

# 10分雨量による都市洪水予測

塩月 善晴(社会建設工学科)

## Urban Flood Forecast by 10 Minutely Rainfall

Yoshiharu Shiotsuki (Dept. of Civil Eng.)

The self-parameter regulating Tank Model (SRTM) was found to be useful for 10 minutely flood analysis in urban river basin in the preceding paper<sup>1)</sup>. SRTM can find by himself two parameters, the discharge water exit height and discharge rate, according to the storage amount in the tank. If the future 10minute rainfall curve is provided, we can predict the urban flood and inundation by use of SRTM. The writer proposed a method (PRFM)<sup>2)</sup> to depict the future 10minute rainfall curve only using the 10minute rainfall data since the rain beginning. This paper describes the experiment results of urban flood forecast using PRFM and SRTM in Majimegawa river basin, Ube. The present method can predict the inundation 100minutes earlier and the flood 170-200minutes earlier with the estimated flood water depth.

*Key Words: Self-parameter regulating Tank Model, 10 minutely Urban Flood Forecast.*

## はじめに

地球温暖化に伴い、且つ大都市ではヒートアイランド効果も加わって、これまでにない豪雨が多発し、世界各地で都市河川の氾濫が頻発するようになった。この結果都市浸水は地下空間利用の発達とあいまって大きな問題となってきた。前報<sup>1)</sup>のように10分単位での洪水時の流出解析において、自律タンクモデルの適用が可能であることが判った。都市小流域の洪水時の流出解析は10分雨量がありさえすれば可能であると言える。

本論では10分単位自律タンクモデルと先行10分雨量データのみによる地点短時間雨量予測法(PRFM)<sup>2)</sup>を組み合わせることで都市流域の洪水予測法の作成を行う。都市小流域では10分雨量データがあっても、河川流量のデータはほとんどない。

この方法は10分雨量観測データのみで洪水予測を行うものとなるので、簡便で且つ費用もかからない予測法になることが期待される。

### 1. 自律タンクモデルによる単位流域での10分流量の作成

流出解析は10分単位であるので、10分間に降雨が流出となって流下する距離は短い。仮に流下速度を  $v=1\text{m/sec}$  とすると、10分間での流域水の流下距離は600mである。したがって流域下流端での河川流量を算定するには、まず流域内に設定した複数の単位小流域での河川流量を求め、各々の単位流域からの流出量の合計が下流端での流量となる。以下の解析では流下速度  $v=1\text{m/sec}$  とし、単位流域の面積を  $S=1\text{km}^2$  とし、流域を1kmメッシュに分割した。メッシュで囲まれた各単位流域からの流出の下流端までの到達時間は1メッシュを通過するのに10分かかるとして与えた。各メッシュには自律タンクモデルを設置する。自律タンクモデルを図1に示す。

#### 1-1. 自律タンクモデルの流出口の高さ $h_0$ (mm) の与え方

時間単位の自律タンクモデルを参考にして次のように与えた。

- (1)  $F < 50\text{mm}$  のとき  $h_0 = 0.25 \times F$
- (2)  $F \geq 50\text{mm}$  で  $F < 100\text{mm}$  のとき  $h_0 = 0.175 \times F$
- (3)  $F \geq 100\text{mm}$  のとき  $h_0 = 0.075 \times F$
- (4)  $h_0 < 0$  のとき  $h_0 = 0$  とする。

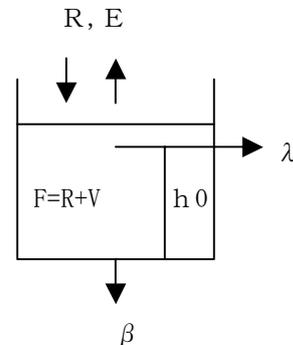


Figure 1. Self-parameter regulating Tank Model

#### 1-2. 自律タンクモデルの流出率 $\lambda$ (1/hr) の与え方

$\lambda$  も時間単位の自律タンクモデルを参考にして次のように与えた。

- (1)  $F < 25\text{mm}$  のとき  $\lambda = 0.025 (1/10\text{min})$
- (2)  $F \geq 25\text{mm}$  のとき

$$\lambda = 0.025 + \frac{(F - 30)}{500}$$

ただし  $\lambda$  の最大値は0.2とする。

#### 1-3. 自律タンクモデルの浸透率 $\beta$ (1/hr) の与え方

浸透率は  $\beta = 0.005 (1/10\text{min})$  で与える。ただし、10分雨量  $R$  によって次のように変える。

$25\text{mm}/10\text{min} > R \geq 10\text{mm}/10\text{min}$  の時  $\beta$  は1.5倍。

$R \geq 25\text{mm}/10\text{min}$  の時  $\beta$  は1.75倍。

また設定された  $\beta$  は時間変動はしなく一定とする。

### 2. 対象都市流域の河川下流端部での10分流量算定

予測実験対象都市流域として宇部市の真締川流域を取り上げる。この町も都市化が進み、ちょっとした雨でも浸水がたびたび起こるようになった。それでこれを何とか軽減するために5年前から流域上流端に洪水調節ダムを計画している。以下はその効果判定もかねていろいろな一雨の10分雨量を与えた時の流出解析の事例である。

真締川流域の特性の一覧は下記のとおりである。

## 2-1. 流域性状

- a. 流量推測点；真締川河口
- b. 流量推測点までの流域面積、流路延長；  
 $S=20.4 \text{ km}^2$ 、 $L=8.3 \text{ km}$
- c. 流域メッシュ；図2のように流域の形状をモデル化する。各メッシュの1篇は1kmで、メッシュで区切られる正方形は面積 $1 \text{ km}^2$ の単位流域面積となる。各単位流域の記号、 $k$ 、 $k-1$ 、 $\dots$ 、 $k-7$ は最下流端 $k$ に到達するのに要する時間によって分類したもので、 $k-1$ はこの単位流域からの流出は下流端まで10分かかることを示す。 $k-7$ は70分かかることを示す。
- d. ダム予定地点；メッシュ左最上流端
- e. ダム集水域； $2.4 \text{ km}^2$
- f. ダム洪水調節流量； $30 \text{ m}^3/\text{sec}$

## 2-2. 真締川下流端部における流量算定

真締川は流域内の各単位流域からの流出を合わせ、最下流端の単位流域 $k$ より海に流れ込む。この時、流域水の流れ速度を $v=1 \text{ m/sec}$ で想定すると、流域内のすべての水が単位時間10分以内に各メッシュの下流端に集まるとは考えにくい。前報<sup>1)</sup>では各単位流域からの流出は最初に計算された流出に有効流出係数 $fff$ を乗じたもので実際に近い単位流域からの流出として表現した。 $fff$ は都市化に応じて0.85から0.7の間で与えた。 $fff=0.7$ は森林や、農地の多い流域で与えられた。宇部市の真締川流域では $fff=0.8$ で与えられた。

各単位流域からの流出は当初に計算された流出に有効流出係数 $fff$ を乗じたもので表現

されるのに対し、残量 $(1-fff)$ は表面貯留となる。

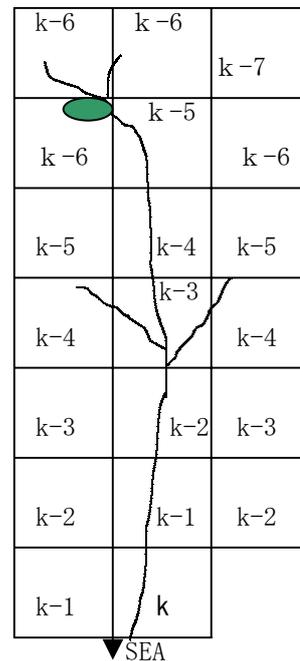


Figure 2. Majimegawa river basin mesh, Ube.

## 3. 10分単位予測ハイトグラフ

10分単位での洪水予測であるので、10分単位用自律タンクモデルに投入される降雨曲線(ハイトグラフ)は10分単位での予測値で与えなければならない。都市河川流域のような小さな流域では地点の降雨予測が要求される。

筆者は降りはじめからの10分雨量だけで、その地点の短時間雨量予測法を開発した<sup>2)</sup>。この方法についての概略は次のとおりである。

### 3-1. 極値雨量強度曲線

降り始めから降り終わりまでの一雨のなかで得られた、最大10分雨量 $R_{10}$ 、最大20分雨量 $R_{20}$ 、 $\dots$ 、最大60分雨量 $R_{60}$ 、 $\dots$ 、最大2時間雨量 $R1$ 、 $\dots$ 、最大7時間雨量 $R7$ についてまとめると(1)式のように表現できることが多い。

$$R_T = \frac{a}{T+b} \quad (1)$$

ここで、 $T$  は一雨の中でとられる任意の降雨継続時間  $\text{min}$ 、 $R_T$  は  $T$  毎に得られる降雨量の最大値を 1 時間あたりの単位  $\text{mm/hr}$  に直したもので、 $a$ 、 $b$  はパラメータである。(1)式で表現される、最大雨量－降雨継続時間の関係を極値雨量強度曲線または  $R_T$  曲線<sup>3)</sup>と呼ぶ。

古い式であるが 10 分雨量の降雨曲線についてもこの式は十分成り立つことがわかっている<sup>4)</sup>。

### 3-2. ハイエットグラフ

いま(1)式の  $a$ 、 $b$ 、と降雨のピーク発生時刻 ( $t_p$ ) が判っているとき、一雨の降り始め ( $t_0$ ) から降り終わり ( $t_e$ ) までの間の任意の時刻  $t$  での 10 分雨量  $r(t)$ 、 $\text{mm}$ 、の変化を示す降雨曲線を(2a, b)式によって描くことができる。

$$r(t_p - t_b) = \frac{ab}{\left(\frac{t_b}{m} + b\right)^2} \quad (2a)$$

$$r(t_p + t_a) = \frac{ab}{\left(\frac{t_a}{1-m} + b\right)^2} \quad (2b)$$

ここで、 $m = \frac{t_p - t_0}{t_e - t_0}$ 、 $t_b$  はピーク前の任意の時刻、 $t_a$  はピーク後の任意の時刻を示す。

一般に(2)式で表現されるものは、 $a$ 、 $b$  を得た元の 10 分雨量の細かな変動を再現できないが、各継続時間の  $R_T$  はほぼ正確に表現できている。

正確な一雨の  $a$ 、 $b$  値は一雨の終了時にはじめて判るものであるが、何らかの方法で降雨の開始から早い時点で  $a$ 、 $b$  を推定できれば一雨のハイエットグラフを想定でき、今後雨量の予測が可能である。

### 3-3. 10 分雨量データからの 10 分毎の $a$ 、 $b$ 値算定と雨滴粒径分布の再現

筆者の提出した雨滴粒径分布式<sup>5)</sup>は雨粒全体の単位空間あたりの水分、すなわち含水量

$M, \text{g/m}^3$ 、平均直径  $D, \text{mm}$ 、分布の散らばりを表わす係数  $k$ 、の 3 つのパラメータで表わされる。雨量計には刻々とさまざまな粒径分布をもつ雨滴集団が飛びこみ雨量を形成する。雨量の時間変化から雨量を形成した雨滴の粒径分布を逆算できれば降雨の物理的性質の把握に便利である。この目的のため筆者はこれまでに 2 通りの方法を提示した<sup>6, 7)</sup>。これらはともに  $R_T$  曲線の  $a$ 、 $b$  値を利用するものである。

(1) 式のように、 $a$ 、 $b$  は最低二つの  $R_T$  の実測値があれば計算でもとまる。つまり降雨開始から 20 分の時点では二つの 10 分雨量から  $R_{10}$ 、 $R_{20}$  を得ることができるのでこれまでの降雨の  $a$ 、 $b$  値を計算できる。降雨開始から 30 分以上経過すると 3 つ以上の 10 分雨量が得られ、3 つ以上の  $R_T$  が得られる。この場合は最小 2 乗法で  $a$ 、 $b$  値を決定することになる。

このようにして降雨開始後 20 分の時点から降雨の  $a$ 、 $b$  値を表現できる。これによりこの  $a$ 、 $b$  値による雨滴粒径分布が推定され、含水量  $M$  が求められる。

### 3-4. 含水量 $M$ からの一雨の $a$ 、 $b$ 値の推定

いろいろな  $a$ 、 $b$  値の組み合わせで推定した雨的粒径分布から求めた  $M$  と ( $a$ 、 $b$ ) 値には関係があり、(3)式のようなった<sup>8)</sup>。

$$M = \left(\frac{1}{26} \times \frac{a}{8+b}\right)^{0.9616} \quad (3)$$

( $a$ 、 $b$ ) 値が与えられれば、 $M$  は最大 1 時間雨量  $R_1$ 、最大 3 時間雨量  $R_3$  と並んで同じ ( $a$ 、 $b$ ) 面上に図示できる。気象庁豪雨階級基準ではこれら二つの  $R_1$ 、 $R_3$  によって豪雨のランクが決められている。一般に  $b$  が大きくなると  $a$  も大きくなって、 $M$  値が一定であっても豪雨のランクは大きくなる。このことはたとえ同じ程度の  $M$  値でも雨滴同志の併合による雨滴の成長で降雨量が増幅されることを意味している。

いま降雨開始後間もない時点で  $a$ 、 $b$  が小さく、まだ豪雨とは判定できない段階でも、同じ  $M$  値の等値線で迎えば豪雨階級に入る ( $a$ 、 $b$ ) 値に到達できる。こうして雨粒の成長を考

慮に入れて、現在の(a, b)値から同じMを持つ降雨量の大きな降雨の値(a', b')を得ることができる。過去の10分雨量から今後の雨量予測を行うことの基本的考えは、10分毎の(a, b)値から得られる上の(a', b')を一雨全体のものとして与え、(a', b')によるハイトグラフで今後雨量を算出することにある。

### 3-4. 予測ハイトグラフの作成

降雨開始後20分を経過すると、以降10分毎にそれまでの10分雨量から各時点での降雨の(a, b)値を決定し、これから雨滴集団のMを決定する。一雨全体のb値すなわちb'には限界があるようなのでこれを固定すると、(3)式によりMとb'により一雨全体のa'を決めることができる。(a', b')値から一雨全体の推定すなわち予測ハイトグラフを描き今後雨量を計算する。以上の計算手順をまとめると次のようになる。

**Step1**; 降り始めから予測時点までの10分雨量、r10を入力する。

**Step2**; 過去20分の2個のr10から(a, b)値を決める。また予測時点が降り始めから30分以上経過している時は、降りはじめからのすべてのr10を使った場合の(a<sub>T</sub>, b<sub>T</sub>)も求めておく。

**Step3**; (3)式によって(a, b)値から計算した含水量と(a<sub>T</sub>, b<sub>T</sub>)値からの含水量を較べて大きいほうをM値とする。M値が(a<sub>T</sub>, b<sub>T</sub>)値から算出された場合、(a<sub>T</sub>, b<sub>T</sub>)値を(a, b)値とする。

**Step4**; 一雨の推定降雨継続時間DR, minを(a, b)値から(4)式で計算する<sup>2)</sup>。(4)式は(1)式のR<sub>T</sub>曲線式から誘導された式において計算される10分雨量の強度値が10mm/hr以下になったときを降雨終了時とした場合のDR算出式である。

$$DR = \sqrt{\frac{ab}{10}} - b \quad (4)$$

**Step5**; 予測ハイトグラフのb'の決定は次

の(5)、(6)式により行う<sup>2)</sup>。

M>6 g/m<sup>3</sup>のとき

$$b' = \frac{692 - 8M^{1.040}}{M^{1.040} - 3.846} \quad (5)$$

M<6 g/m<sup>3</sup>のとき

$$b' = \frac{DR - 4C + \sqrt{(4C - DR)^2 + 4(C - 1)DR^2}}{(C - 1)} \quad (6)$$

ただしC=2.6M<sup>1.040</sup>。

**Step6**; a'は上に求めたb'を(3)式に入れたと得られる。

**Step7**; 予測ハイトグラフのピーク10分雨量は(a', b')値を(1)式に代入し、T=10を与えれば得られる。

**Step8**; ピーク10分雨量の発生時刻t<sub>p</sub>の決定。  
(2)式で使われるmの式でt<sub>e</sub>-t<sub>0</sub>=DRと置けば、t<sub>p</sub>はMとDRの積となる。m値をいろいろ変えてみて結果的に次のStep9で求められる最適ハイトグラフのt<sub>p</sub>が求めるものとなる。

**Step9**; 最適予測ハイトグラフの決定。  
M値をいろいろ変えてみて、降雨開始から予測時点までの実測r10と予測ハイトグラフによって計算された対応する10分雨量の誤差2乗が最小となったものを最適とする。

### 3-5. 含水量Mについての外部情報の取り入れについて

以上は気象に関する外部情報を一切使わず降りはじめからの10分雨量データのみによる予測法である。この方法に対する外部情報でもっとも必要とするものは含水量M値である。1分雨量データがあれば上空の降雨雲のM値を早く推定できることを確かめている。一方最近では気象庁のレーダ雨量(mm/hr)がきめ細かく配信されるようになったので、これを使って上空の降雨雲のMを推定して上の方法に与えることも検討している。以下の予測実験では、同じ降雨システムでの先行降雨地

点で得られた M 値をそのまま導入できるとして進める。つまりこの降雨システムでは上空の降雨雲には少なくともこの M が準備されていると考える。たとえば長崎豪雨の場合、豪雨システムがこの日の 17 時ごろ長崎市周辺を襲う前に、厳原では 14 時 40 分には  $M=4.76\text{g/m}^3$ 、平戸では 1700 時に  $M=5.56$  が当地の観測 10 分雨量から計算されている。したがって 17 時以降長崎周辺で降り始める降雨には  $M=5\text{g/m}^3$  が準備されていると考えてよい。

いろいろな雨を解析してみると、M 値は先行降雨地点の最大 10 分雨量  $R_{10}$ , mm から次の関係で M を与えてよいようである。

$$M (\text{g/m}^3) = 2.4 \times R_{10}$$

ただし、当該地点の予測時点までに得られた 10 分雨量で決まる M 値に較べ上の他地点雨量に基づく M 値が著しく大きい場合はその半分値で与えるとする。

#### 4. 10 分単位都市洪水予測例

前報<sup>1)</sup>では自律タンクモデルに実際の 10 分雨量を投入することにより長崎豪雨時の長崎市の 3 つの都市河川の下流端部での流量を再現できた。このために内水の発生時刻、河川溢水、氾濫の発生時刻、浸水区域、浸水位、氾濫の終了時刻は貴重な情報となった。また長崎での再現過程で与えられた洪水解析のための諸条件を参考にして、宇部市の真締川の洪水解析も行った。この結果リターンピリオド 5 年の計画降雨のハイトグラフ（気象庁豪雨階級では C ランク）を投入すると、現在計画進行中のダムが無ければ下流部で氾濫は発生し、ダムによる制御があれば氾濫は抑えられることがわかった。

冒頭に述べたごとく、都市部では今後短時間豪雨の頻繁な発生が懸念されている。ここではもし長崎豪雨時の雨が宇部に襲来した時を想定して、真締川下流端部での洪水発生の予測実験を行う。10 分雨量は豪雨階級が最高の A ランクであった長崎海洋气象台のものと、B ランクであった隣接の諫早測候所のデータで与える。

#### 4-1. 長崎豪雨時の長崎海洋气象台で観測された雨が宇部を襲った場合

1982 年 7 月 23 日長崎豪雨時の長崎海洋气象台で 17 時から 24 時までに観測された継続時間 7 時間の一雨で、この間に最大 1 時間雨量  $R1=128\text{mm}$ 、最大 3 時間雨量  $R3=313\text{mm}$  を観測して、気象庁豪雨階級では最高ランクの A クラスである。

##### ①ダムによる洪水調節が無い場合

図 1 a は降雨開始後 20 分の時点での予測結果である。上端の〈rain〉5 は長崎豪雨の雨であること、〈basin〉1 は真締川流域であるこ

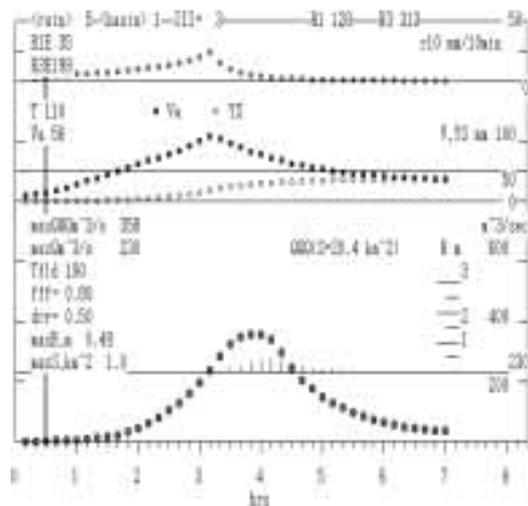


Figure 3a. Forecast at 20 minutes after rain starting. Forecast 10 minute changes of rainfall  $r_{10}$ , storage  $V_a$  mm, the river discharge  $QQQ$  in  $\text{m}^3/\text{sec}$ , and the flood water depth  $H$  m at the river mouth area of Majimegawa River when the same rain as Nagasaki rain invades over Ube. Inundation and Flood begin at  $T = 110^{\text{th}}$  minute ( $V_a$  exceeds 50mm), and  $T_{\text{fld}} = 190^{\text{th}}$  minute ( $QQQ$  exceeds the maximum river drainage  $\text{max}Q = 230 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) from rain starting time.

と、 $R1, R3$  はこの雨の持っていた最大 1 時間、3 時間雨量 mm をメモしたものである。下端には降雨開始からの経過時間を 10 分目盛りで示し、1 時間毎に時間単位の数値を示している。縦に伸びる直線は予測時点を示す。

上段は 10 分雨量の変化を右軸のスケールで示し、予測時点の左側には実測雨量を棒グラフで、右側には丸印で予測雨量を示した。左の R1E, R3E は今後の予測 1 時間雨量、3 時間雨量をそれぞれ mm 単位で示す。

中段 Va はタンク内貯留量の変化である。自律タンクでは  $V_a=50\text{mm}$  が内水発生限界となるのでこの高さで限界ラインを引いている。YS は流域での表面貯留水の水位の積算値を示す。この時点では左に示したように降雨開始後  $T=110$  分で  $V_a=56\text{mm}$  となり内水発生を予測している。

下段には下流端での計算河川流量 QQQ (丸印) を  $\text{m}^3/\text{sec}$  単位で示した。左の  $\text{maxQQQ}=358$  は降雨開始後 4 時間あたりで計算流量は最大  $358\text{m}^3/\text{sec}$  になることを示す。  $\text{maxQ}=230\text{m}^3/\text{sec}$  はここでの最大通水量を示している。QQQ がこれを超えると氾濫となるので、 $\text{maxQ}$  の高さを横線で引いている。この時点では  $T_{f1d}=190$  分に計算流量は氾濫限界ラインを超えると予測した。  $\text{fff}=0.8$ ,  $\text{drr}=0.5$  は前報<sup>1)</sup>で述べたように、この流域での有効流出係数、氾濫水の海への流失率を示す。QQQ の予測値から下流端での氾濫面積を最大  $\text{maxS}=1\text{km}^2$  と設定すると氾濫水の水深が計算され、図では氾濫限界ラインをベースにしてみた水位ゲージで各時点での計算水位を棒グラフで示した。左の  $\text{maxH}=0.44\text{m}$  は降雨開始後 4 時間 10 分時点で最大 44cm の水深になることを示している。

図 1 b は降雨開始後 130 分の時点での予測結果である。この時点で過去の実測雨量で  $V_a$  が  $50\text{mm}$  を越えたことが確認された。つまり図 1 a で予測した内水発生時刻  $T=110$  分はほぼ的中したことになる。予測氾濫開始時刻  $T_{f1d}$  は図 1 a の時に較べて 10 分遅く降雨開始後 200 分である。

図 1 c は降雨開始後 200 分の時点での予測結果である。この時点では過去の 10 分雨量から氾濫開始時刻  $T_{f1d}$  は図 1 b の時と同じく降雨開始後 200 分であると確認された。つまり図 1 a, b の時点での予測氾濫開始時刻がほぼ的中したことになる。また  $\text{maxQQQ}=499\text{m}^3/\text{sec}$

となり大きくなった。このため予測最大浸水位は  $\text{maxH}=1.16\text{m}$  となった。

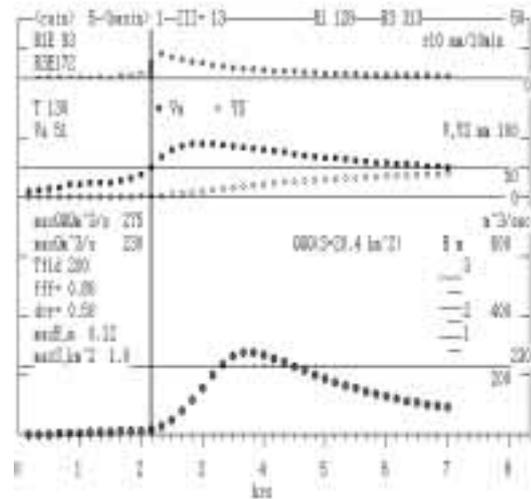


Figure 3b. Forecast at 130minutes after rain starting in case of Majimegawa River.

Inundation is recognized to begin at  $T = 130^{\text{th}}$  minute from the preceding 10minute rainfall data. Forecast flood occurrence time,  $T_{f1d}=200^{\text{th}}$  minute, is 10 minutes later as compared to the prediction of Fig. 1a.

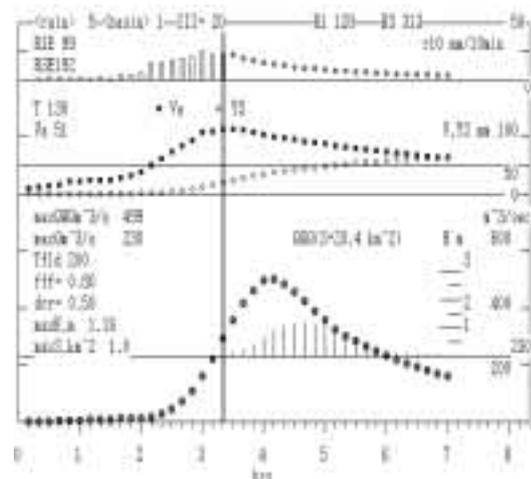


Figure 3c. Forecast at 200minutes after rain starting in case of Majimegawa River.

Flood occurrence time,  $T_{f1d}=200^{\text{th}}$  minute, is recognized from the preceding 10 minute rainfall data. The flood occurrence forecast time of Fig.3a,b is found to be right.

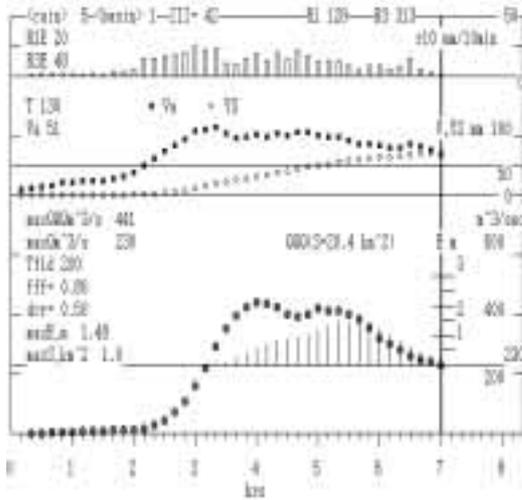


Figure 3d. Forecast at 420minutes after rain starting in case of Majimegawa River. Maximum flood water depth,maxH=1.48m is recognized from the preceding 10 minute rainfall data. This is slightly larger than the value maxH=1.16m forecast a t 220minutes ago,in case of Fig.3c.

②ダムによる洪水調節がある場合

図 3 と同じく長崎海洋気象台の降雨を使っ

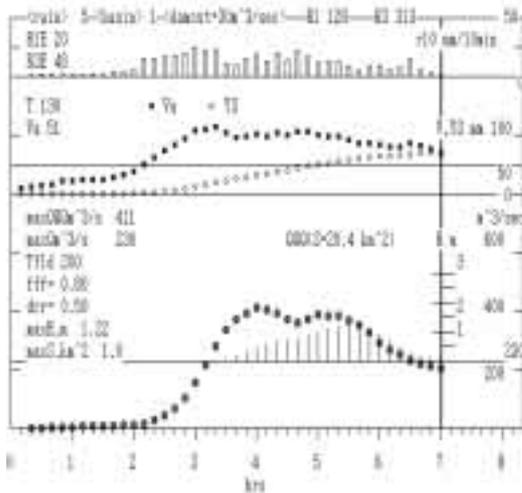


Figure 4. Forecast at 420minutes after rain starting in case of Majimegawa River under Dam control. Flood control dam is planned to set at the left-uppermost 2 meshes, where 30 m<sup>3</sup>/sec flood water will be cut. It is seen that maxQQQ and maxH decrease to 411 m<sup>3</sup>/sec and 1.22m, respectively.

て、現在進められているダムの洪水制御効果を調べてみる。図 2 の左最上流端の 2 つのメッシュからの流出のうち、ダムによって洪水量 30m<sup>3</sup>/sec 分がカットされる。内水の発生はダムのあるなしに関わらないので、図 3 と同じである。ダムの効果も無く、最初に氾濫予測が出たのは図 3 a と同じく降雨開始後 20 分の時点で、発生は 170 分後、氾濫規模は若干小さくなって maxQQQ=378 m<sup>3</sup>/sec, maxH=0.3m である。実際に氾濫発生が確認されたのは図 3c と同じく降雨開始後 200 分である。ここでは図 4 は最後の予測時点での結果を示す。ダム制御により先行講によって確認された最大流量は maxQQQ=411 m<sup>3</sup>/sec、最大氾濫水位は maxH=1.22m に抑えられた。

4-2. 長崎豪雨時の諫早測候所で観測された雨が宇部を襲った場合

1982 年 7 月 23 日長崎豪雨時の諫早測候所で 17 時から 24 時まで観測された継続時間 7 時間の一雨で、この間に最大 1 時間雨量 R1=92mm、最大 3 時間雨量

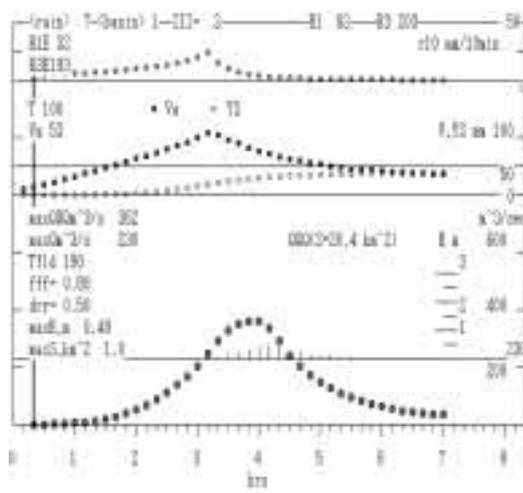


Figure 5a. Forecast at 20minutes after rain starting at Majimegawa River mouth area, when the same rain as Isahaya rain invades over Ube. Inundation and Flood begin at T = 100<sup>th</sup> minute (Va exceeds 50mm), and Tfld=190<sup>th</sup> minute (QQQ exceeds the maximum river drainage maxQ=230 m<sup>3</sup>/sec) from rain starting time.

R3=203mm を観測して、気象庁豪雨階級では 2 番目のランクの B ランクである。

①ダムによる洪水調節が無い場合

図 5a は降雨開始後 20 分の時点での予測結果である。内水、氾濫はそれぞれ降雨開始後 T=100 分、Tf1d=190 分の始まると予測している。長崎海洋気象台の雨の場合より内水発生予測時刻は 10 分早い。Tf1d は同じで、maxQQQ 予測値はほとんど変わらず、maxH の予測値は変わらない。

図 5b は降雨開始後 120 分の時点での予測結果である。内水は過去の 10 分雨量からこの時点で発生すると確認された。図 5a の予測より 10 分遅れている。氾濫は降雨開始後 Tf1d=200 分に始まると修正予測されている。

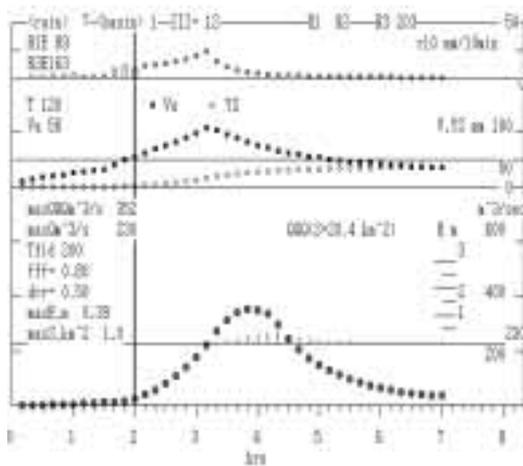


Figure 5b. Forecast at 120minutes after rain starting in case of Isahaya rain. Inundation is recognized to begin at T = 120<sup>th</sup>minute from the preceding 10minute rainfall data

図 5c は降雨開始後 220 分の時点での予測結果である。氾濫は過去の 10 分雨量からこの時点で発生すると確認された。図 5a の予測より 30 分、図 5b より 20 分遅れている。

②ダムによる洪水調節がある場合

図 6 は諫早の降雨に対しダムの効果を降雨開始から 7 時間経った最終時点で見ただけである。途中の予測でもダムの抑制は効かず、

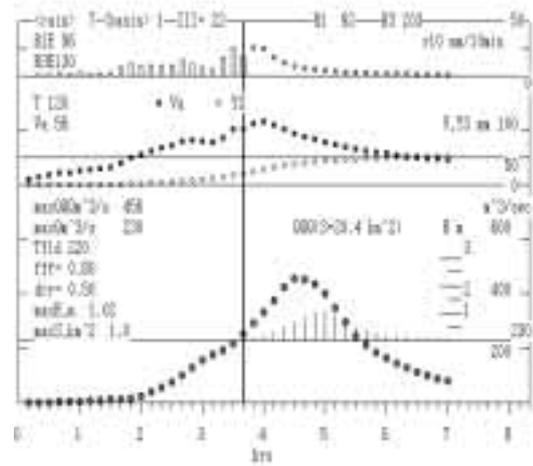


Figure 5c. Forecast at 220minutes after rain starting River. Flood occurrence time, Tf1d=220<sup>th</sup> minute, is recognized from the preceding 10 minute rainfall data. The flood occurrence forecast time of Fig.5a,b is found to be 10-20minute earlier.

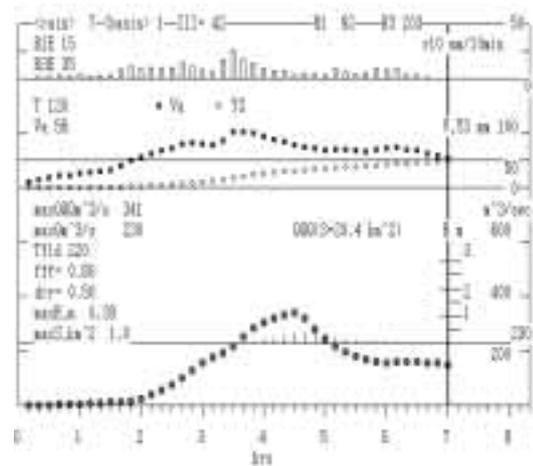


Figure 5d. Forecast at 420minutes after rain starting in case of Isahaya rain. Maximum flood water depth, maxH=0.39m is recognized from the preceding 10 minute rainfall data. This is same as the forecast value of Fig.5b, but far smaller than the value maxH=1.02m forecast a t 200minutes ago, in case of Fig.5c.

長崎の降雨より規模は小さいが氾濫の予測が出ている。降雨開始後の 20 分では maxQQQ=332 m<sup>3</sup>/sec, maxH=0.36m, 降雨開始後 120 分ではそれぞれ 323 m<sup>3</sup>/sec, 0.29m、降雨開始後

220分ではそれぞれ  $406 \text{ m}^3/\text{sec}$  と  $0.66\text{m}$  となった。結局、図 6 のように確定された数値は  $\text{max}QQQ=311 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、 $\text{max}H=0.27\text{m}$  となり、降雨開始後早い時点での予測は的中したことになる。図 5d との比較でダムの効果を見ることが出来る。図 6 のようにダムがある場合、最大流量で  $30 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、最大水深で  $12\text{cm}$  の低減効果がある。

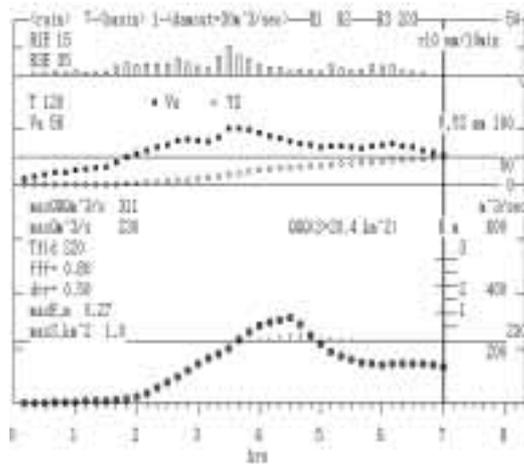


Figure 6. Forecast at 420minutes after rain starting in case of Isahaya rain under Dam control. It is seen that  $\text{max}QQQ$  and  $\text{max}H$  decrease to  $311\text{m}^3/\text{sec}$  and  $0.27\text{m}$ , respectively, as compared to Fig.5d of no Dam control.

## まとめ

地球温暖化にともない都市の水環境の著しい変貌が懸念されている。その理由は①都市流域ではヒートアイランド効果によって短時間豪雨の頻繁な発生が予測されていること、②ほとんどの都市は海岸部で発達し海面上昇の影響を直接受けること、である。この結果海に隣接する都市流域では内水、洪水がこれまで以上に発生しやすく都市の水災害による被害が増大する。兆候はすでに現われていて、2000年6月29日には福岡で、同年7月29日には東京新宿で都市浸水による地下室水没で犠牲者をそれぞれ1名ずつ発生させた。前者発情の梅雨前線降雨、後者は前日宮崎置きで発生した熱帯制定気圧による項が原因であ

るが、ともにこれまでに経験しなかった一雨の中での最大1時間雨量70mmの短時間豪雨によるものである。被害軽減のためには下水の整備、海岸堤防の嵩上げと排水機能の増進が望まれるが、費用と工事期間から対策実現には相当な時間を要する。市民の安全のために当面は水災害発生予測による安全防災対策が望まれるところである。

長崎豪雨をはじめ都市の水災害は降りだして2-3時間という極めて短時間内に発生することが特徴である。このためソフト面での防災対策予測は10分単位での解析と予測で対応しなければ間に合わない。このためには原因である降雨については10分雨量を使用し、これに基づき今後の降雨、内水発生、河川氾濫の発生と規模も10分単位で予測する必要がある。

筆者は前報告<sup>1)</sup>で自律タンクモデルの10分単位での流出解析への適用を試み、良好な結果を得た。この方法についてまとめると次のようになる。

(1) 自律タンクモデルによる内水発生検知は長崎豪雨時下の長崎市で適用でき、タンク内貯留  $V_a=50\text{mm}$  がその発生限界である。

(2) 10分単位であるので流域水の移動距離は小さい。降雨→流量の変換は先ず単位流域(流域面積  $S=1\text{km}^2$ )について行う。

(3) 流域全体からの流出は、流域内を  $1\text{km} \times 1\text{km}$  のメッシュの単位流域で区切り、それぞれの単位流域からの流出に遅れを与えて合計したものを下流端の流量とする。遅れは流域水の移動速度を  $v=1\text{m}/\text{sec}$  とし、河川沿いに上流へ1メッシュごとに10分とする。この移動速度では1メッシュの中でも流域水は10分内で完全排出されないので、有効流出係数  $fff$  を導入する。 $fff$  は洪水現象に合うように流域ごとに設定されるが、都市化の度合いに依存しているようで、従来の流出係数の概念とあまり変わらないようである。流出に寄与しない残りの流域水は表面貯留として取り扱う。

(4) 河川氾濫は得られた流量が河川通水能を超えたとき発生するとする。氾濫域は氾濫水の動きも  $v=1\text{m}/\text{sec}$  とし計算し、現地の既往の記録から最大浸水面積を限度とする。下

流端では海に近いので、氾濫水の海への流失率  $ddr$  を設定する。現地の浸水状況から  $drr$  は 0.5-0.25 で与えた。潮の干満を考えれば  $drr$  は複雑に変動するであろうが今後の課題である。

上の方法による、長崎豪雨下の長崎市の3つの河川下流端における解析では、内水発生時刻、氾濫発生時刻、氾濫浸水位について現地報告にはほぼ符合する結果を得た。このことは洪水記録と10分雨量があれば自律タンクモデルによる解析が可能であることを示している。また10分雨量の予測値があれば当該流域の洪水予測も可能である。

筆者はすでに10分雨量だけに基づく地点10分雨量予測ハイトグラフの作成法(PRFM)を提示した<sup>2)</sup>。本報告ではこれによる降雨予測値を宇部市の都市流域自律タンクモデルに投入し水災害の発生予測実験を行った。

得られた知見は以下のようである。

(5) 宇部市では洪水抑制のために市内を流れる真締川上流端にダムを計画している。前報で、計画降雨に近い10分ハイトグラフを作成し、自律タンクモデルによりダムによる抑制効果を上の方法で検証できた。結果は計画降雨については抑制可能である。しかし宇部市においても今後計画降雨を上回る豪雨は頻繁に発生することが考えられる。宇部市の計画降雨は気象庁豪雨階級基準ではCランクである。したがってこれを上回るA、Bランクの豪雨が宇部を襲ったと想定して予測実験を行った。想定した豪雨は長崎豪雨時に長崎海洋气象台、諫早市で実測された降雨をそのまま適用した。前者はAランク、後者はBランクの豪雨である。結果はこれらの降雨ではダムによる抑制は及ばず下流端の都市中心部では洪水に見舞われる。また予測では、内水発生は両方の雨ともに100分前に、洪水発生は前者の雨では170分前、後者では200分前に予知できた。氾濫水の予測最大浸水位は前者の170分前の予測値0.48mは最終的に確認される1.48mに較べ過少であるが、以降10分毎に更新される予測では1mを超えている。後者で

は200分前の予測値0.48mは確認水位0.39mに近い。

(6) ダムによる抑制効果は浸水位で、前者では26cm、後者で12cmの低下で現われた。各時点の予測値もダム効果により水位は小さく出る。

このようにPRFMに基づく予測10分雨量を自律タンクモデルに投入することで都市小河流域の洪水予測は可能のようである。宇部市のみならず、他の都市流域の水災害に対処するのに10分単位自律タンクモデルによる流域水の動向予測は重要な情報提供になると期待できる。

#### 参考文献

- 1) 塩月善晴：自律タンクモデルによる10分単位流出解析，山口大学工学部研究報告，52，2，2001.
- 2) 塩月善晴：ハイトグラフを利用した短時間雨量予測の試み、天気、36，449-459，1989.
- 3) Talbot, A.N.: Rate of maximum rainfall, Technograph No.5, Univ. of Illinois, 1891. (岩井重久、石黒政儀：応用水門統計学、森北出版、pp370, 1970. による)
- 4) 塩月善晴、他：土砂災害を起こす豪雨の予報について、土木学会論文集、381, II - 7, 83-90, 1987.
- 5) Shiotsuki, Y.: An equation for size distribution of precipitation elements based on the normal distribution of liquid water content, Jour. Met. Soc. Japan, 53, 75-86, 1975.
- 6) 塩月善晴：極値雨量強度曲線から推定した雨滴粒度分布、天気、28, 291 - 299, 1981.
- 7) 塩月善晴：複数雨滴集団モデルによる極値雨量強度曲線からの雨滴粒度分布の再現、天気、32, 553-563, 1985.
- 8) 塩月善晴：10分雨量データのみによる豪雨の検知と短時間最大雨量の予想、天気、33, 585-592, 1986.

(平成13年12月17日受理)