

密度噴流外縁部における間歇関数に関する一考察

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
大阪大学工学院 学生員 ○長谷川 靖明

1. 間歇性について

密度噴流外縁部にみられるような乱流域が拡大しながら移流していく現象においては、図-1のように強い乱流変動は時をおいて間歇的に認められるだけで、それ以外は穏やかな変動が観測される。このような流速場での水質混合現象を論ずる場合には、流速の時系列を単純に時間平均するだけでは不十分であり、乱流域と非乱流域を区分して物理量を抽出し解析する必要がある。この両域区分の判別は難しく、物理量の時系列と間歇関数の時系列との視覚的な同定に頼っているのが現状である。本文は、この定義をより普遍的なものとするために、間歇関数設定に支配的な閾値について、定量的な評価を行なうものである。

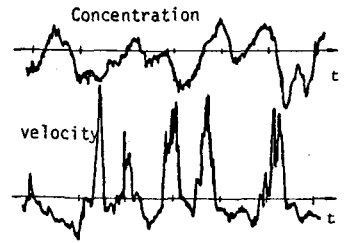


図-1 変動量の時系列

2. 間歇関数の定義と設定法

間歇関数 $I(t)$ は流れが乱流状態であるか、非乱流状態であるかを区分する関数であり、それぞれ 0, 1 なる不規則矩形波で表現される。したがって、 $I(t)$ の単純時間平均 (若し I_{ave}) で定義される間歇因子 γ は観測点における流れが乱流である割合を示すものであり、現象を理解する上で重要な物理量となる。この関数設定の際に生じる問題点は、物理的に現象を説明し得る適切な閾値の設定にあり、普遍的に決定するのは非常に困難である。今回の設定においては、図-2 に示すような手順で行なった。すなわち、変動量の時系列にみられる間歇信号を鋭敏にする方法としては、 $|f(t)|$, $|\partial f / \partial t|$, $(\partial f / \partial t)^2$ 等が考えられ、これらの中で最も識別能力の高いものを選ぶ必要がある。この検出関数から閾値を設定するのであるが、不必要な変動が物理現象を歪めることがあるので、通常、ミクロスケールの渦の寿命時間を用いて平滑化を行なう。この平滑化後に、閾値との比較から間歇関数を決定する。

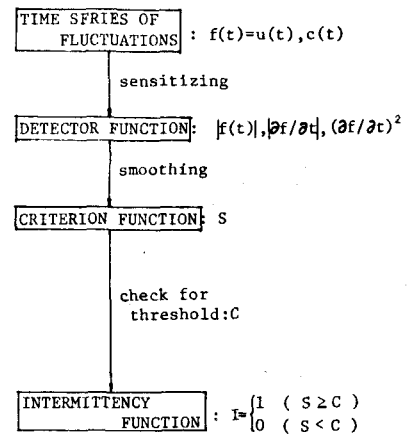


図-2 間歇関数の設定法

3. 検出関数について

変動量時系列としては、間歇性の高い三次元水平密度噴流 ($Re_0=5583$, $Fr_0=7.739$) の鉛直方向外縁部 ($x/B_0=16$, $y/B_0=0.0$, $z/h_0=0.857, 0.971, 1.14$) での流速変動を用いた。検出関数としては、 $|u(t)|$, $|\partial u / \partial t|$, $(\partial u / \partial t)^2$ を選び間歇因子と検出関数の関

係を示したのが図-3である。乱流域においては流速の時間変動が大なるものとして、 σ_{yzt} を検出関数として、選んである。 $|u|$ 、 $|\sigma_{yzt}|$ の増大に伴う $\gamma_{|u|}$ 、 $\gamma_{|\sigma_{yzt}|}$ の値は同様な傾向を示すために、 $|u|$ のみを掲載したが、間歇因子 $\gamma_{|u|}$ は単調に減少するのみで、急変部は生じなかった(図-3(a))。これに対し、図-3(b)の $\gamma_{|\sigma_{yzt}|}$ の場合においては、図-3(a)の $\gamma_{|u|}$ とは対照的に $(\sigma_{yzt})^2/\text{mean}=1.0$ 近傍において急変し、変動量の特徴を分離できようである。 $\gamma_{|\sigma_{yzt}|}$ に見受けられる振動は、鋭敏化によって細かな変動がより一層増大されたことと、 $(\sigma_{yzt})^2$ の値が階層的に分布したことに起因していると思われる。この振動を是正するためには、ミクロスケールの渦の寿命時間 $\tau_v=0.188$ 秒ごとに区間平均を行なって約 $1/2\tau_v$ より高い周波数成分を除去し、 $(\sigma_{yzt})^2$ の値を滑らかにする必要があった。また、単位時間に関値を切取する回数を示す間歇周波数 ν と検出関数の関係においても、同様な傾向がみられている。つぎに、この閾値を明確にするために、 $I(t)$ が0である非乱流区間の平均持続時間 $\langle T_n \rangle$ で整理したのが図-4である。この図より得られた閾値を用いて、間歇関数を決定した。一例として、図-5に変動量の時系列と間歇関数の時系列を示すものであるが、この2つの時系列の対応がみられた。

4. 結語

本研究は成層密度場の水質混合現象を内部機制的に把握する第一歩として、間歇関数の概念を導入して乱流域と非乱流域とを分離することを試みた。これにより、乱れ特性を考慮した条件付標本抽出が可能となり、統計処理に物理的な配慮を加えれた解析が可能と考えられる。

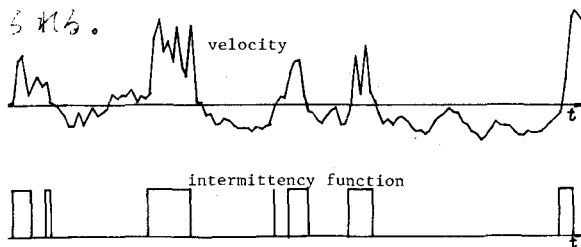


図-5 変動量の時系列と間歇関数の時系列

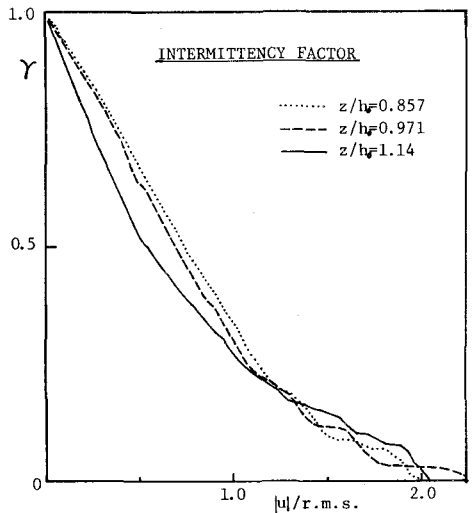


図-3(a) 間歇因子

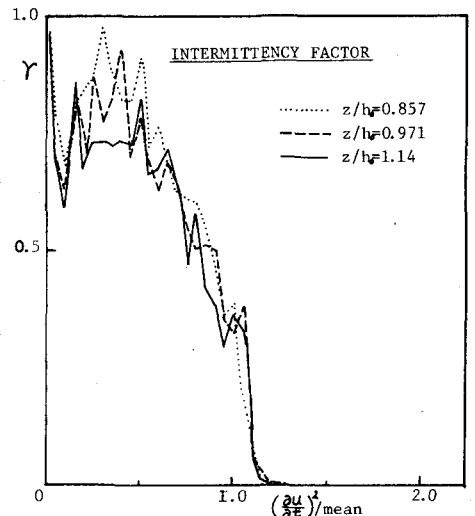


図-3(b) 間歇因子

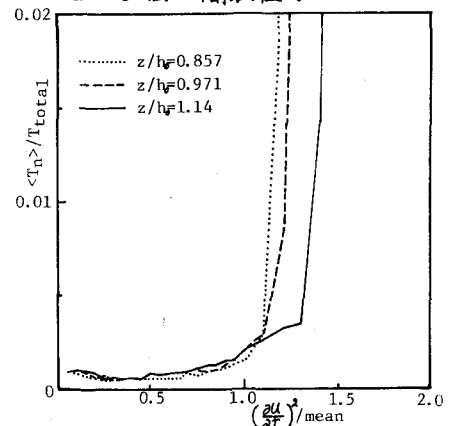


図-4 非乱流区間の平均持続時間