

## 北海道勇払沖陸棚上の堆積物と堆積作用

### Sediments and sedimentation on the shelf off Yufutsu, Hokkaido, Japan

片山 肇<sup>1</sup>・内田康人<sup>2</sup>・奥水健一<sup>2</sup>・西田尚央<sup>1</sup>・池原 研<sup>1</sup>・中島 礼<sup>1</sup>  
Hajime Katayama<sup>1</sup>, Yasuhito Uchida<sup>2</sup>, Kenichi Koshimizu<sup>2</sup>, Naohisa Nishida<sup>1</sup>,  
Ken Ikehara<sup>1</sup> and Rei Nakashima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>2</sup> 北海道立総合研究機構地質研究所 (HRO, Geological Survey of Hokkaido)

**Abstract:** Sediment samples were taken by a vibrocorer, a gravity corer and a grab sampler. High-resolution seismic and sidescan sonar surveys were also carried out to clarify sediment distribution and sedimentation on the shelf off Yufutsu. Surface sediments in this area are roughly divided into sand and muddy sand bounded by the escarpment on the shelf. Especially in the area south of Mukawa of about 11-17 m water depth, well-sorted fine to medium sand is distributed, and bedforms are observed on the sidescan sonar image. Gravelly sediments are also distributed in the southeastern area above the escarpment, eastern coastal area and in the gentle depression. Cored samples show vertical changes in sedimentary facies due to the sea-level change after the last glacial age. Thickness of high-stand sediments of about after 8,000 cal yr BP is generally less than several tens centimeters in the area of 20-40 m water depth. High-resolution seismic data show that the escarpment is formed by the thickened uppermost sedimentary layer. This sedimentary layer consists mainly of fine-grained sediments of 8,500-8,000 cal yr BP judging from cored sediments. Details of the developing process of the escarpment, however, are still uncertain.

**Keywords:** shelf sediments, vibrocore, gravity core, grab, high-resolution seismic survey, sidescan sonar, radiocarbon age, sea-level change, Yufutsu

#### 要 旨

北海道勇払沖陸棚上において、グラブ、パイブローアラー及びグラビティコアラーを用いた堆積物試料採取と、高分解能音波探査及びサイドスキャンソナー調査を実施し、堆積物分布と堆積作用の検討を行った。表層堆積物は陸棚上に発達する崖状の地形を境に、その沖合には泥質砂が、沿岸寄りには含泥率の低い砂が主に分布する。むかわ南方には特に淘汰のよい砂が分布し、サイドスキャンソナーによりベッドフォームも認められた。崖より沿岸寄りの一部には礫質堆積物も分布する。柱状試料では、主に約 11,000 年前以降の堆積物が得られ、海水準変動に対応した層相及び堆積作用の変化が明らかとなった。水深約 20 ~ 40m の海域では、8,000 年前頃以降の年代を示す表層部の砂質堆積物の層厚は一般に数 10cm 以下と薄く、特に 8,000 ~ 4,000 年前頃の期間は堆積速度が非常に小さいかほぼ無堆積であったと考えられる場所もある。陸棚上に発達する崖状の地形は、断層や褶曲等の地質構造を反映したものではなく、表層付近の堆積層が厚く堆積

することにより形成されたものである。この堆積層の上部は約 8,500 ~ 8,000 年前に堆積した極細粒砂-粗粒シルトの比較的細粒な堆積物からなることが明らかになった。南東に向かって徐々に水深の深くなる崖を構成する堆積層に層相変化や堆積時期の違いがあるのかなどは明らかになっておらず、さらに詳細な崖の形成過程の解明は今後の課題である。

#### 1. はじめに

福岡県西方沖、能登半島西方沖、新潟県中越沖など、陸と海の境界付近を震源として相次いで発生して被害をもたらした地震を契機として開始された沿岸域の地質・活断層調査は、未知の活断層の発見、断層の連続性や活動度等の解明という断層に関連した調査ばかりでなく、従来、陸域、海域それぞれで調査を行い、手法の違いから情報の空白域となっていた沿岸域の地質情報を広く整備することを目的として実施している。沿岸域の海底堆積物調査は、大型調査船が入ることのできない沿岸海域の堆積物分布を明らかにするこ

と、構造運動の活動度や活動時期等を堆積物から評価すること、海水準変動に伴う陸棚上の堆積作用の時間変化を解明することなどを目的としており、2012年度は北海道勇払沖の水深約65m以浅の陸棚上を調査海域として調査を行った。本海域に隣接する陸域には石狩低地東縁断層帯があり、陸棚上には等深線に斜交する崖状の地形が発達し断層帯と連続する構造である可能性も推定されていた(地震調査推進本部地震調査委員会, 2010; 小松原・小松原, 2011)ため、その実態解明が主要な目的のひとつであった。砂質堆積物の分布する陸棚上において柱状試料を採取し堆積物の時間変化を明らかにするためにはパイプロコアラが有効である(池原ほか, 2009)。これまでの能登半島北部沖(池原, 2010)及び福岡沖(西田・池原, 2013)における沿岸域堆積物調査と同様に、本海域でもパイプロコアラを用いた柱状採泥を中心とし、表層のグラブ採泥を加えた堆積物試料の採取を行った。表層堆積物の分布図作成には、今回採取した堆積物の分析結果に加え、既存の堆積物粒度データも用いた。さらに、高分解能音波探査及びサイドスキャンソナー調査の結果も加えて、現世及び海水準変動に伴った完新世の堆積作用の検討を行った。なお、本論は地質調査総合センター速報No.62で報告し(片山ほか, 2013; 内田・興水, 2013)、その後、データの追加および考察を行い、海陸シームレス地質情報集として取りまとめたものである。

## 2. 地形・地質及び海洋環境

調査海域は北海道南岸に位置する(第1図)。海岸線は緩やかに湾曲し概ね平滑である。本海域に隣接する陸域は、日本海側から太平洋側まで延びる石狩低地帯の南部にあたり、海岸付近には勇払平野が広がる。勇払平野は最終氷期以降の海水準上昇に伴う海の進入及びその後の埋積によって形成され、勇払付近よりも西方の平野西部には砂堤列群が発達しているのに対し、東部には低湿原が広がっている(池田ほか, 1995)。石狩低地帯の東側の丘陵地には主に新第三紀の堆積岩類が分布し、さらに東側の日高山脈には中・古生界及び深成岩類・変成岩類が分布する。また、石狩低地帯からその西方には新第三紀から第四紀の火山岩類及び支笏軽石流などの火砕流堆積物が広く分布する(加藤ほか, 1990)。本海域に流入する最大の河川は、日高山脈に源流を持つ鹉川であり、調査海域東方には同じく日高山脈に発する沙流川が流入する。その他、苫小牧東港付近に厚真川が、勇払付近に安平川が流入する。

調査海域付近の海底地形は、水深約120～140mまで陸棚が広がり、概ね単調に沖に向かって緩やかに水深が深くなる。陸棚の幅は、本海域南東方の新ひだか町静内付近の約11kmから北西に向かって徐々に広が

り苫小牧沖では約26kmとなる。陸棚の沖には陸棚斜面を挟んで水深500mよりも深い日高トラフが南東から北西方向に湾入する(第1図)。

調査海域は水深約65m以浅の陸棚上にあたり、大局的には沖に向かって単調に水深が深くなるが、詳細に見るといくつかの特徴が認められる(第2図)。まず顕著な地形として崖状の地形が挙げられる。崖は数mから最大10m程度の比高を持ち、苫小牧東港付近から南南東方向に約20kmの長さでほぼ直線状に延びる。等深線に斜交し、崖上の水深は北西部で17～18m、南東部で32～33m程度である。北西部では崖の上で比高1～2mのリッジ状の高まりとなっているが、中部から南東部では崖上はほぼ平坦で高まり状の地形は認められない。また、この崖は、崖の部分で急傾斜の地形となっているばかりでなく、陸棚上で海底面の傾斜が変化する境界ともなっている。崖よりも沿岸寄りでは沖合側に比べて傾斜が緩く、かなり平坦な地形である。むかわ南方の崖の末端で等深線が屈曲し、屈曲部の東側は直線的な地形ではないものの大局的には平坦部は屈曲部を頂点とする三角形の平面形態を示す。崖地形よりも陸寄りのほぼ平坦な部分の中には緩やかな凹地状の地形が認められる。凹地は苫小牧東港東方から崖地形とやや斜交して徐々に水深を増しながら南南東方向に延び、音波探査測線9b付近で崖地形に接近する。また、最も陸寄りの水深5～6m以浅では海底面はやや急傾斜となる。崖地形よりも沖側にも幅の狭い帯状の数列の平坦面が認められる。苫小牧南方の水深40～50m付近にある高まりは苫小牧港築港の際の土砂捨場である。

苫小牧港における1970年～1983年の波浪状況は、平均有義波は年間を通じて波高1.0m以下、周期4.0～6.0秒と北海道沿岸の中では比較的静穏であるが、最大有義波は冬季及び9～10月の台風襲来期において波高5.4～6.1m、周期9.5～15.5秒に達することがある(日本海洋データセンター, 1986)。

本海域の沿岸流の流向は季節的に変化する。冬季から春季には南東向きの流れが卓越するのに対し、春季から夏季には北西向きの流れが卓越する。この流向変化には、季節風による吹送流と十勝沖から襟裳岬を回って西流する沿岸親潮と呼ばれる沿岸流の消長が関係していると推定される(Kuroda *et al.*, 2006)。

## 3. 手法

堆積物試料の採取は(株)川崎地質に依頼し、作業船ひろかい(268トン、木田 薫船長)を使用して2012年9月8日から9月16日に実施した。表層採泥にはスミス・マッキンタイヤー式グラブ採泥器を用い、海底面から10cm前後の深さまでの堆積物試料を得た。柱状採泥には、バレル長6m、インナーチューブ内径88mmのパイプロコアラ及びバレル長1m、インナー

チューブ内径 75mm のグラビティコアラーを使用した。パイプロコア採掘では、1 度の採取で十分な長さの試料が採取できなかった場合には、同一地点あるいは少し位置をずらした地点で 2 回ないし 3 回の採取を行い、それらの試料番号には C1-1, C1-2 のように枝番号を付した。試料番号には航海番号 YH12 を付け、YH12-C1-1 などとするが、本報告の本文及び図表では簡略のため航海番号を省略して示した。採泥点の位置測定には DGPS を用い、水深は音響測深機で測定し潮位補正を行った。本調査の採泥点は、グラフ採泥点はパイプロコア採取地点と同一地点を含めて 31 点、パイプロコア 11 点、グラビティコア 4 点である (第 3 図, 第 1 表, 第 2 表)。グラビティコアは C2GC で短い試料が採取されたのみで、残りの 3 地点ではおそらくコアラーが倒れたために柱状試料は得られていない。

高分解能音波探査及びサイドスキャンソナーによる海底表層調査は、北海道立総合研究機構地質研究所が担当し、2012 年 9 月 3 日から 9 月 7 日に実施した。崖地形付近から陸寄りの海域について調査を行い、測線の総延長は約 201km である (第 4 図)。

高分解能音波探査には磁歪式音源のチャープ波パルス圧縮方式地層探査装置 (古野電気製 FE-105 型) を用いた。地層探査装置標準パルスの周波数幅は 5.5 ~ 8.5kHz であり、水深や底質状況にもよるが泥質堆積物が分布する海域において、最大で海底下 20 ~ 30 m 程度までの高分解能の地層の状況を把握することが可能である。さらに、調査時に船舶の動揺補正装置を採用することで記録の分解能を高め、海底表層部における堆積物の変位や断層の分布をより正確かつ明瞭に把握することができる。記録出力の際には船舶動揺補正のほか、潮位・吃水に対する補正を行い、反射記録の深度変換に際しては、水中及び浅層堆積物中での音波速度をいずれも 1,500m/秒と仮定した。

サイドスキャンソナー調査にはデジタルサイドスキャンソナー (米 Edge Tech 社製 MP-4200 型) を用いた。デジタルサイドスキャンソナーは音波を左右に発信する発信体を舷側もしくは船尾から海中に沈めて曳航し、海底での音波の反射・散乱状況から広範囲の海底面状況を把握するものである。曳航体より海底に音波が達すると海底の凹凸や底質の違いにより反射波の強度や散乱が異なり、それを濃淡の差として出力することで海底面の情報を得ることができる。最大探査幅は水深に依存するが調査船の両舷それぞれ 400m 程度までが探査可能である。

堆積物の粒度分析はグラフ採泥試料の表層部と柱状試料の一部について行った。表層堆積物の粒度分析は、層相に変化がない場合には表層部 3 ~ 5cm 程度、変化がある場合には層相ごとに試料を採取して分析した。4.5φ よりも粗粒部はふるい震盪法で 0.25φ きざみに、それよりも細粒部はレーザー回折・散乱法で分析した。レーザー回折・散乱法には CILAS 1064 を用い、解析

には Mie 理論を適用し、粒子の屈折率及び吸収計数はそれぞれ 1.56, 0.15 の値を用いた。柱状試料の粒度分析はレーザー回折・散乱法のみを用いて行った。淘汰度は Folk and Ward (1957) の式で計算した。分布図作成に当たって、今回採取した試料の分析結果のほか、大嶋ほか (1979)、海上保安庁水路部 (1982)、片山ほか (2007)、野田・片山 (2013) のデータを用いた。

パイプロコア及びグラビティコア試料は下船後に実験室で半割し、断面の写真撮影、記載の後、軟 X 線写真撮影用試料及び各種分析用試料を採取した。

パイプロコア試料中の貝殻、植物片あるいは堆積物有機物を用いた放射性炭素年代測定は、(株)地球科学研究所を通して Beta Analytic 社に依頼し加速器質量分析 (AMS) 法で行った。 $\delta^{13}\text{C}$  補正を行った  $^{14}\text{C}$  年代 (conventional  $^{14}\text{C}$  age) から、貝殻試料については MARINE09、植物片及び堆積物有機物については INTCAL09 (Reimer *et al.*, 2009) をキャリブレーションデータとし、較正プログラム CALIB 6.0 (Stuiver and Reimer, 1993) によって暦年較正した。北海道周辺におけるローカルレザバ値  $\Delta R$  は親潮影響域と対馬海流影響域で大きく異なることが知られている (Yoneda *et al.*, 2007)。本海域に隣接する噴火湾沿岸における約 5,000 年前以降の  $\Delta R$  は 297 ~ 456 年と一貫して親潮系に近い値が報告されている (Yoneda *et al.*, 2001) ことから、本海域の貝殻試料の  $\Delta R$  として親潮系の平均値  $392 \pm 42$  年 (Yoneda *et al.*, 2007) を用いた。

パイプロコア試料 C6 の軽石密集層 2 層準について、テフラの分析と同定を (株) 京都フィッシュントラックに依頼して行った。分析は、全鉱物及び重鉱物組成、火山ガラス形態分類、火山ガラス屈折率及び斜方輝石屈折率の測定が行われ、それらの結果から既知のテフラに同定された。

パイプロコアから得られた貝殻については、年代測定に送付する前に可能な限り同定し生息環境の検討を行った。また、C7 及び C9-3 で採取されたパイプロコア試料の泥質部について、含まれる珪藻の同定と珪藻群集に基づく堆積環境の検討を (株) パリノ・サーヴェイに依頼して行った。

#### 4. 結果

本章では、まず海域全体の高分解能音波探査記録の特徴について述べ、サイドスキャンソナー調査結果、表層堆積物の分布、柱状堆積物の特徴及び年代という順に記述する。

##### 4.1 高分解能音波探査記録

本調査で実施した高分解能音波探査では、海底底質が砂質～礫質堆積物の分布域が大部分を占めていたにもかかわらず、最大で海底下 15m 程度までの堆積構造を確認することができた (第 5 図)。記録断面の表層

付近の堆積層は、内部反射面あるいは基底の反射面が明瞭に認められる A0 層と、内部反射面がほとんど認められない A1 層に区分し、さらに反射パターンや分布などから以下の 6 つの層に細分した。これらの区分は堆積作用を理解するために音響的層相と分布域等を組み合わせた便宜的な区分であり、必ずしも時代区分ではなく、また区分の境界は明確には決められない。

(1) A0-1 層：ほぼ崖地形の表層部に分布し、特に層厚の厚い部分は 2～3 km 程度の幅で崖に沿って帯状に分布する。層厚は厚い所で 7～8 m に達する。その内部はやや白っぽく抜ける音響パターンを示すが、場所によっては数枚の内部反射面が確認されるところもある。崖付近では下位の層とは一般に強い反射面で明瞭に区分され、境界面は崖の地形とは関係なく、ほぼ一定の傾斜で平坦な形状を示す。崖下で急激に層厚を減じ、沖合での分布は不明瞭となる。

(2) A0-2 層：内部にコントラストの強い明瞭な反射面が認められる層で、主として崖地形より岸側の下位層の凹地や谷地形を埋積する。層厚は最大で 10 m 程度に達する。内部反射面は水平に近いが下位層との境界面とは斜交しており不整合となっていることが確認される。苫小牧東港～むかわにかけての沿岸海域の表層部に広く分布する。分布域は南東に向かって狭くなり、測線 106 以南及び測線 10b 以東には分布しない。

(3) A0-3 層：内部は黒っぽい縞状の反射パターンを示し、やや不明瞭ではあるが内部反射面が確認される。分布範囲は調査域北東側の、鵜川河口前面の一部に限られており、下位層の凹地を埋積している。河口沖からさらに南東方向へ連続するかどうかは不明確である。

(4) A0-4 層：成層した反射面が見られ、調査海域南東部で A1-1 層の凹部を埋めて狭い範囲に分布する。分布範囲に限られ、A0-2 層の分布域などとは連続しないため独立した区分とした。

(5) A0-5 層：崖よりも沖側の海底下に分布する。水平に近い内部反射面が認められ、崖の直下では崖から連続する表層の A0-1 層と斜交する。沖合では表層部に A0-1 層があるかどうか不明瞭となる。

(5) A1-1 層：内部反射面がほとんど認められない層である。調査海域東部では崖地形の直上部から海岸付近まで海底面に露出する。

(6) A1-2 層：崖下から A0-1 層と A0-2 層の分布域の境界付近の海底下に分布する内部反射面がほとんど認められない層を A1-2 層とした。上に凸型の形態を示し、測線 9b よりも北西側ではほぼ崖に平行に海底下に帯状に分布する。沖側は A0-5 層に側方変化する。陸側の A0-2 層との関係は、一部では A0-2 層の下位に相当し、一部では側方変化したように見える。

各層の海底表層付近における地理的分布の概略を第 6 図に示した。佐藤ほか (2013) に報告されているように、今回の高分解能音波探査及び音源としてプー

マーを用いた音波探査の結果、崖地形の海底下の反射面には断層や褶曲などの変形構造は認められず、崖は構造運動を反映した地形ではないことが明らかとなっている。崖の地形は表層部の A0-1 層の層厚が厚くなることにより形成されている。

#### 4.2 サイドスキャンソナー記録

高分解能音波探査と同時に実施したサイドスキャンソナー調査により、測線を中心として概ね左右 300 m 程度の範囲の海底状況を把握することができた。第 7 図に海底面状況図 (モザイク図) を示す。崖地形の沖合から崖の上部にかけての高分解能音波探査記録で A0-1 層の分布域では、音波の反射強度に大きな変化はなく、ほぼ一様のパターンを示す。それに対し、それよりも陸側では場所によって縞模様あるいは不規則なパターンが見られる。南東部の崖の直上部で反射強度が一様であるのに対し、その少し陸側では不規則なパッチ状の反射パターンを示す部分がある (第 8 図)。崖の直上の一様な反射強度の場所は高分解能音波探査記録で A0-1 層が、不規則なパッチ状のパターンを示す場所は A1-1 層が表層に露出している場所にあたる。縞状のパターンはいくつかの場所で局所的に認められるが、特にむかわ沖の水深約 11～17 m の海域には、ほぼ東西方向に延びる波長 100 m 前後の縞状のパターンがやや広い範囲に分布しておりベッドフォームと考えられる (第 9 図)。ここは淘汰のよい中粒砂-細粒砂の分布域にあたる。また、調査海域北部の緩やかな凹地の周縁部には凹地の延びの方向に平行な構造が認められる。

#### 4.3 表層堆積物

グラブ採泥試料表層部の粒度分析結果を第 3 表に、中央粒径値で区分した表層堆積物の分布を第 10 図に、表層堆積物の含泥率分布を第 11 図に、淘汰度分布を第 12 図に示した。

粒度の特徴に基づくと、表層堆積物は、含泥率の低い中粒砂を主体とする崖よりも陸側の堆積物と、含泥率の高い細粒砂を主体とする崖よりも沖側の堆積物とに大別できる。その境界は崖に沿っており等深線とはやや斜交する。さらに崖よりも陸側の堆積物は、水深約 10 m 以浅の極細粒砂、南東部の礫質堆積物、凹地内の礫質堆積物及びそれ以外の中粒砂～細粒砂に分けられる。

水深約 10 m 以浅には極細粒砂 (Mdφ3～4) が分布する。この堆積物には 20～30% 程度の泥分を含む。その沖合には中粒砂が広く分布し、海域中部の水深約 14～22 m の場所では細粒砂となる。含泥率は 10% 以下であり、その多くは 2% 以下とほとんど泥分を含まない。淘汰度は多くの場所で 0.71 以下、海域中部の細粒砂分布域を中心とする場所では 0.5 以下と淘汰がよい。海域南東部には水深 10～30 m の幅広い水深にわ

たって粗粒砂～礫が分布する。そのうち水深 9～12m 付近の沿岸寄りの海域と水深 22～30m 付近の極粗粒砂～礫分布域は含礫率が 40～75% と高いのに対し、その間の粗粒砂分布域の含礫率は 10% 以下と低い。砂礫分布域に隣接する C10G（水深 12m）には極細粒砂～シルトが分布する。水深 10m 以浅に分布する極細粒砂とは連続せず、また表層から数 cm 下位には砂質堆積物が存在しており、この地点の極細粒砂～シルトは局所的に表層部のみを覆って分布するものである。崖の陸寄りにある緩い凹地内にあたる水深 16～20m 付近には粗粒砂～礫が分布する。淘汰は 1.0～2.0 とやや悪い。またこの凹地内には局所的に泥も分布しているが、この堆積物も礫を多く含む淘汰の悪い堆積物である。崖の直上で採取された試料のうち、C4G 及び C11G は含礫率、含泥率ともに低く、比較的淘汰のよい（淘汰度 0.5～0.71）中粒砂であるのに対し、C5G の堆積物は含礫率が 19% と高く淘汰度は 1.45 とやや悪い。

一方、崖よりも沖側には主に細粒砂が分布しており、帯状の平坦面上ではやや粗く中粒砂となる。これらの堆積物は一般に 10～30% の泥分を含む泥質砂である。含泥率の高い場所は必ずしも中央粒径値の大きい（細粒な）場所と一致しているわけではない。淘汰度は 1.0 以上で、崖の直下や水深 40～50m 以深では 2.0 以上と特に淘汰が悪い。この海域の表層堆積物は砂粒子として軽石を多く含むことを特徴としている。

#### 4.4 柱状堆積物

本節では柱状堆積物の層相、年代、貝や珪藻の分析結果を場所ごとに記述する。各柱状試料採取点付近の高分解能音波探査記録を第 13 図に、柱状図を第 14 図に、断面写真を第 15 図に、年代測定結果を第 4 表に、柱状試料から産出し同定できた貝のリストを第 5 表に示した。同一地点あるいは若干位置をずらして何回か採取した地点の試料については、主に年代測定を行ったコアについて記述し、それ以外のコアに層相の違いがある場合には補足的に記述する。

##### 4.4.1 崖の沖合

###### (1) C1

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C1 は水深 40m で、崖から 7km 程度沖に位置する。高分解能音波探査記録では、反射面の連続性は悪いが、海底面から 10m 程度の深さまで成層した反射面が観察される。これは崖下付近の A0-5 層から連続するものである。

<層相>

C1-1 では 215cm の試料が得られた。層相は大きく下部砂礫層、中部細粒層、上部砂層に分けられる。215～193cm の下部砂礫層は、その下部では中礫を含む砂質細礫で上方へ細粒化し、上部では含礫細粒砂と

なる。貝殻は少ないものの、わずかに含まれる。193～39.5cm の中部細粒層は下位の含礫細粒砂から漸移し、その下部 20cm 程度は極細粒砂であるが、主体は生痕の発達した細粒シルトからなる。また貝殻を散点的に産出する。39.5～0cm の上部砂層は、中粒砂～極細粒砂からなり上方細粒化傾向が認められる。基底は下位のシルト層を侵食し、侵食面の直上 3cm 程度に貝殻が密集する。最表層部には軽石粒子を多く含む。

C1 には近傍で採取した試料にバリエーションが見られ、C1-1 とほぼ同一地点の C1-2 の試料は C1-1 とほぼ同様の層相である（第 16 図）が、中部細粒層中に厚さ 3cm 程度の薄い細礫層を挟在する。数 100m 南南西方向に位置をずらした C1-3 では中部細粒層を欠き下部砂礫層の直上に上部砂層が接する。

<貝>

C1-1 から得られた貝のうち、中部細粒層下部から得られた貝は潮間帯中部～水深 10m の砂礫泥底、上部砂層から得られた貝は潮間帯～水深 20m の泥底、水深 50～400m の砂底及び水深 10～100m の砂泥底の生息環境を示す。

<年代>

C1-1 下部砂礫中の貝殻から 9,300cal yr BP の年代が得られた。中部細粒層は約 10,400～9,800cal yr BP の数 100 年間の比較的短期間の年代を示す。上部砂層中の貝殻の年代は 1,500cal yr BP よりも新しい。C1-2 の中部細粒層中の貝殻からは C1-1 とほぼ同じ約 10,300cal yr BP、細粒層中に挟在する薄い細礫層中の貝殻から約 9,300cal yr BP の年代が得られた。また、C1-3 の下部砂礫層の上部から得られた貝殻は約 8,600cal yr BP の年代値を示す。

###### (2) C2

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C2 は C1 よりも約 2km 陸寄りで崖から 5km 程度沖に位置する。C1 と同様に水深は約 40m で、高分解能音波探査記録では、連続性の悪い反射面が海底面から 10m 以深まで観察される。

<層相>

C2-1 は 237cm の試料が得られた。C1-1 同様の層相変化を示すが、コア最下部まで細粒層である。237～22cm の中下部の細粒層は、主に細粒シルトと粗粒シルトの互層からなり、C1-1 の中部細粒層よりもやや粗粒である。互層が残っている部分もあるが生物擾乱によって入り乱れた”mottled”となっている部分が多い（第 17 図）。C1-1 と同様に生痕が発達し、貝殻を散点的に産出する。22～0cm は泥質の細粒砂～極細粒砂で、その下部では最大径 6cm の円礫と貝殻が密集する。グラビティコア C2GC は 30cm の試料が得られた。C2-1 と同程度の深度に貝殻密集層があることから、C2-1 のバイプロコア試料のコアトップの欠損はほとんどないと考えられる。

<貝> C2-1 から得られた貝のうち、深度 107cm の細粒部から得られた貝は水深 10～50m の砂泥底の生息環境を示す。

<年代>

C2-1 の中下部細粒層の年代は約 10,600～9,800cal yr BP と C1-1 の中部細粒層とほぼ同じ年代期間を示す。上部砂層最下部の貝殻からは約 3,000cal yr BP の年代が得られている。

#### 4.4.2 崖の下側

崖地形の下側では C3, C6, C7 でコアを採取し、それぞれ崖の上側の C4, C5, C11 とセットとなる。

(1) C3

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

崖直下の水深 26m の地点で採取した。高分解能音波探査記録では、崖の部分で厚く堆積している表層の A0-1 層の基底の強い反射面がこの地点まで連続し、A0-1 層は 1～2m 程度と薄くなる。この反射面と斜交する水平に近い反射面を持つ A0-5 層がその下位に存在する。

<層相>

C3-2 は 165cm の試料が得られた。165～110cm は砂質礫-礫質粗粒砂からなる。礫は最大径 6cm で径 2cm 以下の細礫-中礫が多い。貝殻は含まれていない。110～108cm に薄いピート層を挟み、その上位の 108～105cm は薄い極細粒砂層となる。105～80cm は再び砂質礫層となる。礫は最大径 6cm の円-亜円礫からなり、貝殻を含む。下位の極細粒砂との境界は明瞭である。80～20cm は下位の砂礫から漸移し、生痕の発達した極細粒砂からなり（第 18 図）、貝殻が点在する。20～0cm は細粒砂-中粒砂からなる。最下部には細礫を含み、下位の極細粒砂との境界は明瞭である。パッチ状に泥を含む。最上部は軽石粒子を多く含む中粒砂である。

ほぼ同一地点の C3-1 も C3-2 とほぼ同様の層相変化を示す。C3-2 でピート層が得られた層準にピート層は挟在していないが、C3-2 と同様に上下の砂礫よりも細粒な細粒砂層を挟在する。

<貝>

C3-2 のピート層の上位の砂礫層から水深 5～30m の細砂底、深度 42cm の極細粒砂から潮間帯下部-水深 140m の砂泥底の生息環境を示す貝が得られた。また、C3-1 の下部の 2 つの砂礫層の間の細粒砂から潮間帯の生息環境を示す貝が得られた。

<年代>

C3-2 のピート層より下位の砂礫層からは年代は求められていない。ピートの年代は約 9,700cal yr BP、ピートの上位の砂礫層からは約 8,600cal yr BP の年代が得られている。中部の極細粒砂は約 8,300～8,000cal yr BP の年代を示す。上部砂層に含まれる貝殻からは

4,000cal yr BP 以降の年代値が得られている。

C3-1 の 2 つの砂礫層に挟まれる細粒砂中の貝殻の年代は約 9,600cal yr BP と、C3-2 のピートの年代と誤差 (1σ) 範囲の重複する年代値を示す。

(2) C6

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C6 は崖地形の下側の水深 34m の地点で採取した。高分解能音波探査記録で崖を構成する表層の A0-1 層の延長の堆積層厚が薄くなって 1m 程度となり、その下位に A1-2 層が 2m 程度の厚さで存在する場所にあたる。

<層相>

C6 は 343cm の試料が得られた。343～256cm は砂質礫-礫質中粒砂からなる。礫は最大径 8cm で中礫サイズの垂角～円礫が多い。256～171cm は礫質中粒砂である。下位の砂質礫から漸移し、上方に向かって礫は少なく小さくなる。上部に周囲と色調の異なる色の泥質細粒砂及びシルトのパッチを含む。171～163cm には下位及び上位の砂と明瞭な境界を持つシルトを挟在する。このシルト層の下位にも同様の茶褐色の色調を呈するシルトパッチがあり、このシルト層もブロックの可能性がある。163～143cm は軽石と碎屑粒子の混在した細粒砂-中粒砂である。143～107cm は主に軽石粒子からなる粗粒砂であり、その上部では泥分を含む。107～54cm はシルトからなり、下位の軽石質粗粒砂とは明瞭な境界で接する。163～54cm の堆積物は周囲の堆積物とは色調の異なる灰白色を呈している。また 54cm 以深の堆積物には貝殻は全く産出しない。54～4cm は貝殻を含む細粒砂-極細粒砂であり、特に 40～34cm の部分に貝殻が密集する。最表層部 4cm は主に軽石粒子からなる中粒砂である。

<貝>

深度 38cm の細粒砂から水深 50～400m の砂底の生息環境を示す貝が得られた。

<テフラ>

軽石の密集する 2 層準のテフラ分析の結果、C6-P1 (0～4cm) は少なくとも 3 種類の軽石が混在しており、量の多い順に支笏第 1 (Spfa-1)、樽前 d (Ta-d)、樽前 b (Ta-b) に対比された。C6-P2 (129～134cm) は、少なくとも 2 種類の軽石が混在し、そのうち優勢なものはクッタラ第 3 (Kt-3) に対比され、もう 1 種類は同定されていない（第 6 表）。支笏第 1 は 4.0～4.5 万年前、樽前 d は 8～9 千年前、樽前 b は西暦 1667 年、クッタラ第 3 は 4.7～5.1 万年前あるいはそれ以前の噴出と考えられている（町田・新井, 2003）。

<年代>

深度 171cm 以下の砂礫及び礫質中粒砂からは年代は得られていない。171～163cm のシルト層のバルク有機物からは 42,500 年前よりも古いという年代測定結果が得られた。163～54cm の灰白色の部分からも年代は得られていない。54cm 以浅の砂から得られた貝殻

は約 7,400cal yr BP 及び 400cal yr BP の年代を示す。

### (3) C7

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C7は崖地形の下側の水深 37m の地点で採取した。高分解能音波探査記録で崖を構成する A0-1 層が薄くなって表層部に連続している。C7 付近では、その下限の反射面及びそれより下位の状況は不明瞭である。

<層相>

C7は 393.5cm の試料が得られたが、コアラーを船上に揚収して倒した際に堆積物が流れて長さが変わってしまったため、全長及びコア深度はインナーチューブ中のおよその試料断面積から計算して補正した。補正後の全長は 281cm である。281～254cm は中礫を含む砂質細礫である。礫は最大径約 1.5cm で円-亜円礫が多い。254～86cm は中粒砂-細粒砂からなる。下位の砂礫から漸移し、最下部では細礫を多く含む。上部はやや淘汰のよい細粒砂である。この砂には、周囲よりもやや細かい細粒砂-砂質シルトをパッチ状に含む以外には肉眼及び軟 X 線写真でも堆積構造はほとんど認められない。貝殻はほとんど含まないが、わずかに含まれる。86～69cm は上下とも明瞭な境界で接するシルトである。このシルトには貝殻は含まれず、一部ではややしまっている。69～0cm は、下位のシルトと明瞭な境界を持ち、貝殻を含む極細粒砂-粗粒シルトからなる。そのうち 69～59cm は粗粒シルトであるが、上位の極細粒砂に漸移し、粒度的にも大きな違いはない。また、59～53cm の部分には特に貝殻が密集する。

<貝>

深度 55cm の極細粒砂から水深 50～400m の砂底の生息環境を示す貝が得られた。

<珪藻>

C7-D1(71～73cm) のシルトには比較的多くの珪藻が含まれ、保存状態は普通である。検出された分類群は淡水生種を主とし、低率に淡水-汽水生種及び汽水生種、極低率に海水-汽水生種を伴う。陸域の種群（淡水生種及び淡水-汽水生種）と海域の種群（海水生種、海水-汽水生種及び汽水生種）の比率はそれぞれ 83% と 17% である。淡水生種の生態学的特徴や汽水生種の特徴種の生息環境を考慮すると、本試料の堆積時の環境は、河川水の影響を受けた沿岸部の後背湿地から潮上帯付近の環境と推定される（第 19 図）。

<年代>

下部の中粒砂-細粒砂から得られた貝殻は約 6,000～5,400cal yr BP の年代を示す。珪藻分析を行った試料と同層準のシルトのバルク堆積物からは約 11,500cal yr BP の年代が得られた。上部の極細粒砂-砂粒シルトからは約 4,400cal yr BP 及び 1,650cal yr BP の年代が得られた。

### 4.4.3 崖の上側

崖地形の上側では C4, C5, C11 でコアを採取した。

#### (1) C4

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C4は崖地形の上側の水深 19m の地点で採取した。崖の直上の高まりの頂部から少し陸寄りのやや凹んだ部分にかかる場所にあたる。高分解能音波探査記録では、崖を構成する A0-1 層の分布域であるが、最も層厚の厚い頂部よりもやや陸寄りの層厚 4～5m となっている場所である。

<層相>

C4-1 では 165cm の試料が得られた。最下部の 165～153cm は礫質極細粒砂である。礫は最大径 2cm で主に円礫からなる。153～9cm は主に粗粒シルトからなるが、粗粒シルトの中でもやや粗粒な部分と細粒な部分の互層を示す。軟 X 線写真ではラミナが発達している部分と生痕が発達している部分が認められる（第 20 図）。また貝殻を散点的に含む。粒度分析の結果、中央粒径値は、やや細粒な部分で 65～80 $\mu$ m、やや粗粒な部分で 80～100 $\mu$ m の極細粒砂であり、20～40% 程度の泥分を含む。泥分の多くは粗粒シルトであり、細粒シルト-粘土分は少ない。一部では中央粒径値が 63 $\mu$ m 以下の粗粒シルトの部分もある（第 21 図）。9～0cm は貝殻を多く含む中粒砂であり、下位の粗粒シルトと層相の違いは明瞭であるが境界面は不明瞭である。

<貝>

C4-1 の下部の礫質極細粒砂から得られた貝は 5～30m の砂底、表層部の中粒砂から得られた貝は潮間帯下部-水深 110m の泥底の生息環境を示す。C4-2 の細粒部からは 30～400m の生息深度を持つ貝が得られた。

<年代>

C4-1 の最下部の礫質極細粒砂は約 8,500cal yr BP、その上位の粗粒シルト層は 8,000cal yr BP 前後の年代を示す。粗粒シルト層の最上部から得られた貝殻の年代は約 400cal yr BP とこれらとは大きく異なる年代を示す。一方、この粗粒シルト層のバルク堆積物からは貝殻から得られた年代よりも 5,000 年程度古い約 13,500～13,000cal yr BP の年代が得られている。上部の中粒砂に含まれる貝殻は現世の年代を示す。

#### (2) C5

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C5は崖地形の上に位置する水深 23～24m の地点で採取した。高分解能音波探査記録では崖を構成する A0-1 層の層厚が陸側に向かってやや薄くなり、3～4m の厚さになっている場所にあたる。

<層相>

C5-3 は 96cm の試料が得られた。96～56cm は粗粒シルトからなる。貝殻を点在する。軟 X 線写真では粗

粒シルト部全体にラミナの発達認められる。56～32cmは貝殻の密集する中粒砂である。下位の粗粒シルトとの境界は明瞭である。32～0cmは主に極細粒砂からなり、下位の中粒砂から漸移する。貝殻を点在する。このうち14～8cmの部分には軽石粒子が密集し中粒砂となる。ほぼ同一地点のC5-2はC5-3と同様の層相である(第22図)が、最下部の55～49cmにC4-1と同様に礫質極細粒砂が存在する。

<貝>

C5-3の深度56cm及び41cmの中粒砂から得られた貝は水深10～30mの砂底及び5～30mの細砂底、深度13cmの中粒砂から得られた貝は5～200mの泥底の生息環境を示す。

<年代>

C5-3下部の粗粒シルトから得られた貝殻は約8,500～3,000cal yr BPの年代を示し、上下で年代が逆転している試料もある。同層準のバルク堆積物の年代は貝殻とは大きく異なる約20,000～16,700cal yr BPの値が得られている。深度56cmよりも上位の中粒砂中の貝殻は2,000cal yr BPよりも新しい年代を示す。

### (3) C11

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C11は崖地形の上の水深28～29mの地点で採取した。高分解能音波探査記録では、崖を構成するA0-1層が陸側に向かって急激に層厚を減じ、薄くなっている場所にあたる。

<層相>

C11-2では61cmの試料が得られた。61～15cmは細礫を含む細粒砂-中粒砂からなる。全体的に貝殻を含み、33～42cmの部分には特に貝殻が密集する。15～0cmは極細粒砂からなる。下位の細粒砂との境界は不明瞭である。貝殻片をわずかに含む以外には礫などはほとんど含まれない。

ほぼ同一地点のC11-1では24cmとさらに短い試料しか得られていない。C11-2の表層部に見られた極細粒砂はなく、全体が貝殻を含む細粒砂からなる。

<貝>

C11-2の深度40cmから得られた貝は水深5～30mの細砂底の生息環境を示す。

<年代>

C11-2の細粒砂-中粒砂から得られた貝殻からは約6,500～5,000cal yr BPの年代が得られている。

#### 4.4.4 むかわ沖沿岸部

むかわ沖の水深15m以浅のC8, C9, C10でコアを採取した。いずれも採取長は1m以下と短い。

##### (1) C8

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C8は水深12mで、陸から2km程度沖に位置する。この地点を通る音波探査測線はないが、近傍の記録で

はA1-1層が分布し、海底面下はほとんど見えない。

<層相>

C8では61cmの試料が得られた。全体に砂礫からなり、貝殻をわずかに含む。このうち61～49cmと40～27cmは基質が多く礫質中粒砂である。礫は最大径4cmの主に垂円礫からなる。

<年代>

C8の上部砂礫中の貝殻からは約700cal yr BPの年代が得られた。

##### (2) C10

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C10は水深13mでC8の数100m南方に位置する。C8と同様にこの地点を通る音波探査測線はないが、近傍の記録ではA1-1層が分布し、海底面下はほとんど見えない。

<層相>

C10-1は73cmの試料が得られた。63～9cmは細礫-中礫からなる。礫の最大径は2cmで、数mm～1cm程度の径の円-垂円礫が多い。9～8cmは細粒砂-中粒砂、8～4cmは泥質細粒砂、4～0cmは砂質シルトと上方に漸移的に細粒化するユニットが表層部を覆っている。

ほぼ同一地点のC10-2では43cmの試料が得られた。43～18cmが砂質礫-礫質中粒砂、18～0cmが細粒砂-中粒砂である。上部にシルトのパッチが含まれるが、C10-1に見られた最上部の細粒層は認められない。

<年代>

C10-2の深度22cmから得られた貝殻は現世の年代を示す。

##### (3) C9

<位置及び採取点付近の音波探査記録>

C9-1とC9-2はほぼ同一地点で、水深14～15m、陸から約3.5km沖に位置する。C9-3はこれらの地点の数100m南方の水深14mの地点である。高分解能音波探査記録ではA1-1層分布域にあたり、海底面下はほとんど見えない。

<層相>

C9-2は36cmの試料が得られた。36～18cmは細粒砂からなり、散点的に貝殻を含む。18～7cmは、上下を明瞭な境界で接し、黒褐色のややしまったシルト-砂質シルトからなる。このシルト中には貝殻は全く産出しない。7～0cmは礫質中粒砂であり、特に最表層部に礫と貝殻が密集する。

C9-2とほぼ同一地点で採取したC9-1は81cmの試料が得られ、C9-2とほぼ同様の層相を示す。シルトの下位の砂はC9-2よりも長く得られ、中粒砂-細粒砂-極細粒砂へと上方細粒化を示す。この下部の砂層中にはその上部に1個の貝殻が見られた以外には貝殻は含まれない。

一方、これらの地点より数 100m 南方で採取した C9-3 では 79cm の試料が得られた。基本的には C9-1, C9-2 と同様の層相変化を示す。79 ~ 50cm は細礫の点在する中粒砂-細粒砂からなり、上部に 1 個の貝殻が認められた以外には貝殻は含まれない。50 ~ 2cm はシルトからなり、下位の砂とは明瞭な境界で接する。C9-2 のシルト層と同様にややしまっており、生痕が発達する。最表層の 2 ~ 0cm は礫である。礫は最大径 2.5cm の円礫からなり、基質はほとんどない。

<貝>

C9-2 の表層部から得られた貝は 5 ~ 30m の細砂底の生息環境を示す。

<珪藻>

C9-3-D2(6 ~ 8cm) 及び C9-3-D3(44 ~ 46cm) のシルトには比較的多くの珪藻が含まれ、保存状態は普通である。2 つの層準の珪藻群集は類似しており、淡水生種を主とし、低率に淡水-汽水生種及び汽水生種、極低率に海水-汽水生種及び海水生種を伴う。陸域の種群(淡水生種及び淡水-汽水生種)と海域の種群(海水生種、海水-汽水生種及び汽水生種)の比率は、D2 では、74% と 26%、D3 では 79% と 21% である。淡水生種の生態学的特徴や汽水生種の特徴種の生息環境を考慮すると、これらの試料の堆積時の環境は C7-D1 と類似し、河川水の影響を受けた沿岸部の後背湿地から潮上帯または潮間帯付近の環境と推定される(第 19 図)。

<年代>

C9-2 の下部の細粒砂及び上部の礫質中粒砂から得られた貝殻はともに 900cal yr BP よりも新しい年代を示す。一方、それらの間のシルト層のバルク堆積物からは約 40,000cal yr BP の年代値が得られている。C9-3 でも下部の細粒砂中の貝殻は現世の年代を示すのに対し、その上位のシルト層中の植物片及びバルク堆積物からは約 40,000cal yr BP あるいはそれ以前の年代が得られている。

## 5. 議論

### 5.1 海底表層部の堆積物と堆積作用

表層堆積物は陸棚上の崖状の地形を境に、沖側には泥質砂が、陸側には泥分の少ない砂や礫が主に分布しており、波浪等の海洋環境の違いを反映しているものと考えられる。表層堆積物の粒度の境界は等深線に斜交する崖に沿っており、表層堆積物に影響を与える水理環境は水深に依存するばかりでなく、崖上に広がる平坦面の存在という地形にも影響を受けていると推定される。むかわ南方の淘汰のよい中粒砂-細粒砂が分布する水深 11 ~ 17m 付近の海域には、サイドスキャンソナー記録で、波長 100m 程度でほぼ東西方向に延びるベッドフォームと考えられる縞状のパターンが発達しているのが観察される。ここは大嶋ほか(1979)

が「砂波帯」として報告した海域に対応する。一方、崖よりも沿岸寄りの海域の中でも調査海域南東部の崖上周辺、東部沿岸部及び緩やかな凹地内には礫質堆積物が分布する。このうち南東部の礫質堆積物分布域は、高分解能音波探査記録で A1-1 層が海底付近に露出しており、サイドスキャンソナー記録で不規則なパッチ状のパターンが認められる場所にあたる。ブーマーやエアガンによる音波探査の解析結果(辻野・井上, 2012; 佐藤, 2014)から、この付近に露出する A1-1 層は最終氷期以前の古い堆積層に対応していると考えられる。東部沿岸部には本調査の測線はないが、海上保安庁水路部(1982)で岩礁としている場所の周縁部にあたる。これらの礫質堆積物は古い堆積層の上を薄く覆っているものと考えられる。水深 5 ~ 6m 以浅で海底面はやや急傾斜となっており、ここから傾斜が緩くなる水深 10m 付近までは地形的に外浜にあたり(Walker and Plint, 1992)、ここに分布する極細粒砂は現在の外浜堆積物と考えられる。

水深 12m の C10 では砂-砂礫を覆って表層部数 cm に極細粒砂-シルトの細粒層が局所的に分布する。本海域に隣接する沙流川沖の 2003 年の洪水後の調査から明らかになったように(片山ほか, 2007)、洪水時などには水深 20m 以浅の浅海域にも泥が堆積するが、その多くは波浪等により比較的短期間のうちに流失し、数年以上にわたって保存されるのは地形的な凹地内などに限られる。C10 の地点は平坦な地形の場所であり、表層の極細粒砂-シルトは比較的最近堆積したもので長期的に保存されるものではない可能性がある。

### 5.2 柱状試料の年代

測定された放射性炭素年代値は概ね整合的であるが、年代の逆転や年代相互あるいは珪藻等の分析結果と矛盾するものもある。本節ではこれらの問題のある年代について検討する。

C1-1 の深度 127cm, C2-1 の 107cm, C3-2 の 24cm, C4-1 の 38cm の年代は下位の層準の年代よりも数 10 年 ~ 100 年程度古い年代を示すが、上下の年代値は誤差(1 $\sigma$ )の範囲で重なっていることから、これらの違いは誤差範囲と考えられる。

C1-1 の下部の礫質堆積物から得られた貝殻の年代は上位のシルト層中の貝殻よりも 1,000 年程度新しい年代を示す。また、C1-2 のシルト層に挟在する薄い礫層中の貝殻の年代もほぼ同じ年代を示す。このコアではそれよりも上位の年代は測定していないが下位のシルトの年代よりも 1,000 年程度新しい年代となっている。C1-1 のシルト層中の貝殻の相互の年代は誤差の範囲で整合的であり、また同水深で近接する地点から得られたコア C2-1 の同じ層相から得られた貝殻の年代とも一致していることからこれらの年代値の信頼性は高く、礫層中の貝殻の年代に何らかの問題があるものと

考えられる。

C4-1 及び C5-3 のバルク堆積物の年代は同層準の貝殻から得られた年代と大きく異なる年代値が得られている。これはバルク堆積物に古い有機物が混入したためと考えられる。C4-1 の粗粒シルトの最上部からは中下部とは全く異なる新しい年代値が得られたが、測定を行った貝殻片が巣穴を埋めた上位の砂から混入した可能性が高い。C5-3 では貝殻から得られた年代相互間にもばらつきが見られる。C5-3 はコア採取長が 1m 以下と短く、下部の粗粒シルト部の周縁部に上部の砂が混入しているなど採取時の保存状況はあまりよくない。表層付近の貝殻が下部に混入したことも考えられる。年代が逆転しているのは 1 試料であるが、それだけが混入したものかどうかの判断は難しい。

C6 の中部のシルト層から得られた年代は 42,500 年前よりも古く、その上位の軽石密集層の軽石は 4.7 ~ 5.1 万年前あるいはそれ以前に噴出したクッタラ第 3 テフラから主に構成される。これらには年代的に矛盾はないが、軽石密集層は 2 次堆積物の可能性が高いこと、シルト層の下位にもシルトのパッチを含んでおりこのシルト層もブロックである可能性があることから、堆積時期は特定できない。

C7 の中部のシルト層のバルク堆積物による年代約 11,500cal yr BP は、同層準の珪藻群集が後背湿地 ~ 潮上帯の環境を示すことと矛盾しない。一方、それより下位の砂層中の貝殻からは約 6,000 ~ 5,400cal yr BP の年代が得られており、上位のシルト層の年代とは逆転している。この年代にはほぼ現在と同程度の水深であったと考えられ、上位のシルト層の珪藻群集が示す堆積環境とも矛盾する。シルト層が古い堆積物のブロックであるか、砂層中の貝殻が上部から混入したものであるかいずれかの可能性が考えられる。シルト層がブロックであることを示すような証拠は認められないこと、年代測定を行った貝殻はいずれも小さな破片でこれ以外には堆積物中に貝殻は含まれていないことから、貝殻が上部から混入した可能性がより高いと推定した。

C9-2 及び C9-3 では中部のシルト層が約 4 万年前あるいはそれ以前の年代を示すのに対し、その下位の砂層中の貝殻からは数 100 年前 ~ 現世の非常に新しい年代が得られている。これらのコアでは明らかに表層部の砂や貝殻がインナーチューブ内壁に沿って下方に達しているのが観察される。シルト部ではその層準の堆積物と混合していないため容易に識別できるが、下位の砂質部まで達したものはバイブコア採取時の振動によって砂と混ざり識別が困難となる。下位の砂に含まれる貝はこのように上部から混入した可能性が高く、C9-2 及び C9-3 のシルト及びそれより下位の砂は約 4 万年前あるいはそれ以前の堆積物と考えられる。

以上の検討結果に基づき、各コアの堆積曲線を作成し第 23 図に示した。年代値の信頼性の低い C5-3 は、

年代値が逆転している試料を除いて破線で示した。

### 5.3 海水準変動に伴う堆積作用の時代的変遷

本海域周辺における最終氷期以降の地域的な海水準については、断片的なデータは報告されているものの連続的な海水準変動曲線は作成されていない。そこで、やや離れた地域であるが、同じ東北日本太平洋側の仙台湾周辺地域で作成された海水準変動曲線（松本, 1981）を、年代値を本報告の  $^{14}\text{C}$  年代と同様の方法で暦年代に変換して用い、堆積物の年代と海水準変動との関係を検討する（第 24 図）。

崖の沖合の水深約 40m に位置する C1 及び C2 では、約 10,400 ~ 9,800cal yr BP に海岸付近 ~ 水深 10m 以浅において細粒堆積物が堆積した。場所により礫層を挟み、主に生痕の発達した細粒シルト及び細粒シルトと粗粒シルトの互層からなり干潟環境が推定される（Reineck and Singh, 1980）。この間の平均堆積速度は C1, C2 とも 200 cm/ky 以上と速い。ラビンメント面（Nummedal and Swift, 1987）と考えられる侵食面を挟んで表層部数 10cm は砂質堆積物に覆われる。表層の砂層の最下部付近には貝殻が密集し、そこから得られた年代は C1-1 で約 1,500cal yr BP, C2-1 で約 3,000cal yr BP の値を示し、下位のシルト層上部との間に時間間隙がある。採取地点の水深から約 10,000 ~ 9,000 年前頃と考えられるラビンメント面の形成開始以降、相当期間は無堆積あるいは堆積速度が非常に小さかったと考えられる。

崖下の C3 では、C3-2 のピート層及びほぼ同層準と考えられる C3-1 の潮間帯の生息環境を示す貝が得られた層準は約 9,700 ~ 9,600cal yr BP の年代を示し、ほぼ海岸線付近で堆積したものである。この上位の貝殻を含む砂礫層は、ピート層及びその上位の薄い極細粒砂層との境界面及び層相変化が明瞭であり、約 8,600cal yr BP とピート層とは 1,000 年程度の時間間隙を示す。この境界面がラビンメント面、上位の砂礫層がラビンメント堆積物と考えられる。ラビンメント堆積物の上位には約 8,300 ~ 8,000cal yr BP に 15 ~ 20m 程度の水深で堆積したと考えられる極細粒砂が堆積している。極細粒砂層の平均堆積速度は 250cm/ky 程度と見積られる。表層約 20cm は細粒砂 - 中粒砂で覆われるが、その最下部付近から得られた貝殻の年代は約 4,000cal yr BP であり、ここでも下位の極細粒砂から得られた年代との間に時間間隙が認められ、約 8,000 ~ 4,000 年前の期間は堆積速度が非常に小さいかほぼ無堆積であったと考えられる。

崖下の C6 では、下部の砂礫層からは年代は得られていないが、コア深度から高分解能音波探査記録の A1-2 層の末端部に対応している可能性が高い。中部に軽石密集層を含む一連の灰白色を呈する部分があり、何らかのイベントによって堆積したものと考えられる。見かけ上は一連のイベントと考えられる部分の中

部の粗粒砂の部分是最も粗粒であるが、この粗粒砂はほとんど軽石粒子からなっており、輸送営力としては、碎屑粒子と軽石粒子が混合した中粒砂-細粒砂、軽石粒子からなる粗粒砂、シルトへと上方に低下していくと考えられる。また、その下位の茶褐色のシルト層及びその下位の同様の色調のシルトのパッチもイベントに取り込まれたブロックの可能性はあるが、上位のイベントと一連のものかどうかははっきりしない。これらのイベント堆積物の堆積年代は4～5万年前以降としか言えない。また、高分解能音波探査記録では特にイベントと考えられるような層相は認められない。イベント層の上位は約7,400cal yr BP以降の年代を示す極細粒砂-細粒砂に覆われる。

同じく崖下のC7では、下部約2mは礫及び砂からなるが、この部分からは信頼できる年代は得られていない。高分解能音波探査記録でもこの地点付近の堆積層の状況は不明瞭である。中部に約11,500cal yr BPの年代を示す後背湿地～潮上帯で堆積した細粒シルト層がある。シルト層の上位は約4,500cal yr BPの年代を示す貝殻を含む粗粒シルト-極細粒砂が覆う。それらの境界及び層相の違いは明瞭であり、この間がラビンメント面と考えられる。約4,500cal yr BP以降の堆積物の層厚は、流れているため厳密ではないが約70cmと、この海域の他の場所に比べてやや厚い。

C3に隣接する崖上のC4から得られた試料の大部分を占める極細粒砂-粗粒シルトは、C3の極細粒砂とほぼ同時期の約8,500～8,000cal yr BPに堆積したと考えられる。ハンモッキー斜交層理などの特徴的な堆積構造は認定できないが、粒度及びラミナが発達する部分と生物擾乱が発達する部分が混在している層相からは下部外浜～漸移帯の堆積環境が推定され(Reineck and Singh, 1980; Walker and Plint, 1992)、年代から見積もられる5～15m程度の堆積水深と整合的である。平均堆積速度は330cm/ky程度と速い。これを覆う表層部の砂質堆積物は1,000年前以降の年代を示し、層厚は10数cmと薄い。同じく崖上のC5では、年代は不確実であるが表層の砂質堆積物の下に、C4と同様の粗粒シルトが分布する。崖上のC11からは約6,500cal yr BP以降の年代を示す数10cmの砂質堆積物が得られたのみである。

むかわ沖沿岸部のC9では約4万年前あるいはそれ以前に後背湿地～潮上帯または潮間帯で堆積した堆積物が数～数10cmの現世の砂礫に覆われて分布する。高分解能音波探査記録でA1-1層分布域にあたり、この付近のA1-1層は最終氷期最盛期以前の堆積物に対応すると考えられる。一方、C9よりも少し沿岸寄りのC8及びC10では、1,000年前以降の年代を示す砂礫からなる数10cmの試料が得られたのみである。この付近も高分解能音波探査記録でA1-1層分布域にあたり海底下の状況はほとんど見えないが、ブーマーによる音波探査では最終氷期以降の堆積層とされる第1層

が海岸付近に分布しており(佐藤, 2014)、最終氷期以降の堆積物がむかわ沖のA0-3層分布域から南東方向に延びて厚く堆積している可能性もある。

#### 5.4 崖の形成過程

陸棚上にはほぼ直線的に延びる崖状の地形は、断層や褶曲等の地質構造を反映したものではなく、表層部の堆積層が厚く堆積することにより形成されていることが明らかとなった。高分解能音波探査記録では、A1-1層が崖の南東側の末端付近から陸側の海底付近に露出している。ブーマーやエアガンによる音波探査の解析結果(辻野・井上, 2012; 佐藤, 2014)から、この付近に露出するA1-1層は最終氷期以前の古い堆積層に対応していると考えられる。また、測線9b付近よりも北西では、音波を透過しにくいA1-2層が崖下からその陸寄りにかけての海底下に崖とほぼ平行に帯状に分布する。その沖側はA0-5層に側方変化し、陸側は一部はA0-2層の下位に、一部はA0-2層に側方変化しているように見える。ブーマーによる音波探査結果によれば、これらの層はいずれも最終氷期以降の堆積ユニットに含まれており(佐藤, 2014)、A1-2層は海進期のある時期に音波を透過しにくい粗粒堆積物が帯状に堆積したものと考えられる。C6の下部の砂礫層がA1-2層の末端部に相当すると考えられる。これらの存在が崖及び崖上の平坦面の形成に関与している可能性が高い。しかしながら、崖地形は古い堆積層の高まりやA1-2層の形態を直接反映したものではなく、これらを覆う表層部のA0-1層が帯状に厚く堆積することによって形成されたものである。

崖上のA0-1層分布域C4から得られた堆積物は表層10数cmの砂に覆われた、約8,500～8,000年前に下部外浜-漸移帯で堆積したと考えられる極細粒砂-粗粒シルトから主に構成される。またC5でも年代は不確実であるがC4と同様の層相を示す堆積物が得られている。C4、C5ともコアの採取長から見て高分解能音波探査記録上のA0-1層の基底までは達していないと考えられるが、これらの地点付近ではA0-1層の少なくとも上部はこのような比較的細粒な堆積物からなっており、粒度的にはサンドリッジのような流れによって厚く堆積したものとは考えにくい。一方、これらのコアはいずれもA0-1層が最も厚く堆積している場所よりもやや陸側から採取されたものである。また、北西部では崖上の地形がリッジ状の高まりとなっているが、この高まり上からは堆積物は採取されていない。A0-1層が最も厚く堆積している場所やリッジ状の高まりとなっている場所では、今回得られた堆積物とは粒度や層相が異なっている可能性も否定できない。また、崖上のA0-1層から信頼できる年代値が得られたのはC4のみであり、崖の延びの方向に深度が変化する堆積層が同時期に形成されたのか、場所によって堆積時期がずれているのかも明らかになっていない。崖の部

分でなぜ厚く堆積しているのか、なぜ等深線に斜交しているのかなど、さらに詳細な堆積過程については今後の検討課題である。

## 6. まとめ

北海道勇払沖陸棚上において、グラフ、バイプロコアラール及びグラビティコアラーを用いた堆積物試料採取と、高分解能音波探査及びサイドスキャンソナー調査を実施し、堆積物分布と堆積作用の検討を行った。

表層堆積物は崖状の地形を境に、その沖合には泥質砂が、沿岸寄りには含泥率の低い砂が主に分布する。むかわ南方には特に淘汰のよい砂が分布し、サイドスキャンソナーによりベッドフォームも認められた。崖より沿岸寄りの中でも南東部崖上付近、東部沿岸部及び緩い凹地内には礫質堆積物が分布する。

柱状試料では、主に約 11,000 年前以降の堆積物が得られ、各地点の堆積物は海水準変動に対応した層相変化を示す。水深約 20～40m の海域では、8,000 年前以降の年代を示す表層部の砂質堆積物の層厚は一般に数 10cm 以下と薄く、特に 8,000～4,000 年前頃の期間は堆積速度が非常に小さいかほぼ無堆積であったと考えられる場所もある。

陸棚上に発達する崖状の地形は、断層や褶曲等の地質構造を反映したものではなく、表層付近の堆積層が厚く堆積することにより形成されている。この堆積層分布域から採取した柱状試料から、少なくとも採取地点付近におけるこの堆積層の上部は約 8,500～8,000 年前に堆積した極細粒砂-粗粒シルトの比較的細粒な堆積物からなることが明らかになった。崖を構成する堆積層に場所による層相変化や堆積時期に違いがあるのかなどは明らかになっておらず、さらに詳細な崖の形成過程の解明は今後の課題である。

**謝辞：**本調査は苫小牧漁業協同組合及び鶴川漁業協同組合のご理解、ご協力のもとに遂行することができた。川崎地質株式会社の調査員及び作業船ひろかい乗組員、作業員諸氏には試料採取にあたり大変お世話になった。厚くお礼申し上げます。

## 文 献

Folk, R. L. and Ward, W. C. (1957) Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sediment. Petrol.*, **27**, 3-26.

池田国昭・羽坂俊一・村瀬 正 (1995) 北海道勇払平野の完新統分布と地形発達. 地質調査所月報, **46**, 283-300.

池原 研 (2010) 能登半島北方沖沿岸・陸棚域 20 万分の 1 表層堆積図及び説明書. 海陸シームレス地質情報集, 「能登半島北部沿岸域」, 数値地質図

S-1, 産業技術総合研究所地質調査総合センター. 池原 研・市原季彦・五十嵐厚夫・向山建二郎・半場康弘 (2009) 陸棚上砂質堆積物調査におけるバイプロコアラール使用のすすめ. 日本堆積学会 2009 年例会プログラム・講演要旨, 106.

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2010) 石狩低地東縁断層帯の評価 (一部改訂). 34p.

海上保安庁水路部 (1982) 5 万分の 1 沿岸の海の基本図「苫小牧東部」および同海底地形地質調査報告. 海上保安庁水路部, 39p.

片山 肇・池原 研・菅 和哉・嵯峨山 積・入野智久・辻野 匠・井上卓彦 (2007) 北海道日高沖陸棚上における 2003 年洪水後の表層堆積物分布. 地質調査研究報告, **58**, 189-199.

片山 肇・西田尚央・池原 研 (2013) 勇払沖沿岸域陸棚上の堆積物. 平成 24 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no.62, 17-27.

加藤 誠・勝井義雄・北川芳男・松井 愈 (1990) 日本の地質 1 北海道地方. 共立出版, 337p.

小松原 琢・小松原純子 (2011) 勇払平野周辺の活構造に関する研究の現状と問題. 平成 22 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no.56, 63-70.

Kuroda, H., Isoda, Y., Takeoka, H. and Honda, S. (2006) Coastal Current on the Eastern Shelf of Hidaka Bay. *Jour. Oceanog.*, **62**, 731-744.

町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス - 日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.

松本秀明 (1981) 仙台平野の沖積層と後氷期における海岸線の変化. 地理学評論, **52**, 72-85.

日本海洋データセンター (1986) 日本近海波浪統計図表. JODC SP no. 4, 140p.

西田尚央・池原 研 (2013) 福岡沖陸棚域の海底堆積物の層序と年代. 海陸シームレス地質情報集, 「福岡沿岸域」, 数値地質図 S-3, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

野田 篤・片山 肇 (2013) 日高舟状海盆表層堆積図. 海洋地質図, no.81(CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

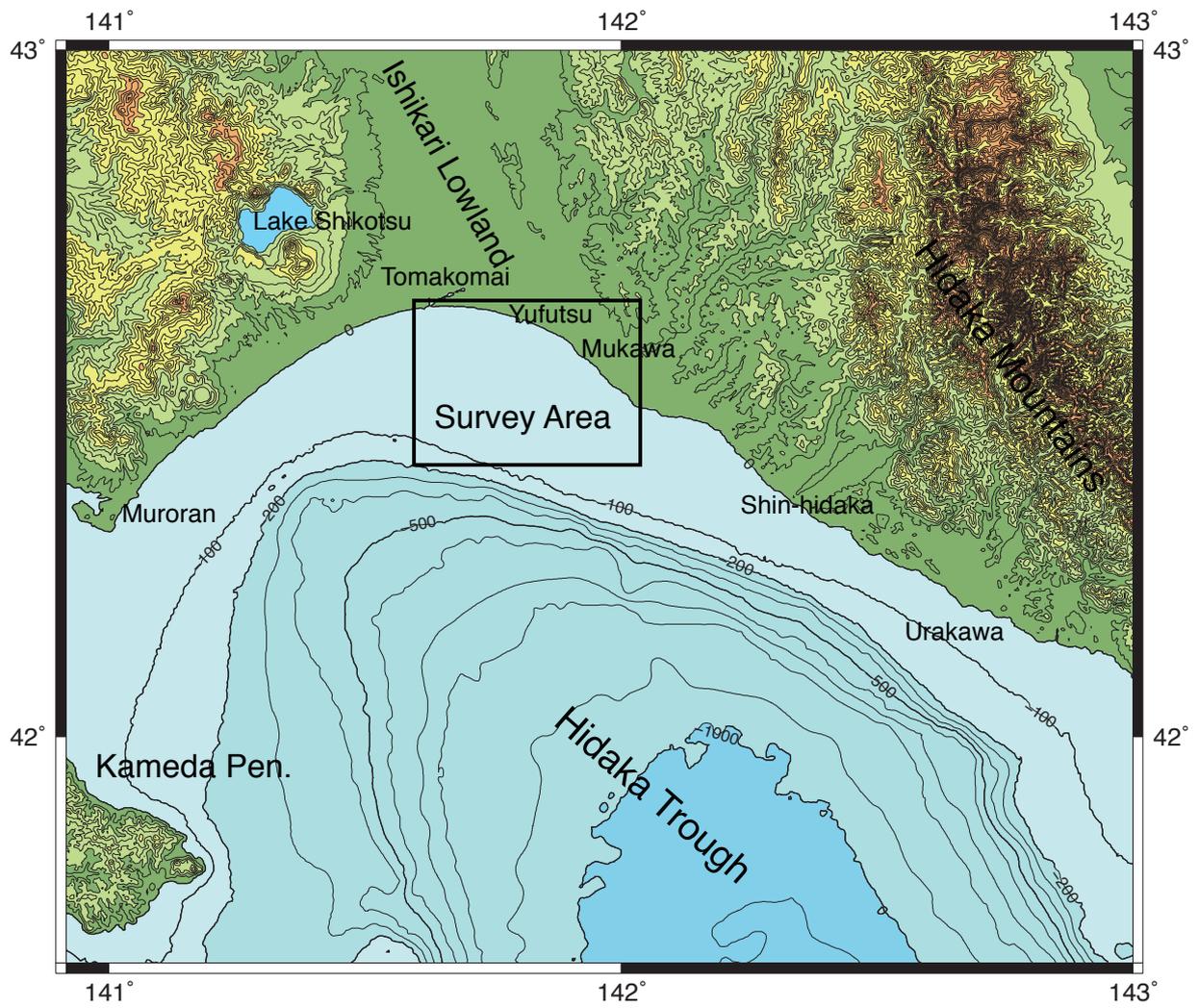
Nummedal, D. and Swift, D.J.P. (1987) Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: Some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. In: Nummedal, D., Pilkey, O.H. and Howard, J.D. (eds.), *Sea-level fluctuation and coastal evolution*, SEPM spec. pub., no.41, 241-260.

大嶋和雄・井内美郎・村上文敏・松本英二・横田節哉・池田国昭・谷津良太郎・渡辺真治・木村 亨・山屋政美 (1979) 噴火湾および周辺海域の堆積物. 昭和 53 年度国立機関公害防止等試験研究成果報

告書, 60-3 ~ 61-51.

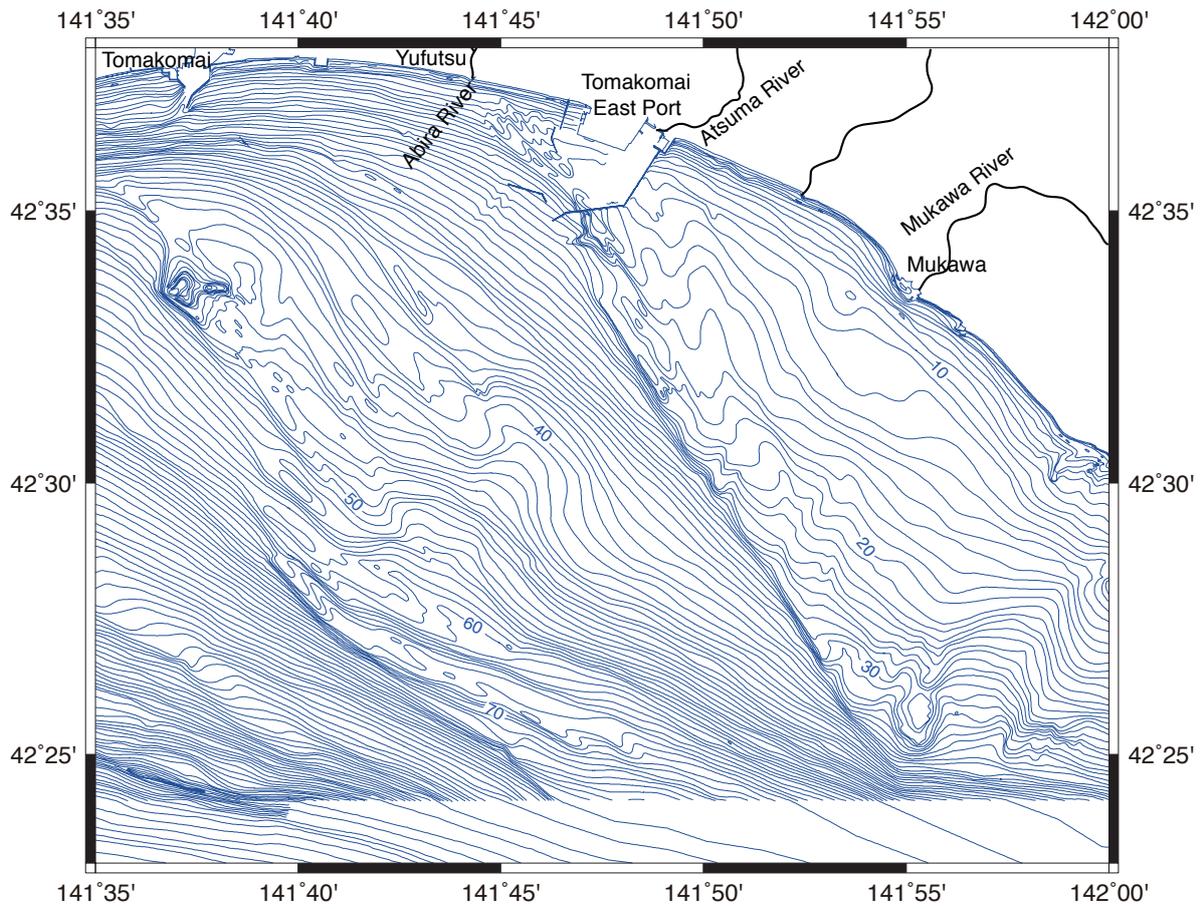
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2009) INTCAL09 and MARINE09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years Cal BP. *Radiocarbon*, **51**, 1111-1150.
- Reineck, H.-E. and Singh, I.B. (1980) *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, 549p.
- 佐藤智之 (2014) 勇払平野沿岸域 20 万分の 1 海底地質図. 海陸シームレス地質情報集, 「石狩低地帯南部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-4(DVD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 佐藤智之・内田康人・輿水健一・片山 肇・池原 研 (2013) 石狩低地東縁断層帯の海域への延長. 活断層研究, no.39, 17-28.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.
- 辻野 匠・井上卓彦 (2012) 日高舟状海盆海底地質図. 海洋地質図, no.77(CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 内田康人・輿水健一 (2013) 北海道南西部, 石狩低地東縁断層帯海域延長部における高分解能音波探査. 平成 24 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no.62, 9-16.
- Walker, R.G. and Plint, A.G. (1992) Wave-and storm-dominated shallow marine systems. In: Walker, R.G. and James, N.P. (eds), *Facies models: response to sealevel change*, Geol. Assoc. Canada, 219-238.
- Yoneda, M., Hirota, M., Uchida, M., Uzawa, K., Tanaka, A., Shibata, Y. and Morita, M. (2001) Marine radiocarbon reservoir effect in the western North Pacific observed in archaeological fauna. *Radiocarbon*, **43**, Nr 2A, 465-471.
- Yoneda, M., Uno, H., Shibata, Y., Suzuki, R., Kumamoto, Y., Yoshida, K., Sasaki, T., Suzuki, A. and Kawahata, H. (2007) Radiocarbon marine reservoir ages in the western Pacific estimated by pre-bomb molluscan shells. *Nucl. Instr. and Meth. B*, **259**, 432-437.

(受付 : 2013 年 9 月 10 日 ; 受理 2013 年 12 月 3 日)

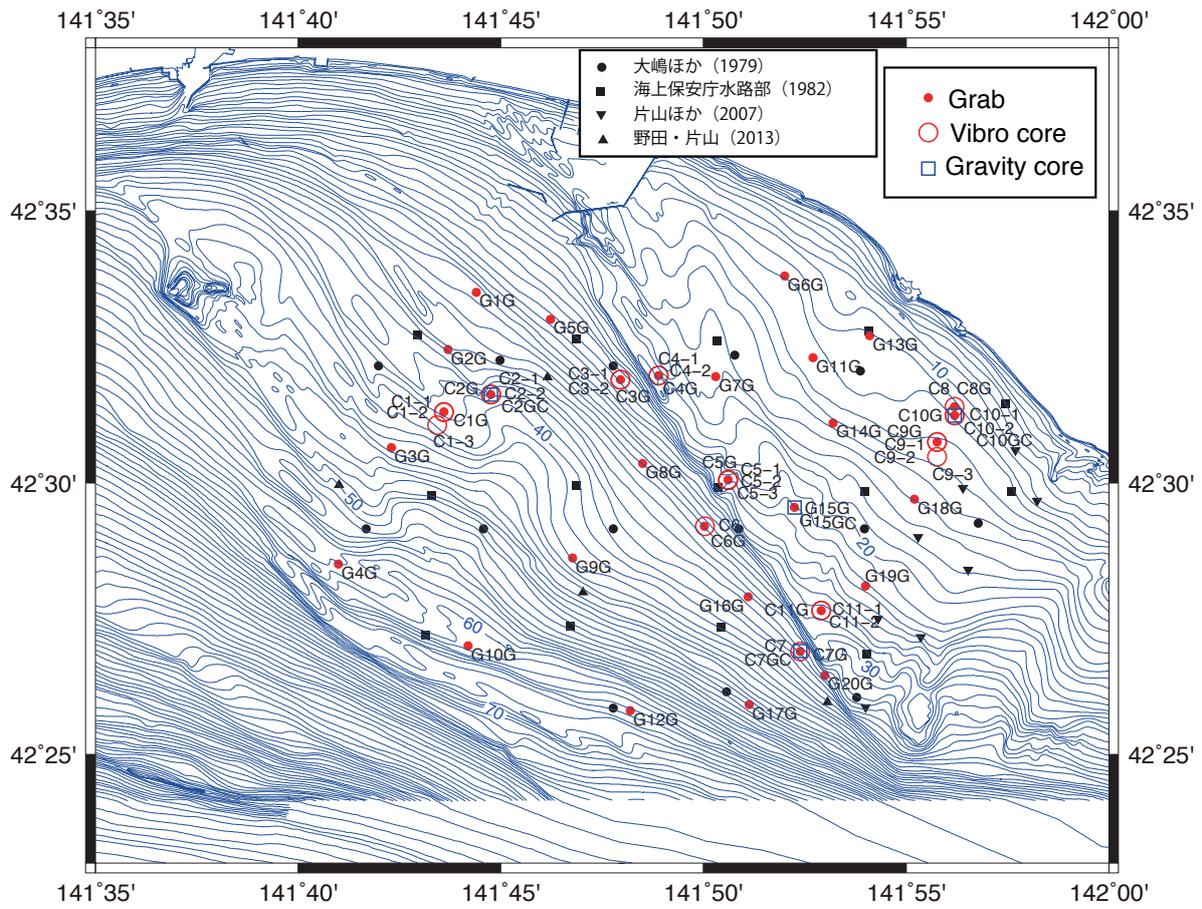


第1図 調査海域の位置及び周辺の地形

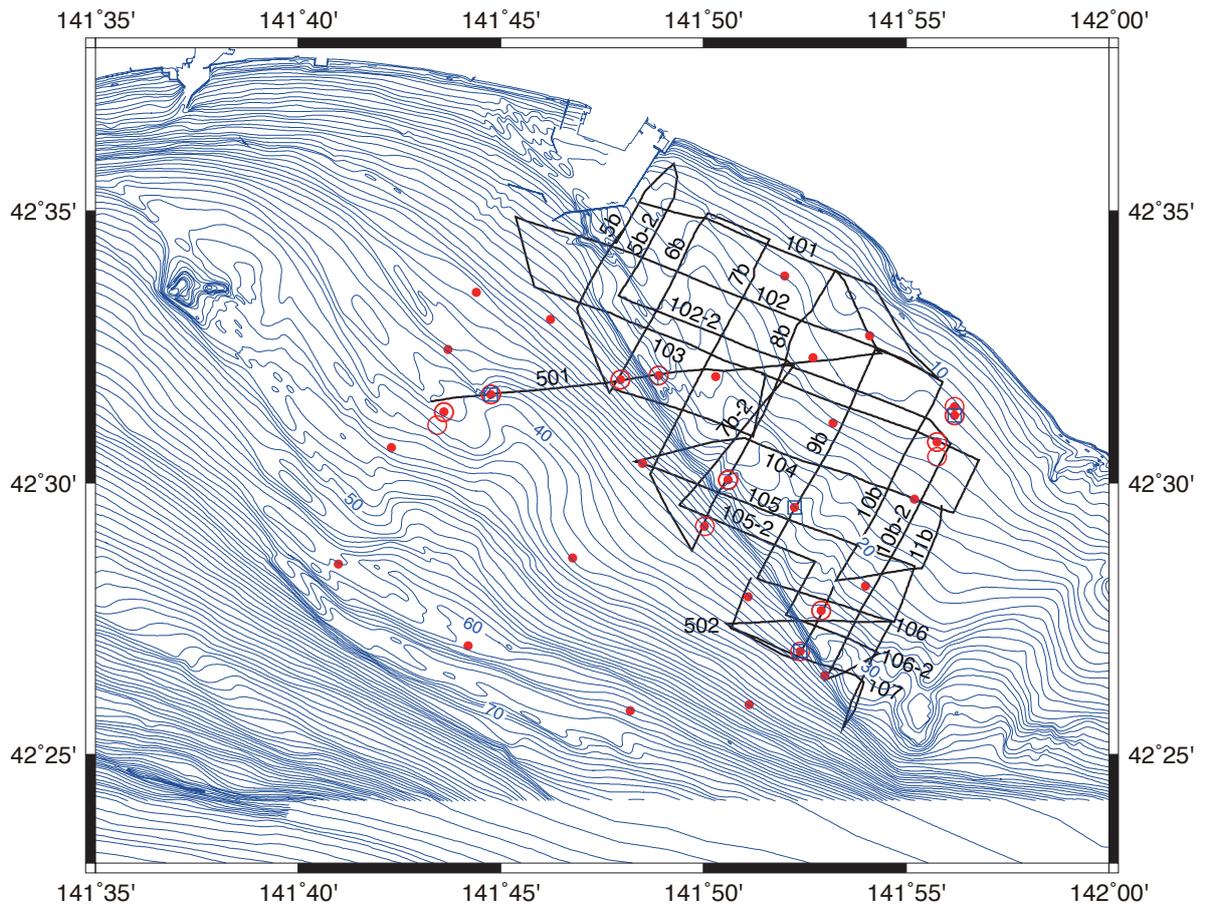
Fig. 1 Position of survey area and topography of surrounding area



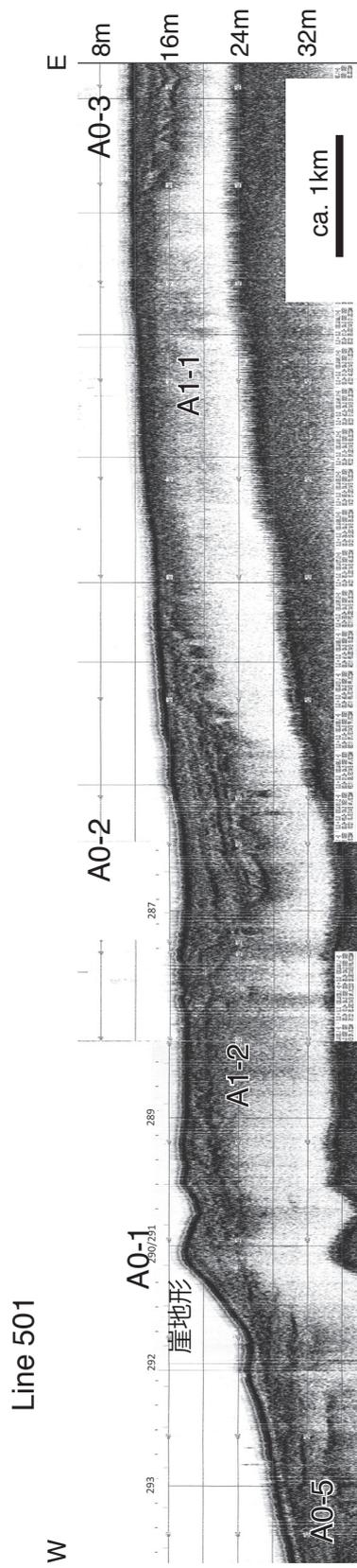
第2図 調査海域の海底地形  
等深線は海上保安庁水路部（1982）に基づく。  
Fig. 2 Contour map in the survey area  
Contour lines are based on Hydrographic Department, Maritime Safety Agency (1982)



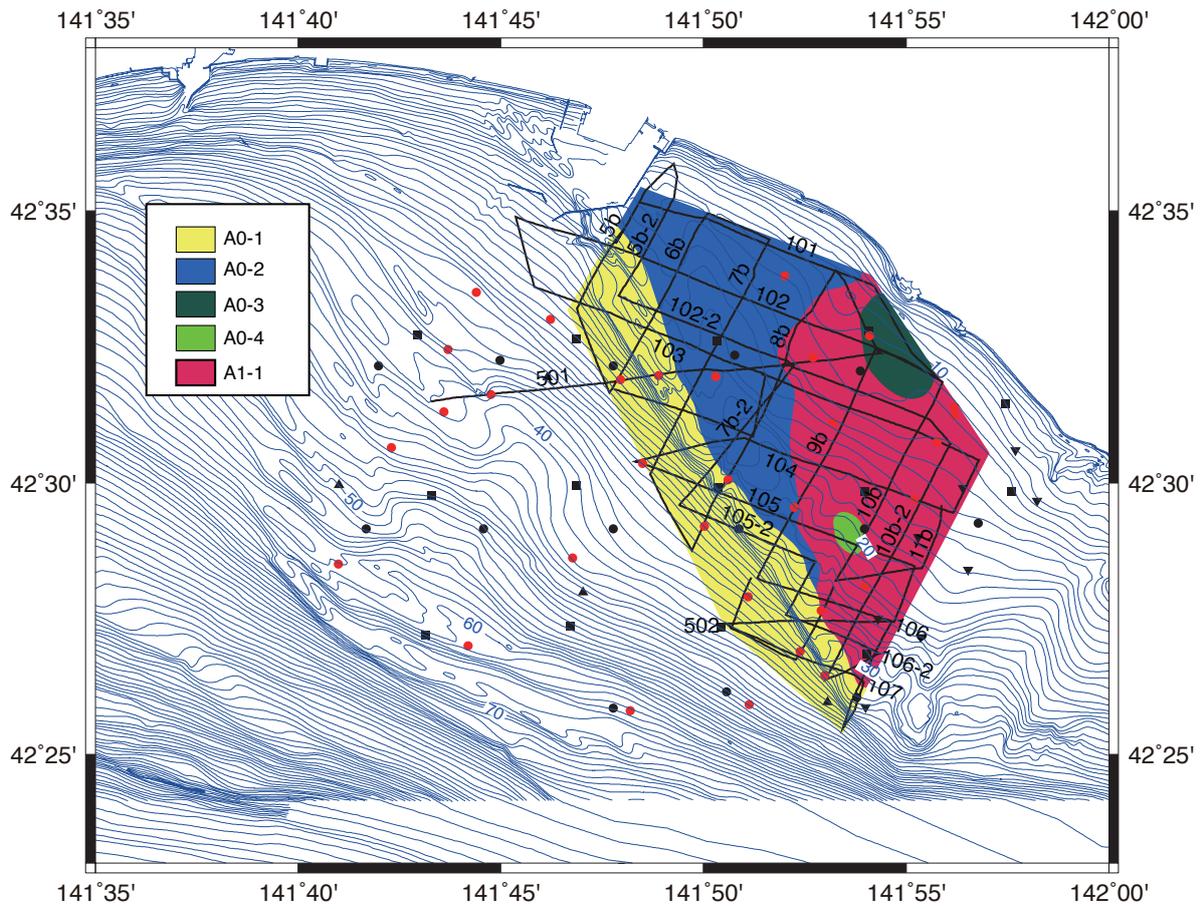
第3図 採泥点の位置  
Fig. 3 Sampling points



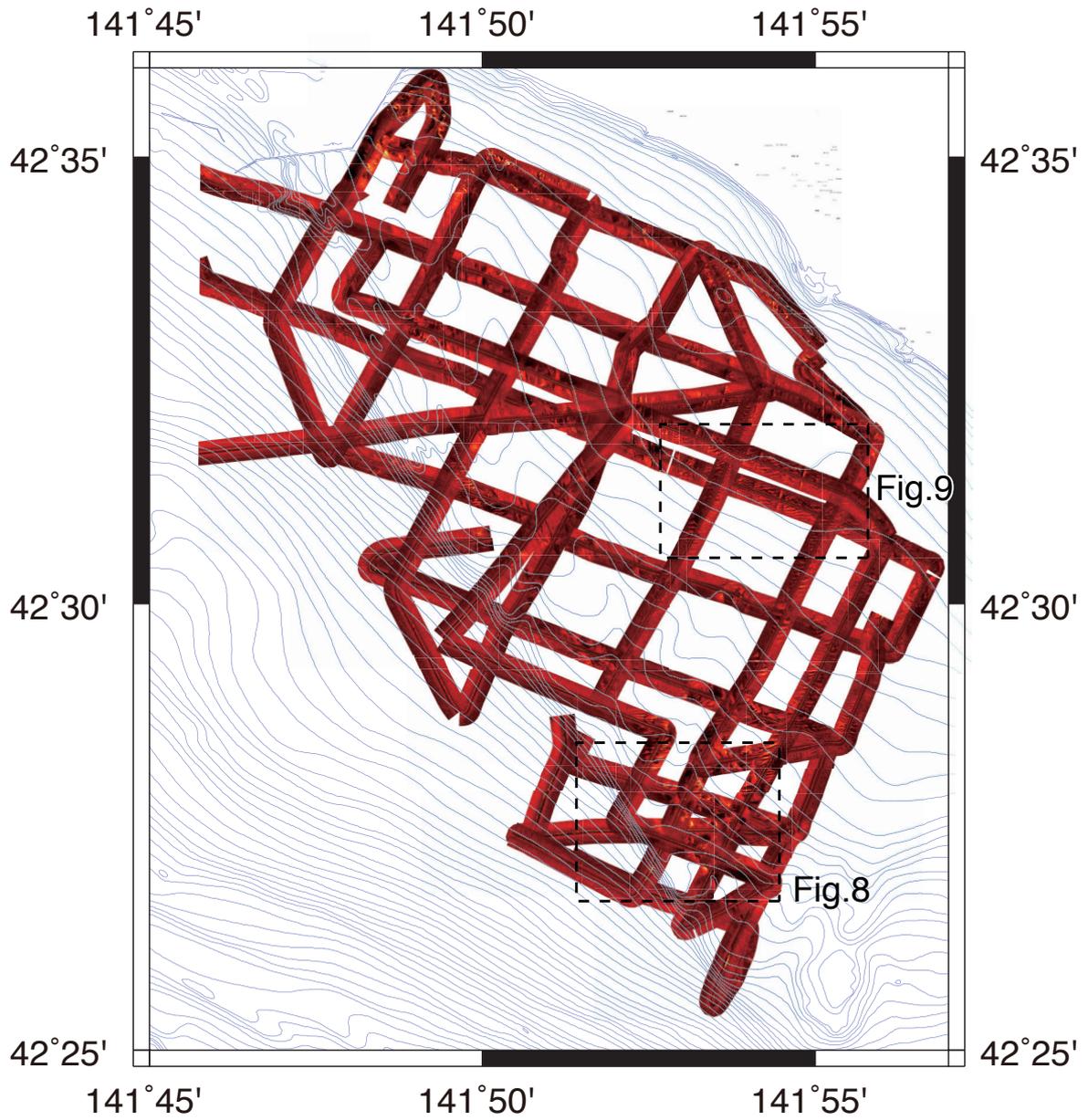
第4図 高分解能音波探査及びサイドスキャンソナー調査測線  
Fig. 4 Survey lines of high-resolution seismic and sidescan sonar surveys



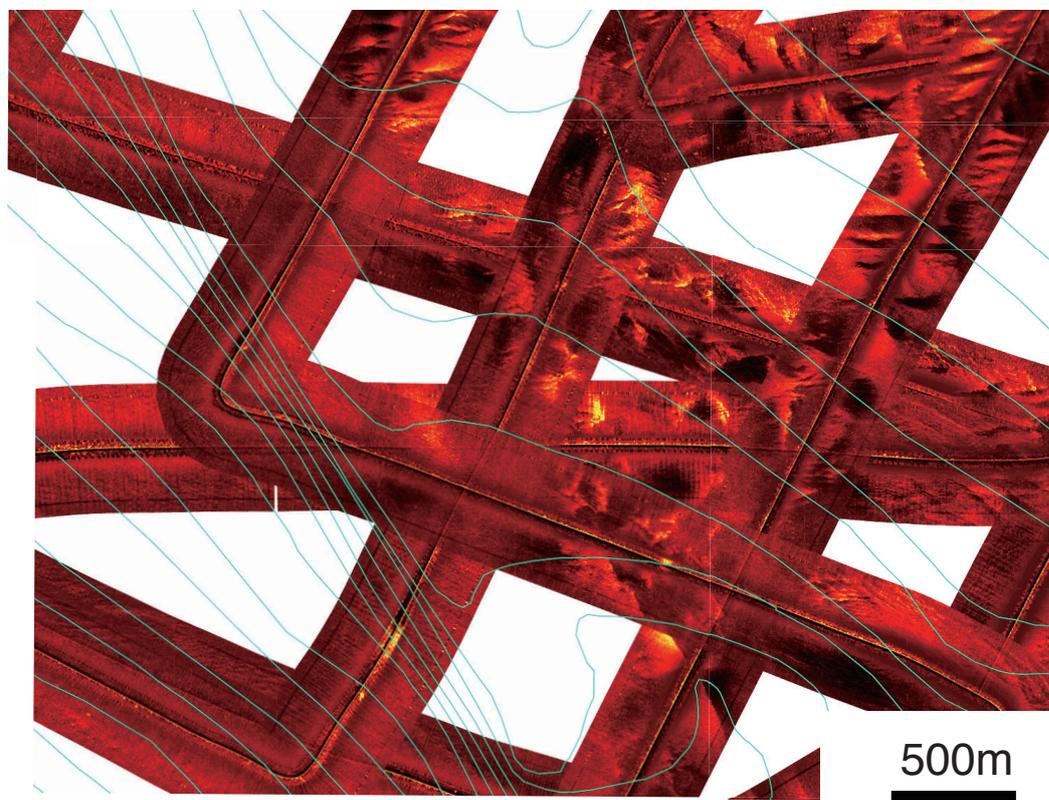
第5図 高分解能音波探記録例 (測線 501).  
Fig. 5 Example of high-resolution seismic profile (line No. 501)



第 6 図 高分解能音波探査記録上の各層の表層付近における分布  
Fig. 6 Spatial distribution of acoustic units on the high-resolution seismic profiles

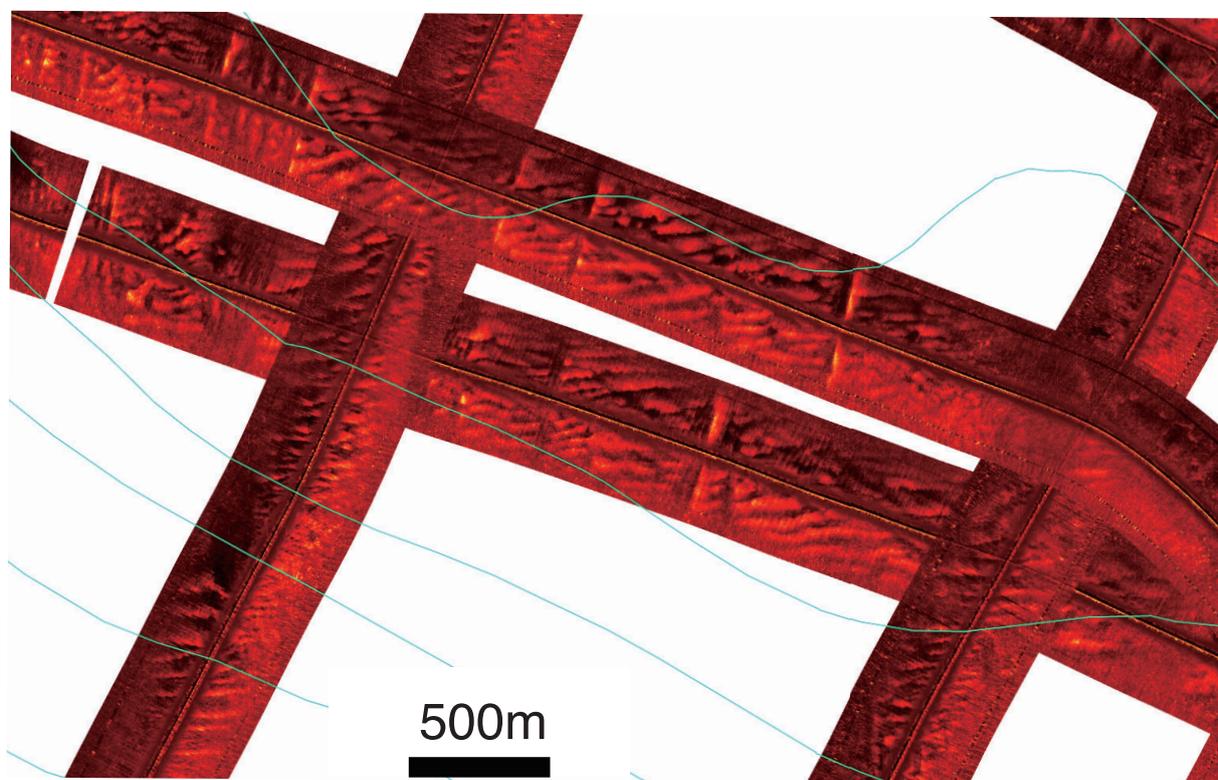


第7図 サイドスキャンソナー記録モザイク図  
Fig. 7 Mosaic of sidescan sonar image



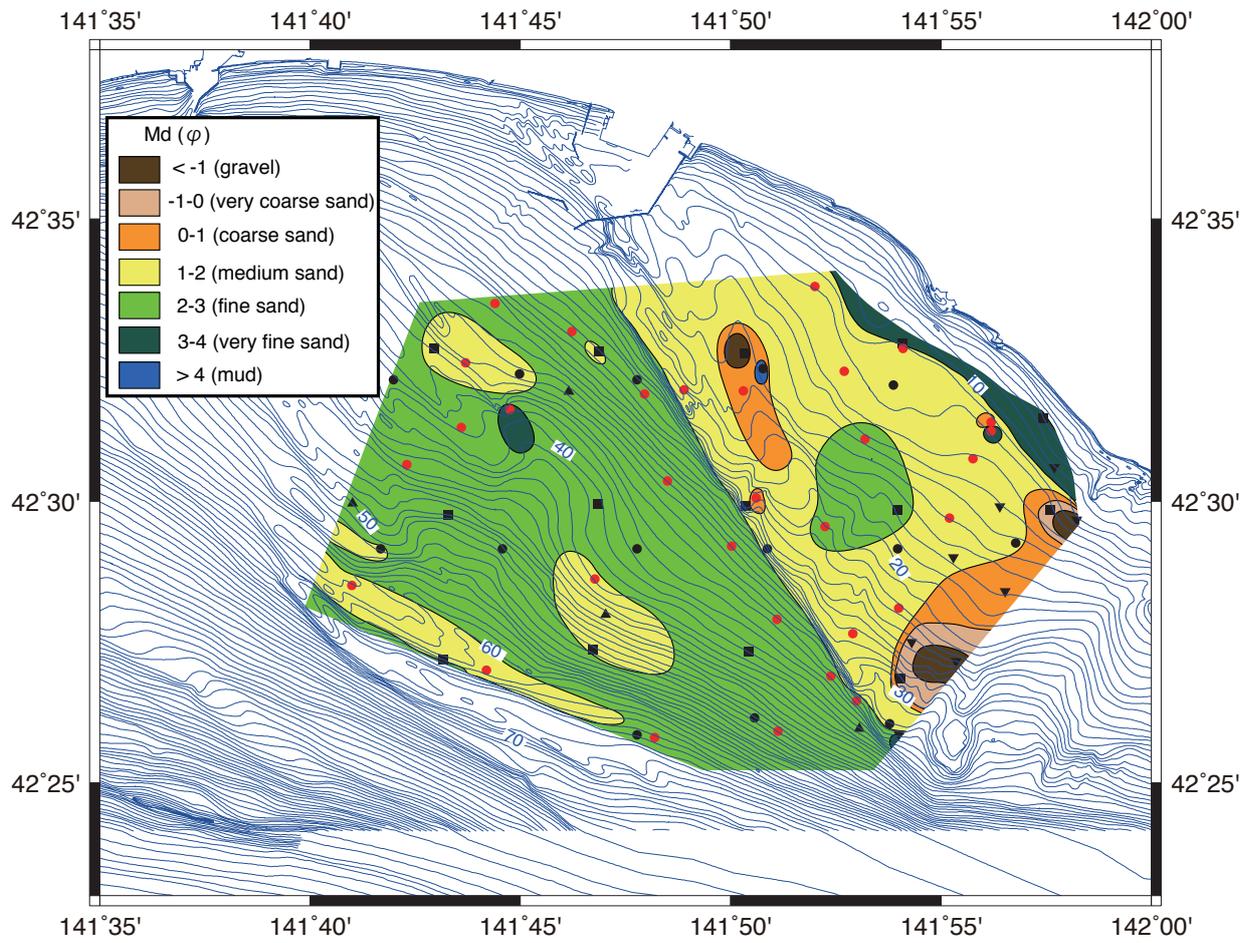
第8図 サイドスキャンソナー記録モザイク図南東海域拡大図  
図の範囲は第7図に示した。

Fig. 8 Enlarged mosaic of sidescan sonar image in the southeastern area  
Area of this figure is shown in Fig. 7



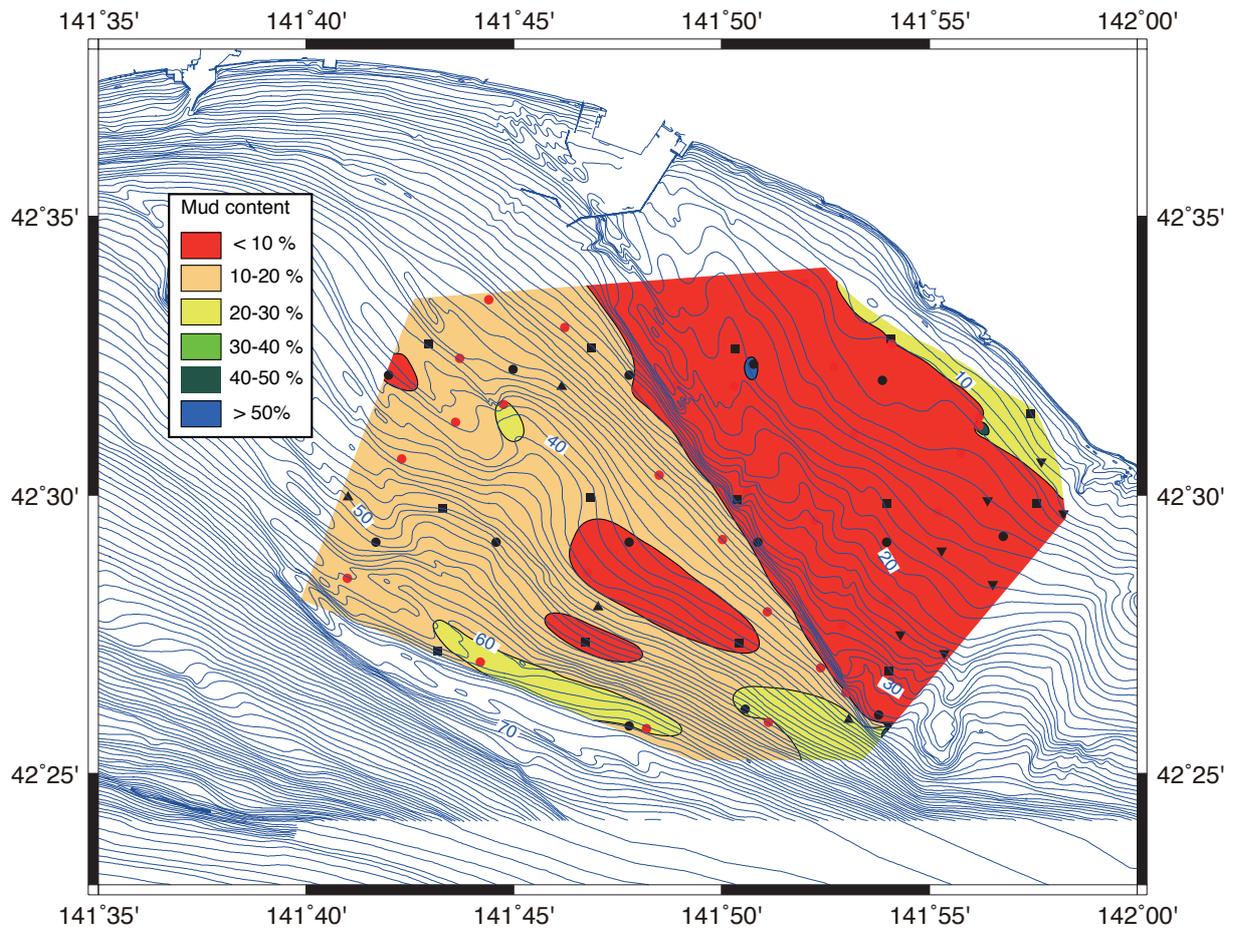
第9図 サイドスキャンソナー記録モザイク図むかわ沖海域拡大図  
図の範囲は第7図に示した。

Fig. 9 Enlarged mosaic of sidescan sonar image in the area off Mukawa  
Area of this figure is shown in Fig. 7



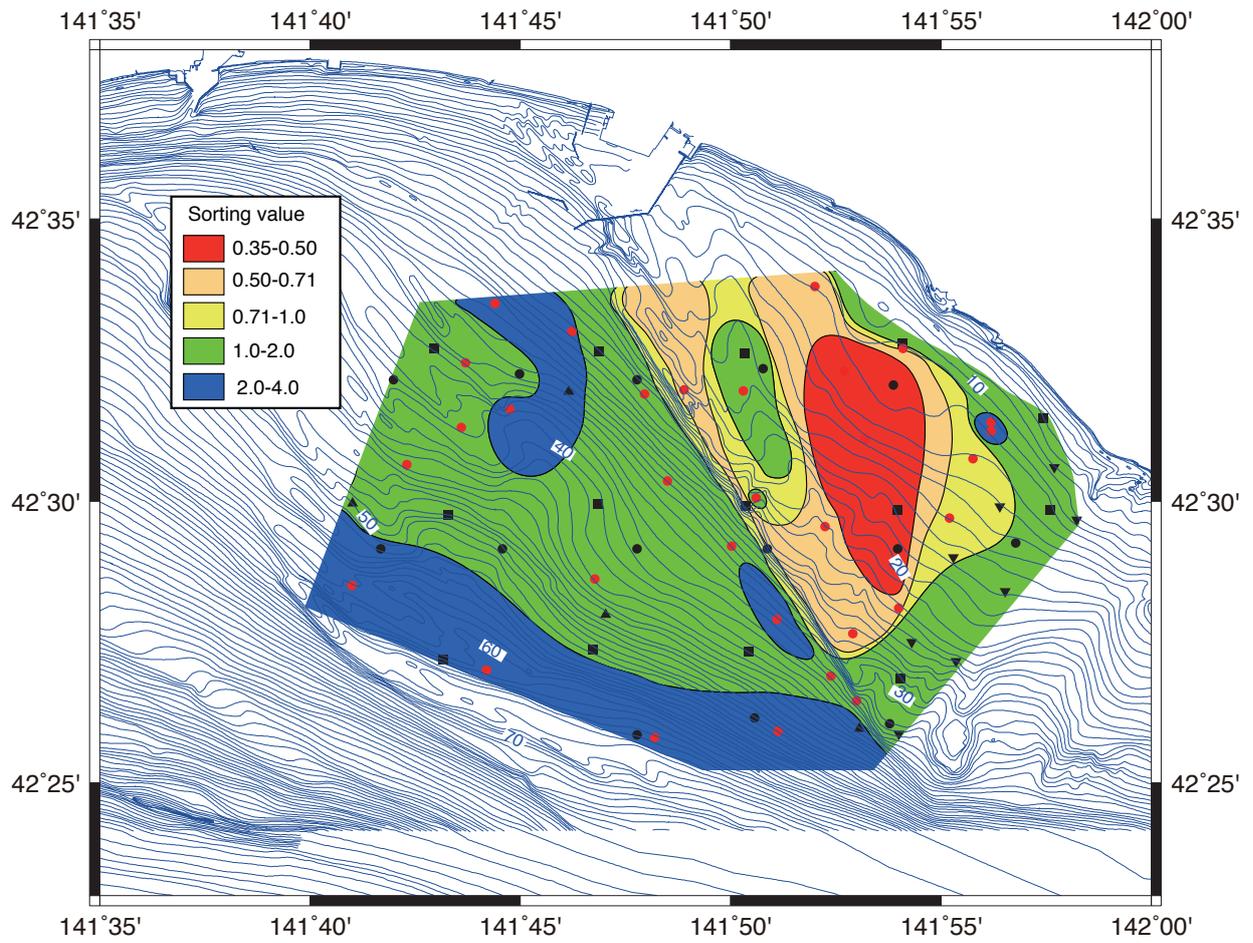
第 10 図 中央粒径値で区分した表層堆積物の分布

Fig. 10 Spatial distribution of surface sediments devided by median diameter

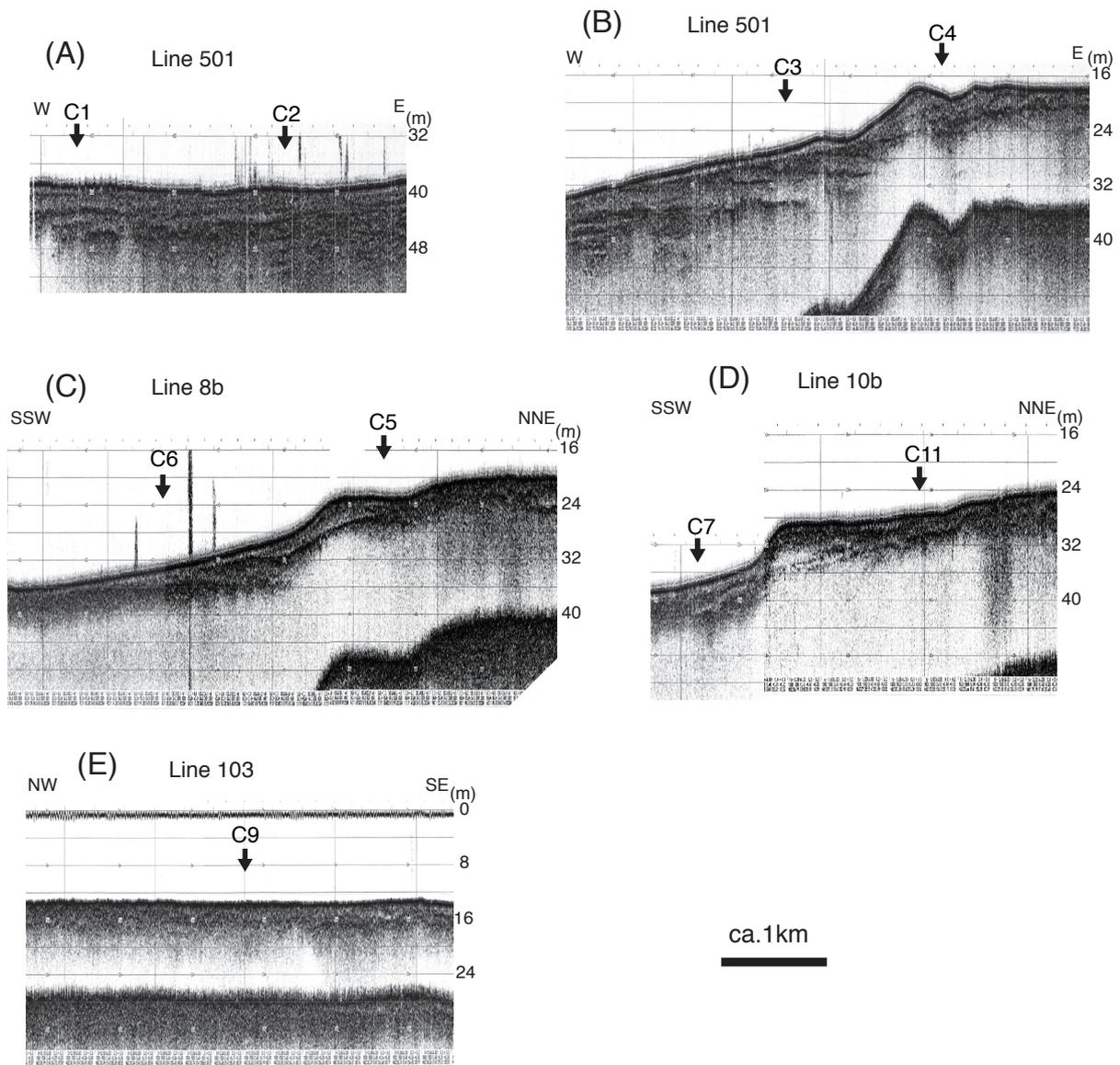


第 11 図 表層堆積物の含泥率分布

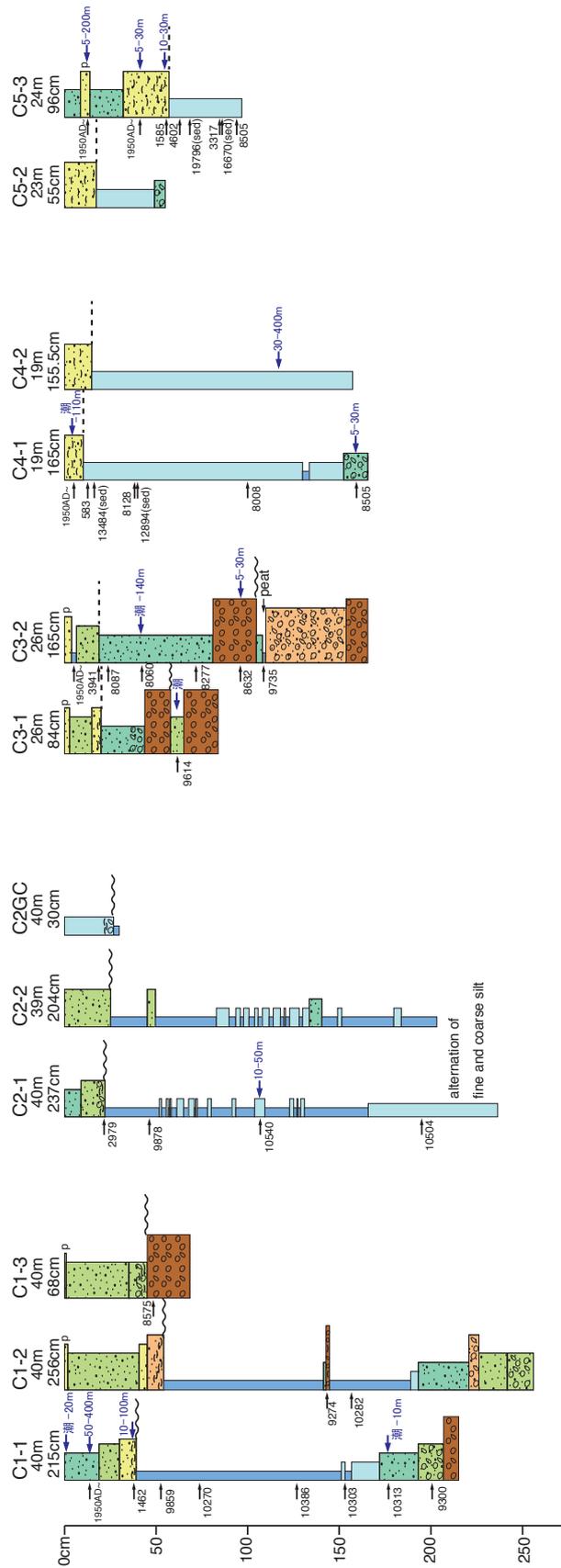
Fig. 11 Spatial distribution of mud content of surface sediments



第 12 図 表層堆積物の淘汰度分布  
Fig. 12 Spatial distribution of sorting value of surface sediments

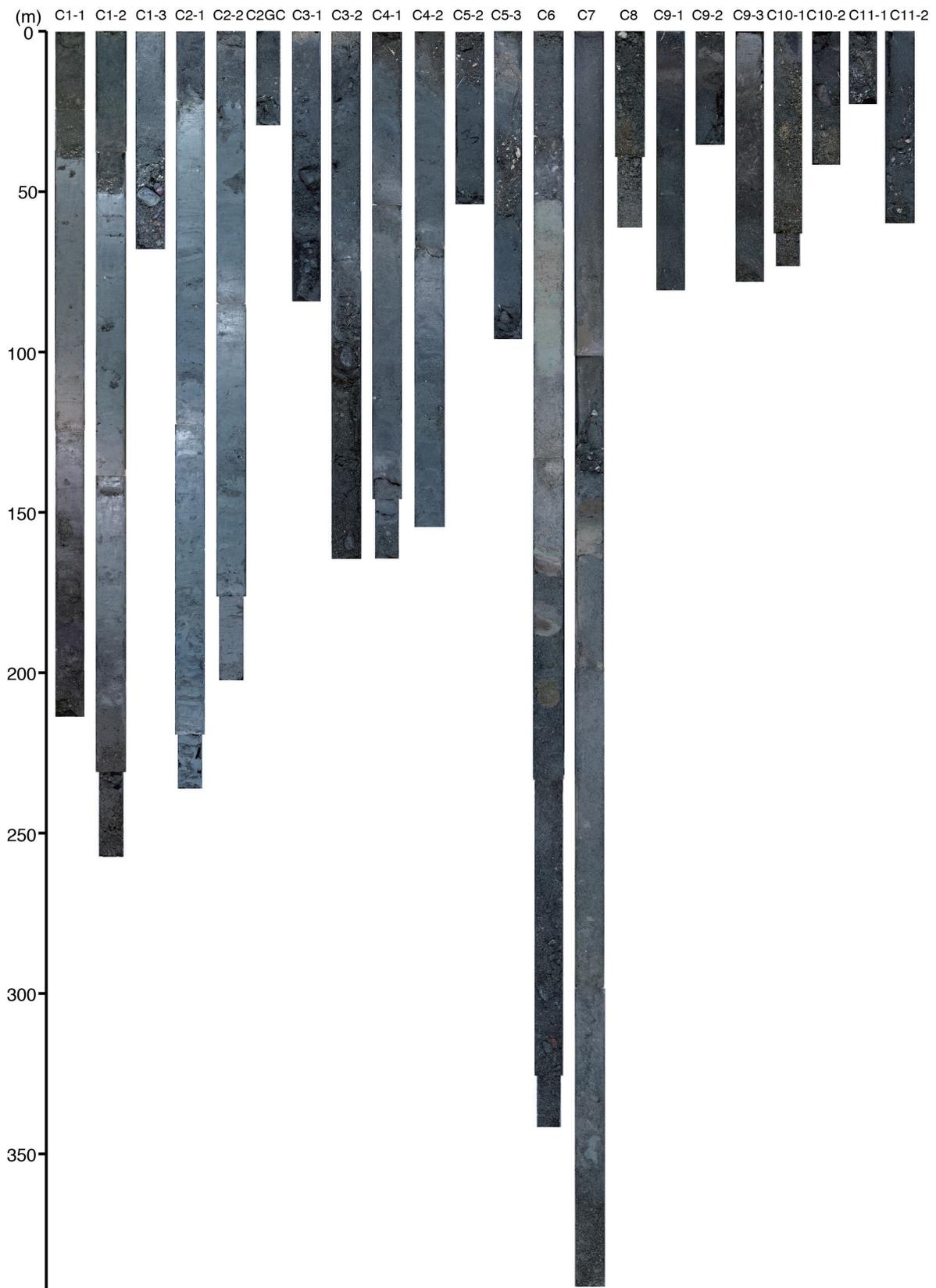


第 13 図 柱状試料採取点付近の高分解能音波探査記録  
Fig. 13 High-resolution seismic profiles crossing core sites

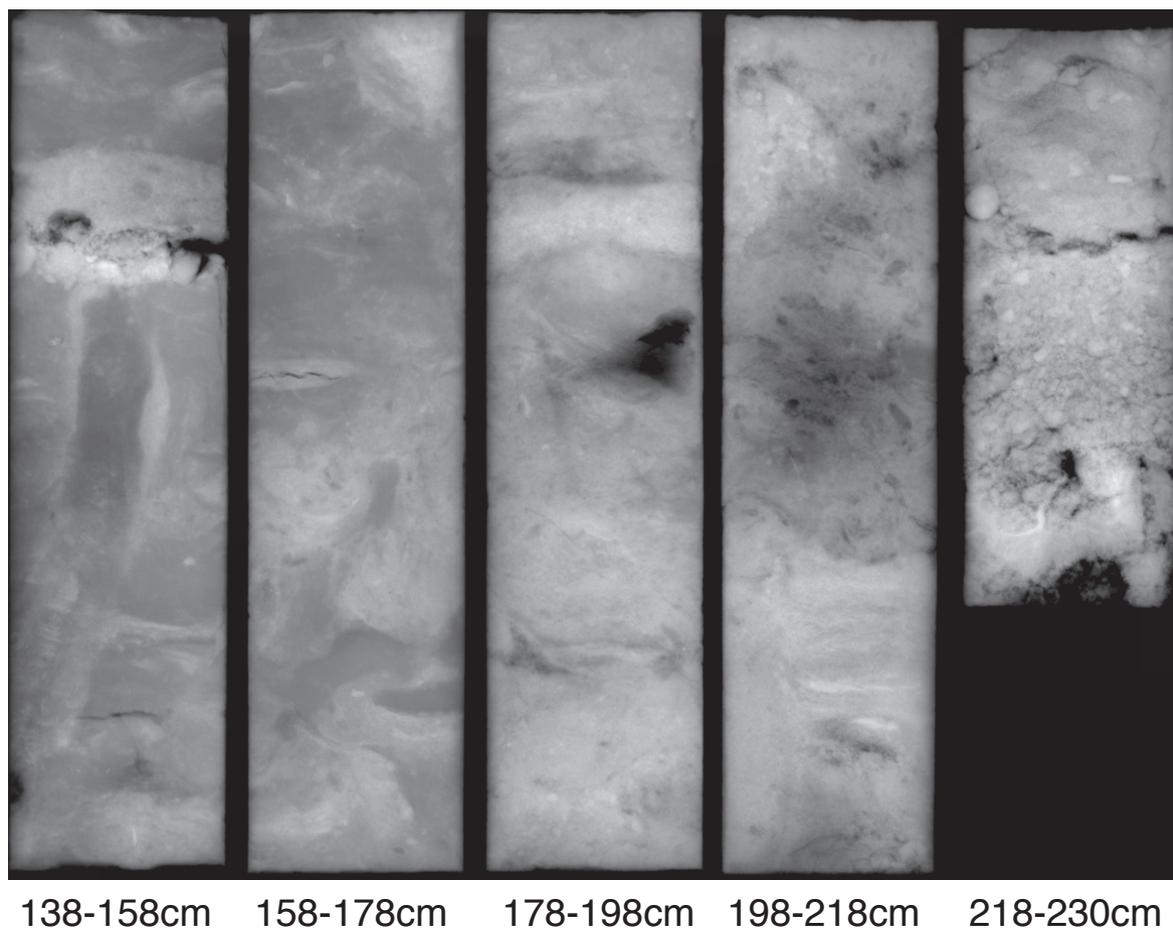


第 14 図 柱状試料の柱状図  
Fig. 14 Columnar sections of cored samples

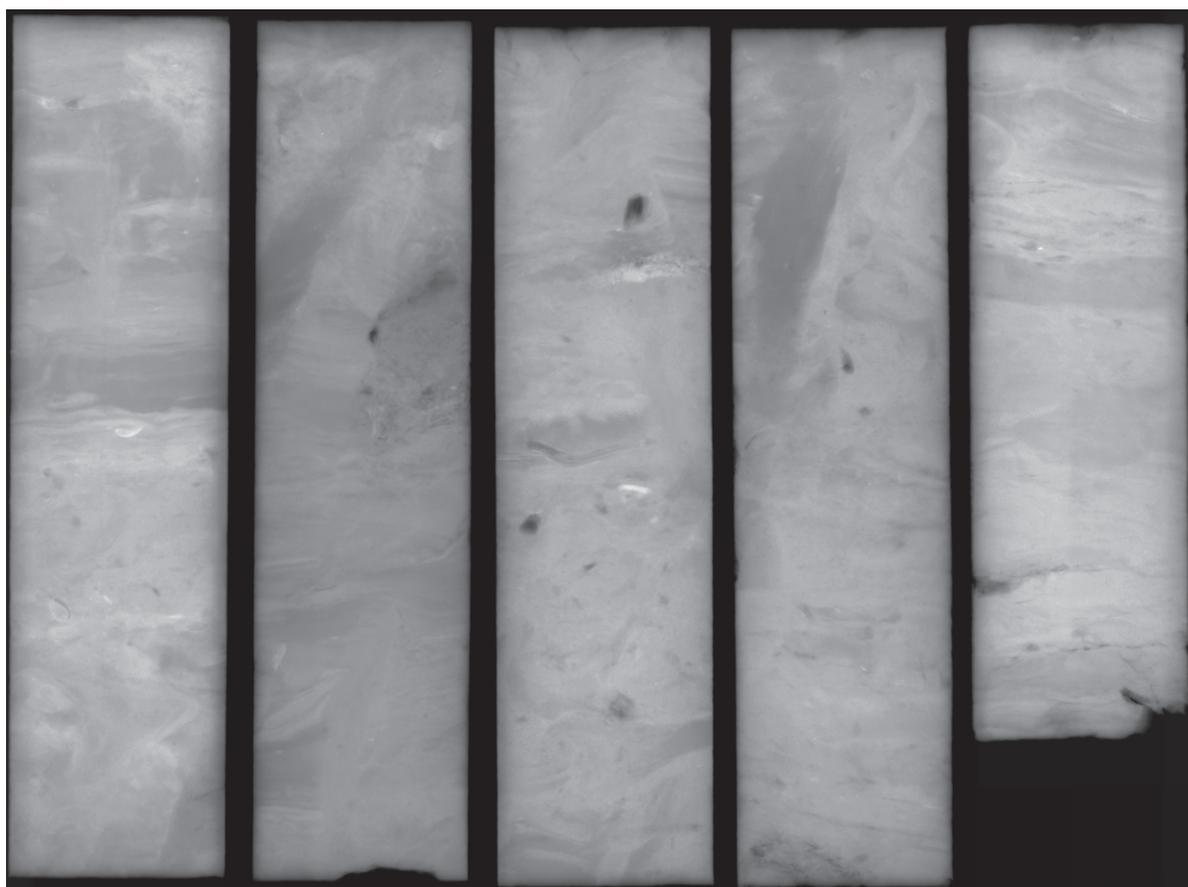




第 15 図 柱状試料の断面写真  
Fig. 15 Photographs of sections of cored samples



第 16 図 バイブロコア試料 C1-2 の軟 X 線写真 (陰画)  
Fig. 16 X-radiograph (negative) of fibrocore sample C1-2



123-143cm

143-163cm

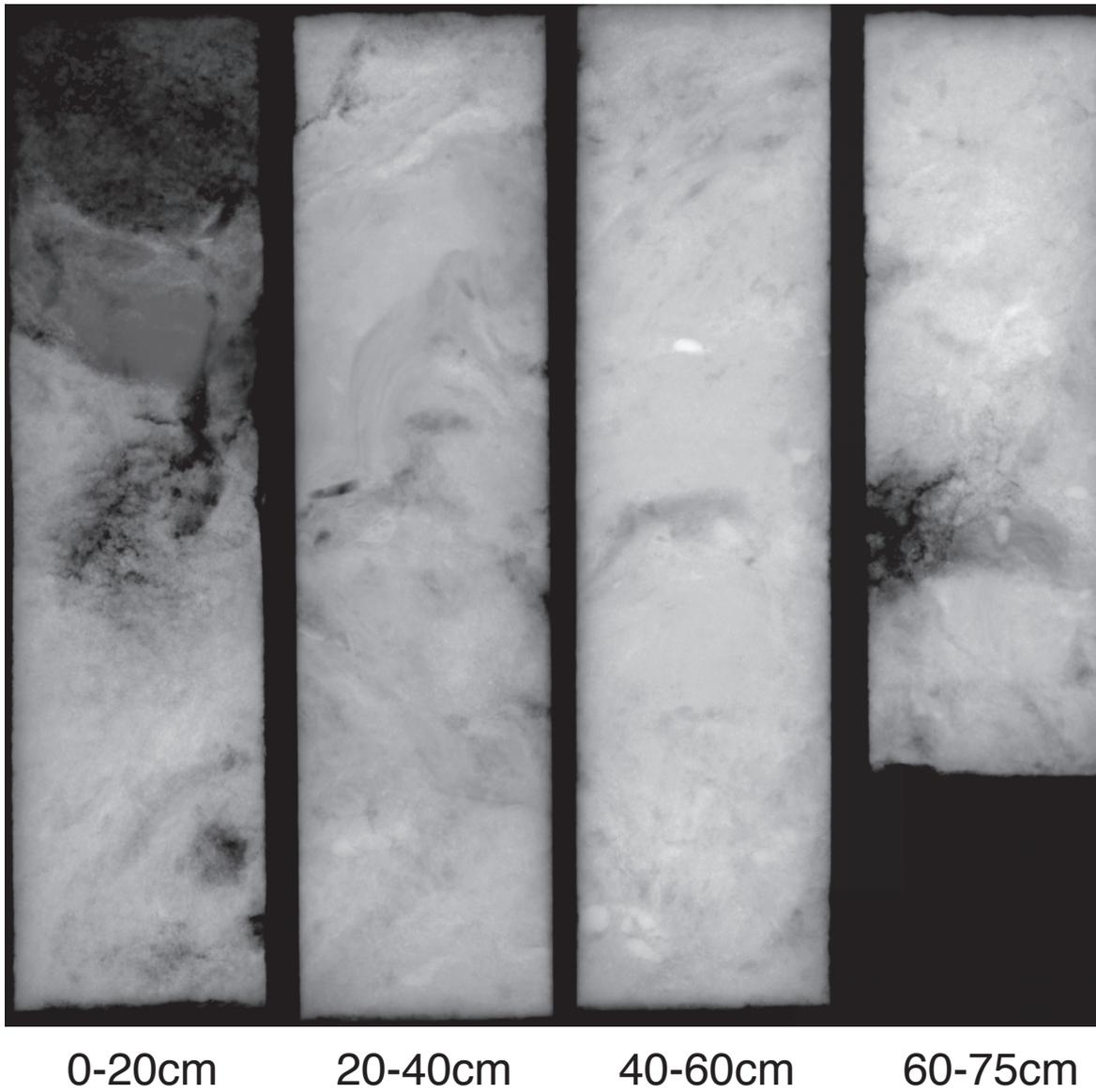
163-183cm

183-203cm

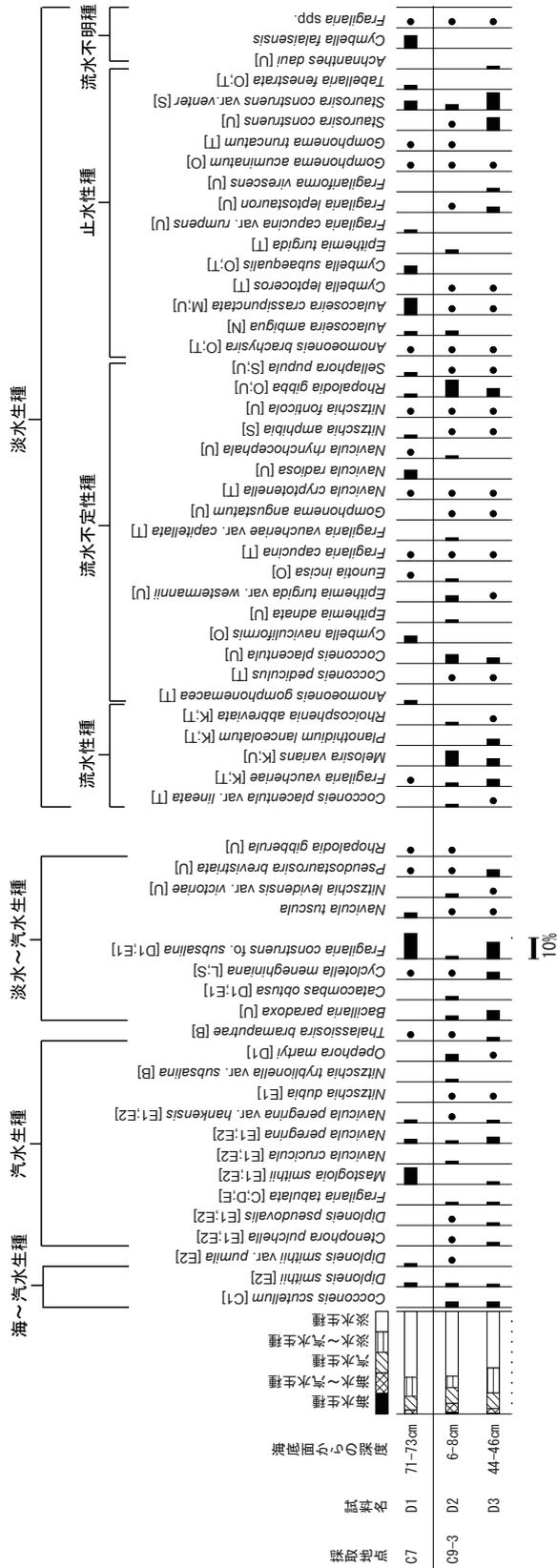
203-220cm

第 17 図 バイブロコア試料 C2-1 の軟 X 線写真 (陰画)

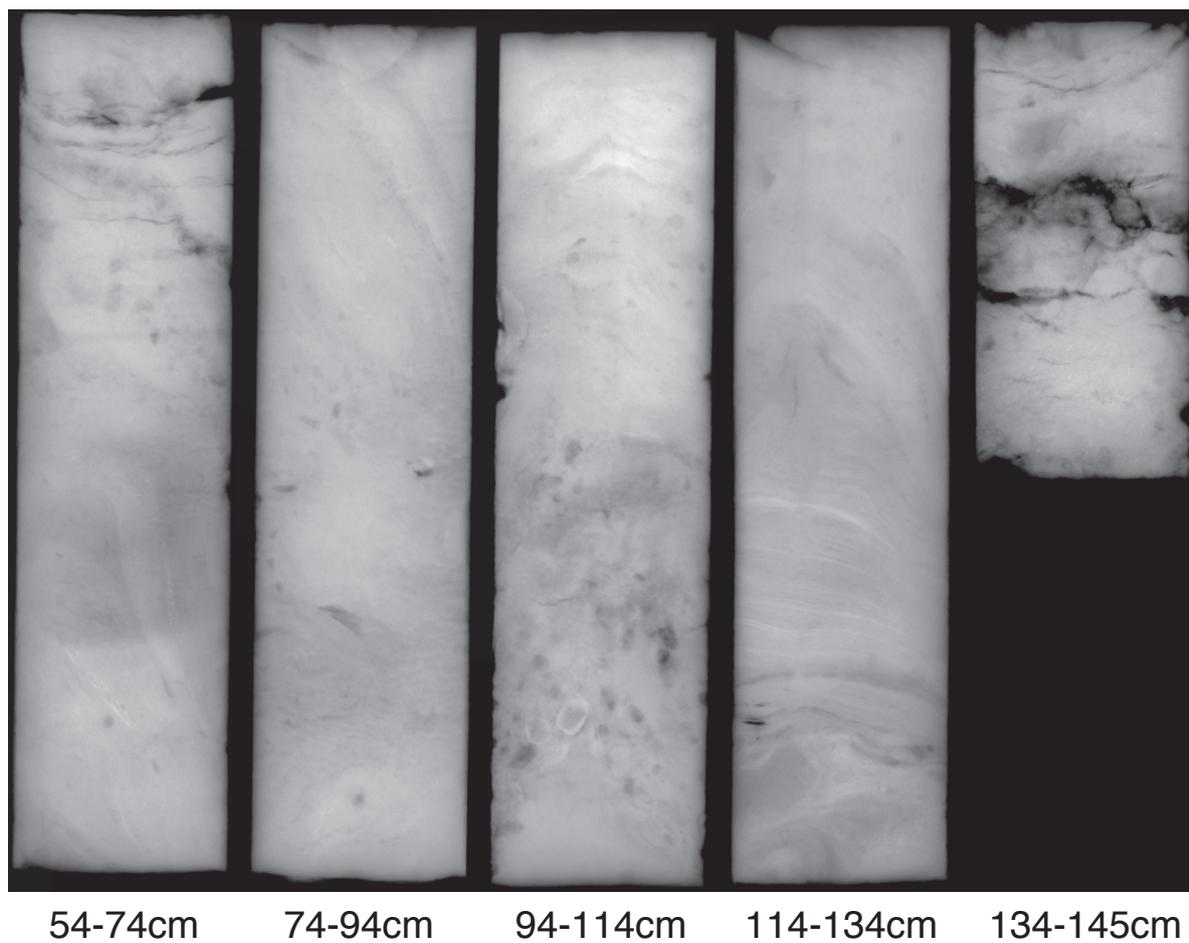
Fig. 17 X-radiograph (negative) of bibrocore sample C2-1



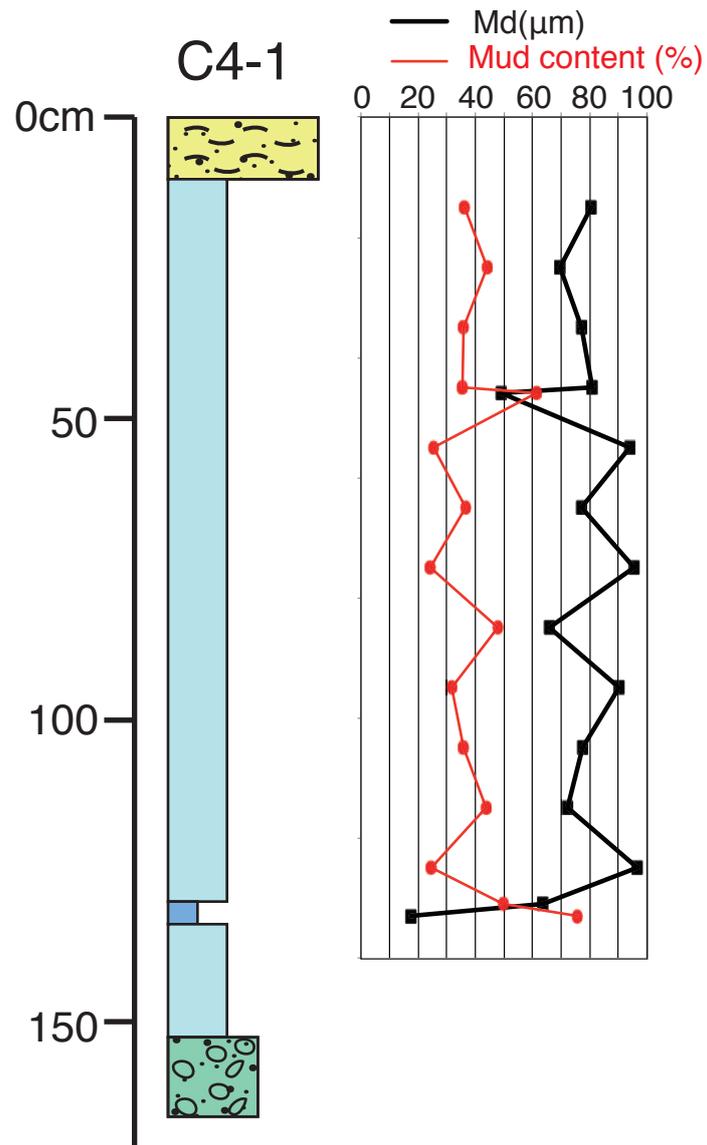
第 18 図 バイブロコア試料 C3-2 の軟 X 線写真 (陰画)  
Fig. 18 X-radiograph (negative) of fibrocore sample C3-2



第 19 図 バイロコア試料 C7 及び C9-3 の泥質部に含まれる珪藻特徴種の産状  
Fig. 19 Characteristics of diatom assemblages of muddy part of vibrocore sample C7 and C9-3



第 20 図 バイブロコア試料 C4-1 の軟 X 線写真 (陰画)  
Fig. 20 X-radiograph (negative) of bibrocore sample C4-1



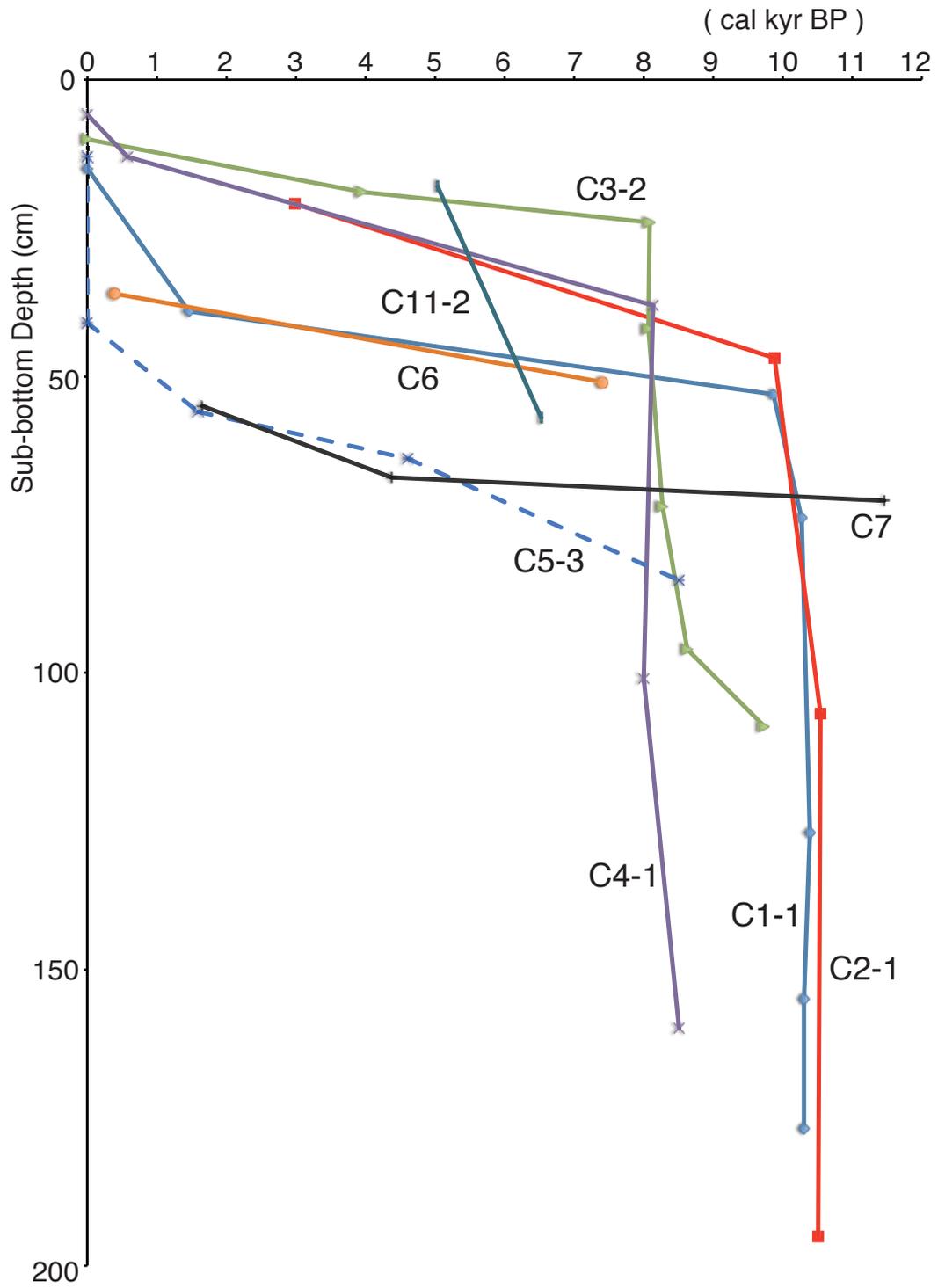
第 21 図 バイブロコア試料 C4-1 の細粒部の粒度分析結果  
 Fig. 21 Grain size data of fine-grained part of vibrocore sample C4-1



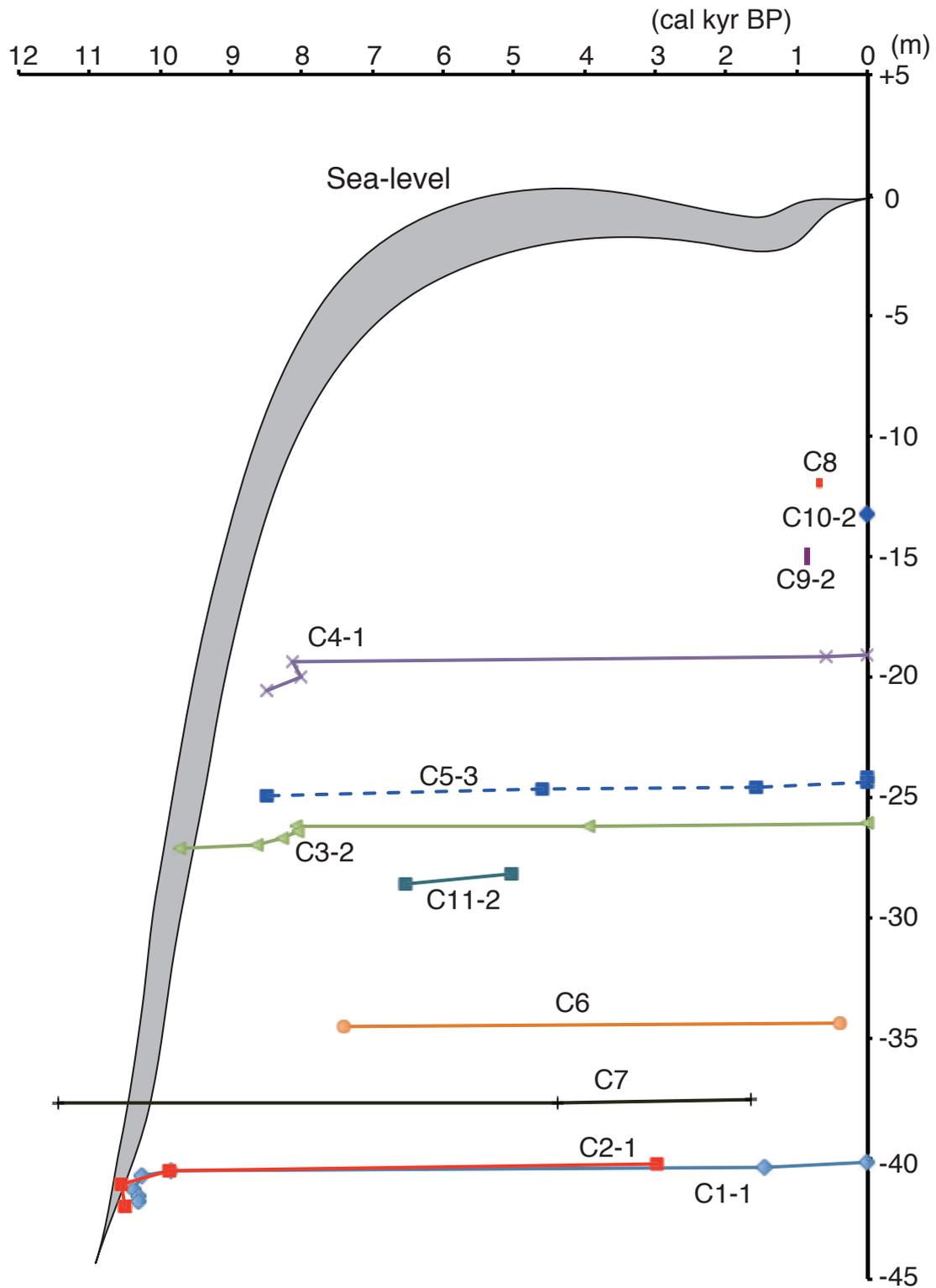
17-37cm

37-51cm

第 22 図 バイブロコア試料 C5-2 の軟 X 線写真 (陰画)  
Fig. 22 X-radiograph (negative) of fibrocore sample C5-2



第 23 図 柱状試料の堆積曲線  
Fig. 23 Sediment accumulation curve of cored samples



第 24 図 柱状試料の年代と深度の関係及び仙台湾周辺における海水準変動曲線（松本（1981）を改変）  
 深度は採取地点の水深+海底面から年代測定試料までの深度であり、海水準曲線との差が堆積時の古水深を表す。  
 Fig. 24 Age-depth relationship of cored samples with relative sea-level change curve in the Sendai area (modified from Matsumoto (1981))  
 Difference between sea-level and depth (water depth plus sub-bottom depth of measured sample) indicates paleo-depth of deposition.

第1表 グラブ採泥点の位置及び肉眼記載  
Table 1 Sampling positions and visual descriptions of grab samples

Sample No.	Latitude		Longitude		Depth (m)	Description
	deg.	min.	deg.	min.		
YH12-						
C1G	42	31.300	141	43.596	39.8	sandy silt/very fine sand
C2G	42	31.620	141	44.760	39.7	sandy silt
C3G	42	31.900	141	47.949	26.2	very fine sand
C4G	42	31.970	141	48.890	19.3	medium sand
C5G	42	30.051	141	50.611	23.5	fine-medium sand
C6G	42	29.200	141	50.030	33.6	sandy silt/very fine sand
C7G	42	26.901	141	52.392	37.4	sandy silt
C8G	42	31.398	141	56.201	12.5	gravelly coarse sand
C9G	42	30.750	141	55.766	14.3	medium sand
C10G	42	31.237	141	56.200	12.4	silt with thin very fine sand layers/fine-medium sand
C11G	42	27.649	141	52.906	28.5	fine-medium sand
G1G	42	33.500	141	44.398	30.8	muddy very fine sand/sandy silt
G2G	42	32.450	141	43.700	34.9	fine sand
G3G	42	30.651	141	42.300	44.1	muddy very fine sand
G4G	42	28.500	141	40.999	57.6	sandy silt
G5G	42	33.003	141	46.229	27.0	sandy silt/fine sand
G6G	42	33.799	141	52.002	12.9	fine-medium sand
G7G	42	31.949	141	50.300	18.0	granular medium sand
G8G	42	30.351	141	48.499	34.1	sandy silt
G9G	42	28.619	141	46.774	42.0	fine-medium sand
G10G	42	27.000	141	44.199	61.0	sandy silt
G11G	42	32.299	141	52.701	13.4	fine sand
G12G	42	25.801	141	48.199	64.9	sandy silt
G13G	42	32.700	141	54.103	12.5	fine-medium sand
G14G	42	31.101	141	53.202	15.4	very fine sand
G15G	42	29.550	141	52.250	22.9	very fine sand with silt layer
G16G	42	27.900	141	51.099	36.9	sandy silt
G17G	42	25.916	141	51.134	50.7	sandy silt
G18G	42	29.700	141	55.203	16.4	fine sand with granule
G19G	42	28.099	141	54.001	23.0	fine sand
G20G	42	26.450	141	52.998	36.4	sandy silt/muddy fine sand

第2表 柱状採泥点の位置  
Table 2 Sampling positions of cored samples

Sample No. YH12-	Sampler	Latitude		Longitude		Depth (m)
		deg.	min.	deg.	min.	
C1-1	Vibrocorer	42	31.300	141	43.599	39.7
C1-2	Vibrocorer	42	31.299	141	43.598	39.7
C1-3	Vibrocorer	42	31.060	141	43.432	40.3
C2-1	Vibrocorer	42	31.620	141	44.760	39.6
C2-2	Vibrocorer	42	31.620	141	44.760	39.3
C3-1	Vibrocorer	42	31.899	141	47.949	26.1
C3-2	Vibrocorer	42	31.900	141	47.951	25.9
C4-1	Vibrocorer	42	31.970	141	48.888	19.2
C4-2	Vibrocorer	42	31.970	141	48.890	18.9
C5-1	Vibrocorer	42	30.050	141	50.613	23.5
C5-2	Vibrocorer	42	30.050	141	50.611	23.3
C5-3	Vibrocorer	42	30.050	141	50.612	23.8
C6	Vibrocorer	42	29.200	141	50.031	33.8
C7	Vibrocorer	42	26.901	141	52.391	36.9
C8	Vibrocorer	42	31.400	141	56.199	12.2
C9-1	Vibrocorer	42	30.750	141	55.764	13.9
C9-2	Vibrocorer	42	30.750	141	55.765	14.5
C9-3	Vibrocorer	42	30.481	141	55.768	14.3
C10-1	Vibrocorer	42	31.239	141	56.200	13.4
C10-2	Vibrocorer	42	31.238	141	56.201	12.5
C11-1	Vibrocorer	42	27.650	141	52.905	28.5
C11-2	Vibrocorer	42	27.650	141	52.905	28.4
C2GC	Gravity corer	42	31.620	141	44.759	39.7
C7GC	Gravity corer	42	26.901	141	52.392	37.0
C10GC	Gravity corer	42	31.238	141	56.201	12.5
G15GC	Gravity corer	42	29.552	141	52.246	23.8

第3表 グラブ採泥試料表層部の粒度分析結果  
Table 3 Grain size data of surface sediments

Sample	Md( $\phi$ )	Sorting	Mud content (%)	Gravel (%)	V.C.sand (%)	C.sand (%)	M.sand (%)	F.sand (%)	V.F.sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
C1G	2.49	1.60	11.57	0.08	1.04	5.24	18.41	50.12	13.54	5.15	6.42
C2G	3.02	2.77	23.31	0.22	1.70	5.07	13.52	27.28	28.90	10.74	12.57
C3G	2.46	1.21	5.73	0.36	1.14	6.32	23.86	51.01	11.59	2.57	3.16
C4G	1.31	0.63	1.53	0.14	1.02	27.49	55.41	13.48	0.93	0.66	0.87
C5G	0.85	1.45	2.85	18.94	15.61	18.90	31.14	11.85	0.72	1.25	1.60
C6G	2.55	1.91	15.72	0.08	1.18	5.45	24.22	37.35	16.00	6.94	8.78
C7G	2.57	1.98	14.81	0.10	2.60	11.14	17.98	36.72	16.64	7.39	7.43
C8G	0.53	2.33	7.99	24.82	10.79	31.99	20.49	1.95	1.97	4.59	3.40
C9G	1.12	0.73	0.81	1.61	7.26	33.83	48.79	7.48	0.23	0.39	0.41
C10G	3.17	3.35	41.81	0.28	0.55	5.48	22.50	16.16	13.22	23.58	18.23
C11G	1.40	0.66	1.76	0.43	3.63	21.61	59.92	12.34	0.32	0.80	0.96
G1G	2.73	2.72	25.17	0.06	0.47	3.72	22.44	29.89	18.25	13.30	11.87
G2G	1.69	1.85	12.47	0.56	1.68	19.88	39.30	22.31	3.80	5.63	6.84
G3G	2.27	1.58	10.20	0.11	1.09	6.66	32.61	36.05	13.28	5.04	5.16
G4G	1.73	2.49	16.97	3.07	6.97	22.84	23.34	16.39	10.43	8.99	7.98
G5G	2.78	2.95	22.42	2.57	2.64	6.50	14.38	30.95	20.54	10.59	11.84
G6G	1.45	0.59	1.59	0.00	0.30	20.03	61.67	15.60	0.81	0.80	0.78
G7G	0.67	1.02	1.32	11.93	15.57	37.67	31.43	1.99	0.07	0.58	0.74
G8G	2.03	1.71	11.98	0.13	1.14	9.63	38.09	30.43	8.62	5.71	6.27
G9G	1.26	1.53	8.31	0.51	3.48	29.42	46.36	10.13	1.79	4.16	4.15
G10G	1.84	3.51	26.06	3.23	10.97	17.99	20.65	10.34	10.77	13.18	12.88
G11G	1.86	0.48	1.11	0.01	0.17	3.97	62.14	32.10	0.51	0.48	0.62
G12G	2.87	3.20	22.43	2.39	8.81	12.84	16.20	11.96	25.37	11.54	10.89
G13G	1.28	0.53	1.46	0.40	2.38	20.96	70.18	4.47	0.13	0.78	0.67
G14G	2.18	0.44	1.12	0.05	0.15	2.07	33.25	61.72	1.63	0.47	0.65
G15G	2.11	0.56	3.39	0.13	0.26	2.83	40.04	50.03	3.33	1.56	1.83
G16G	2.67	2.08	16.43	0.03	1.86	7.40	17.91	39.83	16.53	7.62	8.81
G17G	2.78	2.74	18.50	0.78	7.56	11.11	15.71	19.57	26.78	9.52	8.98
G18G	1.34	0.75	0.33	2.77	4.85	22.71	55.90	13.26	0.18	0.17	0.16
G19G	1.43	0.52	0.54	0.07	0.76	17.74	69.41	11.32	0.16	0.30	0.24
G20G	2.23	1.72	12.35	0.05	1.11	8.58	31.33	38.15	8.43	5.67	6.68

Md( $\phi$ ) : median diameter ( $\phi$  scale), V.C.sand : very coarse sand, C.sand : coarse sand, M.sand : medium sand, F.sand : fine sand, V.F.sand : very fine sand

第4表 放射性炭素年代測定結果  
Table 4 Results of radiocarbon age determination

Sample No.	Accession No.	Core No.	Sub-bottom Depth (cm)	Material	Measured 14C age (yr BP)	$\delta^{13}C$ (‰)	Conventional 14C age (yr BP)	Calendar age (1 $\sigma$ ) (cal yr BP)	Calendar age (med.prob.) (cal yr BP)
C1-1-2	Beta-338108	C1-1	15	shell	1950AD~	+1.6	1950AD~	1950AD~	
C1-1-4	Beta-339743	C1-1	39	shell	1890±30	+0.5	2310±30	1522-1396	1462
C1-1-5	Beta-339744	C1-1	53	shell	NA	NA	9500±40	9996-9981, 9959-9721	9859
C1-1-6	Beta-341213	C1-1	74	shell	9440±40	-2.2	9810±40	10335-10195	10270
C1-1-7	Beta-341214	C1-1	127	shell	9530±40	-1.1	9920±40	10474-10312	10386
C1-1-8	Beta-339745	C1-1	155	shell	9630±40	-12.3	9840±40	10368-10223	10303
C1-1-9	Beta-338109	C1-1	177	shell	9440±40	-0.2	9850±40	10377-10229	10313
C1-1-11	Beta-338110	C1-1	201	shell	8620±40	-0.9	9020±40	9395-9234	9300
C1-2-18	Beta-341215	C1-2	143	shell	8600±40	-0.9	9000±40	9378-9200	9274
C1-2-19	Beta-341216	C1-2	156	shell	9430±40	-1.2	9820±40	10348-10205	10282
C1-3-27	Beta-341217	C1-3	48	shell	8050±30	+2.4	8500±30	8644-8496	8575
C2-1-28	Beta-339746	C2-1	21	shell	3150±30	+0.9	3570±30	3057-2893	2979
C2-1-30	Beta-338111	C2-1	47	shell	9100±40	+0.2	9510±40	10003-9747	9878
C2-1-35	Beta-339747	C2-1	107	shell	9660±40	0.0	10070±40	10590-10489	10540
C2-1-40	Beta-338112	C2-1	195	shell	9650±40	-1.9	10030±40	10566-10451	10504
C3-1-59	Beta-338113	C3-1	62	shell	8910±40	+1.2	9340±40	9676-9526	9614
C3-2-61	Beta-341218	C3-2	10	shell	1950AD~	-0.4	1950AD~	1950AD~	
C3-2-62	Beta-339748	C3-2	19	shell	3910±30	+1.4	4340±30	4011-3855	3941
C3-2-63	Beta-338114	C3-2	24	shell	7620±30	-0.4	8020±30	8149-8025	8087
C3-2-68	Beta-341219	C3-2	42	shell	7560±40	+1.3	7990±40	8129-7995	8060
C3-2-72	Beta-338115	C3-2	72	shell	7780±30	+0.4	8200±30	8336-8216	8277
C3-2-76	Beta-338116	C3-2	96	shell	8110±30	+1.0	8540±30	8706-8545	8632
C3-2-P2	Beta-339758	C3-2	109	plant material	8760±40	-25.6	8750±40	9887-9876, 9867-9848, 9817-9809, 9793-9656, 9647-9632	9735
C4-1-79	Beta-339749	C4-1	6	shell	1950AD~	-0.9	1950AD~	1950AD~	
C4-1-80	Beta-338117	C4-1	13	shell	950±30	+1.7	1390±30	625-540	583
C4-1-B6	Beta-343240	C4-1	15-18	organic sediment	11630±50	-24.3	11640±50	13577-13523, 13519-13396	13484
C4-1-161	Beta-341220	C4-1	38	shell	7680±40	-1.8	8060±40	8187-8040	8128
C4-1-B7	Beta-343241	C4-1	37-40	organic sediment	11020±40	-24.8	11020±40	13053-13027, 12969-12770	12894
C4-1-82	Beta-338118	C4-1	101	shell	7530±30	0.0	7940±30	8060-7941	8008
C4-1-85	Beta-338119	C4-1	160	shell	8030±40	+0.2	8440±40	8566-8432	8505
C5-3-101	Beta-341221	C5-3	13	shell	1950AD~	+0.8	1950AD~	1950AD~	
C5-3-102	Beta-341222	C5-3	41	shell	250±30	+1.5	680±30	1950AD~	
C5-3-104	Beta-339750	C5-3	56	shell	1990±30	+0.6	2410±30	1654-1519	1585
C5-3-105	Beta-339751	C5-3	64	shell	NA	NA	4820±30	4690-4511	4602
C5-3-B4	Beta-343242	C5-3	67-70	organic sediment	16650±60	-24.0	16670±60	19928-19757, 19738-19577	19796
C5-3-106	Beta-341223	C5-3	85	shell	3390±30	+1.8	3830±30	3377-3252	3317
C5-3-B5	Beta-343243	C5-3	83-86	organic sediment	13480±60	-24.3	13490±60	16803-16563	16670
C5-3-107	Beta-338120	C5-3	94	shell	8040±40	-0.4	8440±40	8566-8432	8505
C6-108	Beta-341224	C6	25	shell	6880±30	+1.3	7310±30	7485-7384	7431
C6-112	Beta-339752	C6	36	shell	760±30	-1.1	1150±30	454-350, 345-333	396
C6-116	Beta-338121	C6	51	shell	6890±30	-1.1	7280±30	7455-7348	7403
C6-P4	Beta-340414	C6	166-169	organic sediment	NA	-27.2	>42500		
C7-123	Beta-339753	C7	55	shell	2050±30	+0.4	2470±30	1715-1574	1652
C7-125	Beta-338122	C7	67	shell	4240±30	+0.8	4660±30	4448-4289	4380
C7-B1	Beta-341228	C7	69-73	organic sediment	10000±40	-25.9	9990±40	11603-11544, 11536-11531, 11495-11430, 11412-11325	11455
C7-126	Beta-341225	C7	163	shell	5000±30	+1.1	5430±30	5444-5317	5391
C7-127	Beta-338123	C7	169	shell	5590±60	+0.4	6010±60	6106-5924	6024
C8-129	Beta-339754	C8	12	shell	1080±30	+1.3	1510±30	719-634	675
C9-2-133	Beta-341226	C9-2	1	shell	1270±30	+1.5	1700±30	907-791	848
C9-2-B2	Beta-341229	C9-2	11-14	organic sediment	35220±320	-26.7	35190±320	40948-39967	40358
C9-2-135	Beta-341227	C9-2	25	shell	760±30	-0.7	1160±30	467-358, 342-336	405
C9-2-137	Beta-338124	C9-2	34	shell	400±30	+2.0	840±30	109-0	77
C9-3-B3	Beta-341230	C9-3	6-10	organic sediment	35460±310	-27.1	35430±310	41078-40316	40659
C9-3-P6	Beta-339760	C9-3	48	plant material	NA	-27.2	>43500		
C9-3-141	Beta-339755	C9-3	50	shell	340±30	0.0	750±30	1950AD~	
C10-2-160	Beta-339756	C10-2	22	shell	NA	NA	720±30	1950AD~	
C11-2-153	Beta-339757	C11-2	18	shell	4740±30	+0.6	5160±30	5129-4919	5030
C11-2-156	Beta-338125	C11-2	57	shell	6060±30	+1.2	6490±30	6599-6461	6527

第5表 柱状試料から産出し同定された貝とその生息環境  
Table 5 List of identified molluscs and their environments

Sample No.	Core No.	Sub-bottom Depth (cm)	Identification	Environment
C1-1-1	C1-1	1	<i>Cryptomya busoensis</i> Yokoyama	潮間帯-20mの泥底
C1-1-2	C1-1	15	<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)	50-400mの砂底
C1-1-3	C1-1	22	<i>Turboniella</i> sp.	
C1-1-4	C1-1	39	<i>Cyclocardia crebricostata</i> (Krause)	10-100mの砂泥底
C1-1-7	C1-1	127	<i>Macoma</i> sp.	
C1-1-8	C1-1	155	<i>Dendostrea?</i> sp.	
C1-1-9	C1-1	177	<i>Ruditapes philippinarum</i> (Adams and Reeve)	潮間帯中部から10mの砂礫泥底
C2-1-28	C2-1	21	<i>Balanus</i> sp.	
C2-1-35	C2-1	107	<i>Macoma tokyoensis</i> Makiyama	10-50mの砂泥底
C2-1-40	C2-1	195	Veneridae gen. et sp. indet.	
C3-1-59	C3-1	62	<i>Batillaria?</i> sp.	潮間帯
C3-2-63	C3-2	24	<i>Yoldia</i> sp.	
C3-2-68	C3-2	42	<i>Liocyma fluctuosum</i> (Gould)	潮間帯下部-140mの砂泥底
C3-2-75	C3-2	90	<i>Macoma</i> sp.	
C3-2-76	C3-2	96	<i>Glycymeris yessoensis</i> (Sowerby)	5-30mの細砂底
C4-1-79	C4-1	6	<i>Spisula polynyma</i> Stimpson	潮間帯下部-110mの泥底
C4-1-80	C4-1	13	<i>Glycymeris</i> sp.	
C4-1-161	C4-1	38	<i>Yoldia</i> sp.	
C4-1-82	C4-1	101	<i>Euspira</i> sp.	
C4-1-85	C4-1	160	<i>Mercenaria stimpsoni</i> (Gould)	5-30mの砂底
C4-2-94	C4-2	119	<i>Plicifusus plicatus</i> (A. Adams)	30-400m
C5-3-101	C5-3	13	<i>Acila insignis</i> Gould	5-200mの泥底
C5-3-102	C5-3	41	<i>Glycymeris yessoensis</i> (Sowerby)	5-30mの細砂底
C5-3-104	C5-3	56	<i>Mizuhopecten yessoensis</i> (Jay)	10-30mの砂底
C6-112	C6	36	<i>Liocyma fluctuosum</i> (Gould)	
C6-115	C6	38	<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)	50-400mの砂底
C7-123	C7	55	<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)	50-400mの砂底
C9-2-133	C9-2	1	<i>Glycymeris yessoensis</i> (Sowerby)	5-30mの細砂底
C9-2-136	C9-2	28	<i>Felaniella ohtai</i> Kase and Miyauchi	
C9-3-141	C9-3	50	<i>Glycymeris</i> sp.	
C10-2-158	C10-2	3	<i>Mactra</i> sp.	
C10-2-160	C10-2	22	<i>Glycymeris</i> sp.	
C11-2-154	C11-2	40	<i>Glycymeris yessoensis</i> (Sowerby)	5-30mの細砂底
C11-2-156	C11-2	57	<i>Glycymeris</i> sp.	

第 6 表 テフラ分析結果

Table 6 Results of tephra analysis

Sample	Sub-bottom depth (cm)	Refractive index of volcanic glass (mode)	Type of volcanic glass	Refractive index ( $\gamma$ ) of Opx (mode)	Identification	
C6-P1	0-4	1.4982-1.5030 (1.502)	T > C > H	1.724-1.734 (1.731-1.732)	Spfa-1	
		1.5311-1.5370 (1.532)	T		Ta-d	
		1.4934-1.4953 (1.494)	T		Ta-b	
C6-P2	129-134	1.5126-1.5143 (1.513)	T > C	1.719-1.724 (1.722)	Kt-3	
		1.5065-1.5093	T			1.708-1.712

Type: H:扁平, C:中間型, T:多孔質