

荒川感潮域における水質の縦断分布と その時空間変動特性に関する現地観測

LONGITUDINAL DISTRIBUTION OF WATER QUALITY
AND SPACE-TIME VARIATION IN TIDAL AREA OF THE ARA RIVER

土肥学¹・志村光一²・布村明彦³・山田正⁴・吉川秀夫⁵

Manabu DOHI, Koichi SHIMURA, Akihiko NUNOMURA, Tadashi YAMADA and Hideo KIKKAWA

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²正会員 工修 中央大学技術員 理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

³正会員 工修 建設省 (元荒川下流工事事務所長) (〒100-8944 東京都千代田区霞が関2-1-3)

⁴正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

⁵正会員 工博 (財)河川環境管理財団 顧問 (〒104-0042 東京都中央区入船1-9-12)

The field observation and its results of the salinity intrusion and longitudinal variation of water quality in the tidal area of the Ara River with 35km of tidal reach is reported in this paper. 1) The water quality such as BOD, COD, total nitrogen, total phosphate and etc. increases rapidly downstream of the Akigase Weir (35km upstream from the river mouth). The values of each quality shows the maximum at the 20~30km upstream from the river mouth and gradually decrease from the maximum up to the river mouth. 2) Salinity intrusion is a strong mixed type in spring tide. It is a weakly mixed type in neap tide. 3) Salinity intrusion is gradually lengthened in neap tide. 4) Dissolved oxygen of salinity water intruding into the river shows high value in spring tide and the low in neap tide. 5) In the river mouth the vertical profile of COD and total phosphate shows high value near river bed. 6) During floods water temperature gradually drops from the upper river. The value of dissolved oxygen increases in the Ara River and decrease in the branches of the Ara River.

Key Words : water quality, low oxygen water, longitudinal distribution, tidal river, field observation

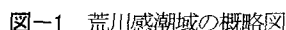
1. はじめに

都市河川に求められる役割は多種多様であり、利水・河川環境の面から考えると、河川水質の改善および維持は極めて重要である。しかし、実状では人々が川で水に親しむのに快適な水環境であるとは言いがたい河川も散見される。都市域の感潮河川では、生活排水、下水処理水等の流入や取水・導水による流量変化、外海・外湾からの塩水遡上に伴う河川水の滞留等により、河川縦断方向(流れ方向)に水質変化がみられる。河川縦断方向にその水質分布を捉えるための現地観測は、既に多摩川¹⁾や利根川²⁾において行われているが、上記の河川水質変化をもたらす要因は各河川により異なるため、各々の河川で現地観測を行う必要がある。本研究の目的は、河川縦断方向の水質分布とその特性を捉えることであり、河川環境改善への足掛かりとするものである。著者らは荒川感潮域において水理・水質に関する現地観測を行った。

2. 観測対象河川の概要および観測方法

(1) 観測対象河川の概要

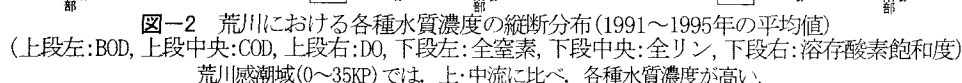
著者らは、図-1に示す荒川感潮域(河口から秋ヶ瀬堰までの35km)を対象に、1996~1998年に計12回の現地観測を行った。荒川は、秩父山系甲武信ヶ岳(標高2475m)に源を発し、幹線流路延長173km、流域面積2940km²の一級河川である。荒川流域内には埼玉県全域と東京都東部の主要な都市が全て含まれ、流域内人口密度が約3130人/km²(平成2年)と一級河川109水系の中でも非常に大きな流域である。そのため、荒川感潮域では、①複数の支川及び下水処理場からの下水処理水や生活排水等の流入、②秋ヶ瀬堰上流部における利水目的の取水に伴う流量低下、③潮汐の影響による河川水の滞留、海水や貧酸素水塊の侵入、④河床底質からの栄養塩類の溶出、巻き上げなどにより、上・中流域に比べBODに代表される水質基準の各濃度が高くなっている。



現地観測は、観測船により河川内を移動し、D-GPSにより観測地点を2km毎に評定し、多項目水質計（アレック電子製）を用いて、水温、塩分濃度、溶存酸素、濁度を測定した。また、ADCP（RD社製、周波数1200kHz）を用いて流速分布を測定した。6km毎には鉛直方向に3箇所（2, 5, 8割水深）で採水し、COD、全窒素、全リンについて水質分析を行った。また、河川内3地点（南砂町（-0.5KP）、綾瀬（10.8KP）、西新井（13.5KP））に自記式計測器を設置し、水温、塩分濃度、溶存酸素を測定した。芝川水門（19.5KP）、岩淵水門（20.5KP）、鴨川（34KP）の橋梁から計測機器を下ろし、流速、水温、溶存酸素等を測定した。

図-2 は荒川における BOD, COD, 溶存酸素量(DO), 溶存酸素飽和度, 全窒素, 全リンの縦断方向分布(1991~1995 年の平均値)を季節毎に表したものである。荒川における BOD 濃度は秋ヶ瀬堰の下流側で急勾配で高くなる。更に下流では、河口付近に至るまで徐々に BOD 濃度は低下する。荒川全域の水質濃度は河川流量が減少する冬期に高くなる。COD は、BOD とほぼ同様の傾向を示すが、水質濃度のピーク地点が COD の方がより下流側である。全窒素, 全リンも同様の傾向が見られる。一方、溶存酸素量(DO)は秋ヶ瀬堰の上流側で高い値であるが、下流側で DO が低下し始め、河口から 10km 前後において最小となる。更に下流の河口までは、逆に DO は増加する。溶存酸素飽和度も同様に、堰上流では飽和度 90~100% であるのに対し、堰下流側から徐々に低下している。

図-3 はそれぞれ荒川、多摩川、江戸川における BOD 濃度の縦断分布である。多摩川は BOD のピーク濃度が荒川とほぼ等しいものの、堰下流の感潮域で異なる水質分布が異なる。荒川では堰下流で BOD 濃度が急勾配で高くなるのに対し、多摩川では堰下流側で BOD 濃度が低下している。江戸川での BOD 濃度は縦断方向にほとんど変化なく、最下流の河口域で濃度が最も大きい。



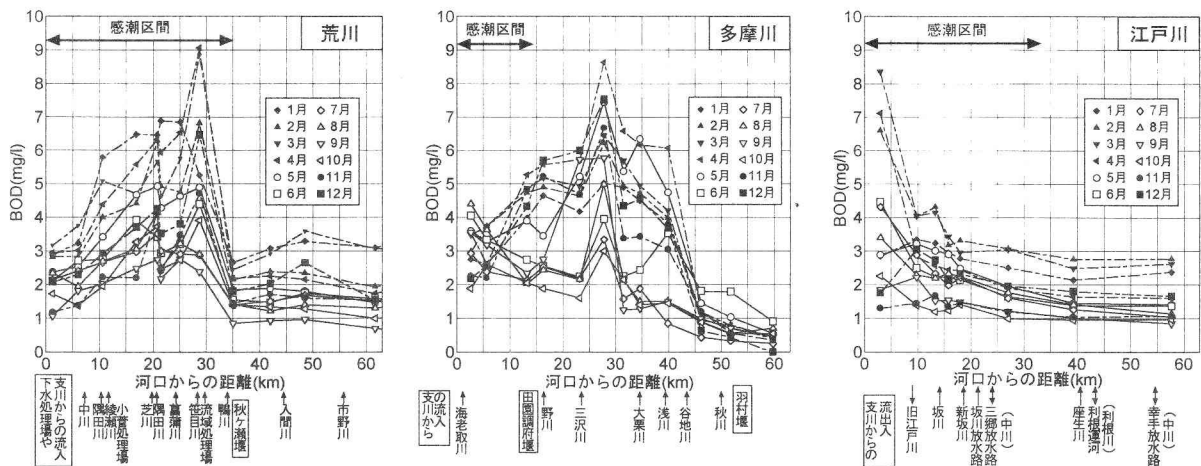


図-3 荒川、多摩川、江戸川におけるBODの縦断分布(1991～1995年の平均値)
感潮河川における水質縦断分布は各河川毎に異なる形状である。

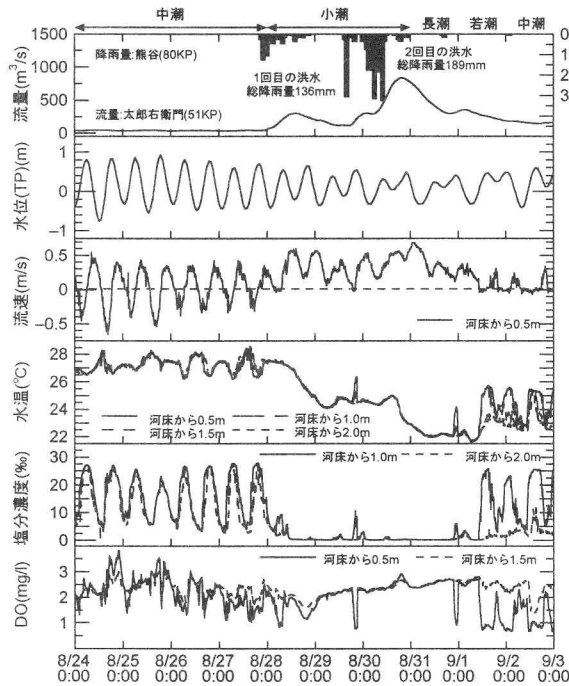


図-4 荒川河口(-0.5KP)における水位、流速、水温、塩分濃度、DOの時系列(1998/8/24～9/3)

4. 荒川感潮域における塩水遡上特性

(1) 塩水遡上形態と溶存酸素の分布

図-4は、荒川河口(-0.5KP)に設置した自記式計測器により得られた水温、塩分濃度、溶存酸素量の時系列(198/8/24～9/3)である。中潮時は、水温、塩分濃度、DOが鉛直方向はほぼ一様に変化している。DOは塩分濃度が上がる時に大きくなり、塩分濃度が下がるときに小さくなる傾向がみられた。小潮時は、水温、塩分濃度、DOとも上層と下層で異なる挙動を示す。下層では塩分濃度が変化するが、上層における塩分濃度はほぼ変化していない。小潮時における塩水遡上形態は、弱混合型である。下層で塩分濃度が高くなるとき、DOは小さくなる。したがって、この期間中は貧酸素状態の塩水が荒川に遡上し

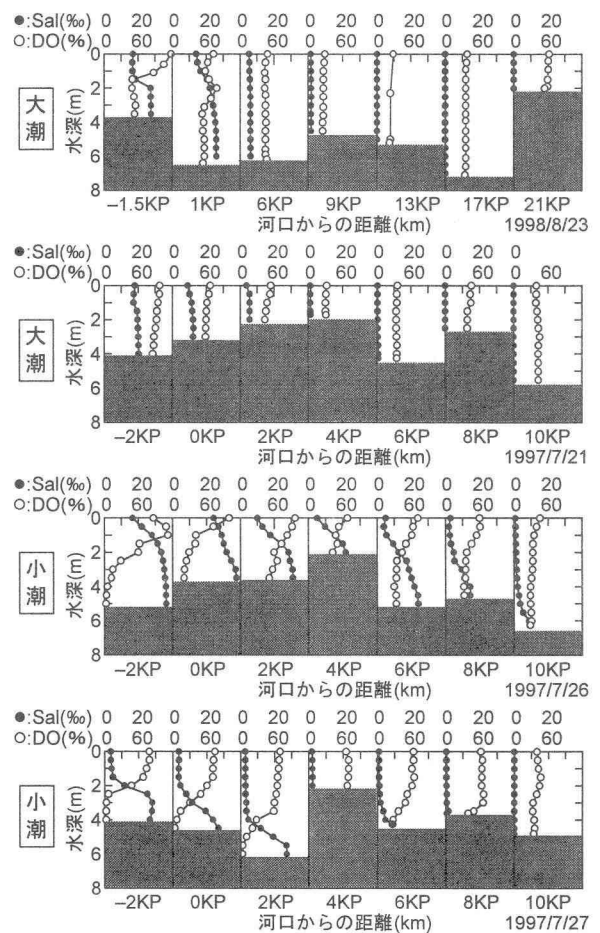


図-5 荒川感潮域における塩分濃度と溶存酸素飽和度の鉛直分布(1998/8/23, 1997/7/21, 26, 27)

塩水遡上形態：大潮時一強混合，小潮時一弱混合
塩水の溶存酸素飽和度：大潮時一大，小潮時一小

ていることがわかる。

図-5は、船上観測により得られた荒川河口域における塩分濃度と溶存酸素飽和度の鉛直分布(1998/8/23, 1997/7/21(大潮), 1997/7/26, 27(小潮))である。大潮時は塩分濃度が鉛直方向にほぼ一様に分布しているため、塩水遡上形態は強混合型である。塩分濃度が高い地点で溶存酸素飽和度は大きい。溶存酸素飽和度は

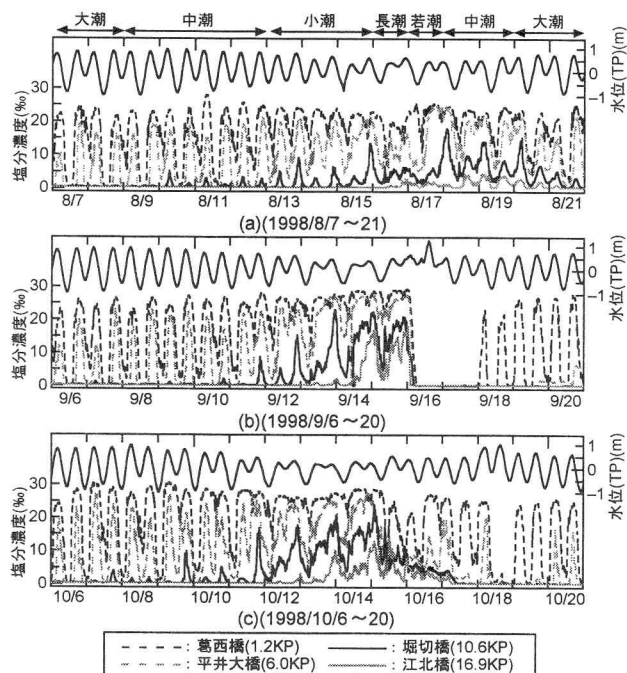


図-6 荒川感潮域における塩分濃度の時系列(1998年8～10月)
小潮から長潮にかけて塩水遡上距離が長くなる。

遡上している塩水の先端部で最小となる。小潮時には塩分濃度が上層で小さく、下層で大きいことから、塩水遡上形態は緩または弱混合型(塩水楔)である。このとき河床に沿って遡上する塩水は溶存酸素飽和度が小さく貧酸素化している。東京湾から荒川に遡上する塩水は潮位差により遡上形態が変化し、これに伴い荒川感潮域の溶存酸素飽和度の空間分布は変化することがわかる。

(2) 塩水遡上距離に関する一考察

図-6は、荒川下流域4地点において観測された塩分濃度の時系列である。大潮時にはいずれの期間も塩水は10KPまで到達していない。小潮時にはいずれの期間も塩水が江北橋(16.9KP)まで遡上している。河口では、塩分濃度が0‰まで低下せず、河道内に塩水が遡上した状態が長時間継続している。大潮から中潮、小潮になるにつれ、塩水遡上距離は徐々に長くなることがわかる。

5. 各種水質項目の鉛直分布

(1) 流速と濁度の関係

図-7は、荒川下流域における流速と濁度の鉛直分布(1998/8/23, 1997/7/21(大潮), 1997/7/26, 7/27(小潮))である。流速分布は、大潮時には水面付近で最大約100cm/s、河床近傍(ADCPが測定可能な最深水深)で最大50cm/sであるのに対し、小潮時には水面付近で最大約60cm/s、河床近傍で最大30cm/sであった。大潮時において河床近傍における流速が大きい地点でのみ、濁度が下層から大きくなる分布がみられた。小潮時には、下層からの濁度の上昇はみられなかった。河床近傍における流

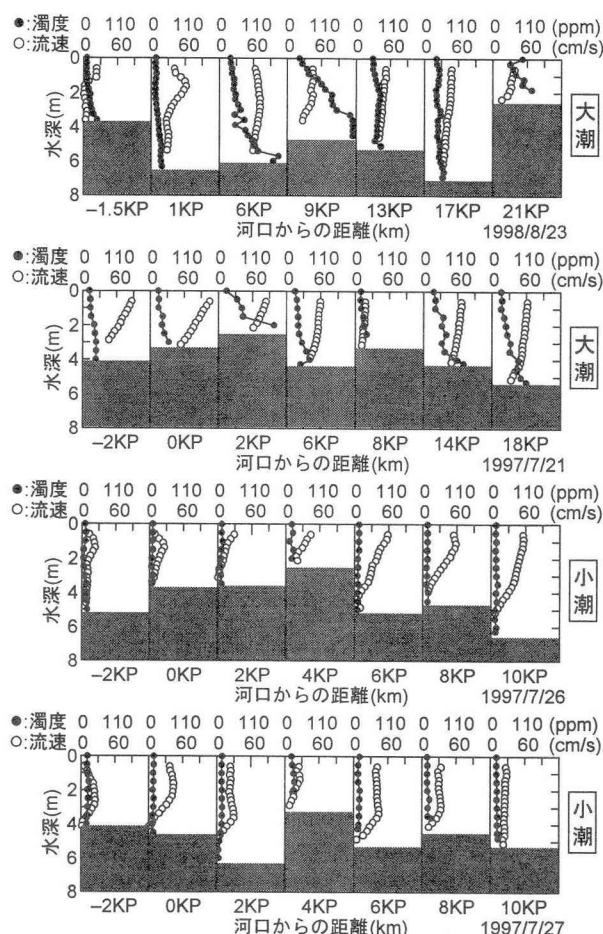


図-7 荒川感潮域における流速と濁度の鉛直分布
(1998/8/23, 1997/7/21, 26, 27)
大潮時のみ河床近傍で流速、濁度が大きくなる。

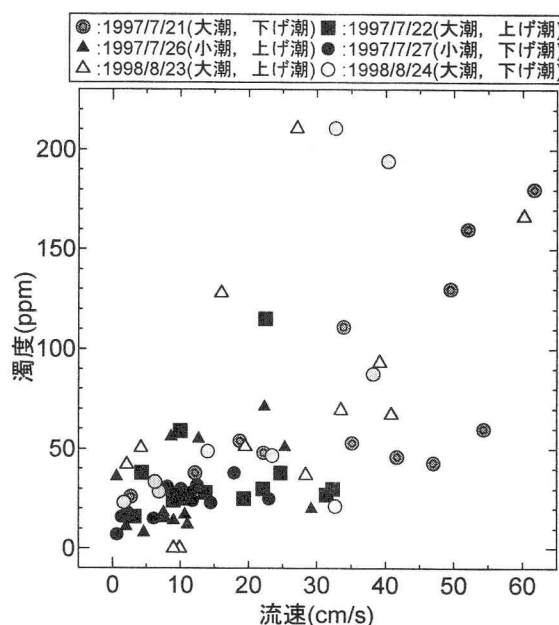


図-8 河床近傍における流速と濁度の関係
(場所: 荒川感潮域全域, 非洪水時)

速と濁度の関係を示したものが図-8である。大潮時には流速が30cm/sec以上のとき、濁度が50～200ppmと高くなるのに対し、小潮時は流速が0～30cm/secの範囲にあり、濁度は0～50ppmと低い。

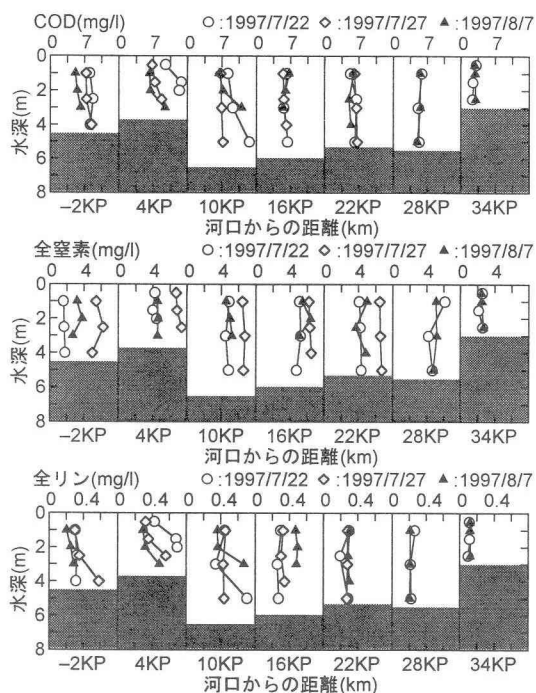


図-9 荒川感潮域におけるCOD, 全窒素, 全リンの鉛直分布 (1997/7/22, 27, 8/7)
河床付近でCOD, 全リンが高くなっている。

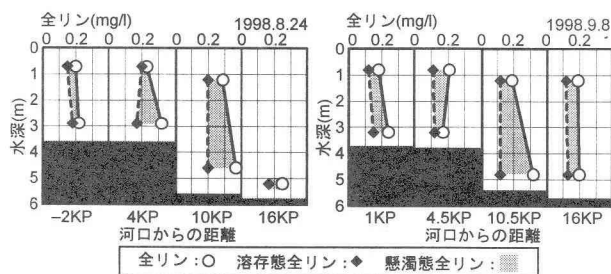


図-10 荒川河口域における全リン, 溶存態全リン, 懸濁態全リンの鉛直分布 (1998/8/24, 9/8)
河床付近で高い全リンは、懸濁性全リンである。

(2) COD, 全窒素, 全リンの鉛直分布とその特性

図-9は、荒川下流域におけるCOD, 全窒素, 全リンの鉛直分布 (1997/7/22 (大潮), 7/27 (小潮), 8/7 (中潮)) である。CODは、16~34KPの各地点ではCOD濃度はいずれの地点においてもほぼ鉛直一様であるのに対し、河口域の各地点 (-2~10KP) ではCOD濃度が上層 (2割水深) よりも下層 (8割水深) で高くなる傾向が見られた。全リンも同様に、河口域において上層よりも下層で全リン濃度が高い。一方、全窒素はCOD, 全リンとは異なり、全域において鉛直方向にほぼ一様に分布している。これらの結果は、大潮、小潮に関係なくみられた。

図-10は、荒川河口域における全リン, 溶存態全リン, 懸濁態全リンの鉛直分布 (1998/8/24, 9/8) である。1998/8/24の4, 10KP地点および1998/9/8の1, 10.5KP地点において、全リン濃度が上層よりも下層で高くなっている。これらの地点では、溶存態全リンは鉛直方向にほぼ一様な濃度となっている。全リンが下層で高くなる要因は、懸濁態全リンの増大によるものである。

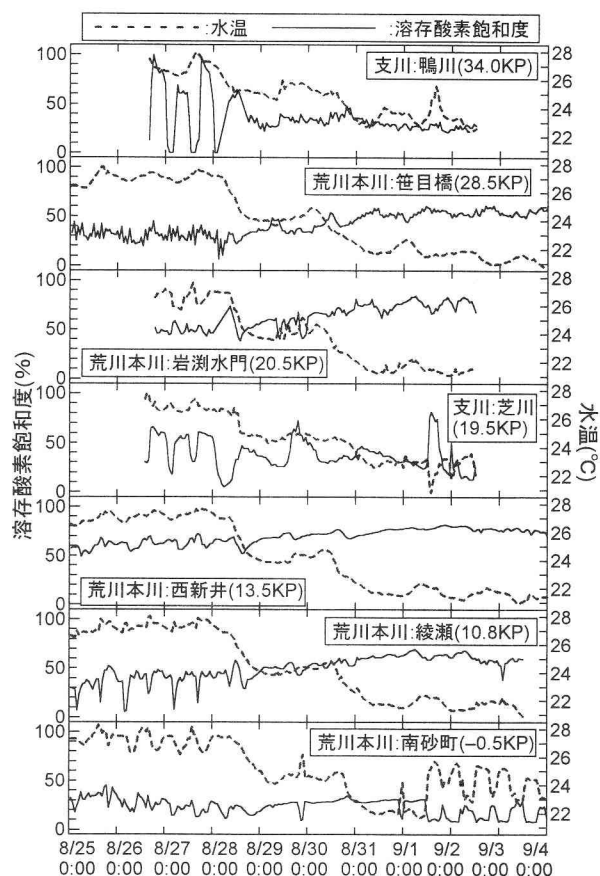


図-11 荒川本川5地点と2支川(鴨川, 芝川)における水温, 溶存酸素飽和度の時系列 (1998/8/25~9/4)
洪水時、水温は低下し、溶存酸素飽和度は荒川本川で上昇し、各支川で低下する。

6. 洪水時における水質変化の特性

(1) 荒川本川と支川における水温と溶存酸素の変化

図-11は、荒川本川5地点と比較的大きな支川である鴨川 (34KP), 芝川 (19.5KP) における水温と溶存酸素飽和量の時系列 (1998/8/25~9/4) である。この期間中に2回の洪水が発生した。洪水時において、水温は全観測地点で1回の洪水につきそれぞれ約3℃低下した。溶存酸素飽和度は、全体的には荒川本川では上がり、各支川では下がる傾向がみられる。図-12は、荒川感潮域6地点における洪水時の水温の時系列 (1998/8/28~9/1) である。水温が上流側から順に低下していることがわかる。

(2) 荒川本川の河川水質の変化

図-13は、岩淵水門 (20.5KP) における水位, 流速, 水温, 導電率, 溶存酸素, クロフィルa, 濁度の時系列 (1998/8/26~9/3) である。洪水期間中、流れは荒川から隅田川に向かっていった。流速は1回目の洪水では急に増加したが、2回目の洪水での流速増加は緩やかであった。1回目の洪水初期に、導電率および溶存酸素が低下している。この溶存酸素の低下は上流部や支川に溜まっていた水質汚濁負荷を多く含む河川水が洪水によって一気に流出したも

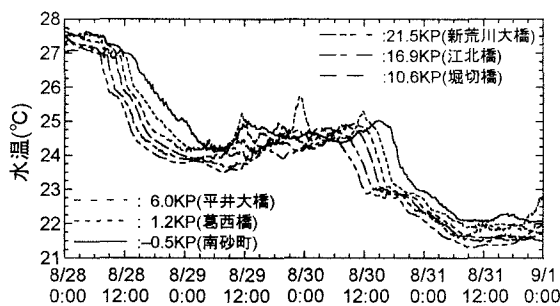


図-12 荒川本川6地点における水温の時系列
(1998/8/28~9/1)
水温の低下は上流側から下流側へ進行する。

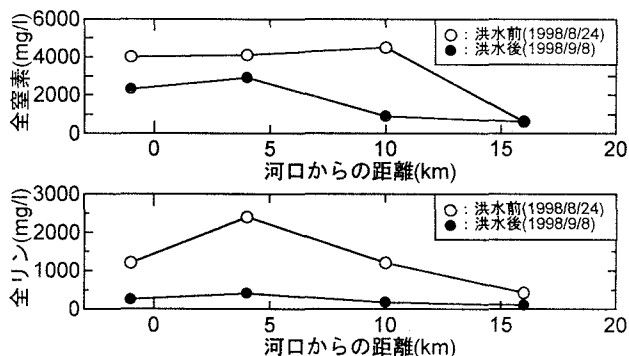


図-14 荒川河口域における洪水前後の底質中の全窒素、全リンの縦断分布(1998/8/24, 9/8)
洪水により栄養負荷の高い底泥が流出された。

のと考えられる。濁度とクロフィラは、流速の上昇に伴い急激に高くなっている。これらは流速よりもはやく低下した。但、1回目の洪水終了後も濁度は高い値であった。

(3) 洪水前後における河床底質の変化

図-14は、荒川河口域における洪水前後の底質中の全窒素、全リンの縦断分布図である。洪水前後において底泥中の全窒素、全リンが大きく減少している。これは底泥表層に堆積していた汚濁負荷の大きい底泥(ヘドロ)が洪水により東京湾に流出されたと考えられる。

7. まとめ

著者らは、感潮河川における水質の縦断分布特性を捉える目的で現地観測を行った。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 荒川感潮域におけるBOD, COD, 全窒素, 全リンの水質分布は秋ヶ瀬堰の下流側から急上昇する。この濃度上昇は河川流量が低下する冬期において大きい。また、河口では逆に水質濃度が下がる。
- 2) 荒川における塩水遡上は、大潮では強混合型、小潮では弱混合型である。塩水遡上距離は大潮から小潮にかけて徐々に長くなり、長潮(小潮の最終日)前後が最も長い。
- 3) 大潮時に遡上する塩水は溶存酸素が大きいものに対し、小潮時は溶存酸素が小さく、貧酸素化している。

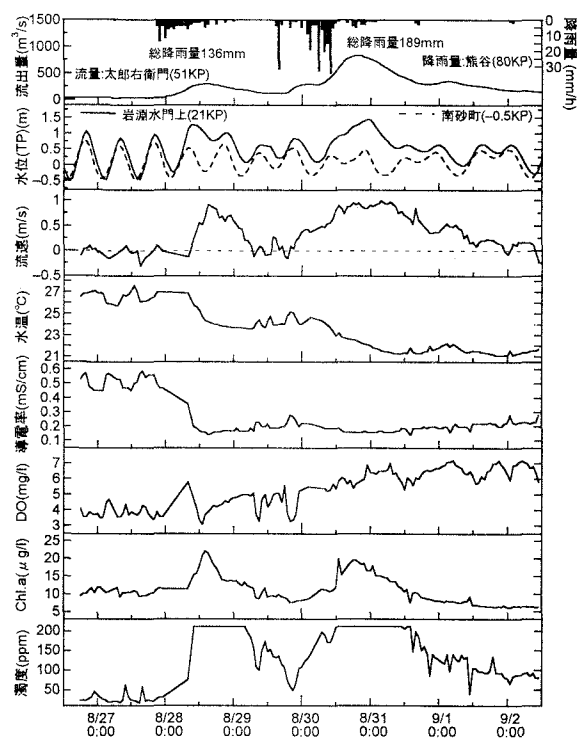


図-13 岩淵水門(20.5KP)における水位、流速、水温、導電率、DO、クロフィラ、濁度の時系列(1998/8/26~9/2)
洪水初期には水温、導電率、DOは低下し、クロフィラ、濁度は上昇する。その後、DOは上昇し、クロフィラ、濁度は流速よりも先に低下する。

- 4) 下層での濁度上昇は、河床近傍での流速が大きくなる大潮時に顕著にみられた。
- 5) 河口域では下層でCOD, 全リンが高くなる。この上昇した全リンの成分は懸濁態全リンである。
- 6) 洪水時には、荒川本川で水温が上流側から順に低下する。溶存酸素は本川では高くなり、支川では低くなる。

謝辞：本研究は、平成9年度文部省科学研究費(基盤研究(c)(1)および萌芽的研究)および(財)河川環境管理財団補助金の補助を受けて行われた。さらに観測に当たっては建設省関東地方建設局荒川下流工事事務所から多大な支援を頂いている。ここに記して、深甚なる感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 菅和利, 玉井信行: 多摩川河口域における塩分・流速及び浮遊物質の現地観測, 第29回水理講演会論文集, pp. 851-856, 1985.
- 2) 鈴木伴正, 若岡圭子, 石川忠晴: 利根川河口堰下流部における嫌気水塊の運動について, 水工学論文集第42巻, pp. 769-774, 1998.
- 3) 建設省河川局編: 水質年表第32~36回, 1993-1997.
- 4) 布村明彦・吉川秀夫・柴田正和: 感潮河川の水質特性(1) - 水環境管理を目指して -, 河川環境総合研究所報告第2号, pp. 29-61, 1996.

(1999. 4. 26受付)