

# 2014 年度 修 士 論 文

東京湾奥部における有機汚濁底質の空間堆積特性  
Spatial Characteristics of Organic Rich Sediment Accumulation  
in the inner part of Tokyo Bay

佐野 弘明  
Sano, Hiroaki

東京大学大学院新領域創成科学研究科

社会文化環境学専攻

# 目次

第1章	序論	1
1.1	東京湾の概要	1
1.2	東京湾の水環境問題の対策と動き	1
1.3	既往の研究	6
1.4	研究目的	7
1.5	研究の構成	7
第2章	現地観測および底質分析の方法	9
2.1.	観測地点と観測日	9
2.2.	観測方法	9
2.3.	柱状コアサンプルののスライス方法	14
2.4.	実験・分析手法	16
2.4.1.	土の含水比試験方法	16
2.4.2.	CN コーダー	17
2.4.3.	放射能推定	18
第3章	底質観測結果	20
3.1	底質の全硫化物	20
3.2	エクマンバージ採泥	22
3.3	柱状コア採泥	36
3.3.1	含水比の鉛直分布	36
3.3.2	湾奥中央と浚渫窪地の各鉛直分布	42
第4章	考察	49
4.1	底質平面分布について	49
4.2	底質の長期的変化について	52
4.3	底質の採泥手法について	54
第5章	結論と今後の課題	57
5.1.	結論	57

5.2. 今後の課題 .....	58
------------------	----

参考文献

謝辞

付録

第3章の観測データ

第4章の観測データ

# 第1章 序論

## 1.1 東京湾の概要

東京湾は千葉県館山市と神奈川県三浦市を結ぶ関東地方の海域である。湾口が小さく潮位差が大きいため、潮汐が卓越しやすい特徴がある。淡水が多摩川、隅田川、荒川といった河川を通してこの海域へ流れ込んでおり、海水交換が行われにくい環境として知られている。表-1 に東京湾と他海域との比較を取ると、湾内面積が小さく、湾口幅も狭いことから、他海域と比べても、閉鎖的な環境であることが分かる。

元々、砂地が多かったものの、沿岸域の都市化・工業化に伴い、水質浄化能力を持つ干潟の多くが埋め立てられた。大部分は工業地域となり、水底質環境が徐々に変化していった結果、生き物の生息場が激減し、一時は「死の海」と呼ばれるようになった。環境保全の活動により、徐々に回復傾向にあるが、いわゆる「江戸前の復活」の状態にまでの回復状態には至っていない。

都市化・工業化と同時期に発生し始めたのが、貧酸素水塊および青潮である。埋め立てによる浚渫工事の際に造成された窪地が引き金となり、魚介類や微生物の死滅などの被害を誘発するようになった。現在、この浚渫窪地の埋戻し工事が行われているが、砂や工事費のようなコスト面に加えて、水底質の物理的変化や潮汐の影響を受け、大きな効果を望めないのが現状である。

表-1 東京湾と他海域の諸データ

湾名	東京湾	有明海	大阪湾	三河湾	伊勢湾
湾内面積[m <sup>2</sup> ]	960	1700	1400	604	1740
湾内水深[m]	15.8	20	28	9.2	19.5
湾口幅[m]	7.3	4.4	8.8	9	11.4
湾口水深[m]	32.6	50	58	19	41

## 1.2 東京湾の水環境問題の対策と動き

東京湾は、貧酸素・無酸素問題や青潮の発生などの水環境問題が1960年代から問題になっている海域である(国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部, 2010)。この問題は工業排水や生活排水に含まれる窒素やリンといった栄養塩物質が河川を通じて湾内へ過剰に流入したことが原因である。その結果、表層では富栄養化することで、動植物プランクトンが大量発生し、海域は赤潮化する。この赤潮は魚介類の大量への死を招き、漁業被害を与えており、社会問題となっている。

植物プランクトンが有光層で光合成により有機物と酸素を生成するが、有機物である動物プランクトンが死骸や排泄物となって、無機物へ分解されながら海底に堆積する。あまり分解がされていない状態で海底へ堆積すると、底生生物が酸素を消費する。夏季の東京湾では、表層が高温・低塩分、下層が低温・高塩分と成層化することに加え、下層では光が届きづらく光合成がしにくい環境下であるため、呼吸の割合が大きく、貧酸素・無酸素問題に拍車をかける。特に沿岸域では、夏季において嫌氣的な環境下であり、硫化物が発生しやすい。この硫化物を含んだ無酸素水塊が湧昇し、海色が青白くなる現象が青潮である。この青潮は毒性があり、しばしば大規模であるため、大量の魚介類のへい死を招き、漁業被害が発生している。

この赤潮・青潮といった富栄養化による水環境問題の対策として、海底の栄養塩を削減するための浚渫や覆砂などの工法が開発された。また、水質浄化を促すために、人口干潟や藻場などの造成を行った。これ自体の対策は有意義ではあるものの、あまり効果が見られないのが現状であり、実際、赤潮は年に 40～60 回程度、青潮は 3(回/年)程度、発生している(図 1.2-1, 1.2-2)。

また、栄養塩物質の供給量を減らすことで、富栄養化を抑制することも試みている。河川からの湾内へ流入負荷を削減することを行い、表 1-1 のように水質法令により規制を行った。1970 年に施工された水質汚濁防止法は当時、重金属による化学汚染を対象に行われた経緯があり、現在ではほとんど化学汚染による被害はなくなっている。また、環境基本法は水圏に加え、土圏や大気圏も含まれる環境について基本的な法律となっている。そして、化学的酸素要求量(COD)やその後の窒素・リンといった流入負荷規制は富栄養化や貧酸素・無酸素問題を対象に行われたものである。COD、総窒素(T-N)や総リン(T-P)といった水質指標はそれぞれ、91 年以降、95 年以降、横ばい、もしくはやや減少傾向となっている。さらに、発生負荷量についても、COD はこの流入負荷規制が始まって以来、25 年間で約半分になったと見積もられており(中央環境審議会, 2005)(図 1.2-5)、総窒素(T-N)や総リン(T-P)もそれぞれ、半分、1/3 まで減少している(図 1.2-6)。水質は改善傾向にあるものの、未だに貧酸素・無酸素水塊、青潮は発生しており、流入負荷規制はこの問題の決定要因ではないと考えられている。

貧酸素・無酸素問題は、底質の悪化が問題を招いているもう一つの原因だとも考えられている。夏季の成層化などの原因で底質に酸素が供給されずに有機物の分解が行われるため、貧酸素・無酸素水塊が形成される。現在では流入負荷が抑制されているものの、有機汚濁した底質有機物の分解が貧酸素・無酸素水塊によって妨げられる。つまり、微生物がこの水塊に曝露されるため、分解が進まない状態にもなっている。

この問題を解決するために、2001 年の都市再生プロジェクト第三次決定「海の再生」を

受け、関係省庁・地方公共団体が連携して、貧酸素・無酸素問題に取り組むこととなった。前述のように、水質は改善傾向にあり、それと同時に生態系の改善にも尽力しようという動きがある。これまで行政が主体でこの問題解決に努めてきたが、むしろ民間を主体にこの問題に従事しようと東京湾再生推進会議や東京湾再生官民連携フォーラムなどが設置され、環境再生の機運が高まっている。貧酸素の解消については現状では困難であり、長期的な計画を持って対策を行う必要があると考えられている。けれども、無酸素水塊については硫酸還元によって生成された硫化物が含まれている。この硫化物には毒性があり、この硫化物を含んだ無酸素水塊の湧昇である青潮は漁業や悪臭などの社会的な問題となっている。貧酸素水塊以上にこの無酸素水塊の方が生態系に悪影響を及ぼしているため、この縮減対策は環境再生の第一目標となっている。

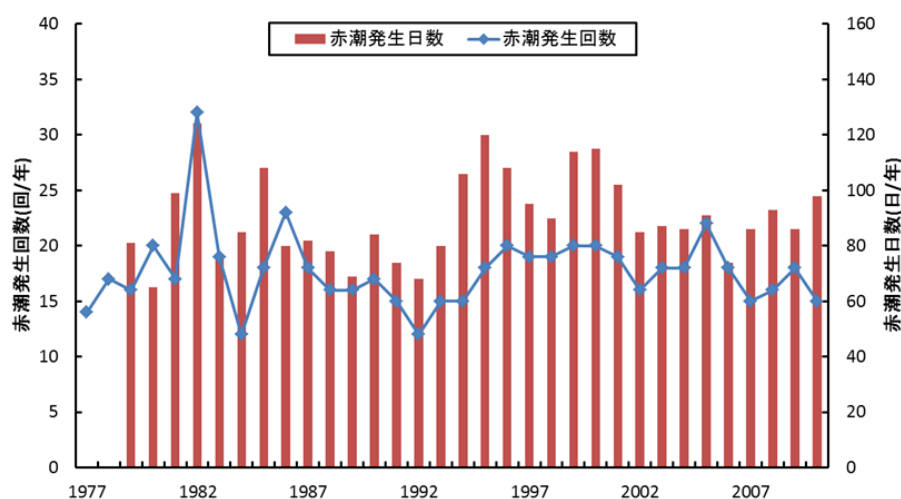


図 1.2-1 東京湾における赤潮の発生回数と発生日数の経年変化

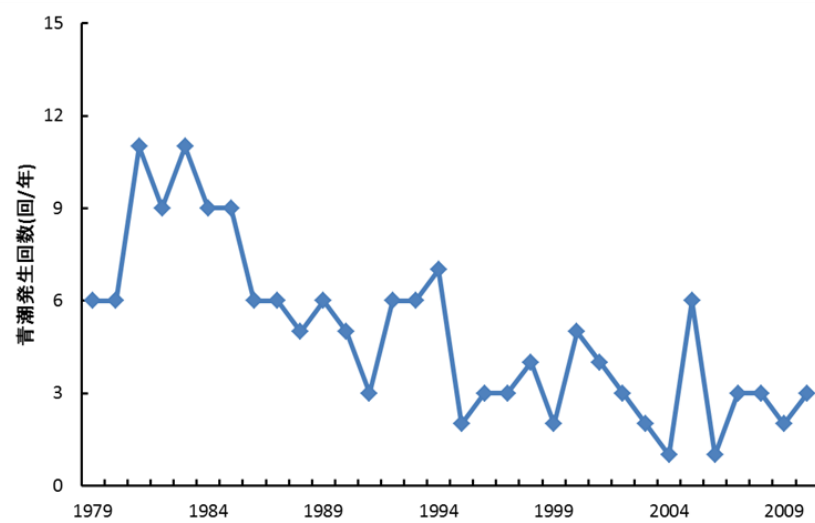


図 1.2-2 東京湾における青潮の発生回数の経年変化

表-1.2-1 水質に関する法令

年代	水質関係法令
1970	水質汚濁防止法
1978	水質関連総量規制(COD)
1993	環境基本法
2001	第5次総量規制(窒素・リン)

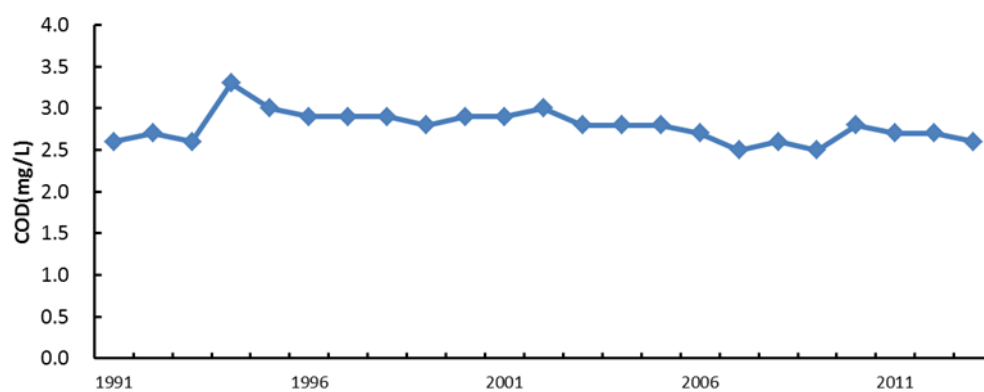


図 1.2-3 東京湾における COD の経年変化

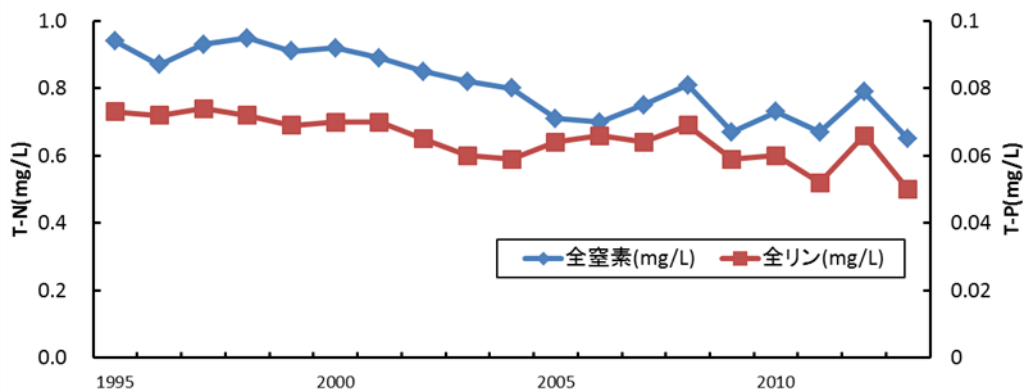


図 1.2-4 東京湾における T-N, T-P の経年変化

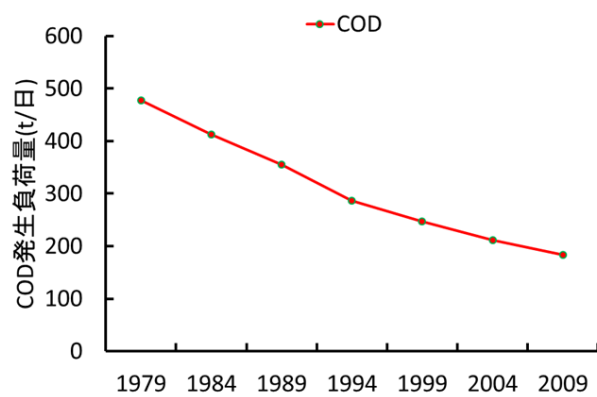


図 1.2-5 東京湾の COD 発生負荷量の経年変化

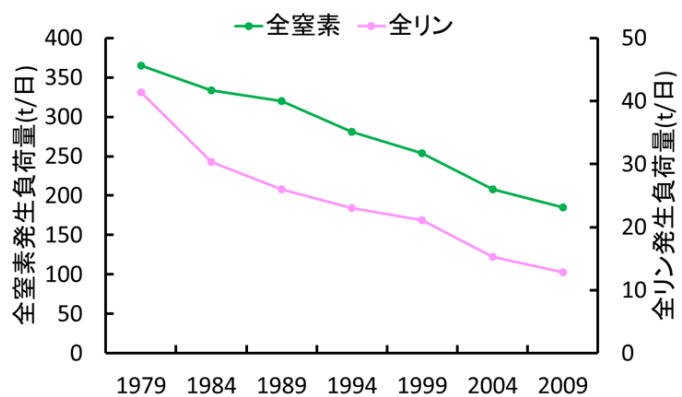


図 1.2-6 東京湾の全窒素・全リン発生負荷量の経年変化



### 1.3 既往の研究

1.1, 1.2 で東京湾は貧酸素・無酸素水塊といった富栄養化による水環境問題に対する様々な対策を講じているものの、解決には至っておらず、その問題が慢性化しやすい環境であることを述べた。現在でもこの問題を解決しようとする学術的な試みがなされている。

松本ら(1977)は 1.5 インチのプラスチックの内管をそなえた重力式フレーガー採泥器を用いて湾奥中央部における 1900 年代前後～1970 年代までの炭素、窒素の変化から有機汚濁の歴史について検討を行っている。汚濁度合は 1920 年代から徐々に汚染し、1950 年～1960 年代にかけて急激に増加しており、1920 年以前と比べて約 2 倍となっている。しかし、湾奥中央の一点のみであり、加えて、全炭素、全窒素と有機炭素、有機窒素ではなく、分解程度も明らかになっていない。

この埋め立てにより、浄化能力が減少した上に、柳ら(1990)の潮汐の研究によると、富津岬北側の底質が砂質から泥質に変化したとの報告から、有機物がたまりやすい環境になっていると考えられている。また、富栄養化に対する効果は明らかではないが、海水交換が悪いため、前述のように、水質悪化を助長している可能性も否定できず、底質の悪化に寄与している可能性もある。

五明ら(1990)は底泥の汚染の実態と物理・化学的な特性についての検討を行った。底質中の含水比、COD、強熱減量といった有機分析を行った柱状コア採泥は 2 地点のみで、東京湾奥全体で調査は行われていない。

小川ら(1994)は 1990 年 8 月 22, 26～28 日に東京湾奥部における有機炭素、有機窒素、C/N 比を調査した。底質調査は柱状採泥器を用いて、表層 5cm をサンプルの値としている。有機炭素、有機窒素含有率はそれぞれ、1.15～3.55%、0.073～0.392%と詳細なデータが取られている。しかし、採泥地点が 12 地点と少ないこと、表層から 5cm とオーダーが大きいことが課題と考えられる。

呉ら(2003)は猫実川を対象に鉛(Pb)-210 法とセシウム(Cs)-137 法を用いた放射能推定を行った。Cs-137 法の特定年代分析が有効であると述べているものの、観測地点は猫実川河口のみで、東京湾奥部での観測地点は少ない。

表層では岡田ら(2005)がエクマンバージ採泥器を用いて、東京湾奥全体の含水比分布を詳細に明らかにし、含水比と底質の強熱減量、底質 COD、TOC、T-P、T-N、硫化物との各指標との関係が高いことを示しているが、手法に重きを置いており、現象については言及されていない。加えて、東京湾奥部の含水比分布は底質の状況を知る上で貴重な知見である。後述するが、含水比分布を観測地点の作成に用いた。

日比野ら(2006)は、広島湾奥部を対象に簡易不攪乱柱状採泥器を用いて、底泥の季節変動特性について明らかにした。季節変動が底泥から数 10cm にわたり湿潤状態を変化させる。

夏期から秋期にかけて有機泥が海底に沈降し、海水の流入・浸透が起こることによって堆積泥層が膨張することが解明されたが、東京湾にも当てはまると考えられる。夏期の東京湾も成層化され、秋期に有機泥の沈降・堆積する。広島湾と東京湾を比べると、流入負荷量が少ないと考えられ、顕著に季節的变化が見られる可能性がある。

岡田ら(2007)によると、東京湾奥部での底質は粘土・細砂・シルトが卓越しており、いる。この底質状態は有機泥となりやすく、海底に堆積した後、間隙水の流動・浸透により、海水中に溶出しやすくなり、貧酸素・無酸素問題に大きく寄与している。

佐々木ら(2007)は湾奥中央について物理的・化学的に軟泥について考察を行っている。物理的には粒径、堆積速度、化学的には有機炭素、有機窒素、C/N 比、炭素同位体、窒素同位体を用いた結果、表層では分解の進んでいない状態で有機物が堆積していることを明らかにした。貧酸素水塊が長時間にわたって湾奥中央に存在することが分解を遅らせる一つの要因であると推察している。しかし、表層での浚渫窪地や航路、鉛直分布については行われていない。

このように過去の知見では 1970 年代以降からの底質の変遷は研究事例が少なく、浚渫窪地や航路といった地点毎の違い、また底質環境の変遷についてのメカニズムについて明らかにされていないことが多い。

## 1.4 研究目的

貧酸素・無酸素水塊の問題はある意味で従来からの問題であるが、環境再生の機運の高まりもある。そして、この問題は有機汚濁物質が多量に蓄積していることが原因と考えられている。この有機汚濁物質がどのように堆積しているかは、1970 年代以降、有機汚濁の変遷についての研究事例は少なく、有機汚濁の状況は明らかになっていないため、過去からの変遷を把握する必要がある。

そのため、本研究では、東京湾奥部を対象として、表層に堆積した有機汚濁底質の物理的・化学的性状を把握し、現状における底質の空間分布を詳細に明らかにする。次に、鉛直的な堆積分布によって得られる底質の長期的変化から、過去から現在に至る底質環境の変遷についての検討を行う。

## 1.5 研究の構成

本研究は、東京湾の底質環境の変遷について検討することを目的としている。

この研究目的を達成するために、第 2 章で、観測方法および、実験・分析について述べる。

第 3 章では、底質表層部において、エクマンバージ採泥を行い、硫化物、含水比、有機

炭素含有率, 有機窒素含有率および C/N 比の観測結果を示す. また, 浚渫窪地・航路・平場などで異なる分布についても示す. 加えて, 柱状コアについての含水比と湾奥中央と浚渫窪地についてのみ, 有機炭素含有率, 有機窒素含有率, C/N 比, 放射能推定の結果も示す.

第 4 章では, 第 3 章で得られた結果を元に, 表層と鉛直分布のデータから, 底質環境の変遷についての検討を行う.

第 5 章で, 本研究で得られた知見から, 結論と今後の課題についてまとめる.

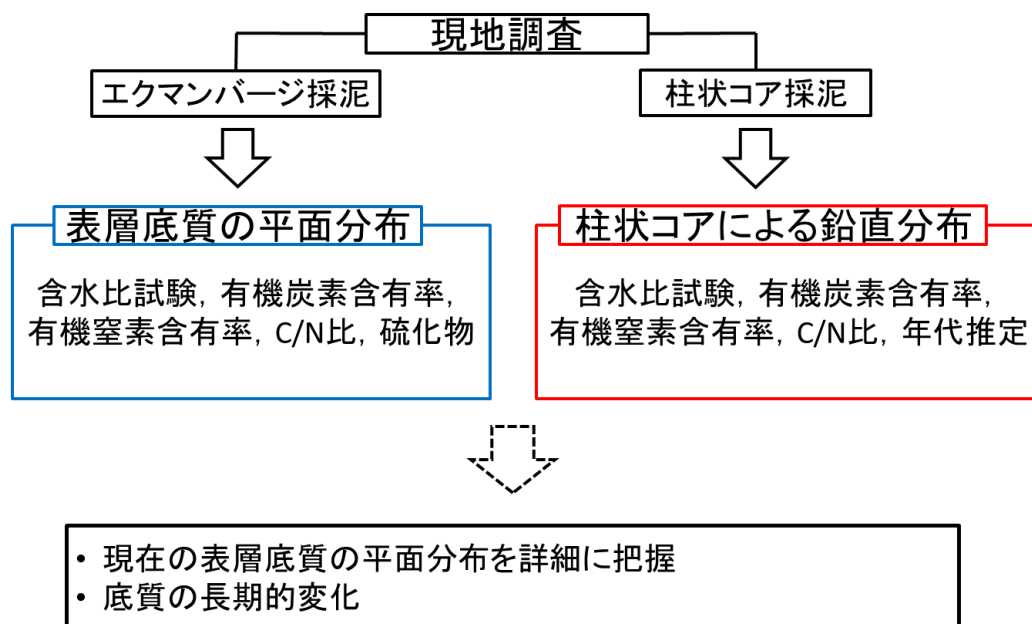


図 1.5-1 研究のフロー図

## 第2章 現地観測および底質分析の方法

### 2.1. 観測地点と観測日

底質環境を把握するために、岡田・古川(2005)の含水比分布を Google Earth に重ね合わせ、観測地点を作成した。作成した観測地点は図 2-1 に示した。この図の作成方法は含水比が最も高い湾奥中央の地点を中心点として、長軸・短軸を設定する。その地点から一定の間隔で格子線を引き、その交点を観測地点としている。また、浚渫窪地と航路についても、それぞれ 2 地点追加して、合計 41 地点を観測地点とした。なお、航路については後述するが 9 月から調査地点に入れたため、図 2-1 中には追加されていない。この観測地点の緯度経度を表 2-1 に示す。

図 2-1 に示した観測地点と貧酸素水塊速報(千葉県水産総合研究センター, “貧酸素水塊速報”, 千葉県 HP . 2014-7-23 , 2014-8-7 , 2014-8-26 , 2014-9-4 , 2014-9-17 , <https://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/suisan/suikaisokuhou/>)を重ね合わせ、観測日前日に、採水・採泥地点を決定した。採水・採泥地点の決定方法の概略図を図 2-2 に示す。1 日にできる調査地点を考慮し無酸素水塊を対象としたため、採水・採泥地点は湾の長軸の地点、溶存酸素の低い地点、浚渫窪地および航路とした。

観測は 2014 年 7 月 24 日, 8 月 8 日, 26 日, 9 月 5 日, 18 日, 10 月 9 日, 17 日, 24 日に実施し、水質調査・底質調査を行った。なお、航路について、9 月 5 日, 18 日に実施し、エクマンバージ採泥のみ行った。

### 2.2. 観測方法

水質調査に関して、多項目水質計(AAQ-RINKO)とニスキン採水器を結合し(図 2-3 左図)、水深毎に以下の項目を測定した。水質項目は水温、塩分、溶存酸素(DO), pH を項目とし、表 2-2 のように基準を設けて採水を行った(図 2-4)。DO が 0.2(mg/L)以下の値を示していたときは必ず採水を行った。0.2~1.0(mg/L)の間の時、一度採水を行い、硫化物臭がする場合に採水し、硫化物臭がしない場合、採水を行わなかった。なお、DO が 1.0(mg/L)以上の値を超えていれば、採水を行わなかった。採水後、採水ビンに水酸化ナトリウム水溶液を入れた。

底質調査はエクマンバージ採泥(図 2-3 右図)と柱状コア採泥(図 2-3)を実施した。エクマンバージ採泥は表層~3cm 程度のサンプルを採取し(図 2-5)、ジップロックに入れ、クーラーボックスで保冷しながら実験室に持ち帰り、冷凍保存した。柱状コア採泥は脚立に固定し、採泥したサンプルの厚さを測定した(図 2-6)。その後、擾乱しないように固定し、冷蔵保存

した。表 2-4 に各観測日におけるエクマンバージ採泥地点，表 2-5 に柱状コア採泥地点を示す。表 2-3 に，観測日毎に調査した項目を示した。

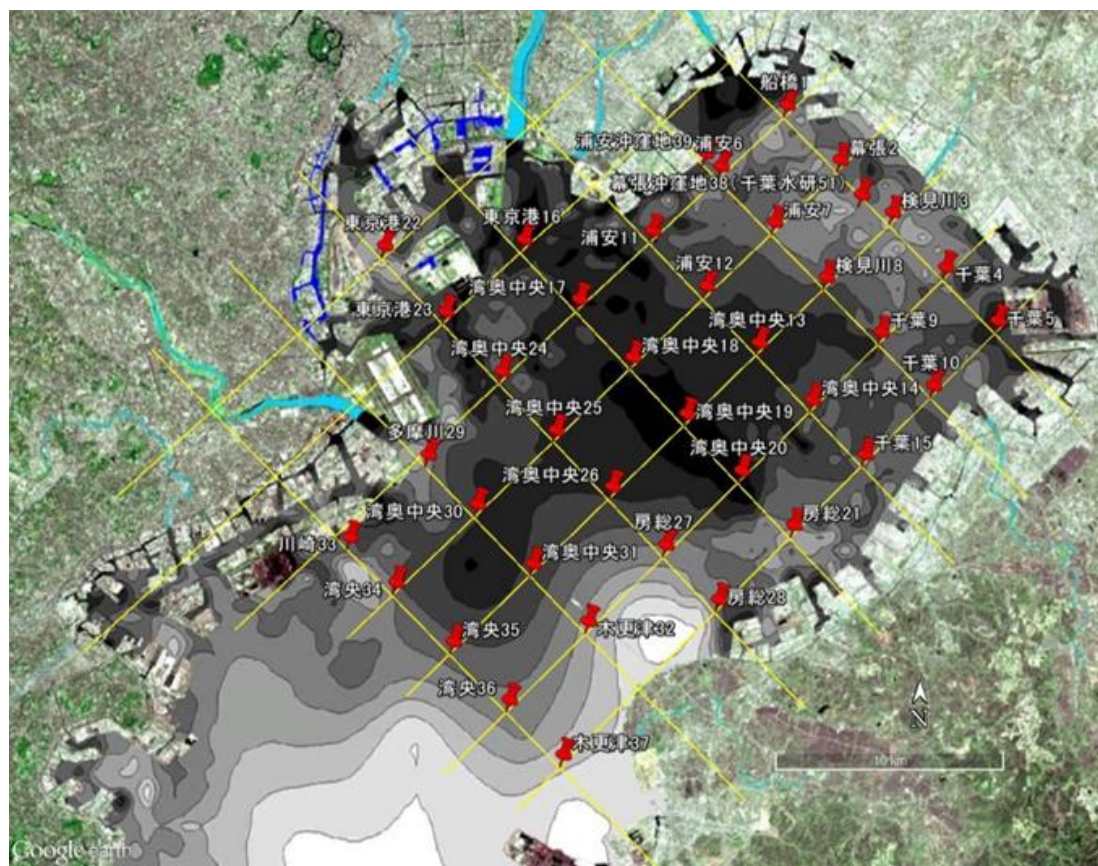


図 2-1 観測地点

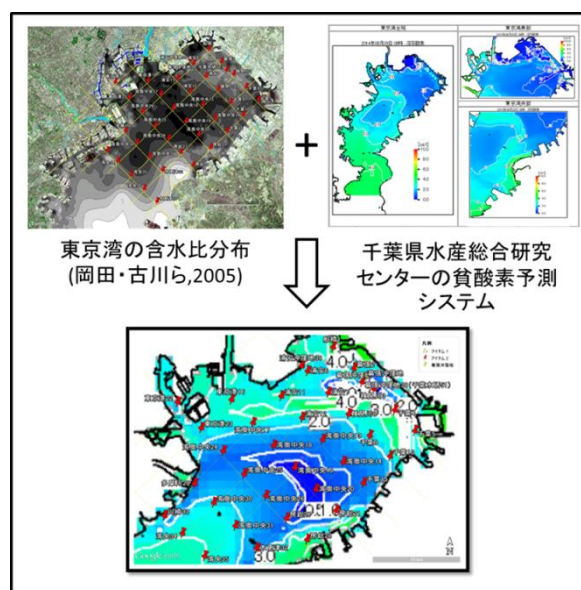


図 2-2 採水・採泥地点決定の概略図

表 2-1 緯度経度情報

地点	経度	緯度	地点	経度	緯度
stn1	139.9716786	35.6550119	stn19	139.9269489	35.5336331
stn2	140.0011125	35.6336286	stn20	139.9530669	35.5111228
stn3	140.0264006	35.6125153	stn21	139.9780583	35.4891792
stn4	140.0522403	35.5908567	stn23	139.8100131	35.5738900
stn5	140.0775122	35.5697483	stn24	139.8375036	35.5502867
stn6	139.9689200	35.6290922	stn25	139.8639139	35.5275028
stn7	139.9691811	35.6091747	stn26	139.8902869	35.5044697
stn8	139.9947408	35.5875267	stn27	139.9166778	35.4816817
stn9	140.0208594	35.5655828	stn28	139.9416853	35.4597444
stn10	140.0461317	35.5444653	stn29	139.8016886	35.5175094
stn11	139.9102903	35.6055678	stn30	139.8255564	35.4975089
stn12	139.9361228	35.5836172	stn31	139.8525178	35.4744675
stn13	139.9619447	35.5614072	stn32	139.8794700	35.4514111
stn14	139.9877978	35.5391725	stn35	139.8133581	35.4436256
stn15	140.0128042	35.5175203	stn38	140.0037967	35.6341858
stn16	139.8475250	35.6016878	stn39	139.9474533	35.6270478
stn17	139.8744717	35.5786150	stnc2	140.0667028	35.5834889
stn18	139.9008406	35.5558603	stnc4	140.0168694	35.5667861

表 2-2 採水基準

溶存酸素(mg/L)	硫化物臭	採水基準
～0.2		採水
0.2～1.0	○	
	×	採水しない
1.0～		





図 2-3 採水器とエクマンバージ採泥器



図 2-4 採水の様子

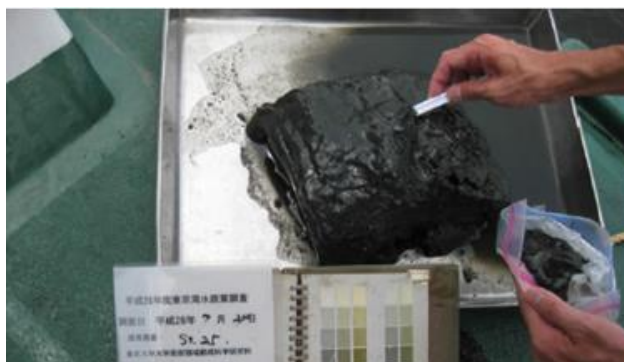


図 2-5 エクマンバージ採泥後のサンプル採取の様子

表 2-4 各観測日における調査項目

観測日	7月24日	8月8日	8月26日	9月5日	9月18日	10月9日	10月17日	10月24日
水質調査	○	○	○	○	○	○	○	○
エクマンバージ採泥	○	○	○	○	○	○	○	○
柱状コア採泥	-	-	-	-	-	○	○	○



図 2-6 柱状コア採泥後のサンプルの厚さを測定する様子



表 2-4 各観測日におけるエクマンバージ採泥地点

観測日	エクマンバージ採泥地点
7月24日	8,12,13,14,18,19,20,21,24,25,26,27,38,39
8月8日	8,13,14,15,18,19,20,21,25,26,31,35,38,39
8月26日	8,13,14,15,18,19,20,21,25,26,30,31,38,39
9月5日	8,13,19,26,31,35,38,39,c2,c4
9月18日	8,13,16,17,19,23,26,31,35,38,39,c2,c4
10月9日	11,16,17,23,24,29,30
10月17日	6B,12,26,32,39
10月24日	3,4,5,7,9,10,14,15,21

表 2-5 各観測日における柱状コア採泥地点

観測日	柱状コア採泥地点
10月9日	11,16,17,23,24,29,30
10月17日	6B,12,18,25,26,27,31,32,38,39
10月24日	3,4,5,7,8,9,10,13,14,15,19,20,21

### 2.3. 柱状コアサンプルのスライス方法

観測後、冷蔵保存した柱状コアサンプルのスライスを実施した。以下に、手順を示した。スライス器具は専用の三脚、鉄板、サイフォン、キムタオル、トレイである。以下に手順を示した。

#### スライス手順

1. 柱状コアを専用の三脚に載せ、図 2-7 のように固定した。
2. 上部の蓋をはずし、図 2-8 のようにサイフォンで底質表層 1cm 程度上まで直上水を除いた。
3. 下層から押し出し、底質表面上にある直上水をキムタオルで吸い上げた。
4. 直上水を除いた後、図 2-9 のように、サイズを測り水平な鉄板を用いてスライスを行った。サイズは図 2-10 のように、表層～10cm までは 2cm 毎に 5 層、10cm～30cm までは 4cm 毎に 5 層、30cm～50cm まで 5cm で 4 層とした。
5. スライスを行った後、トレイにサンプルを載せ、表 2-8 のように各層毎の見かけの指標を記入し、ジップロックにサンプルを入れ、実験室へ持ち帰った。



図 2-7 柱状コアサンプルを固定した様子



図 2-8 柱状コアサンプルの直上水をサイフォンで除去する様子

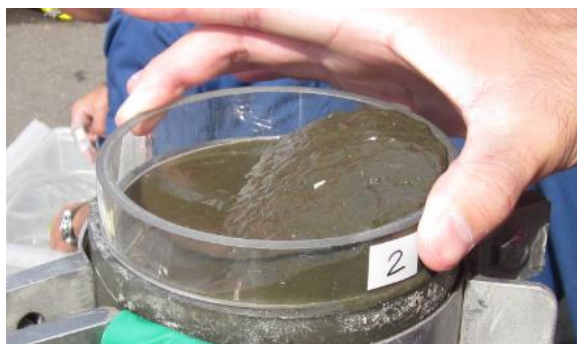


図 2-9 スライスの様子

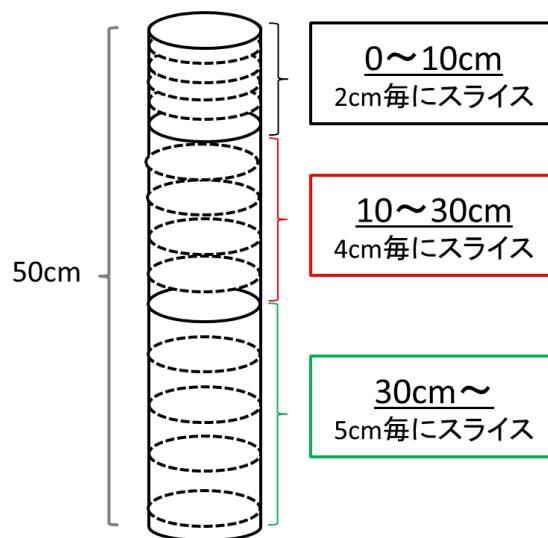


図 2-10 柱状コアサンプルのスライスのサイズ

表 2-8 みかけによる物理的性状

stn.番号	泥色	オリーブ黒
第n層	臭気	硫化水素臭
cm	底質	シルト
～	性状	自立
cm	混入物	貝片

## 2.4. 実験・分析手法

東京湾の底質環境を把握するために、観測により採取したサンプルを用いて実験・分析を行った。実験項目は、含水比、有機炭素含有率、有機窒素含有率、C/N 比、放射能推定(柱状コアサンプルのみ)である。以下に、具体的な手順について後述した。

### 2.4.1. 土の含水比試験

底質の物理的性状を把握するため、含水比を測定した。「日本工業規格 JIS A 1203 土の含水比試験方法試験」に基づいて実験を行った。試験器具は蒸発皿(AS ONE, 60mm 粒径), 恒温乾燥炉(YAMATO DR-200), はかり(A&D 株式会社, GR-202)、デシケータ(AS ONE, 遮光タイプ, LH-SK)を用いた。以下に手順を示した。

試験方法：

1. 蒸発皿の質量  $M_A$  を測った。
2. 試料を十分攪乱後、蒸発皿に入れ、その試料と蒸発皿の合計の質量  $M_B$  を測った。
3. 試料を恒温乾燥炉に入れ、105(°C)で 24 時間炉乾燥した。

4. 炉乾燥後、蒸発皿をデシケータ内に入れ常温になるまで冷まし、その後の質量 $M_C$ を測った。
5. 常温になるまで冷ました後、試料の含水比を以下の式で求めた。

$$w = \frac{M_B - M_C}{M_C - M_A} \times 100$$

ここで、 $w$ ：含水比

$M_A$ ：蒸発皿の質量(g)

$M_B$ ：炉乾燥前の(試料+蒸発皿)の質量(g)

$M_C$ ：炉乾燥後の(試料+蒸発皿)の質量(g)

#### 2.4.2. C/N コーダー

底質の化学的性状を把握するため、有機炭素含有率・有機窒素含有率・C/N 比を測定した。試験器具は CN コーダー(Yanako, MT-700) (図 2-8)、はかり(A&D 株式会社, GR-202)、ニッケルボード(Yanako)、薬包紙を用いた。以下に、手順を示した。

分析手順：

- ① 二酸化炭素吸収管のソーダアスベストが約 1/2 以上白くなっていないかを確認した。
- ② 還元管の還元銅が約 2/3 以上黒くなっていないかどうか確認した。
- ③ 燃焼管が亜酸化銅になっていないか確認した(目安は 500 検体)。
- ④ ヘリウム、酸素のボンベを開き、2 次圧を 3.0～4.0kgf/cm<sup>2</sup> にセットした。
- ⑤ MAIN の電源を入れ、その時の MAIN と F.H.のランプが点灯するのを確認した。
- ⑥ ガス流量、ガス漏れのチェックを行った。
- ⑦ 約 2 時間、動作チェックを行われる間にサンプルの質量 $M$ を測り、ニッケルボードに入れた。
- ⑧ ボードにサンプルを置く順番として、1 点目は必ずブランクにし、2 点目は 10mg 程度、3 点目は 20mg 程度、4 点目は 30mg 程度とし、5 点目をブランクとした。
- ⑨ 6 点目以降、サンプルをボードに置き、15 点以内にブランクを分析した。なお、1 ボード中にサンプルを 300mg 以上入れた。
- ⑩ その後、ブランク、未知サンプル(15 点以内)、ブランクの順に、ボードに置いた。
- ⑪ サンプルの質量 $M$ のデータを入力し、分析を行った。
- ⑫ 分析終了後、CN コーダーより、有機炭素含有率・有機窒素含有率、C/N 比の測定結果が得られた。



図 2-11 C/N coder

#### 2.4.3. 放射能推定

過去に堆積した有機物の年代を推定するため、放射能推定を行った。試験器具は GMX29PHP-GE 検出器(米国 ORTEC 社)(図 2-12 左図), 解析 Spectrum Navigator(SEIKO EG&G 社)(図 2-12 右図), 放射能推定専用の容器を用いた。以下に、手順を示した。

分析手順：

- A) 24 時間 105℃で乾燥した試料を細かく砕き、試料の質量  $m$  を測った。
- B) 試料を満遍なく平にし、試料を専用の容器に入れた。
- C) 容器を検出器に入れ、24 時間分析を行った。
- D) 分析後、スペクトルファイルからバックグラウンドおよび ROI のグロスの面積を求めた。
- E) ROI の面積からバックグラウンドの面積を引き、正味の面積を求めた。
- F) 正味の面積から試料の質量  $m$  で割った値を放射能測定の結果とした。



図 2-12 GMX29PHP-GE 検出器, 解析 Spectrum Navigator

## 第3章 底質観測結果

### 3.1. 底質の全硫化物

エクマンバージ採泥による底質硫化物の平面分布を図 3.1-1～4 に示す。図 3.1-1 に 2014 年 7 月 24 日と 8 月 8 日の東京湾奥部における底質硫化物の平面分布を示す。7 月 24 日の観測結果では、湾奥中央では硫化物の値が 1.0mg/g 以上発生しており、嫌気的な底質環境であると考えられる。また、東京湾アクアライン以北周辺では硫化物が低く、湾奥中央の中心部に高い分布を示している。このことから、東京湾アクアライン以北周辺よりも湾奥中央で硫酸還元が行われ、有機物を分解し硫化物が発生したと考えられる。

続いて、8 月 8 日は、木更津側では硫化物の値が低いものの、観測地点全体では硫化物が 1.0mg/g 以上発生している。また、湾奥中央の千葉港より高い値を示している地点がある。また、湾奥中央や千葉港よりの観測地点では硫酸還元が行われ、硫化物が発生したと考えられる。また、湾奥中央の千葉港より高い値を示したのは、航路の影響を受けているのではないかと考えられる。

図 3.1-2 に 8 月 26 日および 9 月 18 日での東京湾奥部における底質硫化物の平面分布を以下に示す。8 月 26 日には観測地点において、硫化物がほとんどの地点で 1.0mg/g 以上発生しており、湾奥中央の中心の値は特に、高くなっている。このことから、湾奥中央の中心では硫酸還元が活発に行われやすかった結果、周辺部に比べて硫化物が多く発生したと考えられる。

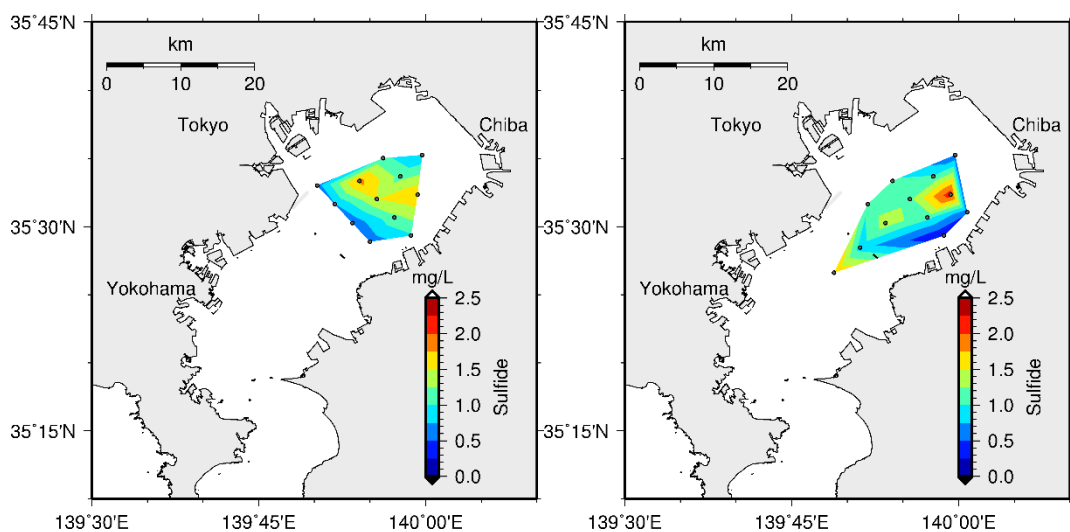


図 3.1-1 東京湾奥部における硫化物の平面分布(左：7 月 24 日，右：8 月 8 日)

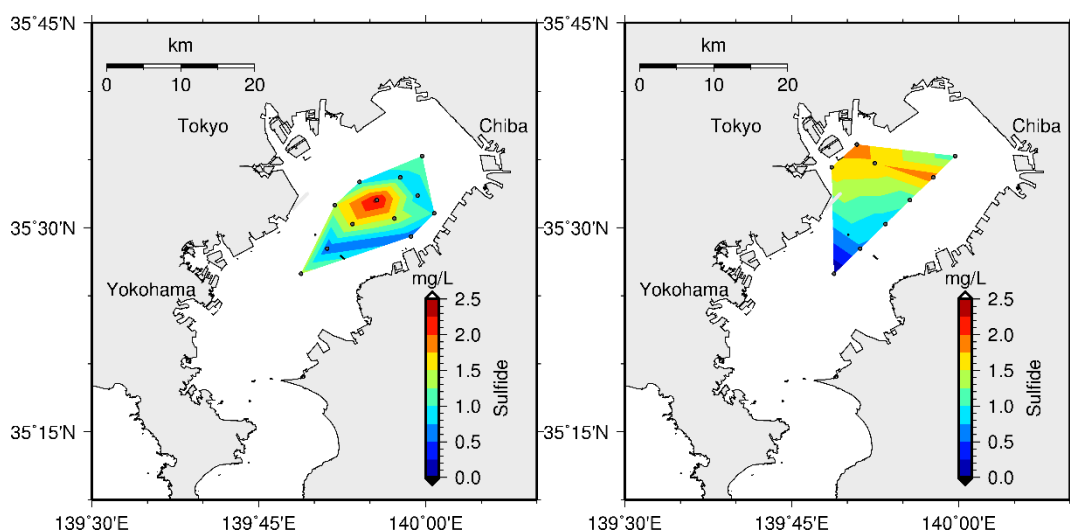


図 3.1-2 東京湾奥部における硫化物の平面分布(左：8月26日，右：9月18日)

9月18日の観測結果では，湾奥中央北部や河口付近に値が高い傾向にある．このことから，荒川・隅田川といった河川から流入した有機物の分解に硫酸還元が行われ，硫化物が発生したと考えられる．また，湾口方面で低い値を取っているのは，硫酸還元が行われなかったためと考えられる．

図 3.1-3 に 10月9日および10月24日での東京湾奥部における底質硫化物の平面分布を以下に示す．10月9日は硫化物が 1.2mg/g 以上発生しており，河口部では有機物が多く堆積しており，加えて嫌気的環境下であることから，硫酸還元が行われ，硫化物が発生したと考えられる．

10月24日の観測結果は湾奥中央北東部で高い値を示しており，幕張・千葉方面は値

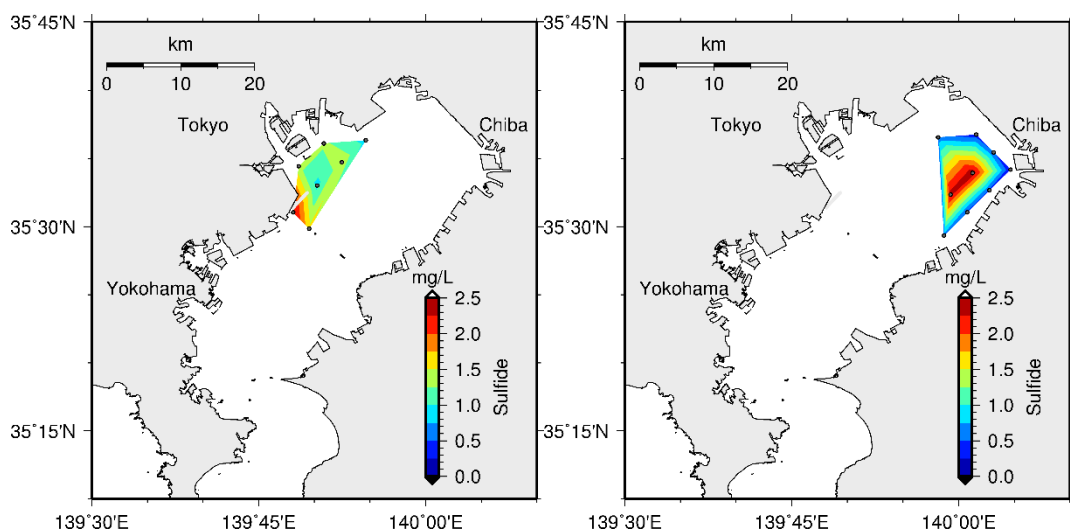


図 3.1-3 東京湾奥部における硫化物の平面分布(左：10月9日，右：10月24日)



が低い。この値が高いのは航路で発生した硫化物の影響があると考えられる。

図 3.1-4 に 7 月 24 日から 10 月 24 日まで行った東京湾奥部における底質硫化物の平均平面分布を以下に示す。湾奥中央では硫化物が 1.0mg/g 以上発生しており、浦安・幕張・千葉方面では低い値を示しており、河口部周辺や湾奥中央北東部で高い値を示している。このことから、湾奥中央では硫化物が発生しており、河川の影響を受けにくい、つまり、有機物があまり供給されない地点では値が低い傾向にある。逆に、値が高い地点は硫酸還元が行われやすい環境下であり、硫化物が生成されやすいと考えられる。

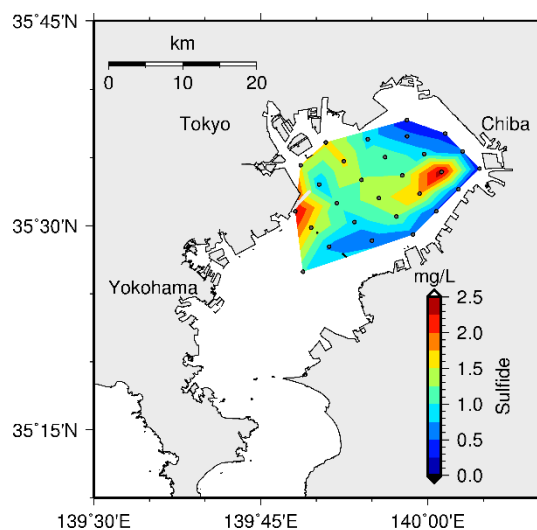


図 3.1-4 東京湾奥部における硫化物の平均平面分布

### 3.2. エクマンバージ採泥

#### 湾奥全体

エクマンバージ採泥による 2014 年 7 月 24 日の東京湾奥部における底質の含水比、有機炭素含有率、有機窒素含有率、C/N 比の平面分布を図 3.2-1 に示す。含水比において、湾奥中央の中心部で値が高く、全体的に 300%以上の値を示しており、液性状態であると考えられる。有機炭素含有率は湾奥中央のほとんどが 4%以上の値を示しており、有機窒素含有率も 0.4%以上の値であることから、湾奥中央では有機物が多く堆積していることが分かる。そして、C/N 比が 8 程度の値を示している。C/N 比は有機炭素と有機窒素のモル比であり、沿岸部では有機物の供給源である植物プランクトンの C/N 比に従い (Joseph T. Westrich, 1984), 最小値が 6.625 というレッドフィールド比になることが知られており、有機物の分解の指標として用いられている(日比野, 2008)。観測結果がこのレッドフィールド比に値が近い場合、あまり分解されない状態で堆積していると考えられる。したがって、表層では底質が液性状態で有機物が多量にあまり分解されていない状態で堆積していると考えられ

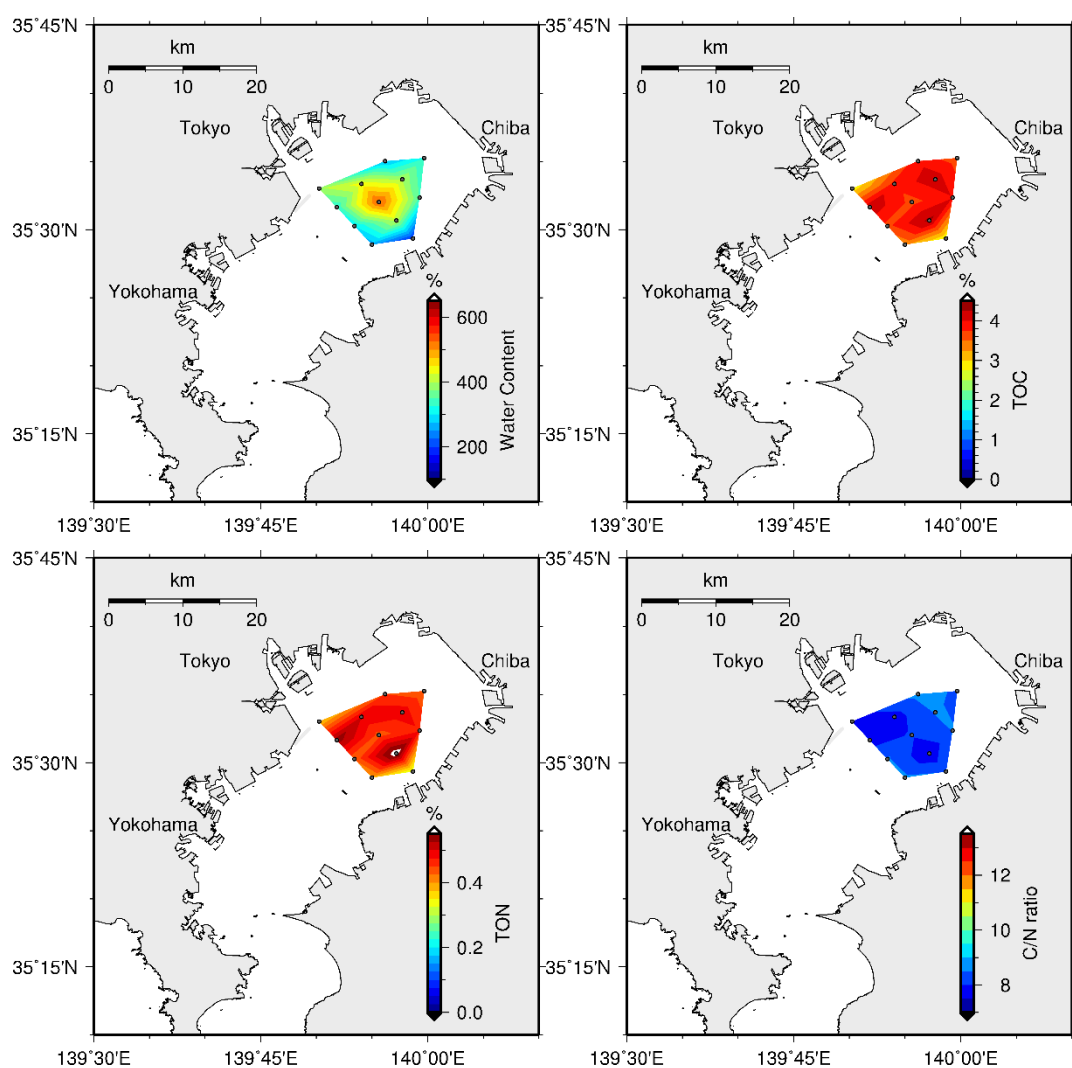


図 3.2-1 2014 年 7 月 24 日の東京湾奥部における底質の含水比，  
有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布

る。

エクマンバージ採泥による 8 月 8 日の東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布を図 3.2-2 に示す。含水比において，湾奥中央で値が 400%以上の値を示しており，東京湾アクアライン周辺や幕張方面に行くに従って値が低くなっているものの，300%程度の値を示しており，湾奥中央では液性状態であると考えられる。有機炭素含有率，有機窒素含有率も含水比と同様な傾向にあり，湾奥中央では高い値を示しており，幕張・木更津方面では低い値であるものの，それぞれ 3%，0.3%以上の分布を示しており，有機物が卓越していると考えられる。また，C/N 比は湾奥中央で低く，幕張や湾口方面では高い値を示している。これらのことから，湾奥中央では液性状態で有機物があまり分解されていない状態で堆積しており，幕張方面や湾口方面へ行くに従って，

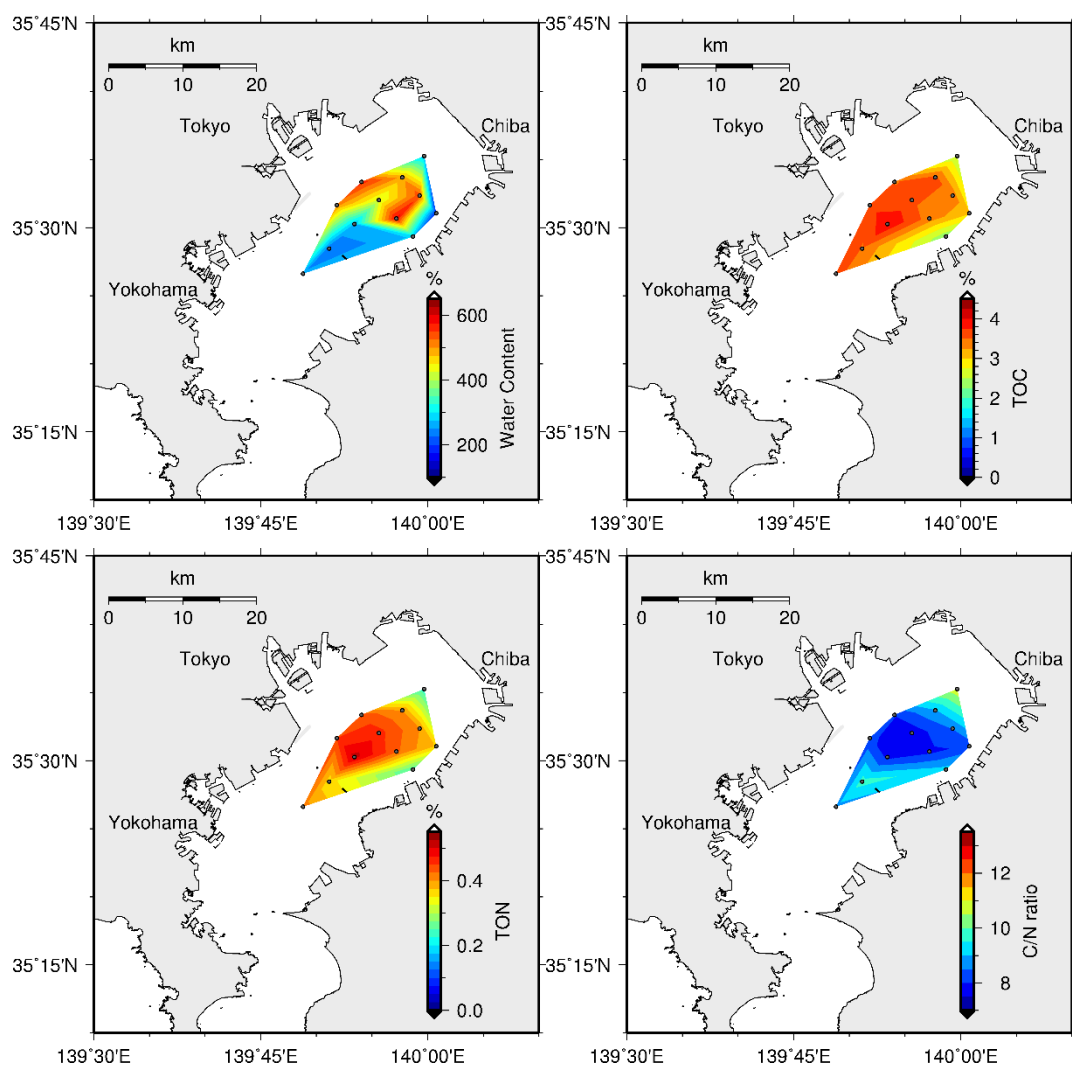


図 3.2-2 2014 年 8 月 8 日の東京湾奥部における底質の含水比，  
有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布

含水比が減少し，有機物の分解程度が進む傾向にある。

エクマンバージ採泥による 8 月 26 日の東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布を図 3.2-3 に示す。含水比において，湾奥中央では 400%以上の値であり，木更津方面に行くに従って減少している。これは湾奥中央では液性状態であるが，木更津方面では塑性状態に近づいている。また，有機炭素含有率，有機窒素含有率は湾奥中央ではそれぞれ，3%，0.3%以上の分布を示しているが，木更津方面に行くに従ってそれぞれの値が減少している。このことから，湾奥中央では有機物が多く，木更津方面に行くに従って有機物量が減少していることを意味している。そして，湾奥中央において，中心部よりも周辺部の方に有機物が卓越している。さらに，C/N 比においても同様の傾向にあり，木更津の値が高く湾奥中央に行くに従って，値が低くなっている。この

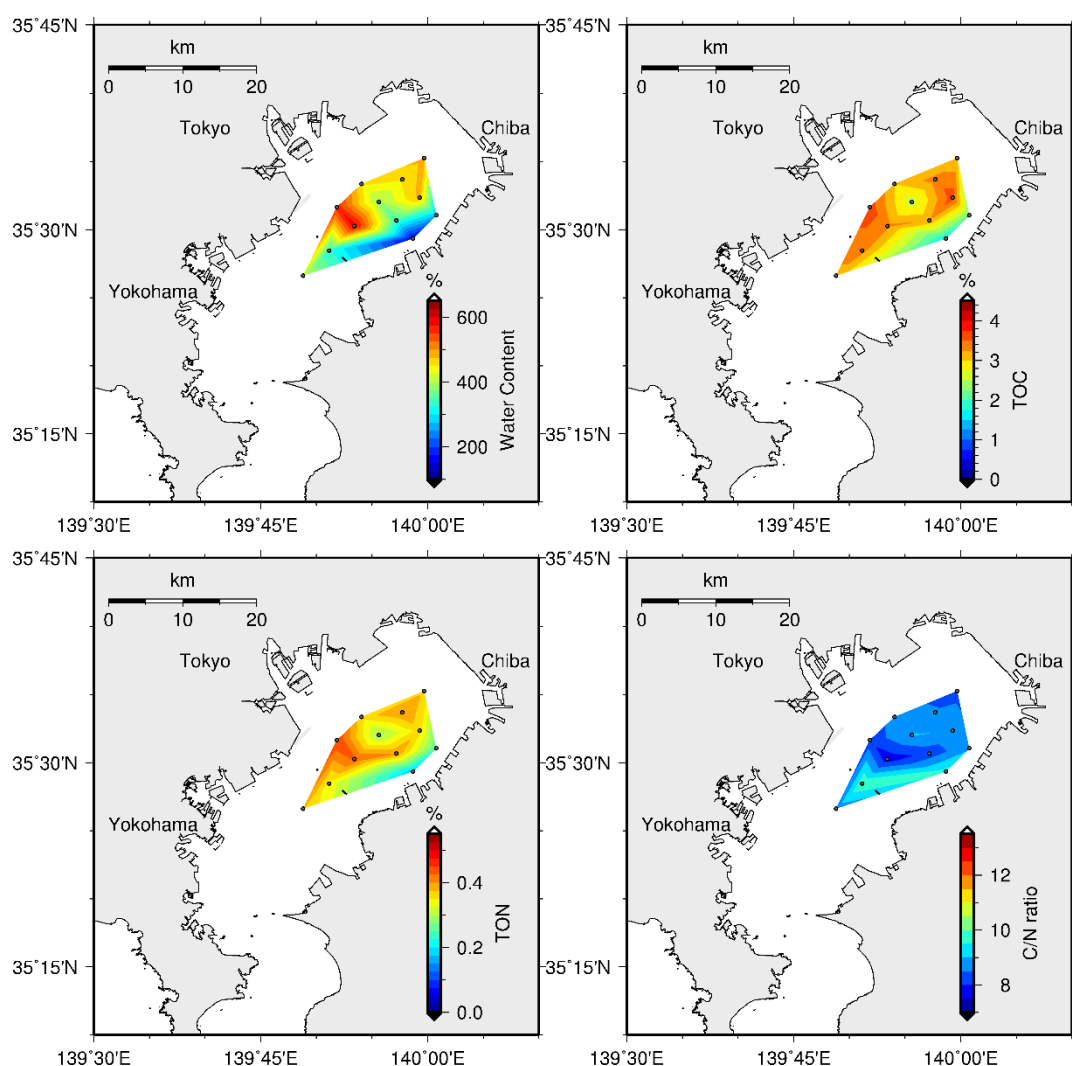


図 3.2-3 2014 年 8 月 26 日の東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布

ことから，木更津方面が湾奥中央に比べて有機物の分解が進行していると考えられる．これらを元に，8 月 26 日の底質環境は湾奥中央では底質は液性状態であり，有機物はあまり分解されていない状態で堆積しており，木更津方面に行くに従って含水比が低くなり，有機物が減少し，分解が進んでいる．

エクマンバージ採泥による 9 月 18 日の東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布を図 3.2-4 に示す．含水比は湾奥中央では 400%以上の値で，東京港および湾口方面に行くに従って値が低くなっている．湾奥中央でも幕張・湾口側が高く，中心部が低い値である．有機炭素含有率，有機窒素含有率も同様に，東京港方面の値が低く，湾口方面や湾奥中央に行くに従って高い値になっているが，それぞれ 3%以上，0.3%以上と高い分布を示している．このことから東京港方面から湾奥中央にかけ

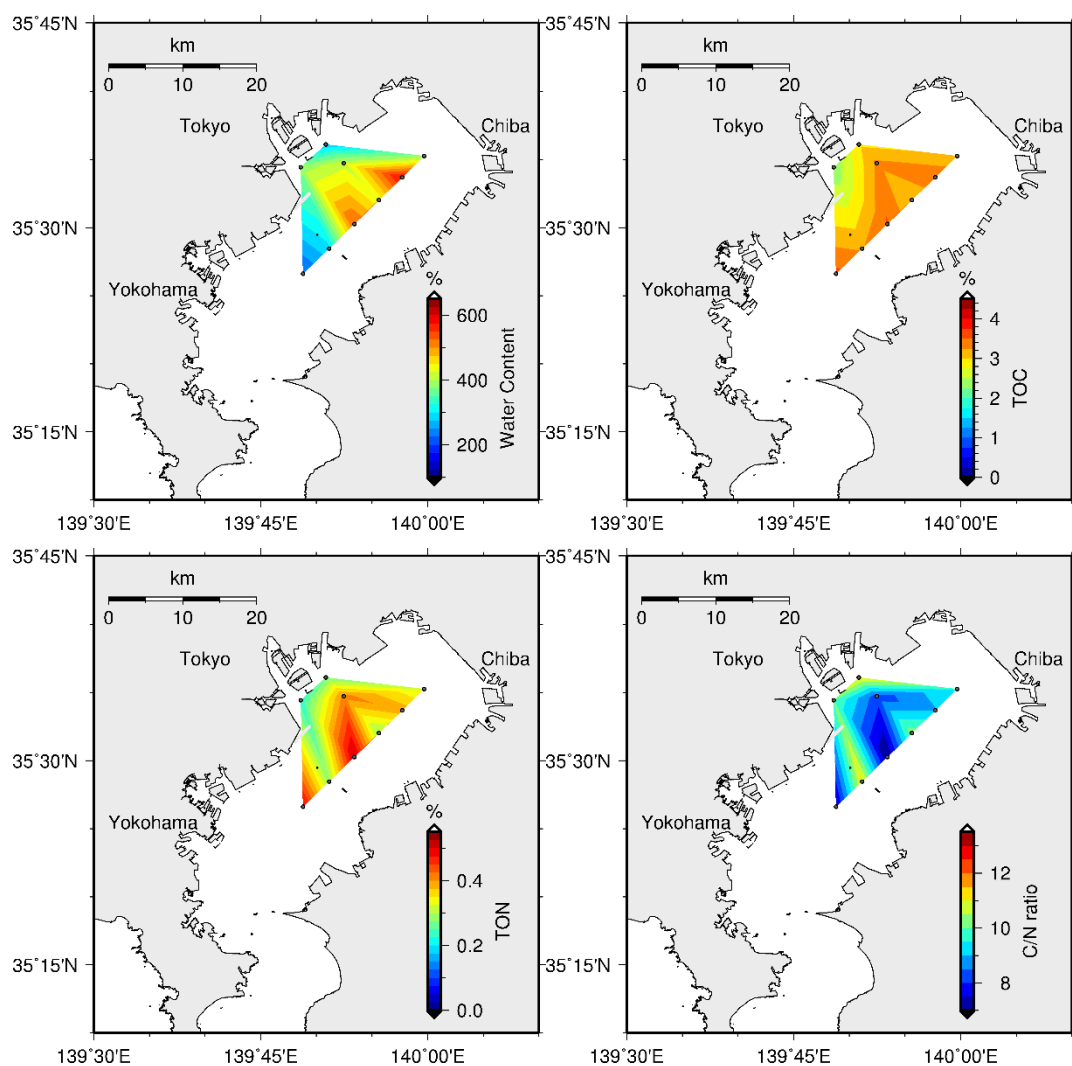


図 3.2-4 2014 年 9 月 18 日の東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布

で有機が多く分布している。また、C/N 比に関しては湾奥中央から荒川方面の値が 8 程度と低く、その周辺領域では 10 前後、またはそれ以上の値を示している。これらのことから、湾奥中央・湾口方面では液性状態で有機物があまり分解されていない状態で堆積しており、東京港では湾奥中央や湾口方面よりは有機物の分解が進んでいる。

エクマンバージ採泥による 10 月 9 日の東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布を図 3.2-5 に示す。含水比において、東京港は低く 300%程度、湾奥中央方面は高くなっており、400～500%の値を示しているが、全体的に 300%以上と含水比が高いことから底質は液性状態であると考えられる。次に、有機炭素含有率，有機窒素含有率では同様の分布を示しており、東京港の隅田川河口方面では低いものの、有機含有率はそれぞれ 3%以上、0.3%以上の値を示しており、有機物が卓越している。そし

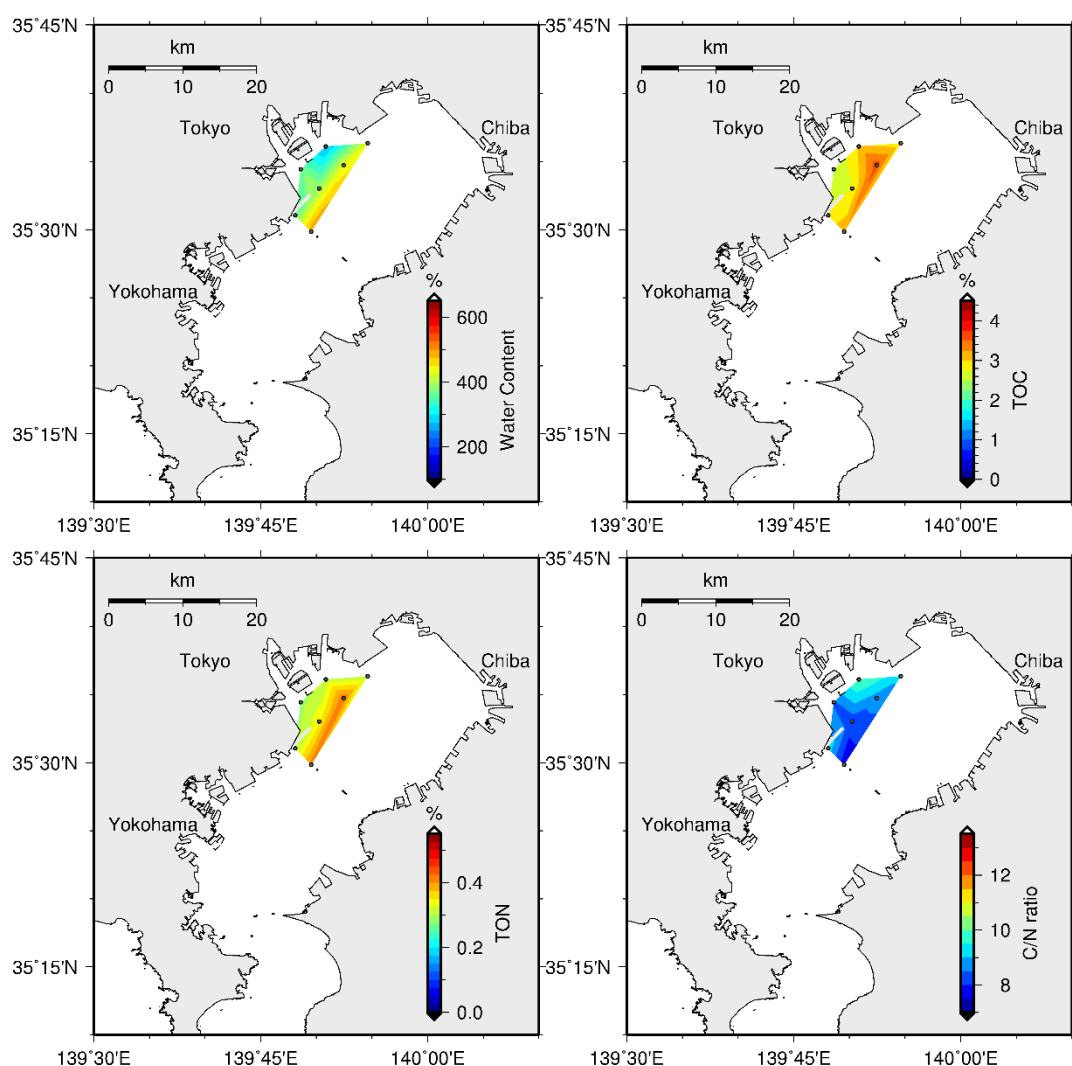


図 3.2-5 2014 年 10 月 9 日の東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布

て，C/N 比は湾奥中央の湾口方面が低く，荒川方面に行くに従って値が高くなっている．これらから，湾奥中央方面では液性状態で有機物があまり分解されていない状態で堆積しており，東京港方面では有機物の分解が進んでいる．

エクマンバージ採泥による 10 月 24 日の東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布を図 3.2-6 に示す．含水比において，湾奥中央では高く，600%を超えている．それに対して陸域側では地点によって 200%程度まで値が低くなっている．有機炭素含有率，有機窒素含有率も同様に湾奥中央では値が高く，陸域に従って低くなっている．そして，C/N 比も湾奥中央では低く，陸域では低い．これらを元に，湾奥中央では底質が液性状態で，有機物があまり分解されていないのに対し，陸域側では有機物の分解が進行している．

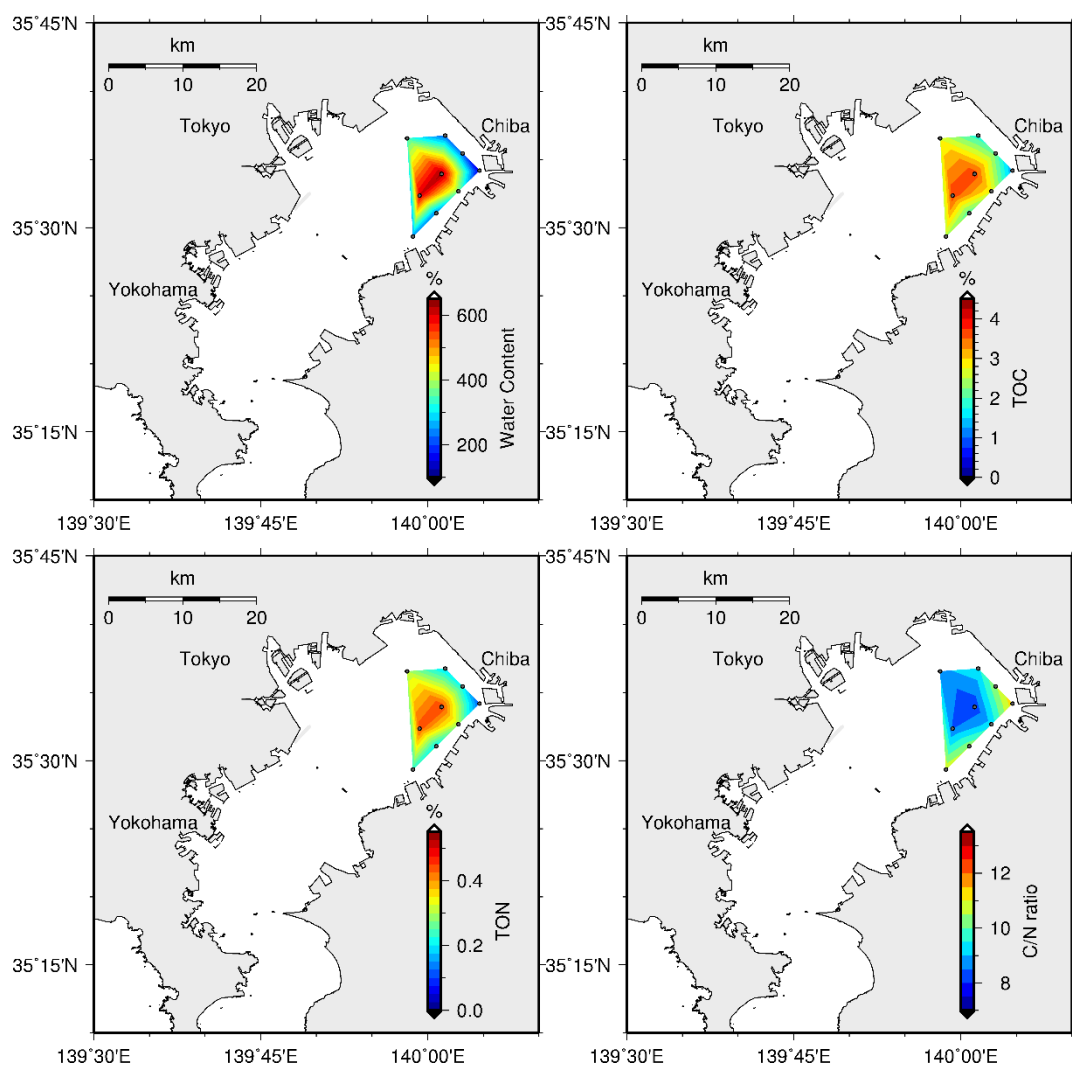


図 3.2-6 2014 年 10 月 24 日の東京湾奥部における底質の含水比，  
有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布

エクマンバージ採泥による 2014 年 7 月～10 月までの東京湾奥部における底質の含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平面分布を図 3.2-6 に示す．含水比において，陸域方面の地点によって，200%程度の値を示しているものの，湾奥部全体で 300%以上を超えており，夏季において液性状態が維持されていると考えられる．有機炭素含有率，有機窒素含有率も含水比同様，浦安から千葉にかけての沿岸部の値は低いものの，全体的に有機物が多く分布している．また，C/N 比についても同様に陸域側では高い値を示しており，湾奥中央では全体的に低くなっている．これらを総合し，湾奥中央では底質が液性状態にあり，有機物が卓越しあまり分解がなされない状態で堆積している．

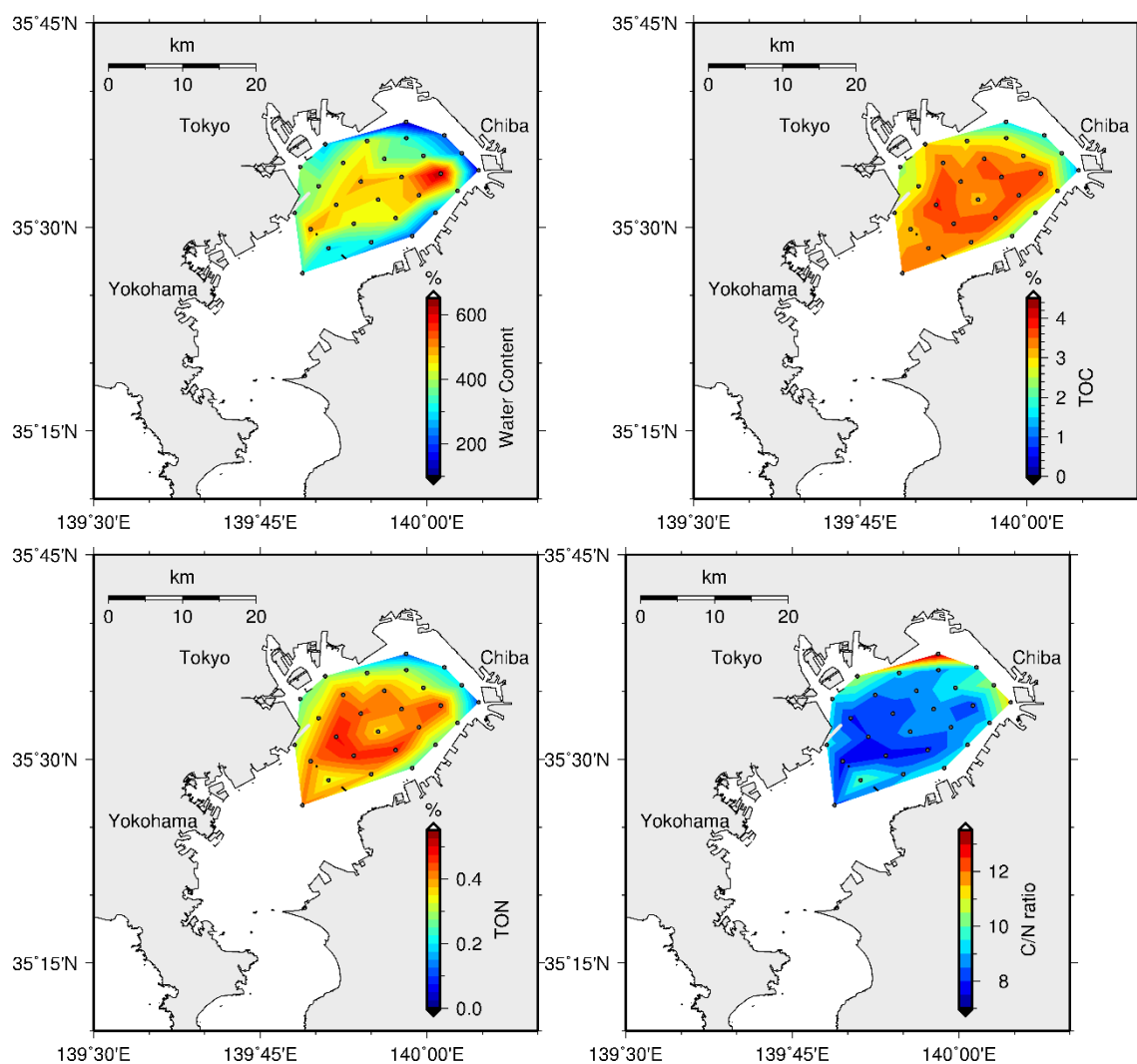


図 3.2-7 2014 年 7 月～10 月までの東京湾奥部における底質の含水比，  
有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の平均平面分布

### 浚渫窪地

図 3.2-8 に，浚渫窪地における観測地点を示した。

2014 年 7 月 24 日，8 月 8 日，26 日，9 月 5 日，18 日における含水比のグラフを図 3.2-9 に示す。このグラフから，含水比において，幕張沖窪地・浦安沖窪地ともに観測日すべて 300%以上で，観測日によっては 500%を超えることもある。両者を比べると，幕張沖窪地の方が高い傾向にある。なお，8 月 8 日における幕張沖窪地の結果は欠測である。



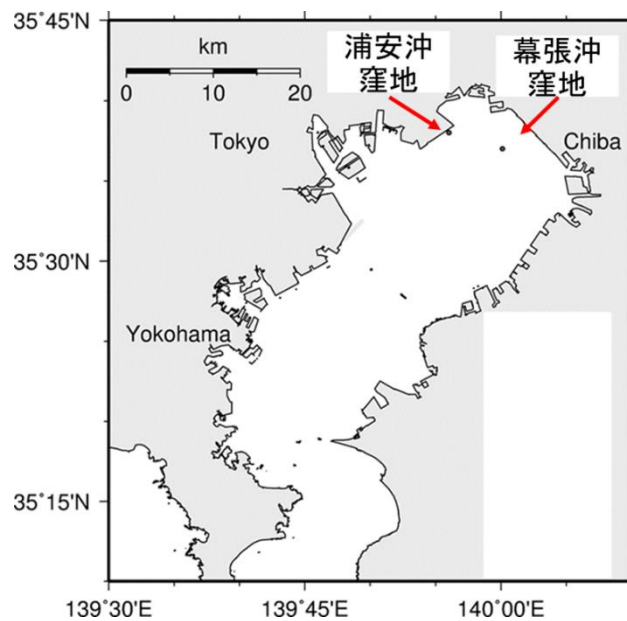


図 3.2-8 浚渫窪地における観測地点

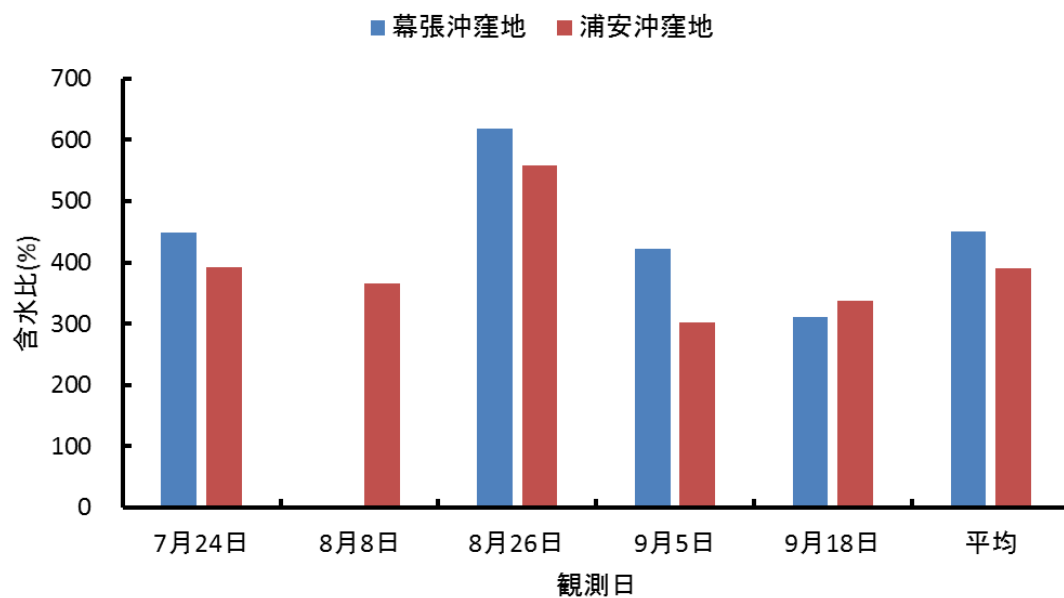


図 3.2-9 浚渫窪地における含水比の観測結果

次に、2014 年 7 月 24 日、8 月 8 日、26 日、9 月 5 日、18 日における浚渫窪地の有機炭素含有率・有機窒素含有率を図 3.2-9、10 に示す。有機炭素含有率では、幕張沖窪地・浦安沖窪地ともに、値が 2～3%程度であるが、含水比とは異なって後者の方が高い値である。有機窒素含有率に関しても同様の傾向にあり、値は 0.2～0.3%程度である。

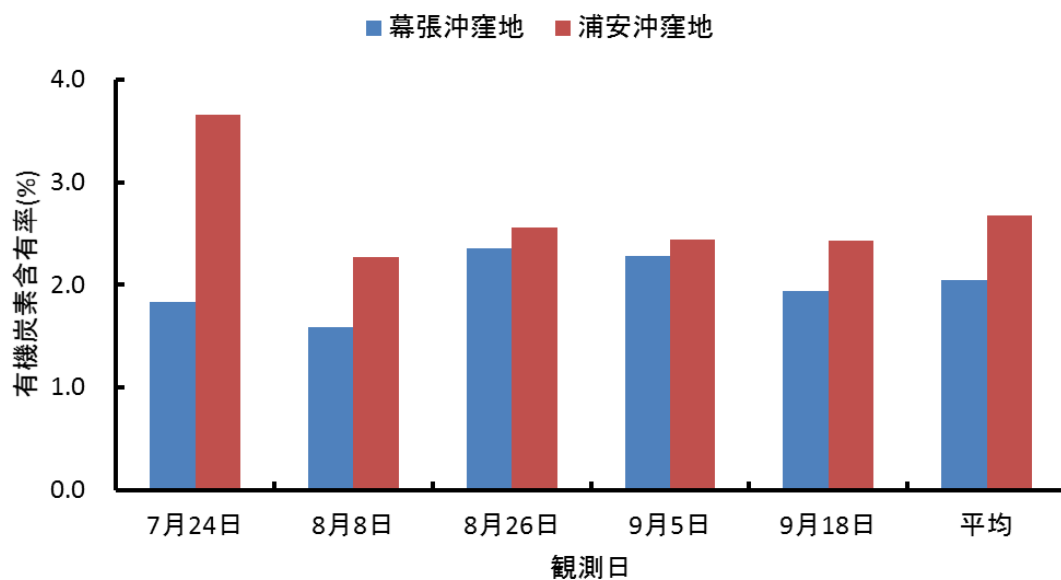


図 3.2-10 浚渫窪地における有機炭素含有率の観測結果

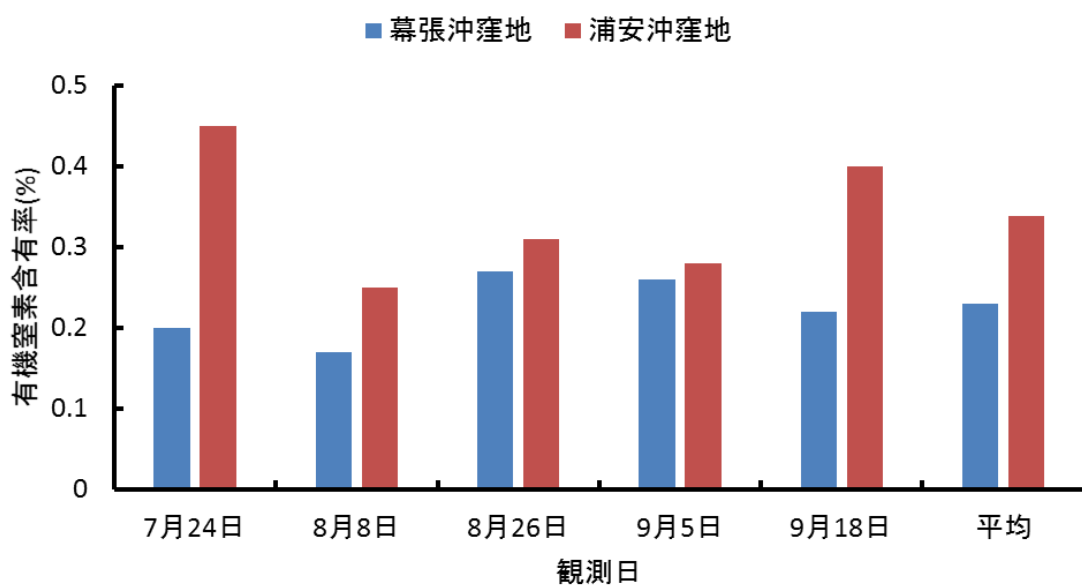


図 3.2-11 浚渫窪地における有機窒素含有率の観測結果

2014年7月24日、8月8日、26日、9月5日、18日における浚渫窪地のC/N比を図3.2-12に示す。幕張沖窪地の方が浦安沖窪地よりも高い傾向にある。平均的に、両者の値は8.5～9.0程度である。

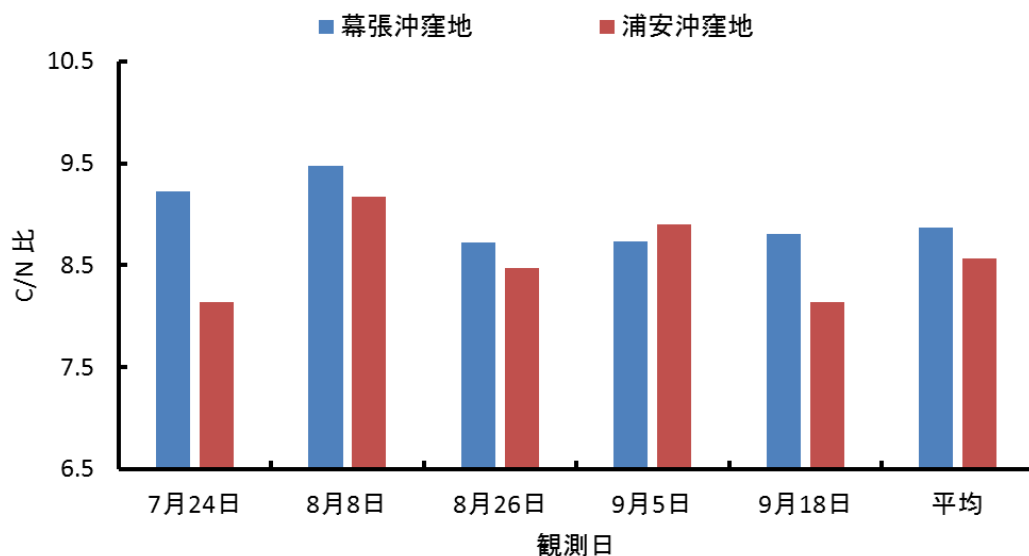


図 3.2-12 浚渫窪地における C/N 比の観測結果

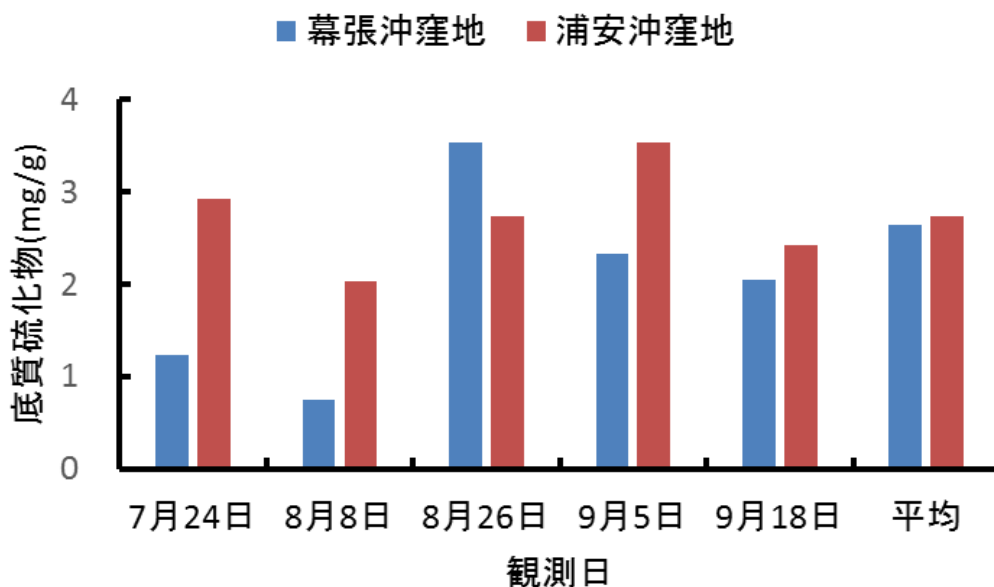


図 3.2-13 浚渫窪地における硫化物の観測結果

2014 年 7 月 24 日、8 月 8 日、26 日、9 月 5 日、18 日における浚渫窪地の底質硫化物を図 3.2-13 に示す。観測日を通して、浦安沖窪地は 2.0mg/g 以上含まれており、幕張沖窪地は 7 月から 9 月にかけて増加傾向にある。つまり、浦安沖窪地では夏期において、硫化物は含まれており、幕張沖窪地では、夏期から秋期にかけて増加傾向にある。

## 航路

図 3.2-14 に、航路における観測地点を示した。

2014 年 9 月 5 日、18 日における航路の含水比を図 3.2-15 に示す。c4 では観測日 2 日分同じような傾向にあるものの、c2 では 9 月 5 日と比較して 18 日は半分近く減少している。

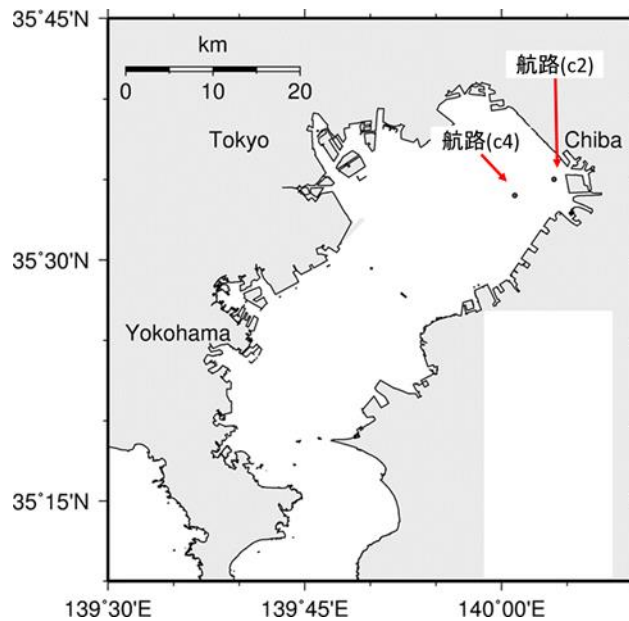


図 3.2-14 航路における観測地点

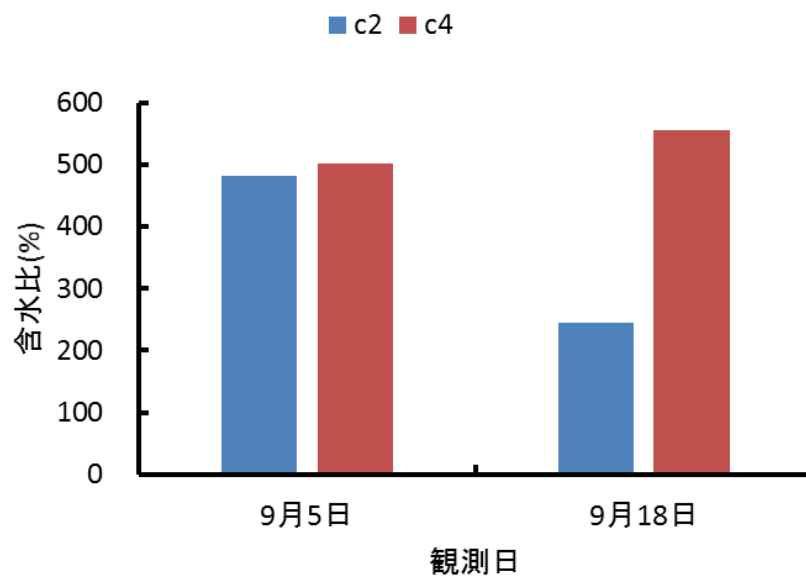


図 3.2-15 2014 年 9 月 5 日、18 日における航路の含水比

9月5日、18日における航路の有機炭素含有率を図3.2-16に示す。含水比とは異なり、c2は両日ともに2%程度とあまり変化が見られず、c4は9月5日より増加している。有機窒素含有率を図3.2-17に示す。有機炭素と同様の傾向にあり、c2は0.25～0.30%程度であるが、c4はc2よりも有機物が多く、18日に比べて多く含んでいる。図3.2-18にC/N比の観測結果を示す。両地点、両日ともあまり変化が見られず、8.5程度から8.0前後に減少している。

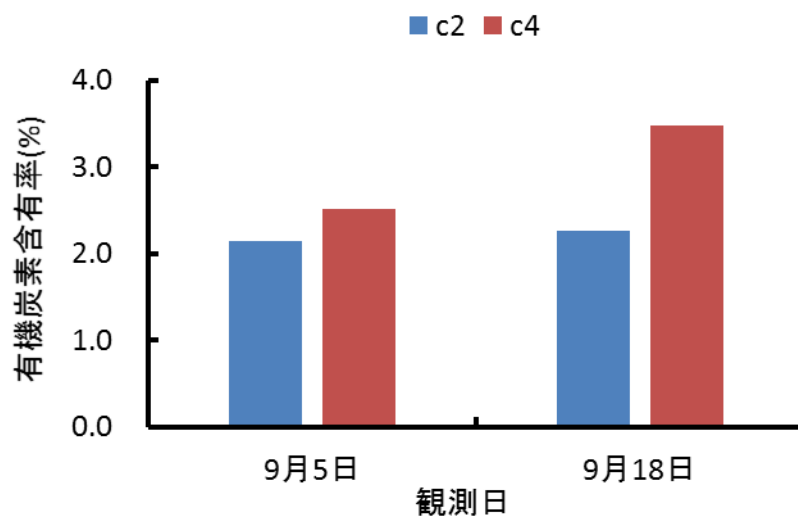


図 3.2-16 2014 年 9 月 5 日、18 日における航路の有機炭素含有率

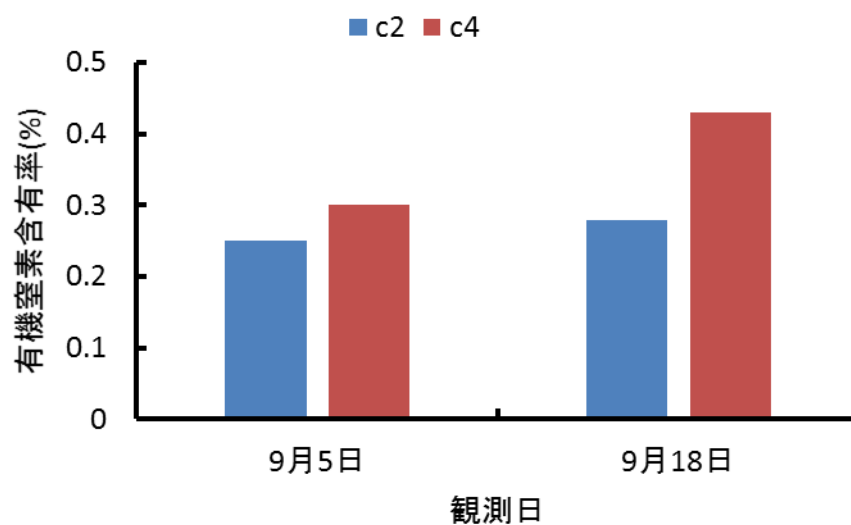


図 3.2-17 2014 年 9 月 5 日、18 日における航路の有機窒素含有率

図 3.2-19 に底質硫化物の観測結果を示す。c2 では両日とも 1.5mg/g と多く含まれているが、c4 では、9 月 18 日ではほとんど発生していない。つまり、c2 では硫化物が多く含まれているが、c4 では硫化物が含まれない比もある。

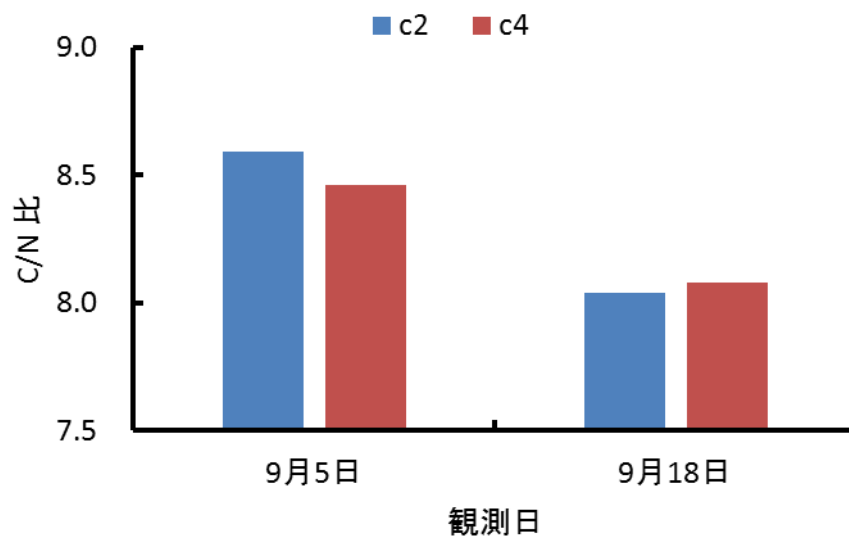


図 3.2-18 2014 年 9 月 5 日，18 日における航路における C/N 比

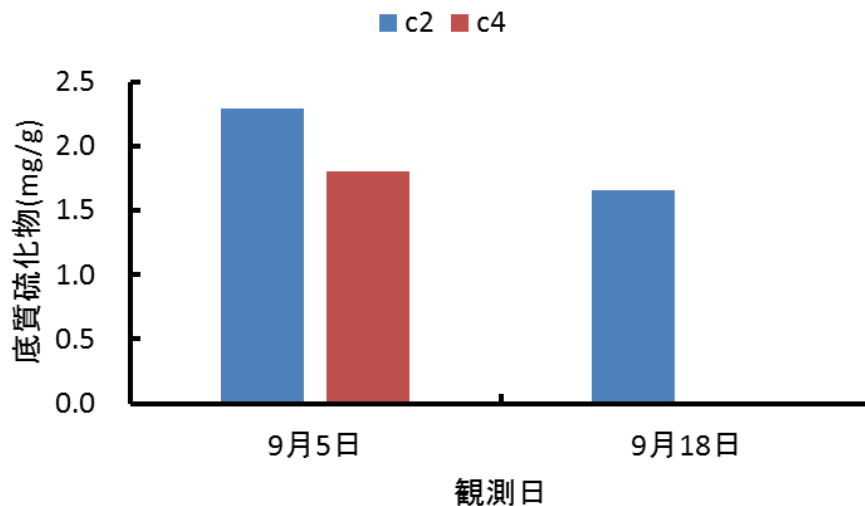


図 3.2-19 2014 年 9 月 5 日，18 日における航路における底質硫化物の観測結果

### 3.3. 柱状コア採泥

#### 3.3.1 含水比の鉛直分布

柱状コアサンプルから、各層の含水比を求めた。

図 3.3-1 に stn.3 と stn.4 の含水比の鉛直分布を示す。表層から下層に行くに従って、含水比が低くなっており、表層から 10cm 程度が急勾配である。

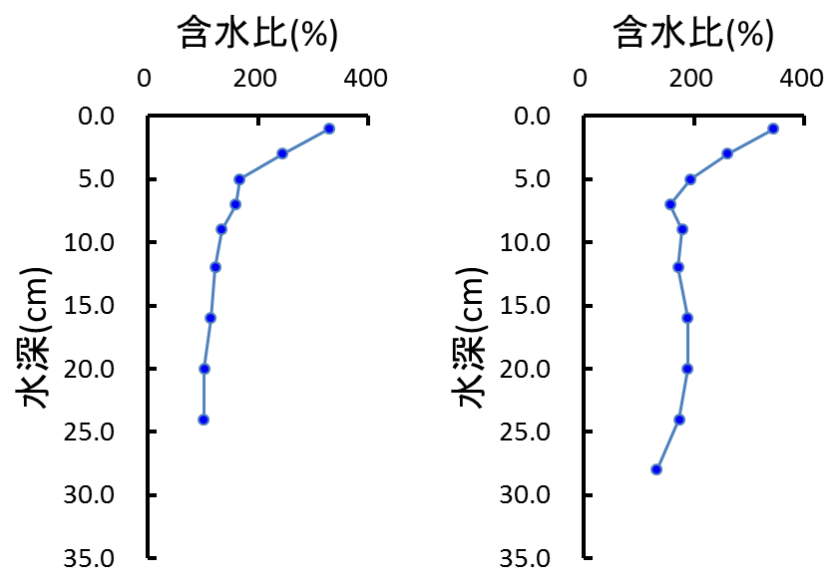


図 3.3-1 stn.3 と stn.4 の含水比の鉛直分布

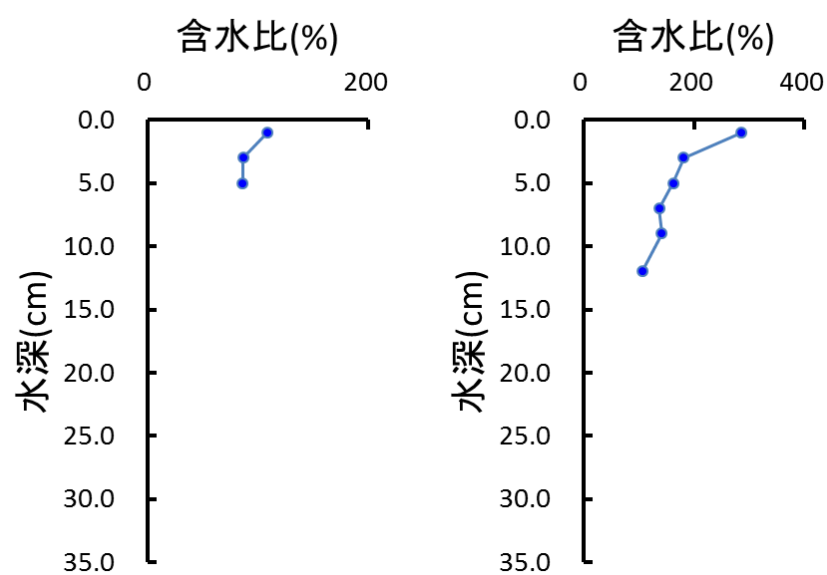


図 3.3-2 stn.5 と stn.6 の含水比の鉛直分布

図 3.3-2 に stn.5 と stn.6 の含水比の鉛直分布を示す. stn.5 において, 含水比は 200%を満たない. これは固い粘土層であったためである. stn.6 については表層~4cm は含水比が高いものの, 4cm 以降は 200%を下回る. この地点は貝片も多く, 生物が棲める場所であるため, 有機汚濁の影響は少ないと考えられる.

図 3.3-3 に stn.7 と stn.8 の含水比の鉛直分布を示す. stn.7 において, 表層は 550%以上, stn.8 は 850%以上の含水比を示している. 特に, stn.8 は下層に行くに従って低くなるものの, 24~28cm 間でも 300%である.

図 3.3-4 に stn.9 と stn.10 の含水比の鉛直分布を示す. stn.9 において, 表層は 850%以上, stn.10 は 400%程度の含水比を示している. 下層に行くに従って値は小さくなるものの, stn.9 は 450%と鉛直的に高含水比である.

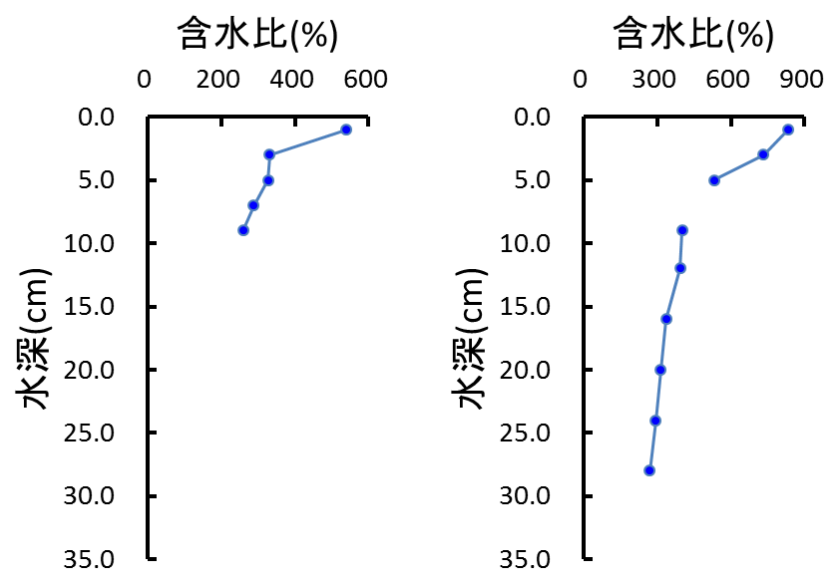


図 3.3-3 stn.7 と stn.8 の含水比の鉛直分布



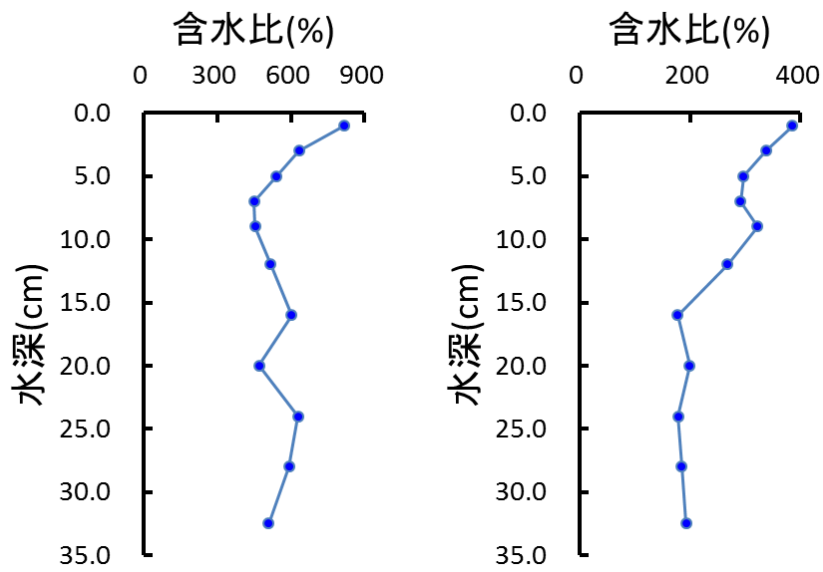


図 3.3-4 stn.9 と stn.10 の含水比の鉛直分布

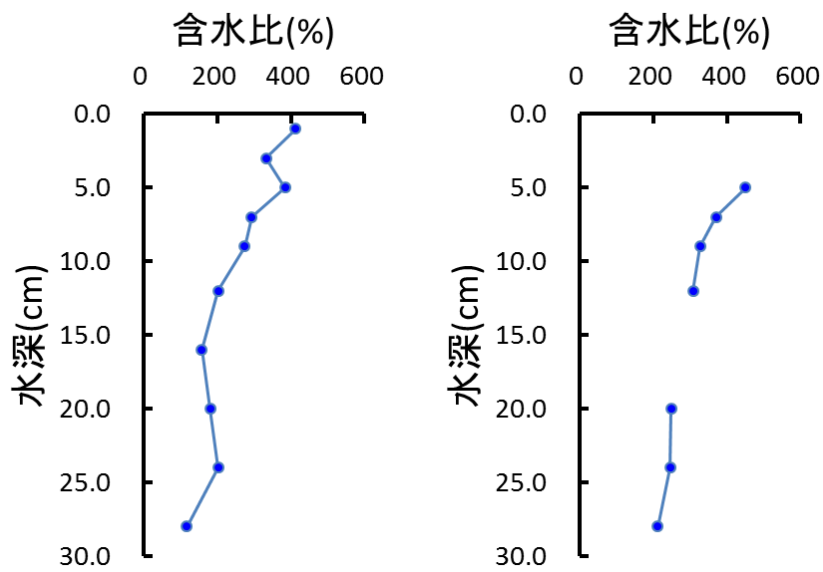


図 3.3-5 stn.11 と stn.12 の含水比の鉛直分布

図 3.3-5 に stn.11 と stn.12 の含水比の鉛直分布を示す。stn.11 において、表層は 400% 程度、stn.12 は表層において欠測ですが 400%以上の含水比の可能性を示している。下層に行くに従って値は小さくなっている。

図 3.3-6 に stn.13 と stn.14 の含水比の鉛直分布を示す。stn.13 において、表層～2cm の間は欠測だが、2cm～10cm まで 600%以上の値を示している。また、stn.14 では、表層で

は 600%で下層に行くに従って下がっていくものの、22~26cm の間の層で値が高くなって  
いる。

図 3.3-7 に stn.16 と stn.17 の含水比の鉛直分布を示す。stn.16 において、表層~2cm は  
400%に満たない値で下層に行くに従って値が低くなっている。stn.17 では表層~4cm まで  
は 200~300%の間の値だが、4cm 以降、500%近い値で急激な上昇が見て取れる。その後、

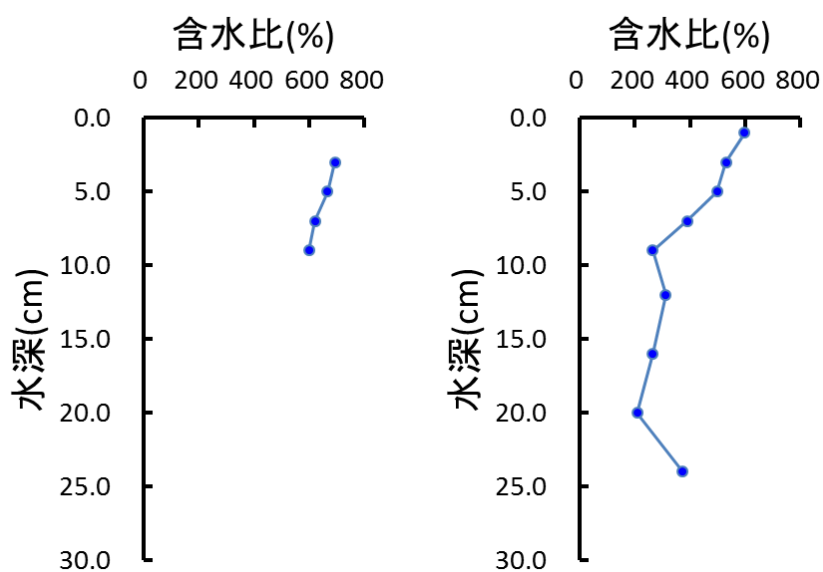


図 3.3-6 stn.13 と stn.14 の含水比の観測結果

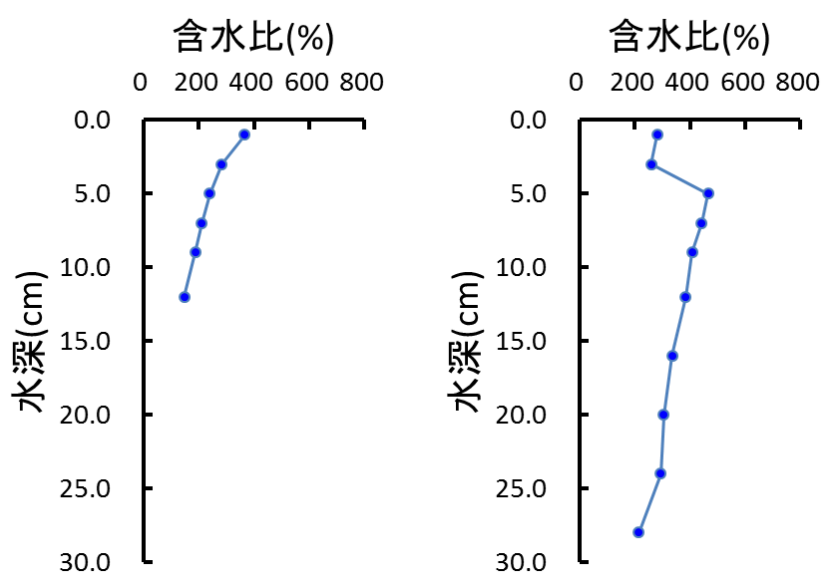


図 3.3-7 stn.16 と stn.17 の含水比の観測結果

下層に行くに従って下がっていき、最下層の地点では 200%程度の値である。

図 3.3-8 に stn.19 と stn.20 の含水比の鉛直分布を示す。stn.19 において、4cm～6cm は欠測だが、表層～2cm は 700%程度、8cm～10cm の層が 400%程度と、高含水比を示している。stn.20 では表層～4cm までは 400%以上の値だが、4cm～10cm まで 300%程度の値を示している。

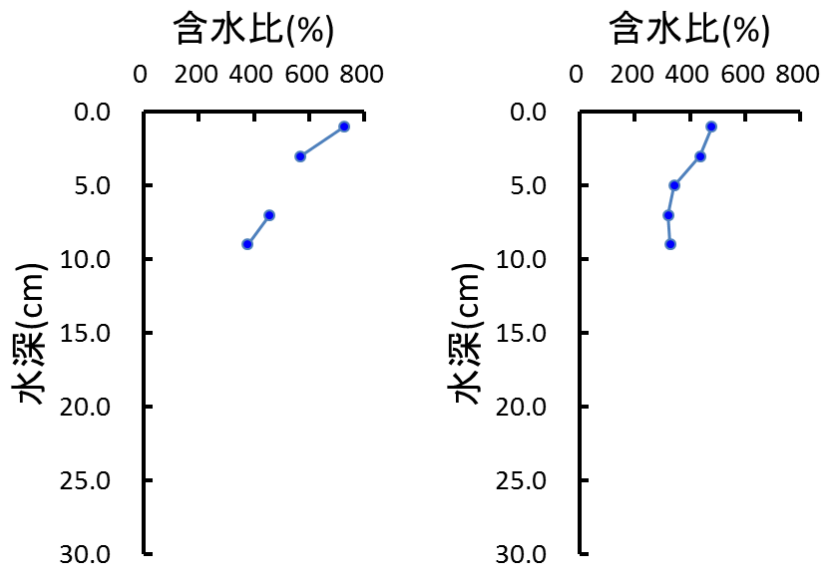


図 3.3-8 stn.19 と stn.20 の含水比の観測結果

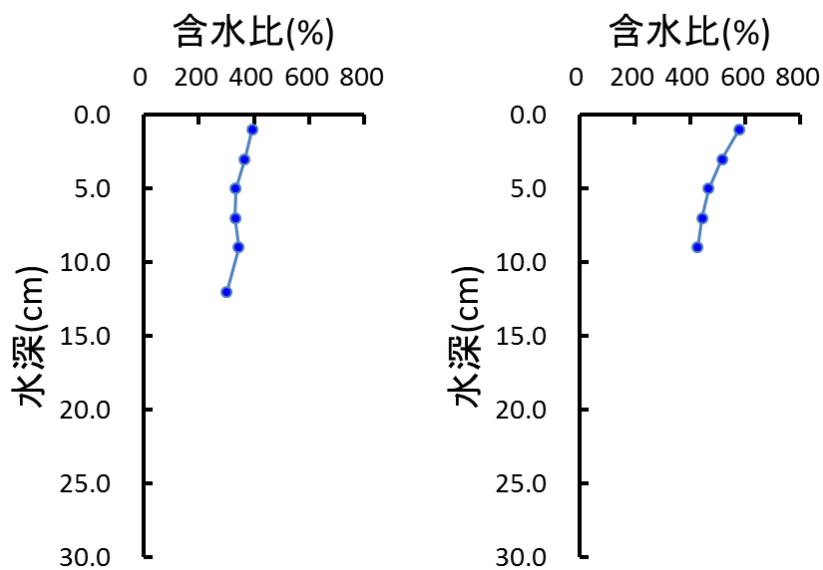


図 3.3-9 stn.23 と stn.24 の含水比の観測結果

図 3.3-9 に stn.23 と stn.24 の含水比の鉛直分布を示す。stn.23 において、表層～14cm まで 300%～400%の値を示している。stn.24 では表層～10cm までは 400%以上の値である。

図 3.3-10 に stn.25 と stn.26 の含水比の鉛直分布を示す。stn.25 において、表層～4cm にかけて、値が上昇している。そして、下層に行くに従って、値が下がっている。表層～10cm の値は 400%以上の値を示している。stn.26 では表層～2cm は 600%に満たない値を示しており、8cm～10cm は 400%程度の値を示している。

図 3.3-11 に stn.31 と stn.32 の含水比の鉛直分布を示す。stn.31 において、表層～6cm にかけて、値が下がっているが、その後、値が上昇し、また下がっているけれども、下層に行くに従って、値が下がっている。stn.32 では表層～2cm は 200%程度の値を示しており、6cm までしか採泥できなかった。この層は砂の層であったためである。

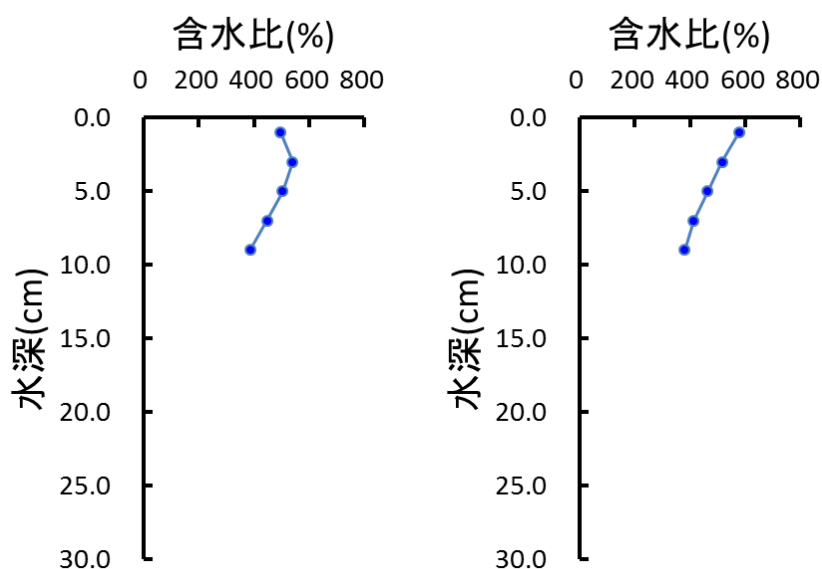


図 3.3-10 stn.25 と stn.26 の含水比の観測結果

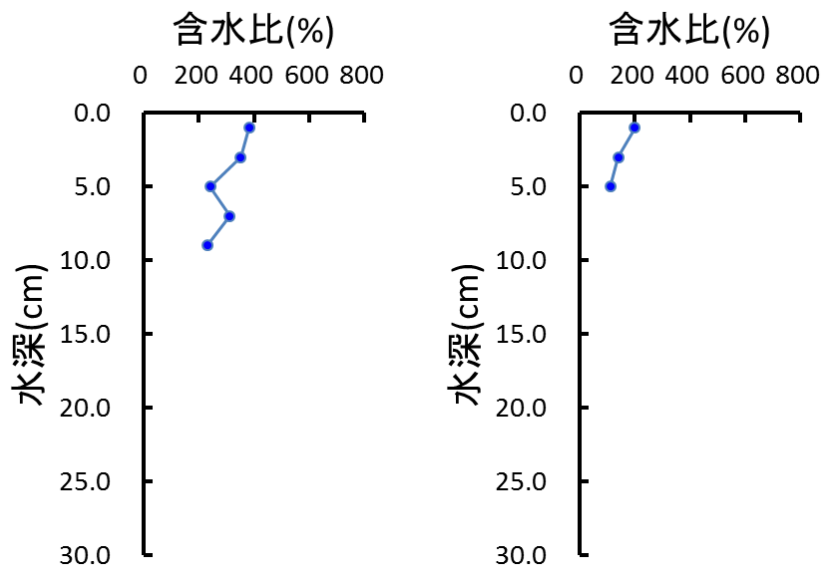
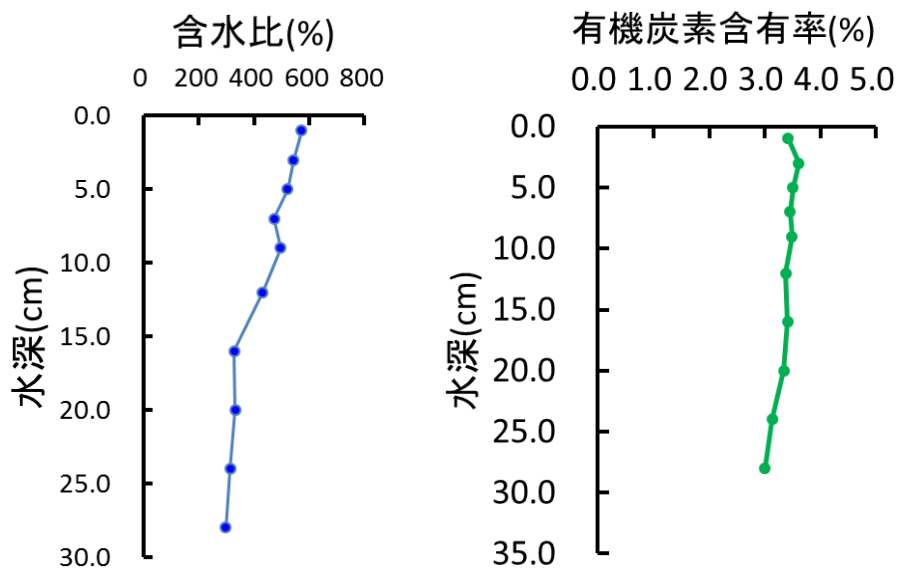


図 3.3-11 stn.31 と stn.32 の含水比の観測結果

### 3.3.2 湾奥中央と浚渫窪地の各鉛直分布

#### 湾奥中央

Stn.18 において、有機炭素含有率、有機窒素含有率および C/N 比を図 3.3-12 に示した。有機炭素含有率は鉛直的にあまり変化していない。有機窒素含有率は徐々に減少している。その結果から、C/N 比が増加している。



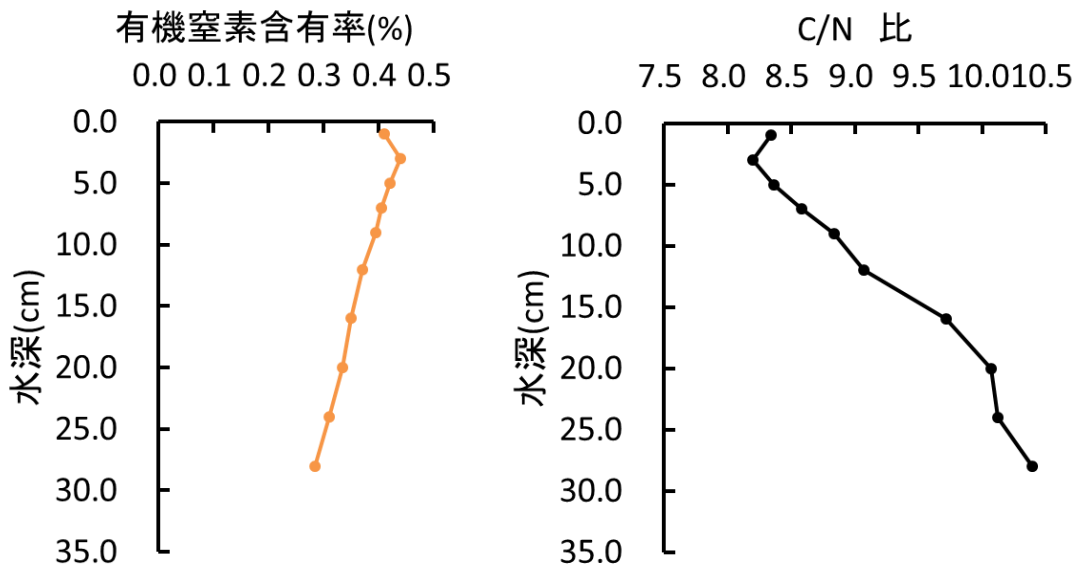
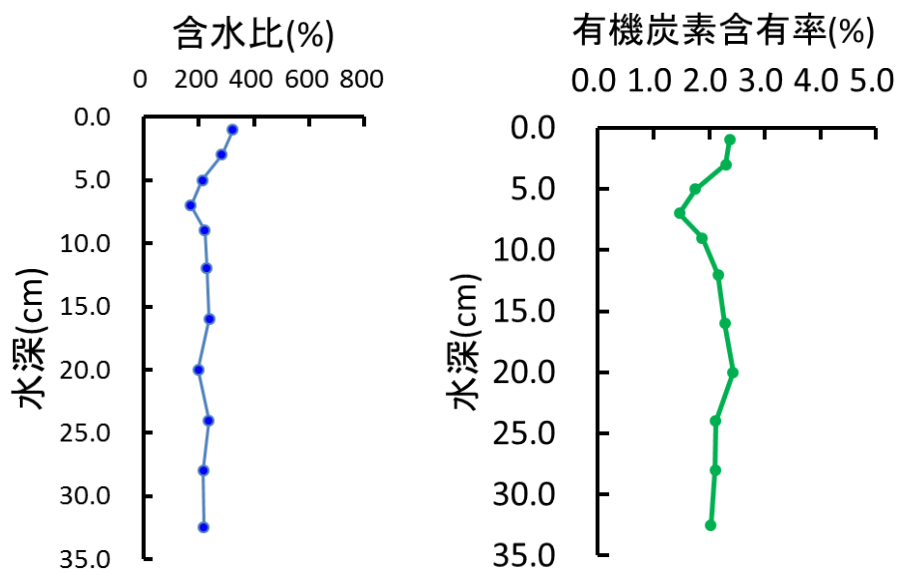


図 3.3-12 stn.18 の有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比の観測結果

#### 浚渫窪地

図 3.3-13 に幕張沖窪地における含水比，有機炭素含有率，有機窒素含有率および C/N 比の鉛直分布を示した．表層部の含水比は 320%程度で鉛直方向に減衰していくものの，10cm 以降やや増加する．有機炭素含有率は他の地点に比べて多くなく，鉛直方向にあまり変化しない．有機窒素含有率もその傾向にある．C/N 比は有機窒素含有率と有機炭素含有率のモル比であるため，その逆の傾向にある．



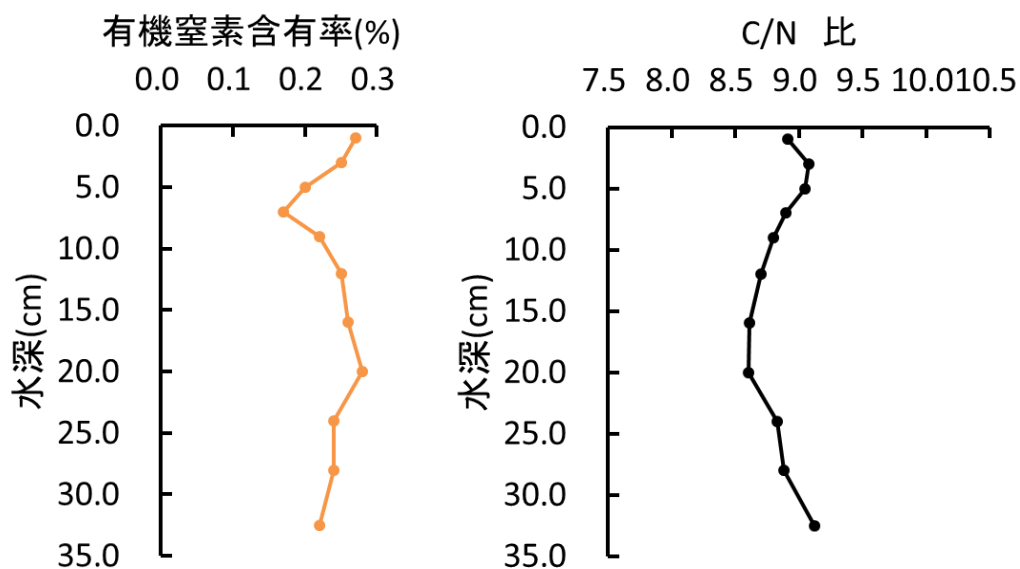
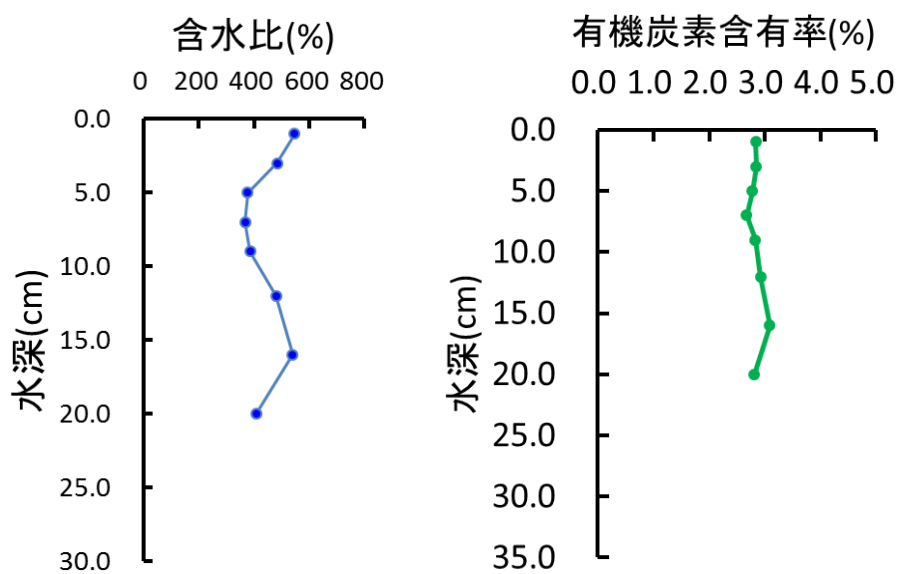


図 3.3-13 幕張沖窪地の観測結果

図 3.3-14 に浦安沖窪地における含水比の鉛直分布を示した．表層部の含水比は 600%程度で鉛直方向に減衰していくものの，10cm 以降やや増加する．この傾向は幕張沖窪地と同じ傾向にある．



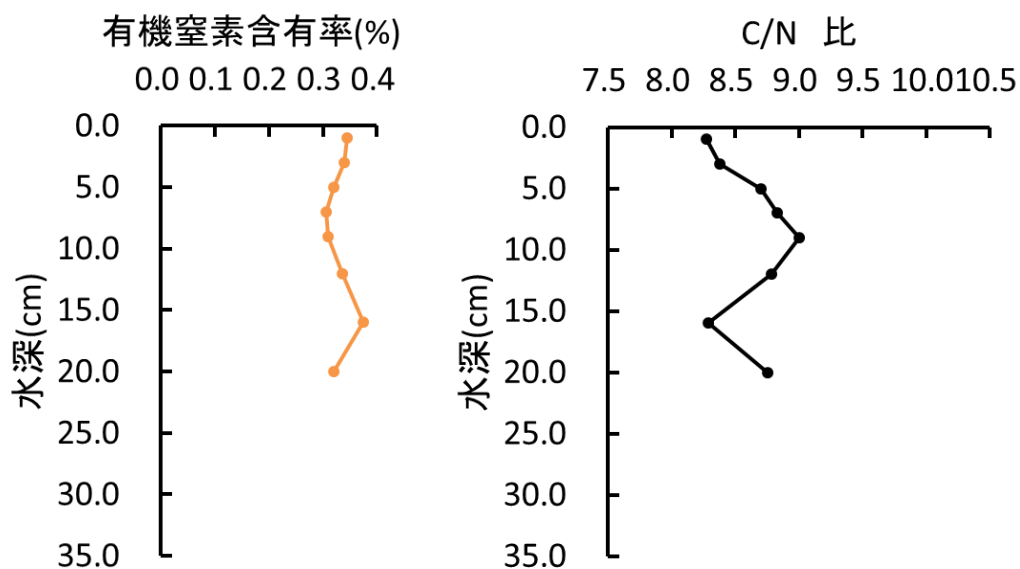


図 3.3-14 浦安沖窪地の含水比の観測結果

#### 年代分析

鉛(Pb)-210 法, およびセシウム(Cs)-137 法により, 湾奥中央と幕張沖窪地において, 年代分析を行った. 湾奥中央を図 4-16 に, 幕張沖窪地を図 4-17 に示した.

図 3.3-15 が湾奥中央についての年代分析結果を示した. Pb, Cs 共に, 水深が大きくなるにつれて, 放射線の数が減衰している. この結果からおおまかな年代を推定した.

図 3.3-14 が幕張沖窪地における年代分析結果である. 湾奥中央に比べて, 変動が激しく減衰している様子が見て取れない. このことから, Cs の方を年代分析の指標とした. Cs のピークである 18~22cm の層である.



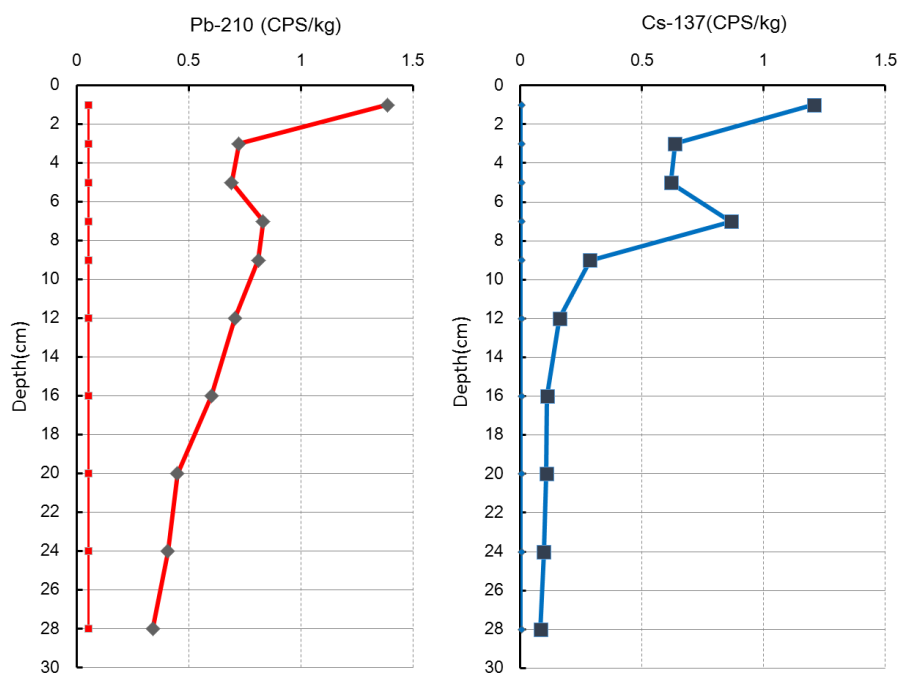


図 3.3-15 湾奥中央における Pb-210 法, Cs-137 法による年代分析結果

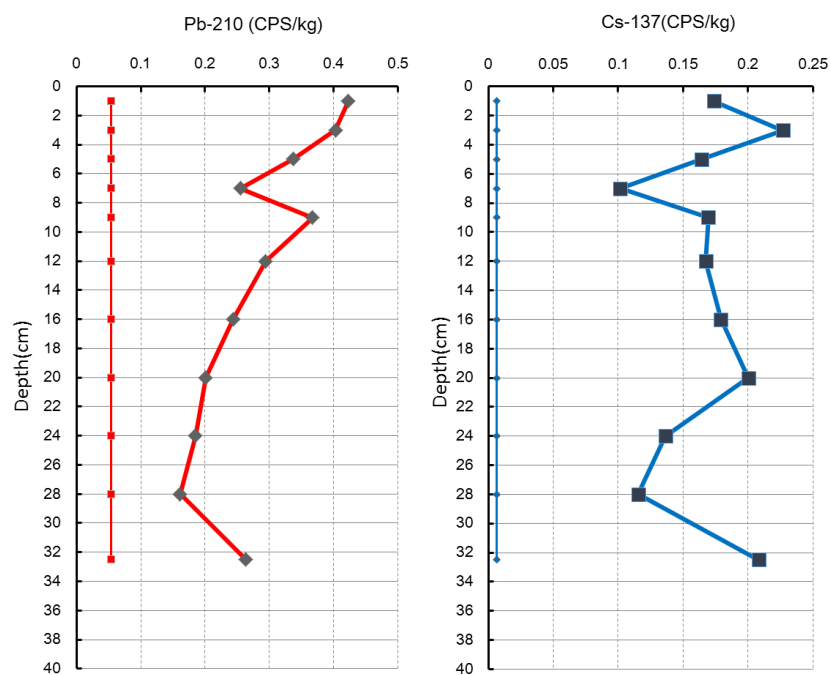


図 3.3-16 幕張沖窪地における Pb-210 法, Cs-137 法による年代分析結果

#### 含水比

図 3.3-17 に、柱状コアで採取した表層から 2cm までの含水比の空間分布を示した。一番

高い地点では 850%程度で、低い地点でも 400%程度が分布していることから、湾奥中央では非常に高く分布しており、陸域側に行くに従って低くなる傾向にある。

図 3.3-18 に、柱状コアで採取した 2cm から 4cm までの含水比の空間分布を示した。図 4-18 に比べて、値は低くなっているものの、依然高い状態を維持している。

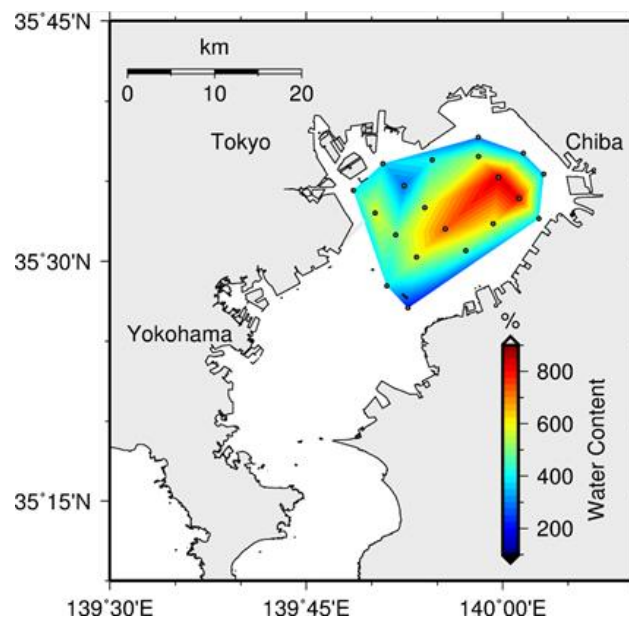


図 3.3-17 表層から 2cm までの含水比の空間分布

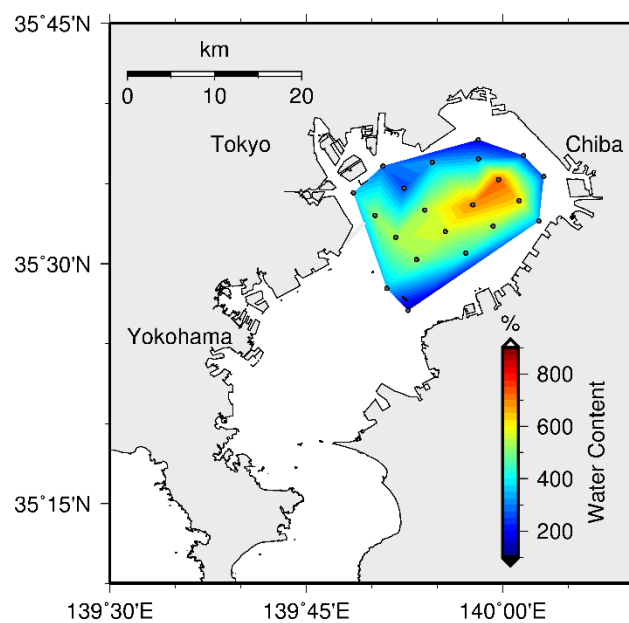


図 3.3-18 2cm から 4cm までの含水比の空間分布

図 3.3-19 に、柱状コアで採取した 4cm から 6cm までの含水比の空間分布を示した。図 4-19 に比べて、高含水比の分布は小さくなっているものの、含水比の値は高くなっている。

図 3.3-20 に、柱状コアで採取した 6cm から 8cm までの含水比の空間分布を示した。湾奥中央では未だに 400%を超えている。

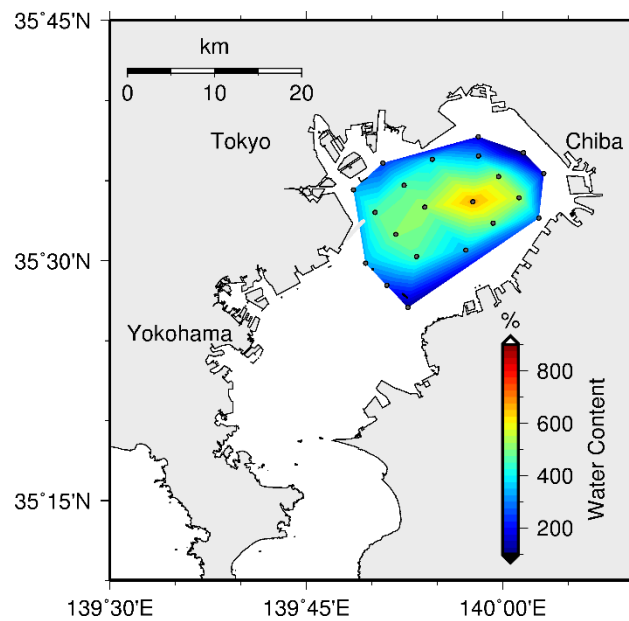


図 3.3-19 4cm から 6cm までの含水比の空間分布

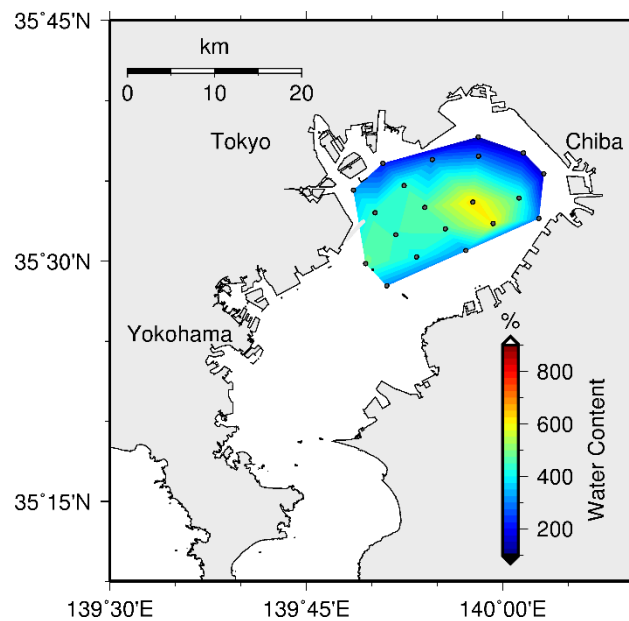


図 3.3-20 6cm から 8cm までの含水比の空間分布

## 第4章 考察

### 4.1 底質平面分布について

第3章の3.1で示した結果から、湾奥中央の表層では液性状態で有機物が分解されないまま堆積しており、硫化物が多く含まれており、青潮の規模を大きくさせるポテンシャルを持った底質であると考えられ、その論拠を示す。

なお、ここで、C/N比について説明する。C/N比は有機炭素と有機窒素のモル比である。沿岸部では有機物の供給源である海洋性植物プランクトンが分解されないまま沈降・堆積すると、レッドフィールド比(6.625)に値が近づくことが知られており、有機物の分解の指標として用いられている(日比野, 2008)。分解されないほど、海洋性植物プランクトンのC/N比に近づくので、値が低いほど分解されていないことを意味している。

7月24日の底質環境は液性状態で有機物・硫化物が多く、C/N比が低いことを示している。つまり、湾奥中央では液性状態で有機物が分解されていない状態で多く堆積しており、硫酸還元が行われていることを示唆している。このことから、貧酸素水塊が湾奥中央に存在しており、微生物の硫酸還元による分解によって、硫化物が生成されたと考えられる。また、含水比は湾奥中央の中心が高いが、有機物含有率およびC/N比は同程度である。けれども硫化物が湾奥中央と東京湾アクアライン以北周辺と比べて低い分布を示しているのは、湾口からDOが供給され、湾奥中央に比べて好機的な分解が行われたためだと考えられる。

8月8日において、湾奥中央で高含水比・高有機物量・高硫化物量で、C/N比が低く、幕張・湾口・木更津方面に行くに従って、含水比・有機物・硫化物は低くなり、C/N比は高くなる。なお、木更津側が、また、湾奥中央や千葉港よりの観測地点では硫酸還元が行われ、硫化物が発生したと考えられる。また、湾奥中央の千葉港よりで高い値を示したのは、航路の影響を受けているのではないかと考えられる。これらのことから、湾奥中央では液性状態で有機物があまり分解されていない状態で堆積しており、幕張方面や湾口方面へ行くに従って、含水比が減少し、有機物の分解程度が進む傾向にある。

底質中の硫化物は観測日すべてを通して、1.0mg/g以上含まれている地点があることを示している。これは青潮の元となる硫化物が底質中に多く含まれていることを示している。青潮による生物の死骸が有機物となって水中へ再放出し、海域の有機汚濁を進行させる可能性要因があると考えられる。特に、湾奥中央では硫化物が多く含まれており、夏季に成層化している東京湾では貧酸素・無酸素水塊を長時間形成することになる。東京湾の青潮の規模が大きいのは、この硫化物が湾奥中央に多く含まれているからであると考えられる。

8/26 このことから、湾奥中央の中心では硫酸還元が活発に行われやすかった結果、周辺部に比べて硫化物が多く発生したと考えられる。

図 4.1-1 に含水比と有機炭素含有率、有機窒素含有率、C/N 比との相関関係を示す。それぞれと相関関係が高いことから、含水比が高いと有機物量が多く、分解がされていないと考えられる。このことから、高含水比が高有機物量に繋がり、分解の進行程度を測る上で、有効な指標であると考えられる。

第 3 章の 3.1, 3.2 において、エクマンバージで採泥した硫化物、含水比、有機炭素含有率、有機窒素含有率、C/N 比の平面分布を示した。表層において、観測日によって変化が大きい。底質の有機物の堆積は水質や気象に依存することから、底質表層において、植物プランクトンの色素であるクロロフィル(Chl-a)や風などが有機物の堆積過程に大きく寄与している可能性があるが、詳細な検討が必要である。松本(1983)では東京湾奥部で Pb-210 法による堆積速度を求めている(図 4.1-2)。この堆積速度は有機物の堆積過程に関係していると考えられる。東京港周辺で堆積速度が高いのは河川の影響であると考えられ、湾奥中央の東京港よりも有機物が多く堆積しているのは河川の影響であると考えられる。さらに、湾奥中央の北東部で有機物が多く、C/N 比が低い部分は航路が原因であると考えられる。航路は無酸素水塊の発生場所の一つとして考えられており(市岡ら, 2009)、これが原因で有機物の分解がなされない環境下ではないかと考えられる。

平均平面分布については、東京湾奥部の表層では還元的で液性状態であり、有機物があまり分解されていない状態で堆積していた。これは微生物が貧酸素水塊に曝露されるため、有機物が十分に分解されないままの状態では堆積していると考えられる。また、湾奥中央で有機物があまり分解されていない状態で堆積しているのは風による循環流が原因であると考えられる。鈴木ら(2012)は夏季の南西風が時計回り循環を起こしており、貧酸素水塊の発達に時計回り循環が影響している可能性を示唆している。このことから、夏季において東京湾は南西風が卓越しているため、貧酸素水塊が湾奥中央で発達することが考えられるものの、詳細な検証が必要である。また、木更津付近で硫化物・含水比・有機炭素含有率、有機窒素含有率が低く、C/N 比が高い分布を示していた。これは盤洲干潟の水質浄化能力によるものだと考えられる。そして、東京港や羽田空港周辺で値が低いのは、河川からの影響であると考えられる。常時河川から湾内へ流入する淡水の影響で、湾中央に有機物を輸送しているためだと考えられる。

浚渫窪地において、幕張沖窪地の方が浦安沖窪地と比べて、含水比は大きく、有機物含有率が少なく、C/N 比は大きい傾向にある。単純に比較を行うことはできないが、浦安沖窪地の方が有機炭素含有率はやや多く、有機窒素含有率が多い傾向にある。結果、C/N 比が浦安沖窪地の方が小さい。湾奥中央と比べて有機物量は少ないが、観測日によっては浦

安沖窪地に有機物が多く含まれていることがある。この原因については明らかになっていないものの、河川からの供給だと考えられる。また、湾奥中央と比べると、浚渫窪地のほうが C/N 比が大きい。このことから湾奥中央に比べて、やや好機的な可能性がある。

航路においては、含水比は c4 については高含水比であるが、c2 については変動が大きい。有機物量は c4 の方がやや多い傾向にある。C/N 比は低い傾向にあることから、湾奥中央および浚渫窪地同様、有機物が分解されないまま堆積している。けれども、航路の底質のデータが不足しているため、詳細な原因については今後の課題とする。

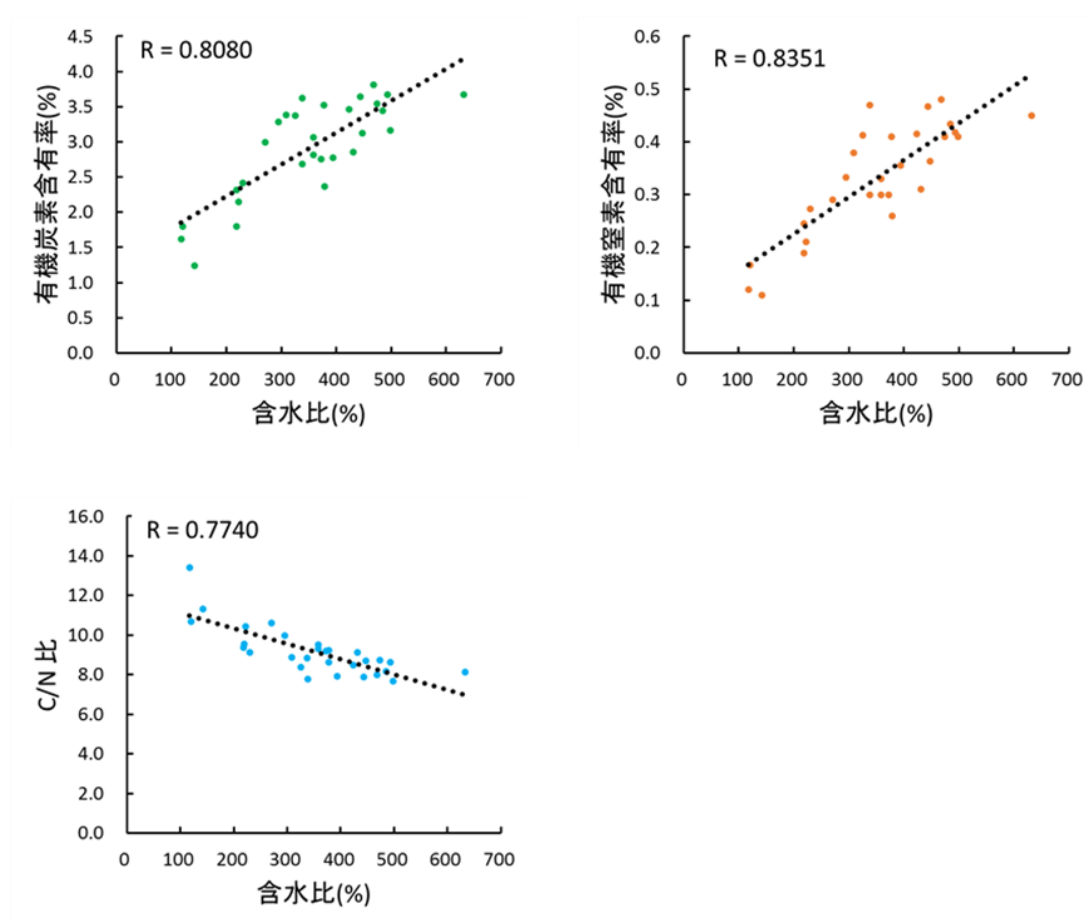


図 4.1-1 含水比と有機炭素含有率，有機窒素含有率，C/N 比との相関関係

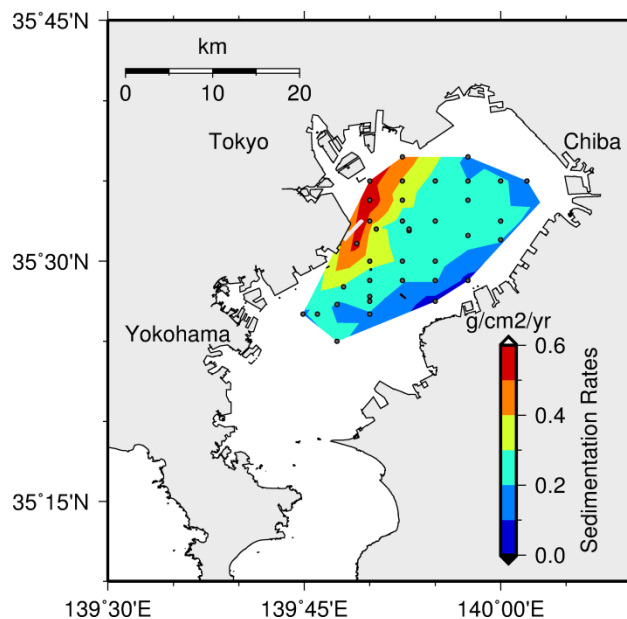


図 4.1-2 東京湾奥部における堆積速度分布(松本, 1982)

## 4.2 底質の長期的変化について

第3章 3.2.1 で得られた結果から底質の長期的変化について考察する。東京湾奥部において、含水比を鉛直方向に求めた。その結果では下層に行くに従って、含水比の値が低くなっていることを示していた。4.1-1 で得られた相関関係から、含水比が低くなれば、有機物量・硫化物量も少なくなり、C/N 比も高くなる可能性がある。つまり、下層に行くに従って、有機物は分解されている可能性が高いことを示唆している。ただし、有機物量・硫化物量も測定しておらず、しかも、圧密も考慮していないため、総合的な検討が必要である。

第3章 3.2.2 で得られた湾奥中央と幕張沖窪地における底質の過去からの変遷について考察する。湾奥中央に関して、含水比・有機窒素含有率は下層に行くに従って低くなり、有機炭素含有率は変化しないため、C/N 比は高くなる。つまり、湾奥中央では下層に行くほど、有機物が分解されていると考えられる。逆に、表層に向かうにつれて底質環境の有機汚濁化が進行しているとも考えられる。けれども、湾奥中央の詳細な時空間分布が明らかになっていない状態であり、風による循環流や長期的な水質変動も考慮した上で議論する必要がある。

対して、幕張沖窪地は含水比・有機炭素含有率・有機窒素含有率共に、表層～8cm 程度は低くなっているものの、それ以降では変化が見られない。C/N 比については表層から下層にかけて変化が見られない。C/N 比の変化が見られないことから、浚渫窪地での埋め戻しの可能性があるが定かではない。また、浚渫窪地は常時静穏であるため、底質の乱れの少ないと考えられることから、放射能推定に用いた。鉛(Pb)-210 法は最下層で大きな値を

示しているので、セシウム(Cs)-137 法の特定年代分析を考察に使う。Cs-137 は人工的に作られた物質であるため、どの年代であるか推定できる。Cs-137 のデータには3つのピークがあり、下層から1963年のビキニ環礁の水爆実験、1986年のチェルノブイリ原子炉事故、2011年の東日本大震災によるものと考えられる(呉, 2006)。有機炭素含有率およびC/N比の鉛直分布から、18~22cmの層で有機炭層含有率は高く、C/N比は低くなっており、Cs-137の2つ目のピークがある。このことから、1986年前後で有機汚濁が進行している可能性があることを示唆している。そして、表層に向かって有機炭層含有率は低く、C/N比は高くなっている。よって、1986年以降、底質環境は改善傾向にある可能性がある。

その検証を行うため、過去の表層データとの比較を行う。図4.2-1に1981年に松本(1983)による底質の表層~5cmの全炭素の平面分布を示す。全炭素であるが、ほとんどは有機炭素であると述べている。観測地点の緯度・経度情報がなかったが、緯度・経度に沿って観測を行っていたため、それを元に作成した。観測日については何も書かれていないため、夏季のデータであるとは限らない。加えて、1990年8月に小川ら(1994)によって観測が行われ、その図を図4.2-2に示す。この図は小川ら(1994)を参考に目測で緯度・経度を決め、作成した平面分布である。それらの図を用いて、比較を行った。

1981年の炭素は多く、1990年は1981年に比べて有機炭素含有率は少なくなっており、2014年夏季は少し多くなっている。これは幕張沖窪地の有機炭素含有率の鉛直分布と一致する。そして、C/N比から1986年から徐々に大きくなっていることから、改善傾向にある可能性がある。しかし、湾奥中央と同様、十分な検討が必要である。

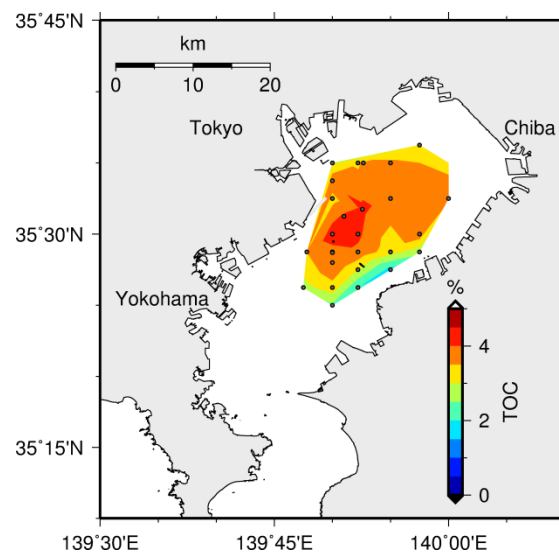


図 4.2-1 松本ら(1982)より作成した有機炭素含有率の平面分布



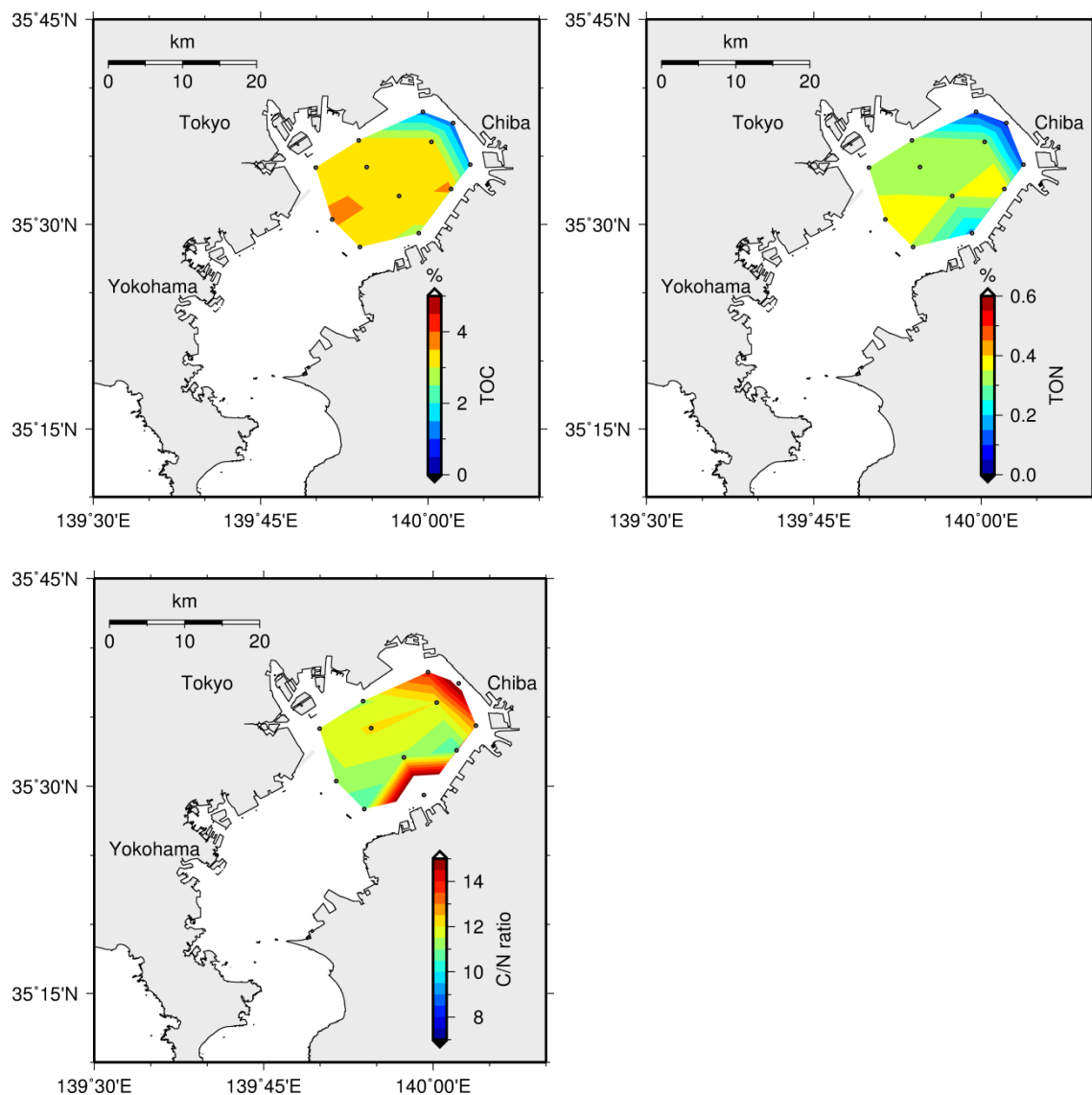


図 4.2-2 小川ら(1994)より作成した有機炭素含有率,  
有機窒素含有率, C/N 比の空間分布

### 4.3 底質の採泥手法について

エクマンバージ採泥と柱状コア採泥の手法に関して、考察する。図 4.3-1 に、エクマンバージ採泥(左図)と柱状コア採泥(0~2cm)(右図)を示した。エクマンバージ採泥の方が柱状コア採泥(0~2cm)に比べて低い値を示していることがわかる(図 4.3-2)。柱状コア採泥(0~6cm)と柱状コア採泥(0~8cm)の比較図を図 4.4-3, 図 4.4-4 に示す。図 4.4-3, 図 4.4-4 において、エクマンバージ採泥と柱状コア採泥の値が近いことが分かる。このことから、エクマンバージ採泥では、表層から 6cm, 8cm 程度までの土試料がエクマンバージ内で攪乱されている

可能性があることが示唆された。

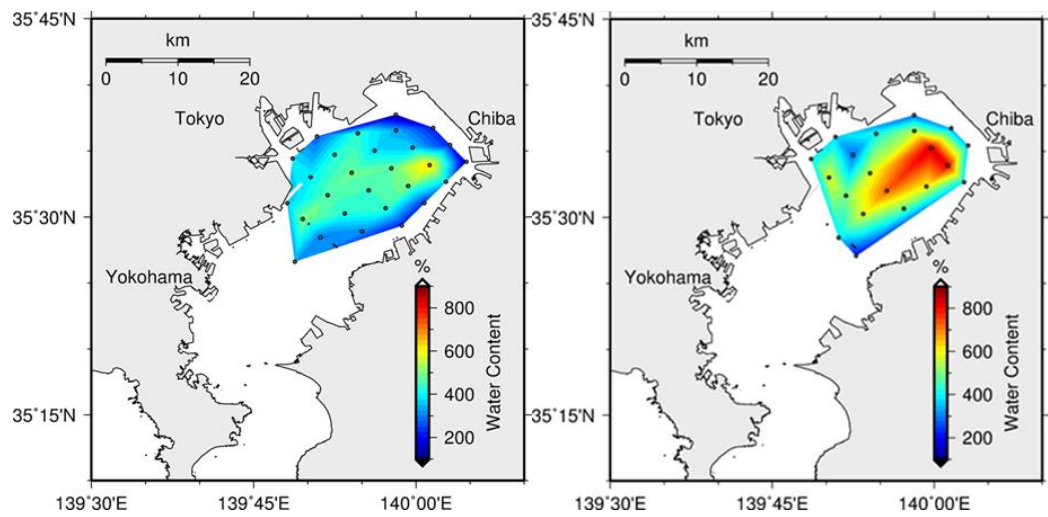


図 4.3-1 エクマンバージ採泥(左図)と柱状コア採泥(0～2cm)(右図)

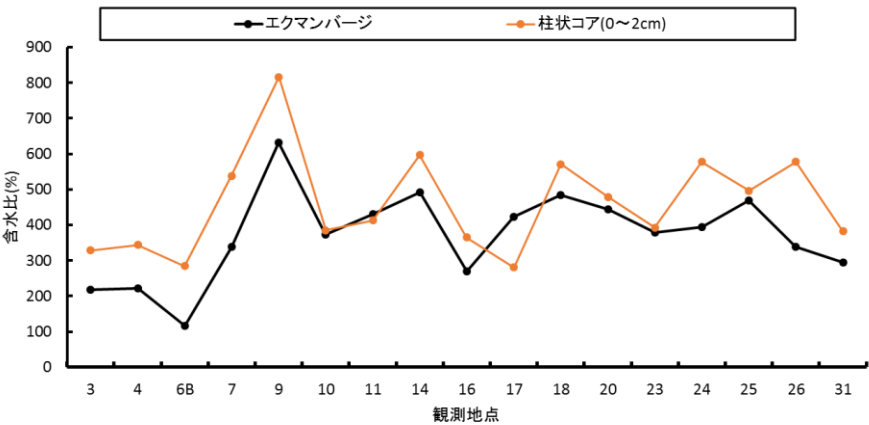


図 4.3-2 エクマンバージ採泥と柱状コア採泥(0～2cm)の比較図

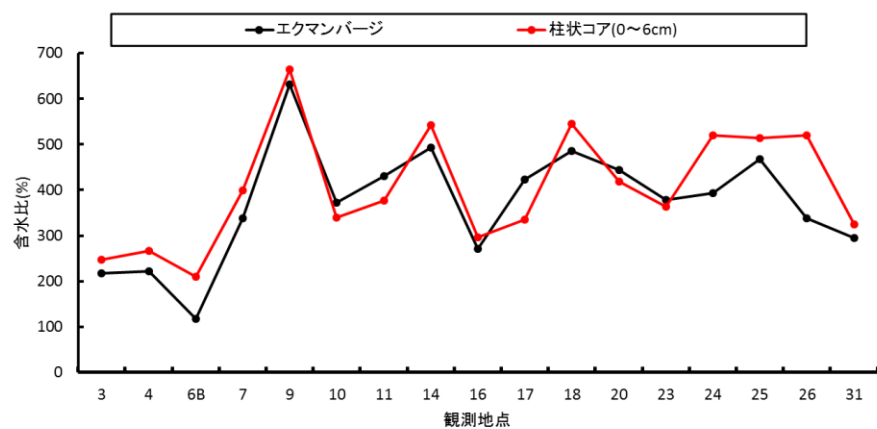


図 4.3-3 エクマンバージ採泥と柱状コア採泥(0~6cm)の比較図

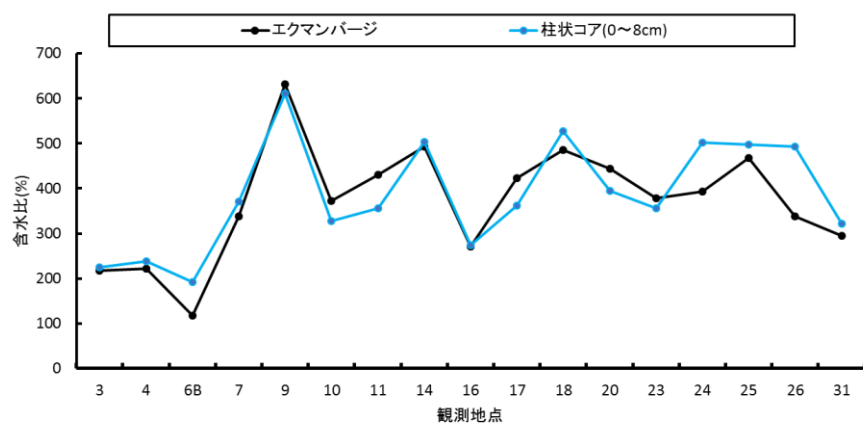


図 4.3-4 エクマンバージ採泥と柱状コア採泥(0~8cm)の比較図

## 第5章 結論と今後の課題

### 5.1. 結論

第1章で本研究の背景として、最初に東京湾の水環境問題とその対策について述べた。貧酸素問題の対策は現状困難であり、無酸素水塊や青潮の方が被害も規模も大きい。現在の環境再生の機運の高まりもあり、無酸素水塊の縮減対策として、流入負荷規制以外の原因が底質にあると考え、研究を行うこととした。

第2章では第1章で述べた目的を遂行するために、観測および実験・分析を行った。東京湾奥部を対象とし、水質調査・底質調査を行い、得られたサンプルを実験・分析を行った。その方法について述べている。

第3章では第2章で行った実験・分析の結果を示した。エクマンバージ採泥で得られた含水比・有機炭素含有率・有機窒素含有率、C/N比および硫化物を湾奥中央・浚渫窪地・航路について示した。湾奥中央では含水比が高く、有機炭素含有率、有機窒素含有率も高いため、C/N比が低かった。また、硫化物も多く含まれていた。柱状コア採泥では層ごとにスライスを行い、各層で含水比試験を行った。そして、湾奥中央と航路について、含水比に加えて、有機炭素含有率・有機窒素含有率、C/N比および放射能推定を行った。それらのデータをこの章に示した。

第4章の4.1では第3章の3.1で得られたデータより、考察を行った。湾奥中央の表層では液性状態で有機物が分解されていない状態で堆積しており、硫化物も多く含まれていることが分かった。これは貧酸素・無酸素水塊が湾奥中央で長時間わたって存在することが関係していると考えられ、微生物の分解が行われなまま堆積していることを示唆している。浚渫窪地では湾奥中央の半分程度の有機物量であったが、C/N比はやや大きかった。そのため、湾奥中央よりも浚渫窪地の方がやや好機的である可能性がある。また、幕張沖窪地は浦安沖窪地に比べて、有機物量が多く、分解されていなかったことから、河川の影響によるものである可能性がある。そして、航路は湾奥中央に近い地点では含水比、有機物、硫化物、C/N比と湾奥中央の影響を受けていることがあり得る。いずれにせよ、東京湾奥部表層では湾奥中央、浚渫窪地、航路は有機物が分解されていない状態で堆積しており、青潮の原因物質である硫化物を多く含まれていることが分かった。

第4章の4.2では、第3章の3.2で得られたデータより、1986年前後から現在にかけて底質環境が改善されている可能性があることを示した。湾奥中央では長期的な水質変動や風の影響を考慮しなければならないため、流れが常時静穏である浚渫窪地を長期的変化に用いた。1986年のチェルノブイリ原子炉事故の頃に有機炭素量が多いことおよびC/N比が

小さいことから、この前後で最も有機汚濁が進行しており、表層に行くに従って、有機炭素量が少なく、C/N 比が大きくなっている。加えて、過去の文献を元に平面分布を作成し、1981 年、1990 年、現在を鉛直分布と照らし合わせ、検証を行ったところ、その整合性が取れた。

第 4 章の 4.3 では採泥手法についての検討を行った。含水比において、エクマンバージ採泥は柱状コア採泥に比べて低い値であった。そのため、表層から 2cm 毎に追加して平均を取ったところ、表層～6cm、8cm 程度の間で同程度となった。つまり、エクマンバージ採泥では表層～6cm、8cm まで混合した結果である可能性を示唆できた。

これらをまとめると、表層では有機物があまり分解されていない状態で堆積しており、硫化物も多く含まれていた。そして、1986 年前後から現在にかけて、底質環境が改善されている可能性があることが分かった。

## 5.2. 今後の課題

本研究では、表層では有機物があまり分解されていない状態で堆積しており、硫化物も多く含まれていた。そして、1986 年前後から現在にかけて、底質環境が改善されている可能性があることが分かった。しかし、可能性の部分が多く、より詳細な検討が必要である。特に、柱状コア採泥について述べる。

表層については、航路のデータを増やし、十分な検討が必要だと考えられる。青潮の原因物質である硫化物の発生源である航路は、湾奥中央や浚渫窪地と比較して、どのように異なるのかを把握する必要がある。無酸素水塊の縮減対策を行う上で、必要なデータであると考えられる。本研究では 7 月～10 月にかけて行ったが、今後は 1 年間を通して、季節的変動が見られるかもしれない。

採泥手法について、含水比におけるエクマンバージ採泥と比較を行うことができたが、有機物や C/N 比については比較ができていない。手法については詳細なデータを取るには柱状コアが主要であるが、今後の観測機器の向上に寄与できると考えられる。

堆積速度について、本研究では松本ら(1983)を用いたが、1983 年以降、事例が少ないため、現在の東京湾奥部の把握と過去と現在でどのように変化したのかを明らかにすることで、有機物の堆積過程のメカニズムについても重要な知見となる。

加えて、浚渫窪地の結果を用いて有機汚濁状況の把握を試みたが、風や潮汐、水質の長期的変動なども考慮して、湾奥中央について言及することが必要だと考えられる。1986 年前後における有機物の平面分布が明らかになっていない。分析を行うことで、有機汚濁の変遷状況が明らかになり、鉛直的な平面分布と過去のデータとも比較を行う。また、浚渫窪地の鉛直分布で表層部の変化についての原因は埋め戻しが有力だと考えられるが、分か

っていない。そして、C/N 比の弓なりの鉛直分布を示している要因についても解明する必要がある。幕張沖窪地、浦安沖窪地の両方とも傾向が類似しており、浚渫窪地における独自のメカニズムがあるかもしれない。

一方、鉛直分布で硫化物を指標として入れなかったことで、底質の硫酸還元層が現状、どの程度の厚さがあるかを調べれば、その層を除去し、無酸素水塊の縮減に繋がると考えられる。

本研究は、無酸素水塊および青潮の縮減対策の基礎データとなる研究である。この縮減対策として、流入負荷や底質環境の改善が挙げられる。表層では有機物が分解されていない状態で堆積しているが、この有機物の分解速度を上げることが縮減対策の今後の課題の目標であると考えられる。人口干潟が造成され、浄化能力の向上に努めているが、その寄与率はまだ低い。そのため、有機物の除去をしながら、生物の生息場を創出することで長期的にかつ効率的に対策を行う必要があると考えられる。

## 参考文献

- 市岡志保・佐々木淳・吉本侑矢・下迫健一郎・木村俊介(2009)：航路と浚渫窪地に着目した硫化物動態と青潮影響に関する考察，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.B2-65，No.1，1041-1045.
- 今川昌孝・日比野忠史・駒井克昭・松永康司(2007)：間隙水浸透場における有機泥の巻き上がりに関する研究，海岸工学論文集，第 54 巻，土木学会，1011-1015.
- 小川浩史・青木延浩・近磯晴・小倉紀雄(1994)：夏季の東京湾における懸濁態および堆積有機物の炭素安定同位体比，地球科学，28，21-36.
- 呉海鍾(2003)：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，海岸工学論文集，第 50 巻，土木学会，1046-1050.
- 呉海鍾(2006)：干潟・浅海域の底質の現地調査に基づく環境分析に関する研究，博士論文，東京大学新領域創成科学研究科，環境学研究系.
- 岡田知也・グエン・ティー・モンチン・古川恵太(2009)：粒度分布形状に基づいた底泥分布図の提案－東京湾を例として－，海洋開発論文集，第 25 巻，401-406.
- 岡田知也・古川恵太(2005)：東京湾沿岸域における音響装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息場，海岸工学論文集，第 52 巻，1431-1435.
- 環境省総合環境政策局(2005)：平成 17 年版環境統計集.
- 国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部(2010)：第 10 回東京湾シンポジウム報告書.
- 佐々木淳・佐藤雄太・Thamnoon Rasmeemasuang・柴山知也(2007)：東京湾奥中央部における軟泥の形成要因に関する一考察，海岸工学論文集，第 54 巻，1046-1050.
- 鈴木高二朗・磯部雅彦・米山治男(2012)：東京湾の海水交換と湾表層流速に及ぼす淡水流入と風の影響，土木学会論文集(B2)，海岸工学，68(2)，946-950.
- 鈴木高二朗・磯部雅彦・米山治男・中村由行(2012)：東京湾奥の貧酸素化に及ぼす時計回り循環流の影響について，土木学会論文集(B2)，海岸工学，68(2)，981-985.
- 中央環境審議会(2005)：第 6 次水質総量規制の在り方について，p.13.
- 東京湾岸自治体環境保全会議都環境局(2012)：東京湾調査結果報告書(平成 22 年度)
- 東京湾再生連携フォーラム：東京湾再生官民連携フォーラム，“フォーラムとは” 東京湾再生官民連携フォーラム HP. 2014-10-5, <http://tbsaisei.com/index.html>
- 東京湾再生プロジェクト：東京湾再生推進会議，“東京湾再生プロジェクトについて”，東京湾再生推進会議 HP . 2014-10-5 , [http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TB\\_Renaissance/index.html](http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TB_Renaissance/index.html)
- 日本工業規格(2009)：土の含水比試験方法，JIS A 1203.

日比野忠史・小島佑充・村上和生・松本英雄(2006)：間隙水浸透場における有機泥の膨張特性，海岸工学論文集，第 53 巻，土木学会，1161-1165.

日比野忠史・松本英雄(2006)：広島湾に分布する浮泥の特性と季節的な性状変化，土木学会論文集 B，Vol.62，No.4，348-359.

日比野忠史・永尾謙太郎・松永康司(2008)：有機泥の分解を考慮した沈降と堆積過程のモデル化，土木学会論文集 B，Vol.64，No.3，202-213.

貧酸素水塊速報(千葉県水産総合研究センター，“貧酸素水塊速報”，千葉県 HP . 2014-7-23, 2014-8-7 , 2014-8-26 , 2014-9-4 , 2014-9-17 , <https://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/suisan/suikaisokuhou/>)

松本英二(1977)：底泥からみた東京湾の汚染の歴史，地球科学，11，51-57.

松本英二(1983)：東京湾の底質環境，地球科学，17，27-32.

柳哲雄・大西和徳(1999)：埋め立てによる東京湾の潮汐・潮流と底質の変化，海の研究，vol.8，No.6，pp.411-415.

Kodama K, Oyama M, Lee JH, Kume G, Yamaguchi A, Shibata Y, Shiraishi H, Morita M, Shimizu M, Horiguchi T (2010) : Drastic and synchronous changes in megabenthic community structure concurrent with environmental variations in a eutrophic coastal bay, Progress in Oceanography, 87, 157-167.

Joseph T. Westrich , Robert A. Berner (1984) : The role of sedimentary organic matter in bacterial sulfate reduction: The G model tested, Limnol, Oceanogr, 29(2), 236-249.



謝辞：

指導教員である佐々木淳先生には、研究のアイデアに限らず、あらゆる面で支えて頂いた。

呉さんには実験・調査・分析をする上で有益な助言や技術を教授して頂いた。

比嘉さんには、研究の仕方や結果の解釈や考察について有益な助言を頂いた。

後輩である渡辺くん、佐藤くんには、観測や柱状コアスライスの時に、手伝って頂いた。

実験に用いる器具や消耗品の手続きをして頂いた秘書の室園さんに感謝の意を表します。

原稿論文を読んで審査をして頂き、ありがとうございます。

# 付録

## 第3章のデータ

エクマンバージ採泥：

### 1. 含水比

stn.番号	7月24日	8月8日	8月26日	9月5日	9月18日	10月9日	10月17日	10月24日	平均
3	-	-	-	-	-	-	-	217.84	217.84
4	-	-	-	-	-	-	-	222.24	222.24
5	-	-	-	-	-	-	-	142.04	142.04
6B	-	-	-	-	-	-	117.50	-	117.50
7	-	-	-	-	-	-	-	337.89	337.89
8	320.86	274.60	483.16	328.02	386.65	-	-	-	358.66
9	-	-	-	-	-	-	-	632.17	632.17
10	-	-	-	-	-	-	-	372.79	372.79
11	-	-	-	-	-	430.89	-	-	430.89
12	271.54	-	-	-	-	-	483.36	-	377.45
13	399.07	490.23	453.83	440.65	585.30	-	-	-	473.82
14	348.44	538.79	481.04	-	-	-	-	603.04	492.83
15	-	185.85	273.73	-	-	-	-	230.73	230.10
16	-	-	-	-	277.42	263.14	-	-	270.28
17	-	-	-	-	415.15	431.15	-	-	423.15
18	436.65	562.41	455.19	-	-	-	-	-	484.75
19	533.76	420.18	390.55	457.39	433.03	-	-	-	446.98
20	407.16	584.44	338.19	-	-	-	-	-	443.26
21	190.54	279.27	160.52	-	-	-	-	245.15	218.87
23	-	-	-	-	386.40	370.04	-	-	378.22
24	395.44	-	-	-	-	391.70	-	-	393.57
25	329.87	509.38	565.35	-	-	-	-	-	468.20
26	300.32	273.25	590.23	327.97	529.75	-	-	-	338.71
27	261.09	-	-	-	-	-	356.04	-	308.56
29	-	-	-	-	-	358.81	-	-	358.81
30	-	-	-	-	-	497.81	-	-	497.81
31	-	225.82	328.36	334.45	292.14	-	-	-	295.19
32	-	-	-	-	-	-	120.0283	-	120.03
35	-	255.19	410.02	416.62	220.72	-	-	-	325.64
38A	448.15	-	617.36	422.11	310.29	-	-	-	449.48
39	391.60	364.82	558.58	302.24	338.26	-	-	-	391.10
39B	-	-	-	-	-	-	761.1878	-	761.19
c2	-	-	-	482.19	244.59	-	-	-	363.39
c4	-	-	-	501.09	556.15	-	-	-	528.62

## 2. 有機炭素含有率

stn.番号	7月24日	8月8日	8月26日	9月5日	9月18日	10月9日	10月17日	10月24日	平均
3	-	-	-	-	-	-	-	1.8	1.80
4	-	-	-	-	-	-	-	2.15	2.15
5	-	-	-	-	-	-	-	1.24	1.24
6B	-	-	-	-	-	-	1.615	-	1.62
7	-	-	-	-	-	-	-	2.69	2.69
8	3.61	2.48	3.04	3.14	3.03	-	-	-	3.06
9	-	-	-	-	-	-	-	3.67	3.67
10	-	-	-	-	-	-	-	2.76	2.76
11	-	-	-	-	-	2.86	-	-	2.86
12	3.93	-	-	-	-	-	3.525	-	3.53
13	4.14	3.57	3.36	3.19	3.47	-	-	-	3.55
14	3.98	3.4	3.64	-	-	-	-	3.68	3.68
15	-	3.03	2.2	-	-	-	-	2.01	2.41
16	-	-	-	-	2.95	3.04	-	-	3.00
17	-	-	-	-	3.31	3.62	-	-	3.47
18	3.84	3.49	3	-	-	-	-	-	3.44
19	3.66	3.55	2.57	2.86	2.99	-	-	-	3.13
20	4.32	3.38	3.22	-	-	-	-	-	3.64
21	2.75	2.31	1.73	-	-	-	-	2.47	2.32
23	-	-	-	-	2.29	2.45	-	-	2.37
24	2.82	-	-	-	-	2.74	-	-	2.78
25	4.2	3.6	3.64	-	-	-	-	-	3.81
26	3.67	3.99	3.32	3.7	3.53	-	-	-	3.63
27	3.33	-	-	-	-	-	3.385	-	3.39
29	-	-	-	-	-	2.82	-	-	2.82
30	-	-	-	-	-	3.16	-	-	3.16
31	-	3.48	3.35	3.1	3.22	-	-	-	3.29
32	-	-	-	-	-	-	1.8	-	1.80
35	-	3.62	3.17	3.14	3.57	-	-	-	3.38
38A	1.83	1.59	2.35	2.28	1.94	-	-	-	2.04
39	3.66	2.27	2.56	2.44	2.43	-	-	-	2.67
39B	-	-	-	-	-	-	3.5	-	3.50
c2	-	-	-	2.15	2.26	-	-	-	2.21
c4	-	-	-	2.52	3.48	-	-	-	3.00

## 3. 有機窒素含有率

stn.番号	7月24日	8月8日	8月26日	9月5日	9月18日	10月9日	10月17日	10月24日	平均
3	-	-	-	-	-	-	-	0.19	0.19
4	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.21
5	-	-	-	-	-	-	-	0.11	0.11
6B	-	-	-	-	-	-	0.12	-	0.12
7	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.30
8	0.43	0.23	0.37	0.3	0.32	-	-	-	0.33
9	-	-	-	-	-	-	-	0.45	0.45
10	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.30
11	-	-	-	-	-	0.31	-	-	0.31
12	0.45	-	-	-	-	-	0.41	-	0.41
13	0.49	0.4	0.4	0.37	0.39	-	-	-	0.41
14	0.47	0.4	0.36	-	-	-	-	0.44	0.42
15	-	0.37	0.25	-	-	-	-	0.2	0.27
16	-	-	-	-	0.27	0.31	-	-	0.29
17	-	-	-	-	0.41	0.42	-	-	0.42
18	0.5	0.44	0.36	-	-	-	-	-	0.43
19	0.44	0.46	0.29	0.34	0.29	-	-	-	0.36
20	0.57	0.43	0.4	-	-	-	-	-	0.47
21	0.32	0.25	0.18	-	-	-	-	0.23	0.25
23	-	-	-	-	0.23	0.29	-	-	0.26
24	0.37	-	-	-	-	0.34	-	-	0.36
25	0.54	0.45	0.45	-	-	-	-	-	0.48
26	0.43	0.51	0.43	0.47	0.51	-	-	-	0.47
27	0.39	-	-	-	-	-	0.38	-	0.38
29	-	-	-	-	-	0.3	-	-	0.30
30	-	-	-	-	-	0.41	-	-	0.41
31	-	0.36	0.34	0.34	0.29	-	-	-	0.33
32	-	-	-	-	-	-	0.167	-	0.17
35	-	0.41	0.38	0.37	0.49	-	-	-	0.41
38A	0.2	0.17	0.27	0.26	0.22	-	-	-	0.23
39	0.45	0.25	0.31	0.28	0.4	-	-	-	0.34
39B	-	-	-	-	-	-	0.46	-	0.46
c2	-	-	-	0.25	0.28	-	-	-	0.27
c4	-	-	-	0.3	0.43	-	-	-	0.37

#### 4. C/N 比

stn.番号	7月24日	8月8日	8月26日	9月5日	9月18日	10月9日	10月17日	10月24日	平均
3	-	-	-	-	-	-	-	9.37	9.37
4	-	-	-	-	-	-	-	10.42	10.42
5	-	-	-	-	-	-	-	11.33	11.33
6B	-	-	-	-	-	-	13.43	-	13.43
7	-	-	-	-	-	-	-	8.84	8.84
8	8.45	10.86	8.29	10.45	9.58	-	-	-	9.53
9	-	-	-	-	-	-	-	8.14	8.14
10	-	-	-	-	-	-	-	9.2	9.20
11	-	-	-	-	-	9.12	-	-	9.12
12	8.65	-	-	-	-	-	8.63	-	8.63
13	8.53	8.95	8.55	8.7	8.96	-	-	-	8.74
14	8.51	8.52	8.96	-	-	-	-	8.48	8.62
15	-	8.14	8.88	-	-	-	-	10.36	9.13
16	-	-	-	-	11.16	10.09	-	-	10.63
17	-	-	-	-	8.2	8.74	-	-	8.47
18	7.78	8.03	8.72	-	-	-	-	-	8.18
19	8.06	7.68	9.03	8.5	10.31	-	-	-	8.72
20	7.57	7.85	8.18	-	-	-	-	-	7.87
21	8.46	9.19	9.69	-	-	-	-	10.86	9.55
23	-	-	-	-	10.03	8.43	-	-	9.23
24	7.64	-	-	-	-	8.18	-	-	7.91
25	7.74	8.09	8.15	-	-	-	-	-	7.99
26	8.56	7.86	7.7	7.85	6.97	-	-	-	7.77
27	8.6	-	-	-	-	-	8.89	-	8.89
29	-	-	-	-	-	9.29	-	-	9.29
30	-	-	-	-	-	7.66	-	-	7.66
31	-	9.71	9.95	9.22	11.08	-	-	-	9.99
32	-	-	-	-	-	-	10.7	-	10.70
35	-	8.84	8.72	8.61	7.31	-	-	-	8.37
38	9.23	-	-	-	-	-	-	-	9.23
38A	9.23	9.48	8.72	8.73	8.81	-	-	-	8.87
39	8.14	9.17	8.47	8.9	8.14	-	-	-	8.56
39B	-	-	-	-	-	-	7.67	-	7.67
c2	-	-	-	8.59	8.04	-	-	-	8.32
c4	-	-	-	8.46	8.08	-	-	-	8.27

## 5. 全硫化物(底質)

stn.番号	7月24日	8月8日	8月26日	9月5日	9月18日	10月9日	10月17日	10月24日	平均
3	-	-	-	-	-	-	-	0.35	0.35
4	-	-	-	-	-	-	-	0.53	0.53
5	-	-	-	-	-	-	-	0.24	0.24
6B	-	-	-	-	-	-	0.30	-	0.30
7	-	-	-	-	-	-	-	0.58	0.58
8	0.77	0.54	1.14	0.77	1.09	-	-	-	0.86
9	-	-	-	-	-	-	-	2.42	2.42
10	-	-	-	-	-	-	-	0.44	0.44
11	-	-	-	-	-	0.91	-	-	0.91
12	1.06	-	-	-	-	-	1.30	-	1.18
13	1.15	1.02	0.93	1.28	1.89	-	-	-	1.25
14	1.75	2.16	0.85	-	-	-	-	2.35	1.78
15	-	0.55	0.37	-	-	-	-	0.44	0.45
16	-	-	-	-	1.85	1.30	-	-	1.58
17	-	-	-	-	1.72	1.42	-	-	1.57
18	1.83	1.06	0.88	-	-	-	-	-	1.26
19	1.49	1.18	2.34	0.84	1.08	-	-	-	1.39
20	1.18	1.09	1.47	-	-	-	-	-	1.25
21	0.97	0.23	0.55	-	-	-	-	0.64	0.60
23	-	-	-	-	1.68	1.34	-	-	1.51
24	0.63	-	-	-	-	0.93	-	-	0.78
25	0.73	1.05	1.44	-	-	-	-	-	1.07
26	0.56	1.38	1.61	1.20	0.84	-	-	-	0.88
27	0.60	-	-	-	-	-	0.49	-	0.55
29	-	-	-	-	-	2.34	-	-	2.34
30	-	-	-	-	-	1.56	-	-	1.56
31	-	0.87	0.55	0.70	0.70	-	-	-	0.71
32	-	-	-	-	-	-	0.32	-	0.32
35	-	1.78	1.34	1.02	0.02	-	-	-	1.04
38A	1.24	0.75	3.53	2.33	2.05	-	-	-	2.64
39	2.92	2.03	2.73	3.54	2.43	-	-	-	2.73
39B	-	-	-	-	-	-	0.51	-	0.51
c2	-	-	-	2.29	1.66	-	-	-	1.98
c4	-	-	-	1.80	0.01	-	-	-	0.91

## 第4章のデータ

柱状コア採泥：

### 1. 含水比

stn.番号	0～2cm	2～4cm	4～6cm	6～8cm	8～10cm	10～14cm	14～18cm	18～22cm	22～26cm	26～30cm	30～35cm	35～40cm
3	328.88	244.28	166.73	159.45	133.89	121.99	114.52	102.16	101.74			
4	344.02	260.73	194.17	156.55	178.46	170.91	188.83	188.82	173.21	132.00		
5	108.28	86.59	86.05									
6	284.81	180.75	162.46	137.20	141.08	106.20						
7	538.49	330.93	326.90	287.67	259.73							
8	833.82	734.09	532.65		401.94	392.41	337.33	313.51	294.40	269.13		
9	815.84	633.96	542.92	449.52	454.79	517.67	602.25	469.85	630.27	592.35	509.15	474.26
10	385.38	337.61	296.98	291.69	321.94	267.79	177.61	199.54	178.75	184.86	192.93	196.97
11	413.21	332.25	384.72	292.80	274.91	202.58	158.08	181.02	202.54	117.15		
12			450.78	370.87	326.95	307.88		249.06	246.02	211.56		
13		692.65	666.63	620.82	599.37							
14	597.30	531.00	497.65	388.82	264.26	311.71	265.17	209.48	372.30			
15												
16	365.34	282.22	239.97	210.00	186.41	146.64						
17	281.12	258.77	464.94	442.38	407.10	383.49	335.20	303.62	292.71	214.01		
18	571.38	543.70	521.11	472.17	496.80	431.61	327.63	332.43	312.77	298.07		
19	725.14	569.35		456.85	376.13							
20	478.74	435.66	342.29	321.56	328.07							
21												
23	392.76	365.31	334.15	331.91	343.82	300.53						
24	577.42	516.32	467.53	444.01	426.80							
25	495.95	540.34	504.07	447.19	385.25							
26	578.12	516.23	464.08	412.85	381.27							
27												
29												
30			337.88	481.99	474.63							
31	381.94	350.64	241.12	310.78	230.90							
32	200.26	139.83	111.60									
38A	322.90	282.59	212.40	170.73	220.48	228.10	237.46	197.04	235.58	215.74	217.90	
39B	546.28	482.90	377.49	367.54	384.97	479.73	540.23	407.61				

### 2. 有機炭素含有率

stn.番号	0～2cm	2～4cm	4～6cm	6～8cm	8～10cm	10～14cm	14～18cm	18～22cm	22～26cm	26～30cm	30～35cm	35～40cm
3	2.13	1.95	1.70	1.74	1.73	1.70	1.96	1.80	1.69			
4	1.98	1.88	1.84	1.99	1.87							
5	1.00	0.54	0.57									
6B												
7												
8	3.60	3.27	3.18	3.32	2.89	2.99	2.91	2.85				
9												
10				2.62	2.43							
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	3.42	3.61	3.51	3.46	3.49	3.38	3.41	3.34	3.14	3.01		
19												
20												
21												
23	3.35	2.09	2.21	2.26	2.22	2.20						
24												
25												
26												
27												
29												
30												
31												
32												
38A	2.37	2.30	1.75	1.47	1.87	2.16	2.28	2.43	2.12	2.11	2.03	
39B	2.84	2.85	2.78	2.67	2.83	2.93	3.09	2.81				

### 3. 有機窒素含有率

stn.番号	0～2cm	2～4cm	4～6cm	6～8cm	8～10cm	10～14cm	14～18cm	18～22cm	22～26cm	26～30cm	30～35cm	35～40cm
3	0.23	0.22	0.19	0.17	0.15	0.15	0.13	0.11	0.11			
4	0.23	0.20	0.19	0.19	0.17							
5	0.07	0.04	0.05									
6B												
7												
8	0.47	0.41	0.37	0.38	0.32	0.31	0.31	0.31				
9												
10				0.29	0.24							
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	0.41	0.44	0.42	0.41	0.40	0.37	0.35	0.34	0.31	0.29		
19												
20												
21												
23	0.39	0.24	0.26	0.26	0.25	0.25						
24												
25												
26												
27												
29												
30												
31												
32												
38A	0.27	0.25	0.20	0.17	0.22	0.25	0.26	0.28	0.24	0.24	0.22	
39B	0.35	0.34	0.32	0.31	0.31	0.34	0.38	0.32				

### 4. C/N 比

stn.番号	0～2cm	2～4cm	4～6cm	6～8cm	8～10cm	10～14cm	14～18cm	18～22cm	22～26cm	26～30cm	30～35cm	35～40cm
3	9.24	8.78	9.09	10.40	11.40	11.90	15.23	16.40	16.28			
4	8.74	9.74	10.04	10.56	11.38							
5	15.39	14.20	14.01									
6B												
7												
8	7.77	7.98	8.61	8.88	9.09	9.57	9.48	9.41				
9												
10				9.33	10.13							
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	8.34	8.20	8.36	8.58	8.84	9.07	9.72	10.07	10.13	10.40		
19												
20												
21												
23	8.76	8.72	8.67	8.77	8.85	8.73						
24												
25												
26												
27												
29												
30												
31												
32												
38A	8.91	9.08	9.05	8.90	8.80	8.70	8.61	8.60	8.83	8.88	9.12	
39B	8.28	8.38	8.70	8.83	9.00	8.79	8.29	8.75				