

西表島船浦湾奥部におけるマングローブ環境の特徴

中村建作¹・瀬戸浩二²

Environmental features of mangrove inner part of Funaura Bay in the Iriomote Island, southwest Japan

Kensaku Nakamura¹, Koji Seto²

Abstract: Mangrove forests are high productivity habitats located in estuarine regions in the tropics and subtropics. The mangrove forests on Iriomote Island can be classified as subtropical. The purpose of this study is to document the mangrove environment in inner Funaura Bay, Iriomote Island, Okinawa Prefecture. The inner part of Funaura Bay is enclosed by an embankment, and is connected to the ocean by a small channel of about 160 m width.

A survey of water quality showed that there is a strong halocline in inner Funaura Bay due to the input of freshwater from river. Phytoplankton abundance is high due to the input of nutrients from the mangrove swamp. A survey of the surface sediments in the bay showed that the tidal flats consist of sand and carbonate with low total organic carbon (TOC) and low total sulfur (TS) contents, which indicates an oxic environment. On the other hand, the sediments of the mangrove swamp consist of sand, mud, and carbonate with enriched TOC and TS contents, which indicates an oxygen poor environment.

Key words: Funaura Bay; mangrove forest; productivity; organic carbon; surface sediments

はじめに

亜熱帯に属する西表島には、河口域においてマングローブ林が発達する。マングローブ林は、一般的に熱帯から亜熱帯の河川河口部・潮感域に形成される生産性の高い森林であり、海洋へ供給される陸源有機物の生産の場として重要な地域である。

マングローブの多くは、潮感域に繁茂することから、これまでに海水準変動に伴うマングローブの立地変動について研究されてきた。西表島においても、浦内川河口や船浦湾奥部において、柱状試料を用いた海水準変動に伴うマングローブ形成発達史の研究が行われている(藤本ほか, 1993; 田中, 2002)。

マングローブ形成史を議論する上で、現在のマングローブ環境を理解することは非常に重要である。これまで西表島では、網取湾奥部(ウダラ川河口域)などのマングローブ環境において堆積物の特徴について報告が行われている(瀬戸, 1995)。船浦湾奥部は、人工的な堤防によって閉鎖された湾であり、そこでもマングローブ林は発達している。本研究では、現在の船浦湾奥部から河川におけるマングローブ域の水質・堆積環境の特徴を明らかにし、古環境解析に応用できる基礎資料とすることを目的としている。

¹ 島根大学総合理工学部地球資源環境学科 Department of Geoscience, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

² 島根大学汽水域研究センター Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

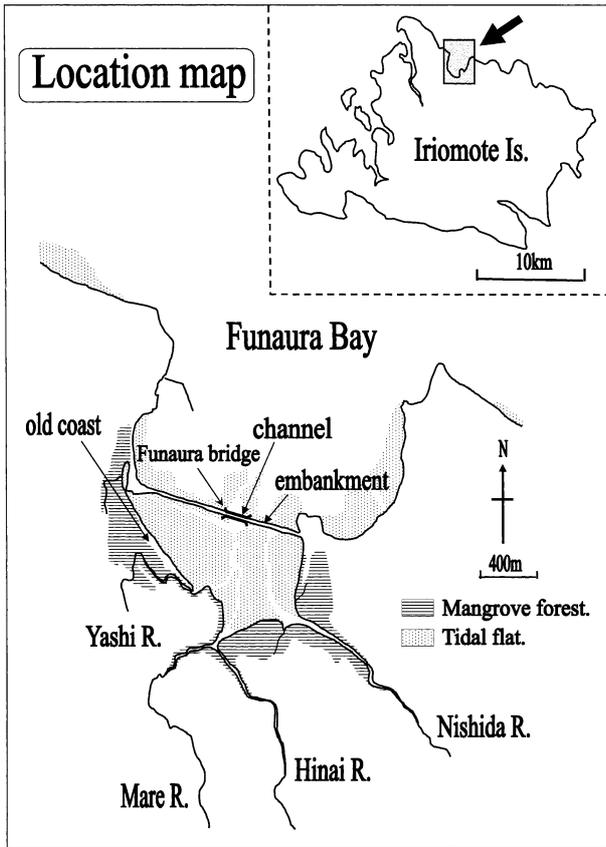


図1. 調査位置図.
Fig. 1. Location map.

調査地概要

西表島は八重山群島に属し、総面積は271 km² (荒木・中川, 1978)で、琉球列島のなかで5番目に大きい島である。調査地の船浦湾は西表島の北部に位置し、湾口が北に大きく開いた湾である(図1)。湾奥部は人工の堤防によって閉じられており、幅2 km, 奥行き1.5 kmである(田中, 2001)。堤防で閉ざされている湾奥部(堤防内湾奥部)は、およそ160 mの水路によって海域と流通している。下げ潮時や上げ潮時にはその水路を通じて流入出し、干潮時には堤防内湾奥部のほとんどが干潟となり、逆に満潮時にはマングローブ林のほとんどが冠水する。船浦湾への流入河川は西田川, ヒナイ川, マーレ川, ヤシ川があり、湾内に淡水を供給している。しかし、通常時では、それら流入河川の流量は非常に少ない。マングローブ林内では幅1~2 mのクリークも多数存在し、主に下げ潮時にそれを通じて水が流出している。湾奥部の西部には400 mにわたって、炭酸塩に富む砂浜が見られる。浜付近のマングローブは地下茎が露出しており、この浜は現在では侵食の

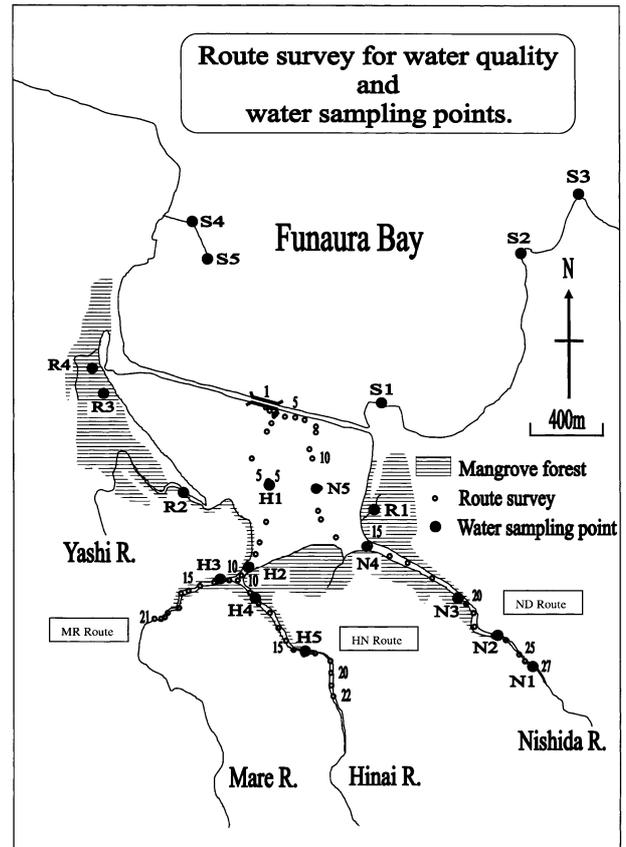


図2. ルート水質調査地点と採水地点.
Fig. 2. Route survey for water quality and water sampling points.

場にある。

マングローブ林を構成する主な樹種は、東部ではオヒルギ (*Bruguiera gymnorhiza*), 西部ではヤエヤマヒルギ (*Rhizophora stylosa*) で、希にマヤブシキ (*Sonneratia alba*) が見られる。またマングローブ林内では、キバウミニナ (*Terebralia palustris*) やシレナシジミ (*Geloina coxans*) などの貝類がみられるところもある。

調査および分析方法

1. 調査および試料

現地調査は、2003年7月16日から24日まで行った。満潮時は主に水質調査を、干潮時は底質調査を行っている。水質調査は、堤防の水路から西田川, ヒナイ川, マーレ川に向けて、カヌーを用いてルート状に行った。水質測定は、水中投下式クロロフィル測定装置(アレックス電子製, ACL 1151-DK)を用いて水温, 塩分, クロロフィルa濃度, および照度などの項目を同時に行った。測定装置は、中山ほか(1999)に従い、手動で鉛直下向きに一定速度で投下

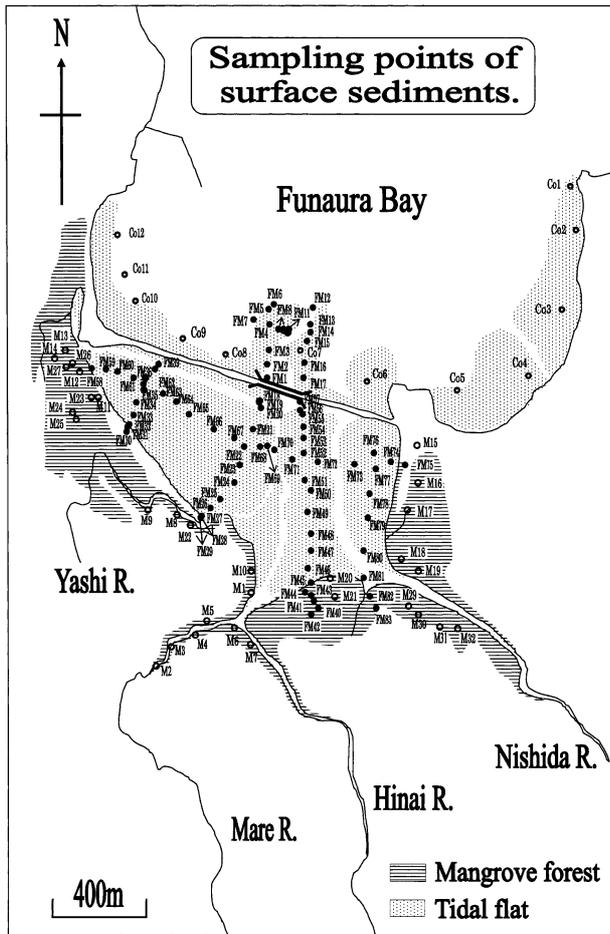


図3. 底質のサンプリング位置.

Fig. 3. Sampling points of surface sediments.

した。測定地点は、西田川ルート(NDR)で27地点、ヒナイ川ルート(HNR)で22地点、マーレ川ルート(MRR)で21地点である(図2)。また、同ルートの地点、干潮時にはマングローブ林内に点在する幅1~2mのクリーク、堤防外の湾沿岸で採水を行った(図2)。採水はポリタンクを用いて表層から約10cmのところで行った。採水後は、ポリタンクに光が入り込まないように暗箱に保管した。採水した水は、現地でWhatman製ガラス繊維フィルター(GF/F)を用いて濾過した。フィルター試料は、後に実験室に持ち帰りCNS元素分析を行った。

底質調査は、満潮時にヒナイ川とマーレ川沿いで、干潮時に湾沿岸部、干潟、マングローブ林内で、それぞれ底質の観察とサンプリングを行った(図3)。底質のサンプリングは、直径5cmのアクリルパイプを用いて、表層から1cmを採取した。試料は実験室に持ち帰った後、80℃で24時間以上、恒温乾燥機で乾燥させた。乾燥試料は、CNS元素分析、粒度分析、炭酸塩量の測定を行った。

2. 分析方法

CNS 元素分析：実験室に持ち帰ったフィルター試料は恒温乾燥器で80℃・24時間以上、乾燥させ、秤量後、瑪瑙乳鉢を用いて粉末にした。粉末にしたフィルター試料は約40mgになるように秤量し、銀製のコンテナに入れた。次に110℃のホットプレート上で銀製コンテナの中の試料に1Nの塩酸を加え、無機炭素と反応させた。十分に反応させた後、4時間ほどホットプレート上で加熱し、試料を蒸発固化させた。次に錫製のコンテナで封入し、CHNS元素分析計(FISONS社製, EA-1108型)によりフィルター試料の全有機炭素(Total organic carbon contents, 以下TOCと呼ぶ)濃度と全窒素(Total nitrogen, 以下TNと呼ぶ)濃度を測定した。さらにフィルター試料の全重量と測定重量の比から懸濁態有機炭素(Particulate organic carbon, 以下POCと呼ぶ)濃度および懸濁態有機窒素(Particulate organic nitrogen, 以下PONと呼ぶ)濃度を算出した。また、フィルター試料のTOC濃度とTN濃度からPOC/PON比を算出した。CNS元素分析は、標準試料としてBBOTを用い、10試料ごとに測定を行っている。

採集した底質試料は80℃で24時間以上、恒温乾燥機で乾燥させ、瑪瑙乳鉢を用いて粉末にした。粉末にした底質の試料が約10mgになるよう秤量し、それを銀製のコンテナに入れた。以下はフィルター試料と同様な手順で行った。底質試料は、TOC、TNおよび全硫黄(Total sulfur, 以下TSと呼ぶ)濃度を測定し、また、TOCとTNから底質のTOC/TN比を算出した。

粒度分析：粒度分析は、レーザー式粒度分析装置(島津製作所製, SALD-3000S)を用いて行った。粒度分析のための試料は、適量の底質乾燥試料を分取し、35%の過酸化水素水で処理したものをを用いた。処理した試料はすべて装置に入れ、超音波分解し、測定を行った。試料測定の最初と最後に標準試料JIS-11を測定し、粒度分析器のチェックを行っている。得られた頻度分布測定値は、Fork and Ward(1957)の式を用いて平均粒径と淘汰度を算出し、底質の粒度の評価を行った。

炭酸塩量：底質の乾燥試料を秤量し、12Nの塩酸を加え炭酸塩と十分に反応させた。反応が終わると試料をWhatman製の濾紙を用いて濾過し、蒸留水で十分に塩酸を洗い流した。その後80℃で24時間以上、恒温乾燥器で乾燥させ、その残渣を秤量し次式により溶解率をもとめた。

溶解率(%) = (試料の乾燥重量 - 残渣重量) / 試料の

乾燥重量×100

本研究では、この溶解率を炭酸塩量とした。

結 果

1. 水質

西田川 (ND) ルート

ND ルートの水質調査結果を図 4 に示す。西田川の感潮域最上流部での水温は 28℃ 前後と ND ルート内では最も低い値を示した。西田川上流から下流にかけての水温は 31~33℃ と大きな変化は見られないが、河川下流から湾奥部にかけては 34℃ から 30℃ 前後へとわずかながら水温の低下が見られた。

西田川の感潮域最上流部での塩分は 10~18 psu と ND ルート内では最も低い値を示している。河川上流から表層 30 cm~50 cm 付近で塩分躍層がみられ、その躍層は下流域まで存在している。湾奥部では塩分躍層はみられず、表層、底層ともに 34 psu と最も高い値を示す。

クロロフィル a 濃度は、河川上流から湾奥部の全域において表層から水深 50 cm の水層で高い値を示した。このクロロフィル a 濃集層の濃度は局所的に 100 $\mu\text{g}/\ell$ と非常に高い値を示す。感潮域最上流部のクロロフィル a 濃度は、比較的低い値を示している。底層は 10~20 $\mu\text{g}/\ell$ 前後と表層水に比べて低いが、上流側から下流方向に低くなる傾向にある。

ヒナイ川 (HN) ルート

HN ルートの水質調査結果を図 4 に示す。ヒナイ川感潮域最上流部での水温は 29℃ 前後と HN ルート内では最も低い値を示した。ヒナイ川の上流から下流にかけて表層は 31~32℃ で、底層は 33℃ 前後と比較的高い傾向が見られる。マーレ川との合流地点の水温は表層で 30℃ 前後と局所的に低くなるが、底層では 34℃ と高くなり、表層と底層とで弱い温度躍層が見られる。マーレ川合流地点では底層部の水温がもっとも高く、そこから下流方向に水温が徐々に低下し、湾奥部の堤防付近では 30℃ 前後まで低くなる。

ヒナイ川感潮域最上流部の塩分は 19 psu 前後と HN ルート内では最も低い。ヒナイ川の感潮域の上流から下流域まで塩分躍層が見られ、下流に向けて塩分勾配は小さくなる。マーレ川との合流地点での塩分は局所的に低くなるが、マーレ川との合流地点から湾奥部の堤防までは表層、底層ともに 34 psu 前後で安定している。

表 1. 船浦湾堤防外沿岸部~河川における POC 濃度, PON 濃度, C/N 比。

Table 1. POC concentration, PON concentration and POC/PON ratio from inner part of Funaura Bay to river.

Sample No.	POC (mg/ℓ)	PON(mg/ℓ)	POC/PON Ratio
N1	0.137	0.014	9.8
N2	0.570	0.074	7.7
N3	0.403	0.047	8.6
N4	0.301	0.039	7.7
N5	0.374	0.050	7.5
H1	0.159	0.025	6.4
H2	0.280	0.040	7.0
H3	0.250	0.033	7.6
H4	0.266	0.036	7.4
H5	0.174	0.017	10.2
S1	0.153	0.023	6.7
S2	0.196	0.026	7.5
S3	0.135	0.020	6.8
S4	0.118	0.018	6.6
S5	0.141	0.024	5.9
R1	0.976	0.092	10.6
R2	0.493	0.048	10.3
R3	1.259	0.103	12.2
R4	1.277	0.106	12.0

クロロフィル a 濃度は、ヒナイ川下流~湾奥部間の表層から水深 50 cm の水層で高い値を示した。最も高い値を示すのはマーレ川との合流地点で、100 $\mu\text{g}/\ell$ に達する。しかし、全体的には西田川より低い傾向にある。底層部では、ヒナイ川の感潮域の上流から堤防内湾奥部にかけてクロロフィル a 濃度が減少する傾向にある。

マーレ川 (MR) ルート

MR ルートの水質調査結果を図 4 に示す。マーレ川の感潮域最上流部の水温は 30℃ 前後で、西田川やヒナイ川の感潮域最上流部の水温と比較して高い。マーレ川上流から下流域までは 32~34℃ と大きな変化はみられないものの、増加する傾向にある。このルートでは、ヒナイ川との合流地点付近の底層がもっとも高い水温を示している。

マーレ川の感潮域最上流部での塩分は 19 psu 前後と MR ルート内では最も低い。マーレ川の感潮域全域において水深 50 cm 付近で塩分躍層が見られる。塩分躍層の下層では、中央部付近の凹地に高塩分の水塊が見られる。

クロロフィル a 濃度は、マーレ川の感潮域ほぼ全域において表層から水深 50 cm の水層で高濃度を示した。感潮域最上流部のクロロフィル a 濃度は、比較的低い値を示している。表層におけるクロロフィル a 濃度は、湾奥部よりもマーレ川の方が高い。それ以深の底層部のクロロフィル a 濃度は、下流方向に減少する傾向がある。

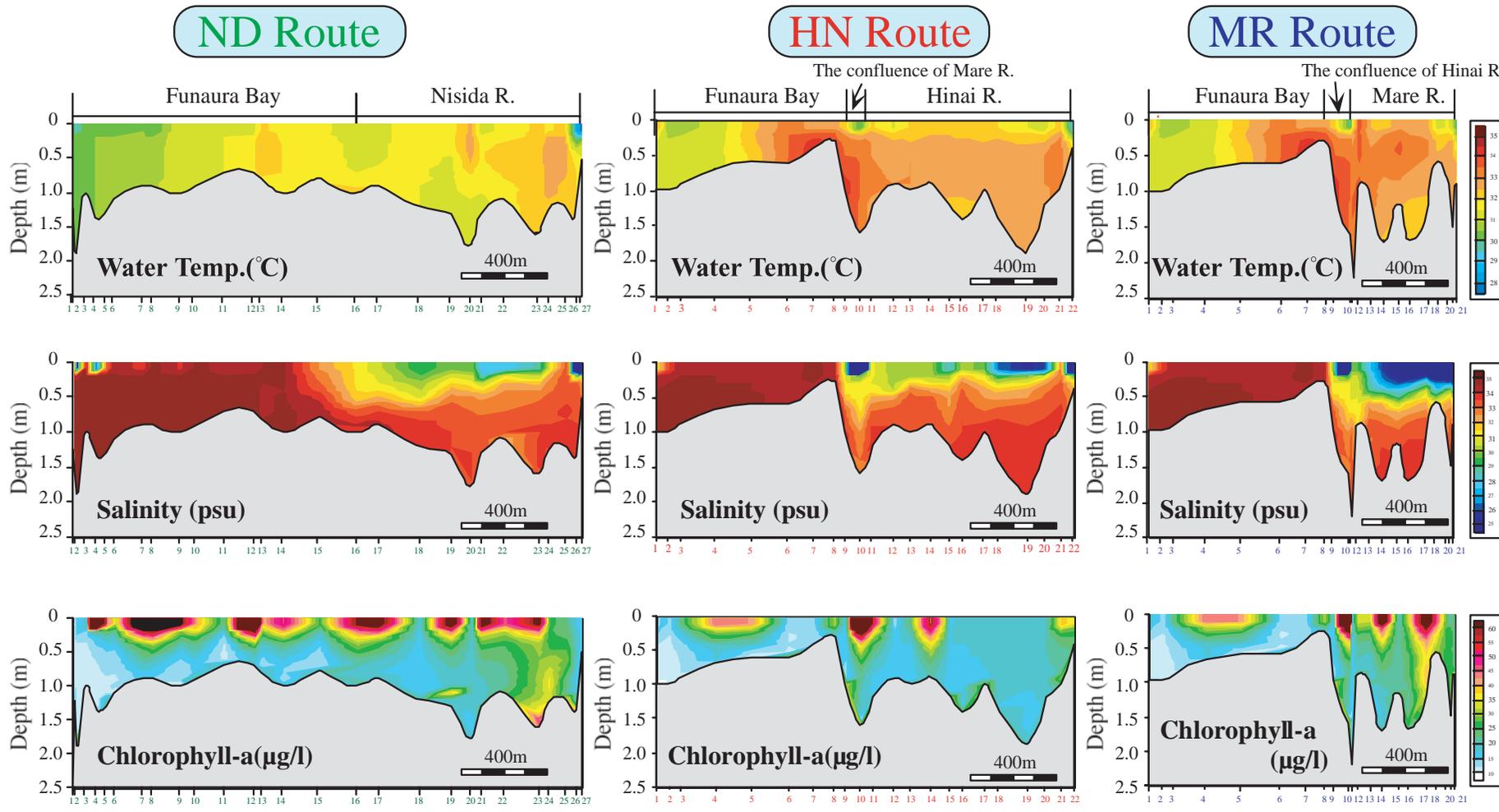


図 4. ND ルート, HN ルート, MR ルートの水質調査結果.
Fig. 4. The result of water quality in ND route,HN route and MR route.

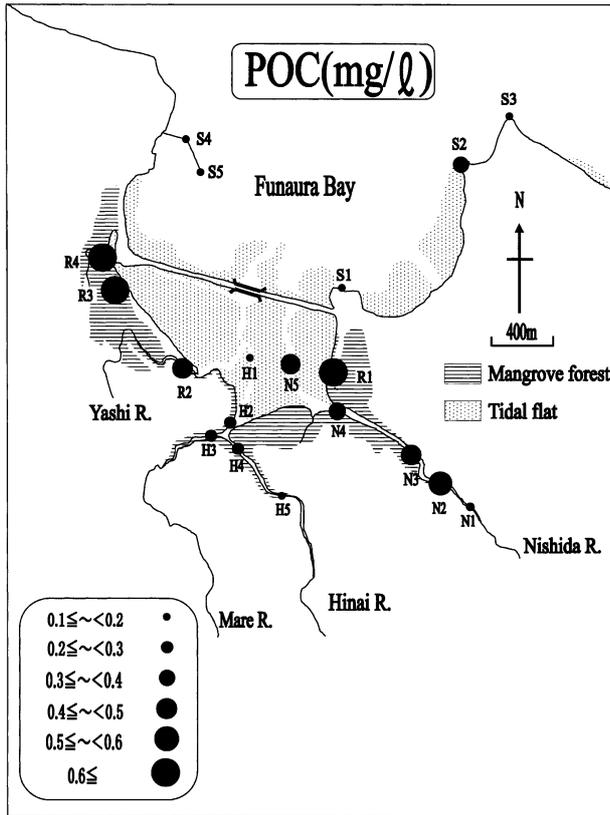


図5. 船浦湾堤防外沿岸部～河川における POC 濃度。
Fig. 5. POC concentration from inner part of Funaura Bay to river.

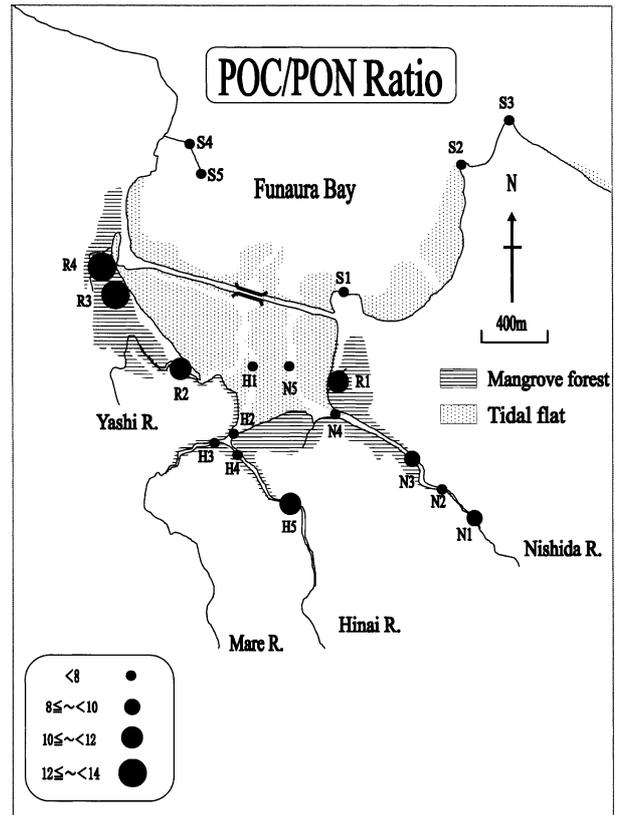


図6. 船浦湾堤防外沿岸部～河川における POC/PON 比。
Fig. 6. POC/PON ratio from inner part of Funaura Bay to river.

2. 懸濁物の有機炭素濃度と POC/PON 比

今回、フィルター試料から得られた POC 濃度、PON 濃度、POC/PON 比は表 1 に示した。また、POC 濃度の分布を図 5 に、POC/PON 比の分布を図 6 に示した。

西田川上流(N1)およびヒナイ川上流(H5)の POC 濃度は、それぞれ 0.14 と 0.17 mg/l であり、低い値を示している。POC/PON 比は逆に 10 前後と高い値を示している。西田川とヒナイ川の上流から下流かけての POC 濃度は、それぞれ 0.30～0.57 mg/l、0.25～0.28 mg/l の値を示し、西田川では下流方向に減少傾向にある。POC/PON 比は、西田川では 7 前後、ヒナイ川では 8 前後の値を示している。それらの河川水が注ぐ湾奥部の POC 濃度は、0.2～0.4 mg/l とやや低く、POC/PON 比も 6.4～7.4 と低い値を示している。堤防外の沿岸部(S1, S3, S4, S5)の POC 濃度は、0.1～0.2 mg/l で今回の試料群の中で最も低い値を示している。また、POC/PON 比も 6～7 で、同様に最も低い値を示している。

干潮時においてマングローブ林内に分布するク

リークのプールから採水した R1～R4 地点での POC 濃度は、0.5～1.3 mg/l で最も高い値を示している。また、POC/PON 比も 10～12 と最も高い値を示している。

3. 底質の粒度分布

全調査地域内における底質の平均粒径の分析結果は図 7 に、地域ごとの代表的な粒度頻度分布は図 8 に示した。

堤防外の船浦湾沿岸部 (FM 1～FM 17, Co 1～Co 12) の底質の平均粒径は、1.5～2.2 φ で、淘汰は良い (0.3～0.7)。粒度頻度分布では、1.5～2.0 φ が最頻値で、突出した頻度分布を示している。

堤防内の湾奥部 (FM 18～FM 26, FM 31～FM 39, FM 45～FM 74, FM 76～FM 81) での底質の平均粒径は、1.4～2.3 φ で、淘汰は 0.4～0.9 とやや良い。粒度頻度分布は、堤防外湾沿岸部と同様な分布を示しているが、4 φ の細粒粒子が含まれている。例外的に FM 19 の平均粒径は、6.9 φ と細粒の値を示す。FM 19 は、クリーク中の堆積物で干潮時でも約 0.5 m

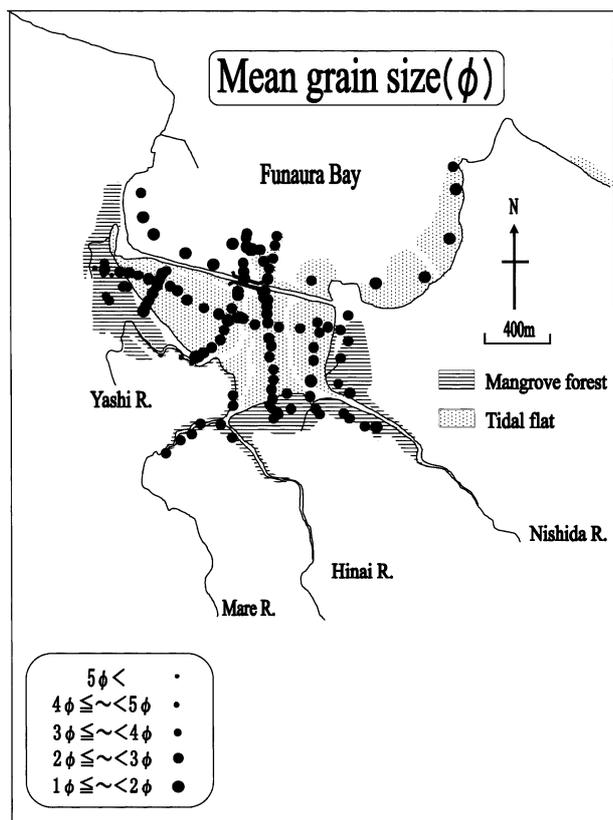


図7. 船浦湾堤防外沿岸部～マングローブ沼における底質の平均粒径。

Fig. 7. Mean grain size of surface sediments from inner Funaura Bay to mangrove swamp.

の水深をもつ地点である。

堤防内湾奥部の浜では、平均粒径が1.1 ϕ で、淘汰は1.0と悪い。粒度頻度分布は堤防外湾沿岸部と類似しているが、-1.0~0.0 ϕ の粗い粒子の占める割合が多く、最頻値の頻度が小さい。

マングローブ林内の底質における平均粒径は、1.0~5.7 ϕ と幅広い粒度を示した。しかし、多くの底質は2.0~2.5 ϕ と4 ϕ 以下の平均粒径に集中している。淘汰も、0.4の良いものから2.5の非常に悪いものまで多様である。粒度頻度分布は、1.5~2.5 ϕ の突出した頻度分布と4 ϕ 以下の扁平した頻度分布を持つバイモーダルを呈する。また、湾奥部東部のマングローブ林(M16~M21, M29~M32)では、粗粒部分の突出した頻度分布が顕著で、細粒部分の扁平した頻度分布の最頻値の頻度が小さい値を示している。一方、西部のマングローブ林(M11~M14, M23~M27)では、粗粒部分の突出した頻度分布の最頻値の頻度が小さく、細粒部分の扁平した頻度分布の頻度が相対的に高い傾向を示している。

4. 底質の炭酸塩量

熱帯域における浅海堆積物の特徴は、サンゴ、大型有孔虫、軟体動物の遺骸など生物性炭酸塩を含むことである。全調査地域内における底質の炭酸塩量の分布は図9に示した。堤防外湾沿岸部における炭酸塩量は3~8%である。堤防内湾奥部における底質の炭酸塩量は8%以内がほとんどであるが、西部に高く、東部に低い傾向がある。湾奥部西部の浜およびマングローブ林の底質の炭酸塩量は50%以上を示し、それに隣接する堤防内湾奥部における底質も高い炭酸塩量を示す。湾奥部東部のマングローブ林の底質、あるいはヒナイ川やマーレ川(M2~M7)の底質の炭酸塩量は4%前後と低い。

4. 底質の全有機炭素濃度・全イオウ濃度・TOC/TN比

全調査地域内における底質のTOC濃度、TS濃度およびTOC/TN比の分布を図10、図11、図12にそれぞれ示す。堤防外湾沿岸部の底質のTOCの濃度は、多くの場合0.3%以下である。堤防の流入流出路付近では、0.4~0.5%の比較的高い値を示した。TOC/TN比は、2~6と低い値を示し、TOC濃度の比較的高いところでは、7~8の値を示す。TS濃度はほとんどが0.1%以下である。堤防内湾奥部の底質のTOC濃度は、ほとんどが0.4%以下を示すが、マングローブ林に隣接するところではやや高い傾向を示す。TOC/TN比は、7以下と低い値を示し、TS濃度は0.2%以下である。FM19は、例外的にTOC濃度が1.8%と高い値を示し、TOC/TN比も12.8と高い値を示した。マングローブ林の底質のTOC濃度は、多くの場合0.5~3.5%の高い値を示した。M12, M24は、それぞれ16.9~13.7%と特に高い値を示している。TOC/TN比は、4~36と多様な値を示すが、TOC濃度が高いものほど、高いTOC/TN比を示す傾向にある。TS濃度は、多くの場合0.4%以下であるが、他の地域の底質よりは高い傾向にある。TOC濃度の高い2試料では、1.4と1.0%の高い値を示した。

考 察

1. 船浦湾奥部～河川における水塊構造と水質環境の特徴

船浦湾湾奥部では、干潮時にほとんどの地域で干潟が形成される。一方、上げ潮時には海水が湾内に侵入し、やがてマングローブ林まで水塊に浸る。このような陸域と海域の接点に位置する船浦湾奥部で

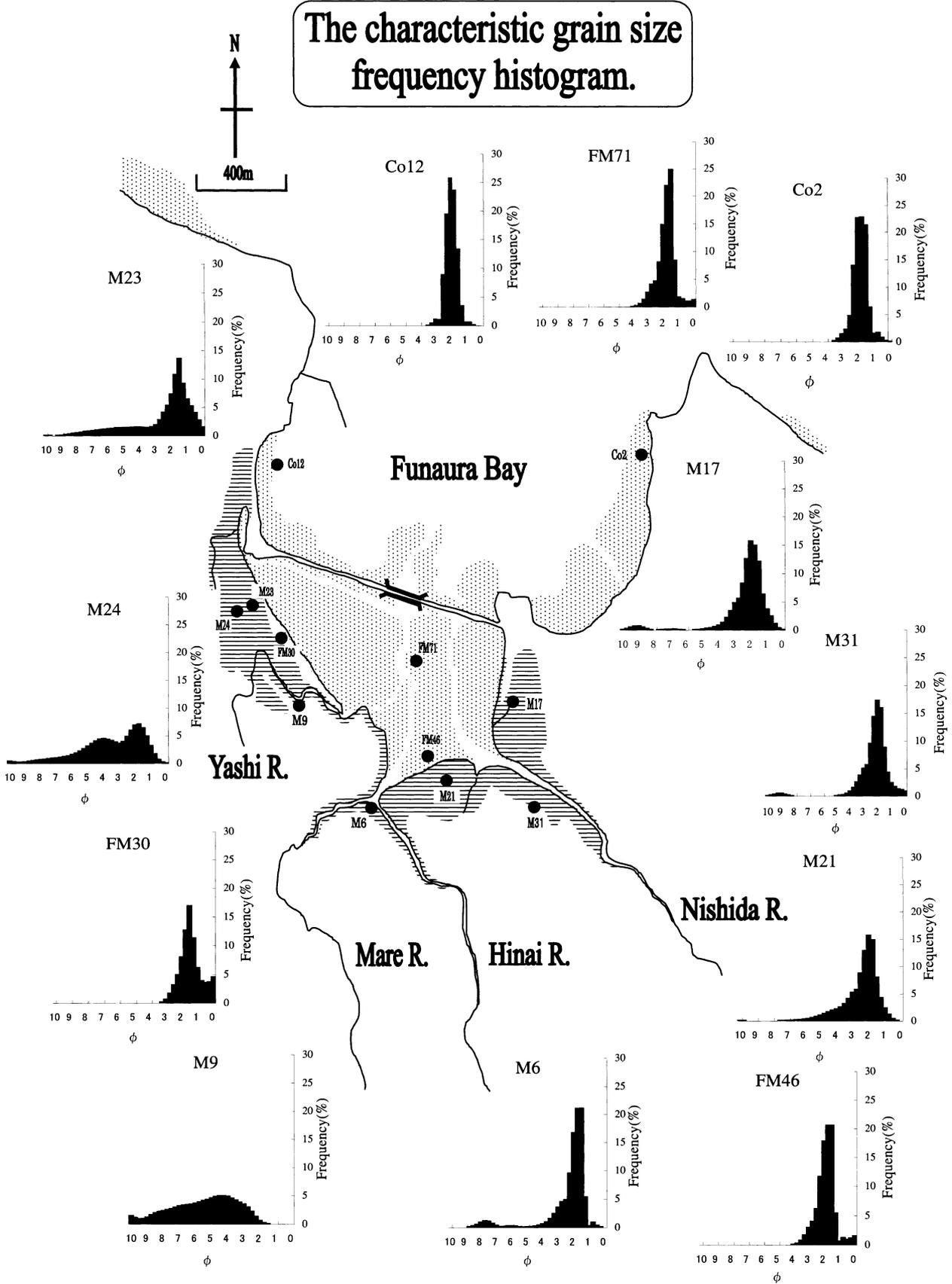


図8. 船浦湾堤防外沿岸部～マングローブ沼における代表的な底質の粒度頻度分布図。

Fig. 8. The characteristic grain size frequency histogram of surface sediments from inner Funaura Bay to mangrove swamp.

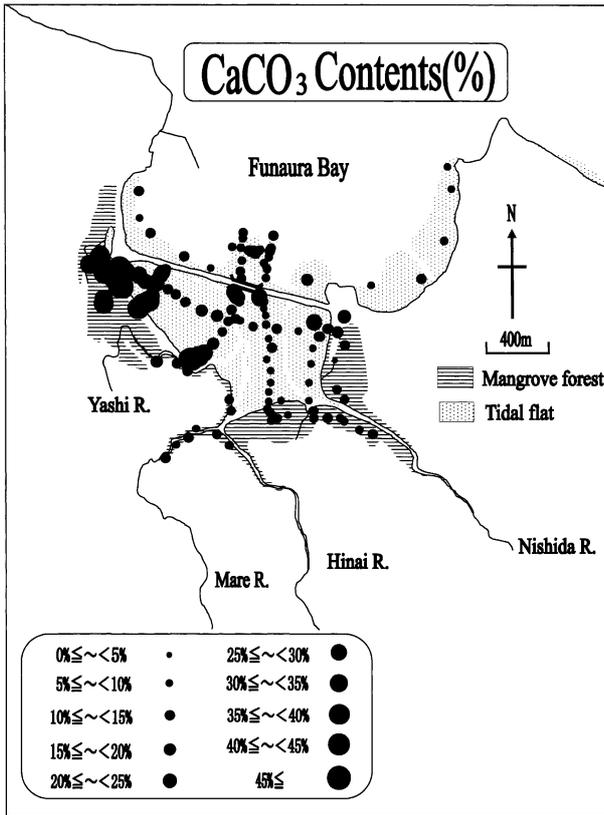


図 9. 船浦湾堤防外沿岸部～マングローブ沼における底質の炭酸塩量。

Fig. 9. Carbonate contents of surface sediments from inner Funaura Bay to mangrove swamp.

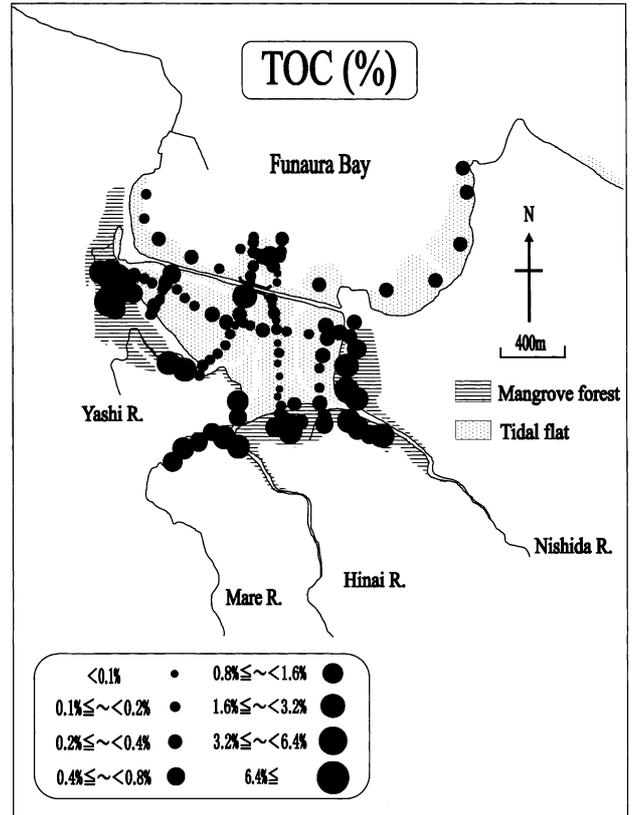


図 10. 船浦湾堤防外沿岸部～マングローブ沼における底質の TOC 濃度。

Fig. 10. TOC contents of surface sediments from inner Funaura Bay to mangrove swamp.

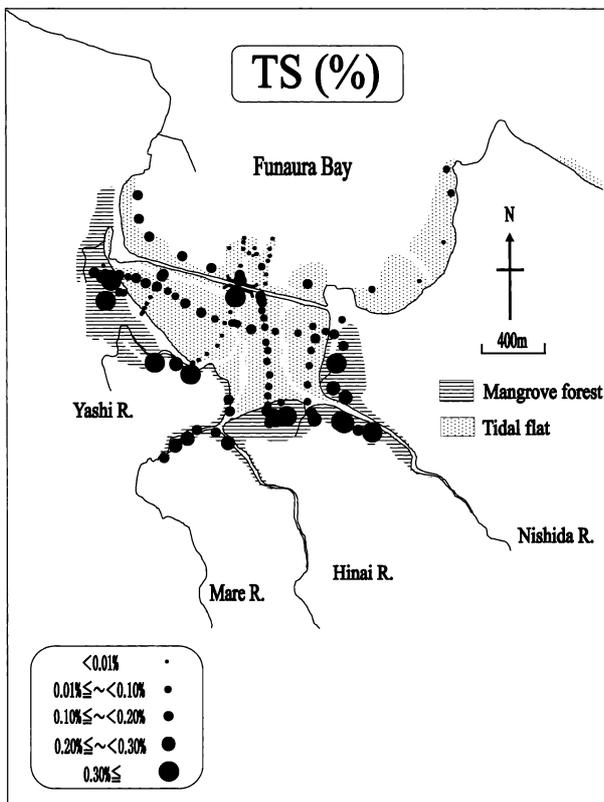


図 11. 船浦湾堤防外沿岸部～マングローブ沼における底質の TS 濃度。

Fig. 11. TS contents of surface sediments from inner Funaura Bay to mangrove swamp.

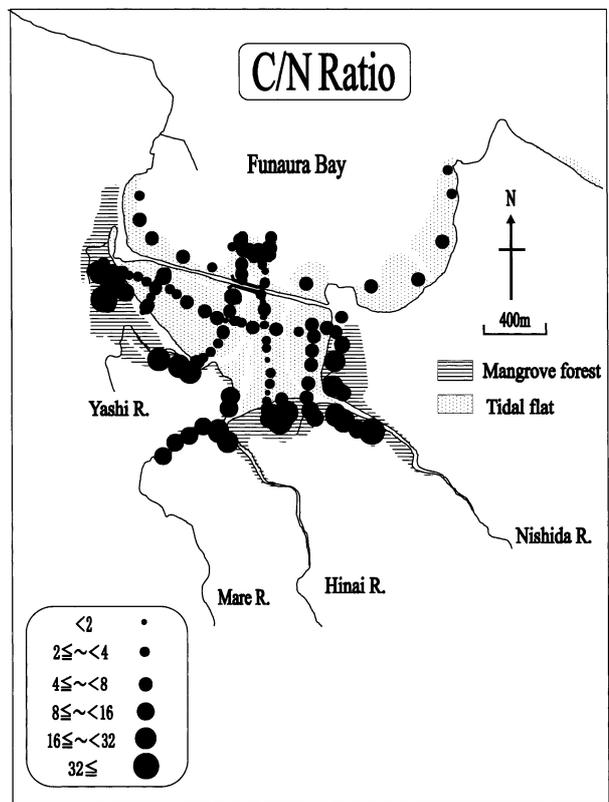


図 12. 船浦湾堤防外沿岸部～マングローブ沼における底質の C/N 比。

Fig. 12. C/N ratio of surface sediments from inner Funaura Bay to mangrove swamp.

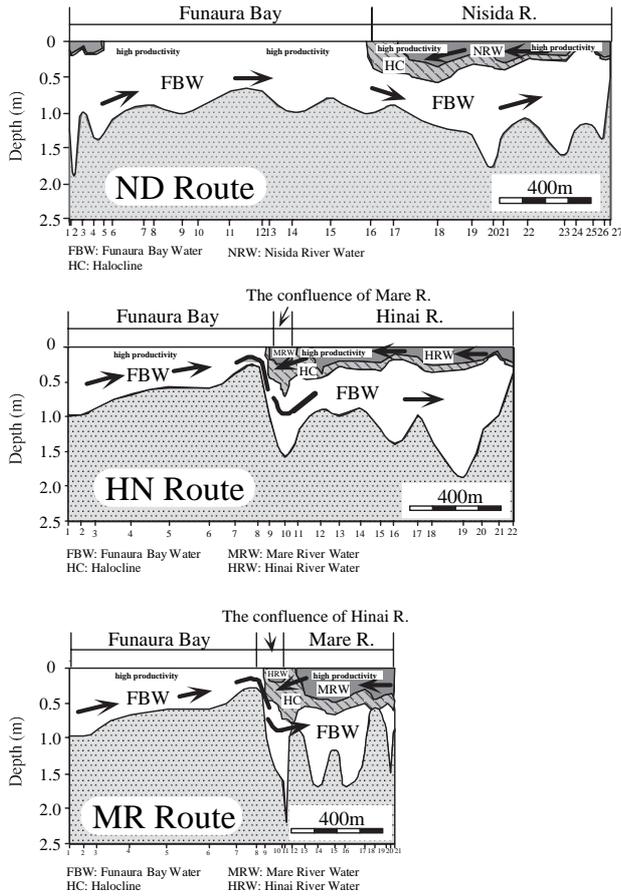


図 13. ND ルート, HN ルート, MR ルートの水塊構造.
Fig. 13. Water mass structure in ND route, HN route and MR route.

は、河川を通して陸域から種々の物質が供給されるとともに、海域からも上げ潮にともない物質が供給されている。海域から流入する海水と陸域から流入する淡水とでは密度が異なるために、感潮域の河川では特殊な水塊構造がみられる。塩分分布から解釈された各感潮域河川から湾奥部の水塊構造は、図 13 に示した。

西田川、ヒナイ川、マーレ川の感潮域の最上流部における表層の水塊は水温と塩分がともに最も低い値を示す。この水塊は、感潮域の最上流部よりさらに上流から比較的低温で淡水の河川水が流れ込んでおり、この河川水が感潮域の高塩分水塊と混合することによって形成されている。これらの水塊は、それぞれ西田川水塊 (NRW)、ヒナイ川水塊 (HRW)、マーレ川水塊 (MRW) と呼ぶことにする。一方、堤防内湾奥部の堤防側では、水温 30°C ・塩分 34 psu の水塊が見られる。この水塊は、堤防の水路から船浦湾の水塊が流入したものである。この水塊を、船浦湾奥水塊 (FBW) と呼ぶことにする。FBW は、河川の

河口域で NRW, HRW, MRW と接し、FBW の方の比重が大きいため河川の感潮域において河川水塊の下に潜り込んでいる。そのため、河川の感潮域では塩分躍層を境界として 2 層構造が形成されている。このような水塊構造は、西表島網取湾のウダラ川においても見ることができる (瀬戸, 1995)。

堤防内湾奥部の FBW は、堤防側から河川の河口域にかけての水温は 30°C から 33°C 程度まで上昇する傾向が見られる。これは、干潮時あるいは初期の上げ潮時に太陽光によって暖められた高温の水塊をその後さらに流入した船浦湾の低温の水塊が混合しながら湾奥側に押し上げた結果であると思われる。堤防内湾奥部の干潟域で形成された高温水塊は、さらに河川河口域まで押し上げられている。河川の感潮域における FBW は、上流側ほど塩分が高い傾向にあり、水温も河川表層水塊より高い。これは、上げ潮流時に湾奥干潟で温められた高温水塊が感潮域奥部まで流入していることを示している。さらに、MR ルートでみれば、感潮域奥部の底層における塩分の高い水塊ではやや低い水温を示している。これは感潮域の河川の水深が湾奥部の干潟より深いこともあり、上流域にやや古い FBW が残っているためだと思われる。河川の感潮域の FBW は、河口域で河川表層水塊の下に潜り込み、河川表層水塊と混合しつつ上流域にゆっくり遡上していくものと思われる。

干潮時にクリークを除くほとんどの水域が干潟になることから、下げ潮流時は堤防内湾奥部の FBW は、堤防側から堤防外に流出しているものと思われる。感潮域の河川の河床が干潟より約 1.5 m 程度低いいため、感潮域の河川における FBW は一部の水塊が流出するだけで多くの水塊はそのまま残る。それぞれの河川表層水塊とマングローブ林内に進入した水塊は、下げ潮流時に FBW と混合しつつ流出していくようだ。干潮時には河川への海水の流入はないが河川上流域から低塩分河川水が供給され続けるために、クリークを通じて河川表層水塊が流出している。

2. 船浦湾奥部～河川にける水域生産物とマングローブ生産物

クロロフィル a は、植物が光合成を行うのに必要な色素で、その量から植物の現存量や潜在的な生産量を推定することが可能である。特に水域では、現場型蛍光光度計を用いることによって比較的簡便に植物プランクトンのクロロフィル a の濃度を測定す

ることができる。本調査地域の堤防内湾奥部から感潮域河川のほぼ全水域において、水深 50 cm までの表層にクロロフィル a の濃集が見られた。その濃集層は、 $30 \mu\text{g}/\text{l}$ 以上で最大 $100 \mu\text{g}/\text{l}$ に達する。これは富栄養湖である宍道湖の平均的なクロロフィル a の濃度が $14\sim 41 \mu\text{g}/\text{l}$ (作野ほか, 1996) より高い値である。赤潮などの植物性プランクトンの異常発生時のクロロフィル a 濃度は、中海で $50\sim 270 \mu\text{g}/\text{l}$ (清家ほか, 1999), 網走湖で $50\sim 160 \mu\text{g}/\text{l}$ (Mikami et al., 2002) であり、本地域の表層のクロロフィル a 濃度は富栄養湖の植物性プランクトンが異常発生した濃度に匹敵することになる。

堤防の水路から流入する海水はクロロフィル a 濃度が $12 \mu\text{g}/\text{l}$ 前後と低く、その流入により堤防内湾奥部の FBW のクロロフィル a 濃度が低くなっている。感潮域河川の FBW は、堤防内湾奥部の FBW よりも高いクロロフィル a 濃度を示しており、流入した海水の停滞により栄養塩が付加され生産性が高くなっているものと思われる。一方、陸域の淡水が流入する感潮域河川の最上流部は、比較的低いクロロフィル a 濃度を示している。これは陸域の淡水の栄養塩が乏しく、クロロフィル a 濃度が低いことを示唆している。

POC 濃度は、その水域で生産されたプランクトンの現地性有機物量と陸域で生産された異地性有機物量を反映している。POC/PON 比は、それらの有機物の起源に関連して変化し、プランクトン起源の有機物では 6 前後、陸起源有機物では、15 以上を示すといわれている (例えば Müller, 1977; 中井ほか, 1982)。感潮域のマングローブ林で生産された有機物は、マングローブ林の底質の TOC/TN 比が 15 以上を示すことから、異地性陸起源有機物と同様な値を示しており、両者はこの値だけでは区別できない。

堤防外の船浦湾の POC 濃度は、今回測定した試料ではもっとも低い値を示し、POC/PON 比は 6~7 の値を示した。これは、その水域で生産されたプランクトン起源の有機物の POC/PON 比を反映しているものと思われる。一方で陸域の淡水が流入する感潮域河川の最上流部では、同様に POC 濃度が低い、POC/PON 比は比較的高い値 (10 前後) を示している。これは、その水域で生産されたプランクトン起源の有機物とともに陸起源高等植物の有機物を含んでいることを示している。この陸起源有機物は、さらに上流河川域から供給されたと思われるが、POC 濃度と POC/PON 比から考えると供給量はそれ

ほど多くないものと思われる。これらのこととクロロフィル a 濃度の分布から考えると堤防内船浦湾奥部~感潮域河川に供給される異地性の有機物は比較的少ないものと思われる。

西田川及びヒナイ川の感潮域河川では、POC 濃度が比較的高く、低い POC/PON 比に特徴づけられる。POC/PON 比から、ほとんどの POC がその水域で生産されたプランクトン起源の有機物であると考えられる。そのため、POC 濃度の分布とクロロフィル a 濃度の分布に整合性が認められる。西田川とヒナイ川の感潮域河川を比較すると、POC 濃度とクロロフィル a 濃度は、西田川の方が高い傾向にある。これは、西田川の方が生産性が高いことを示唆するものである。西田川は、流域のマングローブ林が大きく、そこで形成された栄養塩を用いて生産性を高めているかもしれない。

干潮時にマングローブ林内に取り残されたプールの水の POC は、非常に高い濃度を示している。これは、マングローブの高い生産性を反映したものと思われる。しかし、POC/PON 比から考えるとマングローブ起源の有機物の割合は比較的少なく、むしろその水域で生産された植物プランクトンの方が多いことを示唆している。これは、マングローブは大型高等植物であるため POC にはなりにくく、林内で分解されることによって水域に栄養塩を供給しているものと思われる。

これらのことから、堤防内船浦湾奥部~感潮域河川では、水域全体に太陽エネルギーを受けるとともに、マングローブ林から供給された豊富な栄養塩を利用して植物プランクトンが盛んに増殖しているものと思われる。

3. 湾沿岸部~マングローブの底質環境の特徴

堤防外湾沿岸部の底質の平均粒径は $1.0\sim 2.0 \phi$ 前後で、 $1.0\sim 3.0 \phi$ をピークとする極めて突出の頻度分布で代表され、淘汰は良い。炭酸塩量は 7% 前後と堤防内湾奥部東部の干潟やマングローブ内の底質に比べ比較的多い。堤防外では、堤防内の干潟やマングローブと比較して波浪の影響を強く受ける。このような地域では、粒径の小さい泥質粒子は堆積しにくく、砂質粒子に突出した頻度分布を示すものと思われる。さらにリーフなどで生産された比重の小さい炭酸塩碎屑物が潮流と波浪によって、選択的に運ばれ堆積していると考えられる。

また、堤防外湾沿岸部の TOC 濃度は 0.2%, TOC/TN 比は 4 前後である。底質が砂の場合は、無機碎

屑物によって希釈されているため、一般的には有機物は少ない。湾沿岸部の底質は、中粒砂で構成されており TOC 濃度は 0.20% 前後と少なく、TOC/TN 比も 4 と低いことから陸域から供給される有機炭素は堆積しにくく、海起源の有機炭素がわずかながら存在しているものと考えられる。TS 濃度を見てみると 0.0~0.1% と非常に小さく、有機炭素と同様に無機碎屑物の希釈によるものと思われる。底質は、溶存酸素濃度によって異なる色を示し、酸化環境では一般的に赤色~褐色、還元的環境では暗灰色~黒色を呈すとされる。湾沿岸部の底質は、干潮時には褐色を示していたが、上げ潮になるまでに、底質のほとんどが灰色に変化する。これはミナミコメツキガニ (*Mictyris longicarpus*) などの生物擾乱によって底質が攪拌され還元的環境にあった底質が露出していることを示している。このような生物擾乱は、埋積された堆積物が表層に現れることによって酸化され、有機物が分解されやすくなるため、TOC 濃度の低下を促進することになるだろう。

堤防内湾奥部の干潟の底質堆積物は、平均粒径が 1.5~2.5 ϕ 前後で、2.0 ϕ をピークとする非常に突出した頻度分布で代表され、淘汰は良い。炭酸塩量は 8% 以内がほとんどであるが、局所的に炭酸塩量が高くなる地域が見られる。ヤシ川付近の干潟 (FM 25, FM 26)、西部のマングローブに隣接する干潟 (FM 58, FM 59) と旧浜に隣接する干潟 (FM 32, FM 33, FM 34) では炭酸塩量が 20%~50% 前後と高い値を示す。干潟も湾沿岸部同様に潮汐作用の影響を受けているが、冬期の北風あるいは台風による強い波浪でも幅 160 m の水路から大量にサンゴ片などが運搬されることは考えにくい。旧浜や西部のマングローブでは、侵食されオヒルギの膝根の下面が露出している。これは堤防建設前に形成された浜が、建設後に潮汐によって浸食を受けているためであり、現在みられる炭酸塩は過去に堆積した炭酸塩と考えられる。東部のマングローブ林内は炭酸塩量が少ないことから、堤防建設前は船浦湾西部から潮流によって炭酸塩碎屑物が運搬されたものと思われる。

また干潟の底質の TOC 濃度は 0.15% 前後、TS 濃度は 0.00~0.15%、TOC/TN 比は 4 前後である。この値は湾沿岸部と近い値を示しており、同様な堆積環境であったことを示している。マングローブに隣接する干潟において、TOC 濃度及び TOC/TN 比が比較的高い地点がある。底質のサンプリングを行ったのは下げ潮時~干潮時の間であり、マングローブから生産された有機物は、マングローブ林内の水が引

き終わるときにマングローブ林の縁部に運ばれ、一時的に堆積する。さらに水が引き終わるときにマングローブ起源有機物は海域に運搬されているようだ。

東部マングローブ林の底質堆積物は平均粒径が 1.9~2.4 ϕ で、1.0 ϕ をピークとする突出部と細粒の扁平部の頻度分布を持つことで代表される。炭酸塩量は 4% 前後であり、湾沿岸部や干潟と比較して炭酸塩量が少ない。また、湾沿岸部や干潟では見られなかった 9.0 ϕ 前後の泥質物が見られ、TOC 濃度も 0.5~3.0%、TOC/TN 比は 15~20 前後と高い値を示す。また TS 濃度は湾沿岸部や干潟より 0.1~0.4% と高い。これはマングローブ内の底質が有機炭素に富むこと、表層が泥質堆積物で覆われており粒子間の水の移動が小さく、停滞しやすいために酸素供給がおきにくいこと、また局所的に底質を攪拌させるオキナワアナジャコ (*Thalassina anomala*) などの生物はいるものの、小野(1963)でも述べられているように、マングローブ林内には干潟や湾沿岸部に無数に見られたミナミコメツキガニのような底質を広範囲にわたって攪拌させ、底質に酸素供給を促す生物がいないことなどが挙げられる。

一方、西部のマングローブ林の平均粒径は 1.0~5.0 ϕ 前後で、頻度分布も様々で淘汰は非常に悪い。底質の TOC 濃度も 0.5~15.0%、TS 濃度は 0.1~1.4%、TOC/TN 比も 5~35 と地域によって大きくばらつきがある。西部のマングローブ林は、潮汐作用によって侵食されオヒルギの膝根の下面が露出している。前述したように潮汐によって浸食されたためだと考えられ、過去に堆積した炭酸塩が露出することで炭酸塩に富むと考えられる。マングローブの堆積作用では河川水による営力より日常的に起こる潮汐作用による営力が大きく関っており(瀬戸ほか, 1999)、水理過程で最も重要なのはマングローブの地上根による流体抵抗とされている (Wolanski et al., 1992; 松田, 1993)。マングローブによって生産された有機物は、潮汐作用により水とともにマングローブ林内から海域へと流出する際、場所によっては植物の地上根により流体抵抗が大きいため、有機物の流出量が制限され、TOC 濃度が高くなる。また、西部マングローブ内にはオキナワアナジャコの巣が多く見られ、地下深部の堆積物を押し上げて塚を作っているのが見られる。オキナワアナジャコの生物擾乱によって過去の堆積物が現れることで局所的に大きく粒度組成や TOC 濃度が異なる。TOC 濃度、TS 濃度、TOC/TN 比にばらつきがみられるのは、この

ようなマングローブ林特有の水理作用と生物作用によるものと思われる。

ま と め

1. 堤防内船浦湾奥部～感潮域河川においてルート水質調査を行い、主に塩分分布から水塊構造を解釈し、水塊の特徴について議論を行った。
2. 堤防内船浦湾奥部～感潮域河川の表層水は、高い懸濁態有機炭素濃度とクロロフィル a 濃度を示し、水域全体に太陽エネルギーを十分に受けるとともに、マングローブ林から供給された豊富な栄養塩を利用して植物プランクトンが盛んに増殖しているものと思われる。
3. 堤防内湾奥部の干潟の底質堆積物は、局所的に炭酸塩量が高くなる地域が見られる。これは堤防建設前に形成された浜が、建設後に潮汐によって浸食受け、過去に堆積した炭酸塩が運搬されてきたものと考えられる。東部のマングローブ林は炭酸塩量が少ないことから、堤防建設前は船浦湾西部から潮流によって炭酸塩碎屑物が運搬されたものと思われる。
4. 西部のマングローブ林は、平均粒径、TOC 濃度、TS 濃度、TOC/TN 比も 5～35 と地域によって大きくばらつきがある。このばらつきは、マングローブ林特有の水理作用と生物作用によるものと思われる。

今回の研究から、現在の船浦湾奥部～河川の水質環境および底質環境を外観的ながら明らかにすることができた。水質環境は、河川水と海水とがぶつかり合うことによって生じる水塊構造について、底質環境は潮汐作用やマングローブおよび底生生物との関連についてそれぞれ議論された。これらの研究をふまえて、船浦湾におけるマングローブ形成史のさらなる研究が望まれる。

謝 辞

現地調査では、島民の方々には船の手配や宿泊などお世話になった。また研究をすすめるにあたって、島根大学総合理工学部の木村純一教授、三瓶良和教授、入月俊明助教授には有益な助言を頂いた。分析では、島根大学総合理工学部の大学院生や学部生をはじめ多くの方々を手伝っていただき、ここに感謝の意を示し、厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 荒木裕・中川久夫(1978) 琉球列島 西表島の地質。琉球列島の地質学研究, 3: 53-60.
- 藤本潔・大貫靖治・宮城豊彦(1993) 西表島におけるマングローブ林の立地形成過程と相対的海水準変動。国府田佳弘編:「マングローブを中心とした生態系の解明に関する研究」科学技術庁科学技術振興調整費による生活・地域流動研究成果報告書, 1-9.
- 松田義弘(1993) マングローブ域における物理学的研究の現状。東海大学紀要海洋学部, 35: 169-184.
- Mikami, H., Hino, S., Sakata, K. and Arisue, J.(2002) Variations in environmental factors and their effects on biological characteristics of meromictic Lake Abashiri. *Limnology*, 3: 97-105.
- Müller, P. J.(1977) C/N ratios in Pacific deep-sea sediments ; Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochimica et Cosmochimica acta*, 41: 765-776.
- 中井信之・太田友子・藤澤寛・吉田正夫, 1982, 堆積物コアの炭素同位体比, C/N 比および FeS₂ 含有量からみた名古屋港周辺の古気候, 古海水準変動。第四紀研究, 21: 169-177.
- 中山大介・作野裕司・松永恒雄・高安克己・國井秀信(1999) 宍道湖・中海の鉛直クロロフィル a 濃度分布特性。LAGUNA (汽水域研究), 6: 217-222.
- 作野裕司・高安克己・松永恒雄・中村幹雄・國井秀信(1996) 宍道湖における衛星同期水質調査(その1)。LAGUNA (汽水域研究), 3: 57-72.
- 小野勇一(1963) 八重山群島におけるスナガニ類の生態分布。九州大学学術研究会業績 第6号, 49-59.
- 清家泰・奥村稔・藤永薫・大谷修司・千賀有希子・岡宏樹(1999) 中海本庄水域の水質特性。LAGUNA (汽水域研究), 6: 1-9.
- 瀬戸浩二(1995) 西表島におけるマングローブ沼～内湾の堆積環境とそこに生息する生物群集。「平成7年度深田研究助成」研究報告書, 159-189.
- 瀬戸浩二・川畑幸子・高津和人・高安克己(1999) 西表島ウダラ川河口におけるマングローブ沼の堆積環境。LAGUNA (汽水域研究), 6: 273-282.
- 田中秀典(2001) ヤドカリによるキバウミニナの貝殻利用についての野外実験。LAGUNA (汽水域研究), 8: 91-94.
- 田中秀典(2002) マングローブ干潟における地下断面

—西表島の船浦湾を例に。LAGUNA (汽水域研究), 8: 91-94.

Wolanski, E., Mazda, Y. and Ridd, P. (1992)

Mangrove Hydrodynamics. In Tropical Mangrove Ecosystem., (eds.) Robertson, A. I. and Alongi, D. M. pp.46-62. Springer-Verlag, New York.

付表 1. 船浦湾堤防外沿岸部～マングローブ沼における底質の分析データ。

Appendix 1. Analysis data of surface sediments from inner Funaura Bay to mangrove swamp.

Sample No.	Grain size analysis		CNS elemental analysis				CaCO ₃ Contents (%)
	Mean (φ) sorting		TOC(%)	TN (%)	TS (%)	C/N Ratio	
Co1	2.15	0.55	0.209	0.085	0.048	2.5	3.7
Co2	1.95	0.42	0.317	0.084	0.064	3.8	7.7
Co3	1.82	0.67	0.368	0.080	0.000	4.6	6.9
Co4	1.99	0.61	0.376	0.079	0.000	4.8	4.7
Co5	1.93	0.44	0.224	0.044	0.086	5.1	5.3
Co6	2.13	0.47	0.242	0.058	0.123	4.2	24.0
Co7	1.84	0.35	0.116	0.041	0.073	2.9	3.5
Co8	1.83	0.59	0.169	0.043	0.105	3.9	4.5
Co9	1.99	0.45	0.267	0.054	0.176	4.9	5.0
Co10	1.90	0.59	0.298	0.059	0.115	5.0	12.1
Co11	1.90	0.51	0.222	0.051	0.116	4.4	4.8
Co12	2.08	0.37	0.196	0.052	0.134	3.8	5.9
FM1	1.87	0.47	0.088	0.024	0.266	3.6	6.1
FM2	1.96	0.37	0.134	0.025	0.118	5.3	6.2
FM3	1.85	0.60	0.163	0.035	0.000	4.7	4.8
FM4	1.90	0.31	0.108	0.026	0.000	4.1	6.3
FM5	1.97	0.38	0.101	0.024	0.000	4.3	4.4
FM6	1.97	0.37	0.112	0.028	0.000	4.0	5.0
FM7	1.98	0.36	0.042	0.020	0.000	2.1	4.6
FM8	1.56	0.57	0.118	0.029	0.000	4.1	11.1
FM9	1.51	0.52	0.113	0.027	0.000	4.3	15.9
FM10	2.08	0.67	0.367	0.051	0.000	7.2	10.7
FM11	2.29	0.59	0.493	0.060	0.000	8.2	7.1
FM12	1.88	0.43	0.205	0.033	0.000	6.1	7.7
FM13	1.89	0.40	0.168	0.034	0.000	4.9	8.0
FM14	2.22	0.51	0.237	0.038	0.000	6.2	7.4
FM15	1.76	0.62	0.038	0.023	0.000	1.7	4.8
FM16	2.01	0.37	0.028	0.030	0.000	0.9	4.2
FM17	1.84	0.30	0.048	0.023	0.000	2.1	3.5
FM18	1.67	0.56	0.136	0.047	0.469	2.9	34.0
FM19	6.89	1.74	1.806	0.141	0.000	12.8	17.3
FM20	1.90	0.52	0.067	0.028	0.000	2.4	6.0
FM21	1.84	0.44	0.211	0.040	0.000	5.2	7.7
FM22	1.68	0.52	0.054	0.029	0.000	1.9	3.7
FM23	2.00	0.50	0.216	0.041	0.000	5.2	8.5
FM24	1.97	0.60	0.135	0.039	0.000	3.5	10.9
FM25	1.84	0.60	0.172	0.050	0.000	3.4	21.5
FM26	1.75	0.50	0.198	0.059	0.000	3.4	30.7
FM27	1.92	0.80	0.199	0.043	0.000	4.7	52.7
FM28	1.64	0.65	0.057	0.062	0.000	0.9	54.2
FM29	1.58	0.29	0.030	0.038	0.000	0.8	25.0
FM30	1.13	1.03	0.060	0.050	0.000	1.2	56.8
FM31	1.57	0.75	0.037	0.040	0.000	0.9	63.4
FM32	1.53	0.93	0.154	0.038	0.000	4.1	43.4
FM33	1.65	0.78	0.214	0.050	0.000	4.3	34.8
FM34	1.89	0.44	0.160	0.044	0.000	3.7	21.0
FM35	1.87	0.56	0.195	0.038	0.000	5.1	16.4
FM36	1.94	0.44	0.244	0.046	0.123	5.3	14.4
FM37	1.93	0.63	0.210	0.041	0.122	5.2	15.7
FM38	2.05	0.86	0.449	0.064	0.179	7.0	16.2
FM39	2.03	0.52	0.156	0.048	0.193	3.2	13.3
FM40	2.24	0.81	4.294	0.121	0.245	35.5	4.0
FM41	2.39	0.99	2.303	0.122	0.255	18.9	5.3
FM42	2.05	0.63	0.851	0.077	0.157	11.1	3.9
FM43	1.96	0.41	0.230	0.046	0.176	5.0	2.6
FM44	1.90	0.55	0.177	0.048	0.191	3.7	3.1
FM45	2.08	0.46	0.127	0.034	0.150	3.7	3.3
FM46	1.99	0.67	0.048	0.024	0.116	2.0	2.5
FM47	2.07	0.63	0.083	0.032	0.120	2.6	2.7
FM48	2.04	0.44	0.079	0.032	0.132	2.5	2.8
FM49	1.96	0.46	0.055	0.031	0.123	1.8	2.9
FM50	1.89	0.45	0.114	0.037	0.141	3.1	3.6
FM51	1.90	0.42	0.091	0.034	0.129	2.7	3.6

Sample No.	Grain size analysis		CNS elemental analysis				CaCO ₃ Contents (%)
	Mean (φ) sorting		TOC(%)	TN(%)	TS (%)	C/N Ratio	
FM52	1.73	0.47	0.114	0.039	0.144	2.9	3.7
FM53	1.83	0.32	0.000	0.028	0.112	0.0	3.1
FM54	1.69	0.36	0.175	0.042	0.121	4.2	10.4
FM55	1.74	0.33	0.045	0.031	0.097	1.5	4.8
FM56	1.69	0.41	0.042	0.026	0.100	1.6	4.0
FM57	1.69	0.63	0.173	0.053	0.110	3.2	31.3
FM58	1.43	0.76	0.386	0.065	0.112	6.0	51.5
FM59	1.44	0.91	0.410	0.107	0.066	3.8	59.0
FM60	2.01	0.48	0.158	0.057	0.124	2.8	21.5
FM61	1.90	0.64	0.102	0.048	0.133	2.1	17.9
FM62	1.95	0.45	0.128	0.042	0.093	3.1	14.6
FM63	1.89	0.50	0.125	0.040	0.095	3.1	13.5
FM64	1.75	0.76	0.120	0.035	0.087	3.5	12.2
FM65	1.96	0.53	0.176	0.039	0.134	4.6	8.8
FM66	2.04	0.44	0.201	0.044	0.121	4.6	15.9
FM67	1.94	0.43	0.210	0.042	0.064	4.9	10.8
FM68	1.84	0.56	0.095	0.036	0.038	2.6	3.6
FM69	1.82	0.56	0.173	0.047	0.068	3.7	6.4
FM70	1.59	0.53	0.129	0.043	0.055	3.0	4.5
FM71	1.91	0.60	0.398	0.054	0.109	7.3	5.3
FM72	1.90	0.48	0.188	0.044	0.056	4.3	2.9
FM73	1.60	0.95	0.162	0.041	0.063	4.0	3.1
FM74	1.98	0.59	0.228	0.045	0.083	5.1	8.3
FM75	2.14	0.54	0.297	0.060	0.106	5.0	15.6
FM76	2.32	0.77	0.287	0.060	0.096	4.8	26.0
FM77	2.08	0.60	0.229	0.045	0.101	5.0	6.8
FM78	1.88	0.64	0.231	0.043	0.082	5.3	3.9
FM79	1.99	0.61	0.186	0.040	0.072	4.7	3.1
FM80	1.82	0.67	0.169	0.039	0.065	4.4	2.9
FM81	1.93	0.43	0.347	0.046	0.077	7.5	8.9
FM82	2.07	0.52	0.776	0.056	0.176	13.8	11.7
FM83	2.56	0.96	1.122	0.083	0.210	13.5	11.5
M1	2.07	0.50	0.722	0.077	0.151	9.4	3.7
M2	2.30	0.84	0.899	0.080	0.179	11.3	5.3
M3	2.40	1.48	1.091	0.086	0.277	12.6	4.0
M4	2.83	1.38	1.313	0.085	0.253	15.5	4.1
M5	2.33	0.78	0.550	0.058	0.113	9.5	2.6
M6	2.20	1.13	2.829	0.112	0.189	25.3	3.9
M7	2.25	0.64	2.154	0.097	0.265	22.1	3.3
M8	5.26	2.13	4.764	0.240	0.279	19.8	12.4
M9	5.68	2.17	3.500	0.201	0.475	17.4	10.6
M10	2.09	0.59	0.760	0.085	0.108	9.0	4.3
M11	2.46	2.38	0.766	0.097	0.093	7.9	57.2
M12	5.18	1.97	16.684	0.469	1.390	35.6	30.8
M13	2.45	2.30	0.486	0.097	0.000	5.0	72.9
M14	4.19	2.62	3.864	0.207	0.195	18.6	51.7
M15	2.22	0.57	0.464	0.070	0.095	6.6	16.6
M16	2.24	0.46	0.713	0.082	0.113	8.7	6.3
M17	2.25	0.86	2.832	0.140	0.367	20.3	5.7
M18	2.44	1.21	2.532	0.109	0.235	23.2	3.9
M19	1.93	0.52	1.487	0.084	0.247	17.8	4.7
M20	2.19	0.51	0.185	0.043	0.089	4.3	2.8
M21	2.54	0.99	3.289	0.146	0.357	22.5	6.7
M22	5.56	2.29	3.198	0.195	0.590	16.4	14.6
M23	2.57	1.89	1.402	0.130	0.076	10.8	52.0
M24	3.53	1.95	13.718	0.425	0.974	32.3	21.7
M25	2.40	2.23	0.506	0.118	0.054	4.3	79.4
M26	1.05	1.04	0.600	0.111	0.073	5.4	69.8
M27	3.77	2.56	2.478	0.156	0.130	15.9	69.2
M29	2.16	0.72	1.740	0.106	0.242	16.4	4.7
M30	2.27	0.66	1.506	0.088	0.310	17.0	5.2
M31	2.27	0.79	1.061	0.072	0.181	14.7	3.0
M32	1.94	0.44	5.187	0.158	0.392	32.9	6.0