

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21246084

研究課題名（和文）雨天時下水道由来の健康リスク因子の動態評価手法の開発

研究課題名（英文）Development of evaluation approach for behaviors of health risk factors derived from combined sewer overflow

研究代表者

古米 弘明（Hiroaki Furumai）

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：40173546

研究成果の概要（和文）：

合流式下水道雨天時越流水(CSO)由来の汚濁負荷が、都市沿岸域における雨天後の水質に及ぼす影響を定量評価し、お台場のような親水空間における健康リスク因子の動態評価手法の開発を試みた。多数の分布型雨水流出解析結果に基づき、降雨パターンの類型化によって CSO 発生を大まかに特徴づけることができた。また、ポンプ場や下水処理場からの汚濁負荷を降雨パターンごとに表現できるモデルを構築し、干満の影響を考慮した 3 次元流動・水質モデルによる大腸菌の挙動予測が可能となった。

研究成果の概要（英文）：

The objective of this study is to evaluate the effect of pollutant load derived from combined sewer overflow (CSO) on water quality in urban coastal area after rainfall event. Then, evaluation technique of health risk in water amenity area, such as Odaiba, was developed. Based on various results of urban runoff analysis, the CSO occurrence was characterized by categorized rainfall pattern. It is possible to predict the behavior of *E. coli* in Odaiba area by 3-dimensional water quality model in which the tidal effect and pollutant loads from pumping station and waste water treatment plant were considered.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	15,500,000	4,650,000	20,150,000
2010 年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2011 年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
年度			
年度			
総計	30,400,000	9,120,000	39,520,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：合流式下水道、雨天時越流水、受水域、健康リスク因子

1. 研究開始当初の背景

都市再生や都市環境インフラ再生の視点からも、大都市で整備されている合流式下水道システムが抱える問題点を解決することは非常に重要な課題である。

雨天時汚濁負荷流出を体系的に現場で調査している研究者グループは国際的にも限られている。特に、ファーストフラッシュに深く関連する管路内堆積物に着目して、有害化学物質とウイルスを含めた病原微生物の

両者を詳細に測定しているのは、皆無であると思われる。また、国総研や自治体が行っている CSO モニタリング調査は実務的で、測定項目は従来の基準項目である BOD、COD、SS、大腸菌群数などに限られている。下水管路内堆積物に関する研究については、英国の Ashley らのグループ、仏の Chebbo らのグループが有名であり、受水域での水質シミュレーションはデンマークの DHI のグループが有名である。しかしながら、彼らの研究は堆積物中の微量化学物質や病原微生物、さらには下水道からの雨天時流出ダイナミクスとは関連付けられていない。本研究は、都市感潮河川からの雨天時汚濁負荷量調査の実施、管路内堆積物を考慮した雨天時流出過程のモデル化、そして受水域における汚染物質の水質予測まで、総合的に結び付けているという点において極めて新しい視点を提供する研究である。

2. 研究の目的

合流式下水道雨天時越流水(CSO)起因の汚濁問題に対処するには、従来型の SS、BOD、T-N、T-P、大腸菌群のような水質指標だけでなく、未規制であるものの病原微生物として、ウイルス、腸内細菌による健康リスクを、ヒトへの曝露を含めて詳細に評価して、対象とする親水空間へ到達する主たる発生源・起源を明確にする必要がある。そこで、1) 雨天時後での受水域におけるウイルスを含む病原微生物の詳細な存在状態や経時的な変化を調査する。これらの成果から、2) お台場周辺に特化して3次元流動・水質モデル計算により雨天時汚濁現象を定量的に予測可能すること、3) 健康リスク因子の起源と寄与度を明らかにした上で、リスクの制御や管理のための手法を探索することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)雨天後のお台場周辺の水質調査および雨天時の神田川汚濁負荷量調査の実施

お台場を健康リスク影響地点と定め、その周辺に位置する下水処理場やポンプ所放流口からの影響を受ける沿岸域において、雨天後の水質調査を実施した。水質項目として、pH、電気伝導度、水温などは現地モニタリングデータとして入手する一方で、CODやN、Pなどの一般水質項目も測定する。特徴的な水質項目である健康関連微生物、亜鉛(水生生物保全の基準項目)を含めて重金属類は存在形態別に測定した。

CSOの影響を大きく受けている神田川、隅田川からの汚濁負荷がお台場付近の水質予

測には無視できないと考えられることから、雨天時の神田川において連続モニタリングを行った。

(2)越流水と環境水中の糞便汚染マーカー分析と起源解析

越流水および環境水の水質分析を実施する。TOC、N、Pなどの一般項目とともに、病原指標微生物などのウイルス、腸内細菌、大腸菌群、一般細菌を精緻に測定した。また、ウイルスや大腸菌などの微生物群集の検出手法や消長解析手法の改良を検討した。

(3)合流式下水道由来の雨天時汚濁流出の分布型モデル解析

解析対象をお台場周辺へ影響がある下水道区部とし、下水道台帳に基づいて分布型モデルソフトウェアに必要とされる管路データファイル作成を行った。流出解析の結果を用いて自然吐口を含めた CSO 流出量の評価を行い、(4)の外部入力条件としての精度を向上させた。

また、雨天時汚濁流出の定式化を試みた。ポンプ排水区ごとの CSO 負荷量の大小を大まかに識別するための類型化手法を検討した。

(4)お台場周辺域における水質予測シミュレーション

東京湾スケールの計算結果をネスティングして、親水空間であるお台場周辺域での水質数値解析方法を検討・実施した。なお、流動・密度場のアルゴリズムはすでに開発済みである。あくまでも、SSと大腸菌群、ウイルスという健康リスクを検討する上で重要な項目に特化して、水質予測手法を開発した。本格的な数値シミュレーションを実施により、健康リスク因子としての病原微生物の動態のためのモデル解析における課題抽出とともに、CSO対策シナリオを検討して、当該合流式下水道排水区を対象にした健康リスク因子制御および管理手法の提案を行う。

4. 研究成果

(1)健康リスク因子の受水域調査

①雨天後のお台場周辺の水質調査

お台場周辺海域における健康関連微生物を対象として、毎週1回の定期調査に加えて、2010年9月に発生した台風の前後に晴天時から雨天後の1時間間隔の連続調査を行った。このイベントでは大規模な雨天時越流が生じたことから、お台場湾内の大腸菌濃度は、晴天時に比べ2桁以上高い値を示した。雨天

後3日後には、大腸菌濃度はほぼ晴天時と同程度の濃度に低下することを確認した。

②雨天時の神田川汚濁負荷量調査

CSO 汚濁負荷の寄与が高いと推定される神田川において、1 か月間の連続モニタリングを行った。その結果、Zn、Cu、Pb は雨天後に河川水中濃度が数倍に増加する現象が確認された。

神田川からの汚濁負荷パターンを把握するため、神田川での晴天時、雨天時モニタリングを行った。汚濁負荷パターンを降雨特性から特徴づけるまでには至らなかったが、潮汐が大きく影響しており、汚濁水塊が河口部で往復移動していることが確認できた。

(2)病原指標微生物の検出手法の改善

病原指標微生物の検出手法の改善について、ウイルス定量時の阻害因子の評価を行った。ウイルス濃縮、RNA 抽出、Real-time RT-PCR の各ステップの阻害について、人工核酸を内部標準として用いるなどして解析した。河川水試料を 1,300 倍程度濃縮した場合、RNA 抽出及び Real-time RT-PCR に関わる深刻な検出阻害は見られなかった。一方でウイルス濃縮操作においては降雨後の高 SS 濃度試料中で顕著なウイルス濃縮回収率の低下が見られた。内部標準人工核酸などを用いることにより、偽陰性の試料の判別が可能となり、より正確な病原微生物のリスク評価が可能になると期待される。

(3)分布型モデルによる汚濁物質の流出ダイナミクスの検証

①自然吐口を考慮した CSO 流出

都区部にある 56 地点の雨量計データを活用して、排水区内の降雨の分布を考慮して雨水流出を行った。その結果、自然吐口からの越流量は、ポンプ場からの放流量と同程度であることを定量的に推定した(Fig. 1)。

また、すべての排水区に同一降雨条件を与えた解析結果から、単位面積当たりの自然吐口からの CSO 流出量(比 CSO 流出量)を算定した。その結果が排水区によって比 CSO 流出量は大きく異なり、石神井川流域が高い値を示すことが推測された。

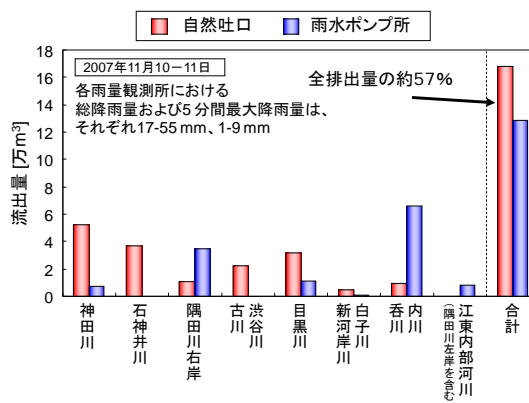


Fig. 1 実降雨データを用いた自然吐口及び雨水ポンプ所からの雨天時越流量の推定

②雨天時越流判定から見た降雨イベントの分類と特徴づけ

東京区部新河岸川排水区を例として、総降雨量、最大降雨強度、継続時間を属性として降雨パターンの分類を行った。さらに同じ降雨イベントに対して雨水流出解析を行い、CSO 流出量、流出箇所数、継続時間、降雨開示から CSO の発生までの時間を属性として CSO パターン分類を行った。2つの分類結果を類似度分析したところ、小降雨と豪雨の場合には高い類似性が見られた。また、CSO 発生が、降雨パターンのうち降雨強度がある限界値(3-4mm/hr程度)を超えると起こる箇所が大半を占めた。さらに降雨強度だけでなく、管路ネットワークの特徴をさらに考慮することで、CSO 発生を予測できる可能性が示された。

(4)病原微生物の3次元流動・水質モデルによる挙動評価

①CSO 負荷モデルの構築

お台場を含む東京湾奥沿岸部における3次元流動解析については、雨天時汚濁流入負荷項の検討に着手した。神田川と隅田川流域の雨天時越流水由来の汚濁負荷量を異なる降雨パターンごとに変更できるようにモデルを改良した。また、これらの基礎的な検討結果を踏まえ、ポンプ場からの汚濁負荷を降雨パターンごとに変更できるようにモデルも改良した。

過去の調査データを用いて、大腸菌濃度変化の再現性を確認した3次元流動・水質モデルを用いて、2010年9月の降雨イベントを対象に解析した。その結果、降雨後約20時間後より菌数が急激に増加し、1000 CFU/100mL(水浴場水質のふん便性大腸菌群数基準値)を超過すること、その後基準値を下回るためには約52時間の時間を必要とすることが推

定された。

②シナリオ解析

お台場周辺海域水質に及ぼす潮汐の影響を評価するため、雨天時越流水が生じる時刻を上げ潮と下げ潮に変更したシナリオ分析を行った。その結果、基準値まで増加する時間と菌数の最大値には大きな違いは見られなかったが、下げ潮時に雨天時越流水が生じると、汚濁水塊が湾奥部に長く滞留する傾向が強まり、結果として濃度低下により長い時間が必要であることが示唆された。

③隅田川からの流入負荷を考慮したシミュレーション解析範囲の拡張

今までの解析により、お台場水質に隅田川からの流入水量や負荷の影響が大きいことが示唆されたことから、流入河川汚濁負荷を降雨パターンごとに変更できるようなモデルに改良した(Fig. 2)。

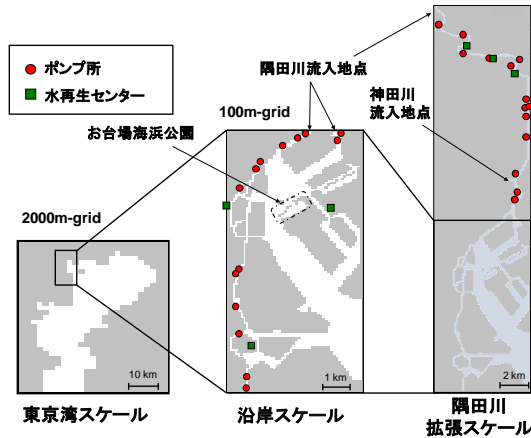


Fig. 2 隅田川を考慮したシミュレーション解析範囲

その結果、Fig. 3 のようにお台場スケールでは常時隅田川から負荷流入があったのに対して、隅田川拡張スケールでは、干満の影響を表現することが可能となった。

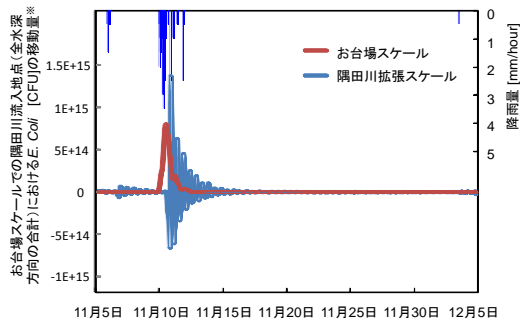


Fig. 3 お台場スケールにおける隅田川流入地点における大腸菌の移動量

(5)都市内親水空間利用の安全度評価とリスク低減対策の提案

3次元流動・水質モデル計算により沿岸親水空間での病原微生物汚染レベルを推定して安全度を評価することを試みたが、汚濁負荷流入量の設定により大きく影響があることから具体的な低減策の提案までにはいたらなかった。

(6)ワークショップ開催を通じた研究成果公表

2011年10月に東京で開催された第4回IWA-ASPIREの連携企画として、日韓特別ワークショップ「Impact Assessment and Control of Combined Sewer Overflow」を東京大学山上会館にて開催した。「合流改善対策とCSOの影響評価」と「CSOの制御技術と管理」の2つのテーマに対して実務者、研究者ら約50名が積極的な議論をした。成果として発表内容をまとめた冊子を印刷作成するとともに、会議ホームページに掲載している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 小島啓輔、春日郁朗、栗栖太、古米弘明、XAFS法及び逐次抽出法を用いた合流式下水道管渠内堆積物中の亜鉛の存在形態の推定、環境工学研究論文集、査読有、Vol.46、2009、187-195。
- ② K. Kojima, I. Kasuga, F. Kurisu, H. Furumai, Heavy metals speciation of size-fractionated sediments collected from combined sewer system using sequential extraction method, Water Practice & Technology, Vol.5, NO.3, 2010. DOI:10.2166/wpt.2010.057.
- ③ K. Kojima, M. Murakami, C. Yoshimizu, I. Tayasu, T. Nagata, H. Furumai, Evaluation of surface runoff and road dust as sources of nitrogen using nitrate isotopic composition, Chemosphere, Vol.84, 2011, 1716-1722. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.04.071
- ④ A. Hata, H. Katayama, M. Kitajima, C. Visvanathan, C. Nol, H. Furumai, Validation of internal controls for nucleic acid extraction and amplification of enteric viruses in water samples, Applied and Environmental Microbiology, Vol.77, 2011, 4336-4343. DOI: 10.1128/AEM.00077-11.

〔学会発表〕（計 25 件）

- ① 端昭彦、片山浩之、古米弘明、ウイルス濃縮過程における共存有機物の濃縮と核酸定量阻害、第 46 回日本水環境学会年会講演集、2012.3.14、東洋大学（東京都）
- ② Y. Yang and H. Furumai, Classification of CSO outlets based on overflow behavior under different rainfall conditions, Japan-Korea Special Workshop on Impact assessment and Control of Combined Sewer Overflow, 2011.10.2, 東京大学（東京都）
- ③ K. Kojima and H. Furumai, Estimation of Combined Sewer Overflow Volume from Outfall Chambers in Tokyo 23 wards, Japan-Korea Special Workshop on Impact assessment and Control of Combined Sewer Overflow, 2011.10.2, 東京大学（東京都）
- ④ K. Kojima, C. Gayle, H. Furumai, Scenario analysis of behavior of fecal bacteria indicator at different CSO occurrence times in coastal waters of Tokyo Bay by 3-dimensional simulation, 4th IWA-ASPIRE, 2011.10.2, 東京国際フォーラム（東京都）
- ⑤ J. Sangsanont, H. Katayama, H. Furumai, Analysis of capsid damage efficiency of enteric virus after low pressure and medium pressure UV disinfection by ethidium monoazide coupled with quantitative PCR method, 4th IWA-ASPIRE, 2011.10.2, 東京国際フォーラム（東京都）
- ⑥ K. Kojima, H. Furumai, A. Hata, I. Kasuga, F. Kurisu, and H. Katayama, Monitoring and numerical simulation of pathogenic pollution after CSO event in coastal waters of Tokyo Bay, 12nd International Conference on Urban Drainage, 2011.9.11, Porto Alegre (Brazil)
- ⑦ 小島啓輔、古米弘明、雨天時越流が想定される降雨群を対象とした有効降雨モデルパラメータの精緻化、第 48 回下水道研究発表会、2011.7.26、東京ビッグサイト（東京都）
- ⑧ 佐野翔一、小島啓輔、端昭彦、春日郁朗、古米弘明、神田川における重金属濃度変動に雨天時越流水が与える影響、第 47 回土木学会環境工学研究フォーラム、2010.9.8、高知大学（高知県）
- ⑨ 小島啓輔、春日郁朗、栗栖太、片山浩之、古米弘明、雨天時路面排水中における道路塵埃由来の重金属の溶出特性と存在形態評価、第 44 回日本水環境学会年会講演集、2010.3.17、福岡大学（福岡県）
- ⑩ 端昭彦、片山浩之、春日郁朗、古米弘明、内標準人工核酸を用いた水中ウイルス測定のための PCR 阻害検知手法の開発と適用、第 44 回日本水環境学会年会講演集、2010.3.17、福岡大学（福岡県）
- ⑪ 小島啓輔、春日郁朗、栗栖太、古米弘明、XAFS 法及び逐次抽出法を用いた合流式下水道管渠内堆積物中の亜鉛の存在形態の推定、第 46 回環境工学研究フォーラム 2009.11.27、新島学園短期大学（群馬県）
- ⑫ K. Kojima, I. Kasuga, F. Kurisu, and H. Furumai, Heavy metal speciation of size-fractionated sediments collected from combined sewer system using sequential extraction method, The 3rd IWA-ASPIRE conference, 2009.10.21, 台北国際コンベンションセンター（台湾）

〔その他〕

ホームページ等

http://www.recwet.t.u-tokyo.ac.jp/symposium/4th_IWA-ASPIRE%20_Conference.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古米弘明 (Hiroaki Furumai)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：4 0 1 7 3 5 4 6

(2) 研究分担者

片山浩之 (Hiroyuki Katayama)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：0 0 3 0 2 7 7 9

(3) 研究分担者

栗栖太 (Futoshi Kurisu)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：3 0 3 1 2 9 7 9

(4) 研究分担者

春日郁朗 (Ikuro Kasuga)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号：2 0 4 3 1 7 9 4

(5) 研究分担者

鯉渕幸生 (Yukio Koibuchi)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号：6 0 3 4 9 8 0 0

(6) 連携研究者

高田秀重 (Hideshige Takada)
東京農工大学・共生科学技術研究科・教授
研究者番号：7 0 1 8 7 9 7 0

(7) 連携研究者

二瓶泰雄 (Yasuo Nihei)
東京理科大学・理工学部・准教授
研究者番号：6 0 2 6 2 2 6 8