土木学会論文集B1(水工学) Vol.77, No.2, I_1003-I_1008, 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人工系ごみ輸送特性の比較

吉田　拓司[1]・藤山　朋樹[2]・片岡　智哉[3]
・緒方　陸[4]・二瓶　泰雄[5]

[1]正会員　八千代エンジニヤリング㈱　事業統括本部　国内事業部　環境計画部
（〒111-8648　東京都台東区浅草橋 5-20-8）
E-mail: tk-yoshida@yachiyo-eng.co.jp(Corresponding Author)

[2]正会員　㈱日水コン　河川事業部西部河川部（〒812-0038　福岡県福岡市博多区祇園町 7-20）
E-mail: 7618529@alumni.tus.ac.jp

[3]正会員　愛媛大学大学院准教授　理工学研究科生産環境工学専攻（〒790-8577　愛媛県松山市文京町 3）
E-mail: tkata@cee.ehime-u.ac.jp

[4]非会員　八千代エンジニヤリング㈱　技術創発研究所（〒111-8648　東京都台東区浅草橋 5-20-8）
E-mail: rk-ogata@yachiyo-eng.co.jp

[5]正会員　東京理科大学教授　理工学部土木工学科（〒278-8510　千葉県野田市山崎 2641）
E-mail: nihei@rs.tus.ac.jp

プラスチックごみ汚染はグローバルな環境問題であり，河川から海域への 5 ㎜以上のマクロプラスチック輸送量の把握は必須である．本研究では，IP カメラによる連続的な河川水表面撮影と画像解析法（RIAD）による人工系ごみ輸送量観測システムを構築した．RIAD で得られる色差情報を精査し，水面と人工系，自然系ごみの色差分布は明確な差があり，それに基づいてごみの分類を行った．本観測システムにより三重県天白川とその排水路にて人工系ごみ輸送量の自動連続観測を行い，延べ 34 の出水イベントの観測結果を得た．これより，人工系ごみ輸送量は増水期の方が減水期より顕著に大きく，ファーストフラッシュ現象が確認された．増水期の人工系ごみ濃度の平均値は先行降雨指標 API との関係が示された．

***Key Words:*** *anthropogenic debris, macroplastics, plastic pollution, image analysis, flood, RIAD*

## 1. 序論

2019 年 G20 大阪サミットでは「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」にて 2050 年までに海洋へのプラスチックごみ（以下，プラごみ）の流入量をゼロとすることが表明された[1]．海洋プラスチックごみの多くは陸域由来とされるため[2]，河川のプラスチック汚染や輸送量の知見を増やす必要がある[3]．プラスチックごみは，大きさにより，5mm 未満，以上をそれぞれマイクロプラスチック（MicP），マクロプラスチック（MacP）と分類される[4]．一般には，MicP に関する研究が先行する一方，MacP に着目している研究事例は少ない[5]．MicP と同様に，MacP についても生態系への影響が懸念される[6]．また MacP は紫外線や波・流れ等により破片化され，二次 MicP が生成されるため[7]，河川における MacP 濃度や輸送量の実態把握を行う必要がある．

これまでの河川の MacP 調査として，ベトナム・サイゴン川における MacP 輸送量の季節変化[8]やフランス・セーヌ川での平常時・出水時 MacP 輸送量の比較[9]などが行われた．著者らも，千葉県大堀川や江戸川にて，MacP を含む川ごみ全体が大量に輸送される出水時調査を行った[10]，[11]．これらの観測手法は，河川水表面の浮遊ごみを直接サンプリングしており，観測作業の安全性や負荷が大きな課題であった．

この課題を解決するために，著者らは，川ごみが浮遊する水表面上のビデオ撮影と画像解析による川ごみ輸送量調査にいち早く取り組んだ[12]，[13]．ここでは，枝や葉等の自然系ごみとプラスチックや缶等の人工系ごみの両方を含む川ごみ全体と対象とし，撮影画像からエッジ抽出法を用いて川ごみ全体を抽出した．最近，これらの研

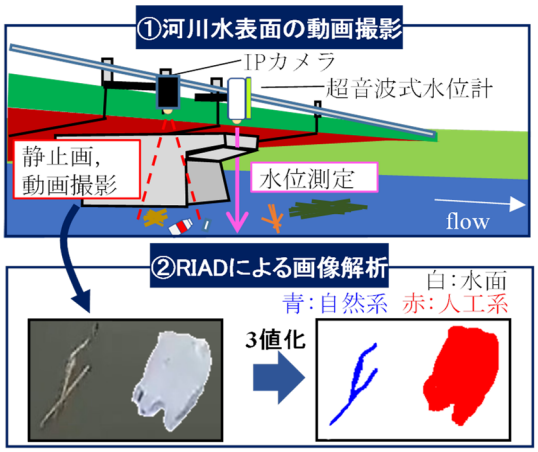



図-1　河川の人工系ごみ輸送量観測システムの全体像

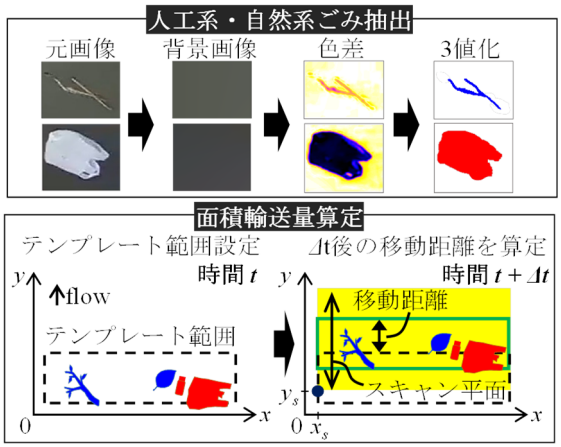



図-2　RIAD の解析フロー

究を発展させ，水面と浮遊する川ごみの色差により川ごみ全体を判定する画像解析法（River Image Analysis for Debris transport，RIAD）を開発した[14]．RIAD は川ごみ全体を精度高く検出でき汎用性も大幅に増したが，川ごみの種類検出は未検討であり，今後の課題が残った．

本研究では，RIAD によるプラごみ検出の前段階として，IP カメラによる連続的な河川水表面撮影と RIAD の高度化により人工系ごみ輸送量観測システムの構築を行う．ここでは，RIAD により，川ごみ全体から自然系・人工系ごみを判別するため，RIAD で得られる色差情報を精査する．また，三重県四日市市を流れる天白川と，その流域内の排水路（三面コンクリート張り）の 2 地点にて IP カメラを用いた連続観測を実施した．撮影データを RIAD で解析し，延べ 34 の出水データを用いて人工系ごみ輸送特性を明らかにした．

## 2.　研究方法

### (1)　本観測システムの全体像

本研究で用いる川ごみ輸送量観測システムの全体像を図-1 に示す．本システムでは，IP カメラによる河川水表面の自動・連続撮影と RIAD による人工系・自然系ごみの検出・輸送量の算定，から構成される．現地では IP カメラと超音波式水位計，太陽光パネル等を設置し，一定時間間隔で水位計測と静止画撮影を行い，一定水位を超えると動画撮影も行う．得られたデータはクラウド上に自動的にアップロードされる．次に，動画をダウンロードし，RIAD を用いて画像解析を行い，解析対象の画像に対して水面・自然系ごみ・人工系ごみの三種類に分類（3 値化）する．その後，2 つのフレーム間における川ごみ全体の移動量を求め，河川断面を通過する人工系・自然系ごみ輸送量を算定した．

### (2)　RIAD における画像解析法

本研究の肝となる RIAD の画像解析フローは，人工系・自然系ごみ抽出，各ごみ面積輸送量算出，各ごみ質量輸送量への換算，の 3 つから構成される．そのフローを以下に示すと共に，得られる画像や方法の模式図を図-2 に示す．大枠は Kataoka and Nihei[14]と同じである．

＜人工系・自然系ごみ抽出＞

Step1：動画を任意のフレームレート（時間間隔 $\Delta t$）で分割する（本研究では $\Delta t$=0.1s）．

Step2：ノイズを除去するため，5×5pixels の移動平均画像（平均値を採用）を作成する（これを元画像と呼ぶ）．

Step3：元画像から 200×200pixels 内の移動平均を行って（中央値を採用），背景画像を作る．

Step4：元画像と背景画像をそれぞれ RGB から CIELuv 色空間($L^*$, $u^*$, $v^*$)に変換し[15]，元・背景画像間の差である色差 $\Delta E$ を次式より求める．

$$\Delta E = \sqrt{\left(L_1^* - L_2^*\right)^2 + \left(u_1^* - u_2^*\right)^2 + \left(v_1^* - v_2^*\right)^2} \qquad (1)$$

添え字の 1，2 は元・背景画像を示し，$L^*$は明度，$u^*$と$v^*$は赤緑，黄青の彩度である．

Step5：色差より 3 値化し，水面・自然系ごみ・人工系ごみを判定する．この際，水面と自然系ごみ及び自然系ごみと人工系ごみを分ける閾値をそれぞれ設定する．

＜面積輸送量算出＞

Step6：テンプレートマッチング法からごみ移動量を求めるため，時刻 $t$ の色差画像にテンプレート範囲（図-2 点線の枠）を設ける．

Step7：時刻 $t+\Delta t$ の色差画像にてテンプレートを移動させるスキャン範囲（同図黄色）を設け，スキャン範囲内にて零平均正規化相互相関 $R_{ZNCC}$ を求め，$R_{ZNCC}$ が最大となるテンプレート位置（同図緑枠）の移動距離を求める．

Step8：時刻 $t$ のテンプレート範囲と時刻 $t+\Delta t$ にて選定された下流側のテンプレート範囲の重ならない部分の自然系・人工系ごみ面積を求め，それを $\Delta t$ で除したごみ面

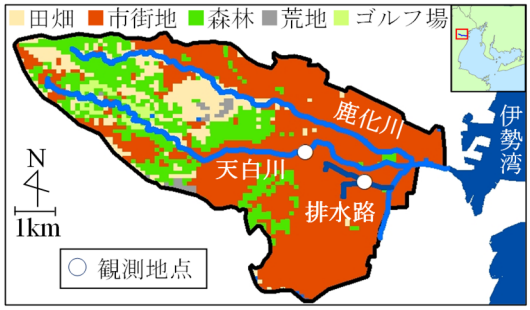



**図-3**　観測サイトと流域の土地利用マップ

積輸送量（単位：m²/s）を算出する（有効数字 3 桁）．また，テンプレートの横断幅で除し単位幅ごみ面積輸送量（単位：m²/s/m）も求める．

＜質量輸送量換算＞

Step 9 ：現地にて自然系・人工系ごみの面積 $A$ と質量 $M$ を別途計測し，単位幅ごみ面積輸送量に $M/A$ を乗じ人工系・自然系ごみ質量輸送量を求める（単位：g/s/m）．

Step 10：単位幅ごみ面積・質量輸送量に川幅をかけて河道全体の人工系・自然系ごみ面積・質量輸送量を算出する（単位：m²/s，kg/s）．

なお，Step 7 の $R_{ZNCC}$ は，以下のように定義される．

$$R_{ZNCC}(x_s,y_s,t)=\frac{\sum_{j=0}^{J-1}\sum_{i=0}^{I-1}\left\{\left(S(x_i+x_s,y_j+y_s,t+\Delta t)-\bar{S}\right)\left(T(x_i,y_j,t)-\bar{T}\right)\right\}}{\sqrt{\sum_{j=0}^{J-1}\sum_{i=0}^{I-1}\left\{S(x_i+x_s,y_j+y_s,t+\Delta t)-\bar{S}\right\}^2}\sqrt{\sum_{j=0}^{J-1}\sum_{i=0}^{I-1}\left(T(x_i,y_j,t)-\bar{T}\right)^2}} \tag{2}$$

ここで，$x_i, y_j$ はピクセル $(i,\ j)$ での横断・流下方向位置，$T$ はテンプレート平面の時刻 $t$，位置 $(x_i,\ y_j)$ の色差，$S$ はスキャン平面の位置 $(x_i+x_s, y_j+y_s)$，時刻 $t+\Delta t$ の色差，$(x_s, y_s)$ はスキャン平面の原点，$I$，$J$ はテンプレート（スキャン）平面の $i$，$j$ 方向のピクセル数である．また，$\bar{T}$，$\bar{S}$ は，テンプレート・スキャン平面内の空間平均であり，以下のとおりである．

$$\bar{S}=\frac{1}{IJ}\sum_{j=0}^{J-1}\sum_{i=0}^{I-1}S(x_i+x_s,y_j+y_s,t+\Delta t) \tag{3a}$$

$$\bar{T}=\frac{1}{IJ}\sum_{j=0}^{J-1}\sum_{i=0}^{I-1}T(x_i,y_j,t) \tag{3b}$$

本研究では，ごみの流れがフレームの $y$ 軸にほぼ平行であるため，x 軸の横方向の輸送は考慮していない．なお，テンプレートマッチング法の精度向上には，$\Delta t$ 間に多くのごみ画像を追跡することが望ましいため，テンプレート範囲のサイズを大きくする必要がある．また，$\Delta t$ 間にてごみがテンプレート範囲内に収まるようなフレームレートを設定すること求められるが，フレームレートを大きくする（動画データの分割数を増やす）場合は，その分，計算負荷が高くなることに注意されたい．

### (3)　現地観測方法と画像解析方法の概要

三重県四日市市の天白川と同流域内の排水路の 2 地点を対象に，人工系・自然系ゴミ輸送量の連続観測を行った（図-3）．天白川は流路延長が 12km，流域面積 9.4km² の二級河川であり [16]，左支川に鹿化川があり，右岸側には排水路がある．観測場所は天白川本川では岡下橋（河口から 4.0km）上流の水管橋であり，低水路幅は 8.6m である．排水路の観測地点は，天白川右岸側下流域の開渠（緯度 34.94645，経度 136.61159）であり，幅 4.5m の三面コンクリート張りである．両地点は市街化率が異なり（天白川：49%,，排水路：98%），環境省の事業の一部として観測を実施した．

現地観測では，橋上にて動画撮影システム（㈱クレアリンクテクノロジー製）を設置した．本システムでは，鉛直下向きの IP カメラ（IPC-HFW4631F-ZSA, Dahua 製）と超音波水位計（dB10，デレーコ・ジャパン㈱製）により，10 分毎に静止画撮影と水位計測を行う．平常時水位より 10cm 以上上昇していれば，動画撮影を 1 分間行う．長期連続観測のため，太陽光パネルと予備バッテリーを搭載し，水位・静止画・動画データをクラウド上に随時アップロードした．観測期間は，天白川では 2019/8/14～11/28，排水路では 2019/8/21～2021/3/30 である．同期間中に画像解析を行った出水イベント数は天白川，排水路で各々10，24 であった（増水期・減水期のいずれかしか取得できていないイベントを含む）．

ごみ面積輸送量から質量輸送量への換算に用いる $M/A$ 算定のため，調査地点付近のごみを採取した．その後，東京理科大学所有の大型水路（幅 1m）にごみを流して，その様子をビデオカメラにて撮影し，得られた画像よりごみ面積 $A$ を計測した．質量 $M$ については，自然系ごみは 2 時間乾燥（100℃），人工系ごみは 24 時間自然乾燥させた後に測定した．その結果，人工系ごみの $M/A$ の平均値は，天白川・排水路でそれぞれ 1,421g/m²（サンプル数 $n$=19），1,292g/m²（$n$=16）となり，この値を用いた．なお，輸送量評価の参考となる流量は，排水路では RIAD により求められる流速と水位計測値から得られる断面積の積から算出した．天白川では日永地点（観測地点より 500m 下流）の水位データと $H$-$Q$ 式より算定した．

出水時の流出状況を考慮する上で，次式の先行降雨指標 API（Antecedent Precipitation Index）[17] を整理した．

$$API=\sum_{i=1}^{i=N}b_iP_i \tag{4}$$

$P_i$ は $i$ 日前の日雨量，$b_i$ は係数（$=K^i$，$K$：減水係数（=0.85）），N 日（=31 日）前までの雨量影響を考慮した．また，人工系ごみ輸送量に関して，出水時増水期と減水期の大小を検定するため，等分散を仮定した 2 標本による検定（$t$ 検定）を実施した．

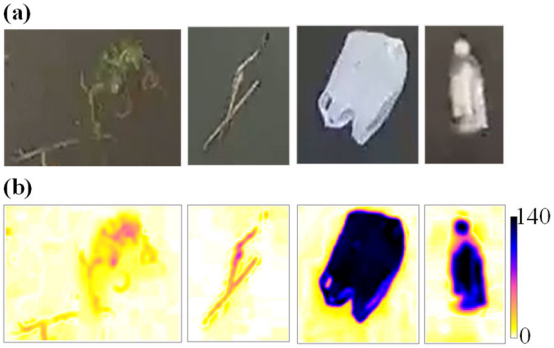



**図-4**　自然系・人工系ごみの**(a)**元画像と**(b)**色差画像

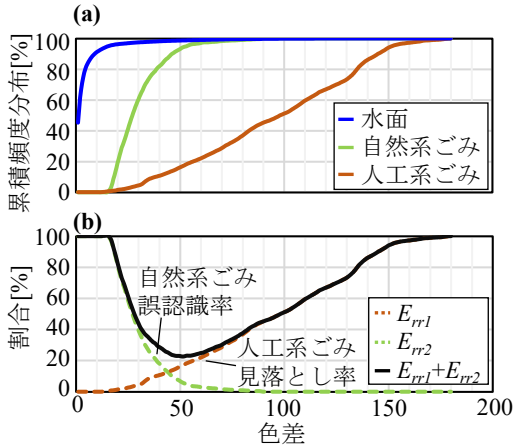



**図-5**　水面・自然系・人工系ごみの色差の累積分布**(a)**と見落とし率（人工系ごみ）・誤認識率（自然系ごみ）**(b)**

## 3.　結果と考察

### (1)　人工系・自然系ごみ判定用色差閾値

対象サイト毎に異なる可能性がある，人工系・自然系ごみの色差閾値の特徴を把握するために，典型的な人工系ごみ（プラスチック袋とペットボトル）と自然系ごみ（草と枝）における元画像と色差画像を**図-4** に例示する．これらは実際に天白川や排水路で撮影された映像を切り取ったものである．これより，人工系ごみの色差は全体的に大きく，最大で 179 であった．一方，自然系ごみの色差は人工系ごみよりも小さい．このように，色差の閾値を適切に設定すれば，水面と自然系ごみ，人工系ごみの判別が可能であることが示唆された．

そこで，人工系・自然系ごみ判別用の閾値を検討するために，人工系・自然系ごみと水面に関する色差の累積分布を**図-5(a)**に示す．ここでは，天白川と排水路の画像から，自然系・人工系ごみをそれぞれ 18，40 サンプルを抽出した．サンプル画像では，目視にて各ごみの範囲を設定し，その範囲に含まれる色差の値を抽出した．これより，水面・自然系・人工系ごみの色差は，各々0～133，16～90，13～179 の範囲で分布しており，50%累計値は各々，1.3，27，99 となっている．これより，水面と人工系ごみ，自然系ごみの色差分布は明確な差がある．

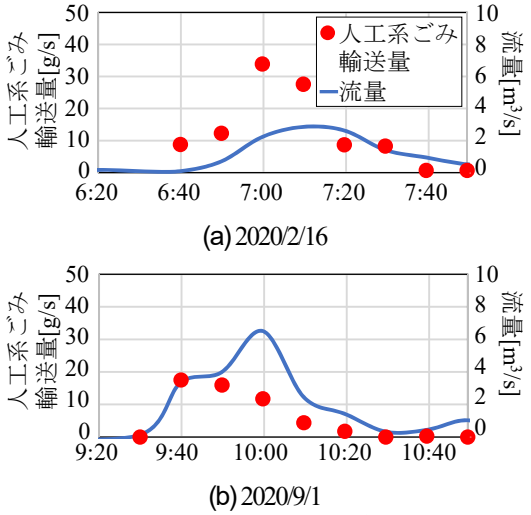



**図-6**　出水時・排水路の人工系ごみ輸送量の時間変化

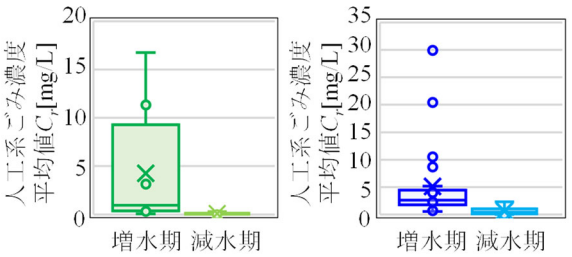
この結果を用いて，人工系ごみと自然系ごみを分ける色差の閾値 $\Delta E_{th}$ を検討した．例えば，**図-5(b)**のように $\Delta E_{th}$=80 とすると，$\Delta E_{th}$ 以下の人工系ごみは見落とすことになるため，この見落とし率 $Err_1$ は 36.8%であった．また，$\Delta E_{th}$ 以上の自然系ごみは人工系ごみに誤認識され，この誤認識率 $Err_2$ は 0.9%となった．そのため，見落とし率 $Err_1$ と誤認識率 $Err_2$ の和を小さくする必要があり，その和が最小となる $\Delta E_{th}$ は約 50 であったので，$\Delta E_{th}$=50 と設定した．また，水面と自然系ごみを分ける色差の閾値も同様に求めた結果，15 とした．

### (2)　出水時の人工系ごみ輸送量の時間変動特性

出水時における人工系ごみ輸送量の基本特性を把握するために，出水時の排水路における人工系ごみ輸送量の時間変動特性を**図-6** に示す．ここでは，2020/2/16 と 2020/9/1 の出水イベント時を例示している．これより，両イベント共に，流量のピーク前の増水期に人工系ごみ輸送量のピークが現れており，典型的なファーストフラッシュ現象 [18] が見られた．また，ファーストフラッシュ後では，人工系ごみ輸送量は顕著に減少している．人工系ごみ輸送量は増水期の方が減水期よりも大きいという部分は両イベントで共通していた．

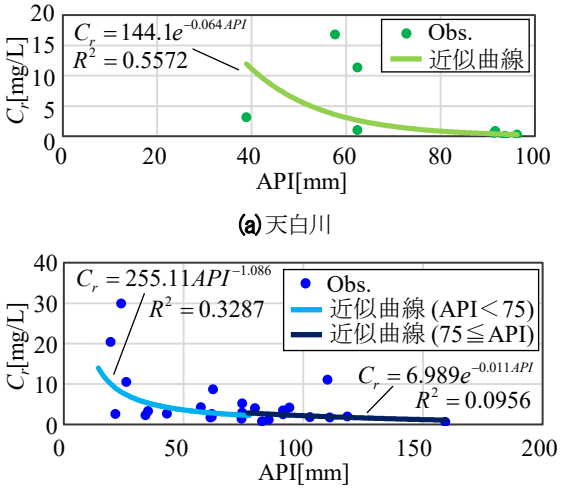
出水規模は 2020/9/1 の方が大きいが，人工系ごみ輸送量のピーク値は2020/2/16の方が大きく，大小関係が一致しない．流量 $Q$ と汚濁負荷量（物質フラックス）$L$ の関係については，一般的に$L$-$Q$式（$L = aQ^b$，$a$，$b$：係数）にて整理されることが多いが [19]，上記のように人工系ごみ輸送量 $L$ は流量 $Q$ との相関性は高くない．実際に，人工系ごみ輸送量 $L$ と流量 $Q$ の相関図を全イベントで作成したところ，決定係数 $R^2$ は天白川では 0.0014，排水路では 0.319 と低く，$L$-$Q$式を用いて未計測期間を含む長期間の人工系ごみ輸送量の算定を行うことは適切ではない．

両イベントにおける人工系ごみ輸送量の差の要因とし




(a)天白川　(b)排水路

**図-7**　増水期・減水期の人工系ごみ濃度平均値の箱ひげ図




(a) 天白川

(b) 排水路

**図-8**　増水期の人工系ごみ濃度平均値 $C_r$ と API の相関図

て，先行降雨条件が挙げられ，その指標 API は，2020/2/16 と 2020/9/1 ではそれぞれ 26.1mm，61.7mm であり，ファーストフラッシュ時の人工系ごみ輸送量が大きい 2020/2/16 の方が API が小さくなっている．これは，先行降雨（API）が小さい方が流域内により多くのごみが堆積するため，ファーストフラッシュ時の人工系ごみ輸送量が大きくなるためと推測される．

### (3)　増水期と減水期の人工系ごみ濃度の特徴

増水期と減水期における人工系ごみ輸送量状況を詳細に調べるために，各出水イベントにおける増水期と減水期の人工系ごみ濃度の平均値 $C_r$ に関する箱ひげ図を**図-7** に示す．ここでは，天白川と排水路における全出水イベントを対象とし，$C_r$ は各イベントの増水期，減水期における人工系ごみ濃度の算術平均より求めた．また，人工系ごみ濃度は実測の人工系ごみ輸送量を流量で除して求めている（単位：mg/L）．これより，天白川の人工系ごみ濃度平均値は，増水期では 8.42±8.35mg/L，減水期では 0.17±0.17mg/L であり，増水期の方が有意に大きい（$p<0.05$）．同様に排水路に関しては，増水期では 15.25±14.66mg/L，減水期では 1.15±1.15mg/L となっており，増水期の方が減水期より有意に大きい（$p<0.01$）．

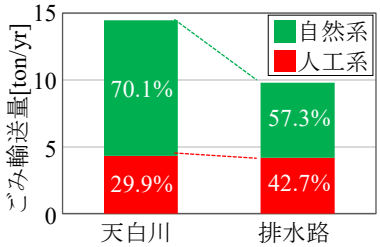



**図-9**　天白川・排水路の年間ごみ輸送量

上記より，人工系ごみ濃度平均値は増水期＞減水期の大小関係があることに加えて，増水期のばらつきが大きいことが分かる．このばらつきの要因を調べるために，各出水イベントにおける増水期の人工系ごみ濃度平均値 $C_r$ と API の相関図を**図-8** に示す．ここでも，天白川と排水路を分けて図示する．これより，API が小さいほど増水期の $C_r$ が増加しており，**図-6** にて説明した内容と一致する．そこで，観測地点毎において，$C_r$ と $API$ の近似式を算出した結果を**図-8** 中の実線で図示し，式と決定係数 $R^2$ も表示する．近似式として，指数関数を選択した．ただし，データが多い排水路では一つの指数関数で近似できなかったため， API=75mm を境に二つの近似式を算出した．API の境界値は，境界での二つの近似式の差が小さくなるように決めた．これより，決定係数 $R^2$ は天白川と排水路でそれぞれ 0.557，0.329（API<75mm）と概ね高く，良好な相関関係が得られた．API が小さいことは，無降雨期間が長いことを意味し，市街地や河道内等に堆積している人工系ごみが，降雨により多く流出することが示された．

### (4)　人工系ごみ年間輸送量の算定

上記の結果に基づいて，天白川と排水路における 2019 年の人工系ごみ年間輸送量を算定した．人工系ごみ輸送量の算出方法は，観測データのある出水時は観測値を用い，その他の出水時では以下の方法とする．出水中の人工系ごみ濃度として，増水期では**図-8** で得られた近似式と API から求め，減水期では各出水イベントの平均ごみ濃度の中央値を与え，得られた人工系ごみ濃度と流量の積から人工系ごみ輸送量とした．なお，平水時は人工系ごみ輸送量はないものと扱う．得られた人工系ごみ年間輸送量を**図-9** に示す．これより，ごみ全体の年間輸送量は天白川では 14.5ton/yr，排水路では 9.80ton/yr であり，天白川の方がやや多い．全体に対する人工系ごみの割合は，天白川・排水路でそれぞれ 29.9%，42.7%と排水路の方が高い傾向が見られた．集水域の市街化率は排水路（98%）>天白川（49%）となり，市街率の高い排水路の方が自然系ごみよりも人工系ごみの発生・流出が大きいものと考えられる．

## 4. 結論

本研究により得られた主な知見は，以下の通りである．

(1) 色差を用いることにより，河川水表面における人工系ごみと自然系ごみ，水面の判別が一定の精度で可能であり，RIAD の人工系ごみ輸送量モニタリング手法として適用性が確認された．

(2) 本観測システムを用いて天白川と排水路における長期間の人工系ごみ輸送量の自動連続観測を行い，延べ 34 の出水イベントの観測結果を得た．これより，人工系ごみ輸送量は増水期の方が減水期より顕著に大きく，また，API が小さいほど増水期の人工系ごみ濃度平均値 $C_r$ は大きくなる．

**謝辞**：本研究の一部は，（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF21356444）及び公益財団法人河川財団の河川基金（2020-5211-041）によるものである．ここに記して謝意を表する．

### 参考文献

1) 外務省：G20 大阪首脳宣言（2019 年 6 月 28・29 日），https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/g20/osaka19/jp/documents/final_g20_osaka_leaders_declaration.html.
2) Jambeck, J.R.and Geyer, R.and Wilcox, C.and Siegler, T.R., Perryman and M., Andrady, A.,and Narayan, R. and Law, K.L.: Plastic waste inputs from land into the ocean, Science, Vol.347, Issue6223, pp.768-771, 2015.
3) Blettler, M. C., Abrial, E., Khan, F. R., Sivri, N., & Espinola, L. A.: Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying, Water research, vol.143, 15, pp.416-424, 2018.
4) Winton, D.J., Anderson, L.G., Rocliffe, S., Loiselle, S: Macroplastic pollution in freshwater environ-ments:Focusing public and policy action, Sci. Total Env. vol.704, 20, pp.1-9, 2020.
5) van Emmerik, T.; Schwarz, A. Plastic debris in rivers, WIREs Water, vol.7, 1–24, 2020.
6) Lechthaler, S., Waldschläger, K., Stauch, G., Schüttrumpf, H.: The Way of Macroplastic through the Environment, Scientific reports, Environments, Vol.7, Issue 10, pp.1-73, 2020.
7) Kalogerakis, N., Karkanorachaki, K., Kalogerakis, G.C., Triantafyllidi, E.I., Gotsis, A.D., Partsinevelos, P., Fava, F.: Microplastics Generation: Onset of Fragmentation of Polyethylene Films in Marine Environment Mesocosms, Frontiers in Marine Science, vol.4, pp.1-84, 2017.
8) van Emmerik, T., Strady, E., Kieu-Le, T. C., Nguyen, L., and Gratiot, N.: Seasonality of riverine macroplastic transport, Sci. Rep, Vol.9, pp.1-9, 2019.
9) van Emmerik, T., Tramoy, R., van Calcar, C., Alligant, S., Treilles, R., Tassin, B., & Gasperi, J.: Seine plastic debris transport tenfolded during increased river discharge, Frontiers in Marine Science, Vol.6, No.642, pp.1-7, 2019.
10) 二瓶泰雄，若月宣人：洪水時河川における浮遊ゴミ輸送量計測の試み，土木学会論文集B，Vol.66，No.1，pp.19-24，2010.
11) 二瓶泰雄，白川明宏，鈴木達裕，赤松良久：出水時大河川における浮遊ゴミ輸送特性と湾内DOへ及ぼす影響，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.57，No.2，pp.1171-1175，2010.
12) 尾ノ井龍仁，二瓶泰雄：水位時間変化率に基づく新たな漂流ゴミ輸送量評価法の提案，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.58，No.2，pp.I_1076-I_1080，2011.
13) 南まさし，二瓶泰雄，西島拓駿，片岡智哉，日向博文：最上川における漂流ごみ全体及び流木輸送量の把握と漂流ごみ対策技術の検討，河川技術論文集，Vol.22，pp.499-504，2016.
14) Kataoka, T.and Nihei, Y.:Quantification of floating riverine macro-debris transport using an image processing approach. Scientific Reports, Vol.10, pp.1–11, 2020.
15) Kako, S., Isobe, A. and Magome, S.: Low altitude remote-sensing method to monitor marine and beach litter of various colors us-ing a balloon equipped with a digital camera, Marine Pollution Bulletin, Vol.64, Issue 6, pp.1156-1162, 2012.
16) 三重県四日市建設事務所：天白川・鹿化川　身近な生き物ガイドマップ（魚編），pp.1-4, 2010.
17) 水村和正：水圏水文学，山海堂出版，pp.82-88，1998.
18) 海老瀬潜一：汚濁物質の降雨時流出特性と流出負荷量，水質汚濁研究，Vol.8，No.8，pp.31-36，1985.
19) 武田育郎，福島晟，森也寸志：斐伊川から宍道湖へ流出する汚濁負荷量の推定，Laguna3，pp.91-96，1996.

**(Received June 30, 2021)**
**(Accepted September 3, 2021)**

# COMPARISON OF ANTHROPOGENIC DEBRIS FLUX IN VARIOUS FLOODS WITH CONTINIOUS MONITORING OF IP CAMERA AND IMAGE ANALYSIS

Takushi YOSHIDA, Tomoki FUJIYAMA, Tomoya KATAOKA,
Riku OGATA and Yasuo NIHEI

Plastic pollution is a global environmental problem, and it is necessary to understand the fluxes of macroplastics (> 5 mm) from rivers to the sea. We developed a monitoring system for quantifying anthropogenic debris flux by applying an image analysis into video images captured by a IP camera system. The image analysis made the color differences among water surface, natural debris and anthropogenic debris clear. We have conducted continuous measurements of anthropogenic debris flux in the Tenpaku River and its drainage channel during 34 flood events. Anthropogenic debris flux in rising stages significantly increased comparing with those in falling stages. The mean concentration of anthropogenic debris in the rising stages was significantly related to antecedent precipitation index (API).