

1. コア乾燥試料の内容

- ・泥、砂: 約80~90g
- ・貝殻類: 0~5g
- ・その他: 0~8g
- 合計: 平均約 93~109g

2. 分析試料の使用量

- ・粒度分析: 5g
- ・強熱減量、C/N比: 5g
- ・放射線強度: 40g
- ・電気伝導度: 10g
- 合計: 平均約: 60~70g

韓国始華湖

東京湾三番瀬

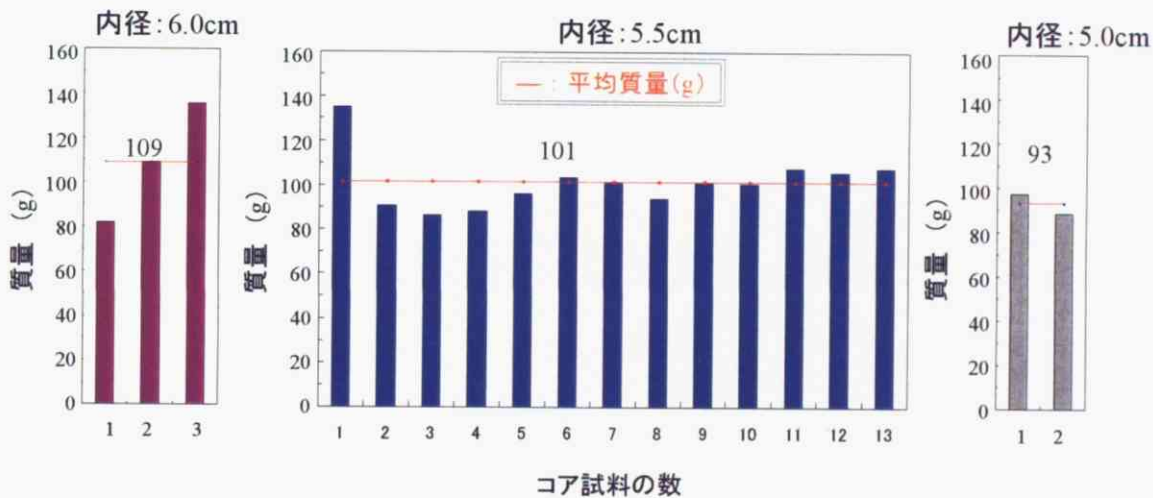


図3-21 分析試料の適量

③ 堆積年代の測定

実際に自然界においては様々な環境下で堆積が起こっており、理想的ではない場合も多いためその堆積年代の解析には苦勞をすることがある。図3-22の(A)に示すように、波や生物の影響を受けやすい干潟・浅海域の海底では、表層から約10cm以内の混合層が存在し、その間で自然放射線量も上下のバラツキが生じることが多い。特に、前述した鉛-210法の原理では、底泥表面への沈積速度が一定で、かつ堆積後再移動しなければ、堆積物中の放射線強度の半分になるところが、半減期22.3年となる。しかし、三番瀬や始華湖などの人為

的な改変がある場所では、鉛-210法の適用が困難であるため、セシウム-137法の特定年代に着目した。

図3-22の(B)のセシウム-137法は、半減期30年の放射性核種であり、核実験の影響で東京湾では1986年と1963年に降下量のピークがあったことがわかっており、鉛直分布のピークにより年代推定に利用できる。さらに、堆積層に履歴として残っている過去の河川流入負荷などの特定年代を加えることで、複雑な環境下での堆積過程の解明ができた。本研究では、対象海域においてこの手法を適用し、その有効性を確認することができた。

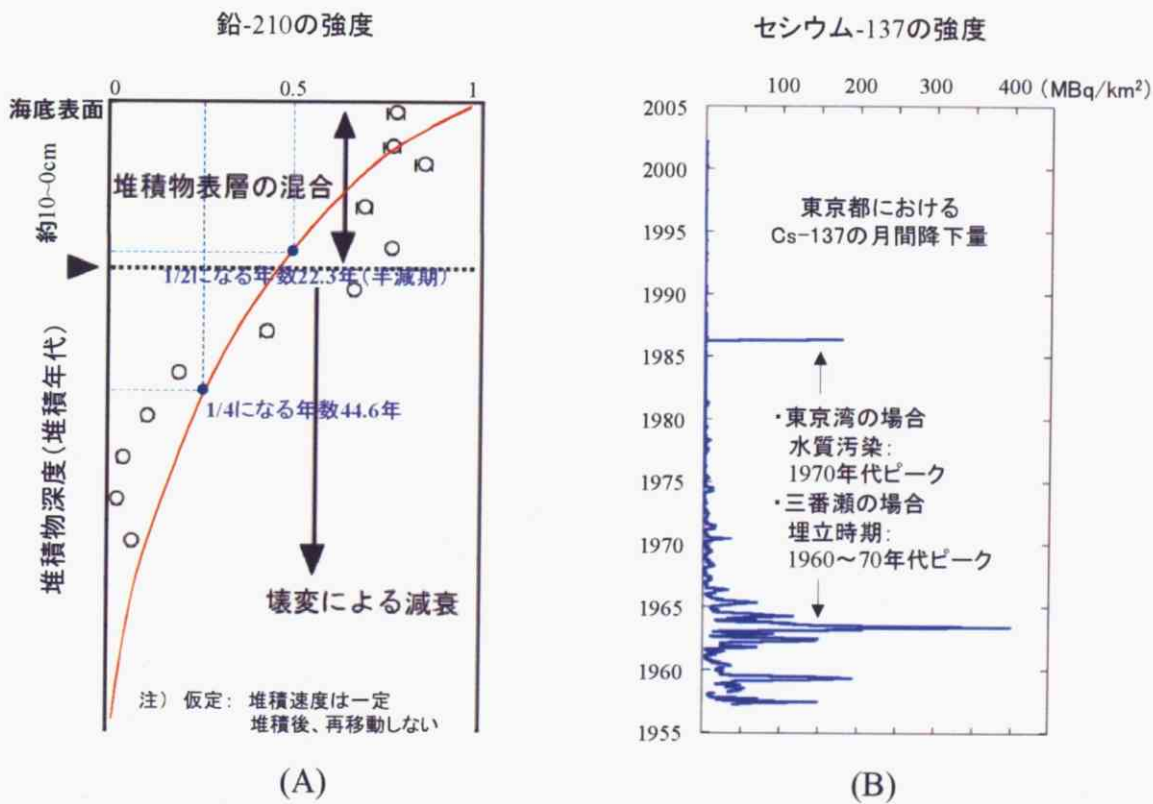


図3-22 自然放射線強度の鉛-210及びセシウム-137法

第 4 章

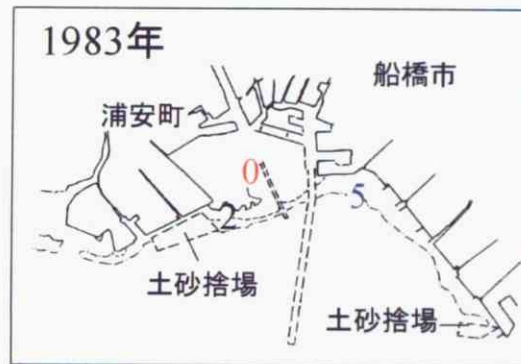
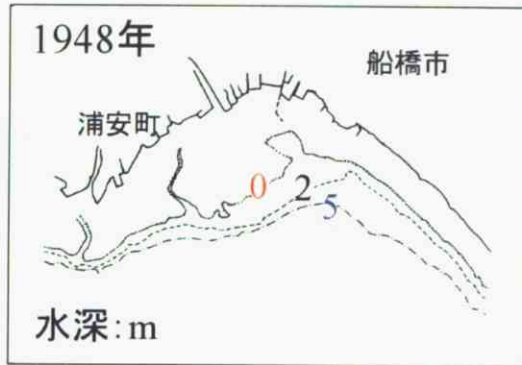
東京湾三番瀬の現地調査

4.1 背景

三番瀬は、東京湾北部の浦安市、市川市および船橋市の地先に位置する。過去には広い干潟であったが、現在は東京湾にわずかしこ残されていない干潟・浅海域である。この海域では、埋立地造成、地盤沈下、汚濁負荷の流入などによる環境悪化が問題となってきた。1980年代当初、三番瀬では千葉県によって市川二期地区・京葉港二期地区の埋立740haが検討されたが、1999年には湾岸道路・下水道終末処理場・新しい街づくりの事業のための埋立計画として101haに縮小する案が提案された。しかし、2001年に千葉県知事が埋立計画を白紙に戻すことを表明するとともに、三番瀬再生計画検討会議（通称三番瀬円卓会議）を設置し、再生の議論が活発に行われている。近年、その環境再生が大きな社会的関心事となっている。

図4-1と4-2は、三番瀬の変遷を示す既存資料を収集し、とりまとめたものである。三番瀬の浦安と市川側では、1950年頃には広い干潟があったが、1960年代から1970年代後半にかけて大規模な埋立地造成が行われ、多くの干潟域が消失した。それと同時に、地下水の汲み上げに伴う地盤沈下の影響は三番瀬にも及んだものと思われる。その結果、現在は海底面が沈下し、三番瀬全体で約1,600haの海域が常時水没している。A.P.-1m以浅の範囲が陸岸から沖合3~4kmまで広がっており、非常に緩やかな勾配であるが、その先にA.P.-5mに至る相対的に急勾配の前置斜面が続いている。また、埋立工事に伴う深堀れ形成は、浦安側の前置斜面周辺の侵食作用を促したと見られる。

埋立地造成後には、三番瀬の流況が変化しただけでなく、市川沖のアサリ場造成や市川航路の開設工事などが行われた。また、図4-3に示すように1981年から1990年までに江戸川第2終末処理場から猫実川河口へ処理水の暫定放流が行われ、一時的に最大135,000 m³/日の淡水が猫実川河口より流入していた。従って現在の三番瀬は、このように現在に至るまで埋立、地盤沈下、汚濁負荷の流入などによる様々な影響を受けており、その変遷は底質コアに履歴として記録されているものと考えられる。

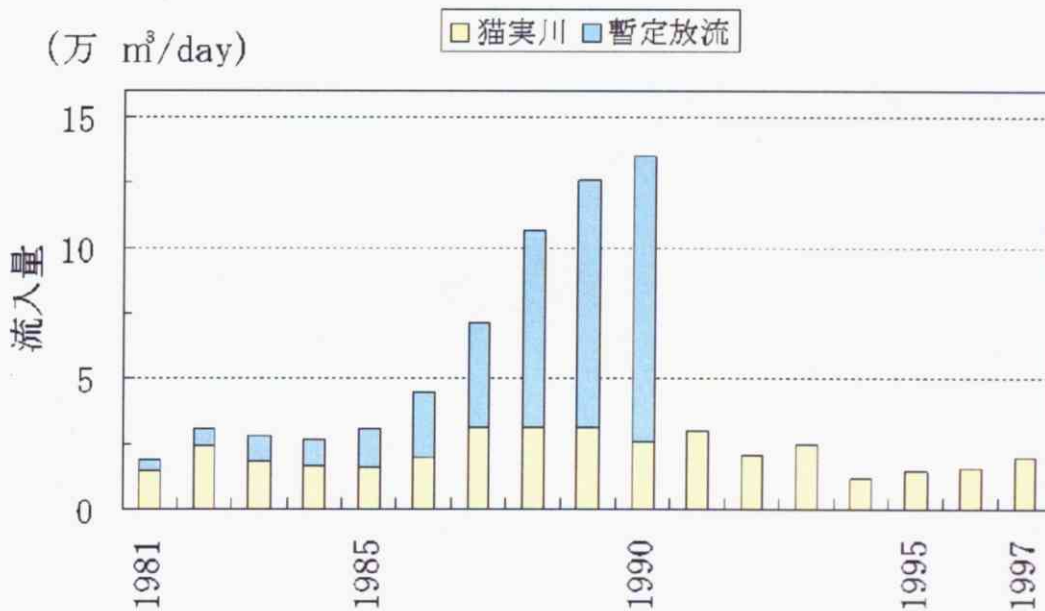


(注) 千葉県 (1999a 海図 1061 号に基づく変化)

図4-1 三番瀬周辺の海岸線の変遷

項目		年					
		1965	1970	1975	1980	1985	1990
埋立面積と工期	浦安Ⅰ期	←————→			874ha		
	浦安Ⅱ期		←————→		563ha		
	市川		←————→		195ha		
地盤沈下	市川・浦安	←————→			1~2m		
流入負荷	猫実川河口		←————→			←————→	
深掘れの形成	浦安	←————→					
航路浚渫	市川				←————→	航路開設	
履砂	市川沖					←————→	アサリ場

図4-2 三番瀬周辺海域における環境変化の変遷



注) 暫定放流水は、1981、1982年には三番瀬に直接流入、
1983~1990年には猫実川を経由して流入。

図4-3 三番瀬猫実川河口部への淡水流入量の変遷

4.2 目的

近年、三番瀬の再生については関係各所で様々な議論が行われており、特に猫実川河口域の取り扱いについては、ヘドロ化した猫実川河口周辺を人工干潟に造成した方がいいとの考えと、三番瀬全体の生態系に重要な役割を果たしているので手を入れるべきではないという考えが対立点の一つとなっている。この対立を解決するためには、環境条件の過去からの変化傾向を理解する必要がある。

また、三番瀬の底質環境に大きな影響を及ぼしている三番瀬浦安市側の埋め立ての影響などについても、未だ十分な検討がなされていない。

特に底質環境は底生生物を始めとする生物の生息を左右する重要な環境条件となるため、三番瀬の地形・底質の変化を正確に把握することは、三番瀬再生の基礎として非常に重要である。深淺測量は地形環境を明らかにするための基本的かつ最重要な調査であるが、土砂の堆積・侵食に加えて地盤沈下も起こったこの海域においては、それだけでは底質環境を十分に理解することはできない。また、表層に限っても底質調査は最近になってからしか行われていないため、過去から現在に至る地形・底質環境の変遷の把握は十分行われていないのが現状である。

そこで、本研究においては、三番瀬の再生において争点となっている猫実川河口域と浦安市埋立地の造成により、静穏域が形成され、底質環境が変化している埋立地近傍に着目した。さらに、底質コア試料を種々の方法によって分析することにより、三番瀬の地形や底質の現況・時間的变化を明らかにすることを目的とした。

そのため粒径分析などの物理試験にとどまらず、強熱減量や放射線強度の測定なども行い、結果を総合的に判断することにより、底質の堆積過程を明らかにすることに努めた。

4.3 観測内容

4.3.1 コア試料採取

図4-4と図4-5は、底質のコア試料採取地点を示したものである。まず、地形・底質環境の変遷と変化傾向を調べるために、●点のSt. 1~St. 5におけるコア試料採取を2002年4月と5月に実施した。○点は参照地点とした浦安市側埋立地に沿う20地点(No. 1~No. 20)で、同年11月にコア採取した。2003年(9月、10月、12月)には、現況の表層の中央粒径分布を調べるために▲で示した18地点において表層試料を採取した。

図4-6に示す底質試料採取には、内径5cm、長さ2mのポリカーボネイト製パイプとエクマンバージ型採泥器(グラブサンプラー、採泥面積0.05 m²、離合社製)を用いた。コア試料は、海底に打ち込み、上部にゴム栓をして引き抜くことで負圧により柱状底質を採取した。エクマンバージ型採泥器によって表層約2cmの試料を採取した。これを実験室に持ち帰って、以下のような種々の分析を行った。

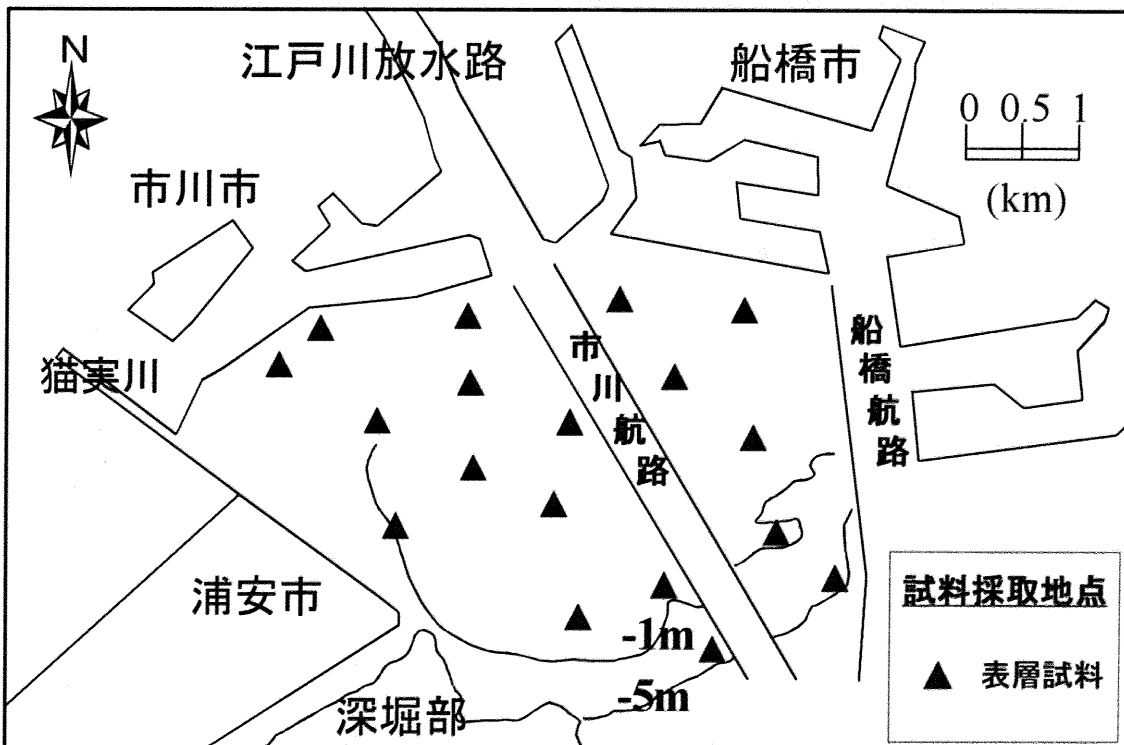


図4-4 三番瀬海域および表層試料採取地点

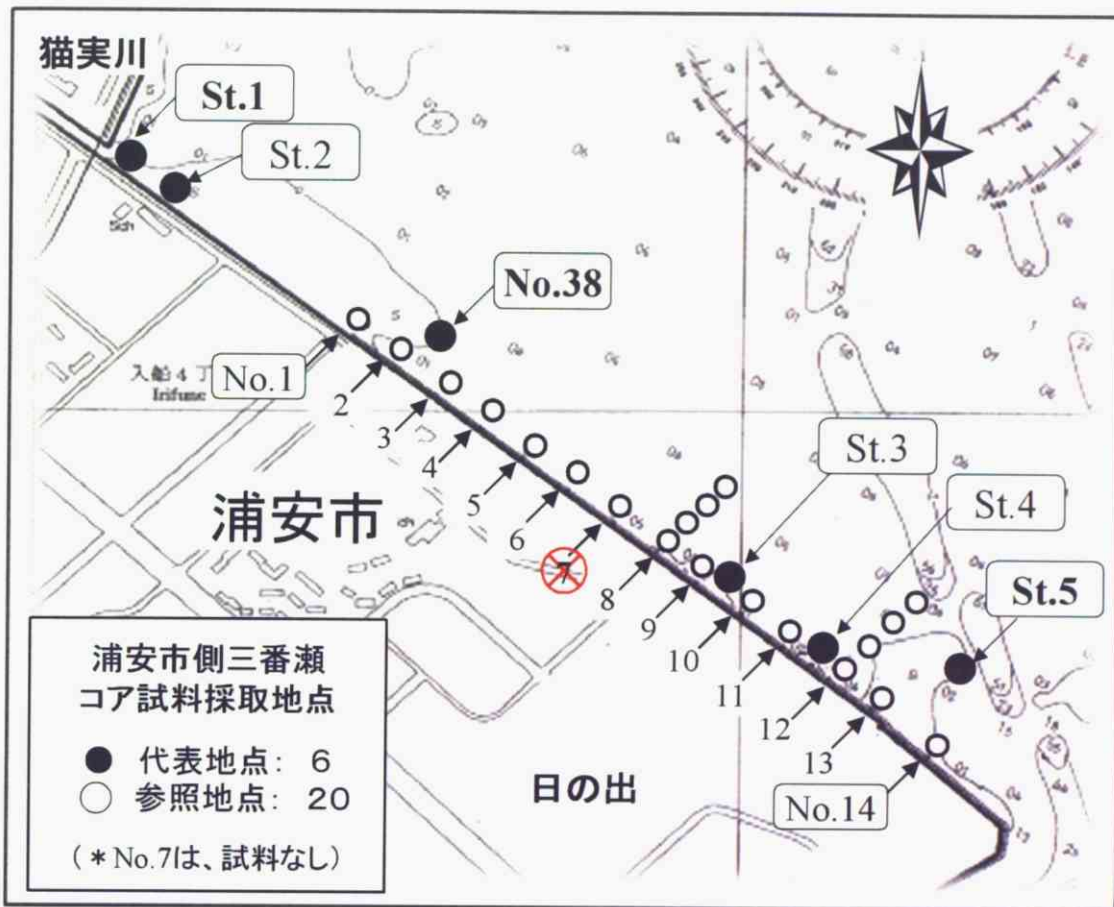


図4-5 浦安市側三番瀬のコア試料採取地点

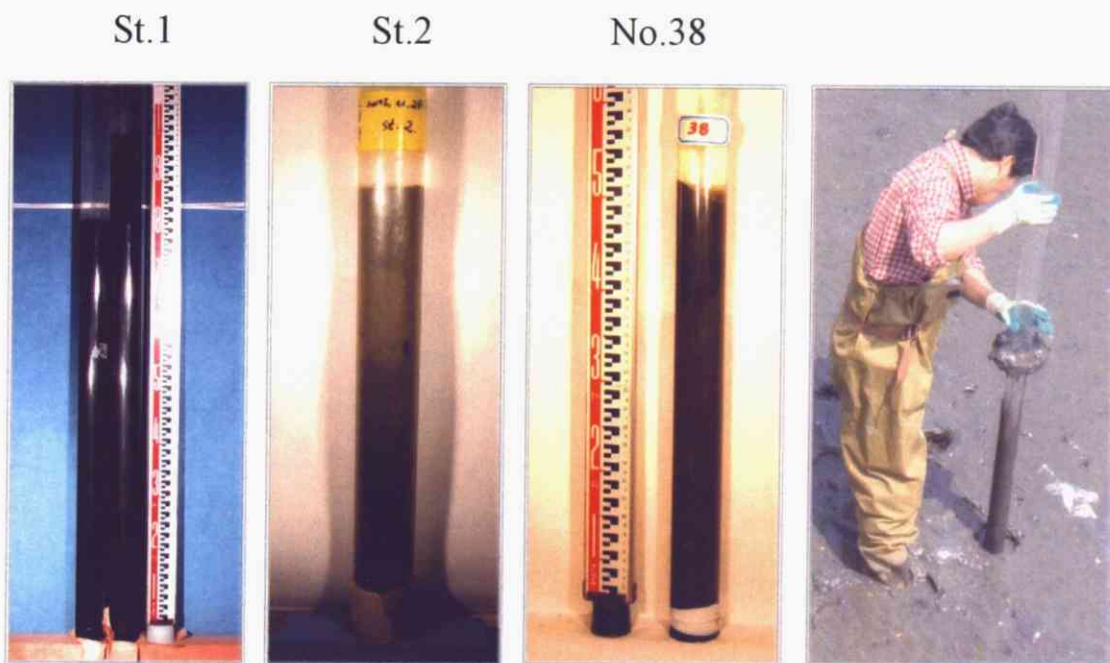


図4-6 猫実川河口域のコア試料採取

4.3.2 分析方法

中央粒径と含水率は、底質の性質を特徴付ける基礎的な要素である。中央粒径の測定にはレーザー回折式粒度分析測定装置（島津製作所製、SALD-3000S）を用いた。含水率は、底質試料を 105°C の乾燥機で 24 時間以上乾燥し、堆積物中の土粒子に対する水の質量比を百分率で示したものである。自然状態での含水率には、底質の状態や種類と密接な相関性があり、概略的に圧密沈下などをすることも可能である。

堆積年代推定を行うために、放出率 84% の 662keV の γ 線を検出することによりセシウム-137 (^{137}Cs) を測定した。セシウム-137 は半減期 30 年の放射性核種であり、核実験の影響で東京湾では 1986 年と 1963 年に降下量のピークがあったことがわかっており、鉛直分布のピークにより年代推定に利用できる。測定器は、 γ 線検出器（米国 ORTEC 社製、GMX29P HP-Ge）と SEIKO EG&G 社製の Spectrum Navigator を用いた。

堆積物から猫実川河口における下水道処理水の暫定放流の影響を調べるため、強熱減量と全炭素量の測定を行った。海洋堆積物中の有機物総量を知る方法として、強熱減量があるが、これは簡便法であり、より確実な方法は有機物の燃焼によって生じる二酸化炭素を測定する CN 分析が一般的である。本研究では、MT 型 CN コーダー（ヤナコ製）を用い、全有機炭素量を測定した。この値は堆積物に含まれている有機物の起源を論ずる場合に有用である。（日本海洋学会編、1986）

猫実川からの淡水流入の履歴調査には、粘土混濁水中の電気伝導度測定を用いた。電気伝導度は、物質の電気伝導性を表す量で、水溶液中の溶存イオン量にほぼ比例し、電気伝導度により無機イオンの総量を推定することができる。一般に水質の性格を決めるには陽イオンよりも陰イオンを分析する方が有利である。特に、自然水に含まれている陰イオン量は淡水に比べて海水の方が多いことから、本研究では粘土に含まれる陰イオンの量に着目した。粘土混濁水中の電気伝導度測定値は硫酸イオンに依存していることから、その定量の結果によって古堆積環境推定に有効であることが実証されている。（例えば、横山・佐藤、1987。日本第 4 紀学会編、1998）

測定手順は、まず、試料を乾燥した後、純水を加える。次に、攪拌した試料を静かな場所で一時間以上放置し、粘土粒子を沈殿させる。そして、上澄み液の電気伝導度を測定する。測定は攪拌後 1 時間経過後と 5 日経過後の 2 回行い、値の変化がなければ後者を測定結果として採用し、大きく変化した場合は再測定を行う。さらに底質環境を生物からも分析するために、堆積物中の貝殻質量

を測定した。生物は様々な環境に対して生息可能な範囲を持っており、海域の底質が堆積した当時の環境を推定できる。

4.4 分析の結果

4.4.1 三番瀬全海域における底質現況の把握

図4-7は浦安市側三番瀬周辺の埋立の歴史と現在の地形を示し、さらに棒グラフは24地点における表層の中央粒径平均値である。これによれば、三番瀬内でも、猫実川河口周辺のみで中央粒径が小さく $13\mu\text{m}$ から $50\mu\text{m}$ 程度であったため、この海域が三番瀬内で唯一泥質環境となっていることがわかる。一方、そのほかの海域は、地形形状が単調で底質は砂質であった。また、浦安市側の中でも岸側と沖側とで粒径の顕著な違いがあることがわかり、それが生物の生息環境に大きな影響を与えていると考えられる。

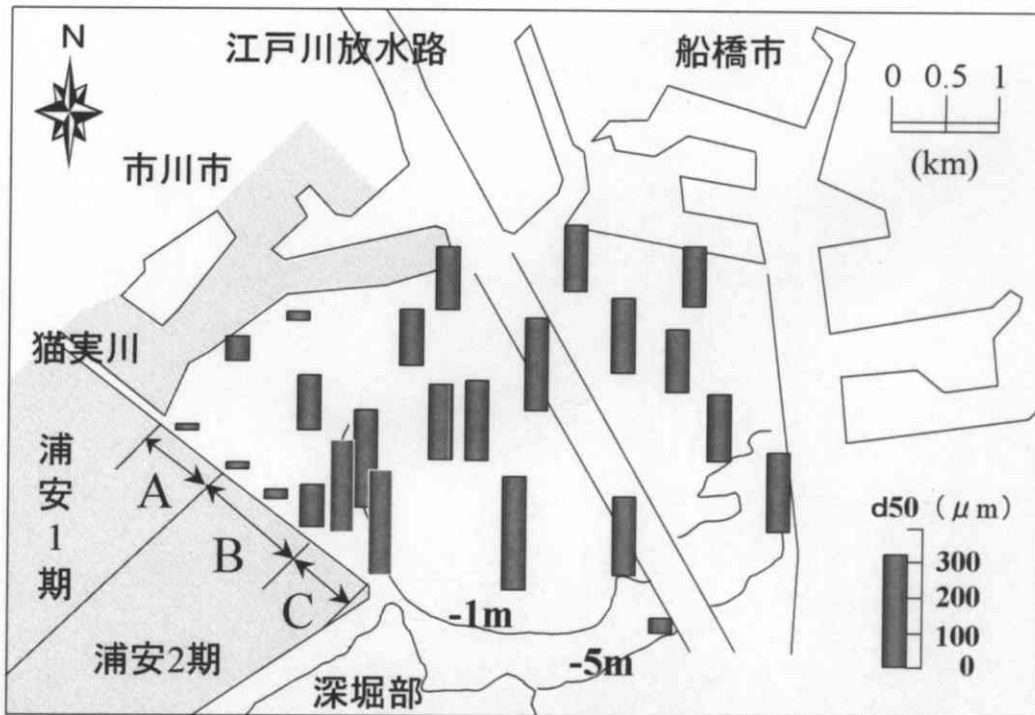


図4-7 中央粒径平均値の平面分布

4.4.2 猫実川河口域における底質環境

図4-8に St. 1、St. 2 および No. 38 における中央粒径、シルト・粘土分、強熱減量、貝殻、根・礫の混入量、鉛-210・セシウム-137 の放射線強度の鉛直分布結果を示す。

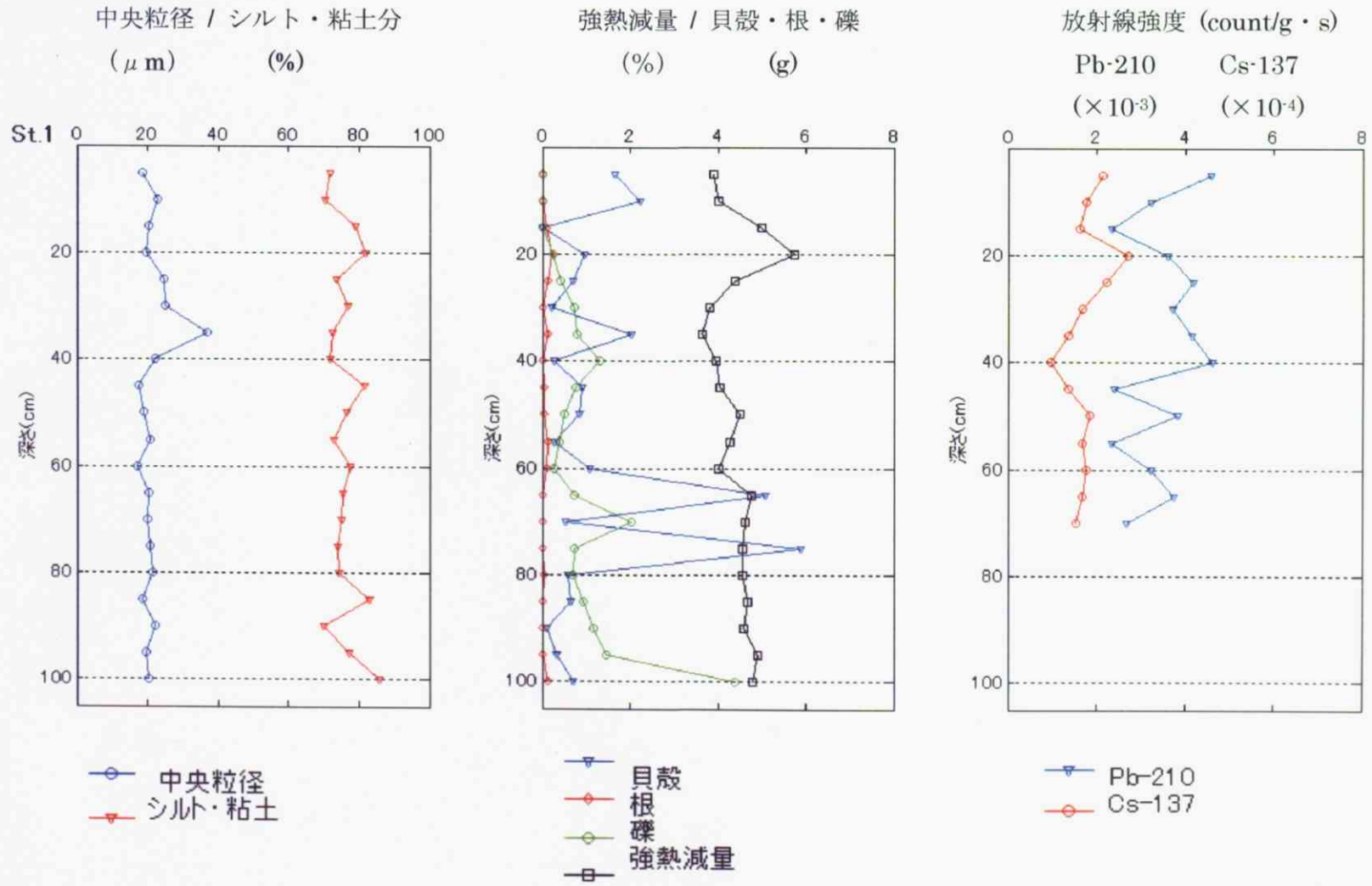


図4-8 (1) 猫実川河口部における分析結果 (St.1)

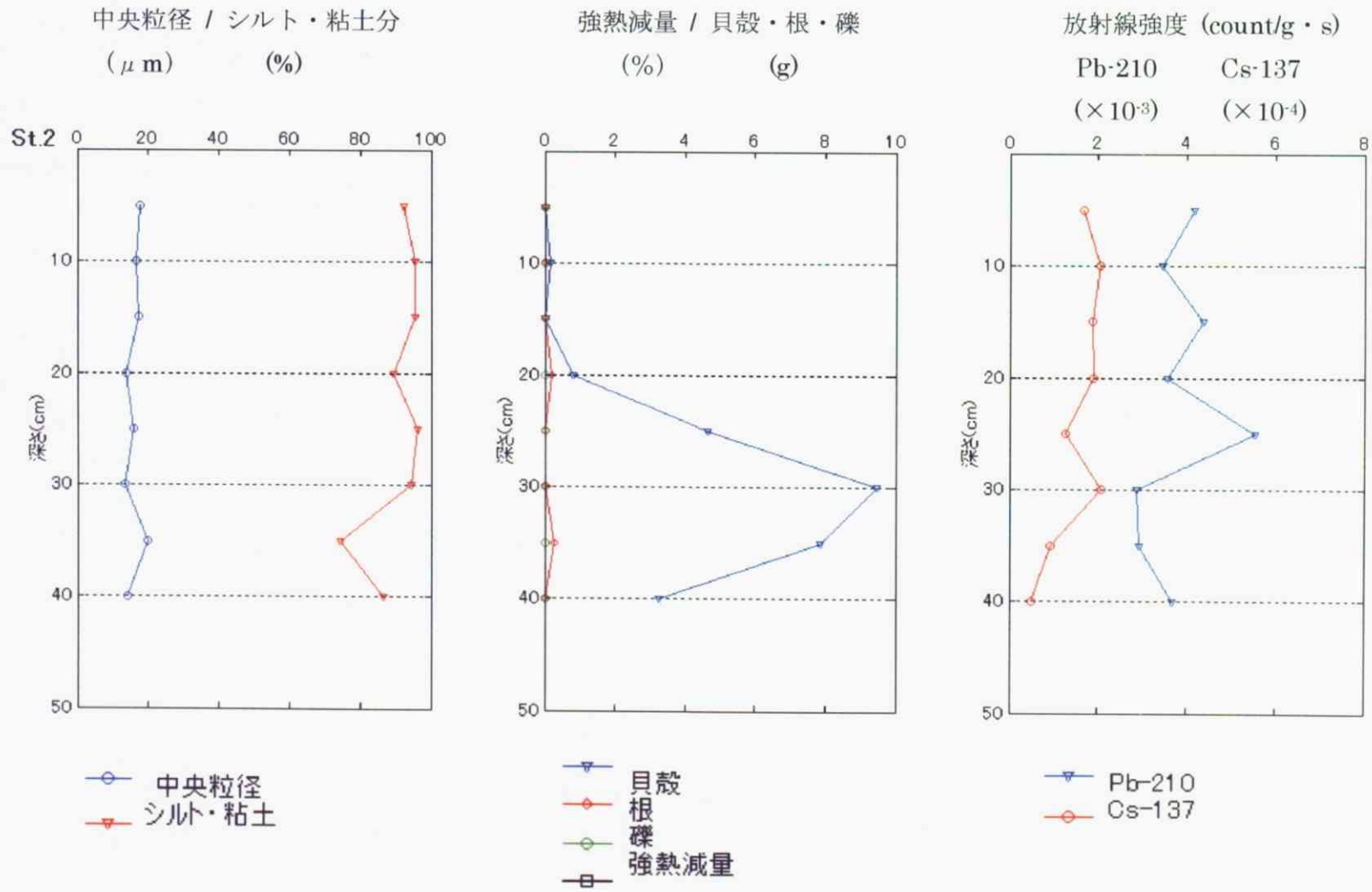


図4-8 (2) 猫実川河口部における分析結果 (St. 2)

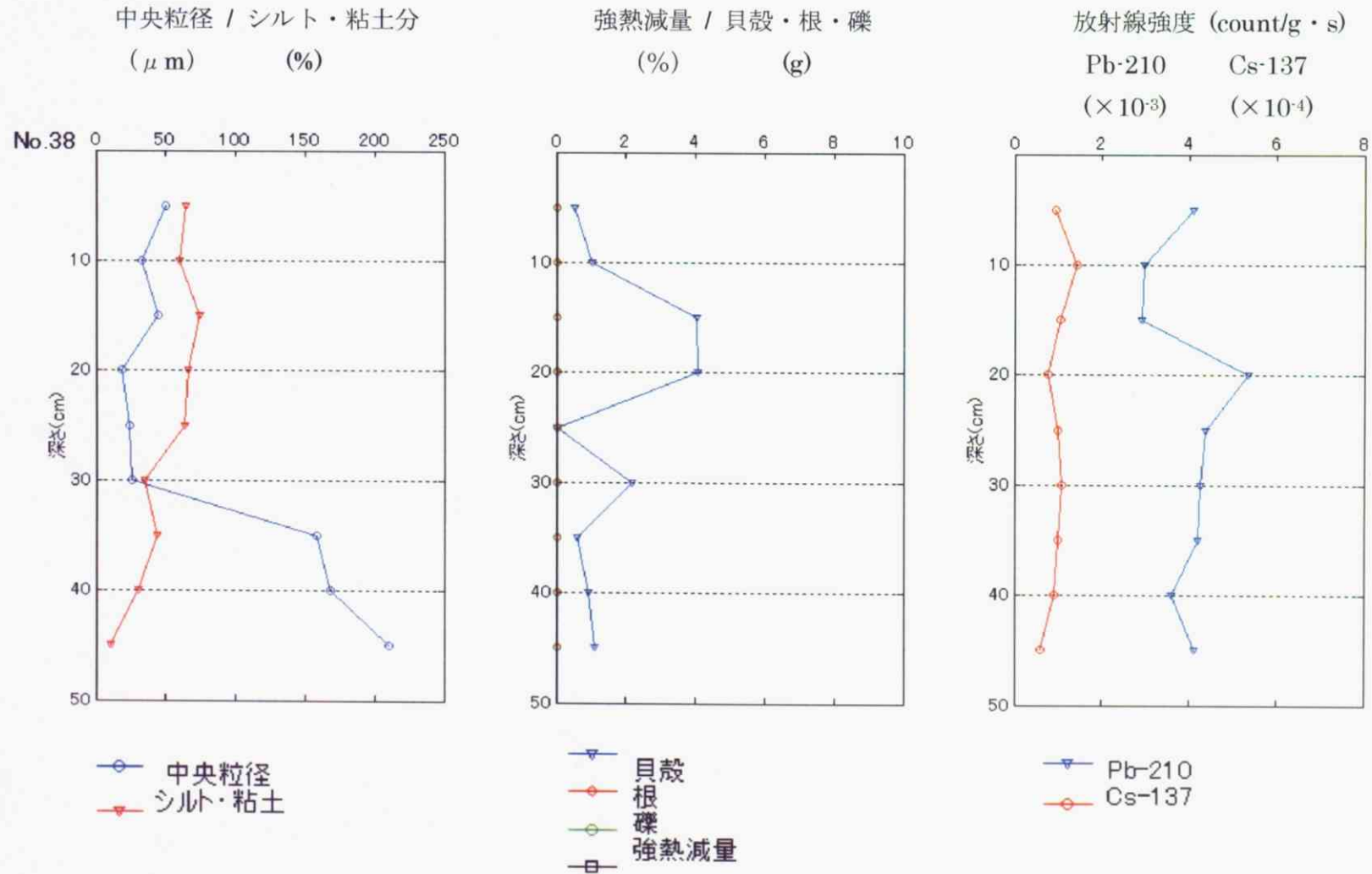


図4-8 (3) 猫実川河口部における分析結果 (No. 38)

a. 中央粒径の分布

図4-9は、猫実川河口におけるコア試料の粒度分析の結果を示したものである。まず、猫実川河口のコア試料 (St. 1) についての粒度分析結果では、滑らかな粒径加積曲線をもつ粒度分布で、特定の粒径に偏在することはない。ここでの中央粒径は、周辺の埋立の影響で波・流れが変化したにもかかわらず、深さ方向にほぼ一様である。浦安市側の中央部 (No. 38) の地点の試料には、埋立地造成の前の砂質とその後の泥質の堆積層が見られ、その境界は深さ約 30 cmにある。また、浦安市埋立地の突端に向かっては中央粒径が大きくなる傾向が見られた。このことから、浦安埋立地中央部前面では、埋立前の砂質環境から埋立後には泥質の堆積環境に変化したこと、および埋立地突端付近では埋立中に流出した泥質が沈降してから、埋立後に砂が堆積したことがわかる。

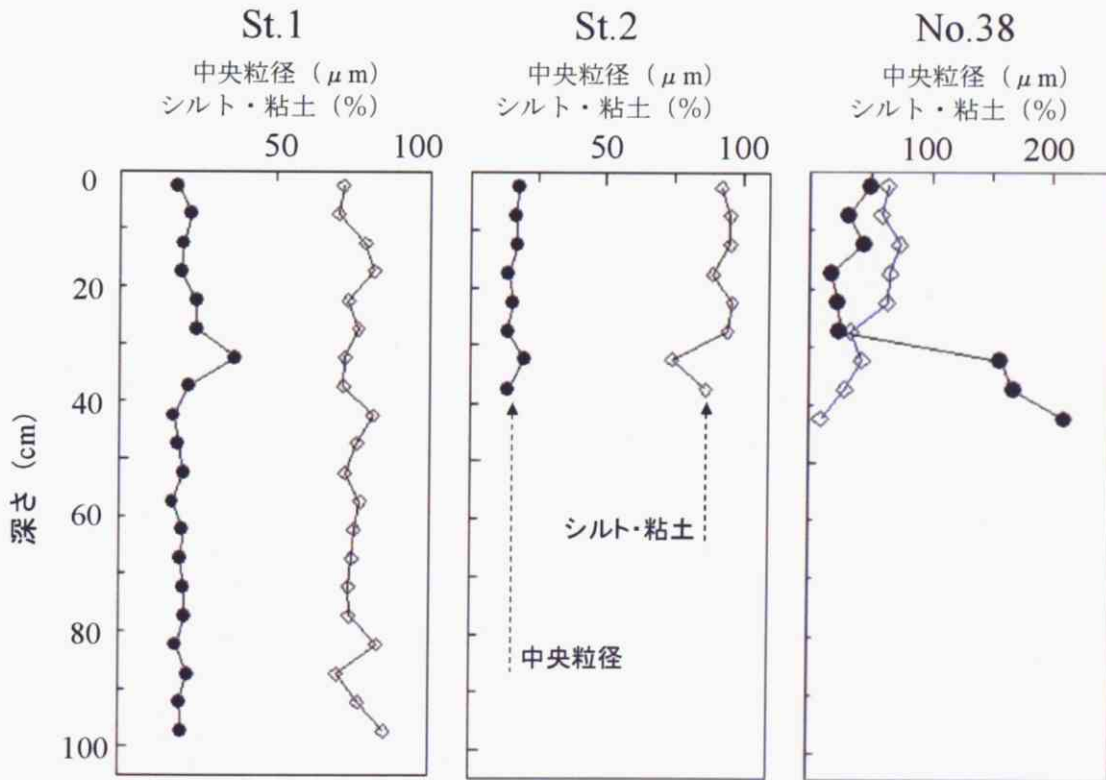


図4-9 粒度分析結果

b. 強熱減量および貝殻・根・礫の分布

図4-10は、猫実川河口における有機物含有量と生物量との測定結果を示したものである。調査地点 St.1 における地層構成は、概ね海底表面 0~25 cm、25~45 cm、45~100 cm に区別ができる。0~25 cm では、黒色で、臭気は殆ど無く、粘り気が強くてぶよぶよとした状態である。深さ約 20 cm において強熱減量が高くなっている。25~45 cm 層では、上層に比べて砂が混入している。含水量は上層ほどではないが高い。45~100 cm 層では、特に 60~80 cm において貝殻片の混入量が多い。

St.2 でも、St.1 と同様にシルト・粘土分が多く、中央粒径は約 20 μ m で、深さ方向にはほぼ一様である。20~40 cm には貝殻片が多い。

No.38 では、表層から 30 cm までは、黒っぽく臭気が強い。30 cm よりも深い部分では、中央粒径が 200 μ m と砂質化し、シルト・粘土分は下がる。サンプル中の遺骸を分別したところ、そのほとんどが貝殻である。

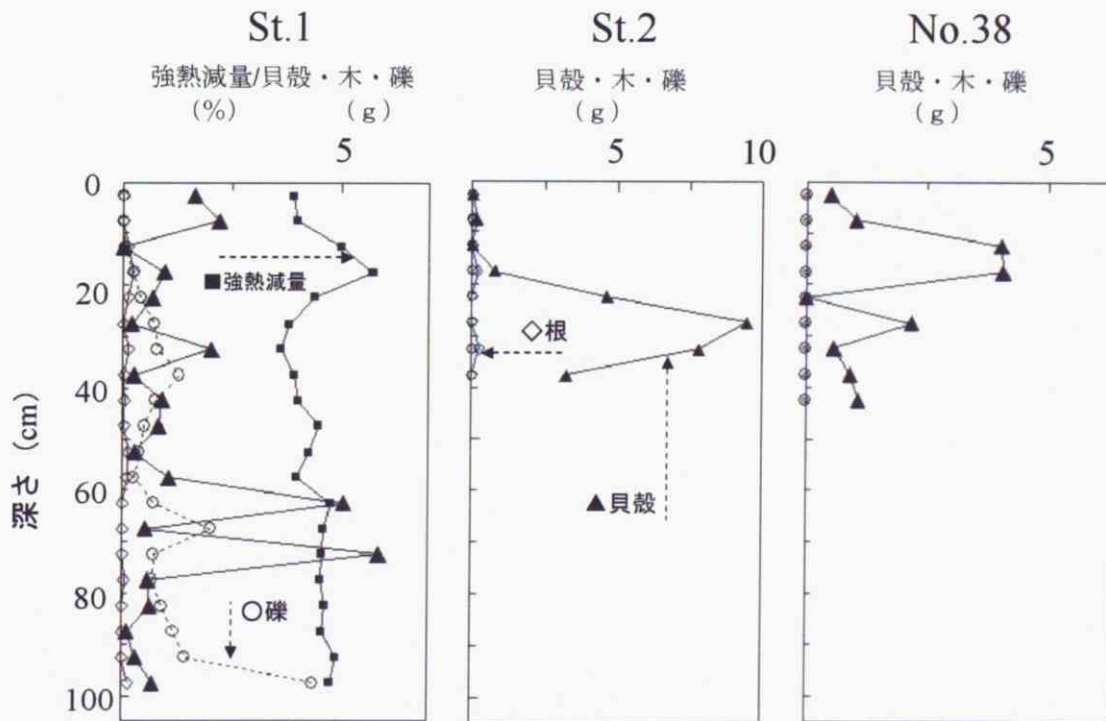


図4-10 強熱減量及び貝殻・根・礫の分布

c. 放射線強度の分布

図4-11は、猫実川河口における放射線強度の測定結果を示したものである。セシウム-137 放射線強度は、まず、St. 1 についてはピークが明確ではないものの、約 40 cm に最大値が現れている。また、その下層の約 50cm、65cm にも大きな値が見られる。St. 2 および No. 38 では、それぞれ約 25cm および 20 cm にピークが現れている。

一方、鉛-210 を見ると、深さ方向にいくつかのセグメントに分割すると各セグメントでは、下層に向かっていくに従って減少する。しかし、セグメントを越えると逆に急な増加が見られ、何らかの擾乱が起こったことが推測される。

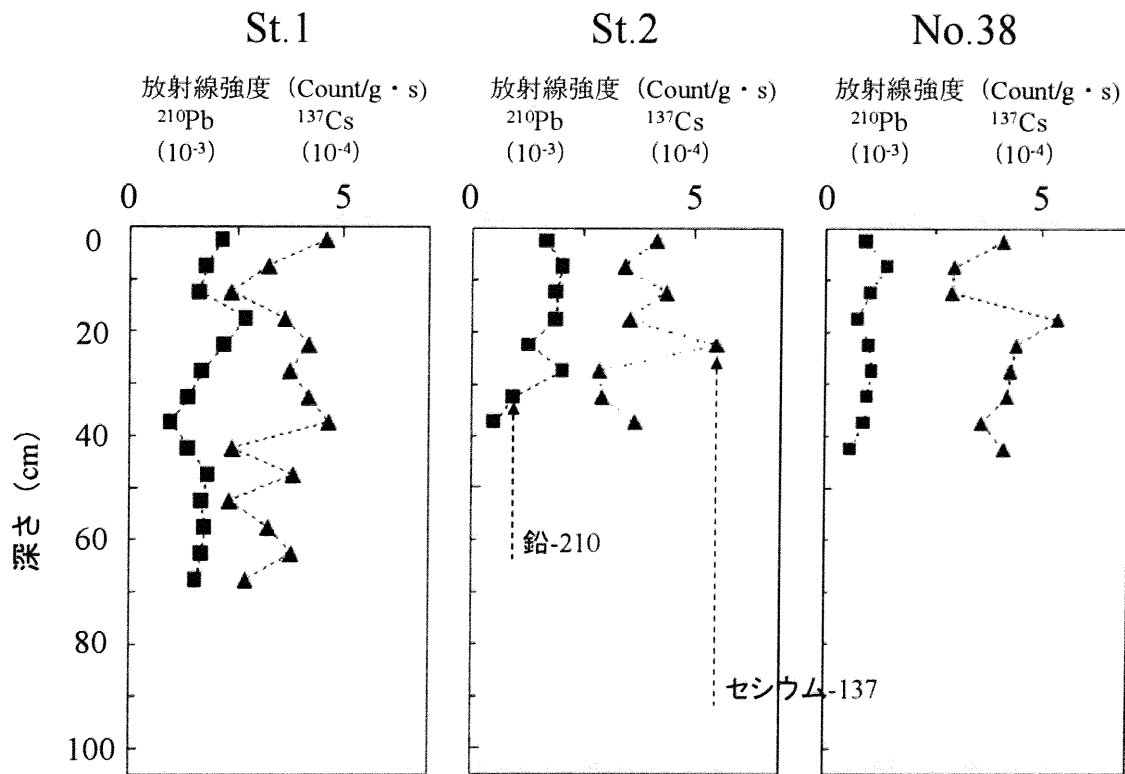


図4-11 測定結果

d. 猫実川河口における処理水影響の比較検証

強熱減量の鉛直変化を見ると図4-12に示すように猫実川河口の代表地点 St.1 においては、深さ約 20 cm において大きく、この深度において有機物含有量が高い。このような傾向は、同地点周辺で行った CN コーダーによる炭素量分析結果においても見られる。この強熱減量・炭層量のピークは 1990 年をピークとする下水道処理水の暫定放流により、BOD 値の高い水が入り込んだためと推定される。

一方、粘土混濁水の電気伝導度は、猫実排水機場が完成された 1975 年から 1990 年代後半までに、ポンプ水門操作により河川水が海域に流入したことや、1981 年から 1990 年までの処理水の暫定放流により、淡水流入が一時急増した。深さ 40cm の極小値は、その原因によるものと推測される。

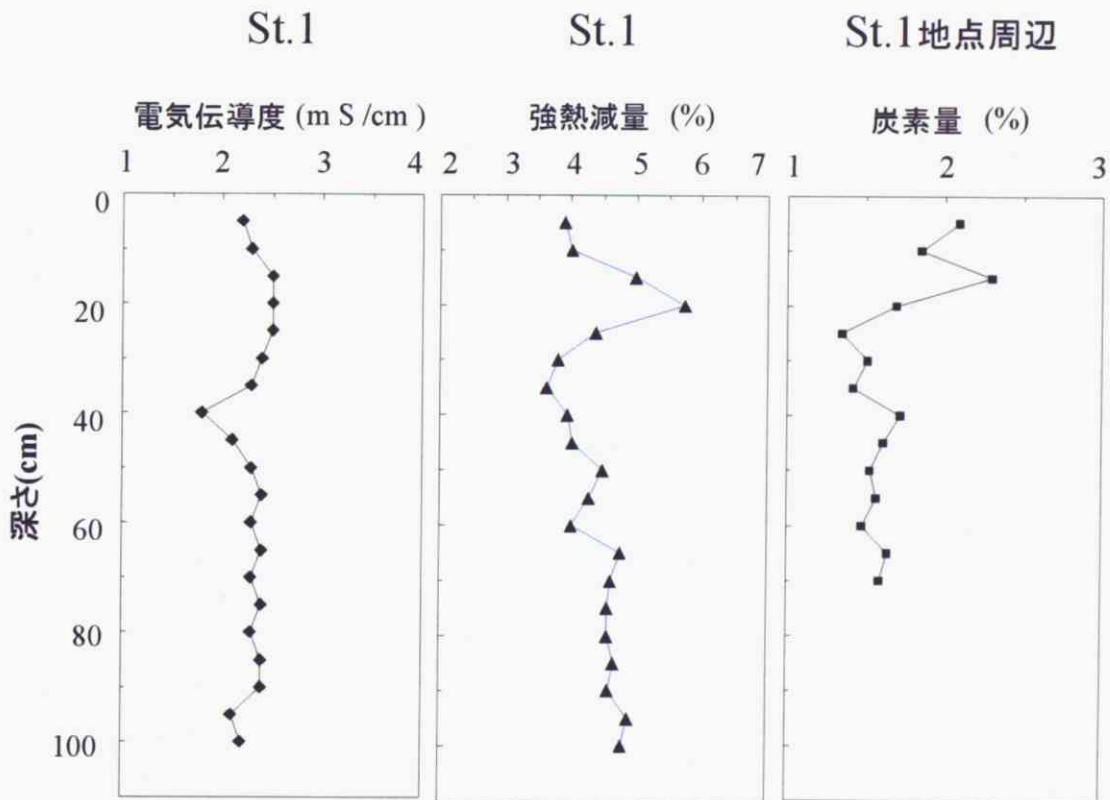
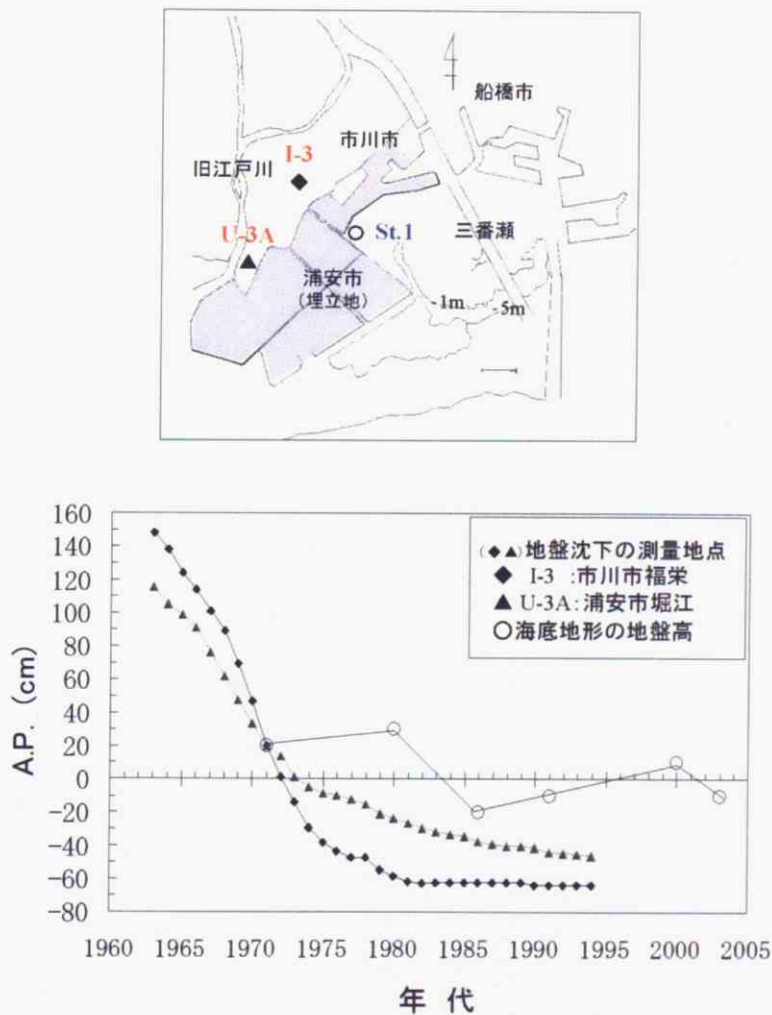


図4-12 St.1地点における電気伝導度，強熱減量，炭素量の鉛直分布

e. 海底地盤高の変化

図4-13は、深浅測量結果から読み取った St.1 に最も近い地点（距離 約 1.8 km）での海底地盤高の変動と、それに近い陸上2地点での地盤沈下の経緯を示す。I-3 地点を見ると、地盤沈下が著しい時期は 1981 年までであり、地下水の汲み上げ規制によりそれ以降は沈静化した。U-3A 地点では、地下水汲み上げによる沈下とともに、埋立後の圧密沈下も起こっていたようである。さて、St.1 の地盤沈下量は圧密沈下を含む U-3A における地盤沈下に近かったものと推測される。この地盤沈下量を考慮して、St.1 の海底地盤高の変化を見ると、1971 年から 1980 年にかけて地盤沈下分以上に土砂堆積が起こったと解釈できよう。その後、1986 年までに侵食が起こり、さらに 2001 年まで徐々に堆積した後に、2003 年までは若干の侵食が見られる。



出典：千葉県、1999 (a)

図4-13 地盤沈下の測量地点と海底地盤高の比較

特に、放射線強度のセシウム-137 ピークから得られた 1986 年は猫実川河口における埋立地造成前後の堆積層を決める重要な年代である。このことから 1986 年という年代推定について検証を行う。図 4-14 は、U-3A 地点の地盤沈降と海底地盤高の変化を示すとともに年代推定の検証の内容を示したものである。

まず、コアサンプルにおける 1986 年に相当するセシウム-137 のピークは、深さ 40cm のところにあった。次に、図 4-14 において、1986 年と 2003 年を比較する、海底面の地盤高は A.P. -20cm から A.P. -10cm まで 10cm 上昇している。さらに、この地盤と同等の U-3A での地盤沈下量が 1986 年から 2003 年にかけて 26cm あったことを勘案すると、この地点で地盤高が 10cm 上昇するためには、合計 36cm の土砂の堆積があったことになる。これは、セシウム-137 のピークが深さ 40cm にあることとほぼ整合する。このことから、ここのでの分析手法の妥当性が検証された一例であると言える。

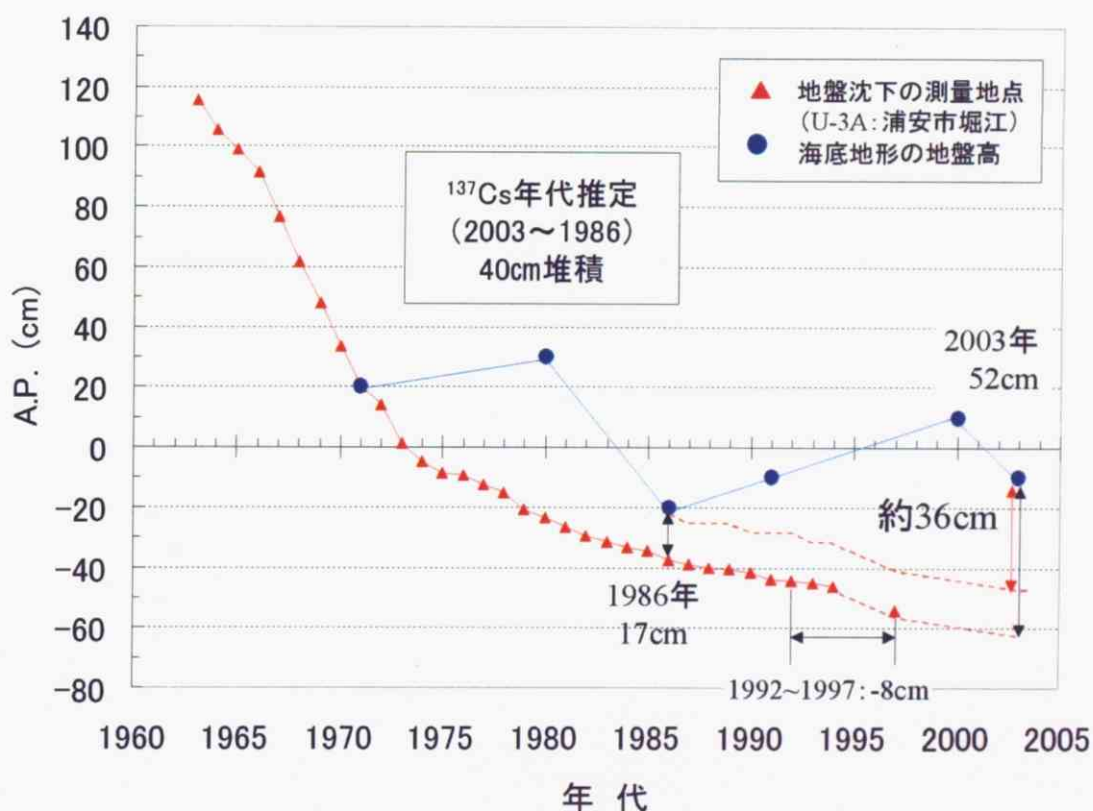


図 4-14 猫実河口域における年代推定の検証 (1986 年)

f. 実川河口域における堆積過程及び地形変化の傾向

(1) No. 38における地形変化過程

図4-15に示すNo. 38においては、深さ約30 cmを境にして、粒径が大きく変わっており、土砂堆積の環境が変わったことは明らかである。この地点は埋立Ⅱ期の埋立地前であるから、表面から約30 cmの土砂が、埋立工事が完了した1978年前後以降に堆積したことは確実である。

一方、約20 cmにセシウム-137放射線強度のピークが見られる。これは、チェルノブイリ事故があった1986年に対応するものであろう。鉛-210については、30 cm以深で単調に減少しているが、これは、過去に徐々に堆積が進んだことによるものと推定される。20 cm~30 cmに見られる増大は、埋立による擾乱と関係している可能性があるが、因果関係は不明である。また、約20 cmのセシウム-137のピークは鉛-210の極小と一致している。同じ現象が、St. 1の約40 cmとSt. 2の約25 cmでも見られ、何らかの共通性を示唆していると思われるが、具体的には不明である。

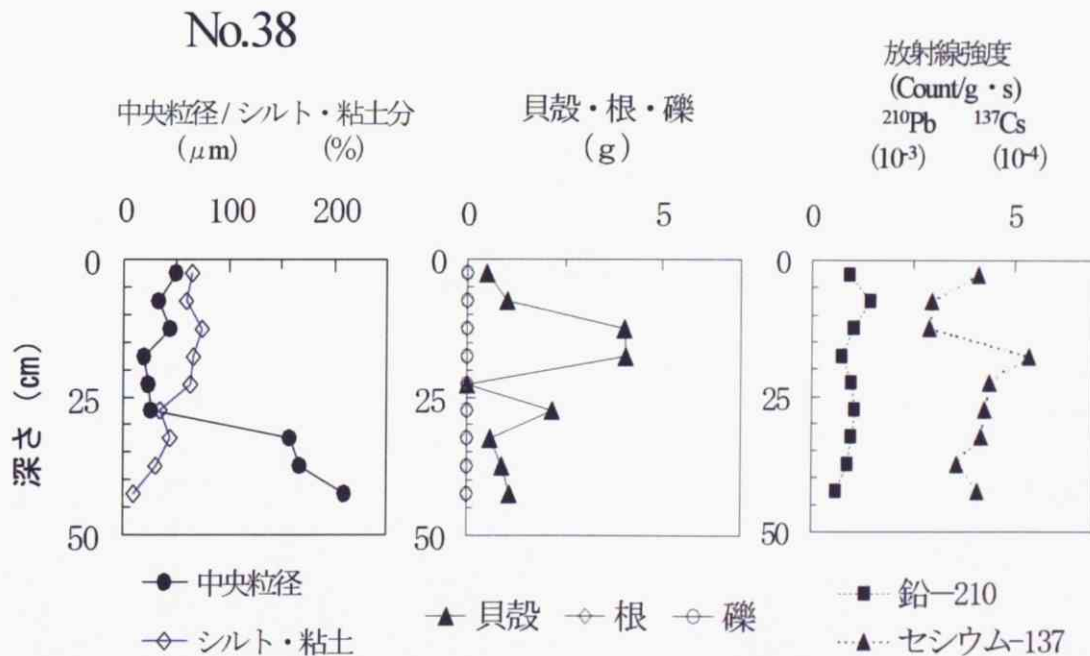


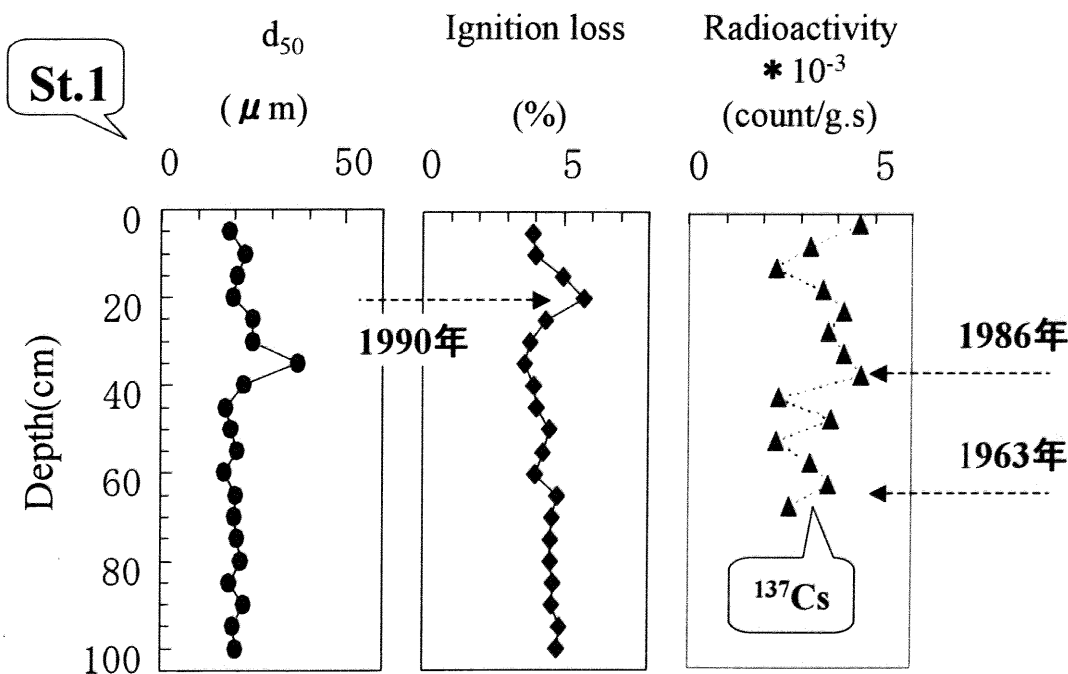
図4-15 No.38地点の分析結果

(2) St. 1 および St. 2 における地形変化過程

St. 1 および St. 2 では、深さ方向の中央粒径変化が顕著ではなく、埋立前の干潟環境においてもシルト・粘土分の多い底質であったと判断される。したがって、粒径だけでは地形変化過程を推測することができない。

そこで、セシウム-137 放射線強度がピークとなる St. 1 の約 40 cm と St. 2 の約 25 cm に着目する。特に St. 2 のピークは明確であり、これを St. 1 の分布と比較すると、約 40 cm が対応するピークと見られる。そこで、これを 1986 年に相当すると考え、1976 年に完了した浦安 I 期の埋立時の地盤は、それより下にある。St. 1 の 60 cm ~ 80 cm には貝殻の多い層があり、また、セシウム-137 放射線強度が若干高くなっていることから、このあたりが埋立前の地盤ではなかったかと推測される。また、約 20 cm には、強熱減量のピークがあり、これは 1990 年をピークとする下水道処理水の暫定放流により、BOD 値の高い水が入り込んだためと考えられる。

また、図 4-13 に示す地盤高と地盤沈下との相対関係から見られる堆積・侵食により、1971~2003 年に 1m 弱の堆積があったと推定される。このようなことから、60~80 cm を埋立前の海底地盤面、40 cm を 1986 年前後、20 cm を 1990 年前後とし、埋立前から現在までに、60~80 cm の堆積があったと推定するのが、現在のところ自然であると思われる。



注) 堆積年代は、強熱減量ピーク (1990 年)、セシウム-137 ピーク (1986 年と 1963 年) によるもの。

図 4-16 猫実川河口部 (St. 1) における年代推定

4.4.3 浦安市側三番瀬における底質環境

a. 浦安市側三番瀬の中央粒径及び自然含水率

図4-17に示す現在の浦安市側三番瀬の海底地盤高(2003年2月)をみると、全体的にA.P.0m以下の場所が多く、中央部が低い。この地盤に沿う鉛直中央粒径の分布は、岸側から沖側にいくほど増大する傾向が見られる。また、表層堆積物を構成する泥層の自然含水率は、猫実川河口および中央の方が浦安市日の出に比べて高い値を示す。この値は、シルト質の底質に分類されるとともに軟弱泥層を意味する。そのため、圧縮性が高く、透水性が低いので、猫実河口・中央付近では圧密沈下がゆっくり進行している可能性がある。

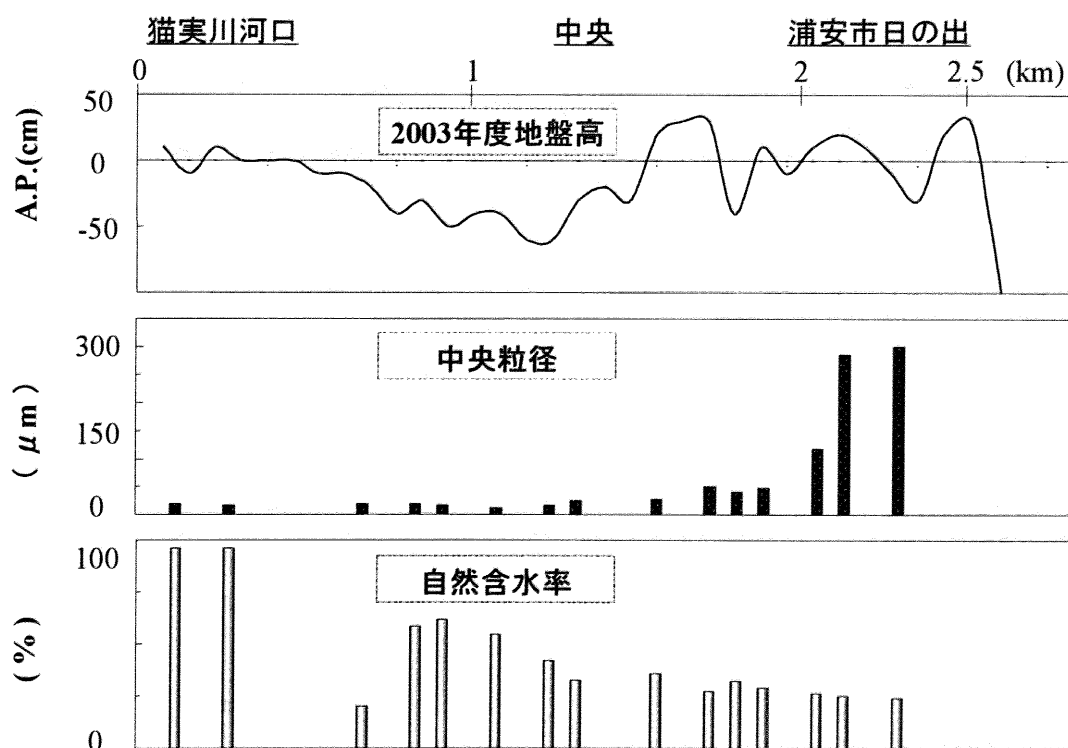


図4-17 浦安市側三番瀬の地盤高、中央粒径及び自然含水率の分布

b. 天然干潟域近傍における底質と堆積構造

図4-18は、浦安側天然干潟域における堆積過程を明らかにするために分析した、天然干潟域のSt.5(図4-5参照)における中央粒径、セシウム-137、強熱減量、貝殻量の鉛直プロファイルである。

中央粒径には深さ約40cm及び70cmに、核実験による1986年、1963年のセシウム-137のピークが顕著に見られる。また、天然干潟域のSt.5では、明らかに埋立工事(1965~76年)の際に形成された泥質層のこん跡が見られ、セシウム-137のピークによって推定された1963年より上の層になるため、セシウム-137によって推定された年代と整合する。以上のことから、浦安市側天然干潟域近傍における埋立前後の堆積過程が推定可能になった。この際に、埋立前後における中央粒径の差が約 $100\mu\text{m}$ あるが、その理由としては、主に埋立に伴う潮流や海浜流の流速増大の影響が考えられる。図4-19と4-20(グラフ)からもその痕跡を確認することができる。また、生物量と強熱減量および粒径は、相関関係が見られた。このことから、埋立による流況の変化が生物相に対しても大きな影響を及ぼしたことが明らかになった。

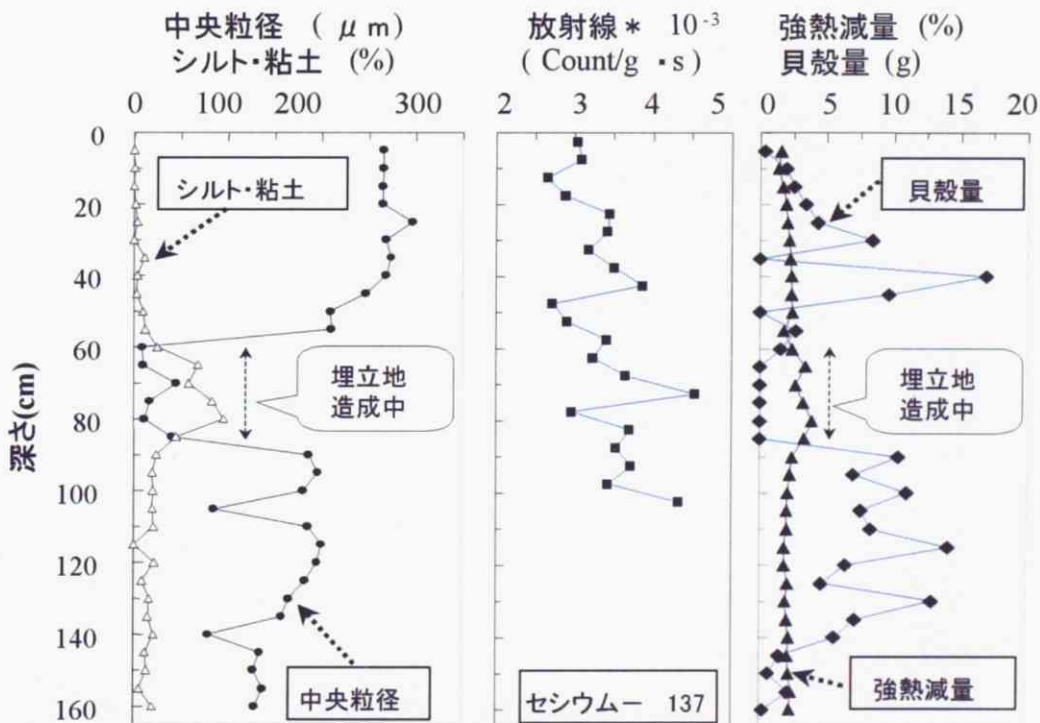
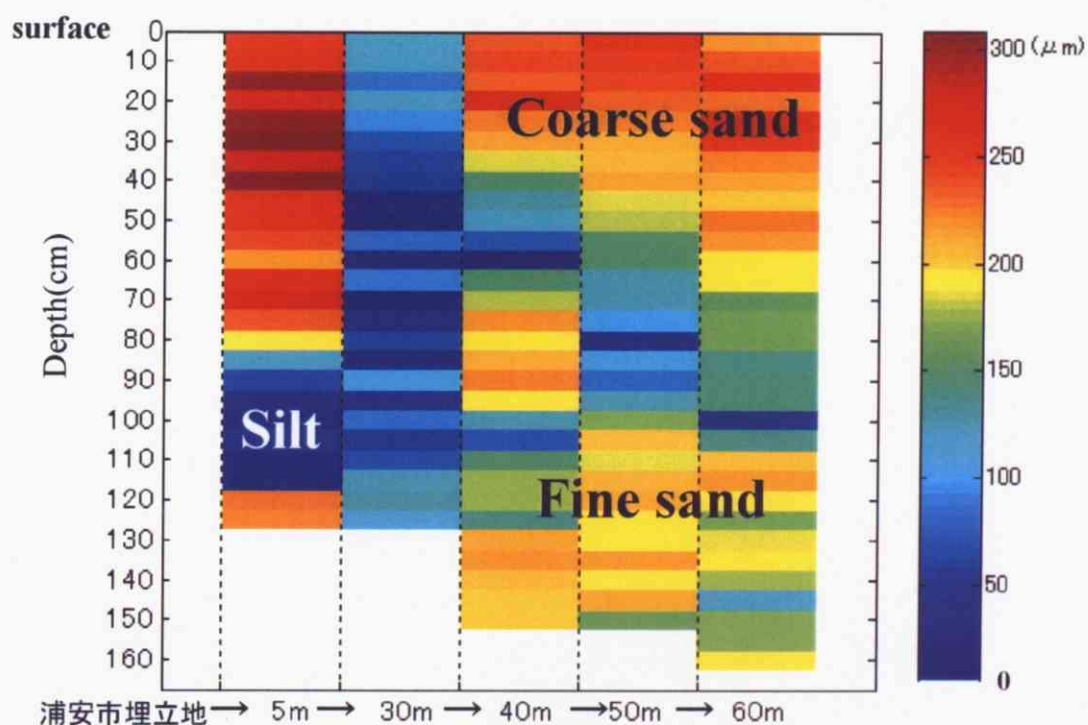


図4-18 St.5における中央粒径・セシウム-137・強熱減量・貝殻量の分布



コア試料地点



コア試料採取地点

図4-19 St.5 (前置斜面の付近) の中央粒径の分布

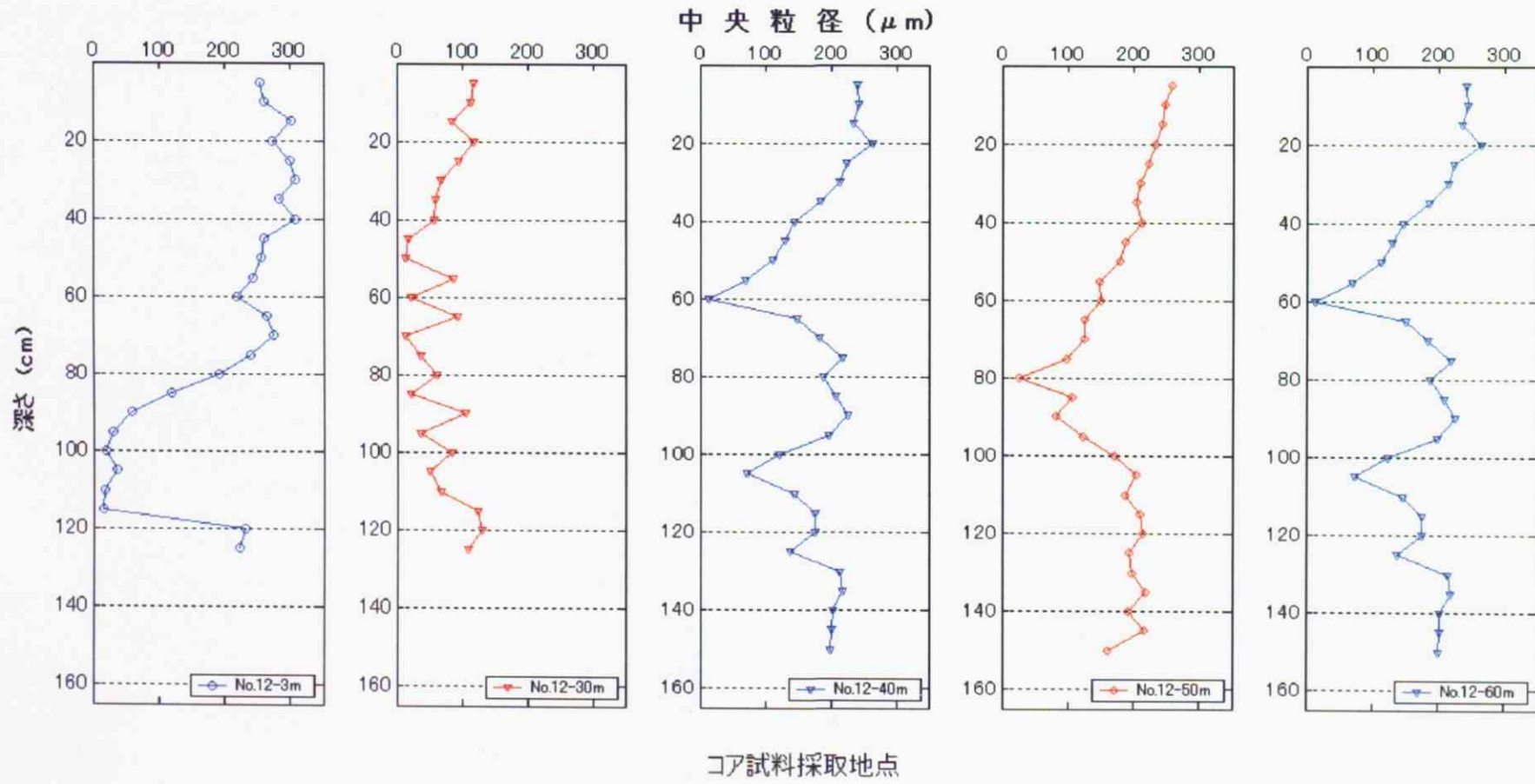


図4-20 浦安市側の天然干潟域の粒度分布

c. 年代推定・中央粒径の結果

図4-21および4-22は、各コアの粒径の鉛直分布と上記の諸指標による推測年を示している。また、図4-23は、中央付近のB海域から埋立地突端付近のC海域までの中央粒径と含水率の鉛直分布を参照グラフとして示す。

この結果から三番瀬の埋立地近傍は特性の異なる3つの海域に区分され、猫実川河口周辺のA海域では埋立前後ともにシルト質となっている。これは、埋立前後に関わらず、共通に局所波高が小さいためと考えられる。一方、中央付近のB海域は埋立を境に細砂からシルト質に変化した。これは、埋立地の遮蔽効果により波の外力が小さくなったためと考えられる。また、埋立地突端付近のC海域では埋立時にシルトが堆積した後、粗砂が堆積するようになった。これは地盤沈下に伴う水深増加によって外力が増大し、残留する底質粒径が大きくなったためと考えられる。三番瀬の前置斜面が侵食されていることから、前置斜面の底質が選択的にこの海域に堆積している可能性が高い。

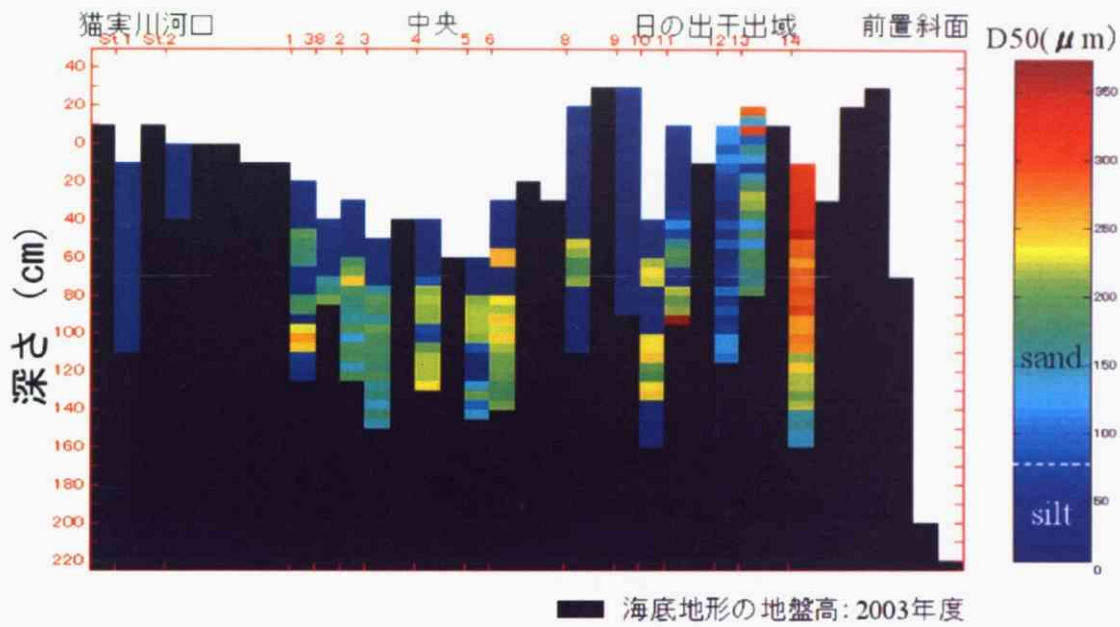
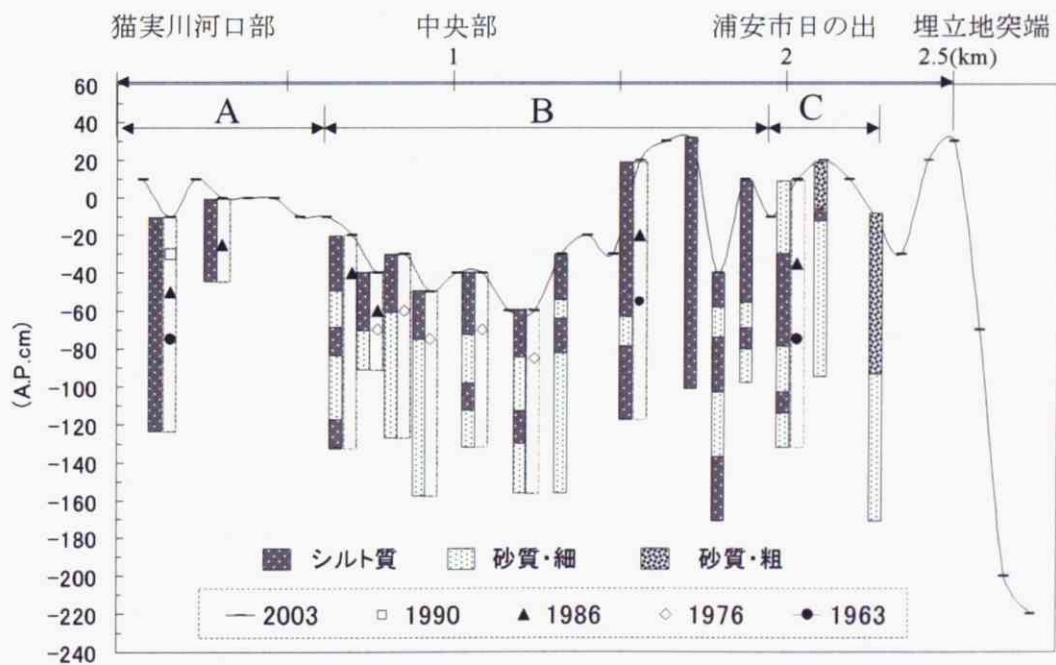


図 4 - 2 1 中央粒径測定結果



注) 分析結果は、猫実川河口から浦安市埋立地突端付近までの地点
(St. 1、St. 2、No. 38、No. 1~No. 14)

図 4 - 2 2 年代推定結果

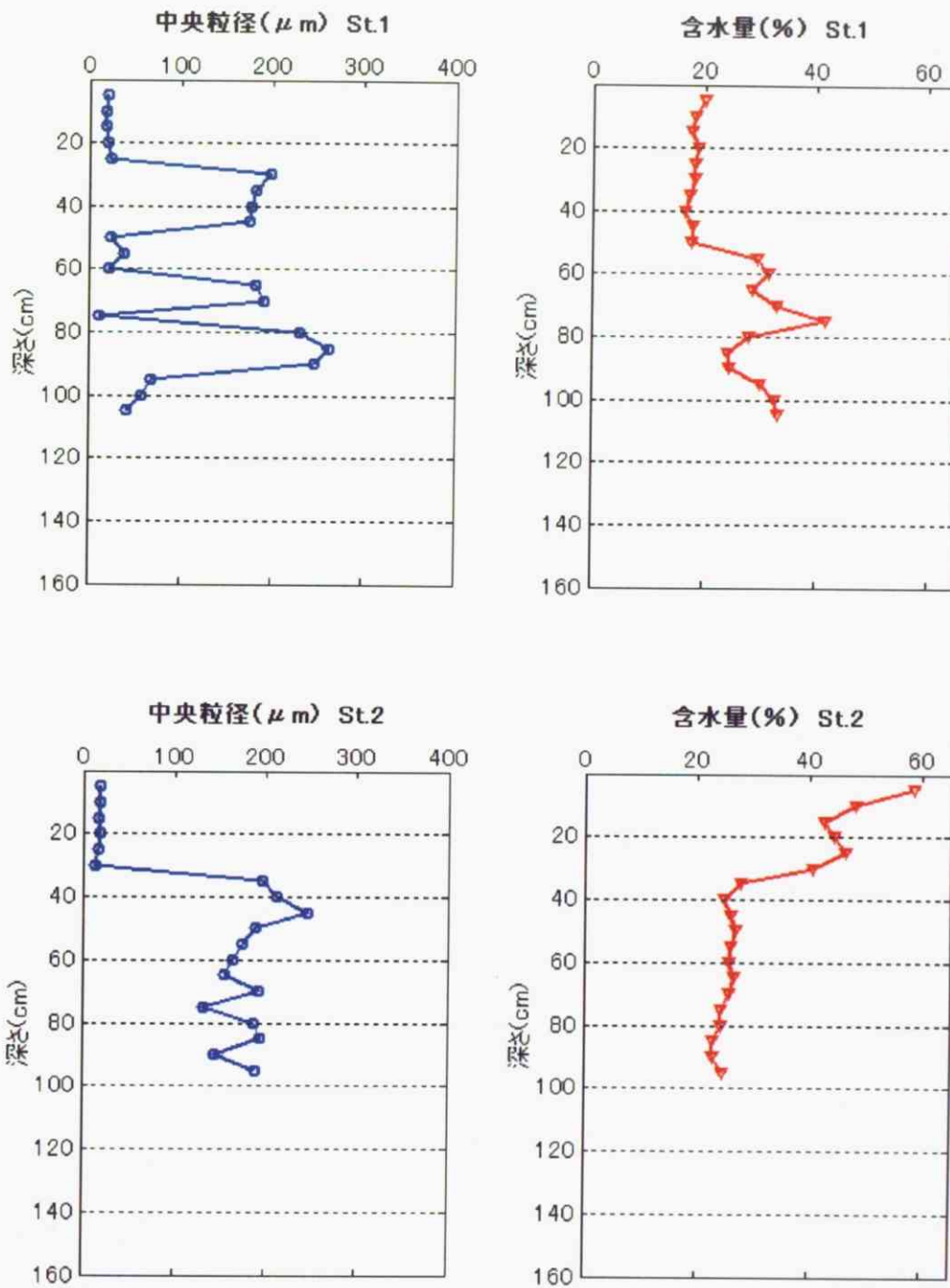


図4-23-(1) 浦安市埋立地のB及びC海域における粒度分析結果

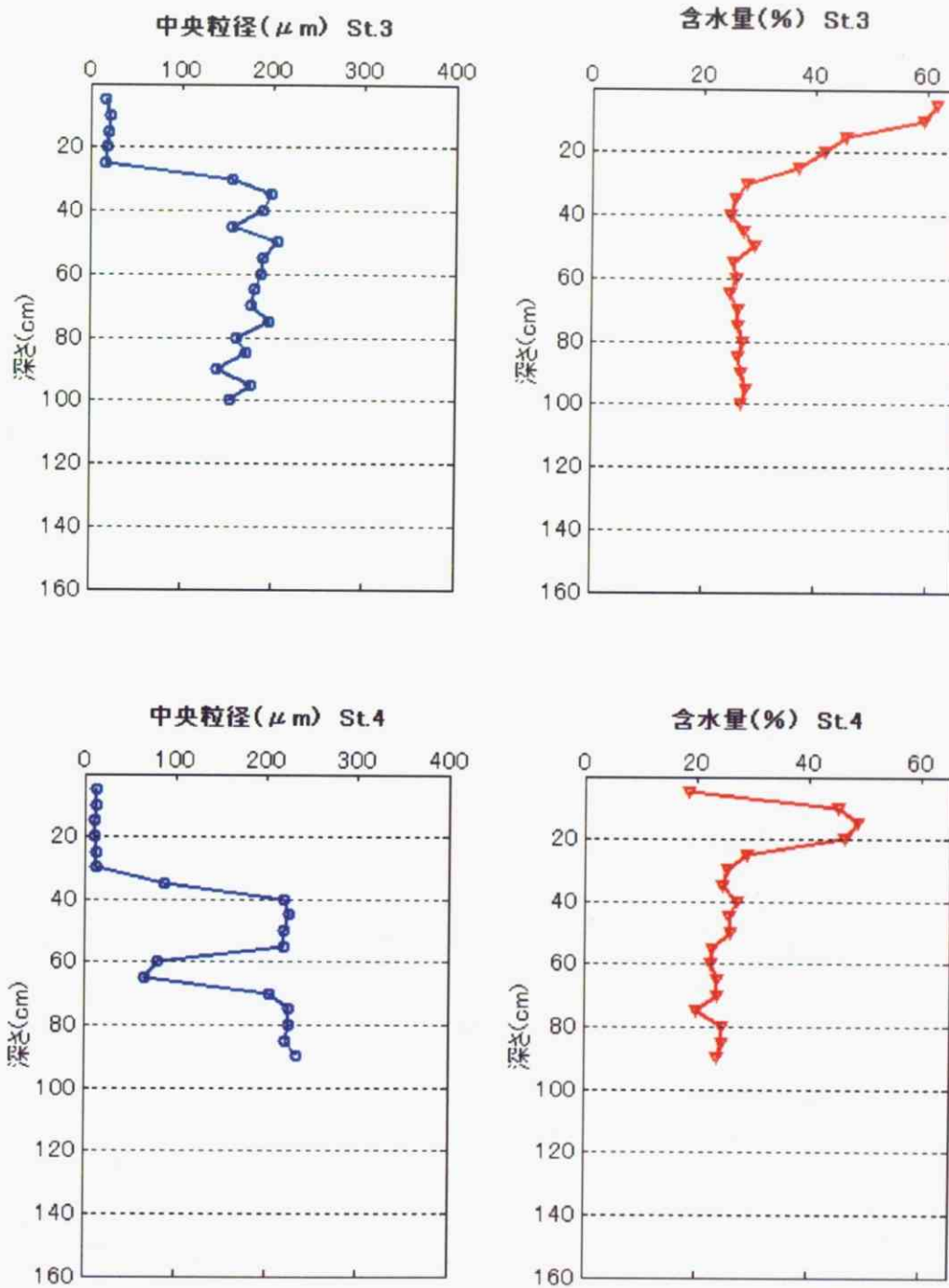


図4-23-(2) 浦安市埋立地のB及びC海域における粒度分析結果

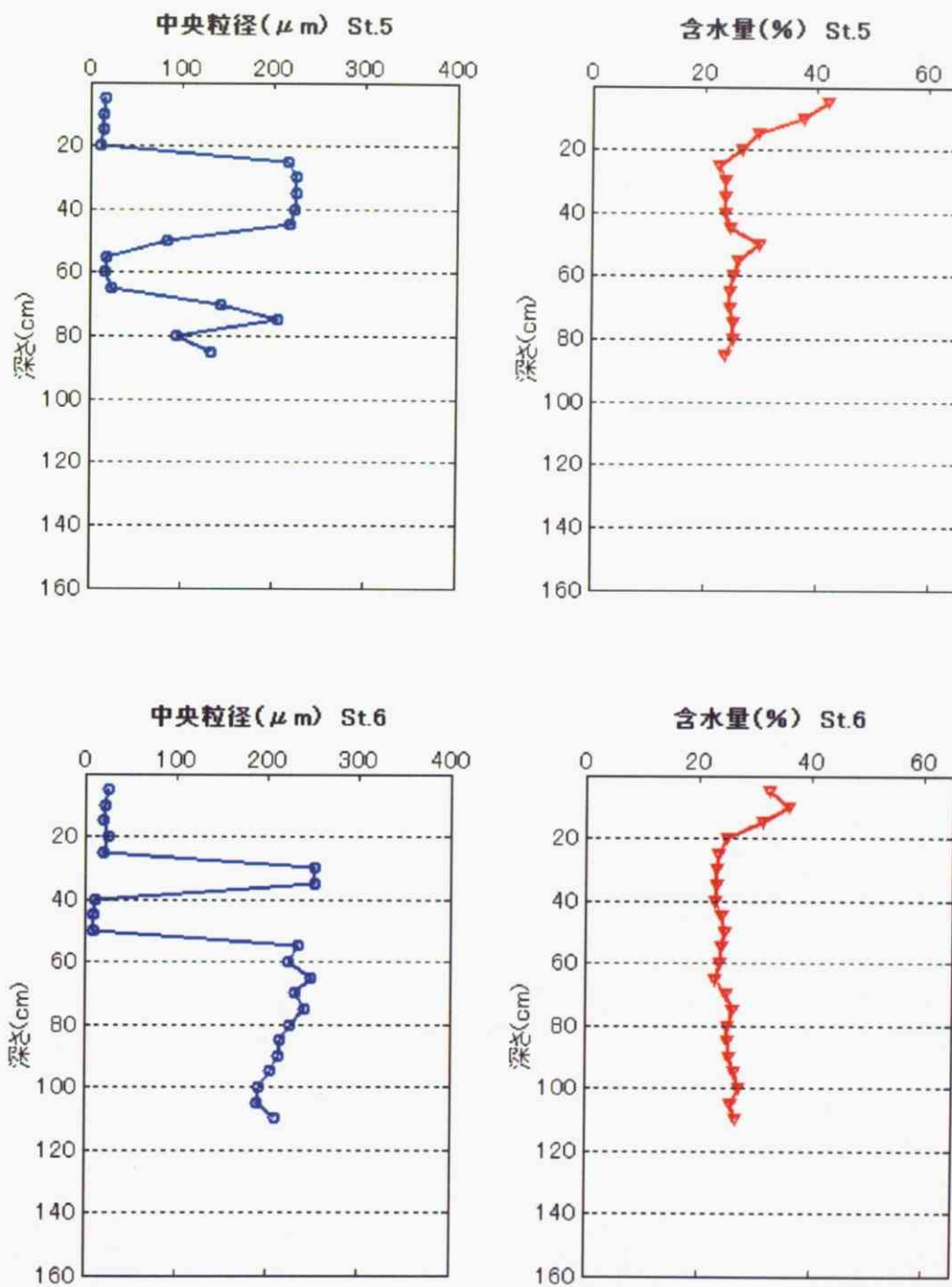


図4-23-(3) 浦安市埋立地のB及びC海域における粒度分析結果

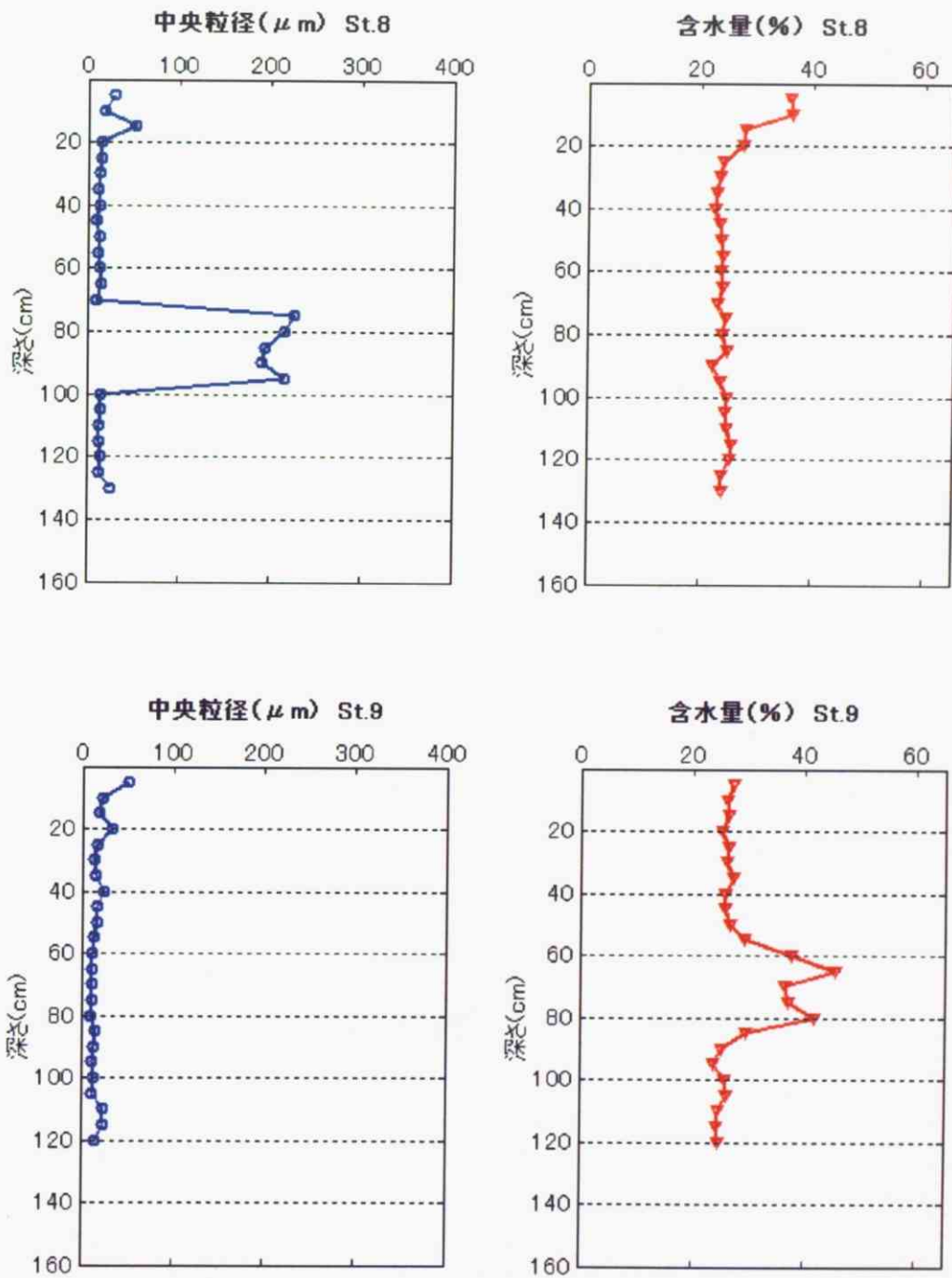


図4-23-(4) 浦安市埋立地のB及びC海域における粒度分析結果

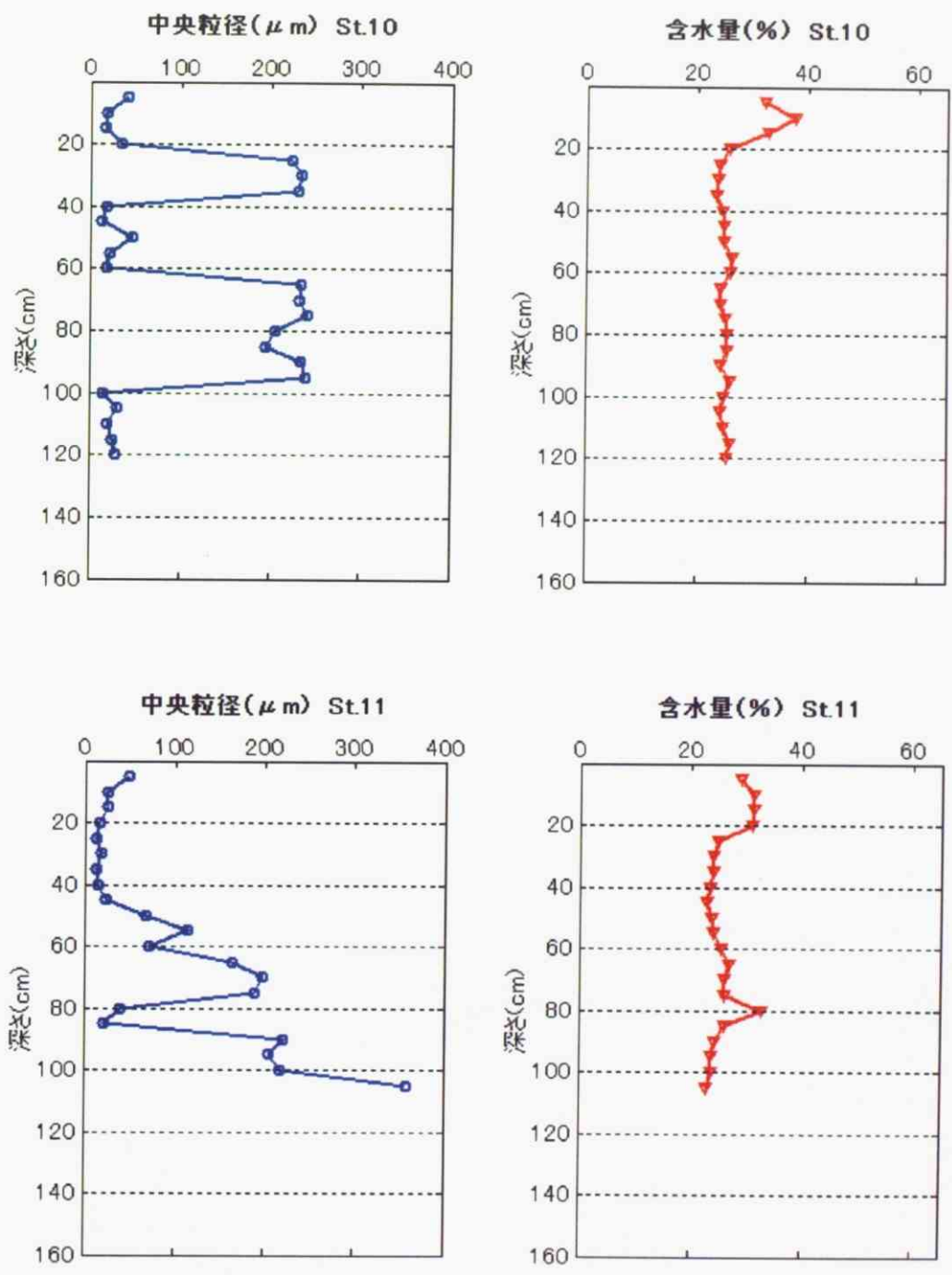


図4-23-(5) 浦安市埋立地のB及びC海域における粒度分析結果

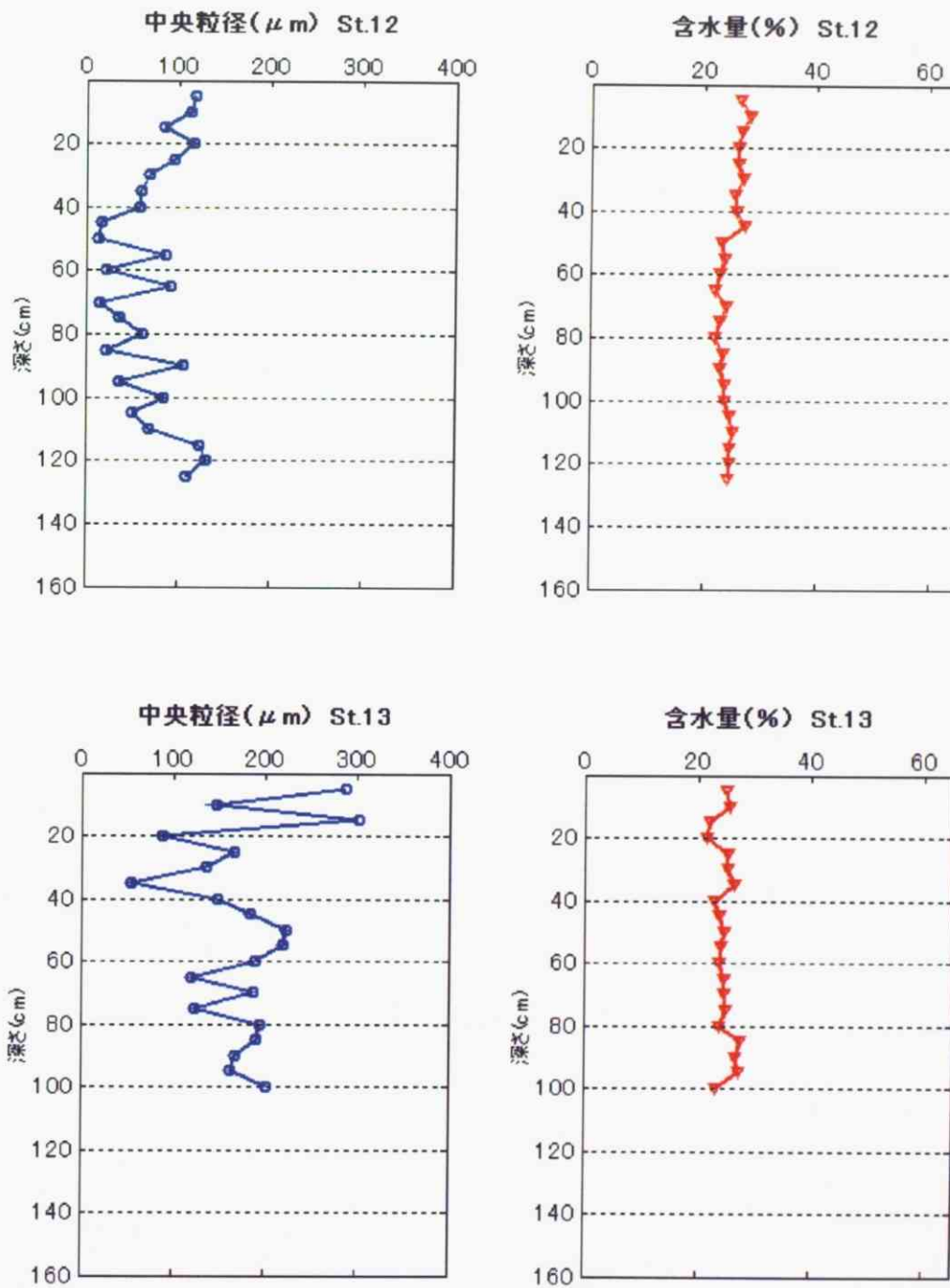


図4-23-(6) 浦安市埋立地のB及びC海域における粒度分析結果

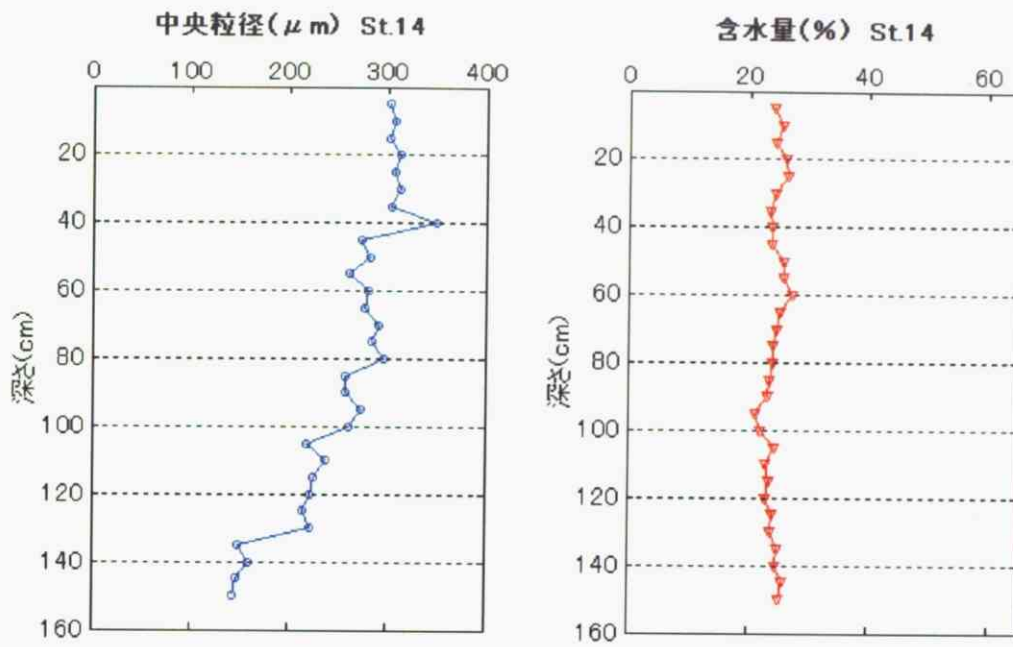


図4-23-(7) 浦安市埋立地のB及びC海域における粒度分析結果
(中央粒径測定)

参照図（注）図4-23-(1~7)は、浦安市埋立地の中央付近のB海域から埋立地突端付近のC海域までの中央粒径の鉛直分布のデータを示している。また、観測地点はNo. 1からNo. 4までである。

d. 埋立以降の堆積構造

図4-24は、埋立直後の1986年から2003年度の海底地盤までの堆積構造を示している。A、B、Cの海域を比べてみると、AとB海域の一部のD海域で堆積変化が小さい。これは、猫実川からの河川流入が遮断され、土砂供給がなくなったことが原因と考えられる。

現在の土砂供給は、主に江戸川放水路からの洪水時の出水に依存している。従って、今後D領域は海底地盤の上昇は見込めない。また、C海域で地盤の高い分布が広がり、その背後がより静穏な海域になる可能性がある。

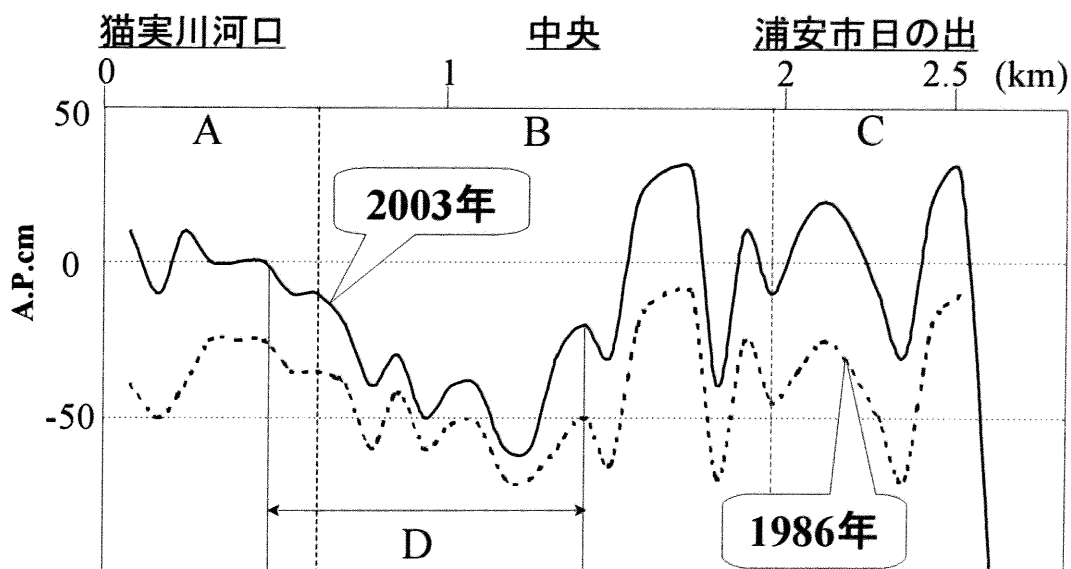


図4-24 堆積構造

e. 底質変化

図4-25は底質変化を模式的に示したものである。この図から A、B、C 海域の埋立前後の底質変化をみると、A、B 域は、埋立後からシルト質の範囲が広がっている。また、泥質性と砂質性の底生生物の生息環境が変化しており、特に B 海域において、底生生物への影響が大きいと考えられる。

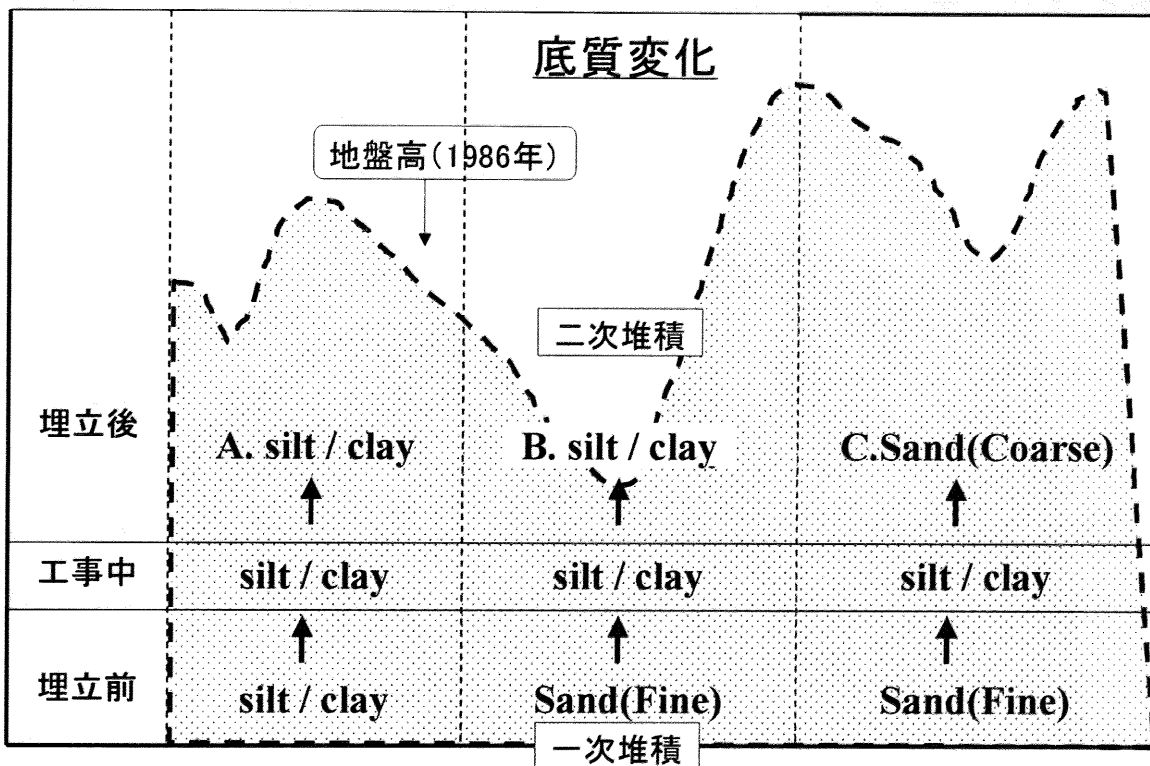


図4-25 底質変化の模式図

4.5 考察

ここでは、図4-26に三番瀬とその周辺の現在の（2003年）の地形図と考察内容を示す。まず、浦安市側三番瀬のコア試料分析結果を、表4-1、表4-2、表4-3にまとめとして示す。次に、分析結果のまとめをもとに、三番瀬全海域の底質変化、猫実川河口の汚濁流入負荷、浦安市側埋立地背後の地形・堆積過程、前置斜面域の侵食の4つについて考察を行う（図4-26参照）。

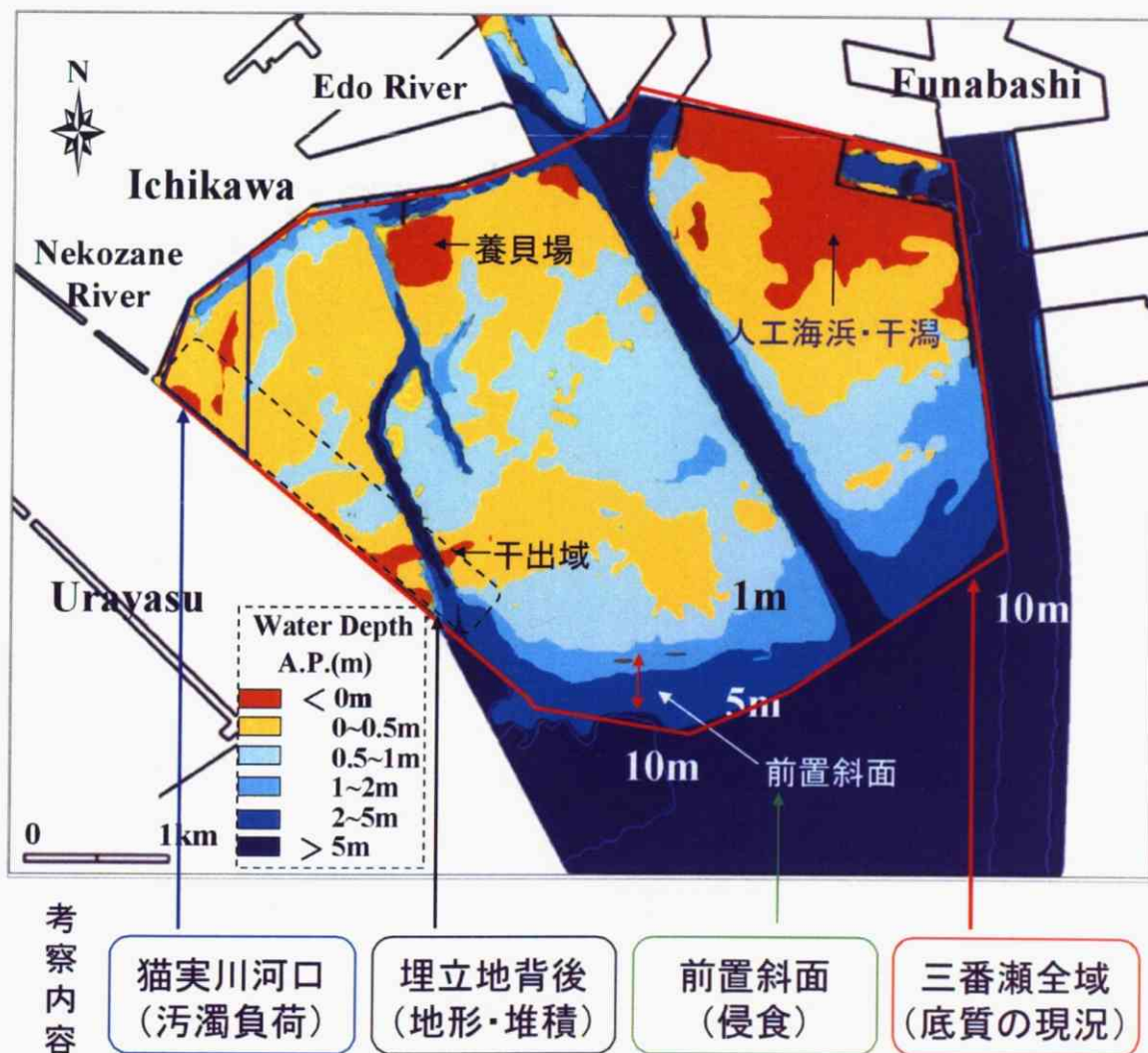


図4-26 三番瀬周辺の地形と考察内容

4.5.1 浦安市側三番瀬におけるコア試料分析結果

表4-1、表4-2、表4-3は、浦安市側三番瀬のコア試料分析結果の中で特徴ある猫実川河口域、浦安市側埋立地の中央部、埋立地突端の干出域を対象に埋立前後の堆積年代、中央粒径、有機物含有量などを求めた。各地点の項目は、平均値を算出した。

表4-1 三番瀬の猫実川河口付近(A)

層の分類	堆積形状	深度 (cm)	年代推定 (年)	堆積速度 (cm/yr)	粒径 (d_{50}) (μm)	有機物 IOL (%)
浮泥	泥	20	←1990	1.5	20.4	4.7
新生堆積	汚濁 砂泥			1.8	25.4	3.9
埋立 工事中	泥	40	←1986	1.7	19.2	4.4
基質 (自然干潟)		60	←1963	1.1	20.1	4.7
		80				
		100				

表 4 - 2 三番瀬の中央部 (B)

層の分類	堆積形状	深度 (cm)	年代推定 (年)	堆積速度 (cm/yr)	粒径 (d_{50}) (μm)	有機物炭素 (%)
新生堆積	泥	20	← 1976	1.2	28.0	
防潮堤 工事中	細砂	40			178.0	
基質 (天然干潟)		60				
		80				
		100				

表 4 - 3 三番瀬の埋立地突端付近 (C)

層の分類	堆積形状	深度 (cm)	年代推定 (年)	堆積速度 (cm/yr)	粒径 (d_{50}) (μm)	有機物 IOL (%)
新生堆積	粗砂	20	← 1986	2.0	232.4	2.2
		40				
埋立 工事中	泥	60	← 1976	3.2	28.3	3.3
		80				
基質 (自然干潟)	細砂	100	← 1965	< 1	132.6	2.2

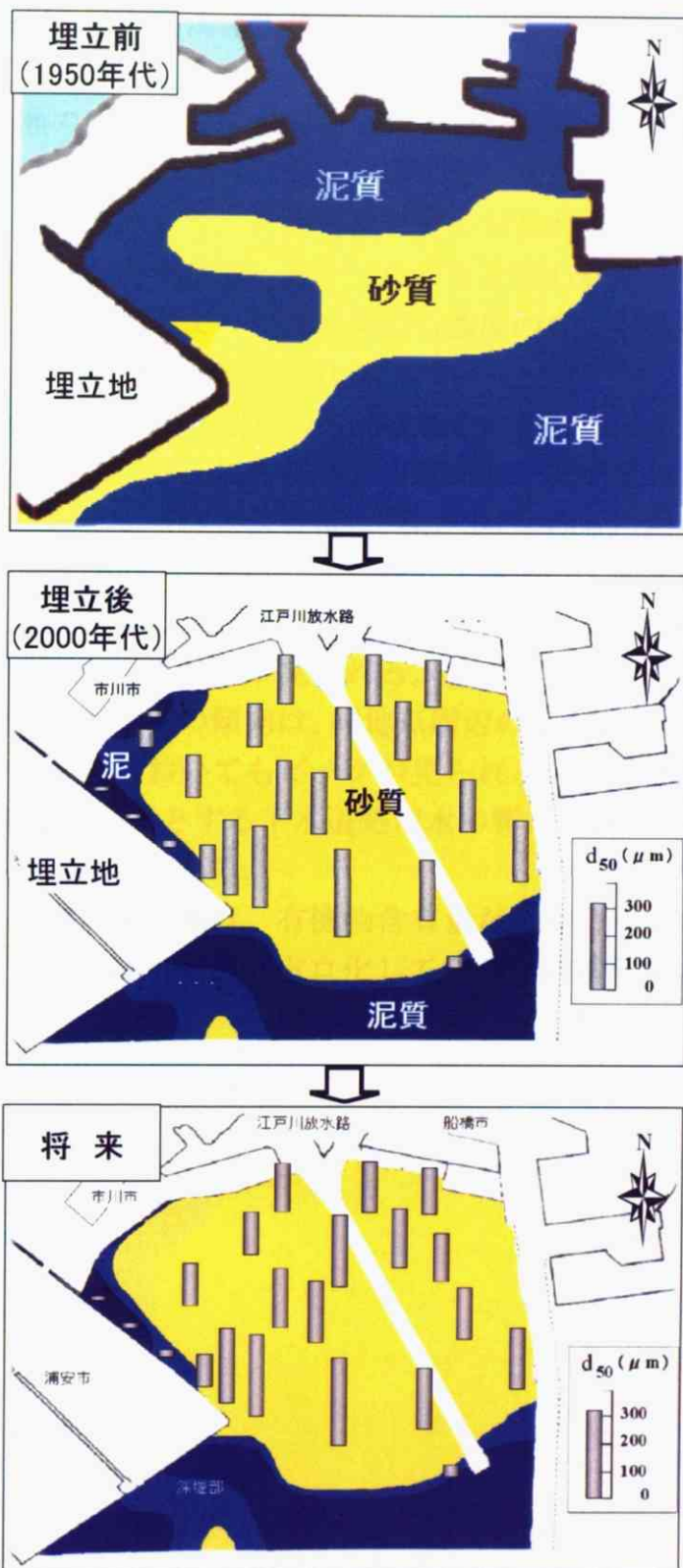
4.5.2 三番瀬における地形・底質環境の変遷

(考察-1) 三番瀬全域の底質変化

図4-27は、三番瀬の埋立前後の底質変化を示す。上図の埋立前の三番瀬底質と下図の調査結果の底質変化を比較してみると、1950年代の三番瀬内の底質環境は、陸側の泥質と前置斜面付近の砂質が広く東に伸びていた。しかし、現在は猫実川河口のみが唯一泥質環境となっており、シルト・粘土分は、ほぼ全域で大きく減少している傾向にある。このように、現在の三番瀬の底質中央粒径は $100\mu\text{m}$ 以上の単調な砂質のところほとんどである。浦安市側三番瀬においては、図4-30の底質変化図に示すとおり埋立後から現在までシルトの泥質の海域が増えた。

これらの底質変動は、地盤沈下に伴う水深増加によって外力が増大し、シルト・粘土分の細かい粒子が流出されることで、残留する底質の粒径が大きくなったため、砂質域は拡大したと考えられる。一方、図4-33の上下の深淺測量グラフにおいて地盤高が低下しており侵食傾向にある。このことから、前置斜面の底質が選択的に猫実川河口と浦安市側埋立地の中央部に堆積している可能性が高い。底質変化の主な原因について波浪と潮汐に着目すると、過去の東京湾奥部の東京灯標で観測された波浪や潮位データから報告されている内容では、海が荒れた時の波高 1m 以上の回数を見ると、侵食傾向のある1983年～1990年と1997年～2003年に荒れた時が多く、その間はやや平穏になった。また、東京灯標の年平均潮位の経年変化から、侵食傾向にある1980年から1983年、1999年から2002年には平均潮位がA.P. +120cm以上と高く、その間は 120cm を超える年はほとんどない。これはシルト・粘土分の減少時期や地形が侵食傾向になってきた時期とおおむね一致すると報告されている。このことから、底質変化の原因としては、波浪や潮位、台風などによるイベントの影響が大きいといえる。

猫実川河口における土砂供給は、江戸川放水路からの出水頻度に依存しているが、放水路から供給された砂は主に航路部に沈み、シルト・粘土分は一時に三番瀬内に広く堆積し、出水後波浪と潮汐によって三番瀬から外に運搬され、一部は猫実川河口に堆積していると考えられる。また養貝場は1982年度から1983年度にかけて覆砂されたものであるが、若干北東に動いているようである。なお、この周辺には市川前面に1980年頃には広い干出域がみられたが、ここの干出域も現在消失した。このことから、今後の猫実川河口域におけるシルトの底質域は、市川市前面から浦安市側三番瀬に移動しながら狭くなる可能性がある。



注) 上図は、東京湾の底質図(原図は5万分の1東京湾底質図(3葉、首都圏整備委員会事務局、1959~61年刊)と現在の三番瀬の地形図をもとに合成して作成。下図は、本研究の粒度分析の結果(表層の中央粒径分布、2003)。

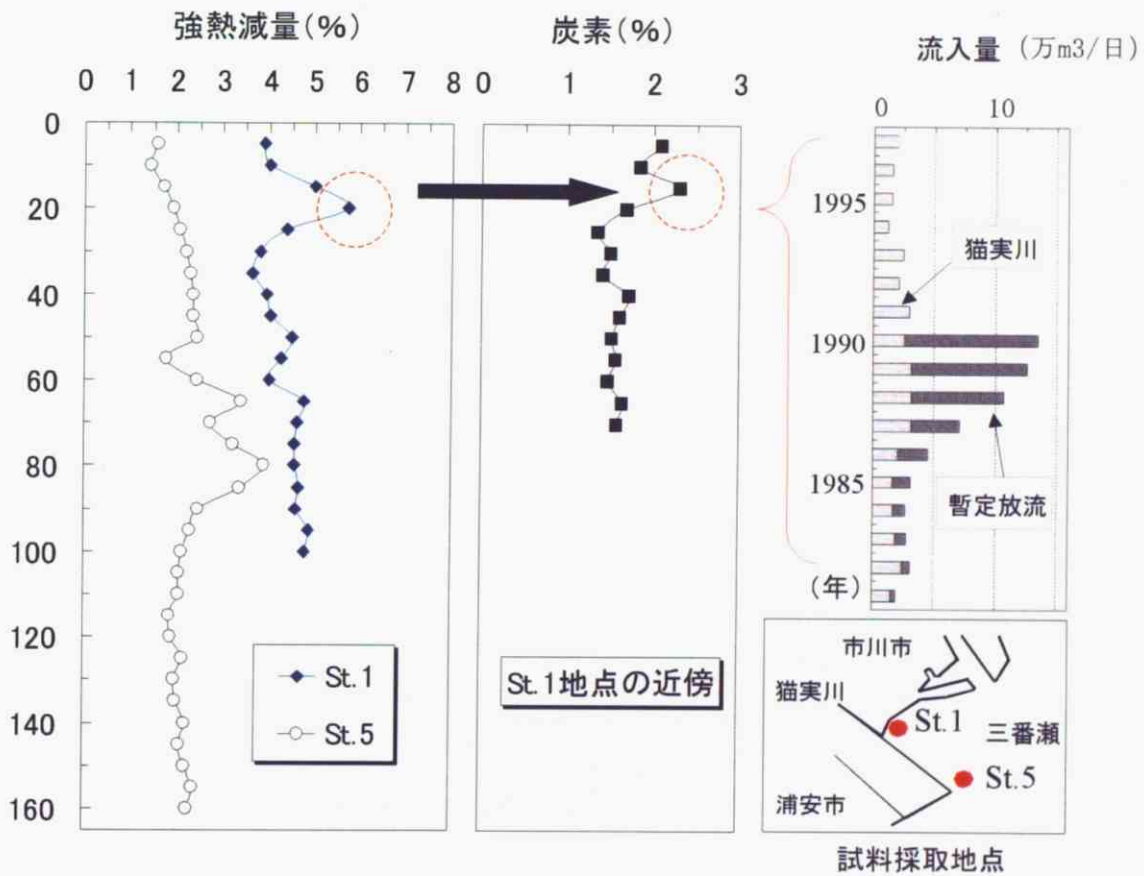
図4-27 三番瀬の底質変化図

(考察-2) 猫実川河口域の汚濁流入負荷

ここでは、三番瀬の底質環境再生の中で対立点となっている三番瀬猫実川河口の汚染流入負荷について述べる。図4-28は、強熱減量と全炭素量の鉛直の濃度変化を示したものである。有機物含有量の分布から過去の自然環境を追跡してみると、埋立前の底質環境においては、東京湾COD増加（1970ピーク）の影響が東京湾内の循環流によって三番瀬にも濃度の高い有機物が輸送され、下層に堆積するようになったと考えられる。

まず、左の図のSt.1とSt.5地点の強熱減量を比較してみると、猫実川河口のSt.1においては、深さ約20cmに有機物含有量のピークが見られる。一方、浦安市側の埋立地突端における有機物含有量は、深さ65~85cmにおいて多くなっているが、それほど多くはない。これは、主に埋立工事用の土砂流出より、一時的に有機物が増加したことを示している。また、有機物含有量の濃度は、猫実川河口から沖合にいくほど減少する傾向が見られる。特に、猫実川河口のSt.1のような有機物含有量の一時的増加の傾向は、同地点周辺の他の試料で行ったCNコーダーによる炭素量分析結果においてもピークが見られる。この強熱減量・全炭素量のピークは1990年をピークとする下水道処理水の暫定放流により、BOD値の高い水が入り込んだためと推定される。

このことから、猫実川河口域は、有機物含有量が一時急増したが、必ずしも有機物が多いというわけではなく、ヘドロ化しているとは言えない。



注) 暫定放流水は、1981、1982年には直接三番瀬に直接流入、
1983～1990年には猫実川を經由して流入。

図4-28 猫実川河口における有機物含有量の鉛直分布

(考察-3) 浦安市側三番瀬近傍

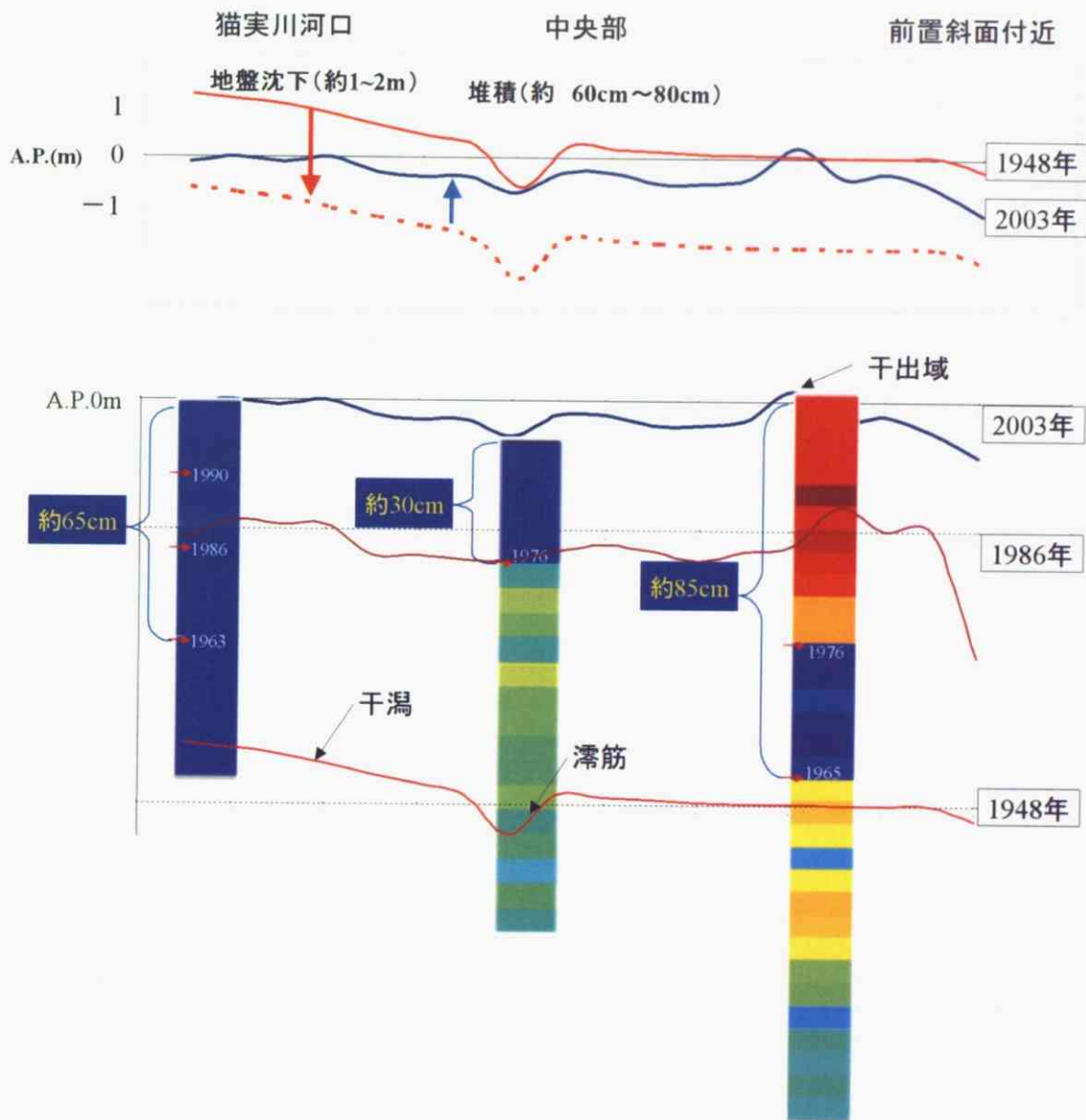
1. 地形変化

浦安市側埋立地の影響による地形変化を調べるために、猫実川河口から浦安市側の埋立地突端までの地形変化を図4-29に示す。下図は、堆積年代測定の結果から堆積速度を求めて堆積過程を明らかにした。さらに、上図は、海底地形の地盤高データ(1948~2003)と地盤沈下の変動量との関係を考慮し、埋立開始から現在までの堆積層の厚さを見積もった。

まず、埋立前(1948年)の地形をみると、陸側にヨシ原が存在し、なだらかな干潟の地形勾配を形成していた。その当時の地盤高はほとんどが干出域を示しているが、埋立後の1986年と現在の地盤高をみると、全体的に地盤の低下が進み、水深が深くなっており、干出域の消失が大きいことがわかる。

次に、埋立直後の1986年から2003年度の海底地盤までの堆積変化を比べてみると、図4-29の上図に示す猫実川河口の地盤高と地盤沈下との相対関係から見られる堆積・侵食により、60~80cmを埋立前の海底地盤面、40cmを1986年前後、20cmを1990年前後とし、埋立前から現在までに、60~80cmの堆積があったと推定される。また、埋立地中央部においては、深さ約30cmを境にして、土砂堆積の環境が変わっており、表面から約30cmの土砂が、埋立工事が完了した1978年前後以降に堆積したことは確実である。このことから、猫実川河口と中央部の一部の海域で堆積変化が小さいことがわかる。これは、猫実川からの河川流入が遮断され、土砂供給がなくなったことが原因と考えられる。現在の土砂供給は、主に江戸川放水路からの洪水時の出水に依存していることを考えると、今後この海域は海底地盤の上昇は見込めない。一方、埋立地突端付近の海域で地盤の高い分布が広がり、その背後がより静穏な海域になる可能性がある。

このことから、浦安市側三番瀬の地形は、埋立と同時に1~2m程度の地盤沈下が生じたにも関わらず、60~80cmくらい堆積したことがわかった。



注)

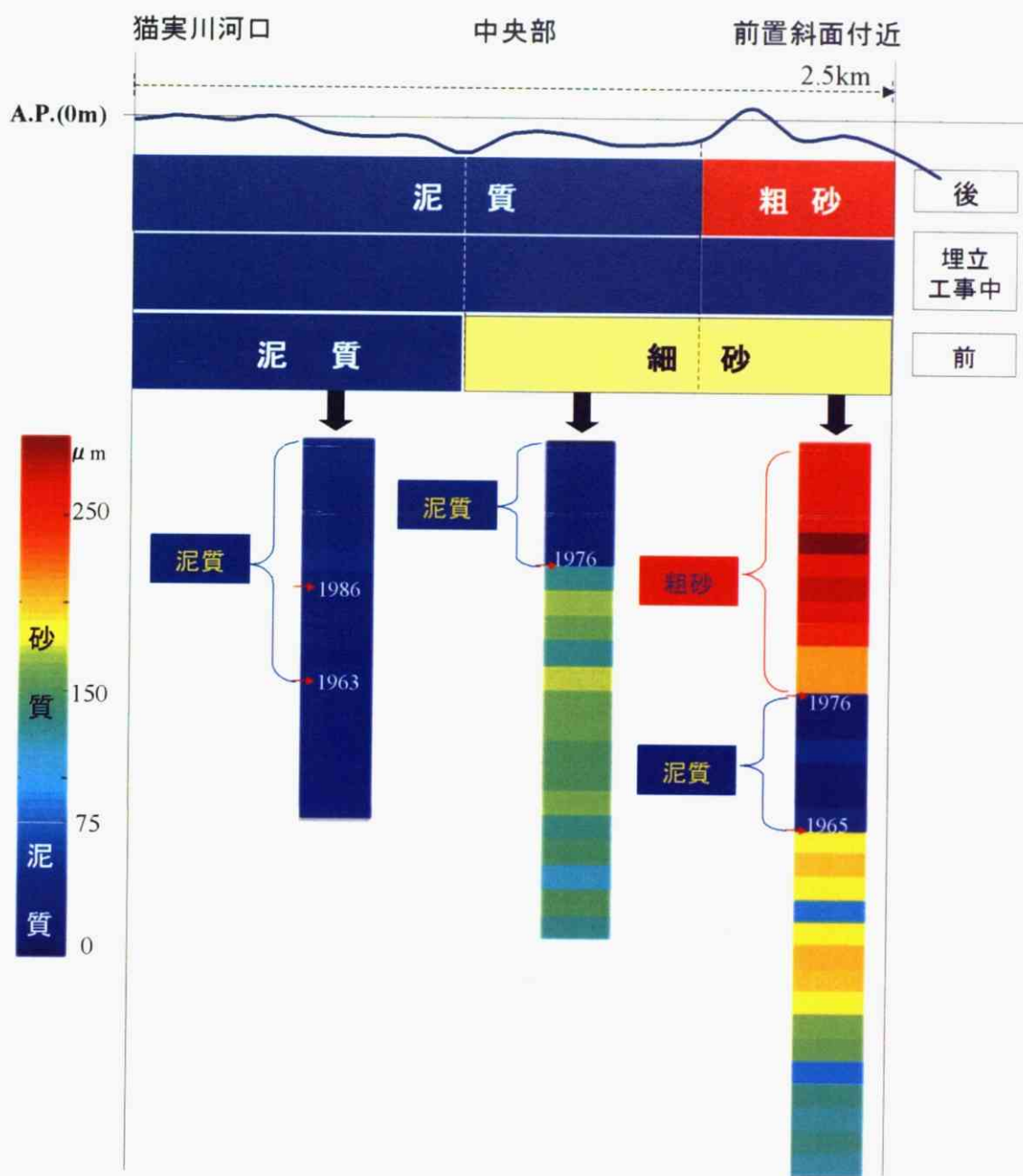
- ・ 上図の浦安側三番瀬の地形変化図は、三番瀬海底地形の地盤高のデータ（千葉県 1948～2003）と地盤沈下の変動量（千葉県企業庁、1996）をもとに作成。
- ・ 下図は、本研究のコア試料の分析結果と過去の地形データをもとに作成。また、堆積年代は、強熱減量ピーク（1990年）、放射線強度・セシウム-137 ピーク（1986年と1963年）、中央粒径（1976年と1965年）によるもの。

図4-29 浦安側三番瀬の地形変化図

2. 底質変化

図4-30は底質変化を模式的に示したものである。この図からそれぞれの海域の埋立前後の底質変化をみると、三番瀬の埋立地近傍は特性の異なる3つの海域に区分され、猫実川河口周辺では埋立前後ともにシルト質となっていることがわかる。これは、埋立前後に関わらず、共通に局所波高が小さいためと考えられる。また、中央付近は埋立を境に細砂からシルト質に変化した。これは、埋立地の遮蔽効果により波の外力が小さくなったためと考えられる。一方で、埋立地突端付近では埋立中に流出したシルトが沈降してから埋立時に堆積した後、粗砂が堆積するようになったことがわかる。

このことから、浦安側の埋立地近傍での底質の堆積過程は、猫実川河口のみならず、中央部もシルト堆積域に変化し、猫実川河口と中央部は、埋立後からシルトの泥質の範囲が広がった。このように、泥質性と砂質性の底生生物の生息環境が変化しており、特に中央の海域において、底生生物への影響が大きいと考えられる。



注)

- ・ 浦安側三番瀬の底質変化は、コア試料の分析結果をもとに作成。
- ・ 堆積年代は、放射線強度・セシウム-137 ピーク (1986 年と 1963 年)、中央粒径 (1976 年と 1965 年) によるもの。

図 4 - 3 0 浦安側三番瀬の底質変化図

(考察-4) 浦安市干出域の地形変化の考察

図4-31及び4-32に浦安市側干出域とその周辺の現在と過去の深浅図と断面図を示す。深浅測量のデータを比較すると、浦安市日の出域付近から東に延びるA.P.0mの干出域は、1986から1991年の間に埋立地の近くから堆積が始まり、2000年には細長い砂州が形成されるが、2003年には地盤高が低下して干出域の面積が減少している。これは、2000年以降の三番瀬全体の侵食傾向があった期間と一致し、その影響の可能性が高い。また、図4-33の上下に示すように、斜面の侵食と干出域の堆積との相関関係がみられることから、この干出域を形成している土砂は、図4-33の斜面1と斜面2の前置斜面から供給されているものと推測される。また、斜面1の上部の砂は、深堀部へも崩れ落ちているため、この部分の侵食によって現在の地盤が後退し、三番瀬の浅海域が狭くなりつつある。また、これからの干出域は、三番瀬に入射する波浪を減衰させて、干出域から内側の三番瀬沖をより静穏な海域にしている。

将来的に考えると、浦安市側埋立地突端から茜浜までの浅海域は波浪と潮流によって砂が流され徐々に減少し、最終的には前置斜面の全体が侵食されるとともに、粒径も粗くなっていくことが考えられる(表4-3の埋立後の中央粒径変化を参照)。また、三番瀬の面積も減少していく可能性が高い。今後、侵食の変動や、深さ、粒径と潮流や波浪の影響との関連性も含めて地形の変化を調査していく必要がある。

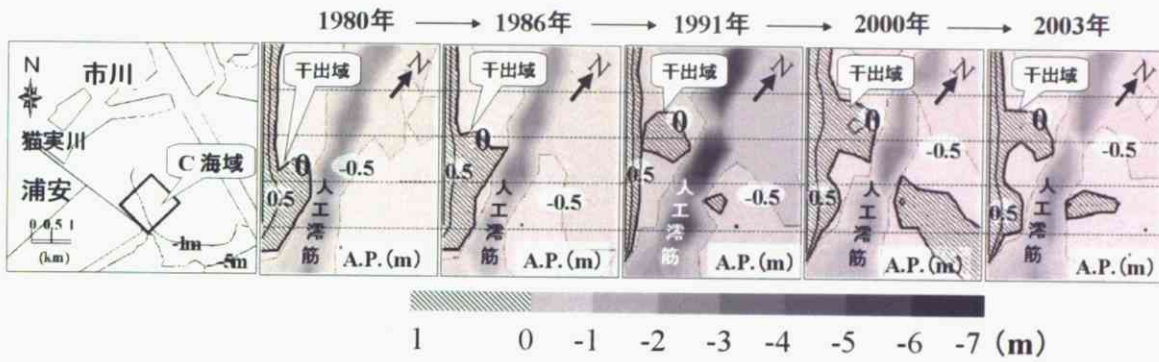
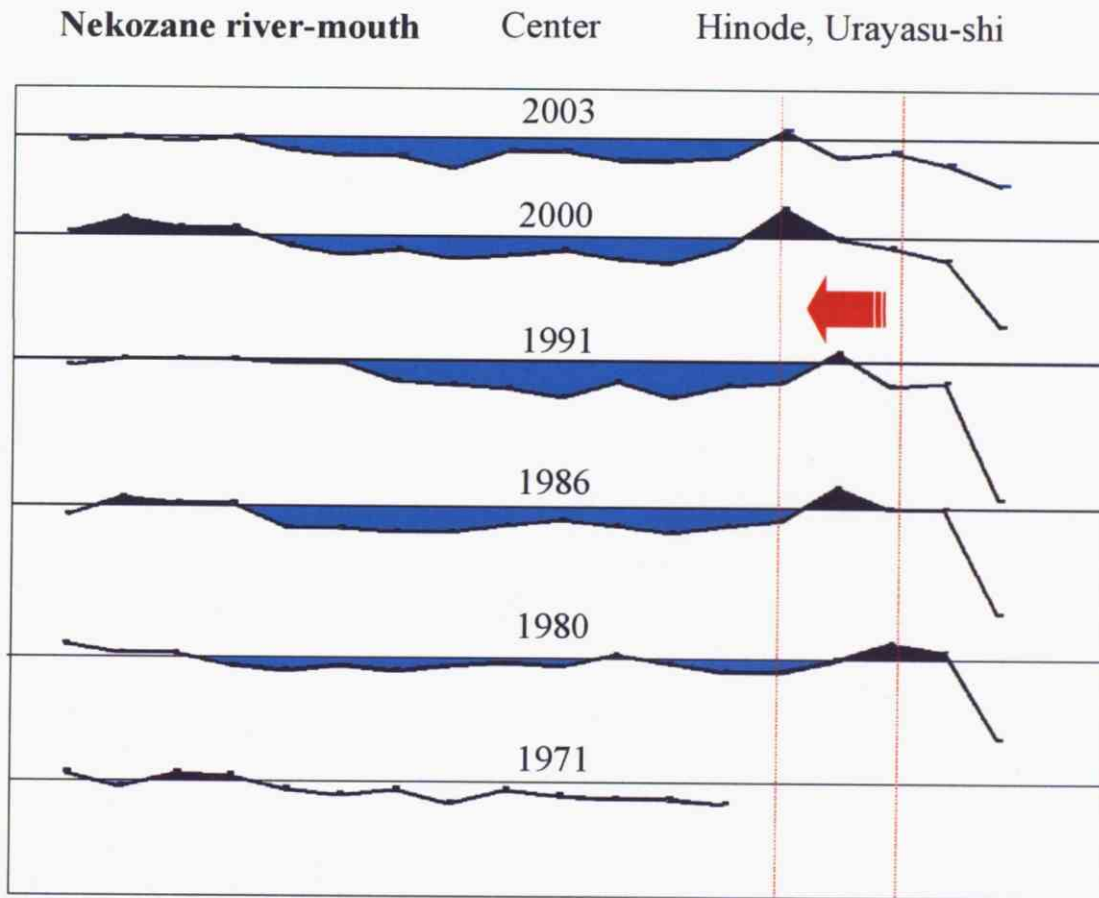
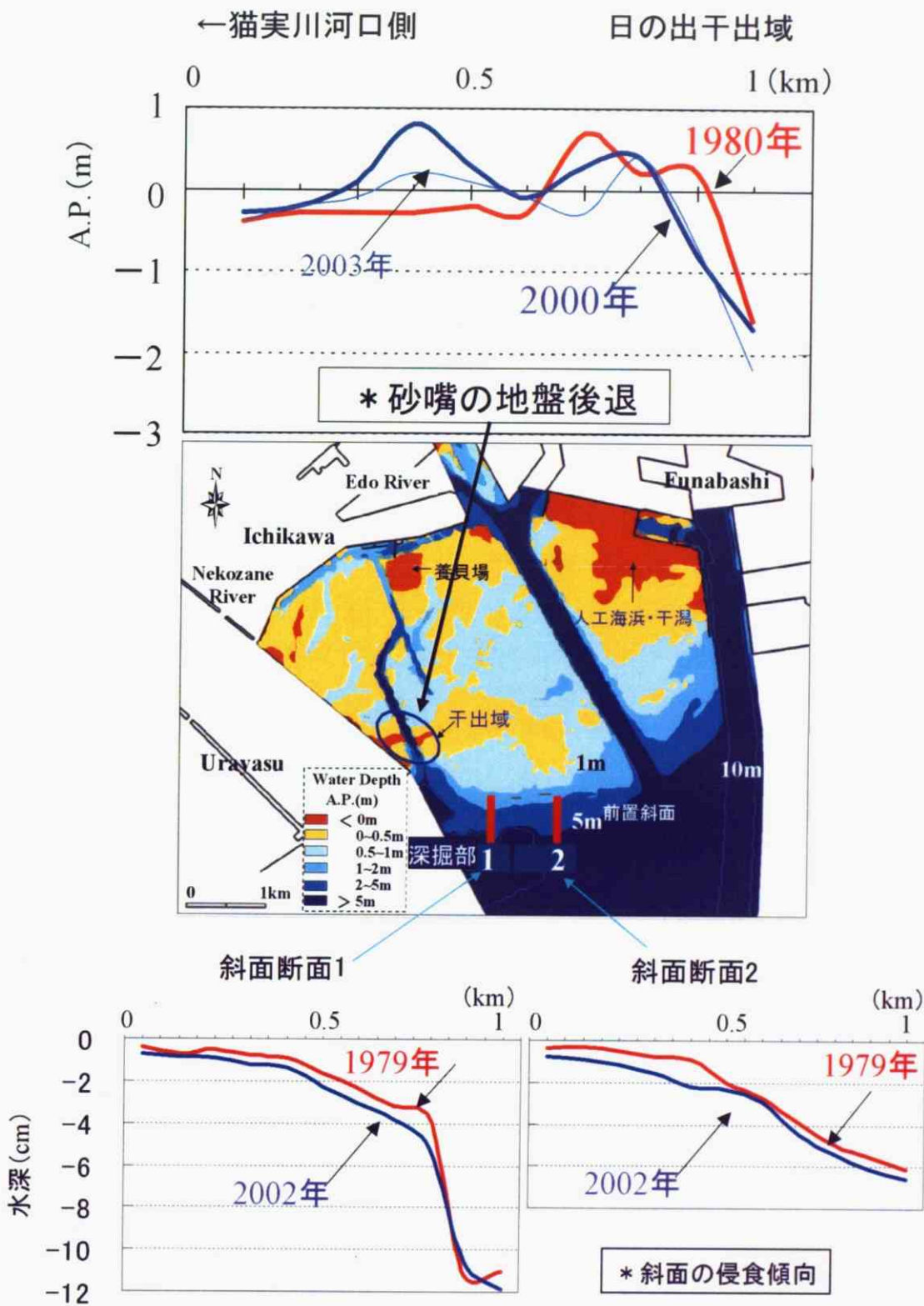


図 4 - 3 1 浦安市側干出域の海底の地形変化図



出典：三番瀬海底地形の地盤高（西側）のデータより。

図 4 - 3 2 浦安市側三番瀬における海底の地形変化の断面図



注)・上図は、三番瀬海底地形の地盤高 (西側) のデータをもとに作成。

・下図は、平成 14 年度三番瀬海底変化検討調査報告書より。

図 4-33 浦安日の出と前置斜面との地盤高変化量の比較

4.6 まとめ及び今後の課題

① 三番瀬全域の底質変化

1950年代の三番瀬内の底質環境は、陸側の泥質と前置斜面付近の砂質が広く東に伸びていた。しかし、現在は猫実川河口のみが唯一泥質環境となっており、シルト・粘土分は、ほぼ全域で大きく減少している傾向にある。このように、現在の三番瀬の底質中央粒径は100 μ m以上の単調な砂質のところほとんどである。一方、浦安市側三番瀬においては、埋立後から現在までシルトの底質の海域が増えた。これらの底質変動は、地盤沈下に伴う水深増加によって外力が増大し、シルト分の細かい粒子が流出されることで、残留する底質の粒径が大きくなったため、砂質域は拡大したと考えられる。

前置斜面においては、地盤高が低下しており、侵食傾向にあることから、前置斜面の底質が選択的に猫実川河口と浦安市側埋立地の中央部に堆積している可能性が高い。この底質変化の主な原因について波浪と潮汐に着目すると、過去の東京湾奥部の東京灯標で観測された波浪や潮位データからもシルト・粘土分の減少時期や地形が侵食傾向になってきた時期と海が荒れた時がおおむね一致すると報告されている。このことから、底質変化の原因としては波浪や潮位、台風などによるイベントの影響が大きいといえる。

猫実川河口における土砂供給は、江戸川放水路からの出水頻度に依存しているが、放水路から供給されたシルト・粘土分は一時的に三番瀬内に広く堆積し、出水後波浪と潮汐によって沖合に運搬されるが、一部は猫実川河口に堆積していると考えられる。また、養貝場は、1982年度から1983年度にかけて、覆砂されたものであるが、若干北東に動いているようである。なお、この周辺には市川前面に1980年頃には広い干出域がみられたが、ここの干出域も現在は消失した。このことから、今後の猫実川河口域におけるシルトの底質域は、市川市前面から浦安市側三番瀬に移動しながら狭くなる可能性がある。

② 猫実川河口域の汚濁流入負荷

三番瀬の底質環境再生の中で対立点となっている瀬猫実川河口の汚濁流入負荷について調べた結果では、猫実川河口のSt. 1において深さ約20cmに有機物含有量のピークが見られる。一方、浦安市側の埋立地突端における有機物含有量は、深さ65~85cmにおいて多くなっているが、それほどではない。これは、主に埋立工事用の土砂流出より、一時的に有機物が増加したためと考えられる。また、有機物含有量の濃度は、猫実川河口から沖合にいくほど減少する傾向が見られる。特に、猫実川河口のSt. 1のような傾向は、同地点周辺の他の試料で

行った CN コーダーによる炭素量分析結果においてもピークが見られる。この強熱減量・全炭層量のピークは 1990 年をピークとする下水道処理水の暫定放流により、BOD 値の高い水が入り込んだためと推定される。

このことから、猫実川河口域は、有機物含有量が一時急増したが、必ずしも有機物が多いというわけではなく、ヘドロ化しているとは言えない。

③ 浦安市側三番瀬近傍

a. 地形変化

浦安市側埋立地の影響による地形変化を調べた結果では、まず、埋立前（1948 年）の地形をみると、陸側にヨシ原が存在し、なだらかな干潟の地形勾配を形成していた。その当時の地盤高はほとんどが干出域を示すが、埋立後の 1986 年と現在の地盤高をみると、全体的に地盤の低下が進み、水深が深くなっており、干出域の消失は大きい。

次に、埋立直後の 1986 年から 2003 年度の海底地盤までの堆積変化を比べてみると、猫実川河口の地盤高と地盤沈下との相対関係から見られる堆積・侵食により、60～80 cm を埋立前の海底地盤面、40 cm を 1986 年前後、20 cm を 1990 年前後とし、埋立前から現在までに、60～80 cm の堆積があったと推定される。また、埋立地中央部においては、深さ約 30 cm を境にして、土砂堆積の環境が変わっており、表面から約 30 cm の土砂が、埋立工事が完了した 1978 年前後以降に堆積したことは確実である。このことから、猫実川河口と中央部の一部の海域では堆積変化が小さいことがわかる。これは、猫実川からの河川流入が遮断され、土砂供給がなくなったことが原因と考えられる。現在の土砂供給は、主に江戸川放水路からの洪水時の出水に依存していることを考えると、今後この海域は海底地盤の上昇は見込めない。一方、埋立地突端付近の海域で地盤の高い分布が広がり、その背後がより静穏な海域になる可能性がある。

このことから、浦安市側三番瀬の地形は、埋立と同時に 1～2m 程度の地盤沈下が生じたにも関わらず、60～80cm くらい堆積したことがわかった。

b. 底質変化

底質変化においては、それぞれの海域の埋立前後の底質変化をみると、三番瀬の埋立地近傍は特性の異なる 3 つの海域に区分され、猫実川河口周辺では埋立前後ともにシルトの泥質となっている。これは埋立前後に関わらず、共通して局所波高が小さいためと考えられる。また、中央付近は埋立を境に細砂からシルト質に変化した。これは、埋立地の遮蔽効果により波の外力が小さくなったためと考えられる。一方で、埋立地突端付近では埋立中に流出したシルトが

沈降してから、埋立時に堆積した後、粗砂が堆積するようになったことがわかった。

このことから、浦安市側の埋立地近傍での底質の堆積過程は、猫実川河口のみならず、中央部もシルト堆積域に変化し、猫実川河口と中央部は、埋立後からシルトの泥質の範囲が広がったことがわかる。このように、泥質性と砂質性の底生生物の生息環境が変化しており、特に中央の海域において、底生生物への影響が大きいと考えられる。

④ 浦安市干出域の地形変化

浦安市干出域の地形変化において深淺測量のデータを比較すると、浦安市日の出付近から東に延びる A. P. 0mの干出域は、1986 から 1991 年の間に埋立地の近くから堆積が始まり、2000 年には細長い砂州が形成されるが、2003 年には地盤高が低下して干出域の面積が減少している。これは、2000 年以降の三番瀬全体の侵食傾向があった期間と一致し、その影響の可能性が高い。また、前置斜面の侵食と干出域の堆積との相関関係がみられることから、この干出域を形成している土砂は、前置斜面から供給されているものと推測される。また、斜面上部の砂は、深堀部へも崩れ落ちているため、この部分の侵食によって現在の地盤が後退し、三番瀬の浅海域が狭くなりつつある。また、これらの干出域は、三番瀬に入射する波浪を減衰させて、干出域から内側の三番瀬沖をより静穏な海域にしている。

将来を考えると、浦安市側埋立地突端から茜浜までの浅海域は波浪と潮流によって砂が流され徐々に減少し、最終的には前置斜面の全体が侵食されるとともに、粒径も粗くなっていくことが考えられる。また、三番瀬の面積も減少していく可能性が高い。今後、侵食の変動や、深さ、粒径と潮流や波浪の影響との関連性も含めて地形の変化を調査していく必要がある。

第 5 章

韓国始華湖の水質・底質環境の現地調査

5.1 背景

図5-1に、始華湖周辺の海岸線の変遷を示す。始華湖は韓国ソウル市から約40km南西に位置する流域面積476.5km²、湖面積61km²規模の広大な人工湖である。始華湖は水資源確保のための淡水湖や農地・工業用地の造成を目的として計画され、1994年12.7kmの閉め切り堤防竣工により完成した。しかし、始華湖周辺の工場排水による水質悪化やそれに伴う魚介類の死滅・岩のりの不漁など漁業被害が深刻化し、完成から3年後の1997年には水門を開放、2000年12月には韓国政府が始華湖の淡水化を正式に断念し、海水湖として維持することを決めた。また、始華湖の排水門は、常時開門ではなく、始華湖内の水位を外海よりもマイナス1mに維持するようコントロールするために開閉を繰り返している。このような水門開放と並行して水質改善策が実施されている。

表5-1は、始華湖の歴史的経緯に関する既存資料を収集し、とりまとめたものである。始華湖は、京畿道安山市、始興市、華城市に面する入り江として、海が閉め切られる前には「半月湾」と呼ばれた。潮汐の干満差が大きく、緩やかな海底勾配を形成していた。また、船舶の出入りする航路は水深が20m程度で、そのほかはほとんど10m以浅の干潟・浅海域となっていた。しかし、半月湾周辺は1970年代から1990年代後半にかけて安山工業団地、始華湖防潮堤の完工及び永宗島新空港建設、松島新都市建設などの大規模な干拓事業が行われ、多くの干潟域が消失した。このような海岸線の変遷は、流況変化をもたらして底棲生物を始めとする生物の生息に悪影響を促したと見られる。

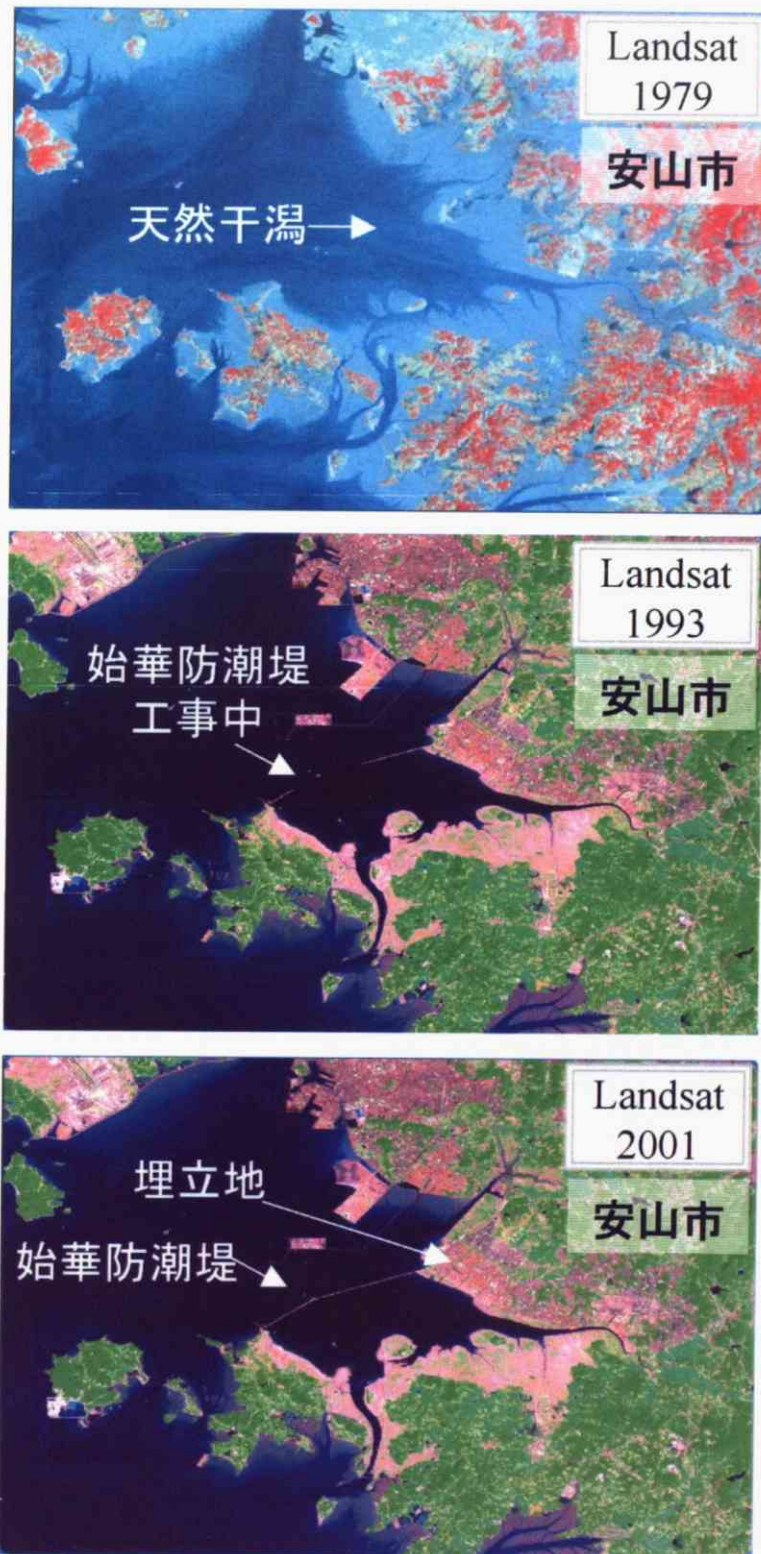


図5-1 韓国始華湖周辺の海岸線の変遷

表 5 - 1 始華湖における主要年代

1977.04	安山新工業都市基本計画の決定
1986.12	始華工業団地造成工事着工
1987.04 ~ 1994.01	始華防潮堤工事着工 閉切り堤防完成 (12.7km) ・ ・ 始華湖誕生 (淡水湖)
1996.07	始華湖の水質改善策発表 (環境部)
1997.03	始華防潮堤の排水門開門
2000.12	政府は「始華湖の淡水化計画白紙化」を発表
2001.08	始華湖特別管理海域の総合管理計画 (海洋水産部)

図 5 - 2 の上図は、始華湖の水質環境の変遷を示す。これは、韓国水資源公社によって定期観測された COD 濃度の経年変化である。

図 5 - 3 に示す△点の A から C までの 3 地点において、表層水 (毎 1 回/月) の分析データを平均したものである。COD の推移からみると、始華湖の水質は 1994 年の防潮堤完工後に急激に悪化し、1997 年夏には、表層水の平均 COD が 20mg/l 以上までに達している。また、水門を開放した後から 2000 年にかけて目に見えて水質が改善されており、堤防閉め切り前の状態に近づきつつあるように見える。

しかし、閉め切り堤防完成後には、急激な人口増加による生活排水や工業団地の廃水が閉め切られた始華湖に流入している。そして、その履歴が現在の始華湖の底質コアに記録されているものと考えられる。

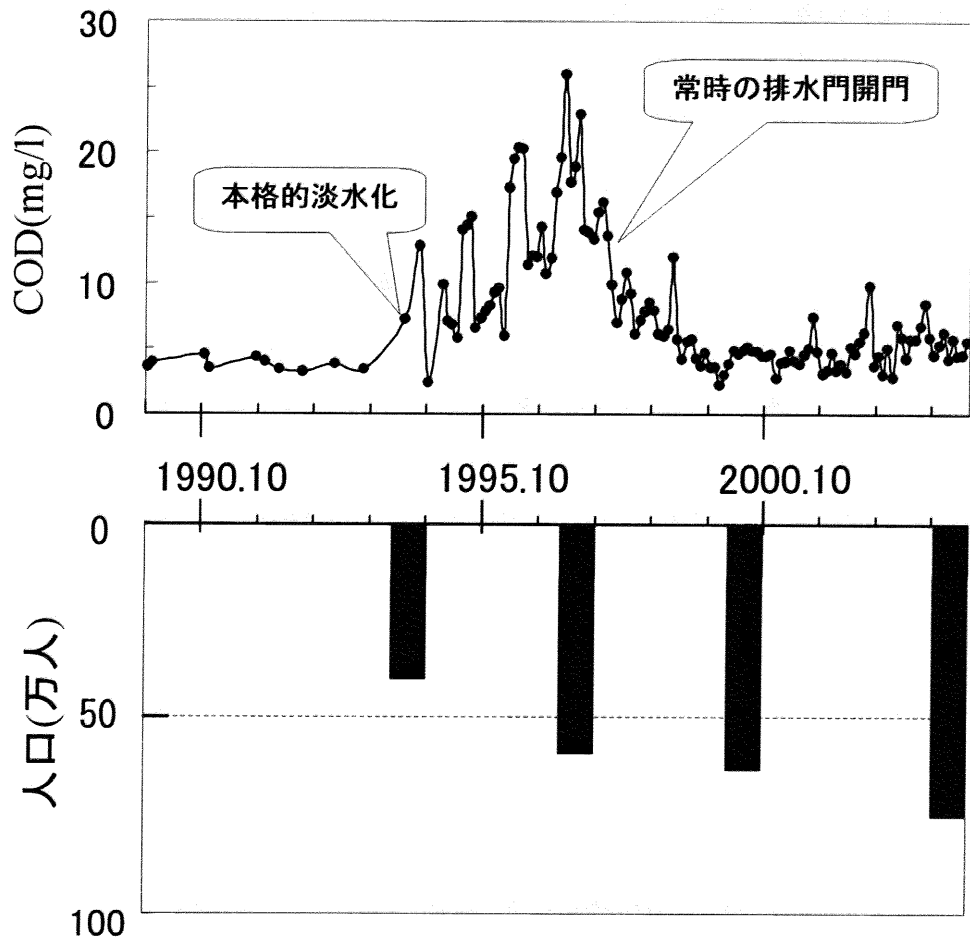


図 5 - 2 始華湖周辺における COD および人口の推移

5.2 目的

今後、始華湖及び周辺流域の環境問題（水質・底質）を解決するためには、現行の水質改善策の有効性を確認する必要があるが、始華湖における水質と底質の関連については現地観測のデータが不足していることもあって明らかにされていない。

そこで本研究においては、水温、塩分、溶存酸素等の水質観測とともに、底質コアを採取して種々の方法によって分析を行うことにより、始華湖の水質の現況および底質環境の変化を把握することを目的とした。

5.3. 観測の内容

5.3.1 水質測定とコア試料採取法

図5-3は、研究対象とした始華湖周辺の地形、及び2004年11月に行った水質と底質コアの試料採取点を示すものである。

調査には韓国政府認可の調査船「ハヌル号」を用いた。吃水深度・航海能力を考慮して水深2m以上の始華湖全水域を対象とした。また、調査測線を設定し、DGPS 測位によって測点を確認しながら水質観測および底泥のコア採取を行った。

具体的には、まず2004年11月19日に、始華湖内の●点のNo.1からNo.10までの10地点において、米国YSI社製の投げ込み式DO計(YSI-58)と塩分計(YSI-30)を用いて、水温、塩分、溶存酸素などの鉛直分布を1m間隔で測定した。

さらに、始華湖内のコア試料採取は2004年11月21日に水路に沿った✕点の3カ所(C1河口付近～C3排水門)で行った。底質試料採取には、柱状採泥器を用いた。この採泥器はパイプがステンレス製で、鉛のおもりが付いており、塩ビ製パイプ(内径60mm)を内装するようになっている。インナーは長さ2mの円形パイプを使用した。船上のウインチから本体の上部にロープをつけ、水面近くまでおろし、重りをつけた採泥器を自由落下させてつきさすという重力式である。

これらによって採取された試料は、立てたままにして水を上からくみ出した後、試料のない部分のパイプは切る。これを実験室に持ち帰って、縦に半割りにし、断面を5cm間隔で分割して乾燥後に微粉碎した。そして冷凍保存し、以下のような種々の分析を行った。

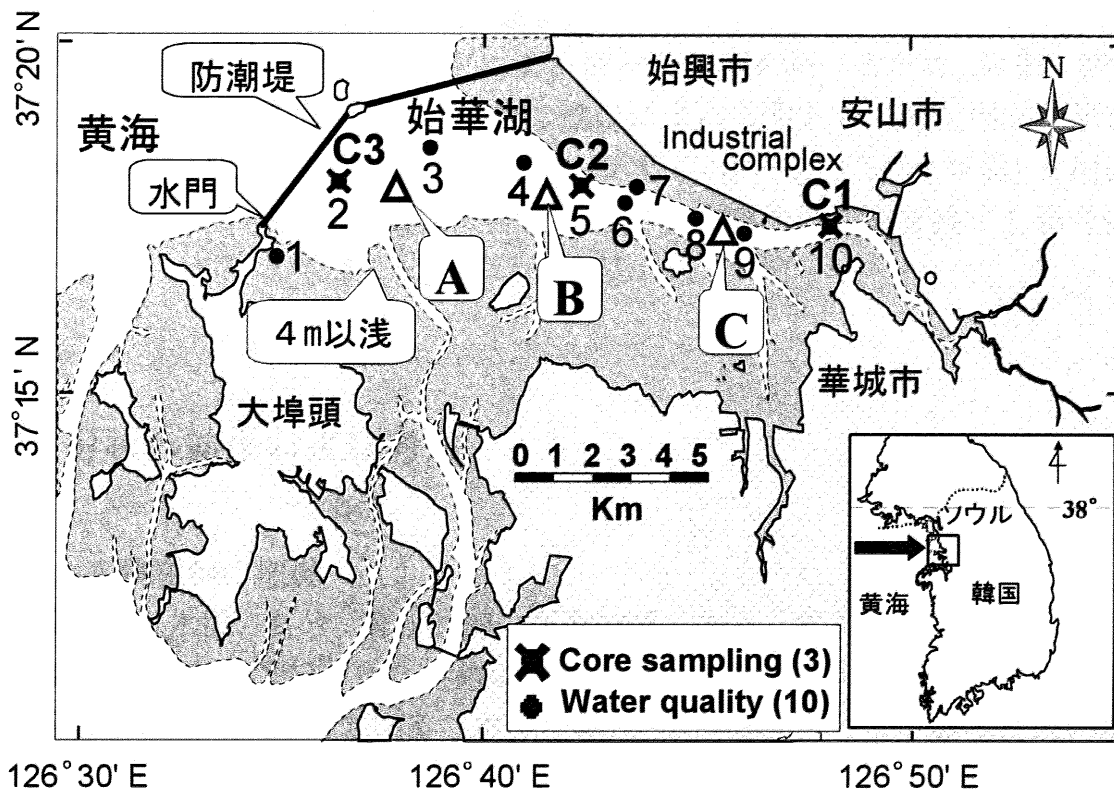


図5-3 始華湖および底質試料採取地点

5.3.2 分析方法

まず、中央粒径と含水率を測定した。中央粒径の測定にはレーザー回折式粒度分析測定装置（島津製作所製、SALD-3000S）を用いた。含水率は、底質試料を105℃の乾燥機で24時間以上乾燥し、堆積物中の土粒子に対する水の質量比を百分率で示した。

堆積年代推定を行うために、46.5 keV（鉛-210）と放出率84%の661.6 keV（セシウム-137）のγ線を検出することにより放射線強度を測定した。鉛-210は、半減期22.3年であり、自然の大気中に一定の割合で存在するため、攪乱が起これば堆積傾向が続けば、堆積後の崩壊により深さ方向に放射線強度が減衰することになる。また、セシウム-137は半減期30年の放射性核種であり、核実験の影響で1986年と1963年に降下量のピークがあったことがわかっており、鉛直分布のピークにより年代推定に利用できる。測定器は、γ線検出器（米国

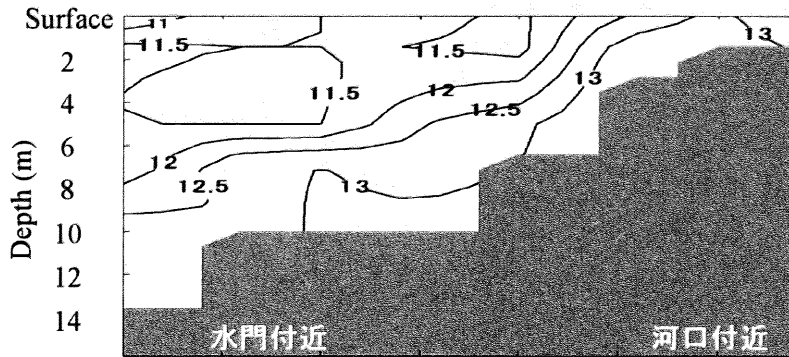
ORTEC 社製、GMX29P HP-Ge) と SEIKO EG&G 社製の Spectrum Navigator を用いた。

堆積物から汚濁負荷の流入などによる様々な影響を調べるため、炭素、窒素、C/N 比を測定した。測定方法は有機物の燃焼によって生じる二酸化炭素を測定する C/N 分析が一般的である。本研究では、MT 型 CN コーダー (ヤナコ製) を用い、測定を行った。この値は堆積物に含まれている有機物の起源を論ずる場合に有用である。

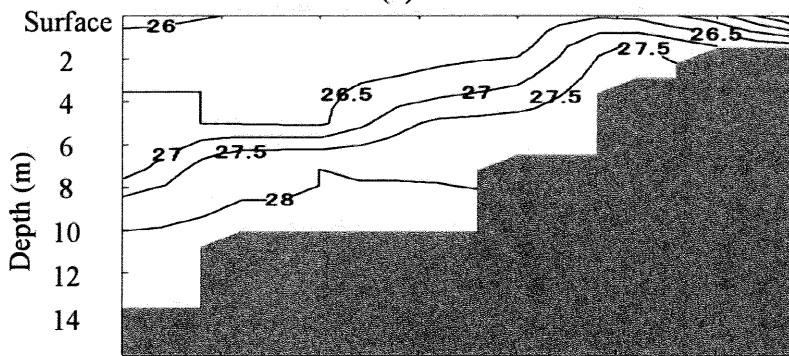
5.4 分析の結果および考察

5.4.1 水質現況の把握

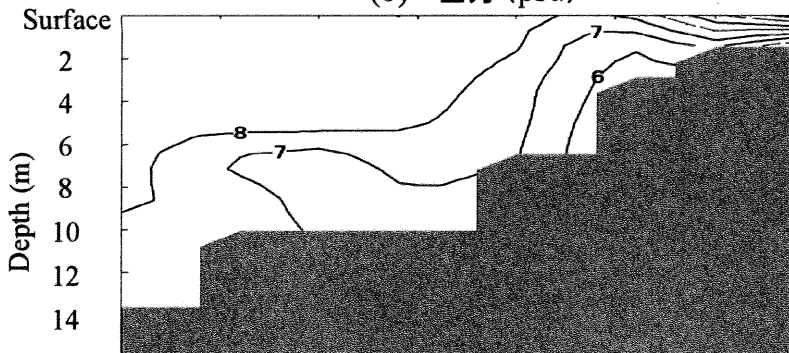
図 5-4 は水温、塩分、溶存酸素の観測結果である。観測時 (11 月 19 日午前) は、気温が 5 度以下であったために、海面からの冷却により表層の水温が低下し、底層よりも低くなっている (水温逆転)。しかし、塩分は上層ほど低い状態であり、下層の密度の方が高いので、鉛直混合は起こっていない。このように始華湖の河口付近においては、秋季においても塩分の鉛直分布の影響が強いため成層化していることがわかる。またこのような塩分成層の影響により、溶存酸素濃度は下層で低濃度となっていることが分かる。



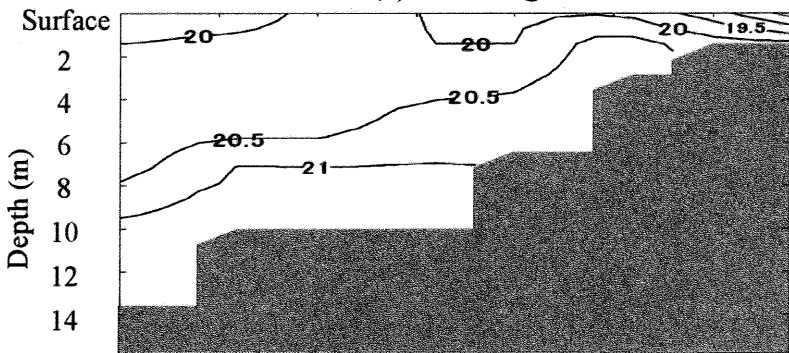
(a) 水温(°C)



(b) 塩分(psu)



(c) DO(mg/l)



(d) 密度(sigma-t)

図5-4 水温(a)、塩分(b)、DO(c)、密度(d)の鉛直分布

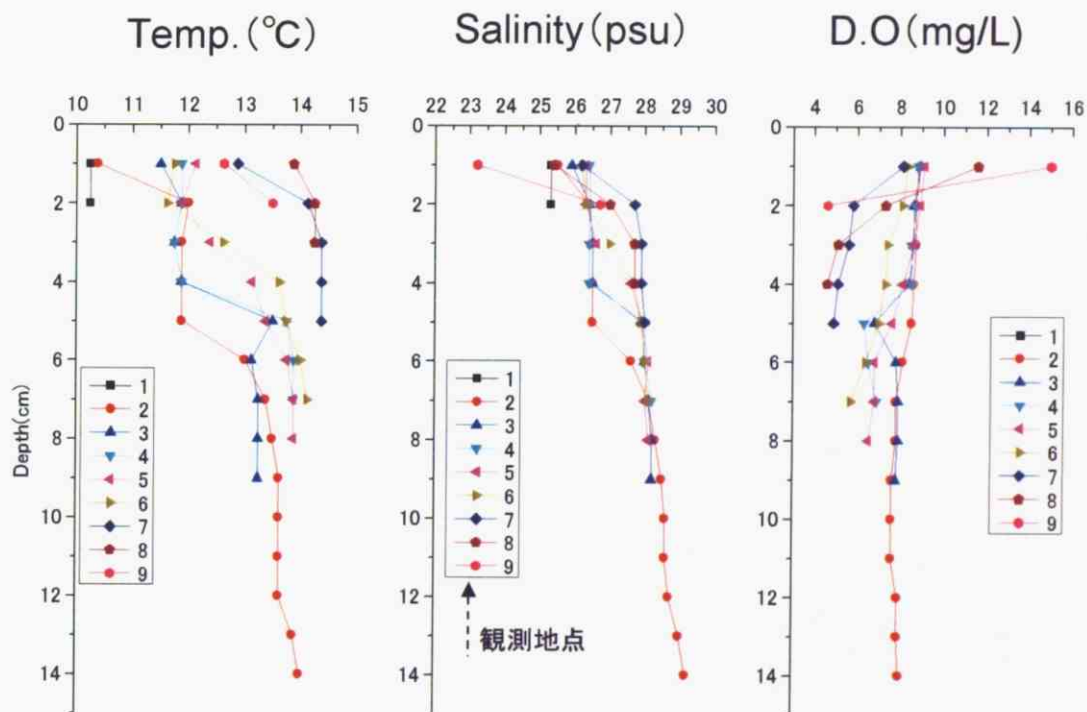


図 5 - 5 始華湖における水温、塩分、D0 の鉛直分布

5.4.2 底質分析の結果

a. 底質コア資料写真

図5-6は、コア断面の写真を示すもので、観察では、C1地点において表層から78cmまでに黒色、その下層が灰色に、C2地点においても表層から20cmまでが黒色で、灰色、褐色の順になっている。

また、C3地点には表層から約3cm程度の黒色の堆積層が残っているだけで、その下層が褐色になっている。このように各観測地点において明瞭な泥色変化が見られており、それぞれに堆積構造の異なる異種層の混入が観察された。これらは汚濁堆積層、一般的干潟堆積層などと推定される。

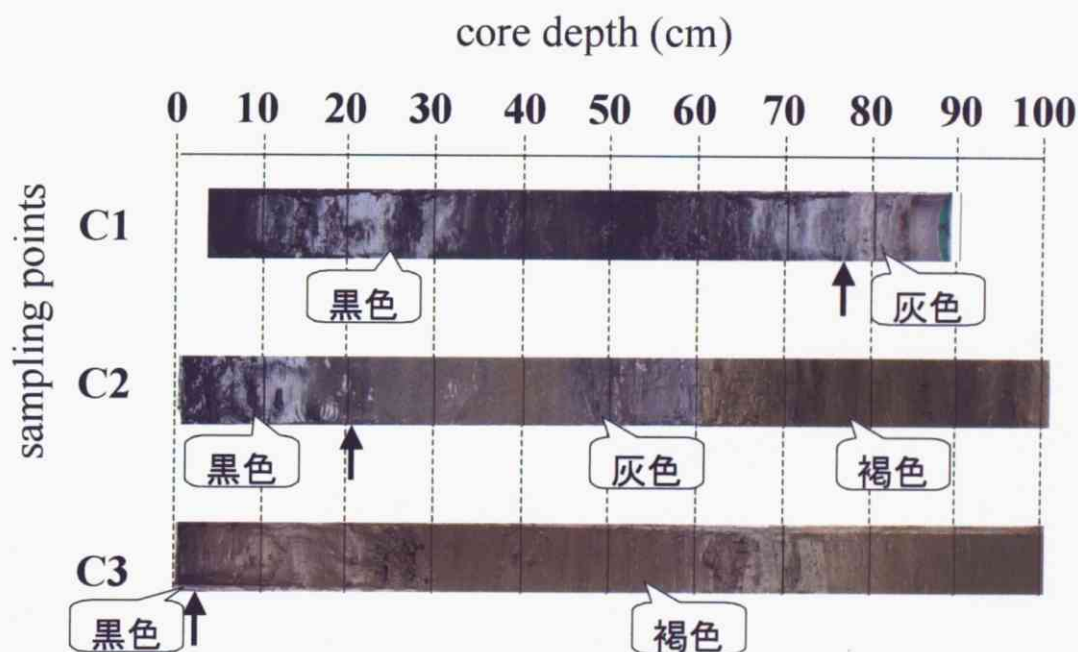


図5-6 コア写真

b. 中央粒径及び自然含水率

図5-7に底質コア試料の分析結果の一例を示す。中央粒径の鉛直分布は、河口域から水門にいくほど増大する傾向が見られる。ただし、中央の工団前(C2)の中央粒径の鉛直分布には、深度20~50cmの中間層に明確な細砂層があり、その上下に粘土・シルト層が見られる。また、表層堆積物を構成する泥層の自然含水率は、河口域(C1)および中央の工団前(C2)の方が水門付近(C3)に比べて高い値を示す。この値はシルト質の底質に分類されるとともに軟弱泥層を意味する。

c. 炭素・窒素含有率(C/N比)

C/N比は河口域から水門にいくほど減少する傾向が見られる。C2地点では炭素・窒素含有率が20~50cm層で低下しており、前述した中央粒径の鉛直分布の変化から、この層が閉め切り堤防工事用の土砂流出より工事前の干潟上に堆積して形成された層であると考えられる。そして、深さ20cmから上の閉切り後の層においては有機物が急増しており、主に河川汚濁負荷の流入や閉鎖性水域形成による海水交換の不良などの原因が考えられる。このような水質・底質環境の変化は現行の水質改善策においても、始華湖の水質悪化が継続していることを意味しており、今後の方針を議論する上で注目すべき点として指摘しておく。

d. 放射線強度(鉛-210, セシウム-137)

鉛-210およびセシウム-137の線量の分布は、河口域から水門にいくほど減少する傾向が見られる。これは、中央粒径が増大する傾向と対応している。

また、C2地点におけるセシウム-137放射線強度は深度20~50cm層で線量が0に近く、その上の層の値と著しく異なる。この層が堤防工事中(1987~94年)の際に形成された砂質層であることを裏づけている。これは、深さ65cmのセシウム-137のピークによって推定された1986年より上の層にあることとも整合する。

さらに、鉛-210の鉛直分布においては20cm以浅で急増し、表層付近の深さで最大となっている。このことにより、1994年以降より重金属汚染が急激に進み、ピークに達して今日に至っていることが考えられる。このように、鉛などを含んだ金属元素は人為的利用と環境への放出によって濃度を高めていると考えられる。なお、これらより、始華湖の中央工団前のC2地点における堆積速度は、工事中で4cm/年、完工後で2cm/年と推定される。

この層は始華防潮堤工事中(1987~1994年)の際に投入した粒径の大きい山砂が流出し、形成された砂質層であり、その上の粘土・シルト層は完工後の陸起源の汚濁物質が堆積したと考えられる。

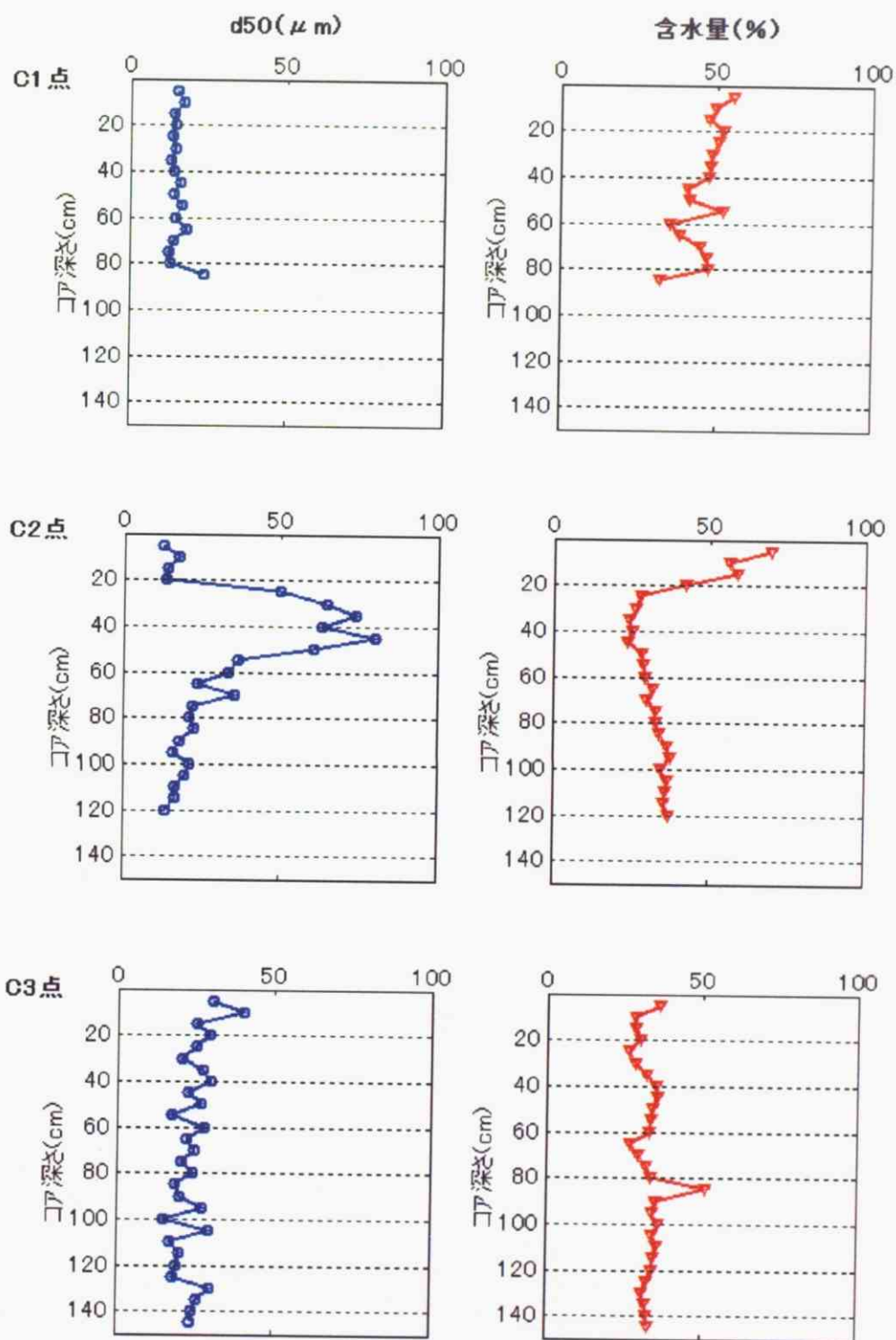


図5-7 始華湖における中央粒径及び自然含水率

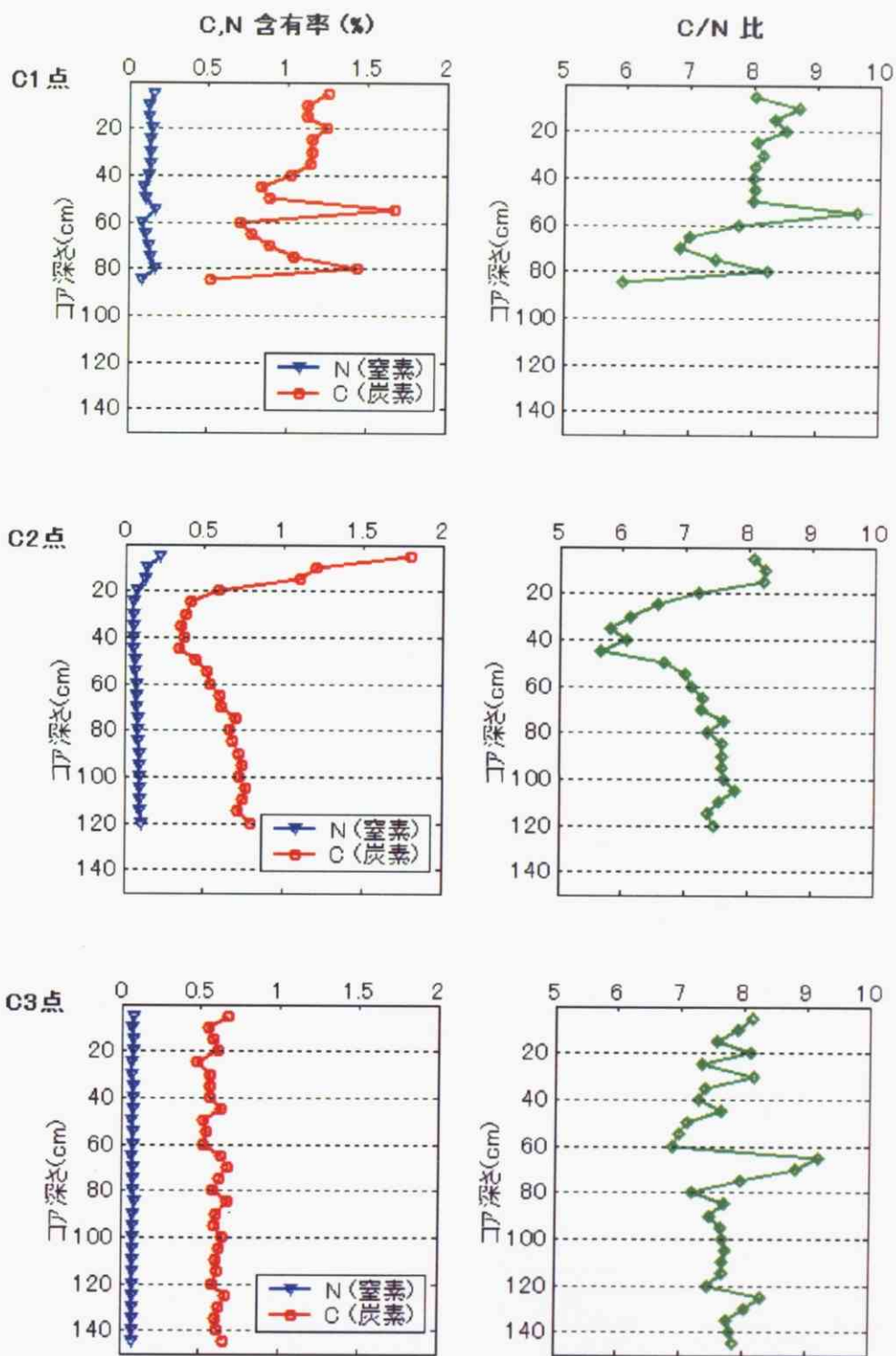


図5-8 始華湖における炭素・窒素含有率 (C/N比)

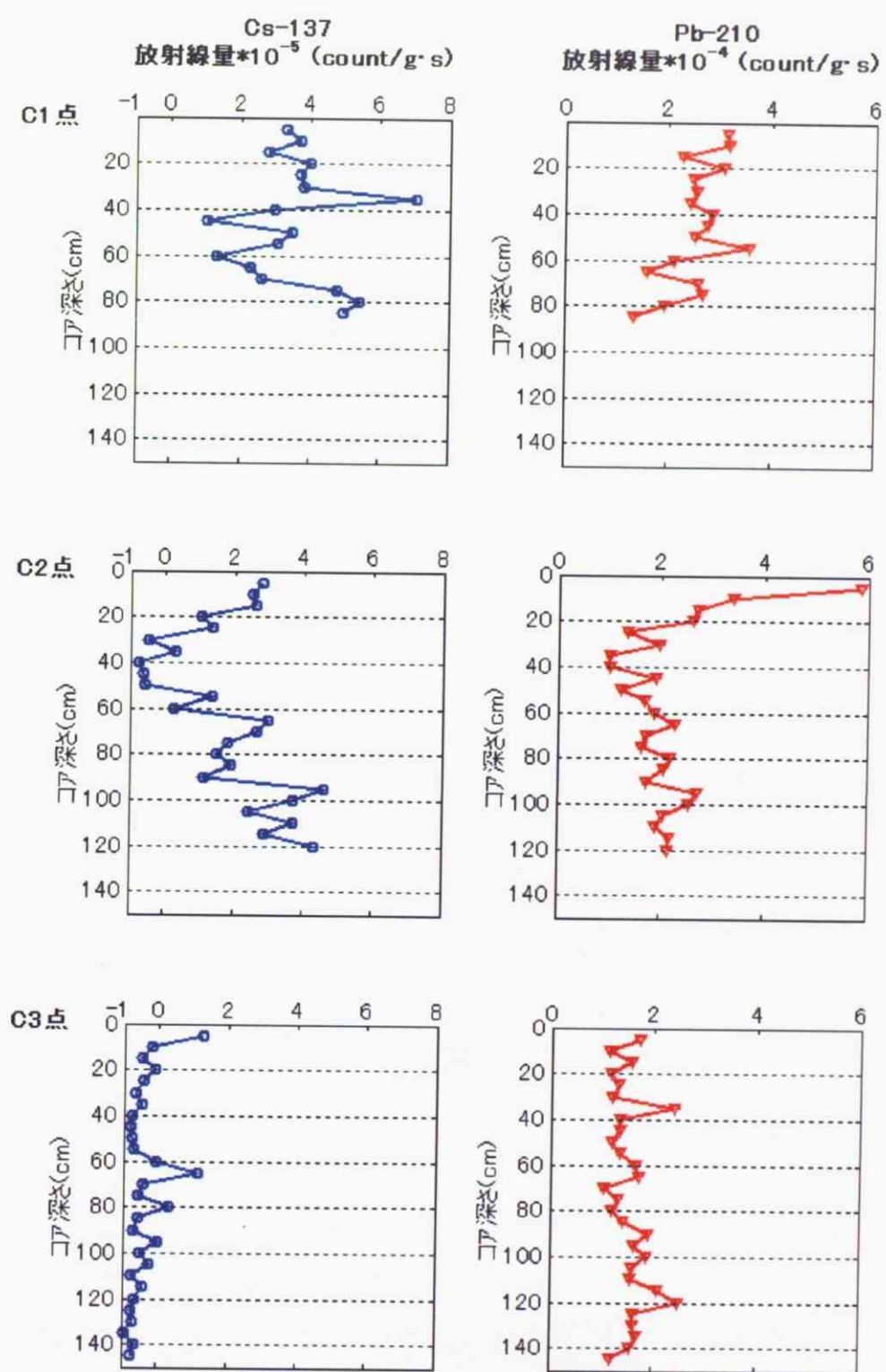


図5-9 始華湖における放射線強度 (鉛-210, セシウム-137)

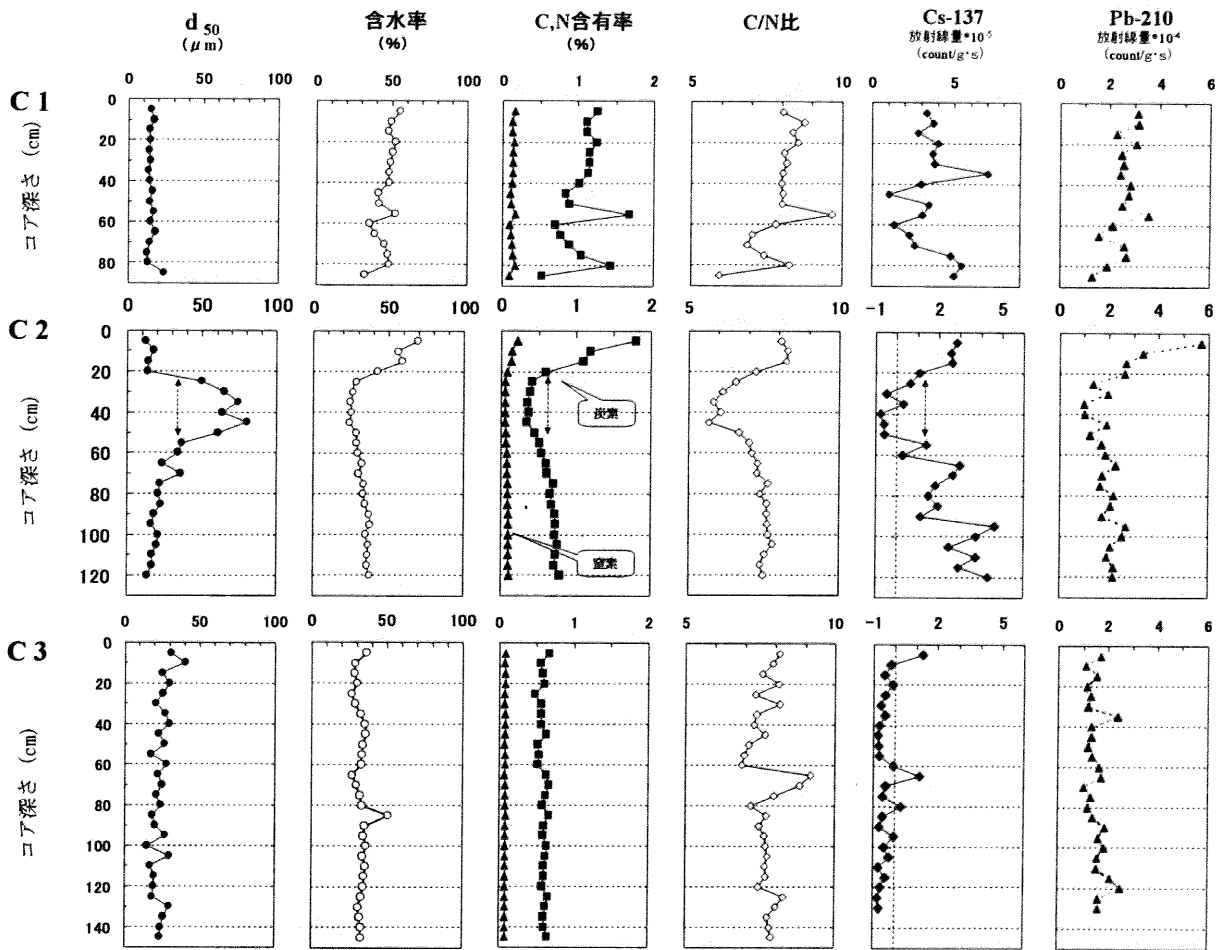


図 5 - 1 0 韓国始華湖の全域におけるコア試料分析結果

(中央粒径、含水率、有機物含有量、放射線強度 (^{137}Cs ・ ^{210}Pb) の鉛直分布)

5.4.3 始華湖における底質変化及び堆積過程の考察

韓国始華湖における現地調査結果の図5-10をもとに、底質変化や堆積過程などについて述べる。表5-2から表5-4までの堆積速度、中央粒径、有機物含有量は、各層の平均値を用いたものである。

まず、始華湖における堆積構造は、表5-3に示すように閉切り堤防完工後、工事期間中および建設前の干潟堆積層に区分される。特に、湖内の中央部の(B)地点での堆積速度は工事中が4cm/年以上と最も速い。完工後の有機汚濁層の堆積速度は2cm/年と推定される。

次に、表5-2の河口部の(A)地点における有機物鉛直分に関しては、河口周辺の大小5の河川を通じて生活排水や畜産排水などの高い濃度の有機物が流入する一方、表5-3の工業団地前では多量の工場廃水が供給され続けていたと考えられる。今後、現在の堆積速度で堆積し続けると、河口から工業団地までの浅い水路は埋没する可能性がある。また、今後の新たな流域開発は、汚濁流入負荷を増大させて底質環境への悪影響を与えることが考えられる。

これらの底質環境変化からみると、開門による海水交換はCODの減少という水質改善効果をもたらしているが、有機物含有量を見ると、河口部と工業団地前は十分な底質改善が行われたとはいえない。

表5-2 始華湖の河口付近(A)

層の分類	堆積形状	深度 (cm)	年代推定 (年)	堆積速度 (cm/yr)	粒径 (d_{50}) (μm)	有機物炭素 (%)
新生堆積	泥	20	← 1986	1.9	14.0	1.2
防潮堤工事中		40		2.0	14.5	1.0
基質 (自然干潟)	砂泥	80	← 1963	> 1	24.0	0.5
		100				

表 5 - 3 始華湖の中央部 (B)

層の分類	堆積形状	深度 (cm)	年代推定 (年)	堆積速度 (cm/yr)	粒径 (d_{50}) (μm)	有機物炭素 (%)
新生堆積	汚濁	0 - 20	← 1994	2.0	14.4	1.2
防潮堤工事中	細砂	20 - 60		6.4	60.1	0.4
基質 (自然干潟)	泥	60 - 80	← 1987	1.3	16.5	0.8
		80 - 100	← 1963			

表 5 - 4 始華湖の排水門付近 (C)

層の分類	堆積形状	深度 (cm)	年代推定 (年)	堆積速度 (cm/yr)	粒径 (d_{50}) (μm)	有機物炭素 (%)
新生堆積	泥	0 - 20	← 1986	3.6	23.8	0.6
防潮堤工事中		20 - 60				
基質 (自然干潟)		60 - 100		> 1	26.0	0.6

5.4.4 始華湖における水質と底質との関係

湖底地形は図5-11の通りで、河口付近が浅く(1~5m)中央から水門にかけての湖心部が相対的に深い。湖心部は最大水深18mほどの湖盆をなしている。水門を通じて入ってきた海水は、蛇行した水路を経て奥域に至ると流速は急激に減衰し停滞する。

一方、河口付近では河川水の直接的な広がりである河川ブルームを形成し、下層の海水との鉛直混合が起きていない。これは塩分濃度の差が密度成層を形成し、下層で溶存酸素濃度が低下しているためと考えられる。

また、底質においても半月川、安山川など大小5の河川を通じて生活排水や畜産排水などの高い濃度の有機物が流入する一方、工業団地前では工場廃水が湖内へ多量の重金属を供給し続けていたと推定される。このように河川から流入した陸起源の有機物は、始華湖に入ると速やかに沈降する。それを分解する時に溶存酸素が消費され、溶存酸素濃度を低下させる(図5-4(c))。

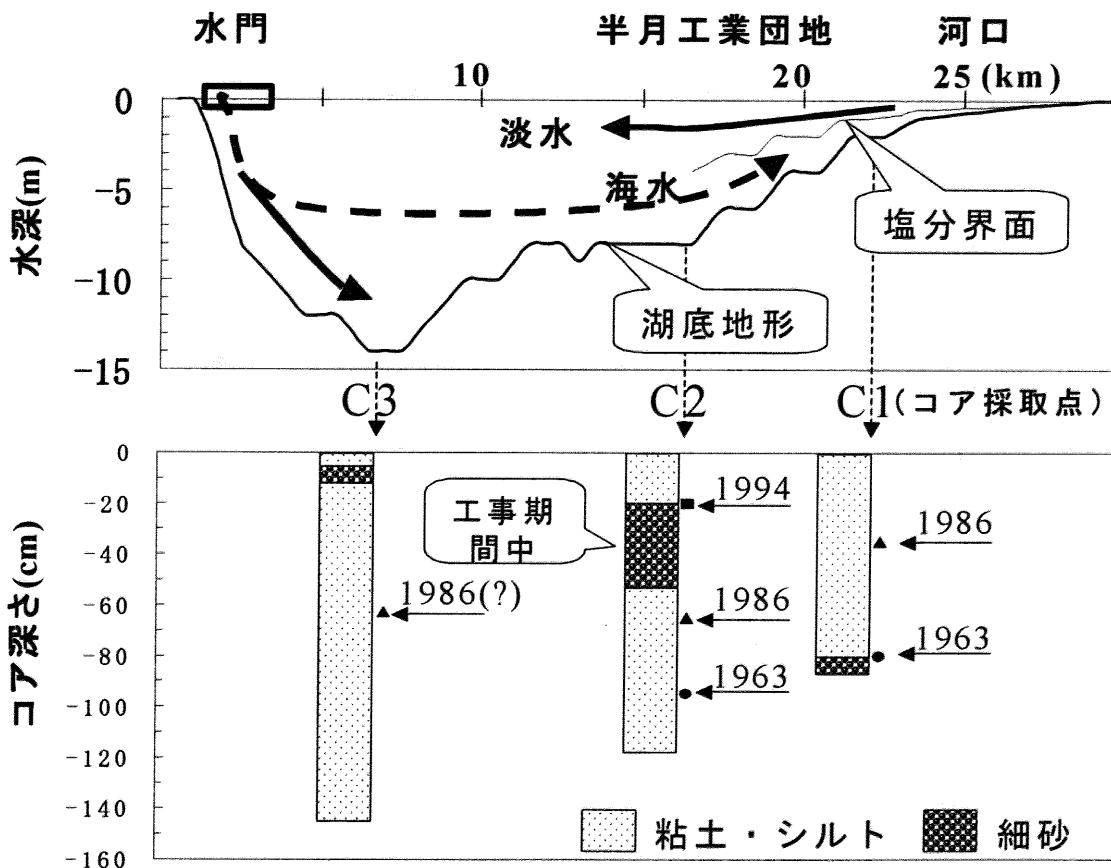


図5-11 始華湖における水質と底質変化

5.5 まとめおよび今後の課題

始華湖における従来の水質研究では、開門による海水交換の効果によって水質改善が見られ、密度成層による底層の貧酸素化は夏季に限って起きると報告されている (Park ら、2003)。しかし、今回の水質観測結果により、湖内では秋季 (11 月) においても水深が浅い河口付近、工団前は、塩分成層による溶存酸素濃度の低下が観測された。

さらに底質のコア試料分析により、閉切り堤防完工後、工事期間中および建設前の干潟堆積層における堆積過程の変化を明らかにした。特に、C2 地点での堆積速度は工事中が 4 cm/年以上と最も速い。完工後の有機汚濁層の堆積速度は 2cm/年と推定されるが、今後、流域の開発による有機汚濁物質負荷の増加は、底質環境へ悪影響をもたらす可能性がある。これらの水質・底質環境変化からみると、開門による海水交換は COD の減少という水質改善効果をもたらしているが、底層水質の DO や底質の有機物含有量を見ると、十分な改善が行われたとはいえない。

今後、さらなる調査によって詳細を解明することが必要であるが、開門による流動変化や底質の変化と貧酸素現象との関係について総合的なモニタリングを継続する必要がある。

第 6 章

結 論

結 論

1. 干潟・浅海域の環境分析法

本研究においては、研究目的に応じた独自の CEL 式コア採取法と分画法を考案した。特に、地形・底質変化の調査では、堆積物の柱状断面を示すために柱状採泥器（コアラ）の使用が不可欠である。また、100 年以下の年代測定を目的とする試料としては、堆積物を海底現場のまま乱さずに 1m 程度の長さで柱状に採取することが重要であるが、三番瀬の場合は水深が浅く、船上から 1 m 以上のコア試料の採取が困難である。そのため、干潮時をねらい、直接採取できる CEL 式の採取法を考案した。また、韓国始華湖では、水深が深く、船上から自由落下ができるため、自重式の柱状コアラを使用することで、それぞれの海域で平均 1m 以上のコア試料が採取できた。さらに、コア試料の分割方法の開発によって、「①攪乱が少ない、②堆積物断面の観察ができる、③大量の生試料を短時間で前処理し、迅速に測定できる」という利点を得ることができた。また、分析試料の適量を検討した結果では、直径 5.0cm、5.5cm、6.0cm の採泥器を使用し、鉛直方向 5cm 間隔で分画した場合は、平均 93 g、101 g、109 g の乾燥試料が得られたが、混合している貝殻などを除くと約 80~90 g となり、そこから実際に使われる量 60~70 g を考えると、鉛直方向 5cm 間隔のスライスが適量であることがわかった。

環境分析手法の一つである年代測定については、得られた年代数値と実際の現象として知りたい年代との対応を的確に行うことが、最も重要な点である。しかし、三番瀬や始華湖など的人為的な改変がある場所では、鉛 - 210 法よりセシウム - 137 法の特定年代を用いた方がある程度有効であることがわかった。さらに、過去の河川流入負荷などの特定年代を加えることで、複雑な環境下での堆積過程の解明ができた。本研究では、対象海域においてこの手法を適用し、その有効性を確認することができた。

2. 三番瀬湖の地形及び底質環境

・ 三番瀬全域の底質変化

1950 年代の三番瀬内の底質環境は、陸側の泥質と前置斜面付近の砂質が広く東に伸びていた。しかし、現在は猫実川河口のみが唯一泥質環境となっており、シルト・粘土分は、ほぼ全域で大きく減少している傾向である。このように、現在の三番瀬の底質中央粒径は 100 μ m 以上の単調な砂質のところほとんどである。一方、浦安市側三番瀬においては、埋立後から現在までシルトの底質の海域が増えた。これらの底質変動は、地盤沈下に伴う水深増加によって外力が増大し、シルト分の細かい粒子が流出されることで、残留する底質の粒径が大きくなったため、砂質域が拡大したと考えられる。

前置斜面においては地盤高が低下しており、侵食傾向であることから、前置斜面の底質が選択的に猫実川河口と浦安市側埋立地の中央部に堆積している可能性が高い。この底質変化の主な原因について波浪と潮汐に着目すると、過去の東京湾奥部の東京灯標で観測された波浪や潮位データからもシルト・粘土分の減少時期や地形が侵食傾向になってきた時期と海が荒れた時がおおむね一致すると報告されている。このことから、底質変化の原因としては波浪や潮位、台風などによるイベントの影響が大きいといえる。

猫実川河口における土砂供給は、江戸川放水路からの出水頻度に依存しているが、放水路から供給されたシルト・粘土分は一時的に三番瀬内に広く堆積し、出水後波浪と潮汐によって沖合に運搬されるが、一部は猫実川河口に堆積していると考えられる。また、養貝場は、1982年度から1983年度にかけて、覆砂されたものであるが、若干北東に動いているようである。なお、この周辺には市川前面に1980年頃には広い干出域がみられたが、ここの干出域も現在は消失した。このことから、今後の猫実川河口域におけるシルトの底質域は、市川市前面から浦安市側三番瀬に移動しながら狭くなる可能性がある。

・猫実川河口域の汚濁流入負荷

三番瀬の底質環境再生の中で対立点となっている瀬猫実川河口の汚濁流入負荷について調べた結果では、猫実川河口のSt. 1において深さ約20 cmに有機物含有量のピークが見られる。一方、浦安市側の埋立地突端における有機物含有量は、深さ65～85 cmにおいて多くなっているが、それほどではない。これは、主に埋立工事用の土砂流出より、一時的に有機物が増加したためと考えられる。また、有機物含有量の濃度は、猫実川河口から沖合にいくほど減少する傾向が見られる。特に、猫実川河口のSt. 1のような傾向は、同地点周辺の他の試料で行ったCNコーダーによる炭素量分析結果においてもピークが見られる。この強熱減量・全炭層量のピークは1990年をピークとする下水道処理水の暫定放流により、BOD値の高い水が入り込んだためと推定される。

このことから、猫実川河口域は、有機物含有量が一時急増したが、必ずしも有機物が多いというわけではなく、ヘドロ化しているとは言えない。

・浦安市側三番瀬近傍

浦安市側埋立地の影響による地形変化を調べた結果では、まず、埋立前(1948年)の地形をみると、陸側にヨシ原が存在し、なだらかな干潟の地形勾配を形成していた。その当時の地盤高はほとんどが干出域を示すが、埋立後の1986年と現在の地盤高をみると、全体的に地盤の低下が進み、水深が深くなっており、干出域の消失は大きい。

次は、埋立直後の 1986 年から 2003 年度の海底地盤までの堆積変化を比べてみると、猫実川河口の地盤高と地盤沈下との相対関係から見られる堆積・侵食により、60～80 cmを埋立前の海底地盤面、40 cmを 1986 年前後、20 cmを 1990 年前後とし、埋立前から現在までに、60～80 cmの堆積があったと推定される。また、埋立地中央部においては、深さ約 30 cmを境にして、土砂堆積の環境が変わっており、表面から約 30 cmの土砂が、埋立工事が完了した 1978 年前後以降に堆積したことは確実である。このことから、猫実川河口と中央部の一部の海域では堆積変化が小さいことがわかる。これは、猫実川からの河川流入が遮断され、土砂供給がなくなったことが原因と考えられる。現在の土砂供給は、主に江戸川放水路からの洪水時の出水に依存していることを考えると、今後この海域は海底地盤の上昇は見込めない。一方、埋立地突端付近の海域で地盤の高い分布が広がり、その背後がより静穏な海域になる可能性がある。

このことから、浦安市側三番瀬の地形は、埋立と同時に 1～2m程度の地盤沈下が生じたにも関わらず、60～80cm くらい堆積したことがわかった。

底質変化においては、それぞれの海域の埋立前後の底質変化をみると、三番瀬の埋立地近傍は特性の異なる 3 つの海域に区分され、猫実川河口周辺では埋立前後ともにシルトの泥質となっている。これは埋立前後に関わらず、共通して局所波高が小さいためと考えられる。また、中央付近は埋立を境に細砂からシルト質に変化した。これは、埋立地の遮蔽効果により波の外力が小さくなったためと考えられる。一方で、埋立地突端付近では埋立中に流出したシルトが沈降してから、埋立時に堆積した後、粗砂が堆積するようになったことがわかった。

このことから、浦安市側の埋立地近傍での底質の堆積過程は、猫実川河口のみならず、中央部もシルト堆積域に変化し、猫実川河口と中央部は、埋立後からシルトの泥質の範囲が広がったことがわかる。このように、泥質性と砂質性の底生生物の生息環境が変化しており、特に中央の海域において、底生生物への影響が大きいと考えられる。

・ 浦安市干出域の地形変化

浦安市干出域の地形変化において深淺測量のデータを比較すると、浦安市日の出付近から東に延びる A. P. 0mの干出域は、1986 から 1991 年の間に埋立地の近くから堆積が始まり、2000 年には細長い砂州が形成されるが、2003 年には地盤高が低下して干出域の面積が減少している。これは、2000 年以降の三番瀬全体の侵食傾向があった期間と一致し、その影響の可能性が高い。また、前置斜

面の侵食と干出域の堆積との相関関係がみられることから、この干出域を形成している土砂は、前置斜面から供給されているものと推測される。また、斜面上部の砂は、深堀部へも崩れ落ちているため、この部分の侵食によって現在の地盤が後退し、三番瀬の浅海域が狭くなりつつある。また、これらの干出域は、三番瀬に入射する波浪を減衰させて、干出域から内側の三番瀬沖をより静穏な海域にしている。

将来を考えると、浦安市側埋立地突端から茜浜までの浅海域は波浪と潮流によって砂が流され徐々に減少し、最終的には前置斜面の全体が侵食されるとともに、粒径も粗くなっていくことが考えられる。また、三番瀬の面積も減少していく可能性が高い。今後、侵食の変動や、深さ、粒径と潮流や波浪の影響との関連性も含めて地形の変化を調査していく必要がある。

3. 韓国始華湖の水質・底質環境

始華湖における従来の水質研究では、排水門開門による海水交換の効果によって水質改善が見られ、密度成層による底層の貧酸素化は夏季に限って起きると報告されている (Park ら、2003)。しかし、今回の水質観測結果により、湖内では秋季 (11月) においても水深が浅い河口付近、工団前は、塩分成層による溶存酸素濃度の低下が観測された。

底質のコア試料分析により、閉切り堤防完工後、工事期間中および建設前の干潟堆積層における堆積過程の変化を明らかにした。特に、C2地点での堆積速度は工事中が4cm/年以上と最も速い。完工後の有機汚濁層の堆積速度は2cm/年と推定されるが、今後、流域の開発による有機汚濁物質負荷の増加は、底質環境へ悪影響をもたらす可能性がある。これらの水質・底質環境変化からみると、排水門開門による海水交換はCODの減少という水質改善効果をもたらしているが、底層水質や底質の有機物含有量を見ると、十分な改善が行われたとはいえない。

今後、さらなる調査によって詳細を解明することが必要であるが、排水門開門による流動変化や底質の変化と貧酸素現象との関係について総合的なモニタリングを継続する必要がある。

謝 辞

振り返れば私費留学生として来日したのが、10年も前のことでした。来日した翌年の1995年1月17日に阪神大震災が発生しました。いまだに忘れることのできない事件です。この博士論文の提出は、10年間の締めくくりの作業です。

本論文を完成するにあたって、研究を初めてから多くの助言を頂いた磯部雅彦教授、佐藤慎司教授に心から感謝申し上げます。特に、博士論文審査で主査をお願いしました磯部指導教官には、5年間私の研究だけではなく、ものの考え方、ものに取り込む姿勢についても数多くのご指導を受け、そのことは私にとって将来貴重な財産になると思います。磯部先生のその忙しさに対し精力的に活動されている姿も印象的であり、大きな勉強になり、感謝のしようもありません。

副査をお願いしました味埜俊教授、辻誠一郎教授、佐藤弘泰助教授、鯉渕幸生講師に感謝いたします。味埜先生には、強熱減量の測定や電気伝導度の測定に関するアドバイスを頂きました。鯉渕先生には、勉強と研究の違いを教えて頂きました。また、有明海・韓国の始華湖などの現地観測や個人的にもお世話になりました。

韓国海洋研究院 (KORDI) の安 熙道責任研究員、鄭 甲植責任研究員、趙 珍亨研究員には、韓国始華湖の現地観測の際にご協力を頂きました。また、韓国の韓国水資源公社より資料提供して頂きました。ここに記してお礼申し上げます。

研究室の秘書山上さん、児玉さんには事務のことで色々とお世話になりました。また、この5年間に研究室を後にされた方々や同期生でもある本田助手、研究室の皆様にはいくら感謝してもし過ぎることがないほどに感謝しております。

この場をおかりして来日して日本語学校の学生時代から今まで、精神的に大変お世話になった日本語学校の皆さんと、家族のような彭 鈺棠様にも感謝します。

「現地観測に付き合ってくれ。」という結婚プロポーズから1年後に結婚ということになり、不規則な生活に不満も言わず、健康や精神的面の支えとなってくれた李 星愛さんに「チンシンムローカムサー」しています。

最後に、声援を送り続けて下さった母親と兄弟に感謝の言葉を贈ります。

2005年12月15日

参考文献

1. 磯部雅彦 (1999) : 海岸の環境創造, ウォーターフロント学入門, 朝倉書店, 58-73.
2. 呉 海鍾・磯部雅彦・佐藤慎司・渡辺晃 (2003 年) : 東京湾三番瀬の猫実川河口における底質環境の現地観測, 第 50 回海岸工学論文集, 土木学会, pp. 1046-1048.
3. 呉 海鍾・磯部雅彦・鯉渕幸生・佐藤慎司・渡辺晃 (2004 年) : 三番瀬における埋立地近傍の地形と底質変化の実態, 第 51 回海岸工学論文集, 土木学会, pp. 1001-1005
4. 呉 海鍾・磯部雅彦・佐藤慎司・鯉渕幸生・安 熙道・鄭 甲植・趙 珍亨 (2005) : 韓国始華湖における排水門開門後の水質・底質変化の現地観測, 第 52 回海岸工学論文集, 土木学会, pp. 976-980.
5. 貝塚爽平 編 (1993 年) : 東京湾地形・地質と水, 築地書館, pp. 2-5.
6. 兼岡一郎 (1998 年) : 年代測定概論, 東京大学出版会, 63p.
7. 環境関連学会連絡協議会 第 7 回ジョイントシンポジウム (2002) : 東京湾三番瀬の未来像－三番瀬の環境修復をめざして, 4p.
8. 韓国海洋水産部 (2003) : 始華湖の海洋環境改善事業, 5p.
9. 栗原 康 (1980 年) : 干潟は生きている, 岩波新書, 219p.
10. 栗原 康 (1988 年) : 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, pp. 142-143.
11. 小池勲夫 (2000 年) : 海底境界層における窒素循環の解析手法とその実際, (社) 産業環境管理協会, pp. 74-85.
12. 国土交通省河川局 (財) リバーフロント整備センター (2001 年) : 第 1 回 東京湾河口干潟保全検討会, 資料, 2p.
13. 国土交通省河川局 (財) リバーフロント整備センター (2002 年) : 第 2 回 東京湾河口干潟保全検討会, 資料, pp. 5-10.
14. 国土交通省港湾局 監修・海の自然再生ワーキンググループ著 (2003 年) : 海の自然再生ハンドブック・(第 1 巻) 総論編, ぎょうせい, pp. 3-5.
15. 小村和久 (1982) : 非破壊 γ 線による年代測定, 古考学と自然科学, 14p.
16. 小竹康夫 (1995 年) : 干潟における砂泥混合底質の機能に関する研究, 学位論文, pp. 11-19.
17. 小池勲夫 (2000 年) : 海底境界層における窒素循環の解析手法とその実際, (社) 産業環境管理協会, pp. 74-85
18. 寒川喜三郎・白色和夫 編 (1996 年) : 最新の底質分析と科学動態, 技報堂

- 出版, 21p, 140p.
19. 三番瀬再生計画検討会議 (2002年): 三番瀬の再生に向けての中間とりまとめ, 16p.
 20. 三番瀬再生計画検討会議事務局・千葉県総合企画部政策調整室内 (2004年): 三番瀬再生計画案, pp. 31-32.
 21. 三番瀬再生計画検討会議事務局・千葉県総合企画部政策調整室内 (2004): 三番瀬の変遷, 1p.
 22. 須藤隆一 編 (1988年): 環境微生物実験法, 講談社鎖サイエンティフィック, 143p.
 23. (株) SEIKO EG&G (2002年): Spectrum Navigator Manual.
 24. (財) 日本自然保護協会三番瀬問題作業部会 (NACS-J) 1991年: (財) 日本自然保護協会資料集 第29号, pp. 14-15
 25. ダニエル・ヒレル著/岩田進午・内嶋善兵衛 監訳 (2002年): 環境土壌物理学 (I 土と水の物理学), 農林統計協会, 198p.
 26. 千葉県土木本部・千葉県企業庁 (1999年), 三番瀬の環境の推移, 29p, pp. 33-37.
 27. 千葉県土木本部・千葉県企業庁 (1991年), 市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る補足調査結果報告書・現況編 I (物質循環と浄化機能).
 28. 千葉県土木部・千葉県企業庁 (1999 a): 市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る補足調査結果報告・予測編.
 29. 千葉県土木部・千葉県企業庁 (1999 b): 市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る補足調査結果報告・現況編.
 30. 千葉県土木本部・千葉県企業庁 (1999年), 三番瀬の環境の推移.
 31. 日本規格協会 (1970年): 土の粒度実験法, 日本工業規格 JISA 1204.
 32. 日本鉄業会 編 (1975年): 海底サンプリングハンドブック, (株) 丸善, 53p, pp. 66-69.
 33. 日本海洋学会 編 (1986年): 沿岸環境調査マニュアル (底質・生物編), 恒星社厚生閣, pp. 91-95.
 34. 日本第4紀学会 (1998年): 第4紀試料分析法 II 研究対象別分析法, (財) 東京大学出版会, pp. 109-112.
 35. 平野敏行 監修 (1998年): Marine Coastal Environment, (株) フジ・テクノシステム, pp. 117-121.
 36. 中野政詩, 宮崎毅, 塩沢昌, 西村拓 著 (1995年): 土壌物理環境測定法, 24p, pp. 59-60.
 37. 野口正安 (2000年): 放射線測定の基礎, (株) SEIKO EG & G, 50p.
 38. 半谷高久・小倉紀雄 共著 (1995): 水質調査法, (株) 丸善, pp. 198-199

39. 藤 隆一(2000 年) : 環境修復のための生態工学, 講談社サイエンティフィク, pp. 191-194.
40. 若林敬子 著 (2000 年) : 東京湾の環境歴史問題史, (株) 有斐閣, 26p.
41. Byoung Man Kim (Mater.1998): A Study on the fish community from the Mankyung River, Department of Biology, Graduate School, Kunsan National University.
42. Bon Joo Koo (Master.1999): The spatio-temporal distribution of macrobenthos on the Taebu-do tidal flat, coast of Korea, Department of Oceanography graduate school Seoul National University.
43. Du Sung Cho (Master.1999): Studies on the Distribution of Hydroptes According to the Amount of Pollutant Loading from the watershed of Mankyung River and Youngsan River, Department of Life Science, Graduate School of Education, Gunsan National University.
44. HaeChong, Masahiko Isobe, Yukio Koibuchi, Shinji Sato and Akira Watanabe (2005): Change in bottom topography and sediment characteristics around a reclaimed land in Sanbanze shallow water area, Asian and Pacific Coasts, pp.1172-1181.
45. Haechong O, Yukio KOIBUCHI, Shinji SATO and Masahiko ISOBE (2005): Study on change of bottom topography and sediment characteristics around a reclaimed land in Sanbanze, The 8th International Conference on Cohesive Sediment Transport.
46. In Sung Jang and Bum Sang Kim (2003): Undrained Shear Strength of Marine Clays of Shihwa Region Obtained from CPTu, Ocean and Polar Research, Vol. 25(3S): 353-360.
47. Jun Gun Park (Ph.D.1998): Biogeochemical characteristics under oxic/anoxic environment in the Shihwa Lake, Inha University.
48. Joo Yih Yoon (Master.2001): The distribution of the Ciliates off SeamanKum area, Korea, spring, 2001, and the feeding of the feeding of the marine planktonic ciliates Tiarina sp. on red-tide dinoflagellates, Department of Oceanography, Graduate School, Gunsan National University.
49. Jae Seong Kim (Master.2001): The temporal and spatial distributions of the mixotrophic dinoflagellates off the SaeManKeum Area, ChenBuk, Korea, and effect of turbulence on red-tide dinoflagellates, Department of Oceanography, Graduate School, Gunsan National University.
50. Jun Kun Park, Eun Soo Kim, Sung Rok Cho, Kyung Tae Kim, and Yong Chul

- Park (2003): Annual Variation of Water Qualities in the Shihwa Lake, *Ocean and Polar Research*, Vol. 25(4): 459-468.
51. Jung Hun Choi (Ph.D. 2003): Construction of Shihwa Dyke and Marine Environmental Changes in the Shihwa Reservoir, Western Coast of Korea, School of Earth and Environmental Science Graduate School Seoul National University.
 52. Jong Seong Khim (Master.2000): Instrumental and Bioanalytical characterization of trace organic contaminants in sediment from lake Shihwa, Korea, Department of Oceanography graduate school Seoul National University.
 53. Jung Sun Oh (Master.1994): Sedimentological study of the sea floor deposits off the Mankyung Dongjin river estuary, west coast of Korea, Department of Oceanography graduate school Seoul National University.
 54. Jong-giil Je, Hee-do Ahn(2003): Tidal Flat Conservation in Korea, Korea Ocean Research & Development Institute(KORDI).
 55. Kwang Hyun Nam and Wee Yeong Oh (2003): Analyzing an Economic Feasibility for Restoration / Creation of Artificial Tidal Flats, *Ocean and Polar Research*, Vol. 25(4): 593-601.
 56. Kwang Soo Sim (Master.1999): A Study on the Fish Fauna from the SaeManKum Area in the West Sea of Chollabuk-do, korea, Department of Life Science, Graduate School of Education, Gunsan National University.
 57. Kyung Tae Kim, Eun Soo Kim, Sung Rok Cho, and Jun Kun Park (2003): Change of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Lake Shihwa and Its Tributaries, *Ocean and Polar Research*, Vol. 25(4): 447-457.
 58. Kyong Sik Choi (Master.1994): Sedimentological study of the sea floor deposits off the Mankyung Dongjin river estuary, west coast of Korea, Department of Oceanography graduate school Seoul National University.
 59. Nam Jung Ho (Master.1995): Nutrient regeneration, respiration, feeding and distribution of zooplankton in the Mankyung-Dongjin estuary and Shihwa coastal area, Korea, Department of Oceanography graduate school Seoul National University.
 60. Ok In Choi (Master.1992): Sedimentation in the Nearshore zones(Intertidal and Subtidal) of the Dongjin and Mangyung Rivers, West Coast of Korea, Department of Oceanography graduate school Seoul National University.
 61. Park, J. K., E. S. Kim, S. R. Cho, K. T. Kim and Y. C. Park (2003) : Annual Variation of Water Qualities in the Shihwa Lake. *Ocean and Polar Research*, Vol.25 (4): 459-468, pp.466-467.
 62. Seong Wook Park, Moon Sang Kwon, Yong Hee Lee, and Charity Mi Jin

- Lee(2003): A study on the Application of the Mitigation System for Efficient Management of Coastal Wetlands in Korea-Enhancement of Legal Regime-, Ocean and Polar Research, Vol. 25(4): 545-555.
63. Seong Taek Kim (Master.2000): The distribution of marine metazooplankton of SaeManKum in 1999 and the effects of anthropogenic materials on the survival of metazooplankton, Department of Oceanography, Graduate School, Gunsan National University.
 64. Su Jin Lim (Master.1997): Human Adjustment to the Environmental Changes Brought about by Sihwa Marsh Reclamation, Department of Geography Graduate School Seoul National University.
 65. Sun Mo An (Master.1990): Environmental Characteristics and Macrofauna Communities on the Mangyung-Dongjin Tidal Flat, West Coast of Korea, Department of Oceanography graduate school Seoul National University.
 66. Sang Hee Oh (Master.1990): Environmental Characteristics and Diatom Communities on the Mangyug-Dongjin Tidal Flat, West Coast of Korea, Department of Oceanography graduate school Seoul National University.
 67. Tae Hee Na (Master.2003) : A Study on the denitrification in Ganghwa island tidal flat, Department of Marine Science Graduate School Pusan National University.
 68. Yoong Nam Lee, Kab Sick Jeong, Soon Keun Chang, Moon Young Choi, Jon Gin Choi (1999): The Preliminary Research on the Dinosaur Eggs and Nests found in the Reclaimed Area South to the Shihwa Lake, Gyeonggi Province, Korea, The Paleontological Society of Korea, Vol. 16.
 69. Young Hun Kwon (Ph.D. 1999): A Study on the heavy Metals Movement in Seawater, Paddy Soil, Sediment and Organisms of the Mankyung River and Dojin River Areas, Department of chemistry, Graduate School Kunsan National university.
 70. Yeong Do Yoo (Master.2000): The outbreak of red tides off SaeManKum Areas in 1999 and the effects of anthropogenic materials on the survival of red-tide dinoflagellates, Department of Oceanography, Graduate School, Gunsan National University.
 71. Yang Soo Kim (Master.2002): Application of ecosystem model from eutrophication control in coastal sea planted to reclamation of SaeManKeum area, Department of Marine Industrial Engineering, Graduate School, Gunsan National University.