海底柱状試料に基づく有明海中央部における過去1万年間の環境変遷史

Environmental changes in the central part of the Ariake Sea based on cored sediments during the last 10,000 years, Kyushu, Japan.

塚脇真二[1)]・松田博貴[2)]・長谷義隆[2)]・秋元和實[3)]・中原功一朗[4)]・浅野いずみ[5)]
小沢広和[6)]・岡村　眞[7)]・古田徳仁[4)]・堂満華子[4)]・尾田太良[8)]・滝川　清[3)]

Shinji Tsukawaki[1)], Hiroki Matsuda[2)], Yoshitaka Hase[2)], Kazumi Akimoto[3)], Koichiro Nakahara[4)], Izumi Asano[5)], Hirokazu Ozawa[6)], Makoto Okamura[7)], Norihito Furuta[4)], Hanako Domitsu[4)], Motoyoshi Oda[8)] and Kiyoshi Takikawa[3)]

Abstract

Holocene environmental changes in the central part of the Ariake Sea, off Kumamoto related with the global sea-level changes after the Last Glacial Maximum were investigated using four cored sediments, obtained from 21 to 44 metres in water depths, based on the analytical results on their depositional facies, assemblages of diatoms and benthic foraminifers, and radiocarbon datings at a certain number of horizons. As the results, it is first inferred that the area where is around 50 metres below the present sea-level within the studied area was submerged about 9,600 to 9,400 yrs BP, and fresh-water environments before that time were replaced gradually by brackish water environments, then an inner bay environment under marine condition appeared around 9,200 yrs BP. Since the similar transition followed by the appearance of marine environments around 8,200 yrs BP was also recognised in the area where is around 20 metres below the present sea-level, it is attributed to that a central bay environment under pure marine condition occupied in the central part of the sea about 7,400 yrs BP. It is also inferred that the central bay environment covered entirely the present Kumamoto Plain around 5,400 yrs BP due to progressive rise of sea-level and its following high-stand. Further, due to succeeding fall of sea-level after that time together with progradation of deltas off river mouths of the Shira-kawa and Midori-gawa Rivers, the coastline has retreated in the present position.

はじめに

九州西部に位置する有明海は，湾軸の延長約96km，平均幅約18km，総面積約1,700km^2，平均水深約20mの典型的な内湾であり，早瀬瀬戸を通じて天草灘と，三角・柳・本渡の各瀬戸により，有明海同様に典型的内湾である八代海と通じている（海上保安庁水路部，1959；鎌田，1979）．有明海は，最大干満差6m近くに達し，広大な泥質干潟，強大な潮汐流による堆積作用，豊富な生物群集の生息で特徴づけられ，地質学的・生物学的に学術上重要な海域であるとともに，沿岸域では古くから農業・漁業・工業が発達し，社会生活と密接な関りを持つ地域でもある．しかし，このような漁業や工業の発達にかかわる開発，そして海上交通の活発化にともなっての環境破壊や環境汚染問題も生じてきており，諫早湾の干拓に対する社会の批判的反応には記憶に新しいものがある．

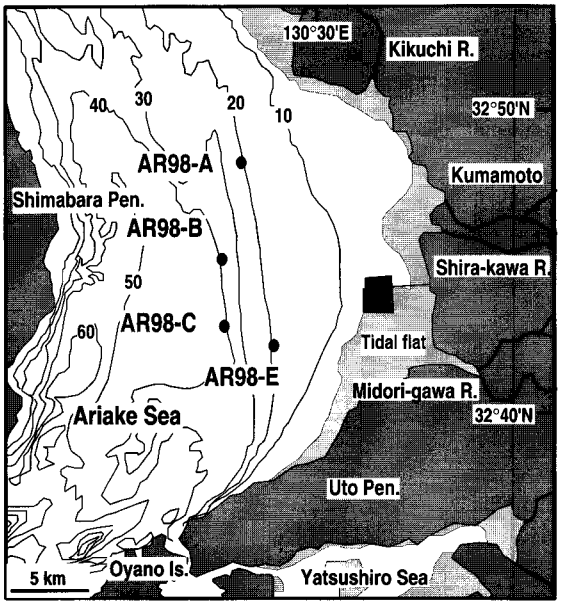
1）金沢大学工学部
2）熊本大学理学部
3）熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター
4）熊本大学大学院自然科学研究科
5）金沢大学大学院教育学研究科
6）金沢大学大学院自然科学研究科
7）高知大学理学部
8）東北大学大学院理学研究科

したがって，現在の有明海におけるさまざまな自然環境を把握し，それを過去から現在に沿った時間軸上に位置づけることは，今後期待される同海の開発・保全に向けての重要な基礎資料となろう．

有明海の海底堆積物に関する代表的研究しては，有明海研究グループならびに鎌田の一連の研究があげられる．有明海研究グループ（1965a，b）は有明・不知火海域の干潟，海岸平野および海底の大部分を構成する粘性土を「有明粘土（層）」と命名し，海上ボーリング試料や音波探査資料にもとづき有明海全域におけるその岩相変化や層厚分布を示すとともに，含有化石群集組成や粒度組成・化学分析結果からその堆積環境や完新世の海面上昇にともなう堆積環境の変化を論じた．一方，鎌田（1957，1967，1979），鎌田ほか（1979）は，有明海ほぼ全域に分布する干潟堆積物ならびに海底表層堆積物を，堆積物の粒度組成や粒度分布にもとづきいくつかの堆積型に区分した．

また海底堆積物中に含まれる有殻微小生物や微化石に関する研究では，有明海表層の珪藻については，主に1970年以降の有明海域における調査報告にもとづいて，塚原ほか（1985）がまとめ，優占種として *Skeletonema costatum*，*Leptocylindrus danicus*，*Coscinodiscus* spp.，*Rhizosolenia* spp.，*Chaetoceros* spp.，ならびに *Thalassionema nitzschioides* などが多いことが報告されている．また有明海海底表層の珪藻については，Oshite（1959），林（1964）により，優占種として *Coscinodiscus* spp.，*Thalassiosira* spp.，*Melosira sulcata*，*Cyclotella striata*，*Thalassionema nitzschioides* が産出することが報告されている．しかし上述の報告の大半が1950年代から1970年代の調査にもとづいており，過去10～20年に関しては同様の報告はなされていない．一方，九州周辺海域や内湾における現世底生有孔虫の調査は1950年代に始まり，これらの分布と海洋環境との関係が議論されている（例えば，Nagahama，1951；Shuto，1953；Oki，1989；小林，1992など）が，有明海の群集については未調査であり，海底堆積物中の同化石群集もこれまで研究対象とはなっていなかった．

そこで，我々研究グループは，基盤研究（A）「有明・八代海沿岸の自然環境評価と環境共生型社会基盤整備に関する研究（代表者：熊本大学滝川清）」の一環として，有明海における最終氷期以降の海水準変動に伴う環境変化の解析を目的として，1998年12月ならびに1999年4月に同海中央部熊本沖の4地点において海底柱状試料を採取した．本報告では，この海底柱状試料の堆積物の特徴と堆積相，



第1図　有明海中央部の海底地形と海底柱状堆積物採取位置

ならびにその変化を記載するとともに，これらの堆積物中に含まれる珪藻群集と底生有孔虫群集の解析結果をもとに，有明海中央部における最終氷期以降の堆積過程ならびに環境変遷について報告する．

地域概説および研究手法

調査海域である有明海中央部は，海図上では島原海湾とよばれる部分に相当し，有明海中央部東岸が東方へとゆるく湾入する部分にあたる（第1図）．本海域には北からは菊池川が，また東からは白川ならびに緑川がそれぞれ流入する．西方の島原半島には雲仙火山群が位置する．八代海とは南方の宇土半島をもって境される．本海域の海底地形は，各河川の河口沖に三角州前置面と判断される比較的広く浅い平坦面が認められるのをのぞき，緩やかな傾斜を

第1表　試料採取位置，採取水深ならびに採取試料長

	Latitude	Longitude	Water depth (m)	Core length (cm)
AR98 - A	32° 48.5' N	130° 29.5' E	23.0	1,112
AR98 - B	32° 45.5' N	130° 28.8' E	39.7	861
AR98 - C	32° 43.5' N	130° 28.8' E	44.0	903
AR98 - E	32° 42.9' N	130° 30.6' E	21.1	1,381

もって水深約50mの最深部へと達する．一方，同海西側には1792年の雲仙火山噴火にともなう眉山崩壊堆積物と判断される複雑な起伏を呈する地形が認められる．

本研究で使用した4点の海底柱状試料（AR98-A～CおよびAR98-E）は，1998年12月および1999年4月に，高知大学所有採泥パイプ長15mのピストン式柱状採泥器により，有明海中央部熊本沖の水深21.1～44.0mの4地点から採取された（第1図；第1表）．

それぞれの柱状堆積物試料は半裁し，その一方については切断面をステンレスヘラおよび噴霧器で整形したのち，肉眼による堆積物の記載ならびに昼光下・赤外線下での写真撮影を行った．そして，切断面より長さ20cm，幅4cm，厚さ約1cmの堆積物を透明プラスチックケースに採取し軟X線透視観察用試料とした．そして残る試料から，珪藻および底生有孔虫群集ならびに砂質堆積物検討試料として定方位試料を採取した．もう一方の半裁試料は冷蔵保存した．珪藻群集解析に用いた試料は，各試料より10cm間隔で採取し，それらを20～40cm間隔で分析を行った．処理は金谷・長谷川（1977）に従った．鑑定には600～1500倍の光学顕微鏡を用い，各試料について200個以上の珪藻殻を同定し，各種の産出割合を求めた．また底生有孔虫群集解析では，古環境の高精度分析のための基礎データ作成を目的に，1m長ごとに切断された各柱状試料から少量の堆積物を抽出し，群集変化の概要を把握した．なお分類および記載はLoeblich and Tappan（1988）に，また環境区分は井上（1980）と小杉ほか（1991）に従った．さらに，柱状試料の堆積年代を決定するために，堆積環境の大きな変化が予測される層準について同層準に含まれる貝殻・底生有孔虫・植物片などを抽出し，放射性炭素年代の測定を実施した．なお測定は，Geochron Laboratories社に依頼した．

海底柱状試料の堆積物の特徴とその変化

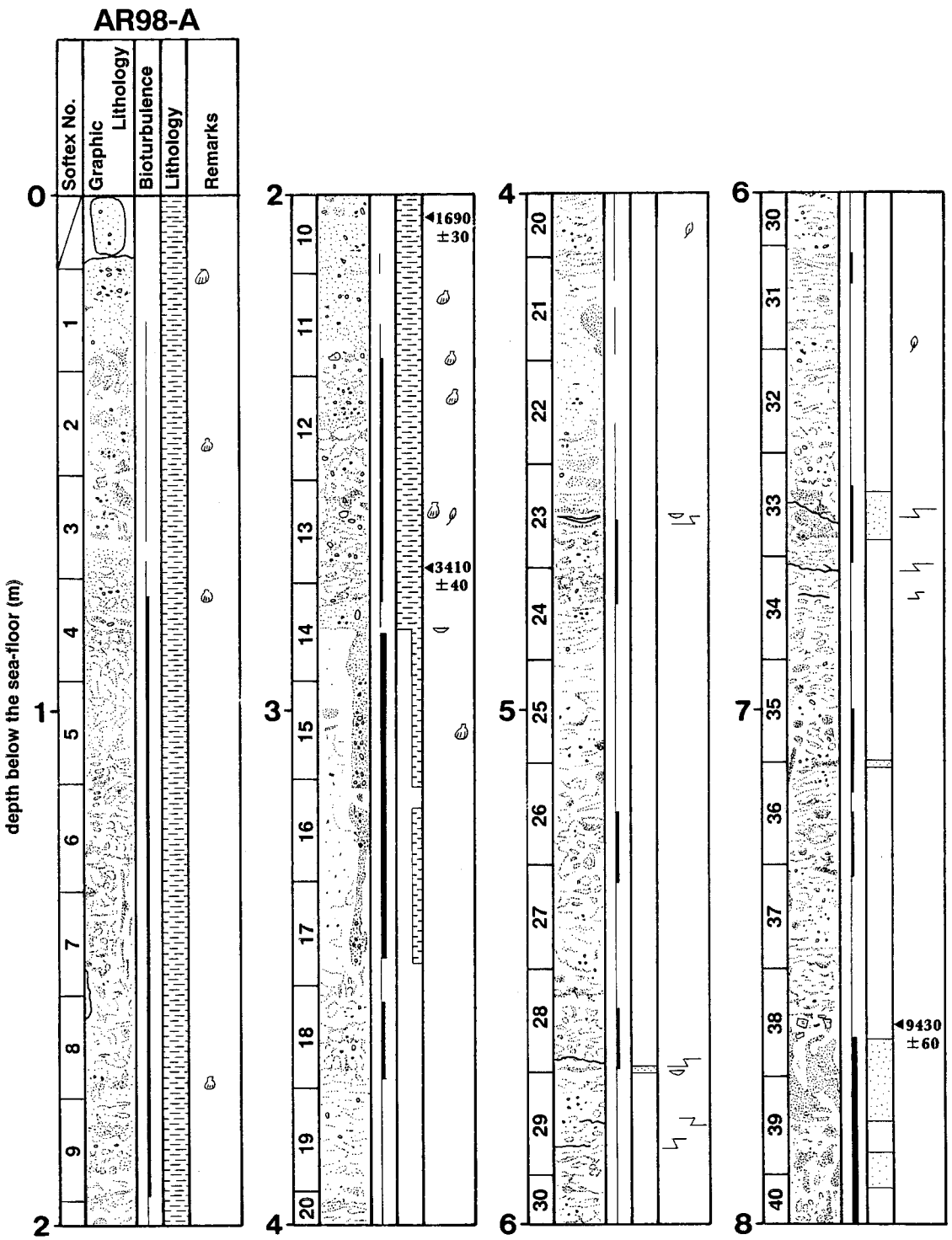
海底柱状試料の肉眼記載結果を第2－1～6図に，これら記載結果をもとに作成した岩相柱状図を第3図に，また海底柱状試料の昼光下写真を図版1～4にそれぞれ示す．

AR98-A：有明海中央部の北部海底（水深23m：第1図；第1表）から採取された全長1,112cmの本試料は，貝殻片を多量に含む泥質～砂質堆積物よりなる上部（0～283cm），生物擾乱の発達する緑灰色泥からなる中部（283～657cm），および細～中粒砂と砂質泥とが不規則に成層する下部（657～1,112cm）に大きく三分される（第2－1～2図，第3図）．上部と中部との境界は巣穴痕からなる生物擾乱の著しい発達のため明瞭ながらもきわめて不規則である．また中部と下部との境界は漸移的といえる．

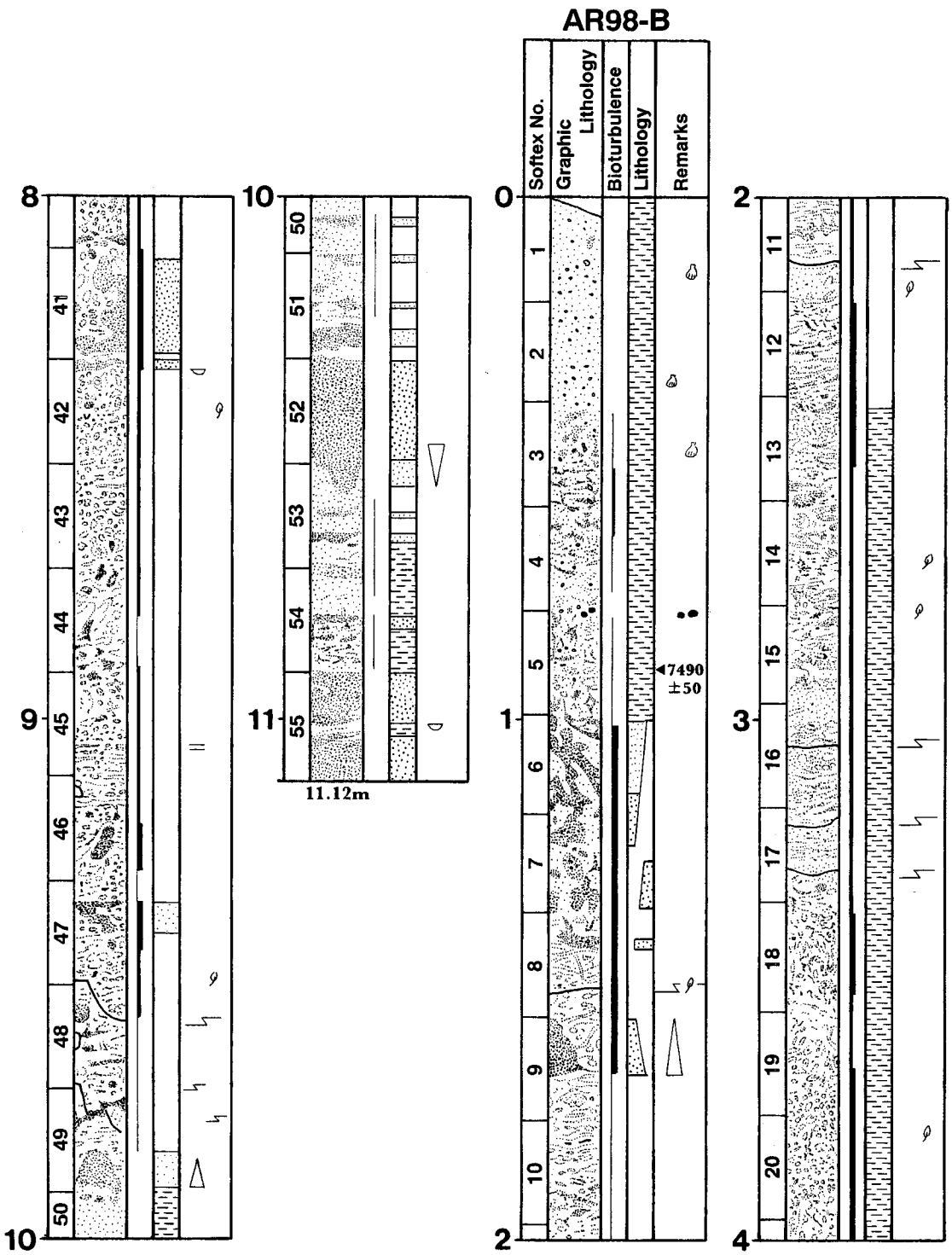
本試料の上部は，その上部では貝殻片を含み生物擾乱の発達する緑灰色砂質泥から構成されるが，下位に向かって砂質堆積物が粗粒化する傾向にあり，上部の最下部は貝殻片を多量に含む緑灰色泥質中～粗粒砂となる（図版1－1）．砂質堆積物はおもに茶褐色バブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．また，微細な植物遺骸の散在が全層準をとおして認められる．一方，生物擾乱の発達する緑灰色泥からなる本試料中部は，一般に塊状無層理で顕著な内部堆積構造は認められない（図版1－2）．巣穴痕と判断される生痕の内部が，細～中粒砂で充填されることがある．植物破片が全層準をとおして豊富である．また，貝殻片を主体とする石灰質堆積物が全体に散在する．層厚数mm～1cmで浸食基底面をともなう細粒砂層が，海底面下460cm付近に2枚および同570cmに1枚それぞれ挟在する．

本試料下部では緑灰色砂質泥，細粒砂および細～中粒砂が不規則に成層する．これらの境界は生物擾乱の発達によりほとんどの場合不明瞭であり凹凸が著しい．下部の主体をなす緑灰色砂質泥には巣穴痕を主体とする生物擾乱が発達し，植物遺骸が全体に散在するほか，貝殻片が上位層準に散在する．巣穴痕と判断される生痕の内部が，細～中粒砂で充填されることがある（図版1－3～4）．また不明瞭な平行葉理が認められる層準がある．砂質堆積物はおもに茶褐色バブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．一方，濃緑色を呈する細粒砂は一般に層厚10cm前後で塊状無層理である．直下の砂質泥とは浸食面で接することが多い．そして細～中粒砂は最大層厚が40cm，平均層厚が20cm程度で，鏡下では黒雲母の存在が目立つ（図版1－5）．直下の砂質泥とは浸食面で接することが多い．厚層をなすものでは主部は塊状無層理ながらもその上部に級化構造が，また薄層では全体をとおしての逆級化構造が認められる．砂質堆積物はおもに茶褐色バブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．なお，海底面下760cm付近には変成岩の細亜角礫が散在する．

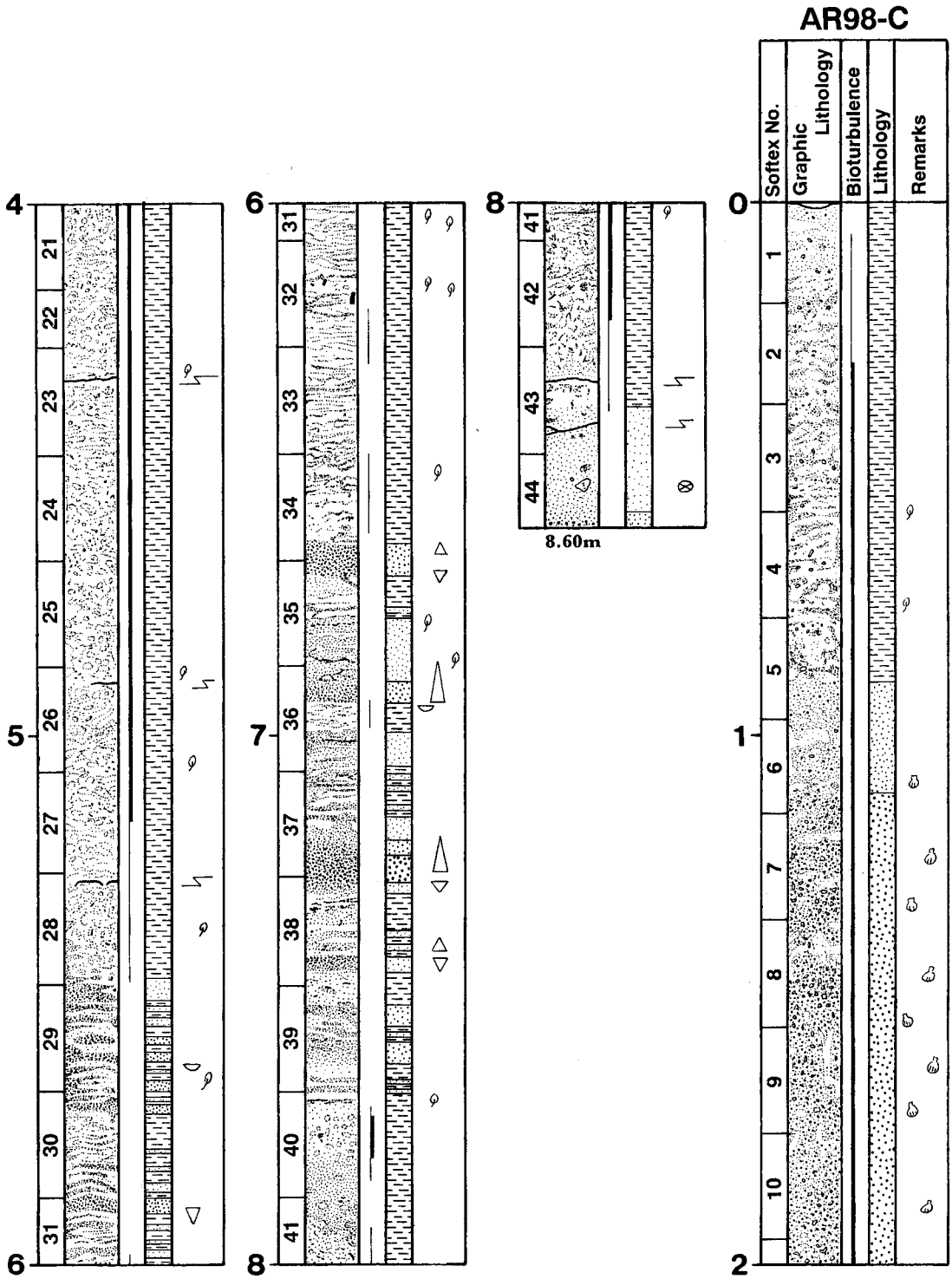
AR98-B：有明海中央部の中央部海底（水深40m：第1図，第1表）から採取された全長861cmの本試料は，貝殻片を多量に含む泥質～砂質堆積物よりなる最上部（0～110cm），生物擾乱の発達する緑灰色泥からなる上部（110～240cm），生物擾乱の発達す



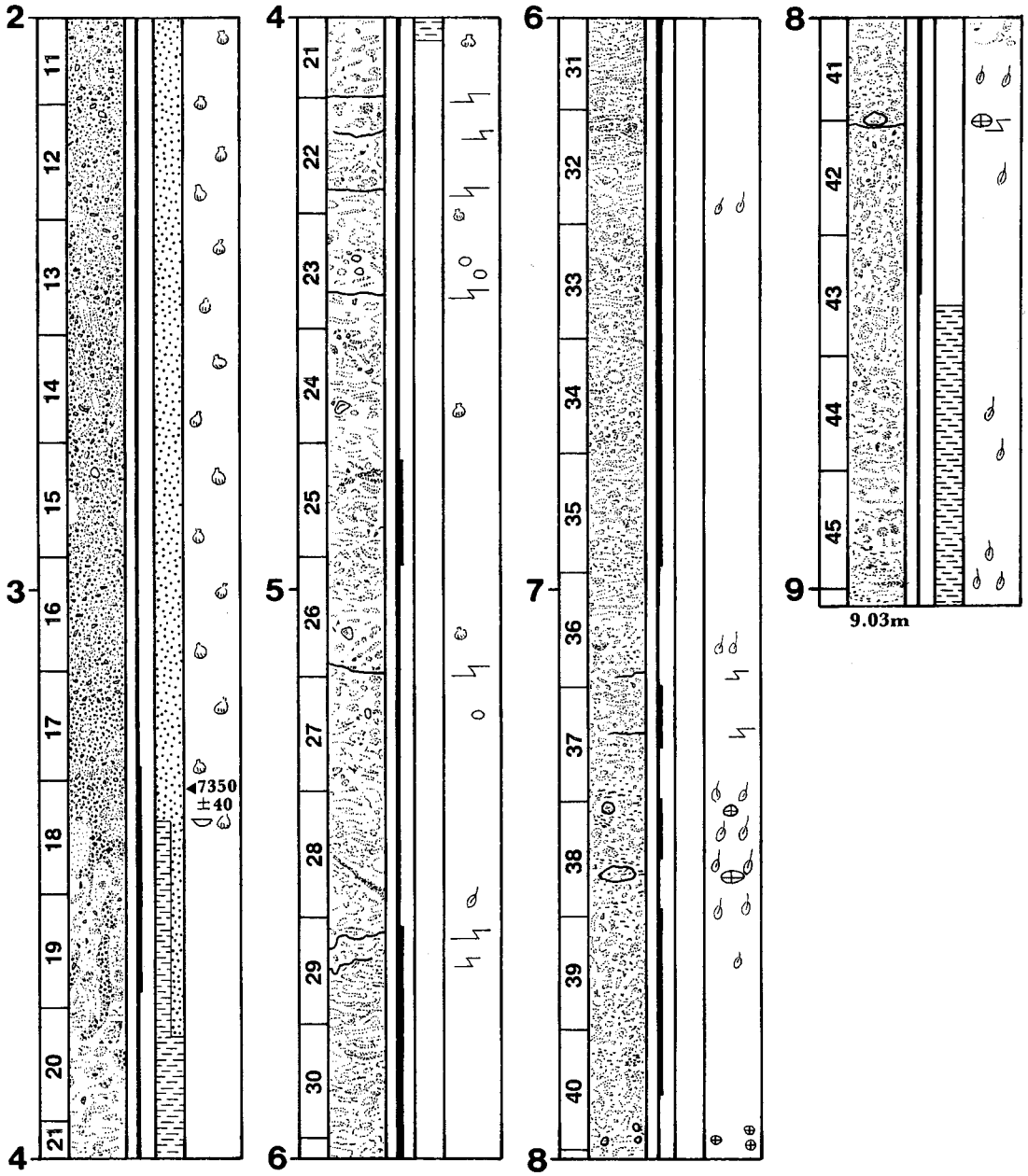
第２－１図　海底柱状堆積物の記載（凡例は図末）



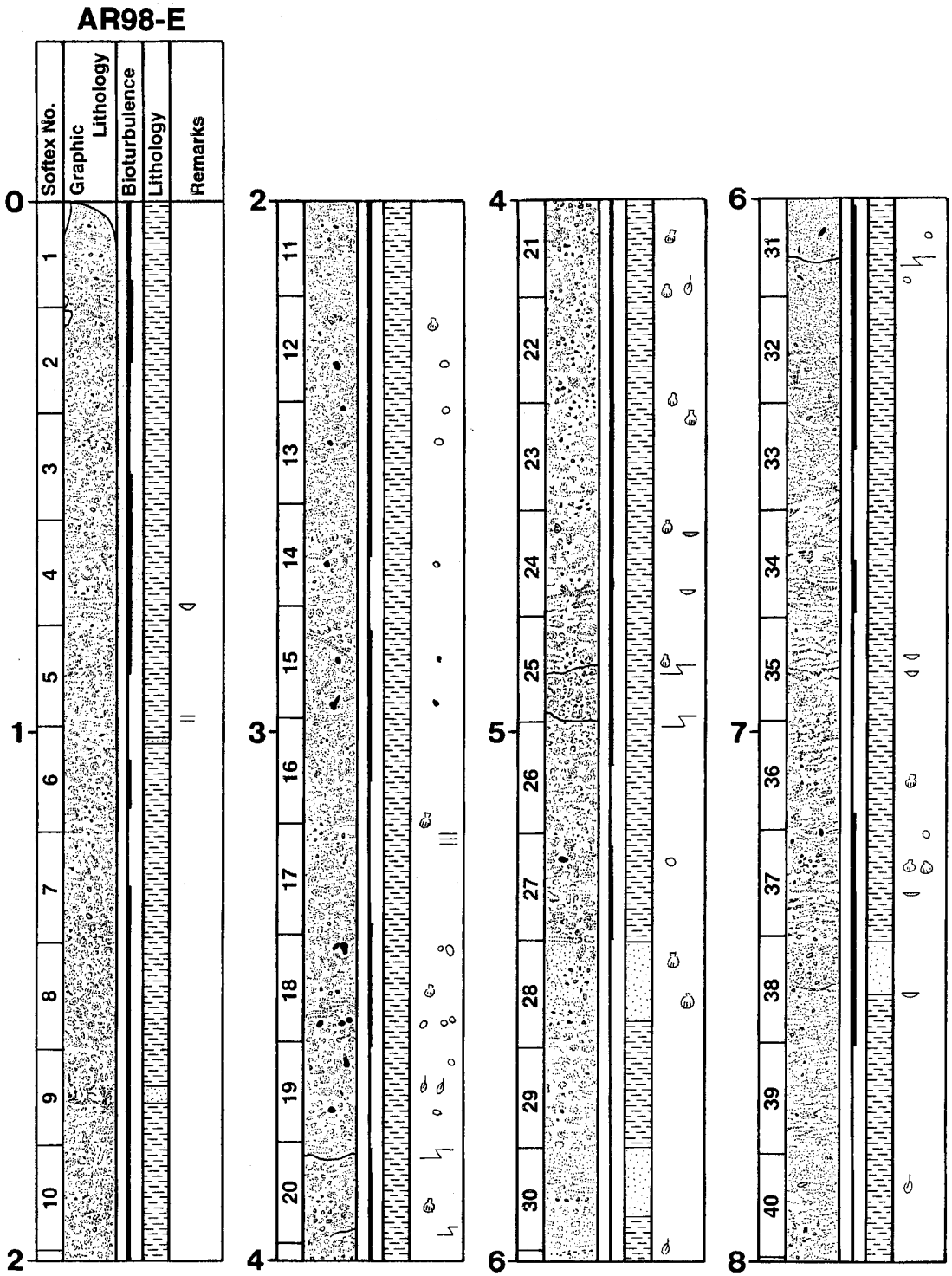
第２－２図　海底柱状堆積物の記載



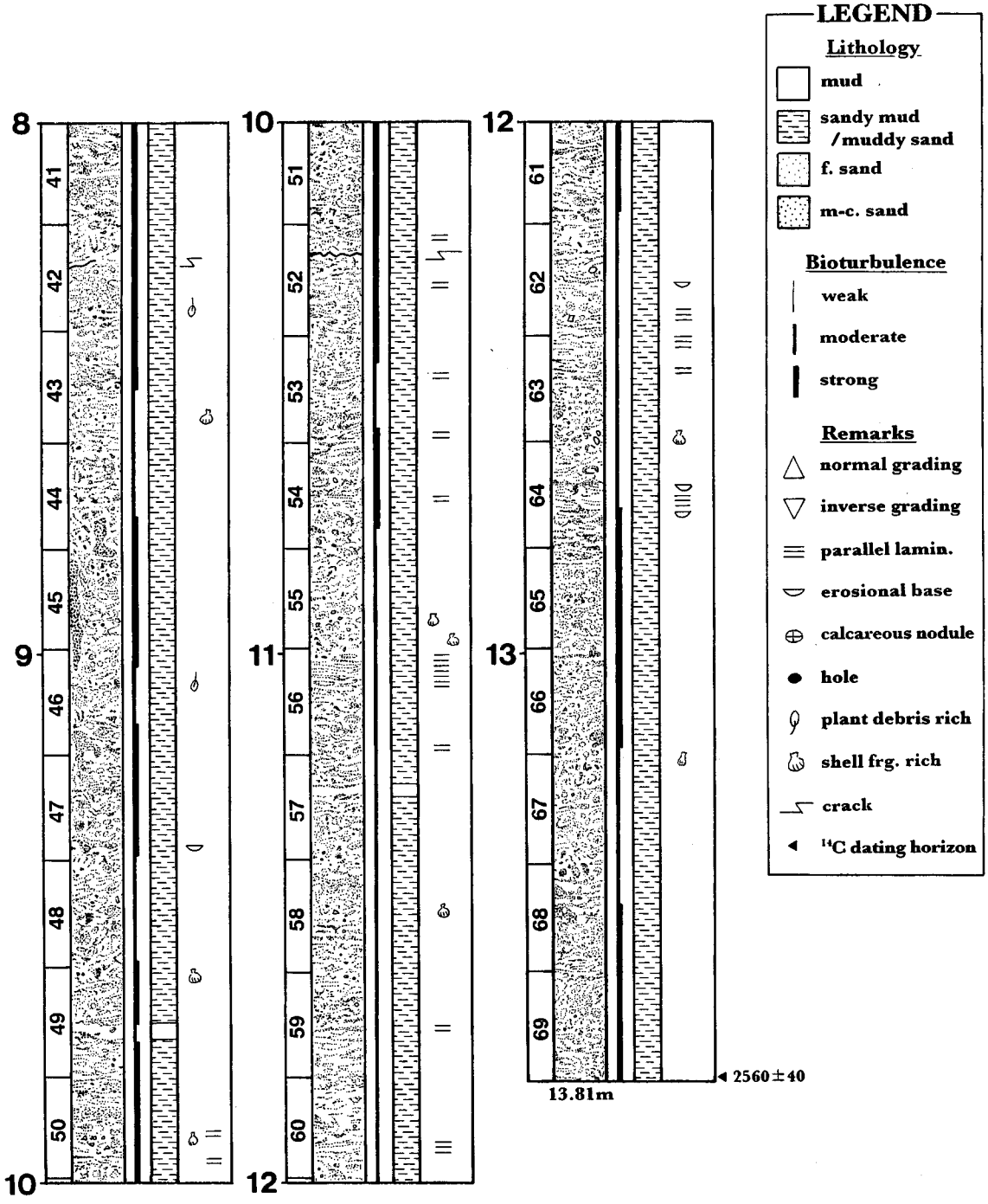
第２－３図　海底柱状堆積物の記載



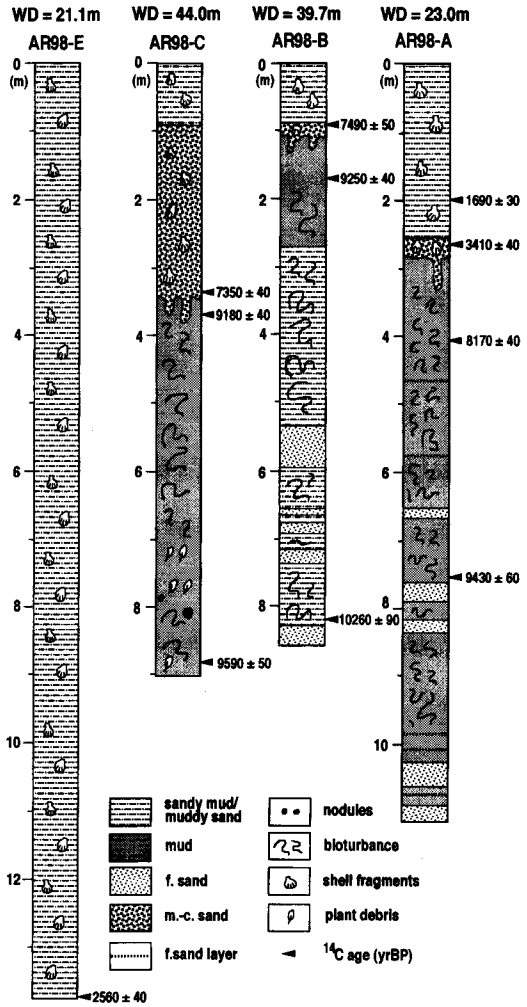
第２－４図　海底柱状堆積物の記載



第２－５図　海底柱状堆積物の記載



第２－６図　海底柱状堆積物の記載



第３図　海底柱状堆積物の岩相柱状図と放射性炭素年代測定結果

る緑灰色砂質泥～泥質砂からなる中部（240～545cm），そして細～粗粒砂と緑灰色砂質泥とが不規則に成層する下部（545～861cm）に大きく四区分される（第２－２～３図，第３図）．最上部と上部との境界は明瞭ながらも生物擾乱の著しい発達のためきわめて不規則である．また上部と中部，および中部と下部との境界はいずれも漸移的である．

試料最上部は，その上部では多量の貝殻片を含む灰緑色砂質泥からなるが，下位にむかって砂質堆積物が粗粒化する傾向にあり，海底面下70cm以下の堆積物は貝殻片を多量に含む泥質中～粗粒砂となる（図版２－１）．巣穴状生痕が全体をとおして発達し，生痕の内部が中～粗粒砂で充填されることがある．微細な植物遺骸が全体に散在する．また，緑色岩の細角礫が80cm層準に散在する．

一方，生物擾乱の発達する緑灰色泥からなる本試料上部は，一般に塊状無層理で生痕以外の内部堆積構造は認められない（図版２－２）．巣穴痕を主体とする生痕の発達は全体をとおして著しく，生痕の内部が最上部に由来すると考えられる含貝殻片細～粗粒砂で充填されることがある．植物遺骸が全層準をとおして豊富に含まれる．砂質堆積物はおもに茶褐色バブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．

試料中部は，生物擾乱の発達する緑灰色砂質泥～泥質砂から構成される（図版２－３）．生痕の発達は全層準をとおして著しいが，350～360cmの堆積物が黄緑灰色を呈する層準，ならびに430～450cmの堆積物が比較的緻密になる層準では，生痕の発達はいずれも軽微である．上位層準には貝殻片の散在がわずかに認められる．植物遺骸が全体に散在し，これらは海底面下270cm付近および380cm付近では密集する．砂質堆積物はおもに茶褐色バブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．

試料下部では細～粗粒砂層と泥質砂層あるいは砂質泥層とが不規則に成層する（図版２－４）．緑灰色あるいは暗黄褐色を呈する砂質泥および泥質砂は，いずれも層厚５～20cmであるが，まれに層厚60cmに達することがある．砂質泥あるいは泥質砂の内部には淡黄褐色を呈する斑状の生物擾乱の発達が認められ，これらは通常は軽微であるが，海底面下800～830cm層準ではその発達が著しく堆積物も緻密となる（図版２－５）．全体をとおして植物遺骸に富み，これらは層厚数mmの黒色を呈する密集層を形成する．とくに海底面下600～660cm層準の砂質泥層には，このような植物遺骸密集層が少なくとも40枚確認される．一方，暗黄褐色あるいは淡緑灰色を呈する砂質堆積物には，極細粒から粗粒までさまざまな粒径のものが存在し，層厚１～20cmの極細～粗粒砂層をなす．これらの砂層は試料下部をとおして下方粗粒化ならびに厚層化する傾向にあるといえる．直下の泥質砂あるいは砂質泥とは浸食面で接することが多い．これらの砂層内部に顕著な堆積構造は認められないが，10cm以上の厚層をなすものでは最下部に逆級化構造，あるいは最上部に級化構造が観察されることがある．生物擾乱の発達は認められないが，砂層の上・下面が不規則に波打つことがあり，これらは堆積時あるいは堆積直後の液状化などによる二次変形構造と判断される．砂質堆積物はおもに茶褐色のバブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．また，砂層中には植物遺骸の

散在が認められ，これらは層厚数mmの黒色～緑黒色植物遺骸密集層を形成する（図版２－４）．

AR98-C：有明海中央部の南部海底（水深44m：第１図，第１表）から採取された全長903cmの本試料は，貝殻片を多量に含む砂質堆積物よりなる上部（0～340cm）ならびに生物擾乱の発達する砂質泥～泥からなる下部（340～903cm）に大きく二分され，両者の境界は生物擾乱の著しい発達のため明瞭ながらもきわめて不規則となる（第２－３～４図，第３図）．

上部は，その上部では貝殻片を多量に含む緑灰色砂質泥からなる（図版３－１）が，下位に向かって堆積物が徐々に粗粒化する傾向にあり，海底面下90cm以下の堆積物は貝殻片を多量に含む灰緑色中～極粗粒砂となる．また，全層準をとおして生物擾乱の発達が著しく，これらの砂質堆積物と巣穴痕と判断される緑灰色砂質泥とが不規則に混在するのが観察される（図版３－２）．貝殻片は海底面下220cmならびに320cm層準付近にとくに卓越する．また，褐色植物遺骸が全層準をとおして散在する．海底面下278cm層準には直径２cmの白色軽石が認められる．砂質堆積物はおもに茶褐色バブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．

一方，砂質泥あるいは泥からなる試料下部は下位に向かって細粒化する傾向にあり，海底面下400cmまでは緑灰色を呈する砂質泥であるが，それ以下では緑灰色あるいは暗緑色の泥となり（図版３－３，３－５），同870cm～886cmでは再び緑灰色砂質泥となる．全体に均質で生物擾乱をのぞいては明瞭な堆積構造は確認されない．巣穴痕を主体とする生物擾乱は全層準をとおして発達し，海底面下580cm以下ではその発達がとくに著しい．また，これらの一部には巣穴の内部が細～中粒砂で充填されるものがある．上半部には貝や貝殻片がわずかながらも散在する．褐色植物遺骸は下部の上半部ではまれに観察される程度であるが，海底面下550cm付近から徐々に増加する傾向が認められ，同700cm以下では豊富に存在するようになり同層準以下では植物遺骸が層厚数cmの密集層を形成することがある．また，海底面下445cm，738cm，750cm，795cmおよび818cm層準には，直径２～６cmの石灰質ノジュールがそれぞれ認められる（図版３－４）．砂質堆積物はおもに茶褐色バブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．なお，本試料基底部約20cmには上位に生物擾乱の発達する淡灰緑色粘土層，そして下位に有機物に富む暗褐色あるいは暗緑色の泥層が位置し，これらは堆積相ならびに構成物質から古土壌と判断される．

AR98-E：有明海中央部の東部海底（水深21m：第１図，第１表）から採取された全長1,381cmの本試料は，全体をとおして貝殻片や植物遺骸，底生有孔虫殻，介形虫殻に富む緑灰色の砂質泥あるいは泥から構成され，生物擾乱の発達が全層準にわたって著しい（第２－５～６図，第３図；図版４－１～２）．砂質堆積物はおもに極細～細粒の茶褐色バブルウォール型火山ガラス，斜長石，石英および黒雲母から構成される．海底面下230cm以下の堆積物はそれ以上と比べてやや緻密になる．また，海底面下600cm以下では平行葉理の発達が不明瞭ながらも認められる．海底面下165cm，685cm，687cm，730cm，748cm，1,125cmおよび1,229cm層準には層厚１～２cmの細粒砂層が挟在し，これらの砂層と直上・直下の泥質堆積物との境界は生物擾乱のため不明瞭であることが多いが，一部には明瞭な浸食基底面が観察される（図版４－３～４）．海底面下970cm層準には層厚３cmの灰緑色泥層が挟在する．海底面下320cm，400cm，550cm，722cm，1,256cmおよび1,320cm層準には層厚５～10cmにわたって貝殻片が密集する（図版４－５）．また，海底面下360～370cmには植物遺骸がとくに豊富であり，同598cm層準ではこれらが層厚約５mmの密集層を形成する．

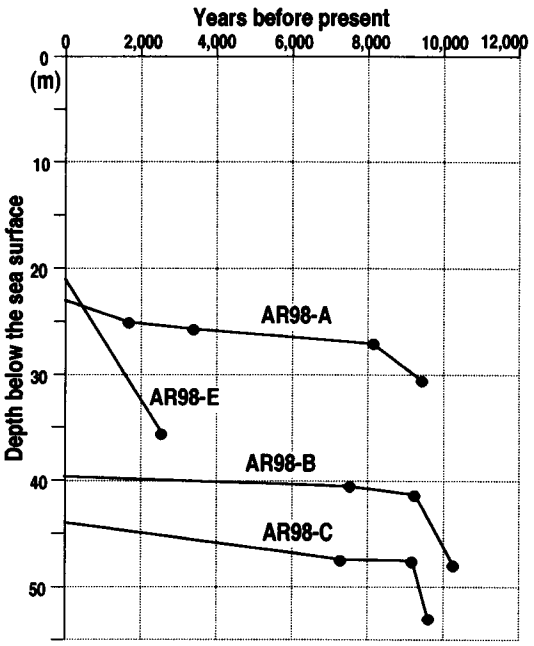
海底柱状試料の堆積年代と堆積速度

海底柱状試料の放射性炭素年代測定結果を第２表に，またこれらをもとに得られた堆積速度を第４図にそれぞれ示す．

AR98-A：本柱状試料の海底面下202.5～207.3cm層準，270.8～273.1cm層準，408.6～410.8cm層準，およ

第２表　放射性炭素年代測定結果

Sample No.	Horizon (cm bsf)	Material	Age (yrBP)
AR98-A			
GX-26360	202.5 - 207.3	Shell fragments	1,690 ± 30
GX-25561	270.8 - 273.1	Shell fragments	3,410 ± 40
GX-27636	408.6 - 410.8	Wood	8,170 ± 40
GX-25562	759.5 - 761.8	Benthic foram.	9,430 ± 60
AR98-B			
GX-25563	89.2 - 91.4	Shell fragments	7,490 ± 50
GX-27637	169.1 - 171.4	Plant fragments	9,250 ± 40
GX-27638	817.9 - 820.2	Plant fragments	10,260 ± 90
AR98-C			
GX-26359	333.6 - 335.7	Shell fragments	7,350 ± 40
GX-27639	391.1 - 393.2	Shell fragments	9,180 ± 40
GX-27640	884.2 - 886.6	Plant fragments	9,590 ± 90
AR98-E			
GX-26358	1,380.0 - 1,381.0	Shell fragments	2,560 ± 40



第4図　放射性炭素年代測定結果にもとづく各海底柱状堆積物の堆積速度

び759.5～761.8cm層準に含まれる貝殻片，底生有孔虫殻および木片から，1,690±30yrBP，3,410±40yrBP，8,170±40yrBP，および9,430±60yrBPの放射性炭素年代値がそれぞれ得られた．これらの放射性炭素年代測定結果にもとづき，本採泥地点における平均堆積速度は，9,430～8,170yBP間が約2.8mm/y，8,170～3,410yBP間が約0.29mm/y，3,410～1,690yBP間が約0.39mm/y，そして1,690yBP～現在が1.2mm/yと算出される．

AR98-B：本柱状試料の海底面下89.2～91.4cm層準，169.1～171.4cm層準，817.9～820.2cm層準に含まれる貝殻・植物片から，7,490±50yrBP，9,250±40yrBP，10,260±90yrBPの放射性炭素年代値が得られた．これにもとづき本試料採集地点における平均堆積速度は，10,260～9,250yBP間が約6.4mm/y，9,250～7,490yBP間が約0.46mm/y，そして7,490年前～現在が0.12mm/yと算出される．

AR98-C：本柱状試料の海底面下333.6～335.7cm層準，391.1～393.2cm層準，884.2～886.6cm層準に含まれる貝殻・植物片から，7,350±40yrBP，9,180±40yrBP，9,590±90yrBPの放射性炭素年代値が得られた．これにもとづき本試料採集地点における平均堆積速度は，9,590～9,180yBP間が約12mm/y，9,180～7,350yBP間が約0.31mm/y，7,350年前～現在までが約0.46mm/yと算出される．

第3表　各海底柱状試料の珪藻群集解析結果に基づく珪藻分帯

Diatom zone	Horizon (cm)	Dominant diatom species
AR98-A		
ARA-D	0 - 260	*Melosira sulcata* - *Thalassionema nitzschioides* - *Coscinodiscus* spp. - *Cyclotella striata*
ARA-C	260 - 779	*Cyclotella striata* - *Thalassionema nitzschioides* - *Coscinodiscus* spp.
ARA-B	779 - 978	*Hyalodiscus* sp. - *Cyclotella striata* - *Navicula* spp. - *Cocconeis placentula* - *Cymbella* spp.
ARA-A	978 - Bottom	*Navicula* spp. - *Gomphonema* spp. - *Cocconeis placentula* - *Cymbella* spp. - *Achnanthes lanceolata*
AR98-B		
ARB-D	0 - 159	*Melosira sulcata* - *Thalassionema nitzschioides* - *Coscinodiscus* spp. - *Cyclotella striata*
ARB-C	159 - 240	*Cyclotella striata* - *Thalassionema nitzschioides* - *Coscinodiscus* spp. - *Hyalodiscus* sp.
ARB-B	240 - 320	*Hyalodiscus* sp. - *Navicula* spp.- *Cocconeis placentula* - *Cymbella* spp.
ARB-A	320 - Bottom	*Navicula* spp. - *Gomphonema* spp. - *Cocconeis placentula* -*Cymbella* spp. - *Achnanthes lanceolata* - *Pinnularia* spp.
AR98-C		
ARC-D	0 - 359	*Melosira sulcata* - *Thalassionema nitzschioides* - *Cyclotella striata*
ARC-C	359 - 539	*Cyclotella striata* - *Thalassionema nitzschioides* - *Coscinodiscus* spp. - *Hyalodiscus* sp.
ARC-B	539 - 680	*Hyalodiscus* spp. - *Achnanthes lanceolata* - *Nitzschia* spp. - *Fragilaria* spp. - *Cyclotella striata* - *Thalassionema nitzschioides*
ARC-A	680 - Bottom	*Navicula* spp. - *Nitzschia* spp. - *Achnanthes lanceolata* - *Cyclotella Meneghinina* - *Stephanodiscus astrea* - *Coscinodiscus lacstris*
AR98-E		
AR98E		*Melosira sulcata* - *Thalassionema nitzschioides* - *Coscinodiscus* spp. - *Cyclotella striata*

AR98-E：本試料基底の海底面下1,380～1,381cm層準に含まれる貝殻から2,560±40yrBPの放射性炭素年代値が得られた．これにもとづき本試料採集地点における2,560年前から現在までの平均堆積速度は約5.4mm/yと算出される．

海底柱状試料の珪藻化石群集とその鉛直変化

珪藻化石群集の鉛直変化にもとづき、各海底柱状試料を以下に分帯した（第3表）．なお，詳細については中原ほか（2002）を参照されたい．

AR98-A：下位から上位にARA-A～Dの四帯に分帯される．ARA-A帯（海底面下978cm以下）は，淡水生の珪藻が全殻数の90～80%を占める．ARA-B帯（海底面下779～978cm）では汽水～海水生の*Hyalodiscus* sp.が優占して出現するものの，淡水生種の産出もみられる．また汽水生で河口域に棲息する*Cyclotella striata*（高野，1979）の出現も認められる．ARA-C帯（海底面下260～779cm）では，*Cyclotella striata*や海水生の*Thalassionema nitzschioides*が優占して出現する．ARA-D帯（海底面下0～260cm）では海水生で温暖な環境下に棲息する*Melosira sulcata*（Tanimura，1981）が優占して出現する．

AR98-B：下位から上位にARB-A～D帯の四帯に分帯される．ARB-A帯（海底面下320cm以下）は，一部，海底面下550cm付近において海生種がやや高率に出現するものの，淡水生の珪藻が優占して出現する．ARB-B帯（海底面下240～320cm）は，汽水～海水生の*Hyalodiscus* sp.と淡水生種が優勢である．ARB-C帯（海底面下159～240cm）は汽水生の*Cyclotella striata*が優占して出現する．ARB-D帯（海底面下0～159cm）は海水生で温暖な環境下に棲息する*Melosira sulcata*が優占して出現する．

AR98-C：下位から上位にARC-A～D帯の四帯に分帯される．ARC-A帯（海底面下680cm以下）は，淡水生の珪藻が優勢である．ARC-B帯（海底面下539～680cm）は，汽水～海水生の*Hyalodiscus* sp.が優占して出現するものの淡水生種の産出も見られる．ARC-C帯（海底面下359～539cm）は，汽水生の*Cyclotella striata*が優占して出現する．ARC-D帯（海底面下0～359cm）では，海水生で温暖な環境下に棲息する*Melosira sulcata*が優占して出現する．

AR98-E：AR98-Eでは，他の3本のコアとは異なり海水生の珪藻が最下部から最上部までほぼ独占的にみられる．淡水生の珪藻はほとんど出現しない．コア全体を通じて海水生で温暖な環境下に棲息する*Melosira sulcata*が優占して出現する．*Melosira sulcata*は基底から上位へ増加し，海底面下800cmにピークを持ち，それより上位では減少する．

海底柱状試料の底生有孔虫化石群集とその鉛直変化

4本の海底柱状試料より採取した底生有孔虫用試料から，2新属，12新種，1新亜種を含む283有孔虫タクサが産出した（Akimoto *et al.*, in press）．AR98-A～C試料では，群集の主要構成種が大きく3つに区分された．しかし，AR98-E試料では，全体をとおして種構成に大きな変化が認められなかった．

AR98-A：海底面下782cm層準（sec2－5）より下位の堆積物から，底生有孔虫は産出しない．同298～782cm層準（sec2－4～sec1－5）の群集は，*Ammonia beccarii*で占められる．堆積物が粗粒になる同107～298cm層準（sec1－4～1－3）では，*A. beccarii*が多産し，*Quinqueloculina vulgaris*および*Pseudorotalia gaimardii*が随伴する．同12～107cm層準（sec1－2）の群集は，*A. beccarii*が優占し，*Miliolinella circularis*が共産する．

AR98-B：海底面下627.0cm層準（sec2－4）以下の堆積物から，底生有孔虫は産出しない．同80～627cm層準（sec2－3よりsec1－2の下部）の群集は，*A. beccarii*で占められる．同39～80cm層準（sec1－2の上部）の群集は*M. circularis*，*P. gaimardii*，*Q. vulgaris*で特徴づけられ，同0～39cm層準（sec1－1）では，これに*A. beccarii*が加わる．

AR98-C：海底面下605cm層準（sec3－3）以下の堆積物から，底生有孔虫は産出しない．同350～605cm層準（sec3－2～sec2－5の下部）の群集は，*A. beccarii*で占められる．同111～350cm層準（sec2－5～sec2－3）の群集は*M. circularis*，*P. gaimardii*，*Q. vulgaris*で特徴づけられ，同13～111cm層準（sec2－2）では，これに*A. beccarii*が加わる．

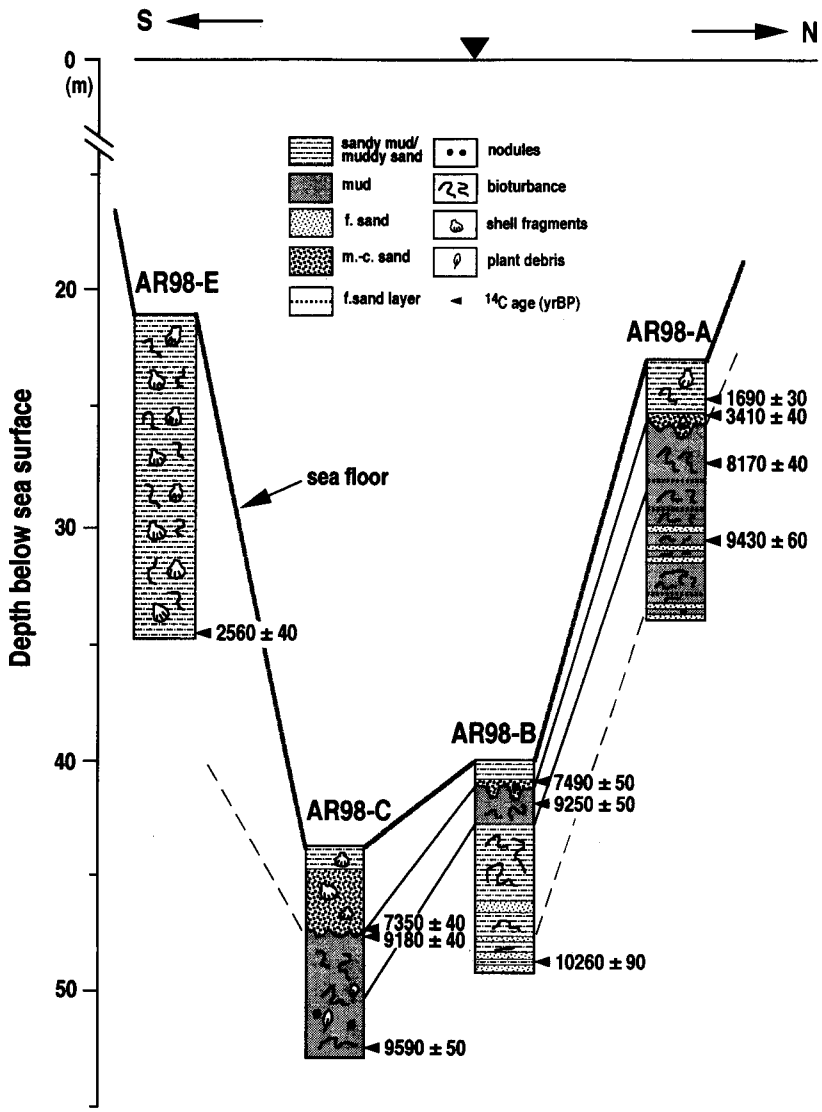
AR98-E：全層準をとおして*Spiroloculina communis*および*M. circularis*が優占し，大きな群集の変化は認められない．

考察

1．海底柱状試料の対比

有明海中央部海底で採取された4本の柱状試料について，これらの試料を採取水深と堆積相とにもとづき対比し，さらに放射性炭素年代測定結果を挿入したものを第5図に示す．

有明海中央部のほぼ中央で採取されたAR98-A，BおよびCの3本の柱状試料の最上部には，層厚は



第5図　試料採取水深，堆積相ならびに放射性炭素年代測定結果にもとづく海底柱状堆積物の対比

異なるものの，いずれにも貝殻片に富み緑灰色を呈する砂質泥あるいは泥質砂があり，これらは下位に向かって粗粒化しながら貝殻片に富む緑灰色泥質中～粗粒砂へと漸移する．さらに，いずれの柱状試料でもこれらの泥質中～粗粒砂の直下には，著しい生物擾乱のため不規則とはなるが，きわめて明瞭な境界をもって均質で生物擾乱の発達する緑灰色泥が位置する．したがって，堆積相からは，最上部の泥質砂あるいは砂質泥から中～粗粒砂をへて下位の緑灰色泥にいたるまでの層準は，3本の柱状試料をとおして確実に対比されるといえる．

ここでこの泥質中～粗粒砂層基底部で測定された放射性炭素年代測定結果をみると，AR98-B試料ならびにAR98-C試料ではそれぞれ7,490±50yrBPならびに7,350±40yrBPと近い値を示す．これに対してAR98-A試料では，3,410±40yrBPと約4,000年若い年代となり，さらに上位となる同試料泥質砂層準の海底面下約205cmでの年代値は1,690±30yrBPとさらに若くなる．ほぼ同じ堆積相を呈しながらもAR98-A試料とAR98-B試料ならびに－C試料とで，

この泥質中～粗粒砂層基底の年代値にこのような大きなずれが生じた理由として，まず第一に考えられるのは採泥位置ならびに水深の違いである．後2試料がともに有明海ほぼ中央部海底の水深約40mから採取されたのに対し，前者は中央部やや東寄り斜面上の水深23mの海底から得られている．堆積物の粒度組成や堆積構造，鉱物組成，生物遺骸群集組成などの堆積相がある場所の堆積環境を直接的に反映するものである以上，単一の堆積盆である有明海では，水深や陸からの距離，そして堆積物の供給源となる河口に対する位置などの堆積環境がほぼ同じであれば，同様の堆積相を呈する堆積物が形成されるものと考えられる．したがって，このような年代値のずれは，他2地点より約20m浅くかつ陸に近いAR98-A試料採取地点が，他2地点に約4,000年遅れて同様の堆積環境となったことを意味するものと解釈される（詳細は後述）．

次に緑灰色泥以下の層準をみると，まずもっとも北で採取されたAR98-A試料では海底面下470cm付近から緑灰色泥中に層厚1cm以下の細粒砂の薄層が挟在しはじめ，同660cm以下では砂質泥，細粒砂および細～中粒砂が不規則に成層するようになる．一方，調査地域のほぼ中央で採取されたAR98-B試料では，前述の緑灰色泥の層厚が約130cmと比較的薄く，その下位には漸移的境界をもって緑灰色砂質泥あるいは泥質砂が全層厚約300cmにわたって位置し，そのさらに下位には細～粗粒砂層，泥質砂層および砂質泥層が不規則に成層する．このようにAR98-AならびにB試料の緑灰色泥以下の層準では，いずれも下位に向かっての堆積物の粗粒化ならびに砂質堆積物の厚層化が認められる．このようにAR98-AおよびB試料は堆積相では同様の傾向を呈するものの，緑灰色泥より下位の層準については確実な対比は困難といえよう．

一方，南で採取されたAR98-C試料では海底面下340cmから基底まで緑灰色泥が連続するが，海底面下700cm付近以下ではやや砂質を帯びる傾向にあるとともに植物遺骸が豊富に含まれるようになり，さらに石灰質ノジュールの形成が認められるようになる．したがって，AR98-C試料にも下位に向かって緩慢な粗粒化の傾向が認められるといえる．なお，調査地域南東部の比較的陸側から採取されたAR98-E試料は，ほぼ全層準をとおして貝殻片や植物遺骸が散在する砂質泥あるいは泥質砂から構成され，これは他の3試料の最上部に位置する貝殻片に富む砂質泥あるいは泥質砂層準に対比される可能性が高い．この推定は本試料基底から得られた放射性炭素年代値が2,560±40yrBPときわめて新しいことからも裏付けられる．

2．堆積相から推定される堆積環境

調査地域付近への砕屑性堆積物の主供給源となる白川ならびに緑川は，阿蘇カルデラ内ならびに南麓にそれぞれ端を発し，ほぼ西流しながら熊本平野をへて有明海へと注ぐ．また，同じく主供給源のひとつと考えられる菊池川は，阿蘇カルデラ北西方の八方ケ岳南西麓に端を発する．これらの河川流域には阿蘇火山噴出物，とくに阿蘇火砕流堆積物が広大に分布するほか，いわゆる阿蘇火山岩類や白亜系カコウ岩類，そして中・古生界堆積岩類および変成岩類の分布が知られる（唐木田ほか，1992）．今回検討した海底柱状堆積物と同時に採取した海底表層堆積物は，いずれも貝殻片に富む砂質泥あるいは泥からなる．いずれの試料にも茶褐色のバブルウォール型火山ガラスが豊富であり，これに加えて石英，黒雲母，斜長石や両輝石が含まれる．したがって，これらの砕屑性堆積物の起源がおもに阿蘇火山噴出物（阿蘇火砕流堆積物）であり，これに変成岩類やカコウ岩類などからの副次的供給があることを示す．また，これらの試料には貝殻片や珪藻，底生有孔虫殻などが多量に含まれる．すなわち，有明海中央部の海底表層堆積物は，砕屑性堆積物組成ならびに生物群集組成のいずれもが同海における最近の堆積環境を直接反映するものといえる．なお，これらの試料には石灰質ナンノプランクトンが豊富に発見され，これに加えてわずかではあるが浮遊性有孔虫殻や放散虫殻が確認されることから，ある程度の外洋水の流入も考慮する必要があろう．

1）上部含貝殻片泥質砂～砂相とその堆積環境

AR98-E試料をのぞく3本の海底柱状試料には，既述のようにいずれも最上部に貝殻片に富む灰緑色の砂質泥あるいは泥質砂が位置する．また，これらの砂質泥あるいは泥質砂は，各試料ごとに層厚の違いはあるもののいずれも下位に向かって徐々に粗粒化し貝殻片に富む泥質中～粗粒砂となる．下位層準では粗粒となるものの，堆積相や堆積物組成はいずれも同地点で採取された海底表層堆積物とほぼ同じである．したがって，表層からこの泥質中～粗粒砂層準までの堆積物は，堆積物が時間とともに細粒化するような何らかの変化，おそらくは水深の増大ならびに砕屑性堆積物の供給源となる河口からの距離の増大，はあったものの，全層準をとおして現在とほぼ同じ内湾的堆積環境下で形成されたことは確実である．

2）中部緑灰色泥相とその堆積環境

AR98-A～C試料のいずれにも，上部含貝殻泥質

砂～砂層の直下に均質な緑灰色泥が位置する．両者の境界は著しく発達する生痕のためきわめて不規則であり，直径が一般に5㎝前後ながらも下位の泥層中に50㎝以上も侵入する生痕の形状や，生痕の内部が上位の含貝殻片泥質中～粗粒砂で充填されることから，これらは穿孔性生物の活動によって形成されたものと判断される．さらに，これらの生痕が上・下位層の境界が確認できないほどに著しく発達することを考えると，上位の泥質中～粗粒砂ならびに下位の緑灰色泥のそれぞれの形成には，穿孔性生物が長期中にわたって活動することができるだけの時間間隙があったことは確実といえる．

下位の緑灰色泥層は，AR98-A試料で約370㎝，AR98-B試料で約160㎝，そしてAR98-C試料で約550㎝と各試料ごとにその層厚は大きく異なるものの，いずれにも巣穴痕と解釈される生物擾乱が全層準にわたって発達する．わずかな貝殻片の散在が全体に認められ，一部にはこれらが密集することもある．また，いずれの泥層も下位に向かうにつれて褐色植物遺骸に富むようになり，これらは下部では層厚数㎜の密集層をなすことがある．このようにおもに泥質堆積物から構成され生痕以外の明瞭な堆積構造が認められないことから，この層準はきわめて静穏な堆積環境下で形成されたものと判断される．さらに，陸上植物遺骸を豊富に含むこと，ならびに海棲貝類の破片をともなうことから，陸域からの定常的な堆積物の供給ならびに海洋環境下にあったことも確実である．したがってこの緑灰色泥層が形成された堆積環境として外洋との水の交換が緩慢な閉鎖的内湾が想定される．このような閉鎖的内湾の典型として，湾口部に位置する多くの島々によって太平洋から遮られた宮城県の松島湾があげられる．同湾中央部水深約3ｍの海底堆積物は，生物擾乱が発達し貝殻片や植物遺骸が散在する暗緑色泥あるいは砂質泥から構成される（塚脇ほか，1992）．今回採取した海底柱状試料の灰緑色泥と松島湾の現海底堆積物とのこのような堆積相の類似性も，この緑灰色泥層準が閉鎖的内湾環境であったという先の推定を支持するものといえよう．

3）下部緑灰色泥～砂相とその堆積環境

緑灰色泥より下位の堆積相は，これらの3本の海底柱状試料ごとに大きく異なる．もっとも南に位置しかつ水深44ｍと深い地点から採取されたAR98-C試料は，基底まで緑灰色泥が連続するが，海底面下約700㎝以下の層準ではやや砂質を帯びる傾向にあるとともに植物遺骸が豊富に含まれるようになり，貝殻片などの石灰質生物起源堆積物を欠くようになる．さらに同層準では石灰質ノジュールの形成も認められる．塚脇・浅野（1999）は，日本海側に分布する典型的な潟湖である石川県河北潟中央部の堆積物が，生物擾乱を被り多量の植物遺骸をともなう暗緑灰色の泥からなることを報告した．また，亜熱帯地域から温帯地域にかけての潟湖堆積物下層部には石灰質ノジュールが形成されることが知られる（Leeder，1982；Reading，1986）．したがって，このような堆積相の類似性にもとづき，AR98-C試料下部の緑灰色泥は潟湖にて形成されたものと推定される．

一方，調査地域中央部の水深40ｍの海底から採取されたAR98-B試料では，緑灰色泥の下位に漸移的境界をもって緑灰色砂質泥あるいは泥質砂があり，そのさらに下位には細～粗粒砂層，泥質砂層および砂質泥層が不規則に成層する．上位の緑灰色砂質泥あるいは泥質砂層準，ならびに下位の不規則成層層準のいずれにも植物遺骸が豊富に含まれ，後者では植物遺骸が密集層として多数挟在する．また，前者の上位層準には貝殻片などの石灰質生物起源堆積物がわずかに散在するものの，下位層準ならびに後者ではこれらをまったく欠くようになる．後者を構成する砂層には細～粗粒までさまざまな粒径のものが存在し，かつ層厚にも一定性は認められない．しかし，厚層をなす砂層中には明瞭な級化構造あるいは逆級化構造が確認される．また，これらの砂層の上・下面には不規則に波打った形状を呈するものが多い．塚脇・浅野（1999）は，石川県河北潟に流入する森下川河口沖堆積物が泥質砂と細～中粒砂との不規則な互層であることを示し，上位の砂層が下位の泥質砂層を浸食面で被うことや，厚層砂層中には級化構造が認められること，砂層が不規則な二次変形構造を呈すること，そして植物遺骸が豊富であり，これらが密集層を形成することを示した．調査地域となる有明海中央部には，前述のとおり白川，緑川および菊池川の3河川が流入しており，これらの河川群の主流路に大きな変化がなくさらに海水面がかつて低下していたと仮定した場合，今回の柱状試料採集地点のいずれもがこれらの河川の河口沖となりうる位置にある．また，本試料採集地点の約4㎞南方から採取されたAR98-C試料の下部は，既述のとおり潟湖性堆積物と判断される．したがって，現在の潟湖内の河口沖堆積物との類似性，地理的位置ならびにAR98-C試料との対比結果にもとづき，AR98-B試料下部の不規則成層層準は潟湖内の河口沖で形成された可能性が高いといえる．さらに，既述のとおり上位の緑灰色泥層が閉鎖的内湾環境下での堆積物と推定されることから，緑灰色泥層と不規則成層とに挟まれた緑灰色砂質泥あるいは泥質砂層準は，潟

湖から閉鎖内湾への漸移相と認定される．

調査地域ではもっとも北に位置し，かつ中央部やや東寄り斜面上の水深23mの海底から採取されたAR98-A試料では，海底面下470cm付近から緑灰色泥中に層厚1cm以下の細粒砂の薄層が挟在する．さらに，同660cm以下では砂質泥，細粒砂および細～中粒砂が不規則に成層するようになる．また，挟在する砂層は下位にあってより細粒の堆積物とは浸食面をもって接することが多く，砂層の内部には級化あるいは逆級化構造が認められることが多い．貝殻片などの生物起源石灰質堆積物は，海底面下約920cm以下ではまったく認められないがそれ以上では普通に存在する．全体をとおして植物遺骸に豊富であり，これらは密集層を形成することがある．このように本試料の下半部，とくに海底面下約920cm以下が呈する堆積相は，既述のAR98-B試料下部の不規則成層層準ときわめて類似する．したがって，この層準の堆積物も潟湖内の河口沖付近の堆積物と認定される．また，既述のとおり上位の緑灰色泥層が閉鎖的内湾環境下での堆積物と推定されることから，上位の緑灰色泥層と本層準とに挟まれ，かつ細粒砂層が挟在する緑灰色泥層準は，潟湖から閉鎖内湾への漸移相に相当すると考えられる．さらに，本試料下部をとおしての堆積物の上方細粒化ならびに砂質堆積物の薄層化が認められることから，砂質堆積物供給量の漸移的な低下が想定され，この事実も本層準が漸移相であるという推定を裏付けるものといえる．

なお，調査地域東部の海底斜面上で採取されたAR98-E試料は，ほぼ全層準をとおして生物擾乱が発達し貝殻片などをともなう緑灰色泥あるいは砂質泥から構成される．下半部には平行葉理の発達が認められるほか，浸食基底面をともなう細粒砂薄層の挟在も認められる．このように本試料全体が呈する堆積相は，上位に向かっての堆積速度の低下は考えられるものの，海洋環境下での定常的で急速な堆積物の形成を意味する．本試料基底部で得られた放射性炭素年代値から算出される平均堆積速度が，約5.4mm/yときわめて早いこともこの推定を支持する．また，本試料採取地点は緑川河口沖三角州（菊池川・白川・緑川複合三角州；鎌田，1979）のほぼ中央延長上に位置し，緑川が供給する堆積物が直接到達することが想定される．したがって，本試料の堆積相ならびに試料採取位置にもとづき，これらの堆積物は三角州の前置層で形成されたものと考えられ，細粒砂薄層が挟在する試料下半部は前置層下部，そして上半部は前置層中～上部でそれぞれ堆積したものと考えられる．

2．珪藻化石群集から推定される堆積環境

AR98-A～C試料では，いずれの試料においてもほぼ共通の珪藻群集組成からなる4つの帯に分帯される（第6図）．

各試料上部のD帯（ARA-D帯：海底面下0～260cm；ARB-D帯：同0～159cm；ARC-D帯：同0～359cm）では，海水生で温暖な環境を示す*Melosira sulcata*が高率に出現することから，現在の有明海中央部と同様の海域環境にあったと推定される．

各試料中部のC帯（ARA-C帯：海底面下260～779cm；ARB-C帯：同159～240cm；ARC-C帯：同359～539cm）では，汽水生で河口域に棲息する*Cyclotella striata*が優占して産出することより，汽水域であったといえる．

各試料下部の上半部のB帯（ARA-B帯：海底面下779～978cm；ARB-B帯：同260～320cm；ARC-B帯：同539～680cm）では，汽水～海水生の*Hyalodiscus* sp.が優占して出現するものの，淡水生種や汽水生の*Cyclotella striata*の出現も認められることから，淡水域から汽水域への漸移的な環境にあったものと推定される．

各試料下部の下半部のA帯（ARA-A帯：海底面下978cm以下；ARB-A帯：同320cm以下；ARC-A帯：同680cm以下）では，淡水生の珪藻が優占することから，淡水域の環境下にあったことは確実である．

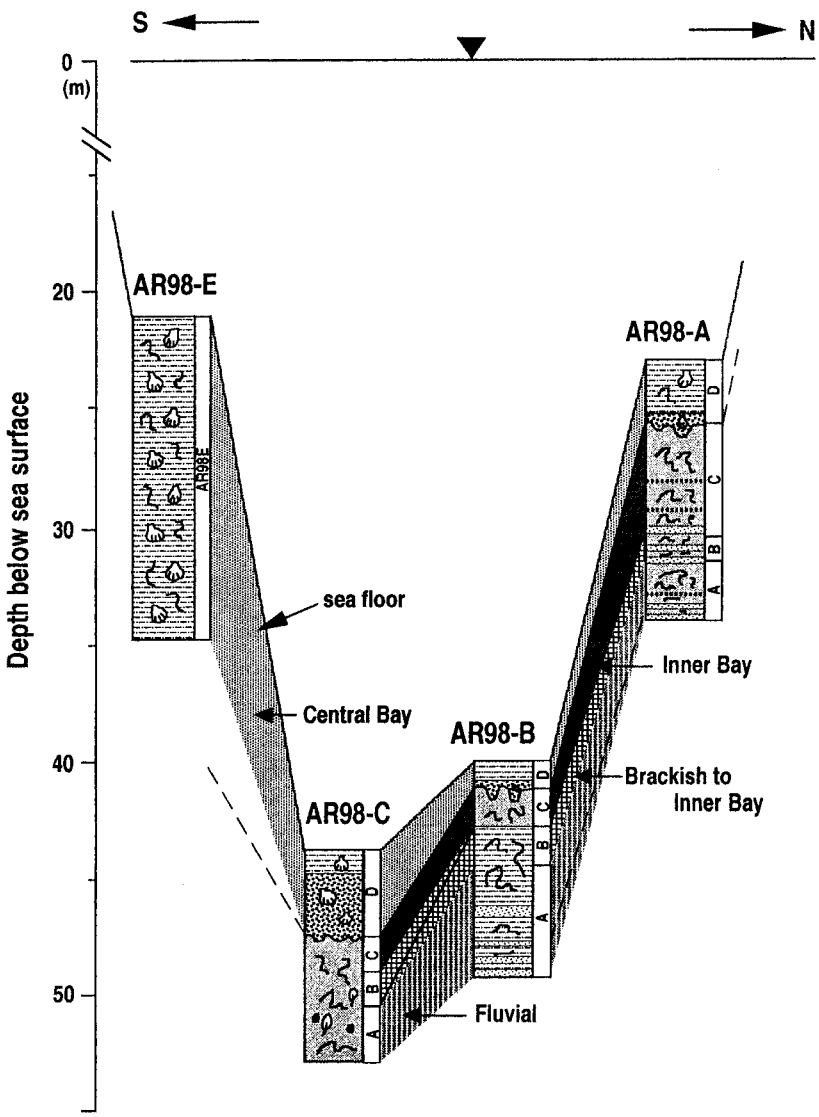
一方，AR98-E試料は，全層準をとおして海生種主体の珪藻化石群集に大きな変化はみられず，海水生で温暖な環境を示す*Melosira sulcata*が優占して出現すること，ならびに試料最下部の堆積年代が約2,600年前であることから，現在の有明海とほぼ同様の海洋環境が継続していたものと考えられる．

3．底生有孔虫化石群集から推定される堆積環境

底生有孔虫化石群集も，珪藻化石群集と同様に，AR98-A～C試料でほぼ同じ変化を示す（第7図）．

各試料上部（AR98-A：海底面下0～107cm；AR98-B：同0～39cm；AR98-C：同0～111cm）は，*Ammonia beccarii*が含まれる内湾の一般的群集であり，現在の同海域に生息する群集の種構成と概ね類似する．

各試料中部（AR98-A：海底面下107～298cm；AR98-B：同39～80cm；AR98-C：同111cm～350cm）では，*Miliolinella circularis*，*Pseudorotalia gaimardii*および*Quinqueloculina vulgaris*で特徴づけられ，外洋に生息する*Pseudorotalina gaimardii*がやや高い割り合いで共産することから，外洋水の影響を受ける環境（湾口部）にあったものと推定される．



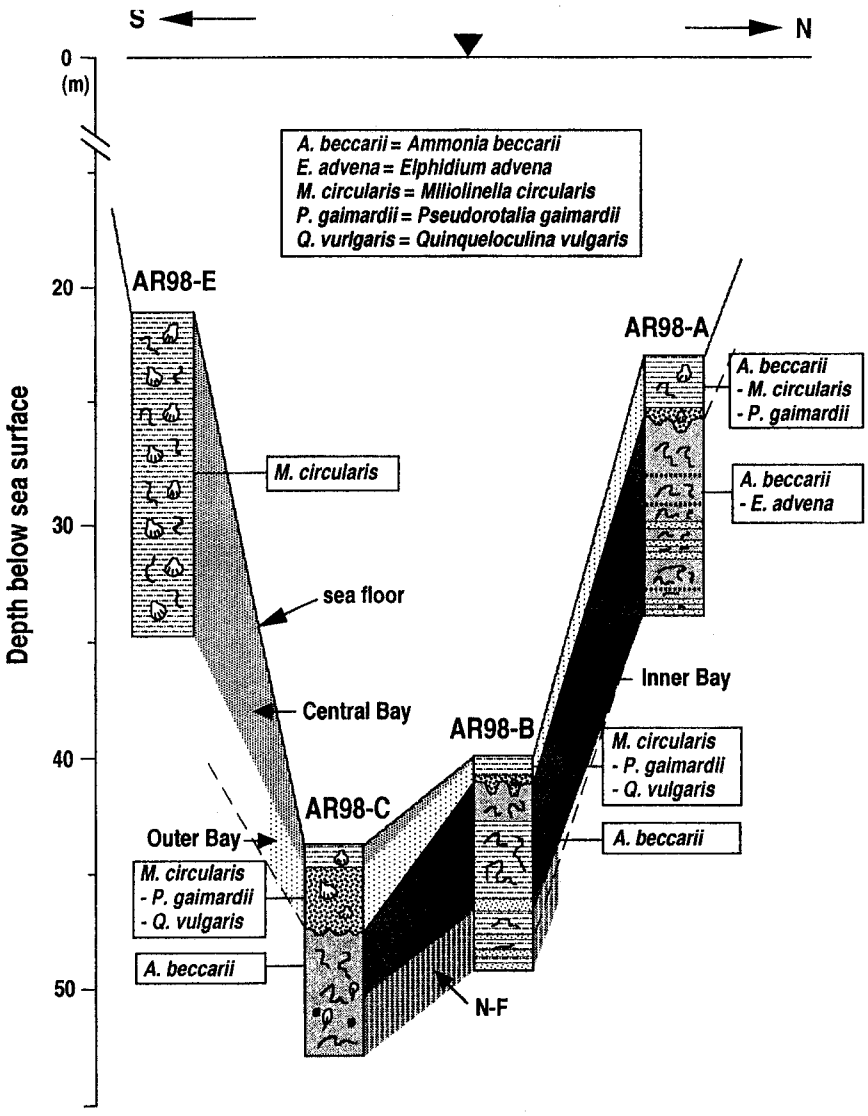
第6図　珪藻群集解析結果にもとづく海底柱状堆積物の対比．A～Dは，各海底柱状堆積物に認められる珪藻分帯

各試料下部上半部（AR98-A：海底面下298～782 cm；AR98-B：同80～627cm；AR98-C：同350～605 cm）では，内湾に分布し，低塩分の環境でも生息できる*A. beccarii*のみが産出することから，内湾の汽水環境下（湾奥部）であったものと考えられる．

各試料下部下半部（AR98-A：海底面下782cm以下；AR98-B：同627cm以下；AR98-C：同605cm以下）では，底生有孔虫が産出しないことから，各試料の採取地点は淡水の強い影響下にあったものと推定される．

4．有明海中央部における最終氷期以降の環境変遷

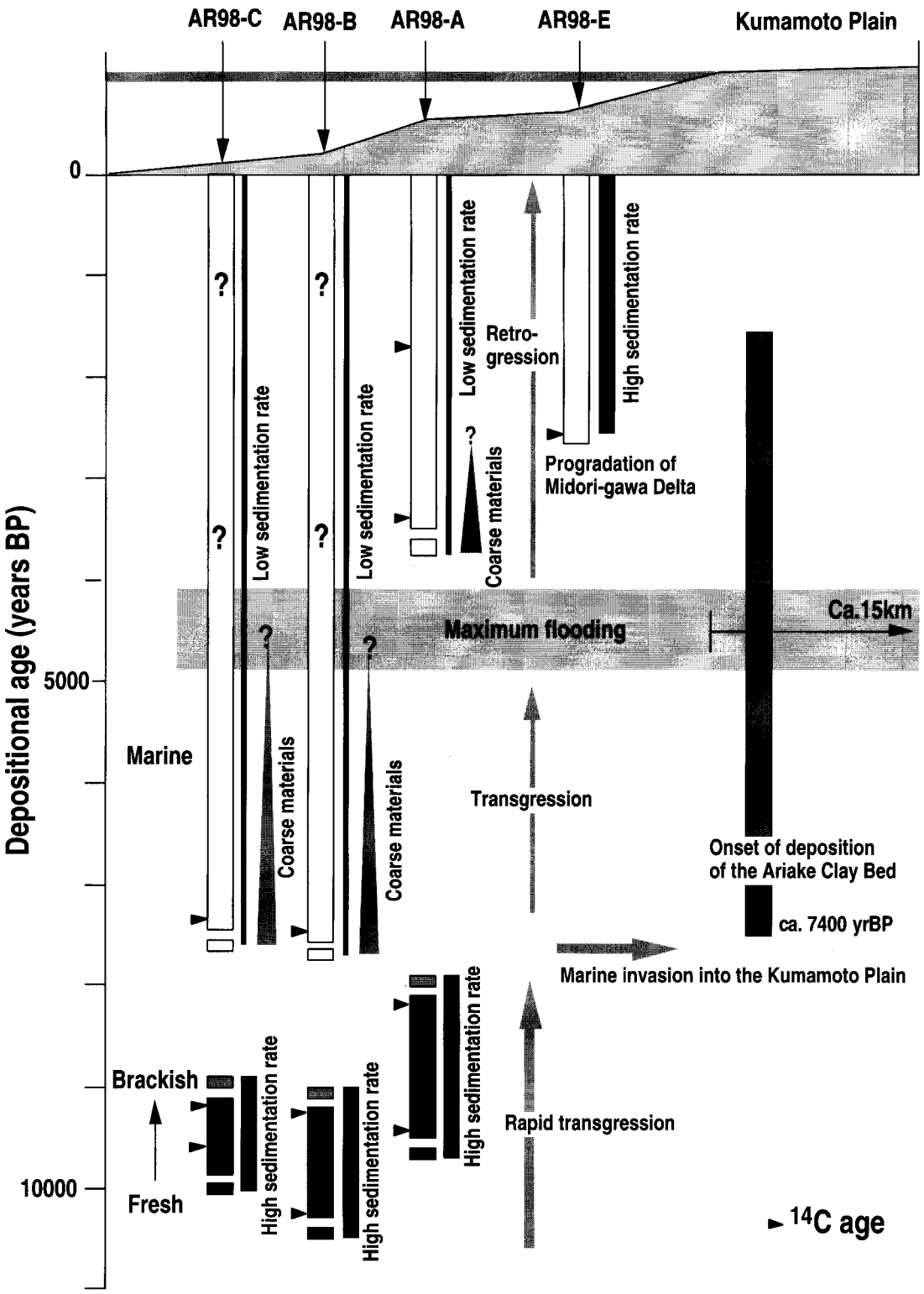
完新世の相対的海面変化について日本列島の各地域から多くの研究成果が報告されているが，基盤の大きな昇降運動があった地域をのぞけば，ほとんどの研究報告は約1万年前の完新世初頭には海水準が現在より約40m低下しており，5,000～6,000年前には現在よりも数mほど高くなったことを述べている（Ota et al., 1987；太田ほか，1990）．これまで述べてきたように，各試料間において時間のずれはあるにせよ，AR98-A～C試料が呈する堆積相，珪藻



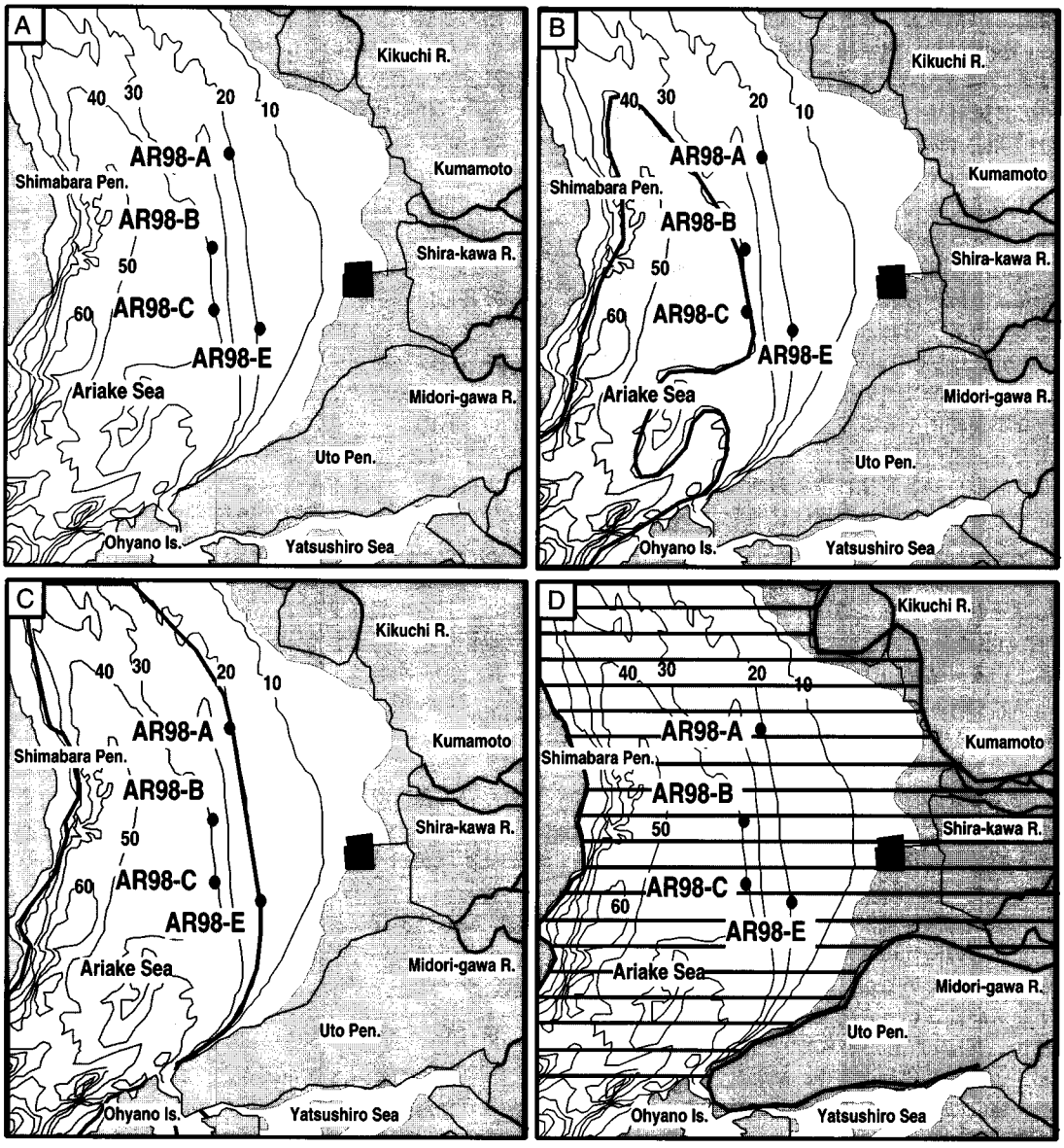
第７図　底生有孔虫群集解析結果にもとづく海底柱状堆積物の対比

化石群集ならびに底生有孔虫化石群集の変化は，いずれも有明海が外洋とは遮断された淡水域にはじまり，その後に閉鎖的内湾となったのちに現在の有明海と同様の海洋環境にいたったことを示しており，これは日本各地で認められる完新世の海面上昇の結果として生じたものといえる．

今回，AR98-A～C試料の最下部から得られた放射性炭素年代値は，AR98-A試料で海底面下約760cm層準の9,430±60yrBP，AR98-B試料で海底面下約820cm層準の10,260±90yrBP，AR98-C試料で海底面下約885cm層準の9,590±90yrBPである．各試料の最下部は，植物遺骸に富み，貝殻片などの石灰質生物起源堆積物を欠く．また底生有孔虫化石を産せず，珪藻化石群集は淡水生の珪藻が優占する．これらことから，約10,000～9,600年より以前にはまだ有明海中央部に海水の浸入はなく，依然として淡水の影響下で潟湖性堆積物が堆積していたものと考えられる（第８図，第９図－Ａ）．各試料において，海水の影響が認められるようになるのは，AR98-C試料で約9,400年前（海底面下660cm），AR98-B試料で約9,600年前（海底面下396cm），AR98-A試料で約9,400年前頃であり，さらに汽水生珪藻*Cyclotella*



第 8 図　過去約10,000年間の有明海中央部から熊本平野にかけての堆積過程の変遷



第９図　過去約10,000年間の有明海中央部の環境変遷史．A：約10,000年前以前，B：約10,000～9,000年前，C：約9,000～8,000年前，D：約7,000～4,000年前．

*striata*の優占ならびに内湾種の底生有孔虫*Ammonia beccarii*によって特徴づけられる汽水域から湾奥部にかけての環境が出現したのは，AR98-C試料およびAR98-B試料で約9,150～9,250年前であったと推定される（第８図，第９図－B）．これらの層準の堆積相は潟湖から閉鎖的内湾へといたる漸移相を示し，またこの層準には石灰質の生物起源堆積物が認められ，海洋の影響下にあったことはほぼ確かといえる．したがって，約9,200年前の有明海の海水準は，試料採取地点の水深を考慮すると，現在のそれより約45～50m以上低かったと考えられる．またAR98-B試料とAR98-C試料よりも，より水深の浅いAR98-A試料においても約8,200年前（海底面下約760cm層準）には，汽水域から湾奥部にかけての環境に至ったと考えられ，この時期には有明海の海水準は現在のそれより約30m程度低かったと推

定される（第8図，第9図－C）．

この淡水域から汽水域・湾奥部への環境変化に相当する時期（AR98-A試料では約9,500～8,200年前，AR98-B試料およびAR98-C試料では約10,300～9,200年前）には，細粒砂から粗粒砂の薄層を不規則に挟む緑灰色泥が最大12㎜/yというきわめて速い堆積速度で堆積している．これは最終氷期以降の温暖化に伴う急速な海水準の上昇に伴い，白川・緑川・菊池川の河口沖に位置する各試料採取地点では，河川による陸源性砕屑物供給により急速に堆積が進んだものと考えられる．

AR98-BおよびC試料では，緑灰色泥からなる汽水域から閉鎖的な湾奥部にかけての堆積物直上に，明瞭な不連続面をもって含貝殻片泥質中～粗粒砂層が重なり，この砂層は上位にあって現在の有明海の海底表層堆積物と同様の堆積相や，珪藻・底生有孔虫群集を示す含貝殻片泥質砂に漸移する．両試料におけるこの不連続面は，現海面下約42mおよび48mにそれぞれ位置し，基底で測定された放射性炭素年代値はそれぞれ7,490±50および7,350±40yrBPである．この不連続面より上位では，海水生で温暖な環境を示す珪藻*Melosira sulcata*が高率に出現すること，ならびに外洋に生息する底生有孔虫*Pseudorotalina gaimardii*がやや高い割り合いで産することから，外洋水の影響を受ける海洋環境（湾口部）が現出していたことを示す（第8図，第9図－D）．両者の現海底面下深度を考えると，両年代値にはわずかながらも誤差範囲をこえた逆転が認められるが，いずれにせよ約7,400年前の両地点では現在の有明海とほぼ同様の海洋環境となっていたことを示すものといえる．この時代の海水準についてはさまざまな見解が提出されているが，現在の海水準より10～25m低下していたということではほぼ一致している（太田ほか，1982）．したがって，当時の海水準を考えると，この含貝殻片泥質中～粗粒砂層は水深約15～35mの海底で形成された堆積物と推定される．

ここでAR98-A試料をみると，この試料にも前2試料と同様の不連続面があり，その上位で観察される堆積相ならびに珪藻・底生有孔虫群集の変化もほぼ一致する．ただし，本試料の不連続面直上の含貝殻片泥質中～粗粒砂層準から得られた放射性炭素年代値は3,410±40yrBPであり，前2試料の堆積相対比される層準での年代値とは約4,000年のずれがある．約3,400年前の海水準は現在とほぼ同じかやや低下していた程度というほぼ統一した見解が多くの研究結果から提出されている（例えば，太田ほか，1982；太田ほか，1990）．したがって，本試料採取地点の水深が23mであることから，泥質中～粗粒砂層基底層準である現海面下約25mはこの砂層が形成された水深を直接示すものといえよう．この水深は，既述のとおりAR98-BおよびC試料で認められる泥質中～粗粒砂層の推定形成水深である15～35mと整合的である．したがって，これらの考察結果にもとづけば，有明海中央部では水深25m前後で含貝殻片中～粗粒砂層が形成される可能性が示唆され，先に問題となった同砂層基底の年代値に本試料と前2試料とで約4,000年のずれが生じるのは，このような砂層形成の主因が水深にあることを示すものといえよう．さらに，同砂層直下には不連続面を境に閉鎖内湾性堆積物が位置することから，水深約25m以浅の有明海海底では，浸食作用が堆積作用を上回っているものと推察される．

さらに，上述の海底柱状試料の分析結果と有明海南東部周辺の熊本平野地下のボーリングコアの珪藻分析結果（中原・長谷，1999；中原・長谷，2000）とを対比すると，有明海中央部において約7,500年前に現在の有明海と同様の湾央部の環境になったころ，東方の熊本平野では海成層である有明粘土層が堆積を開始しており，このことは，このころに後氷期の海進が熊本平野域にまで達したことを示している（第8図，第9図－D）．

なお，AR98-E試料は全層準をとおして海水生種主体の珪藻化石群集ならびに底生有孔虫化石群集ともに大きな変化がみられないこと，堆積相が一定であること，現在の緑川河口に最も近いこと，そして柱状試料最下部の堆積年代が約2,600年前と比較的新しいものであることから，約3,000年前以降，緑川からの活発な堆積物の供給によって河口域のデルタ前縁において形成されたものと考えられる．

まとめ

これまで述べてきたように，有明海中央部で採取された海底柱状試料の解析結果から，有明海における完新世環境変遷史の概要が明らかになった．後期更新世にはおそらく潟湖あるいは内陸平野，湿地であった有明海に，海水準が現在より約50m低下していた約1万年前あたりから海が浸入し始め，その後の継続的な海水準の上昇にともなって汽水域から湾奥部にかけての環境となり，その後に堆積物の浸食量が堆積量を上回る堆積物欠落期は認められるものの，約7,400年前頃にはほぼ現在の海洋環境が成立したといえる．しかし，より精密な環境変化を復元するには，堆積物中に豊富に含まれる介形虫など他の微小生物遺骸群集の解析をそれぞれの柱状試料について行う必要がある．また，前述の堆積物の無堆

積期間を特定することなど，有明海における古環境変遷史をより高い分解能で実施するためには，さらに多くの層準から放射性炭素年代値を得る必要があるといえる．さらに，有明海北半部には泥質堆積物が卓越することなど，海域によって表層堆積物の組成が大きく異なることが知られる（鎌田，1967，1979）．したがって，海水準上昇にともなう有明海の環境変化の解明を進めるためには，現在の同海におけるさまざまな堆積環境の把握，すなわち全域にわたる海底表層堆積物の解明が不可欠といえよう．なお，熊本平野から有明海にかけてはいくつかの活断層の存在が知られ（活断層研究会，1991），これらの断層活動によって熊本平野西部が現在沈降しつつある可能性が指摘されている（石坂ほか，1992，1995）．このような基盤の運動と堆積環境の変化との関連性の解明も今後の課題として残される．

引用文献

Akimoto, K., Matsui, C., Shimokawa, S. and Furukawa, K., in press, Atlas of Holocene benthic foraminifers of Kyushu Shimabara Bay (Ariake-kai), Southwest Japan. *Kagoshima Univ. Mus., Monogr.*, no.2., 240p.

有明海研究グループ，1965a，有明・不知火海域の後期洪積世～沖積世に関する諸問題．第四紀研究，**6**，31-54.

有明海研究グループ，1965b，有明・不知火海域の第四系一とくに有明軟弱粘土について．地団研専報，**11**，86p.

林　行敏，1964，有明海底の珪藻群集（有明海周辺の上部新世界－1）．地質雑，**70**，66-71.

井上洋子，1980，日本周辺海域の現生有孔虫の生態学的研究．その1　日本周辺海域における現生底生有孔虫の分布．石油資源開発技研特報，no. 41-1，114.

石坂信也・渡辺一徳・高田英樹，1992，熊本平野地下における第四系の最近15万年間の沈降速度．第四紀研究，**31**，91-99.

石坂信也・岩崎泰顕・長谷義隆・渡辺一徳・岩内明子・田尻雅則，1995，熊本平野地下に分布する最終間氷期の堆積物と平野の沈降速度．第四紀研究，**34**，335-344.

鎌田泰彦，1957，有明海の底質（概報）．堆積学研究，**16**，5-8.

鎌田泰彦，1967，有明海の海底堆積物．長崎大学教育学部自然科学研究報告，**18**，71-82.

鎌田泰彦，1979，日本沿岸海洋誌その18：有明海（I）；有明海の地形・地質．沿岸海洋研究ノート，17，72-85.

鎌田泰彦・近藤　寛・津留美恵子，1979，有明海沿岸の干潟堆積物の予察的研究．長崎大学教育学部自然科学研報，**30**，75-92.

唐木田芳文・早坂祥三・長谷義隆編，1992，日本の地質9，九州地方．共立出版株式会社，東京，371p.

海上保安庁水路部，1959，島原海湾の海底地形・底質分布および潮流．水路部調査報告，海上保安庁水路部，42p.

金谷太郎・長谷川康雄，1977，化石の研究法．共立出版，27-45.

活断層研究会，1991，新編日本の活断層一分布図と資料．東京大学出版会，東京，437p.

小林万里子，1992，九州西方海域（八代海）の底生有孔虫群集の予察的研究．熊本大学理学部紀要（地学），**13**，13-24.

小杉正人，1988，珪藻の環境指標種群の設定と古環境復原への応用．第四紀研究，**27**，1-20.

小杉正人・片岡久子・長谷川四郎，1991，内湾域における有孔虫の環境指標種群の設定とその古環境復元への適用．化石，no. 50，37-55.

Leeder, M.R., 1982, *Sedimentology: Process and Products*. George Allen and Unwin, Hertz, 344p.

Loeblich, A. R. Jr. and Tappan, H., 1988, *Foraminiferal Genera and Their Classification*. Van Nostrand Reinhold Co. Inc., New York, 970 p.

Nagahama, M., 1951, Studies on the foraminiferal fauna of small or almost enclosed bays in Japan. *Res. Inst. Nat. Res., Misc. Rept.*, **19-21**, 142-148.

中原功一朗・長谷義隆，1999，熊本平野，後期更新世～完新世珪藻化石群集の推移と環境変遷．日本地質学会西日本支部第140回例会講演要旨集，16.

中原功一朗・長谷義隆，2000，有明海南東部，後期更新世～完新世の珪藻群集変化と環境変遷．日本地質学会関西支部・西日本支部合同例会講演要旨・学会記事，35.

中原功一朗・長谷義隆・松田博貴・秋元和實・塚脇真二・尾田太良，2002，有明海海底柱状試料（AR98-A～CおよびAR98-E）の珪藻化石群集の変化に基づく過去1万年間の水域環境変遷．熊本大理学部紀要（地球科学），**17**，35-46.

Oki, K., 1989, Ecological analysis of benthonic foraminifera in Kagoshima Bay, South Kyushu, Japan. *South Pacific Study*, **10**, 1-191.

Oshite, K., 1959, Sedimentological study of diatoms in marine deposits from the adjacent seas of Japan. *Jour. Hokkaido Gakugei Univ.*, **10**, 416-489.

太田陽子・松島義軍・森脇　広，1982，日本列島における完新世海面変化に関する研究の現状と問題一Atlas of Holocene Sea-level Records in Japanを資料として一．第四紀研究，**21**，1323-143.

太田陽子・海津正論・松島義軍，1990，日本における完新世相対的海面変化とそれに関する問題一1980～1988における研究の展望．第四紀研究，**29**，31-48.

Ota, Y., Matsushima, Y., Umitsu, M. and Kawana, T., 1987, Middle Holocene Shoreline Map of Japan. Japanese Working Group for IGCP Project 200.

Reading, H.G., ed., 1986, *Sedimentary Environments and Facies, 2nd ed.* Blackwell Sci. Publ., London, 615p.

Shuto, T., 1953, A study on the foraminiferal assemblage of Omura Bay, Nagasaki Prefecture, Kyushu. Japan. *Jour. Geol. Geogr.*, **23**, 127-138.

高野秀明，1979，赤潮生物シートNo. 1～15．水産庁赤潮研究会分類班，1-30.

Tanimura, Y., 1981, Late Quaternary diatom of the Sea of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 2 (Geol.)*, **51**, 1-36.

塚原　博・弘田　禮一郎・裘　公勲，1985，第21章有明海，Ⅳ生物．日本全国沿岸海洋研究部会編，日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版会，863-878.

塚脇真二・浅野いずみ，1999，表層堆積物の分布ならびに堆積相からみた石川県河北潟における堆積作用．日本海域研究所報告，**30**，69-97.

塚脇真二・入月俊明・五十嵐厚夫，1992，表層堆積物の分布ならびに堆積相からみた松島湾における堆積作用．東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告，**92**，39-59.

日 本 語 要 旨

有明海中央部熊本沖の水深21～44mの4地点から採取された海底柱状試料について，堆積相解析，珪藻・底生有孔虫群集解析，ならびに放射性炭素年代測定を行い，最終氷期以降の汎世界的な海水準変動にともなっての本海域における過去約1万年間の環境変遷史を検討した．その結果，本海域の現在の水深50m付近が，約9,600～9,400年前の海の浸入の開始によって陸水環境から汽水環境へと移行し，約9,200年前に海洋環境下となる湾奥部の環境となったことが明らかになった．一方，同じく現在の水深20m付近も同様の経過を経たのちに約8,200年前には海洋環境に至ったことが推定され，熊本沖有明海の全域が遅くとも約7,400年前には現在とほぼ同様の湾央部の環境となったことが判明した．さらに約5,400年前には海域は内陸部にまで拡大し，現在の熊本平野一帯も当時は湾央部の環境下にあったことが推定され，その後の海水準の漸移的な低下，ならびに白川および緑川からの堆積物の定常的な供給によって両河口沖に三角州が形成されたことで現在の海岸線が形成されたと判断される．

図　版　1～4

図版１の説明

海底柱状試料AR98-Aの堆積相（通常光写真）

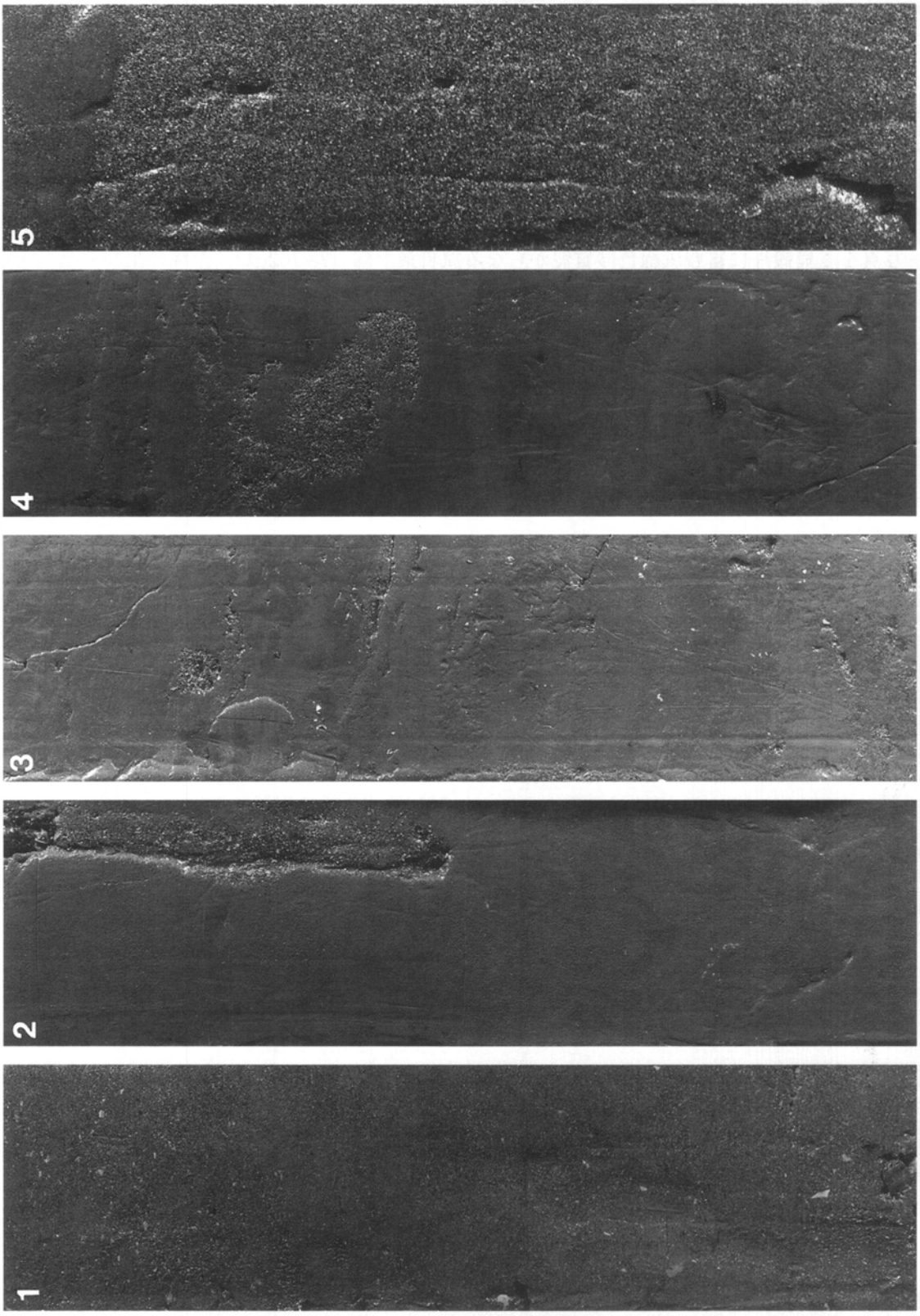
写真１：貝殻片に富む緑灰色泥質砂からなる試料上部（238-262cm）．全体に生物擾乱が発達する．

写真２：巣穴状の生物擾乱を被った緑灰色泥からなる試料上部（338-362cm）．褐色植物遺骸片がわずかに散在する．写真の左上部には内部を上位の含貝破片中粒砂で充填された巣穴が認められる．

写真３：貝類破片ならびに植物遺骸をともなう緑灰色泥および砂質泥からなる試料中部（725-749cm）．内部を黒雲母に富む細～中粒砂で充填された巣穴痕が認められる．

写真４：生物擾乱の発達する緑灰色泥からなる試料中部（929-953cm）．内部を黒雲母に富む細～中粒砂で充填された巣穴痕が認められる．植物遺骸が豊富に含まれる．

写真５：試料下部（1,028-1,052cm）の無層理塊状の中～粗粒砂層．最下部約５cmには逆級化構造が認められる．上位には細粒砂層が明瞭な境界をもって位置する．これらの砂層には植物遺骸がわずかに認められる．


5
4
3
2
1

図版２の説明

海底柱状試料AR98-Bの堆積相（通常光写真）

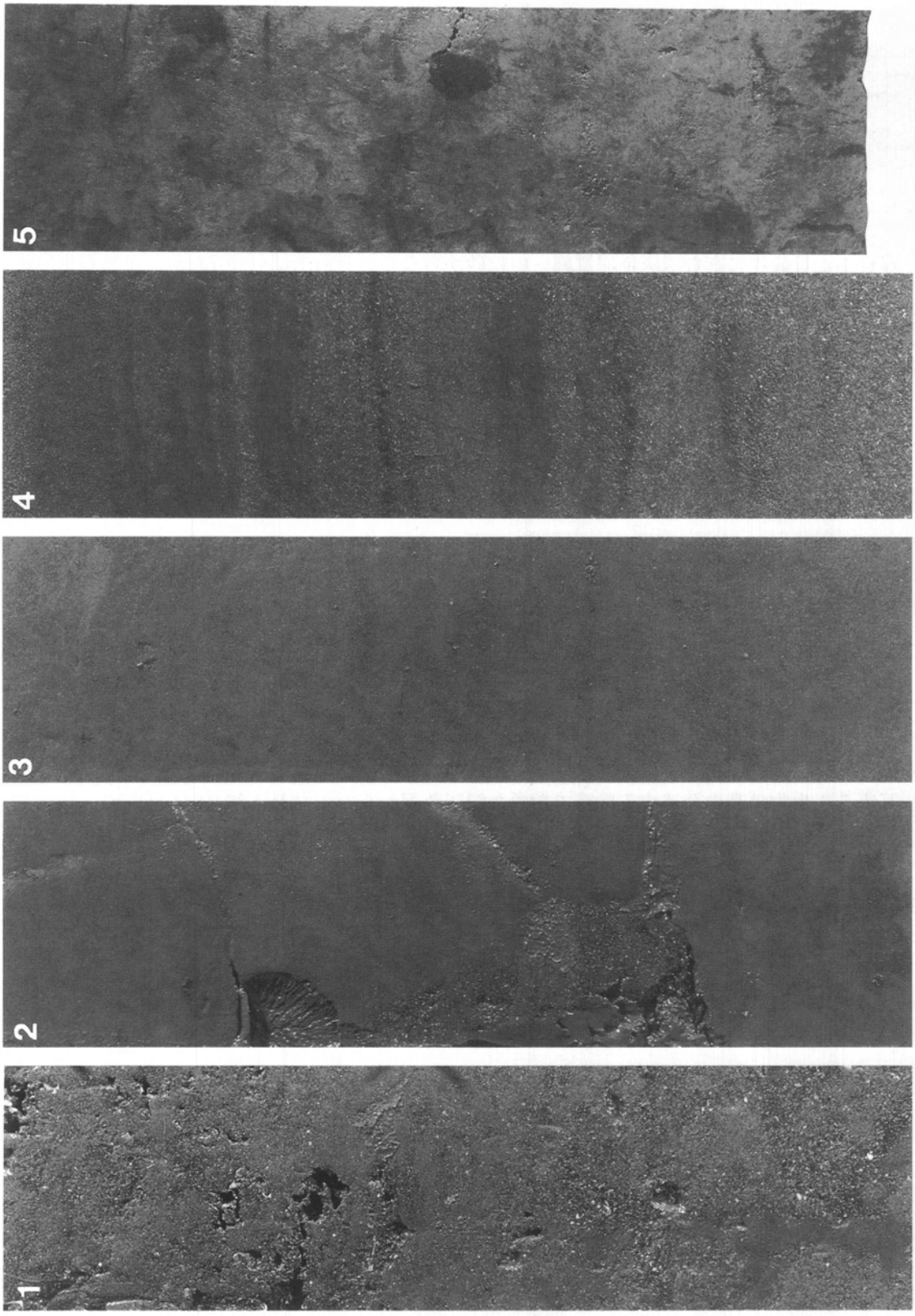
写真１：貝殻片に富む灰緑色砂質泥からなる試料最上部（78-102cm）．全体に生物擾乱が発達する．緑色岩の細角礫が80cm層準に散在する．

写真２：塊状無層理の緑灰色泥からなり植物遺骸をともなう試料上部（148-172cm）．写真の左側には内部を上位の含貝破片中粒砂で充填された巣穴痕が認められる．

写真３：巣穴痕を主体とする生物擾乱の発達する緑灰色砂質泥の試料中部（238-262cm）．全体をとおして植物遺骸に富み，これらは層厚数mmの密集層を形成することがある．

写真４：暗緑色砂質泥層，暗黄褐色細粒砂層および細～中粒砂層がそれぞれの層厚数cmで不規則に成層する試料下部（669-693cm）．細～中粒砂層は一般に無層理であるが，最上部に級化構造，最下部に逆級化構造がそれぞれ観察されることがある．植物遺骸が層厚数mmの密集層として挟在する．

写真５：淡灰緑色の緻密な泥からなる試料最下部（807-827cm）．褐色を呈する生物擾乱が全体に発達する．植物遺骸に富み，これらは層厚数mmの密集層を形成することがある．


5
4
3
2
1

図版３の説明

海底柱状試料AR98-Cの堆積相（通常光写真）

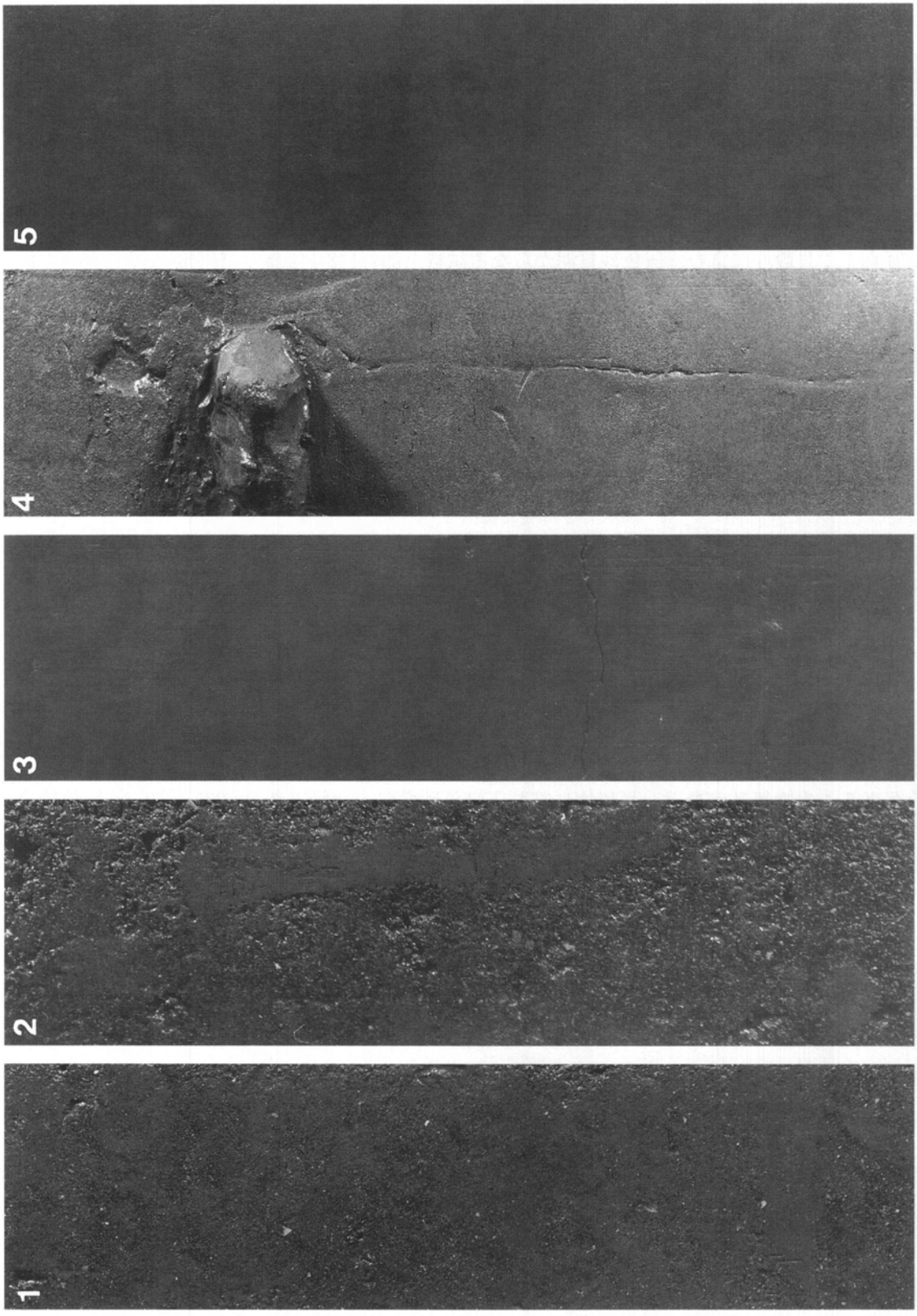
写真１：貝殻片に富む緑灰色泥質細～中粒砂からなる試料最上部（49-73cm）．全体に巣穴痕を主体とする生物擾乱が発達する．植物遺骸がわずかに散在する．

写真２：生物擾乱の著しい発達により緑灰色粗～極粗粒砂と緑灰色砂質泥とが複雑に混在する試料上部（148-172cm）．粗～極粗粒砂には多量の貝殻片が含まれる．

写真３：生物擾乱の発達する緻密で均質な緑灰色泥からなる試料中部（544-568cm）．貝殻片や植物遺骸がわずかに含まれる．

写真４：生物擾乱の発達する緻密で均質な緑灰色泥からなる試料下部（744-768cm）．全体に植物遺骸に富み，これらは層厚数mmの密集層を形成することがある．直径約５cmの石灰質ノジュールが認められる．

写真５：生物擾乱の発達する緻密で均質な緑灰色泥からなる試料下部（844-868cm）．植物遺骸が全体に散在する．


5
4
3
2
1

図版４の説明

海底柱状試料AR98-Eの堆積相（通常光写真）

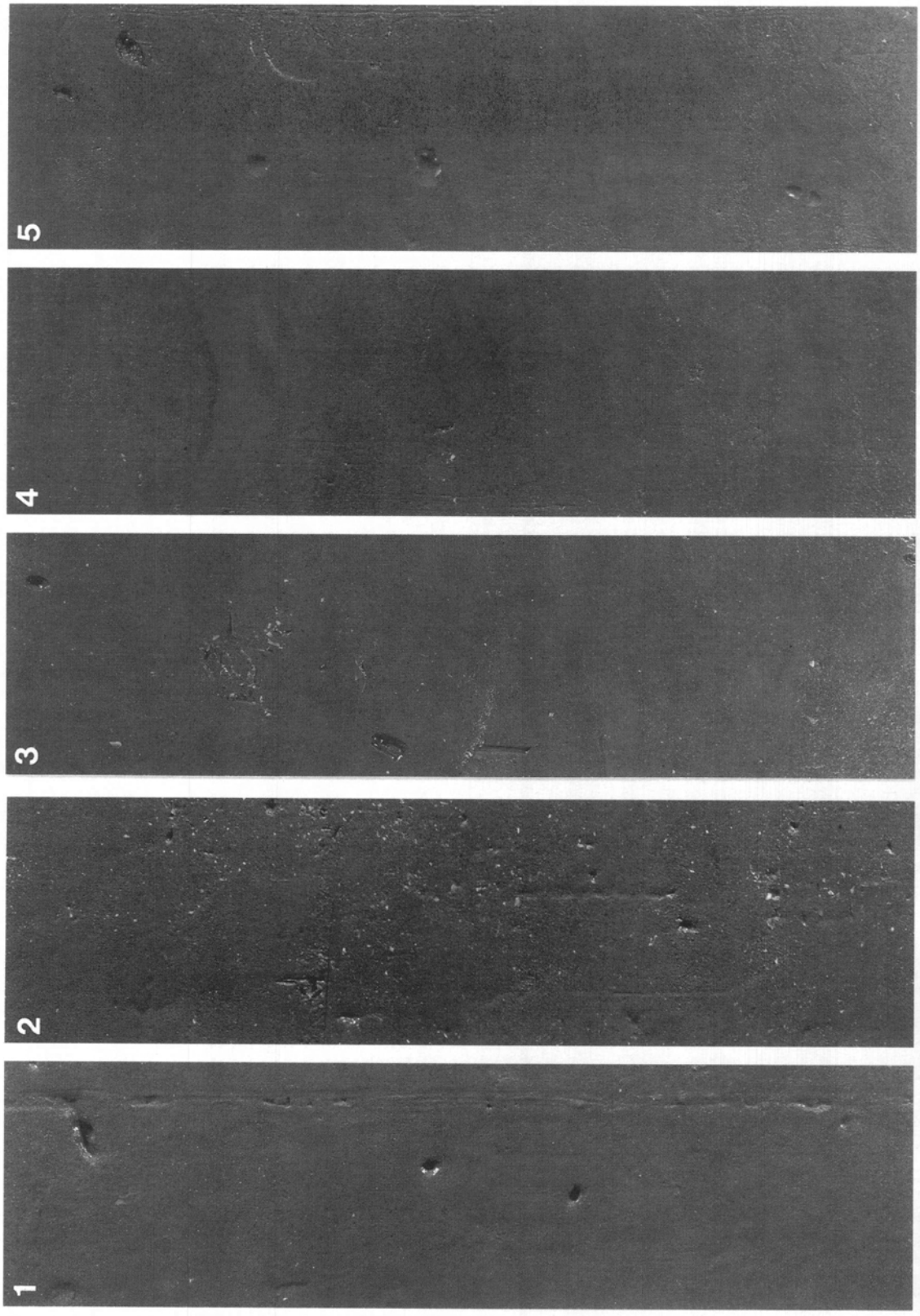
写真１：貝殻片に富む緑灰色砂質泥からなる試料上部（118-142cm）．不明瞭な平行葉理が観察される．全体に生物擾乱が発達する．植物遺骸が全体に散在する．

写真２：生物擾乱が発達し貝殻片に富む灰緑色砂質泥の試料中部（418-442cm）．一部層準では泥質砂となる．植物遺骸が散在する層準が認められる．

写真３：生物擾乱が発達し貝殻片に富む灰緑色砂質泥の試料中部（718-742cm）．貝殻片は密集する傾向にある．植物遺骸が全体に散在する．層厚数mmで侵食基底面をともなう細粒砂層が挟在する．

写真４：生物擾乱が発達し貝殻片に富む灰緑色砂質泥の試料下部（1,120-1,144cm）．植物遺骸が全体に散在する．層厚２cmの緑灰色泥岩が挟在する．

写真５：生物擾乱が発達し貝殻片に富む灰緑色砂質泥の試料下部（1,225-1,249cm）．植物遺骸が全体に散在する．層厚１cm以下で侵食基底面をともなう極細～細粒砂層が挟在する．葉理幅が数mmの平行葉理が一部に発達する．


5
4
3
2
1