

申請者番号：１００１

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
下水サーベイランスの活用に関する実証事業
下水処理場実証 報告書

実証名 下水サーベイランスを活用した感染トレンド把握及び感染者数の推計に関する実証

令和５年１月３１日
代表機関 札幌市

目次

1.	基本項目	1
1.1	実証名	1
1.2	実証を行う期間	1
1.3	事業実施体制	1
1.4	実証を行う地域・範囲	2
2.	下水サーベイランス実証事業の目的・概要	4
2.1	下水サーベイランスの位置づけ	4
2.2	下水サーベイランスの課題	4
2.3	課題解決策	4
3.	下水サーベイランス実証事業における実施方法	6
3.1	テーマ①下水サーベイランス結果からの感染トレンドの把握に係る検討	6
3.2	テーマ②下水調査結果を活用するにあたり適切な採水方法・検査頻度の検討 ..	7
3.3	テーマ③下水調査結果からの将来の感染者数（新規陽性者数）を推計する手法の検討	8
4.	下水サーベイランス実証の結果	10
4.1	テーマ①下水サーベイランス結果からの感染トレンドの把握に係る検討	10
4.1.1	検討結果（達成したこと／分かったこと）	10
4.1.2	今後の課題	13
4.2	テーマ②下水調査結果を活用するにあたり適切な採水方法・検査頻度の検討 .	14
4.2.1	検討結果（達成したこと／分かったこと）	14
4.2.2	今後の課題	18
4.3	テーマ③下水調査結果からの将来の感染者数（新規陽性者数）を推計する手法の検討 ...	19
4.3.1	検討結果（達成したこと／分かったこと）	19
4.3.2	今後の課題	22
5.	地方公共団体の活用ニーズを踏まえた活用・実装に関する検討	23
5.1	本事業を通じて把握された活用ニーズ（No. 1）	23
5.1.1	活用ニーズ概要	23
5.1.2	活用・実装の状況（試行、年度内準備中を含む）	23
5.1.3	活用・実装できなかった理由	24

5.2	本事業を通じて把握された活用ニーズ（No. 2）	25
5.2.1	活用ニーズ概要	25
5.2.2	活用・実装の状況（試行、年度内準備中を含む）	25
5.2.3	活用・実装できなかった理由	25
5.3	本事業を通じて把握された活用ニーズ（No. 3）	26
5.3.1	活用ニーズ概要	26
5.3.2	活用・実装の状況（試行、年度内準備中を含む）	26
5.3.3	活用・実装できなかった理由	26
6.	下水サーベイランス実証事業終了後の展開	27
6.1	事業終了後の継続・展開方針	27
6.2	事業終了後の実施体制	27
6.3	事業終了後の結果活用・公表方法	27
6.4	事業終了後の費用	27
7.	活用に向けた課題及び解決策	29
7.1	採水	29
7.2	輸送	29
7.3	分析・解析	29
7.4	活用	30
7.4.1	体制整備	30
7.4.2	ニーズ把握	30
7.4.3	活用イメージ具体化	30
7.4.4	試行	30
7.4.5	公表・情報提供	31
7.4.6	評価・改善	31
8.	採水から分析結果を出すまでの時間・費用	32

1. 基本項目

1.1 実証名

下水サーベイランスを活用した感染トレンド把握及び感染者数の推計に関する実証

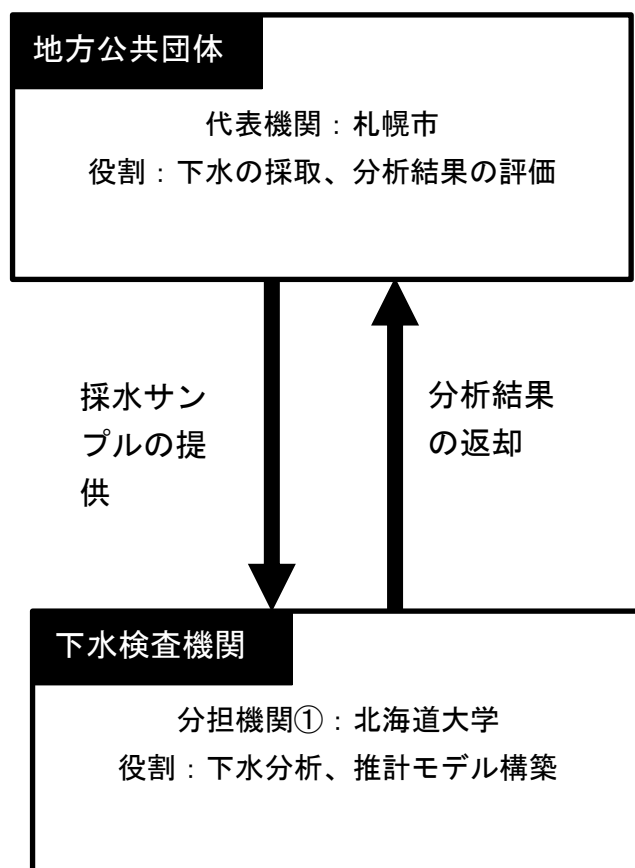
1.2 実証を行う期間

2022 年 7 月 1 日～2023 年 1 月 31 日

1.3 事業実施体制

区分	機関名	所属部署・役職	代表者	住所
代表機関	札幌市	市長	秋元 克広	札幌市中央区北 1 条西 2 丁目
分担機関 ①	国立大学法人 北海道大学	大学院工学研 究院 准教授	北島 正章	札幌市北区北 13 条西 8 丁目

(体制図)



1.4 実証を行う地域・範囲

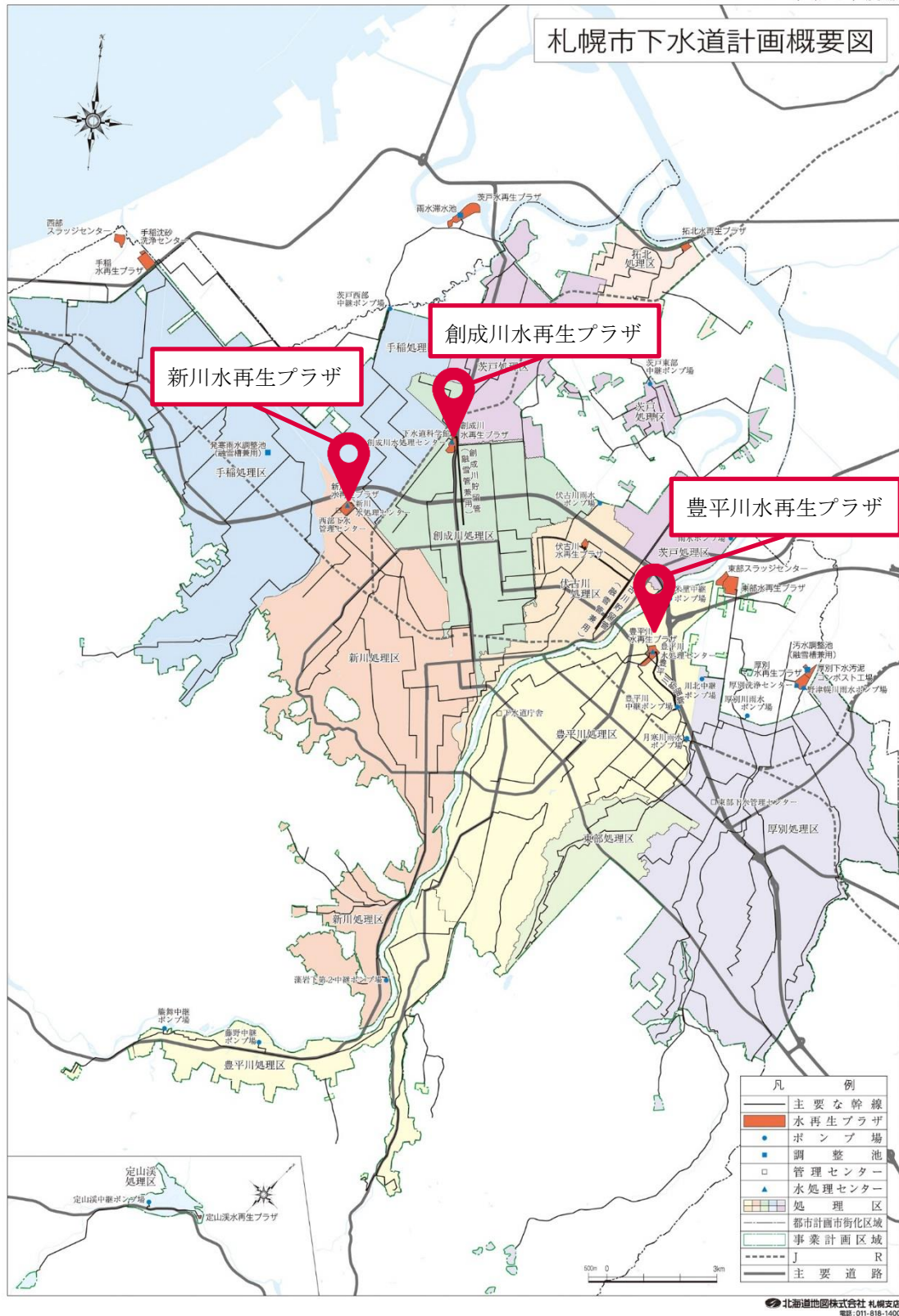
北海道札幌市

(採水施設一覧)

No.	採水施設名	処理人口	処理区域
1	創成川水再生プラザ (合流式)	245,300 人 (人口カバー率：12.4%)	次の行政区の一部 中央区、北区、東区 創成川の上流部に位置し、地表勾配は南から北へ下る比較的平坦な地域である。土地利用は住居地区、商業地区に分かれ、古くからの市街地が多い。
2	豊平川水再生プラザ (合流式)	426,600 人 (人口カバー率：21.7%)	次の行政区の一部 白石区、豊平区、南区 豊平川と月寒川にはさまれた豊平川右岸の、上流は簾舞・常盤地区より下流は米里・北郷地区にわたる地域である。土地利用としては、上流側（第1）は山間地及び丘陵地の急勾配で、下流側（第1・第2）は平坦な商業・準工業・住居地域となっている。
3	新川水再生プラザ (合流式)	348,900 人 (人口カバー率：17.7%)	次の行政区の一部 中央区、北区、南区、西区 当処理区は東の豊平川・創成川、西の発寒川・山岳部、北東の創成川処理区界・琴似川で囲まれた地域である。東北部（第1）に比較的平坦な本市中心部を含む商業地域が広がり、南西部（第2）の山間・山麓部は急勾配地で住居地域となっており、北西部（第1）は琴似の商業地域を中心に準工業・住居地域となっている。

【地図】

令和4年度版



2. 下水サーベイランス実証事業の目的・概要

2.1 下水サーベイランスの位置づけ

札幌市では、感染者数と下水中の新型コロナウイルス RNA 濃度の関連性の解明と下水サーベイランスの感染状況把握等への活用の検討を目的として、令和3年2月から北海道大学の受託研究制度を利用して調査を行ってきました。

市内10か所の下水処理場のうち都心部に近く大規模な3処理場5系統を調査対象とし、週3回の頻度で24時間コンポジットサンプルの分析を行った結果、下水中の新型コロナウイルス RNA 濃度と新規陽性者数の増減パターンは概ね合致していることを確認しました。一方で、調査期間のある時期においては、ウイルス RNA 濃度が新規陽性者数と異なるパターンで推移する状況が見られました。このことから、下水の調査により新規陽性者とその背景に存在する無症状感染者（陽性者としては報告されないがウイルス RNA を排出）を含んだ真の流行状況を俯瞰的に捉えることができる可能性が示唆されています。

調査結果については、1週間の検出率及びウイルス RNA 濃度を算出し、検出率は市内の感染者の面的な広がり把握するための指標として、ウイルス RNA 濃度は市内の感染者数の変動を把握するための指標として、札幌市の保健衛生部局や危機管理部局と共有しているほか、毎週実施している市長副市長ミーティングにおいて経営層への情報提供として報告しており、市内の感染状況を把握するための補助的な資料として活用されています。

2.2 下水サーベイランスの課題

下水中のウイルス RNA 濃度と新規陽性者数の増減パターンは概ね合致していることは確認できていますが、ウイルス濃度の測定結果がばらついたり、新規陽性者数と一様な相関を示さない場合があり、調査結果を対外的に説明することが難しいこともあって、市民への情報提供など、より踏み込んだ活用には至っていないのが実情です。

測定結果のばらつきを平準化するためには、検査頻度を高めることや糞便指標ウイルス（トウガラシ微斑ウイルス：PMMoV）を追加で測定する必要がありますが、下水道事業の厳しい財政状況の中で財源の確保が難しく、コロナ対策を担う保健福祉局においても該当する補助金等はないため、下水サーベイランスを社会実装するには財源の確保に加えて、感染状況に応じた適切な調査頻度について検討する必要があると考えています。

また、下水サーベイランスを政策判断へ活用するには、将来（約2週間後）の感染状況を予測することが期待されていますが、下水調査結果から将来の感染者数を推計する手法が確立されていないため、感染拡大を早期に探知することが難しい状況です。

2.3 課題解決策

これを解決するためには、下水サーベイランスにより感染状況を精度よく把握できることが求められており、長期的な新規陽性者数等の感染状況とウイルス RNA 濃度の関係性の確認や、デー

データの信頼性を確保するために必要な検査頻度の検証が必要です。また、蓄積したデータの活用により、精度の高い感染者数の推計モデルを構築する必要があります。

(本事業での実証テーマ一覧)

- ① 下水サーベイランス結果からの感染トレンドの把握に係る検討
- ② 下水調査結果を活用するにあたり適切な採水方法・検査頻度の検討
- ③ 下水調査結果から将来の感染者数（新規陽性者数）を推計する手法の検討

3. 下水サーベイランス実証事業における実施方法

3.1 テーマ①下水サーベイランス結果からの感染トレンドの把握に係る検討

下水中の新型コロナウイルス RNA 濃度と保健衛生部局が提供する新規陽性者数等の感染動向データとの関係性を把握し、下水サーベイランスによる感染トレンド（感染拡大及びピークアウト）の早期探知の可能性について検証します。

また、今後、臨床検査の検査対象が絞り込まれることを想定し、真の感染状況を把握するための手法としての下水サーベイランスの活用について、保健衛生部局と検討を行います。

No.	実施項目	実施方法	担当機関	マイルストーン
①	処理場での採水	採水場所 ：創成川水再生プラザ、豊平川水再生プラザ（第1、第2）、新川水再生プラザ（第1、第2） 採水頻度：週3回 採水方法：自動採水器による24時間コンポジットサンプリング	札幌市	週3回：採水実施
②	採取検体の輸送	札幌市が契約する運搬業者が、採水当日に北海道大学へ運搬	札幌市	週3回：検体輸送実施
③	採取検体の分析	北海道大学が高感度手法である北大一塩野義法（仮）により検体中のウイルス RNA 濃度を測定	北海道大学	分析結果が出る都度（採水から1～2日後）：分析結果データ
④	感染状況の情報入手	札幌市保健福祉局から、市内全域及び行政区ごとの新規陽性者数等のデータを入手	札幌市	分析結果が出る都度（採水から1～2日後）：採水日の新規陽性者数
⑤	感染状況情報と採取した検体の分析結果との比較分析	札幌市が調査区域全域及び処理区域別に下水からの検出率及びウイルス RNA 濃度の算出を行い、新規陽性者数等の感染状況情報と比較	札幌市	10月末まで：ウイルス RNA 濃度からの感染者数の推計 12月末まで：処理区ごとの感染動向把握の検証

No.	実施項目	実施方法	担当機関	マイルストーン
		ウイルス RNA 濃度から地域の感染状況を推計する手法の検討		
⑥	共同体における情報共有・活用を目指した検討	毎週、最新の調査結果を共有し、感染状況把握の参考にするとともに、月 1 回程度の頻度で、具体的な活用方法を検討するための協議を実施	札幌市 北海道大学	週 1 回：情報の共有 月 1 回：活用を目指した検討会議

3.2 テーマ②下水調査結果を活用するにあたり適切な採水方法・検査頻度の検討

市内の感染状況を的確に把握できるサンプリング方法を検証するため、1 時間ごとの採水・分析を行い、新型コロナウイルス RNA 及び PMMoV RNA 濃度の日間変動を把握します。PMMoV は、下水の「濃さ」を示す指標と考えられる（例えば、家庭排水が雨水や工場排水で希釈されれば PMMoV 濃度が低くなる）ことから、新型コロナウイルス RNA 濃度を PMMoV で平準化することで感染者数の動向とより高い相関が得られることが期待されます。そのため、PMMoV RNA を追加測定しデータを平準化することの有効性を検討します。

また、これまでに蓄積したデータや本実証で得られたデータを解析し、データのばらつきの要因究明を行うとともに、データの信頼性や経済性の観点から効率的な調査頻度について検討を行います。

No.	実施項目	実施方法	担当機関	マイルストーン
①	処理場での採水	採水場所 ：創成川水再生プラザ、豊平川水再生プラザ（第 1、第 2）、新川水再生プラザ（第 1、第 2） 採水頻度：実証期間中に 3 回 採水方法：自動採水器による 1 時間ごとのスポットサンプリング（24 時間分）	札幌市	8 月、10 月、12 月：採水実施
②	採取検体の輸送	札幌市が契約する運搬業者が、採水当日に北海道大学へ運搬	札幌市	採水の都度：検体輸送実施

No.	実施項目	実施方法	担当機関	マイルストーン
③	採取検体の分析	北海道大学が高感度手法である北大一塩野義法（仮）により検体中のウイルス RNA 濃度を測定し、合わせて、糞便指標である PMMoV RNA 濃度を測定	北海道大学	分析結果が出る都度（採水から 1～2 日後）：分析結果データ
④	最適な採水方法・頻度の検討	ウイルス RNA 濃度、PMMoV RNA 濃度の日間変動及びテーマ①で得られたデータから、適切な採水方法、頻度、データ平準化方法等について検討し、効率的な調査体制について検証	札幌市 北海道大学	10 月末まで：日間変動の把握及びデータ平準化方法の検討 12 月末まで：最適な採水方法、採水頻度、データ解析方法について検証

3.3 テーマ③下水調査結果からの将来の感染者数（新規陽性者数）を推計する手法の検討

下水サーベイランスを感染状況の把握だけでなく、将来の感染者数の予測に活用するため、下水サーベイランスによる 1 週間程度先の感染者数の推計モデルを構築し、感染症数理モデル等との組み合わせによりさらに 1 週間程度先の感染者数を予測するための検討を行います。

No.	実施項目	実施方法	担当機関	マイルストーン
①	感染状況の情報入手	札幌市保健福祉局から、市内全域及び行政区ごとの新規陽性者数等のデータを入手	札幌市	随時：採水日の新規陽性者数
②	感染者数推計モデルの構築	北海道大学がこれまでに蓄積したデータや本実証で得られたデータ（下水中ウイルス濃度および新規陽性者数）を用いて、感染者数推計モデルを構築	北海道大学	8 月末まで：感染者数推計モデルの開発 10 月末まで：モデル推計結果の妥当性・精度の検証 12 月末まで：感染者数早期把握可能性の実証

No.	実施項目	実施方法	担当機関	マイルストーン
③	共同体における情報共有・活用を目指した検討	毎週、最新の調査結果を共有し、感染状況把握の参考にするとともに、月1回程度の頻度で、具体的な活用方法を検討するための協議を行う	札幌市 北海道大学	週1回：情報の共有 月1回：活用を目指した検討会議 12月末まで：自治体における下水データの活用に関する手順書の作成

4. 下水サーベイランス実証の結果

4.1 テーマ①下水サーベイランス結果からの感染トレンドの把握に係る検討

4.1.1 検討結果（達成したこと／分かったこと）

札幌市では、令和3年2月から、週3回、3処理場5施設の流入水中の新型コロナウイルス RNA 濃度を継続的に測定し、市中の感染状況の把握に努めてきました。

図4-1に、令和3年2月から令和5年1月までの期間における、ウイルス RNA 濃度（全施設平均）と新規陽性者数の比較を示します。

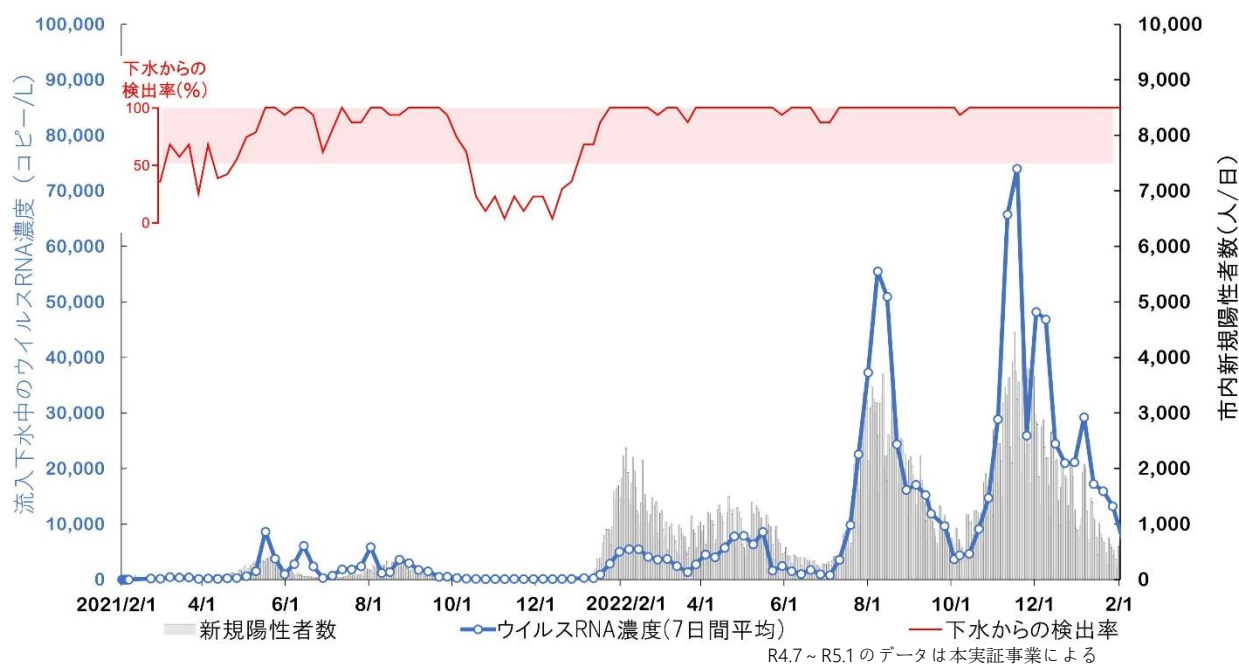


図 4-1 ウイルス RNA 濃度（市全体）と新規陽性者数の変動

本市では、下水からの検出率と、下水中のウイルス RNA 濃度の、2つの評価指標をもって、感染状況を把握しています。

下水からの検出率は、1週間に分析した下水検体数（通常週3回×5施設＝15検体）のうち、ウイルス遺伝子が検出された（検出限界 93 コピー/L）検体数の割合を示しており、この値が大きいほど感染の面的な広がりが進行していると推定されます。

下水中のウイルス RNA 濃度は、1週間に分析した全検体（通常 15 検体）の幾何平均値（相乗平均値）を示しており、この値が大きいほど下水の処理区域内に感染者が多く存在していると推定されます。

実際の感染流行状況を振り返ってみると、第4波（令和3年3月～6月頃）から第8波（令和4年10月頃）のいずれの期間においても、新規陽性者数とウイルス RNA 濃度の変動傾向が概ね一致していることがわかります。

なお、調査対象の5施設はいずれも合流式の処理場であることから、降雨時及び融雪時に雨水の影響を受け、ウイルス RNA 濃度の分析値が極端に低い値を示すことがあるため、本市では、分

析値に対して雨水補正を行った値を公表しています。

雨水補正は下式により行っています。

$$\text{公表値 (コピー/L)} = \text{分析値 (コピー/L)} \times \text{当日の流入水量 (m}^3\text{/日)} \div \text{当月の晴天日汚水量 (m}^3\text{/日)}$$

このうち、晴天日汚水量については、本市の算定基準に基づき算定しており、その月の全ての晴天日における流入水量の平均値を用いています。

晴天日からの除外基準は表 4-1 及び表 4-2 のとおり。

表 4-1 夏季（4月～10月）の晴天日からの除外日数

日降水量	0.5～5.0mm/日	5.5～10.0mm/日	10.5～15.0mm/日	15.5mm/日～
除外日数	降雨日+1 日	降雨日+2 日	降雨日+3 日	降雨日+4 日

表 4-2 冬季（11月～3月）の晴天日からの除外日数

日降水量 日平均気温	5.0mm/日以下	5.5～10.0mm/日	10.5～15.0mm/日	15.5mm/日以上
0.0℃以下		現象発生日+1 日	現象発生日+2 日	現象発生日+2 日
0.1～1.0℃	現象発生日+1 日	現象発生日+1 日	現象発生日+2 日	現象発生日+3 日
1.1～2.0℃	現象発生日+2 日	現象発生日+2 日	現象発生日+2 日	現象発生日+3 日
2.1℃以上	現象発生日+2 日	現象発生日+3 日	現象発生日+3 日	現象発生日+3 日

図 4-2 に、令和 3 年 2 月から令和 5 年 1 月まで期間における、ウイルス RNA 濃度（処理区ごと）の変動を示します。

処理区ごとのウイルス RNA 濃度に着目すると、都心部を含む処理区域（創成川・新川第 1）では、5 施設平均の濃度と変動傾向が概ね一致していることが確認できます。

一方で、郊外住宅地を含む処理区域（特に豊平第 1）では、感染が拡大している時期において、ウイルス RNA 濃度が大きくバラつくことがあることがわかりました。

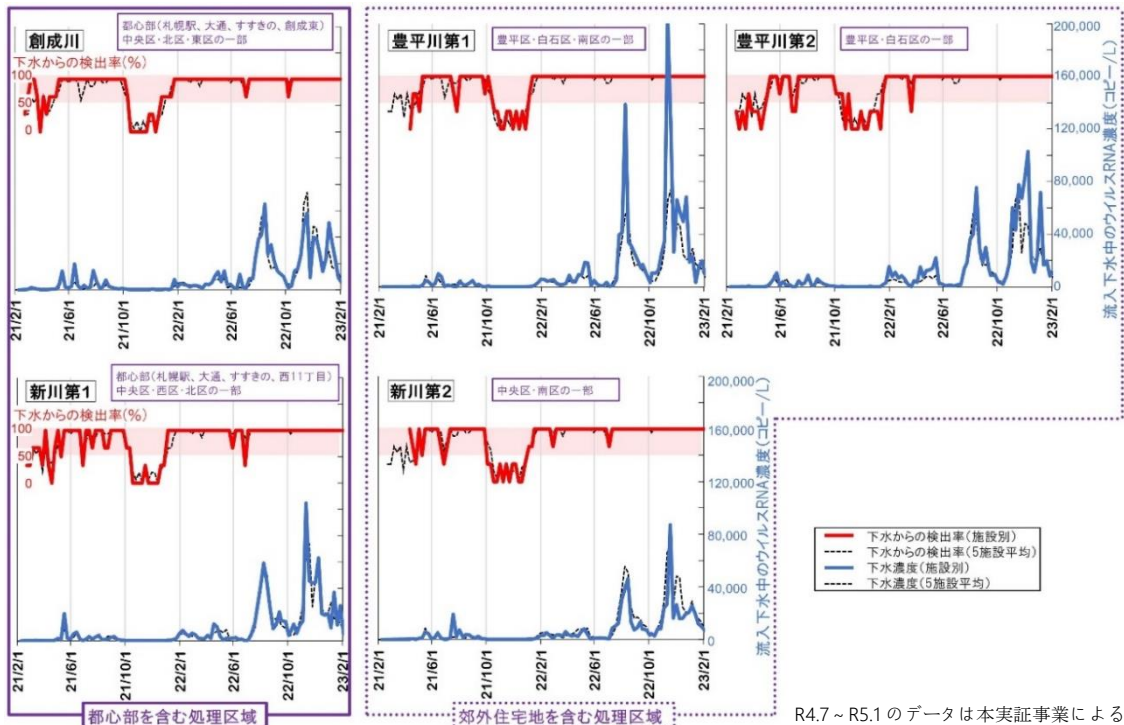


図 4-2 ウィルス RNA 濃度の変動（処理区ごと）

以上のことから、市全体の感染動向を把握するという観点においては、複数の処理区の調査結果の平均値を用いて評価することが適切と考えられます。

図 4-1 及び図 4-2 に示した下水サーベイランスの結果については、週 1 回本市の関係部局（保健福祉局・危機管理局など）にデータを共有するとともに、毎週の市長副市長ミーティングにおいても、危機管理局から前週の結果について報告を行っており、感染動向を把握するためのツールとして補助的に活用しています。

また、第 7 波（令和 4 年 7 月～9 月頃）の感染拡大期において、新規陽性者数と下水中のウイルス RNA 濃度が急激に増加したことを受けて、令和 4 年 8 月、札幌市 HP に「下水サーベイランス」のページを開設し、市民向けに調査結果の公表を開始しました（詳細は後述）。

図 4-3 に、令和 4 年 6 月から令和 5 年 1 月における、週単位でのウイルス RNA 濃度と新規陽性者数を比較したグラフを示します。

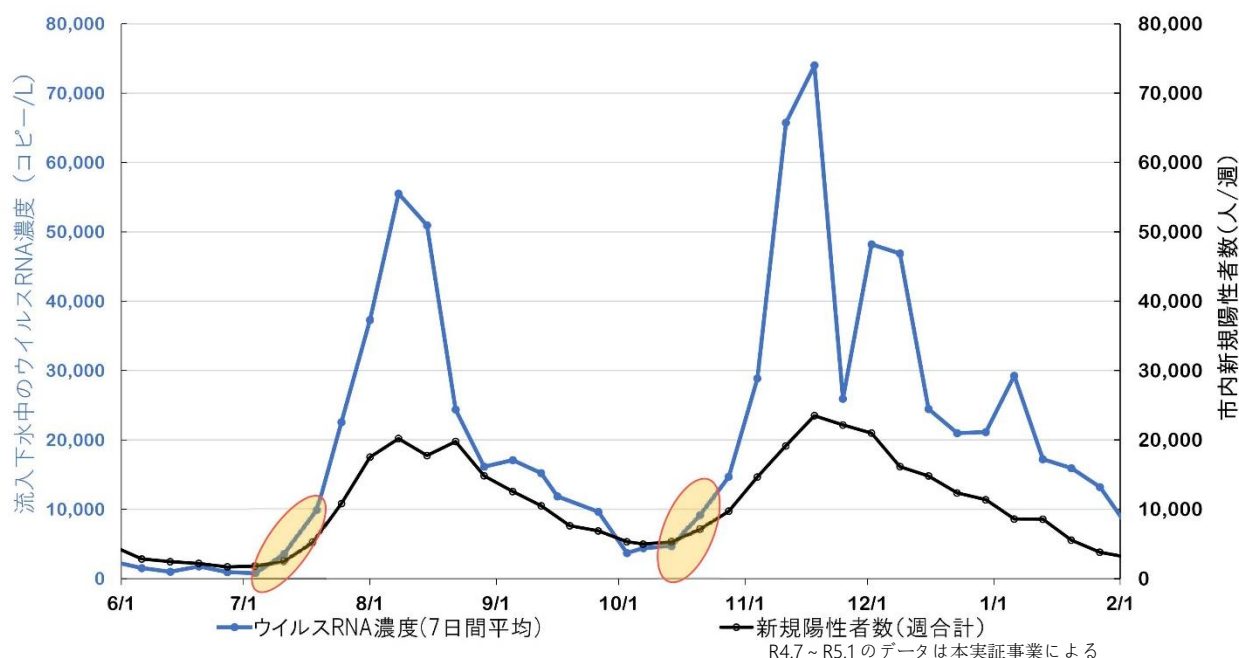


図 4-3 ウイルス RNA 濃度と新規陽性者数（週ごと）

黄色で囲んだ、令和 4 年 7 月の感染拡大期（第 7 波）や 10 月の感染拡大期（第 8 波）に着目すると、市内の新規陽性者数の増加より、1 週間程度早く下水中のウイルス RNA 濃度が上昇していることがわかります。

市民の PCR 検査・抗原検査の受検や結果判明に先んじて下水中のウイルス濃度が上昇しているという事実は、新型コロナウイルスの感染者が発症前から糞便や唾液中にウイルス RNA を排出することを裏付ける形となりました。

以上のことから、下水サーベイランスを実施することで、感染トレンド（感染拡大）を早期探知できる可能性が示されました。

4.1.2 今後の課題

図 4-2 に示したとおり、ウイルス RNA 濃度がバラつきやすい処理区があることがわかりましたが、その原因を特定するには至りませんでした。

濃度変動が発生する原因としては、処理区ごとの流入特性や突発的な流入負荷の変動などが考えられますが、引き続き考察を続けていきたいと考えています。

また、結果の活用という観点において、毎週関係部局間で結果を内部共有し、下水サーベイランスの有効性を共通認識するに至ったものの、保健福祉局においては国からの通知等に基づいて構築した既存の医療政策体制が機能しており、臨床検査で感染動向も継続的に把握できていることから、下水サーベイランスを新たな指標として政策決定に活用する段階まで到達することができませんでした。

今後、新型コロナウイルス感染症の 5 類への引き下げも含め、下水サーベイランスを取り巻く社会情勢が大きく変化することが予想されますが、関係部局間で情報を共有する体制を継続し、活用方法について議論を進めていきたいと考えています。

4.2 テーマ②下水調査結果を活用するにあたり適切な採水方法・検査頻度の検討

4.2.1 検討結果（達成したこと／分かったこと）

（１）24 時間調査について

市内の感染状況を的確に把握できるサンプリング方法を検証するため、実証期間中に 3 回、調査対象の 5 施設で、自動採水器を用いて流入水を 1 時間ごとに採水し、分析を行いました。

採水時間帯は、今後の調査継続の観点から、本市の通常の水質試験時の設定にあわせ、午前 10 時から翌日の午前 9 時までとしました。

データの評価にあたっては、個々の測定値はバラつきが大きく、傾向をつかむことが困難となることが予想されたため、5 施設の合計値あるいは幾何平均値を用いて検討を行うこととしました。調査日は表 4-3 のとおりです。

表 4-3 24 時間調査実施日一覧

採水日	当週の感染流行状況		備考
	ウイルス濃度（週平均）	新規陽性者数	
8/30～ 8/31	17,000 コピー/L	12,747 人/週	第 5 波の流行時
10/13～ 10/14	4,670 コピー/L	6,034 人/週	第 7 波と第 8 波の間の収束期
12/20～ 12/21	20,500 コピー/L	11,919 人/週	第 8 波の流行時

図 4-4 に流入水量の日内変動を示します。流入水量は市民の生活リズムに応じて変化し、午前 10 時ごろと午後 10 時ごろにピークがあり、また深夜から早朝にかけては非常に少ない量になる傾向があります。

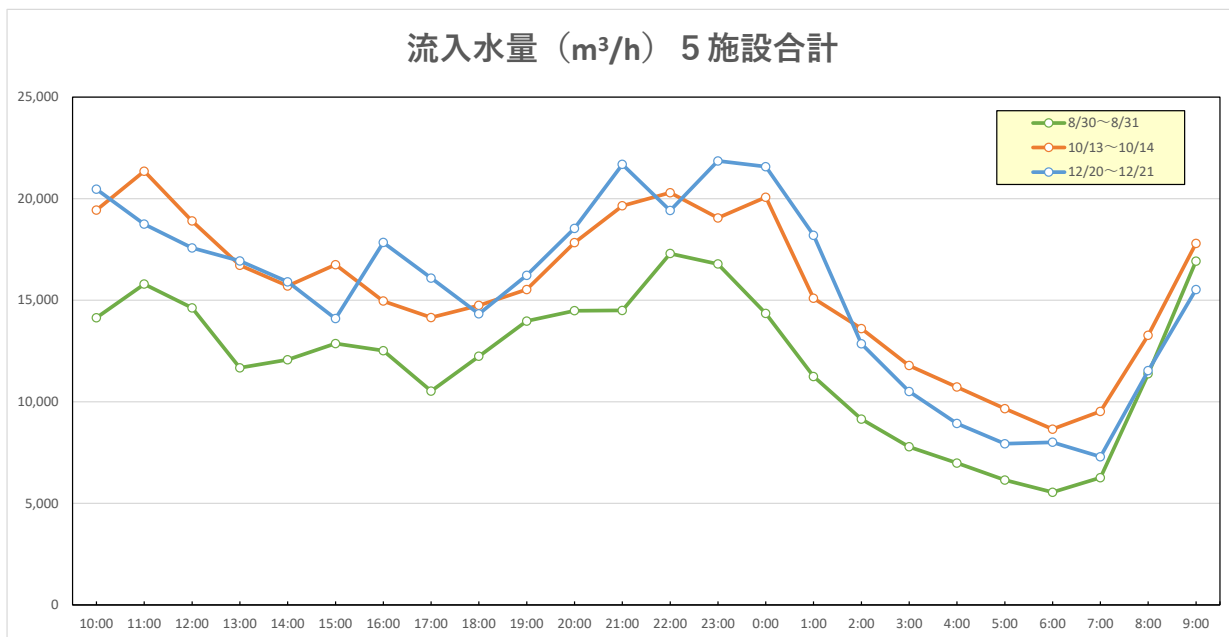


図 4-4 流入水量の日内変動

図 4-5 に新型コロナウイルス RNA 濃度の日内変動を示します。

いずれの調査日においても、濃度の大きなバラつきが生じていることがわかりますが、午前 9 時～12 時ごろは各日の幾何平均値を上回る値となっていることが多い一方で、深夜～早朝にかけては各日の幾何平均値を下回る結果となりました。

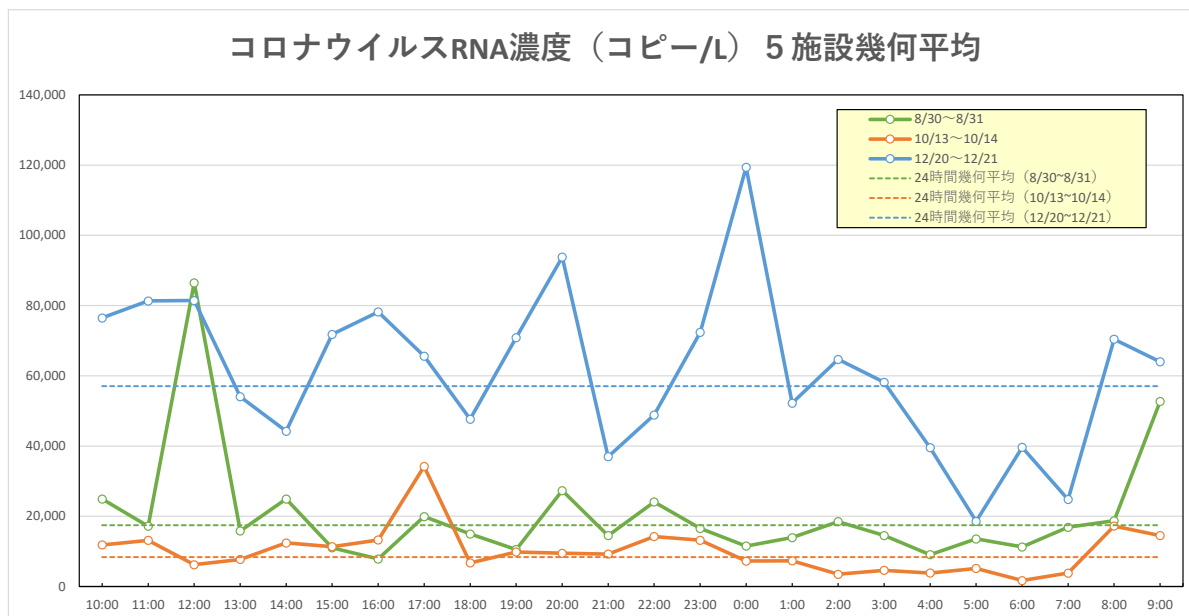


図 4-5 ウイルス RNA 濃度の日内変動

図 4-6 に新型コロナウイルス RNA 濃度を PMMoV RNA 濃度で除して正規化した値（以下、正規化値という）の日内変動を示します。PMMoV はヒト糞便指標となるウイルスであり、正規化を行うことで、ヒト由来の汚水以外の影響を排除して値を比較することができます。

特に 20 時～23 時頃の時間帯では、いずれも幾何平均値と近い値が得られていますが、全体的に 24 時間幾何平均値からの乖離が小さく（特に流行期の 8 月・12 月の調査において、正規化により変動係数が減少）、流入下水中に含まれる糞便量の変動によって新型コロナウイルス RNA 濃度が変動している可能性が示されました。

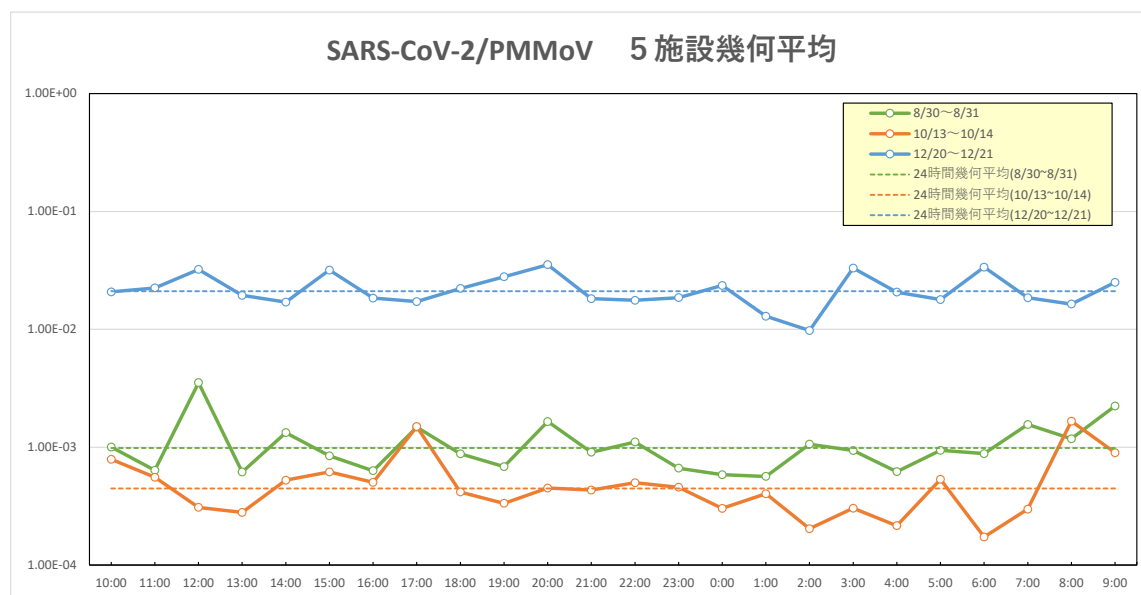


図 4-6 正規化値の日内変動

(2) 効率的な採水体制・頻度について

現在、5施設×週3回＝15検体/週のコンポジットサンプルの分析を行っていますが、この体制を継続すると、約750検体/年（15検体/週×50週）の分析が必要となります。今後も継続的に下水サーベイランスを実施するために、以下に基づき、効率的な採水分析の検討を行いました。

【前提】

- ・下水サーベイランスの調査結果の更新頻度は週1回
- ・測定の目的は、処理区別ではなく、市全体のウイルス濃度の増減傾向を把握すること

【検討事項】

①年間の検体数・費用（ 円/検体として概算）

②対象処理区の人口が市全体の人口に占める割合

③現在の結果との一致度

→R3.2～R5.1のウイルスRNA濃度及び検出率について、現在の分析体制から得られる週平均値と、ある分析体制を仮定した場合に得られる週平均値における決定係数（ R^2 ）の値を評価。

検討結果を表4-4に示します。

[A×B]：A施設で週あたりB回測定する場合

表 4-4 採水体制の検討結果

分析 パターン	対象施設	年間検体数	①年間費用 (万円)	②人口割合 (%)	③現在との一致度 (R^2)	
					濃度	検出率
現在[5×3]	創、豊1、豊2 新1、新2	750	 	51.8	-	-
[3×3]	創、豊2、新1	450	 	32.4	0.96	0.97
[2×3]	創、新1	300	 	22.0	0.94	0.94
[5×1]※	創、豊1、豊2 新1、新2	250	 	51.8	0.92	0.80
[3×1]※	創、豊2、新1	150	 	32.4	0.85	0.71
[1×3]	創	150	 	12.4	0.86	0.87
	豊1	150	 	11.2	0.74	0.74
	豊2	150	 	10.2	0.80	0.77
	新1	150	 	9.5	0.82	0.86
	新2	150	 	8.2	0.81	0.85

※水曜日の測定結果

施設別の[1×3]を比較すると、処理区域に都心部を含む創成川、新川第1の順に良い結果が得られています。

また、基本的には検体数が多い順に良い結果が得られています。

$$[3 \times 3] > [2 \times 3] > [5 \times 1]$$

ただし、施設数を増やすよりも、週あたりの測定回数を増やす方が相関は強くなる傾向にあります。

$$[1 \times 3]_{\text{創成}} > [3 \times 1], \quad [2 \times 3] > [3 \times 1]$$

分析パターンを比較したグラフを図 4-7 に示します。

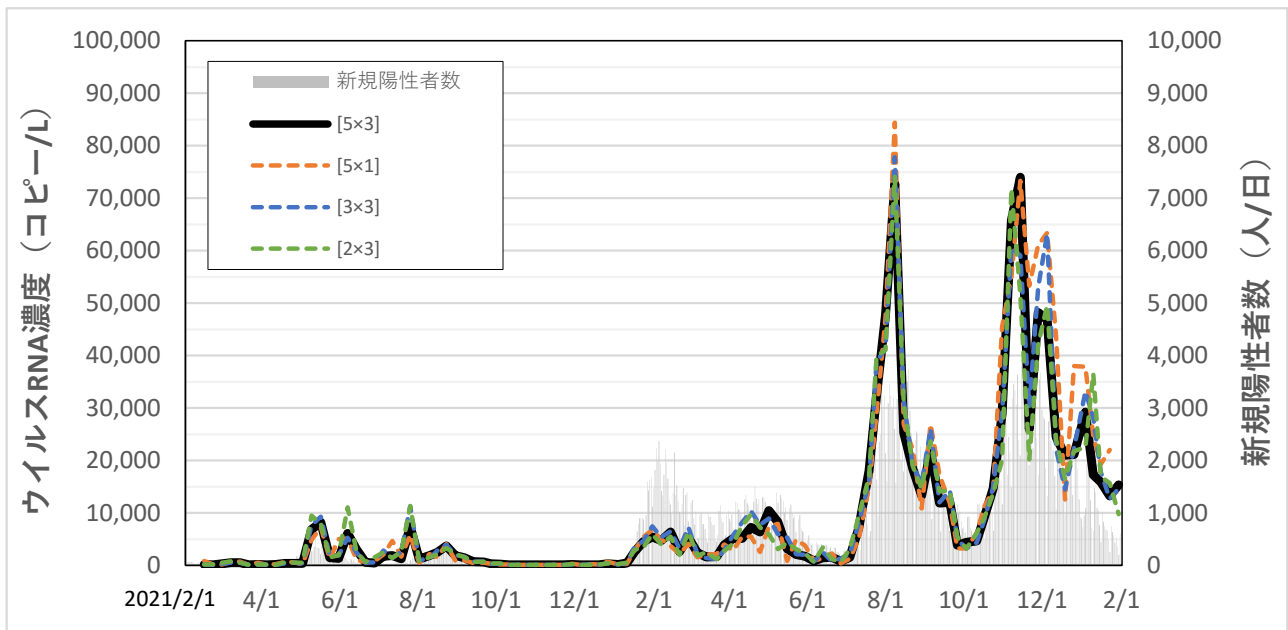


図 4-7 各分析パターンの比較

(3) PMMoV RNA 濃度を用いた正規化について

図 4-8 に、令和 4 年 1 月から令和 5 年 1 月の期間における、新規陽性者数と、新型コロナウイルス RNA 濃度を PMMoV RNA 濃度で除して正規化した値のグラフを示します。

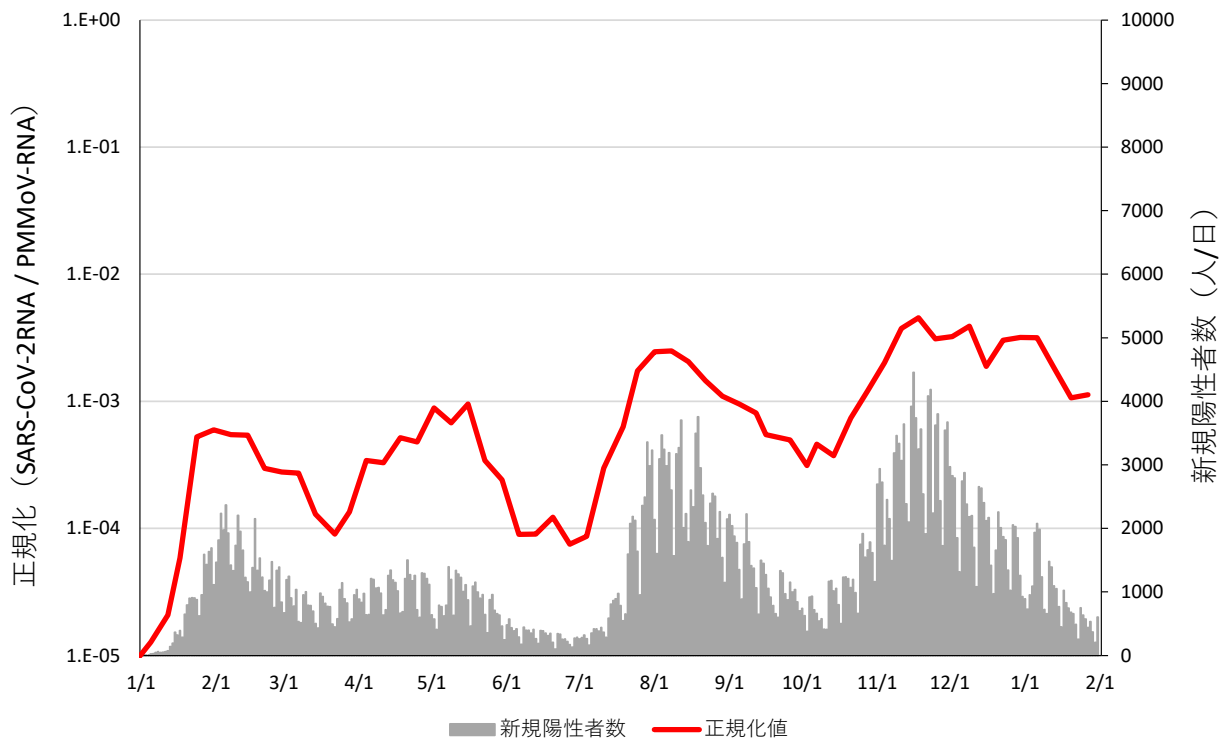


図 4-8 新規陽性者数と正規化値の比較

正規化した値は新規陽性者数と同様の増減傾向を示しており、感染拡大及びピークアウトの傾向をよく反映していることから、正規化を行うことの有用性が示されました。

一方で、結果公表という観点においては、正規化という概念が市民の理解を得られにくいと考えられるため、ウイルス RNA 濃度と正規化した値のどちらを公表値として扱うか、検討が必要です。

(4) まとめ

特定の時刻のスポット採水により、現在のコンポジット採水と同等の結果を得ることができれば、より効率的に、今後も継続して下水サーベイランスを実施できると考えましたが、本調査の結果、スポット採水から得られる濃度はバラつきが大きく、コンポジット採水の方が安定した測定結果を得られると考えられます。

また、採水施設数・週当たりの採水回数に関して検討を行い、現在の5施設×週3回の採水体制から、3施設×週3回や2施設×週3回の採水体制に変更した場合でも、決定係数が0.9を超え、十分に市全体のウイルス濃度の増減傾向を把握できることを確認しました。

4.2.2 今後の課題

現在の事業体制においては、市内に所在する北海道大学に分析を依頼することで、迅速に結果を得られていますが、仮に今後、民間事業者に分析を依頼することになった場合には、検体運搬や分析に時間を要する可能性があるため、頻度や施設数も含め、データの即時性を確保するための体制の構築を検討していく必要があります。

また、ホームページ上での結果公表にあたっては、正規化という概念が市民の理解を得られにくいと考えられるため、ウイルス RNA 濃度と正規化した値のどちらを公表値として扱うか、今後も引き続き検討していく必要があります。

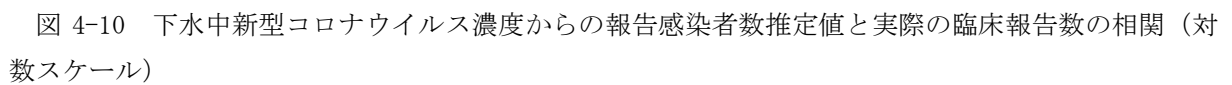
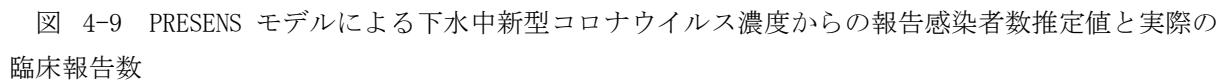
4.3 テーマ③下水調査結果からの将来の感染者数（新規陽性者数）を推計する手法の検討

4.3.1 検討結果（達成したこと／分かったこと）

下水中ウイルス濃度から感染者数を予測するにあたり、変異株やワクチン接種率、検査報告体制などの様々な要因により下水中ウイルス濃度と感染者数との関係性が変化することで、数理モデルによる予測結果をより確実なものにするためには、長期に渡るデータを用いて予測モデルを構築・評価することが必要不可欠です。本テーマにおいては、本実証事業開始前に本市主体（北海道大学に分析委託）で EPISENS-S 法（Ando et al., 2022）により取得した調査データ（2022 年 6 月まで）を含む下水中新型コロナウイルス RNA 濃度データを基に、北海道大学などが開発した PRESENS (PRedictive Estimation of cases with Sewage-based ENhanced Surveillance) モデル（Ando et al., in press）による将来の感染者数（新規陽性者数）の推計手法を検討しました。

本モデルは、感染者からのウイルス排出量と下水処理場へのウイルス流入量との収支を基に、感染者からのウイルス排出メカニズムを考慮に入れた独自の数理モデルです。本市において取得した下水中の新型コロナウイルス濃度と新規報告感染者数の関係性を解析したところ、新規報告感染者数に対する下水データの先行性（いわゆるタイムラグ）は 5 日と推定されました（Ando et al., in press）。したがって、本事業では、採水日から 5 日後の報告感染者数を下水データから推計しました。

2021 年 9 月から 2023 年 1 月までの期間における、PRESENS モデルによる下水中新型コロナウイルス濃度からの報告感染者数推定値と実際の臨床報告数を図 4-9 に示します。2022 年前半の第 6 波においては高い精度で感染者数を推定できていることが分かります。一方、2022 年後半以降の第 7 波および第 8 波においては、特に感染蔓延期において臨床報告数が推定値を大きく下回る傾向が認められました（図 4-9）。モデルによる推定値と臨床報告数の相関を対数スケール（図 4-10）と線型スケール（図 4-11）で解析したところ、感染者数が増えるほど下水からの推定値の方が大きくなることを明確に示す関係性が認められました。これは、臨床検査報告数は検査体制や届出対象の見直しを受けている可能性があります、下水サーベイランスは普遍的に一定の尺度で無症状者を含めた真の感染規模を推定できることを示唆しています。



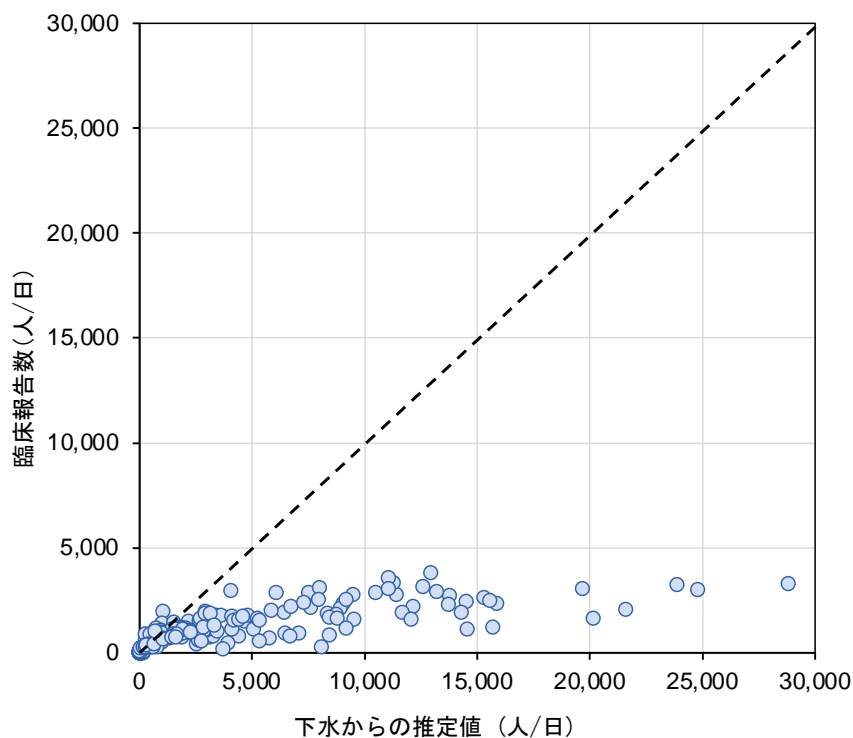


図 4-11 下水中新型コロナウイルス濃度からの報告感染者数推定値と実際の臨床報告数の相関（線型スケール）

本事業では、上記の PRESENS モデル（下水データに基づく数日後の予測）とシミュレーションに基づく感染症数理モデルとの組み合わせにより、さらに 1 週間程度先の感染者数を予測するための検討を実施しました。

感染症数理モデルでは、感染症の潜伏期間、有症状者率や特定のシナリオにおける流行状況の予測が可能です。本事業では、感染症数理モデルとして、無症状感染者を考慮したモデルであり COVID-19 の臨床データに対して適用事例の多い SEIR モデル（図 4-11）を採用しました。

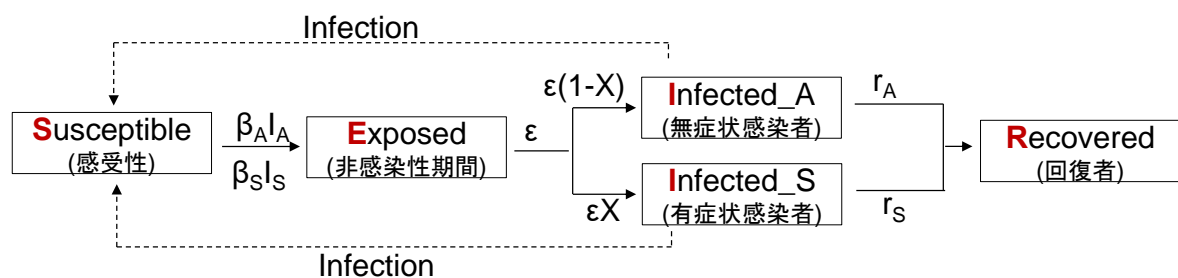


図 4-11 SEIR モデルの概要

SEIR モデルは、コンパートメントモデルと呼ばれ、感受性を有する人(S)は、感染後、 $E \rightarrow I \rightarrow R$ と逐次的な状態変化を想定します。R(回復者)はSに戻ることはなく、ある流行期間においてSは単調減少となります。SEIR モデルは、以下の常微分方程式で表現されます。

$$\begin{cases} \frac{ds(t)}{dt} = -(\beta_A I_A(t) + \beta_S I_S(t))S(t) \\ \frac{dE(t)}{dt} = (\beta_A I_A(t) + \beta_S I_S(t))S(t) - \varepsilon E(t) \\ \frac{dI_A(t)}{dt} = \varepsilon E(t)(1-X) - r_A I_A(t) \\ \frac{dI_S(t)}{dt} = \varepsilon E(t)X - r_S I_S(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = r_A I_A(t) + r_S I_S(t) \end{cases}$$

ただし、 β : 伝播率, ε : 推移率, r : 回復率, X : 有症状率

感染症数理モデルにおいて、 $1/\varepsilon$ 及び $1/r$ は、 ε 及び r が指数関数分布に従う場合のその状態における平均滞在時間を意味します。つまり、 $1/\varepsilon$ 及び $1/r$ は、それぞれ平均的な非感染性期間と感染性期間を意味します。最も単純な有症状感染者の状態期間では、非感染性期間と感染性期間の和が世代期間(微生物の倍加時間に相当)となります。また、世代期間は潜伏期間(無症状期間)と臨床報告遅れ(有症状者と感受性との接触期間)の総和と等しくなります。ただしこの場合、感染者が臨床報告に計上された直後に隔離され、感受性(S)と感染者(I)の接触は断たれると想定します。本事業では、先行研究を参考にし、非感染性期間: 2 日, 潜伏期間: 5 日, 発症から臨床報告への計上: 2 日, 世代時間: 7 日と設定しました。

PRESENS モデル (5 日後まで予測可能) と上記の SEIR モデル (さらに 1 週間程度後まで予測可能) を組み合わせた採水日から 12 日程度後の感染者数予測について、現時点でモデルの設計は完了しており計算手法を検討中です。

4.3.2 今後の課題

本事業では、過去の報告感染者数データを使用しながら採水から 5 日後までの感染者数を推計する手法を検討しました。北海道大学などは、感染者の全数把握の取り止めを想定し、直近の報告感染者数データに依存せずに下水中ウイルス濃度データのみから 5 日後までの新規報告感染者数を予測可能なモデルを開発しています (Ando et al., in press)。新型コロナウイルス感染症の 5 類への引き下げが閣議決定され全国的に定点把握への動きが進むことが想定される中で、今後は直近の報告感染者数データに依存せずに感染者数を推計する手法を検討する必要があります。

また、自治体内において、感染者数推計値の政策判断材料としての活用や市民への公表の是非(あり方)を議論していく必要があります。

PRESENS モデル(下水データに基づく数日後の予測)とシミュレーションに基づく感染症数理モデルとの組み合わせにより、さらに 1 週間程度先の感染者数を予測するための検討については、本事業の期間内にモデルの設計は完了したものの、実際の計算結果の取得と予測結果の妥当性の検証までは達成できませんでした。

本市の長期実測データから PRESENS モデルと SEIR モデルの組み合わせにより 12 日程度先の感染者数の予測とその結果の妥当性の検証、さらに、必要に応じた両モデルのパラメータ等の調整は今後の課題となっています。

5. 地方公共団体の活用ニーズを踏まえた活用・実装に関する検討

表 5-1 本事業を通じて把握された活用ニーズ

No.	活用ニーズ名称	活用主体（部署名）	ニーズ概要
1	市民向けの情報提供	下水道河川局	札幌市ホームページ上で毎週の調査結果を公開
2	インフルエンザウイルスに関する調査	下水道河川局	インフルエンザウイルスについても同様に下水サーベイランスを行い、ホームページ上で毎週の調査結果を公開
3	将来感染者数の予測	下水道河川局	2週間程度先の新規陽性者数を予測し、その結果を医療体制の構築に活用

5.1 本事業を通じて把握された活用ニーズ（No. 1）

市民向けの情報提供

5.1.1 活用ニーズ概要

本実証事業開始前から、下水サーベイランスの結果を保健衛生部局や危機管理部局と共有し、市長副市長ミーティングにおいて経営層へ毎週情報提供するなど、市内の感染状況を把握するための補助的な指標として活用していました。令和4年7月ごろの第7波による感染拡大を受け、市民への情報提供と注意喚起を目的に、令和4年8月からホームページ上で下水サーベイランスの結果公表を開始しました。

5.1.2 活用・実装の状況（試行、年度内準備中を含む）

図 5-1 のとおり、札幌市ホームページ上で毎週の下水サーベイランスの結果を公表し、市民への情報提供・注意喚起に活用しています。

(<https://www.city.sapporo.jp/gesui/surveillance.html>)

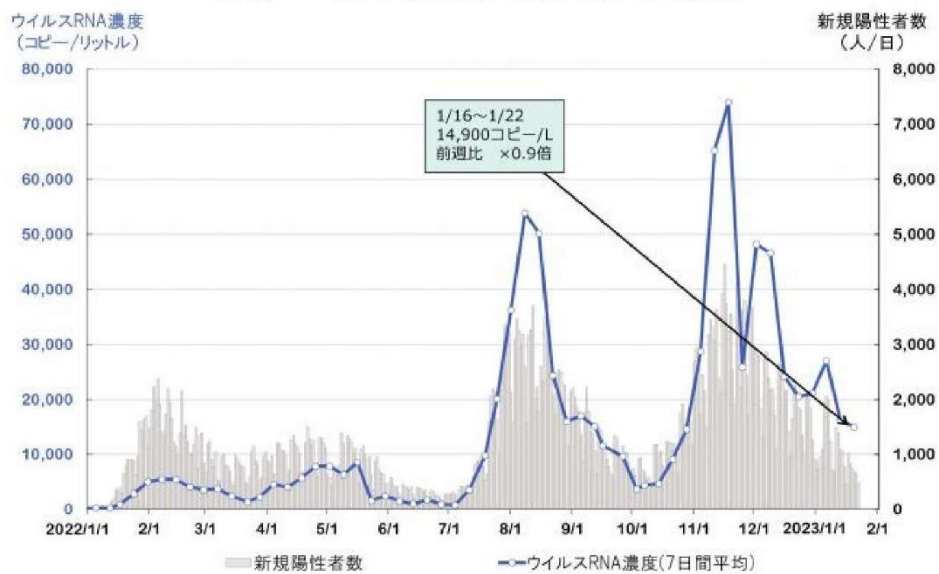
当ページでは、下水中のウイルス RNA 濃度、下水からの検出率、新規陽性者数を示した表及びグラフのほか、市民へわかりやすく情報を伝えるために、結果に対する簡単な考察を記載し、毎週更新しています。

当ページの公開以来、アクセス数は増加を続けており（表 5-1）、市民の下水サーベイランスへの興味関心が高まっている様子がうかがえます。

表 5-1 下水サーベイランスのページのアクセス数

年月	アクセス数（回/日）
令和4年8月	192
9月	166
10月	270
11月	1,147
12月	1,427

下水サーベイランスの結果（新型コロナウイルス）



新型コロナウイルス	1月16日～1月22日	前週比
下水中のウイルスRNA濃度※ ¹	14,900コピー/リットル	×0.9倍
下水からの検出率※ ²	100%（15検体/15検体）	±0ポイント
新規陽性者数	4,870人/週	×0.7倍

- ウイルス濃度は緩やかに減少していますが、高い水準を継続しており、引き続き注意が必要です。
- 検出率は100%を継続しており、市内の広範囲に感染が拡大していると推察されます。

図 5-1 下水サーベイランスのページ（新型コロナウイルス）

5.1.3 活用・実装できなかった理由

特になし

5.2 本事業を通じて把握された活用ニーズ（No. 2）

インフルエンザウイルスに関する調査

5.2.1 活用ニーズ概要

今冬、新型コロナウイルスとインフルエンザウイルスの同時流行が懸念される中、新型コロナウイルスRNA濃度の測定ノウハウを応用することで、インフルエンザウイルスRNA濃度を効率的に測定することが可能と判明したことから、インフルエンザウイルスの流行状況の早期把握を目的に、本市独自の事業として令和4年10月からインフルエンザウイルスに関する下水サーベイランスを開始しました。

5.2.2 活用・実装の状況（試行、年度内準備中を含む）

図5-3のとおり、インフルエンザウイルスについても札幌市ホームページ上で毎週の下水サーベイランスの結果を公表し、市民への情報提供・注意喚起に活用しています。

(<https://www.city.sapporo.jp/gesui/surveillance.html>)

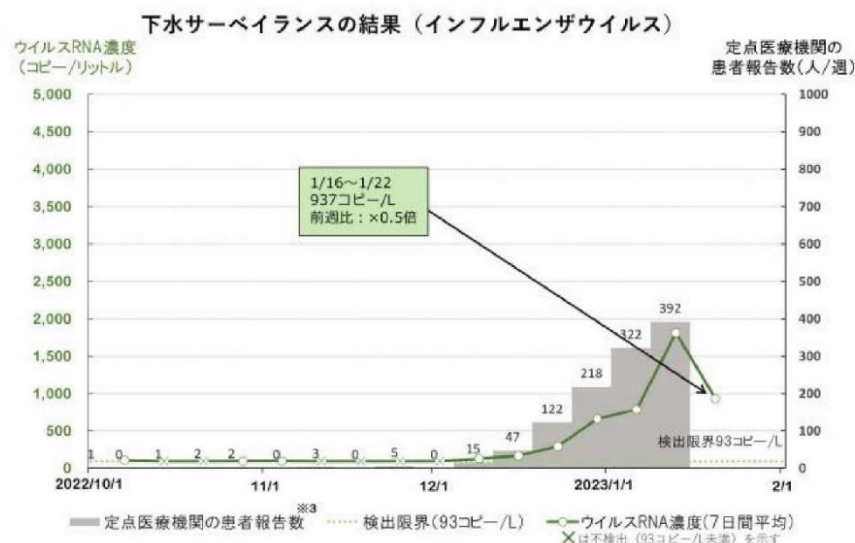


図 5-2 下水サーベイランスのページ（インフルエンザウイルス）

5.2.3 活用・実装できなかった理由

特になし

5.3 本事業を通じて把握された活用ニーズ（No. 3）

将来感染者数の予測

5.3.1 活用ニーズ概要

下水サーベイランスの結果を基に、2週間程度先の新規陽性者数を予測できれば、医療体制の構築の検討に活用することができます。

5.3.2 活用・実装の状況（試行、年度内準備中を含む）

テーマ③「下水調査結果からの将来の感染者数（新規陽性者数）を推計する手法の検討」に示したとおり、将来の感染者数（新規陽性者数）の推計手法を検討しました。

5.3.3 活用・実装できなかった理由

北海道大学などが開発した PRESENS モデルを用いて、採水日から5日後の新規陽性者数を下水データから推計し、精度よく実際の新規陽性者数を予測することができましたが、シミュレーションに基づく感染症数理モデルとの組み合わせにより、さらに1週間程度先の感染者数を予測するための検討については、本事業の期間内にモデルの設計は完了したものの、実際の計算結果の取得と予測結果の妥当性の検証までは達成できませんでした。

本市の長期実測データから PRESENS モデルと SEIR モデルの組み合わせにより12日程度先の感染者数の予測とその結果の妥当性の検証、さらに、必要に応じた両モデルのパラメータ等の調整は今後の課題となっています。

6. 下水サーベイランス実証事業終了後の展開

6.1 事業終了後の継続・展開方針

①年度内（令和5年2～3月）

- ・事業継続の予定あり
 - ・北海道大学と受託研究制度に基づく契約を締結済みであり、令和5年2月1日から令和5年3月31日まで、週3回の頻度で新型コロナウイルス RNA とインフルエンザウイルス RNA 濃度を分析
 - ・ニーズ No. 1 及び No. 2 を踏まえた調査

②令和5年度

- ・事業継続の予定あり
- ・具体的な調査頻度や分析体制は未定
- ・ニーズ No. 1 を踏まえた調査

6.2 事業終了後の実施体制

①年度内（令和5年2～3月）

本実証事業と同様の体制を継続（次ページ参照）

②令和5年度

当面の間、同様の体制を継続予定

6.3 事業終了後の結果活用・公表方法

①年度内（令和5年2～3月）

庁内関係課への情報提供

本市ホームページでの公表による市民への情報提供・注意喚起

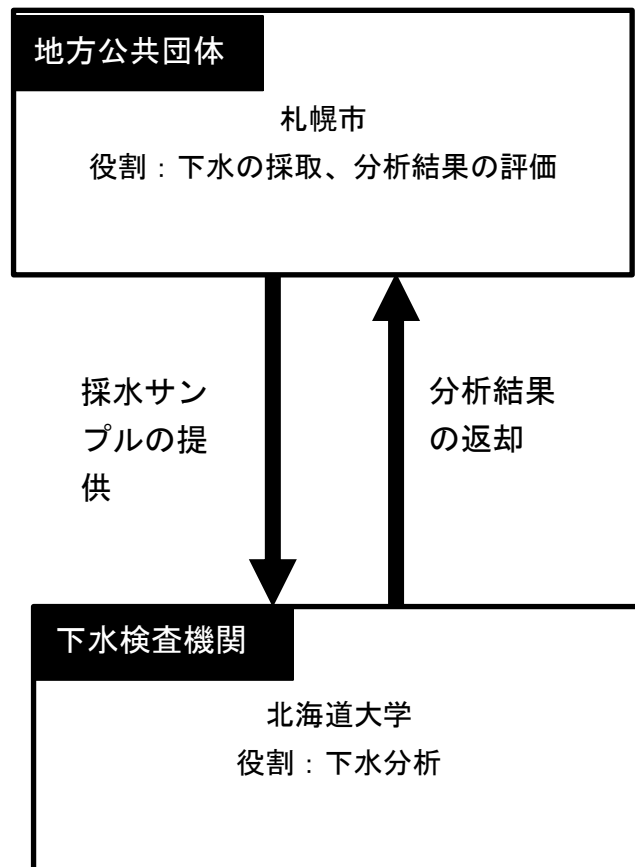
②令和5年度

庁内関係課への情報提供

本市ホームページでの公表による市民への情報提供・注意喚起

6.4 事業終了後の費用

(令和 5 年 2～3 月の体制図)



7. 活用に向けた課題及び解決策

7.1 採水

表 7-1 採水に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	採水頻度が多いと、人員的な負担が大きい	採水頻度を変更した場合の影響の検証	採水頻度の見直し

7.2 輸送

表 7-2 輸送に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	特になし		

7.3 分析・解析

表 7-3 分析・解析に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	個々の測定値のバラつきが大きい	1 週間に測定した全 15 検体の幾何平均値を公表	PMMoV によるウイルス濃度の補正
2	合流式の処理場では雨水の影響を受けやすい	雨水補正を実施	同上

7.4 活用

7.4.1 体制整備

表 7-4 活用（体制整備）に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	特になし (本事業開始時に体制構築済み)	長期にわたり下水データを経営層や関係部局へ情報提供し、理解を醸成 下水道部局による調査費用の確保	

7.4.2 ニーズ把握

表 7-5 活用（ニーズ把握）に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	下水サーベイランスは感染状況把握の補助的な指標として活用しているものの、5類移行後の政策判断へ保健福祉局や危機管理局がどう活用するか把握できていない	内部協議を通じた活用ニーズの把握	下水サーベイランスの位置づけの明確化

7.4.3 活用イメージ具体化

表 7-6 活用（活用イメージ具体化）に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	下水サーベイランスの庁内関係課への情報提供（図 4-1 及び図 4-2）は行っているものの、政策判断への活用ができていない (保健福祉局においては国からの通知等に基づいて構築した既存の医療政策体制が機能しており、臨床検査で感染動向も継続的に把握できているため)	感染動向を把握するための補助的な指標としての活用	5類への引き下げも含め、下水サーベイランスを取り巻く社会情勢が大きく変化することが予想されるため、関係部局間で情報を共有する体制を継続し、活用方法について議論を進める

7.4.4 試行

表 7-7 活用（試行）に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	特になし		

7.4.5 公表・情報提供

表 7-8 活用（公表・情報提供）に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	公表する際の、市民への注意喚起の濃度基準が定められない	濃度や増減傾向を踏まえ、簡単なコメントで注意喚起	濃度から感染者数を推計
2	どの部局が主体となって市民への情報提供を行うか（下水道河川局・保健福祉局・危機管理局）	調査実施主体である下水道河川局がページを開設し、毎週調査結果を更新 新型コロナウイルス感染症の市内発生状況（統計情報）として、感染者数等の情報と横並びで掲載	

7.4.6 評価・改善

表 7-9 活用（評価・改善）に関する課題と解決のための工夫

No.	把握された課題	実施した解決策	今後考えられる解決策
1	下水サーベイランスの感染症対策への活用として費用便益分析ができていない		市全体の感染症対策の効率化を検討する中で、費用便益分析を行っていく
2	市民への情報提供による効果の把握が難しい	ホームページへのアクセス数が公表以来増加を続けていることを確認	アンケート調査の実施など

8. 採水から分析結果を出すまでの時間・費用

表 8-1 採水から分析結果を出すまでの時間・費用の検討結果

プロセス	時間（最長→最短）	費用（最大→最小）	課題／解決のための工夫
1 採水	検討していない	検討していない	分析頻度の見直し
2 輸送	検討していない	検討していない	同上
3 分析・結果提示	検討していない	検討していない	
4 その他			