

諫早湾調整池の淡水化と柱状堆積物の脂質組成 (予報)

近藤 寛・廣瀬直子・樋口一成

長崎大学教育学部地学教室

(2002年3月15日受理)

Preliminary Study on the Lipid Compounds in the Core Sediments from the Regulating Pond of Isahaya bay changing from Sea water to Fresh water

Hiroshi KONDO, Naoko HIROSE and Kazunari HIGUCHI

Department of Geology, Faculty of Education, Nagasaki University

Bunkyo-machi, Nagasaki, 852-8521 Japan

(Received Mar.15)

Abstract

Lipid compounds of core sediments from the regulating pond that was changed from seawater to fresh water for the reclamation of the Isahaya Bay were examined. The thickness of a clayed sediments in the regulating pond was more than 30cm from April,1997 to October,1999. The core sediments that was dredged on July,1999 were clay. The upper part,0-22cm of the core was a sediment of the pond and the lower part of the core was marine sediment.

Core sediments contain n-alkanes $>C_{27}$ and n-alcohols $>C_{22}$ which indicative of an origin from higher plants. The sediments of the pond contain small amounts of C_{17} -alkane and C_{16} -alcohol that are typical of autochthonous production.

Sterols of 16 kinds were detected. In the upper part of the core, the amount of C_{26} -sterols, 22-dehydrocholesterol and cholesterol decreases with increasing stigmasterol and β -sitosterol concentration. In the triangular diagram of C_{27} , C_{28} and C_{29} sterols in the core sediments, the upper of the core were plotted in estuarine of bay and the lower part were plotted in open marine.

The large amounts of n-alcohols, phytol, sterols, fatty acids and coprostanol found in the upper part of the core may be interpreted as indicating the eutrophication and the pollution in the sediments.

1. はじめに

第1表 諫早湾調整池の底質調査(1999年10月まで)

有明海北西部の支湾である諫早湾において、諫早湾干拓事業は1986年10月に開始された。1997年4月14日に、湾奥部の3550haが長さ約7kmの潮受け堤防により閉め切られた。堤防内は水位が-1mに保たれ、広大な干陸地と1710haの調整池が出現した。筆者らは、諫早湾の閉	1997.3.23	第1次調査	調整池内12点
	4.14		潮受け堤防の閉め切り
	5.24	第2次調査	調整池内16点
	6.2~5		有明海全域調査92点(第1回)
	8.28	第3次調査	調整池内20点
	1998.4.9	第4次調査	調整池内20点
	8.20	第5次調査	調整池内20点 調整池外採水・採泥
	11.5~6		諫早湾・諫早湾口部沖生物調査、採水・採泥38点(第2回)
	1993.3.31		潮受け堤防完成
	6.10		調整池外採水・採泥
	7.30	第6次調査	調整池内20点、2点コア採取
	8.5		調整池内魚類調査
	10.20	第7次調査	調整池内19点コア採取

め切りによる底生生物、水質、底質の変化を調べるために、生物学教室および水産学部海洋生産システム学教室と共同調査を行ってきた(第1表)。これらの調査では、調整池の表層水の塩分は、1997年5月24日には4~11‰、8月28日には0.5~5‰へと低下し、1999年7月30日には0.07~1.34‰となり、調整池は淡水化が進んでいる。

調整池の水質は、COD(化学的酸素要求量)が長崎県の環境保全目標値(1リットル中5mg以下)を上回り、2倍以上になるなど悪化しているが、この原因は生活排水の流入(長崎新聞社報道部、2000)や干潟の浄化機能が失われたため(佐藤ほか、2001)と考えられる。

調整池では、水位が-1mに低下したために河川からの泥と干陸化した干潟の粘土が雨水により流入するなど、淡水化した調整池の環境で新しい底質が形成されている。

このような調整池の水質と底質の変化は生物相の変化をもたらす、堆積物に含まれる有機物の組成が変化すると考えられる。本研究では調整池から柱状堆積物を採取し、脂質組成の分析をおこなったので、その概要を報告する。

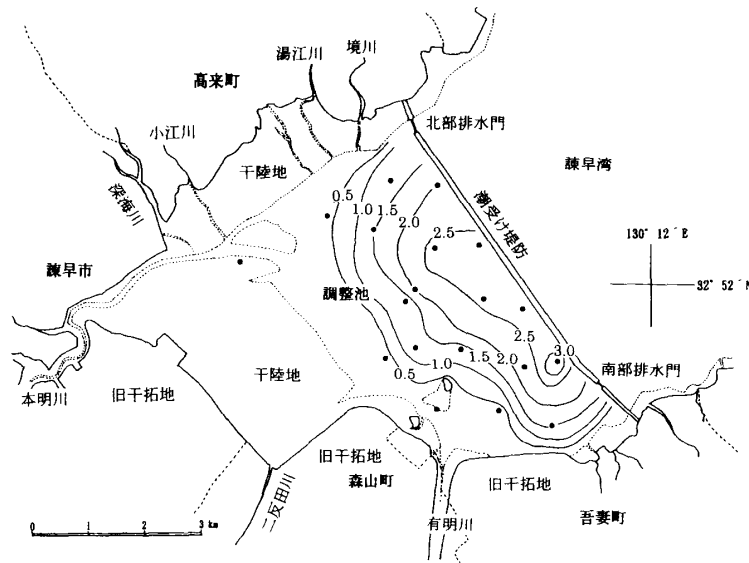
2. 調整池の概要と塩分の変化

諫早湾は北西に多良岳山麓、南東に雲仙岳山麓と接している。湾奥部は、南西に干拓による低地が広がり、また多良岳を源とする本明川が流入する。この湾奥部は、粘土質の泥質堆積物からなる広大な干潟が発達している(鎌田ほか、1978)が、この湾奥部の干潟を干拓する諫早湾干拓事業は、1986年10

第2表 調整池の水の塩分量(‰)

調査日	調査次	表層(~0.59m)		下層(1.5m~)	
		平均(数)	最小-最大	平均(数)	最小-最大
1997.3.23	第1次	—	—	—	—
	5.25 第2次	10.00(16)	4.3 - 11.61	14.21(5)	11.03 - 22.8
	8.29 第3次	3.87(20)	0.5 - 5.3	10.60(9)	5.5 - 20.18
1998.4.10	第4次	1.32(20)	0.41 - 1.57	1.49(9)	1.21 - 1.58
	8.21 第5次	0.93(20)	0.09 - 1.16	1.09(9)	0.88 - 1.34
1999.7.30	第6次	0.35(20)	0.05 - 1.34	0.41(8)	0.17 - 0.67
	10.20 第7次	0.65(19)	0.14 - 0.91	0.77(9)	0.55 - 0.99

月に着手された。1992年10月に潮受け堤防と排水門の工事が始まり、1997年4月14日に諫早湾の約1/3の3550haが潮受け堤防により閉め切られた。潮受け堤防の内側は、かつての広大な干潟が干陸地となった。また広さ1710haの調整池が設けられ、そ



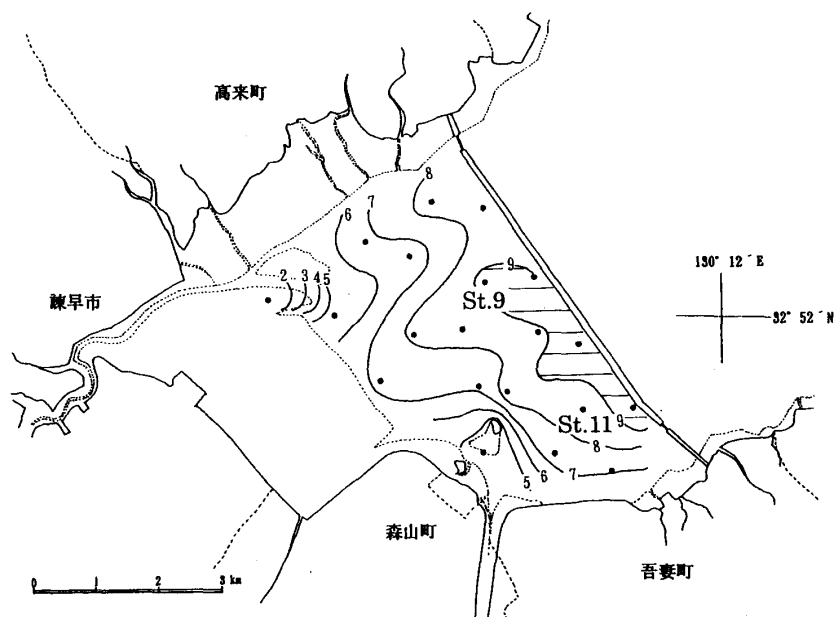
第1図 諫早湾調整池の概要(水深は1999年10月20日の調査地点●印により作成, 破線は1/5万地形図「諫早」による干潟の範囲を示す。)

の水位は-1 mで管理されている(第1図)。1999年10月20日の第2次調査による19地点の水深値より描いた調整池の水深は、潮受け堤防の中央部付近において最も深く、2.5~3.0 mである。

調整池の水の塩分量(‰)は、表面から59 cmまでの深さで測定された表層と1.5 m以深で測定された下層について、平均値、最小値、最大値を第2表に示した。塩分は水産学部西ノ首英之教授により、多成分水質計(アレック電子製ADR-1000)を用いて測定された。諫早湾閉め切り後の塩分の平均値は、表層では5月25日に10‰、8月29日には3.87‰へと低下した。しかし下層は8月29日においても10.60‰の塩分が残っていた。閉め切りから1年後の1998年4月10日に塩分は表層が1.32‰に低下し、下層もまた1.49‰となり淡水化が進んでいる。その後閉め切りから2年半後の1999年10月20日に塩分は表層が0.65‰、下層が0.77‰まで低下するが、完全な淡水になっていない。

3. 柱状堆積物の採取

諫早湾調整池において1999年7月30日に第6次調査を行い、調整池内の20地点において、エクマン・バージ採泥器により堆積物試料を採取した(第2図)。この調査時に、脂質分析のために柱状堆積物のコアを2本採取した。コアの採取地点は、諫早湾閉め切り後に新期堆積物が厚く堆積していると思われるSt.9とSt.11である。コアの採取には、内径3.1 cm、長さ84 cmのスチロール製パイプを取り付けたフレーガー式柱状採泥器を用いた。採取した柱状堆積物を2.5 cm間隔でカットした試料は、脂質の分析時まで-20℃で凍結保存した。1999年10月20日の第7次調査では、新期堆積物の厚さを調べるために、19地点においてコア試料を採取した。



第2図 コアー試料の採取地点st. 9, st. 11と堆積物の中央粒径値Md φの分布 (1999年7月30日)

4. 試料の分析方法

堆積物の粒度分析は、泥質部をピペット法、砂質部を篩分法により行なった。1999年10月20日の第7次調査で採取した19地点のコアー試料は、2.5cm間隔でカットして含泥量と含水量を測定した。

脂質の分析方法は次の通りである（近藤ほか，1993）。メタノールで水分を除去した試料1～3gを1NのKOH／メタノールで75℃，3時間還流によりケン化する。このケン化抽出液から、脂質の中性成分をヘキサン／ジエチルエーテル混合溶媒（9：1）により抽出した。残ったケン化抽出液に塩酸を加えてpH＝1以下とし、同じ混合溶媒により脂質の酸性成分を抽出した。抽出した脂質は濃縮後に薄層クロマトグラフィーTLCにより、中性成分は炭化水素，芳香族炭化水素・ケトン，アルコール，ステロールに分画した。酸性成分は脂肪酸，ジカルボン酸，ヒドロキシ酸に分画した。なおアルコールとステロールは，BSA（N,O-Bis(trimethylsilyl) acetamide）によりトリメチルシリルエーテルとした。また脂肪酸は3ふっ化ほう素メタノール錯体メタノール溶液（BF₃・MeOH）によりメチルエステル化した。各成分の定量はガスクロマトグラフィー（Hewlett Packard製のGC5890-II）によりおこない、同定は標準物質を用いた。カラムはDB-5（i.d.0.32mm×30m）である。昇温条件は初期温度50℃（2分），120℃まで30℃／分，310℃まで6℃／分，保持時間30～40分である。

5. 結果と考察

5-1 堆積物の中央粒径値と新期堆積物の厚さ

諫早湾の閉め切りから2年3か月後の1999年7月30日に20地点で採取した堆積物において、表層部の約1cmが茶色の粘土で下部が黒灰色の粘土は、調整池のほぼ全域において見られた。潮受け堤防に近く水深が深い地点は、茶色の粘土の下に底生生物が殆ど見られない灰黒色をした均一で軟らかい粘土（新期堆積物）となっていた（写真1）。水深が浅い地点においては茶色の粘土の下は、諫早湾が海であった時の貝殻破片を含む黒灰色の粘土（海成粘土）であった。貝殻に由来する炭酸カルシウム量は10~41%であり、海生の貝殻片と調整池で大発生したヒラタヌマコダキガイの殻に由来するものである。

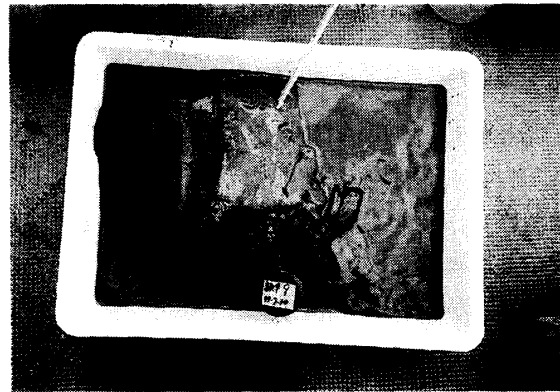
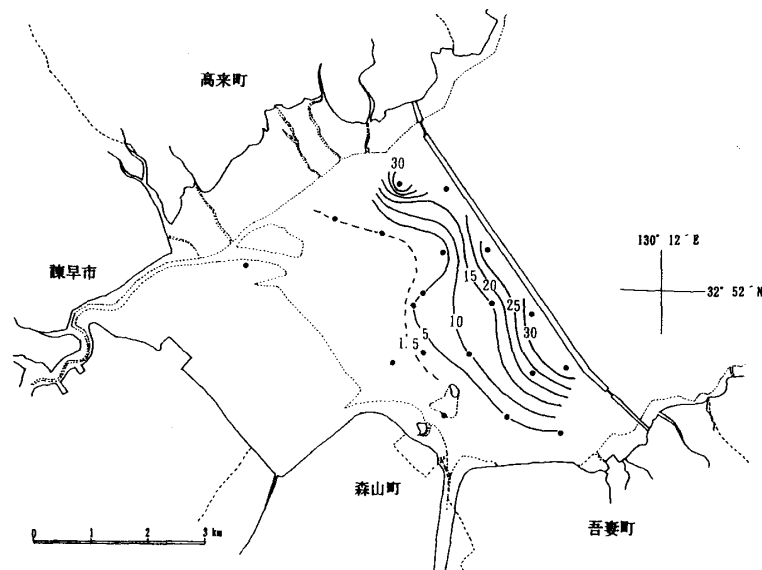


写真1 諫早湾調整池の堆積物st-9
(1999年7月30日)

堆積物の中央粒径値 $Md\phi$ の分布は、第2図に示した。調整池の全域は、 $Md\phi = 5$ 以上の泥である。とくに潮受け堤防の中央部付近は、含泥量が99%以上で $Md\phi$ が9より大きく新期に堆積した粘土である。

この粘土の分布は、水深が2.5m以上の範囲とよく一致している。水深が浅くなるに従い、 $Md\phi$ は徐々に小さくなる。本明川河口部は $Md\phi = 1.7$ の中粒砂である。

1999年10月20日の第7次調査で採取した19地点のコア試料は、調整池で新しく堆積した表層部の粘土と下部の海成粘土が区分できた。新期の淡水の堆積物は、貝殻片を含まないで含水量が高い均一な粘土であり、黄土色、淡褐色、灰色、黒灰色を呈する。下部の海成の堆



第3図 新期堆積物の厚さ (単位cm) (1999年10月20日)

積物は、海生の貝殻片や多毛類のペレットを多く含み、水分が少なく、暗灰色をした粘土である。2.5cm間隔でカットした柱状堆積物において新期堆積物は、含水量が増加し、含泥量もやや増大している。とくに境界付近では、含泥量と含水量が減少するコアが多くみられた。また潮受け堤防に近い3本のコアは、境界部に中粒砂があった。境界付近の含泥量と含水量の減少や中粒砂の存在は、潮受け堤防工事の際に船舶による底質の攪乱、工事用砂の撒き散らしによると考えられる。

第3図は、諫早湾閉め切りから2年半後の1999年10月20日における新期堆積物の厚さを示している。新期堆積物は潮受け堤防に近くなるに従って厚くなるが、調整池の南東部でやや厚くなっている。30cmを越える新期堆積物は、北部排水門と南部排水門に近いところにみられた。30cmの堆積量は、1年間では12cmものの堆積率となるが、このような急激な堆積の進行は、調整池の水位が-1mに下げられたために、露出した干潟や河川敷に堆積していた粘土が雨水により流れ込んだこと、本明川などの河川から運び込まれる泥が潮受け堤防内の調整池に堆積したためと考えられる。

1999年7月30日に採取したSt.9とSt.11のコア試料(写真2)は、St.11を脂質分析に用いた。St.11は0-1.5cmは黄土色の軟らかな粘土である。その下は22cmまでは黒色粘土であり、濃灰色から徐々に黒灰色となり、22cm付近は灰黒色である。0-22cmまでは貝殻がなく軟らかな新期の堆積物である。22cm以深は貝殻が含まれ、水分が少なくやや硬い海成の粘土である。粘土の色は、22-40cmは灰色、40cm以深は濃灰色であった。



写真2 諫早湾調整池の柱状堆積物
st-9(左), st-11(右)
(1999年7月30日)

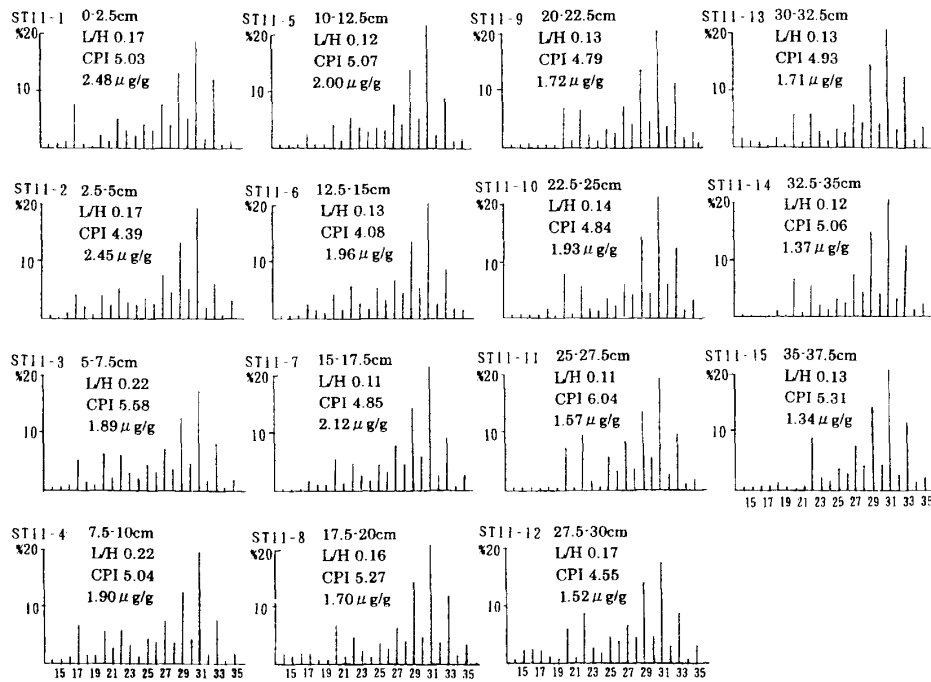
5-2 柱状堆積物の脂質組成

脂質組成は、柱状試料St.11を2.5cm間隔でカットした15試料(0~37.5cm)について炭化水素n-アルカン、アルコール、ステロール、脂肪酸を分析した。

n-アルカン

炭化水素のn-アルカンは C_{14} ~ C_{37} が検出され、奇数炭素優位性を示している。炭素数の分布(第4図)は、上部の新期堆積物と下位の海成堆積物において、 C_{31} をピークとし C_{29} , C_{33} , C_{27} が多いなど、よく類似している。しかし C_{17} は20cmより浅い新期堆積物ではやや増え、表層部の0~10cmでは4~8%と大きくなっている。 C_{14} ~ C_{37} -アルカン量($\mu\text{g/g}$)(第5図)は、表層で最も多く $2.48\mu\text{g/g}$ であり、深くなるに従って徐々に低下している。最下部35-35.7cmのn-アルカン量は、 $1.34\mu\text{g/g}$ となり表層の約半分までに減少している。 L/H ($L \leq C_{29}$, $H \geq C_{21}$)(第5図)は、表層付近の0~10cmでは0.17~0.22とやや大きい、10cm以深は、やや小さく0.11~0.17となる。

n-アルカンの起源については、陸上の高等植物は奇数炭素優位性で炭素数が多い C_{21} ~ C_{33} -アルカンに富みCPI値が高い(Tulloch,1976)。また植物プランクトンは炭素数が少ない



第4図 n-アルカンの炭素数の分布

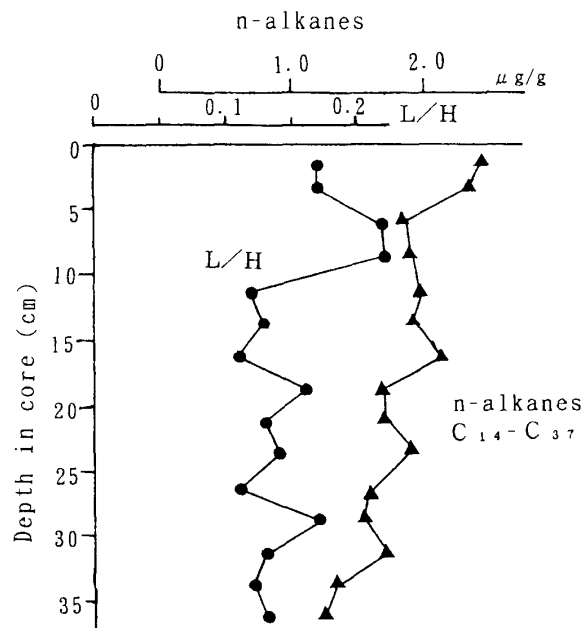
$C_{15} \sim C_{19}$ が多く、 C_{17} がピークである(Weete, 1976)。これらのことからコアの15試料のn-アルカンは C_{31} をピークとし C_{29} 、 C_{33} 、 C_{27} などが多いので、調整池の新时期堆積物と下位の堆積物のn-アルカンは、高等植物起源のものが多いとみなされる。しかし表層部0~10cmは C_{17} が多くなるので、調整池の新时期堆積物では植物プランクトンのn-アルカンが増加したことが考えられる。

アルコール

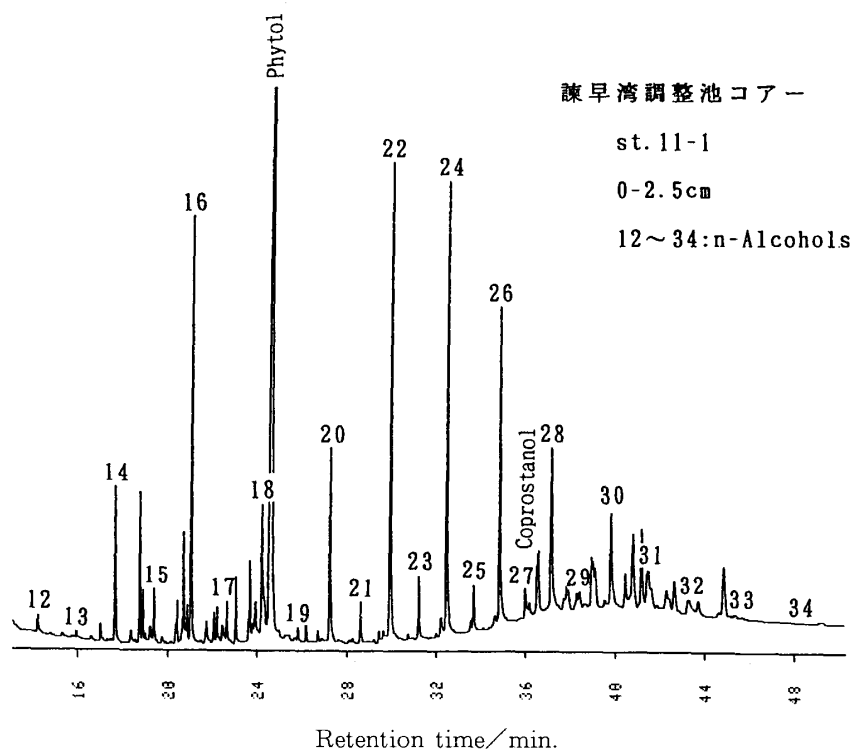
表層0-2.5cmにおけるアルコールのガスクロマトグラムは第6図に示す。第6図において最大のピークは、クロロフィルに由来するフィトールPhytol $C_{20}H_{40}O$ である。n-アルコールは、偶数炭素優位性であり C_{28} 、 C_{24} 、 C_{16} 、 C_{26} のピークが大きい。

C_{27} と C_{28} アルコールの間に、し尿汚染の指標(小椋和子, 1983)とされるコプロスタノールCoprostanol(5β -cholestane-3 β -ol)のピークが認められる。

n-アルコール組成の垂直変化は図に示していないが、0~22.5cmまでは C_{22} が最大であり、次に C_{24} 、 C_{26} が大きい。なお0-2.5cmと7.5-10cmは C_{16} が C_{26} よりも大きくなっている。しか



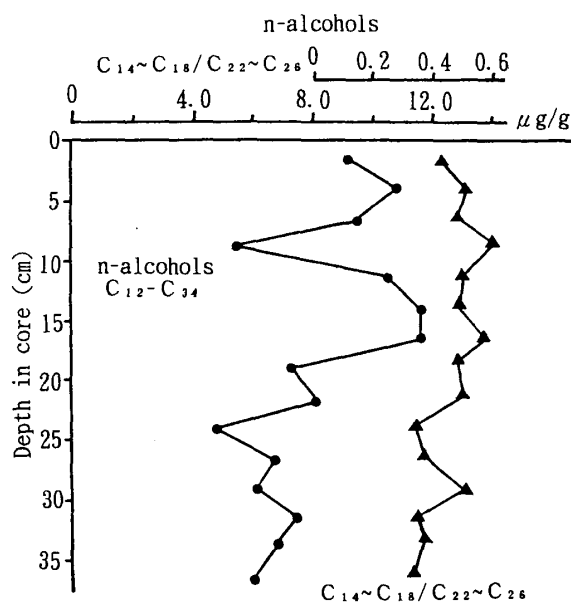
第5図 n-アルカン量とL/Hの垂直変化



第6図 アルコールのガスクロマトグラム

し22.5cmより深くなると C_{24} が最大となり、次に C_{22} 、 C_{26} が大きくなっている。フィトールについてはピークは0~17.5cmまでは最も大きい、17.5cm以深ではかなり低くなり、22.5-25cmと35-37.5cmでは C_{24} のピークよりも低い。

n-アルコール量 ($\mu\text{g/g}$) と $(C_{14}-C_{18}) / (C_{22}-C_{26})$ の垂直変化は第7図に示した。アルコール量は17.5cmまでは $5.7 \sim 11.6 \mu\text{g/g}$ と多いが、17.5cm以深では少なく $4.9 \sim 8.1 \mu\text{g/g}$ となっている。このように表層部の新期堆積物は、アルコール量がかなり増大している。 $(C_{14}-C_{18}) / (C_{22}-C_{26})$ は垂直変化があまり見られないが、22.5cm以深ではやや小さくなっている。フィトール量/アルコール量の比は、新期堆積物である0-17.5cmまでは $0.43 \sim 0.66$ であり表層0-2.5cmが 0.66 と最も大きい、17.5cm以深は小さく $0.15 \sim 0.23$ である。フィトールは新期堆積物において、下位の海成堆積物よりかなり多くなっている。このように淡水化後の堆積物でフィトールが増加することは、汽水湖となった水月湖(上村ほか, 1992)や川原大池

第7図 n-アルコール量と $C_{14}-C_{18}/C_{22}-C_{26}$ の垂直変化

のコアー（近藤ほか，1993）について報告されている。

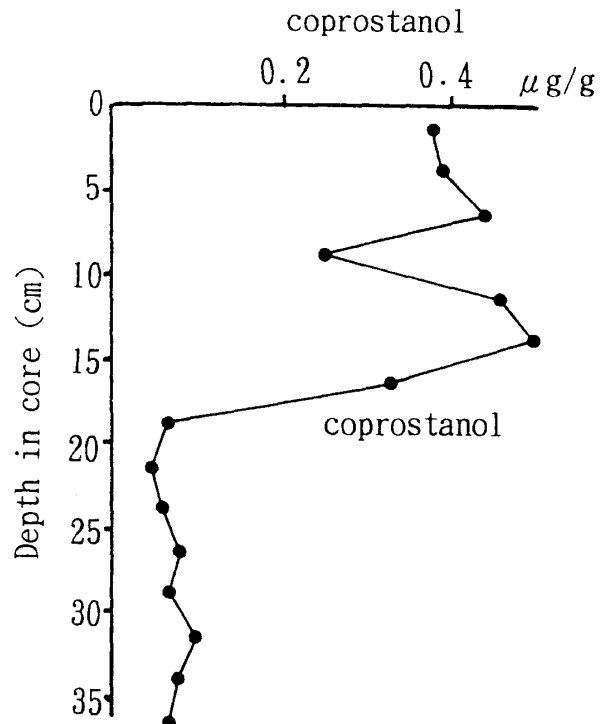
n-アルコールの起源として陸上の高等植物は C_{24} 、 C_{26} 、 C_{28} など C_{22} 以上のアルコールに富み（Tulloch, 1976），藻類は C_{16} 、 C_{18} など C_{20} 以下のアルコールが多い（Cranwell, 1982）。コアーの15試料は， C_{22} 、 C_{24} 、 C_{26} などのアルコールが多いことから，n-アルコールは，n-アルカンと同様に高等植物起源のものが多いとみなされる。しかし表層部0～22.5cmは C_{22} や C_{16} のアルコールが多くなっているため，調整池の新期堆積物は，藻類起源のアルコールが増加したと考えられる。

し尿汚染の指標とされるコプロスタノール量（ $\mu\text{g/g}$ ）の変化は第8図に示した。新期堆積物の0～17.5cmは0.25～0.50 $\mu\text{g/g}$ であるが，17.5cm以深は少なく0.05～0.10 $\mu\text{g/g}$ となる。このようにコプロスタノールが新期堆積物で増加することは，調整池の水質悪化（長崎新聞社報道部，2000）と同様に底質の汚染が進行していることを示している。

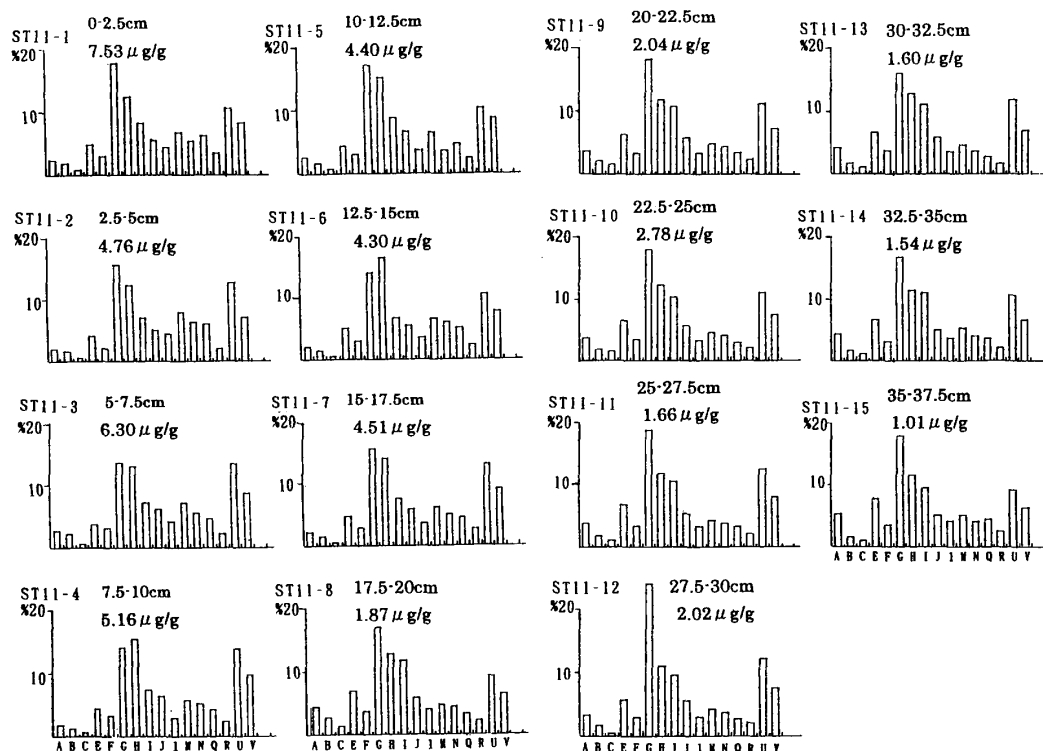
ステロール

ステロールは16種類を同定して定量した（第3表）。主要なステロールはcholesterol(G)，cholestanol(H)，brassicasterol(I)，campesterol(M)， β -sitosterol(U)，stigmasterol(V)である（第9図）。ステロール量（ $\mu\text{g/g}$ ）は表層0-2.5cmで最も多く7.53 $\mu\text{g/g}$ である。新期堆積物である0-17.5cmは4.30～7.53 $\mu\text{g/g}$ であり，下位の海成堆積物1.01～2.78 $\mu\text{g/g}$ よりもかなり多くなっている。

ステロール組成（第9図）は，コアーの15試料においてあまり大きな変化はみられないが，新期堆積物と下位の海成堆積物について比較してみる。 C_{26} ステロール（A，B）は酸性湖に認められず（近藤ほか，1995），淡水化された川原大池は含有量がわずかであった（近藤ほか，1993）。調整池でも新期堆積物0-17.5cmは， C_{26} ステロール（A，B）が下位よりもやや少なくなるので，淡水化が進行しているものの海成のステロールが残存していることを示している。22-dehydrocholesterol(E)は珪藻に多く含まれ，cholesterol(G)は動物プランクトンやその他の動物に多く含まれている（Volkman, 1986）。Brassicasterol(I)は珪藻に多い（Volkman, 1986）。これら22-dehydrocholesterol (E)，cholesterol (G)，Brassicasterol (I)は，新期堆積物においてやや低い傾向がみられる。次にcampesterol(M)，stigmasterol(Q)， β -sitosterol(U)はともに陸上の高等植物に多く，緑藻や珪藻などの藻類にも多い（Volkman, 1986）。新期堆積物はcampesterol(M)，stigmasterol(Q)， β -sitosterol(U)の含有量%がやや大きくなっている。従って新期堆積物は，藻類起源の有機物のステロール



第8図 コプロスタノール量の垂直変化



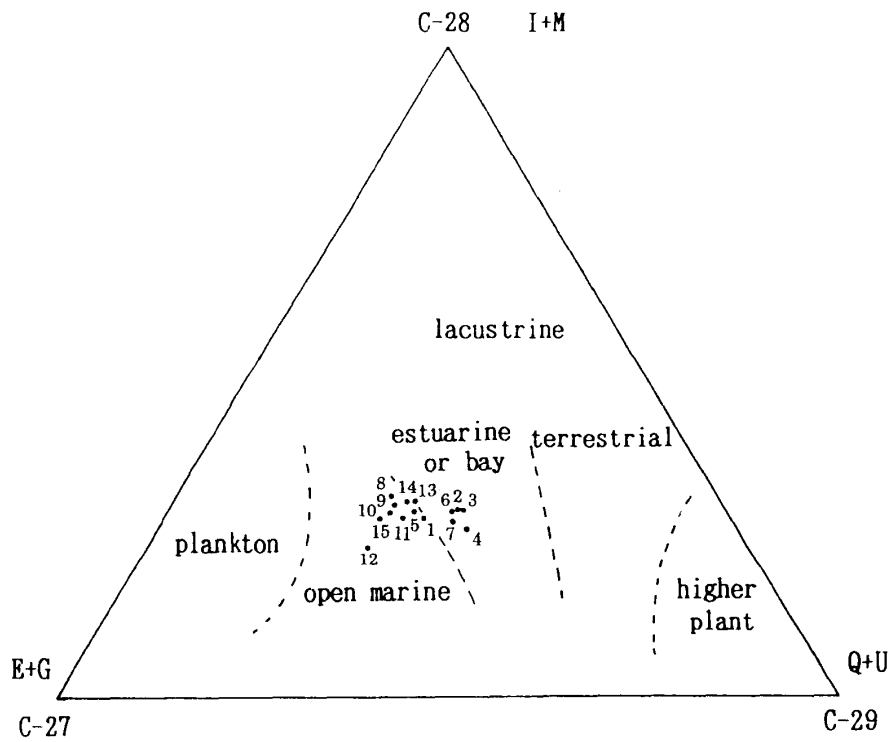
第9図 ステロール組成の分布

による寄与が大きくなっていると考えられる。

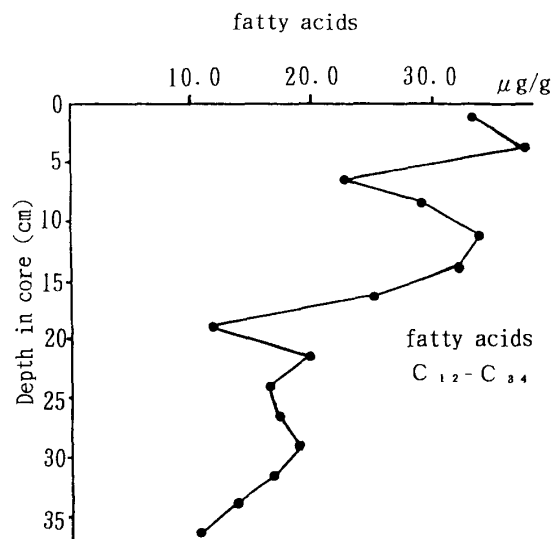
海洋堆積物に含まれるステロール組成から堆積環境を検討したHuang and Meinschein (1979)は、22-dehydrocholesterol(E), cholesterol(G)などの C_{27} ステロールが海洋の動物プランクトン、動物遺骸、排泄物に多いこと、campesterol(M)などの C_{28} ステロールが菌類、原生動物、土壌などに多いこと、またstigmasterol(Q), β -sitosterol(U), stigmasterol(V)などの C_{29} ステロールが陸上の高等植物などに多いことから、 C_{27} ステロール (E+G), C_{28} ステロール (I+M), C_{29} ステロール (Q+U) の3成分比を示して堆積環境を区分している。コア試料の C_{27} , C_{28} , C_{29} ステロールの3成分比(第10図)において17.5cmより下位の海成粘土試料は、海洋(open marine)の範囲に区分されているが、新期堆積物0-17.5cmの7試料は、河口や湾(esutuarine or bay)にほぼ区分される。コア試料は海洋の干潟環境から淡水化が進んだ環境下で形成されていることを示している。

脂肪酸

脂肪酸は C_{12} ~ C_{34} を検出して定量した。脂肪酸は偶数炭素優位性である。新期堆積物0-22.5cmの脂肪酸は、 C_{16} , C_{14} , C_{18} , C_{24} の順にピークが大きい。海成粘土である22.5cm以下の脂肪酸は、 C_{18} が大きくなりピークは C_{16} , C_{18} , C_{14} , C_{24} の順に大きくなっている。脂肪酸量($\mu\text{g/g}$)は0-17.5cmにおいて多くなるが、17.5cm以下では少なくなっている(第10図)。このような新期堆積物における C_{18} の脂肪酸や脂肪酸量の増加は、調整池の水質悪化と同様に、底質の汚染や富栄養化の進行を示していると考えられる。



第10図 C_{27} , C_{28} , C_{29} ステロールの三角ダイヤグラム



第11図 脂肪酸量の垂直変化

6. まとめ

1997年4月に諫早湾が閉め切られて淡水化している調整池に新たに堆積した粘土の厚さは、1999年10月には30cmを超えている。調整池における淡水化と底質や生物相の変化による堆積物中の有機物組成の変化を知るために、調整池中央部から柱状堆積物を採取し、含まれる脂質組成を分析した。

1999年7月に採取したコアは粘土質であり、0 - 22cmは調整池に堆積した軟らかい新期堆積物、22cm以深は貝殻を含む海の堆積物である。

n-アルカン、n-アルコールはコアを通して高等植物起源とされる炭素数が多いものに富むが、新期堆積物は植物プランクトンや藻類起源とされる炭素数が少ないものが増す。

ステロールは16種類を同定した。新期堆積物のステロール含有量(%)は、 C_{28} ステロールや海洋プランクトンなどに多い C_{27} ステロールである22-dehydrocholesterol (E) や cholesterol(G)が減少し、陸上の高等植物に多い C_{28} ステロールのstigmasterol(Q)や β -sitosterol(U)が増加している。 C_{27} - C_{28} - C_{29} ステロール組成による環境区分によると、コア下部の海成堆積物は海洋に、上部の新期堆積物は河口や湾に区分される。

新期堆積物におけるn-アルコール、フィトール、ステロール、脂肪酸、し尿汚染の指標とされるコプロスタノールの含有量の増加は、調整池における底質の富栄養化や汚染の進行を示している。

参考文献

- Cranwell P.A.(1982): Lipids of aquatic sediments and sedimenting particulates. *Prog.Lipid Res.*, **21**, 271-308.
- Huang W.Y. and Meinschein W.G.(1979): Sterols as ecological indicators. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **43**, 739-745.
- 鎌田泰彦・西岡幸一・木寺久美子(1978): 長崎県諫早湾の干潟堆積物の強熱減量(海底堆積物の強熱減量 - その1) 長崎大教育自然研報, **29**, 81-90.
- 近藤 寛・板倉麻子・石渡良志(1993): 川原大池の淡水化と柱状堆積物中の脂質成分 長崎大教育自然研報, **49**, 13-25.
- 近藤 寛・坂谷友佳子・福島和夫・石渡良志(1995): 霧島大幡池、雲仙別所ダムの酸性湖堆積物における脂質成分 長崎大教育自然研報, **53**, 41-55.
- 長崎新聞社報道部(2000): 地球・長崎-環境問題を考える- 1-182, 長崎新聞社.
- 小椋和子(1983): 東京湾におけるし尿汚染の指標としてのコプロスタノールの挙動(1969年~1972年) 地球化学, **17**, 68-75.
- 佐藤正典・東 幹夫・佐藤慎一・加藤夏絵・市川敏弘(2001): 諫早湾・有明海で何がおこっているのか? 科学, **71**, 7, 882-894.
- Tulloch A.P.(1976): Chemistry of waxes of higher plants. In *Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes*, 394-418, Elsevier, Amsterdam.
- 上村 仁・清水賢一・石渡良志(1992): 水月湖柱状堆積物中の脂質成分 *Res.Org.Geochem.*, **8**, 79-81.
- Volkman J.K.(1986): A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. *Org. Geochem.*, **9**, 83-99.
- Weete J.D.(1976): Algae and fungal waxes. In *Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes*, 349-418, Elsevier, Amsterdam.