

海底沈澱物の研究

II. 細泥の不連続層状沈澱に就いて

理學博士 野 滿 隆 治

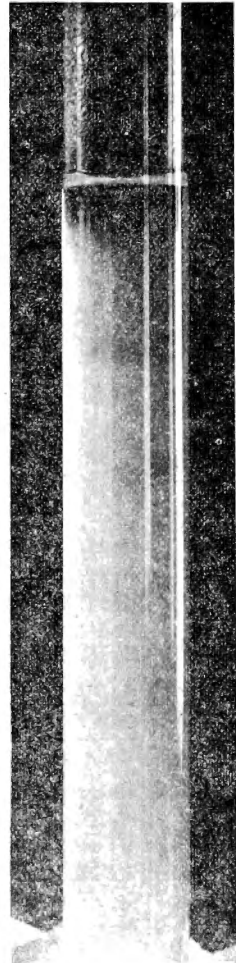
理學博士 松 永 義 明

I. 緒 言

⁽¹⁾
前報告に於て著者の一人(野滿)は竹上博士と共に電解質の細泥沈澱に及ぼす影響に就き研究結果を發表した。其の際、濁度が薄く且つ電解質も少ない場合には往々第1圖及び口繪に示す様な細泥の不連続層をなすことを認めた。類似の現象は一般に海や湖水にも大規模に生じ得ると考へられるから、單に膠質化學上のみならず海洋學上からも漁業上からさへも、此の現象は極めて重要にして且つ興味あるものと思はれる。従つて當時尙ほ學生であつた松永のセミナー課題として、此の特異な現象を一層徹底的に研究することとし、種々の實驗を試みた。そして結果の概要は既に昭和四年學術研究會議の太平洋學術調査委員會席上に演述したのであつたが、然し成層の機構につきては未だ大よその見當が附いて居ただけで、的確なる論據を掴むまでには至つて居なかつたので、印刷に附するのは見合はせたのであつた。夫れより早くも九ヶ年を経た昨年漸く成層沈澱の促進法に成功し、夫れによつて短時間の内に多數の實驗を行ふことが出来るようになり、其の結果成層の原因を確實に握ることが出来たと信するので、舊年の實驗に加ふるに新實驗結果をも一纏めとして茲に本文を草したわけである。

一般に濁水が沈澱する際には、其の濁度は上層より下層に行くに従ひ次第に大きくなるのが普通である。かかる場合の

第1圖A

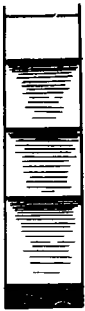


(1) Rec. Oceano. W. Japan, 9, 1 (1937); 本誌, 本號, 1頁。

微粒子の垂直分布状態につきては既に Einstein⁽²⁾ が液中に懸濁した均一粒子の平衡状態に於けるブラウン運動の静力學的理論を發表し、其の理論は Perrin⁽³⁾ によりコロイド溶液を以て實驗的に確められた。更に杉野、谷兩氏は懸濁物質につきペリン同様の結果を得てゐる。

ところが筆者等の茲に問題とする層状沈澱 (Stratified Settling) は、上記の普通沈澱と違

第1圖B



つて第1圖(B)に見る如く、濁水は判然たる數箇の層に別れ、是等の層毎の平均濁度は下のもの程濃いのであるが一々の層内に就いて云へば濁度が上部に濃く下部に淡く次層に移るとき飛躍的に濃くなるのである。かやうな成層現象に就ても古來幾多の研究があるが、其成因に至つては異説紛々で未決の問題といつてよい。例へば

Th. Schloesing (d. Aeltere)⁽⁵⁾ は既に1874年、アルカリ性反應の水にて作つた粘土濁水には多數の層が出来て而も其の各層は沈降速度を異にする事實を認め、又粒の形や大きさの違ふ種々の硅酸鹽粉を混じた濁水は夫れ夫れの種

類に應ずる層を形成することなどを示してゐる。W. H. Brewer⁽⁶⁾ も成層の各が沈降速度を異にすることをのべ、之を粘土及硅酸鐵粒の水化作用 (Hydration) による含水量の多少に歸したかと思へば、C. Barus⁽⁷⁾ は之に反對して水化作用は細泥の沈澱には無關係なることを示し、成層の原因を粒の大きさ及重さの相異に歸し、且つ判然たる成層を見るには定溫に保つを要すとした。何れにせよ成層の原因を粒徑の大小に歸せんとする考は、何人にも第一に頭に浮ぶものであるから後世に至つても其の信奉者が頗る多く、P. Ehrenberg 一門の學者等は最も熱心である。例へば Ehrenberg と Schultze⁽⁸⁾ は媒煙と石鹼、粘土等の堆積にも成層を生ずるが之は粒の大きさ若くは重さの相異によると斷じ、Ehrenberg と Hahn 及び Nolte⁽⁹⁾ 三氏は色の違つた繪具を溶かして混ぜたものは、其の各種の色素に應じて成層を示すが、之も矢張り繪具の種類によつて粒子に大小があるからとし、

(2) Ann. Phys., 17, 549 (1905).

(3) Comptes rend., 146, 968 (1908).

(4) 應用物理, 1, 145 (1932).

(5) Comptes rend., 79, 377 (1874).

(6) Memoirs Nat. Acad. Sci. Washington, 2 (1884).

(7) Koll. Zeit., 9, 14 (1911).

(8) Koll. Zeit., 15, 183 (1914).

(9) Ditto, 21, 1 (1917).

⁽¹⁰⁾
E. Ungerer も豫め遠心分離器にて色素の粒子を分別して、其等の粒徑の知れたものを數種適當に混合して種類の数だけの成層を現はすことなどを實驗して居る。尙氏等は同一層内では上部が下部よりも濃厚なることに注意しながら、之は不連続界面の陰影作用で實在するものではないと軽く片付けて居るのは惜しい。又後述の如く成層の原因をブラウン運動に歸する學者があるのに對し、氏等はゼラチン少量を混ぜることによつてブラウン運動を全く抑止しても層状沈澱は發現することを示して居る。**W. Ostwald** ⁽¹¹⁾ も亦成層の原因を粒の大小に歸する一人であるが、しかし成層せしむる力は重力ではなくて粒子間の或吸引力に因るものと考へた。

成層の原因を粒徑の相違以外に求めた學者も少くない。先づ **J. Thoulet** ⁽¹²⁾ は粒子の落下に伴ふ對流に着目し、この對流が粒子の落下を阻止する様に働き、重力との間に一種の平衡状態を作り成層するのであると唱へた。然るに間もなく **W. R. Williams** ⁽¹³⁾ は之を排撃していふ。その様な對流は寧ろ成層を破壊消滅せしめる。粒徑や落下速度の相違も成層の原因ではない。懸濁液に日光を當てると成層が現はれるから、寧ろ温度の違つた水が分離するのだと。**J. U. Lloyd** ⁽¹⁴⁾ も食鹽水や砂糖水を入れた管の一側を温めると濃度の異なる層が出来ることを實驗し、成層の原因を温度の變化による比重差に歸して居る。**C. G. T. Morison** ⁽¹⁵⁾ も土壤やカオリンの懸濁液に光束を當てると其の場所に表面に平行な層が幾つも現はれ光源を除けば緩に消失することを觀察し、**E. Ramann** ⁽¹⁶⁾ は水晶微粒子の成層沈降に於て其の成生が光及び熱に影響され強い日光は却つて直ちに成層を破壊することを見出した。

S. U. Pickering ⁽¹⁷⁾ はパラフィン油の少量と石鹼液を振盪しても油滴の成層を見るが各層ともに同一層内では上部が油滴の徑も大きく數も多いことを認め、**F. Powis** ⁽¹⁸⁾ も水と油のエマルジョンにも層が出来るが各層の平均粒徑には差を認め難いといふから、何れも成

(10) Kolloidchem. Beihefte, **14**, 63 (1921-22).

(11) Grundriss d. Kolloidchemie, 260 (1909).

(12) Ann. de Mines, **19**, 35 (1893).

(13) Forsh. u. Geb. d. gr. Phys., **18**, 257 (1895).

(14) Kolloidchem. Beih., **8**, 209 (1916).

(15) Proc. Roy. Soc., A, **108**, 280 (1925).

(16) Kolloidchem. Beih., **25**, 279 (1927).

(17) Kolloidzeitschr., **7**, 13 (1910).

(18) Zeitschr. f. Physik.-Chem., **89**, 188 (1915).

層の原因を粒径の大小に歸することに反對なわけである。但し兩氏とも然らば何が原因であるかに就ては觸れて居ない。

C. E. Mendenhall と M. Mason⁽¹⁹⁾ とは懸濁液を入れた試験管を暗室の中央に置いても成層せず窓際に置けば比較的容易に成層するを認め、成層には液を通じて横に温度傾斜あることを必要とすとの考へに到達し、之を實驗する爲めに矩形の管を作り兩側を温度の異なる恒温槽に接して管内に横の温度勾配を生ぜしめ、矩形管内の水中に表面近くと底とに色素の一滴をたらして其の運動を觀察したところ、色素の流線が管内に幾つかの環流を生ずることを確めた。依て氏等は成層の眞因を横の温度勾配によつて生ずる緩かな對流性環流に歸した。

P. G. Nutting⁽²⁰⁾ は前記の對流は成層の一小原因にすぎずして、主因は粒子のブラウン運動による擴散力にありとし、濁りの濃淡によりブラウン運動の爲めに生ずる上向力と重力との平衡式を作つて、Einstein の理論よりも頗る簡單で而も一般的な粒子分布式を提出し、Perrin の公式は其の特別な場合にすぎず、且つ層状分布の場合をも包含すと自唱す。然し、Ungerer が既に示した通り液の粘度を大にしてブラウン運動を全く止めても成層沈澱は發現するし、又筆者等の見る處では Nutting が自ら成層實驗を試みない爲めに成層の場合は同一層内では上部が却つて下部よりも濁度濃厚だといふ重要な事實を考慮に入れて居ない缺點があると思はれる。重力に抗する上向力がブラウン運動によつて生ずるためには常に下方が上方よりも濁度の濃厚なるを必要とするではないか。

斯様に先人の研究を通覧して見れば、異説紛々で、成層の原因は未だ解決されてゐないと云はざるを得ぬ。これ吾人が敢て本論文を草し世に問ふ所以である。

II. 不連続層の生成

薄濁水の不連続層を生ぜしめるには細泥を水又は或る種の液に溶かして良く振盪すれば良いのである。本研究には京都市東山區清水焼の粘土を使用した。先づ粘土を乾燥して乳鉢にて微粉となし、0.03 ミリ目の金網篩にて通過した細粉を使ひた。約5 グラムを純水 500 c.c. 中に入れ良く振盪し、乾燥した微粉粘土に水を充分滲透せしむるため二三日放置

(19) Proc. Nat. Acad. Sci., 9, 199, 202 (1923).

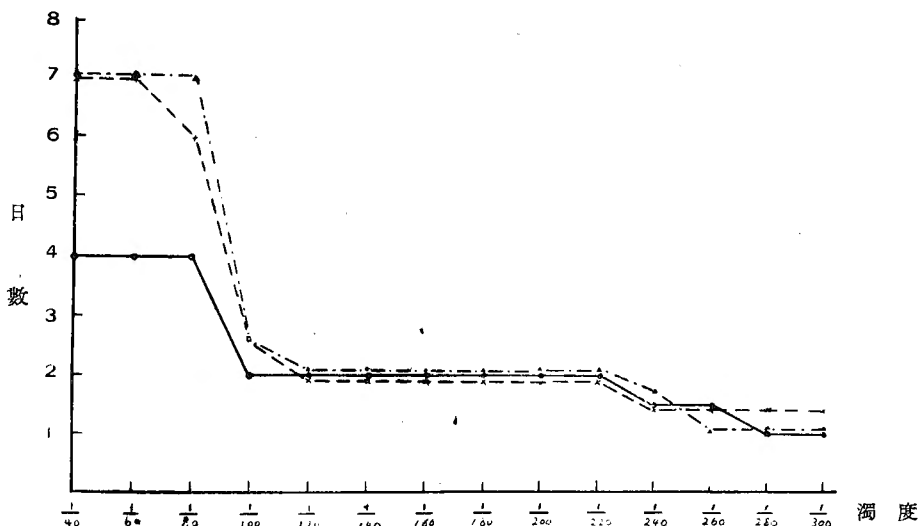
(20) Jour. Wasington Acad. Sci., 19 402 (1929).

細泥の不連続層状沈澱に就いて

した。斯くして得た粘土懸濁液を適當の濃度に水又は或る種の液にて薄め、長さ約20cm. 直徑約2 cm. の硝子製試験管中に入れ、眞直に立て放置することとした。數日經過すると第1圖Aの如き薄濁水の不連続層を得るのである。同圖は水中に發生したものであるが同様な現象は水とグリセリンの混合溶液中にも生ずるのである。尙ほ口繪には層の發生變化する模様を示した。

一般に斯様な懸濁粒子は電解質を多量に入れると容易に凝集して速に沈澱し、前述の如き成層現象を観察することは出来ないのである。電解質が細泥の沈澱に及ぼす影響に關しては、既に著者の一人(野滿)が竹上氏と研究したところである。然し電解質が非常に薄い時或は純水の時にはこの成層現象を見るのである。又細泥を純水に分散した際泥量少なき時は、多き時よりも早く此等の不連続層を發生するのである。第2圖は純水中に細泥を分散せし時の不連続層發生日数を縦軸に採り、初めの濁度を横軸に採つたものである。圖中の●, ×, △印は各三回實驗した時の發生日数を示したものである。

第2圖 初めの濁度と成層日數との關係



同圖より明かなる如く、薄い濁水に於ては大體に於て2日以内に層の發生を見受けられるが、濃い濁水に於ては4~7日の後である。

次に微粒粘土1gを80 c.c.の食鹽水に分散せしめた時の食鹽の濃さと層の出現の日數との關係を第1表に示す。同表より明かなる如く電解質の濃度 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{400}$ 規定迄は層の發生は1~2層なるも、それより濃度薄くなる時、例へば濃度 $\frac{1}{600} \sim \frac{1}{900}$ 規定となれば層の數

細泥の不連続層状沈澱に就いて

は急激に増加して数層となるのである。

第1表 鹽分の濃さと成層との關係

NaCl の濃さ (規定液)	層發生迄 の時間	層の數	摘 要	NaCl の濃さ (規定液)	層發生迄 の時間	層の數	摘 要
1	—	0		$\frac{1}{500}$	5 d	1	
$\frac{1}{2}$	—	0			6 d	2	
$\frac{1}{5}$	—	0			7 d	1	
$\frac{1}{10}$	—	0			8 d	1	
$\frac{1}{20}$	—	0		$\frac{1}{400}$	10 d	0	
$\frac{1}{30}$	5 hr	1			5 d	2	
$\frac{1}{40}$	5	1			6 d	3	
$\frac{1}{50}$	6	2	層は何れも非常に不明瞭にして且沈澱速かなる故短時間にて消失する。		7 d	2	
$\frac{1}{60}$	5	2			8 d	1	
$\frac{1}{70}$	—	—		$\frac{1}{500}$	10 d	0	
$\frac{1}{80}$	7	2			5 d	3	
$\frac{1}{90}$	7	1			6 d	3	
$\frac{1}{100}$	1 d	2	{表面より1 cm 及び2 cm の所に層を認む		7 d	3	
	1 d 5 hr	2			8 d	2	
	2 d	0	{表面より1.8 cm 及び6.5 cm の所に層を認む	$\frac{1}{600}$	10 d	1	
	1 d	2			5 d	4	
$\frac{1}{120}$	1 d 5 hr	1	{表面より1 cm 及び2 cm の所に層を認む		6 d	3	
	2 d	0			7 d	2	
$\frac{1}{140}$	1 d	2	{表面より1 cm 及び2 cm の所に層を認む		8 d	2	
	1 d 5 hr	4		$\frac{1}{700}$	10 d	1	
	2 d	2	{表面より2 cm, 3 cm, 7 cm 及び8 cm の所に層を認む		5 d	6	
	3 d	0			6 d	5	
$\frac{1}{160}$	1 d	2	{表面より1 cm 及び2 cm の所に層を認む	$\frac{1}{800}$	7 d	4	
	2 d	1			8 d	4	
	3 d	0	{表面より2.5 cm の所に層を認む	$\frac{1}{900}$	10 d	3	
	1 d	2			5 d	5	
$\frac{1}{180}$	1 d 5 hr	4	{表面より1 cm 及び2 cm の所に層を認む		6 d	6	
	2 d	2			7 d	4	
	3 d	0	{表面より1.5 cm 及び5 cm の所に層を認む	$\frac{1}{1000}$	8 d	4	
	1 d	2			10 d	3	
	1 d 5 hr	4	{表面より1.5 cm 及び5 cm の所に層を認む		5 d	5	
	2 d	2			6 d	5	
	3 d	0	{表面より1.5 cm 及び5 cm の所に層を認む		7 d	5	
	1 d	2			8 d	5	
	1 d 5 hr	4	{表面より1.5 cm 及び5 cm の所に層を認む	0 (純水)	10 d	4	
	2 d	2			8 d	2	
	3 d	0	{表面より1.5 cm 及び5 cm の所に層を認む				
	1 d	2					

III. 不連続層の沈降速度

前述の如くして出来た層の沈降速度の二の例を第2表及び第3表に示す。前者は微粒粘土 1 g を 80 c.c. の純水に分散した場合の沈降速度で、後者は水：グリセリン＝4：1の

第 2 表

純水 80 c.c. 中に約 1 g の微粒粘土を分散した時發生せる層の沈降速度

日 付	上 部 よ り の 層 の 数			
昭和3年1月28日 午前10時開始	I	II	III	IV
Feb. 1 $15\frac{1}{6}$	mm/hr	mm/hr	mm/hr	mm/hr
2 $9\frac{1}{2}$	0.11	0.43	0.71	1.03
2 $15\frac{1}{3}$	0.34	0.59	1.06	1.89
3 $12\frac{3}{4}$	0.14	0.39	0.73	0.96
4 $11\frac{1}{4}$	0.31	0.53	0.66	0.93
5 15	0.32	0.57	0.93	1.15
6 $13\frac{1}{2}$	0.26	0.62	0.89	0.98
7 $9\frac{1}{2}$	0.10	0.40	0.60	0.70

第 3 表

水：グリセリン＝4：1の混合液 40cc 中に約 1 g の微粒粘土を分散した時發生せる層の沈降速度

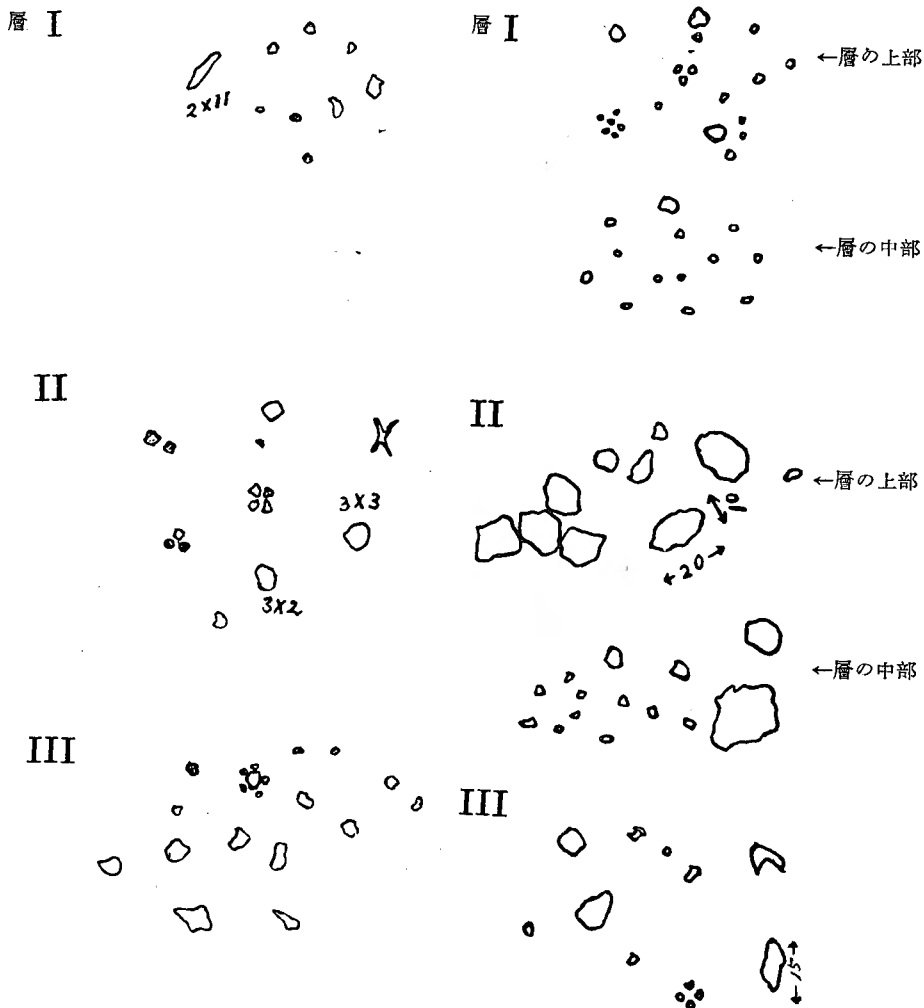
日 付	上 部 よ り の 層 の 数			
昭和3年1月28日 午前10時開始	I	II	III	IV
Jan. 31 13	mm/hr	mm/hr	mm/hr	mm/hr
Feb. 1 $14\frac{3}{4}$	0.10	0.18	0.27	0.42
2 $13\frac{1}{2}$	0.12	0.15	0.23	0.30
3 13	0.09	0.16	0.33	0.47
4 14	0.09	0.14	0.25	0.32
5 $14\frac{1}{2}$	0.01	0.23	0.32	0.41
6 $14\frac{1}{2}$	0.14	0.21	0.32	—
7 15	—	0.20	0.34	—
8 14	0.13	0.22	0.26	—
9 14	0.12	0.21	0.41	—

細泥の不連続層状沈澱に就いて

割合の液 40 c.c. に微粒粘土 1 g を分散せしめた場合の沈降速度である。第2表及び第3表より明かなる如く、沈降速度は上層より下層に行くに従ひ大となるのである。この事實は相隣る二層間の距離は益々大となり、且つ一つの層の下部が薄く、上部が濃くなる一つの理由を與へるのである。即ち或る層の沈降速度はその眞上の層の沈降速度より大なる故層の頭の直上は淡くなる。粒子のブラウン運動による Nutting の上方壓力説ではこの特性を説明することは出来ない。

又同一層にても室温の影響のため算出した時により沈降速度の違つて居ることは、溶媒

第3圖 成層中の微粒子見取圖(顯微鏡下)



の粘性が温度により異なり、従つて沈降速度を異にしたと解すべきである。この事實は所謂ストータスの法則より明かである。

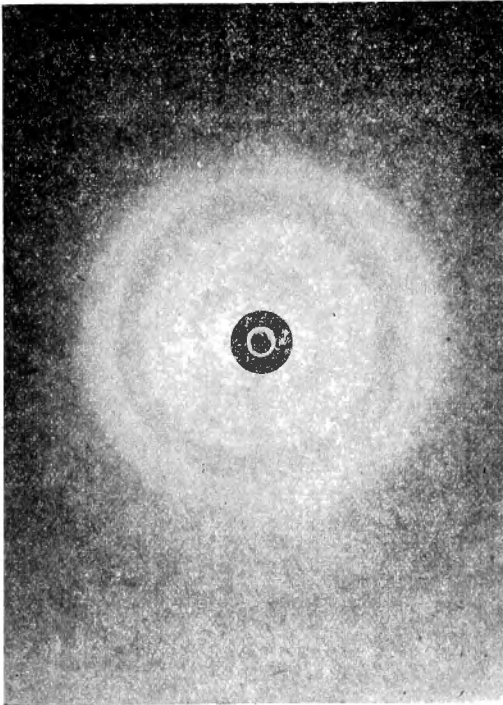
IV. 顯微鏡的研究

各層の上部及び中部をピペットにて採取し、泥粒の大きさ及び形を鑛物顯微鏡にて調査した。此の様な層を構成する粘土粒子の大きさは $1.3 \times 1.3 \sim 1.3 \times 2.6 \mu^2$ 程度の面積を有し、何れも不規則の微粒子で略圖を第3圖に示す。粒子の分布は大體上の層は小さく、下の層に行くに従ひ僅かに大となり、所々に不規則な稍大なる粒子を見受けた。又此等の比較的大なる不規則な粒子は偏光により鑛物質たることを確め得た。

従つて不連続層を生じた濁水平均比重は下の層ほど大と考ふべきである。然し同一層内では其の上部が中部よりも却つて粒が大きい傾向が見られる。

V. X線的研究

第 4 圖



粘土のX線圖

試験管中にて層を生じ沈澱した試料を乾燥してX線寫眞を撮ると第4圖の如き澤山の干涉圓を得る。各干涉圓の格子常數は第4表の如くであるが、同圖中に微少なる Laue 干涉點を認める。これは既に顯微鏡的検査により指摘した稍大きい不規則な粒子によるものである。斯く多數の干涉圓を得る故結晶質なることも勿論認められ、且つ粒子は相當小なることも同X線圖より判明するのである。

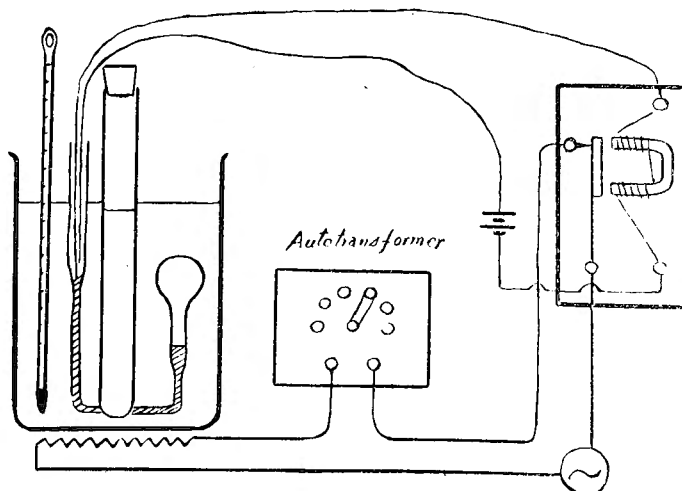
干涉圓 番 號	迎 角 (°)	格子常數 Å.U.	摘 要	干涉圓 番 號	迎 角 (°)	格子常數 Å.U.	摘 要
1	5° 54'	7.40	小 Laue 干 渉點の集合	5	18° 54'	2.37	
2	9° 47'	4.53		6	22° 59'	2.00	
3	12° 53'	3.45		7	24° 8'	1.88	
4	16° 52'	2.65		8	26° 55'	1.70	

VI. 成 層 機 構

成層が如何にして生ずるかの機構を闡明することは本研究の主要目的であつて、初めには種々の想定の下に色々の實驗を試みた。例へば微粒子が粒徑に不連続な分布があり、其の粒徑の大小によつて成層するのではないかと思つて前記の顯微鏡的調査もしたのであるが、別段不連続な分布は認められない。又微粒子は水中では帶電して居ることが分つて居るので何か電氣的或は磁氣的作用が働くのではないかと思つては、液の表面と底に數百ボルトの電壓をかけたり、或は管の周圍に強力な電磁コイルを働かせたりなどしたが、何等の效果もなかつた。

それで、結局は次の如き方法により、極めて迅速に成層を人工促進することに成功し、従つて多數の實驗を試み、成層の機構を明かにし得たと信ずる。

第 5 圖 層状沈澱促進裝置



第5圖の如き大型ビーカーの真中に試料を入れた試験管(直径約2 cm, 長さ約20 cm)を置き、一端をフラスコ型に封じた硝子管をU字形に圖の如く曲げ、球形部に空気を入れ、彎曲部に水銀を入れ、圖の如く配線した一個の恒温水槽を作つた。恒温水槽としては不十分ながら略5°Cの温度差にて保つことが出来た。

第5表 人工成層沈殿の實驗(昭和12年10月7日施行)

時 刻	恒温槽温度	摘 要	時 刻	恒温槽温度	摘 要
h m	°C		h m	°C	
8 50	20.0	實驗開始	9 40	20.3	第6圖5參照
55	24.0	變化なし	50	28.2	第6圖6參照
9 0	28.0	同 上	10 0	27.0	特別の變化なし
5	30.5	同 上	1	27.0	加熱電流を繼ぐ
10	32.6	第6圖1參照	3	28.3	特別の變化なし
11	33.6	加熱電流を切る	5	29.7	第6圖7參照
15	33.0	第6圖2參照	10	32.2	第6圖8參照
20	32.1	第6圖3參照	12	32.8	加熱電流を切る
25	31.3	第6圖4參照	17	28.0	第6圖9參照
35	30.3	變化なし	18 30	23.7	第6圖10參照

前述の如き水槽中にて第5表の様な時間の経過及び温度の變化を行つて、同表摘要欄に述べてある様な層の變化、並びに第6圖の1—10迄に示す模式圖の如き變化により、明瞭に前述せるが如き層の出現を短時間に認めることが出来た。第5表の實驗記錄より明かなる如く、層の出現は温度の上昇及び温度の下降の何れの場合にもあることである。

従つて此の種の層の出現の原因としては、假令出来るだけ均一な試験管を選んだとしても、どうしても多少は處により管壁の厚さが違ふから試料と試料を入れた試験管の管壁との温度勾配が試験管の管壁の場所により異なり、その異なる諸點が一群の弱い對流性小環流の源となり、下層の水を上層に上層の水を下層に入れかへるために成層が現はれると考へられる。

次に此の考へ即ち試験管の管壁が場所により厚さの差異あるため熱傳導を異にすることを確かめるために、次の第7圖の如き一群の實驗を行つた。

第7圖に於て A, B 二個の試験管の側方に物差を貼り同一濃度の濁水を入れ、同一の實驗條件にて各管中に發生する層の位置を第5圖の裝置を用ひて檢べたのである。

細泥の不連続層状沈澱に就いて

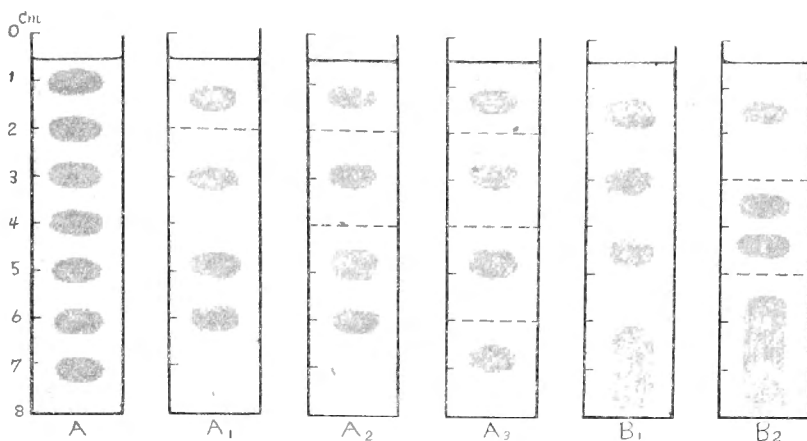
第6圖 人工成層沈澱



管に固有の位置即ちA管に於ては約 1 cm 毎に七つの層の出現を得れども、他のB管に於ては四つの層の出現を見た。此の二管で自然に沈澱を行はしめた時も、層の出来方は同一な濃さの濁水に於ては同様な結果を得た。

次にA試験管に於て側方に直径約 0.5 mm の銅線を一本、二本或は三本と順次に増加し、等距離に固定して同一液を用ひて同様な条件のもとに實驗を行つたところ、管固有の層發生の位置を變じ、必ず此等の銅線を固定した上方と下方とに層の發生を見受けた。(第7圖 A_1 , A_2 , A_3 参照)

第7圖 成層位置を人工的に變ぜしむる實驗



同様な現象は他の試験管Bに於ても之を認めることが出来た。(第7圖 B₁ 及 B₂ 参照)

従つて同實驗より層發生の原因は試験管の管壁の熱傳導の差異により、一群の弱い對流を數個所に於て生ずることに歸因すると考ふことが出来るのである。果して然らば各層に於ける微粒粘土の粒徑の分布は、成層前と反對に上部は大となり下部は小なるべきである。この事實は顯微鏡的研究により既に明かなる如く、一つの層の微粒粘土の分布は一樣でなく同一層内の最上部の粒子は中部の微粒粘土より大であることと良く一致する。然し異なる層の微粒粘土の大きさを比較するときは漸次下の層ほど大となることは既に述べた所である。勿論對流は水面までも昇るほど強くなく、僅に上昇すれば直ちに釣合になる様な微少なる溫度差でなくてはならない。對流が表面までも昇るほど強ければ、Williams が言ふ様に、却つて出来て居る成層をも消滅せしむることは言ふまでもない。

若し懸濁質の大きさ即ち重量が階段的に異つた粒子の混合とすれば、特に Ehrenberg 並びにその協同者の研究の場合の如く全く異種の粒子を混合して作つた濁水ならば、勿論成層沈澱の原因が粒徑の相異によることもあるであらう。然し吾々の場合の様に細泥粒子の大きさ即ち重量が階段的でなく連續的に變化すると考へられる場合にも成層沈澱は生ずるのであつて、其の場合の方が學問的には非常に興味が深い。此の如き場合の成層は前述の如く Nutting の理論に必然的な「層中の濁度は下方に行くに従ひて増加す」と云ふには反してゐるから、彼の考へでは到底満足な説明をすることは出来ないのである。又成層沈澱は Ungerer の研究によればゼラチン溶液の少量の添加によりブラウン運動を停止せしめた時

にも生ずるのである。Mendenhall 及び Mason の対流循環論は正しいが、著者等は彼等の主張する兩側面の温度勾配が絶対必要であるといふことには反対である。著者等の実験により明かなる如く周囲の温度が一樣である時に於てすら、周囲の温度全體を僅かに上昇、或は下降するだけで成層現象を呈するからである。

上述の機構理論は試験管の如き小規模の沈澱に就て述べたのであるが、湖水や海の様な所に於ても實際此の現象は見受けられるのである。斯る場合にも直接原因としては対流性循環であらうが、其の循環を起す原因は温度の差異のみならず、海水の鹽分の相違又は風の作用等の各種の原動力であり得る。例へば海岸に風が吹けば數層の循環流が海岸近くに生ずることは Sandström の実験によつて明瞭である。此の様な垂直面内の循環流が相當強い場合には、吾々の実験に使つた様な細泥でなくとも、相當粗い粒でも成層現象をなす可能性がある。

VII. 總 括

本研究より得たる結果を總括すれば

(1) 水中に於ける微粒土壤の成層現象を論じ、粒径に不連続的差異があれば勿論それが成層の原因たり得るも、粒径に特別の不連続的差異なき場合にも成層現象を見ることを示した。そしてかかる場合の成層の濁度は、層と層とを比較すれば下のもののほど濃いが、同一層内では上部が下部よりも却つて濃いことを認め、その成因研究上に於ける重要性を強調した。

(2) 而してかかる場合の成層現象の主因としては一系の弱対流性循環を認め、それによりてのみ上記の特性が首肯せられる所以を示した。

(3) 試験管の実験に於ては対流性循環は管の内壁の温度が處により違ふため生ずる。假令出来るだけ一樣な管を採つたとしても管の厚さは部分的に微差があるから、周囲一樣の温度であつても熱の傳導に差異を生じ管の内壁に沿うた水中に上下の温度勾配を生ずるのである。従つてこの対流性循環の大きさ即ち濁水の成層の大きさは試験管の大きさに關係する。

(4) 試験管内で成層現象を促進せしむる人工的方法を考案した。即ち恒温槽内にて僅微の温度變化を與ふるときに生じ易い。餘り激しい温度變化で対流が水面までも昇り行くほどになると却つて成層を消滅せしめる。

細泥の不連続層状沈澱に就いて

(5) 濁つた海や湖水に於ても同様な成層現象が起り得ると思はれる。此の場合には對流循環を生ぜしめる原因として溫度差の外種々の原因があるであらう。

終りに、本研究の完成に援助された日本學術振興會に對し深甚なる感謝の意を表する次第である。