

西安市の都市河川における汚濁物質負荷過程の解明

九州大学工学部 学生会員 ○ 邊見 充 九州大学大学院 学生会員 馬場啓輔
九州大学大学院 フェロー 楠田哲也 科学技術振興機構 正会員 東 修

1. 緒言

中国黄河流域では、特に都市域を中心として危機的な水不足および水汚染に直面している。中国政府は、第10次5カ年計画で示した水処理施設への重点的投資を軸にこれらの問題に取り組んでいるが、未だ多くの地域で生活および工業排水の水系への直接流入や化学肥料などによる水質汚染が深刻化している。

そこで、本研究では、中国関中地域で著しい産業集積が見られる西安市において、都市活動がその周辺河川へ与える汚濁物質負荷過程を定量的に解明することを目的とする。具体的には、中心市区部の西側を流れる皂河(Zaohe)を解析対象流域とし、自然系および人工系の水収支を組み込んだモデルを構築することによって、その水量および水質挙動を再現する。

2. 現地調査結果

図1に皂河水質の現地調査結果を、図2にその採水地点を示す。図1より、BODは総じて高く、劣悪な水質環境であることがうかがえる。窒素分も非常に高い値になっており、 NH_4^+-N がT-Nの約50%を占めていることから、これらは生活および工業由来の未処理排水が直接流入していることが原因と考えられる。一方、 NO_3^--N は低いことから、農地や山林などから流入する汚濁負荷量は比較的少ないと考えられる。

3. 汚濁物質負荷過程モデルの構築

3.1 水文水質統合モデル 本研究では、降雨や蒸発散などの自然系データに生活、工業および灌漑排水などの人工系データを統合的に組み込んだ水文水質統合モデルを構築した。本モデルの全体構造としては、まず、タンクモデルにより河川への流出流量および汚濁物質負荷量が求められ、次にKinematic Wave法により河川流量が算定される。最後に、一次元移流分散方程式により各水質挙動が再現される。

3.2 皂河流域諸条件の設定 本研究における解析対象流域を図2に示す。本解析区域の境界は文献¹⁾²⁾をGISにより解析した結果に基づき設定された。解析対象河川区間は、現地水質観測地点であるZ-1からZ-3までの22.3 kmであり、5つの污水集水区からの処理水及び未処理水の流入が見られる。また同流域は大峪水库灌区、小型及井灌区、沣惠渠灌区の3つの灌漑区からなり、居住区および工業区へは図中の4ヶ所の水源および黒河導水より配水されている。なお、対象流域内の雨水集水区域は、六村堡組団東部、邓家村および北石橋污水集水区西部、韦曲組団全域となっている³⁾。

西安市の年降水量は約400 mmであり、夏期に降雨が集中し、冬季は比較的少ない分布特性を持つ。なお、可能蒸発散量の算定にはPenman-Monteith法を用いた。

2002年の流域内水利用量は約100万 m^3/day である

4)5)6)7)。全体の7割以上を工業用水が占め、生活用水が2割強、残りが灌漑用水である。排水に係る設定としては、生活排水量は生活用水量と等しく、工業排水量は文献⁶⁾より、灌漑排水量は関連するデータの不足により自然系水循環と同様の挙動を示すと仮定した。さらに、生活および工業排水には、文献⁸⁾⁹⁾より季節変動を考慮した。

3.3 水文過程 図3に示す3段タンクモデルを対象流域内の各灌漑区についてそれぞれ構築し、生活用水など各人工系セクターの取水、排水を組み込み、降雨流出特性を解析する。また、上水道供給地域の各水源からの生活および工業用水取水、雨污水集水区域からの排水経路を設定し、排水管漏水によるタンクモデル系への流入も考慮する。また、対象流域が半乾燥地域であることから、水文過程に重要な影響を与える蒸発散量を決定づける土壌水分量を、図3のように、浸透孔をタンク内部に突出させることによって表現する。さらに、実蒸発散量を馬場⁹⁾による対象流域内の植物の根の長さにより変化するように調整する。

タンクモデルにより求められた河川への流出流量より、Kinematic Wave法を用いて河川流量を算定した。

3.4 水質過程 河川へ流入する面源負荷および点源負荷の算定には、それぞれ経験式(L-Q式)および原

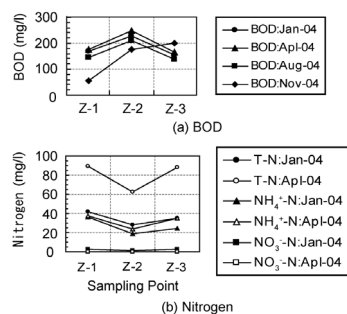


図1 現地観測結果

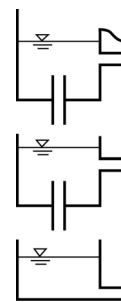


図3 3段タンクモデル

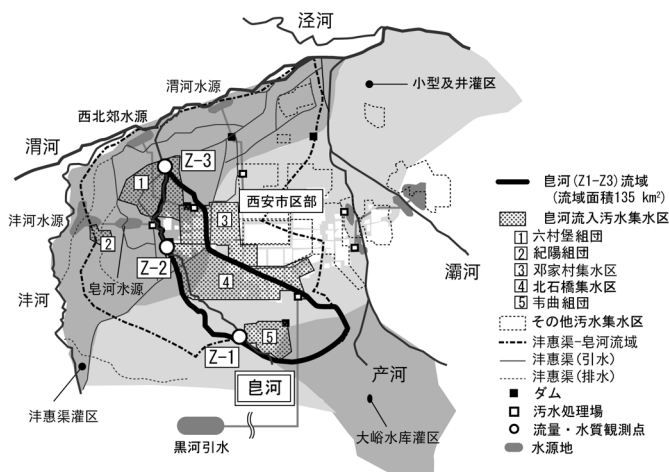


図2 皂河における採水地点および流域の設定状況

表1 各水質項目の素過程

	考慮対象素過程	モデル中での表現項目
SS	巻き上げおよび沈降	巻き上げ(沈降)限界せん断応力、せん断応力
BOD	微生物などによる分解、沈降およびSSへの吸着	脱酸素係数、沈降および吸着速度係数(SS濃度により変化)
DO	BOD分解に要する消費、再曝気、その他の酸素消費や生成	脱酸素係数、再曝気係数(O'Connor-Dobbins)、飽和溶存酸素濃度(水温考慮)、その他の酸素消費や生成
NH ₄ ⁺ -N	硝化菌による硝化、菌体の死滅	収率、最大比増殖速度、効率(水温考慮)、飽和定数、菌体濃度、死滅係数

単位法を用いた。さらに、SS、BOD、DO、NH₄⁺-Nの挙動を解明するため、表1に示す素過程を考慮し、それぞれ次元移流分散方程式を用いて解析した。

4. 解析結果および考察

本モデルによる解析結果を図4と図5に示す。図4は2004年4月11日における皂河の流下距離に伴う水量および水質変化であり、図5は2004年のZ-3における時間変化に伴う水量および水質変化である。図より、本モデルによる解析値と実測値の相関は良好であり、モデルの妥当性が確認できる。

図4より、どの水質項目においても約6 km付近を前後にグラフの傾向が変化していることがわかる。約1 km付近までは韦曲組団からの排水流入があるものの、それ以降6 km付近までは点源負荷となる集水区および外圍組団は存在しない。故に、BODは次第に減少し、逆にその減少に反比例してDOは増加している。しかし、DOの増加勾配が比較的大きく、そのピークが鋭角である点についてその妥当性を確かめるには採水地点が少々不足している。また、SSが6 km付近まで増加しているのは、点源負荷よりも面源負荷の影響が大きいためと考えられる。一方、6 km以降については、それまでと逆の傾向を示している。これは、北石橋、邓家村集水区などからの排水流入による影響が大きいためであり、BODやNH₄⁺-Nの汚濁物質の流入、その分解によるDOの減少という一連の変化が表現されている。

図5に関して考察を加える。流量、BODおよびNH₄⁺-Nが夏に増加、冬に減少しているのは、生活および工業排水の季節変動のためであり、SSに変動が殆ど見られないのは点源よりも面源負荷による影響が大きいためである。また、一年を通じて観察される流量のピークは降雨時における出水を表しており、追隨するSSおよびBOD濃度の増大は、河川底質中に堆積していたSSおよびBODの巻き上げ・掃流が発生しているためと考えられる。DOのピーク減少の理由は、BOD増加により、流速増加による再曝気量の増大を上回るDO消費がなされているためと思われる。一方、NH₄⁺-Nについても出水時に濃度が減少しているが、一般的な特徴である出水時の濃度増加傾向は再現できていない。これは、NH₄⁺-Nの河川への汚濁負荷は各集水区からの点源負荷量がその大部分を占めており、平常時の濃度が非常に高いため、出水による濃度増加分よりも希釈効果が勝ったためと考えられる。解析値と実測値は、定性

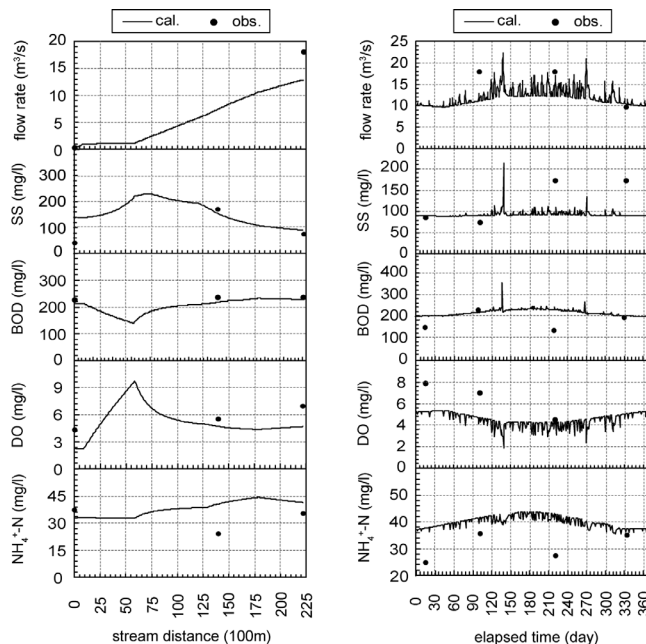


図4 流下距離に伴う水量および水質変化(2004年4月11日; 前5日降雨無し)

図5 Z-3における時間変化に伴う水量および水質変化(2004年)

的には相関が見られるが、定量的には異なる測点が存在するため、さらに詳細な月単位の変動や降雨履歴を考慮した水質挙動の再現が必要であろう。

今後、都市における流域水資源の適正管理に向けて本モデルを用いてシミュレートする際、モデルの有効性を示すためには同定したパラメータの検証を行う必要がある。しかし、検証するにあたり、現地観測データが十分ではない。また、例えば集水区毎など空間的な汚濁負荷原単位の変動に関する考慮も必要となる。

5. 結言

本モデルを利用することで、都市域における汚濁物質負荷過程を空間的にも時系列的にも詳細に把握することが出来た。今後、持続可能な節水型都市へのデザインを行うにあたり、本モデルに検証作業を加え、汚水管渠普及率の増大、污水处理場の増加、処理量の増大、工業および生活排水の再利用率向上など具体的な節水方策を本モデルに組み込み、将来予測を行う。

参考文献

- (1) 西安市地図集編纂委員会: 西安市地図集, 西安地圖出版社, 1990
- (2) 岐阜県立図書館所蔵: 中華人民共和国 10 万分の 1 地形図, 旧ソ連製, 測量年 1978-1986
- (3) 西安市市政管理局: 西安市排水工程計画(1995-2010), 1998
- (4) 西安市地方志編纂委員会: 西安市志, 第一卷, 西安出版社, 1996
- (5) 西安市統計局: 西安統計年鑑, 中国統計出版社, 1993-2003
- (6) 中国環境年鑑編纂委員会: 中国環境年鑑, 中国環境年鑑社, 1991-2003
- (7) 国家統計局人口和社会科技統計司編: 中国郷・鎮・街道人口資料, 中国統計出版社, 2002
- (8) 宝鶏市地方志編纂委員会: 宝鶏市志, 上巻, 三秦出版社, 1996
- (9) 中国工業年鑑社: 中国工業年鑑, 2003
- (10) 馬場, 楠田, 王, 楊, 東, 尾崎, 柴田: EPIC による渭河流域の穀物生産評価と食料安全保障の検討, 環境工学論文集, vol.41, 2004