第Ⅶ部門　　定点カメラと物体検出モデルを用いた浮遊ごみ流下量の推計

大阪大学大学院工学研究科　学生員　○横山　倫太郎
元大阪大学大学院工学研究科　　中村　俊介
大阪大学大学院工学研究科　正会員　　中谷　祐介

1. はじめに

近年，海洋ごみによる環境汚染が世界中で問題視されており，その主要な発生源は河川からの流出であると考えられている．しかし，河川からのごみ流出量は十分に把握されていない．そこで本研究では，複数の河川に設置された定点カメラ画像を用い，目視および深層学習に基づく物体検出モデルによって浮遊ごみの流下個数をカウントした．さらに，河川流域における降水量および流域特性を説明変数とした推計式を構築し，大阪湾へ流出する浮遊ごみ重量を推計した．

2. 浮遊ごみ流下個数のカウント

本研究では，大阪府内の 15 地点を対象に，大阪府河川カメラデータ[1]を用いて浮遊ごみを観測した(**図-1**)．観測期間は 2022 年または 2023 年の 5～10 月，観測時間は 6:00～17:59 の 12 時間とした．浮遊ごみが多く確認された Sta. 3, 4, 5 では MM Grounding DINO[2]を用い，その他 12 地点では目視により流下個数をカウントした．MM Grounding DINO とはテキストで指定した対象を画像内から高精度に検出できるオープンセットの物体検出モデルである．さらに，Sta. 3, 4, 5 の画像を用いて MM Grounding DINO をファインチューニングした結果（**表-1**），3 地点で F 値 0.9 以上を示したことから，浮遊ごみの検出に十分な性能を有すると判断した．また Sta. 3, 4, 5 において，1 分の撮影間隔によるダブルカウント等の影響を，河川流速を用いて補正した．

3. 推計式の構築

観測した全 15 地点において，流下個数と降水量の間に有意な正の相関($p<0.05$)が認められたことから，両者の関係は線形で表現できると仮定した．また，その回帰式の傾きおよび切片は，地点ごとの流域特性（流域面積，流路総延長，流域人口，流域人口密度）に依存すると考えた．6:00～17:59 および 18:00～5:59 の 12 時間ごとに区間を設定し，12 時間積算降水量および流域特性を説明変数として，(1) 流下個数，(2) 流下個数を流域面積で除した値，(3) 流下個数を流路総延長で除した値，をそれぞれ目的変数とする 3 種類の推計式を構築した．推計式に用いる説明変数は，以下の手順で選定した(**図-2**)．まず，各流域特性の組み合わせについて多重共線性を評価するために分散拡大係数（以下，VIF）を算出し，VIF が 5 以上となる流域特性を含む組み合わせを除外した．次に，残った組み合わせについて修正赤池情報量基準(以下，AICc）を算出し，AICc が小さい順に評価した．そして，各流域特性の有意性を確認し，全ての流域特性が $p<0.05$ となる組み合わせを説明変数として採用した。採用した流域特性を説明変数とし，地点ごとに求めた回帰式の傾きおよび切片をそれぞれ目的変数として回帰分析を行い、得られた係数および定数項を用いて推計式を構築した．

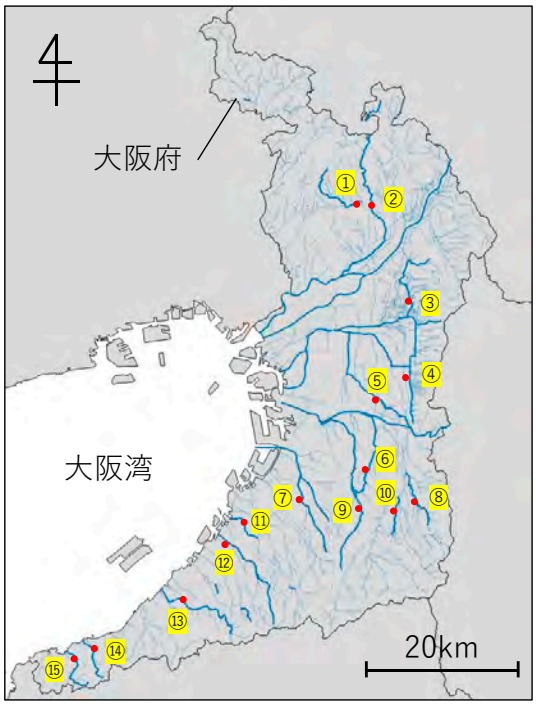


図-1　観測地点

表-1　検出精度の評価結果

Sta.	再現率	適合率	F 値
3	0.925	0.891	0.907
4	0.912	0.912	0.912
5	0.911	0.939	0.925

Rintaro YOKOYAMA, Shunsuke NAKAMURA and Yusuke NAKATANI
yokoyama_r@civil.eng.osaka-u.ac.jp

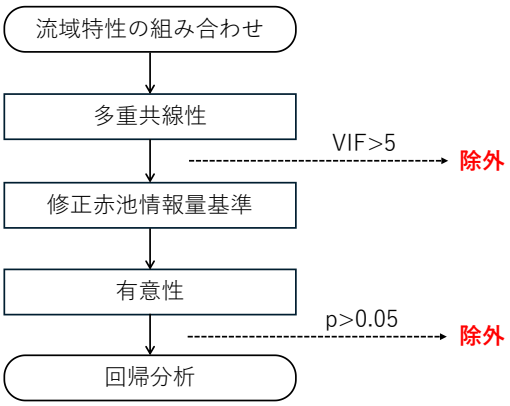


図-2　説明変数の選択手順

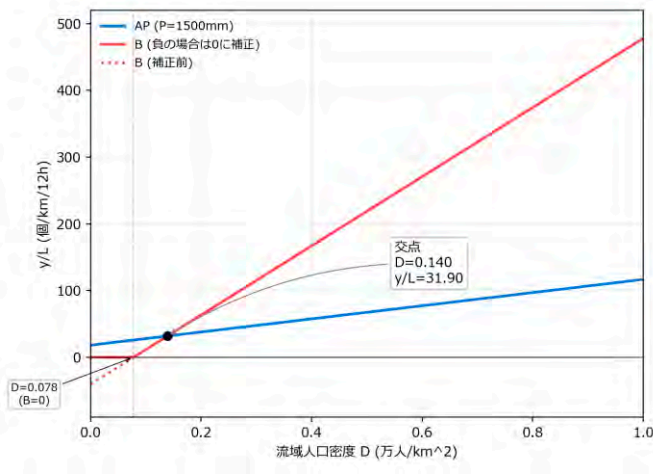


図-3　AP と B の関係

4.　最適な推計式の選択

構築した 3 種類の推計式について，Leave-One-Out 交差検証により相対的な推計精度を比較した．評価指標には，平均絶対誤差（以下，MAE）および二乗平均平方根誤差（以下，RMSE）を用いた．推計式によっては傾きおよび切片が負となる場合があった．しかし，降水量の増加に伴う流下個数の減少や負の推計値は物理的に不適切だと判断し，傾きおよび切片が負となった場合は 0 に補正した．説明変数が小さく推計値が負となる地点への適用には，精度の低下に留意する必要がある．交差検証の結果，推計式(2)・(3)では全地点で傾きが正となったのに対し，(1)では 1 地点で傾きが負となった．また，切片については 3 種類の推計式いずれにおいても，同一の 6 地点で負の値を示した．これらの結果から，推計式(1)は他の 2 式と比較して現象を十分に表現できていないことが示唆された．さらに，MAE・RMSE が最小となった地点数を比較したところ，どちらも推計式(3)が 8 地点で最多となった．そして，地点間における流下個数の規模差を考慮するため，各地点の MAE・RMSE を実測値の最大値と最小値の差で正規化し，全 15 地点の値を合計した結果，MAE，RMSE ともに推計式(3)が 3 式の中で最小値を示した．以上より，推計精度の比較および傾き・切片の正負の両面から，推計式(3)を流下個数の推計式として採用した．推計式(3)を以下に示す．

$$\frac{y}{L} = A \times P + B$$

$$A = 0.065671\,D + 0.012103$$

$$B = 0.710246\,D - 0.055390$$

y：12 時間流下個数(個/12h)，L：流路総延長(km)，P_0：12 時間積算降水量(mm/12h)，D：流域人口密度(万人/km^2)である．

5.　大阪湾への浮遊ごみ流出量の推計

本研究の推計式は中小河川の観測結果に基づいて構築しており，一級水系は中小河川と流域規模が大きく異なるため，本推計式を適用することは適切でないと判断した．一方，大阪湾集水域の二級水系は観測地点と流域規模が近いことから，推計式(3)を大阪湾へ流出する全二級水系に適用し，2024 年を対象年として浮遊ごみ個数および重量を算出した．個数から重量への換算には，大阪府河川水面清掃における組成調査結果から算出した平均重量（0.0613kg/個）を用いた．また，各水系における推計値に 95%予測区間を適用し，最小値と最大値を算出した．その結果，2024 年に二級水系全体から大阪湾へ流出する浮遊ごみ重量は最小値:約 4.6t，推計値:約 13.1t，最大値:約 25.0t となった．一方，既往研究[3]に基づき同領域からの浮遊ごみ重量を算出したところ，最小値:約 4.4t，中間値:約 15.2t，最大値:約 43.2t と，本研究で得られた推計値と同オーダーの値を示した．さらに，推計式より算出される年間の y/L について AP と B の大小関係を調査した(**図-3**)．年降水量 P を 1500mm とした場合，流域人口密度 D<0.140 の河川では，AP>B で降水量の増加に伴って発生する浮遊ごみ流下個数の影響が大きく，D>0.140 の河川では AP<B となり，降水量に依存しない浮遊ごみの発生の影響が大きいことが示された．

6.　まとめ

本研究では，目視および物体検出モデルを用いた浮遊ごみのカウントと，浮遊ごみの流下個数を予測する推計式の構築を行い，大阪湾への浮遊ごみ流出量を推計した．その結果，二級水系において既往研究と近い値が得られた．また，浮遊ごみ対策には，流域人口密度に応じた手法を検討する必要性が示唆された．

参考文献

(1) 大阪府河川防災情報 https://www.osaka-kasen-portal.net/suibou/public/ja/gis.html 2026 年 8 月現在
(2) Zhao et al.：An Open and Comprehensive Pipeline for Unified Object Grounding and Detection, arXiv 2024
(3) Nihei et al.：High-Resolution Mapping of Japanese Microplastic and Macroplastic Emissions from the Land into the Sea, Water, 2020