

歴史的視点からの都市の水循環と水環境の評価

Evaluation of Relationship between Hydrological Process and Water Environment in the Urban Area from Historical Point of View

室蘭工業大学 建設システム工学科 学生員 ○引野 篤 (Atsushi Hikino)

室蘭工業大学 建設システム工学科 正 員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)

(株) 福田水文センター

正 員 杉原 幸樹 (Kouki Sugihara)

1. まえがき

明治時代以降開拓が進められてきた札幌圏では第二次世界大戦後、急速に発展が進んだ。そのために、河川には汚濁負荷が流入し、利水や治水目的のために河道が改変され、水量の減少や水質の悪化などの問題が発生した。とくに札幌市北部に位置する茨戸川は、昭和初期の石狩川捷水路工事により形成されたが、閉鎖性が高いことや周囲からの汚濁負荷が集中することなどにより、富栄養化現象が発現してきた。

本研究ではこの茨戸川を有する札幌市に着目し、都市の長期的な変遷を整理することによって、都市の発展と水循環や水環境の変遷の因果関係、それに基づく対応策を評価することを目的とする。



図-2 札幌市の水系

2. 札幌市の変遷

(1) 人口の変遷

札幌市は、北海道南西部に位置する。市街地は豊平川扇状地上に形成されており、南西部には緑豊かな山岳地帯がみられる。現在の札幌は明治2年(1869年)に札幌に開拓使が置かれたことにより誕生した。大正11年(1922年)に市制が施行され、以来、近隣町村との度重なる合併によって市域・人口を拡大してきた。図-1に札幌市の人口と面積の推移¹⁾を示す。昭和45年(1970年)に人口100万人を突破し、2年後の昭和47年(1972年)には政令都市に指定された。現在の人口は約189万人で全国5番目の規模であり、都市の発展が水循環に与える影響を考える上で重要な要因を抱えた地域であるといえる。

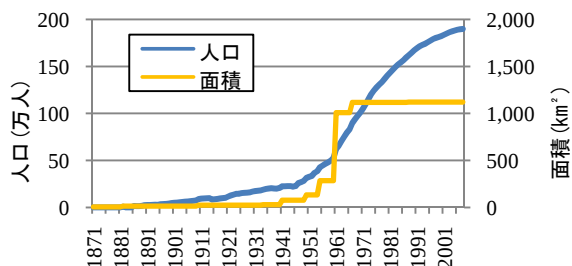


図-1 札幌市の人口と面積

(2) 札幌市の水系

札幌市周辺の水系ではこれまでに幾度も河川改修が行われてきた。慶応2年(1866年)に創成川が農業用取水や運河として開削され、明治20年(1887年)排水水路や運河として新川が開削された。昭和8年には生振捷水路の開削にともない石狩川の旧川が茨戸川となり、図-2に示すような現在の水系が形成された。

(3) 水需要の変遷

次に水需要の変遷についてまとめた。給水人口と水道普及率の推移¹⁾を図-3に示す。札幌市の水道は昭和12年(1937年)に藻岩浄水場が給水を開始したが、元々豊平川扇状地に発達した市街地では地下水が豊富だったため、初めは水道の申し込みは少なく、初年度の普及率は44.8%である。その後の普及率の変化にも停滞がみられるが、この原因としては地下水を利用していたことのほかに、水道未整備の町村との合併や戦時中で水道施設の整備が十分に行なえなかったことなどがある。1960年代に入り、人口が50万人を突破すると普及率は上昇を始め、現在では99.8%となっている。これにより以前の地下水主体の水需要構造から河川水主体の水需要構造へと完全に移行した。

個人の水使用量原単位を見てみると、図-4 に示すように給水開始時には 150L/日/人だった使用量は 30 年で 1.7 倍の 260L/日/人となり、それ以降ほぼ横ばいで推移している。年間使用量の用途別の内訳は、昭和 39 年(1964 年)では家事用が 45.9%、家事用以外(営業用、

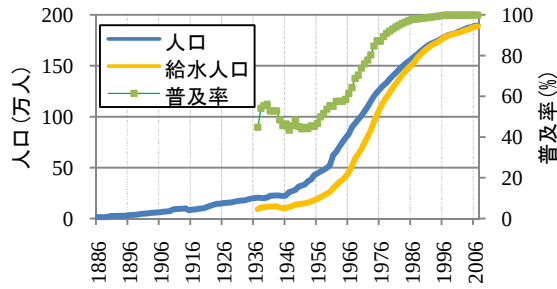


図-3 札幌市の給水人口と水道普及率

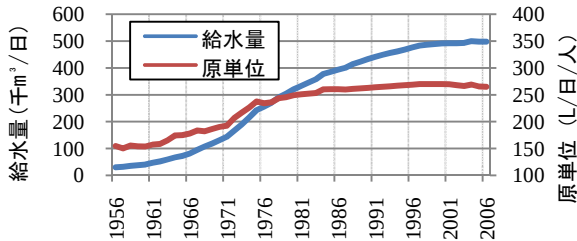


図-4 個人の水使用量

工業用、臨時用等)が 51.4%, 公衆浴場用が 2.7%であるが、昭和 62 年(1987 年)では家事用 69.5%, 家事用以外 29.3%, 公衆浴場用 0.1%となり、年々家事用の占める割合が大きくなってきている。また、公衆浴場用の水使用はほとんどなくなっており、生活スタイルの変化が個人の水使用量増加の原因となっていることがわかる。

3. 近年の水循環と水環境の変遷

第 2 章では札幌市の長期的な変遷と水需要の変遷をまとめたが、ここではデータ^{2), 3), 4)}の充実している近 20 年の水循環の変遷と水環境の変遷をまとめる。とくに、都市の発展の写し鏡として、下水道排水域である茨戸川の水環境に着目した。

(1) 上下水道の推移

図-5 に札幌市の上・下水道施設の位置を、図-6 に下水道普及率²⁾、豊平川 BOD75%値(由来、図-2 参照)、茨戸川 BOD75%値(樽川合流前、図-2 参照)の推移³⁾を示す。札幌市の下水処理場は昭和 36 年(1961 年)に整備が開始され、昭和 41 年(1966 年)に野津幌処理場が札幌市で最初に運転を始めた(なお、野津幌処理場は 1976 年



図-5 札幌市の下水処理場と浄水場

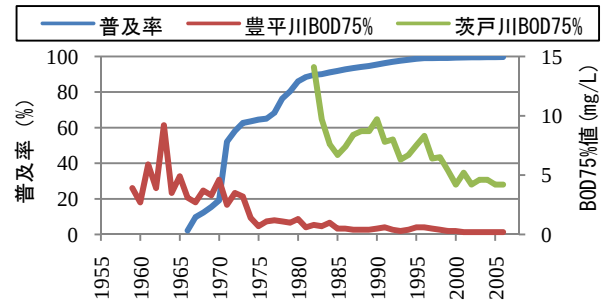


図-6 札幌市の水環境の推移

に運転を休止し、厚別処理場に統合された)。初年度の普及率はわずか 2.2%であったが、昭和 47 年(1972 年)の札幌五輪を契機に整備が進行し、普及率は急激に上昇して、現在では 99.7%となっている。また、この札幌五輪がもたらした功績は下水道のみではなく、地下鉄の開通(地下鉄南北線、札幌-真駒内間)や地下街の完成などがあり、オリンピックや万博は都市のインフラ整備と発展に大きな恩恵をもたらすものであるといえる。次に豊平川の BOD を見てみると、1963 年には 9mg/L を超えていた BOD 濃度が下水処理場の運転開始とともに急激に低下し始め、近年では 0.5mg/L 程度で推移している。

一方、茨戸川(図-2 参照)の BOD をみると下水処理場の普及が進むにつれ水質が改善されているが、普及率が 90%を超えても BOD 濃度は 6~9mg/L 程度で推移している。それでも近年は、下水の高度処理化により水質の改善はみられ BOD 濃度は 4mg/L 程度で推移している。すなわち、下水道普及率が高く汚濁負荷が集中する茨戸川においては、その水質は下水処理場の放流水に依存することになる。そこで、まずは上・下水道の水量、水質の変遷から水循環の構造を整理した。

(2) 上・下水道の水量の推移

はじめに上・下水道の量的な推移についてまとめた。札幌市の上水道は白川と藻岩の取水場からの取水量が 97%を占めている。これらの取水場の取水源は豊平川であるため、札幌市の上水道はほとんど豊平川に依存していることがわかる。図-7 に上水取水量を示す。1981 年以降人口の増加とともに取水量も増加しているが、1991 年からほぼ横ばいで推移している。これは図-4 に示すように原単位が近年若干減少していることから節水の意識が高まっていることが考えられる。なお、先にも述べたように札幌市には一日当たり 10 万 m³/日の地下水揚水量があるが、これは 9 割以上が工業用に利用されている。

次に下水道をみてみると、札幌市内には 10 箇所の処理場があり、うち 4 箇所が完全分流方式でほかの処理場は一部分流式である。図-7 に放流先の河川別に総処理放流量と合流式処理場のみ未処理雨水放流量を示す。処理水は豊平川、茨戸川、新川の 3 川に分けて放流される。下水処理放流量は降雨量の多少により年ごとに若干の増減があるが、普及率の上昇とともに増加してきて、近年はほぼ横ばいで推移している。河川ごとの放流量をみると、どの年も 3 河川にほぼ均等に放流されている。

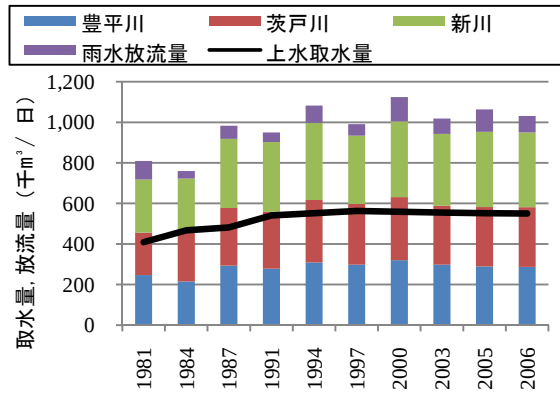


図-7 上下水道の量的推移

(3) 下水放流水質の推移

次に水質負荷量についてまとめる。図-7の処理水放流量と処理水水質より求めた放流河川別の負荷量を図-8に示す。T-Pは1981年の洪水の場合を除いてほぼ一定で推移しているが、BOD、SS、T-Nは1997年から各処理場で順次高度処理化が行われたことによる負荷量の減少が読み取れる。高度処理化された処理場には創成川処理場（1997年全量高度処理開始）、伏古川処理場（2002年より順次高度処理開始）など、処理水が茨戸川に流入する処理場が多い。そこで、茨戸川の負荷量に注目してみるとT-Pを除く3項目で1997年以降に負荷量の減少が表れており、高度処理の普及により茨戸川への負荷が減少しているといえる。

図-9に2006年における札幌市内の処理場から河川へ流入する負荷量をBOD、SS、T-N、T-Pの項目ごとに示す。まず、BODをみると、札幌市では一日当たり178tの負荷が発生し、下水処理場を経て5.2tの負荷として河川へ放流されている。このときの除去率は97%となり高い水準を保っているといえる。図中の河川ごとに与えられている百分率は負荷の負担率であるが、これによるとBODは茨戸川が全体の20%を負担し、残りを新川と豊平川がほぼ等しく負担している。SSも

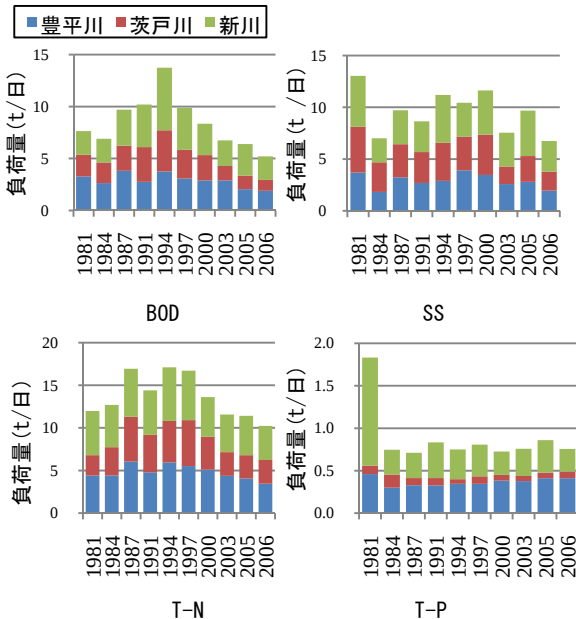


図-8 下水放流負荷量の推移

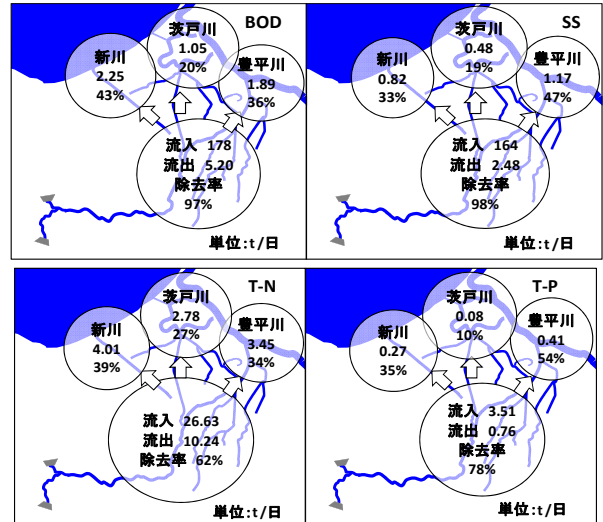


図-9 水質負荷量収支の模式図（2006年）

BODとはほぼ同じ負荷形態を有しており、除去率は98%で負担率は茨戸川が若干低くなっている。

T-Nについてしてみると、ほぼ3河川に均等に負荷が与えられていることがわかる。しかし除去率は62%と低く、閉鎖性水域では富栄養化現象の原因になりうる。T-Pも除去率が低く78%である。また、T-Pは各処理場ごとで処理技術に差があるため、河川ごとの負担率は大きく異なっている。茨戸川の負荷が10%と最も低く、豊平川が札幌市のT-Pの半分を負担している。したがって札幌市の水環境保全を考えるためには、これらの富栄養化要因であるT-NとT-Pの処理技術をどのように高度化していくかが重要になる。

4. 茨戸川の水環境の推移と改善策

(1) 茨戸川の水質

茨戸川は札幌市北部に位置する（図-2参照）。昭和初期に当時洪水が頻繁起こっていた石狩川の治水のため捷水路工事が行われ、切り離された旧川が茨戸川である。茨戸川は閉鎖性が高く、流れが停滞することや汚濁負荷が集中する水循環の構造により、富栄養化現象が発現してきた。

図-10に茨戸川BOD75%値（生振3線、樽川合流前、生振8線）の推移³⁾を示す。茨戸川は二つの狭窄部により上部湖盆、中部湖盆、下部湖盆に分けられ、生振8線は中部湖盆に位置する。ここのBODは、以前は10mg/L前後であったが、下水処理技術の向上などによってBOD濃度は低下し、現在は4mg/L程度で推移している。次に樽川合流前をみる。樽川合流前は他

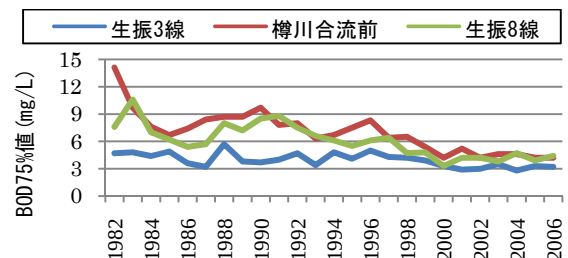


図-10 茨戸川の水環境の推移

の湖盆に比べ閉鎖性の低い下部湖盆に位置するが、BOD濃度は高い値を示している。これは図-5に示すように茨戸処理場が近くに位置するため、その放流水の影響が大きいと考えられる。最後に生振3線をみても、ここは下部湖盆に位置し石狩川との混合があるため、1980年代でもBOD濃度は5mg/L前後で推移しており、現在までで水質に大きな変化はみられていない。

以上より、茨戸川では下水処理技術の向上などにより水質の改善がみられたが、依然として環境基準値(B類型)であるBOD濃度3mg/L以下を達成できていないことが分かる。

(2)水循環構造の評価

以上より札幌市の水循環の構造的変化を整理し、図-11に示す。図中の河川ごとの数字は下水放流量を表しており、四角内の数字は豊平川の雁来地点と石山地点、(図-2参照)における平均流量と濁水流量³⁾である。

河川ごとの放流量をみると、茨戸川が25年で1.31倍(242→317千 m^3 /日)と最も増加しており、豊平川は1.15倍(263→303千 m^3 /日)で3河川の中で最も増加が小さかった。BOD負荷量は3河川とも1994年に最も大きく、その後減少している。

水循環の変遷による河川への影響を茨戸川のBOD濃度(図-6参照)でみると、放流量、負荷量ともに増加する1996年までは、BOD濃度は6~9mg/Lの間で推移していた。その後、放流量は一定となり、濃度が減った分負荷量は減少をはじめた。これにより茨戸川のBOD濃度も減少して、現在では4mg/L前後で推移しているものの、環境基準値であるBOD濃度3mg/Lを上回っている。これは、下水処理放流水質の改善だけでは茨戸川の水質改善に限界があることを示唆している。この裏付けとして負荷量の減少率とBOD濃度の低下率を比べてみる。

負荷量は1994年から2006年までで0.31倍となったが、その間の茨戸川のBOD濃度の各年75%値をみると生振8線で0.72倍、樽川合流前で0.63倍、生振3線

で0.67倍と、負荷量の減少率はBOD濃度の低下率にそれほど反映されていない。また、図-9に示したように下水処理によるT-Nの除去率は62%、T-Pの除去率は78%と、栄養塩の十分な除去が困難な状況にある。この結果から、茨戸川の水質をより改善するには下水放流水の水質改善に加え、導水を行って濃度の希釈と滞留時間の短縮を行うことが効果的と考えられる。

次に1981年の豊平川の濁水流量に着目すると、雁来と石山の両地点で非常に小さな値(石山で0.7 m^3 /s、雁来で2.1 m^3 /s)を示している。これは2006年も同様(石山で0.4 m^3 /s、雁来で3.8 m^3 /s)である。

これらより現状の札幌市の水循環構造には、茨戸川の水質の問題と豊平川の流量不足の問題があるとわかる。また、下水道を経由することで枯渇した河川の再生も課題に挙げられる。このうち、茨戸川の水質をさらに改善するには導水を検討する必要があるが、豊平川から導水を行う際には、豊平川の水環境に与える影響を十分検討しなければならない。すなわち、札幌市の水環境の再生を行うためには、茨戸川と豊平川を取り巻く流域の包括的な水環境構造を詳らかにする必要がある。

(3)水質モデルによる水環境改善効果の検証

導水の効果を評価するためには茨戸川の水質モデルが必要である。そこで、茨戸川の水質予測モデルを構築し、導水効果の評価を行っている杉原の研究⁵⁾を参考にし、導水による水質改善効果を簡単に報告する。

導水による茨戸川の影響についてシミュレーションした結果からBOD75%値を算出すると、創成川(図-2参照)から1.2 m^3 /sで導水を行うことに加え、上部湖盆上流端より石狩川から1 m^3 /sで導水を行うことにより、茨戸川全域ではほぼ環境基準値BOD3mg/Lを下回るという結果が得られた⁵⁾。

5. まとめ

本研究では札幌市でとくに水環境問題に着目されている茨戸川に注目し、流域全体の水循環構造を整理することで、都市における水環境の再生について検討を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 長期的データから札幌市の水循環構造を整理した。
- 2) 水循環変遷の写し鏡ともいえる茨戸川の水環境の変化を整理した。
- 3) 水循環構造の観点から水環境の変遷について考察を行い、下水処理放流水質の改善に加え導水の必要性を裏付けた。

参考文献

- 1) 札幌市：札幌市統計書およびインターネット, 1968-2008。
- 2) 札幌市：建設局下水道施設部 維持管理年報, 1981-2006。
- 3) 国土交通省：水文水質データベース 1960-2006。
- 4) 札幌市：水道局 水量水質年報, 1981-2006。
- 5) 杉原幸樹, 中津川誠, 清治真人：都市流末水域の水環境に着目した水環境再生の評価, 水工学論文集, 第53巻, 2009(投稿中)。

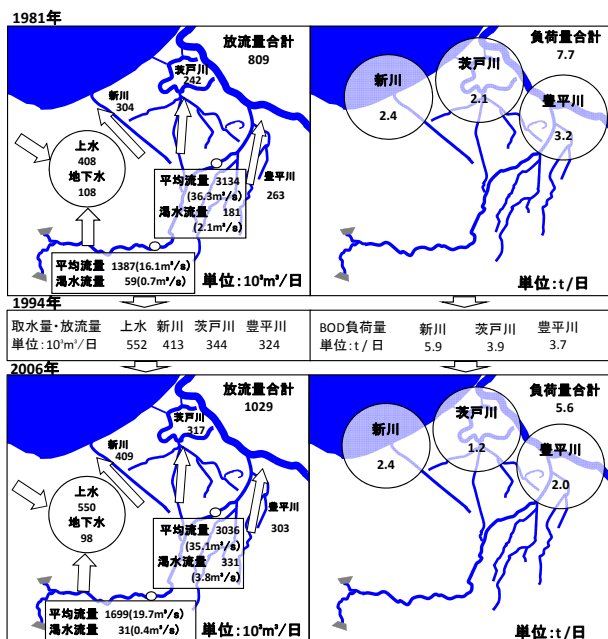


図-11 水収支(左), BOD(右)負荷収支の推移