

都市部中小河川流域における Xバンド MP レーダー雨量データを用いた流出解析

指導教員 富永晃宏 教授

後藤宏輔

1. はじめに

都市を流れる中小河川の流域では、土地利用の高度化によって流出特性が変化し、人口や資産の集中に伴い、水害によって甚大な被害が発生している。効果的な治水対策を講じるには、あらかじめ降雨時に雨水がどのくらい河川へ流出するのかを把握する必要がある。流出量の推定には、雨量データを流出モデルに入力して流出量を算定する流出解析が行われる。モデルパラメータの同定には既往洪水データが用いられるため、各種水文データの観測精度を確保することは非常に重要である。

近年、我が国では短時間の局地的な豪雨が多発している。特に、都市域においては数平方キロメートル規模の狭い範囲の中で発生する 경우가あり、このような豪雨を現状の地上雨量計網で捉えきるのは困難である。2010年より、国土交通省は従来に比べて時空間的に高分解能（1分間隔・250mメッシュ）の降雨観測が可能な Xバンド MP レーダーの整備を進めている。名古屋市周辺の降雨は尾西・安城・鈴鹿の3か所のレーダーによって観測されている。このような高性能レーダーを用いて観測された雨量データは、流出モデルへ入力することにより流出計算の精度向上が期待される。

以上の背景の下、本研究では、名古屋市緑区内を流れる扇川の流域に着目した。流域内に存在する3つの防災調節池において観測された余水吐越流水深データから降雨時の流出量の変化を調べた。また、対象流域近傍に存在する地上雨量計の観測値と Xバンド MP レーダーの観測値を比較し、レーダーによる観測雨量の精度を検証した。そして流出解析を行い、流域からの流出量を推定するとともに、レーダー雨量の流出解析への適用可能性を検証した。

2. 研究対象

(1) 対象流域

緑区内の防災調節池では余水吐部において越流水深の観測が行われており、それらのうち、流出量の算定が比較的容易な池として神沢池・要池・大池の3つの流域を対象として選定した（図-1参照）。各防災調節池の流域面積は、神沢池流域が1.1km²、要池流域が2.2km²（神沢池流域を含む）、大池流域が0.6km²で、いずれも小さな流域である。流域内の土地利用は、一部森林が存在するが、住宅地や商業施設が大部分を占める都市化した流域である。また、流域内には分流式下水道が整備されており、流域に

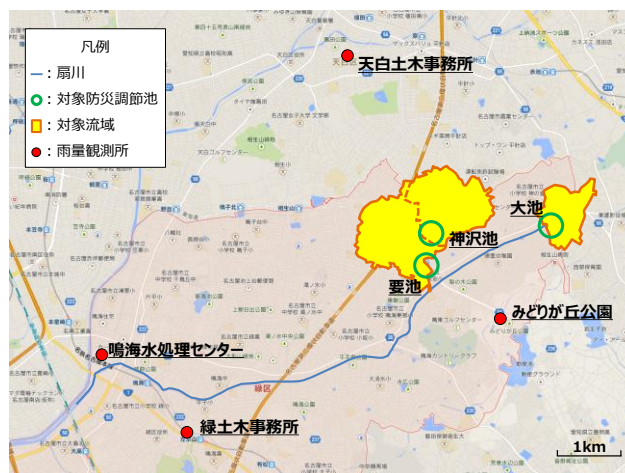


図-1 対象流域

表-1 対象降雨

降雨番号	年月日	最大10分雨量 (mm/10min)	総雨量 (mm)
①	2011年2月27日～28日	2.5	59.5
②	2011年5月10日～12日	5.5	101.0
③	2011年7月19日～20日	5.5	106.0
④	2011年9月2日～5日	5.5	70.0
⑤	2011年9月20日	16.0	191.5
⑥	2011年11月19日	1.5	52.5
⑦	2012年12月30日	2.0	35.0
⑧	2013年1月14日	1.5	34.0
⑨	2013年4月24日	1.5	40.0
⑩	2013年6月19日～21日	1.5	85.0
⑪	2013年6月26日	1.5	34.0
⑫	2013年7月29日～30日	1.5	50.0
⑬	2013年8月5日～6日	10.0	67.5
⑭	2013年9月4日～5日	13.0	65.0
⑮	2013年9月15日～16日	6.5	101.0
⑯	2013年10月15日～16日	3.0	113.5
⑰	2013年10月19日～20日	3.0	88.0

降った雨は雨水管を通して各池に流入し、ある水深を超えると池の余水吐から流出する。

(2) 対象降雨

2011年から2013年の3年間に総雨量が30mmを超えた降雨イベント（緑土木事務所の地上雨量計を基準）を抽出し、地上雨量またはレーダー雨量のデータが利用できない場合は解析対象から外した。本研究で対象とする降雨イベントを表-1に示す。

3. 地上雨量とレーダー雨量の比較

(1) 同一地点における比較

対象流域近傍には緑土木事務所・天白土木事務所・みどりが丘公園・鳴海水処理センターの計4か

所に地上雨量計が設置されている。図-2 はこれらの観測値とその4か所にそれぞれ最も近いメッシュのレーダー雨量計の観測値を比較したものである。なお、地上雨量は10分間雨量(mm/10min)で、レーダー雨量は1分間隔の降雨強度(mm/h)で出力されるため、レーダー雨量を地上雨量の単位に変換した。図-2 をみると、地上雨量とレーダー雨量の差はほぼ-2.0~2.0mm/10min となり、プロットした点は傾き1の直線付近に集中している。各観測地点における地上雨量とレーダー雨量の相関係数を求めると、緑土木では0.91、天白土木では0.92、みどりが丘では0.91、鳴海では0.89となった。レーダー雨量は0.1mm単位で観測されるのに対して、地上雨量は0.5mm単位で観測されることも考慮に入れば、地上雨量計とレーダー雨量計の観測値は概ね一致している。

(2) 流域平均雨量の比較

流域平均雨量の算定方法として、地上雨量計の観測値を用いる場合はティーセン法、レーダー雨量計の場合には用いるメッシュの観測値を算術平均することにより算定した。なお、本研究で対象とする3つの防災調節池の流域内には地上雨量計が存在しないため、流域外の雨量計の観測値を用いることとなった。ティーセン法により流域を分割した結果、神沢池・要池流域はみどりが丘と天白土木の2か所、大池流域はみどりが丘の1か所のみ地上雨量計を用いることとなった。一方、レーダー雨量は神沢池流域で17個、要池流域で38個、大池流域で13個のメッシュの観測値を用いた。図-3 は地上雨量計とレーダー雨量計の観測値を用いて対象流域における流域平均雨量を算定し、両者を比較したものである。これをみると、地上雨量による流域平均雨量とレーダー雨量による流域平均雨量の差が大きいことが分かる。各流域での両者の相関係数は神沢池流域で0.77、要池流域で0.71、大池流域で0.89となった。

地上雨量計の位置と対象流域は離れているため、雨域の移動により降雨に時間差が生じることがある。そこで、図-3 のデータを用いて降雨イベントごとに総雨量を算定し、比較したものを図-4 に示す。これをみると、総雨量が100mm程度までは傾き1の直線付近にプロットした点が集中しているが、それ以上の雨量ではレーダー雨量による流域平均雨量の方が50mm以上上回っている場合が多い。相関係数は神沢池流域で0.83、要池流域で0.89、大池流域で0.91であった。

前述した同一地点の比較においては、地上雨量計とレーダー雨量計の観測値は比較的強い相関が確認されたため、対象流域においてもレーダー雨量計は実際の降雨を観測できていると推測される。一方で、

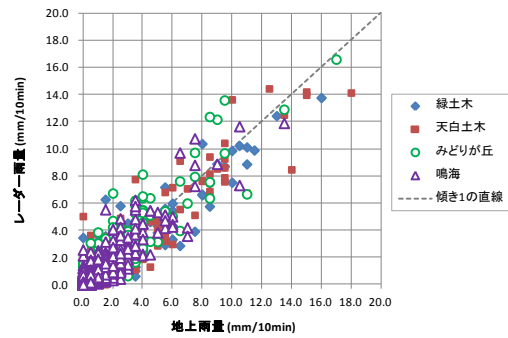


図-2 同一地点における地上雨量とレーダー雨量の比較 (10分雨量)

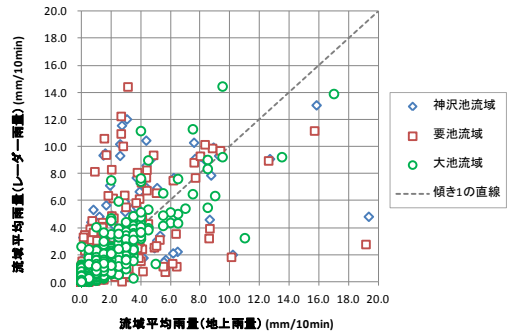


図-3 各流域における地上雨量とレーダー雨量による流域平均雨量の比較 (10分雨量)

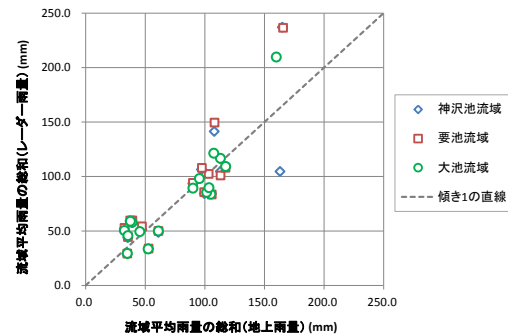


図-4 各流域における地上雨量とレーダー雨量による流域平均雨量の比較 (総雨量)

特に神沢池流域と要池流域において、地上雨量計とレーダー雨量計の観測値を用いて算定した流域平均雨量の相関は必ずしも強いとはいえない。従って、本研究で対象とした流域のように、流域外の2~3km離れた1または2か所の地上雨量計を用いた場合、それらの観測値がティーセン法による流域平均雨量に大きな影響を与え、実際に流域に降った雨と誤差が生じる可能性があるといえる。

4. 流出解析

(1) 流出モデルの構築

本研究では、以下の馬場ら¹⁾の開発した損失項を導入した貯留関数モデルを用いた。

$$s = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt} (q^{p_2}) \quad (1)$$

$$\frac{ds}{dt} = r - q - b + q_o \quad (2)$$

$$b = k_3 q \quad (3)$$

$$q_o = q_B \exp(-\lambda t) \quad (4)$$

ここに、 s ：貯留高(mm/min)、 q ：流出高(mm/min)、 r ：雨量(mm/min)、 b ：損失高(mm/min)、 q_o ：基底流出量(mm/min)、 q_B ：初期流出高(mm/min)、 t ：時間(min)、 k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 ：モデルパラメータ、 λ ：減衰係数である。パラメータは流域・降雨イベント・入力データごとに実測値と計算値の平方根平均二乗誤差(RMSE)を最小化する値を用いた。また、防災調節池を流出モデルに反映させるため、以下の連続式を用いた。

$$\frac{dh}{dt} = \frac{I - O}{A} \quad (5)$$

ここに、 h ：防災調節池の水深(m)、 I ：防災調節池への流入量(m³/s)、 O ：防災調節池からの流出量(m³/s)、 A ：防災調節池の面積(m²)である。

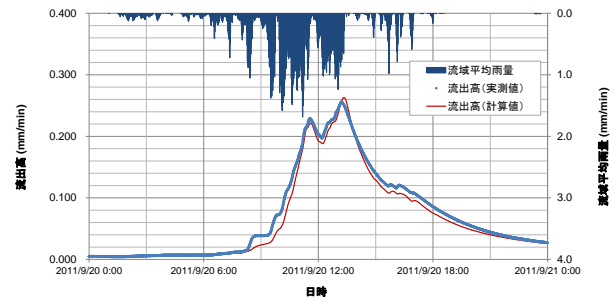
(2) 流出計算結果

17 事例ある降雨イベントのうち総雨量が 100mm を超えた 5 例について、前述した流出モデルを用いて流出計算を行った。神沢池については降雨⑤、要池については降雨②、大池については降雨⑩の流出高ハイドログラフをそれぞれ図-5, 6, 7 に示す。いずれの図も、(a)にレーダー雨量による流域平均雨量、(b)に地上雨量による流域平均雨量を入力データとして用いた場合の流出計算を行った結果を示す。

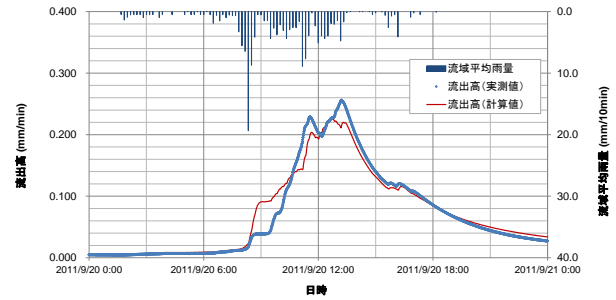
図-5(a), (b)より、レーダー雨量による流域平均雨量を用いた流出計算の結果の方が地上雨量による流域平均雨量を用いた流出計算の結果よりも実測値をよく再現できている。特に、地上雨量による流域平均雨量では9月20日の8時頃に約20mm/10minの強い雨が降ったことを示しており、これによって流出高ハイドログラフの上昇部分が過大評価されている。図-6(a), (b)をみると、レーダー雨量による流域平均雨量を用いた流出計算の結果と地上雨量のそれはいずれも減衰部分で実測値を過小評価しているが、ピーク付近についてはレーダー雨量の場合の方が実測値に近い。図-7(a), (b)では、レーダー雨量による流域平均雨量を入力データとした場合、降雨初期において計算値は実測値を過大に、複数のピークを過小に評価しており、地上雨量による流域平均を入力データとした流出計算の方が実測値をより再現できている。

(3) 再現性の評価

計算結果のピーク流出高と総流出高について、そ

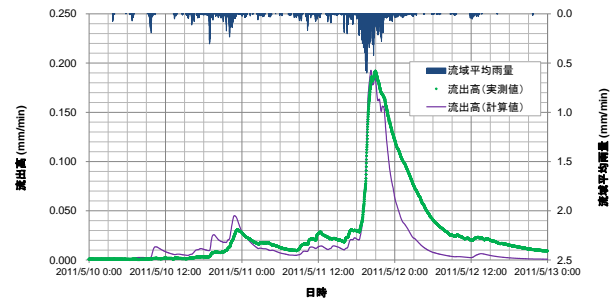


(a) レーダー雨量による流域平均雨量を用いた場合

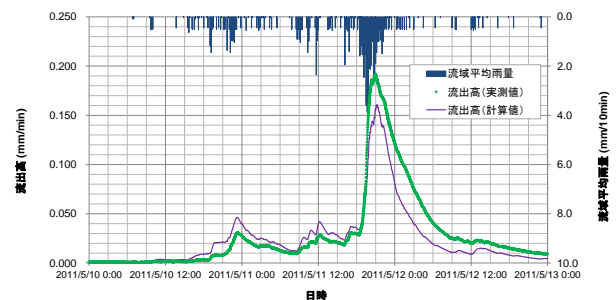


(b) 地上雨量による流域平均雨量を用いた場合

図-5 流出高ハイドログラフ（神沢池、降雨⑤）



(a) レーダー雨量による流域平均雨量を用いた場合



(b) 地上雨量による流域平均雨量を用いた場合

図-6 流出高ハイドログラフ（要池、降雨②）

れぞれ実測値に対する再現性を以下の2式を用いて評価する。

$$R_p = q_{cal_peak} / q_{obs_peak} \quad (6)$$

$$R_t = \frac{\sum_{i=1}^n q_{cal_i}}{\sum_{i=1}^n q_{obs_i}} \quad (7)$$

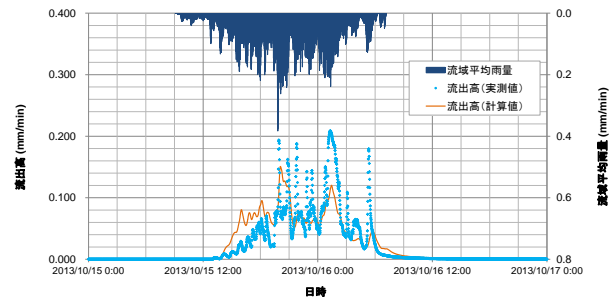
ここに、 R_p ：ピーク流出高比、 q_{cal_peak} ：観測ピーク流出高(mm/min)、 q_{obs_peak} ：実測ピーク流出高(mm/min)、 R_t ：総流出高比、 q_{cal_i} ：計算流出高(mm/min)、 q_{obs_i} ：実測流出高(mm/min)、 n ：観測データ数である。ピーク流出高比と総流出高比が 1.0 に近いほど計算値は実測値を正確に再現していることになる。

流出計算を行った 5 つの降雨イベントについて、ピーク流出高比と総流出高比を算定し図-8に示す。図-8(a)、(b)より、レーダー雨量による流域平均雨量を用いた場合の方がピーク流出高比は 1.0 に近い事例が多くみられる。一方、地上雨量による流域平均雨量を用いた場合、ピーク流出高比が 1.0 に対し大きくばらついた事例がみられる。ピーク流出高に関しては、レーダー雨量を用いて求めた流域平均雨量を入力する方が地上雨量を用いて求めた流域平均雨量を入力するより実測値の再現性が高い傾向があるといえる。総流出高比については、両者ともに 1.0 に近い事例がいくつかあるが、ばらつきが大きい。したがって、本研究で対象とした降雨イベントについては、期待されたレーダー雨量を用いることによる流出解析の精度向上は限られた事例にとどまっており、現時点ではその原因を特定できていない。

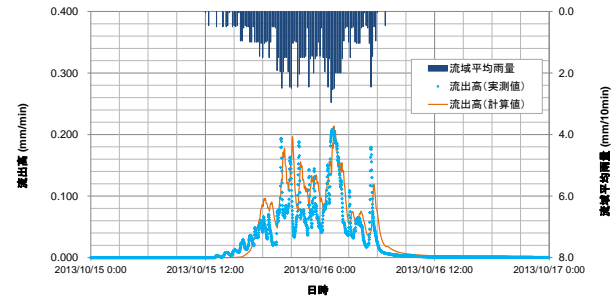
5. おわりに

本研究では、名古屋市南部を流れる扇川の流域に着目し、流域近傍に存在する 4 か所の地上雨量計と同一地点のレーダー雨量計の観測値との比較を行った。その結果、レーダー雨量と地上雨量は概ね一致していることが分かった。次に、3 つの防災調節池の流域に対して、地上雨量計とレーダー雨量計の観測値を用いて流域平均雨量を算定し比較した。流域から離れた場所の地上雨量計の観測値を用いて流域平均雨量を算定した場合、実際とは異なる雨量になる可能性が示された。そして、地上雨量とレーダー雨量による流域平均雨量を用いて流出解析を行い、入力データの違いによる計算結果の差を検証した。その結果、レーダー雨量による流域平均雨量を流出計算に用いることによって、再現性が向上する事例が確認された。今後は解析の対象とする事例数を増やし、レーダー雨量計の観測精度や流出計算の精度向上が限定的であった原因を検証する必要がある。

謝辞：X バンド MP レーダー雨量の観測データを提供して下さいました金沢大学理工学域の谷口健司准教授、防災調節池余水吐の越流水深データ及び名古屋市 10 分雨量を提供して下さいました名古屋市緑政土木局の各位に心より御礼申し上げます。

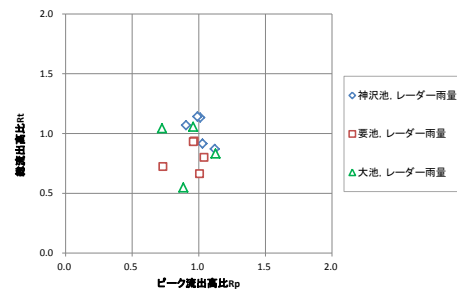


(a) レーダー雨量による流域平均雨量を用いた場合

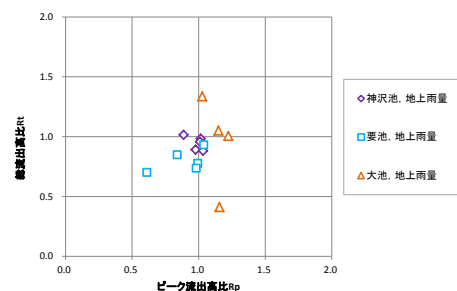


(b) 地上雨量による流域平均雨量を用いた場合

図-7 流出高ハイドログラフ(大池, 降雨⑬)



(a) レーダー雨量による流域平均雨量を用いた場合



(b) 地上雨量による流域平均雨量を用いた場合

図-8 再現性の評価

参考文献

- 1) 星清, 馬場仁志, 橋本識秀: 流域・河道系洪水追跡のための貯留関数法の開発, 河川技術に関する論文集, 第 6 巻, pp.297-302, 2000.