

大阪大学大学院 学生員 栗本 雅裕
大阪大学工学部 正員 室田 明
大阪大学工学部 正員 中辻 啓二

1. まえがき

密度差を有する噴流の連行加入現象を把握するために、流速ならびに濃度の変動量に着目した統計解析が種々試みられてきたが、スカラー量である濃度変動スペクトルの解釈に乱れエネルギーと同じようなエネルギー移行模型を適用し、連行機構に結びつけるのは、早急であると考えられる。他方、大規模な渦による水質混合が、Townsendにより提唱されているが、流速と濃度の相乗積で表現される水質輸送量 $\overline{u'c'}$ の挙動を定量的に把えに例は少ないようである。実験結果によれば、 $\overline{c'^2}$ および $\overline{u'c'}$ の統計的特性は界面付近で著しく異った性状を示していることから、本報では水平密度噴流の下層界面近傍で変動量解析を行ない、連行加入現象の機構を明らかにすることを試みた。解析には $F_{ii} = 6.4876$ の水平密度噴流の確立領域 ($x/B_0 = 16$) でのデータをを用いており、サンプリング間隔は 125 Hz、データ数は各々約 2400 である。また計測した流速変動は流線方向成分であり界面を横切る鉛直方向水質輸送量 $\overline{w'c'}$ とは若干異なるが、卓越する流向が消滅する界面近傍では $\overline{u'c'}$ の挙動は $\overline{w'c'}$ のそれと対応しているものと考えられるので、 $\overline{u'c'}$ を用いて水質輸送量を表わすものとする。

2. 流速と濃度の相関特性について

界面付近での変動量の挙動を明確にするための一例として、同時計測した流速と濃度間の各周波数系列の相関度の自乗を表わすコヒーレンシの水深方向変化を示したのが図-1 である。概して強い相関性が 0.5 Hz 以下の低周波側に現われており、高周波側では相関度が激減する傾向にあるが、水深 5.5 cm のコヒーレンシでは低周波側の強い相関性は消滅して 0.2 ~ 0.4 Hz の狭い周波数帯に比較的強い相関が集中する特異な分布を示している。変動量の統計諸量および局所リチャードソン数の鉛直方向分布特性¹⁾ を考え合わせると、この水深 5.5 cm は密度噴流の下層界面に相当し、鉛直方向の水質輸送が期待される水深であるのは非常に興味深い。また、水質変動に関する収支は次式で表わされる。

$$\frac{\partial (\frac{1}{2} \overline{c'^2})}{\partial t} + \overline{U_j} \frac{\partial (\frac{1}{2} \overline{c'^2})}{\partial x_j} + \overline{u'c'} \frac{\partial \overline{c'}}{\partial x_j} = -D \frac{\partial \overline{c'}}{\partial x_j} \frac{\partial \overline{c'}}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \overline{u'c'^2} \frac{\partial (\frac{1}{2} \overline{c'^2})}{\partial x_j} \right\} \quad (0.4)$$

左辺第二項、第三項はそれぞれ水質の平均流による移送および水質変動量の生成を示している。上述の低周波側の強い相関性は第二項に相当しまた、水深 5.5 cm における限定された周波数帯への相関度集中は第三項に相当するものであり、界面での水質混合を討議する場合にはこの 0.3 Hz にピークを有する周波数帯の相関性が重要になると思われる。

この傾向を時系列の面から検討するために流速と濃度の相互相関関数を求めたのが図-2 である。水深 5.5 cm での相互相関関数は正負に 1.0 をとる減衰性の周期的な相関を示しており、ずらし時間とともに相関度が減少するような、換言すれば流速と濃度とが独立にランダムに変動するような他の水深での特性とは全く異なる傾向を示す。このことから界面では濃度の時系列は流速

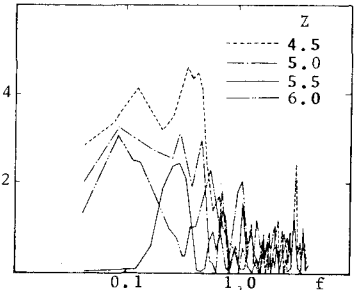


図-1 流速と濃度のコヒーレンシ

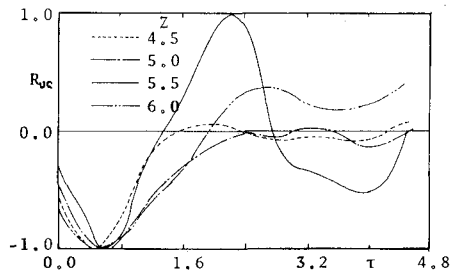
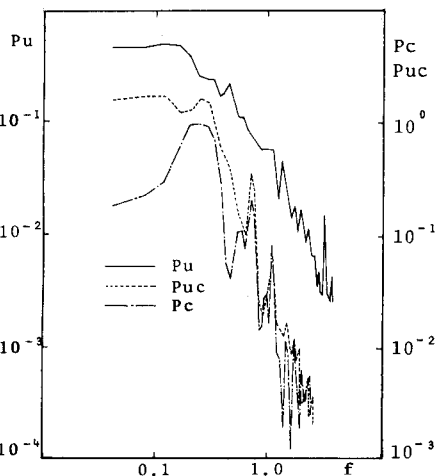


図-2 流速と濃度の相互相関関数

の時系列に類似しており、遅れ時間0.58秒で追従しながら挙動していることが予想される。

つぎに、界面の乱れ機構を明らかにするために水深5.5cmでの流速と濃度のスペクトル形状を示したのが図-3である。流速変動のパワースペクトル P_u は全体として慣性領域にみられる $1/f$ 乗則に従って減衰しており周期的な特徴はあまりみられない。これに対して濃度スペクトル P_c においては明確な卓越周期が0.25, 0.74, 1.1 Hzで現われており、水質変動が流速変動に追従する緩慢な現象であることを考え合わせると理解し難い結果である。同図に破線で示す P_{uc} は UC のクロススペクトルの特性を表わしたものであり、この P_{uc} にみられる卓越成分が濃度のスペクトル特性に影響を与えているのは水質変動の収支式から十分理解できるが、濃度変動スペクトルの周期性と乱れエネルギースペクトル P_u との関連性を内部機構的に説明することはいままのところ無理なようである。図-3 界面におけるスペクトル特性



たば、コヒーレンシー ならびに相互相関関数の解析結果から推察できることは、乱れエネルギーのスペクトル形状に現われてこない大規模な渦群が水質混合に寄与する割合は極めて大きい。例えば、図-1の相互相関度によりみられるように界面ではこの大型渦のスケールに相当する低周波帯で移流型の混入が生じていると考えられる。今後は境界面での渦群の挙動を定量的に把握した内部機構的な解析が必要となる³⁾。

3. 流速と濃度の変動量時系列の波数解析について

上記の理由から変動量の時系列に関する特性を定量的に把握するために調和解析より求めた各周波数の振幅を示したのが図-4、図-5である。流速・濃度ともに界面 $Z=5.5\text{cm}$ に近づくにつれて低周波成分は減衰し、低周波側のピークは高周波側へ移行する傾向にある。特に、水深5.5cmでは低周波成分の振幅の大きさは最少になり、流速では0.67Hz、濃度では1.1Hz近傍でピークを呈することになるが、残念ながら図-3の濃度スペクトルの卓越周波数とは対応していない。この振幅形状の遷移はコヒーレンシーの項において示した乱れエネルギーならびに水質変動の収支関係から十分理解できることである。また、 $Z=5.5\text{cm}$ における流速・濃度の振幅の分布特性は高周波側に若干ずれるが相似な形状を示しているのは興味深い。つぎに、最大振幅の発生周波数の濃度と流速間のズレを調べてみると図には載せていないが、 $Z \leq 4.5\text{cm}$ の噴流内部においては不規則にずれているのに対し、界面近傍では濃度の最大振幅は高周波側に一樣にずれる傾向を示している。同図からも濃度の低周波成分は流速の大規模な挙動に追従して変動しているものと考えられる。

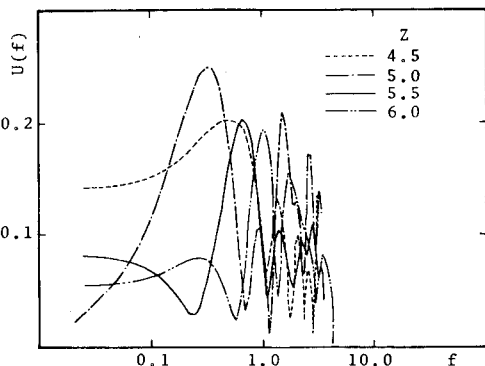


図-4 流速の波数解析

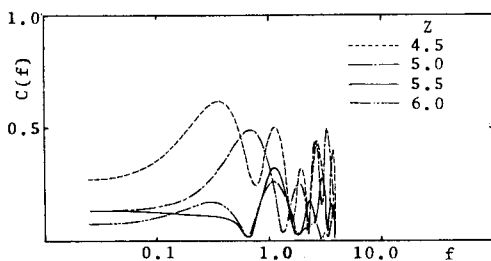


図-5 濃度の波数解析

参考文献 1) 広畑・村岡・中辻

2) 長谷川・室田・中辻

三次元水平密度噴流の連行係数について 第31回年次学術講演会,昭51
密度噴流外縁部における周波関数に関する研究 第32回年次学術講演会