

# 自律タンクモデルによる時間単位流出解析

塩月善晴・木多教太・深見樹里(社会建設工学科)

## Hourly Runoff Analysis by the Self-Regulating Tank Model

Yoshiharu Shiotsuki , Kyota Kida and Jury Fukami (Dept.of Civil Eng.)

The basin seems to have his own autonomous and non-linear work in controlling his water in runoff process which is performed not by the rainfall directly, but by the storage water change in the basin. Two methods were introduced to depict his work in the preceding papers. One is based on the Normal Basin Hydro-cycle Rate (NBHR). The other is using the self-parameter regulating 1 Tank Model (SRTM) which automatically finds the water exit height and discharge rate according to the storage amount in the tank. These are far easier methods to carry out as compared with Tank Model (TM), performed by numerous try and error works to find its structure and parameters. The analytical results of daily runoff analysis show the best adaptability of SRTM in most basins. This paper investigates the usefulness of SRTM in case of hourly runoff analysis.

*Key Words:* Self-parameter regulating Tank Model, Hourly Runoff analysis.

## はじめに

流出過程を表現するモデルの概念が判りやすく、且つ解析作業が楽な方法を呈示することことを目的として、水循環能に基づく解析法<sup>1)</sup>、タンクモデルそのものの自動化<sup>2)</sup>を検討した。

前者は流域によって貯留変化量からの流出成分を決めるパラメータを少し変えることと、最終的に基底流量を調整する 2 つの作業だけでよい。結果はタンクモデルより適合度は良く、しかもこの方法ではタンクモデルでは表現できない流出の成分、すなわち有効降雨による流出、基底流、中間流出を評価することができる。

後者のための自律タンクモデルは 1 段構造である。パラメータはタンク底面からの流出口の高さ、流出口からの流出率、タンク底面の浸透口からの浸透率の 3 つである。このうち流出口の高さ、流出率はタンク貯流量から自動的に決まる。浸透率は一定である。この方法ではタンク貯流量が過大になったとき流域によって流出率を少し変えること、もっともらしい蒸発を与えること、もっともらしい浸透率を与えること、の 3 つの作業でよい。結果は従来のタンクモデルより適合度が良く、且つ水循環能に基づくモデルにも劣らない。

自律タンクモデルの有用性が日単位流出解析において認められたので、本論では時間単位での流出解析に適用できるか検討する。

## 1. 自律タンクモデル

### 1-1. モデル

タンクモデルでも水循環能に基づくモデルでも流域に滞留する水分がある程度大きくなると流出は促進され、逆に小さくなると流出は抑制されることが確認されている。いわば流域は河川流量を安定させるために自己調節作用を行っているように見える。図 1 のタンクモデルではタンク内の貯留は  $F = \text{降雨 } R + \text{貯留残存量 } V$  に相当する。タンクモデルにおいて、刻々の  $F$  に応じて流出口の高さ  $h_0$  や流出率  $\lambda$  を変化させることにより流域の自己調

節作用を表現することができそうである。

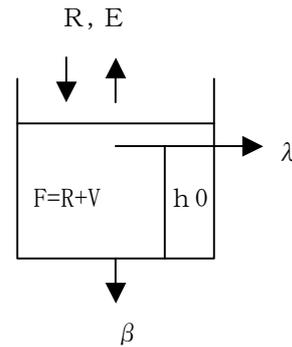


Figure 1 . Self-parameter regulating Tank Model

これが可能であればタンクモデルは図 1 のように一段のタンクだけによる自律モデルとなりうる。なお浸透率  $\beta$  は一定値で与える。

### 1-2. 蒸発散の与え方

今回は山口県の 2 つの 2 級河川ダム流域（木屋川ダム、生見川ダム）について時間単位での解析を行う。日単位の解析と同様に、今回も気温だけで評価できるソースウェイト法<sup>3)</sup>により蒸発散を与えることにする。気温は気候表から山口の 30 年月平均値を使い月蒸発散位を求める。これを日割りにしたものを日蒸発散位、さらに 24 で除した値を時間蒸発散位とする。各流域では気象環境が異なるので、当然流域独特の蒸発散値となる。個々の流域の蒸発散位して山口の蒸発散位に蒸発散率  $e_r$  を乗じたもので表現した。どの流域についても降雨日でも日降雨量が 30mm 未満の日は日蒸発散位そのものを蒸発散値とし、日降雨量が 30mm を超えた日は日蒸発散位の  $1/3$  を蒸発散値として、時間単位の蒸発散値を決めた。

### 1-3. 流出口の高さ $h_0$ (mm) の与え方

- (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  $h_0 = 0.15 \times F$
- (3)  $F \geq 100\text{mm}$  のとき  $h_0 = 0.05 \times F$
- (4)  $h_0 < 0$  のとき  $h_0 = 0$  とする。

### 1-4. 流出率 $\lambda$ (1/hr) の与え方

$\lambda$  は日単位の解析の場合には流域面積  $S(\text{km}^2)$  の大きさによって変わったが今回の 2つの流域はともに  $S$  は  $100\text{km}^2$  未満であるので次のように与えた。

① 木屋川ダム流域 ( $S=84.1\text{ km}^2$ ) の場合

- (1)  $F < 25\text{mm}$  のとき  $\lambda = 0.025 (1/\text{hr})$   
 (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 0.25 とする。

② 生見川ダム流域 ( $S=72.4\text{ km}^2$ ) の場合

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

$$\lambda = 0.025 + \frac{(F - 30)}{1250}$$

ただし  $\lambda$  の最大値は 0.175 とする。

1-5. 浸透率  $\beta (1/\text{hr})$  の与え方

$\beta$  は流域環境によって変動するので、流域ごとに設定する。ただし設定された  $\beta$  は時間変動はしなく一定とする。

2. 解析例

2-1. 木屋川ダムの時間流入量解析

ダムより上流側の流域面積は  $84.1\text{km}^2$  である。時間単位での降雨量→ダム流入量雨量の解析を 1975 年から 1999 年の間の 5 つの洪水時について行った。流域の特性の一覧は下記のとおりである。

(1) 流域性状

- a. 流量観測点；木屋川ダム流量観測所  
 b. 雨量観測点；田耕、仙崎、木屋川ダム雨量観測所。降雨はこれらの平均値。  
 c. 流量観測点までの流域面積； $S=84.1\text{ km}^2$

(2) 解析期間；

- 1975 年 7 月 11 日。(ケース 1)  
 1981 年 6 月 25 日。(ケース 2)  
 1991 年 9 月 13 日。(ケース 3)

1999 年 6 月 23 日。(ケース 4)

1999 年 9 月 21 日。(ケース 5)

(3) 採用されたタンクモデルの構造とパラメータ

- a. 構造；4 段直列  
 b. 1 段目のタンクパラメータ；ただし単位は流出口の底面からの高さ  $h$  (mm)、流出率  $\lambda$  (1/hr)、浸透率  $\beta$  (1/hr) である。  
 $h1a=100, \lambda 1a=0.05, \beta a=0.5$   
 $h2a=50, \lambda 2a=0.05$   
 $h3a=30, \lambda 3a=0.05$   
 $h4a=0, \lambda 4a=0.01$   
 c. 2 段目のタンクパラメータ；  
 $h1b=75, \lambda 1b=0.35, \beta b=0.2$   
 $h2b=40, \lambda 2b=0.15$   
 $h3b=10, \lambda 3b=0.05$   
 $h4b=0, \lambda 4b=0.01$   
 d. 3 段目のタンクパラメータ；  
 $h1c=50, \lambda 1c=0.15, \beta c=0.01$   
 $h2c=30, \lambda 2c=0.05$   
 $h3c=10, \lambda 3c=0.005$   
 $h4c=0, \lambda 4c=0.01$   
 e. 4 段目のタンクパラメータ；  
 $h1d=30, \lambda 1d=0.05, \beta d=0.01$   
 $h2d=10, \lambda 2d=0.005$   
 $h3d=0, \lambda 3d=0.001$   
 g. 蒸発散率  $er=0.3$

(4) 採用された自律タンクモデルのパラメータ

- a. 浸透率  $\beta = 0.005 (1/\text{hr})$   
 b. 蒸発散率  $er_0 = 0.3$   
 c. 浸透率  $\beta$  の付帯条件；1 時間雨量  $R$  によって次のように与える。  
 $10\text{mm/hr} < R \leq 3\text{mm/hr}$  の時  $\beta$  は 10% 増し。  
 $25\text{mm/hr} < R \leq 10\text{mm/hr}$  の時  $\beta$  は 25% 増し。  
 $R \geq 25\text{mm/hr}$  の時  $\beta$  は 50% 増し。

(5) 解析結果

① ケース 1

タンクモデル(TM)、水循環能モデル(NBHR)、自律タンクモデル(SRTM)の 3 方法による流出解析の結果を図 2a に示す。図中の文字、記  
 山口大学工学部研究報告

号についての説明は以下のとおりである。

右上の  $n$  値は観測流量継続時間 (hr) を示す。

このうち降雨は 13 時間続いた。また <stn> はケース番号を示す。

RS ; 時間降雨量の合計、mm

QS ; 観測流量の合計、mm

mQ ; 観測流量の時間平均値、mm/hr

f ; 流出係数

er ; 蒸発散率、タンクモデルのための有効な蒸発散値を決めるための係数

<tank anal> 欄 ; タンクモデルによる計算値の適合度を示す。

rt ; 相関係数

mQt ; 計算流量の時間平均値、mm/hr

RMSE ; 標準誤差

QtS ; タンクモデルで計算された流出量  $Q_t(\bigcirc)$ 、mm の合計値である。

es ; er に基づく時間蒸発散量の合計値、mm

tgs ; 最後のタンクからの浸透量の合計値、mm

dvs ; 毎時間のすべてのタンクの貯留変化量の合計値。

<atm anal> 欄 ; 自律タンクモデルによる計算値の適合度を示す。

ra ; 相関係数

mQa ; 平均流量

Q0s ; 流出量、 $Q_0(\blacksquare)$  の合計

e0s ; 蒸発散量の合計、自律タンクモデルでは蒸発散値はタンクモデルの場合と同じ値で当てている。

g0s ; 浸透量の合計

dv0s ; 貯留変化量の合計

ga0 ; 浸透率  $\beta$

er0 ; 蒸発散率

さらに右欄には水循環能に基づくモデルによって計算されたものを <ent anal> 欄に示した。

S ; 流域面積、84.1 km<sup>2</sup>

Ry ; 基本の年雨量、mm

Ey ; 基本の蒸発散量、mm

Gy ; 基本の浸透量、mm。以上の 3 つは以下の西日本の各流域では変わらない。

Sy ; 流域固有の基準水循環能 (mm/yr/m) である。

Ry, Ey と流域の平均高度、流量観測点の高度で決められる。これが大きいとき基底流出成

分  $Q_{bf}$  が大きくなる。水循環能に基づくモデルそのものの詳しい説明は前報を参照頂きたい。

re ; 相関係数

mQe ; 平均流量

QeS ; 流出量、 $Q_e(\times)$  の合計

ES ; 蒸発散量の合計

GS ; 浸透量の合計

QreS ; この方法によって分離された有効降雨による流量成分

Qbfs ; 同じく基底流量成分

QstS ; 同じく中間流出成分。以上の 3 つの流出成分の合計から GS をさし引いたものが QeS となっている。

mdWs ; この方法による毎時の貯留変化量の合計であるが、上の dVs, dV0s とは少し性格が違う。この方法では基底流を調整するため毎時の貯留変化量に一定の調整値 DRN を与えている。最後の DRNS はその合計値である。基本の蒸発散や浸透が過大であった時や、他流域からの流入があるときは DRN は負の値となり、逆に基本の蒸発散、浸透に較べ実際にはそれらが大きな値をとる場合や、あるいは他流域への流出があるときは正の値をとる。したがってこれらの影響を受けて mdWs は損失成分の性格を帯び、 $es+gs \doteq e0s+g0s \doteq ES+GS+mdWS$  となっている。

なお DRN は

$R > 25\text{mm/hr}$  のとき  $DRN = -4\text{mm/hr}$

$25\text{mm/hr} > R > 2\text{mm/hr}$  のとき

木屋川ダム流域では  $DRN = 1\text{mm/hr}$

生見川ダム流域では  $DRN = 3\text{mm/hr}$

$2\text{mm/hr} > R$  のとき  $DRN = -1\text{mm/hr}$

で与え、流域に大きな降雨による水分補給があるときはピーク流量を合わせるため  $DRN = -4\text{mm/hr}$ 、逆に降雨  $R$  が  $2\text{mm/hr}$  未満か無いときは  $DRN = -1\text{mm/hr}$  の負の補正、さらにこれらの中間の雨では木屋川ダム流域では  $DRN = 1\text{mm/hr}$ 、生見川ダム流域では  $DRN = 3\text{mm/hr}$  のそれぞれ正の補正をして地域貯留変化を安定化している。

図 2a のように相関係数、標準誤差ともに

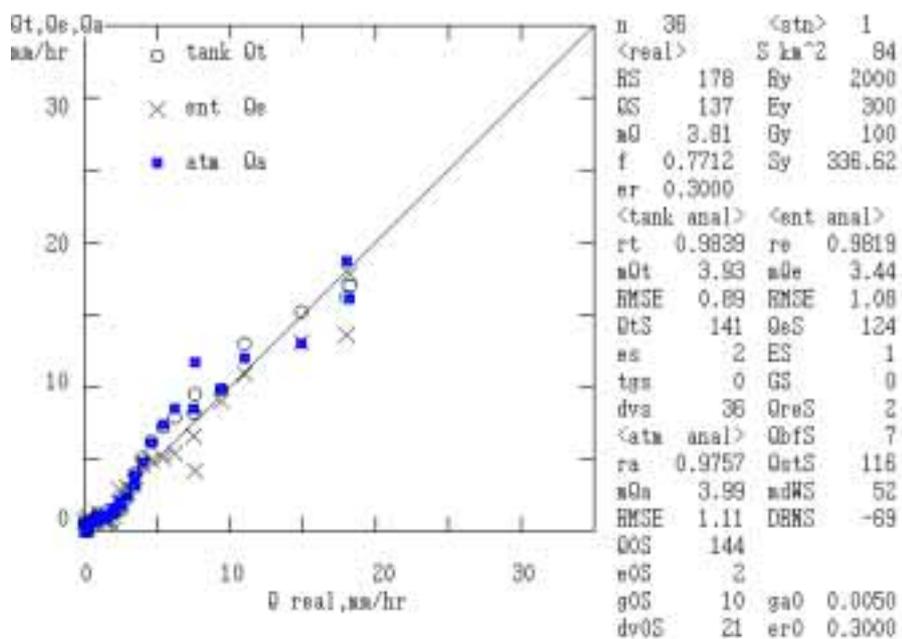


Figure 2a. Comparison of the calculated runoff,  $Q_a$  (by SRTM),  $Q_t$  (by T M), and  $Q_e$  (by NBHR) with the observed  $Q$  during the rain, centered at July 11, 1975; Case 1 of Kiyagawa Dam river basin.

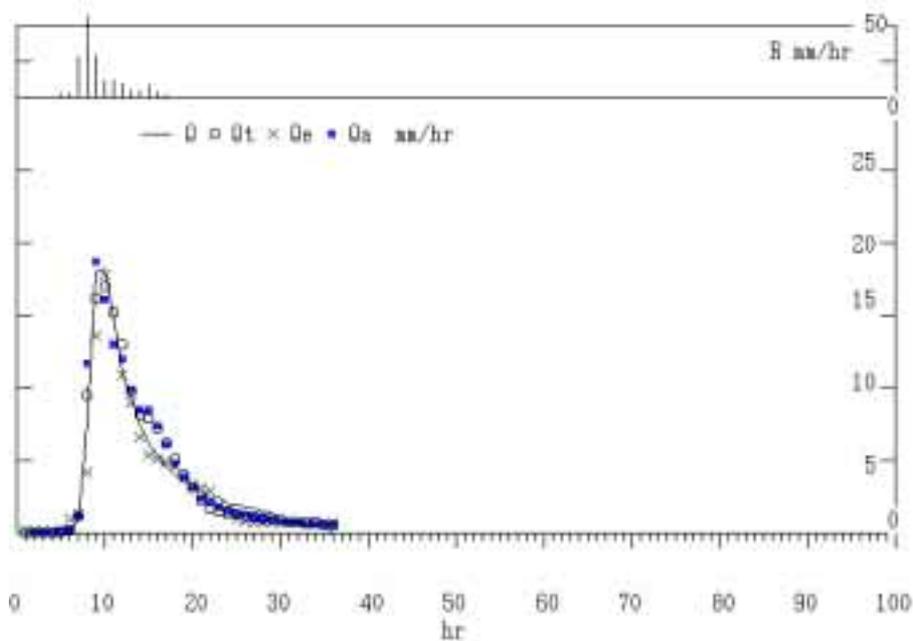


Figure 2b. Hourly changes of the observed rainfall  $R$ , and the runoff,  $Q, Q_a, Q_t, Q_e$  during Case 1 rain of Kiyagawa Dam river basin. Time is shown by rain continuation hours from rain beginning.  $R$  in upper figure is the observed hourly rain, mm/hr, input to each model.

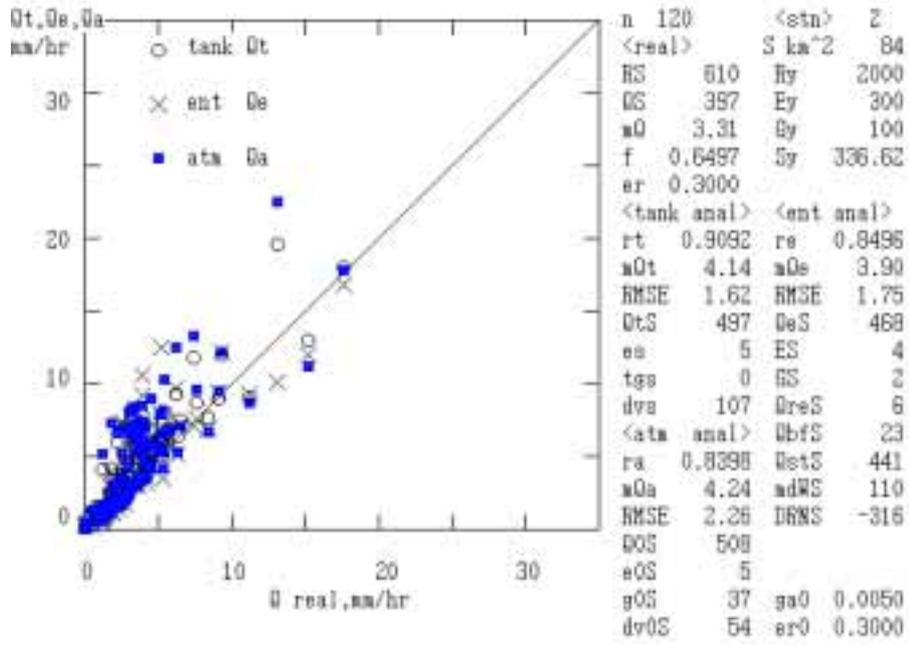


Figure 3a. Comparison of the calculated runoff, Qa (by SRTM), Qt (by T M), and Qe (by NBHR) with the observed Q during the rain, centered at June 25,1981 ; Case 2 of Kiyagawa Dam river basin.

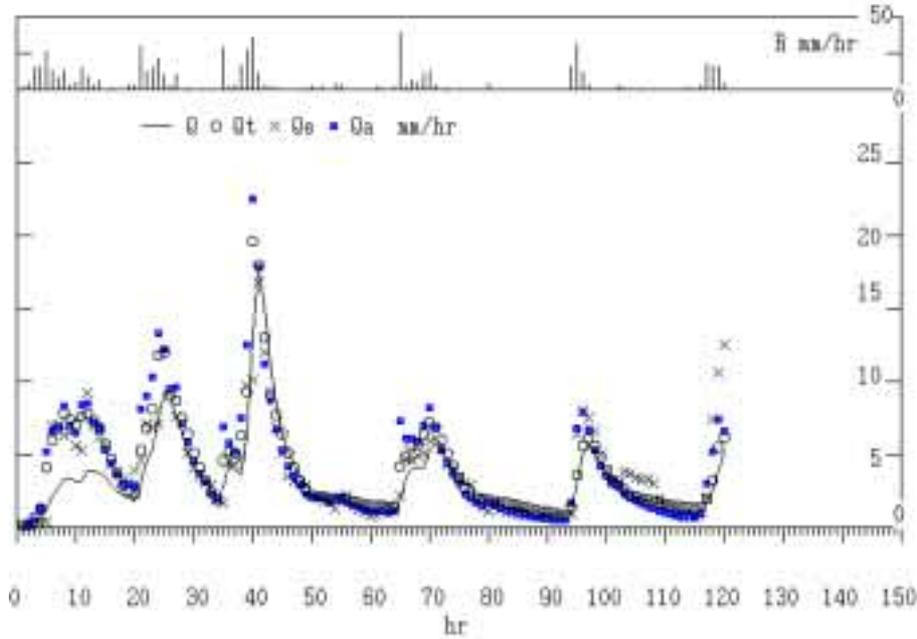


Figure 3b. Hourly changes of the observed rainfall R, and the runoff,Q,Qa,Qt,Qe during Case 2 rain of Kiyagawa Dam river basin.

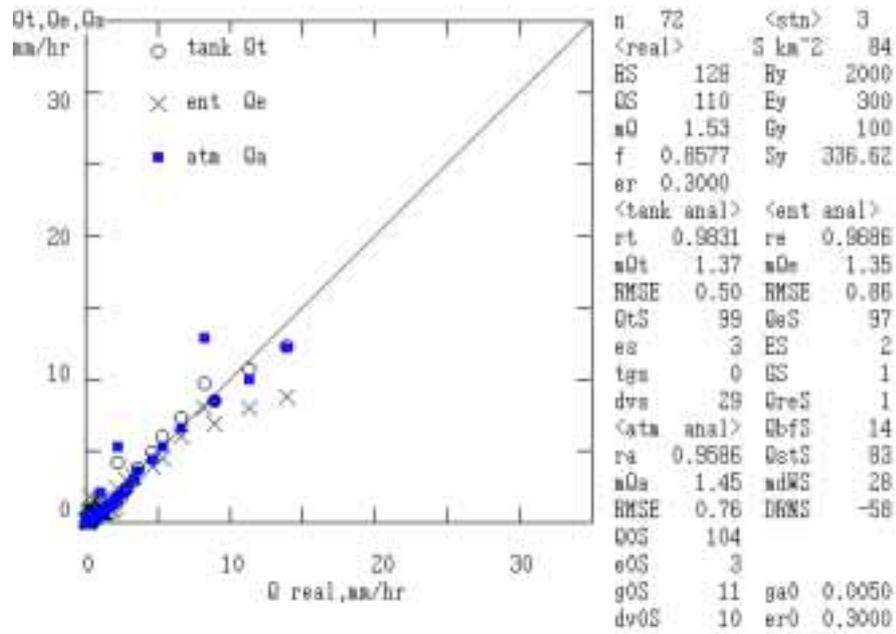


Figure 4a. Comparison of the calculated runoff,  $Q_a$  (by SRTM),  $Q_t$  (by T M), and  $Q_e$  (by NBHR) with the observed  $Q$  during the rain, centered at Sep. 13,1991 ; Case 3 of Kiyagawa Dam river basin.

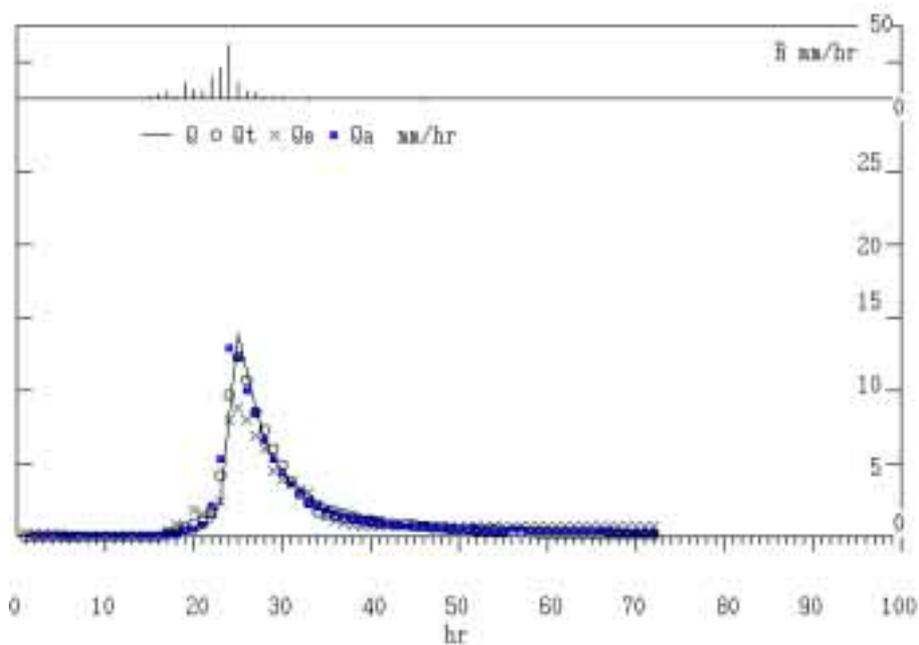


Figure 4b. Hourly changes of the observed rainfall  $R$ , and the runoff,  $Q, Q_a, Q_t, Q_e$  during Case 3 rain of Kiyagawa Dam river basin.

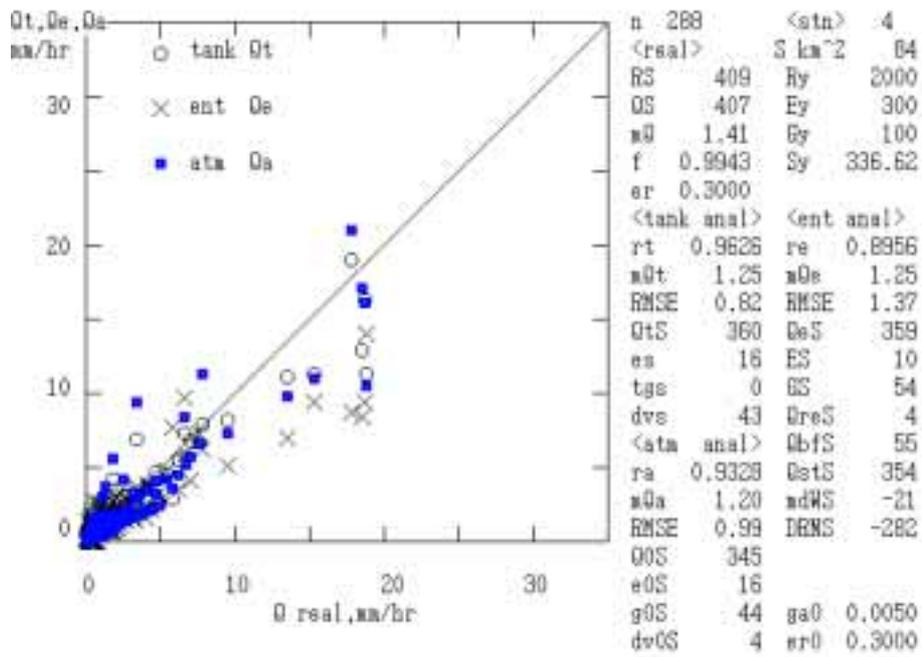


Figure 5a. Comparison of the calculated runoff,  $Q_a$  (by SRTM),  $Q_t$  (by T M), and  $Q_e$  (by NBHR) with the observed  $Q$  during the rain, centered at June 23,1999 ; Case 4 of Kiyagawa Dam river basin.

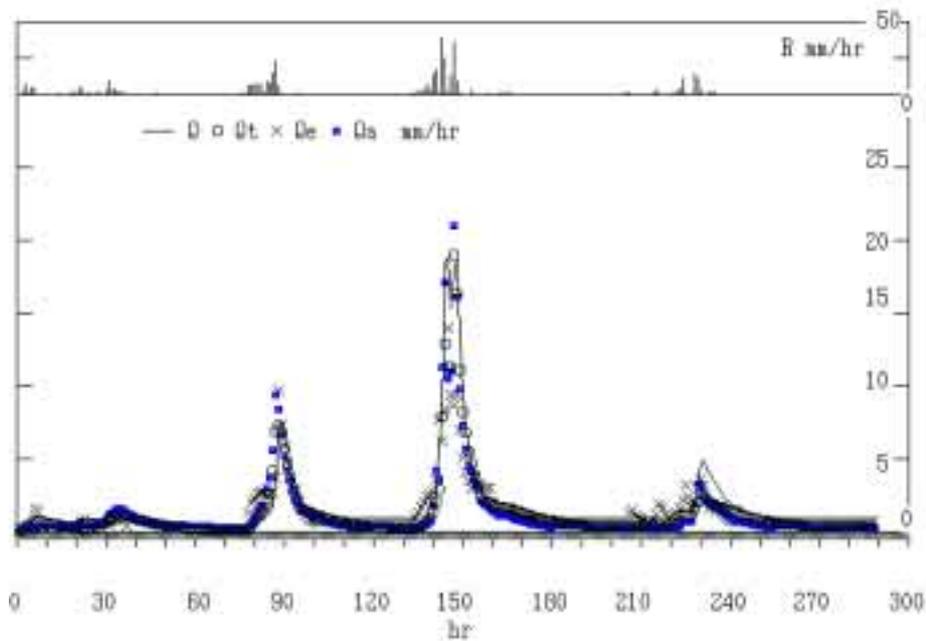


Figure 5b. Hourly changes of the observed rainfall  $R$ , and the runoff,  $Q, Q_a, Q_t, Q_e$  during Case 4 rain of Kiyagawa Dam river basin.

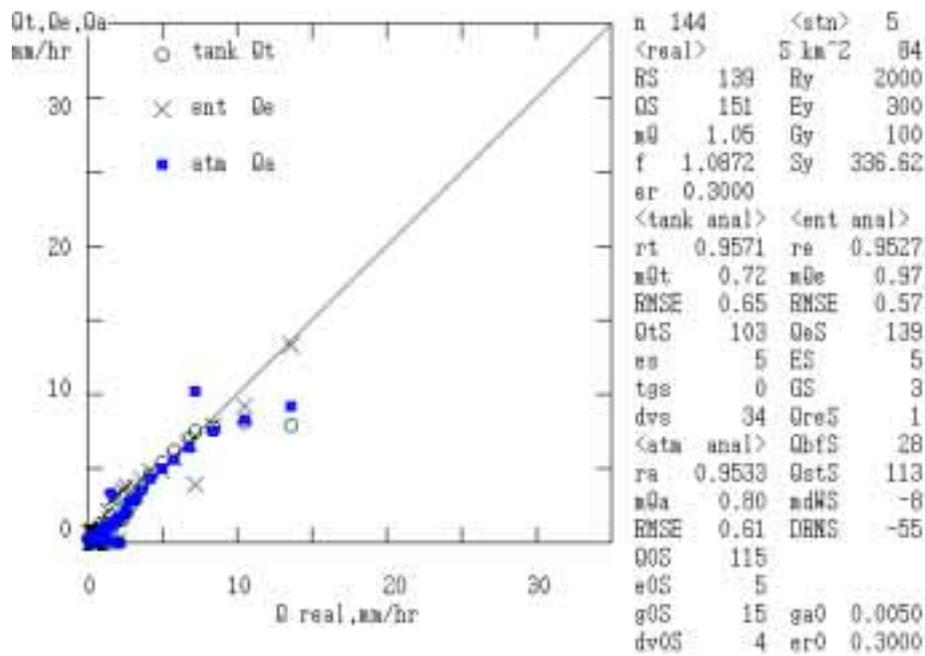


Figure 6a. Comparison of the calculated runoff,  $Q_a$  (by SRTM),  $Q_t$  (by T M), and  $Q_e$  (by NBHR) with the observed  $Q$  during the rain, centered at Sep.21,1991 ; Case 5 of Kiyagawa Dam river basin.

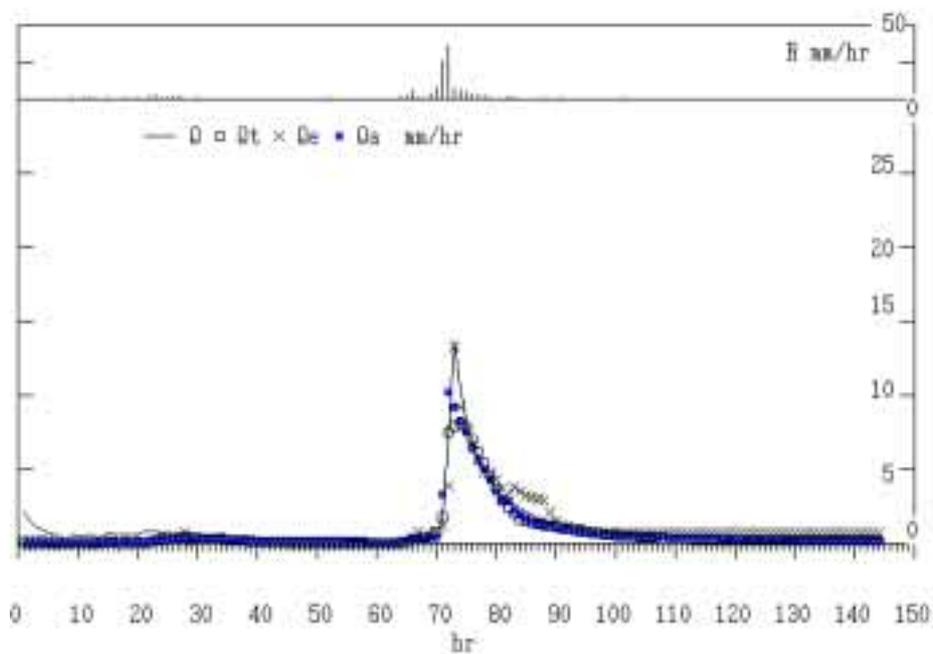


Figure 6b. Hourly changes of the observed rainfall  $R$ , and the runoff,  $Q, Q_a, Q_t, Q_e$  during Case 5 rain of Kiyagawa Dam river basin.

タンクモデルによる  $rt=0.9839$ 、 $RMSE=0.89\text{mm/hr}$  が最も良い。しかし自律タンクモデル、水循環能による結果はそれほど悪くはない。後者の最終調整 DRN は時間合計で  $-69\text{mm}$  となり、基本の蒸発散、浸透による流域内の水損失が過大であることを示している。

図 2b は実測流量と計算流量の時間変化を雨の降り始めから降り終わりまでの間で示したものである。3つの方法による計算流量とともに観測流量をよく再現している。

## ②ケース 2

図 3 は 1981 年 6 月 25 日を中心とした降雨による  $n=120$  時間の流量観測での結果である。図 3 に見られるごとくタンクモデルによる適合度が最も良い。降り始めから 20 時間の間では 3 方法とも過大な流量再現となっていることが判る。その後は 3 方法ともよく合っていると云える。

## ③ケース 3

図 4 は 1991 年 9 月 13 日を中心とした降雨による  $n=72$  時間の流量観測での結果である。この場合もタンクモデルによる適合度が最も良いが、他の 2 つの方法も遜色ない。ただ、×印で示すように水循環能によるピーク流量が不足している。

## ④ケース 4

図 5 は 1999 年 6 月 23 日を中心とした降雨による  $n=288$  時間の流量観測での結果である。ここでもタンクモデルによる適合度が最も良い。降雨開始から 240 時間目付近の降雨による流量再現は水循環能に基づくものは敏感に現われている。

## ⑤ケース 5

図 6 は 1999 年 9 月 21 日を中心とした降雨による  $n=144$  時間の流量観測での結果である。相関係数はほとんど変わらないが  $RMSE$  は水循環能に基づくものが最も小さい。図 6 b に示すように水循環能による再現はピーク値を良く表わしている。ただし、水循環能による再現では降雨の終わりの弱い雨にも敏感に

答している。

以上のように、自律タンクモデルによる再現はタンクモデルによる再現と水循環能に基づく再現の中間の表現となっている。このことは次の生見川ダム流域の解析結果にも現われている。

## 2-2. 生見ダム流域の時間流入量解析

ダムより上流側の流域面積は  $72.4\text{km}^2$  である。時間単位での降雨量→ダム流入量雨量の解析を 1992 年から 1999 年間の 5 つの洪水時について行った。流域の特性の一覧は下記のとおりである。

### (1) 流域性状

- a. 流量観測点；生見川ダム流量観測所
- b. 雨量観測点；この流域では、羅漢山、生見川ダム、大田原の 3 つの雨量観測所がある。解析の結果、降雨はこれらの平均値を使う場合より羅漢山の雨量データのみを使用する場合の方が各方法とも良い結果を示したので、以下の解析では羅漢山の雨量データのみを使用した。

- c. 流量観測点までの流域面積； $S=72.4\text{km}^2$
- (2) 解析期間；

- 1992 年 8 月 8 日。(ケース 61)
- 1993 年 7 月 27 日。(ケース 71)
- 1995 年 7 月 3 日。(ケース 81)
- 1997 年 6 月 28 日。(ケース 91)
- 1999 年 9 月 24 日。(ケース 101)

### (3) 採用されたタンクモデルの構造とパラメータ

- a. 構造；4 段直列
- b. 1 段目のタンクパラメータ；ただし単位は流出口の底面からの高さ  $h$  (mm)、流出率  $\lambda$  (1/hr)、浸透率  $\beta$  (1/hr) である。

$$h1a=150, \lambda 1a=0.2, \beta a=0.15$$

$$h2a=50, \lambda 2a=0.1$$

$$h3a=30, \lambda 3a=0.05$$

$$h4a=0, \lambda 4a=0.01$$

- c. 2 段目のタンクパラメータ；

$$h1b=100, \lambda 1b=0.1, \beta b=0.35$$

$$h2b=50, \lambda 2b=0.1$$

$$h3b=30, \lambda 3b=0.05$$

$$h4b=0, \lambda 4b=0.01$$

d. 3 段目のタンクパラメータ ;

$$h1c=30, \lambda 1c=0.05, \beta c=0.25$$

$$h2c=10, \lambda 2c=0.01$$

e. 4 段目のタンクパラメータ ;

$$h1d=10, \lambda 1d=0.001, \beta d=0.015$$

g. 蒸発散率  $er=0.3$

(4) 採用された自律タンクモデルのパラメータ

a. 浸透率  $\beta = 0.025 (1/hr)$

b. 蒸発散率  $er_0 = 0.3$

c. 浸透率  $\beta$  の付帯条件 ; 1 時間雨量  $R$  によって木屋川ダムと同様に割増しする。

(5) 解析結果

#### ① ケース 61

図 7 は 1992 年 8 月 8 日を中心とした降雨による  $n=57$  時間の流量観測での結果である。相関係数は水循環能に基づくもの自律タンクモデルに基づくものがそれぞれ 0.98 を越えているが、RMSE は自律タンクモデルが最も小さい。ただし、全体の流量再現は  $QS=92mm$  に対し水循環能に基づくものは  $QeS=101mm$  で総合的に見て水循環能に基づくものが最も良い。

#### ② ケース 71

図 8 は 1993 年 7 月 27 日を中心とした降雨による  $n=57$  時間の流量観測での結果である。この場合は相関係数、RMSE とともに自律タンクモデルに基づくものが最も良い。

#### ③ ケース 81

図 9 は 1995 年 7 月 3 日を中心とした降雨による  $n=81$  時間の流量観測での結果である。この場合は RMSE においてタンクモデル、自律タンクモデルともに 1.24 であるが相関係数はタンクモデルの方がはるかに良い。

#### ④ ケース 91

図 10 は 1997 年 6 月 28 日を中心とした降雨による  $n=57$  時間の流量観測での結果である。このケースでは、相関係数において自律タンクモデルが最も良いが流量再現値が  $QOS=127mm$  と過大になっている。水循環能モデルによる相関係数は  $re=0.9743$  と少し悪くなるが  $QeS=103mm$  となって RMSE は一番小さい。

#### ⑤ ケース 101

図 11 は 1999 年 9 月 24 日を中心とした降雨による  $n=57$  時間の流量観測での結果である。 $QS=124mm$  に対し  $QtS=90mm$ 、 $QOS=93mm$ 、 $QeS=72mm$  となっていていずれも過少評価であるが、相関係数、RMSE とともに自律タンクモデルが最も良い。

### 3. 考察

山口県下の木屋川ダム流域、生見川ダム流域の流入量解析をタンクモデル、自律タンクモデル、水循環能に基づく方法の 3 つの解析方法で既往の洪水時でのそれぞれ 5 例について行った。木屋川ダム流域ではタンクモデルによる流量再現が最もよかった。これに対し生見川ダム流域では水循環能に基づく再現がよかったケースがいくつかある。全体を通じ自律タンクモデルに基づく再現は常に中間的な姿を呈し、簡便な方法にもかかわらず有用性は高いといえる。

生見川ダム流域では当初 3 つの方法に対する降雨量は 3 地点の平均雨量で与えた。図 12 のケース 10 はこの平均雨量を用いた時の図 11 のケース 101 と同じ解析対象での結果である。3 つの方法ともに流量再現が著しく過少であることが分かる。他の生見川ダム流域のケース 61 からケース 91 については平均雨量を使用した場合でもそれほど 3 つの方法とも適合度は変わらない。このことからケース 10 については入力される降雨が過少であると判断し、平均雨量より過大な値を示した羅漢山の降雨データを使用すればケース 101 の図 11 のように大幅に適合度が改善された。

我々の過去のタンクモデルによる流域解析では流域の平均雨量を使う場合より、ある一点の降雨観測所のデータを使用した方がうまく流量再現できたケースも多くある。このように今回のタンクモデル等の解析では入力の降雨データをどの観測雨量で代表させるかは試行解析のひとつの重要な作業となる。

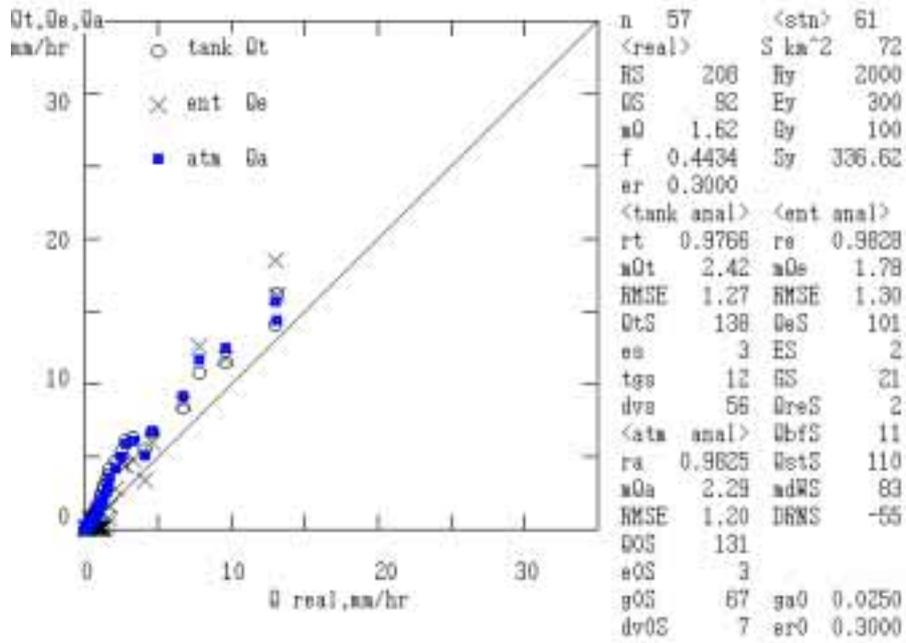


Figure 7a. Comparison of the calculated runoff, Qa (by SRTM), Qt (by T M), and Qe (by NBHR) with the observed Q during the rain, centered at August 8,1992 ; Case 61 of Ikumikawa Dam river basin.

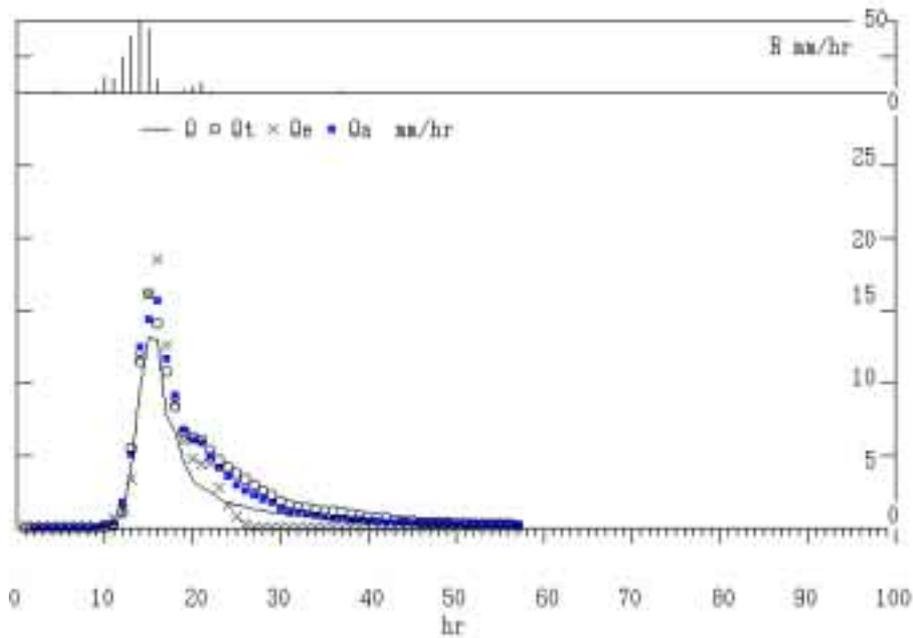


Figure 7b. Hourly changes of the observed rainfall R, and the runoff,Q,Qa,Qt,Qe during Case 61 rain of Ikumikawa Dam river basin.

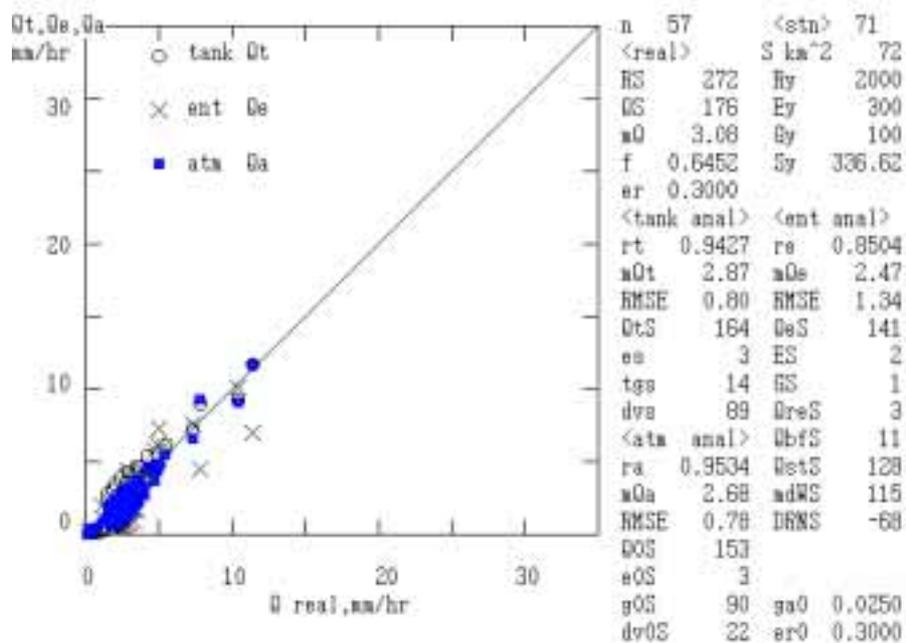


Figure 8a. Comparison of the calculated runoff, Qa (by SRTM), Qt (by T M), and Qe (by NBHR) with the observed Q during the rain, centered at July 27,1993 ; Case 71 of Ikumikawa Dam river basin.

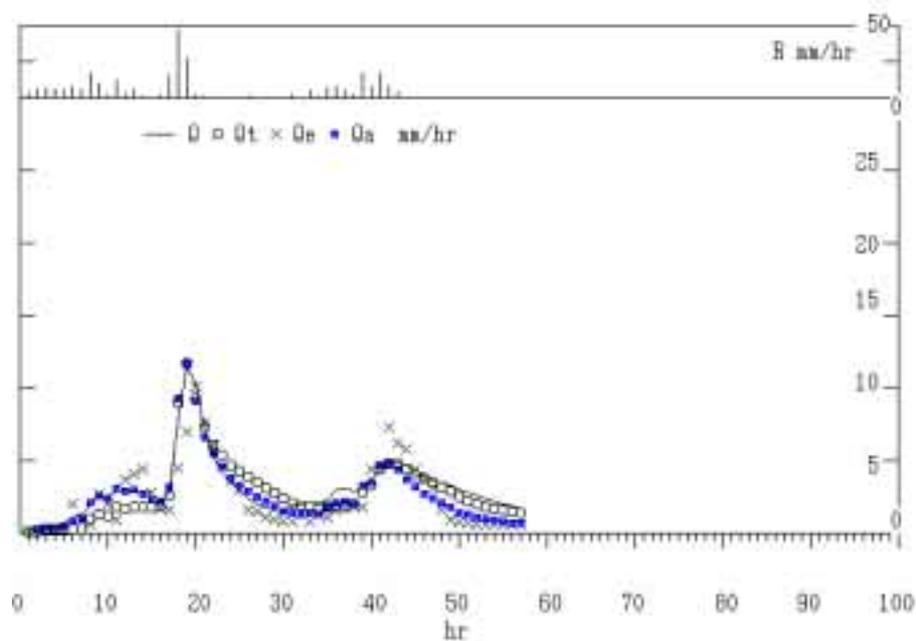


Figure 8b. Hourly changes of the observed rainfall R, and the runoff, Q, Qa, Qt, Qe during Case 71 rain of Ikumikawa Dam river basin.

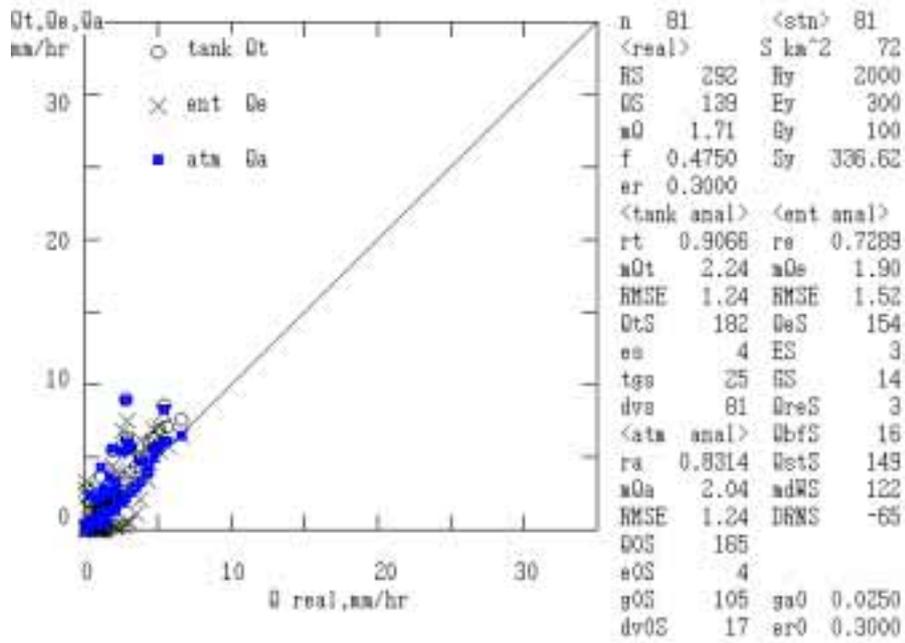


Figure 9a. Comparison of the calculated runoff,  $Q_a$  (by SRTM),  $Q_t$  (by T M), and  $Q_e$  (by NBHR) with the observed  $Q$  during the rain, centered at July 3,1995 ; Case 81 of Ikumikawa Dam river basin.

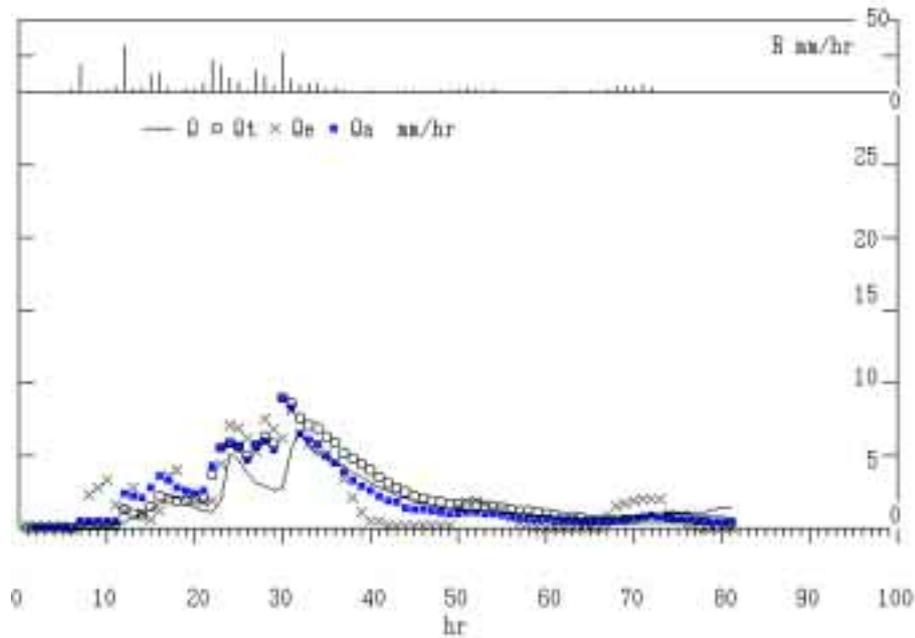


Figure 9b. Hourly changes of the observed rainfall  $R$ , and the runoff,  $Q, Q_a, Q_t, Q_e$  during Case 81 rain of Ikumikawa Dam river basin.

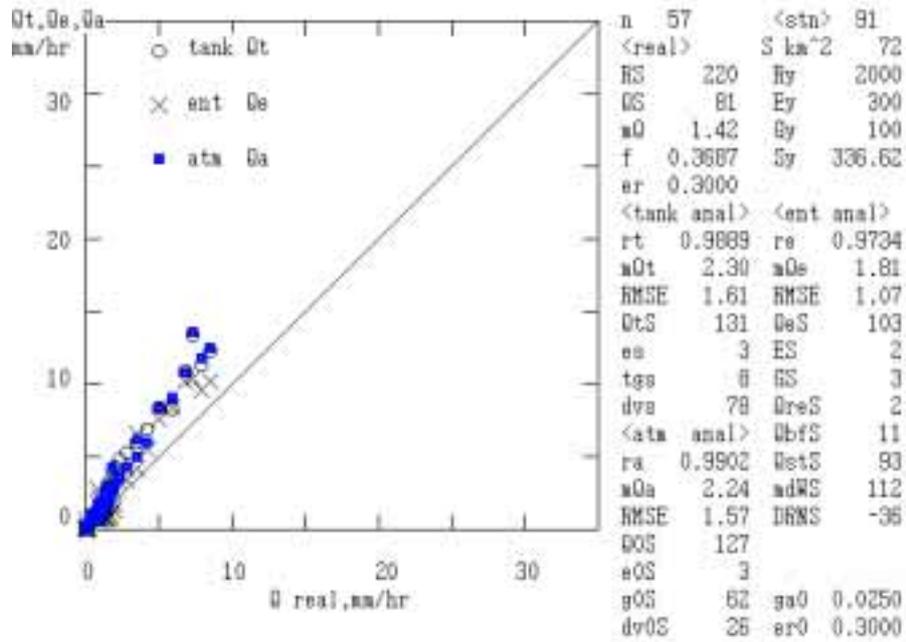


Figure 10a. Comparison of the calculated runoff,  $Q_a$  (by SRTM),  $Q_t$  (by T M), and  $Q_e$  (by NBHR) with the observed  $Q$  during the rain, centered at June 28, 1997; Case 91 of Ikumikawa Dam river basin.

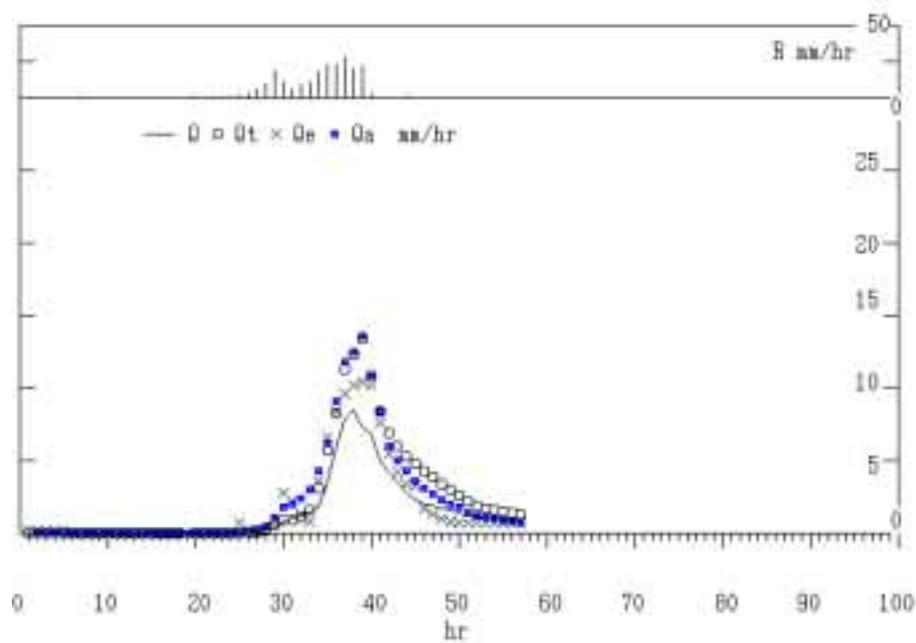


Figure 10b. Hourly changes of the observed rainfall  $R$ , and the runoff  $Q, Q_a, Q_t, Q_e$  during Case 91 rain of Ikumikawa Dam river basin.

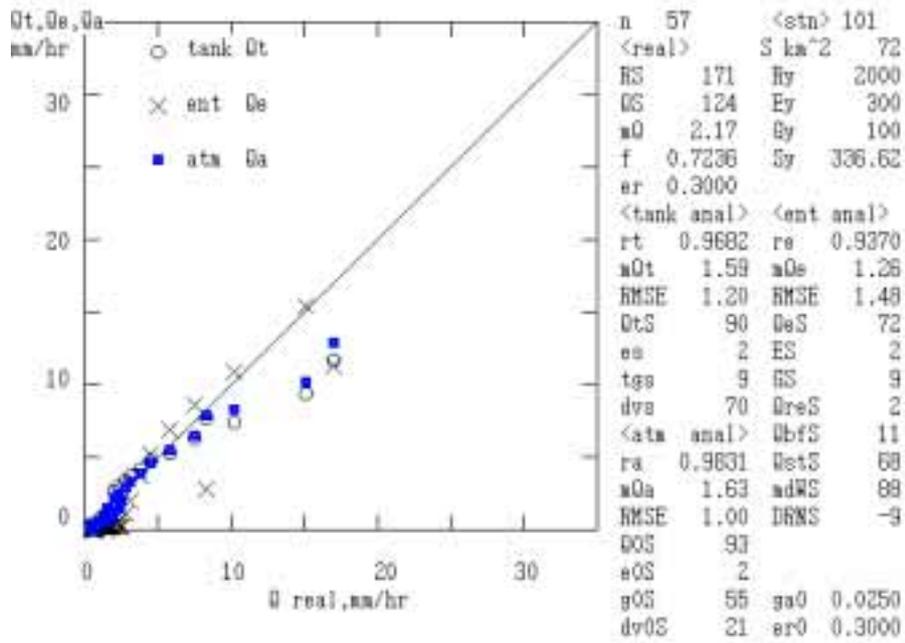


Figure 11a. Comparison of the calculated runoff,  $Q_a$  (by SRTM),  $Q_t$  (by T M), and  $Q_e$  (by NBHR) with the observed  $Q$  during the rain, centered at Sep. 24,1999 ; Case 101 of Ikumikawa Dam river basin.

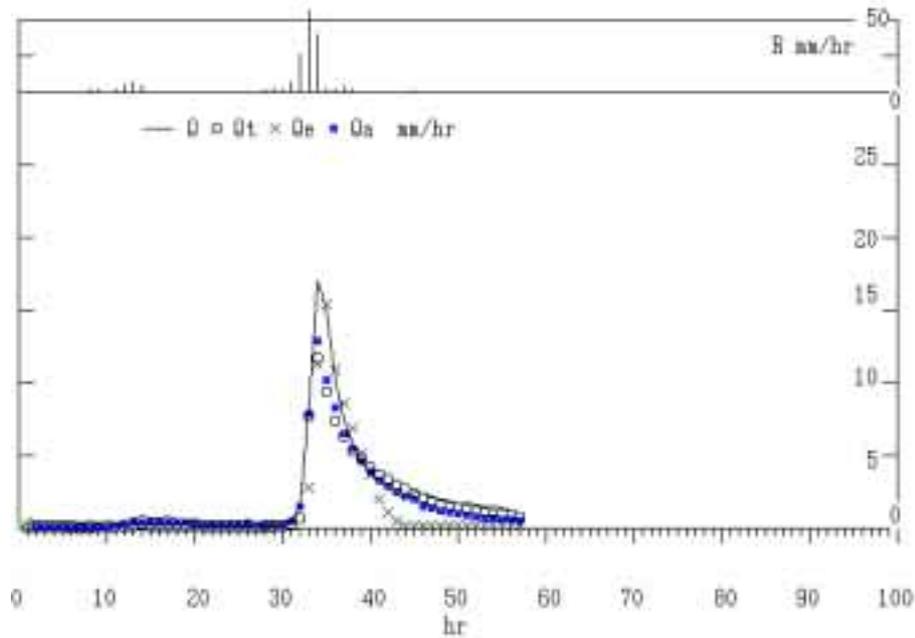


Figure 11b. Hourly changes of the observed rainfall  $R$ , and the runoff,  $Q, Q_a, Q_t, Q_e$  during Case 101 rain of Ikumikawa Dam river basin.

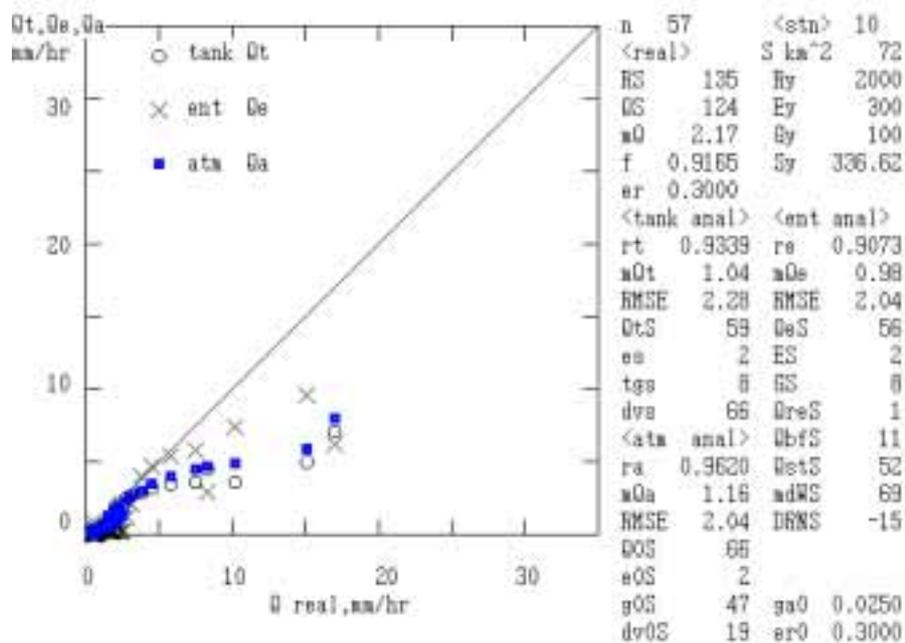


Figure 12a. Comparison of the calculated runoff,  $Q_a$  (by SRTM),  $Q_t$  (by T M), and  $Q_e$  (by NBHR) with the observed  $Q$  during the rain, centered at Sep. 24,1999 ; Case 10 of Ikumikawa Dam river basin. Case 10 is the result for the same period and place as Case 101, but the basin mean rainfall value was used to each method, while Rakanzan rainfall data only used in Case 101.

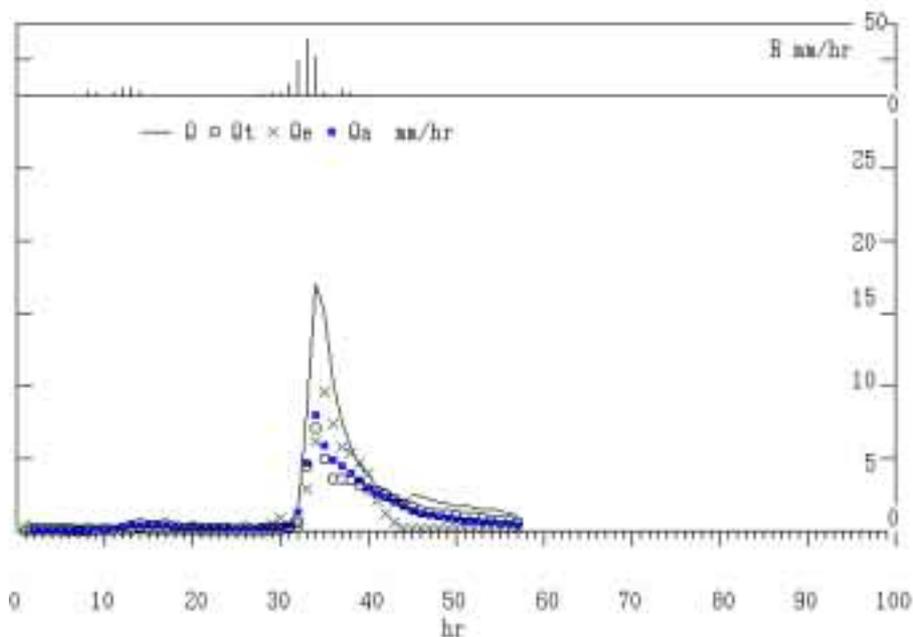


Figure 12b. Hourly changes of the observed rainfall  $R$ , and the runoff,  $Q$ ,  $Q_a$ ,  $Q_t$ ,  $Q_e$  during Case 10 rain of Ikumikawa Dam river basin

## おわりに

山口県下の 2 級河川木屋川ダム流域(流域面積  $S=84.1\text{km}^2$ )、生見川ダム流域(流域面積  $S=72.4\text{km}^2$ )の流入量解析をタンクモデル、自律タンクモデル、水循環能に基づく方法の 3 つの解析方法で行った。解析対象はそれぞれ既往の洪水時での 5 例についてである。

得られた知見は以下のものである。

(1) 木屋川ダム流域ではタンクモデルによる流量再現が最もよかった。ただし他の 2 つの方法による結果も簡便な方法の割には適合度は良い。

(2) 生見川ダム流域では水循環能に基づく再現がよかったケースがいくつかある。

(3) 全体を通じ自律タンクモデルに基づく再現はタンクモデルによる再現と水循環能に基づく再現の中間的な姿を常に呈し、自律タンクモデルは簡便な方法にもかかわらず有用性は高いといえる。

(4) 生見川ダム流域では木屋川ダム流域と同様に、当初 3 つの方法に入力する降雨量は流域内の 3 地点の平均雨量で与えた。しかし結果的にこの雨量では 3 方法とも過少な流量出力となった為、平均雨量より大きな雨量を示した羅漢山の降雨データを使用すると適合度は大幅に改善された。入力の降雨データをどの観測雨量で代表させるかは試行解析のひとつの重要な作業となる。

以上のごとく自律タンクモデルによる適合度は日単位流出解析と同様に今回の時間単位流出解析においても有用性が認められた。洪水予測などで流量のより正確な表現だけが目的の場合は従来のタンクモデルよりはるかに簡便な自律タンクモデルで十分対応できそうである。

## 謝辞

解析データについては山口県河川課の皆様にご多大のお世話になりました。深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 塩月善晴：流域斉水論序説, 山口大学工学部研究報告, 52, 1, 2001.
- 2) 塩月善晴：自律タンクモデルについて、ダム技術、No. 180, 2001
- 3) Thornthwaite, C. W. and Mather, J. R.: The water balance. Laboratory of Climatology, Publication No. 8, Centerton, NJ, 1955.

(平成 13 年 12 月 17 日受理)