

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

瀬戸浩二¹・川畑幸子²・高津和人³・高安克巳⁴

Sedimentological environments of mangrove swamp in the estuary of the Udara River, Iriomote Island, southwest Japan

Koji Seto¹, Sachiko Kawabata², Kazuto Takatsu³ and Katsumi Takayasu⁴

Abstract: Mangrove swamps are commonly developed in tropical and subtropical estuaries. To clarify on the sedimentological environment of mangrove swamp, we investigated at the estuary of the Udara River. The sediment samples are analyzed for the grain size distribution, mud content and carbonate content.

The sediments in the studied area are divided into 4 types as follows; 1) gravel, 2) calcareous coarse sand, 3) non-calcareous fine sand, and 4) mud. The gravel sediments are distributed in the upper part of mangrove swamp within the Udara River. The gravels may be lags of the previous deposit. The calcareous coarse sand is distributed in the lower part of swamp. This sediment is so-called tropical coralline sediment, and is mainly composed of fragments of the coral, foraminifera, mollusks and echinoid. Oxygen and carbon isotope data of foraminiferal test (*Calcarina* sp.) comprized in the calcareous sediments indicate that the source of coarse sand is previous beach sand. The non-calcareous fine sand is distributed in whole area of swamp. The grain size of the sand is characterized by having a mode at 2.5-3.0 ϕ in diameter. The origin of sand is considered to be Tertiary sediment from the grain size distribution.

In the mangrove swamp, quantity of outflow by the ebb tide is similar to that by the flood (about 2 m³/s). Therefore, the sedimentological environment is controlled by the tidal cycle. The sediments are transported to the upper part of the swamp by inflow tidal current. On the other hand, the transportation to the lower part and to Amitori Bay is carried by the strong ebb current. The recent sedimentological environment of mangrove swamp in the Udara River has a tendency of an erosional one.

Key words: mangrove swamp, sedimentological environments, oxygen and carbon isotopes

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 (株) T S K

TSK Co., Ltd., 6830312, JAPAN

3 島根大学理学部地質学科

Department of Geology, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN

4 島根大学汽水域センター

Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, Matsue 690-8504, JAPAN

はじめに

亜熱帯に属する西表島には、河川の河口付近にマングロープ沼 (mangrove swamp) が見られる。マングロープ沼では、耐塩性の強いヒルギ類が繁茂し、特殊な生態系が形成している。マングロープは、一般に「熱帯～亜熱帯の河川の河口部に形成される極めて生産力の高い森林」といわれ、空気中の二酸化炭素を有機物に固定する植物群として注目されている。

西表島のマングロープは、本邦のマングロープ全体の約73%に達している (中須賀, 1979)。マングロープ沼は海岸や河口付近に分布しているため、人類の生活と密接に関係している。また、過去の海水準変動に対して強く影響を受けており、これまでミクロネシア、トンガタブなどの柱状試料の解析から海水準変動に伴うマングロープの成立過程が明らかにされている (Matsumoto *et al.*, 1986; Ellison, 1989; 藤本・宮城, 1993)。西表島でも浦内川において同様な研究がなされているが、ミクロネシアとは異なる成立過程を示していることが指摘されている (藤本ほか, 1993)。現在、筆者らは西表島西部のウダラ川河口のマングロープ沼においてその形成過程と環境変動について研究を進めている。しかしながら、マングロープ沼における現在の堆積環境について十分に明らかにされていない。今回は、ウダラ川河口におけるマングロープ沼の堆積物の特徴を記載し、その堆積環境について考察をする。

調査地の概要

ウダラ川は西表島西部に位置し、全長約2.4km、流域面積は約2.3km² (山下ほか, 1984) の小規模な河川である (図1)。ウダラ川の平均流量は約0.05m³/sと非常に小さく、通常ではほとんど流れていない (山下ほか, 1984)。下流域の流路はほぼ南北方向を向き、網取湾の湾奥部に注いでいる。

網取湾の湾奥には長さ約600mの石灰質の生物遺骸に富む海浜があり、干潮になると砂浜の前に広い干潟が現れる。ウダラ川はその砂浜の西端から網取湾に注いでいる。河口は非常に狭く、その幅はわずか十数mである。マングロープはウダラ川河口から南方向と東方向に主に発達し、その面積は約3haである。中央部にはマングロープに囲まれた直径数十mの砂の高まりが見られる (図2)。

ウダラ川河口域のマングロープは、Riverine Forest type (Lugo and Snedaker, 1974) に属し、干潮時には

河口までのほとんどが干潟となり、逆に満潮時にはマングロープのほとんどが冠水する。マングロープ沼の干潟には、多数の軟体動物や甲殻類などが生息し、特殊な生態系をなしている。ウダラ川河口域でマングロープを構成する樹種は、主として *Rhizophora stylosa* (ヤエヤマヒルギ) と *Bruguiera gymnorrhiza* (オヒルギ) であり、希に *Kandelia candel* (メヒルギ) と *Sonneratia alba* (マヤブシキ) が見られる。

ウダラ川流域付近の地質は、主に八重山層群西表累層上部のF層 (内離島夾炭部層)、G層で構成され、南に傾斜している (中川ほか, 1982)。F層は、主に砂岩シルト岩互層、砂岩、石炭、炭質シルト岩で構成され、層厚は60～140mである。G層は、主に砂岩シルト岩互層と砂岩からなり層厚は150m前後である (中川ほか, 1982)。河口付近の露頭および河床の転石では、主として中粒砂岩～シルト岩の岩相を示す。

試料と方法

1) 試料

サンプリングは、ウダラ川下流域のマングロープ

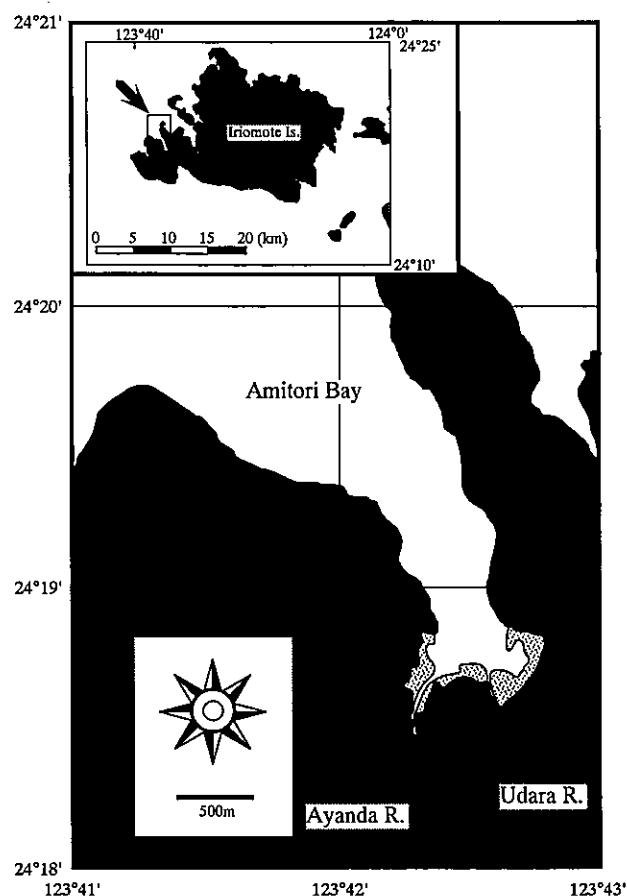


図1. 調査位置図。
Fig. 1 Index map.

沼内と網取湾奥部の干潟及び砂浜で、1995年3月に行った。マングロープ沼では、ウダラ川を横切るように河口から上流まで8ラインを設定し、それぞれ5m間隔で試料を採集した。また、東側のマングロープ沼においても5ライン行った(図2)。マングロープ沼の堆積物と比較するため網取湾奥部の干潟及び砂浜で

も同様なサンプリングを行った。網取湾奥部のサンプリングは干潮時に浜から沖合方向に12試料行った。サンプリングは直径6cmの亚克力パイプを底質に打ち込み、そのうち表層から5cmを採集した。持ち帰った試料は、恒温乾燥器に入れて80℃で24時間以上乾燥させた後、分割して粒度分析・炭酸塩量の測定を行った。

2) 分析方法

含泥率: 採取した底質表層試料を恒温乾燥器に入れて80℃で24時間以上乾燥させ乾燥重量を秤量した。それに10%の過酸化水素水を数回に分けて加え有機物を十分に分解させた後、235メッシュ(63μm)のふるいで水洗した。その残渣を80℃・24時間以上乾燥させ、乾燥残渣重量を測定した。本研究では、次式により含泥率を求めた。

$$\text{含泥率}(\%) = (\text{乾燥重量} - \text{乾燥残渣重量}) / \text{乾燥重量} \times 100$$

この方法では、含泥率の中に過酸化水素水で分解された有機物も含まれるが、比較的少量なので、それを無視した。

粒度分布: 粒度分布分析は、上記の含泥率で得られた砂粒度以上のものについて行った。4~-2φの範囲で0.5φ間隔に異なるふるいをを用い、粒度の細かいふるいからそれぞれ水洗し、その残渣を秤量した。粒度分布の解析には図解法を用いて行った。

炭酸塩量: 試料は濾紙上で十分に洗浄して塩分を取り除いた後、乾燥させ、秤量する。この乾燥試料に6N塩酸を反応がなくなるまで加え、反応終了後それを濾過し、乾燥させる。その残渣を秤量し、次式により溶解率を求めた。

$$\text{溶解率}(\%) = (\text{試料の乾燥重量} - \text{残渣重量}) / \text{試料の乾燥重量} \times 100$$

本研究では、炭酸塩物質の認められないウダラ川上流の溶解率を差し引いて炭酸塩量とした。この方法は精度は良くないが(±2%)、比較的簡単に測定できる。また、変量が0~100%と大きいので議論には問題が生じないと思われる。

酸素・炭素同位体比: 同位体比の測定は、マングロープ沼堆積物に含まれる *Calcarina* 属の石灰質殻を用いた。それらと比較するために網取湾湾口部前浜に含まれる *Calcarina* sp. とマングロープ沼に生息する腹足類の生体殻を用いた。それらは超音波洗浄を行った後、全体を粉碎し、60.00℃に保たれた真空反応装置中でリン酸と反応させた。そこで発生したCO₂ガスは、n-ペンタン(約-130℃)を用いて精製し(和田ほ

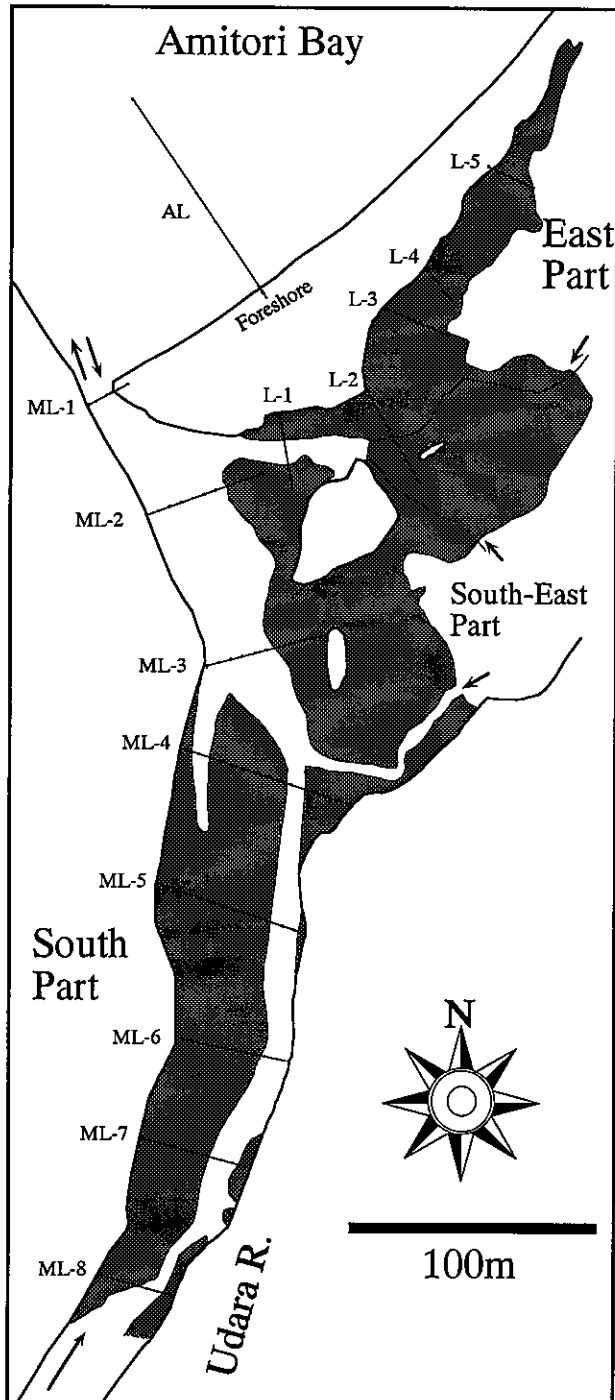


図2. ウダラ川のマングロープ沼におけるサンプリング位置図。点打の範囲はマングロープを示す。

Fig. 2. Sampling site in the mangrove swamp of the Udarara River. Dotted area shows mangrove forest.

か, 1984), 質量分析計 (Finnigan MAT Delta S: 島根大学汽水域研究センター) を用いて酸素・炭素同位体比を測定した。

結 果

1) ウダラ川河口部マングロープ沼における底質の粒度組成

ウダラ川河口部マングロープ沼の底質は, 主に砂で構成されている。下流域及び東側のマングロープ沼では, サンゴ片や有孔虫片など炭酸塩の遺骸を多

く含む。マングロープ沼と湾の境界付近では淘汰の良い粗粒砂からなり, 幅 120cm 前後のベッドフォームが発達する。その谷部に腐葉が堆積している。マングロープ沼の上流域は, 河道の底質では礫で構成されているが, マングロープの中では礫の混じった砂相である。

含泥率を見るとウダラ川河口部マングロープ沼ではすべての試料で 50% 以下を示した (図 3)。南のマングロープでは, 20% 前後で下流側ほど増える傾向にある。その東側を走るウダラ川の流路では, 含泥率が非常に低い。しかしながら, マングロープと流路の

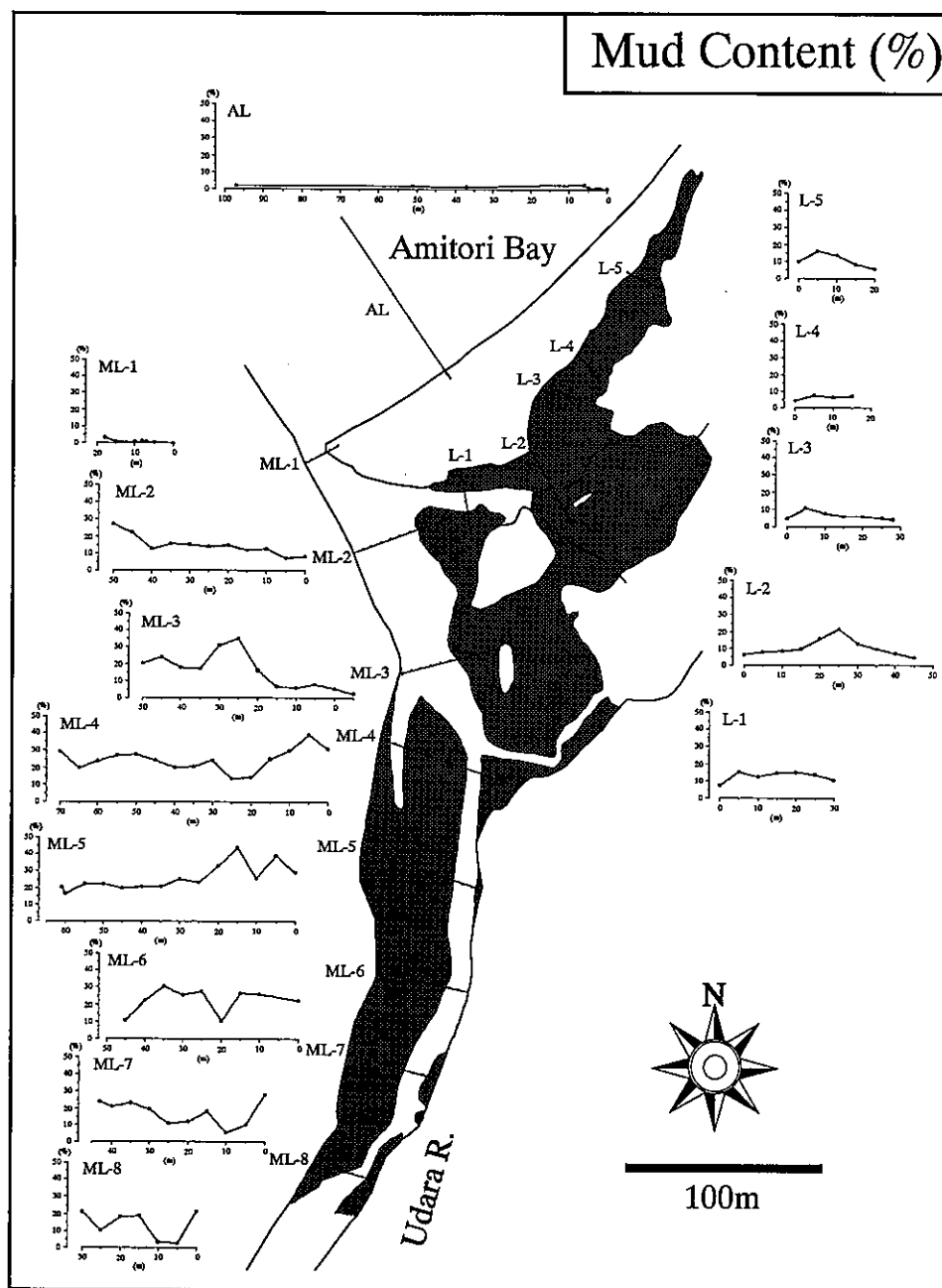


図 3. ウダラ川のマングロープ沼における含泥率。

Fig. 3. Mud content in the mangrove swamp of the Udara River.

境界付近では含泥率が比較的高い傾向にある (20 ~ 40%)。また、南のマングロープの上流側では含泥率の比較的低い部分が認められるが、そこは *Thalassina anomala* (オキナワアナジャコ) の巣穴の塚のあるところである。東のマングロープでの含泥率は、ほとんどが10%以下で、奥側ほど泥の割合が増加している。東西に走るクリークでは10%以上でマングロープよりやや高い。河口付近 (ML-1) や網取湾湾奥の砂浜及び干潟 (AL) ではほとんど0%に近いが、河口より上流側の干潟では、10 ~ 20%の含泥率を示す。その干潟においてもマングロープとの境界付近では、比較的高い傾向にある (30 ~ 40%)。また、侵食崖と接する西側でも比較的高い (20 ~ 30%)。

底質の特徴をさらに詳細に示すためにマングロープ沼の上流部 (ML-8) と下流部 (ML-2) において礫-砂-泥組成、中央粒径値 (ϕ_{50})、及び頻度分布を求めた (図4)。ML-8とML-2では、ともに砂が主体であるが、ML-8のウダラ川の流路では礫が80%以上を占めている。この礫は、ほとんどが中~大礫 (-2ϕ 以下) で、平板状の円礫である。ML-8のマングロープ内でも頻度は低いがこのような礫を含んでいる。ただし、そこでの円礫は破損している場合が多い。一方、ML-2でも礫成分を多少含んでいるが、そのほとんどはサンゴ片である。中央粒径値は、ML-8では流路部を除いて $3.0 \sim 3.5\phi$ である。ML-2ではほとんどが $2.5 \sim 3.0\phi$ でML-8よりやや粗粒であることを示している。しかしながら、粒度分布をみると両ラインともほとんどで $2.5 \sim 3.0\phi$ (細粒砂) にピークが見られる。ML-2では、それに加わるように粗い部分にもう一つのピークが見られる。同様に流路の部分においても $2.5 \sim 3.0\phi$ に小さなピークが見られる。

2) 炭酸塩堆積物

ウダラ川下流域のマングロープ沼のもう一つの特徴は生物性炭酸塩を含むことである。生物性炭酸塩は、主にサンゴ、有孔虫、軟体動物の遺骸やウニ刺からなり、熱帯性炭酸塩堆積物の特徴を示す。炭酸塩堆積物はマングロープ沼の下流部で多く、上流部 (ML-8 ~ ML-6) ではほとんど見られない (図5)。ML-4 ~ ML-5ではわずかに見られ、炭酸塩量はそこから下流方向に増加する傾向にある。また、ML-3 ~ ML-2での炭酸塩量は水路方向に減少する傾向にある。ML-3ではほとんど0%まで減少するが、ML-2では20%程度までしか減少しない。東のマングロープでは、河口側が高く (50%前後)、東方向に低くなる (20%前後)。最も炭酸塩量の低い東奥のL-5においてもマングロー

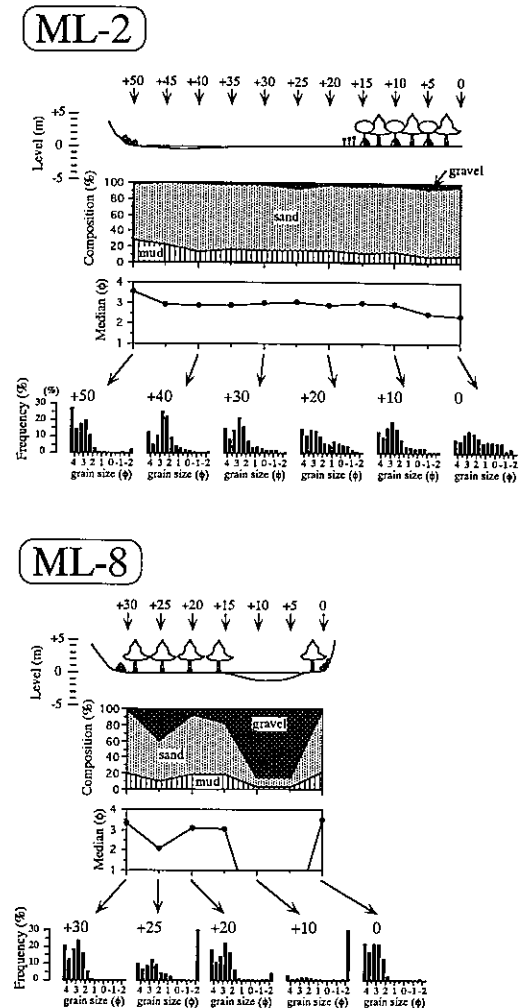


図4. ML-2とML-8ラインにおける粒度分析。

Fig. 4. Grain size analyses in ML-2 and ML-8 lines.

プの縁部では比較的高い。河口のML-1での炭酸塩量は、潮間帯より高い後浜の堆積物を除いて80%以上を示す。ウダラ川河口付近の砂浜では、後浜堆積物の炭酸塩量は40%前後で、前浜堆積物は90%である。潮間平底では60%前後で沖方向に減少する傾向にある。

図6は、ML-2+10における炭酸塩堆積物と非炭酸塩堆積物の粒度分布である。炭酸塩堆積物は扁平な頻度分布を示すが、 $1.0 \sim 0.5\phi$ (粗粒砂) にピークが見られる。一方、非炭酸塩堆積物は突出した頻度分布を示し、 $2.5 \sim 3.0\phi$ (細粒砂) にピークが見られる。その他の試料においても炭酸塩量にかかわらず同様な粒度にピークが見られる。しかし、一部の試料の炭酸塩堆積物で $0.0 \sim -0.5\phi$ (極粗粒砂) にもピークの見られるものもある。

3) 炭酸塩堆積物の酸素・炭素同位体比

マングロープ沼堆積物に含まれる *Calcarina* sp. の石灰質殻の酸素同位体比の値は、 $-1.7 \sim -2.3\text{‰}$ (vs.PDB)

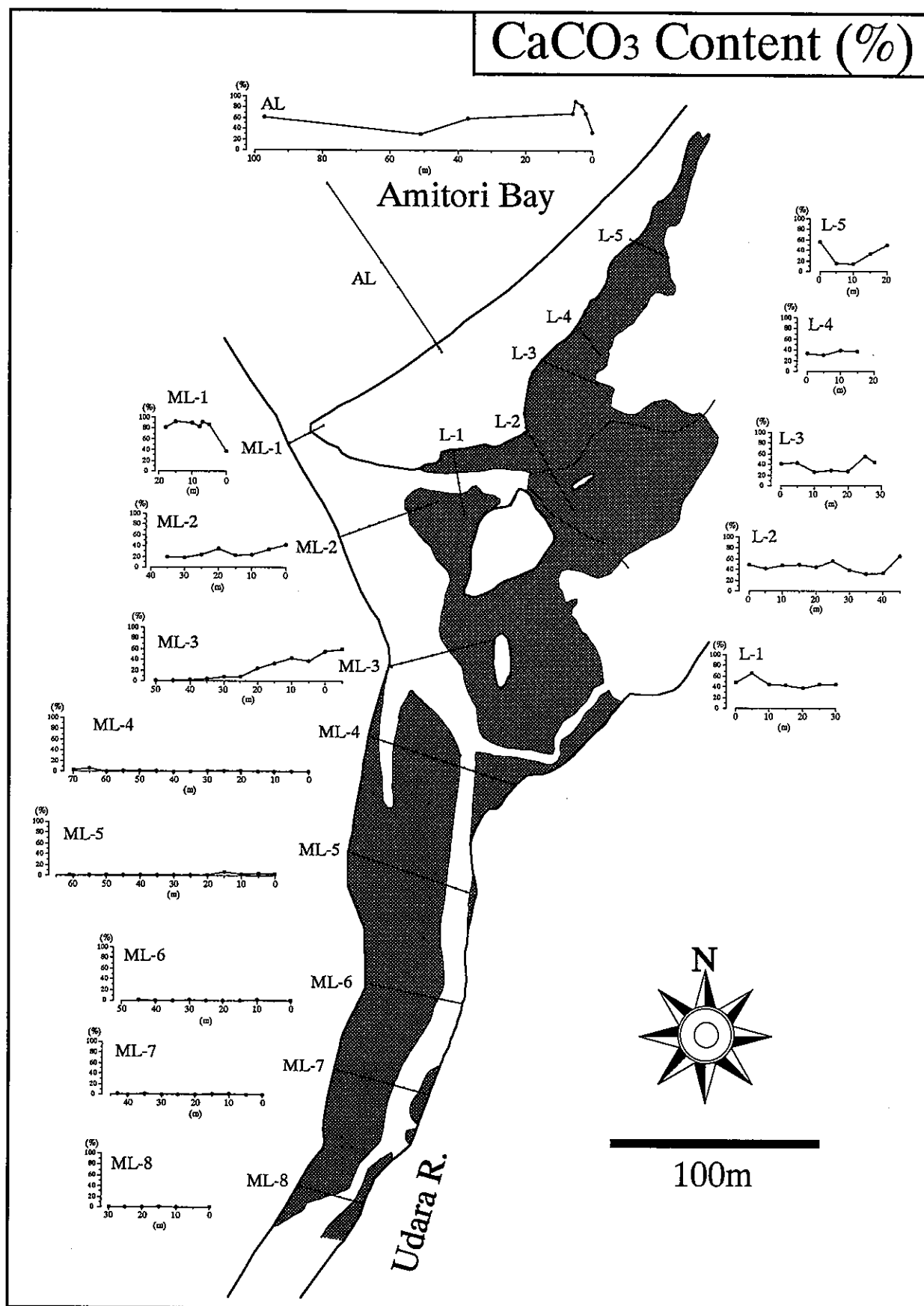


図 5. ウダラ川のマングロープ沼における炭酸塩量。

Fig. 5. Carbonate content in the mangrove swamp of the Udara River.

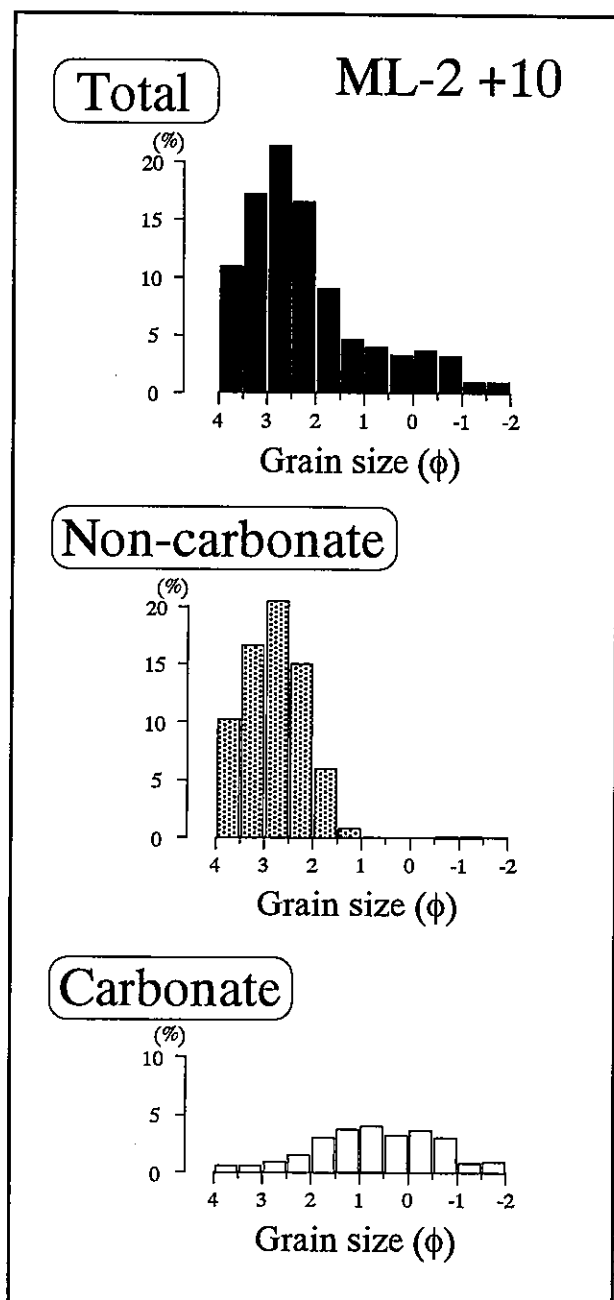


図6. ML-2 +10における粒度分布。非炭酸塩粒子は細粒で、炭酸塩粒子は粗粒である。

Fig. 6. Grain size frequency at ML-2 +10. Non-carbonated grain shows fine size, and carbonated grain shows coarse.

で、炭素同位体比は、 $1.2 \sim -0.5\%$ (vs.PDB) である (図7)。マングロープ沼に生息する腹足類の生体殻の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、 -1.6% 前後で *Calcarina* sp. と同様な値を示したが、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-2.3 \sim -2.7\%$ と 2% 前後低い値を示している。網取湾湾口部前浜堆積物に含まれる *Calcarina* sp. は、マングロープ沼堆積物に含まれるものと同様な値を示した。

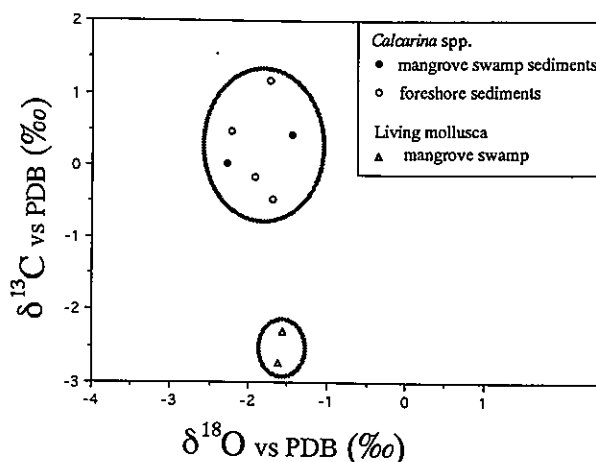


図7. マングロープ沼及び海浜堆積物中の有孔虫化石と貝の炭素・酸素同位体比。

Fig. 7. Carbon and oxygen isotopes of foraminiferal fossil and living mollusca in the mangrove swamp and foreshore sediments.

考 察

1) 堆積物の供給源

ウダラ川河口マングロープ沼における堆積物は、粒度分析から基盤岩類の礫質堆積物、粗粒な炭酸塩堆積物、細粒な非炭酸塩堆積物、泥質堆積物の4つに区分される。礫質堆積物は、マングロープ沼の上流側に主に分布し、特にウダラ川の流路では礫が80%以上を占めている。これらの礫は、現在の地形勾配と河川の流速では運搬されるとは考えにくく、過去の堆積物の残留物であると考えられる。

炭酸塩堆積物は、主としてマングロープ沼下流域に分布する。炭酸塩堆積物の構成物の一つである *Calcarina* sp. の同位体比は、マングロープ沼に生息する腹足類の殻よりも網取湾湾口部の海浜のものに類似する。一般に有孔虫類や軟体動物の石灰質殻の同位体比は、種の違いよりも石灰化作用の行なわれる環境に関係している (Epstein *et al.*, 1951)。したがって、*Calcarina* sp. は少なくともマングロープ沼内で生産されていないことを示している。一方、炭酸塩堆積物はサンゴ片などの粗粒なものも含んでおり、冬の北風あるいは台風による強い波浪でも、狭い河口から多量に運搬されるのは不可能である。したがって、このマングロープ沼内に見られる炭酸塩堆積物は、そこが海浜であった時の堆積物であると考えられる。網取湾湾口部の海浜の *Calcarina* sp. の酸素同位体比の値は、宮古島東方で得られた柱状試料の表層部における浮遊性有孔虫 (*Globigerinoides sacculifer*) の値と比較するとやや低い値を示す。しかし、*G.*

sacculifer が水深約 50m に多く生息している (Be, 1977) ことと *Calcarina* sp. がサンゴ礁に生息している (古田土・中川, 1993) ことを考慮すれば, 宮古島東方の柱状試料で得られた値と矛盾するものではないといえる。マングローブ沼内の炭酸塩堆積物に含まれる *Calcarina* sp. の酸素同位体比が, 現世の海浜堆積物のものと類似するということは, 標準的な酸素同位体変化 (Martinson, 1987) から, *Calcarina* sp. が生存した年代が少なくとも 7000 年前より新しいことを示している。

細粒な非炭酸塩堆積物はマングローブ沼全体に分布するが, ウダラ川の流路周辺に卓越して見られる。この堆積物は, マングローブ沼のほとんどの底質で $3.0 \sim 2.5 \phi$ の粒径でピークを示す。礫の卓越する流路の底質でさえ, その粒径でピークを示す。ウダラ川流域に見られる第三系は, 主に砂岩シルト岩互層で構成されており, 底質とほぼ同じ粒度にピークを持つ。この堆積物の粒度のピークは, 堆積環境よりも供給源の粒度に制約されていることを示している。この細粒堆積物は, 露岩の削剥, 礫の風化・侵食, 生物による露岩・礫の破壊によって供給されているものと思われる。

2) ウダラ川河口マングローブ沼における堆積・運搬・侵食作用

ウダラ川の平均流量は, $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下と考えられており (山下ほか, 1984), 137 mm/day の出水時でも約 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ と見積もられている (大草ほか, 1984)。一方, 潮汐で浸水を受けるマングローブ沼の面積は, 約 3.5 ha である。1996 年 6 月 14 日の大潮時の実測値では, 満潮より 6cm 下がった水位からさらに 10cm の水位が下がるのに約 30 分かかった。このようなデータを用いて流出流量を見積もると約 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ である。これは, 洪水時の流量に匹敵し, マングローブ沼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わっていることを示している。

マングローブでは地形勾配は小さいため, わずかな潮位変化で浸水面積が大きく変わる。その時, 水塊は比較的早い流速で移動する。その流速は地形勾配に関係し, それが小さいほど流速が早くなる。しかし, マングローブ沼の水理過程でもっとも重要なのは, マングローブ植物の地上根による流体抵抗である (Wolanski *et al.*, 1992; 松田, 1993)。マングローブでは流体抵抗体があるため, 流出入が阻害され, 上げ潮や下げ潮ではクリークや河川の流路が先行して上昇・下降する (Wolanski *et al.*, 1992; 松田, 1993)。ク

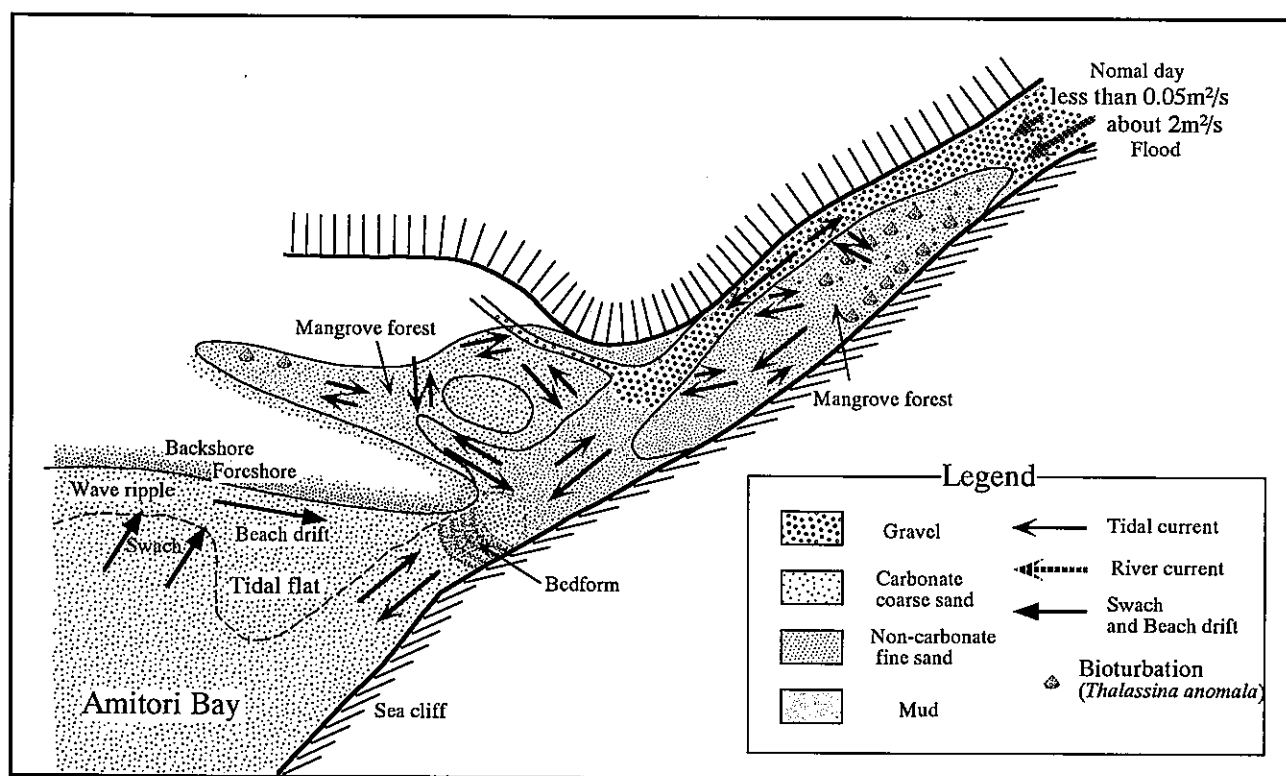


図 8. ウダラ川河口のマングローブ沼における堆積環境。

Fig. 8. Sedimentological environment of mangrove swamp in the mouth of the Udara River.

リークが先行して変化すると、浸水先端はその落差を解消する方向に移動する。上げ潮では斜面を遡上するのでゆっくり侵入するが、下げ潮では斜面を下るので速い流速で流出する。このような流速の違いは、オーストラリアの Ross Creek で認められている (Wolanski *et al.*, 1992)。

ウガラ川河口マングロープ沼における堆積物の特徴は、マングロープ沼特有のこのような水理過程を反映している (図 8)。マングロープの底質は、主に泥を含む砂で構成されている。泥は上げ潮流で運搬され、マングロープに堆積する。しかし、マングロープに堆積した泥の多くは、上げ潮流より流速の早い下げ潮流で運搬され、マングロープの外に流出される。マングロープと流路の境界付近に泥が多いのは、流路の側部では地形勾配が大きくなり、下げ潮の流速が遅くなるためである。しかし、これは一時的な堆積で、干出時には、地形勾配が大きいために堆積した泥は流路の河床に流れる。マングロープ内の小さなクリークでは流体抵抗が比較的小さいので、恐らく細粒砂や、場合によっては粗粒な炭酸塩堆積物も運搬される。事実、東のマングロープでは、マングロープ植物の根元が穿掘されている様子が観察されている。河床では、マングロープ内のような抵抗体がないので速やかに流れ下る。さらに、マングロープ沼内に残留している水が絶えず流れているため、泥や砂は運搬され、礫だけが残っている。運搬された砂泥は、マングロープ沼の下流部の広い流路に一時的に堆積するが、河口を通じて湾内に排出される。湾奥の海浜では、波浪に伴う打ち上げ波で炭酸塩堆積物が選択的に濃集され、前浜に堆積する。堆積した炭酸塩堆積物は掃流によって運搬され、ウガラ川の河口を狭める。狭くなったウガラ川河口では潮流の流速が早くなり、底質を穿掘し、ベッドフォームが発達する。そのため、河口では、淘汰の良い粗粒な底質を示すと考えられる。

今回の結果では、現在のウガラ川河口マングロープ沼は、堆積よりも侵食・運搬が行なわれている。しかし、マングロープでは、マングロープ植物によって運搬作用を阻害しているので、それほど後退していない。むしろ、マングロープよりさらに奥部が侵食され海水が進入することによってマングロープが広がっていると思われる。現在のウガラ川のマングロープは、澤本 (1993) に示された分布図と比較して広がっている。恐らく、現在の海水準を維持されれば、これからも広がっていくと思われる。

謝辞: 本研究を行うに当たって、東海大学沖縄地域研究センターの方々には、調査に便宜をはかっていただいた。また、島根大学地質学教室の学生諸氏には、調査に同行していただいた。ここに感謝の意を表し、厚くお礼を申し上げます。なお本研究は財団法人深田地質研究所による平成7年度深田研究助成金の一部を使用した。

引用文献

- Be, A. W. H. (1977) An ecologic, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera. In Ramsay, A. T. S. (Ed.), *Oceanic Micropaleontology*, 1: 1-88.
- Ellison, J. C. (1989) Pollen analysis of Mangrove sediments as a sea-level indicator: assessment from Tongatapu, Tonga. *Palaeogeog. Palaeocli. Palaeoeco.*, 74: 327-341.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H., and Urey, H. C. (1951) Carbonate-water isotopic temperature scale. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 62: 417-426.
- 藤本 潔・宮城豊彦 (1990) ミクロネシア、ポナペ島における後期完新世海水準微変動とマングロープ林の成立. 地学雑, 99: 507-514.
- 藤本 潔・大貫靖治・宮城豊彦 (1993) 西表島におけるマングロープ林の立地形成過程と相対的の海水準変動. 国府田佳弘編: 「マングロープ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.
- Lugo, A. E. and Snedaker, S. C. (1974) The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 39-64.
- Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore, Jr. T. C. and Shackleton, N. J., (1987) Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quat. Res.*, 17: 1-29.
- Matsumoto, E., Matsushima, Y. and Miyata, T. (1986) Holocene sea-level studies by swampy coastal plains in Truk and Ponape, Micronesia. *HIPAC Team (Sugimura, A. ed): Sealevel Changes and Tectonic in the Middle Pacific. Report of HIPAC Project in 1984 and 1985 (Second Research)*, 95-110.
- 松田義弘 (1993) マングロープ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.
- 中川久夫・土井宣夫・白尾元理・荒木 裕 (1982) 八

- 重山群島 石垣島・西表島の地質, 東北大地質古生物研報, 84:1-22.
- 中須賀常雄 (1979) マングローブ林の林分解析. 琉球大学農学部学報, 26:413-519
- 古田土俊夫・中川洋 (1993) 琉球列島宮古島西方海域の現世炭酸塩堆積物中の底生有孔虫群集. 石油公団石技センター研究報告, 24:93-110.
- 大草重康・小菅晋・山下浩一・滝山哲男・石丸明弘 (1984) 沖縄県西表島網取湾における海洋土木調査(Ⅱ). 東海大学海洋研究所資料, 6:7-15.
- 澤本彰三 (1993) 西表島ウダラ川マングローブ域のメイオベントスに関する予察的研究. 東海大学海洋研究所資料, 14:99-103.
- 和田英樹・藤井昇・新妻信明 (1984) MAT 250 による超微量炭酸ガス試料の安定同位体比測定法. 静岡大学地球科学研報, 10:103-112.
- Wolanski, E., Mazda, Y. and Ridd, P. (1992) Mangrove Hydrodynamics. In *Tropical Mangrove Ecosystem.*, (eds.) A. I. Robertson and D. M. Alongi, Springer-Verlag, New York. 46-62.
- 山下浩一・石丸明弘・滝山哲男 (1984) ウダラ川とその河口沿岸の地形と水理現象. 東海大学海洋学部紀要, 19:37-48.