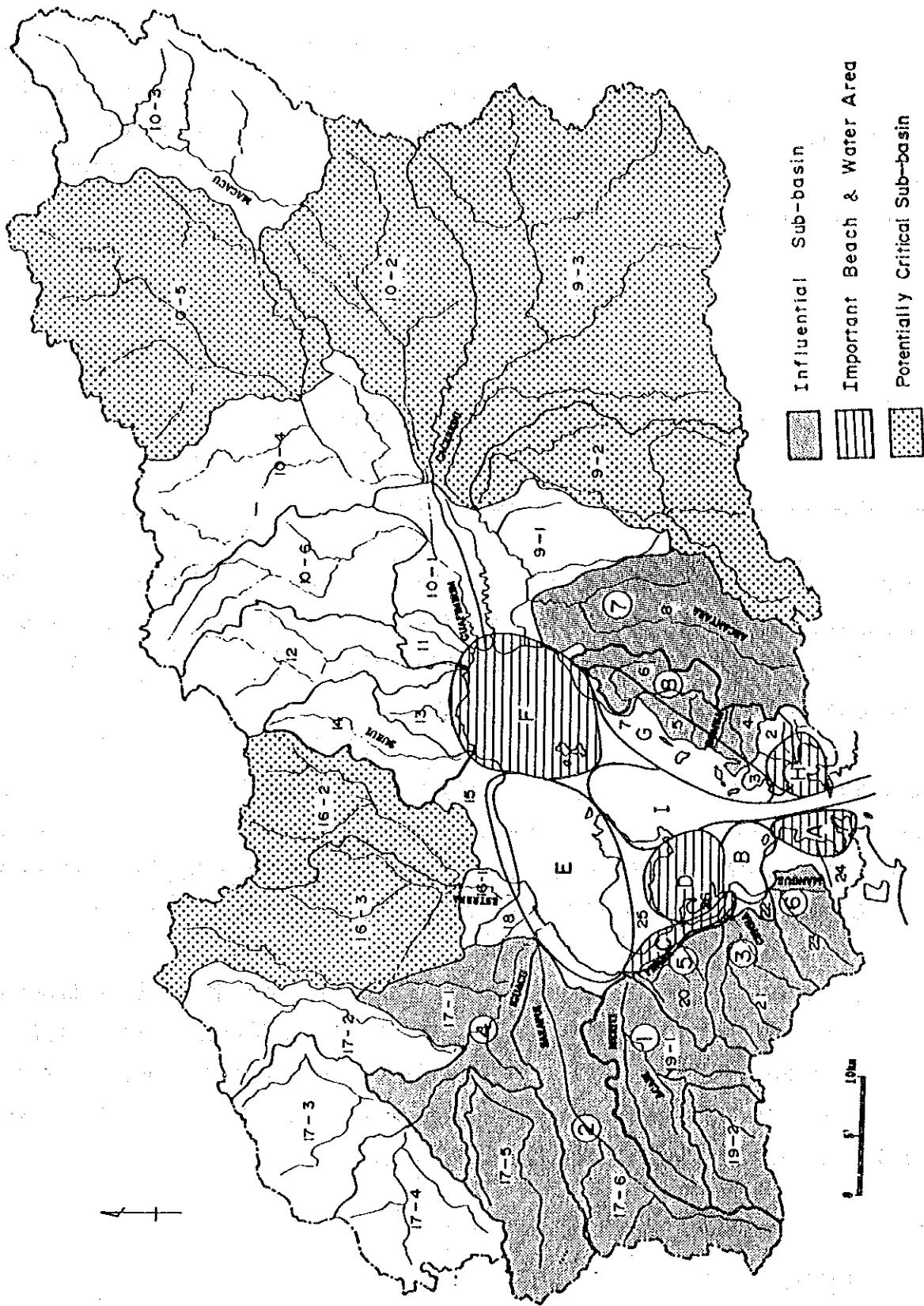


图 16.3-1 对策优先地域

16.4 目標年次

マスタープランの目標年次は、短期的計画に対しては2000年、中期的計画に対しては2010年とし、長期的計画に対してはとくに定めない。2000年はリオデジャネイロ州が計画し、IDB/OECFの融資により実施される“The Basic Sanitation Program of the Guanabara Bay Basin”（以下、IDB/OECF Programと呼ぶ）のStage 1の目標年次に一致し、2010年は同プログラムのStage2の目標年次に近い。

16.5 目標水質

長期計画の目標水質はグアナバラ湾本来の生態系が回復されるようなレベル、すなわち、水質の悪化や生態系の変化が目立つようになった1960年代前半より以前のレベルであり、達成には極めて長い時間と多額の投資が必要である。

これに対して中期計画の目標水質は、グアナバラ湾の利用需要をある程度満足し、かつ、現在の水質レベルから見て2010年までに達成することが不可能ではないと考えられるレベルである。また、短期計画の目標水質は緊急的な対策により2000年までには達成することが望ましいレベルとした。

目標水質は水域の利用目的により異なる。グアナバラ湾の現在及び将来の利用目的と湾内の流況・水質分布にもとずいて同湾の水域を4つに類型化し（表16.5-1）、州の水質基準を定めた条例（CONAMA No.20）に従って水域ごとに目標水質を定めた。短期及び中期計画における水域類型区分は図16.5-1に、水域類型ごとの目標水質は表16.5-2に示す。

水質の主要指標は、CONAMA No.20で定められている指標に富栄養化や油汚染の指標を加えて、pH・BOD・DO・T-N・T-P・糞便性大腸菌群数・SS・N-Hexan extractsの8項目とした。このうち、BODは有機物量の指標としては好ましくないが、TOCの測定が可能になるまで暫定的に使用するものとする。この他に、一般住民もモニタリングが可能な透明度・油膜・浮遊物・水色・生物の5項目を補助指標に選定した。

16.6 目標削減負荷量

先に調整した汚濁モデルにより再現された現況の水質分布と中期計画の目標水質を比較す

表16.5-1 グァナバラ湾の水域類型

Class	Purpose of Water Use
A	Fishery (Class 1) Recreation (Primary Contact) Uses listed in Class 5 - 6
B	Fishery (Class 2) Recreation (Secondary Contact) Conservation of Natural Environment Uses listed in Class 6
C	Commercial Navigation Industrial Water Conservation of Environment
D	Waste Dilution and Circulation

表16.5-2 グァナバラ湾の水域類型別目標水質

Principal Index

Class	pH	Biological Oxygen Demand (BOD)	Dissolved Oxygen (DO)	Total Nitrogen (T-N)	Total Phosphorus (T-P)	Number of Coliform Groups (Fecal)	Suspendid Solids (SS)	N-Hexane Extracts
A	7.8 8.3	3 mg/l or less	7.0 mg/l (4.5 mg/l) or more	0.3 mg/l or less	0.03 mg/l or less	1,000 MPN /100ml or less	10 mg/l or less	Not Detectable
B	7.0 8.5	5 mg/l or less	6.0 mg/l (3.5 mg/l) or more	0.6 mg/l or less	0.05 mg/l or less	1,000 MPN /100ml or less	25 mg/l or less	Not detectable
C	6.5 8.5	8 mg/l or less	4.0 mg/l (2.5 mg/l) or more	1.0 mg/l or less	0.09 mg/l or less	4,000 MPN /100ml or less	50 mg/l or less	-
D	6.5 8.5	10 mg/l or less	2.0 mg/l (1.5 mg/l) or more	1.5 mg/l or less	0.13 mg/l or less	-	50 mg/l or less	-

- [Note] 1. Values given in parentheses for DO are target water qualities in the bottom layers.
 2. With regard to the number of coliform groups for recreation (primary contact), fecal coliforms shall be less than 250 MPN/100 ml.
 3. With regard to the number of coliform groups for recreation (secondary contact), fecal coliforms shall be less than 500 MPN/100 ml.

Supplementary Index

Class	Transparency	Oil Film	Floatage	Water Colour	Biotic Community
A	5 m or more	Not Observed	Not Observed	Greenish (Not Brownish)	Diverse Species
B	3 m or more	Not Observed Ordinarily	Not Observed Ordinarily	Greenish (Not Brownish)	Existence of Benthonic lives
C	1.5 m or more	-	-	-	-
D	1 m or more	-	-	-	-

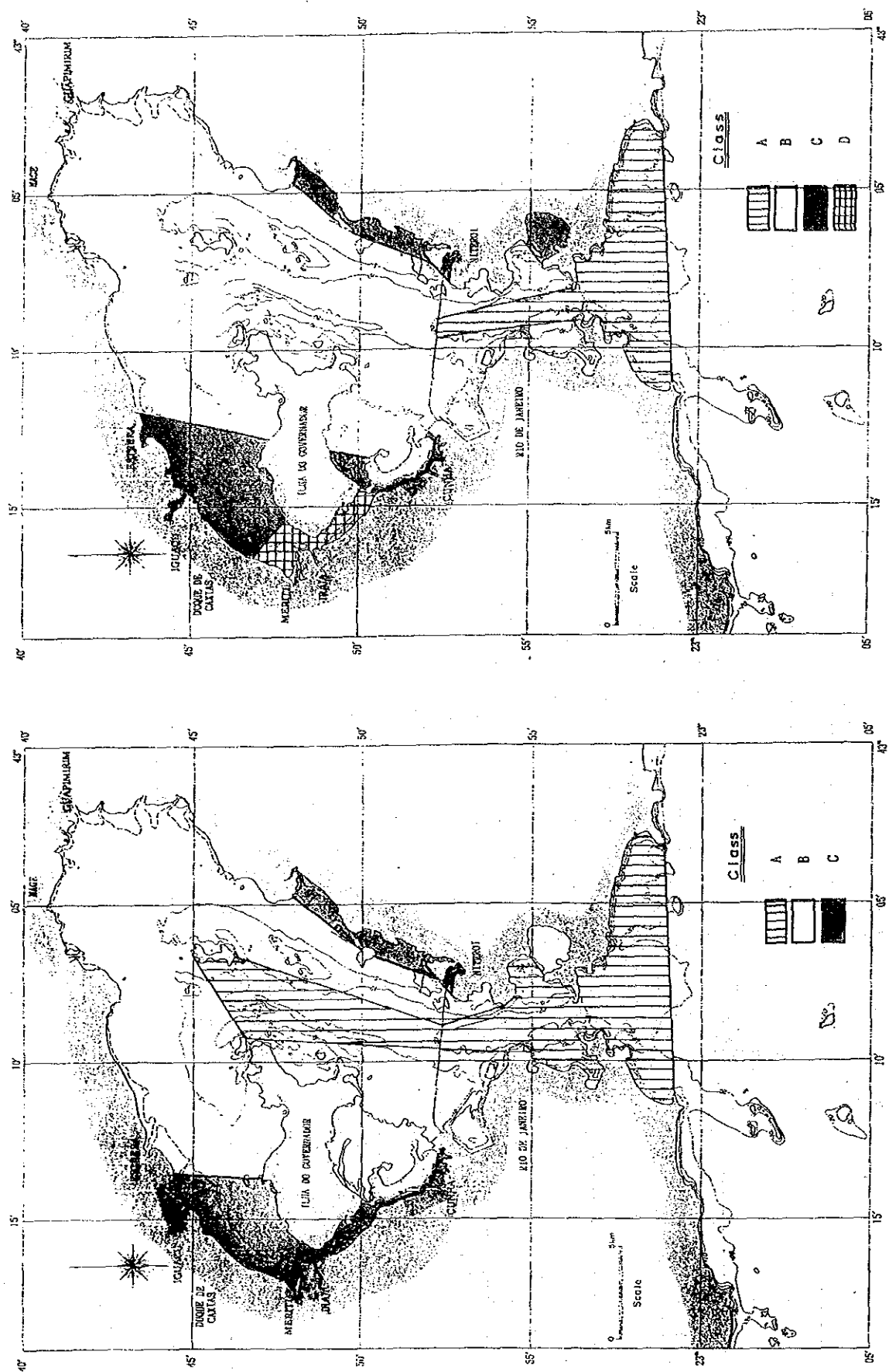


図 16.5-1 短期計画 (右) 及び中期計画 (左) におけるグアナバラ湾の水域類型区分

ると、図16.6-1に示すような水域がすでに目標水質を越えている。目標水質を達成するためには年平均水質（BOD濃度）をCブロックで約1.5mg/l、E₁ブロックで約1.0mg/l、Hブロックで約0.25mg/l改善しなければならない。

現時点ですべての水域が中期計画の目標水質（BOD）を達成できる最も効率のよい流出負荷削減量の配分方法を試行錯誤的に求めたところ、北西部・西部・東部の各流域で少なくとも現況の流出負荷量（BODとOP）の40%前後を削減しなければならないことが明らかになった。

このことは、設定された中期計画の目標水質（BOD）を達成しようとするならば、現況の流出負荷量の60%程度がグアナバラ湾の環境容量であることを意味している。したがって、目標水質を達成するために将来削減しなければならない負荷量は、上述の値に今後の人口・生産活動の増加に伴う流出負荷量の増加分を加えた値となる。

湾内の水質（BOD）を決定している主要な要因は東部・北東部・北西部・西部の4流域からの流入負荷、底質からの溶出、内部生産であるが、各ブロックについてこれら要因の寄与率を算出したところ、内部生産が約60%を占め、溶出は約5%であった（図16.6-2）。したがって、湾内の有機汚濁を改善するためには内部生産の原因となる栄養塩類の削減が不可欠である。

そこで、北西部・西部・東部の各流域で有機物（BODとOP）と流入栄養塩類（T-P）をともに現況の40%削減したところ、湾全体の平均水質（BOD）は0.3~0.5mg/l（10%に相当）改善された。

16.7 適用可能な対策とその効果

グアナバラ湾の水質改善に寄与しうる対策として、IDB/OECFの融資による下水道と下水処理場の整備計画がある。この計画は1994年に開始され、Stage 1（目標年：2000年）が完了すると、新設の6つの下水処理場で約280万人分の下水が1次処理される。Stage 2（目標年：2007年）ではこれらの下水処理場に2次処理施設が建設される予定になっているが、融資計画は事実上白紙である。

したがって、ここでは、1994年に始まるIDB/OECF ProgramのStage 1は実現されるが、それ以降は確定された対策がないという前提で、優先地域の対策を検討した。

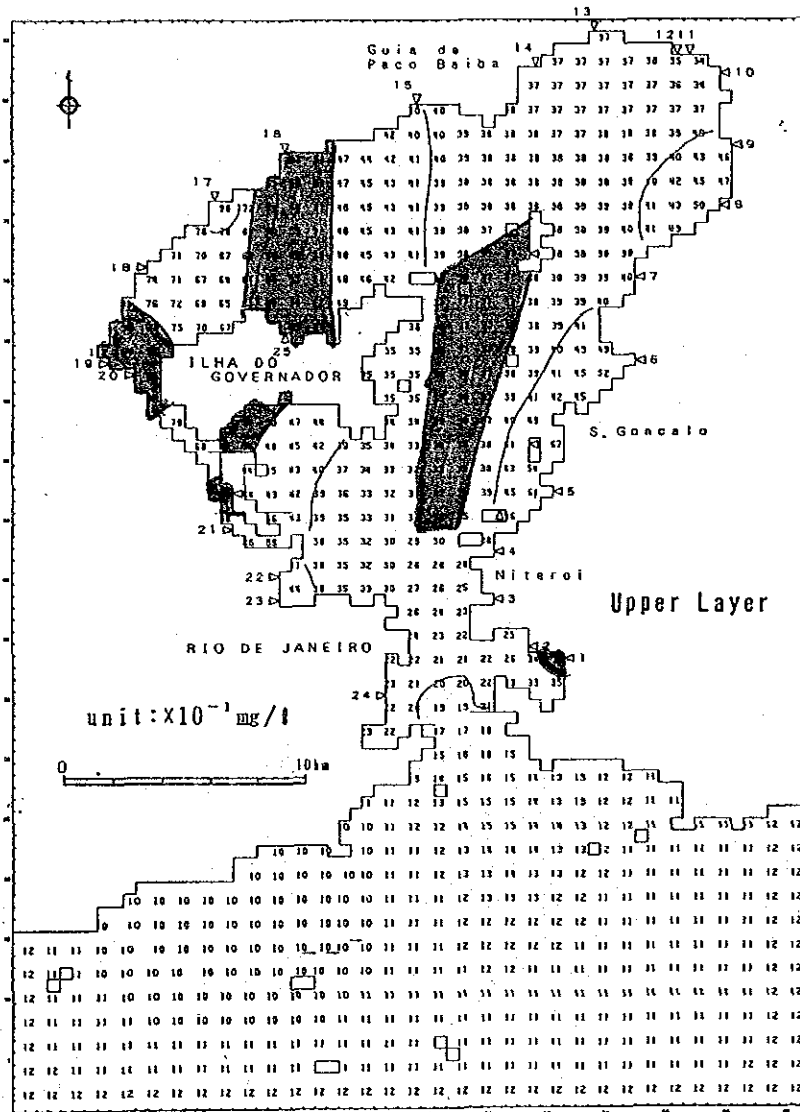


図16.6-1 現時点で中期計画の目標水質をオーバーしている水域

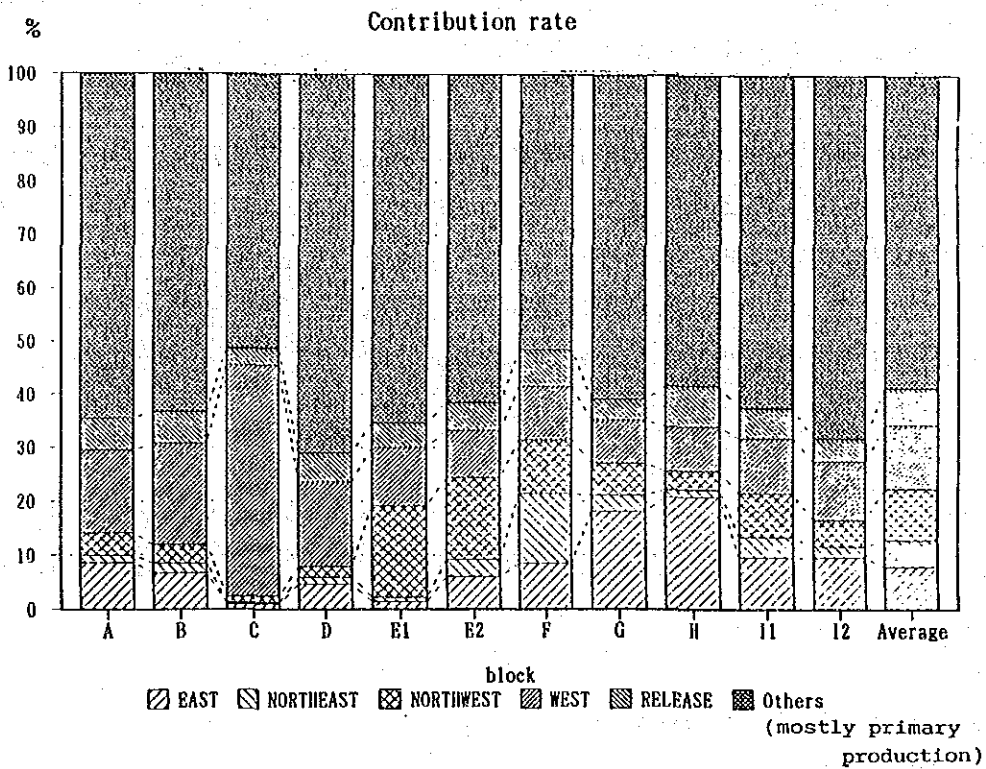
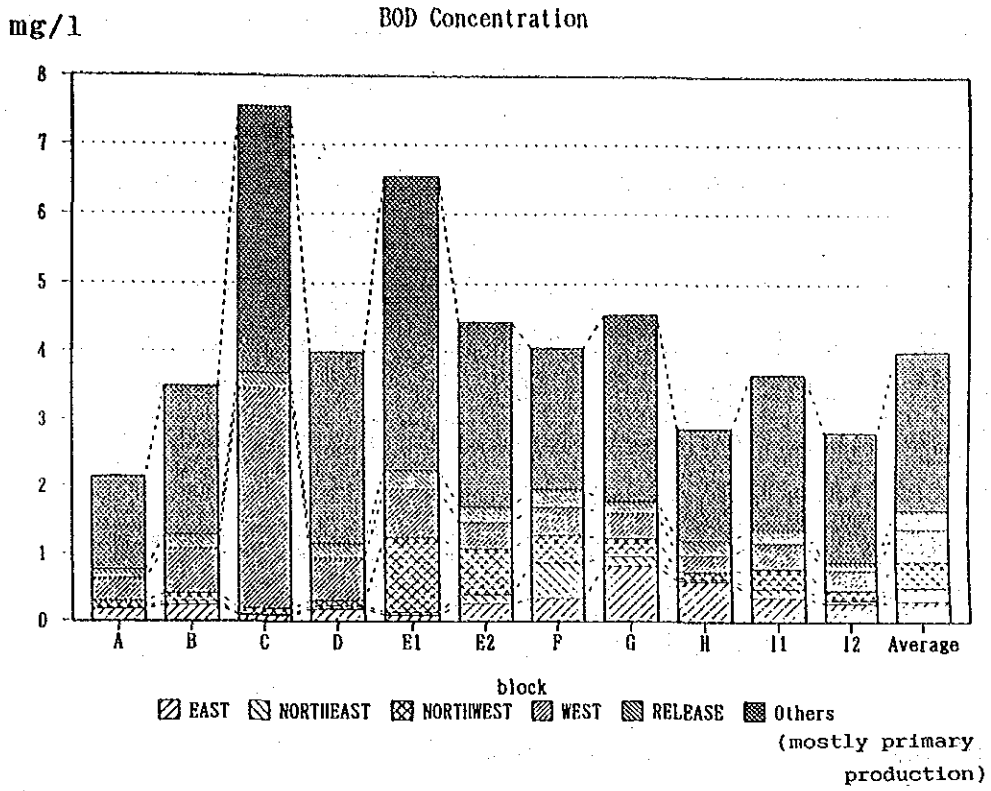


図16.6-2 各水域の水質汚濁の要因別寄与率

表16.7-1はInfluential Sub-basinの対策をとりまとめたもので、先にグアナバラ湾流域への適用性を検討した各種対策の中から、現在の汚水・ゴミの収集・処理状況、汚濁源の種類と分布密度、土地利用状況等を考慮して効果的なものを提案した。

生活系排水対策としては、活性汚泥処理以外に、広い用地の確保が可能な流域では安定化池を、ファベラ人口の多い流域ではファベラの汚水処理を、湾口に近い流域では湾外放流を提案した。産業系排水対策としては、排出規制を遵守させるためのモニタリングの強化に加えて、業種の同じ工場が集中している流域では共同処理施設の設置を提案した。また、面源負荷対策としては森林保全、土地利用規制、ゴミ収集率の向上を、出水時河川負荷対策としては滞水池またはスワール分水槽の設置、堆積汚泥のしゅんせつを提案した。

Important Beaches and Water Areaに対しては、水域に直接適用する対策として汚染底泥のしゅんせつ、流況改善のための水路の拡幅を、背後の流域に適用する対策としてInfluential Sub-basinで提案したものと同様な対策を提案した。

Potentially Critical Sub-basinに対しては、今後の発生・排出負荷量の増加に備えて下水処理場の設置や土地利用規制を提案した。なお、これらの流域に設置する下水処理場は安定化池や酸化溝方式による分散処理が望ましい。

IDB/OECF Programの流出負荷量削減効果を見るために、流出負荷量推定モデルを用いて目標年次における各流域の流出負荷量を算出した。Stage 1で1次処理施設が計画通り完成した場合、2000年における西部流域からの流出負荷量はBODで現況より18%減少し、 PO_4-P では5%増加する。また、Stage 2で2次処理施設が計画通り完成した場合には、2010年における西部流域からの流出負荷量はBODで現況より28%減少するが、 PO_4-P では9%増加する（表16.7-2）。

IDB/OECF Programによる下水処理計画の対象になっていない地域も広いので、湾全体で見ると、Stage 2が完了しても、流出負荷量の減少はBODで現況の5%にとどまり、 PO_4-P は逆に23%も増加する。

湾外放流システムの流出負荷量削減効果を見るために、処理区域の異なる3つのケースについて2010年の流出負荷量を算定した。西部流域では、処理区域が最も狭いCase 3でも、流出負荷量は現況よりBODで27%、 PO_4-P で18%減少し、処理区域が最も広いCase 1では、現況よりBODで36%、 PO_4-P で33%減少する（表16.7-3）。

表16.7-1 Influential Sub-basin に適用可能な対策

Sub-Basin No. (River Name)	Measure for Reduction of Domestic Effluent Load	Measure for Reduction of Industrial Effluent Load	Measure for Reduction of Effluent Load from Non-Point Sources	Measure to Rivers flowing into the Bay
19 (Meriti)	*Construction of Pavuna STP (Population:410,000) 2000 : primary treatment (2010 : secondary treatment) Capacity-up of existing Acari & Realengo STP	Tightening of monitoring to effluent load	Prevention of forests in the Pera Branca State Park	Abreeding
17-6 (Sarapui)	*Construction of Sarapui STP (Population:430,000) 2000 : primary treatment (2010 : secondary treatment)	Tightening of monitoring to effluent load	Improvement of garbage collection/treatment system Control of land use in Nova Iguacu	Abreeding widening of river (including removal of Favelas) Construction of flood-control dam
21 (Cunha)	*Construction of Alegria STP (Population:1,530,000) 2000 : primary treatment 2010 : secondary treatment Ocean outfall with primary treatment (2010)	Construction of joint treatment plant for food & beverage factories (High concentrated organic substances)	Improvement of garbage collection/treatment system in Favela Reforest around Favela	Abreeding Removal screen of flottage
17-1.5 (Iguacu)	*Construction of Bota STP (2010 : primary treatment)	Construction of joint treatment plant for petrochemical factories (Refractory organic substances)	Improvement of garbage collection/treatment system in Nova Iguacu Control of land use in Nova Iguacu	
20 (Iraja)	*Improvement of existing Penha STP (Population:700,000; secondary treatment) Ocean outfall with primary treatment	Tightening of monitoring to effluent load	Improvement of garbage collection/treatment system in Favela Reforest around Favela	Abreeding
23 (Mangue)	*Construction of Alegria STP. 2000 : primary treatment (2010 : secondary treatment) Ocean outfall with primary treatment (2010)	Tightening of monitoring to effluent load	Prevention of forests in Tijuca Improvement of garbage collection/treatment system in Favela	Abreeding
8 (Alcantara)	*Construction of S-III,IV,V STP (2010 : primary treatment)	Tightening of monitoring to effluent load	Control of land use in San Goncalo	
4.5.6 (Imboassu)	*Construction of Sao Goncalo STP 2000 : primary treatment (2010 : secondary treatment) Ocean outfall with primary treatment (2005)	Construction of joint treatment plant for food factories (processing of sea products) (high concentrated organic substances)		

[Note] * : IDB/OECF Program O : plan by COMLURB Δ : under practice by SERLA with World Bank loan
□ : IEF STP : Sewage Treatment Plant

表16.7-2 IDB/OECF Program の流出負荷量削減効果

BOD

unit : ton/day

Name of Basin	IDB/OECF Program (1st Stage)	Runoff Load			Reduction Load (2010-1991)
		1991 (Present)	2000 IDB/OECF Program (Primary)	2010 IDB/OECF Program (Secondary)	
Eastern Basin	Icarai Toque Toque S-II	40.1 t/d (100 %)	35.6 t/d (88.8%)	31.9 t/d (79.6%)	- 8.2 t/d (- 20.4%)
Northeastern Basin		44.1 t/d (100 %)	55.6 t/d (126.1%)	64.5 t/d (146.3%)	+ 20.4 t/d (+ 46.3%)
Northwestern Basin	Sarapui	98.6 t/d (100 %)	107.0 t/d (108.5%)	118.5 t/d (120.2%)	+ 19.9 t/d (+ 20.2%)
Western Basin	Alegria Pavuna	164.2 t/d (100 %)	135.8 t/d (82.7%)	117.4 t/d (71.5%)	- 46.8 t/d (- 28.5%)
Islands		7.8 t/d (100 %)	6.6 t/d (84.6%)	5.8 t/d (74.4%)	- 2.0 t/d (- 25.6%)
TOTAL		354.8 t/d (100 %)	340.6 t/d (96.0%)	338.1 t/d (95.3%)	- 16.6 t/d (- 4.7%)

PO₄-P

unit : ton/day

Name of Basin	IDB/OECF Program (1st Stage)	Runoff Load			Reduction Load (2010-1991)
		1991 (Present)	2000 IDB/OECF Program (Primary)	2010 IDB/OECF Program (Secondary)	
Eastern Basin	Icarai Toque Toque S-II	0.56 t/d (100 %)	0.65 t/d (116.1%)	0.71 t/d (126.8%)	+ 0.15 t/d (+ 26.8%)
Northeastern Basin		1.01 t/d (100 %)	1.28 t/d (126.7%)	1.49 t/d (147.5%)	+ 0.48 t/d (+ 47.5%)
Northwestern Basin	Sarapui	2.22 t/d (100 %)	2.60 t/d (117.1%)	3.03 t/d (136.5%)	+ 0.81 t/d (+ 36.5%)
Western Basin	Alegria Pavuna	4.16 t/d (100 %)	4.38 t/d (105.3%)	4.54 t/d (109.1%)	+ 0.38 t/d (+ 9.1%)
Islands		0.19 t/d (100 %)	0.20 t/d (105.3%)	0.22 t/d (115.8%)	+ 0.03 t/d (+ 15.8%)
TOTAL		8.14 t/d (100 %)	9.11 t/d (111.9%)	9.99 t/d (122.7%)	+ 1.85 t/d (+ 22.7%)

表16.7-3 湾外放流システムの流出負荷量削減効果

BOD

unit : ton/day

Name of Basin	Runoff Load				Reduction Load		
	1991 (Present)	2010			1991	1991	1991
		Case 1	Case 2	Case 3	- Case 1	- Case 2	- Case 3
Eastern Basin	40.1 (100%)	33.8 (84.3)	33.8 (84.3)	35.6 (88.8)	- 6.3 (-15.5)	- 6.3 (-15.5)	- 4.5 (-11.2)
Northeastern Basin	44.1 (100%)	64.5 (146.3)	64.5 (146.3)	64.5 (146.3)	+ 20.4 (+46.3)	+ 20.4 (+46.3)	+ 20.4 (+46.3)
Northwestern Basin	98.6 (100%)	123.9 (125.7)	123.9 (125.7)	123.9 (125.7)	+ 25.3 (+25.7)	+ 25.3 (+25.7)	+ 25.3 (+25.7)
Western Basin	164.2 (100%)	104.7 (63.8)	111.5 (67.9)	119.2 (72.6)	- 59.5 (-36.2)	- 52.7 (-32.1)	- 45.0 (-27.4)
Islands	7.8 (100%)	6.8 (87.2)	6.8 (87.2)	6.8 (87.2)	- 1.0 (-12.8)	- 1.0 (-12.8)	- 1.0 (-12.8)
TOTAL	354.8 (100%)	333.7 (94.1)	340.5 (96.0)	350.0 (98.6)	- 21.1 (- 5.9)	- 14.3 (- 4.0)	- 4.8 (- 1.4)

PO₄-P

unit : ton/day

Name of Basin	Runoff Load				Reduction Load		
	1991 (Present)	2010			1991	1991	1991
		Case 1	Case 2	Case 3	- Case 1	- Case 2	- Case 3
Eastern Basin	0.56 (100%)	0.53 (94.6)	0.53 (84.6)	0.61 (108.9)	- 0.03 (- 5.4)	- 0.03 (- 5.4)	+ 0.05 (+ 8.9)
Northeastern Basin	1.01 (100%)	1.49 (147.5)	1.49 (147.5)	1.49 (147.5)	+ 0.48 (+47.5)	+ 0.48 (+47.5)	+ 0.48 (+47.5)
Northwestern Basin	2.22 (100%)	3.04 (136.9)	3.04 (136.9)	3.04 (136.9)	+ 0.82 (+36.9)	+ 0.82 (+36.9)	+ 0.82 (+36.9)
Western Basin	4.16 (100%)	2.77 (66.6)	3.09 (74.3)	3.42 (82.2)	- 1.39 (-33.4)	- 1.07 (-25.7)	- 0.74 (-17.8)
Islands	0.19 (100%)	0.22 (115.8)	0.22 (115.8)	0.22 (115.8)	+ 0.03 (+15.8)	+ 0.03 (+15.8)	+ 0.03 (+15.8)
TOTAL	8.14 (100%)	8.05 (98.9)	8.37 (102.8)	8.78 (107.9)	- 0.09 (- 1.1)	+ 0.23 (+ 2.8)	+ 0.64 (+ 7.9)

安定化池は、ブラジルにおけるこれまでの実績によると、滞留日数が30日の場合、BOD負荷の90%を除去することができる。サラプイ川とイグアス川の下流に、2010年の流域人口の80%を処理人口とする安定化池を設置した場合の削減負荷量を試算した。

日降雨量が10~20mmの時の河川水を貯留することができる滞水池を流域全体に設置した場合の出水時河川負荷（BOD）の削減効果も試算した。削減負荷量は10ton/yr程度で、この程度の規模では効果は極めて小さいことが判明した。

産業系汚濁源については、生産工程や適用可能な排水処理施設に関する詳しい調査を行っていないために、現時点で削減可能な排出負荷量を見積ることはできない。ただし、1991年に発令された州条例DZ205-R5には、リオ州政府は産業系排出負荷量（BOD）を最低70%削減するという目標が示されている。

流況改善は閉鎖性水域の水質を改善するための有力な対策である。ゴベルナドール・フンドン両島西側の水路を水深5mまで掘り下げ、幅を現況より500m広げた場合、水路部分で水質（BOD）は28%改善され、その効果は他の区域にも広く及ぶことが判明した（図16-6）。

汚染底質を除去した場合の水質改善効果も予測したが、現在のように流入負荷が多い場合にはあまり効果がないことが判明した。しかし、流入負荷がある程度減少した時点では、とくに底層のDO濃度の改善に効果を発揮すると予想される。

16.8 流入負荷量削減対策の費用

流入負荷量削減対策として定量的な比較が可能な4種類の下水処理システム（活性汚泥処理、湾外放流、安定化池、3次処理）の概略コストをブラジルにおける物価・工事費にもとずいて算出した。

活性汚泥処理は処理場建設費では1次処理の2.5~3倍かかるが、管渠の敷設費も含めた総コストでは1.2倍程度にとどまる。また、3次処理の処理場建設費は2次処理の1.1倍程度であるが、維持管理費は1.5倍程度を要する。湾外放流システムの建設コストは海底部分の管渠の長さにより大きく異なる。なお、処理施設の単位処理量当りの建設コストは、安定化池が活性汚泥処理よりかなり安くなる。

16.9 対策の最適な組合せ

16.9.1 目標水質を達成するための対策組合せ

流域内に多種・多数の汚濁源を有するグアナバラ湾の水質を改善するためには、ハードウェアタイプとソフトウェアタイプの対策を組み合わせた総合的な対策を長期にわたって実施しないと顕著な効果は上がらない。ここでは、16.7で提案した各種対策の中から水質改善効果の定量評価が可能な対策のみを組み合わせ、どの程度目標流出負荷量に近づくことができるかをBODを指標として計算した。

西部流域の目標流出負荷量は98ton/dayで、対策としては次の4種の組合せが考えられる。

- ① 2次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1+Stage 2)
- ② 1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1) + 湾外放流 (アレグリア地区)
- ③ 1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1) + 湾外放流 (アレグリア地区+ペーニャ地区)
- ④ 1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1) + 3次処理

①及び④は目標値をそれぞれ19ton/day及び8ton/dayオーバーするので、これを産業系負荷の削減(排水規制の強化、共同処理施設の設置)、ゴミ収集率の向上等により補う必要がある。②は負荷量が目標値に達し、③は目標値以下になる。

東部流域の目標流出負荷量は24 ton/dayで、対策としては次の4種の組合せが考えられる。

- ① 2次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1+Stage 2)
- ② 1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1) + 湾外放流システム (イカライ地区)
- ③ 1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1) + 湾外放流システム (イカライ地区+トクトク地区)
- ④ 1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1) + 3次処理

どの組合せも目標値を5~10ton/dayオーバーするので、これを産業系負荷の削減(排水規制の強化、水産加工場の共同処理施設の設置等)で補う必要がある。

北西部流域の目標流出負荷量は59 ton/dayで、対策としては次の3種の組合せが考えられる。

- ① 2次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1+Stage 2) + 安定化池 (イグアス

地区)

② 1次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1) + 安定化池 (イグアス地区 + サラプイ地区)

③ 2次処理下水処理場 (IDB/OECF Program、Stage 1 + Stage 2) + 追加下水処理場 (処理能力が $1.2\text{m}^3/\text{sec}$ の2次処理場を3ヶ所)

①、③では目標値をそれぞれ 17ton/day 、 29ton/day オーバーするので、これを産業系負荷の削減 (排水規制の強化、石油化学関係の工場の共同処理など) で補う必要がある。

北東部流域の目標流出負荷量は 44ton/day で、対策としては次の2種の組合せが考えられる。

① 安定化池 (サラプイ地区と同規模のもの)

② 追加下水処理場 (処理能力が $1.2\text{m}^3/\text{sec}$ の2次処理場を2ヶ所)

①は目標値に達することができ、②もほぼ目標値に達する。

島礁流域の目標流出負荷量は 8.7ton/day で、対策としては次の2種の組合せが考えられる。

① 2次処理下水処理場 (ゴベルナドール島、フンドン島)

② 3次処理 (ゴベルナドール島)

いずれの組合せでも目標値に達することができる。

16.9.2 コストその他の要因も考慮した最適組合せ

前項ではBODで見た目標流出負荷量の達成という観点で対策の組合せを検討したが、湾内で生産される有機物の量が極めて多いことを考えると、栄養塩類 (ここではT-Pで代表) の削減効果の大きい対策が望ましい。また、施設の建設・維持管理に要する費用が少なく、技術面でも複雑でないものが望ましいことは言うまでもない。これらの点を考慮して、先に示した対策代替案から最適なものを選定し、ソフトウェアタイプの対策も併せて提案する。

西部流域における4種の対策のT-P削減効果を見ると、それぞれ 0.5ton/day 、 3.3ton/day 、 4.2ton/day 、 4.4ton/day で、湾外放流システムを採用している②、③と3次処理を採用している④の効果大きい。

湾外放流システムは海底部分の管の長さにより建設コストが大きく異なるが、②③④を比較すると②がコスト面で有利である。維持管理費は湾外放流システムが2次処理及び3次処理よりはるかに安い。

したがって、西部流域では②を選択し、併せて面源発生負荷量の削減に効果のあるファベールにおける汚水・ゴミ収集システムの改善を実施することを提案する。ただし、湾外放流システムを適用するに当たっては、重金属・有害物質を含む産業排水はシステムから除外すること、外洋及び沿岸に対する環境影響を事前に評価することが不可欠である。

東部流域における4種の対策のT-P削減効果を見ると、それぞれ0.1 ton/day、0.4 ton/day、0.6 ton/day、1.0 ton/dayとなり、栄養塩類の削減という観点からは①は勧められない。いっぽう、コストの面では湾外放流システムを含む②、③が不利である。

したがって、東部流域では④が最適と考えられるが、3次処理は維持管理に高度な技術が必要とするので、適用する場合には十分な実証実験を行うべきである。また、どの組合せを採用するにせよ、東部流域では産業系負荷（とくに水産加工場からの負荷）を削減することが重要である。

北西部流域で提案した多段式安定化池の栄養塩類削減効果は、滞留日数を30日とすると約50%と予想され、二次処理（活性汚泥処理）よりも効果的である。また、土地代が安ければ建設コストも二次処理より安く、維持管理費は大幅に安い。したがって、北西部流域においては対策②が望ましい。併せて、都市化が進行している地区に対しては厳しい土地利用規制を適用し、排出負荷量の多い石油化学系工場を対象にした共同排水処理施設を整備すべきである。

北東部流域では北西部流域におけると同様の理由により対策①が望ましい。また、今後は開発が急速に進む可能性が強いので、厳しい土地利用規制を適用する必要がある。

島礁流域からの流出負荷量は全体からみれば少ないが、栄養塩類を目標値まで削減するためには3次処理を導入する必要がある。

水域における対策としては、16.7で述べたように、ゴベルナドール島及びフンドン島西側水路の拡幅・増深による湾内の流況改善が最も効果的である。

中・長期の目標値を達成するために最適と判定された対策を図16.9-1に示した。

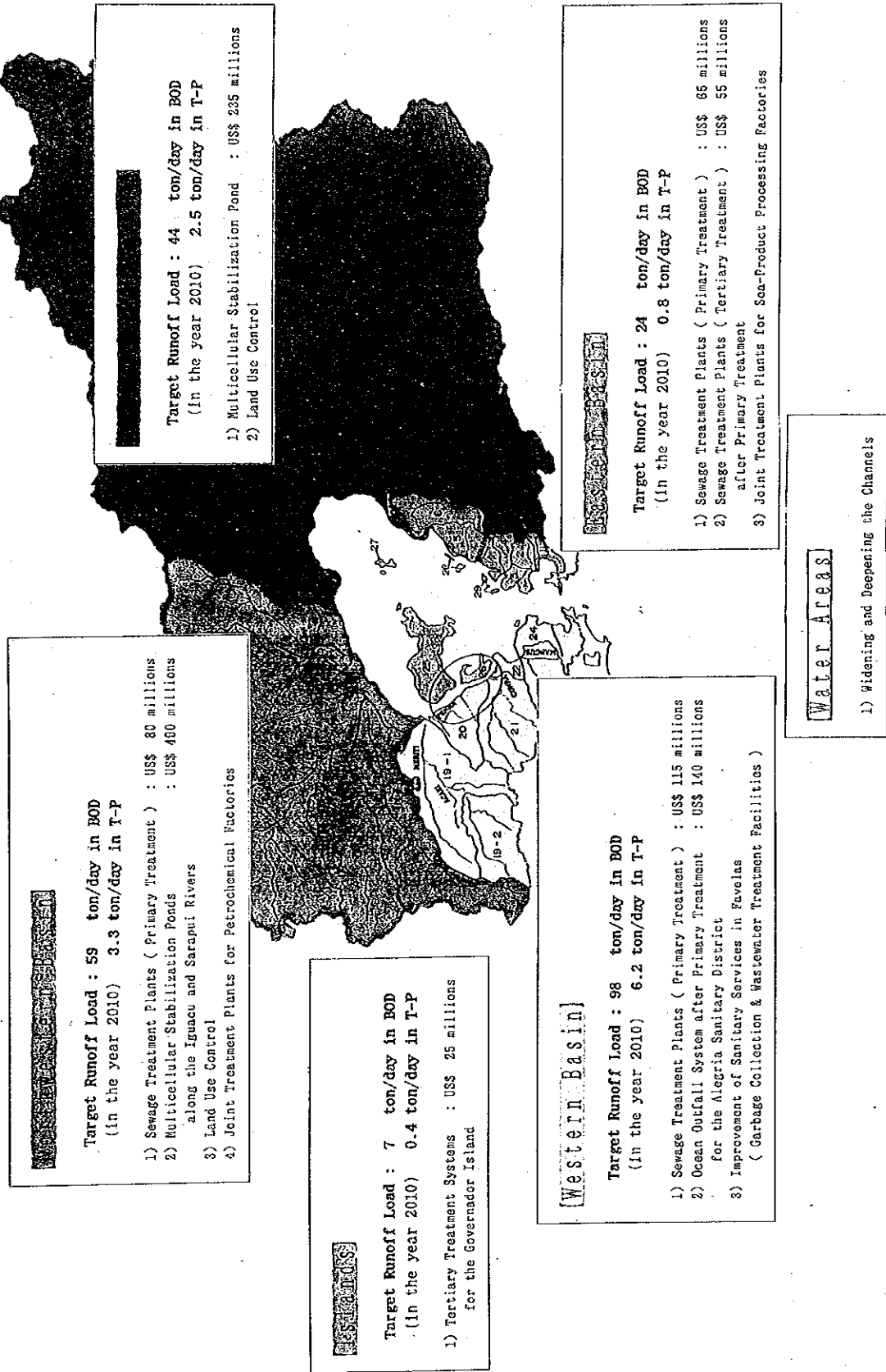


図 16.9-1 流域別の最適な対策組合せ

17. マスタープランの実施に当たって留意すべき事項

マスタープランを実施するうえでとくに重要と思われる課題は以下の8項目である。

- ①マスタープランと整合性のあるグアナバラ湾流域の総合的開発計画の策定
- ②流域内の水資源を一元的に利用・管理する委員会の設置
- ③グアナバラ湾及び流域の環境のモニタリング及び研究の継続
- ④マスタープランを実施するための資金の確保
- ⑤環境行政に関わる州機関の役割の明確化と財政基盤の強化
- ⑥グアナバラ湾及び流域に適した汚水処理技術の開発
- ⑦環境改善に効果的な新しい社会経済システムの確立
- ⑧環境に対する住民意識の向上と環境改善活動に対する住民の参加

18. 実行可能性調査の実施が望ましいプロジェクト

マスタープランで提案された各種の対策のうち、具体的な計画の立案または手法の開発が急がれる①湾外放流システム、②安定化池システム、③ファベーラのゴミ及び汚水の処理システム、④産業系排水の共同処理システム、⑤滞水池及びスワール分水槽による出水時負荷削減システム、⑥ジュルジュバ湾、ボタフォゴ湾の水質改善、⑦ゴベルナドール・フンドン両島西側水路の拡幅・増深、⑧Potentially Critical Sub-basinの土地利用計画の策定、の8つについて実行可能性調査の実施を提案した。

