

下流部河道においては、河口より海水が侵入し淡水と混合する。淡水の混合は結果として縦横断面内の流速分布や濃度分布と直接的な関係を有する基本的な現象である。この現象を、実験モデルや解析モデルは未だ十分に説明しえないので、ここでは現地の観測資料に基づいて考察し、a)混合形態の定義を行ったのち、b)全国の主要河川における混合形態が極く大雑把にいえば潮位変動量と感潮区間長で表示されること、および一例として長良川における混合形態の月令による変化の特性を示し、最後にこれらの結果をうけて、c)河川における混合形態の遷移現象についてその特性と原因の一部を明確にした。以下はその要約である。

1. 河口密度流の混合形態の定義

混合形態は通常、弱混合、緩混合および強混合とわけられ、概念として使用されている。これに対する明確な定義はない。著者は成層流上層の濃度分布が拡散方程式の近似解によって比較的よく近似しうることを示したが、その結果を参考として、水路底と水面における濃度比が0.1以下の状態を弱混合、0.1から0.5の間の状態を緩混合、および0.5以上の状態を強混合と定義することを提案する。水路底と水面の濃度をとった理由は、安定した値であるうえ、縦断変化が連続していることによる。このようにすると、混合形態は縦断的にも時間的にも変化する事となるが、河川下流部の代表的区間に選定し、時間平均をとると、現在の概念をほぼ追認することとなり、この定義の妥当性を認容できよう。なお、著者の二層流シミュレーションによると、緩混合状態までを成層流と考えることができる。

2. 河川における混合形態

図-1は全国一級河川のうち90河川の混合形態(各現場の担当技術者がその河川の状態を代表すると考えた概念的な区分)について、大潮時の潮差と感潮区間長(水位変動がある区間)との関連を調べたものである。ただし、潮止堰が存在する河川を除いた。これらの資料では河川の単位幅あたりの自流量は0.2~0.4<sup>3</sup>である。自流量の影響は無視しうると考えた。河川毎の混合特性は水深や横断形状などによって変化するが、図-1はかなり明確な卓越要素の存在を示唆している。

図-2は長良川における17回の観測から海水の最大遡上距離および潮汐変動による先端位置の移動距離について15日周期の月令と対応させて示したものである。また、図-3は同じく長良川のこのときの満潮時付近の水路底および水面の塩素イオン濃度比の月令変化を示している。図-3において先端より4~6km地点あたりをみると、混合形態の月令変化は鳴<sup>4)</sup>の区分とほぼ一致し今回の定義の仕方は妥当なものと考えられる。

図-2および図-3から、月令によって遷移する混合の度合に伴って海水の侵入長が変化するが、それは一潮汐間の侵入長の変動幅と関連を有することがわかる。すなわち、侵入長は上下弦後にピークを有する曲線であり、朔望時期よりゆるやかに上昇し、最大値を示した後もしばらく持続の傾向を有するが、その後急激に減少する非対称な傾向となる。いっぽう、先端位置の変動幅は朔望で大きく上下弦で小さくなるが、朔望から上下弦に移る過程では徐々に小さくなり、上下弦より朔望に移る過程では逆に比較的早く大きくなる傾向を有し、侵入長の曲線とは位相差が存在する。成層度が最大となるのは上下弦直後であり、通常このとき侵入長が最大となるが、その後に変動幅が急増し始める期間にも侵入長は大きくなる。しかし、変動幅が大きくなると混合が急激に進行し、侵入

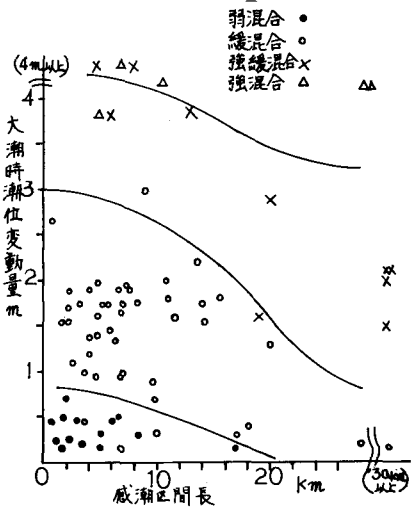


図-1 主要河川における混合形態の区分

長も同時に短くなってゆく。

### 3. 混合形態が遷移する原因とその特性

河川の自流量が一定のとき、混合形態が遷移する原因は連行現象(内部波等の界面レシム現象を含む)、内部渦(主要内部渦や先端渦を含む)、内部段波、鉛直乱流拡散、および縦横断の初流と乱流拡散などであり、外力は潮位変動(その他風などは、ここでは無視する)である。したがって、河道条件(特に川幅の縦断変化、合流流と砂州の存在、河床高の縦断変化、横断面形状)や水理条件(無次元密度差 $\epsilon$ など)によって混合形態の変化の特性は異なり、単純な実験水路において混合形態を変化させることは容易でない。混合形態の遷移は変化が遅い成層過程と変化が早い混合過程にわけて取扱うが、最も注目を要する内部渦と下層濃度変化の現象に主眼をおく。

まず、成層現象は上下層濃度の相対問題である。潮位変動量が減少すると入退潮流量も減少し、平均流速の減少と拡散効果の低下をもたらす。淡水によるフラッシュ効果の大きい先端から成層化現象が始まると、先端渦が発生するが、これは入退潮流によって上下運動と発生消滅を繰返しつつ、その変動幅を減少させながら上流へ廻る。成層化に伴い、先端渦と二層間の連行現象により、下層水が上層へ混入し、下層における高濃度化がもたらされる。これにより、海水の侵入長は増大する。いっぽう、成層化と共に内部渦が発生し、上下運動を繰返し、その変動幅を減少させながら成層区間長を増大させる方向に移動する。しかし、相対流速は上層の方が大きいから、内部渦は徐々に流下層に河口付近に落付く(安定する位置については別途検討した)。このようにして、成層度が大きくなり、徐々に下層濃度も上流まで大きくなって、安定した塩水くさびが発達する。

潮位変動量が増大する混合過程では、二層の相対流速が増大し、主要内部渦のほか多くの内部渦が発生し上下流へ移動するようになる。その結果連行現象も活発となるが、主として内部渦による中間層の発達と内部渦下流の高濃度化によって急速に混合が促進する。流路幅の変化が大きく、水深の大きい河道では内部渦や内部段波が発生しやすいため、その傾向が助長される。いっぽう、下層濃度は逆流のときには増大し、中々と先端までの高濃度化が促進されるが、順流になると急速に混合が増大し密度勾配が大きくなる。その原因は種々存在するが、主原因は順流時の時差を伴って流入する高水数や死水域からの淡水の侵入と内部渦による淡水の巻き込みであると思われる。混合形態はこのような上下層の密度変化によって急速に変化し、成層度が減少してゆく。混合が促進すると、下層濃度が小さくなるから海水のフラッシュに対して遡上量が減少し、結果として海水の侵入長が短くなる。以上の考え方には、長良川における海水の侵入の現象を定性的には説明することができたので一般性があると判断できる。また、この考え方の一部はモデル解析によっても裏づけられている。なお、資料等による詳細な内容は文献(6)に記した。(6)須賀高橋：年講1979, 7)須賀土木研究所資料No.1527, 1979, (参考文献) 1)須賀：年講1975, 2)須賀本間：年講1977, 3)須賀：海講1979, 4)嶋：年講1964, 5)須賀：水講1979,

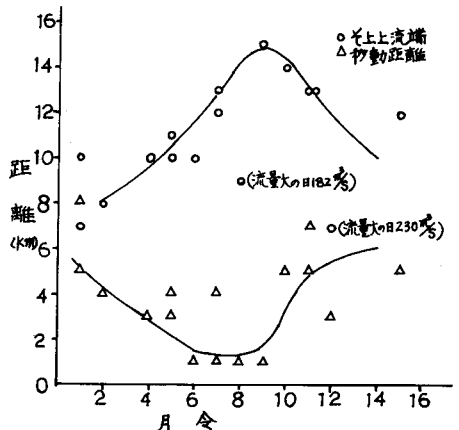


図2 最長遡上距離と先端位置の変動幅の月令変化(長良川)

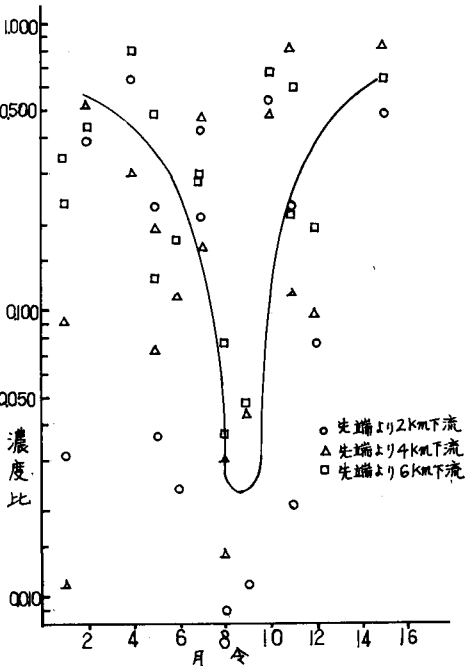


図3 水面と底の濃度比(満潮時付近、長良川)