


ジャカルタ市 (DKI JAKARTA)
公共事業省 (PU)
下水管理公社 (PD PAL JAYA)

ジャカルタ低コスト下水処理システムによる水環境向上のための情報収集・確認調査

最終報告書 (要約)

2010年10月

独立行政法人 国際協力機構
国立大学法人 広島大学

JICA LIBRARY

1201056 [7]

108
61.8
A1P

夏大
JK
10-038



ジャカルタ市 (DKI JAKARTA)



公共事業省 (PU)



下水管理公社 (PD PAL JAYA)

ジャカルタ低コスト下水処理システムによる水環境向上のための情報収集・確認調査

最終報告書 (要約)

2010年10月

独立行政法人 国際協力機構

国立大学法人 広島大学

為替レート (2006年4月～2010年8月)

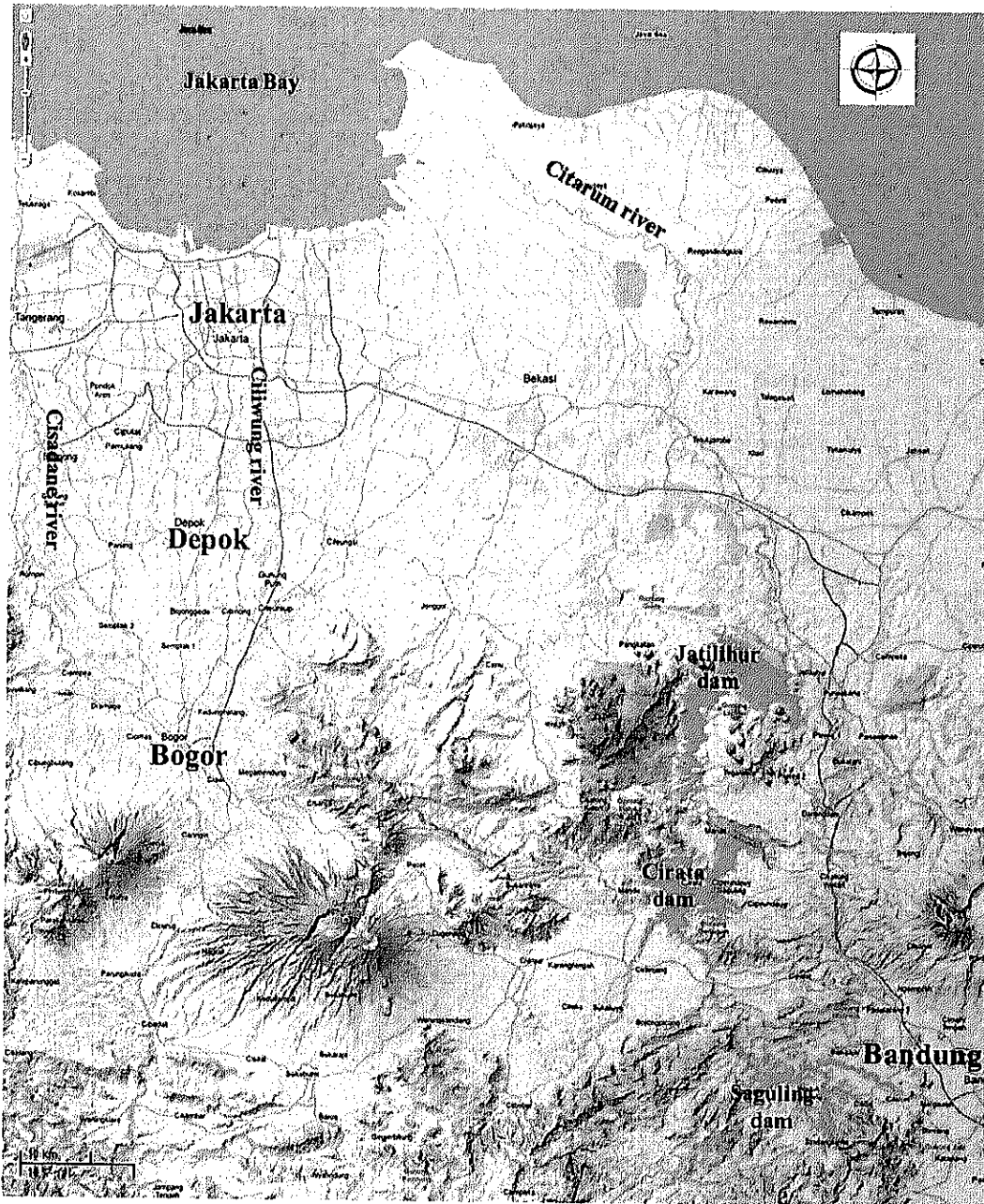
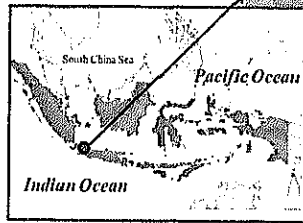
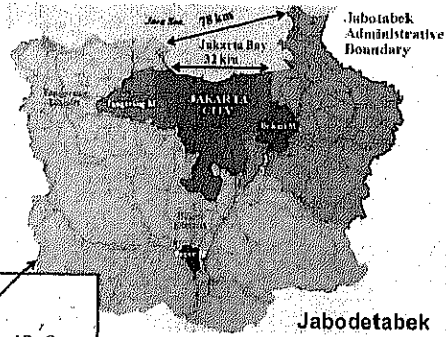
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2006												
USD1=JPY	116.47	114.58	112.17	116.32	114.66	116.94	117.63	117.45	116.07	118.8	121.77	119.78
IDR1=JPY	0.01235	0.01307	0.01219	0.01247	0.01272	0.01289	0.01279	0.0129	0.01265	0.01314	0.01338	0.01324
2007												
USD1=JPY	117.38	119.03	121.59	123	118.53	115.73	115.55	114.67	109.98	114.21	106.98	106.18
IDR1=JPY	0.01286	0.01312	0.01381	0.01357	0.01299	0.0123	0.01266	0.01261	0.01172	0.01213	0.01159	0.01174
2008												
USD1=JPY	99.29	104.05	105.1	106.17	108.05	109.33	105.9	98.23	95.37	90.44	90.02	97.95
IDR1=JPY	0.01079	0.01119	0.01126	0.01157	0.01185	0.01196	0.01116	0.00923	0.0076	0.00812	0.00789	0.00819
2009												
USD1=JPY	97.29	96.87	96.47	95.55	95.25	93.13	89.98	90.87	86.66	91.45	90.14	89.25
IDR1=JPY	0.00842	0.00905	0.00914	0.0093	0.00959	0.00928	0.00925	0.00946	0.00922	0.00969	0.00969	0.00952
2010												
USD1=JPY	92.7	94.06	91.1	88.66	87.05							
IDR1=JPY	0.01022	0.01044	0.00986	0.00975	0.00969							

(出所: JICA レート表)



1201056 [7]

Area : 661.52 km²
 Located at Low lying area
 Crossed by 13 rivers
 Population 12 million



チタラム、チリウン、チサダネ河川システムと主要ダム図

調査団員名及び調査スケジュール

担当業務	氏名	所属先	格付	FY 2009	FY 2010					人・月						
				3	4	5	6	7	8	FY2009		FY2010		計		
										現地	国内	現地	国内	現地	国内	
総括/総合環境モニタリング・アセスメント	山下隆男	広島大学大学院国際協力研究科	2	11日		15日				7日	11		22		33	
下水処理効果予測分析	李 漢洙	広島大学大学院国際協力研究科	4	12日		15日	14日				12		29		41	
水質分析	田中一彦	広島大学大学院国際協力研究科	3	10日			7日			7日	10		14		24	
本質(環境)モニタリング・データ転送	小野寺真一	広島大学大学院総合科学研究科	3	17日		13日				10日	12		28		40	
下水処理システム	大橋昌良	広島大学大学院工学研究科	3	7日		8日				7日	7		15		22	
低コスト下水処理導入支援	内田勝巳	広島大学大学院国際協力研究科	3	11日		15日				7日	11		22		33	
国内作業小計											63		130		193	
総括	山下隆男	国際協力研究科	2	□ 2日	□ 2日		□ 2日	□ 2日	□ 2日			2		8		10
			4	□ 3日	□ 6日	□ 6日		□ 6日				3		18		21
			3	□ 2日	□ 5日	□ 5日		□ 5日	□ 2日			2		17		19
			3	□ 3日	□ 4日	□ 4日	□ 4日	□ 4日	□ 3日			2		20		22
			3	□ 2日	□ 5日		□ 5日	□ 5日	□ 2日			3		18		21
			3	□ 2日	□ 2日		□ 2日	□ 2日	□ 2日			2		8		10
小計												14		89		103
報告書	提出時期			△ Inception report	△ Interim Report			△ Draft Final Report	△ Final Report							
	国内作業			14	24	15	13	24	11		14		89			
	(人・月計)			0.47	0.8	0.5	0.43	0.8	0.37		0.45		2.97		3.35	
											63	14	130	89	193	103
											2.57	7.3	9.87			

目次

1. 序文	1
2. 水環境に関する社会、自然、技術的な背景	2
2.1 インドネシアにおける下水道と水環境問題	3
2.2 ジャカルタの水質問題	3
2.3 日本の総合的流域管理内での下水道システム計画	4
2.4 チリウン川の水環境	5
2.5 大規模ダムにおけるチタラム川流域管理	6
2.6 水環境管理技術	7
3. 調査概要	10
4. 調査結果	11
4.1 水環境評価システムの設計と実装試験	11
4.2 チリウン川流域の水環境の変化	13
4.3 水質モニタリング	16
4.4 下水処理システム	23
4.5 表流水域における廃棄物管理	28
5. 水環境改善計画	31
5.1 低コスト下水処理システムの提案	31
5.2 包括的水環境評価システム	32
5.3 沿岸域の活性化とその環境影響評価	32
5.4 地盤沈下と地下水制御	33
5.5 行政、産業界、市民による水環境改善システム	33
6. 結語	35
6.1 調査の概要と構成	35
6.2 地球環境シミュレーター	36
6.3 水質モニタリング	37
6.4 総合的水環境システム	38
6.5 下水処理システム	39
6.6 表流水域における廃棄物管理	40

図 一 覧

図 4.1.1	地球環境シミュレーターの構成	12
図 4.2.1	都市開発に伴う緑地の減少過程	14
図 4.2.2	チリウン川の汚染物質の発生源(Pusair、2005)	16
図 4.3.1	(a) 自動モニタリング・データ通信システム、及び (b) モニタリングシステムでの汚濁指標の測定方法の模式図	18
図 4.3.2	ジャカルタでの河川及び下水の EC と BOD の関係(大和川の 2007 年から 2009 年までの指数関数も示す)	19
図 4.3.3	ジャカルタでの河川の EC と DOC の関係(2010 年 4 月及び 6 月)	20
図 4.3.4	チリウン川流域の水質における試料採取場所と導電率、陰イオン及び陽イオンの関係	22
図 4.4.1	2 つのシステムの概略と操作条件	25
図 5.2.1	包括的水環境影響評価システムの構成	32
図 6.1.1	調査のフレームワーク	36

表 一 覧

表 2.2.1	水質状態の分類 (汚濁指標)	4
表 2.4.1	2001 年政府規則第 82 条に基づく水質パラメータの分類基準	6
表 4.4.1	ジャカルタでの処理性能 (まとめ)	26
表 4.5.1	ジャカルタ公共事業局 (DINS PU) による河川・水路清掃サービス (km)	29
表 4.5.2	河川清掃サービス予算額の推移	29

略語

ADB:	<i>Asian Development Bank</i> アジア開発銀行
ADIPURA:	クリーンアンドグリーンシティ・プログラム
APBD:	<i>Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah</i> 地方政府予算
APBN:	<i>Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara</i> 国家予算
BAF:	<i>Biological Aerated (or Anoxic) Filter</i> 生物通気フィルタ
BOD:	<i>biochemical oxygen demand</i> 生物化学的酸素要求量
BPLHD:	<i>Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah</i> 地域環境管理庁
BPS:	<i>Badan Pusat Statistik</i> インドネシア統計庁
CDOM:	<i>colored dissolved organic matter</i> 着色溶存有機物
COD:	<i>chemical oxygen demand</i> 化学的酸素要求量
DHS:	<i>Down-flow Hanging Sponge</i> ダウンフローハンギングスポンジ
DINAS PU:	Public Works Department (ジャカルタ)公共事業局
DKI:	<i>Daerah Khusus Ibukota</i> 特別首都圏
DO:	<i>dissolved oxygen</i> 溶存酸素
DOC:	<i>Dissolved Organic Carbon</i> 溶存有機炭素
EC:	<i>electrical conductivity</i> 電気伝導率
EIA:	<i>environmental impact assessment</i> 環境影響評価
EPA:	<i>Environmental Protection Agency</i> 米国環境保護庁
EPT:	<i>Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera</i> カゲロウ、カワラゲ目、トビケラ
FDDA:	<i>Four-dimensional Data Assimilation</i> 四次元データ同化
GC:	<i>gas chromatography</i> ガスクロマトグラフィー
GEBCO:	<i>General Bathymetric Chart of the Oceans</i> 大洋水深総図
HRT:	<i>Hydraulic Retention Time</i> 水理学的滞留時間
IBRD	<i>International Bank for Reconstruction and Development</i> 世界銀行
IC:	<i>ion chromatography</i> イオンクロマトグラフィー
IDEC:	<i>Graduate School for International Development and Cooperation, Hiroshima University</i> 広島大学大学院国際協力研究科
ISO:	<i>International Organization for Standardization</i> 国際標準化機構
ITB:	<i>Institut Teknologi Bandung</i> バンドン工科大学
JABODETABEK:	<i>Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang and Bekasi</i> ジャカルタ広域首都圏
JICA:	<i>Japan International Cooperation Agency</i> 独立行政法人 国際協力機構
JIS:	<i>Japanese Industrial Standards</i> 日本工業規格
MBR:	<i>membrane bioreactors</i> 膜バイオリアクター
MDGs:	<i>Millennium Development Goals</i> ミレニアム開発目標
MIB:	<i>Methylisoborneol</i> メチルイソボルネオール
MMAF:	<i>Ministry of Marine Affairs and Fisheries</i> 海洋漁業省
MOE:	<i>Ministry of Environment</i> 環境省
NCAR:	<i>National Center for Atmospheric Research</i> 米国国立大気研究センター
NCEP FNL:	<i>National Center for Environment Prediction Final Analysis Data</i>
NOAA:	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> 米国海洋大気局
PI	<i>Pollution (or pollutant) Index</i> 汚濁指標
PD PAL JAYA:	Wastewater Management Enterprize 下水管理公社
PPSP:	<i>Percepatan Pembangunan Sanitasi Permukiman</i> 衛生改善促進計画
PROKASIH:	クリーンリバー・プログラム
PROPER:	汚染管理評価格付けプログラム

PU:	<i>Pekerjaan Umuml</i> 公共事業省
PUSAIR:	<i>Pengembangan Sumber Daya Air</i> 水資源開発研究センター
RBC:	<i>rotating biological contactors</i> 回転式生物学的接触装置
RES:	<i>Regional Environment Simulator</i> 地域環境シミュレーター
RPJMN:	<i>Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional</i> 国家中期開発計画
RW:	<i>Rukuu Warga</i> (行政単位としての) 近隣 (最小単位は RT)
SBT:	<i>Soil Bio-Technology</i> 土壌バイオテクノロジー
SE:	<i>Subsurface Environment</i> 地下環境
SS:	<i>Suspended solids</i> 懸濁物質
TDS	<i>total dissolved solid</i> 全溶存物質
TPA:	<i>Tempat Pengurangan Akhir</i> 最終埋立て処分場
TPS:	<i>Tempat Pembuangan Sementara</i> ゴミ仮置き場
TSS:	<i>total suspended solid</i> 全懸濁物質
UASB:	<i>Up-flow Anaerobic Sludge Blanket</i> アップフロー嫌気性スラッジブランケット
UI:	<i>Universitas Indonesia</i> インドネシア大学

1. 序文

調査チームは、2010年3月から半年間、インドネシア大学（UI）、バンドン工科大学（ITB）、公共事業省（PU）水資源開発研究センター（PUSAIR）の研究者の協力の下で、下記の調査と分析を行った。

- 1) JABODETABEKにおける水環境問題（表流水と地下水の水質、洪水）
- 2) JABODETABEKにおける廃水と廃棄物処理
- 3) ジャカルタ市を対象とする低コストで高精度の水質モニタリングシステム
- 4) 低コストで高性能の地域環境の数値アセスメントシステム
- 5) 下水管理公社（PD PAL JAYA）のため池における実効性実験を通じたジャカルタ市を対象とする低コストで高性能な下水処理システム

これらの調査と分析を通じ、水環境問題の理論的背景を明らかにし、ジャカルタ市を中心とする JABODETABEK の水環境の改善に適した技術を提案した。ジャカルタ市は地盤沈下および地球温暖化に伴う海面上昇のために低平地化した場所が拡大しており、廃水、廃棄物問題と洪水とが複雑に絡み合った環境問題を抱えている。

調査を通じ、最終的に、ジャカルタ首都圏の水環境を改善するための以下のような技術的提案を行った。

- 1) ジャカルタ市に適する低コストで高性能な下水処理用のシステム。候補としては、アップフロー嫌気性スラッジブランケット（UASB）とダウンフローハンギングスポンジ（DHS）を組み合わせたシステムの提案である。これは、小規模閉鎖流域における下水浄化に適したシステムである。
- 2) 低コストで高精度な水質分析法と低コストで高効率な環境シミュレーター（PC クラスタ）を連携させた包括的水環境モニタリングシステムの導入。
- 3) 包括的水環境モニタリングシステムによる環境影響評価機能を備えた、低コストで高性能な下水処理システムの有効性の検討。
- 4) ジャカルタ市に適した下水処理システムの提案。これは、下水処理システムと低平地における持続可能な開発計画に包括される洪水対策の両方の効果を考慮して提案される（ジャカルタ湾の埋め立てや地下水管理による地盤沈下の軽減を含めて検討）。

2. 水環境に関する社会、自然、技術的な背景

2.1. インドネシアにおける下水道と水環境問題

国家中期開発計画（RPJMN）2010-2014年（ミレニアム開発目標(MDGs)と調和している)によると、インドネシア政府は、公衆衛生サービス、保健、環境改善を向上させる施策を実施する。インドネシア政府は、国民の期待に添えるよう次のような最善の努力を行っている。

- 1) 基本的な衛生へのアクセスを、2015年で75%前後にする必要がある。
- 2) 排水処理および糞汚泥処理システムの機能を、2014年末で65%以上にすることを期待している。
- 3) 下水処理サービスの開発とともに、2014年末までには糞汚泥による河川汚染を既存の状況の45%まで低減する。

2.1.1. 現状

政府の最高レベルの努力にもかかわらず、安全衛生へのアクセスは、未だ農村部と都市部で、それぞれ32%、71%の低さである（2007年の社会経済調査）。市が担当する下水管理システムには未だ問題が存在している。

2.1.2. 法制度

国家中期開発計画（RPJMN）では、ミレニアム開発目標（MDGs）の達成と共に、2004年の水資源法第7号（Law No.7 of 2004 on Water Resource）と2005年の飲料水供給システム開発に関政府規制法第16号（Government Regulation No.16 of 2005 on the Development of Drinking Water Supply System）の法律及び他の関連する政策の実行が明言されている。

2.1.3. 政策

国の衛生状態を開発する枠組みにおいて、インドネシア政府は以下の5つの国家政策と戦略を打ち出している。

- 1) 衛生へのアクセスの増加
- 2) コミュニティの改善と民間参加
- 3) 法制度の強化と規制の実効
- 4) 施設と制度の開発
- 5) 資金の強化

2.1.4. 資金

RPJMN の実施においては、国家予算（インドネシア下院で承認された州政府の年次財務計画：APBN）からの約8.4兆ルピアの資金が必要である。さらに、地方政府予算（APBD）からの1.3兆ルピアの出資が必要である。これは、衛生サービスは主に地方政府の責任であるという基本概念に基づいている。

2.1.5. 住民の衛生改善促進計画（PPSP）

ミレニアム開発目標(MDGs)の達成を目指して、インドネシア政府は、住民の衛生改善促進計画（PPSP）を設定した。これには、衛生、廃棄物処理と排水施設を対象とした衛生改善5カ年計画が含まれている。

2.2. ジャカルタの水質問題

ジャカルタ市の地域環境管理庁（BPLHD）の発行する ENVIRONMENT QUALITY HANDBOOK 2007は、ジャカルタ市街域、ジャカルタ湾、堰やダムの水質の現状をまとめたものである。水質モニタリングは主要13河川の67ヶ所で実施されている。汚染源の70%はジャカルタ市起源であるが、30%は外部からの汚染物質の供給である。

主要なパラメータは、大腸菌群、糞便大腸菌、洗剤、リン酸塩、有機物である。水質評価は、1995年のジャカルタ知事令 No.582に基づいている。水質状態を決める汚濁指標 (PI) は、2003年のインドネシア環境省令115号に基づく (表2.2.1に PI の定義を示す)。

表 2.2.1 水質状況の分類 (汚濁指標)

0 ≤ PI ≤ 1.0	良好: 処理なしで飲料水として直接利用可能
1.0 < PI ≤ 5.0	軽度の汚濁: 簡易処理後に飲料水として使用
5.0 < PI ≤ 10.0	中程度の汚濁: 養魚や家畜の飲料水として使用
10.0 < PI	重度の汚濁: 農業、多目的供給、工業用、水力発電用に使用

*パラメータ(i)で示される水質を Ci とし、水利用(j)のために許容される水質基準を Lij とすると、PI は、相対値 (Ci/Lij) の関数として示される(US EPA, 1970)。水利用(j)は、上表では、飲料目的、養魚、工業目的等、4つに分類されている。

(出所) BPLHD

ENVIRONMENT QUALITY HANDBOOK 2007等に基づいて、この節では、以下の水質情報を要約した。

- (1) ジャカルタ市の水質、1996-1997年
- (2) ジャカルタ市の水質、1998-2004年
- (3) ジャカルタ市の水質、2004-2008年
- (4) ジャカルタ市の地下水水質、2004-2005年
- (5) ジャカルタ市の堰/ダムの水質、2004-2006年
- (6) ジャカルタ湾の水質 (汚染) 、2004-2006年

2.3. 日本の総合的流域管理内での下水道システム計画

日本では、法律や金融システムを強化して、下水道サービスの急速な進歩を達成した。その結果、河川や海域の水環境の効果的な改善がなされた。

この節では、「ジャカルタの下水道と水環境問題に関するインドネシア・日本セミナー」(2010年2月23日開催)の資料から、(1)排水処理システム、(2)下水道法(3)包括的下水道・浸水対策計画に関する日本の事例を概説した。

2.4. チリウン川の水環境

Moersidik and Rahmasari (2010)の研究に基づいて、チリウン川流域の水質状況を以下のようにまとめた。なお、この節はインドネシア大学 Setyo 教授の協力を得た。

- 1) 溶存酸素(DO)、生物化学的酸素要求量(BOD)および化学的酸素要求量(COD)をパラメータとした水質基準(2001年の水質と水質汚濁防止の管理に関する政府規則第82に基づく)による2008年のチリウン川の水質モニタリングの結果では、上流域(Atta'awun - Katulampa間、Segment 1)では、ほぼ class III、中流域(Katulampa - Kelapa Dua間、Segment 2-4)では class IV、下流域(Kelapa Dua-Ancol間、Segment 5)では class IVに分類されることが示された。ただし、下流域の評価では、BODパラメータに関して水質基準値 class IVを越えているか、または極めて汚染の激しい場所は除外してある(分類基準については表 2.4.1参照)。
- 2) チリウン川の汚濁負荷は上流から下流まで大幅に増加している。DO濃度が低く河川水の自浄能力の発揮できない流域、ジャカルタ市街のSegment 6(Ancol下流-河口域)の水域で最高を示す。
- 3) 負荷容量の通常の計算では、BODは、負荷容量の標準的なターゲット・パラメータとして使用される。調査結果からは、Segment 6の汚染物質の負荷は標準値でBOD汚濁負荷容量を超えていることが示された。標準的な class IVのBOD濃度を用いた評価結果では、Segment 1-5の領域ではまだ class IV基準の中にあった。Kwitang-Ancolモニタリングステーション(Segment 6)でのBOD値は class IVの標準容量を超えている。
- 4) 利用可能な研究成果に基づいて、各河川のSegmentにおいて、汚濁負荷供給者に関わる要因に焦点を当て、特定の汚濁負荷の制御プログラムを採用することが推奨される。例えば、Segment 1および2では、域内廃棄物および産業廃棄物の制御プログラムに焦点を当てる必要がある。Segment 3では、域内廃棄物および農業廃棄物、Segment 4では、産業、域内、家畜廃棄物、Segment 5および6では、域内廃棄物管理プログラムに焦点を当てて対策を行う必要がある。さらに、Segments 5および6では、廃棄物管理の集中的なプログラムや川沿いのスラム街の制御に関する対策も必要である。

表 2.4.1 2001年政府規則第82条に基づく水質パラメータの分類基準

パラメータ	単位	クラス			
		I	II	III	IV
DO	mg/l	6	4	3	0
BOD	mg/l	2	3	6	12
COD	mg/l	10	25	50	100
TSS	mg/l	50	50	400	400

(出所) DKI Jakarta

2.5. 大規模ダムシステムによるチタラム川流域管理

インドネシア、西ジャワ州のチタラム川は、西ジャワの人々の生活において重要な役割を担っている。すなわち、この河川の水は、農業用水、生活用の水供給、産業用水、下水道に使用される。チタラム川は、インドネシアで最も戦略的な水路と言える。西ジャワ州にある3つのダムは主として発電用であるが、水源として何百万もの人々の生活を支え、首都ジャカルタに水を供給している。

しかし、過去20年間の水資源の乱用と産業公害の増加は深刻な河川環境破壊をもたらした。ジャカルタの上流の丘陵を流れるチタラム川は、浸食地からの土砂を供給運搬するだけでなく、上流域の村落や工場から排出される汚染物質も運搬している。この川では洪水は一般的になっている。人間活動はチタラム川の重大な汚染を引き起こしている。現在川の流域に住んでいる約5万の人々が汚染による水資源、健康の脅威にさらされている。2008年12月5日に、ADB（アジア開発銀行）は、この世界で最も汚染されていると言われる川を浄化するために、500万米ドルの融資を承認した。

バンドンのPU水資源開発研究センター（PUSAIR）のDr. Loebisは、投稿論文“the Proceedings of Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts in 1993”で、チタラム川流域におけるダム操作の競合について詳しく述べている。また、この川の水管理は非常に複雑な問題であり、興味深い開発の歴史を持っていることも示している。

2.6. 水環境管理技術

2.6.1. 水質とその管理

水質は、水の化学的、物理学および生物学的特性により定義される。一般的には、一連の水質基準を参照することによる認証評価のために用いられる。

最も一般的な水質基準は、飲料水の水質や人体の安全性や生態系の健全性を評価する基準として使われる。

(1) 方法

滴定は、既知の反応物の未知の濃度を決定するために使用される定量化学分析の一般的な検査方法である。

イオン交換クロマトグラフィー（または、イオンクロマトグラフ）は、その電荷に基づいてイオンと極性分子を分離する処理方法である。この手法は、大規模なタンパク質、小さなヌクレオチド及びアミノ酸を含む荷電分子のほとんどすべての種類に使用することができる。

ガスクロマトグラフィー（GC）は、分解することなく蒸発させることができる化合物を分析するため、分析化学で使用されるクロマトグラフィーの一般的なタイプである。GCの典型的な用途は、特定の物質の純度試験か混合物の成分分離（混合物の成分の相対量も決定可能）である。

分光光度計は、電磁波スペクトルの定量的解析を可能とする。可視光、近紫外、近赤外を対象とする吸光光度法で使われる一般的な電磁スペクトルのよりもより詳しい解析が可能である。

(2) 自然災害やその他の緊急事態への対応試験

一般的な状況カテゴリ別測定指標は以下のようなものである。

- 1) 水飲料：水のアルカリ度、色または pH、味、臭気（ジェオスミン、2-メチルイソボルネオール（MIB）等）、溶存金属塩（ナトリウム、塩化物、カリウム、カルシウム、マンガン、マグネシウム）、微生物など糞便大腸菌群（大腸菌）、クリプトスポリジ

- ウム、およびランブル鞭毛虫、溶存金属および半金属（鉛、水銀、ヒ素など）、溶存有機物：着色溶存有機物（CDOM）、溶存有機炭素（DOC）、ラドン、重溶解金属（水銀、カドミウム、鉛、クロム、亜鉛等）、医薬品（医療診断、治療法、治療、または病気予防に使用するすべての化学物質）
- 2) 化学物質評価：電気伝導率（EC）、溶存酸素（DO）、硝酸態窒素、オルトリン、化学的酸素要求量（COD）、生物化学的酸素要求量（BOD）、農薬。
 - 3) 物理的評価：pH、温度、総浮遊物質（TSS）、濁度
 - 4) 生物学的評価：生物学的モニタリング指標は多くの国で開発されている。広く使用されている評価方法の一つは、カゲロウ目、カワゲラ目やトビケラ（EPT）等の昆虫類が多く存在しているかどうかの情報である。

2.6.2. 環境影響評価

環境影響評価（EIA）は正または負の影響を評価する。すなわち提案されたプロジェクトが環境に及ぼす影響を、自然、社会、経済的な側面と一緒に確認する。

2.6.3. 環境影響評価のための地球システムのモデリングとコミュニティアプローチ

地球システムモデルにコミュニティアプローチを適用した環境影響評価法が、“EOS, Transactions, American Geophysical Union, Volume 91 number 13, 30 MARCH 2010, pages 117–124”の論文に基づき導入された。この考え方は、間もなく世界中に広がると考えられる。本調査で提案した地域環境シミュレータ（RES）の手法は、地球システムモデルを用いたコミュニティアプローチのためのツールの一つである。

コミュニティモデルは、大気質モデル、気候変動予測、天気予報の分野における複雑な数値モデルの開発適用といった課題を解決するための手段として、1980年代に地球科学において初めて提唱されたものである。それ以来、コミュニティモデリングプロジェクト数は増加している。コミュニティアプローチには、いくつかの利点がある。地球システムモデルは、個々の研究グループにとってあまりにも学際的で複雑なため、複数の機関間の努力や成果を統合することが非常に重要であり、このためコミュニティアプローチの導入が必要となる。資金源や施設支援の不透明性の問題があるにもかかわらず、コミュニティが関与することで、プロジェクトの活動性と頑強性を維持することが出来る点も利点である。さらに、新しいモデルを構築する場合には、既存の概念、既存のアルゴリズム、および既存のプログラムコードを用いるため、オープンコミュニティのアプローチは、新モデルを構築する過程での無用な努力を減らすことができる。

2.6.4. 下水水処理技術

(1) 一次処理

一次処理は、重い固体は底に沈殿し、油、グリースや怪い固体は水面に浮上する静止槽の中に下水を一時的に保持させる処理方法である。沈殿物、浮遊質を除去した後に、残りの液体を排出するか、二次処理に受け渡す。

(2) 二次処理

二次処理では、溶存態、固形態の生物物質を除去する。二次処理は、通常、現地固有型の生態系に依存しており、管理対象の生息地での水性微生物によって実行される。二次処理は、放流するか高度な処理をする前に、一次処理された水から微生物を除去する分離工程が必要な場合がある。

二次処理システムは、固定フィルムまたは保留成長処理システムとして分類される。固定フィルムまたは添付された成長システムは、散水ろ床や回転式生物学的接触装置を含む。これらのシステムでは、生物物質は媒体上で成長し、下水はその表面上を通過する。保留成長処理システムは活性汚泥を含む。このシステムではバイオマスは下水と混合され、同量の水を処理する固定フィルムシステムに比べて、少ないスペース処理が行われる。しかし、固定フィルムシステムは、生物学的物質の量のより急激な変化に対応できるため、保留成長処理システムに比べて有機物や浮遊物のより高い除去率が実現できる。典型的な二次処理法は以下のとおりである。

- 1) 活性汚泥
- 2) 表面曝気槽（ラグーン）
- 3) フィルタベッド（酸化床）
- 4) 土壌バイオテクノロジー（SBT）
- 5) 生物通気フィルタ（BAF）
- 6) 回転式生物学的接触装（RBC）
- 7) 膜バイオリアクター（MBR）

(3) 高度処理

高度処理の目的は、海、川、湖、土地などの排水を受け入れる環境に放流する前に、排水の品質を高めるために最終処理の段階を提供することである。

複数の三次処理プロセスが、任意の処理プラントで使用される。

この節では、a) ろ過、b) ラグーン、c) 湿地建設、d) 栄養塩除去、e) 消毒、f) 臭気制御といった高度処理方法について概説した。

3. 調査概要

調査は、データ収集と分析を通じ、ジャカルタ特別州における水環境向上のための低コストの汚水処理システムの導入と普及、および総合環境モニタリング評価技術の形成の可能性を検討することを目的とした。

以下の調査が、インドネシアのカウンターパートとの協議に基づき、実施された。

- 1) ジャカルタにおける低コストの下水処理システム（UASB - DHS システム）の導入の可能性を検討するためのデータ・情報の収集と分析
 - ・ ジャカルタにおける都市下水の処理工程の現状把握
 - ・ 現地対象地域におけるUASB - DHSシステム導入に関する情報収集
 - ・ 下水の組成・生分解性、水量、水量変動の分析調査
 - ・ UASB - DHSシステムの導入に関する基本的な考え方の整理
- 2) 上記UASB - DHSシステムの効果をより高めるためのメタンガス及び生活ごみ発電導入の可能性に関する情報収集、検討・分析
 - ・ 現地対象地域における低コスト下水処理システムに付随する木質乾燥残渣ガス化発電の可能性（生活ごみの発生量等）に関する情報収集、分析
 - ・ 木質乾燥残渣ガス化発電導入に関する基本的な考え方の整理
- 3) 下水処理システム整備に係る基礎資料の提供及び多項目の水質情報を定期的かつリアルタイムに把握できる水質分析システム構築のための、ジャカルタにおける河川水、都市下水、工場排水の資料収集、検討・分析
 - ・ ジャカルタにおける河川水、都市下水、工場排水の水質データの収集とモニタリングの現況把握
 - ・ 現地対象地域における都市下水、工場排水の処理工程における水質分析の実行可能性および有効性の把握と試験的水質分析
 - ・ 現地対象地域における水質モニタリング及びデータ転送技術の現況把握とデータ転送実験
 - ・ 環境モニタリング・データ転送システムの構築案の整理
- 4) 水系一貫した複合現象としての水環境問題への対応策としての総合的環境モニタリング・アセスメント技術の構築に関する情報収集、検討・分析

- ・ ジャカルタ地域の水環境に影響を及ぼす都市インフラ整備計画等の情報収集
- ・ 環境モニタリング・アセスメント体制の構築のための組織、制度に関する情報収集
- ・ 現地機関での最小構成の環境シミュレーター構築による下水処理効果予測分析
- ・ 総合環境モニタリング・アセスメント体制の構築案の整理

4. 調査結果

4.1. 水環境評価システムの設計と実装試験

4.1.1. 包括的な環境モニタリングと影響評価

調査団は地域環境シミュレーター (RES) を含む包括的な環境影響評価技術の導入調査とその実装試験を実施した。RES の構成概要を以下に示す。また、図4.1.1にモデル間の関係を示す。

- 1) メソ気象モデル、MM5 (開発: ペンシルベニア州立大学および米国国立大気研究センター (NCAR))
- 2) 海洋モデル、MITgcm (開発: マサチューセッツ工科大学) および POM (開発: プリンストン大学)
- 3) 海洋波浪モデル、WW3 (開発: 米国海洋大気局 (NOAA)) および浅海域海洋波浪モデル、SWAN (開発: Delft Hydraulics 社)
- 4) 陸面植生モデル、SOLVEG2 (開発: 日本原子力研究開発機構) および水文流出モデル、HSPF (開発: 米国環境保護庁)
- 5) 都市大気モデル、CMAQ (米国環境保護庁 (EPA))
- 6) 河口モデル、ECOMSED+COSINUS (開発: 広島大学) および広域海浜流モデルと海浜変形モデル (開発: 広島大学)

RES は低コスト下水処理システムの環境への効果を評価するための数値解析ツールとして用いる。モデルの検証の一部として、本調査では RES を用いて2007年のジャカルタ洪水の解析を行った。

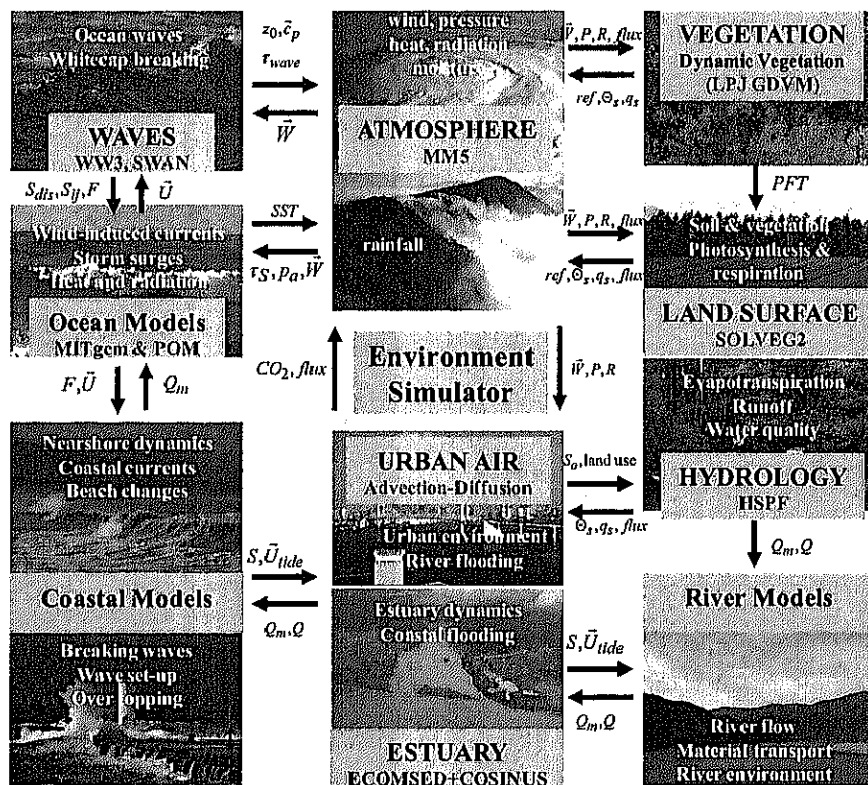


図 4.1.1 地域環境シミュレーターの構成

4.1.2. 下水処理効果の影響評価

バンドン工科大学 (ITB) で実施された RES による水環境のシミュレーションの実効性の検討 (RES の実装実験) を行うとともに、PU での使用が計画されている包括的環境評価技術の実用化の可能性の検討を行った。

4.1.3. 環境影響評価の実装実験

低コスト下水処理システムの水質浄化の効果を評価するとともに PC クラスター装置の実効性のテストを行うために、ITB に設置した RES を用いて 2007 年のジャカルタ洪水を発生させた気象海象解析を行った。

2007 年のジャカルタ洪水発生時の気象海象解析の条件は以下のものである。

MM5(メソ気象解析): 計算の初期境界条件として NCEP FNL data (NCEP の1度メッシュの最終全球気象解析値) を用いた。最大の計算領域においては、4次元同化 (FDDA) を適用した。

SWAN(海洋波浪): 水深データは GEBCO 30arc-sec data を用いた。海上風外力は MM5 の計算結果を与えた。

POM(海洋の流れ解析): 水深データは GEBCO 30 arc-sec data を用いた。海上風、海面気圧等の気象外力は MM5 の計算結果を与えた。潮汐計算には、NAO99 の8潮汐成分を境界条件として与えた。

MM5, SWAN および POM 計算結果の一部は報告書に掲載した。

4.2. チリウン川流域の水環境の変化

4.2.1. ジャカルタの降水の要因

ジャカルタは、南部を山岳地帯から流出する河川によって運搬、供給された膨大な土砂堆積物が形成した扇状地上に位置する低平地である。チサダネ川とチリウン川河口、ジャカルタ湾の東側、西側沿岸域には、マングローブ林、熱帯泥炭地があった。1980年から1995年にかけての急速なジャカルタ首都圏の拡大過程で、これらのマングローブ林地は開発された(緑地の減少過程を図 4.2.1 に示した)。かつてのマングローブ林の土地は、開発や飲料水・工業用水のための地下水の汲み上げにより発生する地盤沈下に対して極めて脆弱である。

インドネシア政府は JABODETABEC における洪水の主な原因は次のように考えており、これらの理由は全く同意できるものである。

- 1) 自然の洪水低減機能の喪失
- 2) 人間活動と構造建造による河川堤防域の侵略
- 3) 河口部の土砂堆積
- 4) 河川への廃棄物の投棄
- 5) 都市の主要排水溝の目詰まり

6) 沖積層地盤や元マングローブ林地の地盤沈下

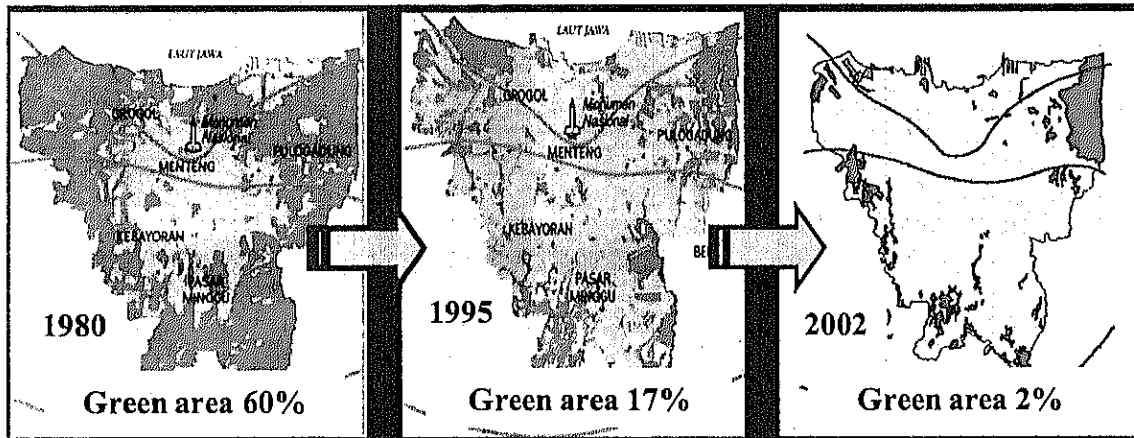


図 4.2.1 都市開発に伴う緑地の減少過程

4.2.2. ジャカルタの洪水対策

ジャカルタの排水システムは、総合的な河川ネットワーク、主排水溝、地域排水溝、運河、遊水地、干拓地、水門、調節ゲート、サイフォンおよびポンプ場で構成される。ポンプ場は、河川流量調節、雨水の遊水機能とジャカルタ湾の水位変化を連携させて操作されている。

ジャカルタ市の約40%は低平地に位置しているため、高潮位時には洪水が発生する。ボゴール、デポックおよび西ジャワ州のブカシとバンテン州のタンゲランなどの行政区域を流れる13河川がジャカルタ市に流入している。新設中の東洪水排水運河と再活性化された西洪水排水運河、および河川の浚渫および洪水調節用の湖が、現在のジャカルタでの洪水対策として機能しているが、高価な治水対策である。

4.2.3. 沿岸域調査

人間活動による河口・海岸域の環境阻害は JABODETABEK で考えられる最も重要な水環境問題の要因の一つである。人間活動は、地球上で最も高い絶滅生態系の一つである河口部の健全性の低下を引き起こしている。河口域および沿岸域は、海・陸間の移行領域であり、さらには淡水環境と海水環境の接点であるため、河口部は人口圧力や人為的活動の

影響を受けやすい。ジャカルタの水環境の改善のためには、沿岸域や河口域の改善および活性化は重要である。

この節では以下の調査報告を提示した。

- 1) 沿岸地域調査 (2010年3月28日)
- 2) ジャカルタ湾沿岸の水質問題
- 3) 埋め立てと沿岸域再生計画
- 4) 沿岸域埋め立ての環境影響評価

4.2.4. チリウン川流域調査

図4.2.2は、チリウン川の汚染物質の発生源を示す。PUSAIR (2005) によって提供された情報に従って、2010年4月にチリウン川流域 (ボゴール、デポック、ジャカルタ) の調査を行った。この調査は、地方自治体による水質モニタリングシステム、河川への固形廃棄物投棄の状況、川沿いの汚染源に焦点を当てて実施した。

チリウン川の中、下流域における治水対策は、多くの側面と一緒に考慮する必要がある。特に、水質環境 (飲料水供給)、汚染と廃水管理、固形廃棄物管理 (特に下流域での浮遊ゴミや河川床堆積物) の管理との連携が必要である。しかしながら、チリウン川の中、下流には解決すべき多くの難問が残されている。

地方自治体が行っている水質モニタリングシステムと中央政府 (PU) が行っている河川流量測定システムの両方は、地方分権以前から、数十年間継続実施されている。測定データは、ほぼ正確で、完全なデータインベントリ作成に使用できるものである。

しかし、水質モニタリングと河川流量の測定は連携しておらず、物質のフラックスを評価するために同時に使用することもなされていない。さらに、水質モニタリングのための継続的なデータ測定は行われていない。観測された濃度やフラックスは川の流れの状況に強く依存するため、洪水期間中には、河川水は通常の状態よりもきれいである。河川流量と水質の連続測定は連携して実施され、同時に両データの合成分析も実施されることが望ましい。

現在のジャカルタ市の洪水制御方式は、ほぼ完成の域に達している。ジャカルタ公共事業局 (DINAS PU) は洪水制御において高い潜在的な責任を負っている。同機関は洪水管理マニュアルを出版し、毎年改訂している。

人口500万人の中流域のデポックからの家庭廃棄物（液体、固体）はチリウン川にとって大きな環境負荷となっている。40%の人が川に直接廃棄物を捨てていると報告されている。全部で101ある工場（デポック：24、ジャカルタ：64、ボゴール：13）は、排水汚染、浮遊ゴミや堆積物の供給源となる高い可能性を持っている。

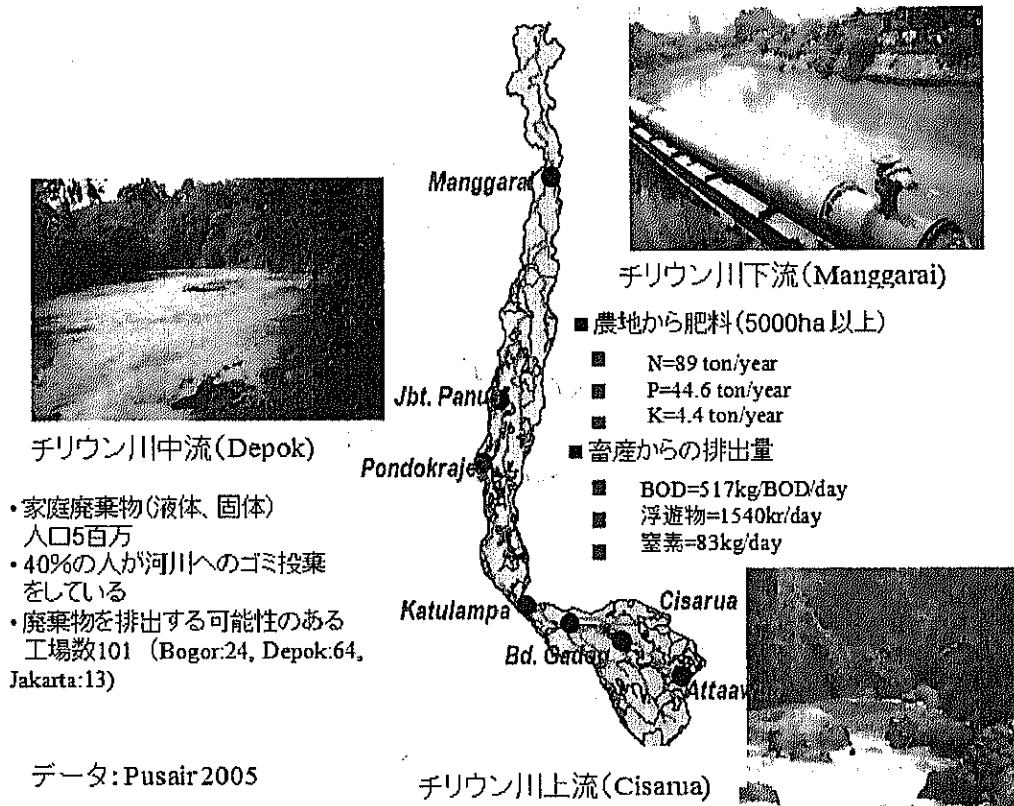


図4.2.2 チリウン川の汚染物質の発生源 (PUSAIR 2005)

4.3. 水質モニタリング

4.3.1. はじめに

詳細な化学成分データや水質モニタリング・データは、下水道や水環境の管理とともに下水道の開発や流域スケールでの環境シミュレーションの検証にとっても、基本的にとっても重要である。特に、下水中のBOD、COD、溶存窒素の除去に関する生物処理システムの

性能評価においては、詳細成分を含めたモニタリングが必要である。そのため、下水処理場の排水地点や河川などで、水質項目が定期的に測定されてきた。それらは、米国環境保護庁、JIS、ISOなどに準拠してきた。そして、これらの方法は、世界共通であり、インドネシアでも、ジャカルタ環境管理庁（BPLHD）や PD PAL JAYA などでも使用されている。

4.3.2. 従来の水質モニタリング

ジャカルタでは、いくつかの政府機関が地表水の水質モニタリングを行ってきた。例えば、BPLHD や環境省などである。さらに、地下水については、JICA の調査プロジェクトや日本の総合地球環境学研究所の「地下環境研究プロジェクト」などがある。BPLHD は、これまで10年間、市内河川67か所で35種類の水質項目を年4回程度のモニタリングを実施してきた。各項目は、電気伝導率（EC）、全溶存物質（TDS）、全懸濁物質（TSS）、濁度、水温、pH、溶存酸素（DO）、陰イオン、微量金属成分、COD、BOD などである。

4.3.3. 自動モニタリングシステム

(1) 設計

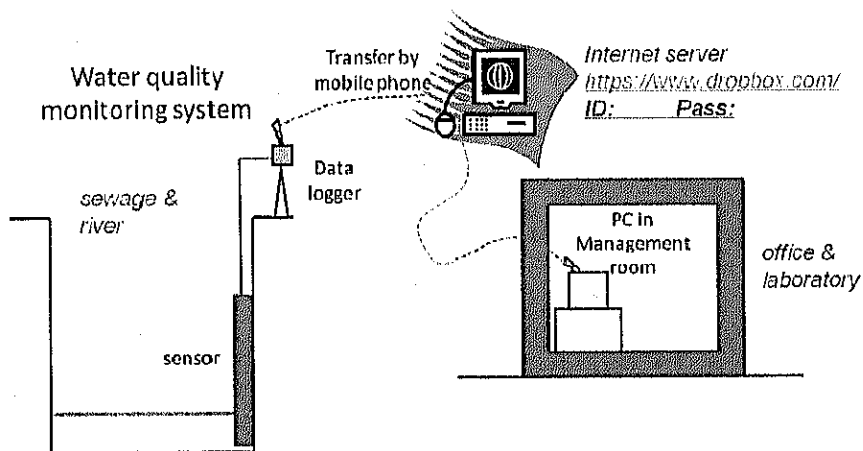
電気伝導率（EC）センサーは、一般に簡便で、かつ低価格で、耐久性も高い。本報告書において、本調査チームはこのセンサーを中心とした低価格で高性能な、自動水質モニタリングデータ通信システムを提案する。これは、EC、pH、溶存酸素センサーを含むモニタリングシステム部分とデータ通信部分からなる（図4.3.1（a））。

このシステムを利用するためには、ジャカルタの水環境においてBODとDOC（溶存有機炭素）、ECと詳細主成分、ECとDOC、ECとBODの関係をそれぞれ確認することが必要である（図4.3.1（b））。本調査では、（1）過去の水質モニタリング・データの収集とデータベース化、（2）水試料の詳細項目分析、（3）各関係の確認、（4）自動モニタリングシステムの評価まで行った。

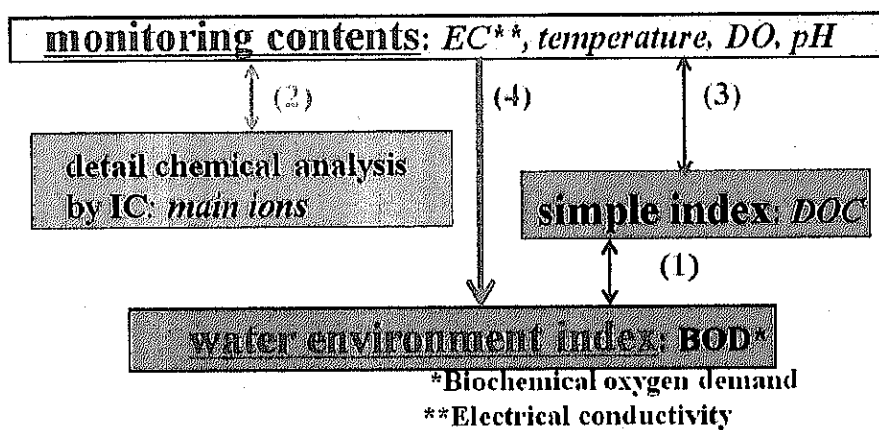
(2) ジャカルタ市下水での監視試験およびデータ収集

本調査では、実際にPD PAL JAYAの下水ポンプ場において、モニタリング試験を実施した。

(a)



(b)



- (1) DOCとBODの関係の確認
- (2) 主要イオンとモニタリング内容の関係の確認
- (3) DOCとモニタリング内容の関係の確認
- (4) 上記の関係とモニタリング内容に基づくBODの推定

図 4.3.1 (a) 自動モニタリング・データ通信システム、及び (b) モニタリングシステムでの汚濁指標の推定方法の模式図

4.3.4. BOD の推定

(1) 日本での BOD と EC の関係

EC モニタリングシステムを使って BOD を推定するためには EC と BOD の間に良い相関を見出すことが必要である。はじめに、本調査チームは、大阪大都市圏の大和川と山口県の佐波川のデータセットを使って検討した。前者は汚濁河川で、後者は非汚濁河川である。これらの河川の月水質データは1984年から2009年までの元データから取りまとめられた。

(2) ジャカルタでの BOD と EC の関係

2010年4月25日～26日（低水時）および6月12日～13日（洪水直後）に、ジャカルタのチリウン川や下水で水試料を採水した。EC 及び DC は、携帯用測定器を用いて現場で測定された。また、BOD は PD PAL JAYA で、DOC は広島大学にて分析された。

図 4.3.2 にジャカルタにおける EC と BOD の関係を、大和川における2007年～2009年の関係式とともに示す。下流河川や下水のように懸濁物質が少ない場合は、大和川の関係に近いところにプロットされた。しかし、懸濁物質が多い場合には、EC に比べて BOD が高い傾向を示した。

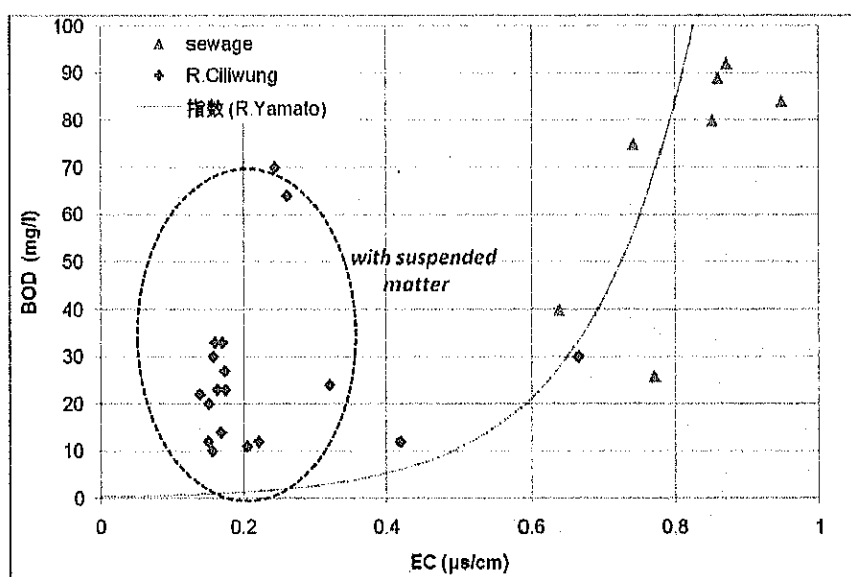


図4.3.2 ジャカルタでの河川及び下水の EC と BOD の関係(大和川の2007年から2009年までの指数関数も示す)

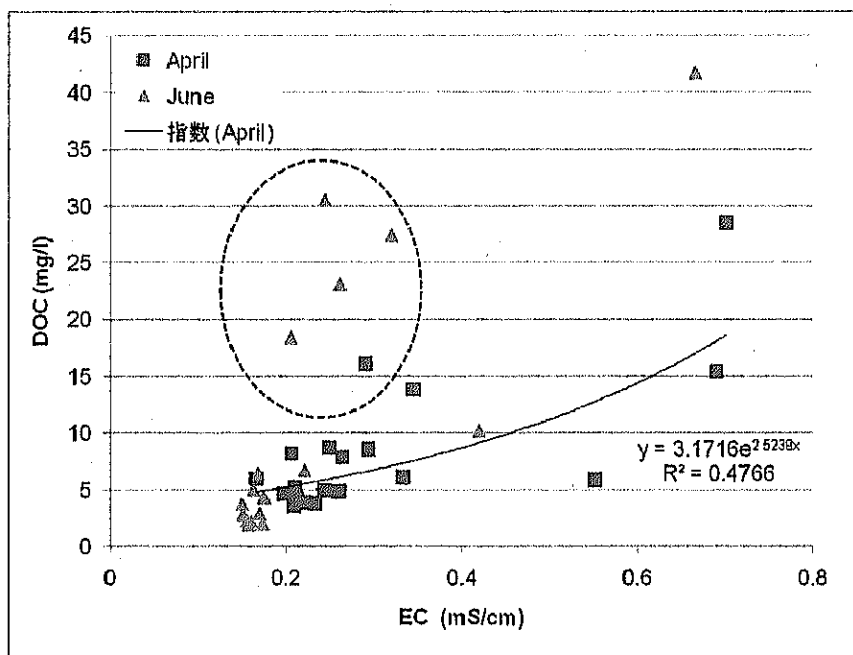


図 4.3.3 ジャカルタでの河川のECとDOCの関係(2010年4月及び6月)

BODとDOCの関係は1:1ではなく、多くの水がDOCに比べてBODの方が高い傾向を示した。これは、これらの試料が有機物性の懸濁物質を多く含むことを示唆している。また、図4.3.3は、2010年4月及び6月におけるECとDOCの関係を示している。ECとDOCの関係は、4月の方が6月よりばらつきが小さく、相関がみられた。6月の懸濁物質が多い水試料はDOCも高い傾向を示した。ECは総溶存イオン量に比例するため、有機汚濁河川の場合には、DOCも主要なイオンの一つになる。4月におけるECとDOCの相関はこのことを意味する。しかし、懸濁物質の濃度が高いときには、DOCの一部にイオン化していない溶存有機物を含んでいるようである。

以上の結果に基づき、本調査チームは、最終的に図4.3.1のシステムに、懸濁物質（濁度）センサーを付属したシステムを提案した。良好なEC-BOD関係やEC-DOC関係は、日本を含む多くの河川や下水において確認されている。本調査チームは、この関係に基づき、懸濁物質のない下水でのBODの推定を可能にした。ただし、懸濁物質（SS）濃度の高い河川では、BODとSS濃度の関係も用いる必要がある。

本提案システムは、従来のセンサーに比べて5分の1程度の価格であり、しかも耐久性にも優れている。本調査チームは、本提案システムがインドネシアにとって有効であることを確信している。

4.3.5. イオンクロマトグラフ分析

嫌気及び好氣的な生物学的処理においては、BOD/COD 処理を目的とした処理法とアンモニウムイオンの処理を目的とした処理法が用いられている。その中で BOD/COD の生物処理においては、pH、溶存酸素濃度及び BOD/COD 濃度の制御が処理工程の適正管理のために用いられている。一方、アンモニウムイオンの生物処理においては、pH 及び溶存酸素濃度の制御に加え、アンモニウム、硝酸及び炭酸水素イオン濃度の制御が処理工程の適正管理のために用いられている。

(1) イオンクロマトグラフィー技術の水質モニタリングへの応用の意義

近年、米国環境省法、JIS 法及び ISO 法のような国際的に公認された公定分析法としてのイオンクロマトグラフィーは、先進国だけでなく、インドネシアのような開発途上国における環境水の水質モニタリング法として全世界的に適用されている。

2010年3月21日から29日までの第一次調査においては、高性能で低コストの先端的なイオンクロマトグラフィー技術の有用性が下水及び都市河川を含む種々な環境水の水質評価への実際的な適用により実証された。

加えて、2010年6月13日から19日までの第二次調査においては、ジャカルタ都市圏における最も重要な河川流域であるチリウン川の水質モニタリングに対して、最新のイオンクロマトグラフィー技術を適用し、その水質を評価した。

(2) ジャカルタにおける試料採取場所

様々な環境水試料を PD PAL JAYA (4ヶ所)、都市河川 (4ヶ所) 及び55Km にわたるチリウン川流域 (18ヶ所) において採取した。

(3) イオンクロマトグラフィーの方法論及び試料前処理法

PD PAL JAYA 内に設置されている2つの池、ジャカルタ都市圏内の河川及びジャカルタからボゴールまでのチリウン川流域において採取された種々な環境水試料の水質評価を行うために、一般的な陰イオン類、陽イオン類、栄養塩類及びアルカリ度のモニタリングが導電率及び可視分光光度計を備えたイオンクロマトグラフを用いて行われた。

実際水試料の前処理に関して、0.45 μm の孔径を有するメンブランフィルターを用いて、ろ過した試料水は、更なる前処理を行うことなく、イオンクロマトグラフの分離カラム内に導入された。

(4) 結果及び考察

図4.3.4は、チリウン川流域の水質評価のための種々な試料採取場所における導電率、陰イオン及び陽イオンの変動を示している。硝酸イオンと炭酸水素イオンを除く一般的な陰イオンとアンモニウムイオンを除く一般的な陽イオン及び溶存酸素の濃度減少は、主としてチリウン川流域における人間活動の活発化によるものであった。また、アンモニウムイオンの増大も、チリウン川流域における人間活動の活発化によるものであった。

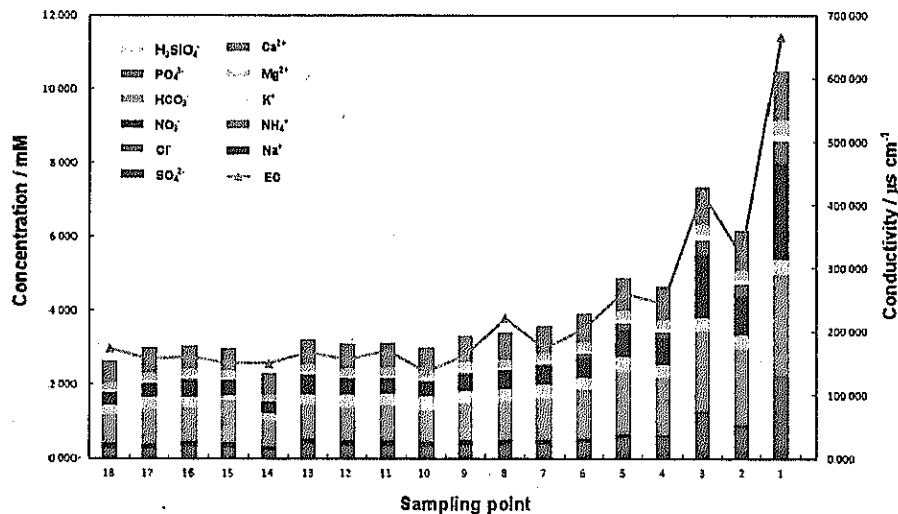


図 4.3.4 チリウン川流域の水質における試料採取場所と導電率、陰イオン・陽イオンの関係

(5) ジャカルタ首都圏の水環境の管理能力を向上させるための提言と結論

PD PAL JAYA による BOD/COD に関する分析データと上述の水質モニタリング・データを総合的に考察した結果、PD PAL JAYA の施設内の2つの池で以下のような生物学的反応が進行していることが推定された。

- 1) この二つの池において、嫌気性条件下での BOD/COD 成分の生物学的酸化は殆ど進行していないものと考えられた。しかしながら、硝酸イオンのわずかな濃度増大が認められたことから、わずかな硝化反応が進行していることが認められた。
- 2) この二つの池において、BOD/COD 成分が存在する嫌気的条件下において、硝酸態-窒素の生物学的脱窒素反応がかなり進行していることが推定された。
- 3) PD PAL JAYA の施設内に設置されている二つの池は、生物学的処理機能が乏しいものと判断された。
- 4) 水処理技術と水質モニタリング技術の観点から、DHS のような高効率な水処理システムの導入が強く勧告される。
- 5) 都市河川水においては、硝酸イオンに加えて、都市域における人間活動の活発化の指標となるアンモニウムイオンの存在が認められたことから、将来的には未処理の下水の都市河川への直接放流は法律に基づいて厳格に規制されるべきであると結論される。

ジャカルタ中心部における下水処理システム、都市河川水及びボゴールからジャカルタまでのチリウン川流域の水質調査において、水質モニタリングのための先端的なイオンクロマトグラフィー技術の有効性がジャカルタ首都圏におけるチリウン川流域の住宅地域、商業地域、工業地域及び農村地域からの放流される実際水試料や都市河川水への適用を通じて実証された。

4.4. 下水処理システム

4.4.1. 適切な下水処理システム

我が国で広く普及している精練された下水処理システムがインドネシアなどの途上国に技術移転されても上手く機能しないのは明白である。下水処理システムが途上国に根付くためには、日本のような高価な技術ではなく、途上国に適した技術が真に要求されている。すなわち、低コスト・維持管理容易な技術が必要とされている。また、適用可能な下水処

理システムにするためには、経済・社会構造などの途上国の国情を考慮しなければならない。

下水処理のための UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket)リアクターは、インドにおいて標準の下水処理システムとして採用されている。UASB 法は、下水からエネルギーであるメタンガスを生成することができるため、ジャカルタにおいても最も有望な方式と考えられる。インドのみならずブラジル、コロンビア、エジプト、ジョルダン、タイ、インドネシアなどの数カ国においても UASB は下水処理用に導入されている。

しかしながら、処理水が放流基準に適合するためには、一般的に UASB リアクターの後段に処理を必要とする。UASB の後段処理システムとして、湿地、池、散水ろ床、好気性ろ床、回転円板などのいくつかのシステムがある。広大な敷地を必要とする湿地や池のシステムは、大都市には不向きであり、良好な水質を得ることはできない。散水ろ床は処理水に多少問題がある。回転円板法は操作が簡単ではない。一方、エアレーションを必要としない DHS (Down-flow Hanging Sponge)リアクターは、良好な水質と共に低コストで維持管理が容易である。大久保は、博士論文において後段処理システムの処理性能、用地面積、必要電力をまとめており、DHS リアクターが UASB の後段処理として最適であると結論している。このため、本調査チームは UASB と DHS リアクターを組み合わせたシステムがインドネシアでの下水処理に適しているかどうかを調査することにした。

4.4.2. 人工下水を用いた室内実験

ベンチサイズの UASB-DHS システムをジャカルタに設置し、実下水を使用しての長期連続処理実験を実施する前に、システムのおおよその性能と操作方法を把握する必要がある。そこで、その基本情報を得るために、広島大学において UASB-DHS システムによる人工下水の処理実験を行った。UASB と DHS リアクターを設計し構築した。

処理実験を始めるにあたって、第 1 回目調査 (2010年5月25~30日) の際に実験を予定している PD PAL JAYA の池の下水を採取し分析した。この時の池の流入水データを基に、人工下水の組成を決定した。

本調査チームは UASB と DHS リアクターを組み合わせたシステムがジャカルタでの下水処理に適していると想定して、このシステムを提案している。しかしながら、実験対象の池に流入する下水の処理では DHS 単独のシステムでも可能と思われる。これは流入水が河川の水で希釈されるために、COD 濃度が一般的な下水よりも比較的に低いためである。そ

ここで、UASB-DHS と単独 DHS の2つのシステムを広島大学で2週間運転した。その2つのシステムの概略図と操作条件を図4.4.1に示す。

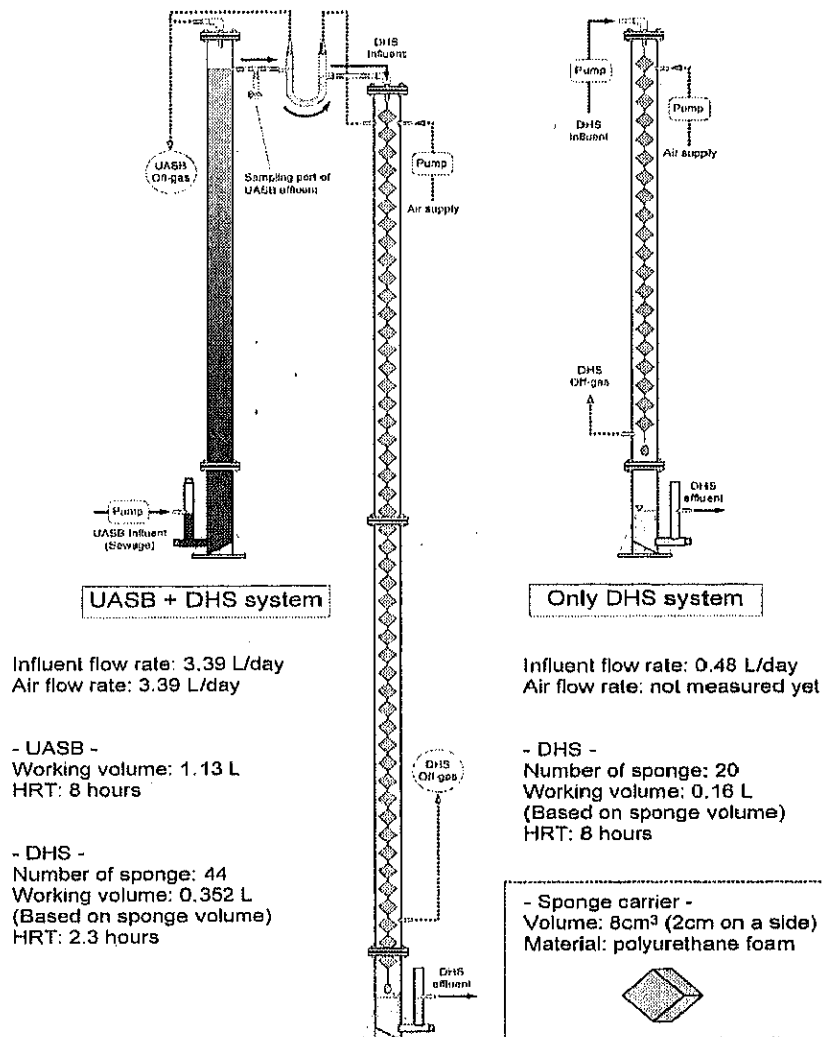


図4.4.1 2つのシステムの概略と操作条件

最も重要な操作因子は水理学的滞留時間（HRT）である。2つのシステムを活性汚泥法とほぼ同じ HRT である 10.3 時間（UASB-DHS）と 8 時間（単独 DHS）で運転した時、非常に良好な処理水質が得られた。その水質は活性汚泥法に匹敵するレベルである。この結果は、これらの HRT がジャカルタでの実下水を模擬した人工下水に対して適切であったことを示している。従って、ジャカルタでの 2 つのシステムの現地運転にはこれらの HRT で行うこととした。

4.4.3. ジャカルタに設置したシステムの実下水処理

UASB と DHS リアクターを組み合わせたシステムがインドネシアでの下水処理に適しているかどうかを調査するために、UASB-DHS と単独 DHS の2つの装置をジャカルタに移動させた。これらのシステムを PD PAL JAYA のコントロール室に5月4日に設置し、池に流入する実下水を使って3ヶ月運転した。

UASB-DHS システムにおいて、UASB での COD 除去は不十分であったが、後段処理の DHS では変動する流入 COD に影響されることなく良好な水質が得られた。全システムとしての COD 除去率は運転期間の平均で90%に達した。平均流出 COD 濃度18 mg/l は、環境基準に十分適合するものである。一方、UASB リアクターからのメタン生成は非常に少なかった（メタン濃度5%、ガス生成速度 $0.7 \text{ mL-CH}_4 \cdot \text{m}^{-3}\text{-sewage} \cdot \text{d}^{-1}$ ）。この理由として流入 COD 濃度が224 mg/l と低くて COD 除去量が少なかったことが挙げられる。処理性能データのまとめを表4.4.1に示す。

表4.4.1 ジャカルタでの処理性能（まとめ）

分析項目	単位	Raw sewage	Combined system		Single DHS system (10H)	Single DHS system (6H)	pond
			UASB	DHS			
Total-COD _{Cr}	mg/L	224	69	18	15	16	102
Soluble-COD _{Cr}	mg/L	65	51	13	13	11	36
Total-COD _{Cr} removal	%	-	90		88	94	54
アンモニア	mg-N/L	26.4	26.9	6.2	0.7	0.6	16.8
硝酸塩	mg-N/L	0.1	0.1	6.8	6.1	12.0	0.3
温度	°C	28.2	27.9	27.7	28.3	27.6	28.6
pH	-	7.4	7.3	6.6	7.8	7.9	7.6
メタン生成	mL-CH ₄ / L-sewage	-	0.7	-	-	-	-

（出所）本調査での実験結果

単独 DHS においても、COD のみならずアンモニウム除去も良好であった。処理水質は UASB-DHS と同等であった。

現地下水処理実験を通して、UASB-DHS および単独 DHS の両システムはジャカルタの下水処理に適用可能であることが示された。

4.4.4. ジャカルタにける下水処理システムの実験

UASB と DHS リアクターの組み合わせシステムがジャカルタ市に適しているかどうかを調べるために、UASB-DHS による連携下水処理システムと DHS 単独の処理システムの両方の実験を行った。実験では、広島大学で使用されていた下水処理実験装置をジャカルタに移設した。

4.4.5. 設計

設計において、パイロットプラントの大きさは下水量と HRT で決定される。パイロットプラントの設計と運転操作の最も重要な因子は HRT である。ジャカルタでの実験結果から、適切な処理のための HRT は次の通りである。

- ・ UASB-DHS システム：10.3時間 (UASB 8時間、DHS 2.3時間)
- ・ 単独 DHS システム：6時間 (スポンジ担体基準)

UASB-DHS システムにおいて、普通はメタンガスが下水から生成され、回収される。しかしながら、ジャカルタの池に流入する下水のような低濃度排水では、メタンの生成はほとんど期待できない。一方、単独 DHS システムの短い HRT でほぼ完全な硝化と多少の脱窒が期待できる。結論として、本調査チームはジャカルタでの低コスト処理として単独 DHS システムを推奨する。もし COD 濃度の高い下水を池に集水することができれば、メタンガス回収が期待できることから、UASB-DHS システムを推奨する。

4.5. 表流水域における廃棄物管理

インドネシアの都市廃棄物は、固形廃棄物管理法 No.18/2008の下で管理されている。2008年に本法律が制定される以前には、有害廃棄物の規制はあったものの、家庭ゴミ等の一般ゴミに対する規制はなかったことから、インドネシアの都市廃棄物に対する総合的な取り組みはまだ始まったばかりであるといえる。

ジャカルタ市の廃棄物管理の関係機関は、地域環境管理庁（BPLHD）、清掃局（Dinas Kebersihan）、パサールジャヤ公社、造園美観都市局（Dinas Pertamanan & Akeindahan Kota）、公共事業局（Dinas Pekerjaan Umum : DINAS PU）の5機関である。地域環境管理庁（BPLHD）はジャカルタの環境政策・基準の決定や環境モニタリングを実施しており、他の4機関は、それぞれ清掃活動を行っている。清掃局は廃棄物処理の中心機関であり、ジャカルタに978ヶ所あるゴミ仮置き場（TPS）から東隣のブカシ市に位置するバンタルゲバン最終処分場（TPA）までゴミを移送する責任を負う。パサールジャヤ公社は市場等の商業地区のゴミを回収している。造園美観都市局は公園等の公共スペースのゴミを回収する責任を有する。公共事業局（DINAS PU）は、洪水対策や河川施設の維持管理のため、開水域（河川、水路、貯水池、湖）の浚渫及び浮遊ゴミの除去を行う。各局はジャカルタの5都市にそれぞれサブユニットを持っている。

2009年のジャカルタのゴミ発生量は28,286m³/日で、家庭からのゴミが全体の58%と最も高い比率を占めている。清掃局によりゴミ仮置き場（TPS）から最終埋立て処分場（TPA）に移送されたゴミの量は24,323 m³/日であり、回収率86.0%となっている。ゴミの回収率は中央ジャカルタ市で相対的に高く、北ジャカルタ市が低い。清掃局による未回収ゴミの多くは家庭ゴミであるが、このことは、一般住居数が少ない中央ジャカルタ市でのゴミ回収率が高いことにより裏付けされる。清掃局が回収できなかった家庭ゴミは、住民自身により処理されるが、一部は河川に投棄されている。

河川ゴミには浮遊ゴミと沈殿ゴミの2つのタイプがある。浮遊ゴミは、河川から引き上げられ回収され、沈殿ゴミは浚渫によって除去される。表 4.5.1 はジャカルタの河川及び水路の全延長距離に占める DINAS PU の清掃サービスの割合を示している。末端水路は、各市のサブユニットの責任範囲にあり DINAS PU の清掃サービスの対象外である。しかしながら末端水路以外の河川や水路における DINAS PU の清掃サービスの割合も、それぞれ 65.3%と32.5%で十分とはいえない。

表4.5.1 DINAS PUによる河川・水路清掃サービス

区分	総延長距離 (km)	清掃サービス距離 (km)	サービス率(%)
河川	442.7	288.9	65.3
水路	1,054.2	342.2	32.5
末端水路	13,595.1	0	0
合計	15,092.0	631.1	4.2

(出所) ジャカルタ公共事業局 (DINAS PU)

DINAS PUによると、サービス率の低さは予算不足によるものである。表 4.5.2 は河川と水路の清掃サービスに対する近年の DINAS PU の予算要求額と配布額の比較表であるが、2008年には予算要求額の40.7%しか承認されなかった。

表4.5.2 河川清掃サービス予算額の推移

年度	予算要求額 (Rp.)	配布額 (Rp.)	配布率 (%)
2003	12,000,000,000	10,944,706,635	91.2
2004	19,500,000,000	18,534,132,000	95.0
2005	33,000,000,000	22,831,339,116	69.2
2006	27,750,000,000	22,504,374,400	81.1
2007	30,375,000,000	26,304,231,807	86.6
2008	30,180,400,000	12,282,273,125	40.7

(出所) ジャカルタ公共事業局 (DINAS PU)

DINAS PU は 1,800m³/日 (全体の6%) のゴミがジャカルタの河川に投棄され、うち 1,395 m³/日が DINAS PU により回収され、残り 405 m³/日が回収されていないと推定している。他方、公共事業省 (PU) は、ジャカルタの河川へのゴミ投棄を 200トン/日 (800m³/日、全体の2.7%) と推定しており、160.5トン/日 (642 m³/日) が、S. Blencong、Marunda、Cakung 水路、Angke 川、Muara Karang 川、Japot 川、マリーナ (Anak Ciliwung) と Kamal 川で回収され、残り 39.5トン/日 (158 m³/日) が回収されていないとしている。また、清掃局は、2008年に 768 m³/日の河川ゴミが回収されたとしている。河川へのゴミ投棄率に関する PU の 2.7% 及び DINAS PU の 6% の推定のいずれも、その根拠は確かなものではない。海洋水産省 (MMAF) の資料では 10% と推定されている。

DINAS PU は河川ゴミの回収を民間業者に委託している。毎日、ジャカルタの 244ヶ所で河川ゴミの回収作業が行われているが、最も大量の河川ゴミが、中央ジャカルタ市に位

置する Manggarai 水門で回収されている。Ciliwung 川上流からのすべてのゴミはここで堰き止められて回収される。かつて実施された調査では、プラスチックに加え、カップ、テーブル、マットレス、枕、戸棚等、152 品目に分類されたゴミが観測されている。民間業者の説明によると、本現地調査時の2010年4月には、トラック5台により 1日3回のゴミ回収を行っていたが、1月から2月の洪水シーズン中には膨大な量の浮遊ゴミを回収していた。2010年2月18日の洪水直後には、トラック20台により1日5回のゴミ回収を実施した。トラック1台で24~30 m³/日のゴミを運搬できるということであり、Manggarai 水門でのゴミ回収量は、2,400~3,000 m³/日であったと推定される。これは、ジャカルタのゴミ発生量のおよそ10%に匹敵する。

他方、2004年以降、浮遊ゴミを回収するための自動スクリーンが Ciliwung 川以外の主要河川に設置されるようになった。スクリーンは、2010年5月の調査時点で21地点に設置されており、市別では、北ジャカルタ6ヶ所、西ジャカルタ4ヶ所、東ジャカルタ5ヶ所、南ジャカルタ6ヶ所となっている。スクリーンは、DINAS PU (15ヶ所)、ジャカルタ各市 (3ヶ所)、公共事業省 (3ヶ所) により設置されたものである。しかしながら、いくつかのスクリーンは機器トラブル(6ヶ所)や電気トラブル (2ヶ所) により稼働しておらず、維持管理上の問題が生じている。

スクリーン等によって回収されない浮遊ゴミは、ジャカルタ湾に向かって流れていくことから、河口部は、河川ゴミが海に流出するのを防止するために特に重要な地域となる。2006年10月から11月にかけて、国内コンサルタントが行った調査によると、11河口での河川ゴミの回収量は452.73m³/日であった。Pluit、Cengkareng 水路 (北ジャカルタ市の西側) と Murunda (北ジャカルタ市の東側) の3つの河口における回収量が大きく、これら3つの河口で、全体の65.4%を占めている。他方、清掃局によると、ジャカルタ湾から45 km ほど北に位置するプロウスリブ諸島での漂着ゴミ回収量は、2008年には20,428~28,435 m³/月であり、一部はジャカルタ湾から漂着したものであると推測されている。

河川や海浜での都市廃棄物管理は、ゴミ回収活動と予防活動とに分けられるが、住民に対する予防活動は非常に重要である。2008年に環境省が、ボゴール、バンドン、パレンバン、ゴロンタロの4都市の河川沿いの居住住民に行った聞き取り調査によると、河川から50m以内に居住する住民の30%が家庭ゴミを河川に投棄していたが、50m以上離れると誰も投棄していなかった。また、100m以内にゴミのコンテナが設置されている場合、住民の15%が河川にゴミを投棄していたのに対し、100mと200mの間にゴミのコンテナがある場合は、住民の70%が河川にゴミを投棄していた。更に、全回答者のわずか12%しか河川への廃棄物投棄に関する政府の規制及び罰金を認識していなかった。同調査結果は、

河川沿いのコンテナ設置数を増やし、また、罰則を強化することにより、河川への不法投棄を減少できる可能性があることを示唆している。

環境統計 2006/2007 (BPS) によると、2005年にジャカルタの河川沿いに住んでいる世帯数はおよそ 23,000 世帯であり、また、ジャカルタ居住人口の 1.15% が河川にゴミを投棄している。後者を総世帯数ベースで推定すると 26,000 世帯以上となる。これは河川沿いの世帯数を若干上回っているが、ジャカルタの河川ゴミ対策は、河川沿いの 23,000 世帯を中心に行うことで、効果を得られると考えられる。また、環境白書(2008)によると、西ジャワ州に跨る Ciliwung 川流域の土地利用において、住居が 26,594 ヘクタール (50.6%) を占めている。Ciliwung 川の洪水氾濫原には、川床や川岸に建てられた違法な住宅が密集しており、35 万人の住民が住んでいる。調査団は、ボゴール市からジャカルタ湾のアンチョール河口まで、Ciliwung 川に沿って目視調査を実施することにより、河川沿いの不法居住者のコミュニティに対する対策の重要性を確認した。

5. 水環境改善計画

5.1. 低コスト下水処理システムの提案

調査チームは、前章で流域全体の廃棄物処理の問題を明らかにした。河川、特に Ciliwung 川に不法投棄されたゴミは、プラスチックから木材まで雑多なごみで構成されていることから、焼却炉の導入及び UASB -DHS の下水処理システムへの電源供給の可能性を検討した。

実験分析の結果、Setiabudi 池から回収されたメタンガスは低密度であり、UASB リアクターから回収したメタンガスを発電用を使用することは困難であることがわかった。

その後、調査チームは、UASB -DHS システムとは別に、地域コミュニティにおける小規模焼却炉導入の可能性を検討した。しかしながら、河川沿いの地域コミュニティへの安価で安全な小規模ゴミ焼却炉導入の可能性についても、積極的に導入を図ることの長所を見出すことはできなかった。

5.2. 包括的水環境影響評価システム

調査チームは、PC クラスタを用いた低コストでかつ高精度な水質分析法、低コストでかつ高パフォーマンス環境シミュレーターから構成される「総合的な水環境評価システム」を提案した。図 5.2.1 に、提案した包括的水環境影響評価システムの入力と出力関係を示す。

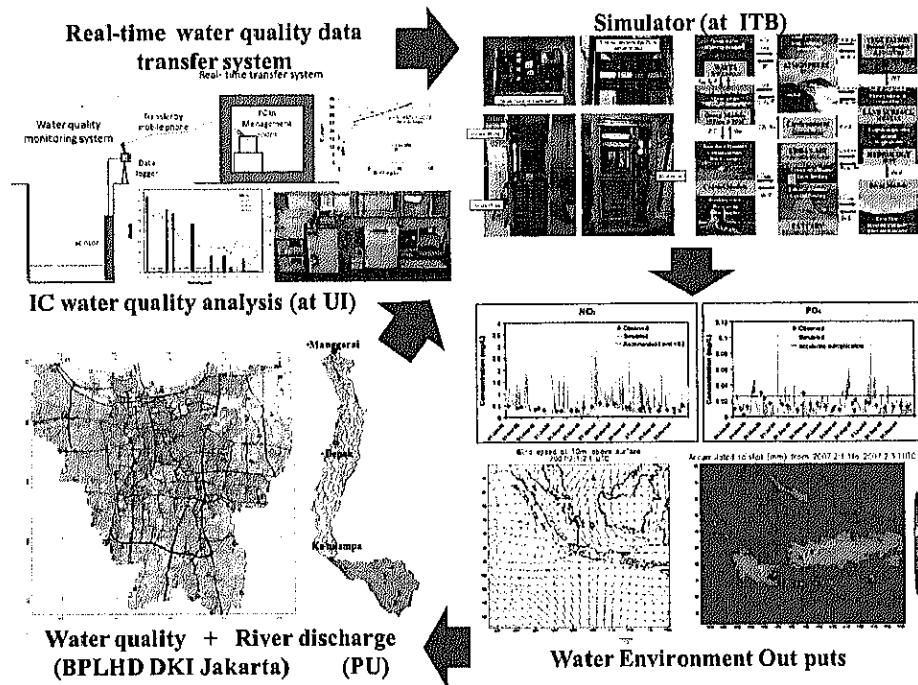


図 5.2.1 包括的水環境影響評価システムの構成

5.3. 沿岸域の活性化とその環境影響評価

ジャカルタ市は、沿岸域および河口の活性化と再生に努力してきたが無駄に終わっている。しかしながら、解決しなければならない多くの環境問題や社会問題はこの地域に残っている。可能な解決策の一つは、埋め立てである。ジャカルタ市の沿岸地域の活性化のためにいくつかの将来構想が提案されている。

非常に多くの困難な問題が残されている沿岸地域の適切な管理のためには、埋め立てによる再生計画は不可欠である。また、埋め立て、水質問題、洪水制御を同時に検討することも重要である。本調査で提案した地域環境シミュレーターは、この計画の環境影響評価に貢献することができる。

5.4. 地盤沈下と地下水制御

ジャカルタでは、帯水層の基盤は難透水性な中新世の堆積岩からなり、この一部は流域南部の地表に露出する（Djajaら、2004）。平野部は海成の鮮新世及び第四紀の砂および三角州堆積物が最大300mも埋積している。第四紀堆積物は水理的に3層に分けられる。不圧地下水層（表層から深度40m）、上部被圧帯水層（深度40m～深度140m）、下部被圧帯水層（深度140m以深）である。堆積物の水平方向の平均的な透水係数は 1.0×10^{-3} cm/s であり、鉛直方向は 1.0×10^{-5} cm/s である。

ジャカルタでは地下水環境の劣化はとても深刻である。この状況を改善していくために、次のような管理法を提案したい。

- 1) 土地利用管理のような地下水涵養量の保全：特に、地下水涵養量を保持するための降雨浸透域の確保や水質制御のための汚染負荷の制御
- 2) 地下水取水量の制限：代替水資源の確保が必要であり、法や税の整備も必要である。
- 3) 人工地下水涵養の適用：地下水涵養域で中流での洪水制御貯水池を使用することは有効である。

5.5. 行政、産業界、市民による水環境改善システム

5.5.1. ジャカルタ市による廃水管理活動

下水管理公社（PD PAL JAYA）は、ジャカルタ市政令第10号/1991年に基づき、ジャカルタの下水道システムを開発するために設立された。PD PAL JAYAによって実施されてい

る廃水管理サービスは、主として下水システム（オフサイト処理）であるが、若干のローカルシステム（オンサイト処理）サービスも行っている。現在、PD PAL JAYA は、商業施設や高層ビルに7つの移動式浄化槽（STP Mobile）を提供している。これらの浄化槽の容量は、いずれも 200m³/日となっている。

下水道がつながる Setiabudi 池は、世界銀行融資による下水衛生プロジェクト（1992-1996）により、曝気ラグーンとして開発された。設計容量は 38.9m³/日で現在の有効利用容量は19.0m³/日となっている。しかし、現在、ため池は下水処理システムとして十分に機能していないように思われる。1時間当たり48キロの酸素を供給する容量を持った7つのエアレーターが設置されているが、それらの多くは故障している。

5.5.2. 環境省による水質汚染管理プログラム

環境省は、2005年から2009年の戦略計画にも記載されているように複数の水質汚染管理プログラムを実施してきた。代表的なプログラムとして、「クリーンリバー・プログラム」（PROKASIH）、工場が川に汚水を垂れ流さないようにさせるための「汚染管理評価格付けプログラム」（PROPER）、家庭ごみの処理に関する「クリーンアンドグリーンシティ・プログラム」（ADIPURA）がある。これらのプログラムにより、インドネシアの河川汚染が減少するか、可能であれば完全になくなることが望まれている。

PROKASIH 及び PROPER への参加は任意である。プログラムへの参加企業数は全企業数に比べると十分ではない。実際、法律に従う企業の数是非常に少ない。評判に基づくインセンティブには限界があるのは明らかである。厳しい処罰や減税などの経済的インセンティブを強化する必要がある。

5.5.3. コミュニティによる廃棄物管理活動

廃棄物収集システムの最初の段階は、コミュニティにより行われる。廃棄物管理における住民参加の向上を図るため、コミュニティのイニシアチブや料金徴収活動は、自治体によって広範に支援されている。女性によるゴミ収集協同組合、近隣（RW）の青年団によるゴミ収集、小さな企業との契約、ドアツードアサービスによるゴミ収集のために手押し車でゴミを収集する男性の雇用、など、様々なコミュニティのイニシアチブによる活動がある。コミュニティは、ゴミ収集者や道路清掃者の給与、ゴミ箱や運搬用カートの購入費用を貯蓄しておくために、小額の費用を負担する必要がある。コミュニティでの徴収料金は、住宅地の生活条件に依存しており、コミュニティのメンバーの間で決定される。

6. 結語

6.1. 調査の概要と構成

本調査は、調査と分析を通じ、地球温暖化によると考えられる海面上昇や低地の地盤沈下に苦しむジャカルタ市を中心とする JABODETABEK 地域全体の複雑な水環境問題（廃棄物問題、排水処理、廃棄物の河川投棄、洪水とも関係している）に関する理論的背景を明確にするとともに、このような水環境問題の改善に適した科学技術を提案することを目的として実施された。最終的に、ジャカルタ首都圏の水環境を改善するための技術的提案が、以下のとおり、まとめられた。

- 1) 低コストでかつ高性能なジャカルタ市の下水処理用のシステム。可能性のある技術として、小規模閉鎖流域における下水浄化を可能にする UASB-DHS のシステムを提案した。
- 2) 低コストでかつ高精度の水質分析法と低コストでかつ高性能な PC クラスターの環境シミュレーターの連携による総合的水環境モニタリングシステムの提案。
- 3) 低コスト・高性能下水処理システムの環境に対する有効性や環境影響評価を総合的水環境モニタリングシステムによってどの程度評価できるかの検討。
- 4) 処理システムの有効性に加え、ジャカルタ湾の干拓と適切な地下水管理による地盤沈下の軽減を含む低平地の適切な開発計画による洪水制御を考慮した上でのジャカルタ市における持続可能な下水処理システムの提案。

図6.1.1に調査のフレームワークを示す。

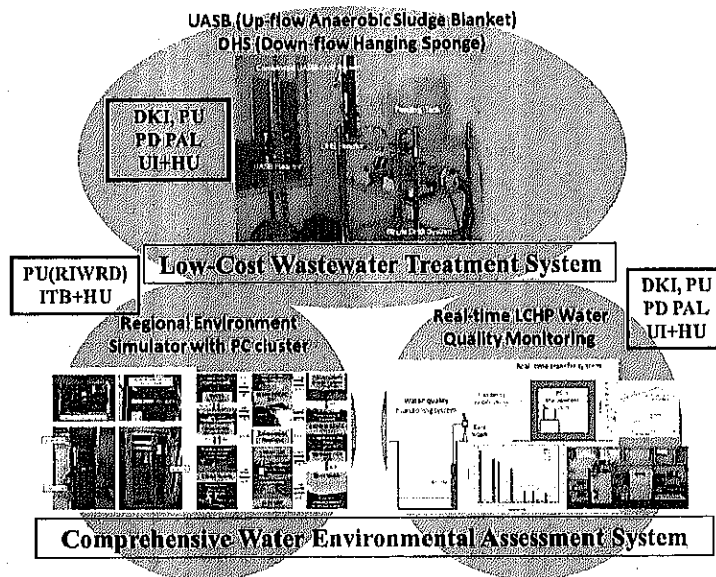


図 6.1.1 調査のフレームワーク

6.2. 地域環境シミュレーター

本調査では、広島大学大学院国際協力研究科 (IDEC) で開発された地域環境シミュレーター (RES) による気象・海洋シミュレーション、洪水予測および低コスト下水処理システムの水質改善効果の解析の可能性を検討した。

また、公共事業省 (PU) に導入される総合的環境アセスメントの実用性を検討するとともに、バンドン工科大学 (ITB) に設立された RES の運用の可能性についても検討した。

RES は、大気・海洋、大気・陸面、沿岸・河口という3つの水・物質循環シミュレーションのモジュールを組み合わせた数値解析システムである。RES の基本的なモジュールは、世界のトップレベルの研究機関や研究者が構築した数値モデルのコードで、世界中の多くの研究機関で使用されている。

この調査では、ITB に設置した RES のパフォーマンスをチェックするために、2007年のジャカルタの大洪水時の再現を行った。ただし、水質データおよび下流域の水路網データの不足のために、低コスト下水処理システムによるチリウン川の水質改善効果の評価を行うことは出来なかった。

6.3. 水質モニタリング

6.3.1. リアルタイム水質モニタリングシステム

週単位、日単位の高頻度で水質モニタリングが可能になれば、自治体にとって、より多くの水環境や生態系、産業汚染の影響を評価する事が可能になり、便利である。しかし、途上国における高頻度モニタリングにおいては、費用の制約や時間的、空間的制限があるため、詳細な水汚濁指標や詳細な化学成分として BOD を求める必要はない。

一方、電気導電率 (EC) と溶存酸素 (DO) は低価格かつ簡単・単純な方法でパラメータをモニタリングできる観測要素である。最終的な調査チームの目的は、リアルタイムモニタリングシステムと低価格、高性能のデータ転送システムを完成させることであった。そのために、EC、pH、温度および DO およびデータ転送システムのモニタリングセンサーで構成されるリアルタイム水質モニタリングシステムを完成させた。

6.3.2. イオンクロマトグラフィーによる水質解析

水質モニタリング・データと PD PAL JAYA から提供された分析データを総合的に考察すると、PD PAL JAYA の近くの二つの池では以下のような生物学的反応が進行していることが推定された。

- 1) 嫌氣的条件下の池の中では、BOD/COD を除去するための生物学的酸化反応は無視できる。
- 2) BOD/COD 成分が存在する嫌氣的条件下の池の中では、硝酸態-窒素を除去するための生物学的脱窒素反応がかなり進行する。
- 3) PD PAL JAYA の近くの二つの池は生物処理施設として機能しない。
- 4) 水質モニタリング技術と排水処理技術の観点からの結論は、DHS のような高効率な生物処理システムの導入が必要である。

都市河川水中のアンモニウム及び硝酸イオンの存在は、この地域の人間活動の活発化を反映している。

一般的な陰イオン、陽イオン、栄養塩及びアルカリ度の高感度な同時計測を可能にするこの先端的なイオンクロマトグラフィー技術は、インドネシアのような開発途上国への適用にとって大変有効である。

6.4. 総合的水環境アセスメントシステム

調査チームは、「総合的水環境アセスメントシステム」として、低コストで高精度の水質分析法と PC クラスターによる高性能環境シミュレーターで構成されるシステムを提案した。総合的水環境アセスメントシステムの構築可能性として、調査チームは以下のことを確認した。

- 1) ITB に設置した地域環境シミュレーター RES の運用は可能である。
- 2) シミュレーションの結果は効果的に地域や政府の環境影響評価に使用できる。
- 3) UI/PD PAL JAYA による IC 水質分析を実行することは可能である。
- 4) 既存の水質モニタリングシステムは継続する必要がある。IC 水質分析は、既存の水質モニタリングシステムの結果を確認（検証）するために使用する必要がある。
- 5) リアルタイム水質データ転送システムの稼働は可能である。
- 6) 流域における水質データは連続測定することが必須である。また、この連続側データは地域環境シミュレーターに転送しリンクすることが、環境アセスメント上、必須である。
- 7) 河川のような流域での水質はフラックス（濃度 × 流速）で評価することが必須である。汚染と栄養のフラックスを知るためには、河川流量の測定データと成分濃度の分析データを組み合わせて計測、解析する必要がある。

提案した総合的水環境評価システムを導入して、インドネシアの大学（UI と ITB）のサポートの下で、地域と政府が共同で環境保全対策の策定を行うことができるようになるよう、本調査事業のクライアントに勧告する。

また、総合的水環境評価システムの効果的、継続的な運用の観点からは、UI と ITB に対して中央・地方政府が総合的水環境評価の委託事業を依頼する形式を検討することも必要である。

6.5. 下水処理システム

我が国で広く普及している精練された下水処理システムがインドネシアなどの途上国に技術移転されても上手く機能しないのは明白である。下水処理システムが途上国に根付くためには、日本のような高価な技術ではなく、途上国に適した技術が真に要求されている。すなわち、低コスト・維持管理容易な技術が必要とされている。また、適用可能な下水処理システムにするためには、経済・社会構造などの途上国の国情を考慮しなければならない。

低コストで維持管理容易な UASB がいくつかの途上国で導入されてきた。しかし、水が放流基準に適合するためには、一般的に UASB リアクターの後段に処理を必要とする。大久保は、博士論文において後段処理システムの処理性能、用地面積、必要電力をまとめており、DHS リアクターが UASB の後段処理として最適であると結論している。このため、本調査チームは UASB と DHS リアクターを組み合わせたシステムがインドネシアでの下水処理に適しているかどうかを調査することにした。

UASB-DHS システムにおいて、UASB での COD 除去は不十分であったが、後段処理の DHS では変動する流入 COD に影響されることなく良好な水質が得られた。全システムとしての COD 除去率は運転期間の平均で90%に達した。平均流出 COD 濃度18 mg/l は、環境基準に十分適合するものである。一方、UASB リアクターからのメタン生成は非常に少なかった（メタン濃度 5%、ガス生成速度 $0.7 \text{ ml-CH}_4 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{sewage} \cdot \text{d}^{-1}$ ）。この理由として流入 COD 濃度が224 mg/l と低くて COD 除去量が少なかったことが挙げられる。

単独 DHS においても、COD のみならずアンモニウム除去も良好であった。処理水質は UASB-DHS と同等であった。

現地下水処理実験を通して、UASB-DHS および単独 DHS の両システムは、ジャカルタの下水処理に適用可能であることが示された。

ジャカルタに、このシステムを導入すべきかどうかの判断は、低コスト、処理能力だけでなく、複雑な要素が絡んでいることから、次の段階の調査を通じて行われるべきである。

6.6. 表流水域における廃棄物管理

ジャカルタの表面水域における廃棄物調査は、以下の3つの事実を明らかにした。

第一に、河川ゴミに関する使用可能かつ信頼性の高いデータがほとんどない。ジャカルタ市内の河川の浮遊ゴミの除去作業は Manggarai 水門を含む 244地点で1つの民間企業によって実施されていることから、同企業の協力を得ることにより、ジャカルタの河川ゴミの詳細調査を実施することは可能と考えられる。但し、日本人が調査を実施する際には、通訳の雇用が必須である。

第二に、DINAS PU の河川清掃サービスは予算不足のため十分ではない。公共事業省 (PU) は、洪水被害軽減の目的のために、世界銀行のソフトローン (2,000億ルピア) を使用し、2010年8月から 13河川の大規模な浚渫作業を開始する予定である。しかし、持続的な河川廃棄物管理のためには、ジャカルタ特別州が DINAS PU に対し毎年十分な予算を割当てて努力が必要である。

第三に、地域コミュニティの環境教育が必要かつ重要である。特に違法に河川沿いに居住している経済的に恵まれないコミュニティに対する環境教育及び環境インフラ整備は、根本的な解決を図る上で最も重要である。

ゴミ焼却炉の導入に関しては、Satiabudi 池に設置した UASB システムの連続処理実験で観察されたメタンガス発生量に鑑み、ゴミ焼却炉と UASB-DHS 下水処理システムの連結運転のためのメタンガスのエネルギー活用は困難であるという結論を得た。また、河川沿いの地域コミュニティへの安価で安全な小規模ゴミ焼却炉導入の可能性についても、積極的に導入を図ることの長所を見出すことはできなかった。

他方、今回の調査で、浮遊ゴミを捕捉し回収するための自動スクリーンがジャカルタの河川の21ヶ所に設置されていることが明らかとなった。ただし、一部のスクリーンは、故障や電源の問題のために作動していない。トラブルを避けるための鍵は、河川ゴミ除去のためのスクリーンには様々な種類があることを認識し、河川の状況や維持管理体制に対応した適切なスクリーンの選択と個別設計を行うことである。また、フロートとロープを浮遊ゴミ除去のために利用することができる。フロートとロープは安価であることから積極的な活用を推奨する。

