

国内のダム湖に流入するリン濃度と流域背景の関係評価*

東北大学 工学部 桑原 亮

東北大学 大学院工学研究科 梅田 信

1. はじめに

河川に比べてダム湖は閉鎖的であるため、水質汚濁や富栄養化が進行しやすい環境にある。また、治水を目的に含むダムのように、貯水容量や流域面積が大規模になるものも多い。流入する土砂や有機物が水質悪化を引き起こす要因でもあることから、集水域内の人口や土地利用形態などが、ダム湖の水質に与える影響は大きいと考えられる。一方、ダム湖は日本における水道水源のほぼ半分を担うなど、非常に重要な水資源である。そのため、ダム湖の水質悪化は、我々の生活用水や飲料水の供給などにも影響を与えると予想される。

また、河川からの流入リンが原因の一つである富栄養化現象は、全国の湖沼で問題となっている。湖沼におけるリンの点源負荷量は、従来から実施されている対策により減少傾向にあるものの、面源負荷量の割合は増加傾向にある¹⁾。そのため、今後湖沼の水質改善を図るには、農地や市街地などの面源負荷に関して研究を進め、対策を強化していく必要がある。土地利用などの流域背景と河川の水質形成を関連付けた研究はなされている²⁾が、単一あるいは少数の水域を対象としている場合が多い。本研究では、ダム湖への流入総リン濃度と集水域内の人口や土地形態との関係を、日本国内の多数のダム湖を対象に検討した。

2. 研究方法の概要

(1) 対象ダム湖の選定

本研究で検討を行ったダム湖は、梅田・落合³⁾が選定したものとした。対象ダム湖の地理的分布を図-1に示す。選定の際に留意された点は次の通りである。まず、ダム湖の水質悪化は上水道に影響を与えると予想されるため、利用目的に上水道があるダムを選定対象にした。次に、全国的な関係性を調べるために、国内を10の地域に区分の上、各地域から複数選択したことである。また、流入河川のTP濃度の測定値が十分に入手可能な必要がある。これらのことから、国土交通省または水資源機構が管理し、利用目的に上水道がある79の多目的ダムから37のダムを研究対象とした。

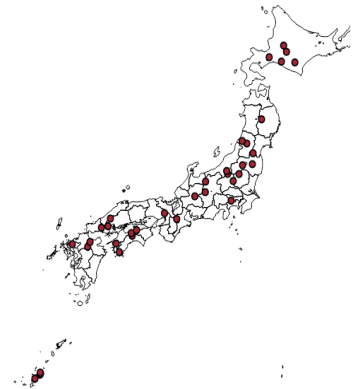


図-1 対象ダムの地理分布

*Assessment of the relationship between the concentration of phosphorus flowing into reservoirs and land use in Japan, by Kuwahara Ryo, Umeda Makoto

(2) 流入河川の総リン濃度

流入 TP 濃度は、ダム管理者である国土交通省や水資源機構⁴⁾が測定した値から求めた。ただし、入手できたデータは測定期間が限られているものが多く、対象とする期間が異なっている。基本的には 1990 年代の数年分のデータを平均しているが、この期間のデータが手に入らなかったダムや 2000 年以降に竣工したダムについては、2000 年代のデータを用いている。

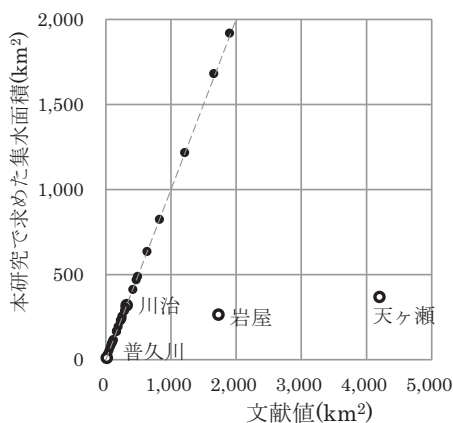
(3) 流域背景の算出

各ダム湖の集水域情報の解析には、ESRI 社の ArcGIS10 を利用した。まず、国土地理院が整備した基盤地図情報 (<http://fgd.gsi.go.jp/download/>) のうち、10m 間隔の標高ポイントデータを、セルサイズが約 15m のラスタ形式に変換した。一つのセルに複数の標高ポイントが含まれる場合は、それらの平均を割り当てた。このラスタデータには、解像度などが原因で発生する凹凸を除去する処理を施している。次に、標高にしたがって水の流下方向を表す流向グリッドを作成し、ダムの座標を入力したポイントに流入する範囲を集水域として生成した。生成した集水域の精度を確認するため、全ての集水域について『ダム年鑑 2010』⁵⁾等に記載されている流域面積との比較を行った。

次に、人口データおよび土地利用データを ArcGIS に取り込み、集水域における情報を整理した。人口については国立環境研究所が作成した 3 次メッシュデータを用い、2010 年の人口シナリオに基づき算出した。土地形態の判別には、国土交通省国土政策局国土情報課が提供している国土数値情報ダウンロードサービス (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>) の細分メッシュデータのうち、1997 年もしくは 2009 年に作成されたものを用いた。ただし、流入河川の水質データと利用期間が近い年をダムごとに選択している。TP 濃度との関係性を分析するために、11 項目に分けられている土地形態を、農地、森林、建物用地、荒地、幹線交通用地、河川および湖沼、ゴルフ場の 7 項目に分類して解析した。

(4) 流入河川の総リン濃度と流域背景の関係の評価方法

流入河川の TP 濃度と流域背景の関係性を調べるため、TP 濃度を目的変数、人口密度や土地利用形態を説明変数として重回帰分析を行った。説明変数の採用基準は、流入 TP 濃度との相関係数が 0.7 以上の要素と設定した。また、各変数を正規化したものに重回帰分析を行い、標準偏回帰係数を求めた。この係数の絶対値を比較することにより、TP 濃度に対する説明変数の影響度を評価することができる。



3. 結果および考察

(1) 流入河川の総リン濃度と流域背景の相関関係

GIS で生成した集水面積と文献値の比較を図-2 に示す。

図-2 集水面積の再現性比較

37の対象ダムのうち、川治・岩屋・天ヶ瀬・普久川の4ダムには間接集水域が存在するため、これらのダム湖は統計分析の対象からは除外した。ただし、流入TP濃度と流域背景の関係式を作成後、実測値と計算値を比較検討する際には対象に含めた。

流入河川の総リンデータの利用期間と平均値、および集水域についての代表的諸量（人口密度と農地・建物用地・森林の土地割合）を表-1に示す。

表-1 流入河川の総リン濃度データおよび流域背景の諸量

ダム名称	地方	流入河川水質 データの利用期間	平均流入 TP (mg/l)	人口密度 (人/km ²)	集水域に占める割合(%)		
					農地	建物用地	森林
金山ダム	北海道	1996-1998	0.011	5.7	7.3	0.2	85.5
漁川ダム	北海道	1996-1998	0.013	0.0	0.0	0.0	83.3
二風谷ダム	北海道	1996-1998	0.027	3.9	4.4	0.3	91.3
滝里ダム	北海道	2005-2009	0.051	27.2	18.0	1.0	74.6
札内川ダム	北海道	2006-2010	0.004	0.0	0.0	0.0	96.7
御所ダム	東北	2006-2010	0.012	28.7	11.8	1.4	81.4
寒河江ダム	東北	2007-2011	0.010	1.7	1.0	0.1	93.2
七ヶ宿ダム	東北	1996-1998	0.017	8.2	4.9	0.4	85.8
月山ダム	東北	2006-2010	0.007	0.5	0.2	0.0	95.8
三春ダム	東北	2006-2010	0.087	132.9	31.4	5.4	60.6
川治ダム	関東	1996-1999	0.011	3.8	1.2	0.2	95.1
宮ヶ瀬ダム	関東	2005-2009	0.007	3.3	0.0	0.1	95.0
矢木沢ダム	関東	1997-1999	0.009	0.0	0.0	0.0	88.6
草木ダム	関東	1996-1999	0.033	18.0	0.2	0.4	90.7
大町ダム	北陸	1994-1997	0.009	0.1	0.0	0.0	93.9
大川ダム	北陸	1997	0.019	24.7	5.6	0.8	88.0
三国川ダム	北陸	1994-1997	0.011	0.0	0.0	0.0	89.9
岩屋ダム	中部	1996-1998	0.012	6.8	1.6	0.2	93.8
味噌川ダム	中部	1996	0.004	0.6	0.0	0.0	95.7
天ヶ瀬ダム	近畿	1996-1998	0.038	251.3	7.8	4.1	77.7
青蓮寺ダム	近畿	1996-1998	0.023	44.6	5.6	1.1	88.9
一庫ダム	近畿	1996-1999	0.058	165.5	11.1	3.9	77.0
島地川ダム	中国	1997-1999	0.017	3.6	3.0	0.1	91.8
弥栄ダム	中国	1996-1999	0.018	46.0	5.4	0.6	89.5
温井ダム	中国	2006-2010	0.009	10.5	5.3	0.9	90.5
野村ダム	四国	1997-1999	0.050	109.0	17.6	3.8	74.6
中筋川ダム	四国	2006-2010	0.011	4.1	1.0	0.6	96.1
早明浦ダム	四国	1996-1999	0.007	3.6	1.3	0.2	87.0
富郷ダム	四国	1996-1999	0.006	2.2	1.1	0.1	91.6
池田ダム	四国	1996-1999	0.010	17.7	5.8	0.4	87.0
松原ダム	九州	2006-2010	0.058	31.9	6.0	1.2	81.5
耶馬溪ダム	九州	1994-1999	0.026	13.6	5.5	0.2	91.2
巖木ダム	九州	1997-1999	0.036	15.3	9.9	0.5	85.5
新川ダム	沖縄	1996-1999	0.010	0.0	0.0	0.3	97.2
普久川ダム	沖縄	1996-1999	0.010	0.0	0.0	0.0	94.0
辺野喜ダム	沖縄	1996-1999	0.010	0.0	0.1	0.0	91.0
漢那ダム	沖縄	2005-2009	0.025	0.6	0.0	0.0	92.3

各ダム湖の集水域の人口密度と、流入 TP 濃度の関係を図-3 に示す。相関係数は 0.79 であり、高い正の相関があった。一方、集水域内の人口と流入 TP 濃度の相関係数は 0.62 であったことから、TP 濃度を扱う際は人口密度を用いる方が適当であると考えられる。

また、土地形態と流入 TP 濃度の相関係数を表-2 に示す。全ての項目において、土地面積よりも割合を用いたほうが、相関が高いことがわかる。これらの結果は、流入リンの負荷量ではなく濃度を対象としているためだと推測される。農地・森林・建物用地の割合で相関係数の絶対値が 0.8 を上回ったことから、流入河川の TP 濃度に大きな影響を与えることが示唆される。

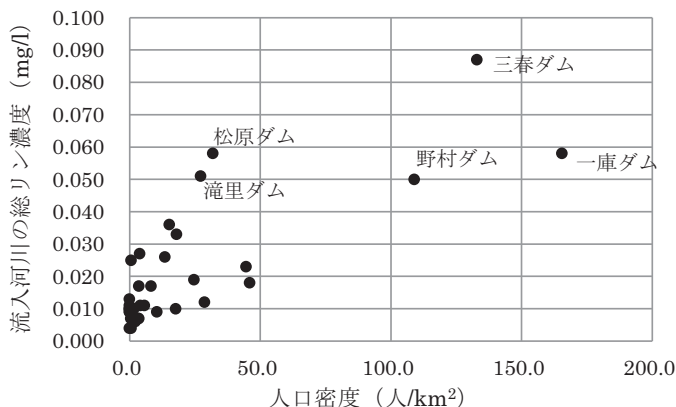
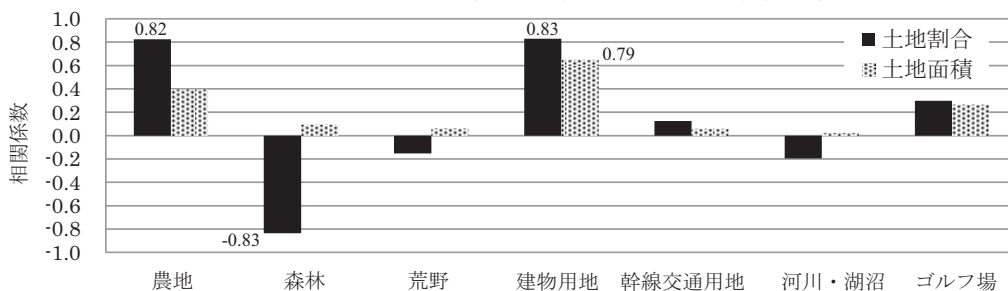


図-3 人口密度と流入河川の総リン濃度

表-2 流入河川の総リン濃度と土地形態の相関係数



(2)重回帰分析の結果と考察

3. (1)の結果より、流入 TP 濃度との相関係数が高かった 3 つの土地割合(農地・森林・建物用地)を説明変数として、重回帰分析を行った結果を式(1)に示す。また、各変数を正規化し重回帰分析を行ったものを式(2)に示す。

$$P = (0.036R_a) + (-0.099R_f) + (0.600R_b) + 0.103 \tag{1}$$

$$P' = (0.126R_a') + (-0.395R_f') + (0.388R_b') - 2.3 \times 10^{-16} \tag{2}$$

ここで、 P は流入河川の年平均 TP 濃度 (mg/l)、 R_a は農地の割合、 R_f は森林の割合、 R_b は建物用地の割合であり、 P' 、 R_a' 、 R_f' 、 R_b' はそれぞれ変数を正規化したものを表している。なお、人口密

度と建物用地の相関係数は 0.95 であり、ほぼ線形従属であると見なせるため、本研究では建物用地の割合を説明変数として採用した。

流入 TP の実測値と、式(1)によって再現した TP 濃度を図-4 で比較した。式(1)の決定係数は 0.75 であり、ややばらつきが見られるが比較的高い再現性を確認した。式(2)の標準偏回帰係数を比べると、森林および建物用地の係数は、農地の係数の約 3 倍である。全ての土地割合が同程度変化したときの流入 TP の変化分は、係数の比に対応しているので、森林および建物用地の割合が流入 TP に与える影響は、農地割合よりも大きいといえる。また、式(1)において森林 R_f の偏回帰係数がマイナスであることは、リンの吸収源であると読み取ることができる。しかし、説明変数として用いた 3 つの土地全ては、リンの流出源であることが明らかにされている。このように、回帰式と実際の現象が乖離している原因としては、土地の割合を用いることで説明変数同士の相関が高くなることが原因だと考えられる。

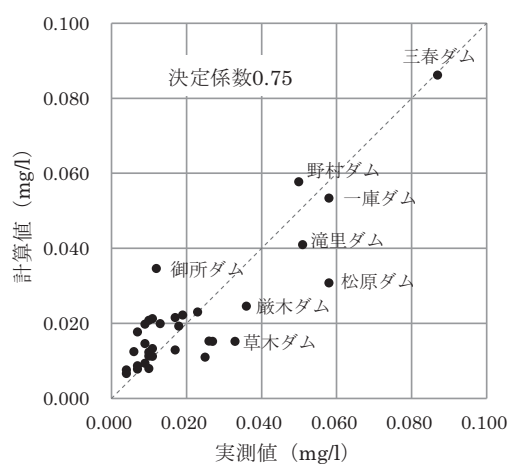


図-4 式(1)による流入河川の総リン濃度の再現性比較

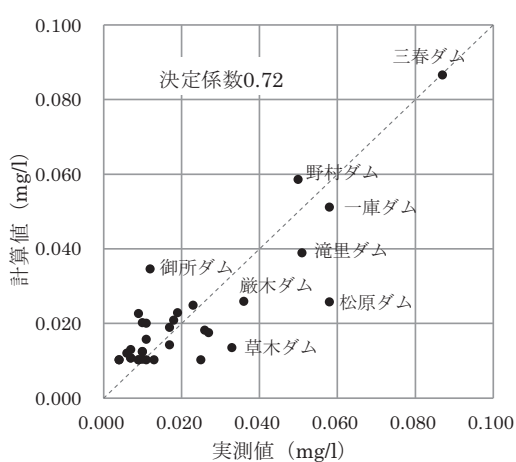


図-5 式(3)による流入河川の総リン濃度の再現性比較

次に、農地および建物用地の割合を説明変数として重回帰分析を行った結果を式(3)に示す。図-5で、流入 TP の実測値と式(3)によって再現した TP 濃度を比較した。式(4)は、標準偏回帰係数を求めるために変数を正規化したものである。

$$P = (0.001R_a) + (0.007R_b) + 0.010 \quad (3)$$

$$P' = (0.420R_a') + (0.463R_b') - 3.5 \times 10^{-16} \quad (4)$$

式(3)の定数項 0.010 は、人為的な負荷がなくても生じる TP 濃度と考えることができ、集水域における農地と建物用地によってさらに TP が増加していくと解釈できる。決定係数は 0.72 であり、式(1)よりも精度がやや劣る結果となった。しかしながら、説明変数はリンの流出源となることを表しており、より実際の現象に即している式だと考えられる。農地と建物用地を説明変数とした場合、

影響度にはあまり差がないことが式(4)の係数比較から確認できた。

4. おわりに

本研究では、人口や土地形態といったダム湖の集水域情報を GIS ソフトによって求め、流入河川の総リン濃度の実測値との関係を検討した。間接集水域を持たないダム湖に関しては、集水域の土地利用形態を良好に再現できた。全国に広く存在する 33 ダムを対象としたことから、統計分析によって得られた式を用いて、国内のダム湖流入河川のリン濃度を概ね再現できる可能性が高い。しかし、リンの実測データの利用期間にばらつきがあることや、適切な説明変数の選択など、より詳細な検討が必要な部分もある。また、リン濃度ではなく負荷量を目的変数にすることができれば、集水域の条件と湖内の水質に対する影響とをより正確に評価することができるのではないかと考えられる。

謝辞：本研究は、環境省の環境研究総合推進費（S-8-1(3)）の支援により実施された。

参考文献

- 1) 国土交通省・農林水産省・環境省（2006）：湖沼水質のための流域対策の基本的考え方，2006年3月
- 2) 石井裕一・北村立実・渡邊圭司・小松伸行・天野佳正・矢部徹：河川の水質形成と集水域の土地利用形態との関係，水環境学会誌，Vol.32，No.3，pp.139-146（2009）
- 3) 梅田信・落合雄太：気候変動による国内のダム湖水質への影響評価，土木学会論文集 G（環境），Vol.68，No.5，I_127-I_135，2012.
- 4) 独立行政法人 水資源機構：水質年報
- 5) 財団法人 日本ダム協会：ダム年鑑 2010，2010年3月