森林理水機能の検討に関する日単位資料の取扱い方法〔I〕

——フィルタ・モデルの小流域への適用について——

菊　地　政　泰

A Methodlogical Study on the Analysis of Hydrological Cycle Phenomenon in a Watershed for Daily Period Data. (I).

……On the application of filter model in a small watershed. ……

Masaharu Kikuchi.

Abstract.

It is one of the most important ploblems in forest hydrology to express the hydrological behavior of a small watershed by analyzing the relation between amounts of precipitation and runoff within the same period. Many studies have been carried out upon the viewpoint. However, because of the time delay or lag ranoff after precipitation, such rainfall-runoff correlations are usually meaningless in short period especially for a daily data. Nevertheless, it is important to know the amount of runoff produced from any specified rain, if possible.

The writer computed approximately the averaged runoff by means of filter models for estimating runoff from precipitation within the same period. This model is the same principle as the relation between one-day precipitation and its corresponding runoff within the time series can be represented by the function as follows;

$$Q\ (t)=\int_0^\infty U\ (t)\ r\ (t-\tau)\ dt+c\ (t)\ \cdots\cdots\cdots (I)$$

here,

$Q\ (t)$; 1-day precipitation.

$U\ (t)$; daily unit hydrograff.

τ; time delay of lag or runoff.

$c\ (t)$; Base runoff of daily period.

But this model have non-linier characteristics.

The determination of coefficient at the filter model have been carried out approximately by means of the trial and errors, adapting the standard system of the runoff mecanics in watersheds.

The coefficients of base-flow can be persumed by proceduer for synchronizing periods to obtain the nomal ground depletion curve of average year at watershed. On the determination of coefficient at the surfase runoff and interflow can be approximately obtained by means of analytical division to take of depletion gradient at each heavy amounts of runoff.

The construction of model is formed of following,

Based on the daily date in time series, the writer concluded that the computative several peaks of the flood had got out of position.

It will be peculiar property of the daily hydrological data within the same period.
This report dealt with the experimental records of Sirasaka Aichi Tokyo University Forest.
The writer should like to express my appreciation to Dr. Yoichi Noguchi, Professor of Tokyo University. for his guidanse and interest.

要旨： 同一時間区分内における雨量と流出量を対比することは、森林理水機能を検討する際、きわめて重要である。日単位資料の取扱いは、時間遅れなど複雑な要素がからんで、困難とされてきた。

筆者は、日単位の雨量と流出量の対比を、フィルタ・モデルを用いて行なった。小流域において、このモデルを適用した例はあまり見当らない。

モデル定数の決定に際して、同時化法の適用、Barnesの解析的分離法の応用など特殊な試みを行なったが、実測値と推定値の対比は、あまり良好とはいえない。その他の定数決定は試行錯誤により行なった。モデルが非線型のため、数学的にはまだ解明されたとはいえない。

まえがき

森林と水とは、我国における貴重な資源である。この両資源の有機的なつながりについては、古くから論議されている。しかし水の水文学的循環過程における森林の役割を科学的に究明するため、森林量水試験が行なわれるようになったのは、比較的近年になってからである。[1) 2)]

これまでの森林地被物の水文的機能に関する従来の論議をふりかえると、(1)森林の理水機能論と(2)流域内の水分移行論に大別されよう。前者は森林の有無による流出量への影響を、おもに統計的検証をもって把握しようとするものであり、後者は流域内における種々の因子を解析することによって、流出現象の綜合的函数関係を導こうとするものである。[5) 6)] また time unit について考えれば、前者は月単位より以上の長期の unit を用いるのに対し、後者は、時間以下の短い unit を対象としている。いずれにしても、これらは究極的には、森林地被物の水文的価値を論ずることを目的としたものである。

ここで問題となるのは、日単位資料をいかに取扱うかである。時間単位以下の短期の資料は、量水観測施設をもうけなければ、入手出来ないし、工学方面における流出量観測値はほとんどが日単位資料である。いっぽう森林の理水機能についても、ただ質的にみて、裸地よりは理水機能があるという議論から、量的にどれほどあるかということを各々の地域について検討しなければならない。そうなるとたとえ近似値であっても、日単位資料の取扱い方法が必要となろう。

これまで、日単位資料が取扱われなかった理由としては、流出量には時間遅れが作用するために、同一時間区分内での雨量と流量の対比が不可能であったためである。[4)] しかしこの時間遅れをうまく考慮することが出来れば、雨量から直接流出量を推定することは可能である。

水文資料は一般に、時系列を構成しているから、これら資料の統計的検証には、まず第1条件として資料の独立性が保証されなければならない。[3)] しかし日単位で測定された雨量と流出量の資料は、この独立性の保証がない。したがってなまの資料の時系列上における統計的解析は不可能である。これまで日

単位資料の取扱いは年平均値か、あるいはその分散を問題とするものであったが、平均化という操作が小さな変動を打消す性質をもつために、これをもって徴少な森林の影響を検証するには適さないだろう。いずれにしても、日単位資料の取扱いは、資料の複雑性の故に、極めて困難であるが、統計的検証にかけうる確率変数を得ることが出来れば、日単位資料も役に立つと考えられる。

このような観点から、ここではまず、日雨量から日流出量の推定をこころみ、雨量に対する流出量の時間遅れが小流域ではどのような機構であらわれるか、フィルタ・モデルを用いて検討した。資料は東京大学附属演習林の白坂量水観測施設の資料を用いた。

なお本論文は、宇大大学院在学中の修士論文の一部を加筆訂正したものである。御指導賜った宇都宮大学鈴木丙馬名誉教授、東京大学野口陽一教授、本論文の検討をいただいた故安藤愛次前山梨林試場長に深甚の謝意を表します。

I　フィルタ・モデルとその理論的考察

フィルタ・モデルとは、主に情報科学で用いられる言葉で、特定周波数の波を消去して雑音を取り去る変換器を意味するが、数学的には演算子（operater）のことである。ある単位流域における入力を雨量、出力を流出量と考えれば、流域はフィルタの役割をしていると考えることが出来る。管原[9) 10)]はこのモデルを大面積1000km^2の流域における洪水追跡に応用して良好な近似を得ている。

いま簡単のため、流出現象を線型とみなし、雨量の時系列を$x(t,\alpha)$，流出量の時系列を$y(t,\alpha)$とすれば、

$$\wedge x\ (t,\alpha) = \int_0^\infty x\ (t-\tau)\ k(\tau)\quad d\tau \cdots\cdots\cdots (\text{I} \cdot)$$

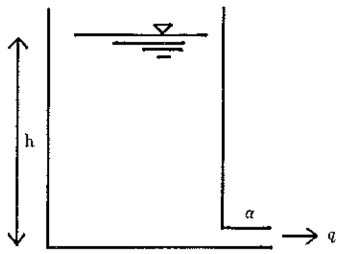
ここで　$y\ (t,\alpha) = \wedge x(t,\alpha)$

τ ：　時間遅れ

であらわすことが出来る。

ここで$k\ (\tau)$は、影響関数とよばれるもので、この関数型を推定することによってフィルタの内部構造を推定することが可能である。(1)式は、流出現象に線型性を仮定したときの流出函数一般式を積分方程式に導いたが、流出現象を考えてみると、地表流、中間流、地下水流の各要素に分けられ、本来非線型的である。

単一のモデルは、次のように表わせる。



第1図　Fig.1 単一モデル Single filter model

このモデルからの流出量qが水圧hに比例するとすれば、

$$q = \alpha h \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\text{I} \cdot 2)$$

$$-q = \frac{dh}{dt} \cdots\cdots\cdots (\text{I} \cdot 3)$$

が成り立つ。

この解は

$$q = q_0 e^{-\alpha t} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 4)$$

ここで　q_0：初期流量

q　：流出量

α　：流出係数

すなわち指数函数的に減少する流出函数である。究極的には流出函数の一般式

$$f(t) = \frac{1}{t_0} \cdot \frac{1}{\Gamma(n)} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{n-1} \cdot e^{-t/t_0} \cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 5)$$

も 4) 式と同様のことをあらわしている。[11)]

ここで　$\int_0^\infty f(t)\,dt = 1$

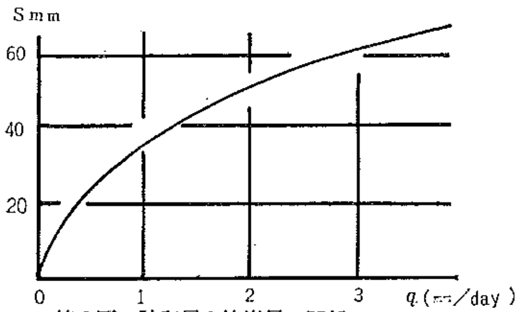
一般に流域内における水分貯留量をSとし、流出量をqとすれば、

$$S = k\,q^p \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 6))$$

なる関係が認められる。たとえば

$$S = 40q^{0.4} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 6')$$

と考えればこのグラフは第2図に示される。



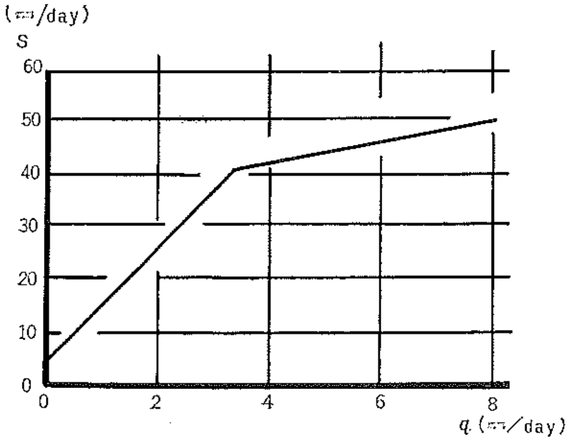
第2図　貯留量と流出量の関係
Fig.2　The relationship between S and q

すなわち貯留量と流出量の関係は直線的ではなく、指数曲線的関係になる。

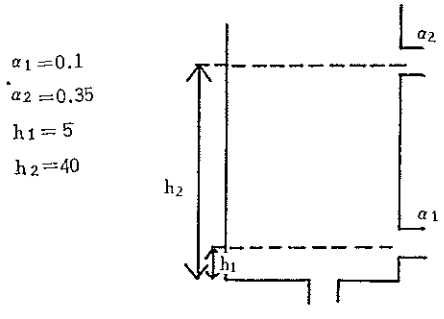
この関係を、フィルタモデルでは折線で s～q 関係を近似させようとする。

このモデルを直列にならべれば s～q 関係はさらに良好な近似が得られよう。

このように、流域をある種のフィルタとみなすことによって、日雨量からの日流出量を推定することが可能である。

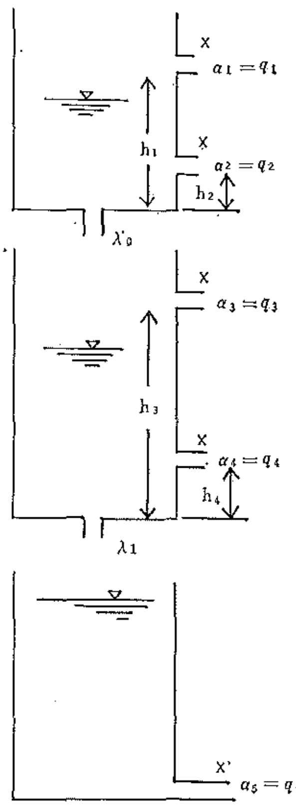


第3図　モデルによる貯留量と流出量の関係
Fig.3　The relationship between S and q by model.

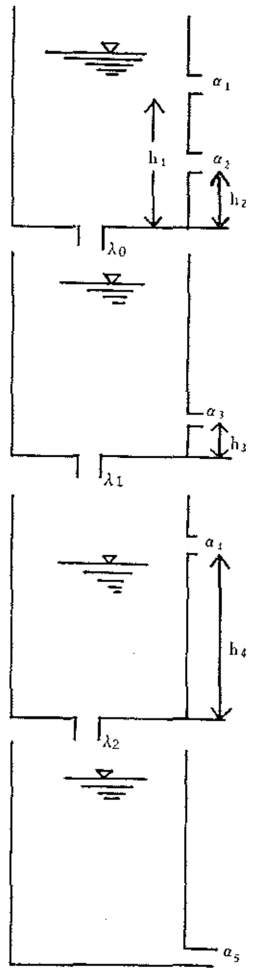


第4図　フィルタ・モデル
Fig.4　Filter model

ここでは流出現象とうまく適合させるため、直列非線型のモデルを作って、日流量の推定を行なった。以下に直列型3段および4段のモデルをかかげる。



第5図　**直列三段フィルターモデル**
Fig.5　**The filter models of three series.**



第6図　直列四段モデル
Fig.6　**The filter models of four series.**

このモデルを用いて流出量を計算する方法について説明しよう。

いま、流域内には初期貯留量S (t) をあたえておく。これは実際の計算では、試行錯誤的に求めればよい。この流域に雨量すなわち入力P (t) が降ったとすれば、

$\left\{ S_1(t) + P(t) \right\} > h_1$　のとき

$$q_1(t) = \left\{ S_1(t) + P(t) - h_1 \right\} \cdot \alpha_1 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 7)$$

$$q_2(t) = \left\{ S_1(t) + P(t) - h_2 \right\} \cdot \alpha_2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 8)$$

一段目のフィルタからの流出量は q_1, q_2 の合計であらわされ、さらに第2段目のフィルタへの滲透量は

$$r_1(t) = \left\{ S_1(t) + P(t) \right\} \cdot \lambda_0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 9)$$

であらわされる。

$r_2(t)$ は第3段目への滲透量となって、これは第3段の貯留量になる。このように順次計算をおこない、各フィルタからの流出量

$$q(t) = \left\{ q_1(t) + q_2(t) + \cdots\cdots q_5(t) \right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 10)$$

が一日の流出量になる。貯留量として残った第1段目のフィルタから蒸発散量を差引いて、翌日の貯留量とする。計算量はぼう大となるが、このようにして時系列上の日流量を推定することができる。また流域からの流出機構と対比すれば、第1段目は表面流出および洪水流出であり、第2段、第3段目は中間流出に、第4段目は地下水流出であると考えることもできる。

もし貯留量が $h_2 \leqq S_1(t) + P(t) \leqq h_1$ であれば、この第1段フィルタからの流出量は $q_2, r_1(t)$ のみとなる。

第2段目のフィルタの貯留量は、初期貯留量 $S_2(t)$ と第1段からの滲透量の和であらわされ、

$S_2(t) + r_1(t) > h_3$　のとき

$$q_3(t) = \left[\left\{ S_2(t) + r_1(t) \right\} - h_3 \right] \cdot \alpha_3 \cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 11)$$

$$q_4(t) = \left[\left\{ S_2(t) + r_1(t) \right\} - h_4 \right] \cdot \alpha_4 \cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 12)$$

$h_4 \leqq S_2(t) + r_1(t) \leqq h_3$　のときは

このフィルタからの流出は $q_4(t)$ および

$$r_2(t) = \left[S_2(t) + r_1(t) \right] \cdot \lambda_1 \cdots\cdots\cdots (\mathrm{I} \cdot 13)$$

となる。

II　定数の決定方法について

いま仮に $t=0$ で、流域内に単位量 $f(t)$ の降雨があったとする。この雨量は流域の表層に一時貯留され、地下への滲透量と表面流出量にわかれる。この時間的変化を $k(t)$ とすれば、一般に

$$\left. \begin{aligned} & k(t) \geqq 0 \\ & \int_0^\infty k(t)\, dt = 1 \end{aligned} \right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{II} \cdot 1)$$

が成立つ。[8)]

この $k(t)$ の時間的変化に対し $f(t)$ の影響が累加的であり、かつ時間の経過のみによるとすれば、

$$Q(t) = \int_0^t k(t-\tau)\, f(\tau)\, d\tau \cdots\cdots\cdots (\mathrm{II} \cdot 2)$$

τ：　影響時間

$Q(t)$；一時貯留の時間的変化

$k\ (t)$；単位降雨の時間的変化

$t=0$ ；雨の降り始めの時刻

が成立つ。

一般に、確率密度函数はほとんど（Ⅱ・1）式を満足しているが、ここでは指数分布型を採用することにすれば、

$$k\ (t)\ =\alpha \cdot e^{-\alpha t} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (\text{Ⅱ} \cdot 3)$$

この（Ⅱ・3）式を（Ⅱ・2）式に代入すれば、

$$Q(t)\ =\int_0^t \alpha e^{-\alpha(t-\tau)} f\ (\tau)\ d\tau \cdots\cdots\cdots \quad (\text{Ⅱ} \cdot 4)$$

この（Ⅱ・4）式をtについて偏微分すれば、

$$\frac{dQ\ (t)}{dt}=\frac{d}{dt}\left\{\alpha e^{-\alpha t} \cdot \int_0^t e^{\alpha t} \cdot f\ (\tau)\ d\tau\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (\text{Ⅱ} \cdot 5)$$

$$=-\alpha^2 e^{-\alpha t} \cdot \int_0^t e^{\alpha\tau} f\ (\tau)\ d\tau+\alpha e^{-\alpha t} \cdot e^{\alpha t} \cdot f\ (t)$$

$$=-\alpha^2 e^{-\alpha t} \cdot \int_0^t e^{\alpha\tau} \cdot f\ (\tau)\ d\tau+\alpha f\ (t)$$

$$=\quad \alpha \left\{f\ (t)\ -Q\ (t)\ \right\}$$

すなわち単位量の降雨量があったとき、流域内での一時貯留の変化は、地下への滲透量と表面流出量の和、つまり雨量からQ (t) を差引いた貯留量に比例していることがわかる。中間流出量、地下水流出量についても全く同様にして、求めることができる。しかも比例定数は指数分布型の勾配 α で近似される。

たとえば図のようなフィルタについては、貯留高 x_1 が

$$h_2 > x_1,\quad P\ (t)\ =0$$

とすれば、

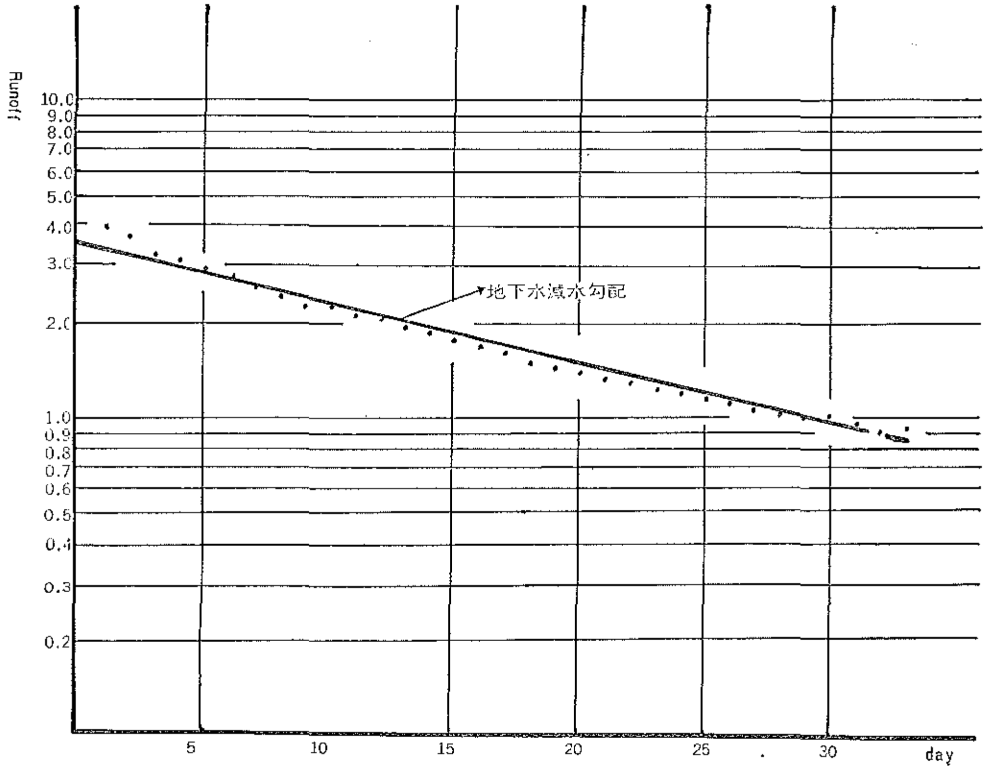
$$\left.\begin{aligned} q&=\alpha_2\ (x_1-h_1)\ +\alpha_1\ (x_1-h_2) \\ i&=\lambda_0 x_1 \\ -\ (q+i)\ &=\frac{dx_1}{dt} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (\text{Ⅱ} \cdot 6)$$

が与えられこれより

$$q\,(t)\ =q_0\ (\alpha_1+\alpha_2)\ -e^{-(\alpha_1+\alpha_2+\lambda_0)t}-\ \frac{h_1\alpha_1+h_2\alpha_2}{\alpha_1+\alpha_2+\lambda_0} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (\text{Ⅱ} \cdot 7)$$

したがって流出量を推定するには、表面流出成分の片対数方眼紙上での勾配を第1フィルタの定数にふりわければ良い。

まず、地下水減水曲線を同時化法によって求めた。資料は昭和25年～35年までの10年間、東大愛知演習林白坂流域において測定されたものを用いた。



第7図　同時化法による地下水減水曲線

Fig—7 The diplession curve of base runoff by method of Synchronized period

おのおののフィルタからの流出量が流出機構になるべく近似したものであるためには、測定された流出量を、表面流出量、中間流出量、地下水流量にそれぞれ分離しなければならない。これを実験的に求めることはきわめて困難である。測水地点でどれが地下水で、どの部分が表面流出量かを見分けるのは不可能に近い。[8] そこで各流出成分の減水曲線は指数函数的に減少すると仮定すれば、これを解析的に分離することが可能である。[14) 15)] この解析的分離法によって、おのおのの減水勾配を求め、フィルタの定数を決定しよう。

1)　まず地下水の減水曲線を同時化法[16)]によって決定する。昭和26年～昭和35年までの東大愛知演習林白坂流域において観測された無降雨月の減水曲線をつなぎ合せ、この流域での減水勾配を求める。その結果第7図のようにあらわされた。これは

$$q=q_0e^{-0.045t} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (\text{II}\cdot 8)$$

によってあらわされる指数函数型である。（第7図）

2)　観測された日流出量のなかから、比較的大きな降雨による洪水流出量があって、その後無降雨日

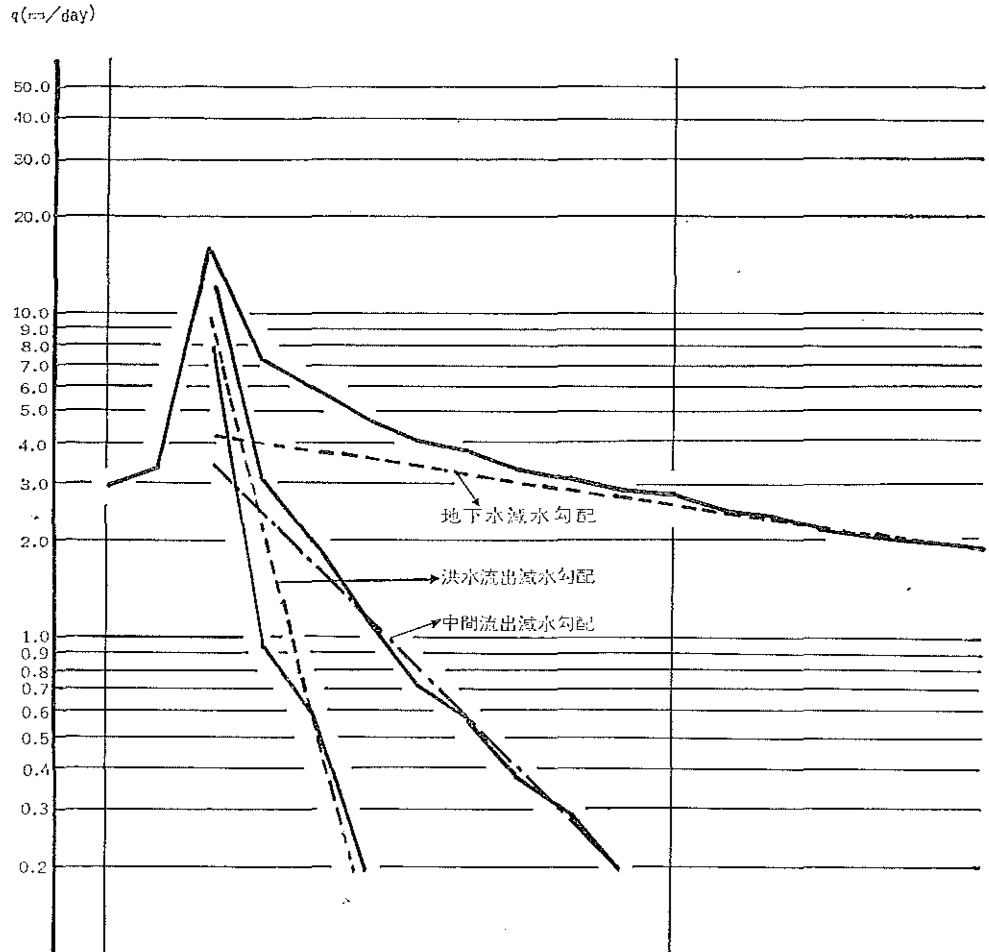
が長く続いている資料をいくつか抽出する。この洪水流量は片対数方眼紙上にプロットすれば、減水部が同時化法で求められた地下水流出量の直線で近似されるはずである。この直線を増水のピークまで延長する。

3) つぎに、さきにプロットした洪水流出量からこの推定された地下水流出量を差引いて、同じ方眼紙にプロットする。この曲線は

<表面流出量>+<中間流出量>

を示していると考えることが出来る。

4) あらたにプロットした減水曲線のスソは、中間流出のみの減水勾配をあらわすと考えることが出来る。したがってこれを直線で近似し、地下水の場合と同様に(3)から差引けば表面流出量が得られる。



第8図　流出量の三成分への分離

Fig—8 The deviation of Runoff three parts.

このような操作をいくつかの洪水流出曲線についておこない、その減水勾配を平均化することによってその流域のおのおのの流出成分について平均的減水勾配を推定することが可能である。この解析的分離の例を第8図に示した。

この方法によって決定された減水勾配はつぎのようなものであった。

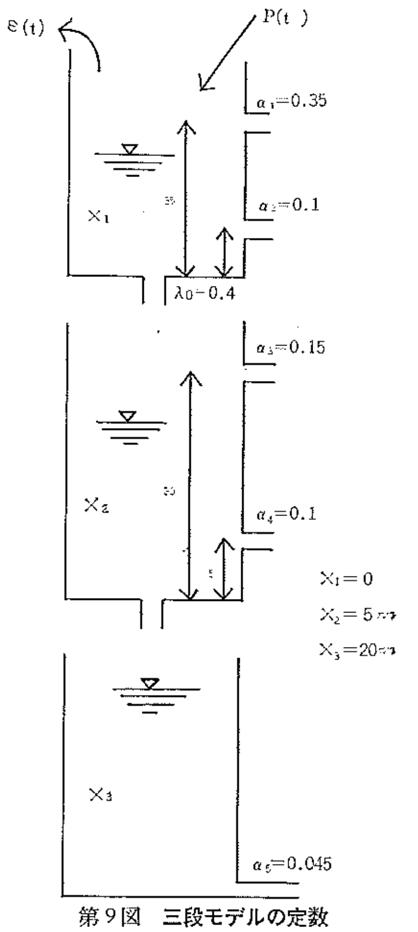
地下水流出量　$q_1=q_{01}e^{-0.045t}$

中間流出量　$q_2=q_{02}e^{-0.4t}$

表面流出量　$q_3=q_{03}e^{-0.9t}$

この推定された減水勾配の係数をもとにして直列三段フィルタをつくり日流量の推定をおこなった。各流出口への配分、貯留高hの決定は、試行錯誤的に良い近似の得られるまで計算をつづける。

このようにして決定された直列モデルはつぎのようなものである。



第9図　三段モデルの定数

Fig.9　**The coefficient of filter model by the method of Bares.B.S.**

流域からの蒸発散量 ε(t) については、白坂流域において測定された年消失量、すなわち

<年雨量－年流出量>＝年消失量

を算出し、この年消失量を、流域内で測定している蒸発計からの蒸発散量の2ヶ月平均の変化に、比例配分した。蒸発計からの蒸発量は、流域からの蒸発散量より過大の値を示すことが認められている[17]。

この結果、白坂流域の蒸発散量をつぎのように決定した。

第1表　**白坂流域の蒸発散量の推定**

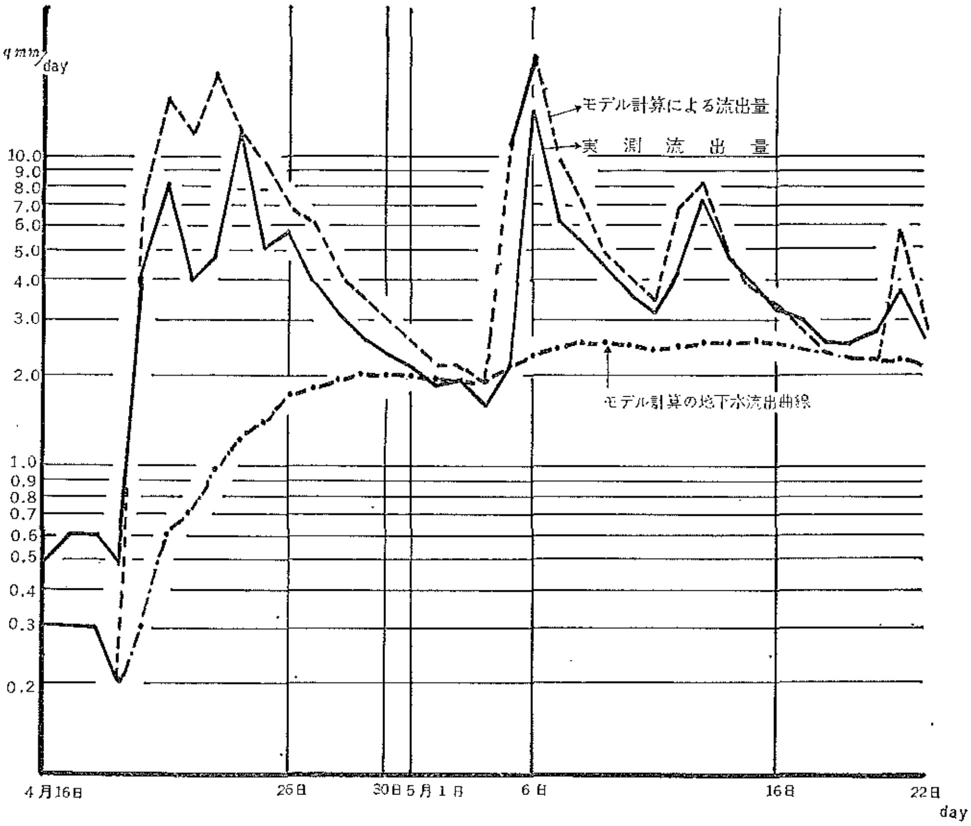
Table—1　**The evapo-transpiration in Shirasaka watershed.**

month	1～2月	3～4月	5～6月	7～8月	9～10月	11～12月
蒸発計による測定値 The evapo-transpiration by at-mometer	1.2	2.6	3.5	3.7	2.3	1.2
消失量からの推定値 Presumption from water loss	1.0	2.0	2.8	3.0	1.8	0.9

単位　mm/day

Ⅲ 数 値 計 算

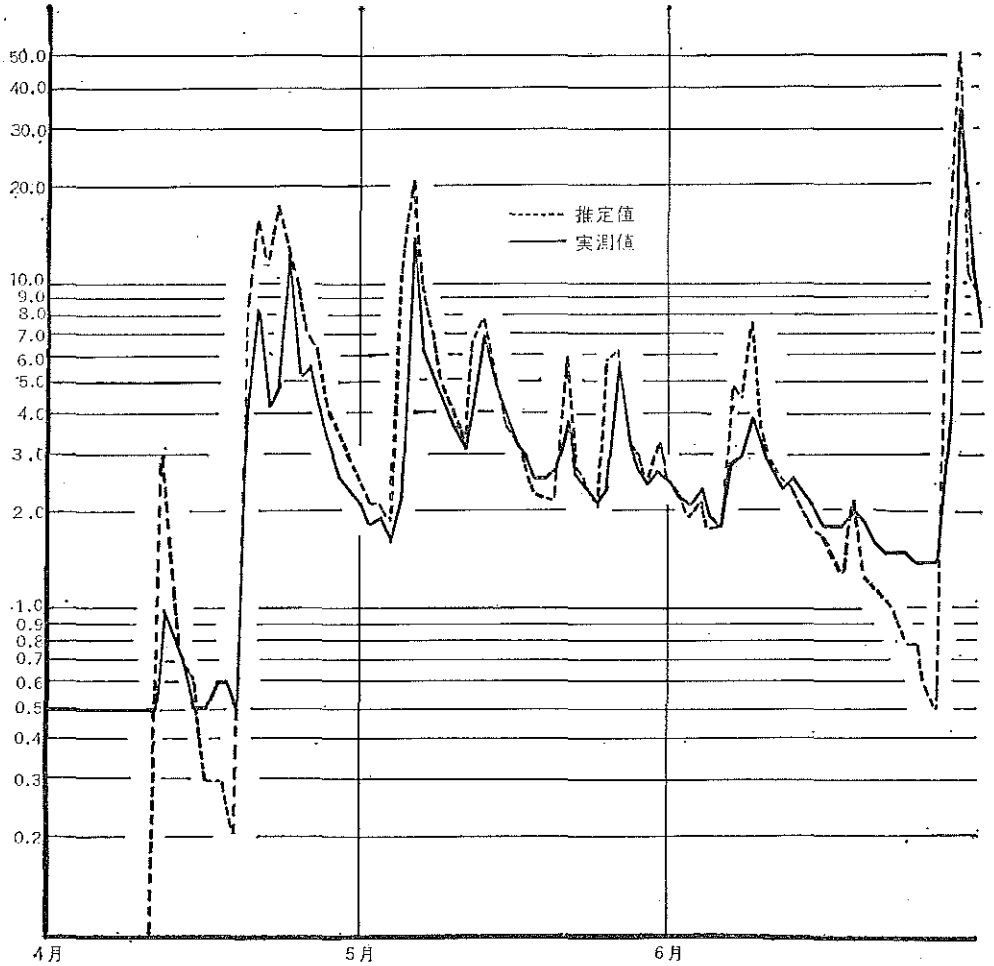
この直列三段フィルタの推定日流出量を時系列上に求めたのが第11図である。このモデルから推定される地下水流量も合せて求めたが、洪水流出量のピークと地下水流出量のそれが、ずれるという結果が得られている。



第10図 三段モデル計算による地下水流水量と洪水流量の関係
Fig—10 The Rlation ship between the base flow and flood discharge.

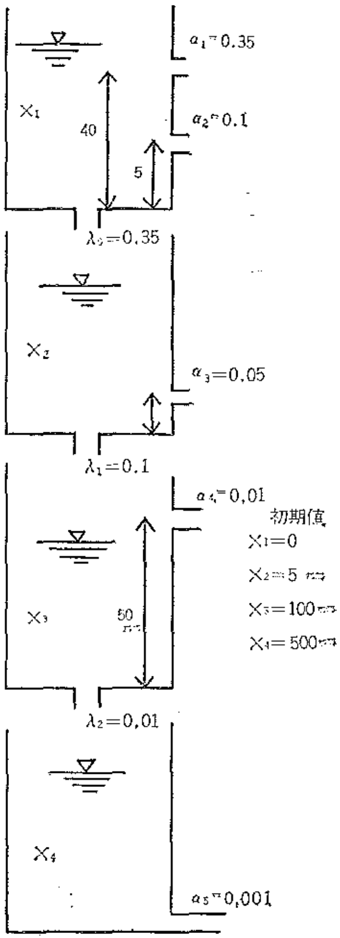
この三段モデルの適合性は良い近似を得ているとはいえないので、このモデル係数をもとにさらに直列四段のモデルを構成した。このとき、地下貯留量がもっと大きな値になるのではないかとの観点から初期値を大幅に増やして、流出口の係数を少なくした。このことは、地下水減水曲線を推定する際に、降雨後３～４日後の流出量では、中間流がかなり含まれているとの考えからである。

計算に用いた直列四段のフィルタモデルはつぎのような定数をもっている。



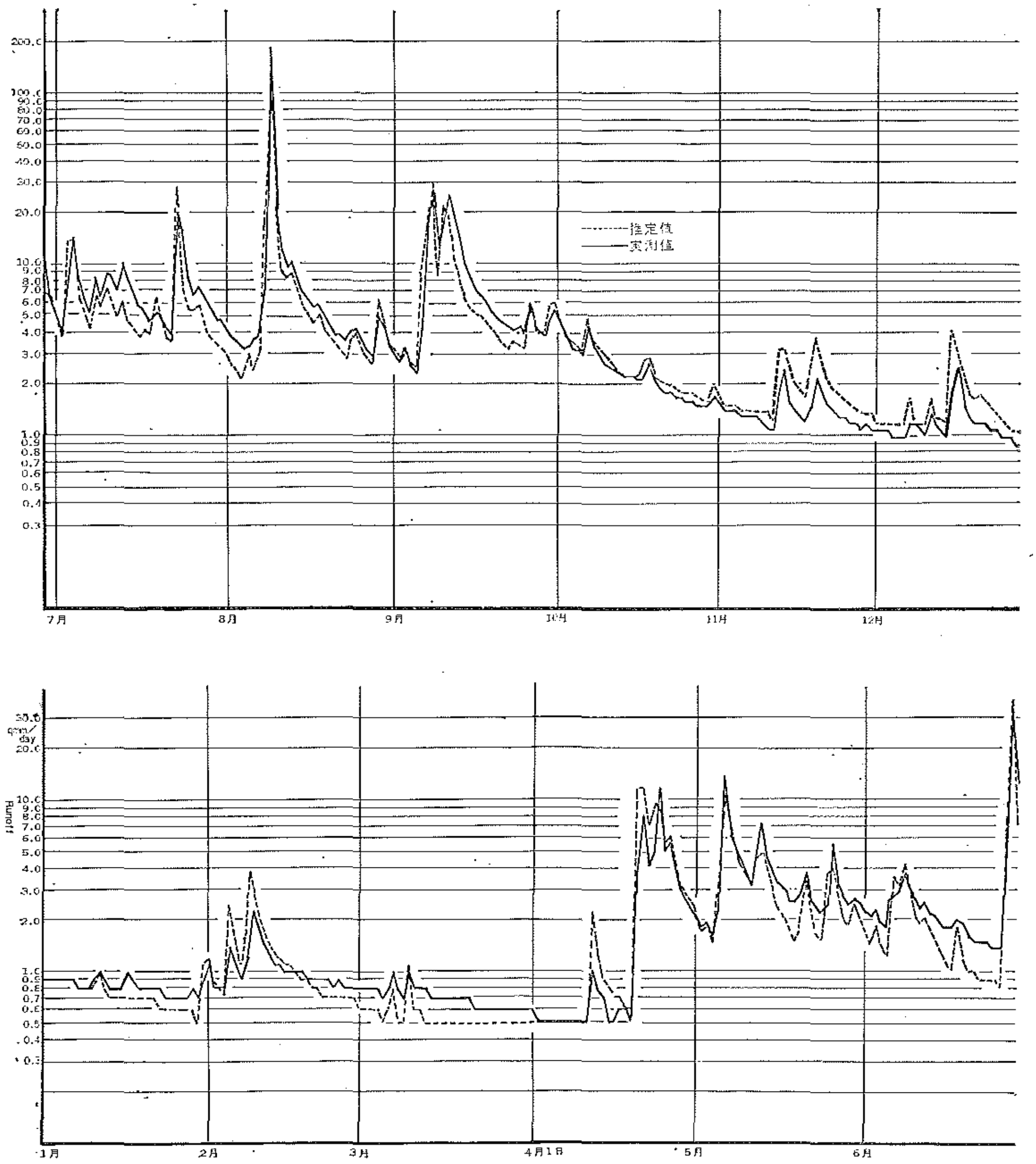
第11図　３段モデルによる推定値と実測値

Fig.11　The presumption of runoff by filter model on three series.



第12図　四段モデルの定数

Fig—12　**The coefficient of filter model on four series.**



第13図　直列四段モデルによる日流量の推測
Fig.13 The presumption of daily runoff by filter models on four series.

Ⅳ 考　　察

直列三段フィルターによる推定値は、実測値と比較して適合性はあまり良くない。この原因として、次のような理由が考えられよう。

1)　モデルの構成

流出機構との結びつきを考慮して、三成分の解析的分離法を用いたが、理論的には多くの成分に分離されるはずである。したがって直列モデルは多いほど実際の流出機構に適合しやすいものと思われる。いっぽう流出量の解析的分離は現在までのところ三成分しか可能ではない。また直列モデルの段数を多くすることは、計算が非常に面倒である。この点を改良するには、多くの流出成分に分離する方法をみつけだすことが必要であると思われる。

解析的分離法を用いた係数決定は、実際の流出量からの推測であるため、蒸発散量はすでに組込まれた値であると考えられるが、これを差引かないとすれば、雨量という入力から流出量への変換という過程に問題が残るだろう。三段モデルによる推定が、無降雨日が連続する場合に適合性が悪いことは、このへんの事情を表わしているものと思われる。

四段フィルターの場合は、これらの点を考慮して、試行錯誤による定数決定の性格が強い。したがって、三段モデルより適合性は良いようである。

いずれにしても、ある程度の誤差を見込むならば、フィルターモデルによる流出量の推定は可能である。したがって、小流域においても、ある程度の流出量測定値があれば、雨量を想定した場合の流出量の推定は可能であろう。ある河川について、このようなモデルを構成しておくことは、河川の流域管理あるいは砂防計画樹立の際に大いに役に立つと考えられる。

2)　日流出量の性格について

実測値と推定値を比較してみると、洪水流出量のピークのずれがかなりみうけられる。たとえば、四段モデルの場合の4月中旬から6月にかけての流出量、9月中旬の流出量などである。この原因はつぎのように考えられるだろう。

すなわち、流出量と雨量の観測は、午前9時から翌日の午前9時までを一日としている。したがってある日雨量がその日の午前0時からその日の午前10時頃まで観測されるとすれば、流出するまでには時間遅れがあるから、雨量はその日に記録され、流出量は翌日に記録される。これがもし雨量が午前9時頃から降り続いたとすれば、流出量もその日に記録されることになろう。日流出量解析の困難さはこのような点に存すると考えられる。

この日流出量の推定に用いたフィルターモデルは、non-linear である。水文現象は原理的には、non linear であるから、雨量から流出量を推定するには、非線型モデルが都合が良い。森林の理水機能を日流出量を用いて検討するには、雨量と流出量の函数関係を導かなければならないが、非線型モデルの数式化はきわめて困難なのが現状である[13)]。このモデルの函数関係の導きについては、今後の課題と考える。

参考文献

1）野口　陽一；森林量水試験の方法論的研究。東大演報　No.57　(1962)
2）野口　陽一；森林伐採又は森林生長が流出量に及ぼす影響の検出法に関する考察　東大演報　No.47　(1952)

3) 中野 秀章他；林況変化、特に伐採が渓川流出に及ぼす影響(I) 林試研報第156号

4) Sadao OGIHARA; one-day Rainfall and Its Corresponding Runoff: 東大演報 No.62 (1967)

5) 荻原 貞夫；増水曲線の研究。東大演報 No.47 (1952)

6) 山口伊佐夫；流域管理の為の最水方法並びに水分移行現象に関する基礎的研究。東大演報 No.53

7) 荻原貞夫 山口伊佐夫；流域の水文的性格表示へのハイドログラフの応用 東大演報 No.54 (1959)

8) 丸山 岩三；地下水によると認められる減水について。林試研究報告 No.68

9) 菅原 正己；養老川の日流量を雨量から算出する方法について。科学技術庁資源局資料水文 No.66 (1958)

10) 菅原 正己；天竜川、熊野川の洪水予報について。科学技術庁資源局資料 (1957)

11) 水越三郎他；種々の低水流出解析法の紹介。土木技術資料 Vol.8 No.11 (1966)

12) 桜井 荘三；愛知演習林における流出量測定結果について。東大演報 No.25 (1929)

13) J,C,RESTREPO & P.S.EAGLSON;
Optimum Discoete Linear Hydro logical Systems with Multiple Inpute.
M.I.T. Hydrodynamics Laboratory Report No.80 (1965)

14) B,S; BARNES,
Discussion of Analysis of Runoff characteristies, Trans.
ASCE Vol 105 (1940)

15) B,S: BARNES,
Structure of Discharge curves.Trans Ameri.
Geophys. Union Vol.20 (1939)

16) R.K. LINSLEY & W.C: AOKERMAN,
A method of prodicting the Runoff from Rainfall Trans.
ASCE Vol 107 (1942)

17) 野口 陽一；季節的地下水正常漸減および蒸発蒸散量推定への応用 日林誌42 (5) (1961)