

成層せん断流の乱流構造 (2乱流/非乱流別特性)

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
 大阪大学大学院 学生員 ○ 磯崎 正哉

1. まえがき：成層せん断流場での時系列より、間欠的に発生する大規模バルジ構造がレイノルズ応力や乱流浮力フラックスの生成に貢献していることがわかる。そこで、本研究では時系列の特性を忠実に反映した間欠関数を導入することにより条件付標本抽出を行い、乱流/非乱流域別の乱れ特性の把握を試みた。

2. 間欠関数の同定：本研究の目的が運動量およびスカラー量輸送の内部機構の解明にあることから、乱流/非乱流域の識別に用いた検出関数はレイノルズ応力の時間微分を二乗した関数 $\{-\partial(uv)/\partial t\}^2$ を採用した。閾値設定に際しては、物理的に意味のない雑音的な短周期変動を除去するために、ミクロスケールの渦寿命時間で区間平均して平滑化を行った。閾値は図-1に示すような単調に増大する非乱流平均持続時間の極値を示す点を採用した。その結果を図-2に示す。同図は成層界面近傍 ($z/H=0.98$) でのレイノルズ応力 $-uv(t)$ 、乱流浮力フラックス $-v_b(t)$ 、および設定した $0/1$ (非乱流域/乱流域に対応する) 分布の間欠関数 $I(t)$ の変動時系列を示す。大規模バルジが間欠的に発生している状況が認められるとともに、その変動を間欠関数の時系列が良好に同定しているのがわかる。

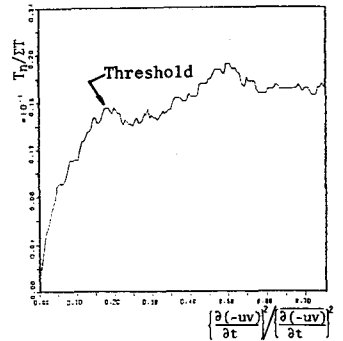


図-1 閾値の設定

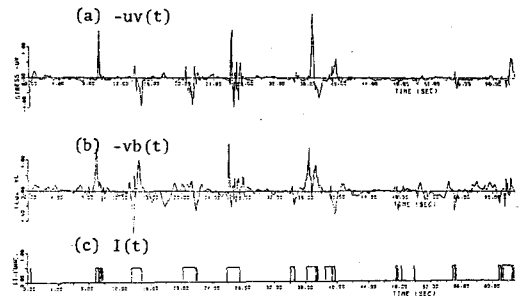


図-2 変動時系列

3. 乱流/非乱流域別の乱れ特性：図-3、4に乱流エネルギー $\bar{q}^2 (= \frac{1}{3}(u^2 + v^2 + w^2))$ と浮力変動 $\bar{b}^2$ の乱流/非乱流域別平均および慣用平均の鉛直方向分布を示す。水深は成層界面位置 H で無次元表示し、計測断面の平均リチャードソン数 $\bar{R}_i$ は 0.058 である。 $\bar{q}^2$ は $z/H=0.33$ で最大値をとったのちに水深の増大とともに単調に減少するが、乱流平均 $\bar{q}^2$ は全水深にわたって非乱流域平均 $\bar{q}^2$ の約2倍程度である。乱流/非乱流に識別することによる有意な差異が現われている。他方、 $\bar{b}^2$ の分布は

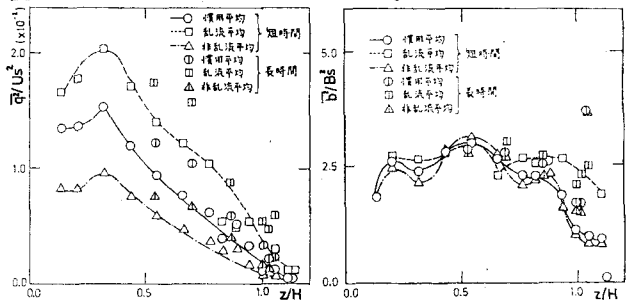


図-3 乱流エネルギーの分布

図-4 浮力変動の分布

$\overline{q^2}$ とは若干異なり、 $\overline{b_T^2}$ と $\overline{b_N^2}$ に差異が認められるのは成層界面近傍の $z/H > 0.8$ に限られるようである。

図-5,6の $-\overline{uv}$, $-\overline{ub}$ の分布にみられる特徴的なことは、慣用平均および非乱流平均が水深の増大とともに単調に減少するのに対して、乱流平均の絶対値は大きく、また成層界面上で特異な分布を示すことである。

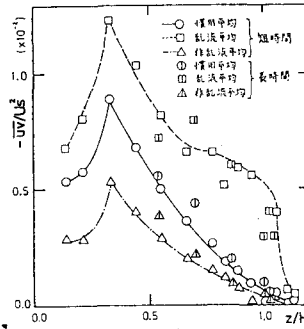


図-5 $-\overline{uv}$ の分布

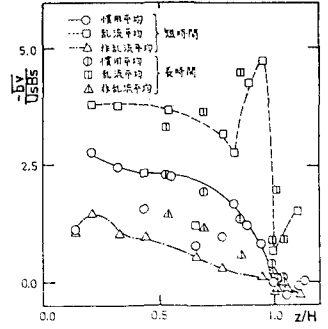


図-6 $-\overline{ub}$ の分布

この領域における乱流域の相関係数は $-\overline{uv}$ に対しては1.0、 $-\overline{ub}$ に対しては約0.5と非常に大きな値を示す。このことから、成層界面近傍で抽出した乱流バルジは時間的に占める割合は20%弱と小さいものの、相関度の高い運動を示しており運動量・浮力の輸送に大きく貢献しているものと推察できる。

4. 乱流バルジの持続時間別特性：つぎに、乱流バルジ

の持続時間と乱流強度 $\overline{u_T^2}$ の関係を調べたのが図-7である。 $\overline{u_T^2}$ を慣用平均の標準偏差 $\overline{u^2}$ で無次元化したために水深別の違いが現われて散乱気味であるが、持続時間の増加にともなって強度も増大する傾向が認められる。レイノルズ応力の強度と持続時間の関係においても同様のことが認められ、スケールの大きい乱流バルジ程、保有するエネルギーも大きく、且つ運動量輸送の貢献度も大きいことがわかる。

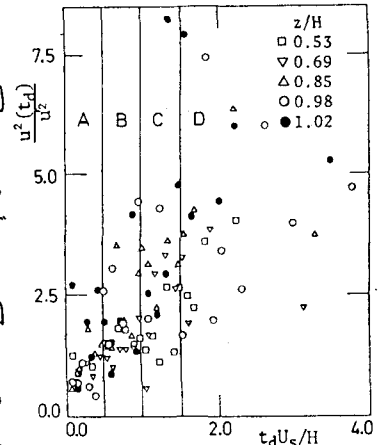


図-7 乱流強度と持続時間

そこで、乱流バルジの発生頻度分布と強度との関係から図-7に示すように4つのグループに区分して、乱流バルジ毎のアンサンブル平均から $-\overline{uv}$ と $-\overline{ub}$ の分布を求めたのが図-8,9である。横軸はそれぞれの持続時間で無次元化したバルジ内時間を示す。測定点はコヒーレントな乱れ構造が卓越していると考えられる $z/H = 0.85$ である。図-8より運動量の輸送に最も貢献する乱流バルジは持続時間の長いバルジであり、その前半部で主要な貢献を果たしている。また、持続時間の短いバルジになるにつれて分布形は左右対称になり平坦になる。浮力輸送に関しても $-\overline{uv}$ と同様の傾向を示すが、持続時間の短いバルジの貢献度は $-\overline{uv}$ に増して小さくなる。成層界面に近づくにともない、 $-\overline{uv}$, $-\overline{ub}$ の分布の非対称性が増し複雑になるが、それに関しては講演時に述べる。

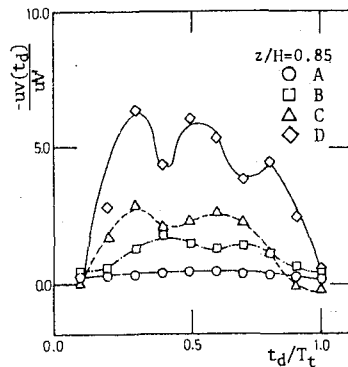


図-8 バルジ別 $-\overline{uv}$ の分布

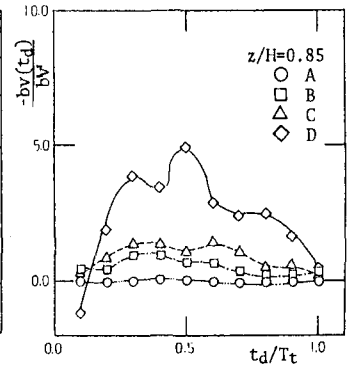


図-9 バルジ別 $-\overline{ub}$ の分布