

流域圏の土地利用変遷および洪水流出を考慮した 大阪湾への長期栄養塩流出量の推定（その2）

代表研究者：齋藤光代（岡山大学学術研究院環境生命科学学域・准教授）

共同研究者：岩田 徹（岡山大学学術研究院環境生命科学学域・准教授）

王 崑陽（広島大学大学院先進理工系科学研究科・博士後期課程）

白石朗光（岡山大学大学院環境生命科学研究科・博士前期課程）

[研究目的]

大阪湾に対する栄養塩流出量の長期変遷については、これまで原単位法¹⁾や公共用水域調査結果に基づく推定²⁾が行われてきたが、最も汚濁が顕著であったと考えられる1960～70年代にかけて、洪水時を含めてどの程度の栄養塩が大阪湾に流出したかは従来明らかにされておらず、洪水時に増大すると考えられる懸濁態栄養塩の起源や供給域に関する解析も不十分である。そこで本研究では、大阪湾に流入する一級河川の一つである大和川流域を対象とし、準分布型水文水質モデル（SWAT）を用いて実測データの整備が不十分な1970年代以前の栄養塩流出量を復元し、過去50年間を超える長期的な変化を推定することを目的とした。そのため、2年目に該当する今年度は、（1）週1回の水質モニタリングの継続に加えて、大和川支流の佐保川において洪水時の流量・栄養塩濃度変化を把握するとともに、（2）土地利用を考慮した日単位での窒素流出量の推定を行い、（3）窒素に加えてリンを含む流出量の長期変遷の推定を行った。

[研究方法]

1. **対象地域**：大和川は奈良盆地および大阪府南部を集水域とし、流域面積は1,077km²、本流の流下距離は68km、流域の年平均降水量は1,300mmである（図-1(a)）。大和川では1970年代に最も汚濁が深刻であったとされるが、近年は環

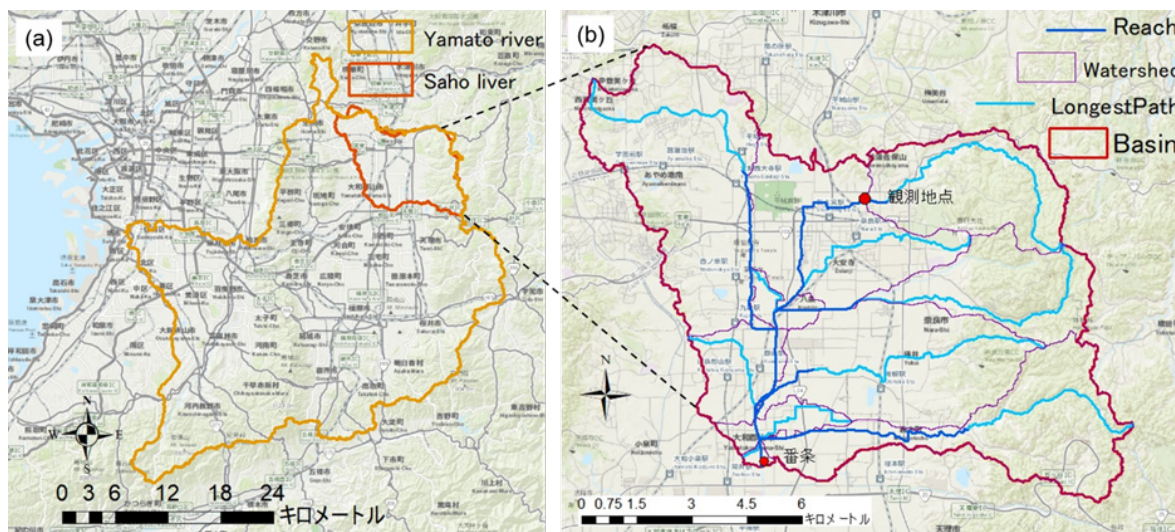


図-1 大和川流域と佐保川流域の位置(a)および佐保川の番条観測所と実測地点の位置(b)

境基準値を下回るまでに回復してきている。また、1970～2010年代にかけての土地利用変化をみると、特に堺市および奈良市を中心に農地（主に水田）から都市への変化が最も著しい³⁾。一方で、主要な土地利用の一つは森林であり、流域の約40%を占めている。また、特に洪水時の時間単位での水位、流量、および水質の変化を確認するため、調査対象として、大和川の支川の一つである佐保川を設定した（図-1(b)）。佐保川流域は大和川流域の北東部に位置し、流域面積は129km²で大和川流域の約12%を占め、流路延長は19kmであり、奈良市石切峠を水源とし、若草山を回り込み奈良盆地へ流出後、奈良市街地を流下し大和川に合流する。また、流域土地利用（平成28年時点）は、水田が16%、畑地が1.4%、森林が33%、市街地（建物用地、道路・鉄道、その他の用地を含む）が46%であり、市街地の占める割合が最も大きい。

2. 高頻度現地観測データの採取および試料分析: 国交省による水質データを補完するため、大和川本流の堺、大和川の支流で奈良市を經由する佐保川および秋篠川の3地点において、週1回の頻度で採水を実施した。また、洪水時を含むモニタリングとして、佐保川において水圧センサーおよび濁度計を河床に設置し、河川の水位および濁度を10分間隔でモニターするとともに、水位の異なる時期に流量の計測を実施し、水位－流量関係式（H-Q式）を作成した。また、2020年7月から10月にかけて発生した数回の降雨イベント時に現地での集中観測を実施し、流量の計測に加えて数時間おきに採水を実施した。現地で採取した水試料については、栄養塩自動分析装置により溶存無機態窒素（硝酸態窒素：NO₃-N、亜硝酸態窒素：NO₂-N、アンモニア態窒素：NH₄-N）および溶存無機態リン（PO₄-P）の定量分析を行った。また、洪水時の水試料については、懸濁物質（Suspended Solids: SS）濃度の測定、および質量分析計による懸濁態有機物（Particulate organic Matter: POM）の窒素・炭素量および窒素安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）、炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）の分析を行った。

3. 水文水質モデル解析: 大和川流域から大阪湾への長期栄養塩流入量を推定するにあたり、準分布型流域水文水質モデルであるSWAT（Soil Water Assessment Tool）⁴⁾を使用した。大和川流域全体における水文応答単位（Hydrologic Response Units: HRU）は3,300個に、小流域は51個に設定した。佐保川流域については、HRUを417個、小流域を10個とした。各種パラメータのキャリブレーションはSWAT-CUPを使用してSUFI2法によって行い、キャリブレーションの可否はNash-Sutcliffe efficiency (NSE)、Percent bias (PBIAS)、およびRMSE-observations standard deviation ratio (RSR)の指標を用いて評価した⁵⁾。解析に用いる既存データとして、大和川の堺および柏原観測所における最近約40年間の流量・水質データを、佐保川については番条観測所における2003～2010年の期間の流量データを収集し、同期間の気象観測データを収集した。また、流域の標高、土壌、土地利用データに加え、都市部のインフラ情報として、大阪府および奈良県における下水道普及率、下水処理区・処理量に関する情報を収集し解析に用いた。

[結果と考察]

(1) 洪水時を含む高頻度流量・栄養塩濃度変化

本流下流部（堺）、支川の佐保川および秋篠川における1週間間隔での栄養塩濃度の変化に加え、佐保川において洪水時の集中観測を実施し、河川水位と流量の関係式（H-Q式）を構築するとともに（図-2）、洪水イベント期間中の栄養塩およびSS濃度の数時間単位での変動を確認した（図-3）。以上の結果は、従来の月1回～数か月に1回の頻度の水質測定では捉えられないものであり、特に、洪水時の流量変化およびそれに対応する濃度変化の把握は栄養塩流出量の推定精度向上に大きく貢献した。

(2) 日単位および時間単位での流量・栄養塩流出量の推定

洪水時を考慮した栄養塩流出量の推定を行うため、佐保川下流の国土交通省番条観測所および本研究で現地観測を行った実測地点を対象に、従来の日単位に加えて時間単位での流出解析を実施した。栄養塩流出量の解析は、今回は硝酸態窒素（NO₃-N）に着目して実施した。その結果、洪水時を含む日・時間単位流量および日単位でのNO₃-N流出量を比較的高い再現性で推定することができた（図-4）。今後は時間単位での栄養塩およびSS流出量の評価を行うことが課題である。また、すでに大和川本流においても日単位・時間単位での流量の推定を実施しており、今後大和川本流における高頻度栄養塩濃度データの分析が終了次第、栄養塩流出量の推定に着手することが可能な状況である。

(3) 大阪湾への長期栄養塩流出量変遷の推定

大和川から大阪湾への長期栄養塩流出量を復元するため、実測データの整備が不十分な1970年代以前を含む1960年～2018年までを解析期間に設定し、昨年度実施した総窒素（TN）流出量に加え、総リン（TP）流出量についても長期変化の推定を行った。より詳細な下水処理量の情報を加味し、流域の土地利用およ

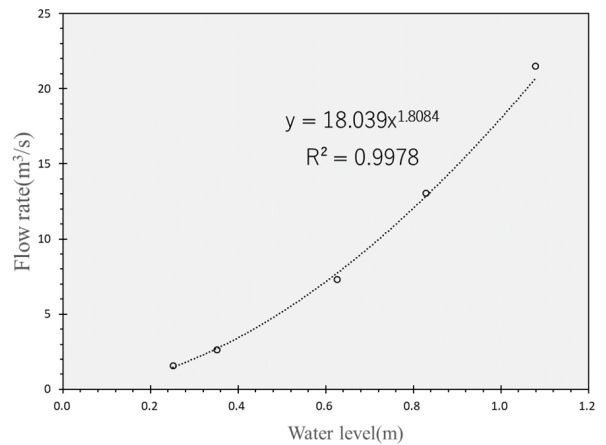


図-2 佐保川実測地点における水位-流量関係式（H-Q式）

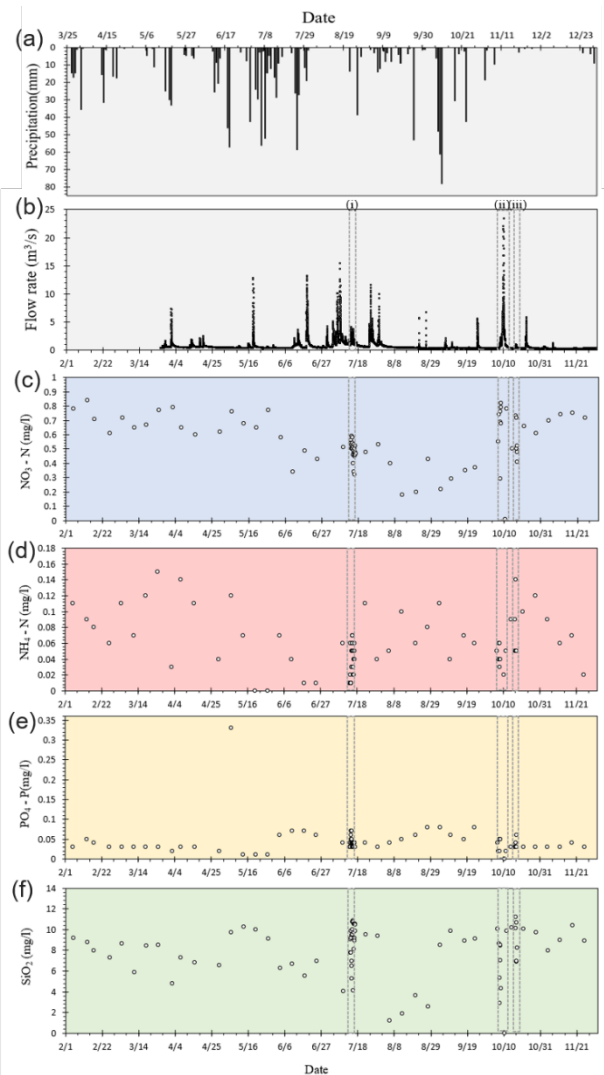


図-3 佐保川実測地点における降水量（a）、河川流量（b）、栄養塩濃度（c: NO₃-N, d: NH₄-N, e: PO₄-P, f: SiO₂-Si）の変化

び下水道整備状況の変化にあわせて3つの期間(①下水道未整備～整備初期:1963～1984年、②整備中期:1985～2008年、③整備後期:2009～2018年)に分けてSWATモデルの検証を実施した。その結果、TNおよびTPともに1970年代に流出量がピークとなり、1980年代半ば以降は減少に転じていると推定され、今回の解析結果から、TPについても概ねTN流出量と同様の長期変化パターンを示していることが明らかになった(図-5)。また、TNとTPの空間的な流出量の違いには、流域単位での土地利用や供給源(点源、面源負荷)の違い、およびそれらの変遷が影響していると考察された。

謝辞

本研究の実施にあたり、現地での高頻度採水には佐保川清掃対策委員会の皆様、秋篠川桜の会の皆様、および雑魚寝館の亀井館長と採水チームの皆様にご協力をいただき、SWAT

モデルの解析に用いた流域下水道データについては、奈良県流域下水道センターおよび大阪府南部流域下水道事務所よりご提供をいただきました。以上を記し、深く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 中辻啓二ほか(2003)大阪湾における汚濁負荷量の総量規制施策が水質保全に与えた効果の科学的評価. 土木学会論文集, 741, VII-28, 69-87.
- 2) 中谷祐介ほか(2011)大阪湾に流入する陸域負荷の実態・変遷と海域環境の変化. 土木学会論文集B2(海岸工学), 67(2), I_886-I_890.
- 3) 王 崑陽・齋藤光代ほか(2019)SWATモデルによる都市化流域での地下水涵養量の長期的な変動評価—森林の成長及び都市化段階を考慮した大和川流域での例—. Kansai Geo-Symposium 2019 論文集.
- 4) SWAT (Soil & Water Assessment tool) (<https://swat.tamu.edu/>) (2021.3.13 閲覧)
- 5) Moriasi, D., et al. (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50, 3, 885-900.

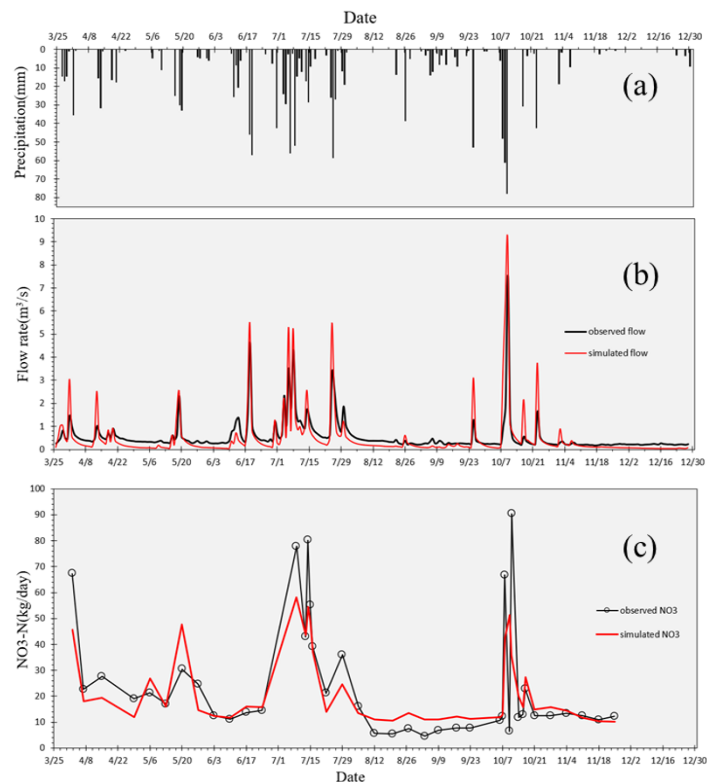


図-4 佐保川実測地点における降水量(a)、日単位流量(b)、および日単位NO₃-N流出量(c)のキャリブレーション結果

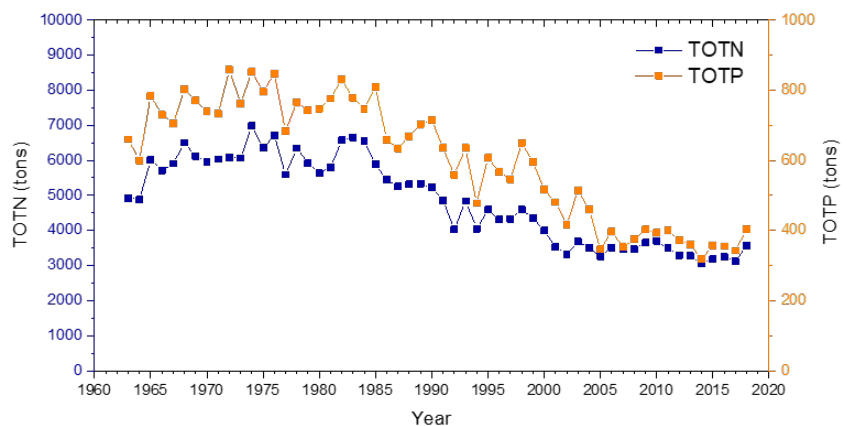


図-5 大和川から大阪湾へのTN、TP流入量の長期変遷