

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効果と環境への影響についてとりまとめた。中国において盛んに実施されている導水事業による水質改善や環境影響に関する報告が増加している。報告の内容を整理したところ、太湖、金銀湖、滇池では概ね水質改善効果があったが、南水北調東線の途中の東興澤湖では改善されておらず、個々の条件により結果が左右されることが見て取れた。導水事業に係る研究の手法は、実測、モデルシミュレーション、景観評価、制度的考察など多岐に亘っており、昨今の中国において導水事業に対する関心が高くなっていることを窺い知ることができた。

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⁾。この数年、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、それらの内容をまとめた。

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

2007年の太湖でのアオコ大発生事件を契機に以前から行われていた長江の水を太湖に導水する「引江濟太」の水質改善効果が注目され、Huら(2008)⁴⁾、Huら(2010)⁵⁾、Liら(2011)⁶⁾により研究成果が報告された。Huら(2008)は、2002年の冬-春と2003年の夏-秋に行われた長江から太湖への2つの導水実験について、いくつかの湖区における植物プランクトン濃度、全窒素および溶存酸素の状況改善に顕著な効果があることを報告している⁴⁾。

その後、太湖と並ぶ中国における重点対策湖沼である滇池(てんち)における導水事業の効果に関する研究が進められ、Liuら(2014)⁷⁾、Zhangら(2016)²⁾により報告された。Liuら(2014)は、滇池における工事中の導水事業に関してシナリオ分析を行い、クロロフィルaの年間平均およびピーク濃度の最大削減はそれぞれ11%および5%であり、流域負荷の66%削減と導水を組み合わせ

ると、滇池の溶存酸素が低い水域の割合が 6.82% から 3.00% に改善し、水の華の発生を減少させることを報告している⁷⁾。

さらに、南水北調の中継地点となる東興澤湖に関して Wu ら (2018) により報告された⁸⁾。雨季 (4~9 月)、通常季 (10~12 月)、乾季 (1-3 月) の 3 つの季節別に東興澤湖の 4 つの測定点群の水質変化を調べたところ、通常季と雨季には影響は見いだせなかったが、乾季は、南水北調東線が富栄養化を改善しているというよりむしろ悪影響を与えていることを報告している。

2018 年には、導水事業の効果・影響に関して総括する報告が出されており、その概要は次のとおりである。Wu ら (2018) は、導水による湖沼の環境改善に関する研究のレビューを行った⁹⁾。アメリカのグリーン湖の導水事業は湖の栄養塩濃度とプランクトン含有量を著しく低下させ、富栄養化状況は明らかに改善した。玄武湖 (南京市) は水を換えることにより、効果的に水域の流動性と酸素のレベルを増加させた。導水によって、滞留時間を人工的に短縮させ藍藻の異常増殖を早く解消することができるとしている。また、引江济太、引江济巢および牛欄江-滇池導水では湖全体や一部の湖区における全窒素、全リン濃度を一定程度低減し、水質が改善されたとしている。さらに、引江济巢の導水試験では、西半湖の栄養塩濃度は増加したが、東半湖の総窒素と有機物濃度は明らかに減少したとしている。Zhang ら (2018) は、導水の放流先の水域と水源の水域について、生態 (水生生態、陸生生態) と環境 (自然環境、人文環境) に対する影響を総括した¹⁰⁾。また、導水事業が生態環境にもたらす悪影響に関して対策案を提示した。放流先の水域について、水生生態系の影響は、多様性が増加したとし、陸生生態の影響は、良い影響があったとしている。植生の被覆も向上し、農業の生態環境も改良された。水環境の影響は、自浄能力が向上し、汚染物質の分解能力が強化され、水質が改善された。土壌に対する影響は、塩基化の可能性に言及している。大気への影響としては、湿度を増加させ、降雨量を増加させるとしている。また、水源の水域について、水生生態系の影響は、生物種の変化を引き起こす可能性があり、陸生の生態影響は、良い影響より悪い影響の方が大きくなるとしている。水環境の影響としては、水量が減少し、水質が変化す

るとし、大気への影響は、湿度が低下し、降雨量が減少するとしている。

2019 年になり、中国各地の「生態調水」と称する環境改善を目的とした導水事業に関する報告が急増し、手法も多岐にわたっている。

Zhang ら (2019) は上海市の河川への導水の水質影響について研究し¹¹⁾、Huang ら (2019) は、雲南省の滇中 (雲南省) の導水工事における目標の実現可能性について報告した¹²⁾。Qu ら (2019) らは、武漢市の金銀湖の水質について MIKE 21 ソフトを使って導水事業による改善効果のシミュレーションを行った¹³⁾。Liu (2019) は、黒河流域における導水事業について、過去 20 年間の経済的、社会的、生態学的な達成状況をレビューした¹⁴⁾。Dong らは、黒河流域の導水事業によるオアシスの植生に及ぼす影響をリモートセンシング技術により評価した¹⁵⁾。Cai (2019) は、流域間の導水事業により環境への影響が発生した際の補償に関する法制度の改善について考察を行い、導水事業の規模により、国家、省、地域レベルでの法の制定・適用を図るべきことを報告した¹⁶⁾。Du (2019) は、南水北調の中央ルート第 1 フェーズである白亀山ダム貯水池への環境保全目的の導水の経験を報告した¹⁷⁾。Liao (2019) は、湖北省北部導水事業地域を対象に包括的な評価インデックスを用いた景観の評価を行い報告した¹⁸⁾。Sun (2019) は、黄河から青島への「引黄济青」について、管理部署が不明瞭であること、不法な水利用があること等の管理上の課題を列挙し、管理者の明確化等の改善策を提案した¹⁹⁾。Cao (2019) は、膠東導水の生態系の改善を目指し、現状分析を行った²⁰⁾。Jin ら (2019) は、黄河上流の南水北調の西ルート建設による堆砂問題を取り上げ²¹⁾、Zhen ら (2019) は、江漢平原の導水事業について気候変動により水位が低下した場合の影響を報告した²²⁾。

D. 考察

主要な文献について、導水事業の水質改善の効果と環境への影響に関する記述を表 1 に整理した。太湖、金銀湖や滇池では概ね水質改善効果があったが、南水北調東線の途中の東興澤湖では改善されておらず、個々の条件により結果が左右されることが見て取れる。研究手法は、実測、モデルシミュレーション、景観評価、制度的研究など多岐

に亘っており、昨今の中国において導水事業に対する関心が高くなっていることを窺い知ることができる。

中国では人口・産業と水の分布の不一致度が高く、流域を跨いだ大規模な導水事業により補正していると言える。大河と大河・湖沼を導水事業による水路で縦横に結び、水の量・質を満たしている。日本の現状とは異なるが、将来の気候変動による水賦存量の地域変化等の可能性を考慮すると、あり得る手法として注目される。

E. 結論

中国において導水事業による水質改善や環境影響に関する報告が増加している。太湖、金銀湖、滇池では概ね水質改善効果があったが、南水北調東線の途中の東興澤湖では改善されておらず、個々の条件により結果が左右されることが見て取れた。

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

楊露, 柳橋泰生. 日本および中国における水源汚染の状況および対策の比較. 第 41 回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム, 2019.7, 京都市.

柳橋泰生, 楊露. 流域間連携政策としての導水事業の水質改善効果と影響, 環境経済・政策学会 2019 年大会, 2019.9, 福島市.

柳橋泰生. 水源の臭気強度測定におけるベルヌイ試行率の試算, 第 54 回日本水環境学会年会, 2020.3. 盛岡市. (学会中止, 誌上発表)

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定も含む。)

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

I. 参考文献

1) Xiong Y., Wei Y., Zhang Z., Wei J., Evolution of China's water issues as framed in Chinese mainstream newspaper, *Ambio*, 2016, 45, 241-253.

2) Zhang X., Zou R., Wang Y. *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, 2007.3.

4) Hu W., Zhai S., Zhu Z., Han H., Impacts of the Yangtze River water transfer on the restoration of Lake Taihu, *Ecological Engineering*, 2008, 34, 30-49.

5) Hu L., Hu W., Zhai S. *et al.*, Effects on water quality following water transfer in Lake Taihu, China, *Ecological Engineering*, 2010, 36, 471-481.

6) Li Y., Acharya K., Yu Z., Modeling impacts of Yangtze River water transfer on water ages in Lake Taihu, China, *Ecological Engineering*, 2011, 37, 325-334.

7) Liu Y., Wang Y., Sheng H. *et al.*, Quantitative evaluation of lake eutrophication responses under alternative water diversion scenarios: A water quality modeling based statistical analysis approach, *Science and Total Environment*, 2014, 468-469, 219-227.

8) Wu Y. *et al.*, Statistical assessment of water quality issues in Hongze Lake, China, related to the operation of a water diversion project, *Sustainability*, 2018, 10, 1885.

9) Wu S., Dai J., Shi D., Progress in assessment of hydro-ecological effects in lakes induced by water diversion, *Journal of Nanchang Institute of Technology*, 2018, 37(6), 14-26(Chinese).

10) Zhang L., Fang J., The research progress of ecological environmental impact of water diversion engineering, *山東農業工程院院學報*, 2018, 35(5), 21-24(Chinese).

11) Zhang S., Wang C., Analysis of the influence of water transfer on the water quality of the river in Hongkou district, *Journal of Green Science and Technology*, 2019, 12, 115-116(Chinese).

12) Huang W., Peng W., Xiang C., Wang Z., Research on key technologies of water quantity and quality protection in inter-basin water transfer project, *Environmental Impact Assessment*, 2019, 141(6), 12-

15+32(Chinese).

13) Qu C., Qiao S., Liu B, Zou C., Numerical simulation of water diversion based on water quality Improvement: a case study on Jinyin Lake of Wuhan, Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges, 2019, 14(4), 9-17(Chinese).

14) Liu G., Du D., Dong G., Ponder on the major issues of ecological scheduling for water resources in the Heihe river basin, Yellow River, 2019, 41(7), 1-4+22(Chinese).

15) Dong G., Lian Y., Fan Z., Chang X., Gu J., Vegetation changes of Ejina oasis in the lower reaches of Heihe river before and after ecological scheduling for water resources, Yellow River, 2019, 41(7), 5-9(Chinese).

16) Cai H., Improvement of the legal system of inter-basin water transfer ecological compensation in China, Safety and Environmental Engineering, 2019, 26(3), 16-21(Chinese).

17) Du Y., Practice of ecological water diversion to Baiguishan reservoir in the first phase of the middle route of south-to-north water diversion project, 水利建設与管理, 2019, 6, 42-45(Chinese).

18) Liao Q., Huang S., Song L., Landscape evaluation of the northern Hubei water transfer project and its core areas based on GIS, Safety and Environmental Engineering, 2019, 26(5), 61-72(Chinese).

19) Sun B., Research and practice on optimization and promotion of Jiaodong water transfer project management, 水生態保護, 2019, 12, 49-53.

20) Cao Q., Present situation analysis and improvement measures of ecological construction of Jiaodong water transfer project, 水生態保護与管理, 2019, 11, 37-41+66(Chinese).

21) Jin W., Wang Y, Bai T, Yunyun Li, Jingtao Shi, Study on potentiality of water and sediment regulation affected by the West Route of South-to-North water transfer project in Upper Yellow River, Journal of Basic Science and Engineering, 2019, 27(06), 1189-1201 (Chinese).

22) Zhen W., Wang R., Guo W., Kong W., Wang Z., Zhao A., Influence of climate change on water transfer pattern in Jiangnan plain, Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(11), 2753-2762 (Chinese).

表 1 主な文献における中国の導水事業の水質改善の効果と環境への影響

文献（「題名」は仮訳）	効果	環境への影響
W. Huら ⁴⁾ 「長江導水事業による太湖の修復に対する影響」 2008	太湖の導水試験により、いくつかの湖区においてアモニウム、TNおよびDOの濃度を改善させることに顕著な効果を有する。Chl-aが最も改善された。	TPに対して、あまり影響はなかった。太湖の導水事業は緊急対策として使用できるが、そうであれば富栄養化のリスクを高めることになると考えられる。
L. Huら ⁵⁾ 「引江济太により水質への影響」 2010		引江济太は一部の湖区の改善に著しい役割を果たしたが、湖全体の水質改善効果は見られない。
Y. Liら ⁶⁾ 「長江導水事業により中国の太湖の回転率の影響モデリング」 2011	導水と風により、水質が改善できる。富栄養化状況を緩和する最もいい条件は、夏の南東風、流速は約100m ³ /sである。	
Y. Liuら ⁷⁾ 「多様な導水シナリオに湖の富栄養化反応の定量的評価：水質モデリングに基づく統計解析アプローチ」 2014	導水により、TP、TN、Chl-aのピーク濃度を低下させた。藻類の異常増殖回数を減少させた。季節により、効果が違う。雨季では藻類減少の効果が見られる。	
X. Zhangら ²⁾ 「回転率は富栄養湖における導水事業の水質効果を評価するための信頼できる指標か？」 2016	演池の導水により、T-P、T-N、Chl-aが13.5-32.2%改善されることを示した。	
Y. Wuら ⁸⁾ 「導水事業の運営に関する中国の興澤湖における水質問題の統計的評価」 2018		南水北調の東線は富栄養化を改善する効果が見られない。逆に乾燥の季節に富栄養化に悪い影響を及ぼした。
S. Wuら ⁹⁾ 「導水事業における湖の生態効果の評価研究」 2018	引江济太、引江济巢と牛欄江一演池導水は一定の程度で湖と一部の湖区の水の環境の品質を改善して、効果的に湖のT-N、T-P濃度を下げた。引江济巢の導水試験では、西半湖の栄養塩濃度が増加したが、東半湖の総窒素と有機物濃度は明らかに減少した。	
L. Zhangら ¹⁰⁾ 「導水工事の生態環境に対する影響研究」 2018	導水事業は水域の水質環境を改善した。導水先の水量が増加し、水体の自浄能力が向上した。導水でDOが増加し、水の分解能力が強くなり、水質環境が改善された。	導水事業により、導水先の一部の土壌は塩分が多くなり、引水先の湿度を低下させ、降雨量が少なくなった。
S. Zhangら ¹¹⁾ 「導水事業による虹口区河道の水質に対する水の影響の分析」 2019	導水に関わらず、河口部の過マンガン酸塩指数、アンモニウム窒素、総リン濃度は常に河川中間点の濃度より高く、春季の汚染物質濃度は夏季より高くなった。導水後、過マンガン酸カリウム指数、アンモニウム窒素、総リンは河口部で蓄積しやすく、中間点の汚染物質濃度は減少した。	
W. Huangら ¹²⁾ 「流域を越えた導水プロジェクトの水量と水質保護の主要技術に関する研究」 2019		滇中導水事業の水源とした金沙江と南盤江の水量は減少し、CODの負荷量が増加し、総負荷量の約40%を占めた。
C. Quら ¹³⁾ 「水質が改善された湖沼に基づいたシミュレーション研究：武漢市の金銀湖の事例研究」 2019	金銀湖（武漢市）を例にして、導水量の増加に伴い、金銀湖の水質指標の改善度は増加しつつあるが、増加率は低下傾向にある。	

