

下水サーベイランスで築く
安寧でレジリエントなスマートシティ
ービッグデータとデジタル技術等によるこれからの疾病 X 対策ー

京都ビッグデータ活用プラットフォーム
Disease X 感染症対策ワーキンググループ
(事務局：京都府)

令和6年10月

目 次

はじめに	1
1 下水サーベイランスとは	3
1.1 概要	3
1.2 特徴・活用方法	3
2 下水サーベイランスのデータ取得から感染規模の推定へ	6
2.1 下水サンプルの取得から分析まで	6
(1) 下水サンプルを取得する場所：下水道施設の構成に関する留意点	
(2) 下水サンプルの収集：下水の採水方法	
(3) 下水サンプルからのデータ取得：ウイルスの分析・RNA 濃度の取得	
2.2 分析結果から感染規模の推定、データの活用へ	8
(1) 異なる地域の下水サンプルから得られたウイルス RNA 濃度同士の比較	
(2) ウイルス RNA 濃度と新規陽性者数の相関性に関する留意点	
(3) 下水サーベイランス結果のわかりやすい情報発信	
3 京都府における取組事例	11
3.1 調査研究事業（令和 3 年度）	11
3.2 実証事業（令和 4 年度）	13
(1) 定量解析結果	
(2) 変異解析結果	
(3) 予測モデルの改良・妥当性検証結果	
3.3 ウイルス RNA 濃度データの補正・処理手法	17
4 今後の展開について	18
おわりに	19
◇参考資料	20

はじめに

令和 2 年 1 月に国内で初めて感染者が確認された新型コロナウイルス感染症の影響は、経済活動をはじめ、日常生活・働き方・教育から文化、医療・福祉、地域社会に至るまであらゆる分野に及びました。世界的にも「対策が存在しない『疾病 X』の脅威に人類はどう備えるべきなのか」という大きな課題が顕在化し、平成 30 年には、世界保健機関 (WHO) が、私たちがまだ知らない疾病を「Disease X (疾病 X)」として優先疾病ブループリントリスト (危険な病原体のリスト) に追加しました。

京都府においても、令和 2 年 1 月に最初の感染者が確認されて以降、徐々に感染が拡大し、令和 4 年 8 月には一日平均約 4,500 人もの新規陽性者が報告されました。世界各国が様々な対策を継続し、国内でも行動制限を含むそれまでにはなかった様々な対策が講じられたことにより、ようやく令和 5 年 5 月に新型コロナウイルスの感染症法上の位置付けが季節性インフルエンザ等と同じ 5 類となり、現在に至っています。

このような経過の中、令和 3 年 9 月に京都府の施策により運営している「京都ビッグデータ活用プラットフォーム」の活動として、AI 等のデジタル技術や計測分析、ものづくり関連技術などの知見を結集し、未知の感染症対策に寄与する研究等を行う「Disease X 感染症対策ワーキンググループ」を発足させ、感染症対策の DX を目指すこととなりました。

本書は、この Disease X 感染症対策ワーキンググループの活動において大変重要な役割を果たし、地域の感染状況把握や特定施設での感染者の有無を探知する新たなツールとして有効な「下水サーベイランス (下水中のウイルスを検出・分析することで、感染症に関する情報を得ること)」について、京都府内での実証実験の経験等をもとに概要をまとめたものです。

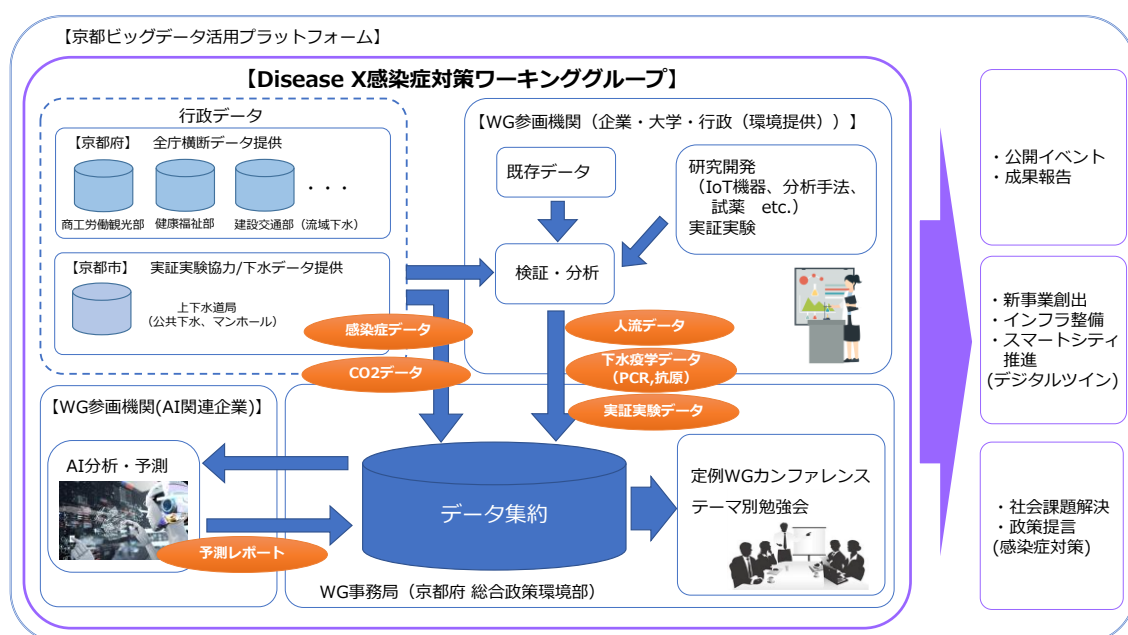
将来の疾病 X の大流行にも対応できる安寧でレジリエントなスマートシティの構築には、技術の複合活用による危機の早期検知や予測など、専門家がいつでも議論できる協力関係や、非常時に在宅のままメタバース空間で効率的に仕事が続けられる環境など様々な要素が必要です。実現に当たっては人と人とのつながりを前提とした取組が不可欠であり、そのためには、より多くの住民、医療・介護等に係る企業・機関、行政関係者の理解が重要と考えています。

こうした地域全体のDXに繋がる取り組みの一環として、まずは広く一般の方にも、下水サーベイランスを知っていただき、理解していただくことを目的として、本書は出来るだけわかりやすさを重視して作成しました。なお、本書は、様々なウイルスへの応用を念頭に置きつつ、新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）を対象にワーキンググループで実施した下水サーベイランスに基づいて記述しています。読んでいただいた方が少しでも興味を持っていただき、より多くの方々を交えた交流に繋がれば幸いです。

本書は、Disease X感染症対策ワーキンググループの取り組みとして、京都府総合政策環境部デジタル政策推進課を中心に、主に以下のメンバーの方々との協働により作成しました。

※（）内の所属等は令和5年度末時点

- ・荒川 邦雄（株式会社アドインテ）
- ・今井 雅之（株式会社 AdvanSentinel）
- ・嶽盛 公昭（株式会社島津テクノロジー）
- ・田中 宏明（京都大学、信州大学工学部）
- ・遠藤 礼子（京都大学工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター）
- ・井原 賢（高知大学農林海洋科学部農林資源科学科）
- ・北島 正章（東京大学大学院工学系研究科附属水環境工学研究センター）
- ・勢川 利治（京都市上下水道局）



1 下水サーベイランスとは

1.1 概要

下水の中には、うがい、手洗い、排せつ等に伴って人体から排出されたウイルスや、その遺伝子情報（DNA・RNA）が含まれます。下水を分析することで、特定のウイルスに感染している人の有無を把握したり、地域で流行している感染症の動向を推定する情報源の1つになると考えられています。下水処理場や下水道、排水設備などから下水を採取し、感染に関するウイルスのRNA検出・濃度情報等を活用し、下水を集水する地域等での公衆衛生情報を得ることを「下水サーベイランス」といいます。

図1 下水サーベイランスの概要(新型コロナウイルス感染症での活用)



※図については、株式会社 AdvanSentinel 社の HP より引用

<https://advansentinel.com/ja/wbe>

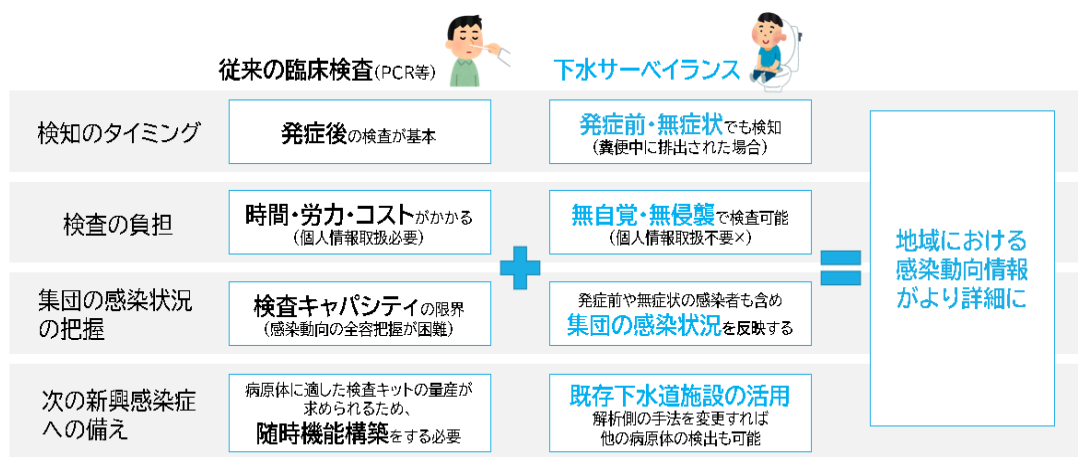
1.2 特徴・活用方法

一般的に、診療目的で行われる病気などの状態を確認するための検査としては、患者本人から採取した検体（鼻咽頭ぬぐい液や唾液、鼻腔ぬぐい液）を用いたPCR検査や抗原・抗体検査といった臨床検査があります。令和2年から令和4年にかけてのコロナ禍においては、臨床検査の結果に基づく全数把握調査やクラスター（集団感染）に対する積極的疫学調査等により感染動向が把握されてきました。しかし、臨床検査の場合、感染まん延期における検査体制の頭打ちや、無症状のため検査に行かない方、民間の検査機関で行われた自費検査の結果が報告されないケースなどもあり、地域における感染動向の全容把握

は難しい側面がありました。

一方で下水中には、有症状感染者だけでなく無症状感染者、感染後回復した方を含めたすべての感染者に由来するウイルス情報が含まれます。下水サーベイランスの分析結果を臨床検査の結果などの他の指標と合わせることで、感染拡大の予兆の把握や、地域にどのくらい感染症がまん延しているかといった感染動向に係る集団レベルの情報収集が大きく進化する可能性が期待されています。

図 2 従来の臨床検査と下水サーベイランス



下水サーベイランスは、このような特徴から、以下のような視点で活用が考えられています。

【公共下水道、流域下水道における活用】

公共下水道、流域下水道で採水することにより、集水域における下水サーベイランスを実施

目的

- 下水から得られる新型コロナウイルス RNA 濃度の増減に着目し、過去の感染状況との数値比較等から感染拡大/縮小のトレンドを捉える
 - ※ 下水中のウイルス RNA 濃度とは、定量 PCR 法によって検出された下水 1 リットルに含まれるウイルスの遺伝子数のこと。単位は「copies/L」が用いられる。なお、定量 PCR 法とは、少量の目的遺伝子を増幅することで、元の遺伝子量を推定できる手法のこと。
- 複数の地域で数値を比較することで、感染状況の空間的広がりを捉える
- デルタ株やオミクロン株など、地域における変異株の割合や、継続調査による時系列データから主流となりつつある株の把握など

【個別施設における活用】

ホテル、病院、介護施設等の敷地内にある汚水柵やマンホールで採水することにより、個別対象施設における下水サーベイランスを実施

目的

- 施設排水を検査し、目的施設における感染の早期探知や感染管理に活用する

航空機の汚水タンクや空港の汚水柵で採水することによる空港利用者を対象にした下水サーベイランスを実施。

目的

- 国内への流入有無を把握する水際対策

これらに加えて、下水サーベイランスの分析結果を、臨床検査による新規陽性者数や定点把握の情報、入院率・重症者数等の情報と組み合わせることで、総合的・多角的に現在の感染状況を把握し、今後の感染動向の見込みや感染対策の判断材料になることが期待されています。

京都府感染症情報HP（京都府内の定点把握の情報を公開）



2 下水サーベイランスのデータ取得から感染規模の推定へ

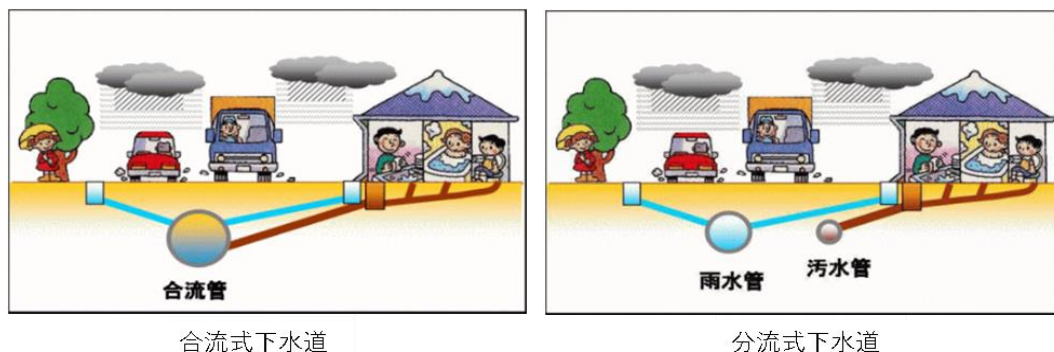
2.1 下水サンプルの取得から分析まで

(1) 下水サンプルを取得する場所：下水道施設の構成に関する留意点

私たちの生活や事業活動に不可欠な下水道施設は、管きょ施設（下水管やマンホール等）、処理施設（水処理設備、汚泥処理設備）、補完施設（ポンプ設備等）、排水設備（個別施設の汚水桝等）で構成されています。下水サンプルの採水に当たっては、これらの中から調査対象や目的に応じて最適な施設を選定します。

また、下水を集める方法には、「合流式（生活排水や工場排水といった汚水と道路や建物等に降った雨水を同じ下水管で流す）」と「分流式（汚水と雨水を別々の下水管で流す）」の2種類があり、特に下水サーベイランスを公共下水道、流域下水道で実施する場合は、こういった特徴をあらかじめ把握しておくことが重要です。このため、下水サーベイランスのデザインを決定する場合には、行政の保健衛生部局だけでなく、下水道部局とも連携することが不可欠です。

図3 合流式と分流式



(2) 下水サンプルの収集：下水の採水方法

下水の採水方法は複数あり、手順の簡便性、迅速性、コスト面、望ましい採水地点など様々な観点での特徴があり、採水地点となる下水道施設や個別施設等の様々な条件を考慮した上で最適な方法を選択します。

標準的な採水方法としては以下の3つがあります。なお、京都府で令和3・4年度に実施した下水サーベイランスでは、下水道施設でのコンポジットサンプリングを用いています。

● グラブ（スポット）サンプリング

特定の時間に瞬間的に下水を採水する方法

●コンポジットサンプリング

一定の期間に渡って収集した複数のGrabサンプルを混合して1つのサンプルとする方法（例：1日（24時間）のうちに数時間ごとにGrabサンプルを採取し、それらを混合して1日の代表サンプルとすることで特定の時間帯における偏りを減らす等）

●パッシブサンプリング

一定の期間に渡って継続的にサンプルを収集する方法。捕集材を下水中に設置し、設置期間中、物質を吸着・蓄積させる。

(3) 下水サンプルからのデータ取得：ウイルスの分析・RNA濃度の取得

下水中の新型コロナウイルス RNA の分析方法については、（公社）日本水環境学会 COVID-19 タスクフォースや国立感染症研究所によるマニュアル等が公表されていますが、様々な分析方法があり、新たな開発が現在も進んでいます。

なお、京都府で令和3・4年度に実施した下水サーベイランスでは、ポリエチレングリコール沈殿法（PEG 沈殿法）やEPISENS-S法（沈渣分析法）を用いて、これらの分析により、ウイルス RNA 濃度を取得しました。

【ウイルス RNA 濃度データの解釈に伴う不確実性・変動要因】

下水中に含まれるウイルス RNA 濃度は、感染者数の増減だけでなく、以下に例示したような下水ならではの様々な特性・外部要因の影響を受けるため、どうしても不確実性・変動要因を伴うことに注意が必要です。

●流量・水質による影響

下水には生活排水、工場排水及び雨水など様々な水が含まれており、時間帯や曜日、天候によって下水の流量・水質が常に変動します。このため、感染者から排出されたウイルス RNA 濃度は、下水管を流れる過程でこれらの要因（化学物質、流量、水温、滞留時間など）に影響（分解、希釈）され時間とともに変化します。例えば大雨が降った日の翌日に採水した場合は、下水の流量が多く、ウイルスが希釈され濃度が低くなるなどの影響を受ける可能性があります。

●排出するウイルス量の個人差による影響

感染者ごとのウイルス排出量については、感染時からの日数によって排出量が増えること、感染者の年齢・重症度などの要因によって個人差が大きいこと、また、ウイルスの変異株ごとにウイルス排出量や経時的な排出パターンも異なるため、濃度が変化することが知られています。そのため、下水中のウイルス RNA 濃度と患者数が必ずしも高い相関を持たないこともあります。

2.2 分析結果から感染規模の推定、データの活用へ

下水サンプルからウイルス RNA 濃度等のデータを取得し、地域の感染規模推定に向けた取組には、分析化学やデータサイエンスの様々な知見が活用されていますが、以下のような課題解決に多くの技術者・研究者が尽力されています。

(1) 異なる地域の下水サンプルから得られたウイルス RNA 濃度同士の比較

複数の異なる地域で下水サーベイランスを実施した場合に、得られたウイルス RNA 濃度同士を比較することができれば、地域ごとの感染規模の推定に役立つ可能性があります。しかし、このような場合のウイルス RNA 濃度の比較には以下の点に留意する必要があります。

① サンプルの採水方法

前述のように、下水の採水方法は複数あり、簡便性、迅速性、費用面、望ましい採水地点など方法毎に様々な特徴があり、採水する下水道施設や個別施設等の条件を考慮した上で最適な採水方法を選択しています。このようにデータ取得の出発点となる採水方法自体が異なると、ウイルス RNA 濃度の値に影響することが知られています。

② ウイルス RNA 濃度の分析手法

現在様々な研究・分析機関が国内の各地域で下水サーベイランスを行っていますが、それらの分析結果は、分析手法が異なると定量的な相互比較は困難です。このため、様々な事情により分析機関・分析手法が異なる場合に、測定されたデータを相互比較するための標準化等の方法が検討されています。

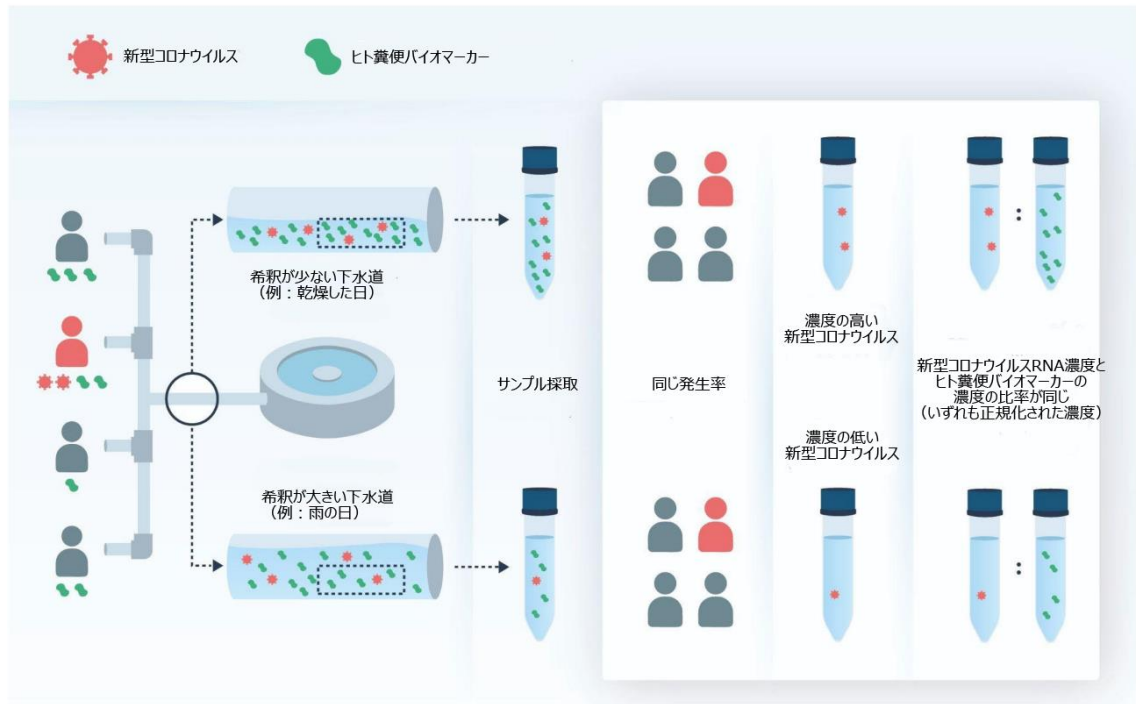
③ 下水道施設の特徴や天候の違い

例えば京都市内でも、鳥羽水環境保全センター第一送水渠の下水を集める方法は、工場排水等の汚水と道路等に降った雨水を同じ下水管で流す「合流式」ですが、石田水環境保全センターは汚水と雨水を別々の下水管で流す「分流式」です。このような違いから、例えば京都市内で大雨の降った日には、雨水による下水の流量変化からウイルス RNA 濃度の希釈の影響が大きくなり、鳥羽水環境保全センターでの下水サンプルは濃度が低くなっている可能性に留意する必要があります。

上記のような条件は常に統一できないものもあるため、比較のために違いを補正する手法があります。例えば、下水の流量の変化によるウイルス RNA 濃度の希釈等の影響を補正するために、下水中の糞便濃度の指標として広く用いられているトウガラシ微班ウイルス (PMMoV) 濃度による正規化を行います。PMMoV は糞便中に排出される量が多く、排出率と量の個人差が少ないため、下水中の

ウイルス RNA 濃度を PMMoV の濃度で割ることで、下水の希釈等を考慮した相対的なウイルス濃度を算出することができ、流量、人流のばらつきを抑えることが可能な場合があるとされています。

図4 ウイルス RNA 濃度の補正



World Bank Group 「Wastewater-based epidemiology and Covid-19 surveillance」
(訳は引用者による)

(2) ウイルス RNA 濃度と新規陽性者数の相関性に関する留意点

下水サーベイランスと臨床検査では分析の対象自体が異なり、前者は下水のウイルス RNA 濃度を対象とし、後者は PCR 検査等による患者の DNA を対象としています。このため、2.1 (3)のウイルス RNA 濃度自体の不確実性を踏まえた上で、臨床検査の結果に基づく新規陽性者数との相関関係を把握するためには以下について留意する必要があります。

- ①新規陽性者数の公表日と下水の採水日との差（発症から医師の診断を経て行政が把握するまでのタイムラグ）
- ②休日などの検査体制の制約等に起因して生じる、曜日により報告される新規陽性者数の偏り
- ③感染者の処理区域内外への流入出（通勤・通学や観光、大規模イベント開催時など）による、実際に処理区域内で下水道を利用している人口と

下水処理人口（住民基本台帳上得られる行政区域内の人口）の違い

④各処理場の処理区域と臨床検査結果を集計する区域（市町村や医療圏）の不一致

上記のように下水サーベイランスの結果の解釈には、下水道というインフラの特性に基づく留意点がいくつかあります。このようなインフラ特性に基づく影響を一部緩和する対応として、得られた下水のウイルス濃度 RNA のデータを複数の日や、複数の場所のデータによって平均化を行う場合があります(3.3 ウイルス RNA 濃度データの補正・処理手法 参考)。

(3) 下水サーベイランス結果のわかりやすい情報発信

国内の自治体でも、下水サーベイランス結果をもとに独自の指標を設定し住民に発信している自治体があります。例えば石川県小松市、兵庫県養父市などは、下水サーベイランスから得られた新型コロナウイルス RNA 濃度をもとに数段階のレベルを設定し、市のHPやSNSなどを用いて市民に発信しています。こういったわかりやすいレベル設定は平常時も含めて住民への有効な情報発信となりますが、レベルの決定要因に相当するウイルス RNA 濃度設定は、流行段階を踏まえた公衆衛生上のリスク判断や下水サンプリングを行う地域や分析手法（2.2（1））に依存する可能性がありますので、自治体ごとに検討が必要です。

なお、新型コロナウイルスの感染動向については、新規陽性者数を届出の総数により把握する「全数把握」が実施されていましたが、感染症法上5類の位置づけに移行した令和5年5月8日からは、定点医療機関からの報告に基づく「定点把握」となりました。このため、現在は定点把握での報告値と下水サーベイランスにより得られたウイルス RNA 濃度を比較し、関連性を検証する取組が国等により行われています。

3 京都府における取組事例

令和 2 年から新型コロナウイルス感染症がまん延し、京都府においても、経済活動をはじめ、日常生活・働き方・教育など、地域社会のあらゆる分野に影響が及び、府民の命と健康を守ることを最優先として時宜に応じた感染防止対策や緊急的な雇用・経済対策を重点的に実施しました。

こうした中で、島津テクノリサーチ社と京都大学等との連携により、宿泊施設等のトイレ排水を定期監視し、陽性反応がある場合にはヒト検査で感染者を特定する、下水疫学と人感染検査のハイブリッド検査「京都モデル」がはじまりました。

このような先進的な取組を踏まえ、産官学連携により社会課題の解決を目指す「京都ビッグデータ活用プラットフォーム」において、感染予測モデルの可能性検証等の取組を通じて、各々の知見向上や新事業創出を目指す企業や研究者が集まった「Disease X 感染症対策ワーキンググループ」が令和 3 年 9 月に発足しました。

以後、グループの活動趣旨に賛同する研究者の方や、感染症対策を実施する機関の協力等を得ながら、国の実証事業等を受託し、AI 等のデジタル技術や人流データ・下水サーベイランスデータ等を活用した活動を行ってきました。ここでは、ワーキンググループとして取り組んだ事業内容、またその際に行っていたデータの補正・処理手法についてご紹介します。

3.1 調査研究事業（令和 3 年度）

内閣官房の公募「ポストコロナ時代の実現に向けた主要技術の実証・導入に係る事業企画」に、「下水疫学調査を活用した新型コロナウイルス感染症の流行予測モデルの開発」を研究テーマとして申請し、採択されました。

これにより、令和 4 年 1 月～3 月にかけて、京都市内の下水処理場において下水サーベイランスを実施するとともに、様々な時系列データから新規陽性者数を予測する感染予測モデルを構築しました。

このモデルを用いて、下水サーベイランスによるデータの他、ワクチン接種率や変異株の検出シェア等の時系列データ等を用いて新規陽性者数の予測を行い、予測精度の高い結果となる変数データを探索しました。その結果、「下水中のウイルス RNA 濃度」を変数データとして用いた場合に、7 日後の新規陽性者数を最も精度高く予測でき、「直近の変異株のシェア推移」を変数データとして用いた場合には、14 日後の新規陽性者数を最も精度高く予測できるという結果が得られました（図 5）。また、構築したモデルの性能評価と再学習をする必要があるという課題も同時に得られました。

図5 予測モデル結果まとめ

- 公表新規陽性者数を予測するうえで精度の高い変数を探索
複数の時系列間の動的関係を捉え、分析・予測を行える VAR (ベクトル自己回帰) モデルを用い、「京都府における公表新規陽性者数」と他の変量とを組み合わせた 6 パターンにおける予測性能を比較した。
- 7日後の予測性能は、下水疫学調査データとの組み合わせが最も良い結果となった。

公表新規陽性者数と下水疫学調査データを用いた VAR モデル

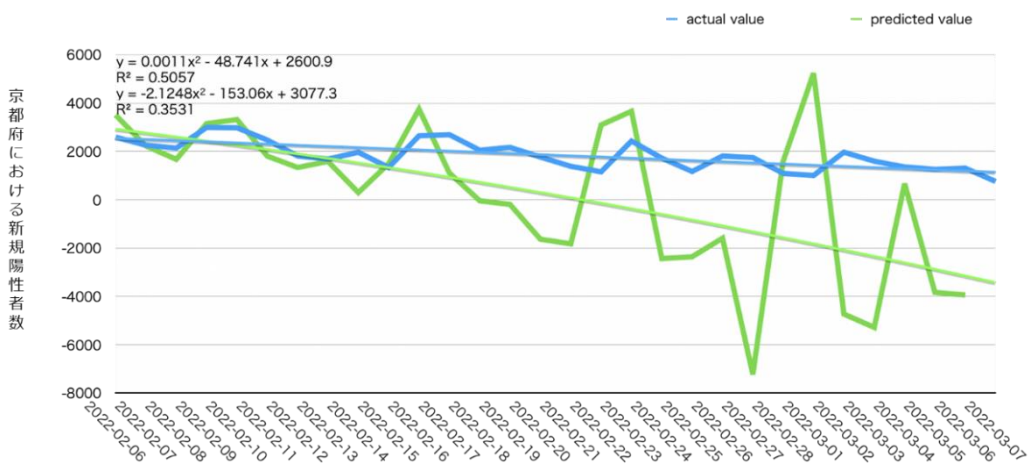


7日間における予測性能

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
SUM	-1,059	7,125	-191	-407	-441	-226
AVR	-151	1,018	-27	-58	-63	-32
DIST	22,872	1,035,965	746	3,384	3,977	1,041

- 14日後の予測には直近の変異株シェア推移データとの組み合わせ結果が最もよく出た。

公表新規陽性者数とデルタ株のシェア推移を用いた VAR モデル



14日間における予測性能

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
SUM	-10,363	17,371	-7,779	-8,739	-8,987	-6,769
AVR	-740	1,241	-556	-624	-642	-483
DIST	547,955	1,539,592	308,723	389,679	412,031	233,758

※令和3年度「下水疫学調査を活用した新型コロナウイルス感染症の流行予測モデルの開発」より抜粋 (P21 参考資料◇内閣官房:ウィズコロナ時代の実現に向けた主要技術の実証・導入に向けた調査研究業務に関連 URL 掲載)

3.2 実証事業（令和4年度）

内閣官房の公募「ウィズコロナ時代の実現に向けた主要技術の実証・導入に係る事業企画」に「多様なデータ分析と地域特性に応じた感染予測モデルの成果実証」を実証テーマとして申請し、採択されました。

これにより、令和4年6月～令和5年1月にかけて、京都市及び宮津市（処理区域は与謝野町を含む）で下水サーベイランスを実施し、定量解析（下水中のウイルス RNA 濃度の変動量に着目し、定量化（数字で表す）する）の結果と新規陽性者数の関係を比較し、さらに、変異解析結果と京都府保健環境研究所のゲノム解析結果との比較も行い、データの信頼性確認を行うとともに、令和3年度事業において構築した予測モデルに改良を加え、予測モデルの理論的妥当性の実証を行いました。（詳細な報告書は内閣感染症危機管理統括庁のHPで公開されています。P21 参考資料参照）

(1) 定量解析結果

京都市内の約7割の下水を処理している2処理場3か所での下水サーベイランス結果の定量解析値と、京都市の新規陽性者数との相関関係を確認するため、データの比較分析を行いました（図6）。採水は地点ごとに月曜日、水曜日、金曜日の週3回実施しています。各下水データにPMMoV濃度による正規化した値（以下「RNA正規化値」という P8参照）を算出し、京都市内3か所のRNA正規化値で平均を取りました。さらにこの値を週3回分のデータとして移動平均値を計算し、7日間移動平均した新規陽性者数との相関解析を行いました。その結果では両者には強い正の相関があることが示されました。

また、新規陽性者数の報告日をずらしてRNA正規化値との相関係数を分析した結果（図7）、RNA正規化値と採水日の4～9日後の新規陽性者数の相関が最も高かったことから、下水サーベイランス結果は地域の感染状況を表し、臨床検査に基づいて公表される新規陽性者数より先行した結果を示すことを見出しました。

図6 京都市内における下水サーベイランスの定量解析結果（京都市新規陽性者数との相関関係）

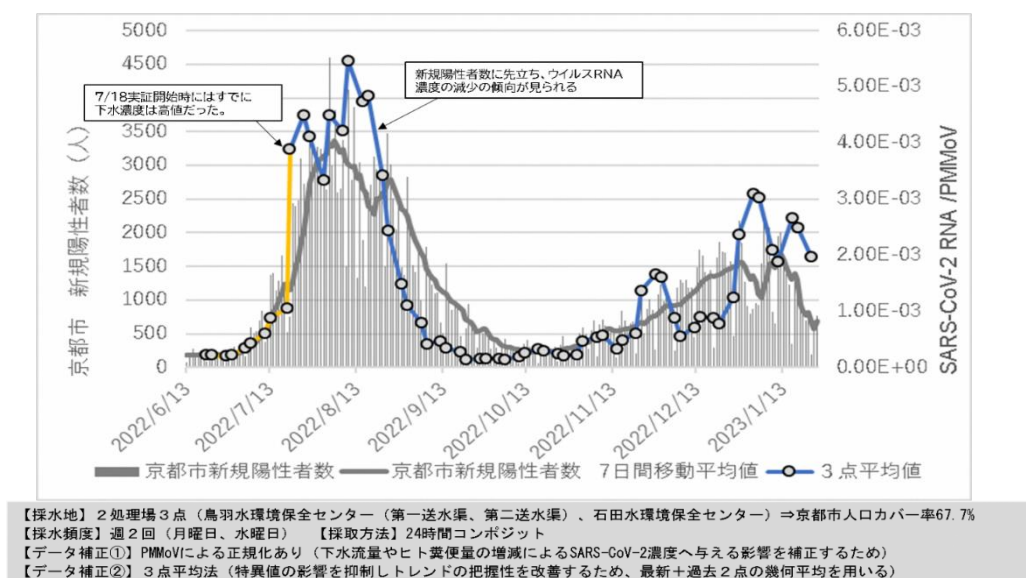
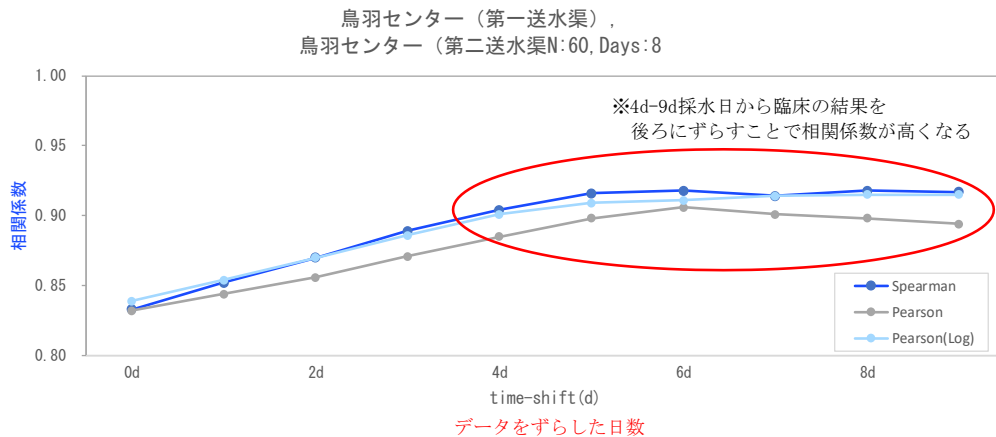


図 7 京都市内における下水サーベイランスの定量解析結果(タイムシフト)



相関係数	0d	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	9d
Spearman	0.833	0.852	0.87	0.889	0.904	0.916	0.918	0.914	0.918	0.917
Pearson	0.832	0.844	0.856	0.871	0.885	0.898	0.906	0.901	0.898	0.894
Pearson(Log)	0.839	0.854	0.87	0.886	0.901	0.909	0.911	0.914	0.915	0.915

(2) 変異解析結果

令和 3 年度調査研究事業において、「直近の変異株のシェア推移」を変数データとして用いた場合に、予測モデルによる 14 日後の予測性能が最も高くなることが判明したため、下水サーベイランスによる変異解析の信頼性について検証しました。

具体的には、京都市鳥羽水環境保全センターでの下水サーベイランスによる変異株シェアと、京都府保健環境研究所のゲノム解析結果が登録されている GISAID (Global Initiative on Sharing Avian Influenza Data) 内の京都府内データを比較したところ、流行の主流であった BA.2 や BA.5 はほぼ全てのデータが一致しました。

このことから、下水サーベイランスによる変異解析は主流株や拡大が広まりつつある株については確認可能であり、地域内において主流となっている変異株を表すデータとして信頼性があることが確認できました。ただし、感染者が少ないと思われる亜型の変異株の捕捉には向いていないことから、エリア内の主流株を把握することに適した手法であるといえます。

(3) 予測モデルの改良・妥当性検証結果

令和 3 年度事業において構築した予測モデルを「人流観測量（人流の変化量）から下水データを予測するフロー」と「下水データから新規陽性者数を予測するフロー」に処理分割し、各々新しい知見を得ながら改良しました。またデータを府民に分かりやすく示すことを念頭に、予測についてはあえて難易度の高い、日々の予測（陽性者数の移動平均や期間累計でない実数）を試みまし

た。

性能評価については、京都府全域及び京都市内について、令和4年11月～令和5年1月にかけて、人流観測量及び下水中のウイルスRNA濃度を変数として月末より翌月3、4週間先までの新規陽性者数を予測の上、連日実際の陽性者数と比較しました。

その結果、増減適合率※については、週単位・日々単位のどちらにおいても、感染トレンドの予測という観点では評価できる結果となり、予測モデルの妥当性・今後の活用に期待が持てるものとなりました（表1・図8）。

※増減適合率={ (予測と実際の新規陽性者数がともに前日から増加又は減少した日数) / 日数 }

※週の増減適合率は、計算方式の「前日」が「前週」に、「日数」が「週数」として計算

なお、本件で構築・検証を行なった予測モデルは、対象とした新型コロナウイルス感染症のみにおいて検証しています。そのため、他のウイルスや感染症への汎用的な活用可否や性能保証については、継続した検証と改善が必要です。

表1 予測結果の増減適合率

	11月	12月	1月
毎月第3週目と4週目の週単位での増減適合率	100%	50%	100%
月の16日～月末までの平均誤差率※	-8.7%	13.7%	-78.8%

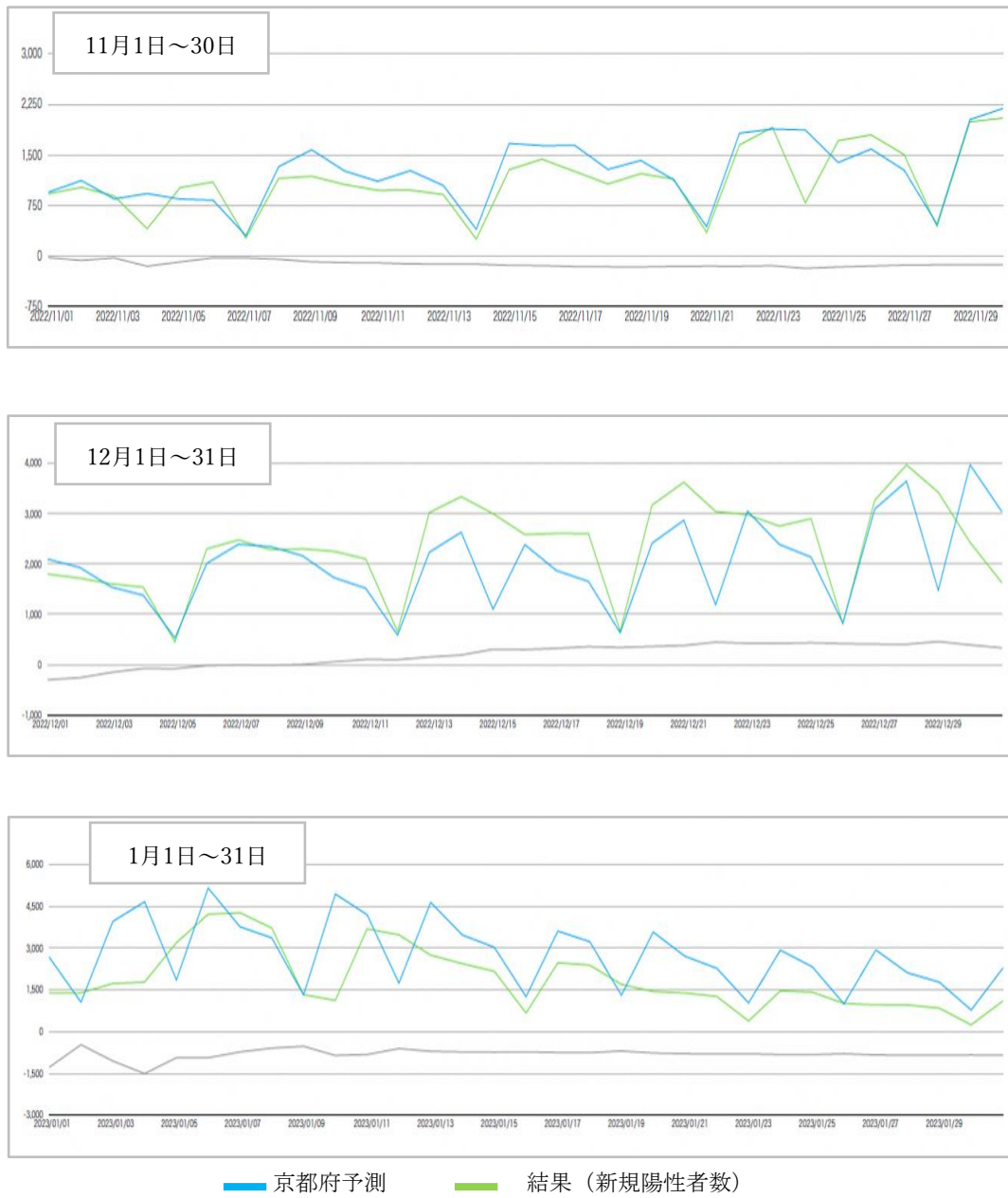
※平均誤差率={ (期間総和結果値-期間総和予測値) / 日数 } / 期間平均結果値 (1日あたり)

期間総和結果値：該当期間（7日など）において発表された新規陽性者数の総和

期間総和予測値：該当期間（7日など）において予測した新規陽性者数の総和

期間平均結果値：該当期間（7日など）において発表された新規陽性者数の1日あたりの平均値

図8 令和4年11月～令和5年1月 予測陽性者数と実際の数(京都府)



3.3 ウイルス RNA 濃度データの補正・処理手法

下水処理施設や天候など、外部要因がデータに与える影響を緩和させるためには、採水頻度や採水場所を増やしデータ数を増やすことで統計的に信頼性の高いデータとする手法も考えられます。

京都府で実施した下水サーベイランスのデータ補正・処理手法については、2.2 (1)に記載の、トウガラシ微班ウイルス (PMMoV) による正規化や、同一日の複数地点におけるウイルス RNA 濃度 (正規化済み) の平均値を取ることで、その地域における値とし、次に過去 2 回の結果を平均した値を用いることでウイルス RNA 濃度を平滑化する手法も用いています。

鳥羽水環境保全センター



4 今後の展開について

新型コロナウイルスの5類位置付け変更から1年以上が経過し、社会活動が平時へと戻りつつある一方で、令和6年8月にはオミクロン株から派生した感染力の強い新たな変異株「KP.3」が主流となって陽性者数が再び増加し「第11波に入った」という報道も見られました。

また、これまでの新型コロナウイルス感染症への対応から明らかとなった課題を踏まえ、令和6年7月に全面改定された「新型インフルエンザ等対策政府行動計画」では、下水サーベイランスを平時（準備期）から実施・結果公表、とされており、有事の際には初動期から下水サーベイランス等の複数のサーベイランスを実施するとされています。

また、同月に公表された厚労省の「サーベイランスに関するガイドライン（案）」では感染症サーベイランスの分類の中に、下水サーベイランスが組み込まれています。

こうした状況の中「日本版 CDC」とも呼ばれる新たな専門家組織「国立健康危機管理研究機構」（JIHS）の創設が令和7年4月に予定されており、京都府においても京都府総合計画に基づき「京都版 CDC」の設立準備が進められています。

いずれ発生するかもしれない「Disease X」への対応は、国や地方自治体や企業、研究機関が連携し、下水サーベイランスやデータサイエンスの知見、AI等のICT関連技術やバイオ関連、ものづくり関連等、先端技術の複合活用を踏まえながら、データ分析・収集・活用体制について検討を継続する必要があります。

おわりに

新型コロナウイルスの発生当初より、海外では多くの国で下水サーベイランスの実施・研究が行われ、現在も下水中の新型コロナウイルスを定期的に分析し、流行状況の早期検知や感染動向を把握するための補完情報の一つとして活用されています。

国内においても、今年度から国立感染症研究所の「感染症流行予測調査事業」では、下水中のウイルス感染源調査の対象に、かつてのポリオウイルスに続いて新型コロナウイルスが新たに加えられたり、東京大学では、「国際下水疫学講座」が設立されるなど、パンデミック等の有事に備える研究開発や社会実装の更なる進展が期待されています。

こうした取組の社会実装には、データの分析・予測や公表、下水のサンプリングに係る自動化・省力化などに、デジタル関連・バイオ関連・環境関連・メカトロニクス関連など多くの技術の複合的な活用に加え、法律や条例の知識も必要とされることから、産学官連携による社会課題解決型の新事業創出という観点でも大きな可能性のあるテーマであり、更に、生活に不可欠な下水道を上手く活用した健康危機管理は、複数の行政分野の横断的連携・最適化によるスマートシティ推進という観点でも大変意義のあることと考えています。

感染症対策を含む様々な危機へ柔軟に対応できる社会の実現に向けては、このような取り組みが一層国内で広がり、より多くの幅広い研究者・技術者の方々がいざという時に集まれる有機的なつながりが大切です。Disease X 感染症対策ワーキンググループの活動が、このようなイノベーション、デジタルトランスフォーメーションに不可欠な土壌づくりの契機となり、多様な主体の協働に繋がることを願っています。

【参考】

◇ ガイドライン・マニュアル

【国・研究機関等】

○世界保健機関（WHO）

「Environmental surveillance for SARS-CoV-2 to complement other public health surveillance」

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240080638>

対策が存在しない最も危険な病原体リスト。

WHO「Prioritizing diseases for research and development in emergency contexts」

<https://www.who.int/activities/prioritizing-diseases-for-research-and-development-in-emergency-contexts>

○国立感染症研究所

「下水中の新型コロナウイルス検出マニュアル ver1.1（令和3年6月）」

「下水サーベイランスファクトシート（令和3年12月）」

「施設排水調査ガイダンス（2022年3月）」

「施設排水調査マニュアル Ver 1.0（2022年3月）」

<https://www.niid.go.jp/niid/ja/from-vir2/1524-polio/1540-vir2poliotop.html>

○国土交通省 下水道における新型コロナウイルスに関する調査検討委員会

「新型コロナウイルスの広域監視に活用するための下水サーベイランスガイドライン（案）（令和6年6月）」

「下水道における新型コロナウイルスに関する調査委員会報告書（令和6年3月）」

https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000708.html

○下水中の新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）調査プロジェクト

<https://nijis.jp/>

【事業者団体・学会】

○一般社団法人日本下水サーベイランス協会（JWWSA）

「下水サーベイランスに関するFAQ」 ※オンライン公開なし

- 公益社団法人日本水環境学会・公益財団法人日本下水道新技術機構
「下水中の新型コロナウイルス遺伝子検出マニュアル 新技術マニュアル (2023年6月)」
<https://www.jswe.or.jp/aboutus/covid19.html>

- ◇ 下水サーベイランス結果をもとに感染流行レベルを発信している自治体
 - 石川県小松市
<https://www.city.komatsu.lg.jp/soshiki/1042/surveillance/14588.html>

 - 兵庫県養父市
<https://www.city.yabu.hyogo.jp/soshiki/seibi/jogesuido/9978.html>

- ◇ 内閣官房:ウィズコロナ時代の実現に向けた主要技術の実証・導入に向けた調査研究業務
 - 「ポストコロナ時代の実現に向けた主要技術の実証・導入に係る事業企画」
<https://pubpjt.mri.co.jp/publicoffer/20210419.html>

 - 「下水サーベイランスの活用に関する実証事業」結果
<https://www.caicm.go.jp/action/survey/surveillance.html>
https://www.caicm.go.jp/surveillance/pdf/plants_report.pdf

- ◇ 京都ビッグデータ活用プラットフォーム/Disease X感染症対策ワーキンググループ (本書関係機関のみ)
 - 京都ビッグデータ活用プラットフォーム
https://smart-kyoto.or.jp/about_platform/

 - 京都府流域下水道事務所 浄化センター
<https://www.pref.kyoto.jp/ryuiki/center.html>

- 京都市上下水道局 水環境保全センター
[https://www.city.kyoto.lg.jp/suido/category/175-1-2-2-0-0-0-0-0-0-0.html](https://www.city.kyoto.lg.jp/suido/category/175-1-2-2-0-0-0-0-0-0.html)

- (株)島津テクノリサーチ
<https://www.shimadzu-techno.co.jp/>
<https://www.shimadzu.co.jp/news/press/w5078qr-o6m1bo20.html>
<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001404545.pdf>

- (株)AdvanSentinel
<https://advansentinel.com/ja>

- 京都大学工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター
<https://www.eqc.kyoto-u.ac.jp/index.html>

- 東京大学附属水環境工学研究センター
<https://www.recwet.t.u-tokyo.ac.jp/wbe/>

- 【Disease X 感染症対策ワーキンググループ】
<https://www.pref.kyoto.jp/digital/diseasex/index.html>