

1. 人口急増地域の持続的な流域水政策シナリオ

－モンスーン・アジア地域等における地球規模水循環変動への対応戦略－

ガンジス川流域における水質保全対策の評価

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
 研究官 平出 亮輔
 研究員 桜井 健介

1. はじめに

アジアを中心とした地域では、急激な人口増加や都市化による水問題や、人間活動による水循環の変動などの問題が進行している。このため、アジアの特徴を有する流域を対象として、様々な水問題解決のための政策シナリオを提示し、その成果をツールボックスとしてとりまとめることを目的として、山梨大学砂田教授を研究代表者としたチーム型研究（科学技術振興機構：CREST タイプ）を実施している。その中で当研究室は、ガンジス川流域を対象に、水質問題に重点をおいた水政策シナリオを提示するための調査を行っている。

ガンジス川は、ヒマラヤを最上流として、中国、インド、ネパールを通り、最終的にバングラディッシュで海域に流れ込む、総延長 2,524km、流域面積 1,086 千 km²の国際河川である¹⁾（図-1）。その流域面積のうちインドは、861 千 km²を占め、全体の約 8 割になる²⁾。インド国民の約 4 割が流域に生活しており、流域人口は約 3 億 6 千万人にもなる²⁾。河川水の利用用途は、上水、農業用水の供給だけでなく、宗教上重要な河川として、人々は聖なる川での沐浴を行っている。しかし、急激な人口増加により、ガンジス川への汚水、廃棄物などが増加し、河川の水質汚濁が問題化してきている。特に、病原微生物などの水系伝染病を引き起こす汚染に関しては、河川との接触が多いインド国民にとって、大きな社会問題となっている^{1,2)}。

この問題を解決するには、水質問題に重点をおいた水政策シナリオが必要である。シナリオ作成にあたり、現地住民の生活様式や河川の水質汚濁状況、汚濁源、原単位などの基礎データを十分に把握した上で、今後の経済状況、人口推移等の移行を考慮しつつ、段階的な下水道整備の手法などの政策シナリオを作成することが必要である。しかし、インド政府での聞き取り調査によると、シナリオ作成のための基礎となる汚濁負荷源のデータが整理されていないとのことであった。このため、まず現地における汚濁負荷源の基礎的な調査を行い、その後、調査データ、収集資料を使い政策シナリオの作成を行うこととする。基礎調査の地域としては、広範囲のガンジス川流域の全域を調査することが難しいため、大きな負荷源として代表的なニューデリー（周辺地域含む）を対象として詳細な調査を行い、基本となるデータを整備することとした。



図-1 ガンジス川流域の概略図¹⁾

2. これまでの調査の概要

基礎調査により得られる負荷量原単位は、シナリオ作成時の根本となる最も重要なデータである。このため、これまでの調査では、現地調査を十分に行ない、負荷量原単位調査を行なうポイントの選定、水質分析を行なっ

てきた。調査場所である汚濁源に関しては、都市部では住民の生活様式の格差が非常に大きく、収入により居住地域が分かれている等の理由から、高、中、低の所得の違うそれぞれの地域、さらに生活様式が異なる都市部のスラム地域、都市部から離れた農村集落地域を選定した。その他、インドでは乳牛の飼育が多いため、牛舎排水も調査場所を選定した³⁾。なお、インドでは牛乳の消費が多いため、都市部で特に多量の牛乳が必要になる。しかし、コスト面、道路の整備等の問題により冷蔵輸送の導入が遅れているため、都市部付近もしくは都市部内に牛舎を設置するケースが多いため、調査場所の選定後は、実際に水質分析を行なうポイントの選定を行なうこととなる。ポイントの選定に際しては、サンプリングのスペースが確保できるか、水量が適量か、水量、利用者数の把握が可能なのか、他の排水が含まれていないか等の条件を満たす必要があるため、非常に困難であった。

現在までの調査結果は、都市部の高、中、低所得者で原単位の大きな差が見られなかった。当所、所得の違いによる排水の違いを考えていたが、低所得者でも部屋を借り生活できる程度の収入があるため、排出負荷としてみた場合に食事や生活習慣に大きな違いがない結果であった。しかし、スラム、農村部に関しては水量、負荷ともかなり低く、都市部の高、中、低所得者のものとは大きく傾向が違っていた。なお、スラムの調査に関しては、排水施設が整備されていないため、サンプリング箇所の選定、居住者数の把握に苦慮し、他の地域に比べケース数が少ないため、さらに調査が必要である。牛舎の排水は、調査箇所すべてほぼ同じような傾向にあった。

本年度の調査に関して、スラム以外の調査箇所では原単位の傾向を把握することができたため、本年度はスラムに調査箇所を絞り、現地調査を実施した。

3. スラムの負荷量原単位調査

調査候補地域は当初 3 箇所あったが、現地調査を踏まえ、サンプリングポイントの確保、水量、居住者数の把握等の問題から「BJ East」とよばれるデリーのスラム地域を今回の調査対象に選定した。なお、他の地域は、調査を行なうことができない地域であった。

1) 地域の概要

BJ East は、デリーの北エリア内のスラムであり、図-2 がその概要図である。入口付近から伸びている通路が、このスラムの主要道であり、1.5m ほどの幅がある。その主要道に沿って、更に細い道が伸び、民家は道路に沿って密集した形で作られている。住居エリアの外側は野原であり、ゴミがいたるところに捨てられている。なお、近くにコミュニティトイレ（共同トイレ）があるが、住民は野原で排泄を行なうことが多いそうである。水道は、図の給水場に共通のものがあるが、水圧が足りないため水量が少ない。そのため、給水場には浅井戸があり、ハンドポンプで水をくみ上げることができる。なお、給水場では、井戸水を洗濯、水浴びに使い、水道水を飲用、調理等に利用している。

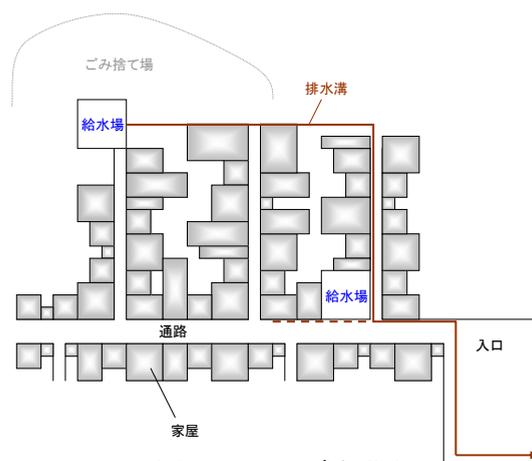


図-2 スラム概要図

2) 調査方法

調査対象のスラムの排水は、給水場の排水、家庭内での調理等による排水、トイレ排水の 3 種類が考えられる。このため今回の調査では、3 種の排水ごとに水質分析、水量、利用者数を把握することで、スラム排水の原単位を調査することとした。なお、分析項目は、pH、DO、BOD、COD、K-N、T-P、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P、SS、大腸菌、糞便性大腸菌群数、大腸菌群数、腸球菌、サルモネラ菌である。その他の調査方法は以下のとおりである。

①給水場排水

写真-1 に給水場を示す。住民はハンドポンプを使い、主として洗濯を行っている。排水は、図-2 の排水溝をとおり、居住地域外の入口付近に排出され、デリーの下水道に接続する。今回の調査では、排水溝のスタート地点の給水場を調査箇所とした。サンプリングは、給水場出口すぐの排水溝で行い、1回/時間のスポットサンプルを採取し、午前、午後（利用時間中は継続的に行なう）のそれぞれのコンポジットサンプルを作成し、1日の排水の水質分析を行なうこととした。なお、コンポジットの方法としては、洗濯、水浴び等の利用であれば排水の水質が大きく変動しない、さ



写真-1 スラム給水場

さらに排水路が細いため給水場に水がある程度滞留することから、各時間のサンプルを等量ずつ混合する方法とした。水量は、住民が利用するバケツの容量を把握し、1日の使用回数をカウントした。利用者数は、基本的に給水場の利用世帯が決まっているので、ヒヤリング調査を行ない、世帯人数等を把握した。

②家庭内排水

家庭内では、桶等に汲置きした水道水を飲用、調理等に利用している。今回の調査では、3世帯の家族に「1日に発生する家庭内排水」の保管を依頼し、専用の容器を渡し、翌日回収する方法でサンプルを採取し、同時に水量を把握した。人数は事前にヒヤリング調査を行なった。なお、調査期間は1日とした。

③トイレ排水

トイレ排水に関しても②同様に、3世帯の家族にこちらで用意した簡易トイレの使用を依頼した。翌日回収することでサンプルを採取し、同時に水量を把握した。人数は事前にヒヤリング調査を行なった。なお、調査期間は1日とした。

3) 調査結果

調査結果を表-1に示す。BOD、CODcr、細菌関係に関しては、すべての検体で高い値を示していた。SSに関しては、全体的に高い値だが、検体ごとに比較すると、簡易トイレ排水のSSの値が他の検体に比べ、比較的低い値であった。給水場排水と家庭内排水のBOD、CODcr、SSが高い理由としては、給水場が屋外のため砂や土が混入、洗濯用洗剤の影響、食べ残しや油等の影響が考えられる。

簡易トイレ排水は、糞尿を起源としているため、どの項目も比較的高い値を示すと予想していたが、むしろ給水場排水と家庭内排水の細菌の項目の値が高かった。既往の文献では、人の新鮮な糞便には、1gあたり $1.0 \times 10^8 \sim 10^9$ CFU程度の大腸菌群数が存在するとされている⁴⁾。水量に基づき糞便汚染量を逆算すると、家庭内排水は水量140Lであるため糞便0.5~5g、給水場の午前中は水量3,000Lであるため糞便150~1,500gの混入があったとすれば今回の結果をほぼ説明できるが、調査時には糞便そのものによる汚染は確認できなかった。また、給水場排

表-1 スラム調査結果

項目		給水場排水		家庭内排水	簡易トイレ排水
		Composite (0600-1300)	Composite (1300-2000)	Composite (0600-2000)	Composite (0600-2000)
利用者数	人/d	142			
水量	L/d	2961	1836	140	180
pH		7.6	7.4	6.5	7.4
DO	mg/L Dissolve Oxygen	-	-	-	-
BOD	mg/L 5day at 20°C	1478	1183	1393	1127
CODcr	mg/L	3216	3660	5568	2620
K-N	mg/L Total Kjeldahl Nitrogen(as N)	125	112	156	217
T-P	mg/L Total Phosphat(as P)	14.5	1.6	5.3	41
NH ₄ ⁺ -N	mg/L Ammoniacal Nitrogen(as NO ₂)	26	18	17	176
NO ₂ ⁻ -N	mg/L Nitrite Nitrogen(as NO ₂)	0.3	0.1	0.2	<0.01
NO ₃ ⁻ -N	mg/L Nitrate Nitrogen(as NO ₃)	48	49	19	25
PO ₄ ⁻ -P	mg/L Dissolve Phosphat(as PO ₄)	4.8	<0.05	1.6	33
SS	mg/L Suspended Solid	2060	1525	2105	405
大腸菌群数	MPN coliform/100ml	1.6×10^8 organisms	1.6×10^9 organisms	8.0×10^7 organisms	1.7×10^7 organisms
	Coliform count/ml	2.1×10^6 cfu	1.0×10^7 cfu	1.6×10^5 cfu	6.1×10^7 cfu
糞便性大腸菌群数	MPN faecal coliform/100ml	2.3×10^6 organisms	5.0×10^6 organisms	3.0×10^6 organisms	1.4×10^6 organisms
	Faecal coliform/ml	2.1×10^6 cfu	1.5×10^4 cfu	8.8×10^3 cfu	1.2×10^6 cfu
大腸菌	MPN E.coli/100ml	2.3×10^6 organisms	5.0×10^6 organisms	3.0×10^6 organisms	1.4×10^6 organisms
	E.coli count/ml	5.1×10^4 cfu	5.4×10^4 cfu	4.2×10^3 cfu	8.5×10^6 cfu
腸球菌	MPN Enterococci/100ml	1.3×10^3 organisms	1.7×10^6 organisms	94 organisms	1.3×10^3 organisms
サルモネラ菌	Salmonella(in 25 ml)	検出せず	検出せず	検出せず	検出せず

水に関しては、足で踏みながら洗濯を行なう時に野原の糞尿が混入した可能性、地面の亀裂等から浅井戸に野原の糞尿が入り込んでいた可能性、家庭内排水に関しては、トイレ使用時にトイレで紙を使わず、トイレ内にある桶の水を使って左手で汚れを洗い流す習慣により、洗いきれなかった糞便による汚れが家庭内排水に混入した可能性、家庭内で洗う対象そのものが汚染されていた可能性等も否定しきれないが、必要な糞便量が多い等、今回の調査では、給水場排水と家庭内排水の細菌の項目の値が高かった理由は明らかとはならなかった。簡易トイレ排水のSSが他の検体より低いことに関しては、インド人がトイレで紙を使わないため、その分SSが低くなったと考えることができる。なお、今回の簡易トイレは水洗ではないが、排水量が多いことから、利用者が桶を用意して水を使用したと考えることができる。

過去の調査結果を含め、原単位をまとめ表-2に示す。過去のスラム調査に比べ、都市部の高、中、低所得者に近い値であった。ヴィカスプリのスラム調査では共同トイレのみが対象であり、モーター・バンでは排水が集約する排水溝の末端でサンプリング

表-2 過去調査結果を含めた原単位表

したため、流下中に汚濁物が排水溝に溜まる可能性があった。このため、今回の直接排水を集める調査方法では、精度の高い原単位が入手できたと考えることができる。スラムの傾向としては、高、中、低所得者に比べ利用できる水量が少ないため、1日の排水量が少ない。一方、負荷量原単位は同程度であった。これは、基本的な食生活が高、中、低所得者と同程度であり、食べているものが負荷量で考えると同じであると考えられる。

対象地区等		調査年度	排水量 原単位	汚濁負荷量原単位(g/人/日・MPN/人/日)					大腸菌群	
区分	地区名等		L/人/日	BOD	COD (_{Cr207})	SS	T-N	T-P		
下水道整備区域(市)	高所得者層	ヨルカシカス①	H16	500	82.6	219.0	130.3	8.4	17.70	3.5 × 10 ¹⁰
		ヨルカシカス②	H17	436	75.5	302.5	42.5	37.9	4.80	6.4 × 10 ¹⁰
		ジョル・ハーグ	H16	140	27.4	50.8	130.6	8.9	2.20	6.4 × 10 ¹⁰
	中所得者層	ハチン・ロード	H15	216	24.3	41.8	9.6	10.9	1.30	5.2 × 10 ¹⁰
		ハマル・ガング	H15	73	36.7	46.6	4.4	5.9	1.00	1.7 × 10 ¹⁰
	低所得者層	サマル・ハーグ①	H16	154	39.2	102.3	54.7	13.1	5.50	9.8 × 10 ¹⁰
下水道未整備地区		サマル・ハーグ②	H17	222	197.4	378.8	27.9	22.9	2.8	1.2 × 10 ¹⁰
	スラム街	グ/カスプリ 共同トイレ(腐敗槽)(水道)	H15	27	3.2	11.1	1.9	15.5	1.20	4.5 × 10 ⁸
		モーター・バン (腐敗槽なし)(水道)	H17	14	4.2	10.7	2.9	1.1	0.14	4.8 × 10 ⁸
		BJ East ³⁾ 共同トイレ(腐敗槽なし)(水道)	H18	57	74.7	203.7	88.4	10.0	0.92	4.2 × 10 ¹⁰
	農村部	ハラ村 ¹⁾ (腐敗槽)(水道)	H15	43~50	4.9	8.2	10.0	3.0	0.70	1.2 × 10 ¹⁰
		アトフル・チャラ村 (腐敗槽なし)	H16	17	3.3	6.0	3.3	2.3	0.90	6.7 × 10 ⁸
	農村部	ムシェーリ村 (腐敗槽なし)	H16	37	9.6	23.5	8.0	2.8	0.90	1.8 × 10 ¹⁰
		(水道・地下水)								

注1)ハラ村排水路の汚濁負荷量原単位は中間値
 注2) 流総指針のCODは酸化剤として過マンガン酸カリウム(KMnO4)を用いる方法による値(CODMn)であり、より酸化力の強いニクロム酸カリウム(K2Cr2O7)を用いて求めるCODCrより小さい値となる。
 注3) 調査対象にトイレ排水を含む。

4. まとめ

今回の調査で、スラムにおいても都市部の高、中、低所得者と同程度の排出負荷があったことを確認した。これまでの調査により、汚濁源の原単位を調査することができたため、今後はシナリオ作成に向けたインドおよびガンジス河流域国の背景、環境条件、人口分布、土地利用等の文献調査や、実際に処理場を建設するための費用等の費用や処理方法選定のための調査を行う予定である。

なお、本調査研究は(独)科学技術振興機構:JSTの戦略的創造研究推進事業委託研究費:CRESTの費用を得て実施したものである。

参考文献

- 1) 中島英一郎、他:ガンジス河流域における水質汚濁調査報告、第41回下水道研究発表会講演集 平成16年度、pp.582-584
- 2) Ministry of Water Resources, Government of India、<http://wrmin.nic.in/>
- 3) 総務省統計局発行、総務省統計研修所編集「世界の統計2007」、<http://www.stat.go.jp/data/sekai/index.htm>
- 4) 金子光美:水質衛生学、技報堂出版株式会社、1996年6月20日、pp.472