II-40　　浸透能を考慮した流出解析とパラメーター最適化

九州大学　工学部　正　員　　平野　宗夫
九州大学　工学部　正　員　○森山　聡之

1．はじめに　斜面長の分布に代表される地形因子が，斜面における到達時間の分布に密接な関係があることはよく知られている。今回はさらに浸透能を考慮したモデルについて考察した。

2．浸透能を考慮したｌｕｍｐｅｄ　ｍｏｄｅｌ　著者ら[1]は斜面における到達時間の分布を導入することにより，一次流域における流出システムがｌｕｍｐｅｄ　ｍｏｄｅｌで表わされることを示した。それによると斜面における流れがＤａｒｃｙ則に従う場合には，一次の河道における単位面積当たりの流出量qが次式で示される。

$$q(t)=\int_0^\infty \int_0^T r_e(t-\tau)\,d\tau\,\varphi(T)/T\,dT \quad (1)$$

ここに，Tは斜面における到達時間，$\varphi(T)$：Tの確率密度関数，$r_e(t)$：時刻tにおける有効降雨強度

r_eを推算する方法としては，流出係数法や浸透法などがある。後者の場合，rを降雨強度，iを浸透速度として

$$r_e=r-i \quad (2)$$

で表わされるが，浸透速度iは，通常浸透能i_Pを用いて次のようにおいている。

$$\begin{cases} r \geqq i_P \text{のとき} & i=i_P,\ r_e=r-i_P \\ r < i_P \text{のとき} & i=r,\ r_e=0 \end{cases} \quad (3)$$

上式によると負の有効降雨は存在しないことになる。しかし，降雨が止んだあとも流水が存在する間は浸透はなくならないから，浸透速度は次式のようになると考えられる。

$$\begin{cases} h \geqq 0 \text{のとき} & i=i_P \\ h < 0 \text{のとき} & i=0 \end{cases} \quad (4)$$

ここに，hは水深である。上式を式（１）に代入すると，

$$q(t)=\int_0^\infty \int_0^T [r(t-\tau)-i(t-\tau)]\,d\tau\,\varphi(T)/T\,dT \quad (5)$$

ここに，

$$\begin{cases} \int_0^T [r(t-\tau)-i(t-\tau)]\,d\tau \geqq 0 \text{のとき} & i(t)=i_P(t) \\ \int_0^T [r(t-\tau)-i(t-\tau)]\,d\tau < 0 \text{のとき} & i(t)=0 \end{cases} \quad (6)$$

式（１）において，流出のシステムは線形である。しかし，式（５）（６）のように浸透速度を導入すると降雨rと流出qの関係は非線形になる。すなわち，このモデルにおける流出システムの非線形性は，降雨の洪水流出と地下水流出への分離過程に起因することになる。

3．パラメトリックモデルとモデル定数の最適化　次に式（５）をパラメトリックモデルとして解くことを考える。まず到達時間の分布はほぼ対数正規分布をなすことが知られている[2]ので，$\varphi(T)$を次式のように仮定する。

$$\varphi(T)=\frac{1}{(2\pi)^{1/2}s}\exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}\right],\quad x=\log_{10}T \quad (7)$$

ここに，$\bar{x}$はxの平均値，sはxの標準偏差で　$s=\log_{10}\sigma_T$，σ_TはTの標準偏差である．また浸透能の式としては，Ｈｏｒｔｏｎ　の式

$$i(t)=i_c+e^{-kt}(i_0-i_c) \quad (8)$$

を用いる。ここに，i_0：初期浸透能，i_c：最終浸透能，k：定数である。

式（６）（７）（８）を式（５）に適用すると，　$\bar{x}$，σ_T，i_c，k　および　i_0　の５個をパラメータとするパラメトリックモデルとなる。

最適化手法としては，従来パウエルの共役方向法（以下パウエル法）を用いることが多いが，本論文で

はこれとシンプレックス法（線形計画のシンプレックス法ではない）を適用し両者の比較を試みる。

最適化手法の目的関数としては最小２乗基準

$$F\,(\bar{x},\ s,\ i_c,\ k,\ i_o - i_c) = \sum_{i=1}^{N} (q_i - q_{ci})^2 \,/\, (N \cdot q_{max}) \times 100 \quad \rightarrow \mathrm{min} \quad (9)$$

を用いる。ここに，　F　：目的関数，q_i　：実測流量，q_{ci}　：計算流量　，N　：データ個数，q_{max}：q_iの最大値　なお，$\bar{x}$，s，i_c，k，$i_o - i_c$　は，それぞれ初期値で基準化する。

４．適用結果と考察　　上述の手法を竜ノ口試験地（岡山県旭川支流，流域面積　２２.６６１ｈａ）の８個のハイドログラフに適用した。

図１はそれぞれ同じ初期値のものをパウエル法［(a)，(b)］とシンプレックス法［(c)，(d)］で実行してみたもので(a)が浅い極小値にひっかかっているのに対して(c)はうまくいっている。また初期値を変えた場合は(b)，(d)のように両方法ともに実測値とよく適合している。ほかのハイドログラフでも同様でパウエル法のほうが浅い極小値にひっかかって動かなくなったり，探索方向に対して極小値が見つからずに停止してしまった例が多かった。パウエル法は目的関数を２次関数で近似できると仮定しているため極小値付近では収束が速いがそれ以外では浅い極小値にひっかかったりするので，少々計算回数が多くてもシンプレックス法のほうが，試行錯誤で最小値に近い初期値を与えなければならないパウエル法に比べてかなり有利であろう。

次にシンプレックス法においてパラメーターに非負条件をつけたうえで，有効雨量の算定に式（３）を用いた場合と式（６）を用いた場合について求めた結果を図２に示す。それによると$\bar{T}$＝２０～３０時間σ_T＝２～３程度になっており，式（３）による場合と式（６）による場合のさは差は非常に小さい。しかし初期浸透能i_oについては図２に示すように式（３）を用いた場合のバラツキが非常に大きく，式（６）の合理性を示しているように思われる。おわりに，シンプレックス法は，阪大の小谷恒之教授製作のサブルーチンＳＩＭＰＬＸ[3]を使用したことを付記する。

参考文献

１）　平野，小川，木川：第２９回年講　昭４９.１０

２）　平野，木川：第３０回年講　昭５０.１０

３）　小谷：阪大センターニュース（Ｎｏ．３２）　昭５４

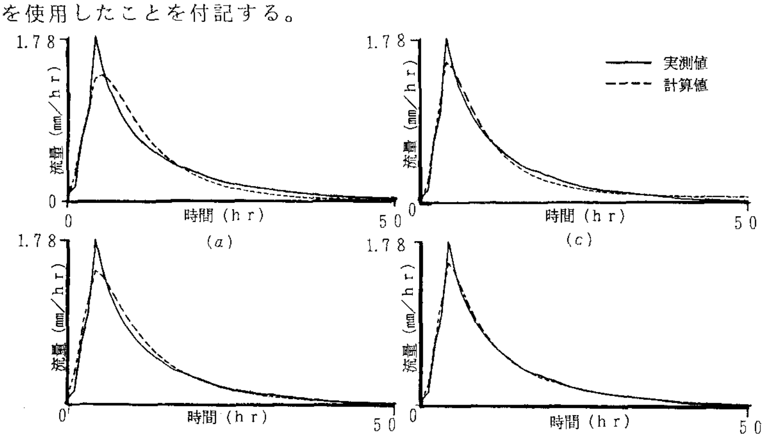
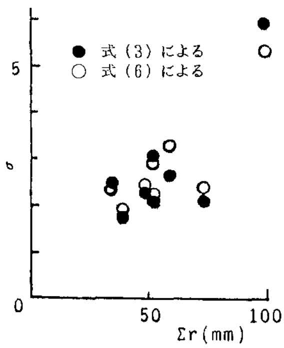
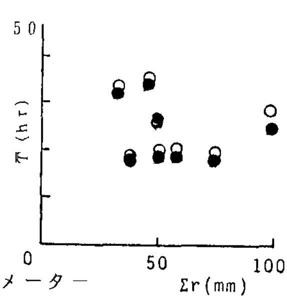


図１　パウエル法とシンプレックス法の比較





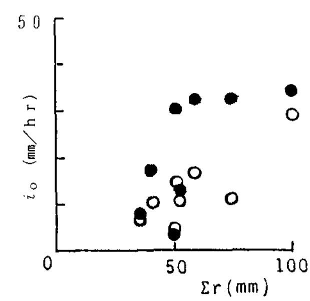


図２　最適化されたパラメーター