

インドネシア国ジャカルタ市における 水環境問題の現況と課題についての研究

佐藤 伸幸¹・原田 秀樹²

¹長岡技術科学大学大学院 エネルギー・環境工学専攻 博士後期課程 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

²長岡技術科学大学大学院 エネルギー・環境工学専攻 教授 (同 上)

ジャカルタ市の下水道普及率はわずか2.62%であり、家庭污水やし尿等の垂れ流し、また不適切な腐敗槽 (septic tank) 等の設置により、河川・地下水の水質汚濁が深刻な問題となっている。このような状況でありながら、具体的な水質汚濁の傾向等が評価されていない。本研究では、河川・地下水の水質汚濁の現況やその傾向について解析した。その結果、河川では T-coli、COD、BOD、NH₄-N、界面活性剤、PO₄-P、油脂・脂肪等、地下水では T-coli、NH₄-N、Fe 等が基準値を著しく上回っている。また、その解析結果をもとにインドネシア政府機関における水環境政策の方針を評価した。そこで、水質改善のための方策の一つとして提言されたことは、有用な人材を育成しジャカルタ独自の改善策を策定し、それを実施していくことである。

Key Words: river water quality, groundwater quality, manpower development, sewerage

1 はじめに

インドネシア国ジャカルタ首都特別地区 (以下ジャカルタ市と記述) は人口 839 万人 (2000 年)、人口密度 12,900 人/km² (東京 23 区 13,429 人/km², 2004 年 4 月) と非常に大きな都市であるが、下水道普及率はわずか 2.62% にすぎない^{1,2)}。このため、家庭污水やし尿等の垂れ流し、また、不適切な腐敗槽 (septic tank) 等の設置が、河川や地下水の水質に深刻な問題を引き起している。1980 年代に世界銀行、1990 年代には OECF による支援等を受けつつも、諸般の理由により有効に活用できなかった^{3,4)}。現在ジャカルタ市では不定期ではあるが、河川・地下水の水質モニタリングが行われている。しかし、分析後の評価は、JICA の開発調査で実施されたインドネシア国ジャカルタ市都市排水・下水道整備計画調査 (1991 年終了) 以降、ほとんどなされていない。

本研究では、数字の羅列状態になっているジャカルタ市の河川および地下水質データについて、未公開データの 2001 年のデータ等を含めた上で、近年までの汚濁傾向を解析した。また、解析結果をもとにインドネシア政府機関における水環境政策の方針を評価し、改善への方策を提言することである。

2 調査方法

調査は 3 つのステージに分けて行った。

1) 第一次国内調査

出来るだけ多くのデータを現地政府機関、国際機関等の HP や JICA 等の報告書より収集した。

2) 現地調査

生活環境省、居住・地域インフラ省、ジャカルタ市地方環境局、ジャカルタ市下水道公社、ジャカルタ市水道公社、ジャカルタ市清掃局、ジャカルタ市統計局、JICA ジャカルタ事務所を訪問し、データ収集を行った。同時に、政府役人や上級技術者等と面談し、国内で収集したデータの確認や意見交換を行った。また、下水処理場、し尿処理場、河川、工場排水、都市部及び郊外に住む人々の衛生施設の視察も行った。

3) 第二次国内調査

収集したデータを解析した。

3 結果と考察

ジャカルタ市が実施している河川水質、地下水質の観測は各年によって観測箇所数および観測回数が異なる。各年の観測回数および観測した月は河川水については Table 1、地下水については Table 2 に示す。なお、河川水

Table 1 Utilization of Data for River Water Quality Analysis⁵⁻¹³⁾

Year	No of sampling times	Sampling month
1989	8	N/A
1991	1	N/A
1994	8	N/A
1995	6	Jul to Dec
1996	2	Jan, Feb
1997	8	Jan, Feb, May to Oct
1998	6	Jan, Feb, Apr, Jul, Sep, Nov
1999	1	Nov
2000	4	Jan, Mar, Apr, Nov
2001	2	Aug, Sep

Note No of sampling times for T-coli is 7 in 1989, 0 in 1991-2000, and 1 in 2001, sampled in Aug

Table 2 Utilization of Data for Groundwater Quality Analysis^{5,6,9,10,13,14)}

Year	No of sampling times	Sampling month	Measured parameter	No of monitoring stations				
				Central Jakarta	East Jakarta	North Jakarta	South Jakarta	West Jakarta
1984	2	Aug, Dec	organic, NH ₄ -N	3	6	0	6	6
1989	1	Oct	NH ₄ -N, Cr	4	8	5	6	7
1994	2	Sep, Nov	all ^{*1}	48	53	21	51	51
1995 ^{*2}	1	Jan	all	52	52	30	56	51
2000	1	Sep	organic, NH ₄ -N, Fe, Mn	16	24	16	16	24
2001	1	N/A	all	16	23	15	20	22

Note *1: T-coli, organic, NH₄-N, Fe, Mn, Cr, Pb

*2: Monitoring stations for Fe and Mn in 1995 is 60 for Central Jakarta, East Jakarta, North Jakarta and South Jakarta, and 36 for West Jakarta.

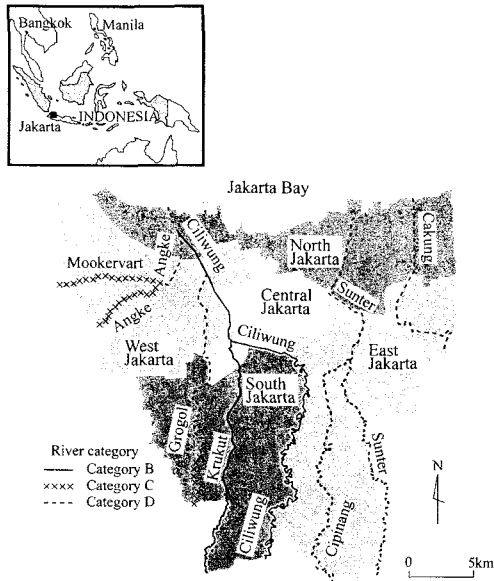


Fig. 1 General View of Jakarta¹⁵⁾

質の観測箇所数については必要に応じ、文中に記述した。

水質の評価方法はデータが複数ある場合、平均値によるものとした。但し、総大腸菌群 (Total Coliform, 以下 T-coli と記述) は数値の平均ではなく、log₁₀ ベースの平均値で評価した。

(1) 河川水質

ジャカルタ市内の河川の多くは南方面からジャカルタ市に面するジャカルタ湾へ流れる。各河川は利用目的別に3つのカテゴリー (カテゴリーB: 適切な処理により、飲用に適する、カテゴリーC: 漁業、家畜に適する、カテ

ゴリーD: 農業、工業に適する) に分類され、同一河川でも上流、下流で分類されているところもある (Fig. 1)。水質基準は各カテゴリー別に設定されており、これを Table 3 の左から2列目に各基準値を示す。T-coli の基準値を例に挙げるとカテゴリーB、C、D それぞれに 1×10^4 、 2×10^4 、 2×10^4 MPN/100mL と設定されている。

河川水質の評価には2001年におけるジャカルタ市全体のBOD、T-coliの汚濁分布と、主要7河川における23項目の水質データを用いた。また、主要7河川の内、ジャカルタ市民の飲料水源となっているCiliwungと大きな工場地帯を流下するCipinang/Sunterについては1989年以降の水質汚濁を解析した。

BOD

2001年におけるジャカルタ市のBODの状況をFig. 2に示す。Fig. 2には60ヶ所の観測所が表示され、基準を達成した観測所には、塗り潰しのない黒色の円が表示されている。全体の37% (22ヶ所) のみが基準を達成しており、各河川の上流部で比較的良好な水質が確認されている。最も多いBODレベルは21-50 mg/Lである。45% (27ヶ所) がこのレベルに属し、ジャカルタ市全土で観測されたが、上流に比べ下流に多い傾向を示す。

T-coli

Fig. 3は2001年のジャカルタ市のT-coliを示す。BOD同様黒色の円が基準を達成した観測所である。T-coliはBODに比べ、汚濁の状況が著しい。わずか7%に相当する4ヶ所の観測所のみが基準を達成しており、ほぼ全域の河川で基準値を上回っている。 10^6 - 10^8 MPN/100mLが最も多く52%を占め、 10^8 MPN/100mL以上が15%であった。つまり、67%の観測所で都市下水と同様またはそれに近似したT-coli値を示す。

主要7河川

Table 3 では Fig. 1 に表示されている7河川についてまとめた。その7河川のうち、Angke、Ciliwung、Grogol は場所によってカテゴリが変化する。そのため、Angke

はカテゴリ-C、Ciliwung はカテゴリ-B、Grogol はカテゴリ-D に指定された地点の観測データを評価対象とした。また、評価した観測所の数は Angke、Cakung、Ciliwung、Cipinang、Grogol、Krukut、Sunter、それぞれ1、4、7、6、

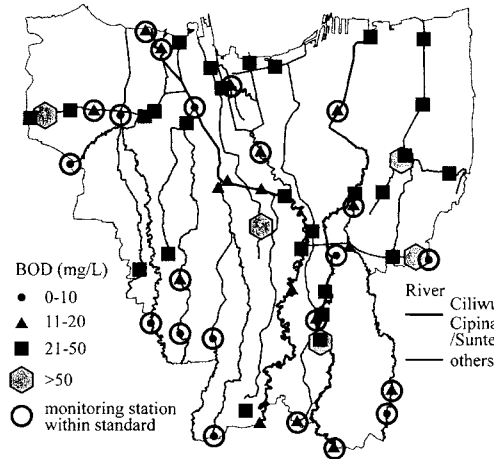


Fig. 2 River Water Quality as BOD in 2001^⑥

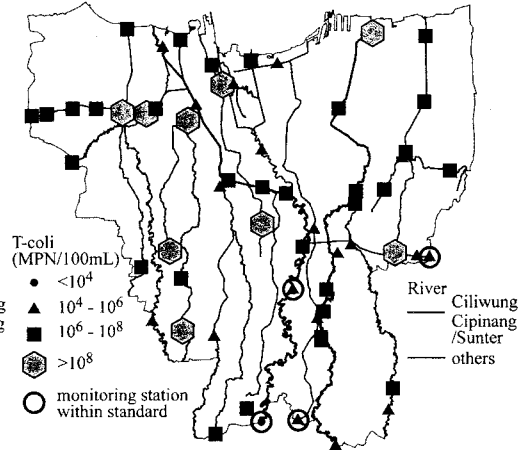


Fig. 3 River Water Quality as Total Coliform in 2001^⑥

Table 3 Water Quality of Major Rivers in Jakarta of 2001^{⑥,16)}

Parameter	Standard (Category B/C/D)	Unit	Angke (1) ^{*1} (C) ^{*2} (22.5m ³ /s) ^{*3}	Cakung (4) (D) (4.7m ³ /s)	Ciliwung (7) (B) (25.0m ³ /s)	Cipinang (6) (D) (1.4m ³ /s)	Grogol (3) (D) (12.8m ³ /s)	Krukut (2) (B) (9.1m ³ /s)	Sunter (7) (D) (12.4m ³ /s)
T-Coli	1x10 ⁴ /2x10 ⁴ /2x10 ⁴	MPN/100mL	5.0x10 ⁶ (0) ^{*4}	7.7x10 ⁶ (0)	3.4x10 ⁵ (14)	8.2x10 ⁶ (0)	2.5x10 ⁸ (0)	8.9x10 ⁴ (0)	8.3x10 ⁶ (0)
COD	20/30/30	mg/L	13 (100)	58 (0)	29 (21)	102 (33)	42 (50)	29 (25)	40 (36)
BOD	10/20/20	mg/L	8 (100)	26 (50)	16 (14)	35 (33)	25 (50)	10 (25)	18 (64)
NH ₄ -N	1/2/-	mg/L	1.66 (100)	N/A	2.12 (67)	N/A	N/A	2.45 (50)	N/A
turbidity	100/100/-	mg/L	149 (50)	N/A	73 (93)	N/A	N/A	82 (75)	N/A
phenol	0.05/0.002/-	mg/L	0.00 (100)	N/A	0.01 (100)	N/A	N/A	0.01 (100)	N/A
SS	100/100/200	mg/L	125 (50)	118 (87)	100 (64)	70 (92)	41 (100)	58 (100)	137 (93)
SO ₄	100/50/100	mg/L	21 (100)	103 (75)	11 (100)	33 (100)	40 (100)	7 (100)	25 (100)
detergent	1/0.5/0.5	mg/L	0.65 (0)	1.32 (0)	0.78 (71)	1.38 (0)	2.01 (25)	0.76 (100)	0.84 (7)
PO ₄ -P	0.5/0.5/0.5	mg/L	0.46 (50)	1.11 (29)	0.33 (79)	0.80 (50)	1.31 (50)	0.32 (100)	0.65 (71)
oil/fat	0/1/0	mg/L	0.47 (100)	0.36 (0)	0.75 (0)	2.06 (0)	0.29 (0)	1.54 (0)	0.96 (0)
color	10/-/-	mg/L	N/A	N/A	72 (0)	N/A	N/A	69 (0)	N/A
pH	6.0-8.5/6.0-8.5/6.0-8.5	mg/L	7.05 (100)	7.20 (100)	6.95 (100)	7.16 (100)	7.03 (100)	7.08 (100)	7.25 (100)
Fe	2/-/-	mg/L	N/A	N/A	0.70 (100)	N/A	N/A	0.52 (100)	N/A
Cu	0.1/0.02/0.1	mg/L	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.05 (83)	0.00 (100)	0.02 (100)	0.00 (100)
Pb	0.1/0.03/0.1	mg/L	0.00 (100)	0.00 (100)	0.06 (79)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)
Cr	0.05/0.05/0.05	mg/L	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.02 (75)	0.00 (100)	0.00 (100)
Ni	0.1/0.1/0.1	mg/L	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)
Zn	1/0.05/1	mg/L	0.60 (50)	0.96 (87)	0.03 (100)	0.08 (100)	0.02 (100)	0.18 (100)	0.90 (93)
Mn	0.5/-/1	mg/L	N/A	0.43 (87)	0.13 (93)	0.49 (92)	N/A	0.17 (75)	0.45 (93)
Cd	0.01/0.01/0.01	mg/L	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)
Hg	0.001/0.002/0.0005	mg/L	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)
F	1.5/1.5/-	mg/L	0.00 (100)	N/A	0.01 (100)	N/A	N/A	0.00 (100)	N/A

Note *1: () indicates no of monitoring stations.

*2: () indicates river category B, C, or D.

*3: () indicates average flowrate in 1997.

*4: () indicates % of data within the water quality standard.

3、2、7ヶ所とした。前述したように T-coli による水質汚濁は著しく、この7河川は 10^4 - 10^8 MPN/100mL レベルと基準値を大きく上回っている。それ以外で汚濁が顕著な項目は COD、BOD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、界面活性剤 (detergent)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、油脂・脂肪等が挙げられる。COD は 13-102 mg/L で Angke を除く 6 河川で基準値を超えている。BOD は 8-35 mg/L であり、5 河川で基準値を超えている。同一河川において $\text{PO}_4\text{-P}$ と界面活性剤の基準値達成率は Sunter を除き、若干開きはあるものの同じような傾向を示す。ジャカルタ市では $\text{PO}_4\text{-P}$ は洗剤と肥料が主な汚濁源であると言われている。しかし、農業地は 1981 年から 1997 年に 32% から 10% に減少していることから^{14,17}、肥料の使用量は減少傾向にあると推測できる。そのため、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は主に洗剤の使用による影響が大きいと考えられる。

重金属は Fe、Cu、Pb、Cr、Ni、Zn、Mn、Cd、Hg の 9 項目について評価した。Angke における Zn の基準値達成

率が 50% で平均値も基準を超えている。しかし、それ以外は基準値達成率が 75% 以上あり、重金属による汚染は顕著ではない。

経年変化

河川水質の経年変化として、飲料水源となっている Ciliwung、大きな工場地帯を流下する Cipinang/Sunter、これら 2 河川を解析した。Fig. 4 - 6 と Fig. 7 - 9 は Ciliwung および Cipinang/Sunter の BOD、BOD/COD 比、T-coli を示す。収集データを 1990 年初期 (1989-91 年)、中期 (1994-97 年)、後期 (1998-2001 年) の 3 期に分け、Y 軸をそれぞれの値、X 軸を河口からの距離とした。両河川ともほぼ全域で基準値を超え、同じような地点で同じような水質の傾向を示した。これより 1990 年初期より継続的に同じような種類の汚水が放流されていることが推測できる。

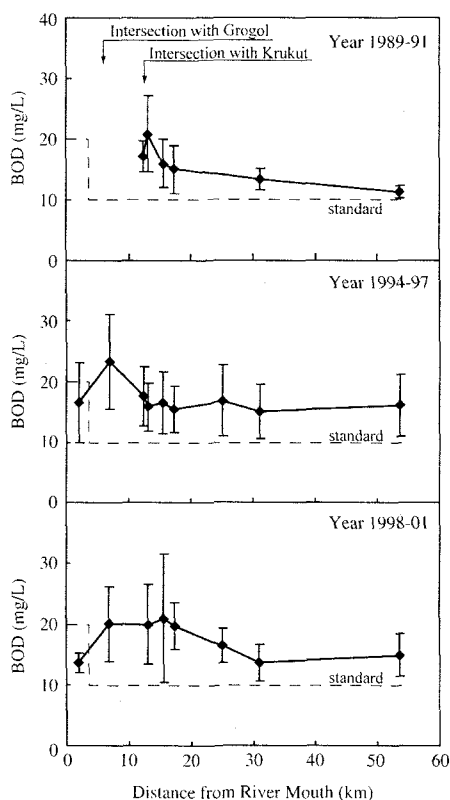


Fig. 4 BOD in Ciliwung⁵⁻¹³⁾

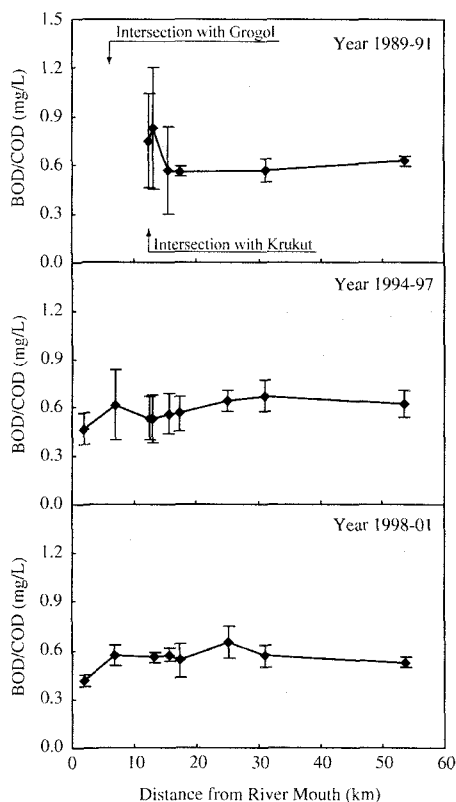


Fig. 5 BOD/COD in Ciliwung⁵⁻¹³⁾

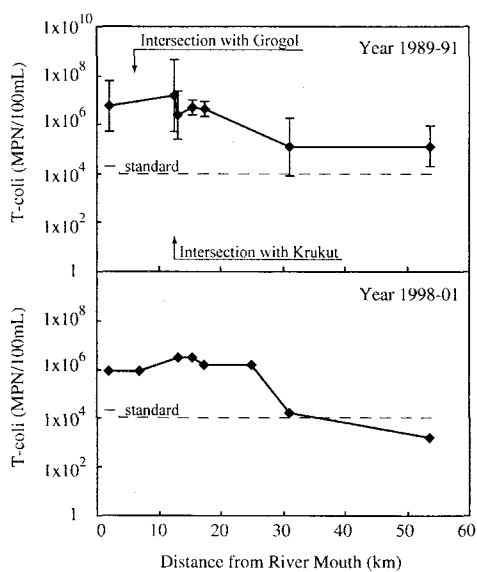


Fig. 6 T-coli in Ciliwung⁵⁻¹³⁾

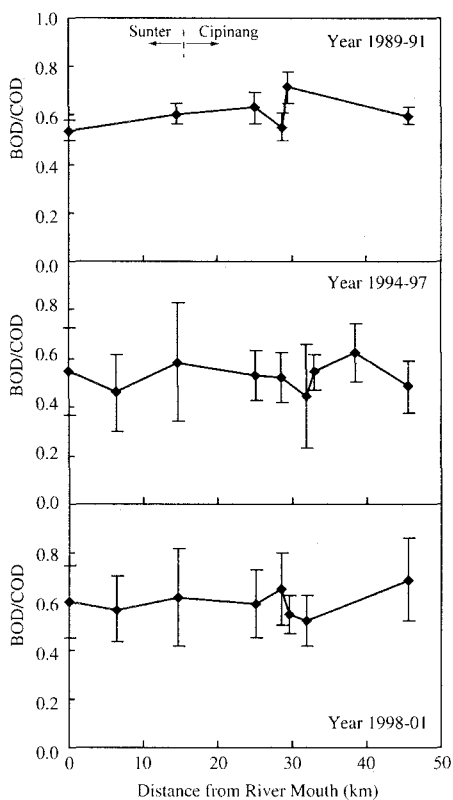


Fig. 8 BOD/COD in Cipinang/Sunter⁵⁻¹³⁾

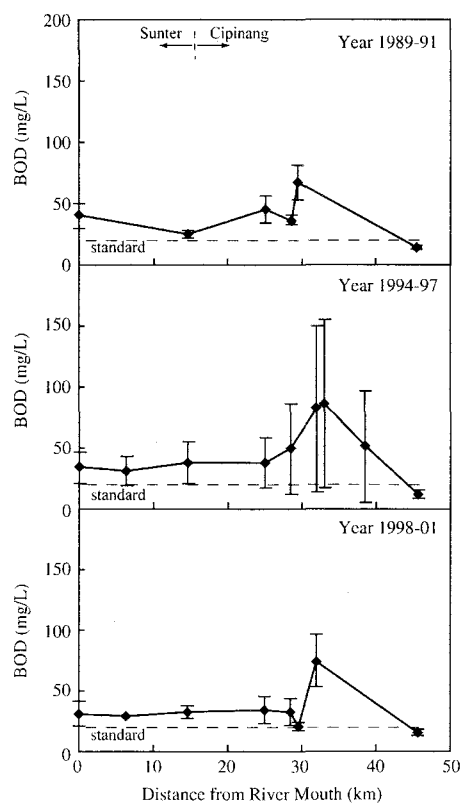


Fig. 7 BOD in Cipinang/Sunter⁵⁻¹³⁾

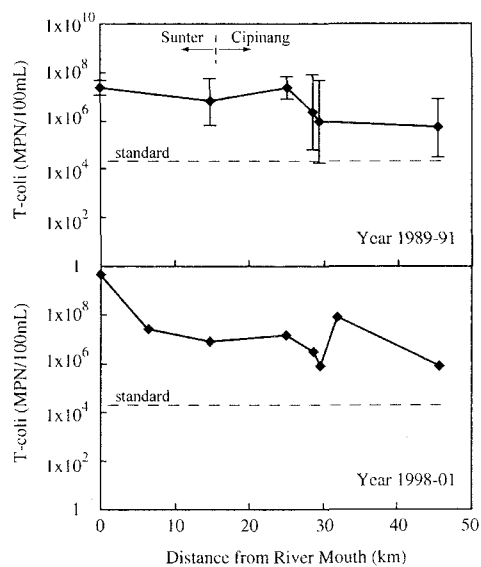


Fig. 9 T-coli in Cipinang/Sunter⁵⁻¹³⁾

この2河川は1989年から実施されたPROKASIH（河川浄化プログラム）に選定された河川である。このプログラムは選定された河川へ放流する工場排水のモニタリングにより、河川水質の改善を目的としていた。しかし、河川水質の経年変化を見る限り、その効果は見られない。ジャカルタ市では、汚濁負荷の80%が家庭污水によるも

のであるため¹⁸⁾、選定された工場からの排水改善だけでは河川浄化には不十分であることが伺える。

(2) 地下水質

1984年から2001年までの地下水質変化を地域（以下 Municipality と記述、Fig. 1 参照）別にまとめた（Table 4）。

Table 4 Summary of Groundwater Quality in Jakarta^{5,6,9,10,13,14)}

Parameters	Municipality	Year				WHO's Guideline
		1984	1989	1994-95	2000-01	
T-coli (MPN/100mL)	Central Jakarta			3.7×10 ³ (29)* ¹	220 (44)	50* ²
	East Jakarta			710 (58)	140 (54)	
	North Jakarta			2.9×10 ⁴ (0)	3.4×10 ³ (21)	
	South Jakarta			640 (44)	35 (70)	
	West Jakarta			300 (51)	30 (68)	
organic (mg/L)	Central Jakarta	6.9 (83)		6.0 (87)	2.3 (100)	10* ²
	East Jakarta	2.4 (100)		3.7 (93)	1.7 (100)	
	North Jakarta			10.7 (60)	10.5 (49)	
	South Jakarta	2.5 (100)		4.0 (90)	1.5 (100)	
	West Jakarta	5.4 (92)		4.5 (97)	2.4 (100)	
NH ₄ -N (mg/L)	Central Jakarta	4.52 (33)	0.79 (50)	3.05 (56)	1.48 (62)	1.5 as NH ₃ (=1.16NH ₄ -N)
	East Jakarta	0.08 (100)	0.13 (100)	0.97 (88)	0.28 (94)	
	North Jakarta		3.20 (40)	8.94 (20)	2.68 (45)	
	South Jakarta	0.17 (100)	0.30 (83)	0.72 (88)	0.11 (97)	
	West Jakarta	0.45 (92)	1.27 (71)	1.78 (73)	0.96 (76)	
Fe (mg/L)	Central Jakarta			1.16 (47)	0.37 (66)	0.30
	East Jakarta			0.72 (45)	0.41 (67)	
	North Jakarta			0.81 (35)	0.72 (46)	
	South Jakarta			0.74 (33)	0.36 (81)	
	West Jakarta			0.61 (19)	1.45 (59)	
Mn (mg/L)	Central Jakarta			0.51 (68)	1.39 (39)	0.5
	East Jakarta			0.34 (83)	0.40 (81)	
	North Jakarta			0.68 (48)	1.10 (42)	
	South Jakarta			0.38 (85)	0.09 (100)	
	West Jakarta			0.54 (69)	0.94 (44)	
Cr (mg/L)	Central Jakarta		0.00 (100)	0.00 (99)	0.00 (100)	0.05
	East Jakarta		0.00 (100)	0.11 (96)	0.00 (100)	
	North Jakarta		0.00 (100)	0.01 (100)	0.00 (100)	
	South Jakarta		0.01 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	
	West Jakarta		0.01 (100)	0.00 (100)	0.00 (100)	
Pb (mg/L)	Central Jakarta			0.00 (94)	0.00 (100)	0.01
	East Jakarta			0.01 (89)	0.00 (100)	
	North Jakarta			0.00 (94)	0.00 (100)	
	South Jakarta			0.00 (96)	0.00 (100)	
	West Jakarta			0.01 (88)	0.00 (100)	

Note *1: () indicates % of data within the standard/guideline.

*2: Groundwater quality standard in Jakarta

ジャカルタ市では36% (2003 年) の人々が自家用または共同の浅井戸から汲み上げられた水を煮沸し、飲料水として利用している¹⁹⁾。しかしながら、ジャカルタ市地下水質基準は飲料水質用に設定されていないため、水質評価基準にはより厳しい WHO の飲料水水質ガイドラインを用いた。但し、WHO の飲料水水質ガイドラインに含まれていない T-coli、有機物 (KMnO₄ 消費量、以下 organic と記述) はジャカルタ市地下水質基準を用いた。

T-coli は North Jakarta で 10^3 - 10^4 MPN/100mL レベルで最も高い。一方、2000-01 年には South Jakarta では 35 MPN/100mL、West Jakarta では 30 MPN/100mL と基準値を満たしている。また、1994-95 年から 2000-01 年にかけて全ての Municipality で T-coli は減少している。NH₄-N は Central Jakarta において 1984 年の 4.52 mg/L から 2000-01 年の 1.48 mg/L と減少傾向を示す。しかし、依然、North Jakarta とともに Central Jakarta は高い傾向を示す。Fe は 1994-95 年から 2000-01 年にかけて改善されつつあるが、全ての Municipality において基準を達成していない。Mn は Central Jakarta、North Jakarta、West Jakarta において 1994-95 年および 2000-01 年で基準を達成していない。Cr および Pb の水質基準達成率は 1994-95 年には 88-100%、2000-01 年には 100% となった。

平均値、水質基準達成率に視点を置いた場合、最も深刻な項目は T-coli である。Municipality 別では North Jakarta が最も平均値および基準値を達成している観測所の割合が小さい傾向を示し、2000-01 年では T-coli、organic、NH₄-N、Fe、Mn の水質基準達成率が 50% 以下であった。また、ジャカルタ市全体として 2000-01 年とそれ以前を比較した場合、水質基準達成率は増加の傾向を示す。

(3) T-coli の分布

前述のように河川水および地下水で水質基準達成率が最も低い項目は T-coli である。その T-coli の汚濁分布を人口密度 (2000 年) と地下水質 (2001 年)、河川水質 (2001 年) と地下水質 (2001 年) の関係より解析した。Fig. 10 は 96 ケ所で観測された T-coli の地下水質と観測された District (Municipality をさらに細分化した行政地区) の人口密度の関係を示す。その結果、人口密度と T-coli の値には相関関係がないことがわかる。

さらに河川水質と地下水質を重ね合わせ、その関係を解析した (Fig. 11)。ここでもはっきりとした河川水と地下水の水質汚濁の相関関係を見出すことはできない。

ジャカルタ市において河川水ではし尿の垂れ流しまたは腐敗槽の汚泥の不法投棄、地下水では腐敗槽等の不適切な設置が T-coli による主な汚濁要因であると言われていた。これらの要因は各 District において人口密度に対し一定の割合で垂れ流しや、腐敗槽の不適切な設置等が発生しているのではなく、居住者の生活レベル、価値観等

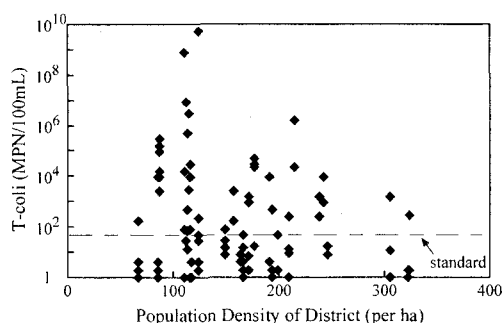


Fig. 10 Total Coliform in Groundwater and Population Density of District in 2001^{1,6,20)}

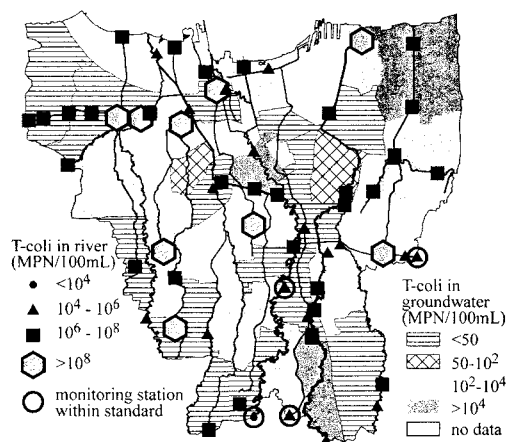


Fig. 11 Distribution of Total Coliform to River and Groundwater in 2001⁶⁾

の地域特性がより大きな影響を与えているのではないかと推測される。

また汚濁の原因の一つとして考えられる汚泥の不法投棄について現地調査をもとに試算を行った。腐敗槽、バキューム車等の現況および試算の条件は次のとおりである。ジャカルタ市には 180 万の家屋があり¹⁾、オンサイト処理である腐敗槽が 100 万個あると報告されている²¹⁾。一般家庭の排泥には 2 m³ 車、集合住宅には 6 m³ 車が使用される。移動時間の関係で実際の運用は 2 m³ 車が 1 日 1-2 回、6 m³ 車 1 日 1 回程度である²²⁾。今回は概略計算のため、2 m³ 車のみを考慮し、1 日 2 回の運用と仮定する。腐敗槽が一杯になるのは使用頻度や家族構成等によって異なるが、現地での一般家庭では 1-2 年である^{22,23)}。これを 2 年と仮定すると以下のような計算式になる。

$$\frac{100 \text{ 万個}}{365 \text{ 日/年} \times 2 \text{ 年} \times 2 \text{ 個/台}} = 685 \text{ 台/日}$$

ジャカルタ市にはし尿処理場が東西に2ヶ所あり、仮に1日12時間の受け入れとすると以下ようになる。

$$\frac{685 \text{ 台/日}}{2 \text{ 処理場} \times 12 \text{ 時間/日}} = 29 \text{ 台/時間/処理場}$$

上記計算はフル稼働し、さらに安全側に仮定した場合の結果である。この結果とジャカルタ市の現況をもとに次のような考察をした。

1日に必要なバキューム車は685台であるが、ジャカルタ市清掃局では83台(2m³)と35台(6m³)しか保有していない²⁴⁾。この台数は試算を大きく下回り、バキューム車不足が示唆される。しかし、市当局は排泥を有料(20,000Rp/m³)としていること、バキューム車不足ということ等により、民間会社がこの分野に参入し、この不足分をカバーしている。民間会社の数やバキューム車の保有台数等は把握されていないが、市当局を大きく上回る数のバキューム車が保有されていることが考えられる。

次にし尿処理場で排泥するバキューム車の台数であるが、実際の視察時では8-10台/時間程度であった。もちろんこれだけでは判断できないが、29台/時間とはかなりかけ離れた数字である。し尿処理場以外での処理も考えられるが、民間会社による河川への不法投棄も示唆されており、これが水質汚濁を招く大きな要因の一つとして推測できる。

(4) 改善策への提言

ジャカルタ市の水環境改善のためには、人口密度の大きい中心部では下水道整備、それ以外の地域では腐敗槽等のオンサイト処理施設やし尿収集等を含めた施設およびシステムの整備が方策の一つに挙げられる。ジャカルタ市としてもこれが最も有効な方策として認識している^{2,4,24)}。しかし、施設整備を実施するためには多大な費用が必要である。そのため、独自の予算で実行することは非常に困難であり、外部資金に頼らざるを得ないのが現状である。その一つに多国間または二国間資金供与のODAがある。インドネシアでは、1999年から地方分権化が始まり手探り状態の移行期もあったが、国レベルで受け入れるODAに関する運営方針はほぼ統一されつつある。具体的には中央政府は資金管理のみで、地方政府が設計・施工等の技術的な承認、維持管理等の業務を実施し、地方政府が建設後の施設保有権を持つ。そして、地方政府は独自の予算や料金徴収等で得たお金を中央政府に返却する²⁴⁾。これは最も身近な地方政府の裁量次第でその地方を良くすることが可能になるため、非常に良いことであると思われる。しかし、それだけの技術者、財務・経済分析者等の人材確保をどうするか、それが課題である。優秀な中央政府の役人が地方へ転籍することは

難しい^{4,24)}。

このような状況の中、ジャカルタ市下水道公社は下水道整備事業としてPPP(Public Private Partnership)が最も将来性のあるものと位置付けている²⁴⁾。これは財政負担低減を目的とし、新たな借款を必要としないためである。しかし、政策、法令、経済・財務分析等多々に渡る準備が必要であり、簡易的に実施されるものではない。さらに、ジャカルタ市の水道事業において維持管理が海外の民間会社によって実施されているが、必ずしも成功しているとは言えない²⁵⁾。そのため、まず第一に適切な教育プログラムにより人材を育成することが必要であると考えられる。そして、水道事業を民営化した時に検討されたことよりも、より詳細、また慎重に利点・欠点を整理し独自の方策を導き出すことが求められる。

また、下水処理プロセスにおいても技術開発が盛んに行われており、温暖な途上国向けの低コスト処理施設がインドにて2年間の連続運転(1,000m³/d)に成功している。それはUASBの後段処理として利用されるDHS(Down Hanging Sponge)で、スポンジを固定担体として使用する新規の散水ろ床である^{26,27)}。このプロセスの特徴はエアレーションが不要、余剰汚泥が少ないことより維持管理費が安く済み、さらに維持管理が容易なことである。こういった新規技術を考慮することで新たな解決策も見出せると考えられる。

4 結論

本研究では水質汚濁の現状を把握し、改善への方策の一つを提言した。結論として次のことを記述する。

- 1) 2001年の河川水質で基準値を達成した観測所はBODが37%、T-coliが7%であった。Ciliwung, Cipinang/SunterのBOD、BOD/COD比、T-coliは1989年以降大きな変化が見られない。重金属による汚染はAngkeのZnのみが基準値を超えた。
- 2) 1989年から実施されたPROKASIHによる水質改善はほとんど確認されない。
- 3) 地下水の観測データで最も水質基準達成率が小さい項目はT-coliである。また、Municipality別ではNorth Jakartaが最も水質基準達成率が小さい傾向を示し、2000-01年ではT-coli、organic、NH₄-N、Fe、Mnの水質基準達成率が50%以下であった。ジャカルタ市全体としては水質基準達成率は増加傾向を示す。
- 4) 地下水と人口密度、地下水と河川水、それぞれ水質汚濁に関する相関関係を得る事はできなかった。
- 5) 有用な人材を育成しジャカルタ独自の水質改善策を策定し、それにに向けた活動・事業を実施していく必要がある。

付録

OECD：海外経済協力基金

JICA：国際協力事業団

1 円 = 69.2 Rp (2003 年 7 月の平均)

参考文献

- 1) BPS Propinsi DKI Jakarta (Statistics of DKI Jakarta Province): Jakarta in Figures 2001. 2001.
- 2) Ir. H. Eben Koesbini Tamami: A Challenge to Develop Sewerage System in Jakarta. Section of "Wastewater Management and Water Pollution" in The 3rd World Water Forum. 16-23 March 2003.
- 3) World Bank: Sewerage and Sanitation: Jakarta and Manila. 1995. <http://wbldn0018.worldbank.org/oed/oeddoclib.nsf/0/4BE7A12A7DD3B01A852567F5005D897C?OpenDocument>
- 4) ジャカルタ市下水道公社へのインタビューより, 2003.7.
- 5) Jakarta Local Government: Regional Environmental Quality. 2001. (*in Indonesian*).
- 6) BPLHD (Jakarta Local Environmental Management Agency): Monitoring of Environmental Quality for Jakarta. 2001. (*in Indonesian*).
- 7) Jakarta Local Government: Regional Environmental Quality. 1990. (*in Indonesian*).
- 8) Jakarta Local Government: Regional Environmental Quality. 1992. (*in Indonesian*).
- 9) Jakarta Local Government: Regional Environmental Quality. 1995. (*in Indonesian*).
- 10) Jakarta Local Government: Regional Environmental Quality. 1996. (*in Indonesian*).
- 11) Jakarta Local Government: DKI Environmental Quality Information in 1996, 1997. (*in Indonesian*).
- 12) Jakarta Local Government: Regional Environmental Quality. 1998. (*in Indonesian*).
- 13) Jakarta Local Government: Regional Environmental Quality. 2000. (*in Indonesian*).
- 14) Japan International Cooperation Agency: The Study on Urban Drainage and Wastewater Disposal Project in the City of Jakarta, Master Plan Study, Supporting Report Vol 1, pp. C-26, C-30, C-33. 1991.
- 15) Jakarta Local Government: DKI Environmental Quality Information in 1996, 1997. (*in Indonesian*).
- 16) BPS (Central Bureau of Statistics): Environmental Statistics of Indonesia 1997. 1998.
- 17) BPS Propinsi DKI Jakarta (Statistics of DKI Jakarta Province): <http://regional.bps.go.id/~jakarta/>. 1999.
- 18) World Resources 1996-97, Ch 1 box 2, http://www.wri.org/wri/wr-96-97/ud_b2.html
- 19) ジャカルタ市水道公社の内部資料より.
- 20) Japan International Cooperation Agency: The Study on the Revise of Jakarta Water Supply Development Project, Final Report, Volume 3, Annex (1), Annex-33 Future Population Forecast. 1997.
- 21) World Bank: Indonesia Overview of Sanitation and Sewerage Experience and Policy Options, pp 5. 2001.
- 22) ジャカルタ市清掃局へのインタビューより, 2003.7.
- 23) 住民へのインタビューより, 2003.7.
- 24) 生活環境省へのインタビューより, 2003.7.
- 25) ジャカルタ市水道公社へのインタビューより, 2003.7.
- 26) 桐島佳宏・大久保努・イザルル マクダル・大橋昌良・原田秀樹：途上国に適用可能なエネルギー最小型の新規下水処理プロセスの国際共同開発-インドでの (UASB+DHS) システムの実機規模実証テスト-, 第 58 回土木学会年次学術講演会概要集, VII-302, 2003.9.
- 27) 大久保努・桐島佳宏・大橋昌良・原田秀樹：インドでのエネルギー最小消費型下水処理システム (UASB+DHS) の実規模実証実験, 第 38 回日本水環境学会年會講演集, pp229, 2004.3.

TRENDS AND PROSPECTS OF WATER ENVIRONMENTAL ISSUES IN JAKARTA, INDONESIA

Nobuyuki SATO and Hideki HARADA

Sewerage service population in Jakarta is only 2.62%. Direct discharge of domestic wastewater and improper design and installation of septic tank cause pollution to river and groundwater. However, these pollution has not been evaluated in detail. This research is aimed on the analysis of the existing condition and tendency of river and groundwater quality. As a result, in rivers T-coli, COD, BOD, $\text{NH}_4\text{-N}$, surfactant, $\text{PO}_4\text{-P}$, and oil/fat exceed the standard relatively. On the other hand, in groundwater the parameters exceeded the standard largely are T-coli, $\text{NH}_4\text{-N}$ and Fe. In addition, the water quality improvement was suggested by the basis of water quality condition and the water environmental policy of Indonesian government. As a suggestion, manpower development is required at first. Then suitable programs or projects should be prepared and executed.