



Title	河川流入域附近の濁度変化に関する研究(Ⅱ)：淡塩水接触域の懸濁物の凝集・沈降について
Author(s)	坂本, 亘; SAKAMOTO, Wataru
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 18(4), 317-327
Issue Date	1968-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23331
Type	departmental bulletin paper
File Information	18(4)_P317-327.pdf



河川流入域附近の濁度変化に関する研究 (II)*
淡水・海水接触域の懸濁物の凝集・沈降について

坂 本 亘**

Study on the Turbidity in Estuary (II)
Observations of coagulation and settling processes of particles
in the boundary of fresh and saline water

Wataru SAKAMOTO

Abstract

The essential difference between granular materials and colloidal ones in an estuary lies in the property of flocculation. The former remain regardless of the condition of the flow, while the latter flocculate in interaction with the surrounding fluid. The particles in colloidal suspension do not coagulate in fresh water because of the discontinuity of electrical potential between a particle and fresh water, the so called "electric double layer".

Particles coagulate when they flow into the sea water because their surface charges are neutralized.

The vertical settlings and coagulation processes of three clay minerals, montmorillonite, illite and kaolinite were observed in an experimental tank containing both fresh and saline water.

These coagulation processes were considered in three steps as follows:

- 1) Suspended particles in fresh water were neutralized by adsorption of diffusing ions of saline water from the lower layer, thus reducing the force of repulsion.
- 2) Neutralized particles aggregated taking in surrounding water into their chinks and began to settle.
- 3) The particles stopped settling when they reached the area where the densities would be larger than that of particle. The increase of virtual density seemed to be caused by the diffusion of salt into the fresh water which contained particles. During the stopping period, the particle grew larger and made large flocks.

The size of the flocks settling into saline water seems to depend on two conditions. One of them is the difference of densities between coagulated particles and saline water, and the other is the concentration of suspended particles in fresh water.

If both the concentration of particles and the difference of density are large, the flocculation size become very large. (Plate II)

When the concentration of suspended particles is very low, and the difference of density is very small the final size will be very small, because the increase of virtual density is faster than flocculation.

緒 言

河川が海に流入する附近の海水と淡水の混合状態は大別すると、弱混合、緩混合、強混合状態の三つに分類できる¹⁾²⁾。

* 昭和42年度日本海洋学会秋季大会(仙台)で発表

** 北洋水産研究施設海洋部門

著者は緩混合、強混合状態の河川は弱混合状態の河川の変形と考えて、河口より流入する懸濁物がどのように凝集、沈降するかを主として物理的に解明することを目的として、実験水槽を用いていくつかの実験を行なってみた。

前報³⁾では河口から流入する懸濁物のうち、淡塩水境界面で沈降を停止するものがあることについて報告した。それはスポンジ状の粒子が淡水を含んでいて見かけの密度が下層の塩水密度より小である間は境界面に停滞し、粒子の中へ塩が浸入するとともに、密度が大となって沈降を再び行なうものと想定し、理論的考察を行ったものである。

本報ではさらに微小な懸濁物が塩水と接して凝集を行ない、スポンジ状を形成するまでの過程についていくつかの実験を行い、興味ある2, 3の現象を観察したのでこれについて報告する。

稿を草するに先だち、御指導を賜わった北大水産学部井上直一教授、黒木敏郎教授、佐藤修助教授に厚く謝意を表す。また、同学部石井次郎助教授には粘土鉱物の特性に関する数々の知見を賜わった。ここに深く感謝する。

実 験 方 法

i) 使用鉱物

函館市外久根別川口で得られた懸濁物をX線回折して、いく種類かの鉱物の存在を確かめたがその中から石英、モンモリロナイト、イライト、カオリナイトの四種をえらび実験水槽中を沈降させて、その凝集と沈降を観察した。

すなわち、石英については北海道十勝屈足産、モンモリロナイトは群馬県松井田の豊順ベントナイト、イライトは新潟県村上粘土、カオリナイトは鹿児島県指宿カオリンをそれぞれ用いた。

これらの粘土鉱物は96gの水に4gをといて懸濁させ、約5000g(淡水層の量で20cm×21cm×12cmの容積)の淡水中へ注入した。

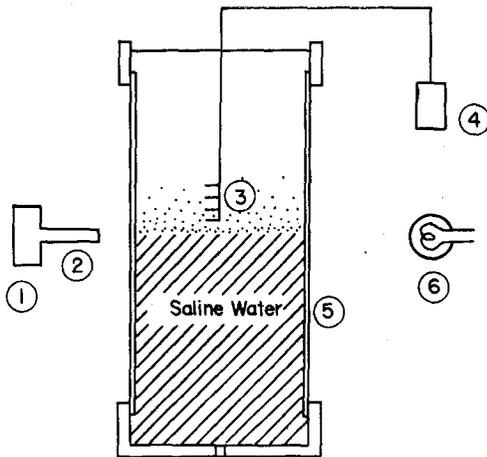


Fig. 1. Diagram of experimental apparatus

- 1: Camera
- 2: Travelling microscope
- 3: Electrode
- 4: Conductivity meter
- 5: Experimental tank
- 6: 500w flood lamp

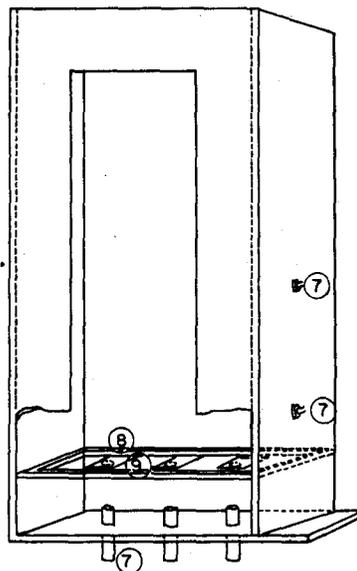


Fig. 2. Sectional view of experimental tank

- 7: Cock
- 8: Plastic plate
- 9: Vinyl membrane

ii) 実験水槽

水槽は高さ 40cm, 幅 21cm, 奥行 12cm で底部に沈殿した粒子の取り出し口をつけた。取り出し口の上部は、口の真上にだけ穴をあけたプラスチック板を置き、これにビニールの膜をかぶせ、必要時のみこの膜を開き凝集物を取り出した。(Fig. 1, 2)

厚さ、それぞれ 20cm ずつ (5000cc) の淡塩水二層を形成させるためには薄い木板 (5cm×5cm×0.3cm) を塩水の上へのせ、この上からサイホンで淡水を静かに注いだ。淡水の増加とともに木片も上り、ほとんど塩水との混合を起さずにすんだ。

下層に入れた塩水の濃度は 30%, 20%, 15%, 10%, 5% とした。

iii) 粒径の測定

淡水と塩水の接する付近で粒子はたがいに凝集し、淡水中に懸濁する時より半径で約 100 倍程大きくなって沈降をはじめめる。

懸濁物が境界面で凝集を行う過程については、水槽のガラス面より 2cm 離れた所から近接撮影によって観察した。沈降中の凝集物の形状観察はガラス面から Travelling Microscope にカメラをつけて撮影し、フィルム面に写った像から測定した。

さらにこの凝集物が底部に沈殿した時、取り出し口から出し、ばらばらにほぐした後顕微鏡で粒度分布を測定し、凝集物を形成していると思われる一つ一つの粒子を観察した。

iv) 懸濁物濁度の凝集に与える影響

淡水中へ懸濁させた粒子は次第に沈降していくため上層から澄んでいくが、淡塩水の境界面では沈降がいったん停止する。このため、最初の間は境界面附近の濁度が他の部分に比較して数倍の濁度をもつ。

これらの濁度の変化が凝集物の粒径に影響を与えることも考えられるので、境界面より 1cm 上に採水コックを取りつけ、各時間毎に採水し、光電比色計 (島津 Spectronic 20) で 540m μ の波長により比濁法で境界面附近の濁度変化を測定した。

実 験 結 果

i) 塩水濃度と粒径変化の関係

石英粒子の沈降は下層の塩水濃度が増加しても凝集を観察できなかった。Fig. 3 は淡水 20cm と塩水 20cm 計 40cm 中を沈降した石英粒子の粒径とその沈降に要した時間との関係を示している。

実線は石英の粒子を球と考え、Stokes の法則より粒径をもとめたものを示している。この際各塩水濃度により沈降時間に差が示される筈であるが、非常に微小差のため 1 本の曲線の線幅に含まれてしまう。

実測による粒径はどの密度差の場合も理論値よりやや大となる傾向を示した。

イライト、カオリナイト、モンモリロナイトでは懸濁物が塩水層との境界面で凝集し、大きな粒径となるのが観察された。イライト、カオリナイトでは同じ模様の凝集形態を示し、下層の塩水濃度が 15% 以上に濃くなると、凝集活動も顕著になった。

境界面で停滞した粒子が凝集して再び沈降する時の大きさと、それが底へ沈殿した時取り出し分散して測定した粒径との関係については Fig. 4 から Fig. 6 までに示した。

凝集物の形は塩分濃度に大きく影響された。三種の鉱物の凝集におよぼす塩分濃度の影響については Fig. 7 に示したが、モンモリロナイトの粒径変化が最も著しかった。

すなわち、30% の塩水では境界面下で見られる凝集物の大きさは 200 μ 、20% で 80 μ 、15% では 60 μ と塩水濃度が小となるにつれて粒径も減少していくのが見られた。

凝集物を構成する粒子を観察した結果、早い時間に沈降する凝集物は比較的大きい粒子が中心となり、その周囲を微小な粒子が取りまいているため、底へ沈殿した凝集物を分散させた際の粒度分布も

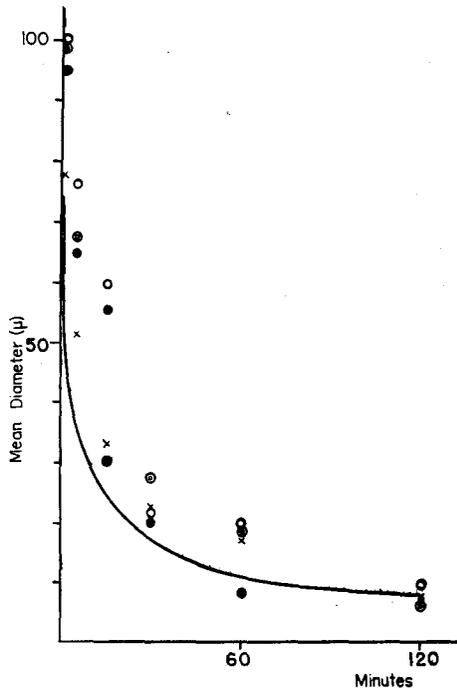


Fig. 3. Mean particle diameter of quartz settled through 40 cm

- : fresh water only
- : fresh water/30% saline water
- (with dot) : fresh water/ 5% saline water
- × : fresh water/15% saline water
- Line : theoretical diameter settled through fresh water (15°C) according to Stokes' law

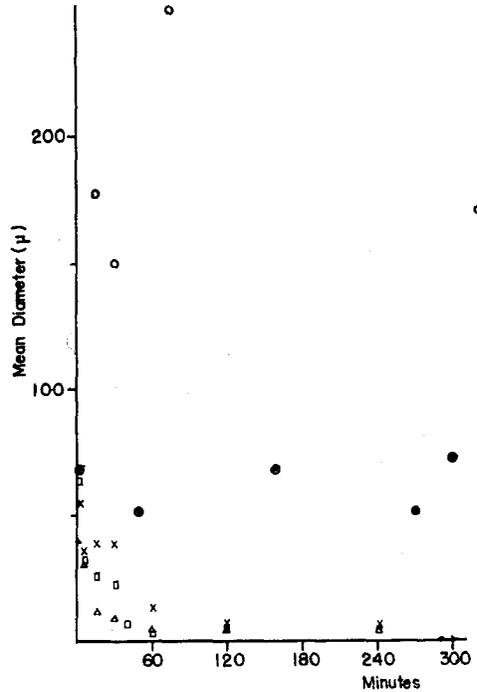


Fig. 4. Montmorillonite, mean flock size and dispersed granule diameter

Flock,

- : fresh water/30% saline water
- : fresh water/15% saline water
- (with dot) : fresh water/ 5% saline water

Granule,

- : fresh water/30% saline water
- × : fresh water/15% saline water
- △ : fresh water/ 5% saline water

大きいものと小さいものが混じってばらつきが見られた。

一方、長時間後に沈降するものは、微小な粒子同志が凝集しているため、底で得られる粒度分布も均一であった。

なお、底面で得られる粒子の平均粒径は塩水濃度により異なるが、30%で15分後には30μ、40分後で8μ、120分後は4~1μ前後のものがそれぞれ得られた。又、5%では15分後で15μ、30分後で8μ、120分後は3~1μであり、下層の塩水が薄い程小さい粒子の沈降も早いようであった。

ii) 境界面の濁度が凝集に及ぼす影響

境界面に懸濁粒子が到着して凝集する迄の過程の一例として30%中のモンモリロナイト凝集の写真 Plate I-I, II, III を示したが、一般に下層の塩分濃度が増加するとともに、凝集から再沈降する迄が短かった。

モンモリロナイトでは懸濁物を淡水に注入後、30%で15分、15%で30分後に凝集沈降が観察された。

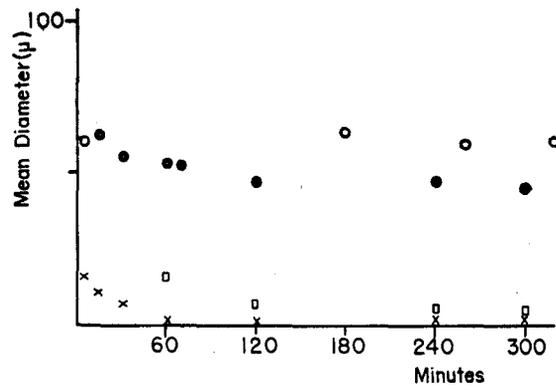


Fig. 5. Kaolinite, mean flock size and dispersed granule

Flock,

○ : fresh water/30% saline water

◐ : fresh water/15% saline water

● : fresh water/ 5% saline water

Granule,

◑ : fresh water/30% saline water

× : fresh water/15% saline water

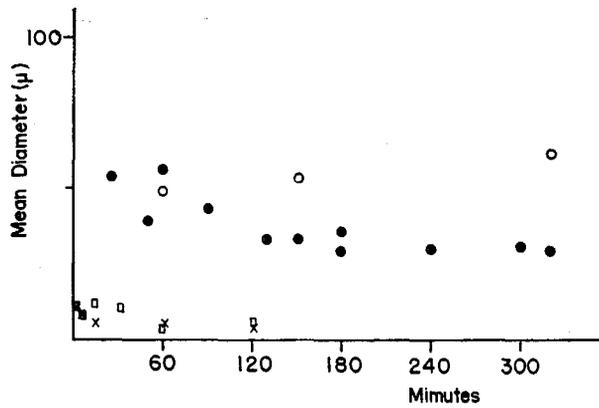


Fig. 6. Illite, mean flock size and dispersed granule

Flock,

○ : fresh water/30% saline water

◐ : fresh water/15% saline water

● : fresh water/ 5% saline water

Granule,

◑ : fresh water/30% saline water

× : fresh water/15% saline water

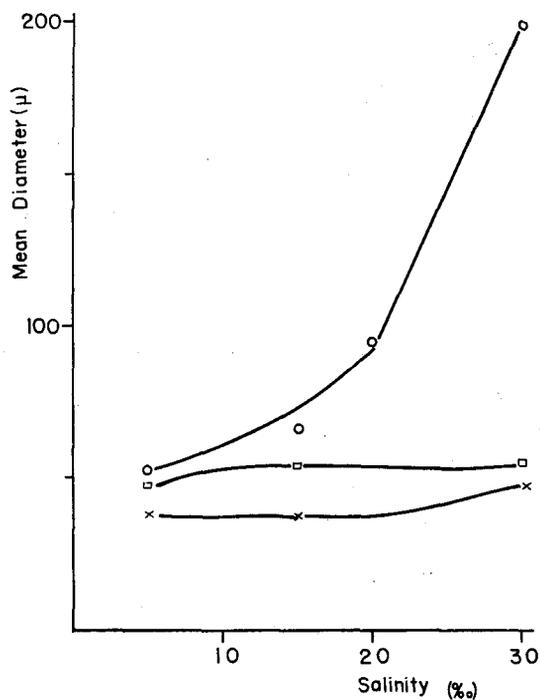


Fig. 7. Relation between flock mean diameter and salinity
 ○ : Montmorillonite □ : Kaolinite × : Illite

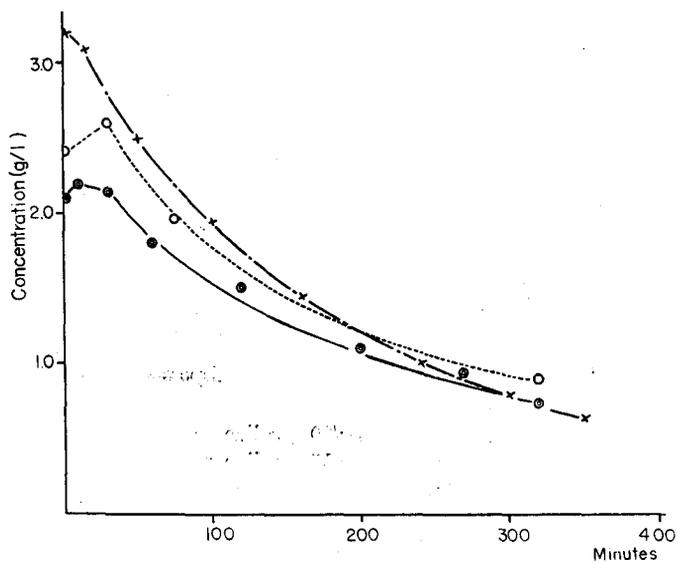


Fig. 8. Turbidity exchange of montmorillonite measured 1 cm upper from the initial boundary

- : fresh water/30% saline water
- × : fresh water/15% saline water
- : fresh water/ 5% saline water

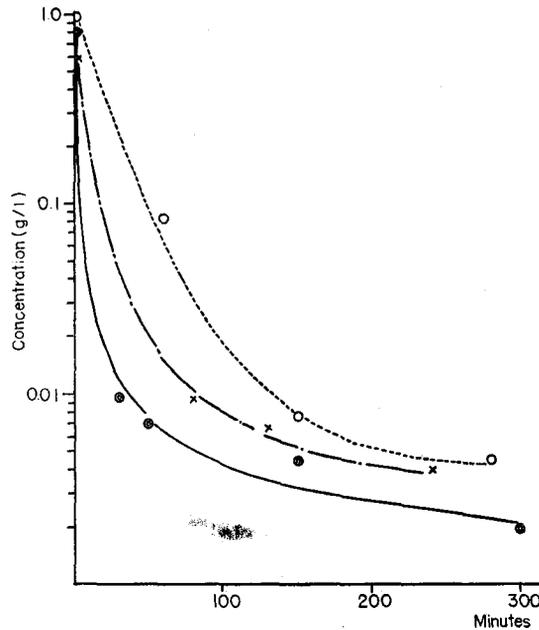


Fig. 9. Turbidity exchange of illite

- : fresh water/30% saline water
- × : fresh water/15% saline water
- : fresh water/ 5% saline water

又、カオリナイトでは 30% で 5 分、15% で 15 分後にそれぞれ凝集物が見られた。

境界面上 1cm の部分の濁度変化を Fig. 8, Fig. 9 に示した。これらと Fig. 4 から Fig. 6 を比較すると、高濁度の時は全体として凝集物の粒径が大きくなるようである。

考 察

淡水中に懸濁している粒子は微細に見れば水分子と限られた数の点でたがいに接し、各接触点では電子のうけわたしが行われているものと思われる。このため粒子と溶液の境界面附近では電気的不連続面が形成されていると考えてよい。

一般に粘土鉱物は淡水中では粒子の表面は負に帯電し、その電荷と反対符号、正の電荷が粒子の表面に近接してとりかこみ、電気的二重層を形成しているため、沈降する際は、固定された二重層とその外側に存在する拡散層との間に界面動電位を生ずると信じられている⁴⁾⁶⁾。

このような状態では粒子はたがいに反発しあって凝集することができない訳であるが、電解質溶液中に入ると粒子表面の不足していた陽イオンを電解液中の陽イオンが充足するように集まって、粒子表面の電気二重層を圧縮するように働き、互いの粒子はぶつかりさえすれば凝集する状態になる。

ここで淡水中に懸濁していた粒子が塩水中を沈降しつつ凝集物になって行く過程を三段階に分類して考察してみよう。Fig. 10 はその状態を模式的に図示したものである。

a) 第一段階

懸濁中の粒子が下層の塩水から拡散してくる陽イオンを吸着して凝集しやすくなる状態。

b) 第二段階

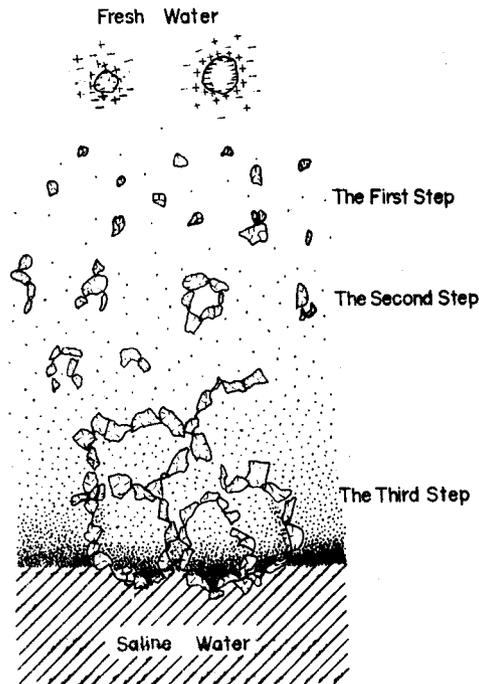


Fig. 10. Illustrative sketch of flocculation processes

凝集しやすくなった粒子が互いに接着集し、さらに粒子間にその場の水をとりこんだまま沈降を開始する状態。

c) 第三段階

沈降してきた粒子が淡塩水境界面で沈降速度をゆるめ、内部にとりこんだ密度の小さな稀薄塩水中へ下層から塩が浸透して密度を増加させる一方、その停滞している間に上層からくる第二次凝集状態の粒子が附着して、その凝集体の粒径を大きくしていく。そして大きくなった凝集体は再び沈降速度を増す。

これらの凝集段階のうち、a), b) は実際の観察は困難であったが、c) の形成状態から考えて、凝集体の粒径を決定する要因となるものは上層水と下層塩水との密度差、および懸濁物の濁度であろうと思われる。

濁度も大で密度差も大なる場合は凝集体の境界面停滞時間が長く、しかも上から降ってくる粒子の量も多いため、凝集体の径も大きくなる。さらに粒子の濁度の十分に大きい時は、凝集体の見かけの密度が下層の塩水密度より大きくなった部分だけが、あたかも引きちぎれるようにして沈降して行く。

密度差が小である場合は、境界面で粒子の停止している時間が短いため、第二次状態の粒子を十分附着しないうちに沈降を再開する。従って、第三段階での凝集体の径は相対的に小さくなるものだろう。

また、同様に粒子の濁度が小の場合も、境界面に停滞している時間がたとえ長くても、上から沈降してくる粒子が少ないため、小さいままで沈降してしまうものと考えられる。

Fig. 11~Fig. 13 は 30% 塩水、15% 塩水、5% 塩水が淡水中へ拡散していく状態を境界面から 1.5cm, 3.0cm, 4.5cm, 6.0cm 上の場所で時間毎に測定したものである。

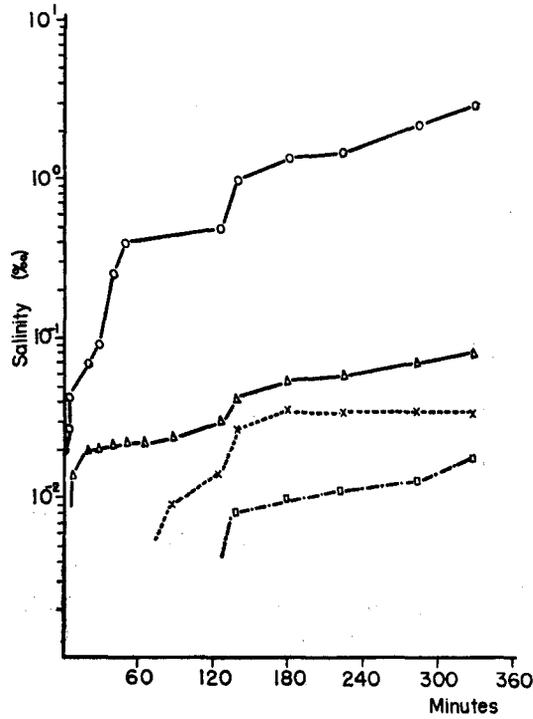


Fig. 11. Example of salt diffusion, fresh-/30‰ saline water
 o : the top 1.5 cm Δ : the top 3.0 cm
 x : the top 4.5 cm □ : the top 6.0 cm

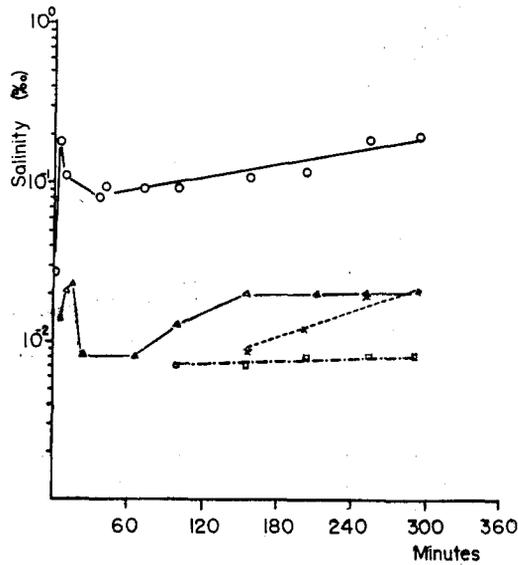


Fig. 12. Example of salt diffusion, fresh-/15‰ saline water
 o : the top 1.5 cm Δ : the top 3.0 cm
 x : the top 4.5 cm □ : the top 6.0 cm

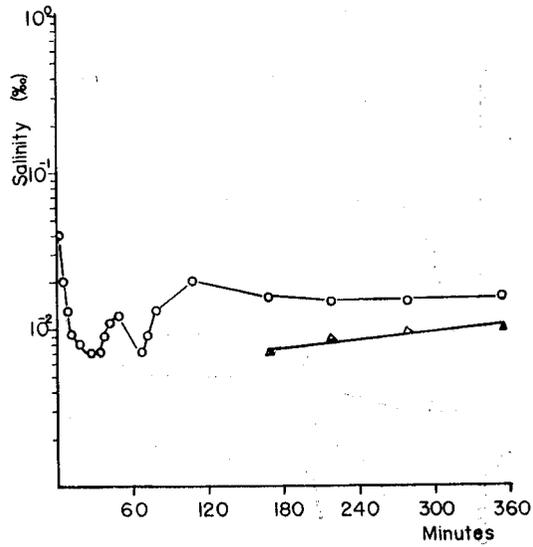


Fig. 13. Example of salt diffusion, fresh-/5‰ saline water
 ○ : the top 1.5 cm △ : the top 3.0 cm

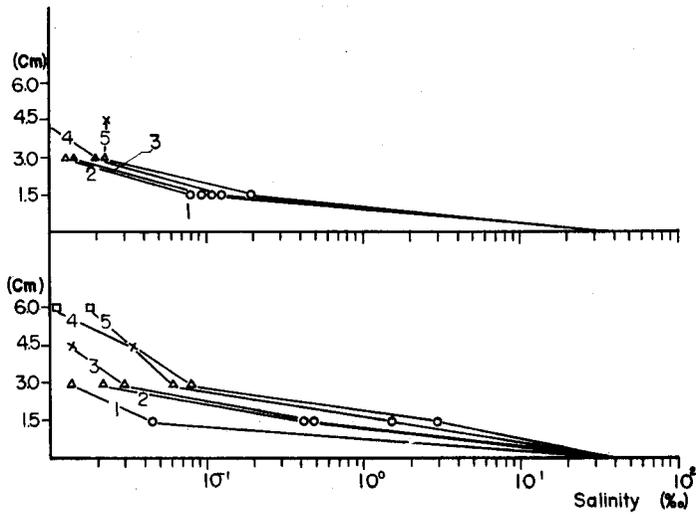


Fig. 14. Salt diffusion at each level after several minutes, upper figure is fresh-/15‰ saline water

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1: 8 minutes later | 2: 36 minutes later |
| 3: 99 minutes later | 4: 212 minutes later |
| 5: 292 minutes later | |
- Lower figure is fresh-/30‰ saline water
- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1: 5 minutes later | 2: 49 minutes later |
| 3: 124 minutes later | 4: 222 minutes later |
| 5: 375 minutes later | |

拡散する塩の量は下層の塩水が十分濃ければ濃い程多い。したがって第二次の凝集物が作られる範囲も時間とともに上層へ広がっていく。(Fig. 14)

今回の実験では第一次の粒子表面二重層を圧縮するに要する陽イオン濃度の限界が不明であったため、第二次、第三次の凝集におよぼす影響範囲を実際に規定する事は困難であった。この問題については次報で論ずる予定である。

第二次段階から第三次段階について行なった実験の数例を Plate 1 に示した。Plate I-A, B は各不連続層をいくつも重ねた上から懸濁粒子を沈降させたもので、次第に粒子は集合を続け、60% の塩水を通ずる時は数ミリメートルに達する凝集体を形成する。

さらに Plate I-C は 5% の塩水中で一度凝集させたものを再び攪拌して懸濁状にし、50% の塩水に重ねたものである。

ここでは密度差が大であったこと、第二次凝集物の粒径が大であったことのために、境界面の下では数センチメートルの凝集体を観察することができた。

以上の観察はすべて実験室内における静的実験であり、実際の河口附近とは多くの点で相異があると思われるが、淡水と海水が混合する場所では第二次状態の凝集物が形成され、さらにその水塊より濃度の高い海水に接する付近で第三次の非常に大きい凝集物を形成することも考えられる。

今後さらに河口附近の垂直的粒度分布を中心に塩の凝集におよぼす影響について研究して行くとともに、植物性浮游物の凝集、沈降の過程についても研究して行く予定である。

要 約

- 1) 淡塩水が不連続に接触する実験水槽中での石英、イライト、カオリナイト、モンモリロナイトなどの粘土鉱物の凝集、沈降状態を観察した。
- 2) 凝集の過程を第1段階から第3段階までに分類し、その間の関係について論じた。第1段階は陽イオンを懸濁粒子が塩水から得て凝集しやすくなる状態、第二段階は凝集して沈降して行く時、そのまわりの密度のひくい水を取りこんで行く段階、第三段階は境界面で粒子中の水の中へ塩が浸入して再び沈降速度を早める間にたかいに附着集合して大きくなる段階である。
- 3) 凝集体の大きさは上下両層の塩水の密度差と懸濁粒子の濁度とによって決定されることが観察され、その現象も前項の考え方で説明が可能である。

参 考 文 献

- 1) 柏村正和 (1960). 河口における二重水層 (2). 河口二重水層の力学的特性に関する研究. 北大工学部研究報告 (28).
- 2) T. Ito, et al., (1960). On the Density Current in the Estuary. *Coastal Engineering in Japan*. III, 21-31.
- 3) 坂本 亘 (1966). 河川流入域附近の濁度変化に関する研究 (I). 淡塩二重水層中の懸濁粒子の沈降について. 北大水産彙報 17(2), 71-82.
- 4) B. Jirgensons, M.E. Straumanis. (1962). *A Short Textbook of Colloid Chemistry*. 邦訳, 玉虫, 蓮, 玉木共著 コロイド化学 (1967). 425P. 東京; 培風館.
- 5) G.A.H. Elton. (1949). Electroviscosity III. Sedimentation Phenomena in Ionic Liquids. *Proc. Roy. Soc. A.*, 197, 568-573.

Explanation of Plates

Plate 1-I, II, III.

Montmorillonite flocculation process in fresh/30‰ saline water

I: 5 minutes later

II: 20 minutes later

III: 40 minutes later

Plate 1-A, B, C.

A: Settling and flocculation form of particles through some boundaries

1: fresh water layer

2: 5‰ saline water layer

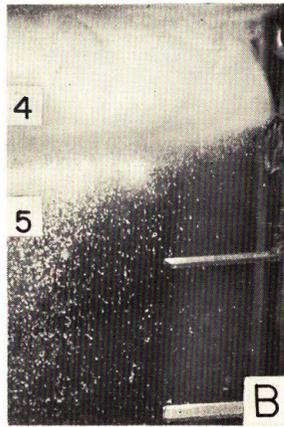
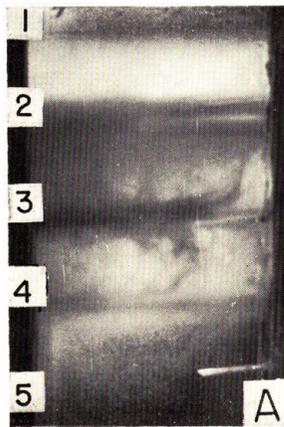
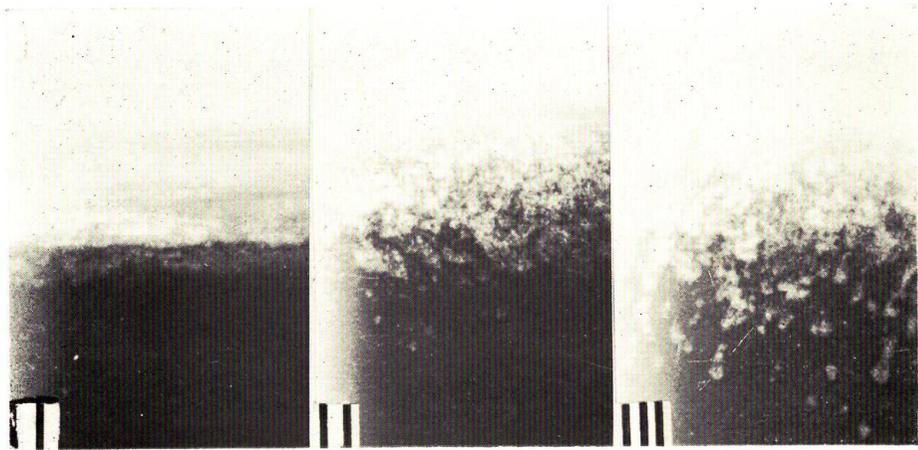
3: 15‰ saline water layer

4: 30‰ saline water layer

5: 60‰ saline water layer

B: Enlarged at 30‰ and 60‰ layer

C: Flocculation example in two different saline water densities upper is 5‰ and lower is 50‰.



W. SAKAMOTO: Study on the Turbidity in Estuary II