

大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
 大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学大学院 学生員 儀寄 正哉

1. まえがき ; 密度界面での混合現象を“拡散”とみるか, “移流”とみるかは議論百出のところであるが, 最近のせん断乱流場での秩序構造の研究は後者の立場を支持するものであろう。しかし, それは躍層面の侵食低下の時間変化率あるいは周囲流塊の摂取率で定義される連行速度とは若干趣きを異にしており, 両者を関連させる統一的な解釈が待たれる。密度界面近傍で測定された時系列に観られる特徴の一つは間欠的に発生する強度の大きい乱れ変動であり, それが運動量およびスカラー量の輸送に強く関係しているものと予想される。そこで, 本研究では時系列特性を忠実に反映した間欠関数を導入することにより, 変動時系列を乱流域と非乱流域とに区別する条件付抽出を試みた。とくに, 乱れ強度の大きい活性な乱流バルジが輸送機構に関与すると考え, その乱流構造について考察した。実験は表層密度噴流の断面リチャードソン数 $\bar{R}_i$ が 0.058 の断面で二方向速度成分 u, v および浮力 $b (= \Delta\rho \cdot g / \rho_0)$ を測定した。測定時間は 40 秒, 主要点では 250 秒であり, サンプルング間隔はそれぞれ 200 Hz, 40 Hz である。成層界面位置 H は局所リチャードソン数の急増大点を採用した。

2. 変動時系列と間欠関数 ; 間欠関数の設定は関面支部年講(982)に示した方法を適用した。ただし, 検出関数は運動量の輸送に関与する規模という観点から平均渦寿命時間を目安に区分平均して平滑化を施した。得られた間欠関数の 0/1 (非乱流域/乱流域に対応) 時系列および浮力変動 $b(t)$, レイノルズ応力 $-uv(t)$, 乱流浮力フラックス $-vb(t)$ の変動時系列を図-1に示す。測定位置は $z/H = 0.98$ の成層界面極く近傍である。 $-uv(t)$ の変動に大規模バルジが間欠的に発生しているのが認められるとともに, $-vb(t)$ も $b(t)$ もそれに追従するように変動している。また, その変動を間欠関数の 0/1 変動が良好に同定しているのがわかる。

3. 乱流/非乱流域別の乱れ特性 ; 図-2は乱流エネルギー $\bar{q}^2 (= \frac{1}{2}(\bar{u}^2 + \bar{v}^2))$ の慣用平均および乱流/非乱流域別平均の鉛直方向分布を示す。 $\bar{q}^2$ は $z/H = 0.33$ 付近で最大値を示した後に, 水深の増加とともに減少するが, 乱流域平均 $\bar{q}_T^2$ は成層界面近くでは減少せず一定値を示す。 $\bar{q}_T^2$ は非乱流域平均 $\bar{q}_N^2$ の約2倍もあり, 両域で識別することによる有意な効果が現われている。図-3, 4は相関係数 R_{uv}, R_{vb} の鉛直方向分布を示す。乱流域での R_{uv} は噴流内部では慣

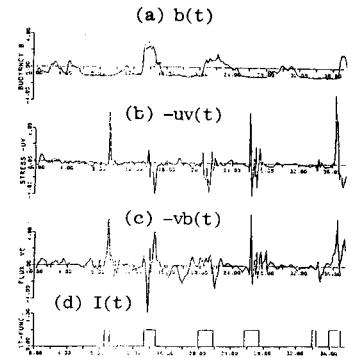


図-1 変動時系列と間欠関数

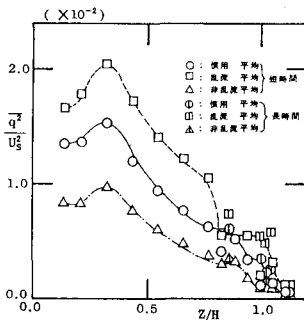


図-2 乱流エネルギーの分布

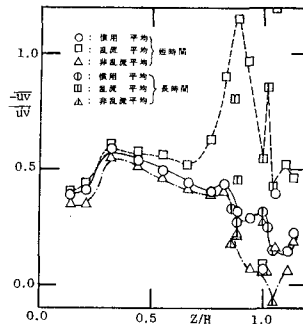


図-3 R_{uv} の分布

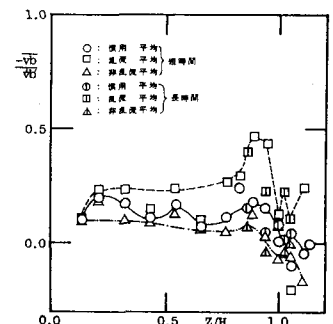


図-4 R_{vb} の分布

用平均と同じ値0.55を示すが、 $z/H = 0.75$ 付近から急増大して1.0に達した後、成層界面位置で減少する。これに対して、慣用平均、非乱流平均ともに単調に減少する。 R_{ub}, R_{ub} の分布もその値は異なるものの、同様の傾向を示す。また、乱流平均 $-\overline{u}u_r, -\overline{u}b_r, \overline{u}b_r$ の絶対値も大きいことから、成層界面近傍の乱流バルジは時間的に占める割合が約20%と小さいものの、相関度の高い運動を呈しており、運動量ならびにスカラー量の輸送に大きな貢献を果しているものと推察できる。

4. 乱流バルジの内部構造；抽出した乱流バルジの持続時間 τ_d と乱流強度 $\hat{u}^2/\overline{u}^2$ の関係を図-5に示す。多少散乱気味であるが、両者には正の相関が認められる。また、 $-\hat{u}\hat{v}$ の強度との関係においても同様のことが認められており、持続時間の長い乱流バルジ程、保有するエネルギーも大きく、運動量輸送の貢献も大きいことがわかる。そこで、乱流バルジを持続時間別に4グループに分割し、その特性を調べた。表-1はグループ別の出現個数(250秒当り)を示す。成層界面では種々の規模の渦が混在しており、他の測点の頻度分布とは異なる。また、それらは図-5においてもバラツキ気味である。図-6はグループ毎にアンサンブル平均したレイノルズ応力 $-\overline{u}\hat{v}$ の内部構造を示す。横軸はそれぞれの持続時間 τ_d で無次元化したバルジ内時間を示す。相関度の高い運動を示している $z/H = 0.85$ においては運動量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、しかもその前半部で主要な貢献を果している。持続時間の短いバルジになるにつれて、最大値は後半部に移行し、平坦になる。乱流相関係数が1.0である $z/H = 0.89$ ではまさに渦運動を呈しているような $-\overline{u}\hat{v}$ の構造を有し、バルジの後半部では負になる傾向を示す。 $z/H = 0.85$ の傾向は成層界面を除く全測点で認められた。

また、乱流浮力フラックス $-\overline{v}\hat{b}$ も $-\overline{u}\hat{v}$ と類似した構造をもつことから、せん断流場における両輸送機構の類似性が指摘される。ただし、成層界面($z/H = 0.98$)での内部構造はそれら

図-6(a) $-\overline{u}\hat{v}$ の構造($z/H = 0.85$)

と著しく異なり、鉛直方向速度成分 $\hat{v}/\overline{v}$ も含めて図-7に示す。運動量輸送に関しては各乱流バルジともに正の貢献($-\overline{u}\hat{v} > 0$)をなすが、浮力輸送に正の貢献を果たすのは最も長いバルジと最も短いバルジである。前者はバルジの前半部で、また後者は後半部で貢献するという特性の違いを示している。とくに、後者の $\hat{v}/\overline{v}$ は正の値を示しており、このバルジは浮力の小さい流れの鉛直上向きへの輸送、いわゆる連行に貢献することになる。

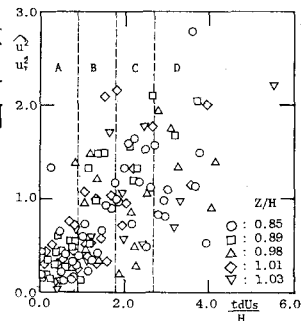


図-5 規模と強度の関係

表-1 グループ別出現個数

Z/H	Total	A	B	C	D	γ
0.85	65	22	17	16	10	0.230
0.89	66	25	27	7	7	0.202
0.98	46	8	12	14	12	0.213
1.01	47	21	16	5	2	0.113
1.03	37	16	7	9	5	0.138

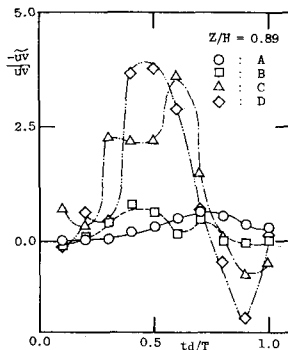


図-6(b) $-\overline{u}\hat{v}$ の構造($z/H = 0.89$)

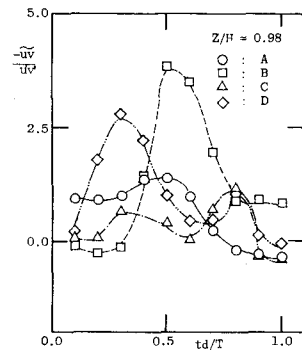


図-6(c) $-\overline{u}\hat{v}$ の構造($z/H = 0.98$)

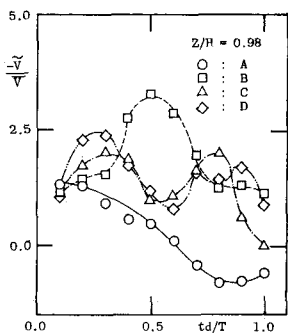


図-7(a) $\hat{v}$ の構造($z/H = 0.98$)

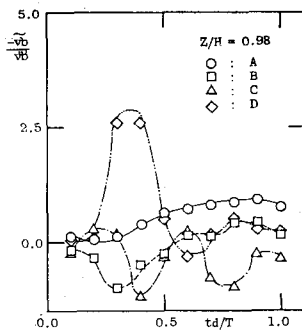


図-7(b) $-\hat{v}\hat{b}$ の構造($z/H = 0.98$)