

芦田川河口湖水域における水質挙動の調査・解析

尾島 勝* 小林 三剛**

ANALYSIS ON CHARACTERISTICS OF WATER QUALITY
IN BARRAGE RESERVOIR OF THE ASHIDA RIVER

Masaru OJIMA* Mitsuyoshi KOBAYASHI**

ABSTRACT

The objective basin of this research is a lower course of the Ashida river passing through Fukuyama-city. As the urbanization of this area in recent years, the extent of pollution of river water grows remarkably worse. Especially, after the construction of barrage at the river-mouth in 1981, we have two serious problems for management of water quality. The one is a preservation of reservoir water which has been caused to eutrophicate and the other is a purification of the inflow water from small branch rivers which has been polluted heavily in exceed of the environmental standard.

As a part of analysis for above-mentioned subjects, this research was carried out by field survey of this area during about two years since summer in 1995.

The analytical results by using several items such as pH, DO, COD, SS, T-N, and T-P, are discussed with relation to the time-dependent characteristics of both precipitation and river-discharge.

キーワード：水質,改善,富栄養化,自浄作用,現地観測

Key Words: Water Quality, Preservation, Eutrophication, Self-Purification, Field Survey

1. はじめに

芦田川は、その水利用率は極めて高く、広島県東部、備後地方の“母なる川”と呼ばれる1級河川である。一方、近年流域の都市化が進み、下流部の水質汚濁の程度は全国的にみてもワースト11にランクされるほどである。したがって、清流ルネッサンス21の第1次計画対象河川にも選ばれ、水質浄化策が提示されている。とくに、下流部では流入支川の水質浄化と河口湖域水質の環境保全という2つの大きな課題がある。本研究は、このような課題の解決に取り組む一環として、河口湖域水質の挙動を河川流況や気象条件との関連において分析評価したものである。

2. 調査対象域の概況

芦田川は、流域面積約870km²、幹川長約86km、

総河川延長約560kmの中規模河川である。本川中流部(河口より43km)には、平成9年夏完成の八田原ダムがあり、750m³/secの洪水調節と17万m³/日(1.97m³/sec)の都市用水の供給、ならびに下流河道の流水の正常な機能の維持を図る流量を確保するという多目的ダムである。また、河口から1.3km地点には全長450mの河口堰(可動堰)が昭和56年6月に完成している。その河口湖(貯水域)面積は約2.5km²、貯水区間長は約8km、利用水深は3.0mである。この河口湖を含む芦田川下流部は、観測地点概略図(図-1)に示すように、右岸側2.5km地点に水呑水門が開き、7.0km地点に右支川瀬戸川が合流し、さらに7.8km地点には本庄床固め(草戸汐止め堰)があり河口湖貯水区間は終わる。さらに13.3km地点の中津原工業用水取水堰までの約5.5kmの河道区間には葦原の中洲が数多く発達しており、低水流路は蛇行し、複

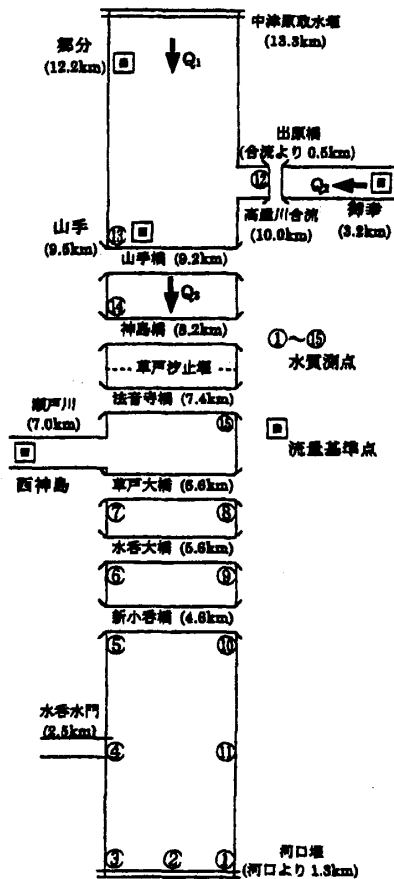


図-1 観測地点概略図

Fig.1 Schematic map and surveying points

表-1 河川流況

Table 1 River discharge conditions

観測地点	流域面積 (km ²)	豊水流量 (m ³ /s)	平水流量 (m ³ /s)	低水流量 (m ³ /s)	濁水流量 (m ³ /s)	備考
芦田川 府中 (26.8km)	489.9	10.52 (2.15)	6.14 (1.26)	4.69 (0.96)	3.11 (0.68)	S.58~H.4
芦田川 上戸手 (21.0km)	585.0	9.77 (1.87)	6.01 (1.09)	4.42 (0.76)	3.40 (0.58)	S.58~H.4
芦田川 郷分 (12.2km)	648.6	7.28 (1.12)	1.89 (0.26)	0.43 (0.07)	0.02 (0.03)	S.58~H.4
芦田川 山手 (9.5km)	817.1	9.02 (1.10)	2.72 (0.33)	1.10 (0.13)	0.28 (0.08)	S.58~H.4
高屋川 御幸 (3.2km)	136.2	2.55 (1.87)	1.38 (1.01)	0.82 (0.60)	0.83 (0.24)	S.58~H.4

注) () 内数値は 100 km² 当たり比流量換算値 (m³/s/100km²) を示す。

数の水みちがある。左岸側 10.5km 地点に流域面積 142km²、流路長 21.3km の高屋川が合流するが、この河川の汚濁度が極めて高い。

芦田川、高屋川の主要地点の河川流況を比較して表-1 に示した。府中、上戸手はそれぞれ河口より 26.8km、21.0km であり、八田原ダムとのほぼ中間点にあたる。郷分の流量は工業用水取水後の本川流況を示し、山手の流量は高屋川の合流後の流況を示して

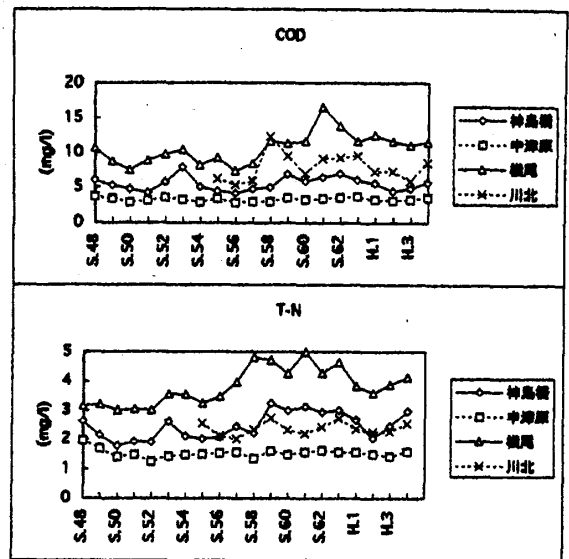


図-2 COD,T-N の経年変化

Fig.2 Annual changes of COD, T-N

いる。すなわち、郷分の低水流量は上戸手に比べて約 4m³/sec も減少しており、比流量は 0.07 と極めて小さい。山手では、高屋川の合流により流況は若干改善されているが、低水流量、濁水流量を比流量でみれば、それぞれ 0.13、0.03 であり、河川水量は極めて乏しいことがわかる。一方、支川高屋川の御幸の流況についてみれば、低水流量は郷分の約 2 倍を供給し、濁水流量では本川流量のほとんど全量を補給していることがわかる。

昭和 48 年～平成 4 年までの 20 年間にわたる COD および T-N の年平均値の経年変化を図-2 に示した¹⁾。中津原測点は図-1 に示した工業用水取水堰の直上流(13.3km)にあり、横尾、川北は高屋川の合流口よりそれぞれ、3.2km、7.3km 地点である。COD 値についてみれば、神島橋では、ほぼ 5~6mg/l で経年的にみれば、ほぼ横ばいの状態にある。横尾では昭和 50 代の半ばから上昇傾向にあり、平成年代では 11~12mg/l となっており、神島橋の値に比べて約 2 倍、B 類型環境基準値(5mg/l)に比べても 2 倍以上の汚濁状態にある。また、T-N 値についてみれば、中津原では、ほぼ 1.5mg/l 程度を維持しているが、高屋川が合流した後の神島橋では、昭和 50 年代半ばから上昇傾向を示し、昭和 60 年代以後は 3mg/l 程度となっている。この原因としては高屋川の汚濁の程度が極端であるからといえる。

3. 水質調査の概要

今回実施した水質調査は、図-1 に示したように中津原工業用水取水堰より下流の河道および河口湖野水域に 15 測点を設定した。水質調査は、平成 8 年 1

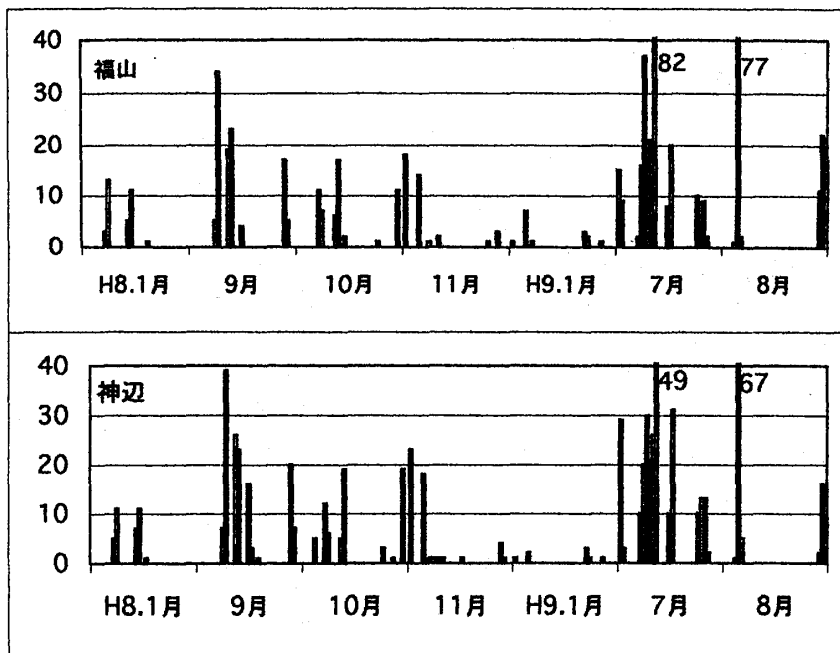


図-3 降雨記録(福山・神辺)

Fig.3 Daily precipitation records (Fukuyama, Kannabe)

月19日、10月4日、11月1日、平成9年1月10日、7月31日、8月21日、10月14日の計7回実施した。神島橋より上流の3測点以外の12測点は船上よりの計測および採水であり、船上計測に要した時間は約1時間であり、計測開始は毎回午前10時30分とした。COD、SS、濁度、T-N(有機態窒素および硝酸態窒素)、T-Pの水質項目については採水試料を米国HACH社の水質分析装置DR2000を用いて分析した。また、水温、pH、DO、電気電導度については東亜電波工業の投入型水質チェッカーWQC-20Aを用いて即時計測した。

4. 水質挙動の分析および考察

4-1 水文気象条件

今回の水質調査日に対し、計測日に至るまでの降雨状況ならびに河川流況を比較検討した。その考察結果を簡潔に示す。図-3に福山および神辺における日降雨量(mm)を示した。

(1)冬季

計測日までの10日間降雨についてみれば、平成8年1月は16~19mm、平成9年1月は3~9mmと比較的少雨である。平成8年1月の日流量のハイドログラフを郷分(Q₁)、山手(Q₃)、および御幸(Q₂)、西神島(Q₄)の4測点(図-1参照)について示す(図-4)。これらのグラフより降雨から河川流量への変換におよそ1日の時間遅れが生じていることがわかる。各測点の集水面積は、郷分648.6km²、山手817.1km²、御幸

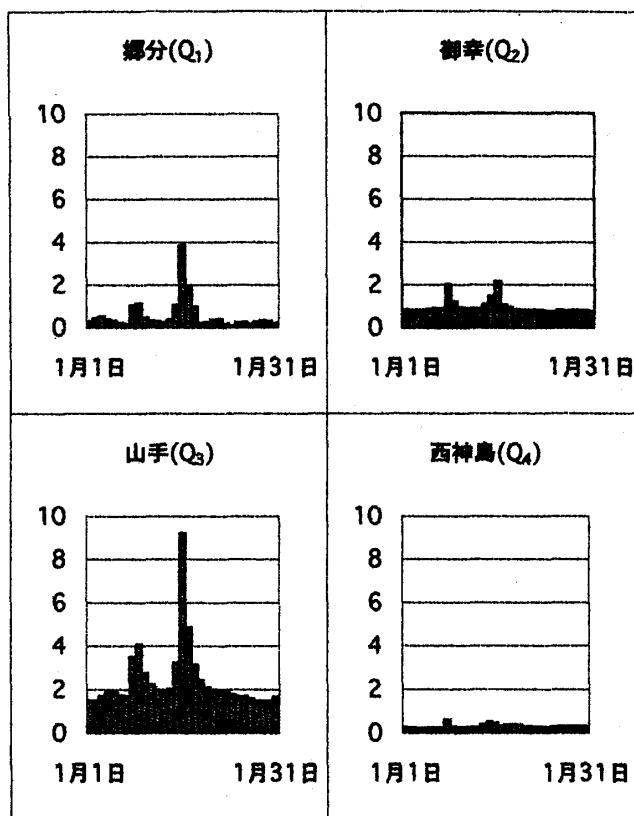


図-4 流量記録(平成8年1月)

Fig.4 River discharges at 4 station

136.2km²、西神島59.5km²であり、郷分と山手間に高屋川が合流しているが、この2測点間の約3kmの河道区間に対する直接の降雨集水域は32km²である。

図-4 に示した河川流況を比較すれば、無降雨期間では郷分流量(Q_1)よりも、支川高屋川の流量(Q_2)の方が多しこと、さらにこの2測点の流量の合計よりも山手流量(Q_3)が $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 以上も多いことがわかる。したがって、冬季無降雨期における河口湖貯水域への供給水量に対する高屋川の寄与率が大きいことが確認できる。さらに、郷分～山手間の河道区間において直接集水域からの表流水の流入や地下水からの表流化が生じていることがわかる。このような河川流量の増加現象は、降雨出水時にはさらに明確になり例えば16日では、 Q_3 $9.20\text{m}^3/\text{s}$ 、 Q_1 $3.28\text{m}^3/\text{s}$ 、 Q_2 $2.13\text{m}^3/\text{s}$ であり、 Q_1 と Q_2 の合計より $3.79\text{m}^3/\text{s}$ の流量増となっている。

水質調査日(1月19日)の河川流況は、山手(Q_3) $2.41\text{m}^3/\text{s}$ 、郷分(Q_1) $0.21\text{m}^3/\text{s}$ 、御幸(Q_2) $0.82\text{m}^3/\text{s}$ 、西神島(Q_4) $0.37\text{m}^3/\text{s}$ であり、 $Q_3 > Q_1 + Q_2$ となっており、降雨4日後であるが、この河道区間においてなお表流化現象が続いていると判断できる。

(2) 秋季

計測日(10月4日)前10日間降雨は、9月29、30日の2日間で22~27mmであり、11月1日の計測日に対しては10月31日の16~19mmの一雨である。このときの河川流況については図-5 に示した。図-3 に示したように9、10月には比較的強い雨が数回降っており、各測点におけるピーク流量はかなり大きな値となっている。また、降雨流出の時間遅れはおよそ1日といえる。

一方11月1日に至る10日間はほとんど無降雨期間といえ、御幸流量(Q_2)は $1.5\text{m}^3/\text{s}$ 程度で漸減しているが、郷分流量(Q_1)は極めて少なく本川流量は中津原堰より上流でほとんど取水されているといえる。したがって、山手流量(Q_3)は $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度は維持しているものの Q_2 の約 $2/3$ に減っており、この区間において河川水が伏流(地下水化)することがわかる。

(3) 夏季

平成9年7月は、西日本には梅雨前線の停滞と台風の影響によって、各地に甚大な被害を残した。芦田川もかなりの出水を記録しており、山手で7月10日 $295.5\text{m}^3/\text{s}$ 、12日 $303.4\text{m}^3/\text{s}$ と算出された。計測日(31日)の前10日間では、25日~28日まで台風9号の雨が降り、その結果山手では28日に $29.7\text{m}^3/\text{s}$ の出水をみた。計測日の流量は、 Q_1 $8.29\text{m}^3/\text{s}$ 、 Q_2 $1.69\text{m}^3/\text{s}$ 、 Q_3 $16.72\text{m}^3/\text{s}$ 、と比較的大流量であり、 $Q_3 > Q_1 + Q_2$ となっている。

また、8月も前半は強雨ではないが雨が長く、4日~6日に神辺で73mm、福山で80mmの降水量を記録しており、8月6日~9日の間は、山手で $20\text{m}^3/\text{s}$

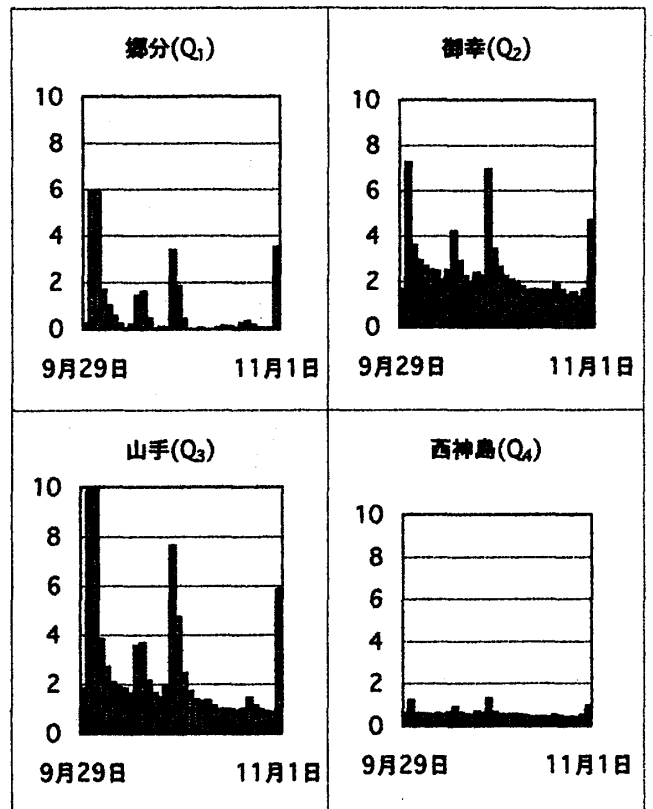


図-5 流量記録(平成8年10月)
Fig.5 River discharges at 4 station (Oct)

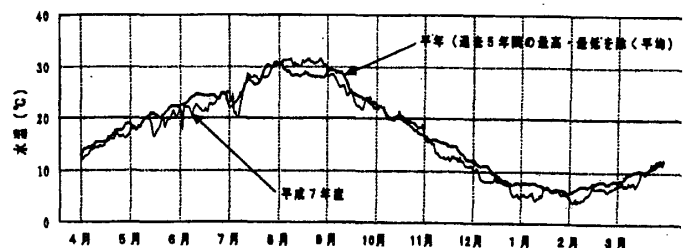


図-6 河口湖水温の年変動
Fig.6 Water temperature of reservoir

を超えており、6日 $70.66\text{m}^3/\text{s}$ 、7日 $89.61\text{m}^3/\text{s}$ の出水となり、13日にも $26.52\text{m}^3/\text{s}$ を記録している。計測日(21日)の流量は、 Q_1 $1.41\text{m}^3/\text{s}$ 、 Q_2 $1.21\text{m}^3/\text{s}$ 、 Q_3 $3.88\text{m}^3/\text{s}$ であり、いずれの測点においても平均的な平水流量程度であって、 $Q_3 > Q_1 + Q_2$ の関係にあり、表流化現象による流量増は $1.26\text{m}^3/\text{s}$ となる。

4-2 水温, pH, DO

平成7年度の福山市水道局水質試験報告書によれば、河口湖における水質環境は以下のものである²⁾。

河口湖内の水温の年間変動は図-6 に示すように夏季の 30°C 程度から冬季の 5°C 程度の間で調和関数的に変動している。水温の変化は水質に大きな影響を

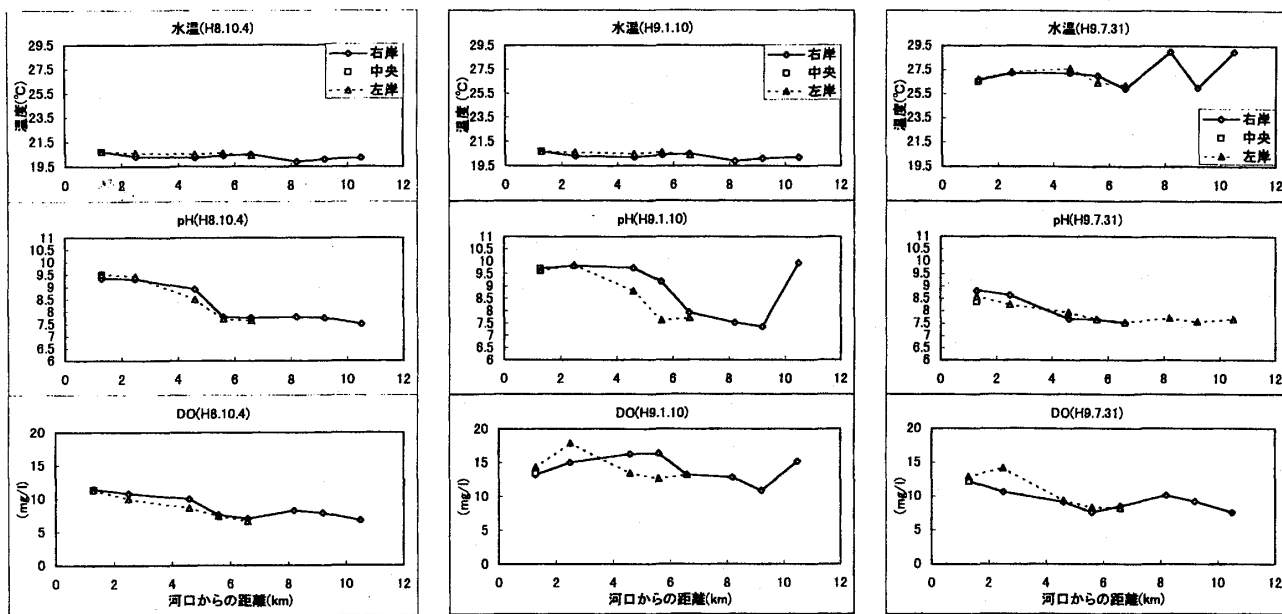


図-7 水溫,pH,DOの場所的変化 図-8 水溫,pH,DOの場所的変化 図-9 水溫,pH,DOの場所的変化
 Fig.7, Fig.8, Fig.9 Local changes of temperature,pH,DO

与える生物の繁殖に直接的に関与する。すなわち、水溫 10℃以下では珪藻類がほぼ 100% 優占し、12月上旬から3月上旬までの約3ヵ月は湖水は茶褐色である。水溫 10~20℃では、藍藻類、緑藻類、その他原生動物がそれぞれ 10% 程度を占め、珪藻類の比率は 60~70% となる。しかし湖水はまだ茶褐色である。さらに水溫が 20℃を超えると、藍藻類や緑藻類の占める割合がさらに高くなり、アオコの異常繁殖による湖面水の緑色化が生じることがある。したがって、5月中旬から10月上旬までの5ヵ月間は水溫条件としてはアオコの増殖に適しているといえる。しかし、6月下旬から7月中旬までの梅雨期には河川流入量が多く、水溫も低下するために藍藻類の増殖が抑止され、アオコが生じないこともある。

また、分析値を後に示すが、湖内水は窒素やリンなどの栄養塩類が極めて豊富であり、一年を通じて生物の活動も非常に活発である。そのために pH 値も上昇する。また一般に湖内水の滞留日数が長くなれば pH 値も増大する。河口堰直上部から取水した工業用原水の pH 値は 7.3~10.0 の間で変動している。

以下には投入型水質チェッカーによる水質調査結果について比較考察した。ここには冬季(平成9年1月10日)、秋季(平成8年10月4日)、夏季(平成9年7月31日)の各水質項目の場所的変化を示した(図-7~図-9)。

7.4km より上流の測点は水深が浅いために各水質項目の様相が不規則である。したがって、水深がほぼ

3m 程度である 6.6km(草戸大橋)より下流の河口湖水域における計測値から考察した。

(1)水溫

冬季の水溫は、貯水域区間の上流から下流へ向かって低下傾向を示し、およそ 1~1.5℃の温度差がある。秋季の水溫は、常に上流から下流へ向かって上昇傾向を示しているが、その温度差は 0.5℃以下である。このことは貯水域への流入流量が大きく、貯留水の混合が促進されているためと判断できる。また夏季(7月31日)の水溫は、数回の大出水の後であり、夏季としては平均水溫に比べて 3~4℃低い。場所的な温度差は 0.5℃以下であり、貯留水の混合は大きいと判断できる。一方、図示していないが無降雨継続後の 8月21日の計測値は、堰直上流で 29.4℃、4.6km 地点で 31.1℃、6.6km 地点で 30.3℃となっており、夏季の平均水溫に回復している。また、すべての計測結果において左岸側測点の水溫が右岸側よりも 0.3℃程度高い。このことは流心が左岸側にあることを示している。

(2)pH

冬季は 10mg/l 程度、秋季は 9.5~8mg/l、夏季は 9.5~7.5mg/l を示し、ほぼ単調に下流に向かって上昇している。すなわち、滞留性が下流ほど強くなること、さらには植物プランクトンの活性が増すことに起因していると推測できる。

(3)DO

冬季は 15mg/l 程度、秋季は 12~7mg/l、夏季は

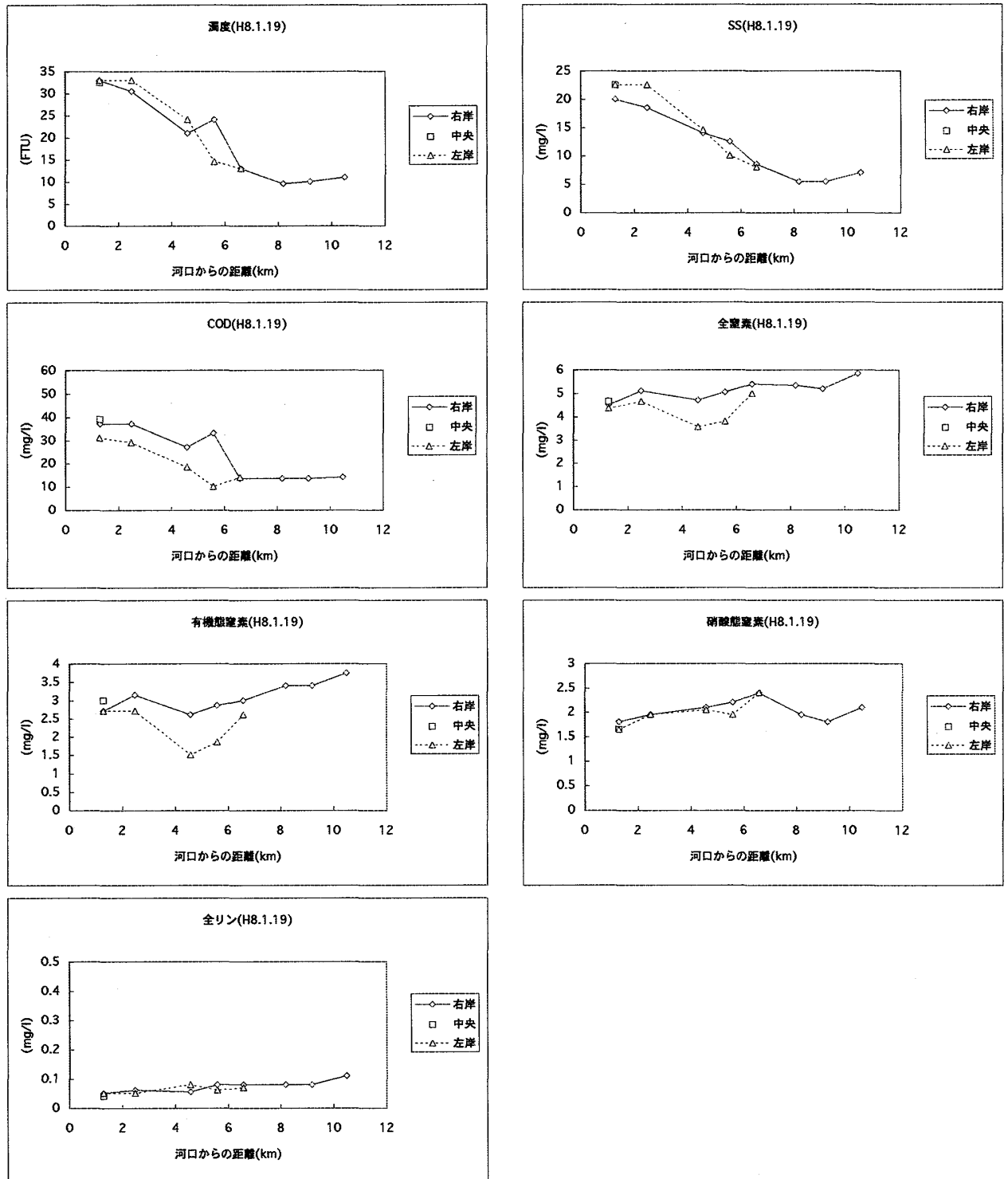


図-10 各水質項目の分析結果

Fig.10 Analytical results of all water qualities

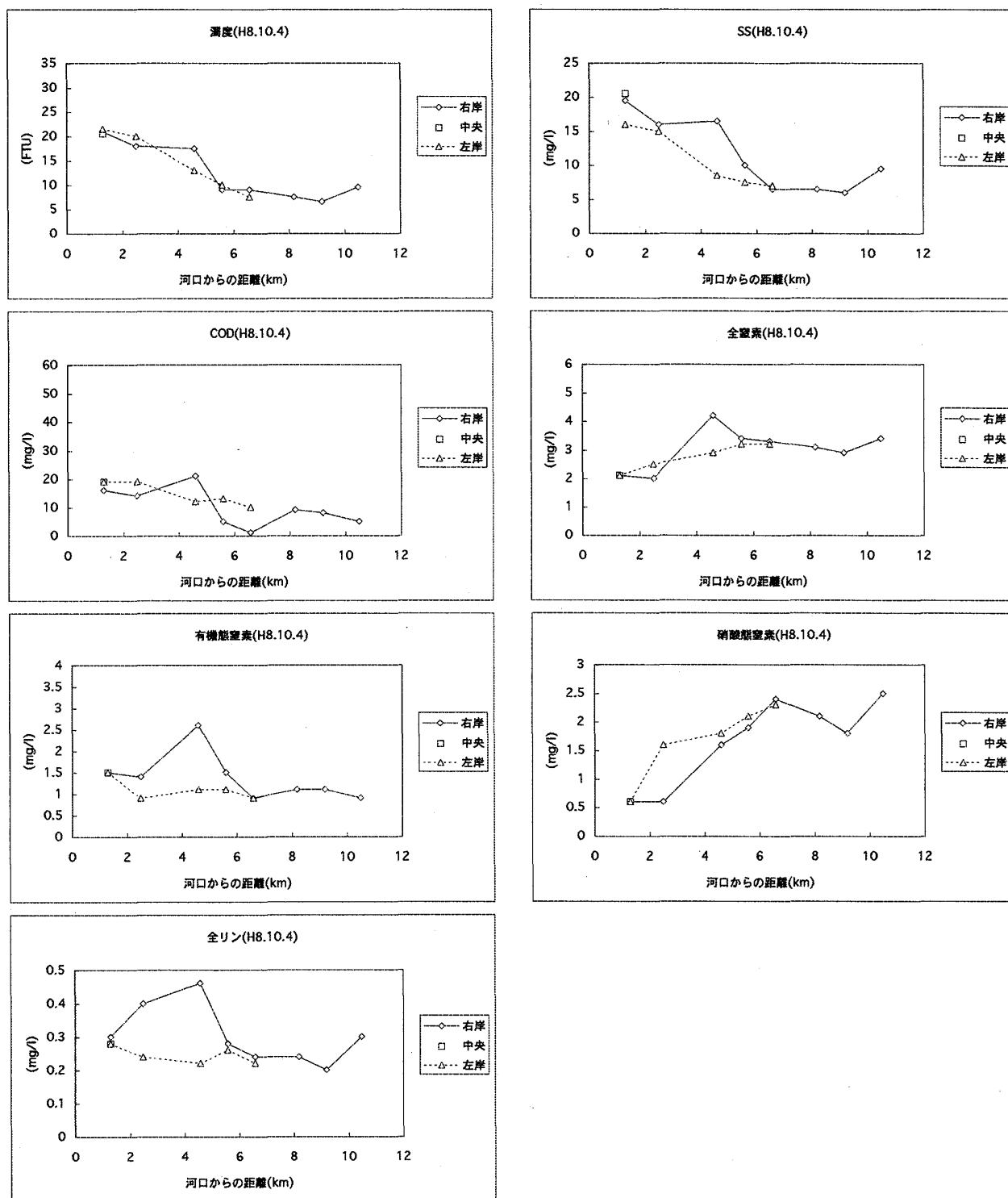


図-11 各水質項目の分析結果

Fig.11 Analytical results of all water qualities

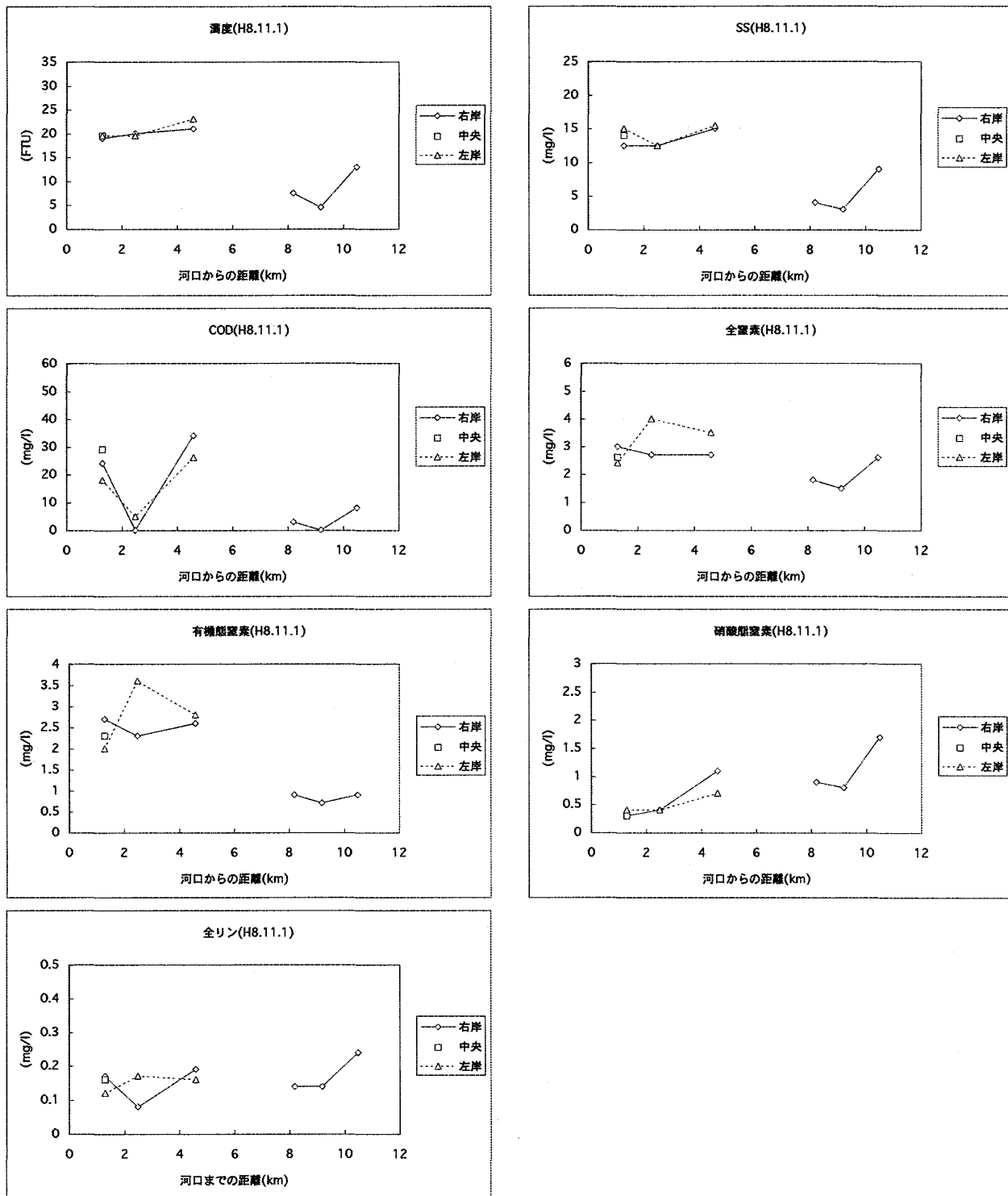


図-12 各水質項目の分析結果

Fig.12 Analytical results of all water qualities

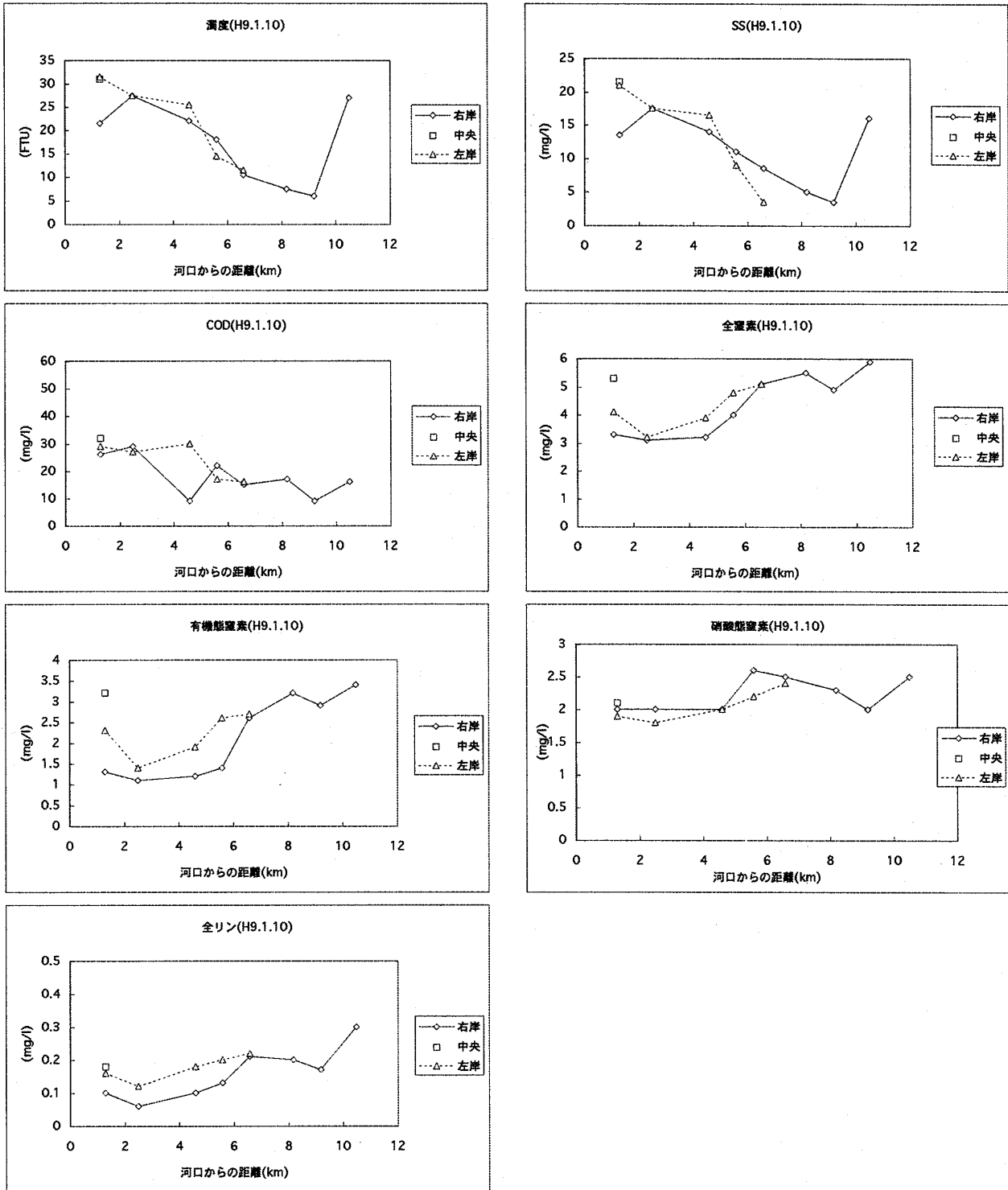


図-13 各水質項目の分析結果

Fig.13 Analytical results of all water qualities

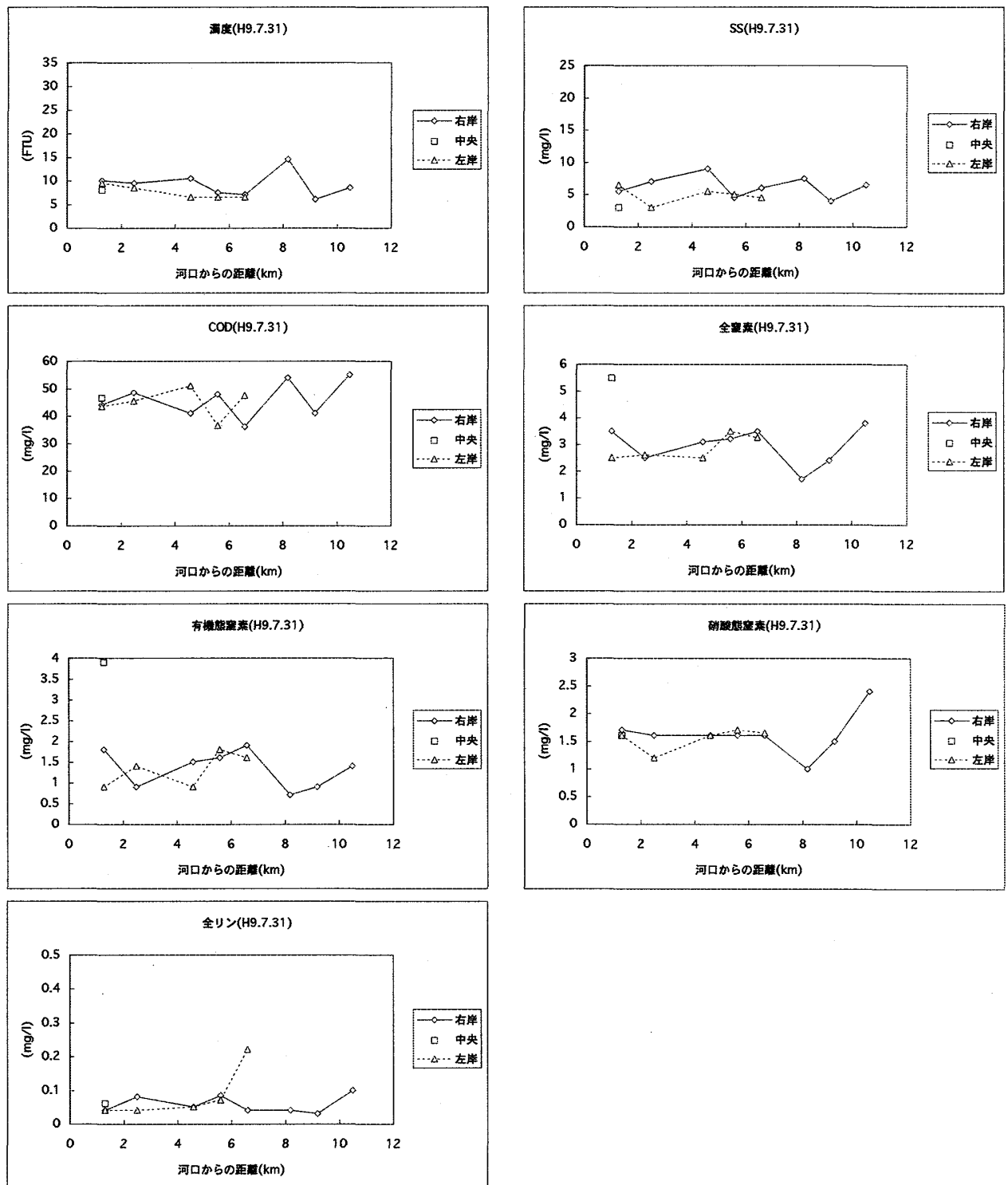


図-14 各水質項目の分析結果

Fig.14 Analytical results of all water qualities

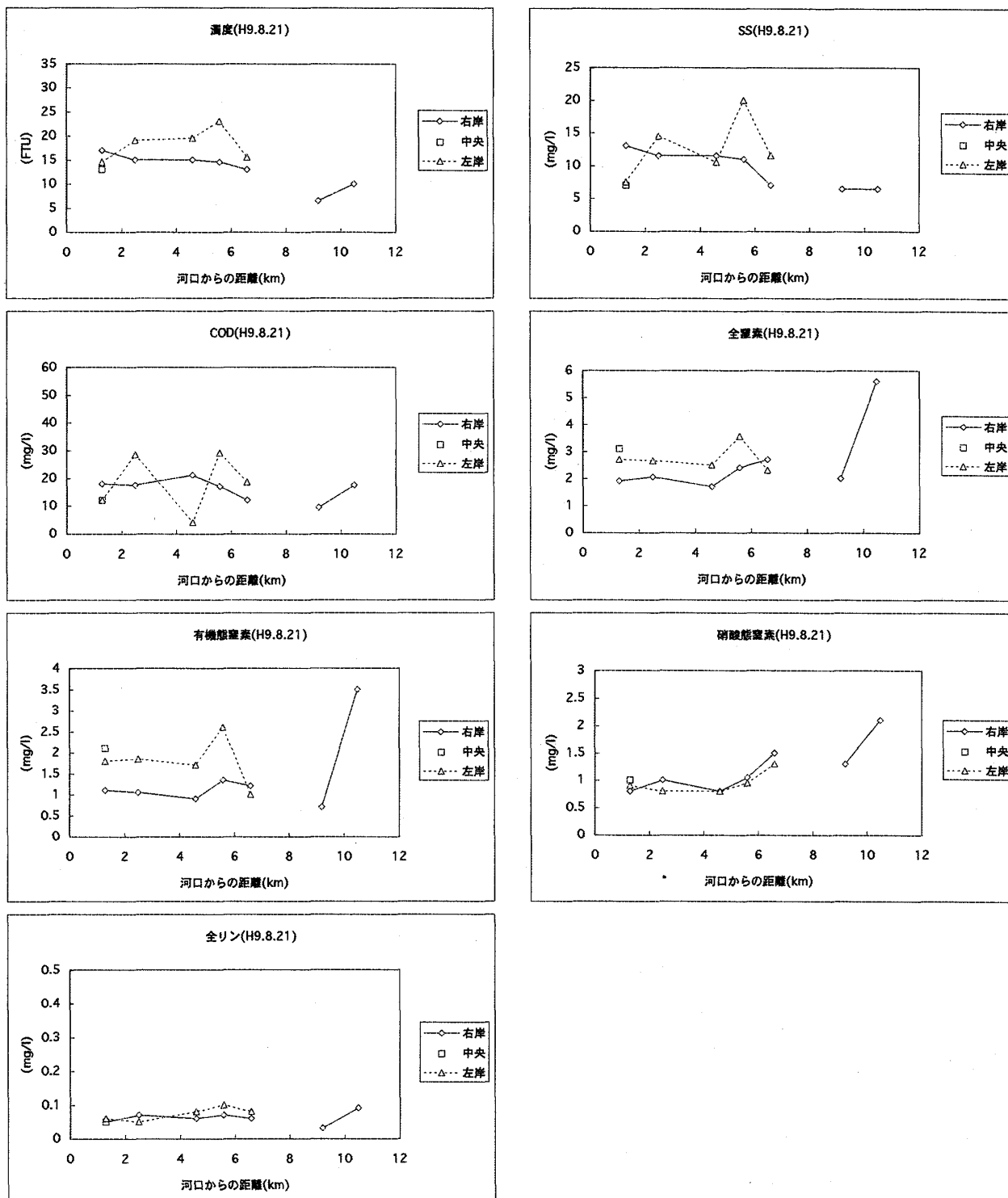


図-15 各水質項目の分析結果

Fig.15 Analytical results of all water qualities

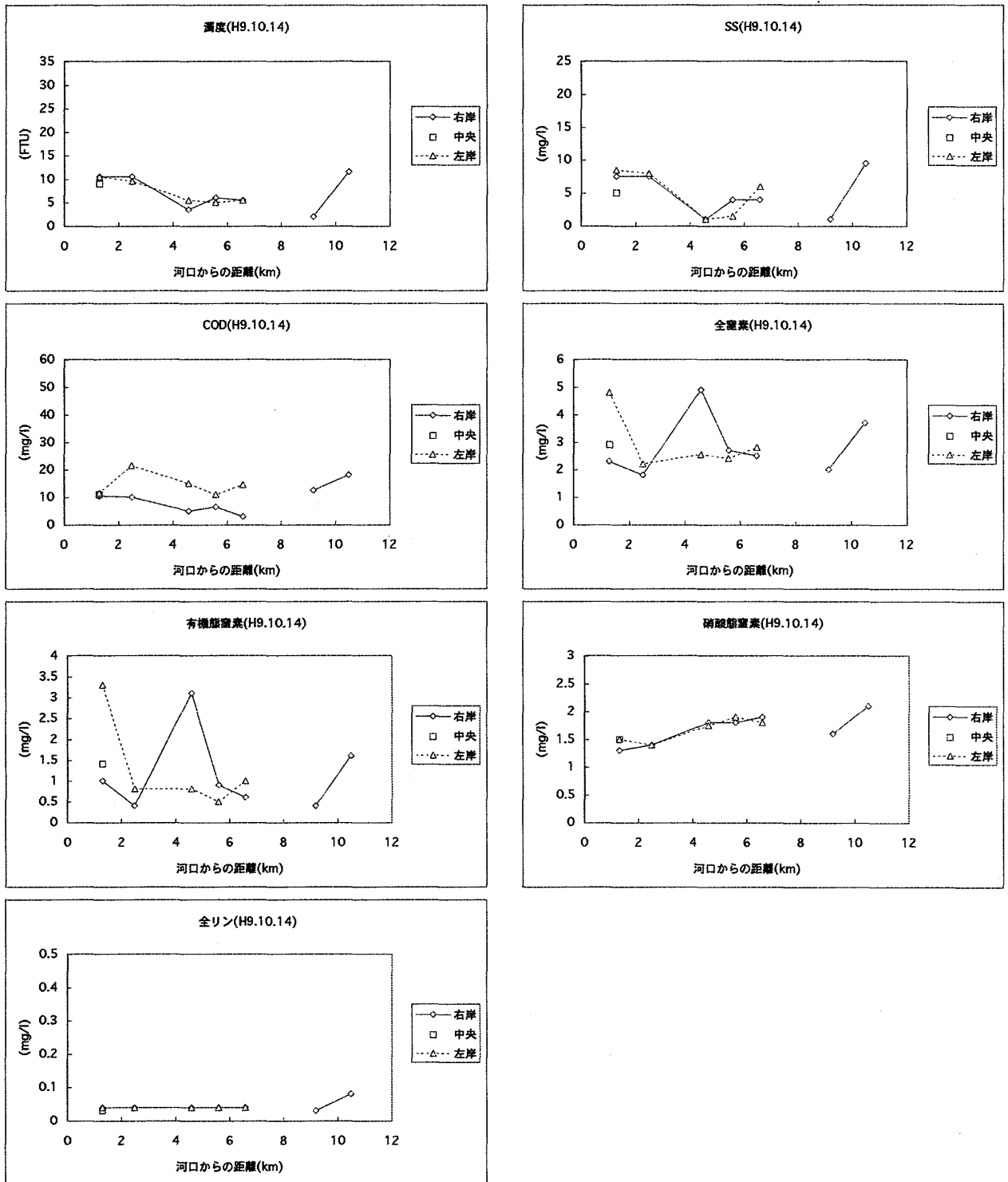


図-16 各水質項目の分析結果

Fig.16 Analytical results of all water qualities

19~8mg/lを示している。河口湖貯水域への河川流入流量が多い秋季(10/4)や夏季(7/31)の濃度値をみれば、貯水域上流端近く(6.6~5.6km)の測点では7~8mg/lであるが、下流へ向かって流下距離に比例的に増大していることがわかる。一方、河川流入流量が少ない11月1日や8月21日の調査では、貯流域内の各測点の濃度値には大差はない。すなわち、富栄養化の程度の極めて強い貯留水は、その滞留性が増大するにしたがって、生物活性の強さに応じて溶存酸素量が増大し、過飽和の状態にまで速やかに進行して貯水域のほぼ全域に拡大していくといえよう。

4-3 CODおよびSS

各調査日における採水試料の水質分析結果に基づき、以下のような考察を行った。各水質項目の場所的变化を調査日ごとにまとめて、図-10~図-16に示した。

(1)COD

秋季、冬季の濃度変化を場所的にみれば、河口から4.4km地点までの貯水域ではほぼ一定値を示し、それより上流では距離の増大とともにほぼ直線的に減少している。とくに降雨量の少ない冬季には貯留水の滞留時間も長くなりそのために濃度値は30mg/l程度に高まる。一方、降雨出水が継続している10月4日は、貯水域濃度は20mg/l程度であるが、上流の河道区間では10mg/l以下となっており、河口域流入水の平均的濃度値(7.1mg/l)に近い。しかし、数回の大出水後の夏季(7/31)の値は、すべての測点で40mg/l程度以上であり、また上流部ほど高濃度の傾向が表われている。さらに、図化は割愛しているが無降雨状態が長く続いている8月21日の計測結果では、貯水域内測点では20mg/l程度に低下している。したがって、7月31日の極端な濃度上昇は、上流の都市域からの生活雑排水等の高汚濁物質の一時的な大量流入に起因していると考えられる。

(2)SS

降雨出水の影響を受けていると考えられる、秋季(10/4)・冬季(1/19)の濃度は河口堰近くで20~23mg/lであるが、距離とともに速やかに低減しており貯水域の上流端測点では7~5mg/l程度の良好な値となる。また大出水が続いた直後の夏季(7/31)の値は、10~5mg/lの範囲で変動している。したがって、出水に起因する土砂濁りや底泥の巻上げなどの影響はあまり長期化しないことがわかる。

また、無降雨継続中の秋季(10/14)の濃度は河口堰近くでも10mg/l以下であり、貯水域の上流部では5mg/l程度以下と良好な値である。

次にCOD値と流入負荷量の関係を考察するために、山手地点における流量(Q₃)と瀬戸川(西神島)の流量

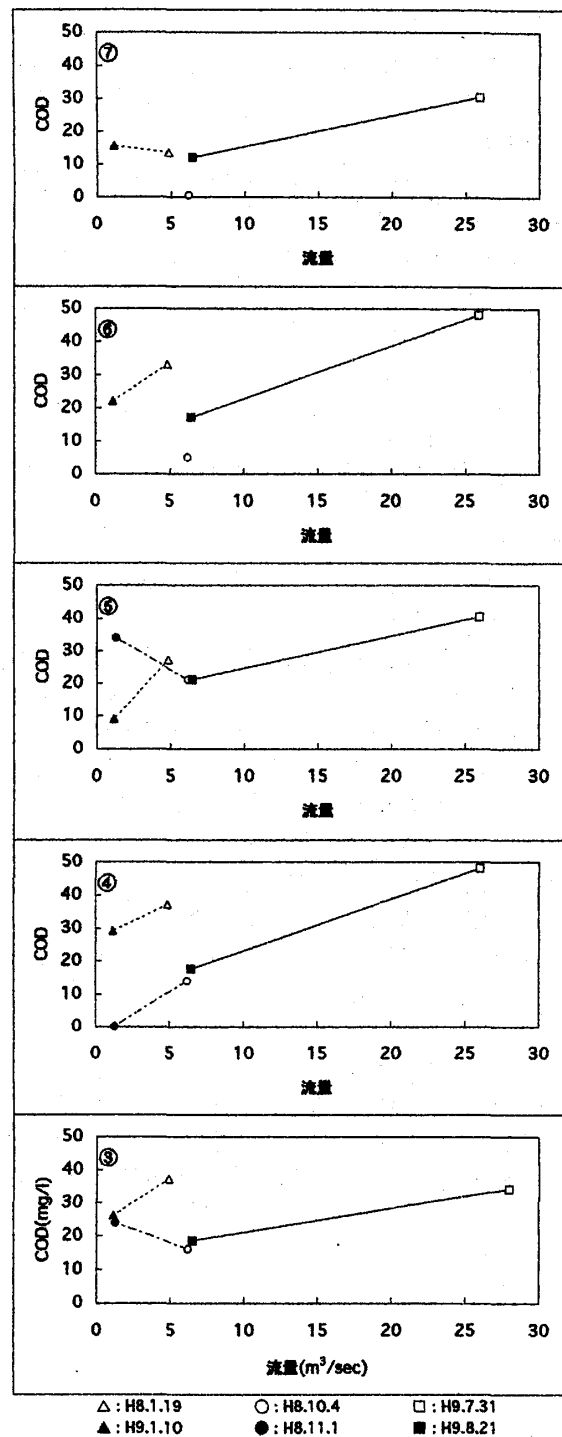


図-17 CODと流量の関係

Fig.17 Comparison with COD and discharge

(Q₄)の計測日前5日間の平均流量の合計値と湖内域右岸5測点(③~⑦)における濃度値を図-17に示した。

7月31日以外の計測日に対応する流入流量は6m³/l程度以下である。この図から次のような流出特性を見出すことができる。

冬季には測点⑦を除きグラフの傾きが右上がり

あるから、流量の増大とともに汚濁負荷量も増大するといえ、さらに下流部測点ほど濃度値が高くなる傾向にあり、汚濁負荷の下流への流送と蓄積が生じていることが推測できる。

夏季についてもグラフの傾きは右上がりであり、上記と同様に汚濁負荷量の流入増となる。しかし、流量が多いために流水の混合作用によって湖内域で濃度は一様化することになる。

秋季についてはデータが未完であり詳しい言及はできない。

4-4 T-NおよびT-P

栄養塩の指標であるT-NおよびT-Pの場所的変化について考察する。

(1)T-N

冬季では、平成8年・9年のいずれの場合も、高屋川では6mg/l程度の高濃度を示している。しかし、平成9年の場合は、濃度値は流下距離とともに漸減し、河口湖貯水域内では急激に低下して3mg/l程度になる。とくに、濃度低下の様相は左岸側(流心)よりも滞留性の強い右岸側で顕著である。一方、平成8年の場合は、図から明らかなように右岸側の濃度がい減がゆるやかであり、最下流の測点においても濃度値は4.5mg/l程度である。このことは、この期間内に右岸側河岸に葦原を植生し、礫間接触効果とともに水質浄化を目指した効果が発現しているものと判断している。このことはリン除去効果についても同様のことが言える。

秋季では、濃度値は3.4~2.1mg/lの範囲にあり、冬季のほぼ1/2程度である。また夏季では貯水域内濃度は3.0mg/lを平均値としてわずかに変動している。これをさらに詳しくみれば硝酸態窒素はほぼ

1.6mg/lで安定しているが、有機態窒素が1.9~0.7mg/lの間で変動していることがわかる。

(2)T-P

夏季の7月31日、さらに3週間後の8月21日の濃度値をみれば、場所的な変動はほとんどなく、0.04~0.08mg/lである。また、計測日前5日間にかんりの流量があった冬季(平成8年1月19日)の場合も0.05~0.08mg/lであった。しかし、平成9年1月10日の濃度値は0.22~0.12mg/lと高く、また大出水後の10月4日の値は測点④、⑤を除けば0.28~0.22mg/lと高濃度である。さらに河川流入量が少ないと考えられる平成9年10月14日では0.03~0.04mg/lの値である。したがって、流入流量との関係を検討する必要がある。

5. あとがき

芦田川は水環境管理計画も定まり目標水質の達成を目指して、数多くの事業が展開されているが、本研究で得られた成果が活用されることを願っている。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、建設省福山工事事務所に格別のご配慮をいただいた。また、平成7年から3年にわたり科学研究費：基盤研究(A)、(1)代表、東北大学工学部教授、澤本正樹「全日本比較河口学の展開」の補助金の交付を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1)福山市水道局,水質試験報告書(S.48~H.4)
- 2)福山市水道局,水質試験報告書(H.7)