

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1254 September 2012

内湾河口周辺域における底質環境と底生生物群集の
変動特性に関する研究

有路 隆一

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. 序論	4
1.1 本研究の背景	4
1.2 既往の研究	4
1.3 本研究の目的と論文構成および特色	5
2. 東京湾多摩川河口周辺域における底質環境の長期的時空間変動特性	8
2.1 緒論	8
2.2 調査概要	8
2.3 時系列変動特性の検討	9
2.4 結語	17
3. 内湾河口干潟および浅場における底質環境の季節変動特性	18
3.1 緒論	18
3.2 調査概要	18
3.3 結果と考察	19
3.4 結語	40
4. 内湾河口沖における長期モニタリングに基づく底質変化特性の把握	42
4.1 緒論	42
4.2 調査概要	43
4.3 結果	45
4.4 考察	46
4.5 結語	50
5. 多摩川河口前置斜面における底質環境と底生生物群集の変動	53
5.1 緒論	53
5.2 調査概要	53
5.3 底質環境と底生生物群集の関係性について	55
5.4 結語	58
6. 結論	61
謝辞	62

Temporal and Spatial Variations of Sedimentary Environment and Benthic Biota around River Mouth in Inner Bay

Ryuichi ARIJI*

Synopsis

The bottom-sediment environment around river mouths in inner bays is a complex system consisting of physical, chemical and biological processes affected by the deposition of sediment discharge from rivers, the deposition of particulate organic matter created by primary production in the water column and the decomposition of this matter in the bottom sediments. The bottom-sediment environment around river mouths has not been fully understood due to the strong impact of non-steady or intermittent events such as river floods on the environmental system around the area.

This study aims to investigate the temporal and spatial variations in the bottom sediment characteristics, and impacts of flood event on sedimentary environment and benthic biota around the river mouth. The data showed that the responses of the sediment properties to the impact of Tama River flood during the attack of the typhoon in early September of 2007 were quite different among the monitoring sites. The drastic changes in water content and organic content were observed, especially at the deeper offshore site during the attack of the typhoon. The main reasons for the changes in the sediment properties are considered to be the hydrodynamic agitation of the bottom and the sediment discharge through the Tama River with their subsequent deposition off the river mouth during the typhoon event. It took about 2 years for the sediment properties to recover to the condition before the event. The recovery of the sediment properties in the offshore region and shows that the long-term evolution of the sediment properties was caused by the constant settling of newly deposited suspended particles from the water column; additionally, the accumulation rate was estimated to be 2.5 cm per year. On the other hand, the seasonal variations in sediment properties were dominant in the shallower river mouth area and the change in the properties affected by the typhoon was quickly recovered in several months. Furthermore, the diversity and biomass of the benthic species were increased after the flood especially in the off shore of the river mouth. The re-colonization of the benthic biota is considered to be related with the favorable change in the sedimentary environment for the species with disappearance of fluff layer on the bottom surface by the flood event.

Key Words: river mouth, sedimentary environment, benthic biota, sedimentation

* Researcher, Coastal and Estuarine Sediment Dynamics Group, Coastal and Estuarine Environment Research Field
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5051 Fax : +81-46-841-1274 e-mail: ariji-r83ab@pari.go.jp

内湾河口周辺域における底質環境と底生生物群集の 変動特性に関する研究

有路 隆一*

要 旨

一般に、内湾河口周辺域は、河川からの淡水と湾内の海水が混じり合う環境にあり、さまざまな物理、化学、生物過程が相互に作用しあって成立している。また、潮汐、波浪などの外力を強く受ける場所であるとともに、出水イベント等の非定常な影響を直接受ける場であるため、環境変化には様々な時空間スケールの変動要因が含まれ複雑な環境構造を形成している。特に、底質環境は、干潟域を含む河口域周辺の地形や底質性状の変動、物質循環過程への寄与などを通じて、周辺水域の水質環境や生物環境にも大きな影響を及ぼす河口環境形成の基幹的なプロセスでありながら、その現象の複雑さ及びそれを把握するための現地調査の難しさからその実態は十分に把握されているとは言えず、河口域周辺の環境変動を把握する上で一種のボトルネックとなっている。

以上のような背景を踏まえて、本研究では、このような内湾—河川接合域として複雑な環境過程が生じ、東京国際空港新滑走路が建設された東京湾多摩川河口周辺域を対象として、底質環境の空間構造と時間的な変動特性の実態把握を行った。底質特性の検討に際しては、空間解像度や時間解像度が異なるいくつかの計測を組み合わせることにより把握を試みた。そして、環境変動を支配する重要な要素のひとつである底質環境と底生生物群集の時空間的な変動特性および両者の関係を明らかにするために、長期にわたり高頻度、高密度な時空間スケールのもと底質コアサンプリング手法を用い不攪乱採取を行ったこと、分類専門家による最新の分類体系に基づいた生物同定を行うなど、従来の手法によるものに比べて圧倒的に質の高い環境調査データを取得するための手法を検討、実施し、そのモニタリングデータをもとに解析検討を行った。

まず、長期にわたる現地調査結果をもとに、底質環境の時空間変動に注目した検討を行うことにより変動特性の把握を試みた。調査期間中に発生した出水と気象擾乱により、多摩川、東京湾では環境変化が起こり、多摩川沖では出水後に底質粒径の細粒化や含水比の急激な低下とその後の緩やかな回復を捉えることに成功した。さらに、多摩川河口域の干潟・浅場での出水による影響は、比較的短期間に限られ、むしろ、場としての環境特性としては季節変動が支配的であることを明らかにした。次に、これまでに実施した地形断面計測、河川流量、底質性状、水質・流動構造などの物理的特徴と底生生物群集の生息活動などの生態的特徴から総合的に検討を行い、夏季と冬季に見られる底質粒径等の明瞭な季節変化は、堆積物供給量などの違いによるものであることを示した。

さらに、底泥の時空間変動特性と鉛直分布特性について検討を行い、堆積過程を詳細に捉えることに成功した。定常的に2.5cm/年の時間スケールで新生堆積物が降り積もることにより生じる現象であることを詳細に示した。また、底質環境の長期的な変動が、底生生物の種構成ならびに現存量に与える影響について検討を行い、大出水後に見られた底生生物群集の多様度の全体的な増加と場の均一化は、底生生物の生息環境を一時的に改善したたであることを明らかにした。

キーワード：河口周辺域、底質環境、底生生物群集、底泥堆積

* 沿岸環境研究領域沿岸土砂管理研究チーム研究員
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5051 Fax：046-844-1274 e-mail:ariji-r83ab@pari.go.jp

1. 序論

1.1 本研究の背景

一般に、内湾河口周辺域は、河川からの淡水と湾内の海水が混じり合う環境にあり、さまざまな物理、化学、生物過程が相互に作用しあって成立している(たとえば、灘岡, 2005)。また、潮汐、波浪などの外力を強く受ける場所である(たとえば、八木ら, 2009)とともに、出水イベント等の非定常な影響を直接受ける場であるため、環境変化には様々な時空間スケールの変動要因が含まれ複雑な環境構造を形成している。特に、底質環境は、干潟域を含む河口域周辺の地形や底質性状の変動(中川, 1998)、物質循環過程への寄与などを通じて、周辺水域の水質環境や生物環境にも大きな影響を及ぼす河口環境形成の基幹的なプロセス(風呂田, 2004)でありながら、その現象の複雑さ及びそれを把握するための現地調査の難しさからその実態は十分に把握されているとは言い難く、河口域周辺の環境変動を把握する上で一種のボトルネックとなっている。

本研究で対象とした東京湾多摩川河口域は、内湾一河川接合域としての複雑な物理・化学・生物過程が生じている場であり、台風等に伴う気象・海象擾乱や河川出水等の非定常イベントの影響も強く受けるため、生態系も含めた環境構造の実態は十分に把握されているとは言い難い。さらに、2010年10月に供用が開始された東京国際空港の再拡張事業は、河口部に大規模構造物が建設されるといった我が国に例のない事業であり、周辺環境へ与える影響は科学的に未知な部分が多く、予測し得なかったことが将来生じる可能性を否定できない(国土交通省関東地方整備局, 2006)とされている。このような課題を解決するため、継続的に調査研究することを目的に「羽田周辺水域環境調査研究委員会(事務局: 関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所)」が設けられ、新設滑走路建設に伴う環境影響の把握を行うために、研究者・行政、市民NPO、民間企業が分野間の連携を図り多摩川河口や東京湾の環境特性を把握する活動がなされており、そのエリア全体の環境保全、あるいは再生に向けた研究として発展させていくことが目標とされている(羽田周辺水域環境調査委員会, 2010)。

このため、河口周辺域での将来的な環境変化の動向を評価していくためには、定常状態はもとより非定常性も考慮に入れた現地調査を主体に、物理・化学・生物過程の相互作用と変動の要因を明確に理解し、対象水域の環境特性を十分に把握しておくことが強く望まれている。

1.2 既往の研究

内湾河口周辺域は諸現象が多重に作用しており、底質性状と貧酸素水塊形成、生物生息環境と水質・底質環境の関係性など、底泥堆積物に関する研究は多岐にわたっており、様々な研究がなされている。ここでは、内湾河口周辺域を対象に実施された既存の研究を整理しておく。

1.2.1 底質環境の変動特性

環境変化の動向を評価するためには、場の持つ環境特性を十分に把握しておく必要があるものの、大規模な出水や台風時の高波浪などの不定期なイベントの影響を強く受けることから十分な現象の解明には至っていない。

底泥の粒径変動特性については、Guillén *et al.* (2005)が現地観測に基づき約1年間にわたる定期的な採泥と流速・濁度観測をもとに外力との関係について検討している。また、横山ら(2001)は、多摩川感潮域において数年程度の時間スケールでの微細土砂の供給・堆積機構の解明を試みている。さらに、日比野ら(2006)は、湾内の海底泥の特性と性状変化について検討を行っている。底質環境は水質や底生生物の生息環境の変化に直接影響を与える重要な因子であるものの、河川からの淡水流入や海域からの波・流れ等の影響が重合する河口部(八木ら, 2009)であるため底質環境は複雑(中川ら, 2008)であり、その変動実態が十分に把握されているとは言えない。

一方、内湾河口の河道内において物理的な側面から、末次ら(2002)が河川上流から定常的に供給される微細土砂の堆積による干潟浅場の地形・底質の形成・維持機構を検討しており、八木ら(2003)は、多摩川河口域において大潮期における流動特性の検討とそれが懸濁態物質輸送に与える影響検討を行っている。また、地形・底質の季節変動特性についての検討は、横山ら(2006)が1年間の毎月の横断測量と底質採取により変動状況を解析している。さらに、Serra *et al.* (2003)は、水柱の懸濁態粒子について粒径帯別に鉛直分布を検討している。これらのことは、河口周辺域における河川上流からの土砂供給や、水柱におけるデトリタス等の懸濁物質供給および波や流れなどの外力作用により、底質性状は時間の経過にとともに変化が生じることを示している。

さらに、底泥堆積物に関しては、鉛210法を用いた堆積年代測定に基づく底泥の堆積速度の推算(松本, 1983)や、現地試験による堆積泥の力学的な特性の把握(五明ら, 1990)、現地調査から底泥汚濁の進行、分解過程の検討(上野ら, 2000)、現地観測に基づく底泥堆積物の巻き

上げ現象と浮遊懸濁物質の粒径特性の実態解明（中川，2002），音波探査装置を用いた浮泥堆積層厚の把握（五十嵐ら，2004），現地調査から空間的な堆積分布特性の把握（中川ら，2007）がなされている。しかしながら，現地海域における底泥堆積物の堆積過程に関する詳細は不明である。

1.2.2 底生生物群集の変動特性

河口周辺域に生息するベントスは生息場に直接的に影響を与える底質環境が重要な環境因子であると考えられているものの，内湾域底層の貧酸素化の進行と生物の死滅の関係性に関する研究（風呂田，1991；石川ら，1991）や，プランクトン幼生の着底場所としての地域個体群間ネットワーク機構の重要性（風呂田，2004）などの水環境に基づいた検討が多くを占めている。また，現地観測に基づく水質・底質環境と底生生物の関係については，木村ら(1997)，古川ら(1999)，安藤ら(2007)により検討されている。また，底質分布とベントス生息状況を検討した事例(岡田ら，2005；滝川ら，2006)もあり，物理環境と底生生物群集の生息状況の関係性など一定の知見は得られている。さらに，底生生物群集の生息活動に伴う生物攪乱については，Roads *et al.* (1970)，菊池(1981)，畑(1981)，細川(1997)，栗原(1998)が指摘しており，その生物攪乱と脱窒過程等の化学特性との関わりについて瀬口ら(2002)，上出(2007)が検討を行っている。また，河川水は栄養塩類，有機物の供給を行い生物生産に寄与（白旗ら，2001；瀬口，2002；児玉ら，2011）し，様々な変動要因が複雑に絡み合う場となっており，そこでの底質環境の変動実態は十分に把握されているとは言い難い。

一方，河川からの出水は内湾河口周辺域の生息環境に大きな影響を与える（羽田周辺水域環境調査研究委員会，2010）ことが指摘されているものの，非定常なイベントによる底質環境と底生生物群集の関係に関する研究事例はほとんど見あたらない。したがって，出水イベント等の非定常状態も考慮に入れた現地調査を主体に，底質環境と底生生物群集の関係性を明らかにしていく必要がある。

1.3 本研究の目的と論文構成および特色

1.3.1 本研究の目的

本研究では，内湾－河川接合域として複雑な環境過程が生じる東京湾多摩川河口周辺域を対象として，長期にわたり底質環境の空間構造と時間的な変動特性の実態把

握を行った。さらに，空間解像度や時間解像度が異なるいくつかの計測を組み合わせることにより底質変動特性の把握を試みたものである。

1.3.2 論文の構成

本論文の第2章以降の概要は以下のとおりである。

2章「東京湾多摩川河口周辺域における底質環境の長期時空間変動特性」では，河口周辺域における場の持つ環境特性について検討を行った。約2.5年間の現地採泥調査結果をもとに，底質環境の時空間変動に注目した検討を行うことにより変動特性を把握することを試みた。この調査検討の特徴は，空間的に高密度，高頻度に行った現地調査とその底質採泥方法，サンプル処理にある。本研究ではコアサンプリングにより柱状採泥を行うことにより，表層の堆積物を乱すことなく不攪乱の状態で採取している。その後，鉛直方向にスライスして各底質分析を行い，高精度な底質環境情報を長期間にわたり得ることにより，底質環境の時空間変動特性の把握を試みた。

3章「内湾河口干潟および浅場における底質環境の季節変動特性」では，2章で明らかとなった河口周辺域の河口干潟における底質性状の季節変動に注目して，その変動要因について検討を行った。これまでに実施した地形構造計測，河川流量，底質性状，水質・流動などの物理的特徴と底生生物群集の生息活動などの生物的特徴を総合的に網羅検討し，経年的，季節的変動特性の把握を試みた。夏季と冬季に見られる底質粒径等の明瞭な変化について，夏季と冬季の堆積物供給量の違いであることが主要因であると推察した。さらに，底生生物群集が，夏季に活動を活発化することにより底質が高含水比化するなどの性状変化を引き起こすことが考えられたため考察を加えた。

4章「内湾河口沖における長期モニタリングに基づく底質変化特性の把握」では，多摩川河口沖の東京湾深場における底質の堆積特性について検討を行った。特に，底泥の時空間変動特性と鉛直分布特性に注目して，鉛直的な構造変化の要因について4年間の長期にわたる高頻度かつ高精度なコアサンプリングデータに基づき検討を行いその堆積特性の把握を試みた。さらに，底質含水比の鉛直構造に見られる変化傾向と過去の出水大規模な出水や気象擾乱等の非定常なイベントの履歴との関係について考察した。

5章「多摩川河口前置斜面における底質環境と底生生物群集の変動」では，2章で明らかとなった底質性状の長期的な時空間変動が，底生生物群集の種構成ならびに現存量に与える影響について検討を行った。さらに，多

摩川河口前置斜面における，出水前後の底生生物群集の多様度の変化を把握するため，多様度指数を用いて検討を行った。さらに，出水後の生物相の変化について底質含水比に注目し，変動要因の考察を行った。

6章「結論」では，以上得られた結果を総括し結論としている。

1.3.3 本研究の特色

環境変動を支配する重要な要素のひとつである底質環境と底生生物群集の時空間的な変動特性および両者の関係を明らかにするために，長期にわたり高頻度，高密度な時空間スケールのもと底質コアサンプリング手法を用い不攪乱採取を行ったこと，分類専門家による最新の分類体系に基づいた生物同定を行うなど，従来の手法によるものに比べて圧倒的に質の高い環境調査データを取得するための手法を検討，実施し，そのモニタリングデータをもとに解析検討を行ったことにある。それにより，調査期間中に発生した大規模な出水イベント時の多摩川河口沖における急激な底質環境の変動とその後の過程等を詳細に検討し，堆積物の性状の変化とその要因を明らかにすることができた。さらに，河口前置斜面域における底生生物群集の多様度に寄与する要因について考察を行い，これまで知見が乏しかった現地での底質環境の変化に対する生物群集の変動特性を明らかとした。

参考文献

安藤晴夫，川井利雄(2007)：東京湾内湾における底生生物生息状況の解析結果について，東京都環境科学研究所年報 2007，pp.77-84.

五十嵐学，佐々木淳(2004)：東京湾奥部における浮泥堆積層厚の空間分布特性，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.981-985.

石川公敏，風呂田利夫，小山利郎，山崎孝史(1999)：東京湾の内湾域におけるマクロベントスの季節変化，月刊海洋，Vol.31，No.8，pp.495-503.

上出貴士(2007)：田辺湾中央部漁場における魚類養殖の有機物負荷が海底堆積物の科学的特性及びマクロベントス群集へ及ぼす影響範囲，日本水産学会誌，73(6)，pp.1065-1073.

上野成三，灘岡和夫，片倉徳男，勝井秀博，山田二久次(2000)：英虞湾の真珠養殖漁場における底泥の汚濁流動層に関する現地調査，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.1046-1050.

岡田知也，古川恵太(2005)：東京湾沿岸域における音響測深装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.1431-1435.

菊地泰二(1981)：ベントスの働き—生物攪乱を中心に—，沿岸海洋研究ノート，第 18 巻，第 2 号，pp.67-77.

木村賢史，西村修，川井利雄，稲森悠平，秋山章男，須藤隆一(1997)：東京都内湾の底層水域環境と底生動物との関係，水環境学会誌，第 20 巻，第 6 号，pp.411-418.

栗原康編(1998)：河口・沿岸域の生態系とエコテクノロジー，東海大学出版会

国土交通省関東地方整備局，国土交通省航空局：東京国際空港再拡張事業に係る環境影響評価書，平成 18 年 6 月.

児玉真史，渡部諭史，八木宏，灘岡和夫，鈴木紀慶，古殿太郎(2011)：多摩川河口行きに生息する二枚貝類の炭素・窒素安定同位体比の変動特性，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.62，No.2，pp.961-965.

児玉真史，皆川昌幸，田中勝久，石樋由香(2008)：有明海における堆積速度について，沿岸海洋研究，第 45 巻第 2 号，pp.137-143.

五明美智男，矢内栄二，大槻忠(1990)：東京湾底泥の堆積特性について，海岸工学論文集，第 37 巻，pp.848-852.

白旗清伸，吉田浩義，中井智司，細見正明，村上昭彦(2001)：河口域の干潟における脱窒能の評価，水環境学会誌，第 24 巻，第 11 号，pp.773-777.

末次忠司，藤田光一，諏訪義雄，横山勝英(2002)：沖積河川の河口域における土砂動態と地形・底質変化に関する研究，国総研資料，第 32 号，pp.167

瀬口昌洋，郡山益実，加藤治(2002)：泥質干潟におけるマクロベントスの巣穴形成とその硝化・脱窒過程への影響，水工学論文集，第 46 巻，pp.1169-1174.

滝川清，増田流哉，森本剣太郎，松本安弘，大久保貴仁(2006)：有明海における干潟海域環境の回復・維持へ向けた対策工法の実証試験，海岸工学論文集，第 53 巻，pp.12006-1210.

中川康之(1998)：内湾域における泥質物の堆積過程に関する研究，港湾技術研究所報告，第 37 巻，第 4 号，pp.113-133.

中川康之(2002)：東京湾奥部での底泥巻き上げとその粒度分布特性について，海岸工学論文集，第 49 巻，

- pp.1046-1050.
- 中川康之, 有路隆一, 松坂省一, 諸星一信, 八木宏, 灘岡和夫, 古殿太郎, 大野幸正, 島崎哲也(2007): 多摩川河口沿岸域における底泥の堆積分布特性の把握に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1031-1035.
- 中川康之, 有路隆一, 松坂省一, 諸星一信, 八木宏, 灘岡和夫, 田中晋(2008): 東京湾多摩川河口沖における底泥の巻き上げに関する現地観測, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.516-520.
- 灘岡和夫(2005): 海域環境から見た陸源負荷の問題, 第13回ジョイントシンポジウム海域から見た陸域流出の問題とその構造, pp.2-5.
- 西田尚史, 伊東慎(2009): Fluid mudの特徴とその地層解析における役割, 地質学雑誌, 第115巻, 第4号, pp.149-167.
- 畑幸彦(1981): 浅海域における有機物の沈降-堆積-分解とバクテリア, 沿岸海洋研究ノート, 第18巻, 第2号, pp.112-122.
- 羽田周辺水域環境調査研究委員会: 羽田周辺水域環境調査研究の取り組み~調査研究の中間成果報告~, 平成22年12月.
- 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, pp.348-359.
- 風呂田利夫(1988): 東京湾における貧酸素水の底生・付着動物群集に与える影響について, 沿岸海洋研究ノート, 第25巻, 第2号, pp.104-113.
- 風呂田利夫(1991): 東京湾内湾底生動物の生き残りと繁殖, 沿岸海洋研究ノート, 第28巻, 第2号, pp.160-169.
- 風呂田利夫(2004): 内湾ベントスにおける地域個体群間ネットワークの重要性, 独立行政法人水産総合研究センター研究報告, 3号別冊, pp.35-46.
- 風呂田利夫(2011): 環境修復に関わる環境行政の取り組み. 東京湾 人と自然の関わり, 東京湾海洋環境研究委員会(編), 恒星社厚生閣, pp.309-318.
- 古川恵太, 桑江朝比呂, 細川恭史(1999): 干潟環境調査-環境条件と生物分布-, 港湾技研資料, No.947, pp.1-30.
- 細川恭史(1997): 干潟の創造・修復の技術と課題, 水産工学, Vol.34, No.1, pp. 93-103
- 松本英二(1983): 東京湾の底質環境, 地球化学, 17, pp.27-32.
- 八木宏, 大森義暢, 高橋亜依(2003): 多摩川河口域における流れと懸濁物質輸送特性について, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.461-465.
- 八木宏, Tanuspong POKAVANICH, 灘岡和夫, 有路隆一, 古土井健, 諸星一信, 森重輝政, 小林聡(2009): 東京湾多摩川河口部の流動構造について, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.981-985.
- 横山勝英, 藤田光一(2001): 多摩川感潮域の土砂動態に関する研究, 水工学論文集, 第45巻, pp.937-942.
- 横山勝英, 山本浩一, 一寸木朋也(2006): 筑後川感潮河道における地形・底質の季節変動に関する研究, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.471-475.
- 横山勝英, 山本浩一, 一寸木朋也, 金子祐(2007): 筑後川感潮河道における底泥の堆積過程に関する調査, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.451-455.
- David E. Drake (1999): Temporal and spatial variability of the sediment grain-size distribution of the Eel shelf: the flood layer of 1995, *Marine Geology*, 154, pp.169-182.
- Donaid C. Rhoads, David K. Young (1970): The influence deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure, *Journal of Marine Research*, Vol.28, 2, pp.150-178.
- Jorge Guillén, Jose A. Jiménez, Albert Palanques, Pere Puig, Vicens Gracia (2005): Bottom Sediment Variability in the Active Layer of the Inner Shelf off the Ebro Delta, *Journal of Coastal Research*, Vol.21, No.3, pp. 482-496.
- R.S.S. Wu • P. K. S. Shin (1997): Sediment characteristics and colonization of soft-bottom benthos: a field manipulation experiment, *Marine Biology*, 128, pp. 475-487.
- T. Serra, T. Granata, J. Colomer, A. Stips, F. Mohlenberg, X. Casamitjana (2001): The role of advection and turbulent mixing in the vertical distribution of phytoplankton, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56, pp.53-62.

2. 東京湾多摩川河口周辺域における底質環境の長期的時空間変動特性

2.1 緒論

多摩川は、源流を山梨県笠取山にもち、流域面積は1,240km²、幹川流路延長は138kmであり、一級水系河川は全国で109ある中でそのほぼ中位に位置している（多摩川誌、1986）。本研究で対象とした多摩川河口部は、東京湾最大の河口内の干潟が形成されており、希少性の高い種を含む生物多様性の高い生物群集による東京湾の中でも豊かな生態系が見られる場所である（たとえば、羽田周辺水域環境調査研究委員会、2007）。近年、東京国際空港（羽田空港）では多摩川河口部に4本目の滑走路が建設された。新設滑走路による環境変化の動向を評価するためには、場の持つ環境特性を十分に把握しておく必要がある。特に底質環境は、水質や底生生物の生息環境の変化に直接影響を与える重要な環境因子であるもの（たとえば、Ogawa and Ogura, 1997; Kawabe *et al.* 1997; Furota *et al.* 1999）、大規模出水や台風時の高波浪など不

定期的イベントの影響を強く受け（たとえば、Guillén *et al.* 2005; Palanques *et al.* 2008）、また、その履歴が残る底質環境特性については、単に建設工事前後の変化を比較するだけではその評価が難しい。さらに、河川からの淡水流入や海域からの波・流れ等の影響が重合する河口域の底質環境は複雑であり（たとえば、Fan *et al.* 2004; Guillén *et al.* 2006; 八木ら、2009）、実態が十分に把握されているとは言えない。

そこで本研究では、底質環境の長期的な時空間変動構造の把握を目的として、多摩川河口周辺域を対象とした底質調査の結果をもとに、含水比等の底質性状の空間的な分布や時間的な変動特性を調べた。

2.2 調査概要

2.2.1 調査対象水域及び調査地点

本研究は、大師橋より下流の多摩川河口部から沖合海域にあたる河川流軸方向約6kmの空間を対象として、時空間変動構造を把握するために計28地点の観測点を設定して底質調査を実施した（図-2.1）。この水域は、多摩

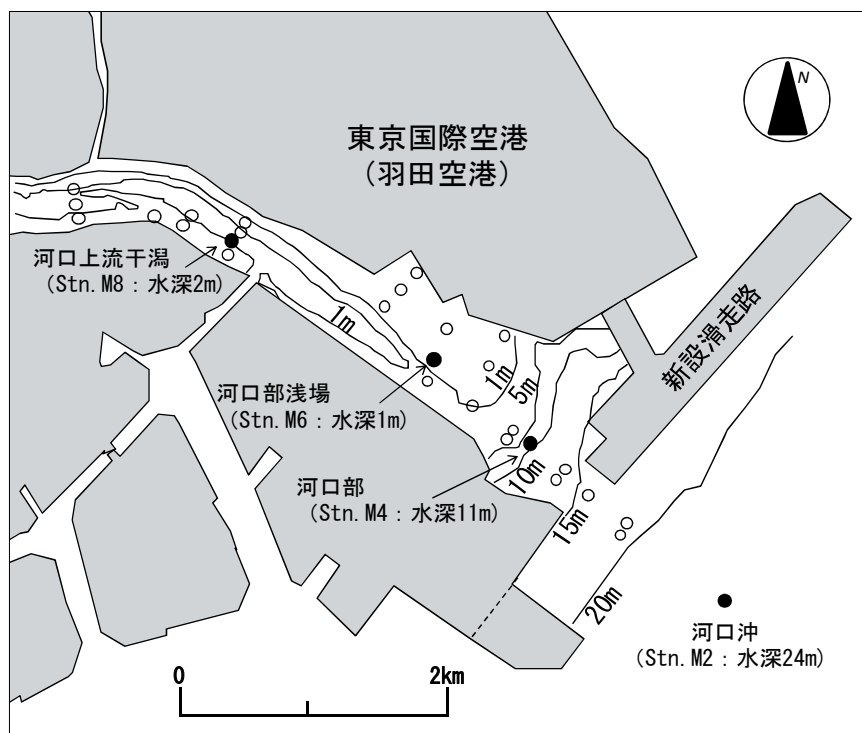


図-2.1 調査地点と水深コンタ（東京湾多摩川河口周辺域、多摩川大師橋より下流の東京湾沖水深24mまでの流軸方向約6kmの空間）。凡例：「●」は重点調査地点、「○」は簡易底質調査地点を表す。

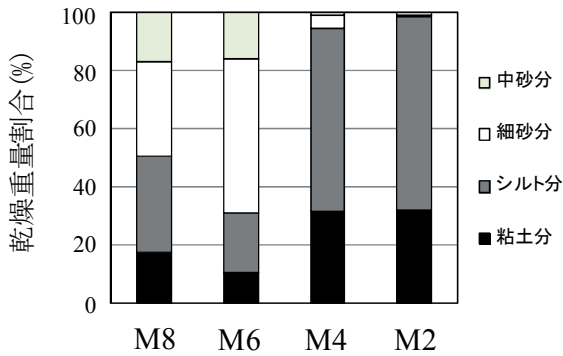


図-2.2 調査地点毎の粒度分布特性 (粘土分：5 μ m以下，シルト分：5 μ m~75 μ m，細砂分：75 μ m~425 μ m，中砂分：425 μ m~2mm)

川河道内では右岸側に河口干潟が広がっており干潮時には砂泥質の干潟が出現する。一方，左岸側は，下流に向かうにつれて浅い平場を有するエリアとなっており，干潮時においても干出することはない。さらに下流へ向かうと，前置斜面と呼ばれる比較的急勾配の斜面部がある。この斜面を下りきると，東京湾多摩川沖となり水深が約25m程度の平場が広がっている。

2.2.2 コアサンプリングによる底質調査

調査は2006年から行っており，本研究における解析対象期間は，2007年5月から2009年10月までの約2.5カ年である。この期間において，四季毎に合計12回，アクリルコアを用いて，ダイバー作業による柱状採泥（深さ30cm）を行った。採取した試料は，現地にて直ちに，コア下層側からの押し出し方式によって，0-1cm，1-2cm，2-4cm，4-10cmの4層に分取し目視観察，酸化還元電位計測等を行った。さらに，分取した試料は，粒度組成，含水比，間隙水栄養塩，強熱減量，硫化物濃度等の分析試験を行った。

底質特性の解析にあたっては，対象水域の地形的特徴（図-2.1，写真-2.1）及び粒度組成（図-2.2）から，Stn. M2（河口沖：シルト粘土分率がほぼ100%を占める領域），Stn. M4（河口部：河道と河口沖の斜面部分にあたる領域），Stn. M6（河口浅場：水深が約1m程度の河口部前面の砂質域），Stn. M8（河口上流干潟：河口部上流地点広がる河口干潟）を代表地点として選定し，それらの比較を中心に検討を行った。

なお，観測期間中の2007年9月には，台風が関東地方へ接近（2007年9月6日から7日未明）したことにより，多摩川石原水位観測所では，戦後2番目の水位（国土交通省京浜河川事務所，2007）となる記録的な大出水が発

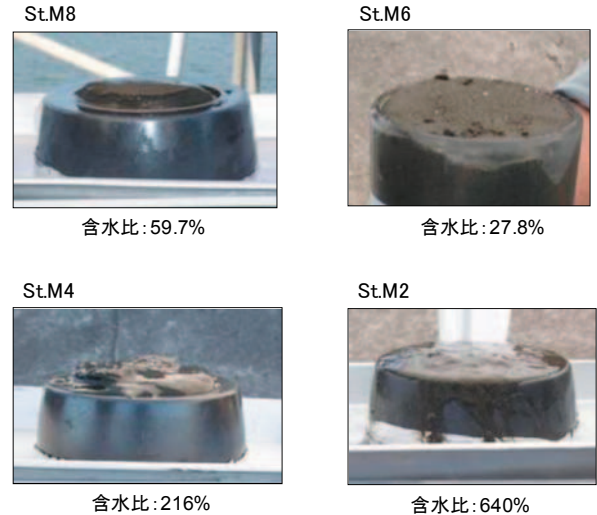


写真-2.1 コアサンプル表層0~1cmの底質性状写真（2007年5月撮影）

生した（以下，「大出水」とする）。このイベントにより，SS（浮遊懸濁物質）はわずか12日間において6.6年分が流出したこと（二瓶ら，2008），また，東京湾では有義波高が2.5m，同周期が5sを超える高波浪による底泥の巻き上げ等が生じたこと（中川ら，2008）等が報告されており，台風の通過とそれに伴う大出水の発生が周辺水域の底質環境に大きな影響を与えた可能性があると考えられた。そこで，本研究では，調査結果の解釈にあたって，季節変動などとともに，2007年9月に発生した大出水が河口周辺域の底質環境に与えるインパクトに注目して検討を行った。

2.3 時系列変動特性の検討

2.3.1 底質の長期変動特性

ここでは，対象とした代表調査点（河口沖：Stn. M2，河口部：Stn. M4，河口浅場：Stn. M6，河口上流干潟：Stn. M8）ごとの底質の長期変動特性を検討し，水域ごとの底質特性の相違を把握することを試みた。4地点の底質特性に関する4分取層（0-1cm，1-2cm，2-4cm，4-10cm）の時系列変化を図-2.3に示す。

(1) 河口浅場，干潟における時系列変動特性
河口部浅場（Stn. M6）では，大出水後に表層（0-1cm）

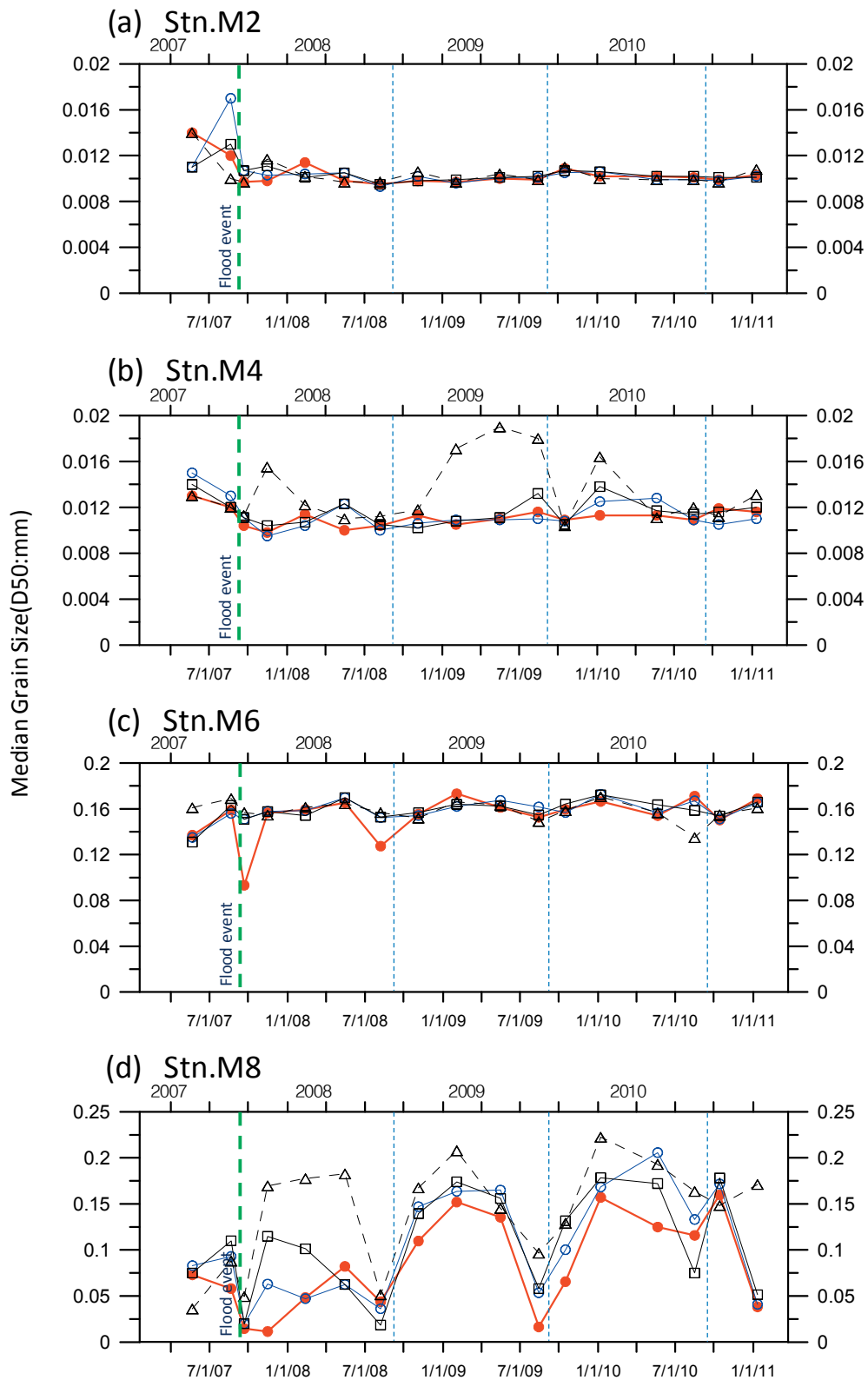


図-2.3 (a) 底質中央粒径に関する時系列変動. (● : 0-1cm, ○ : 1-2cm, □ : 2-4cm, △ : 4-10cm, --- : 2007年9月台風9号, --- : 台風等に伴う小出水の時期を示す)

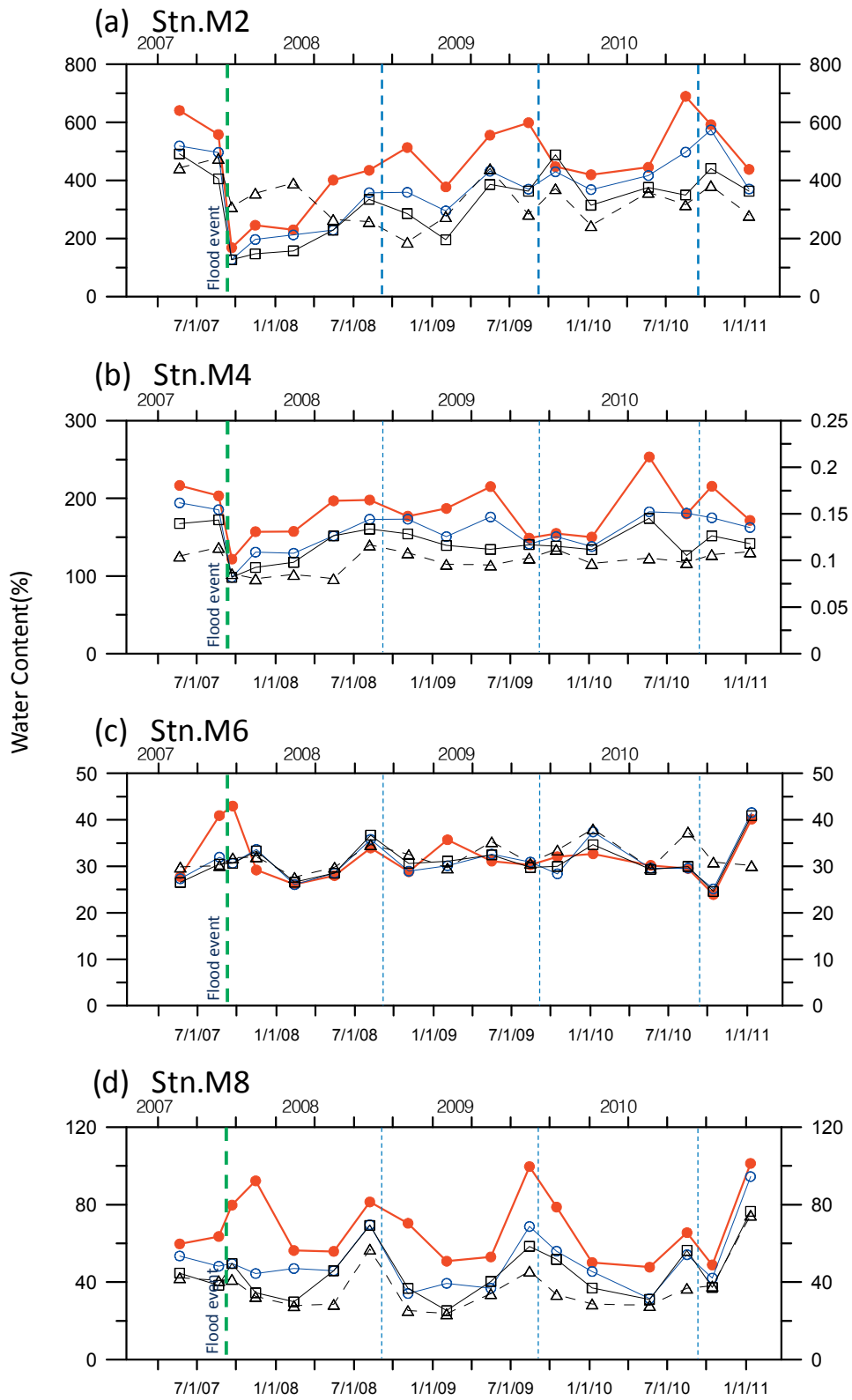


図-2.3(b) 含水比に関する時系列変動(● : 0-1cm, ○ : 1-2cm, □ : 2-4cm, △ : 4-10cm, --- : 2007年9月台風9号, --- : 台風等に伴う小出水の時期を示す)

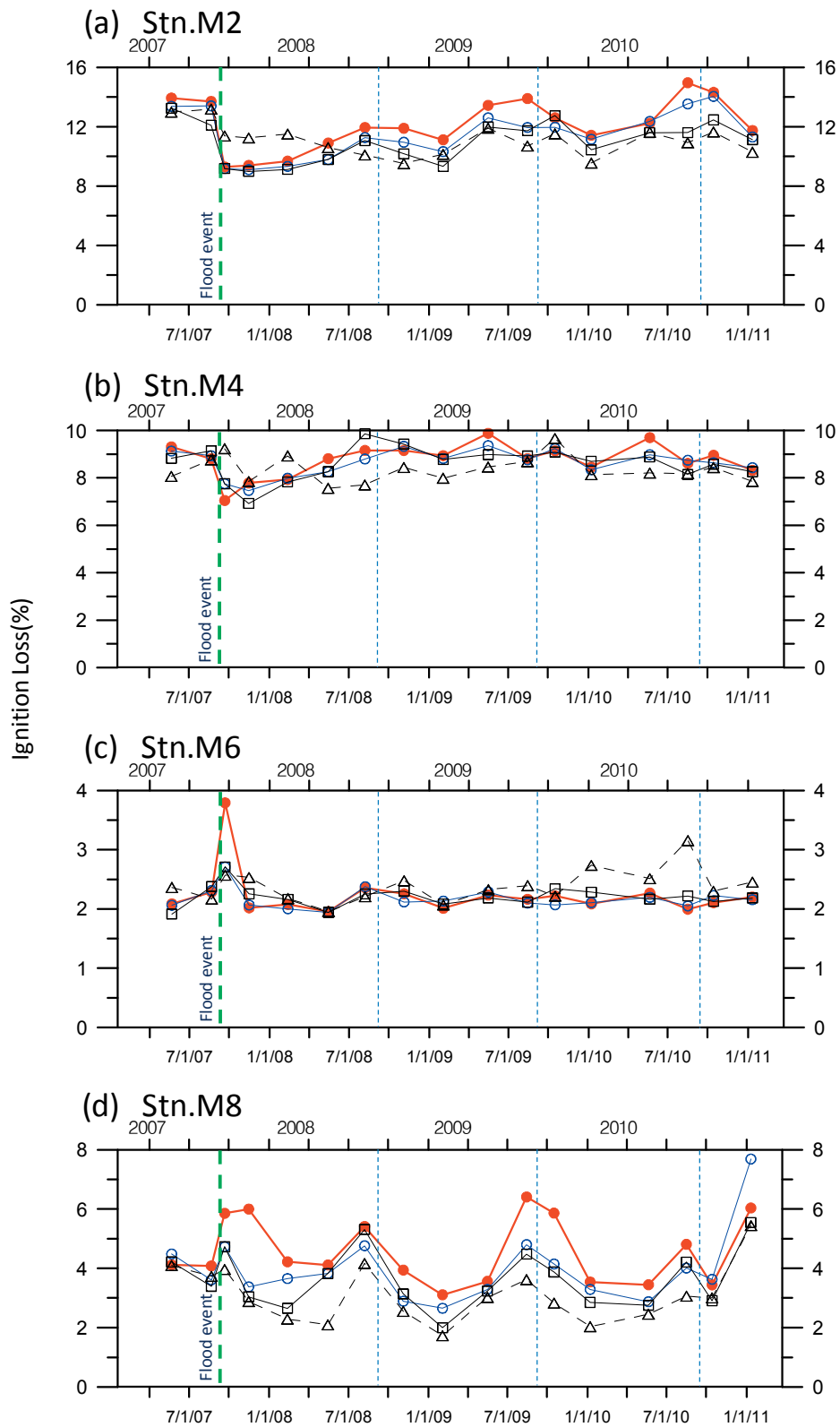


図-2.3(c) 強熱減量に関する時系列変動(● : 0-1cm, ○ : 1-2cm, □ : 2-4cm, △ : 4-10cm, --- : 2007年9月台風9号, --- : 台風等に伴う小出水の時期を示す)

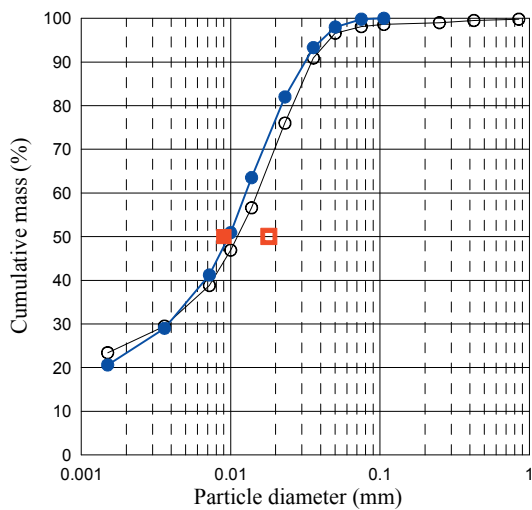


図-2.4 大出水前後における Stn.M2 粒径分布の比較。○:2007年8月(Stn.M2, 出水前), ●:2007年9月(Stn.M2, 大出水後), □:2007年(田園調布堰, 降雨時), ■:2007年9月(田園調布堰, 大出水時)。

において一時的な細粒化が見られた(図-2.3(a)).一方, 含水比・強熱減量はともに増加しており, 河口沖・河口部とは逆転の傾向が観測された(図-2.3(b), (c)). 大出水直後の底質変化は, その後急速に回復し, 河口部浅場(Stn. M6)では大出水の影響も短期間に限られ比較的安定な底質性状が維持されることが特徴であった。

さらに, 上流側に位置する河口上流干潟(Stn. M8)では, 大出水後に, 表層を中心とする細粒化及び河口部浅場と同様に強熱減量が増加するなど出水の影響が現れた。但し, 底質変動のより顕著な特徴として夏季に細粒化, 含水比上昇, 強熱減量の増加, 冬季に粗粒化, 含水比低下, 強熱減量が減少する明瞭な底質特性の季節変動が見られ(図-2.3), 河口沖(Stn. M2), 河口部(Stn. M4)の水域と比較すると大出水による影響は比較的短期間(数ヶ月間程度)で回復した。

これらの結果から, 河口部上流干潟では夏季に底質粒径が細粒化し冬季に粗粒化する等底質の明瞭な季節変動が存在していること, 河口浅場では大出水直後を除き比較的底質特性の変化が小さく安定していること, 河口浅場及び河口上流干潟では, 表層底質に与える大出水の影響は比較的短期間に回復することがわかる。

(2)河口沖, 河口部における時系列変動特性
河口沖(St. M2)では, 2007年9月の台風通過による

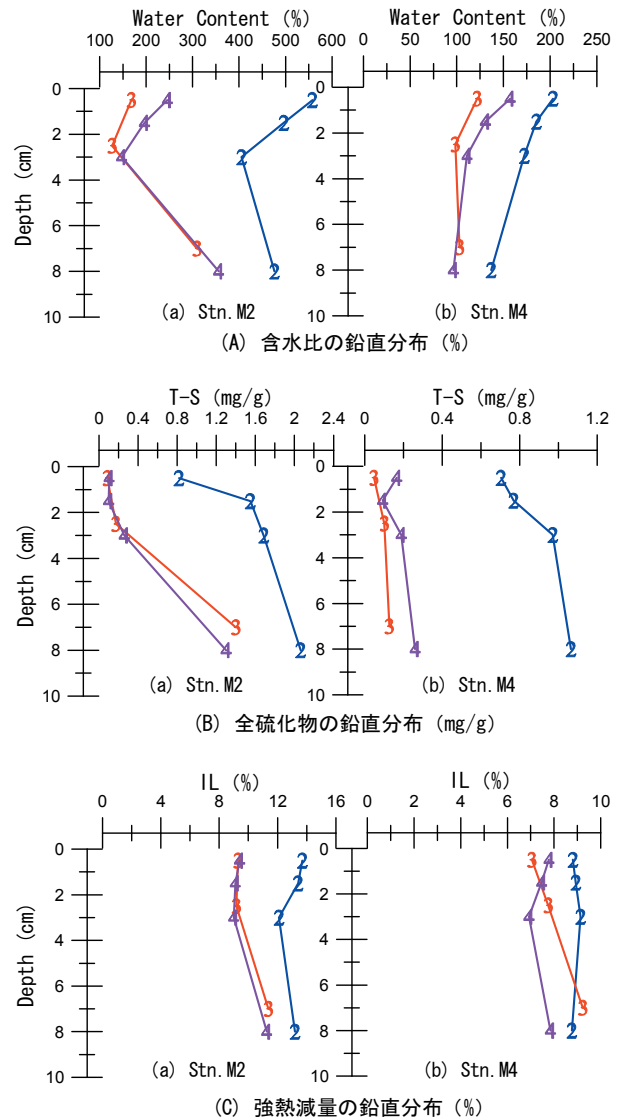
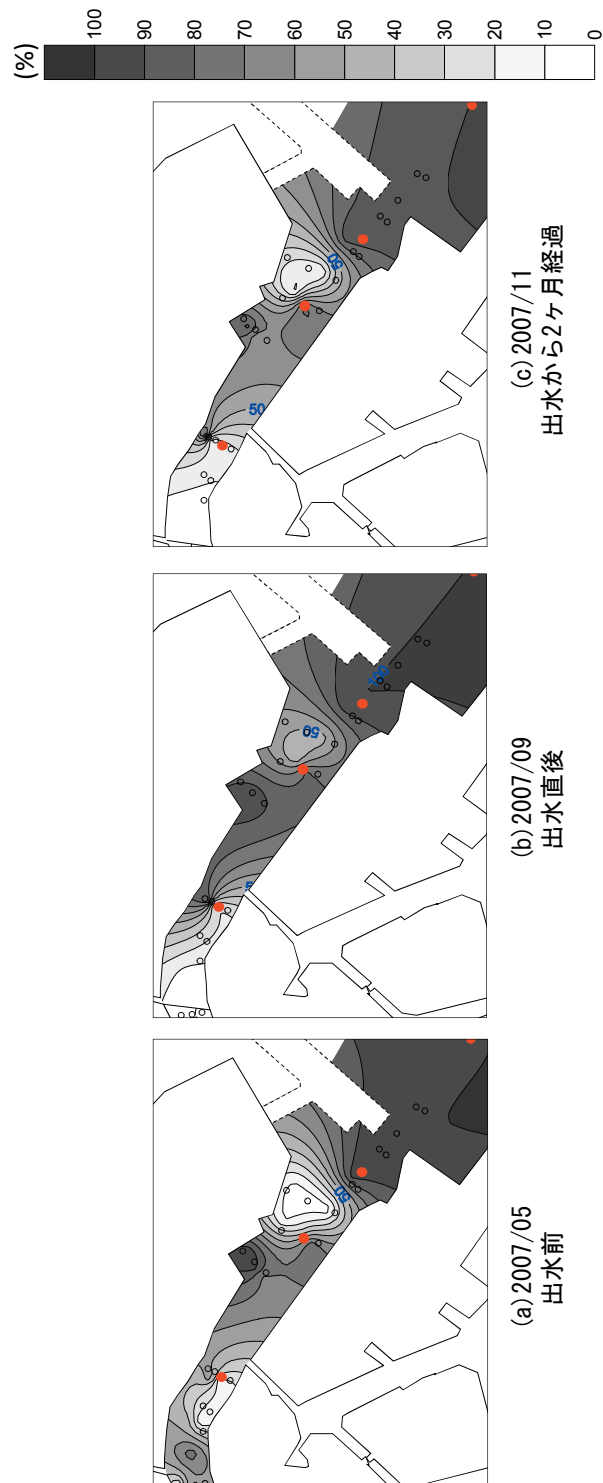


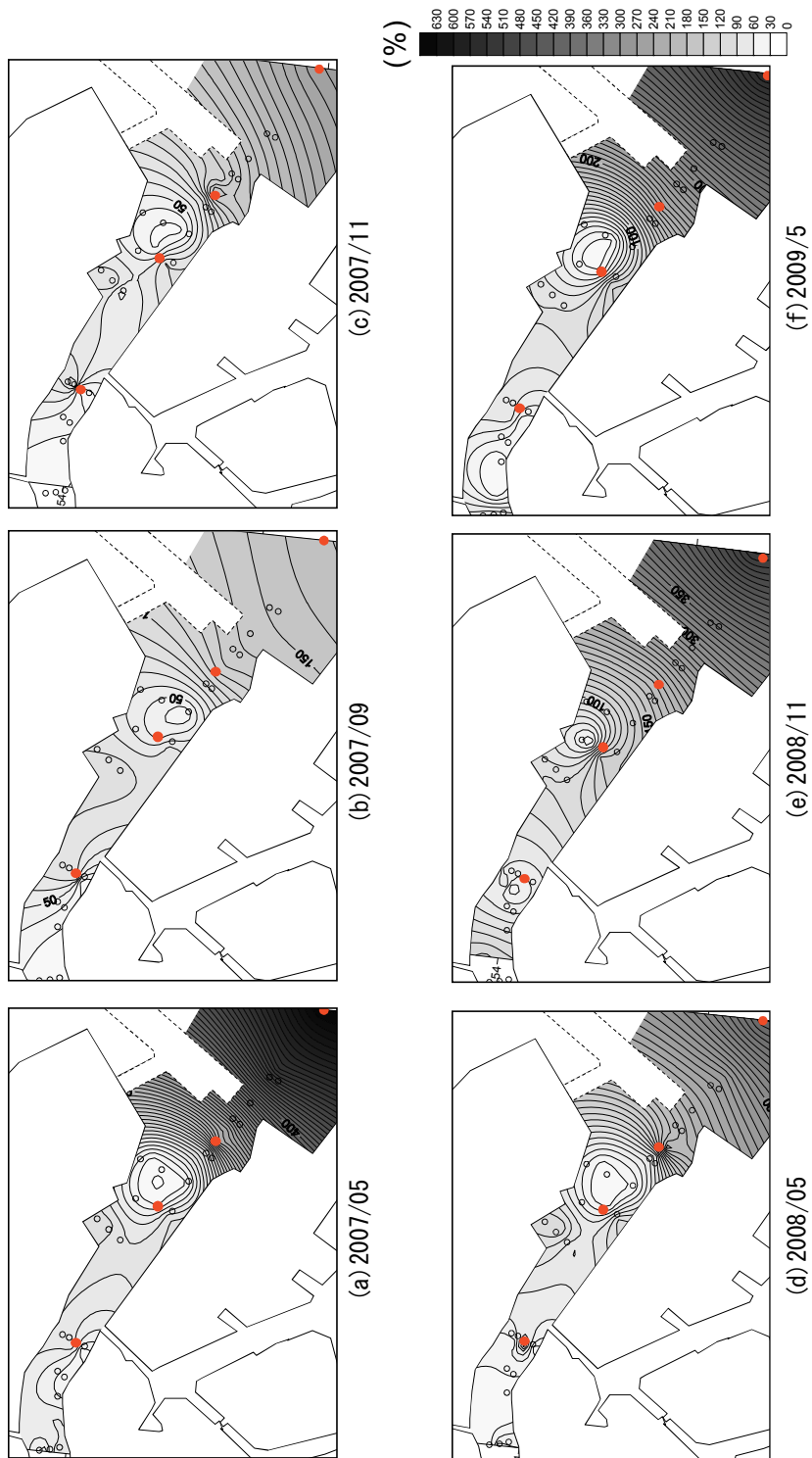
図-2.5 底質分析試験値(含水比, 全硫化物, 強熱減量)の鉛直分布。→:2007年8月, →:2007年9月(大出水後), →:2007年11月。

大出水時に底質粒径の細粒化と大きな含水比及び強熱減量の低下が発生した(図-2.3)。採取した底質コアサンプルの観察からは, 出水前(2007/8/21)に採取した底質コアサンプルの表層(0-1cm層)は極めて流動性の高い軟泥(アクリルコアから押し出したサンプルが原形を保つことができないほどの流動状態)であったのに対し, 大出水約2週間後(2007/9/21)には相対的に流動性が低く半ば自立する状態に変化したなど出水前後の底質性状の違いも確認された。



(A) 含泥率の平面分布

図-2.6(A) 大出水前後の底質平面分布
(2007年5月~2007年11月までの含泥率(シルト・粘土分率)平面分布)



(B) 含水比の平面分布

図-2.6(B) 大出水前後の底質平面分布
(2007年5月~2009年5月までの含水比平面分布)

図-2.4には、河口沖 (Stn. M2)における大出水前後の表層 0-1cm 層の粒径分布と田園調布堰 (河口から 13km 上流地点)における浮遊土砂計測から得られた粒径分布 (二瓶ら, 2008)と比較したものを示す。これを見ると、河口沖底質の中央粒径は、大出水前 (2007/08)には、0.012mm であったのに対して、大出水後 (2007/09)には、0.0097mm と細粒化しており、出水後の中央粒径は田園調布堰において大出水後に観測された中央粒径 (約 0.009mm) と良く一致している。二瓶ら(2009)は、本大出水時に、多摩川から東京湾に高濃度な微細土砂成分が長期間流入したことを指摘しており、河口沖の大出水時の底質粒径の細粒化は大出水時に多摩川から流入した細粒土砂成分が主な要因と推定され、河口沖では大出水前の高含水比で有機物を多量に含むいわゆるヘドロ状の底質に多摩川から大量に流出した有機物含有量の低い細粒土砂が堆積したことで底質の細粒化、含水比・強熱減量の低下が発生したと考えられる。

なお、大出水により大きく変化した底質は、その後、含水比、強熱減量を中心に緩やかに増加し、約 2 年をかけて大出水前の状態に回復した (図-2.3)。

一方、河口部 (Stn. M4)については、河口沖 (Stn. M2)と比べ変動は小さかったものの、同様に大出水後の底質粒径の細粒化、含水比ならびに強熱減量の低下とその後の緩やかに回復する傾向が見られた。河口部 (Stn. M4)では、大出水前の底質の含水比、強熱減量が河口沖 (Stn. M2)より低いレベルであったため大出水による両者の変化の大きさが相対的に小さくなったことが考えられる。

以上の結果から、河口沖 (Stn. M2)、河口部 (Stn. M4)の長期変動特性として、2007 年 9 月に発生した大出水により底質粒径が細粒化したこと、含水比・強熱減量が低下すること、その回復には、2 年程度を要すること、大出水に伴う変化は、河口沖から河口部へ向かうにつれて変動幅が小さくなる傾向があることがわかる。

2.3.2 大出水前後の時空間変動特性

(1)底質の鉛直分布特性

図-2.5には、大出水前(2007/8)、大出水直後(2007/9)、大出水後(2007/11)の 3 時期について含水比、全硫化物、強熱減量の鉛直分布を示す。これを見ると、河口沖 (Stn. M2)では、大出水前に観測層全体で含水比、全硫化物濃度、強熱減量が高い状態であったものが、大出水後には表層を中心に含水比、全硫化物、強熱減量ともに低下、鉛直勾配を有した分布形となっており、観測最下層の値

は大出水前の値に近づいている。これらの傾向は、河川から流出したばかりのフレッシュな細粒土砂が観測層の厚さスケール (10cm 程度)で、大出水前に分布していた底質と混合しながら堆積したことを示唆している。

河口部についても、大出水前後で含水比、全硫化物濃度、強熱減量が低下しており (大出水直後の強熱減量を除く)、フレッシュな細粒土砂の堆積が推測されるが、変化は観測層全体で同程度の大きさで生じており、観測最下層で大出水前の値に近づく傾向は顕著でない。これは、河口部においては、観測層厚以上のスケールで大出水前後の底質に変化が生じたことを示すものと考えられる。

(2)底質の平面分布構造

大出水による平面的な底質変化を把握するために、底質調査を行った全 28 地点の分析値をもとに、大出水前 (2007/8)、大出水直後(2007/9)、大出水後(2007/11 または 2009/5)の 3 時期に着目し含泥率、含水比について底質平面分布の比較を行った (図-2.6)。

含泥率 (図-2.6(A))については、大出水前には低含泥率であった河口干潟 (Stn. M8)、河口浅場 (Stn. M6)が、出水後には近傍地点を含む一帯で高含泥状態になっている。それ以外のエリアにおいても、含泥率が様に上昇しており、出水により河口上流干潟から河口沖までの一帯で細粒化したことが空間的にも示された。

なお、大出水後に見られた細粒化 (図-2.6(A), (b))は、わずか 2 ヶ月後の 11 月観測時(図-2.6(A), (c))には解消されており、大出水後の波、流れや季節変動などの作用により、元の底質性状に回復したものと推察される。

また、含水比 (図-2.6(B))については、河口部から沖合に見られた 300%を超える高含水比の分布は大出水後には見られなくなり、河口部から沖合海域の全域において、一様に 200%以下となる低含水比状態となっていた (図-2.6(B), (b))。その後、東京湾沖側から多摩川河口部側にかけて緩やかに含水比が上昇し大出水から約 2 年後には、出水前の高含水比の分布に回復している (図-2.6(B), (f))。

これらのことから、大出水によるインパクトは広域に及んでいるものの、河道内の浅場、干潟では、数ヶ月程度で回復し、沖合のエリアでは、回復までに 2 年程度を要することが空間的にも確認された。

2-4. 結語

多摩川河口周辺域における底質環境の時空間変動の特性を把握することを目的として、2.5 カ年に及び定期的に採取された底質コアサンプルの情報をもとに解析を行った。

本研究により得られた結果は、以下のとおりである。

- (1) 多摩川河口沖・河口部では、大出水時に急激な底質変化が生じその回復には2年程度を要する。
- (2) 多摩川河口沖において大出水時に生じた底質粒径の細粒化、含水比、強熱減量の低下は、多摩川から大量に流出した有機物含有量の低い細粒土砂が堆積したことで発生したと考えられる。
- (3) 河口上流干潟では、夏季に細粒化、冬季に粗粒化する明瞭な季節変動が見られ、大出水の影響により生じた表層底質の変化は比較的短期間に回復する。

参考文献

- 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所(2007)：平成19年9月台風9号出水概要－多摩川・鶴見側・相模川一，第2報，平成19年9月10日作成，pp. 1-43.
- 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所羽田周辺水域環境調査研究委員会(2007)：羽田周辺水域環境調査研究の取組み，pp. 1-8.
- 多摩川誌編集委員会，建設省関東地方建設局京浜工事事務所(1986)：「多摩川誌」，国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所ホームページ，http://www.keihin.ktr.mlit.go.jp/tama/04siraberu/tama_tosyo/tamagawashi/topindex.htm
- 中川康之・有路隆一・松坂省一・諸星一信・八木宏・灘岡和夫・田中晋(2008)：東京湾多摩川河口沖における底泥の巻き上げに関する現地観測，海岸工学論文集，第55巻，pp. 516-520.
- 中川康之・有路隆一・灘岡和夫・八木宏・下迫健一郎・白井一洋(2010)：東京湾羽田沖での現地観測に基づく台風来襲時における底泥の侵食・堆積量の評価，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.66，No.1
- 二瓶泰雄・坂井文子・重田京助・灘岡和夫・八木宏・諸星一信・鈴木信昭・松坂省一・有路隆一・峯浩二(2008)：2007年台風9号出水時における多摩川の土砂・栄養塩・有機物負荷特性，河川技術論文集，第14巻，pp. 473-478.
- 二瓶泰雄・滝岡健太郎・坂井文子・重田京助(2009)：大規模出水が東京湾の水質環境に及ぼす影響，土木学会論文集 B2(海岸工学)，vol.B2-65，No.1，2009，pp. 1016-1020.
- 八木宏・Tanuspong POKAVANICH・灘岡和夫・有路隆一・古土井健・諸星一信・森重輝政・小林聡(2009)：東京湾多摩川河口部の流動構造について，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.65，No.1，pp. 981-985.
- A. Palanques, J. Guillén, P. Puig, X. Durrieu de Madron(2008): Storm-driven shelf-to-canyon suspended sediment transport at the southwestern Gulf of Lion, *Continental Shelf Research*, 28, pp.1947-1956.
- Jorge Guillén, F. Bourrin, A. Palanques, X. Durrieu de Madron, P. Puig, R. Buscail(2006): Sediment dynamics during wet and dry storm events on the Tet inner shelf (SW Gulf of Lions), *Marine Geology*, 234, pp.129-142.
- Jorge Guillén, Jose A. Jiménez, Albert Palanques, Pere Puig, Vicens Gracia(2005): Bottom Sediment Variability in the Active Layer of the Inner Shelf off the Ebro Delta, *Journal of Coastal Research*, Vol.21, No.3, pp. 482-496.
- Midori Kawabe and Masaki Kawabe(1997): Factors determining chemical oxygen demand in Tokyo Bay, *Journal of Oceanography*, vol.53, pp.443-453.
- N. Ogawa and N. Ogura(1997): Dynamics of particulate organic matter in the Tamagawa estuary and inner Tokyo Bay, Estuary, *Coastal and shelf Science*, 44, pp.263-273.
- Shejun Fan, Donald J.P. Swift, Peter Traykovski, Samuel Bentley, Jeffry C. Borgeld, Christopher W. Reed, Alan W. Niedoroda(2004)：River flooding, storm resuspension, and even stratigraphy on the northern California shelf: observation compared with simulations, *Marine Geology*, 210, pp.17-41.
- Toshio Furota, Seiichi Watanabe, Toru Watanabe, Seiji Akiyama, and Kyoko Kinoshita(1999): Life history of the Mediterranean green crab, *Carcinus aestuarii* Nardo, in Tokyo Bay, Japan, *Crustacean Research*, 28, pp.5-15.

3. 内湾河口干潟および浅場における底質環境の季節変動特性

3.1 緒論

一般に、河口干潟、浅場の底質環境は、様々な物理・生物過程が生じている場であり、相互に作用し合って成立している。河川上流から定常的に供給される微細土砂の堆積により、干潟浅場の地形・底質は形成・維持されており（たとえば、末次ら, 2002 ; Fox *et al.* 2004）、河川水は栄養塩類、有機物の供給を行い生物生産に寄与する（たとえば、栗原, 1996 ; Lamb *et al.* 2006）。さらに、河口域は汽水環境となっており、淡水と海水が混じり合う場であり、潮汐、波浪などの外力を強く受ける場所であるとともに、非定常な出水イベント等による影響を強く受ける場（Allison *et al.* 2000 ; Geyer *et al.* 2000 ; 中川, 2002 ; 灘岡, 2005）でもある。さらに、干潟・浅場を住処にする底生生物の生息活動による生物攪乱を受ける（栗原, 1998 ; Nilsson *et al.* 2000 ; Rosenberg, 2001）など複雑であり、そこでの底質環境の変動実態は十分に把握されているとは言えない。

そこで、本章では、多摩川河口域における地形、流量、底質、水質、流動などの物理的特徴と底生生物群集の種類数、個体数、湿重量の生物的特徴から、多摩川河口干潟において捉えられた底質粒径、含水比等の底質環境の季節変動（第2章）の要因を把握することを試みた。

3.2 調査概要

3.2.1 調査対象水域

調査地点は、多摩川河口部の右岸に広がる河口干潟部（Stn.M8：水深約1.2m）を選定した（図-3.1）。この地点は、干潟部ではあるものの、干潮時に干上がる泥質な平地（いわゆる泥干潟）と多摩川の滞筋の斜面付近に位置する場所であるため、大潮の最干潮時においても干出しない地点となっている。干出する干潟部ではヤマトシジミ、カワザンショウガイ、チゴガニなどの干潟特有の豊かな生態系が見られることから、春季の大潮期には市民団体による底生生物観察調査やバードウォッチングなどが行われている場所である。また、河道内においては滞筋を中心に、漁船等の航路として利用されている。さらに、この地点（Stn.M8）より約0.4km上流左岸には、民間石油会社の栈橋がありタンカー船が航路としても利用しており（2010年移設）、河道内としては、航行船舶の往来が比較的多いエリアである。なお、このエリアは数年に一度程度の航路浚渫が実施されており土砂が堆積しやすい環境である（末次ら, 2002）といえる。

調査は、図-3.1に示すStn.M8地点において、2006年から2011年までの約5年間に亘り四季毎を基本として調査を実施している。なお、出水イベント等が発生した場合には、その変動を押さえることを目的として、イベント直後に可能な限り速やかに追加調査を実施している。

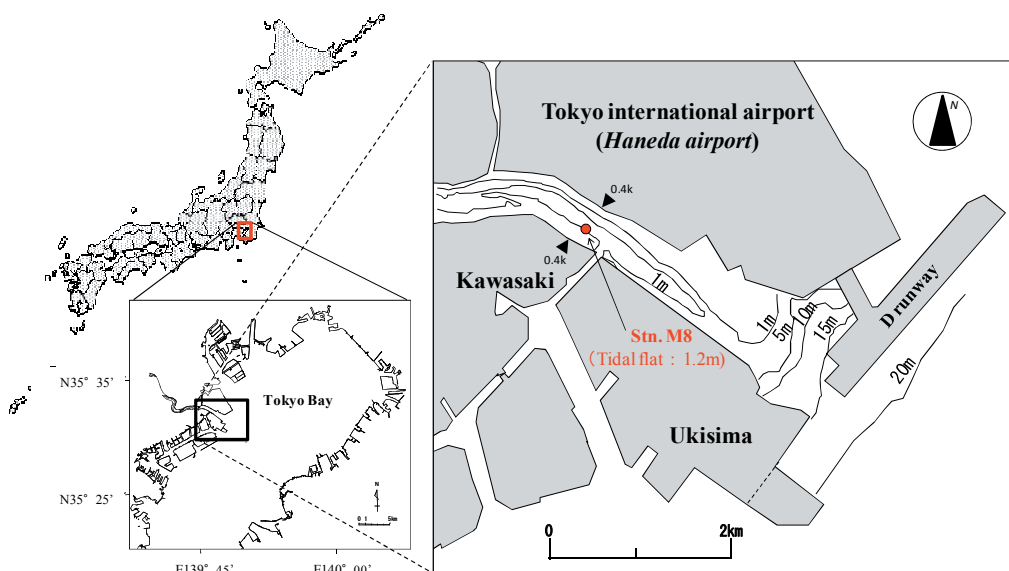


図-3.1 調査対象地点（Stn.M8：多摩川河口干潟部，右岸側水深約1.2m地点，キロ杭0.4k断面）

3.2.2 地形断面計測

多摩川河口域の地形断面を把握するために、Stn.M8断面（多摩川河川管理杭 0.4K 地点）において地形計測を実施した。計測は季節変動特性を把握できるように、2006、2007年には四季毎（6月、8月、10月、1月）に小潮期を狙って実施している。なお、2007年9月には大規模な出水が発生したため、出水直後に追加で計測を実施している。さらに、2008年から2010年までは、春季と夏季の2時期の小潮期に調査を実施している。

計測にあたっては、船舶による測量（シングルビーム測深器を用いた測量）と陸上測量（トータルステーションを用いた基準点測量）を組み合わせで行われた。

3.2.3 底質コアサンプリング調査

底質環境の時系列変動特性を把握することを目的に、アクリルコア（φ10mm、L=約30cm）を用いた底泥柱状採泥を行った。採取した試料は、表層から、0-1cm、1-2cm、2-4cm、4-10cmの4層に鉛直分取され、分取直後に泥色、性状、混入物などの目視観察を行っている。また、分取時には、底質の流動、自立状態を記録するために分取層ごとに写真撮影している。なお、分取したサンプルは試験室に持ち込まれ、粒度分析、含水比、強熱減量試験などに供された。

3.2.4 定点連続観測

調査地点における時系列的な水質変動と流動構造を把握することを目的として、約1ヶ月間にわたる定点連続観測を実施した。実施時期は、季節変化を把握するために冬季（2006年2月、2007年3月）と夏季（2006年8月、2007年8月）の2カ年、2時期に実施した。この時期において自記式計測器を使用して、光学式濁度計（Compact-CTW、JFEアドバンテック社製）、小型メモリー流速計（Compact-EM、JFEアドバンテック社製）、水圧式メモリー波高計（Compact-WH、JFEアドバンテック社製）を設置してクロロフィル a、濁度、流向流速、波高などについて連続的に観測を実施した。なお、調査期間中における多摩川流量データについては、東京理科大学二瓶泰雄准教授より提供を受けた。

3.2.5 底生生物調査

調査は、季節変化を把握することを目的として、2006年3月（冬季）、5月（春季）、7月（夏季）、10月（秋季）に、底質コアサンプリング調査地点と同地点において実施された。採取方法としては、アクリルコアを用いて底泥（深さ30cm、0.1m²）を3回採取し、個別に1mmのふ

るいでふるった後に中性ホルマリンで固定した。採取した試料は、1mm目のふるいに残ったサンプルをホルマリン固定した。生物同定は、東邦大学東京湾生態系研究センターにおいて、甲殻類を駒井智幸氏（千葉県立中央博物館）、軟体動物を黒住耐二氏（千葉県立中央博物館）、多毛類とその他の動物を西栄二郎氏（横浜国立大学）の指導・監修のもとで行われた。

3.3 結果と考察

3.3.1 河口干潟における地形変動特性

多摩川河口域における地形変化に関する既往研究（末次ら、2002）では、本研究対象地点（Stn. M8）の約0.6km上流地点における多摩川の測量資料と浚渫資料より、8年間で1~2mの堆積量を示している。このことは、多摩川河口域における経年的な土砂動態特性として、河床の土砂変動量が大きく、堆積しやすい傾向にある場所であることを示している。

本検討では、経年的な河床変動特性を踏まえつつ、季節変動特性を把握することを目的として地形断面計測を行った。Stn.M8近傍断面（多摩川河川管理キロ杭 0.4K 地点）において実施した地形計測結果を図-3.2に、拡大図を図-3.3に示す。

多摩川河口干潟部における地形断面的な特徴としては、滞筋が左岸側（東京都側）に寄っており、水深は最深部でも(A.P.)5m程度と比較的浅い。また、右岸側（川崎市側）では斜面途中に小段を有する緩勾配地形となっていることが特徴的であり、左岸側では対照的に比較的勾配のきつい一様な断面となっている。

調査期間の2006年から2010年までの約4年間における地形断面変動傾向としては、右岸側で変動幅が大きく、左岸側で小さい。さらに、調査地点付近の右岸斜面部の干潟エリアに注目すると、約50cm程度の幅を持ちながら地盤高が上下に変動している傾向が見られる。なお、本調査で使用したシングルビーム測深器での地盤計測においては、ビーム照射の入射角、指向角の違いや船体の動揺等により10cm程度の誤差が発生すると考えられるため、図-3.3の河床地盤の変動量を数cm単位で評価できるほどの分解能は有していないことに注意する必要がある。

3.3.2 多摩川流量の時系列変化

次に、河口干潟における地形変動は河川流量に依存していると考えられるため、多摩川における流量変動特性の把握を試みた。多摩川田園調布堰（河口から13km上

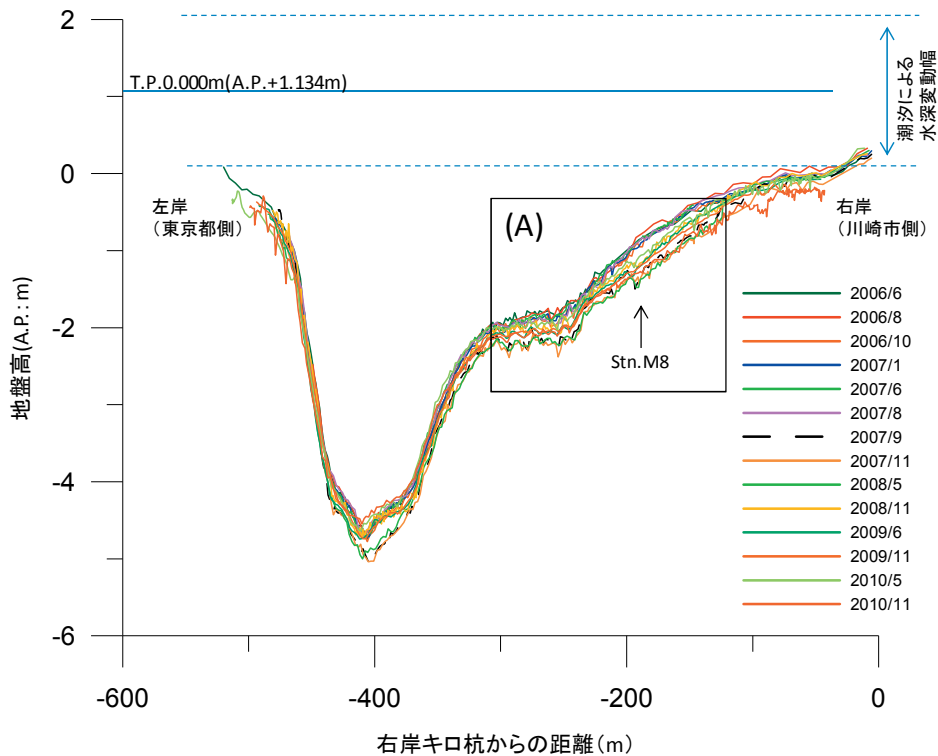


図-3.2 地形断面計測結果 (2006年~2010年)

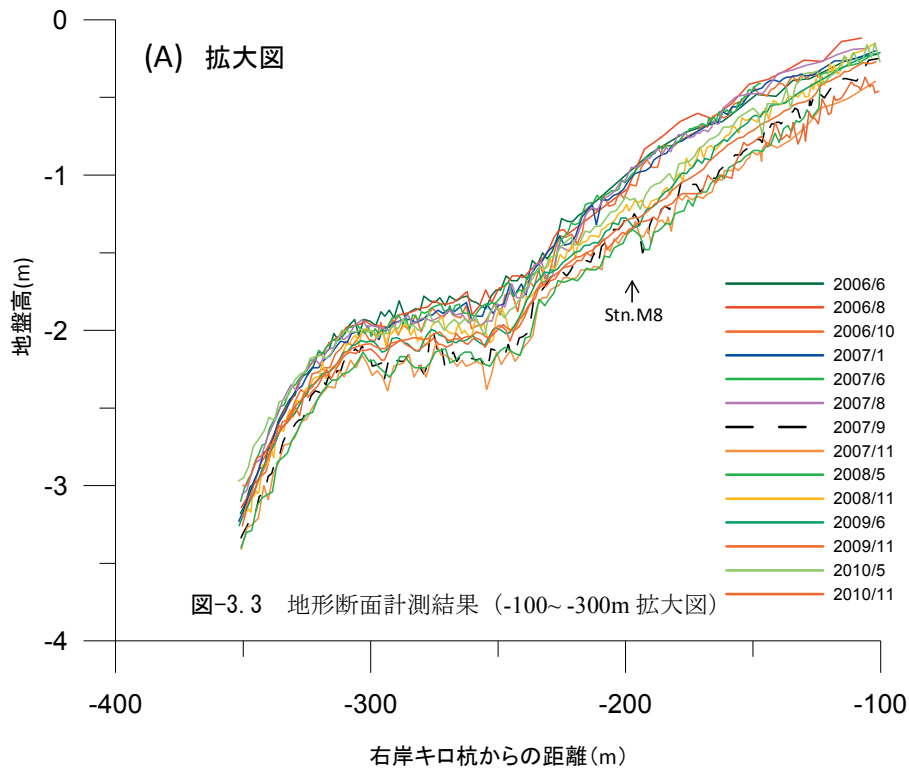
流地点)における時系列変化(図-3.4)と年最大出水の概要(表-3.1)を示す。経年的な変動特性としては、出水期にあたる6月から11月までの流量が多く梅雨時期の流量増加が高頻度に発生しており、さらに台風等の関東地方への接近、通過に伴う出水の影響により流量が著しく増加している。一方、冬季から春季までは相対的に少なく一般的な河川と同じ傾向であることがわかる。なお、調査期間における特徴的な事象としては、第2章で検討した2007年9月に見られた大規模な出水があり、多摩川田園調布堰における総雨量は約280mm、最大流量は約 $3,800\text{m}^3/\text{s}$ となっている。これ以外のイベントとしては、2008年の前線性豪雨があり総雨量は約240mm、最大流量が約 $2,400\text{m}^3/\text{s}$ と規模は大きかったものの、極めて期間の短い瞬間的に発生した出水であった。このほか、2006年、2009年に出水があったものの、総雨量は140~160mm、最大流量は $700\sim 900\text{m}^3/\text{s}$ 程度と規模は小さいものであった。なお、2010年の出水は、観測期間中では最も規模が小さかった。

3.3.3 コアスライス時の目視観察結果

底質コアサンプリングにおいて採取された直後のコア表層写真を写真-3.1に示す。写真撮影場所、撮影時の日

射環境の違いなどがあり水柱の状況が異なっているように見えるものの、表層堆積状況の違いを見取することができる。夏季採取のコア表層状況を観察してみると5~10mm程度の浮泥層が確認できる。さらに、その下層には砂泥質を観察することができ、表層の浮泥層と下層の砂泥質層の境界が明確に見られることが特徴的である。一方、冬季に採取されたコアサンプルの表層状況についてみると、夏季の表層に見られた浮泥層は確認することができず、表層から下層まで一様に砂質が分布している状況が特徴的であった。

次に、採取したコアサンプルの表層0~1cmの押し出し状況を写真-3.2に示す。夏季(写真-3.2(A), (a))には、2008年、2009年の両年ともにシルト粘土分を多く含む高含水比性状で半ば流動状態であることが確認できる。一方、冬季(写真-3.2(B), (b))について見ると、2009年冬季では、コア下側からの押し出しができないほどに砂分が多く、締め固まった状態となっており表層においても夏季に顕著にみられる高含水比状態は見られず、むしろ、全層で砂分が占めていることにより、表層水分が下層に抜けた状態であることが確認できる。なお、翌年の2010年冬季ではややシルト粘土分が多く見られるものの夏季ほどの流動状態は見られない。



このようにコアサンプルを押し出していき、鉛直スライス時に観察された泥色、臭気、性状、混入物等について目視観察した結果を表-3.2に示す。目視観察の特徴としては、表層0~1cmにおける底質性状が、夏季には「砂混じりシルト」であるのに対して、冬季には「シルト混じり砂」であること、貝片や植物片などの混入物が秋季、冬季に多く見られ季節的に異なる傾向がみられることである。下層4~10cmの底質性状について見ても、夏季に「砂混じりシルト」、冬季に「シルト混じり砂」になっていることから表層付近と同様に季節変動による影響が及んでいることが推測される。

3.3.4 底質環境の季節変動特性

次に、調査期間中の中央粒径(図-2.3(a))、含水比(図-2.3(b))、強熱減量(図-2.3(d))の時系列変化、鉛直分布構造を図-3.5に、分取層ごとの粒度分布を図-3.6に示す。2007年9月の大規模出水の直後に、底質粒径の細粒化、含水比・強熱減量の増加が見られたものの、数ヶ月程度で出水前の状態に回復する傾向が見られ、出水の影響は比較的短期間に回復することがわかる。また、その後、2008年8月、2009年9月、10月(年最大規模の出水)に小規模な出水が発生したものの、その影響と思われる明瞭な変化は見られない。むしろ、それよりも特徴的な傾向として、夏季(青矢印:2008年8月、2009年8

月)に底質粒径の細粒化、含水比・強熱減量の増加、冬季(黒矢印:2009年2月、2010年1月)に底質粒径の粗粒化、含水比・強熱減量の低下が顕著な変化としてみられた。

また、鉛直的な粒度分布(図-3.5(a)~(d)、図-3.6)についてみると、中央粒径(図-2.3(a))においては調査時期毎に大きな変動が見られ、表層から10cm程度までの全層において大きく変化している傾向が捉えられた。さらに、夏季と秋季においては、砂分とシルト粘土分が半々で分布しているのに対して、冬季については、砂分の占める割合が大きくなる傾向が見られ、調査時期ごとに鉛直的に大きく変動していることがわかる。

3.3.5 水質・流速の時系列変動特性

河口干潟地点(Stn.M8)での流動場の変化特性を把握することを目的として、波・流れ、水質の時系列データをもとに検討を行った。夏季と冬季において定点連続観

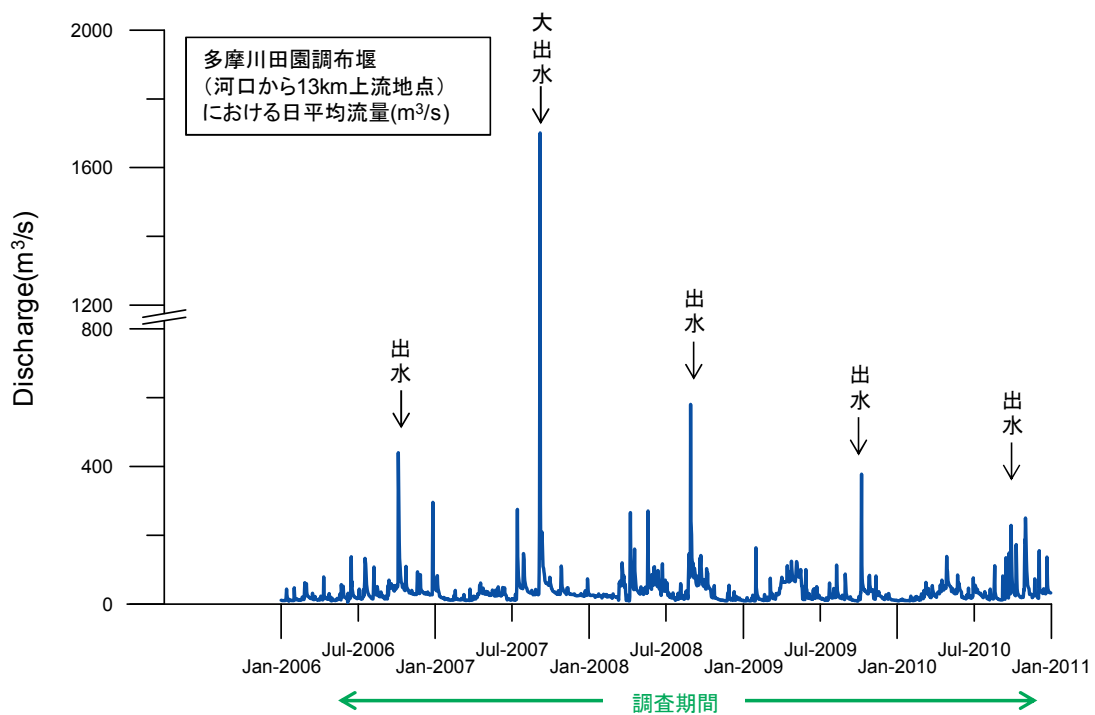


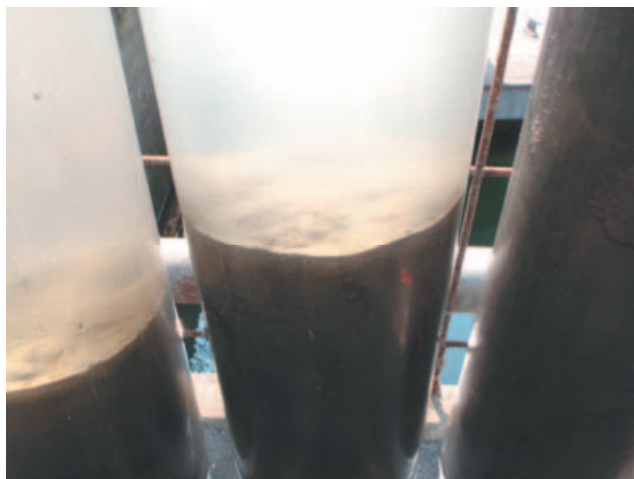
図-3.4 多摩川田園調布堰(13K)における多摩川日平均流量(m³/s)の時系列変化

表-3.1 年最大出水の概要

	2006	2007	2008	2009	2010
発生年月日	10月5日	9月6日	8月29日	10月8日	9月8日
総雨量(mm)	148.8	283.4	237.8	164	81
田園調布堰における最大流量(m ³ /s)	722	3842	2386	872	(229)
出水要因	台風16号	台風7号	前線性豪雨	台風18号	台風9号

(): 日最大流量

※ 二瓶(2010), 羽田周辺水域環境調査研究の取組み～調査研究の中間報告～ 4. 陸域環境負荷 p.90 を一部改変.



(a) 夏季(8月)に採取したコアサンプル



(b) 冬季(2月)に採取したコアサンプル

写真-3.1 コアサンプル表層の目視観察状況写真



(A) 夏季, コアサンプル表層 0-1cm



(B) 冬季, コアサンプル表層 0-1cm

写真-3.2 コアサンプル表層押し出し状況の目視観察状況写真

表-3.2 コアスライス時の目視観察結果

St.	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M8	
調査日	2008/8/7	2008/11/4	2009/2/2	2009/5/16	2009/8/14	2009/10/16	2009/10/10	2010/1/7	
採泥時刻	12:50	13:20	13:02	12:42	12:55	8:12	10:25	13:40	
位置	北緯	35° 32.404'	35° 32.400'	35° 32.407'	35° 32.407'	35° 32.408'	35° 32.408'	35° 32.404'	35° 32.404'
	東経	139° 45.911'	139° 45.910'	139° 45.895'	139° 45.900'	139° 45.899'	139° 45.892'	139° 45.908'	139° 45.901'
天候	快晴	晴	晴	曇	曇	晴	曇	晴	
気温(℃)	30.3	18.0	9.0	16.8	28.4	17.0	17.4	7.8	
水深(m)	1.60	1.73	1.10	1.20	1.80	1.20	2.00	1.20	
潮位(A.P. m)	1.13	1.29	0.57	0.76	1.45	0.74	1.71	1.15	
地盤高(A.P. m)	-0.47	-0.44	-0.53	-0.44	-0.35	-0.46	-0.29	-0.05	
透明度(m)	1.0	1.5	1.1以上	1.2以上	1.8以上	1.00	1.00	1.2以上	
底質試料採取方法	抜き出し	抜き出し	掻き取り	抜き出し	抜き出し	抜き出し	抜き出し	抜き出し	
第1層 0cm ~ 1cm	コア本数*	3	3	3	3	3	3	3	
	ORP(mV)	-21	-168	-14	-93	-94	-148	-105	225
	泥色	オリーブ黒	オリーブ黒	オリーブ黒	オリーブ黒	暗オリーブ灰	オリーブ黒	オリーブ黒	オリーブ黒
	臭気	微磯臭	無臭	無臭	微磯臭	無し	無臭	微磯臭	微磯臭
	底質	砂混じりシルト	シルト混じり砂	シルト混じり砂	シルト混じり砂	砂混じりシルト	砂混じりシルト	砂混じりシルト	シルト混じり砂
	性状	自立	自立	自立	自立	流動	流動	流動	自立
混入物	無し	貝片	二枚貝、貝片	無し	多毛類	植物片	二枚貝、植物片	無し	
第2層 1cm ~ 2cm	コア本数*	3	3	3	3	3	3	3	
	ORP(mV)	-88	-353	-125	-150	-117	-127	-137	-110
	泥色	灰	オリーブ黒	オリーブ黒	黒	暗オリーブ灰	オリーブ黒	暗オリーブ灰	オリーブ黒
	臭気	微磯臭	無臭	無臭	無臭	微磯臭	無臭	微硫化水素臭	微磯臭
	底質	砂混じりシルト	シルト混じり砂	シルト混じり砂	シルト混じり砂	砂混じりシルト	砂混じりシルト	砂混じりシルト	シルト混じり砂
	性状	自立	自立	自立	自立	自立	自立	自立	自立
混入物	無し	貝片	植物片、貝片	無し	多毛類	無し	貝片、植物片	貝片	
第3層 2cm ~ 4cm	コア本数*	2	2	2	2	2	2	2	
	ORP(mV)	-96	-330	-153	-180	-56	-133	-181	-82
	泥色	オリーブ黒	オリーブ黒	黒	オリーブ黒	オリーブ黒	オリーブ黒	暗オリーブ灰	オリーブ黒
	臭気	魚臭	微硫化水素臭	無臭	無臭	微磯臭	無臭	微磯臭	微磯臭
	底質	砂混じりシルト	シルト混じり砂	砂	シルト混じり砂	砂混じりシルト	砂混じりシルト	シルト混じり砂	シルト混じり砂
	性状	自立	自立	自立	自立	自立	自立	自立	自立
混入物	無し	無し	貝片	無し	貝片	無し	貝片	貝片	
第4層 4cm ~ 10cm	コア本数*	1	1	1	1	1	1	1	
	ORP(mV)	-185	-263	-135	-191	10	-116	-139	-159
	泥色	黒	オリーブ黒	黒	オリーブ黒	オリーブ黒	黒	黒	暗オリーブ灰
	臭気	微磯臭	微硫化水素臭	微磯臭	微磯臭	微硫化水素臭	微泥臭	微硫化水素臭	微硫化水素臭
	底質	砂混じりシルト	シルト混じり砂	砂	シルト混じり砂	砂混じりシルト	砂混じりシルト	シルト混じり砂	シルト混じり砂
	性状	自立	自立	自立	自立	自立	自立	自立	自立
混入物	無し	貝殻、貝片	貝片	貝片	貝片	貝片	貝片	貝片	
備考									

*: 試料を得るために必要としたコアの本数

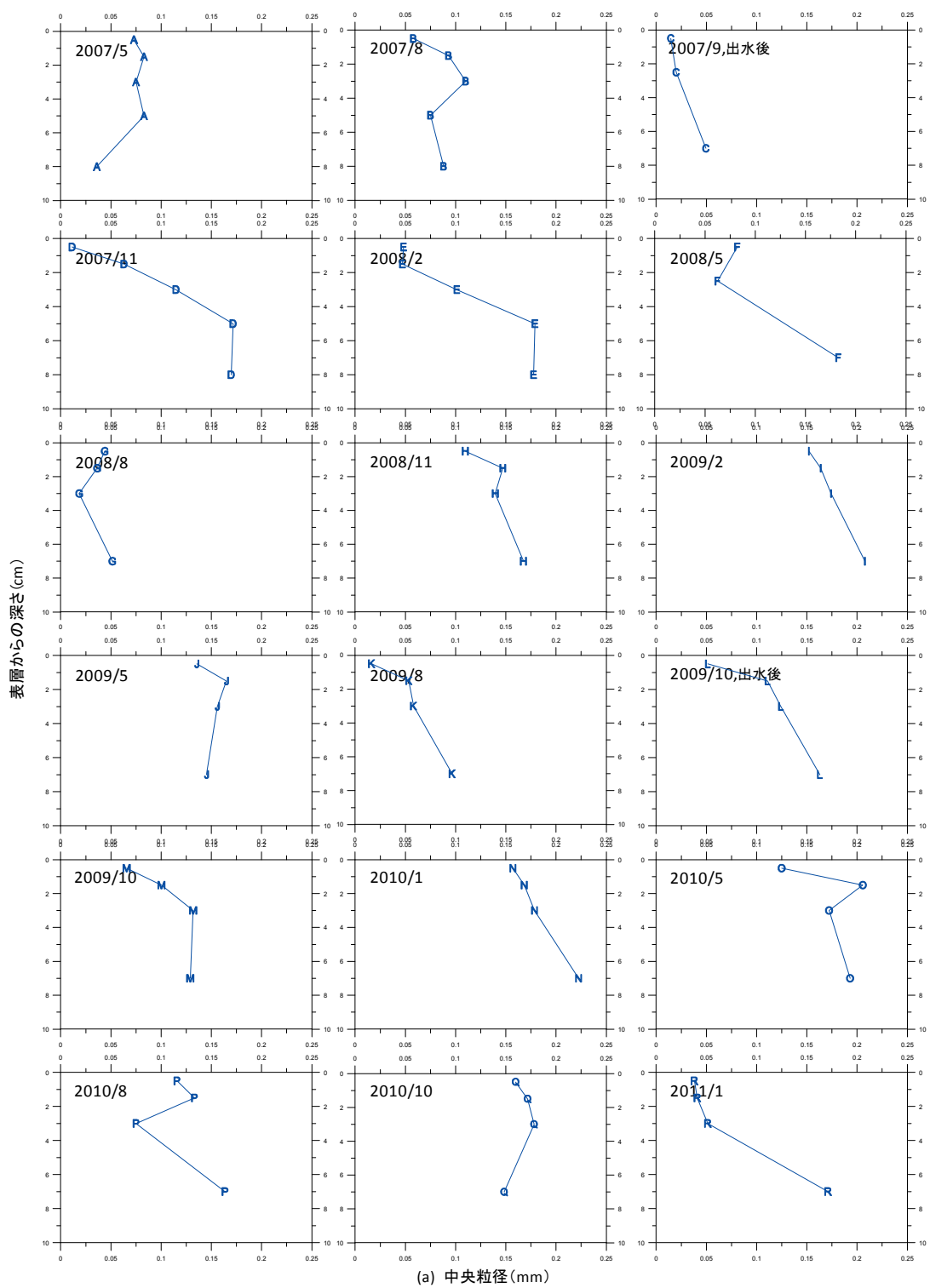


図-3.5(a) Stn.M8 における中央粒径の鉛直分布

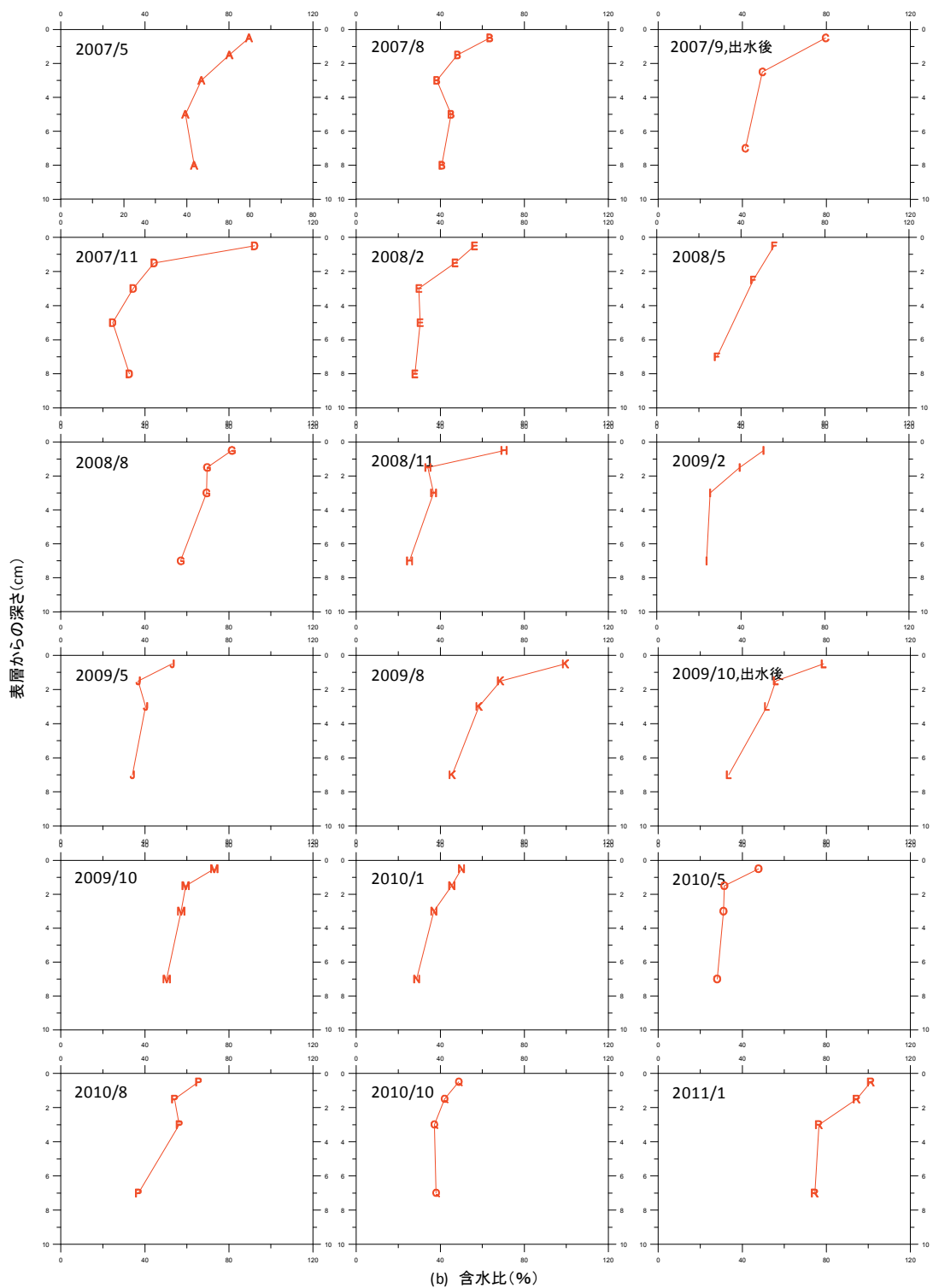


図-3.5(b) Stn.M8における含水比の鉛直分布

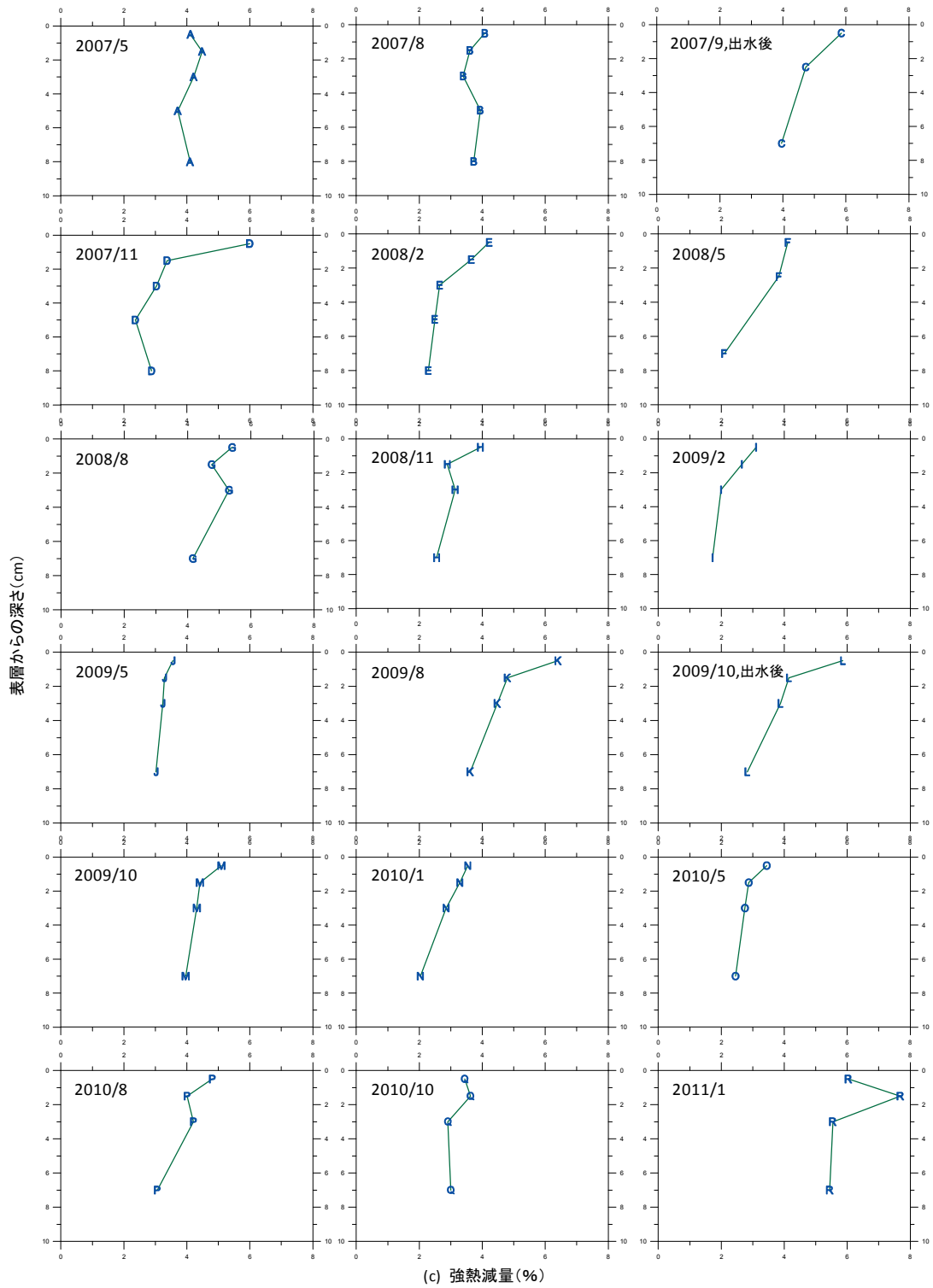


図-3.5(c) Stn.M8 における強熱減量の鉛直分布

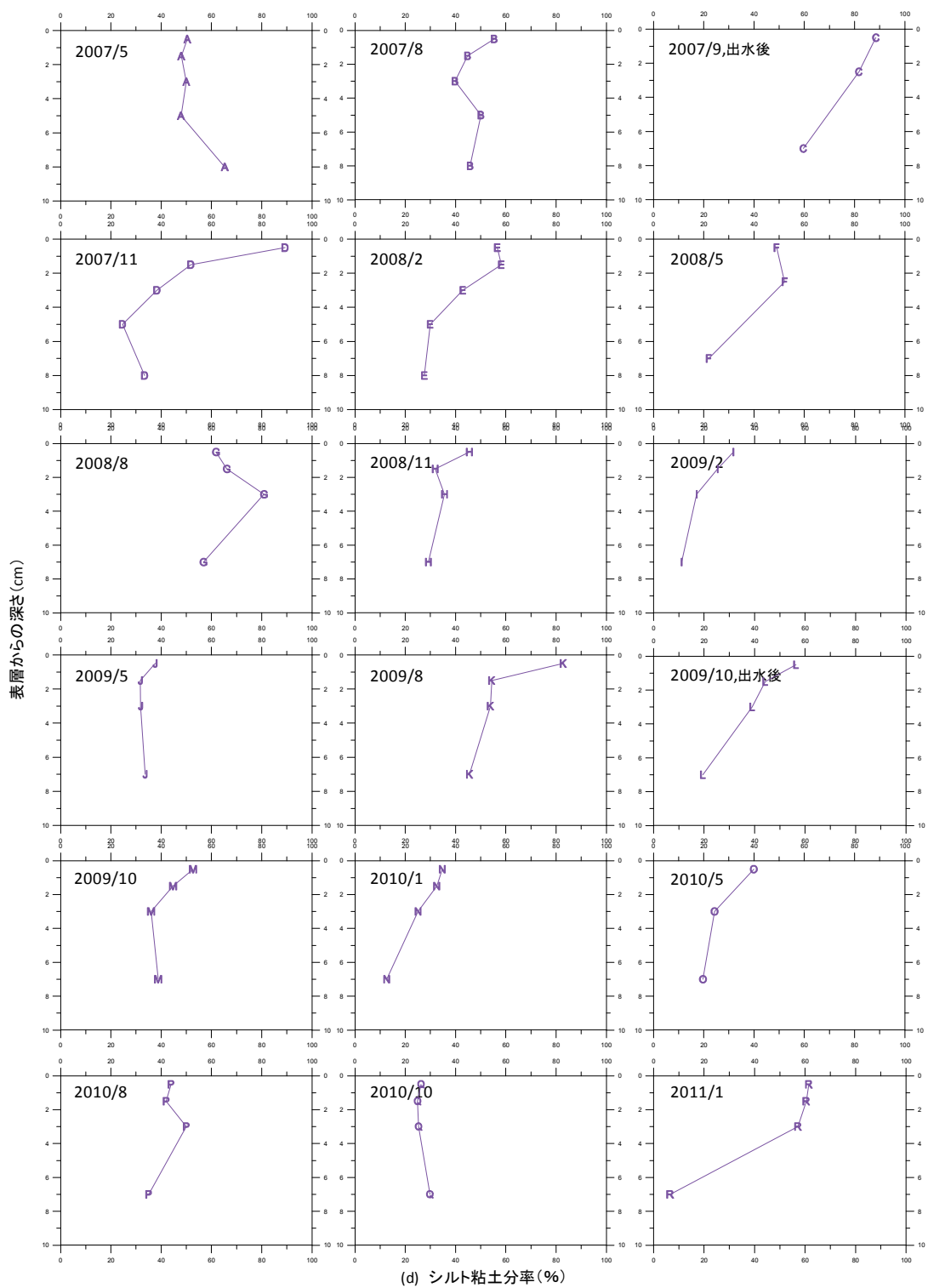


図-3.5 (d) Stn.M8 におけるシルト粘土分率の鉛直分布

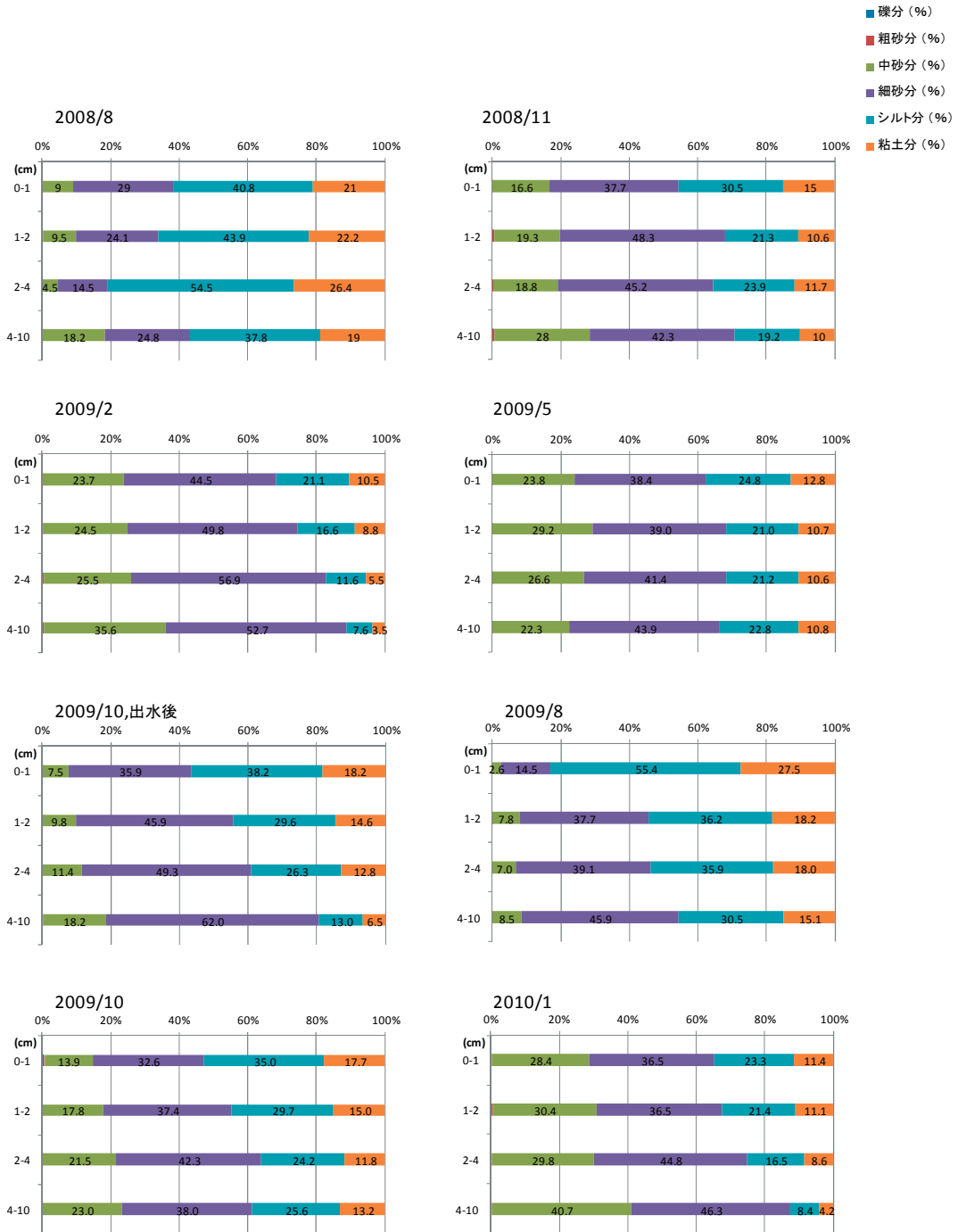


図-3.6 Stn.M8 における分取層毎の粒度分布 (%)

測で取得された絶対流速値 (図-3.7) を示す. 夏季の出水時 (2007 年 9 月大規模出水時. 一部, 欠測.) に急激な流速増加が生じているものの, 定常時は 5~20cm/sec 程度の流速となっている. 冬季について見ても, 夏季の傾向と大きな違いは見られない. つまり, 河口干潟 (Stn.M8) における流動場としての流れの大きさに季節的な違いはほとんど無いことがわかる. さらに, 底泥の挙動に関係する外力を把握するために, 夏季と冬季の底面せん断力を求めた.

まず, 流れによる底面せん断の応力(τ_c)を以下により算出した.

$$\tau_c = \rho U_*^2 \quad (1)$$

ここで τ_c は流れによる底面せん断応力 (N/m^2), ρ は水塊の密度 ($=1025 \text{ kg/m}^3$), U_* は底面摩擦速度 (m/s) を表す.

また, 底面摩擦速度 U_* は以下の式を用いて算出した.

$$u = \left(\frac{1}{\kappa} \ln \frac{y}{k_s} + A_r \right) U_* \quad (2)$$

ここで, u は底面流速 (m/s), κ はカルマン定数 (0.4), y は底面からの距離 (m), k_s は相当粗度 (m) (以下の式で算出した値を用いた), A_r は粗面に用いる対数則分布より 8.5 を用いた.

$$k_s = \left(\frac{0.03}{0.042} \right)^6 \quad (3)$$

一方, 波浪による底面せん断力 τ_w の値は以下の式を用いて算出した.

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho f_w U_b^2 \quad (4)$$

ここで τ_w は波浪による底面せん断応力 (N/m^2), ρ は水塊の密度 ($=1025 \text{ kg/m}^3$), f_w は底面摩擦係数 (底質粒径と波浪の代表的な値を考慮して 0.03 とした), U_b は流速振幅 (微小振幅波理論に基づき以下の式で算出した) を表す.

$$U_b = a \sigma \frac{\cosh k(z+h)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad (5)$$

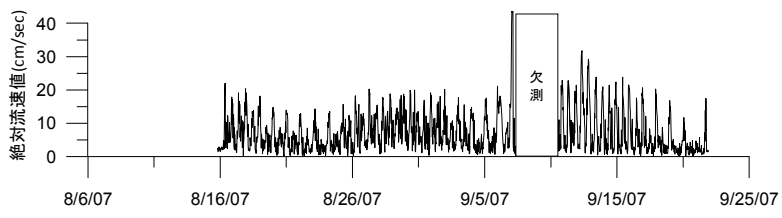
ここで U_b は流速振幅, a は波の振幅 (m) ($a=H/2$: H は波高), σ は角振動数 (s^{-1}) ($\sigma=2\pi/T$: T は周期), k は波数 ($k=2\pi/L$: L 波長), z は水底位置 (m) ($z=-h$: h は水深), x , t はそれぞれ位置, 時刻 (今回は両方とも 0 とした) を表す. 尚, 波数を算定する際に用いる波長 L は以下の分散関係式を用いて繰り返し計算を行った.

$$L = T \sqrt{gh \left(\frac{\tanh 2\pi/L}{2\pi h/L} \right)} \quad (6)$$

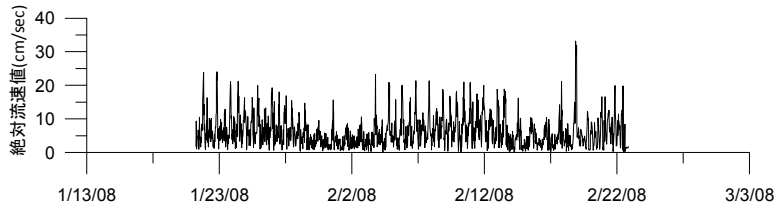
ここで L は波長 (m), T は周期 (s), g は重力加速度 (m/s^2) ($g=9.81$), h は水深 (m) を表す.

流れによる底面せん断応力 (図-3.8(a)), 波浪による底面せん断応力 (図-3.8(b)) について夏季と冬季の時系列変動を比較すると, 夏季の出水時には大きな力が作用しているものの, それ以外の期間については夏季, 冬季の両時期に大きな違いは見られない. すなわち, 夏季・冬季ともに, 河床付近の水塊の動きに伴い河床面に作用する力に大きな差がないことから, 時期の違いによる侵食作用の違いはないことがわかる.

次に, 底泥の堆積量に大きく寄与すると考えられる水柱のクロロフィル a と濁度の時系列変動を図-3.9 に示す. クロロフィル a (図-3.9(a)) についてみると, 夏季に高く冬季に低くなっており季節的な変化が見られ, 夏季には植物プランクトン量が多いことが推察される. また, クロロフィル a の時系列値をもとに日当たりの沈降量を算出し観測期間中の積算量を求め, 強熱減量との関係について調べた (図-3.10). 沈降量の推定にあたっては, クロロフィル a の時系列データを基に, 日当たりの沈降量を算出し, 観測期間中 (30 昼夜) の積算量を求めた. 植物プランクトンの沈降速度は, 細川ら (1982) を参考に, Stn.M8 の夏季における表層 0-1cm の中央粒径が $10\mu\text{m}$ であることから, 15m/day と仮定した. 夏季のクロロフィル a 沈降量は $3,000\sim 4,000\text{mg/m}^2/30\text{day}$ であるのに対して, 冬季は $1,000\sim 2,000 \text{ mg/m}^2/30\text{day}$ と夏季の約半分となっている. さらに, クロロフィル a の沈降量の多い夏季では強熱減量も高い値となっている. すなわち, 冬季に比べて夏季はこれら有機物に由来する堆積物供給量が多いことが考えられる. 濁度 (図-3.9(b)) については,



(a) 夏季(2007/8-9)



(b) 冬季(2008/1-2)

図-3.7 絶対流速値(cm/sec)の時系列変動

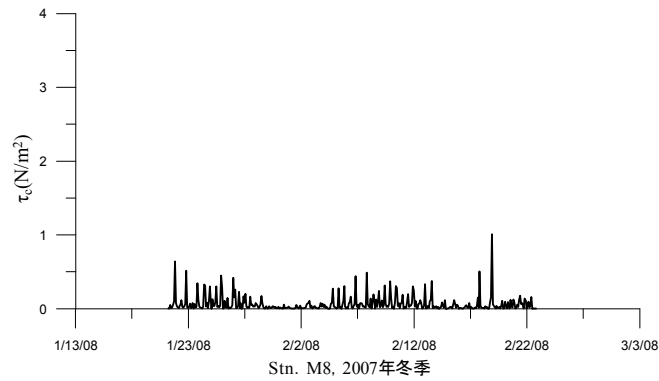
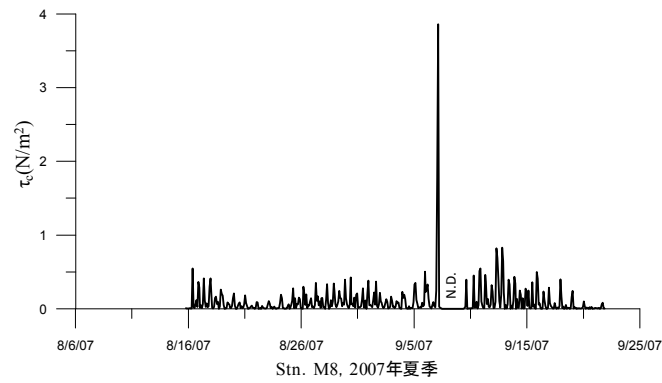


図-3.8 (a) 流れの底面せん断応力(τ_c)の時系列変動

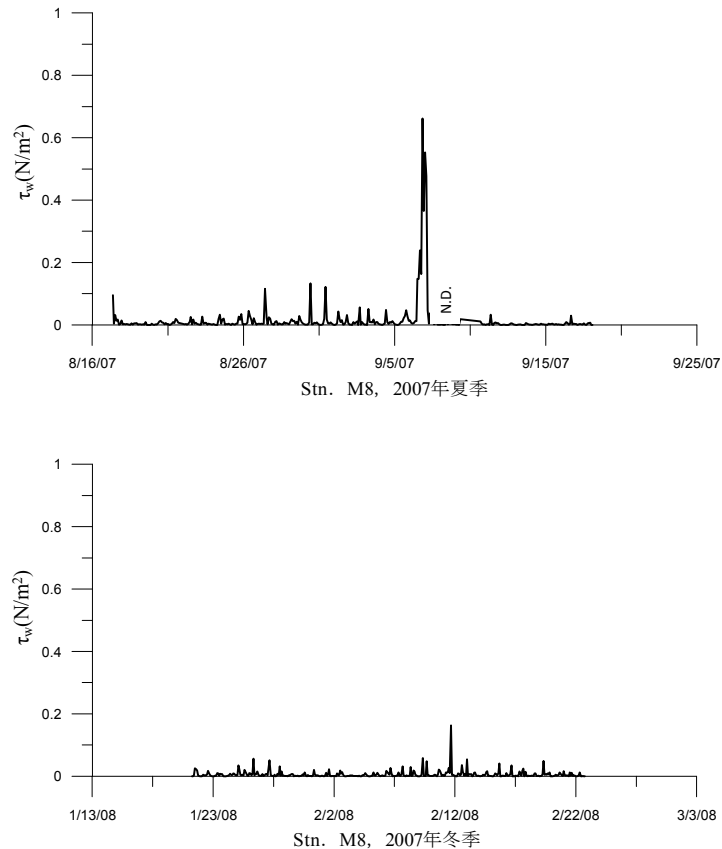


図-3-8(b) 波による底面せん断応力(τ_w)の時系列変動

冬季は比較的安定した 20ppm 程度で推移している様子が観測されている。夏季についても冬季と同様な値をとるものの、台風に伴う出水や風の影響を受けることによって 100ppm を超える大きな濁度の上昇が観測され、イベント時等の非定常時には高濁度水塊が発生する変動幅の大きな場であることがわかった。すなわち、夏季は、冬季に比べて高濃度の濁りが生じ、それら懸濁物が沈降することによる堆積物供給が多い時期であると言える。

以上のことから、夏季と冬季にみられる季節変動は、夏季の流量増加や出水等に伴う上流域からの微細土砂成分の増加や水柱の植物プランクトン量の増大により、冬季と比べて懸濁物質等の供給量が多いために生じると推察される。つまり、流れ場としては、夏季、冬季ともに 20cm/sec 程度の流れが生じているため、常に侵食傾向が大きい場であると考えられるが、夏季には、それを上回る懸濁物質等の供給により堆積が生じるものと考えられる。すなわち、冬季は懸濁物質等の供給が少ないために、堆積が生じないものと推察される。

3.3.6 河床地盤高の季節変動特性

3.3.5 までの検討を踏まえて、地形断面計測データから季節変動特性の把握を試みる。図-3.11 に Stn.M8 地点の地盤高さの時系列変化を示す。さらに、経年的な変化を把握するために、調査年ごとに地盤高の変化を示した(図-3.12(a)~(e))。計測時のデータは、必ずしも Stn.M8 地点を押さえていないため、Stn.M8 地点の横断面方向前後 2m までの計測値を対象とした。なお、検討にあたっては、出水前後の変動に注目した。2007 年 9 月台風 9 号と 2010 年 9 月台風 9 号による出水後の顕著な地盤高の低下がみられる。一方、2008 年 8 月の出水後は、堆積傾向を示しており 2007 年、2010 年とは逆傾向を示している。これは、2007 年の出水が極めて大きく、多摩川では浮遊懸濁物質(SS)が約 6 年分流出した(二瓶ら, 2008) ことなどに起因して、一時的にその後の堆積物供給量に変化があったことが推測されるものの詳細は不明である。2009 年 10 月の出水後にはわずかではあるが地盤高の低下が見られるものの変動幅は少ない。

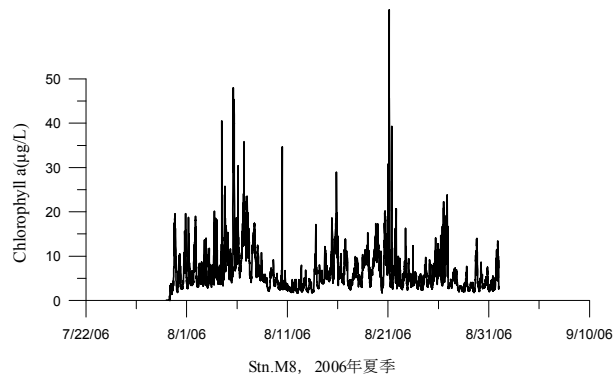
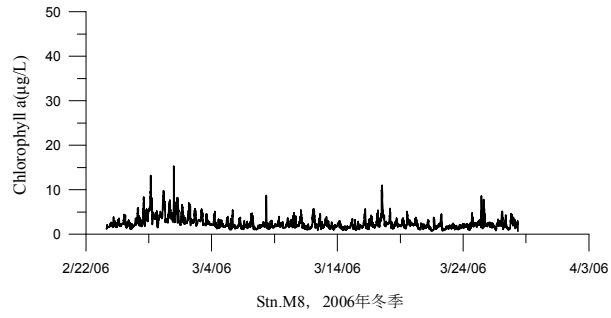


図-3.9(a) Chlorophyll a(µg/L) の時系列変動

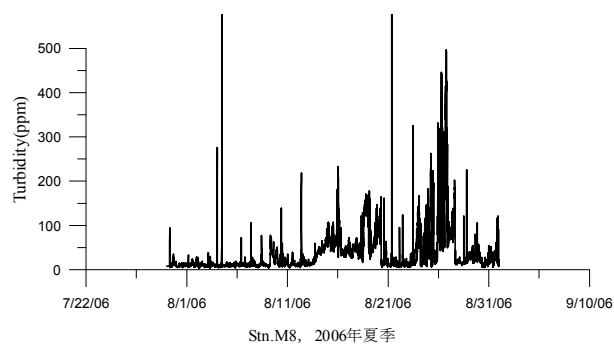
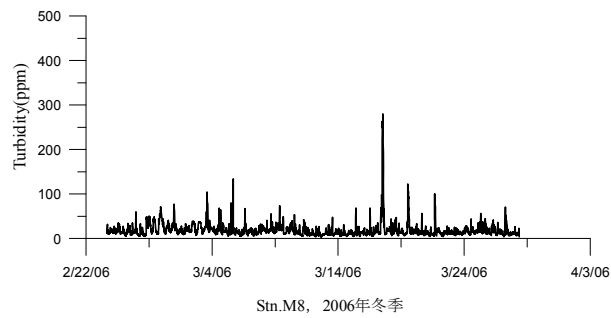


図-3.9(b) 濁度(ppm)の時系列変動

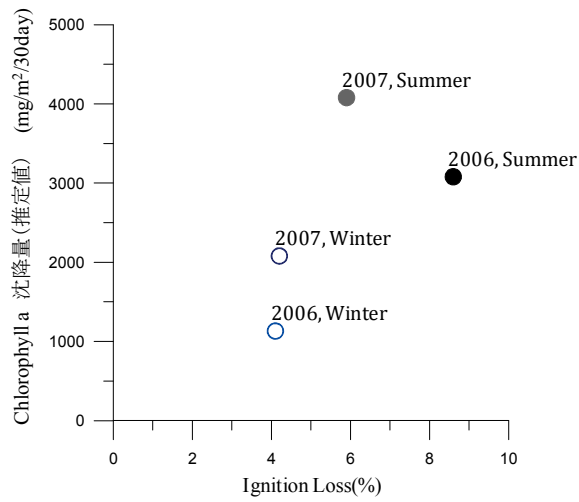


図-3.10 観測期間中におけるクロロフィル a の沈降水量と強熱減量の関係図

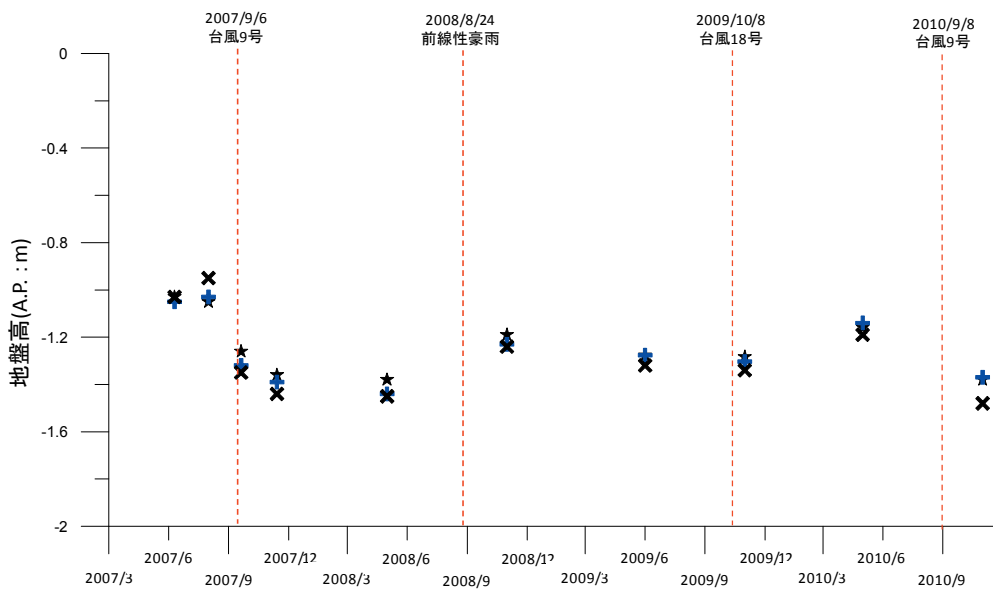


図-3.11 M8 地点の地盤高時系列変化図(M8 近傍断面(右岸キロ杭からの距離：-198~-202m)の3点地盤高をプロット)

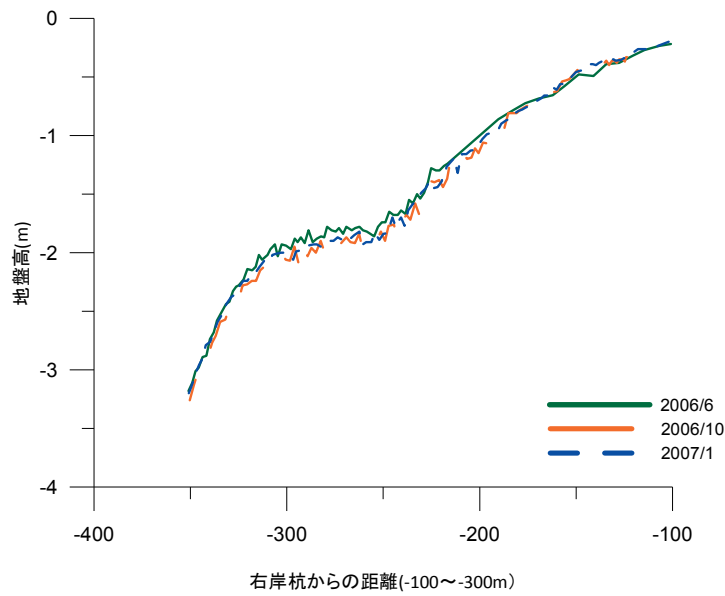


図- 3.12 (a) 地形断面計測結果 (右岸杭からの距離 : -100~-300m)
2006 年春季, 冬季

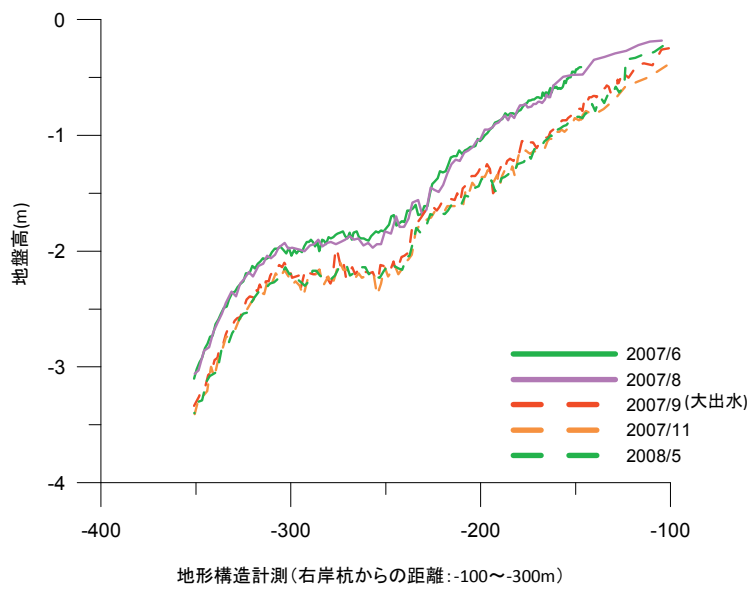


図-3.12 (b) 地形断面計測結果 (右岸杭からの距離 : -100~-300m)

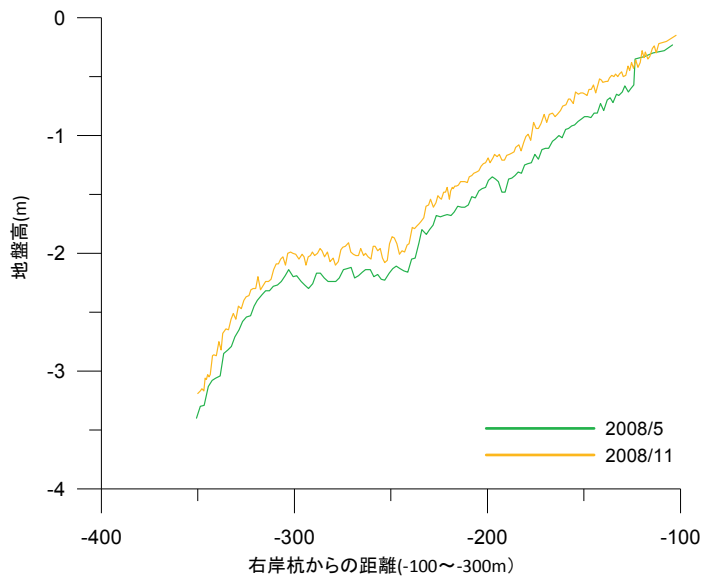


図-3.12(c) 地形断面計測結果（右岸杭からの距離：-100～-300m）
2008年春季・秋季

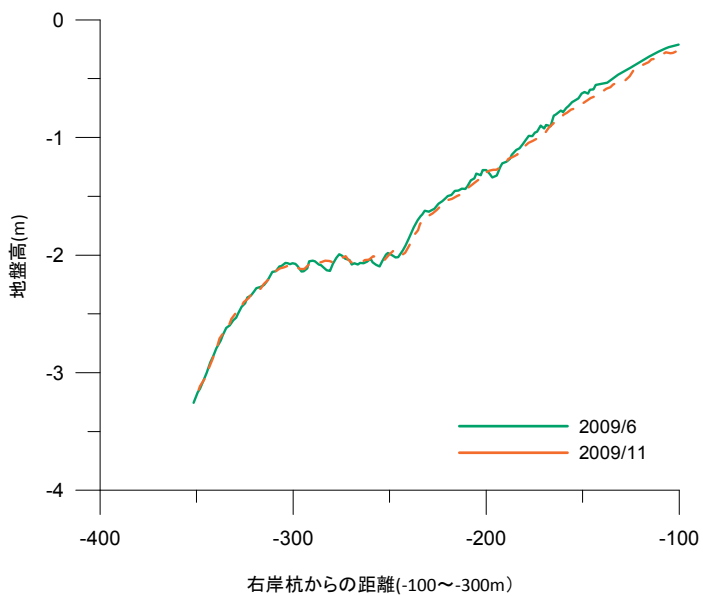


図-3.12(d) 地形断面計測結果（右岸杭からの距離：-100～-300m）

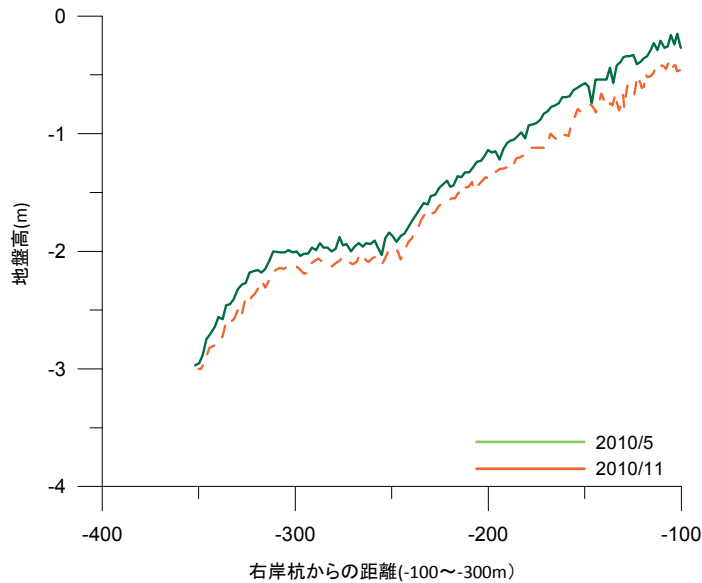


図-3.12(e) 地形断面計測結果（右岸杭からの距離：-100～-300m）
2010年春季・秋季

3.3.7 底質環境と底生生物群集の関係

一般に内湾河口域における干潟、浅場では、底生生物群集は多様であり豊かな生態系が形成されている。底質中には、環形動物、節足動物、軟体動物など多くの底生生物が生息しており（たとえば、栗原ら、1988）、特に、多毛類などの堆積物食者は底質堆積物中の有機物を食べ、糞として排泄することにより底質性状に変化をもたらすことが指摘されている（たとえば、西田ら、2009、菊池、1980）。

Stn.M8 地点における、底生生物群集の季節毎の出現状況を表-3.3 に示す。顕著な特徴としては、秋から春季では種数が少ないものの春から夏にかけて増加していき、夏季に最大の種数となる傾向が見られる。個体数についても、冬季から夏季に増加する傾向が見られるものの、秋季に最大の個体数を示した。これについては、秋季調査の直前に多摩川での小規模な出水が発生していること、秋季に増加した種はイトゴカイであり、その生態学的特徴としては、有機汚濁域内でしばしば、爆発的に個体群を増殖する能力がある（たとえば、堤ら、1993）ことから、出水に伴う水質、底質環境の変化などの要因により一時的に増加したことも考慮する必要がある。種数が最大になった夏季に注目して環形動物の内訳を見ると、夏季にはカギゴカイの個体数の倍増とミズヒキゴ

カイの新規加入が見られる。さらに、イトゴカイは春から夏まで多数の個体数が安定的に確認された。多毛類は、約 930 種（今島、2001）とされており、個々の種の分布や生息場所についての情報が軟体動物などと比べると格段に乏しい（山西ら、2007）ものの、一般に生息場の底泥有機物を摂餌すること、巣穴形成による底泥への酸素供給を増加させる生物攪乱作用（栗原、1998）により有機物の無機化を促進することが指摘されている。さらに、これら堆積物食者である多毛類は、夏季の生物活動の活発化により生息場の底質性状に高含水比化をもたらす（たとえば、Roads *et al.* 1970）と言われている。このことから、夏季の底質高含水化は、堆積物食者の生物活動に伴う一因であることが推察される。さらに、夏季には、節足動物のスナモグリの出現が確認されている。スナモグリの繁殖期は 6~10 月であり、巣穴を形成しそこに落下してくる底生微細藻と底泥表面に沈降する植物プランクトンを餌料としている（玉置ら、2009）。その摂餌活動により、食物以外の不要な底質は巣の外に頻りに排出されることにより生物攪乱が引き起こされる（玉置ら、2009）。その結果、脱窒や有機物分解が促進される（栗原、1988。瀬口ら、2002）。以上のことから、多摩川河口干潟において見られる底質環境の季節変化の一因としては、底生生物群集の生物活動との関係があるものと推察

される。夏季の底生生物群集の増加に伴う摂餌活動の活発化や環形動物多毛類の生物攪乱に伴い底質の高含水比化が促されたことが推察される。

3.4 結語

多摩川河口干潟においては、夏季に底質粒径の細粒化、含水比・強熱減量の上昇、冬季に粗粒化、含水比・強熱減量が低下するという季節変動が見られ、その要因について、多摩川の物理的特性と生物的特性に注目して検討を行った。結果を以下にまとめる。

- (1) 水質計測結果より、夏季にクロロフィル a の増大が見られることから、夏季の底質粒径の細粒化・高有機物化は、水柱のデトリタス等の懸濁物質等の沈降・堆積により生じるものと推察される。
- (2) 秋季以降は、懸濁物供給量が少ないために堆積が減り、河川の流れにより微細土砂成分は流される。
- (3) 多摩川下流における河口干潟部において、以上のサイクルが観測期間中に繰り返し見られた。

参考文献

- 今島実(2001)：環形動物多毛類，生物研究社，pp.542.
- 菊地泰二(1981)：ベントスの働きー生物攪乱を中心にー，沿岸海洋研究ノート，第 18 巻，第 2 号，1981，pp.67-77.
- 菊地永祐・向井宏(1994)：生物かく拌：ベントスによる環境改変(総説)，日本ベントス学会誌，Vol.46，pp.59-79.
- 栗原康編(1998)：河口・沿岸域の生態系とエコテクノロジー，東海大学出版会
- 白旗清伸・吉田浩義・中井智司・細見正明・村上昭彦(2001)：河口域の干潟における脱窒能の評価，水環境学会誌，第 24 号，第 11 号，pp.773-777.
- 末次忠司・藤田光一・諏訪義雄・横山勝英(2002)：沖積河川の河口域における土砂動態と地形・底質変化に関する研究，国総研資料，第 32 号，pp.167.
- 瀬口昌洋・郡山益実・加藤治(2002)：泥質干潟におけるマクロベントスの巣穴形成とその硝化・脱窒過程への影響，水工学論文集，第 46 巻，pp.1169-1174.
- 玉置昭夫・万田敦昌・大橋智志・Sumit Mandal・浜口昌巳(2009)：橘湾および有明海湾口部の砂質干潟に生息するハルマンスナモグリ(十脚甲殻類スナモグリ科)・イボキサゴ(腹足類ニシキウズガイ科)幼生の輸送，沿岸海洋研究第 46 巻，第 2 号，pp.119-126.
- 堤裕昭・門谷茂(1993)：魚類養殖場直下に堆積したヘドロ(有機汚泥)のイトゴカイによる浄化の試み，日本水産学会誌，59(8)，pp.1343-1347.
- 中川康之(1998)：内湾域における泥質物の堆積過程に関する研究，港湾技術研究所報告，第 37 巻，第 4 号，pp.113-133.
- 灘岡和夫(2005)：海域環境からみた陸源負荷の問題，第 13 回ジョイントシンポジウム，海域環境から見た陸域流出の問題とその構造，沿岸環境関連学会連絡協議会，pp.2-5.
- 西田尚史・伊東慎(2009)：Fluid mud の特徴とその地層解析における役割，地質学雑誌，第 115 巻，第 4 号，pp.149-167.
- 二瓶泰雄・坂井文子・重田京助・灘岡和夫・八木宏・諸星一信・鈴木信昭・松坂省一・有路隆一・峯浩二(2008)：2007 年台風 9 号出水時における多摩川の土砂・栄養塩・有機物負荷特性，河川技術論文集，第 14 巻，pp.473-478.
- 風呂田利夫(1991)：東京湾内湾底生動物の生き残りと繁栄，沿岸海洋研究ノート，第 28 巻，第 2 号，pp.160-169.
- 細川恭史・堀江毅・三好英一・加藤道康(1982)：沿岸域におけるけん濁粒子の沈降速度測定法についてー数種の測定法の比較ー，港湾技研資料，433，pp.3-26.
- 八木宏・大森義暢・高橋亜依(2003)：多摩川河口域における流れと懸濁物質輸送特性について，海岸工学論文集，第 50 巻，pp.461-465.
- 横山勝英(2005)：河川の土砂動態が有明海沿岸に及ぼす影響についてー白河と筑後川の事例ー，応用生態工学，8(1)，pp.61-72.
- 横山勝英・山本浩一・一寸木朋也(2006)：筑後川感潮河道における地形・底質の季節変動に関する研究，海岸工学論文集，第 53 巻，pp.471-475.
- 横山勝英・藤田光一(2001)：多摩川感潮域の土砂動態に関する研究，水工学論文集，第 45 巻，pp.937-942.
- Angela L. Lamb, Graham P. Wilson, Melanie J. Leng (2006)：A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}C$ and C/N

rations in organic material, *Earth-Science Reviews*, 75, 29-57.

- Charumas Chareonpanich, Shigeru Montani and Hiroaki Tsutsumi (1994): Roles of a deposit-feeding polychaete, *capitella* sp I, on the biological and chemical changes of the experimental marine sediment systems, *Tech Bull Fac Agr Kagawa Univ*, Vol.46, No.1, pp.21-26.
- Donaid C. Rhoads, David K. Young (1970): The influence deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure, *Journal of Marine Research*, Vol.28, 2, pp.150-178.
- Hans C. Nilsson, Rutger Rosenberg (2000): Succession in marine benthic habitats and fauna in response to oxygen deficiency: analysed by sediment profile-imaging and by grab samples, *Marine Ecology Progress Series*,197, 139-149.
- J. M. Fox, P. S. Hill, T. G. Milligan, A. Boldrin (2004): Flocculation and sedimentation on the PO River delta, *Marine Geology*, 203, 95-107.
- Makoto Tsuchiya(1980) : Biodeposit production by the mussel *Mytilus sdulis* L. on rocky shores, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 47, 203-222.
- Mead A. Allison, Gail C. Kineke, Elizabeth S. Gordon, Miguel A. Goni (2000): Development and reworking of a seasonal flood deposit on the inner continental shelf of f the Atchafalaya River, *Continental Shelf Research*, 20, 2267-2294.
- Rutger Rosenberg (2001): Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity, *Science Marina*, 65, 107-119.
- W. Rockwell Geyer, P. Hill, T. Milligan, P. Traykovski (2000): The structure of the Eel River plume during floods, *Continental Shelf Research*, 20, 2067-2093.

4. 内湾河口沖における長期モニタリングに基づく底質変化特性の把握

4.1 結論

内湾河口周辺域における底質環境は、河川から流下する土砂の堆積（たとえば、横山ら、2001、2007）や水中での基礎生産に起因する粒子態有機物の堆積および底質中での分解（たとえば、Hibino *et al.* 2011）など、内湾と河川の接合域として物理、化学、生物過程が生じている場となっており複雑である（Yagi *et al.* 2009）。また、台風等に伴う気象・海象の擾乱や河川出水などの非定常イベントの影響を強く受ける（Wright *et al.* 1999；Guillén *et al.* 2002；Nakagawaら、2009）ため、そこでの底質環境の実態は十分に把握されているとは言い難い。

本研究で対象とした多摩川河口沖は、東京湾の北西部に位置し、多摩川からの河川水が混合する河口周辺域である。一般に、底泥堆積物は有機物や硫化物の含有量が著しく高く、それらの巻き上がりや底質中からの栄養塩の溶出を通じた水質への影響が極めて高い。このため、貧酸素水塊の形成など水質悪化の原因とも密接に関係しているものと考えられる（五明ら、1990；Otani *et al.* 2008）。さらに、河口周辺域における波や流れなどの外力作用（た

たとえば、八木ら、2003）により、底質性状は時間の経過にともない変化が生じるものと考えられる。これらは、底生生物の生息環境にも強く影響を及ぼすとともに、栄養塩物質の供給にも関与するなど、内湾河口域周辺の環境を支配する重要な因子である。

底泥堆積物に関しては、鉛210法を用いた堆積年代測定（松本、1983）や、現地試験による堆積泥の力学的な特性の把握（五明ら、1990）、現地調査から底泥汚濁の進行、分解過程の検討（上野ら、2000）、現地観測に基づく底泥堆積物の巻き上げ現象と浮遊懸濁物質の粒径特性の実態解明（中川、2002；Guillén *et al.* 2005）、音波探査装置等を用いた浮泥堆積層厚の把握（中川ら、2004；五十嵐、2004）、現地調査から空間的な堆積分布特性の把握（中川、2007）などがなされている。しかしながら、底泥堆積物の長期間にわたる堆積過程の詳細については十分な知見は得られていない。

そこで本研究では、内湾河口沖において水域環境の変動を支配する重要な要素の一つである底質環境に注目し、コアサンプリングによる長期モニタリングデータに基づきそこでの堆積物の時空間変動特性を明らかにすることを目的とした。

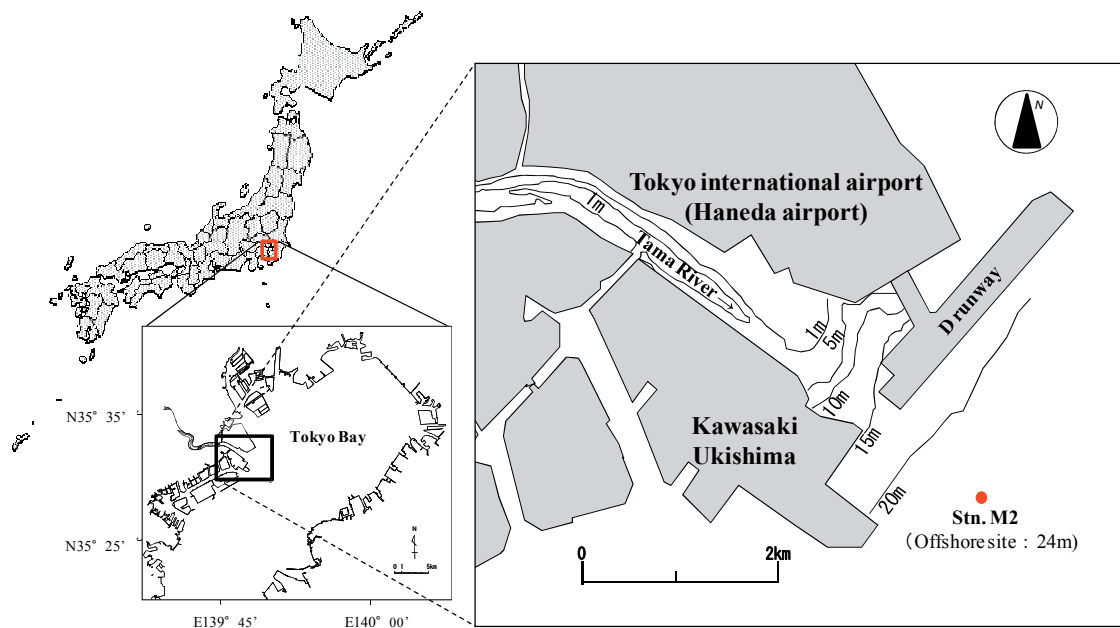


図-4.1 東京湾多摩川河口周辺域と調査地点図

4.2 調査概要

4.2.1 調査地点

多摩川河口周辺域は、東京湾の湾奥部西岸に位置する。調査地点は、多摩川河口沖に設定した(図-4.1)。水深が3m以浅の河道内には、浅場、干潟があり、次第に水深が深くなる前置斜面(水深約5mから20m)を経て、比較的勾配が緩やかになる平場(水深24m程度)を対象としている。

この水域における特徴としては、河口部は多摩川感潮域であり流域の影響を受け細粒土砂が堆積・流出しやすく(横山ら, 2001)、潮汐振幅の変化や流量の大小により流速分布等が大きく変化する(八木ら, 2003)。一方、河口沖では水深が約23mであり、通常時の大潮期の潮汐流や風波(周期3~4s程度)が作用する程度では波浪の影響は海底に達することはない、底泥の巻き上がりはほとんど生じることはない(中川ら, 2008; Nakagawa *et al.* 2011)。

4.2.2 現地調査の方法

(1) 底質試料の採取および分析

a) 表層コアサンプル

底質採取は2007年5月から開始しており、季節変動特性を把握するため春季(5月)、夏季(8月)、秋季(11月)、冬季(2月)の四季毎を基本として定期的な現地調査を実施している。また、台風の接近、通過等に伴い多摩川において出水が生じた場合は、出水直後に現地調査を追加で実施している。

本調査では、底質の鉛直構造を詳細に把握するため、アクリルコア(長さ約100cm、内径約10cm)を用いたコアサンプリングを行った。採泥にあたっては、底泥の堆積状態を保ったまま、乱すことなく採取することが重要であるためダイバーの人力作業により実施した。採取後は、鉛直状態を保ったまま船上に引き上げられ、速やかに保冷措置を施し作業ヤードまで搬送された。その後、試料は直ちに所定の層に分取され、酸化還元電位、泥色、性状、混入物等の測定、観察を行ったのちに、冷蔵保存されて分析室へ運ばれた。分取された試料は、粒度組成、含水比、強熱減量、全硫化物等の試験に供された。なお、コアサンプルの分取にあたっては、四季毎に実施した調査では、表層から10cmまでのコアを0-1cm層、1-2cm層、2-4cm層、4-10cm層の鉛直4層スライスを基本とした。

b) 長尺コアサンプル

2007年8月に採取したコアサンプルは長さが約40cm、2011年8月に採取したコアサンプルは長さが約80cm(以下、「長尺コア」とする。)である。なお、2007年8月に採取したコアサンプリングの分取層は、3cmピッチのスライスを基本とした。また、2011年8月コアサンプリングの分取層は、表層から10cmまでの層については、2cmピッチとし、10cm以深の層については、4cmピッチまたは2cmピッチとしてスライスした。その後、スライスにより分取した試料は、含水比試験等を実施している。

(2) 底生生物調査

河口周辺域において底生生物は、底質環境の影響を直接受ける重要な環境因子であると考えられる。このため、底質性状と底生生物群集の変化についての関係性を調べるために底生生物調査を実施した。調査は、底生生物群集が最も回復する時期を想定し、多摩川河口前置斜面のStn.M2近傍において毎年1回、5月に実施している。現地調査では、エクマンバージ採泥器を用いてダイバーの人力作業により、表層の浮泥を逃すことなく10cm層、0.1m²を採取した。採取した試料は、目合い1mmのフルイでふるった後、中性ホルマリンで固定され、分類専門化により最新の分類体系に基づき生物同定が行われた。

4.2.3 調査期間中に生じた主な出水イベント

2007年から2010年までの調査期間中に、顕著な出水イベントが発生した。2007年9月に発生した台風の関東地方への接近により、多摩川では激しい降雨に伴い上流部に位置する小河内ダムにおける総雨量は710mmと観測史上最大となり、石原基準点では戦後2番目の水位(国交省京浜河川事務所, 2007)となる記録的な出水(以下、「大規模出水」とする)となった。この大規模出水により、多摩川ではわずか12日間で約6年分のSS(浮遊懸濁物)が流出したこと(二瓶ら, 2008)、また、多摩川河口沖の水深約23m地点では、有義波高が2.5m、同周期が5sを超える高波浪による底泥の巻き上げが生じ、台風通過時の擾乱期間を通じて一時的な侵食とその後堆積が生じた(中川ら, 2010a)ことが報告されている。

一方、これ以降に発生したイベントとしては、2008年8月末の前線に伴う出水、2009年10月の台風18号に伴う出水、2010年9月の台風9号に伴う出水があった(京浜河川事務所, 2009; 京浜河川事務所ホームページ)。これらの出水規模は、多摩川調布堰地点における出水ピーク時の日平均流量が200~600m³/s程度であったのに対

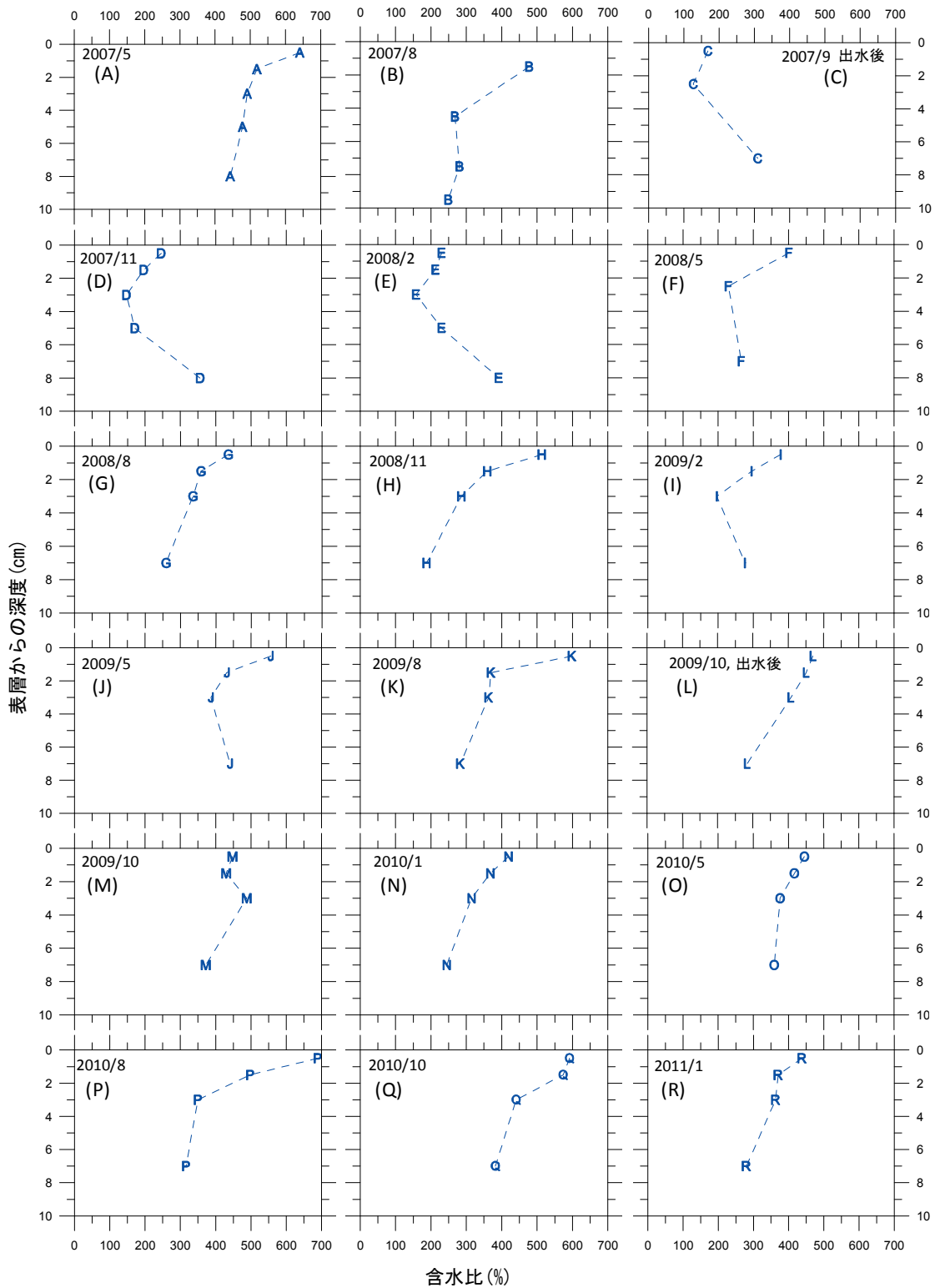


図-4.2 Stn.M2における表層10cmの含水比鉛直分布図。(2007年5月から2011年1月までの四季毎に採取したコアサンプルデータ.)

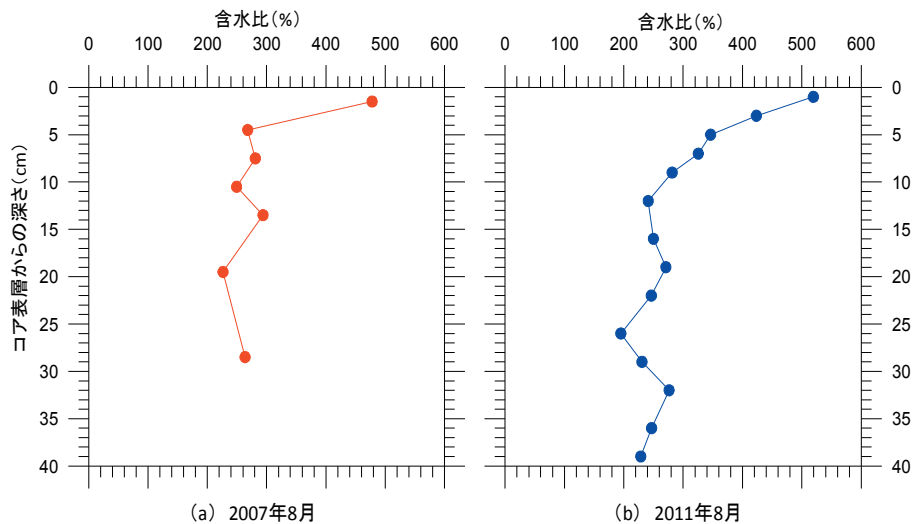


図-4.3 含水比の鉛直プロファイル. 赤丸：2007年8月(大出水前)に採取したコアサンプルの鉛直分布, 青丸：2011年8月(大出水から約4年経過後)に採取したコアサンプルの鉛直分布.

して、2007年の大規模出水時のそれは、 $1,700 \text{ m}^3/\text{s}$ と1桁大きいものであった。このことから2007年の大規模出水は極めて規模の大きい出水イベントであったことがわかる。

4.3 結果

4.3.1 表層底質の長期的な時空間変動特性

ここでは、河床面、海底面表層から10cm深度までの堆積物を表層底質と呼ぶこととする。

(1) 河口沖における時系列変動特性

調査地点における底質特性に関する鉛直4分取層(0-1cm層, 1-2cm層, 2-4cm層, 4-10cm層)の中央粒径, 含水比, 強熱減量の時系列変動は、第2章で示したとおりである(図-2.3(a)~(c)参照)。

河口沖(Stn.M2)では、2007年9月に発生した台風9号による大規模出水後に行った調査結果によると、底質粒径の細粒化(図-2.3(a))と含水比(図-2.3(b))および強熱減量(図-2.3(c))の大きな低下が発生した。出水により大きく変化した底質は、その後、含水比, 強熱減量を中心に緩やかに増加し、約2年後に出水前の状態に回復した。

(2) 鉛直構造特性

2007年9月に生じた大規模出水時に底質性状の顕著な変化が見られた多摩川河口沖(Stn.M2)において、表層底質の鉛直分布構造の変化を把握するため、各調査時期に得られた含水比の鉛直分布を図-4.2に示す。

大規模出水前の2007年5月(図-4.2(A)), 8月(図-4.2(B))では、表層0-1cmの含水比において500%を超える高い流動状態が確認されている。また、それよりも下層の10cm層においても300%程度の比較的高い含水比の状態にあり、表層から10cmまで高い流動状態が確認されている。

一方、大規模出水直後の2007年9月(図-4.2(C))の鉛直分布をみると、表層から4cm層までは含水比が200%以下となっており、出水前には極めて流動性の高い軟泥であったものに対して、流動性の低い底質に変化していた。

その後、大規模出水から約半年経過するまでの期間(2007年11月~2008年2月)では、表層(0-1cm層)において含水比が200~300%の値を示し、中間層(2-4cm層)で200%以下まで低下し、最下層(4-10cm層)では300~400%の高含水比層となっており、中間層に低含水比層を持つ鉛直分布となっている。その後、時間の経過にしたがって、表層部分で含水比が高く、下層に向かって

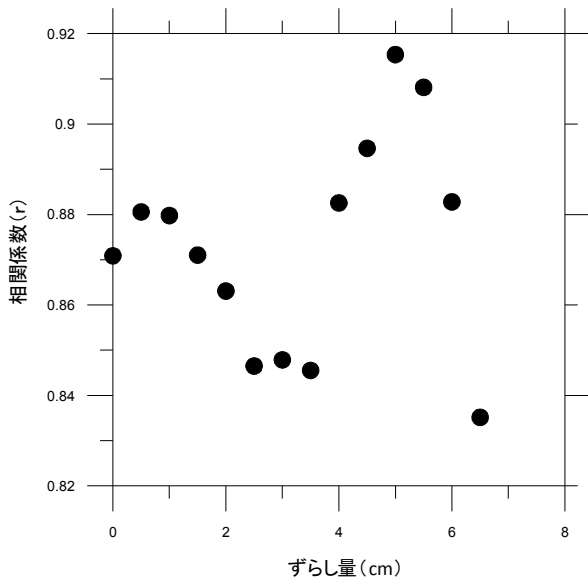


図-4.4 2 時期の含水比を鉛直方向にずらした量と相関係数の関係

含水比が緩やかに低下し、かつ全層にわたり徐々に高含水比化する傾向が見られる。

4.3.2 長尺コアの鉛直分布から見た堆積構造の把握

表層底質の経時的変化の評価に加え、より深部の情報も含めた底質の堆積構造の変動特性を把握するために、大規模出水前の2007年8月と大規模出水から4年経過後の2011年8月に、長さ40cm以上のコアサンプル(以下、「長尺コア」と呼ぶ。)を採取した。これらのコアサンプルを用いて得られた含水比の鉛直分布を比較した結果を図-4.3に示す。

両者ともに、表層0-1cm付近の含水比は、約500%となっているものの表層10cm程度の分布に差が見られる。すなわち、2007年8月には泥深5cm未満ですでに含水比が300%以下となっているのに対し、2011年8月には含水比300%以上の高含水比層が10cm程度見られる。

一方、2007年8月に採取したコアサンプルの鉛直分布では、表層から約10cm深度の層で含水比が低くなり、その数cm下層で含水比が増加し、さらに5cm下層(表層から20cm層)では含水比が低下している現象が捉えられた。2011年8月に採取したコアサンプルの鉛直分布

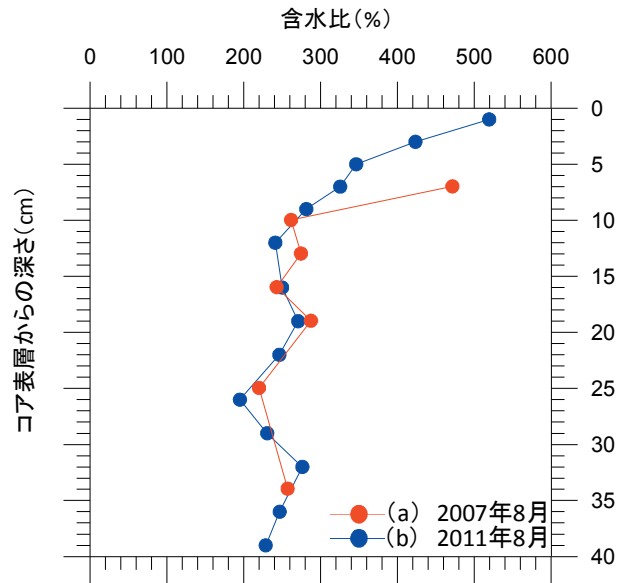


図-4.5 含水比の鉛直プロファイルの重ね合わせ (赤丸:2007年8月採取コアサンプルの鉛直分布, 青丸:2011年8月採取コアサンプルの鉛直分布)

について見ても2007年8月に採取したコアサンプルの含水比の鉛直分布と極めて似ている状況が見られ、表層から数10cm程度の比較的深い層においても、含水比が高い値を保存している層が見られることが特徴的であった。

4.4 考察

4.4.1 底質の鉛直構造特性

河口沖(Stn.M2)において見られた、大規模出水直後の底質含水比の急激な低下とその後の緩やかに回復する過程に注目して、含水比の鉛直分布の変動要因について検討を行った。

(1) 長尺コア含水比鉛直分布特性を用いた底質堆積速度の推定

大規模出水前(2007年8月)に採取したコアサンプルによる含水比の分析結果と大規模出水から4年経過後(2011年8月)に採取したコアサンプルによる分析結果の鉛直分布(図-4.3)において、前に述べたように2007年のコアサンプルの泥深5cm以深と、2011年のコアサンプルの泥深12cm以深で含水比分布の変化傾向に類似性がみられることに注目し、2時期の含水比分布の相関を求めたところ5cm近傍で相関係数のピークが現れた(図

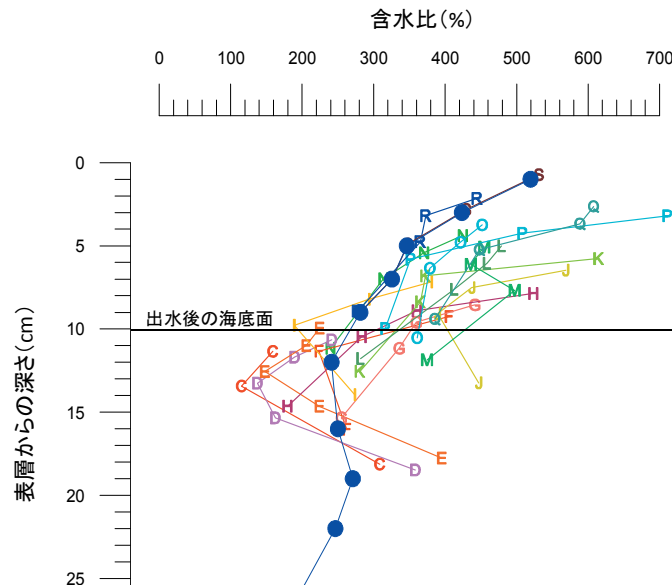


図-4.6 調査毎の鉛直分布重ね合わせ (C~S: 表層 10cm の鉛直分布図) と 2011年8月に採取したコアサンプル (青丸の鉛直分布図) の比較

-4.4). そこで、この 5cm が 2 時期の間の底質の堆積厚さであると仮定し、相対的に 5.0cm 深度をスライドさせて両者を重ねあわせた (図-4.5)。これによると 2011 年のコアサンプルにおける泥深約 10cm より深い層では、鉛直方向における含水比の変化が極めて一致していることがわかる。

2011 年サンプル採取時の泥深 10cm 以深の層においては、大規模出水前後での鉛直変化がほぼ等しいことは、これらの層では大規模出水時に乱されることなく、大規模出水以前の堆積構造が保存されていたと考えることができる。なお、2007 年のコアサンプル採取点近傍で行われている連続観測の結果により、大規模出水時の海底面の侵食は、約 2cm 程度であることが明らかとなっており (中川ら, 2010b)、そのこととも整合している。また、大規模出水直後に採取したコアサンプルの含水比鉛直分布 (図-4.2, C: 2007/9 出水後) をみると、中層 (1-4cm) 付近で含水比が低くなる特徴的な分布が見られた。これらを考慮すると、出水後の海底面表層は、2011 年に採取したコアサンプルの表層から約 10cm 付近の位置であると推定できる。

つまり、2011 年に採取したコアサンプルの表層から 10cm 付近までは、大規模出水の後に懸濁態粒子等の堆積により形成された層であると考えられる。大規模出水が

発生したのは 2007 年 9 月であり約 4 年が経過していることから、この堆積層は平均 2.5cm/年の堆積速度と見積もることができる。

これに対し、東京湾における底泥の堆積速度については、松本 (1983) が PB^{210} 法により平均的な重量堆積速度を算出している。本調査地点に比較的近い地点を対象に求められている重量堆積速度 ($0.54g/cm^2/yr$) をもとに、本調査地点の表層含水比 500%を間隙率に換算し堆積速度を試算すると、約 2.6cm/年となり、今回、堆積量から推定した堆積速度と良く一致する結果が得られた。

(2) 表層コアサンプルの分析結果と堆積過程との関係
つぎに、調査時期ごとに採取された表層 10cm の含水比の鉛直分布 (図-4.2) について、上で求めた 2.5cm/年の堆積過程を考慮し、各調査時期の表層の位置を推定された堆積厚分だけ、ずらしながら鉛直分布をプロットし、2011 年 8 月に採取したコアサンプルの鉛直分布と重ねて示したものが図-4.6 である。両者の分布傾向は良く一致していることから、定期調査で得られた表層 10cm の鉛直分布は、平均 2.5cm/年の速度で懸濁物等の堆積が生じている中で、表層部分のみ追跡して観察していたことを意味する。

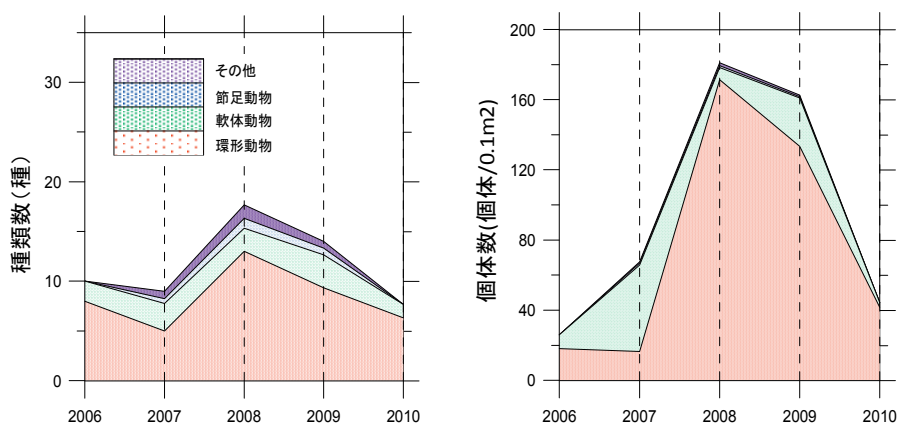


図-4.7 底生生物群集の種数，個体数の時系列変化

表-4.1 環形動物多毛類の出現状況 (+:M2 近傍調査地点において 2 個体以上の出現が見られたもの)

門	綱	目	科	和名	学名	2007 /05	2008 /05	2009 /05
環形動物	多毛	チロ	アルハチロ	<i>Glycera alba</i> (Muller, 1788)	+	+	+	
			チロ科の1種	<i>Glycera</i> sp.	+	+	+	
			キョウスチロ	ニカイチロ科の1種	<i>Glycinde</i> cf. <i>wireni</i>	+	+	+
			オヒメゴカイ	クメオヒメゴカイ	<i>Podarkeopsis brevipalpa</i> (Hartmann-Schroder, 1959)	+	+	
				オヒメゴカイ科sp.	<i>Ophiodromus</i> sp.		+	
			カキゴカイ	ハナオカカキゴカイ	<i>Sigambra hanaokai</i> Kitamori, 1960		+	+
				オウキゴカイ	<i>Nectoneanthes latipoda</i> Paik, 1973	+	+	+
				シロガネゴカイ科sp.	<i>Nephtys</i> sp.		+	
			キホシイソメ	カタマカリキホシイソメ	<i>Scoletoma longifolia</i> (Imajima & Higuchi, 1975)		+	
				イトエラスピオ	<i>Prionospio pulchra</i> Imajima, 1990		+	
				ヤマトスピオ	<i>Prionospio japonica</i> Okuda, 1935		+	
			スピオ	シノハネエラスピオ	<i>Paraprionospio patiens</i> Yokoyama, 2007	+	+	+
				スベスベハネエラスピオ	<i>Paraprionospio coora</i> Wilson, 1990	+	+	+
			タケアソギ	ミスヒキゴカイ科の1種	<i>Chaetozone</i> sp.		+	
				ミスヒキゴカイ	<i>Cirriformia comosa</i> (Marenzeller, 1879)	+		+
			イトゴカイ	イトゴカイ科の1種	<i>Mediomastus</i> sp.	+	+	
				シダイトゴカイ?	<i>Notomastus</i> sp.		+	
			ケヤリムシ	ケワケヤリムシ類の1種	<i>Euchone limnicola</i> Reish, 1960		+	+

※ 生物の同定は、東邦大学東京湾生態系研究センターにおいて、甲殻類を駒井智幸氏(千葉県立中央博物館)、軟体動物を黒住耐二氏(千葉県立中央博物館)、多毛類とその他の動物を西栄二郎氏(横浜国立大学)の指導・監修のもと多くの方のご協力により行われた。

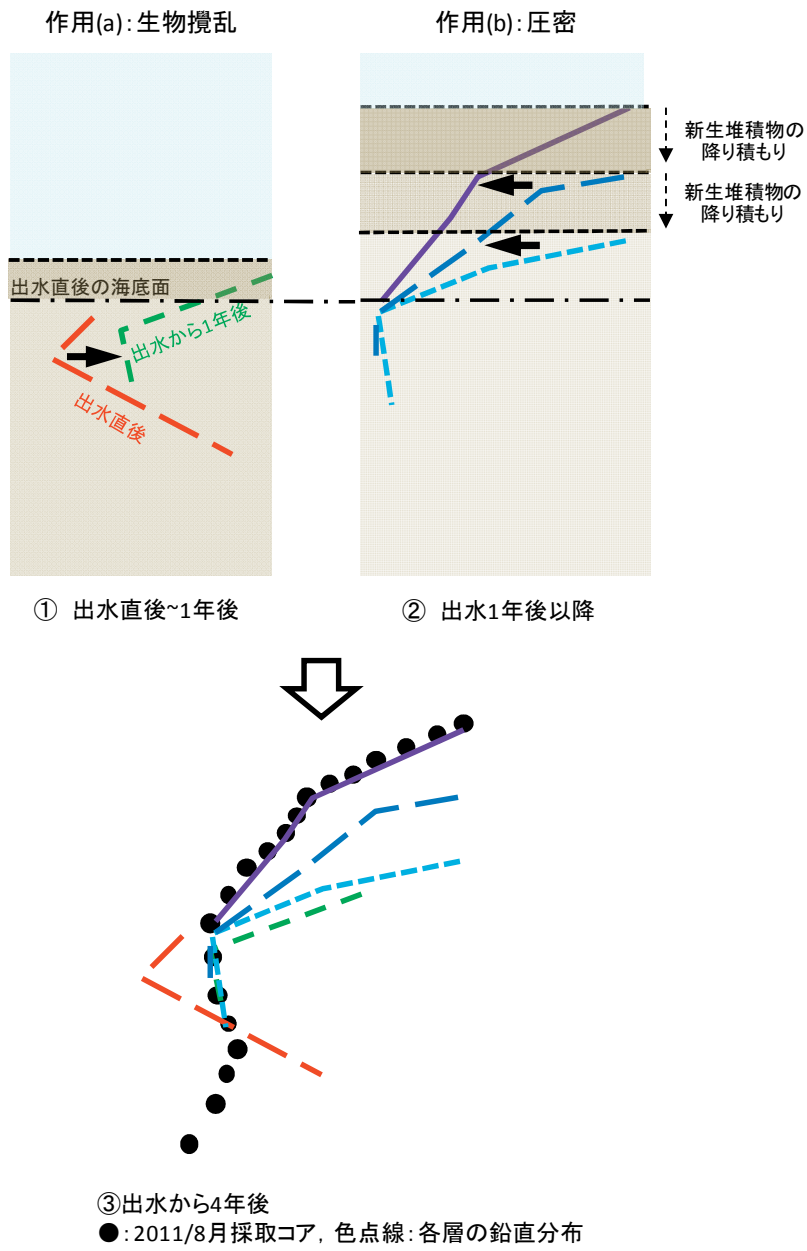


図-4.8 堆積過程のイメージ図

なお、重ね合わせた含水比鉛直分布の表層 10cm 層(海底面表層から約 10cm 程度までの層)と中層 5cm 厚層(海底面表層からの深さが 10cm~15cm 付近の 5cm 厚層)において、2011 年 8 月に採取したコアサンプルの鉛直分布との差異が見られる(図-4.6)。この調査地点は水深が約 24m と深く、台風の接近通過等に起因する高波浪が生じないかぎり海底面の擾乱は生じることとはなく、また、ここでの底生生物群集は、通常、数種類程度の個体数しか確認されない場所(図-4.7)であることから、生物攪乱に伴う鉛直混合等も少ないものと考えられる。このため、表層 10cm 層に見られる差異については、堆積後の時間経過に伴う圧密により低含水化したものであると推察される。

一方、2011 年のコアサンプルにおける泥深 13cm 付近では、大規模出水直後から半年が経過するまでの期間に採取された層に該当する。この時期を含む大規模出水前後の底生生物調査結果(表-4.1)によると、大規模出水の翌年(2008 年)には環形動物多毛類の種類数の倍増が確認されている。一般に、多毛類等の堆積物食者が生物活動を行うことにより生物攪乱が生じて底泥堆積物が高含水比化するなどの性状変化が生じる(菊地, 1981; 畑, 1981; Tamaki *et al.* 1983; David, 1999; 西田ら, 2009)ことが言われており、さらに、底質性状の違いにより種数、多様度に変化が生じる(Kurihara, 1983; Wu *et al.* 1997)ことも報告されている。2007 年の大規模な出水後には、種数は倍増、個体数については約 3 倍増(図-4.7)になったこと、さらに、大規模出水前には見られなかったカギゴカイやイトエラスピオ(表-4.1)などの堆積物食者が新規に多種多数加入している。一方、その翌年には、種数、個体数ともに減少し、大規模出水前の状況に戻っている。つまり、大規模出水後の底質には堆積物食者が一時的に増加したことにより、生物攪乱が高含水比化の原因のひとつとして考えられる。このような堆積過程を模式的に示すと図-4.8 のようになり、生物攪乱や圧密の影響を受けつつ、含水比の鉛直構造に変化が生じていると考えられ、大規模出水直後には生物攪乱が大きく作用し高含水比化が促されるものの、その後は、圧密が優位に作用したために低含水比化するものと考えられる。

4.5 結語

多摩川河口沖において底質性状の時空間変動特性を明らかにするために、4 年間の長期に渡り定期的な底泥コアサンプリングを実施してきた。この調査期間中に台風の接近、通過に伴う極めて規模の大きい多摩川での出水

と東京湾での擾乱が発生した。このような間欠的に生じうる、大規模な出水に伴う底質環境への影響も含めた、河口域周辺での長期的な底質変動特性を明らかとした。結果は以下である。

出水直前および 4 年後に採取した長尺コアサンプルの分析結果の比較により、多摩川河口沖で大規模出水イベントに伴う底泥の低含水比化の後に見られる長期的な上昇は、新生堆積物の降り積もりによるものであることが明らかとなった。

参考文献

- 五十嵐学・佐々木淳(2004): 東京湾奥部における浮泥堆積層厚の空間分布特性, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 981-985.
- 上野成三・灘岡和夫・片倉徳男・勝井秀博・山田二久次(2000): 英虞湾の真珠養殖漁場における底泥の汚濁流動層に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.1046-1050.
- 菊池泰二(1981): ベントスの働き一生物攪拌を中心に一, 沿岸海洋研究ノート, 第 18 巻, 第 2 号, pp.67-77.
- 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所(2007): 平成 19 年 9 月台風 9 号出水概要一多摩川・鶴見側・相模川一, 第 2 報, 平成 19 年 9 月 10 日作成, pp. 1-43.
- 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所(2009): 出水概要-多摩川・鶴見川・相模川-平成 21 年 10 月台風 18 号出水第 1 報 (H21.10.8 作成)
- 児玉真史・皆川昌幸・田中勝久・石樋由香(2008): 有明海における堆積速度について, 沿岸海洋研究, 第 45 巻第 2 号, 137-143.
- 五明美智男・矢内栄二・大槻忠(1990): 東京湾底泥の堆積特性について, 海岸工学論文集, 第 37 巻, 848-852.
- 災害の記録: 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所ホームページ;
<http://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/disaster/record/index-htm>
- 中川康之(2002): 東京湾奥部での底泥巻き上げとその粒度分布特性について, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp.1046-1050.
- 中川康之・渡邊和重・谷川晴一・黒田祐一(2004): 海底面近傍における底泥密度の鉛直分布特性の把

- 握, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.986-990.
- 中川康之・有路隆一・松坂省一・諸星一信・八木宏・灘岡和夫・古殿太郎・大野幸正・島崎哲也(2007): 多摩川河口沿岸域における底泥の堆積分布特性の把握に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp-1031-1035.
- 中川康之・有路隆一・松坂省一・諸星一信・八木宏・灘岡和夫・田中晋(2008): 東京湾多摩川河口沖における底泥の巻き上げに関する現地観測, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp.516-520.
- 中川康之・有路隆一・灘岡和夫・八木宏・下迫健一郎・白井一洋(2010a): 東京湾羽田沖での現地観測に基づく台風来週時における底泥の侵食・堆積量の評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol66, No.1, pp.441-445.
- 中川康之・有路隆一(2010b): 台風来襲時の東京湾羽田沖における底泥移動現象, 港湾空港技術研究所報告, 第 49 巻, 第 2 号, 107-122.
- 西田尚央(2009): Fluid mud の特徴とその地層解析における役割, 地質学雑誌, 第 115 巻, 第 4 号, pp.149-167.
- 二瓶泰雄・坂井文子・重田京助・灘岡和夫・八木宏・諸星一信・鈴木信昭・松坂省一・有路隆一・峯浩二(2008): 2007 年台風 9 号出水時における多摩川の土砂・栄養塩・有機物負荷特性, 河川技術論文集, 第 14 巻, pp. 473-478.
- 畑幸彦(1981): 浅海域における有機物の沈降-堆積-分解とバクテリア, 沿岸海洋研究ノート, 第 18 巻, 第 2 号, pp.112-122.
- 羽田周辺水域環境調査研究委員会(2010): 羽田周辺水域環境調査研究の取組み~調査研究の中間成果報告~, 平成 22 年 12 月, pp.1-161.
- 松本英二(1983): 東京湾の底質環境, 地球化学, 17, pp.27-32.
- 百島則幸(2008): 210PB 堆積年代測定法による英虞湾の堆積環境の解析, 地球科学, 42, 99-111.
- 八木宏・大森義暢・高橋亜衣(2003): 多摩川河口域における流れと懸濁物質輸送特性について, 海岸工学論文集, 第 50 巻, 461-465.
- 八木宏・Tanuspong POKAVANICH・灘岡和夫・有路隆一・古土井健・諸星一信・森重輝政・小林聡(2009): 東京湾多摩川河口部の流動構造について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.B2-65, No.1, pp.981-985.
- 横山勝英・藤田光一(2001): 多摩川感潮域の土砂動態に関する研究, 水工学論文集, 第 45 巻, 937-942.
- 横山勝英・山本浩一・一寸木朋也・金子祐(2007): 筑後川感潮河道における底泥の堆積過程に関する調査, 海岸工学論文集, 第 54 巻, 451-455.
- David E. Drake(1999): Temporal and spatial variability of the sediment grain-size distribution of the Eel shelf: the flood layer of 1995, *Marine Geology*, 154, pp.169-182.
- Hibino, T., Kyung, K. and Nagao, K.(2011): Modeling of settling and deposition of suspended organic matter considering biodegradation, *Coastal Engineering Journal*, 53, (3), pp.181-200.
- Jorge Guillén, Jose A.Jiménez, Albert Palanques, Pere Puig, Vicens Gracia(2005): Bottom Sediment Variability in the Active Layer of the Inner Shelf off the Ebro Delta, *Journal of Coastal Research*, Vol.21, No.3, pp. 482-496.
- Jorge Guillén, Jose A.Jiménez, Albert Palanques, Pere Puig, Agustín Sánchez-Arcilla(2002): Sediment resuspension across a microtidal, low-energy inner shelf, *Continental Shelf Research*, 22, 305-325.
- Kurihara, Y. (1983): Study of domestic sewage waste treatment by the polychaetes, *Neanthes japonica* and *Perinereis nuntia* var. *vallata*, on an artificial tidal flat, *International review of hydrobiology*, 68, pp.649-670.
- Nakagawa, Y., Ariji, R., Matsuzaka, S., Morohoshi, K., Yagi, H., Nadaoka, K. and Tanaka, S.(2009): Observation of sediment transport event during typhoon attack in Tokyo Bay, *Proc. of 5th International conference on Asian and Pacific Coasts*, World Scientific, pp.8-15.
- Nakagawa, Y., Ariji, R., Nadaoka, K., Yagi, H., Shimosako, K. and Shirai, K.(2011): Field measurement of erosion and deposition processes of muddy bed sediment during storm event in Tokyo Bay, *The proceedings of the coastal sediments 2011*, In 3 Volumes, pp.2403-2414.
- Otani, S., Kozuki, Y., KUrata, K., Ueda, K. Nakai, S. and Murakami, H. (2008): Relationship between macrobenthos and physical habitat characters in tidal flat in eastern Seto inland sea, Japan, *Marine pollution bulletin*, 57, pp.142-148.
- R. S. S. Wu・P. K. S. Shin(1997): Sediment characteristics and colonization of soft-bottom benthos: a field

manipulation experiment, *Marine Biology*, vol.128, pp.475-487

Tamaki, A. and Kikuchi, T. (1983): Spatial arrangement of macrobenthic assemblages on an intertidal sand flat, Tomioka Bay, west Kyushu, *Publications from the Amakusa marine biological laboratory*, 7, pp.41-60.

Yagi, H, Pokavanich, T., Nadaoka, K., Ariji, R., Furudoi, K., Geshi, H., Furudono, T., Oono, Y. (2009): Influence of oceanic water intrusion on coastal environments in winter around the Tama River estuary in Tokyo Bay, *5th International Conference on Asian and Pacific Coasts*, 2, pp.217-223.

Wright. L. D., S-C. Kim. and C. T. Friedrichs. (1999): Across-shelf variations in bed roughness, bed stress and sediment suspension on the northern California shelf. *Marine Geology*, 154, pp.99-115.

5. 多摩川河口前置斜面における底質環境と底生生物群集の変動

5.1 結論

一般に干潟や海底に生息するベントスは、その高い現存量と種多様性から、河口や内湾海岸部の生態系での代表的な生物である。多摩川河口部では、羽田空港の滑走路が新設され近年供用が開始された。この構造物が生態系に与える環境影響特性を把握するため多摩川河口周辺域および東京湾を対象とした調査が行われている（羽田周辺水域環境調査研究委員会，2010）。

2007年9月台風の関東地方への接近により多摩川では、激しい降雨に伴い上流部に位置する小河内ダムにおける総雨量は710mmと観測史上最大となり、石原基準点では戦後2番目の水位（国交省京浜河川事務所，2007）となる記録的な出水（以下、「大出水」とする）となった。この大出水により、多摩川ではわずか12日間で約6年分のSS（浮遊懸濁物）が流出したこと（二瓶ら，2008）、また、多摩川河口沖の水深約23m地点では、有義波高が2.5m、同周期が5sを超える高波浪による底泥の巻き上げが生じ（中川ら，2008）、台風通過時の擾乱期間を通じて浸食、堆積が交互に生じ、正味20mmの堆積が生じた（中川ら，2010）ことが報告されている。そして、この大出

水により多摩川河口部、河口沖では、急激な底質変化（細粒化、含水比・強熱減量低下）が生じその回復には2年程度を要する（有路ら，2010）ことが報告されている。

河口周辺域において底質環境は、底生生物の生息場に直接的に影響を与える重要な環境因子であると考えられている。しかしながら、環境変動と底生生物群集の関係については、海底の貧酸素化の進行に着目した研究（Furota, 1996a,1996b ; Gray *et al.* 2002 ; Miller *et al.* 2002）とそれに伴うベントス生活史の研究事例（Furota *et al.* 1999）、底質分布とベントス生息状況を検討した事例（岡田ら，2005）などは見られるものの、底質性状の長期的な時空間変動に伴う生物群集の変化について検討された事例はほとんど見あたらない。また、出水は多摩川河口および河口沖の生物の生息環境に大きな影響を与える（羽田周辺水域環境調査研究委員会，2010）ことが指摘されている。そこで本研究では、出水前後を含む長期的な底生生物調査の結果をもとに、底質性状と底生生物群集の変化について関係性を調べた。

5.2 調査概要

5.2.1 調査対象海域

本調査は、図-5.1に示す多摩川河口浅場から東京湾沖海底へと落ち込む斜面（以下、「前置斜面」とする。）を

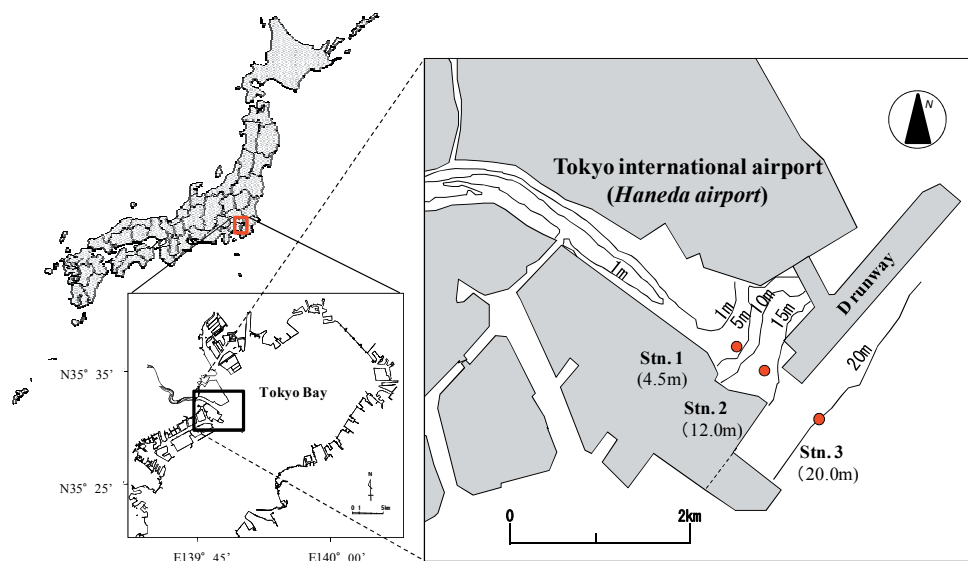


図-5.1 調査対象海域および調査地点図（多摩川河口の前置斜面域における水深帯の異なる3地点を調査点に設定した）

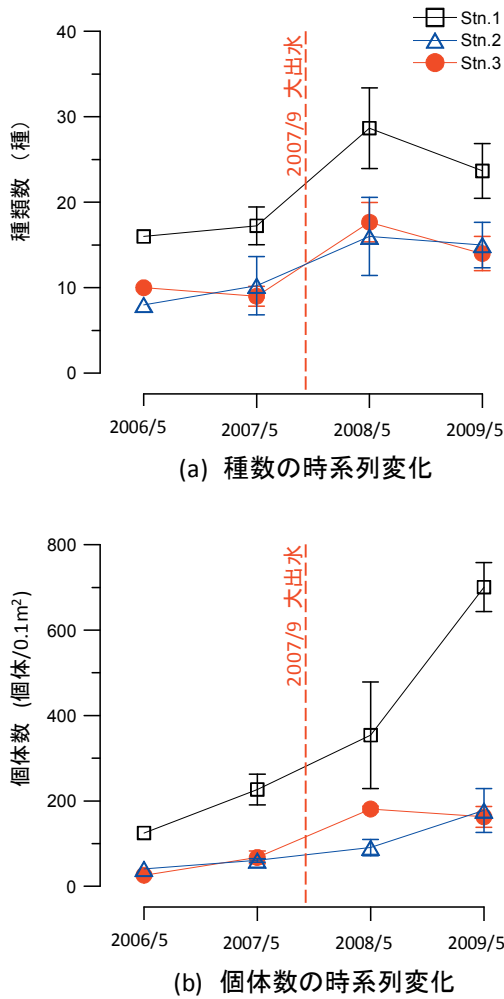


図-5.2 底生生物群集の(a)種類数, (b)個体数の時系列変動 (平均値±SD . 2006年5月は, サンプル数1. 2007年~2009年5月は, サンプル数4). □Stn.1:水深約4.5m, △Stn.2:水深約12.0m, ●Stn.3:水深約20.0m. 赤点線は, 2007年9月に発生した大規模出水を表す.

対象海域として, その斜面に水深帯の異なる Stn. 1 (水深 4.5m), Stn. 2 (水深 12m), Stn. 3 (水深 20m) の 3 点を調査点に設定した. この海域は, 多摩川から運ばれた土砂が開口部に堆積することで形成された斜面であり, 土砂供給や波浪の影響が水深とともに減少し, 底質環境の水深に沿った変化が著しい海域である (羽田周辺水域環境調査研究委員会, 2010). さらに, 堆積物の表層付近では, シルトおよび粘土の泥分が 98%以上を占め, 有機物を豊富に含んだ含水比が 400%を超える流動性の高い流動泥の状態となっている (たとえば, 中川ら, 2007).

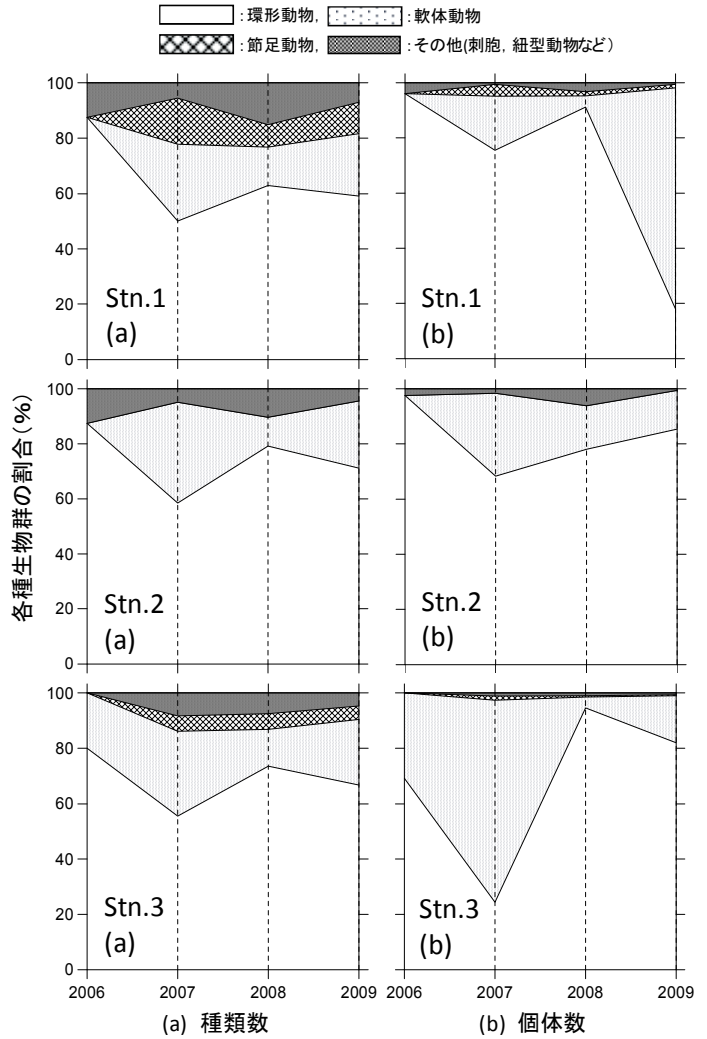


図-5.3 底生生物相の経年変動 (Stn.1:水深約4.5m, Stn.2:水深約12.0m, Stn.3:水深約20.0m.)

また, 多摩川での出水時には, 表層底泥を中心とした含水比, 強熱減量などの急激な底質変化が生じることが報告されている (有路ら, 2010).

5.2.2 底生生物調査の手法

調査期間は, 2006年から2009年までの4年にわたる. 現地調査は, 1年の中でペンテス群集が最も回復する時期を想定し, 毎年5月中に実施した. 調査手法としては, ダイバー作業によりエクマンバージ採泥器を用いて表層の流動泥を逃すことなく1層10cm, 0.1m²を採取

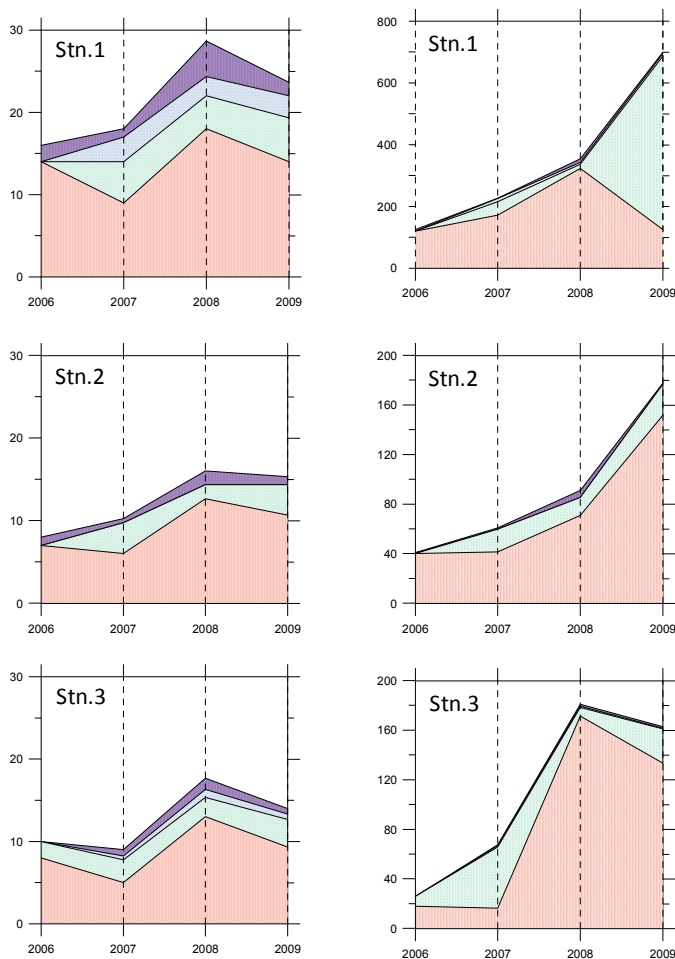
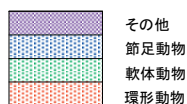


図-5.4 動物毎に見た底生生物相の経年変動 (Stn.1 : 水深約 4.5m, Stn.2 : 水深約 12.0m, Stn.3 : 水深約 20.0m.)

した。採取した試料は、目合い 1mm のフルイでふるった後、中性ホルマリンで固定され、分類専門家により最新の分類体系に基づき生物同定が行われた。さらに、底質性状を把握するため、同一地点の採泥試料に対して、粒度組成、含水比、強熱減量、全硫化物、酸化還元電位の底質分析を行った。なお、本検討にあたっては、2007年9月に発生した大出水前後の変動に注目した。

5.3 底質環境と底生生物群集の関係性について

5.3.1 底生生物群集構造の変動

図-5.2 に底生生物種類数、個体数の調査毎の分析結果を示す。大出水前の 2007 年 5 月と後の 2008 年 5 月の結果を比較すると Stn. 1 から 3 までのすべての地点において、種類数、個体数がともにほぼ倍増している。その後、大出水から 2 年後 (2009 年 5 月) には、種類数は減少する傾向が見られる。個体数については、最深地点の Stn. 3 を除き、さらに増加している。特に、最浅地点の Stn. 1 における個体数の増加は、貧酸素指標種とされているチヨノハナガイ (*Raetellops pulchellus*) の急増によるものであり、約 540 個体/0.1m² であり、全体の約 8 割を占めていた。この個体をのぞくと、個体数においても種数と同様に減少し、他地点と同様な傾向が見られた。

これらの変動について、各種生物群の割合で示したものが図-5.3 である。大出水後に増加している動物は、種類数、個体数ともに環形動物であった。種類数では、60~80% を、個体数では、80~90% を占めており、出水後の環形動物の優先率の増加が極めて大きかったことがわかる。大出水後に、それまでに見られなかったシロガネゴカイ科 sp. (*Nephtys* sp.) やイトエラスピオ (*Prionospio pulchra* Imajima, 1990) などが出現したことから、出水後の環形動物の増加は、単年生のベントス幼生が定着しやすい底質環境が形成されたことが一因として考えられる。

5.3.2 生物群集多様度の変化

大出水前後における生物群集特性の変化について、Shannon-Wiener の多様度指数 (H') により求めた。

$$H' = \sum_{i=1}^s -p_i \ln(p_i) \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 S : 種類数、 P_i : 全個体数のなかで i 種が占める割合 (相対優先度) である。これらの結果を図-5.4 に示す。出水前には、多様度指数 H' が約 1.0 から約 2.0 程度であったものが、出水後には、全地点において多様度指数が増加した。特に、大出水前には多様度の低かった Stn. 3 (水深 20m) が、Stn. 1 (水深 4.5m) 及び Stn. 2 (水深 12m) と同程度の多様度に上昇していた。つまり、水深帯が 4.5m~20m までの異なる前置斜面域一帯において、種類数が増加しただけではなく、出現種の個体数の均等度が高くなったことを意味する。なお、大出水か

表-5.1 出水前後における環形動物多毛類の出現状況. 2007年5月(大出水前), 2008年5月(大出水の翌年). Stn.1: 水深約4.5m, Stn.2: 水深約12.0m, Stn.3: 水深約20.0m.
+: 2個体以上の出現が見られたもの.

門	綱	目	科	和名	学名	2007/05			2008/05				
						Stn.1	Stn.2	Stn.3	Stn.1	Stn.2	Stn.3		
環形動物	多毛	ウロムシ	マダラウロムシ	<i>Harmothoe cf. imbricata</i> (Linnaeus, 1767)							+		
		サンバゴカイ	サンバゴカイ科の1種	<i>Eumida</i> sp.								+	
		チロリ	チロリ	<i>Glycera nicobarica</i> Grube, 1868		+	+					+	
			アルバチロリ	<i>Glycera alba</i> (Muller, 1788)					+			+	
			チロリ科の1種	<i>Glycera</i> sp.							+	+	
			キョウスチロリ	ニカイロリ科の1種	<i>Glycinde cf. wireni</i>		+	+	+				+
			オトヒメゴカイ	オトヒメゴカイ	<i>Podarkeopsis brevipalpa</i> (Hartmann-Schroder, 1959)								+
				オトヒメゴカイ科sp.	<i>Ophiodromus</i> sp.								+
					<i>Micropodarke</i> sp.								+
			カキゴカイ	ハナオカキゴカイ	<i>Sigambra hanaokai</i> Kitamori, 1960		+	+					+
				オウキゴカイ	<i>Nectoneanthes latipoda</i> Paik, 1973		+	+	+				+
				ミナシロカネゴカイ	<i>Nephtys polycbranchia</i> Southern, 1921								+
				シロカネゴカイ科sp.	<i>Nephtys</i> sp.								+
				アソナゴカイ	<i>Neanthes succenea</i> (Frey & Leuckart, 1847)		+						+
			キホシイソメ	カタマカリキホシイソメ	<i>Scoletoma longifolia</i> (Imajima & Higuchi, 1975)		+	+					+
				ホリドラ類の1種sp.1	<i>Boccardiella</i> sp.		+						+
				イトエラスピオ	<i>Prionospio pulchra</i> Imajima, 1990								+
				ヤマトスピオ	<i>Prionospio japonica</i> Okuda, 1935								+
			スピオ	シノバハネエラスピオ	<i>Paraprionospio patiens</i> Yokoyama, 2007		+	+	+				+
				スベスベハネエラスピオ	<i>Paraprionospio coora</i> Wilson, 1990		+	+	+				+
				ミツハネスピオ	<i>Prionospio kurusadaensis</i> Fauvel, 1929		+						+
				トロオニスピオ	<i>Pseudopolydora kempfi</i> (Southern, 1921)		+						+
				スピオ科の1種	<i>Prionospio</i> sp.								+
				オニスピオ属の1種2	<i>Pseudopolydora</i> sp.②								+
				ヒラタスピオ	<i>Scolelepis cf. planata</i> Imajima, 1992								+
				ススエラナスピオ	<i>Spiophanes kroyeri</i> Grube, 1860								+
			タフソゴカイ	タフソゴカイ科の1種	Maldanidae sp.								+
				ミスヒキゴカイ科の1種	<i>Tharyx</i> sp.		+						+
				ミスヒキゴカイ科の1種	<i>Chaetozone</i> sp.				+				+
				ミスヒキゴカイ	<i>Cirriiformia comosa</i> (Marenzeller, 1879)								+
	イトゴカイ	ホソイトゴカイ	<i>Heteromastus cf. similis</i>								+		
		イトゴカイ	<i>Capitella capitata</i> species complex type A				+				+		
		イトゴカイ科の1種	<i>Mediomastus</i> sp.		+		+				+		
			<i>Capitella</i> sp.								+		
		シダレイトゴカイ?	<i>Notomastus</i> sp.								+		
	カザリゴカイ	カザリゴカイ科の1種	<i>Melinne</i> sp.		+						+		
	フサゴカイ	フタエフサゴカイ	<i>Nicolea gracilibranchis</i> Grube								+		
		モハフサゴカイ	<i>Streblosoma japonica</i> Hessle, 1917								+		
	ケヤリムシ	ケビワケヤリムシ類の1種	<i>Chone</i> sp.		+	+					+		
			<i>Euchone limnicola</i> Reish, 1960		+						+		

※ 生物の同定は、東邦大学東京湾生態系研究センターにおいて、甲殻類を駒井智幸氏(千葉県立中央博物館), 軟体動物を黒住耐二氏(千葉県立中央博物館), 多毛類とその他の動物を西榮二郎氏(横浜国立大学)の指導・監修のもと多くの方のご協力により行われた。

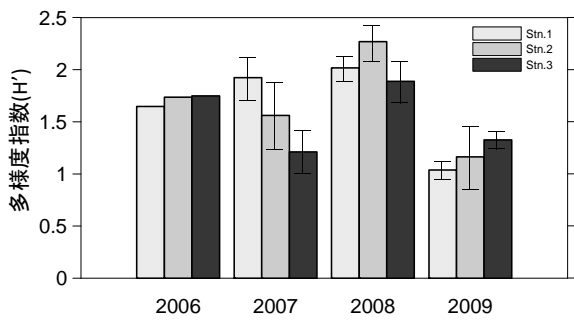


図-5.4 Shannon-Wiener の多様度指数 H' (平均値 \pm SD). (2006年5月は, サンプル数1. 2007年~2009年5月は, サンプル数4.) Stn.1: 水深約4.5m, Stn.2: 水深約12.0m, Stn.3: 水深約20.0m.

ら2年後には, 種類数の減少(図-5.2(a))に対応して, 全地点で多様度の低下が見られた.

5.3.3 底質性状の変動と底生生物群集構造の対応

底質性状の変動を把握するために, 調査期間における底質環境の時系列変動を示す(図-5.5). 主な分析項目(含水比, 中央粒径, 強熱減量, 酸化還元電位)を見ると大出水前後で変化が見られる. 特に河口沖(Stn. 3)での含水比の低下が著しく, 大出水前には約500%の流動状態の底質が大出水後には300%以下の半自立状態となっており極めて大きな変化が見られた. その他の地点についても, 変動幅は小さいものの同様に含水比の低下が見られた. また, 中央粒径は, 出水後にわずかではあるものの細粒化し, 前置斜面一帯で均一化した傾向が見られる. 強熱減量においても, 変動幅は少ないものの含水比, 中央粒径と同様に, 大出水後に減少する傾向が見られた. なお, 酸化還元電位については, 出水前後での地点間のばらつきがあり明確な傾向は見られなかった. これらの結果から, 出水前は調査地点ごとに異なった底質性状であったものが, 大出水後には地点間のばらつきが少なくなり, 前置斜面一帯で一様化された底質環境が形成されたことがわかる.

つぎに, 底質性状と底生生物群集の関係を把握するため, 出水前後において変動の大きかった含水比に注目して含水比と底生生物群集の種類数, 個体数の関係を調査地点毎に調べた(図-5.6). 含水比が低下するにつれて種

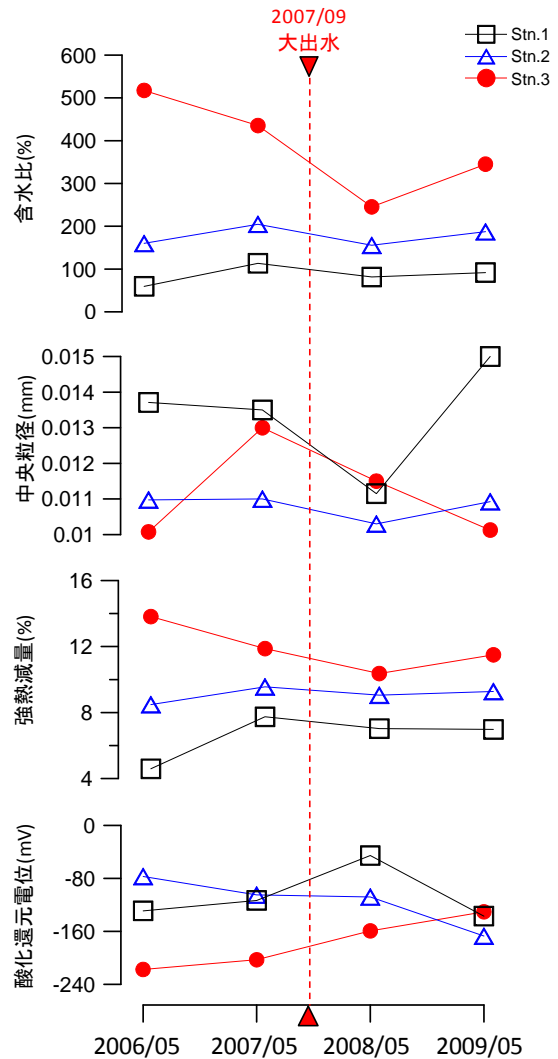


図-5.5 底質分析項目(含水比, 中央粒径, 強熱減量, 酸化還元電位)の時系列変動. □Stn. 1: 水深約4.5m, △Stn.2: 水深約12.0m, ●Stn.3: 水深約20.0m. 赤点線は, 2007年9月に発生した大規模出水を表す.

類数, 個体数ともに増加する傾向が見られ, 種類数は200%を下回る含水比で増加する傾向が見られる. Stn. 3(図-5.6(a), 丸印)に注目すると含水比の低下にしたがって種類数が増加する明確な傾向が見られる. この傾向は, Stn. 1, 2(図-5.6(a) 菱形印, 三角印)においても同様に見られる. さらに, 顕著な特徴としては, 含水比が低下するにしたがって種類数が急勾配で増加する傾向が見られた. なお, 個体数についても種類数と同様に, 含水比の低下にしたがって個体数が増加する傾向がみら

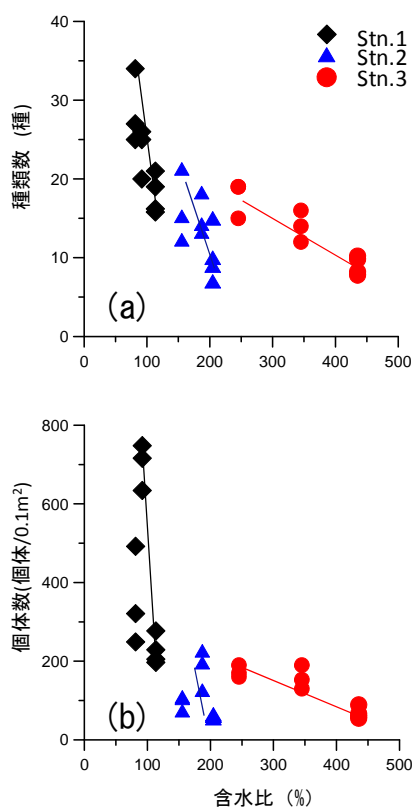


図-5.6 含水比と底生生物種類数(a), 個体数(b)の相関図. ◆Stn. 1: 水深約 4.5m, ▲Stn.2: 水深約 12.0m, ●Stn.3: 水深約 20.0m.

れた。これらのことから、底生生物群集の生息環境は、含水比が比較的低い安定した底質基盤を必要とすることが考えられる。この点については、地盤表層の土砂物理環境が干潟における多様な底生生物の生息を規定する性能指標である（たとえば、佐々ら、2008）と指摘している例も見られる。

つまり、このことは、特に沖合の Stn. 3 に見られるように出水前の流動泥状態では底生生物の生活場として十分ではなかった場所が、含水比が低下することによって底質が締まり、環形動物を中心とした底泥表層に滞在可能な生物が着底し定着できる環境が形成された可能性を示唆している。

5.3.4 その他の底質指標との関係

本調査で得られた底質分析結果と含水比の相関を示す（図-5.7）。含水比と強熱減量、酸化還元電位等間に明瞭な相関が見られる（図-5.7(c), (f)）。したがって、底生生物群集の変動については、含水比の変化に伴う底質

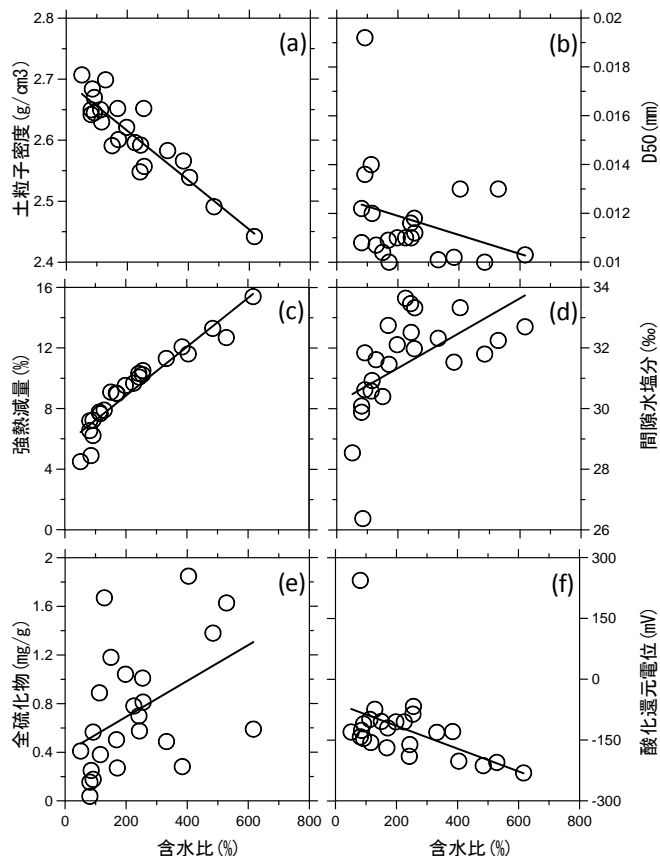


図-5.7 含水比とその他の分析試験値（土粒子密度、中央粒径、強熱減量、間隙水塩分、全硫化物、酸化還元電位）の相関図. Stn.1, Stn.2, Stn.3 における 2006 年~2009 年までの表層 0-1cm 層、1-4cm 層の分析値をプロットしている。

強度の変化という物理条件以外にも化学的な環境要因の影響についても同時に考慮する必要がある。

また、Stn.3 近傍の水深 25m 地点における溶存酸素量 (DO) の水質鉛直分布の時系列変動を示す（図-5.8）。夏季を中心に顕著となる貧酸素化は多くの底生生物の生活を阻害し（風呂田、1988）、底層の DO が 2mg/L 以下の貧酸素化により底生生物の生息できない海域が出現するとされている（風呂田、2011）。羽田河口沖海底では毎年7月から9月にかけて毎年継続する貧酸素化のもとで、酸素条件が回復した5月の底生生物群集の回復において大出水後に多様性と現存量ともに高い回復がみられたことは、底生生物の回復は水質 DO の変動よりも、底質環境の変化に依存したものと考えられる。

5.4 結語

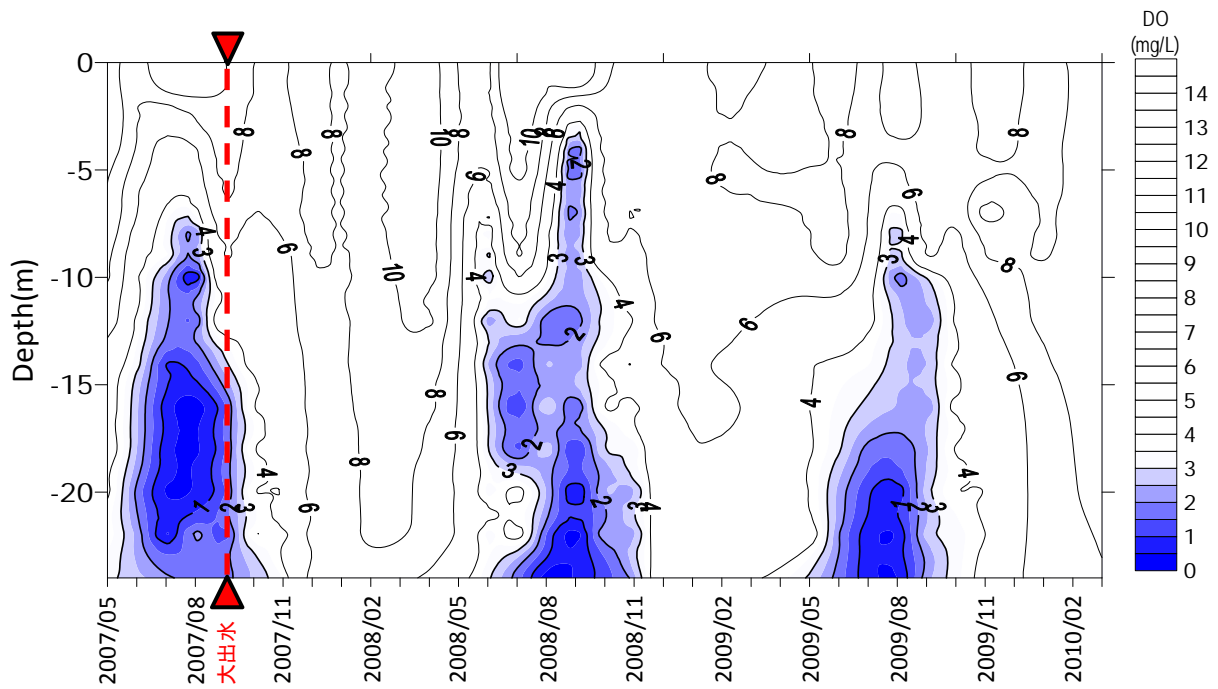


図-5.8 Stn.3 近傍地点 (Stn.M2:水深 24m) における溶存酸素量の鉛直時系列変化図。2007年5月から毎月1回計測している鉛直データをもとに作図。3mg/L以下を着色している。赤点線は、2007年9月に発生した大規模出水の時期を示す。

東京湾多摩川河口前置斜面における水深 4.5m から 20m までの 3 地点において、2007 年 9 月に発生した出水前後に注目して底質環境と底生生物群集の変動について検討を行った。

その結果、多摩川河口前置斜面において、大出水後に底生生物群集の多様度の全体的な増加と測定点間の均一化が見られた。その際、底泥表層部において含水比の低下や酸化還元電位の上昇がみられることから、底質基盤としての安定度が増したことや還元状態の変化が底生生物の生息環境を一時的に改善したものと考えられ、底質環境の変化に応じた生物相の変化が生じた。

すなわち、当該河口沖合では河川出水等の自然条件が底質環境の変動に大きく関与していることが明らかになった。今後、滑走路建設に伴う環境変化を評価していくうえでも、この様な自然条件の変化に依存した環境変動特性を把握しておくことが重要である。

参考文献

有路隆一・八木宏・灘岡和夫・中川康之・小川浩史・下迫健一郎・木村俊介(2010)：東京湾多摩川河口周辺域における底質環境の時空間変動特性，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 66, No. 1, pp. 446 - 450.

岡田知也・古川恵太(2005)：東京湾沿岸域における音響測深装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況，海岸工学論文集，第 52 巻，pp-1431-1435.

国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所(2007)：平成 19 年 9 月台風 9 号出水概要—多摩川・鶴見側・相模川—，第 2 報，平成 19 年 9 月 10 日作成，pp. 1-43.

佐々真志・渡部要一・桑江朝比呂(2008)：鳥と地盤と底生生物の関係に果たす水際土砂環境の役割，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.1171-1175.

中川康之・有路隆一・松坂省一・諸星一信・八木宏・灘岡和夫・古殿太郎・大野幸正・島崎哲也(2007)：多摩川河口沿岸域における底泥の堆積分布特性の把握に関する現地調査，海岸工学論文集，第 54 巻，pp-1031-1035.

- 中川康之・有路隆一・松坂省一・諸星一信・八木宏・灘岡和夫・田中晋(2008)：東京湾多摩川河口沖における底泥の巻き上げに関する現地観測，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.516-520.
- 中川康之・有路隆一・灘岡和夫・八木宏・下迫健一郎・白井一洋(2010)：東京湾羽田沖での現地観測に基づく台風来週時における底泥の侵食・堆積量の評価，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol66，No.1，pp.441-445.
- 二瓶泰雄・坂井文子・重田京助・灘岡和夫・八木宏・諸星一信・鈴木信昭・松坂省一・有路隆一・峯浩二(2008)：2007 年台風 9 号出水時における多摩川の土砂・栄養塩・有機物負荷特性，河川技術論文集，第 14 巻，pp. 473-478.
- 羽田周辺水域環境調査研究委員会(2010)：羽田周辺水域環境調査研究の取組み～調査研究の中間成果報告～，平成 22 年 12 月，pp.1-161.
- 風呂田利夫(1988)：東京湾における貧酸素水の底生・付着動物群集に与える影響について，沿岸海洋研究ノート，第 25 巻，第 2 号，pp104-113.
- 風呂田利夫(2011)：環境修復に関わる環境行政の取り組み．東京湾 人と自然の関わり，東京湾海洋環境研究委員会 (編)，恒星社厚生閣，pp.309-318.
- D. C. Miller, S. L. Poucher, L. Coiro (2002): Determination of lethal dissolved oxygen levels for selected marine and estuarine fishes, crustaceans, and a bivalve, *Marine Biology*, 140, pp.287-296.
- Jone S. Gray, Rudolf Shiu-sun Wu, Ying Ying Or (2002): Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment, *Marine Ecology Progress Series*, 238, pp.249-279.
- Toshio Furota(1996a): Life cycle studies on the introduced spider crab *Pyromaia tuberculata* (lockington) (Brachyura: Majidae). I. Egg and larval stages, *Journal of Crustacean Biology*, 16, pp.71-76.
- Toshio Furota(1996b): Life cycle studies on the introduced spider crab *Pyromaia tuberculata* (lockington) (Brachyura: Majidae). II. Crab Stage and Reproduction, *Journal of Crustacean Biology*, 16, pp.77-91.
- Toshio Furota, Seiichi Watanabe, Toru Watanabe, Seiji Akiyama, and Kyoko Kinoshita(1999): Life history of the Mediterranean green crab, *Carcinus aestuarii* Nardo, in Tokyo Bay, Japan, *Crustacean Research*, 28, pp.5-15.

6. 結論

本論文では、内湾－河川接合域として複雑な環境過程が生じる東京湾多摩川河口周辺域を対象として、底質環境の空間構造と長期にわたる時間的な変動特性の実態把握を行った。底質特性の検討に際しては、空間解像度や時間解像度が異なるいくつかの計測を組み合わせることにより把握することを試みた。そして、環境変動を支配する重要な要素のひとつである底質環境と底生生物群集の時空間的な変動特性および両者の関係を明らかにするために、長期にわたり高頻度かつ高密度な時空間スケールのもと底質コアサンプリング手法を用いたこと、分類専門家による最新の分類体系に基づいた生物同定を行うなど、従来の手法によるものに比べて圧倒的に質の高い環境モニタリングデータをもとに検討を行った。以下に、各章で得られた主要な結論を要約し、本論文の結論とする。

2章では、河口周辺域において非定常状態も含めた場の持つ環境変動特性について検討を行った。河川流軸方向の約6kmの空間を対象として四季毎に実施した長期にわたる現地調査結果をもとに、底質環境の時空間変動に注目した検討を行い変動特性の把握を試みた。調査期間中に発生した台風の接近により多摩川上流観測所において戦後2番目の水位となる記録的な出水と東京湾での気象擾乱を引き起こし、多摩川、東京湾では環境変化が生じ多摩川河口沖では出水後に底質粒径の細粒化や含水比・強熱減量の急激な低下とその後の約2年間もの年月を経て緩やかに回復する状況を捉えることに成功した。さらに、その変化は、河口沖の深場から河口部へ向かうにしたがって変動幅が小さくなる傾向があることを明らかにした。また、多摩川河口上流域の干潟・浅場での大規模出水による影響は、数ヶ月程度と比較的短期間に限られることが明らかとなり、むしろ、対象場としての環境特性としては、夏季に底質粒径の細粒化、含水比上昇、強熱減量の増加、冬季に粗粒化、含水比の低下、強熱減量が減少する明瞭な季節変動が支配的であることを明らかにした。

3章では、2章で明らかにした多摩川河口干潟における底質環境の季節変化に注目して、その変動要因の検討を行った。これまでに実施した地形断面計測、河川流量、底質性状、水質・流動構造などの物理的特徴と底生生物群集の種類数、個体数、摂食等に伴う生物活動などの生態的特徴から総合的に検討を行うことにより、冬季と比較し夏季にはクロロフィルaの増大が見られることから、夏季にみられる底質粒径の細粒化、高有機物化は、水中

のデトリタス等の懸濁態有機物の沈降、堆積により生じたものであると推察した。その後、秋季以降は懸濁態有機物量の減少に伴い堆積量が減り、さらに河川流により微細土砂成分が流出されることを示した。河口干潟において、以上のサイクルが季節変動として捉えられた。

4章では、2章で明らかにした多摩川河口沖の深場において、大規模出水により急激な変化を受けた含水比等の底質性状が約2年をかけて緩やかに回復する現象に注目して、その変動要因について検討を行った。出水前とその4年後に採取した2時期の長尺コアサンプルと四季毎に採取した表層10cmのコアサンプルを用いて、底泥の時空間変動特性と鉛直分布特性について検討を行うことにより、出水後における底泥堆積過程とその特性を詳細に捉えることに成功した。この現象は、定常的に2.5cm/年の時間スケールで新生堆積物が降り積もることにより生じることを明らかにした。さらに、底泥含水比において見られる鉛直構造は、過去の大規模な出水や気象擾乱等の非定常なイベントを履歴として保存されている可能性を示した。

5章では、2章で明らかとなった含水比、強熱減量等に見られる大規模出水時の急激な底質環境の変化が、底生生物群集の種類数、個体数、湿重量および生息環境に及ぼす影響について、物理的な観点から環境勾配の大きい多摩川河口前置斜面部を対象として長期調査データをもとに検討を行った。調査期間中に発生した大規模出水の翌年に底生生物群集の多様度の全体的な増加と測定点間の均一化が見られたことから、底質基盤としての安定度が増したことや還元状態の変化が底生生物群集の生息環境を一時的に改善したものと考えられた。従来、底生生物群集は水質環境との対応関係により変動特性が示されてきたが、本研究により新たに、生物生息環境は底質基盤の安定度合いによっても変動することが明らかになった。

最後に本研究の今後の課題についてまとめておく。

本論文では、大規模な出水イベント時の河口沖底質の含水比の急激な低下とその後の緩やかな回復過程等を捉え、その変動要因を明らかにした。さらに、底生生物群集の多様度が、生息基盤としての底質環境の安定度に寄与する含水比の低下に伴って増加することを明らかにした。これにより、内湾－河口接合域として複雑な物理・化学・生物過程について底質環境面から一定の解明ができたと考えられるものの、限られたパラメータからの検討にとどまっており、底質性状の時空間的な変動要因の全てを明らかにするには至っていない。今後は、底質、水質パラメータ等の環境要因を追加して検討することにより、

底質環境の変動についてより理解を深めることが必要である。さらに、出水イベント後の定常状態としての表層新生堆積物の時間的な変動をモニタリングし堆積物質の変化特性を把握することにより深部堆積構造の理解に取り組むことが必要と考えられる。

(2012年6月1日受付)

謝辞

本論文は、東京工業大学大学院における著者の博士論文を、港湾空港技術研究所資料として再編したものである。

本研究の遂行ならびに論文の取りまとめにあたりましては、指導教官の東京工業大学大学院情報理工学研究科、八木宏連携教授に終始懇切丁寧なご指導とご鞭撻を賜りました。また、副指導教官の東京工業大学大学院情報理工学研究科、灘岡和夫教授には、社会人博士課程として研究の機会を与えて下さり、ご指導とご鞭撻を賜りました。ここに、心より深く感謝の意を表します。

独立行政法人港湾空港技術研究所、中川康之沿岸土砂管理研究チームリーダーには、細部にわたり懇切丁寧なご指導をいただきましたこと、深くお礼申し上げます。

独立行政法人港湾空港技術研究所、栗山善昭特別研究官（海洋・水工研究担当）からは、日頃より多くの研究上の示唆を頂きました。たいへん有り難うございました。

研究開始当時の上司である横浜港湾空港技術調査事務所、諸星一信所長（現国土交通省東北地方整備局塩釜港湾空港整備事務所長）には、日常生活面においても親身に相談にのっていただき、折に触れ励ましていただきました。深く感謝申し上げます。

本研究で用いた現地観測データの全ては、国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所が主催する羽田周辺水域環境調査研究委員会の委員会活動によって得られたものです。委員会活動に関わったすべての人たちのご努力のおかげで本研究を為し遂げることができました。東邦大学理学部生命圏環境科学科、風呂田利夫教授、東京理科大学理学部土木工学科、二瓶泰雄准教授からは貴重なデータを提供していただいただけでなく、多くの有益な助言を頂きました。東京大学大気海洋研究所、小川浩史准教授、碓井敏宏特任研究員からは、化学分析データの取り扱い方を教えていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

東京工業大学大学院情報理工学研究科、渡邊敦助教、灘岡研秘書、塚本栄子氏には、折に触れて励ましのお言

葉を頂きましたこと、感謝申し上げます。

独立行政法人港湾空港技術研究所沿岸環境研究領域、桑江朝比呂チームリーダーには生態学の観点から貴重なご示唆を頂きました。同チーム、細川真也主任研究官からは、統計学についてご指導頂きました。また、同領域の皆さんからは、日常の職場において様々な刺激を与えて頂きました。ここに、これらの方々に対して深く感謝申し上げます。

港湾空港技術研究所資料 No.1254

2012.9

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2012) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています