

日本国際協力事業団(JICA)
中国 国家 海洋 局

中国珠江口海域環境モニタリング整備計画調査

最終報告書（概要版）

2001年9月

国土環境株式会社
ユニコ インターナショナル株式会社

社調二
JR
01-133

序 文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国の珠江口海域環境モニタリング整備計画にかかる開発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12年3月から13年8月までの間、4回にわたり、国土環境株式会社副社長の佐久間 襄氏を団長とし、同社及びユニコインターナショナル株式会社から構成される調査団を現地に派遣しました。

また平成12年4月から平成13年8月の間、国際協力事業団国際協力研修所国際協力専門員 水口 正美氏を委員長とする作業監理委員会を設置し、本件調査に関し専門的かつ技術的な見地から検討・審議が行われました。

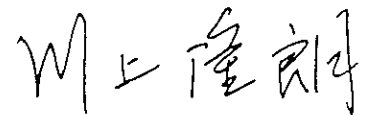
調査団は、中華人民共和国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

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、心より感謝申し上げます。

平成13年 9月

国 際 協 力 事 業 団



総 裁 川 上 隆 朗



图1 珠江三角洲地域

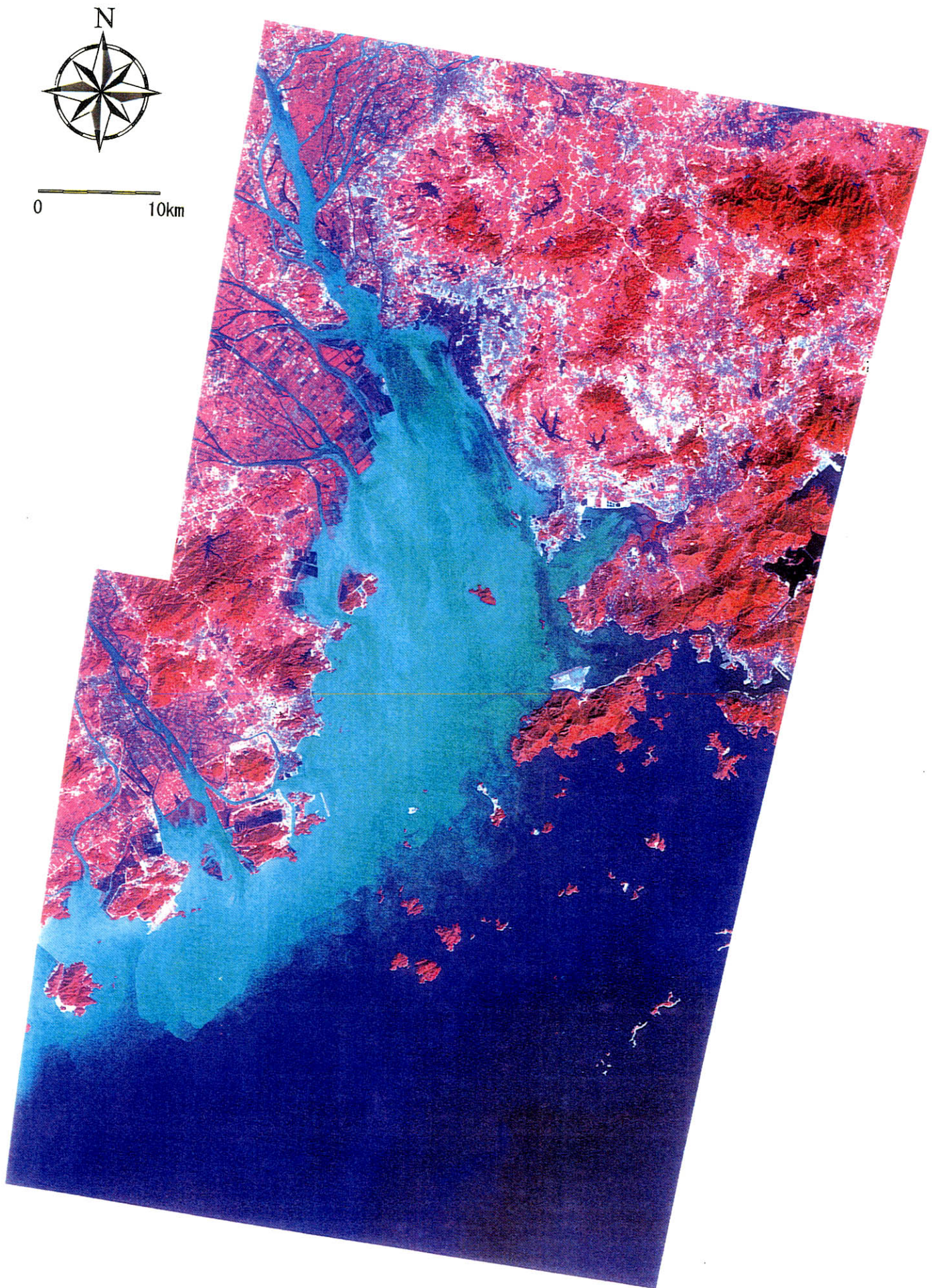


図2 珠江口地域の衛星画像
<LANDSAT TMの画像、撮影日：1999年12月25日>

要 約

背 景

珠江は中国南部における最大の河川であり、雲南省に起源を發して東に向かい、広西壮族自治区、広東省を流下し、広州や香港といった大都市が立地するデルタ地域を経て南シナ海に流入する。総延長は約 2,200km、流域面積は 452,600km²、年間総流量は約 3,300 億 m³である。年間総流量の 80%は 4月から 9月の雨季に流出し、年間土砂流出量は約 7.1 億トンに及ぶ。

珠江はデルタ地域で分岐し、8つの河口から南シナ海に流出する。東側に位置する4つの河口は珠江口と呼ばれる内湾に流出し、その流量は全体の約 60%にあたる。これら4つの河口には、東江、北江の河川水の大半と西江の一部が到達する。香港特別行政区は珠江口の東側に、マカオ特別行政区は西側に位置している。

珠江口周辺の珠江デルタ地域には、北側に広東省の省都である広州、南東側に特別経済区である深圳、南西側に同じく特別経済区である珠海がある。珠江口海域に直接流出するこの地域は 1999年時点で 1,760万人の人口を擁し、中国南部の経済・文化の中心となっている。この地域の急速な都市化と産業発展は人口の急激な増加を招き、地域の GDP は 5,700 億元 (約 690 億ドル) に達し、広東省の 67%を占めている。

急速な経済発展はこの地域の環境に重大な影響をもたらした。農地から宅地・工場用地への土地利用の変換が進み、広州から香港に至る地域では 1980年から 1990年までに 25%の農地が失われたといわれ、ここに東莞や仏山のような新興産業都市が形成された。

現状調査結果

<水理・流況>

珠江口海域の流況は、平均水深 5m と浅いことと強い潮汐の影響および膨大な流入河川流量によって特徴付けられる。珠江口に流入する 4河口からの流量は年間 1,800 億 m³を超え、その 80%は雨季に集中している。したがって、雨季には珠江口海域の流況は河川流により支配され、乾季には外海水の影響が強くなる。そのため、珠江口の塩分は季節によって、また潮汐変動によって大きく変化することになる。雨季には、強力な鉛直混合が起きているにもかかわらず水温・塩分の成層が形成され、大潮時においても残存している。しかし乾季には、小潮時に弱い成層が形成されるが大潮時にはほとんどみられない。基本的に、珠江口内の流れは潮汐変動により規則的に変化し、上げ潮時には北向きに湾奥方向に流れ、下げ潮時には南向きに湾口方向に流れる。最大流速は雨季の下げ潮時に膨大な河川流量と潮汐流により出現し、上層では 190cm/s に達する。

現地調査により得られた潮汐残差流のパターンは、外海水が南東側の湾口の中層・下層から湾全体に流入していることを示している。流入した外海水の一部は北向きに進むが、他は内伶仃島

付近で南方向に向きを変え、南西側の湾口から外海に向かう。上層では湾全体で南向きの残差流が形成されている。

<水 質>

河川水は莫大な量の懸濁物質 (SS) を伴い、その量は年間 300 万トン以上で、その 90%が雨季に集中する。この多量の SS 流入負荷は、強い潮汐によって引き起こされる底泥の再浮上とあいまって、珠江口海域が異常ともいえるほど高い SS と濁度を引き起こす原因となっており、乾季の大潮時には SS : 300mg/L 以上、濁度 : 200FTU 以上となる海域がある。小潮時には SS 濃度はいずれの季節にも低いレベルにあり、潮汐による底泥の再浮上が大きく寄与していることを示唆している。海域全体平均の SS 濃度は 10mg/L から 80mg/L の範囲で季節による変動がみられ、最も高濃度となる海域は強い流れが起きる湾の南西部と湾央部で、最も低濃度となるのは南東部である。深圳湾の SS レベルは潮汐の影響を受けにくいいため比較的低い。

また、河川流は1年間に、化学的酸素要求量 (COD_{Mn}) : 40 万トン、全窒素 (T-N) : 40 万トン、全リン (T-P) : 1 万トンの汚濁負荷を珠江口海域にもたらし、その多くは雨季に集中する。

主要な水質項目について、雨季、乾季、中間期の調査結果を「中国環境基準 (海水)」と比較してみると、以下に示すとおりである。

- ・ 無機窒素 (I-N) とリン形態リン (PO₄-P) は、河口付近と深圳湾で環境基準値に近い値となり、I-N の最大値は湾奥の河口付近で雨季に 1.6mg/L に達し、PO₄-P の最大値は乾季の深圳湾で 0.4mg/L を上回っている。
- ・ 化学的酸素要求量 (COD_{Mn}) は、雨季の湾口付近と深圳湾で高く、最大値は深圳湾の 4.8mg/L である。
- ・ 溶存酸素量 (DO) は、多量の有機汚濁物質が流入している割には湾全体でかなり高いレベルにあり、鉛直的な濃度勾配も明瞭には認められない。乾季には深圳湾を除く全域でほぼ飽和状態に近いレベルで、この調査の範囲内では特に問題となるような酸素消費の著しい海域は見当たらない。
- ・ 油分濃度は、深圳湾が他海域に比べてかなり高いレベルにありほぼ一定している。最大値は 0.08mg/L で乾季の大潮時に観測されており、これは港湾や開発地域に当てはめられる「環境基準第4類型」を大きく上回っている。
- ・ 鉛 (Pb) と亜鉛 (Zn) は、南西部沿岸に沿って、環境基準第1類型 (Pb : 1 μg/L、Zn : 20 μg/L) を上回る場合があるが、他海域では問題となるレベルにない。

<底 質>

底泥の粒度組成は、一部の航路部を除いてシルトと粘土が主組成である。有機物含有量は、乾季の深圳湾で3.2%であるが、他地点では3%以下である。油含有量も乾季の深圳湾で2,500mg/kgが検出された以外は低いレベルにある。乾季の深圳湾では、硫化物含有量が高く、酸化還元電位 (Eh) がマイナスとなっていることから、底泥が還元状態にあることが示唆される。重金属類は水銀 (Hg) を除いて「沿岸の底質基準」をわずかに上回っている。重金属の平面分布をみると、湾奥部と南西部でやや高い携行を示す Zn とヒ素 (As) を除いて、明瞭な分布傾向はみられない。

<水生生物>

雨季および乾季におけるクロロフィル a (chl-a) 濃度は外海に向かって高くなる傾向にあるが、中間期（春季）では逆の傾向となる。珠江口内湾域では、深圳湾と洪奇門（Hongquimen）付近が他に比べて常に高い濃度となっている。このような chl-a の分布パターンは、珠江口の chl-a は「河川からの淡水種植物プランクトン」と「外海からの海水種植物プランクトン」のバランスによって支配されているように見える。

全季節を通じて、動物プランクトンの優占種は *ARTHROPODA* 類の *Copepoda* であり、いずれの種も汽水域を好む種である。総個体数は雨季に最も多く、次いで乾季、中間期の順である。雨季には、動物プランクトンの個体数は塩分が淡水と海水の中間となる湾央部で最も多い。中間期には、ほぼ全域において、*Dinoflagellate* 類の *Noctiluca scintillans* が大量に出現し、その個体数は $10^3 \sim 10^5$ 個体/ m^3 に達し、他の全動物プランクトンの個体数を上回る。

植物プランクトンは全季節を通じて珪藻類が優占種となり、淡水種と海水種が共存している。雨季には、河川水流入量の増大を反映して珠江口の北半分は淡水種が優占種となる。雨季、乾季とも細胞数は極めて少なく、 $10^1 \sim 10^2$ 細胞/mL 程度である。中間期の小潮時には珪藻類の *Skeletonema costatum* が優占し、細胞数も $10^3 \sim 10^5$ 細胞/mL に増加する。中間期には、増殖に最適な水温、安定した塩分、低い SS といった環境条件が、半閉鎖性水域に一般的に出現する種の一時的な増殖をもたらしたものとみられる。

しかし、富栄養化進行の観点からみれば、日本の内湾域では恒常的に 10^3 細胞/mL 以上の細胞数がみられることと比較して、珠江口の現状での基礎生産レベルはまだ高い状態に至っていない。

底生生物の出現種は、大半が海水種であり一部の汽水種がみられる。珠江口海域の底生生物の生産力はかなり小さく、変動が大きい塩分と強い流れがみられる北部海域と西部海域では特に低い。

水質汚濁機構

珠江口の水環境は、深圳湾と小さな入り江を除いて、①浅い水深、②強い潮汐の影響、③多量の淡水流入によって規定される。4つの河口から流入する河川水は 1800 億 m^3 /年に達し、この河川水によって珠江口にもたらされる COD 負荷量は 40 万トン/年、土砂流出量は 300 万トン/年と推定される。

潮汐による海水交換が大きいと、湾内に滞留時間は極めて短く 2～3 日程度であり、流入した汚濁負荷は湾内にはほとんど蓄積されない。そのため、流入する有機汚濁物質が多量である割には DO（溶存酸素量）の低下はみられず高い値を保ち、底質の酸化還元電位も深圳湾を除いてプラスであり酸化状態を保っている。

莫大な量の淡水流入と強力な潮汐による海水交換により、植物プランクトンは常に海水性種と淡水性種が入れ替わっており、これが豊富な栄養塩があるにもかかわらず植物プランクトンの増殖（基礎生産）を妨げる作用を果たしている。また特に雨季には高い濁度となることも基礎生産の阻害要因となっている。

このように珠江口海域での基礎生産量は小さいため、水質は主に流入負荷の移流拡散によって支配されているといえる。ただし、深圳湾内は全く異なる水塊である、深圳湾は流速が弱いため、他海域の 20 倍にも相当する高いリン濃度に代表されるように、富栄養化が進んでいる半閉鎖性内湾であるといえる。クロロフィルも高く、底泥の酸化還元電位は低く、DO の低下も認められる。

シミュレーションモデルの構築

<汚濁負荷量>

珠江口に流入する汚濁負荷量は、現地調査等による河口付近の流量・水質および原単位法によって推定した。年間汚濁負荷量は、COD：53 万トン、T-N：44 万トン、T-P：1.4 万トンと推定された。

<モデル構築>

シミュレーションモデルは、水理（流動）モデルと水質モデルにより構成される。

水理モデルは、鉛直方向に 15 層を持った三次元モデルであり、密度成層が形成されやすい珠江口海域の複雑な水理特性を表現できるように開発した。季節変化が著しい河川流量の影響を把握できるよう、計算範囲は外海（南シナ海）まで拡大した。水理モデルは、潮汐周期で変動する密度成層の変化も含めて、珠江口海域の水理特性を十分に再現できるものとなった。しかし、この水理モデルを用いて計算した SS の予測は必ずしも十分な再現性は得られておらず、河川からの負荷量の精度向上と底泥再浮上の定量化に関する調査により、モデルを改善する余地が残った。

水質モデルは、低次生態系サブモデルと結合させた三次元移流拡散モデルであり、水理モデルにより得られた流動場を用いるものである。本調査で構築された水質モデルは、移流拡散現象に支配される大部分の水質項目に対しては、その濃度レベルを十分に再現できるものとなったが、クロロフィル a とこれに関連する COD、PO₄-P の分布と変動の再現には、一部不十分な部分が残った。珠江口の水質形成要因の複雑や負荷量情報の不充分さに加えて、上述のように SS の再現が不十分であることが大きな原因である。ただ、モデル自体は完全に構築できており、今後、中国側で必要情報を収集したうえで、精度向上のためのパラメータ等の修正を行っていけば、再現性の高い有効なモデルとして、実用に供することができる。

モニタリング計画

国家海洋局南海分局は 1984 年から珠江口海域の環境モニタリングを実施してきている。この調査結果と本調査の結果をもとに、調査団は、この南海分局のモニタリングを効率的、継続的、経済的に実施していくための提案を行う。

<モニタリング地点>

流入する汚濁源の位置と珠江口内の水質特性を考慮して、珠江口海域を 6 つの海域に区分してモニタリング地点の再構築を検討した。南海分局実施の地点に新たに 5 地点を加えることとし、また、既存の 11 地点のうち 3 地点は近傍の地点と類似の水質を示すことから、削除できる可能性を示唆し中国側での検討を求めた。

<モニタリング項目>

水質に関しては、「中国海水環境基準」に掲げられた 35 項目、人の健康に係る 4 項目、および富栄養化に係る 4 項目を基本とし定期的なモニタリングを実施することを提案した。分析方法は「GB17378.4-1988, 海洋観測規範 4 海水分析」に従うものとした。

底質に関しては、本調査で実施した 14 項目とした。分析方法は「GB17378.4-1988, 海洋観測規範 5 底質分析」に従うものとした。

水生生物は、植物プランクトン、動物プランクトン、底生生物とした。

<モニタリング頻度>

水質：雨季、乾季及び中間季の年 3 回とする。

底質：底質の汚染は深刻ではないので、隔年～数年に 1 回の調査でよい。ただし、汚濁の著しい深圳湾は毎年調査が望ましい。

水生生物：水質と同様、年 3 回の調査が望ましいが、水生生物の分析は高価で時間もかかるため、これら全てを年 3 回定期的に実施するのは困難と考えられるため、継続モニタリングは赤潮原因プランクトンに限定した調査とすることでもやむを得ない。

<データの管理>

モニタリングデータの品質管理を適切に行うには、技術者や分析機関の登録・認証制度やデータ（数値）の信頼性確保・検証が必要である。

<施設設備整備>

南海分局の分析機関で使用されているモニタリング設備・機材は、現状のモニタリングにかろうじて対応できているが、既に老朽化し更新を要する分析機器も多くみられる。これら老朽機材の更新のほかに、現在、全世界で注目を集めているダイオキシンや環境ホルモン物質の分析に対応できる高精度機器の導入を図っていく必要がある。

現状でのデータの管理や利用は、南海分局の各機関が個別に調査・収集・処理し、月報として集約しているが、このようなシステムは非効率である。将来的には外部の研究機関や公衆に公開していくことも視野に入れて、当面、関係機関が相互にデータの利用を図れるよう、情報共有化ネットワークを構築することを強く提案する。

<組織の整備>

南海分局は、海洋行政やモニタリングに十分な経験を持つ確立した組織であるが、珠江口海域の秩序ある発展を図るためには、外部の関係機関との協力が不可欠である。海洋環境保全に関する行政レベルでの協力の実施例として、「瀬戸内海環境保全協会」を取り上げ、珠江口海域での行政的な連携体制の構築を提案する。

<法制度の整備>

現状の海域環境監視は中国の環境保護に関連する各種法、条例、標準、規範等に従って実施されており、新たな法制度の制定を必要とするような大きな問題はない。しかし、珠江口の環境対策を重点施策として取り組む場合を想定し、日本の「瀬戸内海環境保全特別措置法」を例として、「珠江口海域環境保全条例」制定について検討することを提案する。

<モニタリング体制の整備>

現状の海域モニタリングの体制は長年の経験からほぼ完成しており、機材の老朽化等 2~3 の点を除いて特に大きな問題はない。さらに効率的、効果的な監視を行うための改善点について下記を提案する。

- 1) 海域環境モニタリングシステムの行政上の機能を明確にするため、基本計画と実行計画を策定する。
- 2) 発生源データの管理システムの構築、重点モニタリングの実施、モニタリング関連機関の協力・情報交換により、観測・監視体制の強化を図る。
- 3) 外部の関連機関との連携のもと、環境情報センターを設置し情報を集積することにより、データ・情報の管理と共有化を図る。
- 4) 地域、国内、海外の技術者、科学者、研究開発機関との連携強化を図る。
- 5) システマティックな教育・訓練の実施と専門図書センターの設置により、人材の育成強化を図る。

<概算費用の算出>

以上の施設設備等の整備に要する費用は、総額 5,700 万 RMB (=8.56 億円) である。

<1RMB=15 円：2001 年 7 月時点>

これらの資金調達先としては、世界銀行、アジア開発銀行、日本国際協力銀行が挙げられる。

目 次

第1章	序	1
1	背景	1
2	目的	1
3	調査対象地域	1
4	調査スケジュール	1
5	調査実施体制	2
第2章	モニタリング計画の構築	3
1	現状調査の概要	3
1. 1	環境の現状	3
1. 1. 1	潮汐および潮流	3
1. 1. 2	水質および底質	3
1. 1. 3	水生生物	4
1. 2	水質汚濁機構	4
1. 3	シミュレーションモデルの構築	5
2	モニタリング計画	6
2. 1	モニタリングの目的と概念	6
2. 1. 1	目的	6
2. 1. 2	概念	6
2. 2	モニタリングの方法	6
2. 2. 1	モニタリング地点	6
2. 2. 2	モニタリング項目	9
2. 2. 3	モニタリングの頻度	11
2. 3	データの解析と管理	11
2. 3. 1	水質・底質データの解析と管理	11
2. 3. 2	水生生物データの解析と管理	11
2. 4	施設設備整備計画	11
2. 5	組織、制度、体制の整備	13
2. 5. 1	組織の整備	13
2. 5. 2	法制度の整備	13
2. 5. 3	観測体制整備	13

第3章	シミュレーションモデルの構築	17
1	汚濁負荷量	17
2	水理-水質モデルの構築	21
2.1	目的	21
2.2	モデルの基本構造	21
2.3	水理(流況)モデル	21
2.3.1	計算条件	21
2.3.2	水理シミュレーション結果	21
2.4	水質モデル	26
2.4.1	懸濁物質(SS)シミュレーション	26
2.4.2	水質(物質循環モデル)シミュレーション	26

図 表 リ ス ト

< 巻頭 >

- 図 1 珠江三角洲地域
- 図 2 珠江口地域の衛星画像<LANDSAT TM 画像>

< 第 2 章 >

- 表 2.2.1 モニタリング地点の提案
- 表 2.2.2 調査項目についての提案
- 表 2.4.1 費用内訳表

- 図 2.2.1 国家海洋局南海分局によるモニタリング地点
- 図 2.2.2 本調査によるモニタリング地点
- 図 2.4.1 珠江口モニタリング情報共有化ネットワークの構想図
- 図 2.5.1 日本の瀬戸内海における環境保全の体系
- 図 2.5.2 日本の瀬戸内海における環境保全対策の政策決定支援ネットワーク

< 第 3 章 >

- 図 1.1.1 汚濁負荷量算出の概念
- 図 1.1.2 珠江口流域の概念図
- 図 1.1.3 水質シミュレーションに用いる汚濁負荷量 (雨季)
- 図 2.2.1 三次元水質 (物質循環) モデルの概念図
- 図 2.3.1 計算領域・計算格子と水深
- 図 2.3.2 流速ベクトルの観測値とシミュレーション結果の比較 (湾央部、大潮時)
- 図 2.3.3 流速ベクトルの観測値とシミュレーション結果の比較 (湾央部、小潮時)
- 図 2.3.4 塩分鉛直分布の観測値とシミュレーション結果の比較 (小潮時)
- 図 2.3.5 塩分鉛直分布の観測値とシミュレーション結果の比較 (大潮時)
- 図 2.4.1 SS シミュレーション結果 (大潮時)
- 図 2.4.2 SS シミュレーション結果 (小潮時)
- 図 2.4.3 水質シミュレーション結果 (大潮時、表層)
- 図 2.4.4 水質シミュレーション結果 (大潮時、中層)
- 図 2.4.5 水質シミュレーション結果 (大潮時、底層)
- 図 2.4.6 水質シミュレーション結果 (大潮時、表層)
- 図 2.4.7 水質シミュレーション結果 (大潮時、中層)
- 図 2.4.8 水質シミュレーション結果 (大潮時、底層)

第1章 序

1. 背景

珠江口海域の内湾部は、約 4000km² の面積で、その沿岸域は、いわゆる「珠江デルタ経済発展地域」で、広州（Guangzhou）、深圳（Shenzhen）、珠海（Zhuhai）、東莞（Dongguang）の各大都市を含む高度に工業化された人口密集地帯である。

1970年代から珠江デルタの人口集積・産業成長が加速され、適切な環境配慮を行うことなく、大規模開発が進められ、その結果、種々の環境汚染問題が生じている。特に内湾部の水質は、都市、工場、農地等からの未処理排水が増加するにつれて、次第に悪化してきている。珠江口における海洋汚染や富栄養化の進行により、赤潮の頻発、漁業・水産養殖業の被害、水生生物相の貧弱化が進んでいるとの報告が増えている。

中国政府は海洋汚染の進行を食い止めることが急務であるとの認識に立ち、その第1段階として、汚濁負荷量と水質の関連を科学的に把握するためのモニタリングの実施を決定した。中国政府はこの海域での包括的な水質モニタリング計画を確立するための共同調査の実施を日本政府に要請した。日本政府は、国際協力事業団（JICA）を通じて、中国のカウンターパート機関との密接な協力のもと、モニタリング計画策定のための技術援助（共同調査）を行うこととした。

2. 目的

本調査の目的は次のとおりである。

- ・ 既存資料・情報の収集分析、衛星画像解析及び3回の試験的モニタリングによる、珠江口の環境汚染現況の定量的把握
- ・ 珠江口の水質シミュレーションモデルの構築
- ・ 継続的に実施可能なモニタリング計画の策定・提案
- ・ 中国側カウンターパートへの技術移転

3. 調査対象地域

本調査で調査対象とする地域は、図1および図2に示すとおりであり、このうち、主として対象とするのは、香港のランタウ島とマカオを結ぶ線の北側に位置する珠江口内湾域である。

4. 調査スケジュール

調査期間は2000年3月から2001年8月までの約18ヶ月間である。この間に次の調査を実施した。

<p>第1期 2000.3～2000.12</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・既存データ・情報の収集 ・現地踏査 ・衛星画像解析 ・モニタリング実施能力（人員、技術、施設・設備、組織制度 等） ・汚濁源および汚濁負荷量の調査 ・第1回水質等モニタリング（雨季：夏季） ・第2回水質等モニタリング（乾季：冬季） ・流動シミュレーションモデルの構築と評価 ・水質シミュレーションモデルの構築
<p>第2期 2001.1～2001.8</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・第3回（補足）水質等モニタリング（中間季：春季） ・水質シミュレーションモデルの評価 ・モニタリング計画の策定 ・組織制度の提案 ・モニタリング整備の費用算出 ・技術移転の計画立案 ・技術移転セミナーの開催

5. 調査実施体制

本調査は中国のカウンターパート機関である国家海洋局との密接な協力のもと、国際協力事業団（JICA）からの委託を受けた調査団が実施した。調査団は9名の専門技術者で構成した。調査の着手にあたり、JICAはこの調査の進捗監督と助言を行うため、本邦の有識者からなる作業監理委員会を組織した。

中国側は、カウンターパートチームとして、国家海洋局南海分局の10名の専門技術者を組織し、さらに、珠江口海域と沿岸流域の現状に精通した7名の学識者による専門家委員会を組織した。