

# 伊予灘～佐賀関沖 MTL 活断層系の広域イメージングとセグメント区分

## Regional imaging and segmentation of the MTL active fault system in the Iyo-nada Sea - off Saganoseki area

七山 太<sup>1</sup>・池田倫治<sup>2</sup>・大塚一広<sup>3</sup>・三浦健一郎<sup>4</sup>  
金山清一<sup>5</sup>・小林修二<sup>6</sup>・長谷川 正<sup>7</sup>・杉山雄一<sup>8</sup>・佃 栄吉<sup>9</sup>  
Futoshi Nanayama<sup>1</sup>, Kazuhiro Otsuka<sup>2,3</sup>, Kenichiro Miura<sup>3</sup>,  
Michiharu Ikeda<sup>4</sup>, Seiichi Kanayama<sup>5</sup>, Shuji Kobayashi<sup>6</sup>,  
Masashi Hasegawa<sup>7</sup>, Yuichi Sugiyama<sup>8</sup> and Eikichi Tsukuda<sup>9</sup>

<sup>1,8,9</sup> 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, nanayama-f@aist.go.jp, sugiyama-y@aist.go.jp, e-tsukuda@aist.go.jp)

<sup>2,5,6</sup> 株式会社四国総合研究所 (Shikoku Research Institute Inc., m-ikeda@ssken.co.jp, skanayama@ssken.co.jp, s-kobayashi@ssken.co.jp)

<sup>3</sup> 元活断層研究センター-NEDO 養成技術者 (Former NEDO fellow at Active Fault Research Center, GSJ/AIST)

<sup>4</sup> 元活断層研究センター-NEDO 養成技術者, 現所属: 基礎地盤コンサルタンツ株式会社 (Former NEDO fellow at Active Fault Research Center, GSJ/AIST, present affiliation: Kisojiban Consultants Co., Ltd., miura.kenichiro@kiso.co.jp)

<sup>7</sup> 総合地質調査株式会社 (Sogo Geophysical Exploration Co., Ltd., hasegawa@sogo-ge.co.jp)

**Abstract:** Single-channel seismic profiling in the Iyo-nada Sea - off Saganoseki area has revealed two right-overstepping fault jogs about 13 km long off Gushi and off Misaki. These extensional jogs divide the Median Tectonic Line (MTL) active fault system in this area into three geometrical segments: 21-km-long Iyo segment, 42-km-long Iyo-nada segment, and 23-km-long Hoyo Strait segment from east to west. The profiling also indicates that the Hoyo Strait segment meets off Saganoseki with the ESE-trending Beppu-wan (Beppu Bay) active fault system. The Holocene activity of the Hoyo Strait segment is inferred to be lower than those of Iyo and Iyo-nada segments of MTL and of the Beppu-wan active fault system.

**キーワード:** 伊予灘, 佐賀関, 中央構造線活断層系, 別府湾活断層系, セグメント, 引張性ジョグ  
**Key words:** Iyo-nada, Saganoseki, Median Tectonic Line (MTL) active fault system, Beppu-wan active fault system, (fault) segment, extensional (fault) jog

### 1. はじめに

中央構造線活断層系(以下,MTL 活断層系と呼ぶ)は,九州から紀伊半島にかけて連続的に分布する総延長 300 km に達する第一級の活断層系である(活断層研究会, 1991). 陸域の MTL 活断層系については従来から詳細な地形調査や掘削調査が多数行われてきている. 一方, 海域の MTL 活断層系については, 主に音波探査による調査が実施されてきたが, 豊予海峡を挟む伊予灘～佐賀関沖海域に分布する同活断層系の性状, 分布形態及び活動性については, 既存の研究データは十分なものではない. さらに, これと別府湾活断層系(島崎ほか, 2000; 大分県, 2001)との関係についても, 十分な検討は行われていない. 本報告は, 伊予灘～佐賀関沖海域に分布する MTL 活断層系の詳細分布, 活動性などを明らかにすることを目的として, 活断層研究センターと株式会社四国

総合研究所とが平成 12～13 年度に実施した共同研究の成果の一部である.

一般に MTL 活断層系のような長大な活断層は, 幾つかの断層破壊の単位(セグメント)から構成されると考えられている(例えば, 佃, 1990, 1996; 岡田, 1992). そして, セグメントは単独で, あるいは隣接するものが連鎖的に活動して, 地震を起こすと考えられている(W.G.C.E.P., 1995). したがって, セグメントを認識することは, 地震動のシミュレーションなどを通じて, 活断層の調査結果を地震災害の軽減に役立てる上で, 極めて重要な課題となっている. Schwartz and Coppersmith (1984) は, 固有地震(characteristic earthquake)の破壊域(セグメントに相当)が, 断層の不規則性によって支配されている可能性を指摘している. これによると, セグメンテーションの検討には, 断層の分布形態を詳細に把握することが重要である.

本研究では、高分解能シングルチャネル音波探査によって、伊予灘～佐賀関沖間の MTL 活断層系の詳細分布を明らかにし、同活断層系のセグメンテーションならびに別府湾活断層系との関係を検討した。

## 2. 調査海域及び探査手法

調査を実施するにあたり、まず愛媛県伊予市～大分県佐賀関町の沖合における既存資料の収集・検討を行い、調査海域における活断層の分布状況を把握した。その上で、データの空白域を埋めるように、シングルチャネル音波探査を実施した(第1図)。

シングルチャネル音波探査は2ヶ年に分けて実施し、平成12年度には伊予灘東部海域の探査を行い、その成果は既に公表した(三浦ほか, 2001)。平成13年度には、佐田岬沖～佐賀関沖海域の探査を行い(第2図)、10測線、総延長95kmの記録を得た。

音波探査の音源には電磁誘導式のジオパルスを用い、一部の測線では磁歪振動子式のソノプローブを併用した。

## 3. シングルチャネル音波探査の結果

平成13年度の調査海域である佐田岬沖～佐賀関沖海域は、豊予海峡からの強い潮流によって、海釜、サンドウェーブなど海峡特有の海底地形が発達し、水深も最大で450mを超えることが知られている(緒方, 1975)。

ジオパルスを用いた探査では、このような高分解能音波探査にとって困難な条件下でも、概ね良好なデータを得ることができた。一方、ソノプローブ探査では、サンドウェーブの多数発達する佐田岬沖側では海底下の情報が全く得られなかった。また、佐賀関半島沖でも完新統が厚く堆積する海域であるにも関わらず、完新統基底面と鬼界アカホヤ火山灰層に対比される反射面が認識される程度で、他の反射情報はほとんど得られなかった(第3図)。このような結果は、本海域の堆積物が総じて砂質であることに起因すると考えられる。

### 3.1 音響ユニット区分

本海域の活断層群の正確な分布形態、性状及び活動性の把握を目的として、緒方(1975)、四国電力(1984)及び鉄道建設公団の未公表資料などを参考に、音波探査記録の音響ユニット区分を行った。

その結果、調査海域の音響ユニットは、上位からユニットA、ユニットD、ユニットT1、ユニットT2及びユニットBに区分された(第4図)。

#### ユニットA

本ユニットは調査海域の最上位層で、豊予海峡部と下位層の隆起部を除く広い海域に分布する。海底面とほぼ平行な層理を示し、下位層の起伏を埋積して分布する。本ユニットは、完新世の堆積物と推定

される。

#### ユニットD

本ユニットは豊予海峡部と下位層の隆起部を除く海域に分布し、大部分の海域では上位のユニットAに覆われて海底に露出しない。連続性の良い平行層理を示し、沖方向へ緩やかに傾斜する。海域によっては上面に陸化時の河床跡が見られる。本ユニットは後期更新世の堆積物に比定される。下位層に隆起構造が認められる長浜沖から東側では、内部に反射層理が見られないことから、粗粒な段丘堆積物と推定される。一方、長浜沖の西側では、反射層理が明瞭であることから、海成泥質堆積物と推定される。

#### ユニットT1及びT2

本ユニットは豊予海峡部や海岸のごく近傍の基盤露出部を除くほぼ全域に分布し、幾つかの隆起部では海底に露出する。上位のユニットT1と下位のユニットT2は、軽微な不整合を境界とする。全体的に緩やかに傾斜する層理を示すが、隆起部では明瞭な褶曲構造を示す。上位のユニットT1は中期更新世の大分層群及びその相当層に対比され、下位のユニットT2は後期鮮新世～前期更新世の郡中層、碩南層群及びそれらの相当層に対比される。

#### ユニットB

本ユニットは調査海域の最下位層であり、佐田岬半島～佐賀関半島の沿岸で確認され、しかも海岸のごく近傍及び海峡部の海底に出現する。無層理で内部構造を示さないことから、本地域の基盤岩である三波川変成岩類に対比される。

### 3.2 別府湾湾口の完新統の反射面群

調査海域北西端の佐賀関沖別府湾湾口部では、ユニットA(=完新統)が最大40m強と厚く堆積すると共に、比較的静穏な堆積環境にあったため、Ba面(海底面)～Bk面(完新統基底)までの11面の識別が可能であった(第7図)。この中で、Be面は非常に強い反射面として記録されており、反射パターンや分布深度から、鬼界アカホヤ火山灰層と推定される。本反射面は、佐賀関半島及び豊予海峡に向かって分布深度を浅くして尖滅する。

### 3.3 活断層の分布と性状

上述の音響ユニット層序や反射面層序に基づいて、反射面の切断、不連続、傾斜やパターンの急変などの情報から、活断層の抽出ならびに活動性の評価を行った(第2図)。調査海域の代表的な記録を第5図と第6図に示す。

今回の音波探査の結果、調査海域の活断層の特徴は以下の4点にまとめられる(第8図)。

(1) 伊予灘のMTL活断層系を構成する断層群は、高野川沖から佐田岬半島先端にかけて、NE-SW方向に並走または雁行して断続的に分布することが知られていたが(第1図)、今回の調査によって、その西方延長部が豊予海峡に達することが確認された。但

し、この部分の一般走向は NNE-SSW であり、佐田岬半島以東における断層の一般走向とは僅かに異なっている。伊予灘 MTL 活断層系を構成する断層の多くは、完新統を切り、海底地形に変位を及ぼしている。また、これらの断層は地溝及び地壘を断続的に形成している。

(2) 佐賀関沖の活断層群は、由佐ほか(1992)の領家帯と三波川帯の境界(R/S境界)付近を境として、分布形態に明瞭な違いが認められる。すなわち、北側の領家帯上の新期堆積層中に発達する活断層は WNW-ESE 走向、南側の三波川帯上の新期堆積層中に発達する活断層は NE-SW 走向を示す。

このうち領家帯上の活断層群は、その分布位置と走向から、別府湾断層系(島崎ほか,2000;大分県,2001)に属すると考えられ、完新統に変位を及ぼし多くは海底の変位・変形を伴っている。

(3) 三波川帯上の活断層群は、東方の伊予灘 MTL 活断層系、三波川帯と新期堆積物との地表境界(狭義の MTL)及び陸域の佐賀関断層(吉岡ほか,1997)とほぼ同走向を示すことから、MTL 活断層系の西方延長と推定される。これらは完新統や海底地形に変位・変形を及ぼさないものが多く、幾つかの断層列が並走する分布形態を示す。

(4) 調査海域に分布する活断層は、その分布形態や活動性などの特徴から、愛媛県双海町高野川沖から佐賀関沖まで連続する MTL 活断層系と別府湾湾口～湾奥に分布する別府湾活断層系に区分される。但し、MTL 活断層系のうち、豊予海峡部に分布する断層については、潮流により新期堆積層が削剥されているため、活動性などを十分に明らかにするには至らなかった。

#### 4. 伊予灘～佐賀関沖海域の MTL 活断層系のセグメント区分

伊予灘海域については、従来から断層の分布形態及び浅部地下構造に基づいて、MTL 活断層系のセグメント区分が試みられてきた(例えば、露口ほか,1996;大野ほか,1997;Ohno *et al.*,1998)。しかし、前述のように、これらの試みの時点では、豊予海峡以西の MTL 活断層系についてのデータはほとんど得られていなかった。ここでは、今回の調査で取得された同海域のデータを踏まえ、伊予灘～佐賀関沖の MTL 活断層系のセグメント区分について考察する。

伊予灘～佐賀関沖海域には、断層のセグメント区分において重要な指標とされる大規模な引張性ジョグ(引張性バリア:佃,1990,1991;中田・後藤,1998など)が2ヶ所で認められる(第8図)。1つは串沖に存在し、三浦ほか(2001)によって、串沖のプルアパートベーズンとされた構造に当たる。もう1つは、佐田岬半島の三崎町沖に存在し、今回の調査によって初めてその全体像が明らかにされたものであ

る。本報告ではこれらをそれぞれ串沖引張性ジョグ、三崎沖引張性ジョグと呼ぶ。この2つの引張性ジョグでは、MTL 活断層系の主断層は右方向へ2～3km 屈曲あるいはステップオーバーし、その南側3～5km に北落ちの断層を伴っている。また、両引張性ジョグの長さは、第8図に示すように、おおよそ13km である。このような引張性ジョグはエネルギーの効果的な散逸領域であり、断層破壊の末端、換言すると活断層セグメントの境界となる例が多いことが指摘されている(佃,1991;中田・後藤,1998;粟田ほか,2001など)。

伊予灘～佐賀関沖の MTL 活断層系は、串沖ジョグ及び三崎沖ジョグを境界として、3つの幾何学的セグメントに区分される。それらは、東側から伊予セグメント、伊予灘セグメント及び豊予海峡セグメントである(第8図)。なお、伊予セグメントと伊予灘セグメントは、それぞれ、三浦ほか(2001)の上灘セグメント及び長浜セグメントに相当する。

伊予セグメントの一般走向は N60°E で、串沖ジョグの東端から測った海域における長さは約9km である。伊予断層などの陸上活断層も本セグメントに含まれる可能性があり(大塚ほか,2001)、この場合、本セグメントの長は21km に達する。本セグメントを構成する断層の多くは直線性が高く、明瞭な横ずれ構造を示し、現海底面にも変位を与えている。本セグメントは、完新世に少なくとも4回活動し、4回の活動の間隔は2500～3500年程度と推定されている(大塚ほか,2001)。

伊予灘セグメントの走向も N60°E で、串沖ジョグの西端から三崎沖ジョグの東端までの長さは約42km に達する。本セグメントを構成する断層も直線的なものが多く、伊予セグメントと同様に横ずれ構造が卓越する。本セグメントの活動性や活動履歴は明らかではないが、伊予セグメントと同様に、現海底面にも明瞭な変位を与えている。

豊予海峡セグメントは N55°E の一般走向を有し、三崎沖ジョグの西端から測った海域における長さは約23km である。本セグメントは別府湾南岸の別府地溝南縁断層帯(大分県,2001)に連続する可能性があるが、現時点では大分平野の地下構造に関するデータが不十分なため、両者の関係は明らかではない。本セグメントには、正断層的な構造を伴う断層と横ずれ構造を伴う断層が混在する。これらは完新統や海底面に変位を及ぼしていないものが多く、本セグメントの活動性が伊予セグメントや伊予灘セグメントよりも低いことを示唆する。

#### 5. まとめ

過去2年間の調査結果に基づいて、伊予灘～佐賀関沖に分布する活断層のセグメント区分について検討した。検討結果は、以下の3点に集約される。

(1) 調査海域に分布する活断層は、その分布形態

から, ENE-WSW ~ NE-SW 走向の MTL 活断層系と WNW-ESE 走向の別府湾活断層系に区分される。

(2) MTL 活断層系では, 串沖と三崎沖に右オーバーステップ構造を有する長さ約 13km の引張性ジョグが存在する。

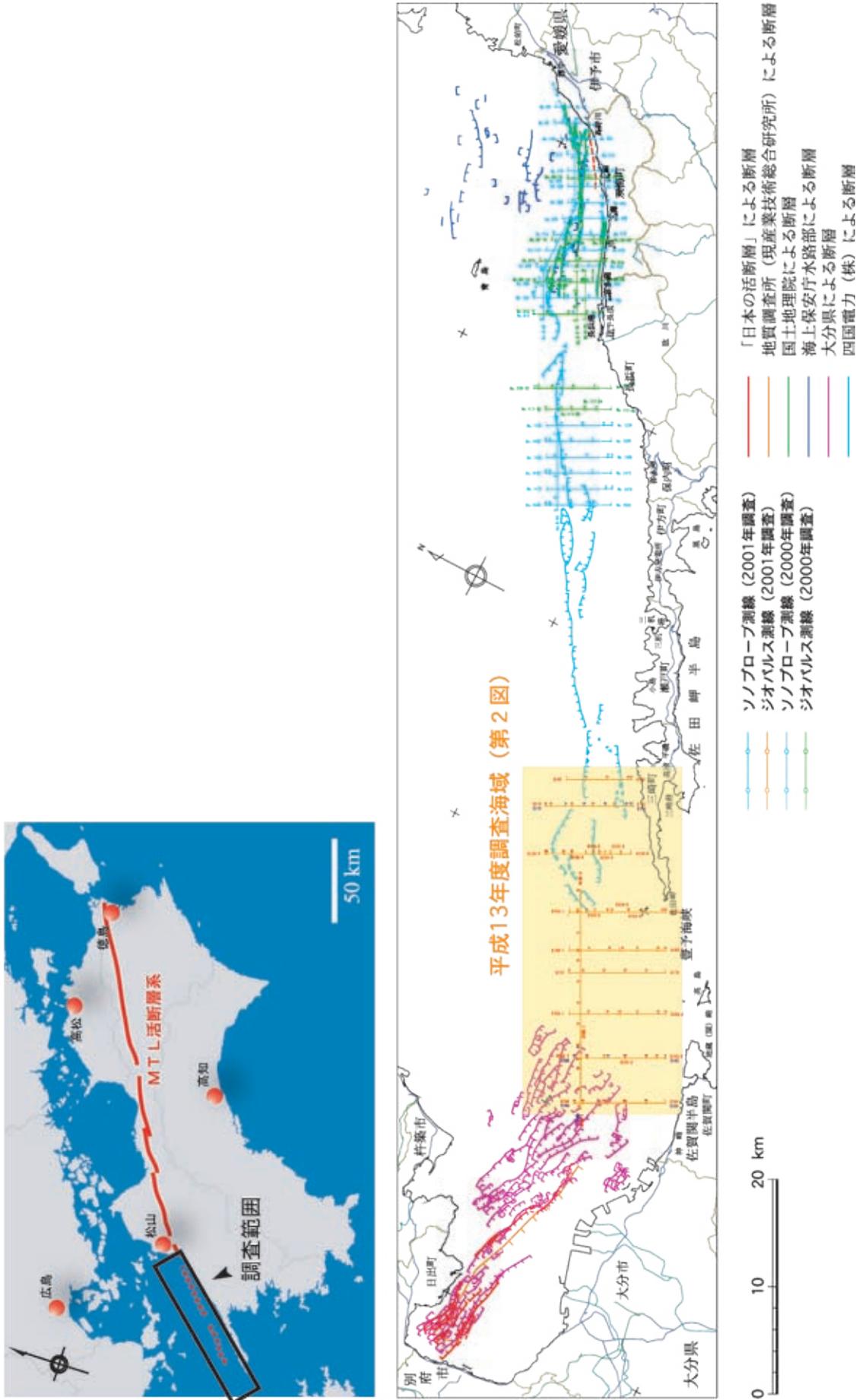
(3) 伊予灘 ~ 佐賀関沖の MTL 活断層系は, これら 2 つの引張性ジョグを境として, 伊予セグメント, 伊予灘セグメント及び豊予海峡セグメントに区分される。

謝辞 本研究を実施するにあたり, 総合地質調査株式会社 諸賢には献身的に業務を遂行していただいた。四国電力株式会社の大野裕記氏, 高知大学の岡村 眞教授ならびに当センターの下川浩一チーム長には, 本研究に際して多数の建設的なコメントを賜った。海上保安庁水路部, 愛媛県庁, 大分県庁, 松山海上保安部, 大分海上保安部, 日本鉄道建設公団大阪支社, 関係市町村ならびに関係漁協の皆様には, 本研究に対し多大なご配慮をいただいた。以上の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

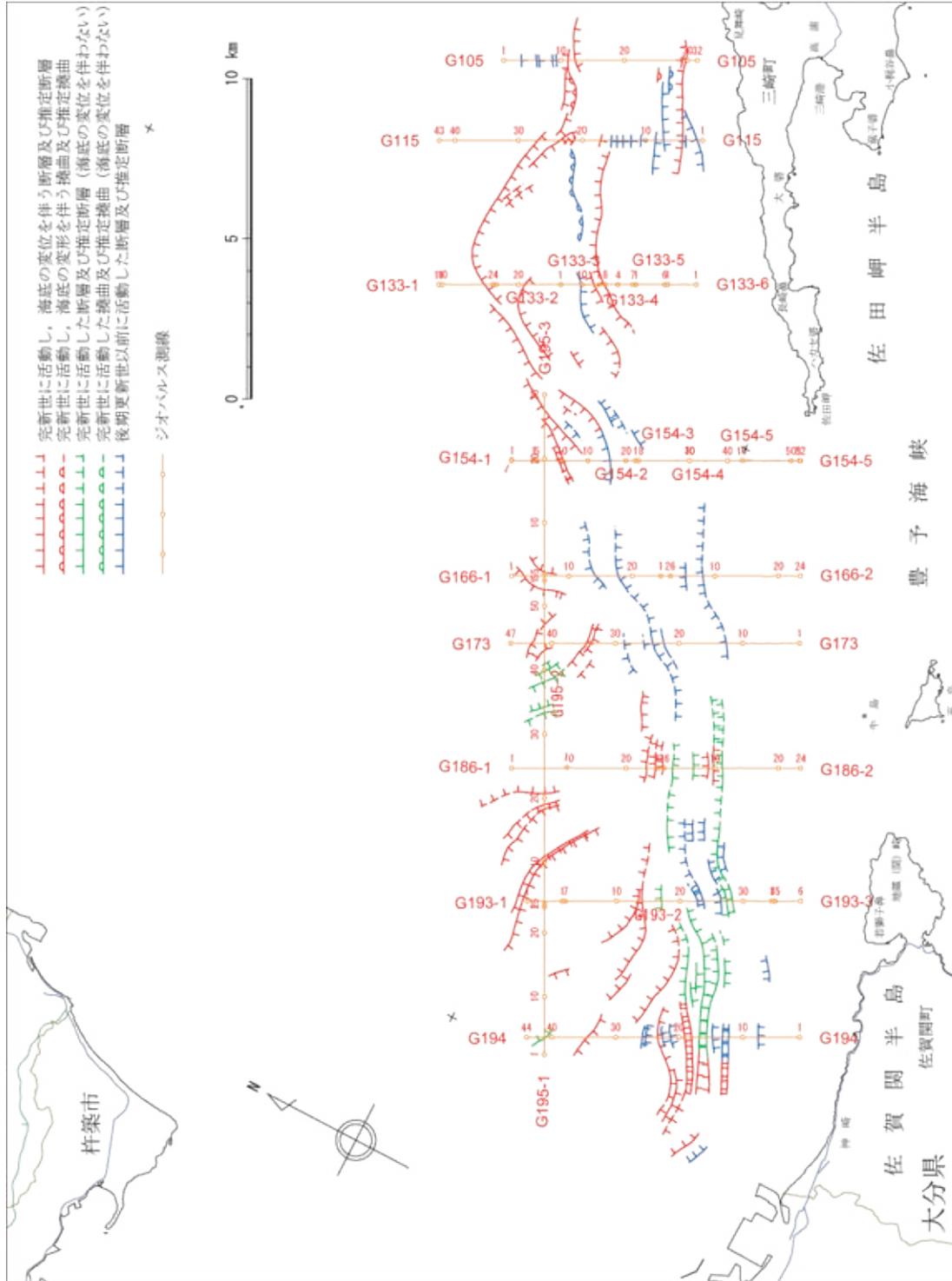
- 栗田泰夫・吉岡敏和・佃 栄吉・Emre, O.・Duman, T.Y.・Dogan, A. (2001) 北アナトリア断層系 1999 年 Izmit 地震に伴う地震断層のセグメント構造。活断層・古地震研究報告, no. 1, 325-338。
- 長谷川修一・岡田篤正・大野裕記・小林修二・池田倫治・横田 裕 (1999) 中央構造線活断層系米湊断層の地下構造と活動度。四国電力・四国総合研究所研究期報, no. 72, 45-55。
- 活断層研究会 (1991) 新編「日本の活断層・分布と資料」。東京大学出版会, 437p。
- 国土地理院 (1992a) 1: 25000 沿岸海域土地条件図「郡中」。
- 国土地理院 (1992b) 1: 25000 沿岸海域土地条件図「串」。
- 国土地理院 (2001) 1: 25000 沿岸海域土地条件図「伊予長浜」。
- 松岡裕美・岡村 眞 (2000) 中央構造線活断層の分布形態とその特徴。月刊地球号外, no. 31, 110-116。
- 三浦健一郎・七山 太・大塚一広・池田倫治・金山清一・長谷川正・杉山雄一・佃 栄吉 (2001) 伊予灘東部海域の中央構造線活断層系の完新世活動性評価 (I) シングルチャネル音波探査の成果。活断層・古地震研究報告, no. 1, 199-214。
- 中田 高・後藤秀昭 (1998) 活断層はどこまで割れるか? 横ずれ断層の分岐形態と縦ずれ分布に着目したセグメント区分モデル。活断層研究, no. 17, 43-53。
- 緒方正虔 (1975) 佐田岬半島北岸地域の地質構造・音波探査による海底地質の考察。電力中央研究所研究報告: 375006, 1-35。
- 岡田篤正 (1992) 中央構造線活断層系の分割試案。地質学論集, no. 40, 75-97。
- 岡田篤正・堤浩之・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二 (1998) 1/25,000 都市圏活断層図「郡中」。国土地理院。
- 大分県 (2001) 別府・万年山断層帯に関する調査。文部科学省 2001 年活断層調査成果および堆積平野地下構造調査成果報告会予稿集, 205-214。
- 大野裕記・小林修二・長谷川修一・本荘静光・長谷川正 (1997) 四国西部伊予灘海域における中央構造線活断層系の深部構造とセグメンテーション。四国電力・四国総合研究所研究期報, no. 68, 48-59。
- Ohno, Y., Kobayashi, S. and Hasegawa, S. (1998) Determination of design basis earthquakes from active faults. *Proceeding of 8th IAGG Congress*, Balkema, 837-844。
- 大塚一広・七山 太・三浦健一郎・池田倫治・金山清一・横山芳春・杉山雄一・佃 栄吉 (2001) 伊予灘海域の中央構造線活断層系の完新世活動性評価 (II) 上灘沖ボーリングコアの解析結果。活断層・古地震研究報告, no. 1, 215-232。
- Schwartz, D. A. and Coopersmith, K. J. (1984) Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. *Jour. Geoph. Res.*, **89**, B7, 5681-5698。
- 四国電力株式会社 (1984) 伊方発電所原子炉設置変更許可申請書。
- 島崎邦彦・松岡裕美・岡村 眞・千田 昇・中田 高 (2000) 別府湾の海底活断層分布。月刊地球号外, no. 28, 79-84。
- 佃 栄吉 (1990) 地震断層の形態と断層破壊過程。構造地質, no. 35, 103-112。
- 佃 栄吉 (1991) 断層の幾何学的バリアと破壊プロセス。地学雑誌, **100**, 417-428。
- 佃 栄吉 (1996) 中央構造線活断層系のセグメンテーションと周辺の地質構造。テクトニクスと変成作用。(原郁夫先生退官記念論文集), 創文, 250-257。
- 露口耕治・松岡裕美・岡村 眞 (1996) 伊予灘における中央構造線活断層系の分布とセグメンテーション。日本地質学会第 100 年学術大会講演要旨, 369。
- 吉岡敏和・星住英夫・宮崎一博 (1997) 大分地域の地質 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 65p。
- Working Group on California Earthquake Probabilities (1995) Seismic hazards in southern California: probable earthquakes, 1994 to 2024. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **85**, 379-439。

(受付: 2002 年 6 月 21 日, 受理: 2002 年 8 月 20 日)

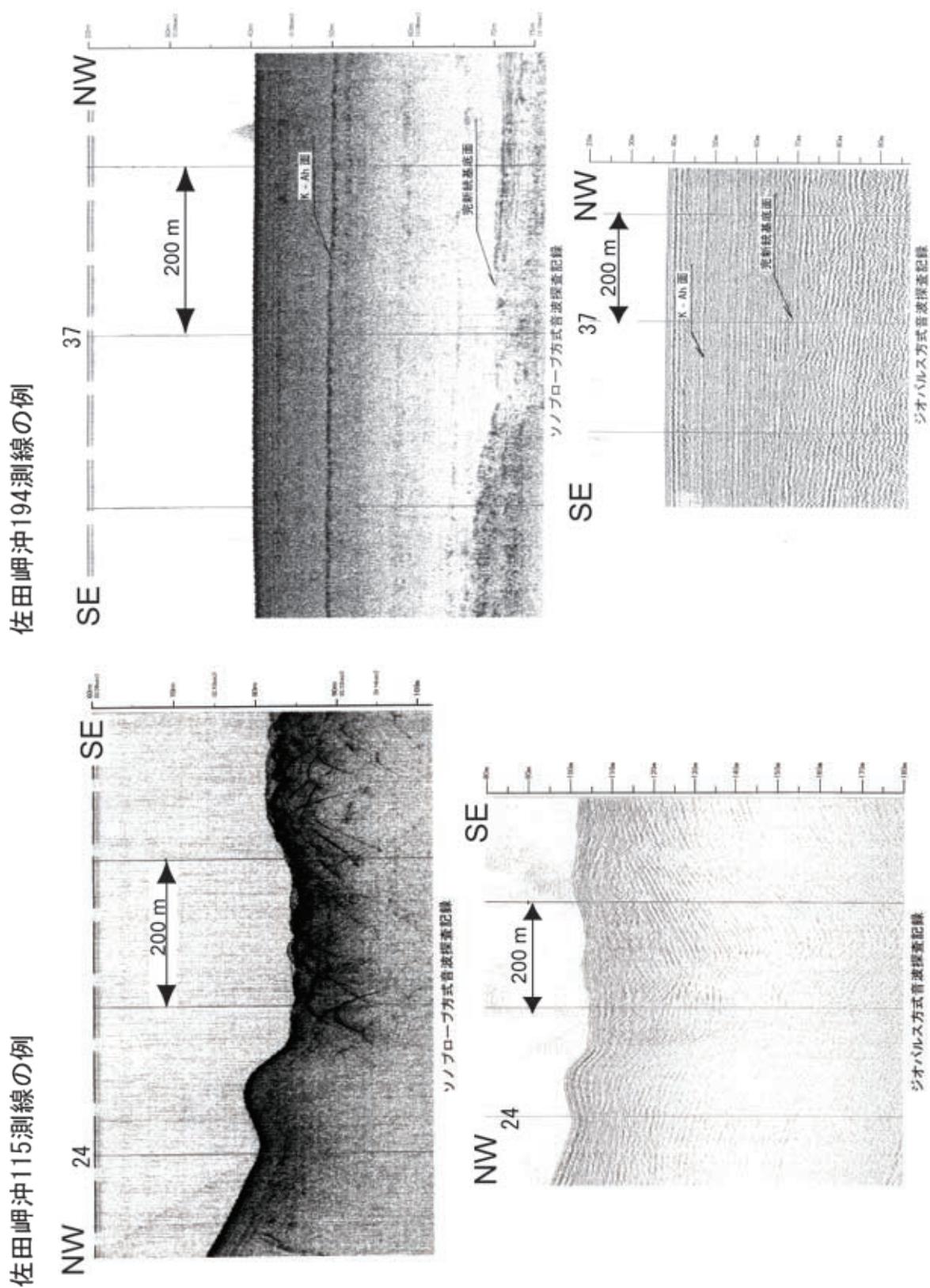


第1図. 四国～伊予灘における中央構造線活断層系の分布概要 (上) と既存資料による伊予灘～別府湾域の活断層の分布 (下). 今回の調査海域と調査測線の位置を下図に示す.

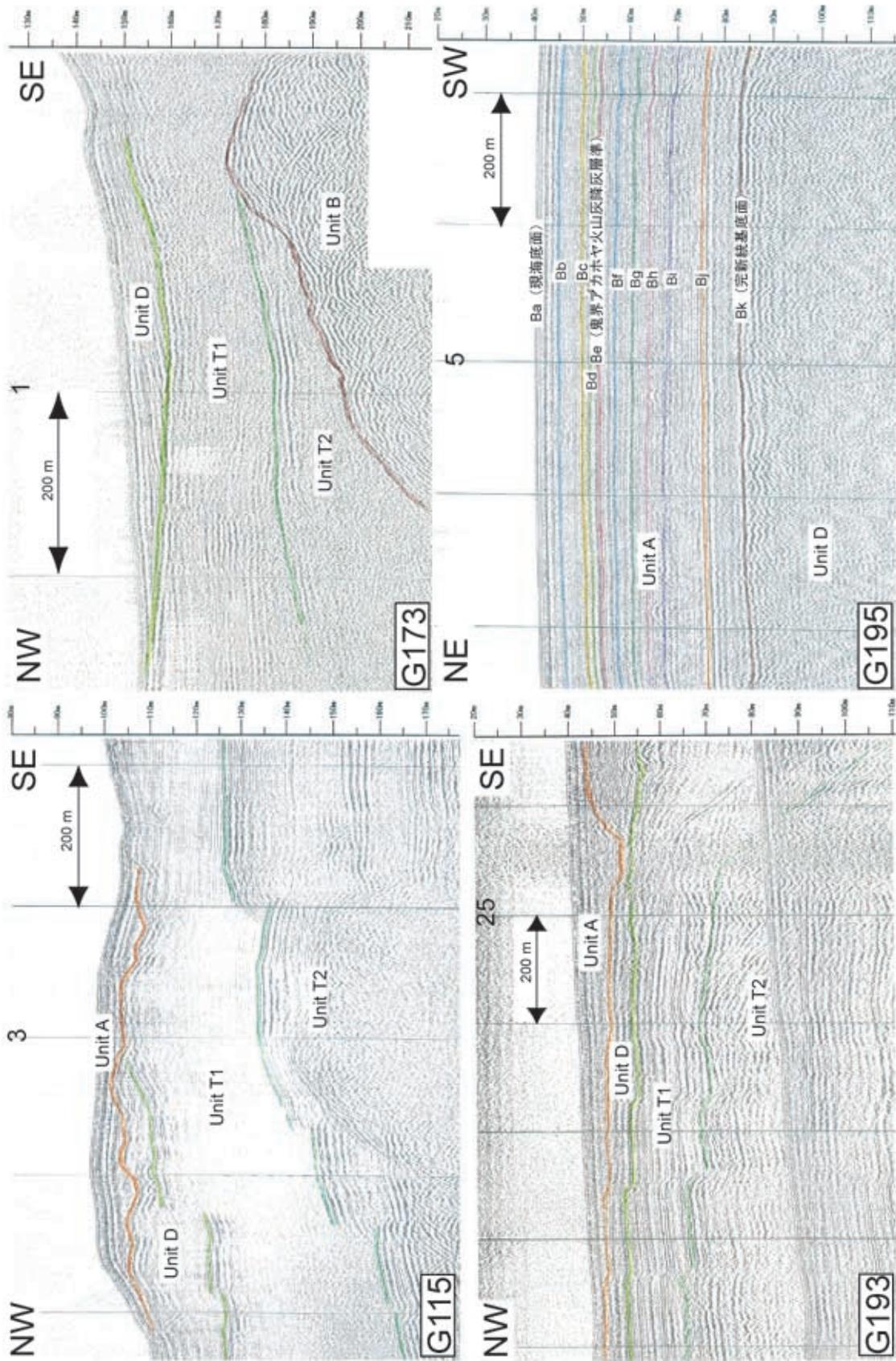
Fig. 1. Index map for the MTL active fault system in Shikoku and Iyo-nada Sea (top), and distribution of active faults in the Iyo-nada Sea ~ Beppu Bay area after the published research data (bottom). The area of our 2001 survey and location of acoustic profiling lines are shown in the bottom figure.



第2図. 豊予海峡周辺海域におけるジオパルス探査の測線配置と探査によって得られた断層・撓曲の分布。  
 Fig. 2. Survey lines for acoustic profiling with geopulse and obtained distribution of faults and flexures in and around the Hoyo Strait.

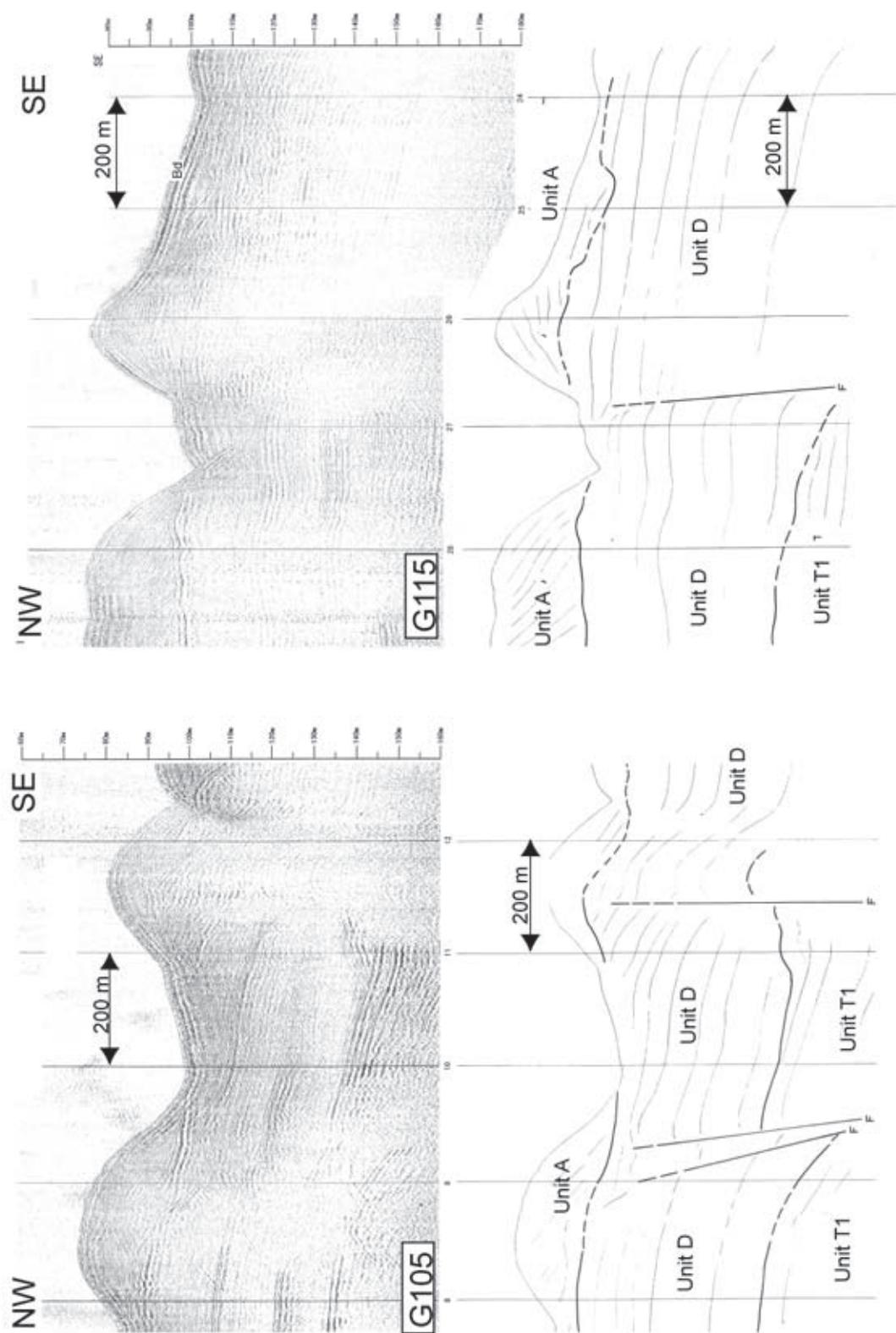


第3図. ソノプローブとジオハルスによる音波探査記録の比較. 測線位置は第2図参照.  
 Fig. 3. Comparison of acoustic profiles obtained by sonoprobe and geopulse. See Fig. 2 for profiling lines.



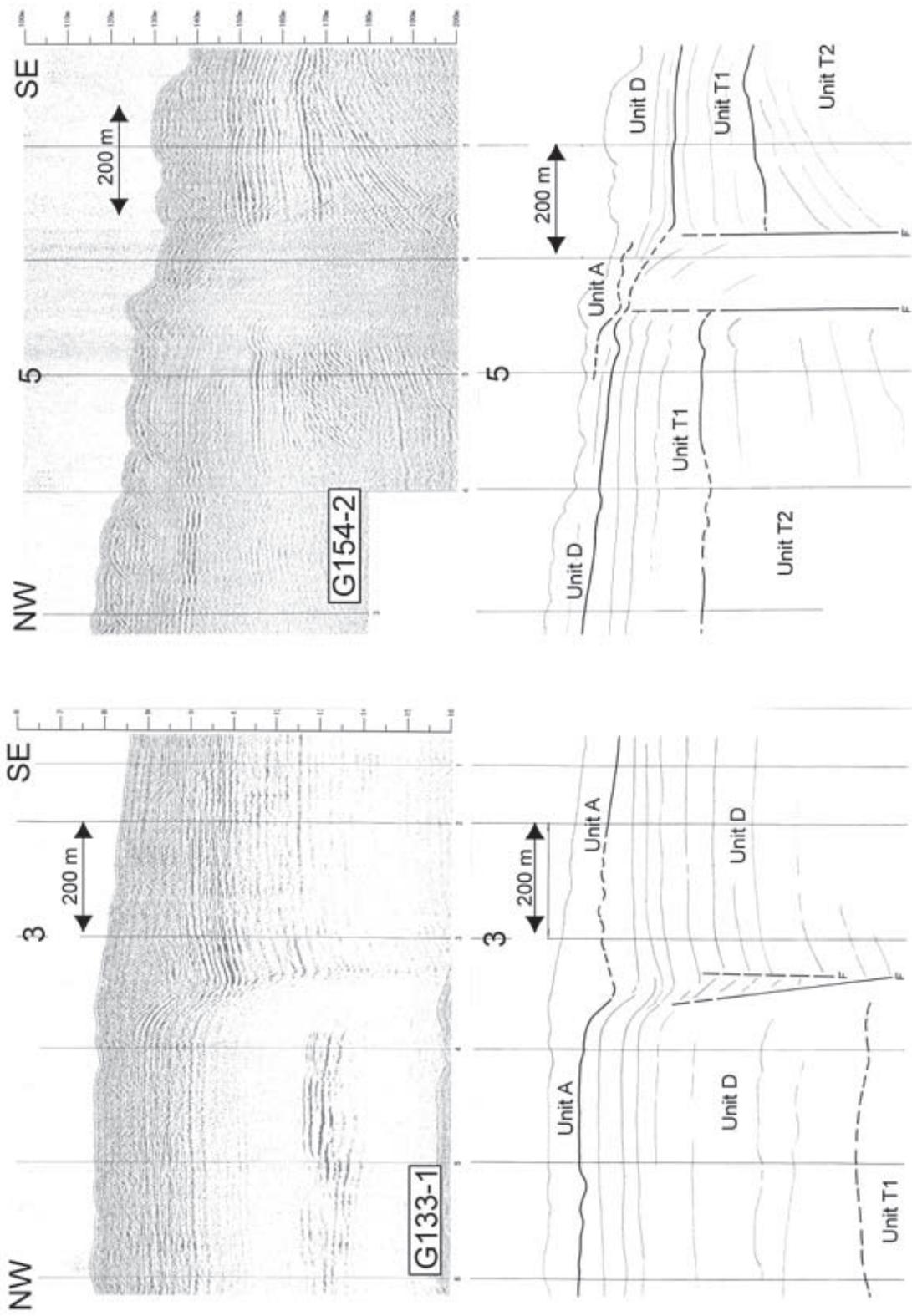
第4図. 音響ユニット区分の例. 測線位置は第2区参照.

Fig. 4. Examples of acoustic unit classification. See Fig. 2 for profiling lines.

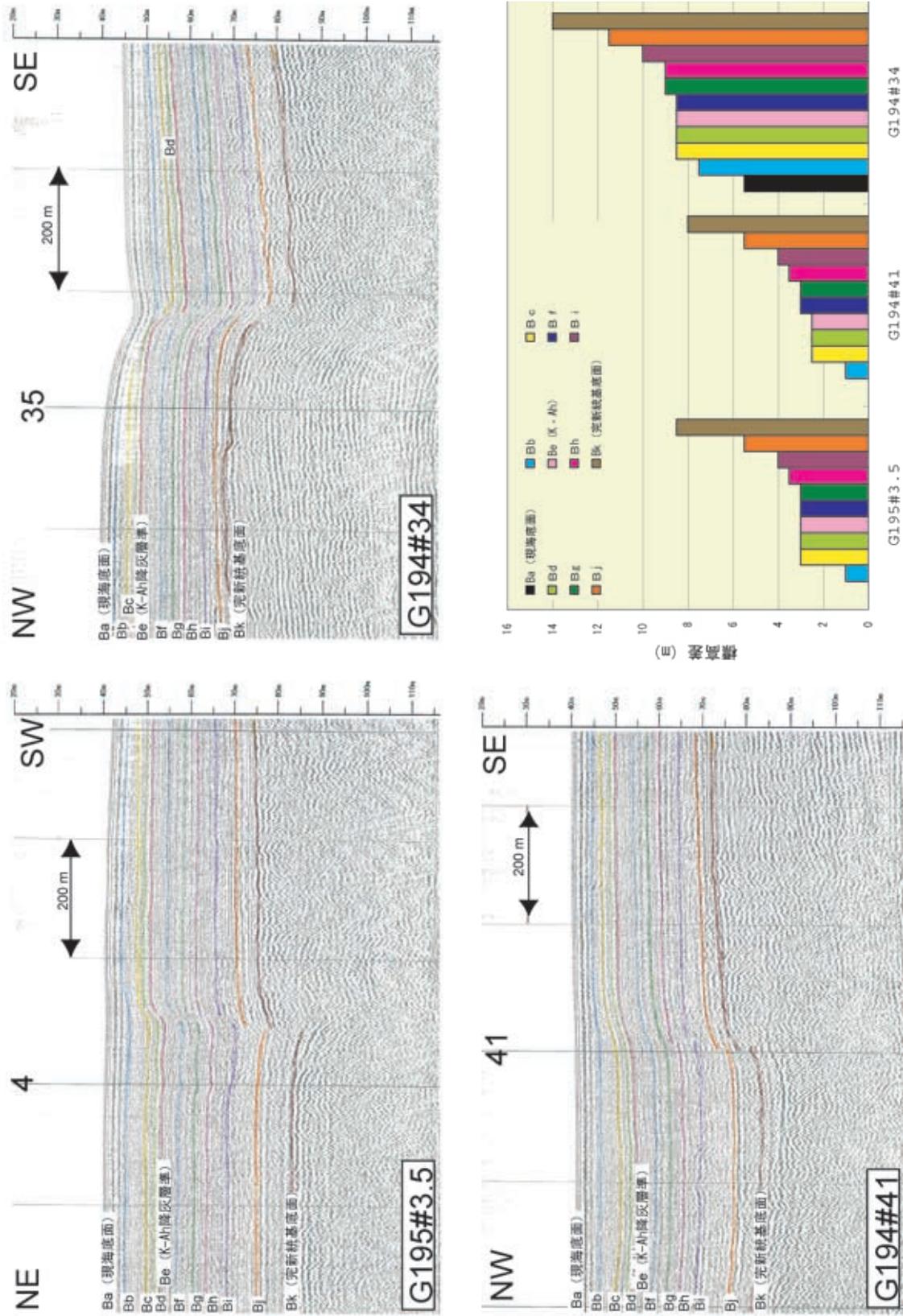


第5図. 佐田岬半島沖に分布する活断層の探査記録例 (1). 測線位置は第2図参照.

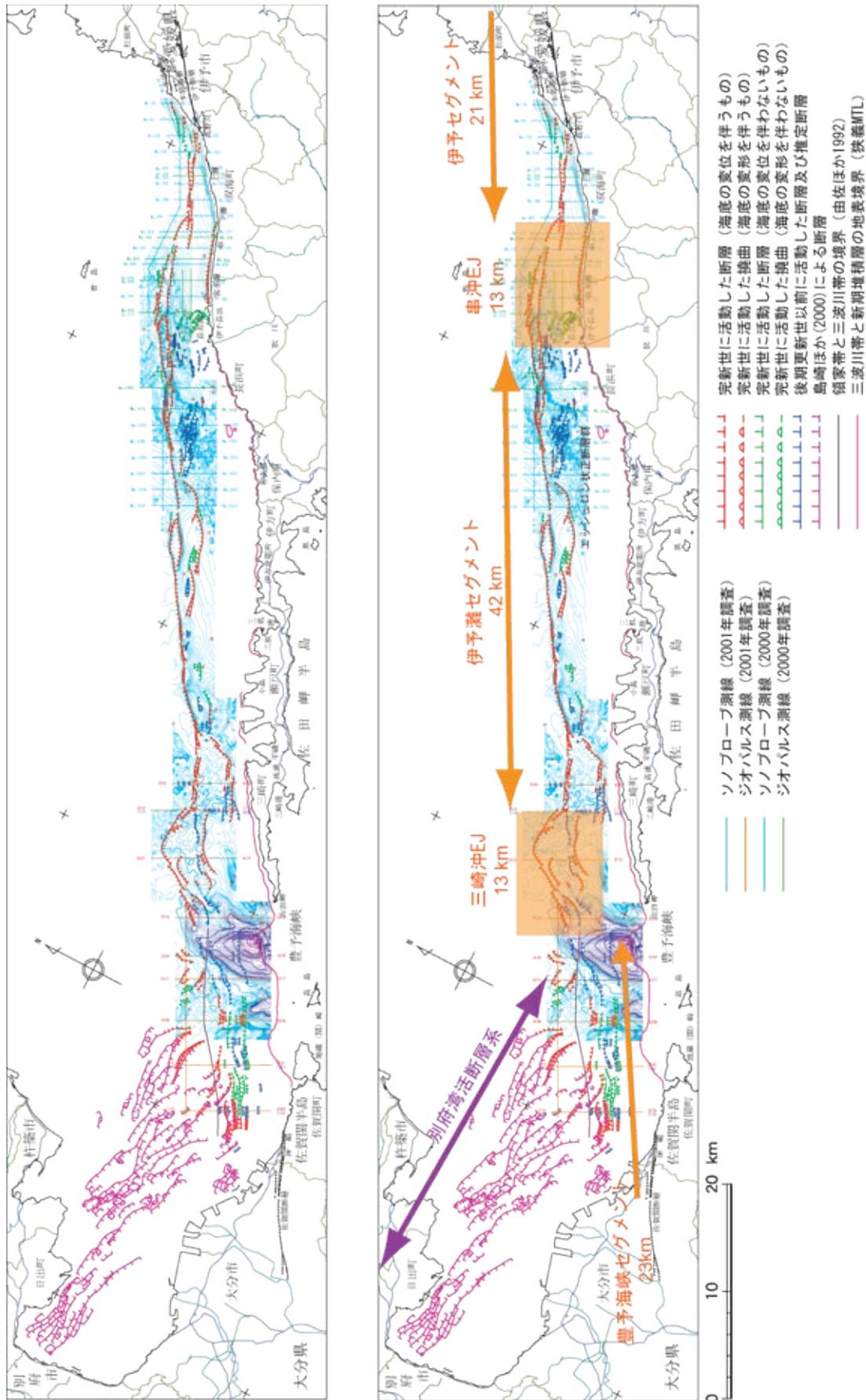
Fig. 5. Acoustic profiles of active faults off the Satamisaki Peninsula (1). See Fig. 2 for profiling lines.



第6図. 佐田岬半島沖に分布する活断層の探査記録例(2). 測線位置は第2図参照.  
Fig. 6. Acoustic profiles of active faults off the Satamisaki Peninsula (2). See Fig. 2 for profiling lines.



第7図. 佐賀関沖の別府湾活断層系の探査記録例と断層両側の各反射面の標高差. 測線位置は第2図参照.  
 Fig. 7. Acoustic profiles of the Beppu-wan active fault system off Saganoseki, and altitude difference of each reflector between the both sides of the fault. See Fig. 2 for profiling lines.



第8図. 伊予灘～別府湾域における活断層の分布とセグメント区分. 海底地形データは株式会社四国総合研究所による. 本図の作成には, 今回の調査結果に加えて, 四国電力株式会社(1984), 国土地理院(1992a, 1992b, 2001), 松岡・岡村(2000), 島崎ほか(2000)等のデータを用いた. 陸域の米湊断層および伊予断層は岡田ほか(1998), 本郡断層は長谷川ほか(1999), 佐賀関断層は吉岡ほか(1997)による.

Fig. 8. Active fault distribution and segmentation in the Iyo-nada Sea - Beppu Bay area.