固定カメラを活用した河川流下ごみ調査の実証試験結果

1　実証試験の目的

本実証試験の目的は、以下表 1 の観点から本ガイドライン・附属書セクション I. 1 及びセクション II の実用性を確保することである。

実証試験に当たっては、表 1 のポイントに留意する。

表 1　実用性確保のポイント

要素	検証方法
具体性	固定カメラによるごみ調査方法を開発し、または調査未経験者が専門家監修の下で当該調査を実施することにより、ガイドラインに記載すべき事項を整理する。
汎用性	特別な技術、機材や人材を有しなくても国内外の様々な環境で実施可能であることがわかるよう、調査・解析方法は高度な手法だけでなく手動検出方法も整理する。河川流量についても、既存データがなくても現地の簡易測量による推計方法を整理する。
代表性	固定カメラ（河川）については撮影時間及び撮影頻度や撮影範囲が限定的であるため、時空間的な観点から複数の撮影方法（例：1 分間 60 分間隔、1 分間 10 分間隔、1 m 幅、2 m 幅等）を実施し、代表性を検証することで、年間の河川からの流下量推計値の妥当性を示す。
先進性	従来の人の目による目視調査手法と、固定カメラ及び AI による調査の所要時間やごみ定量化の正確性を比較し、既存調査の課題である効率性、正確性、再現性を解決できるものであるかを検証する。正確性は擬似ごみ等を用いた実測値と比較・検証する。

2　実証試験の概要

実証試験の概要は表 2 のとおりである。

表 2　実証試験の概要

項目	概要
調査時期・頻度	河川固定カメラ設置：2024 年 6 月 13 日~2024 年 9 月 25 日 河川固定カメラによる測定：2024 年 6 月 13 日~2024 年 9 月 25 日 撮影設定：毎日 10:00~16:00 1 時間に 1 回、1 分間撮影（平水時） 10 分に 1 回、1 分間撮影（出水時） 目視調査：2024 年 6 月 26 日（平水時）、6 月 28 日（出水時） 擬似ごみ流下試験：2024 年 7 月 18 日
調査地点	愛媛県松山市石手川（一級河川重信川水系の支流） 愛媛県松山市市坪西町石手川水管橋
調査範囲	石手川水管橋及び周辺河川敷
河川概要	幹川流路延長：36km 流域面積：445km^2 流域内人口：約 244,000 人（人口密度：約 550 人/ km^2） 土地利用：森林、その他(荒地等)が約 7 割、市街地が 1 割、田畑等が約 2 割
調査方法 (詳細は別添 C 参照)	河川流下ごみの量及び種類について、以下の 4 つの方法により調査・解析を行う。 I　河川固定カメラ調査 & AI 解析 II　河川固定カメラ調査 & 画像目視解析 III　河川目視調査 IV　擬似ごみ流下試験 備考： 1　河川固定カメラ調査（I, II）における撮影時期、調査地点の選定、撮影機器の設置方法、年間流下量への拡大推計については日本国内の調査マニュアルや先行事例（吉田、片岡、二瓶ほか（2021））の手法をもとに実施した。なお、河川固定カメラ調査には既存の固定カメラ（防災用カメラ）を用いた先行事例（令和４年度 大阪府）もあるが、本実証試験では具体性や汎用性の観点から、新規固定カメラの設置を含めた調査を実施した。 2　河川目視調査（III）の目視観察手法は先行事例（Emmerik et al.（2018））の手法をもとに実施した。 3　AI を用いたごみの検出（I）や定量化の方法（I, II）については、片岡准教授の開発中の手法等により実施した。 4　画像目視解析（II）のごみの検出や面積集計は特別な技術、機材や人材を有しなくても実施可能であるかを検証するため、手動検出で実施した。
調査対象	- I について、観測動画をもととした測定範囲における流下ごみ種別流下量（面積またはオブジェクト数）の算出 - I について、異なる推計手法による拡大推計手法、解析頻度の比較検討 - II について、画像目視解析により面積・重量の算出と、I の手法との観測精度の比較 - III について、観察結果をもとにオブジェクト数の算出と、I の手法との観測精度の比較 - IV について、擬似ごみ（真値とする）と各手法（I~III）の観測結果との比較による観測精度の評価 - I~III の各手法の作業時間を整理
調査実施者	日本エヌ・ユー・エス株式会社、八千代エンジニヤリング株式会社

画像処理・解析者	片岡研究室
結果の整理方法	- 擬似ごみ流下試験による河川固定カメラ調査の人為的誤差の確認 - 河川固定カメラ調査と河川目視調査の人為的誤差の確認 - 河川固定カメラ調査の解析頻度、拡大推計手法の検討 - 河川固定カメラ調査と河川目視調査の作業時間の比較

図 1　調査地点の位置図（愛媛県松山市）

（国土地理院地図より作成）

図 2　川面及び下流側の様子（平水時）

図 3　川面及び下流側の様子（出水時：増水期）

図 4　川面及び下流側の様子（出水時：減水期）

3　実証試験の結果

3.1　　調査結果の整理

3.1.1　擬似ごみ流下試験による河川固定カメラ調査の人為的誤差の確認

本実証試験で実施した 3 つの解析手法（「河川固定カメラ調査&AI 解析」、「河川固定カメラ調査&画像目視解析」及び「河川目視調査」）について、それぞれの調査手法による正確性を検証するため、異なる擬似ごみ流下量条件下における擬似ごみ（大・中・小）の個数フラックス（個/m/min）及び重量フラックス（g/m/min）を測定した。重量フラックスについては、AI 解析（または画像目視解析）で得られた流下ごみ面積に、片岡研究室提供の品目別の単位面積当たり重量を用いて推計した。画像目視解析については、手動による高度な解析技術や専門人材を有さない地域への適用性を検証する目的で、Windows の標準ソフト（Excel、ペイント等）を使用し、観測動画から手動で個数及び面積の集計を行った（別添 C 参照）。

表 3 に得られた個数フラックスを、表 4 に得られた重量フラックスを示した。個数フラックス及び重量フラックスにおいて、河川固定カメラを用いた調査（AI 解析及び画像目視解析）と河川目視調査の結果には、擬似ごみの量に応じたデータの一致が確認された。このことから、固定カメラを用いた 2 種類の調査（「河川固定カメラ調査&AI 解析」及び「河川固定カメラ調査&画像目視解析」）は、河川目視調査に代わりうる有効な方法であることが示唆された。

また、各調査手法の正確性について、各手法の絶対誤差をもとに検出精度を比較した。計 6 回分全ての擬似ごみデータを用いて算出した各フラックスの真値（Ground Truth）との平均絶対誤差（MAE）の結果を表 5 に示す。

個数フラックスについては、「河川目視調査」が最も誤差が小さく、「河川固定カメラ調査&画像目視解析」でも同様の結果が得られた。一方で、「河川固定カメラ調査&AI 解析」は最も誤差が大きい結果となった。今回の調査結果に影響を与えた要因として、まず河川使用上の条件が挙げられる。具体的には、①調査員が安全な河川環境（晴天時の平水状態）で調査を行う必要があったこと、②流下させた擬似ごみを必ず回収しなければならないという条件が課されていた点である。本試験はこれらの条件のもとで、河川流速は 0.68 m/s（一般的な健常成人群歩行速度の約半分程度）、投下時間当たりの擬似ごみ数は 16 個/分と設定され、この条件は人力で流下ごみを検出する 2 つの解析方法に対応可能な範囲であったと考えられる。また、調査当日の環境状況は晴れ（雲量 6）であり、擬似ごみに加えて周辺の植生も人為的に流していた。そのため、川面の反射光や流下した植生が、AI によって擬似ごみとして誤検出された可能性がある。

重量フラックスについては、AI 解析が画像目視解析に比べ、設定された真値（Ground Truth）に近い結果を示した。この結果は、AI 解析は取得画像について高解像度でのピクセル算出が可能であり、安定的かつ精密に面積を認識できる点で、その優位性を発揮したと考えられる。一方で、画像目視解析については面積検出における人的限界（例：目視の解像度の限界、主観的な判断のばらつきなど）が影響を及ぼしたものと考えられる。これにより、手動による高度な解析技術や専門人材を有さない地域における画像目視解析の適用には課題があることが示唆された。

表 3　擬似ごみ流下試験時における個数フラックス（個/m/min）

対象物	Ground Truth	河川固定カメラ調査&AI 解析	河川固定カメラ調査&画像目視解析	河川目視調査
擬似ごみ（大）1 回目	1.56	3.27	1.56	1.48
擬似ごみ（大）2 回目	1.34	3.61	1.34	1.45
擬似ごみ（中）1 回目	0.83	1.76	0.83	0.85
擬似ごみ（中）2 回目	0.72	1.60	0.72	0.85
擬似ごみ（小）1 回目	0.51	1.19	0.51	0.52
擬似ごみ（小）2 回目	0.43	0.68	0.43	0.51

備考：

1　各フラックスについては、小数点第三位を四捨五入

2　これらの解析結果には偽陰性や偽陽性に起因する不確実性が含まれる。

表 4　擬似ごみ流下試験時における重量フラックス（g/m/min）

対象物	Ground Truth	河川固定カメラ調査&AI 解析	河川固定カメラ調査&画像目視解析	河川目視調査
擬似ごみ（大）1 回目	24.70	25.26	12.34	-
擬似ごみ（大）2 回目	25.51	30.55	6.67	-
擬似ごみ（中）1 回目	17.91	14.43	3.90	-
擬似ごみ（中）2 回目	16.83	15.64	2.98	-
擬似ごみ（小）1 回目	10.17	13.47	3.36	-
擬似ごみ（小）2 回目	10.43	6.29	1.43	-

備考：

1　画像目視解析結果については、Windows の標準ソフトを使用し、観測動画から手動で面積を集計した結果である。

2　各フラックスについては、小数点第三位を四捨五入

3　これらの解析結果には偽陰性や偽陽性に起因する不確実性が含まれる。

4　河川目視調査では、流下ごみの面積の記録が困難であることから、重量フラックスの算出は行っていない。

表 5　各調査手法の平均絶対誤差（個数フラックス・重量フラックス）

平均絶対誤差	河川固定カメラ調査&AI 解析	河川固定カメラ調査&画像目視解析	河川目視調査
個数フラックス（個/m/min）	1.12	0	0.07
重量フラックス（g/m/min）	2.95	12.48	-

備考：

1　平均絶対誤差（MAE）は、以下の式に基づき算出した。

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| 測定値_i - 真値_i \right|}{n}$$

ここで、

- n=データポイント数
- 測定値 i：各調査手法による解析結果
- 真値 i：Ground Truth（設定フラックス）

2　各数値については、小数点第三位を四捨五入

3.1.2　河川固定カメラ調査の AI 検出/目視集計結果の比較

(1) 河川固定カメラ調査と目視調査の人為的誤差の確認

河川固定カメラによる AI 解析、画像目視解析、河川目視調査の 3 手法を用いた観測結果をもとに、観測日一日当たりの平均個数フラックス及び平均重量フラックスを測定した。比較は目視調査を実施した出水時（6 月 28 日 9:30~11:30 及び 12:30~15:30）と平水時（6 月 26 日 10:00~16:00）の観測結果をもとに行った。測定方法は 3.1.1 と同様の手順で実施した。

各手法による河川表層ごみ流下量（個数及び重量）の推計結果を表 6 及び表 7 に示す。

個数フラックスについて、平水時では各手法の結果がほぼ同程度であったが、出水時には大きく異なる数値が得られた。この結果は、大規模出水に伴い、川面状況が乱れたことや流速の増加が影響したと考えられる。具体的には、出水時に流木などの自然物の増加、川面の乱れや気泡の発生が目視調査で確認されており、これらが各手法において誤検出を引き起こした可能性がある。例えば、AI 解析では気泡を誤って流下ごみと検出した可能性があり（擬陽性）、一方で人力による解析では、流下ごみを気泡と判断して見逃した可能性も考えられる（擬陰性）。このような川面の状況変化と観測手法の特性の違いが、誤検出に起因する不確実性をもたらし、手法間での数値の差を生じさせた要因と考えられる。

重量フラックスについては固定カメラでは AI 解析と画像目視解析の結果で 2 桁以上の差が確認された。この差については誤検出による差や、3.1.1 と同様の面積検出における人的限界（例：目視の解像度の限界、主観的な判断のばらつきなど）が影響を及ぼしたものと考えられる。

表 6　固定カメラ調査及び河川目視調査における平均個数フラックス（個/m/min）

出水規模	河川固定カメラ調査＆AI 解析	河川固定カメラ調査＆画像目視解析	河川目視調査
出水時	4.22	0.14	0.25
平水時	0.04	0.02	0.01

備考：

1　各フラックスについては、小数点第三位を四捨五入

2　これらの解析結果には偽陰性や偽陽性に起因する不確実性が含まれる。

表 7　固定カメラ調査及び河川目視調査における平均重量フラックス（g/m/min）

出水規模	河川固定カメラ調査＆AI 解析	河川固定カメラ調査＆画像目視解析	河川目視調査
出水時	7.21	0.06	-
平水時	0.26	0.01	-

備考：

1　画像目視解析結果については、Windows の標準ソフトを使用し、観測動画から手動で面積を集計した結果である。

2　各フラックスについては、小数点第三位を四捨五入

3　これらの解析結果には偽陰性や偽陽性に起因する不確実性が含まれる。

4　河川目視調査では、流れる流下ごみの面積の記録が困難であることから、重量フラックスの算出は行っていない。

3.1.3　河川固定カメラ調査の拡大推計手法、解析頻度の検討

(1) 観測結果を用いた年間流下量の推計手法の検討

河川流下表層ごみの年間流下量の推計手法の検討するため、以下の関係式を作成した。

- 河川流量と重量フラックスの関係式（L-Q 曲線）
- 先行降雨指標 API（Antecedent Precipitation index）と重量フラックスの関係式

重量フラックスの算出には、「河川固定カメラ調査&AI 解析」の解析結果を使用した。出水時の動画データの選定基準は、実証地点の上流に位置する湯渡観測所における実証試験期間中の観測データに基づいており、日中（9:00~16:00）の時間帯に水位が 3 m 以上に上昇した日（通常時は平均 2.7 m）を対象とした。また、平水時の動画データは湯渡観測所において、水位が安定していた期間の動画データを対象とした。解析に用いた動画データの撮影日は表 8 のとおりである。なお、本検討では、出水時・平水時それぞれの関係式において十分なデータ数が確保できず、強い相関を得ることができなかった。そのため、出水時・平水時を区分せずに関係式を作成した。

表 8　解析に用いた固定カメラ撮影動画

調査・解析手法	出水時	平水時
河川固定カメラ調査&AI 解析	2024 年 6 月 18 日 2024 年 6 月 21 日 2024 年 6 月 28 日 2024 年 8 月 28 日	2024 年 6 月 19 日 2024 年 6 月 23 日-27 日 2024 年 7 月 6 日 2024 年 7 月 9 日-13 日 2024 年 8 月 13 日-18 日 2024 年 9 月 1 日-6 日

河川流量については、河川流量と水位の関係式（H-Q 曲線）をもとに解析動画撮影時の水位より河川流量を推定した。H-Q 曲線は現地作業で取得した河川横断面積データ（平水時 1 日分）及び流速と水位のデータ（平水時 4 日分）をもとに作成した。得られた HQ 式を図 5 に示す。

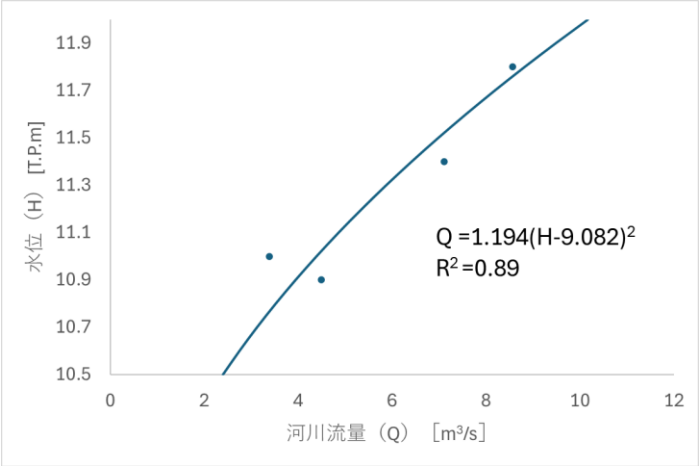


図 5　河川流量と水位の関係式（H-Q 曲線）

API は吉田らの先行事例（2021）[1]をもとに次式で整理した。

$$API = \sum_{i=1}^{i=N} b_i P_i$$

ここで *Pi* は i 日前までの日雨量、*bi* は係数（＝K^i、K：減水係数）、N 日前までの雨量影響を考慮している。本検討では、減衰係数は 0.9 とし、気象庁公表の松山市日降雨量

[1] 吉田拓司,藤山 朋樹, 片岡 智哉, 緒方 陸, 二瓶 泰雄. (2021). 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系ごみ輸送特性の比較. 土木学会論文集 B1（水工学）, 77(2), I_1003-I_1008.

（2024/1/1~2024/12/31）をもとに、対象日数（N）を 7 日間、15 日間、30 日間のいずれかに分けて算出した（以降、各 API を API07、API15 及び API30 とする）。

各観測日における河川流量、重量フラックス及び各 API を表 9 に示す。また、河川流量と重量フラックスの関係式を図 6 に、API（Antecedent Precipitation index）と重量フラックスの関係式を図 7 に示す。決定係数 R^2 の最大値は河川流量と重量フラックスの関係式における 0.809 であった。

なお、相関関係については、河川流量と重量フラックスの関係式において、先行事例（環境省等）と同様に正の相関が確認された。一方、API と重量フラックスの関係については、出水時の人工系ごみ濃度のみを対象とした先行事例（吉田ら、2021）では負の相関が報告されているが、本調査の結果はそれとは異なる傾向を示した。この違いは、本研究においては観測データ数の関係から、出水時と平水時を統合し、関係式を整理したことに起因すると考えられる。

表 9　各観測日における平均流量、各 API 及び平均重量フラックス

観測日	平均流量［m3/s］	API07［mm］	API15［mm］	API30［mm］	平均重量フラックス［kg/day］
6 月 18 日	8.0	82.1	95.3	113.8	208.5
6 月 19 日	4.4	73.8	85.8	102.4	12.7
6 月 21 日	7.6	109.7	119.4	132.8	49.8
6 月 23 日	6.4	161.0	168.1	179.8	29.0
6 月 24 日	7.8	140.4	144.9	161.8	13.2
6 月 25 日	5.9	91.2	130.4	145.6	4.0
6 月 26 日	5.2	82.6	117.9	129.9	9.1
6 月 27 日	5.4	102.3	134.6	139.9	0.8
6 月 28 日	12.3	121.2	173.6	178.4	269.4
7 月 6 日	5.1	59.3	119.6	144.2	32.1
7 月 9 日	4.5	0.0	73.8	103.7	40.5
7 月 10 日	4.5	9.0	75.4	102.3	14.5
7 月 11 日	11.9	142.1	201.8	226.1	177.6
7 月 12 日	12.9	197.9	245.7	273.5	308.3
7 月 13 日	7.4	181.6	213.9	249.6	44.5
8 月 13 日	3.6	0.0	0.0	4.1	7.8
8 月 14 日	3.6	0.0	0.0	2.7	3.3
8 月 15 日	3.6	0.0	0.0	2.3	24.7
8 月 16 日	3.5	0.0	0.0	2.1	4.2
8 月 17 日	3.4	0.0	0.0	1.9	2.5
8 月 18 日	3.5	0.0	0.0	1.7	10.3
8 月 28 日	5.6	19.8	32.6	32.6	69.6
9 月 1 日	4.4	115.1	123.5	123.5	12.7
9 月 2 日	4.2	103.1	111.1	111.1	10.6
9 月 3 日	4.2	92.8	93.2	100.0	10.4
9 月 4 日	3.9	74.4	83.9	90.0	93.2
9 月 5 日	3.8	42.1	75.5	81.0	6.7
9 月 6 日	3.7	1.1	68.0	72.9	3.1

備考：

1　平均流量［m^3/s］は、事前に作成した HQ 式（水位と流量の関係式）に基づき、観測時の水位［m］を適用して観測日ごとの平均値を算出した。

2　1 日当たりの重量フラックス［kg/day］は、片岡研究室の AI 解析結果［g/m/min］に観測時の河川幅［m］を掛けて観測日ごとの平均重量フラックス［g/min］を算出し、その後、換算係数（g/min⇒kg/day；x 60 x 24÷1000）を適用して求めた。

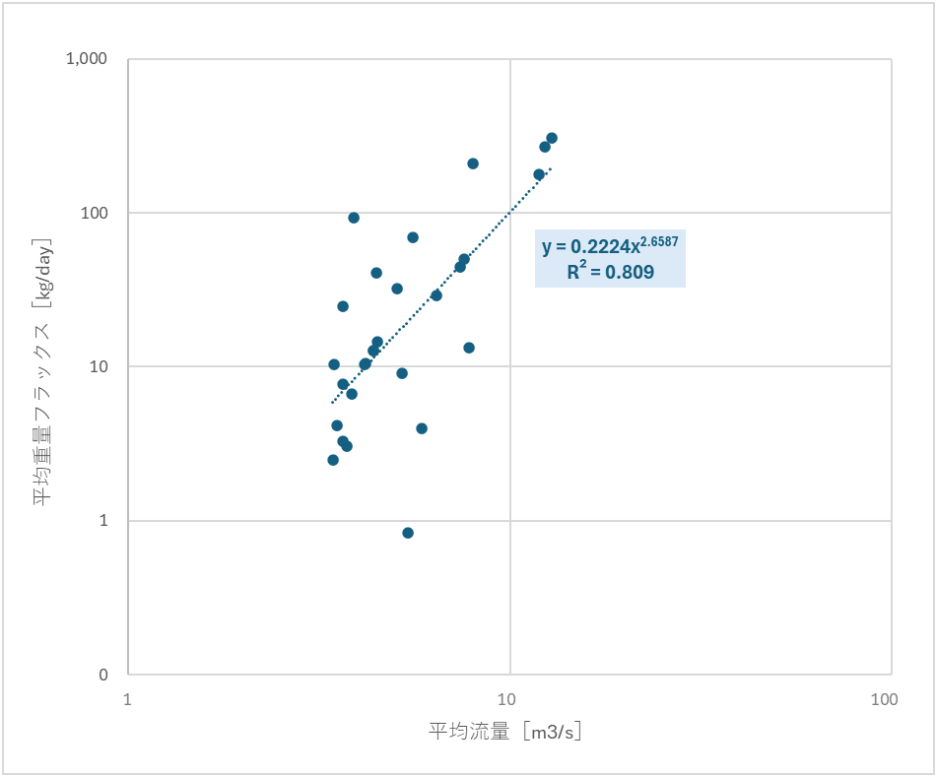


図 6　河川流量と重量フラックスの関係式

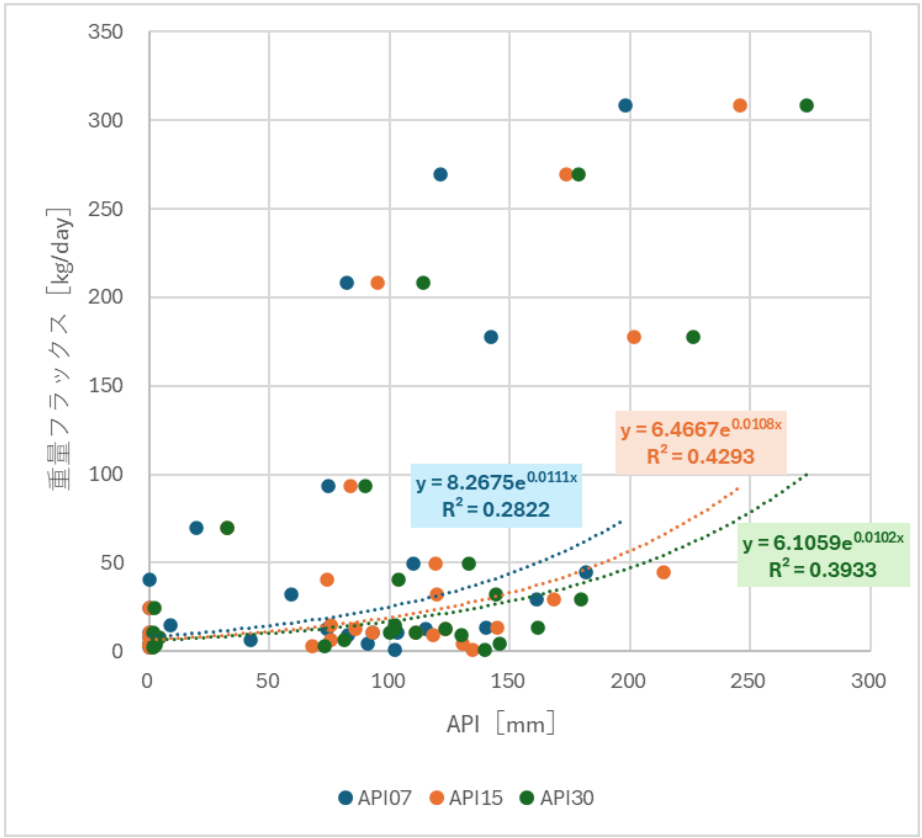


図 7　API と重量フラックスの関係式

得られた４つの関係式を用いて固定カメラによる人工系ごみの年間流下量の推計を行った。解析データのある期間は解析値を用い、非解析期間については実証試験地の水位情報に基づく河川流量、または松山市日降雨量に基づく API を適用して求めた。

推計方法ごとの年間流下量推計値を表 10 に示す。得られた年間流下量は最も決定係数 R^2 の高かった河川流量基準で 4.7 t/年であった。一方、API を用いた推計では、API07 基準で 5.6 t/年、API15 基準で 5.4 t/年、API30 基準で 5.4 t/年と、河川流量基準よりも高い推計値を示した。

これらの結果から、年間流下量の推計においては、本調査結果では河川流量基準が最も決定係数が高く、信頼性が高いと考えられる。一方で、関係性の精度向上には更なるデータの蓄積（特に出水時の観測データ）や解析手法の検討が必要であり、これにより、より精度の高い評価が可能になると考えられる。

表 10　推計方法ごとの年間流下量推計値

期間区分	推計結果（t）			
	河川流量基準	API07 基準	API15 基準	API30 基準
解析期間	1.5	1.5	1.5	1.5
非解析期間	3.2	4.2	3.9	3.9
合計	4.7	5.6	5.4	5.4

備考：

1　非解析期間については実証試験地の水位情報に基づく河川流量、または松山市日降雨量に基づく API を適用して求めた。

2　推計結果については、小数点第二位を四捨五入

(2) 観測幅から河川全体への拡大推計方法の検討

拡大推計手法の検討のため、6 月 26 日 10:00-16:00（平水時）撮影結果について、AI 解析を用いて得られた観測範囲内の河川表層ごみ流下数（個）をもとに、河道全体の流下量を推定するため以下の 3 種類の方法を用いて推計を行った。

- 河川幅による引き延ばし（河川幅基準）
- 河川流速を用いた引き延ばし（流速基準）
- 河川流量を用いた引き延ばし（流量基準）

固定カメラ非観測区間の流下量は、当日測定した河川全体の河川測定データ（流速と水深）をもとに補正を実施した。なお、推計には出水時には可搬式流速計を用いた上記データの測定が困難であったため、出水時の検討は実施していない。また、各推計値の検証のため、同時刻に実施した河川目視調査結果を基とした推計値と比較した。

6 月 26 日の河川測定データを表 11 に示す、また、各手法による推計結果を

表 **12** に示す。補正後の流下量は、河川幅基準が最も高く、流速基準が最も低い結果となった。この差異は、観測区間と非観測区間の流速及び水深の違いによるものと考えられる。特に、6 月 26 日の測定時には、非観測区間の平均流速及び水深が観測区間よりも大きく、推計された流量も非観測区間の方が高い値を示した。

また、河川幅基準及び流量基準による推計値は、河川目視調査に基づく推計流下数とほぼ一致する結果となり、これらの手法が有効であることが示唆された。一方で、流速基準は低い値を示し、この手法の適用条件や非観測区間における補正の精度が課題として残る。

河川幅基準は最も簡便な手法であり、実務において有効な選択肢となるが、河川の流速や流量を反映していない可能性がある点が課題となる。このため、固定カメラ調査では、撮影地点における全体的な流速及び水深の分布を十分に把握し、観測範囲を適切に設定することが重要である。特に、観測区間と非観測区間の条件が大きく異なる場合、補正値に過大または過小の偏りが生じる可能性があるため、慎重な検討が求められる。

表 11　観測区間及び非観測区間の環境観測データ

観測区間	横断幅 (m)	平均流速 (m/s)	合計流量 (m^3/s)
固定カメラ観測範囲	9	0.26	2.05
非観測範囲	17	0.35	5.87

備考：

1　平均流速は、1 m 間隔で測定した各ポイントの流速の平均値として算出した。
2　合計流量は、1 m 間隔で測定した各ポイントの流速と水深を掛け合わせた値の総和として算出した。
3　平均流速及び合計流量は小数点第三位を四捨五入

表 12　拡大推計手法ごとの推計結果（平水時）

観測区間	解析結果（個）	補正後流下量（個）			目視調査流下数（個）
		河川幅基準	流速基準	流量基準	
固定カメラ観測範囲	19.4	19.4	19.4	19.4	-
非観測範囲	-	56.1	25.5	55.7	-
合計	-	75.6	45.0	75.2	80

備考：

1　非観測範囲の推計流下量は、固定カメラ観測範囲の測定結果（河川幅、平均流速または総流量）を観測範囲と非観測範囲の割合から算出した。
2　平均流速、合計流量及び河川表層流下ごみ流下量は小数点第二位を四捨五入
3　固定カメラ調査による解析結果は 6 月 26 日 10:00~16:00（平水時）撮影結果について、60 分に 1 分間の撮影動画を基とした推計結果である。
4　目視調査流下数（個）は 6 月 26 日 10:00~16:00（平水時）において、10 分に 1 分間の目視記録を基とした推計結果である。

(3) 撮影間隔（解析頻度）の検討

撮影間隔の代表性の検討のため、出水時データ（6 月 28 日 9:00-16:00）を用いて、異なる解析頻度ごとの河川表層ごみ流下量推計値を算出した。また、平均重量フラックス及びその標準偏差も併せて計算した。

解析頻度ごとの解析結果を表 13 に示す。解析頻度の低下に伴う、河川表層ごみ流下量及び平均重量フラックスの値に変動が見られた。また、頻度が低下するほど平均フラックスの標準偏差が増加する傾向が見られた。

これらの結果から、AI 解析において解析頻度が推定精度に影響を与えることが明らかとなった。中頻度（30 分間隔）及び低頻度（60 分間隔）のデータは、高頻度（10 分間隔）のデータと比較して、大まかな流下量の推定には一定の精度を有するものの、短時間の変動やピークイベントの検出には適さない可能性が示唆された。

表 13　解析頻度ごとの解析結果（出水時）

解析頻度	河川表層流下ごみ 流下量（kg）	重量フラックス(g/m/min)
高頻度（10 分に 1 度、1 分間）	106.3	6.55±0.65
中頻度（30 分に 1 度、1 分間）	110.3	6.91±1.02
低頻度（60 分に 1 度、1 分間）	100.3	6.34±1.09

備考：

1　河川表層ごみ流下量（kg）は、AI 解析による重量フラックス（g/m/min）に観測時間（高頻度：10 分、中頻度：30 分、低頻度：60 分）及び当日の河川幅（実測値）を乗じて算出した。

2　河川表層ごみ流下量については、小数点第二位を四捨五入

3　重量フラックスについては、小数点第三位を四捨五入

3.1.4　河川固定カメラ調査の AI 検出/目視集計結果の作業時間の比較

異なる調査手法における作業効率を評価するため、データ入手から解析完了までの所要時間を比較した。固定カメラ調査と目視調査では調査一回当たりの調査期間が異なることから、データ入手の時間は一日分のデータ取得にかかる時間を基準として比較を行った。また、解析時間については比較基準を一律とするため、目視調査を実施した出水時（6 月 28 日 9:30~11:30 及び 12:30~15:30、撮影（観察）間隔は 10 分に 1 度、総観察時間は 32 分）の解析時間をもとに所要時間を比較した。

調査手法ごとの測定項目と一日当たりのデータ取得・解析に必要な時間及び表 14 を示す。固定カメラを用いた調査（I、II）は河川目視調査（III）に比べ、データ取得から処理まで、1 日当たりの作業時間を大きく抑えられることが確認された。特に AI 解析（I）では、データの処理・解析の自動化が可能であるため、人的負担の大幅な削減が期待できると考えられる。一方、「河川目視調査（III）」では、1 日当たり 17.7 時間と多くの時間を要し、その大半がデータ取得（現地に赴いての河川の観察）に費やされていることから、作業負担が極めて大きいことが示唆された。さらに、本手法では取得可能なデータが個数データに限定される点も課題であると考えられる。これらの結果から、固定カメラ調査及び AI を活用した自動解析技術の導入により、作業効率を大幅に向上させるとともに、人的負担の削減が可能であることが明らかになった。

表 15 に 1 日当たりのデータ入手に要した時間の詳細を表 15 に示す。また、表 16 に出水時（6 月 28 日）データの処理・解析に要した時間の詳細を示す。

表 14　一日当たりのデータ取得・処理・解析に要した時間

調査方法		測定項目			1 日当たりのデータ取得・処理・解析に要する作業時間（時間）		
		個数	面積	重量	データ入手	データ処理・解析	合計
I	固定カメラ& AI 解析				0.6	1.1	1.7
II	固定カメラ&画像目視解析				0.6	6.0	6.6
III	河川目視調査				17	0.7	17.7

備考：

1　1 日当たりのデータ取得・処理・解析に要する作業時間の詳細は表 15 に表 16 に記載の通りである。

表 15　一日当たりのデータ取得に要した時間の詳細

調査方法		調査日数	データ入手（時間）			合計作業時間（時間）	データ一日当たりの作業時間（時間）
			準備・機材設置	入手	機材回収		
I	固定カメラ & AI 解析	105	7.5（3 人）	30（1 人）	7.5（2 人）	67.5	0.64
II	固定カメラ &画像目視解析						
III	目視調査	1	2（1 人）	7.5（2 人）	0	17	17

備考：

1　固定カメラ調査&AI 解析（I）には AI のモデル開発・教師データ作成に係る時間は含めない。

2　固定カメラ調査（I、II）には月に 1 度の定期的なカメラメンテナンス及び取得データ整理の作業を含めている（7.5 時間 x 4 回）。

3　固定カメラ調査（I、II）におけるデータ一日当たりの作業時間は、合計作業時間を本実証試験の固定カメラ観測日数（105 日）をもとに算出した。

4　固定カメラ調査（I、II）及び目視調査（III）について、資材調達、部品加工、機材の設定等に要した時間及び調査地点への移動に要する時間は計測対象に含めないものとする。

5　目視調査（III）については固定カメラ調査（I、II）観測幅と同範囲を観測するのに必要な調査員数をもとに記載している。

表 16　出水時データ（6 月 28 日）の処理・解析に要した時間の詳細

調査方法		データ処理・解析に係る時間		合計作業時間（時間）
		処理	検出・分類・定量	
I	固定カメラ& AI 解析（自動）		1.1	1.1
II	固定カメラ& 画像目視解析（人力）	0.9	5.1	6.0
III	目視調査（人力）	0	0.6	0.6

備考：

1　固定カメラ&調査（I、II）は個数フラックスと重量フラックスが入手可能であり、目視調査は個数フラックスのみが取得できる。

2　固定カメラ& AI 解析（I）は人間の作業時間ではなく、機械（自動）の解析時間を記載している。なお、解析に使用した計算環境は以下の通りである。

- CPU: Intel(R)Xeon(R)Gold5318Y(24Core-2.1GHz) x2
- Memory: 128GB(DDR-2933)
- GPU: NVIDIA GeForce RTX 3090 x 2
- Nvidia Driver: 510.73.05
- OS: Ubuntu 20.04

3　固定カメラ&AI 解析（I）の時間は、1 動画データの解析時間（1 分の動画当たり約 2 分）をもとに算出した数値である。

4　固定カメラ&画像目視解析（II）のうち、処理に要する時間は、撮影動画の確認時間（1 分の動画 x 32 本分）と流下ごみ画像作成にかかった時間（1 つのごみ画像当たり 0.5 分）を合計したものである。なお、6 月 28 日には 43 個のごみが確認された。

5　固定カメラ&画像目視解析（II）のうち、検出・分類・定量に要する時間は、データ集計時間（30 分）に 43 枚の流下ごみ画像の解析時間（1 画像当たり 7 分：調査員 2 名の平均値）をもとに算出した数値である。

6　固定カメラ&画像目視解析（II）のうち、検出・分類・定量に要する時間は、流下ごみの個数に依存する。

7　目視調査（III）のうち、処理に要する時間は、河川観測時の音声記録の確認時間（1 分 x 32 回分）と集計作業時間（5 分）の合計値である。

4 結論

本実証試験では、「I.河川固定カメラ調査＆AI 解析」、「II.河川固定カメラ調査＆画像目視解析」及び「III.目視調査」の手法について、ごみの検出能力及び時間コストの整理を実施した。

擬似ごみ流下試験及び実河川での観測結果から、「I.河川固定カメラ調査＆AI 解析」は「III.目視調査」及び「II.河川固定カメラ調査＆画像目視解析」と同等、またはそれ以上の流下ごみ検出能力を有することが示唆された。固定カメラ調査は長期間の調査や重量フラックスの取得が必要な場合に適していることが示唆された。

正確性や効率性の比較の結果、固定カメラ調査のメリットとして、一度の調査で長期間のデータ取得が可能であること、さらにデータ解析作業を自動化することで省力化できる点が挙げられる。また、水位が高い場合には、固定カメラ調査が目視調査よりも精度が高いと報告されている（Lieshout et al. (2020)）。このため、陸域からの流出ごみの多くが河川を経由する実態を考慮すると、大規模出水を含む長期的な観測が可能であり、長期間の解析に伴う作業時間を低減できる「I.河川固定カメラ調査＆AI 解析」が有効な手法であること考えられる。ただし、ごみ解析用 AI の開発及び活用が、必ずしも全ての調査主体で可能であるとは限らない。そのような場合には、代替手段として「II.固定カメラ調査＆画像目視解析」の手法を用いることも有効であると考えられる。ただし、手動での定量化においては、一定の精度を確保するための検出及び推計手法の整備が必要であると考えられる。

実証試験により明らかとなった現時点での河川固定カメラ調査＆AI解析/画像目視解析の適用範囲とその技術的限界を表 17 に示す。その他、実証試験の計画、準備、実施の各段階において、留意すべき点が抽出されたため、それらを国際ガイドライン附属書のセクションⅠ 1.3 に追記した（表 18）。

表 17　河川固定カメラ調査で実施可能なこと及び技術的限界

河川流下ごみ調査において河川固定カメラで実施可能なこと	現時点の技術的限界
ごみの自動撮影	– 夜間の観測はできない。 – 透視度や流速によっては表層ごみの検出精度も低下する。 – カメラの設置角度によっては日光や海面での反射光により、観測が困難となる時間帯が発生しうる。水中に没して流下するごみのデータ取得は困難である。
手動での検出・分類・数量及び質量による定量化（画像目視解析）	– 検出可能なごみのサイズについてはカメラの解像度や、調査環境（カメラ水面までの距離等）により大きく影響を受ける。 – ごみの検出において、一律の基準で色差による判断を行うのは難しい。 – 高解像度での検出には適していない。 – 流量（g/s）を推計する際には別途河川ごみの面積当たり重量を求める必要 （別添 C 参照）がある。
自動での検出・分類・数量及び質量による定量化（AI 解析）	– レジ袋やプラスチック破片等、形状が定まっていないものの検出が困難なことがある。 – AI の学習のための教師データが必要となる。 – 流量（g/s）を推計する際には別途河川ごみの面積当たり重量を求める必要（別添 C 参照）がある。

表 18　国際ガイドライン付属書 1.1 に追記すべき事項

1　調査対象
– キャップ、ふた、ライター、たばこ等はサイズが小さく、水中に没する可能性があるため検出が困難な場合もある。（ただし、ペットボトルキャップ及びタバコは主要な海岸ごみとなっているため、可能な限り把握に努めるものとする。）
2　撮影範囲の設定
– 橋や水管橋に固定カメラを設置する場合、設置スペース等の都合で河川流心を観測できない場合は、別途流速の測定や目視調査等により流下ごみの横断方向の分布を把握する必要がある。
3　調査機材の設置
– 台風等の強風により大きくあおられる可能性があるため、ソーラーパネルや固定カメラの固縛・防失対策は可能な限り徹底して行うことが望ましい。
4　調査の実施
– スケールの撮影に加え、擬似ごみ（ペットボトルやペットボトルキャップ）を撮影し、調査地点ごとのカメラによる検出下限サイズを把握することが望ましい。

別添 C

各調査手法の詳細情報

I　河川固定カメラ調査&AI 解析、II　河川固定カメラ調査&画像目視解析

表 19　固定カメラ調査データ

調査計画・準備	カメラ設置期間	2024 年 6 月 12 日~2024 年 9 月 25 日（動画取得は 2024 年 6 月 13 日~2024 年 9 月 25 日）
	カメラ設置及び事前調査日時	2024 年 6 月 12 日
	調査対象	2.5 cm 以上のプラスチックごみ
	調査者の役割分担	カメラ設置準備者（金属加工等）: 1 人 カメラ設置・撤去者：2 人 環境情報の取得：3 名 簡易横断測量の実施：3 名 河川散乱ごみの回収及び単位面積当たり重量の測定：3 名
調査の実施	環境情報の取得	表層ごみの動態等に関するメタデータとして、可搬式流速計を用いて、河道内の流速を測定した。
	調査設備の設置	水管橋の欄干に、金具で単管パイプを固定し、固定カメラ及びソーラーパネルを設置した。
	簡易横断測量の実施	錘付き巻尺を用いて、水管橋の欄干（上部）からの河道内の底面までの距離を測定した河川横断面を算出した。
	河川散乱ごみの回収及び単位面積当たり重量の測定	水管橋周辺の散乱ごみを回収し、人工系ごみの単位面積当たり重量（g/cm^2）を算出した。
画像解析	I. AI 解析	片岡研究室の開発したシステムを使用し、個数、ピクセル数の集計及びフラックスの算出を行った。
	II.画像目視解析	観測動画をもとに手動で個数、ピクセル数（面積）の集計を行った。

(1) 調査地点の選定

調査地点の石手川は、河道が比較的平坦であり、流心が中央部に位置するため、漂流物の動きを観測する際に流れの特徴を把握しやすいという利点がある。また、現地踏査にて川幅が約 10 m と適度な広さであるため、ウェーダーや磯ダモを使用した擬似ごみの放流及び回収作業が効率的に行える環境であることを確認した。さらに、片岡研究室による固定カメラ試験が実施されていることから、現地での設置経験を活かすことができ、関連する許認可の取得が比較的容易である点も選定理由として挙げられる。これらの特徴を考慮し、本調査では石手川（石手川水管橋）を実証試験の調査地として選定した。実証試験調査地点の環境情報を表 20 に示す。

表 20　実証試験調査地点の環境情報

項目	情報
河口からの距離	約 6 km
潮汐の影響の有無	なし
土地利用状況及び	土地利用：森林、その他（荒地等)が約 7 割、市街地が 1 割、田畑等が約 2 割
人口密度	石手川流域内人口 : 約 244,000 人（人口密度 : 約 550 人/ km^2）
調査地域周辺の利用状況	調査地点近隣 500 m に松山中央公園（野球場、プール、テニスコート等）や松山競輪場が立地
調査地域に設置されている工作物	上流側約 5 km に石手川ダムが存在
河床勾配	1/310-1/210 程度

本試験では、片岡研究室設置の Raspberry Pi を基盤とした制御装置を備えた鉛直方向カメラを使用し、平水時と出水時の河川状況に応じた自動撮影を行った（Kataoka et al. 2024）。本カメラシステムの詳細を表 21 に示す。また、河川ごみの横断方向の分布や周辺状況の観察を目的として、下流方向を俯瞰で撮影するためのカメラ（下流方向カメラ）を新たに設置した。また、下流カメラについては継続的な電源を得るため、ソーラーパネル及びバッテリーを設置した。

表 21　画像解析に使用した固定カメラ（鉛直方向カメラ）の概要

項目	情報
カメラの概要	内蔵されたソーラーシステムを介して電力を供給することで、川の状況に応じて自動的にデータ取得が可能。 このシステムは、Raspberry Pi を基盤とした制御装置によって管理され、ソーラーシステム、IP カメラ、超音波水位計（WLG）と接続されている。
カメラの設置角度	90°（鉛直方向）
カメラの撮影設定	平水時は 1 時間間隔 出水時は 10 分間隔 固定カメラ積載の超音波水位計が取得する河川の水位データをもとに撮影間隔が自動で切り替わる
画素数/フレームレート	3840 x 2160 pix、15fps
カメラから川面までの距離	7.56 m（平水時）
GSD	3.22 mm/pix（平水時）
データの保存	録画された映像データや水位データは Google Drive に送信され、遠隔からアクセス可能な形で保存される

出典：Kataoka, T., Yoshida, T., & Yamamoto, N. (2024). Instance segmentation models for detecting floating macroplastic debris from river surface images. Frontiers in Earth Science, 12, 1427132. doi:10.3389/feart.2024.1427132

(2) 環境情報の取得

石手川水管橋上より、表層ごみの動態等に関するメタデータとして、可搬式流速計を用いて、水管橋の欄干（上部）からの河道内の流速を測定した（図 8）。横断方向の測定間隔は低水路内を 1 m 間隔で測定した。

図 8　流速測定時の様子

(3) 河川カメラ（下流方向カメラ）設置・測定

石手川水管橋の欄干に、金具で単管パイプを固定し、下流方向カメラ及びソーラーパネルを設置した（図 9）。

図 9　下流方向カメラの設置

(4) 簡易横断測量の実施

石手川水管橋上より錘付き巻尺を用いて、水管橋の欄干（上部）からの河道内の底面までの距離を測定した（図 10）。横断方向の測定間隔は低水路：1 m 間隔、高水敷：2 m 間隔で測定し、勾配が急となる地点については可能な限りその地点にて測定した。堤防敷については勾配が変化する地点で測定。得られた記録をもとに河川横幅及び河川横断面を算出した（表 22 及び図 11）。

図 10　河川横断面測定時の様子

表 22　石手川水管橋における簡易横断測量結果

生データ		補正
水管橋右岸側からの距離[m] (横断方向の距離)	高さ[m]	高さ[m]
0.00	3.28	-6.02
3.60	5.28	-4.02
15.30	5.58	-3.72
17.30	5.78	-3.52
19.30	6.42	-2.88
21.30	7.18	-2.12
23.30	7.83	-1.47
25.30	7.52	-1.78
27.30	7.47	-1.83
29.30	7.37	-1.93
31.30	7.85	-1.45
33.30	8.61	-0.69
35.30	8.96	-0.34
38.80	8.06	-1.24
40.30	9.36	0.06
41.30	9.30	0.00
42.30	9.29	-0.01
43.30	10.35	1.05
44.30	10.38	1.08
45.30	10.41	1.11
46.30	10.25	0.95
47.30	10.13	0.83
48.30	10.11	0.81
49.30	10.08	0.78
50.30	10.01	0.71
51.30	10.02	0.72
52.30	9.96	0.66
53.30	9.92	0.62
54.30	9.87	0.57
55.30	9.81	0.51
56.30	9.61	0.31
57.30	9.48	0.18
58.30	9.38	0.08
59.30	9.30	0.00
59.70	9.12	-0.18
61.70	8.75	-0.55
63.20	8.20	-1.10
65.80	8.53	-0.77
67.44	9.09	-0.21
69.20	8.96	-0.34
70.40	8.59	-0.71
78.09	5.75	-3.55
82.72	5.56	-3.74
87.15	3.34	-5.96

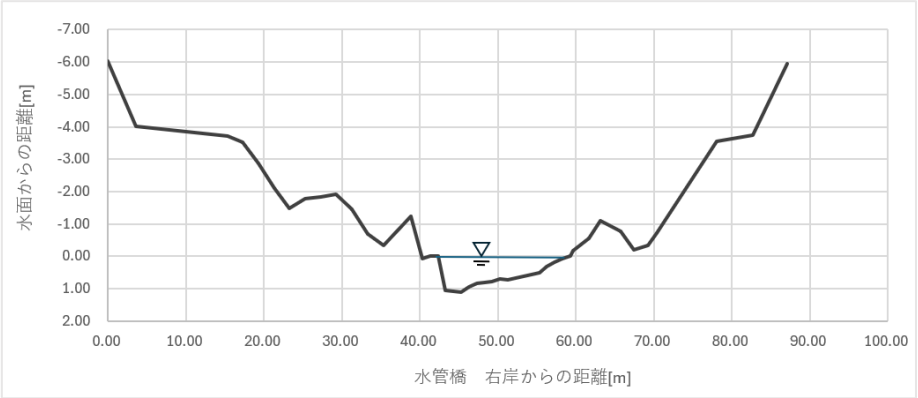


図 11　簡易横断測量結果

(5) 河川散乱ごみの回収及び単位面積当たり重量の測定

実施の可否を確認することを目的として、ごみ品目別の単位面積当たり重量の測定を行った。河川散乱ごみの回収は石手川水管橋の上流側 50 m 幅及び下流側 50 m 幅にて行った。回収後の散乱ごみは 1 cm メッシュボードの上の散乱ごみ画像をもとに、画像処理ソフトウェア ImageJ を用いて面積（cm^2）を算出した（図 12)。また、測定した乾燥重量（g）と合わせてごみ品目別の単位面積当たり重量（g/cm^2）を計算した。ごみ品目別の単位面積当たり重量（g/cm2）及びその標準誤差を表 23 に示す。

図 12　面積測定に使用した河川散乱ごみの例

表 23　石手川周辺の河川散乱ごみにおける単位面積当たり重量の測定結果（n=64）

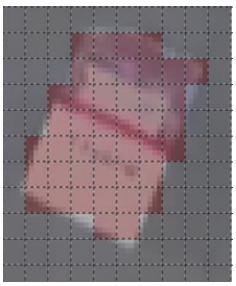
品目	個数	ごみ品目別 単位当たり面積（g/cm^2）
ペットボトル	11	0.22±0.01
食品容器	27	0.03±0.00
レジ袋	2	0.03±0.02
その他プラスチック	18	0.14±0.06
缶	6	0.32±0.07

(6) 画像解析

固定カメラで取得した動画と河川散乱ごみにおける単位面積当たりの重量測定結果をもとに、個数フラックス及び重量フラックスの算出を行った。AI 解析については、愛媛大学片岡研究室が開発した AI システムを使用し、表層流下ごみの検出及びフラックス推定を実施した。

画像目視解析については、手動による高度な解析技術や専門人材を有さない地域への適用性を検証する目的で、Windows の標準ソフト（Excel、ペイント等）を使用し、観測動画から手動で個数及び面積の集計を行い、個数フラックス及び重量フラックスの算出を行った。本実証試験における画像目視解析手順を表 24 に示す。

表 24　本実証試験における画像目視解析手順

No.	手順	画像
1	撮影動画から、流下ごみが画像の中央に位置するよう調整し、静止状態の画像をスクリーンショットで保存する。また、流下個数の把握のため、野帳（Excel 等）に識別番号、流下時間、品目を記録する。	
2	スクリーンショットにグリッドを表示し、グリッド適用後の画像を再度保存する。 本実証試験では、ペイントを使用してスクリーンショットにグリッド線を表示した。 また、ペイントの拡大率（グリッドの大きさ）は、ごみの大きさに応じて大・小それぞれ一定の値に設定した。	
3	グリッド適用後画像にのうち、流下ごみに該当する部分をグリッド単位で計測する。 本実証試験ではグリッド内の 50%以上が流下ごみで覆われているグリッドを該当部と判断した。	
4	既知の流下ごみやスケールの長さをもとに 1 グリッドの一辺の長さを算出し、その値から 1 グリッドの面積を推計する。得られたグリッドの面積をもとに、流下ごみの面積を推定する。 流下ごみの面積に対し、事前に把握した品目別人工系ごみ品目別の平均単位面積当たり重量（g/cm2）を乗じ、重量を推計する。	

III　河川目視調査

表 25　河川目視調査データ

調査計画	目視調査	2024 年 6 月 26 日（平水） 2024 年 6 月 28 日（出水）
	調査対象	2.5 cm 以上の人工ごみ
	調査者の役割分担	環境情報の取得：3 名 目視調査：4 名
調査の実施	環境情報の取得	石手川水管橋上より、天候や気象条件、河川流速等のメタデータを取得した。
	河川目視調査（平水時及び出水時）	石手川水管橋上より、鉛直方向に河川表層を観察し、上流より流れる河川ごみの個数を計測した。
観察結果集計	III.河川目視調査	観測野帳をもとに個数の集計を行い、個数フラックスを算出した。

(1) 環境情報の取得

石手川水管橋上より、天候や気象条件、河川流速等のメタデータを取得した。目視調査時の観測メタデータを表 26 に示す。

表 26　河川目視調査メタデータ

カテゴリ	メタデータ	平水時	出水時
基本情報	観測日時	2024 年 6 月 26 日	2024 年 6 月 28 日
天候と気象条件	天気	曇り	雨
	雲量	9	10
	風速	1.1-3.5 m/s	1.3-4.5 m/s
表層ごみの動態	河川流速	0.00-0.68 m/s	測定不可
	河川ごみの 滞留・蓄積の有無	滞留：なし 蓄積：なし	滞留：なし 蓄積：なし
周辺環境	河川透明度	50 cm 以上	8 cm 程度

(2) 目視調査（平水時）

平水時に計画通り（10:00~16:00、10 分に一度、1 分間）観測を行った（図 13）。観察者の観測位置を図 14 に、各区間の河川幅及び観測されたマクロプラごみの総数を表 27 に示す。全河川幅に対する観測範囲は約 84%（河川幅 26 mに対し観測幅 22m）となっているが、区間 1-4 についてはアシ類が群生していたことから流下ごみが流れてこないものと判断し観測範囲に含めていない。

図 13　目視調査（平水時）の様子

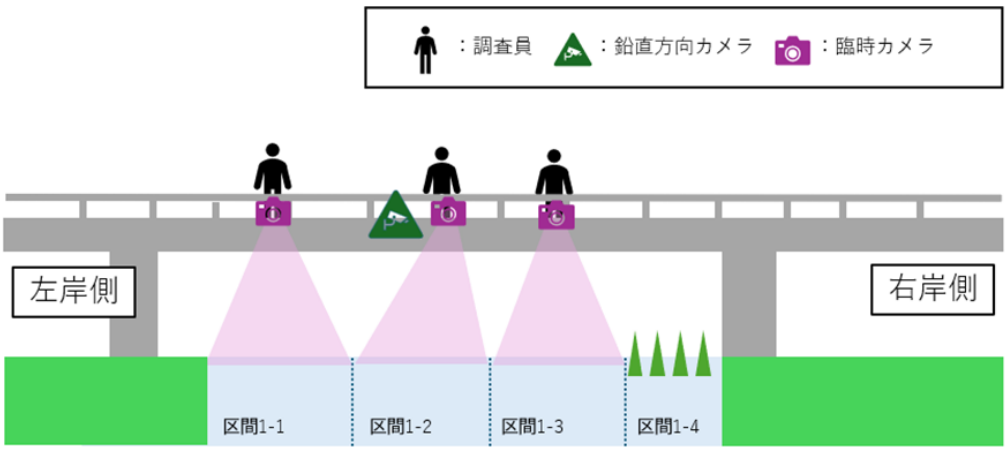


図 14　平水時の観測位置図

表 27　平水時の観測幅及び観測されたマクロプラごみの総数

区間	区間 1-1	区間 1-2	区間 1-3	区間 1-4
河川幅(m)	7	7	8	4
総数（個）	0	7	1	未測定
1m 当たりの観測数（個）	0	1	0.1	—

(3) 目視調査（出水時）

観測時間は 9:30~11:30、12:30~15:30 に 10 分に一度、1 分間観測を行った。降雨のタイミングを踏まえ、予定より 30 分早めて観察を行った。また、昼休憩のため 11:30~12:30 は観測を行っていない。

観測位置を図 16 に、各区間の河川幅及び観測されたマクロプラごみの総数を表 28 に示す。区間 2-2~区間 2-4 における臨時カメラの位置は平水時調査から変更していないが、出水により川幅が広くなったことから、一部区間（区間 2-1 及び区間 2-5）については観測を行うことができなかった。全河川幅に対する観測範囲は約 71%（河川幅 38 mに対し観測幅 27 m）となっている。

図 15　目視調査（出水時）の様子

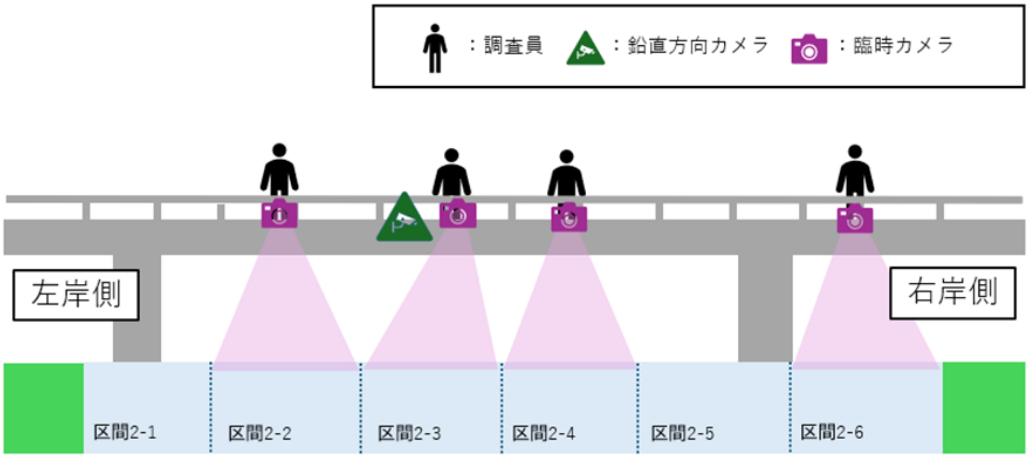


図 16　出水時の観測位置図

表 28　出水時の観測幅及び観測されたマクロプラごみの総数

区間	区間 2-1	区間 2-2	区間 2-3	区間 2-4	区間 2-5	区間 2-6
河川幅(m)	7	7	6	7	4	7
総数（個）	未計測	34	62	55	未計測	67
1 m 当たりの観測数（個）	—	4.8	10.3	7.8	—	9.5

IV　擬似ごみ流下試験

表 29　擬似ごみ流下試験調査データ

調査計画	調査日時	2024 年 7 月 18 日　午前 10 時 天気：晴れ
	調査対象	面積、重量を把握済みの 2.5 cm 以上の人工ごみ
	調査者の役割分担	擬似ごみ準備：2 名 擬似ごみ投入：1 名 目視調査：1 名 擬似ごみ回収：2 名
調査の実施	擬似ごみの準備及び単位面積当たり重量の測定	代表的な河川ごみを用意し、擬似ごみの単位面積当たり重量（g/cm^2）を算出した。
	環境情報の取得	石手川水管橋上より、天候や気象条件、河川流速等のメタデータを取得した。
	鉛直方向カメラ及び目視観察者による擬似ごみの測定	石手川水管橋上より、鉛直方向に河川表層を観察し、上流より流れる擬似ごみの個数を計測した。
画像解析及び集計結果の整理	I. AI 解析	片岡研究室の開発したシステムを使用し、個数、ピクセル数の集計及びフラックスの算出を行った。
	II.画像目視解析	観測動画をもとに手動で個数、ピクセル数の集計を行った。
	III.河川目視調査	観測野帳をもとに個数の集計を行った。

(1) 擬似ごみの準備及び単位面積当たり重量の測定

人工系ごみを用意し、各面積及び重量を計測した。「その他のプラスチック」については、海岸ごみ及び河川ごみにて観察される代表的な物を選定した。また、実証試験場所周辺の植生（葉、枝、アシ）も擬似ごみと併せ用意した。擬似ごみ量は個数ベースで大・中・小の 3 段階に分け、各段階で 2 回ずつ（計 6 回）試験を行った。用意した擬似ごみの個数を表 30 に示す。また、参考値として測定した人工系ごみ品目別の平均単位面積当たり重量（g/cm^2）及びその標準誤差を表 31 に示す。

表 30　試験に使用した擬似ごみ及び周辺植生の品目別個数

回数	1	2	3	4	5	6
種類	大_1 回目	大_2 回目	中_1 回目	中_2 回目	小_1 回目	小_2 回目
ペットボトル	10	10	5	5	3	3
食品容器	10	10	5	5	3	3
レジ袋	10	10	5	5	2	2
その他プラスチック	40	40	20	20	10	10
缶	10	10	5	5	2	2
周辺植生	80	80	40	40	20	20

表 31　擬似ごみにおける単位面積当たり重量の測定結果

品目	種類数	ごみ品目別 単位当たり面積（g/cm^2）
ペットボトル	10	0.40±0.04
食品容器	10	0.06±0.01
レジ袋	5	0.01±0.01
その他プラスチック	40	0.45±0.09
缶	5	0.27±0.02

(2) 環境情報の取得

石手川水管橋上より、天候や気象条件、河川流速等のメタデータを取得した。目視調査時の観測メタデータを表 32 に示す。

表 32　擬似ごみ流下試験メタデータ

カテゴリ	メタデータ	擬似ごみ流下試験
基本情報	観測日時	2024 年 7 月 18 日 （河川流速のみ 7 月 17 日計測）
天候と気象条件	天気	晴れ
	雲量	6
	風速	2.0-2.4 m/s
表層ごみの動態	河川流速	0.00-0.68 m/s
	河川ごみの 滞留・蓄積の有無	滞留：なし 蓄積：なし
周辺環境	河川透明度	50 cm 以上

(3) 鉛直方向カメラ及び目視観察者による擬似ごみの測定

石手川水管橋上流から擬似ごみを流し、鉛直方向カメラ及び目視調査にて測定を行った（図 17 及び図 18）。目視調査者には擬似ごみの個数や構成に関する事前情報を与えなかった。また、擬似ごみの投下中には、上流側に捕集ネットを設置するとともに、擬似ごみ以外の流下ごみは作業員が回収し、コンタミネーションが発生しないよう配慮した。

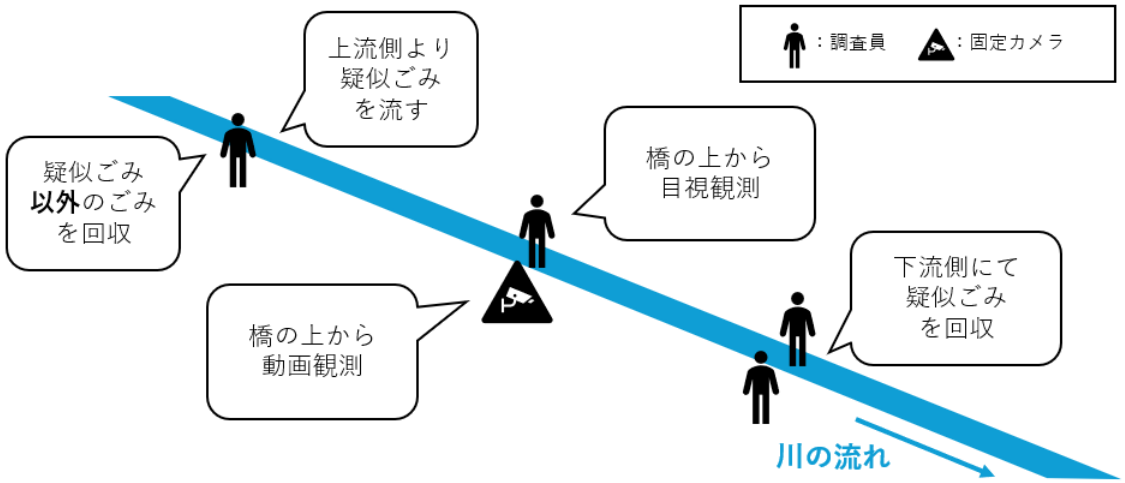


図 17　擬似ごみ流下試験の概要図

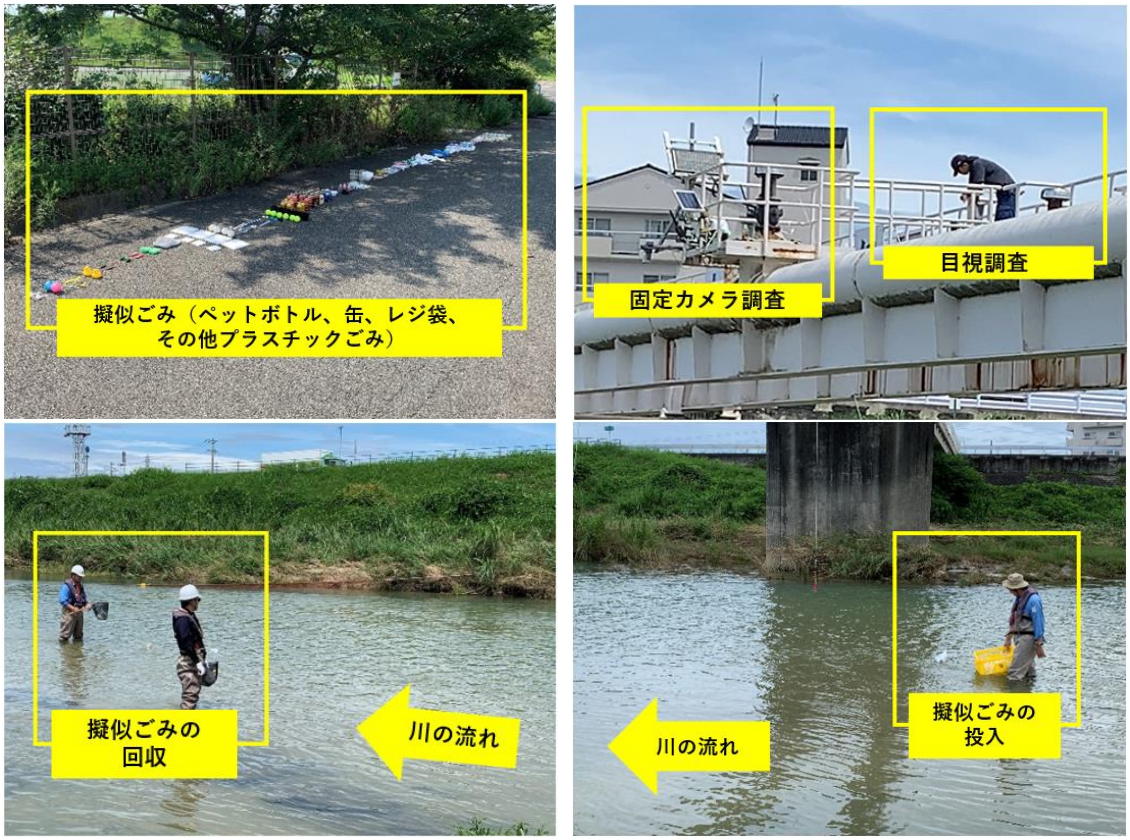


図 18　擬似ごみ流下試験実施時の様子