

第 部門 広域における地下水と表流水の有機的活用に関する研究

京都大学工学部 学生員 池田恭彬
 京都大学防災研究所 正会員 浜口俊雄
 京都大学防災研究所 正会員 小尻利治

1. はじめに

水は人が生きていく上で欠かせないものであり、産業や経済など社会の活動にも多大な影響を及ぼすものである。世界人口の増加に伴い、水の需要は今後さらに増加することが予想される。このためできるだけ効率のよい水資源の運用が必要となる。

主な水資源として表流水や地下水があるが、特に地下水は飲料水などの生活用水としてだけでなく、工業用水や農業用水としてなど各種の用途に利用されている。また、この他、湯水時の緊急用水道水源などにも利用され、地下ダムなどの建設の為に地下水の分布を把握することが重要である。

本研究では表流水と地下水の有機的活用をすることを目的とする。両者の有機的活用の為に表流水はもちろん、地下水の空間的な分布を知ることが必要である。そこで、物理モデルをベースとして表流水と地下水を連続的に解析し広さだけでなく深さのある水資源分布を議論する。

2. 従来の分布型流出モデルの概要

本研究では分布型流出モデルとして Hydro-BEAM¹⁾、²⁾を用いることとする。

Hydro-BEAM は、平面分布としてメッシュ型モデルを、鉛直分布として多層モデルを用いて、流域特性を3次元的に表現したメッシュ型多層流出モデルである。

Hydro-BEAM は流域を正方形のセルで区切り、各セルごとに水分の移動を考える。鉛直構造は上から順に A ~ D の4層を設定している。A ~ C層は河川へ流出し、D層は河川へ流出しない帯水層とする。

3. 分布型流出モデルの再構築

Hydro-BEAM は現在段階では概念モデルによる流量等価性をベースにした計算で、C ~ D層から求まる地下水位は物理的意味が薄い。したがって地下水の運用を考えることは難しい。

そこで本研究では、Hydro-BEAM の B ~ D層のモデリングを物理的挙動をベースにしたものへと変更することによって、地下水位の空間分布を算出できるようにする。すなわち、B層は不飽和層とし Dagan and Bresler の提案する近似モデル^{3), 4), 5), 6)}(以下、DB モデル)を用いて計算する。また、浸透流の挙動を本来の形に近づけるため、DB モデルに加えて、B層における隣接セル間の水平移動もモデル化する。まとめると、「C層、D層は同じ飽和層として考え、B層からの涵養量を用いて水平二次元解析を行なう」となる。

ところで、地下の解析では、水平二次元飽和解析における境界条件を適用するため、各セルごとに地下水位を求めるのではなく、セルの頂点である各節点ごとに解析を行なうこととする。以下に各モデルの概要を示す。

DB モデルは、本来図1(a)のようになる。分布をより簡単化して考えるために地表から前線までの水分増加量 $V(t)$ が等しくなるように、図2(b)のような一定値 θ^* と $L(t)$ をもつ等価水分分布に置き換え、それぞれの値を求めるものである。ここに θ : 体積含水率, t : 浸透開始時間からの時間(sec), $L_f(t)$: B層上端から $\theta_{L_f(t)} = \theta_{ref}$ となる湿潤前線までの深度(m)である。

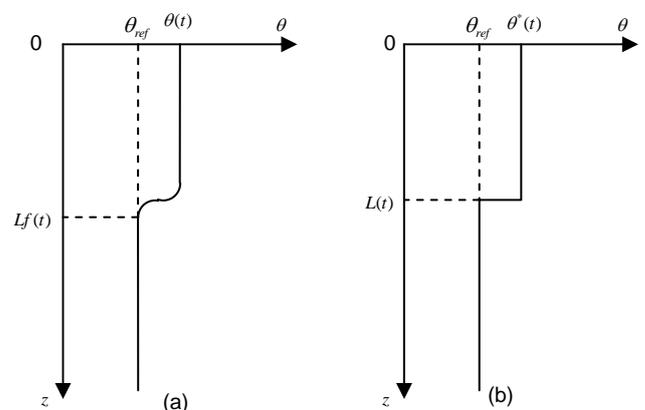


図1 等価水分分布による浸透過程の近似

飽和層に達した水分量を地下水への涵養量とした。

・不飽和層における水分の水平方向移動については各節点において、同一深度では位置水頭が同じであることを考慮すると、不飽和流に拡張されたダルシー則を用いて算定する。このとき、水分の移動は二つのセルにまたがっているため、このときの透水係数は隣接するセルの不飽和透水係数の平均値とする。

これを用いて水平方向の水分移動量を算定するが、帯水層まで連続的に圧力水頭の差を求めることは出来ないため、いくつかの深度で容水量の代表値をとり、各深度において水分の移動を考える。

・C層、D層においては、B層で求められた涵養量を用いて連続式を解くことによって各節点の水深を求める。飽和帯での計算では以下の式を適用する。

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k_x (h-s) \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k_y (h-s) \frac{\partial h}{\partial y} \right\} + \varepsilon \quad (1)$$

ここに λ : 有効間隙率, h : 水頭(m), k_x : x 方向の飽和透水係数(m/s), k_y : y 方向の飽和透水係数(m/s), s : 基盤高(m), ε : 涵養量である。 x, y は平面座標である。

・次に、河川への流出量を求める。流出は河川セルでのみおこるものとする。各セルにおいて図2のような地下水面を形成していると仮定し、流出量を求める。ここに g_s : 地下水位, l_s : 河川の水頭, l : セルの一辺長である。

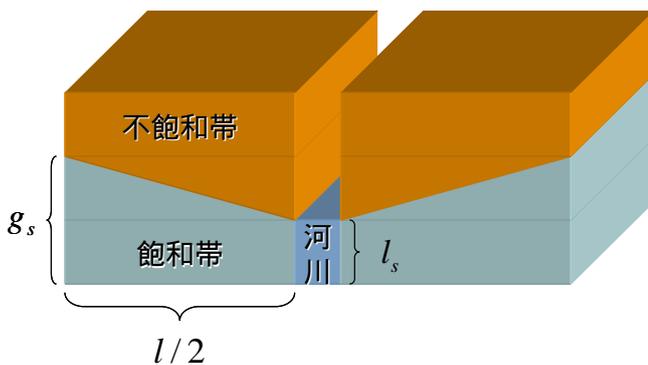


図2 飽和帯からの流出概念図

4. 実流域への適用

本研究では、尻別川流域を対象とし、解析期間は1999年-2000年とする。尻別川は北海道南西部に位置し、日本海に注ぐ長さ126km、流域面積1640km²の一級河川である。尻別川流域は北海道後志地方中央部の社会・経済及び文化の基盤をなし、特に北海道有数の農業地帯として知られている。また、スキー場・温泉などが多数ある観光地でもあるため、より効率のよい水資源の運用が求められる。

対象領域である尻別川流域の流域面積を考えると、メッシュサイズは1kmが妥当であると考えられる。標高データには、国土数値地図1kmメッシュのデータを使用する。帯水層の計算においても空間差分間隔を1kmとする。尻別川には名駒に水位観測所がある。名駒における流量データとHydro-BEAMによって計算された流量を比較し、評価する為、名駒より上流にあるセルにおいて解析を行う。このため全流域面積は1640 km²であるが、解析する面積は1525 km²となる。

表面における時間差分間隔を200secとする。地下における時間差分間隔は86400sec(1日)とする。名駒における流量、流域全体の地下水分布については、発表時に示す。

5. 結論

本研究では分布型流出モデルにおける地下のモデルを物理的挙動をベースにしたものへと変更することによって、地下水位の空間分布を算出できるようにした。

参考文献

- 1) 木内陽一: 分布型短長期流出モデルによる流域水循環とその評価に関する研究, 京都大学大学院工学研究科修士論文, 2000.
- 2) 川口智哉: 淀川水系を対象とした流れ解析, 2004 土木学会編: 水理公式集 昭和46年改訂版, 土木学会, p.111-112, 1971
- 3) Dagan, G. and Bresler, E.: Unsaturated Flow in Spatially Variable Fields, 1. Derivation of Model of Infiltration and Redistribution, Water Resour. Res. Vol.19, No.2, pp.413-420, 1983
- 4) 原田守博: 不均質場における不圧地下水状態の時空間変動過程に関する研究, 名古屋大学学位論文, pp.55-94, 1989
- 5) 川久保愛太: 地表水の影響を受けた広域地下水解析とその簡便化手法に関する研究, 京都大学卒業論文, 2005
- 6) 浜口俊雄・川久保愛太・小尻利治・Sina NASOUHI・中北英一: 広大な乾燥地帯を対象とした表面流・地下水流連成解析の問題点と打開策, 京都大学防災研究所年報, 第48号B