

地下水涵養と流出に関する汎用モデルの開発

東北大学工学部 学生会員 ○手塚 洋平
東北大学大学院 正 会 員 有働 恵子
東北大学大学院 正 会 員 真野 明

1. はじめに

洪水・渇水や水循環の予測を行うためには、降雨量等から河川の流出量の再現計算を行うことが必要不可欠である。近年、流出量予測を目的とするモデルが数多く開発されている。しかし、最も一般的に用いられているタンクモデルはパラメータが多く、汎用性に乏しい。汎用性を向上させるためにS-P法やニュートン法によるパラメータの最適化を行っているが、地形や植生の影響をあまり考慮しておらず、特に地下水涵養と流出に関して適切に解析することが難しいのが現状である。

そこで本研究では、指数関数的に流出するという地下水流出の特性からパラメータを合理的に導出し、地形や植生の影響を考慮に入れた上で、地下水涵養と流出を高精度で表現できるタンクモデルを基礎にした汎用モデルの開発を行った。

2. タンクモデル

タンクモデルは菅原によって開発された概念モデルである。加藤¹⁾、館澤²⁾、木村³⁾はこれを整備し、タンクの底に流出孔を設定し、タンクを直列に配置して流出を再現するものとした。加藤らのタンクモデルでは、ダルシーの法則を基に、 c を係数、 k を飽和透水係数、 I を動水勾配、 h を水深、 $h_{\max}$ を最大水深としたとき、比流量 q が次式で表される。

$$q = c \cdot k \cdot I \frac{h}{h_{\max}} \quad (1)$$

また、タンクについての連続の式は、 λ を空隙率としたとき次式で表される。

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{q}{\lambda} \quad (2)$$

式(1)と式(2)を解くことで、タンクモデルの構造を表す以下の式を得る。

$$q = \beta \exp(-\alpha t)$$

ここで $\alpha = \frac{ckI}{\lambda h_{\max}} \quad \beta = ckI \frac{c'}{h_{\max}} \quad (3)$

式(3)において、パラメータ α のことを逓減率と呼ぶ。また、 β は $t=0$ 初期流量である。本研究では α の回帰式を求めることでタンクモデルの比流量 q を求めることとする。

3. 研究方法

3.1 データ解析(α の実測値の算出)

全国各地から13の河川を選定し、各河川の最も上流に位置する流量観測所を対象として降雨量と流出量の関係を調べる。12ヶ月の比流量を描いたハイドログラフを各河川ごとに約10年分作成し、ハイドログラフを基に比流量が少ないと考えられる連続した3ヶ月を対象期間とする。ハイドログラフを基に得た対象期間について、約10年分のハイドロハイトグラフの作成を行う。作成の際、流量観測所より上流にあるダムを維持流量を考慮しなければならぬ。ダムの維持流量が比流量に影響を及ぼしていると考えられる期間を探し、維持流量とダムの集水面積を控除することにより、自然の流出のみを抽出した。作成したハイドロハイトグラフから、地下水流出だと考えられる部分を抜き出し縦軸が自然対数である対数グラフにプロットして逓減率 α の実測値を求める。

3.2 α の理論式の算出

式(3)にあるように、タンクモデルの逓減率 α は係数 c 、飽和透水係数 k 、動水勾配 I 、空隙率 λ によって構成されている。この構成要素とパラメータ α の関連を重回帰分析することで、 α の理論式を求める。飽和透水係数と空隙率は土壌に関連するものであり、これらを一つにまとめて土壌のデータとし、透水係数で α との関連を考えるものとする。動水勾配は地表勾配と近似であると考え地表勾配の値を用いる。係数 c は植生の影響が含まれていると考え、蒸発散量のデータを使用する。

4. 解析結果および考察

土壌データ、勾配データ、植生データを数値化し、先に求めた α の実測値との相関関係を調べた。x 軸に α 、y 軸に各種データを取り散布図を作成して近似曲線を導入した。各種データと α の実測値との関係を図 2、図 3、図 4 に示す。

相関関係を求め、近似曲線を導入すると、勾配データと植生データは正の相関を持っていることがわかる。勾配が急であると地表に到達した降雨が地下の帯水層に浸透する前に、重力と勾配の影響で表面流出や中間流出として流出してしまい、降雨はあっても地下の帯水層にはそれほど水がたまりず、地下水流出への供給が比較的早くストップしてしまうのではないかと考えられる。植生が繁茂しているところでは、根が帯水層の水を吸い上げ、空气中に蒸発散させるため、帯水層の水が植生の少ない場所よりも減りやすくなる。そのため、勾配が急な場合と同様に、地下水流出への供給が比較的早くストップしてしまい、逓減率の減少につながると考えられる。

勾配、植生とは違い、土壌データは逓減率と負の相関関係を持つ。しかし、相関は比較的弱く影響ははっきりと見える結果にはならなかった。土壌データは主に浸透のしやすさへの影響が考えられるが、地下で水が自由に動ける度合いが高いと帯水層への浸透が早くなる反面、地下水流出への水の供給もスムーズに行うことができると考えられる。すなわち、土壌の変化は地下水流出を進行させることも妨害することもあると考えられる。

本研究の目的である α の算出のため、先に述べた 3 つのデータを説明変数にして重回帰分析を行った。重回帰分析の結果以下の回帰式を得た。

$$\alpha = -0.030Q_1 + 3.326Q_2 + 1.169Q_3 - 0.686$$

Q_1 : 土壌 Q_2 : 勾配 Q_3 : 植生

上記の分析での決定係数は 0.450、重相関係数は 0.671 となった。比較的弱くはあるものの相関があることがわかり、回帰式を得ることができた。ここで、比流量が上位の河川である湧別川、留萌川、常呂川を除く 10 の河川について重回帰分析を行った結果、決定係数 0.822、重相関係数 0.907 という非常に高い値を得た。つまり、本研究で用いた方法では比流量の小さい河川に適応したほうが高精度であ

るといえる。比流量とタンクモデルの関係については、比流量が大きい 3 河川が北海道北部に集中したことも含めて検討する必要がある。

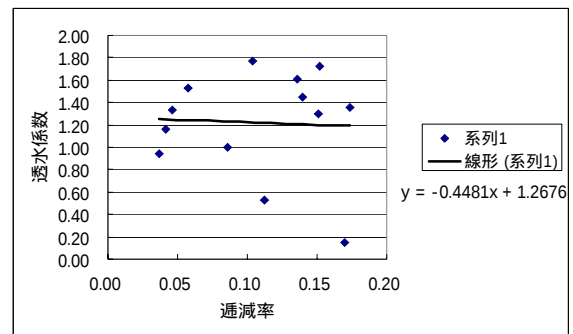


図 2 土壌データと逓減率の相関関係

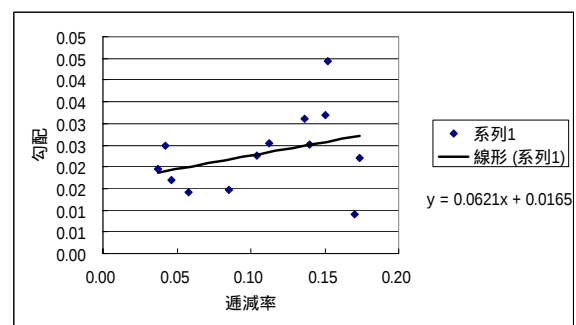


図 3 勾配データと逓減率の相関関係

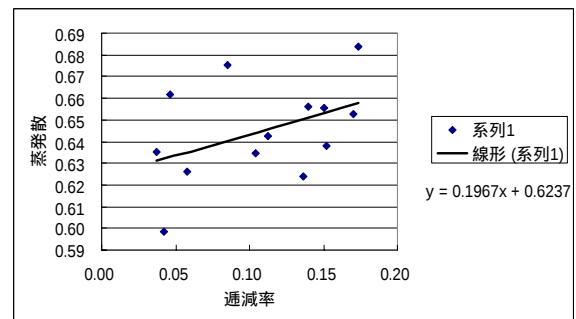


図 4 植生データと逓減率の相関関係

参考文献

- 1)加藤宏康：ダルシー側を用いた分布型タンク流出モデルの提案 - 長江上流域への適用 - , 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻修士論文, pp4-15, 2004
- 2)館澤寛：治水施設群による洪水ハザードリスクの変換に関する研究, 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻博士論文, pp7-17, 2007
- 3)木村公生：分布型流出モデルにおけるタンクパラメータの無次元化, 東北大学工学部土木工学科卒業論文, pp3-13, 2005