



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	非定常塩水楔界面の塩分拡散におよぼす風の影響
Author(s)	大谷, 守正; 八鍬, 功
Citation	北海道大學工學部研究報告, 130, 33-41
Issue Date	1986-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41978
Type	departmental bulletin paper
File Information	130_33-42.pdf



非定常塩水楔界面の塩分拡散におよぼす風の影響

大谷 守正* 八 鍬 功*

(昭和 60 年 11 月 20 日受理)

Influence of Wind on Interfacial Salt Diffusion in an Unsteady Salt Wedge

Morimasa OHTANI and Isao YAKUWA

(Received November 20, 1985)

Abstract

Field phenomena of salinity diffusion in an estuary are complex. Mixing of the fresh and salt water at the interface is influenced by

- (1) Flow...tidal current, wind-generated current
- (2) Topography...water course, shape of river bed
- (3) Discharge

A complicated combination of these factors produces the diffusion phenomenon at the interface.

This paper describes observations of interfacial displacement in an unsteady salt wedge and a mixing of fresh and salt water through the interface by wind action. The level of the interface was observed at the station 4.4km upstream the river mouth using a Step Type Interface Meter designed by authors.

According to these observational results, salinity of surface layer showed high values under 10 m/s mean wind speed. In addition the spectrum of the salinity fluctuations at the interface showed some peaks near 1 Hz and these peaks tend to become higher with the increasing wind speed.

1. 緒 言

河口における成層密度流の界面に関する問題をとらえるときには、成層密度流の動的な状態をいかに把握するかということが一つの大きな研究目標となっている。それは密度構造あるいは流動にせよ、河口域における密度流の物理的素過程そのものが時間的、空間的にかなりの変動性をもっているからである。例えば界面付近の乱れにしてもいろいろの段階が考えられる。密度躍層付近の極めて小さな乱れから、川幅いっぱいの渦や、水平運動の卓越する内部波などがあり、これらの現象の空間スケールに対応してその変動の時間スケールもかなり広い範囲にわたって変化する。

河口における塩水層から淡水層への塩分拡散現象を解明するためには、その力学的特性を把握

* 理学第一講座

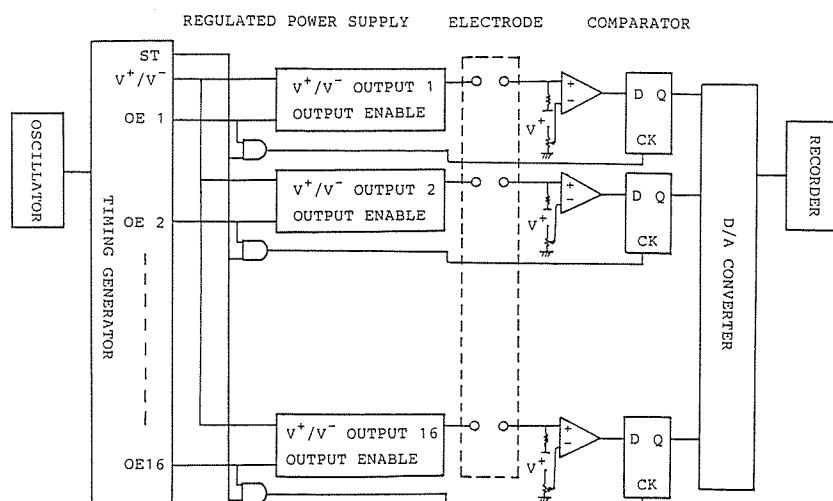


図-2 ステップ式界面計ブロックダイアグラム

タ、D/A変換器から構成されている。動作原理は2 kHzのクロックパルスによりタイミングジェネレータを作動させ図-3に示すタイミングチャートのパルス間隔により16対の電極と同数の基準電圧発生回路とコンパレータより成る判別回路を順次切替えて界面の位置を検知してゆく。基準電圧発生回路はタイミングジェネレータの信号を受けて入力信号 V^+/V^- とOUTPUT ENABLEが1になった時に正の基準電圧を発生して電極間の電気伝導度を測定する。また入力信号 V^+/V^- が0、OUTPUT ENABLEが1の状態の時は基準電圧と絶対値が同じで符号が逆の電圧を発生して測定時と同じ時間、電極に電圧を加え電気分極による電極の腐食を防ぐように作られている。

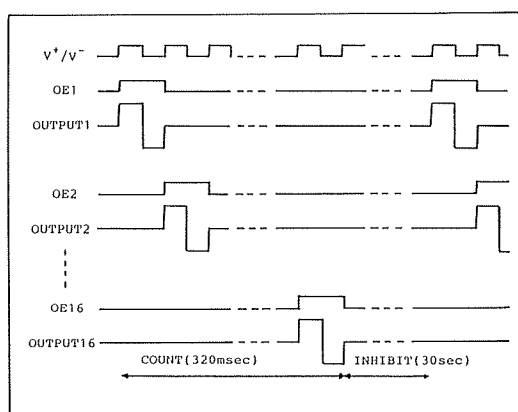


図-3 界面計タイミングチャート

コンパレータは界面の変動をいったん論理情報の変動という形に置換するもので、正の基準電圧が発生した時に電極間で測定した電気伝導度とあらかじめ界面として定めておいた電気伝導度の大きさを比較して、オン・オフ2値に変換して、次のDフリップフロップのD端子に入力する。Dフリップフロップは図-2に示すようにD入力、CK入力端子がありD入力端子に加えられた情報はCK端子にクロックパルス信号を入力することによりオン・オフいずれかの値を記憶する。出力は界面以下の電極でDフリップフロップがオンの状態で記憶されているものの総和を取り出しD/A変換器に入れ電圧に変えて記録計に入力し界面の位置を記録する。

この界面計は相互の干渉を防ぐため電極を順次走査してゆくものであり、各電極での電気伝導度の測定に要する時間は10 msecに定めてあり16対すべての電極を測定するのに要する時間は160 msecとなる。また電極の劣化を防ぐための逆電圧を加える時間も同様に160 msecとなり一測定に要する時間は320 msecとなる。観測する界面の変動がそれ程早くないことを考慮すれば事実上同時測定とみることができる。観測にあたっては電気伝導度24000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ のところを界面

とるようにしきい値を設定した。この値は 15°C で $\text{Cl } 10.2\text{‰}$ に相当する。

3. 石狩川における観測

風の影響による塩水層から淡水層への塩分拡散を観測するため図-4に示す石狩川の河口から4.4 km 地点 (B) に昭和 57 年 9-10 月の 2 ヶ月及び昭和 58 年 5-12 月まで 8 ヶ月間、左岸川岸から 15 m 沖合で水深 11 m のところに川表面下 0.5 m と川底上 1 m の 2 点に塩分センサー (温度補正機構を持つ、図に EMC と略記) と水温センサーを設置し上層淡水層と下層塩水層の塩分、水温変化の長期変動を自記記録した。また界面変動を観測するためステップ式界面計を設置した。風の観測にあたっては昭和 58 年の観測より同地点の川岸に交流発電式の風向風速計を設置して上記の期間自記記録した。これらのセンサーの設置方法を図-1に示す。これらは長期にわたる観測であるがこれとは別に風の強い日を選び短期間 (1 日-2 日) 観測 (河口から 3.5 km 地点 (A)) を実施した。これは図-1に示すように二層界面近傍に塩分計及び流速計 (電磁流速計 EMV と略記) を固定し塩分変動、流速変動を測定した。測定した位置は左岸から 14 m の距離で全水深 9 m である。同地点の風の観測には光電式風向風速計を用いた。

図-5は試作した界面計による界面変動の記録例で縦軸は投入時の水面からの深度である。図から界面は潮汐の影響をうけて変動しながら、河川流量の変化等によりさらに大きく変動していることがわかる。図中界面が切れている部分は流量の増加によって塩水楔が後退し観測地点における淡水層の厚さが深度 5.45 m 以上になったことを示している。

図-6は昭和 57 年 10 月の観測結果の中から強風時を含む数日間の界面変動と上下層塩分変化を河川水位、潮位、風向風速と対比して示したものである。河川水位は河口から 26.5 km 上

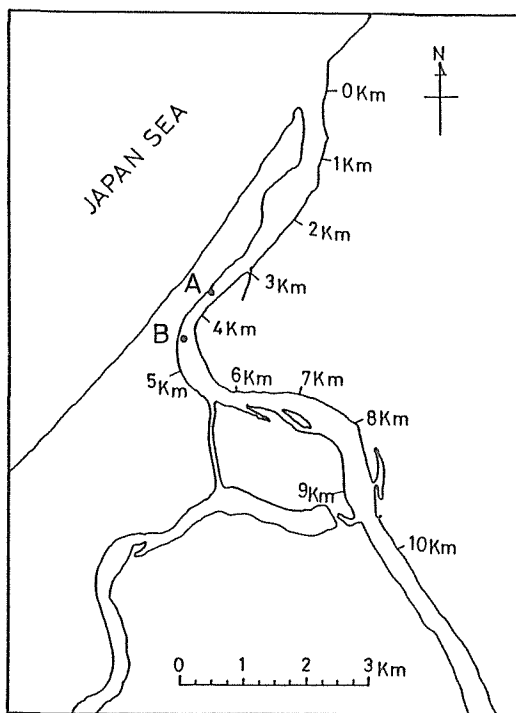


図-4 石狩川河口付近

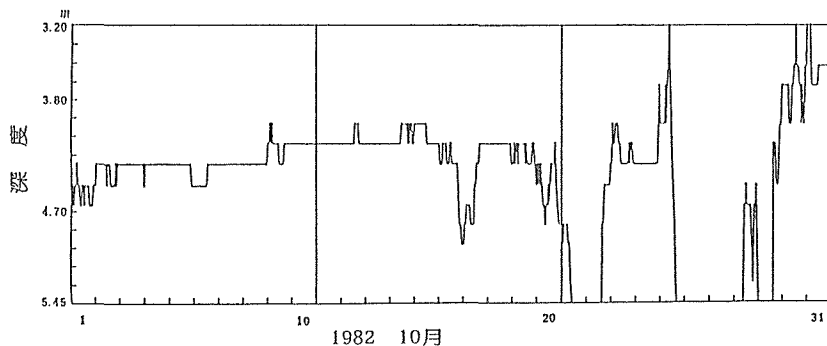


図-5 石狩川 (河口から 4.4 km 上流) における記録例

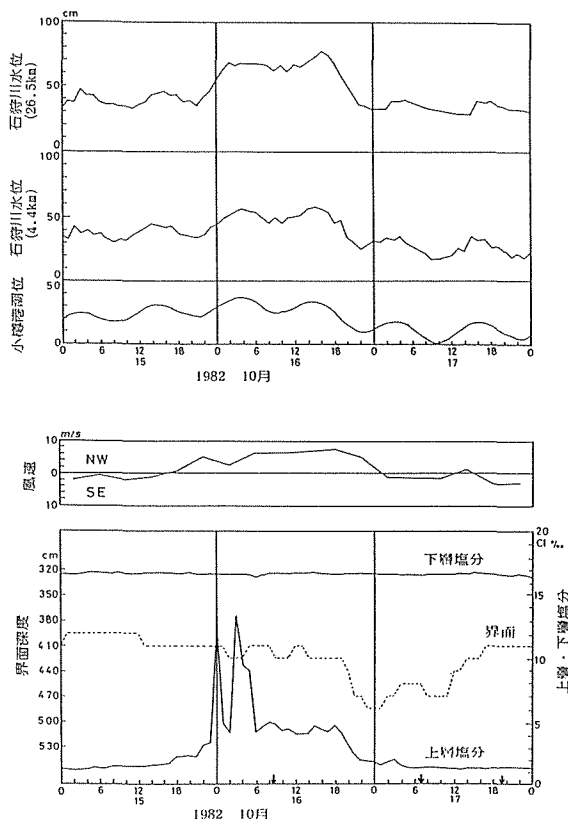
流の地点および界面計設置地点における観測値、潮位、風向、風速は小樽港の観測値で何れも北海道開発局の観測による。風向、風速は4時間毎の記録で小樽港での観測記録を用いたが界面計設置点の値とは異なるものと思われるが、傾向は同じと考えられる。河口付近の海岸線は北東－南西の方向であるから海→陸方向（SW－NW－NE）の風を＋側に、陸→海方向（NE－SE－SW）の風を－側に示した。

図－6によれば10月15日18時頃から16日14時まで最大7.5 m/sの北西風が吹き、その間界面が徐々に低下するとともに、上層塩分が1.4 Cl‰から4.5 Cl‰に増大しているのがみられる。

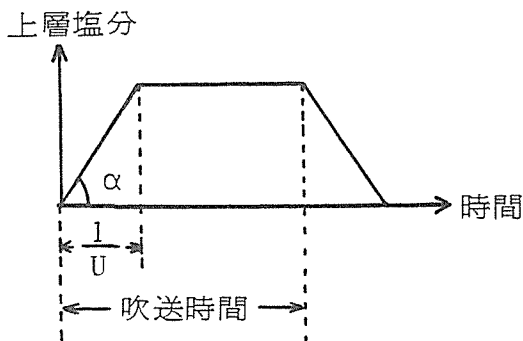
界面の低下には風の影響もあると思われるが観測時は河川流量も15日：440 m³/sから16日：530 m³/sまで増加して塩水楔は後退の傾向にあり両者の影響を区別することは困難であるが、上層塩分の増加は風の剪断力によって界面を通しての塩分の拡散が促進されたものと思われる。

塩水楔の先端から観測点までの距離を l 、淡水層厚さを H 、上層の平均流速を U とし、風の影響による下層水の連行速度 U_e が時間的にも場所的にも一定で上層内の塩分混合が完全に行われるものとすれば、風が吹きはじめから l/u 時間の間は観測点における上層塩分が直線的に増加し、その勾配 α は $\alpha \propto U_e C_o / H$ (C_o 下層塩分) となるが、その後の塩分は風の吹送時間中一定となる。風が止めば塩分濃度が小さい河川水が順次流下するので観測点の塩分は増加時の逆勾配で直線的に減少する。従って風の影響による上層塩分の変化は基本的には図－7のような台形となる。観測時の結果も同じ傾向を示している。

図－8は昭和58年8月16－18日の観測例であるがこれを17日前後の天気概況と対比してみると、16日の朝までは石狩湾は勢力の強い太平洋高気圧の圏内にあり晴れ間も多かったが、大型台風5号の北上に伴い風が強まってきた。17日は台風5号が本州を北上しており南よりの強い風は17日の正午近くまで続いた。18日は台風5号は三陸沖にぬけたが北海道東部を中心に大雨をもたらした。



図－6 石狩川（昭和57年10月15－17日）における観測結果



図－7 風の影響による上層塩分変化のモデル

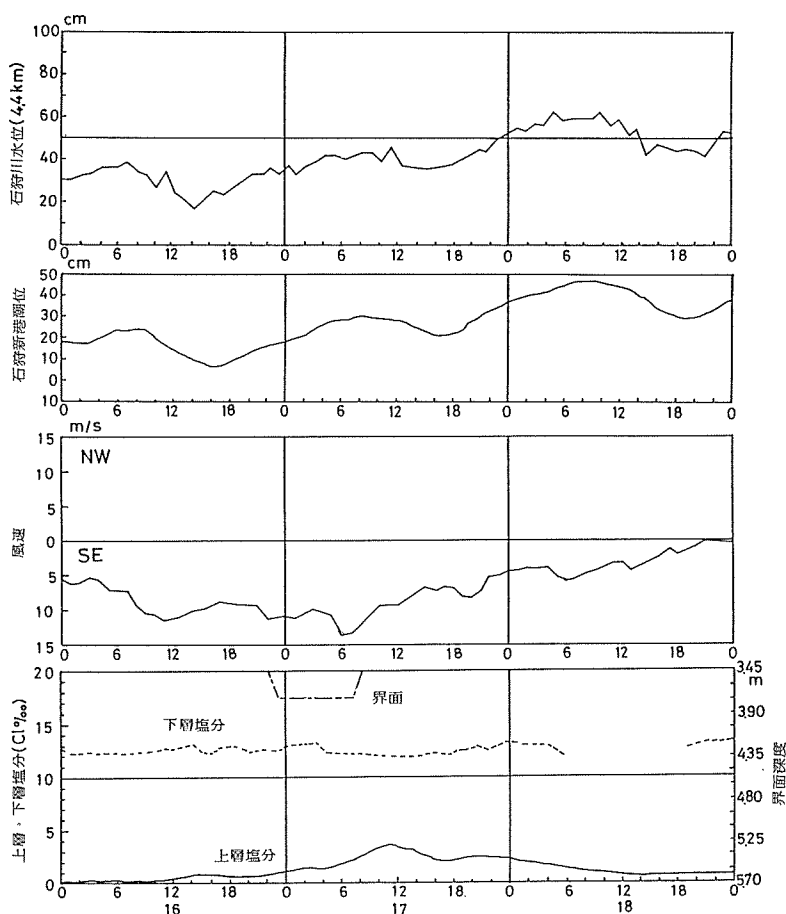


図-8 石狩川(昭和58年8月16-18日)における観測結果

このような気象条件の下では風速の増大が淡塩二層の界面に生ずる内部波や渦動を促進する結果表層の塩分増加をもたらしている。

この観測中は表層塩分は最大3.66‰まで増大していた。この上層塩分の増加は明らかに風の影響によるものである。一時的な界面降下は界面付近の淡塩水混合により界面計のしきい値の点が降下したものとおもわれる。

同期間の風速と上層塩分との関係は図-9のようになり、風速-上層塩分曲線はループを画き、塩分の最大となる時刻は風速最大時とは一致しなく遅れを生じている。

4. 淡塩二層境界面における塩分変動スペクトル

淡塩水境界面に風がどのような機構で影響を及ぼすか、水面付近に風速計、界面近傍に塩分計を設置して得られたデータのスペクトル解析を行った。測定器の配置は図-1のとおりで測定は15分間、塩素量濃度、風速の二点同時測定を行いデータレコーダに記録した。これをA-D変換器により0.25秒間隔でサンプリングを行った。データ数は512個でこれをFFT法でフーリエ変換し同時測定された二点での変量のスペクトルを求めた。周波数成分波は特に10 Hz以下に注目するために10 Hzをカットオフ周波数とした。

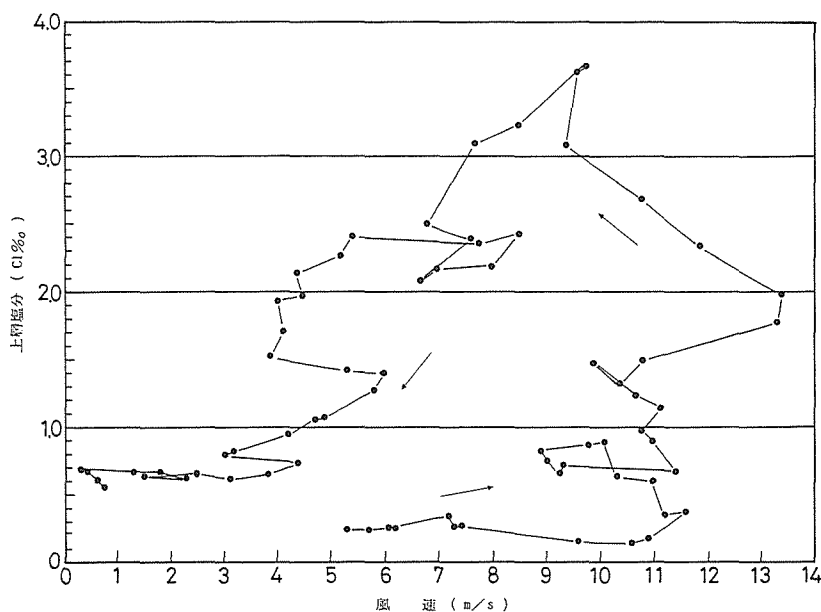


図-9 風速と上層塩分との関係

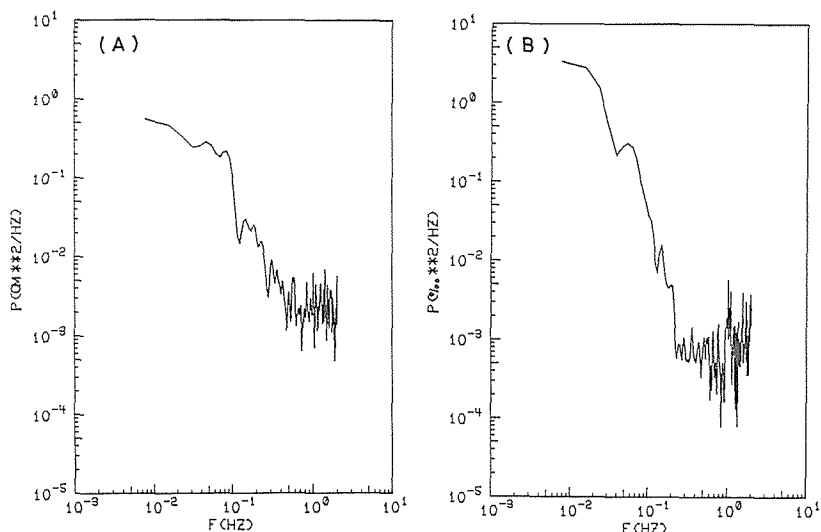


図-10 風速変動 (A) 及び塩分変動 (B) のスペクトル, 弱風時

図-10は昭和59年10月22日22時の測定で弱風時の例で平均風速0.2 m/s程度で界面位置の水深は5.5 m, 塩分計の位置は水深4.5 mに設定したときのものである。風速のスペクトル図は0.8~2 Hzの間にいくつかのピークを持ち、塩分のスペクトル図は風速と同様1~3 Hzの間にいくつかのピークを持っている。しかし強風時には図-11に示すように風速が12 m/s前後の場合、風のスペクトル図は風の微弱な場合に比べて1 Hz付近でははっきりしたピークを持たない。塩分の場合はスペクトル図からもわかるように塩分変動は明らかに1 Hzの周波数成分波が卓越しているのが認められる。この観測は11月2日に行ったものでこの時の塩分計の水深は

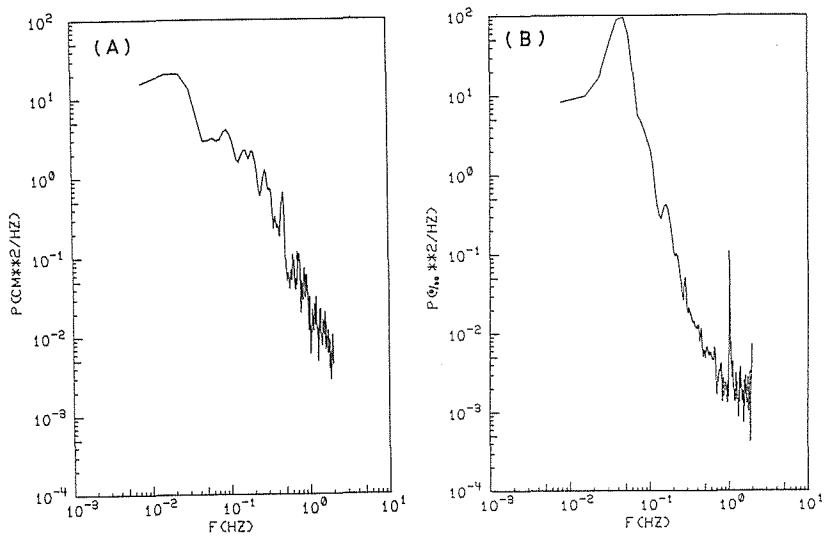


図-11 風速変動 (A) 及び塩分変動 (B) のスペクトル, 強風時

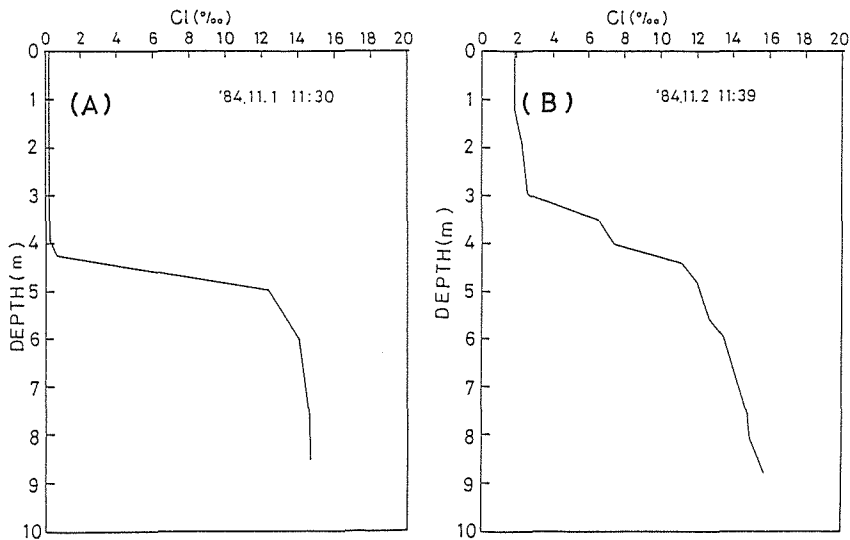


図-12 塩分鉛直分布図, (A) 静穏時, (B) 強風時

4.6 m であり、塩分鉛直分布は図-12 の (B) であり前日の 11 月 1 日の塩分鉛直分布 (A) に比べて界面の勾配は階段状になっており界面は不安定な状態を示していた。

一般に吹送流と風成波浪が主流の乱れ構造に大きく影響していると言われており、今回の観測時は河水の流れと同方向に風が吹いており風が強く風波の激しく起ると思われる時でも波長 50~100 cm、波高 5~10 cm 程度であった。この時は流速が増大し表面流速は 33 cm/s であり風が弱まり風波が小さい時は波長 5~10 cm、波高 1~2 cm 程度になり流速も減少して表面流速は 8 cm/s 程度となる。

以上のような条件下での観測であるが、塩分変動のスペクトルは風速 10 m/s 程度以下では風の強弱にあまり関係せず界面近傍では 1 Hz 付近の周波数成分波が卓越し風の強弱によってその

振幅のみを変化させる傾向が見出せた。

5. 結 語

以上の観測結果を要約すると次のようになる。

(1) ステップ式界面計を試作し昭和 57 年, 58 年にわたり約 9 ヶ月間の塩水楔の界面変動を記録した結果, 充分長期間の現地観測に使用し得ることが確かめられた。

(2) 界面変動と同時に上層, 下層の塩分変化を連続記録した結果から河口二層流においても強風時には上層淡水層の塩分が増大することが認められた。

(3) 強風時には風の剪断力による攪乱によって界面が破壊され塩分鉛直分布が一時的に直線分に近くなっているのが認められた。

(4) 表層塩分のピークは風速最大の時刻より 6 時間程度おくれを生じて観測された。流量が減少するとこのおくれは短縮される傾向がある。

(5) 平均風速 10 m/s 程度以下では風の強弱によらず界面近傍の塩分変動のスペクトルは 1 Hz 付近に卓越周波数成分波を持つことが観測された。風が強くなるとピークは鋭くなり振幅が増大する。

謝 辞

本研究の遂行にあたり貴重な資料を提供していただいた北海道開発局の関係各位ならびに観測や資料整理に協力された元本学大学院生, 中野 渉, 山下浩幸の諸君に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 和田 明: 水温躍層面におよぼす風の影響, 電研報告 No 65084, 1964
- 2) 椿東一郎, 小松利光, 下田五郎: 二層界面における内部波と乱れに関する実験的研究。
第 28 回水理講演会論文集, pp. 311-319, 1981
- 3) 田城徹雄, 吉田静男, 満沢巨彦: 河口二層流における乱流構造の観測。第 28 回水理講演会論文集。pp. 87-92, 1984
- 4) Kato, H. and O.M. Phillips: On the penetration of a turbulent layer into stratified fluid, Jour. Fluid Mech., Vol. 37, Part 4, pp. 643-655, 1969
- 5) Kantha, L.H., O.M. Phillips and R.S. Azad: On the turbulent entrainment at a stable density interface, Jour. Fluid Mech., Vol. 79, Part 4, pp. 753-769, 1977
- 6) 西條淳夫: 石狩川河口部における塩水拡散の解析, 北海道大学工学研究科修士論文, 1983
- 7) 大谷守正, 西條淳夫, 八鍬 功: 二層流界面計の試作と非定常界面変動の観測, 第 28 回水理講演会論文集, pp. 99-104, 1984
- 8) 大谷守正, 八鍬 功: 躍層界面における塩分拡散におよぼす風の影響, 第 29 回水理講演会論文集, pp. 383-388, 1985