

1.はじめに

山崎川は名古屋市千種区に広がる平和公園内の猫ヶ洞池からの導水を水源とし、総延長 12.4km、流域面積 26.6km² の都市河川である。また流域内は合流式下水道が整備されており、降雨時には雨水と生活排水が未処理のまま河川に流出する雨水吐越流が発生するため水質が悪化し問題となっている。

そこで本研究ではまず河川内に水深を自動計測する器材を設置し常時水深を計測した。これから河川内の流量変化を把握し、計測が容易な降雨データから河川の流量変化を算出する流出モデルを作成した。また降雨時に現地で採水を実施し雨水吐越流によりどの程度の水質悪化があるかを把握し、流出モデルと汚濁負荷について検討した。

2.現地観測

現地観測は名古屋市昭和区で実施し、その流域図を図-1 に示す。まず、あらかじめ河川内に水深を 2 分間隔で自動計測する小型絶対圧水位計(S & DL mini バロメータ 応用地質株式会社製)を図-1 の 印で示す箇所に 8 基設置した。これと同時に大学内の研究室横の非常階段に圧力計(S & DL mini EC メータ 応用地質株式会社製)も設置する。河川内に設置した圧力計は水圧と大気圧の両方を合わせたものを計測し、研究室横に設置した圧力計は大気圧のみを計測する。よってこの 2 つの差をとったものが水圧でありここから水深データを得ている。得られた水深データと現地の水位計を設置した断面の測量データから Manning 式を変形した式(1)より流量を算出する。この際断面データは 2 つの水位計を設置した断面の平均データを使用している。

$$Q = \frac{1}{n} \frac{(Bh)^{\frac{5}{3}}}{(B + 2h)^{\frac{2}{3}}} I^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

なお Manning の粗度係数については降雨時に流量増加があった際に橋の中央から一軸の電磁流速計(AEM1-D)を河川内にたらし 2 ~ 10 分間隔で計測を行なった。この流速を用いて流量変化を計測し、式(1)のように水面勾配を用いて得られる流量が最も合致する Manning の粗度係数(0.0363)を得た。よってこの粗度係数と水位計から 2 分間隔で得られる水深データより常時流量の変化を計測することができる。この流量観測とは別に降雨時に現地に出向き雨水吐越流による水質変化の影響を調査するために図-1 の 印で示す場所で採水を行なった。採水は設置されている階段で河川



図-1 流域図

表-1 観測日の降雨形態

観測日	10/14-15	11/11	11/19
降雨開始時刻[hr:min]	16:00	3:30	0:40
降雨終了時刻[hr:min]	16:50	14:10	15:50
降雨継続時間[hr]	20:10	16:10	4:10
総降雨量[mm]	52.5	15.5	58.0
平均降雨強度[mm/hr]	2.1	1.5	3.8
最降雨強度[mm/10min]	5.5	2.0	2.0
最降雨強度[mm/hr]	11.0	5.5	7.5
先行晴天日数[day]	8.5	4.9	7.4
前回の流出からの日数[day]	8.5	18.8	7.4

に手の届く所まで行き、直接ボトルを河川に沈め採取した。なお採水間隔は降雨はあるが水深の変化があまり見られないときは 15 分 ~ 1 時間間隔でおこない強い降雨があり急激に水深が上昇してくることが予想される際には 2 分間隔で実施した。また採水した水はできる限り速やかに SS 試験(ガラス繊維ろ紙法)と BOD 試験(JIS K 0102 に準拠したセントラル科学株式会社の BODTrak を使用)を実施した。

3.降雨時の観測結果

降雨時の現地観測は 2011 年 10 月 14～15 日, 11 月 11 日と 11 月 19 日の計 3 回実施し, その際の降雨形態を表-1 にまとめた.

第 1 回目の 10/14-15 におこなった観測結果について述べる. 当日の 10 分間降雨と水深変化, SS, BOD 変化を図-2～4 に示す. まず図-2 を見ると実測流量が午前 1 時前までかなりばらついており水深変化と相関がないことがわかる. これは流速を計測した橋の真下に吐口が位置し雨水吐越流の直撃を受けておりまた河床形状の落差の影響で正確な計測ができなかったためである. そのため 1 時以降 1 つ上流側の橋に移動し流速の計測を実施した. その際の流速は水深と相関があり十分信頼性があると思われる. なおこの後の観測では全て移動した後の橋で流速計測を実施した. ここから得られたマンニングの粗度係数を使用して計算した流量が 10 月 15 日の 1 時以降の実測流量と合致していたため前半部分についても同じ粗度係数を使用して流量を計算しても支障はないと判断した. また降雨と流量増加についてであるが 22 時の 1.5mm/10min の後に上昇が始まり, 22 時 30 分の 5.5mm/10min のピーク降雨によって急激に上昇している. この際の降雨から流量上昇までの時間遅れは約 30 分であり, ピークのずれは約 10 分であった.

次に水質の項目について見る. SS, BOD とともに流量のピークの前にピークが現れており, SS で 1 時間, BOD で 30 分前となった. これは下水管路内に蓄積した汚濁物質が雨水と共に流出してくるファーストフラッシュの特性が現れたためだと思われる. 流出の初期段階では両方と同じように上昇似た傾向が見られたが 1 時以降の 2 度目の流出では SS においてはある程度の上昇が見られるが BOD は減少していくのみである. これは BOD 成分として考えられる物資が生活排水や蓄積物質に依存するためファーストフラッシュで全て流出してしまったかまたは夜遅い時間帯であるため汚濁物質が下水管路内に存在しなかった等の理由が考えられる. この他に流量から通常流量である $0.2\text{m}^3/\text{s}$ を差し引いた増加流量に濃度を掛け合わせた負荷量について図-5 に示す. こちらは増加流量と負荷量のピークが複数回の流出においても一致する傾向が見られる. また 1 回目のピークの前に小さなピークが見られるがこれは上流側に位置する吐口において流出するタイミングの違いや流下時間によるずれだと思われる. さらに現地観測のまとめとして各観測日における流量, 水質と負荷量についての最高値を表-2 に示す.

4.流出モデル

降雨データから流出量を算出するモデルを構築することができればわざわざ河川に水位計を設置し流量を

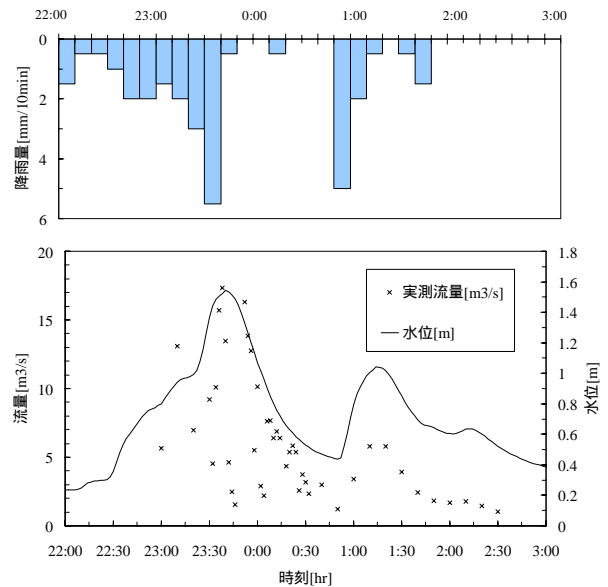


図-2 降水量と水深(10月 14～15 日)

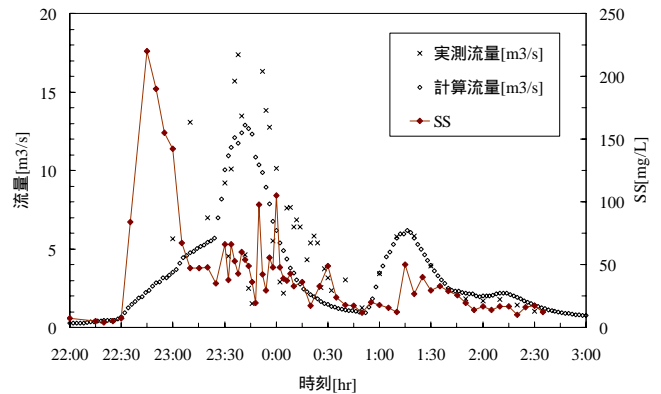


図-3 流量と SS(10月 14～15 日)

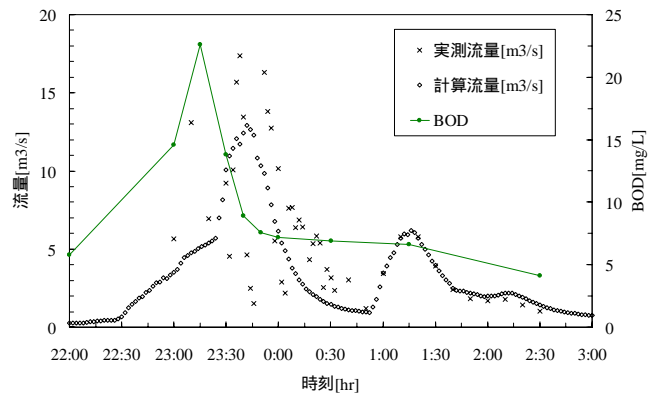


図-4 流量と BOD(10月 14～15 日)

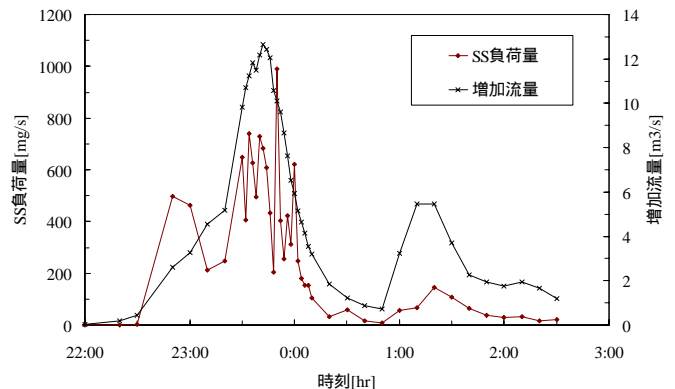


図-5 流量と SS 負荷量(10月 14～15 日)

計算する手間を省くことができる．そのためここでは降雨から計算される流出高と直接流出量の関係性について述べる．

まず直接流出量であるがこちらは3回行った観測とは別に6月から水位計を設置し流量を計測している．よって観測日以外の19回あった降雨により発生した流出を流量ハイドログラフから算出した．なおこの際河川の複断面の小段を超えるような大規模な流出は Manningの粗度係数が変化することが予想され、流量が不確かなので除外してある．

次に降雨データであるが図-1に印で示した昭和土木事務所とは別にもう1つ流域内に千種土木事務所が位置している．この2つの観測所の値を用いて Thiessen 法より流域内の平均雨量を算出した．観測地点の流域面積は838.6haである．

算出した平均降雨量を用いて単位図法の考え方を利用し10分間降水量による流出高を6分割しそれぞれのタイミングで流出するのが最も流出量と関係性が高いかを検証した．まず式(2)よりある時点の10分間流出高 q を60分間前までの10分間降水量を用いて次のように重ね合わせにより求め計算する．

$$q(t) = \sum_{i=1}^6 a_i r(t - i\Delta t) \quad (2)$$

繰り返し計算から降雨の配分比率 a は図-6に示すように設定した時が流出高と直接流出量の相関が最も強くなった．降雨より10分間は流出がなく、その後徐々に流出が始まり20~30分後の間に最も多く27.3%が流出してくるという結果になった．この10分間流出高 q [mm/10min]と直接流出量 Q [m³/s]の関係を示したのが図-7である．これより式(3)の関係式が得られる．

$$\begin{aligned} Q(t) &= 24.165q - 12 \\ &= 24.165(q - 0.497) \end{aligned} \quad (3)$$

また流出率を計算すると34.6%となった．これより流出高が0.497mmを超える降雨があると流出が開始することを意味している．作成したモデルの再現性を確認するために10月14~15日の計算結果と実測流量を時系列上に示したものを図-8に各観測日ごとに総流出量を比較したものを表-3に示す．概ね流量のピークを迎える時間帯は再現できているが、上昇開始時期のずれ、ピーク流量が若干過小評価になる点や総流出量が3回とも実測値より小さくなる等の問題がある．これは7,8月に見られた雨量観測所に記録されない局所的な降雨の影響が考えられるが実測値のずれは主に低流量時に表れており、後の負荷量予想に対する影響は小さいと考えられるのでほぼ再現できていると判断した．

表-2 各観測日における最高値

観測日	流量[m ³ /s]		水質[mg/L]		負荷量[mg/s]	
	実測	計算	SS	BOD	SS	BOD
10/14-15	17.358	12.899	220.0	22.6	990.1	136.1
11/11	5.206	5.318	254.0	47.3	701.7	160.5
11/19	4.662	4.912	94.7	33.6	326.0	80.1

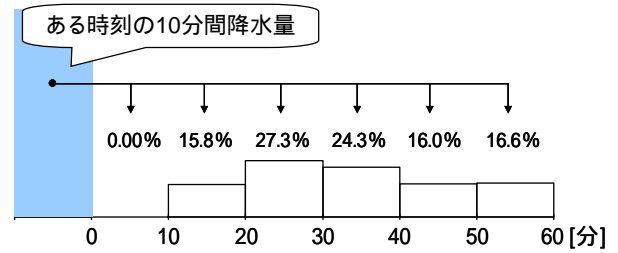


図-6 降雨の配分

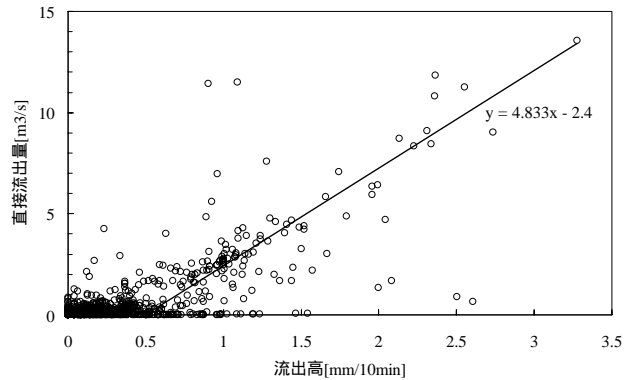


図-7 流出高と直接流出量

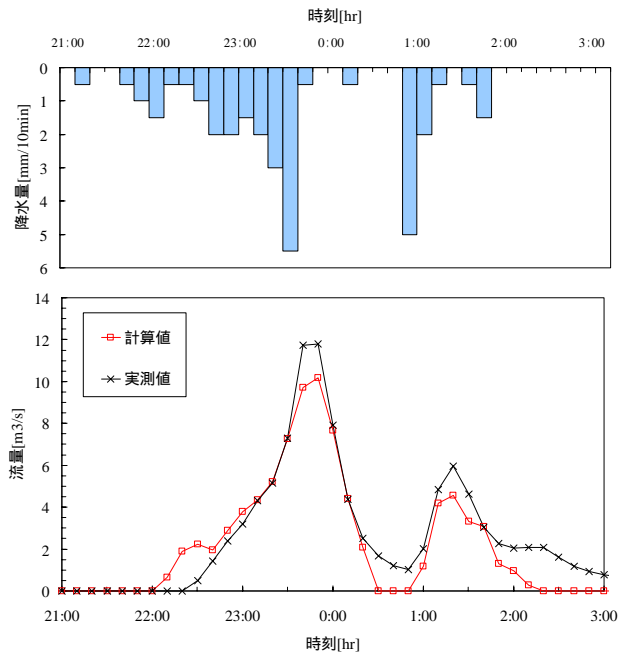


図-8 流出モデルと実測値の比較

表-3 総流出量の比較

	10/14-15	11/11	11/19
実測値[m ³]	62075	17698	88430
計算値[m ³]	49865	12931	66192
計算値/実測値	80.3%	73.1%	74.9%

5.汚濁負荷量

増加流量に水質濃度を掛け合せた汚濁負荷量について見てみる．まず負荷量 L [mg/s]と増加流量 Q [m³/s]の関係式として式(4)を定義する．

$$L = aQ^b \quad (4)$$

これより各観測日の全ての計測点において SS 負荷量，BOD 負荷量と増加流量を結びつけるパラメーター a, b を図-9 に示すように近似曲線を引いて算出した．観測日ごとに得られた a, b を用いて水位計から算出される増加流量を式(4)に代入し SS 負荷量について計算した．

これを 10 月 14～15 日の観測データと比較したものを図-10 に示す．なお観測は 3 回行っているので各観測日のみで 3 パターン，全ての計測値を使用した場合の 1 つのパターンがあるが 11 月 11 日の観測日は流量増加が少なかったにも関わらず大きな汚濁負荷がかかり計算値が大きくなりすぎるので掲載していない．図よりどのパターンにおいても実測の SS 負荷量に 2 度ある大きなピークは一致している．しかし 23 時前のある小さなピークは再現できていない．これはこの上昇が上流側に位置する吐口のどれかからファーストフラッシュによって高濃度の汚濁物質が流入してきたことが考えられ，このため低流量ではあるが程度の負荷を計測したと考えられる．また 1 時以降の上昇については実測値より大きな上昇となっている．これは雨水吐越流によってかかる負荷の中で最も大きな物がファーストフラッシュであり，2 度目の越流ではこの影響がないため負荷はあまりかからないからである．よって図-9 では観測日毎にパラメーターを算出したが同一日でも複数回の流出ごとに区別する必要もある．これを観測日ごと一緒にまとめた物を表-4 に示す．さらに流出モデルに負荷モデルを適用した物を図-10 に示す．こちらも流出によって区別したほうがより再現ができていた結果となった．

最後に複数回の流出があった 10 月 14～15 日，11 月 19 日の両方において 1 回目の流出において両対数グラフにおける切片を意味する「 a 」が大きくなり 2 回目では約半分近くまで減少している．さらに大きな負荷となった 11 月 11 日の値も大きい．よって「 a 」は表-1 に示す前回の流出からの日数や流出回数によって変化する値であると言える．また「 b 」の値はファーストフラッシュが発生した流出において大きくなっており，長い降雨が継続した後に流出した 11 月 19 日の 1 回目の流出では小さくなっている．よって降雨の降り始めから流出までにかかる時間，その間の降雨の強度に影響するものだと言える．

6.まとめ

本研究では常時流量を計測することで流出特性を把握しそこから負荷量を推定するモデルを作成した．し

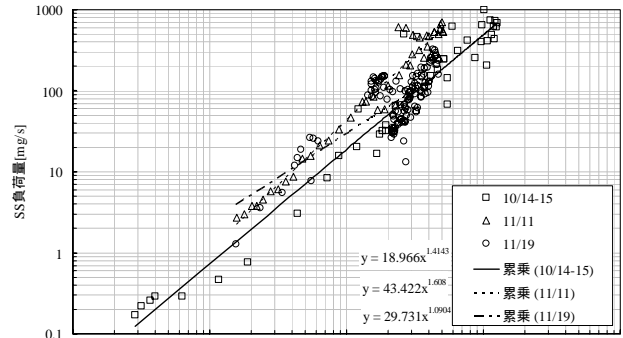


図-9 SS 負荷量と増加流量の関係

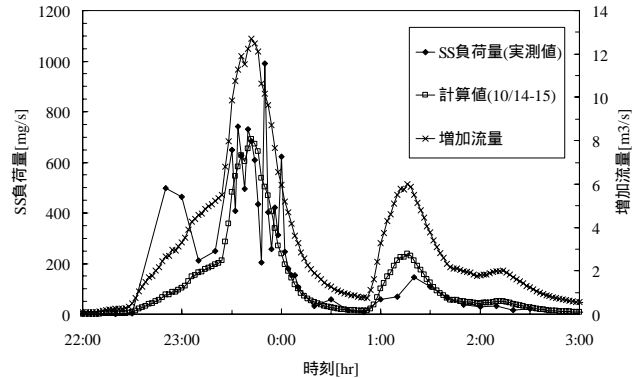


図-10 現地観測データとの比較

表-4 各観測日と流出による違い

	全計測値	10/14-15	11/11	11/19
a	26.617	18.966	43.422	29.731
b	1.3553	1.4143	1.608	1.0904
	10/14-15 1st	10/14-15 2nd	11/19 1st	11/19 2nd
a	23.876	14.227	42.567	16.951
b	1.3632	1.2638	0.7841	1.3821

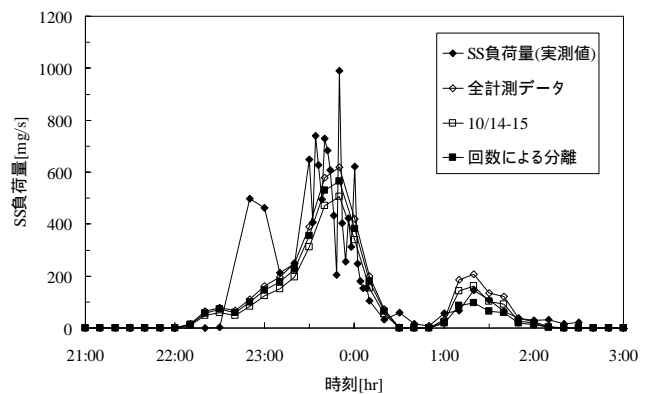


図-11 流出モデルから負荷量を再現

かし今回降雨時の現地観測を実施することができたのは僅かに 3 回であった．これではある程度の傾向をつかむに留まっている．そのため今後も降雨時の調査を継続して行っていく，より正確な負荷量のモデルを作成し都市河川の水質改善に役立つことを願っている．
参考文献 中西祐貴(2011)堀川の CSO 負荷量の推定とその削減策に関する研究 名古屋工業大学大学院修士論文