

天塩川河口密度流における鉛直流速分布

Vertical Velocity Profiles in Stratified Flow at The Mouth of The Teshio River

北海道大学工学部 正 員 吉 田 静 男
八戸工業大学工学部 正 員 西 田 修 三

1. 序 文

実河川の流速分布については、従来、プロベラ式流速計や電磁流速計を用いて測定され、複雑な流速分布を示す河口流についても、概略ではあるが、流速構造に関する情報を得る上に重要な役割を果している。しかし、これらの流速計を用いる限り、高波数成分を有する乱流や、2 cm/s以下の低流速の測定に精度が期待できず、未だ、下層塩分をも含めた鉛直方向の流速分布と潮汐の関係さえ明確にできていない。この種の問題を解決するには、少なくとも、フィールド計測用LDA(LDV)の様な測定手法の導入が必要となる。幸い、従来の手法に加えLDAを用いたフィールド観測を実施する機会を得たので流速分布変動と潮汐の関係を主に、その実態を報告する。

2. 観測方法

観測は1986年8月8日～10日の期間に天塩川河口上流0.5km、5.0kmの2地点で行なわれた。今後、前者をSt. 1、後者をSt. 2とする。St. 1では河床に基礎を置く観測塔を基準とした測定が、又、St. 2では橋を基準とした計測が実施された。ただ、St. 1での昼夜観測だけは4方アンカーで定置させた漁船上から行っている。観測項目、及び、計測器機は以下のとおりである。

〔項 目〕	〔観測地点〕	〔使用計器類〕
1. 昼夜観測	St. 1, St. 2	CMⅡ型流速計, 水温計, 電気伝導度計
2. 定点での流速 時系列の測定	St. 1	2成分電磁流速計, 河床上 0.92mに設置
	St. 2	ローター型自記流速計 (水 温, 電気伝導度センサー付), 水深0.5m及び河床上1.7m に設置
3. 鉛直流速分布 測定	St. 1	フィールド計測用LDA
4. 水位観測	St. 1, St. 2	リチャール水位計
5. 移動観測	河口から上流 23kmまで	CMⅡ型流速計, 水温計, 電 気伝導度計, 超音波測深機

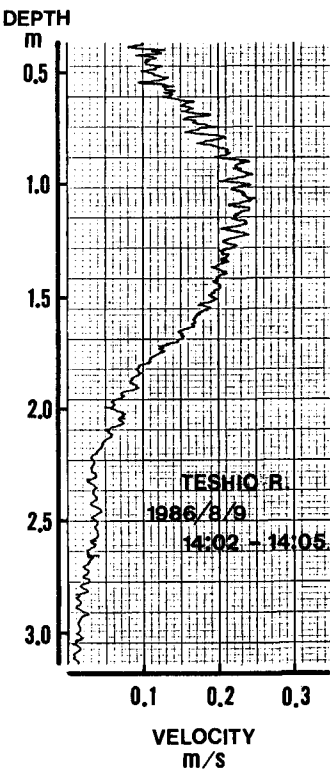


図-1 LDA出力の一例

上記のフィールド計測用LDAについては、すでに報告済みなので¹⁾その機能等の説明は省く。今回の観測ではLDAのプロープ部を観測塔に取り付けたガイドレールに沿わせて昇降させ流速分布を得ている。その上昇速度は1.83cm/s、降下速度は1.97cm/sである。今回の観測ではプ

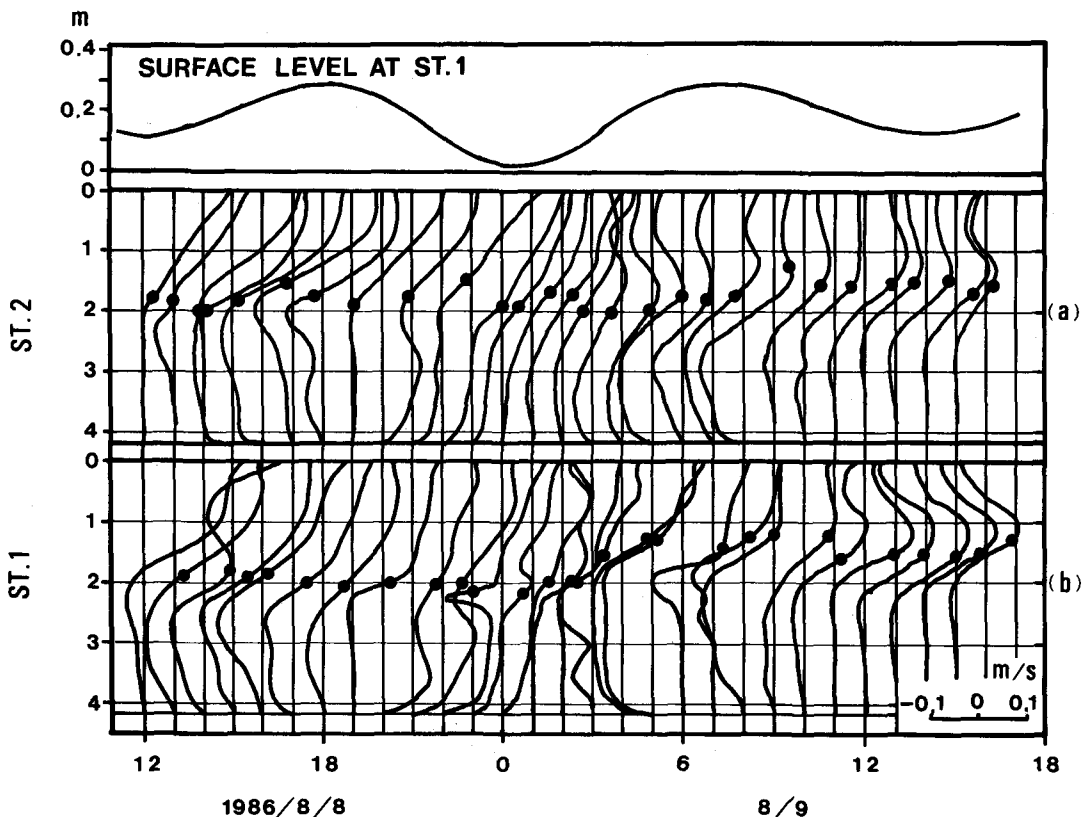


図-2 河口上流0.5km (St. 1), 5.0km (St. 2) 地点における流速分布の変動
●は密度変曲点

ローブの移動範囲が水深0.37mから3.12mに限られているが、日平均の全水深4.3mの大半の領域にわたる流速分布の実態は明らかにできる。LDAによる測定結果、すなわち、出力電圧を記録計にかかせた結果を図-1に示す。この出力結果は細部にわたる流速分布の把握が可能であることを示している。

3. 観測結果と考察

3.1 昼夜観測の結果と考察

St. 2における観測期間中の日平均量は約 $48\text{m}^3/\text{s}$ であった。又、移動観測によると、観測期間の塩水くさびの全長は23km、くさび全長にわたる平均の f_t は 1.14×10^{-4} 、くさび先端での内部フルード数は0.262、岩崎数は 3.71×10^4 であった。この様なバックグラウンドのもとで測定された毎時の流速分布（鉛直方向に0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 1.8, 2.0, 2.2, 3.0, 3.5, 4.0mの各点で測点）を図-2に示す。なお、同図には3段階の電気伝導度を示す水位もプロットされている。従来はこの程度の精度で得た観測結果をもとに解析が行われてきたが、図から判断される様に界面近傍から下層にかけたデータの精度が不十分である。しかし、全分布数が多いため、界面近傍の流速勾配や下層の流れ構造の概略を知ることは可能である。これらの知見については次節で自記計の結果と合わせて記述する。

3.2 自記記録計による測定と考察

図-3にはSt. 1における2成分電磁流速計による下層定点（河床上0.92m）における流速時系列、St. 2における上層（水深0.5m）及び下層（河床上1.7m）の定点における流速の時系列が示されている。同図に

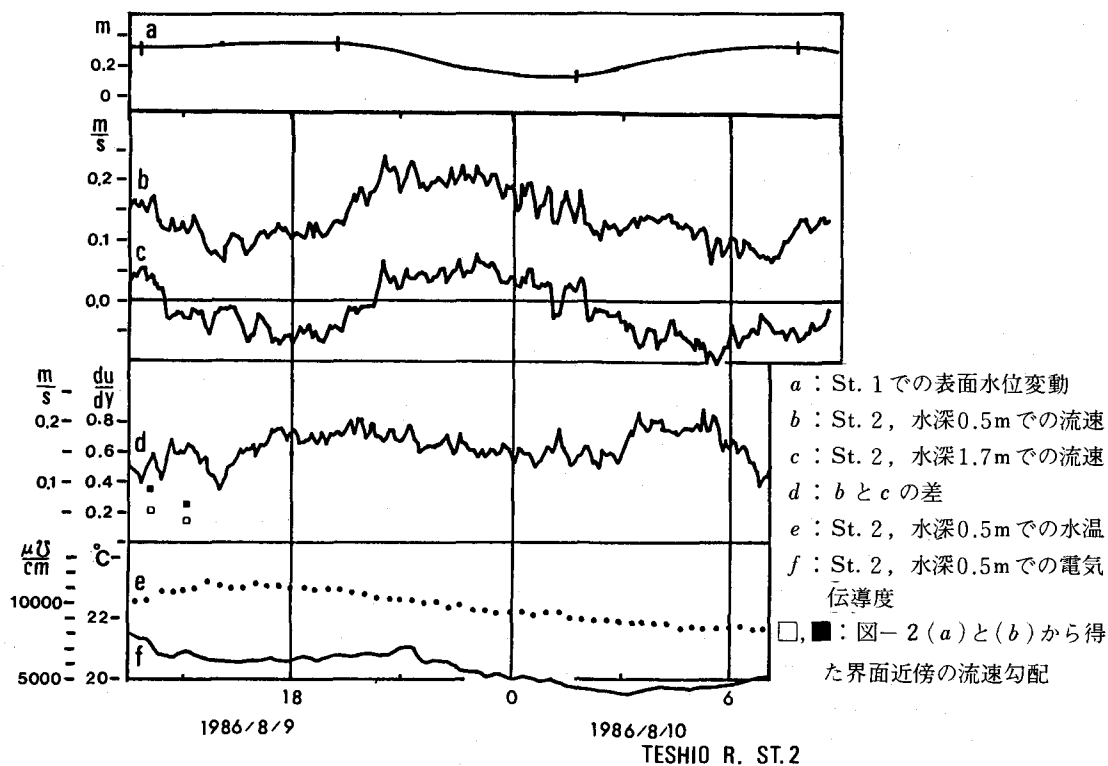
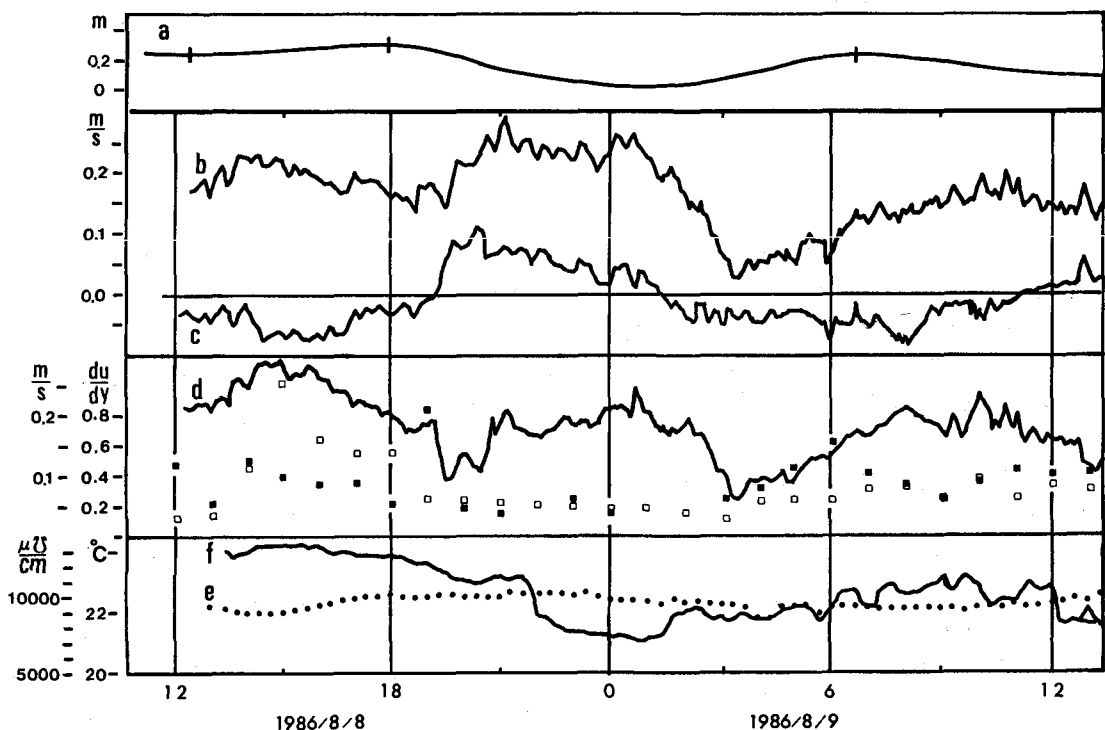


図-3 自記流速計を用いた流速、水温、電気伝導度の時系列

は他に自記流速計に取付けられたセンサーによる上層の水温と電気伝導度の時系列、及び、図-2から得る密度変曲点近傍の流速勾配も示されている。同図から読み取れる明白な現象は従来も確認されている潮位に対する上層流速の $\frac{1}{4}$ 周期程度の遅れである。しかし、詳細に検討するとSt. 2の結果については潮汐周期より短い周期成分も現われており、流速の時系列は単純ではない。この変動状況を理解するには表面波の他界面重力波の影響を検討する必要がある。St. 2における流速の時系列からは、さらに、上下層流速変動間の、3時間程度のずれも見出される。この知見もやはり従来の観測結果²⁾と一致する。今回新たに図-2をもとに密度変曲点近傍の流速勾配を得ているが、その増減は d に示す a と b の差の傾向と、概略一致する。これらが十分な一致を示さないのは評価した測定点の相異によるものである。同図に付加されている電気伝導度の時系列を調べると上述の流速勾配の増加と上層への塩分拡散量の増加傾向とがほぼ一致することが分かる。この現象に関連するリチャードソン数の算定は後節において行なう。塩分拡散に関し注目すべき点は上層の塩分値が最大となる時刻が落潮漲潮の最盛時刻、すなわち、上層及び下層の流速が最大となる時刻と一致しないことであろう。

3.3 LDAによる測定結果と考察

鉛直方向に1mm以下の空間分解能で測定した流速分布は従来知り得なかった多くの情報をもたらす。図-4(a)は、ほぼ満潮時刻における流速分布と水深方向に0.25m間隔でブローブを固定して得た流速の時系列を示している。結果は上層ほど高波数成分を有する形となっているが密度変曲点付近では高波数成分が減衰し周期3.8秒程度の変動が優勢になっている。しかし、その変動成分の成因については、スペクトル解析が完了していない現在明言できない。一方、図-4(b)は干潮時刻の30分前における流速分布と各水深の時系列である。同図からは(a)の場合とは著しく異なる流速変動特性を見出すことができる。まず、上層流中の深さ方向に減衰する、強い規則性を有する変動の存在が指摘できる。さらに、下層流中の特定水深においては、周期3秒程度のビート状の変動が間けつ的に生じており注目される。このビート状の変動は1潮時の間に恒常的に見出せるのではなく、落潮最盛時刻から干潮に至る時間帯に限定されている様である。同様の例は1985年8月7日にほぼSt. 1の地点で電磁流速計によって得た河床上0.92mの記録にも見出せる。図-4(c)はその記録であり、今回の例とほぼ同一の周期変動が見出せる。なお、観測時刻は落潮最盛時刻と干潮時刻の中間であった。上記の変動のうち上層内のものに関しては表面波によるものであろうという予測が可能である。しかし、下層のビート状の変動については界面波によるものであるかどうか予想が難しい。

図-5(a)は満潮後1時間程度経過した時刻から連続的に測定した流速分布である。なお、1つの分布を得るのに140~150秒を要し、各分布間の時間々隔は約3分となっている。(b)も同様の分布であるが干潮時刻の約30分後に測定されており、11分経過後に第2の分布を得ている点が異なる。いずれの結果も短時間内に流速分布が著しく変化することを示しており、従来の測定方法では正しい流速分布を得難いことが指摘できる。又、(a)について少し詳細に分布を検討してみると特に流速変動の著しい領域が密度変曲点付近にあり、太実線、細実線、破線の順で遷移することが分かる。この結果は10分を越す周期の密度界面波の存在を示唆している。

最後にLDAを用いて得た、あまり時間的に接近していない流速分布、密度変曲点付近の流速勾配、及び、潮汐の関係を図-6に示す。なお、夜間はLDAによる測定が不可能であったため、その間をCMⅡによる昼夜観測結果で補ってある。又、ブローブの上昇時と下降時で測定所要時間が異なるため分布の長短を生じているが、今回の考察に関しては大きな誤差をもたらさないので修正をしていない。この結果からは先の図-3において見出された様に密度変曲点近傍の流速勾配は満潮の頃に大きな値を示し干潮に向かうに従って漸減する傾向が明白に読み取れる。このうち流速勾配の最大値と最小値を読み取ると1.18と0.14である。この値と対応時刻における密度変曲点近傍の密度勾配(CGS単位系で 2.8×10^{-4} と 6.25×10^{-4})からリチャードソン数 R_{io} を計算すると $0.192 \leq R_{io} \leq 4.26$ と表わされる。ただ R_{io} が0.192となる例はわずか1例にすぎず、他はすべて $R_{io} > \frac{1}{4}$ を満足する。この結果は現実存在する上層への塩水の輸送が平滑化された流速構

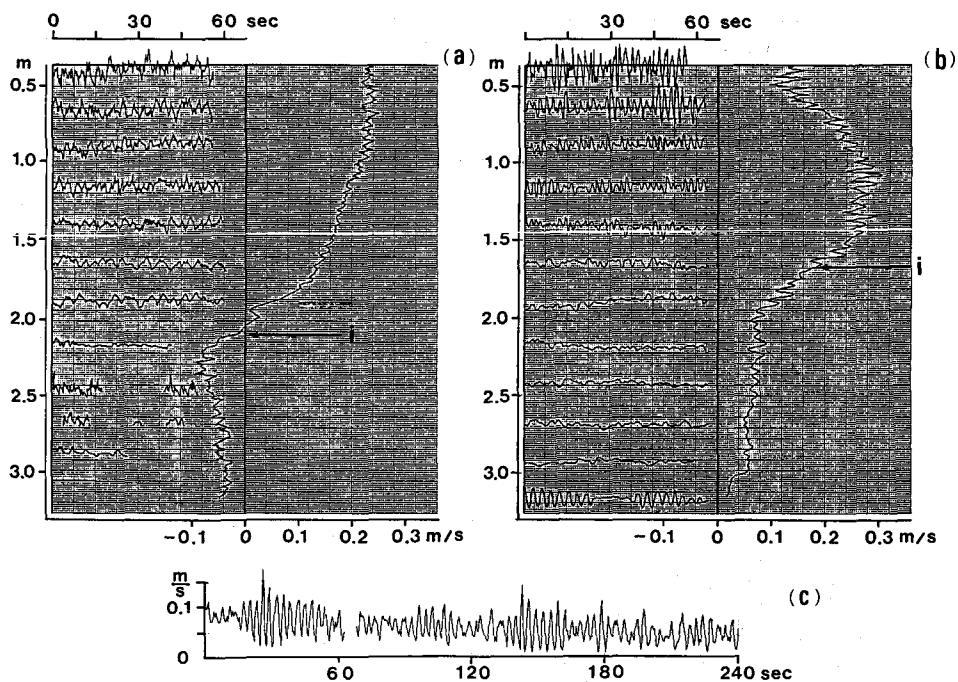


図-4 各水深における流速の時系列。(a): 1986年8月8日18:39~18:42, 河口上流0.5km, (b): 1986年8月9日13:26~13:29, 河口上流0.5km, (c) 1985年8月7日12:30~12:34, 河口上流0.5km (電磁流速計記録), i は密度変曲点。

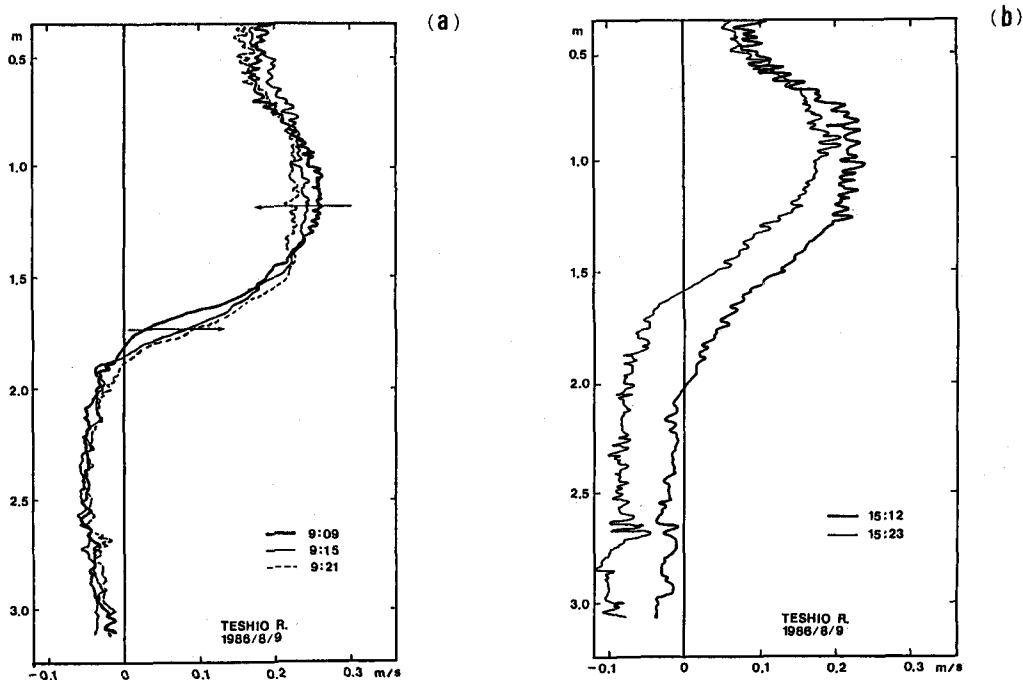


図-5 短時間内流速分布変動

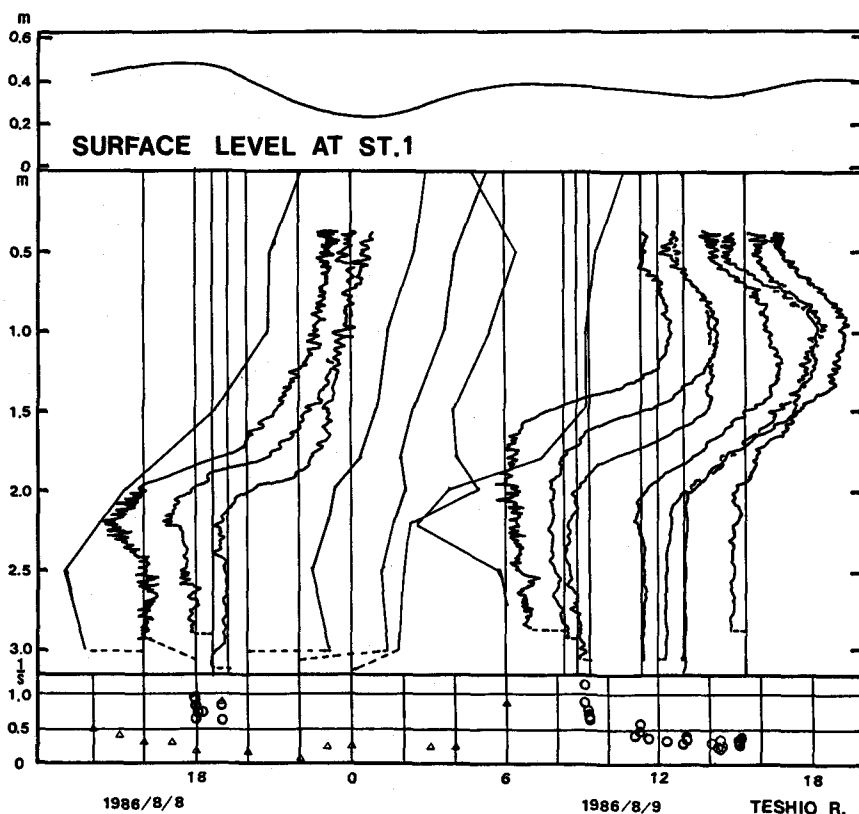


図-6 一潮時における流速分布及び界面近傍流速勾配の変動。○はLDAによる流速分布から求めた流速勾配，△はCM II流速計による流速分布から求めた流速勾配。

造によらず局所的なシアー流にもとづくものであることを示唆している。又、図-3の上層塩分濃度の結果も考慮すると、さらに、平均流速勾配が大きくなる場合には局所的なシアーも大きくなると結論できる。ただ、この混合機構は弱混合形式河川のしかも河道内でいえることであり、 $R_{10} < 1/4$ が成立する河口近傍や強混合形式の河口流における混合機構とは異なるものである。

4. 結 語

LDAを用いて得る鉛直方向に連続的な流速分布からは、流れ構造の変動原因を議論する上に必要な情報が多く得られることを示した。又、同時に現時点では説明のできない現象も見出された。これらの現象は複雑な河口流の解明につながる可能性があり今後さらに検討を続けたい。

本研究の遂行にあたり多くの方面の協力を得た。特に天塩町役場、日本気象協会、日本データサービス株式会社、北海道栽培漁業振興公社には深く謝意を表したい。又、元北大工学部技官大川原馨氏には移動観測に関し協力を得た。合わせて感謝したい。

文 献

- 1) 吉田静男・八木史郎：河川乱流計測用LDAの開発，第30回水理講演会論文集，pp.541～546，1986。
- 2) 吉田静男・谷藤康造：天塩川河口二層流と潮汐，第28回水理講演会論文集，pp.51～57，1984。