

広域地下水流動モデルを用いた有明海からの地下水流出量の推定

九州大学工学部 学生会員 西海 能史  
 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 安元 純  
 九州大学大学院工学研究院 非会員 甲木 守  
 九州大学大学院工学研究院 正会員 神野 健二

1. はじめに

近年、閉鎖性水域や沿岸域における生物生息環境の悪化が叫ばれており、有明海もその例外ではない。その原因の一つとして、陸域由来の物質負荷量の増加が挙げられる。しかし、最近の研究により従来の河川経由以外に地下水経由の負荷量の重要性が指摘されている。本研究で対象とされる有明海においても、海底地下水湧出とそれに伴う栄養塩類の物質輸送は未解明である。著者らは昨年度から有明海では初めてとなる海底湧水の現地観測を数地点で実施してきた。しかし、その測定結果を有明海の全集水域にスケールアップし、地下水由来の物質負荷量の影響評価を行うためには、正確な流域水収支を明らかにする必要がある。海域への地下水流出の推定には従来、流域毎に集中型水文モデルが多く用いられてきたが、有明海の集水域のような多くの河川流域が存在する場合、適用が困難である。

そこで、本研究では有明海への地下水流出量の推定を目的とした、新たな数値モデルの構築を行った。

2. 内容

(1)解析対象領域

本研究では有明海の全集水域を対象とした(図-1)。有明海に注ぐ河川流域面積は8,075km<sup>2</sup>に及び、一級河川が8、二級河川が104存在する。本モデルでは解析領域を約500m×約500mの格子間隔に分割し、各格子で土地利用条件、地形標高、水理基盤面を整理した。なお、全集水域における格子点数は30612点である。また、本モデルで使用する時間雨量は、有明海全集水域内に存在する気象庁28地点、国土交通省79地点、佐賀県12地点の計119地点を選出し、ティーセン分割により配分した。なお、解析対象期間は2004年から2006年までとした。

(2)数値モデルの構築

本研究では、土地利用状況を考慮した地下水涵養モデルと準3次元淡塩2相地下水流動モデルとの結合モデルを用いる<sup>1)</sup>。それぞれのモデルについて下記に述べる。

(a)地下水涵養モデル

図-2 に地下水涵養モデルの原理を示す。地下水涵養モデルは、土地利用状況に応じて降雨量を直接流出量 $q_a$ 、蒸発散量 $EVT$ 、地下水涵養量 $q_w$ の3成分に分離するものである。詳細な説明は参考文献1)を参照されたい。また森林領域を解析する場合は遮

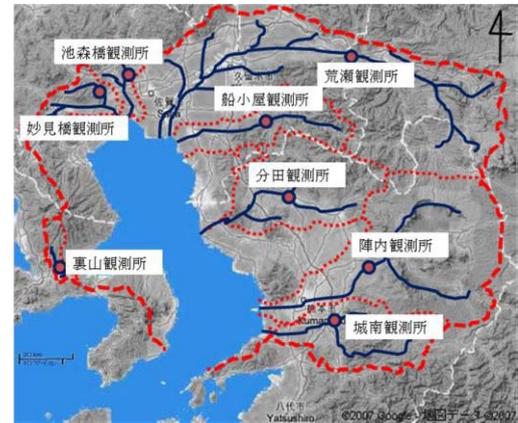


図-1 有明全集水域と流域区分図および各流量観測所

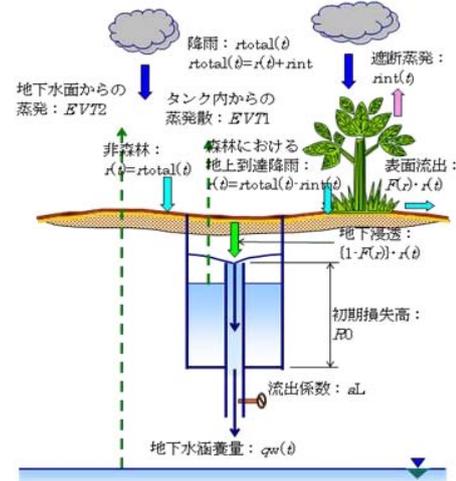


図-2 地下水涵養モデルの原理

断蒸発量 $r_{int}(t)$ を考慮し、近藤ら<sup>2)</sup>が推定した遮断蒸発量と月降水量の関係により決定した。可能蒸発散量を求める際には、有明海流域内にある31地点の気象庁雨量観測所の日平均気温データを用い、ハモン法により推定した。

(b)準3次元淡塩2相地下水流動モデル

図-3 に地下水流動モデルの概要を示す。本モデルでは、海水と地下水との密度効果を考慮する。以下に基礎式を示す。

(α)不圧帯水領域

$$ne \frac{\partial (h_f - h_s)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \{ (h_f - h_s) \cdot u_f \} - \frac{\partial}{\partial y} \{ (h_f - h_s) \cdot v_f \} + q_w(x, y, t) - EVT_2 + qa(x, y, t) \quad (1)$$

(β)不圧塩水領域

$$ne \frac{\partial h_s}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \{ (h_s - b) \cdot u_s \} - \frac{\partial}{\partial y} \{ (h_s - b) \cdot v_s \} \quad (2)$$

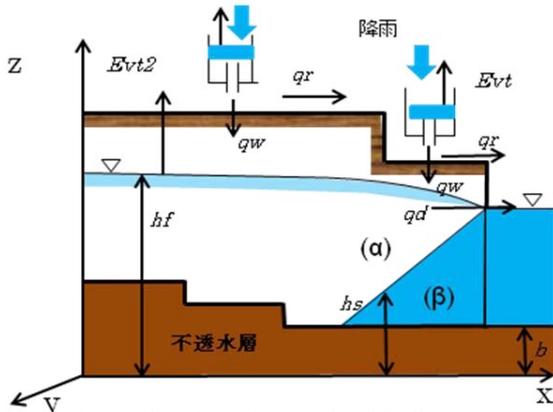


図-3 準3次元淡塩2相地下水流動モデル

ここで、海域への地下水流出量は  $q_d$  直接流出量を  $q_r$  地下水面からの蒸発量を  $EVT_2$  とした。加えて有効空隙率を  $n_e$ 、水理基盤面の基準面からの高さを  $b$  とする。また、水平方向の流速成分のうち、淡水成分を  $u_f, v_f$ 、塩水成分を  $u_s, v_s$  とする。これらはダルシーの法則により求まる。なお、(2)式において塩水侵入のない領域では、 $h_s=b$  となる。

**3.結果と考察**

数値計算の結果、有明海全集水域の地下水位は図-4 のようになり、山地部で実測値と多少誤差があるものの、比較的妥当な値になった。さらに本モデルの妥当性を検証するため、各一級河川において有明海の潮位変動の影響を受ける感潮区間より上流域(図-1 参照)を対象として水収支解析を行った。

図-5 に河川比流量の年平均値を実測値と計算値とで比較した図を示す。本モデルにより算出される河川流量  $Q_r$  は地下水涵養モデルより求まる直接流出量  $q_r$  と地下水流動モデルより求まる河川への地下水流出量  $q_{riverout}$  との合計値である(式(3)参照)。また、この河川への地下水流出量  $q_{riverout}$  は基底流出量と中間流出量の一部を合わせたものに等しい<sup>1)</sup>。図より、計算値は実測値とよく一致しており、本モデルの妥当性が確認された。

$$Q_r = q_r + q_{riverout} \quad (3)$$

$$q_{out} = q_w - q_{riverout} - EVT_2 - \Delta S \quad (4)$$

つづいて、式(4)より海域への地下水流出量  $q_{out}$  を推定した。ここで、 $\Delta S$  は流域内貯留水の変化量であり、年間平均値を用いるなら0とみなすことができる。

以上の方法より求めた値を全集水域で集計した結果、降雨量 2284 mm/year(100%)の内、直接流出量 255 mm/year(11.2%)、地下水涵養量 1520mm/year(66.5%) となった。実蒸発散量は 541mm/year (23.7%)となり、九州地区で一般的な値とされる 600mm/year<sup>3)</sup>に近いことから妥当な値と言える。さらに海域への地下水流出量は 260mm/year(11.4%)となった。また、河川流出量と地下水流出量を合わせた、陸域から海洋への全流出量に占める地下水流出量の割合は 14.9%である。全球レベルでの海洋への全流出に占める地下水流出量の割合は 10~31%に見積もられて

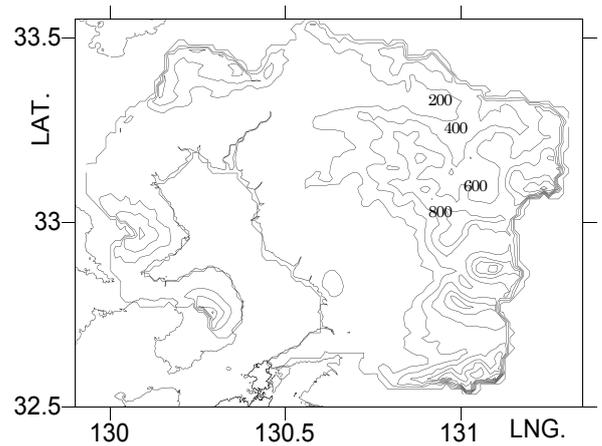


図-4 地下水位コンターマップ

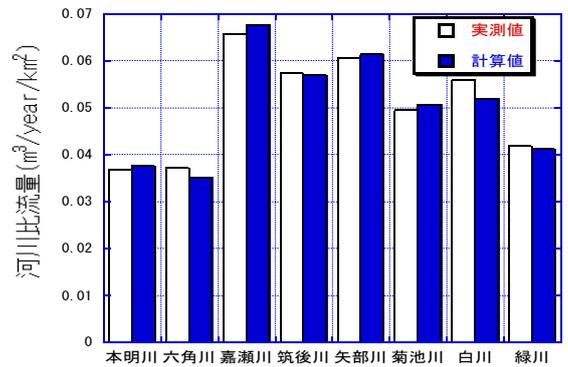


図-5 河川比流量比較

おり<sup>4)</sup>妥当な値と言える。

**4.おわりに**

本研究では、地下水涵養モデルと準3次元淡塩2相モデルを用いて有明海への地下水流出量の推定を試みた。その結果、海域への地下水流出量は、降雨量に対して 11.4%、全流出量に対して 14.9%であった。今後の方針としては、有明粘土層をモデル上で考慮することで難透水層の考慮を行うなど、推定精度の向上に努める。加えて、海底下を帯水層として考慮することにより海底地下水湧出の再現を目標とする。

**参考文献**

- 1)堤敦：表流水ー地下水系水循環機構の解析ー九州大学新キャンパス建設地を対象としてー九州大学学位論文,2006
- 2)近藤純正ほか：日本の水文気象(3)ー森林における蒸発散量ー、水文・水資源学会誌,第5巻4号, 1992
- 3)社団法人日本河川協会：二訂建設省河川砂防技術基準(案),1986.
- 4)Taniguchi,M,Burnett,W.C.,Cable,J.E.andTurner,J.V.: Investigation of submarine groundwater discharge, Hydrol.Process.vol16,,2002