

## 菊川断層帯海域延長部における断層分布と活動性について

### Fault distribution and activity in the offshore extension of the Kikugawa fault system, western Japan

阿部信太郎<sup>1</sup>・荒井良祐<sup>2</sup>・岡村行信<sup>3</sup>

Shintaro Abe<sup>1</sup>, Ryoyu Arai<sup>2</sup> and Yukinobu Okamura<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 地震予知総合研究振興会 (Association for the Development of Earthquake Prediction, shintaro@8f.adepe.or.jp)

<sup>2</sup> 川崎地質株式会社 (Kawasaki Geological Engineering Co. Ltd.)

<sup>3</sup> 活断層・地震研究センター (AIST, GSJ, Active Fault and Earthquake Research Center)

**Abstract:** We performed active fault investigations in the offshore extension of the Kikugawa fault system to clarify the five following matters about the active fault based on those results: (1) Fault continuity of the land and the sea. (2) The length of the active fault. (3) The division of the segment. (4) Activity characteristics. We carried out a digital single channel seismic reflection survey in the whole area of the active fault. In addition, a high-resolution multichannel seismic reflection survey was carried out to recognize the detailed structure of a shallow stratum. Furthermore, the sampling with the vibrocoreing to get information of the sedimentation age was carried out. The reflection profile was extremely clear. The characteristics of the lateral fault such as flower structure, the dispersion of the active fault were recognized. In addition, from an analysis of the age of the stratum, it was recognized that the thickness of the sediment was extremely thin in the Holocene epoch on the continental shelf in this sea area. The present investigation confirmed that the Kikugawa fault extends to the offing more than the existing results. Further, the width of the active fault seems to become wide toward the offing while dispersing. At present, we infer that the Kikugawa fault system can be divided into three segments based on the distribution form and geologic structures of the fault.

**キーワード:** 菊川断層, 海域, 活断層, 反射法地震探査, セグメント

**Keywords:** the Kikugawa fault, sea area, active fault, seismic reflection survey, segment

#### 1. はじめに

これまで地震調査研究推進本部は、主として陸域に存在する110の主要活断層帯を対象として調査を実施し、その成果に基づき活断層で発生する地震の長期評価や強震動評価を公表してきた。一方、近年、日本の沿岸海域においては、2005年福岡県西方沖の地震、2007年新潟県中越沖地震など、被害を伴う地震が発生している。前述した110の活断層帯の中にも、地質構造としては海域部まで連続しているにもかかわらず、その部分における断層の分布、性状、活動性が明確になっていないものがある。このような活断層帯においては、陸域部と海域部が一体となって活動した場合、これまで想定されている地震規模よりも大きな地震が発生し、深刻な被害が生じる可能性もある。以上のような点を踏まえ、本研究においては、文部科学省委託「沿岸海域における活断層調査」の一環として、菊川断層帯海域延長部における断層の分布、性状、活動性を明らかにすることを目的として海底活断層調査を実施した。

調査海域周辺の陸域の山口県西部には白亜紀前期

とされる関門層群が広く分布し、油谷湾周辺には後期白亜紀の阿武層群が関門層群を不整合に覆って分布する。山口県西岸中部には白亜紀後期の花崗岩類を主とする深成岩類が貫入する。漸新統及び新第三系中新統は、下関沖合いの馬島や藍島に芦屋層群、油谷湾周辺に日置層群や油谷湾層群が分布する。油谷湾周辺には新第三紀の火山岩(山陰火山岩)が広く分布している。

菊川断層は山口県の地質(山口県立博物館, 1975)及び新編山口県地質図(西村ほか編, 1995)に地質断層として記載されている断層である。新編日本の活断層(活断層研究会編, 1991)によると、本断層は北西-南東方向に伸びる左横ずれで南西側が落ちる断層で、確実度Iの活断層とされ、累積上下変位量は150m以上、累積横ずれ変位量は580m以下とされている。北西部は海域に延長し、海岸線も断層崖により形成されているとしている。陸上部における長さは、活断層研究会編(1991)において図示されるもので約19kmである。

平成8年~9年(1996~1997年)に地震関係基礎調査交付金により山口県が実施した調査(山口県、

1997, 1998a, 1998b) では、北部、中部、南部の3つのセグメントに分けられ、最終活動時期は7,000~2,000yB.P. で活動間隔は9,000~11,500年と推定されている。これらの調査などを基に行なわれた菊川断層帯の長期評価の結果、およびその付図に示されるように、菊川断層帯は、陸上部の19 kmの区間は連続した断層である可能性が高いとされている。さらに、菊川断層帯は、北西端部の海域部において、沿岸の海の基本図「角島」(海上保安庁, 1985) に示されている海域断層(神田岬沖断層)に連続する可能性が高いとしている。

以上のような調査結果に基づいて、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003)は菊川断層帯を山口県下関市から北西-南東方向に響灘まで達する44 km以上の長さを持ち、最新活動時期は約8,500~2,100年前、活動間隔は不明と評価している。海域延長部は、海上保安庁(1985)に示されている神田岬沖断層を菊川断層帯の一部として評価しているが、北西側に更に連続する可能性がある」と指摘している。地震規模の評価は、44 kmという長さからマグニチュード7.6程度以上とされているが、北西側に更に延びると、規模が更に大きくなる可能性がある。

## 2. 調査手法および結果

菊川断層帯の海域延長部とされている神田岬沖断層周辺では、海上保安庁海洋情報部がSea beamによる精密な海底地形調査を実施し、菊川断層帯の延長部に断層地形の存在を報告している(伊藤ほか, 2009)。この成果を参考にして菊川断層帯の長さや形態を明らかにするために、菊川断層帯の海域延長部でウォーターガンを音源としたシングルチャンネル音波探査、およびブーマーを音源とする高分解マルチチャンネル音波探査を実施した。さらに断層の活動時期を明らかにするため、これらの音波探査断面に基づいて底質採取地点を決定し、パイプロコアラを用いて柱状採泥を実施した。

調査位置図を第1図に示す。音波探査は船上記録で断層の有無などの地質構造を確認しつつ実施し、必要に応じて補足のための測線を追加した。その結果、想定していたよりも沖側まで断層の存在が確認されたため調査域を拡大した。最終的に実施した調査項目と数量を第1表にまとめて示す。

音波探査実施海域よりも沖合いについては旧地質調査所(現:産業技術総合研究所)が1985年に実施した、エアガンを音源としたシングルチャンネル音波探査記録を再処理して断層構造を検討した。

### 2.1 音波探査

#### (1) 音波探査の手法

音波探査は断層の有無、長さ、累積変位、および活動時期を確認する目的で実施した。本調査では、

断層のやや深部(海底面から400 m程度までの深さ)の地質構造と累積変位量を確認するためにウォーターガンを音源とするシングルチャンネル音波探査を、断層浅部の構造を分解能良く捉えて累積変位や最終活動時期を確認するためにブーマーを音源とする高分解マルチチャンネル音波探査を実施した。

調査では断層に直交するNE-SW方向に主たる探査測線を設定し、それらの探査測線間の反射記録を対比するためのNW-SE方向の測線も実施した(第1図)。

シングルチャンネル音波探査ではSercel社製のウォーターガン(S-15)とシングルチャンネルのハイドロフォンを、マルチチャンネル音波探査ではApplied Acoustic Engineering社製のBoomer System探査装置と12チャンネルのストリーマーを、調査船の船尾から曳航して計画測線を航行しながら測定した。探査データは船上モニターでデータの質と、断層の有無などの地質状況を確認しつつデジタル記録を取得した。

音波探査に際して、調査船の船位測定はディファレンシャルGPS(DGPS)を用いた。補正データは海上保安庁交通部で沿岸から200 kmの範囲をカバーできるようにラジオビーコンにより発信されているものを使用した。

1秒毎に記録させた船位データを用いて、調査船の進行方向およびGPSアンテナと受発振器の距離を考慮して音波探査の反射点位置を決定した。

#### (2) 音波探査の結果

本探査ではシングルチャンネル音波探査で海底面下およそ350~400 mまでの反射記録、ブーマーによる高分解マルチチャンネル音波探査で海底面下およそ70~80 mまでの反射記録が得られた。なお、地層の厚さや深度の推定は、水中および堆積物中での音波速度を1500 m/sと仮定したが、本海域に分布するB層以下の地層中の音波速度はそれよりかなり速い可能性が高い。

本調査海域のシングルチャンネル音波探査は、沿岸部から約70 km沖までの範囲で北東-南西方向の測線を2~4 km間隔で、ブーマーによる高分解マルチチャンネル音波探査は、沿岸部から約45 km沖までの範囲で同じく北東-南西方向の測線を約2 km間隔で実施し、探査測線の総延長はそれぞれ約200 kmと約70 kmである(第1図)。音波探査の結果に基づいて作成した海底地質構造図を第2図に示す。また、代表的な反射記録と地質解釈を第3図~第19図に示す。

#### 1) 層序区分

調査海域で得られた音波探査断面の音響層序は、周辺陸域の地質分布、内部構造、層序関係に基づいて、上位から順にA, B1, B2, B3, C1, C2, D1, D2,

E の 9 層に区分した。

A 層～C2 層は主としてブーマーによる高分解能マルチチャンネル音波探査による反射断面で地層の特徴が捉えられている。D1 層以下の地層は分布深度や音源のエネルギーなどの関係で、ウォーターガンによるシングルチャンネル音波探査による反射断面によって地層の特徴が認識される。各層の特徴は以下の通り。

- A 層：調査範囲の最上位層で、層厚が約 10 m 以下と薄く、下位層とは不整合関係にある。堆積構造が把握できたところでは水平ないしは緩く傾斜した内部構造を示す。
- B1 層：内部反射面がほぼ水平から緩く傾斜した堆積層で、一部に乱れた内部反射面を呈するところもある。本層の下部に扇状地性の堆積物と推定される堆積物が認められることがある。
- B2 層：明瞭で連続性の良い反射面と不明瞭な反射面を示す層の互層からなり、内部反射面はほぼ下位の地層境界面に平行である。一部に内部反射面が乱れた部分があり、下位層にオンラップする部分も認められる。
- B3 層：連続性が良く下位の地層境界面にほぼ平行な内部反射面を示す堆積層である。本層内部に不整合面が認められることがある。下位層にオンラップすることがある。
- C1 層：内部反射面が明瞭で連続性の良い堆積層である。下位層にオンラップして堆積している。本調査範囲内では層厚が 80 m 以下である。
- C2 層：内部反射面が明瞭で連続性の良い堆積層である。下位層にオンラップして堆積している。本調査範囲内での層厚は 200 m 以下である。
- D1 層：地層境界に平行から緩く斜交する明瞭な内部反射面を示す堆積層である。
- D2 層：本調査範囲では、沿岸部では確認されず沖合のみで認められる堆積層である。傾斜した内部反射面を有する。
- E 層：本層の上面には凹凸が認められ、振幅が大きい。本調査で認められる最下層である。

## 2) 年代

上記の音響学的層序を、沿岸の海の基本図「角島」(海上保安庁, 1985), および西村ほか編 (1995) の地質図に対比し、年代の推定を行った。

山口県西部日本海沿岸の陸域には下位から順に関門層群 (下部白亜系), 阿武層群 (上部白亜系), 日置層群 (古第三系), 油谷湾層群 (新第三系中新統), 第三紀～第四紀の火山岩類が分布している (西村ほか編, 1995)。これら沿岸部に分布が認められる各地質の分布域と音波探査記録で区分された各地層の分

布域とを比較して、E 層を関門層群, 阿武層群 (白亜系), D1 層を日置層群 (古第三系漸新統), C2 層を油谷湾層群 (新第三系中新統) にそれぞれ対比した。また、海上保安庁 (1985) による更新統の分布域から、B1～B3 層を更新統に対比した。山口県から福岡県にかけての日本海沿岸陸域には更新統の分布が非常に乏しいが、島根県の日本海沿岸には鮮新統～下部更新統の都野津層が分布し、山口県西部日本海側には小規模ながら上部更新統が分布している (大西, 1988)。都野津層は沿岸部に分布していることから海域にも連続している可能性が考えられ、B3 層をこれに対比する。また、山口県西部日本海側に小規模に分布している上部更新統を、完新統に不整合に覆われる B1 層に対比する。

しかしながら、上記の地層についての年代の証拠は乏しい。A 層は顕著な侵食面を不整合に覆うことから最終氷期以降の堆積物と推定される。しかしながら、柱状堆積物は A 層の最上部で最終氷期以前の年代を示すことが多く、後期更新世の海水準低下期の不整合面と識別できていない可能性も否定できない。また、海上保安庁 (1985) の年代も、海域で実際に年代試料が得られているわけではないので、信頼性は必ずしも高くない。

## 3) 地質構造

KB14 測線ではショットポイント (sp) 1110～1150 に 2 本の断層が確認される (第 3 図)。両断層とも A 層基底の侵食面に変位・変形が認められ、断層の間が落ち込む構造を呈している。また、北側の断層 (Fk1) は、A 層中にもわずかな変形を与えているように見える。残念ながら、分解能が十分でないため、履歴を解読することはできない。

KB12-2 測線では斜面基部の sp860 付近に B3 層以下の地層に撓曲構造が認められる (第 4 図)。その上面の侵食面がわずかに変形しているように見える。侵食面は A 層に覆われることから、最終氷期に形成されたと考えられる。撓曲構造の北東側は地形的に浅くなっており E 層が露出している。

KS20 測線と KB11-2 測線は同一の場所を測定している。KS20 測線では sp620 及び 1572 付近に断層構造が認められる (第 5 図)。sp1572 付近では、断層周辺が緩やかに凹むような撓曲変形として認識される。一方、sp750-600 付近では北東側が隆起するような顕著な撓曲帯が発達し、sp620 付近に断層 (FK1) を推定した。この断層の北東側には比高約 20 m の斜面があり、海底下には褶曲した D1 層が分布する。A 層基底面の変形は明瞭ではないが、地形的な傾斜変換点と断層位置とがほぼ一致することから、Fk1 は活断層である可能性が高い。

KB10 測線では sp1390 付近を境にして両側の地層が向かい合うように向斜構造状に傾斜するが、地層の傾斜が急に折れ曲がるように変化することから、

向斜軸に断層の存在が推定される(第7図)。さらに、海底面にもわずかに段差が認められることから、この断層は最終氷期以降に活動した可能性がある。

KS10 測線では5本の断層が認められる(第8図)。sp580, 810 付近の断層は、それらの間が落ち込むような変形を伴って、B3層以下の地層に変形を与えている。sp960, 1100 付近に見られる断層は、断層の間で背斜構造状の隆起が発達し、同じくB3層以下の地層に変形が認められる。分解能が不十分なウォーターガンを音源としているため、A層に変位が認められるかどうか不明である。

KS15 測線にはsp590~740に3本の断層があり(第9図)、これらの断層に挟まれた部分が落ち込み、断層両側の地層が断層に向かって傾斜している。この断層は高分解能マルチチャンネル音波探査記録のKB8-2 測線のsp650~840にみられる断層に対応する(第10図)。海底面に変位・変形を及ぼしており、凹地状の海底地形が形成されている。海底下のB3層上部以上の地層にも累積的な変形が認められる。

KB7 測線ではsp850~1530の間に4本の断層が確認される(第11図)。これらの断層は、最も南西側にあるものを除いて南西落ちの垂直変位を持つ。B2層以上に累積的な変形が発達し、海底直下の地層まで変形が認められるが、海底に明瞭な変形が現れているのはsp1120 付近の断層だけである。南西側の2断層の間はわずかに傾動しつつ落ち込むように変形し、北東側の2断層の間は背斜構造状の変形が認められる。

KS7 測線の反射断面には3本の断層が認められる(第12図)。sp500 付近の断層は、B1層基底に見かけ上北東落ちの変位・変形が確認される。sp860 付近及びsp1150 付近の断層は南西落ちの垂直変位を示し、sp860 付近の断層はB1層中に変位・変形が認められ、海底面に変位・変形が達している可能性がある。

KB6 測線の反射断面には6本の断層が確認される(第13図)。断層の分布位置から、sp350 付近の断層はB1層の基底まで南西落ちの変位が確認できるが、変位量はわずかで、最近では活動していない。sp860~1010 付近の3本の断層は全て南西側が落ちる見かけの垂直変位センスを有し、B1及びB2層内に累積的な変位・変形が確認できる。しかしながら、海底での変形は明瞭でない。南西側の断層を軸としてその両側の地層が向かい合うように傾斜しているが、北東側の地層の高度差が大きいため、この断層群を境として北東側が相対的に隆起している。sp1680~1720 付近の2本の断層も、断層の間が落ち込むような変形構造を持ち、B1及びB2層内に累積的な変形が認められる。この断層群でも北東側がわずかに上昇している。

KS4 測線には6本の断層が認められる(第14図)。sp1310 付近の断層は北東落ちの垂直変位を示し、A層基底に変位・変形が認められる。sp2000~2090 付

近の3本の断層は、全て南西落ちの垂直変位を示し、B1層まで変位・変形させているが、海底の変形は確認できない。sp2300 付近の断層は南西側が落ちる見かけの垂直変位センスを示し、B1層中に変位・変形が認められる。一方、sp2520 付近の断層は北東側が落ちる見かけの垂直変位センスを示し、変位・変形はB1層基底に認められる。

KB3 測線には5本の断層が認められる(第15図)。sp500 付近のものはB1層以下の地層の撓曲変形として認められるが、最近の活動は停止している。sp1530 付近の断層は海底面にわずかに変形を及ぼしており、北東落ちの垂直変位を持つ。sp2300 付近の2本の断層は南西落ちの垂直変位を有し、南西側の断層はその上部の海底面にわずかに撓みが認められる。この撓みは断層の影響である可能性がある。sp2550 付近の断層は北東落ちの垂直変位を示し、B1層中に変形が及んでいる。本断面で認められる断層周辺の地層に顕著な撓曲や褶曲構造が発達しない。

KS3 測線の反射断面には5本の断層が認められる(第16図)。sp1530 及び2090 付近の2本の断層は北東落ちの垂直変位を示し、sp1530 付近の断層はB1層中に変形を与えている。sp950 付近に認められる2本の断層とsp2330 付近に認められる断層は南西落ちの垂直変位を示す。いずれの断層もB1層に変形を与えるが、海底面には明瞭な変形は観察できない。

KB2 測線の反射断面には6本の断層が認められる(第17図)。これらの断層はB1層以下の地層に変形を与えている。sp2510 とsp2585 付近に認められる2本の断層は、断層間が落ち込む様な垂直変位を有しているが、それ以外の断層は全て南西側が落ちる見かけの垂直変位センスを示している。

KS22 測線では4本の断層が認められる(第18図)。sp1350 付近の断層は南西落ちの変位を持ち、A層基底に変形が認められる。他の3本の断層はいずれも北東側が落ち込む地質構造を示し、sp2120 付近とsp2270 付近に見られる断層はB3層内に変形が認められる。また、sp580 付近の断層はB1層基底に変形構造が認められる。いずれの断層も海底付近まで変形は及んでいないように見える。

KS24 測線ではsp1480 付近に断層が認められる(第19図)。この断層は南西落ちで、A層基底がわずかに撓んでいるように見える。

## 2.2 底質採取調査

音波探査記録で認められる表層部の地層年代を確認するため堆積物を採取し、年代測定を実施した。

### (1) 底質採取調査の手法

本調査海域の海底堆積物は砂質であることが予想されたため、泥質堆積物採取に有効なピストンコアは用いず、パイプロコアラを使用した。音波探査記録の検討によって選定した採取地点に調査船を定

点維持させて底質採取を実施した。

採泥器を海中に投入してから回収するまでの作業中は、船位データを1秒毎に記録しており、採泥器の着底位置と離底位置の間を採泥地点の位置とした。

## (2) 底質採取調査の結果

菊川断層帯では7地点で底質採取を行なった(第20図)。全体的に多量の貝殻片を含む粗粒堆積物が主体であった。以下に各地点で採取されたコアの特徴を述べる。

### 1) KK1-4

本採泥点はKB3測線のsp1470付近で、水深は120mである(第21図)。堆積物の採取長は395cmである。全体に泥質なマトリックスを伴う中粒～細粒の砂で貝殻片を含む(第25図)。上端から154cmおよび251cmのところから採取した貝殻片を用いて測定した<sup>14</sup>C年代値はそれぞれ33,580±320yBP, 35,060±370yBPである(第2表)。

### 2) KK2-1

本採泥点はKB3測線のsp1570付近で、水深は119mである(第21図)。堆積物の採取長は134cmである。全体に中粒～細粒の砂で60cm以下は貝殻片が密集している(第25図)。上端から75cmのところから採取した合弁の二枚貝を用いて測定した<sup>14</sup>C年代値は40,950±670yBPである(第2表)。

### 3) KK3-2

本採泥点はKB3測線のsp2260付近で、水深は121mである(第22図)。堆積物の採取長は594cmである。細粒砂が主体でシルトを挟む。全体的に貝殻片を含むが、40cm以浅で特に多くの貝殻片が含まれる(第25図)。上端から87cm, 290cm, 573cmのところから採取した貝殻片を用いて測定した<sup>14</sup>C年代値は、それぞれ15,380±80yBP, 18,460±100yBP, 21,370±120yBPである(第2表)。

### 4) KK7

本採泥点はKB8-2測線のsp1100付近で、水深は89mである(第23図)。堆積物の採取長は85cmである。層相は海底～56cmまでは中粒砂、56～92cmは細粒砂である(第25図)。上端から80cmのところから採取した貝殻片を用いて測定した<sup>14</sup>C年代値は>43,500yBPである(第2表)。

### 5) KK8-2

本採泥点はKB8-2測線のsp890付近で、水深は90mである(第23図)。堆積物の採取長は85cmである。層相は中粒砂～細粒砂で53～93cmは貝殻が密集している(第25図)。上端から80cmのところから採取した貝殻片を用いて測定した<sup>14</sup>C年代値は、29,250±200yBPである(第2表)。

### 6) KK9

本採泥点はKB8-2測線のsp790付近で、水深は96mである(第24図)。堆積物の採取長は366cm

である。層相は、海底面～73cmが中粒砂主体の砂層で、73～292cmがシルト層である。その下位は中粒砂層であり、上位の泥層とは漸移的に変わる。さらに330cmより下には貝殻が密集する(第25図)。上端から153cmおよび256cmのところから採取した有機質堆積物、346cmのところから採取した貝殻片を用いて測定した<sup>14</sup>C年代値は、それぞれ13,780±40yBP, 15,470±70yBP, 34,200±310yBP, である(第2表)。

### 7) KK12-2

本採泥点はKB8-2測線のsp570付近で、水深は93mである(第24図)。堆積物の採取長は216cmである。層相は中粒～細粒の砂で(第25図)、111～157cmにシルト層が挟在する。上端から117cmおよび216cmのところから採取した貝殻片を用いて測定した<sup>14</sup>C年代値は、それぞれ38,830±480yBP, >43,500yBPである(第2表)。

放射性同位体年代測定に供した試料は、貝殻片などの異地性のもと考えられるため、測定年代値は堆積した年代値の下限を示す値であると考えられる。

本海域には砂質堆積物が広く分布する上、その年代は海底下1～2m程度で最終氷期やそれ以前の値を示すことが明らかになった。このことから、本海域には完新世の堆積物がきわめて薄く、音波探査と柱状堆積物の年代測定に基づいて断層の活動履歴を解明することはきわめて困難である。

## 3. 考察およびまとめ

以上の結果に基づき、本断層帯の断層形状および過去の活動について考察を加え、まとめとする。

### 3.1 菊川断層帯海域延長部の断層形状

伊藤ほか(2009)はマルチナロービーム測深による詳細な海底地形調査を実施し、菊川断層帯の海域延長部において、神田岬からおよそ70km沖まで北西方向に断層地形が発達することを報告した。

菊川断層が海岸線と交わる場所から神田岬の先端までの約7kmの間は、断層が海岸線に極めて近いところに位置し、または断層崖が海岸線を形成している(活断層研究会編, 1991)と推定されている。この部分で得られた音波探査断面では、最終氷期の侵食面に変形を与える北東側隆起の断層が認められたことから、陸域の菊川断層の延長が捉えられたと判断できる。最終氷期以降に活動していることも、陸域の活動履歴と矛盾しない。

その沖合いのKB16-2～KB10測線間約10kmの間は、断層の北東側が相対的に顕著に隆起する構造を伴う。また、多くの測線では、複数の断層が発達し、その間で地層が地溝状に落ち込んだり、背斜状に隆起し、フラワーストラクチャーと考えられる構造が認められる。神田岬から約10kmより沖のKB9測線

～KS9 測線の間では断層帯と地層の変形帯が広がるものの北東側が相対的に隆起するという特徴が認められる(第8図)。神田岬から約15 km 沖のKS15 測線およびKB8-2 測線では断層群により明瞭な地溝が形成されているが、断層北東側の隆起量は小さくなる(第9図, 第10図)。この場所は伊藤ほか(2009)が海底地形からプリアパートベースンの存在を指摘している(第26図)。この区間は、断層の方向がやや反時計回りに変化していることから、左横ずれ運動に伴って伸張場になったと考えられる。

神田岬から約15 km のKB8-2 測線より沖では断層の分布が広範囲になり、断層周辺の地層の撓曲や褶曲が不明瞭になる。

神田岬から約30 km のKB5 測線より沖ではより広範囲に断層が分布するようになる(Fk8～Fk18)。個々の断層の垂直変位量はあまり大きくなく、長さの短い断層が見られる(第26図)。また、海底まで変形が達している断層もほとんど認められない。

神田岬から約65 km より沖では断層は確認されるものの、その連続性は不明であり、神田岬から約90 km のGH85226a 測線には断層は認められない。

以上の断層形状とその周辺の地質構造から、大きく3つのセグメントに区分した。菊川断層が海域に出るところからプリアパートベースンが認められるKB8-2 測線までの約25 km の区間(セグメントA)は、断層により北東側の相対的上昇が顕著に認められる。その北西側でKB8-2 測線～KS5 測線までの約15 km の区間(セグメントB)は、断層分布が広がり、断層による隆起構造が顕著でなく、主として2本の変形帯が発達する。さらに北西側でKS5 測線より沖側の区間(セグメントC)は50 km 以上の長さを有するが、断層の連続性が必ずしも明瞭ではなく、それぞれの変位量も小さい(第26図)。

本断層帯のセグメントCについては、測線間隔が広いので、セグメント内での断層の走向や、Bセグメントとの連続性を十分に議論できず、その一部または全部が本断層帯に属するものか否かについては更なる検討を要する。

### 3.2 菊川断層帯海域延長部の過去の活動

#### (1) 活動時期

セグメントAはA層基底以上に変位・変形が認められる断層が多数存在する(第26図)。特にKB10 測線より沖側には海底面に変位・変形が認められる断層がある。

セグメントBには全域に渡って海底面に変位・変形を与えている断層が認められるが、北西ほど海底面やA層基底に変位・変形を及ぼす断層よりもB1層基底面以下の地層に変位・変形を及ぼす断層が多く認められる(第26図)。セグメントA-B境界近傍のKB8-2 測線のFk2断層とFk3断層の間に形成されている凹地内には、A層内に反射面A及びBが見

られる(第27図)。これら2枚の反射面はFk2断層によって連続性が断たれていることから、この断層は反射面A、Bの形成後に活動したと推定される。反射面A、Bは共に断層を挟んでの対比が出来ないため変位量は不明である。また、Fk3断層周辺では反射面Aは不明瞭になるが、反射面Bが断層変形を受けている(第27図)。

反射面A、B間の地層から採取した有機質堆積物(NY9-153, NY9-256)から $13,780 \pm 40$ yBP. および $15,470 \pm 70$ yBP. の $^{14}\text{C}$ 年代値が得られていることから、本断層はおよそ1万4千年前以降に活動があったと考えられる。

セグメントCでは海底面に変位・変形を与えている断層はごく一部でしか見られない。本調査で確認された断層の多くはB1層基底面に変位・変形が認められる、またはB2層以下の地層に変位・変形が認められる断層であり(第26図)、活動時期としてはセグメントA、Bよりも古い時代であると考えられる。

#### (2) 活動区間

本断層帯は地質構造によりセグメントA～Cの3セグメントに区分される。セグメントAおよびBの断層は海底に変位・変形が及んでおり、両セグメント共に北東側が相対的に隆起している。一方、セグメントCの断層には南東部など一部を除いて海底面には変位・変形が認められない。

本調査では各セグメントの活動時期の違いに関する直接的な証拠は得られていないが、地質構造の連続性と同一層準までの断層変位が認められることから、セグメントAおよびBは同時に活動した可能性は否定できない。しかし、セグメントCの活動時期はセグメントA、Bとは異なっている可能性が高い。

#### (3) 1回の変位量

本断層帯の1回の変位量に関する直接的資料は得られていない。本調査の音波探査記録から海底面には、セグメントAに属する断層では最大0.6 m(第28図)、セグメントBに属する断層では最大3 m(第29図)、セグメントCに属する断層では最大0.7 mの高低差(第30図)が読み取れる。断層活動後の堆積や侵食などによる地形変化があるため1回の変位量が保存されているとは限らないし、複数回の累積変位を見ている可能性もあるものの、セグメントAで0.6 m程度、セグメントBで3 m程度、セグメントCで0.7 m程度の見かけ垂直変位量がある可能性がある。

#### (4) 平均変位速度

本調査の音波探査記録の各地層における堆積年代値の直接的資料は得られていないが、周辺陸域の地質との対比から、A層を最終氷期の最大海退期以降

の堆積物、B1層を上部更新統に対比している。このことから、A層基底面の年代を1.8万年前、B1層基底面を12.6万年前として、本断層帯の平均垂直変位速度を計算すると、セグメントAでは0.044 m/千年、セグメントBでは0.031~0.111 m/千年、セグメントCでは0.017~0.417 m/千年となる(第3表)。本断層が横ずれ主体の断層であることを考慮すると、その変位速度は数倍以上になると考えられ、松田(1975)の活動度による分類ではB級以上の活断層となる可能性が高い。しかしながら、A層基底の年代についても十分な証拠が揃っているわけではなく、沖合ではA層に後期更新世の地層を含む可能性を否定できないため、変位速度も更に小さい可能性がある。

**謝辞** 本研究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御理解いただき、多大なる御協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

### 文献

伊藤弘志, 福山一郎, 田中喜年: 2009, マルチビーム測深器によって発見された海底変動地形~山口県 菊川断層帯~, 海洋調査技術学会第21回研究成果発表会講演要旨集, 63.

地震調査研究推進本部地震調査委員会: 2003, 菊川断層帯の長期評価について, 10.

海上保安庁: 1985, 沿岸の海の基本図「角島」1:50,000.

活断層研究会編: 1991, 新編日本の活断層一分布図と資料, 東京大学出版会, 439.

松田時彦: 1975, 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第2輯, 28, 269-283.

大西郁夫: 1988, 中国地方の第四紀層, 地質学論集, 30, 127-144.

西村祐二郎, 今岡照喜, 宇多村 譲, 亀谷 敦 編: 1995, 新編山口県地質図1:150,000, 山口地学会.

山口県: 1997, 平成8年度地震調査研究交付金 菊川断層に関する調査成果報告書, 205.

山口県: 1998a, 平成9年度地震関係基礎調査交付金 菊川断層に関する調査成果報告書, 99.

山口県: 1998b, 地震調査研究交付金 菊川断層に関する調査概要版, 28.

山口県立博物館: 1975, 山口県の地質, 山口県立山口博物館, 287.

(受付: 2010年8月26日, 受理: 2010年10月14日)

第1表. 菊川断層帯海域延長部の調査項目および数量.

Table 1. Survey items and volume in the offshore extension of the Kikugawa fault system.

調査項目	測線数 (採泥地点数)	距離 (km)
シングルチャンネル音波探査	24 測線	206 km
高分解能マルチチャンネル音波探査	15 測線	74 km
既存音波探査データの再処理	7 測線	139 km
柱状採泥	7 地点	

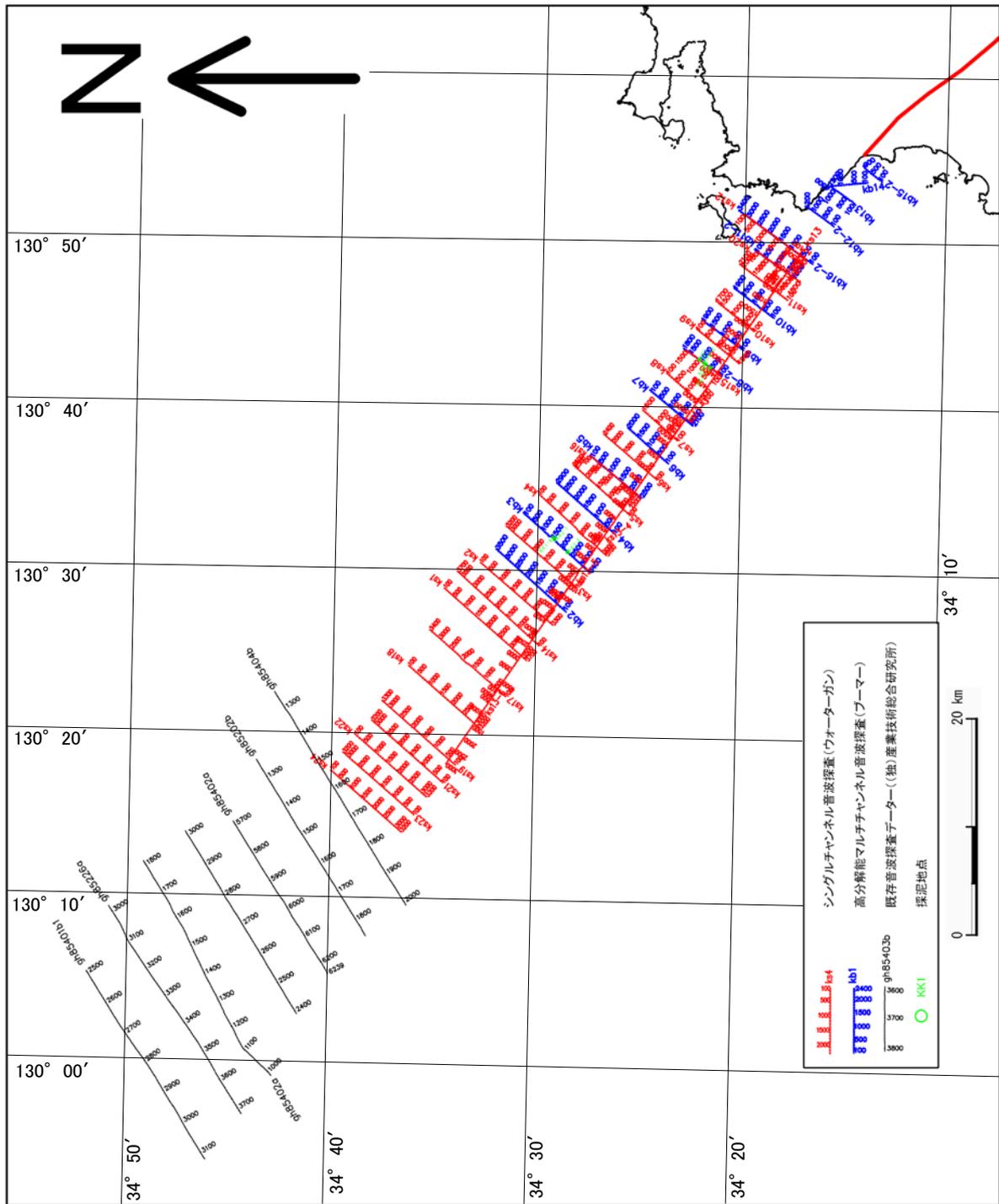
第2表. 菊川断層帯海域延長部における年代測定結果.  
Table 2. Dating results in the offshore extension of the Kikugawa fault system.

試料名	深度 (cm) (海底面下)	試料の種類	測定方法	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ 年代* (yBP)	未補正 $^{14}\text{C}$ 年代 (yBP)
KK1-4-154	154	貝殻	AMS	+0.2	33,580±320	33,170±320
KK1-4-251	251	貝殻	AMS	-0.9	35,060±370	34,660±370
KK2-1-75	75	貝殻	AMS	+1.1	40,950±670	40,520±670
KK3-2-87	87	貝殻	AMS	+0.6	15,380±80	14,960±80
KK3-2-290	290	貝殻	AMS	+3.3	18,460±100	18,000±100
KK3-2-573	573	貝殻	AMS	+2.1	21,370±120	20,930±120
KK7-80	80	貝殻	AMS	-0.4	>43,500	NA
KK8-2-80	80	貝殻	AMS	+1.5	29,250±200	28,820±200
KK9-153	153	有機質堆積物	AMS	-26.2	13,780±40	13,800±40
KK9-256	256	有機質堆積物	AMS	-26.0	15,470±70	15,490±70
KK9-346	346	貝殻	AMS	+0.9	34,200±310	33,780±310
KK12-2-117	117	貝殻	AMS	+2.0	38,830±480	38,390±480
KK12-2-216	216	貝殻	AMS	+1.5	>43,500	NA

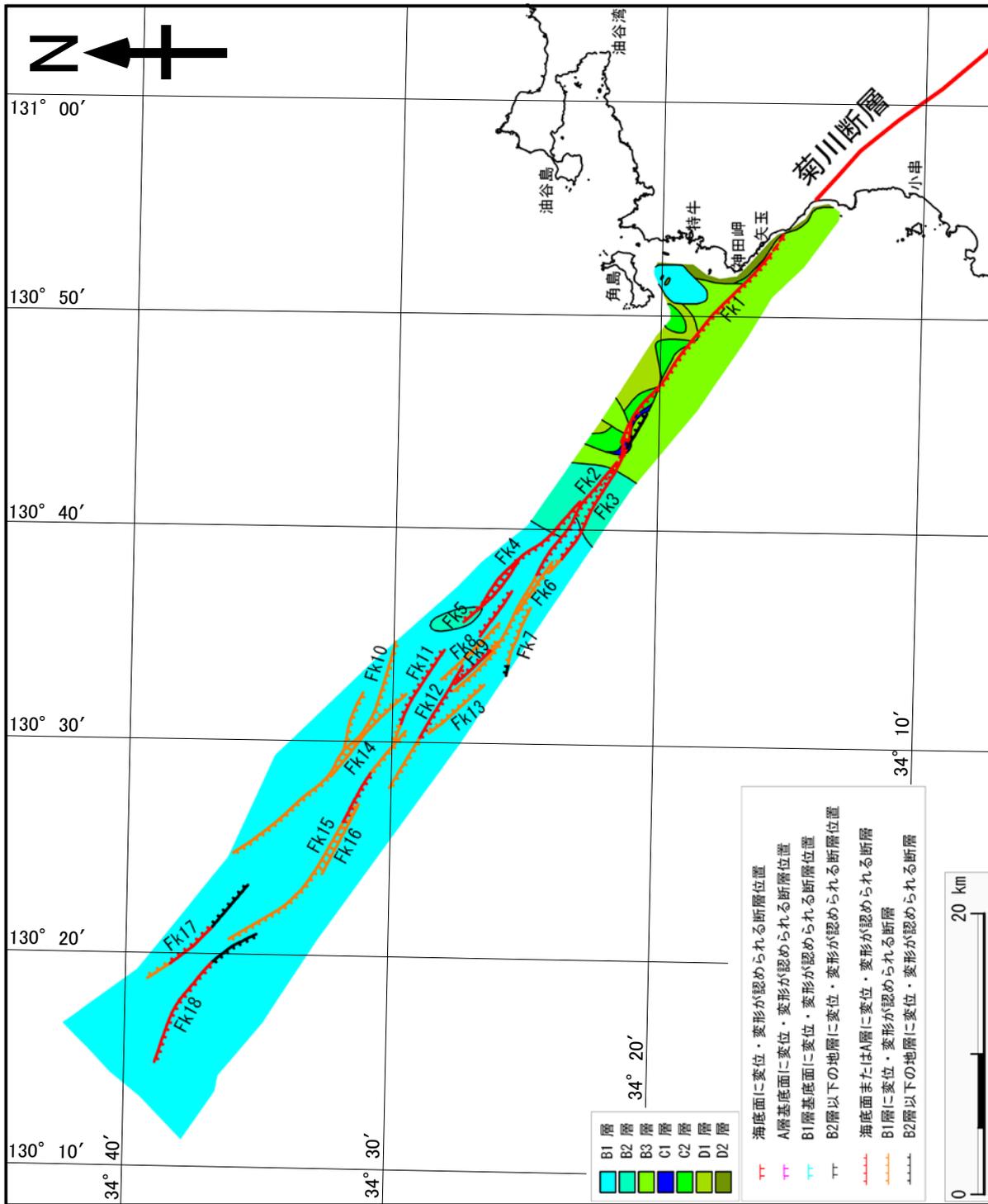
\* 補正した暦年代

第3表. 菊川断層帯海域延長部における平均変位速度.  
Table 3. Mean slip velocity in the offshore extension of the Kikugawa fault system.

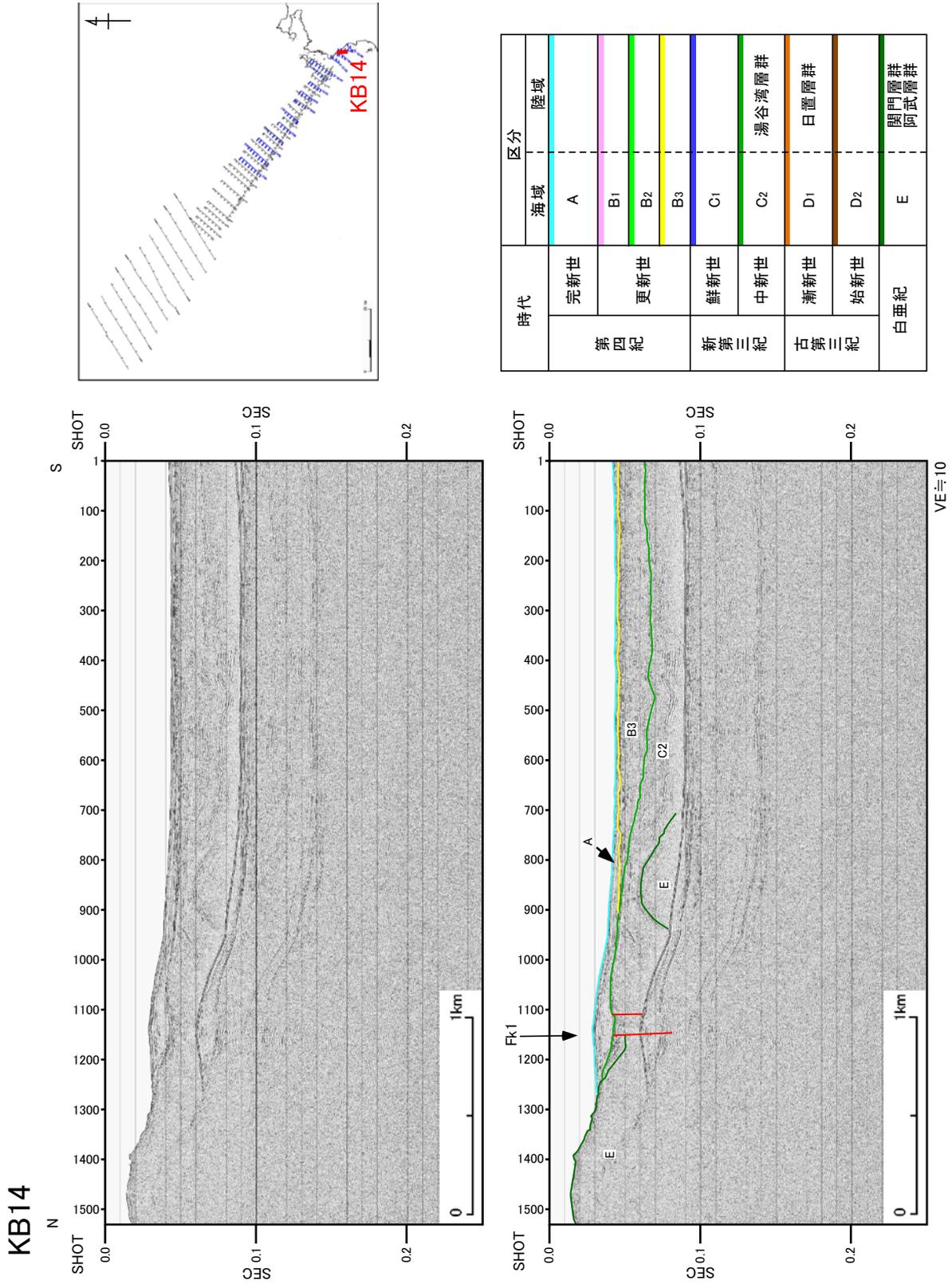
セグメント 区分	断層名 (使用した測線)	平均変位速度 (m/1000 年)	
		A 層基底	B1 層基底
セグメント A	Fk1 (KB10)	0.044	—
セグメント B	Fk2 (KB6)	—	0.054
	Fk3 (KB7)	0.111	0.031
	Fk4 (KB6)	0.078	0.047
	Fk5 (KB5)	0.056	0.059
	Fk6 (KB6)	—	0.054
	Fk7 (KB5)	—	0.059
セグメント C	Fk8 (KB4)	—	0.044
	Fk9 (KB4)	0.089	0.054
	Fk10 (KB2)	—	0.017
	Fk11 (KB3)	0.05	0.049
	Fk12 (KB3)	0.122	0.048
	Fk13 (KB3)	0.089	0.054
	Fk14 (KS2)	—	0.030
	Fk15 (KS14)	0.417	0.158
	Fk16 (KS1)	—	0.051
	Fk17 (KS21)	—	0.015



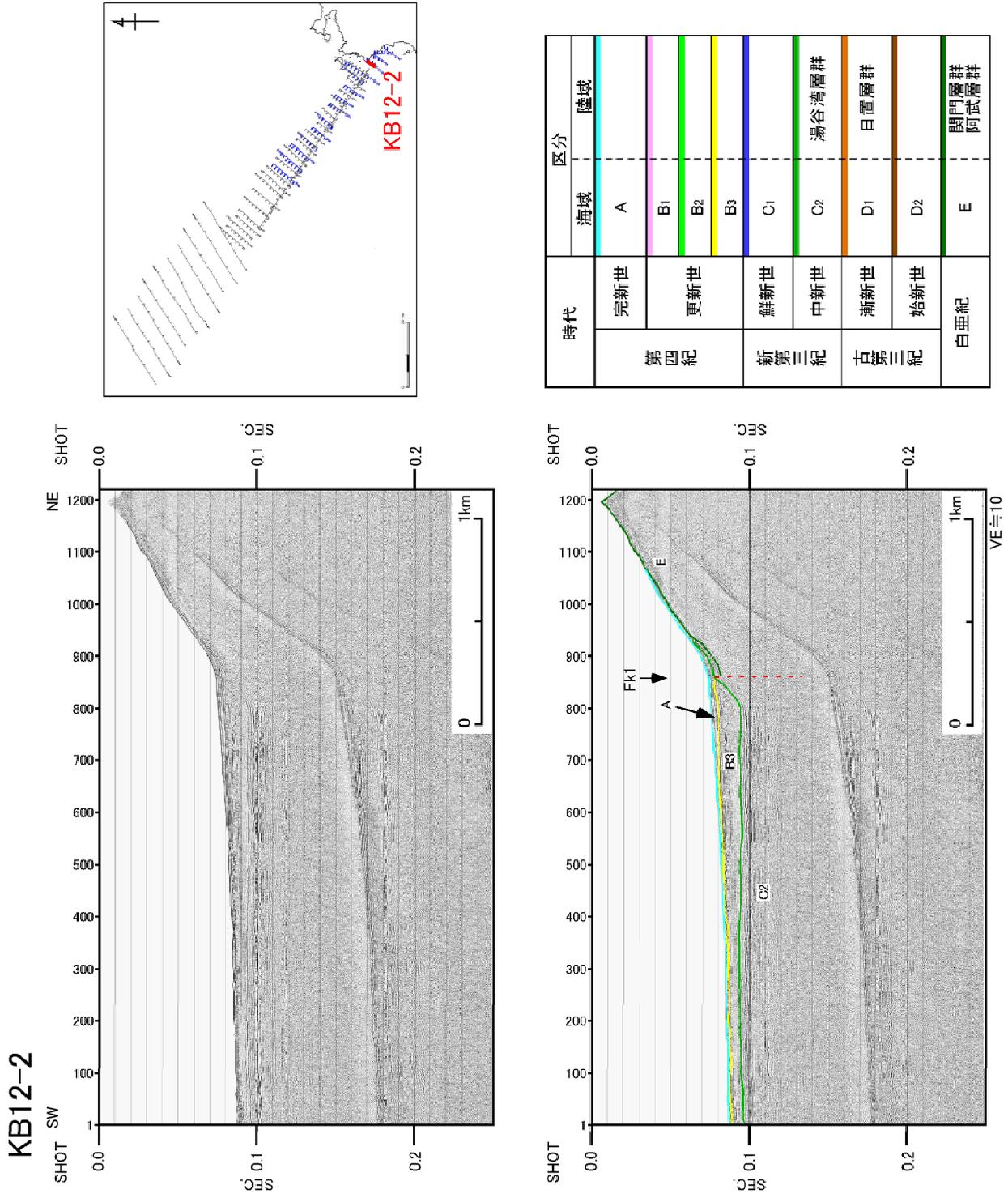
第1図. 菊川断層帯海域延長部の調査位置図.  
Fig. 1. Location map of the survey in the offshore extension of the Kikugawa fault system.



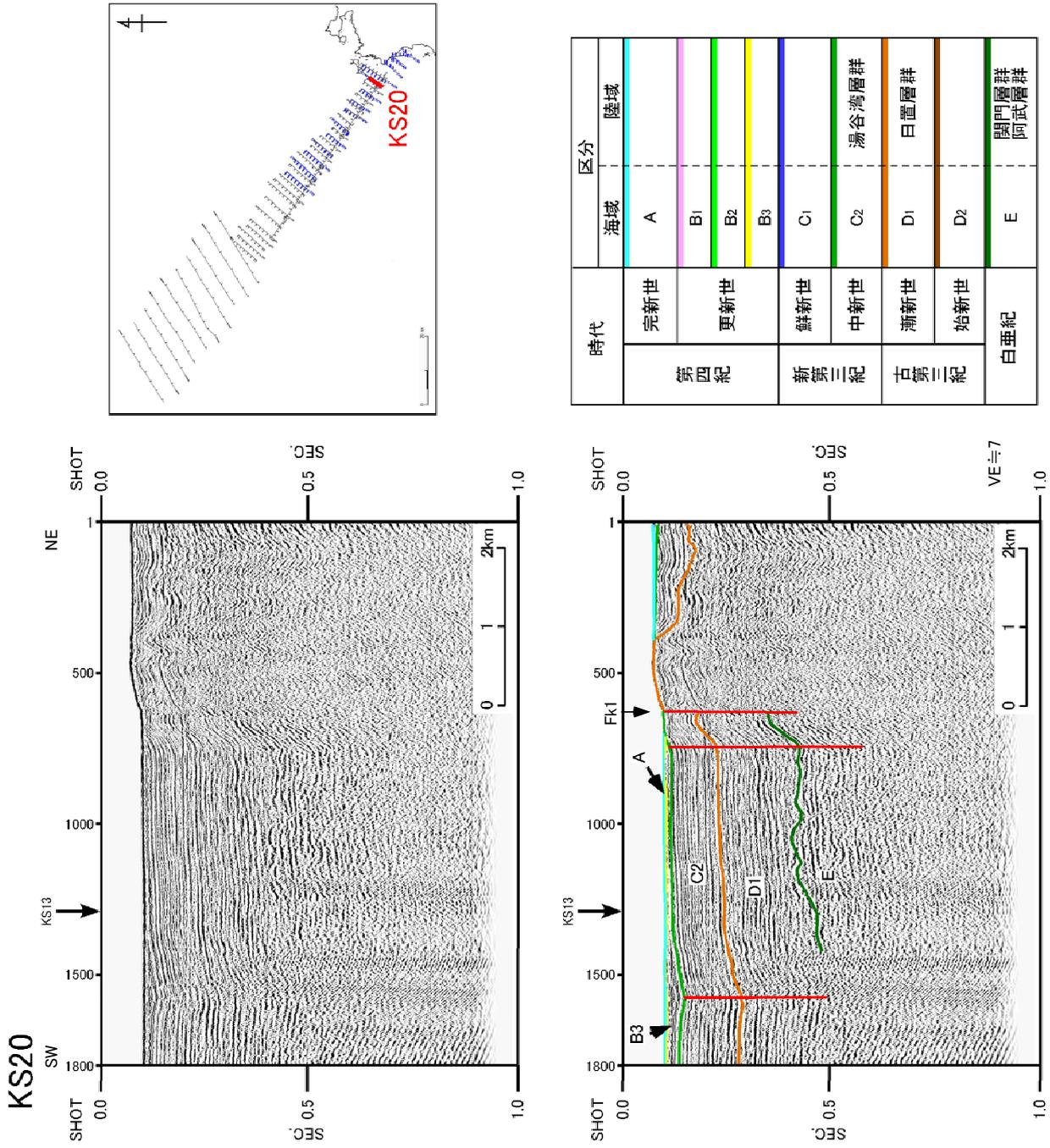
第2図. 菊川断層帯海域延長部の地質構造図.  
Fig. 2. Geological structure map in the offshore extension of the Kikugawa fault system.



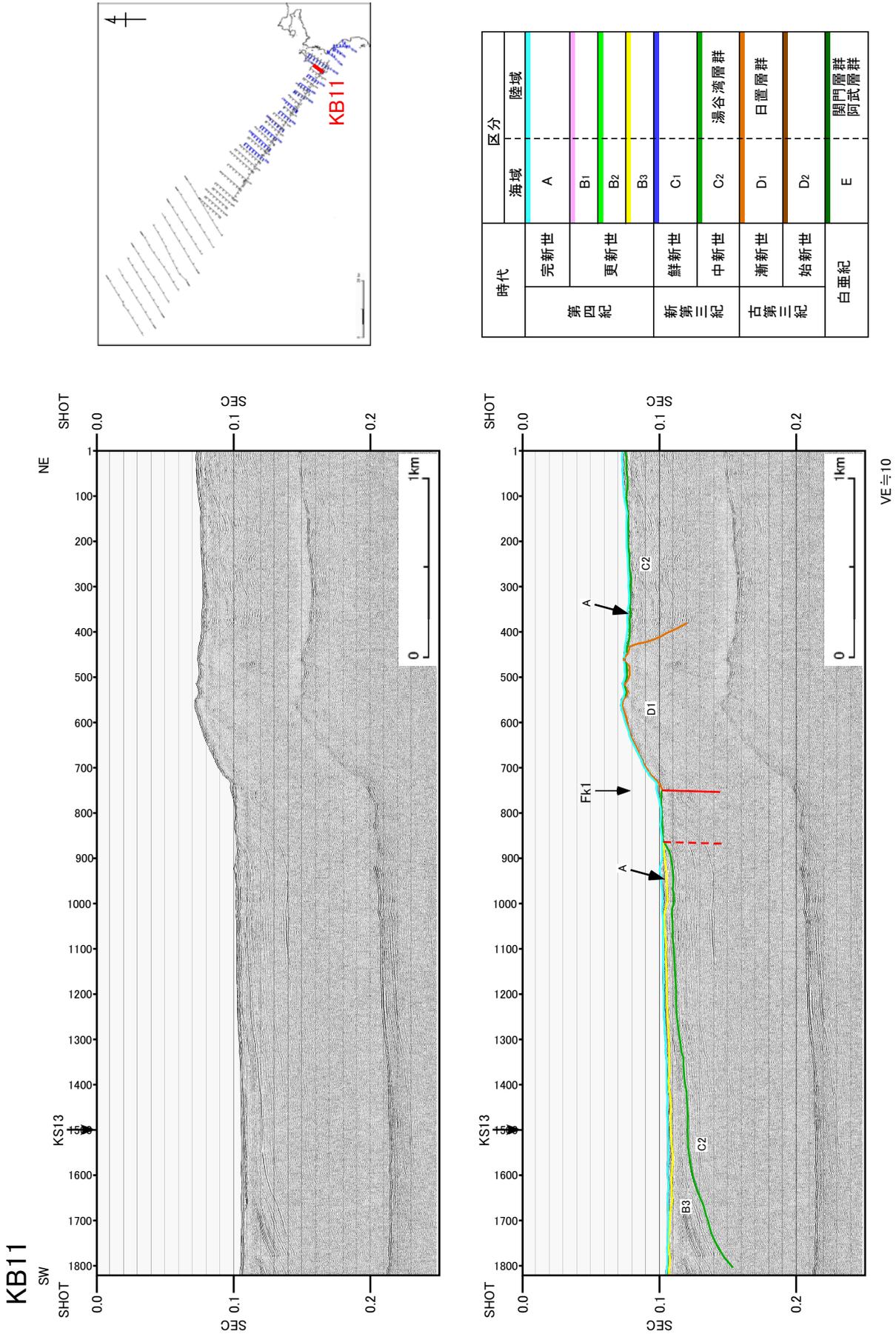
第3図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャンネル音波探査記録 (KB14 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 3. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB14). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



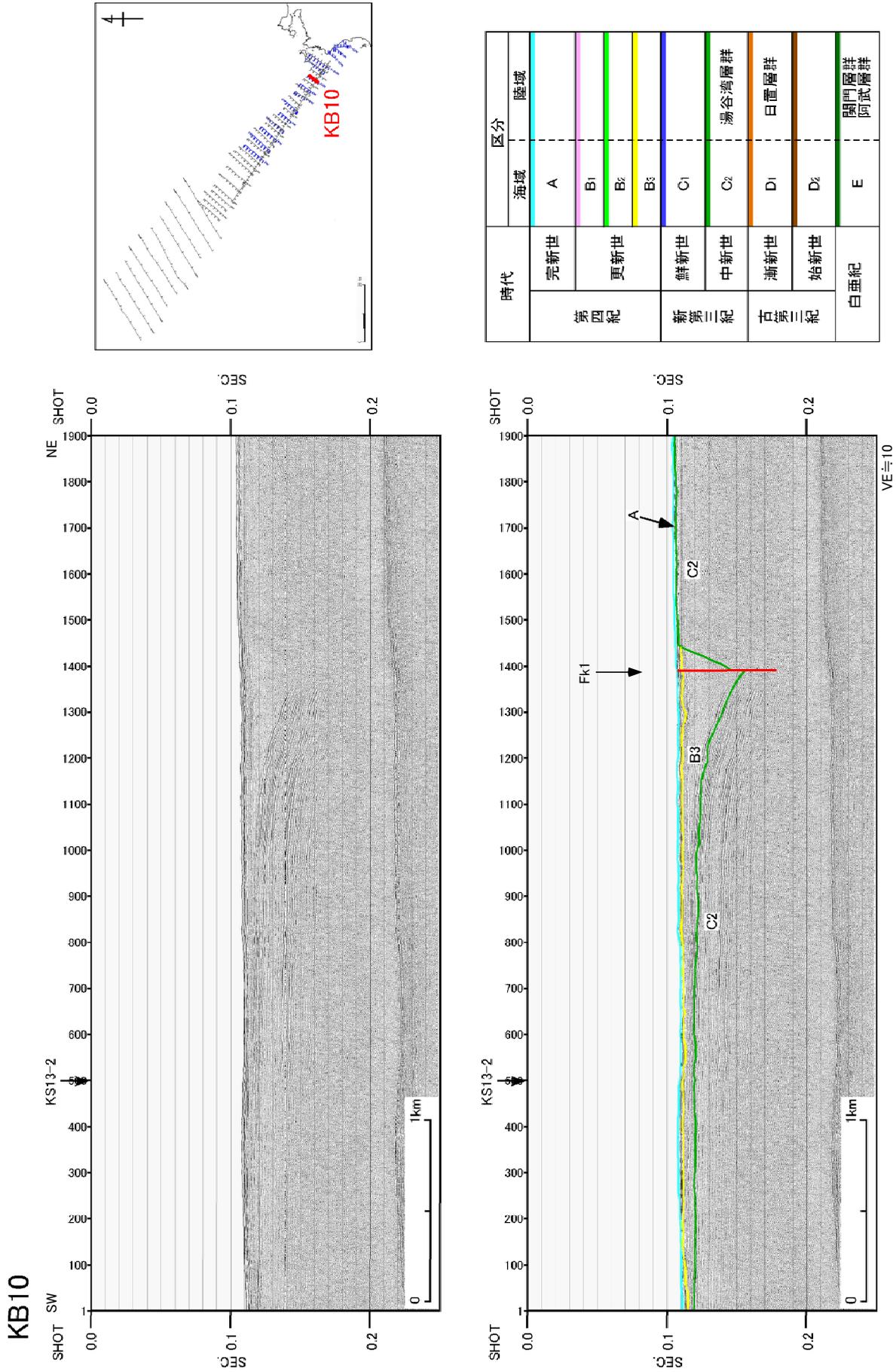
第4図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャンネル音波探査記録 (KB12-2 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 4. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB12-2). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



第5図. 菊川断層帯海域延長部のシングルチャンネル音波探査記録 (KS20 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 5. Single-channel seismic reflection profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KS20).  
 Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.

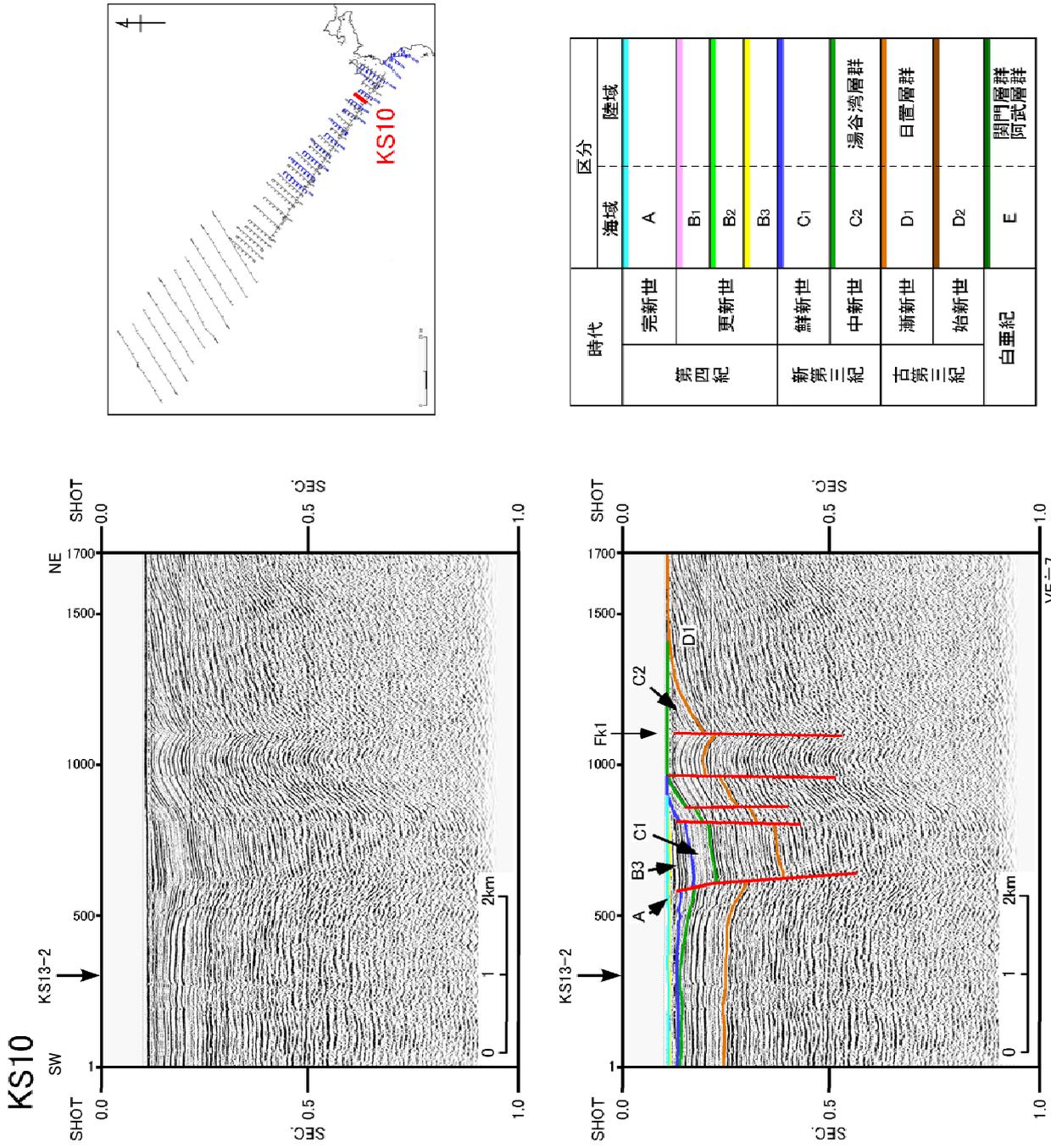


第6図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャンネル音波探査記録 (KB11-2 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 6. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB11-2). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.

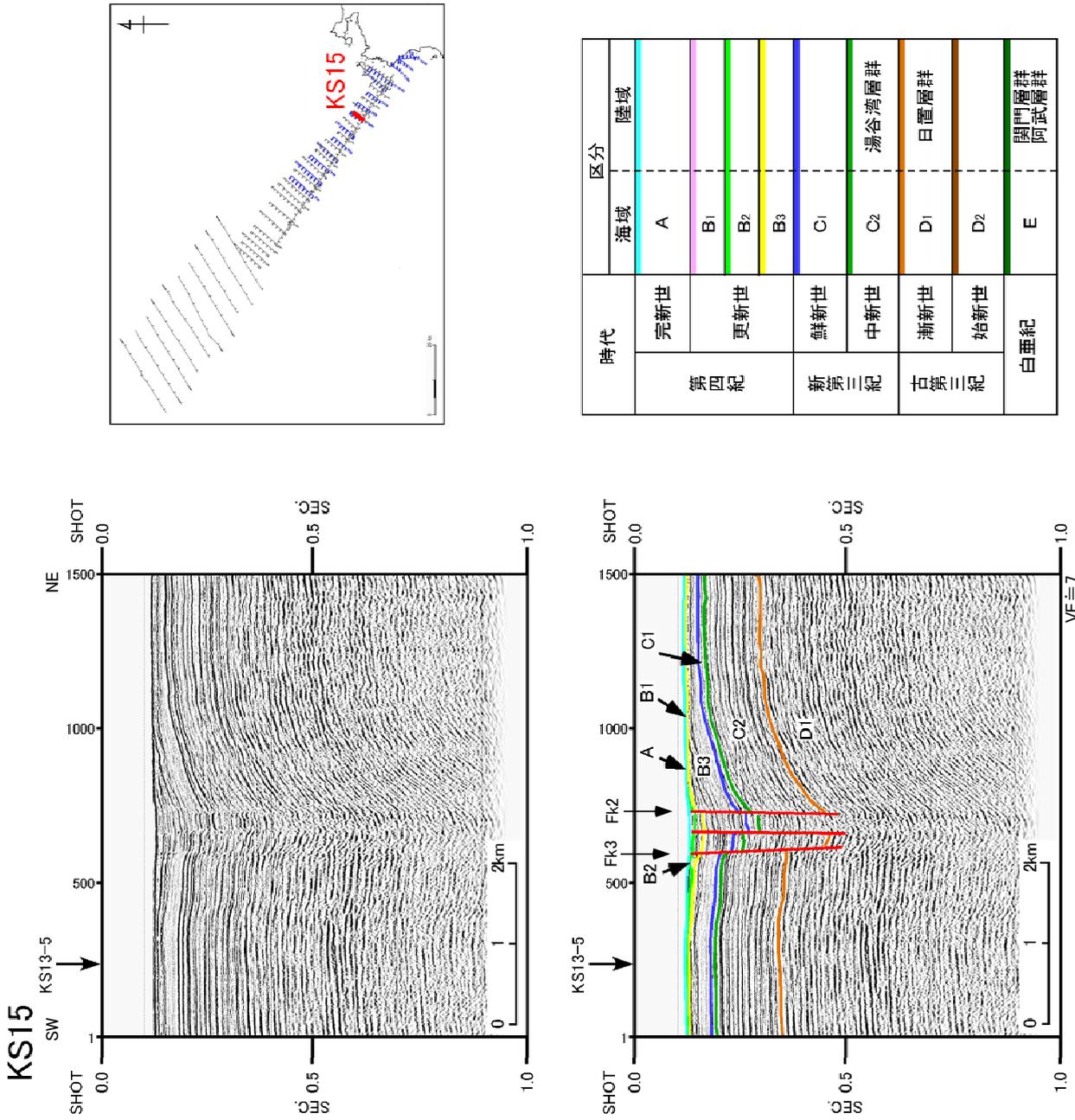


第7図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャンネル音波探査記録 (KB10 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.

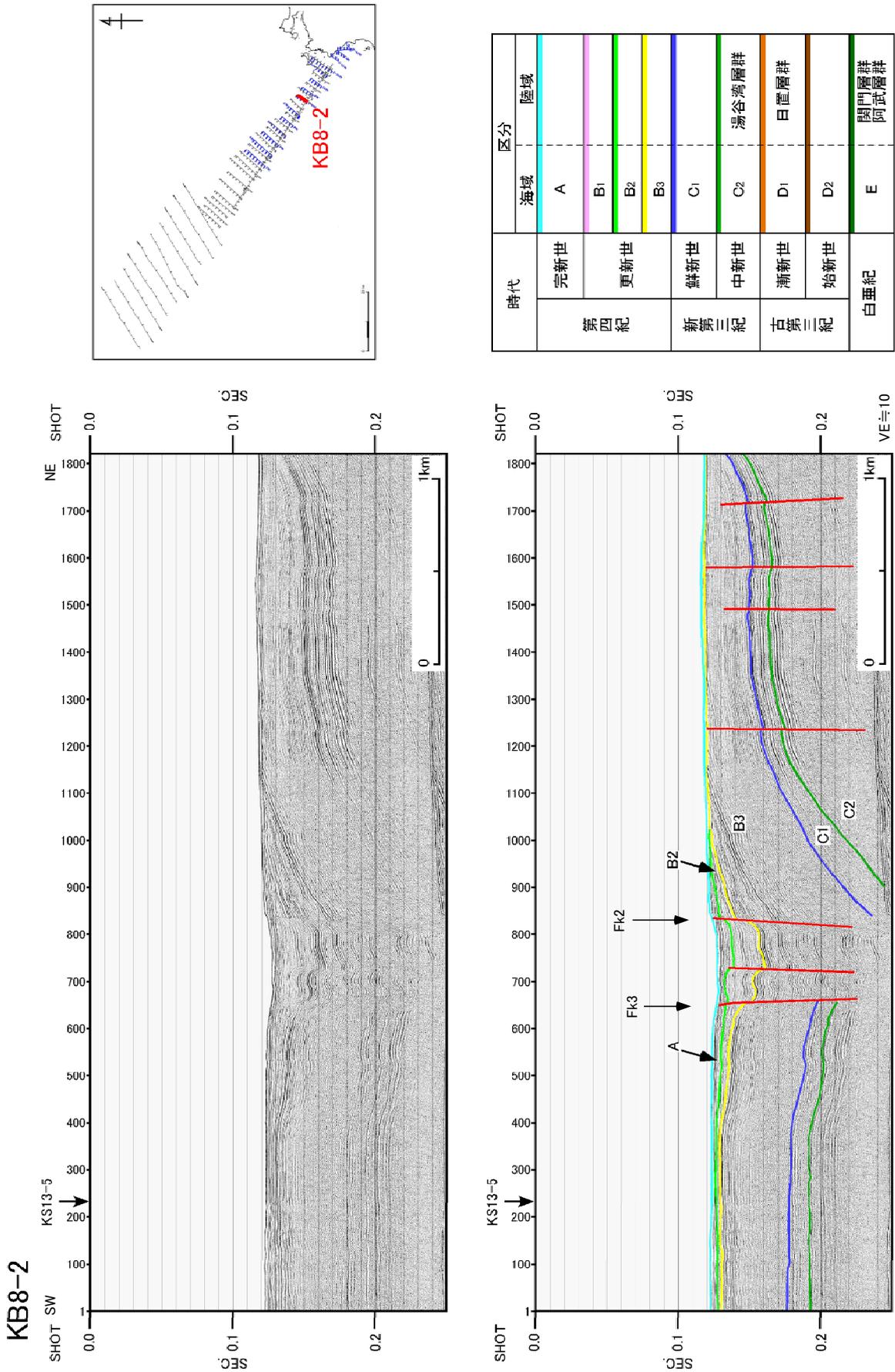
Fig. 7. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB10). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



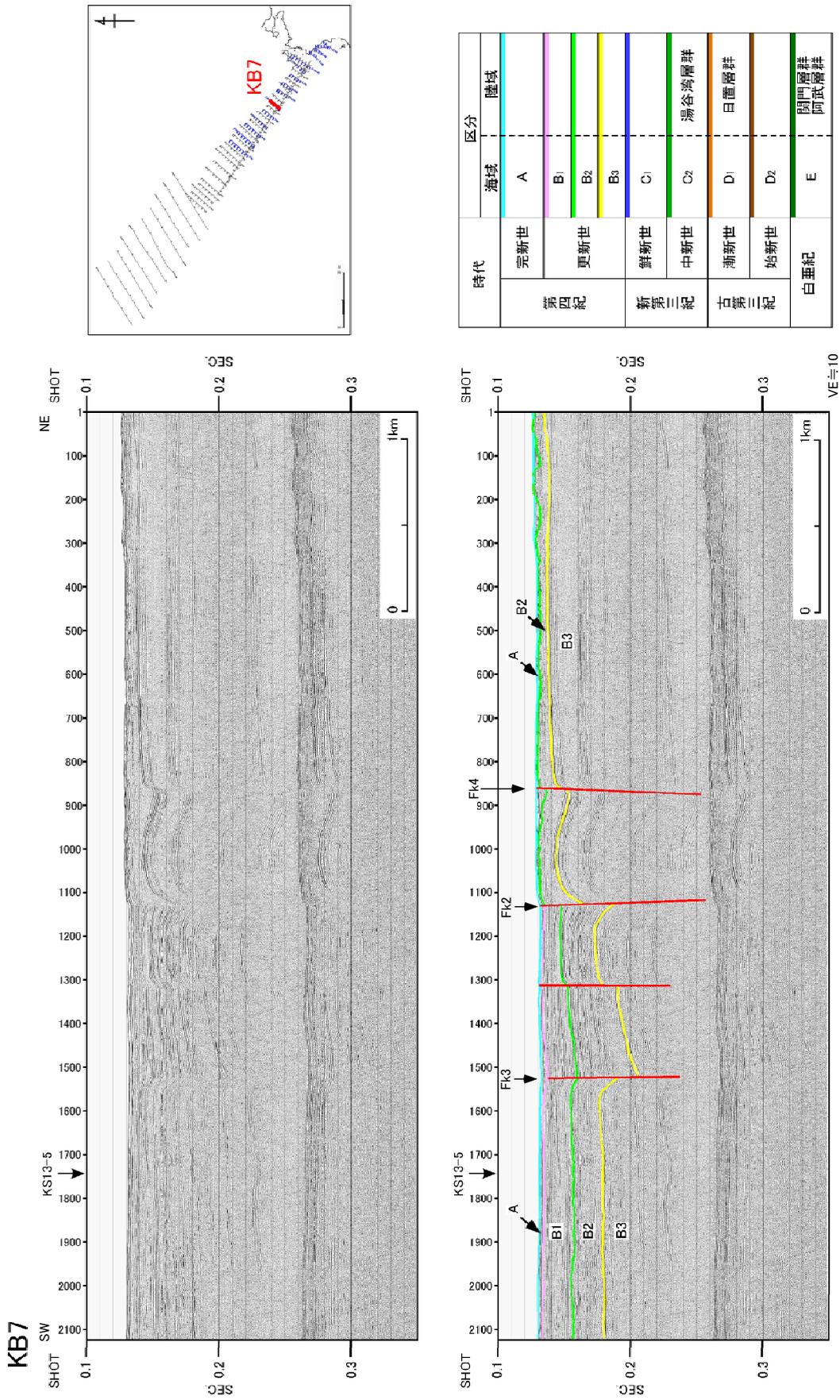
第8図. 菊川断層帯海域延長部のシングルチャンネル音波探査記録 (KS10 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 8. Single-channel seismic reflection profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KS10).  
 Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



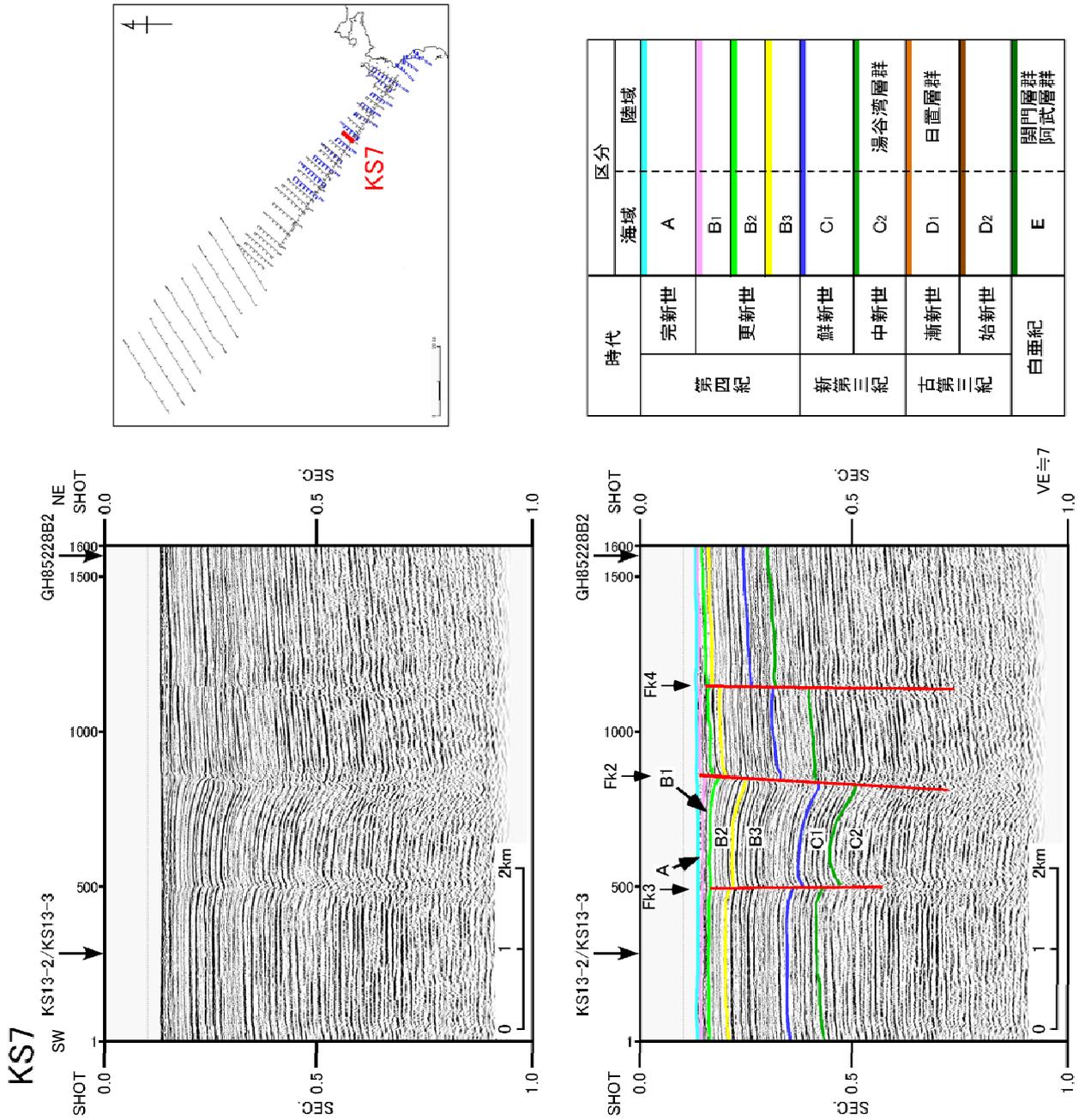
第9図. 菊川断層帯海域延長部のシングルチャンネル音波探査記録 (KS15 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 9. Single-channel seismic reflection profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KS15).  
 Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



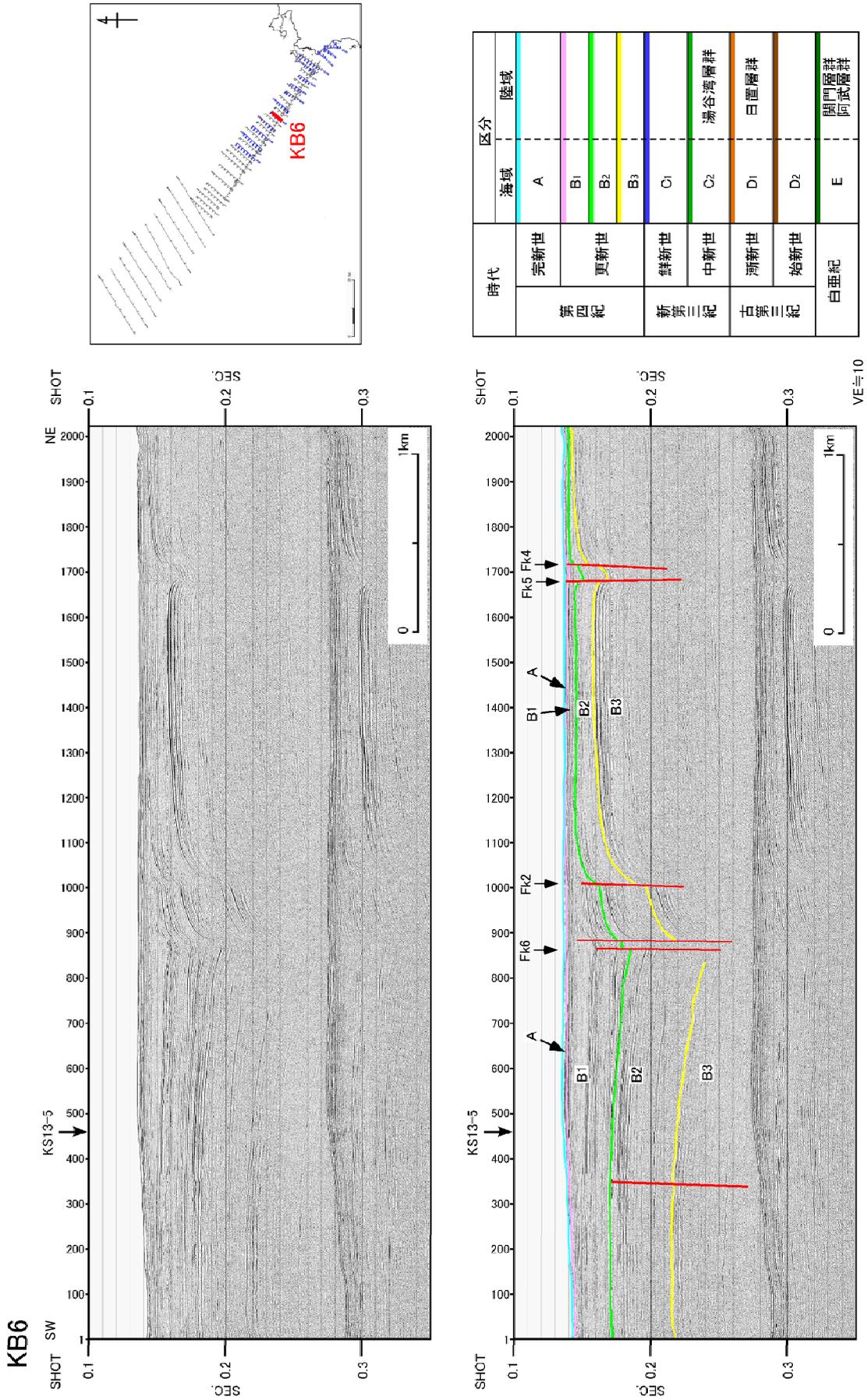
第10図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャンネル音波深査記録 (KB8-2 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 10. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB8-2). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



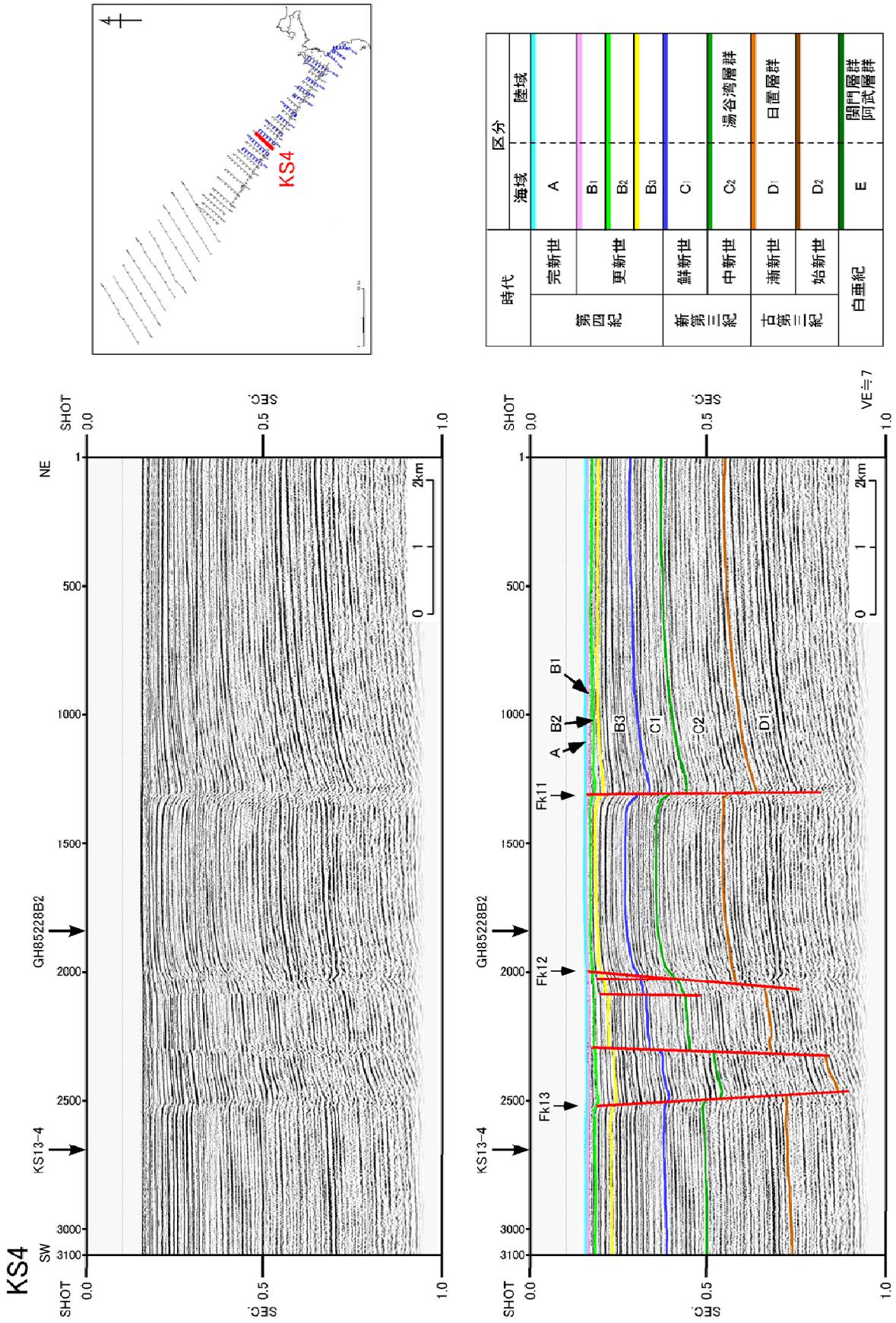
第 11 図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャンネル音波探査記録 (KB7 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 11. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB7). Upper: Time section,  
 Lower: Geological interpretation.



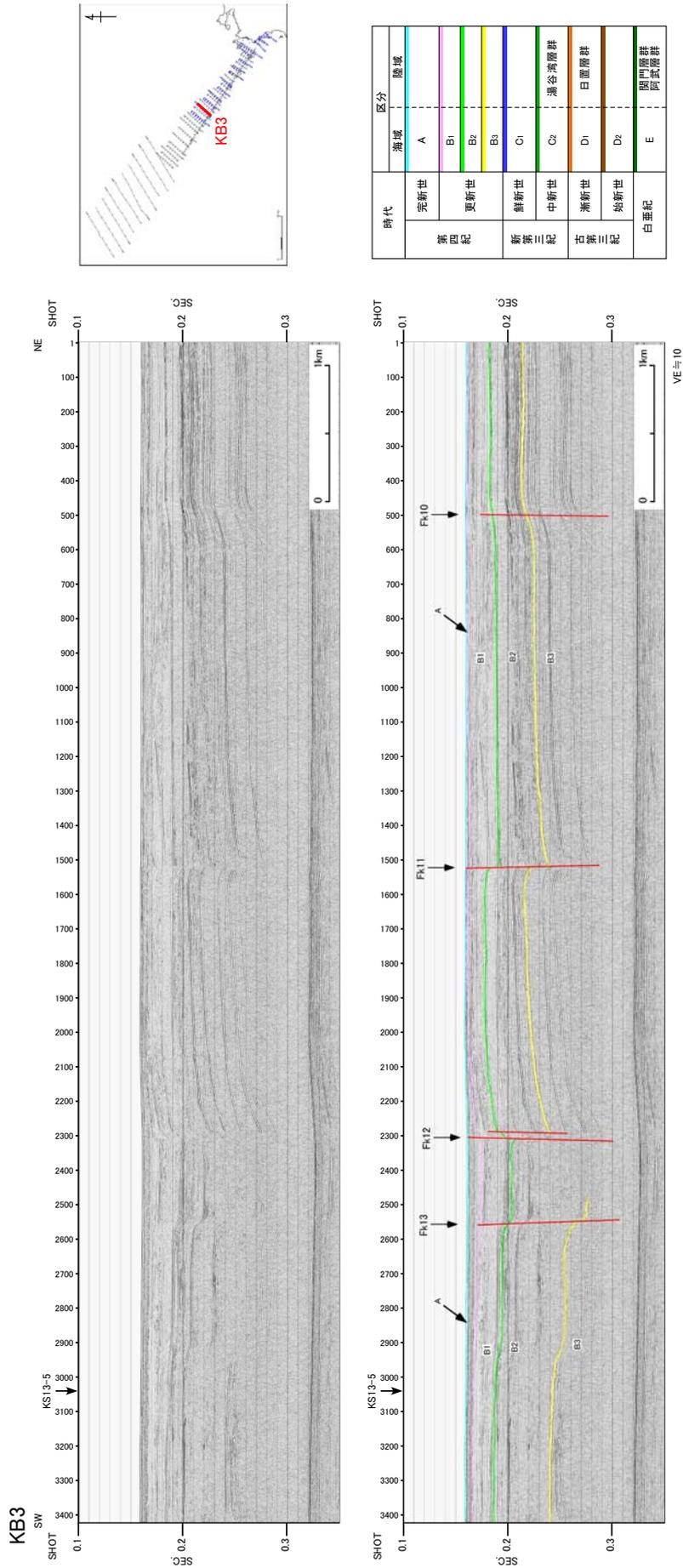
第12図. 菊川断層帯海域延長部のシングルチャンネル音波探査記録(KS7測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 12. Single-channel seismic reflection profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KS7).  
 Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



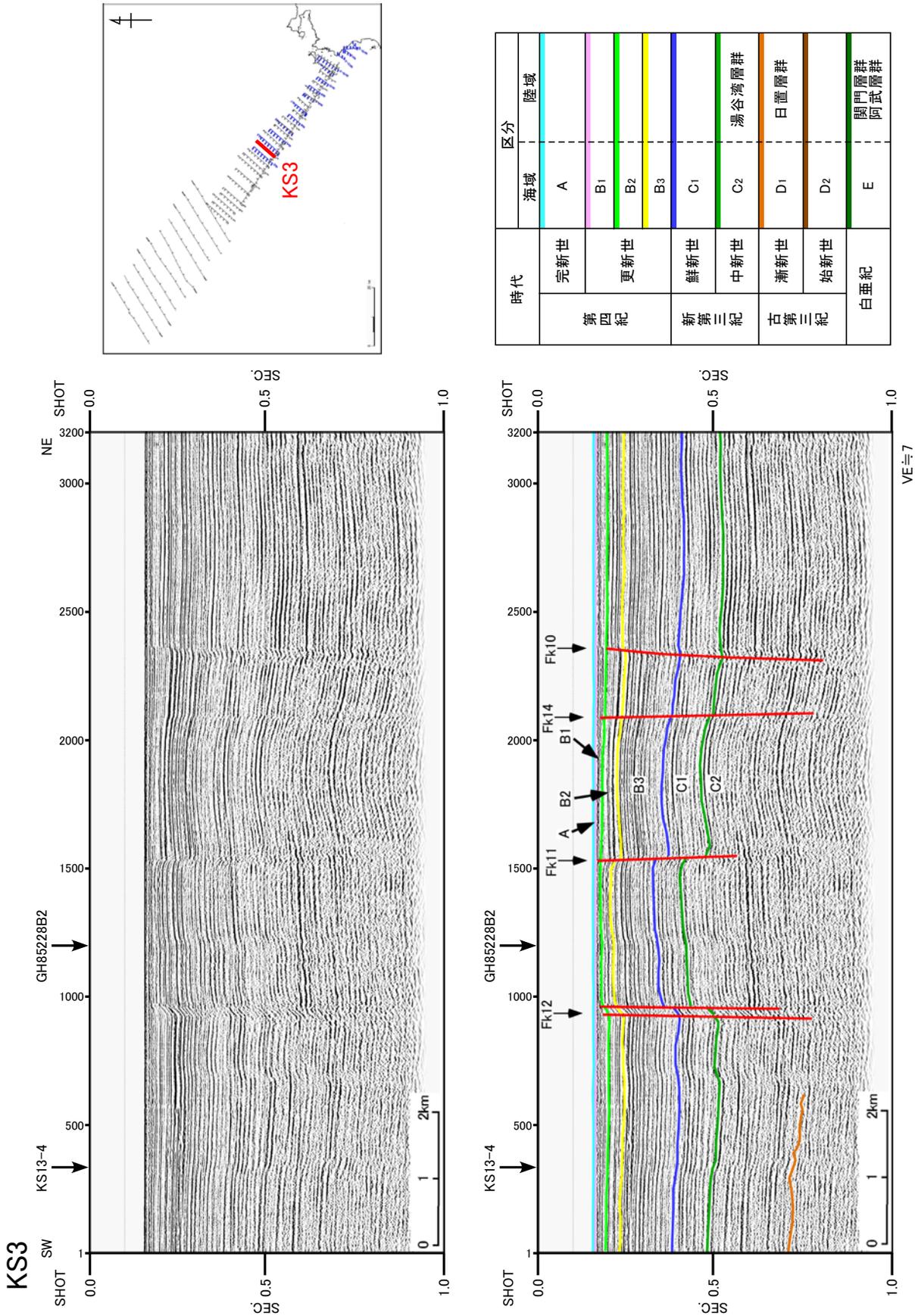
第13図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャネル音波探査記録 (KB6 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 13. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB6). Upper: Time section,  
 Lower: Geological interpretation.



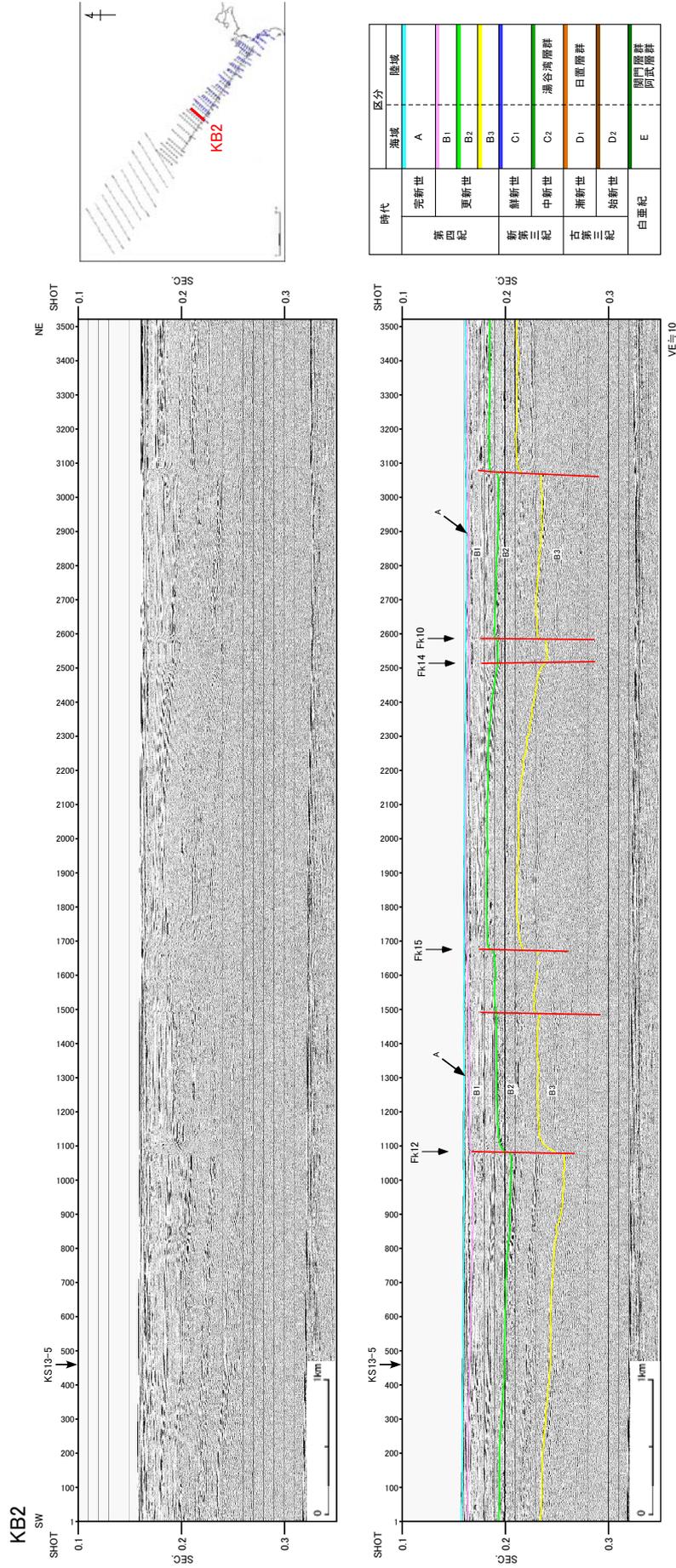
第 14 図. 菊川断層帯海域延長部のシングルチャンネル音波探査記録 (KS4 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 14. Single-channel seismic reflection profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KS4). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



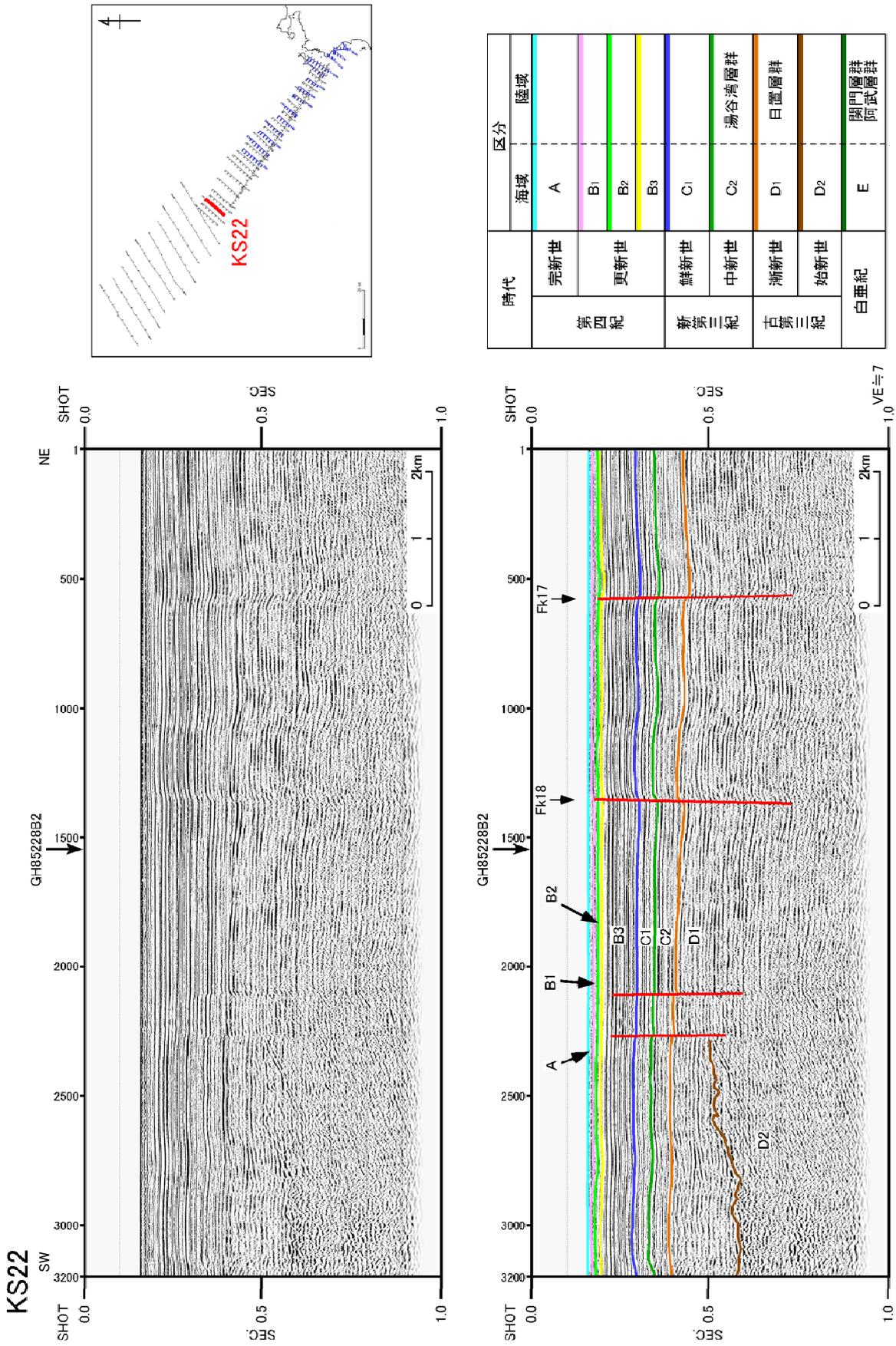
第15図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャネル音波探査記録 (KB3 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 15. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB3). Upper: Time section,  
 Lower: Geological interpretation.



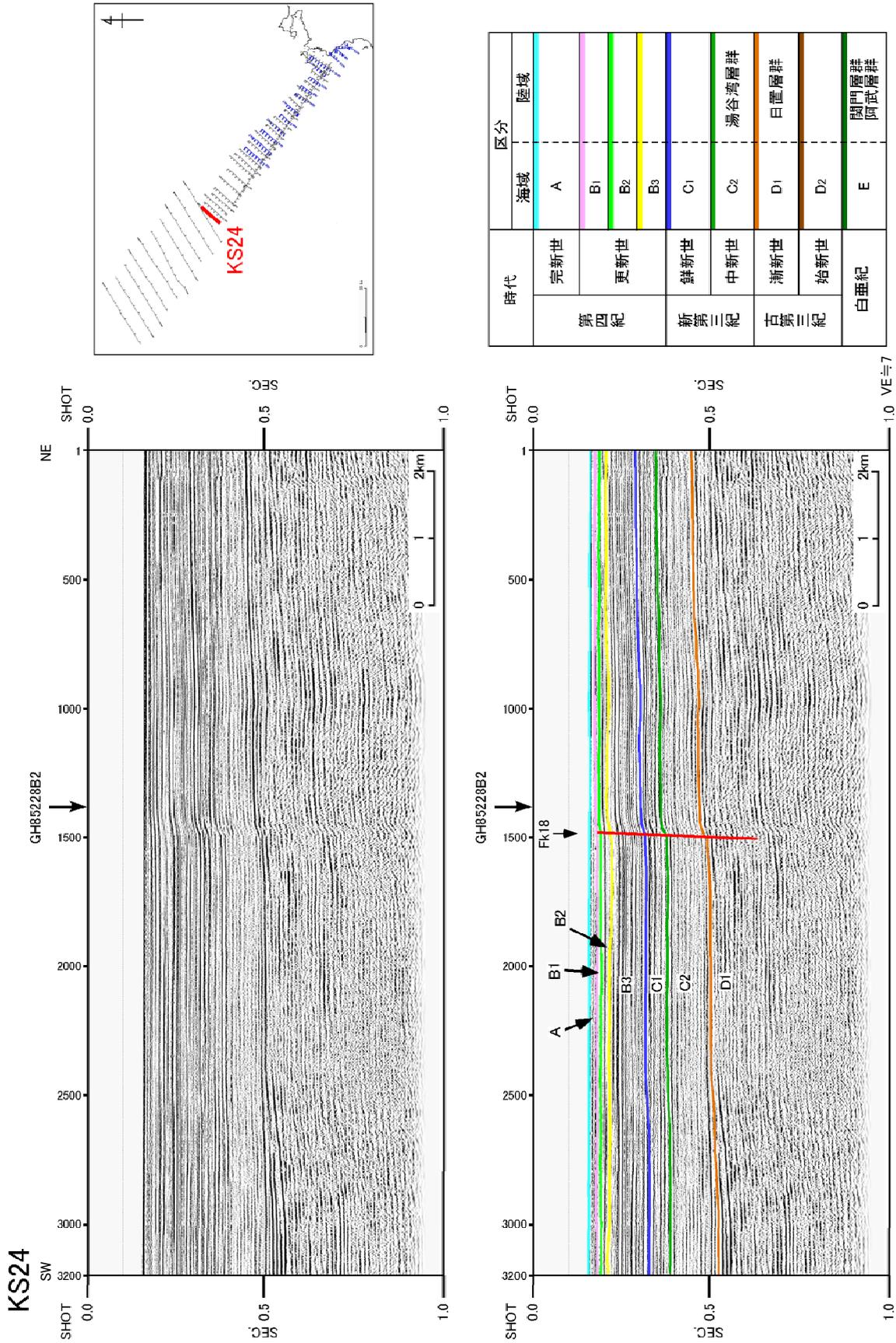
第16図. 菊川断層帯海域延長部のシングルチャンネル音波探査記録 (KS3 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 16. Single-channel seismic reflection profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KS3).  
 Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



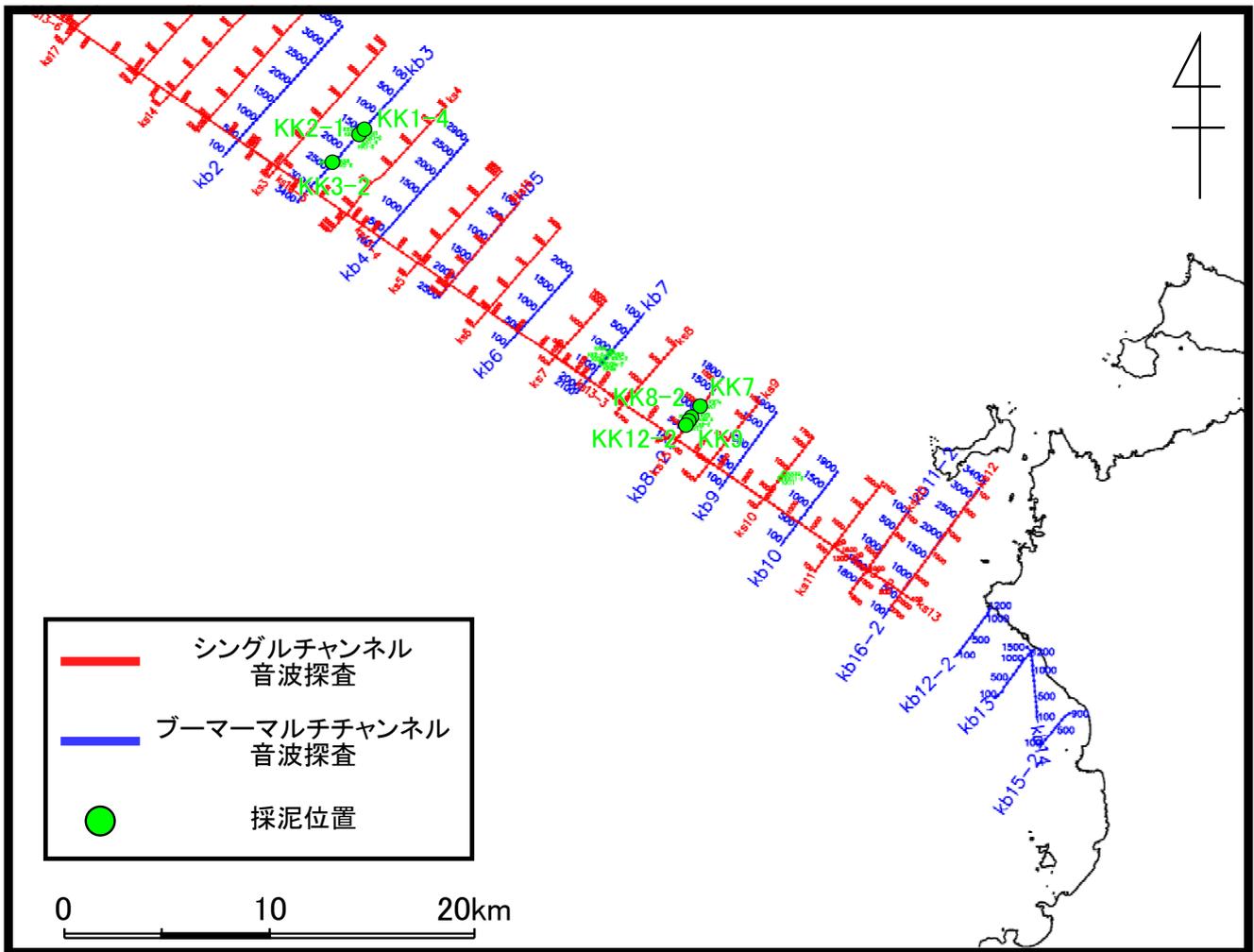
第17図. 菊川断層帯海域延長部の高分解能マルチチャンネル音波探査記録 (KB2 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 17. High-resolution multichannel profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KB2). Upper: Time section,  
 Lower: Geological interpretation.



第18図. 菊川断層帯海域延長部のシングルチャンネル音波探査記録 (KS22 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 18. Single-channel seismic reflection profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KS22).  
 Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.

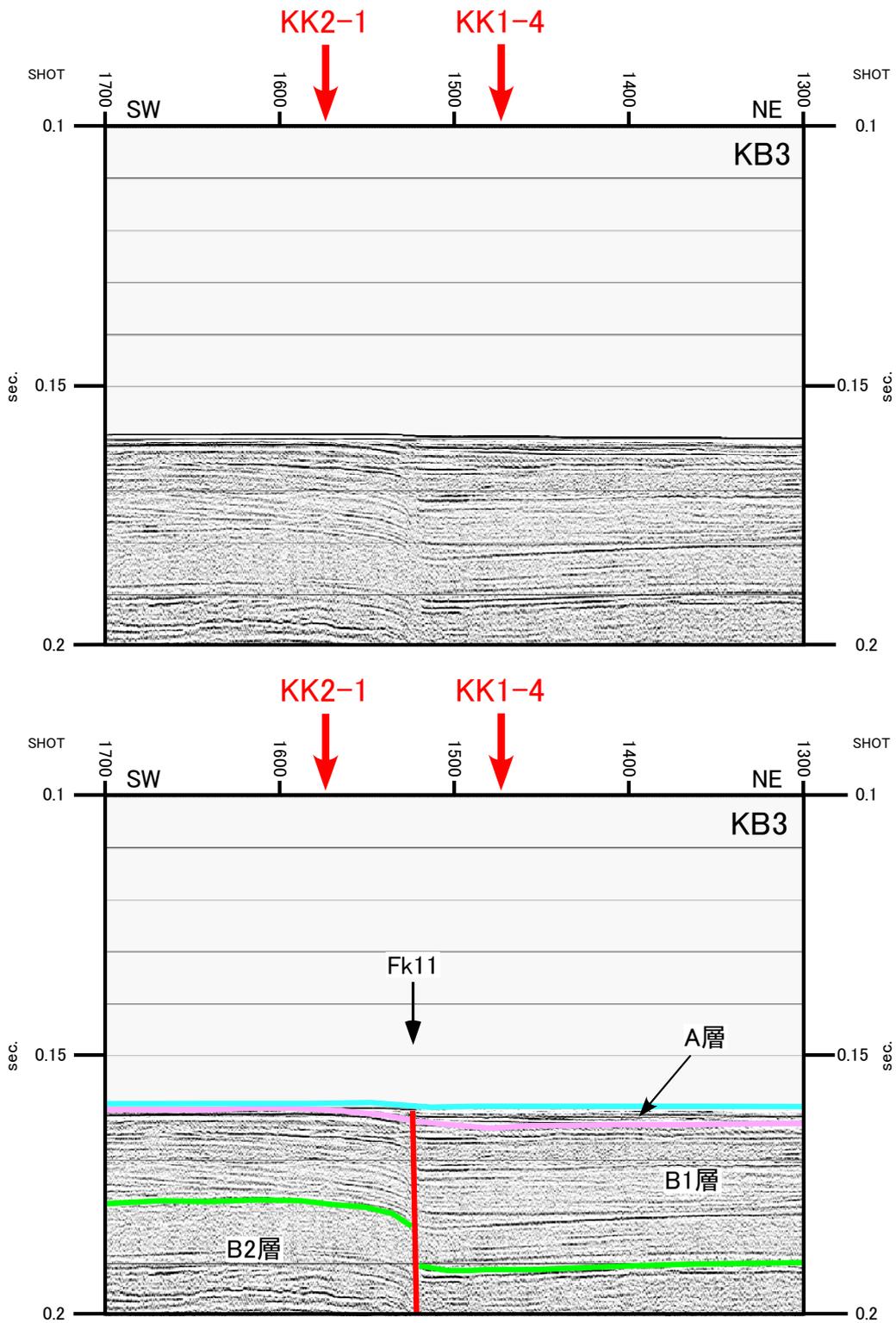


第19図. 菊川断層帯海域延長部のシングルチャンネル音波探査記録 (KS24 測線). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.  
 Fig. 19. Single-channel seismic reflection profile in the offshore extension of the Kikugawa fault system (Line KS24).  
 Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



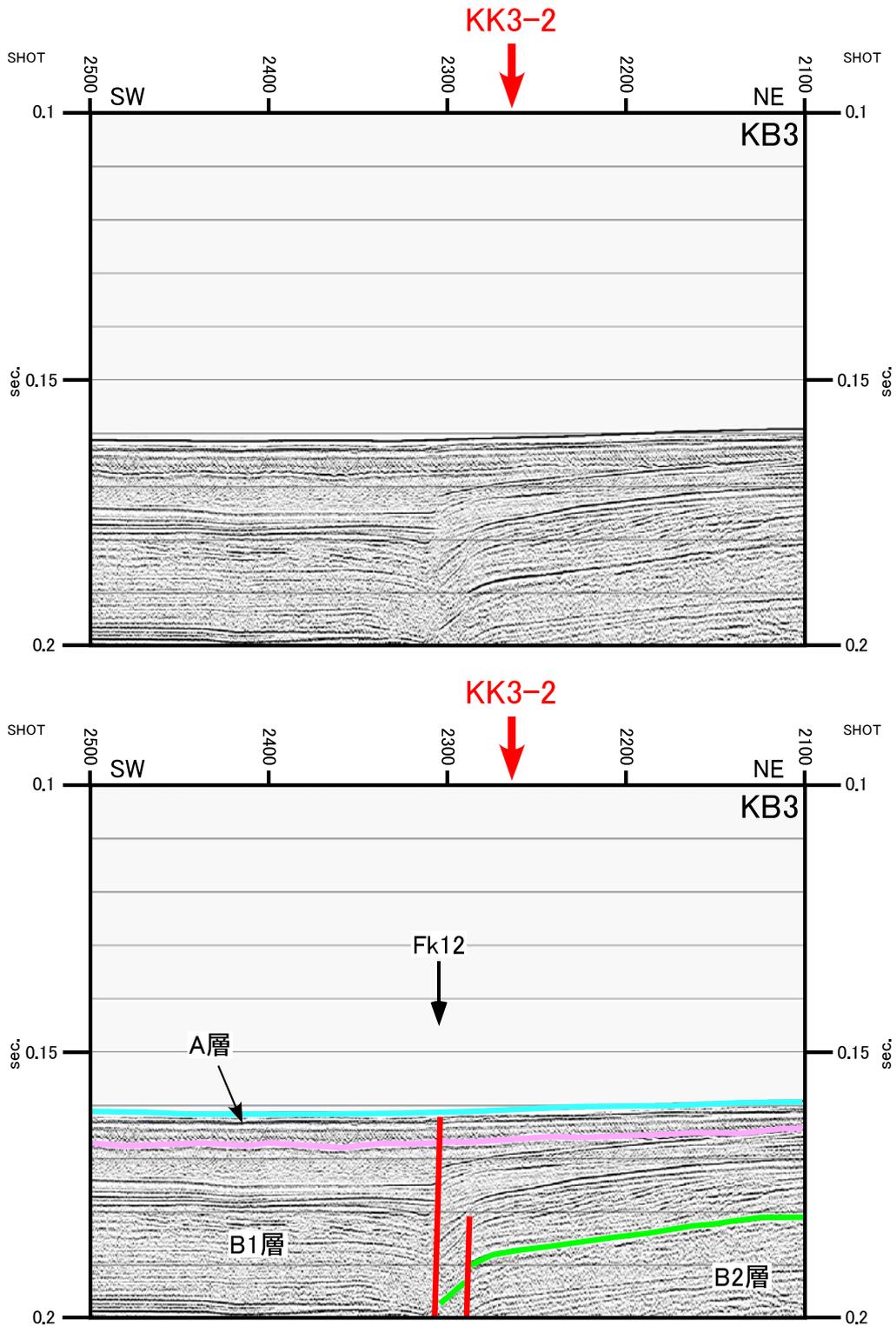
第 20 図. 菊川断層帯海域延長部における底質採取位置.

Fig. 20. Sampling points of the bottom sediment in the offshore extension of the Kikugawa fault system.



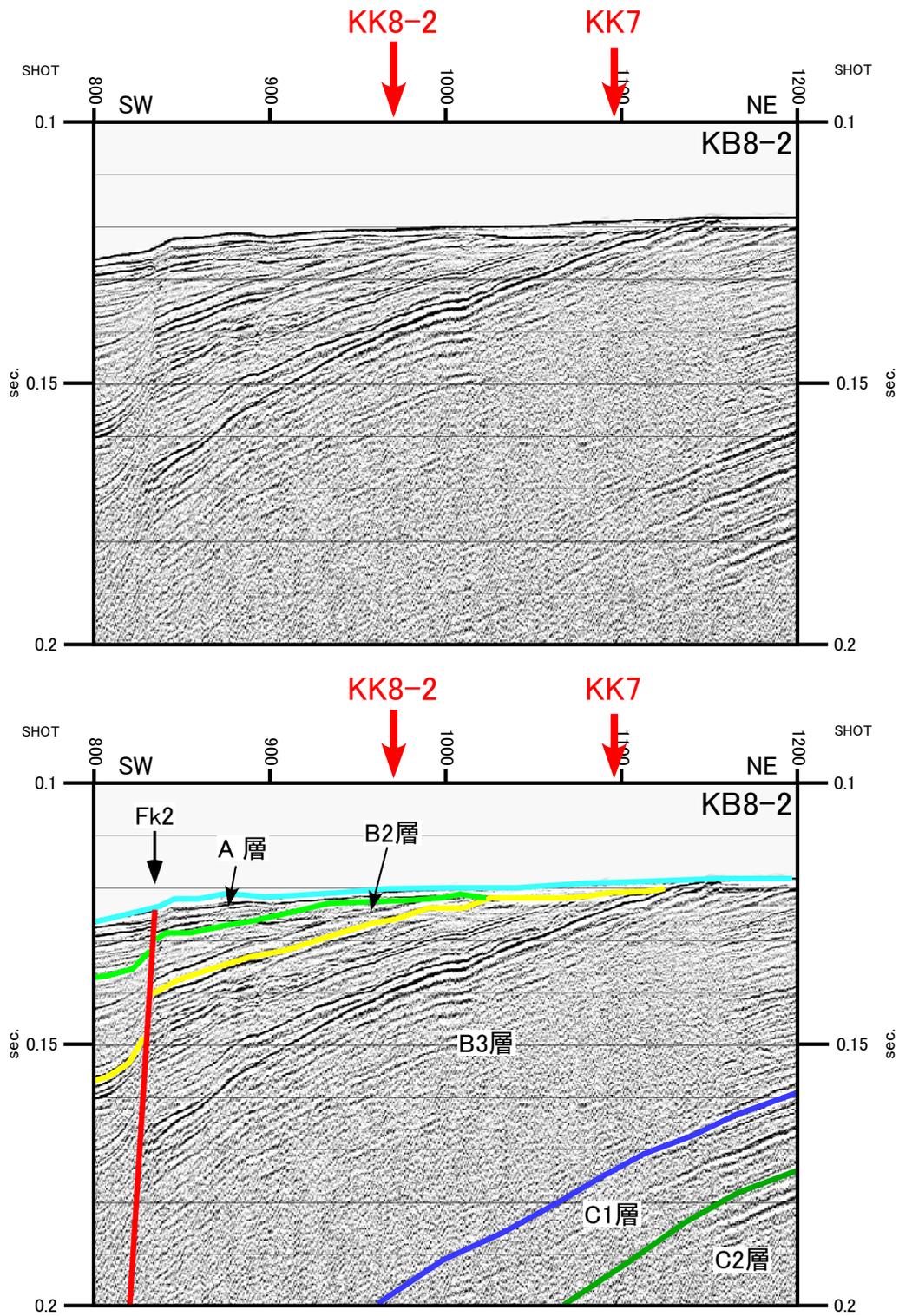
第21図. 菊川断層帯海域延長部における底質採取位置 (KB3 測線における KK1-4, KK2-1 の位置). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.

Fig. 21. Sampling points of the bottom sediment in the offshore extension of the Kikugawa fault system. (Location KK1-4, KK2-1 in the Line KB3). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



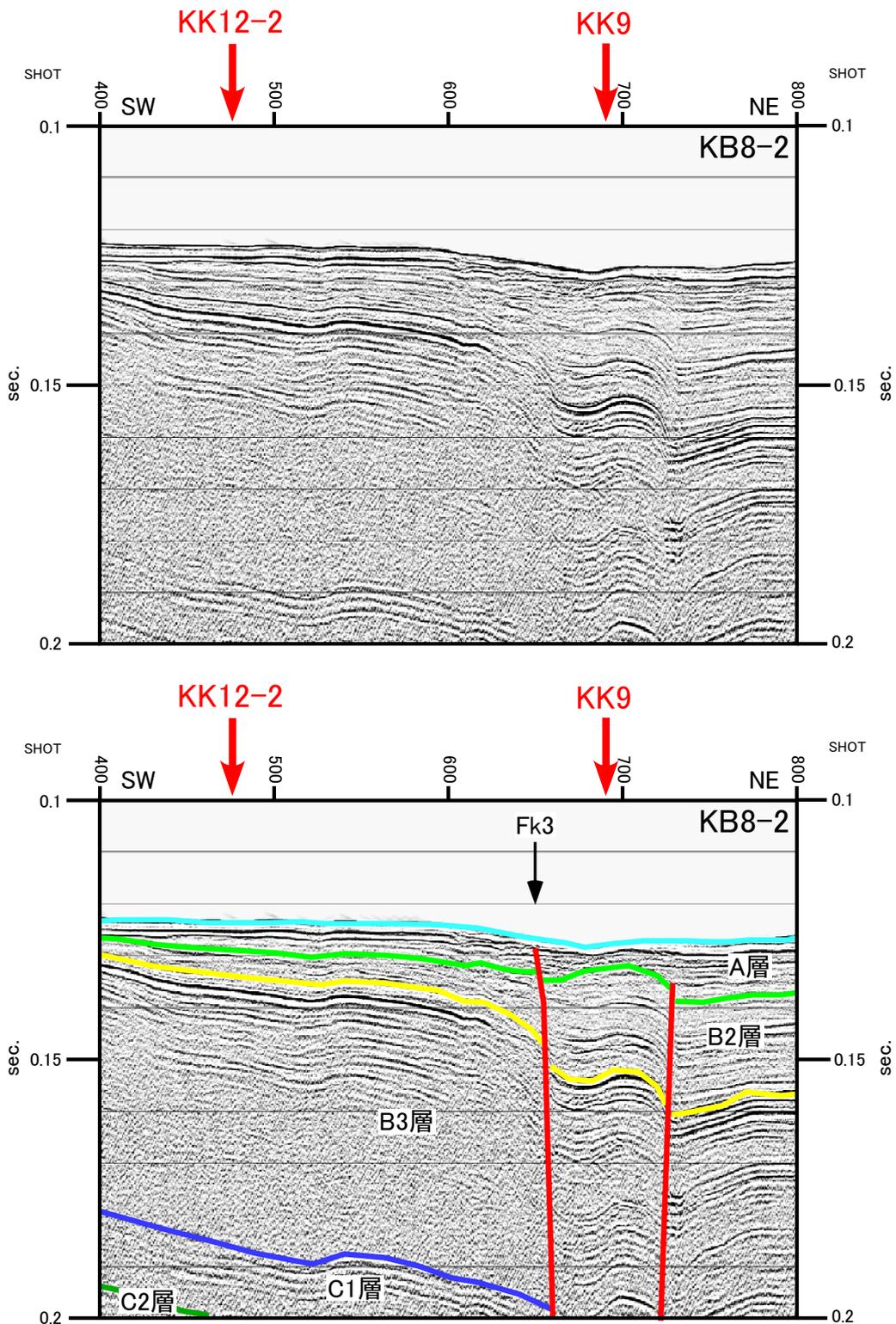
第 22 図. 菊川断層帯海域延長部における底質採取位置 (KB3 測線における KK3-2 の位置). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.

Fig. 22. Sampling points of the bottom sediment in the offshore extension of the Kikugawa fault system. (Location KK3-2 in the Line KB3). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



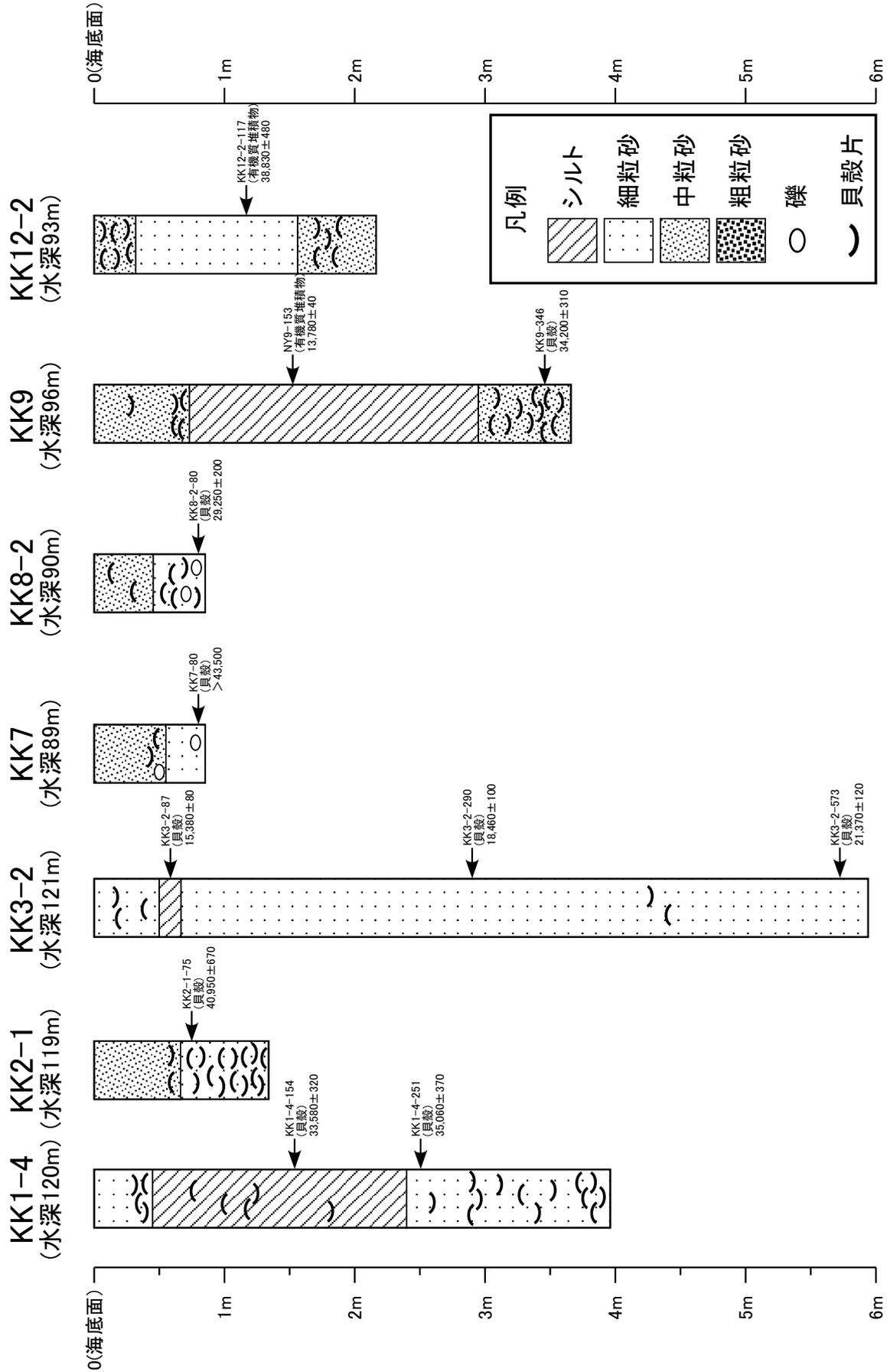
第 23 図. 菊川断層帯海域延長部における底質採取位置 (KB8-2 測線における KK7, KK8-2 の位置). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.

Fig. 23. Sampling points of the bottom sediment in the offshore extension of the Kikugawa fault system. (Location KK7, KK8-2 in the Line KB8-2). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.

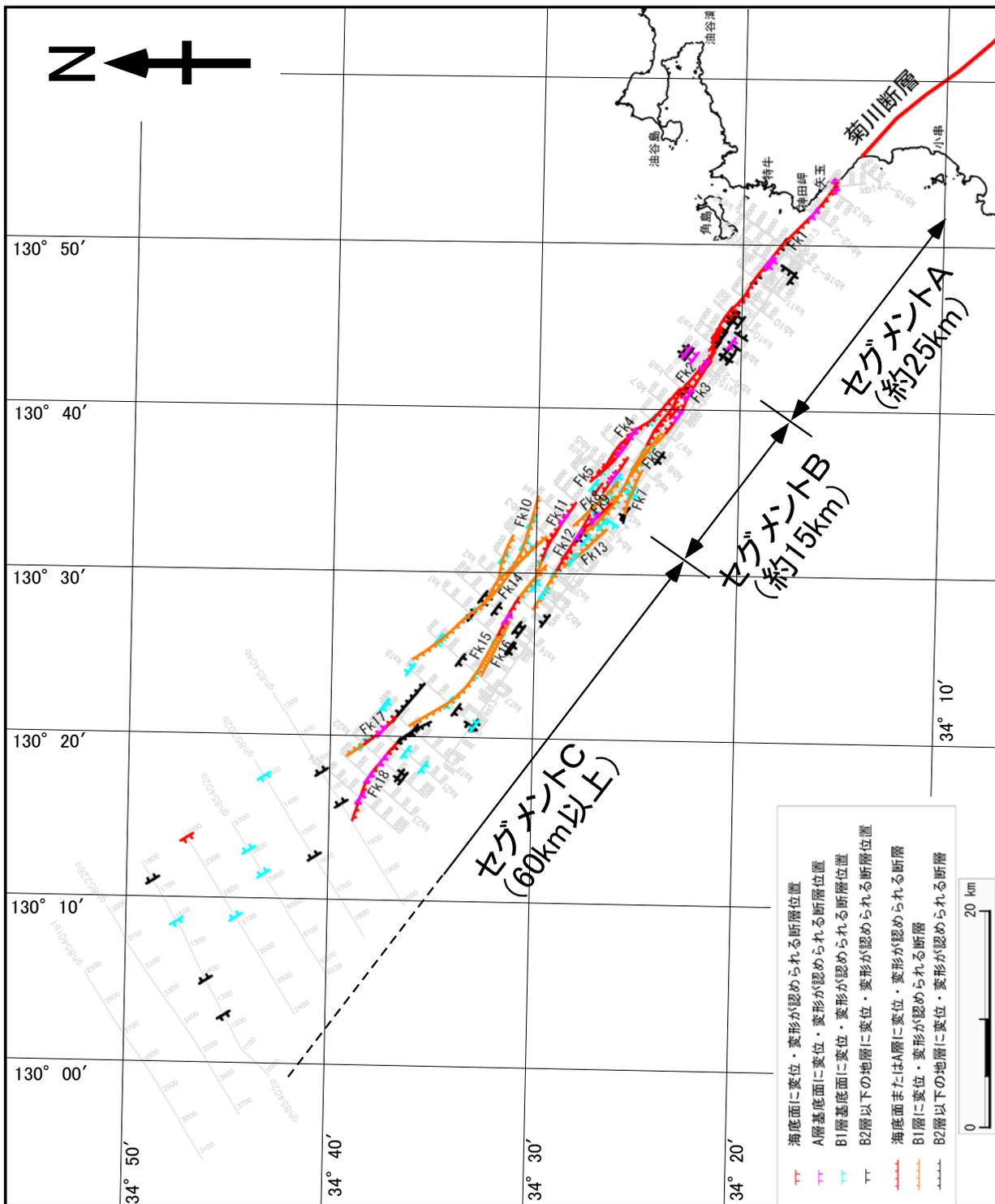


第24図. 菊川断層帯海域延長部における底質採取位置 (KB8-2 測線における KK9, KK12-2 の位置). 上段: 記録断面, 下段: 解釈断面.

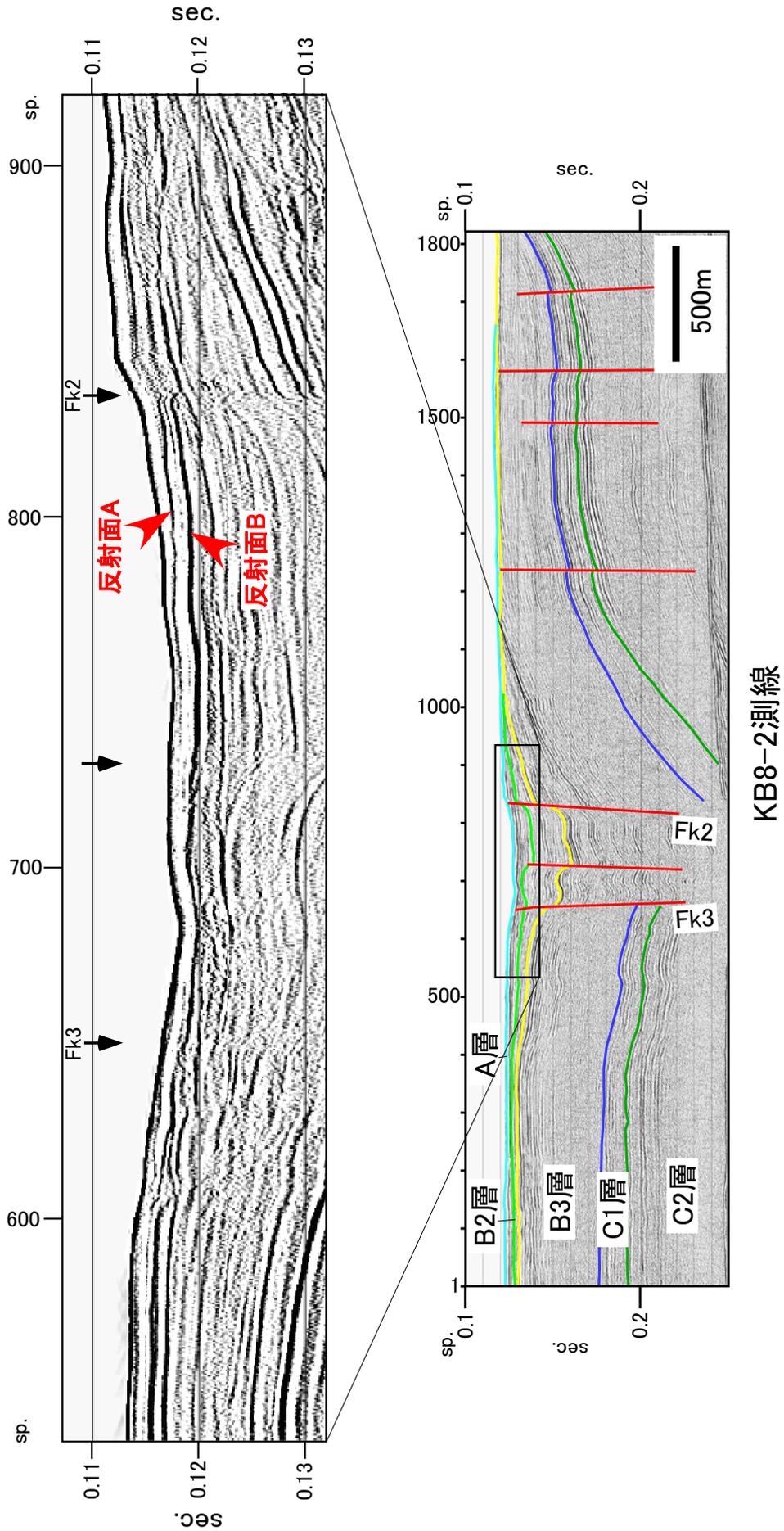
Fig. 24. Sampling points of the bottom sediment in the offshore extension of the Kikugawa fault system. (Location KK9, KK12-2 in the Line KB8-2). Upper: Time section, Lower: Geological interpretation.



第25図. 菊川断層帯海域延長部の採泥コアの柱状図。  
Fig. 25. Geologic column of the sampling core in the offshore extension of the Kikugawa fault system.

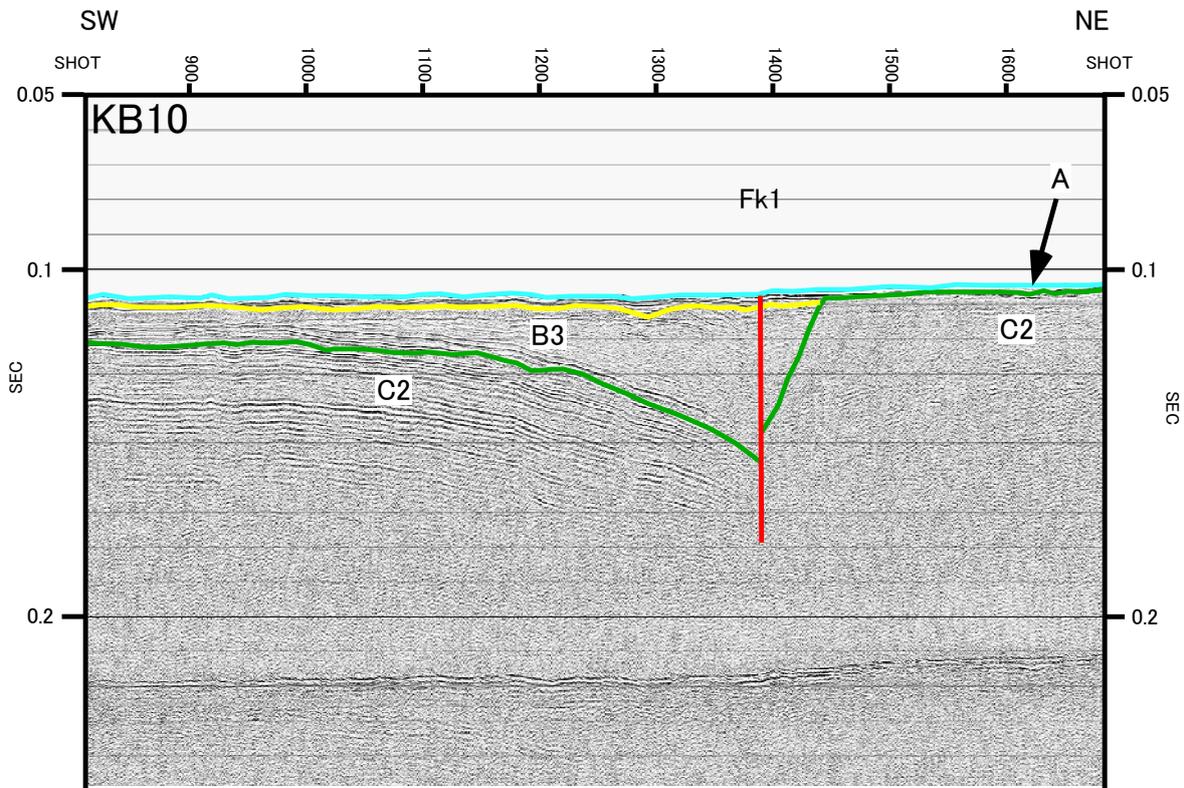
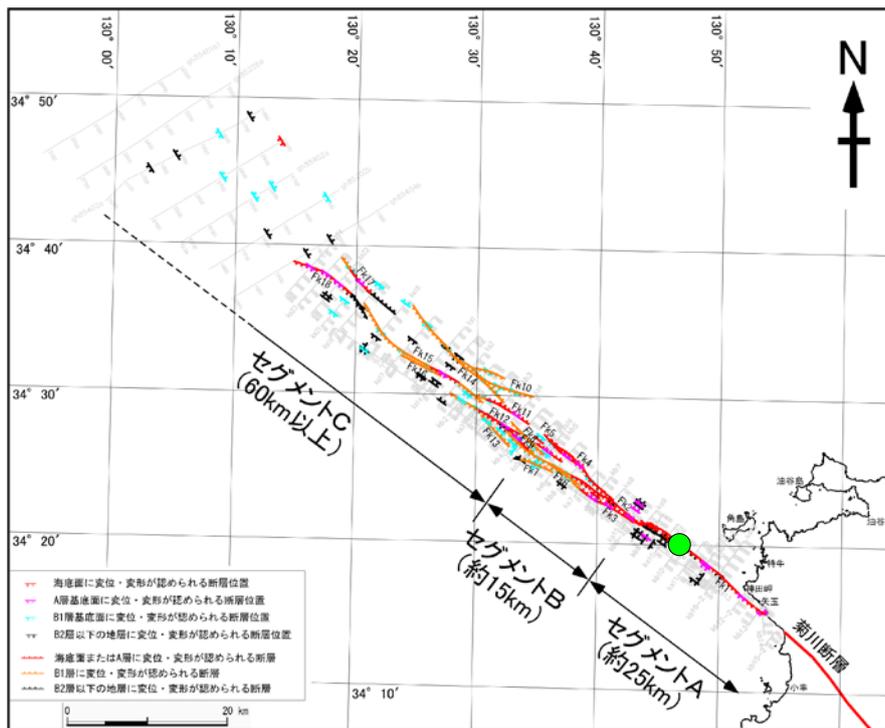


第 26 図. 菊川断層帯海域延長部の断層のセグメント区分.  
Fig. 26. Fault segmentation in the offshore extension of the Kikugawa fault system.



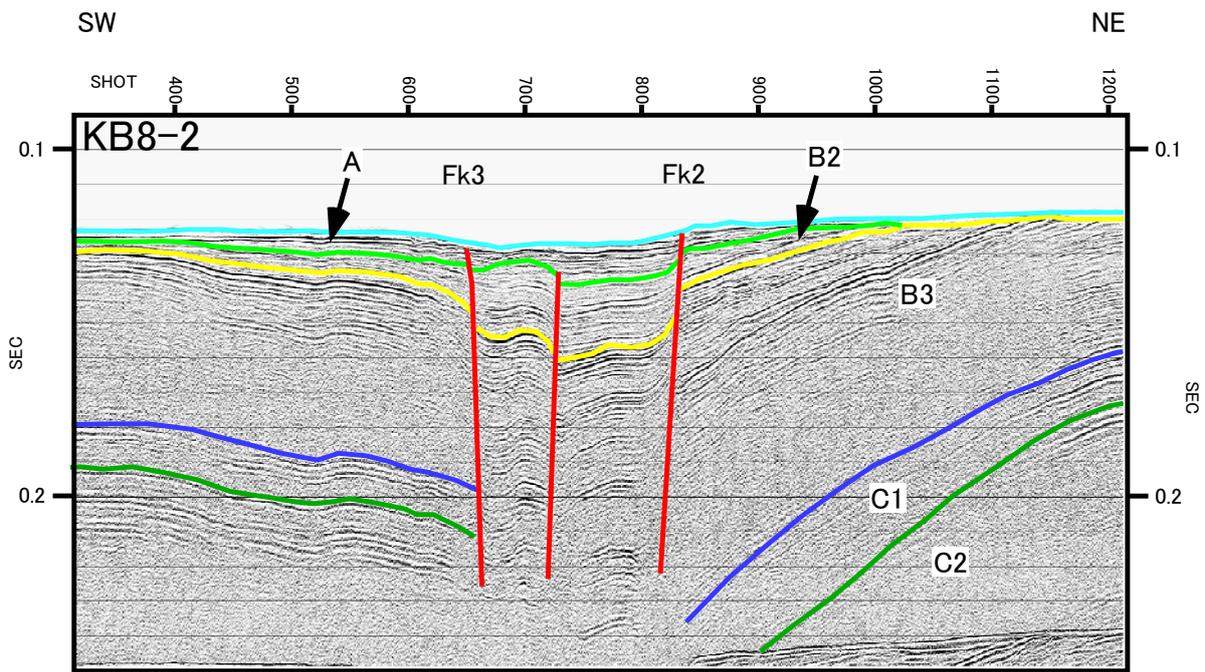
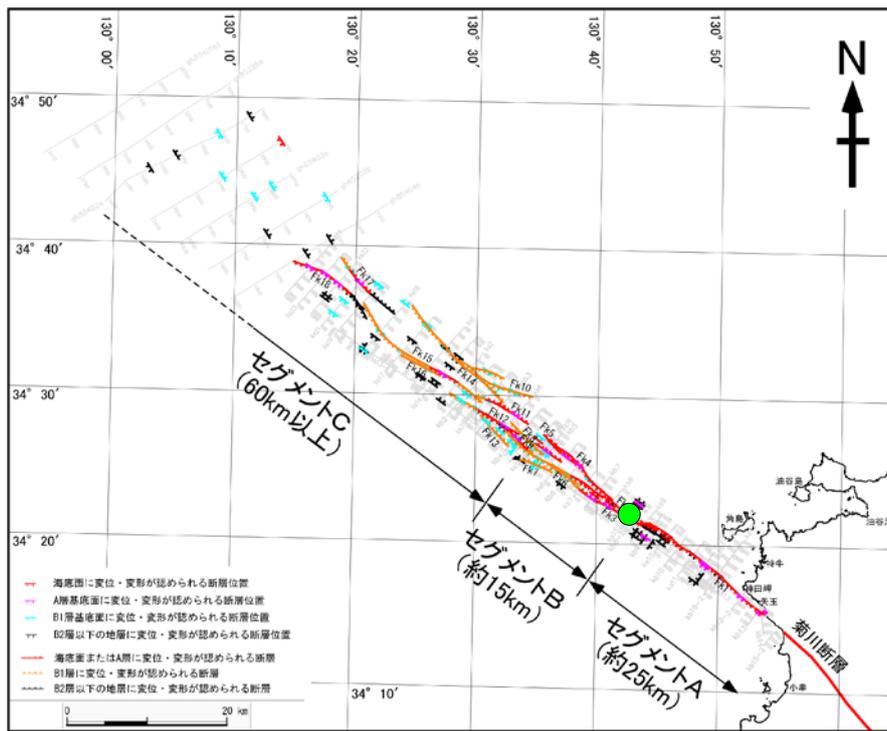
KB8-2測線

第27図. 菊川断層帯海域延長部における浅層部の断層変形.  
Fig. 27. Shallow part of fault deformation in the offshore extension of the Kikugawa fault system.



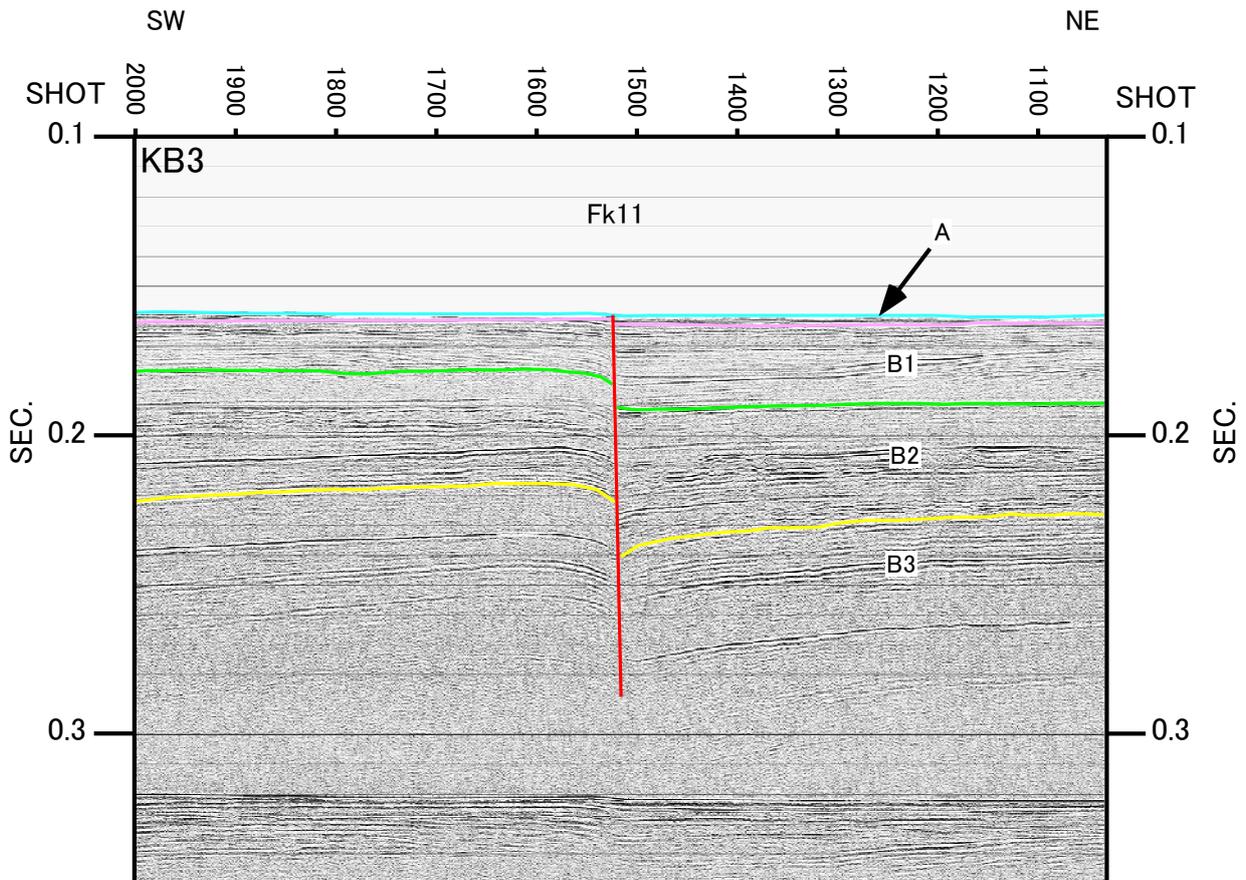
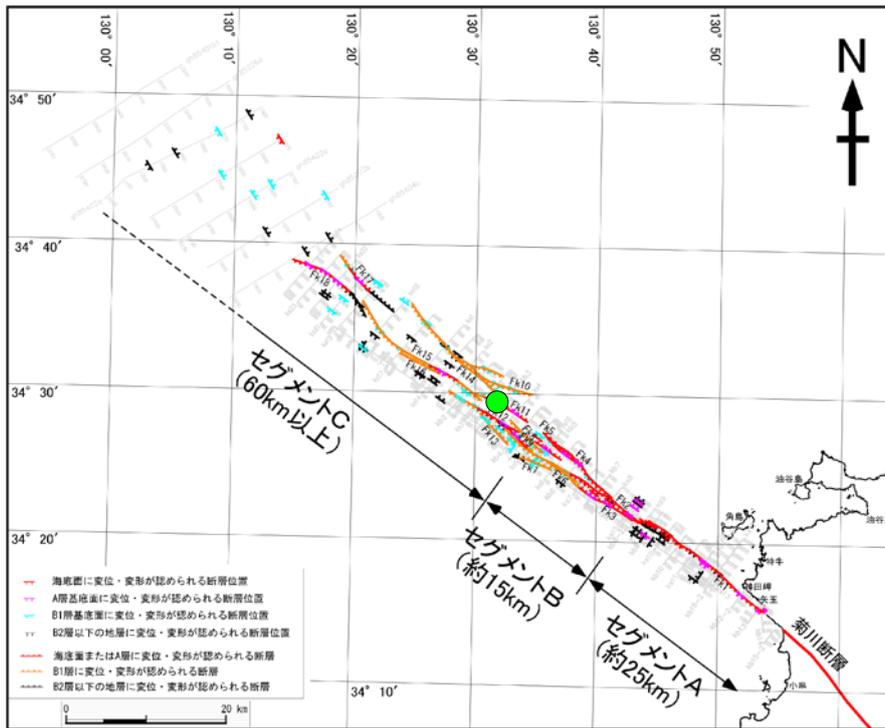
第 28 図. KB10 測線における Fk1 断層 (セグメント A) の位置と変位. 上段: 断層のセグメント区分 (緑丸は Fk1 の位置), 下段: 解釈断面.

Fig. 28. Location and displacement of Fk1 (segment A) in the Line KB10. Upper: Fault segmentation (A green circle indicates the location of Fk1). Lower: Geological interpretation.



第29図. KB8-2 測線における Fk2 断層, Fk3 断層 (セグメント B) の位置と変位. 上段: 断層のセグメント区分 (緑丸は Fk2, Fk3 の位置), 下段: 解釈断面.

Fig. 29. Location and displacement of Fk2, Fk3 (segment B) in the Line KB8-2. Upper: Fault segmentation (A green circle indicates the location of Fk2, Fk3). Lower: Geological interpretation.



第30図. KB3測線におけるFk11断層(セグメントC)の位置と変位. 上段: 断層のセグメント区分(緑丸はFk11の位置), 下段: 解釈断面.

Fig. 30. Location and displacement of Fk11 (segment C) in the Line KB3. Upper: Fault segmentation (A green circle indicates the location of Fk11). Lower: Geological interpretation.