

分布型地下水涵養モデルを用いた地下水流出量の推定

九州大学 工学部 学生会員 甲木 守 九州大学大学院 工学研究院 正会員 安元 純
 (株) エスジー技術コンサルタント 正会員 堤 敦
 九州大学大学院 工学研究院 正会員 広城吉成 九州大学大学院 工学研究院 正会員 神野健二

1. はじめに

昨今、水循環過程における海域への流出過程に、従来の河川流出のみならず、地下水流出の重要性が注目されている。その推定手法は流域を一元的に扱った集中型の水収支解析が主で、分布型水文モデルを使ったものはない。しかし、水収支解析では土地利用状況を考慮した分布型水文モデルが有効である¹⁾ことから、有明海への地下水流出量の推定にも有用であると思われる。

本研究はその導入として、流域面積の規模、各種水文データの有無から、熊本県を流れる菊池川流域を対象に、土地利用状況を考慮した分布型地下水涵養モデルによる流域外への地下水流出量の推定を試みた。

2. 解析手法

(1) 解析対象地域

有明海は潮位変動が非常に大きく、菊池川最下流の流量観測地点である玉名観測所は潮汐の影響を強く受け、河川流量データを利用することが難しい。本研究ではモデルによる地下水流出量の推定が目的であるため、河川感潮域外となる国土交通省菰田流量観測所の集水域(図-1)を解析対象とした。土地利用状況は約 500m×500m のメッシュごとに整理した。また、対象領域が広域であるため雨量データは気象庁の 6 ヶ所の観測所より入手し、流域はティーセン分割した。

(2) 地下水涵養モデル

図-2 に地下水涵養モデルの概要を示す。地表面に達した降雨 $r(t)$ は直接流出成分 $q_d = F(r) \cdot r(t)$ と地下浸透量 $\{1 - F(r)\} \cdot r(t)$ とに分離される。タンクに入った地下浸透成分は、その中に設けられた高さ R_0 のパイプによって一時的に貯留される。タンク内の水位が R_0 を越えると地下水面への涵養が開始される。これは、地下水が地表面から地下水面までの不飽和帯を通過する過程で生じる降雨の損失高をあらわすものであり、この効果によって時間遅れが考慮された地下水涵養量 q_w が得られる。また、タンク内に水が貯留されている間はタンクからの蒸発散量 $EVT(t)$ を考える。その際には、日平均気温と飽和絶対湿度に依るハモンの方法を用いた。また、遮断蒸発量は近藤ら²⁾による熊本地区の森林における遮断蒸発量を用いて



図-1 菊池川流域と菰田流域

遮断率を決定した。

本モデルの基礎式は次の 4 つである。

$$F(r) = \frac{r(t)}{r(t) + (r)_{1/2}} \cdot F_{\infty} \quad (1)$$

$$\frac{dh_w(t)}{dt} = \{1 - F(r)\} \cdot r(t) - q_w(t) - EVT(t) \quad (2)$$

$$q_w(t) = a_L \cdot \{h_w(t) - R_0\} \times Y[h_w(t) - R_0] \quad (3)$$

$$EVT(t) = 0.14 \cdot D^2 \cdot Pt \quad (4)$$

式(1)は直接流出率 $F(r)$ を表す式であり、降雨強度 $r(t)$ によって変化すると考える。式(2)はタンク内の水位 $h_w(t)$ の変化を表す式であり、 t は計算の単位時間(今回は 1hr)である。式(3)は地下水への涵養量 $q_w(t)$ を表す式である。 $Y[h_w(t) - R_0]$ は $h_w(t) \geq R_0$ のとき 1, $h_w(t) < R_0$ のとき 0 をとるステップ関数である。なお、 $(r)_{1/2}$ は $F = F_{\infty}$ となるとき $r(t)$ の値である。 F_{∞} , $(r)_{1/2}$, R_0 , a_L は土地利用条件により定まるとし、堤¹⁾による値を参考にした。式(4)はハモンの式である。 PE は平均蒸発散量(mm/day), Pt は日平均気温における飽和絶対湿度(g/m^3), D は一日の日照可能時間で 12 時間を単位とするものである。

(3) 流域内の水収支

図-3 は、陸域から海域への水循環過程の一部を模式的に示したものである。域内の降水量 r は直接流出量 q_d 、蒸発散量 EVT 、地下水涵養量 q_w に分離することができる。さらに、地下水涵養量 q_w は中間流出及び基底流出として河川流量 Q_{out} の一部となる成分と、流域外への地下水流出量 G_{out} に分かれる。本研究では式(5)を用いて流域外へ

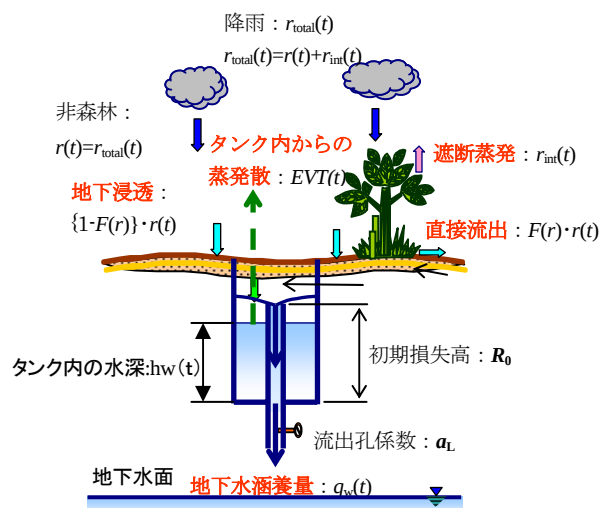


図-2 地下水涵養モデルの原理

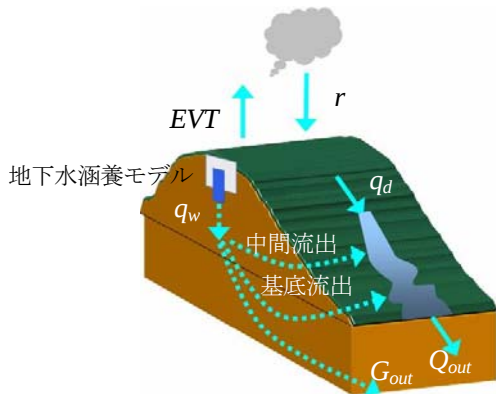


図-3 水循環過程のイメージ

$$G_{out} = q_w - (Q_{out} - q_d) - \Delta S \quad (5)$$

の地下水流出量 G_{out} を推定した。ここで ΔS は流域内貯留水の変化量である。年間の水収支を考える際には通常無視される。

3. 結果及び考察

以上の解析手法を用い、メッシュごとに計算した結果を年単位、全流域で集計したものが図-4 である。図中の ΔS は、計算後のタンク内の貯留水の変化量である。対象期間は 1995 年から 2004 年までの 10 年間とした。

まず蒸発散量については、計算結果の可能蒸発散量が 717mm/year、実蒸発散量が 524mm/year となり、可能蒸発散量に対する実蒸発散量の割合が約 73% となった。また、直接流出量については、菰田流量観測所の河川流量ハイドログラフを用い図解法により求めた降水量に対する直接流出率が 16% 程度であるのに対して、計算結果の平均値は 19% 程度となり妥当な値を得ることができた。なお、図解法は降雨時の短期的な流出率を求めるものであり、計算結果は短期的な流出率であるため、時間遅れを考慮する必要がある。

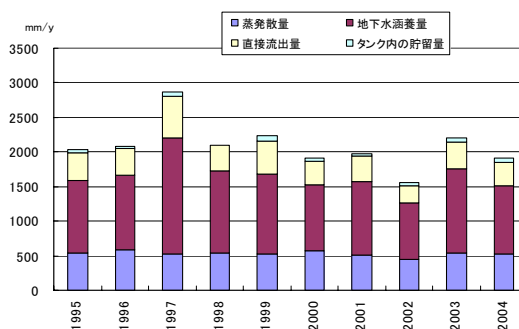


図-4 年間水収支計算結果 (単位は mm/year)

表-1 流域外への地下水流出量の割合

	河川流量に対する割合	降水量に対する割合
地下水流出率	10.5%	6.4%

次に、式 (5) により求めた流域外への地下水流出量は年平均で 111mm/year となった。表-1 に菰田流域における降水量および河川流出量に対する流域外への地下水流出量の割合を示す。この結果は、降水量、河川流量に対する海域への地下水流出量の一般的な割合³⁾とほぼ等しい結果となった。しかし、より精度の高いモデルを構築するためには地下水流動を考慮した解析を行うことが必要であろう。

4. おわりに

菊池川菰田流域において、分布型地下水涵養モデルを用いた年単位での水収支解析により、流域外への地下水流出量を推定できることが確認できた。今後の方針として、直接流出の時間遅れを考慮したタイムエリア法を用いることで、直接流出成分の推定精度を向上させる。加えて、タイムエリア法と地下水流動解析を一体化することで、流域外への地下水流出量の推定手法を高度化させる。その後、対象領域を有明海全集水域にスケールアップし、有明海への全地下水流出量を推定することを目標とする。

参考文献：

- 1) 堤 敦：表流水ー地下水系水循環機構の予測モデルの開発と適用 - 九州大学新キャンパス建設地を対象として - 九州大学学位論文, 2006
- 2) 近藤純正ほか：日本の水文気象(3)： - 森林における蒸発散量 - 水文・水資源学会誌第 5 巻 4 号, 1992
- 3) Taniguchi, M. et al.: Investigation of submarine groundwater discharge, *Hydro. Process.* vol.16, 211-2129, 2002