第24回水理講演会論文集　1980年２月

低平地河川中川の流況と水質汚濁の関係

THE RELATION OF FLOW REGIME AND ITS WATER POLLUTION AT THE LOW LAND NAKA RIVER.

東京電機大学理工学部建設工学科　正会員　小野久彦

まえがき

関東地方の中心部にあって、利根川の沖積作用によって形成された流域を持つ中川流域は、その面積約1,０００㎢で、幹川中川の年間流出量が約１０億㎥あり、その水環境容量と水利用の対策が考えられている。一方この流域内に昭和３０年代以降都市化が進み、流域人口の増加とともに河川水質が悪化している。そこで今後の水対策のために河川流況と水質の関係を数量的に明らかにしようとするものである。

中川の流況については、流量観測資料等の水文資料より水収支の解析を行い、流出量の物理的モデルであるタンクモデルを作成する。インプットは流域降雨および域外取水によるかんがい用水流入量であり、流域の蒸発散損失および地下浸透量を定める。アウトプットは中川柿ノ木地点（集水面積７０６㎢）の流出量である。水質項目は昭和３９年より埼玉県企業局柿ノ木浄水場（工業用水）で測定されている中川原水の各水質月別平均値を用いた。各水質項目の経年変化および月別流量との相関を求めて、自然汚濁と人工汚濁の状況を定量化した。

1.　中川の流域状況

中川流域は利根川、江戸川、荒川によって囲まれた古利根川平野で、その全面積は約1,０００㎢、この地帯は昔の利根川、荒川が乱流していた低平な湿地帯である。この低平地（洪積層３０％、沖積層７０％）の約５万㌶の水田を開発するための農業水利組織が作られて現在にいたっている。用水は最上流の荒川より10㎥／sec、北方の利根川より８０㎥／sec、東側の江戸川より１４㎥／sec、合計約１００㎥／secが流入する。排水は中川、綾瀬川、芝川で排出され、東京都内を通って東京湾に出ている。

この水利状況で昭和３０年以降中川流域が首都北郊に位置するために都市化してきた。中川下流の東京都内は全域市街地となった。埼玉県域においても中川流域人口は昭和５３年には１２０万人となり、昭和３５年の人口７０万人に対して1.7倍となり、昭和４０年以降は年率４～５万人の直線的増加の状況である。その人口増加とともに急速に深井戸揚水による上水道および工業用水の使用量が増加して、上水道においては普及率は１００％に近く、その上水道給水量は年間約１億㎥（昭和５１年度）となっている。一方下水道施設は未整備のまま、家庭および工場排水がすべてもよりの排水路河川に排出され、また流域内に点在するし尿処理場より放流される処理排水も多量で、稀しやく水として深井戸より揚水してし尿処理水に加えて放流される。

一方、農業用水は昭和３０年までは流域内の食糧増産、用・排水改良に伴って用水量も漸増の傾向であった。しかしその後の流域南部の都市化とともに流域内の農業状態も変化した。特に南部では用水不用の地域が増加して、その反面北部に配水量が増える傾向で、農業用水の全体の取水量は昭和３０年代以降頭打ちの状況である。しかも既設の農業水利施設断面に従って取水、分配しているといってよい。このような状況で農業用水の改善と再編成を行って、その余剰水を都市用水に転用するといった農業用水合理化事業が行われている。

このような流域状況のもとで、中川流域の河川は都市排水（汚水）の流出により河川水質が悪化している。南部河川は極度に汚染され、中川本流の水質も徐々に悪化している。本論では中川柿ノ木地点（河口より30㎞、中川上流、大落古利根川、新方川、元荒川合流後）の流況および水質状況を調べたものである。流況については中川本川が感潮部のため、タンクモデルによるクロスチェックを行い、なお流況と水質の関係を求めた。

2. 中川の水収支と流出タンクモデル

中川柿ノ木地点（４川合流）流域面積７０６㎢の水収支を算定する。流域降雨量は降雨観測地点８ケ所の平均である。かんがい用水量は昭和４３～４７年の５ケ年間流入量をみると変動が少いので、その平均をとって、９７３㎜とした。昭和３０年代のかんがい用水量と比較してもあまり相違はない。ただし旱天時には多少用水量は多く、例えば昭和４８年渇水年では１０％位増量されている。降雨と、域外用水取水量が流域流入量である。

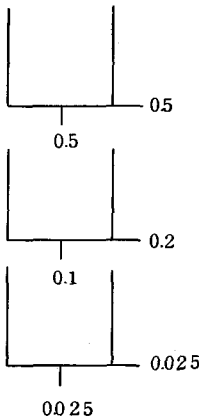
中川柿ノ木地点流出量は４川合計値が昭和２８年から観測されており、その値を用いた。途中に欠測があるが、修正補足して年間の流出高を計算した。（柿ノ木地点は感潮域であり流量値はなく、４川合計値であるために流量精度としては低い値である）。これに域外取水としての末田用水（元荒川）、東京葛西用水等（大落古利根川）の１６２㎜を加算して流域流出量とした。水収支の値をみるとばらつきはあるが、流入量－流出量は７００～７５０㎜／年である。表－１

表－１　中川吉川（４川合流）の水収支および流況

昭和年	流入量 ㎜		4川合流実測 ㎜		水収支 ㎜（流入－流出）	流況（月平均）			年流出量 10^6 m^3
	降雨量	全量 ①	吉川流出量	全量 ②		最少 ㎜/月	最大 ㎜/月	全年 ㎜	
３０	1,338	2,311	—	—	—	40	224	1,411	996
３１	1,370	2,343	1,601	1,763	580	32	216	1,453	1,026
３２	1,238	2,211	1,324	1,486	725	27	255	1,323	934
３３	1,544	2,517	1,552	1,714	803	24	381	1,528	1,079
３４	1,413	2,386	1,469	1,631	755	55	203	1,503	1,061
３５	1,034	2,007	900	1,062	945	22	206	1,175	830
３６	1,258	2,231	1,216	1,378	853	22	329	1,326	936
３７	1,014	1,987	1,293	1,455	532	16	214	1,140	805
３８	1,157	2,130	1,176	1,338	792	18	227	1,238	874
３９	959	1,932	975	1,137	795	36	156	1,082	764
４０	1,296	2,269	1,335	1,497	772	13	249	1,340	946
４１	1,432	2,405	1,326	1,488	917	33	358	1,497	1,057
４２	1,036	2,009	—	—	—	25	201	1,136	802
４３	1,324	2,297	1,351	1,513	784	23	256	1,363	962
４４	1,081	2,054	1,154	1,316	738	37	197	1,220	861
４５	966	1,939	1,103	1,265	674	18	190	1,075	759
４６	1,289	2,262	1,392	1,554	708	21	266	1,329	938
４７	1,239	2,212	—	—	—	30	249	1,328	938
４８	881	1,854	1,093	1,255	599	17	171	1,046	738
４９	1,368	2,341	—	—	—	23	262	1,378	973
５０	1,243	2,216	—	—	—	36	206	1,300	918
５１	1,288	2,261	—	—	—	24	217	1,376	971
５２	1,258	2,231	—	—	—	21	278	1,344	949
平均	1,219	2,192	1,266	1,248	748	27	240	1,300	918

<註>
① 流入全量はかんがい（４３～４７年）平均９７３㎜を加算
② 実測全量は域外取水１６２㎜を加算
③ インプットとしてかんがい用水流入量年平均９７３㎜＝6.87億m^3域外流出量年平均１６２㎜＝1.14億m^3がある。
④ 年流出量算定は中川吉川地点＝柿ノ木地点、７０６㎢である。

水収支により年間損失を性質別に分割し、それを月別値にする。流域蒸発散損失を年６００㎜とすると、関東地方での通常蒸発散損失年５００㎜、かんがい期の水田域増加蒸発散損失は流域換算で年１００㎜に分割される。これらの値は月別に蒸発計蒸発量（熊谷地方気象台観測値）に比例するとした。従って残りの年１２５㎜程度は地下滲透量であって、タンクモデルに組み込んだ。



中川タンクモデル

月別タンクモデルは左図の如くである。この計算値と実測値をみると大体において合致している。なお第3段の流出量は殆んど定常的であり、年合計125㎜程度で、これを次のように考えることができる。タンクモデルでは基底流出量（地下水流出成分）であるが、これをおき替えて都市排水成分約3㎥／secと考えれば、第3段は全部地下浸透と考えてよい。この地下浸透の½が深井戸揚水によって上、工水として使用されて、汚濁負荷を伴って中川の流出量に加わるのである。

中川の流況は表－1に示すように年平均流出量は約10億㎥である。流況を月別にしてみるとかんがい期に豊水約50㎥／sec、排かんがい期に渇水約10㎥／secの明瞭なパターンを示している。図－1。降雨量は年平均1,200㎜（900～1,400㎜）で関東地方としても内陸部で最も少い地域である。かんがい用水流入量は流域換算高で年間約970㎜である。流出量は1,460㎜、この内域外取水（かんがい用水）が160㎜で、柿ノ木地点流下量は1,300㎜、9.2億㎥である。流量換算はQ（㎥／sec）＝0.268・Q（㎜／月）である。

3. 中川の水質

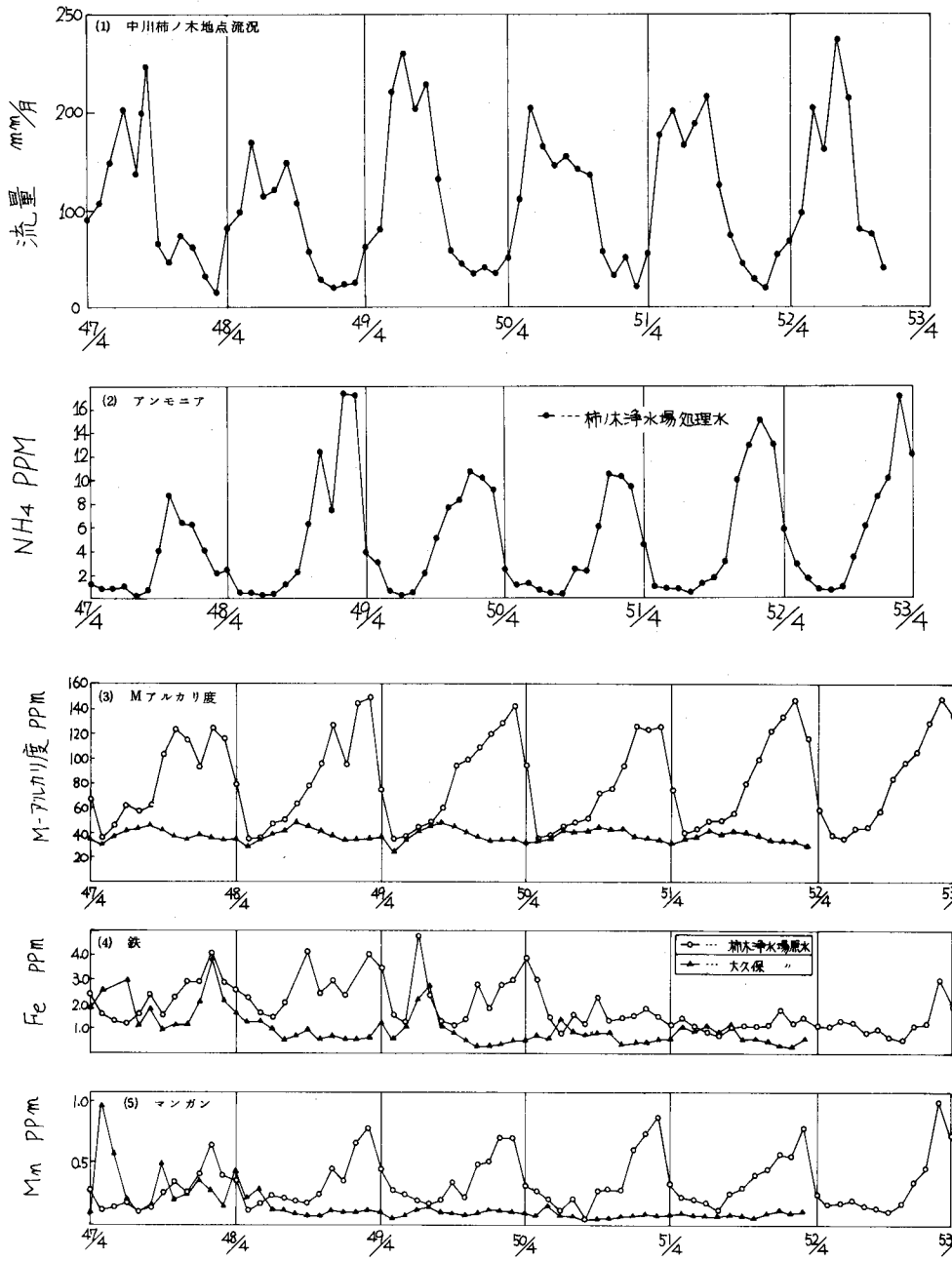
中川の水質として、中川吉川地点（4川合流）の下流約2㎞地点の埼玉県企業局柿ノ木浄水場の測定した中川原水の水質値（月別平均値）を用いた。水質測定項目は、水温、濁度、pH、アルカリ度、全硬度、Ca硬度、Mg硬度、蒸発残留物、鉄、マンガン、塩素イオン、色度、導電率、COD、アンモニウムイオンの15項目である。水質測定は昭和39年より行われている。その他県環境部により昭和43年度より全県の公共水域河川の水質測定が行われているが、別に考察することとして今回は検討していない。

中川の水質の月別変化の状況をみるためにそれらの主要なものについて月別値を中川流況とともにプロットして示すと、図－1にみるように中川の都市河川としての明瞭なパターンがあることが分る。かんがい期（豊水）には水質濃度が低下して、非かんがい期（渇水）は水質濃度が高く、都市排水によって汚濁されている。比較のために自然河川の荒川大久保浄水場の原水の水質を図－1にプロットしてある。

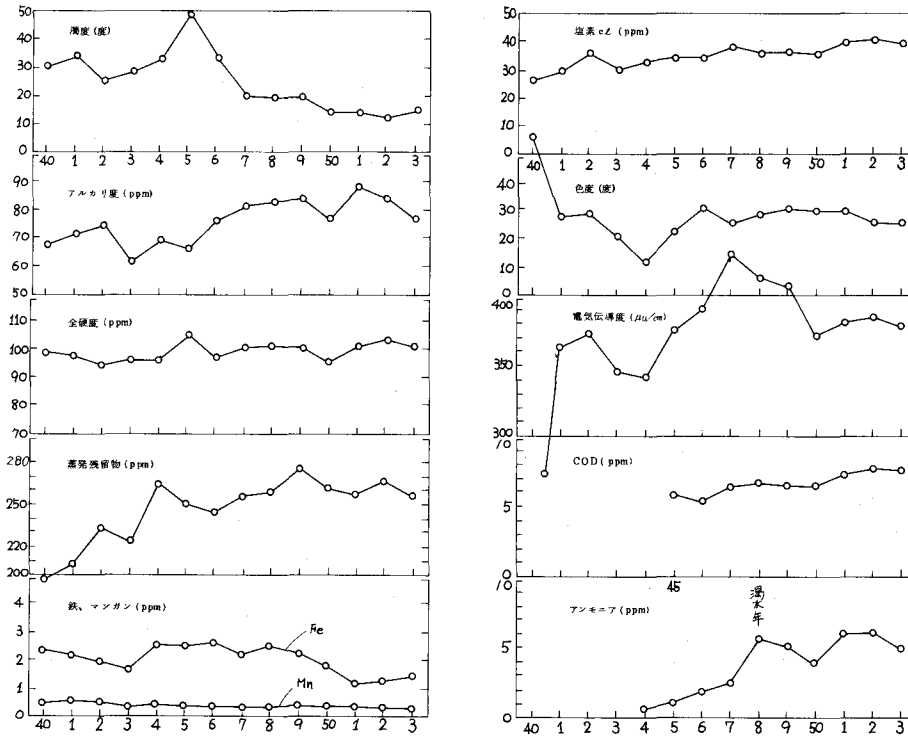
大久保浄水場の原水は荒川の自流および利根導水路の水で構成されている。渇水時には荒川20％、利根川80％の割合いで、荒川、利根川の混合水である。昭和43～53年の平均的な水質（年間を月別平均値の平均、またそれらの年平均値としたもの）を述べると、濁度（度）は全平均30、（年平均値の変化最小17、最大50、以下17～50と記す）。色度（度）は平均9（7～11）。pH値は平均7.4（7.3～7.4）。アルカリ度（ppm）は平均38（36～39）。アンモニア性窒素（ppm）は平均0.32（0.15～0.38）。塩素イオン（ppm）は平均16.6（15.4～18.5）。有機物等（ppm）平均8.2（6.6～10.3）。BOD（ppm）、平均2.1（1.7～2.8）。鉄（ppm）、平均1.11（0.67～1.87）。マンガン（ppm）、平均0.12（0.06～0.22）。硬度（ppm）、平均72（68～82）。蒸発残留物（ppm）、平均167（156～175）。導電率（μv／㎝）、平均227（217～243）。

自然河川の水質の変動は比較的小で、中川の水質と比較すると豊水期のそれと合致していることが分る。

昭和40年以降の中川の水質年平均値（月別平均資料を年平均したもの）の経年状況をみると、図－2の通りである。濁度については有機質の濁度が優っていると考えられるが、洪水時には無機質の濁度が上昇する。年によって変動し、その変動はランダムであり、山地河川のように大きなものではなく、経年的な増加傾向はない。アルカリ度についてはほぼ直線的な増加傾向である。全硬度については100ppmでほぼ一定である。蒸発残留物については増加傾向である。鉄、マンガンについては増大傾向はない。塩素イオンは昭和40年30ppmが昭和53年40ppmと徐々に増大している。導電率について変動が大きいが増大傾向である。CODは昭和45年より測定されているが増大傾向である。アンモニアについては昭和44年



図－1　流況、アンモニア、Mアルカリ度、鉄、マンガンの月別変化



図－2　中川水質の経年変化

まで殆んど認んど認められない程度の微量であったものが45年以降急激な増加状況を示している。これは都市排水がある程度以上になると、自然浄化の機能が失われて急激なアンモニアの上昇となり、多摩川等で知られている現象である。

水質汚濁の経年変化をみると、現在中川は河川汚濁が進行中であることが伺われる。それは人口、産業活動の増加に対して、中川流域の下水道は殆んど未完備であって、し尿処理水、家庭排水等がそのまま河川に放流され、年々汚濁負荷が進行している状況を示している。アンモニアの状況よりみると、昭和45年以降が本格的な都市河川の水質汚染状態に入ったと考えられる。

4. 中川の河川汚濁－流況と水質の関係

中川本川中流部の公共水域環境類型は行政目標としてはC類型（水産3級、工業用水1級、pH 6.5～8.5、BOD5以下、SS50以下、DO5以上）となっている。年間の平均的な水質でみる限りではこれらの水質目標値はかろうじて達成されているようである。しかし地点別および時期別にみるとこの基準値を超過することが多く特に冬期渇水時期の水質は悪い。

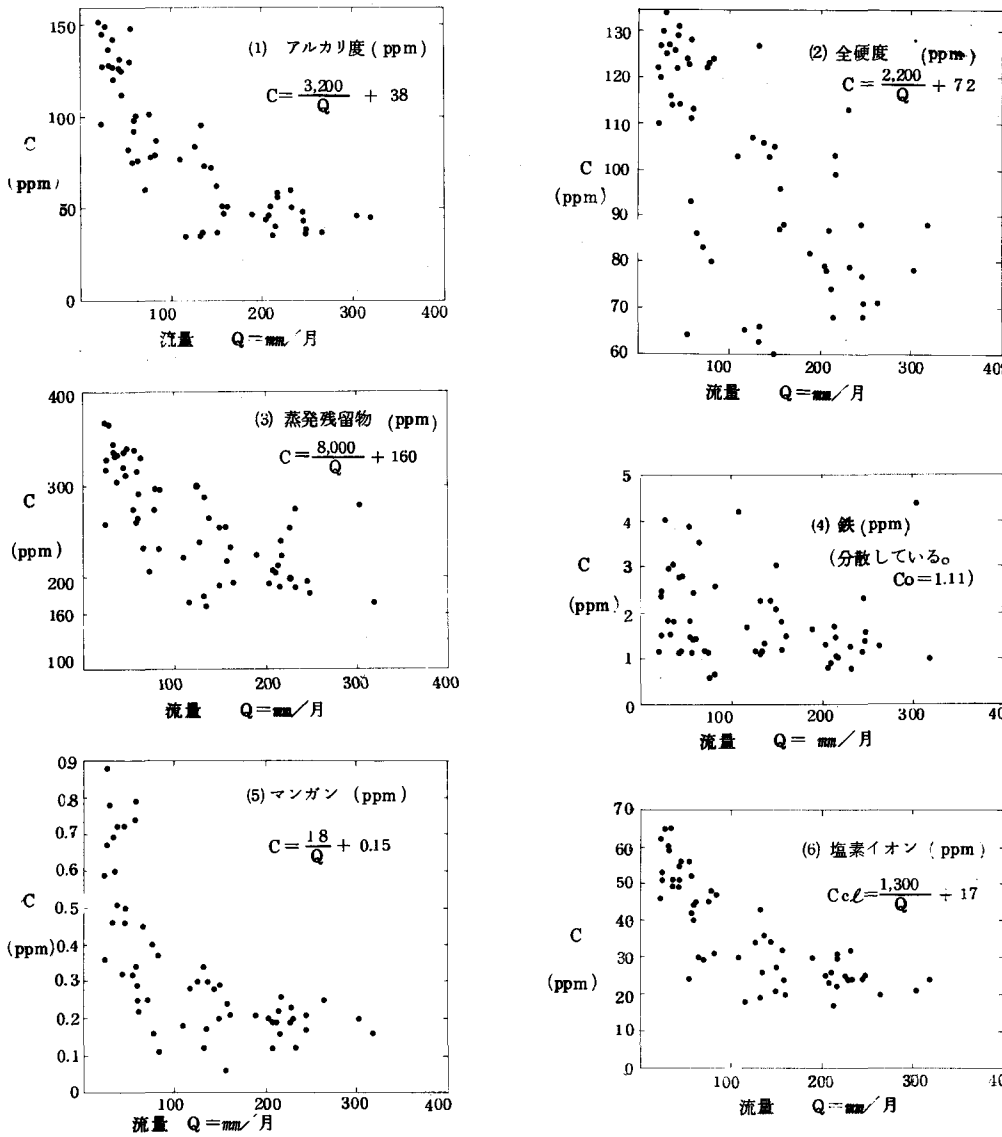
中川中流部の河川水質は一応流域汚濁負荷（地層、地質より溶出するもの）と人為負荷（都市排水）と分けられる。天然水（降雨流出）、かんがい水（利根川、荒川の河川水）等の水質濃度を C_o、排水量を g とすると、$C_i \cdot g + C_o \cdot Q = C(g+Q)$、Cは下流地点水質濃度、$g+Q \fallingdotseq Q$ として、$C = C_i \cdot g / Q + C_o = M/Q + C_o$ である。

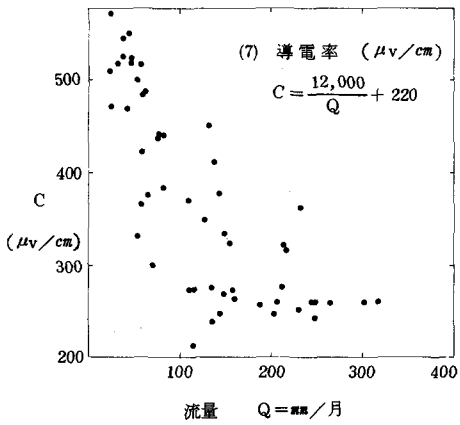
自然汚濁 C_o としては次のように考えることができる。中川流域の流入量は降雨およびかんがい用水量である。流域は利根川、荒川の沖積作用で形成されたもので、マクロ的には地質構成物質は利根川、荒川の地質と同様であろう。従って流入水量の C_o は利根川、荒川の河川水と同様と考えてよいであろう。人為汚濁 C_i は都市排水（家庭および工場排水等）による汚濁負荷量である。$(C - C_o) \cdot Q = M$ の関係はMが一定ならば

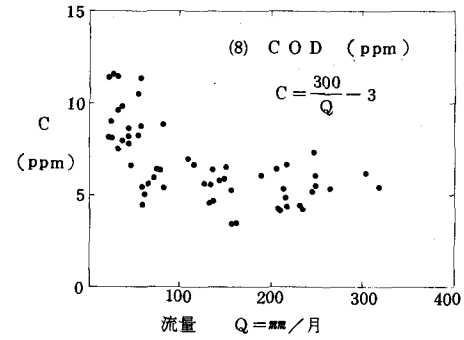
（流域人口、都市排水量によって異なり、徐々に人為負荷が増加しているが）水質汚濁濃度増加量C－Co と流量Qとの関係は逆相関を示す筈であり、各水質項目別にこれらの関係を求めた。資料は昭和４０～５３年まであって、４０～４３年、４４～４７年、４８～５３年のそれぞれの期間別に分けてプロットした。ここでは最近の４８～５２年のものを図－３に示す。中川柿ノ木河川水質濃度C（ｐｐｍ、またはそれぞれの水質濃度単位）、自然汚濁Co 、流量Qは㎜／月であって換算はQ（㎥／sec）＝0.２６８・Q（㎜／月）である。水質濃度と流量の関係はC＝M／Q＋Co で表わす。自然汚濁零の場合はC＝M／Qである。

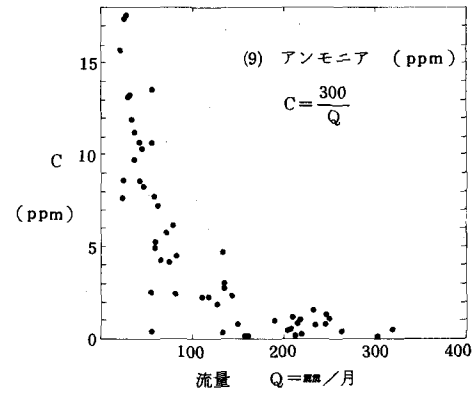
アルカリ度については、C＝3,２００／Q＋３８（ｐｐｍ）、図および自然河川のアルカリ濃度共Co ＝３８ｐｐｍであり、図－３(1)に示すようにほぼ流量との関係は逆相関となっている。

図－３　水質と流量の相関









全硬度については相当に分散していて、明瞭な相関々係にないようであるが、流量が少くなると硬度は大きくなり、自然河川の全硬度平均７２ｐｐｍをC_o とすると、Ｃ＝2,２００／Ｑ＋７２（ｐｐｍ）となる。

蒸発残留物については、C_o の図の下限値、自然河川のそれは１６０ｐｐｍであり、Ｃ＝8,０００／Ｑ＋１６０（ｐｐｍ）であり、ほぼ流量と逆相関の関係である。

全鉄については、流量が少くなると濃度が高くなっているが、分散していて明瞭でない。これは鉄分が浮遊または溶存していて、溶出と沈殿をくり返している特有な現象であろう。

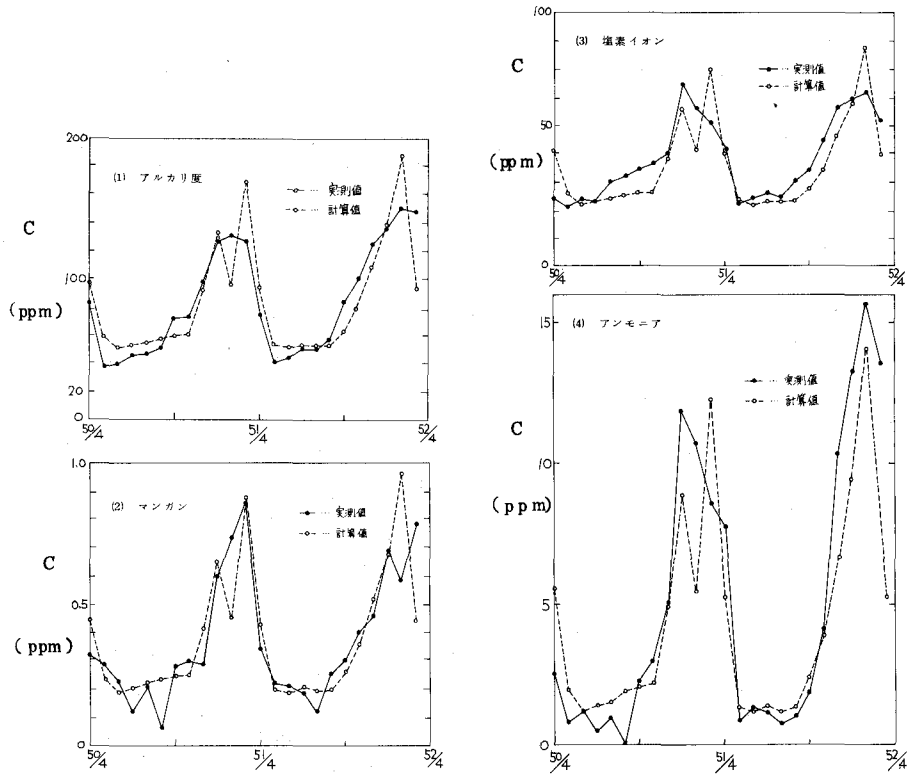
マンガンについては、C_o の図の下限値、自然河川のマンガン量が0.１２ｐｐｍであり、Ｃ＝１８／Ｑ＋0.１２（ｐｐｍ）であり、ほぼ流量と逆相関の関係である。都市排水起源としては、その上水、工水が深層地下水であり、この地下水にはマンガンが相当量含まれていて、これらの排水がマンガン量を増加しているものであろう。

塩素イオンについては、C_o 値が図の下限値と自然河川の塩素イオン１７（１６～２０）ｐｐｍであり、C=1,３００／Q+１７（ｐｐｍ）、この増加は都市排水起原であり、流量とは逆相関である。

ＣＯＤ値については、自然河川の値が分らないが、図よりＣの下限値が３ｐｐｍであり、Ｃ＝３００／Ｑ＋３（ｐｐｍ）である。ＣＯＤ値は有機物濃度で、中川の自浄作用を受けた結果の中川柿ノ木地点の残存ＣＯＤ値の値である。

アンモニアについては、自然河川には殆んど認められないか、微量であって、すべて都市排水による汚濁を示している。Ｃ＝３００／Ｑ（ｐｐｍ）である。

水質濃度Ｃの実測値と算定式による値を比較すると、図－４に示すごとくである。算定値は流況はタンクモデルによる値、濃度式はアルカリ度、マンガン、塩素イオン、アンモニアのそれぞれ逆相関式である。ただしこの水質状況は最近の数年（昭和４８～５２年）の現状において合致する算定式である。昭和４０年頃のものは水質濃度が低いことが分っている。また将来については増大すると考えられ、人為汚濁負荷が増すためである。一方下水道施設が普及すれば、その逆に人為汚濁の濃度は減少することも予想されるが、それは徐々に減少方向に向うことと、長年月を要するであろう。



図－4　水質濃度Cの測定値と計算値の比較

おわりに

自然汚濁については、中川のような平地河川と利根川、荒川の山地水源河川とは相違するのではないか、中川の中間流出的な浅層地下水による水質濃度が増大すると考えたが明らかにされなかった。また有機汚濁のＢＯＤ値の河川の自浄作用による状況についても観測値があるので別途に考察したいと考えている。資料として埼玉県の中川水系工事務所（現・県南河川改修事務所）、柿ノ木浄水場の貴重な観測値を使用して、少しでも中川の実態が分ったことに感謝を申し上げる。