

II. その他の予算による研究

[下水道研究室]

1. 下水道管渠の適正な管理手法に関する研究

下水道研究室 室 長 榊原 隆
主任研究官 松宮 洋介
研 究 官 深谷 渉
研 究 管 福田 康雄

1. はじめに

近年、下水道管渠に関連した道路陥没が多発しており、国交省は下水道管理者である地方自治体へ緊急点検を通知し、結果を公表した。道路陥没は、東京や大阪など古くから下水道に取り組んでいる大都市で大きな問題となっており、管渠の老朽化との関連が注目されている。国全体で見た場合、法令の標準耐用年数の50年を過ぎた管渠は全資産のほんの一部である。今後、老朽管が増えた場合、さらなる道路陥没が生じ、交通障害や人身事故の恐れがある。このような状況のもと、ストックマネジメントによる効率的かつ効果的な管渠の管理が現在、必要となっている¹⁾。

18年度は、管渠管理へのストックマネジメントの導入と適用性の検討、多変量解析による下水道管渠の劣化箇所予測の検討、下水管渠の改築・修繕工事の優先実施箇所選定方法に関する検討を実施した²⁾。

19年度は全国の管渠をマクロな視点で捉えた劣化曲線を提案した。

2. 方 法

2. 1 見かけの健全率の算定

管渠の劣化データを収集するにあたり、下水道統計³⁾でスクリーニングした後、ヒアリングを行い、管渠調査を面的に行っている7都市（大都市3団体、中小都市4団体）を選定した。面的調査とは一定の年数を過ぎた管渠に対する網羅的調査または経過年数に関係なく特定地区の管に対する網羅的調査を意味する。悪臭やつまり等、不具合被害が発生している管だけを調査している都市のデータを用いて劣化曲線を描くと、劣化進行が実際以上に早く進む誤差が生じるために、このような事前選定を行った。7都市から2000～2004年度に実施したテレビカメラまたは目視調査の結果を提供頂いた。維持管理指針⁴⁾に基づき各自治体の管一本毎の診断調査結果から路線の緊急度を再判定した。指針による緊急度の定義を表－1に示す。

表－1 緊急度の診断基準

	区分	対応の基準
緊急度Ⅰ	重度	速やかに措置することが必要
緊急度Ⅱ	中度	簡易な対応により必要な措置を5年未満まで延長できる
緊急度Ⅲ	軽度	簡易な対応により必要な措置を5年以上まで延長できる

再判定結果をもとに自治体毎、経過年数毎の見かけの健全率を算出し、さらに相加平均して全国平均経過年数毎の見かけの健全率を算定した。見かけの健全率の定義は以下の式による。

$$\text{見かけの健全率} = 1 - (\text{緊急度ⅠまたはⅡと診断された路線の総数}) / (\text{調査路線総数}) \quad (\text{式－1})$$

2. 2 改築及び修繕の影響の補正

上記の健全率は改築や修繕を行いながらの劣化進行を示す値であるため「見かけの」としている。本来、劣化曲線における経過年数毎の健全率は、改築や修繕を行わない場合の劣化速度である。そこで、見かけの健全率から改築及び修繕(改築・修繕)の影響を除くために図－1の手法を採った。

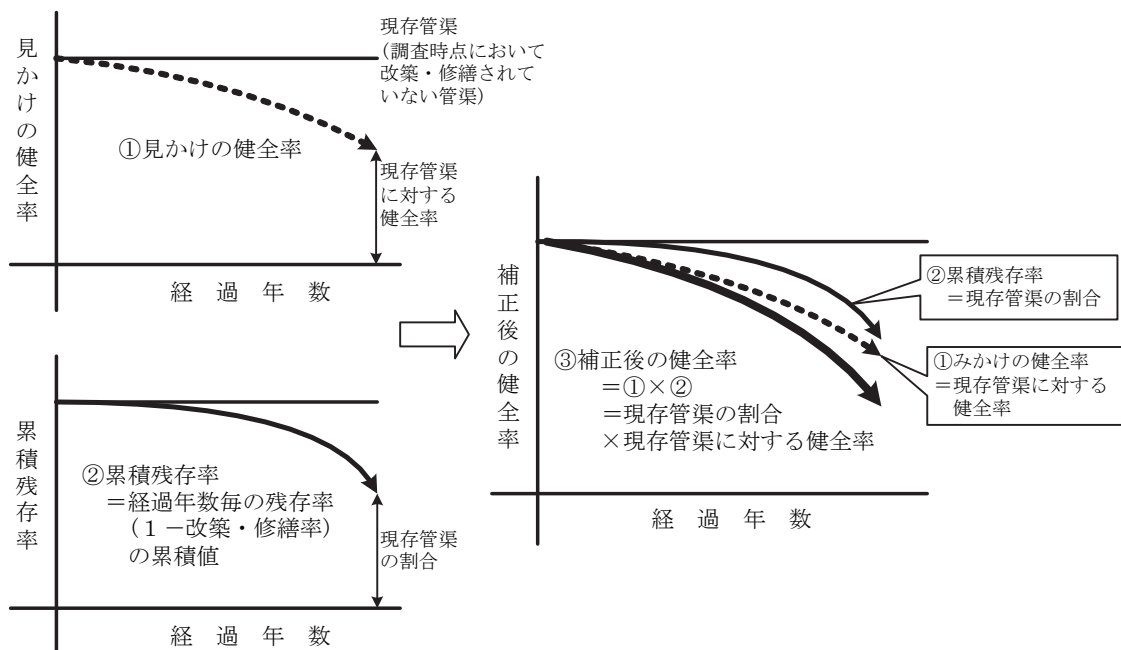
左上図はある経過年数までの見かけの健全率を左下図は累積残存率を示している。右図は補正後の健全率が累積残存率と見かけの健全率の積で算定されることを示している。これは改築や修繕を受けた管は劣化していたとの前提に基づいている。

次に、累積残存率の求め方を記す。ある経過年数における敷設後からの累積残存率は、経過年数毎の残存率の累積値で求まるとした。経過年数毎の残存率は1から経過年数毎の改築・修繕率を減じて求めた。

$$\begin{aligned} n \text{ 年における累積残存率} &= \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \\ &= (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \cdots \times (1 - R_n) \end{aligned} \quad (\text{式-2})$$

ここに、 R_i = 経過年数毎の改築・修繕率

経過年数毎の改築・修繕率は、平成18年度の全国の年度初めの管渠資産延長に対する年度内での改築延長の割合に修繕分として平成7年度から16年度の各年度の改築延長と修繕延長の割合の相加平均を一律に上乘せして求めた。平成18年度の全国の年度初めの管渠資産延長と年度内での改築延長(廃止を含む)は全国の自治体へのアンケート調査により入手した。平成7年度から16年度の各年度の改築延長と修繕延長は下水道統計に依った。



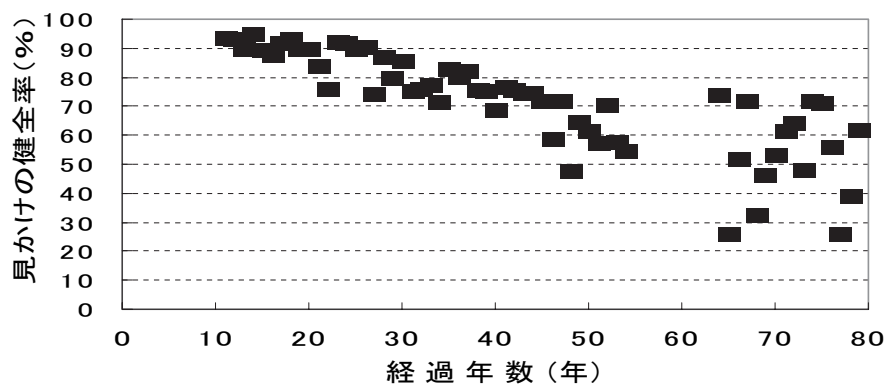
図－1 見かけの健全率に対する改築・修繕の影響補正の考え方

3. 結 果

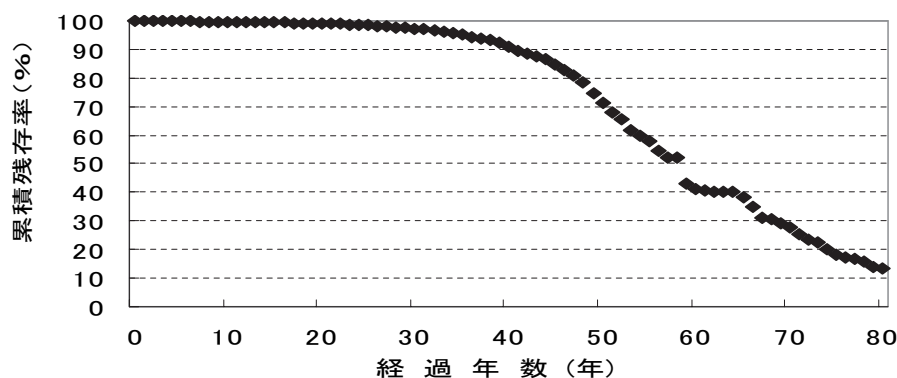
経過年数毎の見かけの健全率を図－2、累積残存率を図－3、経過年数毎の補正後の健全率と線形近似式(劣化曲線)を図－4に示す。劣化曲線として以下の式を得た。

$$\text{補正後の健全率 (\%)} = -1.44 \times (\text{経過年数}) + 118 \quad (\text{式-3})$$

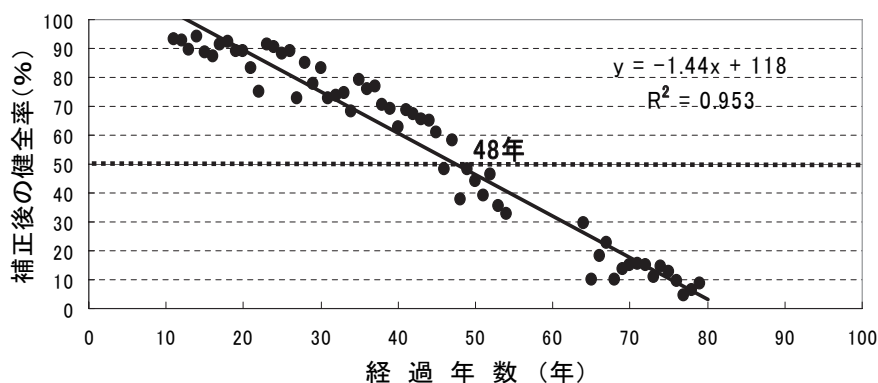
本劣化曲線によると健全率が50%を下回るのが約48年であり、適正な維持管理を実施しないと平均耐用年数は法定耐用年数（50年）に満たないことが示された。尚、この劣化曲線の適用範囲は健全率100%の経過年数となる約13年と健全率0%の経過年数約82年の間であり、経過年数13年以下では健全率100%、経過年数82年以上では健全率0%と経過年数によらず一律とするのが実務的対応と考える。



図－2 見かけの健全率



図－3 累積残存率



図－4 補正後の健全率と劣化曲線

4. 考 察

(1) 劣化曲線を得るための方法についての考察

劣化曲線を作成するに当たり緊急度ⅠまたはⅡを劣化としている。これはいくつかの自治体からヒアリングしたところ、緊急度Ⅲで何らかの対策を行うことはほとんどない、とのことであったためである。しかし、緊急度Ⅲは、対応の基準例として、“簡易な対応により必要な措置を5年以上にまで延長できる”とされている³⁾。従って、緊急度Ⅲを劣化なしとしていることは、危険側の仮定となっている。一方、改築・修繕の影響を除くための方法において、アンケートから得られる改築延長には、合流式下水道の能力増強を伴う改築（再構築）延長が含まれている。いくつかの自治体からのヒアリングによると再構築事業に当たっては劣化していない管渠を改築している場合もあるとのことである。従って、現状の改築率で補正することは安全側の仮定となっている。このような危険あるいは安全側の仮定条件に基づいており、各自治体に適合しない場合も想定される。しかし、劣化曲線を描くためのデータが不十分な多くの自治体では、少なくとも当初計画において本劣化曲線を使用する以外に術はない。計画実施により、管渠調査データが蓄積されれば、各自治体が自らの管渠調査データにより、今回提案の手法により劣化曲線を描くのが適当と考える。

(2) 得られた劣化曲線についての考察

本劣化曲線から求まる劣化率($=1 - \text{健全率}$)を管齢毎の管渠敷設延長に乘じ、さらに過年度に実施した改築・修繕延長を差し引くことにより、各自治体において、現状で必要な改築・修繕延長を予測できる。また将来必要となる改築・修繕延長も予測できる。

5. まとめ

本研究では、管渠調査を面的に行っている7都市のデータを用いて、見かけの健全率を算定した後、これを全国的な改築・修繕データで補正し、劣化曲線を得た。本劣化曲線を用いることにより各自治体での改築・修繕事業量予測が可能となった。

謝辞 本研究にご協力頂きました自治体の皆様に深く感謝の意を表します。

なお、本調査研究は、試験研究費により実施されたものである。

参考文献

- 1) 松宮洋介他：下水道管きよのアセットマネジメント研究、下水道協会誌、Vol. 44、No. 538、2007年8月号
- 2) 藤生和也他：下水道管渠の適正な管理手法に関する研究、国総研資料第404号、2007年6月
- 3) 日本下水道協会：下水道統計、平成7～16年度版
- 4) 日本下水道協会：下水道維持管理指針、前編、2003年版
- 5) 松宮洋介他：管渠の劣化曲線に関する調査(投稿中)、第48回下水道研究発表会講演集掲載予定

II. その他の予算による研究

[下水処理研究室]

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 宮本 綾子

研究官 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 km^2 の大国際河川である¹⁾（図-1）。その流域面積のうちインドは、861 千 km^2 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、ガンジス川への污水、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ため、まず現地における汚濁負荷源の基礎的な調査を行うこととした。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非常に多いため、牛舎排水も調査場所に選定した³⁾。調査場所の選定後、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ポイントを選び、サンプリングを実施した。

17年度までの調査の結果、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。当初、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、負荷ともにかなり低く、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、居住者数の把握が困難なことに加え、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った。牛舎の排水は、調査箇所すべてでほぼ同じような傾向にあった。これらのことから18年度はスラムに調査箇所を絞り、給水所排水、家庭排水、共同トイレ排水の3種類に分けた原単位調査を実施した。その結果、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。19年度は、下水道未整備地区での汚濁流達率調査を実施した。また、沐浴場の衛生学的安全性を確保するための手法の一つとして、塩素消毒による排水の流入した河川水中の大腸菌死滅効果に関する検討を行った。

3. 下水道未整備地区の汚濁流達率調査

流達率は下水道計画のための汚濁解析を行う際に必要な係数の一つであるが、インドではデータが整備されていない。今回の調査ではこれまで原単位調査を実施してきた下水道未整備地区（農村）の汚濁流達率の調査を実施した。調査対象は、現地の水路、腐敗槽の設置状況、人口などを考慮して平成15年度に負荷量原単位の調査を実施したパラ村とした。

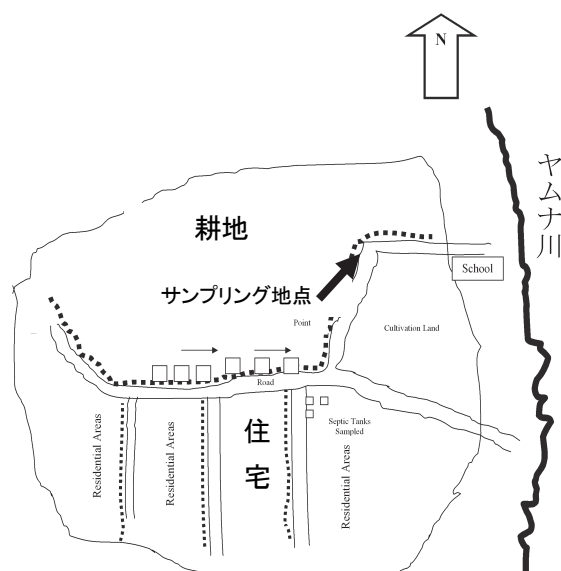
1) 地域の概要

パラ村は約500世帯、人口約3000人（平成15年度調査時：約450世帯、人口約3200人）の居住する農村で、デリー市の北部に位置する。水源は手押しポンプ（井戸）と水道となっている。ほとんどの世帯には腐敗槽が設置されており、トイレ排水と雑排水が処理されている。牛は250～300頭程度飼育されており、牛のし尿と洗浄排水は屋外へ直接排水されている。

2) 調査方法

現地踏査を行い排水区を特定した後、世帯数、人口、腐敗槽の設置状況、家畜数等の聞き取り調査を実施した。排水路の流量は図2に示した地点の排水溝の流末で水深、幅、流量（流速計使用）を1時間ごとに24時間測定し算定した。同時に排水のコンポジットサンプルを作成し、水質分析用の試料とした。また、腐敗槽での汚濁物質除去性能をみるため、村内の3戸の腐敗槽からグラブサンプルを採取し、水質を分析した。

流達率の算定には排出負荷量原単位は平成15～17年に実施した調査の結果を用いており、生活排水は中所得者層と低所得者層の平均値、牛については平成15年～16年調査の平均値を使用した。この負荷量原単位と、それを用いて計算した排出負荷量を表1に示す。



図ー2 パラ村のサンプリング地点

3) 調査結果

排水路流末の流量調査の結果、平均流量は 439.1m³/d、最大流量は 1063.8 m³/d (10 時) 最小流量は 63.0 m³/d (3 時) であった。流量と水質分析の結果から求めた流達負荷量と流達率は表 2 のような結果となった。排水量原単位は 138L/人/日となり、過去の農村部原単位調査結果と比較して約 3 倍程度で下水道整備地区の中・低所得者層の平均値とほぼ同等の値であった。また、腐敗槽からの放流水の水質は、3 戸中 2 戸では腐敗槽からの排水が採取できなかったため腐敗槽内から採取して 30 分間沈殿させたものを測定した。結果は表 3 のようになり、SS が特に高い値を示すなど、調査対象とした腐敗槽では汚濁物質がほとんど除去されていない可能性があった。この原因としては、腐敗槽からの汚泥が適切に引き抜かれていないことが考えられる。

流達指針では、流達率は主として側溝、排水路の整備状況によってきまり、農村部での BOD 負荷流達率の標準値は 0～20% であるとされている。パラ村では村内の側溝はレンガあるいはコンクリート製の区間と素堀りの区間があり、今回の調査では BOD 負荷流達率は 34.3% となった。

表－1 負荷量原単位と排出負荷量

生活

水質	人口	負荷量原単位	排出負荷量
	人	g/人/日.MPN/人/日	kg/日.MPN/日*
BOD5	3,000	33.4	100.2
COD _{cr}		63.6	190.8
SS		22.9	68.7
T-N		10.0	30.0
T-P		2.6	7.8
大腸菌群数*		9.5E+09	2.86E+13
牛			
水質	牛頭	負荷量原単位	排出負荷量
	頭	g/頭/日.MPN/頭/日	kg/日.MPN/日*
BOD5	300	701.8	210.5
COD _{cr}		1418.7	425.6
SS		898	269.4
T-N		122.4	36.7
T-P		14.6	4.4
大腸菌群数*		4.1E+07	1.23E+10
計			
水質	排出負荷量		
	kg/日.MPN/日*		
BOD5	310.7		
COD _{cr}	616.4		
SS	338.1		
T-N	66.7		
T-P	12.2		
大腸菌群数*	2.9E+13		

表－3 腐敗槽排水の水質

測定項目	腐敗槽排水	腐敗槽内	腐敗槽内
水温 (°C)	15	15.2	15.5
pH	7.4	7.5	7.1
生物学的酸素要求量 BOD ₅ (mg/l)	253	447	46
化学的酸素要求量 COD (mg/l)	544	816	128
ケルダール性窒素 Kj-N (mg/l)	291	299	70
アンモニア性窒素 NH ₄ -N (mg/l)	240	249	50
亜硝酸性窒素 NO ₂ -N (mg/l)	0.8	0.8	0.3
硝酸性窒素 NO ₃ -N (mg/l)	34	29	4
総リン T-P (PO ₄ -P) (mg/l)	18	14	11
浮遊物質 SS (mg/l)	1624	2256	112
大腸菌群数	MPN法(個/100 ml)	5.4 x 10 ³	9 x 10 ¹² 2.1 x 10 ¹⁰
	平板培養法(cfu/ml)	8.0 x 10 ⁶	1.2 x 10 ¹⁰ 8.3 x 10 ⁸
糞便性大腸菌群数	MPN法(個/100 ml)	1.72 x 10 ⁶	4.6 x 10 ⁹ 1.0 x 10 ⁷
	平板培養法(cfu/ml)	8.5 x 10 ⁵	1.0 x 10 ⁸ 1.1 x 10 ⁶

表－2 汚濁流達率

流達率				
	水質	排出負荷量	流達負荷量	流達率
	mg/L.MPN/100mL*	kg/日.MPN/日*	kg/日.MPN/日*	%
BOD5	243	310.7	106.7	34.3
CODcr	444	616.4	195.0	31.6
SS	108	338.1	47.4	14.0
T-N	52.4	66.7	23.0	34.5
T-P	4.3	12.2	1.9	15.5
大腸菌群数*	7.00E+06	2.9E+13	3.1E+13	107.4

4. 排水に対する塩素消毒効果の検討

沐浴場上流（排水路等）へ直接塩素を注入することによる大腸菌群数等の死滅効果を検討するため、排水の流入する河川水の塩素消毒による大腸菌群数および糞便性大腸菌の殺菌効果に関する調査を実施した。

1) 調査方法

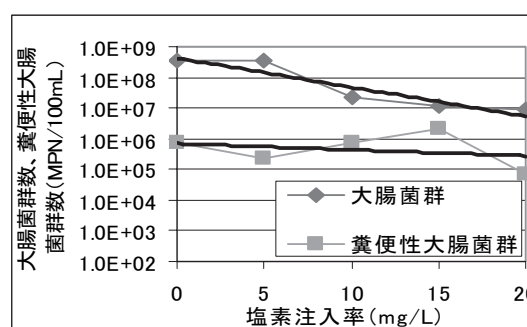
ヤムナ川（Yamuna River）にナザフガル排水路（Nazafgarh Drain）が流入する合流点において、排水の流入した河川水を採水し試料とした。

3) 調査結果

測定結果を表4に示す。表4は塩素消毒前の試料の水質で、CODは302 mg/L、ケルダール窒素が21 mg/L、アンモニア性窒素が10 mg/Lと、河川水としては高濃度であった。大腸菌群数および糞便性大腸菌群数についてもそれぞれ 3.5×10^8 MPN/100mL、 7.0×10^5 MPN/100mLで、日本の下水処理場流入水のレベルと比べ、高かった。塩素消毒が大腸菌群数および糞便性大腸菌群数の減少に及ぼす効果を検討した結果を図3に示す。インド政府中央汚濁規制局(CPCB)が定めている沐浴場の環境基準値は、糞便性大腸菌群数の最大許容値が 2.5×10^3 MPN/100mLであるが、この基準値と比較すると塩素注入率20 mg/Lで接触時間15分の条件ではまだ1オーダー高いレベルとなっている。また、試料のCOD等が高濃度であることから、接触時間0分の時点における遊離残留塩素は塩素注入率15 mg/L以下の場合には定量下限値以下、塩素注入率20 mg/Lで7.5 mg/Lと、塩素消費量が多かった。

表－4 水質分析結果

測定項目	測定値
水温 (°C)	15.5
pH	7.7
化学的酸素要求量	302
COD (mg/l)	
ケルダール性窒素	21
Kj-N (mg/l)	
アンモニア性窒素	10
NH ₄ -N (mg/l)	
大腸菌群数	MPN法(個) 3.5×10^8
	平板培養法 6.2×10^6
糞便性大腸菌数	MPN法(個) 7.0×10^5
	平板培養法 7.8×10^3



図－3 塩素注入率の検討結果
(接触時間 15 分)

5. まとめ

1) 農村部で汚濁の流達率調査を実施した結果、34.3%と流総指針の農村部における流達率より高い値となった。また、腐敗槽では汚濁物質がほとんど除去されていなかった。

2) 沐浴時の安全性を確保するため排水の混合した河川水を直接塩素消毒することを想定した調査を実施した結果、注入率20 mg/Lで接触時間15分でも沐浴場の環境基準を満たすことはできなかった。

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>

2. 新たな衛生指標の下水処理への適用性の評価

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
主任研究官 小越眞佐司
研 究 官 桜井 健介

1. はじめに

下水道法第8条に規定する公共下水道又は流域下水道からの放流水の水質の技術上の基準のうち、細菌の基準としては唯一、大腸菌群数が定められている。しかしながら、糞便性汚染を示す指標としては、大腸菌の優位性が指摘されていることを踏まえ、水道分野では基準項目が大腸菌群から大腸菌に変更された。下水道分野では、下水再生水の利用に関し、基準項目を従来の大腸菌群から大腸菌に変更することとしたところである。下水処理場の運転管理にあたっても大腸菌を細菌の除去指標として適用できる可能性があるが、現状では下水処理場における大腸菌の実態についてはほとんど資料がない。

このため、下水処理場の運転管理への大腸菌の適用性を評価し、放流水の水質基準の項目およびその基準値を検討するための基礎的な知見として、下水処理水における大腸菌の頻度分布、大腸菌と大腸菌群との相関関係、下水処理過程における大腸菌の除去特性を明らかにするため、下水処理場における大腸菌群及び大腸菌の実態調査および特定酵素基質培地を用いた下水処理水中の大腸菌検査の偽陽性試験を実施した。

2. 調査内容

平成19年度は、以下の調査、試験を実施した。

2. 1 下水処理場の大腸菌群および大腸菌の実態調査

下水処理場における大腸菌群と大腸菌の実態について把握するため、数多くの下水処理場での採水を行い、大腸菌群と大腸菌を測定した。

(1) 調査方法

調査は、2007年9月および2008年1月の2度実施した。分析は、国土技術政策総合研究所水質水文共同実験棟で実施した。大腸菌群の分析は、試料採取後9時間以内に着手することが定められている¹⁾ことを参考に、規定時間内に分析可能と考えられる茨城県内の37下水処理場を対象とした。それらの下水処理場の水処理方法を表-1に示す。消毒方法は、全ての下水処理場で次亜塩素酸ナトリウム、トリクロロイソシアヌル酸、固形塩素のいずれかにより塩素消毒が行われていた。試料は流入下水、塩素消毒前の下水処理水、塩素消毒後の下水処理水のグラブサンプルを得た。採水時間は、原則、各自治体が通常実施している定期水質試験と同じとした。水処理の系列が複数あり、普段より定期水質試験を複数系列で行なっている場合には、複数の試料を採取した。採水は、国総研または各自治体が行った。採水した試料の分析項目は、水温、pH、大腸菌、大腸菌群、SS、NH₄-N、T-N、T-Pとした。分析方法は原則として、下水試験方法に基づき、NH₄-N、T-N、T-Pの測定には自動比色分析装置（TRAACS-2000、ブランルーベ）を用いた。大腸菌群および大腸菌の測定には、デソキシコール酸塩寒天培地（日水製薬）およびクロモカルトコリフォーム寒天培地（メルク）を用いた。

表-1. 水処理方法と処理場数

水処理方法	処理場数
標準活性汚泥法	18
オキシデーションディッチ法	7
回分式活性汚泥法	3
その他	9
計	37

(2) 調査結果

2007年9月期、2008年1月期の下水処理場の水質（平均±標準偏差）を表-2、3に示した。大腸菌群および大腸菌の平均および標準偏差の計算において、30CFU/mL未満であった試料は、除外して計算した。

表-2. 2007年9月期の下水処理場の水質（平均±標準偏差）

	水温 (°C)	pH (-)	大腸菌群 (CFU/mL)	大腸菌 (CFU/mL)	SS (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
流入下水 (n=40)*	15.9±1.3	7.5±0.4	10 ^{5.56±0.24} (n=0)**	10 ^{4.96±0.33} (n=0)**	150±69	19.5±5.4	34.0±8.1	3.8±1.1
消毒前 下水処理水 (n=38)*	—	—	10 ^{2.87±0.42} (n=1)**	10 ^{2.45±0.34} (n=7)**	—	—	—	—
消毒後 下水処理水 (n=39)*	16.0±2.0	7.0±0.3	10 ^{2.72±0.58} (n=25)**	10 ^{2.38±0.43} (n=27)**	2.4±2.0	3.5±5.2	10.0±6.0	1.1±0.8

*採取された試料の数、** 30CFU/mL未満の試料の数

表-3. 2008年1月期の下水処理場の水質（平均±標準偏差）

	水温 (°C)	pH (-)	大腸菌群 (CFU/mL)	大腸菌 (CFU/mL)	SS (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
流入下水 (n=40)*	24.8±1.4	7.3±0.4	10 ^{4.88±0.22} (n=0)**	10 ^{4.77±0.32} (n=0)**	176±78	24.7±6.6	41.1±9.6	4.9±2.0
消毒前 下水処理水 (n=38)*	—	—	10 ^{2.14±0.29} (n=3)**	10 ^{1.93±0.22} (n=3)**	—	—	—	—
消毒後 下水処理水 (n=39)*	25.6±1.6	6.9±0.3	10 ^{2.03±0.30} (n=30)**	10 ^{1.69±0.17} (n=31)**	3.6±2.8	4.4±5.9	12.5±6.3	1.1±0.9

*採取された試料の数、** 30CFU/mL未満の試料の数

2007年9月期、2008年1月期の下水処理場の 大腸菌群 と 大腸菌 の相対累積度数分布を図-1、2に示した。 30CFU/mL 未満であった場合は、 30CFU/mL としてプロットした。流入水中の 大腸菌群 および 大腸菌 は、概ね $10^4\sim 10^6\text{CFU/mL}$ に分布していた。流入水はいずれの相対累積度数でも、9月期の方が1月期よりも 大腸菌群 、 大腸菌 ともに濃度が高く、50%値での9月期と1月期の差は、 大腸菌群 の方が 大腸菌 よりも大きかった。これは、9月などの高温期に 大腸菌群 中に含まれる 大腸菌 以外の細菌の下水処理場までの流下中の増加量や環境中での存在量が多いためと考えられた。処理水中の 大腸菌群 も同様の季節変動を示しており、この流入水中の 大腸菌群 の季節変動は、水処理後まで影響していると考えられた。また、消毒前の処理水中の 大腸菌群 および 大腸菌 は、概ね $10^1\sim 10^4\text{CFU/mL}$ に分布し、消毒後の放流水中の 大腸菌群 および 大腸菌 は全下水処理場で $3,000\text{CFU/mL}$ 以下であった。

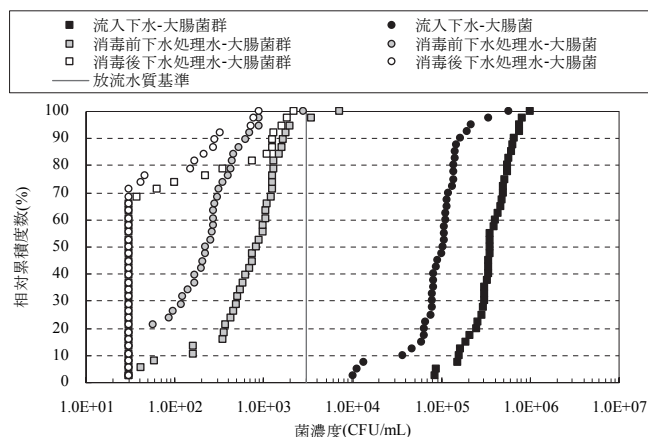


図-1. 2007年9月期の下水処理場の大腸菌群と大腸菌の相対累積度数分布

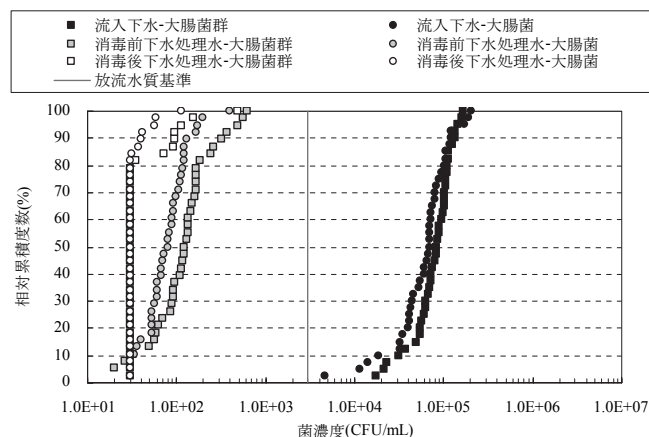


図-2. 2008年1月期の下水処理場の大腸菌群と大腸菌の相対累積度数分布

流入下水および消毒前下水処理水の大腸菌と大腸菌群の比（以下、EC/TC比）のヒストグラムを図-3～6に示す。2007年9月期の流入下水および消毒前下水処理水のEC/TC比は、0.2以上0.3未満の範囲が最も多く、2008年1月期の流入下水および消毒前下水処理水は、1.0以上が最も多く、9月期と1月期は異なった傾向を示していた。また、2007年9月期の流入下水および消毒前下水処理水の各試料のEC/TC比の相加平均は、それぞれ0.29および0.32であり、2008年1月期の流入下水および消毒前下水処理水の各試料のEC/TC比の相加平均は、それぞれ0.87および0.78であった。なお、大腸菌群または大腸菌が30CFU/mL未満であった試料は集計の対象としなかった。

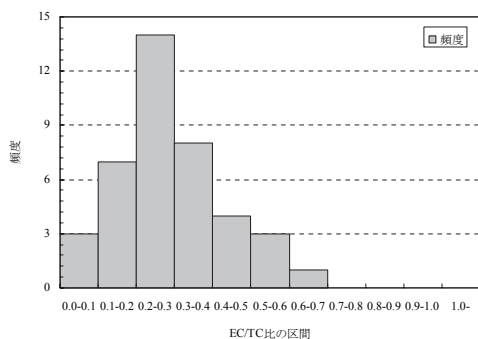


図-3. 2007年9月期の流入下水のEC/TC比のヒストグラム (n=40)

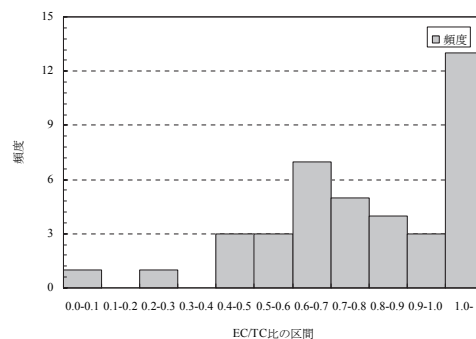


図-5. 2008年1月期の流入下水のEC/TC比のヒストグラム (n=40)

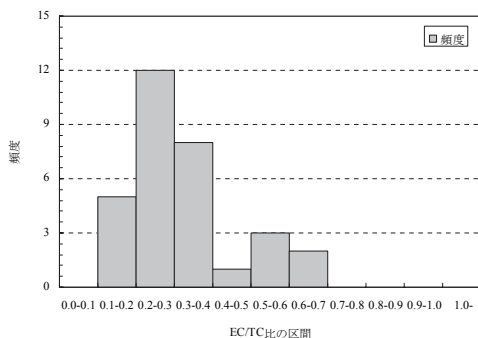


図-4. 2007年9月期の消毒前下水処理水のEC/TC比のヒストグラム(n=31)

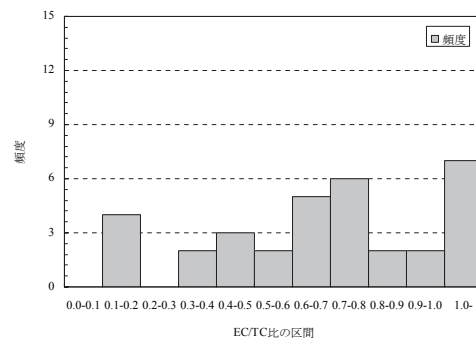


図-6. 2008年1月期の流入下水のEC/TC比のヒストグラム (n=33)

2. 2 特定酵素基質培地を用いた下水処理水中の大腸菌検査の偽陽性試験

特定酵素基質培地を用いた大腸菌検査は、大腸菌の95%以上の菌株に含まれる β グルクロニダーゼの活性により判定される²⁾。しかし、貝類、食肉、魚肉などに含まれる β グルクロニダーゼにより擬陽性が生じる可能性が指摘されている^{2), 3)}。特定酵素基質培地を下水処理水へ適用する際には、貝類、食肉、魚肉などが下水処理場へ流入することにより、偽陽性を生じ大腸菌濃度を過大に評価してしまう可能性が考えられる。そこで、下水処理水を試料として酵素培地上に形成された大腸菌様の集落を16SrRNA遺伝子を対象にシーケンス反応に供し、菌種の同定を行なった。

(1) 試験方法

排除方式が分流であり、主に一般家庭からの生活污水を標準活性汚泥法にて処理を行なっている下水処理場にて採取した下水処理水（塩素消毒前）を試料とし、特定酵素基質培地に形成された大腸菌様の集落を無作為に30個を抽出し、それぞれを純粋培養後、PrepMan[®] Ultra Reagent (Applied Biosystems) を用いてDNAを抽出した。得られたDNA溶液をPCR反应用templateとして用い、MicroSeq[®] 500 16S rDNA PCR Kit (Applied Biosystems) により16S rRNA遺伝子の5'末端領域約500bpをPCR反応により増幅させた。得られたPCR反応産物はQuickStepTM2 PCR Purification Kit (EdgeBioSystems) を用いて精製したのち、Agilent Technologies 2100 Bioanalyzer (Agilent) を用いた電気泳動法により増幅断片の有無および濃度を測定した。PCR反応産物をBig-Dye Terminator反應用templateとして用い、MicroSeq[®] 500 16S rDNA Sequencing Kit (Applied Biosystems) によりシーケンス反応を行った。得られた反応溶液はAutoSeqTMG-50 (Amersham Pharmacia Biotech) を用いて精製し、ABI PRISM[®] 3100 Genetic Analyzer (Applied Biosystems) を用いて塩基配列の解読を行った。得られた塩基配列は国際塩基配列データベース (GenBank/EMBL/DDBJ) を用いた相同性比較により同定を行った。

(2) 試験結果

無作為に抽出された大腸菌様の集落30株の検索の結果、29株はE.coliまたは分類学的な立場からは大腸菌の一種と考えられているShigella属、残りの1株はEnterobacter属と同定された。今回用いた試料では、酵素培地により大腸菌以外の菌の多くが検出されなかった。

3. まとめ

本研究では、平成17、18、19年度に大腸菌および大腸菌群の各種の実態調査を実施した。その結果、下水処理場の運転管理への大腸菌の適用性を評価し、放流水の水質基準の項目およびその基準値を検討するための基礎資料となる、下水処理水における大腸菌の頻度分布、大腸菌と大腸菌群との相関関係、下水処理過程における大腸菌の除去特性に関する知見が得られた。

環境中に広く存在し、環境中で増加しやすい菌種を含む大腸菌群は、温度や滞留時間の変化による変動量が、大腸菌と比較して大きかった。一方、大腸菌は温度や滞留時間の変化に影響を受けにくい傾向が示された。また、大腸菌と大腸菌群の水処理過程での除去の特性の差異は確認できなかった。現行の基準では、放流水中の大腸菌群濃度を測定することで、下水処理場での細菌の処理効果を把握しているが、大腸菌も下水処理場の運転管理の指標として適用可能であると考えられた。

なお、本調査研究は、試験研究費により実施されたものである。

参考文献

- 1) 下水の水質の検定方法等に関する省令、昭和37年12月17日、厚生省建設省令第1号
- 2) 社団法人日本食品衛生協会発行、食品衛生検査指針微生物編、2004
- 3) 坂崎利一、腸内細菌雑記2発色（発光）酵素基質による大腸菌群および大腸菌の検出、アスカニュース第022号、1995

3. 地域活動と協働する水循環健全化に関する研究

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
研究官 山縣 弘樹
研究官 山中 大輔

1. 目的

近年、都市における水路の持つうるおい・安らぎをもたらす機能、ヒートアイランド現象緩和機能、災害時のライフラインとしての防災機能、地域コミュニティの再生への寄与など、多くの機能が再認識されている。そこで、下水再生水や地下鉄への浸出水、雨水貯留水など都市特有の水源を活用して、こうした多面的な機能を積極的に活用しつつ都市の水環境を創造することが求められている。国土交通省は、都市水路検討会の提言(平成 17 年 2 月)¹⁾を踏まえ、都市水路計画策定モデル地域の公募を実施した。また下水道ビジョン 2100における「水のみち」の実現を目指した今後 20～30 年間の施策展開に向け、下水道政策研究委員会流域管理小委員会 報告書「水・物質循環系の健全化に向けた流域管理のあり方について」(平成 19 年 11 月)²⁾がとりまとめられた。今後こうした都市の水環境の創造へのニーズは増大していくと考えられる。

本研究は、都市において水路を中心とする水と緑のネットワークを構築することによる、ヒートアイランド現象の緩和、災害時の防災機能、利用者にとってのうるおい・安らぎの増加等の効果を科学的な知見に基づき経済的に評価する手法を構築することを目的とする。

今年度は、都市水路等の整備による災害時の防災機能の向上効果(以下、防災効果)と水面再生等の水環境施策によるヒートアイランド現象の緩和効果(以下、ヒートアイランド緩和効果)の定量的把握を目的に、基礎的な情報の収集、整理を行った。

2. 調査方法

都市水路等の機能を評価するあたり、ここでは、水路のみならず水路整備に伴い一体的に整備されうる親水用通路を含めて検討することとした。防災効果およびヒートアイランド緩和効果の定量的把握のための基礎情報の収集整理を、学術文献、国、自治体等の関係報告書に基づき行った。調査に用いた学術情報等のデータベースを表－1に示す。本研究では、都市水路等の効果を把握することを目的としており、都市域全体での効果を視野に入れる必要があるため、下水に係る分野に留まらず、都市計画や消防防災等の他分野の文献についても幅広く収集する必要がある。そのため、学術分野全般にわたり横断的に検索可能な総合学術情報データベース等を利用することとした。

防災効果については、都市水路等の便益算出の基礎とするため、都市水路等であらかじめ想定される機能を、災害種別ごとに都市水路等の果たす役割に基づいて分類・整理した(表－2)。なお、調査対象とする災害は、防災まちづくりの観点から代表的に考えられるものとして、地震、風水害、雪害とした(大規模火災に対する防災機能については、震災時の延焼遮断機能に含めるものとする)。そして、都市水路等の機能ごとの便益算出のため、参考となる都市河川や下水道の災害時の機能とその便益に関する情報を把握・整理し、都市水路等への適用性を検討し、さらに追加すべき知見、検討課題を考察した。

表－1 調査に用いた学術情報等のデータベース

データベース名	設置機関	概要	収録件数※
JDream II	独立行政法人科学技術振興機構	Jdream II を構成する複数のデータベースのうち、科学技術全分野(国内及び世界50ヶ国)の文献データ、本文が検索、ダウンロード等が可能なJSTPlusを用いた。	約1970万件(JSTPlus収録件数)
CiNii	独立行政法人国立情報学研究所	大学紀要や国内284の学会誌約1000タイトルに収録される文献データ及び本文が、検索や一部ダウンロード可能。	約1130万件
防災専門図書館蔵書検索システム	社団法人全国市有物件災害共済会	国や全国の自治体等の既往災害報告書、消防統計、交通(事故)統計、地域防災計画、各種災害・産業災害・公害・戦災関係一般図書、消防防災関係学術誌、江戸時代の火災や地震の瓦版など。	約12万件

※2008年1月時点

表－２ 都市水路等の果たす機能の区分

利用区分	災害種別ごとの都市水路等の果たす機能			
	地震	概要	風水害	概要
都市水路等の水利用	消防水利機能	・震災時の上水道断水時を想定。 ・代替消防用水として利用を想定。	—	消融雪機能(注2) ・機械除雪・運搬撤雪の代替機能を想定。 ・下水等を活用した消融雪設備(消融雪溝・槽)を想定。
	生活用水機能	・震災時の上水道断水時を想定。 ・代替生活用水(被災地の掃除洗濯用水、トイレ用水等)として利用を想定。		(注2)本機能は、水利用機能として分類したが、正確には、都市水路等の水の熱エネルギーを利用した機能。
都市水路等の空間利用	下水道機能	・震災時の下水道被害時を想定。 ・マンホールレ、下水処理施設代替機能を想定。	—	(下水道被害が想定されない)
	延焼遮断機能	・震災時の延焼火災時を想定。 ・延焼遮断帯および延焼遮断効果のある避難場所、避難路としての利用を想定。	治水機能(注1) ・雨水排水路※としての利用を想定(※「せせらぎ水路」の付加機能として)。	除排雪機能 ・雪害[積雪]時の雪捨て場、雪堆積場等の利用を想定。
	輸送機能	・避難路、緊急輸送路としての利用を想定。	(注1)本研究のいう「都市水路等」のうち「都市下水路」は本来、雨水排水機能をもつが本研究の防災機能の調査対象とはしない。 —	(風水害時の河川空間は危険が予想されるため空間利用は想定されない) —

3. 結果および考察

3.1 防災効果の定量的把握手法やその便益算定手法に関する整理

1) 消防水利機能

当該機能は、後述のように河川水から取水され消防水利として利用された事例があるため、防災機能として想定されるため設定した。阪神淡路大震災では、河川までの移動距離、水面までの近接性など一定の条件が合致する河川から消火用水が取水され、消火栓の断水を補う機能を果たしていた事例³⁾を数多く把握した。このことから都市水路等の整備にあたり、消防水利機能を付加した形で整備することは有効であると考えられる。

便益の算定については消防水利の整備効果が定量化される必要がある。消防水利の整備効果は、対象地域の平均の焼損面積(消火活動の結果、焼損した面積)に対する必要消火水量を算定し、その水量を用いて整備効果を定量化するものとする。さらに、その水量を確保するための整備コストを、都市水路等の整備に係る対象地域の平均の焼損面積の被害額と比較することによって算定できると考えられる。

対象地域の平均の焼損面積については、地域の消防機関が整備する消防統計を用いて算定することができる。必要水量についても同様である。例えば、保野ら⁴⁾は、神戸市の統計資料(S49～S58の火災1274件、平均風速3.5m/s)を用いて、神戸市では消火用水40m³で消火できる平均の焼損面積は平均で130m²と算定している。ただし、統計に基づく検討手法は簡易ではあるが、現在各種の延焼シミュレーション手法⁵⁾も提案されていることから、これらの解析的手法との間で、精度や利便性等の観点からの比較検討が必要となる。

次に、平均の焼損面積から被害額を算定するには、一定の被害額算定のための原単位の設定が必要だが、これは都道府県等が行う地震被害想定等の火災による被害額の算定手法と同じ手法が利用できると考えられる。ただし、この点についても他の被害額算定手法⁵⁾の調査との比較検討が課題である。

必要水量を確保するために必要な整備コストは、都市水路等の整備に併せて設置される取水ピット等の設置工事コストと見なすことができる。これについては取水ピットだけでなく、堰板や堰柱による堰上げ設備の設置や導水管の設置などの各種の整備メニューごとに、確保水量1m³当たりの工事単価として整理しておくことが簡易に便益算定を行う上で求められる。

2) 生活用水機能

当該機能は、後述のように河川水から取水され生活用水として利用された事例が多数あるため、防災機能として想定されるため設定した。今回実施した文献調査では、断水時の都市水路等に期待される生活用水機能の効果の定量化や便益算定に関係する手法について直接検討している文献は見出せなかった。一方、阪神・淡路大震災時の被災地での水利用実態の既往調査⁶⁾からは、洗濯やトイレ用の生活用水として河川水が利用された事例を数多く把握した。これらの事例から、自治体等の防災関係機関が行う応急給水は飲料水等の最低限の需要を満たす程度であり、被災者が都市水路等から生活用水を取水するニーズは高いことがうか

がえる。生活用水機能を備えた都市水路等の整備効果を定量化するには、対象地区の災害時の生活用水の必要水量を算定し、その水量を用いて定量化を行う方法が考えられる。

必要水量の算定にあたってはその前提として対象地区の設定が必要となる。対象地区の設定については、水の運搬距離の制約から被災者が生活用水を取水できるエリアは都市水路等の周辺に限られる点を考慮する必要がある。この点について参考とすべき既往調査としては、被災者が水を運搬できる距離は、水源から約 200m まで(例えば、ネパール農村部で一般的な水の運搬距離と阪神・淡路大震災での被災者の水の運搬距離がほぼ同様だったとする報告より⁷⁾)とする場合、約 500m(例えば、阪神・淡路大震災の際に河川水を利用した避難所と河川の位置より⁸⁾)とする場合があった。

対象地区の必要水量については、被災者一人当たりの生活用水の利用量に関する既往調査によれば、平均 9 ～19L/人・日⁷⁾とするデータがあり、原理的には、この被災者一人当たり水量が対象地区の人口分確保された場合の水量を対象地区の必要水量とすることができる。ただし、被災者の一人当たりの必要水量は、あくまで阪神・淡路大震災の既往調査から得られたデータであり、発災の季節や断水期間、応急給水状況によっても異なると想定されることから、今後は、他の災害事例における被災者の水利用実態との比較を行い、精度を確保することが課題である。

便益算定手法としては、代替法が適用可能と考えられる。ただし、都市水路等から生活用水を取水できなかった場合の被害を何とし、またその被害額を求める方法については、今回の文献調査では参考とすべき既往調査が見出せなかった。今後は、この点について本研究とは別な観点(例えば、渇水被害額の算定手法等を調査等)による被害同定のあり方、その被害額の算定方法を改めて調査する必要がある。

3) 下水道機能

当該機能は、本研究で対象とする都市水路等への適用条件が限定的であり適用性は低いと考えられるが、都市水路等に関する今後の研究に際して参考となる可能性があるため、設定することとした。

震災時の下水道に関する防災機能のうち、管路については、下水管のマンホールを仮設トイレとした事例が阪神淡路大震災後の防災まちづくりの整備例としても複数の都市でマンホールトイレの整備事例⁹⁾を把握した(ここでは、都市水路等の整備が管路と近接している場合において、仮設トイレの保管場所の提供を想定している)。また、下水処理施設代替機能については、既往災害で当該機能が果たされた事例としては、神戸市東灘処理場に隣接する運河を仮沈殿池として活用した事例¹⁰⁾のみであった。

上記の事例では、効果の定量化や便益算定に関係する手法について直接的に検討している文献は見出せなかった。マンホールトイレ整備の効果の定量化等は、本研究の都市水路の防災機能と結びつかないため直接的に本検討の対象としないものとする。しかしその一方、下水処理施設の代替処理機能の事例では、震災直後においても被災地の下水処理需要は高いことが想定されるため、下水処理施設のうち都市水路等に隣接するなど、立地や被災状況が上記事例と類似する場合においては、同様の措置が講ぜられる可能性もある。下水処理施設代替機能については、既往の事例も限られ、当該機能が発揮されるためには都市水路等に隣接している等の諸条件の制約もある。そのため今後は、一般的に効果の定量化や便益の算定手法を直接的に求めるのではなく、上記の事例に類似した立地条件の処理施設を個別に把握し、該当する施設の整備・更新等に合わせた個別的な効果の定量化や便益の算定を検討するのが適当であろうと考えられる。

4) 延焼遮断機能

当該機能については、地震火災の際の延焼防止帯としての機能と、延焼遮断効果を有するオープンスペースが確保される場合には避難場所として活用されることが想定されるため、設定した。

本研究では、延焼遮断帯としての機能については、既往災害で当該機能が果たされた事例として、川幅 40m 以上の河川が市街地大火における延焼を遮断した事例³⁾を把握した。また都市水路等が避難場所として機能した事例については見出せなかった。一方で、都市防災分野の文献によれば、延焼遮断帯の幅員は設計風速や背後地の状況に応じて 45～60m 程度、もしくはオープンスペースとして整備する場合は 60～100m を確保すべきとする設計手法¹¹⁾が提示されていることから、本研究が想定する都市水路等の単体での整備では、

当該機能を果たすことが期待できないと考えられる。

一方で、15m 程度の都市水路や道路等を延焼遮断帯を構成する一要素として選定し、オープンスペースの確保や防火植栽による緑地帯を合わせて整備することにより、延焼の危険のある市街地を分節し、一定程度の延焼のリスクを低下させる機能を持たせる防災まちづくり手法^{11,12)}も把握された。そのため今後は、都市水路等との組合せ効果のある整備メニューを整理し、それらとの総合的な延焼遮断機能の整備効果の定量化及び便益算定の手法の検討が求められる。

5) 輸送機能

当該機能については、都市水路等の空間を避難路、緊急輸送路として活用することが想定されるため、設定した。河川については河川管理施設構造令により河川管理用道路を防災面の利用も考慮し最低 4m 程度確保する基準が示されている。また大河川では災害復旧車両専用の緊急路として活用される防災まちづくり事例が報告されているが、本研究が想定する都市水路等では関係整備事例や整備効果等の検討事例は見出せなかった。一方、都市防災分野の文献によれば、避難路(道路を想定)の幅員は 15m 以上とし、歩行者専用又は自転車歩行者専用の道路又は緑道にあっては 10m 以上とする設計手法が示されており、都市水路等の空間に適用することも十分可能な状況¹¹⁾であることが把握された。

本研究では、具体的に都市水路等の空間を避難路、輸送路として明確に位置づける事例、整備効果の定量化等の検討は見出せなかった。一方、道路を避難路として想定した場合の整備効果の定量化手法が、都市水路等の空間にも適用可能と考えれば、避難道路幅員を避難者数、避難者歩行速度、避難時間から求める手法(幅員=避難者数[人]／避難人口密度[人/m²]／歩行速度[m/h]／避難時間[h])¹¹⁾を用い、都市水路等の整備に活用することは可能と考えられる。

以上のことから、避難路としての都市水路等の輸送機能についての整備効果については、都市水路等の高水敷の幅員から対象地域の避難困難者数を低減する効果として定量化が可能となるため、上記の避難路整備の手法自体を活用できると想定される。一方、便益の算定については、避難困難度や避難時の人的被害が貨幣価値に換算することが困難であり、被害額として算定しにくい代替法は利用できない。そのため、避難困難度や避難時の人的被害低減の便益算定手法について、今後の検討が求められる。

6) 治水機能

当該機能については、都市水路等をある一定規模以上で整備した場合に、都市下水路のような雨水排水機能を有することを想定し、設定した。都市水路を都市下水路とみなした場合、雨水排水がその本来機能であるため、この点については、下水道法や都市計画法等の関係法制度等で定める技術的要件の概要を把握するに留め、改めて防災機能としての事例収集は行わなかった。一方で、都市水路等をせせらぎ水路等として捉えた場合には、雨水排水はその本来機能ではないため、このようなせせらぎ水路において治水機能(雨水排水機能)としての防災機能が果たされた事例、もしくは、治水機能がせせらぎ水路に付加的に整備される事例を探索したが、今回の文献調査では、これらの事例は把握されなかった。

雨水排水機能を備えたせせらぎ水路の整備事例は見出せなかったが、今後、防災機能を備えたせせらぎ水路を整備する場合には、整備対象地域が浸水常襲地帯であった場合や、周辺に雨水排水対策が求められる地域がある場合などを把握した場合には、都市水路でのレクリエーション活動者の増水時の安全性を確保したうえで、これら雨水排水機能を備えた都市水路等の整備は有効な防災まちづくりの手法となる可能性が考えられる。以下では、この観点からの考察を行う。

都市水路等の治水機能に関わる整備効果を考える場合、その対象地域は雨水排水対策の整備が求められる地域又は浸水想定区域に含まれる地域であることが前提となる。

また治水機能については、河川整備で用いる治水安全度(年超過確率)による整備効果の定量化手法が一般的には想定される。しかし、人工物としてのせせらぎ水路等の整備を考えた場合、河川整備の場合と異なり、雨水排水対策の整備対象となる地域も地区レベルや街区レベルの小規模な範囲に留まると想定される。

このことから、地域規模に合わせて被害低減効果をより詳細に表現する家屋浸水防止率等を併用するなど、

より具体的な整備効果の定量化手法の活用について検討することが期待される。また便益算定については、他の防災機能の場合と同様に代替法により整備を実施した場合と実施しない場合の被害額の差額を便益とすることが可能であり、被害同定手法や被害額の算定手法については治水経済調査の手法を活用することが可能と考えられる。

7) 消融雪・除排雪機能

都市水路等の消融雪・除排雪機能の事例については、都市水路等の水を利用したものとしては消融雪設備等(消融雪溝・槽等)の整備事例があり、都市水路等の空間を利用したものとしては除排雪空間(雪捨て場等)の確保による事例が把握された。一方、これらの効果の定量化の手法や便益算定の手法については、整備が行われた地域の実情に基づく検討事例は把握されたが、一般的な手法としての事例は把握されなかった。都市水路等の消融雪機能の事例を見る限り、下水処理水とその水路等を消融雪設備として用いている点から、この設備の消融雪処理能力の観点から効果の定量化及び便益算定について考察する。

消融雪設備(消融雪溝・槽等)の整備効果の定量化の検討事例としては、当該設備の消融雪能力(消融雪量/日等)として検討されている事例¹³⁻¹⁵⁾が把握された。一方、便益算定については、消融雪施設による消融雪量、地域で従来行なわれている除排雪経費(例えば、運搬排雪の経費)と比較して経費節減が図られたとの報告¹³⁾はあるが、詳細な経費の比較を行なっている事例等は把握されなかった。

消融雪施設整備については、多くの事例で従来、地域で行なっている除排雪対策のための巨額な経費負担と比較し、大きな経費節減効果を期待して整備に臨んでいることが伺われる。そのため、実際に便益を算定する場合にも、これら運搬排雪等の従来経費との差額を便益とする方法が妥当と考えられる。ただし、運搬排雪等の従来の除排雪対策経費は、地域によって経費内容や費用自体が異なることが予想される。そのため、今後は便益算定手法の検討に先立ち、全国的に共通する従来の除排雪対策に関する経費項目と費用等の積算基準を調査し、それに基づく一般的な経費節減効果の算定法を検討することが求められる。次に、除排雪空間(雪捨て場等)の確保による都市水路等の除排雪機能については、豪雪時に河川空間を利用している事例¹⁶⁾が把握されたが、これらの整備に関する効果の定量化や便益の算定等の検討事例は把握されなかった。

効果の定量化については、原理的には都市水路等の整備に付加的に除排雪空間を整備する効果を、対象地域の必要除排雪量に対する新たな雪捨て場への排雪量の占める割合により定量化できると考えられる。この点については、必要除排雪量を定量的に把握する算定モデルが示されている¹⁷⁾。ただし、必要除排雪量の算定にあたっては、降雪量をどの程度にするかで地域によって異なる基準設定が必要となることが想定され、この点が今後の課題として挙げられる。

一方、便益の算定については、代替法により既存の除排雪対策に関わる経費と新たに確保した雪捨て場への運搬排雪による経費との差額により求める方法が想定されるが、この点についても消融雪機能の便益算定と同様に地域性に影響されない除排雪経費の積算基準の設定が必要となる。

ただし、上記の雪捨て場の整備については、既に都市内に用地を確保することが困難であり、雪捨て場の遠距離化や河川敷地からの撤退要請等の影響により、恒久的な消融雪施設への期待が相対的に高くなっていることも把握され^{14,18)}、さらに、雪捨て場となった用地では雪が消えた後に大量のごみが残されるという別な問題を発生させている事例も報告されていることから、効果の定量化及び便益算定手法に関する検討に先立ち、都市水路等の空間を積極的に除排雪空間として整備することが妥当かどうかの検討が必要である。

3.2 ヒートアイランド緩和効果に関する情報の収集、整理

ヒートアイランド緩和効果に関して今回実施した文献調査は、河川、水路、湖沼、池等の内水面を主な対象とした。その結果、水面再生の規模(面積)や気温、水温、比湿等の諸条件を入力することによりヒートアイランド緩和効果を定量的に算出する、もしくは、その把握した効果を便益算定する手法は見出せなかった。しかし、シミュレーションモデルや気象観測等を用いることにより、ケーススタディとして都市河川、河川緑地、親水公園の植栽、風のみち等の複数の要因が関連した結果としてのヒートアイランド緩和効果を定量

表－3 収集した文献の事例

タイトル	著者	資料	水面再生に係る概要
北九州市都心部におけるヒートアイランド対策	田中文彦 (北九州市建設局河川部水環境課)	土木技術、Vol.61、No.8、pp68-77、2006.8	北九州市の田良原池を対象とした熱環境数値シミュレーション(300m四方)の結果、池の存在により気温上昇の緩和効果は最大0.2℃(地上1.0m)であり、0.1℃の気温低減効果は池の端から60mの範囲で確認された。
都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究(その2) メソスケール気象モデルを用いた都市河川の水面再生と屋上緑化による気温低減効果の推定	吉谷純一、木内豪 (国土交通省土木研究所)	土木研究所資料第3783号、2001.3	東京23区全体では河川等の占有面積が過去およそ100年間で10%から5%に減少したものと想定される。23区内で水面積が5%増加し、約10%になった際のシナリオを設定し、シミュレーション(MM5を修正)を行った結果、水面再生の効果として、日中は最大で0.6℃以上の気温低下が発生しうることがわかった。

的に把握している文献¹⁹⁾が数多くあった。その中で、水面再生のみを主対象としてヒートアイランド緩和効果を定量的に把握した代表的な事例を表－3に示す。

都市水路等の整備によるヒートアイランド緩和効果の観測・分析事例の蓄積とともに、地方自治体が都市水路等の整備時にヒートアイランド緩和効果を簡易に評価できる実用的な手法の構築が求められる。

4. まとめ

本研究は、都市において水路を中心とする水と緑のネットワークを構築することによる、ヒートアイランド現象の緩和、災害時の防災機能、利用者にとってのうるおい・安らぎの増加等の効果を科学的な知見に基づき経済的に評価する手法を構築することを目的としており、平成19年度は、水面再生等の水環境施策によるヒートアイランド現象の緩和効果と都市水路等の整備による災害時の防災機能の向上効果の定量的把握を目的に、基礎的な情報の収集、整理を行い、今後の評価手法の検討に際しての課題を把握した。

本研究は、試験研究費で実施されたものである。

参考文献

- 1) 国土交通省都市水路検討会：懐かしい未来へ～都市をうるおす水のみち～、平成17年2月
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、(社)日本下水道協会：下水道政策研究委員会流域管理小委員会 報告書「水・物質循環系の健全化に向けた流域管理のあり方について」、平成19年11月
- 3) 例えば、末次忠司：災害時の河川水・河川空間利用技術、雨水技術資料、Vol.29、1998.6
- 4) 保野健治郎、他：市街地の建物火災に対応した消防水利計画に関する基礎的研究、土木学会論文集、第425号/IV-14、1991.1
- 5) 例えば、国土交通省：国土交通省総合技術開発プロジェクト「循環型社会および安全な環境形成のための建築・都市基盤整備技術の開発 まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発(まちづくり総プロ)報告書」、2004.3
- 6) 例えば、森川一郎：環境防災都市を目指した新しい水循環系のビジョンと政策、雨水技術資料、Vol.29、1998.6
- 7) 山田淳：災害時の水利用の実態とその課題、雨水技術資料、Vol.29、1998.6
- 8) 千賀裕太郎、他：震災後の避難生活における水辺空間の利用と河川の親水機能、農業土木学会誌、Vol.63.No.11、1995.11
- 9) 例えば、片桐晃：下水道の災害対策強化 横浜市構造面で具体的に展開、水道公論 Vol.41No5、2005.5
- 10) 梅田浩、他：阪神・淡路大震災における神戸市東灘処理場の緊急措置について、下水道協会誌、Vol.32.No.39、1995.11
- 11) 都市防災実務ハンドブック編集委員会：都市防災実務ハンドブック地震防災編、ぎょうせい、1997.9
- 12) 都市防災実務ハンドブック編集委員会：改訂都市防災実務ハンドブック震災に強い都市づくり・地区まちづくりの手引き、ぎょうせい、2005.2
- 13) 下山勝弘：消・融雪の先駆けー青森市、下水道協会誌、Vol.27 No.314、1990.7
- 14) 樋口祐幸：青森市における下水処理水を利用した積雪・融雪処理槽整備事業について～きれいな・豊かな陸奥湾を次世代へ～、下水道協会誌、Vol.27 No.314、1990.7
- 15) 田村猛：雪国の暮らしを変えるアメニティ下水道ー十日町市、下水道協会誌、Vol.41 No.506、2004.12
- 16) 例えば、浦野慎一、他：札幌市街域における豊平川の流出特性とそれに及ぼす雪捨て場の影響、北海道大学大学院環境科学研究科邦文紀要、No.3、1987.3
- 17) 金子浩明：排雪需要量を考慮した雪捨て場配置計画、日本都市計画学会学術論文集、Vol.25、1990.10
- 18) 諏訪田正美：札幌市における下水道の持つ熱エネルギーを利用した雪対策、下水道協会誌、Vol.38 No.469、2001.11
- 19) 例えば、国土交通省：国土交通省総合技術開発プロジェクト「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発 ヒートアイランド対策の総合的評価手法の開発、<http://www.nilim.go.jp/lab/jeg/heat.htm>