

石川県小松市における病原性ウイルス感染拡大の未然防止に向けた下水サーベイランスの活用（小松市）

代表機関 株式会社クボタ

分担機関 小松市役所 金沢大学 富山県立大学

実証目的 本研究の目的を ①恒常的な流行状況の把握、②流行の予兆検知や流行トレンドの早期検知、③ポンプ場などを対象とした流行拡大地域の特定とする。得られた情報を自治体の警戒レベルや対策立案に活用する。

課題 ①自治体における具体的な活用方法の検討(流行状況の把握、早期検知、医療体制や検査体制の整備)②採水作業者の安全確保、分析が煩雑・分析機関が限られているので、簡便な分析方法の検討が必要。③ポンプ場などの小流域を対象としたサーベイランスによる流行拡大地域の特定

1 個別検査のキャパシティや検査対象者選定方針に左右されない恒常的な流行状況の把握

新型コロナウイルス感染症においては個別検査のキャパシティを超えてしまうことや無症状の感染者がいることが知られており、下水のサーベイランスはこのような制約に関係なく、流域地域の感染者数をモニタリングすることが可能である。

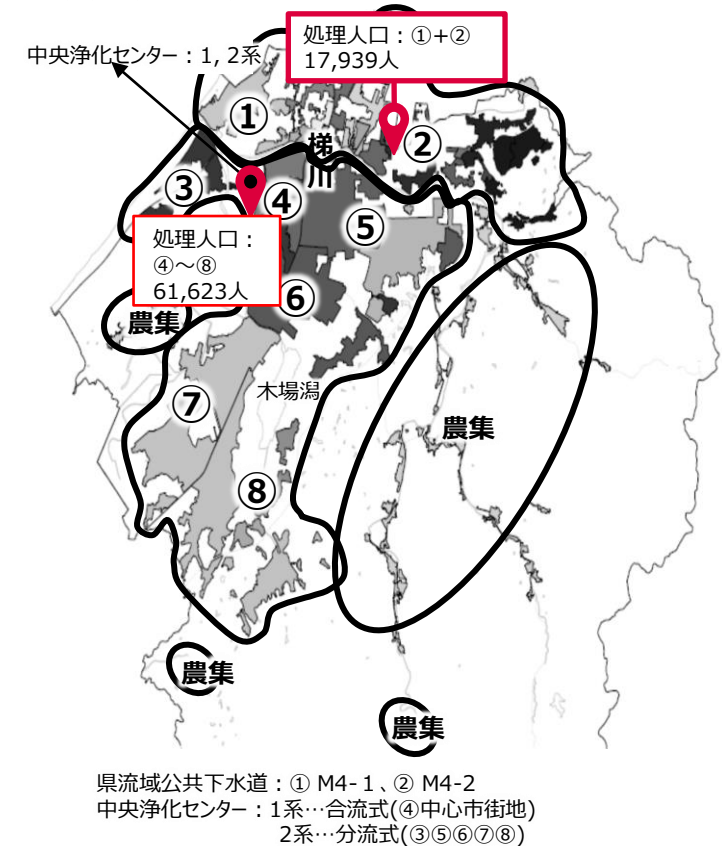
2 流行の予兆検知や流行トレンド（増加傾向・ピークアウト・減少傾向）の早期検知の検討

下水サーベイランスから得られた情報は、他の感染状況指標と合わせて自治体の警戒レベルや対策立案に活用する。地域特有の感染拡大・収束傾向を予測できるか検証する。

3 ポンプ場などの小流域を対象としたサーベイランスによる流行拡大地域の特定

小松市の下水流域には上流に複数のポンプ場があり、それぞれ人口の密集する駅中心の繁華街や観光地、一般住宅地などの特徴のある地域の排水が採取できる。各ポンプ場の検査できめの細かいモニタリングができるかを実証する。1

採取地点の概要



実証事業の中間結果【実証テーマ】

1 個別検査のキャパシティや検査対象者選定方針に左右されない恒常的な流行状況の把握

実証テーマ概要（再掲）

- 新型コロナウイルス感染症においては個別検査のキャパシティを超えてしまうことや無症状の感染者がいることが知られており、下水のサーベイランスはこのような制約に関係なく、流域地域の感染者数をモニタリングすることが可能である。

検討結果（達成したこと／分かったこと）

- 本実証事業以前よりデータを蓄積していたこともあり、採水場所の選択と特徴を考慮して感染者数と比較すると十分に相関性のあるデータを得ることができた。
- 日本水環境学会COVID-19タスクフォース提示のウイルスRNA抽出、検出方法を適用することで、実証開始より連続して安定したデータを得ることができた。
- 9月25日から全数検査がなくなり、正確な感染者数がカウントされなくなったが、下水のウイルス濃度が県単位で発表される感染者数と相関があり、むしろ鋭敏に値を示していることが推定された。

今後の課題

- 今後、データの連続性を維持するためにも基本的な手法を変えずに、効果的な採水ポイントで安定的なデータ収集を行っていきたいと考えている。

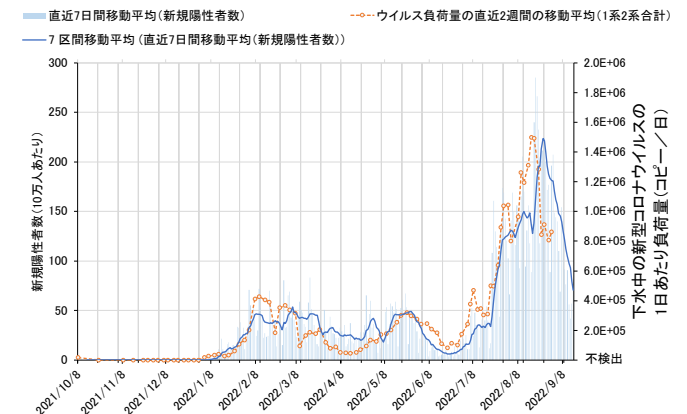
2 流行の予兆検知や流行トレンド（増加傾向・ピークアウト・減少傾向）の早期検知の検討

実証テーマ概要（再掲）

- 下水サーベイランスから得られた情報は、他の感染状況指標と合わせて自治体の警戒レベルや対策立案に活用する。地域特有の感染拡大・収束傾向を予測できるか検証する。

検討結果（達成したこと／分かったこと）

- 感染者数も下水コロナ検出濃度ともに日時によって変動があるため間近7日間平均の値や2週間移動平均値を解析することで、下水コロナの濃度が感染者数より早期(7～10日前)にピークを示すことを実証できた。



今後の課題

- 引き続き県単位、病院単位でのデータの突合を行うとともに、早期検知あるいは収束開始の判定基準を明確にできる解析方法を確立したいと考えている。

実証事業の中間結果【実証テーマ】

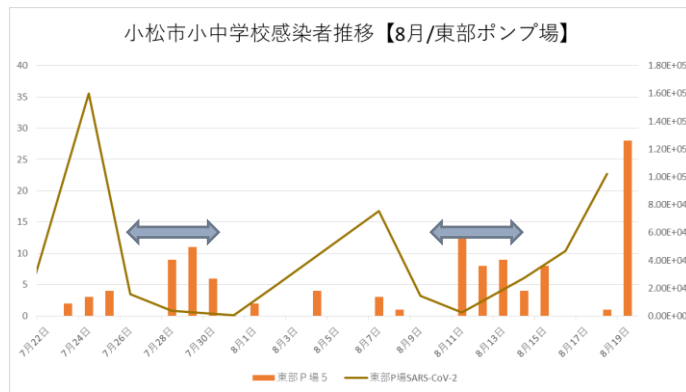
3 ポンプ場などの小流域を対象としたサーベイランスによる流行拡大地域の特定

実証テーマ概要（再掲）

- 小松市の下水流域には上流に複数のポンプ場があり、それぞれ人口の密集する駅中心の繁華街や観光地、一般住宅地などの特徴のある地域の排水が採取できる。各ポンプ場の検査できめの細かいモニタリングができるかを実証する。

検討結果（達成したこと／分かったこと）

- 市内の6ヶ所のポンプ場についてウイルス検出を行い、それぞれの集水区にある小中学校の感染者数と相関を取った。その結果、一部のポンプ場では相関がみられており、場所による検出量の違いを確認することができた。

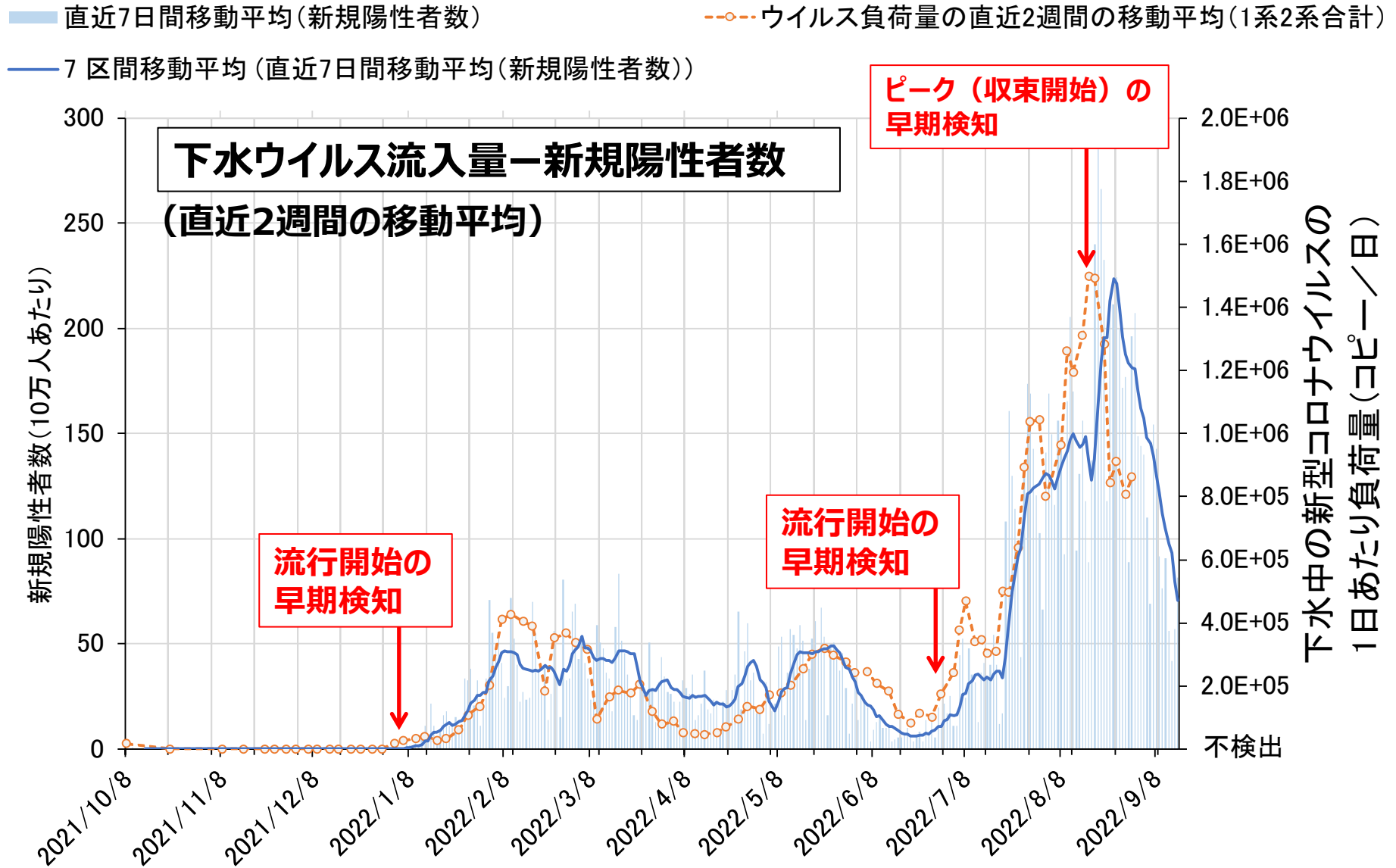


今後の課題

- ポンプ場でのウイルス検出量と小中学校の感染者数との間に、公共下水道で見られたようなピークがずれて推移する傾向が確認できたが、さらなるデータの解析から統計的有意であるかを検証する。

1. 個別検査のキャパシティや検査対象者選定方針に左右されない恒常的な流行状況の把握

1-1. 全期間の下水ウイルス濃度と感染者数の相関

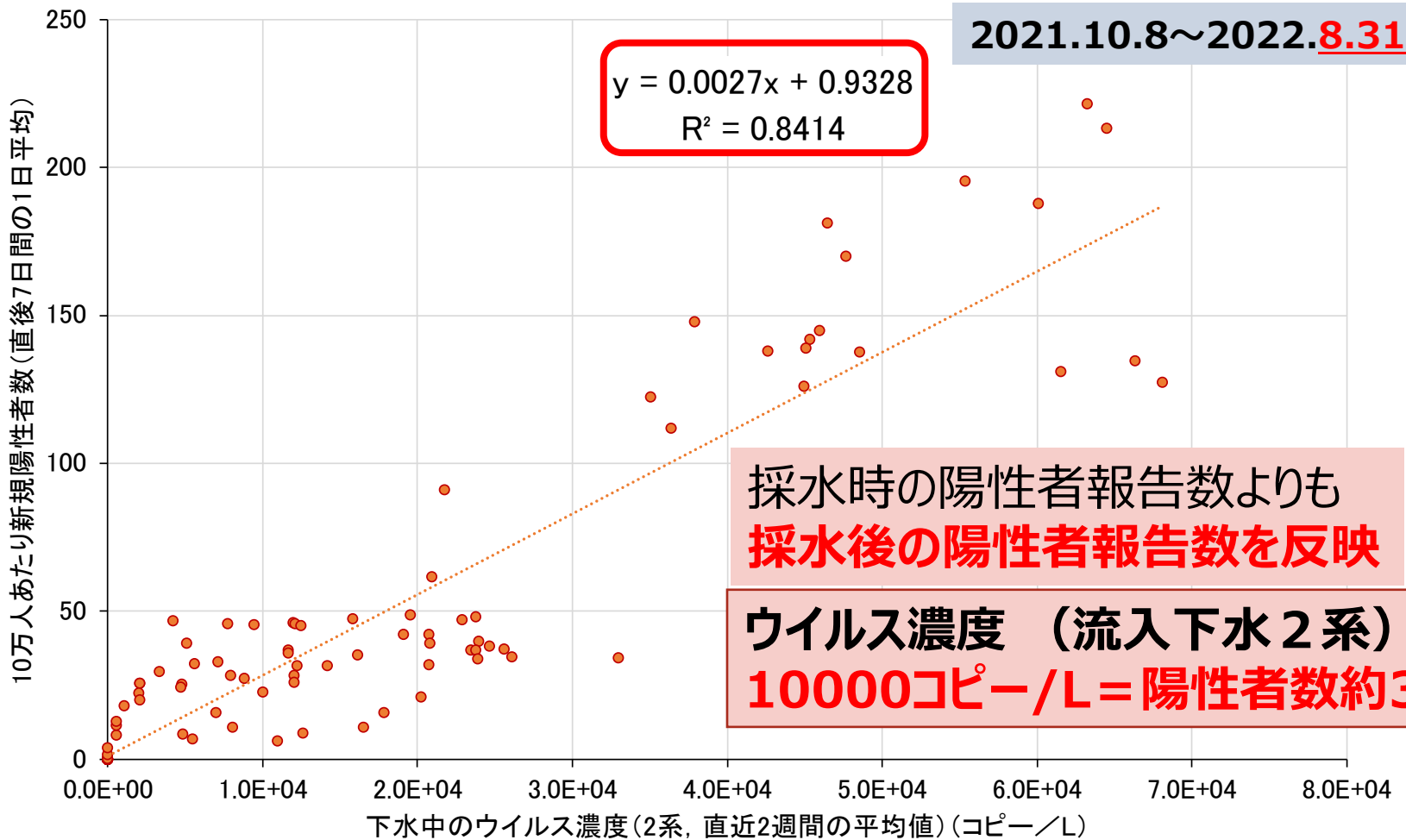


- **ウイルス負荷量(直近2週の移動平均)**が流行変動(山・谷)を早期かつ的確に捉えている
 - ✓ **第6波・第7波の流行開始**の早期検知
 - ✓ **ピークアウト(収束開始)**の早期検知

1. 個別検査のキャパシティや検査対象者選定方針に左右されない恒常的な流行状況の把握

1-2. 下水中ウイルス濃度 2系（直近2week）→新規陽性者数（直後1week）

ウイルス濃度2系(直近2週間平均)→陽性者数(直後1週間平均)

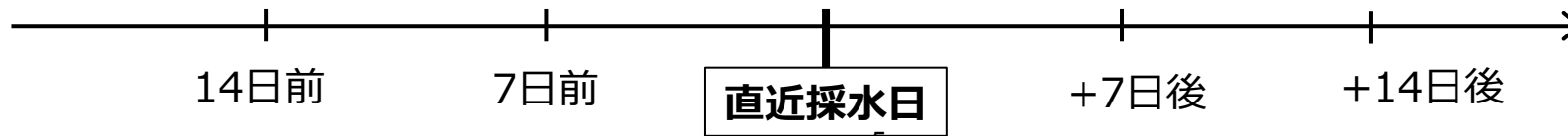


下水指標 :

2週間平均

新規陽性者数 :

1週間平均

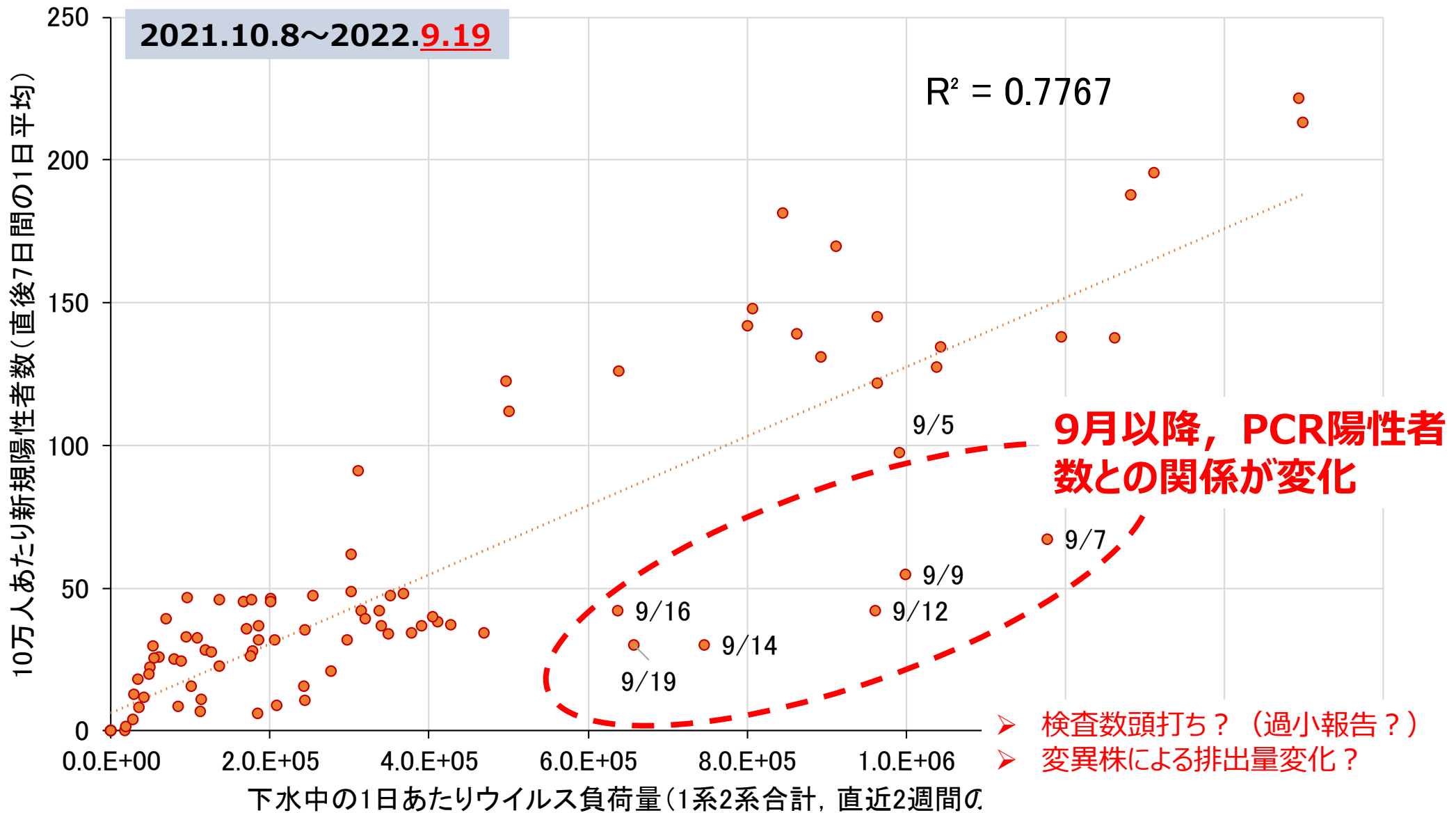


1. 個別検査のキャパシティや検査対象者選定方針に左右されない恒常的な流行状況の把握

1-3. 下水中ウイルス濃度 2系（直近2week）→新規陽性者数（直後1week）

ウイルス負荷量（直近2週間平均）→陽性者数（直後1週間平均）

2021.10.8-2022.9.19



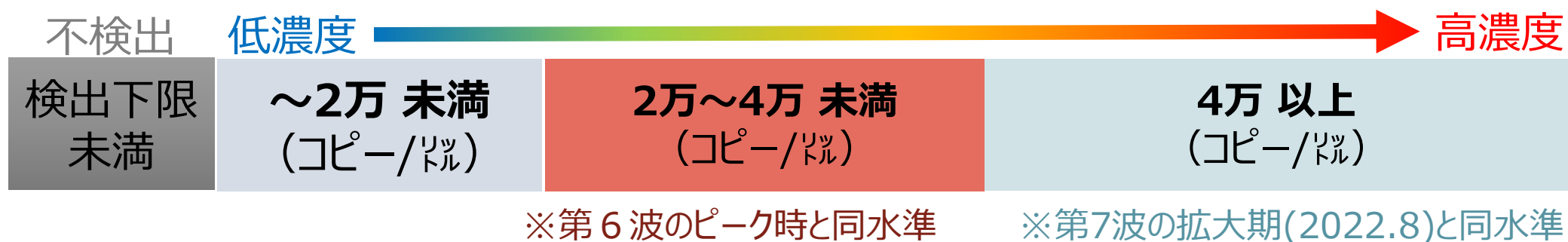
2. 流行の予兆検知や流行トレンド（増加傾向・ピークアウト・減少傾向）の早期検知の検討

2-1. 下水モニタリングから得られる情報

根拠とするデータ：小松市中央浄化センターの流入下水2系
新型コロナウイルス遺伝子濃度の直近2週間の平均値（1リットルあたりのコピー数）
採水頻度：週2回【前週の木曜・月曜】→木曜に分析結果受け取り

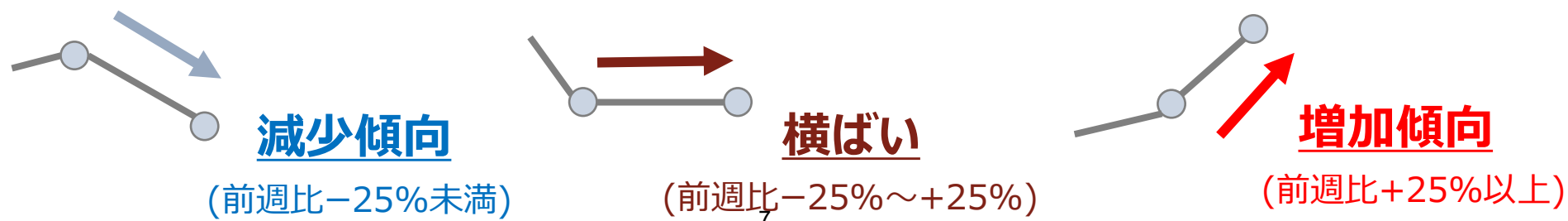
① 流行規模 = 現在どれくらい感染が広がっているか

※下水中のウイルス濃度レベルは、
現在発生している感染者（未診断・未報告を含む）の多さを反映している。



② 流行トレンド = 流行は拡大傾向か / 収束傾向か

※下水中のウイルス濃度の変化率は、
感染者が増加傾向にあるか減少傾向にあるかを反映している。



2. 流行の予兆検知や流行トレンド（増加傾向・ピークアウト・減少傾向）の早期検知の検討

2-2. SNSを用いた下水モニタリング情報の発信（石川県小松市）

小松市下水モニタリングによる
新型コロナウイルス濃度状況

**検出は
ありませんでした**

「新型コロナウイルス濃度状況」情報は
市内の下水中における「ウイルス濃度水準およびその変動」をお知らせすることで今後の流行に備えた行動をとっていただくための情報です。
下水中のウイルス濃度の増減は、今後の感染者数の増減と一致する傾向が見られます。

ウイルスの検出はありませんでしたが、油断せず、感染防止対策を継続しましょう。

詳しくはこの画面をタッチしてください


LINEで防災 リッチメッセージ

「リッチメッセージ」は、テキストや画像を一つのビジュアルにまとめることで、情報を分かりやすく伝えることができるLINE機能です。画面をタッチすることでモニタリング情報の閲覧が可能です。

11月25日より週1回（金曜日）お知らせ予定

小松市下水モニタリングによる
新型コロナウイルス濃度状況

**低水準
注意レベル**

 **減少傾向**


「新型コロナウイルス濃度状況」情報は
市内の下水中における「ウイルス濃度水準およびその変動」をお知らせすることで今後の流行に備えた行動をとっていただくための情報です。
下水中のウイルス濃度の増減は、今後の感染者数の増減と一致する傾向が見られます。

現在の濃度は
「低水準」で「減少傾向」です。引き続き感染防止対策を継続しましょう。

詳しくはこの画面をタッチしてください

小松市下水モニタリングによる
新型コロナウイルス濃度状況

**中水準
警戒レベル**

 **ほぼ横ばい**


「新型コロナウイルス濃度状況」情報は
市内の下水中における「ウイルス濃度水準およびその変動」をお知らせすることで今後の流行に備えた行動をとっていただくための情報です。
下水中のウイルス濃度の増減は、今後の感染者数の増減と一致する傾向が見られます。

現在の濃度は
「中水準」で「ほぼ横ばい傾向」です。引き続き感染防止対策を継続しましょう。

詳しくはこの画面をタッチしてください

小松市下水モニタリングによる
新型コロナウイルス濃度状況

**高水準
特別警戒レベル**

 **増加傾向**

「新型コロナウイルス濃度状況」情報は
市内の下水中における「ウイルス濃度水準およびその変動」をお知らせすることで今後の流行に備えた行動をとっていただくための情報です。
下水中のウイルス濃度の増減は、今後の感染者数の増減と一致する傾向が見られます。

現在の濃度は
「高水準」で「増加傾向」です。一層、感染防止対策の強化をお願いいたします。

詳しくはこの画面をタッチしてください

- **流行規模（感染の広がり具合）**：検出なし・低水準・中水準・高水準
- **流行トレンド（前週からの増減）**：増加傾向・ほぼ横ばい・減少傾向

SNSを通じて市民に毎週配信⁸

2. 流行の予兆検知や流行トレンド（増加傾向・ピークアウト・減少傾向）の早期検知の検討

2-3. SNSとウェブによる市民への情報発信（石川県小松市）

* 小松市情報発信ツール「LINEで 防災」による市民へ情報発信

小松市下水モニタリングによる
新型コロナウイルス濃度状況

低水準
注意レベル

増加傾向

「新型コロナウイルス濃度状況」情報は
市内の下水中における「ウイルス濃度水準およびその変動」をお知らせすることで今後の流行に備えた行動をとっていただくための情報です。
下水中のウイルス濃度の増減は、今後の感染者数の増減と一致する傾向が見られます。

現在の濃度は
「低水準」ですが「増加傾向」です。感染防止対策の見直し、徹底をお願いします。

詳しくはこの画面をタッチしてください

14:00

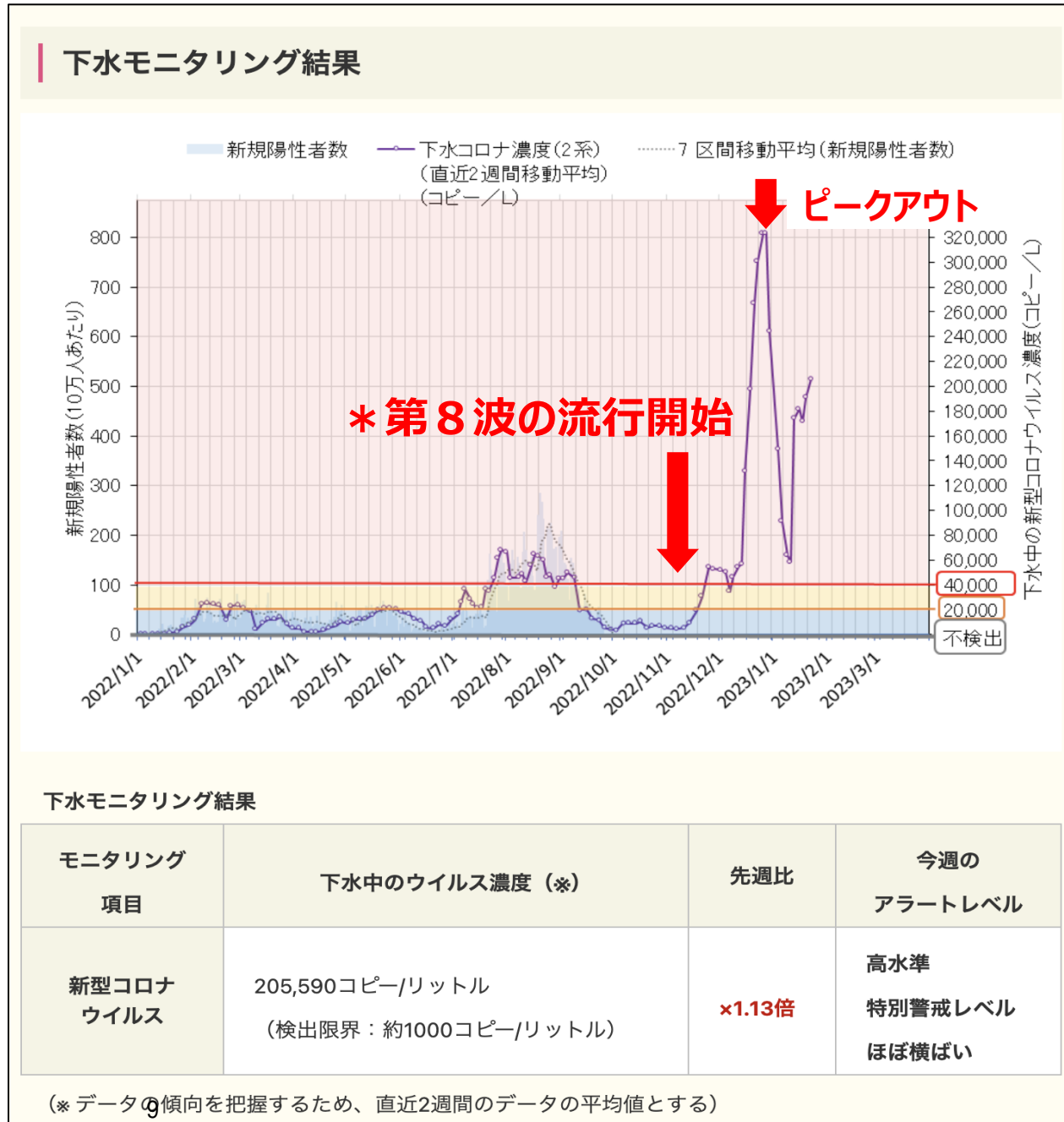
コロナ濃度状況は注意レベルですが、前週から急速に増加し、警戒レベル（第6波のピーク時）に迫っています。感染防止対策の徹底をお願いいたします。

14:00

☰
メニュー 表示 / 非表示 ▶



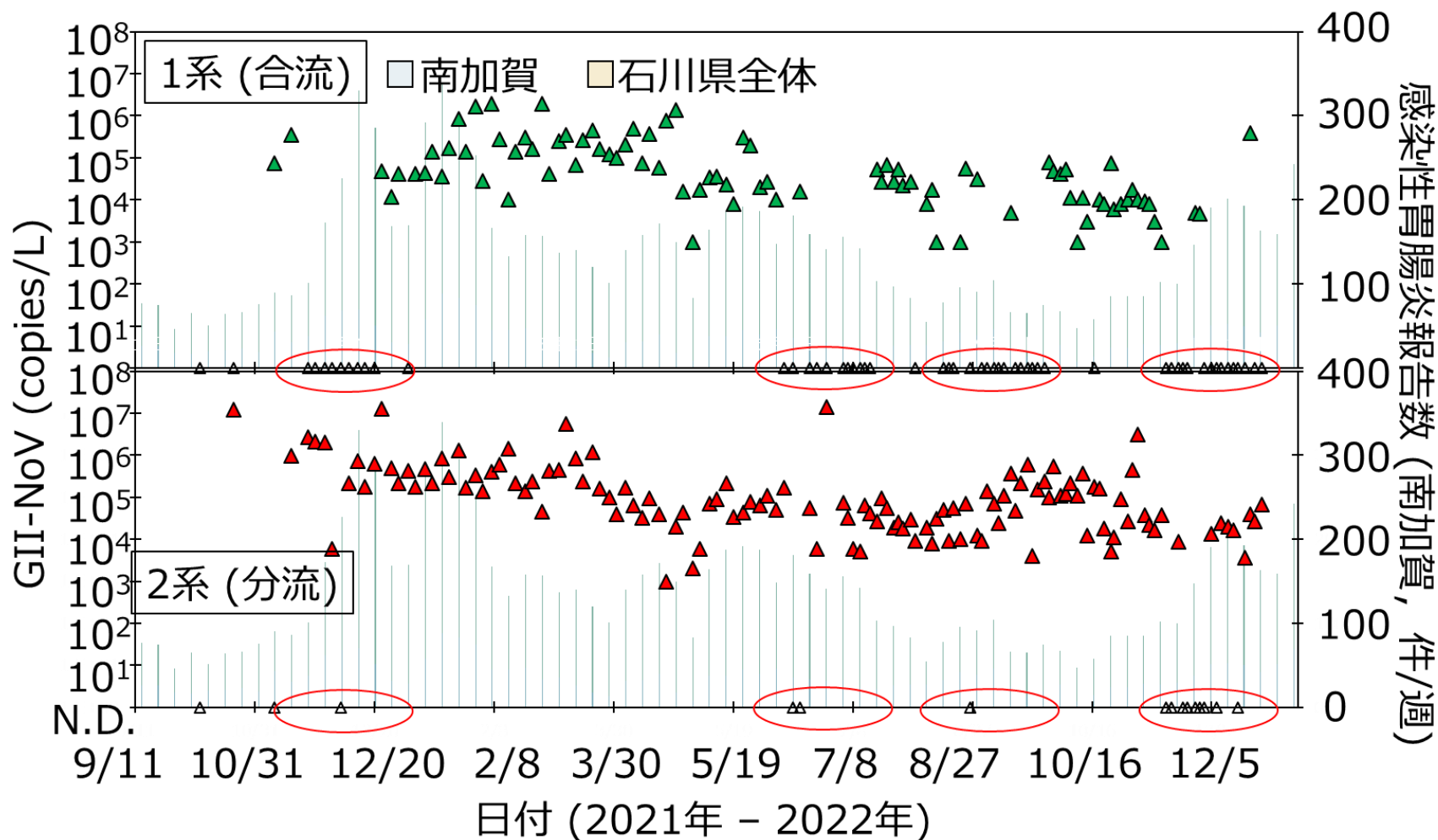
クリックで
ウェブサイトへ



下水中の新型コロナウイルス濃度(コピー/L)

2. 流行の予兆検知や流行トレンド（増加傾向・ピークアウト・減少傾向）の早期検知の検討

2-4.他の感染症予測への適用検討-GII-NoVの検出状況



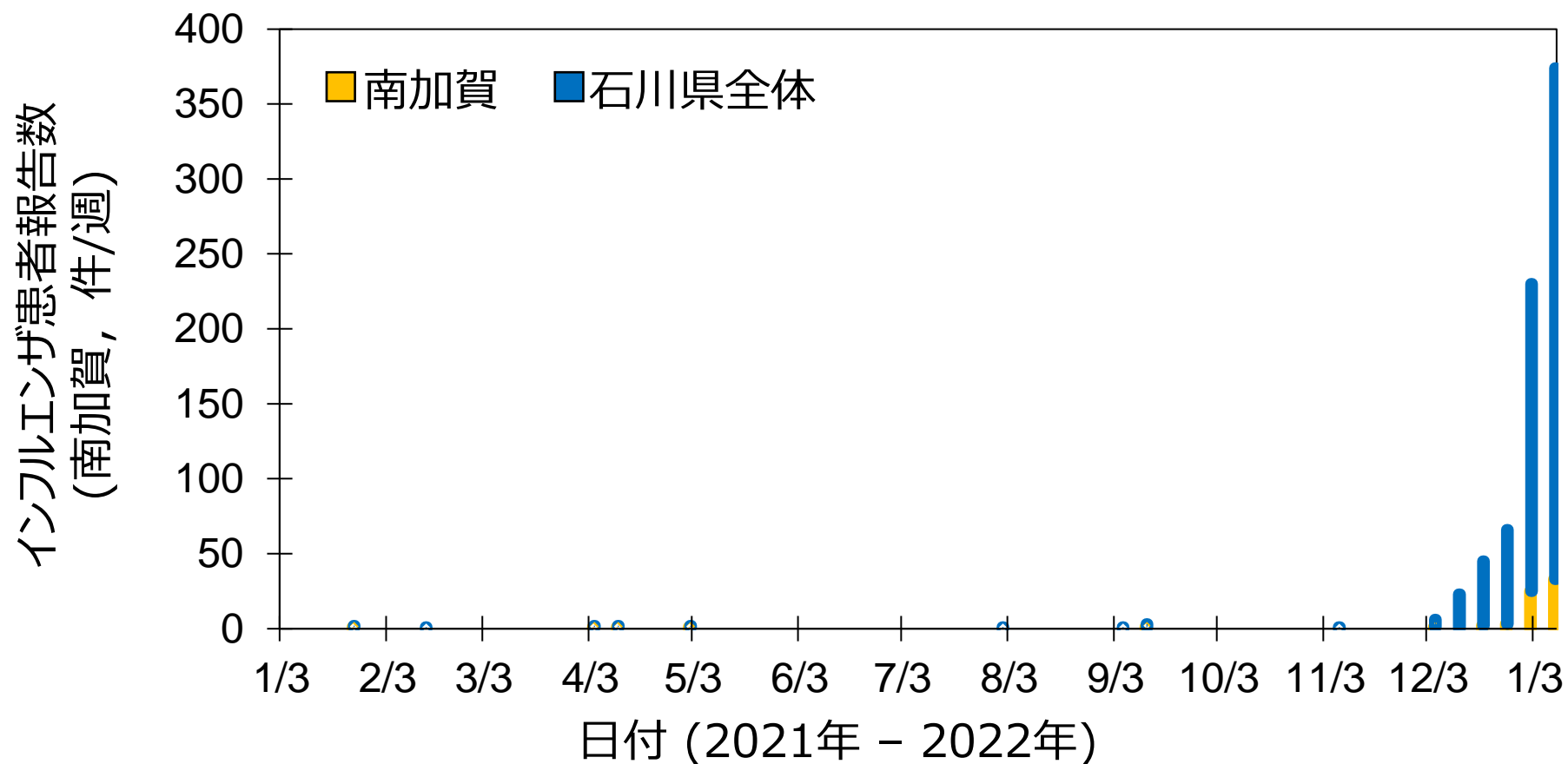
1系: 87/133陽性 (65%)。陰性試料は短期間に集中して現れる。流行状況を反映していると考えられるが、胃腸炎報告数との関連は薄い。

2系: 127/133陽性 (95%)。陰性は1系と概ね同時期に出現。流行状況の差異というよりは、希釈倍率等が影響？

他の感染症予測への適用検討-A型インフルエンザウイルスの検出状況

採水期間, 分析状況等

- 2022年9月2日から2023年12月26日までの100試料を分析 (両流入系で週3回ずつ採水)
- **100試料全て陰性.**
- 県内, 南加賀ともに年明け頃から患者数増.



ウィズコロナ時代を見据えた地域完結型の下水サーベイランスシステムの構築（甲府市）

代表機関 国立大学法人山梨大学

分担機関 山梨県衛生環境研究所 甲府市

実証目的 下水採取当日中にウイルスの分析を完了可能な地元での分析体制を構築すると共に、その体制を活用した感染者数の予測手法を検討する。

- 課題**
- 県外の検査機関に分析を外注する場合、2日～数日以上を要することから、対策を講じる時間の確保が困難となる。
 - 下水の採取日から1週間先までの新規感染者数を予測するモデルがあれば、様々な対策を講じることが可能となるが、信頼性のあるモデルに要求される採水頻度等の最適パラメーターが明らかではない。

1 地元の検査機関を活用した地域での新型コロナウイルスの分析体制の検討

- 甲府市浄化センターで午前中に採水した下水に対し、山梨大学あるいは山梨県衛生環境研究所での分析を当日中に完了する「地域完結型」の下水サーベイランス体制を導入することが可能であるかどうかを検証する。

2 1週間先までの新規感染者数を予測するための最適採水頻度と必要モデルパラメーターの検討

- 下水中のウイルス濃度データに加えて、処理水量等のデータ、下水中の他のウイルスや大腸菌等の分析データを用いた濃度補正、人に対する検査の陽性率等を対象に、感染者数および増減のトレンドを予測する上で最適なパラメーターの組み合わせを検討する。



実証事業の結果概要

1 地元の検査機関を活用した地域での新型コロナウイルスの分析体制の検討

実証テーマ概要（再掲）

- 甲府市浄化センターで午前中に採水した下水に対し、山梨大学あるいは山梨県衛生環境研究所での分析を当日中に完了する「地域完結型」の下水サーベイランス体制を導入することが可能であるかどうかを検証する。

検討結果（達成したこと／分かったこと）

- 午前中に下水を採取すれば、当日夕方までには分析を完了できる体制を構築することができた。
- 実証事業期間中に採取・分析した57試料すべてに対し、4連での逆転写リアルタイムPCRを実施した結果、すべてのウェルから定量可能な濃度で新型コロナウイルス遺伝子を検出することに成功し、高感度かつ迅速な分析が可能であることが分かった（図1）。
- リアルタイムPCRと次世代シーケンス解析により、実証事業期間全体を通じて下水からオミクロン株が検出され、BA4/5が優占している中、11月以降はBQ.1やXBC.1等も検出された（図2）。

今後の課題

- 次世代シーケンスを用いた変異株解析は操作が煩雑で日数を要するため、迅速には分析できないという課題が見出された。迅速なスクリーニングを目的としたリアルタイムPCRと、詳細な変異株解析を目的とした次世代シーケンスを組み合わせた分析体制の構築を検討する必要がある。

2 1週間先までの新規感染者数を予測するための最適採水頻度と必要モデルパラメーターの検討

実証テーマ概要（再掲）

- 下水中のウイルス濃度データに加えて、処理水量等のデータ、下水中の他のウイルスや大腸菌等の分析データを用いた濃度補正、人に対する検査の陽性率等を対象に、感染者数および増減のトレンドを予測する上で最適なパラメーターの組み合わせを検討する。

検討結果（達成したこと／分かったこと）

- トウガラシ微斑ウイルス（PMMoV）濃度を用いた濃度補正等を行わず、最も単純なモデルである、下水中の新型コロナウイルス濃度のみを用いることで、1週間（最長8日間）先までの感染報告者数の増減の傾向を予測できることが明らかとなった（図3）。

今後の課題

- 全数把握見直し前に比べ、見直し後はさらに感染報告者数が過小評価されている可能性が高く、予測値の正確性の判断を困難にしている。今後、定期的にモデルのチューニングを行う際に参照され得る、信頼性のある感染者数データの入手方法について検討する必要がある。
- 実証事業終了時点では感染報告者数が依然として多い状態であるが、今後、感染報告者数が減少傾向に入った場合、さらに再度増加傾向を示した場合にモデルの予測精度が保たれるかどうかを検討する必要がある。

実証事業の結果概要

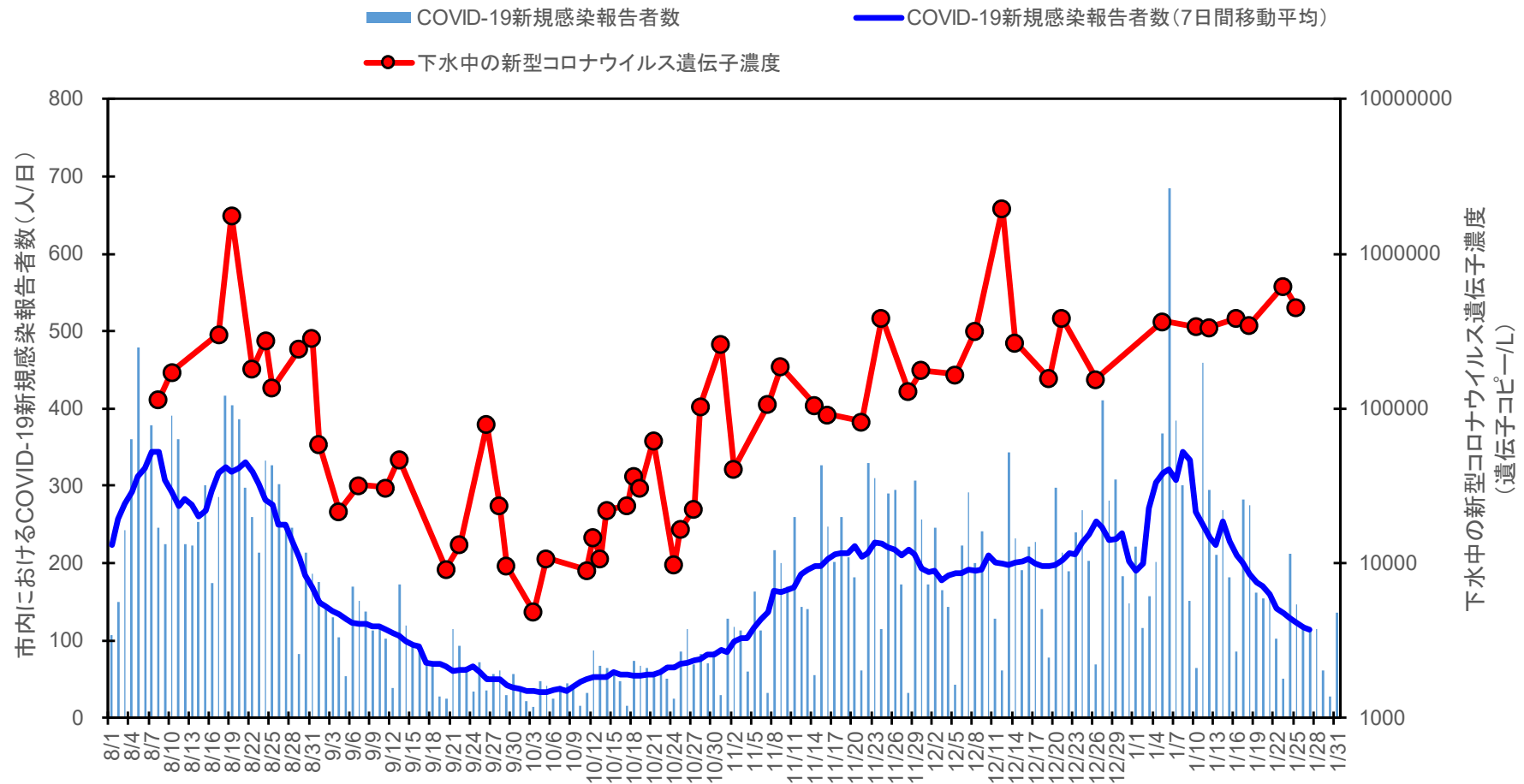


図1 下水中の新型コロナウイルス遺伝子濃度とCOVID-19新規感染報告者数

実証事業の結果概要

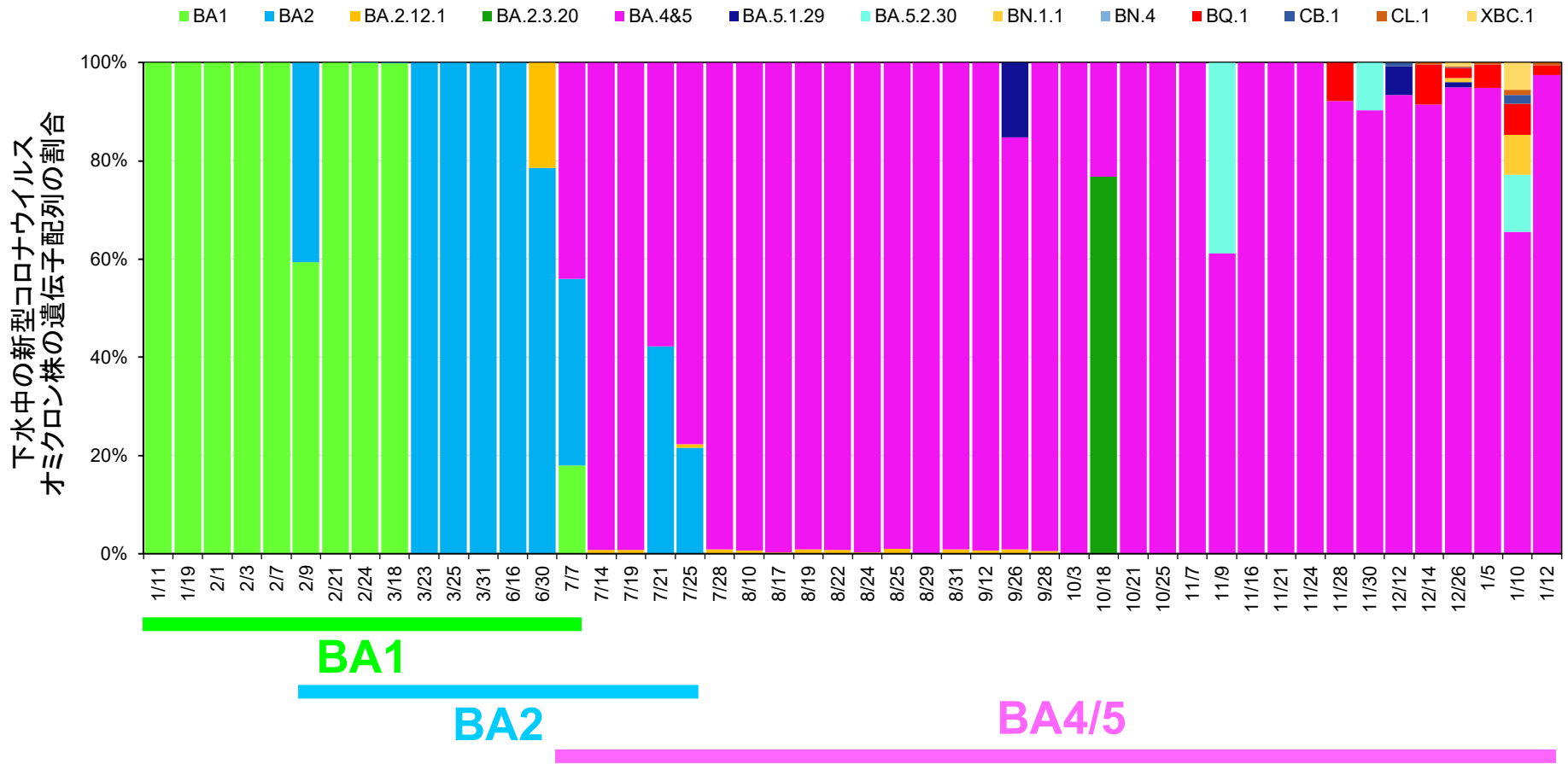


図2 次世代シーケンス解析による下水中の新型コロナウイルス変異株の網羅的検出

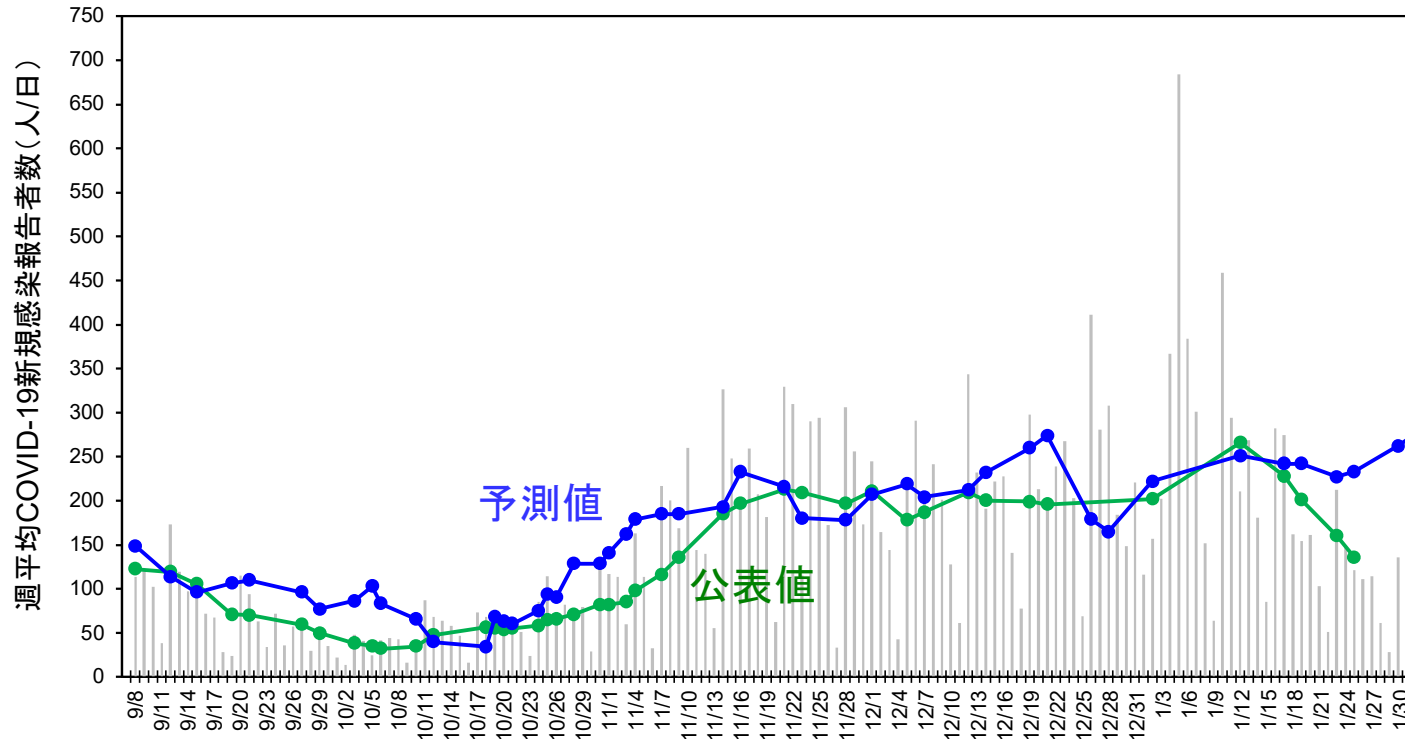


図3 下水中の新型コロナウイルス遺伝子濃度に基づく1週間先の新規感染者数の予測

合流式下水処理場を含む複数処理区を有する政令市における下水サーベイランス実施方法に関する実証（浜松市）

代表機関 ヴェオリア・ジエネット株式会社

分担機関 浜松市 浜松ウォーターシンフォニー株式会社 株式会社AdvanSentinel 京都大学 高知大学

実証目的 市公共下水道の2大処理区において採水分析を行い、下水サーベイランスを実施する上で効果的な採水日と採水頻度を検討する。合流式下水処理場における採水方法や分析結果の補正等を検討するほか、結果を市民に適切に伝える方法を検討する。

- 課題**
- 下水サーベイランスを市内感染拡大及び減少傾向の監視に用いるための情報精度に関するデータが不足している。
 - 市内感染傾向を反映する処理区及び採水方法を検討する必要がある。

1 下水サーベイランスを実施するにあたり必要な検査結果を得る上で適切な処理区（下水処理場）及び採水方法の選定

- 処理区の特徴と流入条件が異なる2つの処理場において、週1回の採水分析を実施し、市内新規陽性者数との相関を確認する。
- 合流式下水処理場において、雨天時と晴天時のそれぞれの場合における時間ごと採水試料を分析し、ウイルス濃度に応じて最も適切な採水時間を検討する。

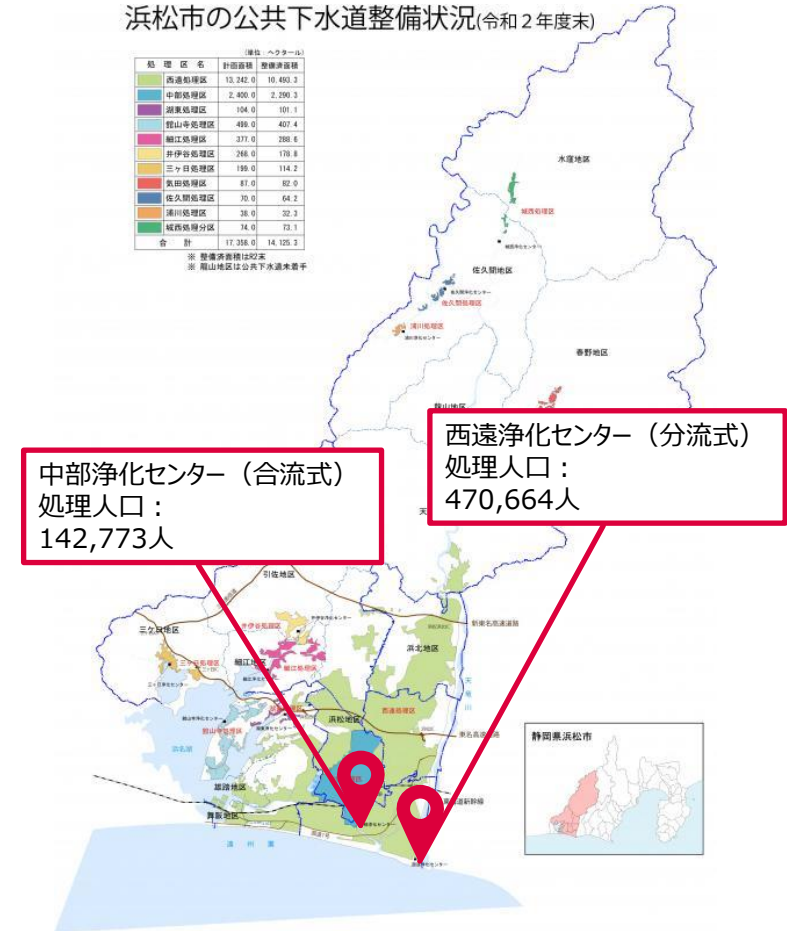
2 下水調査結果を市民に情報発信する方法の検討や課題の抽出

- 2下水処理場における長期採水分析実施、及び下水ウイルス量の増減モニタリングにより、市内新規陽性者数の増減及びピークアウトとの日数差や傾向観測の早期性を確認する。
- 下水試料分析結果の公表について、最適な手法を検討する。

浜松市の公共下水道整備状況(令和2年度末)

処理区名	計画面積	整備済面積
西遠処理区	13,242.0	10,480.3
中部処理区	2,800.0	2,290.3
湖東処理区	704.0	310.1
碧山中央処理区	486.0	407.4
柳江処理区	377.0	388.6
伊予谷処理区	266.0	178.8
三ヶ谷処理区	195.0	114.2
乳田処理区	87.0	82.0
佐久間処理区	35.0	64.2
清川処理区	38.0	32.3
城西処理分区分	34.0	73.1
合計	17,336.0	14,125.3

※ 整備済面積は2020年
※ 湖山地区は公共下水道未整備



実証事業の結果概要

1 下水サーベイランスを実施するにあたり必要な検査結果を得る上で適切な処理区（下水処理場）及び採水方法の選定 2 下水調査結果を市民に情報発信する方法の検討や課題の抽出

実証テーマ概要（再掲）

- 処理区の特徴と流入条件が異なる2つの処理場において、週1回の採水分析を実施し、市内新規陽性者数との相関を確認する。
- 合流式下水処理場において、雨天時と晴天時のそれぞれの場合における時間ごと採水試料を分析し、ウイルス濃度に応じて最も適切な採水時間を検討する。

検討結果（達成したこと／分かったこと）

- オペレーションの観点から、採水は週に1回のスポット採水が望ましい。しかし、週1回のスポットサンプル試料のPCR分析によるウイルス濃度は、採取から分析までの工程で値のバラツキが大きく、市内陽性者数との相関を確認することが難しい。（図1、図2参照）
- スポット採水により生じるバラつきを抑え、相関を捉えるためにはPMMoV値による補正が有効であり、補正後のデータは統計的に有意な相関が見られる。（図3、図4参照）
- 合流式下水処理場である中部浄化センターにおける雨天時の採水方法を検討するため、オートサンプラーを用いて時間帯別試料の分析を4週間実施した。その結果、中部浄化センターでは雨天時に予測不可能なウイルス濃度の乱高下が見られるため雨天時の採水は避ける必要があると分かった。雨天時の採水試料は定量下限値を下回ることもあり、その場合には上述のPMMoV濃度による補正を行うことも不可能となる。晴天日の時間別採水試料のウイルス濃度は、10時の試料ウイルス濃度が最も高い結果となった。朝の通学や出勤前の時間帯にトイレや洗面所を通じて流入する汚水が処理場に到達する時間帯となっていることが推察される。この結果から、晴天時のスポット採水実施時間帯として10時を選定した。（表1、図5参照）
- 以上の検討により、西遠処理区における週1回のスポット採水が下水サーベイランスを実施するにあたり必要な検査結果を得る上で最適となる。

今後の課題

- 中部浄化センターでは雨天時の採水は避ける必要がある。浜松市は、市の下水道処理区域内人口の7割以上をカバーする分流式の西遠浄化センターがあり、下水サーベイランスを実施する場合には、当該処理区を選定することが望ましい。

実証テーマ概要（再掲）

- 2下水処理場における長期採水分析実施、及び下水ウイルス量の増減モニタリングにより、市内新規陽性者数の増減及びピークアウトとの日数差や傾向観測の早期性を確認する。
- 下水試料分析結果の公表について、最適な手法を検討する。

検討結果（達成したこと／分かったこと）

- 全数把握の代替、市内感染拡大及び縮小傾向の早期検知、不顕性陽性者の把握による市民への情報発信もしくは庁内体制整備のための利活用等の活用可能性について、健康福祉部保健環境研究所と協議を行ったものの、将来的に全数把握が終了しても、これまでの定点観測数との比などからおおよその全数を推定可能、下水サーベイランスデータの早期性が乏しい、その他の感染症においても不顕性陽性者は把握していないために新型コロナウイルスについても把握のニーズがない等の理由により実用化に至っていない。
- 下水サーベイランスデータの公表媒体について、浜松市感染症情報センターのHPを検討したものの、所管する健康福祉部保健環境研究所では検査結果の信頼性を担保できないため、その他の感染症情報と横並びで掲載することが難しい。また市民の新型コロナウイルスに対する関心が薄れてきており、掲載する意義を見出すことができない。

今後の課題

- 検査に関して、同じサンプルにてすべての工程を独立して行った場合の再現性を高める等の信頼性向上や、時間短縮、検査方法の共通化、より早い検知・予測等を検討する必要がある。また、臨床PCRで検査された陽性者の報告数に関しては、自治体ごとの統計データが公表され、国民が得られる情報となっている一方、下水サーベイランスでは、自治体ごとに下水処理場の特性が異なり、さらに異なる検査手法を用いているため、得られた定量データについて自治体間の結果の比較を行うことができないという課題がある。

実証事業の結果概要

新規感染者, 新規感染者7日間移動平均, 西遠_スポット採水結果_SARS-CoV2遺伝子量

※定量下限値463copy/L ※定量下限値未満=1, 陰性=0

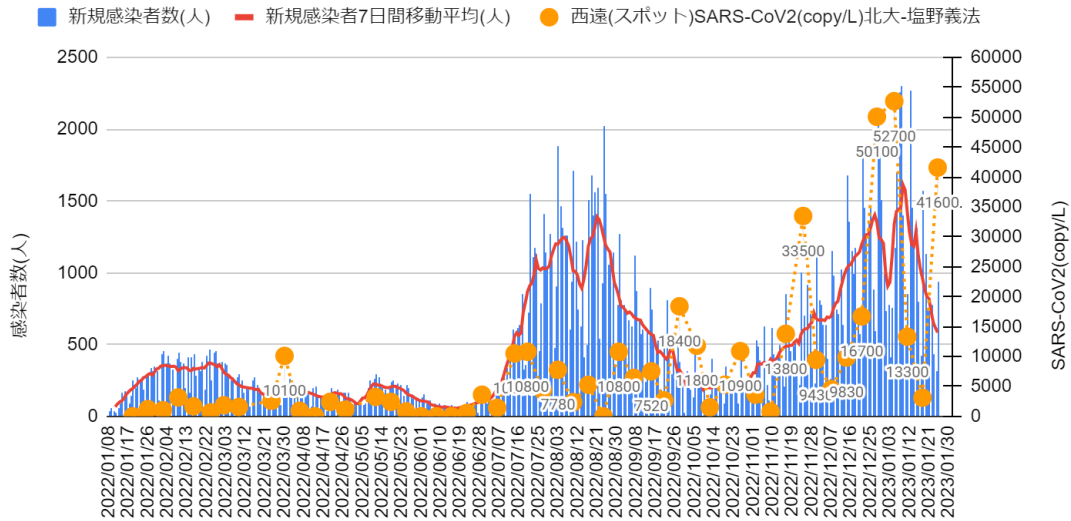


図1 西遠浄化センター採水試料分析結果

注) 7日間移動平均は、該当の日付とその前後3日分の計7日間の移動平均を算出。
出所) ヴェオリア・ジェネッツ作成

新規感染者, 新規感染者7日間移動平均, 中部_採水結果_SARS-CoV2遺伝子量

※定量下限値463copy/L ※定量下限値未満=1, 陰性=0

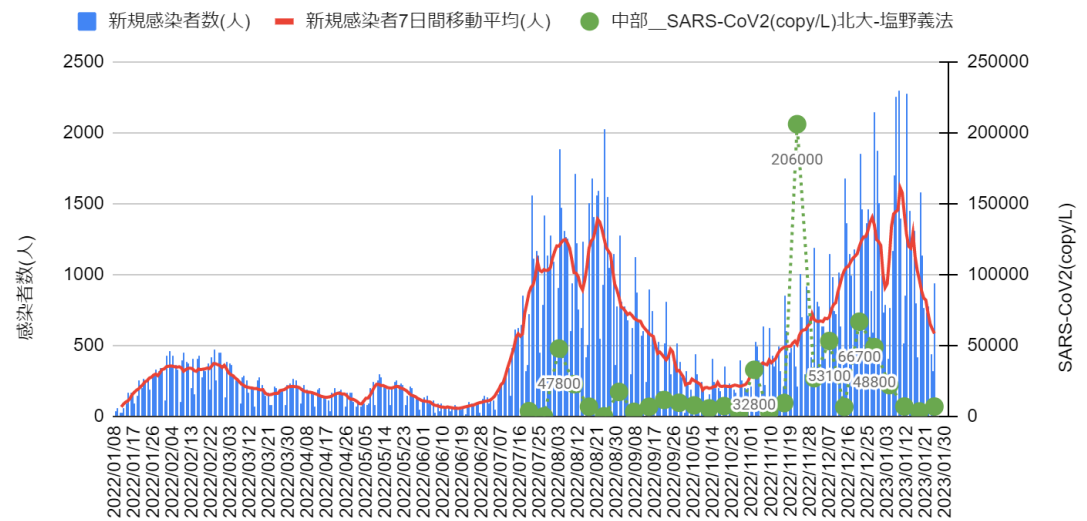


図2 中部浄化センター採水試料分析結果

注) 7日間移動平均は、該当の日付とその前後3日分の計7日間の移動平均を算出。
出所) ヴェオリア・ジェネッツ作成

実証事業の結果概要

【対数表示】西遠(スポット)_新規感染者、新規感染者7日間移動平均、下水中ウイルス濃度PMMoV補正(2点平均)

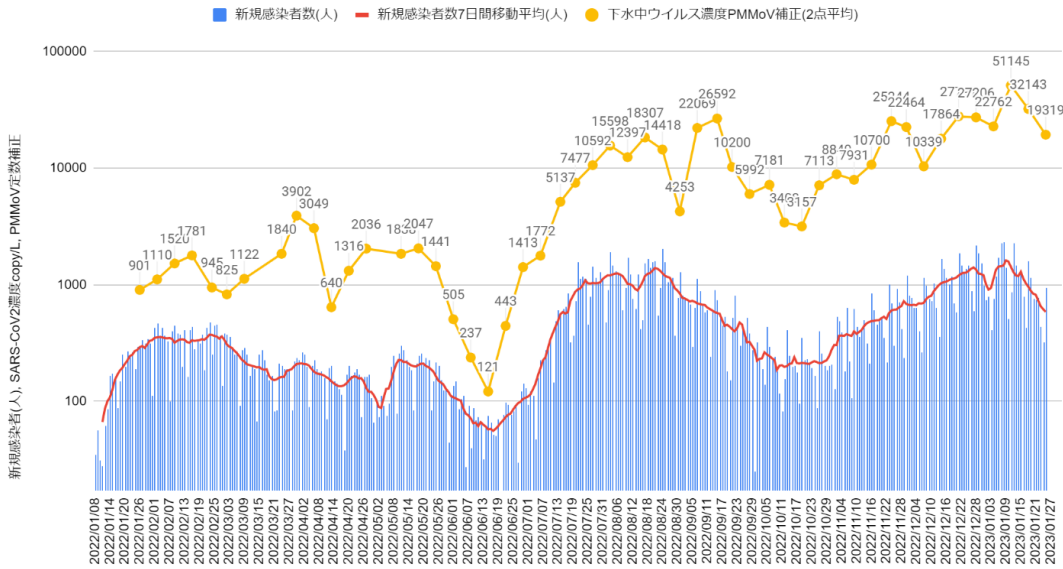


図3 西遠浄化センター採水試料分析結果PMMoV補正

注)7日間移動平均は、該当の日付とその前後3日分の計7日間の移動平均を算出。

出所)ヴェオリア・ジェネッツ作成

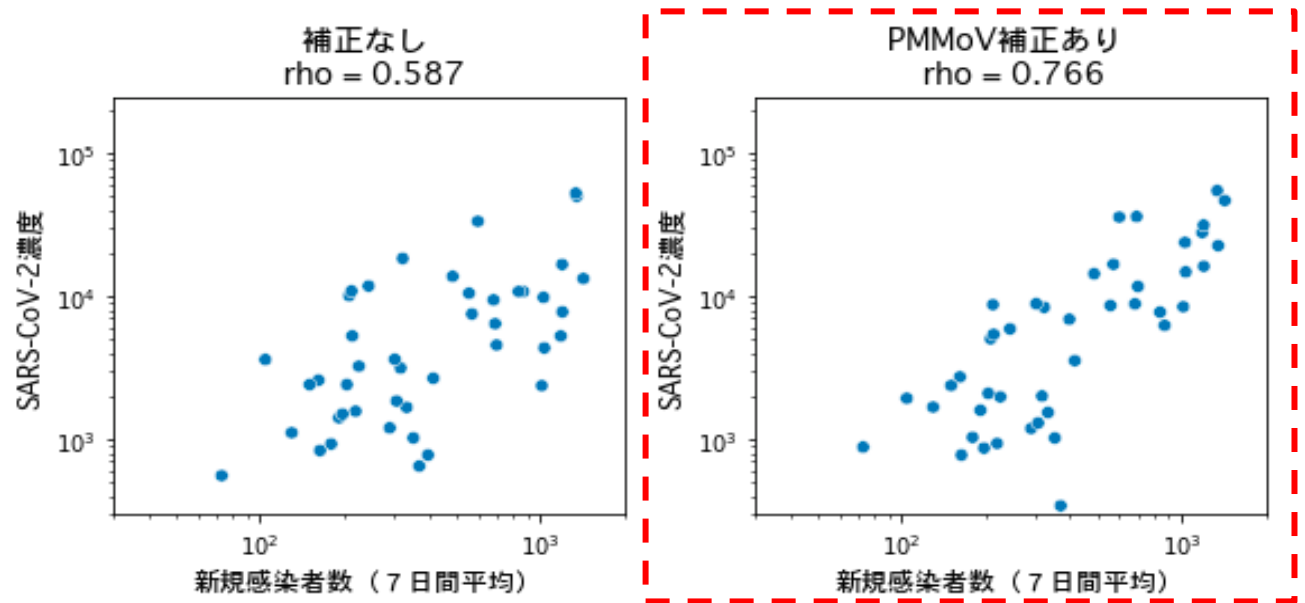


図4 西遠浄化センター採水試料PMMoV補正結果有無のスパイアマン相関

注)7日間移動平均は、該当の日付とその前後3日分の計7日間の移動平均を算出。

出所)京大工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター遠藤先生作成

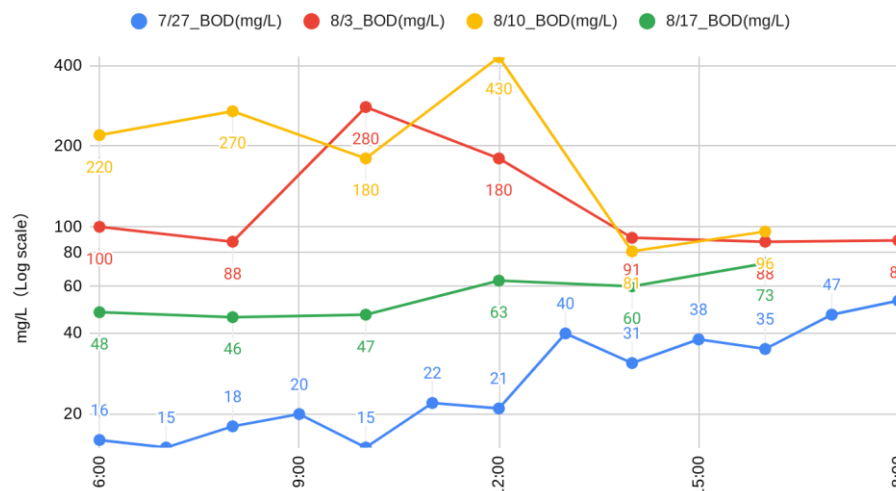
実証事業の結果概要

表 1 中部浄化センター時間別採水実施概要

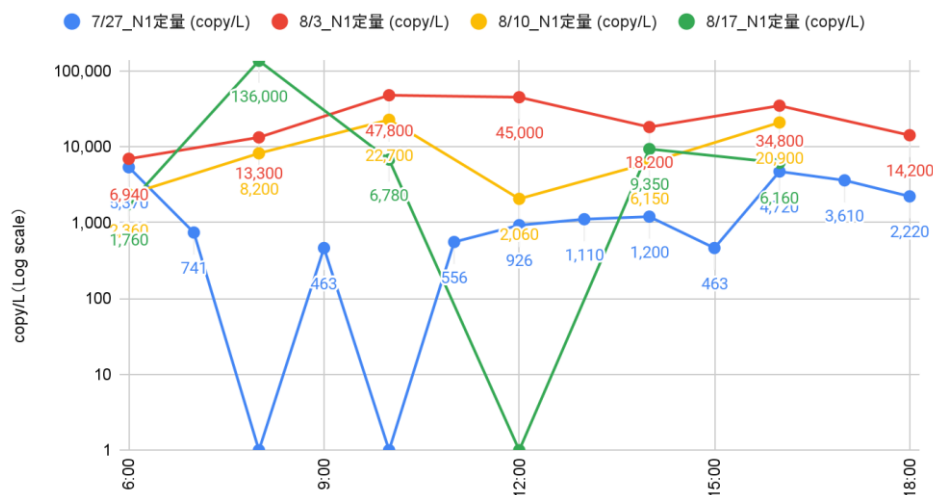
時刻	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
7/27	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8/3	○		○		○		○		○		○		○
8/10	○		○		○		○		○		○		○
8/17	○		○		○		○		○		○		○

降水量	7/27		8/3		8/10		8/17	
	前日	当日	前日	当日	前日	当日	前日	当日
現場	83.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
気象庁	162	4.5	-	-	0	0	17	1

時間別_BOD (mg/L)



時間別_N1定量 (copy/L)



時間別_PMMoV (copy/L)

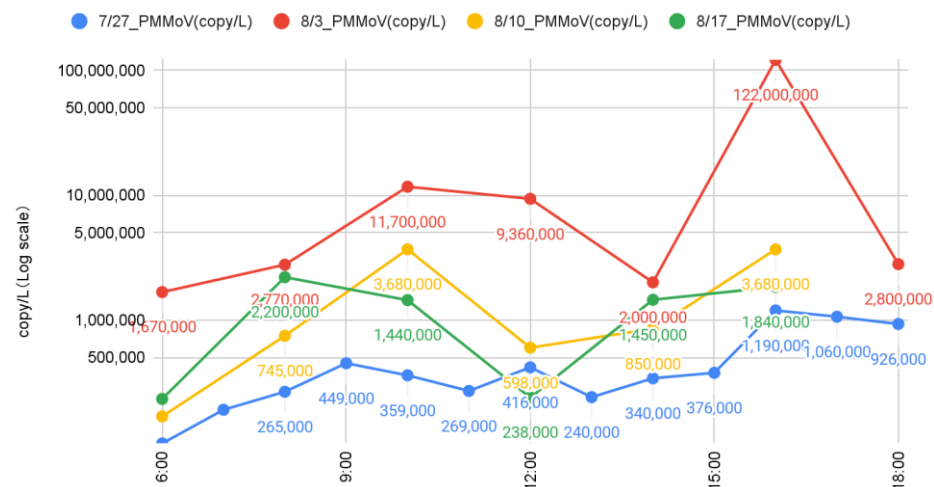


図 5 中部浄化センター時間別採水試料分析結果と採水日降水量
出所)ヴェオリア・ジェネッツ作成