

## 2. 水循環・物質循環変動による影響評価技術の開発に関する調査

下水道研究室 室長 藤生 和也  
 主任研究官 菅谷 悌治  
 主任研究官 那須 基  
 交流研究員 山田 和弘

### 1. はじめに

これからの我が国の国土づくりを進めていく上で、流域圏・都市を自然と共生したものとすることは重要な視点であり、とりわけ都市における健全な水循環を構築する取り組みが求められている。中でも、健全な水循環に重大な影響を与える合流式下水道の雨天時越流水については、お台場海浜公園（東京都港区）における白色固形物漂着の報道等を契機に対策推進の気運が高まり、平成 13 年 6 月には「合流式下水道改善対策検討委員会」が立ち上がり、平成 14 年 3 月には「合流式下水道の改善対策に関する調査報告書」として最終報告がとりまとめられたところである。

この中で、越流水の影響について放流先水域も含めて評価すべきとされ、当面の目標として「公衆衛生上の安全確保」が新たに加えられたが、どの吐き口において消毒を実施すべきか、越流回数をどの程度まで制御すべきか、といった点については、合流式下水道越流水と放流先水域の水質の関係について検討された事例や調査データがほとんどなく、具体的な議論が十分ではないのが現状である。

このような背景から、本調査では、放流先を含めた流域圏と都市を対象として、合流式下水道越流水の与える影響を評価するための手法を検討し、効率的な合流式下水道の改善の推進に資することを目的とし、本年度は、放流先の海域を含めたモデル流域において最も重要な負荷排出源となる合流式下水道排水区の放流先である河川における実態調査を実施するとともに、陸域から海域までの流出解析モデルについて検討した。

### 2. 実態調査

#### 2. 1 調査方法

対象河川における汚濁負荷量流出解析モデルの構築および妥当性の検証に資することを目的に、先の下水道流域における調査と合わせて対象河川における雨天時水質および水量の把握を行った。採水調査は地点ごとに晴天時 2 回、雨天時 2 回実施した。雨天時に各調査地点における水質の変化をとらえるため、対象河川 2 箇所（③、④）、下水道管渠 1 箇所（①）、浄化センター 1 箇所（②）で採水を行った。

水質分析項目は BOD、COD、SS、窒素（T-TN）、リン（T-TP）、大腸菌群数、ふん便性大腸菌群数の 7 項目である。図-1 に調査流域及び調査地点を示す。

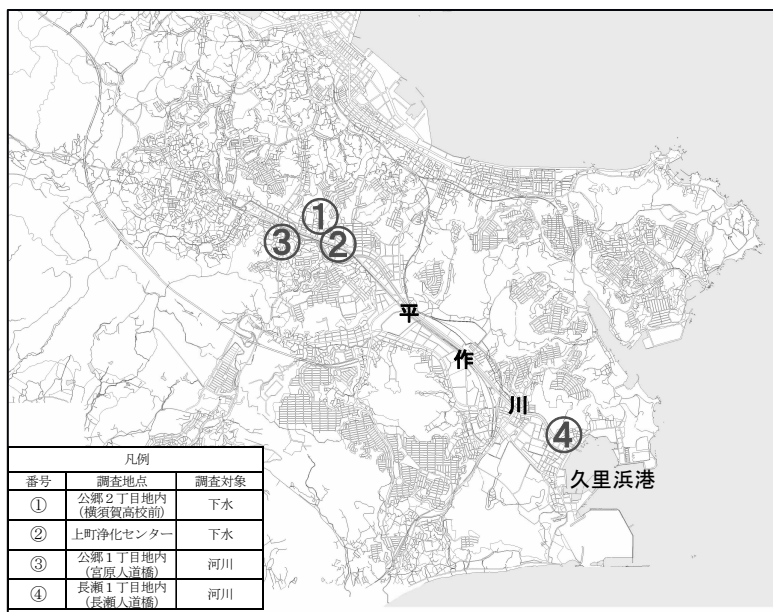


図-1 調査地点

#### 2. 2 汚濁負荷流出特性

## 1) 水質及び汚濁負荷量

図-2に降雨1（1回目の降雨）において観測した水質の一例（大腸菌群数）を示す。

下水管のNo.1地点で見た場合、ファーストフラッシュが認められ、No.1地点と近い河川No.3地点でもほぼ同時刻における負荷量の増加が認められる。

一方、感潮域で下流となるNo4地点では、負荷量のピークが、No3地点よりも2時間近く遅れており、ピークがシャープでないことがわかる。これはNo3地点より下流のほとんどが分流地区で、合流下水の影響が薄まっているためと考えられる。

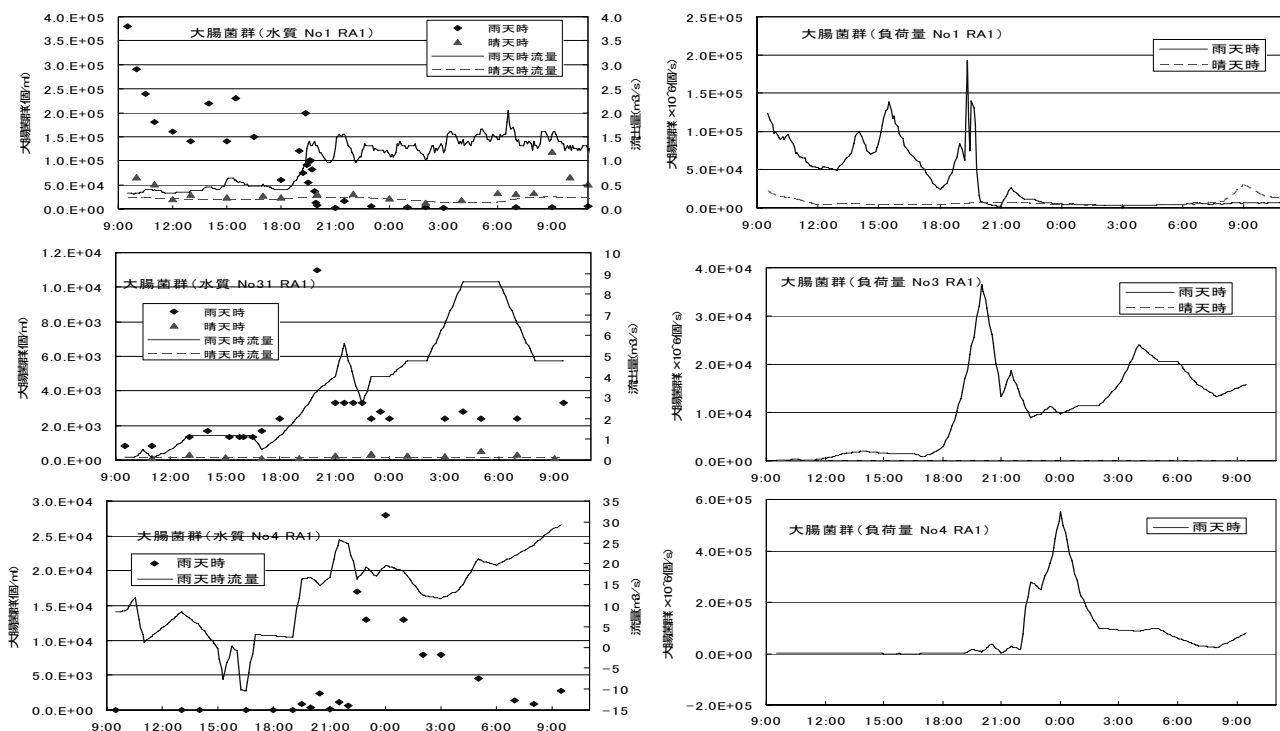


図-2 降雨1における観測水質（大腸菌群）

## 2) 平作川における負荷量収支

平作川へ放流される合流地区から流出する負荷量を、図-3に示すように仮定し、その負荷量の収支を検討した。なお、対象時間は上流(③)と下流(④)で2時間程の差があることから、この時間差を考慮することとした。

図-4, 5に合流区から流出した汚濁負荷の内訳を示す。

浄化センターにおける「雨水放流量」の影響が最も大きく、「上流河川水」、「合流吐口」、「簡易処理水」の順となったが、SSは、「上流河川水」の影響が最も大きく表れている。

また、「合流域から流出した汚濁負荷が河川下流の汚濁負荷に占める割合」をみると(図-5)、河川下流No4地点の負荷量のうち、6~8割が合流域からの流出分であるといえる(※「合流域から流出した負荷量>河川下流負荷量」となるため、SSは除外)。

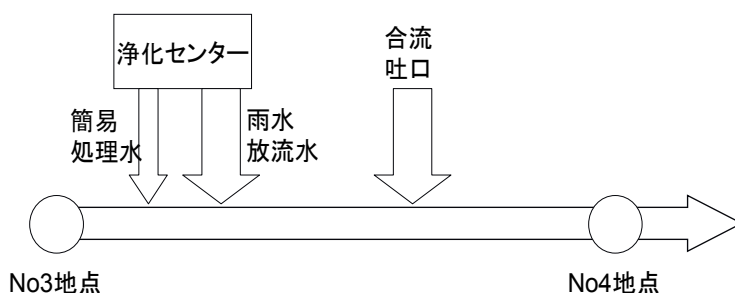


図-3 平作川への流出負荷量

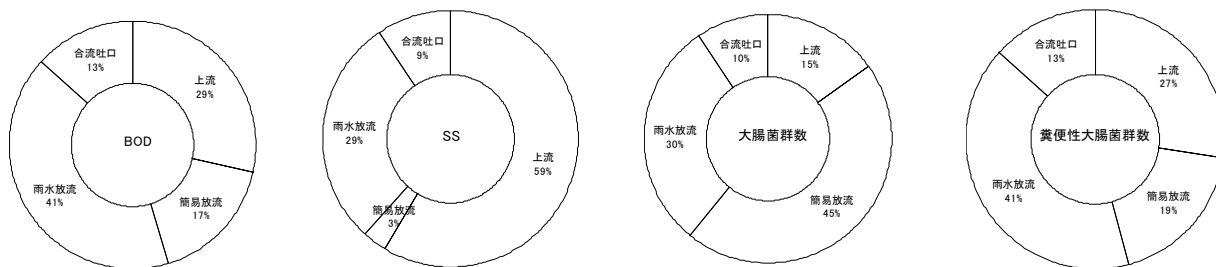


図-4 合流域からの流出負荷内訳（降雨1）

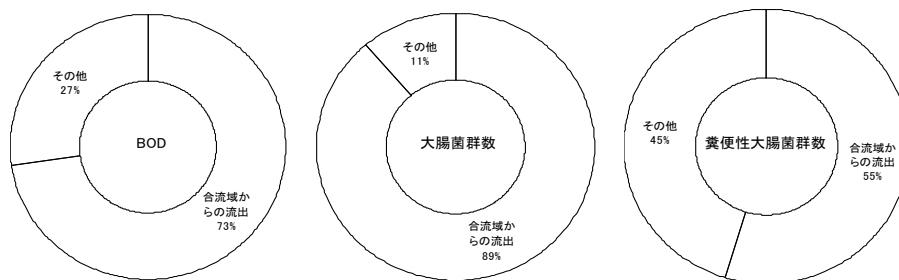


図-5 合流域からの流出が下流へ与える影響（降雨1）

なお、図-5で「その他」とは、合流域以外からの負荷供給源である「分流域雨水からの汚濁負荷」と「高級処理水の汚濁負荷」を示す。

### 3. 分布型汚濁負荷量解析モデルの構築

#### 3. 1 土研モデル（集中型）への適用

過年度の調査結果<sup>2)3)4)</sup>により大腸菌群数の「負荷量収支」および「流量相関とモデルの式形」の検討より、以下のことがいえる。

- ・ 大腸菌群の負荷収支バランスは、SSの負荷収支と類似しており、路面等から受ける供給負荷量は小さくないと考えられる。
- ・ 大腸菌群の流出負荷量は流量の2乗程度に比例すると判断できる（式1）。

$$L_{\text{Coli}} \propto Q^2 \dots\dots\dots \text{式-1}$$

これらのことから、大腸菌群数については、既存の土研モデル<sup>1)</sup>を適用することが可能と考えられる。

ここでは、大腸菌群数について土研モデルが適用できるものとし、シミュレーションを行った。

また、糞便性大腸菌群数については、データが不十分なため、「負荷量収支」および「流量相関とモデルの式形」で、明確な関係が得られていないが、大腸菌群数と同様に土研モデルの適用が可能なものとして仮定し、既存の土研モデル（集中型）でのシミュレーションを行った。

#### 3. 1. 1 晴天時シミュレーション（集中型）

過年度の検討より、大腸菌群の流出特性は路面等からの供給負荷量があり、流量の2乗に比例すると考えられる。

このことから、BOD、COD、SS等と同様に式4-1-5,6で表現できるものと仮定し、他の汚濁負荷と同様に、暫定指針<sup>1)</sup>に示されるパラメータ決定法で大腸菌群のシミュレーションを行った。また、糞便性大腸菌群についても大腸菌群と同様の方法でシミュレーションを行った。

晴天時シミュレーションの結果を図-6に示す。

図からも分かるように、従来からシミュレーションが確立されている BOD 等とほぼ同等の精度で、大腸菌群の晴天時における水質及び汚濁負荷の再現が可能となっていることが分かる。

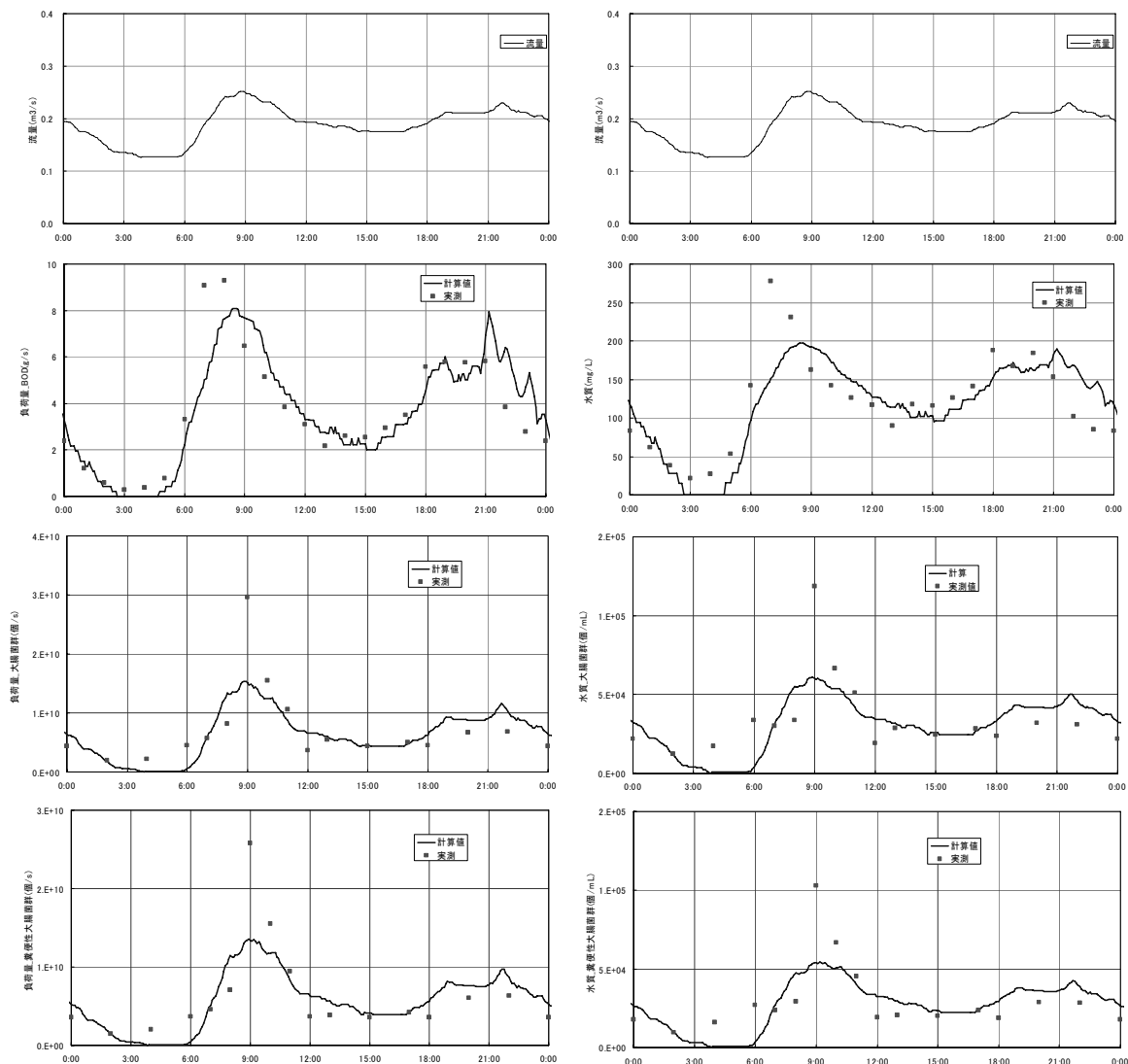


図-6 晴天時シミュレーション

### 3. 1. 2 雨天時シミュレーション (集中型)

晴天時シミュレーションと同様に暫定指針<sup>1)</sup>に示される方法でパラメータを決定し、大腸菌群および糞便性大腸菌群の雨天時シミュレーションを実施した。

雨天時シミュレーションの結果を図-7に示す。

その結果、図からも分かるように、従来からシミュレーションが確立されている BOD 等とほぼ同等の精度で、大腸菌群および糞便性大腸菌群の雨天時における水質及び汚濁負荷の再現が可能となっていることがわかる。

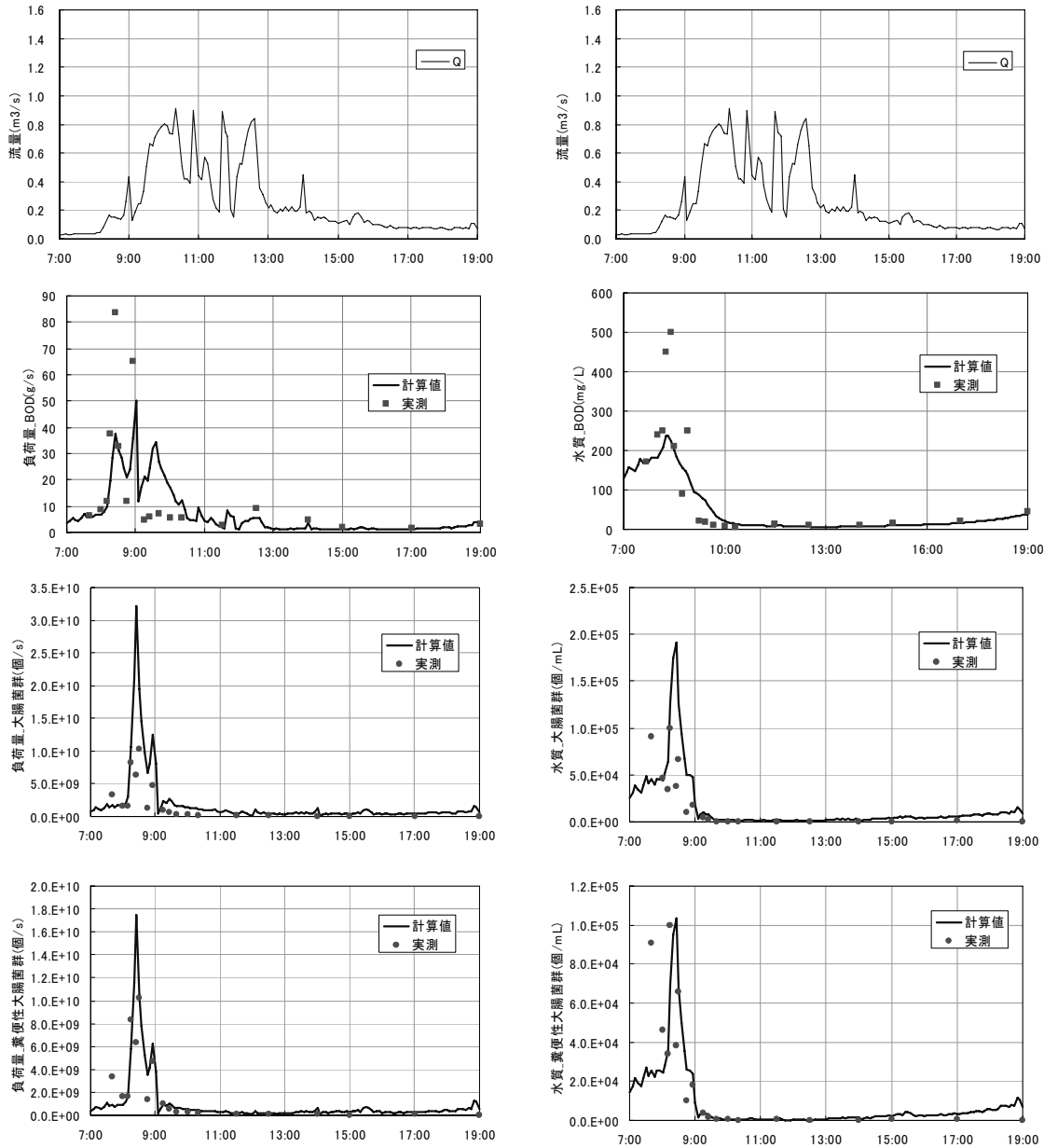


図-7 雨天時シミュレーション

### 3. 2 土研モデル(分布型)への適用

従来の集中型汚濁負荷モデル(土研モデル)でモデル化した大腸菌群および糞便性大腸菌群等の分布型汚濁負荷モデルへの適用性について検討を行った。

#### 3. 2. 1 分布型汚濁負荷モデルの概要

本検討で使用した分布型汚濁負荷モデルは、従来の土研モデルを拡張し、分布型としたものである。

モデルは、図-8に示すように「流域モデル」と「管路モデル」に分かれ、「流域モデル」は従来の土研モデル(集中型モデル、一部改良)を適用し、「管路モデル」は完全混合モデルを採用している。<sup>4)</sup>

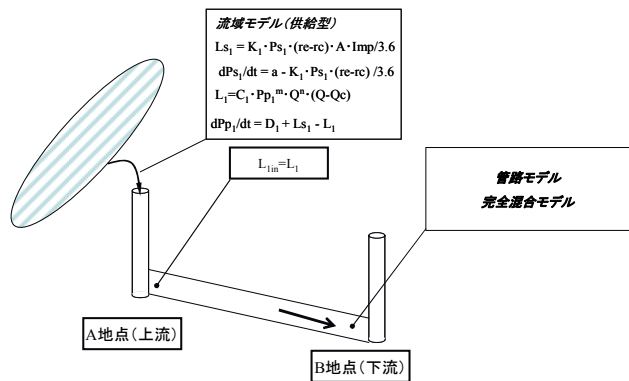


図-8 基本ユニット

### 3. 2. 2 河川における流出汚濁負荷の再現計算

分布型土研モデルを用いて汚濁負荷シミュレーションによる計算を行った結果を図-9に示す。

採水調査結果と比較して、シミュレーションによる計算結果は、水質および負荷量は概ね再現できているものと判断された。

このことから、分布型土研モデルを用いた汚濁負荷解析が可能であると考えられる。

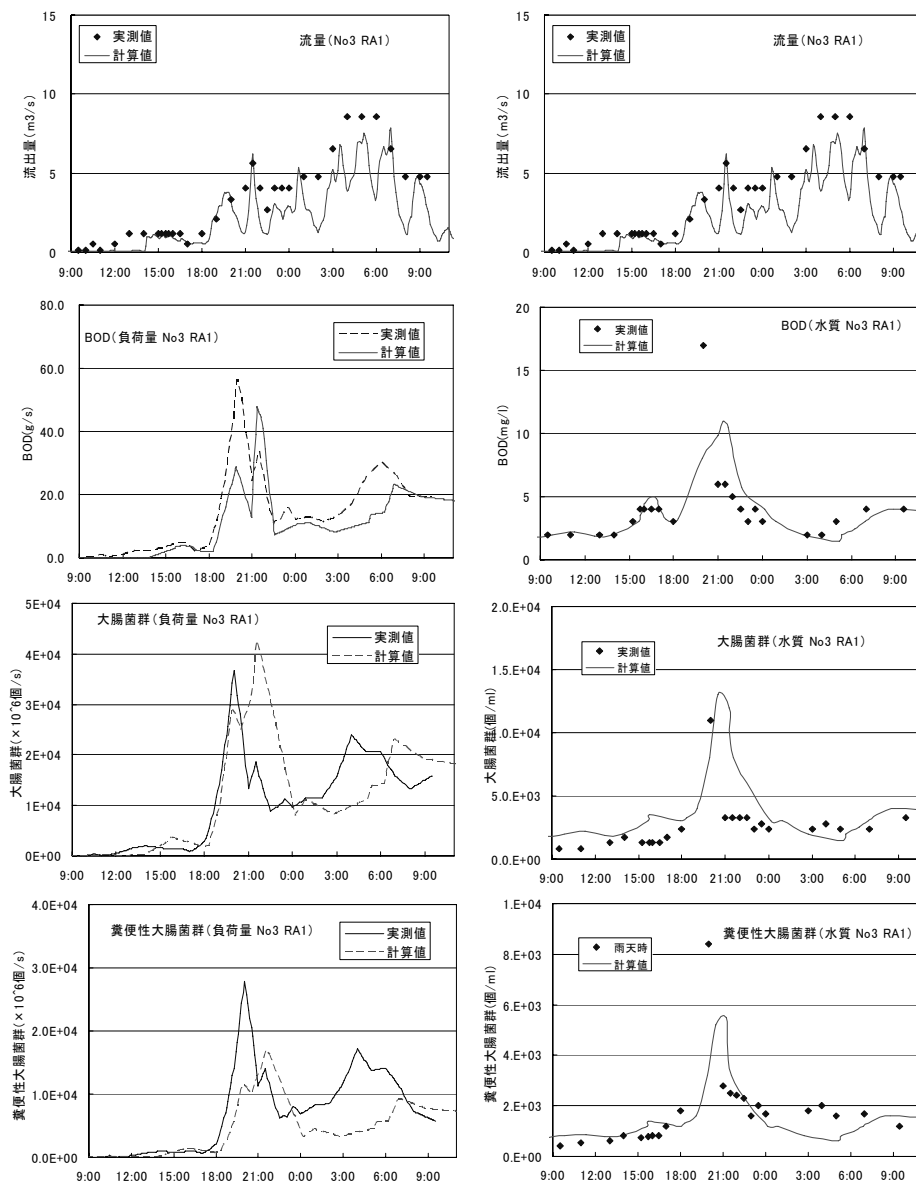


図-9

計算結果

## 4. 統合解析モデルによる流出汚濁負荷量の予測

### 4. 1 東京湾における雨天時の流出汚濁負荷量解析

東京湾周辺にある14の都市の内、分流式を採用しているのは千葉県浦安市、袖ヶ浦市の2都市のみであり、12の都市で合流式下水道が採用されている。

ここでは、東京湾周辺の合流域から流出する汚濁負荷は、横須賀市の合流域から流出する汚濁負荷量を計算し、これと同等の汚濁負荷が東京湾に流入するものとし、大腸菌群が流入したと仮定し解析を行った。

また、東京湾における流出汚濁負荷解析には、国土技術政策研究所河川環境研究室で検討の東京湾流動・水質モデルの移流拡散を使用した。なお、本解析では、移流拡散のみの計算とするため生態系モデルで用いる内部変化項（生産、分解、及び沈降に関わる項）を使用しないこととした。

表-1 海域移流拡散モデルの概要

モデルタイプ	平面2次元多層移流拡散
対象領域	東京湾（富津岬付近より北側）
空間分解能	水平方向：500m×500m正方形メッシュ

#### 4.2 計算対象降雨

流出量の違い及び流出のタイミングの違いによる移流拡散を比較するため、計算対象とする降雨は、A市における2003年1月1日から2003年1月

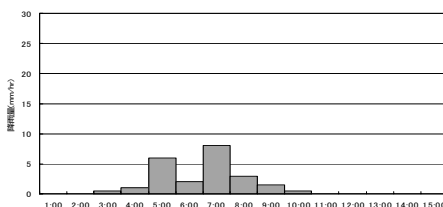


図-10 降雨1

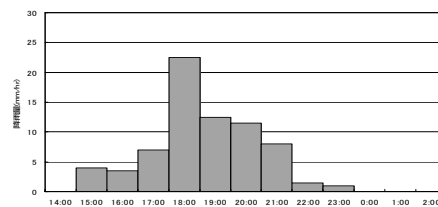


図-11 降雨2

31日までの降雨データを日降雨量として集計し、降雨全体の80%に相当する20~30mmの降雨より1降雨、降雨全体の95%に相当する80~70mmの降雨より1降雨、の大小2降雨を選定した（図-10, 11）。

#### 4.3 湾内の拡散

##### 4.3.1 東京湾内の移流拡散

東京湾内での移流拡散状況の一例を図-12に示す。降雨1の合流ケースでは、河口部や埋立地周辺の閉鎖的な水域では、沖合への拡散が弱く、比較的長い時間この水域にとどまっているが、開放的な水域では比較的速く拡散するという特徴がある。また、大潮日の合流と小潮日の合流で比較すると、前者の方が初期の拡散速度が大きい

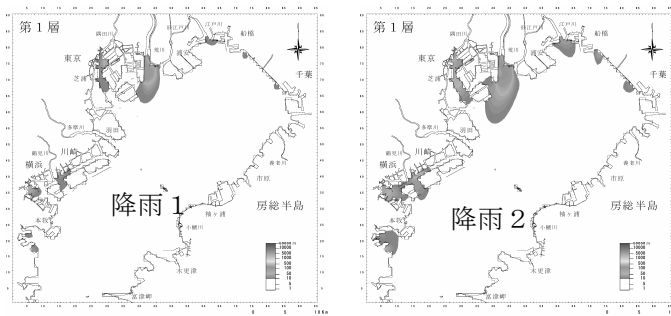


図-12 大腸菌群数計算結果（ピーク流量6時間後）

が、合流後約13日経過後（半月周期後）の拡散範囲は両者とも同程度であった。

なお、水浴に適応できる大腸菌群数は1,000MPN/100ml（10MPN/ml）であり、各ケースとも、例えば、いなげの浜や小櫃川河口付近等ではこの濃度に達する可能性は低いと予測できる。

##### 4.3.2 河口部（荒川、隅田川）での時系列変化

隅田川河口部、荒川河口部、東京湾3（三番瀬沖）及び東京湾5（いなげの浜沖）での大腸菌群数の時系列変化の1例を図-13に示す。

降雨1では、大腸菌群数は河口部付近において潮位拡幅に応じて徐々に減衰していく。また、東京湾3（三番瀬沖）や東京湾5（いな

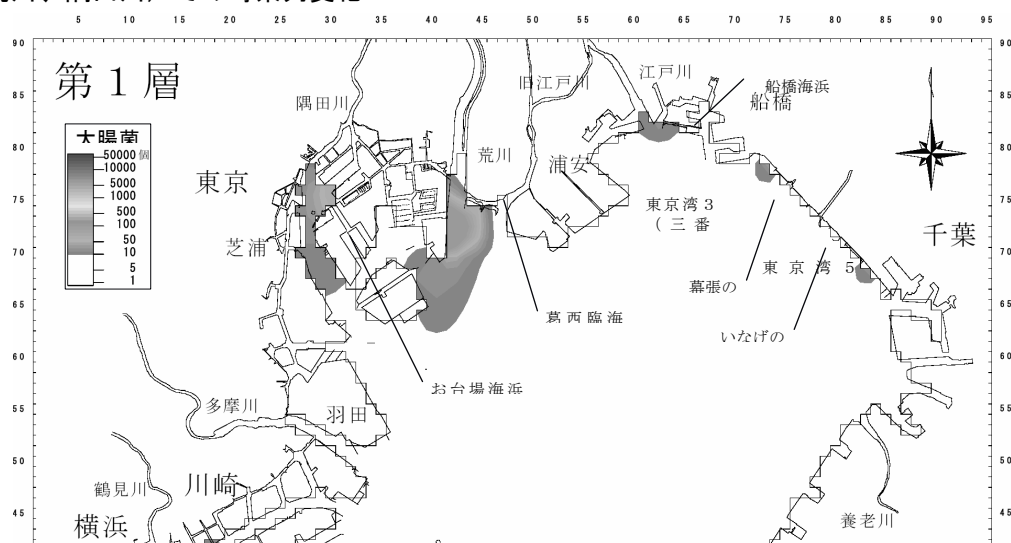


図-13 東京湾北岸における拡散領域（ピーク流量93時間後 降雨1）

げの浜沖) の地点までは流出水は到達していない。

## 5. まとめ

東京湾に面した合流式下水道の排水区を持つ河川流域において、晴天時及び雨天時にサンプリング、水質分析などのデータ実測作業を行った。また、それらの結果を基に、分布型土研モデルの適用性について検討を行うと共に、合流式下水道から東京湾に流入した汚濁負荷の拡散状況についてシミュレーションを行った。

その結果次のことがわかった。

- (1) 下水管からの雨天時流出負荷量においてファーストフラッシュが認められ、放流先に近い河川においてもほぼ同時刻における負荷量の増加が認められた。
- (2) 合流区から流出した汚濁負荷量の内訳は、浄化センターにおける「雨水放流量」の影響が最も大きく、次いで「上流河川水」、「合流吐口」、「簡易処理水」の順となったが、SSは、「上流河川水」の影響が最も大きく表れていた。
- (3) 「合流域から流出した汚濁負荷が河川下流の汚濁負荷に占める割合」をみると、河川下流地点の負荷量のうち、6～8割が合流域からの流出分であった。
- (4) 大腸菌群数についても、BOD、COD、SS、T-N、T-Pと同様に既存の土研モデル(集中型)を用いたシミュレーションの結果、ほぼ実測値を再現できることがわかった。

また、分布型土研モデルにおいても、既存の土研モデルと同様の再現性があることがわかった。

- (5) 東京湾に流入した合流式下水道からの汚濁負荷については、閉鎖的な水域では、沖合への拡散が弱く、比較的長い時間この水域にとどまっているが、開放的な水域では比較的速く拡散するという特徴があることがわかった。また、河口部付近においては、潮位拡幅に応じて徐々に減衰していくことがわかった。

今後の課題として、大腸菌群は微生物であるので消長を含めた検討を行い、モデルの構築を行う必要があると考える。

なお、本調査研究は、技術研究開発調査費により実施されたものである。

## 【参考文献】

- 1) (社)日本下水道協会 合流式下水道越流水対策と暫定指針—1982年版—,
- 2) 山田和弘、那須基、藤生和也：合流式下水道からの雨天時汚濁負荷流出現象の影響解析、第11回衛生工学シンポジウム論文集 北海道大学衛生工学会、P57～60
- 3) 山田和弘、那須基、藤生和也：合流式下水道からの汚濁負荷流出解析について、第41回下水道研究発表会講演集 平成16年度、(社)日本下水道協会、P324～326
- 4) 山田和弘、那須基、藤生和也：分布型汚濁負荷流出解析モデルについて、第39回日本水環境学会年会講演集 平成17年、(社)日本水環境学会、P295