

地球温暖化が水環境に与える影響評価と適応策に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 26～平 29

担当チーム：水環境研究グループ（水質）

研究担当者：岡本誠一郎、北村友一、對馬育夫

【要旨】

地球温暖化が水環境に与える影響は徐々に顕在化しており、大幅な温室効果ガス排出削減を直ちに行っても、今後少なくとも 20 年間は地球温暖化を伴う気候変動が進行すると予想されている。本研究では、ダム貯水池を対象とした既往の水質 3 モデルについて特徴を整理し、温暖化に伴い変動が予想される流入水質等の入力情報と、それらが関係するモデル構造を調べ、予測水質に与える影響を検討した。その結果、気温・水温上昇は各モデルでそのまま反映されること、WEC モデル、ELCOM-CAEDYM は水温、DO の変化による栄養塩の溶出量、底泥による DO の消費量の変化を考慮しているのに対し、CE-QUAL-W2 では、それらの変化は考慮していないこと等を確認した。また、流入量の増加によって懸念される「洪水規模・頻度の増加による濁水長期化」、「流入負荷の増加することによる富栄養化」については、流量の増加に伴う水質の変化の影響を強く受けると考えられ、これらを予測する必要があると考えられた。

キーワード：地球温暖化、湖沼・貯水池、水質モデル、文献調査

1. はじめに

地球温暖化が水環境に与える影響は徐々に顕在化しており、大幅な温室効果ガス排出削減を直ちに行っても、今後少なくとも 20 年間は地球温暖化を伴う気候変動が進行すると予想されている¹⁾。このため、温暖化影響の緩和策とともに適応策の検討が重要であり、精度の高い影響予測に基づく適応策の評価と、その実施に向けた取り組みが必要となっている。環境省は平成 25 年 8 月に、中央環境審議会地球環境部会に「気候変動影響評価等小委員会」を設置し、各省庁が各分野の適応策の策定に向けた検討をしており、平成 27 年度を目途に政府の適応計画を閣議決定する見通しとなっている。また、環境省は気温、日射量、降水量の変化を考慮し、琵琶湖を対象に影響予測を実施している²⁾。

これまで水質チームでは、本課題の先行研究にあたる『地球環境の変化が河川湖沼水質に及ぼす影響に関する調査 (H21～H25)』を実施してきた。この先行研究では、流域からの流出への影響も考慮し、河川・湖沼水質の変動傾向を明らかにし、ラボ実験により、水質の変化が藻類種・量の変化に与える影響等を明らかにした。また、これらの結果を用いて簡易湖沼モデルを構築し、将来の水質や藻類の変動動向を予測した。しかしながら、適切な適応策の提案にはこれらの予測精度の向上が必要であ

り、このためには、土地利用の変化や降雨パターン、藻類種の影響を加味した予測が重要である。また、流域から発生する温室効果ガス量についても信頼のおける排出量データの取得が重要である。

したがって、本研究では、水環境における地球温暖化の影響予測の精度向上を目指し、流域における適応策とその効果、優先度を評価することを目的とし、地球温暖化が湖沼や貯水池等の水環境に与える影響とその適応策について検討する。計画初年度に当たる今年度は、ダム貯水池を対象とした既往の水質モデルについて特徴を整理し、地球温暖化に伴う流入水質等の変化が湛水域の水質に与える影響を検討するとともに既往の類似研究を調査した。

2. 水質モデルの入力条件に関する調査

2.1 調査する水質モデルの選定

2.1.1 水質モデルの種類と特徴

日本のダム貯水池は主に山間部に建設されるため、縦断的に長い形状をしている場合が多い。このようなダム貯水池の地形的・水理的な特性を踏まえて、貯水池の水質シミュレーションでは、水域を水深方向に分割したメッシュで計算される鉛直 1 次元モデルや、縦断・水深方向に分割した鉛直 2 次元モデルが広く利用されている。

鉛直1次元モデルは計算負荷が少なく長期的(十数年～)な水理・水質予測が可能であるが、縦断的・平面的な水質変化を予測することができない。このことから、貯水池内の流動・水質が縦断・水平方向にほぼ一様となるような貯水池(形状が複雑でない貯水池、比較的小規模な貯水池等)に適用性の高いモデルとなる。鉛直2次元モデルは、横断方向の水質変化を一様と捉えて鉛直・縦断方向の水質変化を予測できることから日本のダム貯水池形状での適用性が高いモデルである。また、支川が枝分かれするような形状を考慮できるモデルもあり、比較的複雑な貯水池・湖沼でもある程度適用可能なモデルでもある。さらに、近年、計算機の能力の向上により、より計算負荷のかかる3次元流動・水質シミュレーションも行われている。3次元モデルは、水平・鉛直方向に水質変化が生じる貯水池・湖沼での適用性が高く、局所的な流動や水質変動を表現できるという特徴がある。一方で計算負荷が大きく、長期的な計算は不向きである。

2.1.2 モデル選定の条件

水質モデルの選定にあたっては、日本国内または世界で多くの利用実績があり、ユーザーが多く、研究・業務等で広く利用され、マニュアル等で基礎式が確認できるものを選定した。

2.1.3 モデル選定の結果

2.1.2の選定基準を基に3モデルを選定した。選定した3モデルを以下に示し、モデルの特徴をまとめる。

(1) WECモデル(鉛直2次元モデル)

水源地環境センター(WEC)で開発された水質モデルであり、研究や実務で幅広く使用されており、日本国内のダム貯水池において多くの適用実績がある(鶴田ダム貯水池(国土交通省)、土師ダム貯水池(国土交通省)など多数)。モデルは鉛直2次元モデルで、支川等のブロック分けして接続させることで複雑な貯水池形状にも対応できるモデルとなっている。

(2) CE-QUAL-W2(鉛直2次元モデル)

CE-QUAL-W2は米国工兵隊水工学センターで開発された河川や貯水池を対象とした水質シミュレーションモデルである。日本における適用事例は比較的少ないものの世界的に有名な水質シミュレーションモデルであり、アメリカ・Hills Creek湖や韓国・Daecheongダム貯水池、Soyangダム貯水池など多くの適用実績がある。モデルは鉛直2次元モデルであり、WECモデルと同様に支川等のブロック分けして接続させることで複雑な貯水池形状にも対応できるモデルとなっている。

(3) ELCOM-CAEDYM(3次元モデル)

ELCOM-CAEDYMは、西オーストラリア大学CWR研究所で開発された貯水池やエスチャリーを対象として世界で広く使用されている流動・水質予測モデルである。世界ではアメリカ・Hooverダム貯水池、韓国・Daecheongダム貯水池など、日本国内では琵琶湖、浦山ダム貯水池(水資源機構)、殿ダム貯水池(国土交通省)などで適用実績がある。モデルは3次元水理流体モデルELCOM(Estuary, Lake and Ocean Model)と湖沼生態系モデルCAEDYM(Computational Aquatic Ecosystem Dynamic Model)とをリンクさせたものであり、湖沼・ダム貯水池の水質や生態系の3次元解析を行うことができる。

2.3 各モデルの比較

各水質モデルの比較を表1に示し、以下に概要をまとめる。

2.3.1 予測項目

どの水質モデルも生態系モデルでは植物プランクトン・動物プランクトンを含んでいる。また、ELOCM-CAEDYMでは、魚類やバクテリアを含んだ計算を行っている。

2.3.2 熱収支の計算

熱収支の式は各モデルで違いが若干あるもの、主に「日射による熱伝導」と「気温の熱伝導の式」で構成されている点や、計算に用いられるパラメータや概念に大きな違いは確認されい。どのモデルも水面からの気温の熱伝導は水面温度からの差分で評価されている。また、WECモデルでは熱収支の計算に長波放射は含まれておらず、Rohwer式、Swinbankの式で熱損失や潜熱等を計算している。一方、CE-QUAL-W2、ELCOM-CAEDYMは長波放射を含んだ計算を行っている。

2.3.2 底質からの溶出

WECモデルとCE-QUAL-W2は底泥からの栄養塩の溶出や酸素消費を、溶出速度や酸素消費速度を定数パラメータとして設定している。さらに、WECモデルでは、底層の水温やDOの変化による溶出速度の変化が考慮されている。一方、ELCOM-CAEDYMでは、底質モデルも組み込まれており、栄養塩類の溶出、酸素消費については逐次計算される。

表 1 各モデルの比較

モデル名	WEC モデル	CE-QUAL-W2	ELCOM-CAEDYM
水理モデル	鉛直2次元モデル 計算項目：水温、鉛直方向流速、流下方向流速	鉛直2次元モデル 計算項目：水温、鉛直方向流速、流下方向流速	3次元モデル 計算項目：流速 (u, v, w)、水温、水位、SS
水面での熱収支式	熱収支式：水面反射等を考慮した短波放射 <ul style="list-style-type: none"> • Rohwer 式：$\Phi_e + \Phi_c = (0.000308 + 0.000185W)\rho(e_s + \Psi e_w) \left\{ L_e + CT_e + \frac{269.1(T_s - T_a)}{(e_s - \Psi e_w)} \right\}$ • Swinbank の式：$\Phi_w = 0.97k \left\{ T_w^4 - 0.937 \times 10^{-5} \times T_a^6 (1.0 + 0.17C_d^2) \right\}$ a_r ：水面反射率、 Φ_s ：日射量、 β ：水面吸収率、 W ：風速 [m/s]、 e_s ：表層水温に相当する飽和蒸気圧 [mmHg]、 e_w ：気温に相当する飽和蒸気圧 [mmHg]、 Ψ ：相対湿度、 L_e ：蒸発の潜熱 [Kcal/Kg]、 T_s ：表層水温 [°C]、 T_a ：気温 [°C]、 k ：Stefan Boltzman 常数 [Kcal/m ² /day/K]	熱収支式： $H_s = H_s + H_a + H_c + H_r - (H_{sr} + H_{ar} + H_{wr})$ 水面の熱伝導： $H_c = C_c f(W)(T_s - T_a)$ H_s ：短波放射 (W/m ²)、 H_a ：長波放射 (W/m ²)、 H_c ：熱損失 (W/m ²)、 H_r ：熱伝導 (W/m ²)、 H_{sr} ：短波放射の反射 (W/m ²)、 H_{ar} ：長波放射の反射 (W/m ²)、 H_{wr} ：水面からの放射 (W/m ²)、 $F(W)$ ：風応力の作用、 C_c ：Bowen's 係数 (0.47mmHg/°C) T_s ：表層水温 (°C)、 T_a ：気温(°C)	熱収支式：水面反射等を考慮した長波放射、短波放射の式 水面の熱伝導： $Q_{sh} = C_s \rho_a C_p U_a (T_a - T_s) \Delta t$ ρ_a ：空気密度、 U_a ：風速、 C_s 、 C_p ：輸送係数、 T_a ：気温、 T_s ：水面温度
水質・生態系モデル	項目：クロロフィル a(植物プランクトン)、COD、無機態リン(I-P、リン酸塩)、無機態窒素(I-N、アンモニア態窒素+亜硝酸態窒素+硝酸態窒素)、懸濁態有機リン(O-P)、懸濁態有機窒素(O-N)、溶存酸素(DO)、SS	計算項目：植物プランクトン、動物プランクトン、DO、BOD、N、P、浮遊物質	計算項目：無機態浮遊物質(SS)、植物プランクトン、動物プランクトン、魚類、バクテリア等を含めた C、N、P、DO、Si
底層での溶出関係式	DO： $DO = \alpha_{DO} \cdot EXP\{\beta_{DO}(T - T_B)/h\}$ I-N： $B_N = \alpha_N \cdot EXP\{\beta_N \cdot T - \gamma_N \cdot [DO]\}/h$ I-P： $B_P = \alpha_P \cdot EXP\{\beta_P \cdot T - \gamma_P \cdot [DO]\}/h$ α_{DO} ：T=T _B (°C)での酸素消費速度 (g/m ² /day)、 β_{DO} ：温度補正係数 (1/°C)、 α_{NP} ：溶出量 (g/m ² /day)、 β_{NP} ：溶出量の温度係数 (1/°C)、 γ_{NP} ：溶出の DO 依存度 (1/(mg/l))	DO： $DO = -S_{od} \gamma_{om} A_s$ I-N： $B_N = S_{NH4} \gamma_{om} A_s$ I-P： $B_P = S_P \gamma_{om} \gamma_{om} A_s$ S_{od} ：酸素消費速度 (g/m ³)、 S_{NH4} ：I-N 溶出速度 (g/m ³)、 S_P ：I-P 溶出速度 (g/m ³)、 A_s ：溶出面積 (m ²)、 γ_{om} ：溶出量の温度係数	N・P については底質モデルで計算され、DO の消費、N、P の溶出等が別途計算される。溶出等については、水温、DO 等により変化するモデルとなっている。(詳細は未記載)
気象データ	気温、日射量、湿度、風速、雲量	気温、雲量、短波放射、露点温度、風速、風向	気温、温度、降雨、風速・風向、大気圧、日射、大気長波放射、湖面長波放射及び短波放射、雲量
流入水質	COD、I-N、O-N、I-P、O-P、DO、SS (粒径別)	計算項目と同様	植物プランクトン、DO、無機態リン (I-P、リン酸塩)、無機態窒素 (I-N、アンモニア態窒素+亜硝酸態窒素+硝酸態窒素)、懸濁態有機態リン (粒子性：POP、溶解性：DOP)、懸濁態有機態窒素 (粒子性：PON、溶解性：DON)
主なパラメータ	植物プランクトン：最大増殖速度 (0.32~3.9[1/day])、最適水温(実験値 or 20°C)、最適日射量 (2.09~14.65[MJ/m ²]) DO：再曝気係数(0.1~1.0[mg/m ² /day*(m ³ /L)]、 底泥の酸素消費速度(0~7.0[g/m ² /day]) I-P：底泥からの溶出速度(0.000035~0.154[g/m ² /day])、温度係数(1.072~1.145) I-N：底泥からの溶出速度(0.0012~0.360[g/m ² /day])、温度係数(1.040~1.117) ※設定範囲は「HANDBOOK」、 「湖沼工学」、 「援用モデル」、 「公害研究所報告」の文献値を参照	植物プランクトン：最大増殖水温、最大増殖速度 DO：底泥の酸素消費速度(0.1~5.8[gO ₂ /m ² day ⁻¹)]・温度補正係数 P：底泥からの溶出速度、温度補正係数 N：底泥からの溶出速度(0.001~1.3 [day ⁻¹])、温度補正係数 ※設定範囲はマニュアルに記載の貯水池・河川における適用事例を参照	植物プランクトン：最大増殖水温、最適水温、基本水温、最大増殖速度など DO・P・N：底泥からの溶出速度などは底質モデルで計算される。 (設定範囲等記載なし)

3.1 近年の地球温暖化および水質に関する研究

3.1.1 文献調査

地球温暖化に伴う流入負荷等の変化が湛水域の水質に与える影響を検討するにあたり、既往研究について、文献調査を行った。その結果、地球温暖化によるダム貯水池の水質への影響について研究しているのは大きく2つの研究グループであった。表2に地球温暖化に関する論文の概要と結果のまとめを示し、以下に概要をまとめる。

3.1.2 浦山ダムにおける気候変動に伴う長期間の将来水質予測³⁾

3次元モデル(ELCOM-CAEDYM)を用いて、浦山ダムにおける現況と将来の9ヶ年2期間の計算を実施して、地球温暖化によるダム貯水池の水質変化について詳細に検討している。地球温暖化による与条件の変化としては、気象(気温、湿度、日射量、雲量、風速、降水量)と流入量を考慮し、これに応じて流入条件も既存の回帰式やL-Q式を基に変化させている。貯水池の変化としては、水温が上昇、成層が強固になる傾向と、出水頻度・規模の増加による濁水長期化、Chl-aが低下する可能性を予測している。

3.1.3 気候変動による国内のダム湖水質への影響評価⁴⁾

鉛直1次元モデルを用いて国内37箇所のダム貯水池(国土交通省及び水資源機構)を対象とした現況、今世紀半ば、今世紀末を想定した20年3期間の計算を実施し、全国規模の貯水池水質の変化を検討している。地球温暖化による与条件の変化としては、気象項目の気温・日射量のみとして、流入については水温のみを変化させている。貯水池内の変化としては、将来の年平均表層Chl-a濃度が全国的に増加する可能性を示唆している。また、特に、東日本で富栄養湖が増加する傾向を示した。

3.1.4 まとめ

両論文を比較するとモデルの検討項目や、精度に違いがあるものの、前者の論文からは気象の変化による流入水質を変化させた場合に濁水長期化とChl-a濃度の低下を予測した。一方、後者の論文は全国的に表層Chl-a濃度が増加する可能性があるとしている。より高度な水質予測を行う際には流入量及び流入負荷量の変化、底面の境界条件の変化や底層の酸素消費速度、栄養塩類の溶出速度についても検討する必要があると考えられる。

表2 気候変動がダム湖水質に与える影響について検討した論文の概要

項目	論文① 浦山ダムにおける気候変動に伴う長期間の将来水質予測	論文② 気候変動による国内のダム湖水質への影響評価
使用モデル	3次元モデル(ELCOM-CAEDYM)	鉛直1次元モデル
計算領域	浦山ダム貯水池(水資源機構)	国内37箇所のダム貯水池
計算年数	2002~2010年、2062~2070年の9年・2期間	1980~1999年、2046~2065年、2080年~2099年の20年・3期間(現況、今世紀半ば、今世紀末)
検討水質項目	水温、DO、SS、Chl-a	水温、Chl-a(※) ※流入河川のTP、表層水温20℃以上かつ水温勾配0.5℃/m以上の日数の重回帰式より推定
地球温暖化の影響	与条件の変化	気温・日射量 ※MIROC3.2(hires)の月別データを統計的ダウンスケーリングし、日データに変換している。
	流入	既存の回帰式やL-Q式等を用いて予測し、流入水温が上昇、DOが低下するという結果となった。
	貯水池	・貯水池内では、表層水温が上昇し水温成層が強固になった。 ・出水規模、出水頻度の増加により、頻繁な高濁水の流入・残留・放流が予想された。 ・Chl-aは水温上昇、放流、出水による成長阻害等により、現況よりも低下する可能性が高いことが確認された。 ・将来の年平均表層Chl-a濃度が全国的に増加する可能性が示された。 ・既往の分類に沿って富栄養化度合いを判別した結果、富栄養湖と分類される貯水池が増加し、これが東日本に多い結果となった。(元々富栄養湖が西日本に多い。)

3.2 地球温暖化がもたらす入力データへの影響

入力データへの影響としては、以下のような要素が考えられる。

3.2.1 気温・日射量の増加による水温上昇

湖内の水温上昇の影響として、表層水温の上昇によるアオコの発生や底層の貧酸素化が進行し、底層からの溶出量の増加することによる富栄養化が懸念される。以下にそれぞれの現象のモデルの予測に関する考察を行う。

(1) 水温上昇への影響

地球温暖化の影響として与える気温・日射量について、大気循環モデルによる予測結果やIPCCの温暖化予測値等を基に作成している研究が多い。表2の論文①では、米国大気海洋庁(NOAA)のGeophysical Fluid Dynamics

Laboratory による CM3(GFDL-CM3)の温暖化実験結果を用いて、現在の気候との差分を利用した将来における疑似温暖化のダウンスケールを行い、これを境界条件としている(論文①の対象地である浦山ダム貯水池近辺では、2001～2010年と2061年～2070年の比較で平均気温が2.9℃、平均日射量が3.4 W/m²上昇すると予測している。)。WECモデル、CE-QUAL-W2、ELCOM-CAEDYMでは、「日射による熱伝導」と「気温の熱伝導」の式で構成されており、長波放射・短波放射の考慮や用いているパラメータに大きな違いは見られない。このことから、どのモデルにおいても気温の増分と日射量の増分がそのままモデルに反映され、モデルの係数による違いが生じるものと考えられ、気温・日射量の増加による水温の増加傾向は、各モデルで同様に表現されるものと考えられる。

(2) 底層水質への影響

WECモデル、ELCOM-CAEDYMについては、底層からの栄養塩の溶出は水温、DOの変化を考慮したモデルになっており、貯水池内の水温変化による底層の水質変化にも対応しているものと考えられる。CE-QUAL-W2は栄養塩の溶出速度とDOの消費速度のパラメータ値に依存していることから、貯水池の水温変化に伴う底層の水質変化(栄養塩の溶出速度の変化、底泥のDOの消費速度の変化等)は大きく生じない可能性がある。

3.2.2 流入量の増加・減少に伴う流入水質の変化

降水量の増加に伴う流入量の増加によって、洪水規模・頻度の増加による濁水長期化や、流入負荷の増加することによる富栄養化が懸念される。また、降水量の減少に伴う流入量の減少によって、貯水池内の滞留性が高まり、湖内の水温分布に変化が生じてアオコが発生する可能性が考えられる。流入量の変化に伴う湖内の予測水質の変化は、境界条件に依存する部分が大きいため、モデルの特性による違いは大きく生じないものと考えられる。

流入量の増加によって懸念される「①洪水規模・頻度の増加による濁水長期化」、「②流入負荷の増加することによる富栄養化」については、流量の増加に伴う水質の変化の影響を強く受けると考えられ、これらを予測する必要があると考えられる。予測する方法としては、表2の論文①のような既存の回帰式やL-Q式を基に設定する手法や、別途、流出解析を行う手法が考えられる。また、流入量の低下に伴う湖内の予測水質の変化は、貯水池内部の流動や水温変化による影響が大きいと考えられる。滞留性や水温分布の変化については各モデルで鉛直2次元モデル、3次元モデルの違いがあるものの、基礎式等

に大きな違いは見られないことから、同様にこれらの現象を評価できるものと考えられる。

3.3 地球温暖化がもたらす設定パラメータ変動と水質への影響

地球温暖化がもたらす設定パラメータの影響として、近年の地球温暖化及び水質に関する研究を確認したが、設定パラメータを変更する事例は見当たらなかった。これは、地球温暖化の影響についての感度分析をする上で検討が煩雑になることや、設定パラメータを変化させる根拠が明確にはないことが考えられる。

4. おわりに

本研究では、ダム貯水池を対象とした既往の水質3モデルについて特徴を整理し、温暖化に伴い変動が予想される流入水質等の入力情報と、それらが関係するモデル構造を調べ、予測水質に与える影響を検討した。その結果、気温・水温上昇は各モデルでそのまま反映されること、WECモデル、ELCOM-CAEDYMは水温、DOの変化による栄養塩の溶出量、底泥によるDOの消費量の変化を考慮しているのに対し、CE-QUAL-W2では、それらの変化は考慮していないことを確認した。流入量の増加によって懸念される「洪水規模・頻度の増加による濁水長期化」、「流入負荷の増加することによる富栄養化」については、流量の増加に伴う水質の変化の影響を強く受けると考えられ、これらを予測する必要がある。次年度は湖沼に焦点を当て、底層環境の変化が水環境に与える影響を水質モデルを用いて検討する予定である。

参考文献

- 1) IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976.
- 2) 環境省(2013) 気候変動による水質等への影響解明調査報告, pp. 1-68.
- 3) 崔貞圭、矢島啓、谷口健司、馬籠純、2014、浦山ダムにおける気候変動に伴う長期間の将来水質予測、土木学会論文集B1(水工学)70(4)、1633-1638.
- 4) 梅田信、落合雄太、2012、気候変動による国内のダム水質への影響評価、土木学会論文集G(環境)、68(5)、127-135.

Assessment of the impacts of global warming on water environments, and adaptation strategies

Budget: Grants for operating expenses (General Account)

Research Period: FY2014-2017

Research Team: Water Environment Research Group (Water Quality)

Authors: OKAMOTO Seiichiro, KITAMURA Tomokazu, TSUSHIMA Ikuo

Abstract:

The impacts of global warming on water environments are gradually becoming apparent, and climate change associated with global warming will continue for at least the next 20 years, even if drastic measures for greenhouse gas emission reduction are immediately implemented. We compared the characteristics of three existing water quality models for dam reservoirs, and examined input information such as inflow water quality (which is likely to be affected by global warming), and compared the model structures, to investigate the estimated impacts on water quality. The results showed that an increase in air and water temperatures was reflected in each model. Although the WEC and ELCOM-CAEDYM models both took water temperature, amount of nutrient salt dissolution due to DO change, and DO consumption in bottom sediments into consideration, the CE-QUAL-W2 model did not. With regard to two major concerns related to increased inflow volume—prolongation of the turbid water period due to the increasing scale and frequency of floods, and eutrophication due to increasing inflow loads—both are strongly affected by water quality changes associated with increasing flow volume. Therefore, further estimation of related water quality changes is necessary.

Keywords: *global warming, lake and marsh/reservoir, literature search, water quality model*