

# 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

## A New Approach for Evaluation of Floating-Litter Transport Based on Temporal Variation Rate in Water Elevation

尾ノ井龍仁<sup>1</sup>・二瓶泰雄<sup>2</sup>

Tatsuhito ONOI and Yasuo NIHEI

To evaluate accurately temporal variations of floating-litter transport  $L$  in rivers, we present a new rating curve for  $L$  using temporal variation rate in water elevation  $\dot{H}$ . For this purpose, we measured  $L$  in Edogawa River under two flooding events using a rectangle frame for directly collecting floating litters and a video imaginary monitoring for recording floating litters. The measured results indicate that the peak of the floating-litter transports appeared in the rising stage of the flooding and the temporal variations of  $L$  during the flooding are similar to those of  $\dot{H}$ . It should be also noted that a new rating curve using the correlation between  $L$  and  $\dot{H}$  has higher accuracy for evaluation of  $L$  than a primitive rating curve using  $L$ - $Q$  relations in which  $Q$  means river discharge.

### 1. はじめに

近年、沿岸域における漂着ゴミ問題が世界的に注目されている(山口, 1998; 藤枝ら, 2006; 小島・眞, 2007; 岡野ら, 2010)。しかしながら、ゴミの起源であると想定される陸域から河川を經由して海域に漂流ゴミが「いつ」、「どのくらい」流入するかに関しては依然として解明されていない。

それに対して著者らは、漂流ゴミ採取装置やビデオモニタリングシステムに基づいて、漂流ゴミ輸送量調査を中小河川(千葉県大堀川)や大河川(江戸川)において実施し、河川では、出水時において漂流ゴミ輸送量が卓越することや漂流ゴミの約9割が植生など自然起源のものであること、東京湾への年間ゴミ流入量を明らかにした(二瓶・若月, 2010; 二瓶ら, 2010, 以下前報)。

そこでの漂流ゴミ輸送量算定には、汚濁負荷量算定に一般的に用いられる物質輸送量 $L$ と流量 $Q$ の相関式である $L$ - $Q$ 式(例えば、武田, 2001)を用いているものの、ゴミ輸送量 $L$ と流量 $Q$ の相関性は概して低いためゴミ輸送量の推定精度向上が大きな課題である。河川における漂流ゴミの発生過程としては、図-1に示すように、低水路側岸や高水敷が冠水した後に、そこに存在する植生や樹木、ペットボトル等が流出していると想定されることから、ゴミ輸送量は水位変化と何らかの関係があるものと推測される。

これらのことを念頭にして、本研究では、ゴミ輸送量

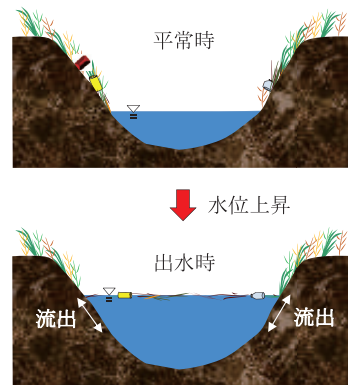


図-1 漂流ゴミ発生過程の模式図

$L$ と水位の時間変化率 $dH/dt$ ( $=\dot{H}$ )の相関関係を明らかにすると共に、その $L$ - $\dot{H}$ 式に基づいて新しい漂流ゴミ輸送量評価法を提案することを試みる。そのため、現地観測データを取得・蓄積する必要があることから、前報で示された2009年度調査に引き続き、2010年度も出水時漂流ゴミ輸送量調査を江戸川において行った。

### 2. 現地観測・データ解析方法について

#### (1) 現地観測サイト

観測サイトは、図-2に示す大河川の一つである江戸川・野田橋(河口から+39km)である。野田橋付近では、江戸川はやや右岸側に湾曲している。横断面形状としては、ゴルフ場として整備された右岸側高水敷が広く、低水路幅は100m、堤間幅は約400mである。また、低水路河岸から高水敷にかけてヤナギ等の低木やヨシ等のイネ科植生が繁茂している(加茂川・二瓶, 2011)。

1 学生会員 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻修士課程  
2 正会員 博(工) 東京理科大学准教授理工学部土木工学科

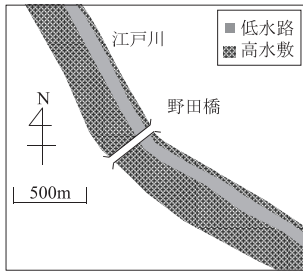


図-2 観測サイト

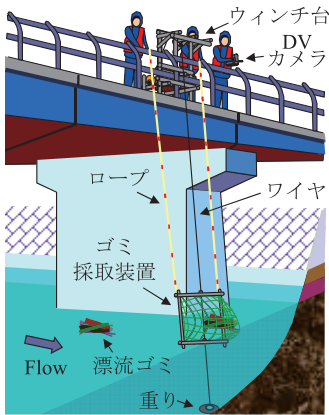


図-3 漂流ゴミの直接採取調査及びビデオモニタリングに関する模式図

(2) 漂流ゴミ直接採取調査

江戸川・野田橋において、どのようなゴミが、どのタイミングで漂流するのかを調べるため、漂流ゴミの直接採取調査を行った。その方法としては、前報と同様に、重り（60～80kg）を付けたワイヤに網目2.5cm間隔のネットを取り付けた矩形枠（1m×1m、以下、ゴミ採取装置と呼ぶ）を通し、それを橋上より降ろして、一定時間水中に投入して表層の漂流ゴミを採取する。その様子を模式的に図-3に示す。設置高さは水表面から最大1m水深をカバーするものとする。ゴミ採取装置作製にあたり、矩形枠の寸法を高さ1m×幅2m等と大きくすることも検討したが、水中における装置姿勢の確保が困難であったため、上記の寸法とした。

本装置を用いたゴミ直接採取調査は、台風1012号（2010/9/24、総雨量63mm、H.W.L：6.09Y.P.m）と台風1014号（2010/10/31～11/2、総雨量107mm、H.W.L：7.22Y.P.m）という二つの出水イベント時に行われた。なお、このうち台風14号出水時は2010年の年最大出水であったが、例年と比べて洪水規模は小さく、今回対象とした二つの出水ともに、高水敷全体が冠水さえない程度であった。

本ゴミ採取装置が、どの程度、漂流ゴミを採取できるかを調べるために、予備観測として平常時（2010/9/10、

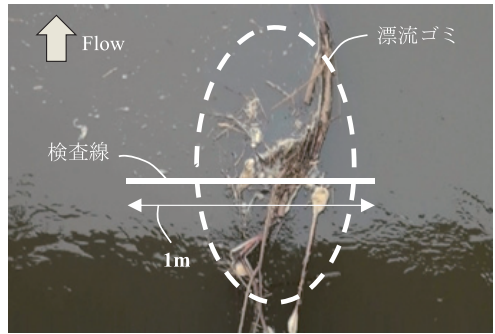


図-4 ビデオモニタリングによる漂流ゴミの撮影状況

水位：4.10Y.P.m）に次のゴミ回収試験を実施した。出水時調査と同じ要領で江戸川・野田橋の水表面付近に本装置を設置し、設置地点上流から長さ50cmのイネ科植生の束を放流し、その回収状況を調べた。ここでは、本装置のネットにゴミが詰まっていない状況とネット半分の面積をビニール袋で覆いゴミが詰まっている状況を設定した。これより、ネットの状況によらず、植生束の回収率は概ね85%を越えており、本装置のネットが多少閉塞しても良好にゴミを回収できていることが確認された。

(3) ビデオモニタリング

ゴミ輸送量は大河川では横断面内に非一様になると考えられるが、このゴミ直接採取調査を横断面の複数地点で行うのは現実的には困難である。そのため、ゴミ直接採取調査は低水路1点のみとし、ゴミ輸送量の横断分布を計測するためにデジタルビデオ（DV）カメラ（HDR-XR550V、SONY製）を用いて、漂流ゴミ輸送状況のビデオモニタリングを行う。具体的には、橋上よりほぼ鉛直下向きにビデオ撮影を1分間行い、これを横断面内の複数地点において実施する。この観測地点には、ゴミ直接採取調査を行う地点も含まれ、実際に採取された単位幅ゴミ輸送量と画像解析結果の相関関係を調べ、その相関式に基づいてビデオモニタリング結果のみから単位幅ゴミ輸送量の横断分布や横断面全体のゴミ輸送量を算出する。撮影方法や解析手法は基本的には前報と同じく、図-4のような撮影画像上に幅1mの検査線を設定し、その検査線上のゴミ割合 $D_f$ を求める。なお、本観測では、漂流ゴミ判定精度を上げるために、DVカメラの光学倍率を7倍とした。

このビデオモニタリングにおける画像解析精度を検証するために、画像解析により判定された検査線上の漂流ゴミの割合 $D_f$ とゴミ採取装置により得られた単位幅ゴミ輸送量の相関関係を図-5に示す。ここでは、二つの出水イベント時の結果が表示されている。これを見ると、両者には図中に示すような良好な直線関係が得られた（ $r=0.98$ ）。これより、本論文で用いるゴミ輸送量に関す

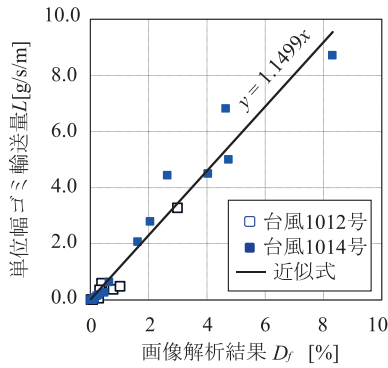


図5 ビデオモニタリングにおける画像解析精度の検証

る画像解析手法の精度は良好であることが示された。

(4) 分析方法

採取されたゴミの分析として、種類別や湿質量計測を行い、その後、乾燥質量や強熱減量IL、窒素N・リンP含有量を計測する。分析手法としては前報と同じとする(日本下水道協会, 1997)。なお、本論文では、紙面の都合上、N・P輸送量の観測結果は省略する。

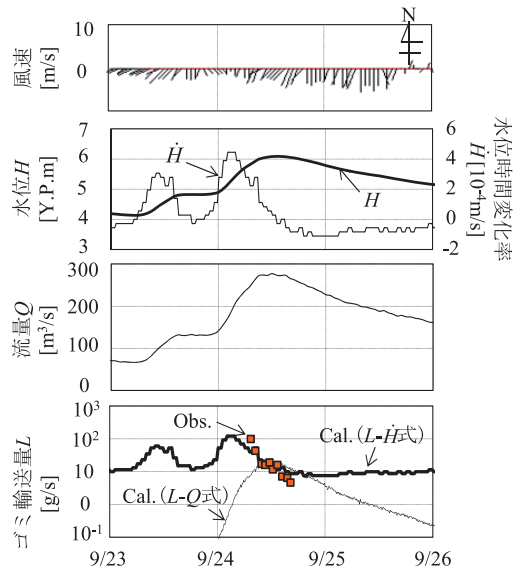
(5) データ解析

上記の結果から一般的な汚濁負荷解析と同様に、江戸川におけるゴミ輸送量Lと流量Qの関係式であるL-Q式を算出する。また、Lと水位の時間変化率 $\dot{H}$ の相関関係を調べ、その関係式であるL- $\dot{H}$ 式を求める。この際、 $\dot{H}$ は、計測間隔10分の水位データHから算出されている。このL-Q式とL- $\dot{H}$ 式という2つの式を用いて観測時におけるゴミ輸送量を推定し、観測値と推定値を比較し、漂流ゴミ輸送量の評価精度を検証する。

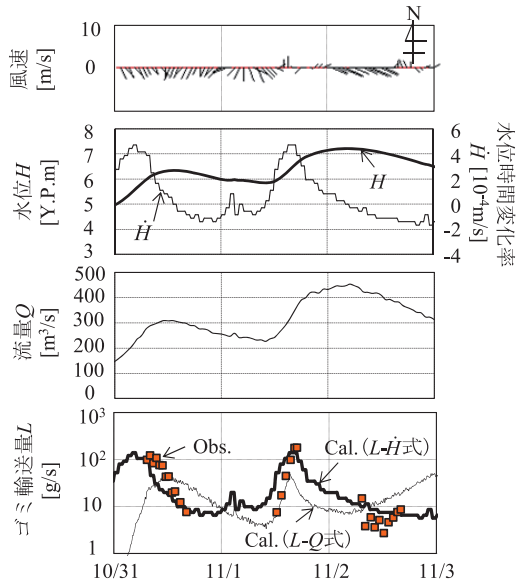
3. 観測結果と考察

(1) 出水時におけるゴミ輸送量の時間変動特性

出水時におけるゴミ輸送量の特徴やそれと水位・流量や水位時間変化率との関連性を検討するために、台風1012号と台風1014号出水時における水位H、水位時間変化率 $\dot{H}$ 、流量Q、ゴミ輸送量Lの時間変化を図-6に示す。ここでのゴミ輸送量は、乾燥質量輸送量を表示している。また、気象庁アメダス地点(我孫子)における風向風速ベクトルも合わせて図示している。これより、どちらの出水イベントにおいても、水位・流量ピークより前の増水期においてゴミ輸送量はピークとなり、水位ピーク時には、ゴミ輸送量は明確に減少していることが分かる。二山の水位ピークが見られる台風1014号においても、いずれもゴミ輸送量は増水期の方が水位ピーク期や減水期よりも大きくなっている。また、ゴミ輸送量の時間変動パターンは、水位そのものよりも、水位の時間変化率と概ね類似していることが分かる。これより、ゴミ輸送量



(a) 台風1012号



(b) 台風1014号

図6 出水時における風向風速ベクトル、水位、水位時間変化率、流量及びゴミ輸送量(観測値と推定値)の時間変化

の評価には、水位や流量そのものよりも水位時間変化率を用いる方が有用であることが示唆された。

ゴミの乾燥質量以外の項目の輸送状況を調べるために、ゴミの乾燥質量と有機物に関する単位幅輸送量の相関図を図-7に示す。これより、両者には良好な直線関係が得られている( $r=0.99$ )。これは、前報で示したように漂流ゴミの大半が流木や植片などの「自然系ゴミ」であり、ゴミ中の有機物含有量が概ね一定(=85~90%)であるためである。これより、ゴミの乾燥質量の輸送特性

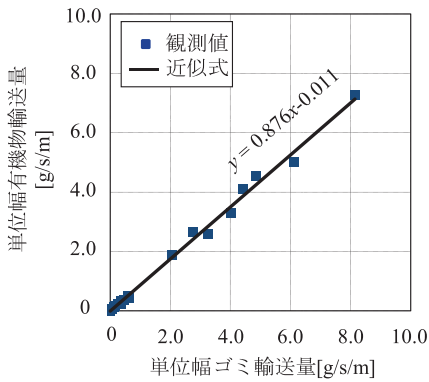


図-7 ゴミの乾燥質量輸送量と有機物輸送量の相関関係（単位幅を対象）

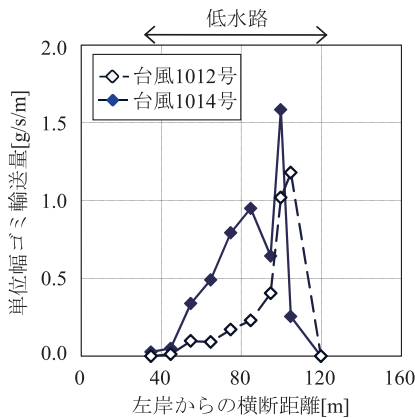
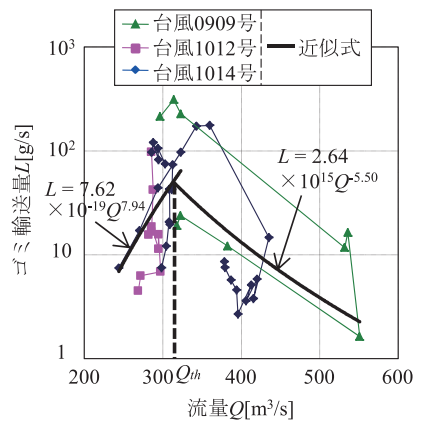


図-8 台風1012号及び1014号出水時における単位幅ゴミ輸送量の横断分布

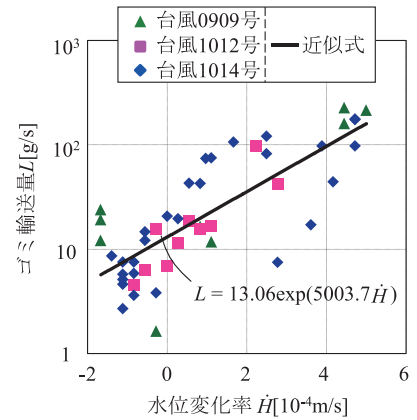
は、他の項目の輸送量と概ね一致していることが示唆された。

(2) 単位幅ゴミ輸送量の横断分布特性

横断面全体のゴミ輸送量算出に用いられる単位幅ゴミ輸送量の横断分布状況を把握するために、台風1012号及び1014号出水時における単位幅ゴミ輸送量の横断分布を図-8に示す。ここでは、各出水時における観測を行った時間帯の平均値を示す。これより、両出水時ともに、一般的に右岸側のゴミ輸送量が大きく、その傾向は台風1012号出水時に顕著である。江戸川・野田橋地点の低水路法線形は右岸側に湾曲しているため(図-2)、水表面を漂うゴミの多くは基本的には外岸側(右岸側)に輸送される。また、図-6の風向風速を見ると、台風1012号時では北風もしくは北東風が卓越し右岸側への吹き寄せ効果が顕著となるため、ゴミ輸送量は右岸側に集中していた。一方、台風1014号時では、北西風が卓越するため左岸向きの吹き寄せ効果が表れ、結果として、ゴミ輸送量の横断分布は台風1012号時と比べて平滑化された。このよう



(a) L-Q関係



(b) L- $\dot{H}$ 関係

図-9 ゴミ輸送量評価に用いられる相関関係の比較

に河道法線形に起因する二次流構造と風による吹き寄せ効果の重ね合わせにより、ゴミ輸送量の横断分布は大きく影響されていることが明らかとなった。

(3) ゴミ輸送量評価方法の精度検証

ゴミ輸送量評価方法の精度について検討するために、まず前報で用いられた「ゴミ輸送量Lと流量Qの相関図(L-Q関係)」及び「Lと水位の時間変化率 $\dot{H}$ との相関図(L- $\dot{H}$ 関係)」を図-9に示す。ここでは、本観測結果と前方の観測結果(台風0909号出水)が表示されている。まず、L-Q関係としては、全体的には、ある流量 $Q_{th}$ (約300m³/s)においてゴミ輸送量Lがピークとなり、前報と同様な「山型」のL-Q式となっているものの、イベント間の差は少なからず大きい。この $Q_{th}$ を境にしてそれぞれに近似式を当てはめると、図中の太線のようになり、相関係数rは $Q < Q_{th}$ では0.42、 $Q > Q_{th}$ では0.59となっている。一方、L- $\dot{H}$ 関係を見ると、どの出水イベントでも概ね類似した傾向が見られており、図中に示される近似式が得られている。このときの相関係数rは0.79であり、

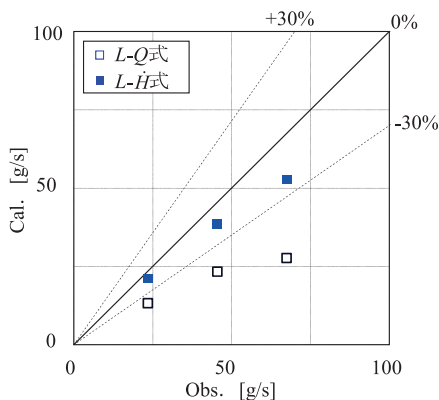


図-10 ゴミ輸送量評価方法の精度検証

この $L-H$ 関係の相関性は概ね良好である。

これらの相関関係に基づくゴミ輸送量の推定を見るために、上述した図-6に推定結果の時系列データも表示している。これより、 $L-Q$ 式による推定結果は、ゴミ輸送量の大きさや変動パターンが観測値と大きくずれている。それに対して、 $L-H$ 式による推定値は観測値を概ね再現していることが分かる。

より定量的に比べるために、3つの出水イベント時におけるゴミ輸送量調査を行った時間帯での観測値と推定値の平均値を比べたものを図-10に示す。これより、 $L-Q$ 式による推定値は誤差がいずれも30%以上となっているのに対して、 $L-H$ 式による推定誤差は相対的に小さく最大でも25%である。以上の結果から、 $L-H$ 式に基づくゴミ輸送量評価法の精度は概ね良好であることが定量的に示された。

#### 4. まとめ

本研究では、出水時ゴミ輸送量調査を行い、ゴミ輸送量と流量や水位、水位時間変化率との関係を調べ、漂流ゴミ輸送量に関する評価方法を検討した。得られた主な結論は以下の通りである。

- 1) ゴミ輸送量の時間変動パターンは、ゴミ輸送量が増水期にピークとなるなど、水位や流量そのものの時間変動特性よりは水位時間変化率の変動パターンと概ね類似していることが示された。

- 2) ゴミ輸送量 $L$ と流量 $Q$ の相関関係 ( $L-Q$ 関係) を見ると、出水イベント間の差は大きく、ゴミ輸送量がピークとなる流量 (約 $310\text{m}^3/\text{s}$ ) を境にそれぞれ近似式を当てはめた「山型」の $L-Q$ 式となった。一方、 $L-H$ 関係を見ると、どの出水イベントでも類似した傾向があり、相関性は $L-Q$ 関係よりも概ね良好であった。

- 3) 出水イベント別にゴミ輸送量の観測値と推定値の平均値を比較すると、 $L-Q$ 式による推定値は誤差がいずれも30%以上となっているのに対して、 $L-H$ 式による推定誤差は相対的に小さく最大でも25%であったことから、 $L-H$ 式に基づくゴミ輸送量推定法の有用性が示唆された。

**謝辞**：本研究の一部は、(財)河川環境管理財団の河川整備基金助成事業 (研究代表者：二瓶泰雄) によって実施された。東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室学生には、大変な観測作業を実施して頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- 岡野多門, 安本 幹, 安藤重樹 (2010) : 人工素材海浜ごみに対する台風の影響, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.21, pp.226-235.
- 加茂川優紀・二瓶泰雄 (2011) : 出水時における河川内草本類の破壊条件に関する基礎的検討, 河川技術論文集, Vol.17, 2011 (投稿中).
- 小島あずさ・眞 淳平 (2007) : 海のゴミ—拡大する地球環境汚染, 中公新書, pp.1-232.
- 武田育郎 (2001) : 水と水質環境の基礎知識, オーム社, pp.155-166.
- 二瓶泰雄・白川明宏・鈴木達裕・赤松良久 (2010) : 出水時大河川における浮遊ゴミ輸送特性に関する現地観測と湾内DO環境へ及ぼす影響, 海岸工学論文集, Vol.66, No.1, pp.1171-1175.
- 二瓶泰雄・若月宣人 (2010) : 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.
- 日本下水道協会 (1997) : 下水道試験法上巻1997年版, p297.
- 藤枝 繁, 小島あずさ, 金子 博 (2006) : 国内海岸漂着ごみのモニタリング手法の整理と今後の進め方, 沿岸域学会誌, Vol.18, No.4, pp.93-100.
- 山口晴幸 (1998) : 外国から漂着するゴミによる海岸汚染, 土木学会誌, Vol.83, No.3, pp.60-62.