HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	河口に於ける二重水層 (1)
Author(s)	柏村, 正和; Kashiwamura, Masakazu
Citation	北海道大學工學部研究報告, 15, 267-282
Issue Date	1956-12-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40591
Type	departmental bulletin paper
File Information	15_267-282.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

河口に於ける二重水層 (1)

柏　村　正　和

(昭和31年9月30日受理)

The Stratified Water Layers in the Mouth of the River (I)

Masakazu KASHIWAMURA

Abstract

This is the observation report of the salt-water wedge in the mouth of the Teshio River. The distribution of velocity and salinity over the cross-section of the mouth, and the change of the stratified water layers were observed. The motion of these stratified layers depending on tide is difficult to solve theoretically, and so practical observations about it will be the clue of the solution. At the same time, the distribution of the fresh water off the mouth were investigated and the surveying instruments for the stratified layers were also studied.

序

北海道の河川は本州の河川に比し開発がおくれ，いわゆる原始河川に近いものが多い。石狩川，十勝川と並び北海道の三大河川の一に数えられる天塩川は延長 300 km，流域面積 6000 km^2，原始河川の点では，その最右端に位するものである。その河口には天塩町を控えて河口港を形成し漁船の出入はかなり頻繁である。然し乍ら未開発に近い上流地帯は水量制御の術もなく，洪水期には奔流が河口に殺到し護岸ケーソンを破壊し河床を洗掘し，河口附近の地形を一変せしるめ事さえある。Fig. 2 の如く毎年の河口附近の地形が著しく異なる事によつても想像のつく所である。然し延長距離に比し流域面積の割に小さい天塩川は一旦渇水期に入るや全く様相を変え，殊に冬期結氷時には乏しい水流は沿岸流に負けて河口は閉塞され，流水は曲りくねつて小川の如く太平洋に注ぐのである。此の様に両極端に走る現象を併せ持つ天塩川は，当然地球物理学的に豊富な問題を提供して居り，研究上恰好の素材といわねばならない。

北大工学部理学第一研究室では，数年来天塩河口を中心として浮泥，沿岸流，漂砂等の研究を行つているが，筆者はその一員として上記研究に参加するかたわら河口の淡水と海水の二重層即ち塩水楔に関心を持ち観測を行つて来た。塩水楔は工学と物理学との境界領域の問題として近年発達して来た Coastal Engineering に於ても取上げられて居り，欧米各国では夙に研究が行われている[1]。我国でも浜田博士[1]，市栄博士[2]の研究があり近年注目を集めて来た観がある。

外国で塩水楔が取上げられるのは灌漑用水或は工業用水として河水を利用する場合，その

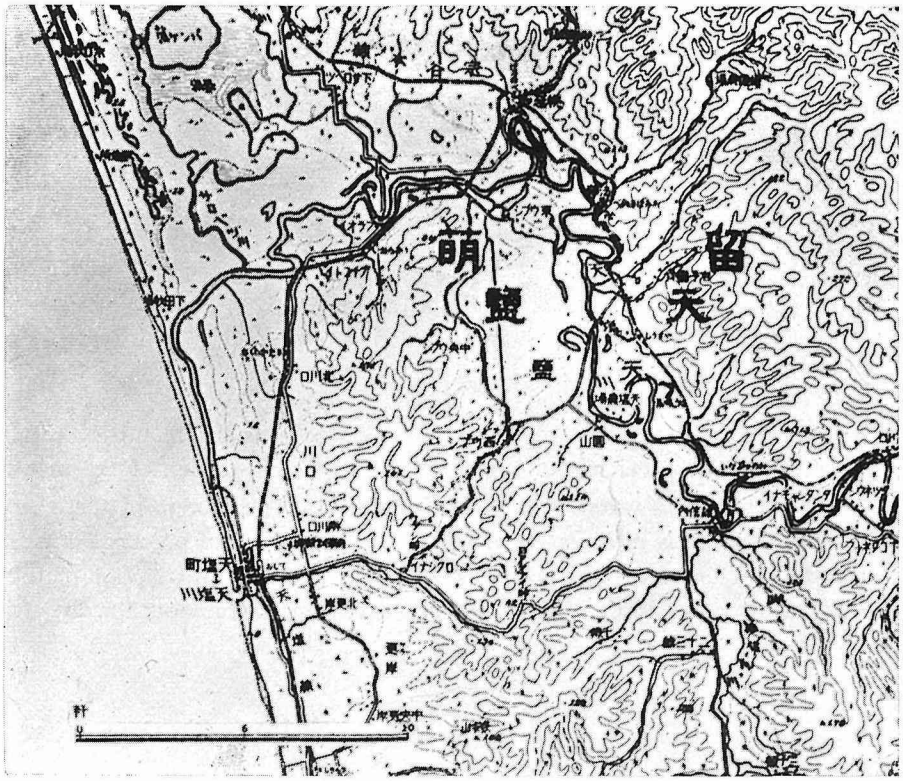

Fig. 1. 地 図

含有塩分量が非常に大きな問題となつているからであり，lock や dam を構築して海水溯上の防止を試みている[3]。是等諸外国の取扱う塩水楔は我国に較べ舞台が桁違いに広く，従つて又重要性も更に深いわけであるが，いわゆる規模の大きい estuary に於ける研究である。我国に於ては本州に於ける河川は急流河川が多く，塩水楔について用水上の問題は少い為にそれ程注目の対象にならなかつたと考えられる。北海道では前記三大河川はいずれも大きな塩水楔の存在を認められて居り，特に石狩川では河口石狩町の灌漑用水として近年河水を用いている関係から塩水楔の問題は最近深い関心を呼んでいる。然しこのような必要性の他に力学的には甚だ興味ある題材として知られており，一例としては河川流出土砂の河口に於ける堆積現象には底の塩水が大きく関与しているという見方もあり，今後一層の研究が望まれる。是等二重層の力学上の取扱いは難しいが観測も又困難であつて，連続観測の記録は極めて少い。筆者等の行つた観測は二重層の力学上の特徴殊に潮汐による変化をよく捉えており，興味ある資料であると思われる。尚引続き自記観測器械による長期観測を試みつつあり，結果の理論的解明にも努めているので今回は今迄の結果の定性的な部分をまとめて第一報として報告する。

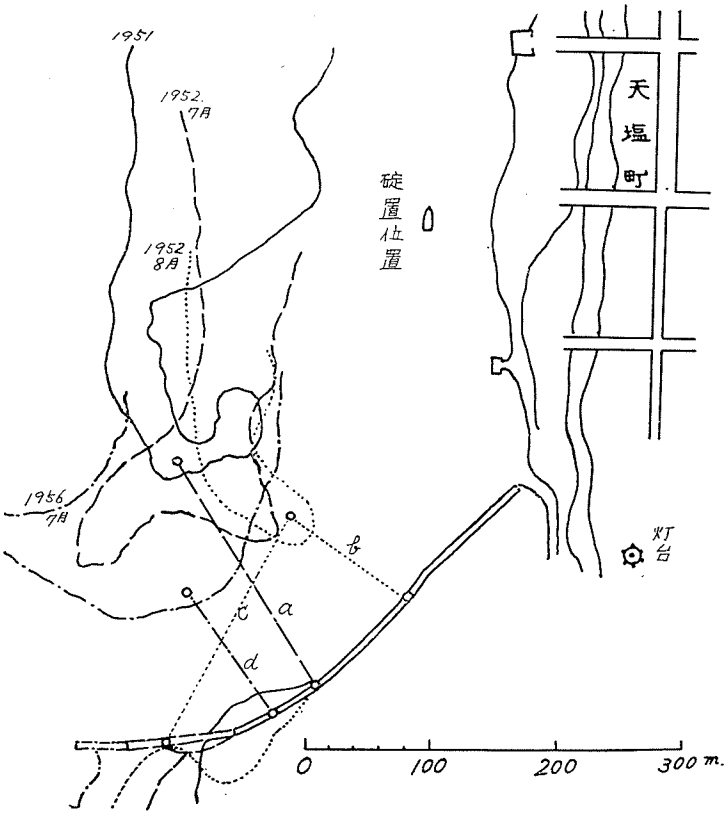

Fig. 2. 河 口 地 形 図

1. 二重層の観測用器械について

二重層の観測をするには，各深度毎に採水を行つて夫々の塩分を調べればよいのであるが，長期の観測には簡便な方法がいろいろ考えられている。従つて先ず二重層特にその境界の観測用器械について述べる事にする。

(1) 比 重 計

各深度毎に採水し，比重を測定し塩分含有量を調べる。比重計を工夫する事によりかなりの精度が得られるものであり，筆者等も初期は赤沼式比重計によつていた。然しこれは動揺する船上等では目盛が読みにくいものであり，又側壁に浮子が固着したりして扱い難いので段々に他の方法に移つた。上記の欠点を改良すれば簡便な点でよいと考える。

(2) 塩素量滴定

同じく各深度について採水し，試験室に持帰り塩素量の滴定を行う（海洋観測法参照）。この方法は最も正確な値が期待し得るが，比重計のやり方と同じく鉛直方向に不連続的に採水する為に二重水層の境のみを知る場合等にはあまり適当でない。

(3) 複式測深管[4]

福島教授の考案によるもので，長さ 36 cm の真鍮閉管を開口部を下にして水中に沈めて行くもので，内部には長さ 22 cm のケント紙の片面にクロム酸銀を別の片面に鉄明礬と黄血塩を塗布したものを装入しておく，深さに従い水圧上昇の為水が管内に浸入し，川底に下した後これを引上げれば最初の面は海水によりクロム酸銀は塩化銀の白色に変つて，塩水層の厚さを示し，別の面は水によつて青変する為その水深を示すものである。極めて有効な方法であつて福島教授はこれを用いて石狩川の二重水層の観測に成果をあげている。

(4) 透明度計[5)]

河川は上流からの浮游土砂を運搬してくるのが常であり或程度の濁りを有しているのが普通である。楔状に浸入する塩水は今迄の観測によれば極めて清澄であり，光電池式の透明度計で充分にその境界を知る事が出来る[6)]。然し乍ら条件悪く区別のつかぬ場合も起ろうから絶対的な方法とはいえない。又淡水中の塩素量を知る為には無効である。

(5) 流速計や温度計による間接法

今迄の経験では上下二層はその境に於て流速や温度に急激な飛躍のある事がよく観測されているから，流速計や温度計によつても大体その境を推定する事が出来る。これも (4) と同じく条件の悪い時もあるから極めてよい方法というわけにはいかない。

(6) 電気伝導度計

水の電気伝導度がその塩分含有量によつて非常に変る事から電気伝導度を測定して，逆に塩分を求める方法は古くから知られている。筆者の研究室では縦横 4 cm の白金板を 2 枚 3 cm 間隔に対向させてエボナイトフレームに装着したものを製作した。筆者はこれを水中に浸し，Kohlrausch's Bridge を用いて極板間の電気抵抗を測定し塩分を求める方法を採用した（写真参照）。電解液の電気伝導度は一般に温度による変化が大きいから補正を施さねばならないが，この点以外では簡便しかも正確な点で他のすべての物に優ると思われるので，連続観測用には最近は常にこの装置を用いている (Fig. 15)。

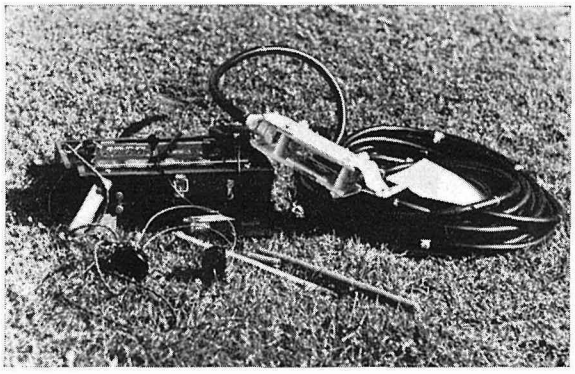

写真 電気伝導度測定器

単に境界の深さのみを知る場合には，短い裸銅線 2 本を対向せしめてエボナイト板に固定したものを用意し，コードで水中に吊下して極間の抵抗を回路試験器で測ればよい。勿論直流による分極作用の為正確な抵抗値は求められないが，極板を沈めて行き境界を越すと指針が大きくふれるから境の深さを知る丈の時には大いに役立つものである。筆者はこれによつても連続観測に好成績を収めている。

その他長期観測用として後述の器械を製作使用した。まだ改良すべき諸点を有するがかなりの好結果を得ている。

2. 河口断面に見られる二重層

昭和26年7月，昭和27年8月に天塩川河口に於て断面の流速分布を観測した。川幅100 m以上の両岸にワイヤを張り，小舟に観測器械をのせワイヤを伝つて観測を行つた。200 m 以上の川幅を有する所ではワイヤを張る事自体が困難であり，又ワイヤなしでは舟の位置を保つ事が難しいから，測定の精度は非常に下る。此の点でも天塩川河口は観測に都合のよい大きさと言えるであろう。流速測定にはプライス式流速計を淡水層の観測に，エクマンメルツ式流速計を塩水層の観測に用いた。プライス式流速計は塩水中で使用すると電蝕によつて接点を短時間の中に損つてしまう為に，淡水層専用にした。又淡水層の厚さの測定には前節(6)の終りに述べたように銅線の二極を有するエボナイト板にコードを附し，回路試験器で境を知る方式を用い時々白金極板電気伝導度計によつてそれをかめた。Fig. 3～Fig. 5 はその時の断面の様子を表したものである（断面の位置は Fig. 2 参照)。測定にはかなりの時間がかかるから，その前後に於ける川の様子は幾分これと異なると考えられる。然し附記した潮位図にて判るように漲潮時のような流速変化の大きい時を避けているので，満潮時干潮時の河口の様子を知るには大体これで充分と考える。Fig. 3 は満潮から退潮時にかかる際の記録であり溯上流は鉛直方向の中頃に見られる程度である。各 contour line は 10 cm/sec 毎に引いてある。斜線を施した部分は流速計に感じないか又は微かに感ずる程度の静止帯を表している。底部に流出流が認められるが，これは流出或は流入に際し底の方の水から先ず移動を開始する為と考えられ，更に後述の碇置観測の場合にも認められており著しい特徴であると思われる。淡水層は上層約 1.5 m で点線から上の部分がそれである。中程の点線で囲んだ部分は溯上流を表している。上部淡水層は幾分拡散による塩分を含んでいるが，その量は塩素量 1‰ に満たないの

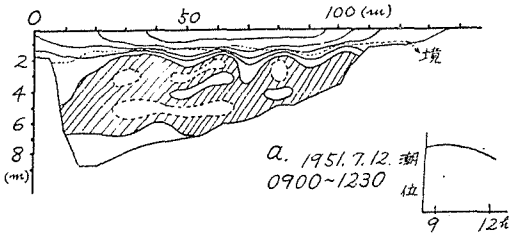

Fig. 3　河口断面図

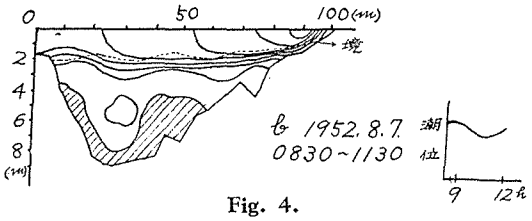

Fig. 4.

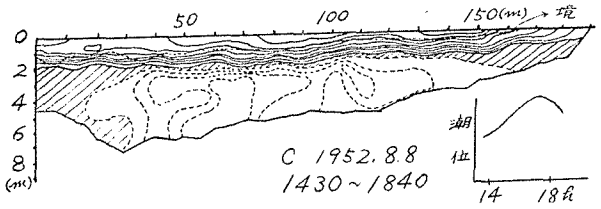

Fig. 5.

が普通であつた。此の図は上流から海に向つて断面を見た図であり Fig. 2 に示されている如く川の流れは導流堤に従つて右折して日本海に注いでいる。従つて淡水層は左岸に厚く右岸に行くに従い薄くなつている。此の傾向はその都度見られるものであつた。上層の流出流は淡水のみでなく塩水を伴つて流出している事も図から読み取れる，これは常にそのようになつているのであつて是等流出塩分の補償に外海は密度流による海水を送り込み，この為河口の循環流を形成しているのである。Fig. 4 は干潮をはさんでの時期であつて流出流のみを認めた。河口がもつと深く規模が大きければ，流入流は絶えず見られると思われるが，天塩川では落潮時は上層下層共流出するのである。淡水層が左岸に厚く右岸に薄いのは Fig. 3 と同じであるが，この場合流心が右岸に極端に寄つているのは注目に値する。Coriolis の力により北半球で流れは右曲する傾向があるが，この程度の河口では問題にならぬと思う。又二重層が判然と区別されている事から，らせん流の為とも考えられない。今は河口の縦断形状の複雑さによつて流心が片寄るのであろうと考えているが，更に委しく調べる必要がある。干潮時にはよくこのような流速分布を示している。Fig. 5 は Fig. 4 の翌日，断面の位置を変え満潮をはさんで観測したものである。従つて溯上流はかなりの流速を有し 30～40 cm/sec に達する部分もある。淡水は同じく左岸に厚く右岸では遂に表面に塩水が露出している。此の場合でもやはり，多量の塩水が溯上している時であるのに拘らず淡水流出に伴つてかなりの塩水が流出している。故に流出流と流入流との境界は塩水中に存在しているのであり，淡水と塩水の境界はそれよりも上にあるのである。Fig. 6 は白金極板によつて極間電気抵抗の河口断面分布を測定したもので本年 7 月に行つた。後掲の換算表 (Fig. 15) からも察せられるように少量の塩分の検出には此の方法は著しく敏感で図の如く淡水層の塩素量 1‰ 附近の更に細い分布をも取る事が出来る。淡水への塩素量拡散の観測には非常に有効である。

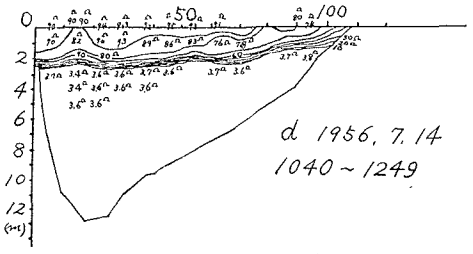

Fig. 6. 河口断面図

3. 碇置観測

昭和 26 年 7 月 15 日午前 10 時より，河口から約 500 m 上流の天塩川河口修築事業所前に船を碇置し (Fig. 2) 水温，水位，流速，淡水層の厚さ等の 24 時間観測を行なつた。その結果を Fig. 7 に示す。

水温観測には抵抗寒暖計を用いた。水位は量水標による読みであり，淡水層の厚さは断面観測の場合と同じ測器を使用した。流速はエクマンメルツ式流速計を用いて測定した。此の図から見られるように各力学的要素は潮汐によつて変化していることが判る。例えば退潮時で水位が下降していくと水面勾配が増す為に表面流速が増し，しかも淡水層の厚さもぐんぐん増加する。川水の流出量は流速と淡水層の積に比例すると考えられるから流量の増加は著しい。水

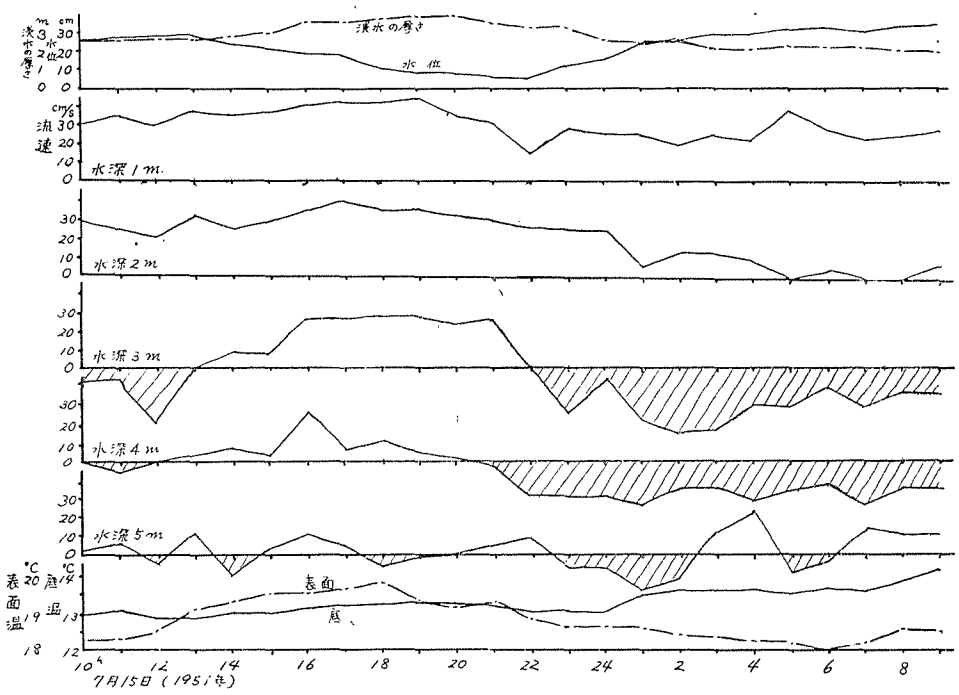
淡水の厚さ
水位
流速
水深1m.
水深2m
水深3m
水深4m
水深5m
表面
底
表面温
底温
7月15日(1951年)

Fig. 7.

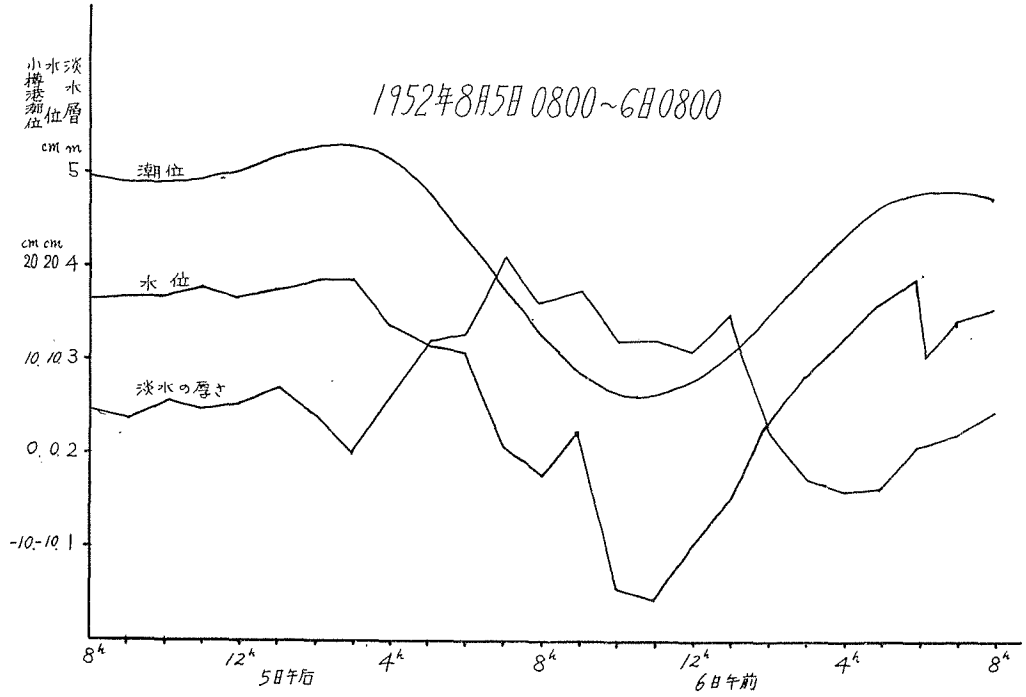
1952年8月5日 0800~6日0800
小港潮位
淡水層
潮位
水位
淡水の厚さ
5日午后
6日午前

Fig. 8.

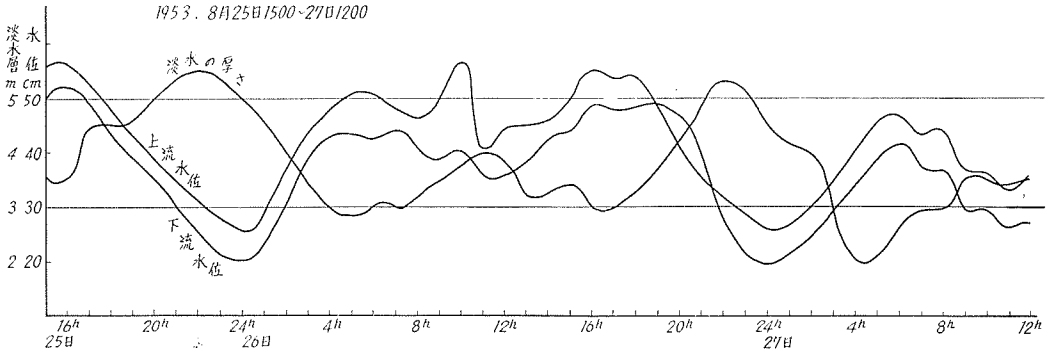

Fig. 9.

位が最低に達する以前に各層流速の最大値が来る。

これは一般河川の洪水波の場合と似ている。しかし時間的には底の方に早く此の現象が起つて来る。そして水位の最低時以前に底部の方は既に潮上流に変つている。淡水層の厚さの最大値は水位最低時以前に起り，その時間差は約2時間である。換言すれば水位最低になる以前に流速及び淡水層の厚さは次に起る漲潮を感じているという事が出来る。此処で直ちに河口水位と潮汐に時間差があるのではないかという疑問が生ずるが，潮位計がなかつたので潮位表から推定した河口外潮位は，河口の水位と時間的ずれが殆んどない事が判つている。此の事から河口外の潮位とその場所の底流との間にも時間的相差が存在するのではないかと考えられるのである。尤も図から判るように碇置位置の底の部分はかなり不規則な流れを示しており，流出流入の状態は上層部と関係ずけて定性的な説明をする事が出来ないが，これは河

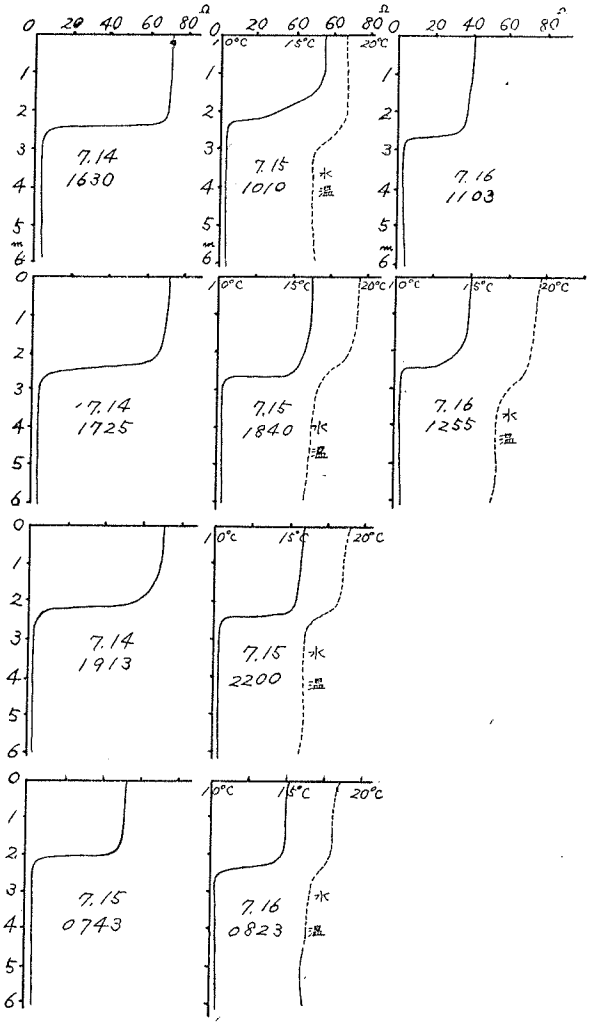

Fig. 10.

床の複雑な形状に基づくものと推定される。又水位の変化量も推定潮差とほぼ同じ程度であり，此の場合の観測では約 20 cm であるのに対し，淡水層の厚さの変化量は約 2 m に達し 10 倍の比を有している。此の値は以後の観測に於いても大体同じ程度のものであつた。河口の規模の如何によつて此の倍数値が変るか否かは力学的に興味があろう。Fig. 8 は昭和 27 年 8 月 5 日から 6 日にかけて観測した水位と淡水層の厚さとのグラフであり，Fig. 7 と同様な時間的関係振幅的関係がある。翌年 8 月 25 日から 6 日にかけて観測した Fig. 9 も同様であるが，此の時は 7 km 上流の地点で同時に水位変化を読み取つた。この場合も水位変化がかなり複雑であるが，Fig. 7 と同じような淡水層と水位の時間的相差を見る事が出来る。又水位の不規則な変動に対応して淡水層もかなり不規則にそれに応ずるものである事を知つた。上流の淡水層の厚さが種々の都合で観測出来なかつたのが惜しまれる。Fig. 10 は昭和 31 年 7 月 14 日から 16 日の間に同じ碇置位置で鉛直方向の白金極板間電気抵抗と温度を観測したものであつて，境界が非常に鋭く区別されるのと割に鈍いのとは見られるが，一般に 2 層ははつきりと線を引いたように区別出来るのが普通であり，境を通しての渦動拡散現象が小さいものである事を示している。河川乱流の概念から考えると此のように層が常に分れて保たれる事はむしろ意外にさえ感じられる。

温度分布も同時に測定した。淡水のみの河川では温度の鉛直勾配は殆んど零である事が知られているが，これで見ると温度勾配は 2 層の境界を中心にして一番大きい事が読取られる。しかし温度拡散は境界を通じて少し行われている事はその勾配が電気抵抗の勾配程急峻でない所から見ても判るのである。

Fig. 11 は河口の水位と潮位表による小樽港潮位との比較であつて，天塩附近は略小樽港潮位と同じ変化をする事が知られている。河口の水位は勿論川水の不規則な流出によつて複雑に変化するであろうし，洪水時等は潮位と比較すべくもないが平水時では図の如くかなりよく一致している。これは河口水位が普通はほぼ潮位と等しいと考えてよい事を示しているのであつて，Fig. 7 に於て行つた潮汐と淡水層の厚さ又は潮汐と各層流速との関係についての議論の根底をなしてる。

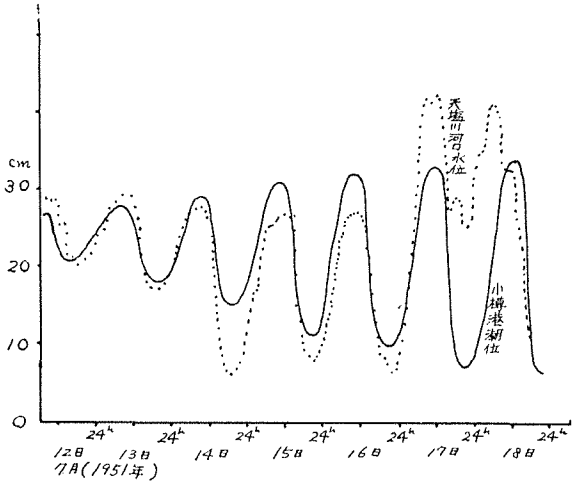

Fig. 11. 水位—潮位グラフ

4. 川の流量による二重層の消長

川の縦断について二重層の観測をする事は仲々難しく，完全に行う為には相当の人員や費

用を要する。何故かといえば船で川を溯りつつ所々停止して水位，淡水層の厚さ，流速分布塩分等を測つて行くと，天塩川の場合平水時海水を認めなくなる程の上流迄溯るには相当の時間を要し，其の間潮汐変化があるので縦断面について瞬間的な二重層の profile を得る事が出来ない。若し上流から下流にかけて数点の station を決めて連続観測を行うならば，経費人員等も相当必要になつてくる。これらの点から縦断面についてはまだ完全な観測は行われていない。昭和26年7月16日に河口から約 16 km 迄溯上した時，淡水層の厚さについて取つた記録を Table I に掲げる。

Table I.

河口からの距離 (km)	水深 (m)	淡水の厚さ (m)	塩水の厚さ (m)
0	—	2.0	—
6	5.5	2.3	3.2
9	4.5	2.3	2.2
12	3.8	2.3	1.5
17	4.8	3.1	1.7
20	5.5	3.8	1.7

これによつて 10 km に約 1 m 淡水層の厚さが増加している。勿論河口から 20 km 迄溯上するのには1時間半以上を要しているので，少しずつ上記の記録には潮汐によるずれがあろう。塩水の厚さ，即ち塩水楔は先端が段々薄くなつている事が知れるが，上流で少し増しているように見えるのは，塩水楔の先端近くが急にもり上つているという通説を裏書きしていると見るよりもむしろ上流で川底が深くなつている為と見るべきであろう。

此の際の観測では塩水を認めなくなる程の上流には船は行かなかつた。又表面流速は河口附近で約 30 cm/sec で流量は 40 m^3/sec 位であろうと推定される。昭和27年8月7日にも簡単な観測を行つた結果，上流 20 km のフラオイに於いて遂に塩水を認めないようになつた。此の時は河口に於ける推定流量は約 60 m^3/sec である。勿論潮汐による消長があるが，この程度の観測ではその関係が判らないので潮汐の観測は省略している。

Table II はその時の記録を示す。

Table II.

河口からの距離 (km)	水深 (m)	淡水の厚さ (m)	塩水の厚さ (m)
8	5.0	2.5	2.5
12 (サロベツ川合流点)	5.2	3.3	1.9
20 (フラオイ渡船場)	6.6	6.6	0

昭和30年7月24日にも溯上したが，この時は上流 8 km で既に塩水を見失つた。流速の実測値はないが流量は例年の平水時より遙かに多く感ぜられた。以上の如く流況によつて淡水

層の厚さは変化する。塩水楔の先端の位置は流量によつてかなり鋭敏に変動するのである。流量が増せば淡水流は塩水層を海の方へ押しやろうとするのである。

昭和28年4月21日には今度は増水時の簡単な観測を河口で行つた。流量は1000 m³/secを越えていると思われるが，満潮時にも拘らず川底には全く塩水の影もなく又流速鉛直分布も底近く迄殆んど変らず，上流地帯の洪水時の如き流速分布を示していた。即ち川の流れが塩水楔を河口外に押し出している事を認めた。表面の平均流速は約 1.2 m/sec であつた。このような時期には河口にワイヤを張る事は全く不可能である為，精密な観測は行われていない。昭和29年4月9日及び昭和30年4月10日にもやはり増水時で塩水を認めなかつた。前者の場合例年の碇置観測位置附近で午前9時に鉛直流速分布を測つたが，水深 6.6 m，表面流速は 138 cm/sec，深さ 5.5 m で 106 cm/sec を示し流速の鉛直勾配が少い事を記録している。

又後者の場合流量約 1300 m³/sec で勿論底部に塩水を認めなかつたのである。

潮位を一定とした場合の塩水楔の縦断形状は Kármán, Lamb[7] 等が指摘している所によれば，楔の先端は丸く盛上るというが，これを確めるような観測は以上の事実からも了解出来る如く相当精密で大がかりの測定に依らなければならない。又二重層間に常に存在するという内部波[8] も連続記録を相当の精度で観測する事が必要であつて，測器の著しい充実を計らなければ観測を達成する事は出来ない。又塩水楔の存在し得る限界流量の問題も力学的には興味ある題材であるが以上の如く洪水期に属する期間の問題であつて観測は容易ではない。

又川底に塩水のない状態は河床洗掘を促したり，土砂堆積の条件を平常と異なるものにしたりする意味で工学的にも重要な課題であろう。

5. 淡水の河口外への拡散

一旦河口を離れた淡水はどのように拡つて海水に混合して行くかという問題は，河口内の塩水楔に更に横方向の要素を附加する事と同じで難しい問題である。又実際問題としては，風，沿岸流，波，河口外海底地形，構造物等が更に問題を複雑にしている。観測は広範囲の海上に亘つて鉛直塩分分布をかなり精密に取る必要があり，やはり相当困難な観測である。本年7月14日，同15日に観測した結果を Fig. 12 (a), (b) に示す。海上に竹竿や浮標で固定した約30の station を設け，その点の表面塩分と白金極板による電気抵抗を測定し，それにより contour line を引いたものである。これから判るように河口を出ると表面淡水中への塩分の拡散量は急激に増加し，又別の観測によると淡水を感ずる層の厚さは急激に減少する。此の図で見ると表層流は南の方へ伸びている如く感ぜられる。又河口外左方の砂洲は本年出来たものであるが，そこを境として塩分が急激に変化している。此の砂洲の成因が導流堤延長の為河口外左方に水平渦動を誘発した為と見做されているが，それを考慮に入れれば一応説明がつく，又他の観測から表層淡水は下の塩水と混合せずに数糎の film をなしている事も往々見られる。更に表面電気伝導度が非常に動揺している事は始終経験しており，淡水が小さな塊に分散して拡つて行

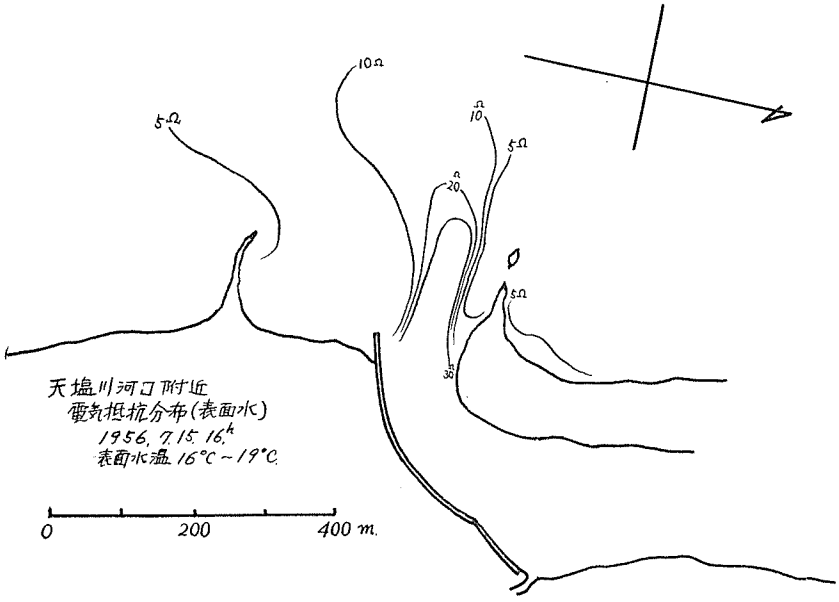

Fig. 12. (a) 河口外電気抵抗分布

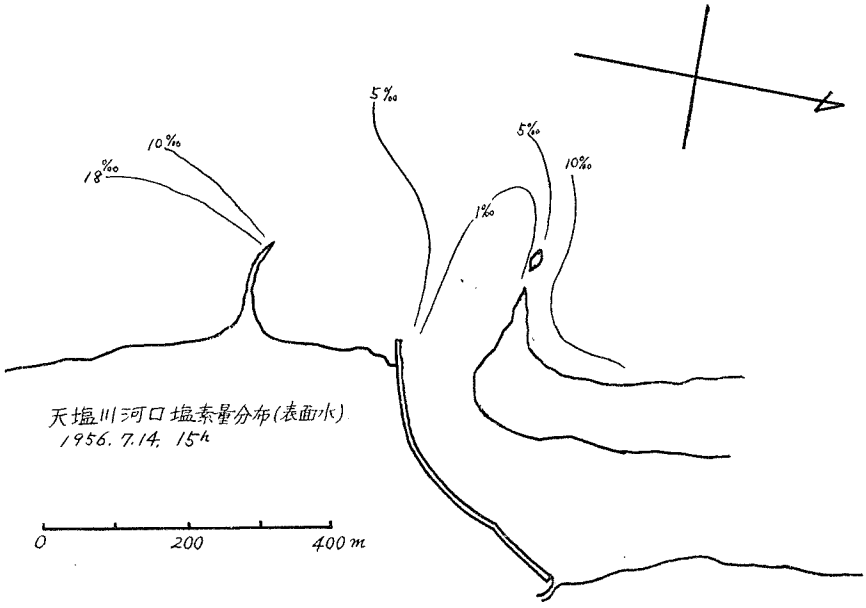

Fig. 12. (b) 河口外塩分分布

くようにも考えられる。是等河口外拡散の問題はまだ観測がその緒についた所であり，今後資料の充実を計らなければならない。

6. 二重層の連続記録の試み

以上述べて来たすべての観測の中で，殊に碇置連続観測は観測員の疲労が大きく種々の観測要素を更に時間的に分割して測定する事が出来ないので，連続的に二重層の変化を自記出来るならば是に越した事はない。本年度は例年の碇置位置に於て二重層の連続記録を試み，次に述べるような結果を得た。二重層の境界の深さは電気伝導度を測定する事により知る事が出来るが，時間的に変動する此の深さを刻々記録する事は難しい。筆者の試みた方法は船上から長さ 4 m の 18 番銅線を 2 本，どこでも 3 cm 間隔になるよう所々絶縁物で締め，錘によつて水中に吊すのである。碇置位置では淡水層は潮汐によつて厚さは 1 m から 3 m 位迄変化する。従つて此の線状電極は淡水表面から塩水との境界面を通過して下の塩水層に及んでいるからその境界の上下に従つて極間の電気抵抗が変る，それを検出して自記せしめたのである。此の線状電極は銅線をそのまま吊したのであるから水による粘性抵抗少く，流れによつて少しも傾かなかつた。此の電極の水に浸つている長さとその電気伝導度の関係はプールの淡水を利用して測定したが，Fig. 13 の如く一次的な特性を示し

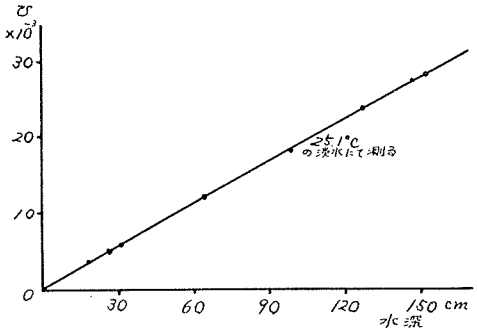

Fig. 13. 水深と電気伝導度グラフ

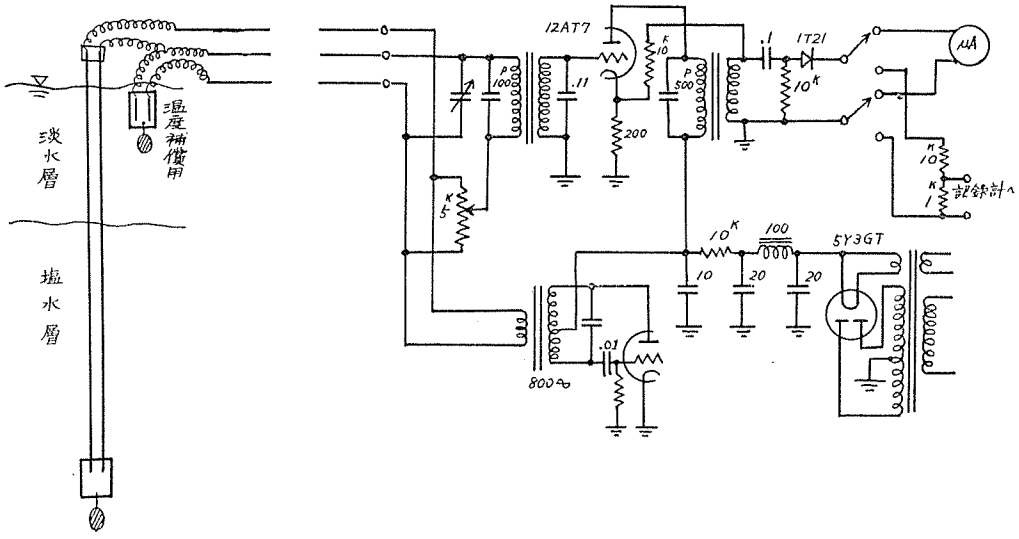

Fig. 14. 配　線　図

ており，従つて使い易い。配線は Fig. 14 に示した通りである。12AT7 は複合三極管なので1個で 800 サイクルの低周波発振と増幅を兼ねさせた。又 Fig. 15 に見られる如く電気伝導度は温度の函数であるからこれを補償する必要がある。それには別の電極を水中に浸して bridge の別の arm を構成させればよい。勿論塩水淡水共補償が必要なのであるが，塩水は淡水に較べて桁違いに電気抵抗が小さいので，その温度補償はあまり考えなくてもよい。此のような線状電極と補償電極を碇置船より吊下し，三芯キャブタイヤケーブルで陸上の宿舎内に引き計器に接続した。先ず此の二種類の電極の片方ずつをつなぎ，800 サイクルの低周波 0.6 V を此の二種類の電極の別の両端にかけ，つないだ極の電圧を取出す。線状電極は最初淡水層中に丈浸しておき，5 KΩ の可変抵抗で平衡を取つておく，次にこれを2層にまたがるように吊下すれば平衡が破れ電圧を発生するからそれを 12AT7 の別

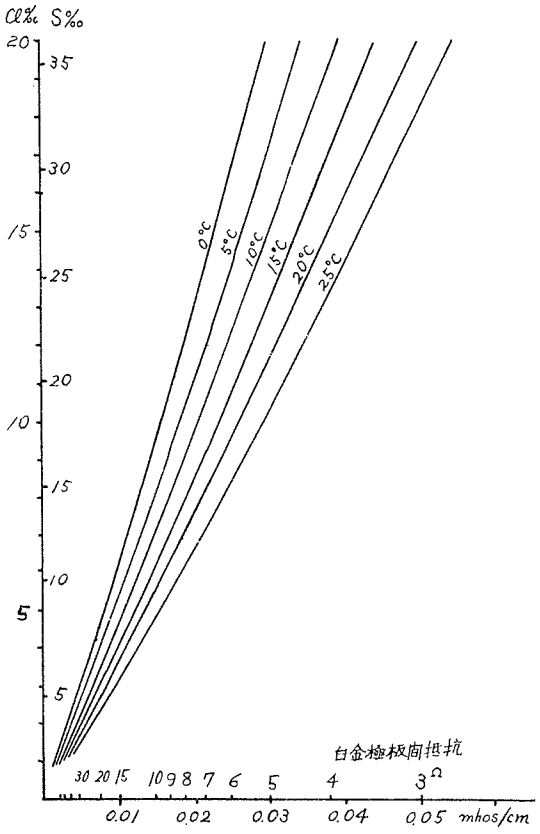

Fig. 15. 塩分—電気伝導度グラフ

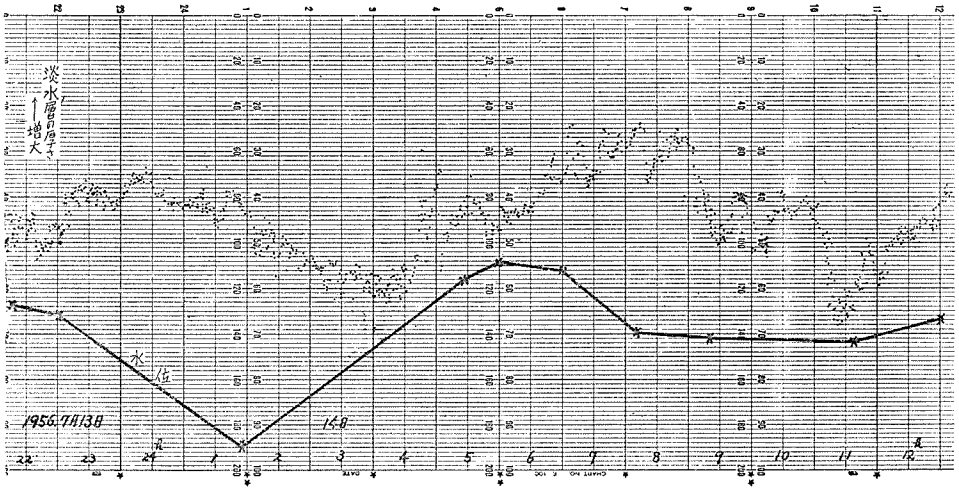

Fig. 16. 連続自記記録の一例

の三極部分で増幅し，ゲルマニウムダイオード1T21で検波して電子管式6回路10 mV記録計に接続した。電源は安定装置を通して供給したので電圧変動の影響は殆んどない。塩水の電気抵抗は非常に小さいのでこれを無視すると二種の電極間に発生する電圧は淡水層の厚さをhとすれば$1/1+Ch$に比例する。Cは常数である。その記録結果の一部をFig. 16に示す。これによれば層の変動の具合もよくうかがわれる。又水位との位相関係も見られる。ただ水位の自記記録が都合で行なわれなかつた為時々量水標から読み取つた水位を基にして比較している為位相関係は詳細には明かでない。此のようにして短期間であつたが二重層の自記記録を得た。これは更に改良を施して次の連続観測に備える予定である。銅極を使用した為の分極を恐れたが電圧低く，又周波数も比較的高かつた為か著しい影響は見られなかつた。然し長期に亘ればその点も更に検討しなければならないと思われる。

又此の計器では淡水と塩水が画然と分離している仮定に立つて考案されているから，境界が判然としない状態では観測結果を如何に処置すべきかも問題となる。回路内では平衡用5 KΩ可変抵抗をサーボモーターを駆動して常に平衡状態を保つようにすれば，記録の忠実性も向上するので改良を予定している。又その他の観測要素中塩素量長期自記も計画しており，長期二重層観測の完全な自記記録方法の達成に努める考えである。

結　　言

5年間に亘つた記録をまとめたが，これは他の調査の傍ら行なわれたので時期が偏つたり又不完全な観測もあつた。然し河口二重層の定性的概念を得るには充分役に立つ記録であると考える。

二重層の理論的取扱いは方々で試みられているが，その非線型問題を完全に取扱つたものは見当らない。又欧米の規模の大きいestuaryでよく見られるように，層が上下区別されず沖の方から内部に何つて徐々に塩分が減少していく場合もあるが，これはいずれ二重層の特別な場合として扱われるであろう。淡水と塩水の乱流状態を決める外的要素，例えば風，地形，他の流れ等の及ぼす影響を調べる事により解決して行くものと想像される。

我々の観測の範囲では淡水と塩水は，なかなか混合しないものであり，河口外の表面にfilm状の淡水を認めた時は特にその感を深くした。

本論文は観測記録とその定性的解釈に終始したが，是等の記録を基にして室内実験，理論的考察に発展させて行こうと思う。

終りに臨み二重層の問題につき最初に示唆を与えられた池田芳郎教授，絶えず御忠言御教示を戴いた福島久雄教授，苦労の多い観測に常に協力を惜しまれなかつた研究室関係各位に心から感謝を捧げる。尚，当研究を含めた綜合的研究に御後援と御援助を賜つた北海道開発局港湾部及び同土木試験所，同じく留萌開発建設部天塩川河口修築事業所関係各位に厚く感謝の意を表する次第である。

文　　献

1) 港湾技術要報. No. 13, 1955年10月.
2) 海岸工学講演会講演集. 1955年11月.
3) Proc. of 3rd Conf. Coastal Engineering.
4) 福島久雄: 河口二重水層に於ける渦動拡散について. 北海道大学工学部研究報告, 第12号, 昭和30年6月.
5) Fukushima, H. and Yakuwa, I.: On the Photo-electric Measurement of the Concentration of Suspended Load: The Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University Vol. 9, No. 3, Sept. 1953.
6) 八鍬 功: 石狩川の浮泥について. 技術資料第11号, 1955.
7) 例えば Lamb, H.: Hydrodynamics p. 375.
8) 例えば Sverdrup, H. U.: The Ocean p. 585.