

霞ヶ浦の富栄養化に関する研究 - I

- 堆積に関する考察 -

外岡 健夫・熊丸 敦郎・浜田 篤信・津田 勉

湖沼の富栄養化現象は、湖沼が自然的条件の中で時間の経過に伴ってより多くの栄養物質を含むようになり、そのこと自体が環境を変化せしめ、棲息する生物を質的・量的に変え、更には湖盆の形態まで変化せしめるという極めて広範囲にわたる概念である。

ところが人間活動が活発化するにつれて、人為的な栄養物質の流入増大がおり、また人為的な湖沼形態の変化（河川工事・埋立・干拓等）や水理条件の変化等によって自然浄化能力を低下させたりして富栄養化の速度が増大し、アオコが異常に増殖し、水質汚濁が発生し、それらが逆に人間活動に影響を与えるまでになってきたというのが富栄養化問題の現状であろう。

したがって、富栄養化に関する研究は、自然的条件による富栄養化の究明は当然であるが、人間活動の歴史が富栄養化の速度に如何なる役割を果してきたかを究明することであり、このこと自体が将来の湖沼利用のあり方を示すものと考えられる。そのような意味で過去にけかのぼって富栄養化の状態を示す資料を整理する必要がある。ところが過去においては富栄養化の問題は深刻ではなかったので資料が極めて乏しいのが実情である。

このような中で明治43・44年の茨城県水産試験場¹⁾、昭和8年の宮内²⁾、あるいは昭和23年の桜井³⁾の調査報告は貴重である。しかし、富栄養化を論ずるに必要な項目が網羅されているわけではないから別の方法を考えねばならない。そのような方法として湖底堆積物の研究がある。すなわち、湖底堆積物は時間の関数として存在するから、これを垂直的に採取し、各部位前に分析すれば古い時代までさかのぼって湖沼条件を評価できる。

本研究では堆積物を1mの深さにまで採泥し、各種の分析を進めているが、本報告では霞ヶ浦の立地条件から考えて利根川とのつながりを重視し、堆積物の年代を考え、このことから逆に堆積速度を始めとする湖沼条件の変化を追及することにした。

1 調査方法

1) 採泥と試料の調整

茨城県玉造町井上と出島村志戸崎を結ぶ線上の中心点附近の湖底に内径7.5cmの塩化ビニールパイプを潜水によって持ち込み、底泥中に打ち込んで堆積物を柱状に採取し、切口を布でおおい実験室に運んだ。実験室では垂直に20日保持したのち、鋸で縦に切り泥を2cm間隔に切って試料とした（No1）。また同様に玉造町手賀新田と出島村歩崎を結ぶ線上の中心点附近で3本のcoreを採取し水平に数日間保った後、前と同様に処理し（No2, 3, 4）とした。

これらの操作において、試料とされた堆積物は深い部分では水が少く比較的しまった感じであるが、表面に近い部分では柔らかであったが流れ去る状態ではなく、2 cm 間隔に充分切れる状態であった。

これらの資料は、塩素量と珪藻量の測定ではそのまま試料とし、全層分析では風乾して試料を保存した。

2) 分析方法

i) 銅

銅分析は風乾泥について行ない、小林等⁴⁾の方法にしたがった。すな

わち“るつぼ”に水酸化ナトリウム 5 g を入れて加熱熔融し、試料 1 g を入れ、その上を過酸化ナトリウム 0.5 g で覆い、小炎で 15 分間程加熱熔融した。更に 5 分間程加熱し有機物を除いたあと放冷し再蒸留水を加え加温しながら熔融物を 100 ml のメスフラスコに移し約 50 ml とし、この溶液に濃塩酸 40 ml を加え、再蒸留水で全溶を 100 ml とした。

分析は島津 AA-610 原子吸光分析器を用いて行なった。測定値の精度を吟味する目的で同一資料について 10 回の測定を行なった結果を第 1 表に示したが Cu の分析値について ±5% 程度の誤差を考慮しておく必要があると思われた。

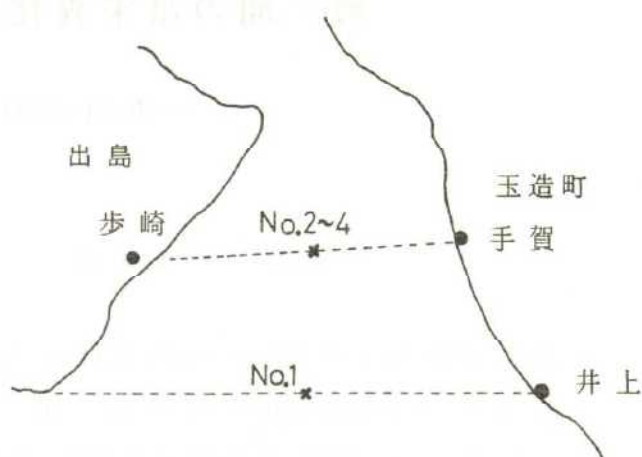
ii) 珪藻量

湿泥約 50 mg をチェルダール・フラスコにとり、硝酸 2 ml を加えて数分間焼いた後、更に過塩素酸を滴下しながら数分間加熱し、放冷後 10 ml を取って顕微鏡下で計数した。

iii) 塩素量

湿泥(塩化ビニールパイプを切った直後の泥で水分含有量 50~70%) 約 10 g を試料に供し、50 ml の蒸留水を加えてよく攪拌したのち、5000 R.P.M で遠心分離し、泥を除去したものについてクロム酸を指示薬として N/100 AgNO₃ 溶液で滴定した。

こゝで求めようとする塩素量は、かって存在していた湖水中のそれを目指すものである。したがって、数日間の放置によってパイプの両端から若干の水分が失なわれ、泥の水分が現場の値と多少異なるものと考えられるが、泥の中に含まれる塩



第 1 図 採泥地点

第 1 表 Cu 分析値の検討

No.	測定値	平均値との差(%)
1	84.8	+0.75
2	86.3	+2.5
3	81.7	-2.9
4	84.8	+0.75
5	88.0	+4.6
6	80.2	-4.7
7	87.6	+4.1
8	79.6	-6.6
9	83.7	-0.56
10	85.0	+0.99
平均値	84.17	

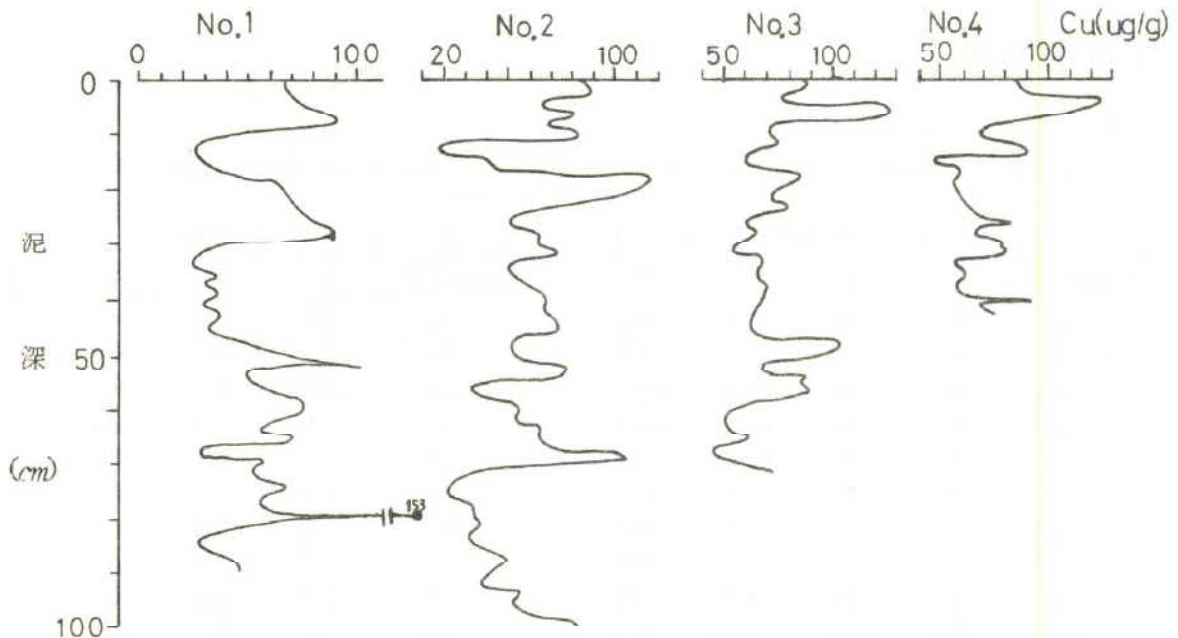
素量で示した。すなわち

$$\text{泥の中に含まれる水の塩素量 (ppm)} = \frac{354.6 \times \text{tit. vol} \times f_{\text{AgNO}_3}}{\text{試料} \times \text{水分含有率}} \times 1,000$$

より求めた。多少の誤差はまぬがれないのは当然である。この誤差は後述するように、試料の水分が50~70%であり採泥直後の水分70~80%に比較して10~20%の差があるから1.14~1.6倍の範囲で値が大きくてくることが予想される。しかし相対的な検討には充分意味をもつものと思われる。

2 採泥方法の検討

はゞ同一地点で採取した4本のcoreについて採取方法を検討した。No.1~4までの測定結果を第1表・第2図に示した。



第2図 底泥中のCu含有量

Cu含有量は乾泥1g当り20~150 μ gであり表層10cmの範囲では50~120 μ gであった。この4試料を比較してみると10~15cm層の値が一時低下している部分は4試料とも一致するが、泥深が20cm以下になると必ずしも測定結果の変動傾向が一致していない。すなわち試料No.1とNo.2を比較すると、No.1の25cmの個所のピークはNo.2ではやゝ浅所にみられるし、No.1で80cm層にみられるピークは70cmの個所にみられる。また同地点で採泥を行なったNo.2, 3, 4についても測定値は必ずしも一致しなかった。

このような変動の原因として考えられるのは、採泥の方法である。すなわち、パイプを底泥中に打ち込む際に、パイプを船上で垂直に保ち、これを湖底に垂直に打ちこむことは容易ではない。ある傾

斜をもって打ち込むことになるから、その差がcore中に押し込められる泥の状態に影響を与えるように思われる。

ちなみに試料No.1とNo.2のピークに関連性を考えて、その差が湖底に打ち込む際の傾斜角によってのみ生じたものと仮定すると試料No.1を垂直とすれば試料No.2は約28°の傾斜角で打込まれたことになる。このような採集上の問題と試料分割が堆積速度を考慮して2cm単位で行なったので、差異がでるのはむしろ当然かも知れない。また、パイプから泥を取り出すまでの保存の状態も無視できないかも知れない。パイプを垂直に保つ場合には乾燥に伴ない収縮がおこることが誇えられるし、水平に保持する場合には表層附近の層序がくずれるおそれがある。これらのことから採取方法・保存方法等が重要と思われる。

ここでは4試料を比較し、塩化ビニール・パイプをハンマーで打ち込み、空气中に垂直に20日間放置後泥を取り出したNo.1の試料について考察することにした。

3 測定結果

1) Cu

第2表・第3図に示したように、表層は65 $\mu\text{g}/\text{g}$ であるが、8cm層から徐々に増大し、10cm

第2表					別 の 銅 含 有 量 ($\mu\text{g}/\text{g}$)				
泥深(cm) \ No.	1	2	3	4	泥深(cm) \ No.	1	2	3	4
0-2	65	86	76	81	52	58	55	93	
4	65	93	89	91	54	105	80	65	
6	66	69	73	122	56	49	77	84	
8	74	86	127	102	58	58	34	84	
10	93	70	124	83	60	73	50	88	
12	76	89	71	65	62	78	58	58	
14	32	21	71	83	64	72	55	49	
16	23	41	58	94	66	58	69	52	
18	30	45	63	49	68	72	69	60	
20	38	119	88	55	70	26	75	44	
22	65	111	72	53	72	62	108	70	
24	65	102	67	55	74	53	44		
26	66	62	80	57	76	56	23		
28	74	55	58	65	78	72	23		
30	93	69	62	81	80	53	39		
32	76	67	58	65	82	153	39		
34	32	77	50	74	84	42	42		
36	23	52	67	74	86	29	32		
38	38	53	64	58	88	37	44		
40	30	56	70	61	90	44	52		
42	39	72	68	52	92	49	41		
44	33	69	68	88	94		39		
46	38	75	65	68	96		61		
48	31	77	60	71	98		58		
50	46	55	109		100		81		

層では $93 \mu\text{g}$ にまで達するが、その後減少し 16 cm 層では $23 \mu\text{g}$ と低下している。

それ以深になると再び増人がみられ 28 cm の個所まで上昇し再び $93 \mu\text{g}$ に達する。それ以深になると再び急激な減少を示し 36 cm 層では $23 \mu\text{g}$ となっている。 $32 \sim 48 \text{ cm}$ 層の間では小刻みな変動を示すだけであるが、

50 cm 層から急激な

増加を示し、 54 cm 層で $105 \mu\text{g}$ に達している。 50 cm 以深の変動は大規則で変動の幅も大きい。 $62, 68, 72, 78, 82 \text{ cm}$ 層でもピークがみられるが、特に 82 cm 層では $153 \mu\text{g}$ という高い値が認められる。また逆に 70 および 86 cm 層では低い値が記録されている。

2) 塩素量

第3表に泥の中の水の塩素量を示した。また第3図に Cu と対比できるように図示した。

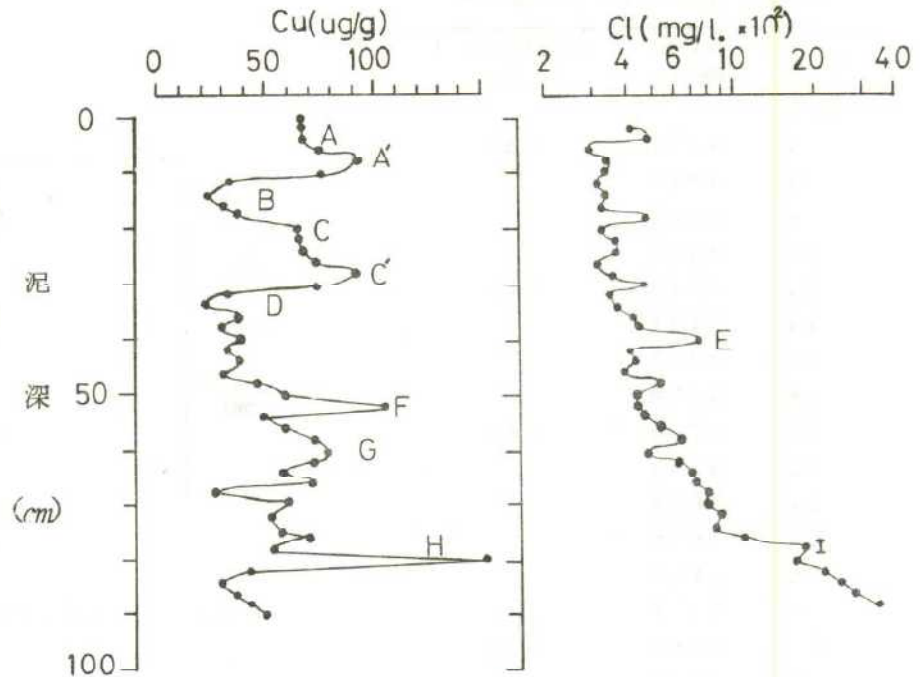
すなわち、泥深 90 cm 附近では 4000 ppm に近いが、浅い層になるにしたがって徐々に低下して $300 \sim 400 \text{ ppm}$ となっている。この変化動向のなかで特徴的なことは、泥深 50 cm 附近までは多少の変動は見られるが、この層附近から急激に低下し約 400 ppm となることである。また細に調べると 50 cm 層以深では $80, 62, 50 \text{ cm}$ の3ヶ所にピークがあり、 50 cm 層以浅では $300 \sim 500 \text{ ppm}$ の間を変動しているが、 42 cm 層のピークが著しい。すなわち 400 ppm から一挙に約2倍にはねあがり、 40 cm 層では再びもとの 400 ppm 近くに戻っている。またこのほかに $30, 18, 10, 6 \text{ cm}$ 層附近に比較的大きな変動が認められている。

3) 硅藻量

古い時代における生物活動の目安を得るために硅藻量を調べたのであるが、乾泥 1 mg 中の細胞数を第4図並びに付表で示した。

18 種類の硅藻が見られたが、*Melosira* がもっとも多く、*Coscinodiscus*, *Fragilaria*, *Synedra* がこれに続いて多かった。

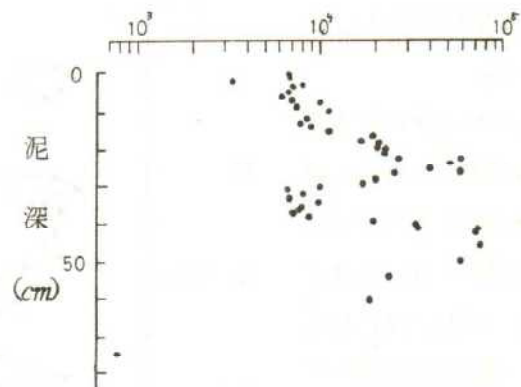
第4図に乾泥 1 mg 当りの細胞数と泥深の関係を図示した。



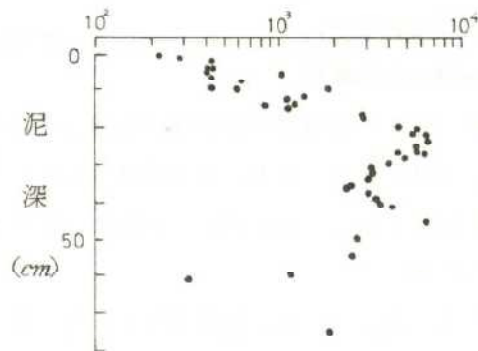
第3図 堆積物中の銅含有量と水分中の増量

第3表 底泥の中の水の塩素量

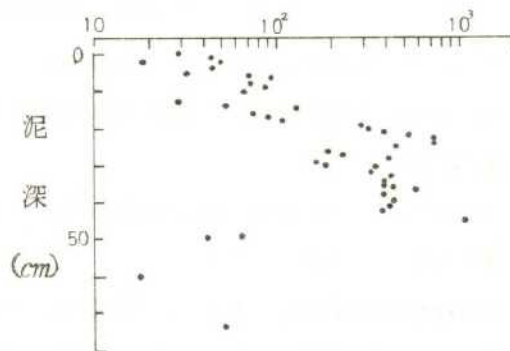
泥 深	塩素量 (mg/l)	測定時の水分 (%)
0-2		
4	421.7	68.5
6	484.5	
8	292.2	
10	340.8	
12	334.7	68.5
14	313.6	
16	336.7	
18	325.9	
20	470.0	68.5
22	323.2	
24	368.8	
26	365.6	
28	315.3	
30	357.8	
32	476.9	72.4
34	352.1	
36	367.6	
38	417.4	
40	444.7	
42	736.2	65.3
44	409.6	
46	420.0	
48	378.9	
50	533.7	
52	438.1	58.8
54	430.5	
56	446.2	
58	535.8	
60	638.1	
62	469.2	60.2
64	606.4	
66	699.1	
68	710.7	
70	800.1	
72	779.3	57.9
74	895.3	
76	857.2	
78	1,089.2	
80	1,835.8	
82	1,684.8	48.2
84	2,154.9	
86	2,484.6	
88	2,715.1	
90	3,366.8	



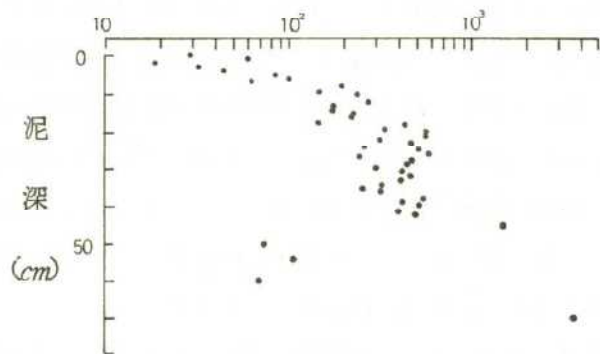
第4図 (a) 矽藻の個体数 (Melosira)



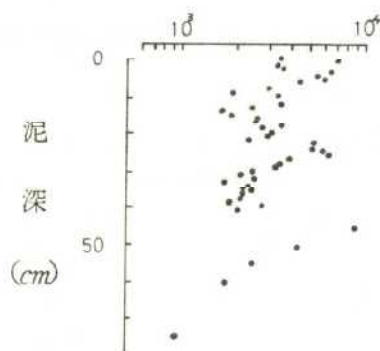
第4図 (b) 矽藻の個体数 (Synedra)



第4図 (c) 矽藻の個体数 (Navicula)



第4図 (d) 矽藻の個体数 (*Cocconeis*)



第4図 (e) 矽藻の個体数
(*Coscinodiscus*)

Melosira についてみると10-30 cm層と40-50 cm層に多くの出現があり、50 cm層以深で急激な減少を示している。また、*Fragilaria* や*Gomphonema*、*Cyclotella*等の多くのものが*Melosira*と同じような傾向を示している。

Coscinodiscus の場合にも20-30 cm、40-50 cm層に多く出現するのは*Melosira*と同じであるが、*Coscinodiscus* の場合には、0-10 cmの表層に近い部分にもう一つのピークが見られている。また*Cocconeis*のように50 cm層から表層に向かって減少してゆく傾向を示すものもあった。

考 察

以上のように、柱状に採取された泥の中の成分は複雑な変動を示すが、変動をもたらした原因が明らかにされれば、その層の年代が推定され、更には堆積速度が求められる。一般的にこの変動要因として考えられるものは、特異的な大洪水や河川工事等であろう。利根川水系は15世紀末より、すでに河川工事が行なわれており、^{5) 6) 7)} それら人間の自然への働きかけが霞ヶ浦の水質に影響を及ぼし、堆積物の中に記録として残されていくものと考えられる。特に江戸時代末期には利根川の流路変更によって、利根川下流域が次第に埋められ、洲が形成されたようである。これらの洲は耕地として開拓されたり、また葦やその他の水生植物の繁茂しやすい条件をつくりだすなどして排水を困難なものとしたらしく洪水を防止するための蒲・葦の刈取り、漁網の設置を禁止したり、更には浚渫が行なわれている。これらは、何れも計画性を欠いた試行錯誤的なものであった。

これに対し、明治以後に行なわれた河川工事は、オランダからの技術の導入に始まるもので比較的大規模で計画的に実施され現在に及んでいる。⁷⁾

このような利根川水系の河川工事は、湖水の水質と、更には堆積物中のある成分と密接な関係にあるものと考えられる。このような意味と利根川の流況、河川工事史と堆積物との関係を検討することは意義あることと思われる。以下このような観点から考察を加えてみる。

霞ヶ浦は、常陸川水門がつくられる以前においては利根川と密接に関係し、利根川自体は下流域において海水の影響を受けている。

本報告では海水の影響を知る目的で泥の中の塩素量を取りあげた。また利根川の影響を推測する意味でCuを取りあげた。

第4表は利根川と霞ヶ浦へ流入している河川における河床泥のCu含有量である。利根川のCu含有量は霞ヶ浦へ直接流入する河川に比較すると明らかに高いことがわかる。霞ヶ浦に流入する河川は、何れも極めて平坦な土地を流れてくるのに対し、利根川は足尾、秩父あるいは赤城等の山地を流域としていることによるものと考えられる。したがって堆積物中のCu含有率が高い場合には利根川の影響が大きい時代と考えることができよう。

第3図において比較的大きな変動をとり出し表層からA～Iまでの記号を記入した。この図における表層に近い部分での大きな変動はAとBである。

霞ヶ浦の水質観測記録によれば、特徴的なことは、湖内の塩素量が昭和30—31年に20～60ppmから一挙に250ppmに上昇する時期が見出されることである。この時期は利根下流域の改修工事が進んで下流から塩分の高い利根川の水が湖内に入り易くなったと見られる。

したがって、Cu、Clの増加傾向が進むものと考えられる。この条件を満足させるものはB点からA点への増加傾向であろう。一方湖内の水の塩素量は昭和30年以降、増減を繰り返しながら

第4表 利根川および霞ヶ浦周辺の河川の堆積物中のCu含有量

河 川 名	Cu mg/g
桜 川	0.26
小 野 川	0.39
恋 瀬 川	0.39
利根川(砂泥)	0.88
利根川(泥)	1.27

*利根川 取手附近

昭和38年には300ppmにまで達している。これらの時期は、戦後の24年・25年の利根川の大出水を契機とする下流域の改修工事が進んで逆流量の増大が寄与していると見られる。昭和38年には塩素防止・逆流防止の観点から常陸川水門が建設され、以後利根川からの逆流による洪水は防止されCuは減少傾向を示すようになってきたと考えられる。

したがってA'点を昭和38年と考えてもよさそうである。

小池・岡野等(昭和49年)は霞ヶ浦湖底土中のSr-90, Cs-137を層別に測定し、Sr-90, Cs-137濃度が最も高い5.0-7.5cm層とSr-90, Cs-137降下量の最も高い昭和37-40年とを対応させている¹³⁾。

つぎにD, C', C, Bに至るピークであるが、霞ヶ浦の洪水の歴史を調べてみると、昭和13年、16年、戦後では22・23・24・25年と毎年の利根川の大出水は霞ヶ浦沿岸民に重大な脅威を与えている。そして湖水のCl濃度から判断して、その変曲点である昭和30年をB点と見做すことができそうである。

一方D点からC'点へのCu濃度の急上昇はB点からA'点への場合と同じ傾向を示し、20μg/gから90μg/gに達している。塩素量の上昇はB点からA'点への増大よりもやゝ大きい。したがってB点と同じように下流域の改修工事が大幅に進んだことによるものと考えられる。

このようなものとして考えられるのは明治29年河川法が、引続いて明治30年には砂防法が相ついで制定され、河川事業は従来の低水工事を次第に離れ、もっぱら洪水防禦を主体とする治水事業時代へ転換していったのであるが、利根川においても明治33年には利根川高水工事の佐原以下の工事がはじまり、明治42年に完了している。こゝではD点を明治42年と考えることにする。

C'点からC点, B点へのCuの減少傾向は、上述の考え方にしたがえば、利根川の流入が減少しつつあることになる。一方20cm層であるC点では塩素量が増大している。このような原因として考えられるのは、利根川と霞ヶ浦の合流点の変動である。

大正14年の地図⁸⁾によれば、利根川は外浪逆浦の下流の神栖村賀村附近で霞ヶ浦とつながっているが、昭和10年の地図⁹⁾では、常陸川河口で霞ヶ浦とつながっている。この間は昭和6年に31年間続いた高水工事が完了している。これらのことが利根川の影響を少なくさせたものと考えられる。C'点を昭和6年と推定した。

次に塩素量の図で見られるE点であるが、これはCuの図で見られるA-Cの間の変動とは異っている。Cuが殆んど増大していないのに拘らず塩素量は著しい増加を示している。

このことは、利根川とは無関係に、海水の著しい遡上があったことを暗示している。このような現象の原因として考えられるのは、明治2年~5年の間に行なわれた鹿島町居切の堀割川の開削である。開削後まもなく暴風雨になって吐出口が塞がれたという記述⁷⁾も塩素量の増大の幅が狭いこととよく一致するように見える。E点を明治5年とした。

以上で明治以後の環境変動と底泥中の成分を対比させながら論を進めて40cm層のE点まで達した。こゝでE点以浅と以深のCuの変動を比較してみると興味深い点に気がつく。

すなわち、E点以浅では大きな変動がみられるが、変動は連続的である曲線で示される。

これに対し、E点以深ではその変動が不規則で断続的であり明瞭な差が認められる。前述したよう

に明治以前の河川工事は試行錯誤の中で行なわれたものであるが、明治以後の工事は計画的であった。このような差が底泥中に記録されたものと見ることはあるまいか。

明治以前の環境変動あるいは河川工事については利根川治水史より下流域のものを拾ってみると1748～1751年の年2回の藻刈、漁具使用禁止および浚渫、1813年頃の耕地開拓や1832年の浚渫があげられる。また利根川全体の問題としては天明年間の浅間山の降灰があげられよう。これらの変化が恐らくF～Iに至る変動に相当するのであろうが、泥の中の成分の変動も小刻みで不規則であり、環境変動との対比も容易ではない。したがって年代決定も不正確なものとならざるを得ないが、若干の考察を加えてみる。

塩素量の変動が最も大きいのは80cm層のI点である。すなわち、80cm層の1,836ppmから76cm層の857ppmへの低下は著しい。

一方Cuについてみると82cmから80cm層への著しい低下と86cm層から82cm層への急増が目立っている。すなわち、この附近で海水の流入が減少し、利根川の流入量が増大したことを示している。

このような海水の流入を抑えるようなものを先にあげた江戸末期の工事史から拾ってみると下流域の耕地開拓があげられよう。文化10年(1813年)以後、息栖・高浜・石神・阿玉川の4ヶ村地先が開拓されている。

またG点では塩素量が480ppmから520ppmに増大し、その後徐々に減少している。Cu含有量もほぼ同様の傾向を示し、62cm層で78 μ gに達するが、再び減少してゆく。このような変動は下流域の浚渫によることが考えられるが、1832年の浚渫に相当するのではあるまいか。

以上のように底泥中のCuと塩素量の変動を中心として利根川の河川工事と対応させながら検討を進め、各層の年代決定を試みた。河川工事史については、主に利根川治水史を参考としたが、これ以外にもCuや塩素量を変化させる要因があるかもしれないし、工事史との対応のさせ方に誤りが使ったかも知れない。特に明治以前のものについては不正確であろうが、今後更に有力な資料を手に入れることによって確定していかなければならないが、ここでは第5表に、ここで推定した結果をまとめ堆積速度として示した。

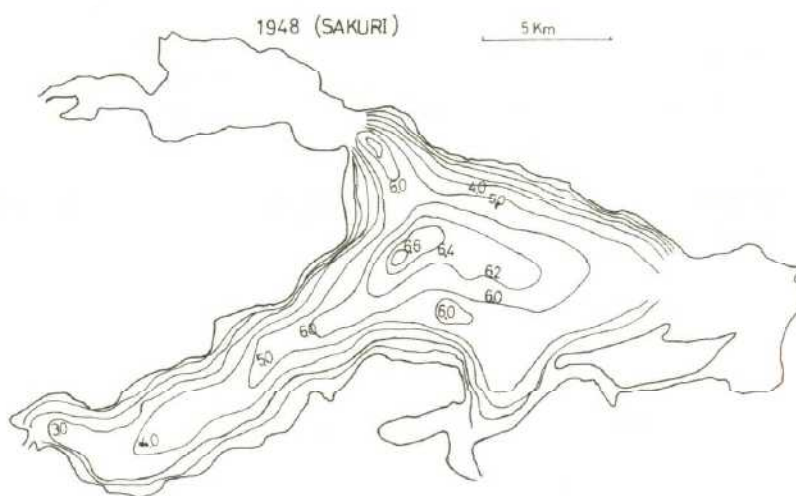
第5表によれば堆積速度は2～11mm/yearであり、表層近くで10mmの値を示すが、それ以前の1955～69年の3～5mmに比較するとやや大きいように思われる。また最近の昭和30年から現在までを平均すると6mm/yearとなる。また30～60cm層では2～3mmで最少であり、1909～1955年の間の平均値は5mmである。また1813～1909年の平均値は4mmとなった。勿論、年代決定が必ずしも正確とは言えず今後検討しなければならないところである。

第5表 堆積速度の推定

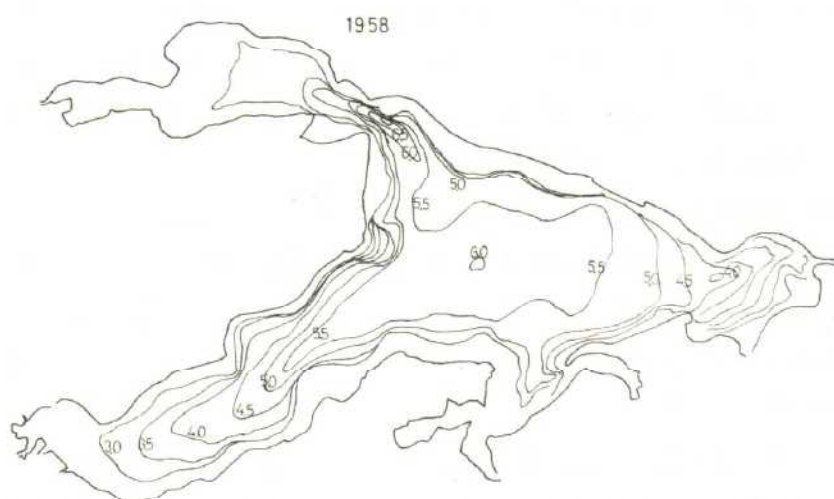
泥 深	記 号	年 代	推定堆積速度 (mm/year)
0		1975	10
6	A	1969	
8	A'	1963	3
12	B	1955	5
28	C'	1930	6
34	D	1909	3
40	E	1872	2
60	G	1832	5
80	I	1813	11

普通湖は中心部が深く、この部分から埋められてゆく。したがって前述した堆積速度といっても中心部と湖岸よりの部分では差があるものと思われる。そこで、この点を知るために等深図を比較検討してみた。

等深図としては、昭和23年の桜井³⁾によるもの、昭和33年の茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所によって行なわれたものと最近の水深図である。桜井および水産事務所の測深を第5図に示した。

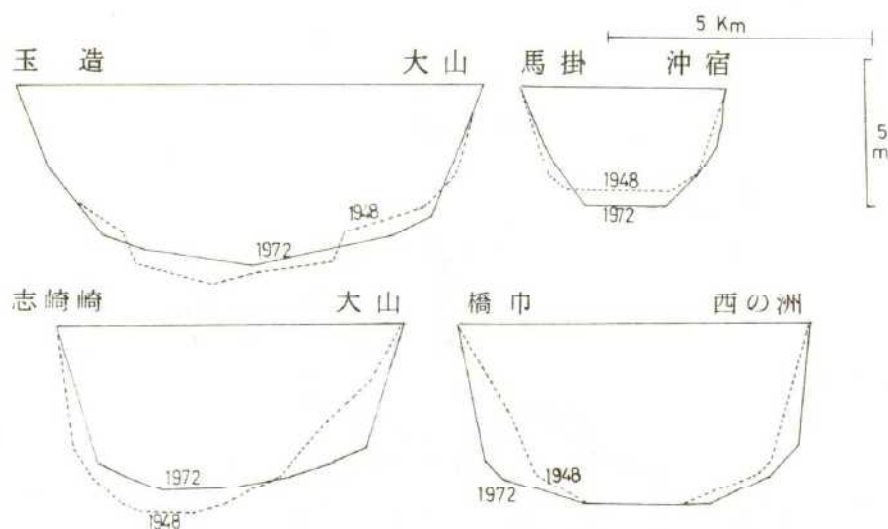


第5図 (a) 霞ヶ浦の水深図



第5図 (b) 霞ヶ浦の水深図

昭和23年の水深図では出島村志戸崎沖に最深部があって行方郡側の湖岸に向って遠浅となっている。これに対し最近では最深部が湖心附近に移動し、全体に急激に深くなるようである。昭和33年の年の水深図は最近のものに近いが、出島村志戸崎と玉造町手賀を結ぶ線上に玉造側から州が張り出している。このような変化を更に詳しく知るために麻生町橋門—稲敷郡西の州、出島村志戸崎—美浦村大山、土浦市沖宿—阿見町島津、玉造町手賀—美浦村大山の断面を第6図に示した。



第6図 湖盆の変化

これによれば、中心部では昭和23年が最も深く、昭和33年と最近の調査では60cmほど水深が浅くなっている。しかし湖岸よりに寄ったところでは逆に数10cm程深くなっている。志戸崎—大山の断面についてみると最深部では23年の方が70cm深いのが、大山側のなだらかな部分が削りとられて深くなっているようである。また、橋門—西の洲については最深部の水深は殆んど変わらないが、橋門側の傾斜している部分が削りとられて深くなり、左右両岸が対称になる傾向がみられるようである。一方土浦入の沖宿—馬掛では逆に50cm程深くなっている。

霞ヶ浦のように水位変動のある湖沼での水深測定は極めて難しいのが常であるが、その絶対値は必ずしも正確とはいえないが、これらの結果は、湖全体が同一速度で埋っていくのではなく、ある部分では逆に深くなる場合すらあることを示している。

このような変化をもたらす原因として考えられるのは流況の変化である。この流況の変化は、気象条件や湖沼環境の変化によってもたらされる。下流域の河川工事等についてはすでに述べたように、塩素量の増加等から考えて逆流量、あるいは湖から出入りする水量を変化せしめたものと考えられる。その結果湖内の流況や滞筋・湖盆形態が変化したものであろう。したがって、湖心部に堆積する物質の一部には湖岸よりの部分や湖奥部で削りとられ深くなっている部分のものも含まれることになる。湖

心部の堆積が最近5~6mmと大きくなっているのは、流入物質が多くなっていることと合わせて、湖内の物質移動によって中心部のより深い部分に堆積してゆくことも考えなければならない。

以上我々が採泥し得た深泥90cm層までの経過について考察を行ってきたが、湖底には40m近い沖積層があって、その試料が、昭和40年、第二港湾建設局と港湾技術研究所によって採取され、分析が行なわれ、その結果は「霞ヶ浦湖底土質調査報告書」にまとめられている¹⁰⁾。このうち玉造町手賀沖(JIA9)の泥の塩素量と水分含有率から泥の中の水分の塩素量を算出し図示したのが第7図である。

泥深8m以深では2.0%以上であるが、30mまでの間に3回の上下が認められる。また30~35mの間で大きな低下を示し、基底部で最大値を示している。

また6m以浅では急激な淡水化がみられる。これらの塩素量の変動が何によるものであるかがわかれば年代決定の有力な手懸りとなる。

6m層のa点は急激な淡水化の始まる点であるから利根川の瀬替の最終段階に相当すると考えられる。

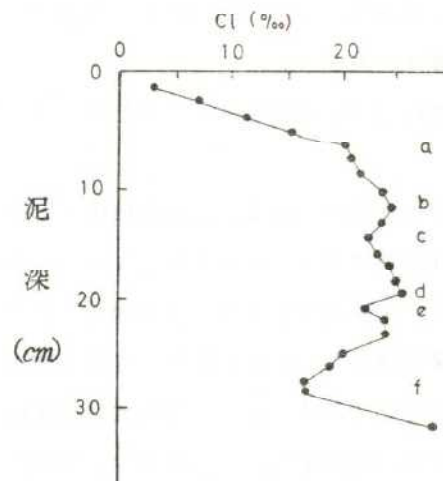
1654年の赤堀川の開削が考えられる⁶⁾⁷⁾。さきに検討したように、泥層90cmの層が1813年と考

えられるから、この160年間に約5mもの堆積があったことになる。これは90cm以浅の堆積速度に比較すると非常に大きい数字である。もし本報告の推論が正しければ、赤堀川開削直後や新利根川への一時的な流路変更(1666~1669)に伴う急速な堆積が関係しているのではないかと思われる。

その後の変動については塩素量以外に判定の基準となるような資料がなく容易に決めることはできないが、池田等¹¹⁾の報告は1つの手懸りとなる。

すなわち、古鬼怒川系の砂礫層、土浦礫層は、霞ヶ浦湖底の沖積層中に海面下2.3mまで追跡され、霞ヶ浦の沖積層は土浦礫層によって上部・下部に二分される。そして土浦礫層上面高度の下流方向への延長は、現在の海底の-40m附近にあたるという。

この延長線は霞ヶ浦湖心附近では30~35mに相当するから、この層の年代については、一つの基準が与えられることになる。第7図においてb~f点の変動をもたらす要因として考えられるものは流入河川の水量と海からの流入である。特に後者については海面変動が大きな要因となっていると思われる。



第7図 堆積物中の水に含まれる塩素量
(港湾技研・第二港湾建設局：
霞ヶ浦湖底土質調査報告書より作図)

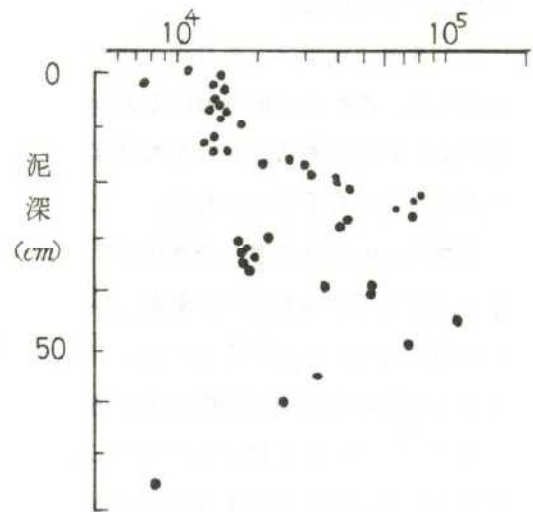
勿論海面変動だけによって海泥水中の塩素量が決定されるとは思われないが、現在入手できる唯一の資料であるところから、この点の検討を行なってみた。

井関¹²⁾によれば、日本における海面変動は、最終氷河期の約 -80 m 、 $6,000\text{ B.P}$ の $-10\sim-15\text{ m}$ 、 $5,500\sim4,500\text{ B.P}$ の $+3\sim5\text{ m}$ 、 $3,000\text{ B.P}$ の $2\sim3\text{ m}$ 、 $2,000\text{ B.P}$ の $\pm 0\text{ m}$ とされている。

このこととさきの池田の報告とを考慮するとf点(30 m 附近)は $10,000\text{ 年 B.P}$ の海退期に相当する可能性がある。またb~eについては一応 $2,000, 3,000, 5,000, 6,000\text{ 年 B.P}$ に相当する可能性があるのではないかと考えられる。勿論十分な資料にもとずいた推論とは云えないので、今後に残された課題といえよう。

以上堆積経過について考察を進めてきたが、その間における生物活動について若干触れることにする。

第8図は乾泥 1 mg 当りの硅藻の総細胞数を示したものである。硅藻殻は $20\sim30\text{ cm}$ 層と $40\sim50\text{ cm}$ 層に多く、 $0\sim10\text{ cm}$ 層と $30\sim40\text{ cm}$ 層、並びに 60 cm 層以深では少ない。この変動をさきに推定した年代と対比させてみると、江戸時代末期に比較的多かったものが、明治年代に入って減少していることになる。しかし明治42年の下流域の浚渫の完了と同時に増加し始める。そして昭和5年と推定されている 28 cm 層のやゝ上層まで増加するが、 20 cm の個所から再び減少してくる。この点はCuが急激に減少する点であり、利根川の水の湖内への流入が減少した時代と考えられる。この硅藻の減少は、 $12\sim14\text{ cm}$ 層で最小となり再び若干の増加傾向を示したのち(12 cm 層)それ以浅では減少し 3 cm 層



第8図 泥深と堆積物中の硅藻量の関係
細胞数/mg

では $7,500$ の最小値を示した。 12 cm 以浅の層はCuの含有量からみると硅藻の多かった $20\sim30\text{ cm}$ 層に近いが、硅藻量は全く反対の傾向を示している。生物活動を単に硅藻量だけからみることはできないので、あるいは最近の藍藻類の増加と関係があるのかも知れない。

以上のように硅藻の変動もある一定の増加傾向だけで見るとは出来ず、環境の変動と密接に関係している。霞ヶ浦は利根川とつながっており、頻繁に行なわれた河川工事も湖内の硅藻の増殖にも影響を及ぼしたものと考えられる。

こゝでは生物活動の指標を硅藻だけに求めたが、更に藍藻類の増殖や漁業生産の動向にまで論を進める必要がある。これまでの調査研究では、比較的短い期間についての検討が多く、そこから資源管理技術について議論するという水産学的手法は、生態系が安定している場合には有効ではあるが、最近のように変動が激しい場合には、ここで取り上げてきたような流れの中での検討も必要と思われる。

文 献

1. 茨城県水産試験場：霞ヶ浦北浦漁業基本調査報告書（1911）
2. 宮内武雄：陸水誌5（1），26～32（1935）
3. 桜井徳雄：東京管区気象研究会誌7，97～129（1950）
4. 小林純外：陸水誌36（1），6～15（1975）
5. 藤田至則：科学と思想8，57～71（1973）
6. 小出博：利根川と淀川，中央公論社（1975）
7. 栗原良輔：利根川治水史，峯書房（1973）
8. 茨城県：茨城県史市町村編 I（1972）
9. 茨城県：茨城県水害誌
10. 港湾技術研究所・第二港湾建設局：霞ヶ浦湖底土質調査報告書（1966）
11. 池田宏外：日本地理学会予稿集No.10，（1976）
12. 井関弘太郎：第4紀研究 1（1），39～44（1958）
13. 小池亮治外：放射能調査中間報告，放調資料49（1），茨城県公害技術センター（1974）

付 表

Plankton	泥 深 (cm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Melosira	6,793	6,744	3,462	8,479	7,053	6,752	6,261	7,414	10,631	7,509
Cyclotella	43	44	71	81	59	51	86	63	35	84
Stephanodiscus	145	15	53	}3,518	177	}5,612	}5,818	}4,357	}2,959	}1,895
Coscinodiscus	3,491	7,054	3,303		6,570					
Synedra	203	266	426	292	324	289	986	408	567	396
Fragilaria	101	44	18	308	442	238	143	172	283	96
Epithemia	29	30	36	113	118	221	157	94	283	132
Cymbella	14	133	53	49	88	85	57	47	177	48
Cocconeis	29	59	18	32	44	85	100	62	195	144
Suriella	14	-	-	-	29	-	29	16	-	-
Naviculla	29	44	18	49	44	34	71	94	71	84
Gomphonema	14	30	36	32	44	51	57	16	35	-
Gylosigma	-	15	18	16	-	17	29	-	-	-
Nitzschia	-	44	36	32	29	34	57	62	53	83
Pimularia	-	-	-	-	-	-	-	31	18	-
							Rhopalodia	-	-	-
							14			
合 計	10,905	14,522	7,548	13,001	15,050	13,469	13,865	12,836	15,307	10,471

Plankton	泥 深 (cm)									
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Melosira	23,332	40,350	57,685	26,363	20,410	17,596	10,432	6,786	8,267	6,739
Cyclotella	201	297	156	99	149	107	42	0	31	54
Stephanodiscus										
Coscinodiscus	3,103	5,849	6,378	3,860	3,418	3,215	2,468	2,128	2,478	1,728
Synedra	4,151	5,374	4,045	5,076	5,961	4,656	3,870	3,019	3,079	2,947
Fragilaria	4,594	8,046	9,739	9,609	10,221	6,630	4,206	2,286	2,813	3,443
Epithemia	604	416	436	805	760	1,041	449	561	724	536
Cymbella	524	386	373	378	248	427	266	359	216	255
Cocconeis	564	505	591	246	479	427	294	417	462	415
Suriella	81	30	62	33	99	53	42	-	31	13
Naviculla	322	445	187	230	413	160	182	345	323	429
Gomphonema	242	148	187	148	182	120	280	86	277	107
Gylosigma	40	30	-	33	50	53	-	43	46	27
Nitzschia	40	59	31	33	33	27	56	28	31	54
Pimularia	-	-	-	99	50	53	28	14	46	40
							Eunotia	Eunotia	Eunotia	-
							27	14	15	
合 計	37,798	61,935	79,870	44,285	42,473	34,592	22,615	16,086	18,839	16,787

11	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
11,637	8,629	7,850	8,781	11,215	19,975	16,165	21,588	21,396	23,332	22,690	27,283	60,750
159	63	73	87	73	107	89	135	167	201	187	66	171
}3,374	}3,458	}2,343	}1,693									
				1,854	2,682	2,496	3,512	2,693	3,103	2,965	2,367	5,247
1,780	555	1,303	1,082	789	1,109	1,045	2,864	2,805	4,151	5,212	4,777	6,101
917	144	117	646	385	1,270	1,009	2,162	3,102	4,594	6,398	7,429	11,561
306	143	146	227	367	376	230	432	520	604	375	614	683
266	95	73	52	110	107	177	108	260	524	312	373	896
239	270	176	175	239	232	142	432	334	564	562	307	469
-	-	15	52	-	-	-	-	74	81	94	-	43
66	-	29	52	128	72	89	108	297	322	375	526	725
80	79	73	35	55	18	35	108	204	242	156	131	256
13	-	15	-	73	18	35	-	37	40	-	44	-
120	32	59	87	73	72	53	108		40	156	66	85
13	32	15	17	73	89	53	-	56	-	-	88	213
-	-	Frustulia Enotia		-	-	-	-					
		15	17									
18,970	13,550	12,302	13,003	15,124	26,062	21,618	31,557	31,945	37,798	39,482	44,071	83,200
35	36	37	38	39	40	41	42	45	50	55	60	75
9,964	8,149	7,931	7,139	8,742	20,460	34,180	35,419	76,109	60,636	23,817	19,223	768
26	13	94	34	85	67	32	50	326	131	75	35	15
												9
2,348	2,210	2,445	2,266	2,154	1,778	2,788	2,068	8,716	4,366	2,397	1,725	918
2,737	2,411	2,288	2,829	2,964	3,183	3,390	3,902	6,152	2,626	2,434	1,039	1,761
2,335	2,310	3,793	3,289	4,072	7,376	12,259	7,052	10,766	3,546	2,136	1,391	211
649	703	596	545	320	790	602	900	1,585	755	1,011	352	105
285	301	219	187	277	220	380	467	513	295	225	229	90
324	251	361	545	320	505	380	484	1,491	755	1,086	687	3,597
13	25	78	68	43	67	63	33	140	66	112	18	45
389	389	439	579	384	439	412	384	1,025	656	412	176	527
143	226	172	256	149	417	253	133	233	164	75	88	30
39	13	47	-	64	22	-	17	-	33	-	18	75
78	50	47	34	-	132	32	50	280	164	112	141	256
52	13	16	17	64	44	158	83	93	131	137	53	60
-	Enotia											Enotia
	13											30
19,525	17,077	18,526	17,788	19,638	35,500	54,929	51,048	107,429	74,324	34,029	25,175	