26.公開データを用いた神田川および日本橋川における長期水質変化

武隈　圭祐[1*]・阿部　航[2]・岩田　祐椰[2]・松浦　拓哉[3]・手計　太一[1]

[1]中央大学　理工学部都市環境学科（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

[2]中央大学　大学院理工学研究科都市人間環境学専攻（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

[3]山梨大学　大学院総合研究部工学域（〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11）

＊ E-mail: *a20.kpjb@g.chuo-u.ac.jp*

都市感潮河川では，降雨が下水道の処理能力を超えた場合に未処理下水が河川に放流されており，感潮域では汚濁物質が底泥へ堆積することで白濁や悪臭が問題となっている．神田川と日本橋川は東京の代表的都市感潮河川である．これらの河川の水質改善は都心部の下水道整備や法規制によるものであるが，水質に関する研究は短期的なものが主であり長期的な変化は明らかになっていない．

本研究では，1968年から2022年(神田川)および1998年から2022年(日本橋川)までの公開水質データを用いて，長期的な水質変化をMann-Kendall検定により分析を行った．その結果，神田川は1960年代から1990年代にかけて大幅な改善が認められた．しかしながら，神田川および日本橋川の両河川でDOの低下が懸念された．今後も持続的な水質モニタリングと適切な対策が必要とされる．

Key Words : *Mann-Kendall test, Kanda-River, Nihonbashi-River, Urban tidal river, Water quality*

1. はじめに

都市感潮河川は，降雨が下水道の処理能力を超えた場合には，内水氾濫の防止や下水処理施設の保護のため，未処理下水をそのまま河川に放流している．また，潮汐の変動により，流下速度の遅い感潮域では，下水未処理水に含まれる汚濁物質が底泥へ堆積する．これらの要因が複雑に作用することにより白濁や悪臭といった問題が発生している[1)]．神田川では呉ら[2)]，日本橋川では山角ら[3)]により，降雨後の未処理下水の流入による溶存酸素濃度の変動特性について明らかにされている．また，呉ら[2)]により，日本橋川における塩水の遡上特性について明らかにされている．これらの研究結果から，神田川および日本橋川は代表的な都市感潮河川といえる．

このような都市域を流れる河川にとって，下水処理施設の性能と管理状態は河川の水質に大きな影響を与える．東京都心部に位置する神田川流域においては，神田下水をはじめ明治17年から東京都区部の下水道や下水処理施設が設置されることにより，河川水質は改善されてきた．

また，我が国においては1950年代の高度経済成長期にイタイイタイ病などの河川の水質汚染による公害被害が問題となり，その結果，公害対策に関する施策が進められるようになった．1971年には水質汚濁防止法が施行され，河川を含む公共用水域に存在する水そのものにおける水質の環境基準がはじめて定められた[4)]．さらには，1997年の河川法の改正により水質を含む水環境の整備と保全が位置付けられるようになり，河川の水質に関する法律もより詳細なものとなっていった．

しかしながら，神田川流域における既往研究の多くは短期的な水環境の検討である．そのため，これらの水質に対する改善策がどれほどの効果をもたらしたのか，神田川および日本橋川の水質環境にどのような影響を与えたのかといった長期的な水質環境の変化特性は明らかになっていない．

そこで本研究では，河川水質環境の長期的変化の実態を明らかにすることを目的とし，神田川の1968年1月から2022年3月と日本橋川の1998年4月から2022年3月の溶存酸素濃度，浮遊物質量，生物化学的酸素要求量，化学的酸素要求量の公開データについて分析を行った．また，その結果から歴史的な下水処理施設と神田川および日本橋川の環境基準値の変更がもたらした水質への影響を評価した．

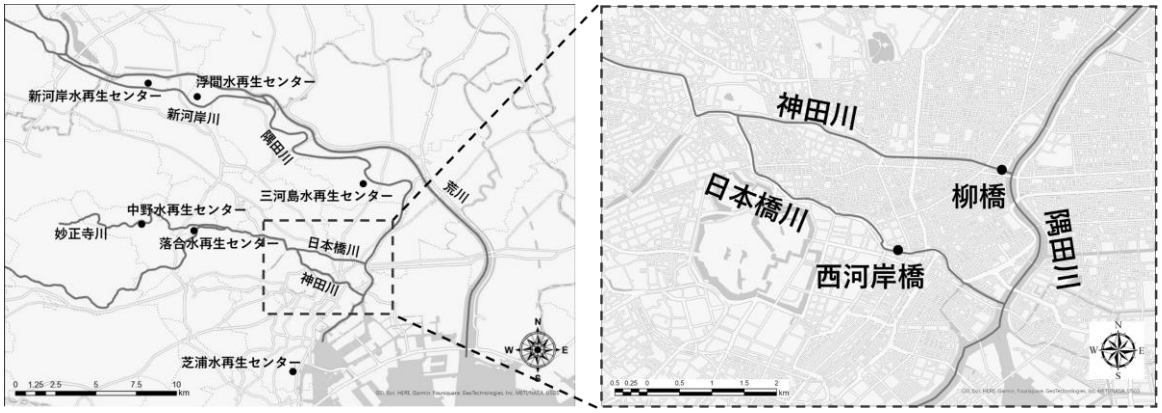


図-1　神田川と日本橋川および解析対象地点

表-1　神田川流域に関連する水再生センター

名称	運転開始	処理能力 (t/day)	処理面積(km²)	放流先
三河島水再生センター	1922(大正 11)年 3 月	665,000	39.36	隅田川
芝浦水再生センター	1931(昭和 6)年 3 月	830,000	64.33	東京湾(運河)
落合水再生センター	1964(昭和 39)年 3 月	450,000	28.69	神田川
新河岸水再生センター	1974(昭和 49)年 9 月	670,000	84.04	新河岸川
中野水再生センター	1995(平成 7)年 7 月	100,000	6.37	妙正寺川
浮間水再生センター	2001(平成 13)年 4 月	165,000	20.70	新河岸川

2. 対象河川

図-1に本研究の対象領域である神田川と日本橋川および解析対象地点である柳橋地点(神田川)と西河岸橋地点(日本橋川)の位置関係を示す．神田川は三鷹市井の頭池に源を発し幹線流路総延長24.6 ㎞，流域面積105 ㎢の一級河川であり，千代田区，文京区などを含む2市13区を流れる．また，河口から一休橋付近までの約6 kmの区間が感潮域となっている．神田川の派川である日本橋川は，流路総延長4.8 ㎞，全域が感潮域の一級河川である．いずれの河川ともに，隅田川へ注いでいる．神田川および日本橋川は，1971年に施行された水質汚濁防止法において最も水質の悪いランクである河川類型Eの河川として位置づけられた．その後は水質が改善し，1997年より河川類型Cに引き上げられ，それに伴い水質の環境基準値もより厳しいものとなった．

表-1は現在神田川流域に関連する地域で運転している水再生センターについて，運転開始時期，処理能力，処理面積についてまとめたものである[5]．神田川および日本橋川では，神田下水をはじめ明治17年以降，東京都区部の下水道や水再生センター，ポンプ所などの下水処理関連施設が整備されてきた．神田川流域を含む東京都区部の下水道普及率は，1965年で35%であったが，1995年に100%を達成するまで年々増加し未処理の生活排水が河川へ流れることは少なくなり，水質は改善されてきた．

一方で，神田川および日本橋川は水再生センターからの下水処理水の放出，潮汐の影響による河川水の滞留，河床底質からの栄養塩の溶出などにより河川水質環境の悪化が懸念される河川である．さらに，神田川流域を含む東京都区部の下水道は大部分が合流式下水道であり，大雨時には周辺の合流式下水道から，未処理の生活排水が河川内に流入し，水質悪化の一因となっている．

3. 使用データおよび解析方法

(1) 使用データ

本研究では，神田川(1968年1月～2022年3月)および日本橋川(1998年4月～2022年3月)を対象に東京都が観測を行い，データが公開されている月ごとの水質測定結果[6),7),8),9)]を使用した．図-1右図に示す解析地点は，環境省が公共用水域の水質調査対象地点に指定している柳橋地点(神田川)と西河岸橋地点(日本橋川)である．解析対象とした水質項目は，河川の生活環境の保全に関する環境基準値が設けられている溶存酸素濃度(以下，DO)，浮遊物質量(以下，SS)，生物化学的酸素要求量(以下，BOD)の3項目に加えて，水の滞留時間が長い湖沼の生活環境の保全に関する環境基準値が設けられている生物化学的酸素要求量(以下，COD)の全4項目である．

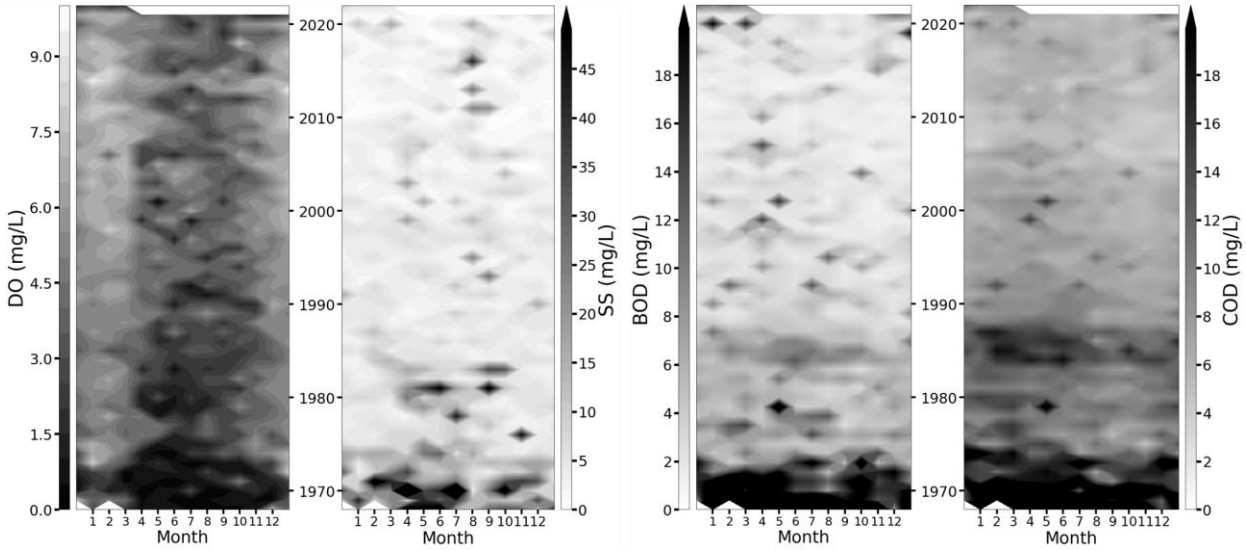


図-2　1968年1月~2022年3月までの柳橋地点(神田川)における
DO，SS，BOD，CODの観測値の時系列濃淡図

(2) 解析方法

本研究では，外れ値の影響を受けにくいノンパラメトリック解析手法であるMann-Kendall検定を用いて，トレンド分析を行った[10),11)]．なお，DOの経時変化は季節変動を伴うため，生データから季節変動成分を取り除いたトレンド成分を用いて検定を行った．なお，トレンド成分は観測値の12ヶ月移動平均により抽出した．また，柳橋地点(神田川)の水質データについては神田川および日本橋川の河川類型が類型Cに変更され，環境基準値が厳しくなった1997年5月前後における水質データに対してMann-Kendall検定を行った．さらに，1968年1月から新河岸水再生センターの運転が開始される前の1974年8月，新河岸水再生センターの運転が開始された1974年9月から中野水再生センターの運転が開始される前の1995年6月，中野水再生センターの運転が開始された1995年7月から浮間水再生センターの運転が開始される前の2001年3月，浮間水再生センターの運転が開始された2001年4月から2022年3月の期間の水質データに対してもそれぞれMann-Kendall検定を行った．西河岸橋地点(日本橋川)の水質データについては新規の水再生センターの運転が開始される以前のデータ数が不足しているため，データを入手することができた1998年4月以降の水質データに対してのみMann-Kendall検定を行った．

表-2　柳橋地点における環境基準値変更前後での
Mann-Kendall 検定の結果

期間	項目	Z	結果
1968.1～1997.4	DO	16.03	＋＋＋
	SS	-12.24	＋＋＋
	BOD	-16.13	＋＋＋
	COD	-14.73	＋＋＋
1997.5～2022.3	DO	1.41	＋
	SS	-9.05	＋＋＋
	BOD	-0.50	＋
	COD	-3.51	＋＋＋

表-3　柳橋地点における水再生センター運転開始
前後の期間での Mann-Kendall 検定の結果

期間	項目	Z	結果
1968.1～1974.8	DO	5.44	＋＋＋
	SS	-2.65	＋＋＋
	BOD	-7.46	＋＋＋
	COD	-5.73	＋＋＋
1974.9～1995.6	DO	6.77	＋＋＋
	SS	-5.60	＋＋＋
	BOD	-10.02	＋＋＋
	COD	-7.10	＋＋＋
1995.7～2001.3	DO	5.01	＋＋＋
	SS	-0.78	＋
	BOD	-2.34	＋＋
	COD	-1.91	＋
2001.4～2022.3	DO	-1.06	－
	SS	-5.97	＋＋＋
	BOD	0.88	－
	COD	-0.40	＋

4. 結果

(1) 神田川(柳橋地点)

図-2は1968年1月から2022年3月までの柳橋地点(神田川)におけるDO，SS，BOD，CODの観測値の時系列濃淡図である．横軸は1～12月までの観測された月，縦軸は観測された年，濃淡は各水質項目の濃度を示す．また，

表-2に環境基準値変更前後の1968年1月から1997年4月，1997年5月から2022年3月の期間の各水質項目のデータに対するMann-Kendall検定の結果を示す．さらに，**表-3**には新河岸水再生センター，中野水再生センター，浮間水再生センターの運転開始前後の期間である1968年1月から新河岸水再生センターの運転が開始される前の1974年8月，新河岸水再生センターの運転が開始された1974年9月から中野水再生センターの運転が開始される前の1995年6月，中野水再生センターの運転が開始された1995年7月から浮間水再生センターの運転が開始される前の2001年3月，浮間水再生センターの運転が開始された2001年4月から2022年3月の期間の各水質項目のデータに対するMann-Kendall検定の結果を示す．**表-2**および**表-3**の結果の欄に示す記号は，「＋＋＋」は有意水準1%の改善傾向，「＋＋」は有意水準5%の改善傾向，「＋」は有意水準無しの改善，「－－－」は有意水準1%の悪化傾向，「－－」の悪化傾向，「－」は有意性なしの改善を示す．

a) DO

日本では一般に気温の影響を受け，河川の水温は夏季に高くなり，冬季に低くなる．また，DOは水温の影響を受けやすい．**図-2**から，柳橋地点(神田川)におけるDOの観測値は，1968年1月から2022年3月までの観測値のうち，夏季の7月，8月，9月の観測値の平均は3.1 mg/L，冬季の12月，1月，2月の観測値の平均は5.6 mg/Lであり，季節的な変動が確認できる．

また，トレンド成分を用いたMann-Kendall検定の結果から，環境基準値変更前の1968年1月から1997年4月までの期間の観測値において有意な改善傾向が認められた．しかし，環境基準値変更後の1997年から2022年3月までの期間の観測値については有意な傾向は認められなかった．

さらに，1968年1月から新河岸水再生センターの運転が開始される前の1974年8月，中野水再生センターの運転が開始された1995年7月から浮間水再生センターの運転が開始される前の2001年3月までの期間では有意な改善傾向が認められた．一方で，浮間水再生センターの運転が開始された2001年4月から2022年3月までの期間の観測値については改善傾向が認められなかった．また，この期間においてMann-Kendall検定の統計量Zは負の値となっており，有意性はないものの悪化傾向にある可能性が示唆される．

b) SS

図-2からSSの観測値は1968年から1975年ごろの間に改善されたことがわかり，環境基準値が定められた1971年以降，すべての観測値が環境基準値を満たしている．

また，環境基準値変更前後のどちらにおいても有意な改善傾向が確認された．

さらに，水再生センターの運転開始前後の期間でみると1968年1月から新河岸水再生センターの運転が開始される前の1974年8月，新河岸水再生センターの運転が開始された1974年9月から中野水再生センターの運転が開始される前の1995年6月，浮間水再生センターの運転が開始された2001年4月から2022年3月の期間では有意な改善傾向が認められた．しかし，中野水再生センターの運転が開始された1995年から浮間水再生センターの運転が開始された2001年3月までの期間において有意な傾向は認められなかった．

c) BOD

図-2からBODの観測値は1968年から1980年ごろの間に大幅に改善されていることがわかる．神田川の河川類型が類型Dから類型Cに引き上げられる1997年4月以前は35%の観測値が河川類型Dの環境基準値である8.0 mg/L以下を上回っていたのに対し，1997年5月以降は92%の観測値が河川類型Cの環境基準値である5.0 mg/L以下を満たしている．

また，環境基準値変更前の1968年1月から1997年4月までの期間では改善傾向が認められたが，環境基準値変更後の1997年5月から2022年3月までの期間においては有意な傾向は認められなかった．

さらに，水再生センターの運転開始前後の期間でみると1968年1月から新河岸水再生センターの運転が開始される前の1974年8月，1974年9月から1995年6月の期間で1%，1995年7月から2001年3月の期間で5%の有意水準を満たす改善傾向が認められた．

d) COD

CODについては河川の環境基準項目として定められていないが，河川に係る水質の環境基準値が変更される前後の1968年1月から1997年4月，1997年5月から2022年3月のどちらの期間においても，有意な改善傾向が認められた．

また，**表-3**より，水再生センターの運転開始前後の期間において1968年1月から新河岸水再生センターの運転が開始される前の1974年8月，新河岸水再生センターの運転が開始された1974年9月から中野水再生センターの運転が開始される前の1995年6月の期間で有意な改善傾向が認められた．一方で，中野水再生センターの運転が開始された1995年7月から浮間水再生センターの運転が開始される前の2001年3月，浮間水再生センターの運転が開始された2001年4月から2022年3月までの期間では有意な傾向は認められなかった．

(2) 日本橋川(西河岸橋地点）

図-3は1998年4月から2022年3月までの西河岸橋地点(日本橋川)におけるDO，SS，BOD，CODの観測値の時系列

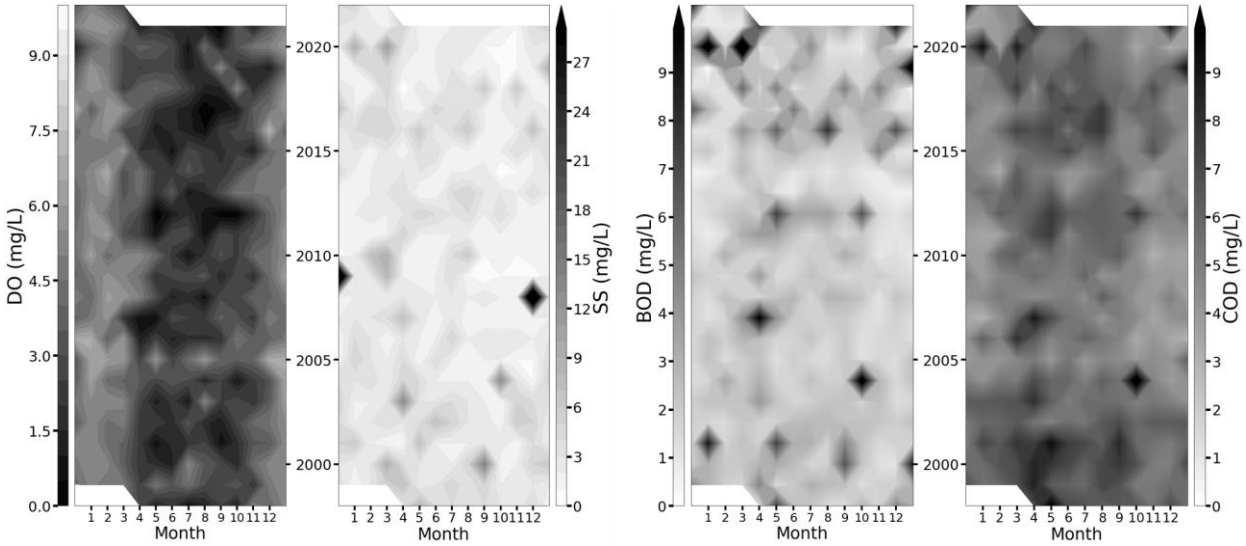


図-3　1998年4月から2022年3月までの西河岸橋地点(日本橋川)における
DO，SS，COD，CODの観測値の時系列濃淡図

表-4　西河岸橋地点における Mann-Kendall 検定の結果

期間	項目	Z	結果
1998.4～2022.3	DO	-4.63	－－－
	SS	-8.33	＋＋＋
	BOD	-1.57	＋
	COD	-3.89	＋＋＋

濃淡図である．横軸は1～12月までの観測された月，縦軸は観測された年，濃淡は各水質項目の濃度を示す．

また，**表-4**に各水質項目の1997年4月から2022年3月までの期間の各水質項目のデータに対するMann-Kendall検定の結果を示す．**表-4**の結果の欄に示す記号は，「＋＋＋」は有意水準1%の改善傾向，「＋＋」は有意水準5%の改善傾向，「＋」は有意水準無しの改善，「－－－」は有意水準1%の悪化傾向，「－－」の悪化傾向，「－」は有意性なしの改善を示す．

a) DO

DOは，1998年4月から2022年3月までの観測値のうち，夏季の7月，8月，9月の観測値の平均は2.2 mg/L，冬季の12月，1月，2月の観測値の平均は4.9 mg/Lであり，季節的な変動が確認できる．また，トレンド成分を用いたMann-Kendall検定の結果から，日本橋川(西河岸橋地点)におけるDOは1998年4月から2022年3月までの期間で悪化傾向にあることが認められた．

b) SS

SSは1998年4月から2022年3月までの期間で全ての観測値が環境基準である50 mg/L以下を満たしている．また，この期間で有意な改善傾向が認められた．

c) BOD

BODは1998年4月から2022年3月までの期間で95%の観測値が河川類型Cの環境基準値である5 mg/L以下を満たしている．一方で，この期間において有意な傾向は認められなかった．

d) COD

CODは1998年4月から2022年3月までの期間で有意な改善傾向が認められた．

5. まとめ

本研究では，神田川および日本橋川における長期間の水質の公開データについて分析を行った．得られた結果を以下にまとめる．

1) DOは柳橋地点(神田川)，西河岸橋地点(日本橋川)の両地点において，夏季に低い値，冬季に高い値をとるという季節的な変動が確認された．また，2000年ごろ以降では，悪化傾向にある可能性が示唆された．

2) SSは柳橋地点(神田川)において，1968年から1975年ごろまでの間に改善された．また，柳橋地点(神田川)と西河岸橋地点(日本橋川)の両地点において環境基準値が定められた1971年以降の全ての観測値が環境基準値を満たしている．

3) BODは柳橋地点(神田川)において，1968年から1997年の間に大幅に改善され，それ以降は両地点においても環境基準値を概ね満たしているが，1997年以降はどちらの地点にも有意な傾向は認められなかった．

4) CODは柳橋地点(神田川)において，1968年から1997年の間に大幅に改善された．それ以降の期間では，西河岸橋地点(日本橋川)の有意な改善傾向が認められ

たが，柳橋地点(神田川)においては有意な傾向は認められなかった．

以上の結果から，神田川および日本橋川における水質環境は1968年から大きく改善され，水再生センターの稼働が水質改善に大きく寄与していることが明らかになった．また，現在の水質は環境基準を概ね満たすものとなっている．一方で，神田川および日本橋川の環境基準がより厳しいものとなった1997年以降はいずれの水質項目においても以前に比べて大きく改善されていない．特にDOについては，神田川および日本橋川の両地点において悪化傾向にあることが示唆される．そのため，今後も持続的な水質モニタリングと適切な対策が必要とされる．

参考文献

1) 高坂信章，林秀彦，石塚与志雄，三宅紀治，工藤健太郎，守田優：日本橋川における水質の現状とその改善に関する解析的検討，水工学論文集, Vol.53, pp.1147-1152, 2009.

2) 呉修一，渡邉暁人，多田直人，山田正：都市河川感潮域における水質の空間分布特性に関する現地観測，水工学論文集，52巻，pp.1105-1110，2008.

3) 山角康樹，浅見龍一，山田正，井上智夫：都市河川感潮域における水質の変動特性に関する現地観測，土木学会論文集，vol.67，No.4，pp.Ⅰ_1669-Ⅰ_1674，2011.

4) 環境省：水質汚濁に係る環境基準 https://www.env.go.jp/kijun/mizu.html

5) 東京都下水道局：水再生センターマップ https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/business/b4/guide/sise-list/

6) 環境省：水環境総合情報サイト https:water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/mizu/kousui/dataMap.asp

7) 東京都(1983～1984)：各年度公共用水域の水質測定結果

8) 東京都(1974～1983)：各年度都内河川・内湾の水質測定結果

9) 東京都(1969～1973)：各年度都内河川・内湾の水質

10) Robert M. Hirsch，James R. Slack，Richard A. Smith：Techniques of Trend for Monthly Water Quality Data，Water Resources Research，Vol.18，NO.1，pp.107-121，1982.

11) 西岡昌秋，宝馨：Mann-Kendall検定による水文時系列の傾向変動，水文・水資源学会誌，第17巻4号，pp.343-353，2004.