# 13.6 流域規模での水・物質循環管理支援モデルに関する研究(1)

研究予算:運営費交付金(治水勘定)

研究期間:平18~平22

担当チーム:水災害研究グループ(水文)

研究担当者:深見和彦、猪股広典、

ラジャパクセ ヘマンサ ラリト

#### 【要旨】

本研究は、土木研究所で開発を進めてきた流域水循環解析モデルであるWEPモデルを基盤として窒素、リン の物質循環モデルを導入することにより、流域内の栄養塩(窒素、リン)の動態を定量的に把握する流域水・物 質循環モデルを開発することを目的とする。昨年度は、リン動態のシミュレーション精度の向上を目的として、 流域規模の土砂動態モデルをWEPモデルに導入した。今年度は、谷田川流域でのモデルパラメータの設定を行 ってシミュレーションの精度を向上させた。また、水質を含む水環境・水生生態系の保全・再生が社会的問題と なっている印旛沼への流入河川の一つである高崎川流域に対して同モデルを適用した。

キーワード:WEPモデル、流域規模水・物質循環モデル、リン、窒素、土砂動態モデル

# 1. はじめに

近年、河川や湖沼の水質浄化や栄養塩濃度の削減を 目的として様々な対策が立案、実施されている。これ らの対策は一定の効果を示すものの、さらなる水質改 善へ向けての効率的な対策立案を行うにあたっては、 流域からの汚濁負荷と対象水域の水質悪化との定量的 な因果関係や土地利用・農業形態の変化等の影響を総 合的に把握した上で適切な対策シナリオを検討する必 要がある。そこで本研究では、流域内の汚濁負荷の動 態を土地利用や農業等の産業活動形態との関係を含め て定量的に把握することができる流域規模での水・物 質循環モデルの開発を目的とした。ここでは、河川お よび河川が流入する湖沼や湾をはじめとする閉鎖性水 域の富栄養化の判断基準となる重要な環境項目である 窒素およびリンをモデル化の対象とした。

ここでは、土木研究所が開発してきた流域規模での 物理的な水循環モデルである Water and Energy transfer Process Model (WEP モデル)<sup>1)</sup>を基礎とし て、窒素、リンの流域規模モデリングモジュールを WEP モデルに組み込んで流域規模での水・物質循環 モデルを開発することとした。これにより、長期での 流域の物質収支および発生源ごとの汚濁負荷寄与度を 定量的に把握できるようになる。また、土地利用の影 響をパラメータ値に反映させることができ、河川や地 下水からの取水も考慮できるため、土地利用や営農形 態の変化が流域の水質にどのような影響を与えるかを 定量的に評価できるようになると期待される。 昨年度は主にリンモデルのシミュレーション精度 の向上を目的として土砂動態モデルを WEP モデルに 導入し、谷田川流域に対して適用した。今年度はその モデルパラメータの設定を行って谷田川流域での適用 精度の改善を行った。また、水質を含む水環境・水生 生態系の保全・再生が社会的問題となっている印旛沼 への流入河川の一つである高崎川流域に対して同モデ ルを適用し、その精度を確認した。

#### 2. 土砂動態モデルを付加した WEP モデル

昨年度 WEP モデルの改良を行い、土砂動態モデル を付加することでリン動態モデルのシミュレーション 結果の向上に努めた。昨年度までに開発を行った WEP モデルの簡単な特徴を以下に記す。詳細につい ては参考文献 1)から 3)に記されている。

- Jia et al.<sup>1</sup>によって開発された水循環モデルに対して窒素およびリンの動態シミュレーションモジュールを付加している。窒素、リン共に溶存態と懸濁態に分けてシミュレーションする構造としている。
- 窒素、リンの溶存態成分はいずれもWEPモデルの 内部の水循環、すなわち、表面流出、不飽和流出 および地下水流出に従って動くようにモデル化し た。一方、懸濁態成分については、土砂動態モデ ルを導入し、土砂への吸着および流出を計算でき る構造としている。

#### 3. 谷田川流域への適用

2.で述べた WEP モデルを、茨城県にある谷田川流 域(図-1、流域面積:166.7 km<sup>2</sup>)に対して適用した。

# 3.1 計算諸条件



図-1 谷田川流域およびモデル検証地点

計算の諸条件を以下に示す。

- 1. 計算期間: 2001-2002 年
- 2. 計算時間ステップ:1時間
- 3. メッシュサイズ:100m
- リンおよび窒素の投入量:昨年度までに報告を行ったように、農作物の市町村別作付面積、農業センサス等の農業統計データに基づいて施肥量を 推定し、そこから農地へのリンおよび窒素の投入 量を推定した<sup>4</sup>。
- 検証データ:小白硲地点および堺松地点において 2001年および2002年に2週間に一回程度、低水 時に採水および分析を行った。分析項目はSS、 TP、TN、PO4、NH4、NO2、NO3である。また、 2年間の間に2回の出水時観測も行った。計算期 間内で2度出水時調査を行い(2001年8月22 日および2002年10月1日)、この時は毎正時に 採水を行い水質の分析を行った。

# 3.2 パラメータ調整について

水循環の計算については、Jia et al.<sup>1</sup>により実施さ れており、そのモデルパラメータ値をそのまま採用し ている。窒素、リン動態モデルで用いるパラメータに ついては、SS、リン、窒素の計算結果と観測値の差が 小さくなるように調整した。

### 3.3 計算結果および考察

図-3 に SS、 懸濁熊窒素 (PN) および 懸濁熊リン (PP) の計算結果を示す。前述したとおり、計算期間内には 2回の出水時観測のデータを含んでいる。SSの計算結 果は、図-2上段で示すように、観測値が示す全体的な 傾向を再現できている。特に、2 度の出水期間につい ても、観測値が示す出水による SS の時間変化を表現 できている。決定係数で評価すると、境松観測所で 0.64、小白硲観測所で 0.72 であり、SS の動態は概ね 再現できていると考えられる。PN および PP につい ては、一般的に出水時に濃度が増加することが知られ ており、今回の谷田川の観測結果についても出水時に 濃度が増加する傾向が確認されている。昨年度までの 結果では、SS の計算モジュールは既に追加されてい たが、PN および PP の計算結果は観測値の傾向を再 現していなかった。原因として施肥に含まれる窒素お よびリンが SS に吸着する割合に関するパラメータの 調整が十分に行われていなかったことが挙げられ、今 年度はこのパラメータを調整することで観測値と同様 の挙動を概ね再現することができた。

DN および DP の計算結果を図-3 に示す。DP の観 測値については明確な季節的変化が特に見られないが、 DN の観測値については、雨期の流量の増加及び谷田 川流域外からの灌漑用水の導水による希釈効果がある ことから乾期と比較して雨期の濃度が低い傾向が見ら れる。これは、雨期の流量の増加および谷田川流域外 からの灌漑用水の導水による希釈効果があることの影 響などが考えられる。計算では谷田川流域外からの灌 漑導水量および灌漑用水の水質を考慮しており、計算 結果についても、観測値が示す季節的な変化を概ね再 現できていることが分かる。

これらの結果より、計算結果は谷田川流域の SS、 PN、DN、PP、DPの観測値が示す傾向を全体的に表 現できていることが分かった。しかし、特に SS の濃 度など、絶対量としては観測値と比較して差が大きい ところも見られるため、今後はこの計算結果の解釈お よび妥当性についてより詳細な考察を行う必要がある。 その意味で、次章に示す印旛沼流域高崎川への同じモ デルの適用試験結果との比較分析を来年度に向けて継 続することは重要な意義がある。



図-2 小白硲地点での SS、PN および PP の計算結果 (上:SS、中段:PN、下段:PP)



図-3 小白硲地点での DN および DP の計算結果

#### 4. 高崎川流域への適用

2.で述べた WEP モデルを、印旛沼の流入河川の一 つである高崎川流域(図-4、流域面積:85.6 km<sup>2</sup>)に 対して適用した。複数流域に適用することで、モデル の妥当性をより的確に分析・評価できるものと期待さ れる。



図-4 高崎川流域図

# 4.1 計算条件

- 1. 計算期間:2002-2003年
- 2. 計算時間ステップ:1時間
- 3. メッシュサイズ:100m
- リンおよび窒素の投入量:谷田川の場合と同様に、 農作物の市町村別作付面積、農業センサス等の農 業統計データに基づいて施肥量を推定し、そこか ら農地へのリンおよび窒素の投入量を推定した。
- 5. 検証データ:高崎川流域には高岡橋と寺崎橋の2 箇所の観測地点が存在する。高岡橋では、HQ式 が作成されており、流量の時系列連続値が利用で きる。また、2002年に2度出水時の水質観測が 行われており、毎正時の全窒素(TN)、全リン (TP)のデータが取得されている。また寺崎橋 においてはおよそ月1回の頻度で公共用水域の定 期観測が行われており、SS、TN、DN、TP、PP が取得されている。

### 4.2 パラメータ調整について

水循環の計算については、H16 年度にシミュレーシ ョンを実施した実績があるため、そのときに設定した パラメータ値を用いる。水質シミュレーションに関す るパラメータについては、観測値に合致するように今 回調整を行った。

# 4.3 計算結果および考察 4.3.1 流量計算の結果

高岡橋の河川流量計算結果を図-5 に示す。平常時お よび中小規模の出水のピークについて、実測値に比べ て計算値の方が低い傾向になっており、この結果は H16 年度の検討結果と同じである。一方で、大規模な 出水の場合には、実測値よりも大きい流量となる傾向 が見られる。観測の水質、特に TN については、低水 時では、雨期で 3 mg/L、それ以外の季節で 7 mg/L 程 度の値であるため、流量が少ない場合、仮に水質の濃 度が正確に計算できたとしても汚濁負荷総量としては 過小評価してしまうため、この点については更なる検 討が必要である。



#### 4.3.2 水質計算結果の時系列での比較

図-6a および図-6b に寺崎橋における低水時の水質 計算結果を示す。

(1) 窒素

低水時の濃度レベルは、TN、DN ともに 5mg/L 程 度とほぼ同程度となっている。しかし、実測値では季 節変化(夏低下し、冬上昇する)が見られるが、計算 値ではそれがあまり再現されていない。高崎川におけ る TN の夏の低下は、河川周辺の水田や谷津の湿地等 での脱窒による効果と考えられている。今回適用した WEP モデルでも脱窒の効果は考慮されているが、そ のパラメータの調整に課題があると考えられる。また、 PN や PP といった懸濁態成分の濃度は一般的に降雨 時に上昇することが知られており、図-6の PN、PP の計算結果についても降雨時に濃度が上昇する傾向が 確認できる。一方で溶存態成分については、高崎川の DN に関しては観測値では降雨時に濃度が低下するこ とが確認されているが、計算では、概ねどの降雨でも 濃度が低下するものの時期や降雨によっては濃度が上 昇する場合も見られる。現在のWEPモデルでは、晴 天時に農地表面に堆積した窒素分の汚濁負荷が降雨時 に溶存態成分となって流出する構造となっており、 DN の計算結果が降雨時に大きくなるのはこの農地か らの表面流出量が評価されているからと考えられる。

(2) リン

低水時の TP および DP の濃度は、窒素と同様に夏 に低下し冬に上昇する傾向が観測値から確認できる。 しかし TP および DP の計算値は年間を通じて季節変 化を示さずにほぼ一定の値を示している。また、計算 値で計算された濃度は観測値と比較して高くなってい る。これは、計算流量値が観測流量値よりも小さいこ とが一因として考えられる。これらのことより、リン の低水時の濃度については、流量計算結果も含めてパ ラメータの調整が必要である。また降雨時については、 観測値の DP 濃度は降雨時でもほとんど変化せず、そ の一方で懸濁態成分の濃度の上昇に伴って TP も上昇 する傾向があることが確認されている。しかし、計算 結果については DP については降雨時の上昇が多少見 られるものの、ほとんどの場合で低下の傾向が見られ ている。リンについては晴天時に汚濁負荷が堆積する 構造を取っていないため、出水時には雨による希釈効 果により概ね濃度が低下する。TP の計算値について は、DP と比べると上昇する降雨イベントが多いが、 低下する場合も見られる。

#### (3) SS

降雨時の観測結果から、SS のピーク濃度は 300~ 400mg/Lまで達する状況が確認されている。計算結果 でも降雨時のピーク濃度で100~400mg/Lが再現でき ている。一方で、平常時については、実測値の範囲は 5~15mg/L程度で推移するが、計算値ではゼロに近い 値となっている。地下水湧出水は透明であり、SS は ほとんど含まれないことから、平常時のSS発生源は、 主に生活系、産業系からの排出および河床堆積物の巻 き上げであると考えられる。しかし、現モデルでは生 活系・産業系の排出負荷量データは、窒素、リン関連 のみであり、SS の設定はされていない。SS に関して は原単位等が整理されていることから、今後データ収 集・整理を行う必要があると考えられる。また、初期 条件の設定や河床堆積物の巻き上げについてのパラメ ータの調整をより精密に行う必要がある。

#### 4.3.3 LQ 関係の再現性

出水時の水質を正確に観測するためには、出水毎に 採水・分析を行うのが望ましいが、費用の関係上全て の出水についてそのような観測を行うことは難しい。 一般的に河川流量とその時の汚濁負荷量は相関がある ことが知られている(LQ関係)。ここでは、WEP モ デルの計算結果が、観測で得られているLQ関係を再 現するかを確認した。図-7から図-11にかけて、TN、



図-6a 低水時の水質シミュレーション結果 (SS, TN, DN, PN)

**DN、TP、DP** および **SS** の観測値および計算で得られた LQ 関係を示す。

(1) 窒素

TN については、傾き(流量増加に対する負荷量増 加の割合)は同程度であるが、計算値のふくらみ(プ ロットのばらつき程度)が大きくなっている。また、 DN については、計算値の傾きが小さく、ふくらみも 大きく、全体的に過小評価傾向である。流量が大きく なる降雨時の DN の流出が小さいことから、市街地や 農地からの降雨時の負荷流出の精度を上げていく必要 がある。なお、TN の再現精度は比較的高いが、DN の再現精度が低いため、溶存態と懸濁態の割合に問題があると考えられる。

(2) リン

TP については、傾きはほぼ同程度であり、流量が 大きいところではプロットにややばらつきが出ている。 DP とともに、流量が小さいところ(平常時)で負荷 量が大きい傾向になっている。また、流量が小さくて も負荷量が上昇している現象が見られる。DP につい ては傾きが小さく、降雨時の負荷流出が小さい傾向に なっていることから、市街地や農地からの降雨時の負 荷流出の精度を上げていく必要がある。



図-6b 低水時の水質シミュレーション結果 (TP, DP, PP)

(3) SS

前述したように、平常時の SS 濃度が低くなる傾向 にあるため、既往の LQ 関係でも流量が小さいところ で濃度(負荷量)が小さくなっている。しかし、降雨 時の流量が大きくなるところでは、計算値のプロット は実測値と概ね合っていることが分かる。

### 5. まとめ

今年度は谷田川流域および高崎川流域について土 砂動態モデルを負荷した WEP モデルを適用した。そ の結果、谷田川流域ではリン、窒素共に出水時や季節 的な変動について定性的に観測値を再現することがで きたが、高崎川流域での再現性は現在のところあまり 高くない。窒素については TN、DN 共に低水時の平 均的な値は観測値と近い値を示すが、季節的な変動が 再現されなかった。リンについても、低水時の濃度に ついては季節的な変動を再現することができなかった。 TP は一般的に降雨時に上昇するが、計算値では上昇 するケースがある一方で小さくなるケースも確認され たため、窒素と併せて更なるパラメータの調整作業が 必要である。リン、窒素共に、降雨時の挙動について は更なる検討が必要である。また、特に低水時に流量 の計算値が過小評価となっているため、この点につい ても改善することで水質計算結果が改善されることが 期待される。今後は特に高崎川流域での適用に関して 必要なパラメータの調整を行い、流量値、リン、窒素、 SS の濃度・負荷量について観測値を再現することが できた時点で、谷田川で設定したパラメータとの比較 を行い、一般的なパラメータの設定方法について考察 することが重要である。また、谷田川流域の土地利用 や施肥料を変化させた場合の感度分析および高崎川流 域での再現性を高める必要がある。











図-9 TPのLQ関係の再現性

<u>高崎川高岡橋 D-P L-Qグラフ</u>



図-10 DPのLQ関係の再現性



図-11 SSのLQ関係の再現性

#### 参考文献

- Jia Yangwen, et al.: Development of WEP model and its application to an urban watershed, Hydrological Processes, 15, pp.2175-2194, 2001
- 2) Hemantha Rajapakse et al.: Diffuse-source Particulate Nitrogen and Phosphorus Pollution Modeling in Yata River Basin in Japan using Process based WEP model coupled with a Sediment Erosion-transport Model, Proceedings of 2009 Annual Conference, Japan Society of Hydrology and Water Resources, pp.274-275, 2009
- 3) Hemantha Rajapakse et al.: Diffuse SOurce Particulate-matter Pollution Modeling in a Semi-Urbanized Agricultural Basin in Japan using Process-based WEP and and Erosion-transport

Model. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Diffuse Pollution and Integrated Watershed Management, pp.194-195, Seoul, Korea, Oct. 2009

4) Iizumi, Y., Kinouchi, T. and Fukami, K.: Calculation program for estimation of nitrogen in agricultural

land. Spring Meeting of the Korean Society of Limnology, Korea, March 2007

# STUDY ON WATER AND NUTRIENT TRANSPORT MODEL ON BASIN SCALE (1)

Budget : Grants for operating expenses General account Research Period : FY2006-2010 Research Team : Water-related Hazard Research Group (Hydrologic Engineering Research) Author : FUKAMI Kazuhiko INOMATA Hironori RAJAPAKSE Hemantha Lalith

## Abstract:

In this fiscal year, the applicability of WEP model to the Yata River Basin was improved through parameter fitting on river quality simulation modules (SS, PN, DN, PP, DP). In addition to that, WEP model was applied to the Takasaki River Basin. As a result, it was found that the applicability for the Yata River Basin was improved but the applicability for the Takasaki River Basin needs much improvement through parameter fitting. **Key Words:** WEP model, Water and nutrient model, Nitrate, Phosphorus, Sediment transport