

11. 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
研究官 福田 康雄
交流研究員 西尾 称英

1. はじめに

近年、我が国の下水道事業は、管路起因の道路陥没が年間 4,000 件以上も全国で発生するようになり¹⁾、施設の機能維持に向けた大幅な改築等の実施が求められている。しかしながら、その一方で人口減少や少子高齢化により地方公共団体の財政逼迫が予想され、改築等の実施に必要な財源の確保が難しくなっている。そのため、道路陥没等による不具合事故を抑制して施設を良好な状態で維持するには、財源の平準化を図りながら必要最小限の予算が確保できる計画的かつ適正な管理手法を確立することが求められている。

本調査では、全国の管渠延長実態やいくつかのサンプル都市での管渠内調査および管理台帳データを活用することで、管渠の埋設状況および劣化の実態把握を行った。さらに劣化特性を考慮することで管渠不具合の評価指標（影響因子）を抽出し、合理的な改築実施手法の確立に向けた検討を進めた。これにより管路管理を不具合事故への「発生対応」から「予防保全」へ転換させる提案が可能となった。以下に平成 20 年度の成果を報告する。

2. 平成 20 年度調査の着眼点

これまで本調査では、劣化特性の把握と不具合指標の抽出を目的として、埋設下水管渠の耐荷力に関する調査、管渠破損部分への地盤材料の引き込み実験、劣化箇所予測に関する調査、健全率予測式の作成に向けた調査等を実施してきた。

平成 20 年度は、合理的な改築実施計画を目的に改築必要延長の予測を実施した。これにより、不具合事故の予防に向けた改築必要延長予測手法を確立した。なお、検討に際しては、既往の成果である健全率予測式を活用し、改築必要延長の将来予測を実施した。

3. 改築実施に係る健全率予測式の算出

3.1 健全率予測式の定義

健全率予測式とは、改築が必要と判断される管渠が、布設経過年数とともにどのように増加するかを予測する式である。つまり、管渠の個別スパン単位の健全性を評価する指標（健全度）ではなく、複数の資産（スパン）のうち、改築が必要となるスパンの割合を定義することになる。

3.2 健全率の算出方法

健全率の算出は、管渠延長調査から得た「管渠生存率」と管渠内調査から得た「見かけ健全率」を用いて求めた²⁾。管渠延長調査から得た「管渠生存率」は、国土交通省が 2006～2008 年度の 3 ヶ年で全国実態調査した管渠延長および改築延長の結果を用い、布設経過年数別の残存率を累積することで生存率を求めた。管渠内調査から得た「見かけ健全率」は、公共下水道を実施している 12 のサンプル都市から得られた約 17 万スパンの本管管渠

内調査結果の中からスパンを抽出し、布設経過年数ごとに緊急度割合を整理した。抽出の際には、管種、布設経過年数、緊急度が把握でき、各都市における布設経過年数別のスパン数が極端に少ないデータを除いた約 15 万スパンを選定した。緊急度は、管路施設の緊急点検マニュアル（案）³⁾に基づいて緊急度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、劣化なしに分類し、緊急度Ⅰ+Ⅱを改築が必要である不健全な管渠と定義した。緊急度の判定に用いた調査項目は、改築に影響する構造的不具合に着目して「管の腐食」、「上下方向のたるみ」、「管の破損」、「管のクラック」、「管の継手ズレ」、「浸入水」、「取付管の突出し」を採用した。「油脂の付着」、「樹木根侵入」、「モルタル付着」は、基本的に清掃等で除去できる項目として考え、対象外とした。なお、各不具合項目の判定基準は都市ごとによって異なる。そのため、判定基準は管路施設の緊急点検マニュアル（案）³⁾に記載されている内容に置き換えて統一した。

図 - 1 に健全率計算の具体的な考え方を示す。

まず、ある年度に 100 スパンの管渠を布設したと想定する。次に、100 スパンのうち 30 年後、50 年後、70 年後までに改築済みとなった延長が、それぞれ 10 スパン、20 スパン、30 スパンになったと想定する。この時、30 年後、50 年後、70 年後の「管渠生存率」は 90%、80%、70%になる。さらに経過 30 年で生存している 90 スパンの管渠の中で、15 スパンが劣化していたとすると「見かけ健全率」は 83% $(=(90-15)/90)$ になる。同様に 50 年後、70 年後では 63%と 36%となる。最後に各布設経過年数の「管渠生存率」と「見かけ健全率」を掛け合わせることで、布設経過年数ごとの「健全率」を計算する。このように管渠内調査から得た「見かけ健全率」のみでは、改築されずに残存した管渠に対する健全状態の割合を示すだけになり、既に改築されてしまった延長分もあわせて予測する必要があるため、この手法を用いた。

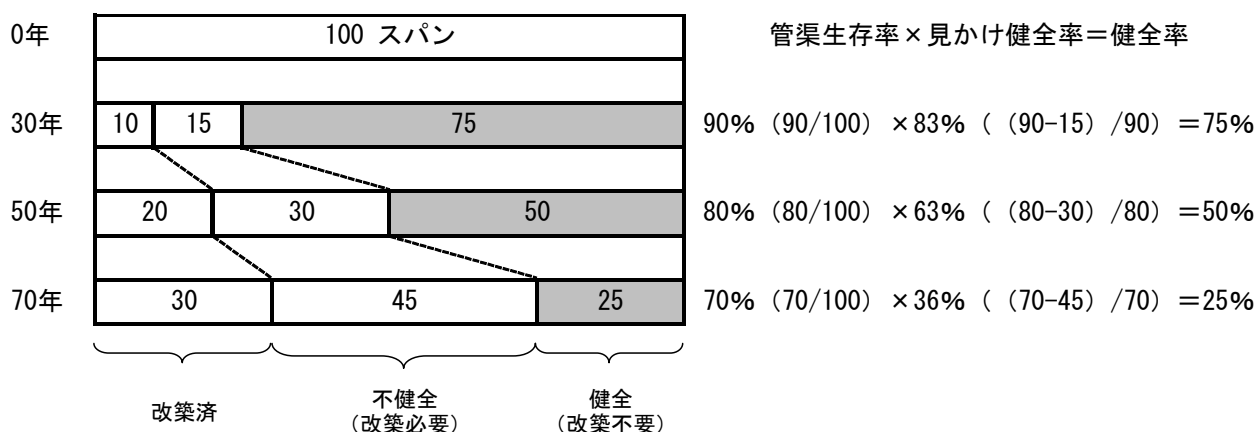


図 - 1 健全率計算の考え方

3.3 健全率予測式の作成

健全率予測式は、「管渠生存率」と「見かけ健全率」を掛け合わせた「健全率」をもとに回帰分析することで作成した。分析の際に検討した回帰式は、直線式、対数曲線式、ワイブル分布の信頼度関数式とした。

図 - 2 に健全率の計算結果と各回帰式における健全率予測式の算出結果を示す。

それぞれの予測式は、上部が緊急度Ⅰ+Ⅱの割合、下部が緊急度Ⅲ+劣化なしの割合を表しており、どの予測式も年数が経過すると健全率が低下する傾向を示した。この結果、法定耐用年数 50 年未満でも改築が必要となる管渠が存在することを把握できた。また健全率が 50%になる布設経過年数は、どの予測式も約 51 年を示す状況となった。これは約 51 年経過すると、簡易な補修のみを実施するだけでは、管渠全体の約半分が改築必要な程度まで劣化することを意味する。

次に各予測式の再現性を比較するために算出した決定係数に着目すると、直線式では約 0.89、対数曲線式では

約 0.63、ワイブル分布では約 0.91 となった。この結果、直線式またはワイブル分布の場合、健全率の再現性が高くなることが把握できた。改築必要延長の将来予測では、これらの 2 式による健全率予測式を適用して推計した。

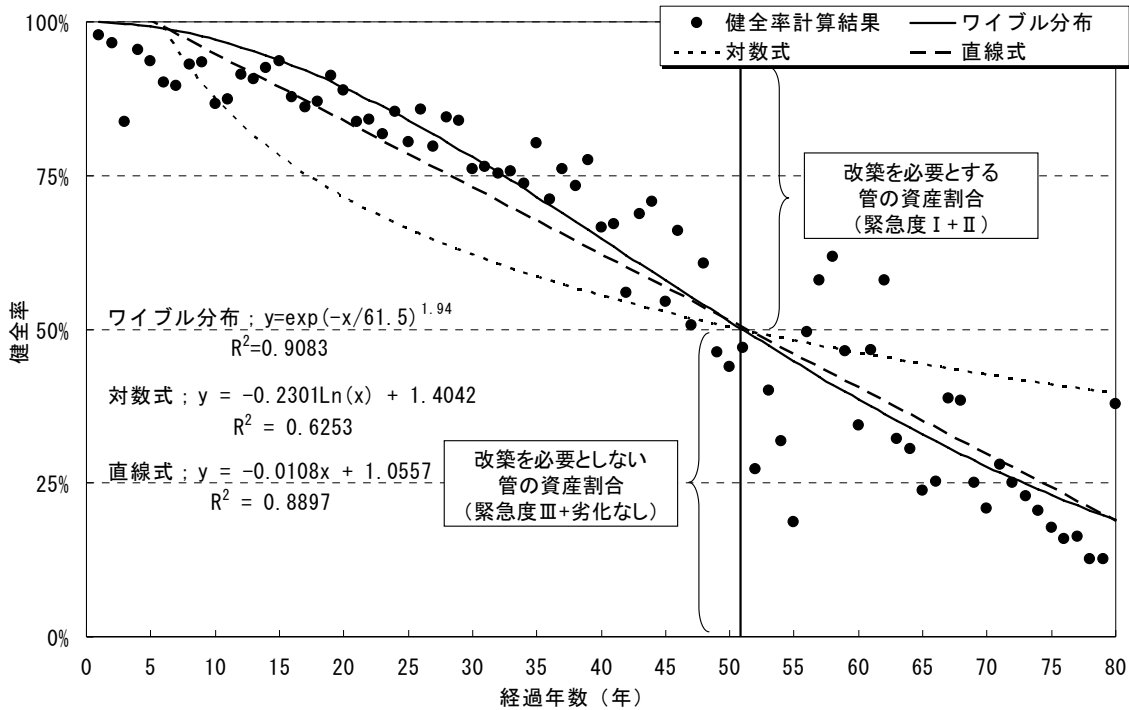


図 - 2 各回帰式における健全率予測式

4. 改築必要延長の将来予測

4.1 予測条件

予測期間は、改築必要延長の将来予測にあたり、100 年程度の寿命を持つ管渠も存在すること、および 2 巡目の改築を考慮することを念頭において 200 年とした。予測に用いる布設経過年数別の管渠延長は、今後の新設管渠は含めないこととし、図 - 3 の管渠資産を有するモデル都市で検討した。

また、予測に際して適用した改築のシナリオは、「直線式型の健全率予測式を用いた場合」と「ワイブル分布型の健全率予測式を用いた場合」とし、比較対象として「標準耐用年数 50 年で改築した場合」も設定した。なお、直線式型およびワイブル分布型の健全率予測式を用いた場合は、緊急度 I + II の不具合発生と同時に速やかな改築実施を想定した。また、これら 2 つのシナリオの場合は、既に存在している未改築の改築必要延長が予測初期で大きくなるため、これらは初期対応として 10 年で均等に解消するシナリオとした。一方、標準耐用年数 50 年の初期対応

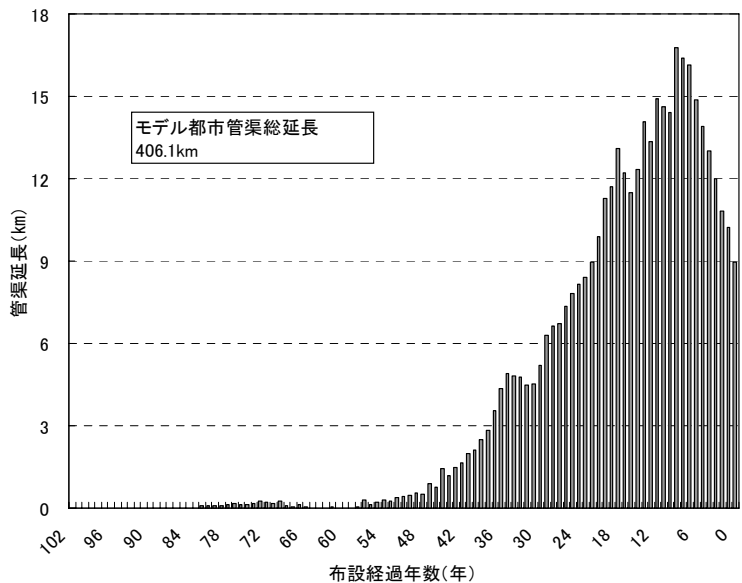


図 - 3 モデル都市における布設経過年数別管渠延長

については、布設経過年数 50 年以上の管渠を初年度の 1 年間で改築するシナリオとした。

4.2 予測結果および考察

4.2.1 標準耐用年数 50 年で改築した場合

図 - 4 に標準耐用年数 50 年で改築した場合の改築必要延長の将来予測結果を示す。

各年度の改築必要延長に着目すると、年度ごとに延長が大きく変動する傾向を示し、最大値はモデル都市全体における管渠総延長 406km の約 4.1%/年 (16.8km/年)、最小値は約 0.1%/年 (0.5km/年) となった。また最大と最小の差 (以下、延長変動幅と示す。) は約 4.0%/年 (16.3km/年) となり、変動回数も多くなる結果を示した。累計改築必要延長に関しては、予測期間で約 1,582km となった。

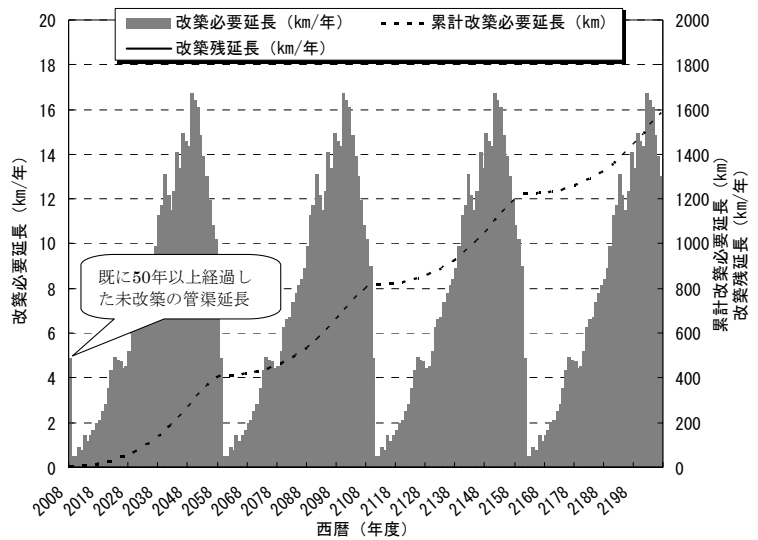


図 - 4 に標準耐用年数 50 年の場合の改築必要延長予測

4.2.2 直線式型の健全率予測式を用いた場合

図 - 5 に直線式型の健全率予測式を用いた場合の予測結果を示す。

初期対応 (2017 年度) 以降における各年度の改築必要延長は、最大で約 2.1%/年 (8.5km/年)、最小で約 1.2%/年 (4.9km/年) を示し、延長変動幅は約 0.9%/年 (3.6km/年) となった。累計改築必要延長は、約 1,500 km となった。この結果、直線式型を用いた場合は、標準耐用年数 50 年の場合と比べて予測期間での累計延長や変動回数が少なくなり、延長変動幅も小さくなる傾向を示した。したがって、健全率予測式を用いた場合は劣化管渠を明確に把握できることに加え、改築必要延長が平準化されることが示された。

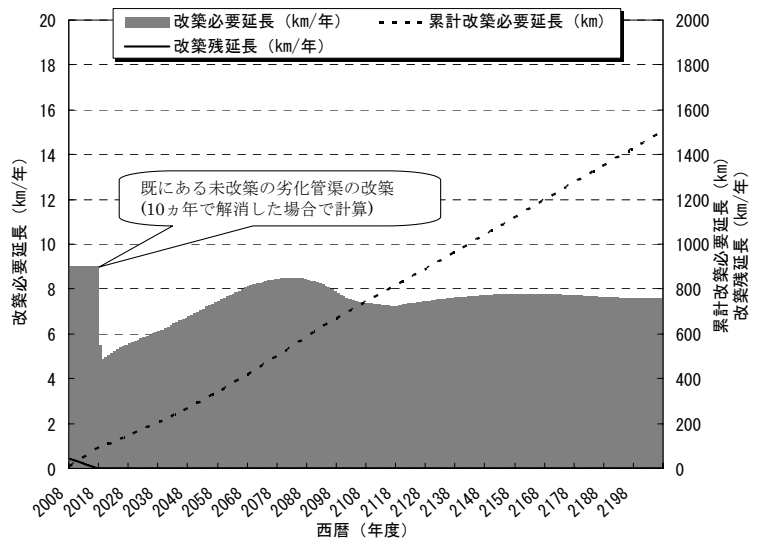


図 - 5 直線式型予測式による改築必要延長予測

4.2.3 ワイブル分布型の健全率予測式を用いた場合

図 - 6 にワイブル分布型の健全率予測式を用いた場合の予測結果を示す。

初期対応 (2017 年度) 以降における各年度の改築必要延長は、最大で約 1.8%/年 (7.4km/年)

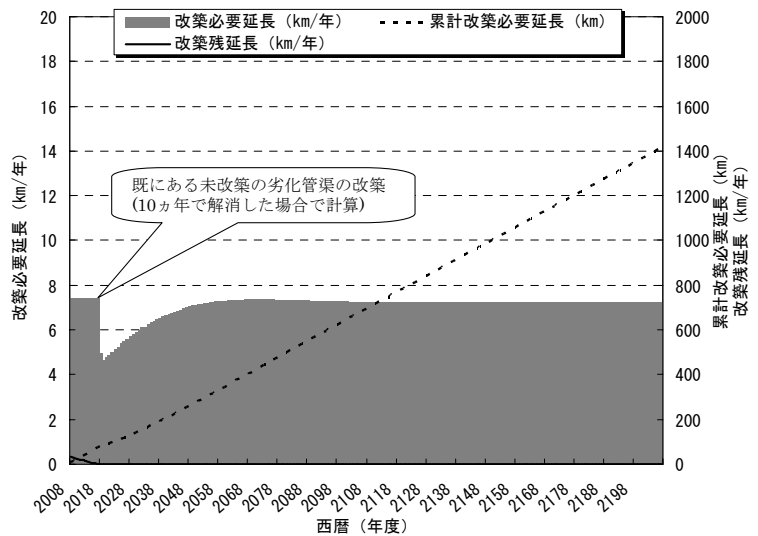


図 - 6 ワイブル分布型予測式による改築必要延長予測

年)、最小で約 1.1%/年 (4.6km/年) を示し、延長変動幅は約 0.7%/年 (2.8km/年) となった。累計改築必要延長は、約 1,415 km となった。この結果、直線式型同様にワイブル分布型においても、標準耐用年数 50 年の場合と比べて予測期間での累計延長や変動回数が少なくなり、延長変動幅も小さくなる傾向を示した。また直線式型と比較すると、ワイブル分布型を用いた場合は予測期間での累計延長が少なくなり、延長変動幅も若干小さくなることが確認できた。さらに初期対応に着目すると、既に蓄積された未改築の管渠を 10 年間で解消するには、直線式型の場合で 2.2%/年 (9.0km/年)、ワイブル分布型の場合で 1.8%/年 (7.4km/年) の改築が必要となり、ワイブル分布型の方が若干少なくなった。

4.3 累計改築必要延長の比較

図 - 7 に各健全率予測式における累計改築必要延長の予測結果を示す。

予測期間末 (2207 年度) における累計改築必要延長に着目すると、標準耐用年数 50 年の場合が最も多く、続いて直線式型、ワイブル分布型の順になる状況を示した。しかしながら、年度によっては、直線式型が最も多くなる場合が存在することも把握できた。これは、直線型健全率予測式を用いた場合、既に改築が必要となっている多大な未改築管渠の延長を明白にしていることが影響していると考えられる。

また直線式型とワイブル分布型は、2055 年度 (予測開始から 48 年後) まで同様の累計延長を示し、それ以降はワイブル分布型の方が直線式より少なくなった。このため、今後約 50 年後までの改築必要延長においては、直線式とワイブル分布型の差異は生じないことが明らかになった。したがって予測開始から約 50 年の期間であれば、予測式の算出が容易であるので直線式型の方が優れていると考えられる。

5. 健全率予測式による不足改築必要延長の把握

健全率予測式を用いて現状の改築事業を評価した。まず現状の改築実施ペースを把握するために、下水道統計⁴⁾から近年の改築実施率 (=改築実施延長/管渠総延長) を算出した。これをもとに現状の改築実施ペースで、今後 20 年間、改築事業を実施した時に不足する改築必要延長を各改築シナリオで定量的に把握した。

図 - 8 に改築実施率の算出結果を示す。

図より近年の改築実施率は緩やかに増加する傾向を示しているものの、平均値は約 0.07% であった。これにより、改築実施ペースを管渠総延長の 0.07% と設定して不足改築必要延長を計算した。なお、新設管渠は、今後 20

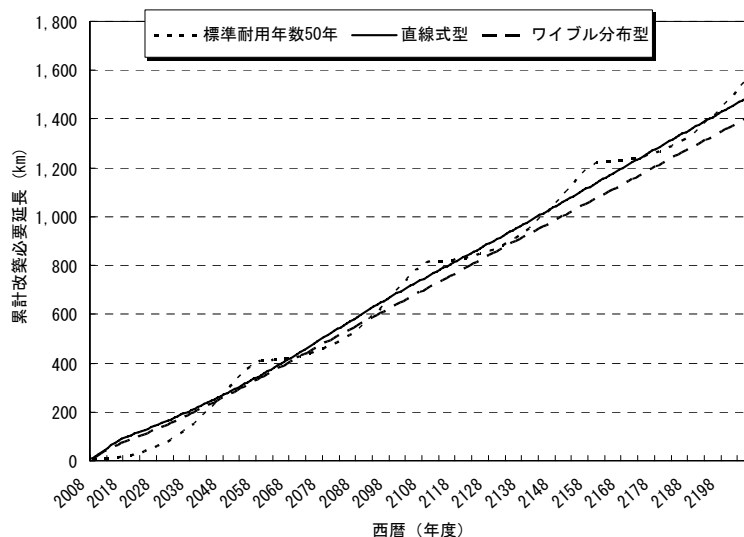


図 - 7 各健全率予測式による累計改築必要延長予測

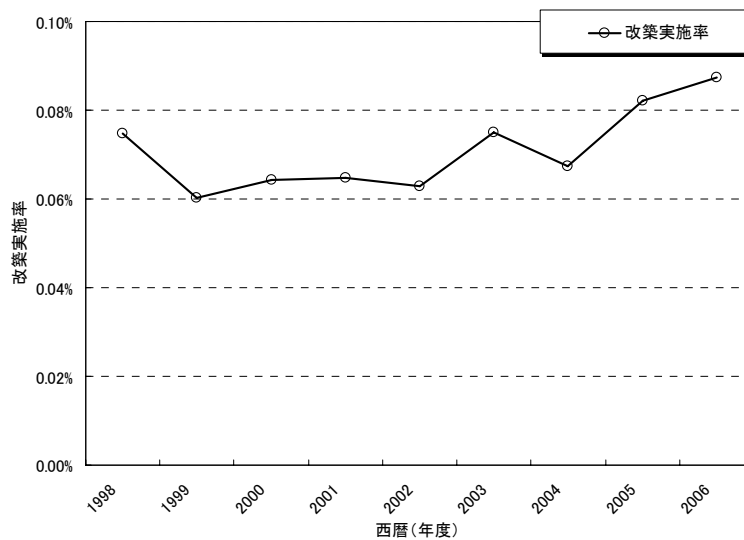


図 - 8 下水道統計⁴⁾データによる改築実施率

年間発生しない条件とした。

図-9に現状の改築ペースで実施した場合における不足改築必要延長の割合を示す。

標準耐用年数50年以上で改築した場合の不足改築延長の割合は、20年後の2027年度には管渠総延長の約11.9%になることが把握できた。これは、現状の改築ペース（総延長の0.07%）が20年間続くと、不足改築必要延長が総延長の約11.9%にまで達することを意味する。同様に直線式型の健全率予測式では約33.7%、ワイブル分布型では約29.4%まで達するということになる。この結果、管渠の不具合発生傾向から導いた健全率予測式による改築必要延長は、標準耐用年数50年による改築必要延長の約3倍となった。これら管渠は不具合リスクを持ち続けながら存在し続けることになる。このため、道路陥没等の不具合事故を未然に防ぐには、健全率予測式で算出した改築必要延長を解消できるように現状改築実施ペースを増加させる必要がある。

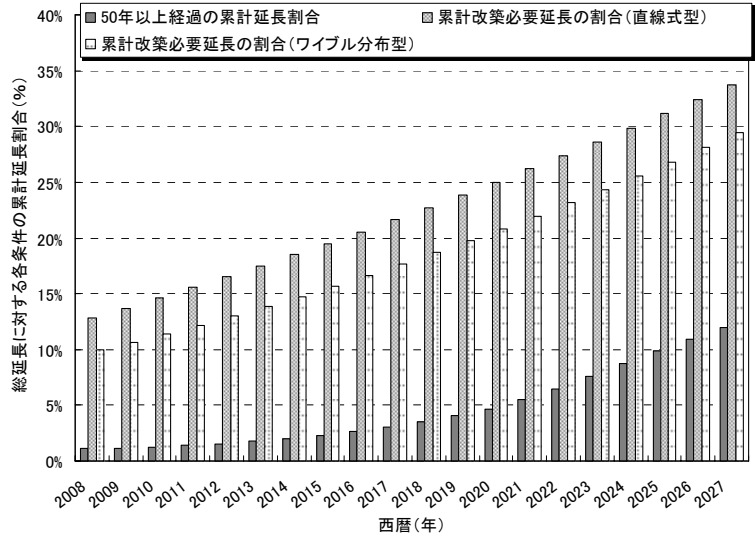


図-9 現状の改築実施ペースでの改築必要延長割合

6. まとめ

本調査の結果、以下の知見を得ることができた。

- ① 管渠の劣化実態に基づいて算出された直線式型およびワイブル分布型の健全率予測式により、法定耐用年数50年未満でも改築が必要となる管渠が存在することを明らかにできた。
- ② 直線式型およびワイブル分布型における健全率予測式での改築必要延長予測は、標準耐用年数50年で改築する場合に比べて改築必要延長の平準化が可能になった。
- ③ 直線式型とワイブル分布型における累計改築必要延長は、予測開始から約50年後までほとんど変わらない状況であった。このため、予測開始から約50年の期間であれば、予測式の算出が容易である直線式型の方が優れていることが把握できた。
- ④ 現状の改築実施ペースが今後20年間継続された場合を想定して、総延長に対する改築必要延長割合を算出すると、どの改築シナリオでも不具合リスクを持ちながら蓄積される状況になった。管渠の不具合発生傾向から導いた健全率予測式による改築必要延長は、標準耐用年数50年による改築必要延長の約3倍となり、現状の改築実施ペースを大幅に増加させる必要があることを明らかにできた。

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。

【謝辞】本調査にあたり、ご協力を頂いた地方公共団体の皆様に深く謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成21年度下水道事業予算概算要求概要，平成20年8月
- 2) 松宮洋介・福田康雄他：管渠の劣化曲線に関する調査，第45回下水道研究発表会講演集，(社)日本下水道協会，平成20年6月
- 3) (社)日本下水道協会：下水道管路施設の緊急点検実施マニュアル(案)，平成19年3月
- 4) (社)日本下水道協会：平成10年～平成18年版 下水道統計

2. 日本近海における海洋環境の保全に関する研究

下水道研究室 室長 榊原 隆
 研究官 遠藤 淳
 研究官 藤原 弘道

1. はじめに

近年、日本近隣諸国における経済発展は著しく、環日本海経済圏が形成されつつある。一方、産業の発展と人口増加に伴い、工場排水や生活排水に起因する水質汚濁が進行しており、渤海・黄海・東シナ海・日本海を範囲とする日本近海においても、有害赤潮の発生、エチゼンクラゲの大量発生に象徴される海洋環境の悪化が新たな社会問題として注目されている。このような状況に対し、近隣諸国では河川並びに海洋における水質汚濁防止に向けて様々な取り組みが行われている。都市排水による汚濁の削減については、下水道の整備等により一定の効果があがっているが、近隣諸国における経済規模とその成長速度を鑑みると依然十分とは言える状況ではない。

当研究室では平成20年度より3カ年で、日本近海の海洋環境保全を目的とした、関係各国の下水道整備を軸とする陸域からの汚濁負荷排出抑制の連携体制構築に向けて研究を進めている。平成22年度に最終的なアウトプットとして、海洋基本法に基づく、海洋基本計画に資するための日本近海における「海洋環境保全提言案（仮称）」を作成する予定である。平成20年度はその準備段階として関係各国の日本・中国・韓国・ロシアにおける、陸域及び海域の諸データの収集、また、中国における簡易的な陸域からの汚濁負荷モデル構築を行った。

2. 研究概要

本研究における平成20年度から3カ年の研究の流れは、図-1の研究フローに示す通りである。平成20年度は既存研究を中心とした海洋モデル・汚濁負荷モデルの調査、各種データ収集、海洋汚染の現状把握を行った。具体的には、既存の海洋海流モデル、リモートセンシングデータ、並びに中国、韓国、ロシアにおける水質規制、水資源等について情報収集を行い、また、中国を対象にモデル構築に必要となる各種データを収集した。同時に、有識者へのヒアリング等を通じて、汚濁負荷量予測に最適なシミュレーションモデルについて検討した。平成21年度は、陸域からの汚濁負荷モデルの構築と経済成長を考慮したシナリオの検討、及び計算で算出された陸域か

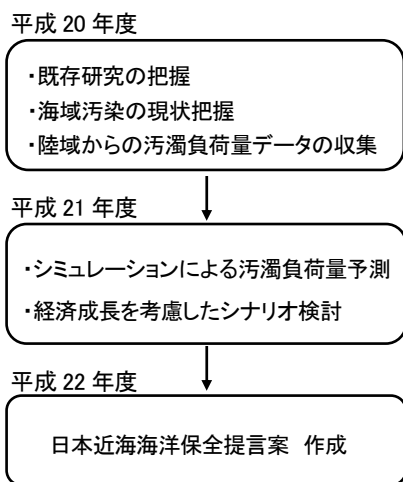


図-1 研究フロー

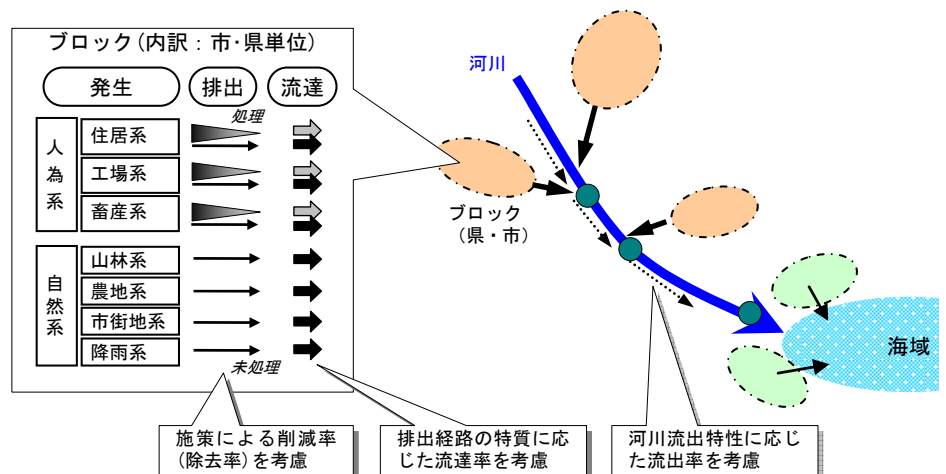


図-2 陸域からの汚濁負荷モデルのイメージ

らの汚濁負荷量と選定した海洋海流モデルを用いて、海域における汚濁現況の再現と予測を行う予定である。

以下、平成 20 年度に行った調査について、陸域における各種のデータ収集及び汚濁負荷モデルの構築についての検討結果、海洋海流シミュレーション等の海洋環境に係わるデータ収集の結果、平成 21 年 1 月に京都大学で開催した国際シンポジウムの概要について順にまとめる。

3. 陸域における各種データ収集及び中国における陸域からの汚濁負荷モデル構築について

近隣諸国における陸域からの汚濁負荷シミュレーションを構築し、海洋に排出される汚濁負荷量の現況の把握とその将来予測を行うことが本研究の目的である海洋環境保全提言案（仮称）を作成するために必須である。関連諸国における汚濁負荷シミュレーション構築に向けて、平成 20 年度にまず関係各国（日本・中国・韓国・ロシア）における水質規制、排出規制、既往文献等の諸データを収集した。具体的には、日本・中国・韓国・ロシアにおける水質環境基準の設定状況、指定状況、排水規制の状況、各国の下水道の整備状況及び、水資源、汚濁負荷量、汚濁解析、水質環境保全施策に関する文献等を収集した。概ね各国の基本的な文献は収集できたが、ロシアに関しては収集できる文献およびデータが少なく、収集できるデータについても最新のデータは公開されているものは限定的であった。

以上の収集データを、平成 21 年度に汚濁負荷シミュレーションモデルを構築する際に使用する予定である。が、実際の汚濁負荷シミュレーションモデルを構築する際に、関連諸国 4 カ国全域を対象としたモデルを包括的かつ同時並行的に構築するのは各国の地域的特徴にばらつきがあることを考慮すると効率的ではないと判断し、平成 20 年度においてはまず中国を対象に簡易的な陸域からの汚濁負荷モデルを構築することを試みた。汚濁負荷モデルは、COD、窒素(N)、りん(P)を対象に、日本における流域別下水道整備総合計画の考え方を参考とし¹⁾、図-2 に示す単純化したモデルに従って、以下のとおり検討した。

- ① 地形、土地利用、人口、産業、汚濁負荷量原単位、主要河川における水質・水量等の汚濁負荷モデルを構築するために必要なデータについて、公表されている資料²⁾³⁾⁴⁾より収集した。

汚濁負荷量原単位については、中国での調査データが収集できなかったもの（山林系、農地系、市街地系）については、日本の平均的なデータ¹⁾を使用した。

モデル構築においては使用していないが、収集データの内、主要河川である黄河と長江について、河川流量、COD 水質の 2005 年月別平均値の 75% 値とこの値より算出した COD 負荷量の年間値を図-3 に示す。なお、図中の地点番号については、図-4 と連動している。

- ② 汚濁負荷量算定にあたっての基本単位は、県または市の行政単位とし、負荷量集計単位として、河川流域毎

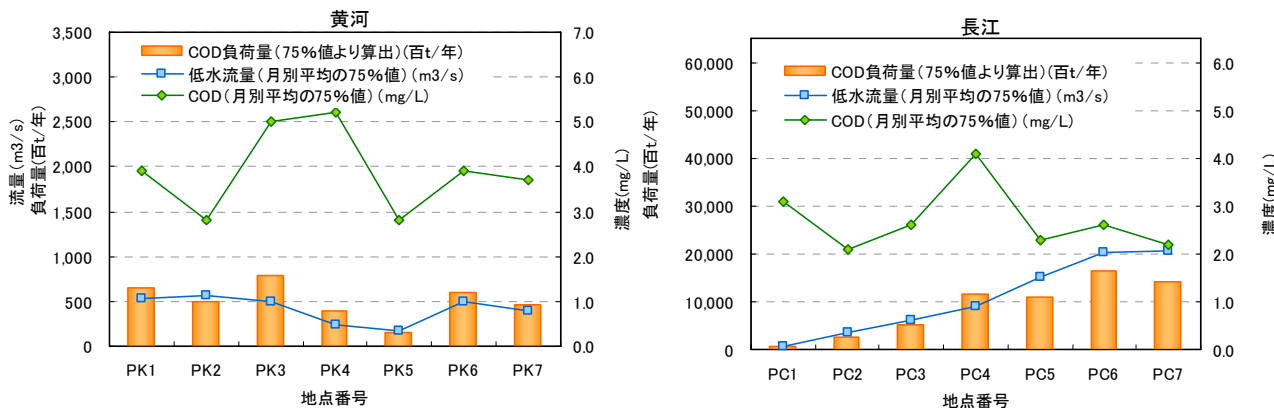


図-3 黄河・長江における流量、COD 水質、COD 負荷量年間値（2005 年）

【 凡 例 】

—	海域ブロック境界
青字	海域ブロック番号
■	渤海 (B1-B8)
■	黄海 (K1-K5)
■	東シナ海 (H1-H2)
■	対象外ブロック
□	対象外
●	河川からの排出点
B2(遼河), B7(黄河), H1(長江)	
●	長江観測点 PC1~PC7
●	黄河観測点 PK1~PK7
●	淮河観測点 PW1~PW3
●	遼河観測点 PR1~PR2

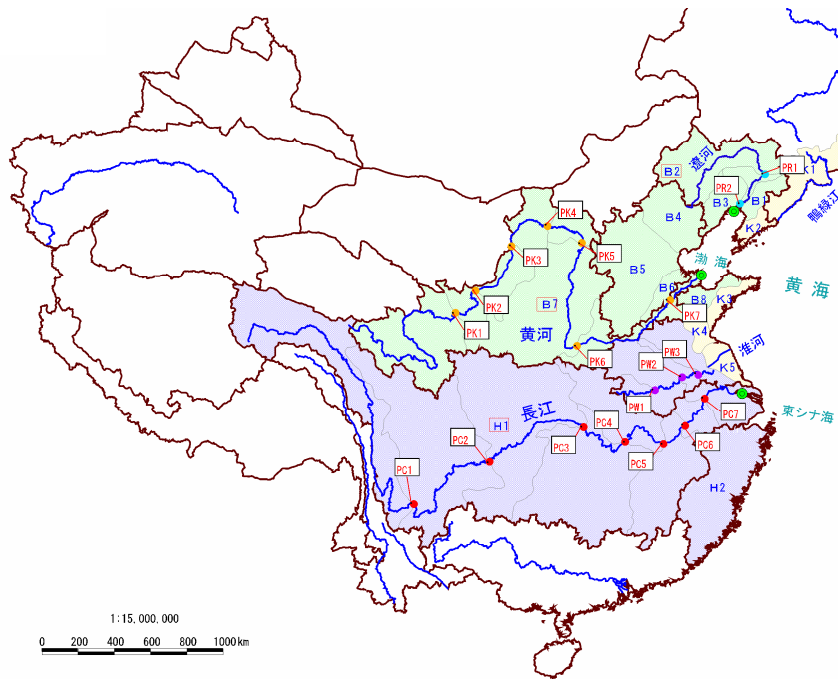


図-4 中国における流域別サブブロック分割図

のブロック（主要河川を經由して海域へ流出するブロックと海域沿岸ブロックに分類、さらに主要河川については、流量・水質観測を実施している水質基点単位に細分化したサブブロック）を設定した。具体的には、図-4の通り、渤海(B1~8)、黄海(K1~5)、東シナ海(H1~2)へ流入する15の流域ブロックを設定し、このうち、主要河川として、遼河(B2[PR1・2(河口)]）、黄河(B7[PK1~7])、長江・淮河(H1[PC1~7]・[PW1~3])の3流域ブロックを、水質基点単位に分割し、22(19(基点)+3(河口))のサブブロックを設定した。

- ③ ①・②で整理した情報を基に発生源別フレーム値に汚濁負荷量原単位を乗じて、発生負荷量を算出し、下水道等の施策を講じているものについては、削減率を考慮して排出負荷量を算出した。図-5に2005年の年間排出負荷量の試算結果を示す。陸域から海域への流出負荷量については、日本の事例と同様に、陸域に排出された負荷量が、1年を通じて全て海域に流出する（流達率、浄化残率とも1.0）と仮定した場合¹⁾には、図-5の値が流出負荷量として試算される。

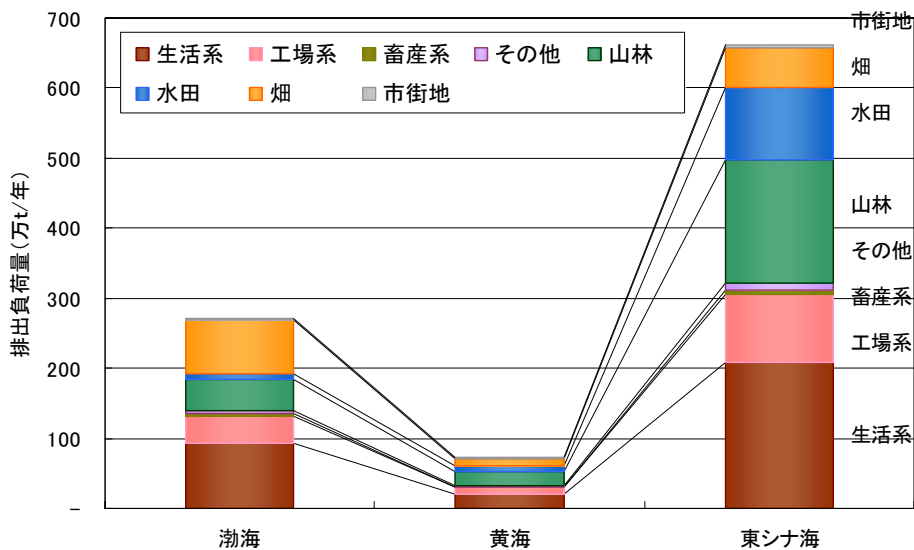


図-5 COD年間排出負荷量試算結果(2005年)

図-5 で表された試算結果については、汚濁負荷モデル構築の際の流達率、浄化残率等の仮定の設定については精査する必要があるが、オーダーレベルでは正しい結果であるとの見解を他研究機関の有識者より頂いている。

4. 日本近海における汚濁負荷海流シミュレーションモデルの構築に向けて

3. にて検討を行った、陸域からの汚濁負荷モデルによって算出される汚濁負荷排出量は、海洋海流シミュレーションに組み込むことによって海洋汚染の再現とその将来予測が可能となる。平成 21 年度に実施予定の海洋海流シミュレーションモデルの構築に向けて、平成 20 年度は①海洋海流シミュレーションモデルの調査、②近隣諸国の影響評価モデルの適用検討、③日本近海の海洋環境調査の 3 調査について実施したので、詳細を以下に記す。

① 海洋海流シミュレーションモデルの調査結果

海洋海流シミュレーションモデルについて既存の研究・調査を調べた所、東シナ海の研究結果は比較的多く見られるものの、渤海、黄海周辺、東シナ海中国大陸周辺の計算例、観測例は少なかった。また、渤海、黄海、東シナ海と日本海全域を網羅した数値シミュレーションは、公表されているものが皆無に近いことが判明した。このことから、日本近海全体の海流シミュレーション構築を実施するためには、対馬海峡などの特徴的な場所で海域を分断し、東シナ海と日本海双方の海域特性に応じたシミュレーションモデルを検討し、シミュレーション結果を連続的に繋げる手法が妥当であると思われる。九州大学応用力学研究所の RIAMOM (RIAM Ocean Model) は、平成 21 年度に向けて東シナ海、日本海全体を取り入れた数値シミュレーションに取り込む予定があり、シミュレーション結果の提供を受けることも研究の進め方の一つの選択肢である。

② 近隣諸国の影響評価モデルの適用検討結果

海洋海流シミュレーションモデルと併せて、近隣諸国への汚濁負荷流出の影響評価モデルの適用についても検討を行った。検討の結果、東京湾流総計画や第 6 次総量規制においては、陸域からの負荷量が増減した場合の海域への影響については、いずれも「低次生態系モデル」を適用していた。適用理由としては、富栄養化が進行した海域では、陸域からの栄養塩類（窒素(N) やりん(P)）の負荷量が増減した場合、COD 負荷量そのものが変化していても、植物プランクトンの生産量が増減することにより海域の COD 濃度に影響が生じることが知られていることが、主たる理由である。本研究においても、諸外国（中国・韓国・ロシア）の経済活動や下水道等社会基盤整備の変化による海域への負荷量変化に伴う我が国への環境影響を評価するためには、東京湾流総計画と同様、「低次生態系モデル」を選択することが望ましいと考えられる。

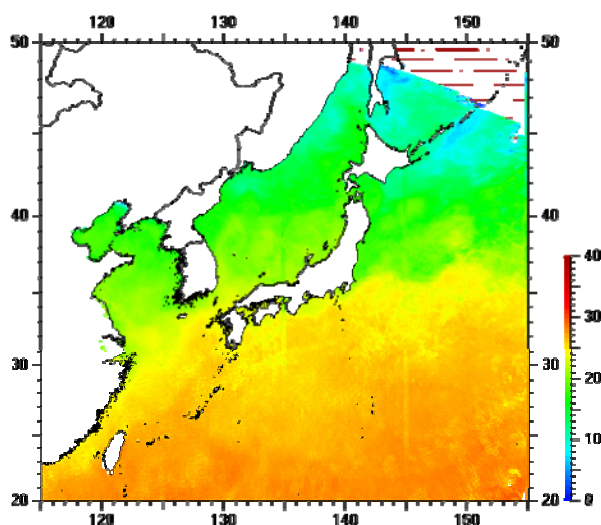


図-6 水温 2002 年 10 月 (°C)
(MODIS データ)

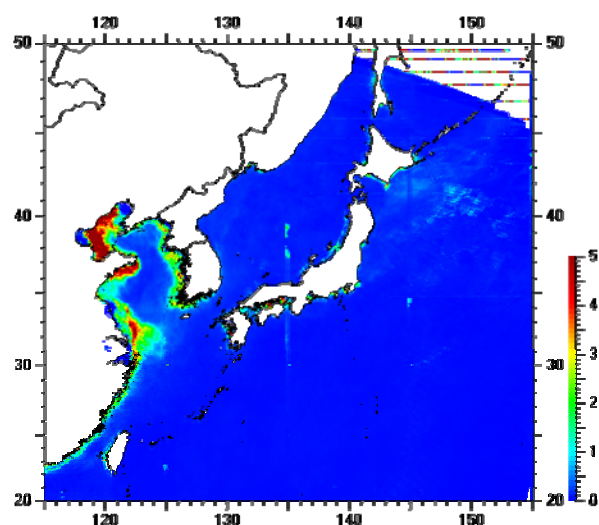


図-7 クロロフィル-a 2002 年 10 月 (µg/l)
(MODIS データ)

③ 日本近海の海洋環境調査結果

日本近海の海洋環境調査の結果については日本近海の沿岸各国の水質データ⁵⁾⁶⁾⁷⁾、リモートセンシングデータ、漂着ゴミのデータについて収集・整理を行った。結果、水質データについては中国沿岸域における汚染状況の深刻さ、また韓国沿岸域においては、窒素濃度の増加を確認した。ロシア沿岸域においては、重金属の測定結果は公表されているが、富栄養化物質の測定結果は公表値が殆ど無いことなども明らかとなった。また、日本沿岸域においては、対馬海域での COD 濃度の増加が認められ、東シナ海起源の濃度が上昇している可能性が収集したデータより示唆された。

リモートセンシングデータについては、調査の結果 JAXA(宇宙航空研究開発機構)が提供している MODIS のデータを使用することが望ましいと考えられる。その理由として、リモートセンシングデータは他の諸データの入手が困難な地区においても、広域的にデータを入手することができ、MODIS により入手が可能な水温データ及びクロロフィル-a を代表とするデータは、本研究で行う海洋海流シミュレーションモデルの計算に際し、非常に有用なデータとなることが挙げられる。(図-6、図-7 参照)

また、エチゼンクラゲの移動ルート、漂着ゴミの実態、漂着ゴミの発生源についても各種データを参考に網羅的に情報を収集、整理した。近年、漂着ゴミ等が日本の領土に漂着する事例が増えているが、シミュレーションにより漂流物の移動経路の予測計算も可能になってきている。

5. 国際シンポジウムの開催

平成 20 年度は、3. 4. の調査と併せて、2009 年 1 月 27 日に京都大学と共催で、京都大学百周年時計台記念館、国際交流ホールにて国際シンポジウム「日本近海における海洋環境保全—陸域対策のための研究パートナーシップ—」を開催した。日本・中国・韓国・ロシアの大学、研究機関から図-8 に示す有識者を招待し、各国における陸域での汚濁負荷対策について議論し、意見交換を行った。当日のシンポジウム参加者は約 120 名であった。

「日本近海における海洋環境保全 —陸域対策のための研究パートナーシップ—」	
平成21年1月27日(火) 13:00~17:40	
京都大学百周年時計台記念館 国際交流ホール I・II	
(講演者・パネリスト)	
楠田哲也	北九州市立大学 教授
津野洋	京都大学 教授
藤木修	国土技術政策総合研究所 下水道研究部長
阪井田茂	国土交通省近畿地方整備局 企画部技術企画官
杜鵬飛	清華大学 准教授
李光明	同済大学 教授
金甲守	ソウル市政開発研究院 前任研究委員
Vladimir Shulkin	ロシア科学院太平洋地理学研究所長

図-8 国際シンポジウムの概要

また、国際シンポジウム翌日に、京都大学桂キャンパスにて、有識者のみでディスカッションを行い、我々が構築した中国における簡易的な汚濁負荷モデルの整合性、妥当性について意見を伺った。汚濁負荷モデル構築時における原単位の設定方法、流出率の設定方法等について有識者から多数意見を頂いた。併せて一方で、中国の有識者より、中国においても本研究のような広域を対象としたモデル構築は先行事例が現時点で存在せず、興味深い研究であるという意見も頂いた。

6. 考察・今後の予定

平成 20 年度は、陸域からの汚濁負荷シミュレーションモデル及び海洋海流シミュレーションモデルの構築に必要な諸データを収集し、併せて中国を対象に簡易的な汚濁負荷モデルの構築を試み、陸域から発生する COD 汚濁負荷量の試算を行った。しかし、今回構築した汚濁負荷モデルで使用した汚濁負荷原単位、流達率、浄化残率等のデータを始めとして、モデル構築の手法、汚濁負荷量試算結果については妥当性の評価が必要であり、中国を始め各国の研究者と連携して検討を重ねる必要がある。

海洋海流シミュレーションの構築においても、既存の海流シミュレーションモデル、水質循環モデルについて調査を行ったが、陸域で構築する汚濁負荷モデルによって算出される汚濁排出量が海洋海流シミュレーションモ

デルへ問題なくのデータの授受ができるよう留意する必要がある。

また平成 20 年度は検討を行っていないが、関連諸国の経済成長を考慮したシナリオを設定する際に、どのような指標を基準としてシナリオを設定するのか、また最終的なアウトプットである「海洋環境保全提言案（仮称）」を作成する際に、どの水準の海洋環境を目指して行動を行っていくのかという設定について検討する必要がある。

上記の考察及び課題を念頭に置きつつ、平成 21 年度以降の研究については以下の通り予定している。

- ① 陸域からの汚濁負荷モデルの精度を上げるとともに、経済成長を考慮したシナリオをモデルに組み込み、将来の汚濁排出負荷量の変化を予測する。
- ② 平成 20 年度に中国を対象として構築した汚濁負荷モデルを韓国、日本、ロシア極東地域にも応用し、日本近海全体の汚濁排出負荷量を推定する。
- ③ 陸域からの汚濁負荷モデルのアウトプットを基に、日本近海を対象とした海洋海流シミュレーションを実施し、汚濁負荷量が海洋環境へ与える影響について把握する。また、陸域モデルで設定した経済成長シナリオを海洋へ排出される汚濁負荷量へ反映させ、将来の海洋汚染状況についても予測を行う。
- ④ シミュレーションにより算出された結果を基に、日本近海における「海洋環境保全提言案（仮称）」の内容を作成し、実際に提言を行えるよう、各国との調整を並行して進めながら提言に向けた準備を行う。また、研究で得られた知見を社会に広く還元するため、平成 20 年度に開催した国際シンポジウムに代表されるワークショップを引き続き開催する。

7. まとめ

日本近海における海洋環境の保全を目的とした、日本近海における「海洋環境保全提言案（仮称）」の作成に向けて平成 20 年度は、陸域における各種データの収集、文献調査等、海域におけるシミュレーションモデル等について調査を行った。また陸域からの汚濁負荷モデル構築については、中国を対象に、日本における流域別下水道整備総合計画の手法¹⁾を参考とし、簡易的な汚濁負荷モデルを構築した。今後は、汚濁負荷モデル構築方法、使用データ、設定パラメータ等について中国の研究者等と連携しながら引き続き精査を行っていく。

平成 21 年度は、平成 20 年度に構築した陸域からの汚濁負荷モデルの精度を向上させると共に、汚濁負荷モデルに反映させる経済成長シナリオの構築を行い将来汚濁負荷量の予測について計算を行う。また併せて、陸域からの汚濁負荷モデルによって算出された汚濁負荷排出量と、別途構築する海洋海流シミュレーションモデルによって海洋環境の将来予測を行う予定である。

謝辞 本研究の遂行に当たり、ご協力頂いた日本上下水道設計(株)、いであ(株)に感謝の意を表す。

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) 日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成 20 年 9 月
- 2) 国際協力事業団：中華人民共和国太湖水環境管理計画調査 最終報告書 1998 年 6 月
- 3) 中華人民共和国国家統計局：中国統計年鑑 1996～2007
- 4) 中華人民共和国環境保護部：中国主要流域水質自動監測データ 2005
- 5) 中国環境年鑑 1997～2006
- 6) 韓国統計年鑑 1996～2005
- 7) 公共用水域水質調査結果 1990～2006

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

下水道研究部 部長 藤木 修
 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

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 の大国際河川である(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^{1), 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、廃棄物の排出が増加し、



図1 ガンジス川流域の概略図¹⁾

し、河川の水質汚濁が問題化している。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)}。これを解決するためには現地住民の生活様式や河川の汚濁状況、汚濁源、原単位などの基礎データを把握した上で、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。本報告では、現地における水質汚濁と汚濁負荷量原単位の調査の結果についてまとめた。

大きな社会問題となっている^{1), 2)}。これを解決するためには現地住民の生活様式や河川の汚濁状況、汚濁源、原単位などの基礎データを把握した上で、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。本報告では、現地における水質汚濁と汚濁負荷量原単位の調査の結果についてまとめた。

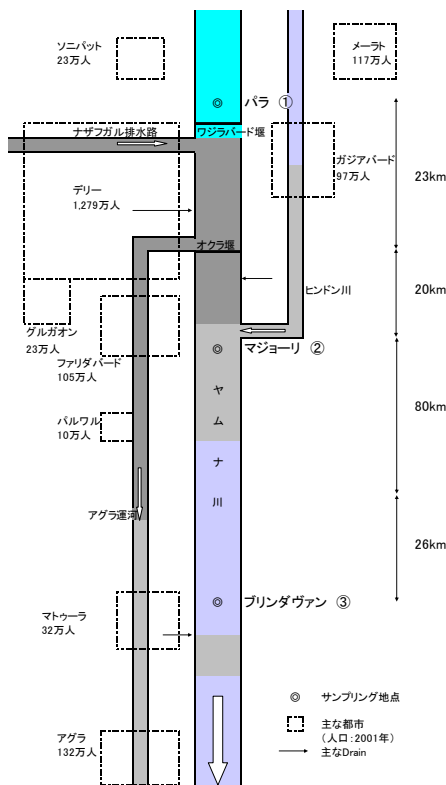


図2 ヤムナ川の水質測定地点

2. 水質汚濁の現状

ガンジス川支川のヤムナ川は、デリー市上流のワジラバード堰で水量の70%が取水され³⁾、図2に示すようにその直下で流入するナザフガル排水路をはじめとする市街地の排水路から汚水が大量に流入するため、下流では著しく汚濁が進んでいる。

河川の現状把握のため、ニューデリー近郊のヤムナ川の河川水質調査を実施した。調査場所は、図2に示すニューデリー上

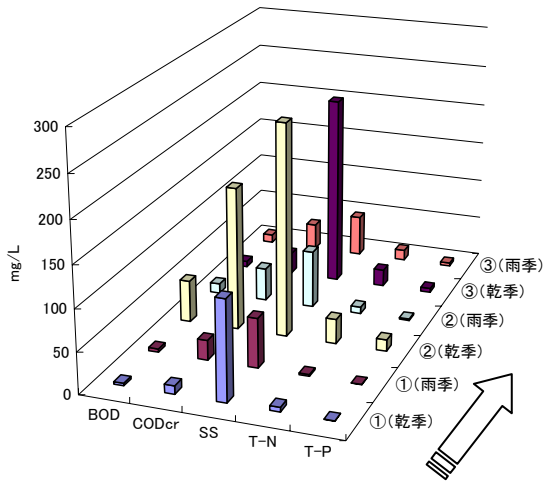


図 3 ヤムナ川の水質分析結果

流のパラ付近と下流のマジョーリ、ブリンダヴァンとし、調査は雨季9月、乾季2月の2回実施した。

図 3 に水質分析結果を示す。上流の①がパラ、②がマジョーリ、下流③がブリンダヴァンである。乾季に関して、すべての水質項目で下流に比べ上流の値の方が低い傾向にあった。マジョーリとブリンダヴァンでは、マジョーリの値の方がすべてにおいて高かった。マジョーリは都市部に近いため、その影響を大きく受けているものと考えられる。さらに下流のブリンダヴァンでは、マジョーリに比べすべての項目で値の低下がみられ、河川における沈殿・自然浄化の効果がうかがえた。

3. 負荷量原単位に関する調査

負荷量原単位と汚濁流達率は、下水道計画策定にあたって汚濁解析を行うための重要なパラメータである。このため、現地踏査を十分に行って調査地点を選定し、流量と水質の測定を行った。

1) 調査対象地域

調査は、特徴ある多様な地域を選定できるデリー首都圏を対象とした。収入により居住地域が分かれているため、高、中、低の所得の違うそれぞれの地域、都市部のスラム街の地域、都市郊外の農村集落地域を選定した。また、インドでは乳牛の飼育がさかんであり⁴⁾輸送手段が限られているため牛舎が消費地近傍に分布していることから、牛舎(搾乳用)排水も調査場所に選定した。

高所得者層の調査は、ある程度所得がないと購入できない住宅街であるニューデリー内のゴルフ・リンクス地区とジョル・バーグの区画の一部で行った。中所得者層の調査は、公務員の住宅団地の一部で実施した。低所得者層の調査は、比較的賃金が低い(0.2~1.4万Rs/月)とされる小売商、運転手等の業種で生計を立てている住民の居住区であるラジュビルナガルとサリマルバーグの2地区で行った。スラム街は、BJ East地区を選定し、テントや簡易家屋等を空スペースに無断で作り生活している区画の一部で調査を行った。牛舎は、郊外に位置するガジプール酪農場、パールサワ酪農場、マダヌプル酪農場で調査を行った。

2) 調査方法

調査は、対象とする地域からの排水について水量を測定するとともに、採水して水質分析を行い、それらのデータから得られる負荷量から原単位等を求めることとした。

家庭排水の調査は対象とした区域の排水路あるいは下水管の流末でサンプリングを実施した。高・中・低所得者層の居住地域(表 1 の①から⑥)は下水道整備地区であり排水路がコンクリート製であった。家庭排水調査は、各地点において水量・水質の 24 時間調査を行った。水量は毎時間測定し、水質分析のための試料採取は 2 時間に 1 回、12 時間で 1 つのコンポジットサンプル(流量比で混合)を作製した。

牛舎排水は、朝夕の 2 回、牛舎内の清掃を行う以外に排水が出ないため、清掃時にコンポジットサンプルを作製し、水質分析を行った。水量はポンプ能力と運転時間から算定した使用水量と、ひしゃくで採取した尿量の合計とした。

スラム街の BJ East では排水の発生源別の負荷量原単位調査を行った。スラムは都市への人口集中にとも

ない、インド国内の市街地に数多く存在している。しかし他の住宅地域とは生活様式が異なり、上下水道や各戸のトイレが整備されておらず、各戸での排水量とその経路、人口等が正確に把握しにくく、排水溝の流末で調査を行った場合、正確な原単位を特定することが困難である。そのため、排水の主要な発生源である給水場排水、家庭排水、簡易トイレ排水の3種類に分け、それぞれの負荷量を調査するため以下の方法で実施した。



写真1 スラム給水場

(a) 給水場排水

写真1に典型的な給水場を示す。サンプリングは、給水場出口すぐの排水溝で行い、給水場が利用されている時間帯、1回/時間のスポットサンプルを採取し、各時間のサンプルを等量ずつ混合して、水質分析に供した。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、ヒアリングを行い、世帯人数等を把握した。

(b) 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。3世帯の家族に専用の容器を渡し、1日に発生する家庭内排水の保管を依頼し、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。人数は事前のヒアリング調査で把握した。

(c) トイレ排水

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。人数は事前のヒアリング調査で把握した。

表1 負荷量原単位の調査結果（下水道整備区域）

対象地区等		ケース番号	調査年度	調査時期 ²⁾	排水量原単位	汚濁負荷量原単位(g/人/日;MPN/人/日)						
区分	地区名等					L/人/日	BOD	COD (Cr 1)	SS	T-N	T-P	大腸菌群
流総 指針値	生活 排水	発生			—	58.0	27.0 _{Mn}	45.0	11.0	1.30	—	
		単独浄化槽			40~50	3.8~4.8	4.1~5.2 _{Mn}	3.1~3.9	5.2~6.6	0.56~0.70	—	
		小型合併浄化槽			297	10.9	7.7 _{Mn}	10.8	6.5	0.75	—	
		農業集落排水施設			317	4.9	5.0 _{Mn}	2.4	6.1	0.63	—	
下水道 整備 区域 市)	高所得 者層	ゴルフリンクス 1回目	①	H16	2月(休日)	500	82.6	219.0	130.3	8.4	17.70	3.5 × 10 ¹⁰
		ゴルフリンクス 2回目	②	H17	2月	436	75.5	302.5	42.5	37.9	4.80	6.4 × 10 ¹⁰
	中所得 者層	ジョル・ハーグ	③	H16	2月	140	27.4	50.8	130.6	8.9	2.20	6.4 × 10 ¹⁰
		パチカイアン・ロード	④	H15	2月	216	24.3	41.8	9.6	10.9	1.30	5.2 × 10 ¹⁰
	低所得 者層	パハル・ガンジ	⑤	H15	2月	73	36.7	46.6	4.4	5.9	1.00	1.7 × 10 ¹⁰
		サリマル・ハーグ	⑥	H16	2月	154	39.2	102.3	54.7	13.1	5.50	9.8 × 10 ⁹

1) 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、より酸化力の強い二クロム酸カリウム(K2Cr2O7)を用いて求めるCODCrより小さめの値となる。

2) ()書きのないものは平日

3) 調査結果

(a) 生活系負荷量原単位

下水道整備地域での調査結果を表1に示す。①、②、③、④、⑤、⑥は、家庭からの排出原単位を表していると考えられるが、高所得者層の①、②を除けば、得られた汚濁原単位の値のばらつきは小さい。また、中・低所得者層の④、⑤、⑥の3ケースの平均値を表中の「流総指針値」⁵⁾と比較すると、排水量原単位(小型合併浄化槽の原単位に対する比率)が50%であるのに対して、汚濁負荷量原単位(発生負荷量原単位に対する比率)では、BODが58%、SSが51%、T-Nが91%、T-Pが200%という結果であった。

表2にスラムにおける負荷量原単位調査結果を示す。表1の中一低所得層とほぼ同程度の負荷量原単位となった。要因としては、低所得者やスラム街居住者であっても、食事や生活様式に大きな違いがなかったことが想定される。スラムの排水量原単位が他地域と比較して低かったのは、各戸に給水されていないことが原因と考えられる。図4にスラムでの調査の結果得られたBOD、T-N、T-Pに係る生活系発生汚濁負荷量原単位の内訳を示す。BODについては、3者がほぼ同等の割合であるのに対して、T-N、T-Pでは簡易トイレの割合が大きかった。

(b) 牛舎の原単位

表3に牛舎排水に係る汚濁負荷量原単位の調査結果を示す。平成15年のガジプールの値が低いものの、日本の原単位⁵⁾と比較して全体的にBODが高くT-Pが低い傾向にあった。SSの差に関しては、サンプル中に泥やワラ等の大きな固形物が混入することがあるために生じたものと考えられる。

表2 負荷量原単位の調査結果 (スラム地区)

対象地区等		調査年度	調査時期 ⁴⁾	排水量原単位 L/人/日	汚濁負荷量原単位(g/人/日;MPN/人/日)					
区分	地区名等				BOD	COD Cr2)	SS	T-N	T-P	大腸菌群
スラム	BJ East 共同トイレ(複数槽含む) (水道)	H18	2月	34	43.6	129.8	48.9	6.1	0.70	2.2E+07

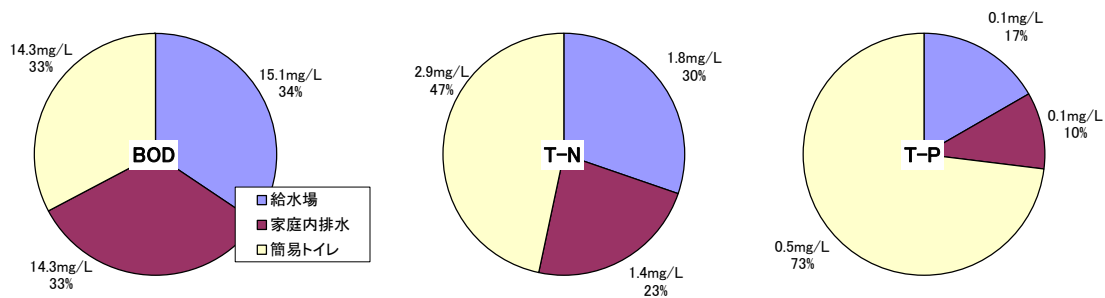


図4 汚濁負荷発生源の内訳

表3 牛舎の原単位調査結果

対象地区等		調査年度	排水量原単位 L/頭/日	汚濁負荷量原単位(g/頭/日)				
区分	地区名等			BOD	COD Cr2)	SS	T-N	T-P
流総指針値	乳牛		45-135	640.0	530.0	3,000.0	290.0	50.0
牛舎	ガジプール	H15	123	183.0	878.0	59.0	60.1	5.0
	パールサワ1	H16	71	875.0	1,849.0	1,536.0	83.8	9.1
	パールサワ2	H17	59	1,062.0	1,749.0	585.0	147.0	3.5
	マダヌブル1	H16	97	879.0	1,529.0	1,099.0	118.8	12.5
	マダヌブル2	H17	117	742.0	1,418.0	1,272.0	231.0	2.0
	マダヌブル3	H17	142	983.0	1,910.0	466.0	263.0	4.0

4. 流達率に関する調査

農村部とスラムでは下水道整備地域と異なり排水路がレンガあるいは土でできているため、流末までに地面への浸透・吸着がある。下水道未整備地区(農村)において汚濁流達率の調査を実施した。

1) 地域の概要

調査の対象としたパラ村は約 500 世帯、人口約 3000 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。排水路の流量は対象地区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。同じ地点で排水のコンポジットサンプルを作製し、流達負荷量算定のための水質分析用試料とした。

3) 流達率の算定

今回の調査で測定された対象地域の流末における流達排水量原単位は 138L/人/日であり、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。このため流達率の算定に使用する排出負荷量原単位には下水道が整備された中所得層・低所得層地域である表 1 の④、⑤、⑥の平均値を使用し、昨年度の調査結果から腐敗槽の汚濁物質除去機能がないものと仮定した。また、牛による発生汚濁負荷量についてはこれまでの調査の平均値を使用したが、この村ではインドの農村部で一般的にみられるように牛糞を燃料化しているため、牛舎からの流出量を発生量の 75%と仮定した。これらの仮定を用いて計算した発生汚濁負荷量と、流末での水質分析により得られた流達負荷量から計算した結果、今回の調査箇所での BOD 負荷の流達率は 67.9%となった。

4) 流達率及び流達汚濁負荷量の推定方法

縦軸に上記の流達率の算定と同じ方法により他の 4 箇所の農村部とスラム街について BOD 流達率を求めた値、横軸に対象地域の流末で観測された 1 日の総流量を人口で除した値(流達排水量)を整理し、図 5 に示す。図 5 から、下水道が整備されていないインドの農村部や都市のスラム街については、流達排水量から、おおよその BOD 流達率を推定することができる可能性があることがわかる。さらに、今回の調査対象地域と類似の地域について、人口がわかれば、当該地域から流達する生活系の BOD 汚濁負荷量を概略推定することが可能と考えられる。

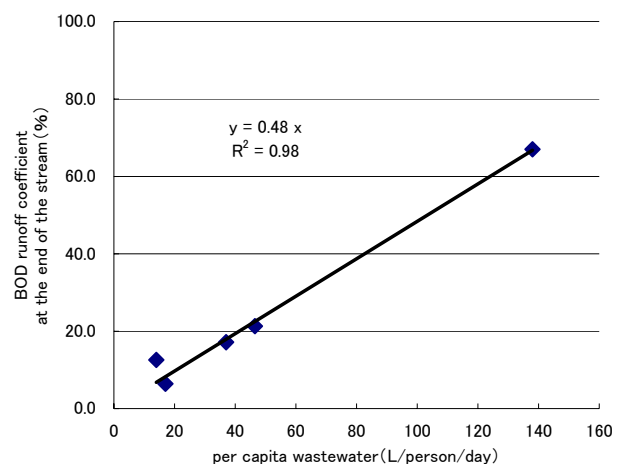


図 5 流達排水量による
BOD 流達汚濁負荷量の推定

5. まとめと研究成果の今後期待される効果

本研究では、急激な人口増加による河川の水質汚濁が問題となっているガンジス川流域を対象として、河川の汚濁状況、汚濁負荷量原単位原単位などの基礎データを明らかにするための調査を行った。インドの都市部およびスラム地区、また、牛舎の汚濁負荷量原単位が明らかになった。さらに、郊外の下水道未整備地域での流達率を推定する簡便な方法について検討した。

今後ますます都市への人口集中が進むと想定されるインドその他のアジア諸国では、河川や湖沼等の水質保全のために、都市の下水道整備の促進が不可欠である、その過程において、下水道の水質保全効果の予測や整備の優先順位付けが大きな課題になると考えられる。その際重要となるのが、陸域からの汚濁負荷量の算定であるが、これまで途上国において汚濁負荷量の原単位や流達率を詳細に調査した例は少なかった。途上国でも、重要な水域を対象に水質汚濁シミュレーションが数多く行われており、今回の研究成果は、そのようなシミュレーション解析に必要な陸域からの汚濁負荷量の算定に役立つものと期待される。

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/writereaddata/linkimages/majorriverbasin2743326456.pdf>、参照 2009年11月
- 3) Ritu Paliwal, Prateek Sharma, Arun Kansal: Water quality modeling of the river Yamuna (India) using QUAL2E-UNCAS, Journal of Environmental Management, 83(2007) pp. 131-144
- 4) 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/zuhyou/0406.xls>、参照 2009年11月
- 5) 流域別下水道整備総合計画-指針と解説-, (社)日本下水道協会(1999)、pp. 29, 41, 46-48

2. 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. はじめに

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、災害時のライフラインとしての防災機能、ヒートアイランド現象緩和機能、地域コミュニティの再生への寄与など、多目的の機能が再認識されている。そこで、下水再生水、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。

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、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の構築を目的とする。平成20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)の便益評価手法の検討及び整理を行うとともに、例としてモデル地区を設定し、便益評価手法の適用性調査を行った。

2. 都市水路等の防災効果の便益評価手法の検討

本調査で検討対象とする災害は、地震、風水害、雪害とした。都市水路等の防災効果は、都市水路等に流れる水を利用して防災効果を発揮する水利用分野と、都市水路等の整備により創出された空間を利用して防災効果を発揮する空間利用分野の二つに区分した。この区分ごとに想定される各防災機能については、便益評価を行う際に、都市水路等が防災効果を発揮するために必要な条件（整備項目、発現条件、効果の及ぶ時間的範囲・空間的範囲）を整理する必要がある、またその条件を考慮した上で、防災効果を貨幣価値化する必要がある。そのため、防災効果を発揮するために必要な発現条件や効果の及ぶ時間的・空間的範囲が、一意に定めることができない機能については、具体的に貨幣価値化できないため、便益評価手法の構築が困難とし、検討対象外とした。

以上のことより、都市水路等の利用区分と各防災機能及び便益評価手法の構築の可否、便益評価手法について表-1に分類・整理した。

また、便益評価手法の構築が可能である機能については、貨幣価値化するための必要条件を整理し、表-2に示した。

表-1 都市水路等の果たす機能の区分

利用区分	機能	便益評価手法の構築	便益評価手法
水利用分野	消防水利機能	可能	延焼阻止により低減される被害額 ＝延焼阻止されない場合の建物被害額－延焼阻止される場合の建物被害額
	生活用水機能	可能	生活用水供給により低減される断水被害額 ＝生活用水が供給されない場合の断水被害額－生活用水が供給される場合の被害額
空間利用分野	下水道機能	困難	検討対象外
	避難支援機能	困難	検討対象外
	輸送機能	困難	検討対象外
	治水機能	可能	都市水路等の整備により低減される浸水被害額 ＝都市水路等の整備が無い場合の浸水被害額－都市水路等の整備をした場合の浸水被害額
	消融雪機能	可能	消融雪溝利用便益＝ 消融雪溝による消融雪処理量(m ³)×消融雪溝整備によらない場合の処理単価(運搬排雪等による処理単価)(円/m ³)

表-2 都市水路等の防災効果発現のための条件整理

機能	整備項目	発現条件	時間的範囲	空間的範囲
消防水利	・河床取水ピットの整備 ・低水路への堰板・堰柱の整備	・地震による上水道断水時 ・既存消防水利施設が不足する 消火困難地域	・上水道復旧までの期間 ・被災直後から2ヶ月半	ピットから80～120mの範囲
生活用水	・河床取水ピットの整備 ・低水路への堰板・堰柱の整備 ・都市水路等に親水空間の整備 ・河道外地面と河床の高低差の解消	・地震による上水道断水時 ・井戸、湧水等の他の水源が周辺にない場合 ・給水車等の給水量が生活用水の需要水量を下回る場合 ・上水道に有毒物質が混入し、上水供給停止の場合	・上水道復旧までの期間 ・被災直後から2ヶ月半	取水した水を運搬できる範囲 (約500m以内)
治水	・せせらぎ水路を雨水排水路として整備	・浸水シミュレーションによる浸水想定区域内の地域 ・過去に浸水実績がある地域 ・雨水排水能力が十分でない地域	・浸水シミュレーションによる浸水が想定される時間内	・浸水シミュレーションによる浸水が想定される区域内
消融雪	・都市水路を利用した消融雪溝の整備	・積雪時 ・運搬排雪に関する労力・コストの負担が著しい地域 ・雪捨て場の不足している地域	・積雪時	・都市水路等を利用した消融雪溝の近接区域

表-2 に示した消防水利、生活用水における時間的範囲の条件については、阪神淡路大震災時の実績値とした（「阪神淡路大震災誌-1995年兵庫県南部地震」朝日新聞社による）。また、消防水利における空間的範囲については、バケツリレー等のマンパワーが確保される範囲とした（「環境防災水理整備計画の水理別検討手順及び有効性の評価手法に関する研究」大窪健之他による）。

2.1 各防災機能における便益評価手法の整理

表-1 に示した各機能の便益評価手法について、表-2 の条件を考慮し、算出手法の考え方を以下に示す。

1) 消防水利機能

消防水利機能を備えた都市水路等とは、消防ポンプにより消火用水を取水できるように整備されたものである。そのため、取水ピットの整備が無かった場合と整備があった場合との被害差額を当機能における便益と見なすものとし、次式により算出する。

取水ピット整備に伴う延焼阻止により低減される被害額

= 延焼阻止されない場合の建物被害額 - 延焼阻止される場合の建物被害額 (式1)

ここで、延焼による建物被害額は、「火災報告取扱要領の全部改正について」（平成16年4月21日消防第100号）（以下、「火災報告取扱要領」という。）の方法により算出するものとする。

延焼による坪当たり建物被害額 = 再建築費単価 (3.3 m³当たりの単価) × 残存率 × 補正係数 (式2)

以上より、

取水ピット整備に伴う延焼阻止により低減される被害額

= { (延焼阻止されない場合の焼損面積 / 3.3 m³) - (延焼阻止された場合の焼損面積 / 3.3 m³) } × 延焼による坪当たり建物被害額

(式2)の各項については、以下のとおりとする。

- ・再建築費単価 = 建築時単価 × (罹災時の建築費指数 / 建築時の建築費指数) (式3)
- ・残存率・・・減価償却の方法により、経過年数に応じて減価を控除した残存価格又は損耗度による残存価格の割合。
- ・補正係数・・・建物の所存する都道府県毎に火災報告取扱要領が定める建築費半価の補正係数

(式3)の各項については、以下のとおりとする。

- ・建築時単価・・・火災報告取扱要領によると建物を建築したときの坪あたり単価として、建物の構造及び用途別に算定すべきとしているが、建物の実際の構造や仕上げなどの状況が明らかでない場合は算出できないため、本検討では、建築動態統計調査に基づく「建築統計年報」から建築単価を算出し、基礎データとして用いることとする。建築時単価は、1

年毎の単価であるため、対象とする地区の建築時期を区分した場合には、この時期区分で平均するなどの処理が必要となる。

- ・建築費指数は、建築時及び罹災時ともに火災報告取扱要領による。

2) 生活用水機能

生活用水機能を備えた都市水路等とは、被災者らが生活用水を容易に取水できるように整備されたものである。そのため、取水ピット等の整備が無かった場合と整備があった場合との被害額の差分を当機能における便益と見なすものとし、次式により算出する。

生活用水供給により低減される断水被害額

＝生活用水が供給されない場合の断水被害額－生活用水が供給される場合の被害額（式1）

ここで、

断水被害額＝被害額原単位（円／人・日）×区域内の被災人口×被害日数（式2）

断水被害額の算定については、「水道事業の費用対効果分析マニュアル」（平成19年7月厚生労働省健康局水道課）（以下、「水道マニュアル」という。）に基づくものとし、（式2）の各項については、以下のとおりとする。

- ・被害額原単位・・・水道マニュアルでは、平常時の用水として、一日一人あたり①炊事用水 20L、②洗濯用水 50L、③風呂用水 100L、④トイレ用水 80L の計 250L を使用すると想定しており、断水被害原単位を 7,000 円としている。ただし、本研究では、炊事用水以外の生活用水として、都市水路等の水を使用することを前提としているため、①を除いた②+③+④=230L を対象とし、5,000 円／人・日を断水被害原単位とする。
- ・区域内の被災人口・・・一つの取水ピットの担当する範囲（0.3～0.8k㎡）に居住する人口
- ・被害日数・・・60 日とする。阪神淡路大震災時の神戸市の事例より、上水道が復旧 90% を超えるまでに要した日数として設定。

3) 治水機能

都市水路等は、本来機能として雨水排水機能を有すると考えられる。そのため、治水機能に関する防災効果については、都市水路等の整備のうち、雨水排水機能を主目的として整備しないせせらぎ水路整備に関わるものとする。整備が無かった場合と整備があった場合との被害額の差分を当機能における便益とみなすものとし、次式により算出する。

都市水路等の整備により低減される浸水被害額

＝都市水路等の整備が無い場合の浸水被害額－都市水路等の整備をした場合の浸水被害額（式1）

ここで、

浸水被害額＝直接被害額＋間接被害額（式2）

浸水被害額の算定については、「下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）」（平成18年11月日本下水道協会）（以下、「下水道マニュアル」という。）に基づくものとし、（式2）の各項については、以下のとおり算出することとする。

直接被害額

＝[{一般資産額（家屋、家庭用品、事業所償却在庫資産、自動車資産、農漁業償却在庫資産）＋農産物の資産額} ×浸水深別の被害率]＋公共土木施設の被害額

間接被害額

＝営業停止損失＋家庭、事業所及び公的機関の応急対策費用＋交通途絶による波及効果＋精神的被害等

直接被害額及び間接被害額を算出する際に必要となる「浸水深別の被害率」については、下水道マニユア

ルに示す「床高の設定」で建築基準法との整合から床上浸水は浸水深 45cm 以上としていることから、床下浸水の浸水深として 45cm 未満としている。これにより、「都市水路等の整備をした場合の浸水被害額」は、床下浸水(45cm 未満)の場合の浸水深別被害率等を適用することとし、「都市水路等の整備が無い場合の浸水被害額」は、床上浸水(50cm)未満の場合の浸水深別被害率を適用することとした。

4) 消融雪機能

消融雪機能は、都市水路等の整備の際に、消融雪溝としての機能を有した場合、当機能における便益を、消融雪溝便益とみなし、これを次式により算出する。

消融雪溝利用便益

＝消融雪溝による消融雪処理量(m³)×消融雪溝整備によらない場合の処理単価(運搬排雪等による処理単価)(円/m³)

消融雪溝による消融雪処理量は、都市水路等の整備にあわせて整備される消融雪溝が処理する雪量とする。下水道マニュアルでは、年度別消融雪便益の算定の考え方が示されているが、本検討では、「年度別」ではなく、「消融雪溝の処理能力に応じた整備費用とその事業効果」として整理するものとした。これは、「年度別排雪量」とすると各年度の降雪に伴う全ての排雪量を消融雪溝で処理すると想定することになるためである。消融雪溝整備によらない場合の処理単価については、過去の運搬処理実績等から平均的な値を算定するものとする。

2.2 総便益算定手法について

総便益の算定については、下水道マニュアルに基づき、現在価値比較法により算出する。現在価値比較法における便益は、対象期間内における都市水路等における防災効果の年度別便益を算出し、現在価値に換算し合算することで算出する。

1) 都市水路等の整備に関する防災効果による総便益の算出項目

総便益の算出項目としては、前述の 2.1 で算出した項目とする。

2) 対象期間

事業着手時(整備完了時)から整備完了後 50 年目までの期間(下水道マニュアルによる。)

3) 基準年度

基準年度を明示する(原則として評価実施年度)こととし、異なる年度の価格はデフレーター等を参照に基準年度価格に補正を行うものとする。

4) 災害発生確率

対象とする地域の防災計画やハザードマップ等により、設定することとする。

5) 社会的割引率

下水道マニュアルに基づき、4.0%により現在価値化を行う。

6) 耐用年数

都市水路等はコンクリート構造物であることが多いためコンクリート構造物の耐用年数である 50 年と設定する。ただし、対象とする都市水路等の構造物の材質により、耐用年数は適宜設定する必要がある。

7) 総便益の考え方

総便益＝ Σ 年度別現在価値化便益(下水道マニュアルによる。)

3. 便益評価手法の適用性調査(ケーススタディ)

便益評価手法の適用性を調査するため、せせらぎ水路の整備事例をモデルケースとして設定し、ケーススタディを実施した。

3.1 条件設定

対象としたせせらぎ水路は、幅 1.5m、延長 490m、水深 5cm～10cm 程度であり、下水処理水が 1 日あたり 5,000 m³ 導水されていることを想定した。検討に必要なデータ（構造・用途別・建築時期別世帯数、事業所数等）は、実際にせせらぎ水路が整備されている地域の統計資料を採用した。検討をするにあたり整理した前提条件を表-3 に示す。

表-3 都市水路の防災効果の便益評価のケーススタディにおける前提条件の整理

項目	前提条件
消防水利機能	<ul style="list-style-type: none"> 対象とする地域はせせらぎ水路に取水ピットを整備した場合に、消防水利として利用できる空間を対象としている。 対象地区の延焼を阻止するに十分な数量の取水ピットが整備されている 延焼阻止された場合の建物被害額は0円としている。
生活用水機能	<ul style="list-style-type: none"> 対象とする地域は、せせらぎ水路から生活用水として利用できる空間を対象としている。 生活用水が供給されない場合の断水被害額は0円としている。
治水機能	<ul style="list-style-type: none"> 対象とする地域は、せせらぎ水路が治水機能を発揮することができる空間を対象としている。 せせらぎ水路整備前の浸水想定を対象地区全域で50cm未満の床上浸水としている。 せせらぎ水路整備後の浸水想定を対象地区全域で45cm未満の床下浸水としている。 地盤勾配を1/1000未満とする。 浸水被害額のうち、自動車資産、農漁業償却在庫資産、農産物の資産額、交通途絶による波及効果を算出対象外とする。 浸水による土砂堆積はないものとする。
消融雪機能	<ul style="list-style-type: none"> 対象とする地域において、毎年降雪のある他市の雪対策事業計画関係資料及び雪対策事業予算データ等を利用し、検討する。 対象地区の排雪量の原単位は2,500m³/道路1kmとする。 対象地区の排雪量の合計は11,500m³とし、せせらぎ水路に十分な消融雪能力があるとして検討する。

3.2 調査結果

せせらぎ水路を整備したことによる各防災機能効果の便益、基準年度補正後便益及び災害発生確率を表-4 のとおり整理した。基準年度は平成 19 年度とし、対象期間は基準年度から 50 年間とした。

表-4 モデル地域での都市水路の防災機能の便益評価の試算例（基準年度：平成 19 年度）（単位：千円）

便益区分	算出区分	補正前		基準年度補正後		災害発生確率の設定に基づく便益額 (年平均被害軽減期待額)		
		(各種マニュアル等による算出年度による)		H19年度				
1. 消防水利機能便益	建物被害額	H19年度		H19年度		約 1/50 (南海地震の今後50年間の発生確率80~90%より)		
		12,043,705		12,043,705		240,874		
2. 生活用水機能便益	断水被害額	H7年度		H19年度		約 1/50 (南海地震の今後50年間の発生確率80~90%より)		
		4,232,100		4,600,293		92,006		
3. 治水機能便益	浸水被害額	概ねH16年度		H19年度		1/100 (対象地域洪水ハザードマップの想定による)		
	(内訳)	床下浸水 (45cm未満)	床上浸水 (50cm未満)	床下浸水 (45cm未満)	床上浸水 (50cm未満)			
	直接被害額	一般資産被害額	家屋	428,976	1,233,307		432,110	1,242,315
			家庭用品	484,933	3,348,350		479,476	3,310,665
			事業所(償却資産)	742,521	1,740,048		613,240	1,437,088
			事業所(在庫資産)	340,703	778,749		310,402	709,490
		一般資産被害額(小計)	1,997,133	7,100,454	1,835,227		6,699,558	
	公共土木施設資産等被害額	1,487,864	5,289,839	1,367,244	4,991,171			
	直接被害額(小計)	3,484,997	12,390,293	3,202,471	11,690,729			
	間接被害額	営業停止損失額	427,915	627,609	427,915		627,609	
		家庭における応急対策費用	清掃労働対価	63,569	119,192		67,833	127,187
			代替活動に伴う支出増加費用 ※5	127,628	228,337		138,731	248,203
		事業所における応急対策費用	13,630	26,825	14,816		29,159	
		公的機関における応急対策費用	1,123	1,123	1,123		1,123	
精神的被害額		330,400	2,643,200	330,400	2,643,200			
間接被害額(小計)	964,265	3,646,286	980,818	3,676,481				
浸水被害額[直接被害額+間接被害額](合計)	4,449,262	16,036,579	4,183,289	15,367,209				
治水機能便益額(②-①)		11,587,317		11,183,921	111,839			
4. 消融雪機能便益	消融雪溝利用便益	H19年度		H19年度		50/50 (毎年積雪による排雪需要があるとして)		
		6,049		6,049		6,049		
便益計(基準年補正後の1+2+3+4)				27,833,966		450,768		

基準年度を平成 19 年度としたため、各防災機能便益については、以下のとおり、補正を行っている。

- ・消防水利機能について、平成 19 年度の建築費指数等の値を用いたため補正を行わなかった。

- ・生活用水機能について、断水被害の原単位として5,000円/人・日を用いている。この値は水道マニュアルの手法に基づくが、当該手法は平成7年度の原単位額として判読できるため、国交省河川局（2009）の「総合物価指数」を用いて補正を行った。
- ・治水機能について、下水道マニュアルに基づき浸水被害額の各項目を算出したが、下水道マニュアルでは、平成16年度の原単位額を用いているため、国交省河川局「総合物価指数」により補正を行った。
- ・治水機能について、公共土木施設資産等被害額については、補正を行わなかった。
- ・治水機能について、精神的被害額については、下水道マニュアルに算出年次が記されていないことより、補正を行わなかった。

表-4の単年度便益から求められた対象期間における総便益の算出例を表-5に示す。

表-5 モデル地域での都市水路の防災機能の総便益の算出例（単位：千円）

年度	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
対象年次	基準年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
割引率(4.0%)	1.000	0.962	0.925	0.889	0.855	0.822	0.790	0.760	0.731	0.703	0.676	0.650	0.625
消防水利機能便益(1/50)	240,874	231,610	222,702	214,136	205,900	197,981	190,366	183,044	176,004	169,235	162,726	156,467	150,449
生活用水機能便益(1/50)	92,006	88,467	85,065	81,793	78,647	75,622	72,714	69,917	67,228	64,642	62,156	59,765	57,467
治水機能便益(1/100)	111,839	107,538	103,401	99,424	95,600	91,924	88,388	84,988	81,720	78,577	75,554	72,648	69,854
消融雪機能便益(50/50)	6,049	5,816	5,593	5,378	5,171	4,972	4,781	4,597	4,420	4,250	4,086	3,929	3,778
年度別便益計	450,768	433,431	416,760	400,731	385,318	370,498	356,248	342,547	329,372	316,704	304,523	292,810	281,548
年度	H32	H33	H34	H35	H36	H37	H38	H39	H40	H41	H42	H43	H44
対象年次	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
割引率(4.0%)	0.601	0.577	0.555	0.534	0.513	0.494	0.475	0.456	0.439	0.422	0.406	0.390	0.375
消防水利機能便益(1/50)	144,663	139,099	133,749	128,605	123,658	118,902	114,329	109,932	105,704	101,638	97,729	93,970	90,356
生活用水機能便益(1/50)	55,256	53,131	51,088	49,123	47,233	45,417	43,670	41,990	40,375	38,822	37,329	35,894	34,513
治水機能便益(1/100)	67,168	64,584	62,100	59,712	57,415	55,207	53,084	51,042	49,079	47,191	45,376	43,631	41,953
消融雪機能便益(50/50)	3,633	3,493	3,359	3,230	3,105	2,986	2,871	2,761	2,655	2,552	2,454	2,360	2,269
年度別便益計	270,720	260,307	250,295	240,669	231,412	222,512	213,954	205,725	197,812	190,204	182,888	175,854	169,091
年度	H45	H46	H47	H48	H49	H50	H51	H52	H53	H54	H55	H56	H57
対象年次	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
割引率(4.0%)	0.361	0.347	0.333	0.321	0.308	0.296	0.285	0.274	0.264	0.253	0.244	0.234	0.225
消防水利機能便益(1/50)	86,881	83,539	80,326	77,237	74,266	71,410	68,663	66,022	63,483	61,041	58,693	56,436	54,265
生活用水機能便益(1/50)	33,186	31,909	30,682	29,502	28,367	27,276	26,227	25,218	24,248	23,316	22,419	21,557	20,728
治水機能便益(1/100)	40,339	38,788	37,296	35,861	34,482	33,156	31,881	30,654	29,475	28,342	27,252	26,204	25,196
消融雪機能便益(50/50)	2,182	2,098	2,017	1,940	1,865	1,793	1,724	1,658	1,594	1,533	1,474	1,417	1,363
年度別便益計	162,587	156,334	150,321	144,539	138,980	133,635	128,495	123,553	118,801	114,232	109,838	105,614	101,551
年度	H58	H59	H60	H61	H62	H63	H64	H65	H66	H67	H68	H69	総便益
対象年次	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
割引率(4.0%)	0.217	0.208	0.200	0.193	0.185	0.178	0.171	0.165	0.158	0.152	0.146	0.141	
消防水利機能便益(1/50)	52,178	50,171	48,242	46,386	44,602	42,887	41,237	39,651	38,126	36,660	35,250	33,894	5,415.374
生活用水機能便益(1/50)	19,930	19,164	18,427	17,718	17,037	16,381	15,751	15,145	14,563	14,003	13,464	12,946	2,068.496
治水機能便益(1/100)	24,227	23,295	22,399	21,537	20,709	19,913	19,147	18,410	17,702	17,021	16,367	15,737	2,514.385
消融雪機能便益(50/50)	1,310	1,260	1,211	1,165	1,120	1,077	1,036	996	957	921	885	851	135.995
年度別便益計	97,646	93,890	90,279	86,807	83,468	80,258	77,171	74,203	71,349	68,605	65,966	63,429	10,134.249

このケーススタディにおける都市水路等の防災効果の便益評価結果としては、消防水利機能>治水機能>生活用水機能>消融雪機能の順となった。消防水利機能については、原単位が大きいことに加えて、都市水路等を整備した場合の延焼による被害額を0円としていることもあり、他機能に比べ高い便益が算出されたものとする。

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の構築による、災害時の防災機能、ヒートアイランド現象の緩和、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た。本稿では、都市水路等の整備による災害時の防災機能の向上効果の便益評価手法を構築し、ケーススタディにより便益評価の試算結果を報じた。

平成18年度からの3ヶ年の研究により、都市水路等の整備によって得られる多面的な便益のうち、生態系の保全、親水性の確保、景観の確保、交流機会の提供、災害時の防災機能の向上効果に関して便益評価手法を検討し、適用性を調査した。都市水路等における水循環健全化施策として、下水処理水を利用したせせらぎ水路の整備が考えられるが、本研究で検討した便益評価手法は、整備検討のための一助になるものと考えられる。本研究は、試験研究費で実施されたものである。

3. 下水道による微生物リスク低減の評価に関する研究

下水道処理研究室 室長 南山 瑞彦
主任研究官 小越眞佐司
研究官 桜井 健介
研究官 藤原 隆司
交流研究員 小宮 義人

1. はじめに

下水道整備効果の定量的な評価は、現在、「下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）」によって行われているが、健康被害削減効果は評価されていない。本研究は、下水道整備の重要な目的である微生物による健康被害（以下、感染リスクという）削減について、その効果の定量的評価方法を提案し、下水道整備効果に感染リスク削減効果を反映させることを目的にしている。平成20年度は本研究の初年度にあたり、下水処理過程や放流先における健康関連微生物の実態に関する調査を行った。また、これら健康関連微生物による感染リスクの評価方法に関する資料調査を行った。

2. 研究の内容

2. 1 下水処理施設における病原微生物の実態

下水道が整備されていない地域では、排泄物は便槽に貯留され、汚水の浸透による地下水汚染やハエ等の衛生害虫発生によって、病原微生物が媒介され感染症が流行する危険性がある。下水道は糞便と雑排水を混合して排除するシステムであるため、下水には胃腸炎を初めとする水系感染症の病原微生物が含まれており、遮水過程においてその地下浸透や衛生害虫・獣の発生による病原微生物媒介の危険性を有している。また、下水処理場に到着してからも処理を受けるまでの過程では、同様の危険性が残る。処理によって下水中の汚濁と共に病原微生物等が除去されて減少し、更に消毒過程で減少するため、放流水では病原微生物による感染リスクは相当減少する。

感染リスクの原因である下水道管渠内に流入する病原微生物の量は、感染リスクを左右する重要な要因の一つであり、遮集区域内の感染者率に比例すると考えられる。主要な感染症の感染者率は、厚生労働省が医療機関等からの報告に基づく推計（サーベイランス）を実施しており、病原微生物検出情報として公開されている。

原因微生物が下水に排出されると考えられる感染性胃腸炎（主要な原因微生物はノロウイルス、ロタウイルスおよびアデノウイルス等のウイルス）や食中毒（主要な微生物はサルモネラ、カンピロバクター、およびビブリオ等の細菌）は、感染者率が高く下水中の原因微生物濃度も高いと推定され、リスク評価の検討対象として適している。中でもノロウイルスは人にしか感染しないという特徴があり、指標としても優れている。そこでノロウイルスを原因微生物とした場合、下水処理場への流入の実態と感染者率との関係、下水処理による除去効果について検討した。

2. 1. 1 下水処理場への流入量と感染者率の関係

下水処理施設Aの流入水中のノロウイルス濃度が、サーベイランスから推定される処理区域内の感染性胃腸炎患者報告数とどの様な関係があるか平成20年5月～12月のデータに基づいて検討した。

ノロウイルスは感染後2日程度で発症し、症状が収まってからも数週～1ヶ月程度は患者の糞便中にウイルスの排出が続くことが知られている。一方、感染症サーベイランスのデータは週単位の新規患

者数に関する情報である。したがって、実際に下水中にノロウイルスを排出している者の数は、分析試料を採取した日が所属する週に発生した患者数とは一致せず、数週間前まで遡って合算した患者数に近いと考えられる。

実際に、試料採取日を含む週、その前の週、その2週前、その3週前、その4週前までのサーベイランスデータ合算値と採取試料中のウイルス量の関係を調べたところ、前週<2週前まで<3週前までと、順次、相関性が高くなることが判明した。そこで、前週~2週前までのサーベイランスデータの合計値と流入下水中のノロウイルス濃度分析値との関係を平成20年5月~12月のデータで検討した結果、図-1に示すように両者の間には両対数紙上で直線的な関係が認められた。

この結果は、下水中に流入する病原微生物の濃度が、その微生物の患者数の情報と、その微生物の排出特性（感染後糞便中に排出され続ける期間や量および下水中での減少特性）から推定可能であることを示すものと考えられる。また、逆に、下水中の病原微生物濃度から、その流行状況を推測することも可能であると考えられた。

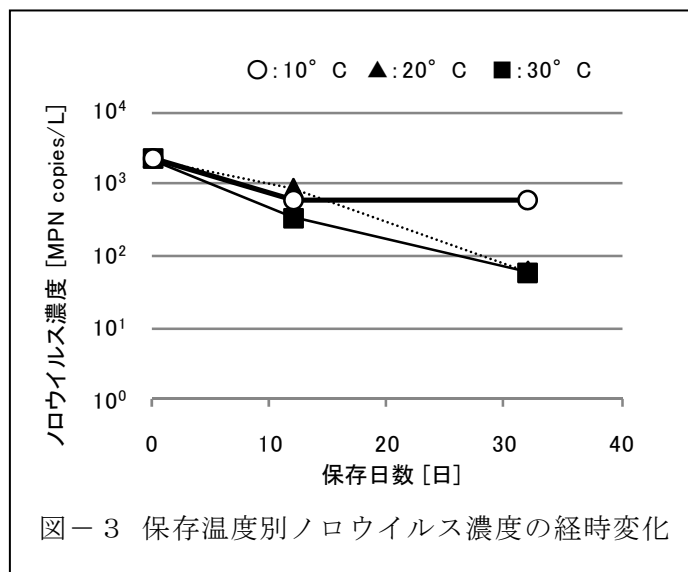
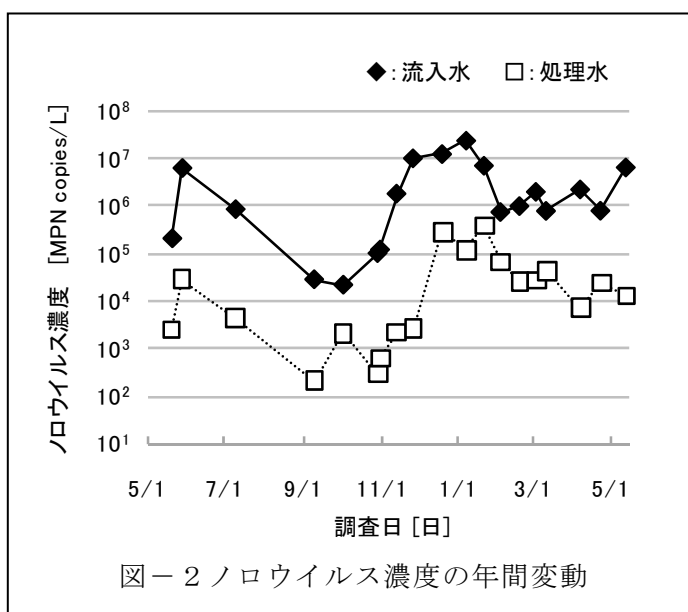
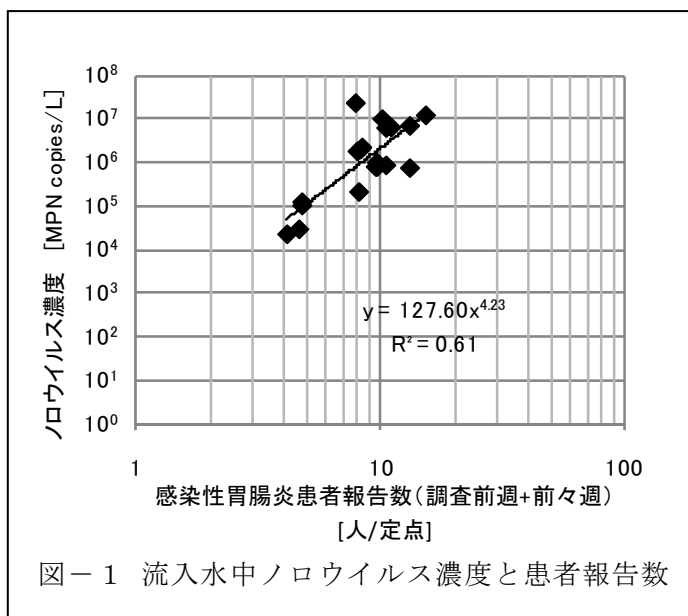
2. 1. 2 下水処理による除去効果

下水処理施設Aの流入水を原水として活性汚泥処理実験装置によりやや長時間の好気性活性汚泥処理を行い、処理水中のノロウイルス濃度を測定して、その除去性能を検討した。

結果は図-2に示す通りで、処理水のノロウイルス濃度は季節や流入ウイルス濃度の大小に関わらず流入水濃度の $10^{-1} \sim 10^{-2}$ であった。したがって、活性汚泥処理では一定の除去率で除去されるものと考えられる。このことは、ノロウイルスの流入濃度が高いときは処理水にも高濃度のノロウイルスが含まれた状態で放流されることを示している。

2. 1. 3 放流先河川における消長

下水処理によって除去されなかったノロウイルスは河川等の環境水中に入り、希釈等によって次第に濃度が低下して行くと考えられ



る。ノロウイルスの感染環は人の糞便と水系を介した二枚貝との間の食物連鎖で構成されると考えられており、ノロウイルスの環境水中での不活化特性については知見がほとんど無い。当研究室で行った冬季の小河川における調査結果では、6km程度の流下に伴うウイルス濃度の減少は認められなかった。そこで、下水処理水を温度の異なる暗条件下に放置し、より長時間の経過に伴いウイルス濃度が減少するか、検討を行った。結果は図-3に示す通りで、ウイルス濃度は経過日数と共に減少するが、その速度は温度によって異なり、10℃ではほとんど減少しないことがわかった。このことから、ノロウイルスの流行が冬季に多い理由の一つとして、河川等の水温低下により、海域に到達するウイルス量が増加することが考えられる。

2. 2 リスク評価に関する課題の整理

リスク評価は、リスクの原因を確認し、原因が人に影響を及ぼす定量的な関係（用量反応モデル）を知った上で、人がリスクに曝されるある状況（シナリオ）に対して、リスク原因に暴露される程度（用量）とその結果生じるリスク（反応～本報告では感染確率）の大きさを推定して行われる。下水道による感染リスク削減の評価にあたって検討が必要な主な事項は、シナリオ以降の部分である。なお、リスク評価では、患者との接触等による二次感染については考慮せず、別途扱いとなる。

2. 2. 1 遮集過程

下水道には処理区域内に住む感染者糞便中の病原微生物が含まれている。下水道管渠からの漏出は管渠周囲土壌を汚染し、やがて地下水汚染につながる可能性がある。下水道管渠の破損は施工不良や経年劣化によってある程度発生することが判明しており、この様な汚染に伴うリスクを否定することはできない。破損箇所の地質的条件や飲料用地下水源との位置関係と、土壌中での病原微生物の消長とを併せて、リスクを推定することができると考えられる。土壌中での病原微生物の消長に関する知見については今後の検討課題である。

2. 2. 2 放流先水域

下水処理水と共に環境水中に放出された病原微生物は、環境水に人が暴露されるか、環境水中の魚介類中に取り込まれ、これらを摂取したり、これらを調理する過程で汚染された他の食品を摂取することによって、感染するリスクを生じる。環境水中での病原微生物の消長と、環境水中の病原微生物量と魚介類汚染の定量的関係などから、下水処理水の放流によるリスクを推定することができると考えられる。なお、本研究において汚染魚介類の摂取に伴うリスクについての検討は行わない。

1) 環境水中の病原微生物の消長

河川、湖沼、海域等において病原微生物は浮遊を続ける場合と底質に移行する場合に分かれ、各々の場合についての消長を検討し、人が暴露される可能性がある部分の病原微生物濃度を推定する必要がある。

2. 1. 3で示した通り、下水処理水中のノロウイルス濃度は水温によって経過時間に伴う減少傾向が異なることがわかったので、環境水中での消長検討の場合、滞留時間の他に水温の影響を検討する必要があると考えられる。その他、太陽光の照射や塩分濃度なども影響すると考えられており、影響の程度について検討を行う必要があると考えられる。また、河川等の底質のうち、病原微生物供給量が多いと考えられる場所の底質からは高濃度で検出されたとの報告¹⁾があることから、底質中への移行や底質中での消長および底質の巻き上げ等に伴い再び環境水中に移行する現象について情報を収集し、底質から環境水への影響や底質に暴露される場合のリスクなどを考慮する必要があると考えられる。

2) 環境水との接触

人と環境水との接触のシナリオは多数考えられ、各々について、摂取水量と接触頻度から病原微生物

物接種量を推定することになる。環境水中の病原微生物濃度の分布と摂取シナリオで仮定する1回あたりの摂取量の分布を考慮し、また、シナリオにおける暴露頻度の分布を考慮して、ある期間の用量分布が推定される。次に、用量反応モデルによりリスク分布が推定され、ある摂取シナリオにおけるある期間のリスクが推定されることになる。

推定にあたっては病原微生物量が離散的変量であることに留意し、分布のある事象を模擬的に再現するため、モンテカルロ法による多数回の試行を行って推定の信頼性を高めることが行われる。

2. 2. 3 処理水再利用での例

処理水再利用では下水処理とその後の再生処理過程で除去されなかった病原微生物によるリスクを検討することになる。「ウイルスの安全性からみた下水処理水の再生処理法検討マニュアル（案）」（平成13年7月高度処理会議）や「下水道におけるクリプトスポリジウム検討委員会最終報告」（平成12年3月（社）日本下水道協会）には、再利用に伴うリスク推定の方法が示されており、2. 2. 2の2）で述べたような考え方に類似した方法で、表-1に例示するような再利用の用途別の暴露シナリオに基づく推定例が示されている。リスク評価の正確さを求める上では、摂取量の分布や暴露頻度の分布についても検討が必要であると考えられる。

表-1 再生水等による暴露シナリオの例

ウイルスの安全性からみた下水処理水の再生処理法検討マニュアル（案）の例

再生水の用途	摂取形態	一回当たり摂取量(ml)	年間摂取回数
親水（非制限的）	水遊びにおける誤飲	30	8
親水（手足接触）	手に付着した水を摂取	0.3	20
滝・噴水（接近可）	ミストの吸い込み	1	10
滝・噴水（接近不可）	可能性低い	—	—
釣り堀	手に付着した水を摂取	0.2	20
芝生散水	手に付着した水を摂取	0.1	20
トイレの水洗	しぶきが口に入る	0.02	3

下水道におけるクリプトスポリジウム検討委員会最終報告の例

再利用形態	被暴露者	暴露形態	接触頻度	摂取量(ml/d)
親水用水（公園）	公園利用者	水遊び	100日／年	10
修景用水（公園）	公園利用者	魚釣り	2日／週	1
水洗用水(オフィス)	勤労者	飛沫接触	5日／週	0.1
散水用水（公園）	公園利用者	芝生等での接触	60日／年	1

3. まとめ

ノロウイルスの実態調査を通じて、下水中には処理区域内の感染者数に相当する量の病原微生物が流入し、終末処理場で一定の除去が行われ、放流後も水温によって異なる速度で減少していることが推定された。環境水中の病原性微生物による感染リスクの評価には、病原微生物量の変動や環境中での消長の他に、環境水を人が摂取する可能性のある様々な状況を設定し、それらの状況で人が病原微生物を摂取する量を推定する必要があると考えられる。

参考文献

1) 東京都下水道局、雨天時放流水の公共用水域への影響と活性汚泥微生物群の解明等に関する研究、技術調査年報2006