

地表・地下の集水域が異なる台地小流域の流出特性とそのモデル化 Runoff characteristics due to a discrepancy between surface and underground catchments and its modeling

吉田武郎・増本隆夫・久保田富次郎

YOSHIDA Takeo・MASUMOTO Takao・KUBOTA Tomijiro

1. はじめに 茨城県南部にある鹿島台地は北浦と太平洋に挟まれた、主に第四紀砂礫堆積物で構成される標高 40m 程度の台地である。鹿島台地から北浦に注ぐ小河川の特徴的な流出機構として、地表流域界（地形によって決められる集水域の境界）外からの地下水流入（以下、単に地下水流入）の存在が挙げられる。そこで、長期水収支解析および流域外の地下水流向・流速観測の結果から、その流出機構のモデル化を試みる。

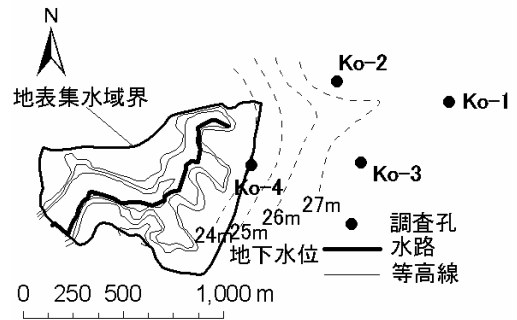


図 1 調査流域の調査孔と周辺の地下水位

2. 流域の概要 調査流域（図 1）は台地部と谷地田部に分けられ、谷地田部は北浦からの揚水によって灌漑される水田、台地部は天水畑として利用されている。地表集水域界外の台地上の 4 地点をボーリング調査し、地下水調査孔 (Ko-1, 2, 3, 4) とした。

3. 調査の概要・結果 (1) 流域水収支特性：各年の流域水収支を解析し、基底流出高と水収支の不足量との関係から地下集水面積の面積を推定した（表 1）。

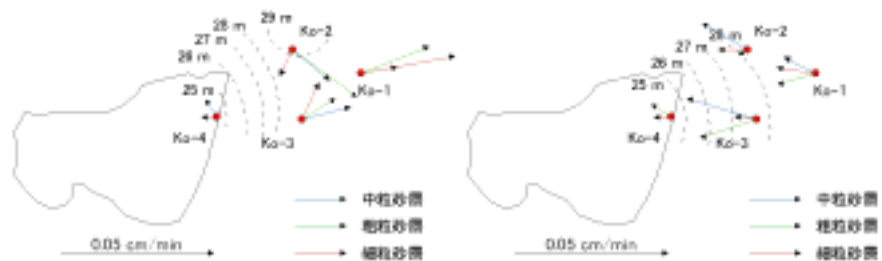
表 1 調査流域における年別水収支と地下集水域の推定面積

| 年 | 降水高 (mm) | 流出高 (mm) | 揚水高 (mm) | 蒸発散高 (mm) | 地下流入高 (mm) | 基底流出高 (mm) | 地下集水面積 / 地表集水面積 |
|------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|-----------------|
| 2001 | 1,634 | 1,144 | 160 | 780 | 130 | 767 | 1.2 |
| 2002 | 1,287 | 1,100 | 141 | 756 | 428 | 738 | 2.4 |
| 2003 | 1,676 | 1,267 | 131 | 712 | 172 | 752 | 1.3 |
| 2004 | 1,763 | 1,300 | 150 | 870 | 257 | 774 | 1.5 |
| 2005 | 1,301 | 1,274 | 126 | 808 | 484 | 881 | 2.2 |
| 2006 | 1,838 | 1,220 | 141 | 714 | 203 | 695 | 1.4 |

(2) 地下水流向調査：前述の調査孔において、主要な帯水層である木下層上部

の不圧帯水層の地下水位の連続観測および熱量法による地下水流向・流速の観測（GFD3, アレック電子社製）を 4 回行った。図 2 にそのうち 2 例を示す。それぞれの地下集水界は、調査孔 Ko-2, 3 と

Ko-4 との間（図 2(a)）、調査孔 Ko-1 より東側（図 2(b)）と推定でき、他の 2 回は、Ko-2, 3 周辺に地下集水界があると考えられた。観測期の地下集水域の



(a) 観測期 (b) 観測期
図 2 観測時期の地下水面標高と地下水流向・流速観測結果

広さは、短期水収支によっても裏付けられる。表2は、観測1ヶ月前の地下水位の変動、地下流入量を示す。観測期の地下水流入量は115mmと観測期中で最多であり、地下水位変化からも、台地中央部の地下水が

表2 観測1ヶ月前の地下水位の変動傾向と地下水流入量

| 観測年月日 | 地下水位変化 | 地下流入量 (mm) |
|-------|-------------------------|------------|
| 観測期 | 全て下降 | 40.3 |
| 観測期 | 最低期 | 9.7 |
| 観測期 | Ko-4 が上昇 Ko-1,2,3は下降 | 115.3 |
| 観測期 | 全て上昇 | 44.6 |

流域側へ流れていることが推察できる。また、観測期の地下流入量の少なさは、流域外の地下水面勾配の小ささに起因すると考えられる。水収支から推定した地下集水面積は、これらの因子による地下集水域の変動を年間平均したものと考えてよい。

4. 地表・地下の集水域面積の異なる流域のモデル化

地表流域外からの地下水流入が存在し、かつその量が時期により変化する流域の流出機構を説明するために、2段のタンクモデルを2列並列させ、それぞれ地表流域外を表すタンク(流域外タンク)、地表流域内を表すタンク(流域内タンク)とする。

1段目の流域内外のタンク間での水の交換はないものとする。一方、2段目では流域内タンクの幅を広げ、流域外タンク1段目からの浸透量の一部を受けられるような構造とする。この構造により、地表集水域外からの地下水流入機構を再現することが本モデルの特徴である。本モデルにおけるパラメータは、図3における浸透孔係数()、流出孔係数(a_1, a_2, b_1)、流出孔高(z_1, z_2)、タンク初期水深(h_1, h_2)、地下集水面積(uc)の9

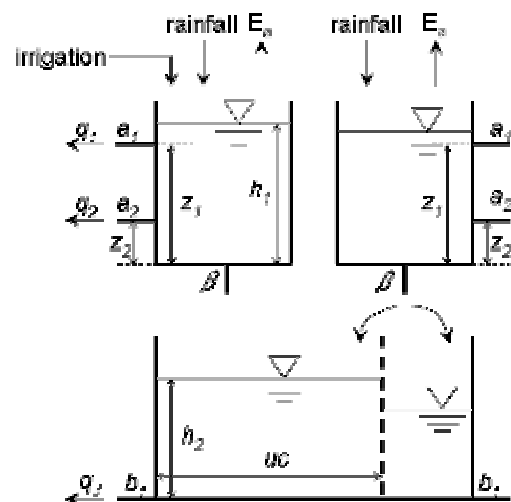


図3 地表・地下の集水域面積が異なる流域のモデル概念図

個であり、そのうち地下集水面積(uc)には年間水収支から推定した値を適用した。流域外タンクの流出孔係数、流出孔高、浸透孔係数は、流域内タンクの値と等しいと仮定し、8個のパラメータの最適化は、SCE-UA (Shuffled Complex Evolution) 法を用いて行った。また、同法において探索したモデルパラメータの評価には、 χ^2 誤差評価関数を用いた。計算時間幅は1日とし、1年ごとに最適化を行った。

このモデルと、地下水流入を考慮しない通常のタンクモデルの計算結果の比較を行ったところ、計算期間の後半における基底流出高の低下が抑えられたが、相対誤差で数パーセント程度改良されたのみであり、地下水流入量の計算値(流域外タンクからの浸透量)と水収支から推定した地下水流入量との差は大きかった。また、水田灌漑期(4~9月)には流量計算の精度は低かった。これらの原因として、1) 初期貯留量がパラメータとして最適化されるため、初期貯留量を極端に多くすることによって地下水流入がある程度表現できること、2) 水田灌漑期における流出機構を充分表現できていないこと、があげられる。

5. おわりに 流域水収支から得られた地下集水面積の推定値を用い、地表・地下の集水域面積が異なる流域の流出機構のモデル化を行った。今後さらに精度を向上させるために、初期貯留量を合理的に推定する方法や、灌漑期の水田からの流出機構を加えたモデルの構築を行う。