

第7章 画像解析結果

7.1 画像解析およびごみ輸送量算出手法

本業務では、取得した動画を用いてRIADによる画像解析を実施した。画像解析手法については、図 7-1に示す。

本業務で使用したRIADによるごみ輸送量の算定フローは「①人工系・自然系ごみの抽出」、「②各ごみの面積輸送量の算出」、「③面積輸送量 (m^2/s) から質量輸送量 (g/s) への換算」の3つの工程からなる。①、②についてはRIADによる解析で得られる結果であり、③については散乱ごみ実態調査の結果を用いて、RIADによる解析結果を換算することによって得られる。また、RIADでは②に示すように Δt の時間の間に移動したごみの移動量を計測できることから、水表面の流速も算定される。ここで計算した流速については、L-Q式を用いた流出量を推計する際に使用する。

【RIADによるごみ輸送量算出のフロー】

《① 人工系・自然系のごみ抽出》

- ・任意の色差の閾値を設定して画像を3値化し、水面・自然系ごみ・人工系ごみを判定する。

《② 人工系ごみ面積輸送量 (m^2/s) の算出》

- ・①で判定したごみが Δt の時間の間に移動したごみの面積を求め、時間あたりの人工系ごみ面積輸送量 (m^2/s) を算出する。
- ・人工系ごみ面積輸送量 (m^2/s) をテンプレート幅で除し、単位川幅あたりの人工系ごみ面積輸送量 ($\text{m}^2/\text{s}/\text{m}$) を算出する。

《③ プラスチックごみ質量輸送量 (g/s) の算出》

- ・②で算出した単位川幅あたりの人工系ごみ面積輸送量 ($\text{m}^2/\text{s}/\text{m}$) に、散乱ごみ実態調査で取得した人工系ごみに占めるプラスチックごみの割合をかけて、単位川幅あたりのプラスチックごみ面積輸送量 ($\text{m}^2/\text{s}/\text{m}$) を算出する。
- ・単位川幅あたりのプラスチックごみ面積輸送量 ($\text{m}^2/\text{s}/\text{m}$) に、散乱ごみ実態調査で取得した、プラスチックごみの単位面積あたり重量 (g/m^2) をかけて、単位川幅あたりのプラスチックごみ質量輸送量 ($\text{g}/\text{s}/\text{m}$) を算出する。
- ・単位川幅あたりのプラスチックごみ質量輸送量 ($\text{g}/\text{s}/\text{m}$) に川幅をかけて、川幅全体からのプラスチックごみ質量輸送量 (g/s) を算出する。

【RIADによる流速の算出フロー】

- ・図 7-1下段「面積輸送量算定」に記載のとおり、時間 $t(\text{s})$ から時間 $t+\Delta t(\text{s})$ の間に物体が移動した距離(m)を用いて、流速 $v(\text{m}/\text{s})$ を計算する。

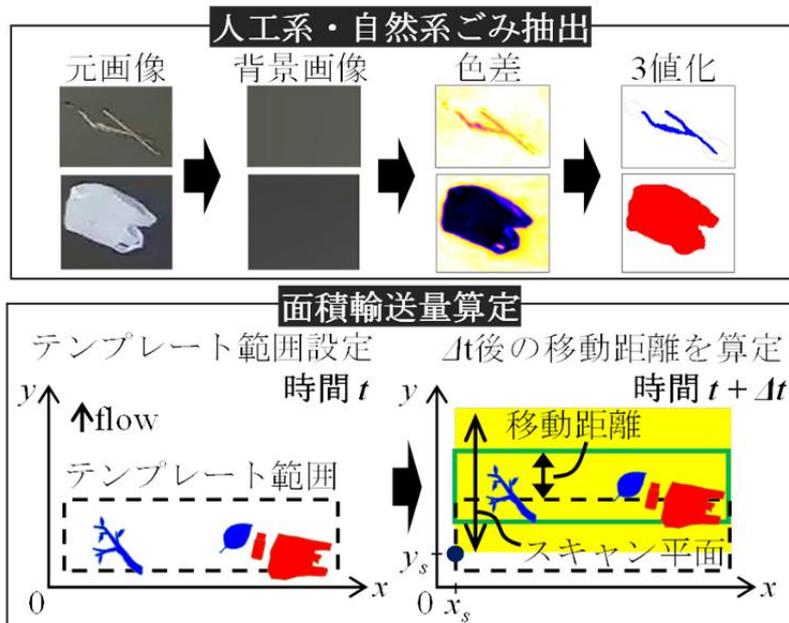
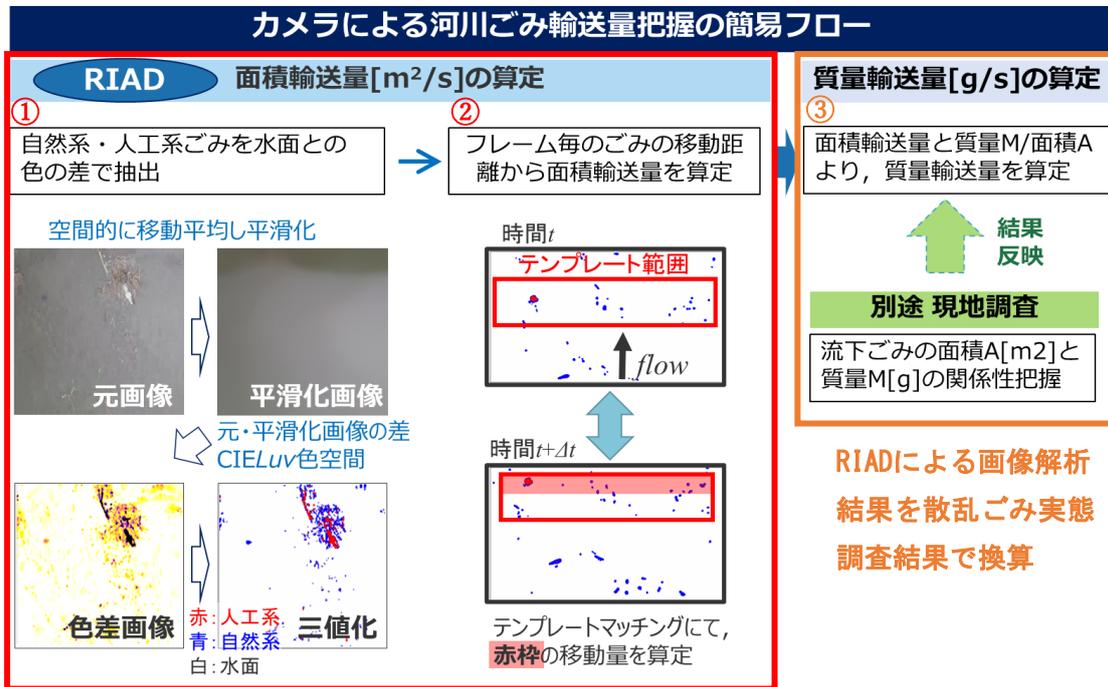


図 7-1 画像解析手法の概要

7.2 色差の閾値の検討

RIADでは人工系ごみと自然系ごみの判別を色差によって行っているため、図 7-2に示すように日射による水面反射で白く映ってしまう部分についても「人工系ごみ」として判別してしまう可能性がある。

そのため、日射による反射を考慮したうえで人工系ごみが抽出できる色差を検討した。ここでは、人工系ごみと自然系ごみを10個ずつ抽出し、解析に使用する色差の検討を行い、日射による反射の影響を低減できる色差にて、どの程度、人工系ごみを判別できるか検討を行った。表 7-1に解析に使用した色差を示す。解析に使用する色差は、令和5年度に行った検討結果を参考に令和6年度の動画を複数ケース解析し、実際のごみ判定状況を確認することで決定した。

本業務では、色差の設定だけで除外しきれなかった自然系ごみや水面反射等の誤判定は、解析後の結果を目視で確認することによって除外してプラスチックごみ輸送量の計算を行った。

表 7-1 解析に使用する色差の設定値

地点		新居浜市	今治市	松山市	松前町	八幡浜市	宇和島市
色差	R5年度	90	100	120	100	100	100
	R6年度	90	100	105	95	100	100

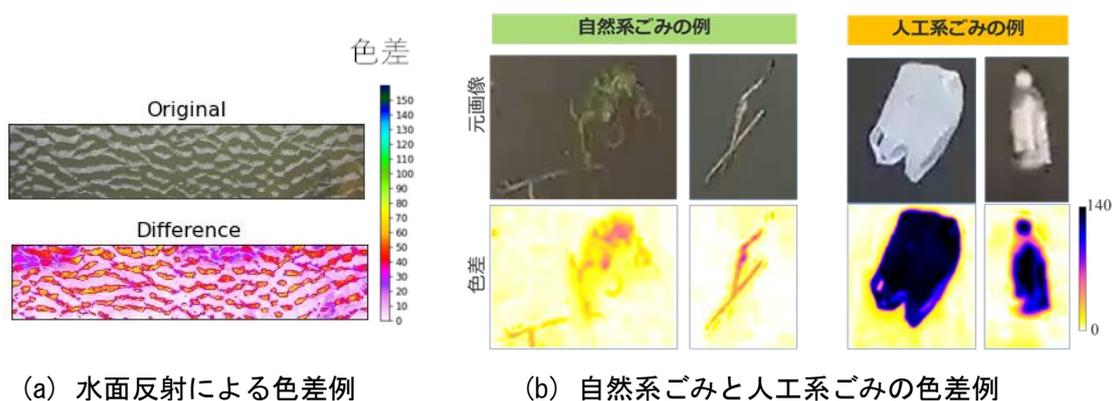


図 7-2 色差の例

人工物



自然物

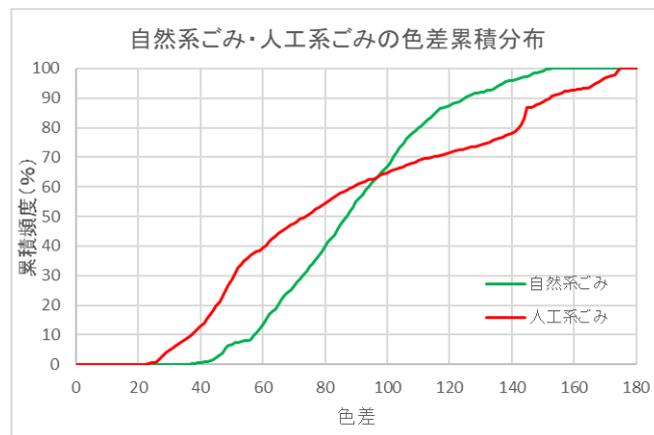


図 7-3 新居浜市（尻無川 田所小橋）の色差検討結果（令和5年度）

人工物



自然物

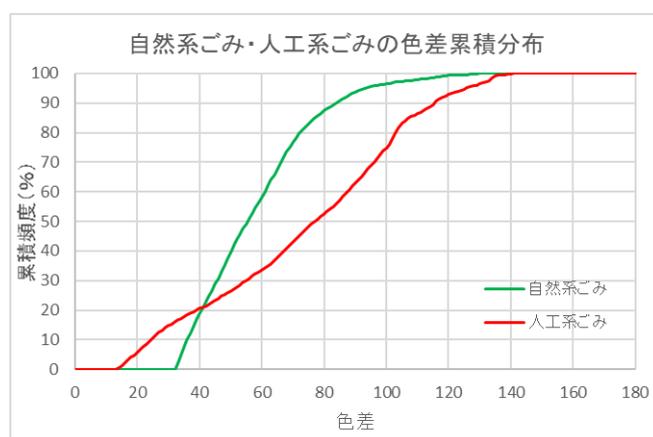


図 7-4 今治市（竜登川 中竜登橋）の色差検討結果（令和5年度）

人工物



自然物

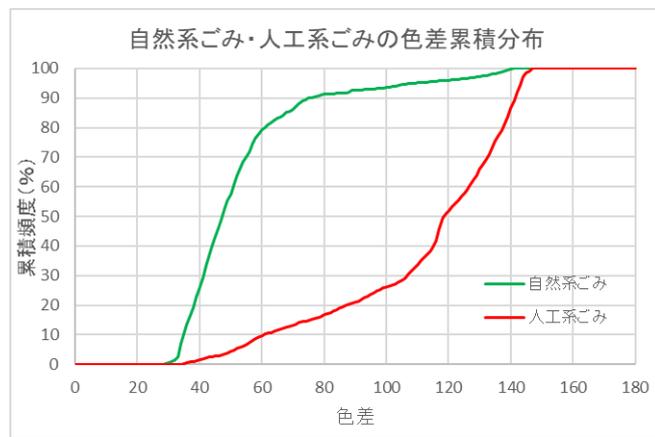


図 7-5 松山市（小野川 月見橋）の色差検討結果（令和5年度）

人工物



自然物

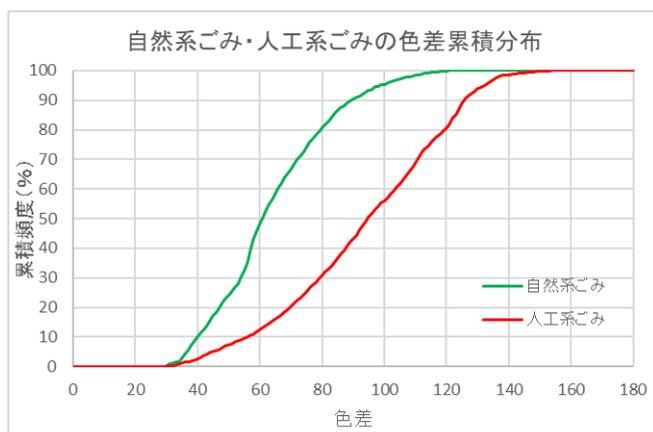
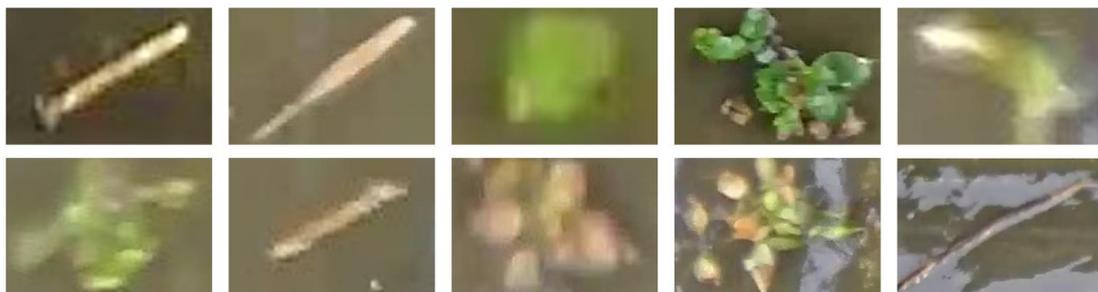


図 7-6 松前町（長尾谷川 外側橋）の色差検討結果（令和5年度）

人工物



自然物

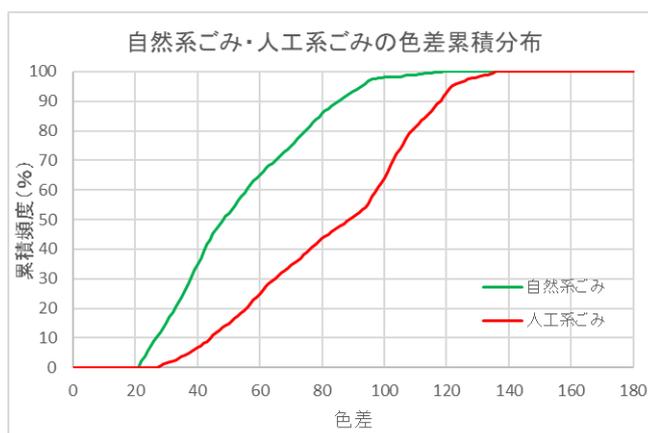


図 7-7 八幡浜市（千丈川 山越橋）の色差検討結果（令和5年度）

人工物



自然物

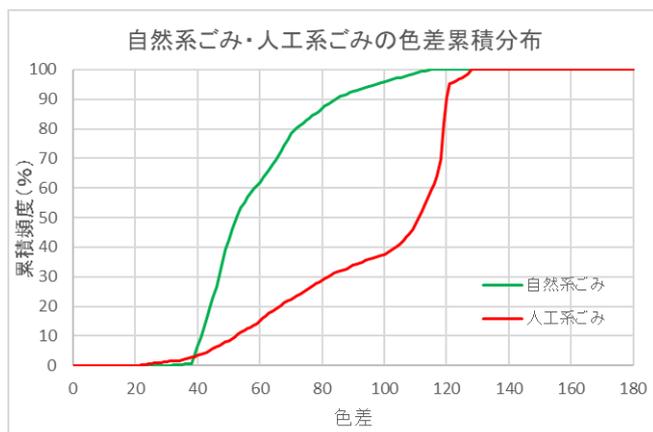


図 7-8 宇和島市（須賀川 道連橋）の色差検討結果（令和5年度）

7.3 画像解析結果

7.3.1 解析対象動画の抽出

本業務では図 7-9のフローに従って解析対象動画を抽出した。令和5年度のモニタリング期間(2023年12月21日～2024年3月19日)と令和6年度のモニタリング期間(2024年6月25日～2025年1月9日)のモニタリング期間で解析対象としたイベント数を表 7-2に示す。八幡浜と宇和島の地点については、他地点と比較して降雨に対する水位の上昇が少なかったため、他地点と比較して解析対象イベント数が少なくなっている。



図 7-9 解析対象動画の抽出フロー

表 7-2 地点ごとの解析対象イベント数

地点	解析対象イベント数
新居浜市	22
今治市	18
松山市	20
松前町	19
八幡浜市	12
宇和島市	10

7.3.2 解析の課題および対応策

(1) 水滴の人工系ごみ誤判定

新居浜市の解析対象動画では、動画内に水滴が映り込んでおり、人工系ごみと誤判定している事例が確認された。有識者ヒアリングにて、水滴が通る場所が毎回同じであれば動画を左右で分割して解析するとよいと意見をいただいた。それを踏まえて動画を確認した結果、水滴の通る範囲が動画によって異なることを確認した。そのため、解析結果を目視で確認し、人工系ごみ以外のものを誤判定している箇所の補正を行った。

図 7-10に水滴の誤判定例と目視により異常値を削除する前後のプラスチックごみ輸送量のグラフ例を示す。

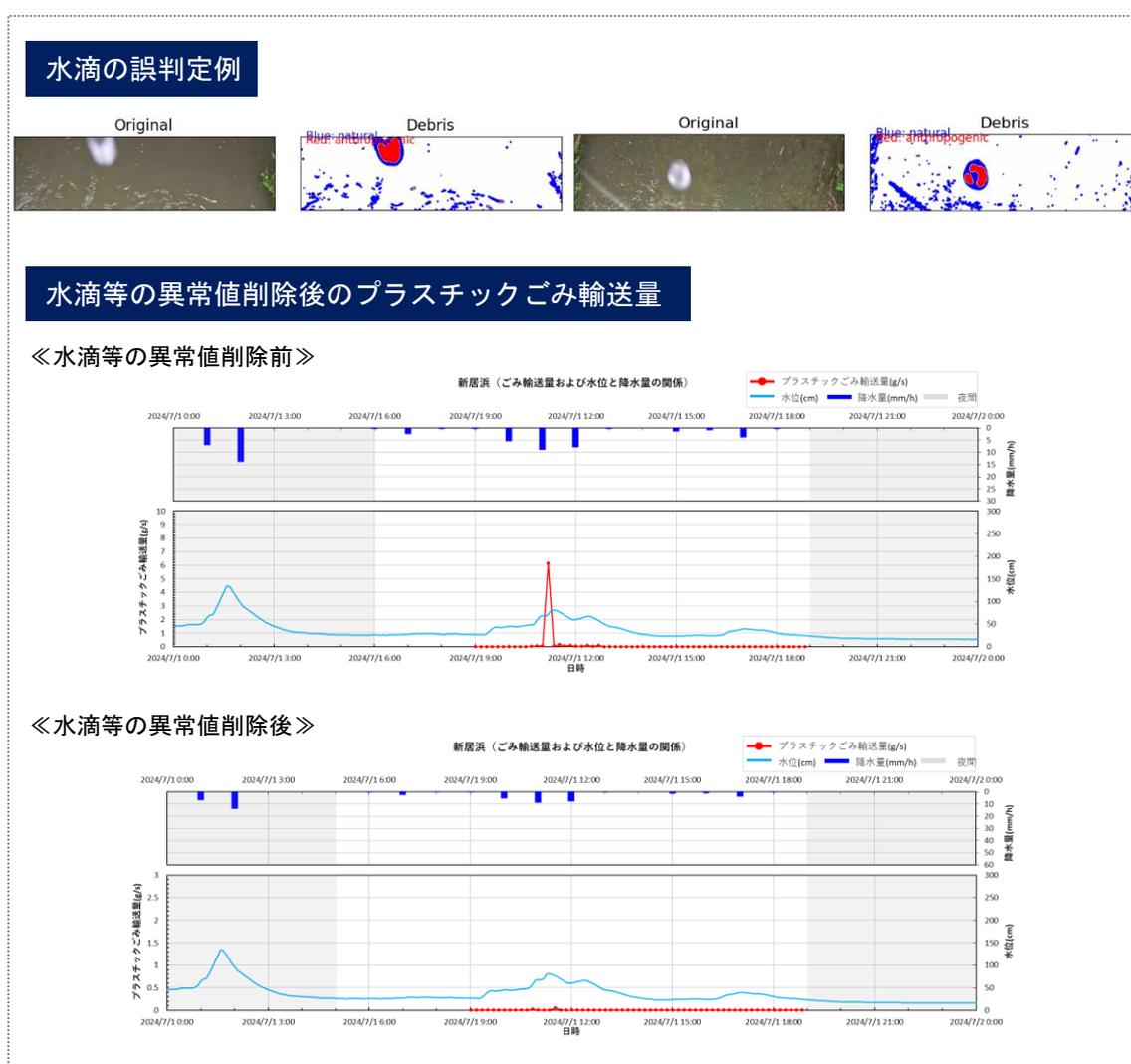


図 7-10 水滴の誤判定例と異常値削除前後のグラフ例

(2) 草木等の人工系ごみ誤判定

松前町の解析対象動画では、明るい色の草木が多く流れた際、人工系ごみと誤判定している事例が確認された。有識者ヒアリングにて、色差を変えて解析を行い人工系ごみの判定割合が変化する色差付近で補正をしてみるとよいと意見をいただいた。図 7-11 に示すとおり、草木が多く流れてくる動画に対して色差を変えて解析を実施したところ、人工系ごみの輸送量が大きく変化する点は見つけれず、色差を大きくするにつれて緩やかに人工系ごみの輸送量が減少する結果となった。そのため、解析結果を目視で確認し、人工系ごみ以外のものを誤判定している箇所の補正を行った。

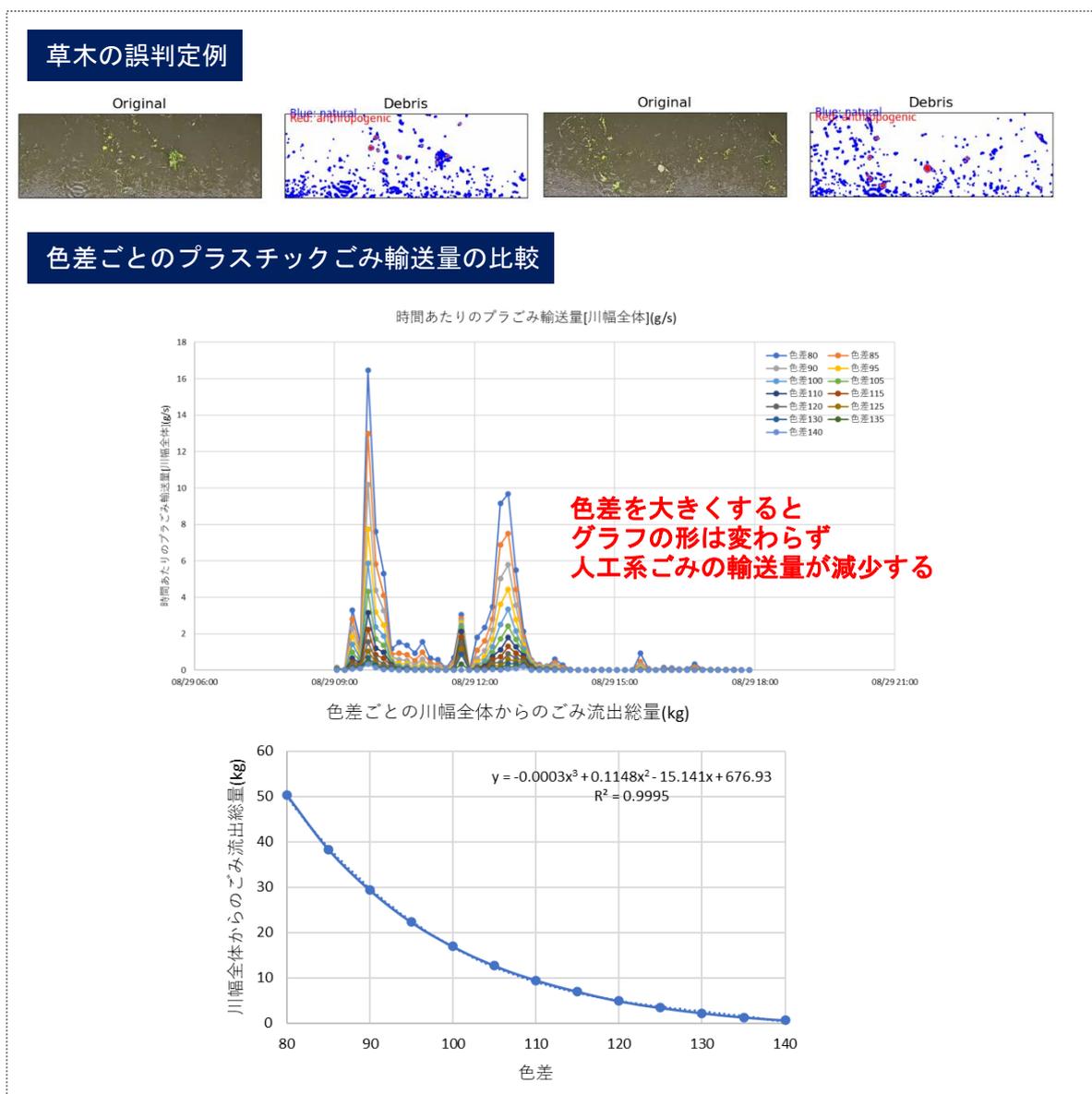


図 7-11 草木の誤判定例と色差ごとの解析結果比較例

(3) 白波の人工系ごみ誤判定

八幡浜市の解析対象動画では、動画に白波が映り込んでおり、人工系ごみと誤判定している事例が確認された。有識者ヒアリングにて、白波の影響を軽減するために、平滑化処理を実施する際のフィルタサイズを変更して解析するとよいと意見をいただいた。フィルタサイズを変更して解析を実施した結果を図 7-12に示す。これより、フィルタサイズを変更することで白波の影響が低減できるものの、完全に除去することは難しい結果となった。また4章でも記載したように、八幡浜市のモニタリング地点では河川水の流れに乱れが発生することでごみが水表面を浮き沈みしながら流下しており、水表面を流れるごみをとらえることができないことが想定された。

以上を踏まえ、八幡浜市の解析結果は推計誤差の原因になると考えられたため、有識者ヒアリングでの意見も参考に流出量推計対象から除外することとした。

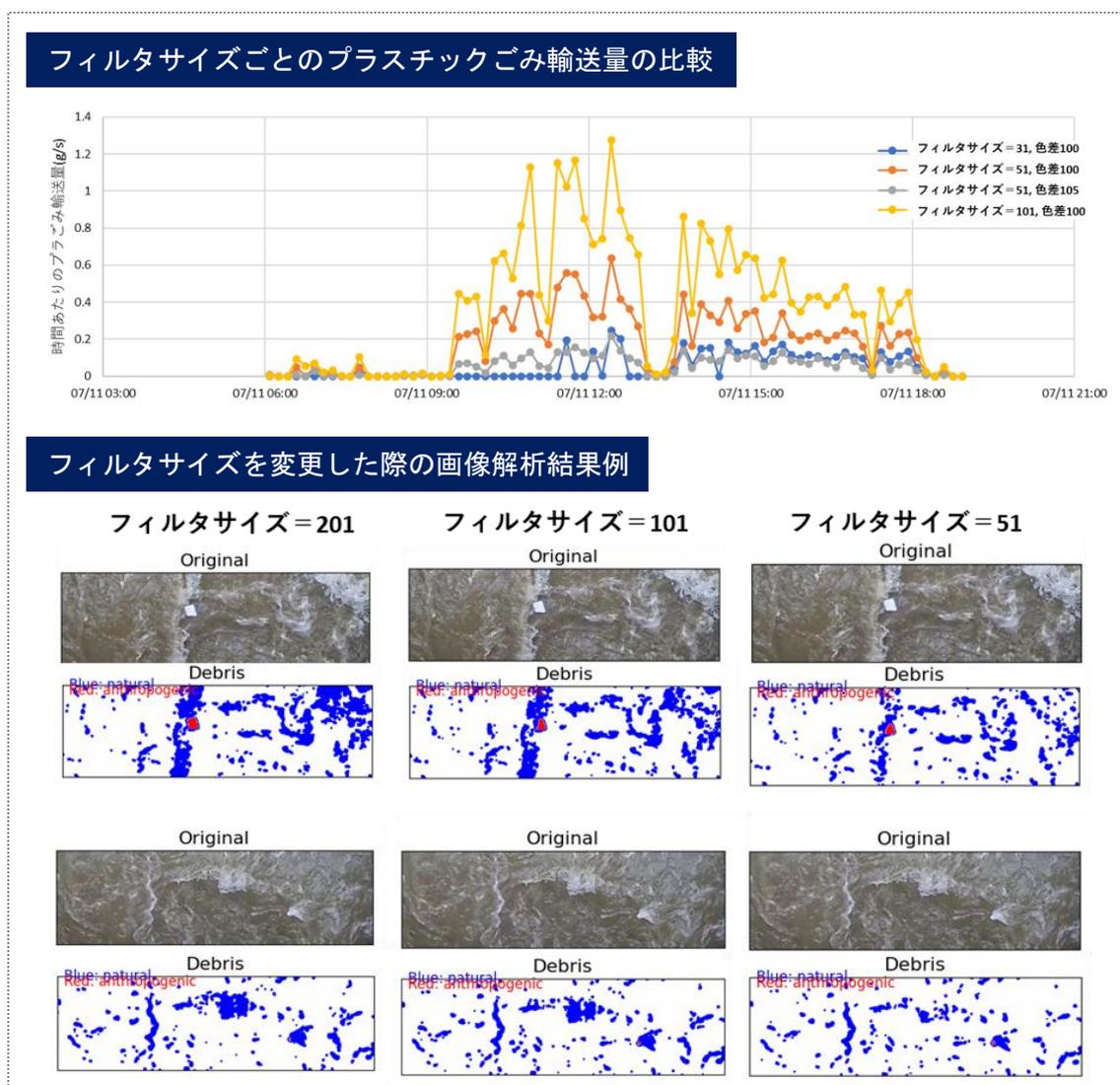


図 7-12 白波の誤判定例とフィルタサイズ変更時の解析結果比較例

7.3.3 解析結果の概要

各地点の解析結果を抜粋したものを図 7-13に示す。これより、人工系ごみの流出の多くは、降雨による水位上昇時に発生することが確認できた。

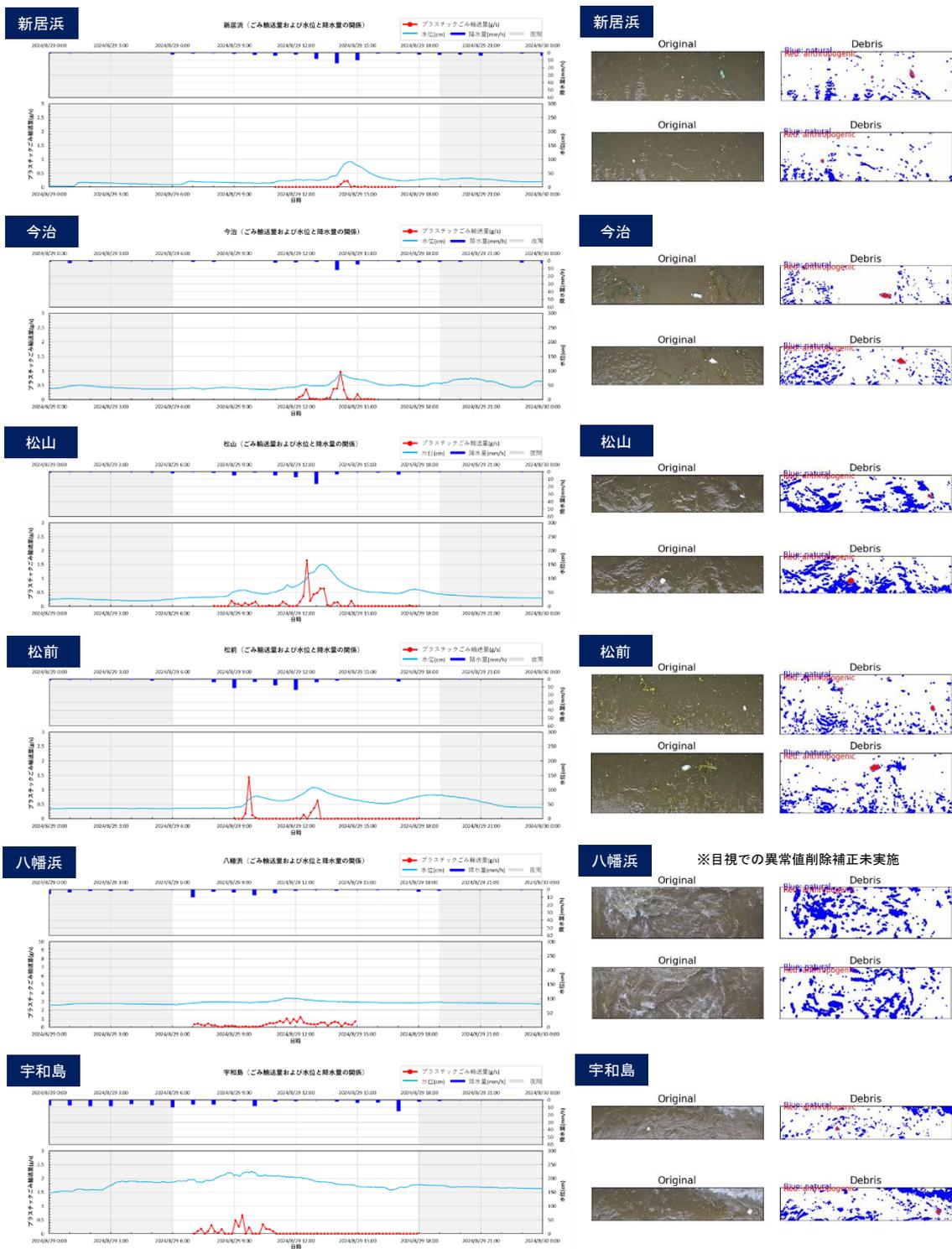
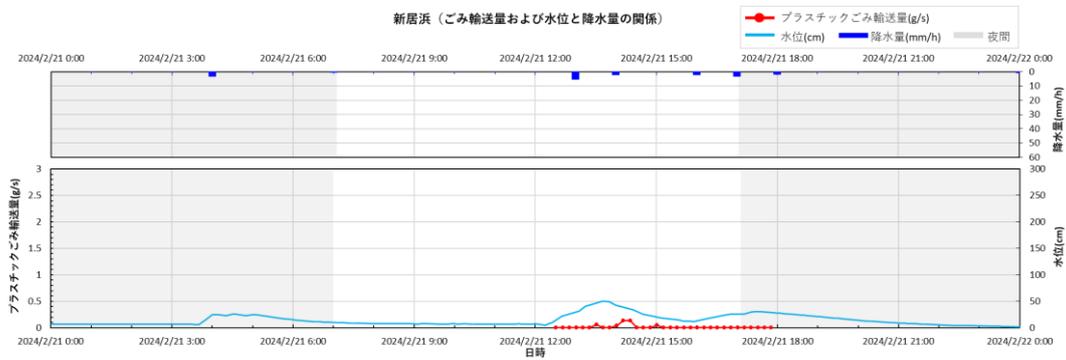
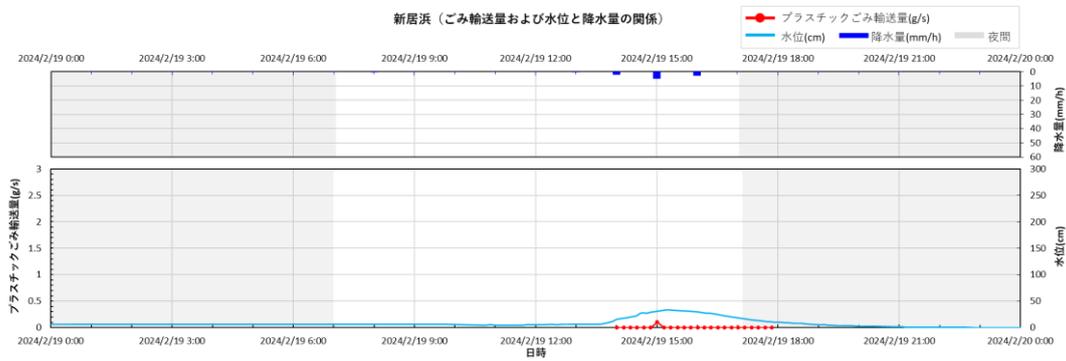
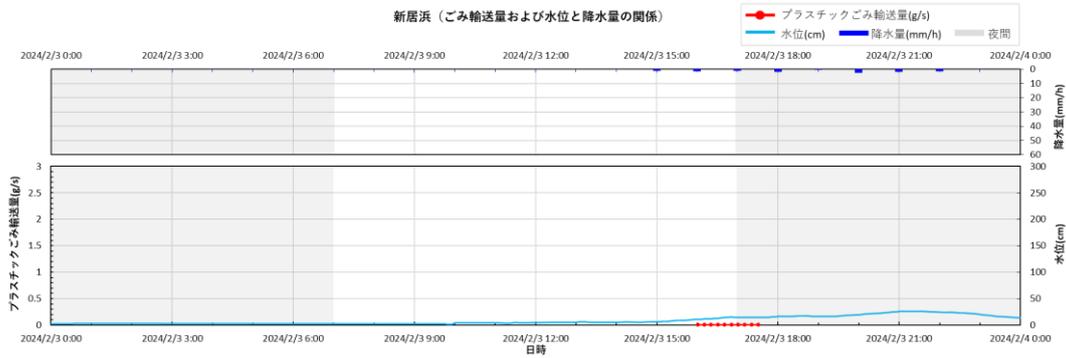


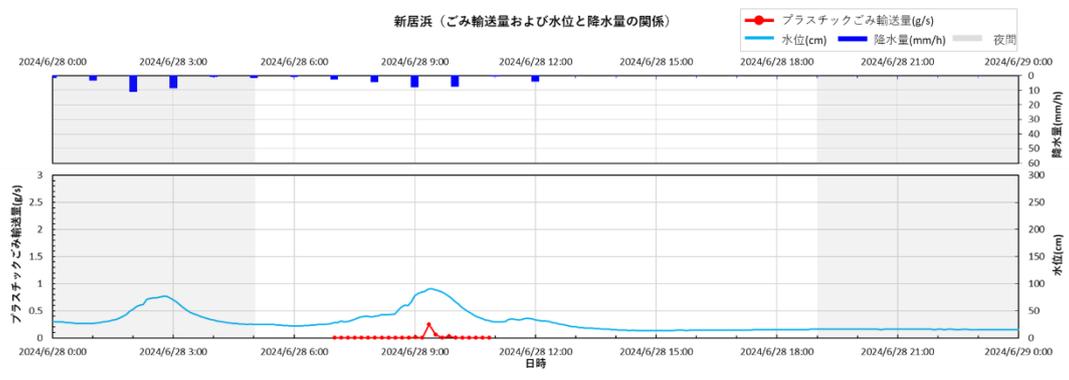
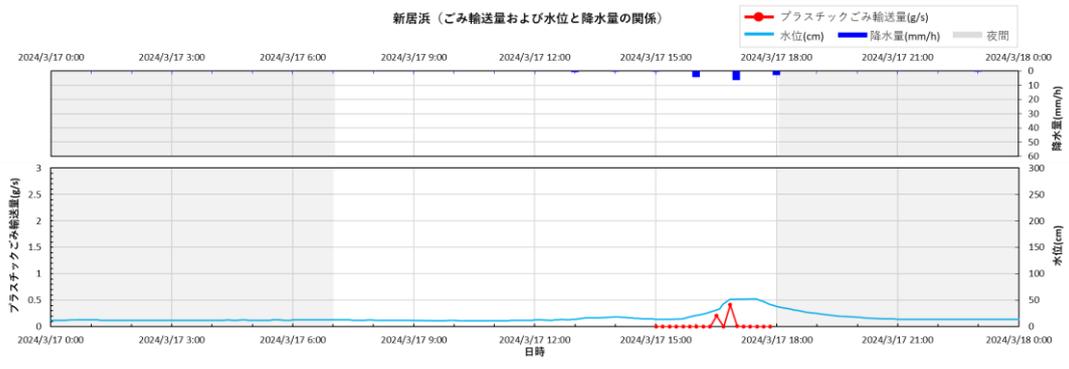
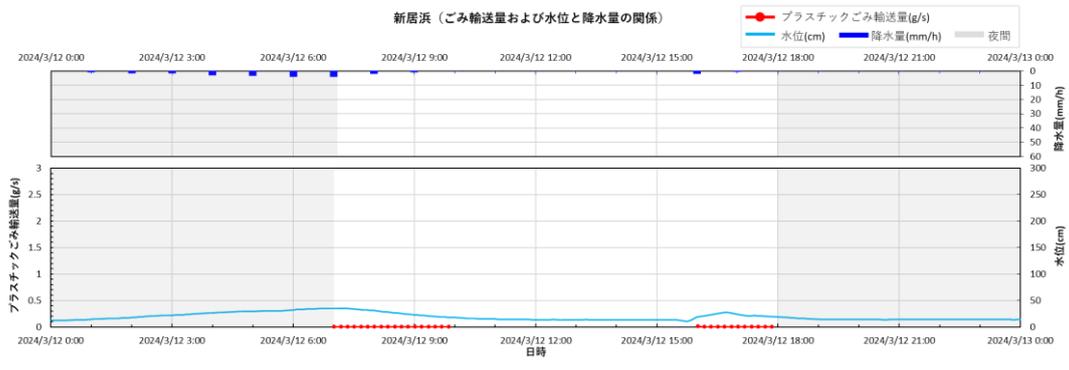
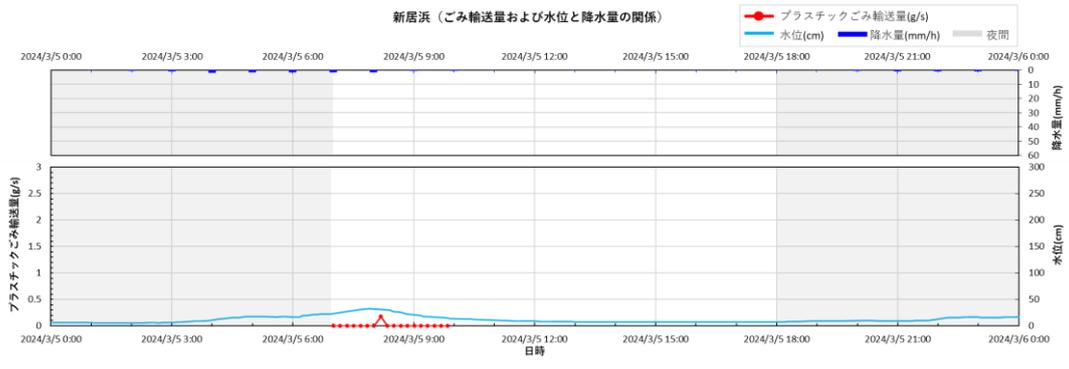
図 7-13 解析結果の抜粋 (2024年8月29日)

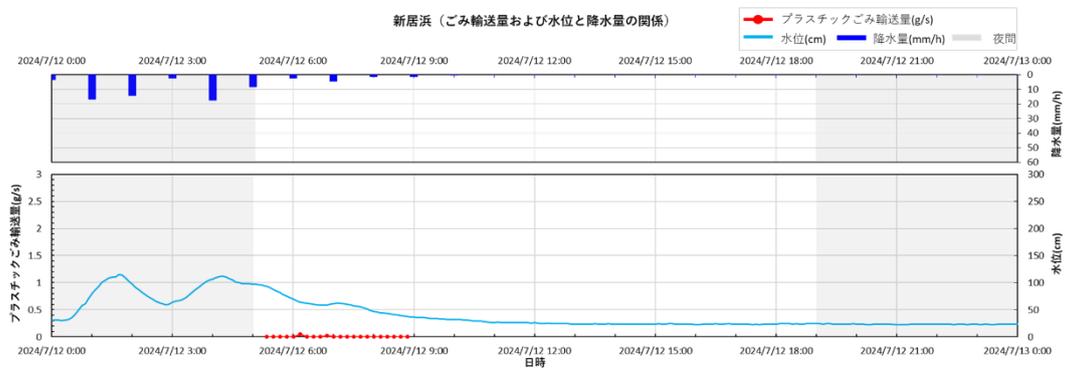
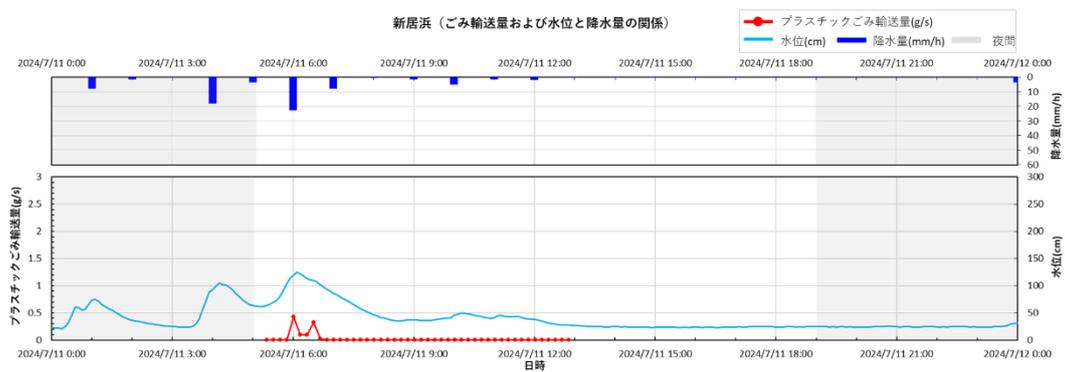
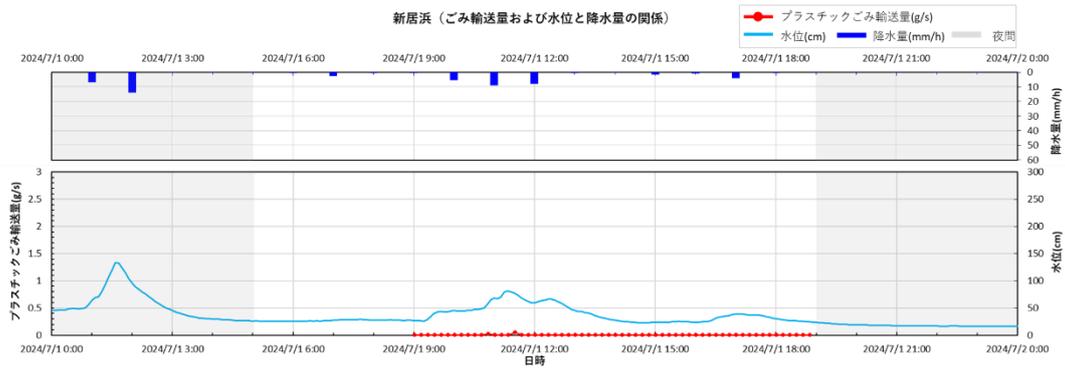
7.3.4 L-Q 式作成に用いた解析結果一覧

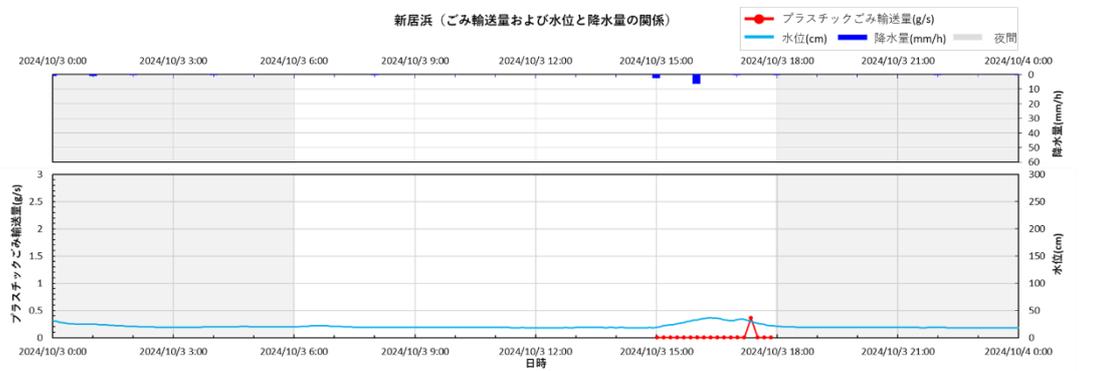
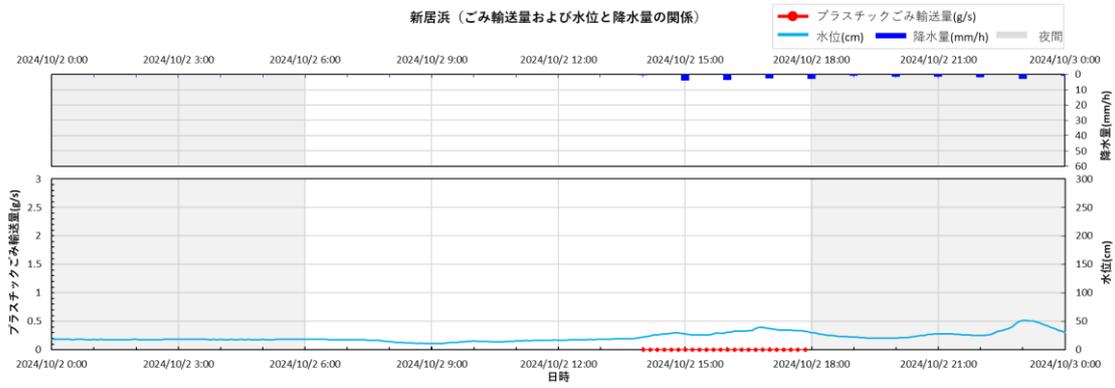
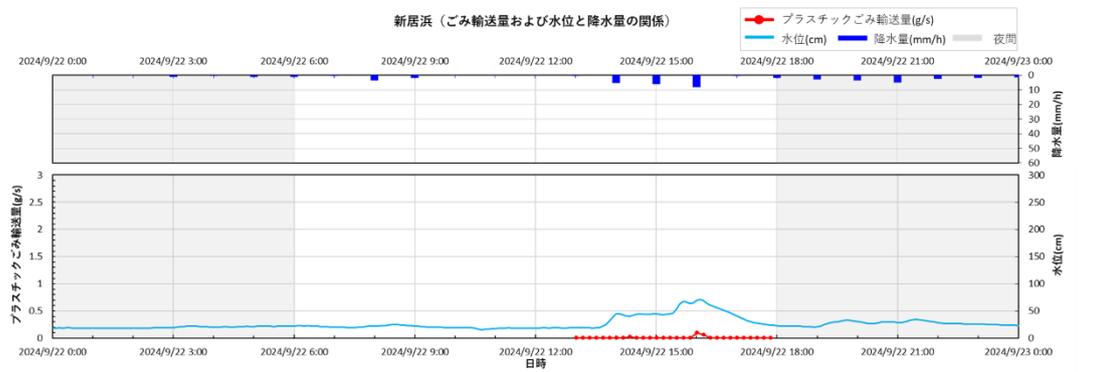
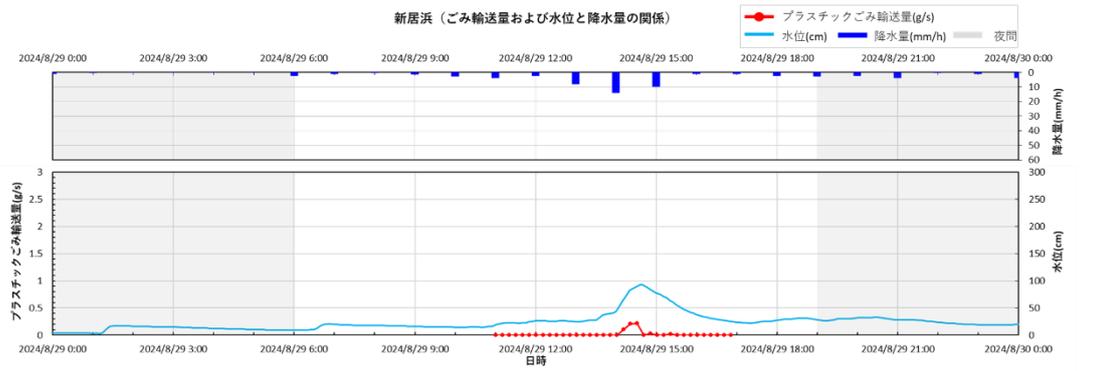
L-Q式の作成に用いた6地点分の解析結果を次ページ以降に示す。

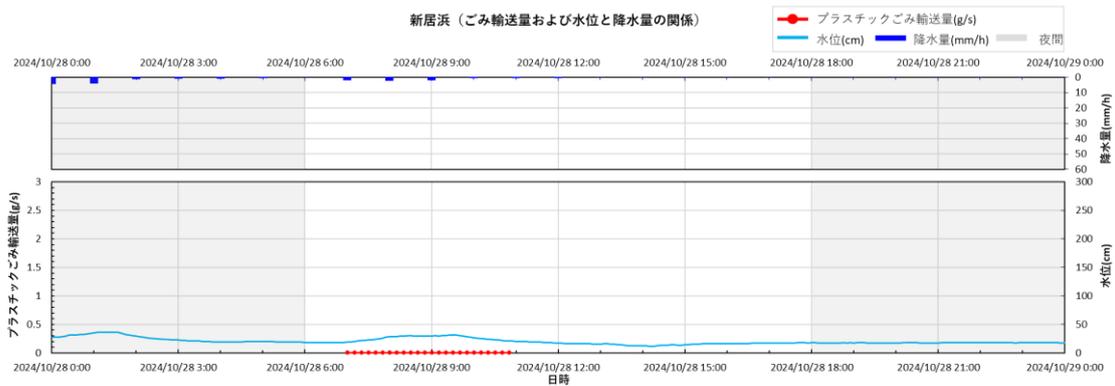
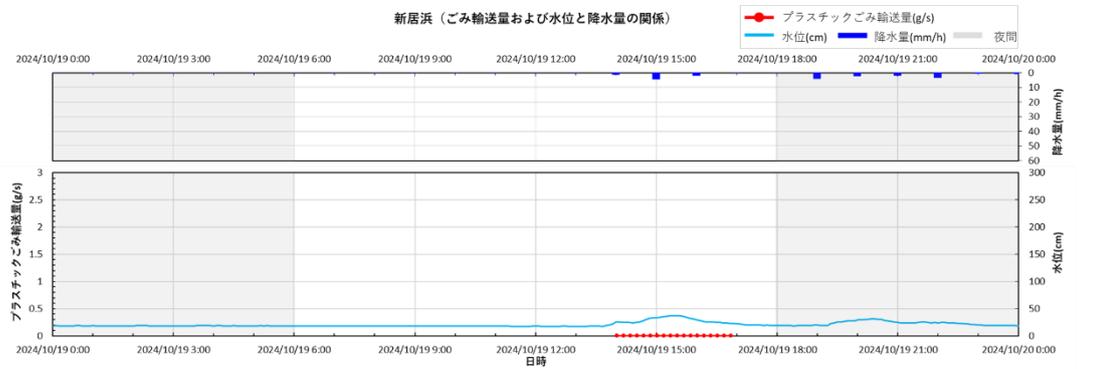
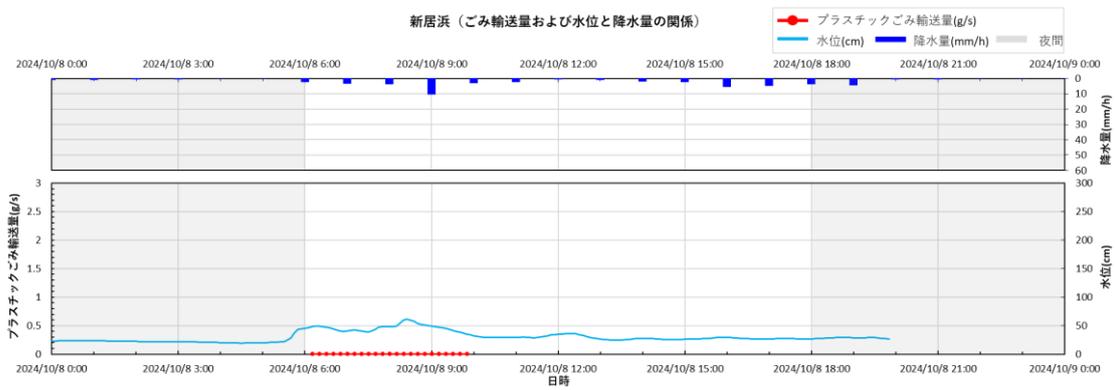
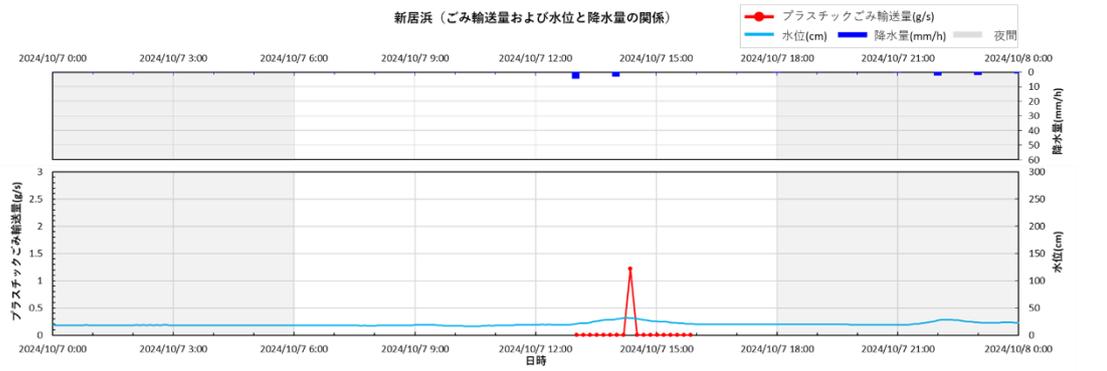
(1) 解析結果（新居浜市）

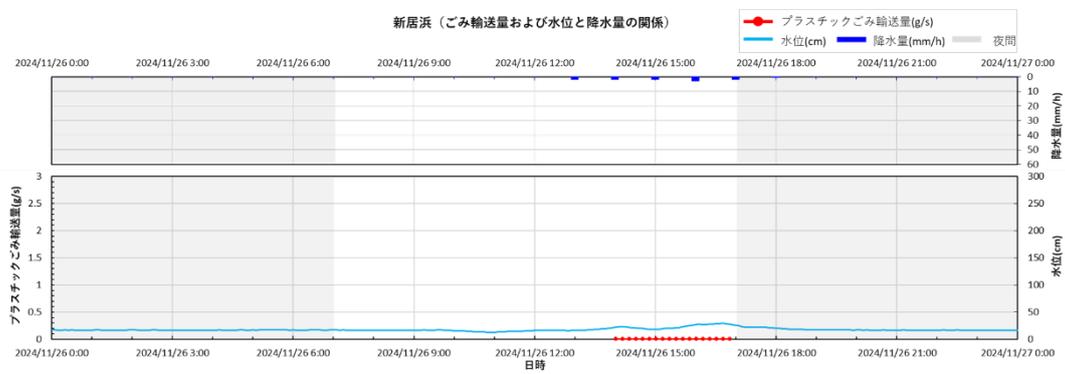
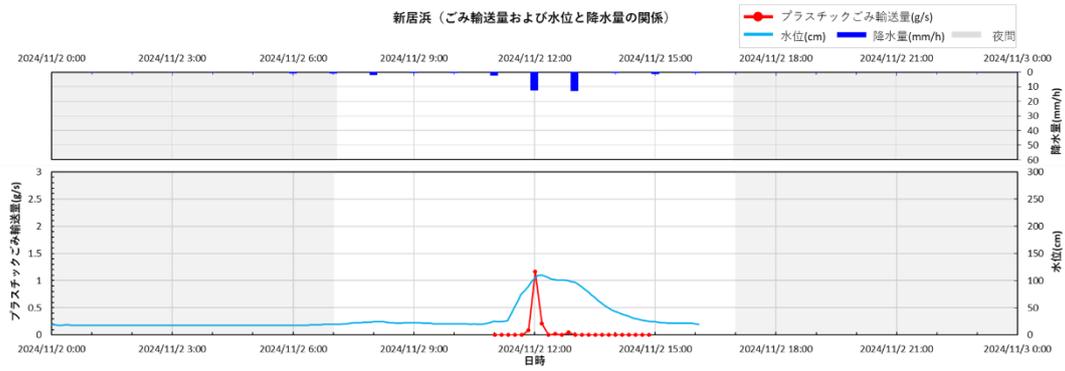




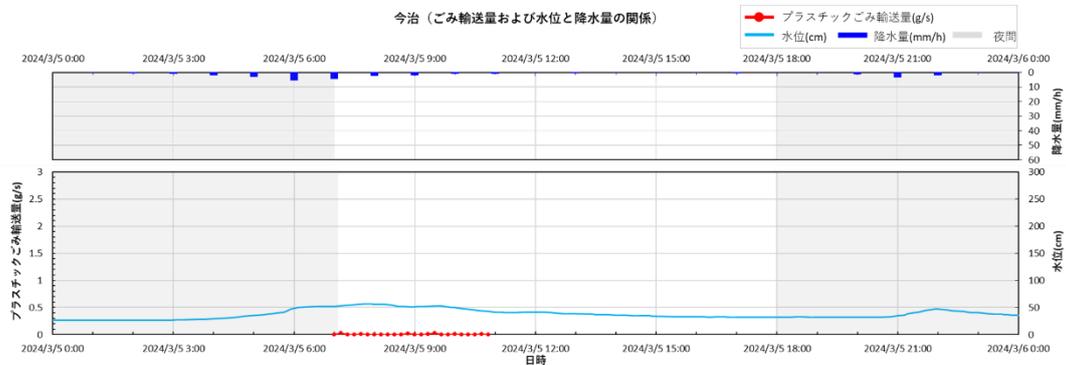
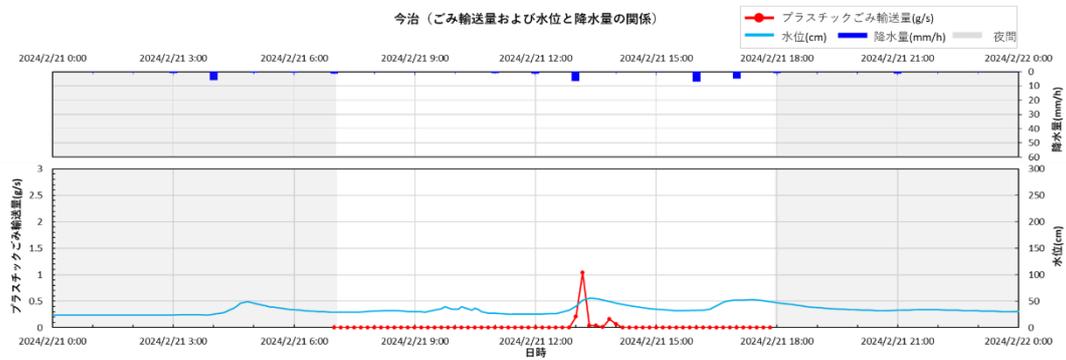
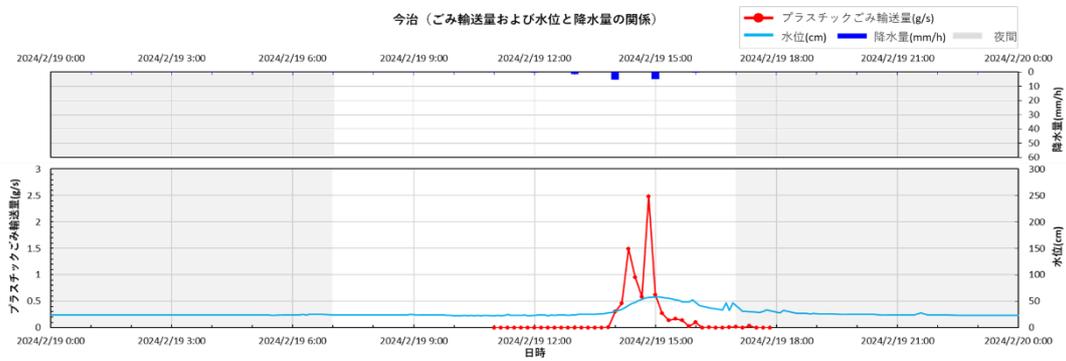
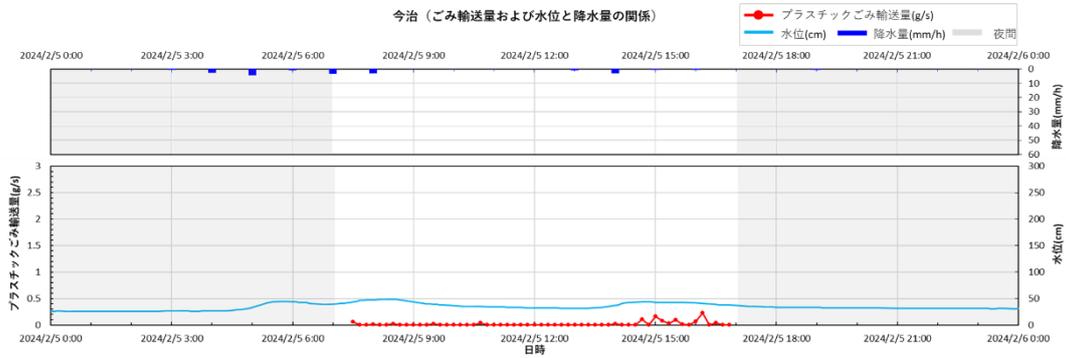


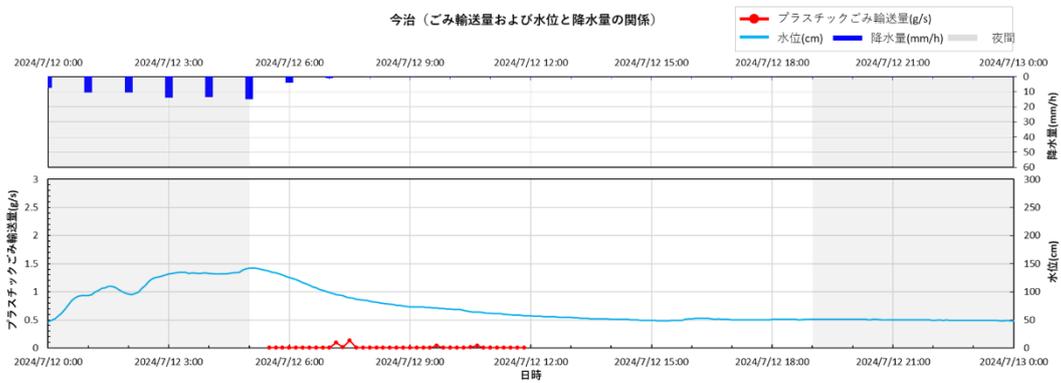
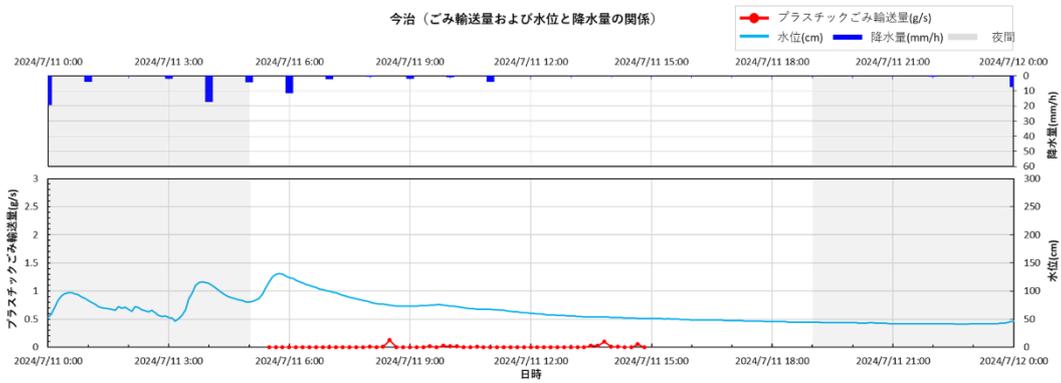
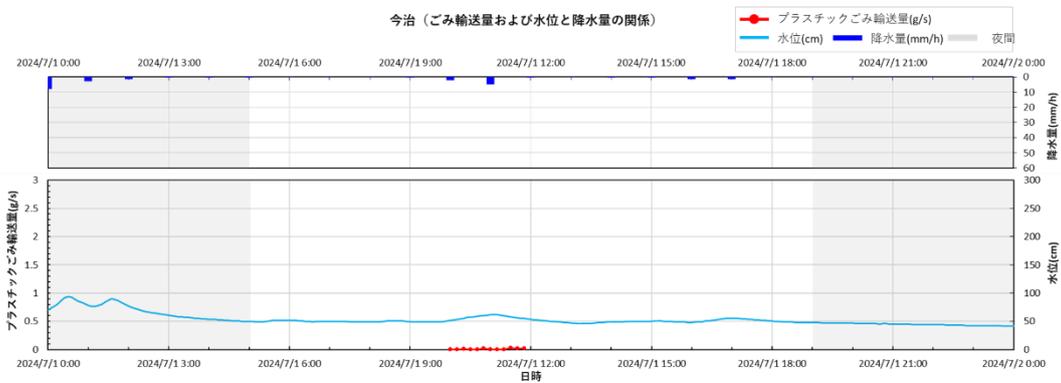
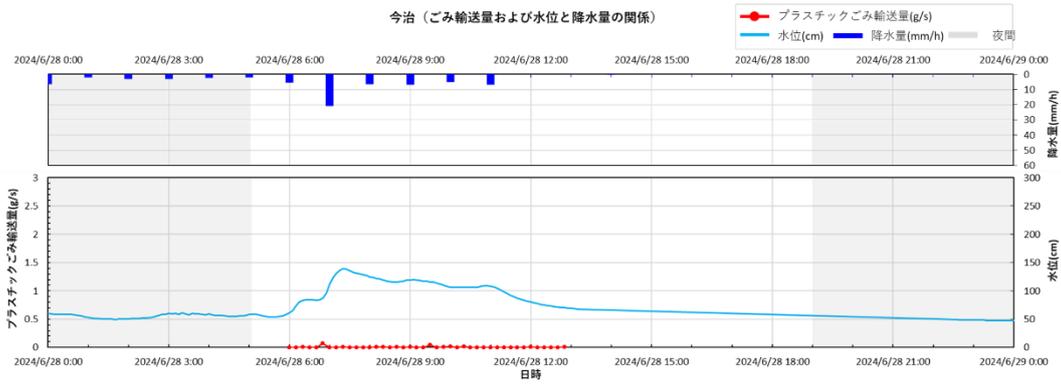


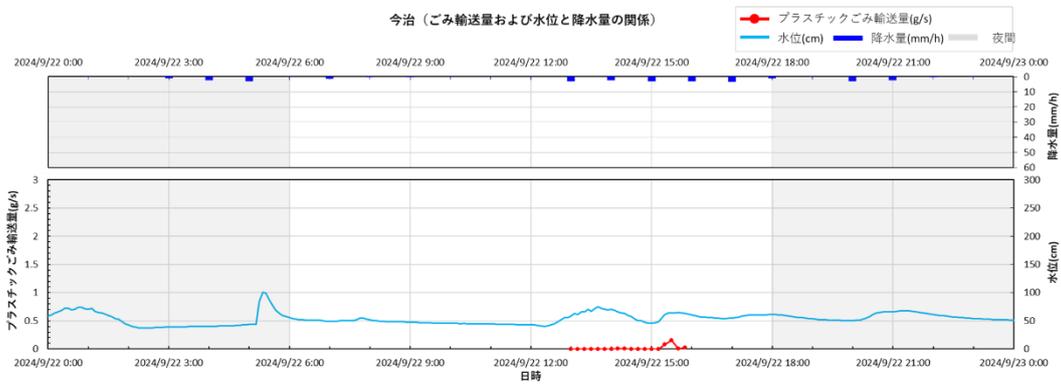
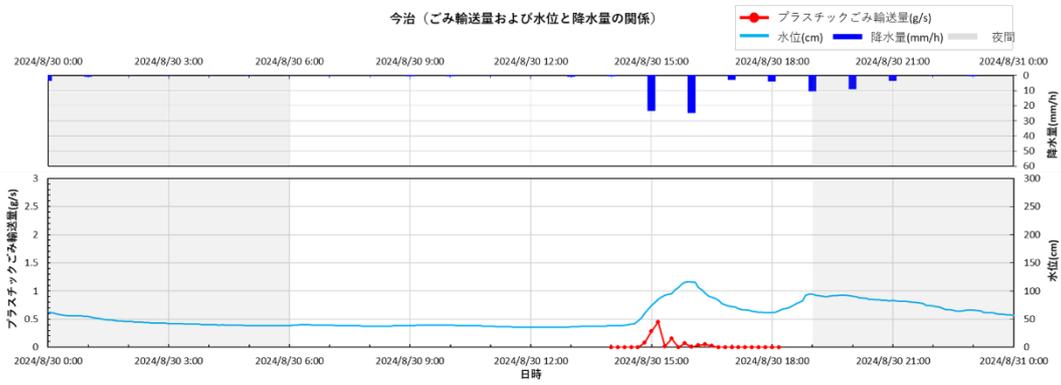
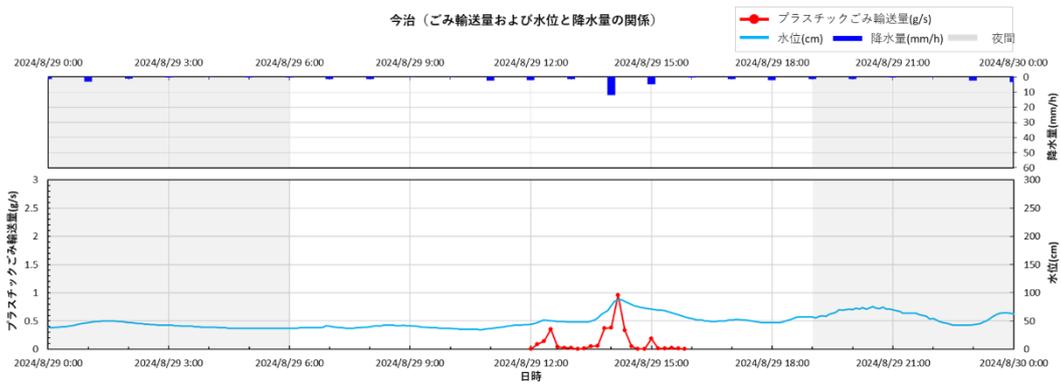
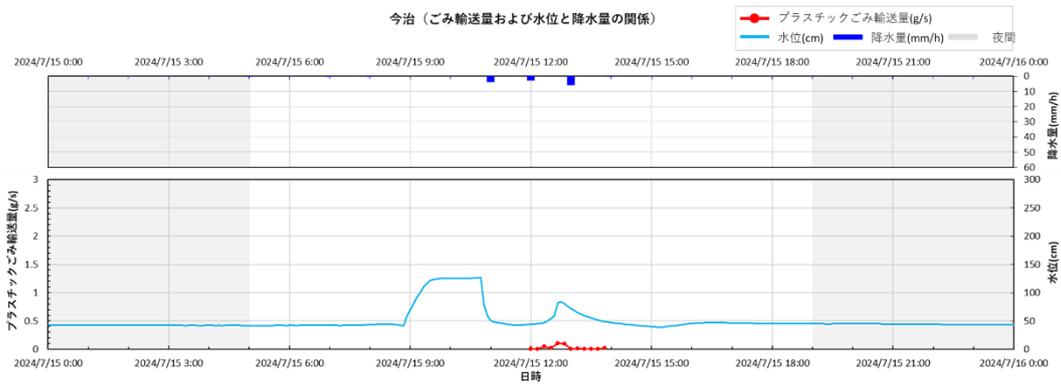


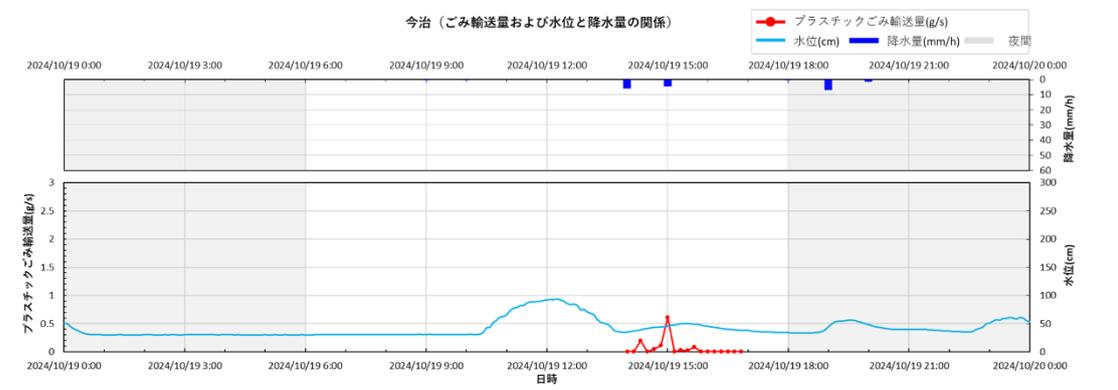
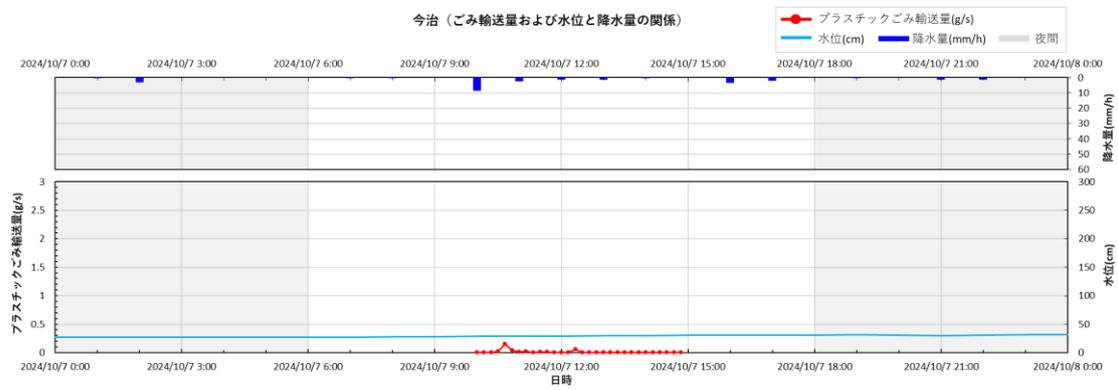
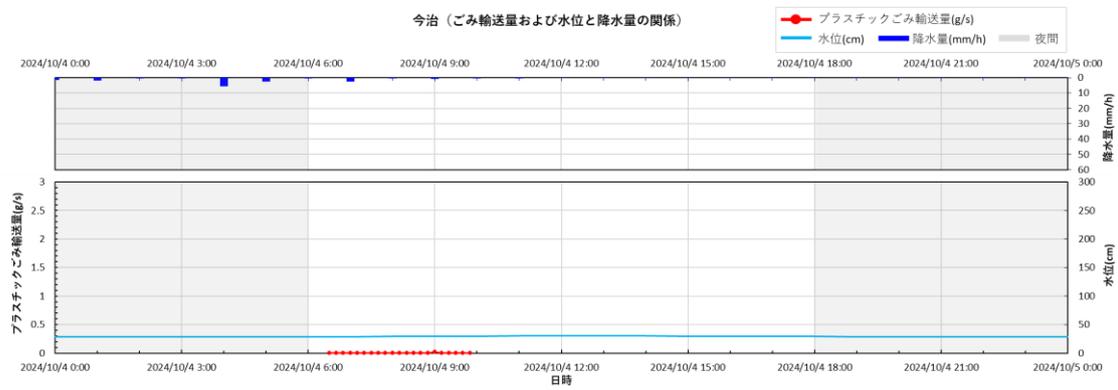
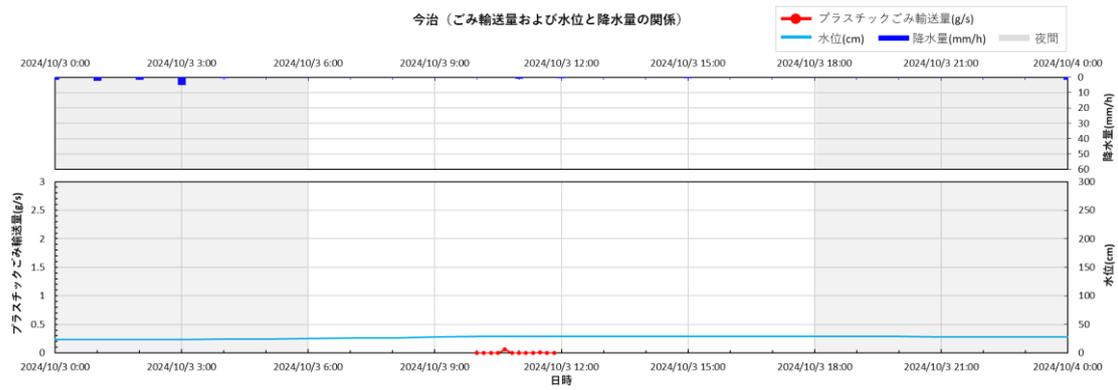


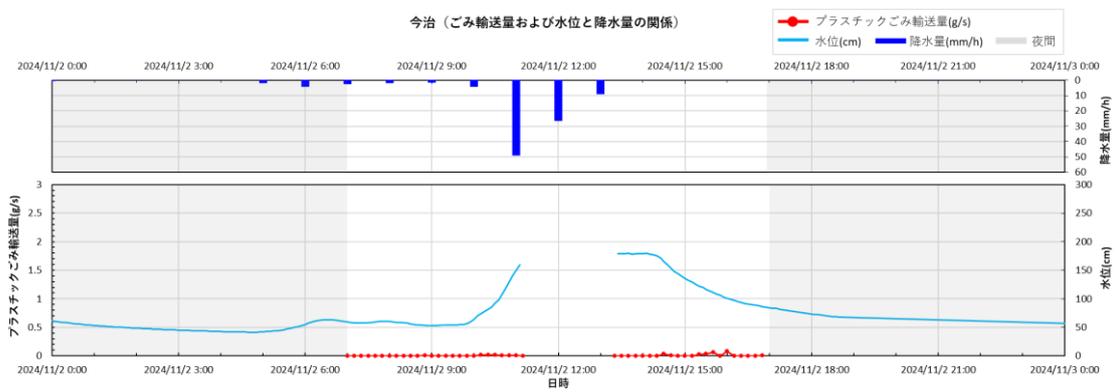
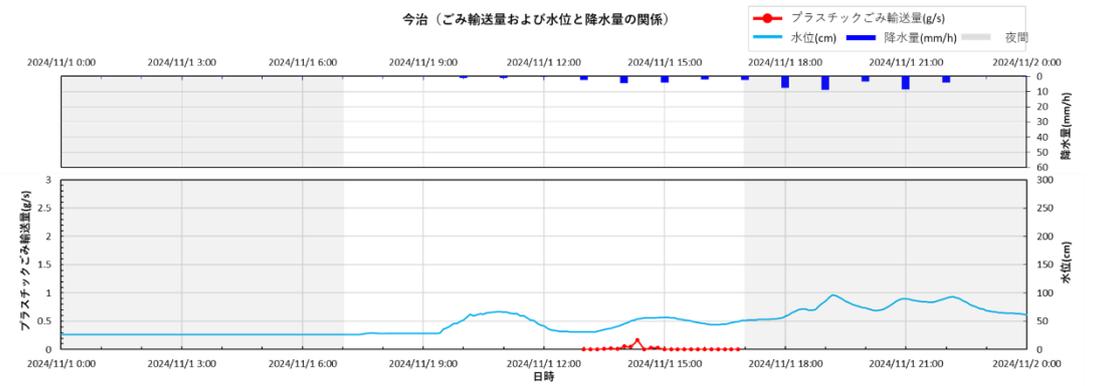
(2) 解析結果（今治市）



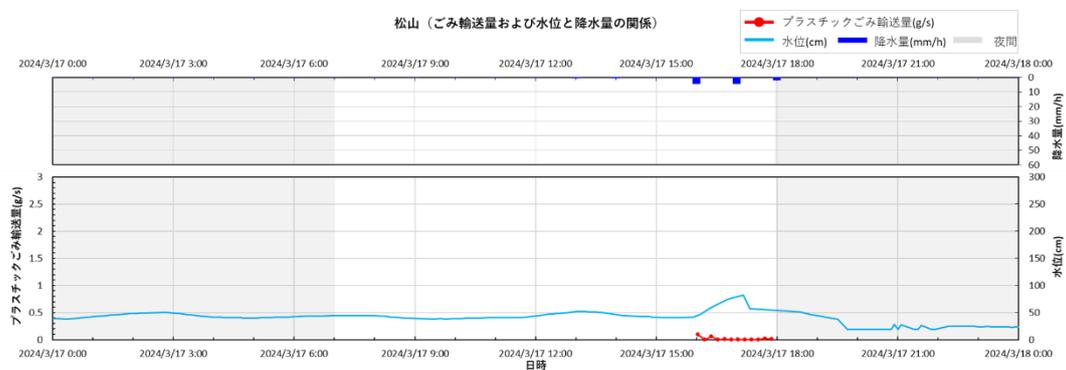
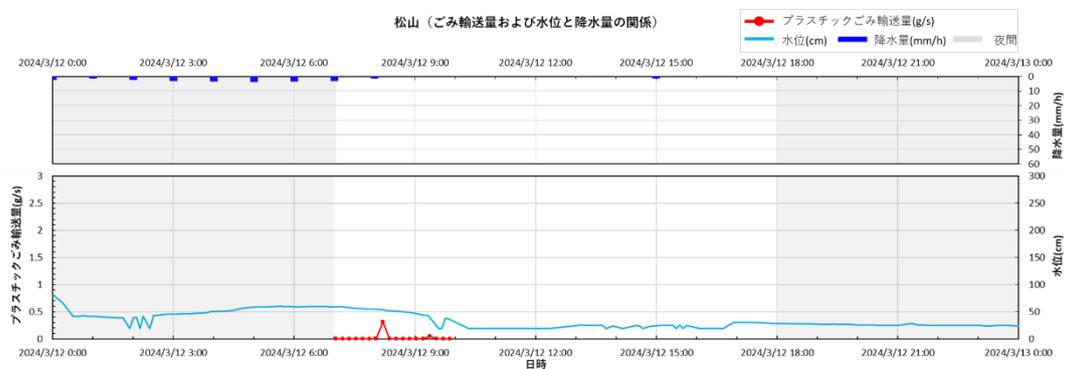
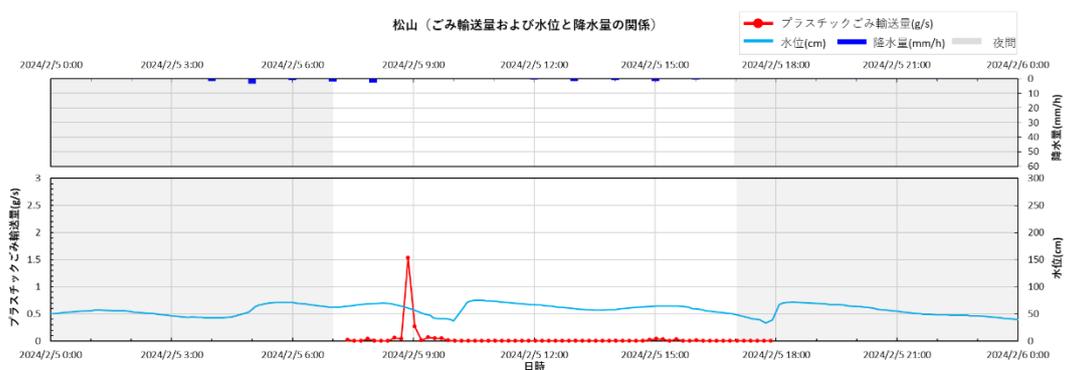
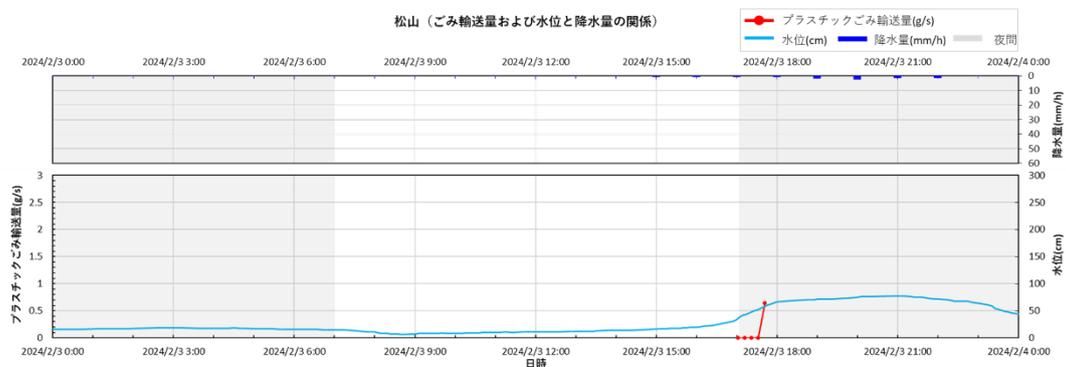


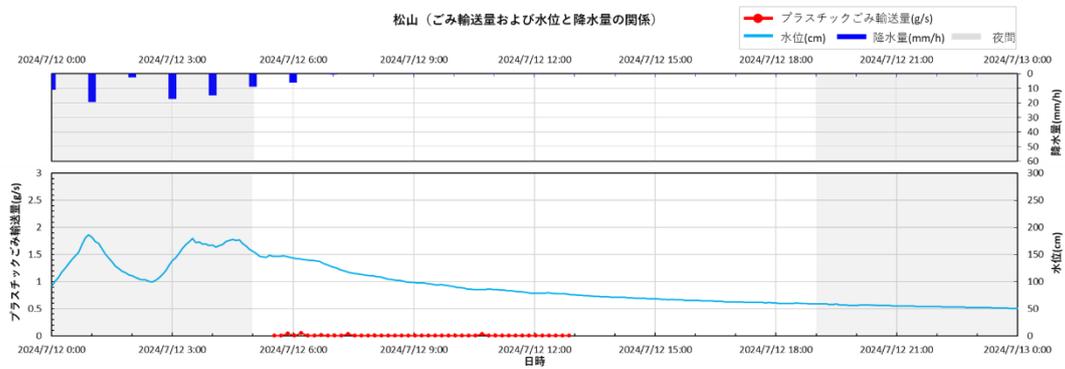
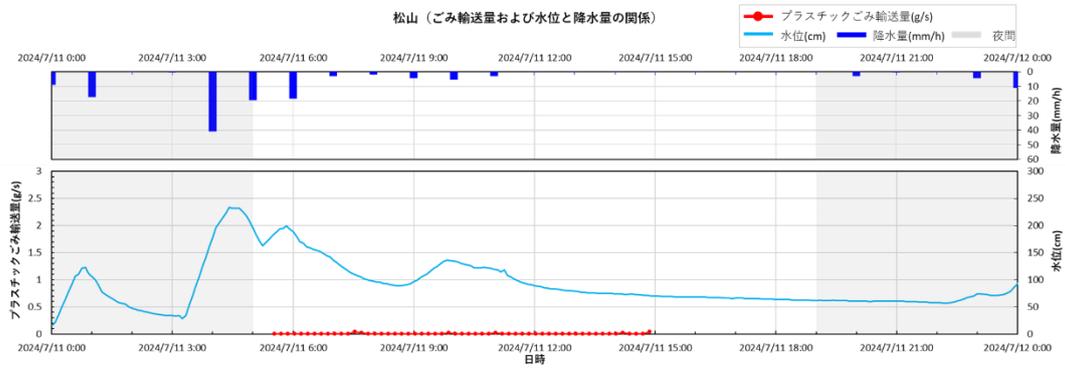
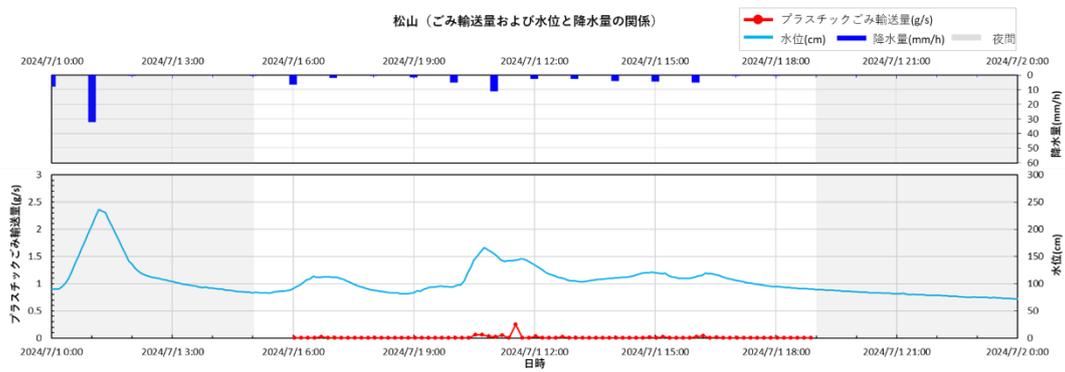
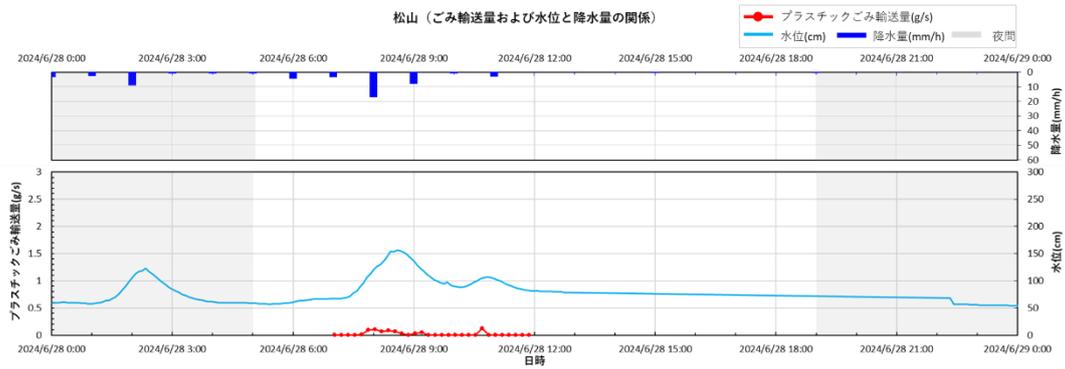


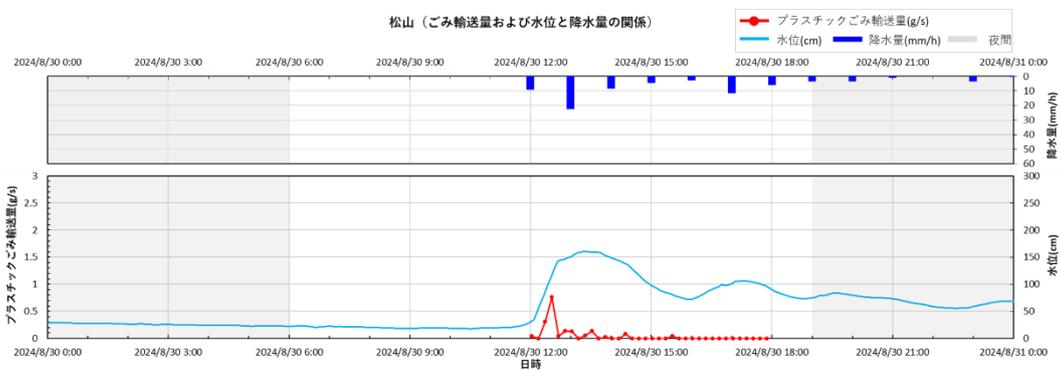
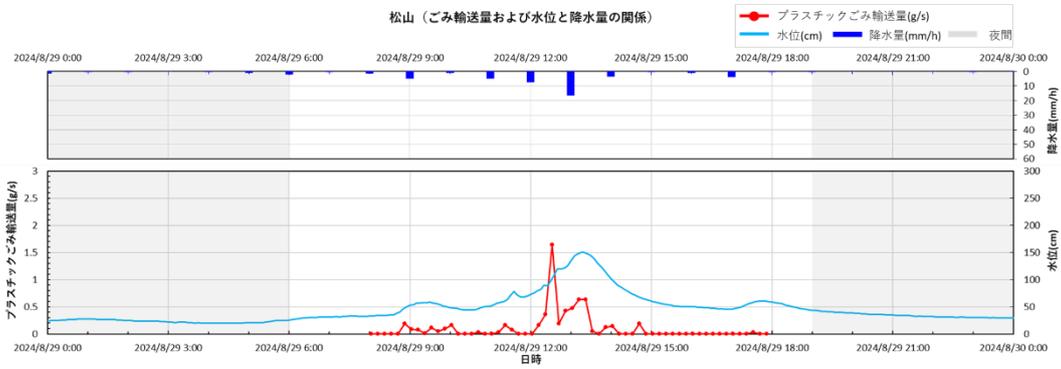
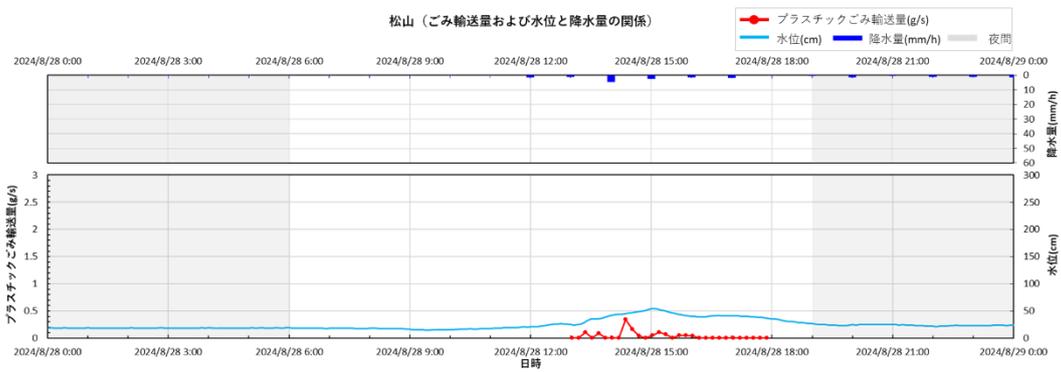
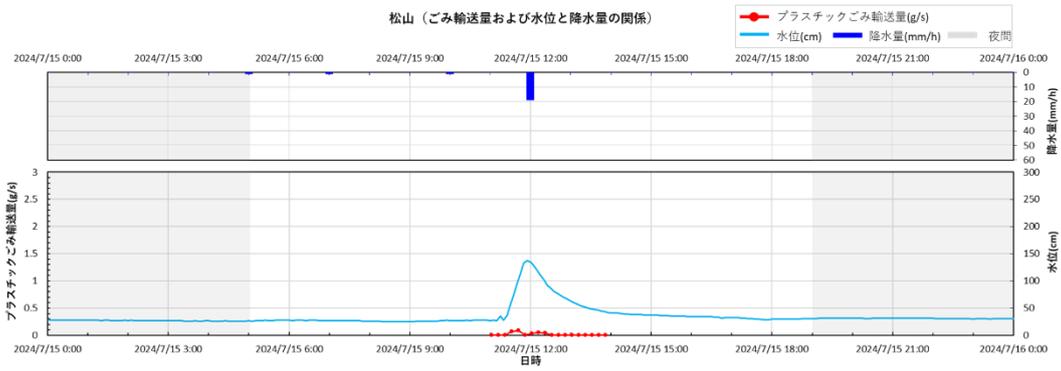


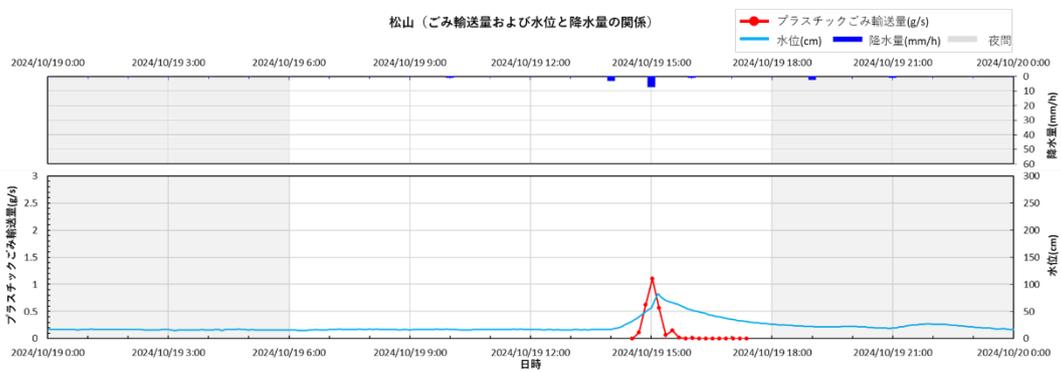
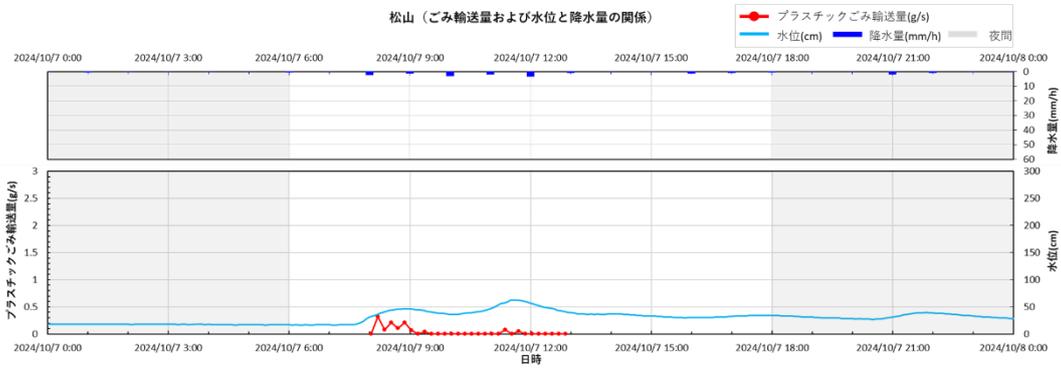
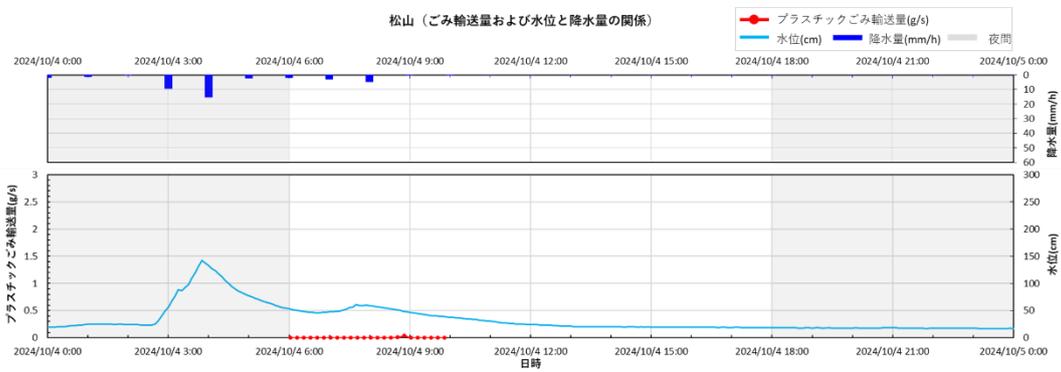
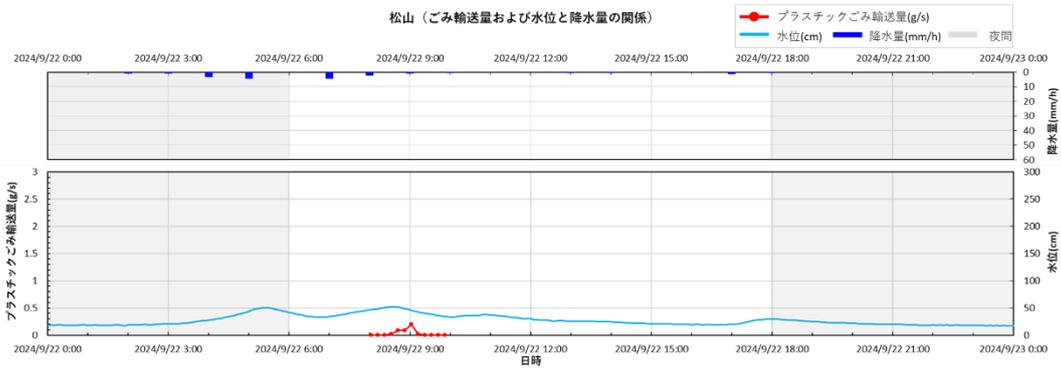


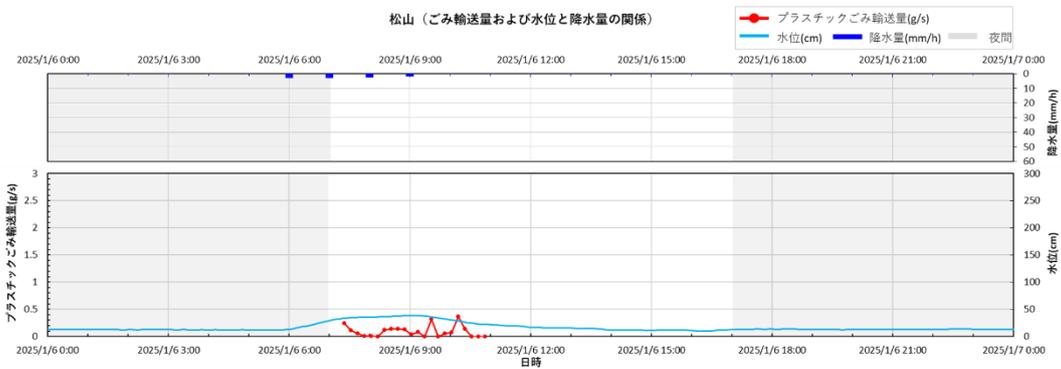
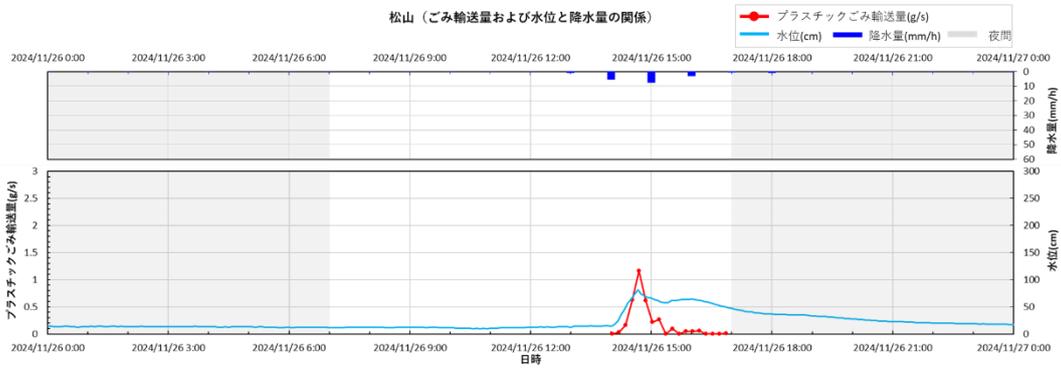
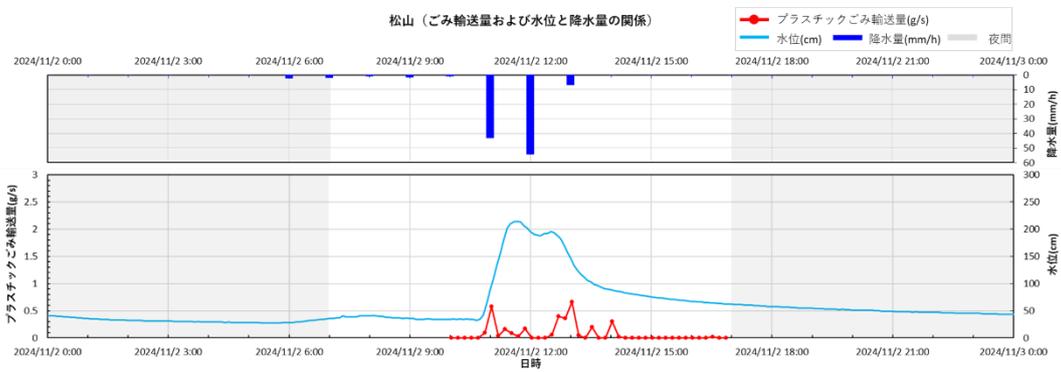
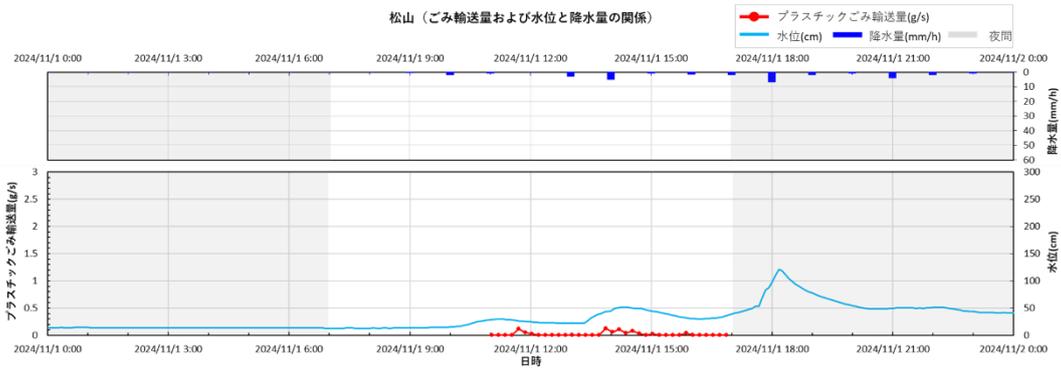
(3) 解析結果 (松山市)



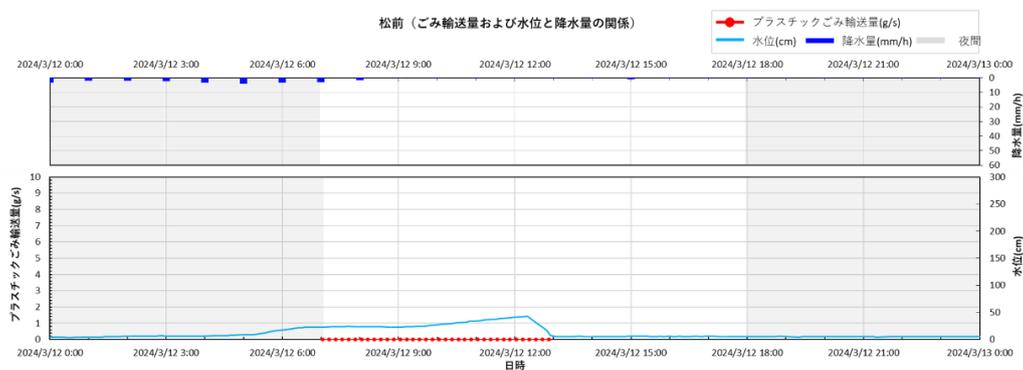
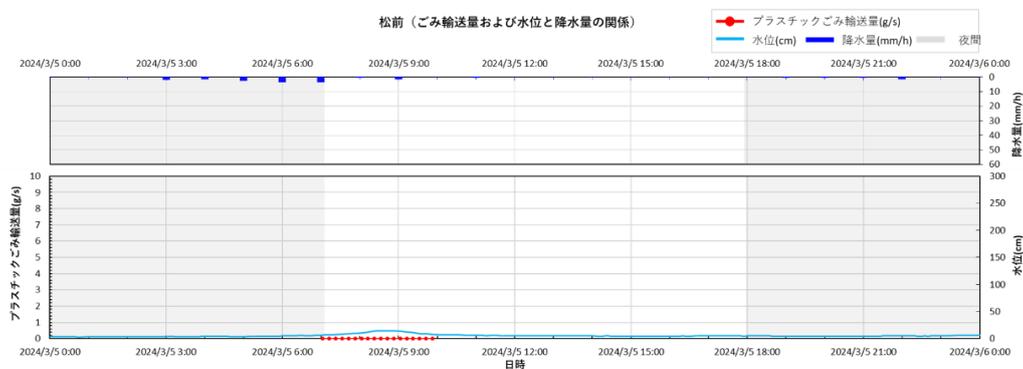
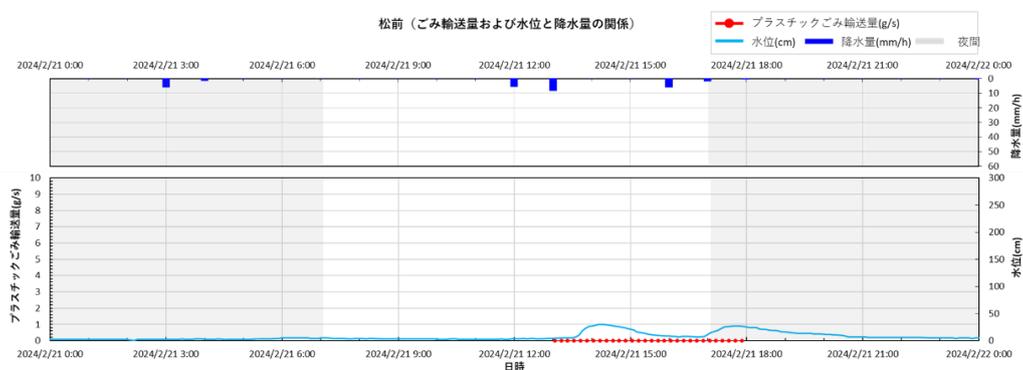
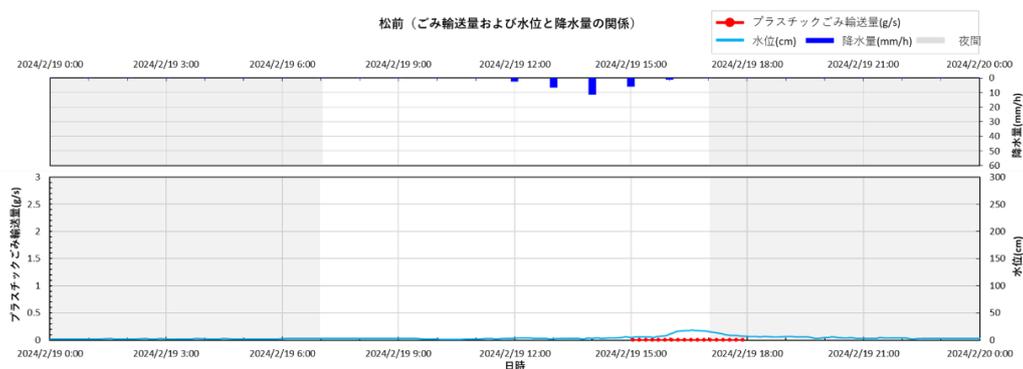


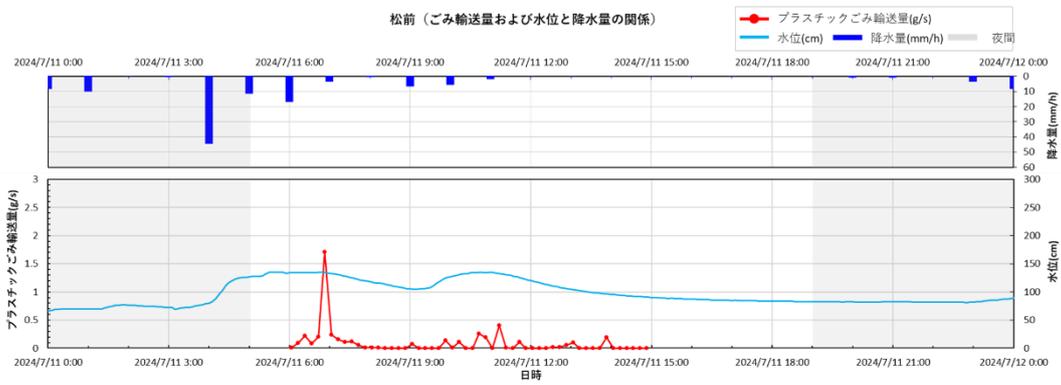
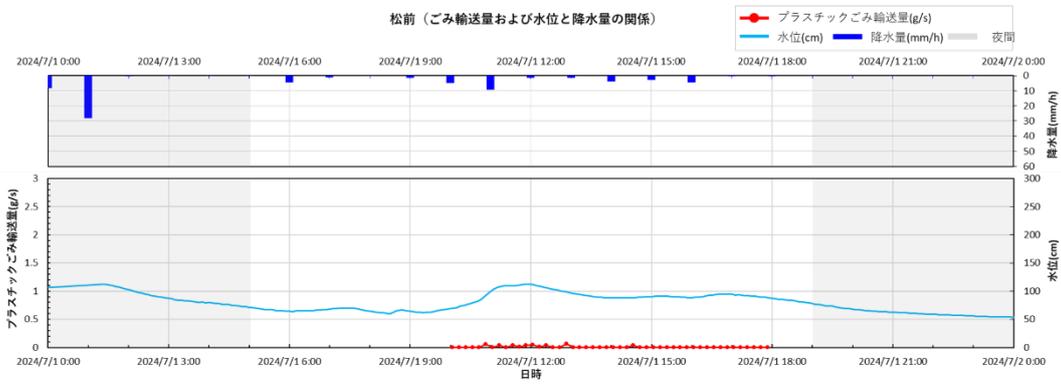
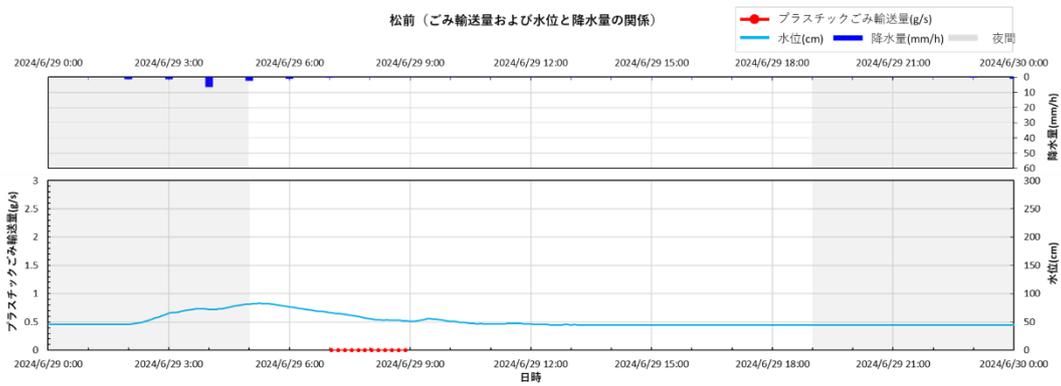
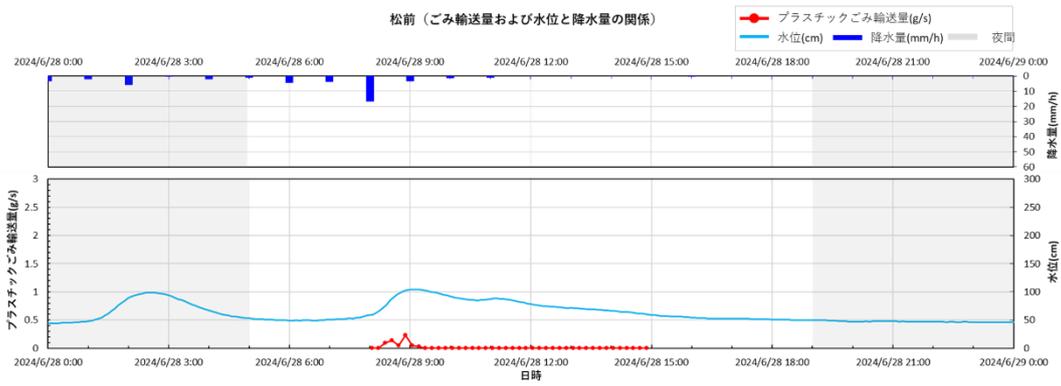


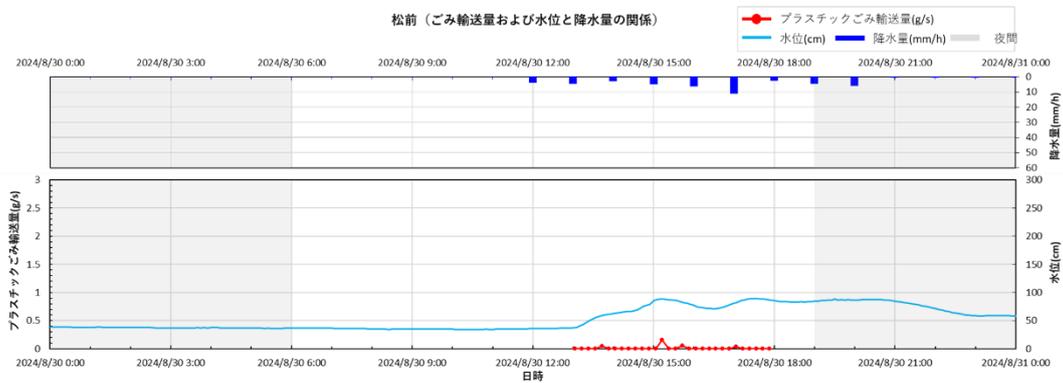
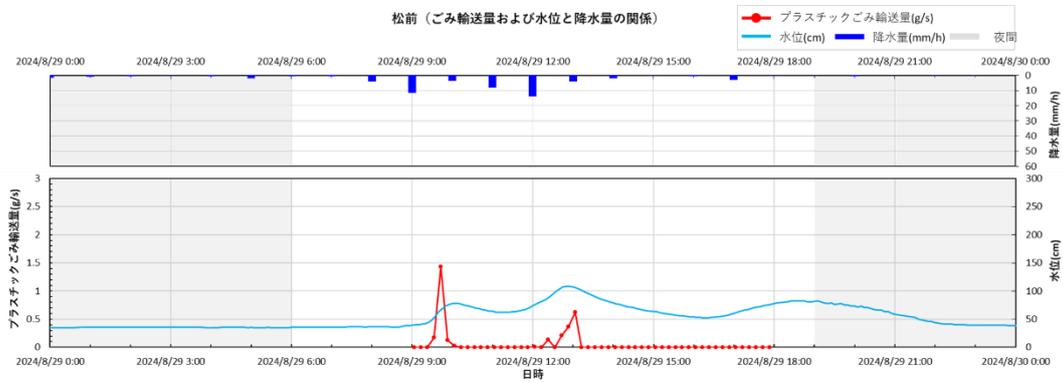
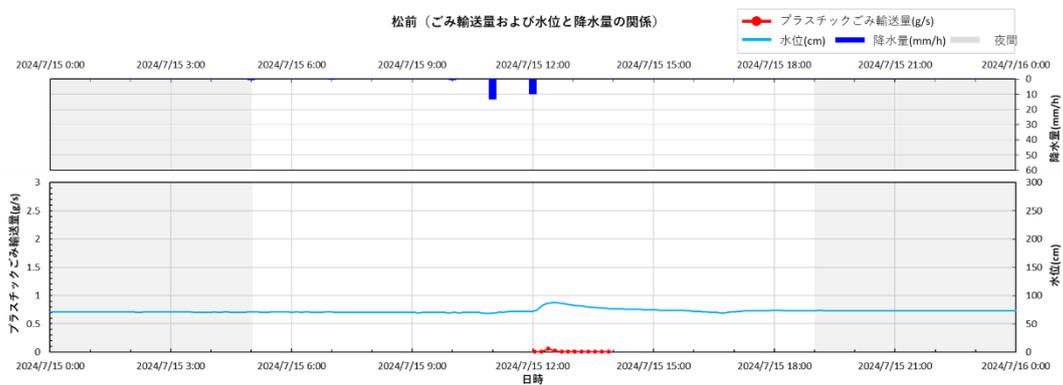
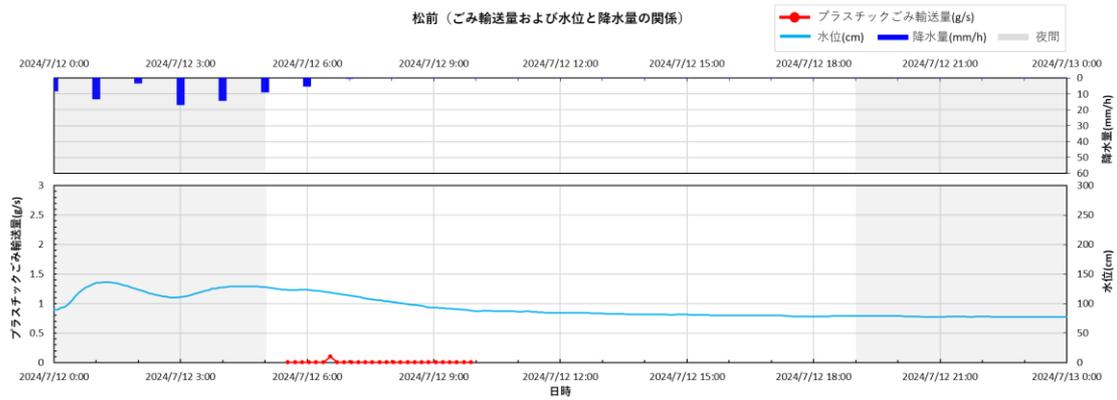


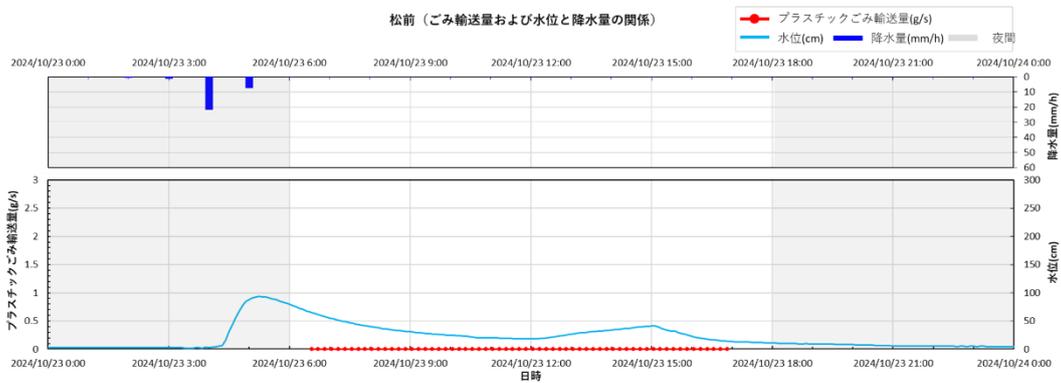
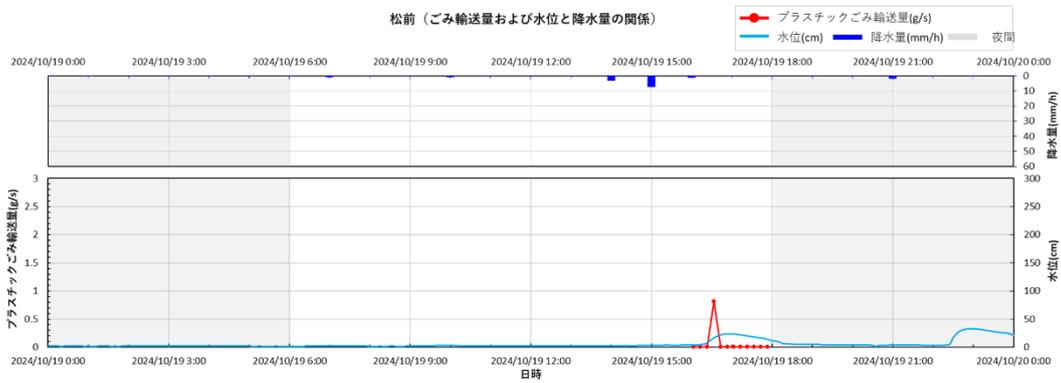
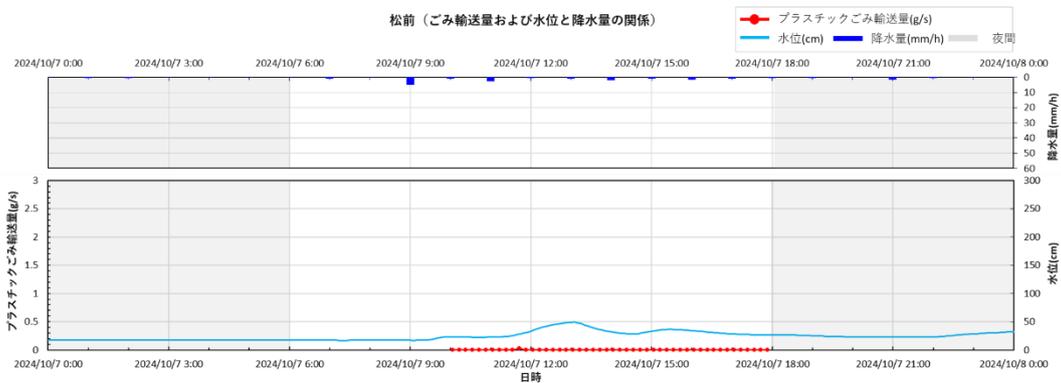
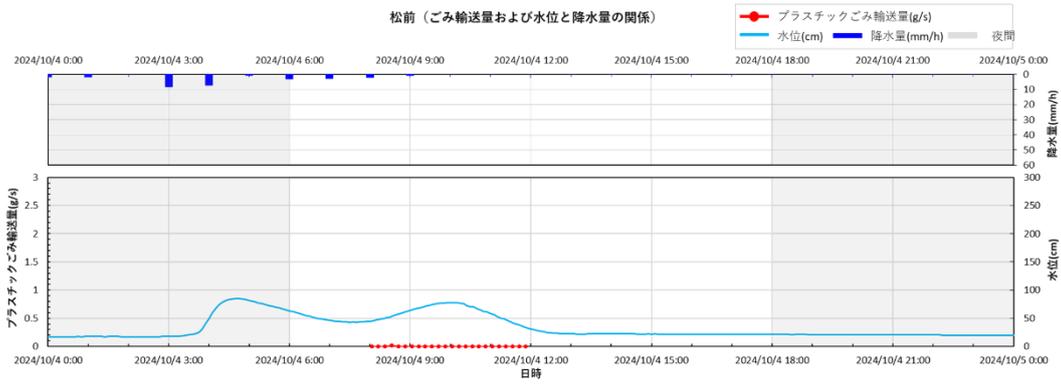


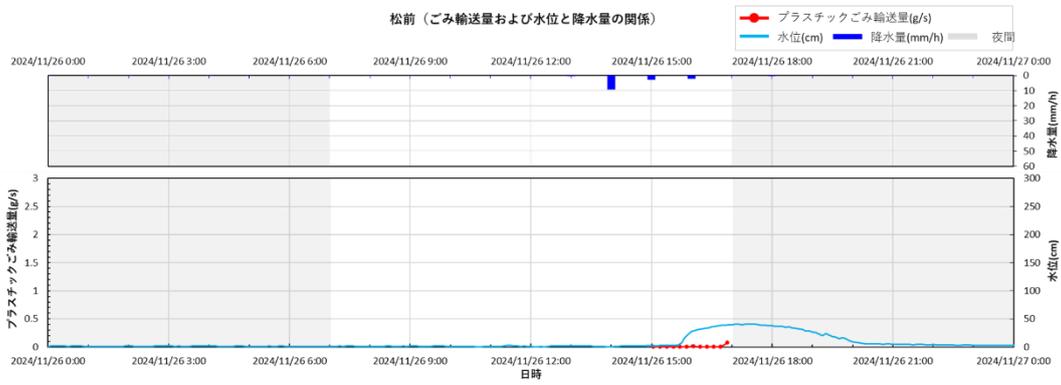
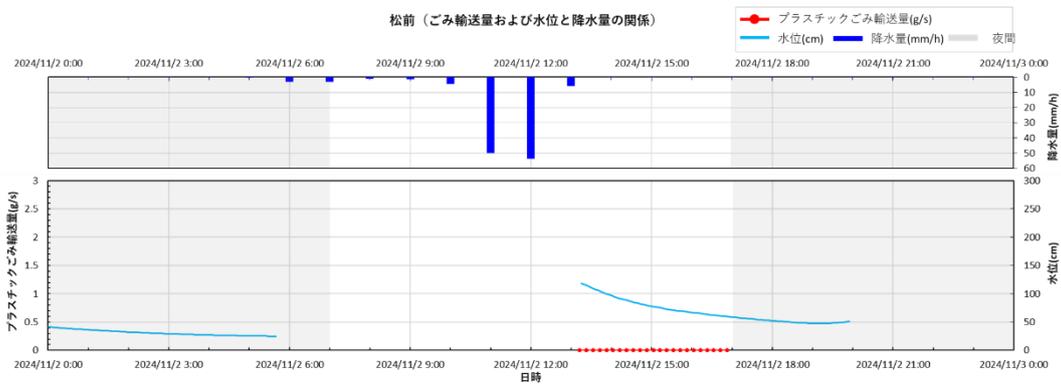
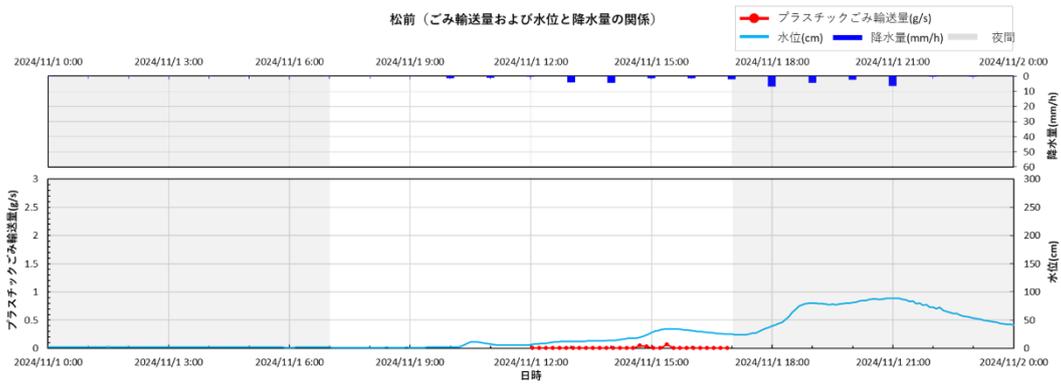
(4) 解析結果 (松前町)



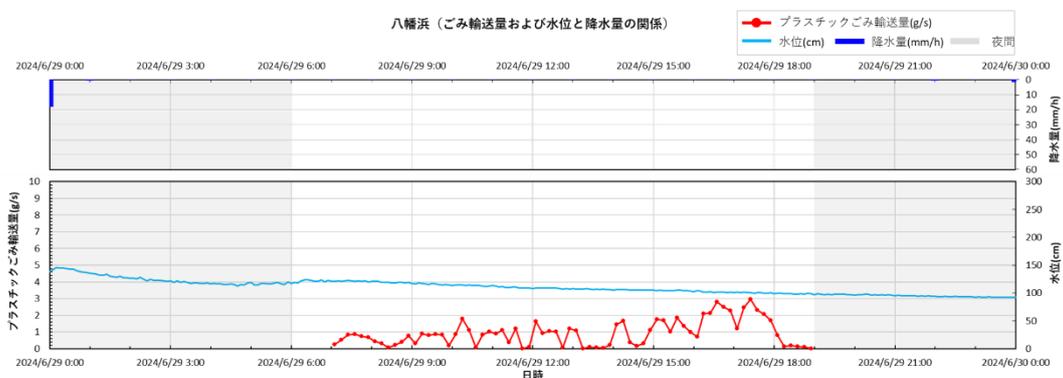
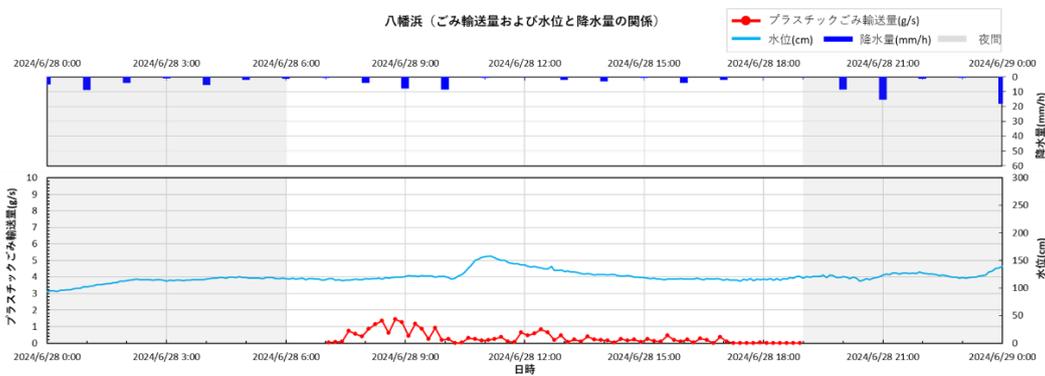
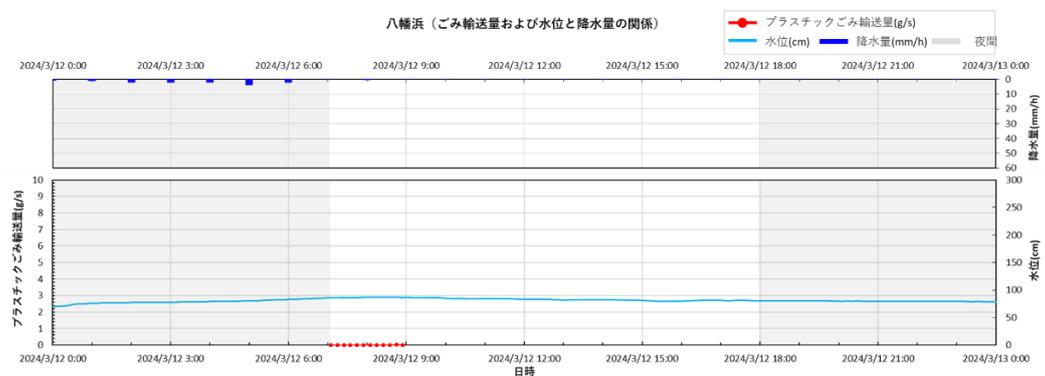
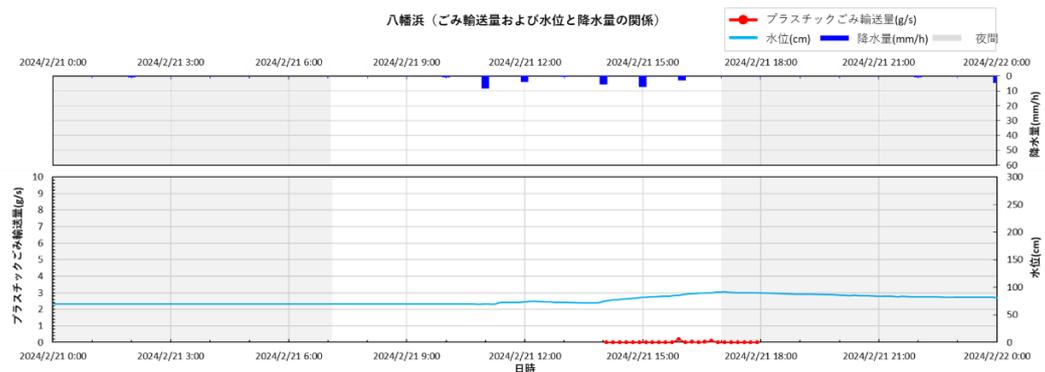


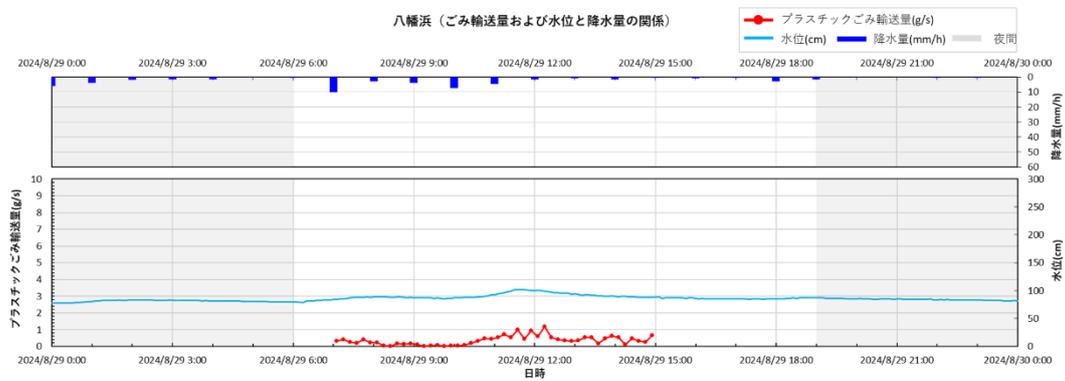
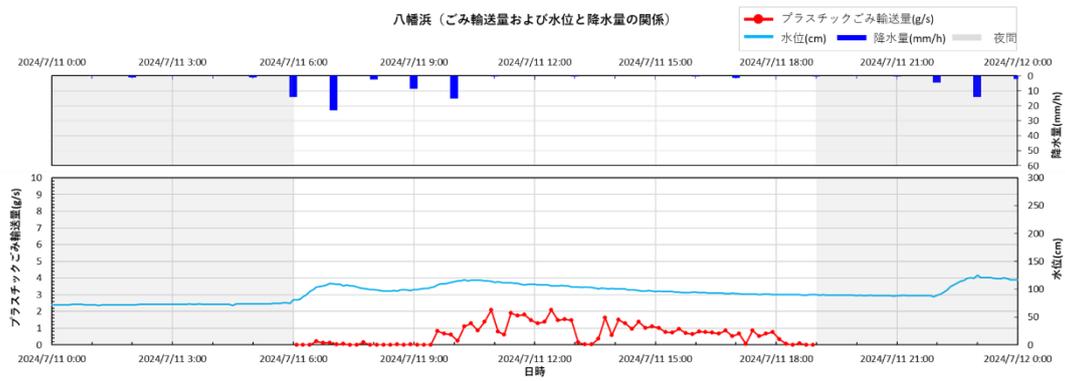
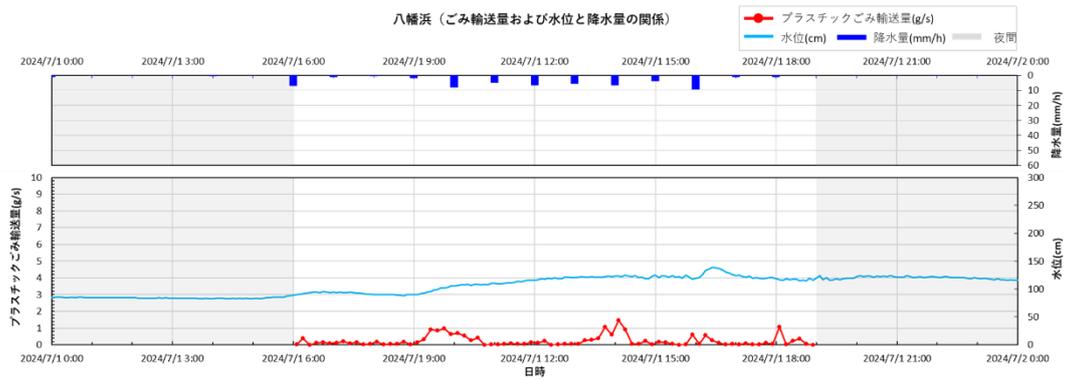


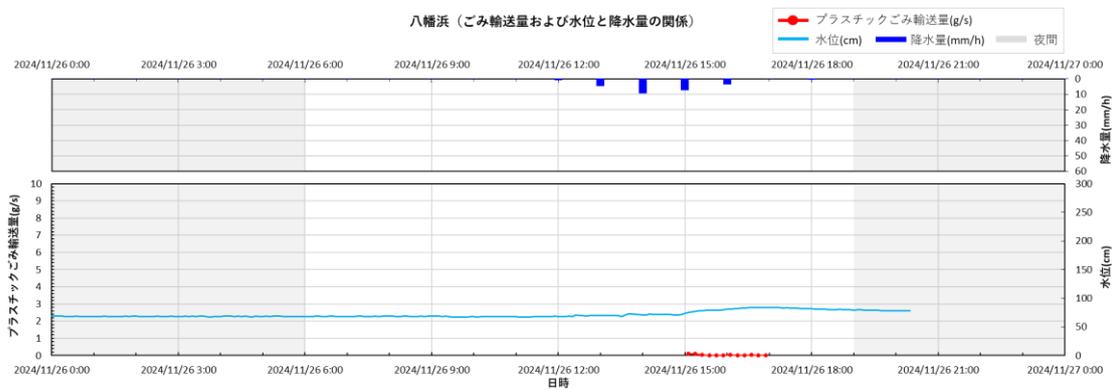
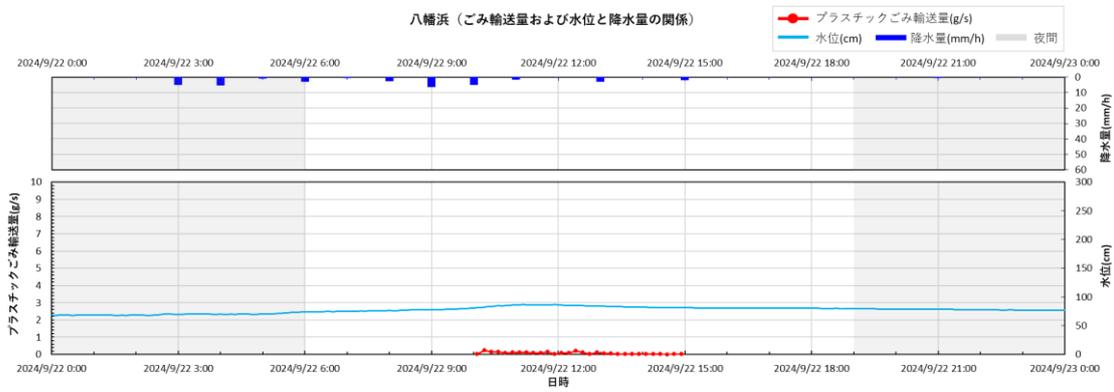
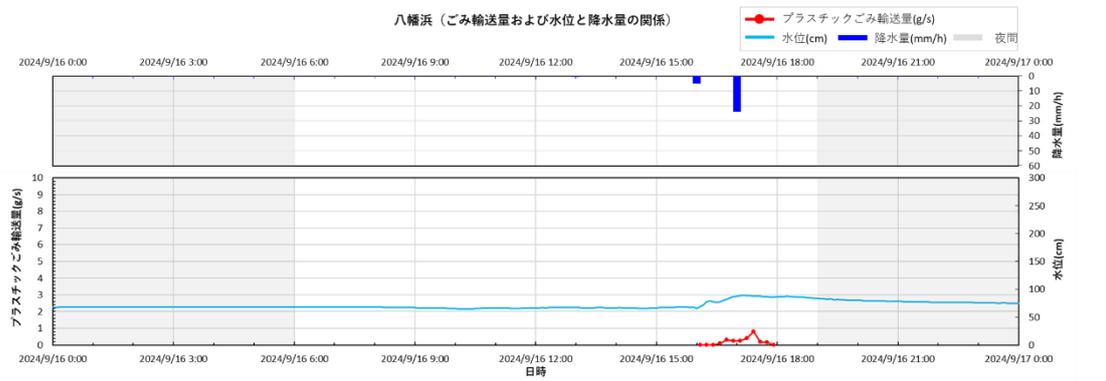
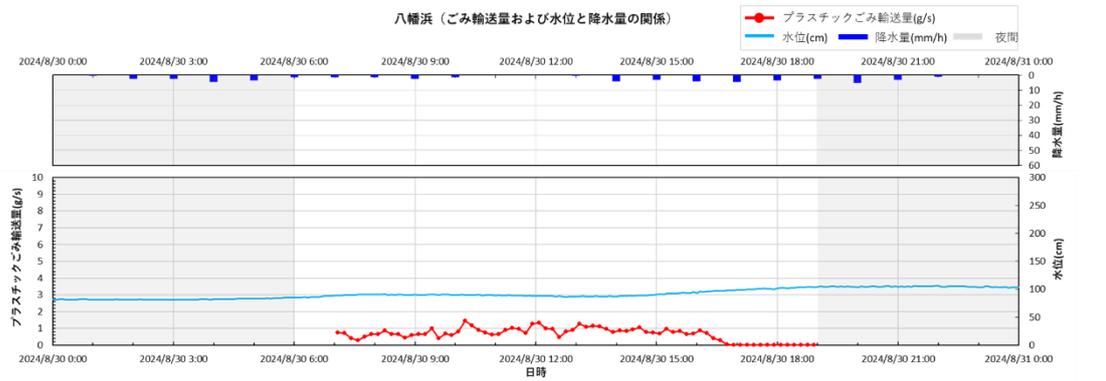




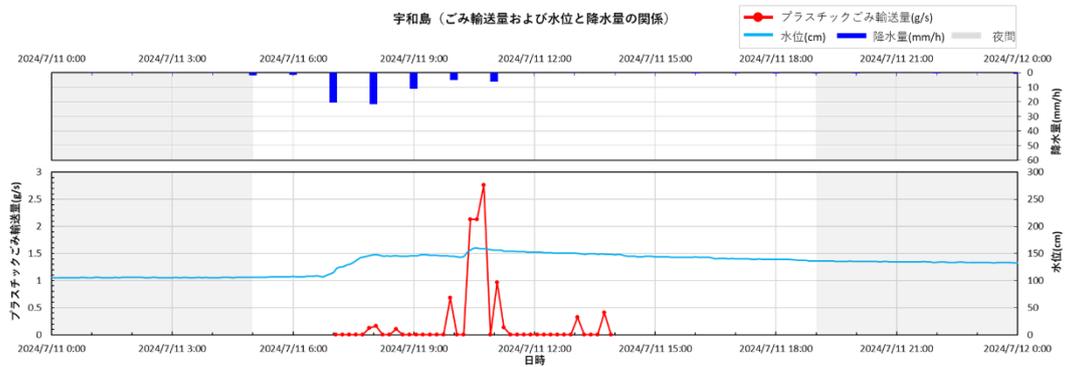
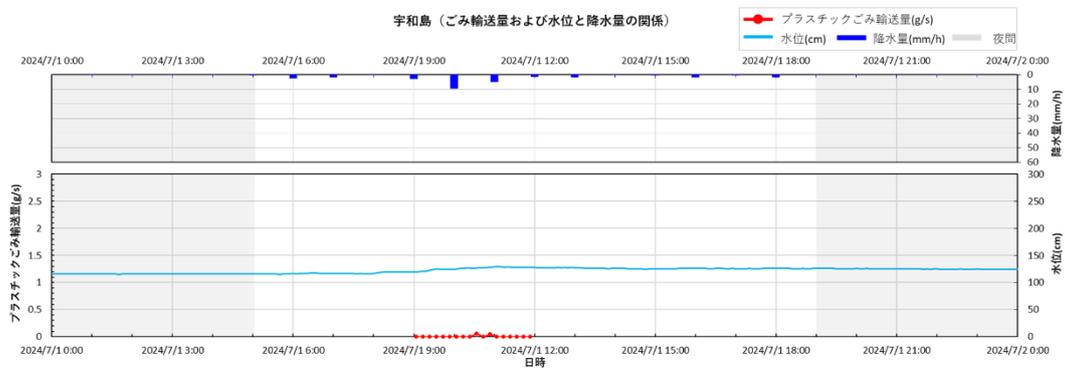
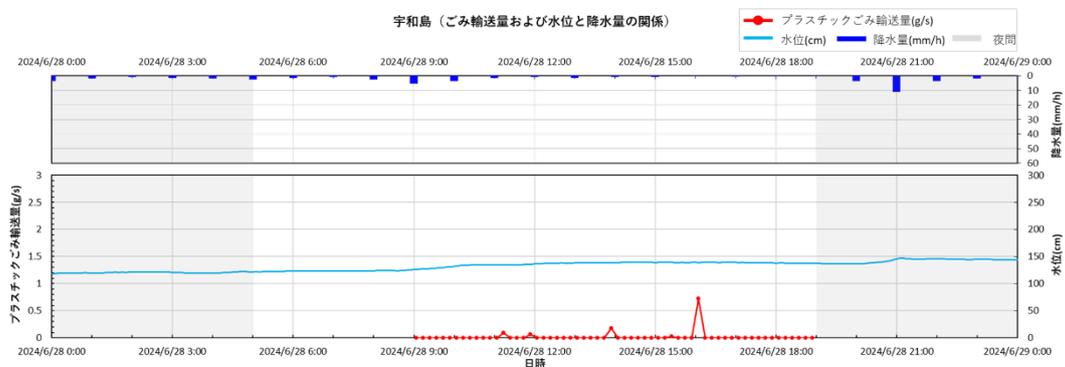
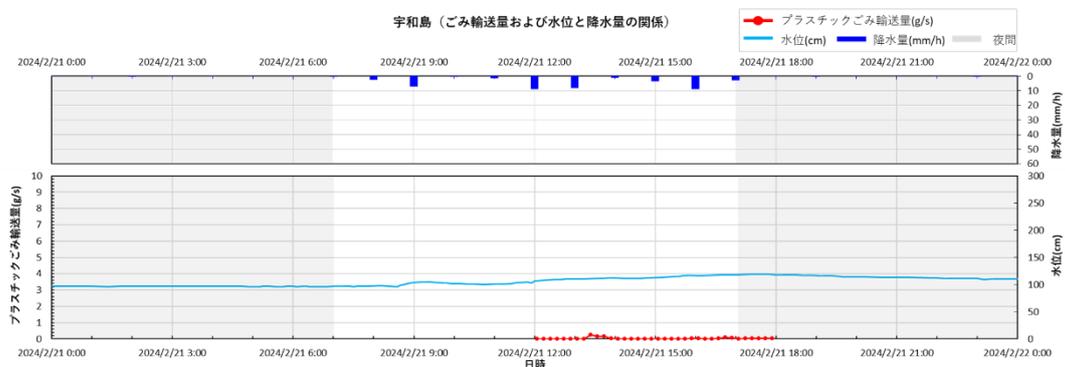
(5) 解析結果（八幡浜市）

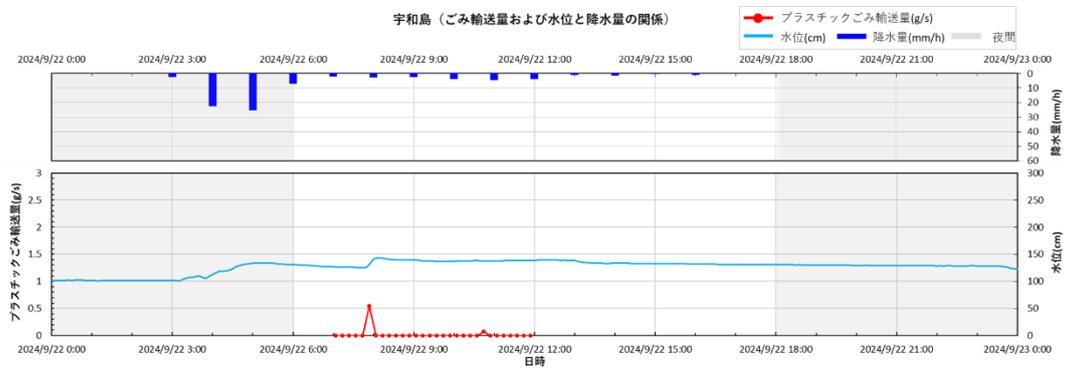
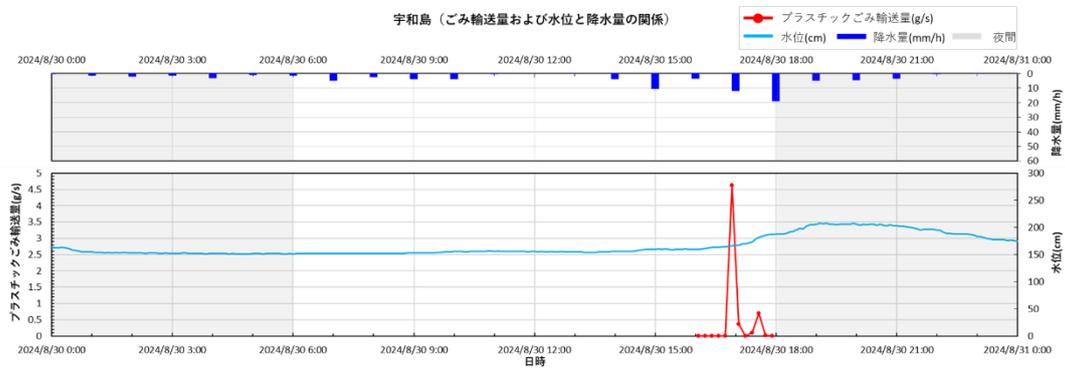
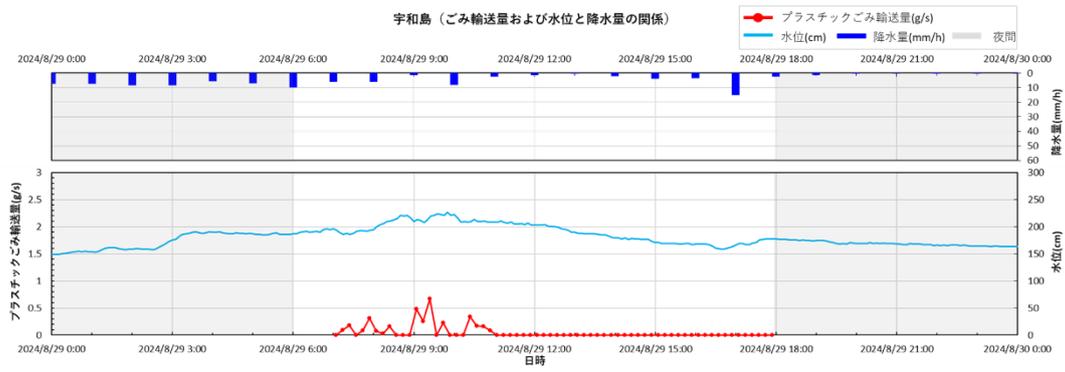
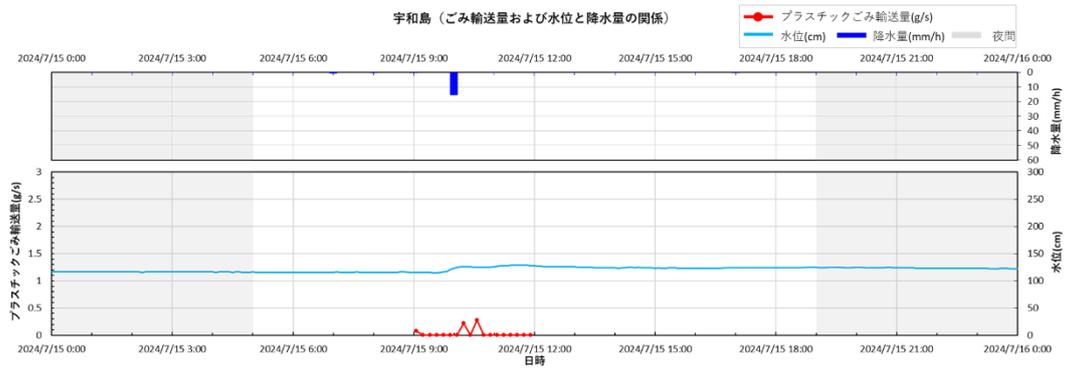


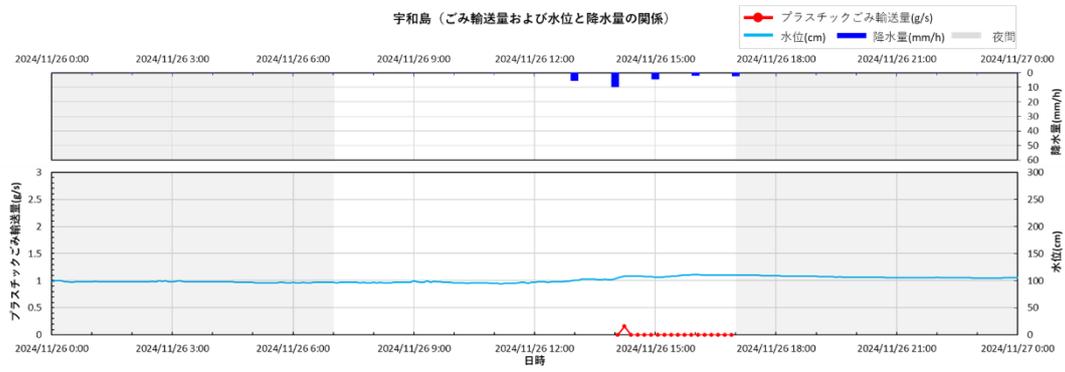
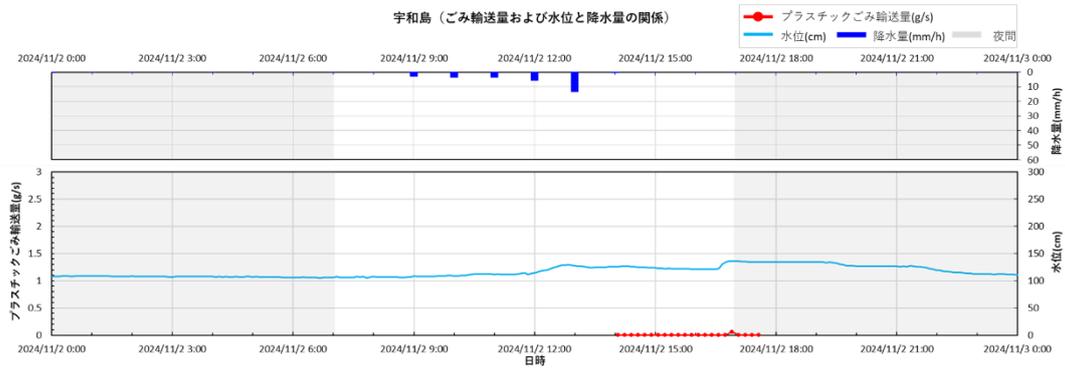




(6) 解析結果 (宇和島市)







第8章 プラスチックごみの流出量推計手法

8.1 プラスチックごみの流出量推計手法概要

8.1.1 基本の流れ

本業務では、愛媛県から瀬戸内海へ流出するプラスチックごみ量の推計にあたって、マニュアルに記載の「①L-Q式を用いた手法」によるプラスチックごみ流出量の推計を実施した。また、参考として「②先行降雨指数（API）を用いた手法」および「③単位時間あたりのプラスチックごみ流出量を用いた手法」でのプラスチックごみ流出量の推計も実施した。

これら3手法により、それぞれモニタリング地点上流域で発生するプラスチックごみの年間流出量を推計した。これをモニタリング地点上流域の流域内人口で除することにより、「1人が1年間に流出させるプラスチックごみ流出量（g/人・年）」を原単位として整理する。

ここで得られた原単位に、地域区分に応じた県内の人口を乗じることで、愛媛県内から河川を通じて瀬戸内海へ流出するプラスチックごみ量を推計する。推計フローを図 8-1に示す。

8.1.2 原単位の作成手法

(1) モニタリング地点上流域からのプラスチックごみ流出量の推計

推計に用いる原単位を作成する手法である「①L-Q式による手法」「②先行降雨指数（API）による手法」「③単位時間当たりのプラスチック流出量（単位負荷量）による手法」の概要およびメリット・デメリットを表 8-1に示す。各手法による、モニタリング地点上流域からのプラスチックごみ流出量の推計手法の詳細については次節以降に示す。

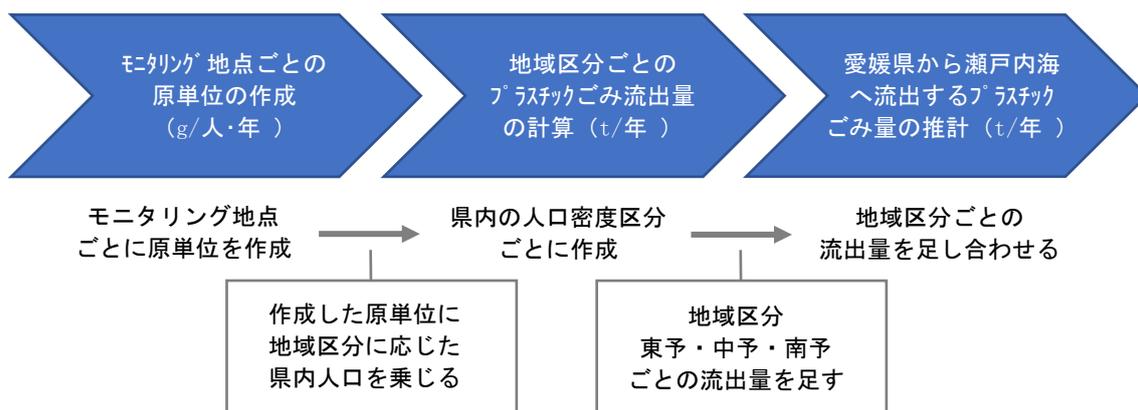


図 8-1 瀬戸内海へ流出するプラスチックごみの推計フロー

表 8-1 各推計手法の概要およびメリット・デメリット

手法	手法の概要	メリット	デメリット	必要なデータ
①L-Q式	<ul style="list-style-type: none"> ・流量とごみ輸送量の関係式を作成 ・過去の流量から年間のごみ流出量を推計 	<ul style="list-style-type: none"> ・流量で関係式を作成することで、複数地点の結果を横並びで比較することが可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング地点の過去流量データが必要 ・同一河川もしくは近隣河川に水位観測所（または流量観測所）が必要 ・降雨履歴、先行晴天日数を考慮することができない 	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング地点の過去流量（流量データがない場合は） ・モニタリング地点近傍の過去の水位観測データ ・モニタリング地点の水位と流量の関係式
②API ※参考値	<ul style="list-style-type: none"> ・調査地点近傍の雨量データよりAPIを計算し、APIとごみ流出量の関係式を作成する。 ・推計を行う期間のAPIを整理し、作成したAPIとごみ流出量の関係式を用いて、APIごとのごみ流出量を計算する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・過去のAPIは気象庁データを用いて計算するため、データの取得が容易 ・降雨履歴を考慮することが可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・雨量観測所が近隣にない流域の場合、APIとの相関が得にくい可能性 ・ごみ流出量と出水規模との関係性を把握することができない 	<ul style="list-style-type: none"> ・過去の降水量データ
③単位 負荷量 ※参考値	<ul style="list-style-type: none"> ・ごみ輸送量の中央値を用いて年間のごみ流出量を推計 	<ul style="list-style-type: none"> ・流出量推計にあたって追加で必要なデータがないため、計算が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・算定をする際には、全体のバラつき（標準偏差）についても示す必要がある ・流量や降雨履歴、先行晴天日数が考慮されない ・24時間365日、一定量のごみが流出し続ける計算となり、流出量が過剰になる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・特に無し

(2) モニタリング地点上流域の1人あたり年間プラスチックごみ流出量の推計

調査対象地点上流域からの年間プラスチックごみ流出量を、調査対象地点上流の流域人口で除すことにより、モニタリング地点上流域における1人あたりの年間プラスチックごみ流出量 (g/人・年)【原単位】を算定する。各地点の流域人口は表 8-2に示すとおりである。

表 8-2 各地点の流域人口

対応する 地域区分	地点	流域人口 (人)	《参考》人口密度 (人/km ²)
東予	新居浜市 尻無川 田所小橋	18,593 人	2,339.8 人/km ²
東予	今治市 竜登川 中竜登橋	3,739 人	865.0 人/km ²
中予	松山市 小野川 精農橋	86,264 人	2,712.0 人/km ²
中予	松前町 長尾谷川 外側橋	5,180 人	797.9 人/km ²
南予	八幡浜市 千丈川 山越橋	3,227 人	162.2 人/km ²
南予	宇和島市 須賀川 道連橋	7,361 人	202.3 人/km ²

8.1.3 愛媛県から瀬戸内海に流入するプラスチックごみ量の推計手法

(1) 瀬戸内海に流入する地域および地域区分の考え方

本業務では愛媛県から瀬戸内海へ流入するごみ量を推計することが目的であるため、瀬戸内海へ流入する河川流域を持つ範囲を、推計の対象エリアとした。瀬戸内海に流入する流域を持つ範囲は、「瀬戸内海環境保全特別措置法」の範囲とした。また、愛媛県内の地域区分については、東予、中予、南予の3区分とした。図 8-2に各地域区分ごとの範囲図を示す。また、表 8-3に県内の地域区分情報を示す。

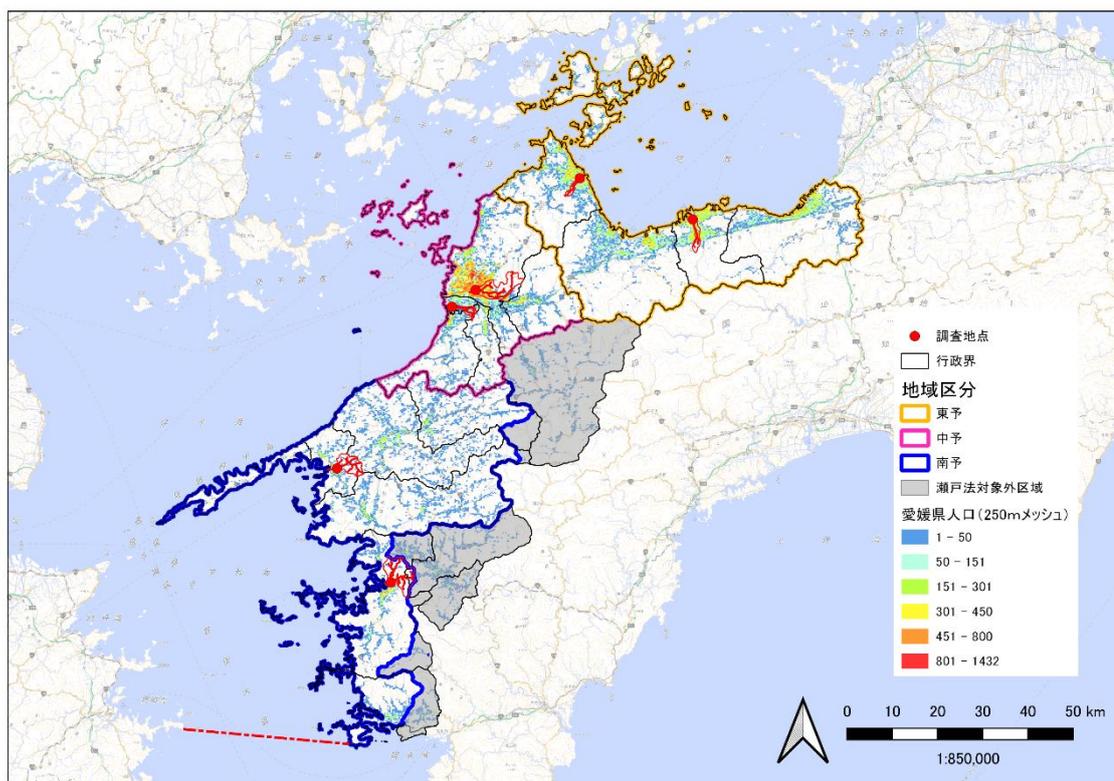


図 8-2 調査地点及び愛媛県内の地域区分

表 8-3 地域区分の情報

地域区分	対応するモニタリング地点	対象人口 ^{※2} (人)	対象面積 ^{※3} (km ²)	人口密度(人/km ²)
東予	新居浜市(尻無川) 今治市(竜登川)	461,664	1,615	285.8
中予	松山市(小野川) 松前町(長尾谷川)	630,338	957	658.6
南予	八幡浜市(千丈川) 宇和島市(須賀川)	212,552	1,930	110.1
対象外 ^{※1}	—	30,287	1,174	25.8
愛媛県全体		1,334,841	5,676	235.2

※1 瀬戸内海環境保全特別措置法の対象範囲外は推計対象外とした

※2 人口はGIS上で集計し令和2年国勢調査結果をもとに整理

※3 対象面積はGIS上で集計し令和2年国勢調査結果をもとに整理

(2) 愛媛県内から瀬戸内海へのプラスチックごみ流出量の推計

前項で得られた、1人あたりの年間プラスチックごみ流出量(g/人・年)【原単位】に対応する地域区分ごとの対象人口(人)を乗じて、地域区分(東予・中予・南予)ごとの年間プラスチックごみ流出量(t/年)を算出する。地域区分ごとに算出した年間プラスチックごみ流出量を足し合わせることで、愛媛県からのプラスチックごみ流出量を推計した。推計のフローを図8-3に示す。

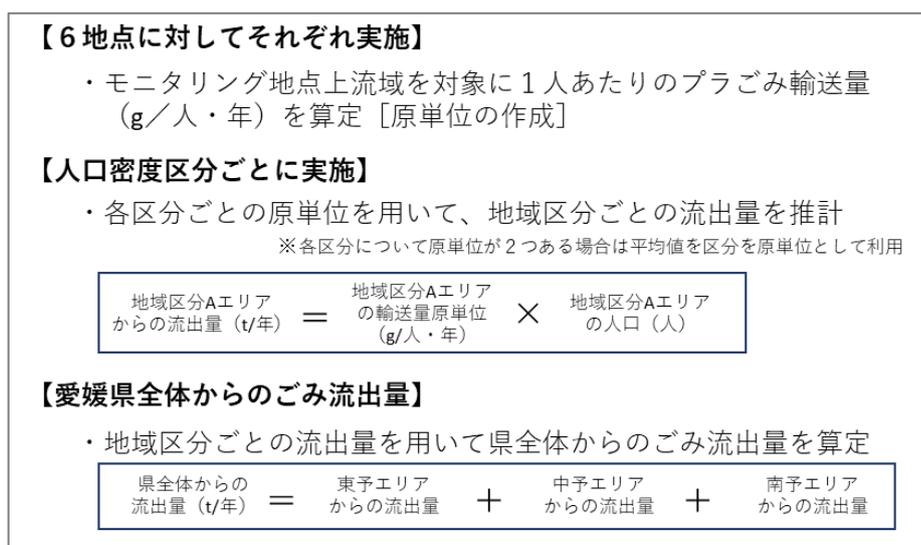


図 8-3 愛媛県全体からのプラスチックごみ流出量推計フロー

8.2 L-Q式を用いたプラスチックごみ流出量推計手法

8.2.1 推計手法概要

L-Q式とは河川の流量（Q: m³/s）から、流下負荷量（L: g/s）を求めるときに使用される式である。L-Q式を用いたプラスチックごみ流出量推計では、解析によって得られた解析動画ごとのプラスチックごみ流下量（g/s）と、流量の関係性を整理する。これにより得られた近似式を用いて、本調査のモニタリング地点における過去の流量から、モニタリング期間外におけるプラスチックごみ流出量を推計する。

本手法はマニュアルにも記載の推計方法となる。

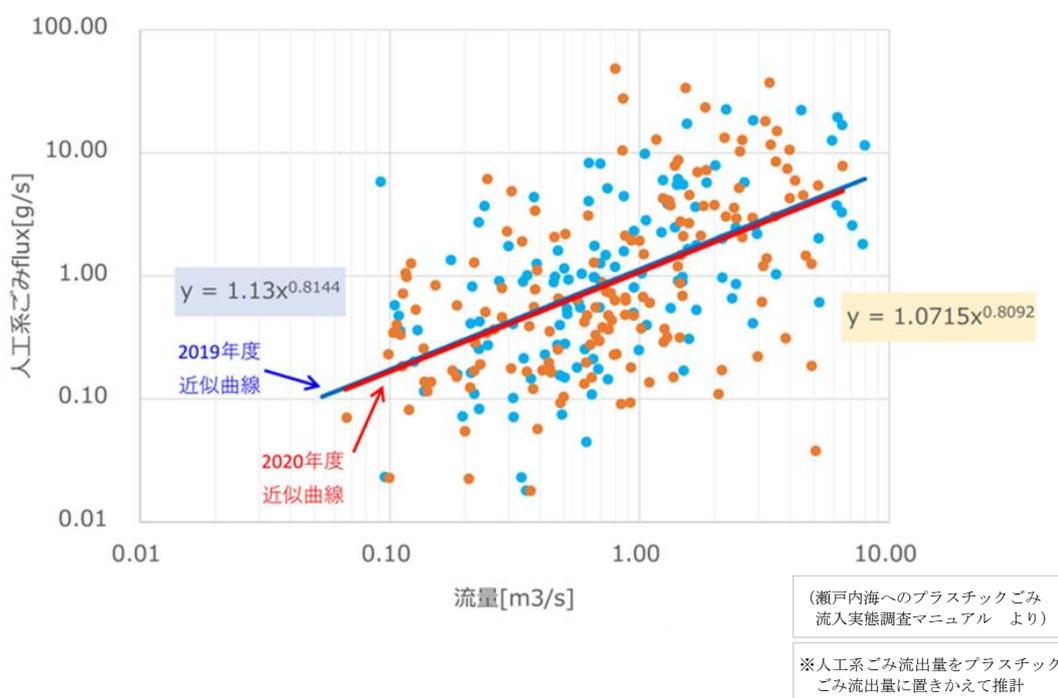


図 8-4 プラスチックごみ流出量推計フロー

8.2.2 L-Q式の作成

解析によって得られたプラスチックごみ輸送量（L）と、解析によって得られた流速（v）を用いて計算した流量（Q）を用いて、L-Q式を作成する。この時、通常は流量が大きくなればごみ量も多くなると考えられるため、L-Q式の傾きが負となる場合は推計の際に採用しないようにした。

8.2.3 モニタリング地点の過去の流量（Q）の予測方法

(1) 流量予測手法概要

L-Q式を用いて、本業務のモニタリング地点における過去の河川流量を予測するためには、モニタリング地点近傍にある既存の水位計の水位データを用いて、流量を予測する必要がある。本業務のモニタリング地点における、過去の流量の予測フローを図 8-5に示す。

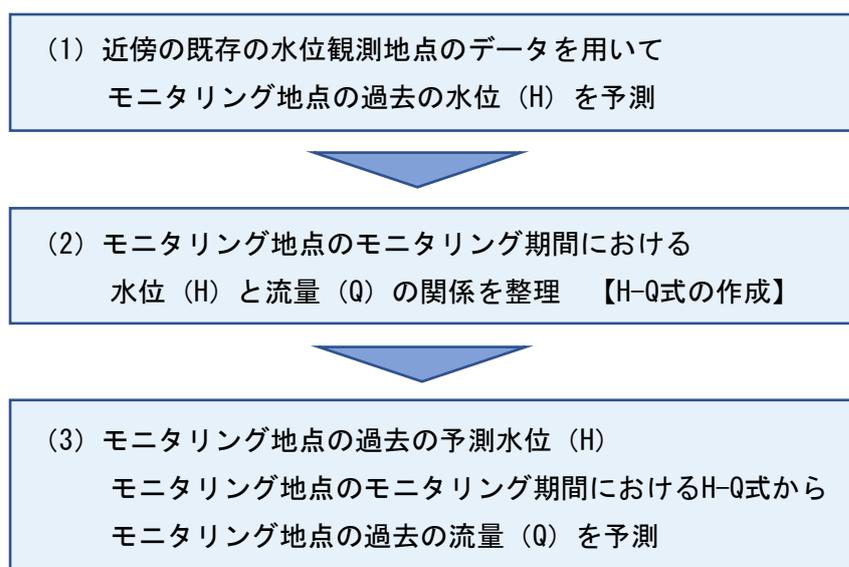
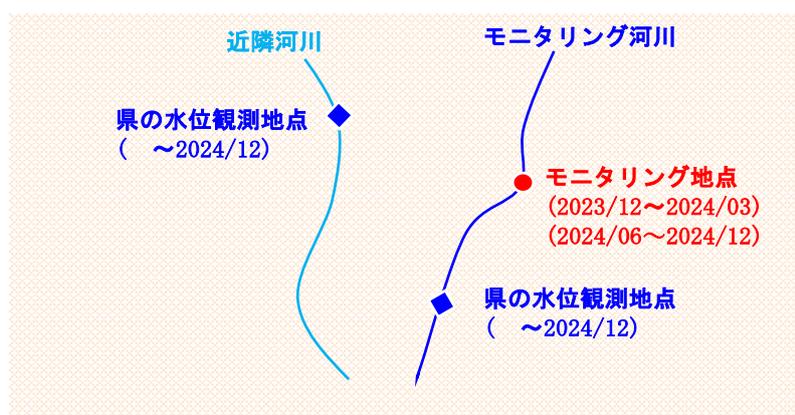


図 8-5 モニタリング地点における過去の流量の予測方法

(2) モニタリング地点における過去の水位 (H) の予測

本業務で取得した水位データと、愛媛県が設置している近隣の河川の水位データを比較することで、本業務のモニタリング地点における水位と、愛媛県が設置している近隣の河川の水位データとの相関関係を整理する。モニタリング地点の過去の水位の予測にあたって用いるデータの関係性を、図 8-6に示す。

【モニタリング地点と県の水位観測地点の位置関係】



※同一河川に観測地点がない場合は近隣河川のデータを利用

【モニタリング期間と水位予測期間の関係性】

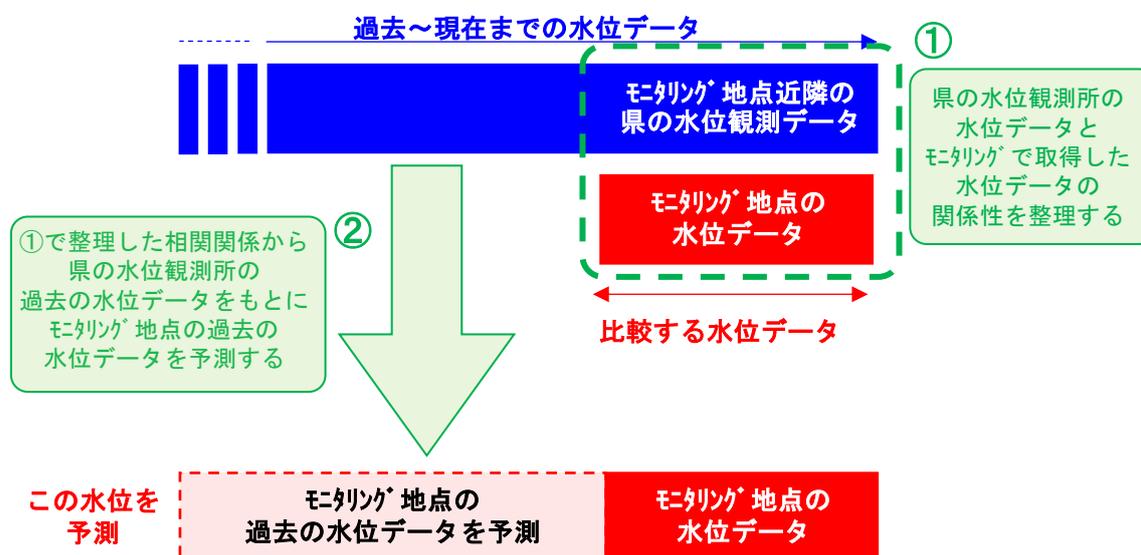


図 8-6 モニタリング地点の過去の水位を予測するために用いるデータの関係性

8.2.4 モニタリング地点上流域からのプラスチックごみ流出量の推計

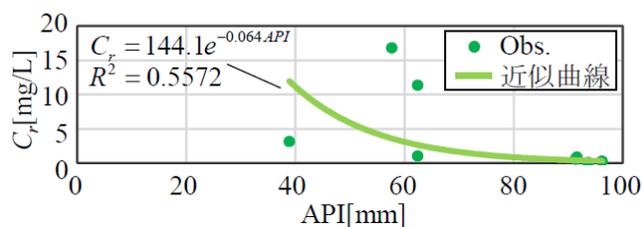
整理したL-Q式に、モニタリング地点における過去の流量(Q)の算定値を代入することで、モニタリング地点における過去のプラスチックごみ輸送量(g/s)を計算した。本業務では、モニタリング地点における過去流量を1時間ごとに整理した。そのため、L-Q式を用いて計算したプラスチックごみ輸送量(g/s)に60秒×60分を乗じることで、1時間あたりのプラスチックごみ流出量を計算する。それらを24時間365日分足し合わせることで、モニタリング地点上流域から1年間に流出するプラスチックごみ量として推計を行った。

8.3 先行降雨指数（API）を用いたプラスチックごみ流出量推計手法

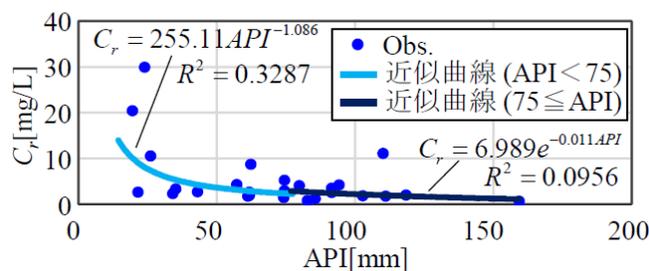
8.3.1 推計手法概要

先行降雨指数（Antecedent Precipitation Index）（以下、APIとする。）を用いたプラスチックごみ流出量推計では、既往文献にて検討されている例（図 8-7）を参考に、「7. 画像解析結果」で得られた降雨イベント毎のプラスチックごみ流出量の積算値（kg/日）とAPIの関係性を整理する。これにより得られた近似式を用いて、APIから年間のプラスチックごみ流出量を算定する。

APIを用いて推計を行う理由は、河川を流下するごみ量に影響する要因の一つとして、雨量が挙げられるためである。例えば、観測日に20mmの降雨があった場合、『A. 3日前に10mmの降雨があったケース』ではすでに3日前の雨で河川敷等に堆積していたごみが流出しており、観測日の降雨ではごみの流出量が少なくなることが考えられる。対して、『B. 3日前に降雨がなかったケース』では、3日前に河川敷等に堆積していたごみは流出することなく、観測日の降雨でごみの流出が多く発生することが考えられる。このように、同様の流量Qが観測された場合であっても、過去の降雨履歴によってごみの流出挙動が異なる場合がある。流量Qについては、前述のL-Q式を用いた手法で整理可能であるが、降雨履歴についてはL-Q式では影響を考慮することができない。そのため、河川を流下するごみ量を推計するにあたっては、L-Q式に加え、ごみの流出挙動に影響を与えると考えられる降雨履歴を考慮した指標（API）との比較も有用であると考えられる。



(a) 天白川



(b) 排水路

（吉田ら：IPカメラ連続観測と画像解析手法に基づく複数出水時の河川人工系ごみ輸送特性の比較、土木学会論文集B1(水工学)Vol. 77, No2、I_1003-I_1008、2021 より）

※Crは人工系ごみの濃度平均値であり、プラスチックごみ流出量と同義である

図 8-7 プラスチックごみ流出量とAPIの関係性（吉田ら（2021））

8.3.2 APIの算出方法

APIは直近の雨量に大きな重みを、時間が経過した過日の雨量には小さな重み乗じた加重和であり、降雨の履歴を考慮した評価が可能となる指数である。APIの計算式は下記のとおりである。なお、本推計では $k = 0.85$ とした。また、 n については3, 5, 10, 30の4パターンで検討を行った。

$$API = P_0 + kP_1 + k^2P_2 + k^3P_3 + \dots + k^nP_n$$

P_0 : 基準日前日の日雨量、 P_n : 基準日 n 日前の日雨量

k : 流出特性と季節に関する常数、 n : 対象とする降雨期間

8.3.3 プラスチックごみ流出量 (kg/日) の推計

動画の撮影間隔が10分ごとであることから、解析によって得られたプラスチックごみ輸送量(g/s)を用いて10分間に流出したプラスチックごみ量を推計した。これを、解析対象とした動画すべてに対して実施し、それぞれ得られた値を足し合わせることで、1日のうち動画の解析を実施した時間全体でのプラスチックごみ流出量として整理した。

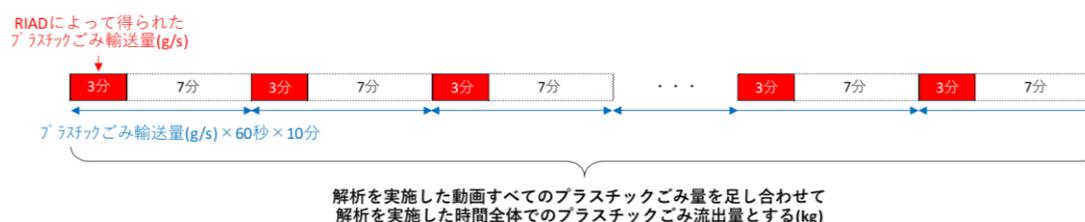


図 8-8 プラスチックごみ流出量の推計イメージ

8.3.4 モニタリング地点上流域からのプラスチックごみ流出量の推計

前項までに算出したAPI (mm) とプラスチックごみ流出量 (kg/日) を用いて、APIとプラスチックごみ流出量の関係式を作成する。本業務ではAPIの計算にあたって、対象とする降雨期間(n)を $n = 3, 5, 10, 30$ の4ケースで整理した。そのため、プラスチックごみの流出量推計にあたっては最も相関の高い n の値で作成した関係式を用いることとした。ここで得られた関係式に、日ごとのAPIの値を代入し、それらを足し合わせることで、モニタリング地点上流域から1年間に流出するプラスチックごみ量の推計を行った。

8.4 単位時間あたりのプラスチックごみ輸送量を用いた流出量推計手法

8.4.1 推計手法概要

解析によって得られたプラスチックごみ輸送量 (g/s) のみを用いて年間のプラスチックごみ流出量を推計する手法である。この手法では、一定のプラスチックごみが降雨に関係なく、24時間365日、継続して流出すると仮定した推計手法となる。

8.4.2 モニタリング地点上流域からのプラスチックごみ流出量の推計

解析によって得られたプラスチックごみ輸送量 (g/s) から、地点ごとのプラスチックごみ輸送量の中央値 (g/s) を整理した。単位時間あたりのプラスチックごみ輸送量を用いた推計では、得られた中央値 (g/s) に対して60秒×60分×24時間×365日を乗じることによって、モニタリング地点上流域から1年間に流出するプラスチックごみ量の推計を行った。

第9章 プラスチックごみの流出量推計結果

9.1 モニタリング地点における過去の水位および流量の予測

9.1.1 モニタリング地点における過去の水位の予測結果

(1) 水位予測に用いた水位観測所地点

モニタリング地点における過去の水位の予測にあたっては、過去5年間の近隣の水位観測地点のデータを利用し、モニタリング期間を対象にモニタリング地点水位と既存の水位観測地点水位の相関解析を実施することで水位の予測を行った。

モニタリング地点における過去の水位予測のために使用した県の水位観測所の情報を、表 9-1および図 9-1～図 9-6に示す。

表 9-1 流量予測のために使用した県の水位観測所データ

地点	水位観測所名	管理者	河川名	所在地
新居浜市	山根	愛媛県	国領川	愛媛県新居浜市中筋町1丁目1432-1
	鹿森ダム	愛媛県	足谷川	愛媛県新居浜市立川町
今治市	片山	愛媛県	蒼社川	愛媛県今治市片山字大縄9-2
松山市	精農橋	愛媛県	小野川	愛媛県松山市朝生田町7丁目5
松前町	精農橋	愛媛県	小野川	愛媛県松山市朝生田町7丁目5
八幡浜市	八幡浜	愛媛県	千丈川	愛媛県八幡浜市江戸岡
宇和島市	和霊	愛媛県	須賀川	愛媛県宇和島市和霊中町3-976-2

上記のうち、モニタリング地点とおなじ河川に水位計が設置してある松山市（精農橋）、八幡浜市（八幡浜）、宇和島市（和霊）は、今回モニタリング地点で計測した水位との相関性が高いことからそれら観測所を解析の対象とした。一方、同じ河川に観測所が無い新居浜市（尻無川）、今治市（竜登川）、松前町（長尾谷川）は、近傍の観測所のデータを元に解析を行い水位データの補填を行った。その内容の詳細は後述する。

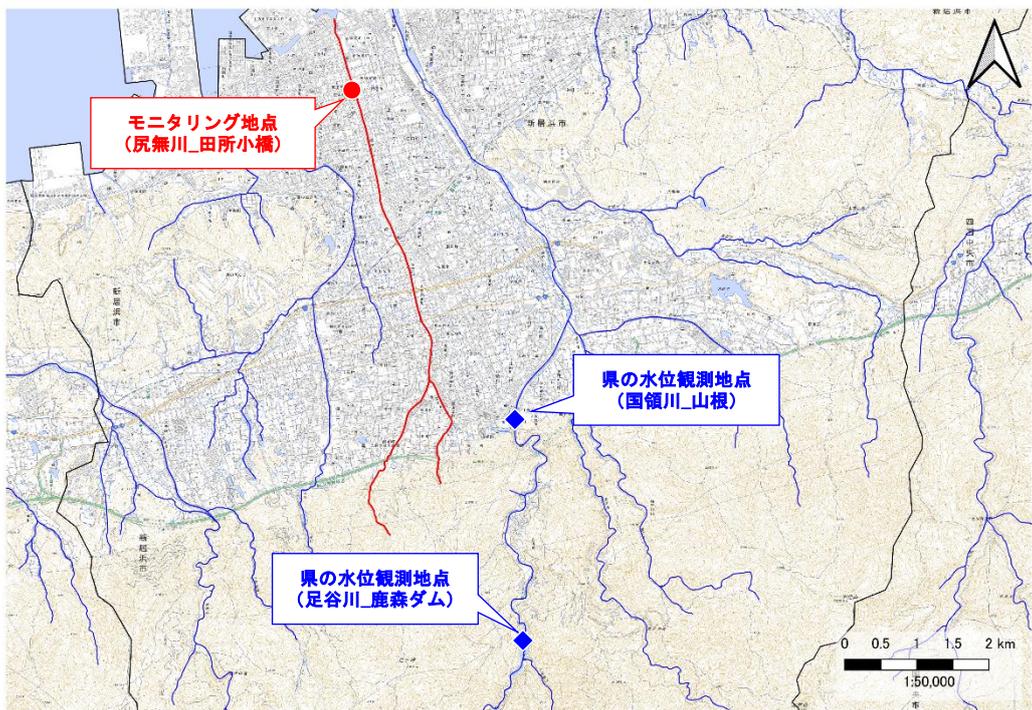


図 9-1 新居浜市 モニタリング地点と相関解析を実施した県の水位観測所の位置関係

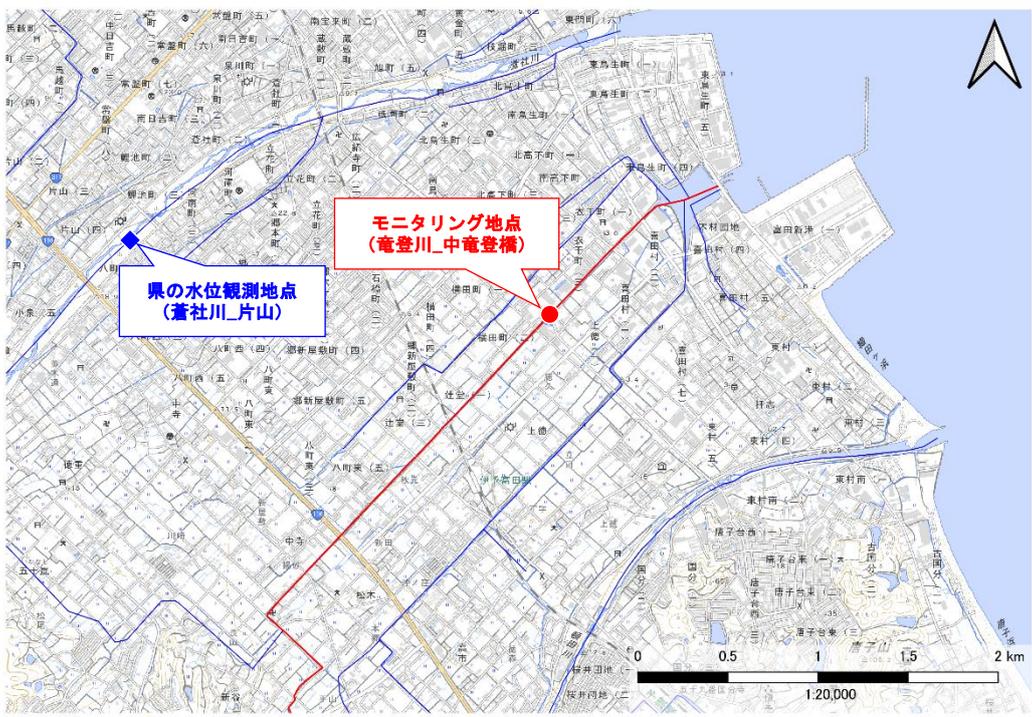


図 9-2 今治市 モニタリング地点と相関解析を実施した県の水位観測所の位置関係

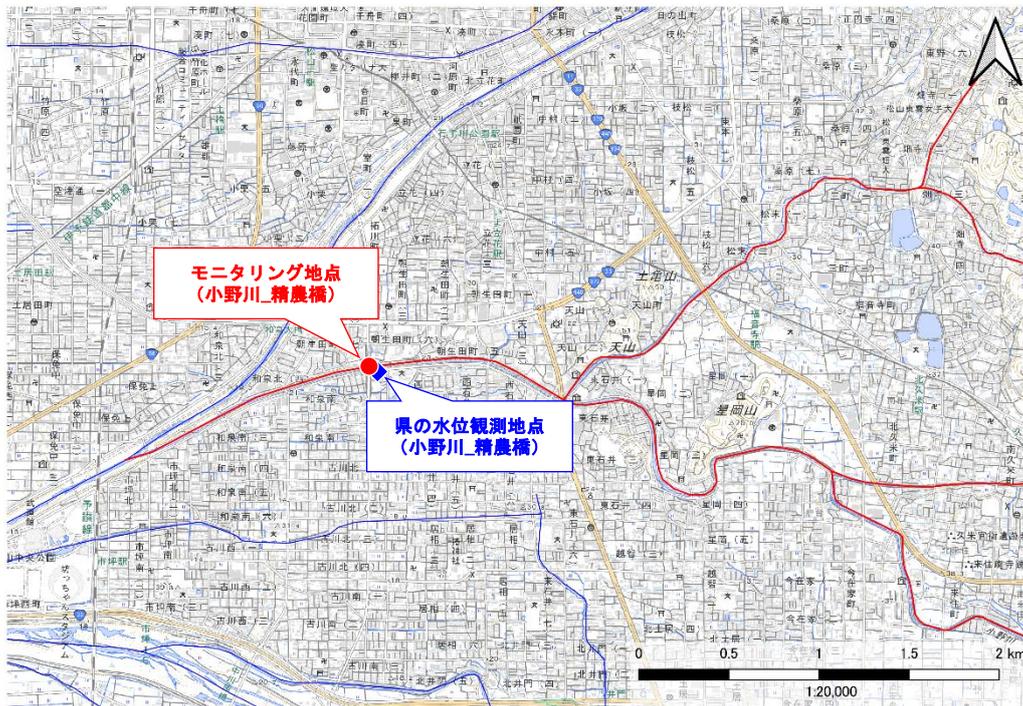


図 9-3 松山市 モニタリング地点と相関解析を実施した県の水位観測所の位置関係

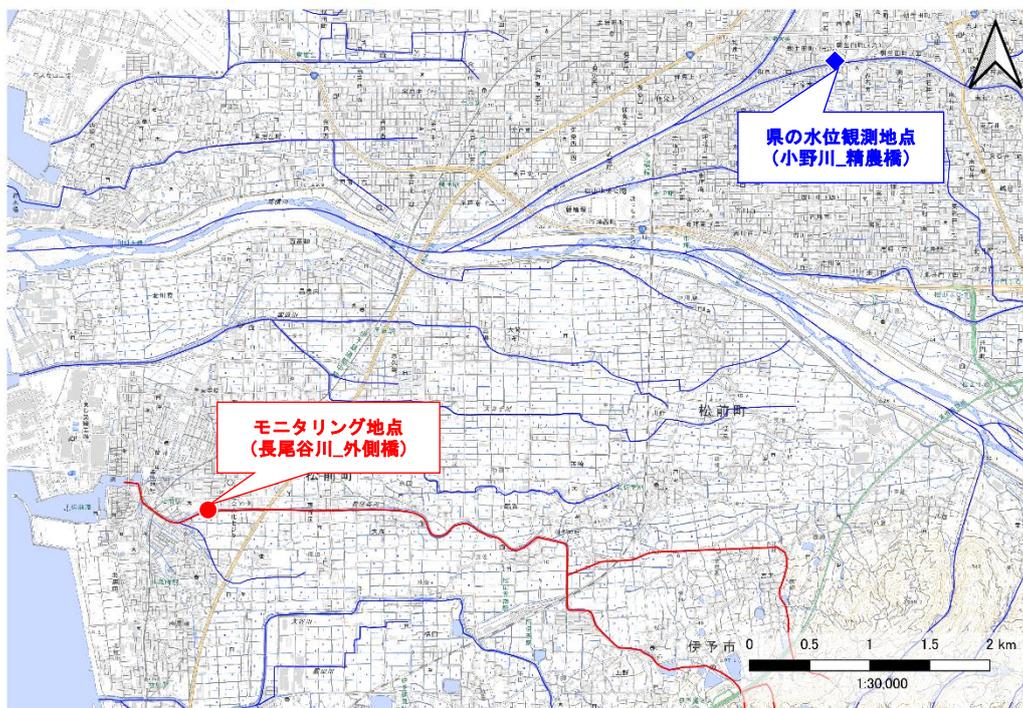


図 9-4 松前町 モニタリング地点と相関解析を実施した県の水位観測所の位置関係

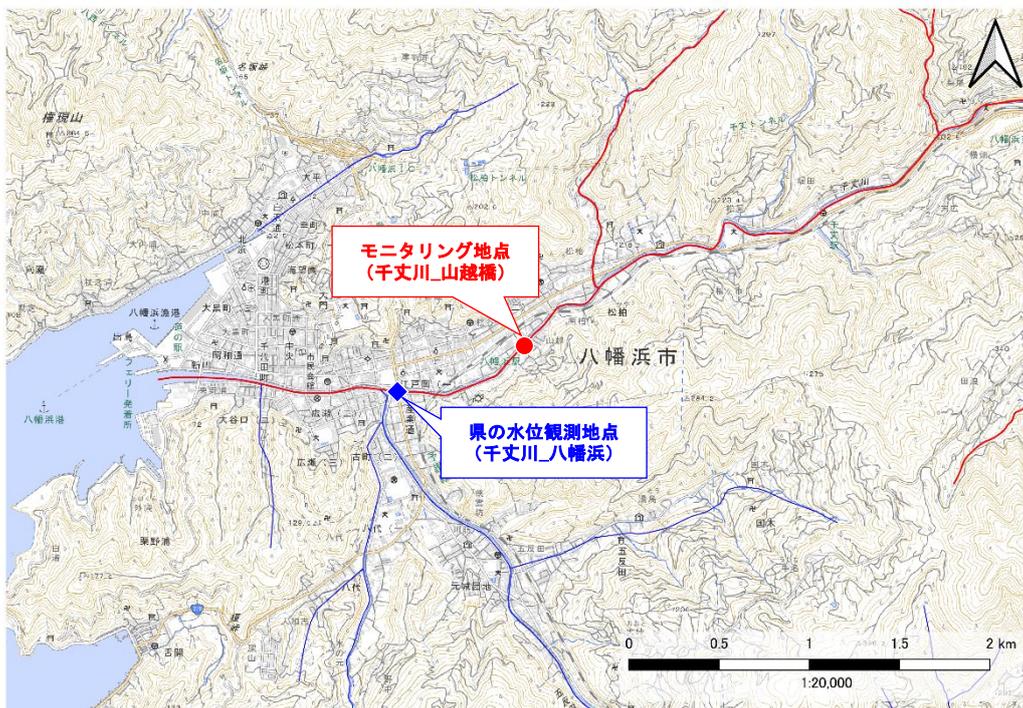


図 9-5 八幡浜市 モニタリング地点と相関解析を実施した県の水位観測所の位置関係

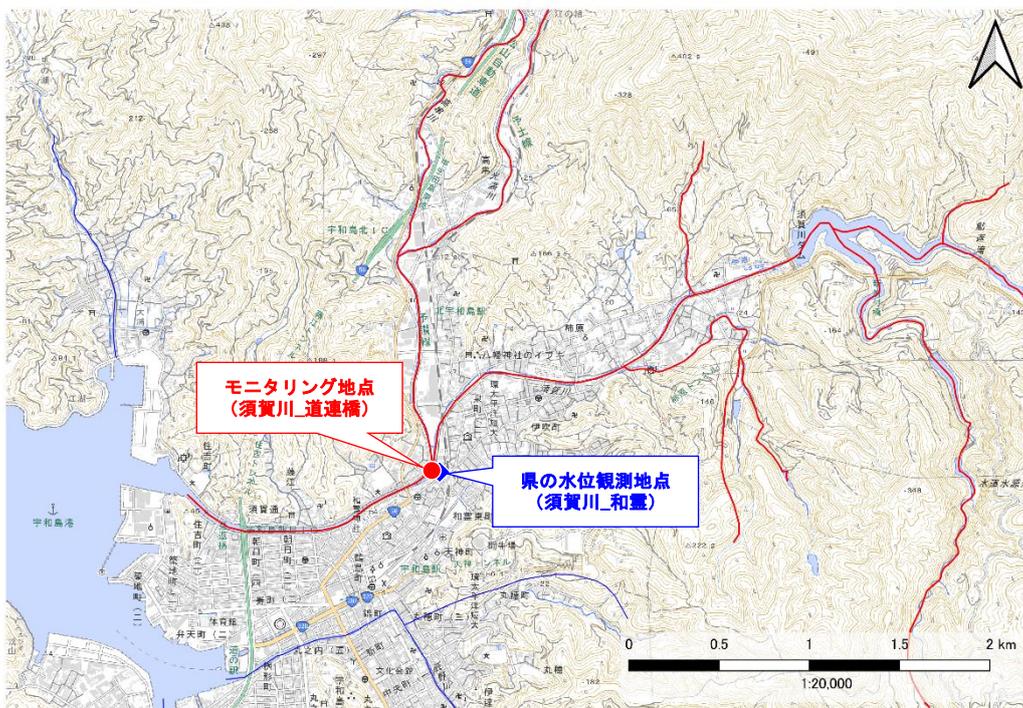


図 9-6 宇和島市 モニタリング地点と相関解析を実施した県の水位観測所の位置関係

(2) 近傍の水位観測地点と、本業務で測定した水位の関係性

同一流域内にモニタリング地点と県の水位観測所が位置する松山市、八幡浜市、宇和島市について、近傍の水位観測地点とモニタリング地点の水位相関を整理したものを図 9-7に示す。松山市、八幡浜市、宇和島市のモニタリング地点における過去の水位については、得られた水位相関式を用いて、過去の県が測定した水位データを用いてモニタリング地点の水位の補填を実施した。

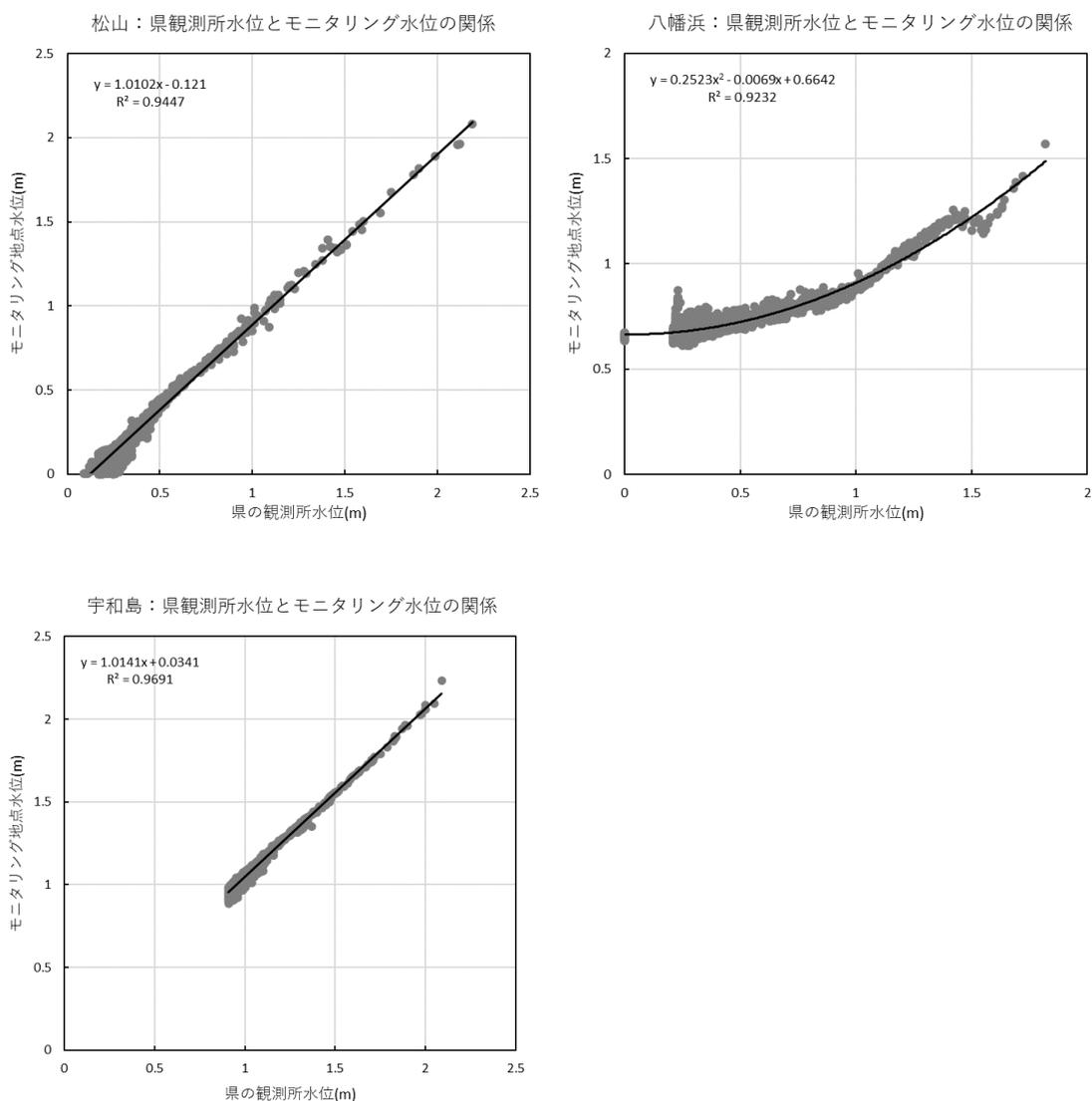


図 9-7 県観測地点水位とモニタリング地点水位の関係（松山市, 八幡浜市, 宇和島市）

なお、同流域内に県の水位観測所（危機管理型水位計を除く）がない新居浜市、今治市、松前町については、以下の方針で水位の補填を行った。

《新居浜市》

尻無川（田所小橋）近傍に存在する水位計は城下（国領川）、山根（国領川）の2カ所である。このうち城下は集水面積が大きく、かつ瀬切れが多く発生していることから、水位の補填は「山根」を用いることとした（図 9-8）。

ただし、山根地点においても一部期間で瀬切れ（伏流）が生じていることから、瀬切れ部分の流量の補填を行うため、山根地点上流の鹿森ダムの流入量を用いて田所小橋の水位を補填した。その手順は以下のとおりである。

- ① 山根の上流の位置する鹿森ダム流入量（日流量）と山根水位（日平均水位）を元に最小自乗法より関係式を作成する（図 9-9）。
- ② 推定した関係式より山根水位（毎時）を鹿森ダム（毎時）流量に換算する。
- ③ 推定した鹿森ダム流量（毎時）を田所小橋水位地点流量に面積換算する。なお、換算の係数は流域面積比（鹿森ダム51.1km²、田所小橋7.95km²）より0.156（=7.95/51.1）とした。

$$\text{田所小橋流量} = \text{推定した鹿森ダム流量} \times 0.156$$

- ④ ③で推定した田所小橋の流量を後述するH-Q曲線式により水位へ換算する。

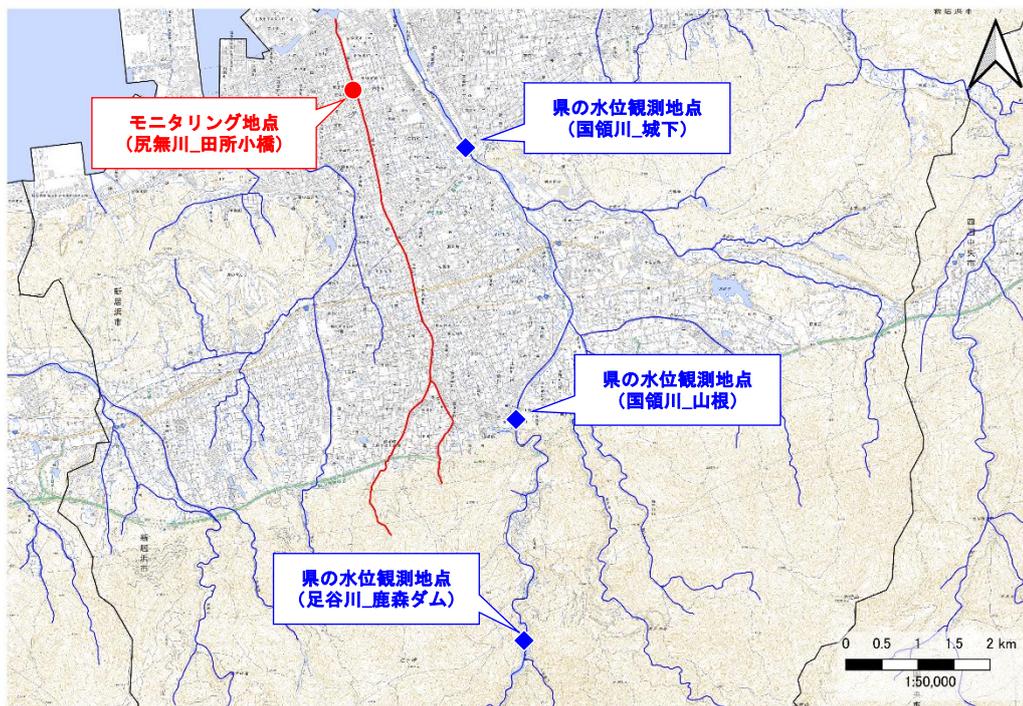


図 9-8 田所小橋近傍の水位観測所の位置（城下、山根、鹿森ダム）

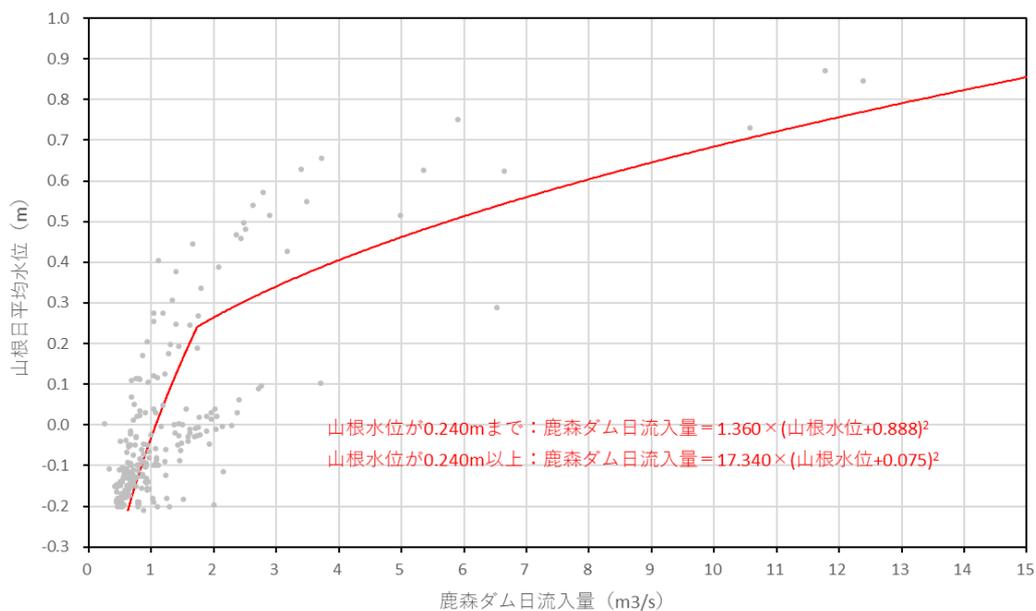


図 9-9 山根水位から鹿森ダム流量への変換式

《今治市》

中竜登橋（竜登川）の水位の補填には近傍の片山（蒼社川）の水位を用いることとした。単純な相関解析ではプロットにばらつきが多く推定線を引けないことから、最小自乗法により中竜登橋の推定線を作成した。作成した推定線（片山水位→中竜登橋水位への変換式）を図 9-11に示す。

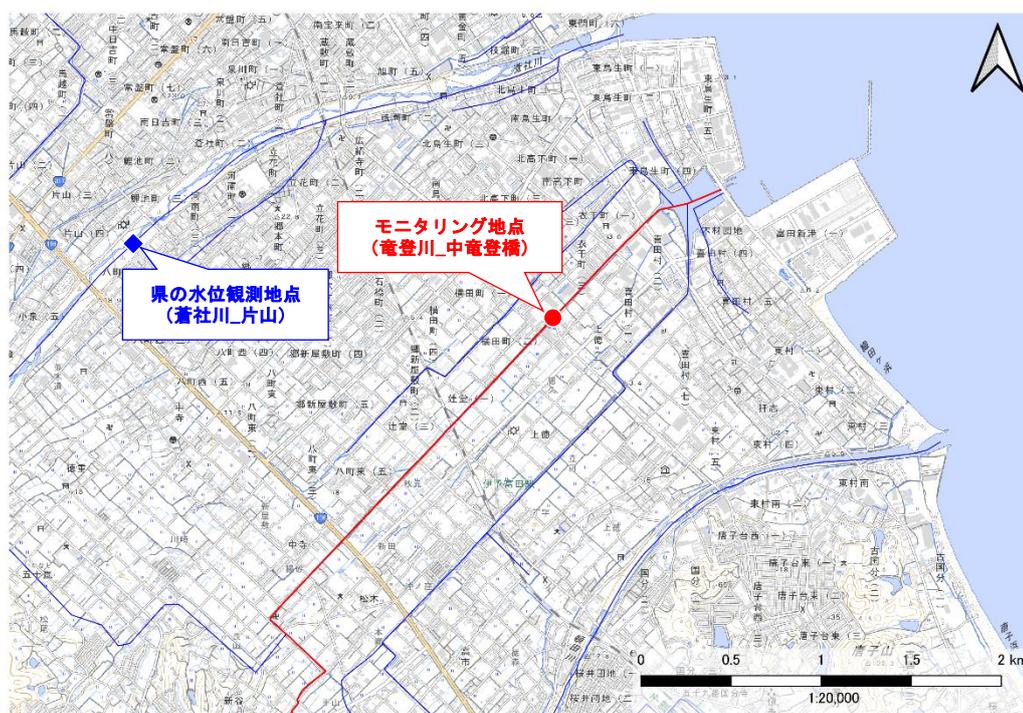


図 9-10 中竜登橋近傍の水位計の位置（片山）

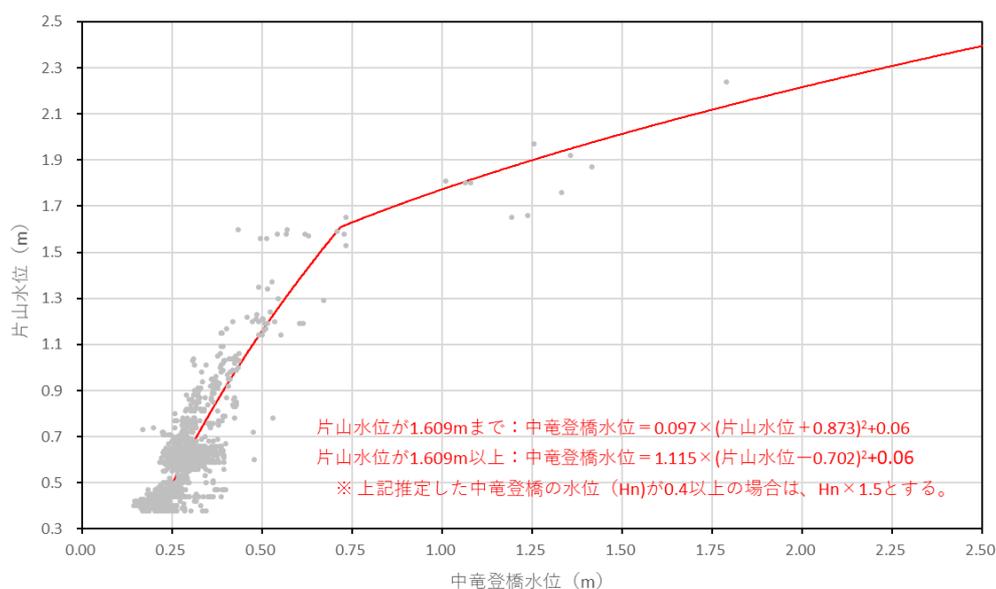


図 9-11 片山水位から中竜登橋水位への変換式

《松前町》

外側橋（長尾谷川）近傍には下三谷（大谷川）、および精農橋（小野川）が存在する。このうち下三谷は降雨がないときでも50cm程度の水位変動が頻繁に生じていることから採用せず、精農橋の水位により補填を行うこととした。

今治市の中竜登橋と同様に外側橋（長尾谷川）も精農橋（小野川）との単純な相関解析ではプロットにばらつきが多く推定線を引けないことから、最小自乗法により外側橋の推定線を作成した。作成した推定線（精農橋水位→外側橋水位への変換式）を図9-13に示す。

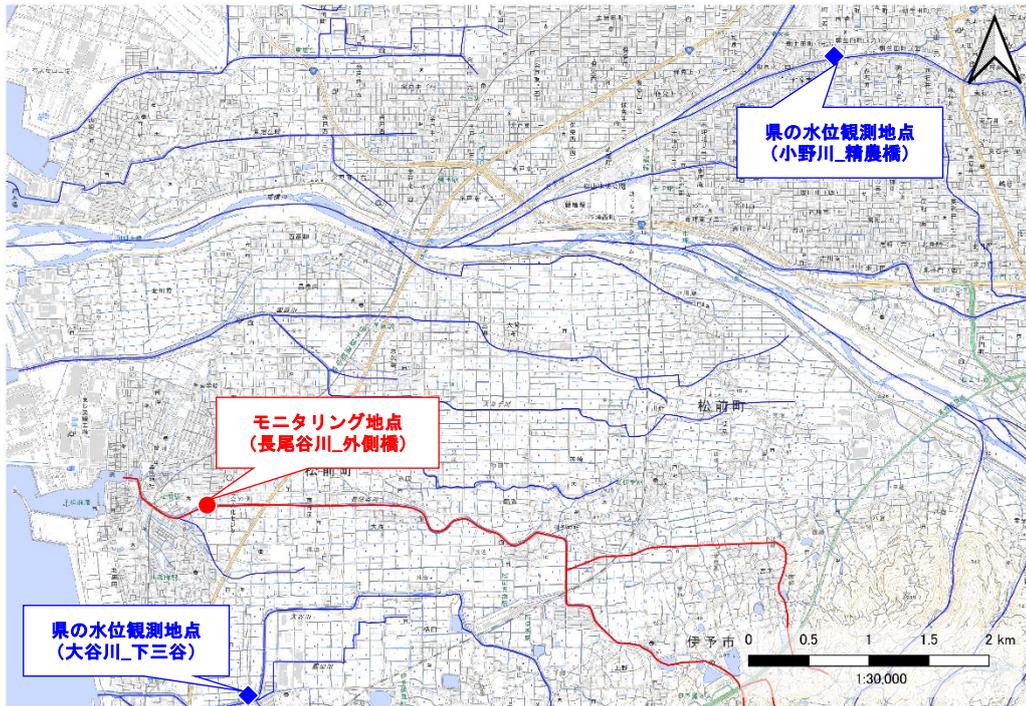


図 9-12 外側橋近傍の水位計の位置（下三谷、精農橋）

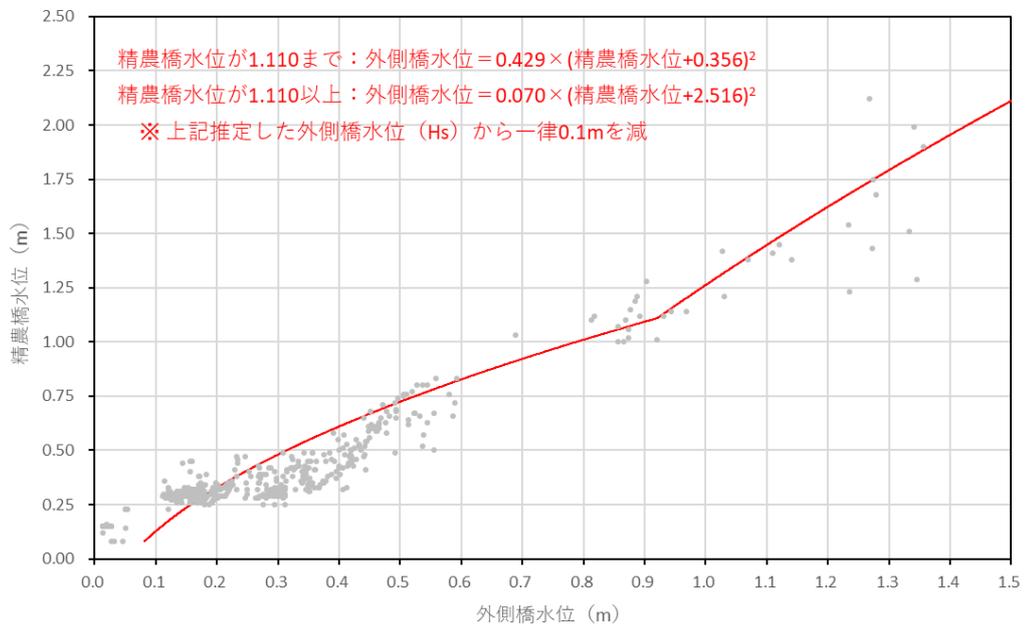


図 9-13 精農橋水位から外側橋水位への換算式

(3) 補填した水位データ

(2) で整理した近傍の水位観測地点とモニタリング地点の水位の関係を用いて、2019年～2024年までのモニタリング地点における水位を補填した。補填した水位データを図 9-14および図 9-15に示す。なお、今治市（竜登川 中竜登橋）、松前町（長尾谷川 外側橋）は灌漑期間中に起伏堰のゲートを上げた状態としているため、同期間においてはここで推定した各地点の水位を「各地点における起伏堰のゲートが起伏していない時の水位」として解析に用いることとした。

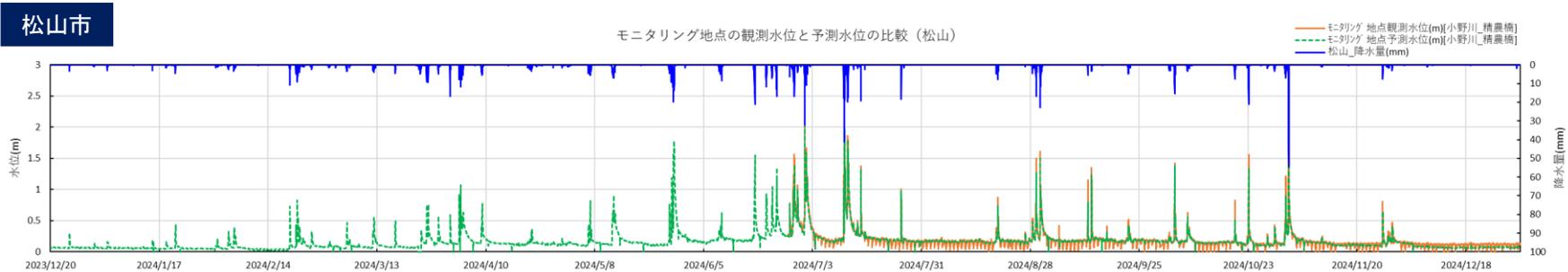
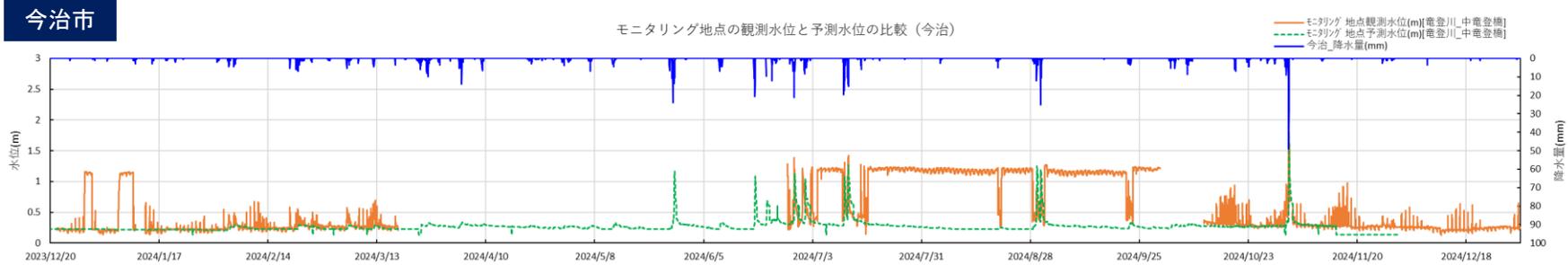
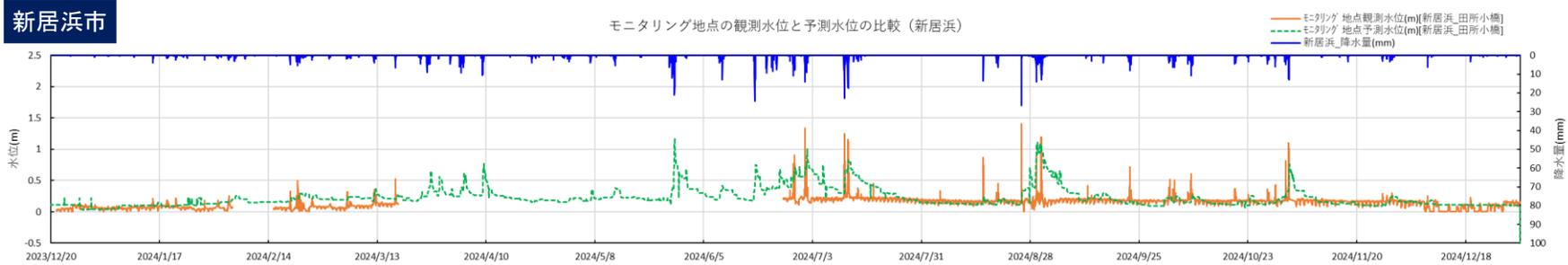
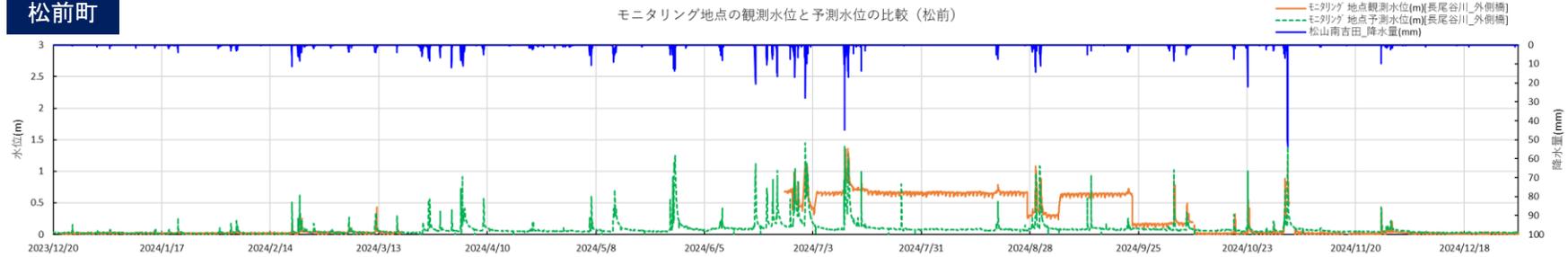
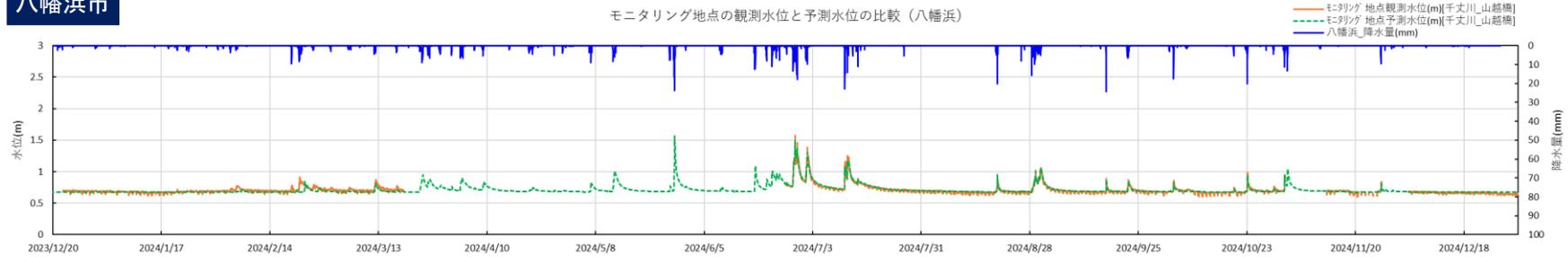


図 9-14 (1) 補填した水位データとモニタリング水位データの比較（モニタリング実施期間中）

松前町



八幡浜市

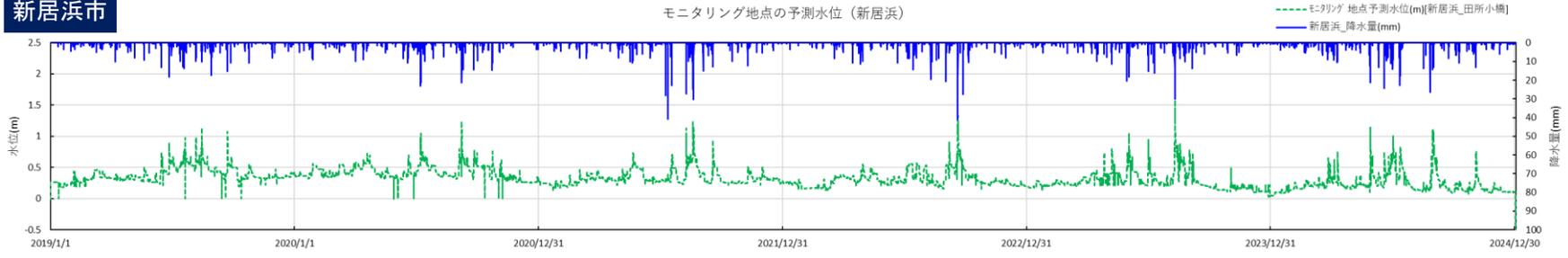


宇和島市

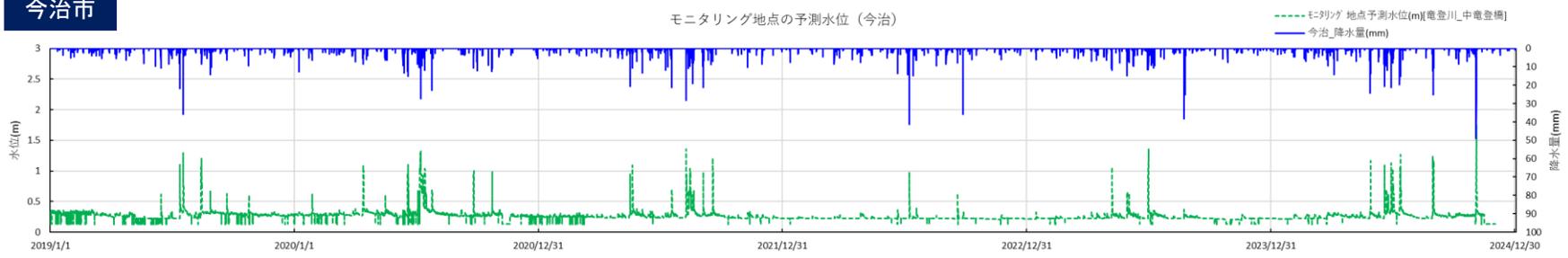


図 9-14 (2) 補填した水位データとモニタリング水位データの比較（モニタリング実施期間中）

新居浜市



今治市



松山市

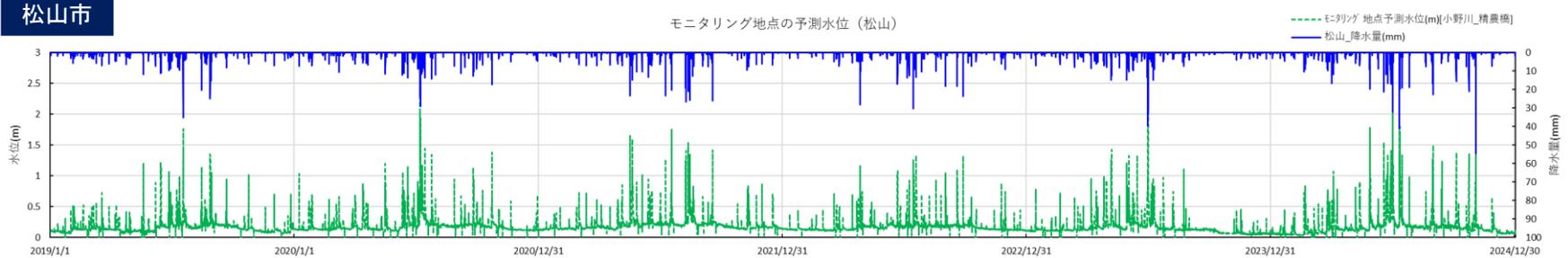
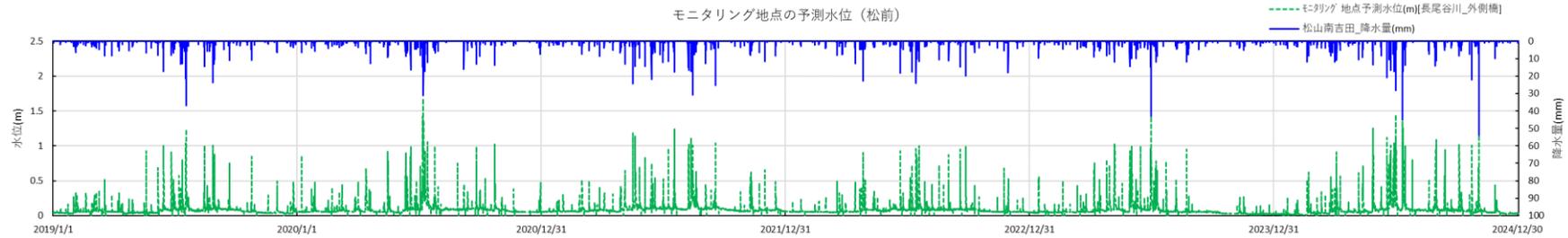


図 9-15 (1) 補填した水位データ (2019年~2024年)

松前町



八幡浜市



宇和島市

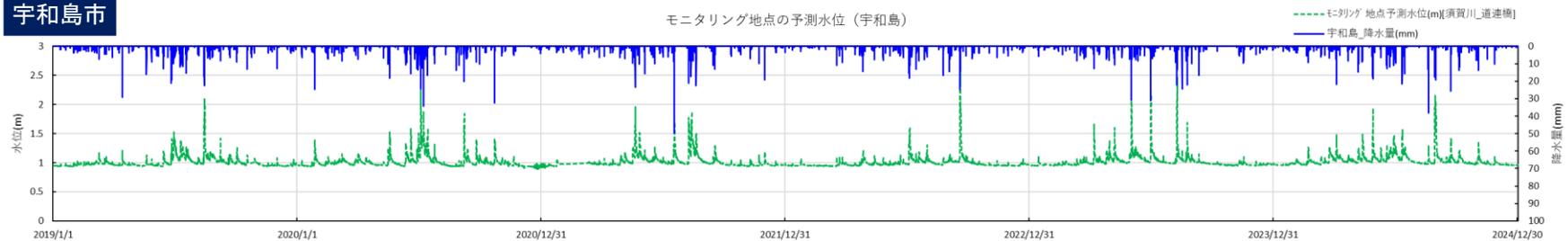


図 9-15 (2) 補填した水位データ（2019年～2024年）

9.1.2 モニタリング地点における水位と流量の関係（H-Q 曲線式の作成）

RIADによる解析で得られた流速データとモニタリング時に取得した水位データから、水位と流量の関係を整理しH-Q曲線式（二次曲線式）を作成した。H-Q曲線式の作成は「水文観測」¹に示される計算式を用いて作成を行った。

2次曲線式の定数は観測資料群に最小自乗法を適用することにより求める。

解 説

① \sqrt{Q} と H を方眼紙にプロットしてほぼ直線になれば本式を適用でき、a, b を最小自乗法により求める。ここに Q, H は観測流量とそれに対応する水位である。

② 2次曲線式を $\sqrt{Q} = \sqrt{a}(H+b)$ と変形して、 $a' = \sqrt{a}$ 、 $b' = b\sqrt{a}$ とおけば

$$\sqrt{Q} = a'H + b'$$

となり、ここで V_{err} を観測流量と推算流量との差とすれば次式となる。

$$V_{err} = \sqrt{Q} - a'H - b'$$

今、資料数を N とし、各観測値の和を〔 〕で表わし、最小自乗法の正規式は次のようになる。

$$[\sqrt{Q}] - [H]a' - Nb' = 0$$

$$[H\sqrt{Q}] - [H^2]a' - [H]b' = 0$$

上式を a', b' について解けば、

$$a' = \frac{N[H\sqrt{Q}] - [H] \cdot [\sqrt{Q}]}{N[H^2] - [H]^2}$$

$$b' = \frac{[H^2] \cdot [\sqrt{Q}] - [H][H \cdot \sqrt{Q}]}{N \cdot [H^2] - [H]^2}$$

となる。従って

$$Q = a'^2(H + b'/a')^2$$

として求まる。

なお、作成における留意点は以下のとおりである。

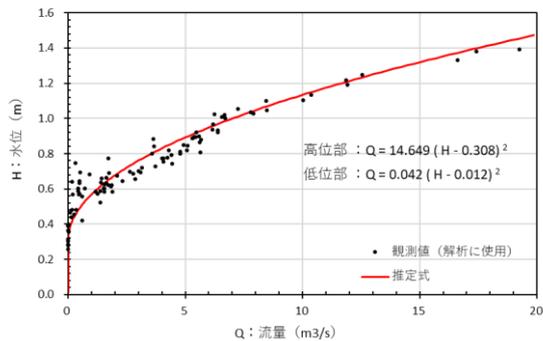
- RIADの解析値（流速）が異常と判断される場合、その観測値は除外した。
- 外側橋（松前）、中竜登橋（今治）の起伏堰のゲートが立ち上がっている期間は除外した。
- 低位部（水位が低い部分）と高位部（水位が高い部分）で二次曲線を分割した方が良いと判断した場合は、推定線を分割した。

上記を踏まえて作成した各観測地点のH-Q曲線式を図 9-16に示す。

¹ 平成 14 年度版 水文観測（国交省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著）

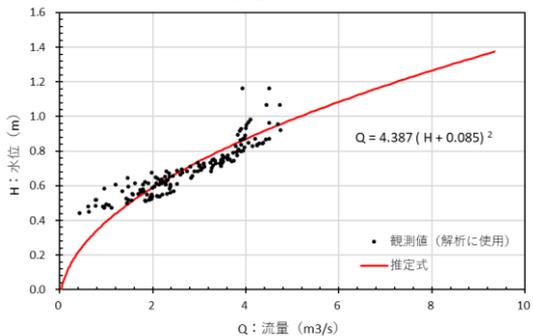
新居浜市

新居浜（田所小橋）水位と流量の関係



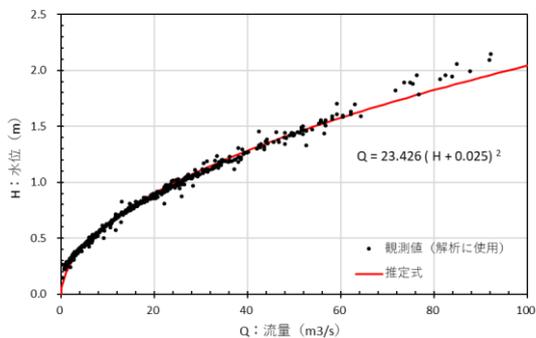
今治市

今治（中電登橋）水位と流量の関係



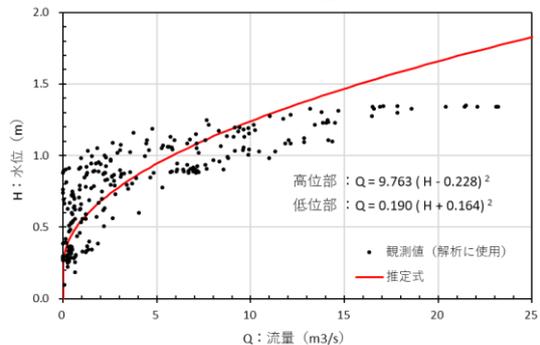
松山市

松山（精農橋）水位と流量の関係



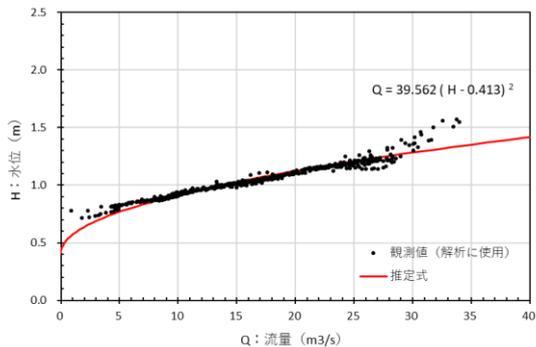
松前町

松前（外側橋）水位と流量の関係



八幡浜市

八幡浜（山越橋）水位と流量の関係



宇和島市

宇和島（道連橋）水位と流量の関係

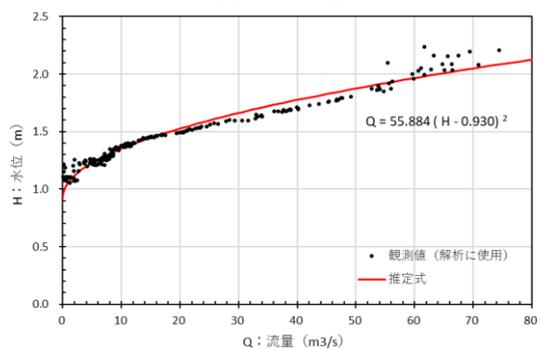
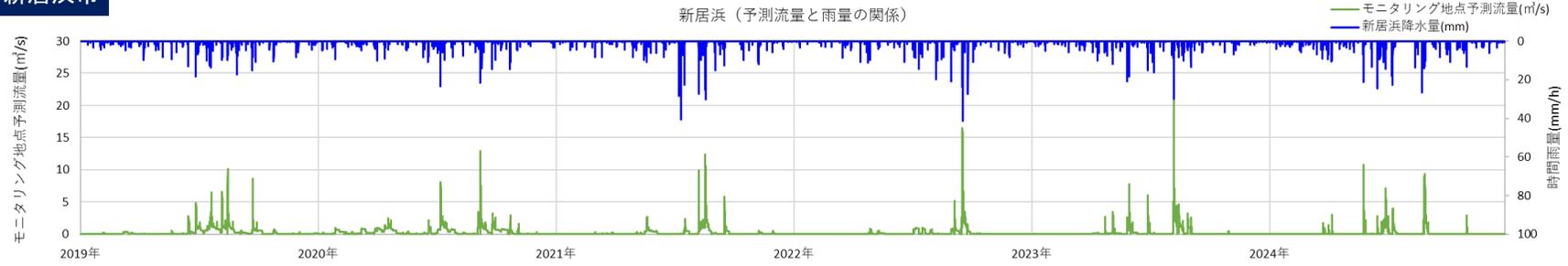


図 9-16 RIAD解析結果から作成したH-Q式

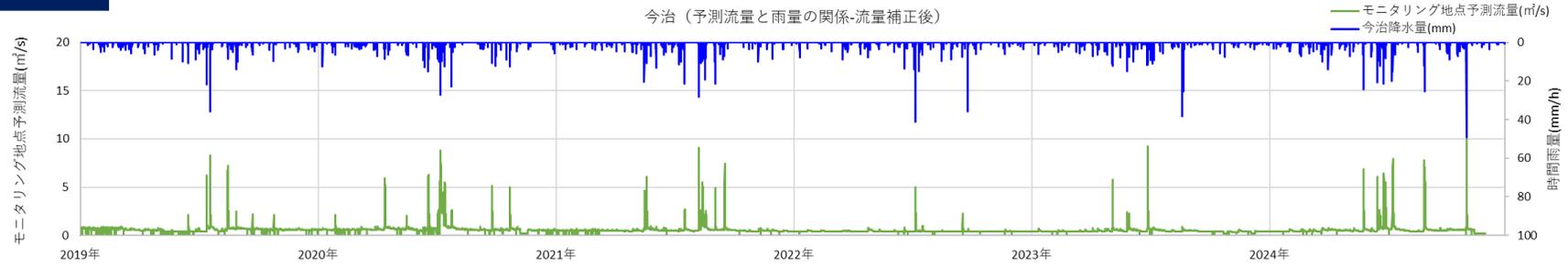
9.1.3 モニタリング地点における過去の流量予測結果

「9.1.1モニタリング地点における過去の水位の予測結果」で補填したモニタリング地点における過去の予測水位および、「9.1.2モニタリング地点における水位と流量の関係(H-Q曲線式の作成)」で作成したモニタリング地点における水位と流量の関係式を用いて、モニタリング地点における過去の流量を予測した。各地点の予測結果を図9-17に示す。

新居浜市



今治市



松山市



図 9-17 (1) 補填した流量データ (2019年~2024年)

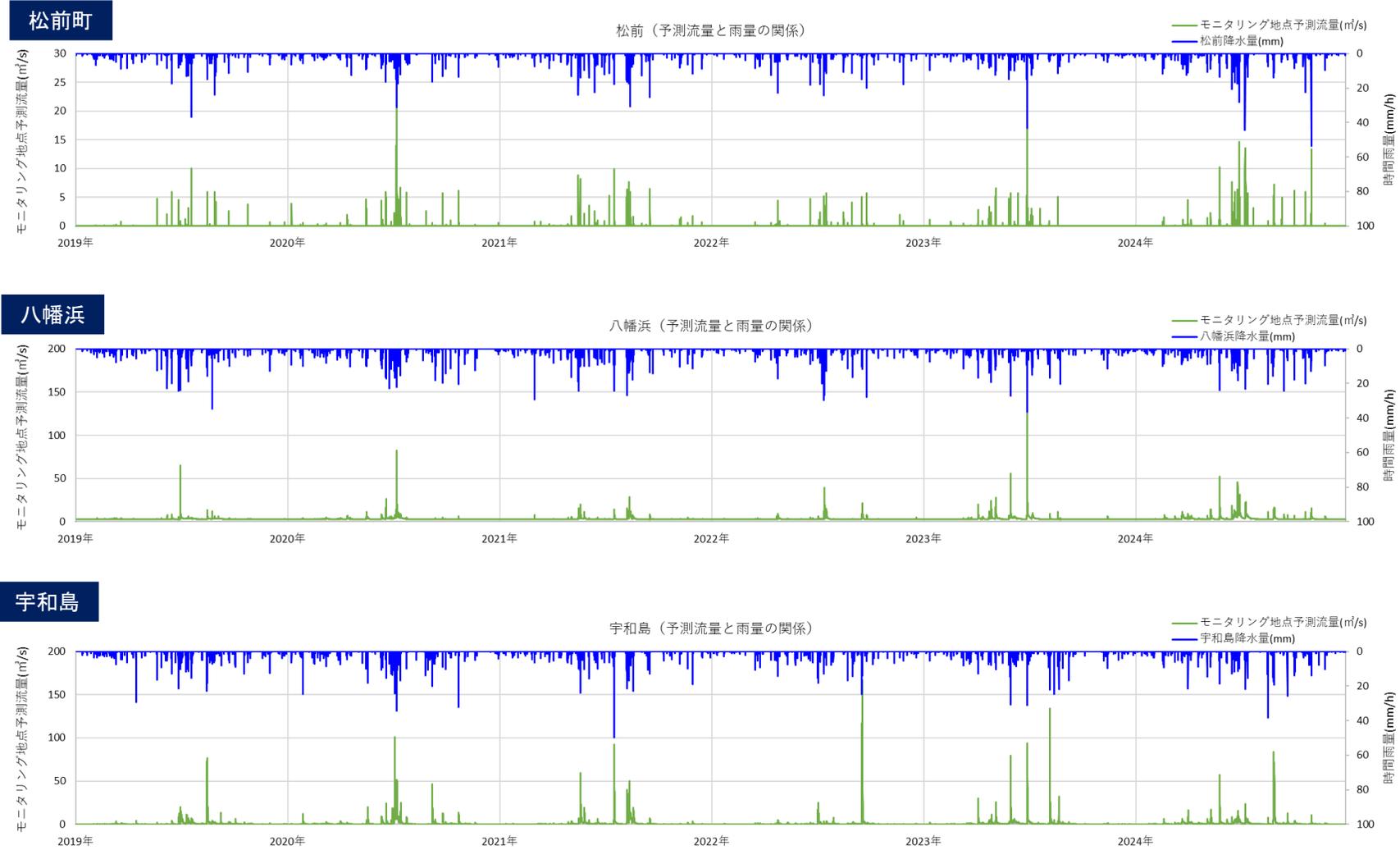


図 9-17 (2) 補填した流量データ (2019年~2024年)

9.2 L-Q式を用いた瀬戸内海へのプラスチックごみ流出量推計結果

9.2.1 解析結果から整理した各地点のL-Q式

RIADによる解析結果をもとに、地点ごとに整理したL-Q式を図 9-18に示す。L-Q式は出水期（6月～10月）、非出水期（11月～5月）、全期間の3ケースに分けて作成した。本業務では、愛媛県の梅雨入りが6月頃であること²、台風の接近が10月頃まで発生すること³を踏まえ、出水期を6月～10月に設定した。

有識者ヒアリングの結果、プラスチックごみ流出量推計に用いるL-Q式は全期間で作成したものを採用することが適当であるとのことであったため、プラスチックごみ流出量の推計では全期間で作成したL-Q式を採用することとする。通常プラスチックごみ流出量は流量が大きくなるほど大きくなると考えられるため、推計に用いるL-Q式は流量とプラスチックごみ輸送量に正の相関がみられるものを採用することとした。次節の推計に用いるL-Q式を表 9-2に示す。

松山の調査地点については、全期間のL-Q式では正の相関が確認できなかったため、正の相関がみられた非出水期のL-Q式を用いて推計を行うこととした。また、八幡浜の調査地点については白波等の影響により、プラスチックごみ輸送量の誤差が大きくなっていると考えられるため、推計対象としないこととした。

² 昭和26年（1951年）以降の梅雨入りと梅雨明け（確定値）：四国（気象庁ホームページ）
https://www.data.jma.go.jp/cpd/baiu/kako_baiu05.html

³ 台風の平年値（気象庁ホームページ）
<https://www.data.jma.go.jp/typhoon/statistics/average/average.html>

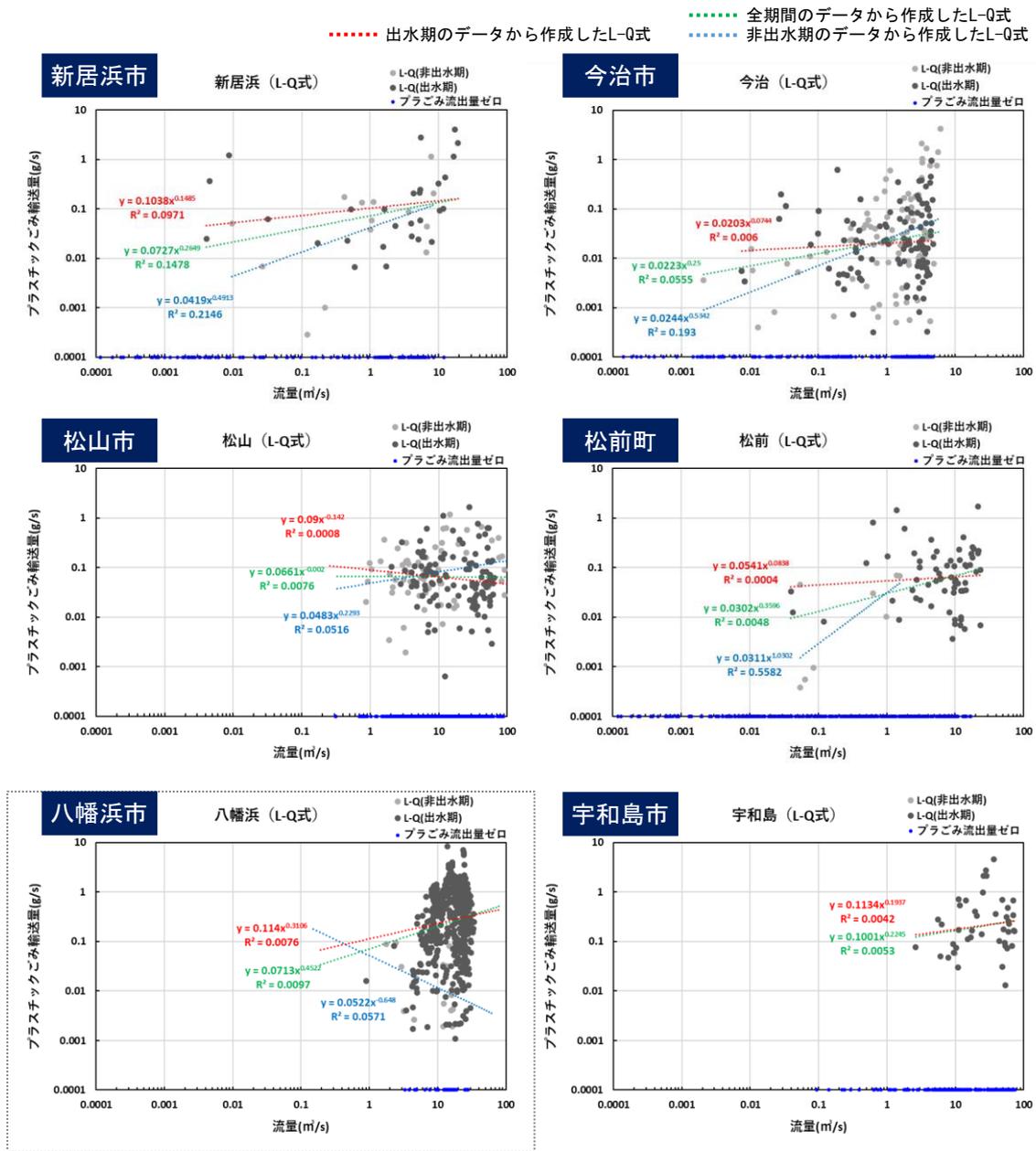


図 9-18 各地点のL-Q式

表 9-2 各地点で採用したL-Q式

地点	採用したL-Q式	備考
新居浜市	$L = 0.0727 Q^{0.2649}$	全期間の結果から作成したL-Q式
今治市	$L = 0.0223 Q^{0.25}$	全期間の結果から作成したL-Q式
松山市	$L = 0.0483 Q^{0.2293}$	非出水期の結果から作成したL-Q式
松前町	$L = 0.0302 Q^{0.3596}$	全期間の結果から作成したL-Q式
八幡浜市	$L = 0.0713 Q^{0.4522}$	全期間の結果から作成したL-Q式
宇和島市	$L = 0.1001 Q^{0.2245}$	全期間の結果から作成したL-Q式

9.2.2 プラスチックごみが流出する流量下限値の設定

有識者ヒアリングの結果、L-Q式による年間プラスチックごみ流出量の推計を行う際に、プラスチックごみの流下がほとんど発生しないと考えられる低流量の部分についてごみ流出量をゼロとして推計することは妥当であるとの知見を得た。そのため、モニタリング地点上流域からのプラスチックごみ流出量を推計する際に、各地点プラスチックごみが流出する流量の下限値を設定し、それ以下の流量の場合はプラスチックごみの流出がないものとして推計を実施した。各地点で設定した流量の下限値を表 9-3 に示す。

下限値の設定にあたっては、RIADによる解析でごみが確認された中で最も小さい流量を下限値として設定した。なお、今治市については、観測流量にバラつきがあり、RIADによる解析でごみが確認された最小の流量と、モニタリング地点の平常時における過去の予測流量に差が生じる結果となった。有識者ヒアリングの結果、下限値設定の際はモニタリング地点の平常時の流量も考慮して値を設定することが望ましいとの意見をいただいた。今治市については図 9-19に示すとおり同じ東予に位置する新居浜市の地点と水位の相関性が見られたため、新居浜市の流量下限値を参考に値を決定した。具体的には新居浜市の流量下限値として設定した流量が、各年下位何%の時間に相当するか確認し、それと同じ割合に位置する流量を今治市に対して確認した。最後に、各年算出した2019年～2024年の流量の平均値とり、今治のプラスチックごみが流出する流量の下限値として設定した。

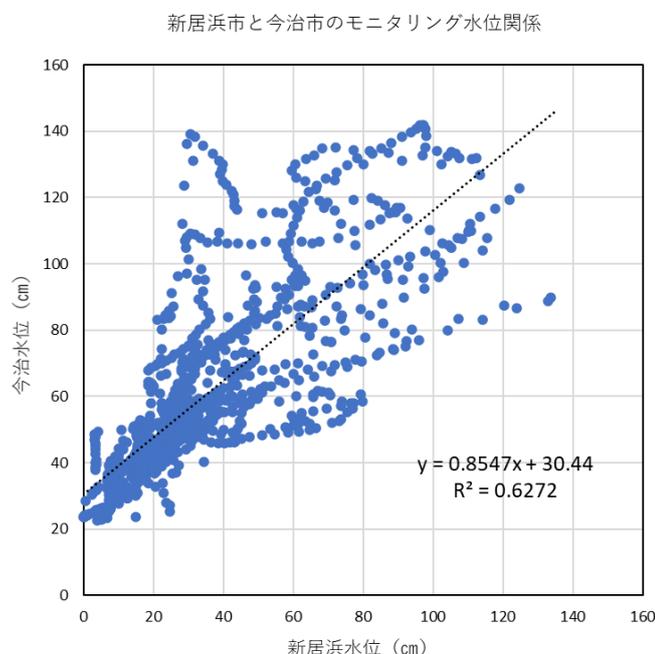


図 9-19 新居浜市と今治市のモニタリング水位の関係

表 9-3 各地点で設定したプラスチックごみの流出する流量の下限值

地点	プラスチックごみの流出する流量の下限值 (m ³ /s)	設定理由
新居浜市	0.004 m ³ /s	RIAD解析結果でごみが確認された流量の下限值を基に設定
今治市	0.508 m ³ /s	新居浜の流量下限値の割合を適用し、2019～2024年の流量平均値から設定
松山市	0.860 m ³ /s	RIAD解析結果でごみが確認された流量の下限值を基に設定
松前町	0.040 m ³ /s	RIAD解析結果でごみが確認された流量の下限值を基に設定
八幡浜市	0.890 m ³ /s	RIAD解析結果でごみが確認された流量の下限值を基に設定
宇和島市	2.600 m ³ /s	RIAD解析結果でごみが確認された流量の下限值を基に設定

9.2.3 L-Q式を用いた愛媛県からのプラスチックごみ流出量推計結果

L-Q式を用いて愛媛県からのプラスチックごみ流出量を算定した結果を表 9-4 (c) に示す。これより、愛媛県からのプラスチックごみ流出量は15~69[t/年]となった。

表 9-4 L-Q式を用いた愛媛県からのプラスチックごみ流出量

(a) モニタリング地点上流の流域内からの年間流出量

地点	流域内からの年間流出量(t/年)						流域内人口1人あたりの年間流出量(g/人・年)					
	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
新居浜市	0.98	1.33	0.56	0.48	0.47	0.32	52.80	71.41	29.87	25.78	25.27	17.36
今治市	0.47	0.55	0.26	0.03	0.12	0.30	126.74	147.55	69.91	7.54	30.79	80.17
松山市	0.57	0.82	1.04	0.70	0.43	0.67	6.57	9.51	12.07	8.10	5.03	7.78
松前町	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	1.77	5.30	4.04	1.78	4.20	6.12
八幡浜市	3.71	3.74	3.68	3.65	3.81	3.99	1148.29	1159.09	1139.34	1129.57	1180.37	1235.50
宇和島市	0.24	0.36	0.34	0.12	0.27	0.40	32.65	48.29	45.95	16.32	36.80	54.34

(b) 流域内人口1人あたりの年間流出量(g/人・年)

地点	地域区分	流域内人口1人あたりの年間流出量(g/人・年)											
		2019年		2020年		2021年		2022年		2023年		2024年	
新居浜市	東予	52.80	89.77	71.41	109.48	29.87	49.89	25.78	16.66	25.27	28.03	17.36	48.76
今治市		126.74		147.55		69.91		7.54		30.79		80.17	
松山市	中予	6.57	4.17	9.51	7.41	12.07	8.05	8.10	4.94	5.03	4.61	7.78	6.95
松前町		1.77		5.30		4.04		1.78		4.20		6.12	
八幡浜市	南予	1148.29	32.65	1159.09	48.29	1139.34	45.95	1129.57	16.32	1180.37	36.80	1235.50	54.34
宇和島市		32.65		48.29		45.95		16.32		36.80		54.34	
参考: Jambeck et al. (2015)		186.31~496.82											

※Jambeck et al.(2015)は海洋に流出するプラスチックごみ量について推定した論文であり、参考値として記載する。

(c) 愛媛県全体からの年間ごみ流出量

推計対象	対象人口(人)	対象地域における年間ごみ流出量(t/年)						
		2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	
地域区分	東予	461,664	41.44	50.54	23.03	7.69	12.94	22.51
	中予	630,338	2.63	4.67	5.08	3.11	2.91	4.38
	南予	212,552	6.94	10.26	9.77	3.47	7.82	11.55
県全体*	1,304,554	51.01	65.48	37.87	14.27	23.67	38.44	

※瀬戸内海に流入する河川流域をもつ地域以外は推計の対象外とした

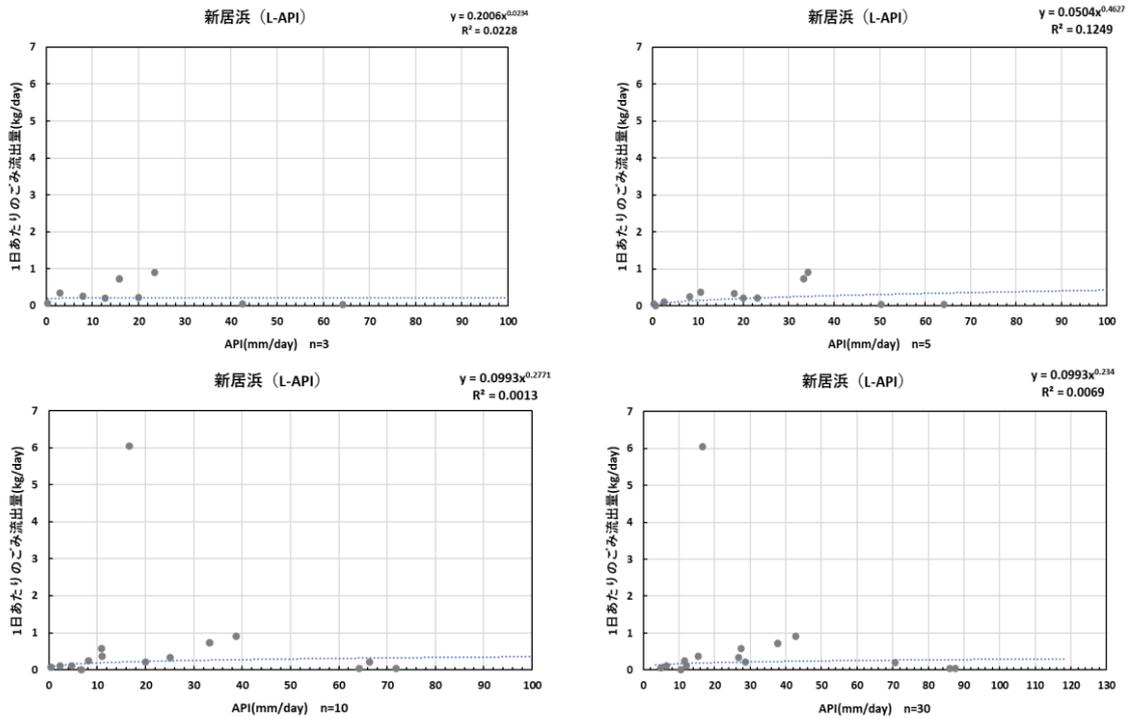
9.3 API を用いた瀬戸内海へのプラスチックごみ流出量推計結果

9.3.1 API の整理結果

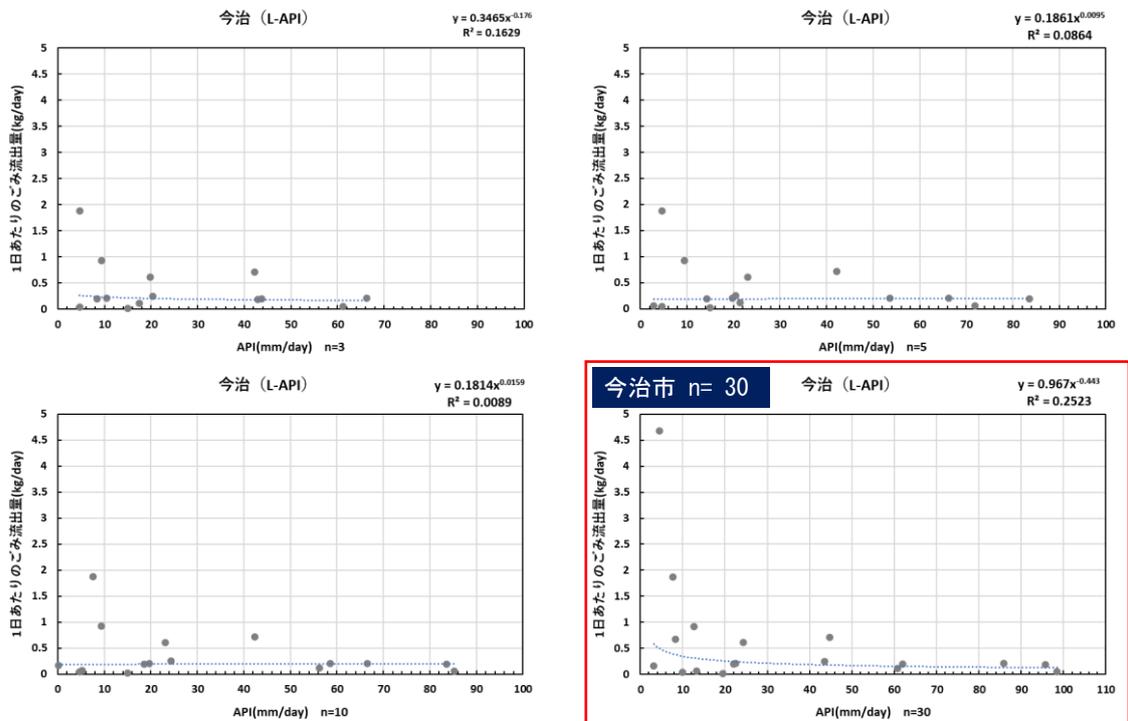
モニタリング地点ごとにAPIを算出する際は、表 9-5に示す気象観測所のデータを用いた。APIとRIADによる解析結果で得られたプラスチックごみ流出量の関係式を図 9-20に示す。一般的にプラスチックごみは、過去の降雨が少ない（APIの値が小さい）状態で降雨が発生すると、河川に蓄積されていたプラスチックごみが多く流出すると考えられる。そのため、推計に用いるごみ量とAPIの関係式は負の相関がみられるものを用いることとした。

表 9-5 APIの計算に用いた気象観測所データ

地点	気象観測所名	所在地
新居浜市	新居浜	新居浜市船木甲（北緯33度56.2分 東経133度20.3分）
今治市	今治	今治市山路（北緯34度3.2分 東経132度58.5分）
松山市	松山	松山市北持田町（北緯33度50.6分 東経132度46.6分）
松前町	松山南吉田	松山市南吉田町（北緯33度49.6分 東経132度41.9分）
八幡浜市	八幡浜	八幡浜市五反田（北緯33度26.9分 東経132度26分）
宇和島市	宇和島	西予市宇和町神領（北緯33度22分 東経132度30.2分）

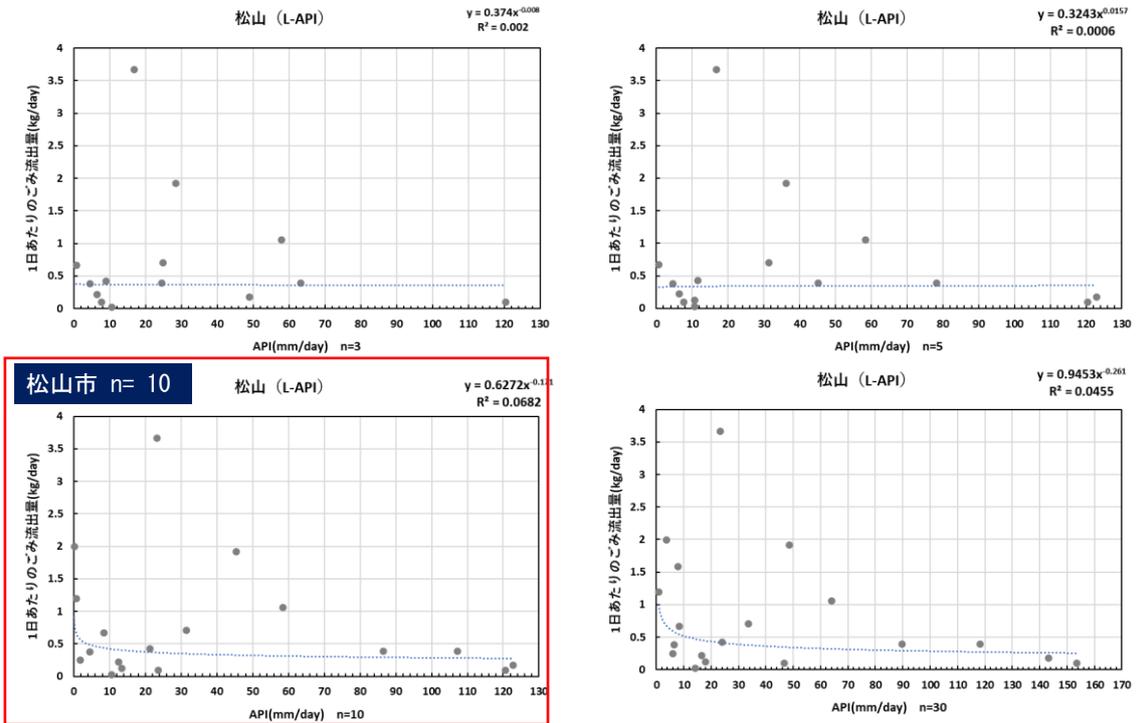


(a) 新居浜市のAPIとごみ流出量の関係 (n=3, 5, 10, 30)

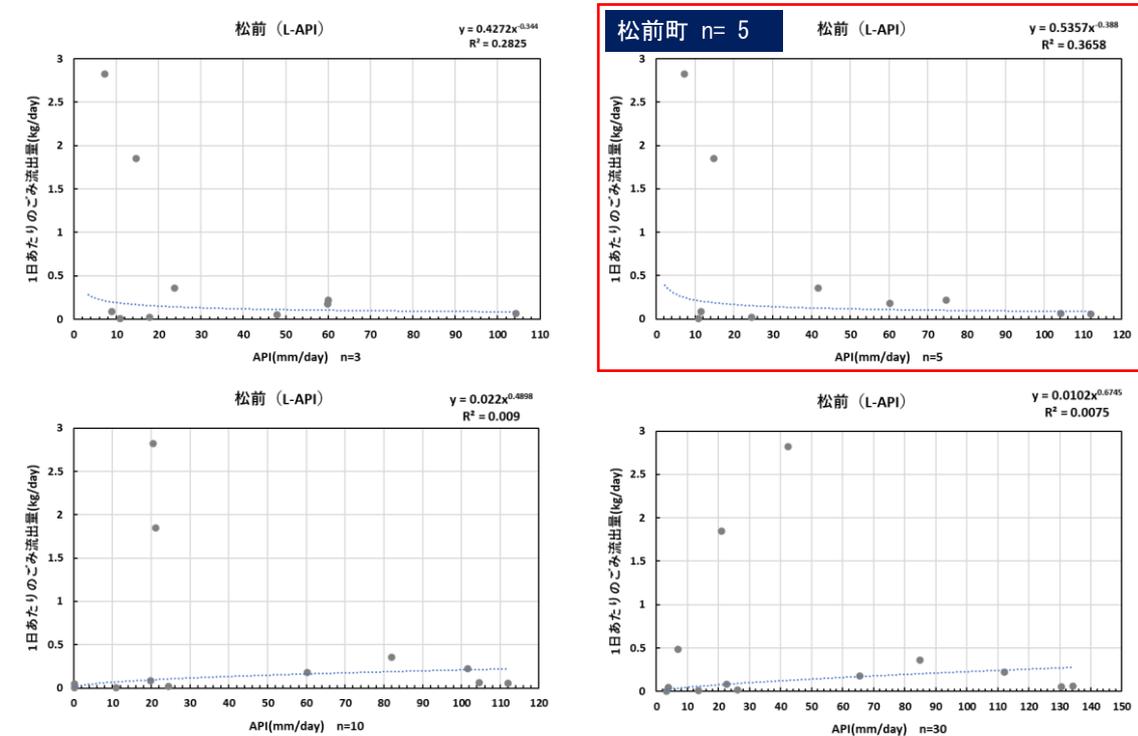


(b) 今治市のAPIとごみ流出量の関係 (n=3, 5, 10, 30)

図 9-20(1) APIとプラスチックごみ流出量の関係性

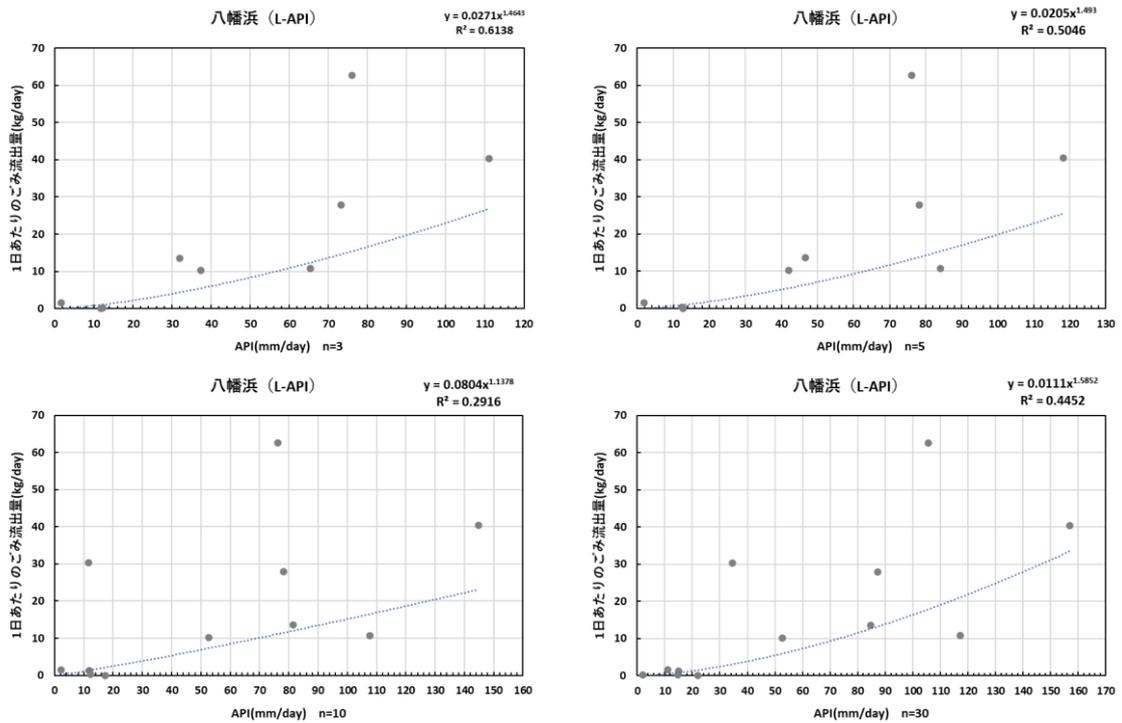


(c) 松山市のAPIとごみ流出量の関係 (n=3, 5, 10, 30)

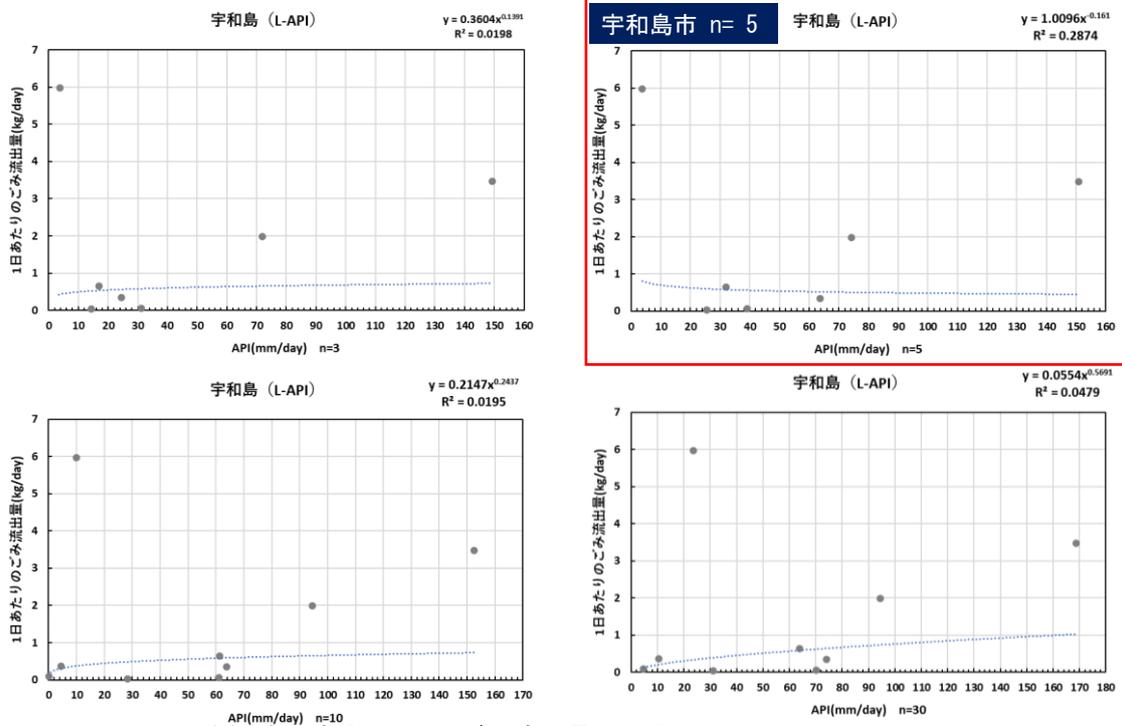


(d) 松前町のAPIとごみ流出量の関係 (n=3, 5, 10, 30)

図 9-20 (2) APIとプラスチックごみ流出量の関係性



(e) 八幡浜市のAPIとごみ流出量の関係 (n=3, 5, 10, 30)



(f) 宇和島市のAPIとごみ流出量の関係 (n=3, 5, 10, 30)

図 9-20 (3) APIとプラスチックごみ流出量の関係性

9.3.2 API を用いた愛媛県からのプラスチックごみ流出量推計結果

APIとプラスチックごみ流出量の関係式を用いて算定した、愛媛県からの年間プラスチックごみ流出量を表 9-6 (c) に示す。これより、愛媛県からのプラスチックごみ流出量は28～34[t/年]となった。

表 9-6 APIを用いた愛媛県からのプラスチックごみ流出量
(a) モニタリング地点上流の流域内からの年間流出量

地点	流域内からの年間流出量(t/年)						流域内人口1人あたりの年間流出量(g/人・年)					
	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
新居浜市	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
今治市	0.12	0.18	0.12	0.15	0.14	0.13	32.56	47.39	32.75	39.67	37.38	33.86
松山市	0.15	0.15	0.14	0.15	0.16	0.15	1.69	1.69	1.67	1.78	1.87	1.74
松前町	0.09	0.07	0.08	0.07	0.09	0.09	16.44	13.53	16.39	14.00	17.10	16.77
八幡浜市	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
宇和島市	0.21	0.19	0.19	0.21	0.22	0.21	28.75	25.78	26.38	28.56	29.58	28.90

(b) 流域内人口1人あたりの年間流出量 (g/人・年)

地点	地域区分	流域内人口1人あたりの年間流出量(g/人・年)											
		2019年		2020年		2021年		2022年		2023年		2024年	
新居浜市	東予	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		32.56	32.56	47.39	47.39	32.75	32.75	39.67	39.67	37.38	37.38	33.86	33.86
今治市		32.56	32.56	47.39	47.39	32.75	32.75	39.67	39.67	37.38	37.38	33.86	33.86
松山市	中予	1.69	9.06	1.69	7.61	1.67	9.03	1.78	7.89	1.87	9.49	1.74	9.26
松前町		16.44	16.44	13.53	13.53	16.39	16.39	14.00	14.00	17.10	17.10	16.77	16.77
八幡浜市	南予	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
宇和島市		28.75	28.75	25.78	25.78	26.38	26.38	28.56	28.56	29.58	29.58	28.90	28.90
参考: Jambeck et al. (2015)		186.31～496.82											

※Jambeck et al.(2015)は海洋に流出するプラスチックごみ量について推定した論文であり、参考値として記載する。

(c) 愛媛県全体からの年間ごみ流出量

推計対象	対象人口(人)	対象地域における年間ごみ流出量 (t/年)						
		2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	
中予地区	東予	461,664	15.03	21.88	15.12	18.32	17.26	15.63
	中予	630,338	5.71	4.08	5.69	4.97	5.98	5.84
	南予	212,552	6.11	5.48	5.61	6.07	6.29	6.14
県全体*	1,304,554	26.86	32.15	26.42	29.36	29.53	27.61	

※瀬戸内海に流入する河川流域をもつ地域以外は推計の対象外とした

9.4 単位時間あたりのプラスチックごみ流出量を用いた瀬戸内海へのプラスチックごみ流出量推計結果

単位時間あたりのプラスチックごみ輸送量の分布を図 9-21に示す。また、モニタリング期間中のプラスチックごみ輸送量の中央値を用いた場合の、県内からのプラスチックごみ流出量の推計結果を表 9-7 (c) に示す。これより、愛媛県からのプラスチックごみ流出量は391[t/年]となった。本手法は一定量のプラスチックごみが24時間365日流出するという仮定に基づくため、推計結果が過大となっていると考えられる。

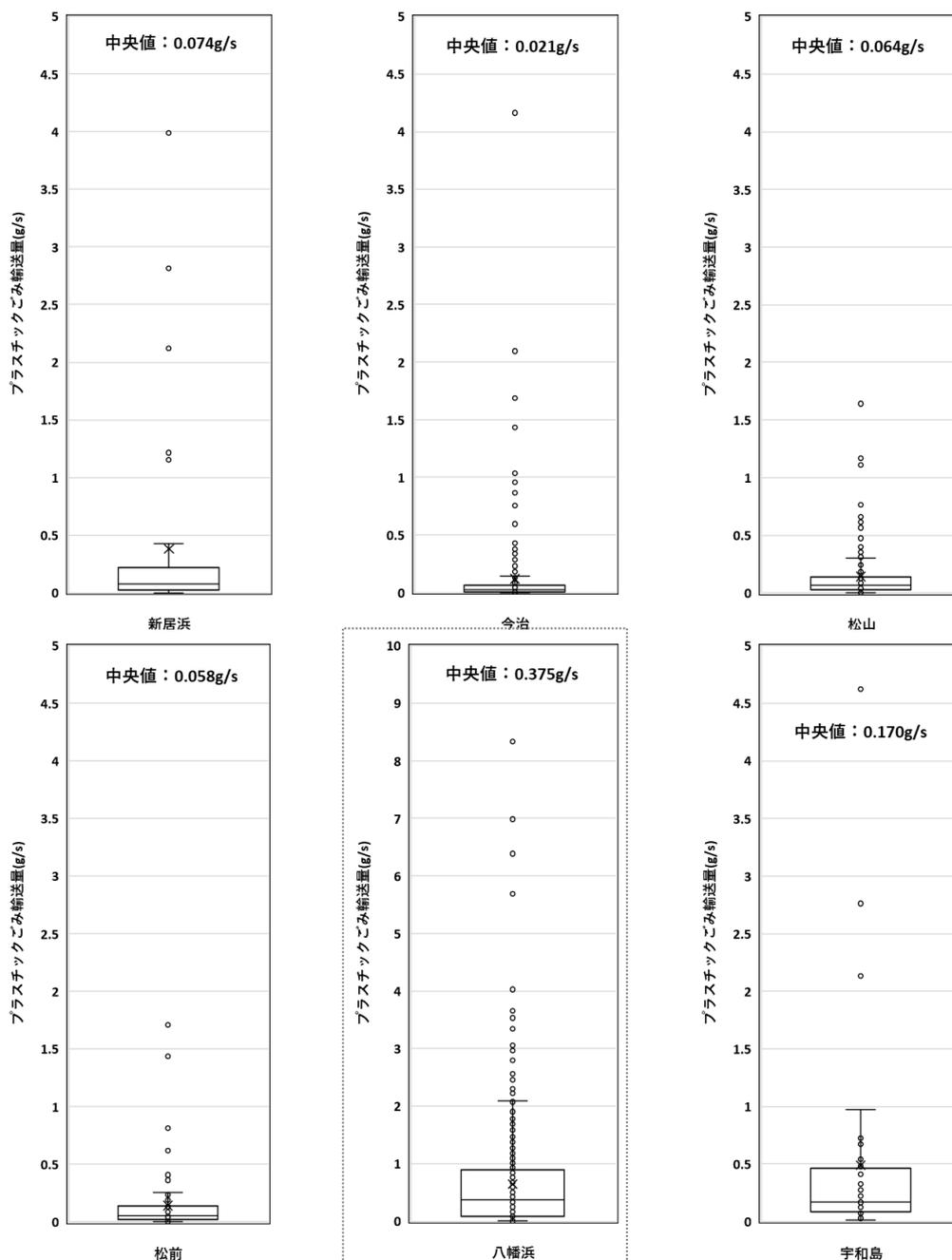


図 9-21 プラスチックごみ輸送量の分布と中央値

表 9-7 単位時間あたりのプラスチックごみ流出量（中央値）を用いた
愛媛県からのプラスチックごみ流出量

(a) モニタリング地点上流の流域内からの年間流出量

地点	流域内からの年間流出量(t/年)	流域内人口1人あたりの年間流出量 (g/人・年)
	2024年	2023年
新居浜市	2.35	126.16
今治市	0.66	176.00
松山市	2.03	23.51
松前町	1.81	350.22
八幡浜市	11.85	3671.73
宇和島市	5.37	729.90

(b) 流域内人口1人あたりの年間流出量 (g/人・年)

地点	地域区分	流域内人口1人あたりの年間流出量(g/人・年)	
		2024年	2024年（区分ごとの平均値）
新居浜市	東予	126.16	151.08
今治市		176.00	
松山市	中予	23.51	186.86
松前町		350.22	
八幡浜市	南予	3671.73	729.90
宇和島市		729.90	
参考 Jambeck et al.(2015)		186.31～496.82	

※Jambeck et al.(2015)は海洋に流出するプラスチックごみ量について推定した論文であり、参考値として記載する。

(c) 愛媛県全体からの年間ごみ流出量

推計対象	対象人口(人)	対象地域における年間ごみ流出量(t/年)	
		2024年	
地域区分	東予	461,664	69.75
	中予	630,338	117.79
	南予	212,552	155.14
県全体*	1,304,554	342.68	

※瀬戸内海に流入する河川流域をもつ地域以外は推計の対象外とした

9.5 愛媛県全域から瀬戸内海へ流出するプラスチックごみ量の推計結果まとめ

3つの手法により得られたプラスチックごみ流出量の推計結果を表 9-8に示す。マニュアルに記載されているL-Q式を用いた手法で推計したプラスチックごみ流出量は、14～65[t/年]となった。L-Q式による県内全域（瀬戸内海に流入する流域以外も含む県内全域）からの流出量推計結果、およびAPIと単位負荷量を用いた流出量推計結果は、参考値として示す。

L-Q式による年ごとの推計結果の差は流量Qに依存するものであり、流量は図 9-22に示すように年間の雨量に影響されるため、年ごとに推計結果に差が生じるものと考えられる。

表 9-8 3つの手法を用いた愛媛県からのプラスチックごみ流出量

推計手法	プラスチックごみ流出量 (t/年)					
	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
L-Q式(瀬戸内流入エリア)	51.01	65.48	37.87	14.27	23.67	38.44
【参考】L-Q式(県内全域)	51.79	66.64	38.98	14.68	24.55	39.74
【参考】API	26.86	32.15	26.42	29.36	29.53	27.61
【参考】単位負荷量	342.68					

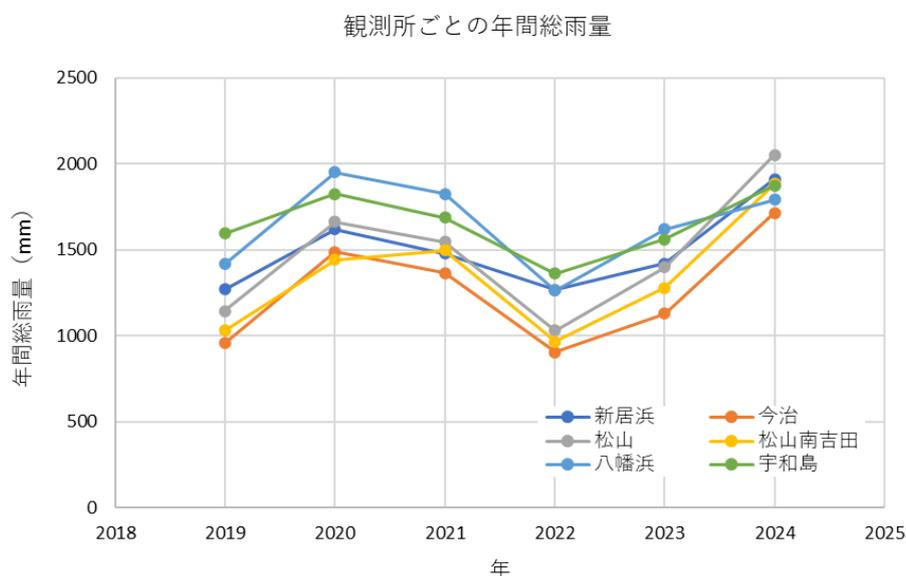


図 9-22 年間ごとの総雨量推移

また、動画の一部を目視で確認した結果、ビニール等が劣化したと思われる種別が判別できないプラスチックごみが確認された。一方で、プラスチックごみの種別が判定できるものとしては、各地点共通してペットボトルや食品トレーのような食品に関する容器包装系のプラスチックごみが確認された。散乱ごみ調査結果でも、ビニールなどが劣化したプラスチックごみに加え、食品に関する容器包装系のプラスチックごみが確認された。

9.6 他事例による陸域から海洋へのプラスチックごみ流出量推計結果および比較

L-Q式による愛媛県から瀬戸内海へのプラスチックごみ流出量推計の妥当性を検証するために、他府県での流出量推計結果との比較を実施した。有識者ヒアリングより、流出量の比較にあたっては、府県全体からの流出量の比較だけでなく、1人あたりの流出量との比較も実施するとよいとの知見を得たため、1人あたりの流出量での比較も実施した。比較結果は表 9-9に示す。また、各流出量推計手法の概要について表 9-10に示す。推計手法は事例ごとに異なるため、結果の比較にあたっては留意が必要である。

これより、人口1人あたりのプラスチックごみ年間流出量で比較した場合、本業務で推計した値はおおむね他事例と同等の値に収まっていると言える。

表 9-9 本業務の流出量推計値と他府県での流出量推計結果との比較

事例	対象地域	対象人口(人)	流出量(t/年)	人口1人あたりの年間流出量(g/人・年)
大阪府 ⁴	大阪府	8,839,532	R3:58.8 t	R3: 6.65 g/人・年
瀬戸内4県 ⁵	広島県 岡山県 愛媛県 香川県	6,861,637 ^{*1}	303 t	44.2 g/人・年
環境省 ⁶	日本	124,516,650 ^{**2}	Min: 94 t Max: 7,125 t	Min: 0.75 g/人・年 Max: 57.2 g/人・年
本業務(L-Q式)	愛媛県	1,304,554	R1:51.01 t R2:65.48 t R3:37.87 t R4:14.27 t R5:23.67 t R6:38.44 t	R1: 39.1 g/人・年 R2: 50.2 g/人・年 R3: 29.0 g/人・年 R4: 10.9 g/人・年 R5: 18.1 g/人・年 R6: 29.5 g/人・年

※1：人口は令和4年時点のデータ。広島県、愛媛県の一部は推計対象エリア外であるが人口が不明のため県全体の人口として集計
 ※2：人口は令和5年時点のデータ。

⁴ 大阪湾に流入するプラスチックごみ量の推計結果について 大阪府ホームページ
<https://www.pref.osaka.lg.jp/o120070/kankyohozen/osaka-wan/gomisuikei.html>

⁵ 瀬戸内4県でのプラスチックごみの陸域からの流入量と海域での発生量および回収量
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaczs/36/2/36_73/_article-char/ja/

⁶ 令和5年度 河川・湖沼におけるプラスチックごみの海洋への流出実態調査等業務 <https://www.env.go.jp/content/000220883.pdf>

表 9-10 本業務の流出量推計方法と他府県での流出量推計方法の比較

事例	調査地点	地域区分	解析元データ	解析方法等	解析結果値	全体推計に必要なデータ	流出量推計方法
大阪府	府内河川10箇所	人口密度に応じて3区分	河川防災カメラ画像	AI および目視による画像解析	降雨日、非降雨日のごみの個数(個)	<ul style="list-style-type: none"> 降雨、非降雨日数 区分ごとの面積 	<ul style="list-style-type: none"> 降雨日および非降雨日のごみ個数をそれぞれの日数で乗じて年間ごみ流出個数を算定 各モデル河川的面積あたり年間ごみ流出量を推計 人口密度別の区分ごとに平均し、各区分の面積を乗じて大阪府からの流出量を推計
瀬戸内4県	4 県の中小河川(総延長1,188km)	なし	河川散乱ごみ調査結果(2020.11-2021.4)	回収したごみの測定	-	-	調査結果を半年ごとの流出量に補正し、流域人口全体からの年間流出量を計算
環境省	<ul style="list-style-type: none"> 排水機場4か所 オイルフェンス1か所 	市街地、市街地以外で区分	<ul style="list-style-type: none"> 排水機場調査結果(除塵機の回収ごみ、水表面動画データ) オイルフェンス調査 	<ul style="list-style-type: none"> 回収したごみの測定 RIADによる画像解析 	単位排水量あたりのプラスチックごみ流出量(kg/m ³)	<ul style="list-style-type: none"> ①降雨による年間流出量(m³) (表面流出+地下浸透量) ※水収支解析より算定 ②日本の面積もしくは人口 	<ul style="list-style-type: none"> ①市街地、市街地以外からのごみ流出量に水収支解析で得られた流出量(m³)を乗じて日本全国を推計 ②調査地点上流域における降雨による年間流出量に単位排水量あたりのプラごみ流出量を乗じ、流域人口もしくは排水面積で除した値を算定し、日本の人口もしくは面積を乗じて日本全国からの流出量を推計
本業務(L-Q式)	愛媛県内6地点	地域に応じて3区分	河川水表面の動画データ	RIADによる画像解析	単位時間あたりプラスチックごみ輸送量(g/s)	<ul style="list-style-type: none"> 河川流量 区分ごとの人口 	<ul style="list-style-type: none"> 降雨による水位上昇が確認された動画データの解析結果からL-Q式を作成し、流量データからプラごみ量を推計 各河川の流域人口1人あたりの年間流出量を推計 地域区分ごとに平均し、各区分の人口を乗じて愛媛県からの流出量を推計

第10章 有識者ヒアリング結果

10.1 有識者ヒアリングの目的

本業務はマニュアルの公開後、対象府県の中で初めての業務であり、調査地点の選定や、調査結果の整理・取りまとめ方法について前例がない。そのため、有識者へヒアリングを行いながら業務を実施した。表 10-1にヒアリング日時およびヒアリング内容を示す。ヒアリング議事録は巻末資料に添付する。

表 10-1 ヒアリング実施日時およびヒアリング内容

年度	回数	実施日時	内容
令和5年度	第1回	2023年12月7日 14:00～14:30	調査地点の選定方法、選定地点における留意点
	第2回	2024年2月21日 15:00～16:00	モニタリング結果、散乱ごみ調査等の中間報告
	第3回	2024年3月19日 13:00～14:00	非出水期におけるプラごみ流出量の結果、次年度の課題等の報告
令和6年度	第1回	2024年6月11日 13:00～13:30	昨年度の課題を踏まえたモニタリング地点の選定
	第2回	2024年12月19日 16:00～17:00	モニタリング状況および解析結果の報告、解析にあたっての留意点
	第3回	2025年3月10日 15:00～16:00	愛媛県から瀬戸内海へのプラスチックごみ流出量推計結果の妥当性について

10.2 令和5年度有識者ヒアリング結果

10.2.1 第1回有識者ヒアリング概要（2023年12月7日）

《調査地点の選定について》

- ・交通量の多いところでは振動により、超音波水位計の値が安定しない可能性があるため、地点選定の際は注意が必要である。

10.2.2 第2回有識者ヒアリング概要（2024年2月21日）

《散乱ごみ調査結果について》

- ・袋詰めごみはRIADでの解析の際の誤差の原因となるので、調査の対象外としてよい。
- ・水表面に浮遊しない金属等の重いごみについては、RIADでの解析の対象とならないため、調査の対象外としてよい。
- ・調査対象範囲の目安については、50個以上、人工系ごみを取得できることが望ましい。

《インターバルカメラによる河川ごみモニタリング結果について》

- ・今回のモニタリング期間中のデータ数では、L-Q式やAPIとの関係性の把握は難しい。長期でのデータ蓄積が必要である。

10.2.3 第3回有識者ヒアリング概要（2024年3月19日）

《インターバルカメラによる河川ごみモニタリング結果について》

- ・松山市（小野川 月見橋）の水位について、変動の要因を調べたほうが良い。場合によっては超音波水位計での測定に適していない地点である可能性がある。

《愛媛県から河川を通じて海洋に流入するプラスチックごみ量の推計について》

- ・結果については、出水のデータ数が少ないため、L-Q式についても、APIについても結果が安定していない。出水期のデータも取得することでバラつきが少なくなると考えられる。
- ・データのバラつきが大きいため、平均値ではなく中央値で結果を整理することが望ましい。
- ・データの蓄積が重要であるため、今後もモニタリングを継続することが望ましい。

10.3 令和6年度有識者ヒアリング結果

10.3.1 第1回有識者ヒアリング概要（2024年6月11日）

《調査地点の選定について》

- ・松山市（小野川 月見橋）の令和5年度モニタリング地点については、水位の変動にバラつきがあるため、堰の影響を受けない精農橋へ地点を変更することが望ましい。
- ・松前町（長尾谷川 外側橋）の令和5年度モニタリング地点については、堰の直上流に位置しており、水理的な挙動が複雑になることが想定されるため、観測地点を変更することが望ましい。
（県担当者との協議の結果、移設の際の設置許可申請および設置作業に課題があったため、地点の移設は行わず、モニタリング地点上流に補助として投げ込み式の水位計を設置することで対応した。）
- ・今治市（竜登川 中竜登橋）については、堰が倒伏した出水時のイベントを対象として解析することが望ましい。

10.3.2 第2回有識者ヒアリング概要（2024年12月19日）

《RIADによる解析について》

- ・新居浜市の雨粒誤判定については、雨粒が通る範囲が決まっているのであれば動画を2分割して解析してみるとよい。
- ・松前町の明るい葉を人工系ごみと誤判定する問題はRIADによる解析では少なからず発生する。複数の色差で解析を行い、人工系ごみの輸送量の変化を見ていくことで補正係数を設定できる可能性がある。
- ・八幡浜市の白波を誤判定する問題は、平滑化処理のフィルタサイズを調整することで影響を軽減できる可能性がある。

《愛媛県から瀬戸内海に流入するごみ量の推計について》

- ・推計手法についてはL-Q式とAPIによる推計を実施すればよい。
- ・推計にあたっては太平洋側に流入する流域を持つエリアは除外して推計してよい。

10.3.3 第3回有識者ヒアリング概要（2025年3月10日）

《八幡浜市のRIAD解析結果の取扱いについて》

- ・RIAD は色差で水表面を流れるごみの判別を行うため、白波やごみの浮き沈みが発生している場合は適切にごみ輸送量を評価することができない。誤差の原因となるため、愛媛県内から瀬戸内海へ流出するプラスチックごみ量を推計する際には用いない方がよい。

《愛媛県から瀬戸内海へのプラスチックごみ流出量推計を用いた推計手法について》

- ・L-Q 式を出水期（6月～10月）、非出水期（11月～5月）に分けて推計を行う必要はない。出水か否かは時期ではなく水位で決まり、非出水期であっても出水期と同等の流量が観測される場合もあるためである。
- ・一定以下の流量の場合はごみ輸送量をゼロとして推計を行っても良い。

《他事例とのごみ流出量の比較について》

- ・ごみ流出量については府県からの総量だけでなく、人口1人あたりでの流出量の値で比較することも可能である。

第11章 調査における課題の整理

11.1 地点選定の課題

11.1.1 堰等の影響について

松山市（小野川 月見橋）では、平常時においても水位が変動する状況が確認され、水位変動はモニタリング地点下流のゴム堰の影響によるものと考えられた。また、今治市（竜登川 中竜登橋）および、松前町（長尾谷川 外側橋）では利水のために堰の運用が行われており、堰の操作が水位測定結果に影響を与えることが確認された。地点選定にあたっては、堰等による取水の影響を受けない地点を選定することが望ましい。

加えて、今治市（竜登川 中竜登橋）では、堰上げの影響を受けない期間の平常時について、周期的に水位が変動することが確認された。これは、モニタリング地点近傍の工場からモニタリング対象河川に排水が流入しているためであると考えられた。地点選定にあたっては、観測水位が降雨以外の影響を受けない地点を選定することが望ましい。

11.1.2 出水時のモニタリング地点の状況について

八幡浜市（千丈川 山越橋）では降雨時に流量が大きくなった場合、河川水の流れに乱れが生じ、白波やごみが浮き沈みしながら流下する状況が確認された。これはモニタリング地点上流に位置する護床工の影響および橋脚の影響により流れに乱れが発生したためであると考えられる。平水時は問題がないと思われる地点であっても、出水時の流れの様子は平水時と異なることが想定される。可能であれば出水時の河川状況を確認したのちに、モニタリング地点を決定することが望ましいが、出水状況を確認したのちにモニタリング地点を決定する場合、モニタリング期間が短くなってしまうことが想定される。そのため、地点選定の際には流れの乱れが発生する要因となる可能性のある河川構造物等がある地点は避けて地点を選定することが望ましい。

11.2 プラスチックごみ流出量推計の課題

11.2.1 モニタリング地点の過去水位および過去流量の予測について

過去のごみ量算定を行う際に必要となる流量は、水位観測所同士の相関解析によりモニタリング地点の過去の水位を推定し、それをH-Q曲線式により流量へ換算することで対応している。この水位観測所同士の相関解析には以下の課題がある。

- 特に流域が異なる水位観測所同士の相関解析では以下の課題がある。
 - 1) 各観測所が存在する流域の雨量分布が異なる
 - 2) 当該流域の流出特性が異なる（ピーク生起時刻が異なる、立ち上がり部のスピードが違う、瀬切れなどが発生するなど）
 - 3) 河道断面の特性が異なることから、その水位変動（挙動）特性が大きくずれるケースが多い
- 観測地点によっては人為的な取水や排水（工場排水、農業用水取水など）の影響を受けることから、その特性の違い（バイアスを含んだ）相関解析となり、相関性が低下しやすい。
- 河道改修や河床部の土砂堆積などが生じた場合、その断面特性が大きく変わることからさらに相関性が下がる可能性がある。

また、今現在は1時間ピッチで水位データの相関解析を行っているが、前述のとおり出水時のピーク生起時刻がずれたり、立ち上がりや洪水の減衰部の波形がずれたりといったバイアスが発生しやすいことから、例えば洪水期間中の流出ボリューム、または日平均水位といった形で、その計算間隔にある程度の幅を持たせること（平滑化すること）も有効であると考えられる。

11.2.2 L-Q式による流出量の推計について

本業務の結果から、プラスチックごみの流出は主に水位の上昇時に発生し、水位停滞時および水位下降時は水位上昇時と同等の流量であってもごみの輸送量が少なくなる傾向が確認された。L-Q式による整理では、解析した動画ごとにごみ輸送量Lと流量Qをプロットして関係性を整理している。そのため、同等の流量であってもごみ輸送量が異なるケースが存在する。

有識者ヒアリングでは、マクロプラスチックごみのようなサイズが大きいものに対して、1秒あたりのごみ輸送量（瞬間値）と流量の関係を見出すことは容易ではないことが示唆された。日平均プラスチック輸送量と日平均流量での比較も有効と考えられたが、画像による解析が可能であるのは日中のデータのみであり、夜間から発生した出水イベントの場合、水位上昇時を含む形での日データの整理を行うことができないことが懸念として挙げられる。

L-Q式の作成にあたっては、流量の偏りがないようにプラスチックごみ輸送量のデータを取得することで地点ごとのプラスチックごみ輸送量の傾向をとらえることができ

ると考えられる。例えば、小さな出水データのみでL-Q式を作成した場合、調査地点で発生する大きな出水データを考慮せずにL-Q式を作成することとなり、本来の流量とプラスチックごみ輸送量の関係を反映しきれない可能性がある。そのため調査にあたっては、過去の水位データも参考に大きな出水から小さな出水までデータを取得することが必要である。有識者ヒアリングにて、出水期と非出水期でプラスチックごみの流出を区分するのではなく、出水の規模でごみの流出を区分すべきとの意見もあったことから、モニタリング期間の設定については出水期、非出水期にとらわれず、調査地点で観測される可能性のある流量（水位）が偏りなく取得できているかといった点を踏まえて期間を設定する必要があると考えられる。

また、将来的に日平均値での整理を実施する場合は、プラスチックごみの流出が発生するタイミング（水位の上昇時）が、動画の解析が可能である日中に収まっている必要がある。したがって、取得イベント数の設定にあたっては、水位上昇時を含むイベントが何イベント以上取得できていればよいかといった点も考慮して決める必要があると考えられる。

以上を踏まえ、L-Q式の作成方法について知見を蓄積し、より有意な関係性を見出すことができるようにすることが、推計の精度向上にも有効であると考えられる。

11.3 調査の課題と対応策

前節までの内容を踏まえて、表 11-1に調査の課題と課題に対する対応策を示す。

表 11-1 調査の課題と想定される対応策

分類	課題	対応
モニタリング地点の選定	<ul style="list-style-type: none"> ・降雨以外の要因による水位変動（人為的な水位変動）が確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> ・できる限り堰等の取水や排水流入等の影響を受けない地点を選定する。 ・モニタリング地点近傍に水位観測所がある場合は、過去のデータを確認して地点を選定する。
	<ul style="list-style-type: none"> ・河川構造物等の有無により出水時の流れに乱れが確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> ・河川構造物（護床工や橋脚）がない地点を選定する。 ・可能であれば出水時の河川状況を確認したのちにモニタリング地点を決定する。（ただし、モニタリング期間が短くなる可能性あり）
流出量推計	<ul style="list-style-type: none"> ・流域ごとに雨量分布や流出特性（ピーク生起時刻、立ち上がり速度、瀬切れなど）が異なる。 ・河道断面特性の変化（河道改修や土砂堆積）および河道断面特性の違いにより水位変動特性がずれる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング地点を既存の水位観測所（危機管理型水位計は除く）近傍に設定する。
	<ul style="list-style-type: none"> ・水位データ相関解析における、出水時のピーク生起時刻や波形のずれによるバイアスが発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・洪水期間中の流出ボリューム、または日平均水位といった形で、計算間隔にある程度の幅を持たせる（平滑化する）。
	<ul style="list-style-type: none"> ・同等の流量であってもごみ輸送量が異なるケースが存在するため、1秒あたりのごみ輸送量（瞬間値）と流量の関係を見出すことは容易ではない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・L-Q式の作成方法について知見を蓄積し、より有意な関係性を見出すことができるようにする。