

B-46 貯水池に流入する富栄養化原因物質の 予測モデルに関する研究

○山崎 公子^{1*}・小泉 明¹・横山 勝英¹・北澤 弘美^{1,2}・斉藤 滋³

¹首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

²東京都水道局浄水部 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1)

³J東京都水道局水源管理事務所 (〒198-0088 東京都青梅市裏宿町600)

* E-mail: nosu@tmu.ac.jp

1. はじめに

東京都西部にある小河内貯水池は1957年に多摩川の上流に建設されたダム湖である。貯水池を管理する東京都水道局は、流域への下水道の普及など排水処理対策を実施し、貯水池への汚濁物質流入削減に努めてきた。しかし、1980年代後半からアオコが見られ始め、1990年代に入るとほぼ毎年、夏季にアオコの発生が続いている。点源系からの汚濁物質の流入が低減化されても、降雨時の面源系からの流入汚濁物質が多い場合、富栄養化の改善は難しい。降雨時の面源系からの流入汚濁負荷量の把握は難しく、現地測定を実施しても1降雨イベントごとに降雨量や先行晴天日数、降雨継続時間などが異なるため、測定結果をそのまま汎用性のある数値データとして取り扱うことは難しい。そのため、流域の土地利用などを考慮した様々な算定方法が提案されている¹⁾²⁾³⁾。しかし、森林地域にある貯水池では、森林の保水性が高いこともあり、山奥の土地の状況、地形など種々の自然の要因が多く、面源負荷の把握はさらに困難を伴う。

そこで本研究では、小河内貯水池に流入する多摩川の本流である丹波川を対象として、降雨時の面源系からの汚濁流入を含めた総リン、総窒素、有機物負荷量をマクロ的に推定する方法を提案することを目的とする。

2. 対象地域の概要および使用データ

小河内貯水池は、多摩川上流の東京都西多摩郡奥多摩町に位置する堤高149m、総貯水容量1億8900万tの水道用としては日本最大のダムである。主要流入河川は丹波川(親川)・小菅川・峰谷川・後山川の4河川であり、貯水池への流入水量の大部分を占める。貯水池全体の流域

面積は262.88km²で、丹波川流域がその約半分近くを占めており、その大部分が山地や森林となっている。図1に小河内貯水池と流入河川の概略を示す。

東京都水道局は、1959年から毎月主要流入河川と貯水池において水質測定を実施してきた。河川部での測定項目は、気温、水温、濁度、pH値、過マンガン酸カリウム消費量、アルカリ度、アンモニア性窒素、リン酸イオン等11項目であった。その後、測定項目の増減があり、現在は気温、水温、濁度、pH値、電気伝導率、過マンガン酸カリウム消費量、溶存酸素、総窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、総リン、リン酸イオン、大腸菌群、大腸菌の15項目となっている。さらに、主要河川流入部には測水所が設置され、水温、濁度、流量、降水量が常時連続測定され、記録されたデータは平均化し、時間データとして適宜保存されている。

一般に、富栄養化の原因として、有機物質、リン、窒素の貯水池への流入、蓄積が指摘されている⁴⁾。そこで、総窒素の毎月測定が開始された1987年以降のデータにより分析を行う。有機物質質量としては過マンガン酸カリウム消費量(以下、KMnO₄消費量)を用いる。図2に丹波川の、KMnO₄消費量、総窒素、総リンの経年変化



図1 小河内貯水池と流入河川

を示す。

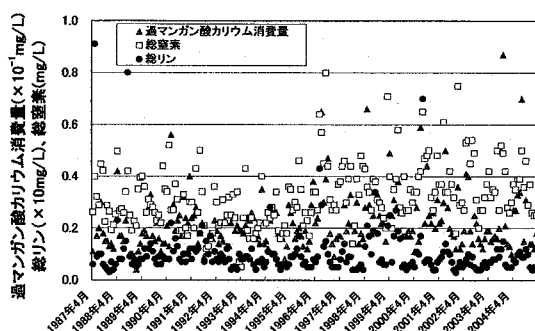


図2 丹波川水質経年変化

3. 富栄養化原因物質濃度推定モデル式の作成

河川での総窒素の測定は、1987年から開始されたが、この年の測定項目は、気温、水温、濁度、pH値、電気伝導率、KMnO₄消費量、溶存酸素、アンモニア性窒素、総窒素、総リン、リン酸イオン、大腸菌群の12項目である。そこで、大腸菌群をのぞくこれらの水質データと、連続測定されている降水量、流量の月積算値とあわせ、1987年度から2004年度までの18年間のデータ⁹⁾を用いて、総リン、総窒素、KMnO₄消費量の濃度を推定するモデル式の作成を行う。

データ間の相関係数を表1に示す。

表1 月測定値の相関係数(1987年度～2004年度)

	丹波川		
	KMnO ₄ 消費量	総窒素	総リン
気温	0.222	0.318	0.322
水温	0.242	0.337	0.342
濁度	0.810	0.361	0.871
pH値	-0.128	0.047	-0.149
導電率	-0.197	-0.224	-0.234
溶存酸素	-0.168	-0.244	-0.309
アンモニア性窒素	0.128	0.064	0.275
リン酸イオン	0.034	0.064	0.162
流量	0.231	0.322	0.301
降水量	0.118	0.314	0.296

注) データ数はn=216であり、99%有意となる相関係数は $r_{99}=0.176$ である。

総リン、総窒素、KMnO₄消費量3項目すべてと高い相関関係にあるのは気温、水温、濁度、流量である。モ

デル式を作成するに当たって、目的変数への説明変数の影響の大きさを比較検討するためには、総リン、総窒素、KMnO₄消費量に同じ項目を選択することが望ましいと考え、内部相関を考慮して、水温と濁度を説明変数として選択した。この2項目は、測水所で連続自動測定されている項目でもある。

説明変数として選択した水温と濁度について、目的変数との相関グラフを図3に示す。

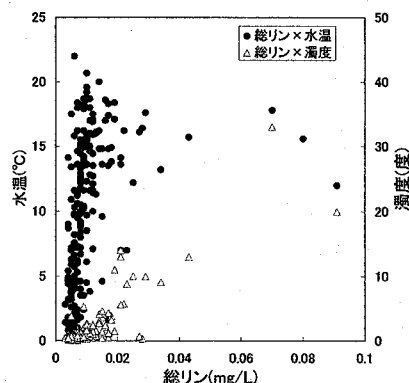


図3 総リンと水温、濁度との相関図

図から、目的変数とは線形な関係だけでなく非線形な関係も考慮する必要があると判断し、水温と濁度の実測値および実測値を2乗、1/2乗、1/3乗、1/4乗、2/3乗、対数に変換した値を用いて、重回帰分析を行い、以下に示す(1)式による線形、(2)式による非線形のモデル式を求めた。

$$y = k + ax_1 + bx_2 \quad (1)$$

$$y = k \times x_1^a \times x_2^b \quad (2)$$

ここで、 y ：富栄養化原因物質濃度、 k ：定数、 x_1 ：水温(°C)、 x_2 ：濁度(度)、 a および b ：係数である。

重回帰分析により得られた式を、物理的有意性として、係数の正負および定数 k の正負の妥当性、統計的有意性として自由度調整済み重相関係数 R^* の値をチェックし、総合的に判断した。その結果、水温は線形、濁度は2/3乗の非線形となる(1)式を選択した。作成したモデル式を表2に、モデル式による推定値と実測値のグラフを図4に示す。図に示したようにモデル式による推定値は、実測値をよく再現している。

次に、東京都水道局が実施した通日測定結果を用いて

表2 モデル式

項目名	モデル式	自由度調整済み重相関係数
KMnO ₄ 消費量	$y = 0.6077 + 0.0092x_1 + 1.6210x_2^{2/3}$	$R^* = 0.8074$
総窒素	$y = 0.2443 + 0.0046x_1 + 1.0303x_2^{2/3}$	$R^* = 0.4831$
総リン	$y = 0.0015 + 0.0002x_1 + 0.0058x_2^{2/3}$	$R^* = 0.8718$

注) 自由度調整済み重相関係数 R^* の99%有意水準値は、 $R_{99}^* = 0.177$ である。(データ数 $n = 216$)

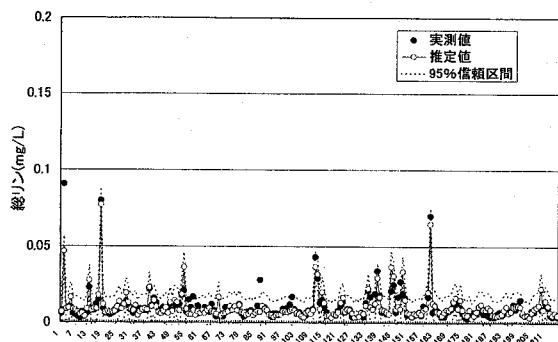


図4 モデル式による総リン推定値

モデル式の精度の検証を行った。この通日測定は、平成16年6月、8月、9月、10月に各1日ずつ3時間おきに測定を行ったものであり、降雨時の測定も含まれている。ただし、この測定では、有機物の指標として KMnO_4 消費量の代わりに全有機炭素(以下、TOC)が測定されている。そこで、 KMnO_4 消費量推定値をTOC推定値に換算して検証に使用した。降雨時に測定された10月の実測値と推定値の相関をとると、TOCで0.740、総リンで0.990と高い相関関係にあり、降雨時の各濃度が精度よく推定されていることが示された。

4. 年間負荷量の推定

得られたモデル式を用いて、2005年1月から12月まで1年間の総リン、 KMnO_4 消費量、総窒素の負荷量推定値を求め、月1回の実測値を用いた負荷量推定値と比較した。図5に示すように、総リンは降雨の多い夏季に推定値が大きく違っている。一方、総窒素は年間を通して実測値による負荷量推定値とモデル式による負荷量推定値はほとんど同じ変動となっており、降雨の多い夏季には双方とも高い値となっている。 KMnO_4 消費量は、降雨の多い時期には推定値の差が大きいことは総リンと同様であるが、図6に見られるように4月や10月などでは総リンと違った関係となっている。

以上から、モデル式による総リンや KMnO_4 消費量の負荷量推定値は、降雨が多い月には月1回の実測値を用いた推定結果よりも大きな値となっており、降雨による

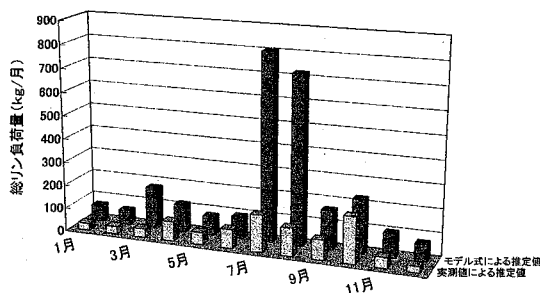


図5 月別総リン負荷量

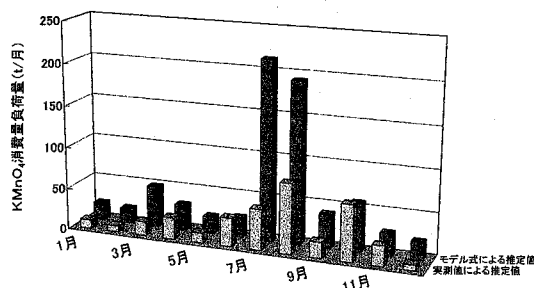


図6 月別 KMnO_4 消費量負荷量

面源汚濁の河川への流出分も含めて推定していると考えられる。月別負荷量で見ると、7月から10月までの負荷量は、 KMnO_4 消費量が年間の72%、総窒素が61%、総リンが72%と年間総負荷量の大きな部分をこの4ヶ月で占めている。これらの推定結果から、この4ヶ月の間に集中して、流域からの汚濁流出対策を講じれば貯水池への負荷量は大幅に削減できると考えられる。

5. おわりに

本研究では、小河内貯水池に流入する丹波川を対象として、重回帰分析により水温と濁度で富栄養化原因物質流入量を表すモデル式を作成し、降雨時を含めた通日測定データによりモデル式の検証を行い、得られたモデル式が、高い精度で実測値を推定していることを示した。さらに、連続測定計器時間データを用いて、モデル式により降雨時を含めた負荷量を推定し、7月から10月の4ヶ月間の負荷量が年間の60~70%を占めることを示した。

本研究で提案したモデル式は、自動測定が容易な濁度、水温の2項目で総リン、総窒素、 KMnO_4 消費量の濃度を推定するものであり、提案した方法は、今回対象とした小河内貯水池だけでなく他の貯水池でも使用できる汎用性の高いものである。今後は、降雨時の実測値を蓄積し、流域の植生などのデータを加えることによって、モデル式の精度の向上、先行晴天日数や降雨強度など降雨状況の要因の検討等を行う予定である。

参考文献

- 1) 山崎公子, 小泉明, 泉澤洋一: 雨天時流出汚濁負荷量に関するマクロ的算定方法の研究, 環境工学研究論文集, Vol. 40, pp. 193-200, 2003.
- 2) 山口高志, 吉川勝秀, 奥石洋: 河川の水質・負荷量に関する水文学的研究, 土木学会論文報告集, No. 293, pp. 49-63, 1980.
- 3) 海老瀬潜一: 汚濁物質の降雨時流出特性と流出負荷率, 水質汚濁研究, Vol. 8, No. 8, p. 499-504, 1985.
- 4) 津田松苗: 水質汚濁の生態学, 公害対策技術同友会, 1972.
- 5) 山崎公子, 斉藤寛之, 横山勝英, 小泉明, 北澤弘美, 山田欣司: 小河内貯水池の水質影響要因の経年的分析, 第57回全国水道研究発表会講演集, pp. 116-117, 2006.
- 6) 東京都水道局: 小河内貯水池管理年報, 昭和60年度~平成14年度 (1987-2004).