

津軽十三湖の底質

堀内清司

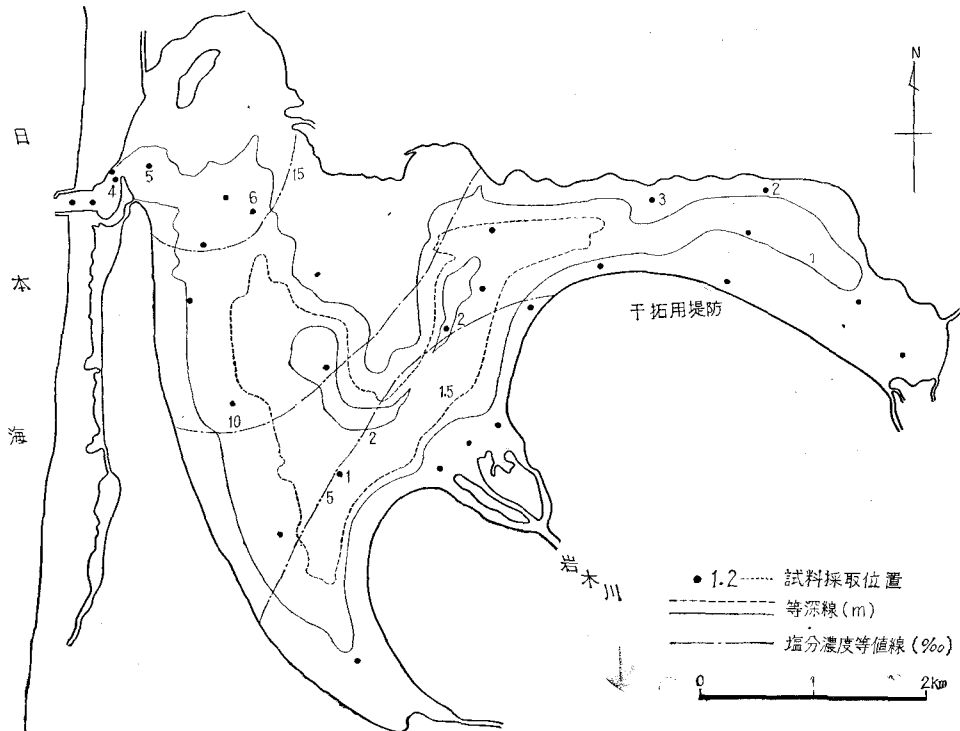
I はじめに

津軽十三湖は津軽平野の北端に位置し、岩木川の形成した沖積平野に接している。湖の西端部で、砂丘の間に僅かに通じた水道により、日本海と連絡している。湖の面積は 20.8km² であったが、数次に及ぶ干拓の結果、現在では約 17.7km² となった¹⁾。流入河川は主として岩木川であり、その他に小河川が、若干流入している。湖の深度は最深部で 3m で

あり²⁾、平均水深約 1.5m の浅い湖である(第 1 図)。外海と直接通じているので、汽水湖の特色を示す。満潮時には海水が、干潮時には陸水がそれぞれ卓越する。その結果、湖面利用も特色があり、海水、淡水魚共に生育するが、時間によって場所が変化する。

岩木川の流入量は平水量 56.9m³/sec. で、十三湖の容量約 26.6×10⁶m³ に比して非常に大きい。これは十三湖を通常の湖と考えるには、あまりにも異質なものである事を示している。このような観点で、

第 1 図 十三湖等深線、試料採取地点および塩分濃度



第1表 代表的試料の重量組成およびφ尺度と粒径 (mm) の関係

No.	粒径 mm	3.36以上	3.36~2.00	2.00~1.00	1.00~0.50	0.50~0.20	0.20~0.050	0.053以下		
	重量(g)								0.20~0.02	0.02~0.002
1	3.5	3.5	0.5	3.0	9.5	21.3	1.2	0.1		
2			0.1	0.1	0.2	0.9		2.29	42.74	
3				0.1	0.3	4.0		22.01	19.71	
4	1.1	0.3	2.1	6.6	22.1	8.5	7.7			
5		0.2	2.7	12.0	29.8	4.5	0.3			
6			0.1	8.4	26.7	9.2	4.7			

φ	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
mm	8	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32

1962年以来調査を行って来た。

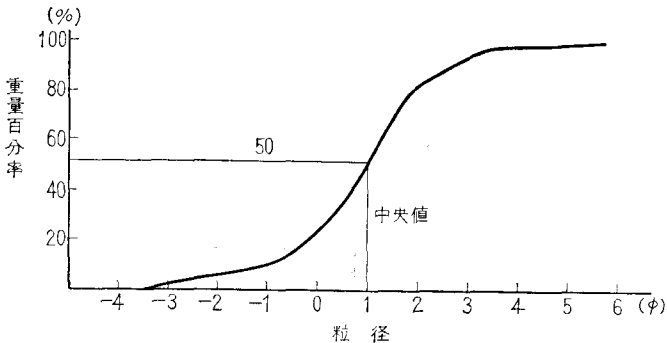
1963年7月約7日間にわたって現地調査を行なった。

II 目的

本湖は上記のように、特色のある湖であるが、これ以外にもいくつか指摘できる。即ち、岩木川の河谷に堆積する沖積層は、かなり厚く、またその堆積速度も大である事⁴⁾等である。これらの事実を考慮しながら、このような入海状の浅湖(浅海)における堆積物がどのような状態で、かつどのように堆積したかについて、湖および沿岸のそれと比較しながら考察する。

III 方法

第2図-1 粒度加積曲線

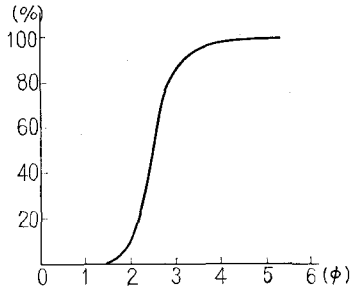


調査項目は、採泥および採水を中心としたが、他に測深と塩分濃度の測定も平行して実施した。使用器具はエクマンバージ採泥器、魚群探知機および電導度計である。採泥地点は35点(位置は第1図参照)で、位置の決定は船上より、ポケットコンパスを用いて決定した。満潮時における海水の侵入を明らかにするため、電導度計によって電導度の測定を行い、その値を塩分濃度に換算した。本来は同時観測を行うべきであるが、人員および、器材の関係で行えなかったため、一部の資料は推定である。魚群探知機による測深は、主として十三橋と日本海の間

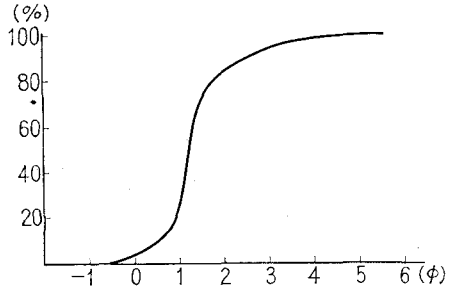
で行った。この結果は第9図に示してある。観測期間中一時青森県下の大雨の影響を受け、岩木川の水が増水し、その濁流が十三湖内に流入し、湖面全域にわたって、濁流と化してしまった。しかし、塩分濃度以外は考慮する必要はない。

採取した試料は、実験室にて風乾し、後恒水槽中で約100°Cに

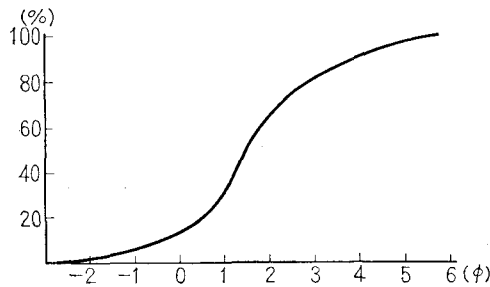
第2図-2



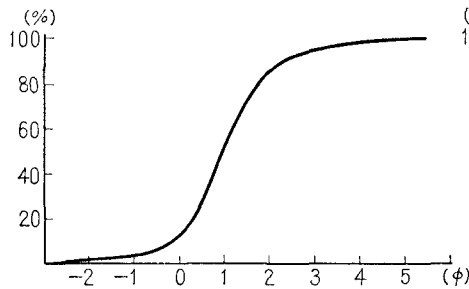
第2図-3



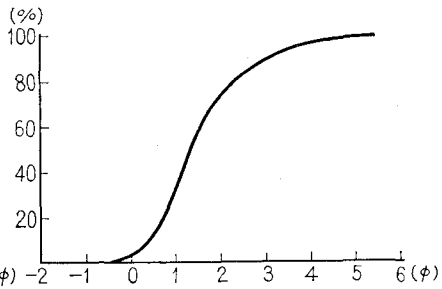
第2図-4



第2図-5



第2図-6



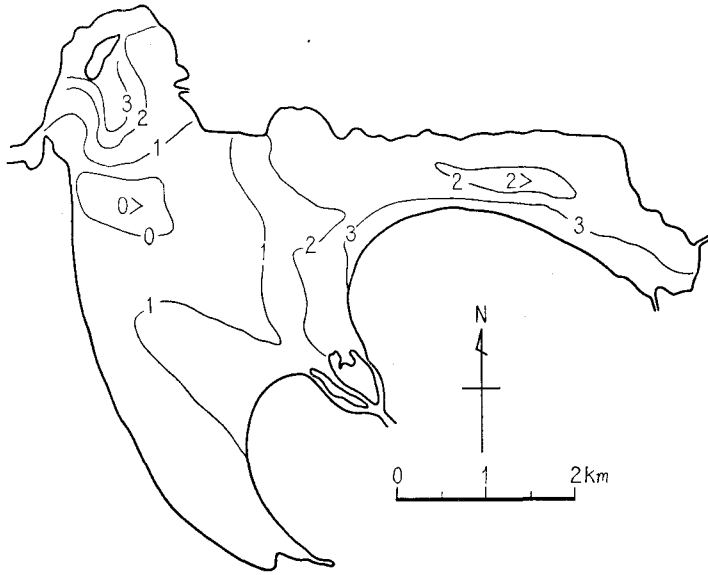
保って、水分含量の測定を行った。粒度分析は、乾燥試料約 50g を取り、篩別を行い、粒径 0.053mm 以上のものの粒径別重量測定を行った。それ以下の粒子の含有量が、大な試料については、0.2mm 以下の試料を新しく篩別し、A. S. K 粒度分析器により分析し直した。こうして得られた資料を用いて、粒度加積曲線を作った。その中の代表的なものについては、第2図および第1表に示す通りであり、採取点は第1図中に示してある。

堆積物中の有機物の推定を行うため、灼熱減量として求めた。約 600°C の電気炉中で恒量になるまで灼熱した。本来は N.O.C 等の分析を行うべきであったが、種々の点で不可能であったため、大体の値をもって有機物とせざるを得なかった。湖盆図は建設省十三湖干拓事務所の資料より製作した。

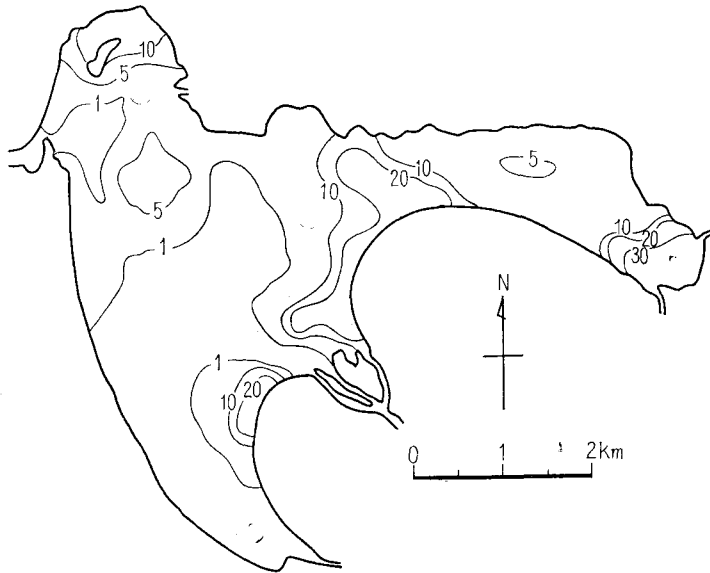
IV 結 果

粒度分析により得られた資料は、粒径を φ 尺度で

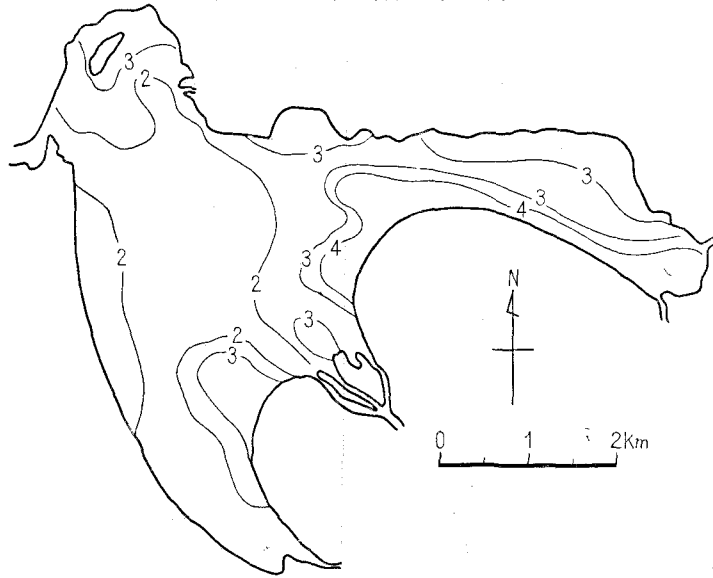
第3図 底質の粒径中央値の分布



第4図 0.05mm以下の粒子の含有量 (%)



第 5 図 底質の限界粒径等値線図



示してある。全体の傾向をみるために中央値について吟味した。中央値は粒度加積曲線より、50%の値で求め、それより第3図に示すように等値線図を作った。3φより大な値の分布域は、十三湖の北部および東部であり、1φ以下の値は岩木河口より流出口までの間に認められ、その他の水域は3φ~1φとなる。中央値よりは以上のように、大体3水域に区分され、その分布は、深度および、沿岸よりの距離によっては決定されない。この事実は通常の海湾

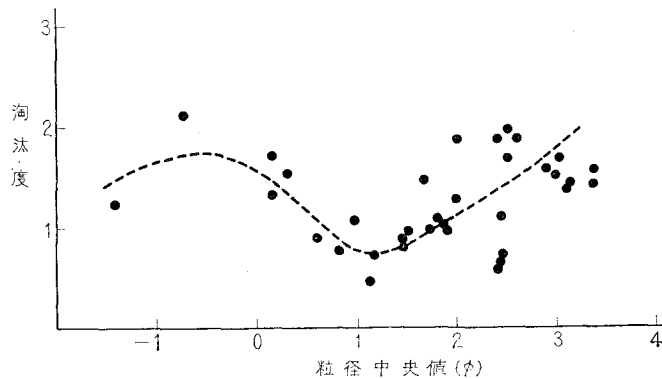
や、湖の粒度分布と著しく異なり⁵⁾、岩木川の存在が大きく影響しているようである。

淘 汰 度

ここにおける淘汰度とは Inman⁶⁾ によって示された $S_0 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$ を使用した。この数値の小さなものほど Sorting が良好である事を示し、同時に粒度分布の偏差に関する数値となる。各試料について得られた S_0 を、中央値との関連において調べた。

第6図に示すように、中央値が1φ前後すなわち粒

第 6 図 粒径中央値と淘汰度との関係



径 2mm の細砂より大きくとも小さくとも, S_0 の値は増加し, 1ϕ 前後での S_0 の最小値は 0.8 を示している。海底堆積物の S_0 と粒径との関係については, すでに佐藤⁷⁾ その他によって指摘されているが, これらのいずれもが, 或る大きさの粒径で, S_0 が最小値を示すと云う結論を得ている。もちろん, この時の値は地域によってかなり異なり, 直接の比較はできない。

歪 度

歪度 α_ϕ と中央値との関係について述べる。

$$\text{歪度 } \alpha_\phi = \frac{(M_\phi - \phi_{50})}{S_0} \left(M_\phi = \frac{\phi_{84} + \phi_{16}}{2} \right)$$

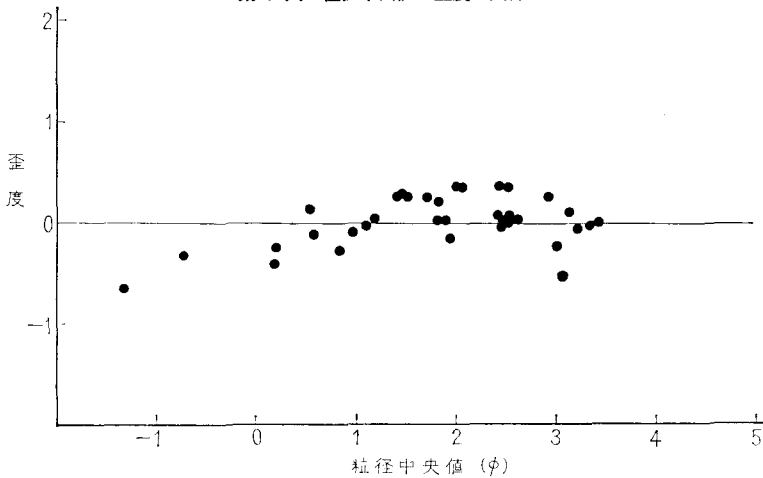
として計算した。この値は粒度組成が正規分布をなすか, どうかを示すもので, 正規ならゼロ, 中央値より粗な堆積物の淘汰が良ければプラス, 中央値より細粒なものの淘汰が良ければマイナスとなる。第 7 図に両者の関係を示した。一般的な傾向として, 中央値が小の方, すなわち, 粒径の大の方はマイナスの歪度を示し, 1ϕ をゼロとして, それ以下の中央粒径をもつ堆積物の歪度はプラスになっている。この事実は中央値が小の試料にあっては, その中央値より大きなものの淘汰が良く, 砂質と泥質の明らか

な分離を示している。また中央値の大きな試料にあっては, その中央値より小さなものの淘汰が良く, 砂質のものを分離して, プラスの値を示す事になったのであろう。すなわち上記の事実は砂泥分離の現象を示している。

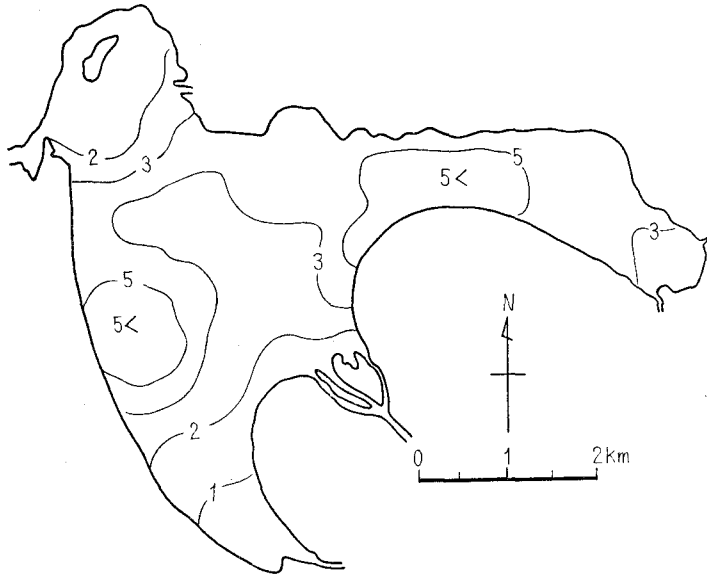
灼熱減量

湖水中の堆積物は, 1. 外来河川による運搬堆積
2. 湖水内部の生産に関するものに分けて考えられる。さらに内容によって無機物と有機物に分けられる。この中で有機物に関しては, 湖水中の生産に関連して古くから研究されているが⁸⁾, 汽水湖におけるそれはあまり例がない⁹⁾。もち論この報告は両者の関係を明らかにする事ではなく, 汽水湖における問題点を見出す事が目的であるので, 全有機物の分折は行わず, 灼熱減量をもって, 有機物の量の推定を行った。西条¹⁰⁾ もすでに指摘した通り, 湖水中の生産量は堆積物中の有機物と, 密接な関係がある。しかしこの場合, 湖水の中の生産量はほぼ全域を通じて一定であるとの仮定に立って研究している。もし水域内での環境(この場合は生産に関与する外的条件になるが)が異なっている場合, 当然そこに堆積されるものも異なってくるであろう。これ

第 7 図 粒径中央値と歪度の関係



第 8 図 底質の灼熱損失量



以外にも運搬・堆積による2次的変化も考えなければいけないが。

得られた灼熱減量より等値線図を求めると、第8区に示すようになる。この数値より理解し得る事実は一般的な湖の値と比較してその値が低い事である¹¹⁾。一般的には浅い湖ほど富栄養化している事が認められ、また富栄養湖ほどその値が大である。十三湖は中栄養湖と考えられ¹²⁾、この低い値は少し異常である。この原因としては、一度生じた堆積物が外海に運搬されたものか、または意外に生産量が低いかの2点が考えられる。水平的な分布についても変化が大で、灼熱減量の大きな水域は西部と東部に限定される。この差については、外海への流出か、生産量の水平的な差かの2点が推定される。外海流出については、粒径分布より、岩木川河口より流出口の間に流れに伴った砂泥の移動が予想される。灼熱減量の大きな所は、大体中央値の大きな所と一致する。この事実は有機物を含む粒子は比較的細粒で、かつそれは運搬堆積作用によって、2次的な分布を示す可能性があると考えられる事ができる。逆に考えれば、こ

の結果は湖水中の堆積物の研究に際し、中心点のみの調査では不十分で、かつかなりの誤差を考えなければいけない事を予測せしめる。水平的な分布の変動は、一般の湖、特に水の流動の考えられる湖では普通の現象であり、中心部に有機物を多量に含んだ堆積物が多く集積する事もまた当然である¹³⁾。

また、海水と湖水との間の生産量の差¹⁴⁾も当然考慮されねばならないが、現在の段階では明らかにし得ない。いずれ、これについては湖底堆積物中の全有機物の分析終了をまって、考察したい。

V 考 察

これらの湖底堆積物の起源については、三位¹⁵⁾他が、岩木川沖積平野のコアボーリングの Data より三角州堆積物ではなく、入海性のものとし、さらにその岩石組成から判断して、岩木川の運搬物であって、西部の砂丘地帯よりのものではないと断定している。筆者もこの見解に従い、岩木川よりの運搬物として議論を進める。

以上の結果より、この湖の堆積機構について考察

する。第3図～第5図の分布図は、ほぼ同様な形態を示している。シルトは粒径が小であるため、流入河川中に懸濁物として存在し、かなり長期間にわたって浮遊し、運搬されてくるであろう。流れが完全に静止の状態になればそこで堆積する。東半分におけるシルトの含有量の大きな水域は、デルタの先端部に位置し、南の湖岸線に近いほど大と云う結果を示している。第4図と第3図とは、十三湖の底質が非常に細粒なものより形成されていると同時に、岩木川口より流出口に至る線上に特にシルトが少く、中央値もまた小である事を示す。自然湖や海湾の堆積状態は中心部ほど粒径が小になっている。これらの違いの原因としては十三湖中における水の流動以外には予想し得ない。岩木川より流入した河川水は、干潮時¹⁶⁾にはほぼ直線状に流出口に向かって流下するため、その水域には、かなりの流れがあると予想される。前述したように、中央値 $1\sim 1.5\phi$ の値を示す試料がもっとも淘汰度が良く、この値を示す堆積物は湖の西側の一部に限られ、またその水域は湖水中の比較的深い所と一致する。岩木川口を中心として考えれば、その東西に認められ、流出口付近に向かって急速に砂質に移って行く。

細砂の淘汰が良いという事は、砂礫の初動速度に関する Hjulström¹⁷⁾ の研究結果とも一致し、堆積物中より細砂のみ分離し、他の水域で集合したものと考えてよい。しかしながら、十三湖とほぼ同じ環境での佐藤¹⁸⁾ の結果は 3ϕ がもっとも淘汰の良い粒径となっている。

歪度と中央値との関連については、砂泥分離の結果を示し、 1ϕ 以下の中央値をもつ堆積物は運搬の過程で泥質のみ分離されたものであり、 1ϕ 以上のものは砂質を失ったものと理解されよう。海域においては深度の増加と共に泥質が多くなり、同時に淘汰度も悪くなる。これは海岸における波の作用の結果として説明される。

湖水中の流れが非常に限られたこの湖では、岩木川によって運搬された、溶存物質の中で細粒なものは、水平方向の水塊移動に伴って、河口を中心としたその左右に運搬され、砂質のものはそこに堆積する。河川水の流出口に向っての Density current は細砂以下の粒子を運搬し、堆積物はマイナスの歪度を示す。水平的な水塊交換はシルト等の細粒を横方向に運び、そこで長時間の浮遊の後、堆積しプラスの歪度を示すのである。

第5図に示す限界粒径の分布図は、粒度加積曲線の細粒部の変換点を取ったもので¹⁹⁾、これはこの粒径以下の粒子が、堆積することなく、下流域に運搬されて行ったと考えて良い。それに対応する流速を考えると、 $0.7\sim 80\text{ cm/sec.}$ の流れが存在した事になる。運搬可能な速度は、ほぼ粒径の大小に対応するであろうから、流速それ自身の絶対値を論じなければ、第5図は流れの状態を示すと考えても良い。第4図にみられるように、流出口の南に 0.05 mm 以下の粒径をもつ粒子がやや多い所が認められるが、この水域がもっとも流動が少いと考えられる。流出口に近くなると、ふたたび流れが大になる事は中央値の分布からも確かめられる。潮の干満を考えなくとも、岩木川その他からの流出水はここを通過しなければならないのであるから、 $30\sim 50\text{ cm/sec.}$ 程度の流速を考えても良い。満潮時には干潮時ほどの流れは期待できず、特に湖の内部におけるその流入の様子は第1図に示した塩分濃度の分布の形によっても推定がつく。海よりの流入水は湖面全域に侵入している事は明らかである。これは底質の分布を決定するのは干潮時の水の動きであると推論するのに有利な資料となる。流出口付近の湖盆図(第9図)は明らかな谷の存在を示している。これは流出時における水の流動によって形成されたものであろう。深く、橋の部分より西側において南に屈曲し、限界粒径の分布の形態より推定し得る流れとほぼ一致する。汽水

第9図 十三湖流出口付近の等深線 (m)



湖においては屢々逆三角州の形成例が認められているが、ここでは認められない。水道内における状態は、中央でもっとも深く 10m を越えるが、これは流出時における侵蝕力の強さを示すものであろう。干潮時における観測によれば、海岸線より約 200m 沖まで湖水が海水に混入せずに流出している事が認められ、その流速はかなり大であると推定し得る。外海および、内側に向かって、その深度は急に減少するが、外海におけるそれは、沿岸流や波の作用による閉塞現象の結果である。

VI 結 論

主として湖底堆積物の粒度組成を中心として、湖水中の運搬堆積作用の推定を行ったがこれをまとめると、次のようになる。

1. 中央値 1φ 前後の堆積物がもっとも淘汰が良

く、それ以上の堆積物はプラスの歪度を、それ以下ではマイナスの歪度を示す。これは入海のものより若干小さく、流れによる淘汰の影響を示す。

2. 水平分布は、粒径、灼熱減量ともに変動が大きく、それより流れの状態を推定でき、岩木川口より流出口にかけて、もっとも流れがあると考えられる。

3. 以上の現象は湖盆の容積に比較して、流入・流出量が多いためであろうと推定され、またそれは干潮時に主として決定される。

以上の結果から湖の研究における湖心部の意義を再検討する必要を認めたい。

最後に野外調査および室内作業に御協力下さった十三漁業協同組合、日本大学文理学部地理学教室助手渡辺浩・田場稔、同学生飯田保・山屋瑛夫の諸氏に厚く感謝いたします。

文 献 お よ び 註

- 1) 仙台農地事務局 (1956): 十三湖干拓建設事業概要書
- 2) 吉村信吉 (1942): '湖沼学' では最深部は 7m となっている。
- 3) 比容量(容積/流入・出量)について計算すると約136時間となる。この値は他の湖、例えば十和田湖の10.6年、諏訪湖の0.126年に比して非常に小さく、人造湖の田子倉貯水池の2000時間、秋葉14時間の中間になる。
- 4) 牛島信義他 (1962): 八郎潟底層および十三湖層中の泥炭、かき殻のC¹⁴による絶対年代
岩石鉱物鉱床学会誌 vol. 48, No. 3, pp. 108-111
- 5) 佐藤任弘 (1959): 能代沖の底質 (I)
水路要報 vol. 60, PP. 32-34
" ("): 能代沖の底質 (II)
水路要報 vol. 60, PP. 45-51
" (1961): 浅海堆積物の粒度形について
地質学雑誌 vol. 67, No. 785, pp. 58-65
佐藤良昭他 (1951): 三角州堆積物の1例
- 地質学雑誌 vol. 57 No. 670 pp. 320-321
- Gucluer, Sevket M (1964): Recent Marine Sediments in Saanich Inlet, a stagnant marine basin. Limnology and Oceanography. vol. 9, No. 3, pp. 359-376
- 6) Inman, D. L. (1952): Measures for describing the size distribution of sediments.
J. Sediment. Petrol. vol. 22 pp. 125-145
- 7) 前出5)の佐藤 (1961): は中央粒径と S₀ の関係について調べ海湾では 3φ がもっとも S₀ の値が小であると述べている。
- 8) 西条八東 (1956): 湖沼における物質代謝の化学的研究 (1~4)
日本化学雑誌 vol. 77, No. 6, pp. 917-936
" (1956): " (5~8)
日本化学雑誌 vol. 77, No. 8, pp. 1184-1196
- 9) 木島公司 (1956): 汽水湖の研究 I
地質調査所報告 178 pp. 1-26
小穴進也 (1956): "

津 軽 十 三 湖 の 底 質 (堀内)

- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|-------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-------|-----|--|----------------|-------------------------|-----|-------------|-----|-------------|--------------------|-----------|----------------|-----------|
| <p>地質調査所報告 179 pp. 1-14</p> <p>10) 前出西条 (1956) によれば 湖底堆積物の有機物と生産量は密接な関係をもち、湖盆形態によっても左右される事を指摘している。</p> <p>11) 灼熱減量 湖沼型</p> <table border="0" style="margin-left: 2em;"> <tr><td>榛名湖</td><td>29.6%</td><td>中栄養</td></tr> <tr><td>諏訪湖</td><td>22 "</td><td>富栄養</td></tr> <tr><td>青木湖</td><td>16 "</td><td>貧栄養</td></tr> <tr><td>木崎湖</td><td>18.6%</td><td>中栄養</td></tr> </table> <p>12) 吉村信吉 (1942): 湖沼学中では十三湖は中栄養湖としてある。</p> <p>13) 前出5) 佐藤 (1961) は入海性の堆積物は海岸線より徐々に粒径が小となり、中心部で 3.25φ 以上のものが 100% となる事を認めた。</p> <p>14) 坂本 充 (1962): 湖沼における生産と栄養度 陸水学雑誌 vol. 23, No. 3-4, p.p. 73-85 この報告の中で、次のように指摘している。</p> | 榛名湖 | 29.6% | 中栄養 | 諏訪湖 | 22 " | 富栄養 | 青木湖 | 16 " | 貧栄養 | 木崎湖 | 18.6% | 中栄養 | <table border="0"> <tr> <td style="text-align: right;">Net Production</td> <td style="text-align: right;">(g/m²/day)</td> </tr> <tr> <td>榛名湖</td> <td>1.22 (1958)</td> </tr> <tr> <td>木崎湖</td> <td>0.53 (1961)</td> </tr> <tr> <td>太平洋 (Pelagic area)</td> <td>0.16-0.36</td> </tr> <tr> <td>(Coastal area)</td> <td>0.72-1.19</td> </tr> </table> <p>15) 小貫義男, 三位秀夫 他 (1963): 青森県津軽十三湖地域の沖積層 東北大学地質・古生物学報告 No. 58, p.p. 1-36</p> <p>16) 1963年7月, 干潮時は, -40cm, 満潮時には, +50cm 水位変化があった。</p> <p>17) Hjulström, Filip (1939): Transportaiton of detritus by moving water. Recent marine Sediments. p.p. 5-31</p> <p>18) 佐藤 (1961) 前出</p> <p>19) 井口正男 (1963): 天竜川・川路付近の氾濫堆積物について 地理学評論 vol. 36 No. 11, pp. 669-674</p> | Net Production | (g/m ² /day) | 榛名湖 | 1.22 (1958) | 木崎湖 | 0.53 (1961) | 太平洋 (Pelagic area) | 0.16-0.36 | (Coastal area) | 0.72-1.19 |
| 榛名湖 | 29.6% | 中栄養 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 諏訪湖 | 22 " | 富栄養 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 青木湖 | 16 " | 貧栄養 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 木崎湖 | 18.6% | 中栄養 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Net Production | (g/m ² /day) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 榛名湖 | 1.22 (1958) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 木崎湖 | 0.53 (1961) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 太平洋 (Pelagic area) | 0.16-0.36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (Coastal area) | 0.72-1.19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |