荒子川の水質特性とその河口水域の水質汚濁機構について

安藤　良，長谷川　絵理

Characteristics of Water Quality in Arako River and Mechanism of Water Pollution in its Mouthriver

Ryo Ando,　Eri Hasegawa

はじめに

荒子川は名古屋市内河川の南西部にあり，その河口は海面より低い水域である．河川水はポンプ排出機所を設けて，強制的に水を排出している．そのため，河口水域では河床こう配が緩く，流れが緩慢である．また，ポンプ排出機所周辺では，川幅を広くとり，水位調整のためにある程度貯水量を確保している．この結果，滞留時間の長い閉鎖水域となり，プラクトン繁殖による富栄養化の水質となっている[1)2)]．特に，農業用水が入らない非かんがい期（10 月～3 月）においては BOD の環境基準（10mg/L）を超えることがある．

そこで，荒子川の非かんがい期における水質の特性とその影響要因について調査した．

調査方法

1．調査地点および河川概要

河川概要及び調査地点は Fig.1 に示す．荒子川は上流端から荒子川ポンプ所に至る全長約 6.9km の普通河川である．河川流域は下水道が整備されているため，一部の工場排水を除き，人為的排水の流入はない．晴天時の流入水は二つの工場排水と下水処理水が合計 14000m^3/日の流入がある．また，かんがい期（4 月～9 月）には庄内用水から約 20000m^3/日の流入があるが，非かんがい期は流入が止まる．庄内用水は上流端（St.1），畑田水門（St.2 の下流）及び惟信水門（St.3 付近）の三カ所から流入する．雨水は河川の途中から二つのポンプ所から排出されている．

調査地点は次の通り．St.1：工場排水（冷却水）が流入後の最上流の上流端．St.2：工場排水と下水処理水が流入後の地点（上流端から 2.0km 下流）．St.3：河口部から約 1.5km 上流の地点，これ以降下流は川幅が広くなる．St.4：最下流部の荒子ポンプ所．St.3 から St.4 は滞留時間が長い水域となっている．

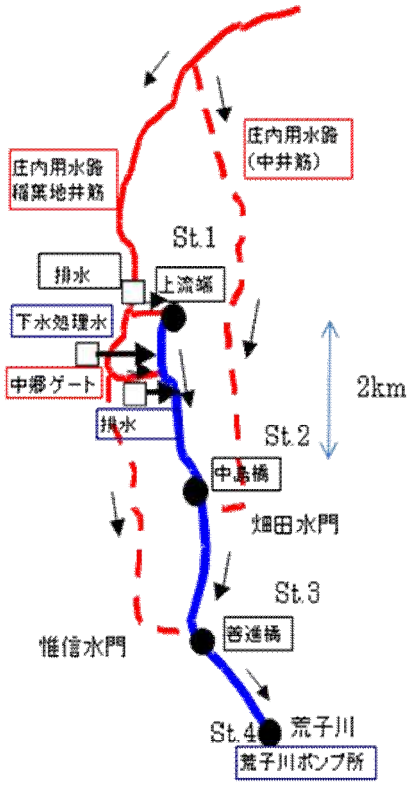

Fig.　1　河川概要と調査地点

2．調査項目

pH, DO, COD, BOD, Cl, SS, T-N（総窒素），NH_4-N, NO_3-N, NO_2-N, T-P（総リン），PO_4-P, クロロフィル a

3．調査時期及び調査日

非かんがい期である 2007 年 10 月～2008 年 3 月，2008

年 10 月～2009 年 3 月及び 2009 年 10 月～2010 年 3 月の各期間における毎月一回調査を行った．

かんがい期は 2009 年 5 月から 9 月に毎月一回行った．

調査結果及び考察

1．荒子川の水質

Table 1 には 2007 年度から 2009 年度の非かんがい期における荒子川の平均水質を示す．上流端（st.1）ではおもに冷却水である工場排水が流入するが，COD，BOD の濃度は 5mg/L 以下であるのに対し，総リンの濃度が 1.5mg/L と高い．リン酸の形態はほとんどがオルトリン酸体リンであった．

Table 1　荒子川の水質（非かんがい期 10月から３月）

	地点	pH	DO mg/L	BOD mg/L	COD mg/L	Cl mg/L	SS mg/L
2007年	st.1	7.8	4.3	1.0	2.1	6.8	0.6
	St.2	7.2	5.6	2.1	7.2	401	2.1
	st.3	7.6	9.0	3.2	9.0	287	6.9
	st.4	9.0	17.2	8.1	13.5	344	19.4
2008年度	st.1	7.5	4.5	1.0	2.2	7.7	0.4
	St.2	7.3	5.8	2.0	7.4	243	2.9
	st.3	8.0	8.1	4.0	8.1	227	8.8
	st.4	8.6	10.8	6.1	9.3	279	7.7
2009年度	st.1	7.6	3.5	1.8	2.8	5.7	0.7
	St.2	7.3	5.4	2.4	5.	248	3.1
	st.3	7.7	8.6	4.4	7.0	170	6.9
	st.4	8.1	10.1	4.8	8.7	249	7.3

	地点	T-N mg/L	NH4-N mg/L	NO3-N mg/L	NO2-N mg/L	T-P mg/L	Chlorophyll a μg/L
2007年度	st.1	0.5	0.09	0.07	0.01	2.24	
	St.2	10.8	1.79	6.39	0.47	1.26	8.2
	st.3	9.5	1.42	6.93	0.30	1.17	50.2
	st.4	7.6	0.82	4.40	0.31	0.89	250
2008年度	st.1	0.5	0.12	0.03	<0.01	1.91	
	St.2	11.6	5.13	5.31	0.70	0.41	7.7
	st.3	7.6	3.14	3.09	0.38	0.40	49.8
	st.4	6.6	2.82	2.28	0.27	0.17	93.6
2009年度	st.1	0.5	0.07	0.02	<0.01	1.84	
	St.2	6.6	0.54	5.20	0.15	0.52	4.1
	st.3	5.9	1.90	2.72	0.18	0.40	37
	st.4	4.9	0.99	2.79	0.10	0.34	74

St.2 は二つの工場排水と下水処理水の流入後の地点で，特に BOD，COD は下水処理水の影響を受け，2 倍から 3 倍の濃度に上昇する．また，総窒素は工場排水と下水処理水により，上流端の濃度に対して 10 倍程度上昇する．窒素形態の組成成分は 50%から 90%以上硝酸体窒素が占めていた．同様に塩化物イオンも上昇し，200mg/L 前後となり，St.2 から下流水域である St.3，St.4 まで影響を受ける．

St.3 と St.4 はプランクトンの増殖による富栄養化の影響を受ける．BOD，COD は St.2，St.3，St.4 と下流に至り，順次濃度が上昇する．クロロフィル a も同様な傾向がみられ，2009 年度においては St.3 が約 40μg/L から St.4 が約 100μg/L に上昇した．特に最下流である St.4 は滞留時間が長く，富栄養化の影響を受けているために，pH が pH8 を超えることが多いし，DO は常時過飽和の状態である．過去 3 年間において，St.4 はクロロフィル a 濃度が 400μg/L に達し，BOD が 10mg/L, COD が 15mg/L を超えることがしばしばあった．

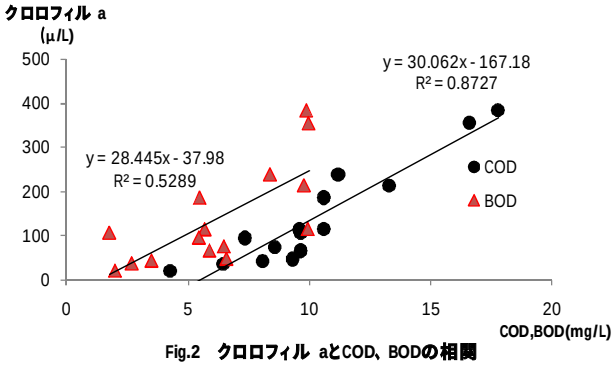

Fig.2　クロロフィル aとCOD、BODの相関
(非かんがい期 2007年度から2009年度)

Fig.2 に荒子川ポンプ所（St.4）における BOD 及び COD とクロロフィル a の相関を示した．クロロフィル a と BOD 及び COD の相関係数がそれぞれ R^2=0.5289, R^2=0.8727 で相関性は高かった．クロロフィル a はプランクトン増殖量の指標であることから，荒子川下流部では，BOD 及び COD の変動はプランクトンが寄与していることが分かる．荒子川の BOD 環境基準（E 型水域）は 10mg/L 以下であるため，相関図から見れば，クロロフィル a 濃度は 200μg/L 以下を維持する必要がある．しかし，流下速度が緩慢で，滞留時間が長い水域では湖沼の環境基準項目である COD で評価した方がよい．湖沼（閉鎖水域）は COD 8mg/L を越えるとかなり富栄養化された水質汚濁であると考えられることから，クロロフィル a 濃度はこの相関図から対応する値として 100μg/L 以下を維持する必要があると思われる．

2．荒子川への流入水の負荷量

非かんがい期の晴天時では工場排水及び下水処理水が日量約 14000m^3（0.15m^3/sec）流入している．Table 2 にはそれぞれの工場排水と下水処理水の負荷量を示した．BOD，COD の負荷量はおもに下水処理水が由来しており，75%から 85%を占める．総窒素は 2009 年度に途中流入する工場排水の濃度が 25mg/L，下水処理水が 9.3mg/L で高く，合計流入負荷量は 107kg/日で，それぞれ負荷量割合は 12%，85%であった．総リンは上流端から入る排水が 53%を占め，下水処理水の負荷量

が 46%でほぼ同じ割合であった．塩化物イオンの負荷量は途中流入する工場排水の濃度が 3990mg/L で負荷量割合は 56%を占める．全ての項目の負荷量からみると，荒子川の水質は下水処理水の影響が大きいことが分かる．

Table 2　荒子川に流入する水質の負荷量

流入水		BOD kg/日	COD kg/日	塩化物イオン kg/日	総窒素 kg/日	総リン kg/日
A工場排水	2007年度	2.9	6.3	22	1.4	5.4
	2008年度	3.0	6.6	19	1.5	6.6
	2009年度	5.6	8.7	18	1.6	5.7
下水処理水	2007年度	46	86	2200	120	12.8
	2008年度	34	67	1560	86	1.4
	2009年度	22	66	1680	93	5
B工場排水	2007年度	0.3	1.3	1530	11	0
	2008年度	<1	1.6	1470	8	0
	2009年度	0.8	2.9	2195	14	0
庄内用水（かんがい期）	2009年度	64	110	264	37	2.4

荒子川への流入水の他に St.3 から St.4 の水域ではプランクトンによる内部生産による BOD，COD の負荷量がある．2009 年度において，内部生産量は St.2 を起点として，St.4 では BOD 22kg/日（44%），COD 21kg/日（22%）であった．実際は雨水流入量を考慮に入れると St.4 における内部生産量の割合はもっと大きくなると思われる．

かんがい期は庄内用水から約 20000m^3/日の流入がある．この時期，庄内用水の負荷量は BOD，COD については 58%から 69%を占めることになる．これは庄内用水の源水は庄内川であるため，COD，BOD 濃度が下水処理水より，高いためである．総窒素，総リン，塩化物イオンは荒子川の水質濃度を下げる傾向があり，これらの流入負荷量は増えるが，庄内用水の負荷量割合はそれほど高くない．

かんがい期においても St.4 はプランクトンによる内部生産があるが，全体の負荷量からみれば割合は少なくなる．

Fig.3, Fig.4 は降水量と荒子川に排出される雨水の量の関係を示す．雨水の荒子川への流入は二か所のポンプ所から行われているが，主に篠原ポンプ所から雨量 50mm／日に対して 110000m^3 の放流がある．また，港北ポンプ所は降水量が 30mm 以上の時に排出され，雨量 50mm／日に対して，40000m^3 の放流がある．名古屋市の年間雨量が 1500mm/年とすれば，篠原ポンプ所のみからの総排出量は 3920000m^3 で，日量当たり 10700m^3（0.12m^3/sec）に相当する．雨水の流入に対する水質の負荷量は測定されていないが，下流水域の水質は富栄養化の水質状態であり，その主要な要因として滞留時間が密接な関係を持つ．したがって，雨水の流入量が滞留時間の長さを決める要因の一つとなっていることから，水質にかなり影響を与えている．

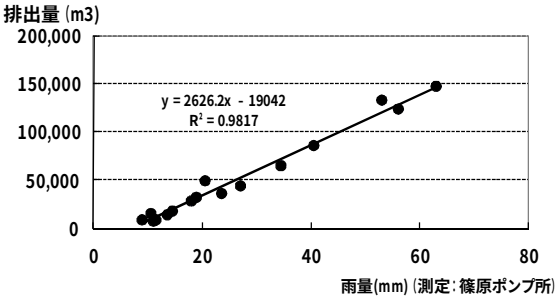

Fig.3 荒子川における降水量と河川流入量 (篠原ポンプ所)

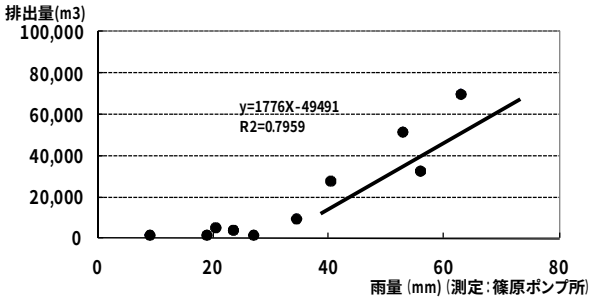

Fig.4 荒子川における降水量と河川流入量 (港北ポンプ所)

3．荒子川河口部の滞留時間（水交換率）と水質の関係

プランクトンの増殖に与える影響因子は栄養塩濃度とその水域の滞留時間である．栄養塩の削減についての対策は，荒子川では豊富な濃度で存在しているために困難と思われる．したがって，可能な対策として，滞留時間の短縮が重要な因子となる．

そこで 2008 年 10 月から 2009 年 3 月までの水質結果と荒子ポンプ所による排出量の関係について解析した．Fig.5 は非かんがい期における荒子川ポンプ所の水質と 3 日間の累積水交換率との関係，Fig.6 は荒子川ポンプ所の水質と 5 日間の累積水交換率との関係，及び Fig.7 は荒子川ポンプ所の水質と 7 日間の累積水交換率との関係を示す．3 日間の累積水交換率とは水質調査日を原点に 3 日さかのぼりその間の累積総排水量を求め，ポンプ所の平均貯水量で割った数値を水交換率とする．ただし，ポンプ所からの排出量は各流入量の総量に等しいことを前提にしている．また，雨水の流入量は，Fig.3，Fig.4 の関係式から求めた推測値，事業所の流入量は排出量届け出に基づいている．荒子ポンプ所の貯水量は 2008 年度資料から平均 264700m^3 を利用した．累積水交換率はたとえば 1 とすれば，貯水量一回分の水が入れ替わったことになる．

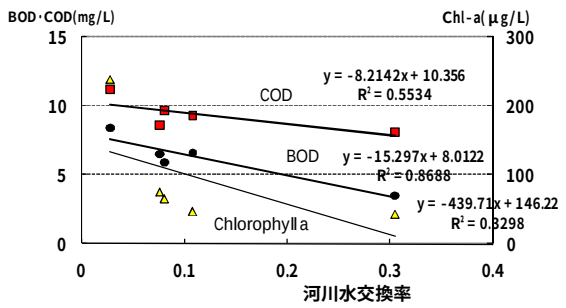

Fig.5 荒子川河口部における3日間の河川水交換率と水質

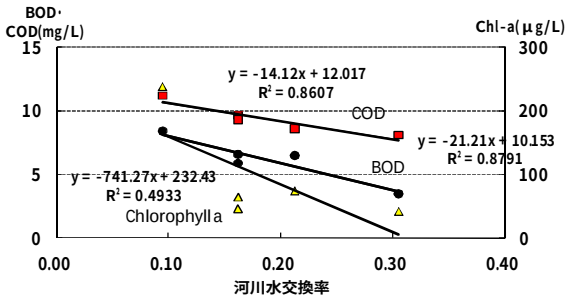

Fig.6 荒子川河口部における5日間の河川水交換率と水質

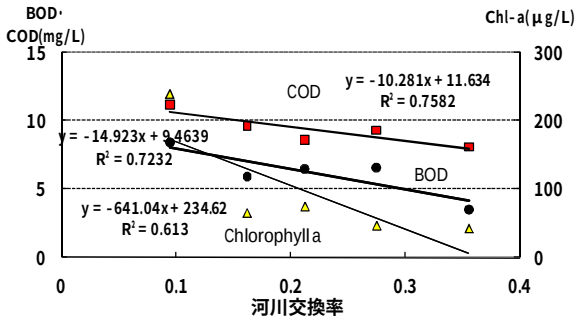

Fig.7 荒子川河口部における7日間の河川水交換率と水質

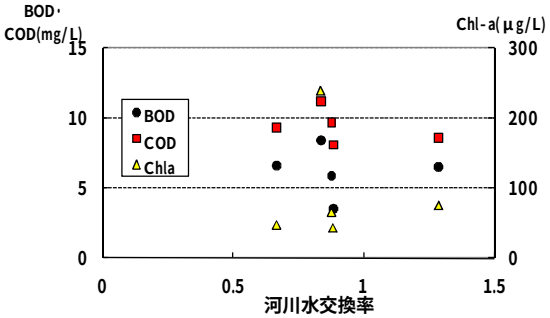

Fig.8 荒子川河口部における20日間の河川水交換率と水質

3 日間の累積水交換率，5 日間の累積水交換率及び 7 日間の累積水交換率と COD, BOD 及びクロロフィル a の相関性が認められた．3 日間，5 日間及び 7 日間について相関図から，COD 8mg/L を維持するための累積水交換率は 3 日間で約 0.28 以上，5 日間で 0.28 以上，7 日間で 0.35 以上必要となる．BOD 5mg/L では累積水交換率は 3 日間 0.19，5 日間で 0.28，7 日間で 0.30 必要となる．また，クロロフィル a　100μg/L は累積水交換率が 3 日間で約 0.10，5 日間で 0.18，7 日間で 0.21 を必要とするが，5 日間から 7 日間の累積水交換率が 0.1 位だと急速に濃度の上昇が認められる．

累積水交換率による水質の変動は河川への雨水の流入に伴い，貯水池の水交換率を高めることと，直接的な水質の希釈効果により，水質に良い影響を与えるが，逆に水交換率が低下すれば，滞留時間が長くなり，プランクトンの増殖により水質が悪化する．COD の累積水交換率の変動はこの水域の COD 濃度がもともと 8mg/L に近く，3 日間から 7 日間については BOD，クロロフィル a に比べて大きな値を示し，雨水流入の希釈効果による依存性が高いと考えられる．一方，BOD，クロロフィル a 濃度は順流水域で低く，滞留水域で上昇傾向があるため，この期間では累積水交換率の変動がかなり影響する．

Fig.8 には荒子川ポンプ所の水質と 20 日間の累積水交換率との関係を示す．20 日間の累積水交換率と BOD，COD 及びクロロフィル a の相関はあまり認められなかった．この理由は，長期な累積水交換率と水質との関係はプランクトンの増殖による富栄養化の水質が 5 日間から 7 日間の変動となるが，雨水流入による水交換率の変動が時間的にも量的にも不規則であることから，長期的な期間での相関性が認められないためと思われる．

かんがい期は庄内用水の流入があり，日量 20000m^3 とすれば，5 日間で 100000m^3，10 日間で 200000m^3 の流入量を加えることになり，これは水交換率の 0.37 及び 0.74 に相当する．したがって，かんがい期においては，COD 8mg/L 以下，クロロフィル a 100μg/L 以下を維持できる水源となっている．しかし，この水域は非かんがい期及びかんがい期も荒子川下流部（ポンプ所貯水池）は依然としてプランクトン繁殖に由来する富栄養化の状態であることから，水温，日照などの天候，ポンプ所の運行状況など様々な要因で水質が変動している．特に，これらの要因の中で水の滞留時間（水交換率）に関わるポンプ所の運行は水質への影響を与える．荒子川への流入量との兼ね合いもあるが，ポンプ所の排出を長期の緩慢な排出あるいは停止とした場合，かなりの水質汚濁を引き起こす要因になると考えられる．

まとめ

荒子川はかんがい期には庄内用水が流入しているが，非かんがい期には流入が止まり，特に河口部では水の滞留時間が長く，富栄養化の水質を呈している．非かんがい期でクロロフィル a の平均濃度は 2007 年度 250μg/L, 2008 年度 94μg/L, 2009 年度 74μg/L であった．

そこで，富栄養化の要因となる滞留時間の尺度として，荒子ポンプ所貯水池の累積水交換率と水質の関係を調べた．水質調査日を原点に 3 日間，5 日間及び 7 日間の累積水交換率と BOD, COD 及びクロロフィル a 濃度との相関性が見られた．最下流部の COD 8mg/L 以下に維持するには 5 日間累積水交換率は 0.28 以上，7 日間水交換率は 0.35 以上必要であった．また，クロロフィル a を 100μg/L 以下を維持するには 5 日間累積水交換率は 0.14 以上，7 日間水交換率で 0.17 以上であった．かんがい期の庄内用水導水は 5 日間累積水交換率で 0.37，10 日間水交換率で 0.74 に相当し，他の流入水と合わせればかんがい期においては COD 8mg/L 以下，クロロフィル a 100μg/L 以下の水質を維持できる水源となっている．

文　献

1) 名古屋市環境局, 名古屋市緑政土木局：市内河川・ため池の水質の変遷，2001
2) 名古屋市環境局, 名古屋市緑政土木局：市内河川・ため池の水質の変遷，2006