

海外におけるアオコ等の水質汚濁対策の検証等
(導水事業の水質改善の効果および生態系への影響に関する研究)

研究分担者 柳橋 泰生

厚生労働科学研究費補助金 (健康安全・危機管理対策総合研究事業)
水道事業の流域連携の推進に伴う水供給システムにおける生物障害対策の強化に関する研究
分担研究報告書

研究課題：海外におけるアオコ等の水質汚濁対策の検証等
(導水事業の水質改善の効果および生態系への影響に関する研究)

研究分担者 柳橋泰生 福岡大学 工学部 教授

研究要旨

経済発展を遂げつつも、種々の対策により水質の改善がみられる中国に焦点をあて、導水事業による水質の改善等に関する研究の状況について、昨年度に引き続きとりまとめた。中国では、南水北調にみられるように流域を跨ぐ導水事業が多く実施されており、水質の改善を目的とする場合もある。導水事業による水環境の改善効果、影響等を調べた研究は、以前は、太湖、滇池等の重点対策湖沼を対象としたものが多かったが、研究対象水域、手法も多様なものとなっており、ウォーターフットプリントの算定、太陽光発電システムの導入、マイクロプラスチックによる汚染等の研究も実施されている。中国では、導水路が河川、湖沼と並ぶ研究対象分野として大きな位置付けをもってきていると推察される。

A. 研究目的

中国では、工業化・都市化が進み、急速な経済発展とともに、水汚染事故が多発し、湖沼の富栄養化、有機汚染、水量減少、生態破壊が深刻な問題になっている¹⁾。中国における湖沼等の水環境保全の特徴的な対策として導水事業がある。1949年以來137の導水事業が実施され110事業が建設済であり、2015年時点で、総延長は約16,000kmに達し、350km以上のものが約4分の1を占める²⁾。著名な南水北調のように水不足の地域に水が豊富な地域の水を導水することが主目的であるものが多いが、水質改善を目的とした導水事業も実施されている。日本でも、魅力ある身近な環境づくりに向けて、環境用水の導入が進められ、環境省により事例集が発行されている³⁾。中国における導水事業について、環境改善および生態系への影響等に関する論文が多数報告されていることから、2020年以降発表された文献について内容をまとめた。

B. 研究方法

文献データベースにおいて英文の論文については、「water diversion」をキーワードとして検索し文献を入手し、とりまとめた。中国語の論文については、中国学術雑誌全文データベースにおいて、導水事業を示す「調水」で検索し、文献を入手し、翻訳・整理した。

C. 研究結果およびD. 考察

2020年以降に報告された30件を超す研究論文を入手した。研究対象水域別に導水事業による水環境の改善等に関する研究報告の概要を表-1に示

す。研究対象水域は、重点対策湖沼(太湖、滇池等)、南水北調東ルート・中央ルート、北西部オアシス、都市内、その他に分類した。

研究の傾向としては、10年程前は、2007年にアオコの大発生がみられ水道に大きな影響を与えた太湖等重点対策湖沼の研究が多かったが、最近では、南水北調に関する研究が多くみられ、全国的に研究対象水域が拡大していた。

太湖および滇池では、以前はモデル計算による導水事業の効果に関する研究が主流であったが、最近では、導水事業前後の実測による導水事業の評価が行われるようになっている。以前は研究報告には原データの掲載はなかったが、今回、導水事業の評価を行うため、長期間の測定データが掲載されていたのは画期的である。

今回の調査では、南水北調に関する研究が多くなっており、富栄養化、重金属汚染、硫酸塩汚染、再生水利用との比較、住血吸虫、ウォーターフットプリント、生態系、総合評価等研究内容や手法が多様なものとなっていた。

北西部オアシスへの導水に関する研究については継続的に報告が行われている。また、雲南省、浙江省などの地方の導水事業に関する報告が見られた。

英文の論文を検索したところ、導水事業に関するものは中国を対象としたものが圧倒的に多く、他の国での研究についてはほとんど報告がなかった。中国では、導水路が河川、湖沼と並ぶ研究対象分野として大きな位置付けをもってきていると推察される。

E. 結論

中国では導水事業による水環境改善に関する研究が盛んであり、1年余の間に30件を超す研究報告が行われていた。研究は、様々な水域について各種手法を用いて実施されていた。日本の水環境改善政策の検討に参考になると考えられた。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

柳橋泰生, 周張弛, 白亦, 楊露「中国における導水による水環境保全対策」第42回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 2020年7月, オンライン.

柳橋泰生, 白亦, 周張弛「環境試料の臭気指数測定方法におけるベルヌーイ試行明白率の試算」第33回におい・かおり環境学会, 2020年12月, オンライン.

柳橋泰生, 周張弛「中国における導水事業による水環境改善に関する研究の状況」第55回日本水環境学会年会, 2021年3月, オンライン.

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定も含む。)

該当なし

I. 参考文献

- 1) Y. Xiong et al, Evolution of China's water issues as framed in Chinese mainstream newspaper, *Ambio*, 2016, 45:241-253.
- 2) X. Zhang et al, Is water age a reliable indicator for evaluating water quality effectiveness of water diversion projects in eutrophic lakes?, *Journal of Hydrology*, 2016, 542:281-291.
- 3) 環境省水・大気環境局水環境課, 環境用水の導入事例集, 2007年3月.
- 4) J. Dai et al, Impacts of a large river-to-lake water diversion project on lacustrine phytoplankton communities, *Journal of hydrology*, 87(2020)124938.
- 5) X. Mao et al, Analysis of influencing factors and entry efficiency of the Yangtze-Taihu Water Diversion Project, *Journal of Chinese hydrology*, 40(2020)4:22-25(Chinese)
- 6) F. Peng et al, Shallow lake water exchange process before and after water diversion projects as affected by wind field, *Journal of hydrology*, 592(2021)125785.
- 7) W. Gao et al, identifying spatiotemporal alteration of nitrogen to phosphorus ratio of Lake Dianchi and driving forces during 1988-2018, *L. lake sci*, 33(2021)64-73(Chinese).
- 8) C. Guo et al, Patterns of fish communities and water

quality in impounded lakes of China's south-to-north water diversion project, *Science of the total environment*, 713(2020)136515.

9) C. Guo et al, Eutrophication and heavy metal pollution patterns in the water supplying lakes of China's south-to-north water diversion project, *Science of the total environment*, 711(2020)134543.

10) X. Qu et al, A holistic assessment of quality condition and spatiotemporal patterns in impounded lakes along the eastern route of China's South-to-North water diversion project, *Water research*, 185(2020)116275.

11) Z. Yu et al, Long-term monitoring of community succession in impoundment lake: Responses of macroinvertebrate to South-to-North Water Diversion Project, *Ecological indicators*, 118(2020)106734.

12) W. Xie, The source apportionment of sulfate associated with the Eastern Route of the South-to-North Water Diversion Project in Shandong Province during diversion water period, *South-to-north water transfers and water science & technology*, (2020) (Chinese).

13) Y. Liu et al, Alternative water supply solutions: China's South-to-North-water-diversion in Jinan, *Journal of environmental management*, 276(2020)111337.

14) Y. Huang, The South-to-North Water Diversion Project and schistosomiasis: an overview, *Chin J schisto control*, (2020) (Chinese).

15) Z. He et al, Remote sensing inversion of water quality parameters and its influencing factors in the lake of South-to-North Water Diversion Project, *Water resources protection*, 2021-1-277(Chinese).

16) P. Zhao et al, Does water diversion project deteriorate the water quality of reservoir and downstream? A case-study in Danjiangkou reservoir, *Global ecology and conservation*, 24(2020)e01235.

17) X. Nong et al, Evaluation of water quality in the South-to-North Water Diversion Project of China using the water quality index (WQI) method, *Water research* 178(2020)115781.

18) J. Liu et al, Influences of the south-to-north water diversion project and virtual water flows on regional water resources considering both water quantity and quality, *Journal of Cleaner Production* 244(2020)118920.

19) D. Feng et al, Footprint assessments on organic farming to improve ecological safety in the water source areas of the South-to-North Water Diversion project, *Journal of cleaner production*, 254(2020)120130.

20) L. Zhu et al, Effects of Water Diversion Project on groundwater system and land subsidence in Beijing, China, *Engineering geology*, 276(2020)105763.

21) B. Ye et al, Feasibility of coupling PV system with long-distance water transfer. A case study of China's "South-to-North water diversion", *Resources, conservation & recycling*, 164(2021)105194.

- 22) Q. Shao et al, Study on evaluation of water resources value from South-to-North Water Transfer Project in Beijing, *Water resources and hydropower engineering*, 51(2020)S2:220-225(Chinese).
- 23) J. Tang et al, Ecosystem structure and function of the main channel of the middle route of south-north water diversion project, *China environmental science*, 40(2020)12:5391-5402(Chinese).
- 24) J. Li et al, Study on ecological compensation standards of water receiving area for trans-basin water transfer project, *Water power*, 47(2021)1:1-6,33(Chinese).
- 25) Q. Shen et al, Did water diversion projects lead to sustainable ecological restoration in arid endorheic basins?, *Science of the total environment*, 701(2020)134785.
- 26) F. Huang et al, An entropy-based investigation into the impact of ecological water diversion on land cover complexity of restored oasis in arid inland river basins, *Ecological engineering*, 151(2020)105865.
- 27) F. Huang et al, Modeling oasis dynamics driven by ecological water diversion and implications for oasis restoration in arid endorheic basins, *Journal of hydrology*, 2020.11.12.
- 28) C. Qian et al, Water quantity optimization method for improving water quality of Xuanwu Lake by water diversion, *Water resources protection*, 2021-01-29(Chinese).
- 29) H. Yang et al, Residues, bioaccumulation, and trophic transfer of pharmaceuticals and personal care products in highly urbanized river affected by water diversion, *Journal of hazardous materials*, 391(2020)122245.
- 30) C. Zhang et al, An ensemble Kalman Filter approach to assess the effects of hydrological variability, water diversion, and meteorological forcing on the total phosphorus concentration in a shallow reservoir, *Science of the total environment*, 724(2020)138215.
- 31) C. li, Impact of microplastics on microbial community in sediments of the Huangjinxia Reservoir-water source of a water diversion project in western China, *Chemosphere*, 253(2020)126740.
- 32) L. Jinhua, Water age distribution characteristics of Lake Star (Zhaoqing, Guangdong) influenced by the Water Diversion Project and wind field, *J.lake.sci*, 33(2021)2:449-461(Chinese).
- 33) L. Luo et al, Analysis of the impact of Water Diversion Project on the ecological environment of storage lakes, *Water power*, (2021)(Chinese).
- 34) S. Wu et al. Study on influence of water temperature on long distance water diversion –taking Dongfeng Reservoir as an example, *Sichuan environment*, 39(2020)6:96-101 (Chinese).
- 35) Z. Song et al, Ecological benefit calculation of inter-basin water diversion projects based on energy analysis, *Journal of water resources & water engineering*, 31(2020)5:56-61(Chinese).
- 36) X. Chen, Studies on pricing mechanism for ecological water diversion project based on supply and demand game equilibrium, *China water resources*, 21(2020)38-40(Chinese).

表1 導水事業による水環境改善等に関する研究の概要

対象水域	概要
太湖	導水は太湖の藻類の多様性を増加させ構造を変化させたが、水源河川の栄養塩が多くプラスの効果は短期的であった ⁴⁾ 。太湖の水質改善に大きな役割を果たしている長江からの導水について、2002-2017年のデータを基に、取水量と実際に太湖に流入する水量の比率を解析し、導水のスケジュールや支流の影響が大きいこと示した ⁵⁾ 。
滇池（テンチ）	24年間蓄積された水位データを基に水循環の計算を行ったところ、湖心付近で水が滞留しており、導水により水の滞留時間を38～52%減少させることができることがわかった ⁶⁾ 。2013年から導水が実施されている滇池における全窒素、全リン濃度について1988年から2018年の変化を解析した結果、内湾部の草海では2008年、その他の大部分を占める外海では2004年をピークに減少に転じていることがわかった ⁷⁾ 。
南水北調東ルート	上下流の5湖沼で生物的均質化が促進された ⁸⁾ 。水源湖の西部・南西部は富栄養化しており、重金属汚染があった ⁹⁾ 。上流から下流まで湖沼の水質を調べたところ、全体的に良好であった ¹⁰⁾ 。南四湖の底生動物は初期に減少したが、その後回復した ¹¹⁾ 。南四湖の硫酸塩汚染の原因について同位体分析を活用して調査したところ、湖の北部で濃度が高く、地質の影響が大きく、導水の影響は5%程度であった ¹²⁾ 。主要受水都市の済南市の再生水利用と雨水貯留の有効性を示した ¹³⁾ 。南水北調の計画が立案された頃から住血吸虫の拡散が懸念されていたが、中央ルートも含め調査した結果、安全が確認された ¹⁴⁾ 。東平湖の水質について南水北調の実施に伴う1985年と2015年の変化を衛星データ等により解析したところ、大きな変化があり、濁度とChl-aに逆相関がみられた ¹⁵⁾ 。
南水北調中央ルート	漢江（取水地点）と下流の貯水池の水質が同様の季節変化を示した ¹⁶⁾ 。新しい水質指標を考案し、水質が優れた水準にあることを示した ¹⁷⁾ 。ウォーターフットプリントの概念に基づき水ストレス指標を提案し、地域毎に算出した ¹⁸⁾ 。有機農業が奨励されている丹江口貯水池周辺地域でエコロジカルフットプリントを算出した ¹⁹⁾ 。北京の地盤沈下の減少を確認した ²⁰⁾ 。太陽光発電システムを活用した導水事業を構想し、CO ₂ 排出量削減率が98.45%に達することを示した ²¹⁾ 。南水北調による北京市にとっての価値を生態、環境、社会、経済、政治の5分野の合計19の指標で評価したところ、経済的価値が大きく気候調節やレクリエーションの価値は小さかった ²²⁾ 。主要水路の生態系の構造について2015-2019年の観測データによって、生産者から消費者まで18のグループで構成されることを解明した ²³⁾ 。生態補償を計算したところ、経済的利益の3%を超えないことがわかった ²⁴⁾ 。
北西部オアシス	内陸の乾燥地の導水事業によるオアシスの生態系回復を示した ²⁵⁾ 。北西部のオアシスへの導水量が累積2億5千万m ³ に達し、地下水位の1.2m上昇に貢献したが、衛星・航空画像の解析により土地被覆の改善に寄与したことがわかった ²⁶⁾ 。地下水収支、蒸発散等を組み込んだモデルにより最適導水量を計算したところ、4,500万m ³ という結果が導かれた ²⁷⁾ 。
都市内	南京市内の玄武湖（面積5.5m ² ）を浄化するための導水量、汚水流入削減量をモデル計算により定量的に明らかにした ²⁸⁾ 。南京市の導水が行われている都市内河川水中の医薬品およびパーソナルケア製品の濃度を測定したところ30物質が検出された ²⁹⁾ 。天津市の浅いYuqiao貯水池において全リン濃度に与える要因を回帰モデルで解析したところ、導水が40%、水文学的変動が37%、気象が23%であった ³⁰⁾ 。
その他	導水事業の水源となっている西部の黄神夏貯水池のマイクロプラスチックと微生物を調査し、マイクロプラスチックが588片/kgあり、微生物多様性と関係があることを示した ³¹⁾ 。複雑な形状でデッドスペースが多い広東省の星湖を対象として、モデル計算により湖内各地点の水の滞留時間を計算し、滞留を最小とする導水方法を提案した ³²⁾ 。雲南省の金沙江から導水しているLashihai湖において導水による水生生物、沿岸植生、越冬鳥類等への影響を調査した結果をまとめた ³³⁾ 。金沙江から661kmの長距離の導水を行う滇中導水による灌漑用水の水温への影響を調査したところ、導水によって0.4～2.0℃水温が低下することがわかった ³⁴⁾ 。浙江省の流域間を跨ぐ導水事業を対象として、生態面の利益を過去の事例と比べ正確に定量的に計算した ³⁵⁾ 。生態保全のための導水事業の補償において市場メカニズムを導入するため、政府と市場の関係強化や水の価格付けの提案を行った ³⁶⁾ 。