

2007 年台風 9 号出水時における 多摩川の土砂・栄養塩・有機物負荷特性

SEDIMENT, NUTRIENT AND CARBON TRANSPORTS OF TAMA RIVER
IN THE FLOOD DUE TO TYPHOON NO.0709

二瓶泰雄¹・坂井文子²・重田京助³・灘岡和夫⁴・八木宏⁵・
諸星一信⁶・鈴木信昭⁷・松坂省一⁸・有路隆一⁹・峯浩二¹⁰

Yasuo NIHEI, Ayako SAKAI, Kyosuke SHIGETA, Kazuo NADAOKA, Hiroshi YAGI,
Kazunobu MOROBOSHI, Nobuaki Suzuki, Shoichi MATSUZAKA, Ryuichi ARIJI and Koji MINE

¹正会員 博(工) 東京理科大学准教授 理工学部土木工学科(〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

²非会員 修(工) TOTO インフォーム(株)(元東京理科大学大学院生)

³学生会員 学(工) 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻

⁴フェロー 工博 東京工業大学大学院教授 情報理工学研究科情報環境学専攻

⁵正会員 工博 (独) 水産総合研究センター 水産工学研究所 水理研究室室長

⁶正会員 工修 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所所長

⁷非会員 修(工) 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所調査課長

⁸非会員 学(工) 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所先任建設管理官

⁹正会員 学(工) 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所建設管理官

¹⁰正会員 学(工) 日本ミクニヤ(株)東京支店環境防災部

The purpose of the present study is to clarify the suspended-sediment, nutrient and carbon transports in the Tama River flowing into Tokyo bay in the large flood event caused by the attack of typhoon no. 0709. In the field measurement, we have monitored continuously the turbidity and conductivity using optical and electrical sensors with wipers and installed an automatic water sampler to collect the river water under hydrological events. The observed results indicate that the rating curves between the above-described transports and discharge in the large-scale flood are quite different in those in medium- and small-scale floods. In the large flood event, the suspended sediment, T-P and COD transports reach the amounts for the 6.6, 1.7 and 2.6 years, respectively, showing that the flood event due to the attack of typhoon no. 0709 has significantly environmental impact on water qualities of Tokyo Bay.

Key Words: Tama River, sediment transport, pollutant load, typhoon, flood

1. 序論

2007 年 9 月上旬に関東地方を直撃した台風 0709 号により、関東の大河川では、規模の大きい出水が久しぶりに発生した。特に多摩川では、上流部の累積雨量が約 700mm に達し、流量観測基準点である石原地点では戦後 2 番目の水位が観測された¹⁾。この出水により、上流部の小河内ダムでは、大量の流木や長期間にわたる白濁化現象が確認された。また、河道部の一部においては、低水路・高水敷護岸の破損や護床工ブロックの流出などが生じた¹⁾。このような出水インパクトはダムや河道部のみならず、その先の海域にも及んでおり、流域から多量の土砂や栄養塩、有機物などが東京湾に流入したものと考

えられる。

著者らは、多摩川の順流域末端地点において、土砂・栄養塩・有機物フラックスに関する現地観測を 2006 年夏期から現在まで行っており²⁾、2007 年台風 0709 号出水時においても計測した。本研究では、これらの観測結果に基づいて、台風 0709 号出水時に生じた土砂・栄養塩・有機物負荷特性を示し、この出水による東京湾への環境インパクトを明らかにする。ここでの観測としては、自記式測器による電気伝導度・濁度の長期連続観測と、主として出水時における採水調査を行っている。これらより、台風 0709 号出水時における SS・窒素 N・リン P・有機物(COD)の特徴やそれらのフラックスを算出し、この台風以外

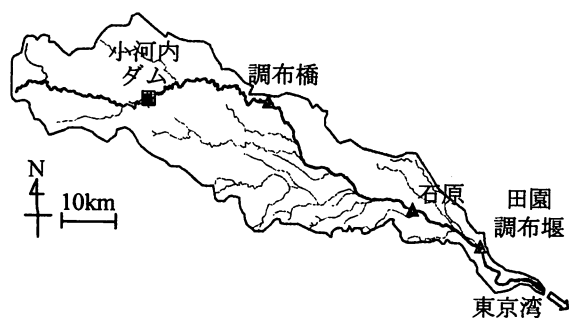


図-1 多摩川流域と観測地点

は、国土交通省関東地方整備局「羽田周辺水域環境調査研究委員会」の一部として行われた。

2. 流域及び出水概況

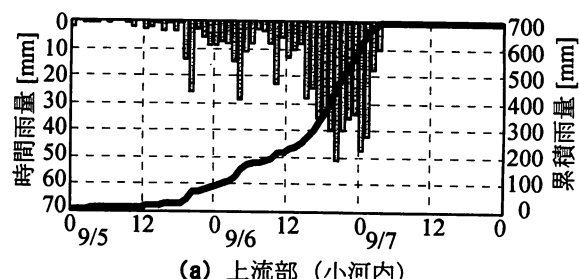
(1) 多摩川流域

多摩川は、山梨県笠取山を源流とし、東京湾に流れ込む全長 138km、流域面積 1240km² の一級河川であり、流域は東京都西部と山梨県、神奈川県から構成されている(図-1)。流域の土地利用特性としては、上流域では山林、中下流域では市街地が大部分を占めている。上流域には、都民の水瓶となっている小河内ダムが存在している。多摩川本川の順流部末端は田園調布堰(河口より 13km)である。

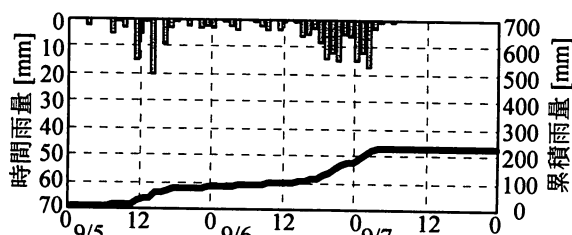
(2) 2007 年台風 9 号の概要

2007 年 8 月 25 日に南鳥島近海で発生した台風 0709 号は、徐々に勢力を強めながら北上し、中心気圧 965 hPa、最大風速 35 m/s まで発達した。その後、その勢力を維持しながら、9 月 7 日午前 2 時ごろに神奈川県小田原市付近に上陸し、関東地方から東北地方を縦断した¹⁾。この時の時間雨量及び累積雨量の経時変化を図-2 に示す。ここでは、多摩川流域内の上流部(小河内)、中流部(八王子)、下流部(世田谷)におけるアメダス観測データを用いる。小河内では、9 月 5 日夜半から断続的に強い雨が降り始め、6 日 16 時から時間雨量 20 mm 以上の雨が 11 時間も継続し、7 日の朝方には雨は止んだ。この間の最大時間雨量は 50 mm、累積雨量は 690 mm である。一方、中流部(八王子)や下流部(世田谷)では、小河内ほどの降雨量は観測されておらず、累積雨量としては、八王子で 213 mm、世田谷で 123 mm である。今回の台風では、太平洋からの湿った風が関東西部山沿いに吹きつけられ、そのエリアにおいて雨が集中的に降っており、結果として、多摩川流域の上流部に雨が多く降った。

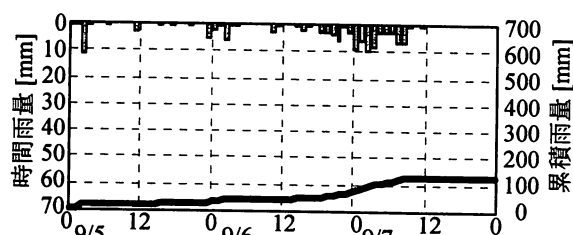
この台風時における水位変化を図-3 に示す。ここ



(a) 上流部(小河内)



(b) 中流部(八王子)



(c) 下流部(世田谷)

図-2 時間雨量と累積雨量の経時変化(台風 0709 号)

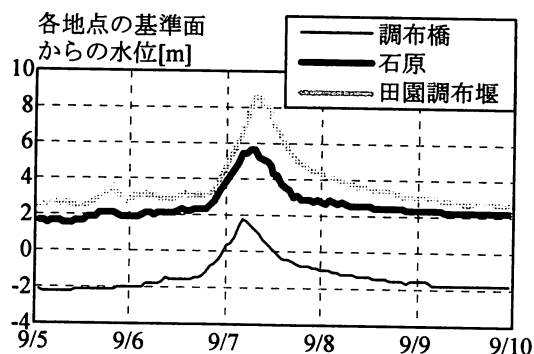


図-3 上流部(調布橋)、中流部(石原)、下流部(田園調布堰)における水位変化

では、上流部(調布橋)、中流部(石原)、下流部(田園調布堰)の結果を表示している(図-1 参照)。ここでの水位は、各地点における基準面からの高さであり、一時間毎の観測値となっていることに注意されたい。これより、上流部の調布橋では、9 月 6 日夜から水位上昇が顕著になり、7 日 3 時に水位ピークとなっている。水位変化が下流側に伝播し、水位ピークは石原では同日 6 時、田園調布堰では 7 時に各々現われた。これらのうち、調布橋と田園調布堰では氾濫判断水位、石原では計画高水位をそれぞれ超えた。各地点では、9/9 には、出水前の水位にほぼ戻っている。

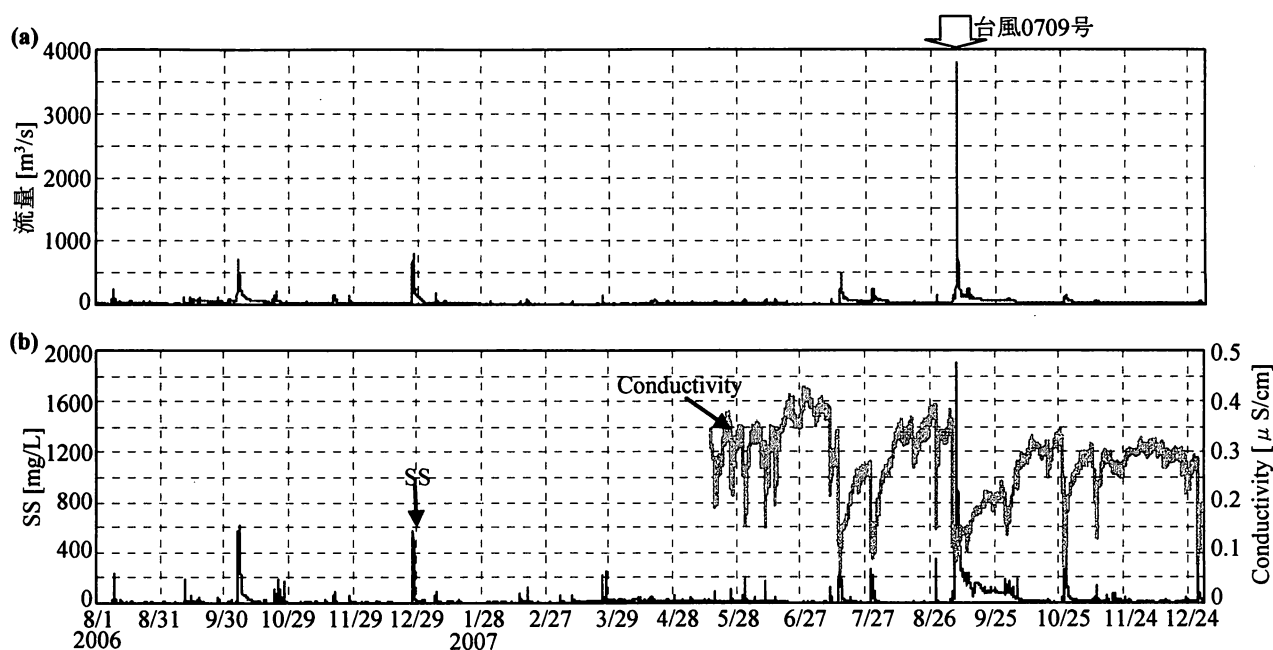


図-4 流量 (a) 及び SS・電気伝導度 (b) の時間変化

3. 現地観測方法

出水時を含む陸域負荷調査を自動・連続的に行うために、自動採水機 (6712 ポータブルサンプラー, Teledyne ISCO 製) による出水時の河川水採取と自記式測器による水温・電気伝導度・濁度の連続計測、という 2 種類の観測を行った。自動採水機は 2006 年 7 月～12 月, 2007 年 6 月～10 月の期間に設置され, 7 回の出水イベント時 (①2006/7/19～21, ②8/8～10, ③9/13～15, ④9/26～27, ⑤10/5～8, ⑥2007/7/14～18, ⑦9/6～11) に採水した。このうち⑦が台風 0709 号出水イベントである。採水間隔は基本的に 2 時間である。自動採水機を左岸堤防付近に設置し, この採水機と繋がるホース先端を低水路左岸側, 水面下 1m (平常時) に設置した。得られたサンプル水について, 濁度, 電気伝導度, pH, SS, 強熱減量 IL, 粒径分布, T-N, D-N, $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$, T-P, D-P, $\text{PO}_4\text{-P}$, T-COD, D-COD を分析した (T と D は全成分と溶存態成分を示す)。全成分と溶存態成分の差から懸濁態成分 (P-N, P-P, P-COD) を求める。この分析には, オートアナライザー (swAAAt, ビーエルテック ㈱製) やレーザー回折式粒度分析装置 (SALD-3100, ㈱島津製作所製) 等を用いた。

自記式測器により陸域負荷のベースとなる濁度と電気伝導度を連続計測するために, それぞれ光学式濁度計 (Compact-CLW) と水温塩分計 (Compact-CTW, 共にアレック電子 ㈱製) を用いる。これらの機器には, 清掃用ワイパーが装着されているので, 洪水時

においてもメンテナンスせずに, 連続計測を行うことができる。観測開始日は, 濁度計については 2006 年 7 月 31 日, 水温塩分計については 2007 年 5 月 15 日であり, 現在でも観測を継続している。設置位置は, 両センサー共に低水路中央部であり, その高さは平常時では水面下 0.5～1.5m である。

これらのデータを用いて, SS・T-N・T-P・T-COD フラックスを算出する。まず, 流量に関しては, 田園調布堰で計測されている流量データ (1 時間間隔) を用いる。次に, SS フラックスに関しては, 採水で得られた SS と自記式濁度計による濁度値の相関式を算出する (4. 2 参照)。この相関式と時々刻々計測された濁度を用いて, SS の連続データを求め, それと流量の積により, SS フラックスを求める。残りの T-N・T-P・T-COD フラックスに関しては, 二瓶ら³⁾と同様に, 低水時と出水時に分けて算出する。具体的には, 低水時には公共用水域データ (頻度: 月 1 回) と流量の積より, 出水時には流量観測値と $L-Q$ 式より, それぞれ負荷量を求める。 $L-Q$ 式については 4. 4 で示す。平常時と出水時を分ける流量の閾値は, 多摩川の流量特性を考慮して, $50 \text{ m}^3/\text{s}$ とする。

4. 観測結果と考察

(1) SS と電気伝導度の長期変化

本観測で得られた結果を概観するために, 2006/8/1 から 2007/12/31 における流量と SS, 電気伝導度の時間変化を図-4 に示す。ここでの SS は, 濁度と SS の相関関係 (次節参照) より求められてい

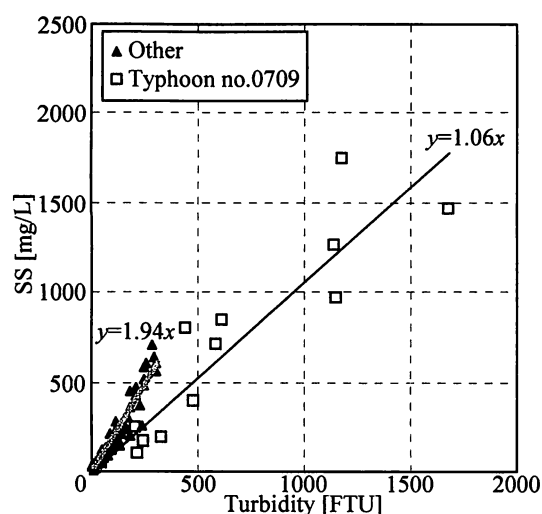


図-5 濁度とSSの相関（台風0709号出水とそれ以外で分けて表示）

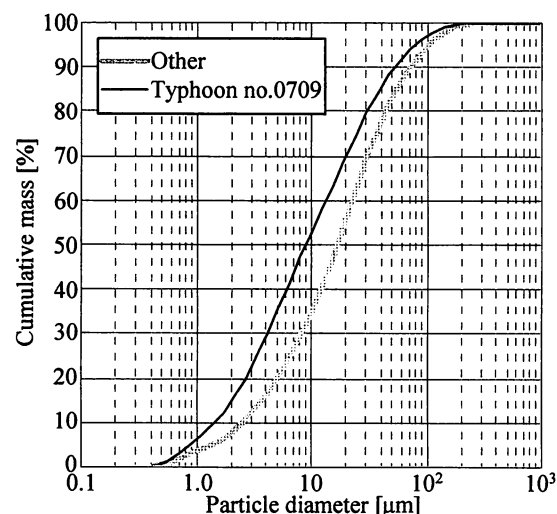


図-6 台風0709号出水とそれ以外の出水における浮遊土砂粒径分布の比較

る。また、電気伝導度は前述したように2007/5/15から観測されているので、それ以前のデータは存在しない。これを見ると、台風0709号出水が生じた期間では、流量は最大で約 $3800\text{m}^3/\text{s}$ に達している。これは、低水時（ $\approx 30\text{m}^3/\text{s}$ ）の100倍以上であり、他の出水イベントよりも明らかに大きい。SSは出水イベントに対応して大きくなっており、特に、台風0709号出水時のときに顕著になっている。電気伝導度は、濁度とは逆に、降水の希釈効果により、出水時には大きく減少している⁴⁾。この出水時における電気伝導度の極小値は、概ね $0.05\sim 0.10\mu\text{S}/\text{cm}$ となっており、電気伝導度の低下量と出水規模には明確な対応関係は見られない。

（2）濁度とSSの相関関係

台風0709号出水時とその他の出水時における水

質特性を比べるために、SSと濁度の相関図を図-5に示す。ここでは、台風0709号出水とそれ以外の6つの出水イベントに分けた形で表示している。このように、濁度とSSには直線関係が見られるが、その傾きは台風0709号出水とそれ以外の出水イベントでは異なっており、次の相関式が得られた。

$$\text{【台風0709号】 } SS = 1.06Turb \quad (r=0.913) \quad (1a)$$

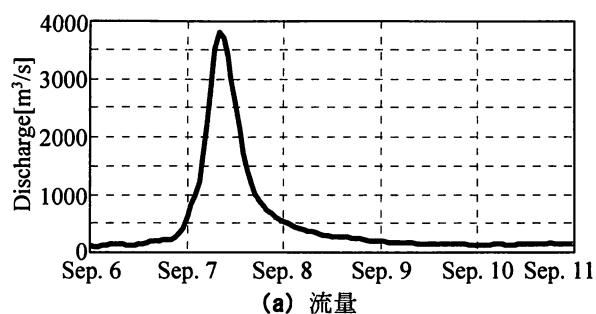
$$\text{【その他】 } SS = 1.94Turb \quad (r=0.967) \quad (1b)$$

ここで、 $Turb$ は濁度（単位：FTU）であり、SSの単位は mg/L である。この図より、台風0709号出水時では、それ以外の出水イベントと比べて、濁度とSSの相関関係にはバラツキが目立つが、相関係数 r は0.91と概ね高い値である。

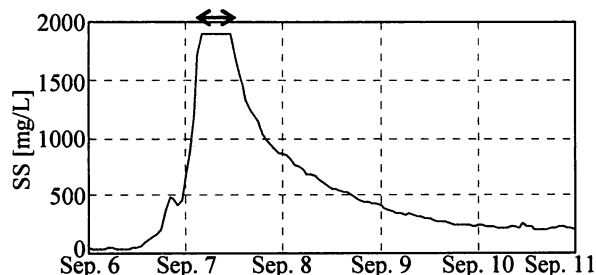
このように、台風0709号出水とそれ以外の出水イベントにおいてSSと濁度の相関関係が大きく異なる要因を調べるために、台風0709号出水時とその他の出水時における浮遊土砂粒径分布を図-6に示す。ここでは、対応する出水時において得られた粒径分布データの平均値が図示されている。これより、台風0709号出水時では、その他のイベントと比べて微細土砂成分が大きな割合を占めている。このように、台風0709号出水時とその他の出水時では、土砂粒径分布が大きく異なっており、これにより、濁度とSSの相関関係に違いが生じたものと考えられる⁵⁾。

（3）水質濃度の時間変化

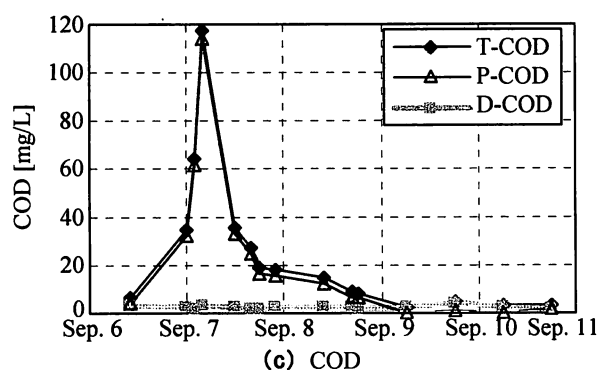
台風0709号出水時における水質濃度の時間変動特性を見るために、流量とSS、CODの時間変化を図-7に示す。ここで、SSは、前述した濁度データから変換されたものである。また、CODに関しては、全成分（T-COD）、懸濁態成分（P-COD）、溶存態成分（D-COD）について表示している。なお、SSに関しては、同図（b）の矢印の範囲では、濁度計の計測範囲（本測器の場合、1800 FTU）を超える結果となってしまったので、その部分ではSSは一定となっている。また、この出水中には、自動採水機の一部が冠水したため、自動採水機による採水作業に一部支障が出た。そのため、2時間間隔で採水できず、水質データが欠測する部分が生じている。この図を見ると、流量は、出水前にはおよそ $25\text{m}^3/\text{s}$ であったが、9/7のピーク時には $3800\text{m}^3/\text{s}$ を超えた。この9/7には流量は急激に増減しており、そのピーク2日後（9/9）には、流量は $150\text{m}^3/\text{s}$ 以下となった。低水と出水の境目を $100\text{m}^3/\text{s}$ とすると、この流量を下回ったのは9/15であり、この台風出水の影響は、流量から見ると、約10日間継続したと言える。



(a) 流量



(b) SS (図中矢印は、濁度計の計測範囲上限を超えている期間を示す)



(c) COD

図-7 水質濃度の時間変化 (台風 0709 号出水時)

一方、SS に関しては、9/6 夜から急激に増加し、流量よりも先行して増加した。また流量ピーク後には SS は減少するものの、その様子は流量と比べて緩やかである。出水前の SS は 10mg/L 以下であったが、出水中には最大で 2000mg/L を越えていたものと推定される。また、SS が 50mg/L を下回ったのは 10/4 であり、50mg/L を一つの出水影響の目安とすると、台風出水の影響は SS では約 1 ヶ月と流量の 3 倍程度の期間にわたり生じていたことが示された。

COD に関しては、全成分 (T-COD) は流量に対応して大きく増加し、100mg/L を超える大きな値が観測された。それには、懸濁態成分の寄与が大部分を占めており、SS の増加と対応した結果となっている。また、溶存態成分は概ね一定値となっている。類似した傾向は、リンや窒素に関して確認されている。このように、本出水では、SS のみならず、COD や栄養塩も大量に輸送されているものと考えられる。

(4) L-Q 関係

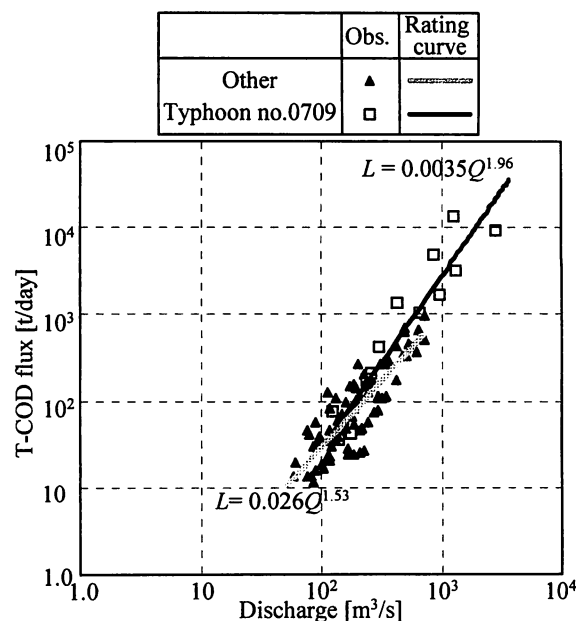


図-8 L-Q 関係 (T-COD フラックス)

このように特徴的な水質濃度変化が見られた台風 0709 号出水と他の出水イベントの水質負荷特性を比較・検討するために、一例として、T-COD の L-Q 関係を図-8 に示す。ここでは、台風 0709 号出水とその他 6 つの出水イベントの結果 (流量が 50m³/s 以上を対象) を分けて示す。また、図中には、それぞれの結果に対する L-Q 式 ($L=aQ^b$, a, b : 係数) も図示している。これより、同一の流量において、台風 0709 号出水時での COD フラックスは他のイベントの値を上回る結果が多く、かつ、L-Q 式の傾きも大きい。類似した傾向は、懸濁態成分が顕著となる T-P フラックスでは確認されているが、溶存態成分が卓越する T-N フラックスでは見られない。このように、台風 0709 号出水のような大規模出水における L-Q 関係は、懸濁態成分の寄与が大きい T-COD や T-P では、中小規模出水における L-Q 関係と異なることが示された。以上より、中小規模出水時に収集されたデータのみで得られる L-Q 式を大規模出水時の汚濁負荷量評価に用いると、COD や P では大きな誤差が生じる可能性が示唆された。

(5) 汚濁負荷量

台風 0709 号出水時における汚濁負荷量を検討するために、この台風出水時全体における総流量及び SS・T-COD・T-N・T-P フラックスの総和を算出した結果を表-1 に示す。ここで、台風 0709 号の期間として、流量データを参考にして、2007/9/4~16 までの 12 日間としている。また、比較のために、この台風出水時を含まない年間負荷量 (2006/8/1 から

表-1 年間（2006/8/1～2007/7/31）及び台風 0709 号出水時（2007/9/4～16）における総流量及び SS・T-COD・T-N・T-P 総フラックス（表中の反転された部分は各フラックスの総和であり，単位は表上段に記載されている．また，反転されていない部分は各フラックスの比率を表す）

	流量[10 ⁶ m ³]	SS [kt]	T-COD [kt]	T-N [kt]	T-P [kt]
年間（全体） <i>A</i>	1173.80	69.55	4.68	4.76	0.28
年間（出水） <i>B</i>	506.10	63.67	2.27	1.20	0.12
年間：出水時寄与 <i>B/A</i>	0.43	0.92	0.49	0.25	0.41
台風時（全体） <i>a</i>	290.14	456.77	12.20	0.80	0.48
台風時/年間（全体） <i>a/A</i>	0.25	6.57	2.61	0.17	1.70
台風時/年間（出水） <i>a/B</i>	0.57	7.17	5.37	0.67	4.11

2007/7/31 までの 1 年間）も合わせて示す．これらのフラックスの算出方法は，3．で述べたとおりである．また，年間フラックスに対する出水時の寄与率，台風時と年間のフラックスの比率も示す．まず，年間の総フラックスとしては，SS は 70 kt，T-COD は 4.7 kt，T-N は 4.8 kt，T-P は 0.28kt である．それに対する出水時の寄与率としては，SS は 92%，T-COD は 49%，T-N は 25%，T-P は 41% であり，懸濁態成分の影響が大きい項目ほど出水時の寄与率も大きい³⁾．それに対して，台風 0709 号出水時では，SS は 457 kt，T-COD は 12 kt，T-N は 0.80 kt，T-P は 0.48 kt である．これらの結果を上述した年間値で除したところ，この台風時ではわずか 12 日間で SS は 6.6 年分，T-COD は 2.6 年分，T-N は 0.17 年分，T-P は 1.7 年分流出した．台風 0709 号出水時における総流量が 0.25 年分であることを考えると，T-N 以外の SS，T-COD，T-P は，台風 0709 号出水時において大量に輸送されたことが分かる．

以上のことから，台風 0709 号出水により，多摩川を經由して東京湾への環境インパクトが顕著であったことが明らかとなった．上述した多摩川と類似した傾向は，荒川や隅田川，江戸川などにおいても確認されており，それらの結果に関しては別途報告する予定である．

5. 結論

本研究で得られた主な結論は以下のとおりである．

- (1) 多摩川・田園調布堰における濁度と電気伝導度の長期連続観測結果より，洪水時には，濁度値から得られた SS は大きく増減し，その様子は流量規模と対応している．一方，電気伝導度は，洪水時に大きく減少するが，その減少の程度は流量規模と対応していない．
- (2) SS と濁度の相関関係が，台風 0709 号出水時とそれ以外の出水イベントで異なることが明らかとなった．その一因として，浮遊土砂粒径分布

の違いが示唆された．

- (3) 台風 0709 号出水時には，水質濃度が著しく増加し，T-COD は最大で 100mg/L を越える大きな値が観測された．この結果として，水質負荷量 *L* と流量 *Q* の関係が，T-COD や T-P では，台風 0709 号出水時とその他の出水時とでは明確に異なる．
- (4) 台風 0709 号出水時では，わずか 12 日間において SS は 6.6 年分，T-COD は 2.6 年分，T-N は 0.17 年分，T-P は 1.7 年分流出した．このように，台風 0709 号出水は，多摩川が流入する東京湾に大きな環境インパクトを与えたものと考えられる．

謝辞：国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所には，現地観測に際して様々な便宜を図って頂いた．東京都水道局には，田園調布堰における流量データを提供して頂くと共に，現地観測実施に際してご協力して頂いた．本調査の一部は，国交省関東地方整備局「羽田周辺水域環境調査研究委員会」として行われた．本研究の一部は，河川整備基金助成事業（研究代表者：中川一）によるものである．公用水域データとしては，国立環境研究所「環境数値データベース」より収集した．ここに記して謝意を表する．

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：平成 19 年「台風 9 号による豪雨災害」出水の記録 9 月 28 日版，pp.1-32，2007．
- 2) 二瓶泰雄，江原圭祐，坂井文子，臼田美穂，灘岡和夫，八木宏，有路隆一，諸星一信，松坂省一，古土井健，小林聡，森重輝政：多摩川・田園調布堰における SS 及び栄養塩・COD 負荷量の把握，土木学会年次学術講演会講演要旨集，Vol.62，pp.131-132，2007．
- 3) 二瓶泰雄，江原圭介，臼田美穂，坂井文子，重田京助：江戸川・荒川・多摩川における水質環境と流入負荷特性，海岸工学論文集，Vol.54，pp.1226-1230，2007．
- 4) 海老瀬潜一：汚濁物質の降雨流出負荷量，水質汚濁研究，Vol8，No.8，pp.499-504，1985．
- 5) 横山勝英：濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察，土木学会論文集，No.698/II-58，pp.93-98，2002．

(2008. 4. 3 受付)