

伊方発電所3号炉

佐田岬半島北岸の地質境界としての
中央構造線に関する査読論文について
(コメント回答)

令和4年1月14日

四国電力株式会社

コメント日	コメント内容	ページ番号
令和3年9月10日 第1002回原子力発電所の 新規制基準適合性に係る 審査会合	・令和3年9月1日原子力規制委員会臨時会議の「伊方発電所における安全性向上に関する取り組みについて」の中で、四国電力が許可後の継続的な取り組みとして説明した佐田岬半島北岸の地質境界としての中央構造線は活断層でないことを示した査読論文について、許可後の新たな調査・分析があれば説明すること。	本資料

佐田岬半島北岸の中央構造線が活断層でないことを示した査読論文について …………… P3

【参考資料】

平成27年7月設置変更許可における活断層評価について …………… P11

佐田岬半島北岸の中央構造線が活断層でないことを示した査読論文について

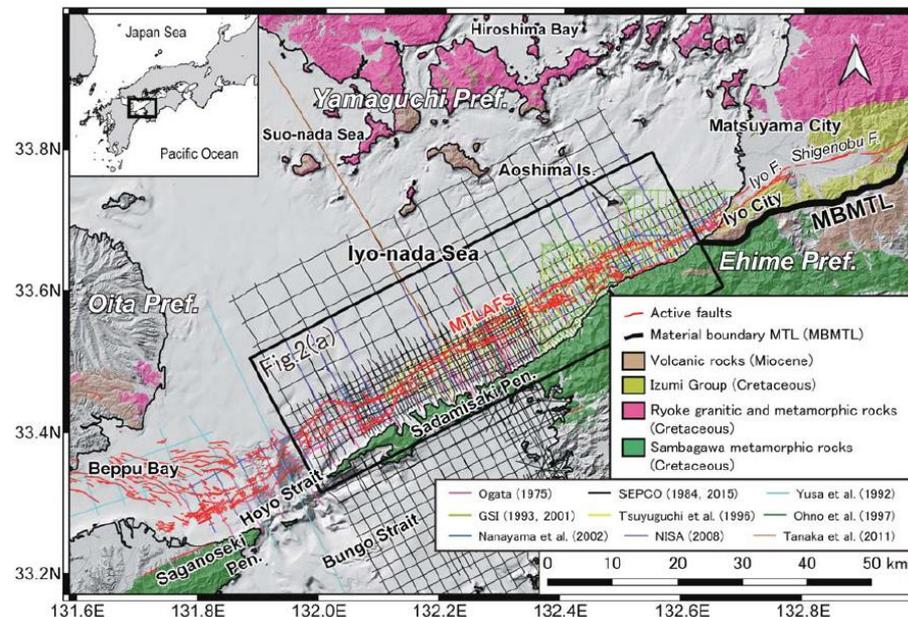
【参考資料】

平成27年7月設置変更許可における活断層評価について

研究の目的および成果の概要

- 当社は調査結果のうち学術的な価値が特に高いものについては専門誌の査読論文として公表し、社会的な信頼性向上と学術貢献に努めている。高橋ほか（2020）はそうした取組みの一環として公表した論文である。
- 高橋ほか(2020)は、**2004年および2013年に実施した探査データに基づき、伊予灘における地質境界としての中央構造線と活断層としての中央構造線断層帯について、その分布および活動性を検討した論文であり、2020年12月発行の活断層研究第53号に掲載された。**地質境界としての中央構造線の位置と活動性を明らかにする観点から、エアガン音を音源とする反射断面に屈折法探査データのトモグラフィ解析結果を重ねて表示するなど、平成27年7月設置変更許可の審査で提示したのと同じデータを用いつつ、各断面間の層序の位置関係を精査した検討が加えられている。
- 高橋ほか(2020)では、**中央構造線断層帯の長期評価（第二版）（地震本部，2017）における「佐田岬半島沿岸の中央構造線については現在までのところ探査がなされていないために活断層として認定されていない」**、「三波川帯と領家帯上面の接合部以浅の中央構造線も活断層である可能性を考慮に入れておくことが必要」との記載を踏まえ、**十分な探査データに基づき、伊予灘中部では佐田岬半島沿岸の中央構造線が活断層ではないことが報告されている。**

高橋恭平・池田倫治・佐藤彦司・足達健人・西坂直樹・大西耕造・大野裕記・露口耕治・辻 健，2020，地震探査結果に基づく四国北西部沖伊予灘海域における中央構造線の分布及び活動性，活断層研究，53，13-32.



高橋ほか(2020)の第1図から抜粋

【高橋ほか(2020)から抜粋】

- ・近年，地震本部から報告された「中央構造線断層帯（金剛山地東縁—由布院）の長期評価（第二版）」（地震本部，2017）は …（中略）… 三波川帯と領家帯上面の接合部以浅の中央構造線も活断層である可能性を考慮に入れておくことが必要としている。同時に，伊予灘南縁，佐田岬半島沿岸の中央構造線については現在までのところ探査がなされていないために活断層として認定されていないとしている。
- ・本稿では，これまで深部構造のデータが十分に得られていなかった伊予灘において，2004年に取得した深部を対象とした地震探査データの解析を行った。その結果，伊予灘でこれまで報告された既存の地震探査と比較して，地下数kmまでの深部構造を格段に鮮明に捉えた地震探査断面を得た。さらに，2004年及び2013年に実施した海底下浅部を対象とした地震探査データに基づき，佐田岬半島沿岸の堆積層内部の構造を明瞭に捉えた。本稿では，これらの地震探査結果に基づき，伊予灘の中央構造線及び中央構造線活断層系の分布及び活動性について検討した。
- ・中央構造線活断層系より南側に位置する和泉層群と三波川変成岩類の境界（Iz/S境界）の上端は，大局的には北東—南西方向に延びるが，直線性に乏しく海岸線に沿って大きく湾曲し，中央構造線活断層系の分布とは対応しない。また，伊予灘中部ではIz/S境界の上端を覆う新第三系及び第四系はほぼ水平で，第四紀以降の活動は認められない。

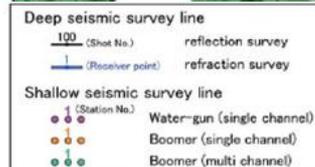
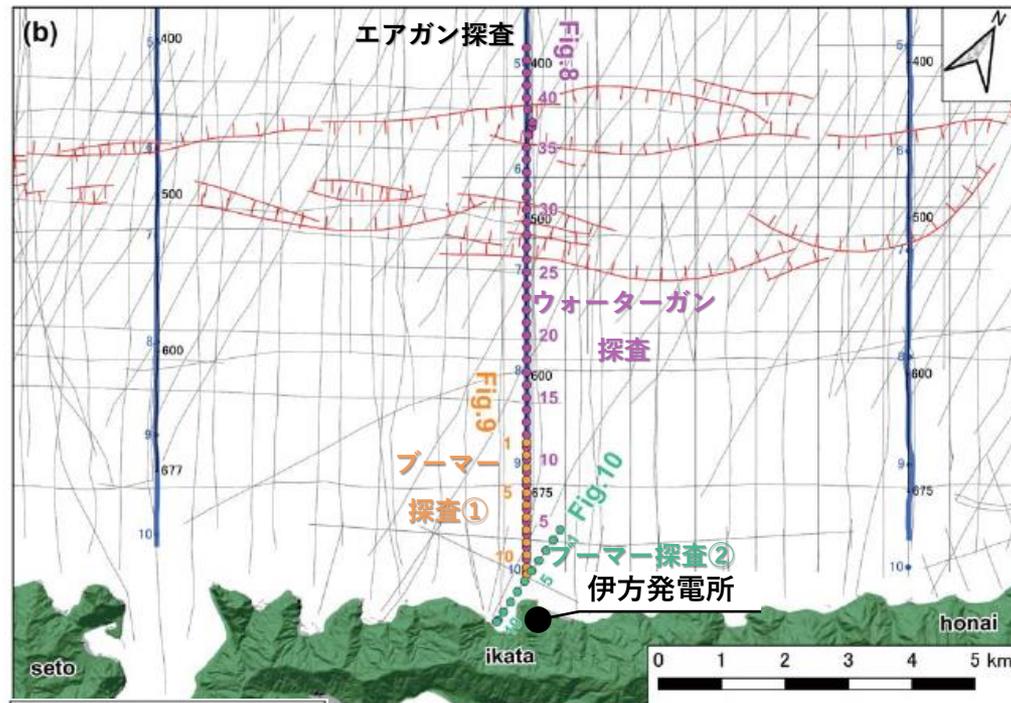
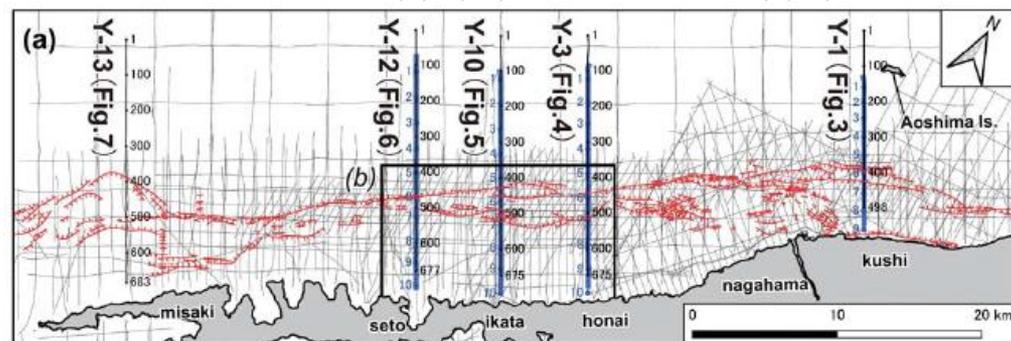
深部構造および浅部構造の検討に用いられた探査データ

- 高橋ほか(2020)では、伊予灘の深部および浅部の構造が検討されている。その検討に用いられた探査データの測線は右図のとおりである。
- 地下数kmまでの**深部構造の検討**には、2004年に同一の測線上で実施した**エアガン**を音源とした**音波探査（エアガン探査）**と**屈折法探査**のデータが用いられている。
- 一方、佐田岬半島北岸の**浅部構造の検討**には、2004年と2013年に実施した**ウォーターガン**および**ブーマー**を音源とした**音波探査**のデータが用いられている。**ウォーターガン探査**は**エアガン探査**と**同一の測線上**を佐田岬半島沿岸部まで**延伸**したものである。また、**ブーマー探査**は、ウォーターガン探査測線と**同一の測線上**から**海底谷を横断し**、**南方の湾内まで達**したものである。

【高橋ほか(2020)から抜粋】

- ・本稿で深部構造の検討に用いる地震探査データは、2004年に取得した音波探査及び屈折法探査データである（第2図a）。
- ・伊予灘中部の佐田岬半島沿岸では、2004年及び2013年に浅部構造を検討する目的の音波探査を実施した（第2図b）。この浅部音波探査は、2004年にはウォーターガン及びブーマーを音源としたシングルチャンネル方式で、2013年にはブーマーを音源としたマルチチャンネル方式で行った。
- ・浅部地震探査は、前述した伊予灘中部の**深部地震探査測線（Y-10測線；第5図）**と**同一の測線上**を伊予灘南縁の佐田岬半島沿岸まで**延伸**して実施したものである（第2図b）。
- ・海底谷を横断し南方の湾内まで達する**ブーマー・マルチチャンネル方式音波探査断面**（第10図）では、N層の明瞭な反射面が、北に傾斜するS層上面を覆ってほぼ水平に分布している。

エアガン探査(Y-1,3,10,12,13), 屈折法探査(Y-1,3,10,12)



高橋ほか(2020)の第2図に一部加筆

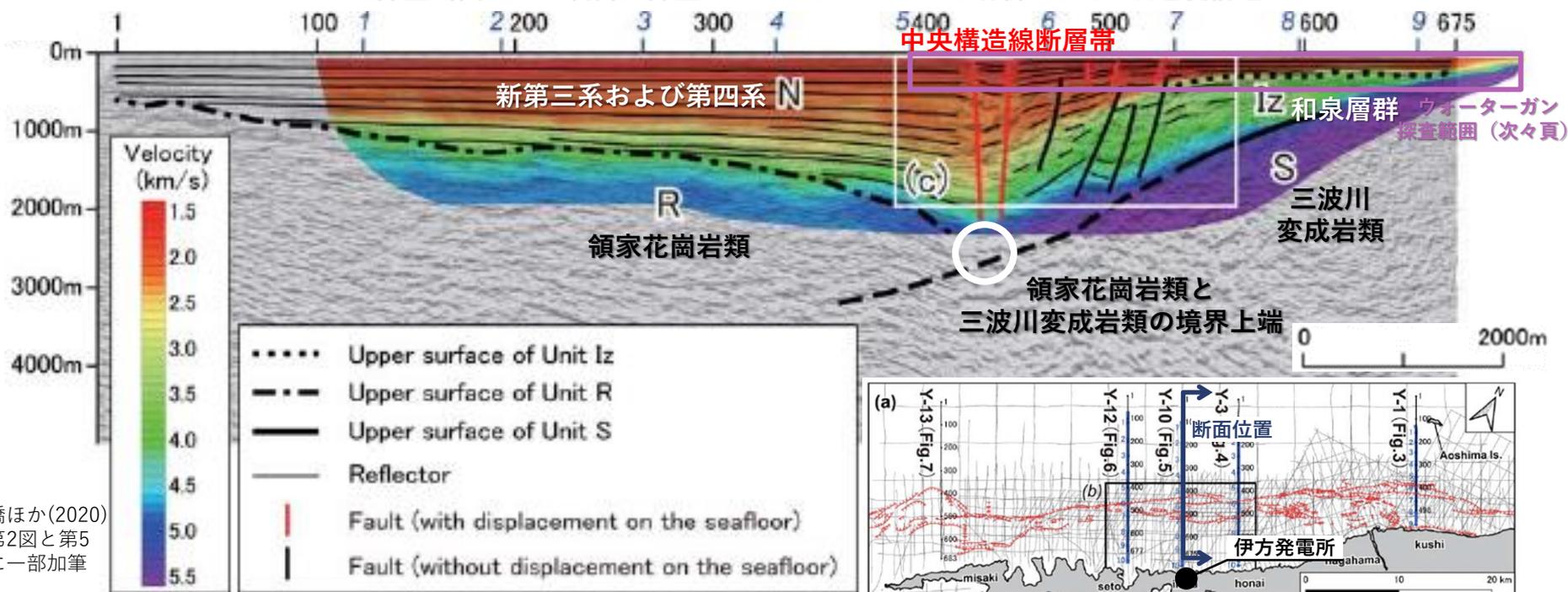
深部構造の検討(1/2)

- 高橋ほか(2020)における深部構造の検討では、**エアガン**を音源とした音波探査による**反射パターン**と**屈折法探査データのトモグラフィ解析によるP波速度構造**が重ねて表示され、層序を下位からS層、R層、Iz層、N層に区分した上で周辺陸域に分布する地層との対比が行われ、それぞれ三波川変成岩類、領家花崗岩類、和泉層群、新第三系および第四系に対比されている。
- 三波川変成岩類と領家花崗岩類が接する地質境界断層が**R/S境界**、三波川変成岩類と和泉層群が接する地質境界断層が**Iz/S境界**と呼称され、これらが**地質境界としての中央構造線**と認識されている。

【高橋ほか(2020)から抜粋】

- ・本稿では、反射法による情報である反射パターンの特徴及び不整合関係に加え、屈折法による情報であるP波速度構造に基づき、本海域の層序を下位からS層、R層、Iz層及びN層に区分した。
- ・屈折法探査のデータ解析は、屈折法探査解析ソフトウェア「SeisImager/2D (Version 3.2.0.4)」(応用地質株式会社製)を使用し、トモグラフィ解析法で行った。
- ・地震探査結果について、主にP波速度構造を基に周辺陸域に分布する地層との対比を行う。
- ・三波川変成岩類と領家花崗岩類が直接接する地質境界断層を本稿では**R/S境界**と呼ぶ。(中略)伊予灘の各断面では、三波川変成岩類及び領家花崗岩類の上位に和泉層群が分布し、三波川変成岩類と和泉層群が北傾斜する地質境界断層で接する。本稿ではこの地質境界断層を**Iz/S境界**と呼ぶ。両地質境界断層は、西南日本を内帯と外帯に分ける**地質境界としての中央構造線**と認識されている。

エアガン探査断面および屈折法探査データのトモグラフィ解析によるP波速度構造

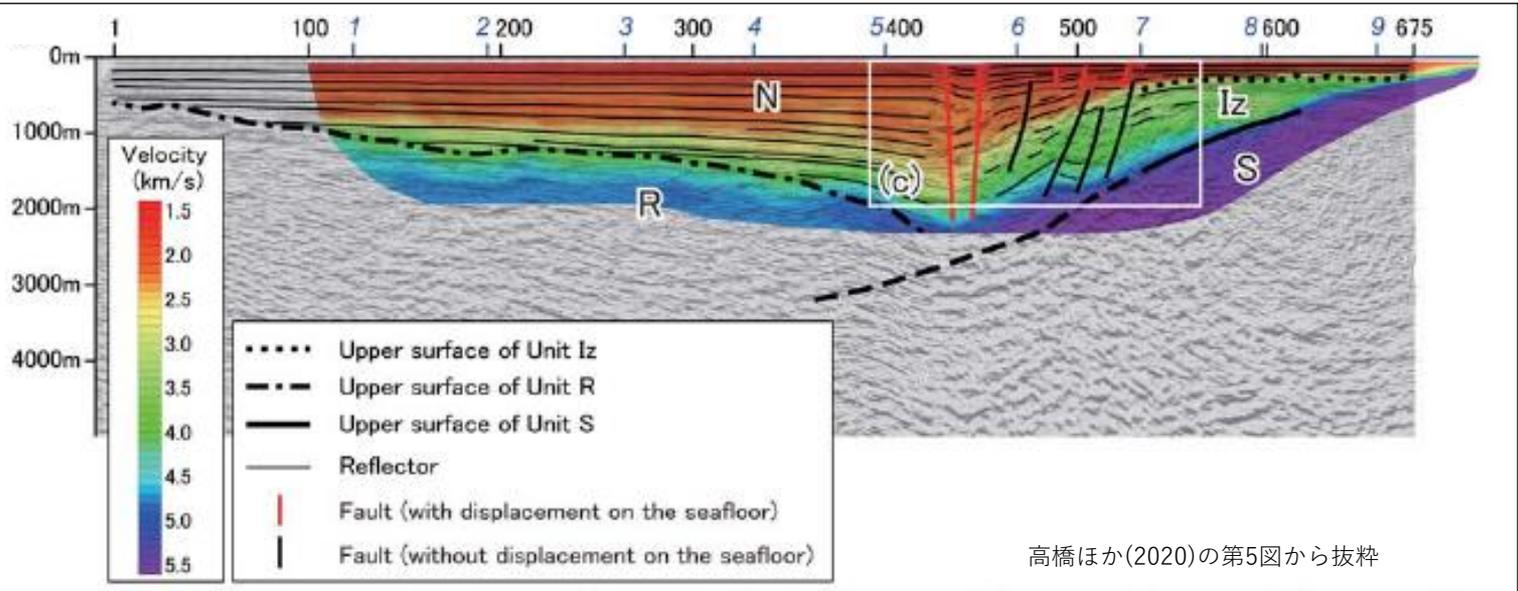


高橋ほか(2020)の第2図と第5図に一部加筆

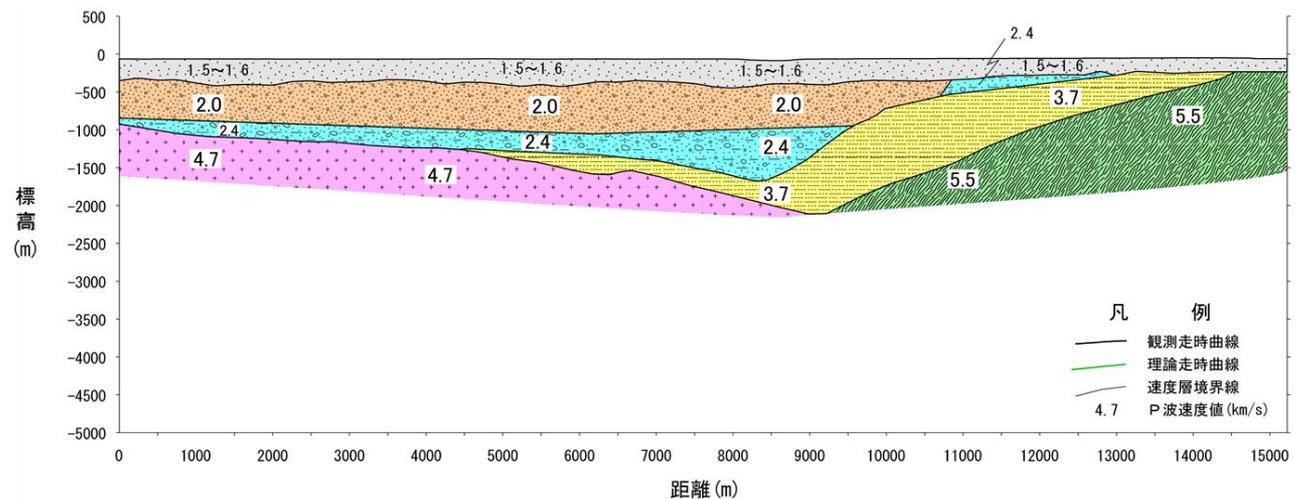
深部構造の検討(2/2)

- エアガンを音源とした音波探査による反射パターンと屈折法探査データのトモグラフィ解析によるP波速度構造を重ねて表示したことによって、三波川変成岩類と和泉層群が接する地質境界断層（Iz/S境界）が明瞭に捉えられている。

高橋ほか(2020)におけるエアガン探査断面および屈折法探査データのトモグラフィ解析によるP波速度構造



平成27年7月
設置変更許可に
おける屈折法
探査断面



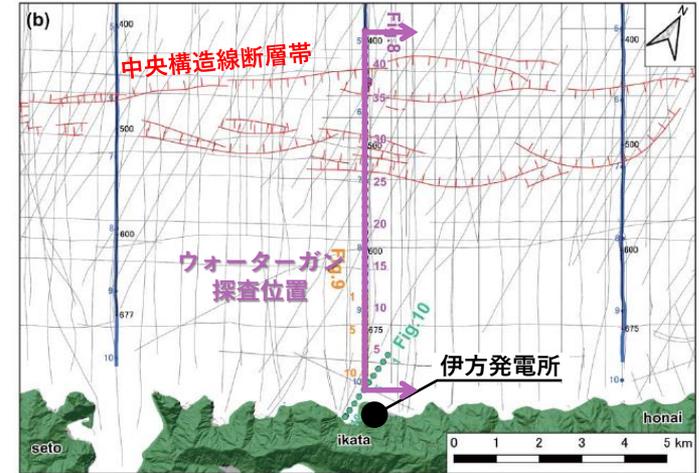
佐田岬半島北岸の中央構造線が活断層でないことを示した査読論文について
浅部構造の検討(1/2) <ウォーターガン探査>

- 高橋ほか(2020)における**浅部構造の検討**では、同一測線（前頁）の**深部探査結果を基に層序が区分されている**。
- ウォーターガン探査結果を深部探査結果と対比すると**、断面南端から北へ傾斜する三波川変成岩類と、比較的緩やかな高まりを見せる和泉層群が認められ、**地質境界としての中央構造線（Iz/S境界）上端付近を新第三系および第四系の堆積物がほぼ水平に覆うことが示されている**。

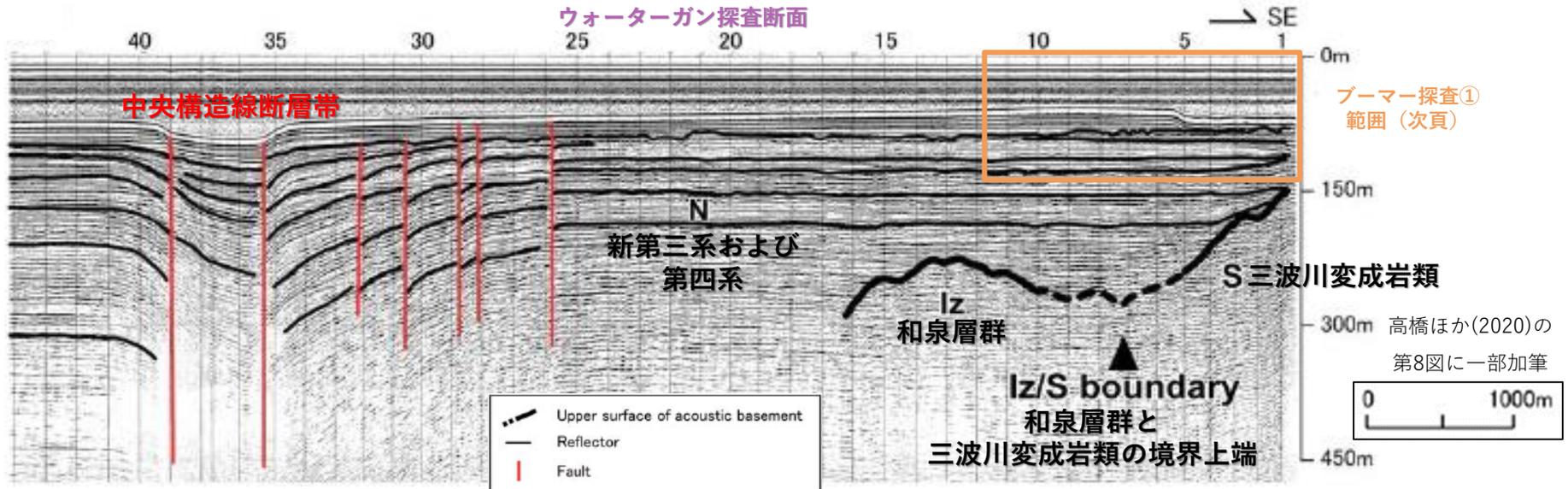
【高橋ほか(2020)から抜粋】

- ・層序区分は、深部地震探査結果を基に行った。
- ・ウォーターガン・シングルチャンネル方式音波探査断面（第8図）では、測点番号1の深度約150mから測点番号16の深度約300m付近にかけて、内部反射の乏しい音響基盤が認められる。深部地震探査結果（第5図）と対比すると、断面南端から北へ傾斜する測点番号1～7付近の音響基盤がS層に、比較的緩やかな高まりを見せる測点番号7～16付近の音響基盤がIz層に相当する。音響基盤の上位には、音響基盤にオンラップするほぼ水平な反射面が認められ、N層に相当する。
- ・伊予灘中部の浅部音波探査断面（第8図）では、沖合の新第三系及び第四系に中央構造線活断層系による変形構造が明瞭に認められる。一方で、Iz/S境界上端付近（第8図の測点番号7付近、第9図の測点番号5付近）を含む沿岸部では、**新第三系及び第四系は和泉層群及び三波川変成岩類をほぼ水平に覆っている**。

深部構造探査（エアガン探査・屈折法探査）



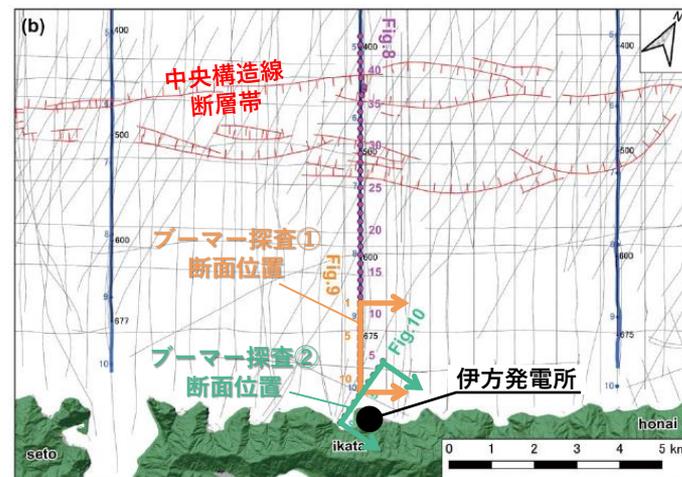
高橋ほか(2020)の第2図に一部加筆



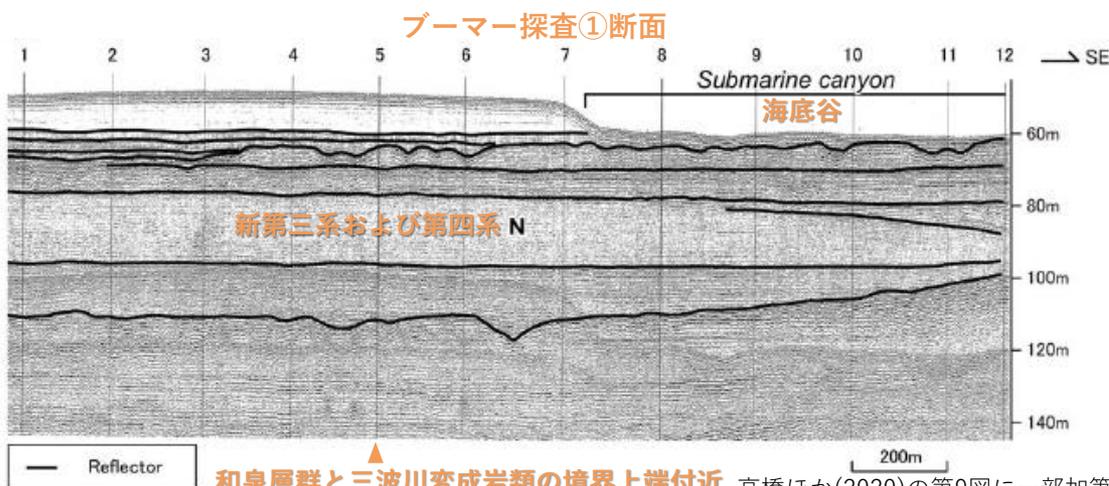
高橋ほか(2020)の第8図に一部加筆

浅部構造の検討(2/2) <ブーマー探査>

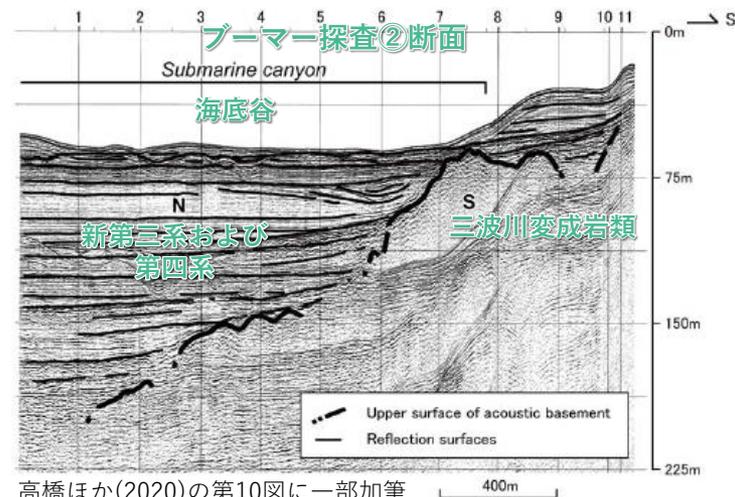
- 前頁のウォーターガン探査に加えて、同一測線上のブーマー探査結果（左下図）から、**地質境界としての中央構造線（Iz/S境界）上端付近を新第三系および第四系の堆積物がほぼ水平に覆う**ことが示されている。さらに、南方の湾内まで達するブーマー探査結果（右下図）からも、地質境界としての中央構造線（Iz/S境界）の浅部延長にあたる佐田岬半島北岸には海底谷が認められ、その下位の地層はほぼ水平で**活構造を示唆する累積的な変形は認められない**ことが示されている。
- 伊方発電所の前面にあたる伊予灘中部では、**地質境界としての中央構造線（Iz/S境界）は活断層ではない**ことが示されている。



高橋ほか(2020)の第2図に一部加筆



和泉層群と三波川変成岩類の境界上端付近 高橋ほか(2020)の第9図に一部加筆



高橋ほか(2020)の第10図に一部加筆

【高橋ほか(2020)から抜粋】

伊予灘中部の浅部音波探査断面（第8図）では、沖合の新第三系及び第四系に中央構造線活断層系による変形構造が明瞭に認められる。一方で、Iz/S境界上端付近（第8図の測点番号7付近、第9図の測点番号5付近）を含む沿岸部では、**新第三系及び第四系は和泉層群及び三波川変成岩類をほぼ水平に覆っている**。Iz/S境界の浅部延長にあたる佐田岬半島北岸には、幅約1 kmの海底谷が認められ（第9図の測点番号7～12、第10図の測点番号1～8）、その分布は豊予海峡北側の海釜付近まで達している（大野ほか、2004）。しかし、その下位の地層はほぼ水平で、**活構造を示唆する累積的な変形は認められない**ことから、この海底谷は潮流の作用により形成された構造である可能性が高い。以上のことから、伊予灘中部ではIz/S境界に第四紀以降の活動はないと判断される。

まとめ

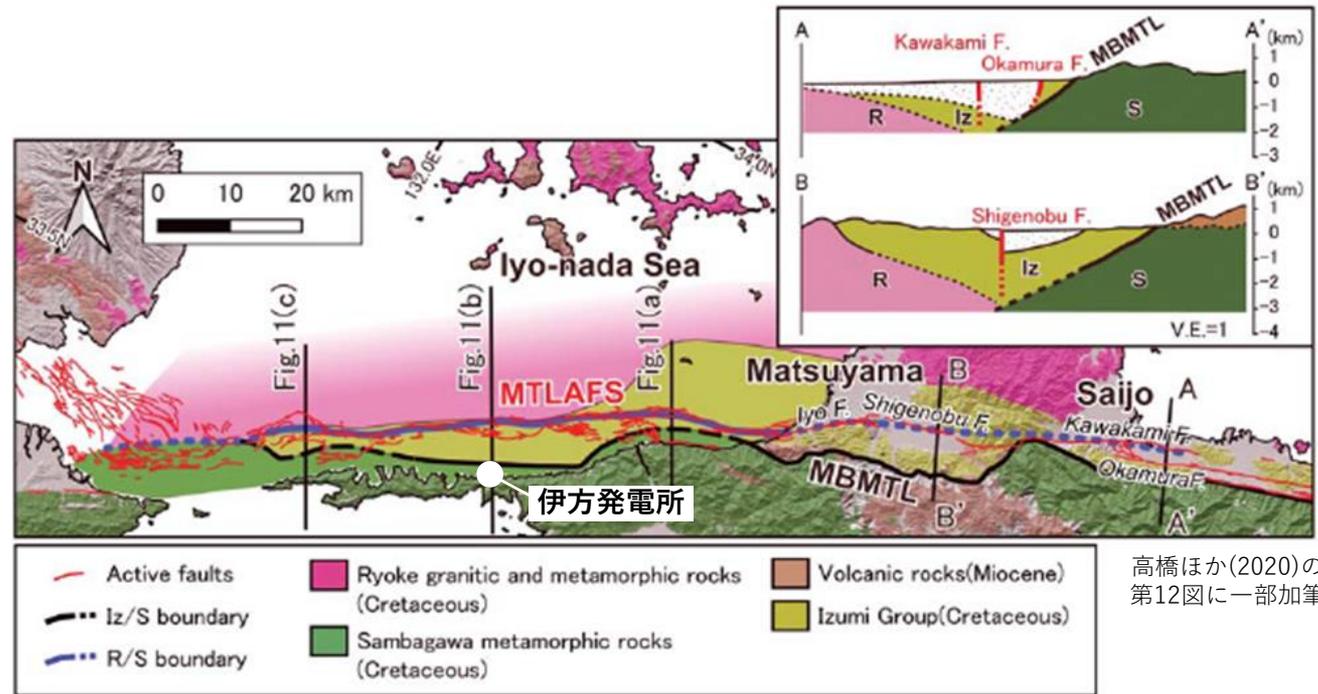
○高橋ほか(2020)の「まとめ」では、地質境界としての中央構造線に関し、以下の2点が示されている。

- ・伊予灘における領家花崗岩類と三波川変成岩類の境界（R/S境界）の上端が、中央構造線断層帯の分布と対応して北東-南西方向にほぼ直線的に延びること
- ・和泉層群と三波川変成岩類の境界（Iz/S境界）の上端は、直線性に乏しく海岸線に沿って大きく湾曲して中央構造線断層帯とは対応しておらず、伊予灘中部では活断層ではないこと

○上記の高橋ほか(2020)の結論は、平成27年7月設置変更許可における伊方発電所立地地点（半径5km）に活断層は分布しないとの当社評価の妥当性を裏付けるものである。

【高橋ほか(2020)から抜粋】

伊予灘の地質構造の解明を目的とした深部地震探査及び浅部地震探査結果から、中央構造線の分布及びその活動性を明らかにした。伊予灘における領家花崗岩類と三波川変成岩類の境界（R/S境界）の上端は、中央構造線活断層系の分布と対応して北東-南西方向にほぼ直線的に延びる。一方で、中央構造線活断層系より南側に位置する和泉層群と三波川変成岩類の境界（Iz/S境界）の上端は、大局的には北東-南西方向に延びるが、直線性に乏しく海岸線に沿って大きく湾曲し、中央構造線活断層系の分布とは対応しない。また、伊予灘中部ではIz/S境界の上端を覆う新第三系及び第四系はほぼ水平で、第四紀以降の活動は認められない。このような中央構造線と関わる地質構造は伊予灘と四国西北部で共通しており、今後、伊予灘を西端部とする長大な中央構造線活断層系と中央構造線の関係を検討する上で、極めて重要な基礎的情報となる。



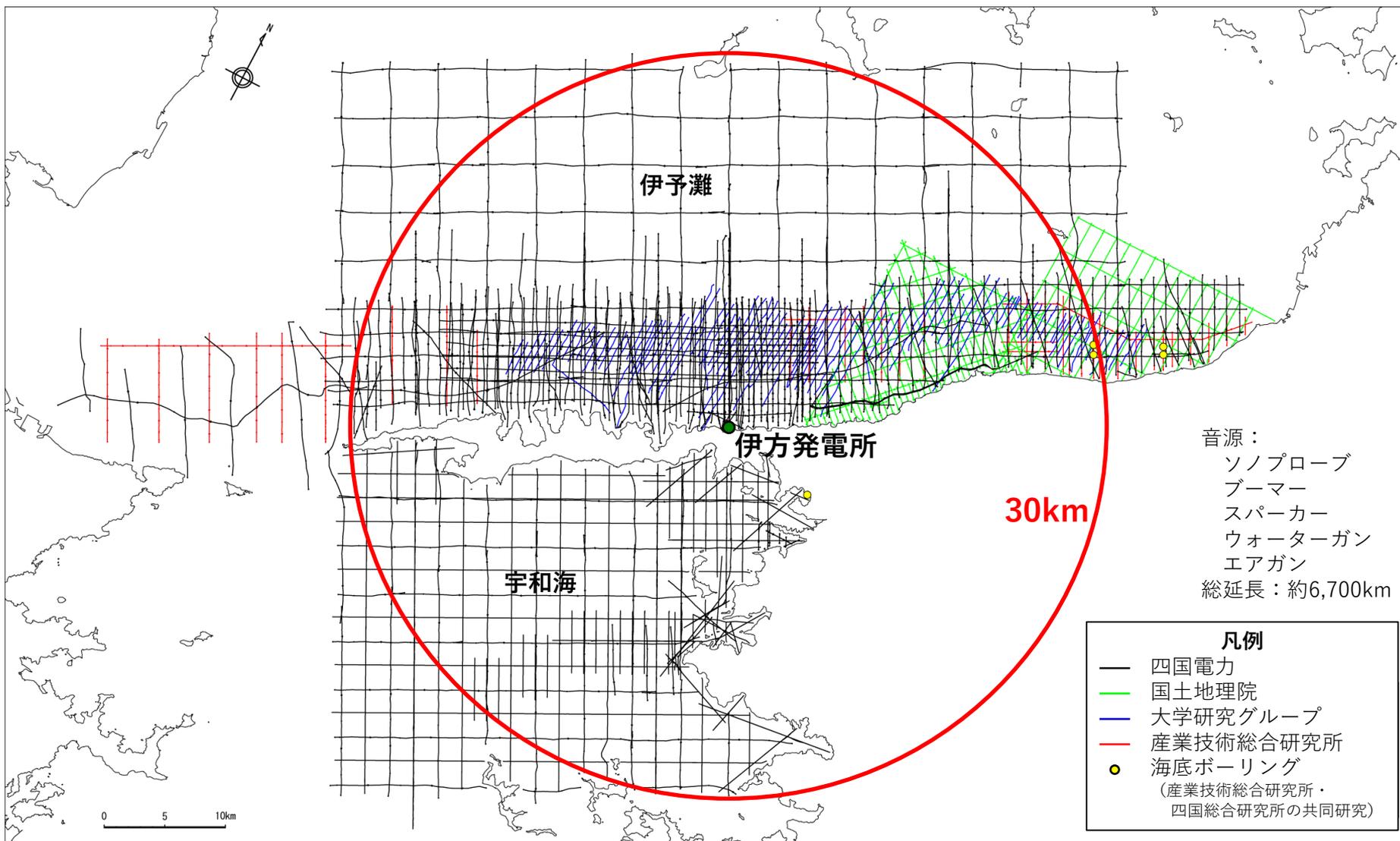
高橋ほか(2020)の第12図に一部加筆

佐田岬半島北岸の中央構造線が活断層でないことを示した査読論文について

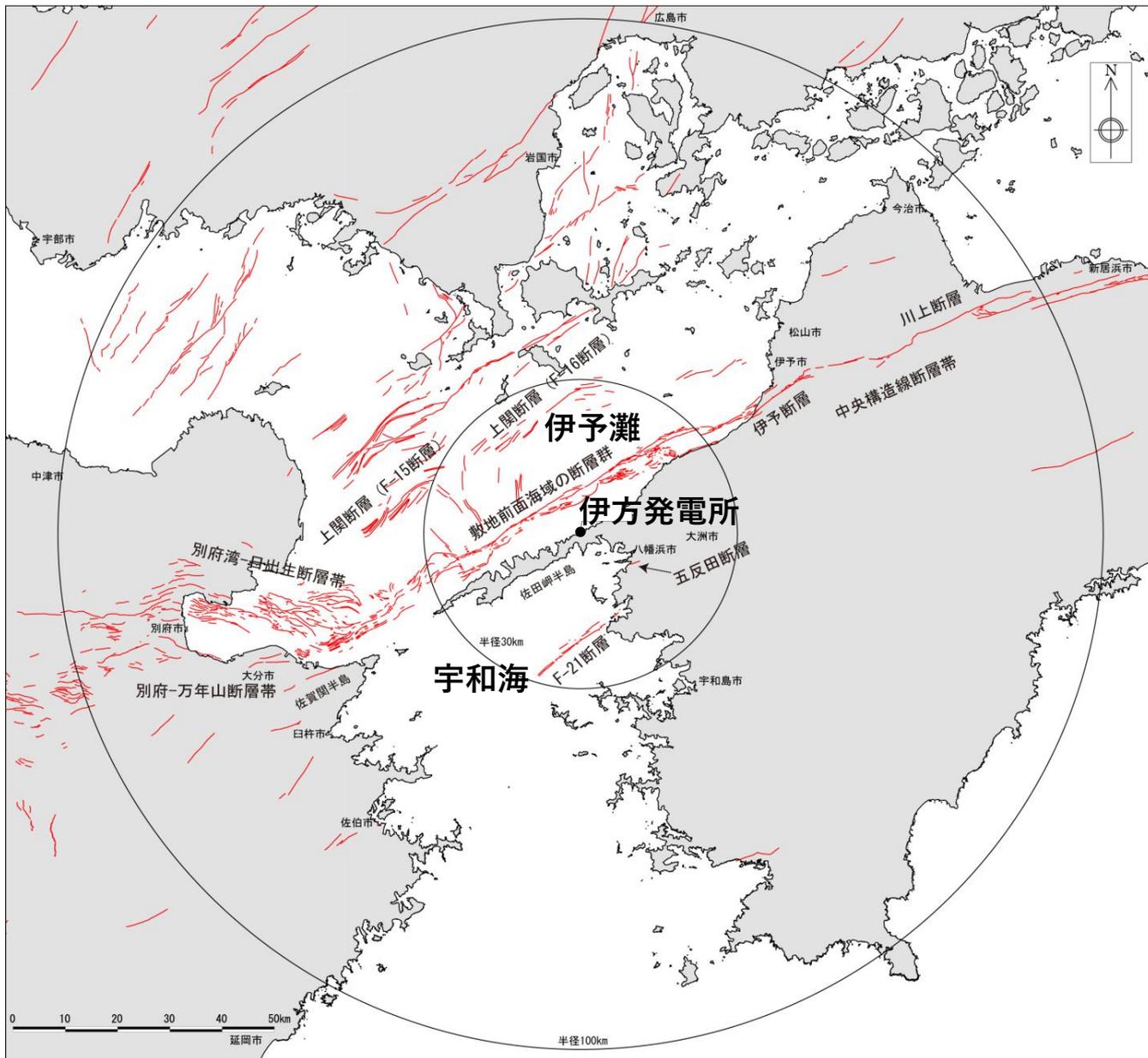
【参考資料】

平成27年7月設置変更許可における活断層評価について

海上音波探査測線図



敷地周辺の活断層分布



○伊方発電所において、最も影響の大きい活断層は敷地の沖合い約8kmを通過する中央構造線断層帯であり、東北東-西南西走向で右横ずれの性状を示す。

○敷地は活動度の高い中央構造線断層帯の南方に位置し、伊方発電所立地地点（半径5km）に活断層は分布しない。

【活断層分布図の出典】

中田 高・今泉俊文編，2002，活断層詳細デジタルマップ。

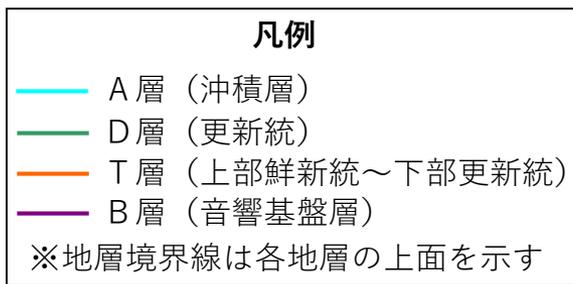
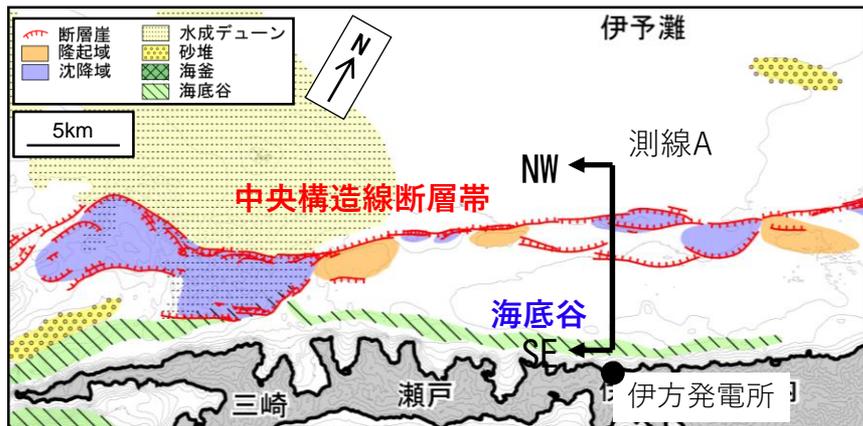
産業技術総合研究所活断層・地震研究センター，2012，活断層データベース，<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index.html>。

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，28，79-84。

七山 太・池田倫治・大塚一広・三浦健一郎・金山清一・小林修二・長谷川 正・杉山雄一・佃栄吉，2002，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，産業技術総合研究所地質調査総合センター，活断層・古地震研究報告，2，141-152。

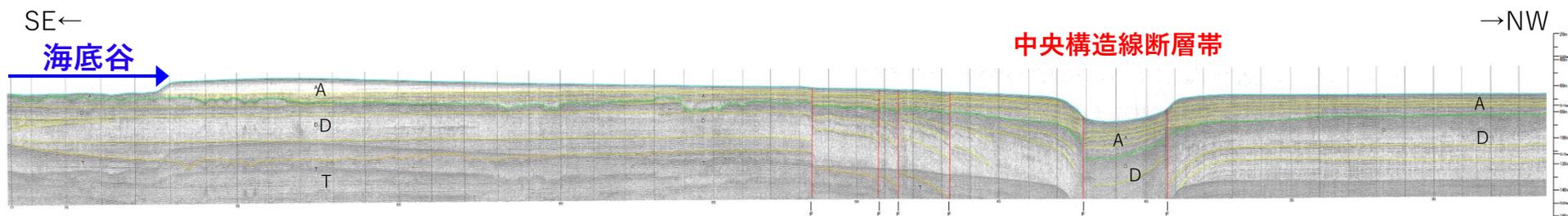
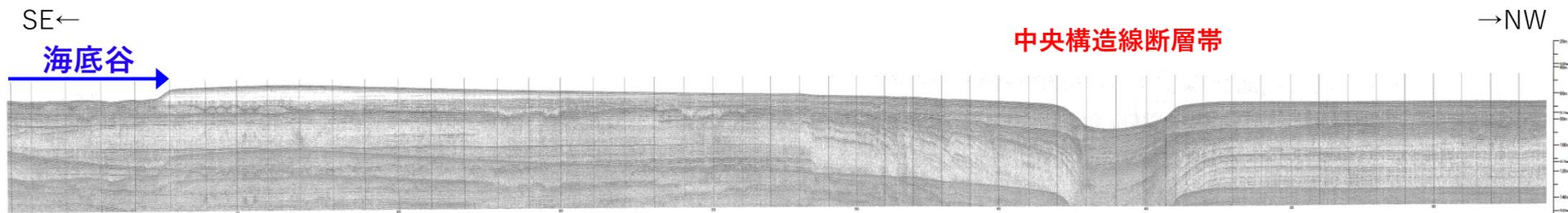
田中雅章・小西克文・國西達也・清水雄一・高智英二郎，2010，瀬戸内海西部海域における活断層の発見とそのテクトニクスについて，日本応用地質学会平成22年度研究発表会，93。

中央構造線断層帯～佐田岬半島北岸の海上音波探査記録

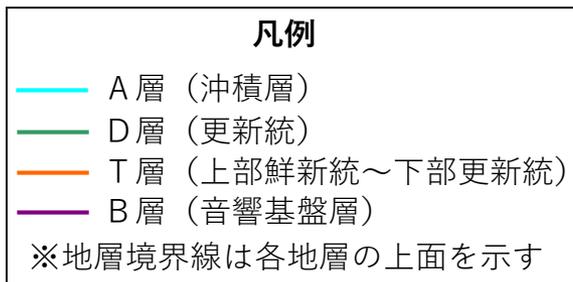
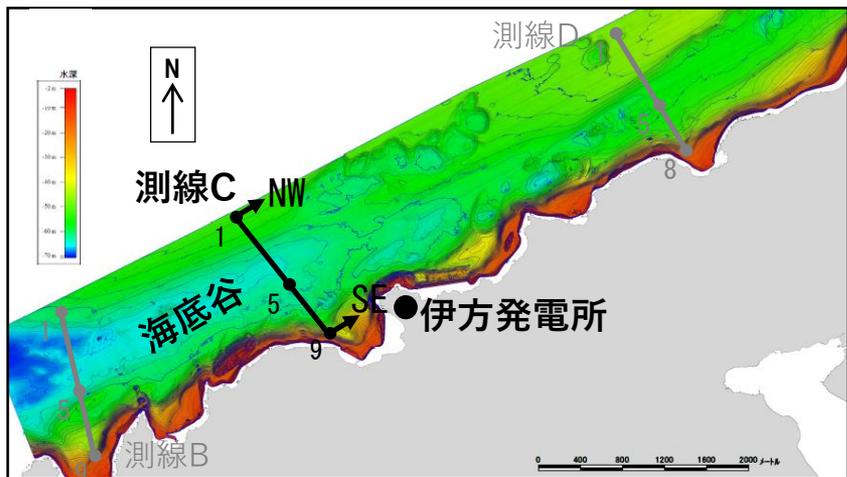


○海底谷のところで
水平な地層が削られており、海底谷
は潮流による侵食を受けて形成され
たと評価される。

約500m
V. E. ≒ 10



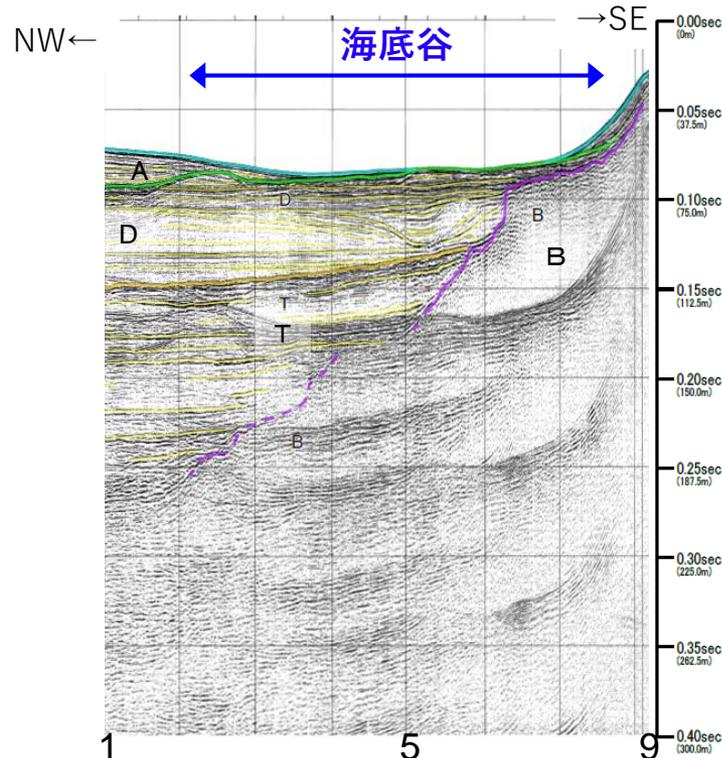
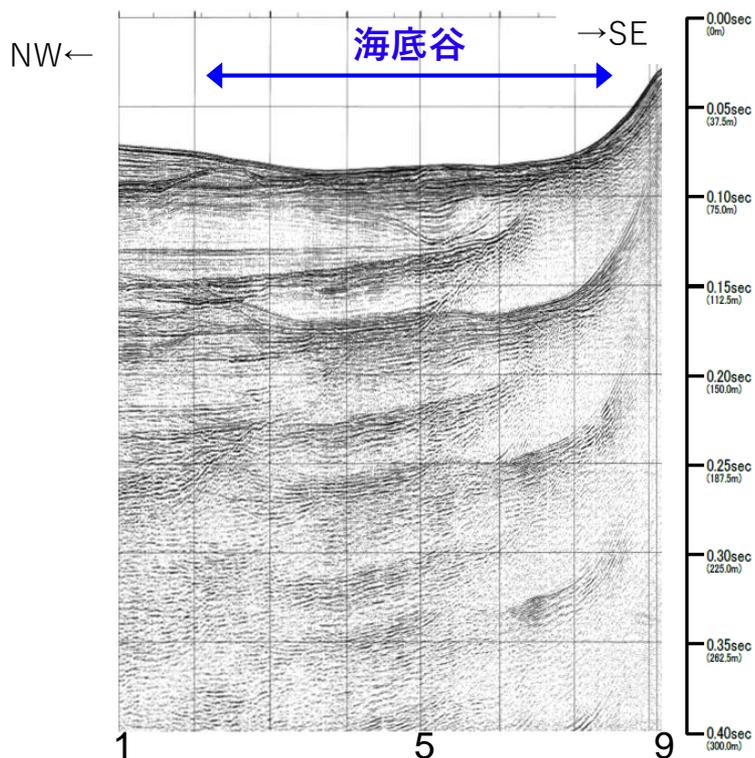
佐田岬半島北岸の海底谷を横断する海上音波探査記録

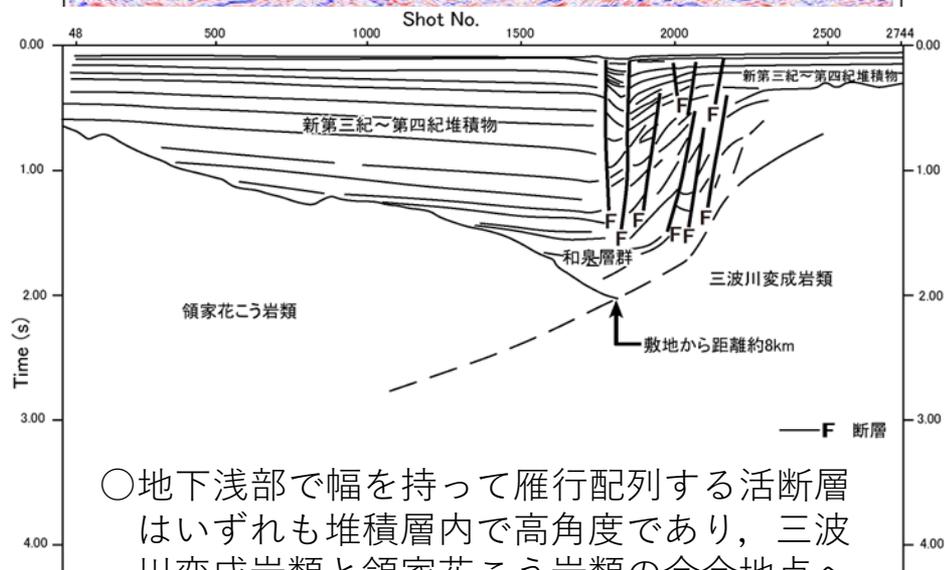
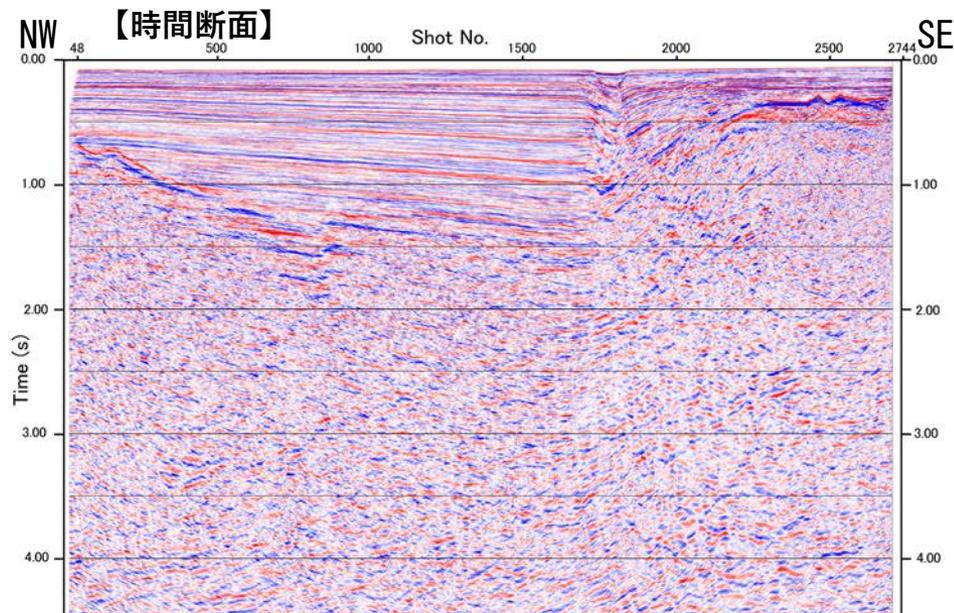


○海底谷のところで
水平な地層が削られており、海底谷
は潮流による侵食
を受けて形成され
たと評価される。

約200m

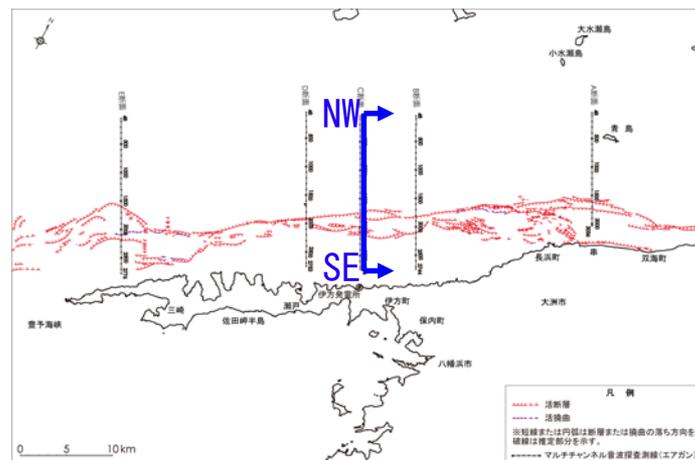
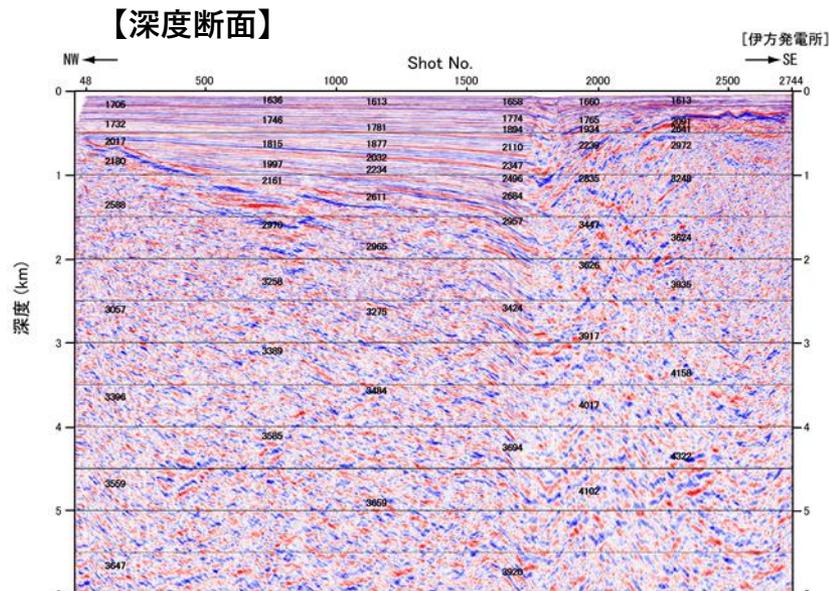
V. E. ≒ 6



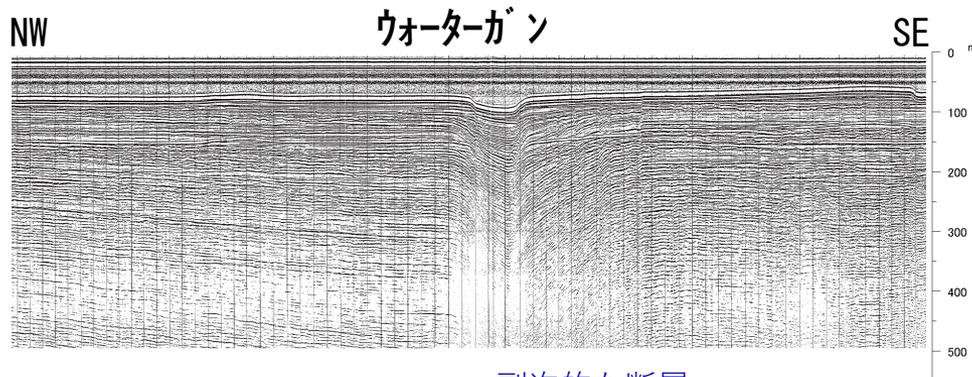
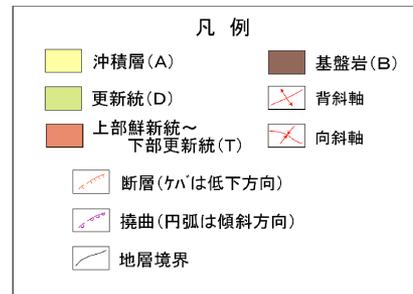
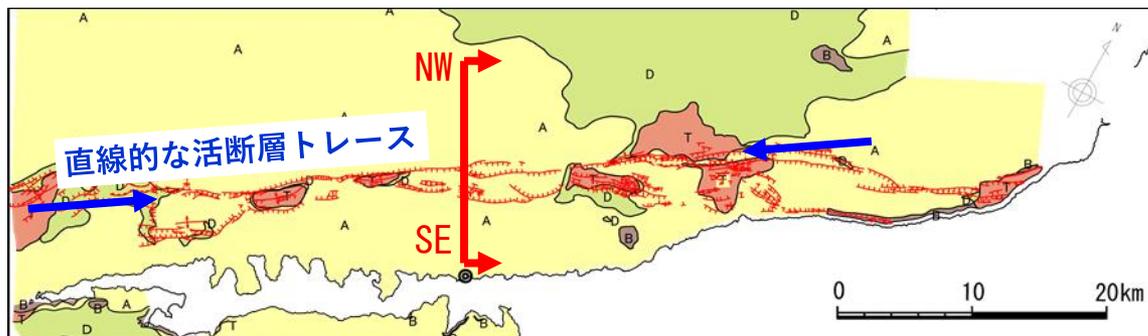


○地下浅部で幅を持って雁行配列する活断層はいずれも堆積層内で高角度であり，三波川変成岩類と領家花こう岩類の会合地点へ収斂する。

エアガン探査断面図



伊予灘における探査記録(3/4) <ウォーターガン探査>

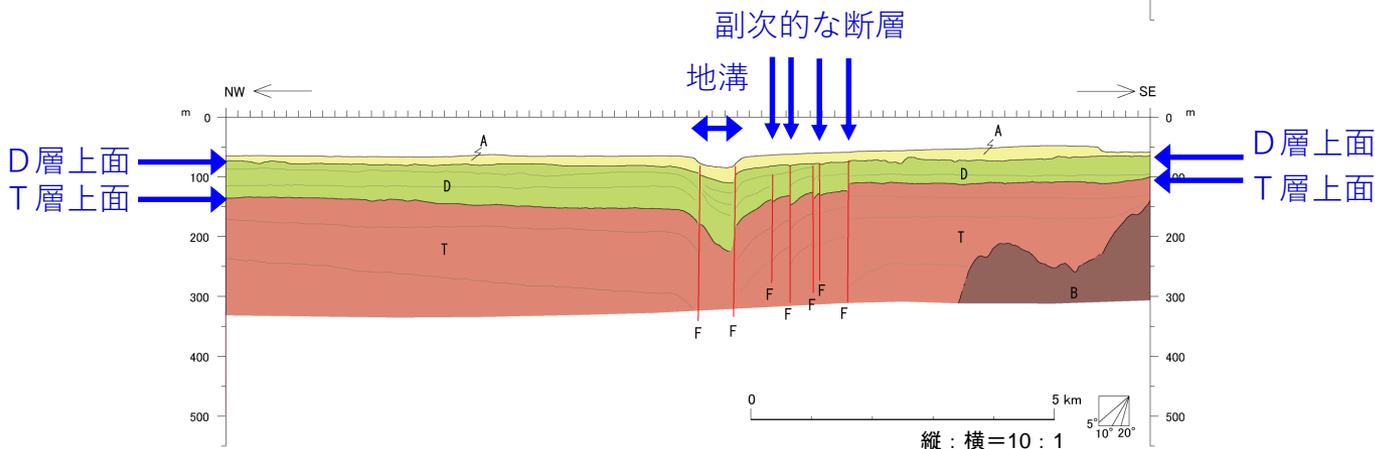


○中央構造線断層帯は、沖積層を変位させ、海底面にも変形を与える高角の活断層として認められる。

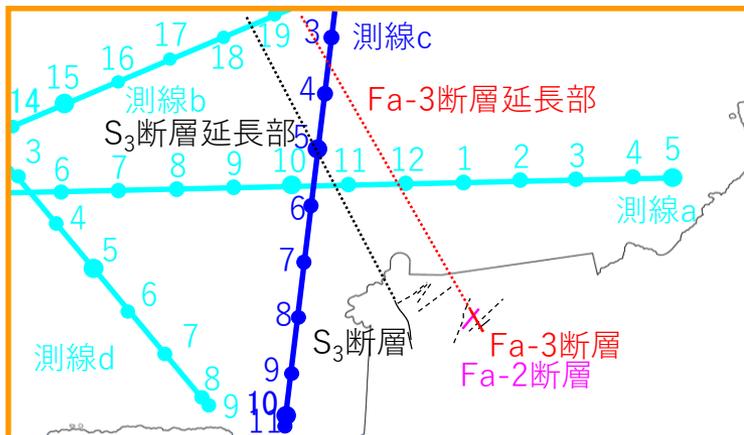
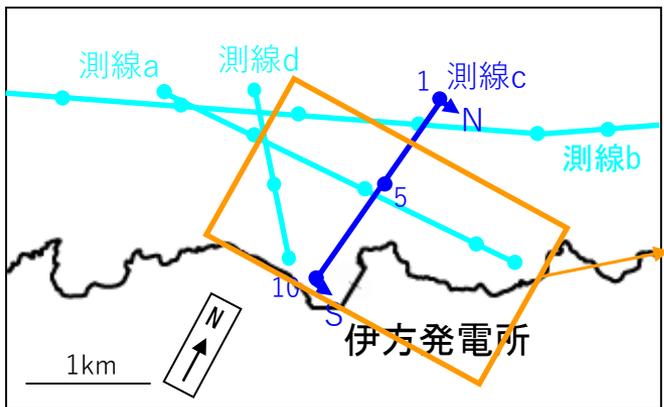
○非常に直線的な活断層トレースを示す。

○断層分布域の南北でD層上面に顕著な標高差は認められず、横ずれの卓越する断層運動が推定される。

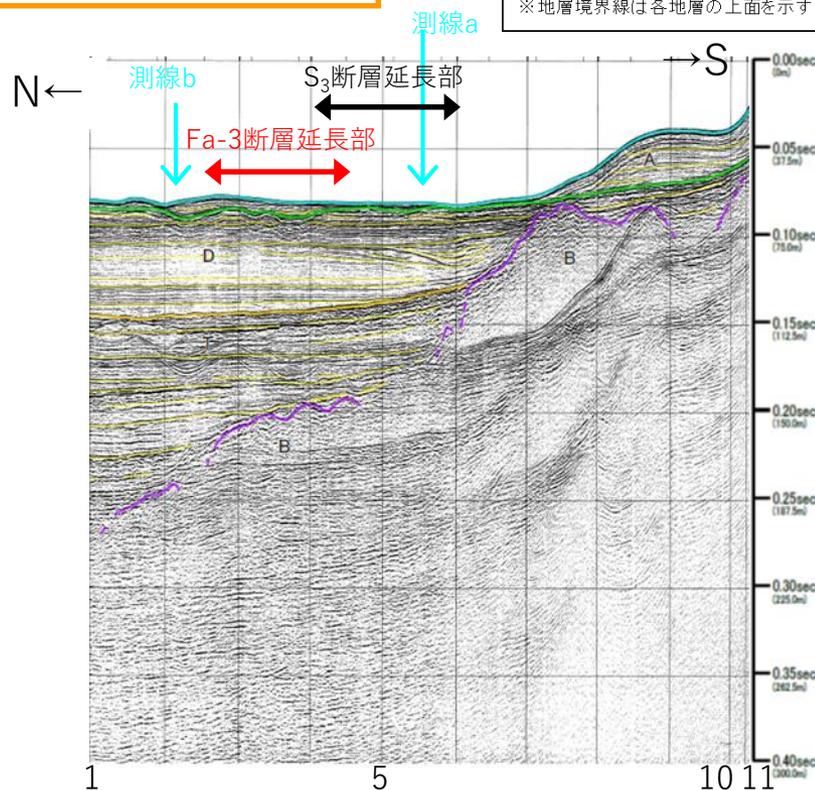
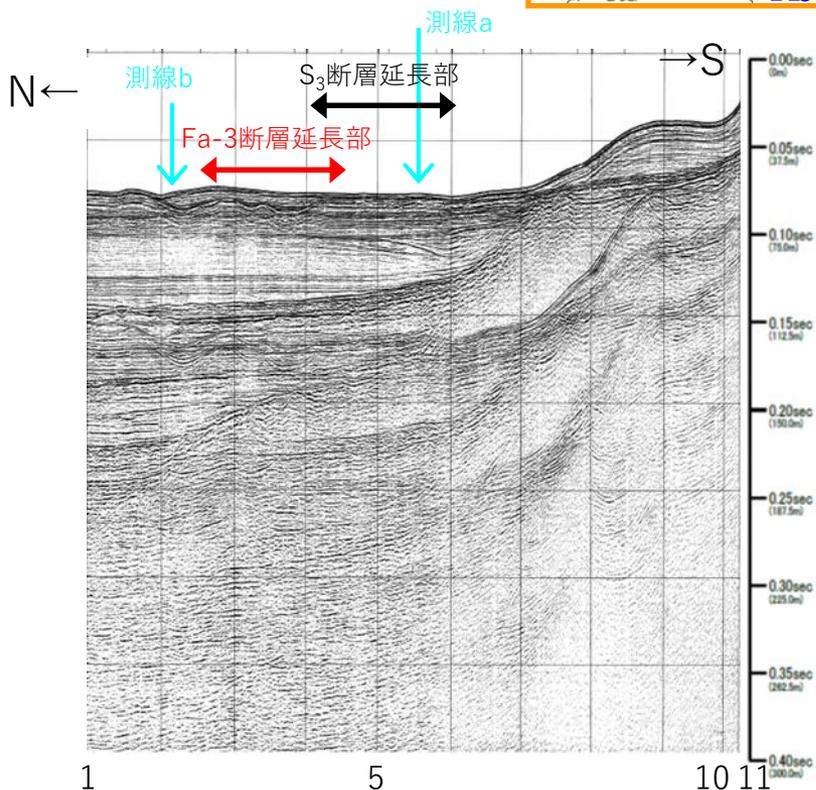
○変位の累積しているT層上面では、断層分布域の南北でやや北落ちの標高差が認められ、わずかに正断層成分を有すると推定される。



伊予灘における探査記録(4/4) <ブーマー探査>



○測線c (ブーマー) において活断層は認められない。



V. E. ≒6
約200m