

那珂川における塩水遡上の現地観測
Field Study of Salt Intrusion in Naka River

建設省土木研究所	○福岡捷二 S.Fukuoka
建設省霞ヶ浦導水工事事務所	嶋村春生 H.Shimamura
建設省霞ヶ浦導水工事事務所	鍛冶屋義信 Y.Kajiya
建設省土木研究所	高橋 晃 A.Takahashi
建設省霞ヶ浦導水工事事務所	岡田和郎 K.Okada

1. はじめに

感潮河川においては、河川流量の低下する渇水時に河道内への海水遡上が増大し、流域の上水、農水、工業等の水利用に大きな影響をおよぼす。とくに渇水時の塩害によって取水できない状態が長期間になると、社会的にも大きな問題となる。那珂川下流部では、渇水時にこのような塩害による取水難の問題が発生しており、その度ごとに塩水遡上の調査が行われてきた。しかし、河川流量や潮汐、気象要因等によって、塩分の侵入状況が異なり、いまだに不明確な部分が多く残されており、さらに多くのデータの積み重ねによって、渇水時の塩水遡上の実態を把握・解明する必要がある。

本調査是那珂川において過去に例をみないほど異常渇水が生じた期間において、塩水遡上現象の連続観測を実施し、測定値を解析することによって塩水遡上の実態を明らかにすることを目的としている。

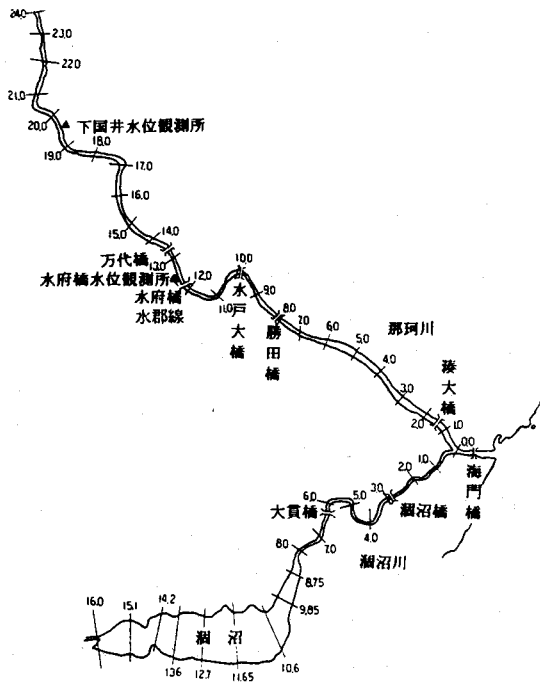
2. 現地観測の概要

那珂川下流部河道は、図-1に示すように水戸市を経て、河口付近で瀧沼川を合流し、太平洋に注いでいる。低水路河道幅は、21.0km付近で約100m、10.0km付近から河口間で約150m～200mとなっている。河床勾配は約1/2600であり、21.0km付近で勾配が急変する。

塩水遡上の観測は、 $33\text{m}^3/\text{s}$ 前後の渇水状態が継続した昭和61年12月1日から連続15日間、および $10\text{m}^3/\text{s}$ 前後の異常渇水状態が継続した昭和62年4月22日から5月19日までの28日間に及ぶ長期にわたって実施された。この観測時の野口地点(38.2km)における流量変化、および大洗港の潮位変動図をそれぞれ図-2、図-3に示す。昭和61年観測時の潮汐は12月1日および16日が大潮日となっており、また12月8日～10日にかけては、小潮日で潮汐による水位差が比較的少ない。昭和62年度は4月28日および5月12日が大潮日であり、5月5日～7日にかけては小潮となっている。観測項目は、水理諸量とともに主として、10.0km地点から上流河道の主要断面における塩分濃度の縦断分布、および塩分侵入端位置について調査した。なお、両年度とも10.0km地点では、塩分遡上現象について詳細に観測が行われており、両年度のデータを比較するうえで貴重な情報を与える。

(1) 昭和61年観測時の塩水遡上状況

観測が行われた昭和61年12月1日～15日の間は、図-2に示すように流量 $35.0\sim 31.5\text{m}^3/\text{s}$ のほぼ一定流



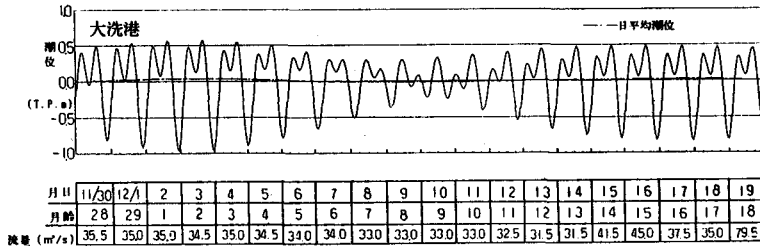


図-2 観測時の潮位及び流量(昭和61年観測)

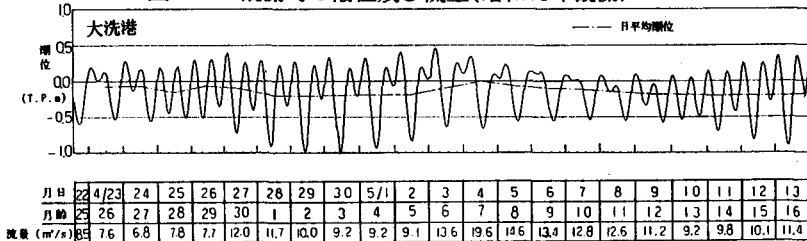


図-3 観測時の潮位及び流量(昭和62年観測)

量の淡水状態が継続している。この期間中の塩水遡上先端位置(500PPm)は11.5～12.6kmであり、このうち最も塩水が遡上したのは12月11日～12月14日である。この時期は月齢で9日～12日目であり、小潮後から中潮の最高潮位時のときに12.6km地点まで達した。観測期間中の10.0km地点の下層濃度は、14000PPm前後であり、大潮時付近の最低潮位時には10000～12000PPmに濃度が低下する。表層濃度は、最低潮位時が約500PPm前後、大潮時および中潮時の最高潮位のときに約7000PPm前後であり、小潮時付近の最高潮位のときに2000～3000PPmである。この塩分濃度の差は、河川流量と潮汐による流入、流出量との相対的な大きさに関係している。

(2) 昭和62年観測時の塩水遡上状況

昭和62年4月22日～5月13日間は流量 $10\text{m}^3/\text{s}$ 前後の異常淡水状態が継続した。この観測期間中において、最も塩水が遡上したのは5月2日～3日、および5月12日～14日であり、月齢で5日～6日および15日～17日の中潮末期から小潮にかけてと、大潮にあたる時期の最高潮位時である。このとき塩水先端部は17.5km付近まで遡上した。また、観測期間中の塩水先端位置は、月齢および潮汐変動により12.0km～17.5km間を移動した。この観測期間中の10.0km地点の下層濃度は、61年観測時と同様に14000PPm前後であり、大潮時には10000～12000PPmとなる。表層濃度は最高潮位時で10000～12000PPm、最低潮位時が2000～5000PPmであり、小潮の最低潮位時が概して濃度が低い傾向となる。

3. 塩水遡上と水理諸量・河道特性との関係

河道内への塩水侵入を支配する要素としては、一般に潮汐変動、河川流量、河川形状(縦断形、横断形、平面形)、海水および河川水の密度、気象要素(風向、風速、気圧など)、波浪、沿岸潮流および人工要素(取排水、船舶航行)などが考えられる。ここでは、那珂川の塩水遡上を支配すると考えられる潮汐変動、河川流量、および河道特性に着目し、塩水挙動の特性について検討した。

(1) 潮位変動

潮位変動は河道内の塩水遡上現象に対し淡水の混合、遡上距離を支配する主要な因子となる。図-4および図-5は昭和61年と62年の観測データより、一潮汐間の混合状態すなわち混合係数を示したものである。ここに混合係数は表面濃度(C_1)と下層濃度(C_2)の比(C_1/C_2)によって表わされている。これによると昭和61年より流量が少ない昭和62年の方が上下層の濃度差は小さくなっている。また、これより上げ潮時に強混合、下げ潮時には比較的成層化する現象が周期的に繰り返していることがわかる。不定流計算によると河川流量が $30\text{m}^3/\text{s}$ 程度の場合、1.5km地点の大潮時順流量は約 $300\text{m}^3/\text{s}$ 、逆流量は約 $250\text{m}^3/\text{s}$ 程度と推定される。こうした入退潮に伴い、表層のフラッシュおよび混合が起こり、周期的な変化が生じている。

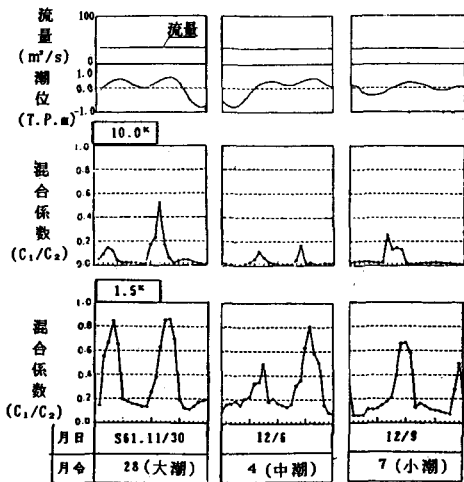


図-4 月齢と混合係数(昭和61年観測)

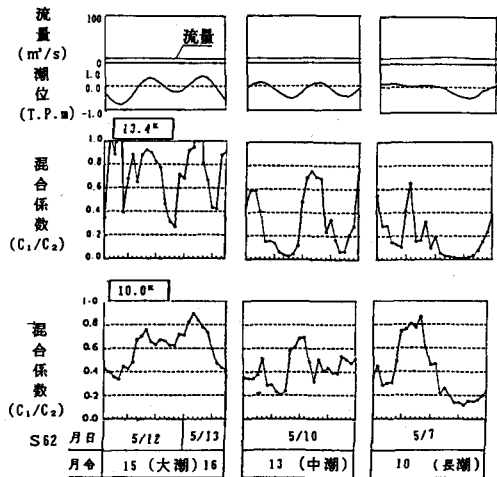


図-5 月齢と混合係数(昭和62年観測)

さらに、図-6は昭和62年渇水時の12.0km地点における日平均混合係数と日間潮位差の関係を調べたものである。これによると日間潮位差が混合状態を強く支配しており、潮位差の大きい大潮時には水深方向の濃度分布が均一化し、潮位差の小さい小潮時には、成層型の濃度分布になる(図11, 12参照)。次に昭和62年の観測結果より、潮位変動と塩水遡上距離の関係を示したのが図-7である。潮位変動に対する塩水遡上長の変化は、河川流量や最深河床地形によっても大きく異なるが、那珂川では潮汐に比較的明瞭に応答していることがわかる。塩水先端位置を500PPmの濃度の位置と定義した場合、昭和62年渇水の大潮時では約3.7km、小潮時でも約3.0km程度遡上長が変動している。また、一般に、比較的成層化する小潮時の方が塩分の遡上距離は長くなるが¹⁾、那珂川では、大潮時と小潮時の最大遡上距離は同程度の大きさとなっている。これは昭和62年渇水時の河川流量が約10m³/s前後と非常に少なく、かつ満潮時の潮位は大潮時の方が高いために(図-3)、遡上距離が大きくなったためである。図-8は昭和62年観測時の月齢と最大遡上距離との関係を示したものである。この結果からも中潮時から小潮時にかけておおよび大潮時付近が最大の遡上距離となっており、このときの満潮時の潮位は高く(図-3)、これに対応して遡上長が増大してい

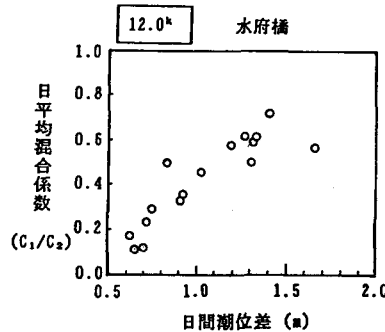


図-6 日間潮位差と日平均混合係数

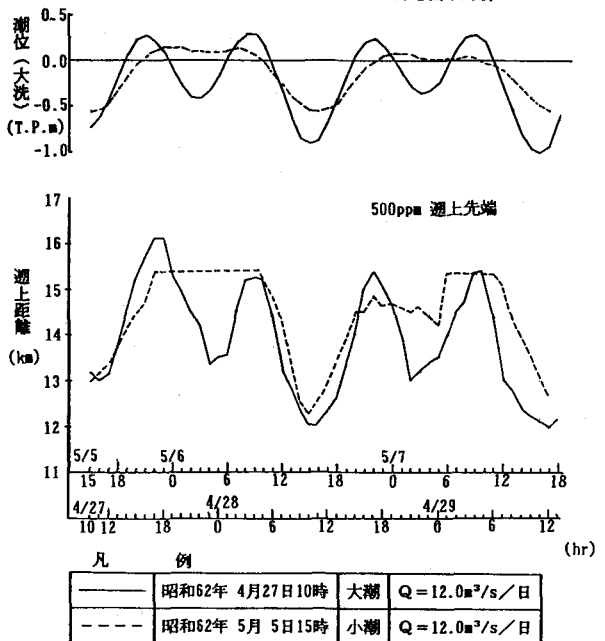


図-7 潮位変動と塩水遡上距離の関係

る。いっぽう、昭和61年観測時では、流量が62年に比して多く、かつ12.0km地点のJR水郡線橋梁の根固めブロックが川幅全体にわたって河床高の高い部分を構成しているため、塩水遡上がこの場所で阻止され、このため潮位変動と遡上長との対応はつかなかった。

(2) 流量

塩水遡上距離は、河川流量の影響を受ける。昭和61年観測時の最大遡上長は約12.6km

であり、このときの河川流量は約32.0 m^3/s である。また、昭和62年の異常渇水時は、最大遡上長が約17.5kmまで達し、河川流量が約10 m^3/s 前後であった。なお、観測期間中の流量変化に対する遡上長の違いは、潮位変動による影響が大きいため明確ではない。図-9は昭和61年および62年の10.0km地点における上下層濃度の変化を比較したものである。これによると大潮時のほぼ同程度の潮位に対し、河川流量の違いによって表層濃度および混合状態が大きく異なる。これは河川流量が減少すると潮位変動による混合が促進されて表層濃度が増大し、下層濃度が低下するため混合係数も大きくなる。

(3) 河道地形

河道内への塩水遡上長は、流量や河口地形のほかに河床形状、とくに最深河床高が大きな影響を与える²⁾。図-10は那珂川の平均河床高と最深河床高の縦断形を示す。那珂川河口は導流堤によって比較的安定しており、12.0kmより下流の最深河床高はT.P-3.0m以下である。したがって、低水時にはこの位置までは塩水遡上が生じていると考えられる²⁾。12.0km付近には先に述べたように、橋梁の根固めによって最深河床高が約T.P-2.0mと上下流に比して高くなっており、その上流では13.0km、14.0km、16.5kmおよび17.5km付近に約T.P-2.0m程度の河床高の高い部分が存在する。一般に塩水先端部は最深河床部を遡上する。最深河床高縦断の途中に河床高の高い場所がある場合、そこで塩水遡上は妨げられ、潮位の上昇や流量がさらに減少するとそこを乗り越えて一気に次の河床高の高い所まで遡上す

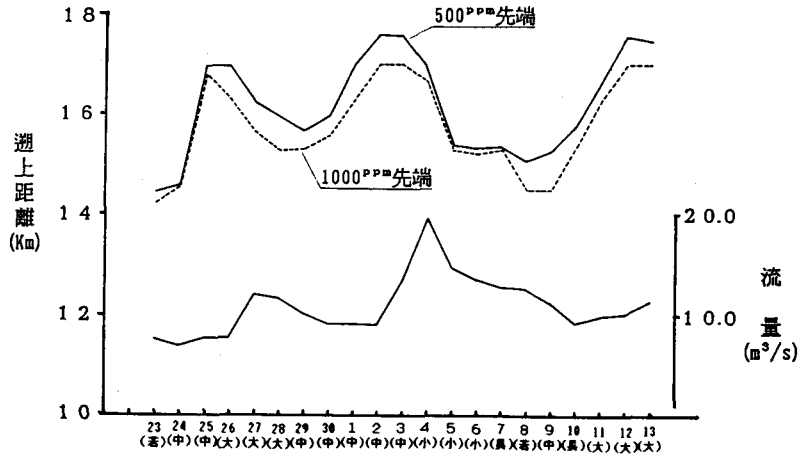


図-8 月齢と最大遡上距離の関係

凡 例	
——	昭和62年観測 $Q=92\text{m}^3/\text{s}/\text{日}$
- - - -	昭和61年観測 $Q=32.5\text{m}^3/\text{s}/\text{日}$

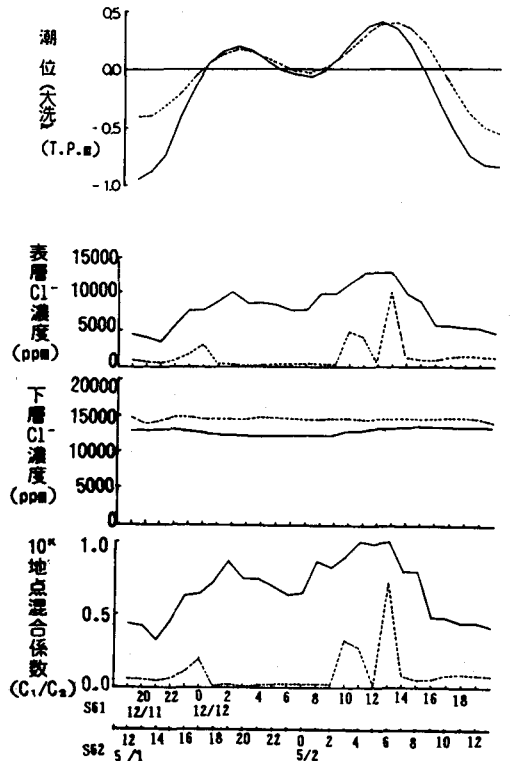


図-9 10.0km地点の上下層濃度比較図

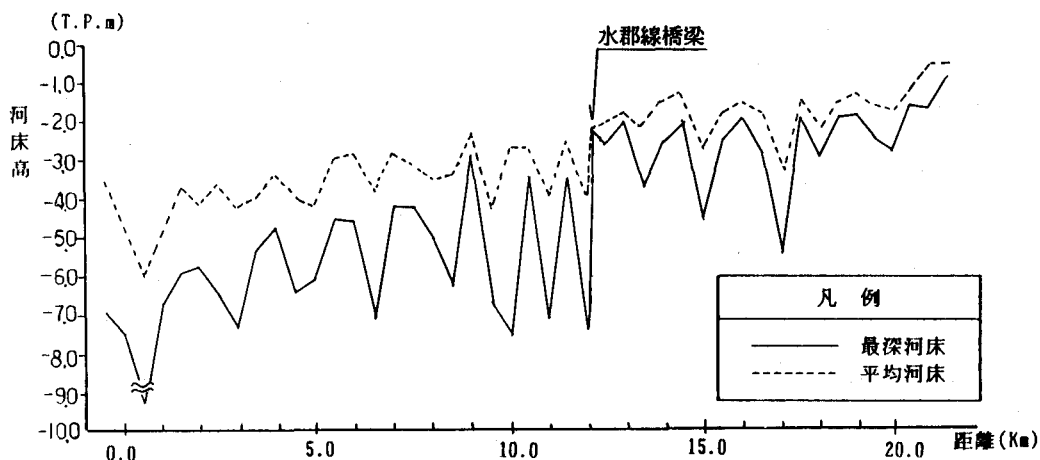


図-10 那珂川河床縦断面

る。昭和61年観測時には、12.0 km地点の河床高が高いことによって、ここで塩水遡上が阻止されていた。昭和62年観測時には12.0kmの河床高の高い部分を乗り越え、最大遡上位置は17.5km付近まで達した。図-11, 12はこのときの大潮および小潮時の2000PPmの等塩分濃度線の時間変化を示したものである。大潮時は潮位の上昇とともに等濃度線位置が上昇し、その先端も上流へ侵入する。潮位ピーク時付近になると、等濃度線は立ち上がり先端位置付近で水面に達し、強混合状態となっている。潮位下降時は、表層の濃度が低下して、それとともに水面付近の等濃度線は後退する。このとき最深河床高の低い部分に一旦侵入した塩水は、先端位置が下流に後退してもそこに残留する。小潮時もほぼ同様の挙動を示すが、潮位上昇時の等濃度線はそのままの形状で上流へ侵入する。いっぽう、図-13は河床高の比較的高い13.8km地点における下層濃度と最大遡上距離の関係を

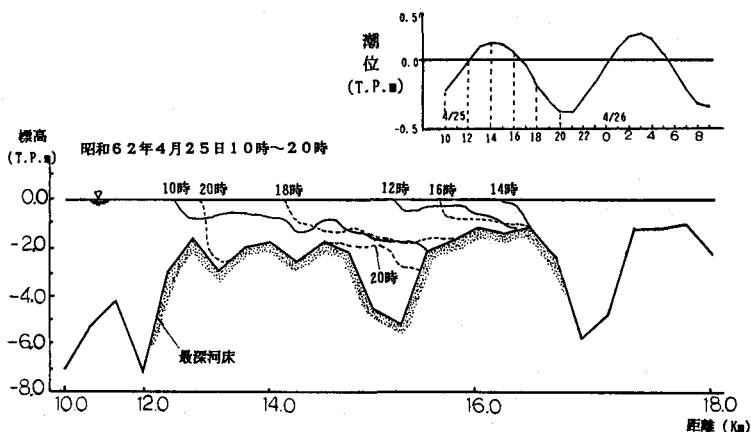


図-11 大潮時等濃度線(2000PPm)の挙動

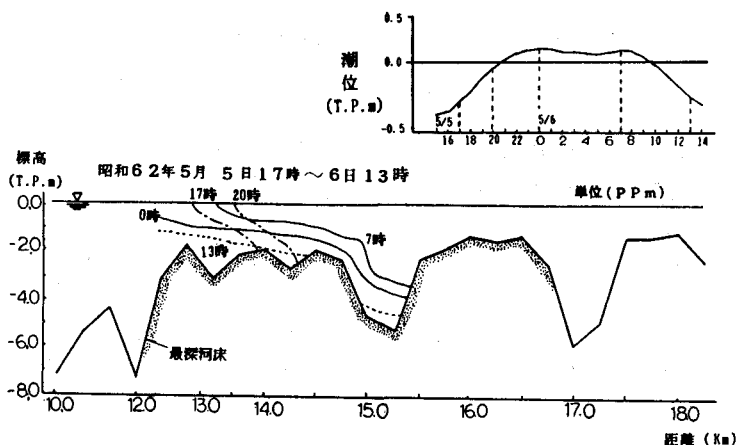


図-12 小潮時等濃度線(2000PPm)の挙動

示したものである。これより13.8km地点の下層濃度が大きいときは、遡上距離も大きいことが明らかとなる。この理由は、強混合、緩混合のとき、塩分濃度はかなり一樣になることから、下層濃度が高いほど、塩分遡上は大きくなり、とくに表層まで濃度が高くなる大潮時の潮位ピークのときに最大の遡上距離が出現している。

以上のことから、強混合や緩混合状態にある塩水遡上現象においては、塩水先端に近い河床高の高い位置の下層塩分濃度がわかれば最大遡上距離を推定できる可能性がある。

4. まとめ

那珂川下流部における湧水時の塩水遡上の実態を現地観測により把握し、塩水遡上と水理諸量および河道地形との関連について検討した。

明らかとなった主要な事項は次のようである。

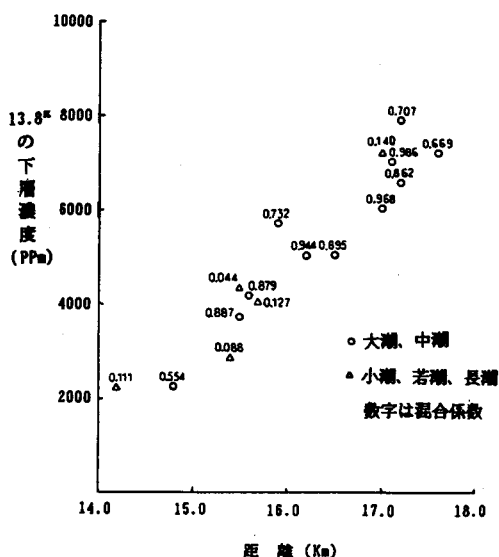


図-13 13.8km地点の下層塩水濃度と最大遡上距離

- (1) 那珂川下流部における月齢による混合形態の変化は、朔望時ははさんだ大潮時に強混合状態となり、中潮および小潮時には緩混合状態となる。
- (2) 潮位変動に対する混合状況は、上げ潮時に強混合となり、下げ潮時には表層の濃度が低下して若干成層化する現象を繰り返している。このとき潮位変動に対する塩水遡上長は、最深河床地形と河川流量によっても異なるが、塩水遡上先端位置を500PPmとした場合、河川流量 $10\text{m}^3/\text{s}$ 前後の大潮時で約3.7km、小潮時には約3.0km変動する。
- (3) 昭和62年の異常湧水時における河川流量は約 $10\text{m}^3/\text{s}$ 前後であり、このとき大潮の最高潮位時に最大の遡上距離が出現する。
- (4) 河道内への塩水遡上距離は局所的な地形特性である最深河床高が大きな影響を与える。那珂川下流部には12.0km地点に約T.P.-2.0mの河床高の高い部分が存在し、塩水の遡上距離に大きな影響を与える。潮位の上昇や流量が減少すると、その障害を乗り越えて、次の河床高の低い所を遡上する。
- (5) 塩水が河口から十分侵入し、かつそれが強混合や緩混合状態にある場合には、塩水先端に近い位置で河床高の高い位置の下層塩分濃度がわかれば、最大遡上距離のおおよその推定ができる可能性がある。

〔参考文献〕

- 1) 須賀堯三：感潮河川の塩水くさびの水理，土木研究所報告第160号，S58。
- 2) 福岡捷二、市村清、加藤信夫、高橋晃、藤田光一、加賀谷均：第33回海岸工学講演会論文集，pp596～600、1986。