

三重県津市の海岸低地における津波堆積物掘削調査

Coring survey of tsunami deposits in a coastal lowland in Tsu City, Mie Prefecture

松本 弾¹

Dan Matsumoto¹

¹ 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, dan-matsumoto@aist.go.jp)

Abstract: Coring survey was conducted in northern Tsu City, Mie Prefecture to reconstruct the paleogeography and investigate tsunami deposits associated with earthquakes along the Nankai Trough. A total of 17 core samples were taken in a coastal lowland on which sand ridges are developed. Observation of the core samples reveals that they consist of the succession of beach deposit, fluvial deposit, tidal/lagoon deposit and marsh/swamp deposit beneath the artificial soil. They have been formed during the last 6000 years, and the average sedimentation rate is around 0.7 mm/year. Though the survey area has been repeatedly inundated by historical tsunamis, visible tsunami deposits were not found from the obtained sediment cores.

キーワード: 津波堆積物, 南海トラフ, 掘削調査, 堆積環境, 海岸低地, 三重県津市

Keywords: Tsunami deposit, Nankai Trough, Coring survey, Depositional environment, Coastal lowland, Tsu City, Mie Prefecture

1. はじめに

南海トラフでは歴史記録や津波堆積物の研究から過去に繰り返し海溝型地震が起き、東海～九州地域の太平洋沿岸はたびたび津波に襲われてきたことが知られている (例えば, 藤原ほか, 2008; Ishibashi, 2004; 岡村・松岡, 2012; 宇佐美, 2003; 渡辺, 1998: 第1図). 三重県においても, 歴史記録調査から過去の津波の浸水高や遡上高などを見積る研究が行われている (例えば, 羽鳥, 2005; 行谷・都司, 2005; 都司ほか, 1991). このような研究に加えて, 太平洋に面する三重県南部 (鳥羽市以南) では, 津波堆積物から発生履歴を解明する研究が行われてきた (例えば, 藤野ほか, 2008; 小松原・岡村, 2007; 小松原ほか, 2007; Okahashi *et al.*, 2005). 一方, 伊勢湾に面する鳥羽市以北の三重県北・中部地域においても, 例えば1498年の明応津波で当時日本三津に数えられていた重要な港湾である安濃津が壊滅するほどの被害があり, 過去に繰り返し津波の被害を受けていたことが歴史記録や考古学的研究から知られている (例えば, 三重大学人文学部考古学研究室, 2012; 山中, 2012; 矢田, 2005). しかし, この地域ではこれまでに津波堆積物の調査は十分に行われておらず, 1498年以前の津波履歴は十分に解明されていない. また, 歴史記録による研究からも, 過去の津波の具体的な規模や浸水範囲などは十分に知られていない. 以上のような背景から, 三重県津市周辺の海岸低地において古津波堆積物調査を目的としたボーリング掘削調査

(松本, 2014) を行った. なお, 本調査は産総研地質分野が実施した2011 (平成23)年度第三次補正予算による「複合地質リスク評価プロジェクト」の一環として企画されたものである.

2. 調査地域と調査方法

津市北部に位置する河芸町周辺には伊勢湾に面した浜堤列平野が北東-南西に広がる (第2図). 浜堤列平野とは海岸に平行な微高地である浜堤とその間にある堤間低地 (湿地) からなる海岸低地である. 堤間低地には津波堆積物が保存されやすいので, 同様の地形が発達する仙台平野などで津波堆積物調査が行われてきた (例えば, 澤井ほか, 2008). この地域では, 幅1~2 km程度の浜堤平野の中に幅100~600 m, 標高4 m程度の浜堤が現世の海岸砂丘を含めて3列程度みられ, その間に標高が1 m前後の堤間低地が分布する. ここでは内陸から海に向かって浜堤A, 浜堤B, 浜堤Cと呼ぶ.

浜堤Aよりも陸側 (北西側) には標高~40 m程度の丘陵が広がり, その中に狭い溺れ谷低地が存在する. 本調査では, これらの浜堤列平野や溺れ谷低地の沖積層を対象に, 海岸から約2 km内陸までの範囲で計17地点においてコア試料を掘削した (第2図).

このうち, 14地点では掘削計画長2~3 m程度の定方位簡易ボーリングを実施し, 残りの3地点では掘削計画長5 m程度のオールコアボーリングを実施した (第1表). コア径はともに約90 mmである.

定方位簡易ボーリングは、沖積層中に津波堆積物が存在するかどうかを調べることを目的として、堤間低地において掘削を実施した。一方、オールコアボーリングは、上記の目的に加えて、過去の海岸線の位置とその年代を明らかにすることを目的としており、浜堤 A、浜堤 B の海岸側縁部において掘削を実施した（第 2 図）。各コアは掘削現場において塩ビパイプに封入し、1 m ごとに採取した。また RTK・GPS 測量により各掘削地点の標高を計測した（第 1 表）。以上の現地調査は株式会社阪神コンサルタンツが実施した。

得られたコア試料は実験室において半割・整形し、写真撮影するとともに肉眼観察を行った。また SRT-2、SRT-16、SRT-26 のコアからは環境変遷史を復元するために、堆積物中に含まれる植物遺骸を実体顕微鏡下で拾い出して 12 件の放射性炭素年代測定を実施した。測定は（株）地球科学研究所に依頼し、得られた年代測定値はデータベース Intcal 13 (Reimer *et al.*, 2013) を用いて Oxcal 4.2 (Bronk and Ramsey, 2009) により暦年補正を行った（第 2 表）。また、津波や洪水のようなイベントによって形成された可能性がある層から試料を採取し、目開き 63 μm のふるいを用いて泥分を洗い流し、残渣を実体顕微鏡下で観察することによって貝や有孔虫などの微化石が含まれるか確認を行った。

3. コアの記載と放射性炭素年代測定結果

3.1. コアの記載

コア試料の肉眼観察を行い、特に粒度や堆積構造などの堆積学的特徴に着目して柱状図を作成した。各コアの写真と柱状図、標高を第 3 図に示す。各コアの層相は以下の通りである。

SRT-2 [標高 1.309 m]

深度 151~281 cm は真砂からなる粗粒な砂~礫質堆積物である。このうち 201~281 cm は主に粗粒~極粗粒砂層であり、細礫が散在し、最大で 15 mm 程度の礫を含む。また、151~201 cm は細礫質な基底から上位に向かって砂質へと変化する。41~151 cm は泥質堆積物であり、根茎や葉などの植物片が含まれる。このうち、下部は泥質細粒砂からなり、上部に向かうほど泥分が増加し、41~72 cm は有機質粘土層となる。粘土層の中の 47~54 cm には未分解の泥炭層が挟まれる。26~41 cm は黒色の有機質な細粒砂層である。11~26 cm はシルト質細粒砂からなる盛土、0~11 cm は粘土質の耕作土である。

SRT-3 [標高 1.185 m]

深度 235~296 cm は細~中粒砂層（ただし、277~284 cm はコア欠損）であり、細礫~極粗粒砂が散在する。217~235 cm は真砂からなる細礫層であり、その基底には直径 50 mm ほどの材化石がみられる。162~217 cm は細~中粒砂層（ただし、193~205 cm

はコア欠損）、138~162 cm は中粒砂層である。111~138 cm は植物片を多く含む中粒砂層の中にレンズ状に泥層が挟まれており、上位ほどレンズ状の泥層を多く挟む。41~111 cm は粘土層（ただし、100~106 cm はコア欠損）であり、特に 80 cm 以深には材化石や葉などの植物片がみられる。10~41 cm は砂質シルトからなる耕作土や盛土であり、0~10 cm はコアが欠損している。

SRT-4 [標高 1.483 m]

深度 182~217 cm は固結した粘土層（ただし、195~198 cm はコア欠損）であり、砂で充填された生痕がみられる。177~182 cm はコアが欠損している。163~177 cm は中粒砂層であり、細礫が散在するほか、植物片が含まれる。118~163 cm は泥質中~粗粒砂層であり、細礫が散在するほか、植物片やマッドクラストが含まれる。また基底付近には下位層から続く生痕がみられる。92~118 cm は砂質シルト層であり、植物片が含まれる。57~92 cm は泥質細~中粒砂層であり、植物片やマッドクラストが含まれる。44~57 cm は泥質堆積物からなり、下部の泥層から上部に向かって砂質泥層へと変化する。0~44 cm も泥質堆積物からなり、下部の粘土層から上部に向かって砂質泥層へと変化する。このうち、最上部付近の少なくとも 0~6 cm は耕作土であるが、その基底境界は不明瞭である。

SRT-5 [標高 2.172 m]

深度 271~300 cm は砂質泥層であり、砂で充填された生痕が数多くみられる。238~271 cm は泥質中~粗粒砂層であり、下位との地層境界は不明瞭である。砂で充填された生痕が数多くみられる。176~238 cm は砂質泥層であり、下位との地層境界は不明瞭である。炭化した材化石が数多く含まれ、また砂で充填された生痕が豊富にみられる。102~176 cm はシルト質細~中粒砂層であるが、下部はより粗粒かつ砂質で、上部に向かうにしたがって細粒かつ泥質になる。また、泥で充填された生痕が上部ほど多くみられる。70~102 cm は粘土層である。0~70 cm は砂質泥層であり、このうち最上部の少なくとも 0~16 cm は耕作土であるが、その下部境界は不明瞭である。また、35~55 cm 付近はより粗粒かつ砂質となる。

SRT-6 [標高 2.764 m]

深度 106~200 cm は粘土層である。このうち、150~154 cm に粘土質中粒砂層を挟み、130~145 cm 付近には砂で充填された生痕がみられる、また 180 cm 付近には炭化した材化石が含まれる。90~106 cm はシルト質細粒砂層（ただし、100~103 cm はコア欠損）である。0~90 cm は根茎が多くみられる粘土層であり、最上部の少なくとも 0~17 cm は耕作土であるが、基底境界は不明瞭である。また、17 cm 以深は中粒砂が散在する。

SRT-7 [標高 3.384 m]

深度 196~200 cm はシルト質中~粗粒砂層であり、最上部には炭化した植物片が葉理状に集積している。161~196 cm は細~極粗粒砂層であり、下位から上位に向かって級化-逆級化-級化する構造がみられる。120~161 cm はシルト質細~中粒砂層であり、下位との地層境界は不明瞭である。炭化した材化石や葉などの植物片を多く含み、しばしばそれらが葉理状に集積する。120~140 cm は粘土層の中にレンズ状の極細~細粒砂層が挟まれ、下位との地層境界は不明瞭である。また粘土質な部分には炭化した材化石が含まれる。80~120 cm は粘土層であり、下位との地層境界は不明瞭である。18~80 cm は泥層からなり、下位との地層境界は不明瞭である。このうち、18~50 cm には上位層から連続した大きな根茎が存在し、50~65 cm 付近にはマッドクラストがみられる。0~18 cm は砂質泥層からなる耕作土である。

SRT-11 [標高 2.396 m]

深度 139~200 cm はシルト質細粒砂層であり、泥で充填された生痕が数多くみられる。9~139 cm は粘土層である。このうち、最上部付近の少なくとも9~19 cm は耕作土であるが、その下部境界は不明瞭である。また、19~80 cm 付近には根茎が数多くみられ、90 cm 付近には直径 20 mm ほどの礫が含まれる。0~9 cm はコアが欠損している。

SRT-12 [標高 3.188 m]

深度 85~200 cm は粘土層（ただし、100~103 cm はコア欠損）である。このうち、103~145 cm には根茎がみられ、上部ほどその数が増加する。また95 cm と 127 cm 付近には砂で充填された生痕がみられる。147 cm 付近には直径 4 mm ほどの礫が含まれる。25~85 cm は砂質泥層であり、根茎が数多く含まれる。21~25 cm は極細~細粒砂からなる盛土であり、下位層との境界は不明瞭である。0~21 cm は砂質泥からなる耕作土である。

SRT-16 [標高 1.437 m]

深度 124~300 cm は主にシルト質中粒砂層であるが、160 cm より上位では徐々に泥質になり、最上部の 124~128 cm は有機質泥層からなる。また 160 cm 以深では真砂からなる細~中礫が散在する。また 124~170 cm には材化石や根茎が含まれる。104~124 cm は未分解の泥炭層である。93~104 cm は粘土層であり、材化石や根茎が含まれる。60~93 cm は分解の進んだ泥炭層であり、マッドクラストが散在する。また 68 cm 付近に薄いレンズ状の細~中粒砂層を挟んでいる。22~60 cm は下部の砂質シルトから上部に向かってシルト質細~中粒砂に変化し、マッドクラストが含まれる。5~22 cm はシルト質中~粗粒砂からなる耕作土である。0~5 cm はコアが欠損している。

SRT-17 [標高 1.488 m]

深度 423~500 cm は非常に淘汰の良い極細粒砂層

である。このうち、423~470 cm 付近には粗粒砂で充填された生痕がみられ、482 cm 付近には泥で充填された微小な生痕 (*Phycosiphon* sp.?) がみられる。409~423 cm は粗~極粗粒砂層であり、レンズ状の薄い泥層が挟まれている。400~409 cm は中~粗粒砂層である。394~400 cm はコアが欠損している。318~394 cm は非常に淘汰の良い細粒砂層であり、370 cm 以深では粗粒砂で充填された生痕がみられる。また 340~370 cm 付近では材化石や葉などの植物片がみられる。320 cm と 350 cm 付近には重鉍物が濃集した平行葉理が発達する。254~318 cm はシルト質砂礫層である。ここに含まれる礫は下部では直径 8 mm 前後であるが、上位ほど礫のサイズが大きくなり、270 cm 付近では最大 50 mm ほどに達する。223~254 cm は材化石や葉などの植物片を多量に含んだ礫混じりのシルト層であり、下位層との境界は不明瞭である。209~223 cm は真砂からなるシルト質砂礫層であり、下位層との境界は不明瞭である。200~209 cm はコアが欠損している。110~200 cm は有機質粘土層であり、葉や材化石などの植物片を数多く含む。また 158~170 cm 付近には砂が散在して含まれる。42~110 cm は未分解の泥炭層であり、下位層との境界は不明瞭である。0~42 cm はマッドクラストを含む砂質シルトからなる耕作土と盛土である。

SRT-18 [標高 2.167 m]

深度 83~184 cm は細~粗粒砂層であり、上位ほど細粒になる傾向がみられ、全体を通して材化石を多く含む。68~83 cm は有機質なシルト質細粒砂層であり、上位ほど泥質になる。41~68 cm は粘土層であり、下位層との境界は不明瞭である。0~41 cm は砂質シルトからなる耕作土と盛土であり、下位層との境界は不明瞭である。

SRT-19 [標高 2.735 m]

深度 136~200 cm は中粒砂層であり、泥で充填された生痕が数多くみられる。また 160~190 cm 付近は泥層がレンズ状に挟まれ、上部に向かってより泥質部が減少する。17~136 cm は粘土層であり、基底の 132~136 cm は有機質である。また上部 17~100 cm には中粒砂が散在する。0~17 cm は砂質シルトからなる耕作土である。

SRT-21 [標高 2.155 m]

深度 487~500 cm はシルト質細粒砂層であり、中~極粗粒砂がパッチ状に含まれる。480~487 cm は中~極粗粒砂層である。471~480 cm はシルト質細粒砂層である。428~471 cm は細礫が散在する中~粗粒砂層であり、シルト質細粒砂がパッチ状に含まれる。また最上部の 428~433 cm 付近には平行葉理が発達する。420~428 cm はシルト質細粒砂層であり、下位層との境界は不明瞭である。砂で充填された水平方向に延びる直径 2 mm 程度、長さ 1 cm 程度のチューブ状生痕が数多くみられるが、これは前浜

環境に生息するゴカイ類が形成する *Macaronichnus* isp. であると考えられる (例えば, 奈良, 1998; 奈良・清家, 2004, Seike, 2007). 412~420 cm は中~粗粒砂層であり, 下位層との境界は不明瞭である. 403~412 cm はシルト質細粒砂層であり, 下位層との境界は不明瞭である. 400~403 cm はコアが欠損している. 391~400 cm は細~中粒砂層である. 357~391 cm はシルト質細粒砂層であり, 下位層との境界は不明瞭である. 泥で充填された生痕が数多くみられ, 370 cm 付近には平行葉理が発達するが, その一部は生物擾乱を受けている. 317~357 cm には級化層が4枚累重し, それぞれの級化層の基底部は粗~極粗粒砂, 最上部はシルト質細~中粒砂からなる. 313~317 cm は泥層であり, 薄いレンズ状の粗~極粗粒砂層が挟まれる. 263~313 cm は粗~極粗粒砂層であり, シルト質中~粗粒砂がパッチ状に含まれる. 234~263 cm はシルト質細~中粒砂層であり, 240~250 cm の区間にはレンズ状の中~粗粒砂層を挟む. 188~234 cm はシルト質粗~極粗粒砂層であり, 下位層との境界は不明瞭である. 118~188 cm は真砂からなる細~極粗粒砂層である. 150~188 cm の区間には基底の粗粒砂から級化-逆級化が6回程度認められ, 118~150 cm の区間では最上部の細粒砂に向かって級化する構造がみられる. 86~118 cm は有機質の泥質細~中粒砂層である. 17~86 cm は団塊状の粘土, 0~17 cm は中~大礫からなる盛土である.

SRT-24 [標高 0.940 m]

深度 265~275 cm は細粒砂層である. 231~265 cm は砂質シルト層であり, 下位層とは大きく波打った境界で接している. 211~231 cm は細~中粒砂層であり, 下位層とは大きく波打った境界で接している. 197~211 cm はコアが欠損している. 181~197 cm は細~中粒砂層であり, 泥で充填された生痕がみられる. 100~181 cm はシルト質細~中粒砂層であり, 下位層との境界は不明瞭である. このうち, 165~175 cm の区間は薄い砂層とそれをドレイプするレンズ状の薄い泥層の互層であり, 葉などの植物片が含まれる. また 130~145 cm の区間には材化石が散在し, 100~110 cm および 120~130 cm の区間には材化石が数多く含まれる. 97~100 cm はコアが欠損している. 69~97 cm はシルト質細粒砂層であり, このうち 75~80 cm の区間には泥で充填された生痕がみられる. 61~69 cm は粘土層である. 21~61 cm 根茎が数多くみられる砂質粘土層であり, 下位層との境界は不明瞭である. 0~21 cm は砂質泥からなる耕作土であり, 下位層との境界は不明瞭である.

SRT-25 [標高 0.811 m]

深度 255~300 cm は真砂からなる中~極粗粒砂層であり, 287, 298 cm 付近には細礫が層状にやや密集する. 228~255 cm はシルト質細粒砂層であり, 下位層との境界は不明瞭である. また 235 cm 付近に

は粗粒砂がパッチ状に含まれ, 245~250 cm 付近には根茎が含まれる. 基底の 255 cm 付近には直径 10 mm 程度の礫が含まれる. 200~228 cm はコアスライムと考えられる粗粒砂層である. 183~200 cm は砂質シルト層である. 146~183 cm は厚さ 1~10 cm 程度の粘土層と中~極粗粒砂層が繰り返すフレーザー層理である. 129~146 cm は砂質シルト層であり, 植物片が含まれる. 85~129 cm は粘土層 (ただし, 100~106 cm はコア欠損) であり, 下位層との境界は不明瞭である. また根茎が含まれており, 根茎に沿って砂粒が散在する. 68~85 cm は中粒砂層であり, 泥で充填された生痕がみられる. 35~68 cm は砂質シルト層であり, 上方ほど含まれる砂の量が減少する. 19~35 cm は粘土からなる耕作土である. 0~19 cm はコアが欠損している.

SRT-26 [標高 1.405 m]

深度 419~500 cm は淘汰の良いシルト質極細粒砂層であり, 泥で充填された生痕が散在する. また 443 cm 付近には直径 10 mm 程度の礫が含まれる. 385~419 cm は細~極粗粒砂層であり, 下位から上位に向かって級化-逆級化-級化し, 粗粒な部分には細礫が散在する. 379~385 cm は粘土層であり, 上位の砂層から砂で充填された生痕が貫入する. 326~379 cm は淘汰の良い極細~細粒砂層であり, 全体的に級化傾向を示す. ところどころに重鉍物が濃集した平行葉理が発達する. また泥で充填された生痕が散在する. 322~326 cm は砂質シルト層である. 233~322 cm は真砂からなる全体的に泥質な砂礫層である. 基底の 320~322 cm は泥層であり, 上位に向かって礫が増加する. 310 cm よりも上位では直径 10~30 mm 程度の礫からなる泥質礫層となる. 250 cm よりも上位では礫が減少し, 中~粗粒砂層になる. 125~233 cm は粘土層であり, 下位層との境界は不明瞭である. 材化石や葉などの植物片がところどころ層状に濃集する. 81~125 cm はやや分解の進んだ泥炭層である. 67~81 cm は泥炭質な粘土層である. 30~67 cm は未分解の泥炭層である. 0~30 cm は砂質シルト層であり, 14~16 cm に細~中粒砂層を挟んでいる.

SRT-27 [標高 1.544 m]

深度 286~288 cm は細粒砂層であり, 弱い平行葉理がみられる. 172~286 cm は真砂からなる砂礫~礫層 (ただし, 200~212 cm はコア欠損) である. 主に 2~8 mm 程度の礫からなる級化層や逆級化-級化層が幾重にも累重しており, 全体的には上位ほど細粒化・泥質化する. また基底の 280 cm 付近には最大 20 mm 程度の礫が数多くみられ, 220~226 cm 付近には根茎が豊富に含まれる. 133~172 cm は有機質泥層であり, 下位層との境界は不明瞭である. 160 cm よりも下位では 2~4 mm 程度の細礫を多く含み, 157 cm 付近には層厚 5 mm 程度の薄い粗粒砂層を挟む. また 150 cm 付近には直径 20 mm 程度の礫

が含まれ、植物片や根茎が散在する。48~133 cm は未分解の泥炭層（ただし、100~108 cm はコア欠損）である。15~48 cm は砂質シルト層であり、植物片が散在する。また基底の 48 cm 付近には 2~6 mm 程度の細礫が散在し、28 cm 付近には層厚 1 mm 程度の薄い細粒砂層を挟む。10~15 cm は 40 mm 程度の礫を含む淘汰の悪い中粒砂からなる盛土である。0~10 cm はコアが欠損している。

3.2. 放射性炭素年代測定結果

SRT-2 では、表層付近にみられた砂層の形成年代を知るために、砂層の下位（深度 56~58 cm）から採取した炭化した植物遺体と、上位（33~34 cm）から採取した有機質泥を測定した（第 2 表）。SRT-16 では、表層付近にみられた砂質シルト~シルト質砂層の形成年代を知るために、砂層の下位（105~106 cm）から採取した植物遺体を測定した（第 2 表）。この層の上部は盛土や耕作土と混じっている可能性があるため、層の中ほどの層準（68~69 cm）から採取した有機質泥を測定したこれら 2 つの層の砂成分を実体顕微鏡で観察した結果、いずれの層も貝や有孔虫などの微化石を含まず、石英や長石など花崗岩由来の鉱物のみから形成されていた。

SRT-26 で得られた 5 m のコア試料では、層相が変化する前後の計 8 つの層準から葉や種子などの植物遺体を拾い出し、放射性炭素年代測定を行った（第 4 図）。測定試料を採取した層準は、34~36 cm（泥炭層の頂部）、68~70 cm（泥炭質粘土層の頂部）、128~131 cm（粘土層の頂部）、225~227 cm（粘土層の基底部）、327~329 cm、329~331 cm（淘汰の良い極細~細粒砂層の頂部）、420~422 cm、422~425 cm（淘汰の良いシルト質極細粒砂の頂部）である（第 2 表）。これらの測定値は、SRT-26 の最下部の 1 件（Lab. No. Beta-457134, 457135, 第 2 表）を除き層序関係と整合している（第 4 図）。年代値が逆転する試料を除くと、SRT-26 における平均堆積速度は 1000 年あたり 70 cm であり、過去約 6000 年間ではおおよそ一定の値を示す（第 4 図）。

4. 考察

4.1. 堆積環境

上記のコア試料観察結果から堆積学的特徴に基づいて層相を区分し、堆積環境を検討した。その結果、表層付近の人工改変土壌を除いて下位から順に海浜、河川、干潟・内湾、沼沢地という 4 種の堆積環境が復元された（第 5 図）。

得られた試料のうち最も深い部分には、淘汰の良い細粒砂層がみられるところがあり、これは海浜堆積物であると解釈できる。波が繰り返し打ち寄せる海浜堆積物は、一般的に細粒で淘汰の良い砂からなり、重鉱物の濃集による平行葉理が発達する。また海浜環境では活発な生物活動によって生痕が形成さ

れることが知られているが、SRT-21 の 420~428 cm 区間には海浜環境の指標となる生痕 *Macaronichnus isp.* がみられた。海浜堆積物は調査地域内の浜堤 A、浜堤 B の海側前面の地点における深度 1.5 m 以深でのみみられ、1.5 m 以上の層厚がある。

海浜堆積物の上位には、粗粒な砂層もしくは砂礫~礫層がみられる。これらは洪水などによって形成される河川性堆積物と解釈できる。これらの粗粒堆積物の大半は真砂であるが、これは調査地域周辺を流れる志登茂川の上流域に分布する基盤岩（白亜紀領家帯の花崗岩）が洪水などによって運ばれてきたものと考えられる。河川性堆積物は調査地域内の海側にのみ分布し、最も海側の地点 SRT-21 では特に 2 m を超える厚さになる。

河川性堆積物の上位にみられる比較的淘汰の悪い砂層、シルト質砂層、砂質シルト層、粘土層は、SRT-3 の深度 111~138 cm の区間や SRT-19 の 160~190 cm の区間にみられる砂層の中に薄い泥層がレンズ状に挟まれるプレーヤー層理が特徴である。これは、潮の干満の影響によりシルト・泥層と砂層が互層状に累重したものと考えられる（Reineck and Singh, 1980）。生痕の多さは、生物活動が活発な環境を示している。また材や葉などの植物片を多く含むことも、陸からの影響を比較的受けやすい環境であったと考えられる。以上のことからこの地層は、比較的静穏な水域環境である内湾（潟湖を含む）や干潟で形成されたと解釈できる。内湾・干潟の堆積物は調査地域内に比較的広く分布するが、北東域よりも南西域で広く厚く堆積している傾向がある。その中でもより内陸側の SRT5, SRT-24 付近では 2 m を超える厚さの堆積物が形成されている。

調査地域全体で人工改変土壌の直下に広く分布する粘土層や泥炭層、砂質シルト~シルト質砂層は、閉塞された静穏な水域環境である池や沼、湿地といった沼沢地で形成されたと解釈できる。これらの堆積物には、材化石や葉などの植物片、根茎などがしばしばみられ、沼沢地環境で形成されたことと矛盾しない。沼沢地性堆積物は最も厚い地点 SRT-26 において 2 m 程度であり、最も海側の地点 SRT-21 では存在しない。また調査地域の中では南西域よりも北東域でやや厚く堆積されている傾向があり、その中でも特に浜堤 A と浜堤 B に挟まれた堤間低地にある SRT-17, SRT-26 付近で厚い。

4.2. 調査地域の地史

SRT-26 における年代測定結果と各地点における堆積環境の変化から復元されるこの地域の地史は以下の通りである。SRT-26 基底付近の海浜堆積物からは、5720~6445 cal yBP（Lab. No. Beta-457134, 457135, 第 2 表）という幅の年代値が、海浜堆積物の最上部からは、5070~5580 cal yBP（Lab. No. Beta-457132, 457133, 第 2 表）という幅の年代値が得られた。し

たがって、この地域は約 6000 年前頃には海洋環境であり、約 5300 年前頃には SRT-26 近傍の浜堤 A が海岸線であったことがわかる。また、浜堤 A よりも南東側は浅海であると考えられることから、浜堤 B、浜堤 C はこの年代以降に発達したことになる。やがて浜堤 B、浜堤 C が発達すると、それよりも内側の地域は陸地化し、干潟や内湾・潟湖が広がり、また河川の影響を受けて流路堆積物や洪水堆積物などの河川性堆積物が形成されたと考えられる。SRT-26 における年代測定では、河川性堆積物の直下から 5070–5580 cal yBP (Lab. No. Beta-457132, 457133, 第 2 表)、直上から 3890–4080 cal yBP (Lab. No. Beta-457131, 第 2 表) という年代値が得られていることから、河川性堆積物は約 5300~4000 年前に形成されたことになる。河川性堆積物は南西域の浜堤 A と浜堤 C の間の一部の範囲に浜堤 B をまたいで分布する。仮にこれらの河川性堆積物が SRT-26 における河川性堆積物と同時に形成されたとすれば、遅くとも約 4000 年前までに浜堤 B および浜堤 C が発達し、陸地化していたことが示唆されるが、現在までに得られた結果では堆積物形成の同時性を議論することはできない。河川性堆積物は SRT-17, SRT-21, SRT-26 において海浜堆積物を直接覆い、SRT-2, SRT-3, SRT-21, SRT-25 において干潟・内湾堆積物に覆われるが、これは河川性堆積物が形成されるよりも前に陸地化しており、SRT-17, SRT-21, SRT-26 においては河川性堆積物が既に形成されていた陸性の堆積物を削り込んで海浜堆積物を直接覆ったものと解釈することができる。

時間とともに浜堤が発達し高くなると、海の影響が一層弱くなり沼沢地が広がったと考えられる。この沼沢地性堆積物の基底からは、3890–4080 cal yBP (Lab. No. Beta-457131, 第 2 表) という幅の年代値が、沼沢地性堆積物の最上部からは 915–735 cal yBP (Lab. No. Beta-457128, 第 2 表) という幅の年代値が得られた。したがって、約 4000 年前にはこの地域には沼沢地が広がり、少なくとも約 800 年前まではその状態が続いていたことが明らかになったが、沼沢地性堆積物の上位は表層付近の人工改変土壌が覆っているため、実際に沼沢地がいつ頃まで続いていたかは不明である。

以上のように、この地域では約 6000 年前から約 800 年前までに海浜堆積物、河川性堆積物、干潟・内湾堆積物、沼沢地性堆積物が形成されていたことが明らかになった。しかし、上記のように復元された地史は SRT-26 のみの年代測定結果に制約されたものであることから、より正確で詳細な地史を復元するためには、年代測定結果を含む制約条件をさらにそろえる必要がある。

4.3. 津波堆積物の可能性がある層

SRT-2 の深度 26~41 cm および SRT-16 の 22~60 cm には、津波のようなイベントによって形成さ

れた可能性がある砂層および砂質シルト~シルト質砂層がみられる。これらの層の形成年代は、前者が 3160–675 cal yBP (Lab. No. Beta-429783, 429784, 第 2 表)、後者が 2755–2120 cal yBP (Lab. No. Beta-429781, 429782, 第 2 表) である。これらのイベント層には、海から堆積物が運ばれたことを示すような微化石は含まれていなかった。また、これらの層は側方方向に追跡できず、限定的な分布である可能性が高い。以上のことから、これらの層が津波堆積物であると断定することはできない。また、調査地域内ではこれらの層以外に津波堆積物の可能性がある層はみられなかった。

本調査地域には 1498 年の明応津波や 1854 年の安政東海津波など、有史時代に何度も津波が来襲してきたことが歴史記録から知られているが、本調査からはこれらに対応するイベント層はみられなかった。その理由として、SRT-2, SRT-16, SRT-26 においては約 800 年前以前の堆積物しか残されていなかったことに加え、津波が浸水したにも関わらず津波堆積物を形成しなかった、もしくは形成された津波堆積物が保存されなかった可能性も挙げられる。また、実際には津波堆積物が形成されたにも関わらず、それが泥質であったため、もしくは非常に薄い砂層質であったために、肉眼では識別できなかった可能性も残されている。

5. まとめ

三重県津市周辺の浜堤の発達する海岸低地において定方位簡易ボーリングおよびオールコアボーリングによる掘削調査を実施した。その結果、この地域では、約 6000 年前から約 800 年前までに海浜堆積物、河川性堆積物、干潟・内湾堆積物、沼沢地性堆積物が形成されていたことが明らかになった。これらの堆積物中には、明確に津波堆積物と考えられる砂層は含まれておらず、また有史時代の既知の津波に対応する堆積物もみられなかった。これはこの地域で有史時代の堆積物がほとんど残されていないことに加え、津波が浸水したにも関わらず堆積物を形成しなかった可能性や、形成された堆積物が保存されなかった可能性、肉眼で識別できなかった可能性などが考えられる。今後の研究では、肉眼で識別できない津波堆積物などの津波浸水痕跡を把握する分析手法を確立することによって、津波の履歴をより正確に解明することが必要であろう。

謝辞 現地調査の際には、三重県立博物館の中川良平博士、三重県津市役所の関係部署の方々に様々な便宜を図っていただいた。調査地の地権者の方々および調査地周辺の自治会の方々には、調査の趣旨を理解していただき、ご尽力いただいた。三重大学の目崎茂和名誉教授、栗原行人准教授には、調査地周

辺の地誌を教示いただいた。ボーリング調査に際しては、株式会社阪神コンサルタツの市川清士氏、金栗聡氏にお世話になった。産業技術総合研究所活断層・火山研究部門の澤井祐紀博士には調査地の選定や地権者調査を行う際に資料を提供していただいた。本稿は産業技術総合研究所活断層・火山研究部門の藤原 治博士と宍倉正展博士には有益なコメントをいただいた。以上の方々に対し、記して感謝いたします。

文 献

- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51, 337–360.
- 藤野滋弘・小松原純子・宍倉正展・木村治夫・行谷祐一 (2008) 志摩半島におけるハンドコアラーを用いた古津波堆積物調査報告. 活断層・古地震研究報告, No. 8, 255–265.
- 藤原 治・小野映介・矢田俊文・海津正倫・鎌滝孝信・内田淳一 (2008) 完新世後半における太田川低地南西部の環境変化と津波堆積物. 活断層・古地震研究報告, No. 8, 187–202.
- 羽鳥徳太郎 (2005) 伊勢湾岸市街地における安政東海津波 (1854) の浸水状況. 歴史地震, 20, 57–64.
- Ishibashi, K. (2004) Status of historical seismology in Japan. *Ann. Geophys.*, 47, 339–368.
- 小松原純子・岡村行信 (2007) 三重県志島低地における津波堆積物調査 (予察). 活断層・古地震研究報告, No. 7, 209–217.
- 小松原純子・岡村行信・澤井祐紀・宍倉正展・吉見雅行・竿元英貴 (2007) 紀伊半島沿岸の津波堆積物調査. 活断層・古地震研究報告, No. 7, 219–230.
- 松本 弾 (2014) 三重県中部における津波堆積物調査. 巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告書, 地質調査総合センター速報, no. 66, 49–54.
- 三重大学人文学部考古学研究室 (編) (2012) 鬼が塩屋遺跡. 三重大学人文学部考古学研究室調査研究報告書第6集, 60 pp.
- 行谷祐一・都司嘉宣 (2005) 宝永 (1707)・安政東海 (1854) 地震津波の三重県における詳細津波浸水高分布. 歴史地震, 20, 33–56.
- 奈良正和 (1994) “ヒメスナホリムシの生痕化石” の形成者は何か? —生痕化石 *Macaronichnus segregatis* の形成メカニズム. 化石, 56, 9–20.
- 奈良正和・清家弘治 (2004) 千葉県九十九里浜の現世前浜堆積物に見られる *Macaronichnus segregatis* 様生痕とその形成者. 地質学雑誌, 110, 545–551.
- Okahashi, H., Yasuhara, M., Mitamura, M., Hirose, K. and Yoshikawa, S. (2005) Event deposits associated with tsunamis and their sedimentary structure in Holocene marsh deposits on the east coast of the Shima Peninsula, central Japan. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 48, 143–158.
- 岡村 眞・松岡裕美 (2012) 津波堆積物からわかる南海地震の繰り返し. 科学, 82, 182–194.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. and Hogg, A. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 1869–1887.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B. (1980) *Depositional sedimentary environments* (2nd ed.). Springer-Verlag, 549 pp.
- 澤井祐紀・宍倉正展・小松原純子 (2008) ハンドコアラーを用いた宮城県仙台平野 (仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町) における古津波痕跡調査. 活断層・古地震研究報告, No. 8, 17–70.
- Seike, K. (2007) Palaeoenvironmental and palaeogeographical implications of modern *Macaronichnus segregatis*-like traces in foreshore sediments on the Pacific coast of central Japan. *Palaeogeogr. Palaeoecol.*, 252, 497–502.
- 都司嘉宣・日野貴之・矢沼 隆・岩崎伸一・北原糸子 (1991) 安政東海地震津波 (1854) の浸水高の精密調査. 歴史地震, 7, 43–56.
- 宇佐美龍夫 (2003) 最新版日本被害地震総覧 [416]–2001. 東京大学出版会, 605 pp.
- 渡辺偉夫 (1998) 日本被害津波総覧 [第2版]. 東京大学出版会, 238 pp.
- 山中 章 (編) (2012) 伊勢湾岸地震履歴の総合的研究. 三重大学人文学部, 118 pp.
- 矢田俊文 (2005) 1498年明応東海地震の津波被害と中世安濃津の被災. 歴史地震, 20, 9–12.

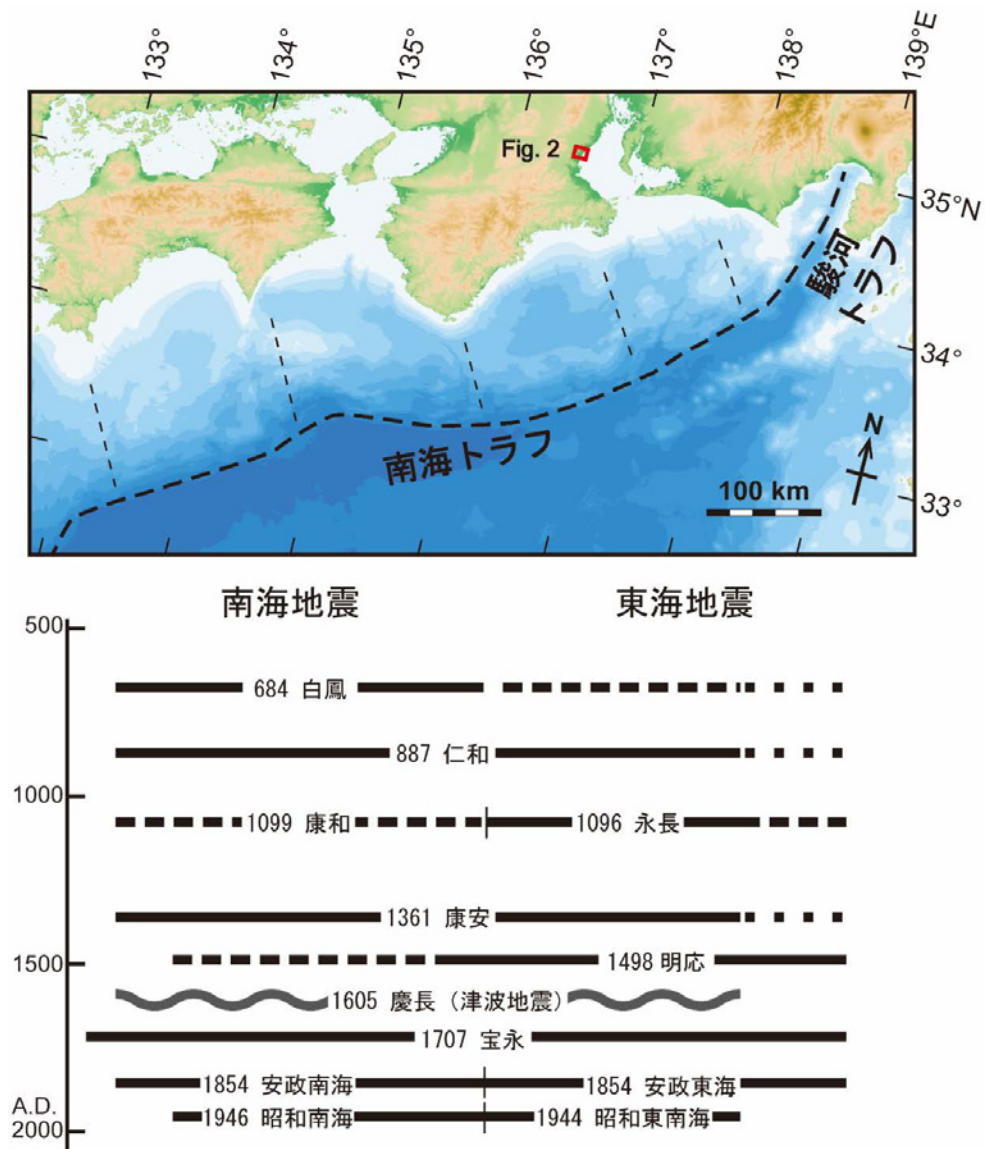
(受付: 2017年8月15日, 受理: 2017年9月29日)

第1表. ボーリング試料の採取方法と採取位置・標高リスト.
Table 1. List of the coring method, location and elevation of the coring sites.

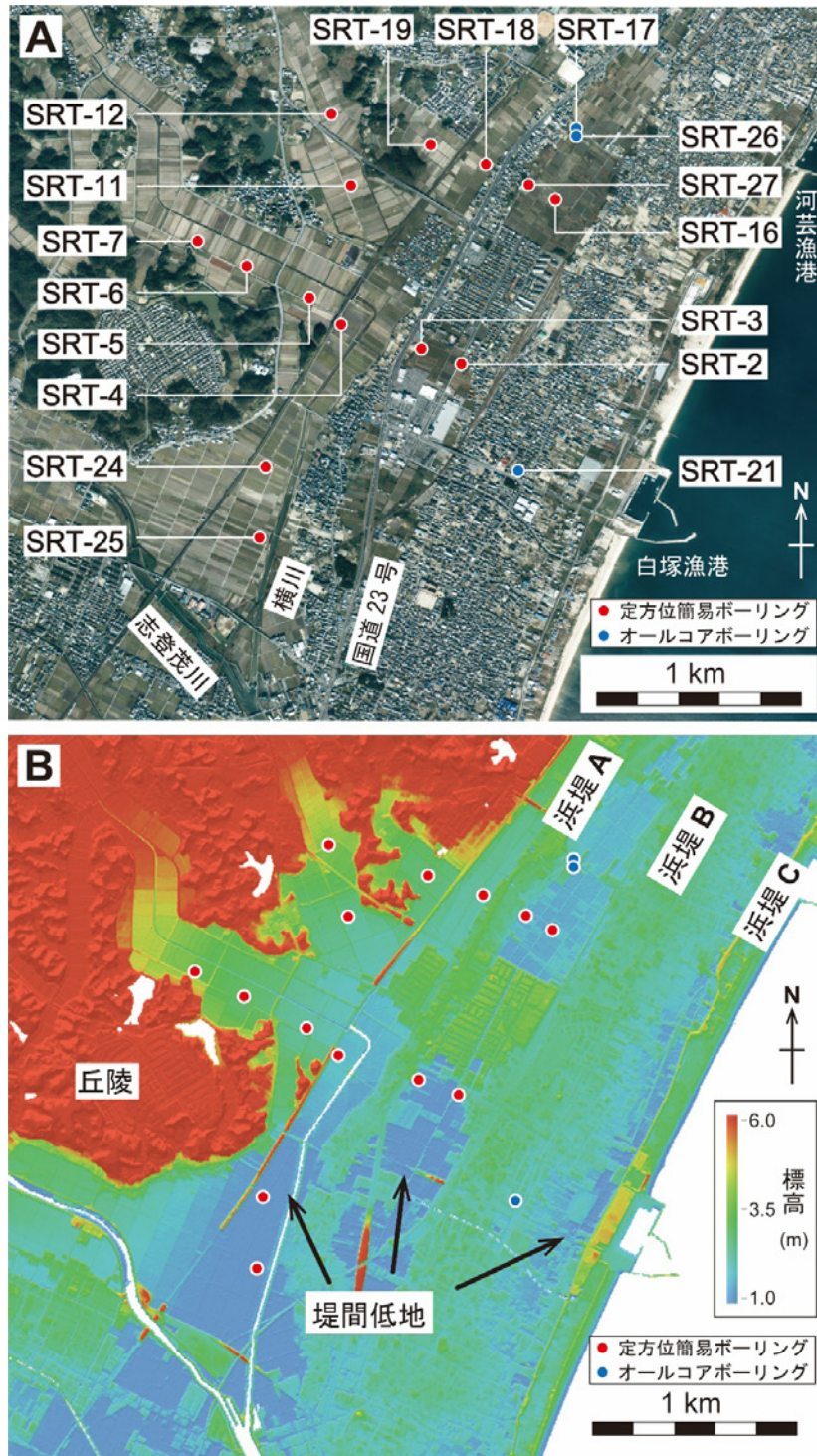
採取法	地点名	緯度	経度	標高(m)
ボー リ ン コ グ ア	SRT-17	34.78020523	136.53527990	1.488
	SRT-21	34.76580912	136.53336762	2.155
	SRT-26	34.78010944	136.53530079	1.405
定 方 位 簡 易 ボ ー リ ン グ	SRT-2	34.77072077	136.53005341	1.309
	SRT-3	34.77128154	136.52806154	1.185
	SRT-4	34.77236746	136.52355971	1.483
	SRT-5	34.77343295	136.52231217	2.172
	SRT-6	34.77479141	136.51904909	2.764
	SRT-7	34.77580465	136.51651958	3.384
	SRT-11	34.77846536	136.52408648	2.396
	SRT-12	34.78151589	136.52327489	3.188
	SRT-16	34.77803989	136.53495648	1.437
	SRT-18	34.77957619	136.53119302	2.167
	SRT-19	34.78002561	136.52823673	2.735
	SRT-24	34.76623409	136.52019655	0.940
	SRT-25	34.76319852	136.51991939	0.811
	SRT-27	34.77869760	136.53351984	1.544

第2表. 三重県津市で得られたボーリング試料の放射性炭素年代測定結果.
Table 2. Results of radiocarbon dating.

	地点名	深度 (cm)	測定試料	年代値 (¹⁴ C yBP)	年代値 (cal yBP)	δ ¹³ C (‰)	Lab. No. (Beta-)
1	SRT-2	33-34	有機質泥	790±30	740-675	-26.8	429784
2	SRT-2	56-58	炭化物	2910±30	3160-2960	-27.2	429783
3	SRT-16	68-69	材	2180±30	2310-2120	-27.3	429781
4	SRT-16	105-106	材	2580±30	2755-2715	-26.4	429782
5	SRT-26	34-36	種子	900±30	915-735	-9.4	457128
6	SRT-26	68-70	種子	2730±30	2875-2765	-25.2	457129
7	SRT-26	128-131	種子	3340±30	3640-3545 3535-3480	-29.9	457130
8	SRT-26	225-227	葉	3650±30	4080-4030 4010-3890	-30.5	457131
9	SRT-26	327-329	葉	4560±30	5320-5275 5165-5125 5110-5070	-29.2	457132
10	SRT-26	329-331	葉	4700±30	5580-5505 5485-5320	-25.3	457133
11	SRT-26	420-422	葉	5610±30	6445-6310	-26.4	457134
12	SRT-26	422-425	葉	5050±30	5905-5720	-27.5	457135

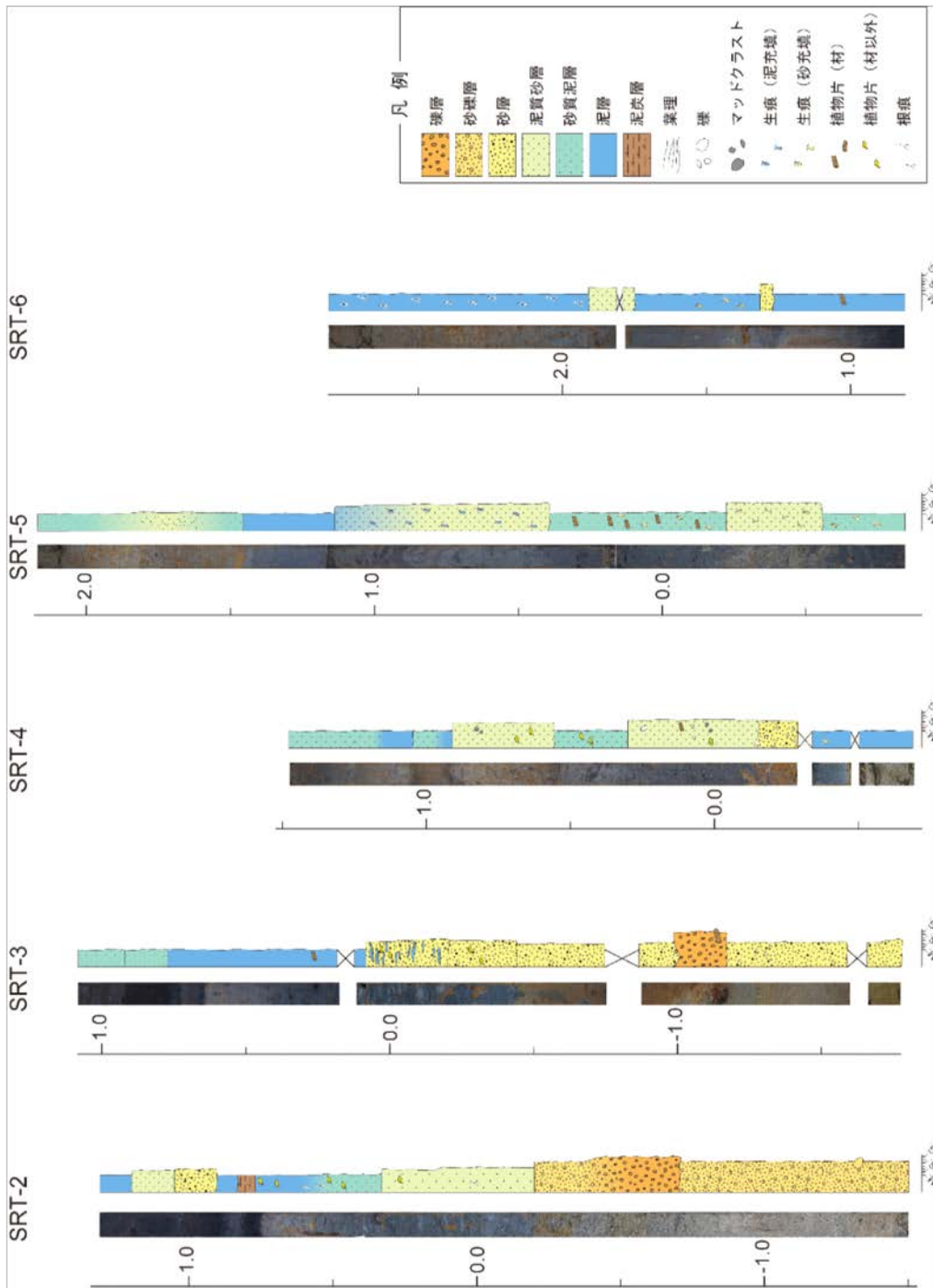


第1図. 南海トラフ沿いで発生した歴史地震の破壊域と調査地域. Ishibashi (2004) に加筆.
 Fig. 1. Rapture zones of the historical earthquakes along the Nankai Trough and the survey area.
 Modified after Ishibashi (2004).

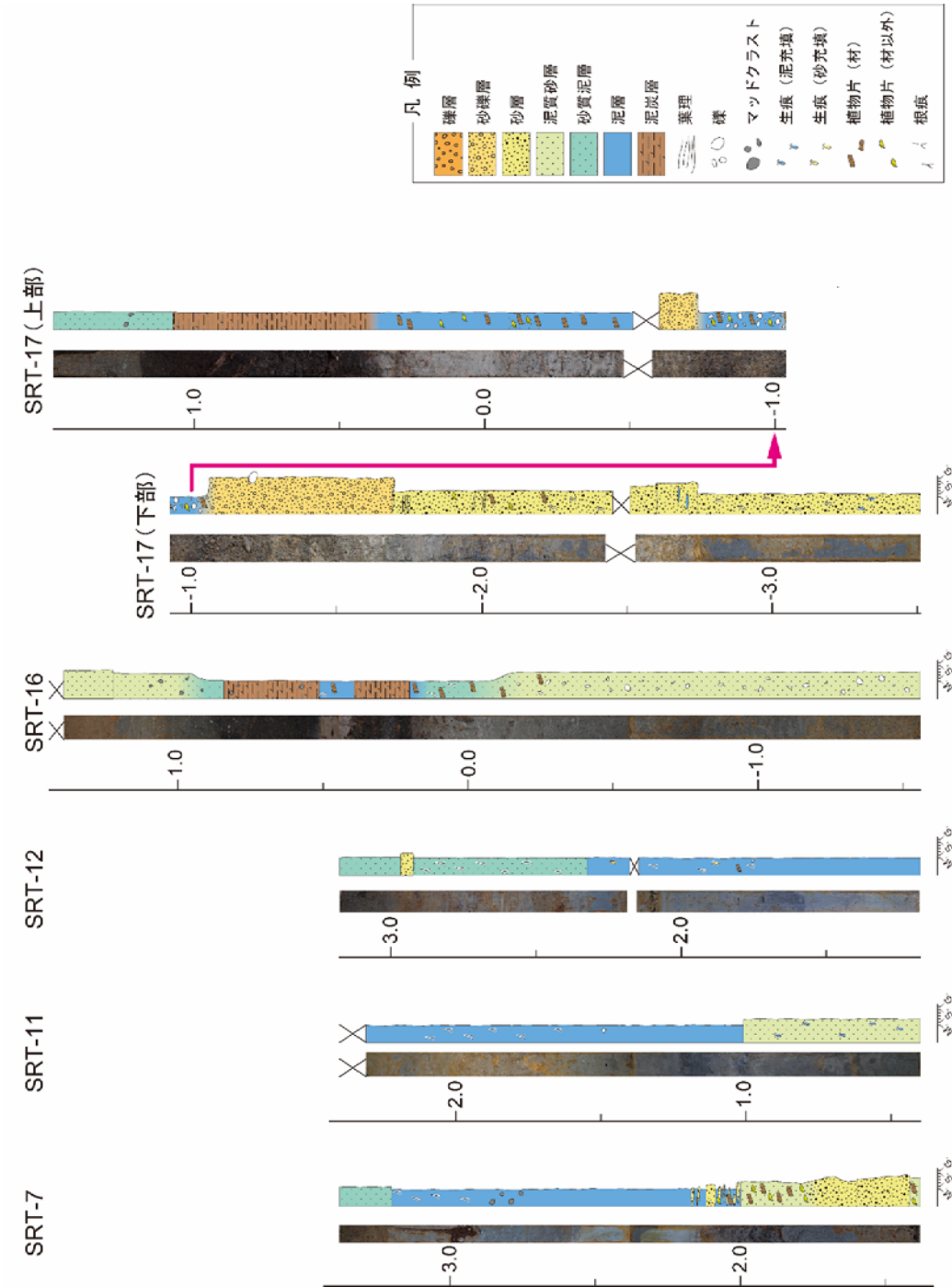


第 2 図. 調査地域図。(A) 調査地域の航空写真。国土地理院発行空中写真 [CKK20115-C15-26], [CKK20115-C15-28], [CKK20115-C16-26], [CKK20115-C16-28] を使用。(B) 調査地域の採色標高地形図。国土地理院基盤地図情報の 5 m メッシュ DEM データを利用。

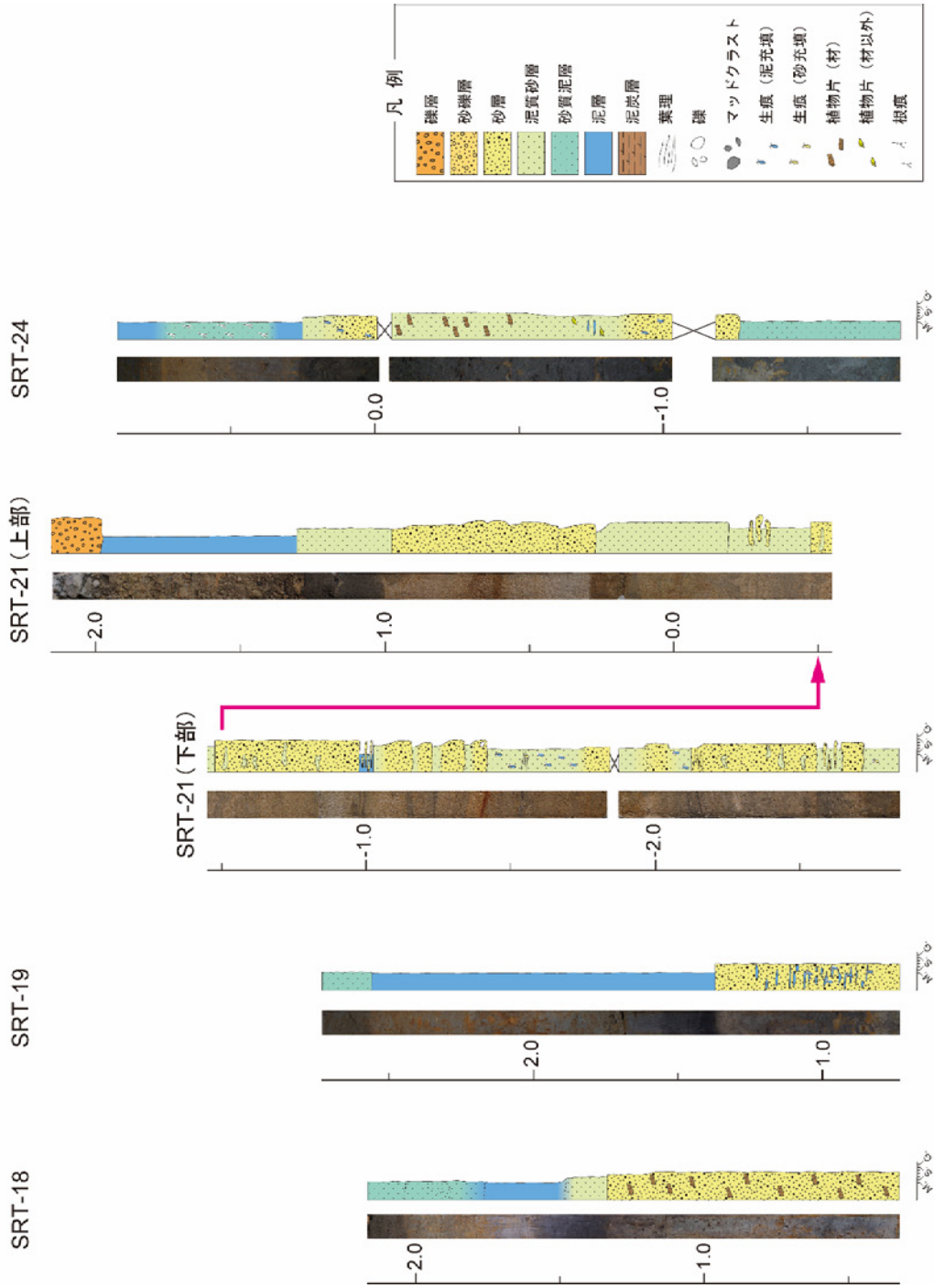
Fig. 2. Location map of the survey area. (A) Aerial photograph of the survey area. Modified after aerial photographs [CKK20115-C15-26], [CKK20115-C15-28], [CKK20115-C16-26] and [CKK20115-C16-28] taken by Geospatial Information Authority of Japan (GSI). (B) Elevation map of the survey area based on 5 m-mesh DEM provided by GSI.



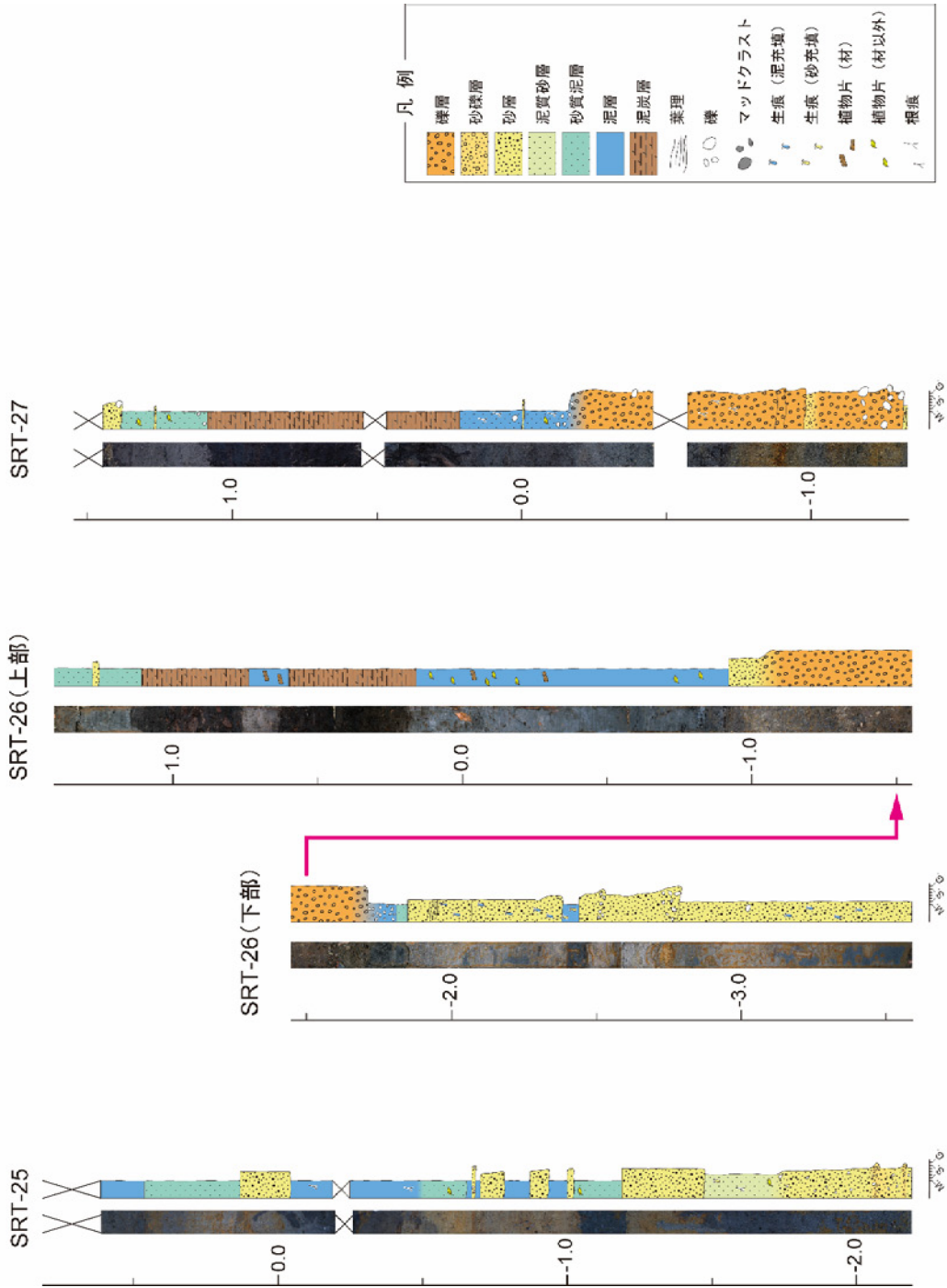
第3図. コア試料の写真と柱状図.
Fig. 3. Photograph and columnar section of the core sample.



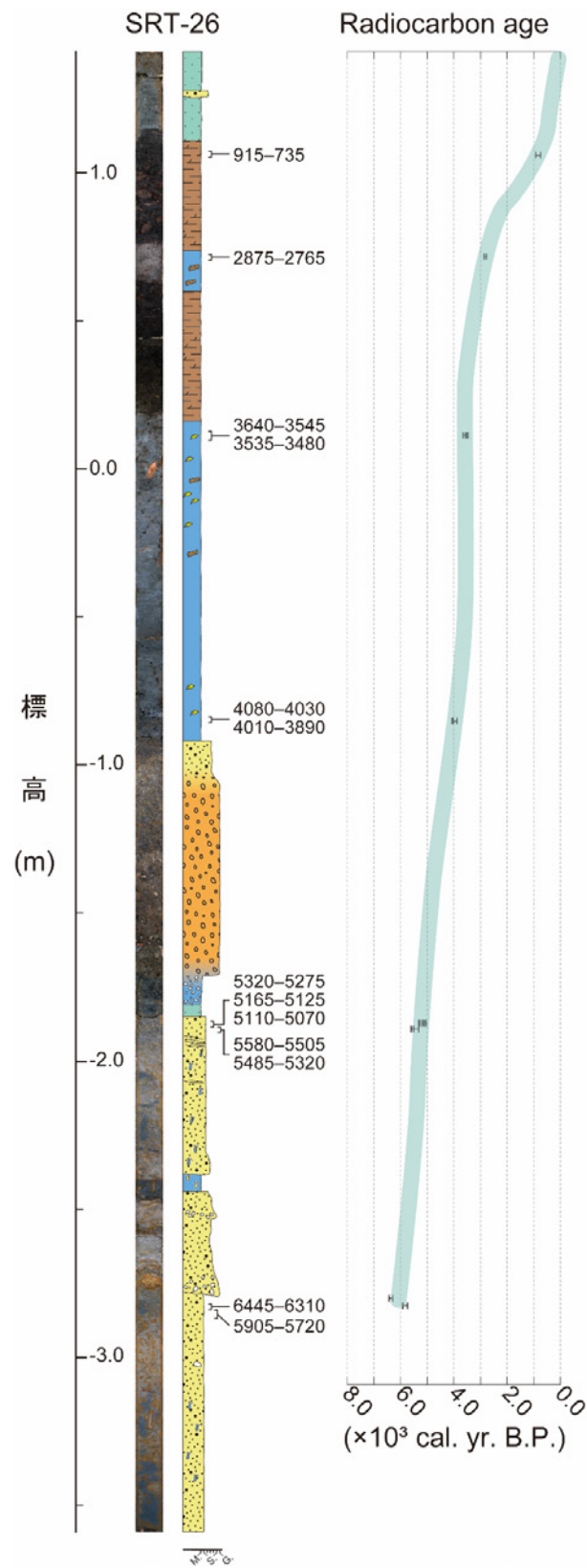
第3図. (続き)
Fig. 3. (continued)



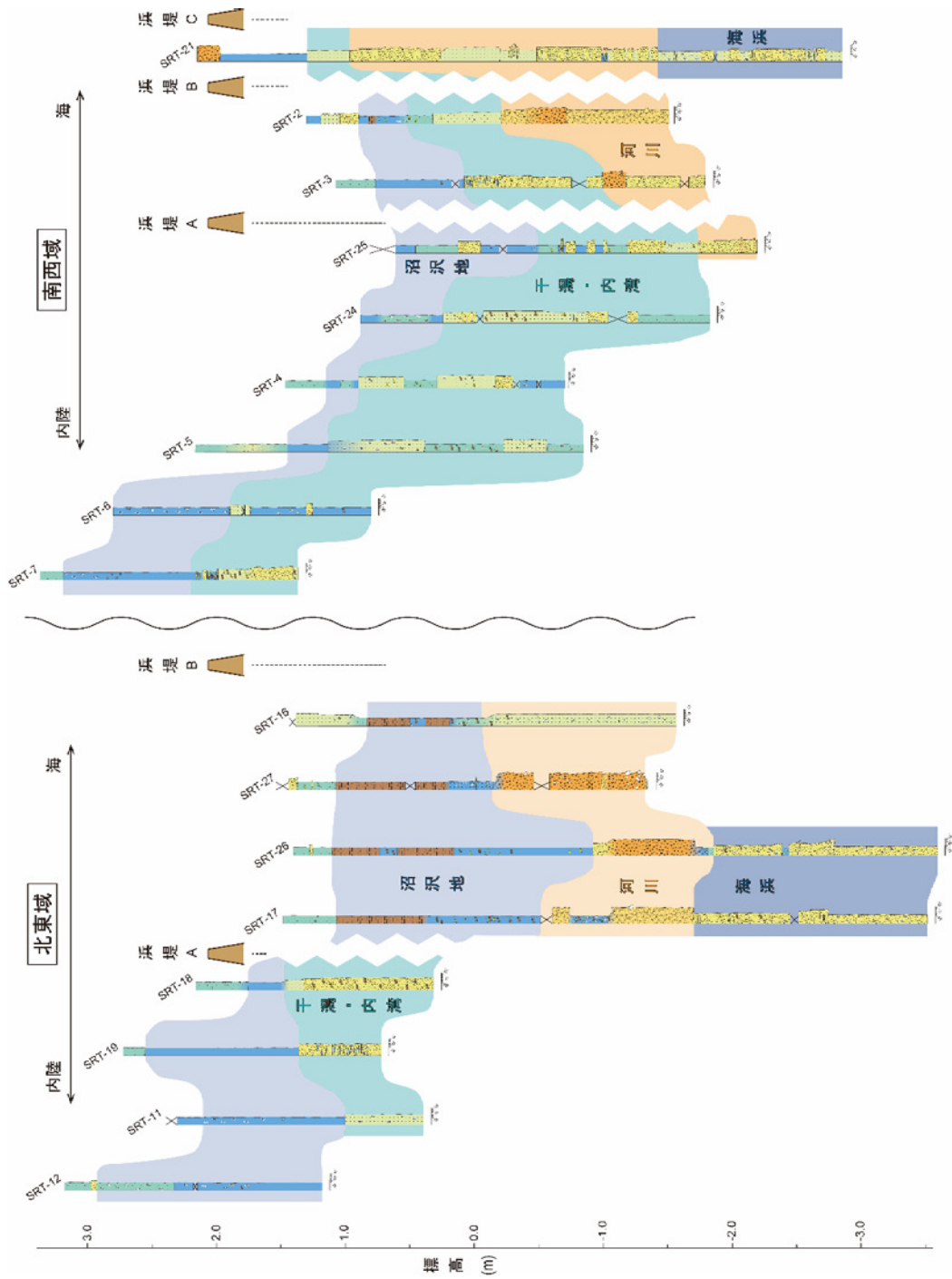
第3図. (続き)
Fig. 3. (continued)



第3図. (続き)
Fig. 3. (continued)



第4図. SRT-26のコア写真・柱状図と堆積曲線. 年代値は2 σ 暦年代範囲を示す.
 Fig. 4. Photograph and columnar section of the core sample at SRT-26 with sediment accumulation curve. Each age is illustrated by the calibrated radiocarbon date with the range of 2 σ .



第5図. 調査地域の地質断面と堆積環境. 横方向および浜堤の高さの縮尺は一定ではない.
 Fig. 5. Geological cross-section and depositional environments in the study area. Lateral distance and height of the sand ridges are not to scale.