

広島湾における五日市断層帯延長部の活動性調査

Marine geological investigations on offshore extension of the Itsukaichi fault zone in Hiroshima Bay, southwest Japan

丸山 正¹

Tadashi Maruyama¹

¹ 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Faults and Earthquake Research Center, tadashi-maruyama@aist.go.jp)

Abstract: The Itsukaichi fault zone, which is composed of the NNE-SSW-trending Itsukaichi fault on the west and the Koi-Hiroshimawan Seien fault zone on the east, is one of the active dextral strike-slip fault zones in Chugoku region, southwest Japan. In order to define distribution and recent activity of its offshore extension and to understand its geometrical relation to adjacent active fault zones, such as the Iwakuni and Akinada fault zones, marine geologic investigations including high-resolution bathymetric, acoustic profiling with Sonoprobe and boomer multichannel seismic profiling surveys and piston coring were conducted in the northern Hiroshima Bay area. Detailed seafloor topography derived from swath bathymetric survey in Ono-Seto, a NE-SW-trending narrow strait west of Itsukushima (Miyajima) Island, displays a series of depressions trending NE-SW to NNE-SSW, which may indicate a topographic expression due to Quaternary faulting on the offshore extension of the Itsukaichi fault. High-resolution acoustic profiles and piston cores enable to identify several possible active faults that deform the latest Pleistocene to Holocene sediments. From their positions and geometrical features, these faults are interpreted as offshore extension of the Itsukaichi fault zone. Results of our survey with those of previous studies suggests that the Itsukaichi fault zone seems to extend to the southwest and south in Hiroshima Bay to connect the Iwakuni fault zone and Akinada fault zone, respectively, forming a long and diffuse active fault zone in Chugoku region.

キーワード: 五日市断層帯, 活断層, 横ずれ断層, 海底地形, 音波探査, ピストンコアリング, 広島湾

Keywords: Itsukaichi fault zone, active fault, strike-slip fault, bathymetry, acoustic profiling, piston coring, Hiroshima Bay

1. はじめに

広島県南西部に分布する五日市断層帯は、五日市断層と己斐-広島西縁断層帯の並走する2つの断層(帯)から構成される(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004a)(第1図)。それによると、五日市断層は北北東-南南西走向に延びる全長約20 kmの右横ずれ断層で、西側上がりの逆断層成分を伴う。己斐断層および広島西縁断層からなる己斐-広島西縁断層帯は長さ約10 kmで、五日市断層の東約6 kmをほぼ同一走向に延びる右横ずれ断層である。

活断層研究会編(1980, 1991)は、これらの断層の分布や断層変位地形についての概要を示し、五日市断層および広島西縁断層を活動度B級、己斐断層を活動度C級の活断層と認定した。また、中田ほか(1996)、中田・今泉編(2002)は、本断層帯の詳細な位置を図示した。地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004a)は、広島市(1996)により実施された五日市断層および己斐断層のトレンチ調査結果を

再検討し、最新活動時期がそれぞれ7世紀以後12世紀以前、約2万3千年前以前である可能性を指摘した。なお、両断層とも平均活動間隔は不明とされている。

五日市断層帯の海域への連続に関しては、広島湾北部沿岸域においてソノプローブ音波探査、エアガン音源としたマルチチャンネル音波探査およびピストンコアリング調査を実施した広島市(1996)によると、本断層帯が海域まで延びている証拠は認められないとした。これに対して、海上保安庁水路部(1997)および岩淵ほか(1998)は、広島市(1996)が調査した範囲を含む広島湾全域においてチャープソナーおよびスパーカーを音源とする音波探査を行い、第四系を変位させる断層を多数報告している(第2図)。ただし、これらの断層はその分布および走向から、五日市断層帯とは別の起震断層(安芸灘断層群: 安芸灘断層群主部と広島湾-岩国沖断層帯からなる、第1図)として評価されている(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2009)。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004a)は、広島市(1996)によって実施された調査をはじめ、これまでに行われた調査研究成果に基づき、五日市断層帯の将来の活動について次のように評価している。すなわち、1)本断層帯のうち五日市断層は、マグニチュード7.0程度の地震を発生させ、その際1~2m程度の右横ずれを生じる可能性があること、2)己斐-広島西縁断層帯では、マグニチュード6.5程度の地震が発生する可能性があり、その場合、1m程度の右横ずれが生じる可能性がある。ただし、3)いずれの断層についても平均的な活動間隔に関する情報が得られていないため、最新活動時期からの経過に基づく長期的な地震発生確率は不明である(地震調査研究推進本部地震調査委員会,2004a)。また、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004a,2004b,2009)は、今後に向けた課題として、本断層帯の南西および南方に分布する岩国断層帯および安芸灘断層群の位置関係(第1図)およびそれらの連動の可能性を明らかにする観点から、広島湾内のさらなる調査が必要と指摘している。

そこで、本調査では、五日市断層帯の南西延長部にあたる広島湾北部沿岸海域において、その分布と活動履歴および岩国断層帯、安芸灘断層群との連続性を確認するため、高分解能海底地形調査、反射法音波探査、ピストンコアリングによる採泥調査を実施した(第3図)。

2. 調査内容

2.1 高分解能海底地形調査

海底地形調査には、水深と海底反射強度の詳細を面的に取得できるインターフェロメトリー測深器GeoSwath Plus(英国GeoAcoustic社製)を使用した(第4a図)。この装置は、舷側に固定したセンサーから左右両側に扇状に音波を發し、海底からの反射音の位相を受信することにより、直下水深の約12倍(片舷6倍)の範囲において高精度・高密度の水深値と反射強度が取得できる。調査範囲は、五日市断層の走向延長部にあたり、かつ既存資料から完新世の泥質堆積物が薄いあるいは分布していない廿日市市大野町と同市宮島町に挟まれる狭長な水道(大野瀬戸)を対象とした(第3図)。調査範囲は長さ約10km、幅約2kmである。

現地調査は2009年10月13日に開始し、同年10月28日に終了した。調査期間中は天候が良好で、海況が安定していたため、調査船に搭載した動揺センサーで船の揺れによるデータの変動の補正が可能であった。得られたデータに対して、各種補正およびノイズ除去を施し、2mグリッドの水深メッシュデータおよび反射強度のモザイクイメージを作成した。

2.2 高分解能反射法音波探査

本調査では、五日市断層、己斐断層および広島

西縁断層の走向延長部をカバーするように測線を設定し、極浅部音波探査(ソノプローブ)およびブーマーを用いた高分解能ショートマルチチャンネル音波探査実施した(第3図)。

調査海域では、これまでもソノプローブを用いた音波探査が実施されており、海面下約40m以浅に分布する完新統の堆積構造が捉えられている(広島湾地盤検討調査委員会,1995;広島市,1996)。ただし、ソノプローブは発振エネルギーが小さく、海面下約40m以深に分布する地層の堆積構造を把握することは困難であった。これに対し、高分解能ショートマルチチャンネル音波探査は、音源により出力の大きいブーマーを使用し(第4b図)、また反射記録の重合により、ソノプローブでイメージングできる範囲よりもさらに深い部分で高分解能の記録を得ることができる(第5図)。さらに、探査機材が小型のためソノプローブと同じ5トン程度の漁船に搭載することができるため、海岸線付近まで調査可能である(村上ほか,2004;村上,2007)。浅海域の活断層調査における高分解能ショートマルチチャンネル音波探査の有効性は、能登半島地震余震域の活断層調査で確認され(井上ほか,2007)、その後の沿岸海域での活断層調査でも使用されている(例えば、岡村,2010;杉山ほか,2010)。ただし、ブーマーによる探査には、リングングノイズにより海底面付近(海底面下2~5m以浅)の地質構造の判読が困難になる弱点もある。そこで、本探査では一部の測線でソノプローブとブーマーショートマルチチャンネル音波探査を実施し、両探査の長所を活かして浅海底の詳細な堆積・地質構造を連続的にイメージングすることを試みた。第1表に今回の探査で使用したソノプローブとブーマーショートマルチチャンネル音波探査の探査仕様を示す。

極浅部音波探査には、カイジョー製SP-3型ソノプローブを使用した。測線の方位については、五日市断層帯の走向延長部では同断層帯の走向と直交する北西-南東に設定した(第3図)。また、厳島北東沖では、既存資料によると南北走向の断層(安芸灘断層群)が報告されていること(海上保安庁水路部,1997,第1,2図)、また北西-南東方向の測線間の反射記録を対比するために東西方向の測線を設けた(第3図)。探査測線の総延長は94.4kmであった。調査は2009年10月6日に開始し、同年10月11日に終了した。探査データは、深度50m(水中および堆積物中の音波速度を1,500m/秒と仮定)までの記録がロール紙に連続的に出力される。後述するように本調査海域では、海面下約40m以浅に堆積する主として完新統の堆積構造の詳細が判読できた。

ブーマーマルチチャンネル音波探査は、ソノプローブによる探査では判読が困難な海面下約40m以深の地質構造を明らかにするため、ソノプローブ探査測線の一部でそれとほぼ同一の測線で実施した(第

3 図). 探査測線の総延長は 45.9 km であった. 探査には, 英国 Applied Acoustic Engineering 社製 Boomer を音源とし, 反射波は 12 チャンネルのストリーマで受信した(第 4b 図). チャンネル間隔は 3.15 m で, ブーマーの発振間隔は 1 秒毎とした. 調査は 2009 年 10 月 12 日に開始し, 同年 10 月 14 日に終了した. 反射記録は, 船上でニアトレース記録を紙出力するとともに, SEG-Y 形式でデジタル収録した. データ処理には, 処理ソフトウェア SPW (米国 Parallel Geoscience 社製) を用いて, 波形処理, 速度解析等を行い, 重合断面を作成した. 得られた反射断面は, 条件がよければ海面からの往復走時約 0.1 秒(水中および堆積物中の音波速度を 1,500 m/秒とした場合水深 75 m) 付近までの地質構造が観察できた.

2.3 ピストンコアリング

反射断面にみられる地層の層相および堆積年代を明らかにすることと地層に変形が生じた時期を限定することを目的として, 巖島北東海域の測線 H07 (コア HP-1, -2) 沿いと大野瀬戸南西海域の測線 H18 (コア HP-3~HP-5) 沿いの 2 箇所計 5 孔のピストンコアリング調査を実施した(第 3 図). また, 本海域でこれまでに採取されたピストンコアリング資料(広島湾地盤検討調査委員会, 1995; 広島市, 1996) も地層の対比や年代推定に用いた.

コアリング作業は 2009 年 11 月 17 日に実施した. 採取したコアの長さは 3.57 m~12.02 m である(第 2 表). 当初, 音波探査記録から明瞭な断層変位が認められた広島湾沿岸部および廿日市周辺海域(後述)で堆積物の採取を予定したが, いずれもカキ養殖海域にあたり作業船の固定が困難なことから, 代替地として今回の調査地点とした(第 3 図). 調査期間の制約から, コアリング地点選定は, ソノプローブ音波探査断面およびブーマーマルチのニアトレース断面の解釈に基づいて行い, 試料採取は, ブーマーマルチの解析, 重合断面図作成以前に完了した.

採取されたコアは, 船上にて長さ 1 m 毎に切断し, 専用コア箱に包装し搬送した. 室内にてコアの半割, 半割試料表面の整形, 写真撮影, コア観察, 柱状図の作成, ^{14}C 年代測定試料(木片, 貝殻等)採取を行った. ^{14}C 年代測定は株式会社加速器分析研究所に依頼した. なお, 年代測定に供する試料は, 試料間で海洋リザーバ効果の影響を考慮することを避けるため, 木片のみとした(第 3 表). 木片が堆積物に取り込まれるまでの期間は不明であるため, ^{14}C 年代値は採取した地層の堆積年代の上限を示す.

3. 調査結果

3.1 海底地形調査

調査海域である広島湾北部沿岸海域は, 大部分の水深が 30 m 以浅で, 多数の島の分布で特徴付けられ

る. 調査海域の大部分は太田川をはじめとする流入河川から供給された堆積物に覆われ, 平坦な海底地形を示す. これに対して, 大野瀬戸と呼ばれる湾北西部に分布する巖島(宮島)と廿日市沿岸部の間の狭長な水道では, 潮流の浸食作用により海底地形に起伏が認められる. 本報告では, こうした海底地形の特徴および後述する地質構造の分布から, 調査海域を便宜的に, 1) 廿日市沿岸から大野瀬戸に至る西部海域, 2) 巖島北東部から似島までを中部海域, 3) 似島と金輪島の間を東部海域に区分した(第 6 図).

西部海域を対象として実施した高分解能海底地形調査により取得された海底地形データから作成した等高線図および大野瀬戸中央狭窄部の拡大図をそれぞれ第 7 図および第 8 図に示す. 調査範囲の北東部および南西部は, それぞれ五日市断層帯および岩国断層帯の海域延長部に位置する(第 1 図). そこでは, 海底面はいずれも南東に向かって一様に緩傾斜している. こうしたなだらかな海底地形から, 調査範囲の北東部および南西部は新期の堆積物により被覆されていると判断でき, 海底の断層変位を示唆する海底面の変形や傾斜変化は認められない(第 7 図).

一方, 狭窄部にあたる調査範囲中央部では, 鞍懸礁や亀瀬など基盤花崗岩類とみられる高まりが突出するように分布するが, その分布の東西両縁には, 海岸線とほぼ平行する北東-南西方向に長軸をもつ細長い凹地群が認められる(第 7 図). こうした凹地は, 最終氷期の低海面期における流路跡あるいは潮流により形成された海釜の可能性も否定できないが, 1) 五日市断層の延長上に位置すること, 2) 線状あるいは雁行状に配列すること, 3) 凹地の一方が塞がるような形態を示すことから, 一部は同断層の活動に関連して形成された凹地の可能性もある. こうした地形が最近の断層活動に関連しているか確認するため, 後述するように凹地とその延長を横切って音波探査の測線を設定した.

高分解能海底地形調査の範囲外の海底地形に関しては, 後述する音波探査時に実施した測深記録によると, 海峡部分や海釜部分を除き, 断層変位地形を示唆する海底面の高まり, 崖や傾斜変化は認められなかった.

3.2 音波探査およびコアリング調査

本調査で実施した音波探査の結果に基づいて作成した活構造図を第 6 図に示す. また, 代表的な測線区間の反射記録と地質解釈を第 9~23 図に示す. そのうち, ピストンコアリングを実施した測線 H18 では, コア柱状図と ^{14}C 年代測定試料採取位置を記した(第 13 図). また, 測線 H07 および測線 H18 沿いで採取したコアの柱状図を第 24 図に示す.

3.2.1 音響層序区分

探査海域で確認された地層は, 反射記録に見られ

る不整合や顕著な反射面などの内部構造、変形構造およびそれらの分布により、上位から A 層、B 層および C 層に区分した。さらに A 層は、探査記録の濃淡や反射パターンなどから、上位から A1~A3 層に細分した。こうした地層区分は、建設省国土地理院 (1975, 1989)、海上保安庁水路部 (1997) および岩淵ほか (1998) による区分と概ね対応している。以下、各層の特徴をまとめる。

A 層：探査海域に分布する最上位の堆積物で、概ね海底面下 30 m 以浅に分布する。一般に水平に近い反射パターンで特徴付けられるが、海釜部分などでは部分的に潮流によるとみられる波状の内部構造が認められる。本層は、下位に分布する B 層の上面の凹凸を埋めるように不整合に覆う。広島平野におけるボーリング資料 (藤原ほか, 1985)、広島湾で実施された既存ピストンコア試料 (広島湾地盤検討調査委員会, 1995 ; 広島市, 1996 ; Yasuhara and Seto, 2006) および本調査で採取したピストンコア試料の層相および ^{14}C 年代値から、本層は最終氷期最大海退期以降の海水準上昇期~高海水準期の堆積体と判断される。本層は、建設省国土地理院 (1975, 1989) の A 層、海上保安庁水路部 (1997) および岩淵ほか (1998) の I 層にほぼ対応する。なお、上述のように本層は、明瞭な反射面を境に A1~A3 層に細分できる。細分した各層の特徴は以下の通りである。

A1 層および A2 層：A 層の上位をなし、概ね海底面下 15~30 m 以浅に分布する。ソノプローブ記録では、内部に弱い縞状の反射パターンが発達することで特徴付けられる (例えば、第 10 図)。こうした反射パターンから、本層は主としてシルト質の細粒堆積物からなる可能性が高い。本層は、下位の A3 層に対して整合的に接するが、局所的に A3 層が欠如するところでは B 層に対してアバットしている。本層中には大野瀬戸海域を除いて 1 枚の連続性のよい強反射面が広く追跡できる。既往ピストンコアリング調査から、この強反射面が鬼界アカホヤテフラ層準 (K-Ah テフラ, 約 7.3 ka, 町田・新井編, 2003) に対比されることが確認されている (広島湾地盤検討調査委員会, 1995 ; 広島市, 1996)。この K-Ah テフラの上位の地層を A1 層、下位の地層を A2 層とした。A2 層中には、部分的に強反射面が数枚見られる。本調査で実施したピストンコアリングのうち、測線 H07 の A1 層から採取した木片の ^{14}C 年代は紀元前 3956 年~紀元前 375 年を示した (第 24 図, 第 3 表)。また、測線 H18 の A2 層中からは紀元前 7333 年~紀元前 7078 年、A1 層中からは紀元前 6361 年~紀元前 2921 年の ^{14}C 年代を示す木片が採取された (第 13, 24 図, 第 3 表)。

A3 層：A3 層は、A 層の最下部層で、下位の B 層と不整合で接する。層厚が数 m~5 m 前後と薄く、陸域付近ではところどころで欠如している。ソノプローブ記録では、黒く起伏に富んだ散乱パターンや

濃い縞状パターンで特徴付けられ、A1, A2 層と明瞭に区別される。本層から年代情報は得られなかった。

B 層：探査海域のほぼ全域にわたって広く分布する堆積物で、上面深度は海底面下 30~40 m 以浅である。本層の上面はやや起伏に富む強い反射面で、A 層に不整合で覆われる。大野瀬戸海域では、B 層以下の地層が舟底状に分布し、その上位にはほぼ水平に A 層が薄く堆積している。本層は、ブーマーマルチ探査記録では部分的に成層パターンを示すものの、大部分は不規則な縞模様と弱い散乱パターンで特徴付けられ、成層パターンからなる A 層と区別できる。一方、ソノプローブ探査記録では A3 層と似たパターンを示すため識別困難なところが多い。探査海域の大部分では A 層に覆われるが、潮流が顕著な大野瀬戸では A 層が薄く、一部では本層が直接海底に露出している。広島平野をはじめ周辺地域でのボーリングデータ (藤原ほか, 1985) から、本層は、最終氷期の低海水準期もしくはそれ以前の扇状地・デルタ性堆積物と推定され、その上面 (水深 35~40 m) は最終氷期最盛期に形成された浸食平坦面の可能性が高い。本調査で実施したピストンコアリングのうち、測線 H18 のコア HP-3 の深度 5.80 m 以深は黄灰色を呈する砂礫からなり貝化石が含まれないことから、陸域環境の土石流堆積物からなることと推定し、その堆積環境から B 層に対比した (第 13, 24 図)。本層は、建設省国土地理院 (1975, 1989) の B 層、海上保安庁水路部 (1997) および岩淵ほか (1998) の II 層にほぼ対応する。

C 層：本層は厳島などの島嶼とその周辺海域および海底から立ち上がる暗礁などに見られ、ブーマーマルチ探査記録では無層理で音響基盤をなす。周辺の地質との関係から、本基盤は陸域および島嶼にみられる花崗岩類に相当すると推定される。

3.2.2 地質構造

音波探査断面の解釈の結果、己斐-広島湾断層帯および五日市断層の南西延長部にあたる広島湾北西沿岸部 (中部海域) および大野瀬戸 (西部海域) において、後期更新世以降に活動したとみられる断層および撓曲が認められた (第 6 図)。また、東部海域の金輪島南方でも後期更新世以降の地層に変位を与える断層・撓曲が認定された。これらの断層・撓曲は、A 層に変位を与えるもの、B 層上面 (最終氷期最盛期に形成された浸食平坦面) に変位を与えるもの上位の A 層に覆われるものに区分できる。なお、A 層に変位を与える断層・撓曲のうち、確実に海底面を変形させるものは認められなかった。以下、調査結果を西部海域から順に断層の分布と活動について述べる。本文で解釈に用いた反射断面の位置を第 3 図に示す。なお、本報告では堆積物が明瞭に切断していないものの、狭い範囲で撓曲変形が生じている

場合も断層として扱うこととする。

3.2.2.1 西部海域の断層

五日市断層および岩国断層帯の海域延長部にあたる廿日市沿岸および大野瀬戸の西部海域では、海底地形調査により認定された断層変位地形を示唆するリニアメントの延長上を含む数地点でB層に変形を与える断層およびA層まで変形を与える断層の可能性がある地質構造が認定された。

測線H11では、その西端付近の3箇所ではB層～A層に緩やかな撓みが認められる(第9, 10図)。そのうち、最も西に位置するものは、基盤岩中の凹地を埋めるようにB層以上の地層が分布し、少なくともK-Ahテフラ層までが落ち込んでいるように見える(第9, 10図のFa?)。この凹地状の構造は、陸上で認定されている五日市断層の延長部に位置する(第6図)。また、この構造はすぐ南の測線H07でも認められ(第6図)、高分解能海底地形調査で確認された大野瀬戸中央部西岸沿いの凹地地形(第7, 8図)に連続する可能性がある。3箇所の撓みのうち中央のものは、B層～A層の西側上がりの傾斜変化(反射面の折れ曲がり)で特徴付けられる(第9, 10図のFb)。ブーマーマルチチャンネル、ソノプローブ探査記録ともに縦方向の強調が大きく、実際の傾斜変化の程度はわずかである。そのため初生的な堆積構造の可能性も否定できない。しかしながら、下位の地層ほど傾斜が大きくなる累積構造が認められること(第9図)から、こうしたわずかな傾斜変化は断層運動に関連している可能性がある。ソノプローブ記録では、傾斜変化が少なくともK-Ahテフラ層まで及んでいること(第10図)から、同層堆積後に傾斜変化を伴うイベントが生じた可能性がある。同測線のさらに東方では、ブーマーマルチチャンネル記録にA2層以上の地層に東側上がりの緩やかな傾斜変化が認められる(第9図のFc?)。下位のB層中に明瞭な撓曲や断層が認められないため、断層運動に無関係な堆積構造とみることもできる一方、西方の構造(Fb)と同じ層準まで傾斜変化が認められることから、Fbの西側上がりの傾斜変化を伴うイベントに関連して生じた地層の変形の可能性もある。

大野瀬戸狭窄部は、新期堆積物の分布が限定され、また分布していても薄いため、探査記録から確実に断層を認定することは困難である。

一方、大野瀬戸狭窄部よりも南西海域の測線H17では、ブーマーマルチチャンネル探査記録から、水道中央西寄りでB層に西側上がりの変位を与える明瞭な断層が一条認められる(第11図)。ただし、同構造は同一測線で実施したソノプローブ記録からは確認できない(第12図)。第11図に示すように、B層下位は明瞭な変位を伴っているのに対し、同層上部は緩やかに撓曲している。反射記録では、B層とA3層との識別が困難なため変形を受けている最上位

の地層が不明であるが、A2層基底面には変形が認められない(第11図)。本測線の南方の測線H18で採取したピストンコア試料のうち、HP-3コアでは、A2層中から採取された木片の¹⁴C年代値は紀元前7333年～7078年を示す(第13, 24図, 第3表)。したがって、ここでの撓曲構造の形成時期は紀元前7078年よりも古いと推定される。ここで認められた断層は岩国断層帯のほぼ延長上に位置する(第6図)。ただし、同構造の南西延長の通過が予想される測線H18および測線H19の反射記録には、測線17で見られたような明瞭な地層の撓みや切断は認められない(第13, 14図)。

大野瀬戸南西の厳島海岸線沿いでは、A層まで変位させる断層の可能性がある構造が認定された。今回の探査測線のうち最も南西に位置する測線H19では、測線東端付近でB～A層に明瞭なくさび状の落ち込み構造が認められる(第14, 15図)。落ち込み部近傍の反射面をトレースすると、落ち込み程度が、1) 下位の地層ほど大きいこと、2) ある層準を境に急変することから、複数回の断層運動に伴う変形構造の可能性もある。ただし、a) この落ち込み構造の両側で各地層に落差が認められないこと、b) 探査断面は縦方向を強調しており、実際には幅広い緩やかな溝状構造を示すことから、最終氷期に形成された谷を埋積する堆積構造の可能性も否定できない。なお、a) に関しては、五日市断層帯および岩国断層帯がいずれも右横ずれを主体とする変位センスを有する(例えば、活断層研究会編, 1991; 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004a, 2004b)ことを考慮すると、横ずれ断層運動に伴い形成された小規模なプリアパート構造でも説明可能である。ブーマーマルチ音波探査記録は海底面直下の堆積構造が不鮮明であり、また本測線のソノプローブ探査深度は、落ち込み構造が認められた範囲までカバーしていない。そのため、落ち込み構造を示す最上位の層準を特定することは困難である。ただし、K-Ahテフラ層に対比されるとみられるA層中の強反射面までは確実に落ち込みに参加している。したがって、この構造が断層運動に関連したものであれば、K-Ahテフラ降灰以降に変形イベントがあったとみられる。なお、この構造の南西延長部付近において、建設省国土地理院(1989)により沖積層(本調査のA1層)を西側上がりに変位させる断層が報告されている。また、同構造の北東延長部は、測線H18南東端にみられるB層上面の階段状の落ち込みにつながる可能性がある(第13図)。

3.2.2.2 中部海域の断層

己斐断層および広島西縁断層の海域延長にあたる測線H01西端付近では、B層からA2層までの地層にわずかな西側上がりの撓曲変形が認められる(第16, 17図)。ここでは、ソノプローブ、ブーマー

ルチ音波探査記録とも、わずかながら K-Ah テフラ層準まで変形が及んでいるようにみえる。ただし、B 層、A3 層および A2 層の各層の上面のみかけの上下変位量はほぼ一様で、最終氷期最盛期以降に累積的な変形が生じた証拠は認められない。

同様の西側上がりの撓曲構造は、南の測線 H02 でも認められる (第 18 図)。ソノプローブ探査記録によると、K-Ah テフラ層準までの地層が撓曲変形するものの、直上の A1 層の内部反射面は水平に覆っているようにみえる。B 層上面から K-Ah テフラ層準までの各層および層内の内部反射面のみかけの上下変位量は一様である。このことから、撓曲変形の形成時期は、K-Ah テフラ層堆積後 A1 層下部の水平反射層堆積前であり、また最終氷期最盛期の浸食面形成後、K-Ah テフラ層堆積前の期間には断層活動がなかった可能性が高い。

測線 H01 と H02 の西端付近で認められた撓曲をつないだ走向は北北東-南南西となり、己斐断層の走向と一致する (第 6 図)。一方、測線 H02 とその南の測線との間隔が広い (第 3 図)、この撓曲構造の南西への連続性を正確に把握することは困難である。ただし、南の測線 H09 では、上述の 2 地点の撓曲の南西延長からやや西方において、B 層およびその上面を変位させる明瞭な断層が認められる (第 19, 20 図)。ブーマーマルチ、ソノプローブ探査記録ともに B 層上面に西側上がり 1 m 程度の段差が認められる。ただし、ここでは上述の 2 地点 (測線 H01 および H02) と異なり、B 層を不整合に覆う A 層に変位が認められない。測線 H09 沿いでは、全長 13.26 m のピストンコア試料 (HIR94-3) が広島湾地盤検討調査委員会 (1995) により採取されており (第 3 図)、コアに含まれる多数の貝化石の ^{14}C 年代測定結果が Yashuhara and Seto (2006) により報告されている。それによると、本調査での A2 層に対比されるとみられるコア最下部から約 1 万年前の年代値が得られている。このことから、測線 H09 で認められる断層は少なくとも約 1 万年前以降活動していないとみられる。なお、この断層はさらに南の測線 H10 以南では不明となる。このように、測線 H09 で認められた断層と測線 H01 および H02 で認定された断層は、いずれも西側上がりのセンスで特徴づけられるものの、イベント層準が著しく異なることから、一連の断層とみなすには疑問が残る。

3.2.2.3 東部海域の断層

広島湾奥東端部に分布する金輪島南方の測線 H01 では、B 層および同層上面を西側上がりに変位させる明瞭な断層が認められる。ブーマーマルチ探査記録からは、西側上がりの断層変位に伴って撓曲変形する B 層を A3 層が傾斜不整合に覆っている様子が確認できる (第 21, 22 図)。同一測線のソノプローブ探査記録からは、B 層を切って発達する同層上面

の見かけの上下変位が西側上がり 1.2 m 程度と見積もられる (第 23 図)。一方、B 層を覆う A3 層内部の反射パターンが不鮮明のため、同層と断層との関係については不明なものの、A3 層上面およびそれより上位の地層には断層の影響が認められない。なお、海上保安庁水路部 (1997) はチャープを用いた探査結果に基づき、本断層が I 層 (本調査報告の A 層に対応) にも撓曲変形を与えていると報告している (第 2 図)。測線 H01 で確認された断層は、南の測線 H02 でも不明瞭ながら認められる。ただし、測線 H01 以北および測線 H02 以南の連続性については測線がないため不明である。

4. 議論とまとめ

以上の調査結果とこれまでに報告されている成果に基づき、五日市断層帯の分布、活動像および周辺活断層帯との関係について検討する。

4.1 調査海域に分布する断層帯

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004a) では、五日市断層帯は、陸上の長さ約 20 km の五日市断層および長さ約 10 km の己斐-広島西縁断層帯の並走する異なる 2 つの起震断層 (松田, 1990) からなり、それぞれの断層 (帯) から発生する地震について評価している。なお、中田ほか (1996) および中田・今泉編 (2002) による活断層図には、広島西縁断層は活断層として図示されておらず、また五日市断層、己斐断層ともに活断層として認定されている区間は地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004a) よりも短い。広島湾北部沿岸域においてソノプローブ、マルチチャンネル音波探査およびピストンコアリング調査を実施した広島市 (1996) は、本断層帯が海域まで延びている可能性は小さいとした。

これに対して、今回の海域探査の結果、断層帯の南西延長部にあたる場所で後期更新世以降の地層を変位させる断層が確認された。また、調査海域東部でも海上保安庁水路部 (1997) により報告されていた後期更新世以降の地層を変位させる断層を確認した (第 6 図)。

従来、五日市断層と己斐-広島西縁断層は、約 6 km の距離を隔ててほぼ並走する断層のため、松田 (1990) の基準に基づき別の起震断層を構成すると評価されてきた (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004a)。今回の探査結果によると、両断層 (帯) は海域に延長し、南に向かって近接するように分布する可能性がある (第 6 図)。測線 H02 西端で認められた確実に己斐-広島西縁断層の海域延長部と認定できる地点から五日市断層までの距離は 5 km 未満となる。したがって、今回の調査結果に基づく五日市断層と己斐-広島西縁断層は単一の起震断層を

構成する断層とみなせるかもしれない。ただし、今回の調査では、両断層が近接する区間の測線間隔が広いと、両断層の連続性は十分明らかにされていない。起震断層を検討するには、測線 H02 と測線 H09 の間での断層の分布や活動性を明らかにする必要がある。

大野瀬戸西縁付近で確認された断層は、1) 五日市断層と岩国断層帯の延長上に位置すること、2) 陸上の断層変位地形と調和的な西側上がりの見かけの上下変位を示すことから、両断層(帯)は海域に連続するものとみられ、またその分布から両断層(帯)は一連の断層帯を構成している可能性もある(第 1, 6 図)。ただし、これまでに実施された古地震調査によると、両断層帯の最新活動時期が大きく異なっている(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004a, 2004b)。今回の音波探査およびピストンコアリング調査の結果から、五日市断層の海域延長にあたる大野瀬戸北西部の測線 H11 で認められた断層は、K-Ah テフラ降灰後の変位が認められるのに対して、岩国断層帯北東延長部にあたる南西部の測線 H17 で確認された断層の最新活動時期は紀元前約 7000 年よりも古い。こうした測線 H11 と H17 でそれぞれ確認された断層の活動時期は、これまでに報告されている五日市断層と岩国断層帯の最新活動時期と矛盾しない。以上のことから、測線 H11 と測線 H17 の両測線の間で五日市断層と岩国断層帯の 2 つの活動セグメントの境界が存在する可能性がある。探査測線間隔が広いと断層変位が不明瞭なため、活動セグメント境界の詳細な位置を示すことは困難なものの、断層の位置および線状凹地(大部分は埋積されている)の連続性から、大野瀬戸狭窄部付近に境界が存在する可能性がある。

岩国断層帯の海域延長にあたる測線 H17 で認められた断層が、その南の測線 18 および 19 では明瞭な断層として認定できない。岩国断層帯では地震時変位量の上下成分に関する情報は得られていないものの、1) 五日市断層のトレンチ調査から報告されている最新活動時の(みかけの)上下変位量が約 20 cm と小さいこと、2) 古地震イベント時の横ずれ変位量が岩国断層帯と五日市断層で同等であることから、岩国断層帯の地震時上下変位量も数 10 cm 程度であり、場所によってはさらに小さい変位を伴う可能性もある。こうした小さな地震時変位量に加えて、古地震調査に基づく岩国断層帯の平均活動間隔は約 9 千年~1 万 8 千年(例えば、佃, 1997; 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004b)と長いと、断層変位が反射断面から検出できる下限以下である可能性も否定できない。こうした場合、例え断層が連続しているとしても、H17~H19 測線のように隣接する反射断面で断層表現に違いが生じている可能性がある。

己斐-広島西縁断層帯の南方延長にあたる測線

H01 西端および測線 H02 西端でも、K-Ah テフラ層堆積後の活動を示唆する断層が認められた。この断層は、安芸灘断層帯を構成する広島湾-岩国沖断層帯の北端部と近接している(第 6 図)。五日市断層帯と安芸灘断層帯は、両断層帯の間にあたる広島湾北部沿岸海域で第四紀層を変位させる証拠が認められないとの報告(広島市, 1996)に基づき、これまで異なる起震断層として評価されている(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2009)。測線間隔が広く、また断層変位が小さいため、両断層帯の連続性ははっきりしないものの、己斐-広島西縁断層帯が、分岐、雁行する多数の短い断層群で特徴づけられる安芸灘断層帯の一部(陸上延長部)を構成していることも十分考えられる。

調査海域東端の金輪島南方では、最終氷期に形成されたとみられる浸食面に変位を与える断層が確認された。この断層については海上保安庁水路部(1997)および岩淵ほか(1998)に完新統まで変位させる断層として図示されていた。

以上のように、今回の探査により、五日市断層帯と岩国断層帯および安芸灘断層帯とのギャップ部分にあたる海域において、第四紀後期の地層を変形させる構造が複数認められた。これにより、これまで別の起震断層帯とされていたこれらの断層帯が、分岐、雁行、並走しながらも一連の長大な断層帯を構成している可能性が示された。

4.2 断層帯の活動性

4.2.1 変位センス

本断層帯を構成する五日市断層および己斐-広島西部断層帯は、陸上の断層変位地形やトレンチ壁面に現れた断層から、西側隆起の逆断層成分を伴う右横ずれ断層と考えられている(中田ほか, 1996; 広島市, 1996; 中田・今泉編, 2002)。今回の海域探査で確認された両断層延長部の断層は、主として西側上がりの見かけの上下変位を示し、また一部断面では、横ずれ変位に伴って形成された可能性を示唆する盆状構造も認められた。こうした変位センスは、陸上における同断層帯の変位の向きと矛盾しない。

4.2.2 平均変位速度

五日市断層および己斐-広島西部断層帯の平均変位速度についての具体的な調査結果はこれまで得られていない。なお、活断層研究会編(1991)は五日市断層の活動度を B 級、己斐-広島西部断層帯のうち、己斐断層の活動度を C 級、広島西縁断層の活動度を B 級としている。

今回の探査結果からも両断層海域延長部の具体的な平均変位速度に関する調査結果は得られていない。ただし、両断層とも最終氷期最盛期に形成されたと考えられる浸食平坦面の見かけの上下変位が 1 m 程度以下のため、見かけの上下変位速度は 0.1 m/千

年となり、横ずれ成分が卓越するとしても、B級程度の活動度とみられる。

4.2.3 活動時期

五日市断層の活動時期については、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004b)は、広島市(1996)のトレンチ調査から最新活動時期が7世紀以後、12世紀以前であったと推定している。本調査からは、測線H11で同断層の延長部の可能性がある変形構造がK-Ahテフラ層降灰以降に形成された可能性が高いことが示されたが、活動時期を絞り込むには至らなかった。

己斐-広島西縁断層帯の活動時期に関しては、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004b)による広島市(1996)のトレンチ調査結果の再検討により、最新活動時期が約2万3千年前以前である可能性があるとしてされている。今回の探査の結果、同断層帯の海域延長にあたる測線H01と測線H02でアカホヤ火山灰層がわずかながらも撓曲変形している可能性が高く、最新活動時期が約7,300年前以降であると考えられる。ただし、変形を覆う地層が特定できないことから、最新活動時期を絞り込むには至らなかった。

4.2.4 活動間隔

本断層帯の活動間隔に関する情報はこれまで報告されていない。今回の調査でも活動間隔に関する具体的な結果は得られなかった。ただし、五日市断層および己斐-広島西縁断層帯の海域延長断層では、いずれも最終氷期以降の海水準上昇～高海水準期に堆積した地層(A層)に複数回の変形イベントの存在を示す確実な証拠が認められないことからすると、活動間隔は数千年以上の可能性が高い。

4.2.5 地震時変位量

本探査の結果、五日市断層および己斐-広島西縁断層帯の延長海域で認められた断層により変位を受けた最上部の地層の見かけの上下変位量は概ね1m以下である。このような小さな変位量は、広島市(1996)による五日市断層のトレンチで報告された約20cmの基盤岩にみかけの上下変位と矛盾しない。今回の探査から1回の横ずれ量および実変位量に関する情報は得られなかった。なお、横ずれ変位量に関しては、広島市(1996)によるトレンチの結果、五日市断層で約50cm以上、己斐-広島西縁断層で約1.1mとされている。

4.2.6 将来の活動に関して

本調査からは、五日市断層帯の将来の活動を予測するための具体的な情報は得られなかった。

これまでに実施された古地震調査によると、岩国断層帯の平均活動間隔は約9千年～1万8千年と報

告されている(例えば、佃, 1997; 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2004b)。五日市断層帯の活動間隔に関する情報はこれまで得られていないものの、反射断面にみられる変形構造の特徴(A層に累積変位が認められない)および断層変位地形などから判断すると、岩国断層帯と同程度の長い平均活動間隔を有している可能性が高い。そうした場合、A層に変位を与える断層のみならず、B層を変位させA層に覆われる断層でも、将来活動するポテンシャルを備えている可能性がある。

4.3 中国地方に分布するリニアメント評価における沿岸活断層調査の意義

本研究で認定された断層のうち、金輪島南方にあたる測線H01の東端部付近で確認されたB層を変位させる断層は、その連続性を把握するには至らなかったものの、調査地域周辺に分布する活断層の一般的な走向である北東-南西～北北東-南南西走向に延びるとすると、その北方陸域延長部は北北東-南南西に延びるリニアメント(直線状の谷)に連続する可能性がある(第6図)。このリニアメントはこれまで活断層とされていない。

先新第三系基盤岩からなる山地が広く分布する中国山地には、多数の直線的なリニアメントが分布している(活断層研究会編, 1980, 1991; 高田ほか, 2003)。こうしたリニアメントの多くは、活断層に伴う断層変位地形ではなく、古い地質断層や節理などを反映した組織地形と考えられている。しかしながら、2003年鳥取県西部地震(M_{JMA} 7.3)では、従来活断層として認定されていなかった基盤山地内のリニアメントに沿って地震断層が生じ(伏島ほか, 2001)、その後の詳細な地形・地質学的検討により、地震断層周辺のリニアメントでも後期更新世以降の活動が確認された(例えば、杉山ほか, 2004, 2005; 堤, 2009)。基盤山地内は、最近の活動を評価するための指標となる新期堆積物や地形面の分布に乏しい。そのため、中国山地内で従来活断層ではないとされているリニアメントの中には、活断層が含まれている可能性が十分考えられる。

こうした点に関して、新期堆積物が連続的に堆積する沿岸海域では、断層運動と地層との関係から最近の活動の有無を検討することが可能である。そこで、山地内に分布するリニアメントのうち、リニアメントが海域まで連続する可能性のあるものについては、まず沿岸海域で音波探査やピストンコアリング調査を実施し、第四紀後期の地層に変位を与える断層を確認したうえで、詳細な調査を陸側に展開することにより、変位指標に乏しい山地内における活断層の検出を効率的に進めることができると考えられる。

謝辞 本調査は、文部科学省委託調査「沿岸海域に

における活断層調査」の一環として実施したものです。本調査を実施するにあたり、調査海域に隣接する自治体および漁業関係の方々には調査の趣旨をご理解いただき、多大なるご協力をいただきました。株式会社セア・プラス、大和探査技術株式会社、復建調査設計株式会社の調査スタッフの献身的な努力なくして、本調査は遂行できませんでした。活断層・地震研究センターの岡村行信氏、村上文敏氏、井上卓彦氏には、データ処理の方法および反射記録の地質解釈についてご教示いただきました。また、同センターの吾妻 崇氏、宮下由香里氏には、広島湾周辺の活断層についてご教示いただきました。同センターの村上文敏氏と小野祐子さんにはデータ処理を行っていただきました。岡村行信氏には、原稿の不備をご指摘いただきました。以上の皆様に心より御礼申し上げます。

文 献

- Bronk Ramsey C. (1995) Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: the OxCal Program. *Radiocarbon*, 37, 425-430.
- Bronk Ramsey C. (2001) Development of the radiocarbon program. *Radiocarbon*, 43, 355-363.
- 藤原健蔵・中田 高・白神 宏 (1985) 広島平野の沖積層とアカホヤ火山灰—瀬戸内海沿岸平野の古地理変遷に関する研究 (1)—. *内海文化研究紀要*, 13, 38-51.
- 伏島祐一郎・吉岡敏和・水野清秀・宍倉正展・井村隆介・小松原 琢・佐々木俊法 (2001) 2000年鳥取県西部地震の地震断層調査. *活断層・古地震研究報告*, No. 1, 1-26.
- 広島市 (1996) 己斐断層外 2 箇所活断層調査報告書 (本編). 広島市地域活断層調査委員会・復建調査設計株式会社, 137p.
- 広島湾地盤検討調査委員会 (1995) 広島湾地盤検討調査報告書. 運輸省第三港湾局広島港工事事務局・社団法人土質工学会中国支部.
- 井上卓彦・村上文敏・岡村行信・池原 研 (2007) 2007年能登半島地震震源域の海底活断層. *地震研究所彙報*, 82, 301-312.
- 岩淵 洋・西川 公・田中喜年・雪松隆雄 (1998) 広島湾付近の海底断層について. *水路部技報*, 16, 89-94.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2009) 安芸灘断層群の長期評価について. 22p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004a) 五日市断層帯の長期評価について. 16p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004b) 岩国断層帯の長期評価について. 15p.
- 海上保安庁水路部 (1997) 平成 8 年度沿岸海域活断層調査「広島湾」資料整理報告書. 海上保安庁水路部, 付図 1 葉 (1:100,000 海底地質構造図「広島湾」)・83p.
- 活断層研究会編 (1980) 「日本の活断層—分布図と資料—」. 東京大学出版会, 363p.
- 活断層研究会編 (1991) 「新編日本の活断層—分布図と資料—」. 東京大学出版会, 437p.
- 建設省国土地理院 (1975) 沿岸海域基礎地盤調査報告書 (広島地区). 59p.
- 建設省国土地理院 (1989) 沿岸海域基礎調査報告書 (岩国地区). *国土地理院技術資料 D・3-No. 62*, 151p.
- 町田 洋・新井房夫編 (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.
- 松田時彦 (1990) 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. *地震研究所彙報*, 65, 289-319.
- 村上文敏 (2007) ショートマルチチャンネル音波探査装置の開発: 沿岸海底の高分解能音波探査を目指して. *産総研 TODAY*, 2007-10, 30.
- 村上文敏・西村清和・松岡弘和・古谷昌明・丸山かおる・半場康弘・立石雅昭 (2004) 浅海域音波探査用 12 チャンネル受信ケーブルの作成と海域実験. *海洋調査技術学会 16 回研究成果発表会講演要旨集*, 45-46.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) 「活断層詳細デジタルマップ」. 東京大学出版会, 60p, DVD-ROM 2 枚・付図 1 葉.
- 中田 高・岡田篤正・鈴木康弘・渡辺満久・東郷正美 (1996) 1:25,000 都市圏活断層図「広島」. *国土地理院技術資料*, D.1-No.333.
- 岡村行信, 2010, 2007 年中越沖地震震源域及び佐渡海盆の活構造. *活断層研究*, 33, 15-25.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C. J. H., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G. S., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Bronk Ramsey, C., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F. W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46, 1029-1058.
- Stuiver, M. and Polach, H. A. (1977) Discussion: Reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon*, 19, 355-363.
- 杉山雄一・宮下由香里・伏島祐一郎・小林健太・家村克敏・宮脇明子・新谷加代 (2004) 鳥取県西部, 日南湖リニアメント上でのトレンチ調査. *活断層・古地震研究報告*, No. 4, 193-207.
- 杉山雄一・宮下由香里・小林健太・佐藤 賢・宮脇明子・宮脇理一郎 (2005) 鳥取県西部, 小町—大谷リニアメント系のトレンチ調査. *活断層・古地震研究報告*, No. 5, 115-138.

杉山雄一・岡村行信・武田伸勝・丸山かおる (2010) 九州中部, 島原湾と橘湾における雲仙断層群の音波探査. 活断層・古地震研究報告, No. 10, 149-194.

高田圭太・中田 高・野原 壯・原口 強・池田安隆・伊藤 潔・今泉俊文・大槻憲四郎・鷺谷 威・堤 浩之 (2003) 震源断層となりうる活断層とリニアメントの検討—中国地方を事例として—. 活断層研究, 23, 77-91.

佃 栄吉 (1997) 岩国断層帯の活動履歴及び活動性調査. 平成 8 年度活動研究調査概要報告書, 地質調査所研究資料集, 303, 129-136.

堤 浩之 (2009) 2000 年鳥取県西部地震. 科学, 79-2, 210-212.

Yasuhara, M. and Seto, K. (2006) Holocene relative sea-level change in Hiroshima Bay, Japan: a semi-quantitative reconstruction based on ostracodes. Paleontological Research, 10, 99-116.

(受付: 2011 年 7 月 29 日, 受理: 2011 年 10 月 16 日)

第 1 表. 今回の探査で実施したソノプローブとブーマーショートマルチチャンネル音波探査の仕様.

Table 1. Data acquisition parameters for acoustic profiling survey.

Sender	Sounder	Sonoprobe	Boomer
	Shot energy	36 J	300 J
	Depth of sounder	0.9 m b.s.l.	0.3 m b.s.l.
	Shot interval	350 msec	1 sec
Receiver	Number of channel	-	12
	Interval of channel	-	3.125 m
	Depth of receiver	1.1 m b.s.l.	0.3 m b.s.l.
Recording	Recording range/time	0-50 m	0.6 sec
	Sampling frequency	4-8 kHz	0.125 msec

第 2 表. ピストンコアリング試料採取地点の位置およびコア長.

Table 2. Locations of piston coring and core lengths.

Core	Latitude ¹	Longitude ¹	Water depth (m)	Core length (m)
HP-1	34°18.790'	132°21.607'	20	12.02
HP-2	34°18.705'	132°21.817'	22	12.01
HP-3	34°15.114'	132°15.377'	23	7.12
HP-4	34°14.959'	132°15.612'	20.3	3.57
HP-5	34°14.904'	132°15.708'	18.8	3.82
HIR94-3*	34°19.690'	132°21.920'	14	13.26

¹ Datum of positons are WGS84.

* After Yasuhara and Seto (2006).

第 3 表. ピストンコアから採取した木片試料の ¹⁴C 年代.

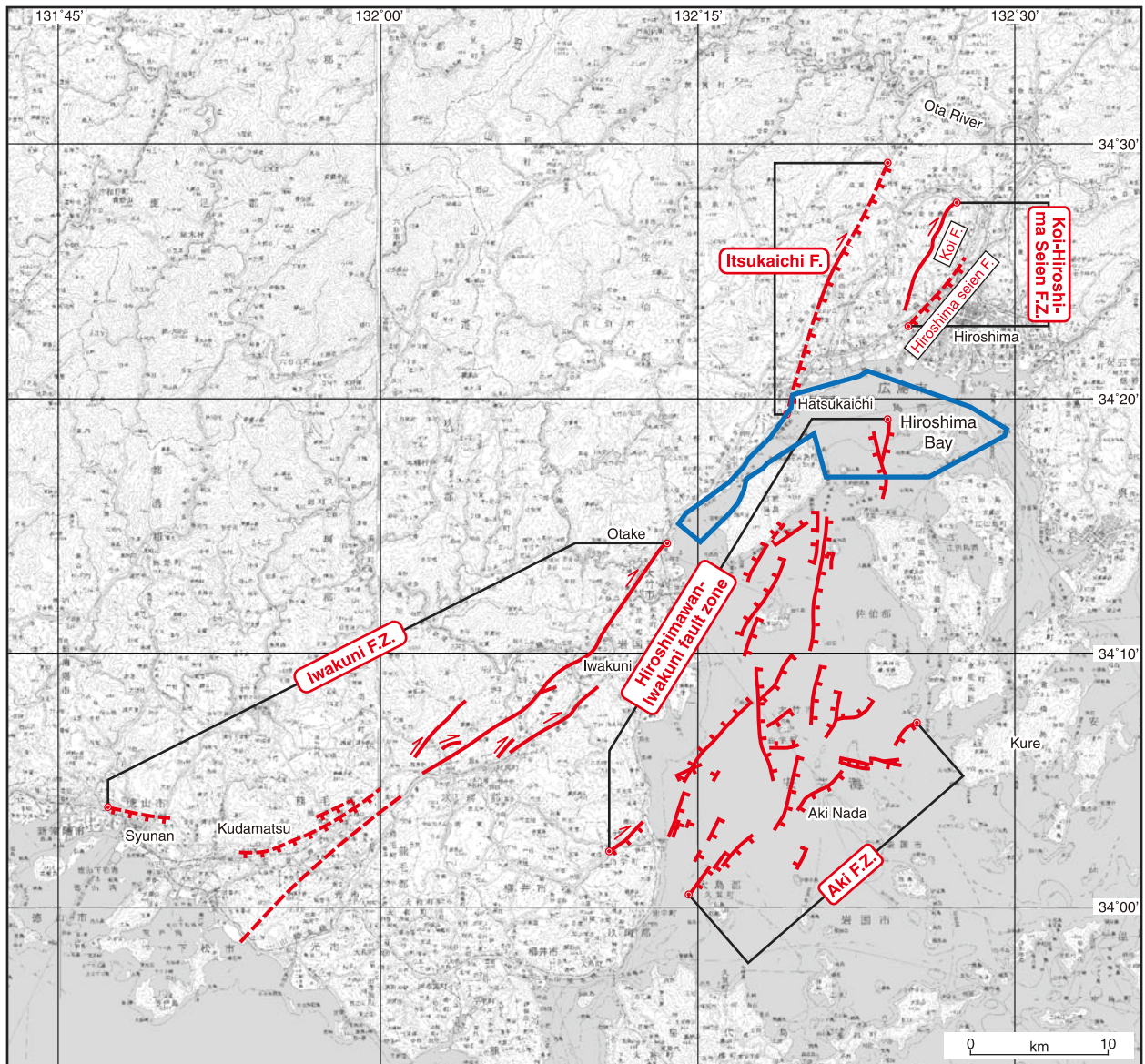
Table 3. ¹⁴C dates of wood chip samples retrieved from cores.

Sample No.	Core No.	Depth (m)	Elev. (m)	Material	Lab. ID No. ¹	Method	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	¹⁴ C age ² (yBP)	¹⁴ C age used for calibration (yBP)	Calendric age range ³ ($\pm 2\sigma$)
HP-1-3	HP-1	2.66	-22.66	Wood chip	IAAA-93049	AMS	-30.92 \pm 0.42	2,350 \pm 30	2,352 \pm 33	537-375 BC
HP-1-9	HP-1	5.10	-25.10	Wood chip	IAAA-93050	AMS	-23.14 \pm 0.47	3,530 \pm 30	3,526 \pm 26	1934-1767 BC
HP-1-A1	HP-1	5.93	-25.93	Wood chip	IAAA-93051	AMS	-23.75 \pm 0.19	3,630 \pm 30	3,625 \pm 25	2117-1908 BC
HP-1-16	HP-1	7.87	-27.87	Wood chip	IAAA-93052	AMS	-27.68 \pm 0.59	4,140 \pm 30	4,140 \pm 34	2875-2601 BC
HP-1-20	HP-1	9.21	-29.21	Wood chip	IAAA-93053	AMS	-27.87 \pm 0.39	4,510 \pm 30	4,509 \pm 34	3354-3097 BC
HP-1-26	HP-1	10.58	-30.58	Wood chip	IAAA-93054	AMS	-25.72 \pm 0.71	5,050 \pm 30	5,050 \pm 33	3956-3771 BC
HP-2-6	HP-2	4.35	-26.35	Wood chip	IAAA-93056	AMS	-26.32 \pm 0.44	2,950 \pm 30	2,945 \pm 31	1268-1045 BC
HP-2-13	HP-2	6.87	-28.87	Wood chip	IAAA-93057	AMS	-30.42 \pm 0.43	3,680 \pm 30	3,675 \pm 30	2141-1956 BC
HP-2-17	HP-2	11.21	-33.21	Wood chip	IAAA-93058	AMS	-27.84 \pm 0.85	4,740 \pm 30	4,742 \pm 33	3636-3379 BC
HP-3-3	HP-3	2.92	-25.92	Wood chip	IAAA-93059	AMS	-26.27 \pm 0.38	4,420 \pm 30	4,424 \pm 34	3327-2921 BC
HP-3-5	HP-3	3.50	-26.50	Wood chip	IAAA-93060	AMS	-30.80 \pm 0.44	7,350 \pm 40	7,352 \pm 41	6361-6081 BC
HP-3-8	HP-3	4.29	-27.29	Wood chip	IAAA-93061	AMS	-27.65 \pm 0.44	8,200 \pm 40	8,202 \pm 40	7333-7078 BC

¹ Lab. ID No. indicates job number used by Institute of Accelerator Analysis Ltd., Fukushima, Japan.

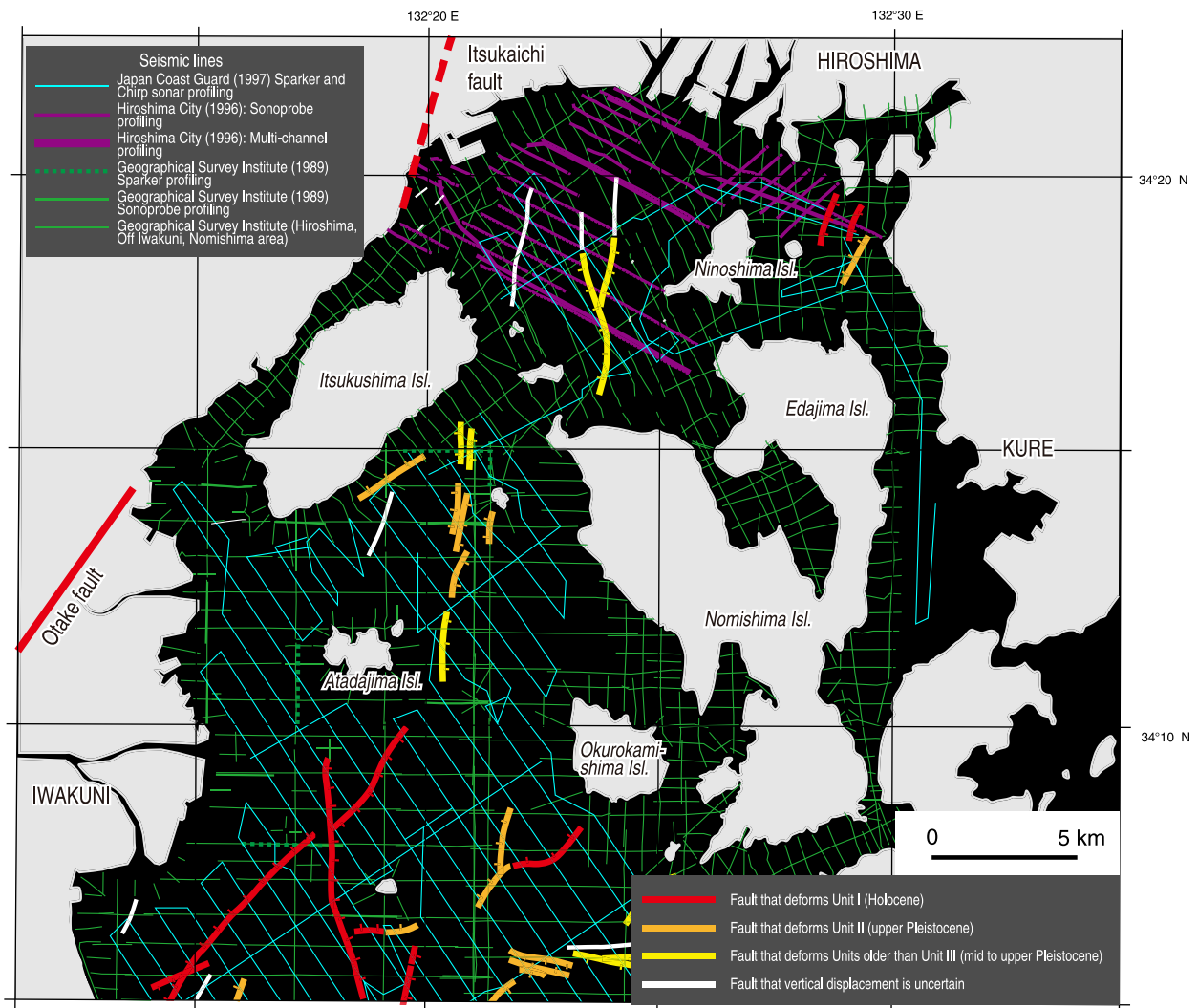
² Ages in radiocarbon years are based on Libby half-life of 5,568 years following the conventions of Stuiver and Polach (1977).

³ Samples were calibrated with OxCal 4.1.3 (Bronk Ramsev, 1995, 2001; using Reimer et al., 2004 [INTCAL04]).



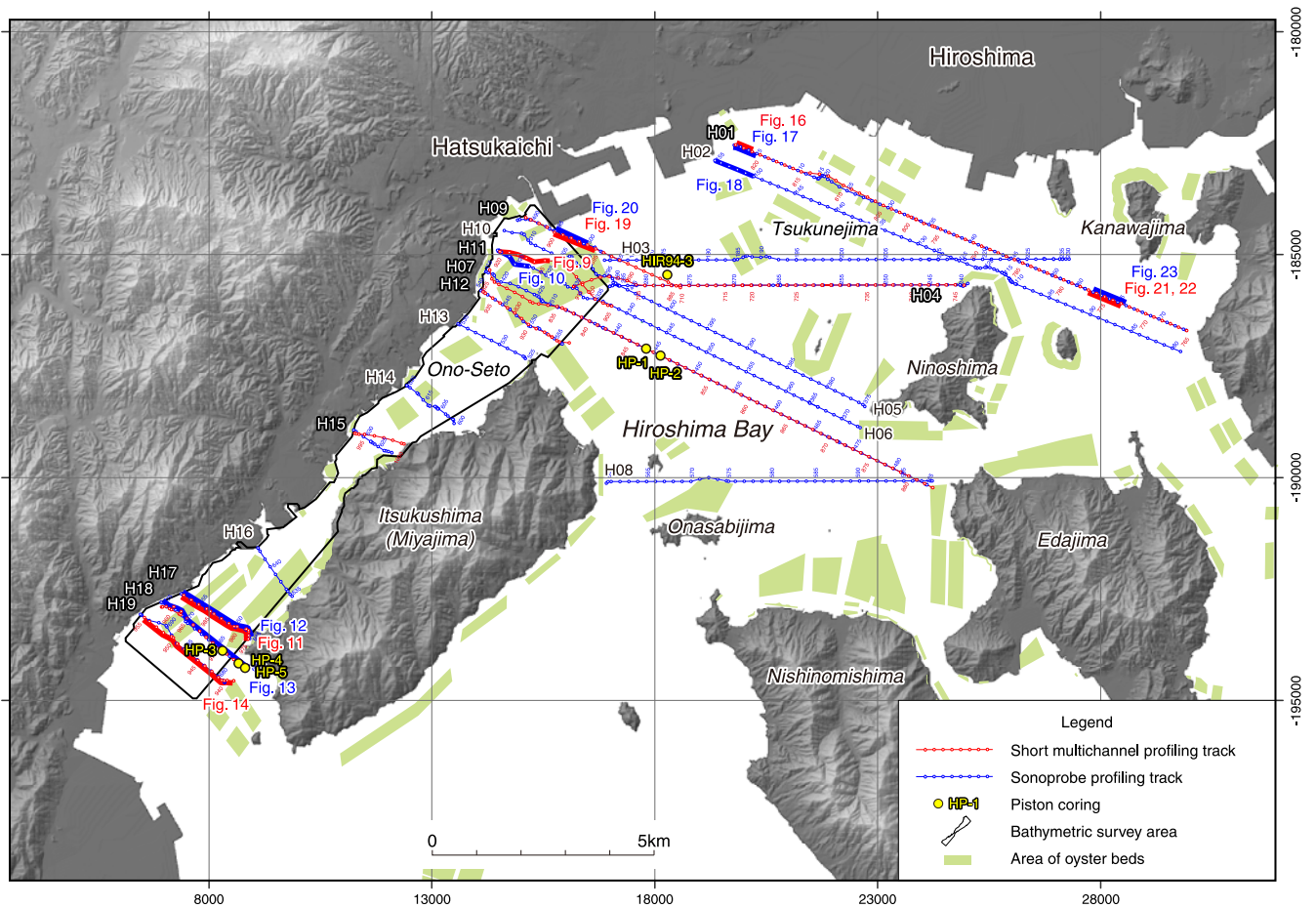
第 1 図. 五日市断層帯および周辺の活断層帯の分布. 本調査範囲を青枠で示す. 活断層帯の分布は, 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004a, 2004b, 2009) に基づく. 基図は, 国土地理院発行数値地図 200,000 (地図画像) 日本-III 「山口」, 「中津」, 「広島」, 「松山」を使用.

Fig. 1. Map showing distribution of the active fault zones in and around Hiroshima Bay, containing the Itsukaichi fault zone. The study area is framed by blue polygon. Locations and definition of the active fault zones are from Headquarters for Earthquake Research Promotion (2004a, 2004b, 2009). Digital maps 200,000 (map image) Japan-III “Yamaguchi”, “Nakatsu”, “Hiroshima”, “Matsuyama” published by Geospatial Information Authority of Japan are used as a basal image.



第2図. 広島湾北部海域でこれまでに実施された音波探査測線図とそれらに基づく断層位置図. 建設省国土地理院 (1989), 広島市 (1996) および岩淵ほか (1998) を編集.

Fig. 2. Map showing tracks of seismic profiling performed before this study and fault traces identified from the seismic profiling. Compiled from Geographical Survey Institute (1989), Hiroshima City (1996) and Iwabuchi *et al.* (1998).

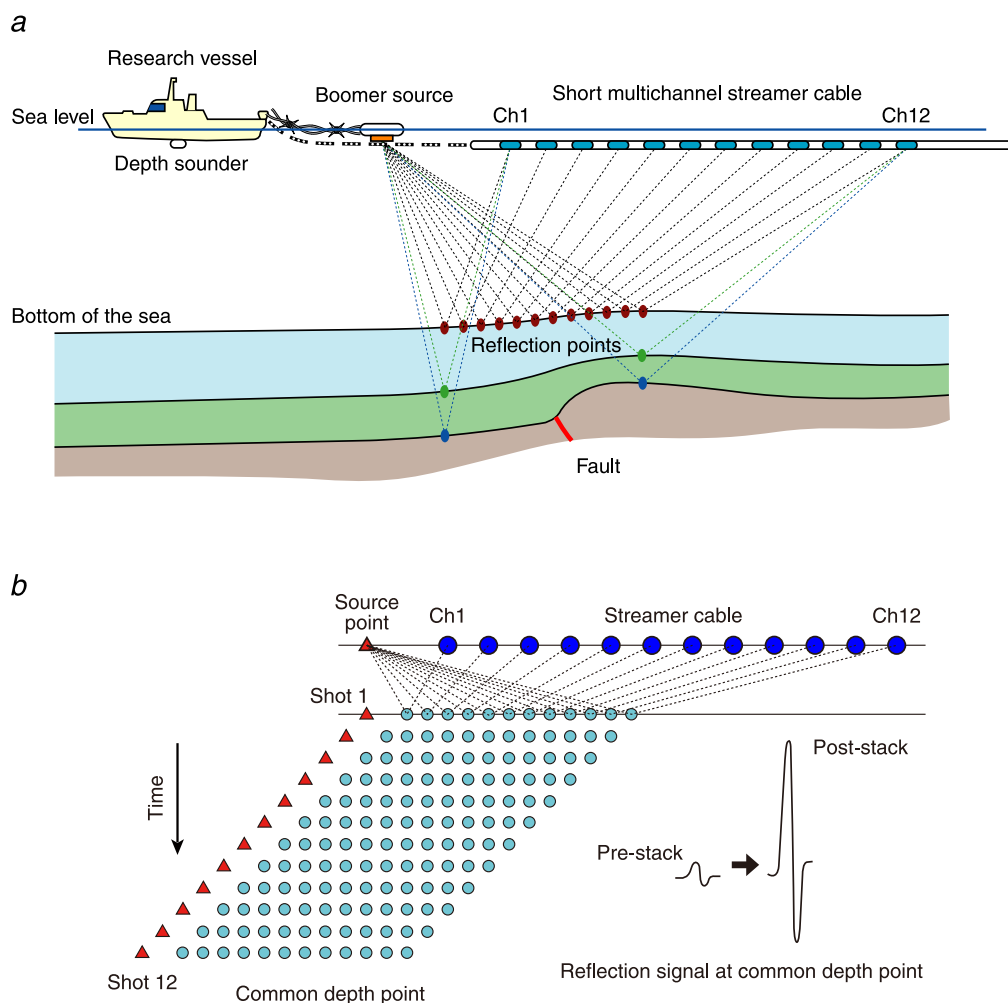


第3図. 本調査で実施した高分解能海底地形測量範囲, 音波探査測線位置 (ソノプローブ, ブーマーを音源とするマルチチャンネル音波探査測線) およびピストンコアリング位置図. 音波探査測線のうち, 同一測線でソノプローブとブーマーマルチ探査を実施したものを白抜き文字で示す. 測線のうち, 太線で示した部分は, 第9~25図に反射断面および地質解釈を示した範囲. ピストンコアリング HIR94-3 は, 広島湾地盤検討調査委員会 (1995) による. カキいかだ設置区域は, 第六管区海上保安本部管内漁具定置箇所情報 (http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN6/1_kokai/gyogu/index.html) による. 音波探査およびピストンコアリングは, カキいかだを避けて実施した. 図の座標系は平面直角座標系 (3系) (第6~8図も同様).

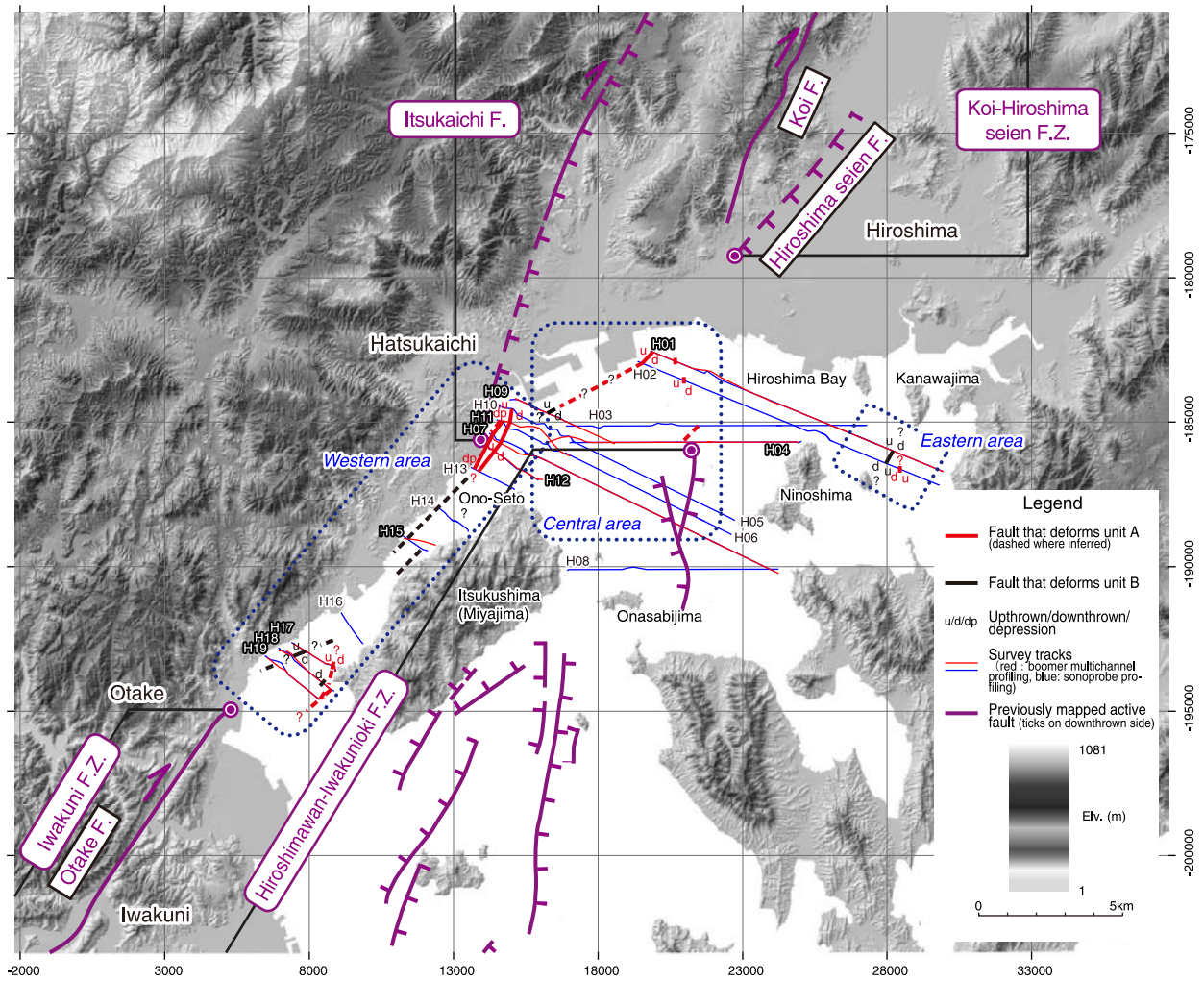
Fig. 3. Map showing area of high-resolution bathymetric survey, survey tracks of acoustic profiling and positions of piston coring. A number of track along which both the sonoprobe and multichannel profiling were performed is shown in white letter. The tracks with thick lines denote the seismic sections shown in Figs. 9-25. Piston core HIR94-3 is after Commission on Subsurface Investigation of Hiroshima Bay (1995). Areas of oyster beds are after 6th Regional Coast Guard Headquarters, Japan Coast Guard (http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN6/1_kokai/gyogu/index.html). The tracks of seismic profiling and locations of piston coring were deployed to avoid the oyster beds. The map coordinate system is Japan Plane Rectangular CS zone III (the coordinate system for Fig. 6 to Fig. 8 is same as that of Fig. 2).



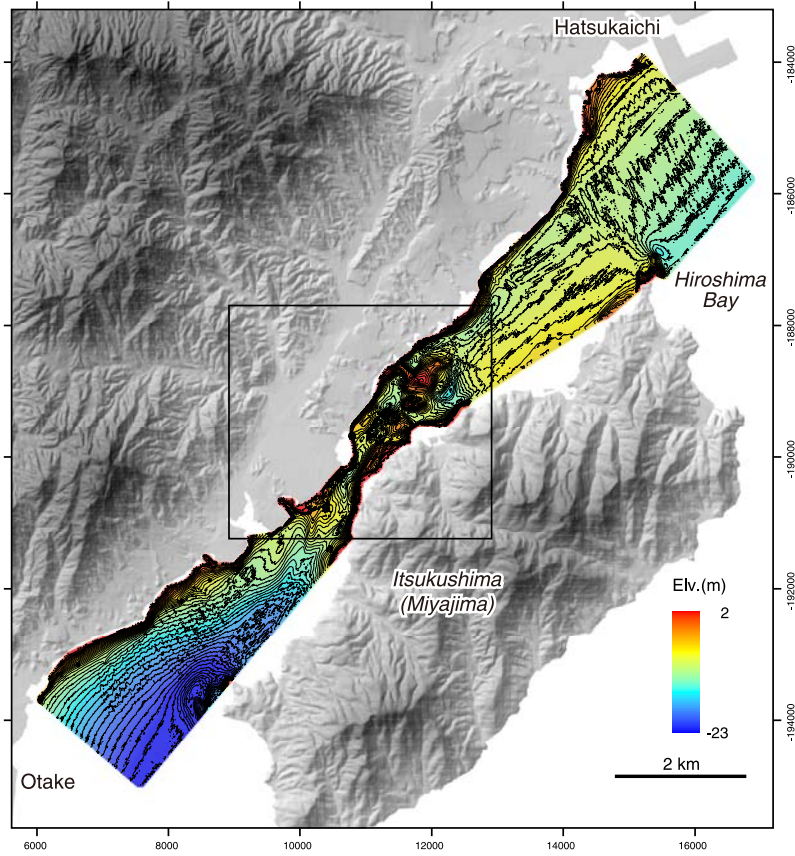
第4図. 海底地形測量およびマルチチャンネル音波探査に用いた装置. (a) インターフェロメトリ測深器 (GeoSwath Plus (英国 GeoAcoustic 社製)) および (b) ショートマルチ音波探査装置 (発振装置 (英国 Applied Acoustic Engineering 社製ブーマーシステム) と受信装置 (12チャンネルストリーマーケーブル).
 Fig. 4. Photographs showing equipments used for this study. (a) High-resolution wide swath bathymetric surveying instrument (GeoSwath Plus, GeoAcoustic Ltd., UK) and (b) short-multichannel seismic profiling system, including boomer plate (Applied Acoustic Engineering Ltd., USA) and 12 channel streamer cable.



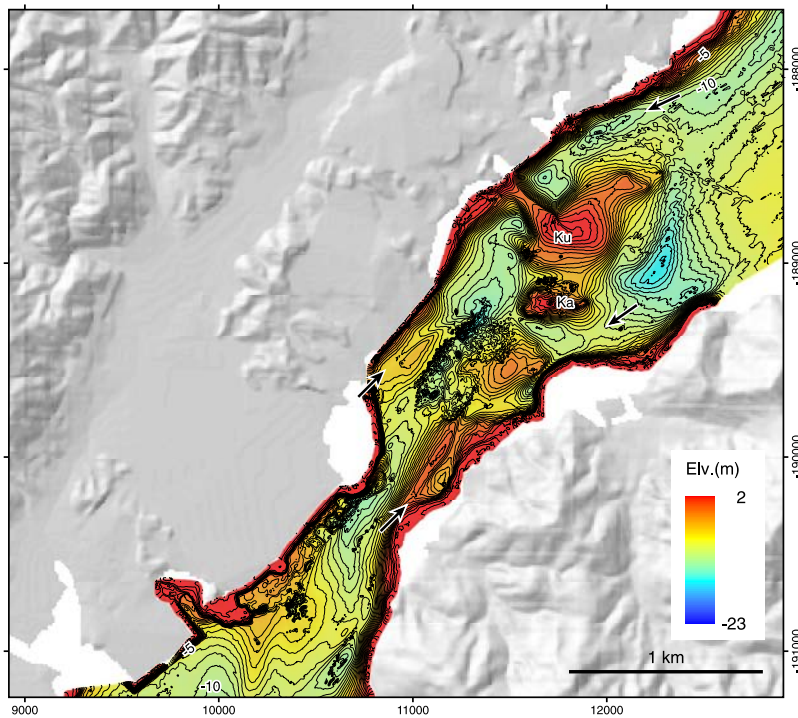
第5図. (a) ショートマルチ音波探査システムおよび (b) 反射信号の重合の模式図 (村上, 2007).
 Fig. 5. Schematic diagrams showing (a) short multichannel seismic profiling survey system and (b) common depth point stacking of multiple seismic reflection data obtained by multichannel seismic profiling (after Murakami, 2007).



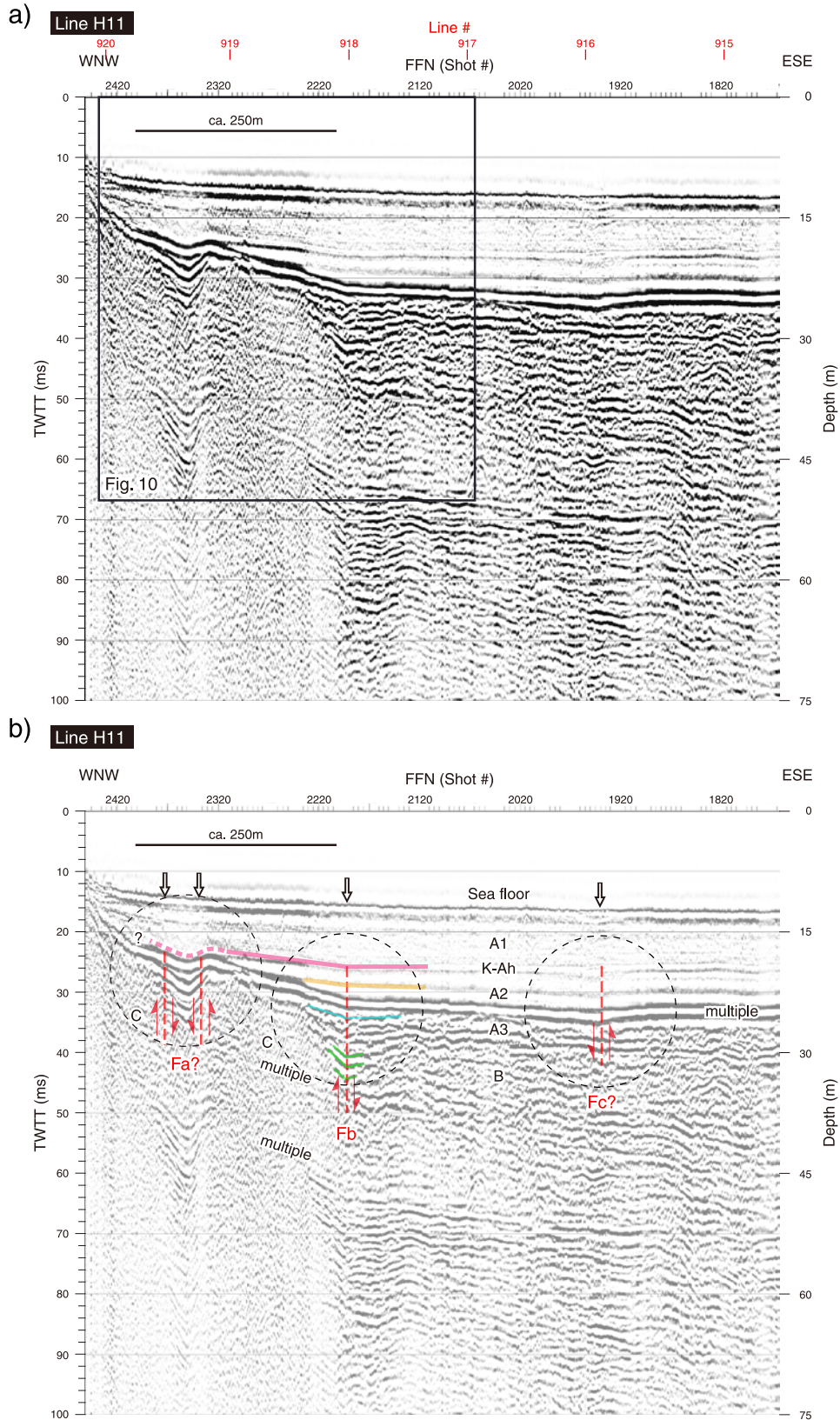
第 6 図. 広島湾北部における第四紀断層確認位置. 断層のうち, A 層に変位を与えるものを赤, B 層上面 (最終氷期最盛期に形成された浸食平坦面) に変位を与えるものの上位の A 層に覆われるものを黒で示す.
 Fig. 6. Map showing locations of faults that deform upper Quaternary strata in the northern part of Hiroshima Bay, identified by the acoustic profiling survey. The faults are divided into two types depend on their relation with late Pleistocene to Holocene deposits; faults with red line disturb unit A and those with black lines disturb upper surface of unit B but covered with bed A.



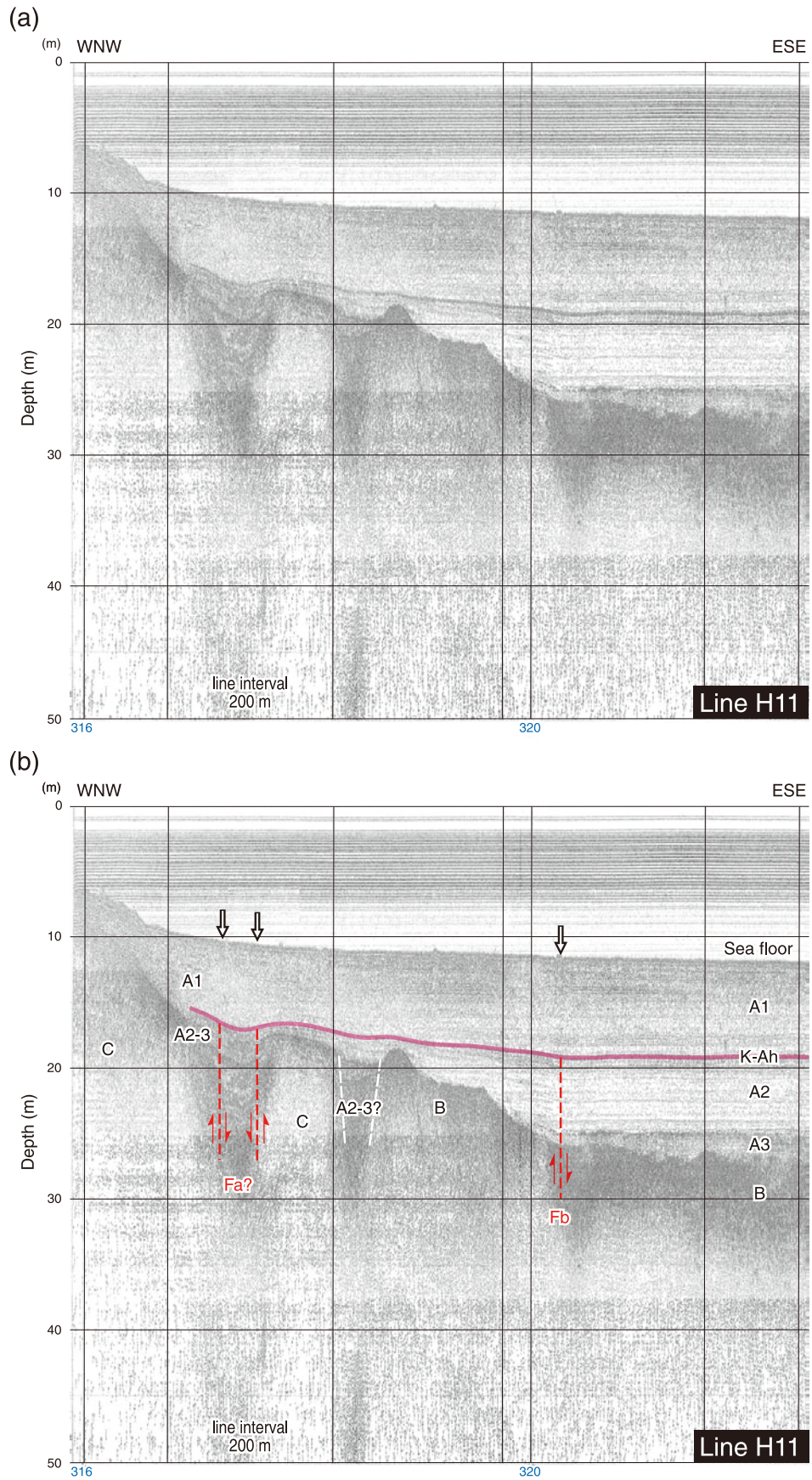
第7図. 大野瀬戸周辺海域の詳細海底地形図. 第8図の範囲を黒枠で示す.
 Fig. 7. Bathymetric contour map (contour interval: 50 cm) showing detailed seafloor topography in and around the Ono-Seto and shaded relief image of onshore area. Black rectangle shows area of Fig. 8.



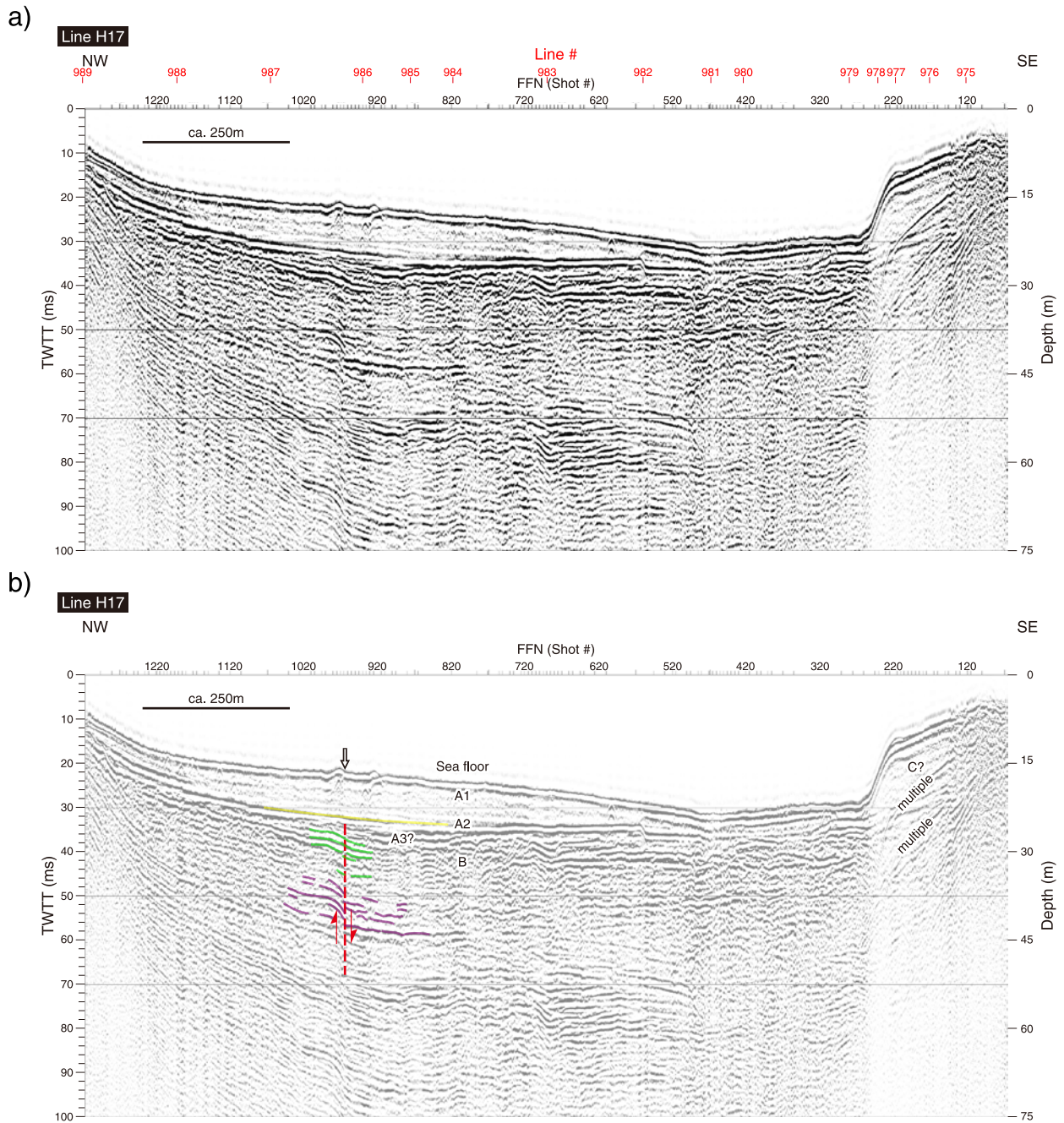
第8図. 大野瀬戸狭窄部の詳細海底地形図. 断層変位地形の可能性がある線状凹地を黒矢印で示す.
 Ka : 亀瀬, Ku : 鞍懸礁.
 Fig. 8. Bathymetric contour map (contour interval: 50 cm) showing the detailed seafloor topography around the narrow part of the Ono Seto, Hiroshima Bay. Black arrows mark linear depressions that are possibly associated with recent faulting.



第9図. 測線 H11 のブーマーマルチチャンネル探査記録断面 (a) および解釈断面 (b). 縦横比は約 10 : 1. 断面の位置は第 2 図に示す. 断層位置を下向きの矢印で示す (他の解釈図も同様). 第 10 図の範囲を黒枠で示す.
 Fig. 9. (a) Boomer multichannel profile and (b) geologic interpretation of line H11. White arrows mark the positions of the faults. Vertical exaggeration is approximately x10. Location of the profiling is shown in Fig. 3. Black rectangle shows area of Fig. 10.

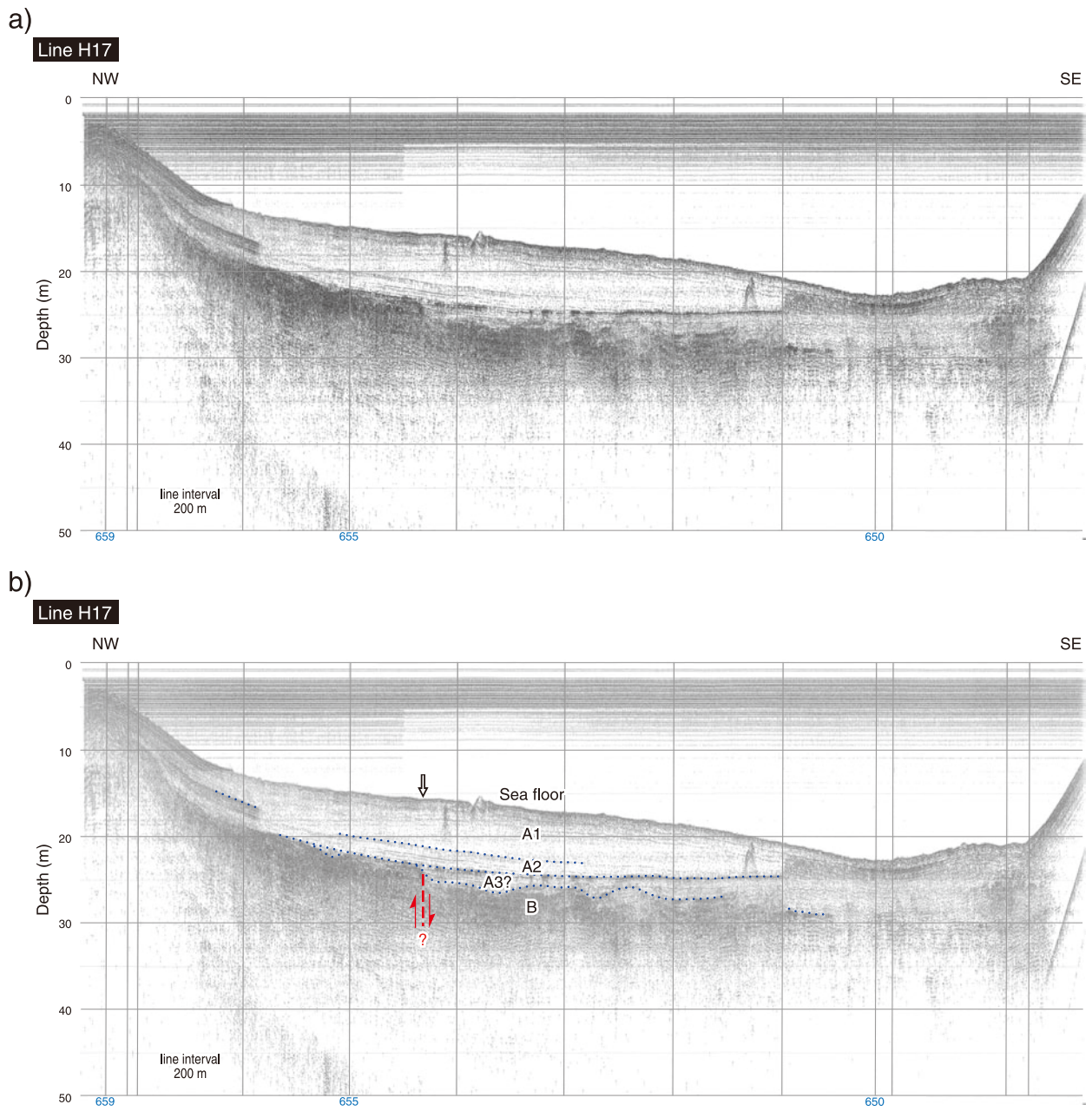


第10図. 測線 H11 のソノプローブ探査記録 (a) および解釈断面 (b). 断面の位置は第3図に示す.
 Fig. 10. (a) Sonoprobe profile and (b) geologic interpretation of Line H11. Location of the profile is shown in Fig. 3.

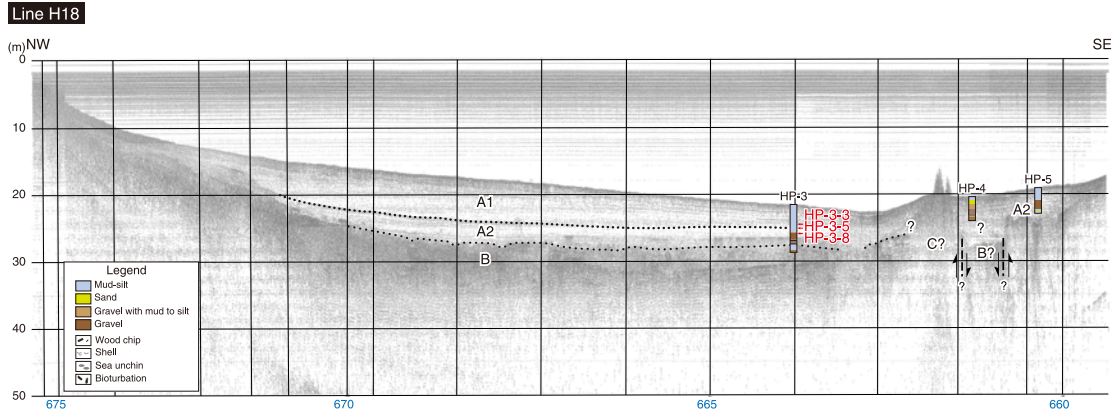


第 11 図. 測線 H17 のブーマーマルチチャンネル探査記録断面 (a) および解釈断面 (b). 縦横比は約 10 : 1. 断面の位置は第 3 図に示す.

Fig. 11. (a) Boomer multichannel profile and (b) geologic interpretation of line H17. Vertical exaggeration is approximately x10.

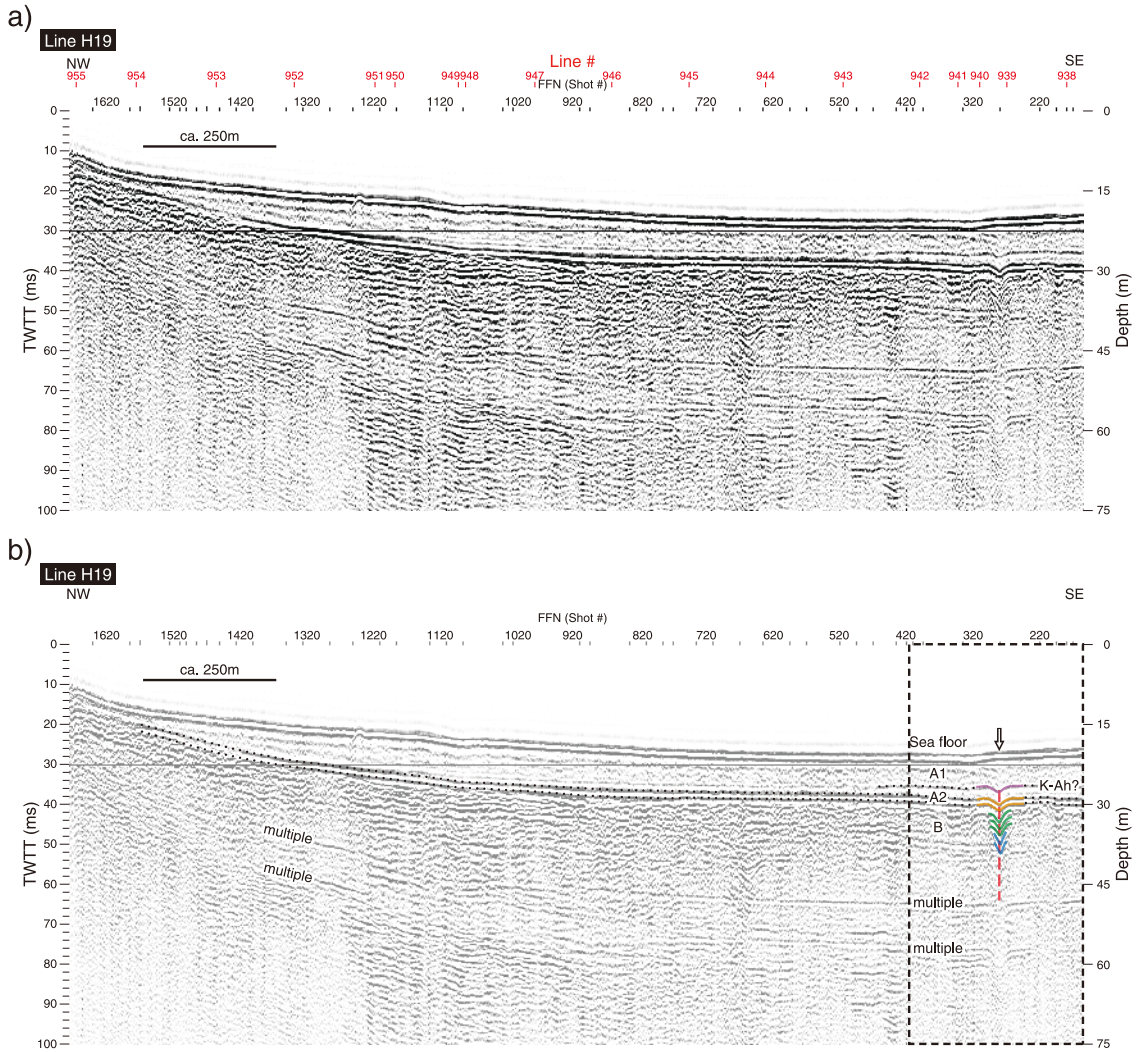


第 12 図. 測線 H17 のソノプローブ探査記録 (a) および解釈断面 (b). 断面の位置は第 3 図に示す.
 Fig. 12. (a) Sonoprobe profile and (b) geologic interpretation of Line H17. Location of the profile is shown in Fig. 3.



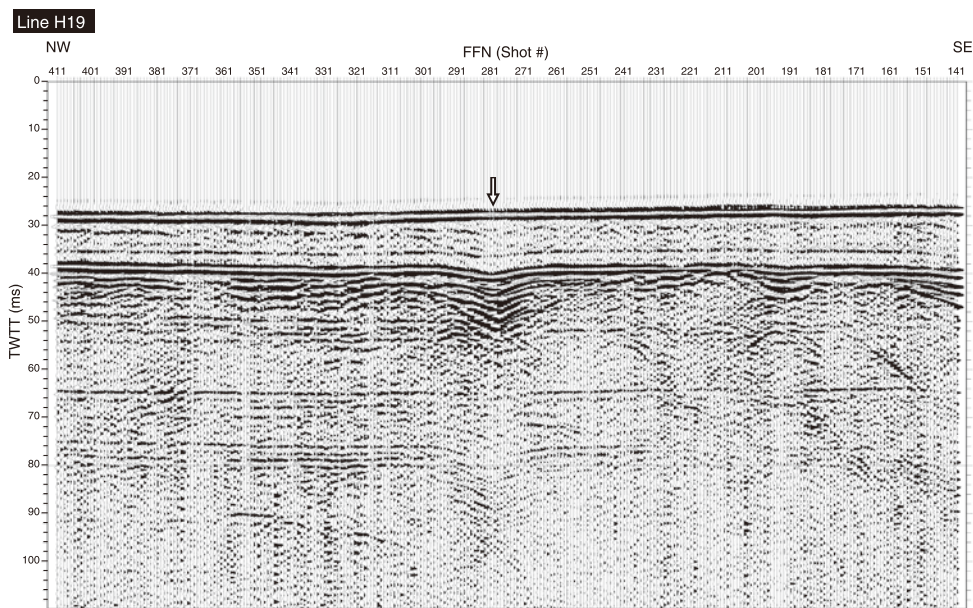
第 13 図. 測線 H18 のソノプローブ探査記録地質解釈図およびピストンコア柱状図. 柱状図横の赤矢印は ^{14}C 年代測定試料採取位置を示す. ^{14}C 年代値は第 3 表に示す.

Fig. 13. Geologic interpretation of sonoprobe profile of line H18 and columnar section of piston cores HP-3, -4, and -5. Red arrows mark the sampling horizons for ^{14}C ages. See Table 3 for ^{14}C ages.

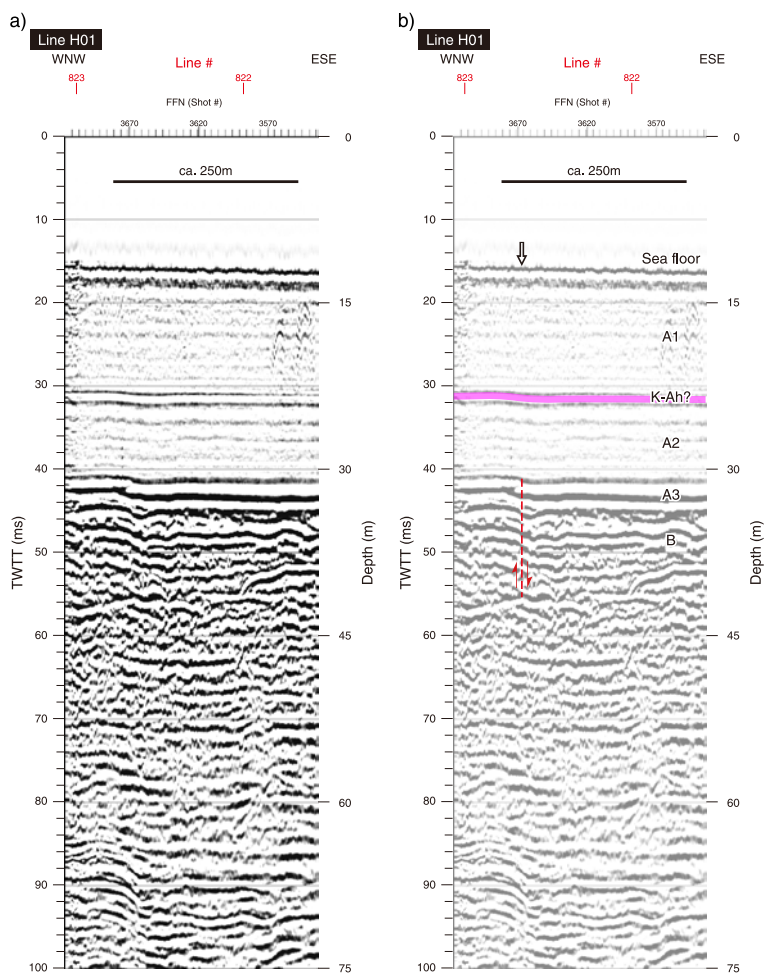


第 14 図. 測線 H19 のブーマーマルチチャンネル探査記録断面 (a) および解釈断面 (b). 破線黒枠は第 15 図の範囲を示す. 縦横比は約 10 : 1. 断面の位置は第 2 図に示す.

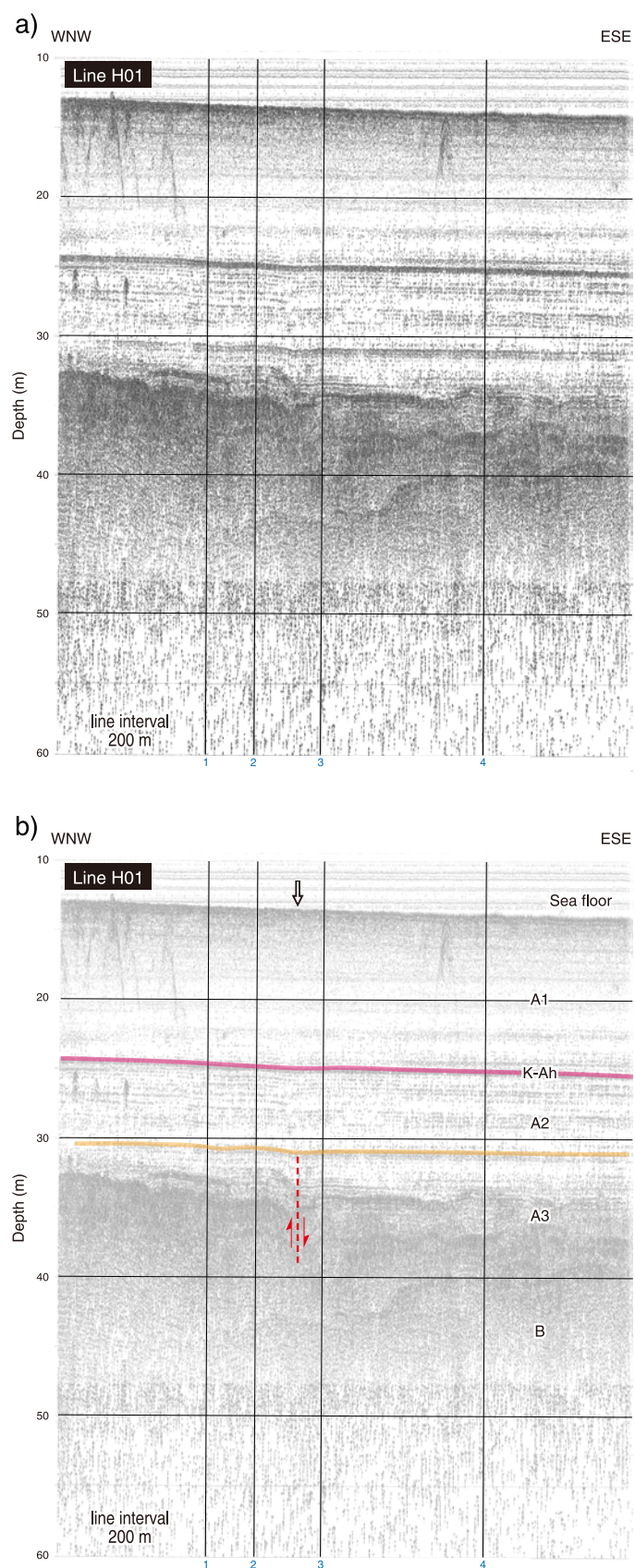
Fig. 14. (a) Boomer multichannel profile and (b) geologic interpretation of line H19. Dashed rectangle shows area of Fig. 15. Vertical exaggeration is approximately x10.



第15図. 測線H19のブーマーマルチチャンネル探査記録東端部付近の重合断面図.
縦横比は約3:1. 断面図の範囲を第14図に示す.
Fig. 15. Fine scale multichannel seismic profile of the easternmost part of Line H19.
Vertical exaggeration is approximately x3. Area of the profile is shown in Fig. 14.

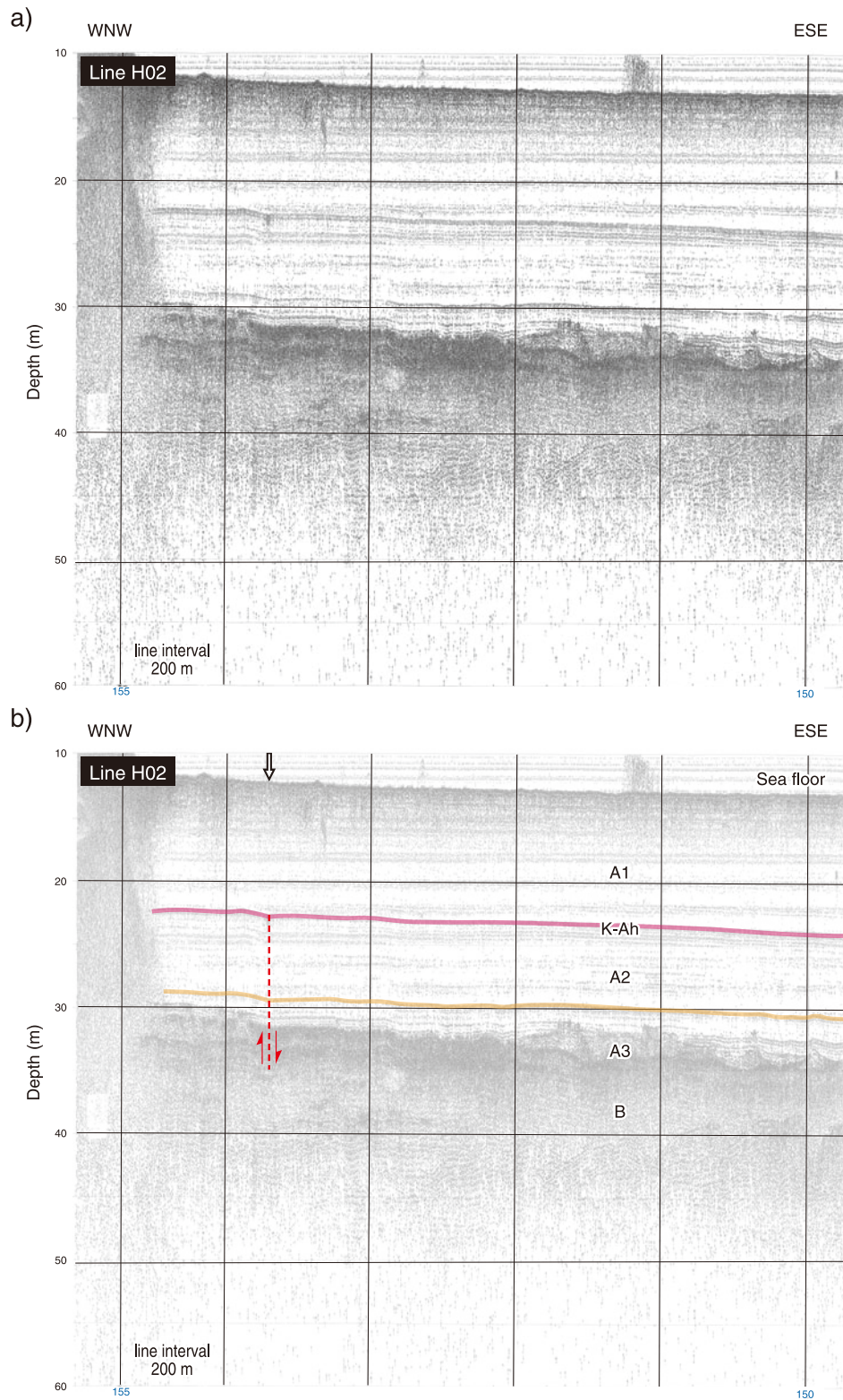


第16図. 測線H01西端付近のブーマーマルチチャンネル探査記録 (a) および解釈断面 (b).
縦横比は約10:1. 断面の位置は第3図に示す. 縦横比は約10:1.
Fig. 16. (a) Multichannel seismic profile and (b) geologic interpretation of the westernmost part of Line H01. Location of the profile is shown in Fig. 3. Vertical exaggeration is approximately x10.



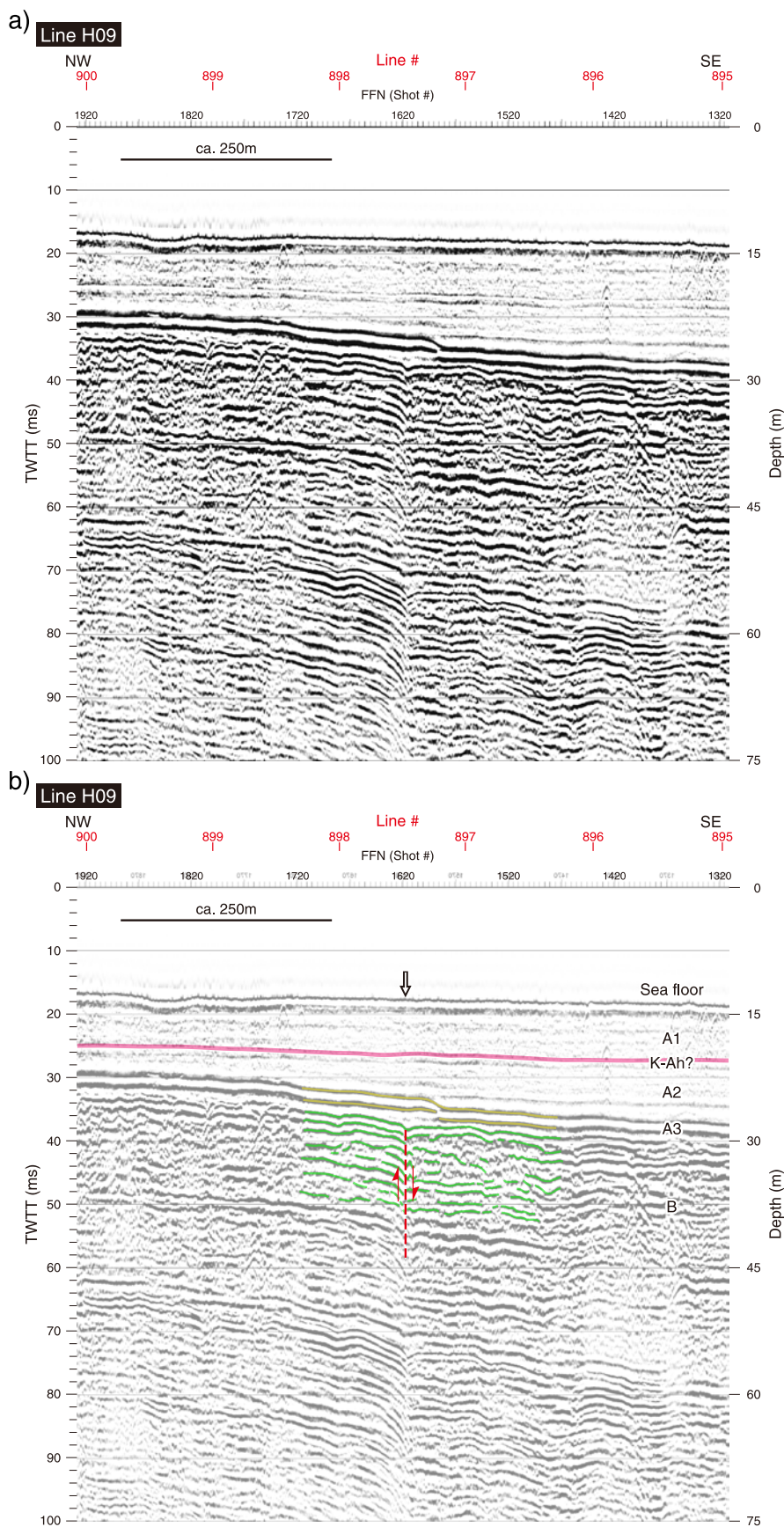
第 17 図. 測線 H01 西端付近のソノプローブ探査記録(a)および地質解釈図(b). 断面の位置は第 3 図に示す.

Fig. 17. (a) Sonoprobe profile and (b) geologic interpretation of the westernmost part of Line H01. Location of the profile is shown in Fig. 3.



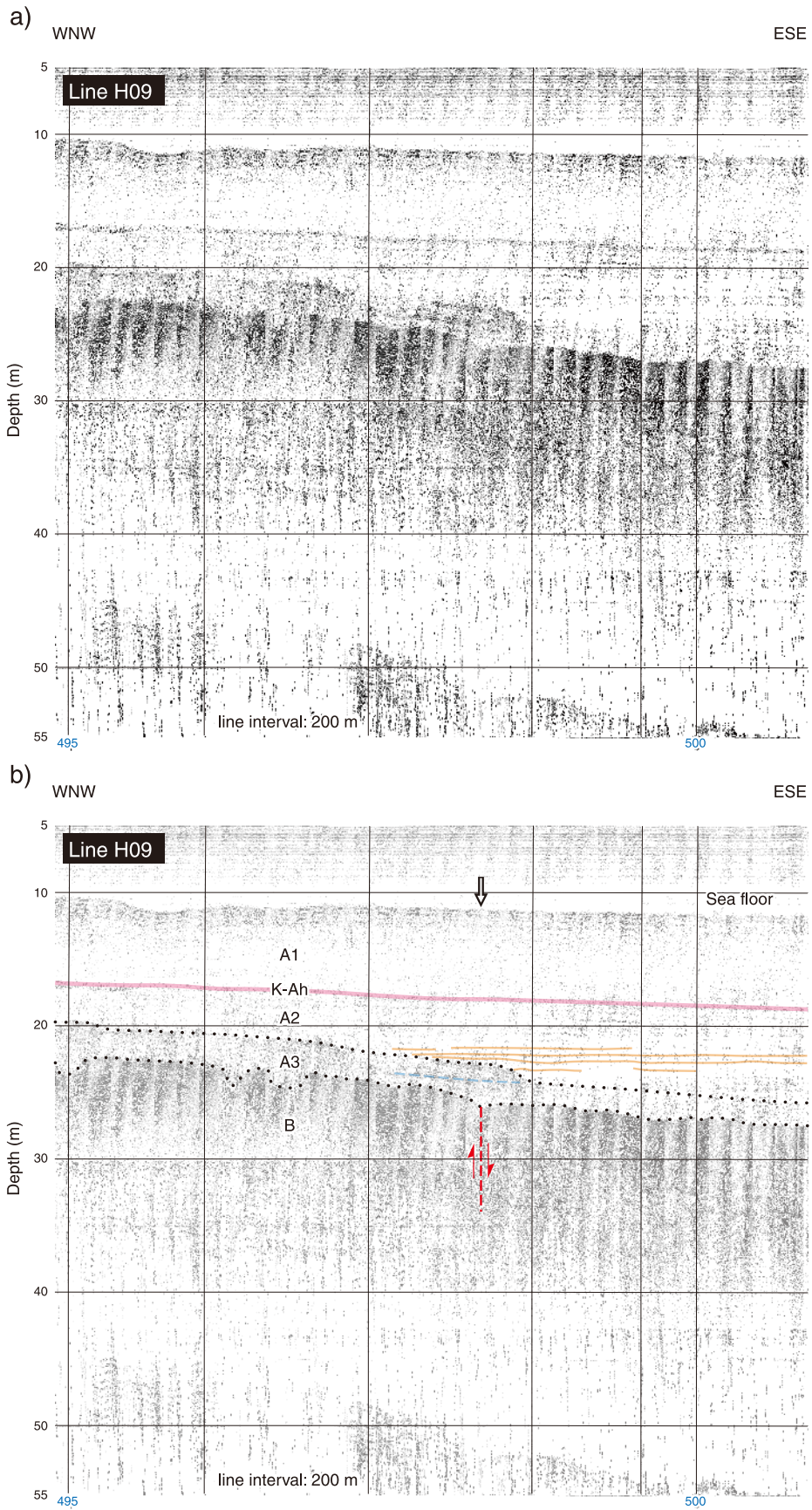
第 18 図. 測線 H02 西端付近のソノプローブ探査記録 (a) および地質解釈図 (b). 断面の位置は第 3 図に示す.

Fig. 18. (a) Sonoprobe profile and (b) geologic interpretation of the westernmost part of Line H02. Location of the profile is shown in Fig. 3.



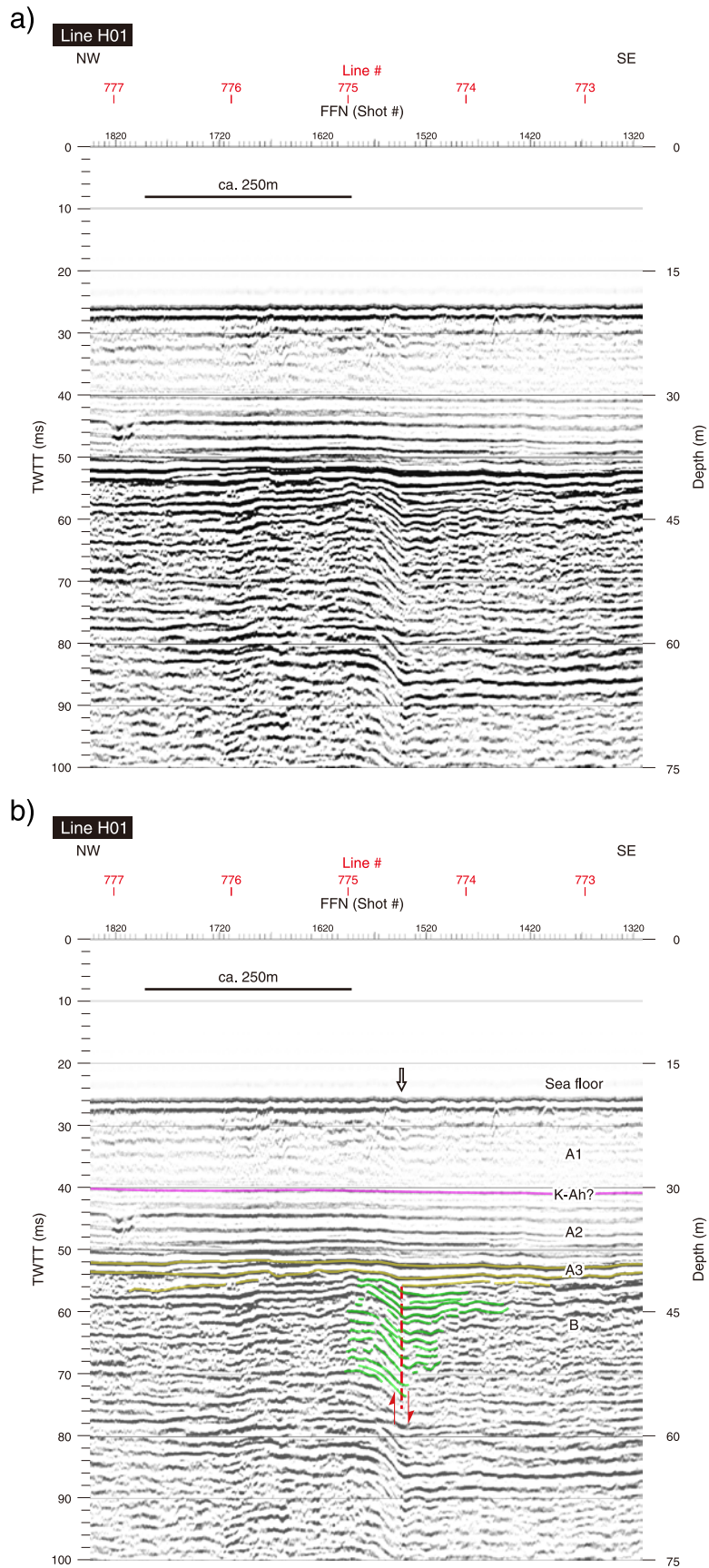
第 19 図. 測線 H09 中央付近のブーマーマルチチャンネル探査記録 (a) および地質解釈図 (b). 縦横比は約 10 : 1. 断面の位置は第 3 図に示す.

Fig. 19. (a) Multichannel seismic profile and (b) geologic interpretation of the middle part of Line H09. Vertical exaggeration is x10. Location of the profile is shown in Fig. 3.



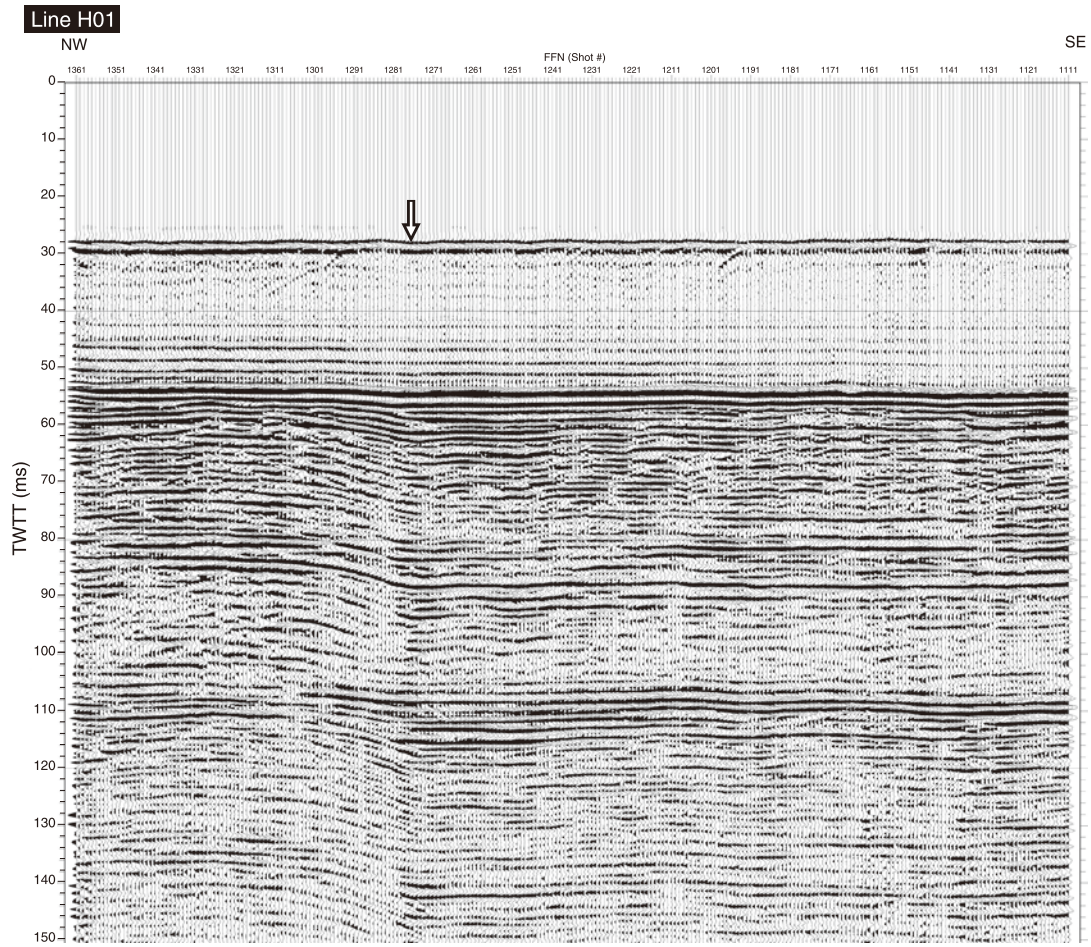
第20図. 測線 H09 中央付近のソノプローブ探査記録(a)および地質解釈図(b).
 断面の位置は第3図に示す.

Fig. 20. Sonoprobe profile (a) and geologic interpretation (b) of the middle part of Line H09. Location of the profile is shown in Fig. 3.



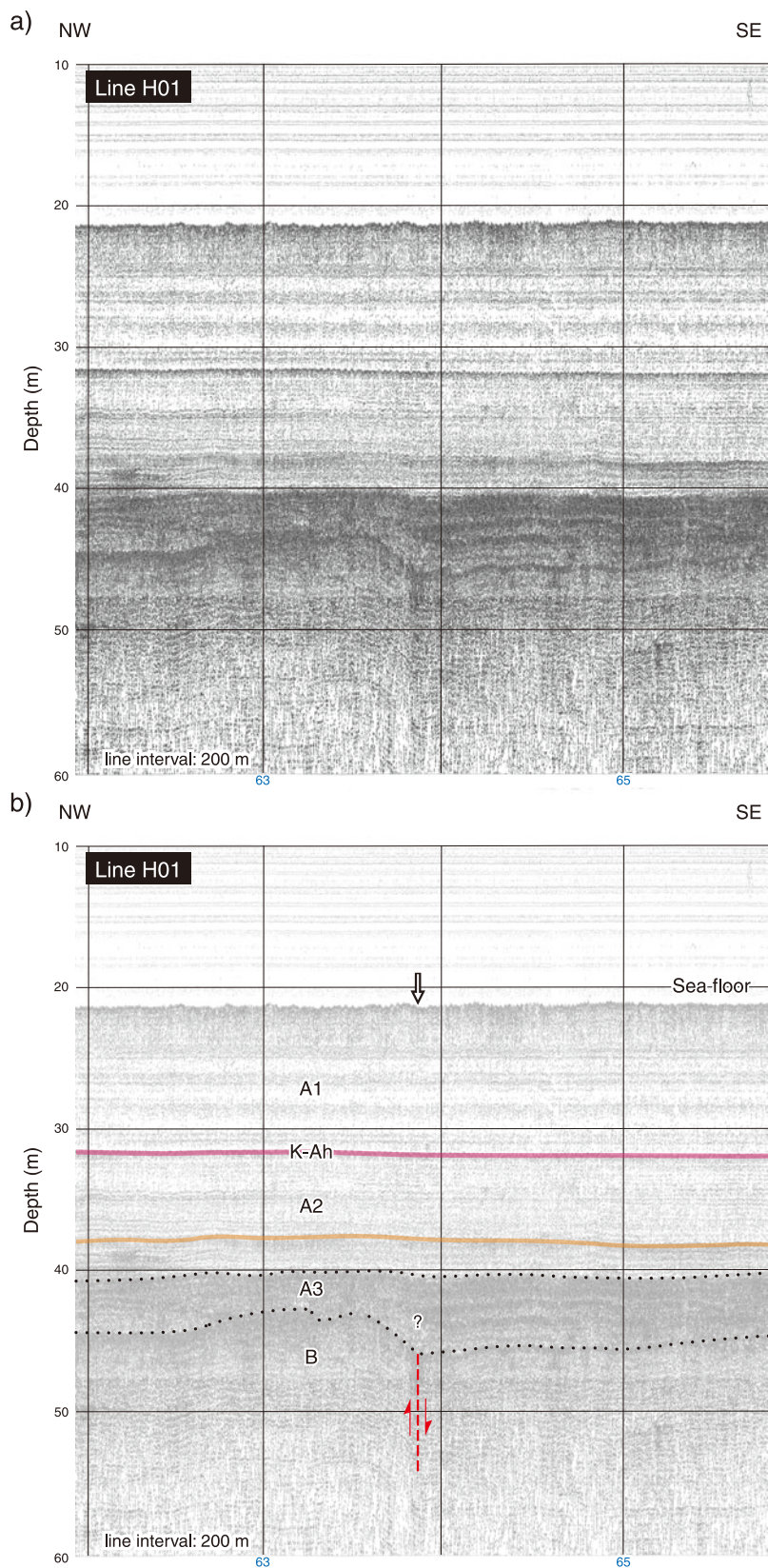
第 21 図. 測線 H01 東部のブーマーマルチチャンネル反射記録 (a) および地質解釈図 (b). 縦横比は約 10 : 1. 断面の位置は第 3 図に示す.

Fig. 21. (a) Multichannel seismic profile and (b) geologic interpretation of the eastern part of Line H01. Vertical exaggeration is approximately x10. Location of the profile is shown in Fig. 3.

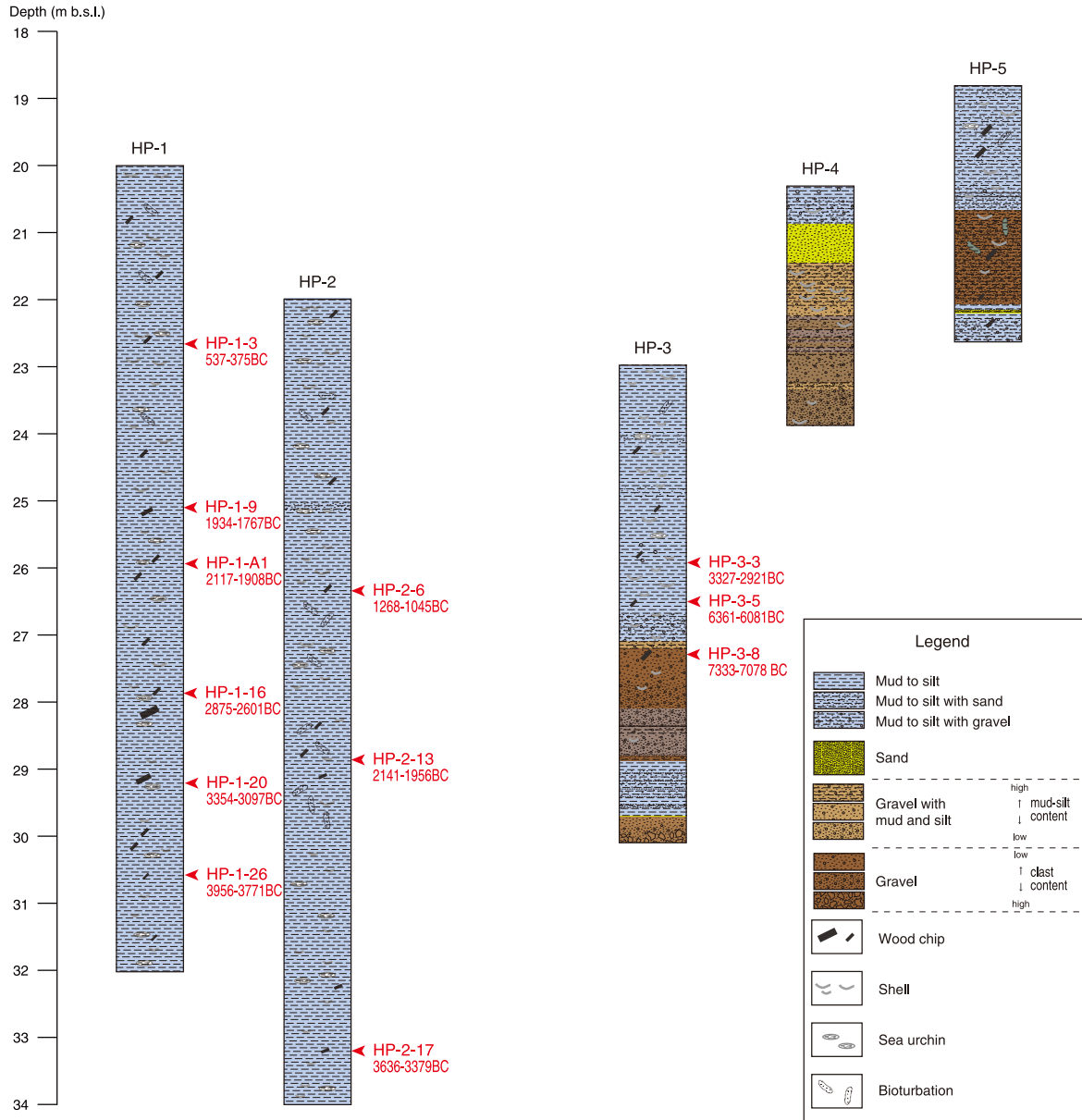


第22図. 測線H01 東部に認められた断層周辺のブーマーマルチチャンネル探査記録重合断面図。縦横比は約3:1。断面図の範囲を第21図に示す。

Fig. 22. Fine-scale multichannel seismic profile of the eastern part of Line H01. Vertical exaggeration is approximately x3. Area of the profile is shown in Fig. 21.



第 23 図. 測線 H01 東部のソノプローブ探査記録 (a) と地質解釈図 (b). 断面の位置は第 3 図に示す. 最終氷期浸食面を西側上がりに変位させる断層が認められる. それを覆う地層に変形は認められない.
 Fig. 23. Sonoprobe profile (a) and geologic interpretation (b) of the eastern part of Line H01. Location of the profile is shown in Fig. 3. Note that the fault displaces the erosion surface (upper surface of unit B) formed in the last glacial period but does not deform overlying sediments (unit A).



第 24 図. 本調査で採取したピストンコアの柱状図. コア採取位置を第 3 図および第 2 表に示す. 赤矢印は ^{14}C 年代測定試料採取位置を示す. ^{14}C 年代値を第 3 表に示す.

Fig. 24. Columnar sections of the cores retrieved by this study. Position and details of the cores are shown in Fig. 3 and Table 2, respectively. Red arrows mark sampling horizons for ^{14}C dating. Results of ^{14}C dating are given in Table 3.