

熊本地域における水収支シミュレーションへの SWAT モデルの適用に関する基礎的研究

熊本大学工学部 学生会員 伊東拓也 非会員 佐藤宇紘
熊本大学大学院 非会員 村上祐也 正会員 川越保徳

1. はじめに

熊本市とその近郊地域（熊本地域）は世界的にも珍しい、水道水源のすべてに地下水を用いている地域であり、地下水水質の安全性は特に重要となる。しかし近年、熊本地域の地下水中硝酸性窒素濃度が上昇傾向にあることが明らかになり、汚染の深刻化が懸念されている。我が国の硝酸性窒素の地下水環境基準および水道水質基準はともに 10 mg/L であるが、すでに基準を超える地下水も確認されており、早急な実態把握と対策が求められる。本地域地下水における硝酸性窒素濃度の実態については、これまでに一部地域で環境省が行った調査や熊本県や市などの自治体行政機関による調査結果がある他、我々の研究室では主に水道水源井戸を対象とした水質調査を実施し、過去数十年に亘る経年変化や濃度分布などの知見を明らかにしてきた。さらに、窒素安定同位体分析や農林業センサスデータを用いた解析から、地価水中硝酸性窒素が主に有機態窒素由来であること、ならびに主な窒素負荷源が畜産ふん尿およびそれを原料とする堆肥である可能性が高いことを報告した。

熊本地域の地下水流動や水収支に関しては、これまでにいくつかの調査事例があり、地下水流動／水収支のシミュレーションモデルが提案、報告されているものの、硝酸性窒素濃度等の水質に関するシミュレーション実施例はない。しかし、硝酸性窒素汚染への対処には、過去からの推移を近似でき、かつ将来シナリオの予測にも耐えうる様なシミュレーションモデルを早急に確立し、その結果を踏まえた対策の立案が不可欠と考えられる。一方、水環境中での窒素やリンなどの動態は農業活動と深く関わっていることから、一般の水収支／水理モデルが扱う水循環パラメータに加え、農業活動に関するパラメータをも包含できる様なモデルの利用が望ましい。そこで我々は、気象や農業関連パラメータを比較的容易に導入可能な SWAT (Soil and Water Assessment Tool)モデルを活用し、熊本地域地下水中の硝酸性窒素濃度シミュレーションの確立を目指すことにした。本研究では、その基礎的検討として、熊本地域の一部流域における水収

支シミュレーションへの SWAT モデルの適用を試み、知見を得たので報告する。

2. SWAT について

2.1 SWAT の概略

SWAT は、複数の流域にわたるような広範囲の水／物質収支のシミュレーションを可能とすべく米国農政局 (USDA) で開発されたシミュレーションツールである。SWAT が仮定している水循環システムを図 1 に示す。降水、表面～地下水流出、および蒸発散等の過程による水循環については一般的な水収支モデルの考え方と同様であるが、SWAT では気象～地下までの一般的な水／物質収支パラメータに加え農作物の種類やかんがいなどの農業関連パラメータを含み農業過程を考慮できること、オープンソースでプログラムを自由に改変できること、及び GIS (Geographic Information System) 上で実行でき視覚化が容易であることなどが特徴となりその有用性は極めて高い。ただし、米国で開発されたモデルであるため、特に土壌関連パラメータのデフォルト設定などが米国に最適化されている。したがって、SWAT モデルの適用にて信頼性が高く有用な結果を得るためには、対象地域に最適なパラメータ設定や入力データの準備に十分な注意が必要である。

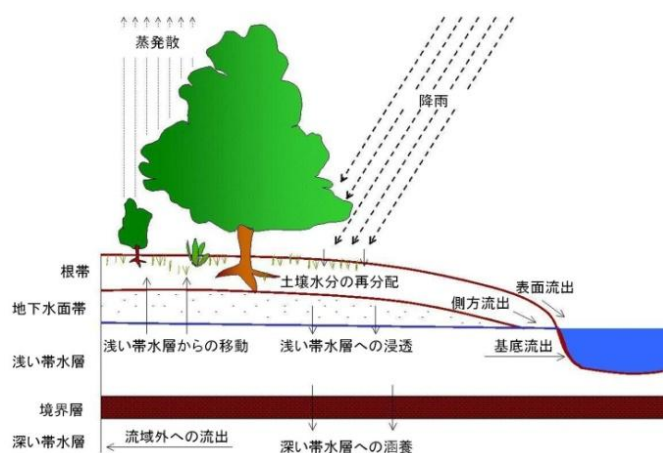


図 1 SWAT における水循環のイメージ¹⁾

2.2 SWAT による水収支計算の概要

SWATでは、(1)式が水収支計算の基本となっている。

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad \cdot \cdot (1)$$

ただし、 SW_t ：土壌水分量、 SW_0 ： i 日目の初期土壌水分量、 R_{day} ： i 日目の降水量、 Q_{surf} ： i 日目の表面流出量、 E_a ： i 日目の蒸発散量、 w_{seep} ： i 日目の浸透量、 Q_{gw} ： i 日目の基底流出量である。また、例として Q_{surf} の計算式を(2)式に示す。

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.85)} \quad \cdot \cdot (2)$$

ただし、 S ：土壌保水係数であり(3)式で計算される。

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \cdot \cdot (3)$$

ただし、 CN ：流出特性曲線番号 (curve number) で、土壌の透水性、土地利用、土壌含水率の関数として与えられる。なお、(2)式は表面流出量が降水量と土壌の保水係数のみで求まることを示している。

3. シミュレーション結果と考察

3.1 入力データの選定と考え方

本研究で行ったシミュレーションの対象地域を図2に示す。本地域では、阿蘇カルデラから流出する一級河川の白川が表流水流動の軸となっている。図2中に黄色で示した範囲が今回の計算対象流域であり、白川は青線で示した。また、赤丸で示した点は SWAT 上で想定した対象流域内の最終流出点である。この流出点（世継橋）は国土交通省による水量モニタリングポイントであることからシミュレーション計算結果を検証できる。

SWAT シミュレーションにおける主要入力データ（情報）は大きく、DEM (Digital Elevation Model) データ（標高）、土地利用、土壌、気象の4つである。今回、DEM データは国土地理院、土地利用データは国土交通省国土計画局、土壌データは国土交通省土地水資源局、気象データは熊本地方気象台より各々入手した。この内、土地利用データについては、建物用地、交通用地、農用地、田、森林、荒地、ゴルフ場、河川または湖沼、海浜、海水域、その他の計11項目に分類されるが、土地利用に関する SWAT の分類設定と比較しながら最も妥当なものを選択した。一方、土壌については、いまだ世界的な土壌照合基準が不明確であることや深部での詳細な土壌データが乏しいことから今回は黒ボク土で統一した。また気象データの入力期間は、1970～2010年とした。



図2 シミュレーション対象地域²⁾

3.2 水収支（流出地点における流出量）シミュレーション結果

図3に、計算結果の一例として2004年度の流出地点における実測値³⁾とシミュレーション結果を比較して示す。図3から明らかなように、流量の挙動は概ね再現できてはいるものの、全体的に計算値は実測値よりも大幅に低くなった。この理由は明らかで、シミュレーションの対象範囲に白川上流の阿蘇山（カルデラ）域を含めなかったことである。これは、阿蘇山周辺地域を含めると流線が極めて複雑になり、シミュレーションの想定を定めるのが難しかったためである。現在、阿蘇周辺域を含めた計算も視野に入れながら、上流部での水量データを入力値に加味することで、実測値の再現を図っているところである。さらに今後は、土地利用や気象／土壌パラメータ等を詳細検討することで水収支に関するより精度／正確度の高いシミュレーション結果を得ると同時に、硝酸態窒素濃度のシミュレーションへの SWAT モデル適用に関する研究を進める予定である。

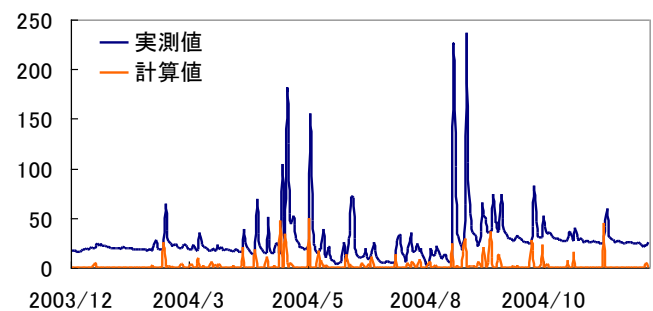


図3 実測値とシミュレーション結果との比較

参考文献および URL

- 1) SWAT2005 Theoretical Documentation, <http://swatmodel.tamu.edu/media/1292/SWAT2005theory.pdf>
- 2) Google Map, <http://maps.google.co.jp/maps?hl=ja&tab=ll>
- 3) 国土交通省 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>