

伊方発電所3号炉

地盤(敷地周辺の地質・地質構造)について

令和5年2月28日

四国電力株式会社

- I. 地質調査の概要 P2
- II. 伊方発電所立地地点の地域性 . . . P9
- III. 中央構造線断層帯の評価 P38
- IV. 敷地近傍の地質・地質構造 P70
- V. 地質調査の信頼性 P83

-
- I. 地質調査の概要**
 - II. 伊方発電所立地地点の地域性**
 - III. 中央構造線断層帯の評価**
 - IV. 敷地近傍の地質・地質構造**
 - V. 地質調査の信頼性**

地質調査の概要①

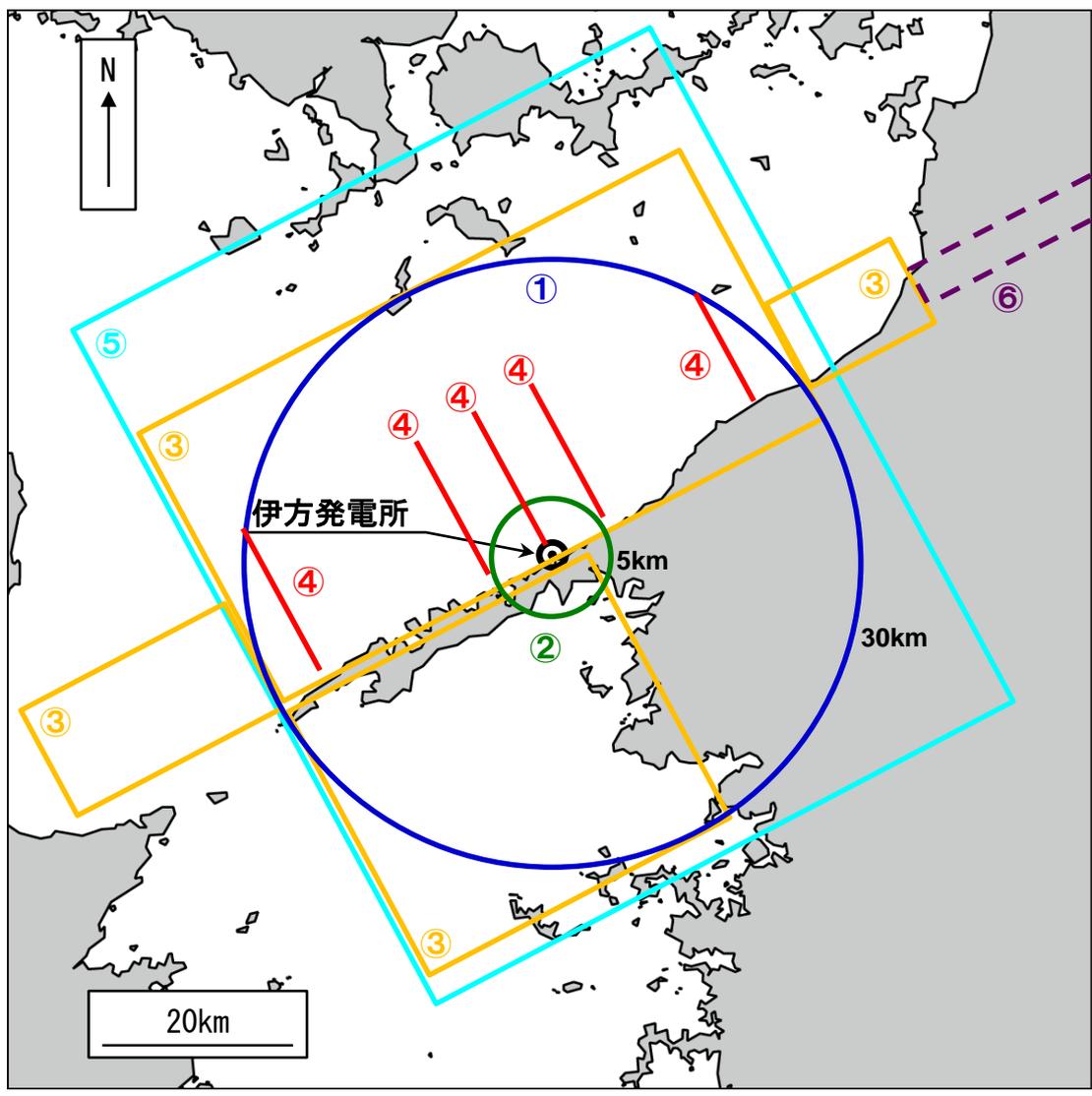
○陸域の調査・検討

- ・既往文献調査
- ・地形調査
(DEMデータ取得, 変動地形に着目した地形判読)
- ・地表地質調査
(地表踏査, ボーリング調査, トレンチ調査)
- ・深部地下構造調査
(深部ボーリング調査, 反射法地震探査, 重力測定, MT探査)

○海域の調査・検討

- ・既往文献調査
- ・海底地形調査
(音響測深, DEMデータ取得, 変動地形に着目した地形判読)
- ・海底下浅部の調査
(海上音波探査, 他機関の海上音波探査記録を総合した解析)
- ・深部地下構造調査
(エアガン海上音波探査, 屈折法探査, ヘリコプター重力測定)

地質調査の概要②



①地形調査

DEMデータの取得，音響測深，変動地形に着目した地形判読

②深部ボーリング調査・地表地質調査

敷地における深さ2,000mまでの深部ボーリングと敷地近傍における地表踏査によって詳細な地下構造を把握

約90m 縦・横=約1:1

地表(深度0m)

深度5m 孔D

深度160m 孔C

(500m)

深度500m 孔B

(1,000m)

地震計設置

(1,500m)

深度2,000m 孔A

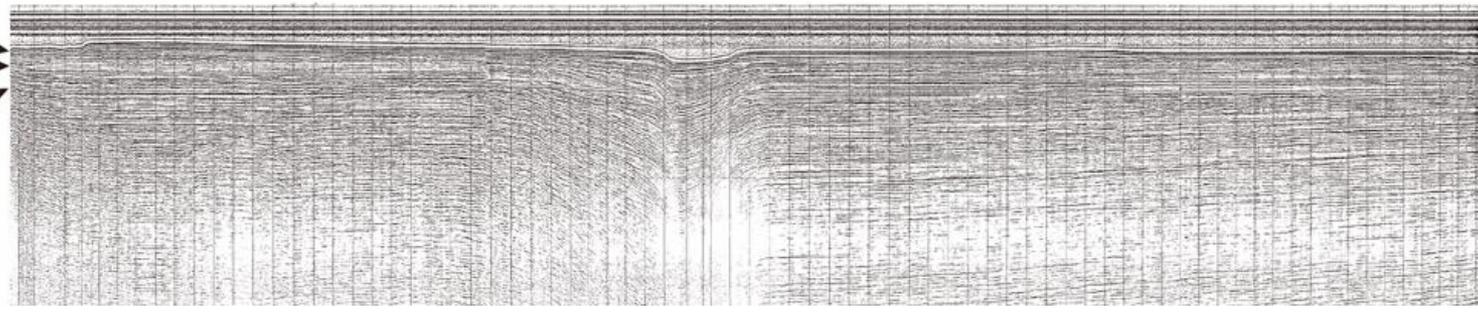
(2,000m)

地震計設置断面図

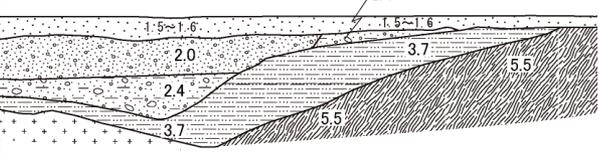
地質調査の概要③

③海上音波探査 海域の詳細な地質・地質構造を把握

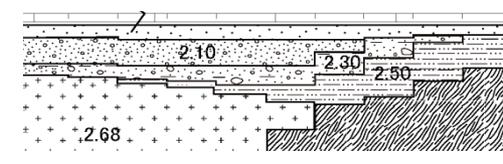
D層上面
T層上面
B層上面



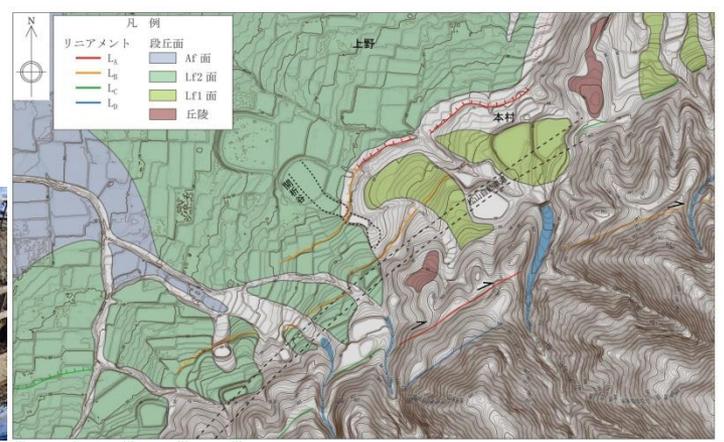
④エアガン海上音波探査, 屈折法探査 地下深部の速度構造を把握



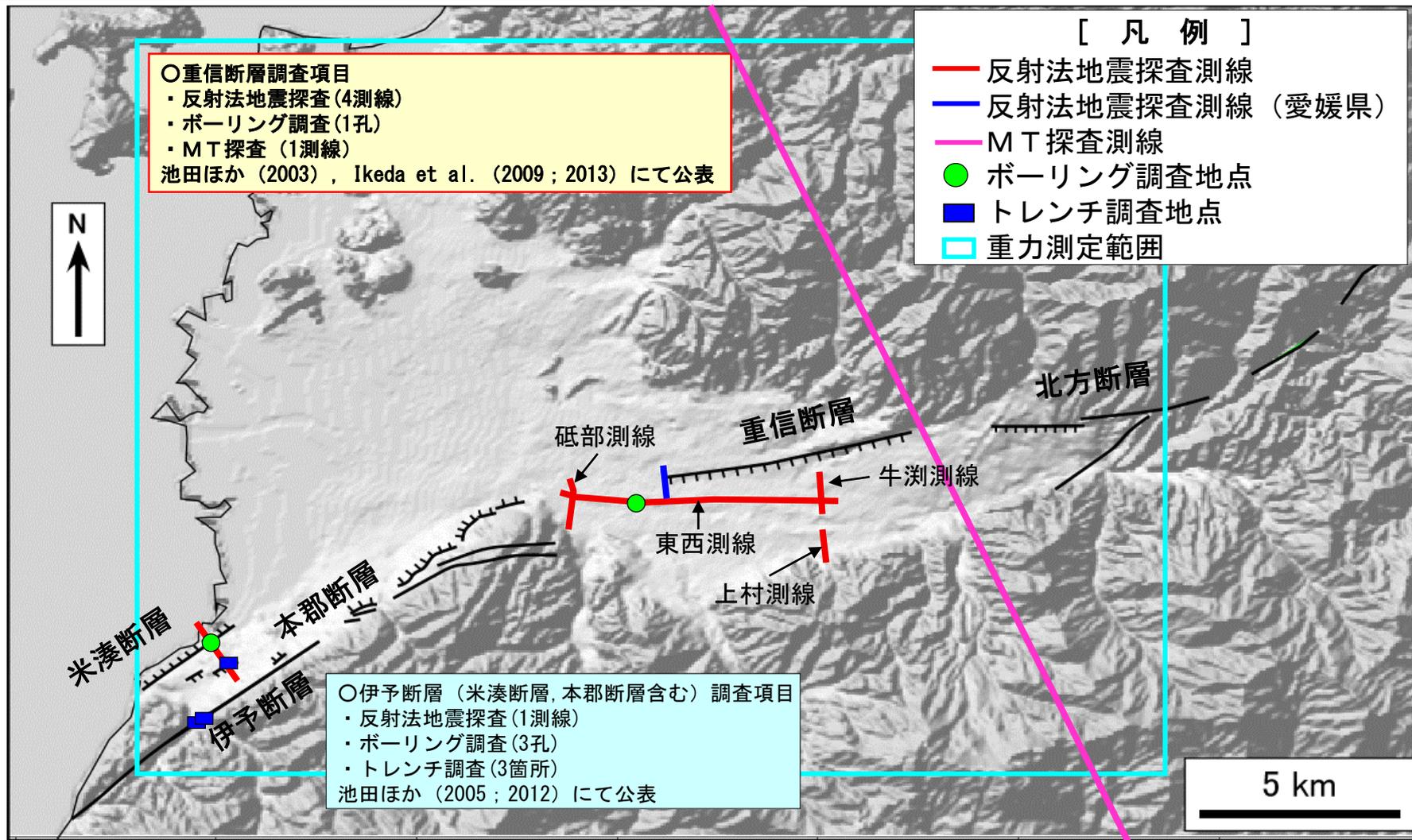
⑤重力測定 地下深部の密度構造を把握



⑥陸域の中央構造線断層帯を対象とする調査 地形調査 (DEMデータの取得, 地形判読) 地表地質調査 (地表踏査, ホーリング調査, トレンチ調査) 地球物理学的調査 (反射法地震探査, 重力測定, MT探査)



四国北西部陸域における調査位置



池田倫治・大野一郎・大野裕記・岡田篤正, 2003, 四国北西部地域の中央構造線活断層系の地下構造とセグメンテーション, 地震, 2, 141-155.

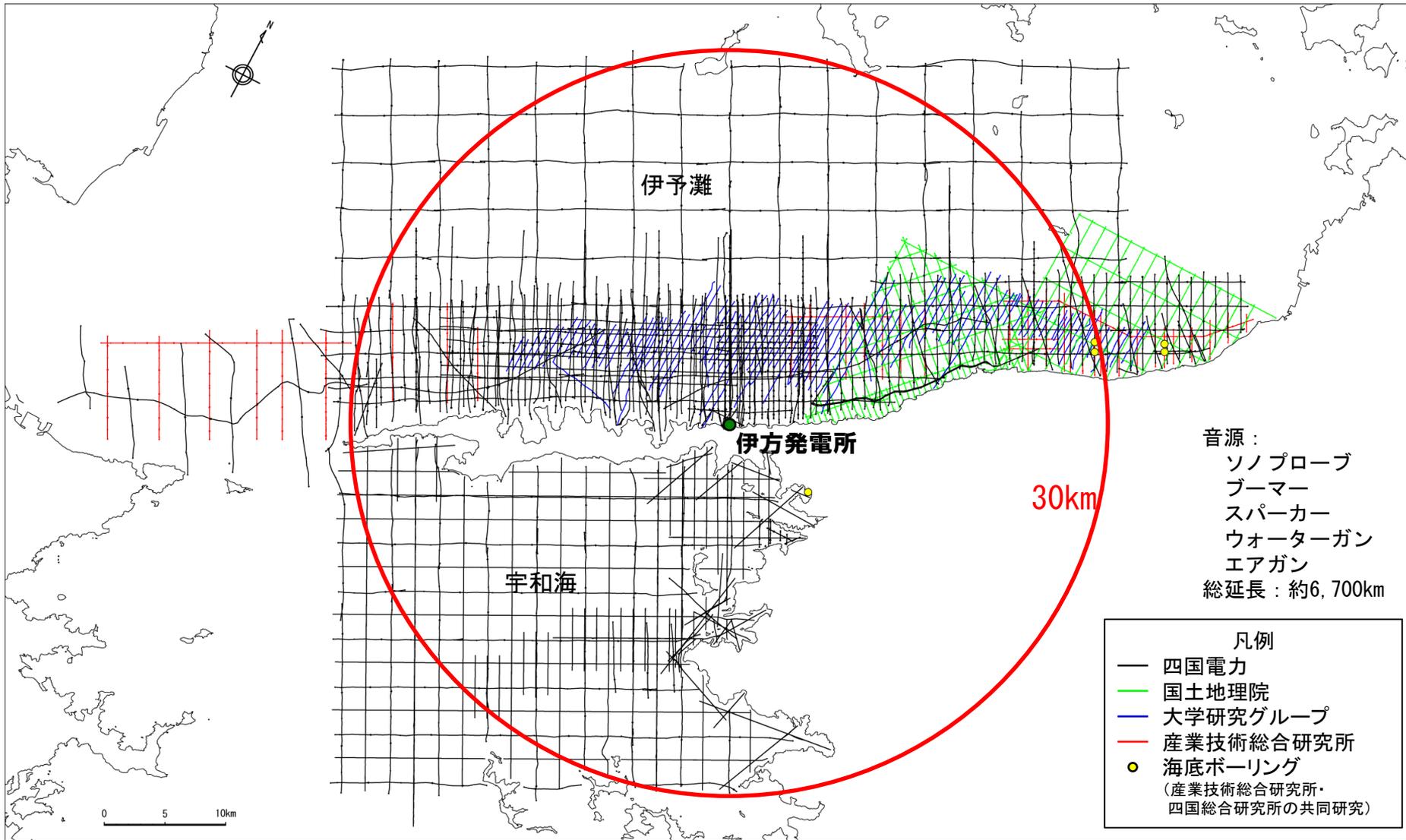
池田倫治・大野裕記・長谷川修一・岡田篤正, 2005, 四国北西部中央構造線活断層系, 米湊断層および本郡断層の地下構造と活動履歴, 地震, 2, 419-439.

Ikeda M., S. Toda, S. Kobayashi, Y. Ohno, N. Nishizaka, I. Ohno, 2009, Tectonic model and fault segmentation of the Median Tectonic Line active fault system on Shikoku, Japan, Tectonics, 28, TC5006, 1-22.

池田倫治・後藤秀昭・堤 浩之・露口耕治・大野裕記・西坂直樹・小林修二, 2012, 四国北西部の中央構造線活断層系伊予断層の完新世活動履歴, 地質学雑誌, 118, 220-235.

Ikeda, M., S. Kato, N. Nishizaka, Y. Ohno, K. Matsuo, M. Kishimoto, 2013, Magnetotelluric imaging of the Median Tectonic Line in western Shikoku, southwest Japan: Implications of the fault-related low-resistivity zone, 601, 78-86

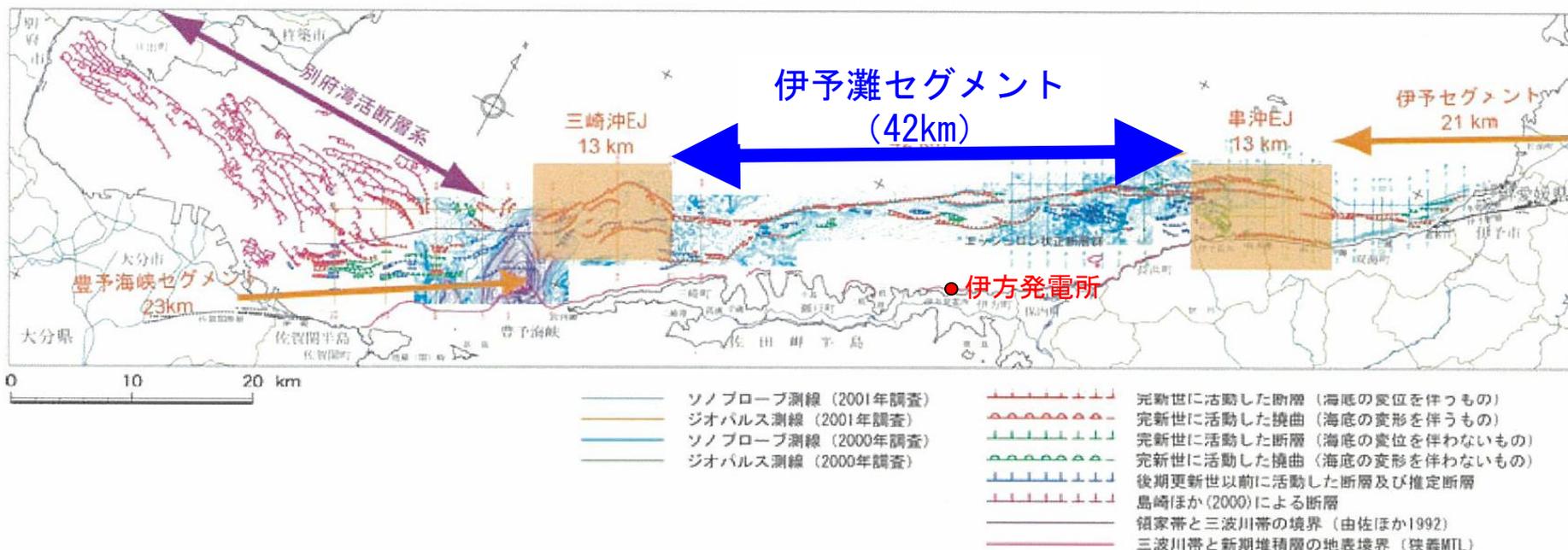
海上音波探査測線図



敷地前面海域(伊予灘)における活断層評価(七山ほか, 2002)

「伊予灘～佐賀関沖MTL活断層系の広域イメージとセグメント区分」(七山ほか, 2002)

- ソノプローブおよびジオパルスを音源とする高分解能音波探査の実施, さらには四国電力, 国土地理院, 大学研究グループによる既存の音波探査記録の再解析によって, 詳細な活断層分布を解明するとともに浅層の地質構造を把握。
- 陸域の伊予断層が海域の活断層群に連続することを確認。
- 串沖および三崎沖に認められる大規模な引張性ジョグを重視し, これらをセグメント境界と位置づけた。

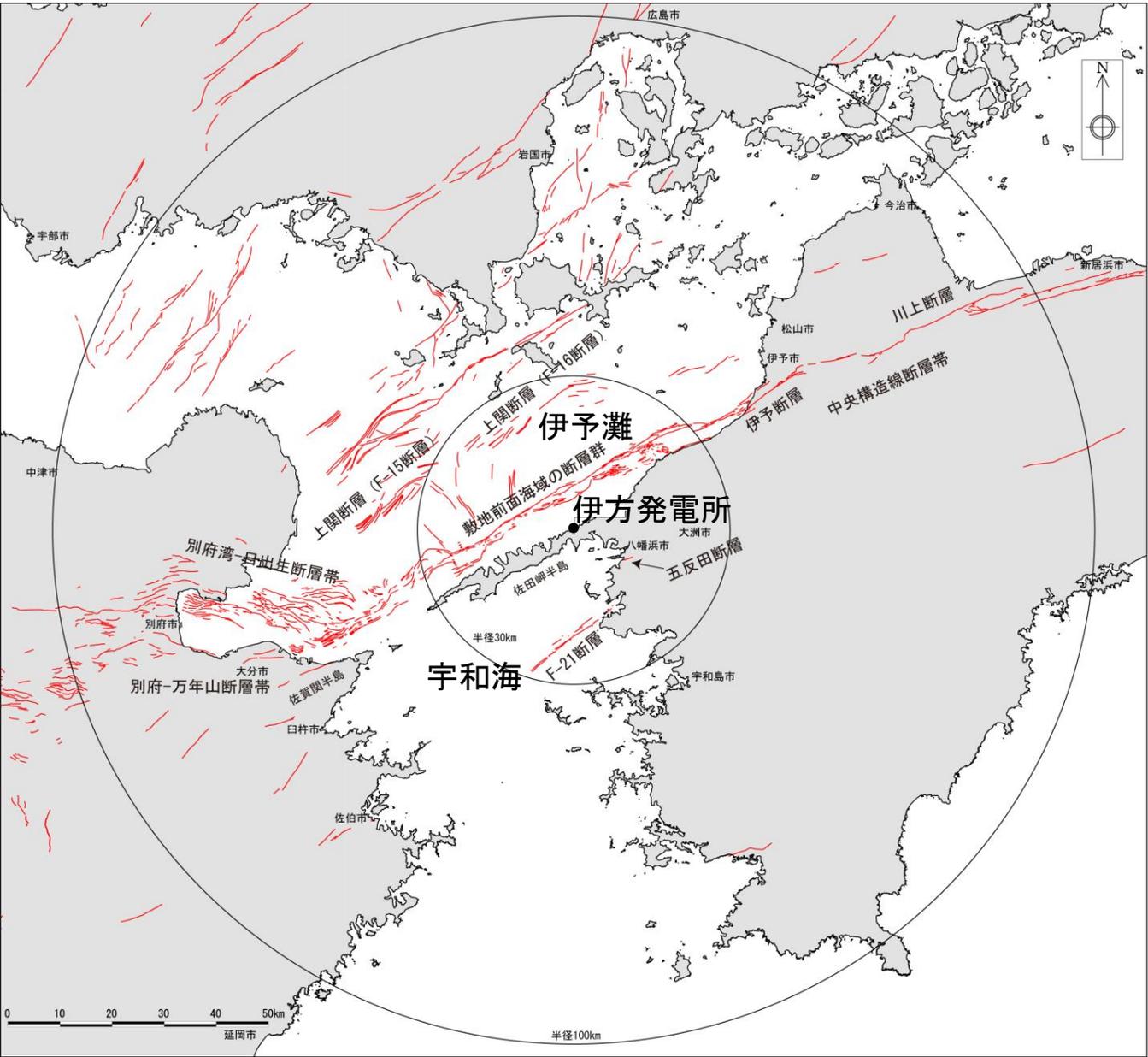


第8図. 伊予灘～別府湾域における活断層の分布とセグメント区分. 海底地形データは株式会社四国総合研究所による. 本図の作成には, 今回の探査結果に加えて, 四国電力株式会社(1984), 国土地理院(1992a, 1992b, 2001), 松岡・岡村(2000), 島崎ほか(2000)等のデータを用いた. 陸域の米湊断層および伊予断層は岡田ほか(1998), 本郡断層は長谷川ほか(1999), 佐賀関断層は吉岡ほか(1997)による.

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

-
- I. 地質調査の概要**
 - II. 伊方発電所立地地点の地域性**
 - III. 中央構造線断層帯の評価**
 - IV. 敷地近傍の地質・地質構造**
 - V. 地質調査の信頼性**

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.

※敷地に影響を及ぼす地震の選定については次ページに詳述

敷地に影響を及ぼす地震の選定

■ 当社の調査に基づく敷地周辺30km内の活断層

・敷地前面海域の断層群:① (L=54km 断層最短距離 8km)

・F-21断層:⑫ (L=22km 断層最短距離 16km)

・五反田断層:⑬ (L=15km 断層最短距離 9km)

五反田断層は地質評価上の長さは2kmであるが、地震動評価上は、長さ15kmとした

■ 敷地から離れた主な活断層

<当社調査に基づくもの>

・伊予セグメント:② (L=33km 断層最短距離 28km)

<その他機関での評価に基づくもの>

活断層の長期評価において、地震調査研究推進本部が評価結果を公表(2011)

・中央構造線断層帯(金剛山地東縁-伊予灘区間):①~⑨ (L=約360km 断層最短距離 8km)

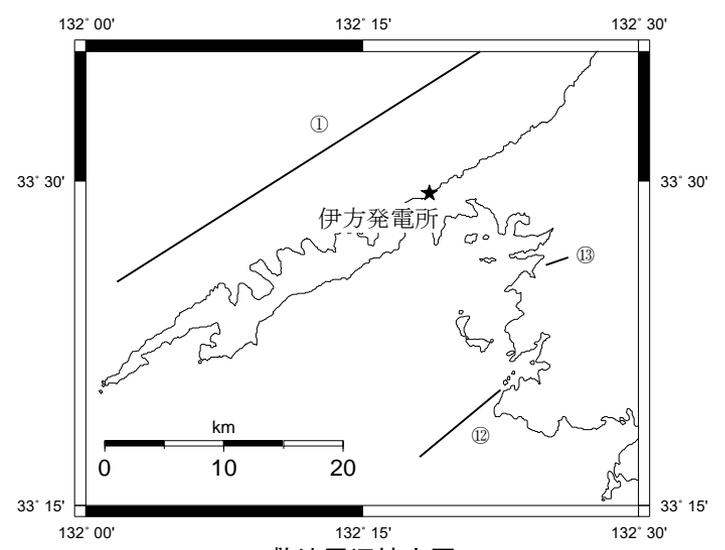
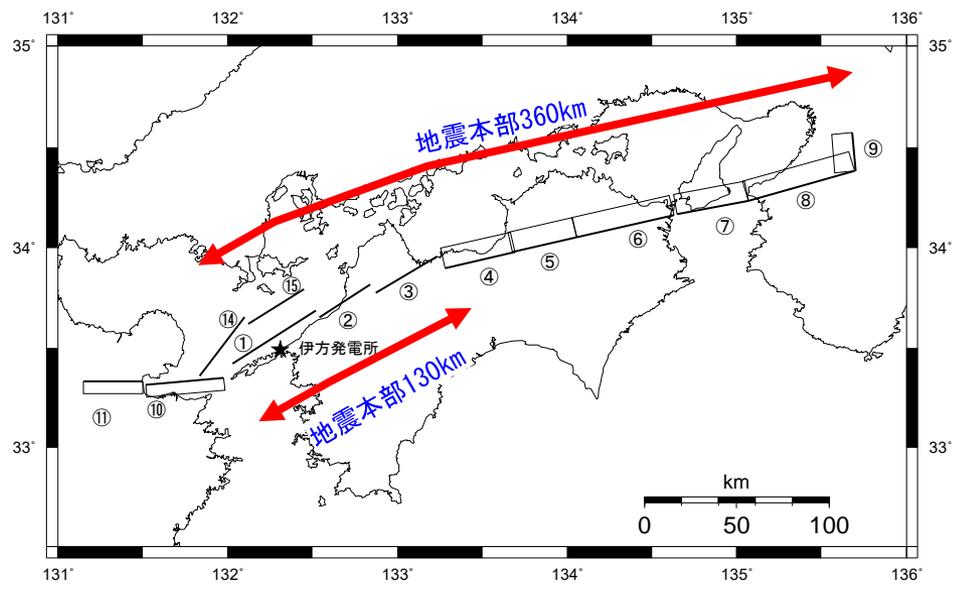
・中央構造線断層帯(石鎚山脈北縁西部-伊予灘区間):①②③ (L=約130km 断層最短距離 8km)

・別府湾-ひじょう日出生断層帯:⑩⑪ (L=76km 断層最短距離 36km)

・上関断層(F-15断層):⑭ (L=48km 断層最短距離 32km)

・上関断層(F-16断層):⑮ (L=32km 断層最短距離 22km)

地震調査研究推進本部は中央構造線断層帯と別府湾-日出生断層帯が連動する可能性も言及

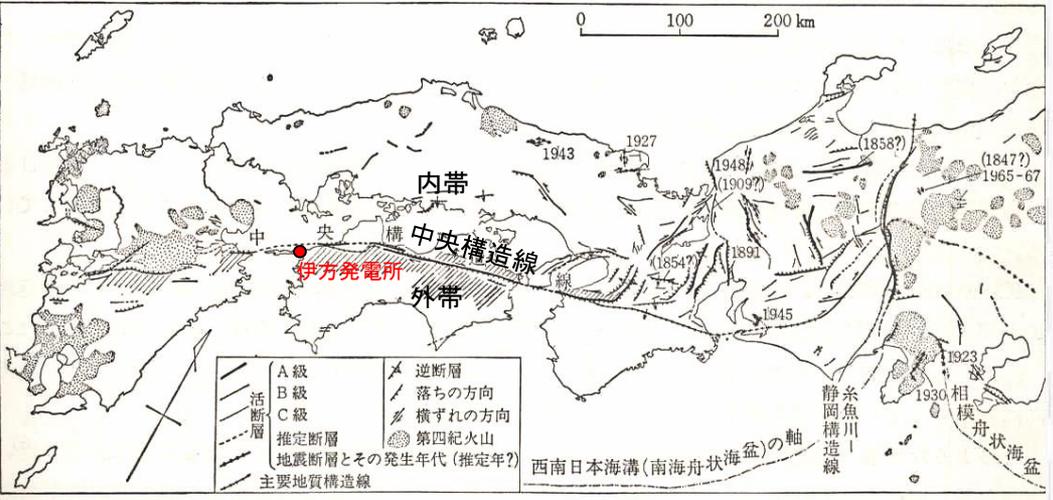
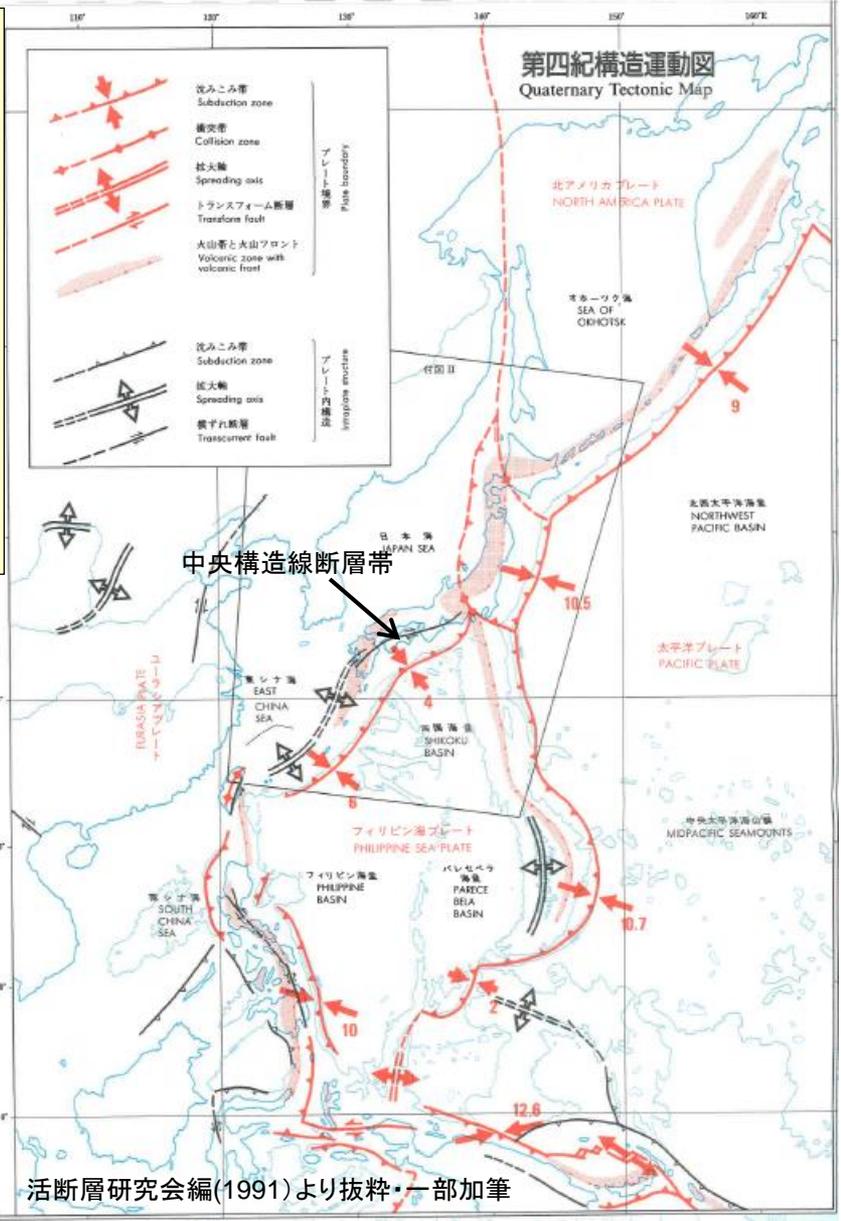


敷地周辺拡大図



中央構造線の概要

- 中央構造線は西南日本を縦走して内帯の領家帯と外帯の三波川帯とに2分する地質構造上の大境界（断層）線であるとともに紀伊半島から四国では活断層である。中央構造線は、長い活動史の中で活動様式を変遷してきているが、少なくとも第四紀後半では**右横ずれ主体**である（岡田，1973など）。
- 活断層としての中央構造線（以下，中央構造線断層帯と呼ぶ。）は、フィリピン海プレートの斜め沈み込みに起因する島弧中央断層であり，東西～東北東-西南西走向である（岡田・安藤，1979など）。
- 中央構造線の南側（外帯）に位置する伊方発電所の周辺ではフィリピン海プレートの斜め沈み込み運動に起因して活断層が形成されており，フィリピン海プレートの影響が支配的である。

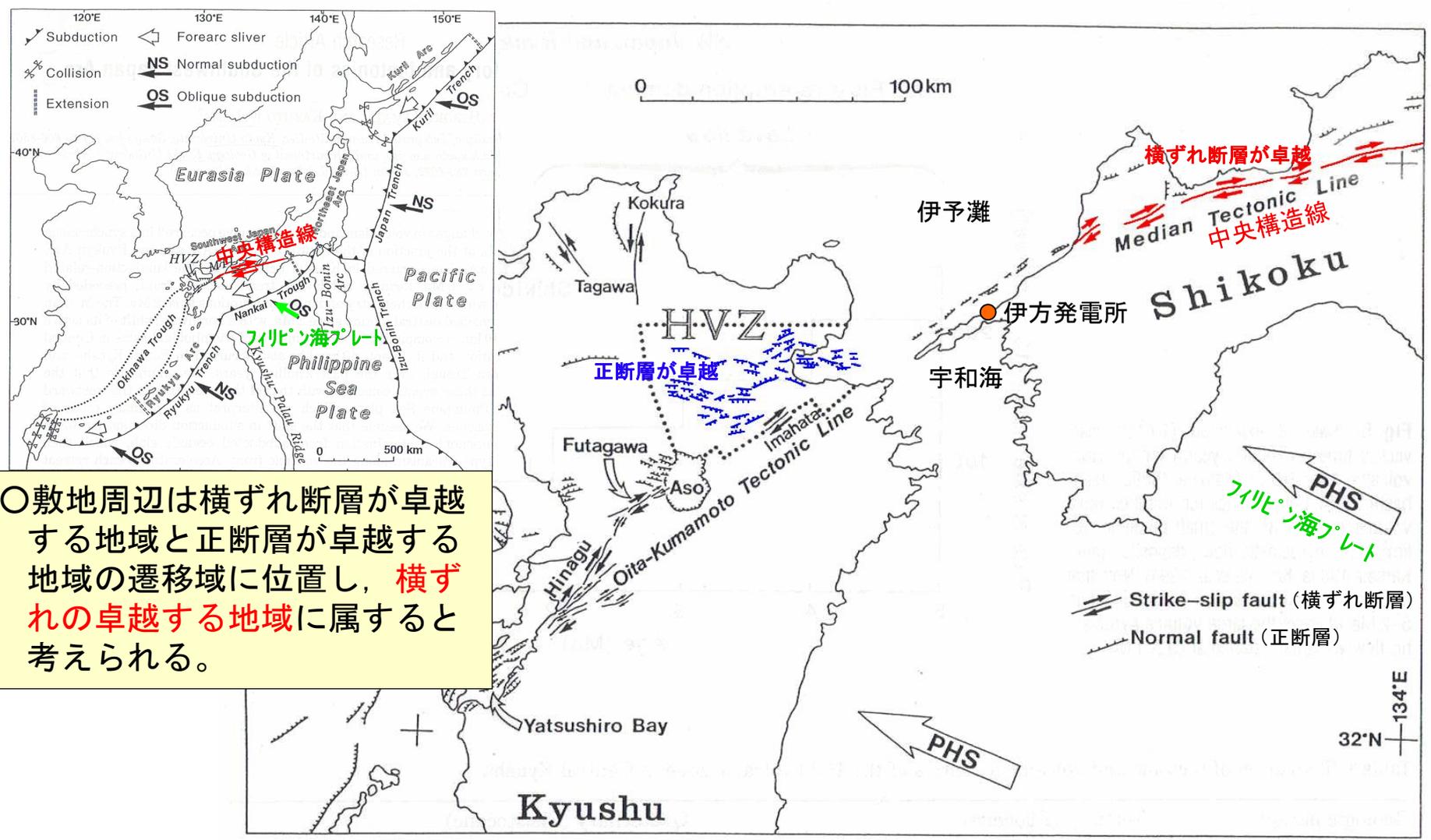


第18図 西南日本の主な活断層と主要地質構造の分布 岡田(1973)より抜粋・一部加筆
斜線部は中央線に沿う相対的隆起部(岡田:1971を多少改変)

岡田篤正, 1973, 中央構造線の第四紀断層運動について, 中央構造線, 49-86.
活断層研究会編, 1991, [新編]日本の活断層 分布図と資料.
岡田篤正・安藤雅孝, 1979, 日本の活断層と地震, 科学, 49, 158-169.

活断層研究会編(1991)より抜粋・一部加筆

敷地周辺のテクトニクスの概要



○敷地周辺は横ずれ断層が卓越する地域と正断層が卓越する地域の遷移域に位置し、**横ずれの卓越する地域**に属すると考えられる。

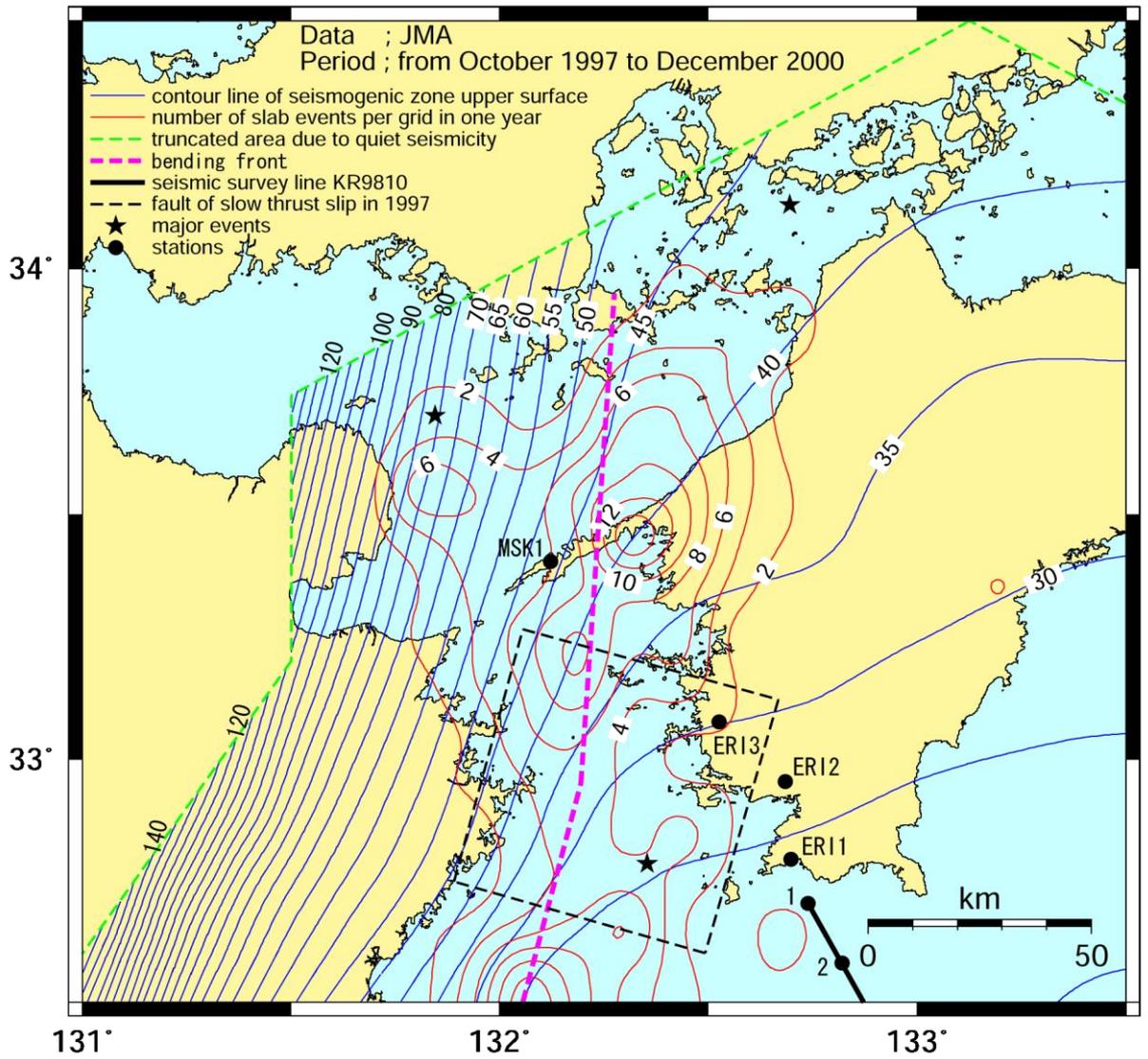
Fig. 6 Dextral faults (the Oita-Kumamoto Tectonic Line and the Median Tectonic Line) and the Hoho volcanic zone (solid dots) in Kyushu and Shikoku Islands (Kamata 1992). Open arrows show the present subduction direction of the Philippine Sea plate (Seno 1977). Small solid arrows show the active strike-slip faults. [HVZ, Hoho volcanic zone; KT, Kokura-Tagawa Fault zone; MTL, Median Tectonic Line.]



敷地周辺のフィリピン海プレート上面形状

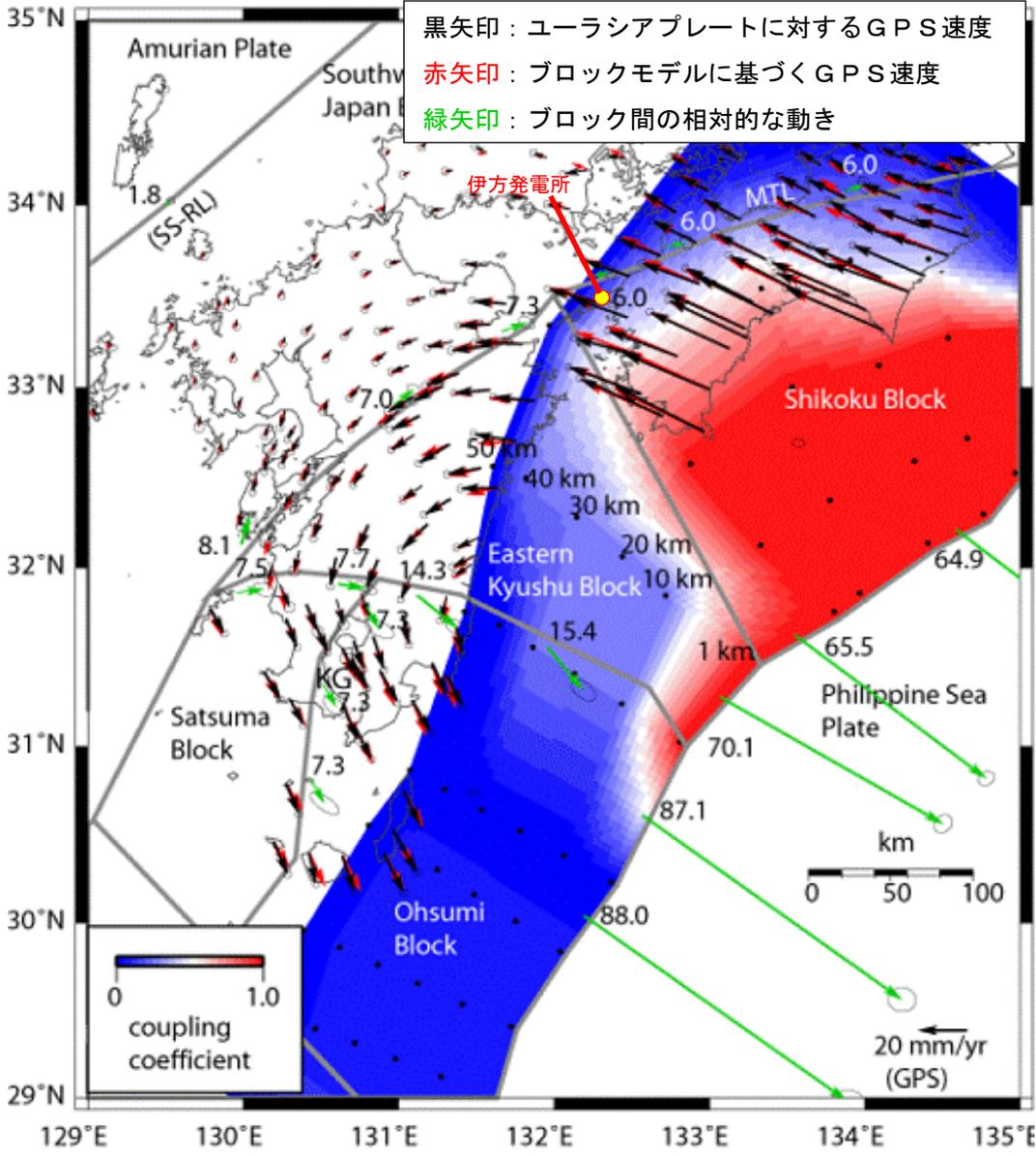
○沈み込むフィリピン海プレート上面形状は、詳細には、四国側でENE-WSW走向であるのに対して、九州側ではNE-SW走向に変わるなど湾曲している。

○敷地周辺はその向きが変わる領域にある。



II. 伊方発電所立地地点の地域性

フィリピン海プレートによる歪み蓄積



○四国はフィリピン海プレートのカップリングが強く、歪み蓄積速度が大きい。

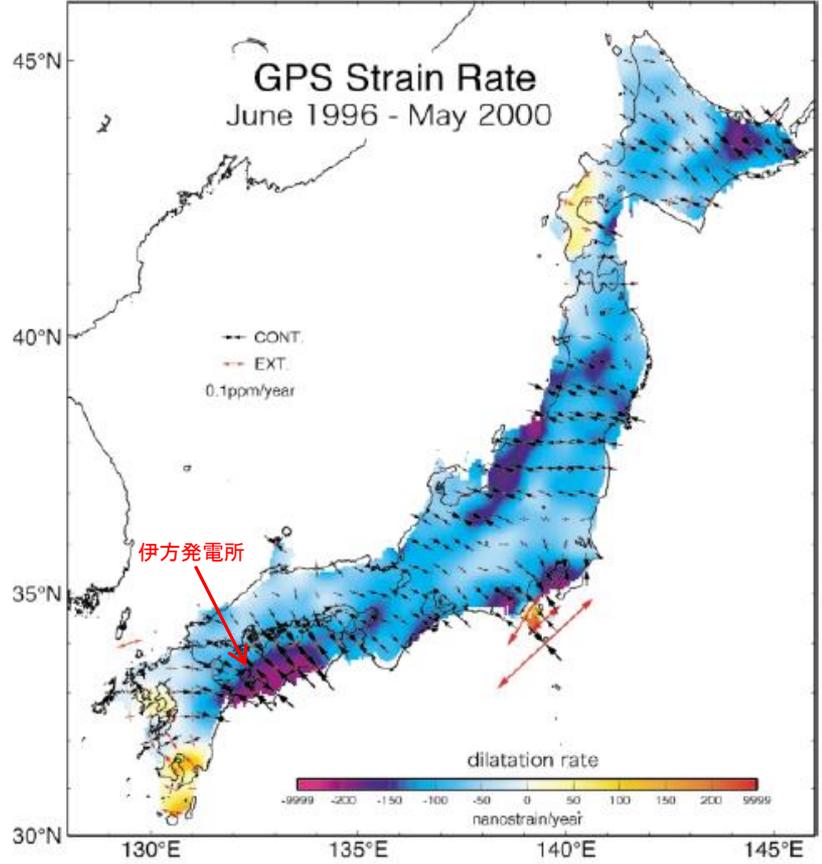


Fig. 3. Strain rate of the Japanese islands obtained from GEONET data. Strain rate was calculated in the same as Sagiya *et al.* (2000), using the velocity data from June 1996 to May 2000. Dilatation rate is shown in color. Arrows denote principal strain rate axes.

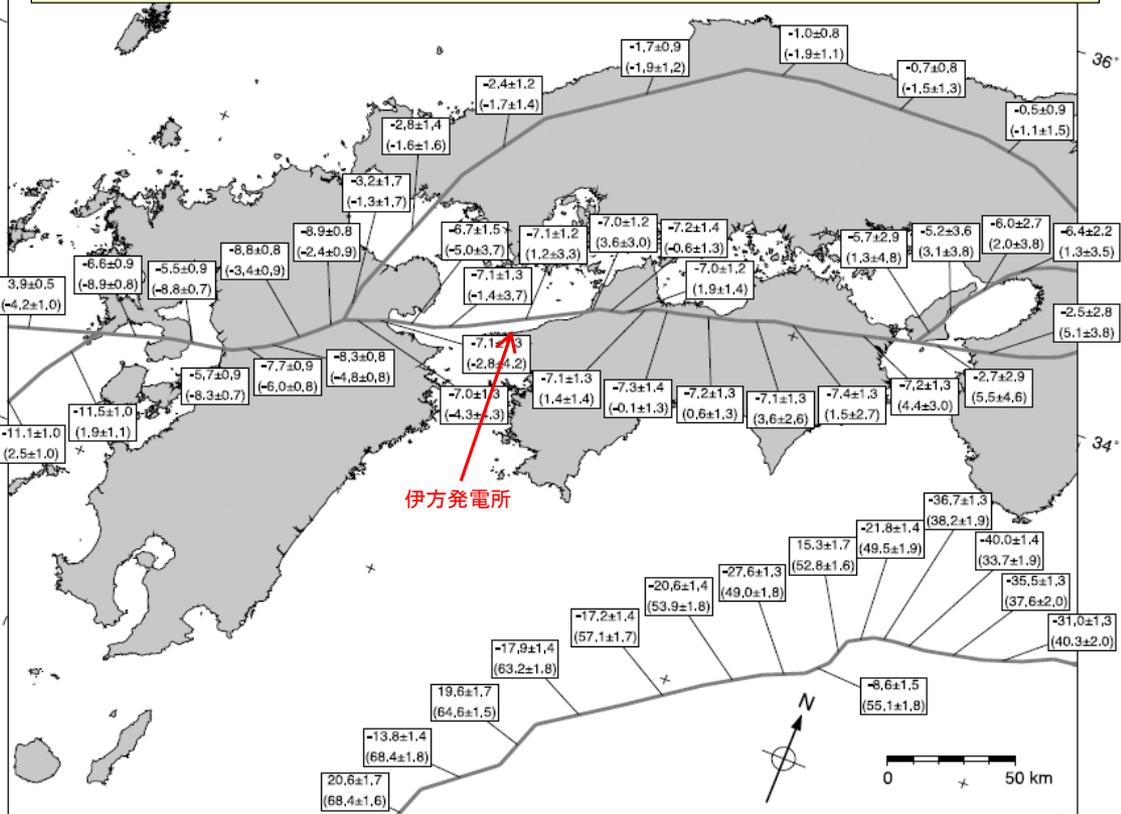
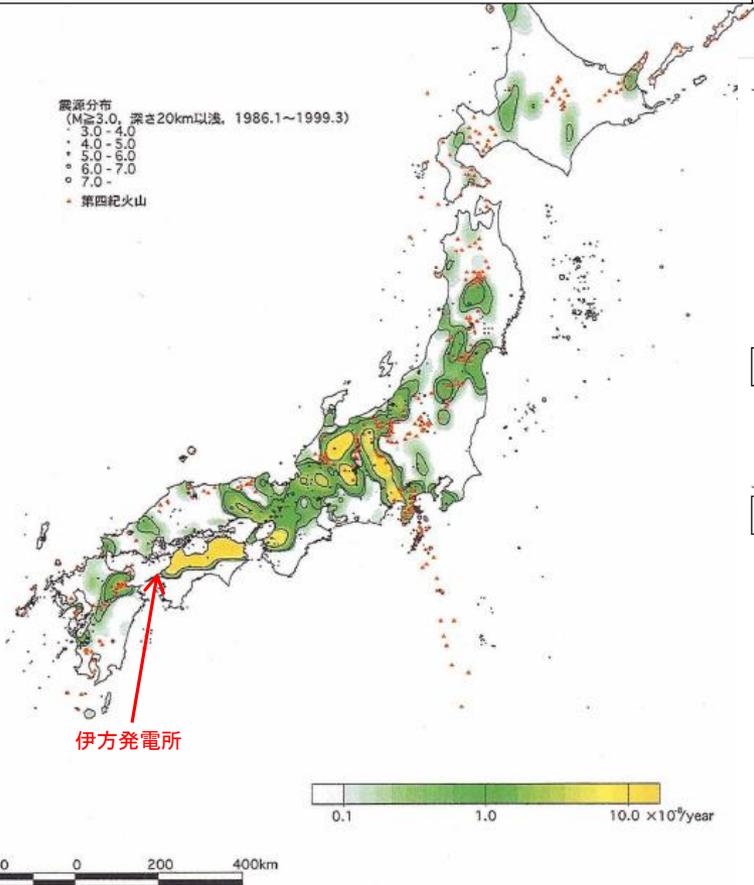
Sagiya, T., 2004, A decade of GEONET: 1994-2003 –The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies-, *Earth Planets Space*, 56, xxix-xli.

Wallace, L.M., S. Ellis, K. Miyao, S. Miura, J. Beavan and J. Goto, 2009, Enigmatic, highly active left-lateral shear zone in southwest Japan explained by aseismic ridge collision, *Geology*, 37, 2, 143-146.

中央構造線の歪み蓄積速度

【野原ほか(2000)より抜粋】
「活断層の分布密度と活動度を考慮した地域性は、活断層による水平歪速度の分布に反映される。」
「特に値の大きい地域は、糸魚川-静岡構造線中部、奥飛騨地域、中央構造線四国地域である。」

○野原ほか(2000)によると活断層の検討から四国の中央構造線断層帯周辺域は歪み蓄積速度が特に大きい地域とされており、測地学的な検討(Loveless and Meade, 2010)からも支持される。
○伊方発電所立地地点は歪み蓄積速度が相対的に大きいため、成熟度の高い活断層が発達しやすく、成熟度の低い活断層が存在し難い地域と評価される。

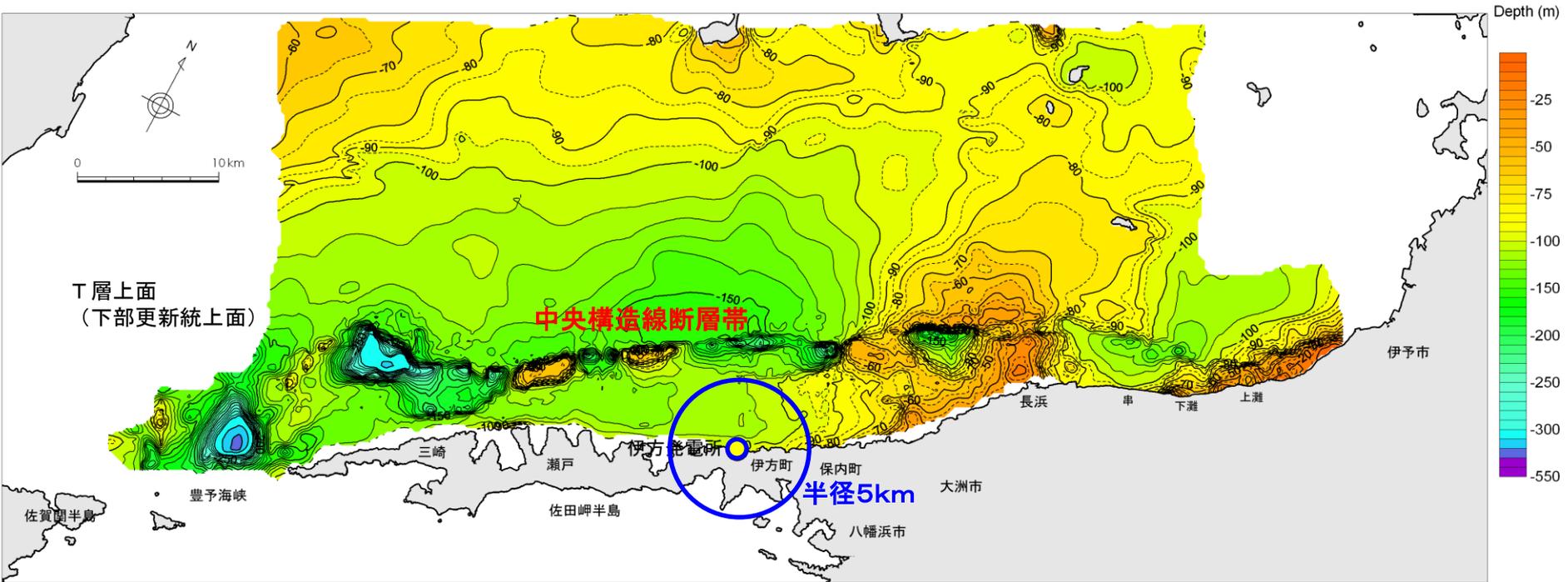


第7図 活断層による水平歪速度と震源および火山の分布
第四紀の火山の分布は第四紀火山カタログ委員会(1999)をもとにした。震源分布は、気象庁震源データ、震源速報および全国震源データをもとに、深さ20km以浅、マグニチュード3以上のものを示した。

Figure 5. Estimated fault slip rates on block bounding segments of southwest Japan. Bold gray lines indicate the fault traces and corresponding labels give strike (top) and fault-normal (bottom, in parentheses) slip rates and uncertainties. Loveless, J.P., B. J. Meade, 2010, Geodetic imaging of plate motions, slip rates, and partitioning of deformation in Japan, Journal of Geophysical Research, 115, B02410, 1-35.

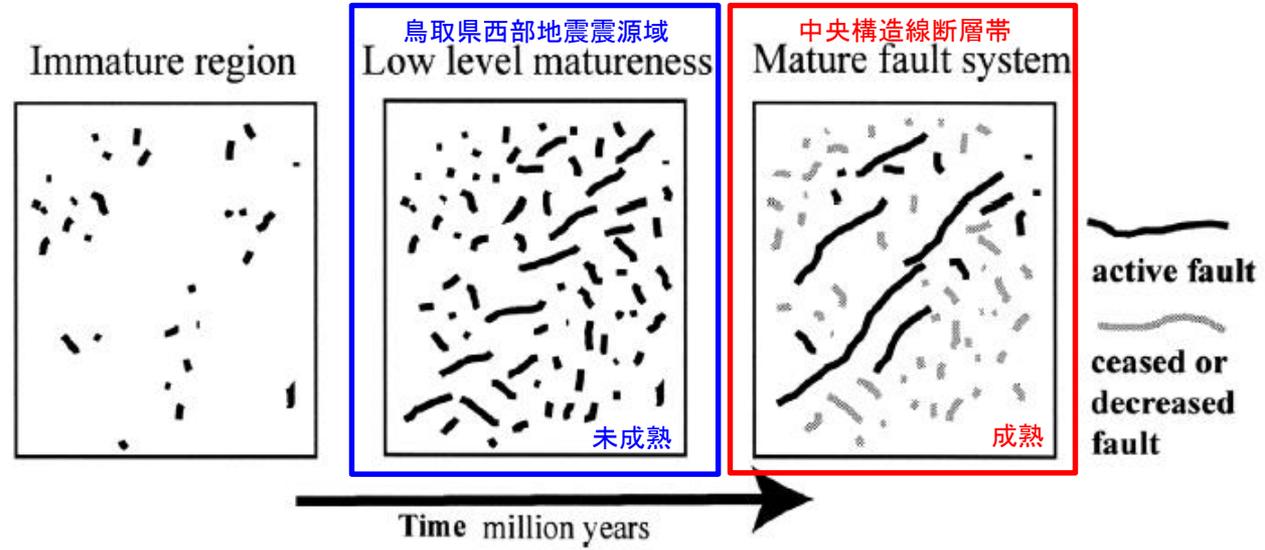
伊予灘における中央構造線断層帯の右横ずれ性状

- 伊予灘における下部更新統上面には，中央構造線断層帯に属する敷地前面海域の断層群の**右横ずれに伴う変形構造**（地溝とバルジの直線的な配列）が明瞭に認められ，**成熟度の高い活断層**であることを示す。
- 中央構造線断層帯より南側には活断層による累積的な変形は認められない。
- 歪み蓄積速度が相対的に大きく成熟度の高い活断層が発達しやすいにも関わらず，伊方発電所立地地点（半径5 km）に活断層が分布しないことは，近接する**中央構造線断層帯が成熟した活断層として挙動している**ことで説明できる。



活断層進化モデルとの対比

- Wesnousky (1999) および高橋・隈元 (2006) の活断層進化モデルによると、「活断層の進化の程度に従って、主となる活断層の近傍では小さな断層の分布密度は減少する」とされている。
- 活断層進化モデルとの対比によって、**中央構造線断層帯が成熟した活断層へ進化しているため周辺に別の活断層が発達しないことが支持される。**
- なお、岡田・安藤 (1979) によっても、「ほとんどの歪エネルギーはここ（中央構造線断層帯）で解放されてしまい、他の活断層の成長は止まる。」とされている。



【高橋・隈元(2006)より抜粋】
 「内陸地殻内地震の発生源である活断層については、その長さや分布の連続性が断層の成熟度に関連するとの報告がある (Stirling et al., 1996: Wesnousky, 1999). 彼らの活断層進化モデル (Evolution of faulting model) の概念図 (第1図の中央と右図) に従えば、活断層帯の長さや不連続部の割合の相違で定量化される活断層の進化の程度に従って、主となる活断層の近傍では小さな断層の分布密度は減少することになる。」
 「鳥取県西部地震の発生域では、顕著な活構造は存在せず、地震時も地震の規模と比較して地表変位が目立って小さかった。このことから、鳥取県西部地震の震源断層は、第1図では中央の図に示されるように活断層の成熟の程度は低いと考えられる。そのような震央域で、本震前に地震活動が集中していた事実を活断層進化モデルで考察すれば、成熟途上にある地域の震源断層の近傍に分布する小断層が、本震前の応力増加に伴って破壊を集中的に起こしたことに対応する。」

第1図 活断層の進化モデルの概念図 (Wesnousky (1999) に加筆). 地質学的時間スケールにおいて、活構造がほとんどない地域が、短い断層が密に分布する成熟度の低い段階を経て成熟した断層帯へ進化する。
 高橋・隈元(2006)から抜粋・一部追記

Wesnousky, S.G., 1999, Crustal Deformation Processes and the Stability of the Gutenberg-Richter Relationship, Bulletin of the Seismological Society of America, 89, 1131-1173.

高橋尚子・隈元 崇, 2006, 日本の内陸被害地震に先行する地震活動の変化と断層成熟度との関係, 活断層研究, 26, 15-28.

岡田篤正・安藤雅孝, 1979, 日本の活断層と地震, 科学, 49, 158-169.



中央構造線の成熟度の検討(石辺・島崎, 2006)

- 石辺・島崎(2006)によると、「断層の固有地震らしさを支配する原因は断層の成熟度である」。中央構造線から片幅約15km内の地震を抽出して規模別頻度分布を検討したStirling et al. (1996)によって**中央構造線が固有地震的な成熟断層**であることが示されており、さらに石辺・島崎(2006)も1997年10月以降の気象庁一元化カタログを用いた検討によってStirling et al. (1996)を追認している。
- Stirling et al. (1996)および石辺・島崎(2006)の検討によって、**中央構造線の周辺域が中央構造線断層帯が成熟した活断層として挙動する地域に属することが支持される。**

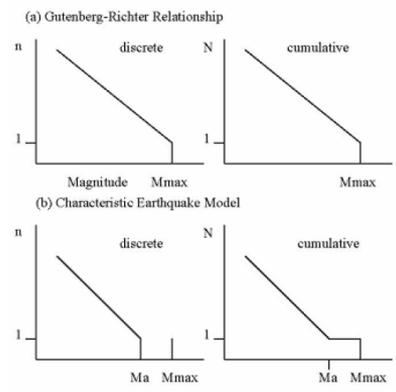


図 1(a)G-R 則と(b)固有地震モデルにおける規模別頻度分布(Wesnousky ほか, 1983)。左が離散的, 右が累積分布を示す。G-R 則では最大のマグニチュードから連続的な分布を示すのに対して, 固有地震モデルでは最大地震(固有地震)と2番目に大きな地震の間にマグニチュードギャップが存在し, それ以下でG-R 則が成立する。

Figure 1. Schematic illustration of the discrete and cumulative forms for the magnitude-frequency distribution of earthquakes described by (a) the Gutenberg-Richter relationship and (b) the characteristic earthquake model during one earthquake cycle (Wesnousky et al., 1983). The discrete number of events is denoted by n , and the cumulative number of events is by N . For the characteristic earthquake model, a magnitude gap exists between the largest aftershock and the characteristic earthquake. The size distribution of aftershocks is assumed to follow the Gutenberg-Richter relationship.

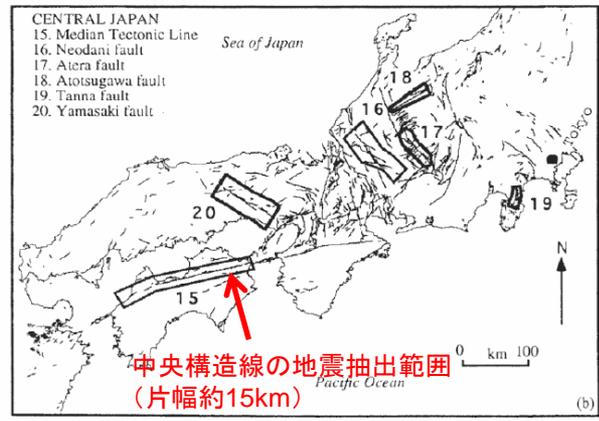


図 5 Stirling ほか(1996)が解析した6つの横ずれ断層と地震抽出領域
Figure 5 Location of the six strike-slip faults studied by Stirling et al. (1996) and the areas where earthquakes are extracted.

【石辺・島崎(2006)より抜粋】
「断層の固有地震らしさを支配する原因は断層の成熟度であるという考えがある。断層は初期の段階では様々な波長の不均質性が存在し, その規模別頻度分布はG-R則に従う。しかしながら, 断層が成熟し長大な断層に発達するにつれて, 領域内のモーメント解放を固有地震が担うようになってくるとい考えである。」

石辺・島崎(2006)から抜粋・一部加筆

石辺岳男・島崎邦彦, 2006, 活断層周辺の地震活動からみた固有地震説, 歴史地震, 21, 137-152.

Stirling, M.W., S.G. Wesnousky and K. Shimazaki, 1996, Fault trace complexity, cumulative slip, and the shape of the magnitude-frequency distribution for strike-slip faults: a global survey, Geophys.J.int., 124, 833-868.

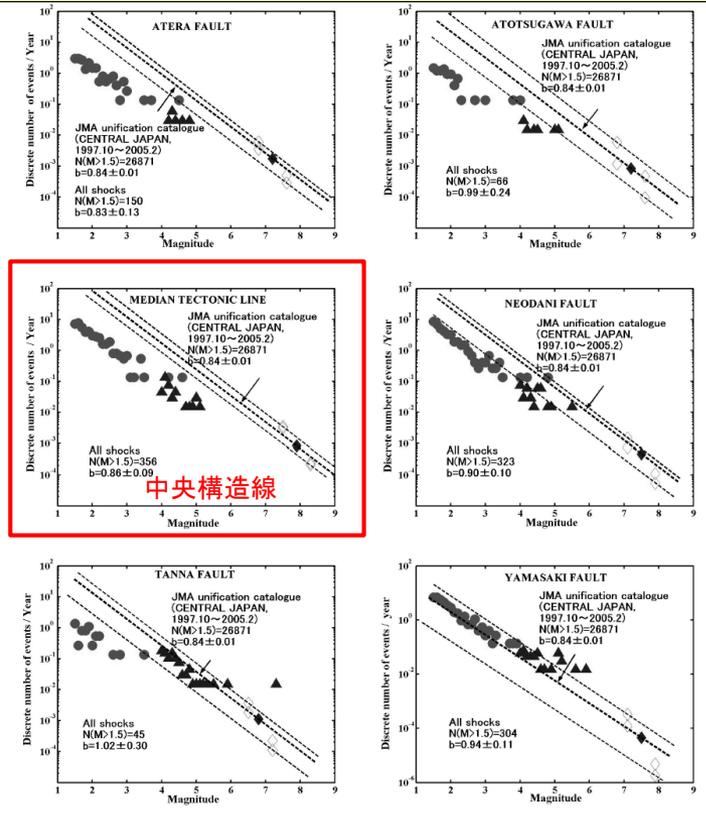
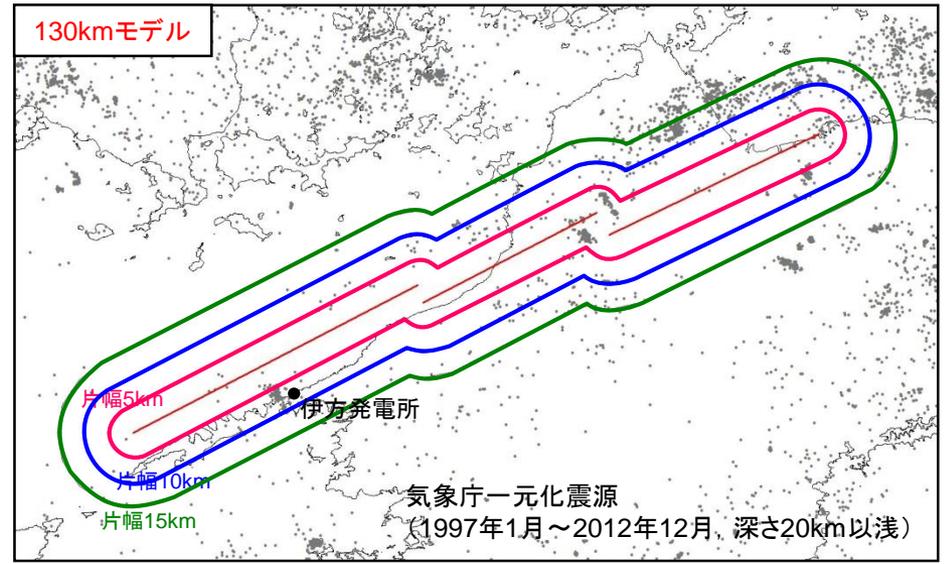
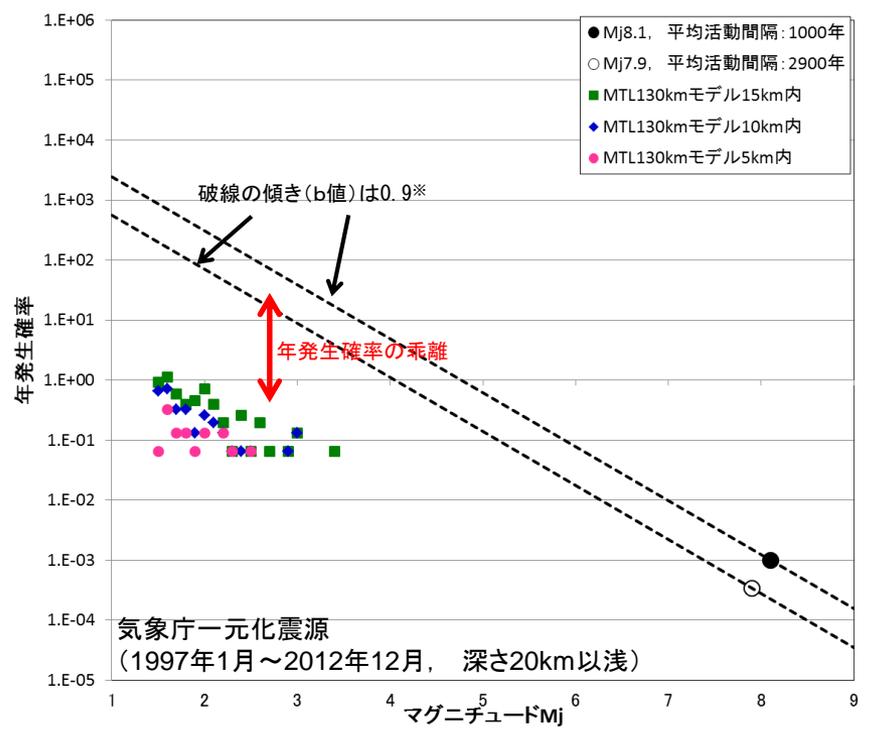


図 6 西南日本の6つの横ずれ断層に対する1年あたりのマグニチュード別地震発生回数。黒色の(カラーでは青)三角, 灰色(赤)丸はそれぞれ1926年~1992年の気象庁地震カタログ, 1997年10月~2005年2月の気象庁一元

【石辺・島崎(2006)より抜粋】
「Stirling et al.(1996)において, 固有地震の発生頻度からG-R則の傾き b で外挿することで得られた, G-R則が成立する場合に期待される地震数よりも顕著に少ない地震観測数であった跡津川断層, 中央構造線, 阿寺断層では本研究でも同様な結果となった。」

中央構造線断層帯(130kmモデル)の成熟度の検討

- 中央構造線断層帯(130kmモデル)について、断層面から片幅5km, 10km, 15km範囲の地震の規模別頻度分布を検討した結果、データ数が不足しているものの地震活動が低調で年発生確率がG-R則から大きく乖離しており、固有地震的な成熟断層であることが裏付けられる。
- 敷地は中央構造線断層帯から約8km南方に位置し、伊方発電所立地地点(半径5km)は**中央構造線断層帯が成熟した活断層として挙動する地域に属する**と評価される。



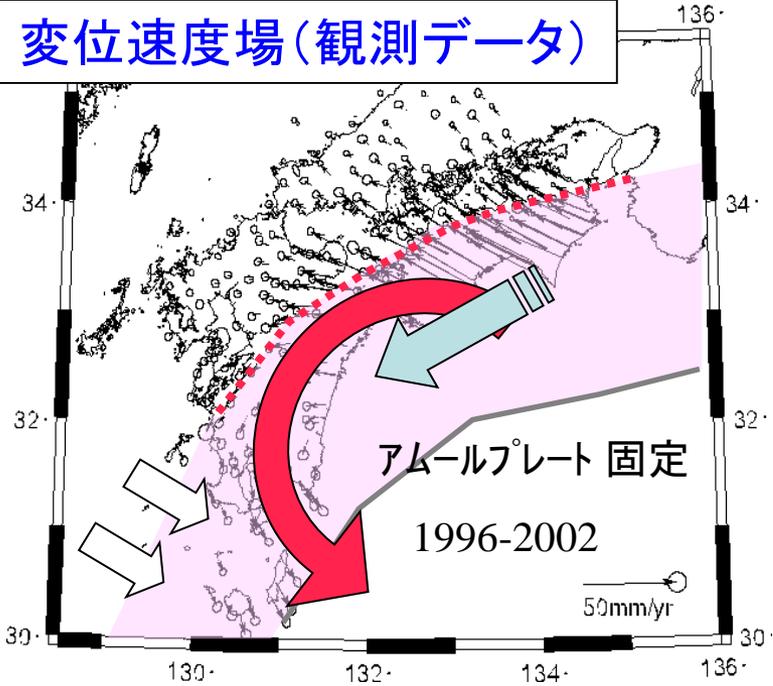
中央構造線断層帯(130kmモデル)の地震規模および平均活動間隔

Mj	7.9～8.1
平均活動間隔	1000年～2900年

※平均活動間隔は地震本部(2011)による石鎚山脈北縁西部-伊予灘区間における平均活動間隔である約1千～2千9百年から設定

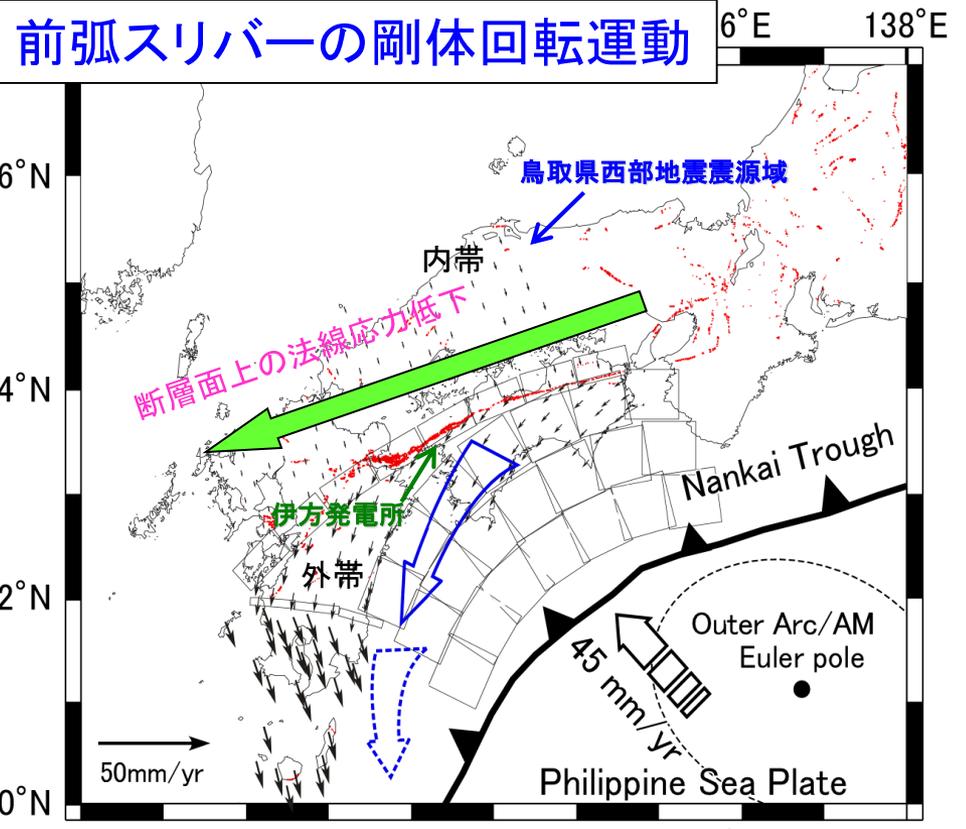


西南日本の地殻変動観測



Nishimura and Hashimoto (2006)に追記

プレート境界面の弾性変形に加えて剛体回転運動を考慮した方がフィッティングが良いことが示されている。



Nishimura and Hashimoto (2006)に追記

○西南日本の地殻変動観測によると、鳥取県西部地震震源域を含む西南日本内帯に対し、中央構造線断層帯から南側の前弧スリバー(西南日本外帯)が反時計回りの剛体回転運動をしていることが示されている。中央構造線断層帯沿いの応力場に着目すると四国東部から四国西部、九州に向かって断層面上の法線応力が低下していると考えられる。

II. 伊方発電所立地地点の地域性

四国～九州の地震テクトニクス

- 四国東部から四国西部，九州に向かって，中央構造線断層帯の断層面上の法線応力低下とともにせん断応力が減少していると考えられる。
- このような応力場の変化は震源メカニズム解の平面分布にも現れており，**フィリピン海プレートの斜め沈み込みと沖縄トラフの開き**で説明される。
- 伊方発電所周辺は**圧縮場から伸張場への遷移域**に位置し，逆断層成分を含んで横ずれの卓越する四国東部から横ずれ成分を含んで正断層の卓越する九州南部は一連のブロックとして大区分される。

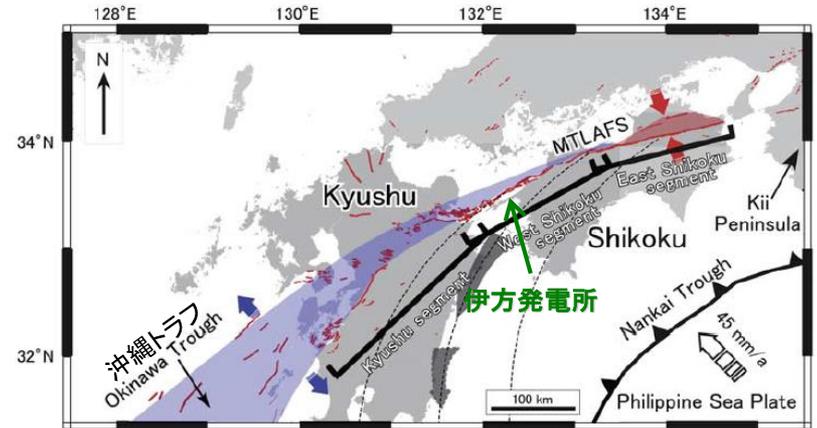
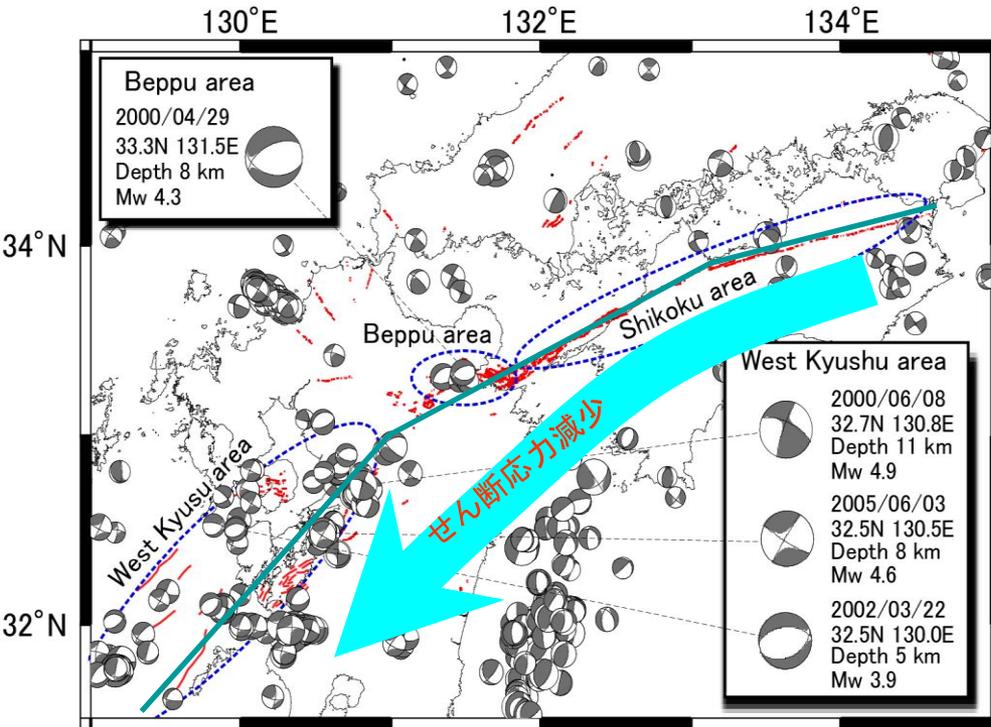


Figure 12. Transition of stress conditions and stress segmentation model along the Median Tectonic Line active fault system (MTLAFS) from Shikoku to Kyushu. Red lines show active faults. Red and blue shaded areas and arrows show transpressional and transtensional stresses, respectively. Dashed lines and gray arrows show the direction of rigid block rotation (Nankai fore-arc sliver) derived from the Euler pole (31.12°N, 136.73°E) [Nishimura and Hashimoto, 2006]. The Philippine Sea plate/Eurasian plate motion is shown by the open arrow, and its plate motion rate is after Mazzotti et al. [2000].

防災科研のFネットデータを使用。

期間：1997/1-2006/12, Mj ≥ 3.5の地震

Ikeda et al. (2009)から抜粋・一部追記

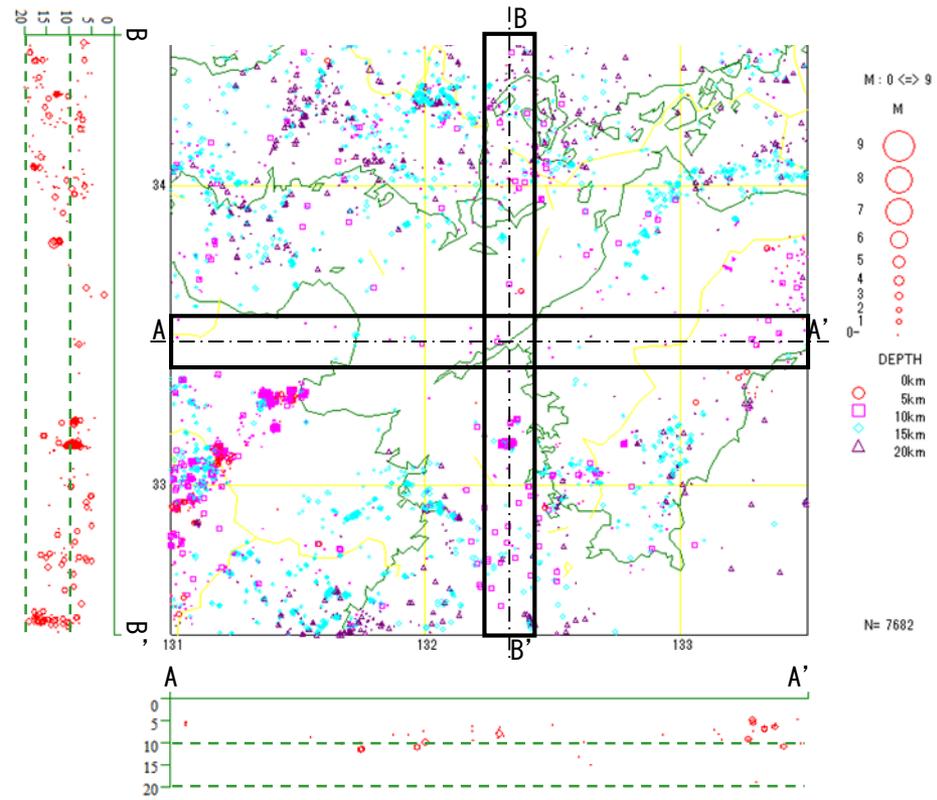
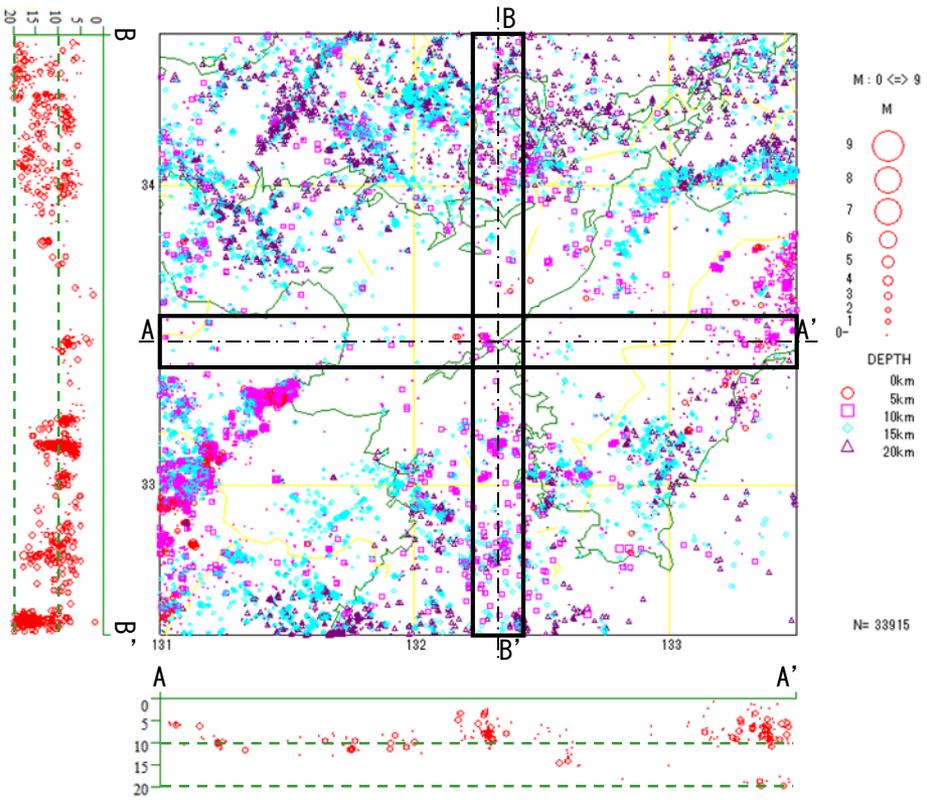


敷地周辺における微小地震の発生状況

○敷地周辺における地殻内地震は、1997年10月～2012年12月の間の気象庁一元化震源によると、深さ12km以浅で発生しているものの、地震活動は極めて低調である。

1997.10.1~2012.12.31

2010.1.1~2012.12.31 (近3年間)



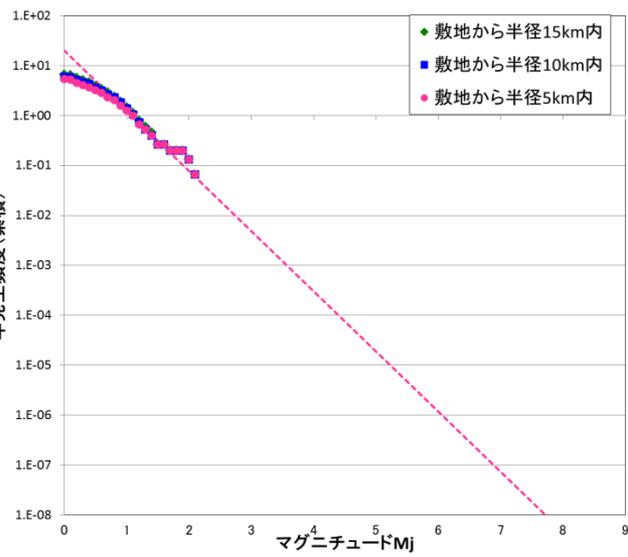
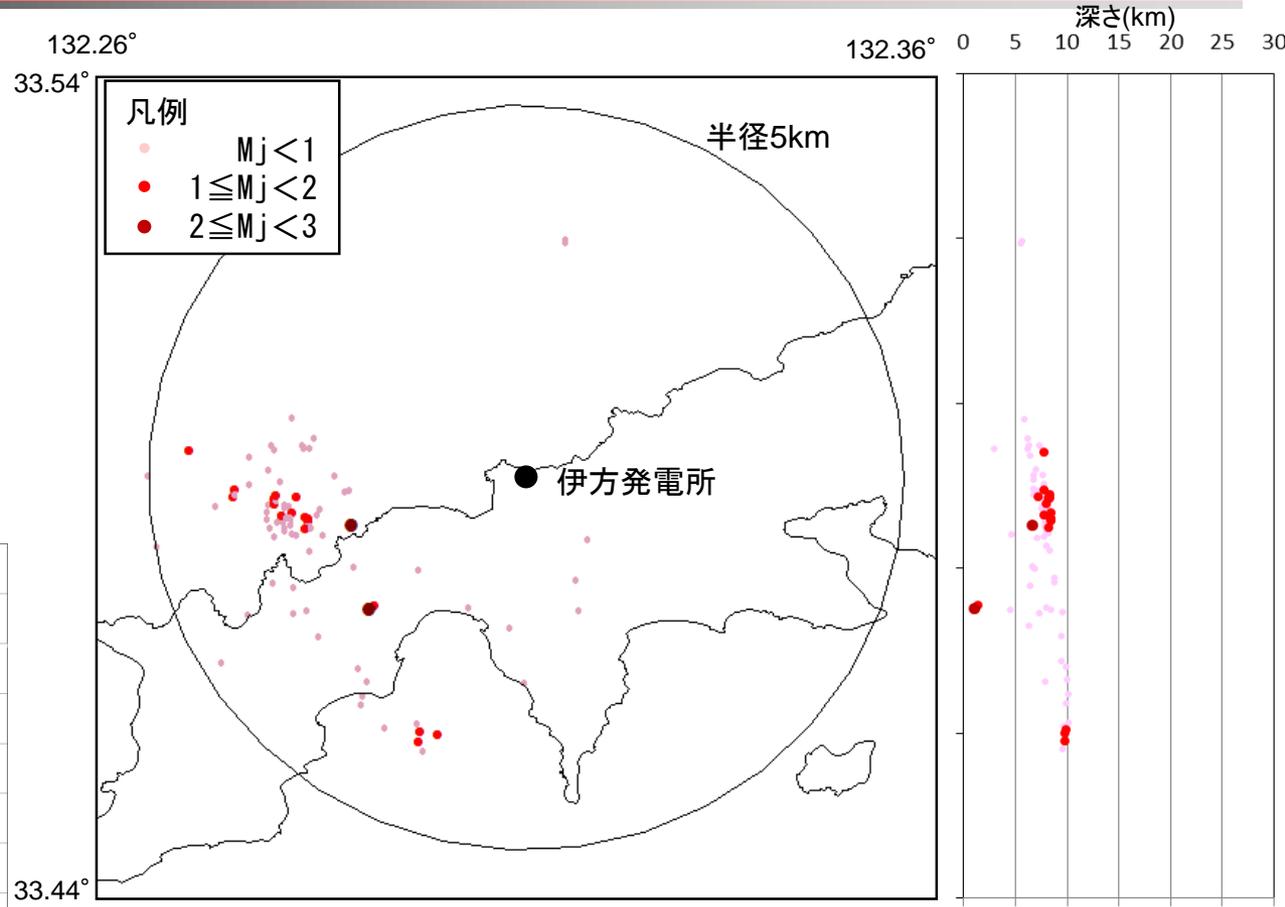
気象庁一元化震源

気象庁一元化震源

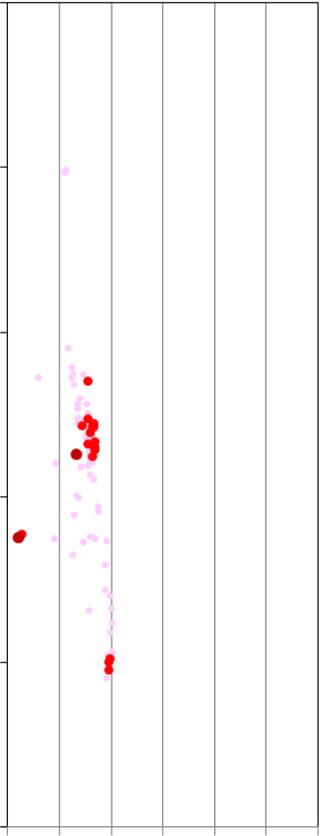
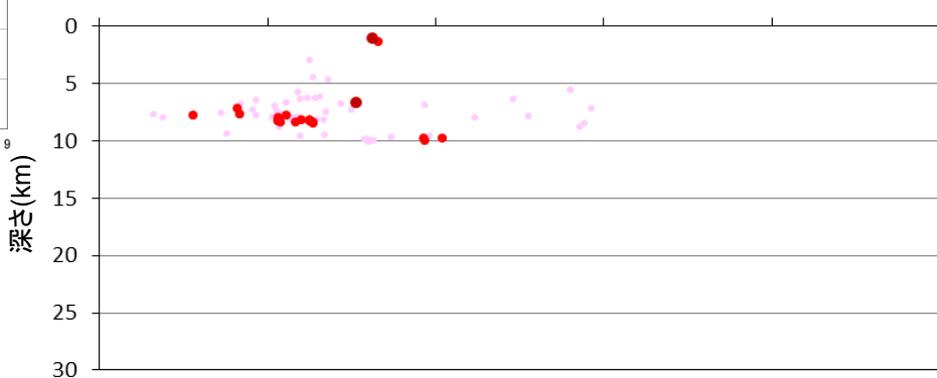
敷地近傍における微小地震の発生状況

○伊方発電所西方約3kmに微小地震活動が認められるもののM2程度までの小規模な地震のみであり、敷地近傍（半径5km）の微小地震活動は極めて低調である。

○地震活動が低調でデータ数が不足しているものの、敷地近傍で大きな地震が発生する確率は低いと評価される。



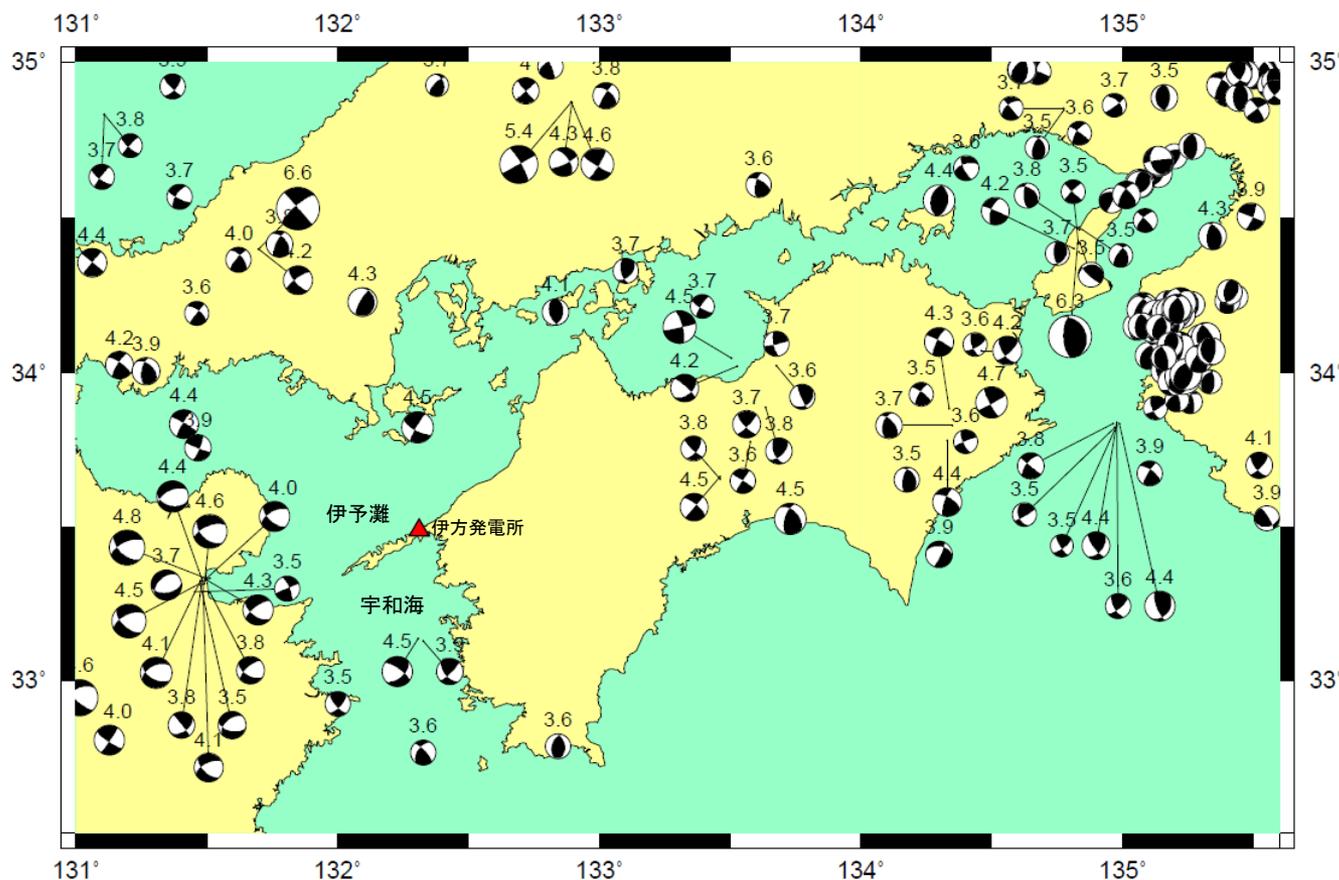
気象庁一元化震源(1997年～2012年、深度20km以浅)を用いて作成



気象庁一元化震源(1997年～2012年、深度20km以浅)を用い、Double Difference法で震源位置を再決定

四国周辺の内陸地殻内地震のメカニズム解(F-net)

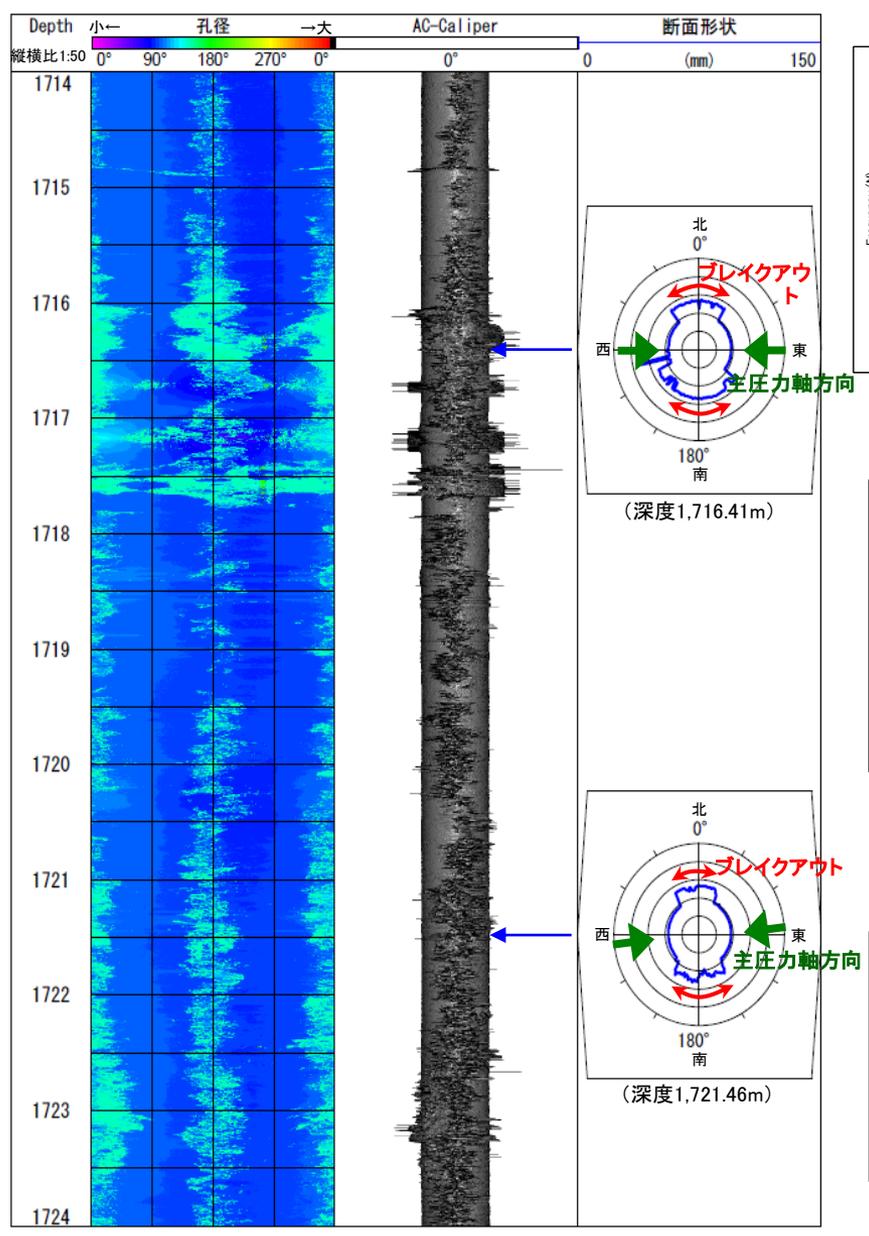
■震源メカニズム：防災科学技術研究所広帯域地震観測網（F-net）
 地震規模：M \geq 3.5
 期間：1997.1 ～ 2014.6まで
 震源深さ：20km以浅



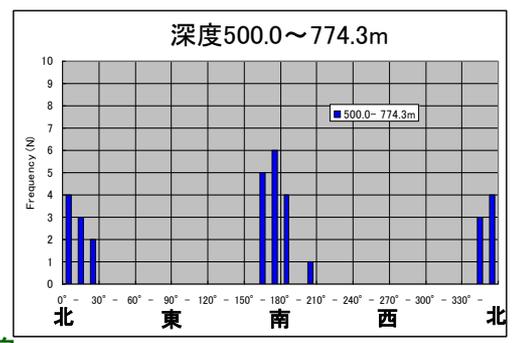
○四国中東部および中国地方における内陸地殻内地震には横ずれ型のメカニズム解が多く見られ，最大主応力はほぼ東西方向と考えられる。敷地周辺では内陸地殻内地震が少ないものの，伊予灘北方や宇和海南方のメカニズム解は東西圧縮の横ずれ型である。

○一方，大分県北部における内陸地殻内地震のメカニズム解は，ほとんどが南北伸張の正断層型である。敷地周辺の応力場は東西圧縮の横ずれ型で，南北伸長の正断層型の応力場への遷移域に位置する。

敷地の応力場

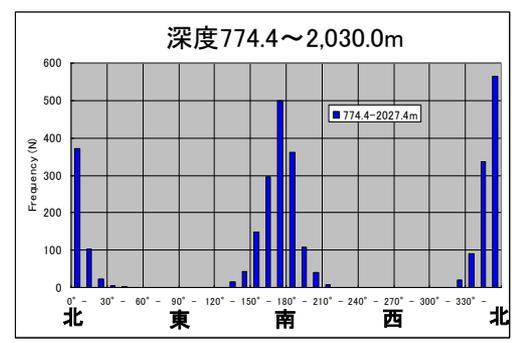


<H23.3.11地震前のブレイクアウト方位>



(H23.2.2～H23.3.11コアリング)

<H23.3.11地震後のブレイクアウト方位>



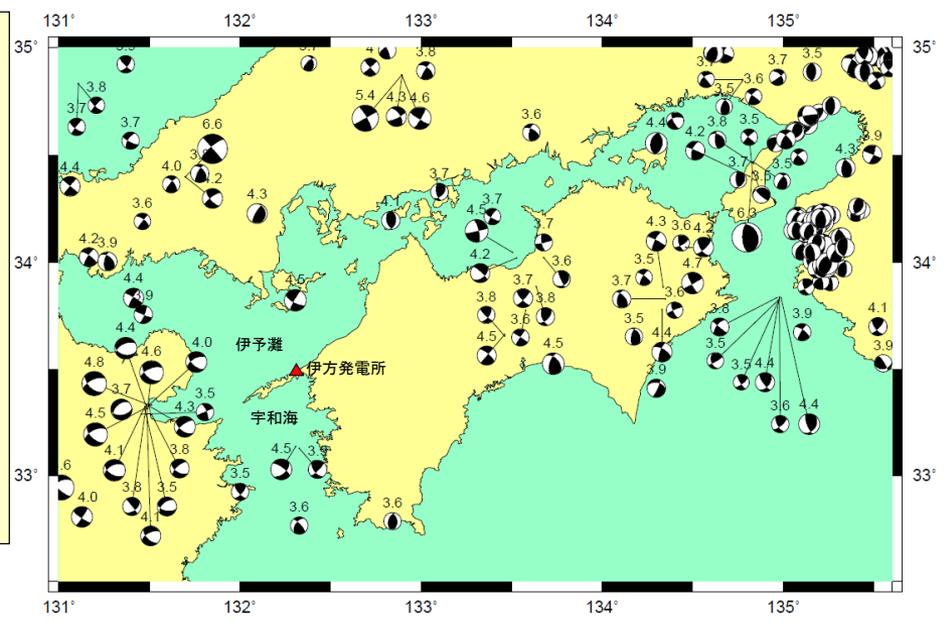
(H23.3.12～H24.1.15コアリング)

○敷地内における深部ボーリング調査のコアリングに伴って発生するブレイクアウト方位を分析したところ、東北地方太平洋沖地震の前後で顕著な変化は認められない。また、伊方発電所地点における応力場は、周辺の広域応力場と同じく**東西圧縮** (N85° E) と評価される。

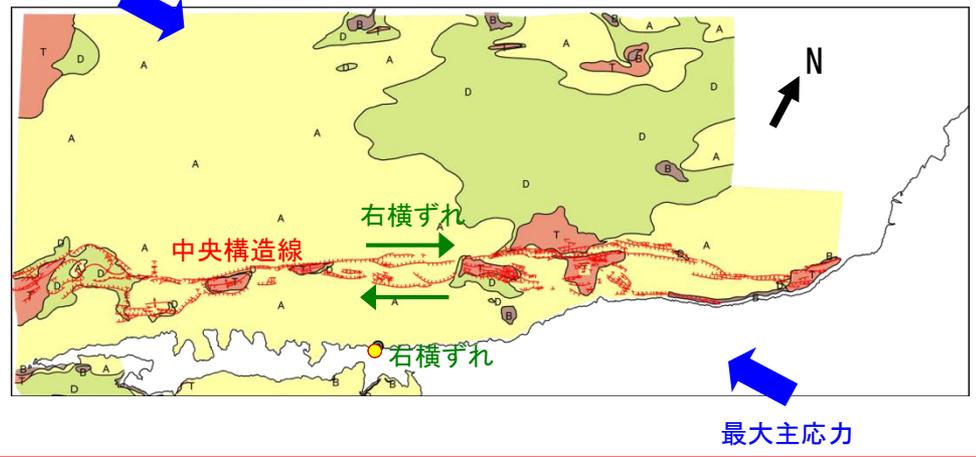
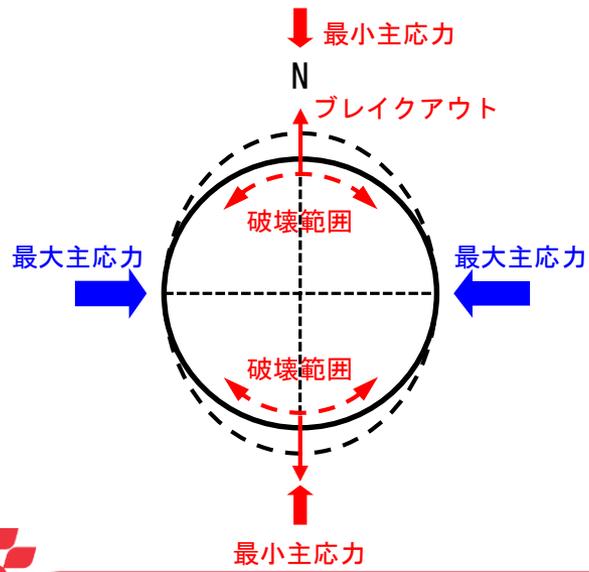
『ベルナル・アマデイ、オーヴ・ステファンソン著、石田 毅監修、船戸明雄翻訳代表、2012、岩盤応力とその測定。』から抜粋
ボアホールやトンネルおよび立坑のような円形空洞の回りの岩は、掘削に伴って集中する圧縮応力を支えることができないことがある。岩の破壊によって直径の両端が大きくなる現象を「ブレイクアウト」(breakout)と呼ぶ。ブレイクアウトは原位置の最小主応力方向に発生するという経験則があり、それによってブレイクアウトから原位置の応力方位を知ることができる。

敷地の応力場と広域応力場の整合性

- 深部ボーリング調査に基づく最大主応力は東西方向 (N85° E) と評価され, 伊方発電所の約8km北側に分布する中央構造線断層帯の走向がN57° Eで右横ずれが卓越することと整合的である。
- 伊方発電所周辺では内陸地殻内地震の活動が少ないものの, 四国周辺の震源メカニズム解から東西圧縮横ずれの応力場で南北伸張への遷移域と推定され, 伊方発電所における局所の応力場と整合的である。

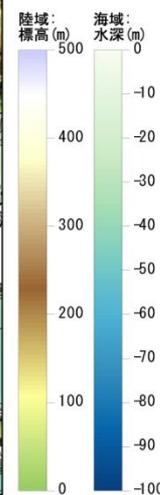
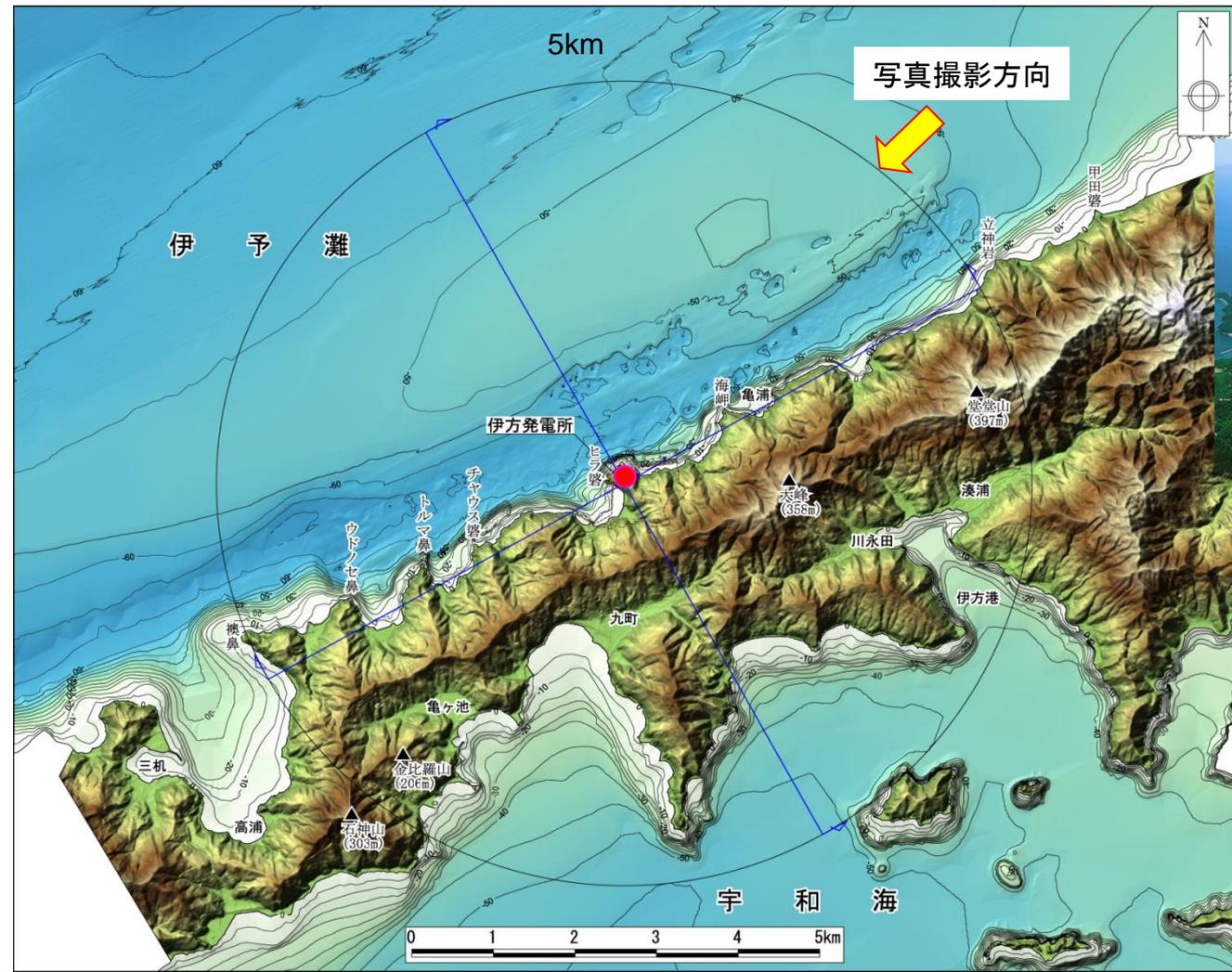


四国周辺の内陸地殻内地震の震源メカニズム解(再掲)



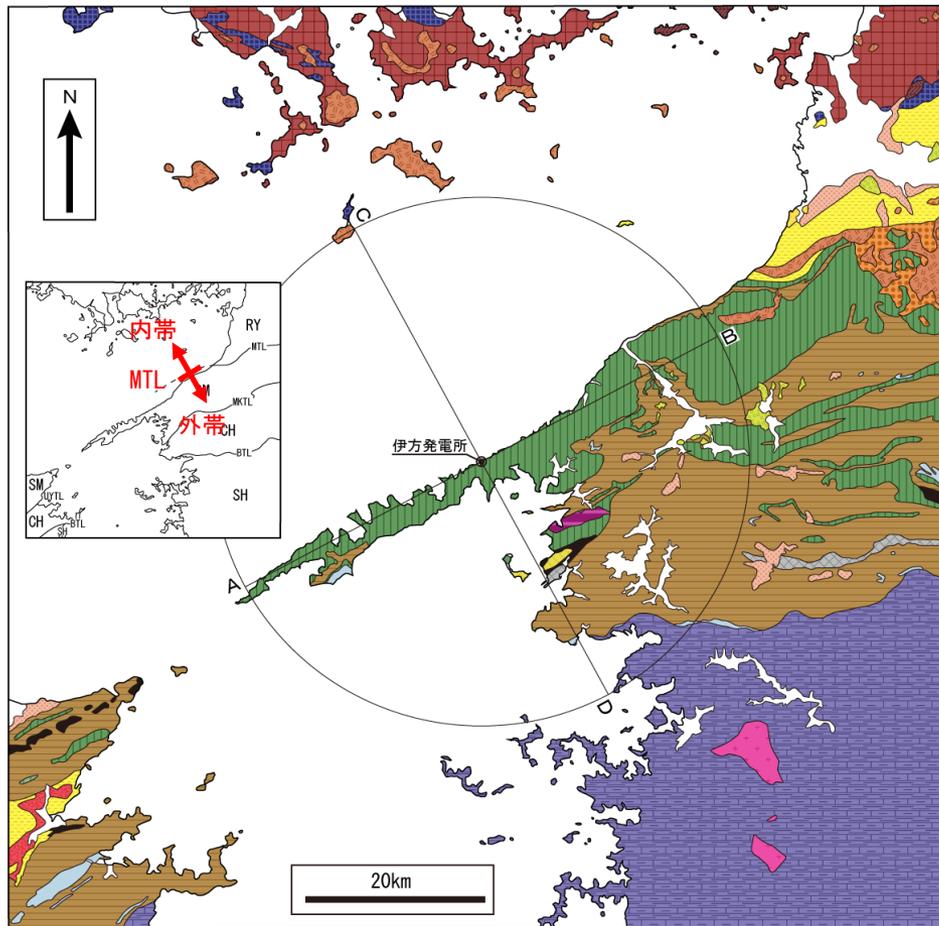
敷地近傍の地形

○伊方発電所の位置する佐田岬半島は、東北東－西南西方向に伸びる細長い半島であり、その海岸線は複雑に入り組んでいる。敷地近傍（半径5km）には、「活断層詳細デジタルマップ」, 「[新編]日本の活断層一分布図と資料一」等の既存文献による変位地形・リニアメントの指摘はない。また、詳細DEMおよび空中写真による独自の地形判読によっても敷地近傍に変位地形・リニアメントは判読されない。したがって、「**孤立した長さの短い活断層**」は認められない。

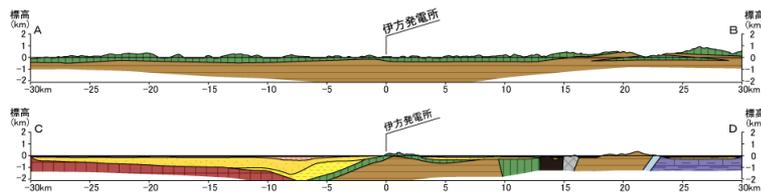
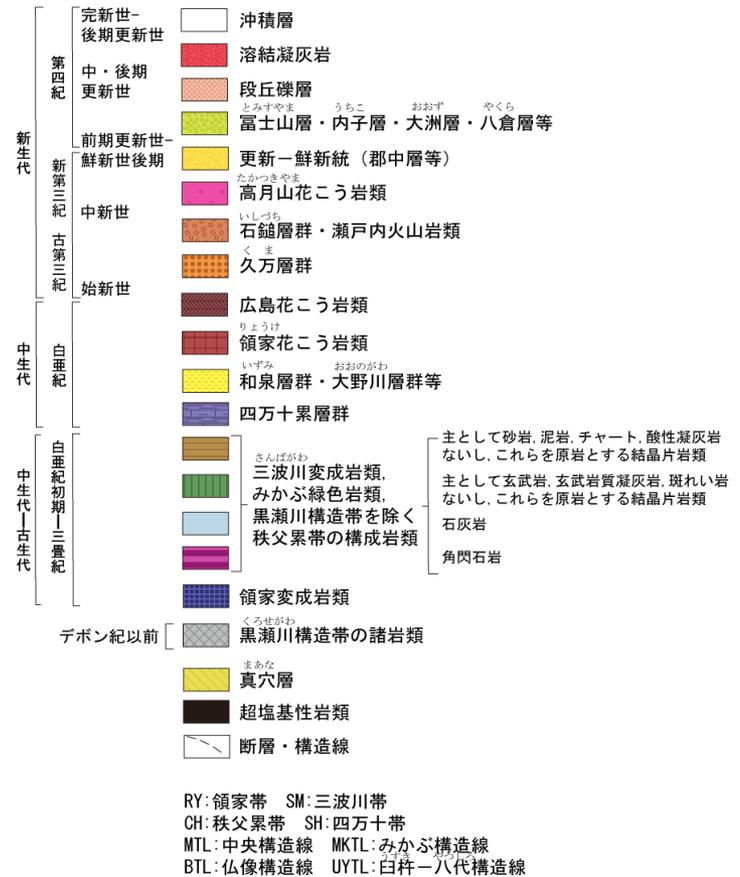


※当社独自に陸域および海域の詳細DEMデータ(1mメッシュ)を取得するとともに、海域は「海底地形デジタルデータM7000シリーズ」(日本水路協会, 2008)を併用して作成

敷地周辺の地質



凡例



○敷地周辺の内帯には領家帯に属する地層，外帯には北から三波川帯，秩父累帯および四万十帯に属する地層が分布し，地質構造および地質境界断層は東北東—西南西方向である。

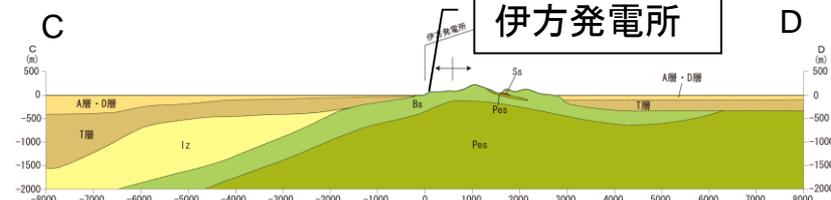
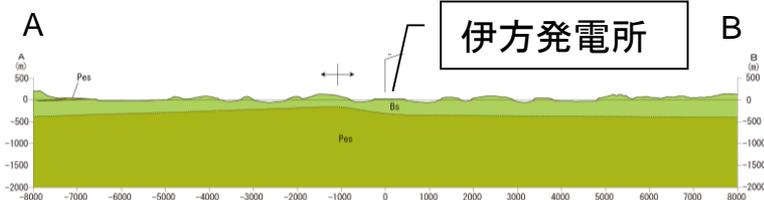
○敷地付近には三波川変成岩類が広く分布する。

敷地近傍の地質

○敷地近傍には広く堅硬な塩基性片岩が分布し、敷地における深部ボーリング調査によって少なくとも深さ2 kmまで堅硬かつ緻密な結晶片岩が連続することを確認しており、審査ガイドにおける「上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域」ではない。また、敷地近傍に火山岩の貫入は認められない。

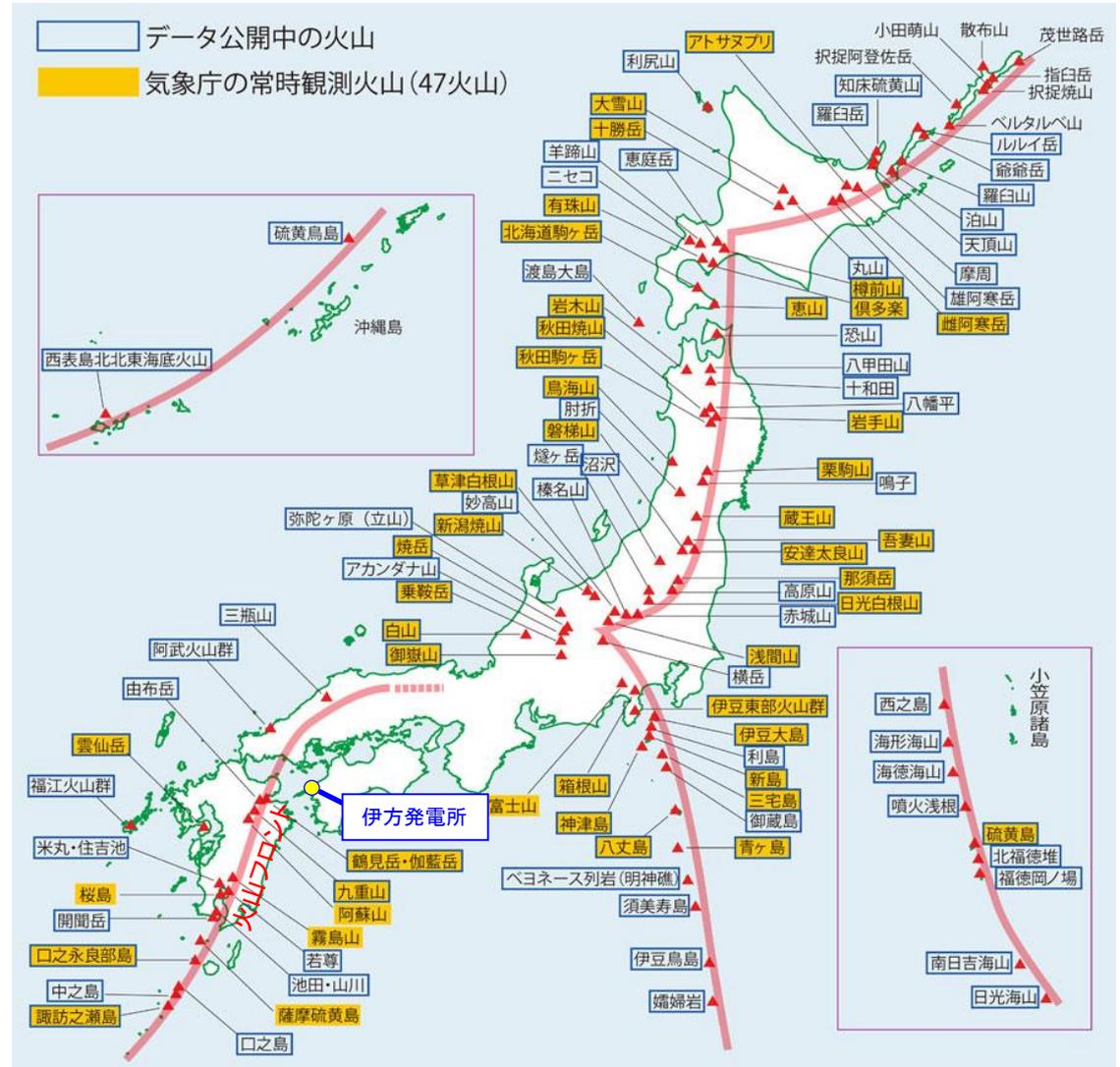


凡 例	
	沖積層
	段丘堆積物 (段丘堆積物にはM, H1, H3が含まれる.)
	珪質片岩
	塩基性片岩
	泥質片岩
	和泉層群
	背斜軸
	向斜軸
	断面線
	片理面の走向・傾斜



敷地と第四紀火山との位置関係

○「未成熟な地震帯の南限は山陰の火山フロントの位置とおおむね一致している」（垣見，2002a）が、伊方発電所は火山フロントから大きく南東に外れた位置にあり、**第四紀火山と離隔**がある。



【垣見(2002a)より抜粋】
「未成熟地震の起こり易い地域 — 山陰「未成熟」地震帯の提唱—
 近年、といっても遡れば1872年浜田地震(Mj7.1)以来、ということになるが、山陰地方にはMj6.5以上の内陸地震が続発している(Fig.11)。また、日本海の沿岸にそい、それよりやや内陸側に、微小地震が帯状に分布し、ところどころで群発地震が発生していることもよく知られている。この地方は、中部—近畿地方などと比べると活断層がきわめて少なく、長さも短いものしか知られていない。したがって、この地方の地震を、「活断層地震」として予測することは困難である。唯一、地表に明瞭な地震断層を生じたのは、1927年北丹後地震(Mj7.3)であったが、これとても活断層は確実度、活動度ともに低いもので、もし地震以前に空中写真判読をしていたら、地震断層の全域に及ぶような活断層は認識できなかったろうといわれている。
 これらのことから筆者は、山陰地方は、他地域に比べて未成熟な大地震が発生する地域特性があるのではないかと疑っていたが、今回の鳥取県西部地震は、この考えを裏付けるものとなった。
 山陰の地震帯には、なぜ未成熟な地震ばかりが発生するのだろうか。その理由は未だわからない。地震帯の南限は山陰の火山フロントの位置とおおむね一致している(Fig.11参照)から、あるいはこの地方の現在の火山活動と関連があるかもしれない。今後の課題であろう。」

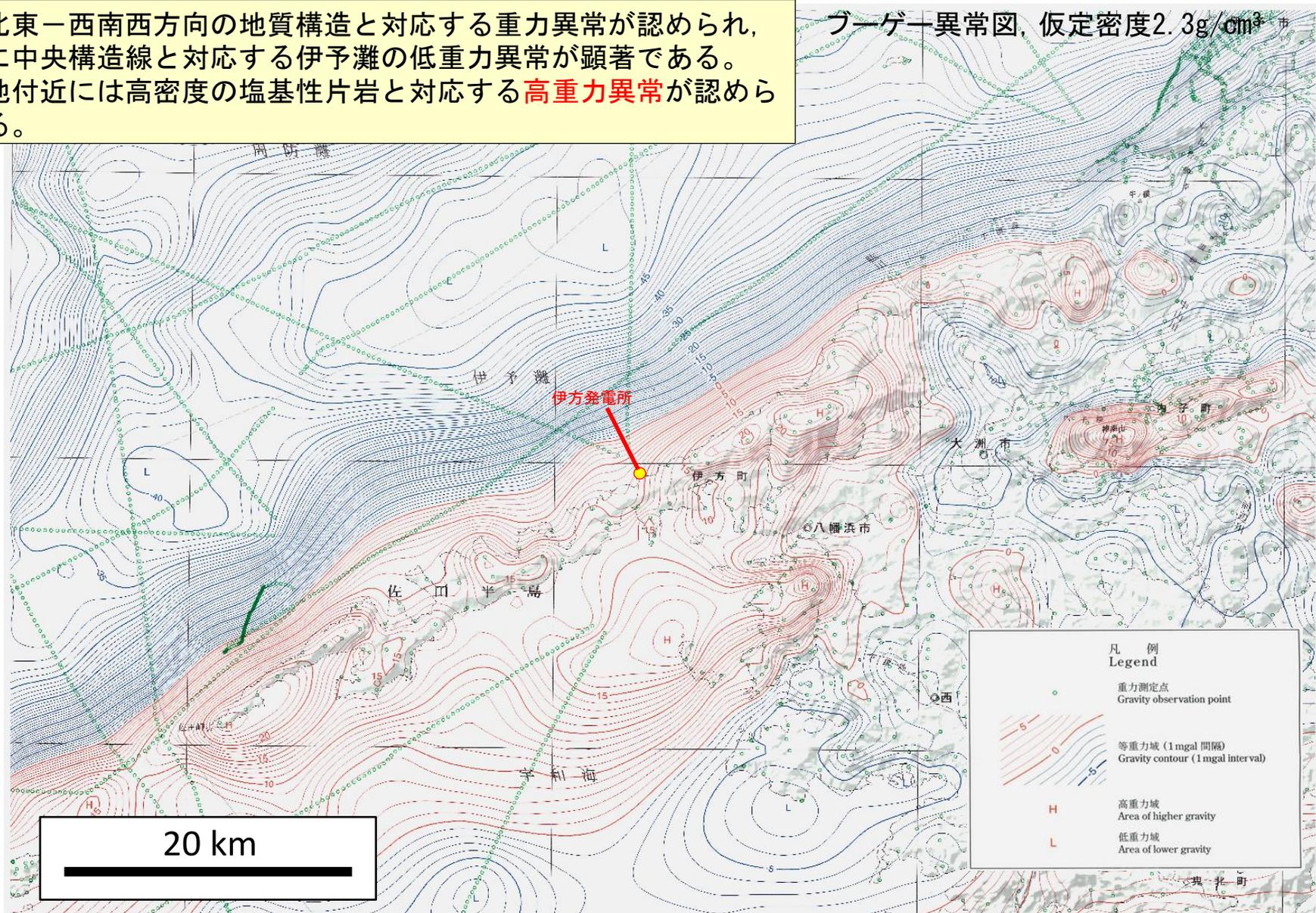
産業技術総合研究所地質調査総合センター，日本の活火山，活火山分布図。

垣見俊弘，2002a，「活断層地震」と「バックグラウンド地震」のはざまの地震—鳥取県西部地震を例として—，災害の研究，33，113-125。

敷地周辺の重力異常① <名和ほか(2008)>

- 東北東—西南西方向の地質構造と対応する重力異常が認められ、特に中央構造線と対応する伊予灘の低重力異常が顕著である。
- 敷地付近には高密度の塩基性片岩と対応する**高重力異常**が認められる。

ブーゲー異常図, 仮定密度2.3g/cm³ 市

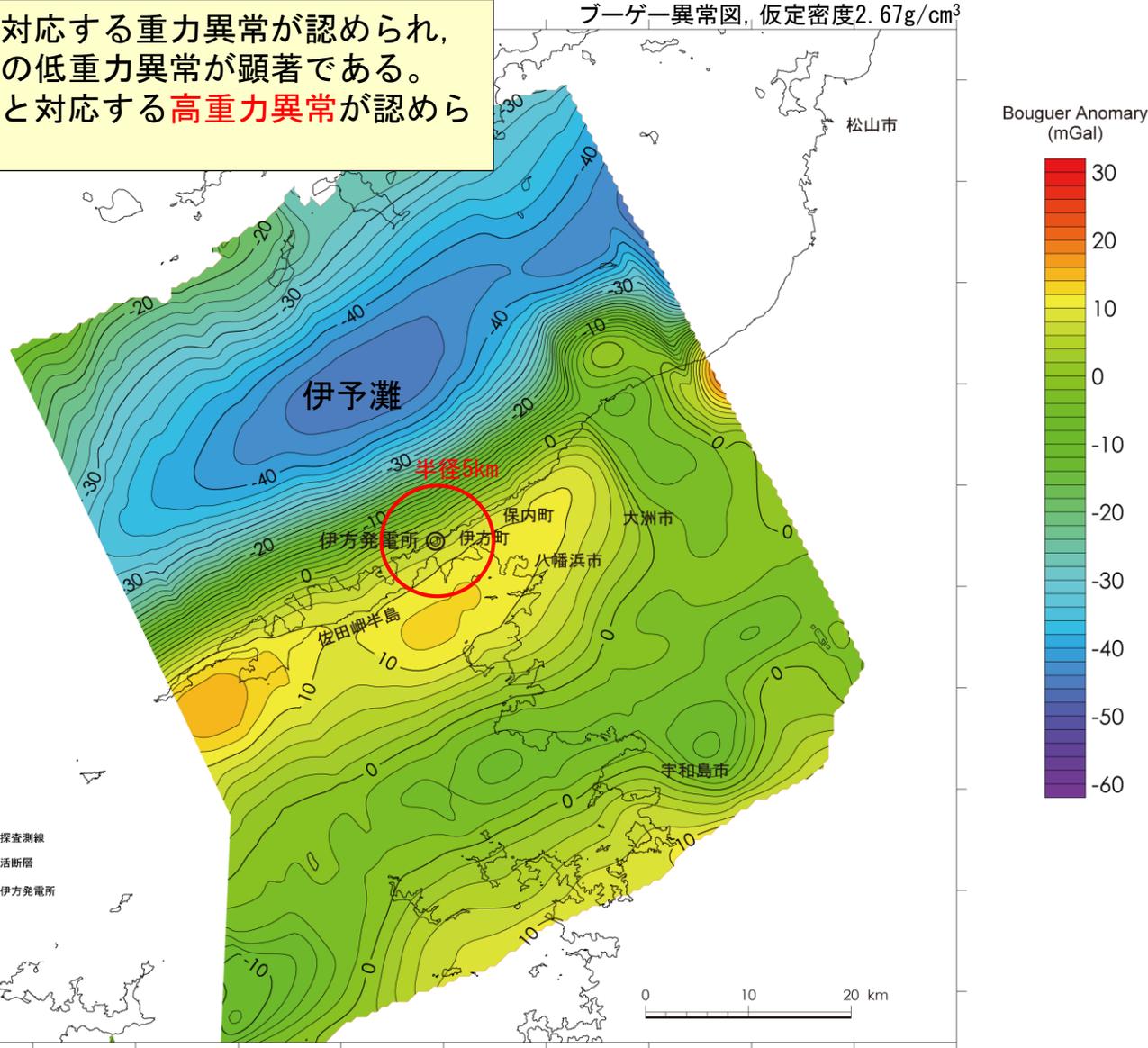


名和一成・駒澤正夫・村田泰章・佐藤秀幸・広島俊男・牧野雅彦・村上文敏・上嶋正人・西村清和・大熊茂雄・大野一郎・村上英記・志知龍一・小室裕明・山本明彦, 2008, 松山地域重力図(ブーゲー異常), 重力図, no.26, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.

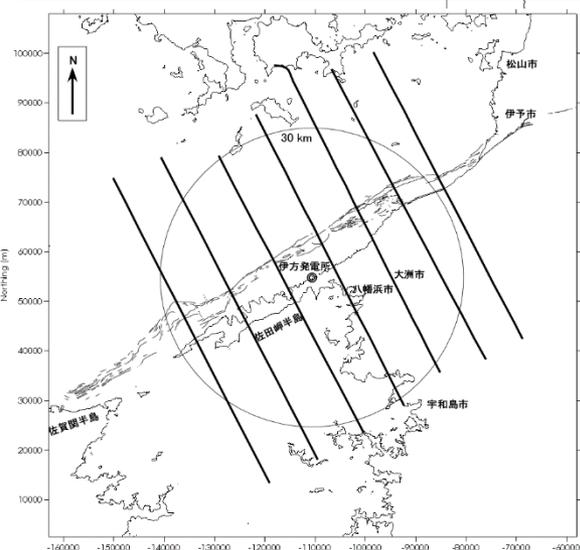
敷地周辺の重力異常② <ヘリコプター重力測定>

○東北東－西南西方向の地質構造と対応する重力異常が認められ、特に中央構造線と対応する伊予灘の低重力異常が顕著である。
○敷地付近には高密度の塩基性片岩と対応する**高重力異常**が認められる。

ブーゲー異常図, 仮定密度2.67g/cm³



ヘリコプター重力測定測線図

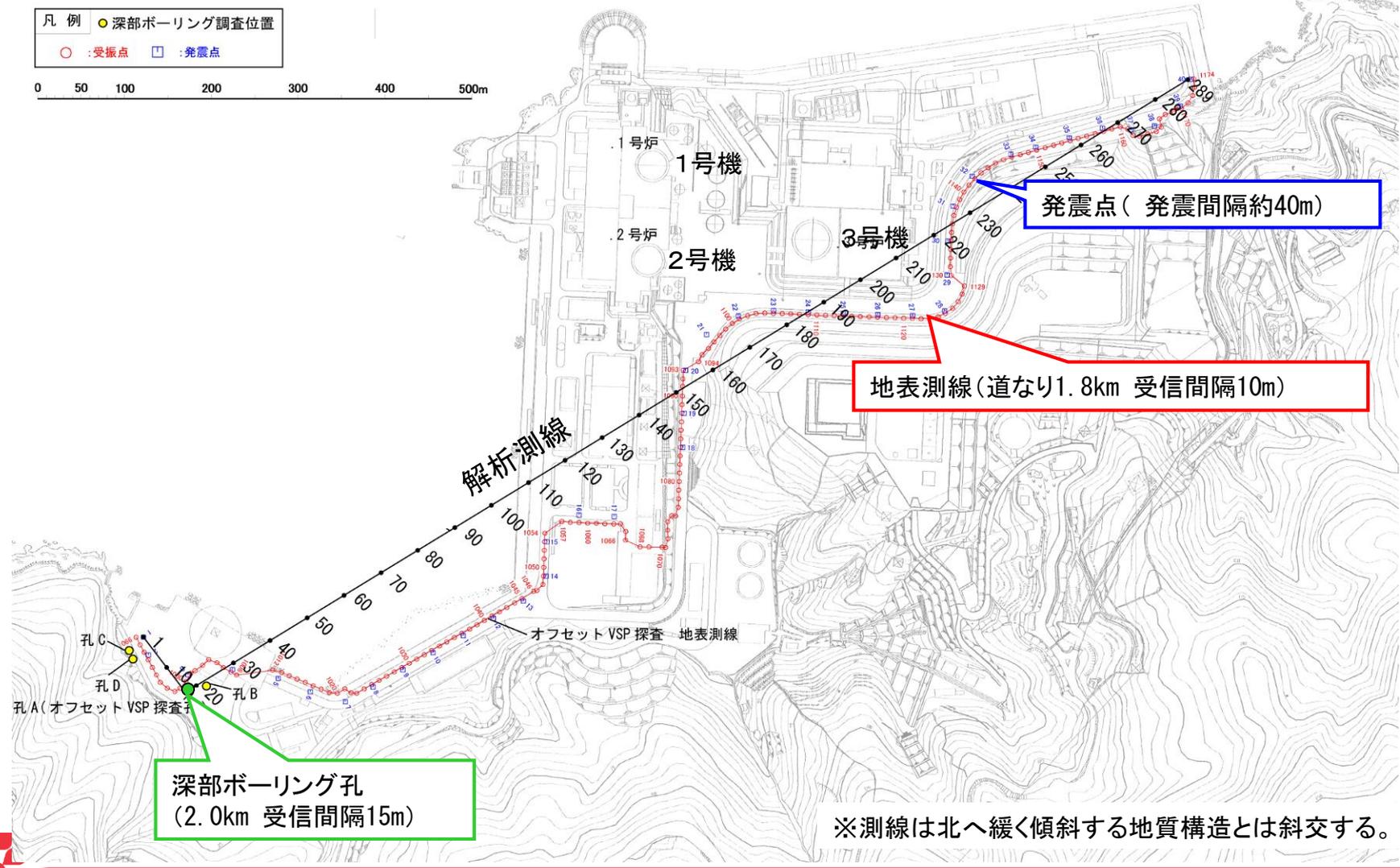


※各測線で一定の速度(90ノット)と高度(3,000～3,300フィート)を保つよう飛行して毎秒(約45m間隔)の重力値を測定



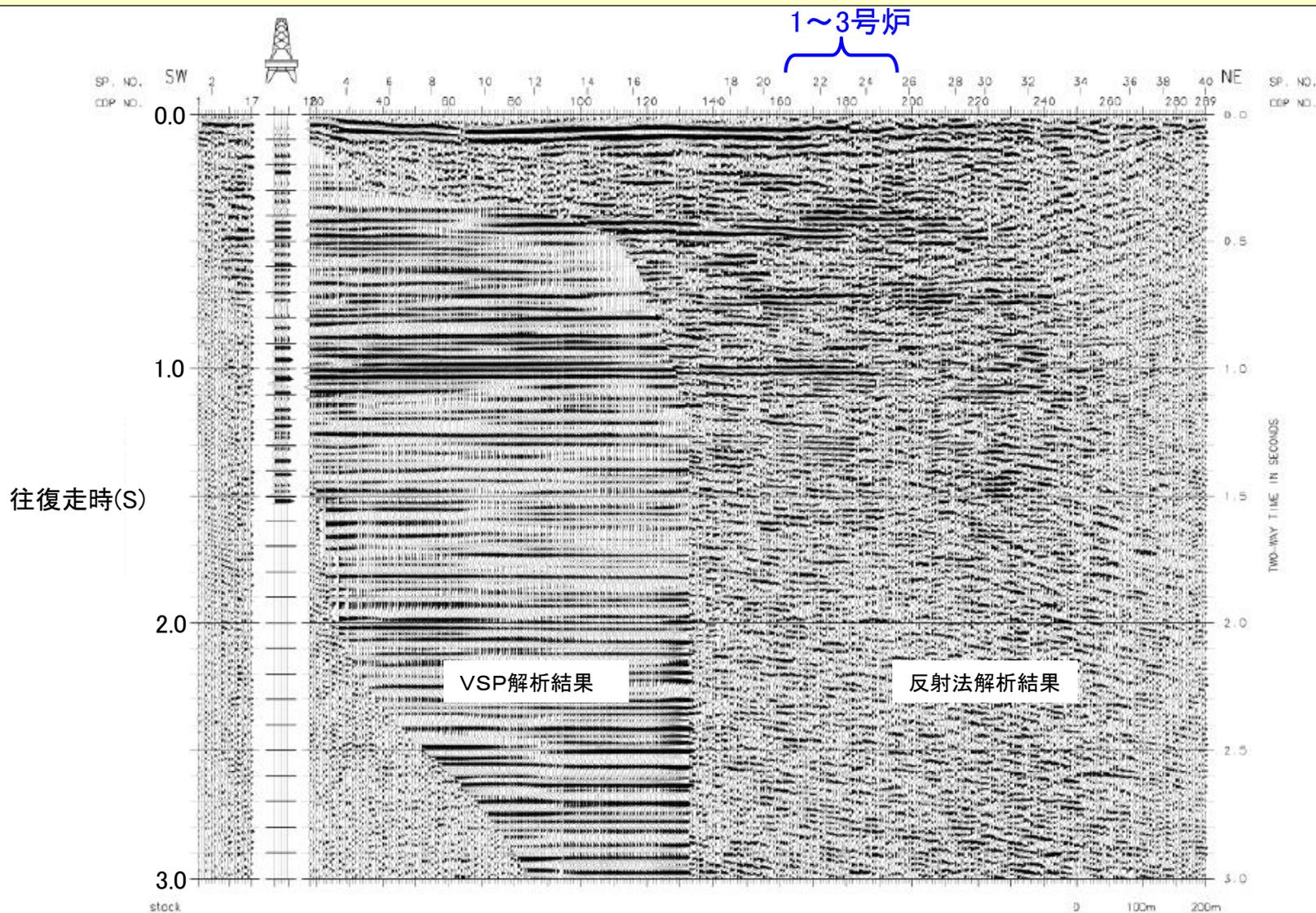
敷地の地下構造(オフセットVSP探査:測線図)

○孔A(深度2,000m)と3号炉心付近とを結ぶ測線でオフセットVSP探査(Vertical Seismic Profiling : 鉛直地震探査)を行い、反射法解析、VSP解析、トモグラフィ解析により敷地の速度構造について検討した。



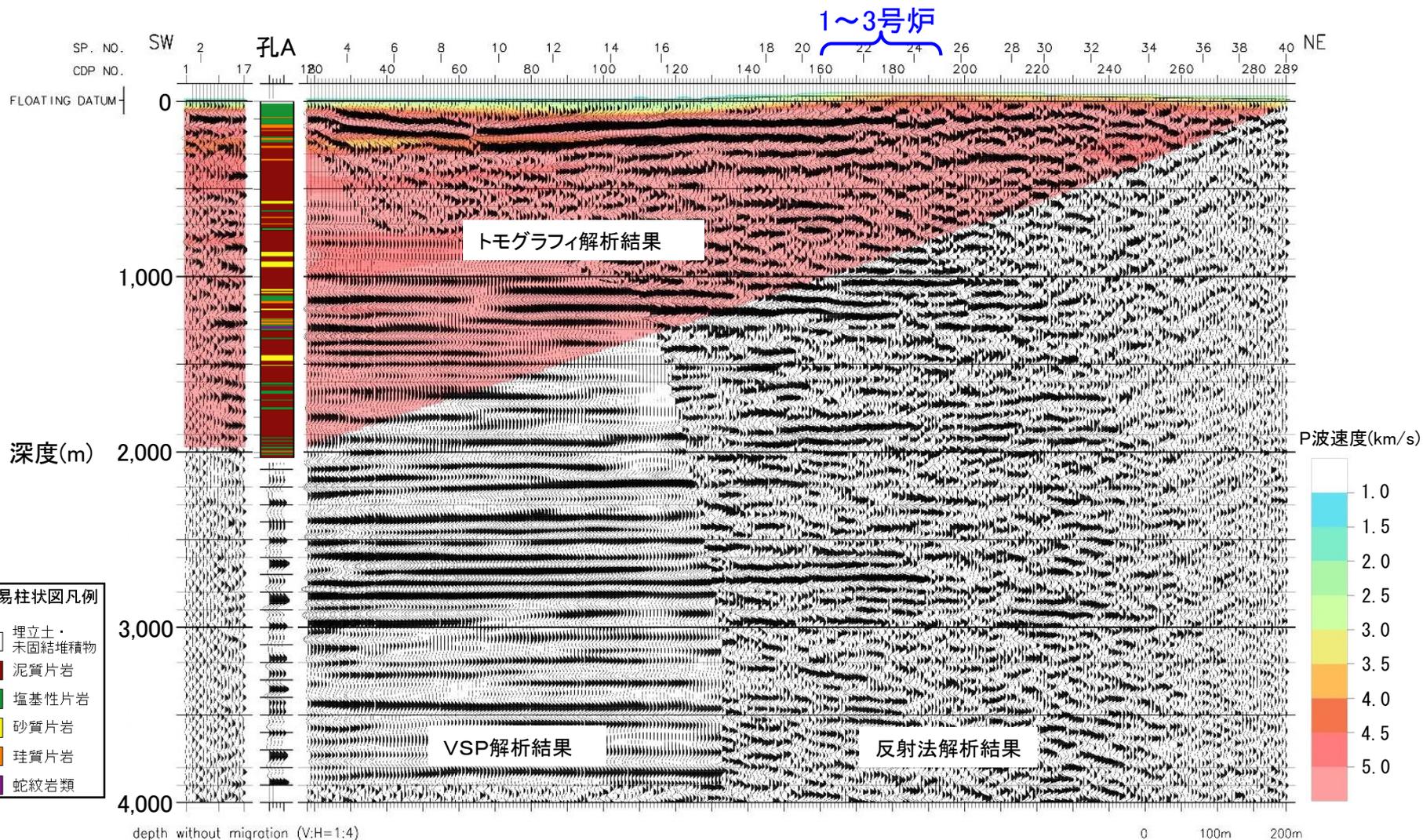
敷地の地下構造(オフセットVSP探査:時間断面)

○地下深部までほぼ水平な反射面が連続し、特異な褶曲構造も認められず、敷地の地盤の速度構造は水平成層かつ均質と評価される。



敷地の地下構造(オフセットVSP探査:深度断面)

○敷地の地盤は極浅部を除けば $V_p=5\text{km/s}$ を上回る。地下深部までほぼ**水平な反射面が連続**して特異な低速度域及び褶曲構造も認められず、敷地の地盤の速度構造は**水平成層かつ均質**と評価される。



伊方発電所立地地点の地域性(まとめ)

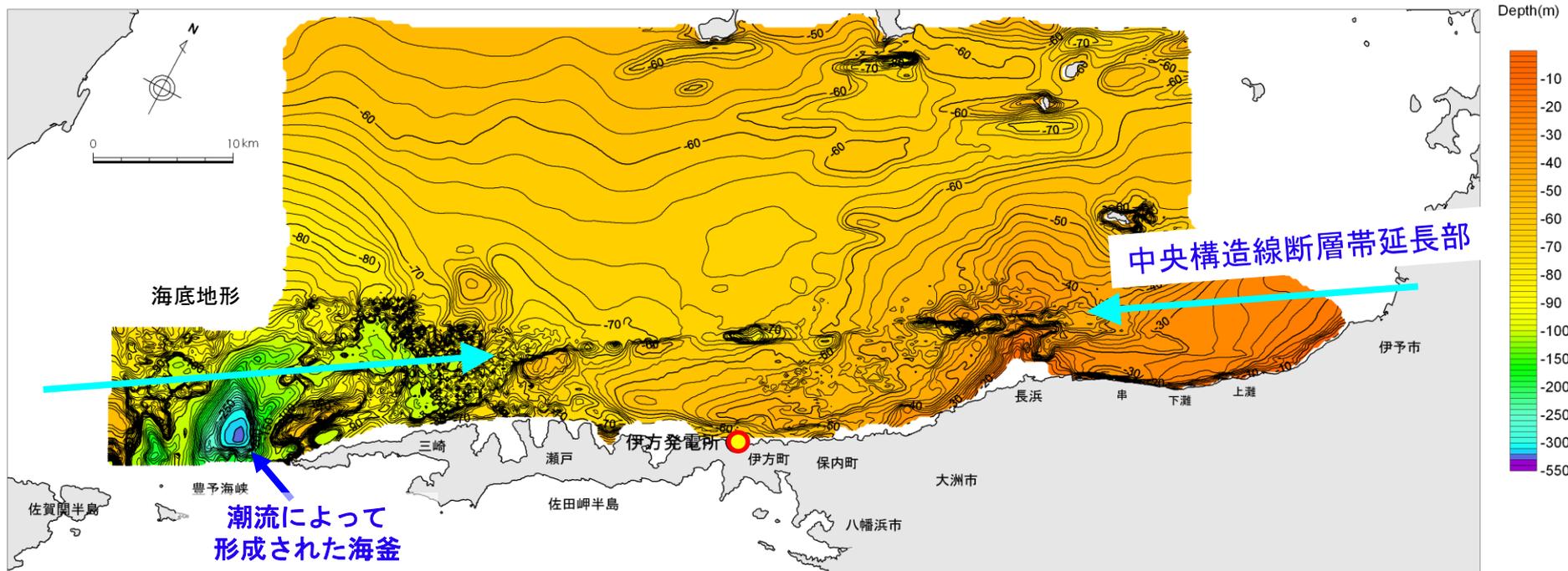
○伊方発電所立地地点は成熟度の高い活断層が発達しやすく、**成熟度の低い活断層が存在し難い地域**と評価される。その要因としては、**歪み蓄積速度が大きい**ことのほか、**均質な地下構造（火山との離隔、結晶片岩の連続、水平成層かつ均質な速度構造）**が考えられる。また、近接する**中央構造線断層帯が成熟した活断層として挙動している**ため、当該地域内に活断層が分布しないと評価される。

項目	伊方発電所立地地点の特徴	根拠となる文献・データ
変位地形・リニアメント	変位地形・リニアメントなし	活断層詳細デジタルマップ, [新編]日本の活断層, 活断層データベース, 海上音波探査結果, T層上面形状, 詳細DEMによる地形判読結果, 空中写真判読結果
活断層の成熟度	成熟度の低い活断層が存在し難い地域	岡田(1973), 岡田・安藤(1979), Stirling et al.(1996), 石辺・島崎(2006), 垣見(2002b), 活断層詳細デジタルマップ, [新編]日本の活断層, 活断層データベース, 七山ほか(2002), 海上音波探査結果, 地形判読結果, Wesnousky(1999), T層上面形状, 高橋・隈元(2006), 岡田・安藤(1979)
歪み蓄積速度	大きい(フィリピン海プレート沈み込みと対応)	Wallace et al. (2009), Sagiya (2004), 野原ほか(2000), Loveless and Meade (2010)
第四紀火山との位置関係	火山フロントより前弧側で離隔あり	活火山分布図
地質	堅硬かつ緻密な結晶片岩が少なくとも地下2kmまで連続, 貫入岩なし	地表踏査結果, 深部ボーリング調査結果
反射断面	水平成層かつ均質な速度構造	オフセットVSP探査結果
応力場	東西圧縮の横ずれ型 (沖縄トラフの開きによる正断層型への遷移域)	Ikeda et al. (2009), 震源メカニズム解(F-net), 深部ボーリング調査のブレイクアウト方位, 中央構造線断層帯の走向と右横ずれ性状
微小地震の発生状況	極めて低調, 深さ~12kmで発生	気象庁一元化震源
重力異常	塩基性片岩と対応する高重力異常	名和ほか(2008), ヘリコプター重力測定結果

-
- I. 地質調査の概要**
 - II. 伊方発電所立地地点の地域性**
 - III. 中央構造線断層帯の評価**
 - IV. 敷地近傍の地質・地質構造**
 - V. 地質調査の信頼性**

海底地形

- 海底地形には、中央構造線断層帯の延長部に細長い凹みと高まりが直線状に配列する。
- 海域西部では、卓越する潮流によって起伏の著しい海底地形が形成されている。



海底地質図

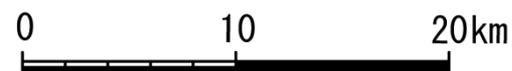
平成27年6月3日
まとめ資料再掲



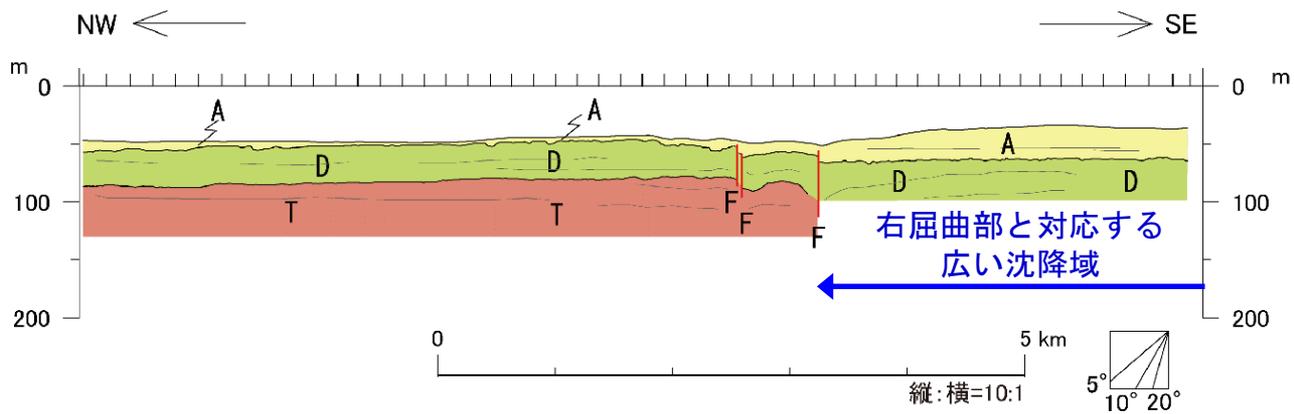
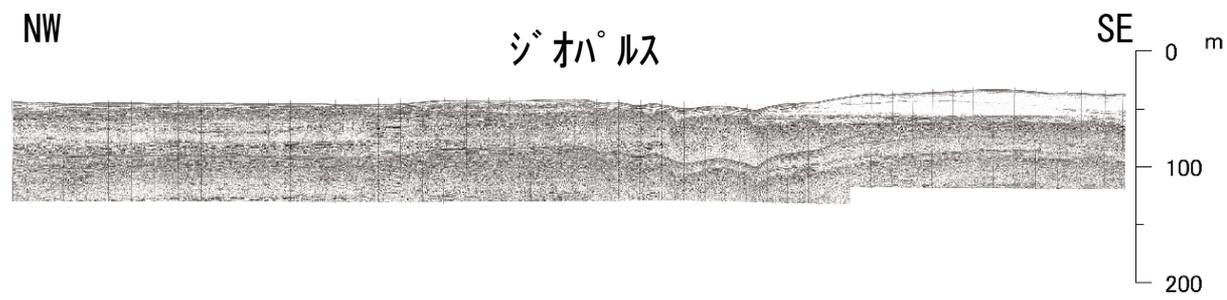
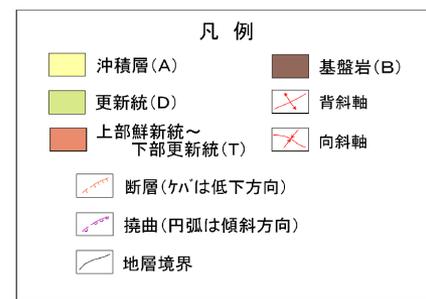
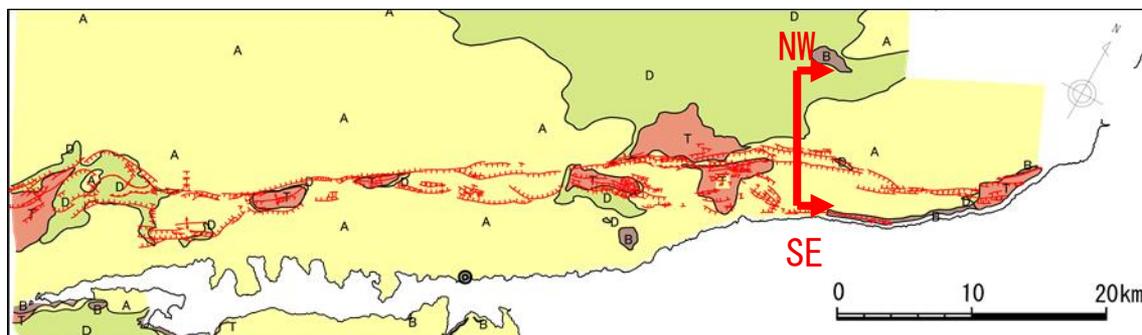
- 伊予灘には中央構造線断層帯に属する海域断層群が分布する。
- 伊予灘の中央構造線断層帯は串沖で約4 km, 伊方沖で約1 km, 岬沖で約4 km右屈曲する。

凡 例

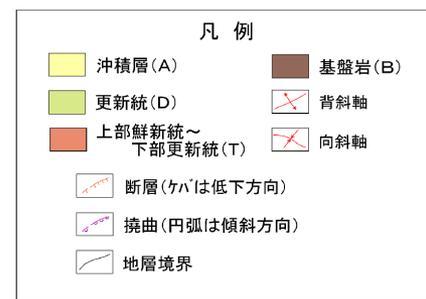
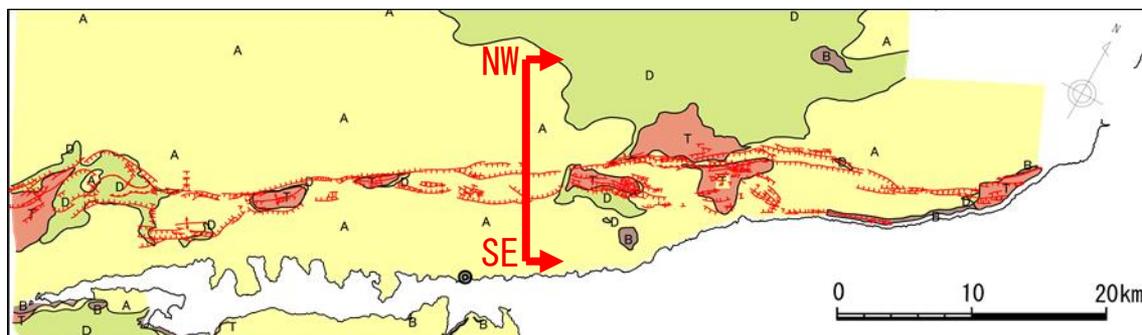
沖積層(A)	基盤岩(B)
更新統(D)	背斜軸
上部鮮新統～ 下部更新統(T)	向斜軸
断層(ケハは低下方向)	
撓曲(円弧は傾斜方向)	
地層境界	



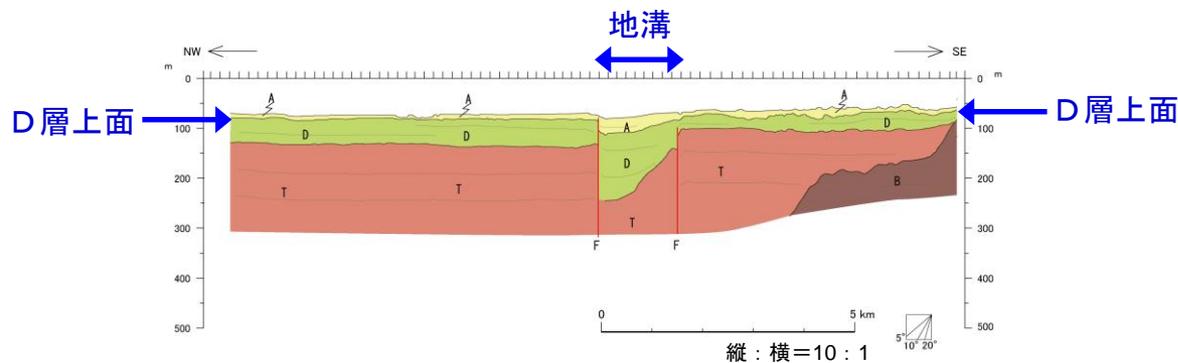
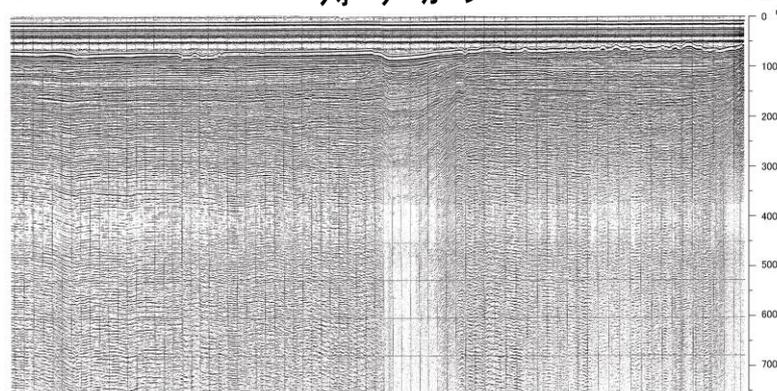
海底地質断面図①<串沖>



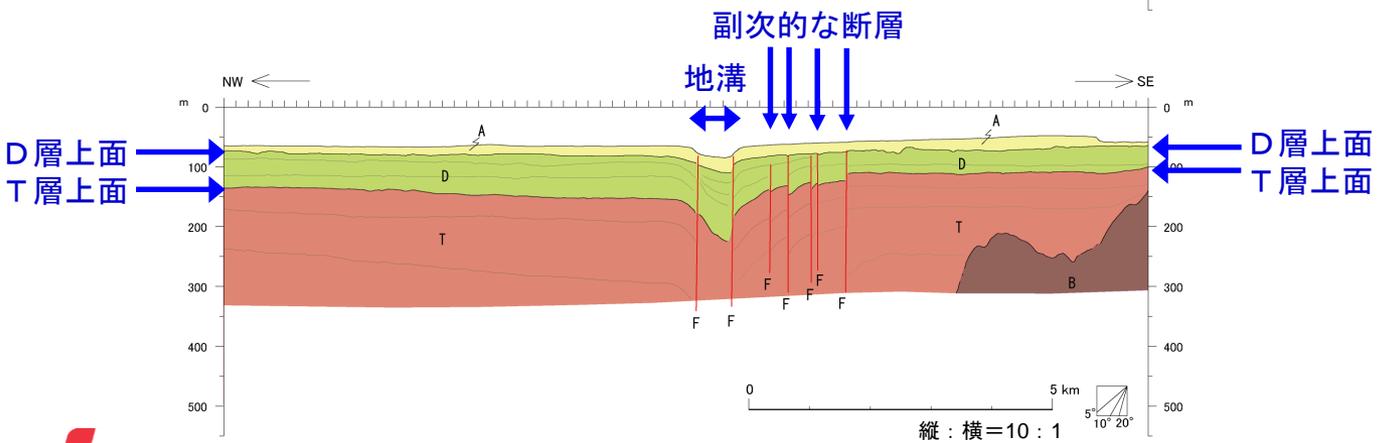
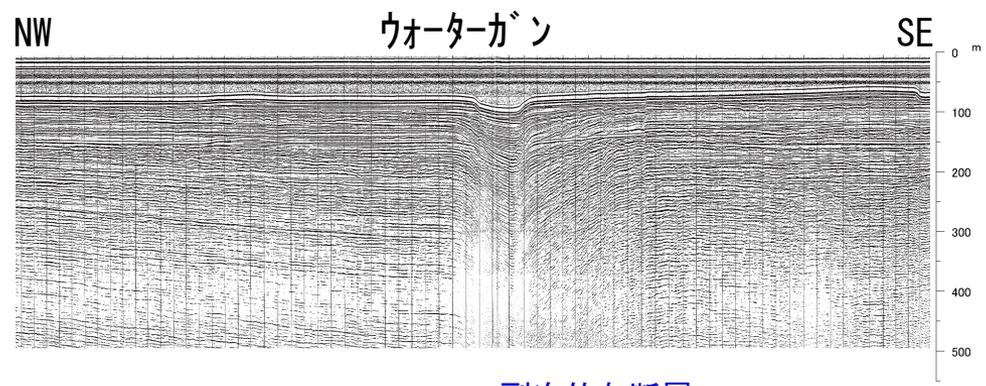
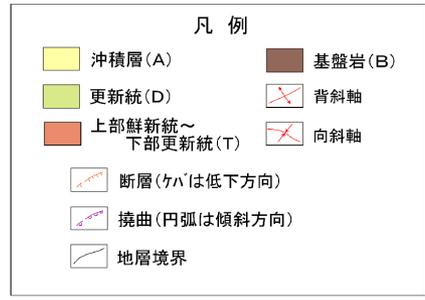
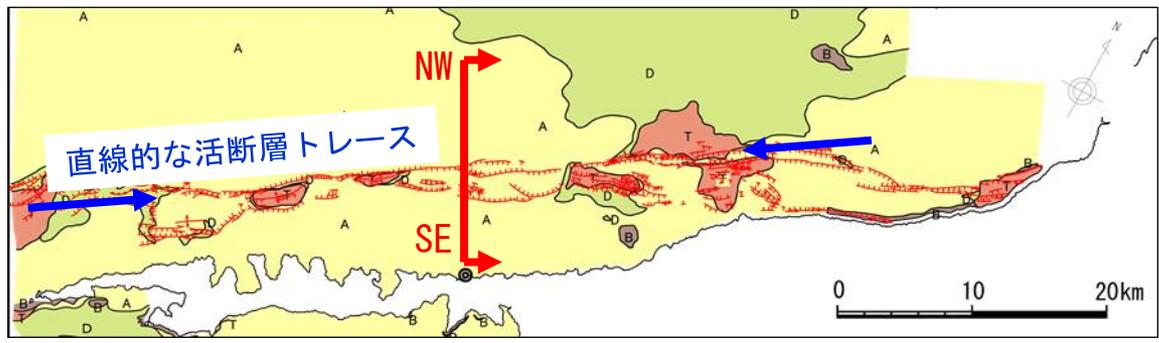
海底地質断面図②<保内沖>



NW ウォーターガン SE

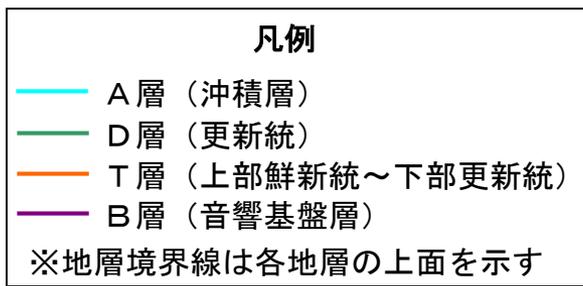
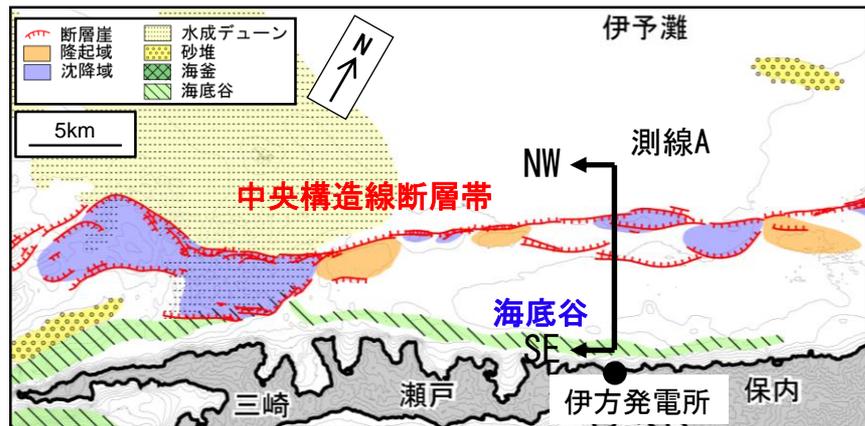


海底地質断面図③ <伊方沖 (1/3)>



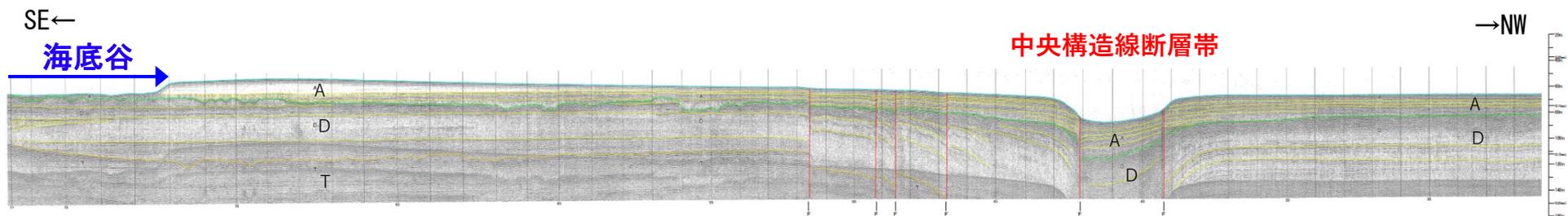
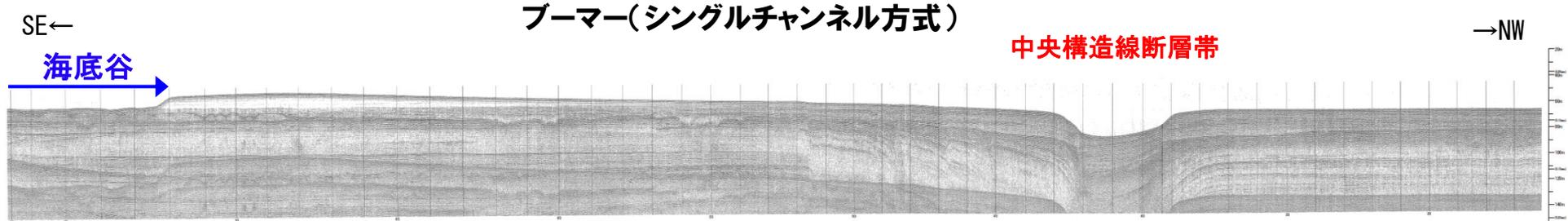
- 中央構造線断層帯は、沖積層を変位させ、海底面にも変形を与える高角の活断層として認められる。
- 非常に直線的な活断層トレースを示す。
- 断層分布域の南北でD層上面に顕著な標高差は認められず、横ずれの卓越する断層運動が推定される。
- 変位の累積しているT層上面では、断層分布域の南北でやや北落ちの標高差が認められ、わずかに正断層成分を有すると推定される。

海底地質断面図④ <伊方沖 (2/3)>

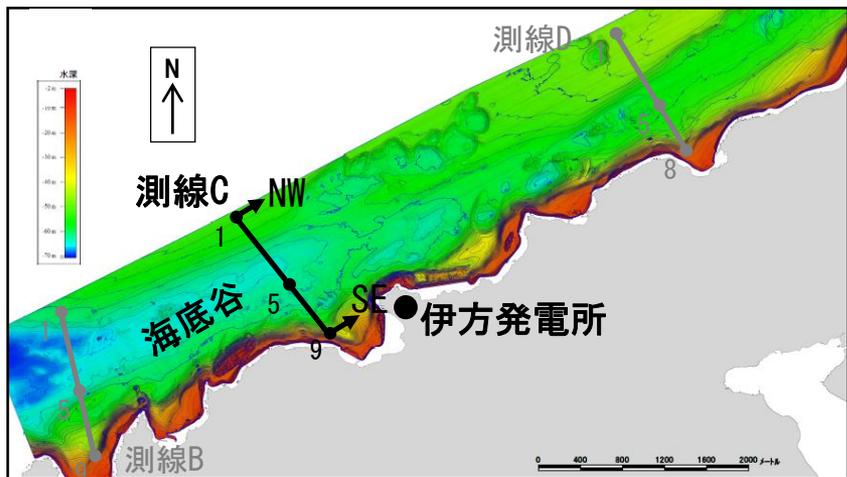


○海底谷のところで
水平な地層が削ら
れており、海底谷
は潮流による侵食
を受けて形成され
たと評価される。

約500m
V. E. ≒10



海底地質断面図⑤ <伊方沖 (3/3)>



凡例

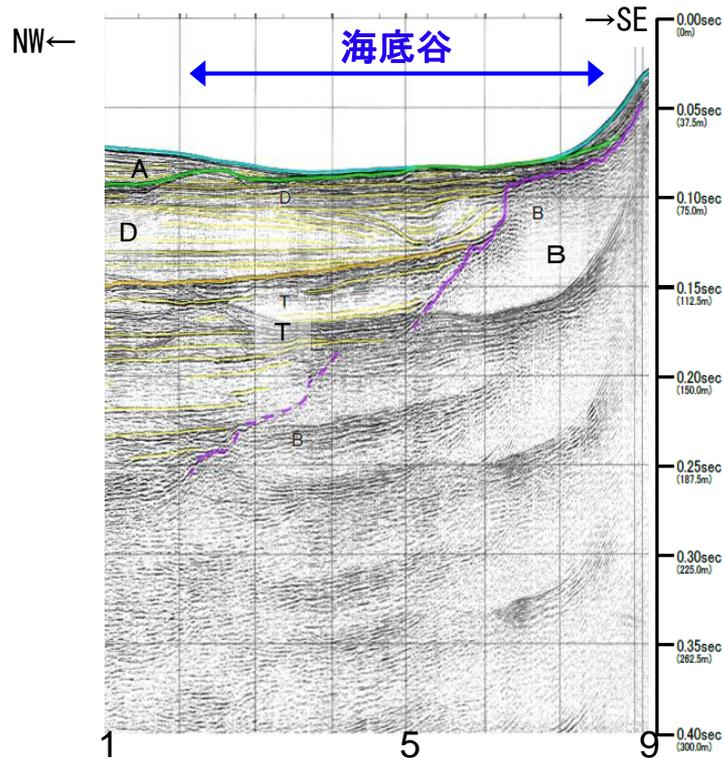
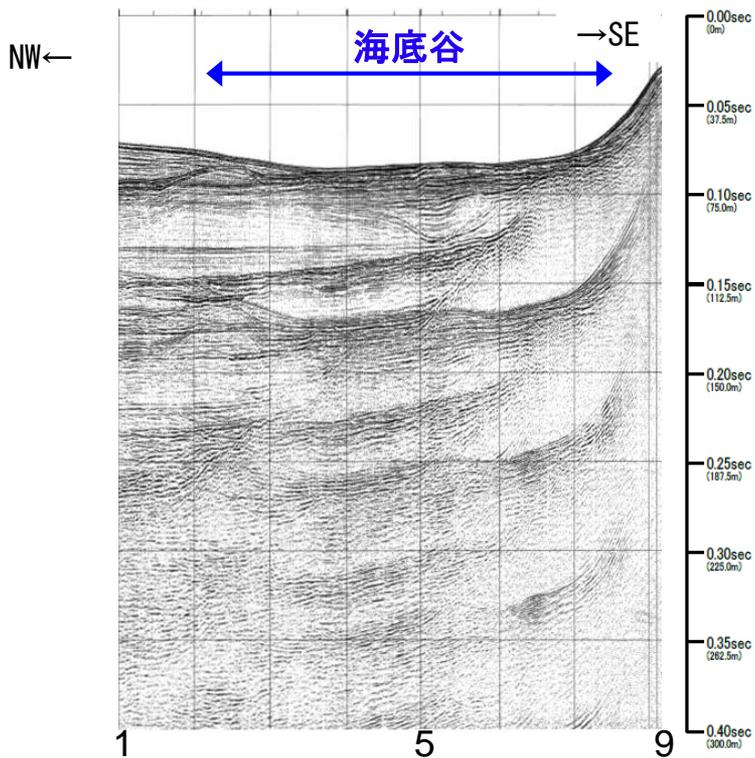
- A層 (沖積層)
- D層 (更新統)
- T層 (上部鮮新統~下部更新統)
- B層 (音響基盤層)

※地層境界線は各地層の上面を示す

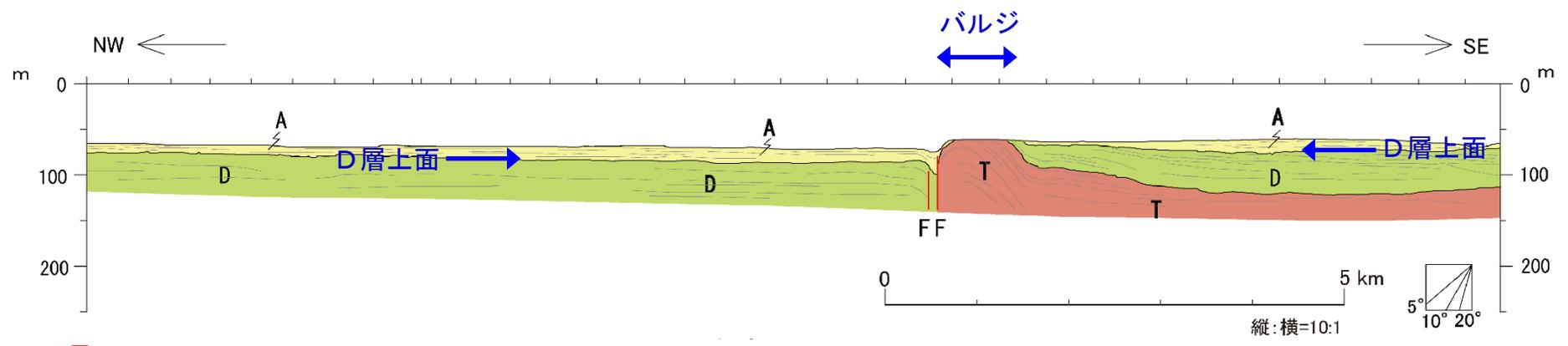
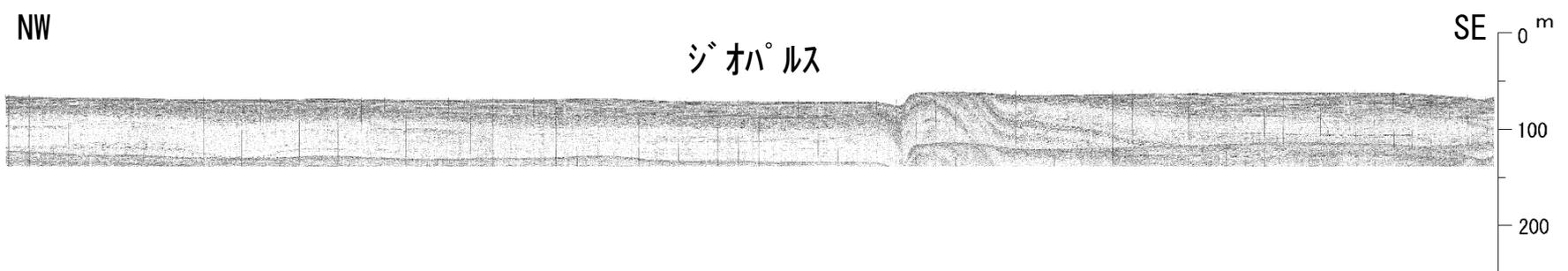
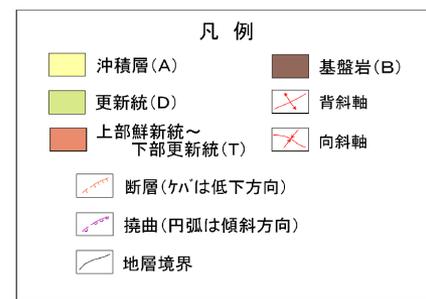
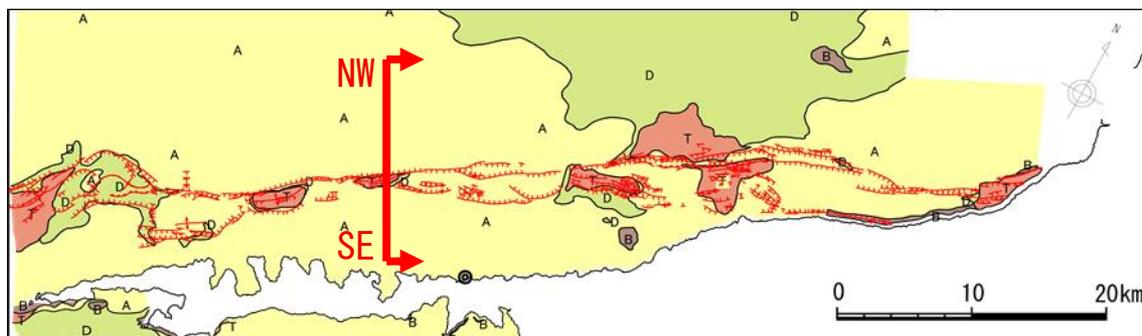
○海底谷のところで
水平な地層が削ら
れており、海底谷
は潮流による侵食
を受けて形成され
たと評価される。

約200m V. E. ≒6

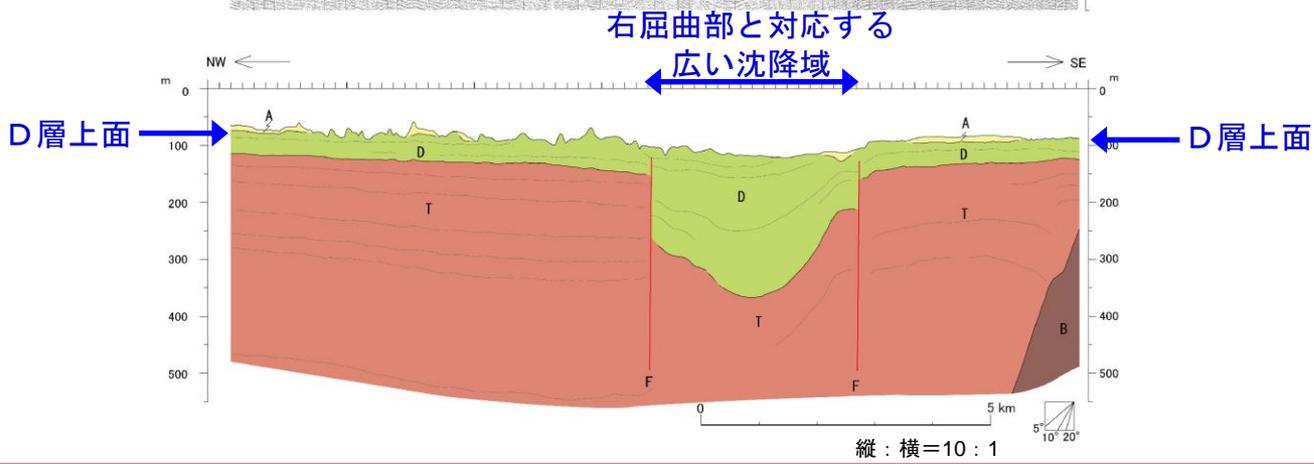
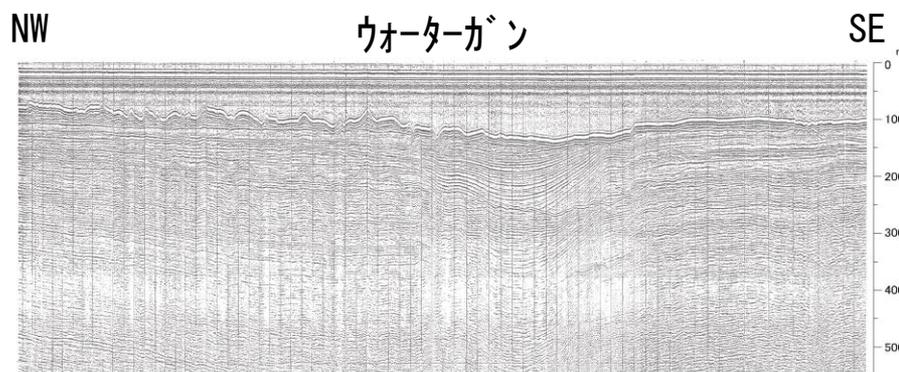
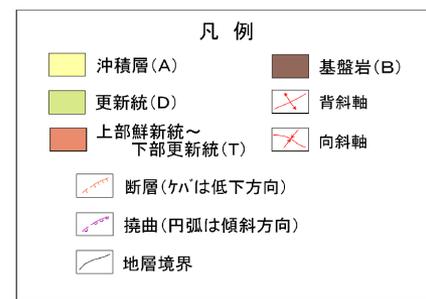
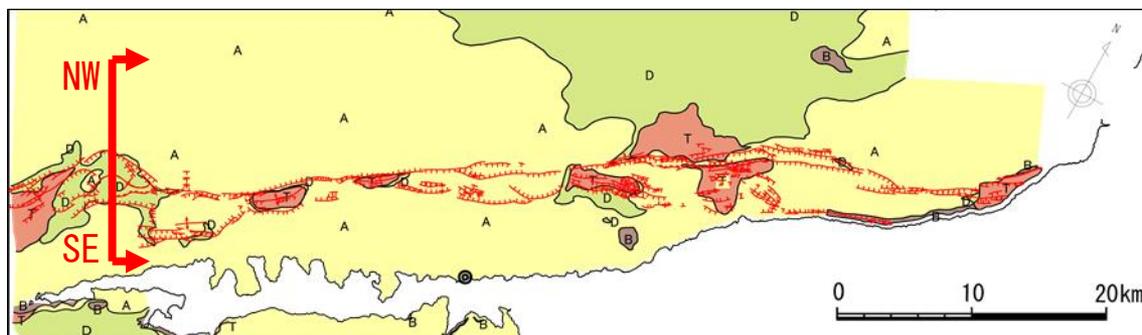
ブーマー(マルチチャンネル方式)



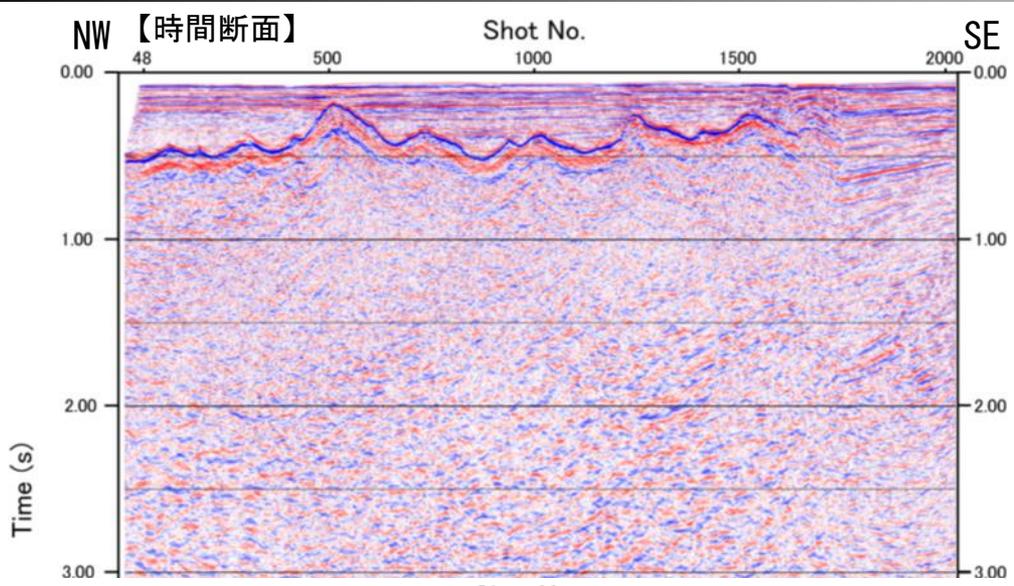
海底地質断面図⑥<瀬戸沖>



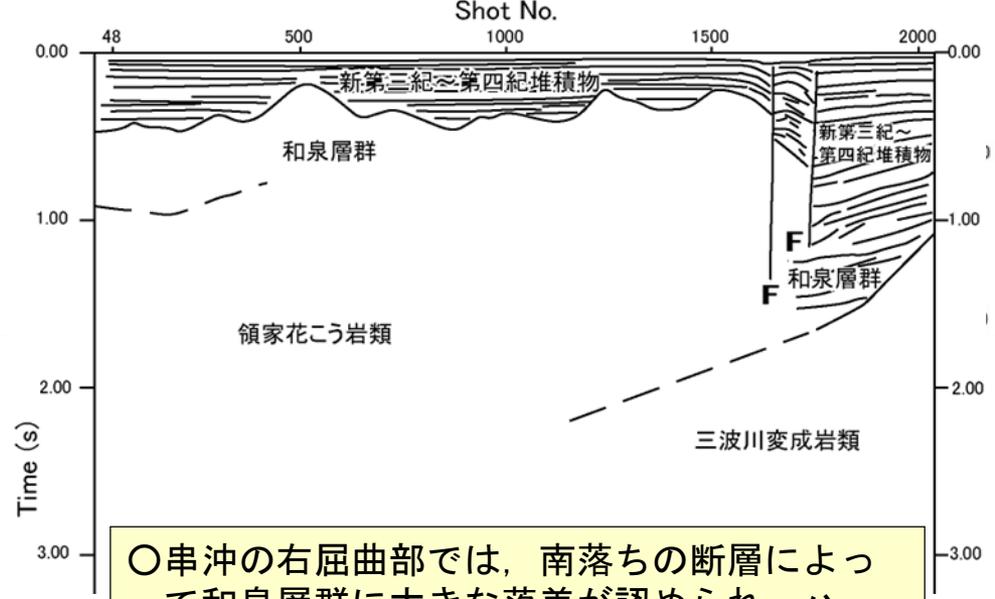
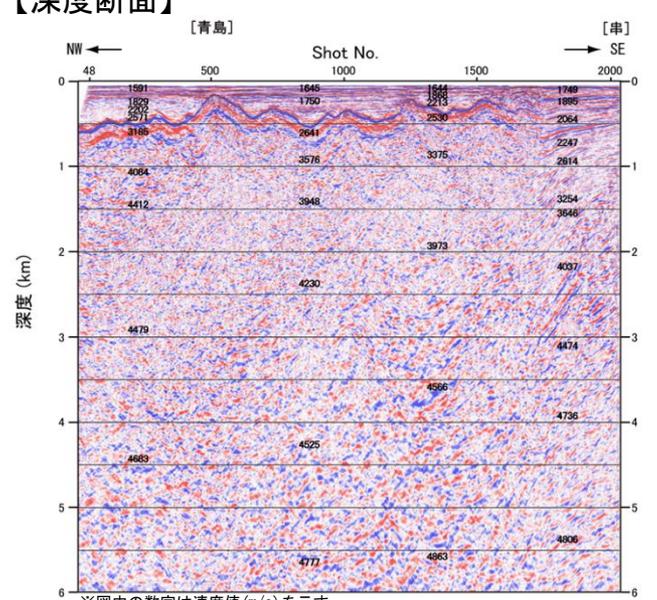
海底地質断面図⑦<三崎沖>



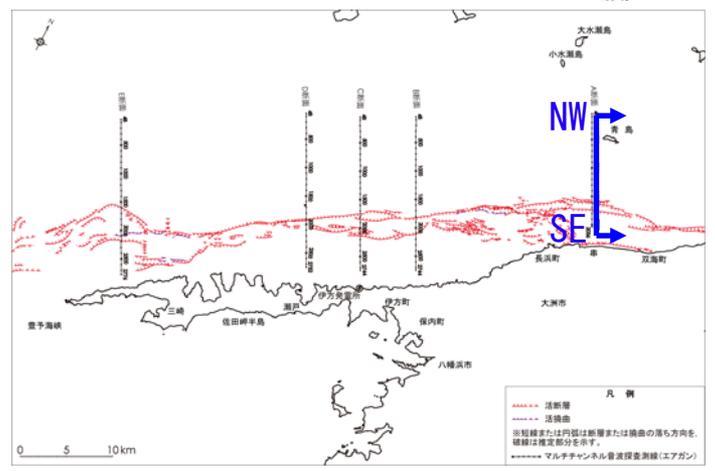
エアガンによる探査断面図①<串沖>



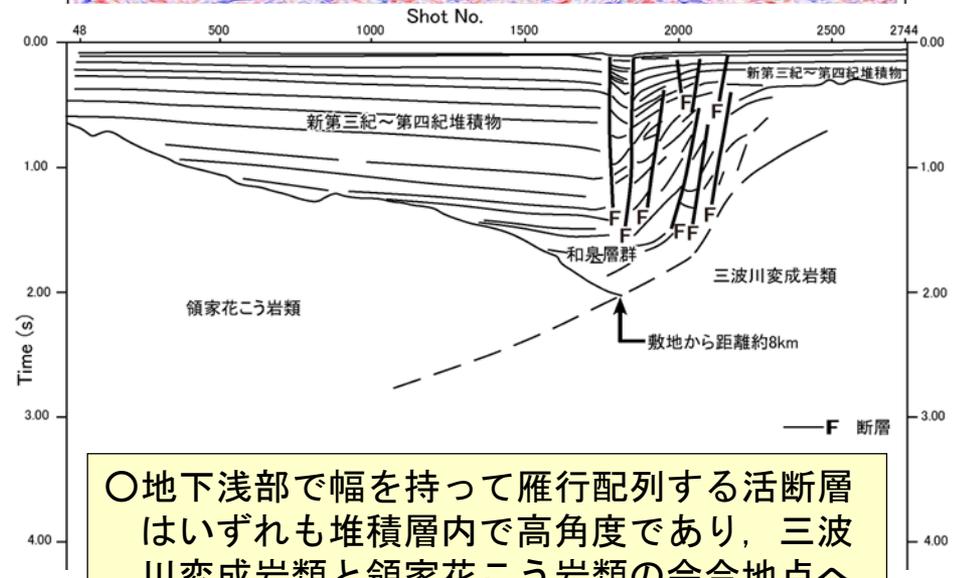
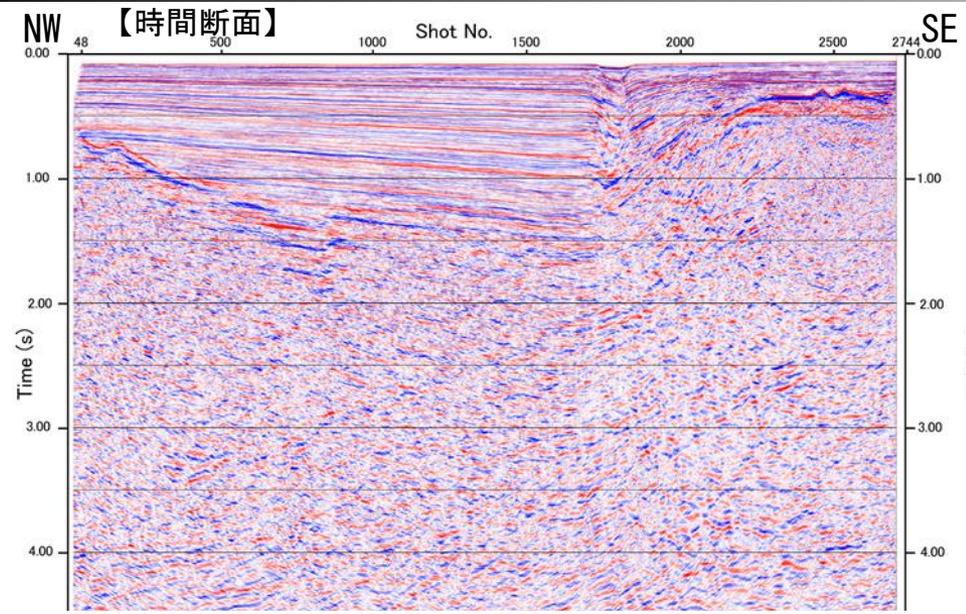
エアガン探査断面図



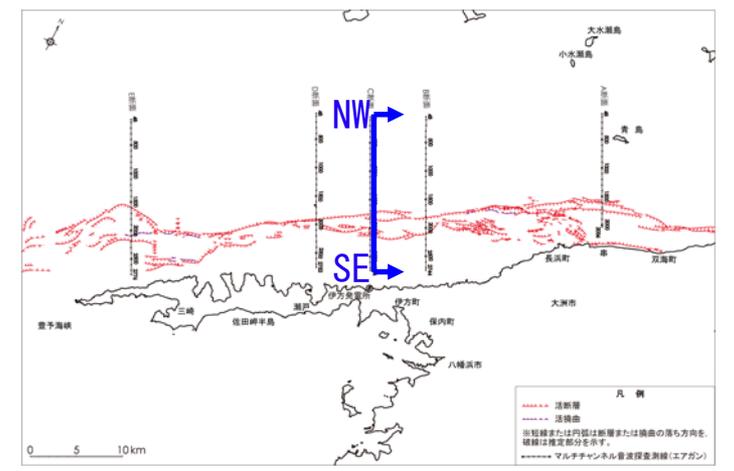
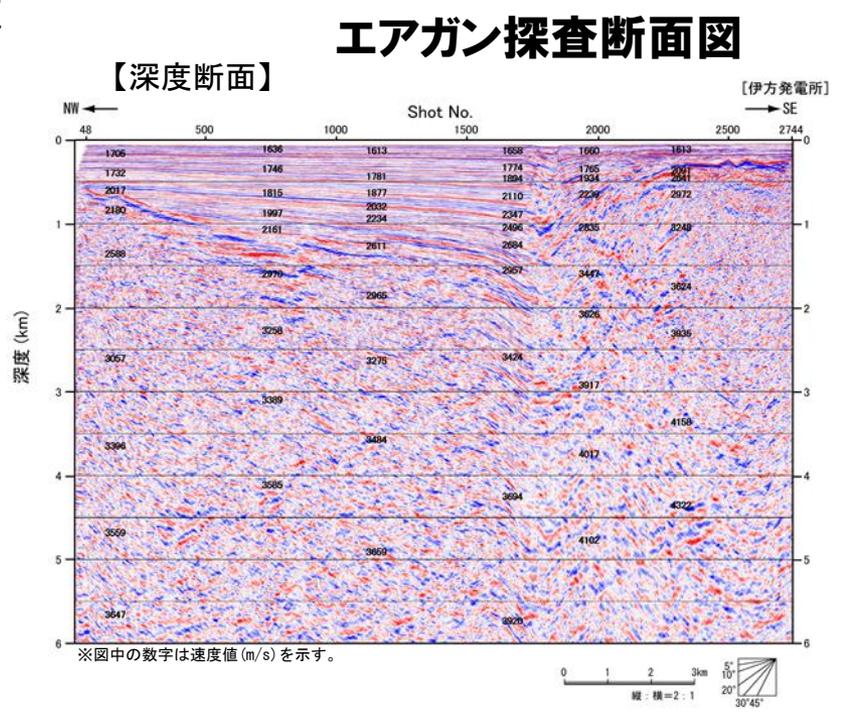
○串沖の右屈曲部では、南落ちの断層によって和泉層群に大きな落差が認められ、ハーフグラベン状の盆地が形成されている。



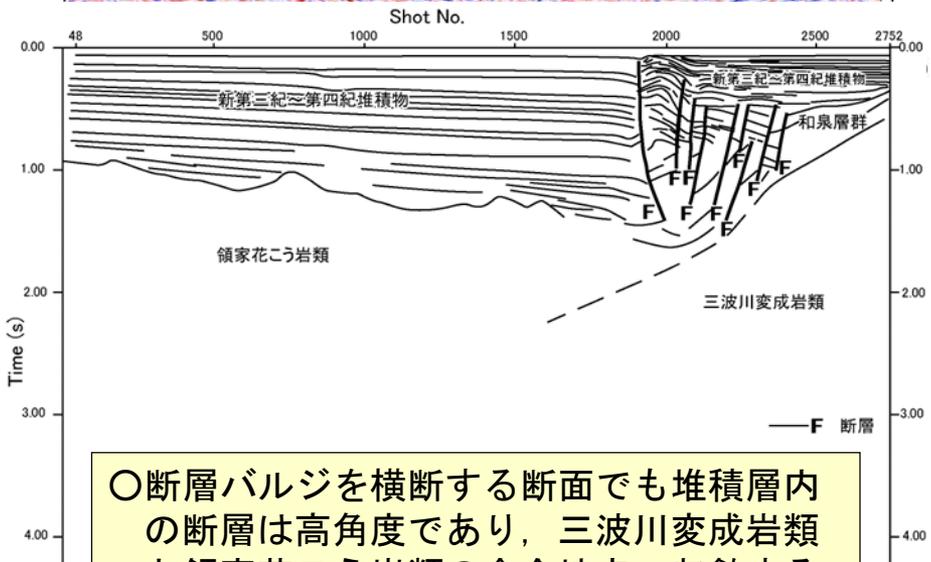
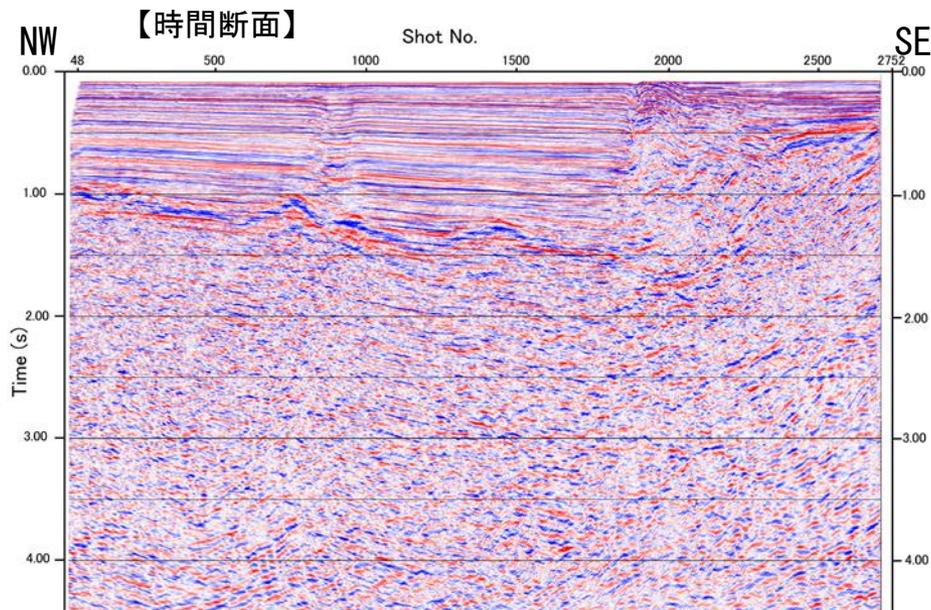
エアガンによる探査断面図③<伊方沖>



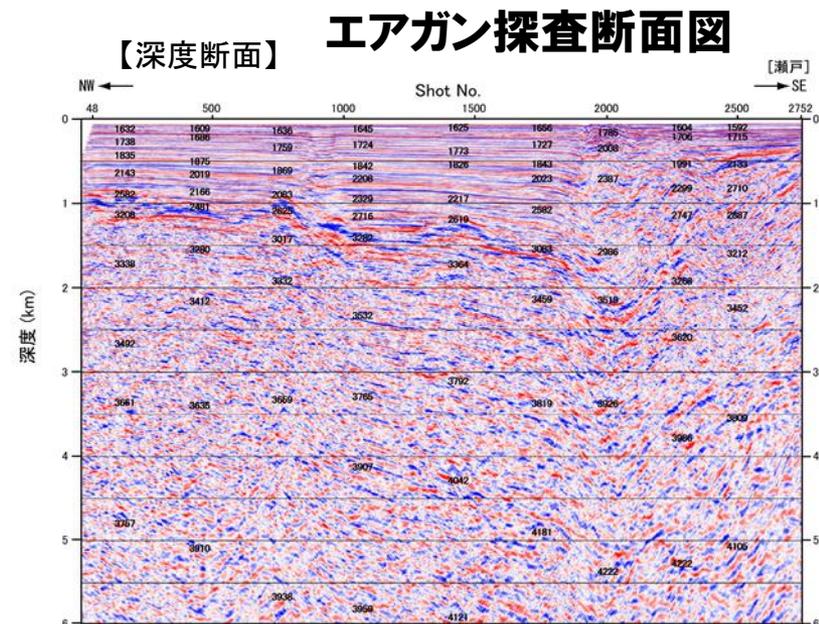
○地下浅部で幅を持って雁行配列する活断層はいずれも堆積層内で高角度であり、三波川変成岩類と領家花こう岩類の会合地点へ収斂する。



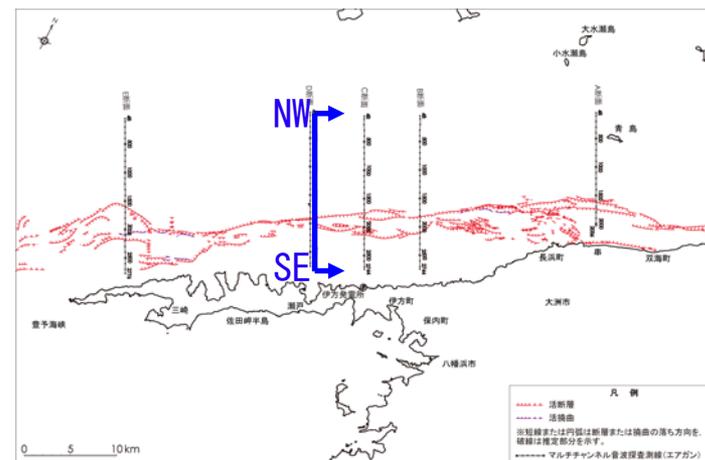
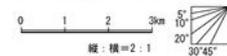
エアガンによる探査断面図④ <瀬戸沖>



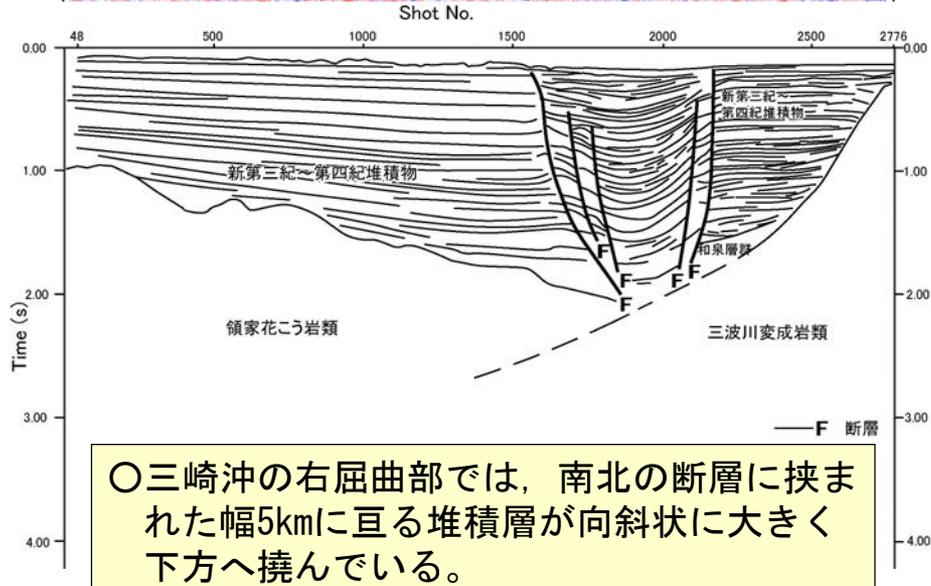
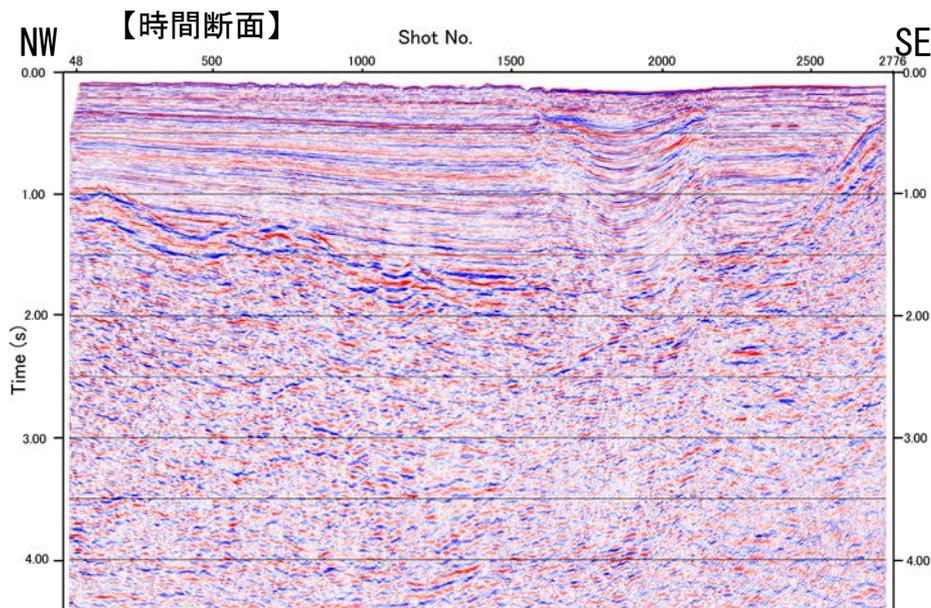
○断層バルジを横断する断面でも堆積層内の断層は高角度であり、三波川変成岩類と領家花こう岩類の会合地点へ収斂する。



※図中の数字は速度値 (m/s) を示す。

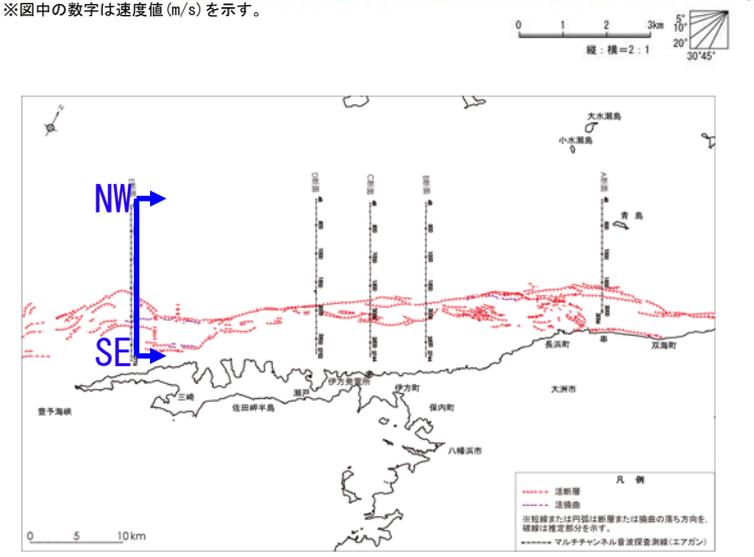
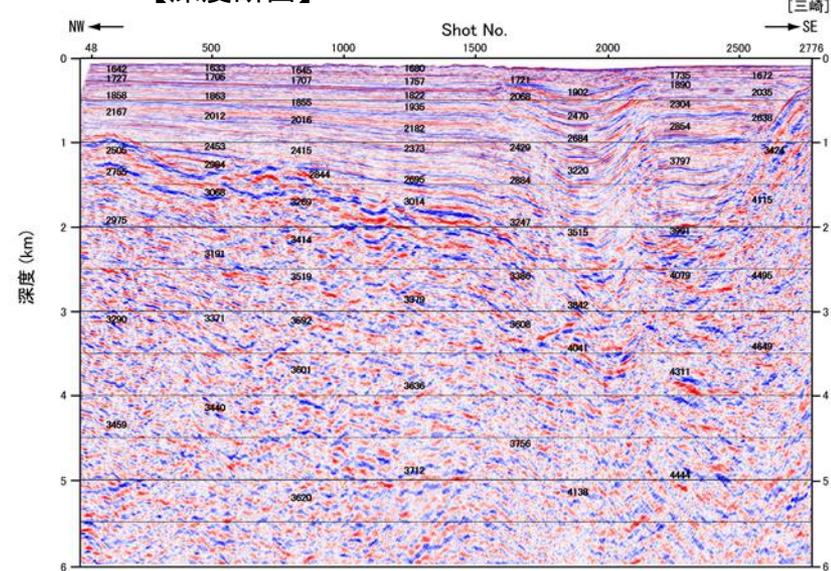


エアガンによる探査断面図⑤<三崎沖>

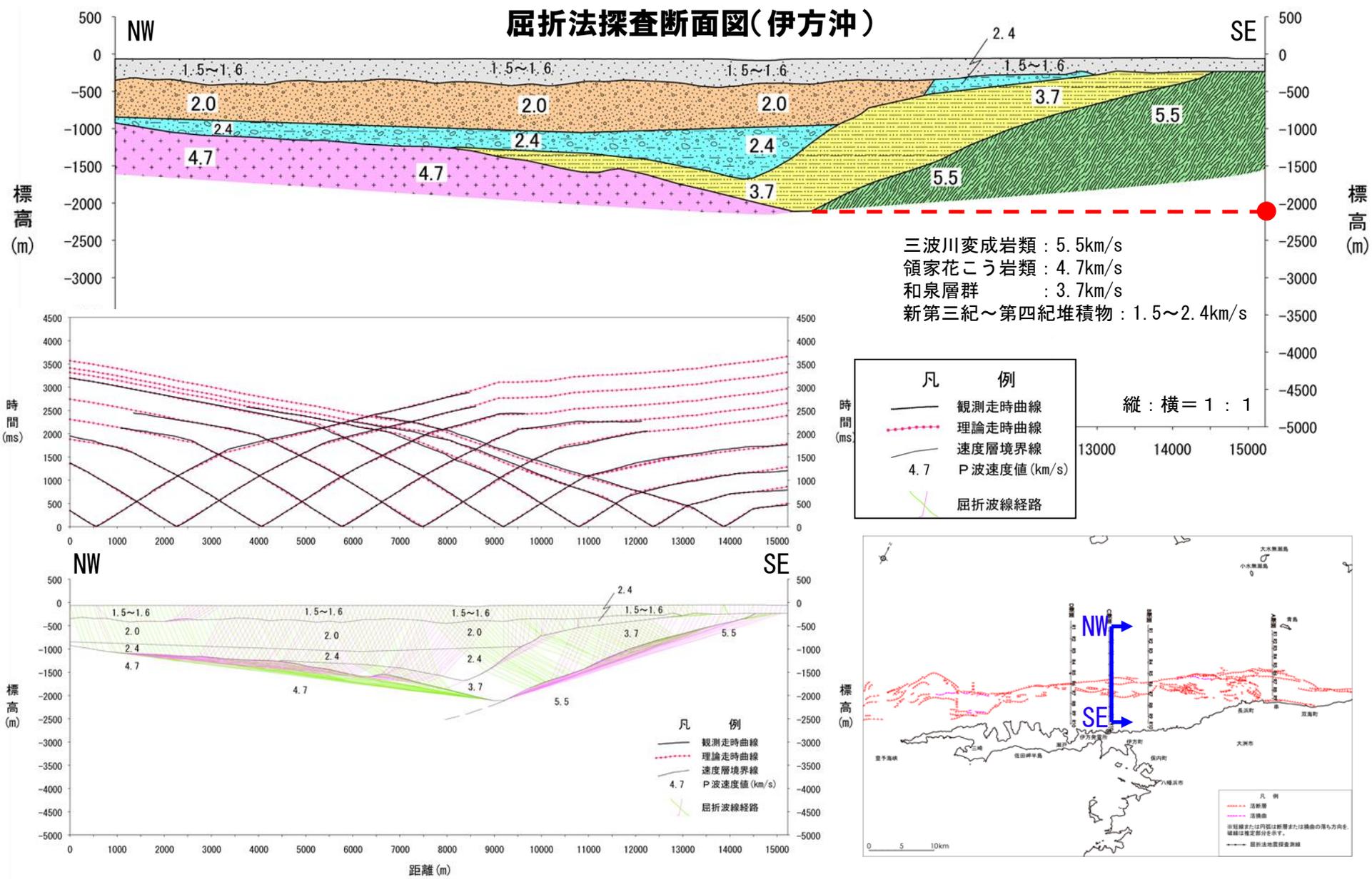


○三崎沖の右屈曲部では、南北の断層に挟まれた幅5kmに亘る堆積層が向斜状に大きく下方へ撓んでいる。

【深度断面】 エアガン探査断面図



屈折法探査断面図③<伊方沖>



伊予灘の調査結果(まとめ)

<海底地質断面図>

- 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度の活断層として認められる。
- 活断層の分布域には、横ずれ断層変位に伴って形成された地溝やバルジがみられる。
- 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。

<エアガン探査断面図>

- 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る。
- 三波川変成岩類は領家花こう岩類との会合地点からさらに北へ連続して分布するように見え、地質境界断層としての中央構造線が北傾斜であることが示唆される。
- 活断層が右屈曲する地点には、第四紀堆積盆が認められる。

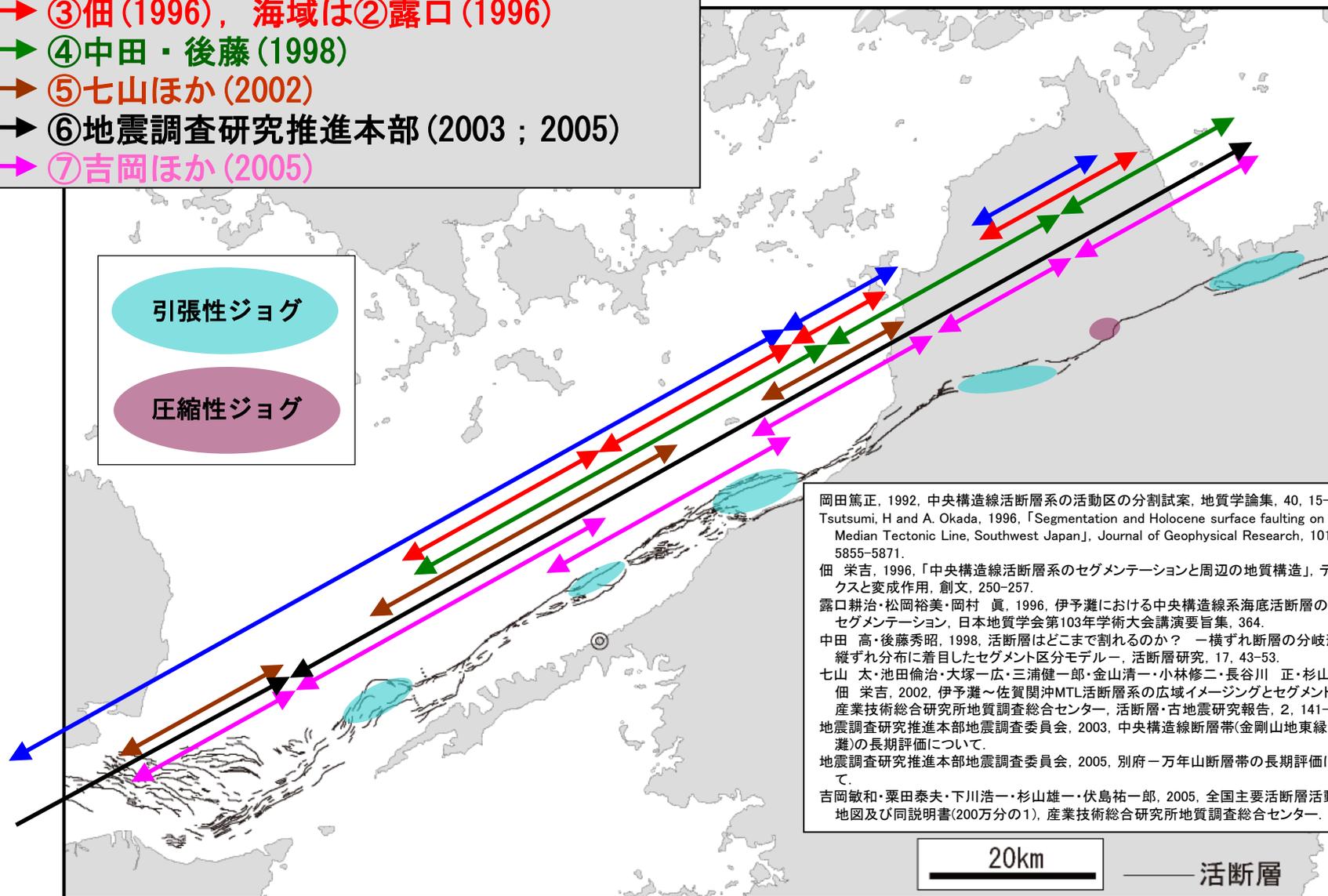
<屈折法探査断面図>

- 三波川変成岩類と領家花こう岩類の会合部の深度は2.0~2.5kmである。

断層長さの評価① < 既往のセグメント区分の整理 >

- ① 岡田 (1992), Tsutsumi and Okada (1996)
※主に陸域のデータに基づく
- ③ 佃 (1996), 海域は② 露口 (1996)
- ④ 中田・後藤 (1998)
- ⑤ 七山ほか (2002)
- ⑥ 地震調査研究推進本部 (2003 ; 2005)
- ⑦ 吉岡ほか (2005)

引張性ジョグ
圧縮性ジョグ



岡田篤正, 1992, 中央構造線活断層系の活動区の分割試案, 地質学論集, 40, 15-30.
 Tsutsumi, H and A. Okada, 1996, 「Segmentation and Holocene surface faulting on the Median Tectonic Line, Southwest Japan」, Journal of Geophysical Research, 101, B3, 5855-5871.
 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, 創文, 250-257.
 露口耕治・松岡裕美・岡村 真, 1996, 伊予灘における中央構造線系海底活断層の分布とセグメンテーション, 日本地質学会第103年学術大会講演要旨集, 364.
 中田 高・後藤秀昭, 1998, 活断層はどこまで割れるのか? -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, 17, 43-53.
 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.
 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003, 中央構造線断層帯(金剛山地東縁-伊予灘)の長期評価について.
 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2005, 別府-万年山断層帯の長期評価について.
 吉岡敏和・粟田泰夫・下川浩一・杉山雄一・伏島祐一郎, 2005, 全国主要活断層活動確率地図及び同説明書(200万分の1), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

20km
活断層

断層長さの評価② <断層性状の整理>

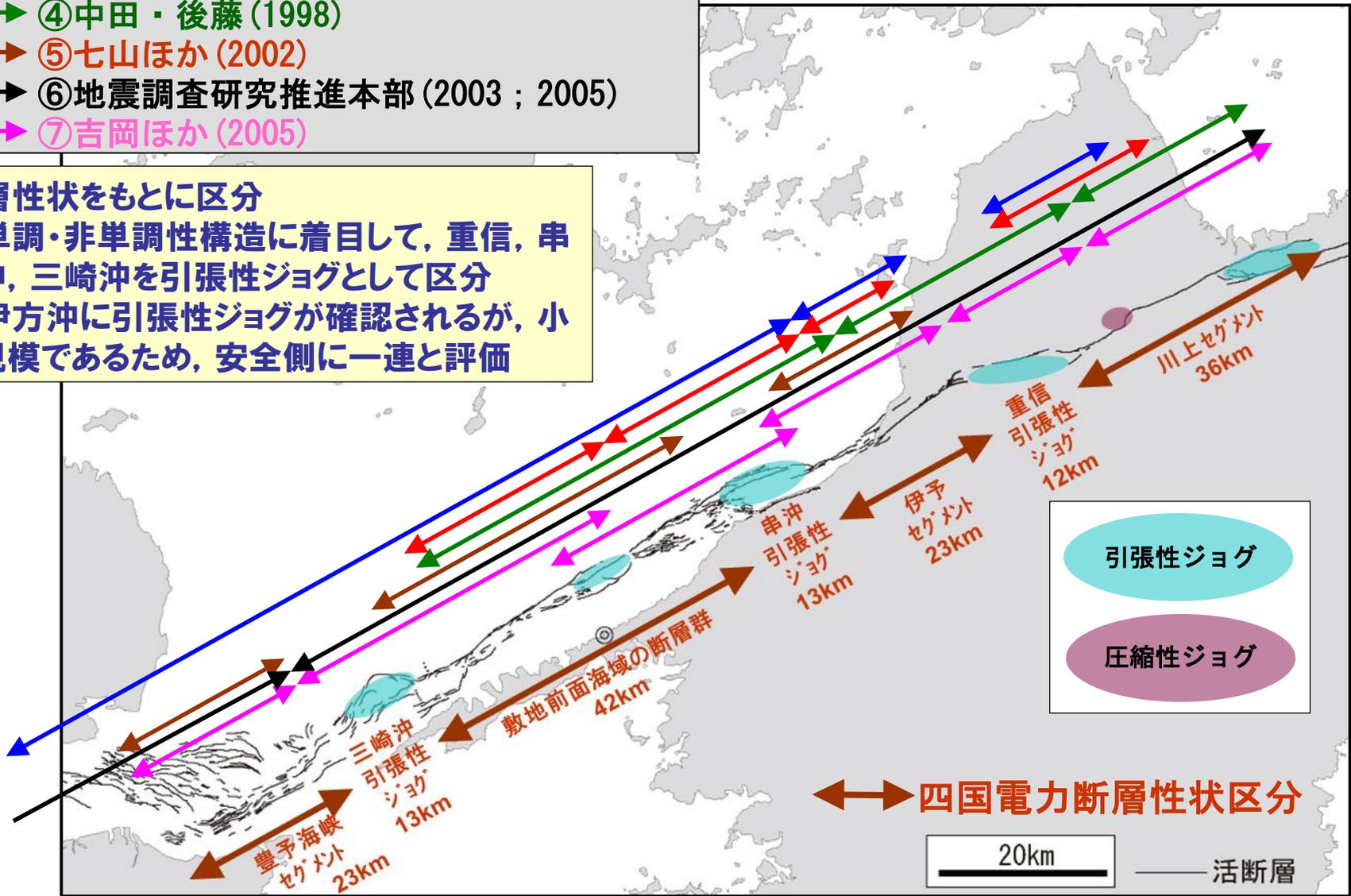
断層名 性状	豊予海峡 セグメント	三崎沖 引張性 ジョグ	伊予灘 セグメント				串沖 引張性 ジョグ	伊予断層		重信 断層	川上-小松 断層								
海/陸	海							陸											
走向	北東-南西								東北東-西南西										
活動様式	正断層 一部横ずれ断層 含む		右横ずれ断層																
縦ずれ変位の向き (落ち方向)	全般に北落ち優勢		南落ちと北落ちの断層に挟まれた地溝・バルジの形成 (断層帯全体として南北で顕著な縦ずれ変位は見られない)							南	北	キヤップ	南	キヤップ	南	北	南		
分布形態	並走配列 別府湾活断層系 と斜交		右屈曲 (分岐)		分岐	雁行配列	右屈曲 (分岐)	雁行配列	右屈曲 (分岐)	雁行配列	直線状	分岐	キヤップ	直線状	キヤップ	分岐	左屈曲	直線状	直線状 岡村断層 と並走
第四紀堆積盆	無		有		無	有	無	フルアパート ベースン	無		フルアパート ベースン		-						
活動時期	最新		伊予セグメントや 伊予灘セグメントより 活動性が低いと 推定される				約6千年前 以降		A.D.1650-A.D.1854 (1596年の可能性残る)		中世		A.D.1405-A.D.1780						
	1つ前						約1万年前 以降		B.C.2865-B.C.845		古墳時代 後期以前		A.D.25-A.D.1000						
	2つ前						B.C.4850以前		-		B.C.790-A.D.65								
平均活動間隔 (千年)		3.3~5.0		3.25以上		0.9-1.1以上		0.8-1.2											
変位	横ずれ変位量 (m/回)		-		-		2.0		2.5		4.0								
	横ずれ変位速度 (mm/yr)		-		-		0.6-1.6		2.8以下		3.4-5.2								
四国電力の セグメント区分 (今回評価)	豊予海峡 セグメント 23km		三崎沖 引張性 ジョグ 13km		敷地前面海域の断層群 42km				串沖 引張性 ジョグ 13km		伊予セグメント 23km		重信 引張性 ジョグ 12km		川上セグメント 36km				
▼伊方発電所																			

- ①断層の屈曲, ステップ
- ③他の断層との交差
- ⑤断層の変位センス
- ②断層の分岐
- ④第四紀堆積盆の存在
- ⑥横ずれ変位速度

断層長さの評価③ <四国電力の断層性状区分>

- ①岡田(1992), Tsutsumi and Okada(1996)
※主に陸域のデータに基づく
- ③佃(1996), 海域は②露口(1996)
- ④中田・後藤(1998)
- ⑤七山ほか(2002)
- ⑥地震調査研究推進本部(2003 ; 2005)
- ⑦吉岡ほか(2005)

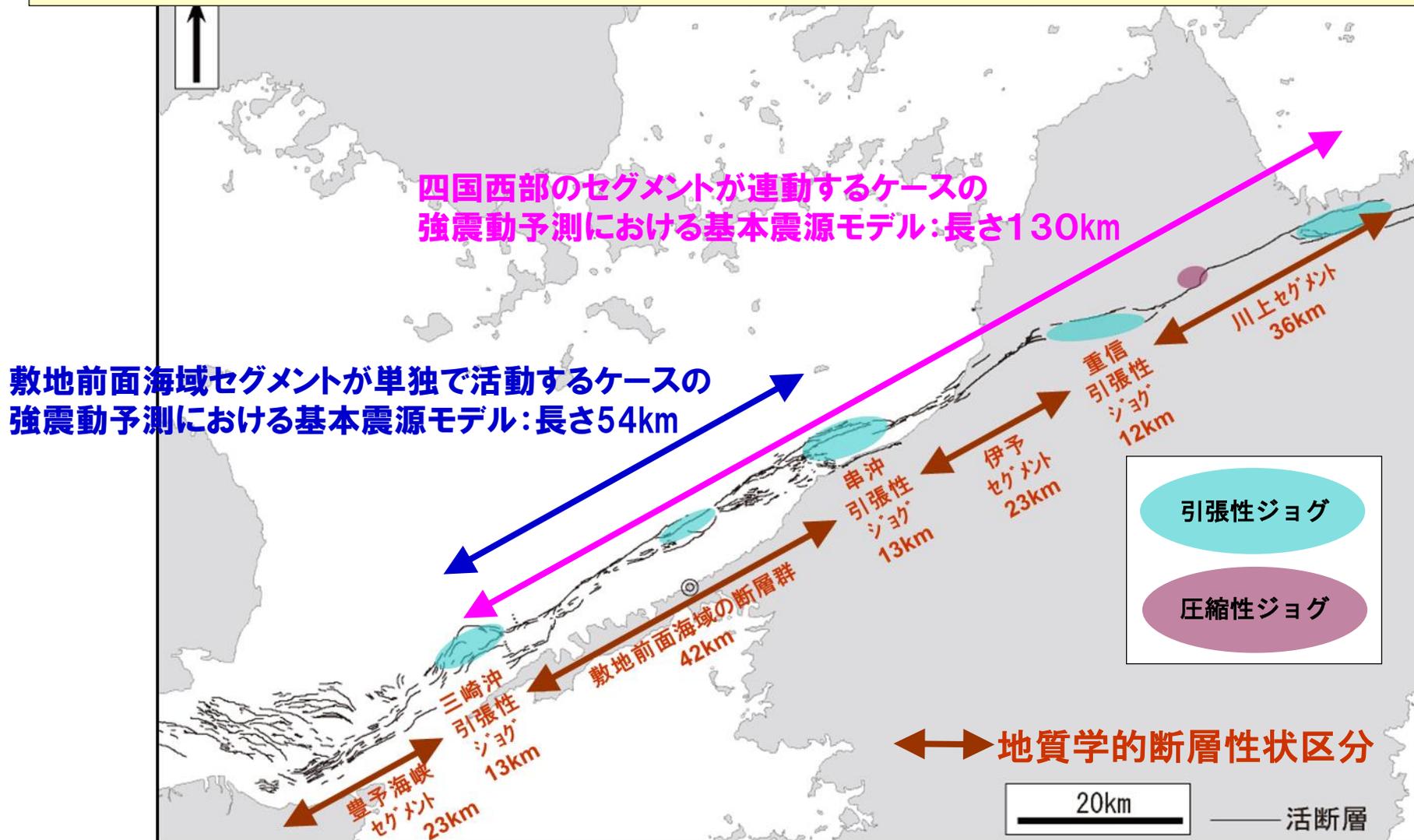
断層性状をもとに区分
 ○単調・非単調性構造に着目して、重信、串沖、三崎沖を引張性ジョグとして区分
 ○伊方沖に引張性ジョグが確認されるが、小規模であるため、安全側に一連と評価



四国電力断層性状区分

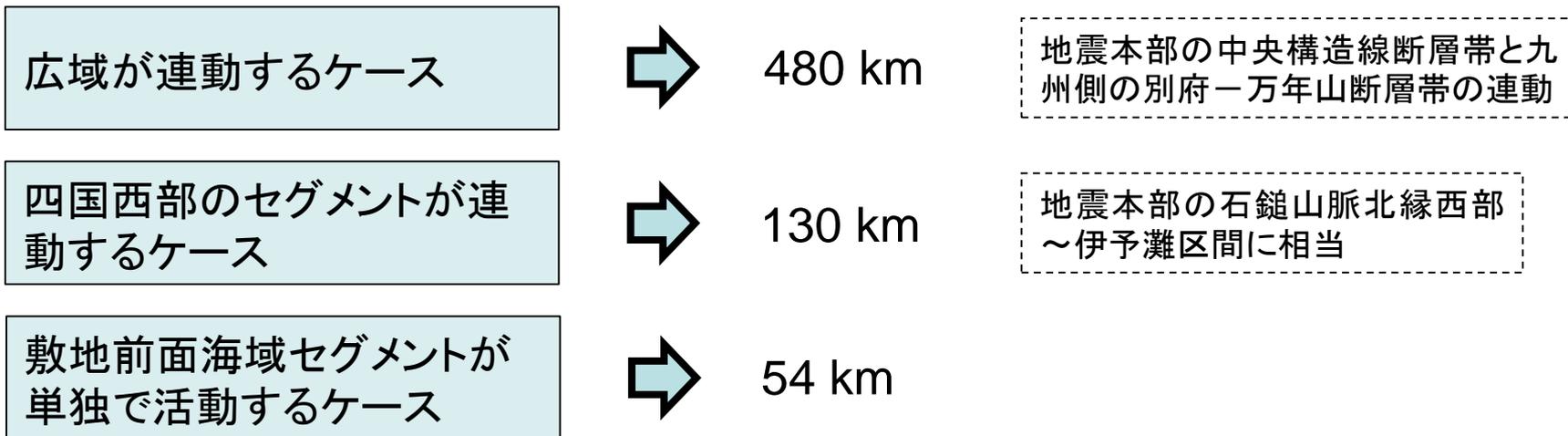
断層長さの評価④ <基本震源モデル>

- 串沖・三崎沖ジョグは3～4km以上のステップオーバーを有することから、破壊の停止域になると評価される。
- そこで、敷地前面海域セグメントが単独で活動するケースについて、基本震源モデルの長さを両端の引張性ジョグの中央までの54kmとする。また、四国西部のセグメントが連動するケースについて、基本震源モデルの長さを130kmとする。

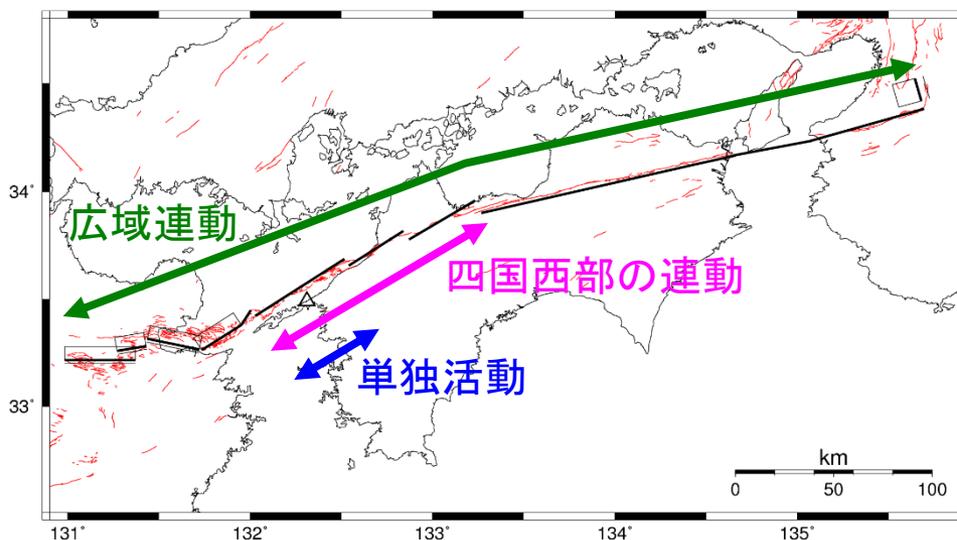


断層長さの評価⑤ <基本震源モデル>

活動区間としては、



が想定されるが、最大規模を想定するとの観点から、480kmを基本震源モデルの長さとする。しかし、部分破壊も考慮することとし、130kmモデル、54kmモデルでも評価を行う。



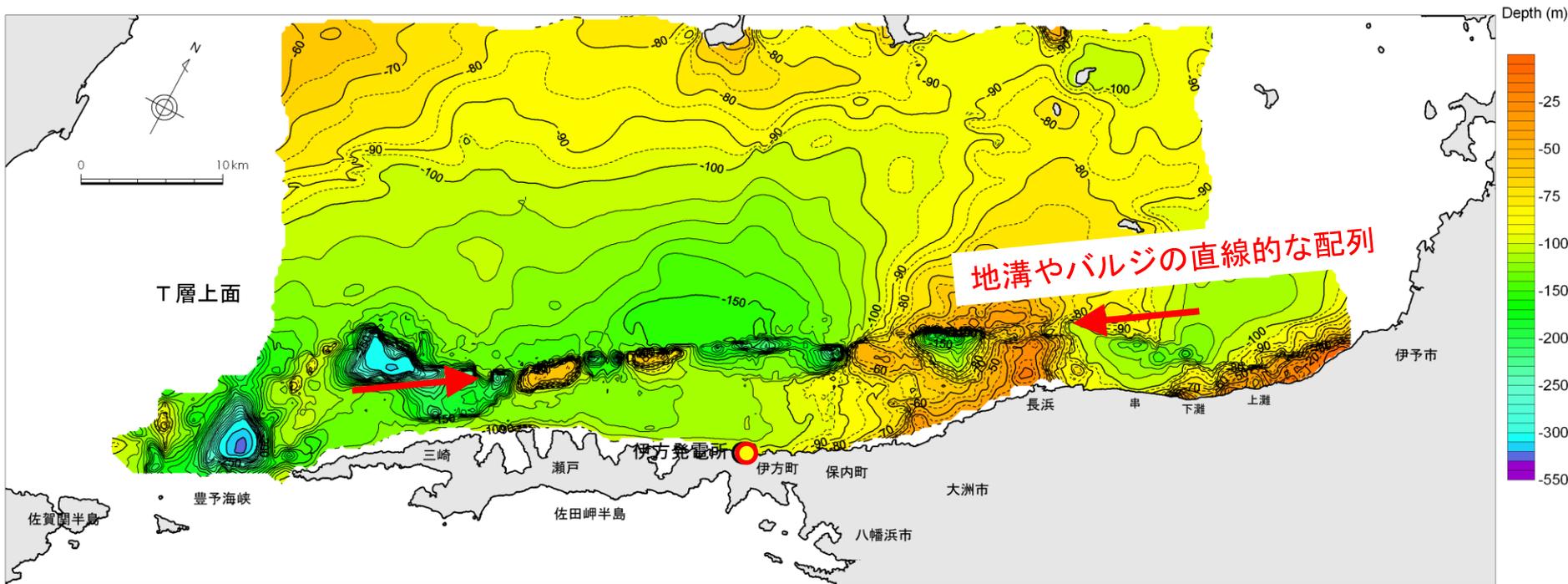
中央構造線断層帯の断層傾斜角に関する知見

中央構造線に関する一般的な知見

- 中央構造線は、右横ずれの卓越する活断層であるとともに、地表トレースが直線的であること等から、従来は地下深部まで高角の傾斜を有しているとの考えが一般的であった。
- 一方、近年、物理探査による地下構造研究によって、領家帯と三波川帯が接する地質境界断層は、四国中東部では北に30-40度で傾斜していることが指摘されるようになった。
- 地質境界断層としての中央構造線と活断層としての中央構造線の関係については、様々な議論がなされているが、明確な結論には達しておらず、活断層としての中央構造線が北傾斜する地質境界断層に一致する可能性も指摘されている。

断層傾斜角の変動地形学的評価<T層上面>

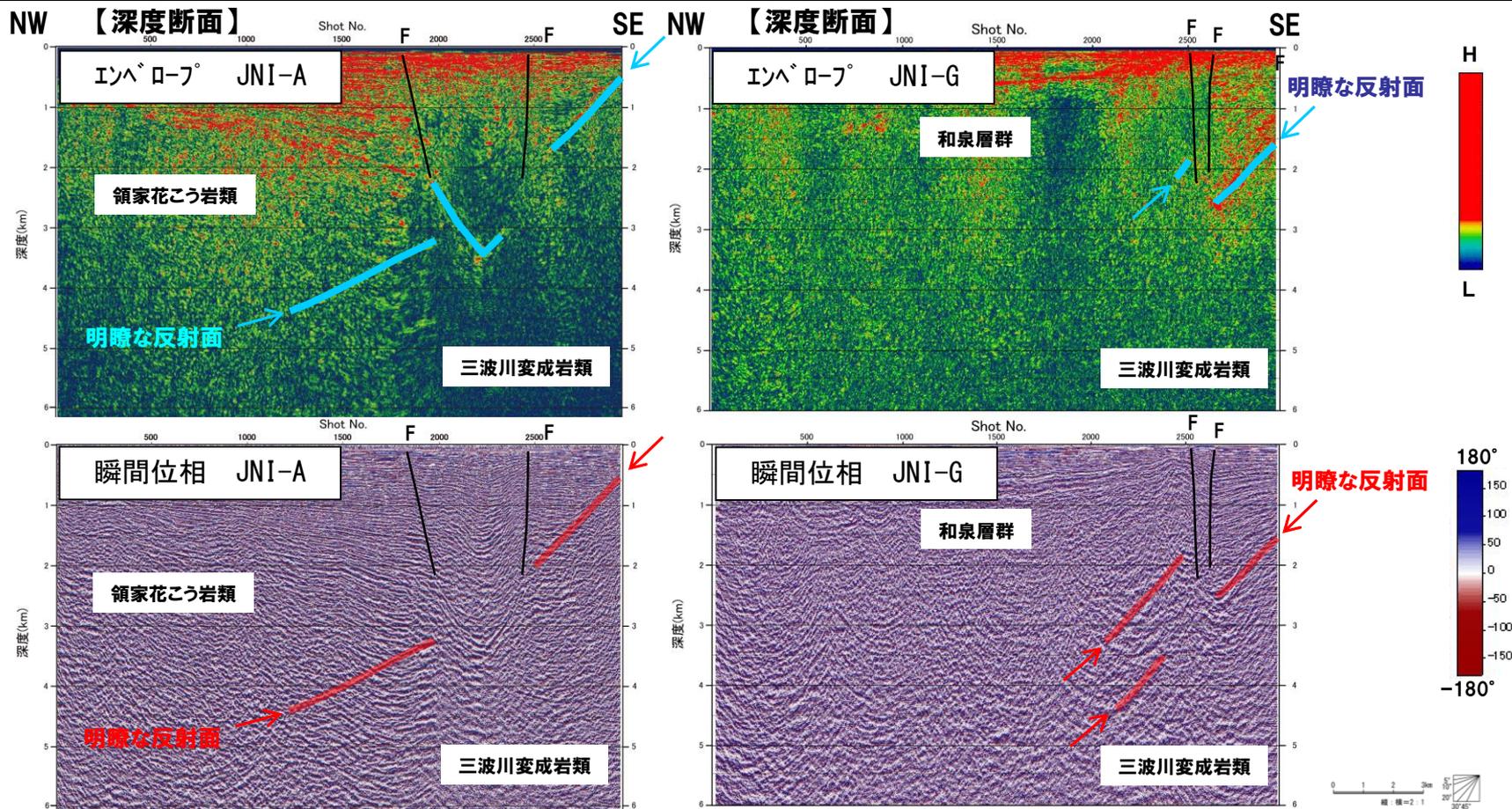
○敷地前面海域の断層群の分布域に、横ずれ断層変位に伴って形成された地溝やバルジが非常に直線的な配列を示し、少なくとも地下浅部における活断層はほぼ鉛直である。震源断層もほぼ鉛直である可能性が考えられる。



T層：上部鮮新統～下部更新統

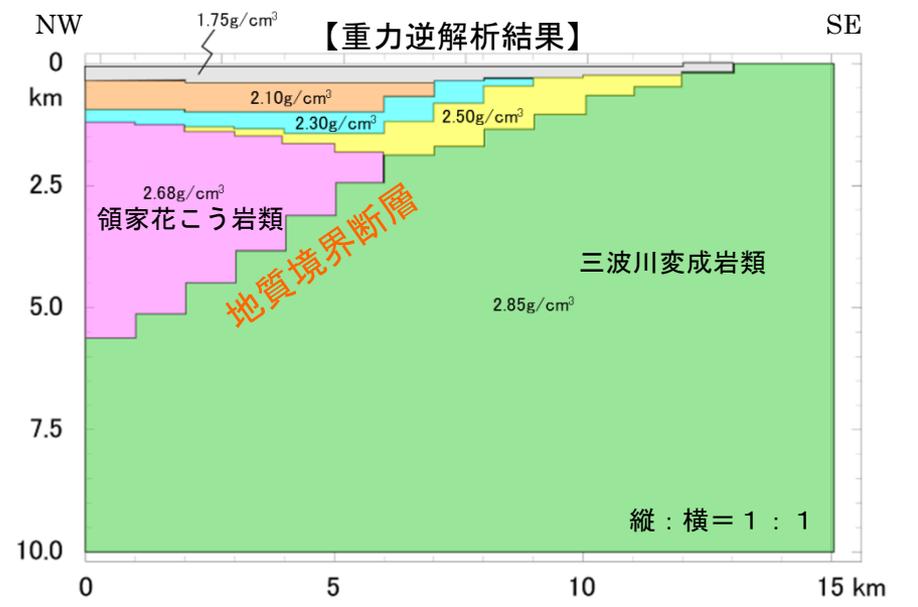
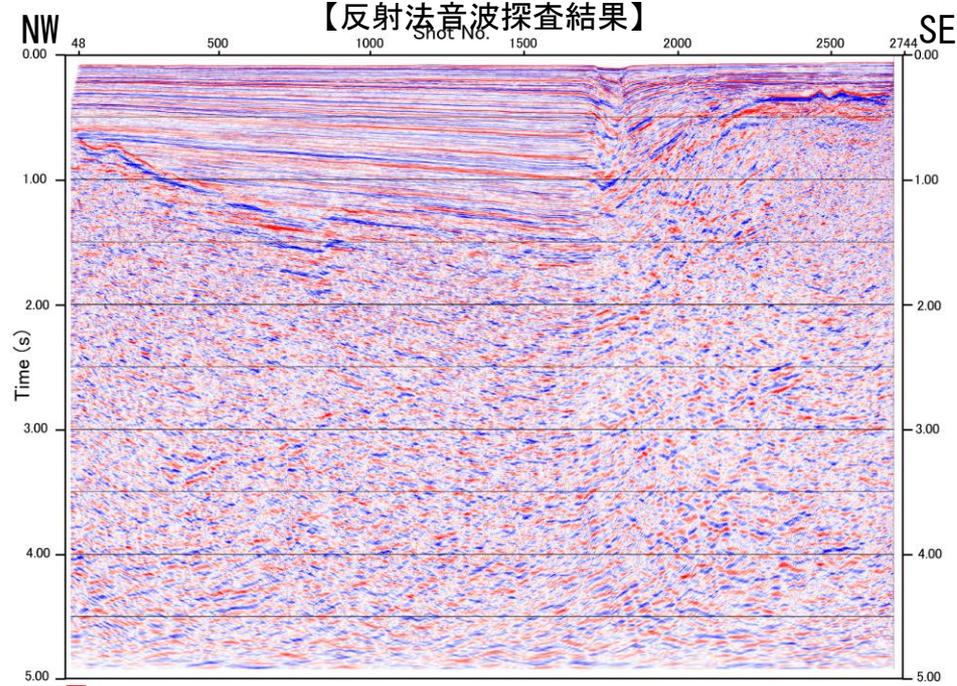
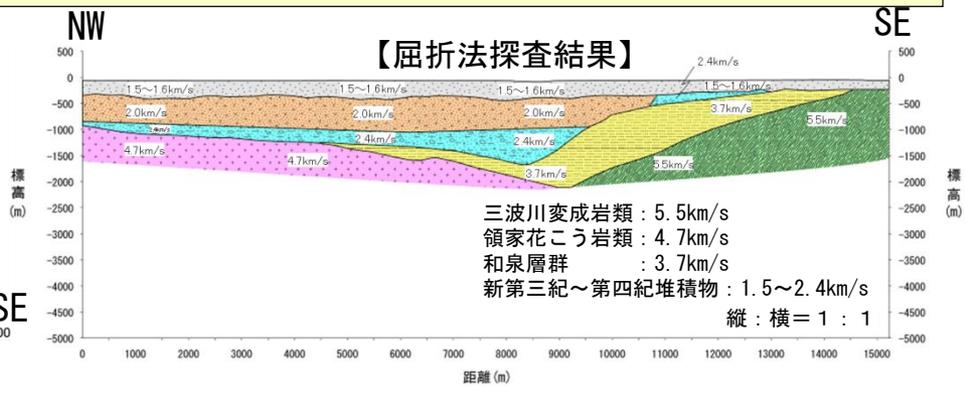
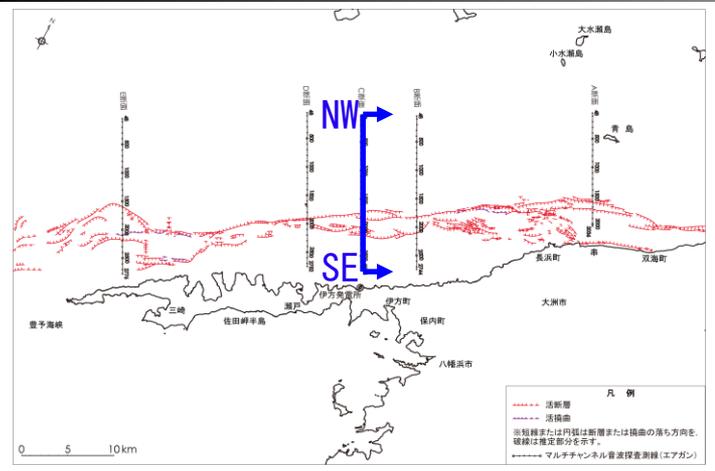
断層傾斜角の地球物理学的な評価① <反射法探査結果>

○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る。
○地質境界断層は北傾斜であることが示唆されるものの、アトリビュート解析結果によると、三崎沖ジョグの断面（JNI-A）および串沖ジョグの断面（串沖，JNI-G）においては、堆積層中にみられる高角度の活断層の下方で、北傾斜する地質境界断層が高角度の断層によって変位を受けている可能性を示唆する結果が得られた。



断層傾斜角の地球物理学的な評価② <重力逆解析>

○反射法探査，屈折法探査の結果を基に重力逆解析を実施した結果，地質境界断層は30～40度で北傾斜しているものと評価される。震源断層が，北傾斜する地質境界断層と一致する可能性も考えられる。



断層傾斜角の総合評価(まとめ)

- 敷地前面海域の断層群は直線的なトレースを示す右横ずれ断層であり、変動地形学的な観点、地震学的な観点からは、震源断層はほぼ鉛直と評価される。なお、わずかに北落ちの正断層成分を有すると推定される。
- 反射法探査によると、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る。
- 地質境界断層は北傾斜であることが示唆されるものの、アトリビュート解析結果によると、三崎沖ジョグの断面（JNI-A）および串沖ジョグの断面（串沖，JNI-G）においては、堆積層中にみられる高角度の活断層の下方で、北傾斜する地質境界断層が高角度の断層によって変位を受けている可能性を示唆する結果が得られた。
- なお、反射法探査、屈折法探査の結果を基に重力逆解析を実施した結果、地質境界断層は30～40度で北傾斜しているものと評価される。
- 以上、変動地形学的な観点、地震学的な観点、さらにはアトリビュート解析結果も含めた地球物理学的な観点から総合的に評価し、地震動評価における震源断層面の傾斜角として鉛直を基本とする。なお、北傾斜する地質境界断層が震源断層面である可能性も否定しきれないため、その可能性も考慮することとする。

中央構造線断層帯の長期評価(第二版)①<改訂のポイント>

- 地震本部の中央構造線断層帯の長期評価(平成23年2月)の改訂版として、「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)」が平成29年12月に公表された。
- 地震本部によると、第一版からの改訂のポイントは、「区間の追加(断層全長の変更)」, 「区間の再整理(断層の活動区分の変更)」, 「活断層帯の全体像(断層傾斜角)」の3つである。

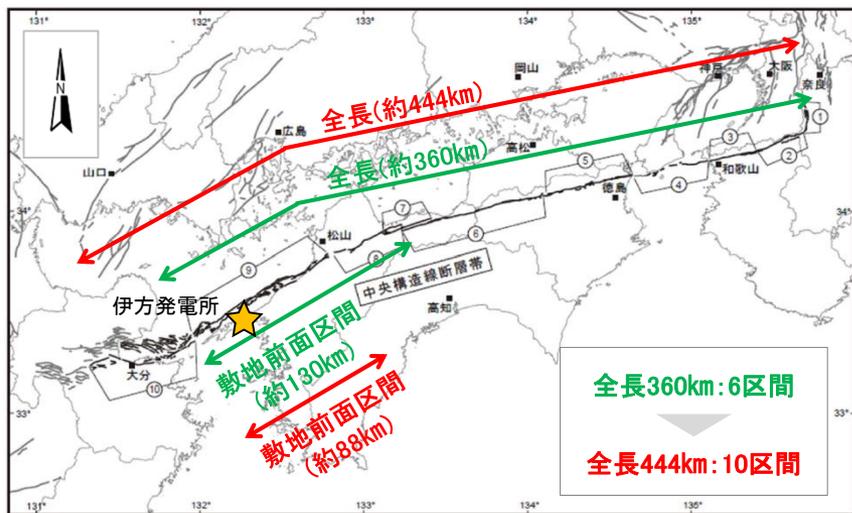
■断層全長・断層区分

	断層全長	断層区分
改訂前	約360km	6区間 (敷地前面:約130km)
改訂後 (第二版)	約444km	10区間 (敷地前面:約88km)

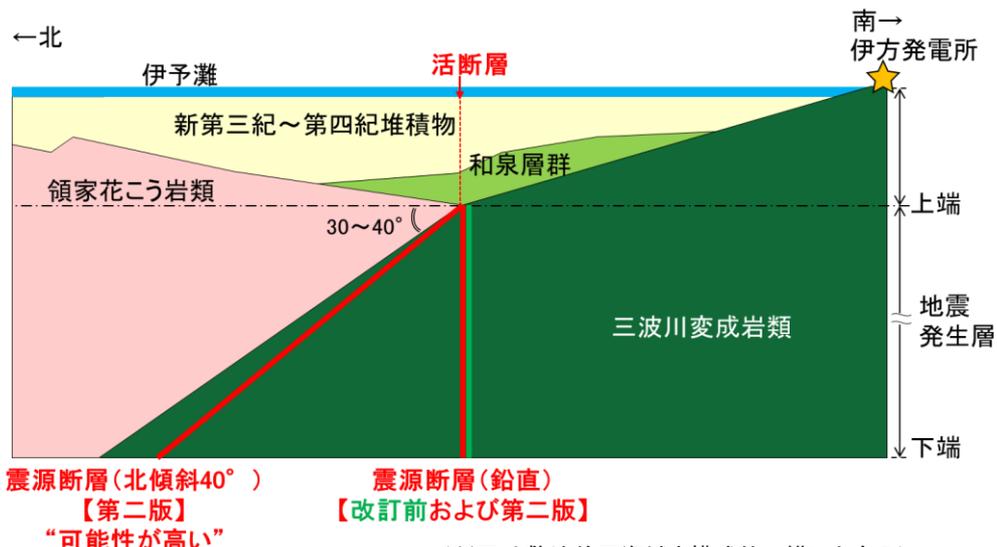
■断層傾斜角(敷地前面区間)

	断層傾斜角※
改訂前	鉛直
改訂後 (第二版)	鉛直 北傾斜

※:長期評価を踏まえた予測地図の評価も参照



長期評価(第二版)に一部加筆



(断面は敷地前面海域を模式的に描いたもの)

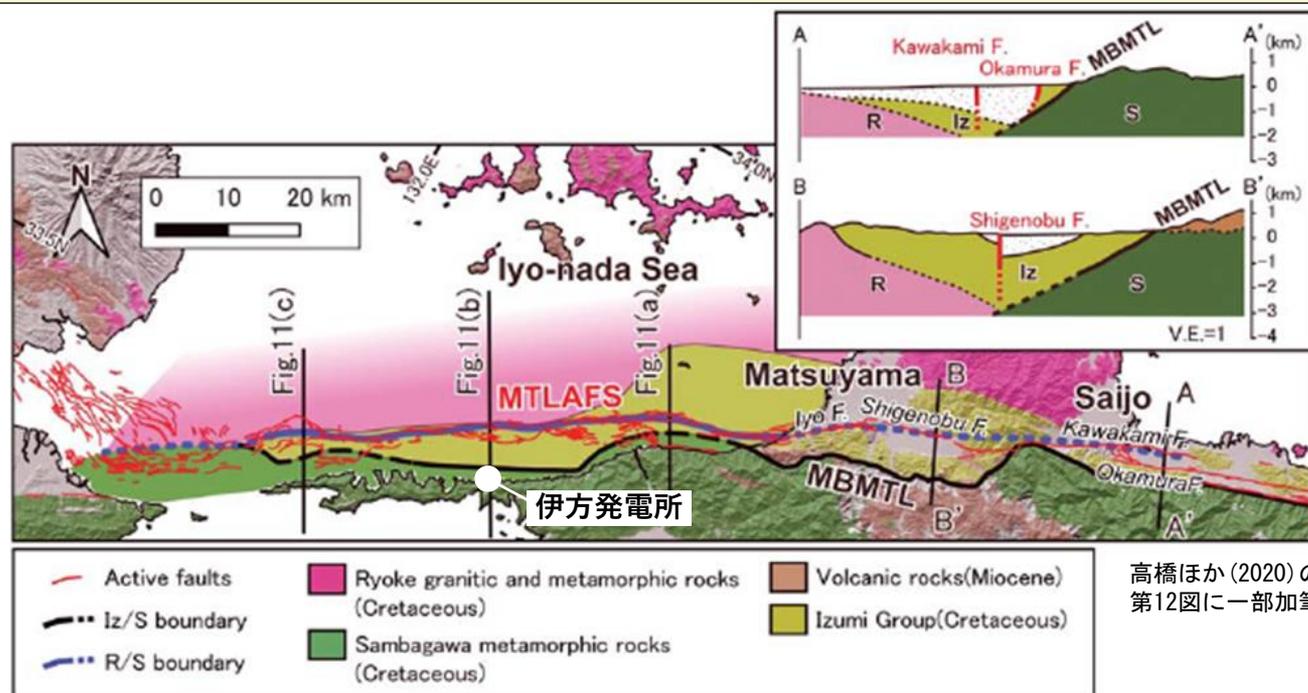


中央構造線断層帯の長期評価(第二版)②<高橋ほか(2020)>

- 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北西部で共通しており、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

-
- I. 地質調査の概要**
 - II. 伊方発電所立地地点の地域性**
 - III. 中央構造線断層帯の評価**
 - IV. 敷地近傍の地質・地質構造**
 - V. 地質調査の信頼性**

伊方発電所周辺の深部地質構造(Knittel et al., 2014)

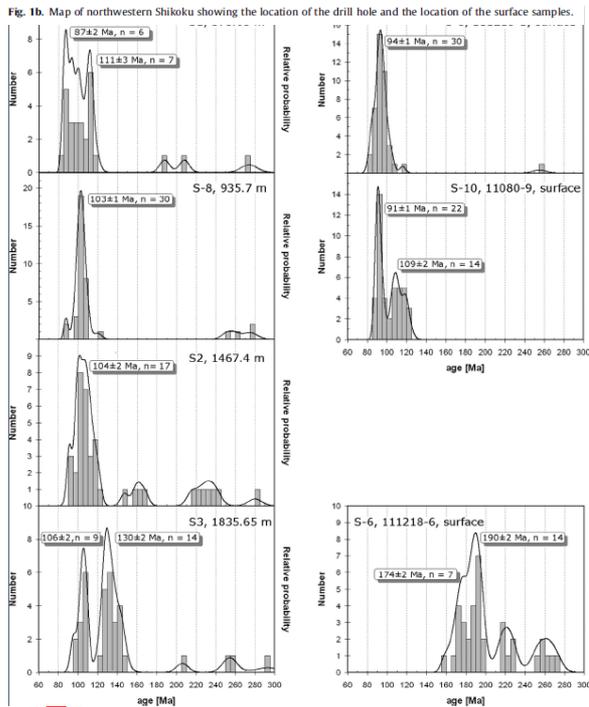
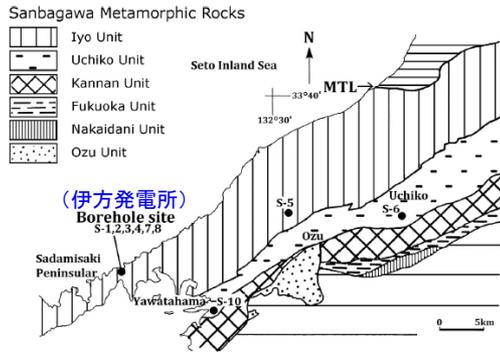


Fig. 6. Probability density curves for the analyzed zircons; only zircons younger than 300 Ma were plotted.

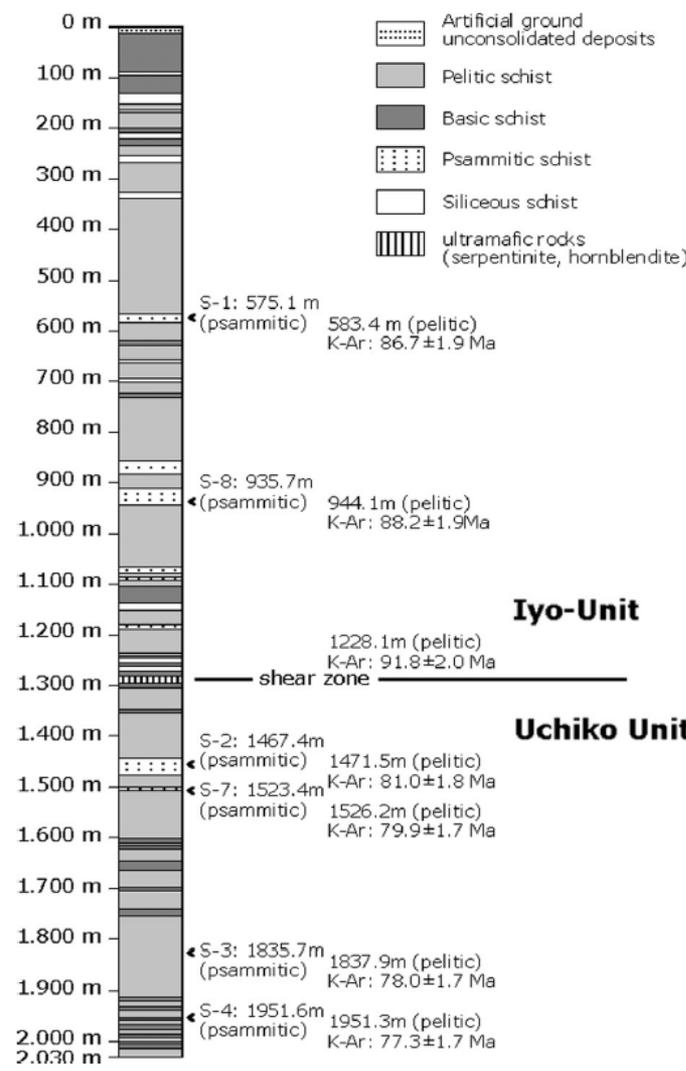


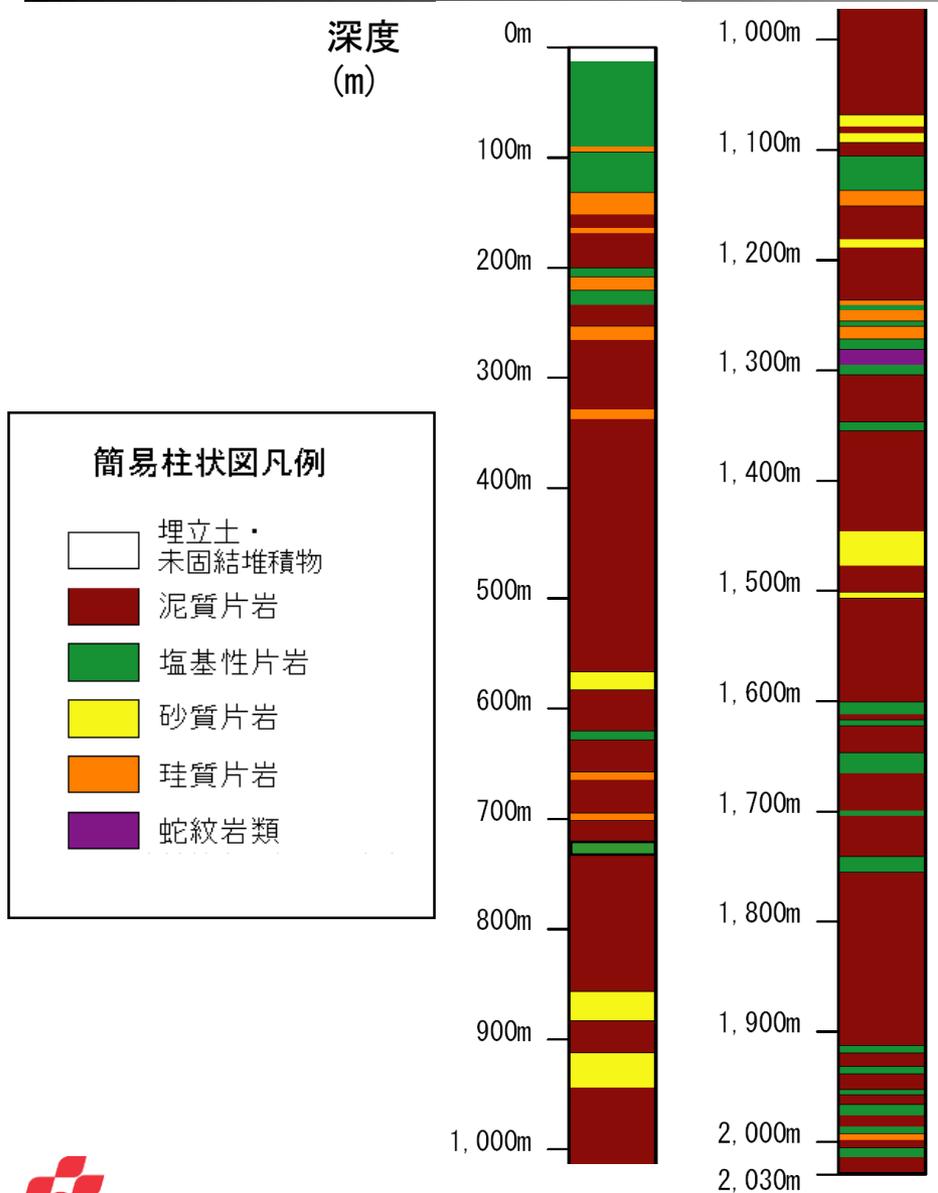
Fig. 2. Column of the bore hole.

○Knittel et al. (2014)は、伊方発電所における深部ボーリングコアおよび周辺域の地表サンプルを用いて年代測定を行い、深さ2,000mまで後期白亜紀の三波川変成岩類が分布することを示した。
○地下深部の地質構造に関する研究に取り組んでいる。

【Knittel et al.(2014)より抜粋】
「The Sadamisaki Peninsular and north-western Shikoku, which previously were considered to be part of the Jurassic to Early Cretaceous part of the Sanbagawa Belt (Sanbagawa Metamorphics sensu stricto, Aoki et al., 2011; Otoh et al., 2010; Itaya et al., 2011) are underlain by mafic schists of late Cretaceous age. A review of published age data suggests that most protoliths of the Sanbagawa Metamorphic Belt likewise have Late Cretaceous protolith ages.
It is suggested to abandon the subdivision of the Sanbagawa Metamorphic Belt into Sanbagawa Metamorphic Rocks (Sanbagawa Belt sensu stricto) and the Shimanto Metamorphic Rocks as this would place the type locality of the Sanbagawa Metamorphic Belt into the Shimanto Metamorphic Belt. It is recognized that not all Sanbagawa metamorphics have the same protolith age (Tsutsumi et al., 2009; Kiminami, 2010; Tsutsumi et al., 2012) and thus, we suggest to refer to the various units as 'Jurassic Sanbagawa Belt' and 'Early' and 'Late Cretaceous Sanbagawa Belt', respectively. Likewise, the available age data suggest that the Sanbagawa metamorphics have been subjected to metamorphism during a period of time and not at a specific point in time.」



岩石コアの観察結果 (簡易柱状図)

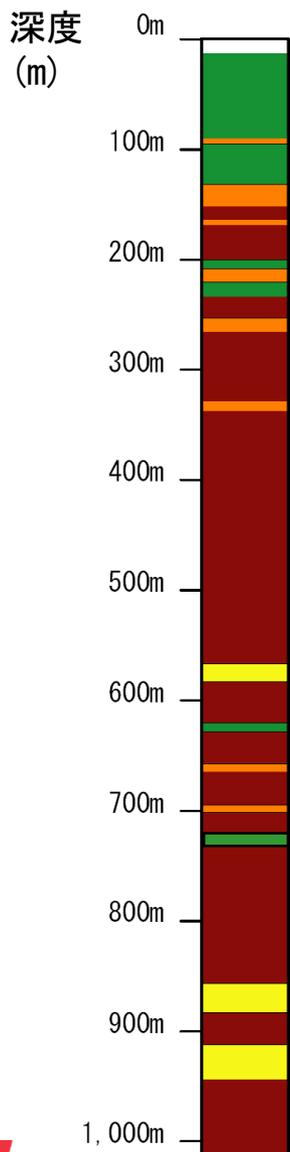


○本調査で取得した岩石コアの観察によると、地表から深度2,000mまで三波川帯の堅硬かつ緻密な結晶片岩が分布する。

- 地表～深度130m :
塩基性片岩が主体
- 深度130m以深 :
泥質片岩が主体

岩石コアの観察結果 (コア写真①)

○各岩種の代表的な岩石コア写真を示す。



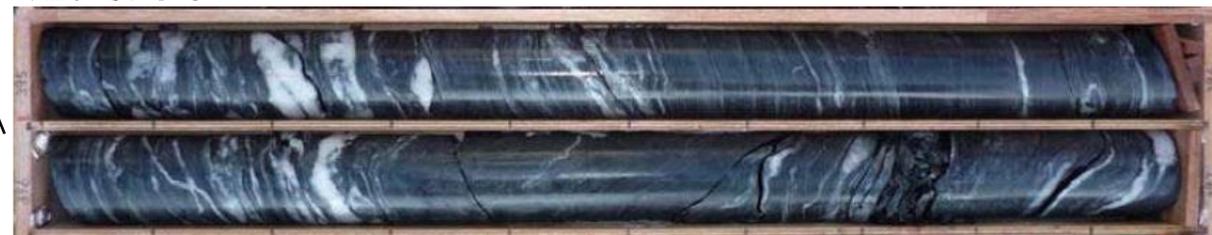
塩基性片岩 (孔B)



珪質片岩 (孔B)

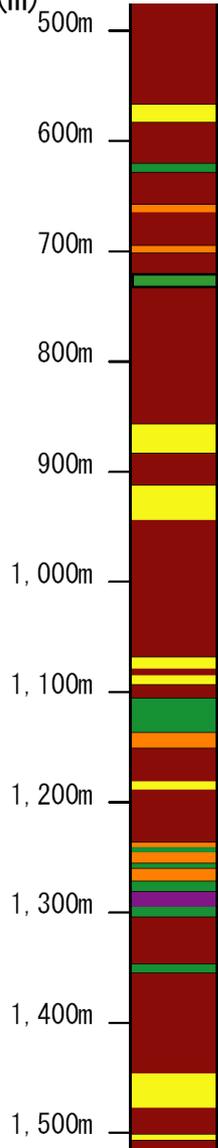


泥質片岩 (孔B)



岩石コアの観察結果 (コア写真②)

深度 (m)



○深部の岩石コアも非常に堅硬である。

砂質片岩 (孔A)



泥質片岩 (孔A)

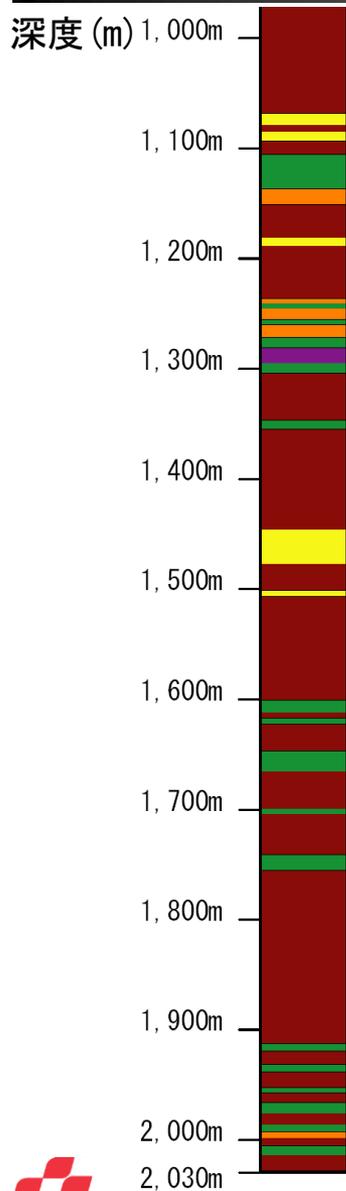


蛇紋岩 (孔A)



岩石コアの観察結果 (コア写真③)

○深度2,000m付近では、泥質片岩と塩基性片岩の互層となっている。



塩基性片岩 (孔A)



泥質片岩 (孔A)



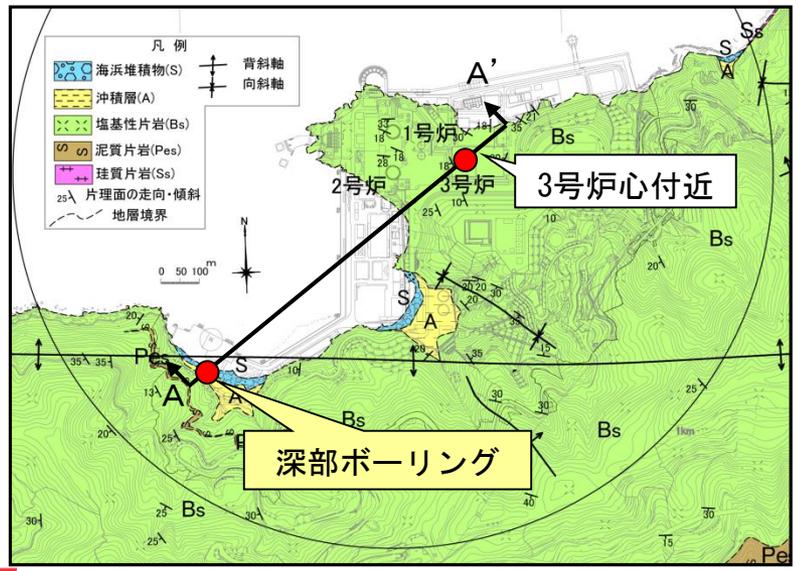
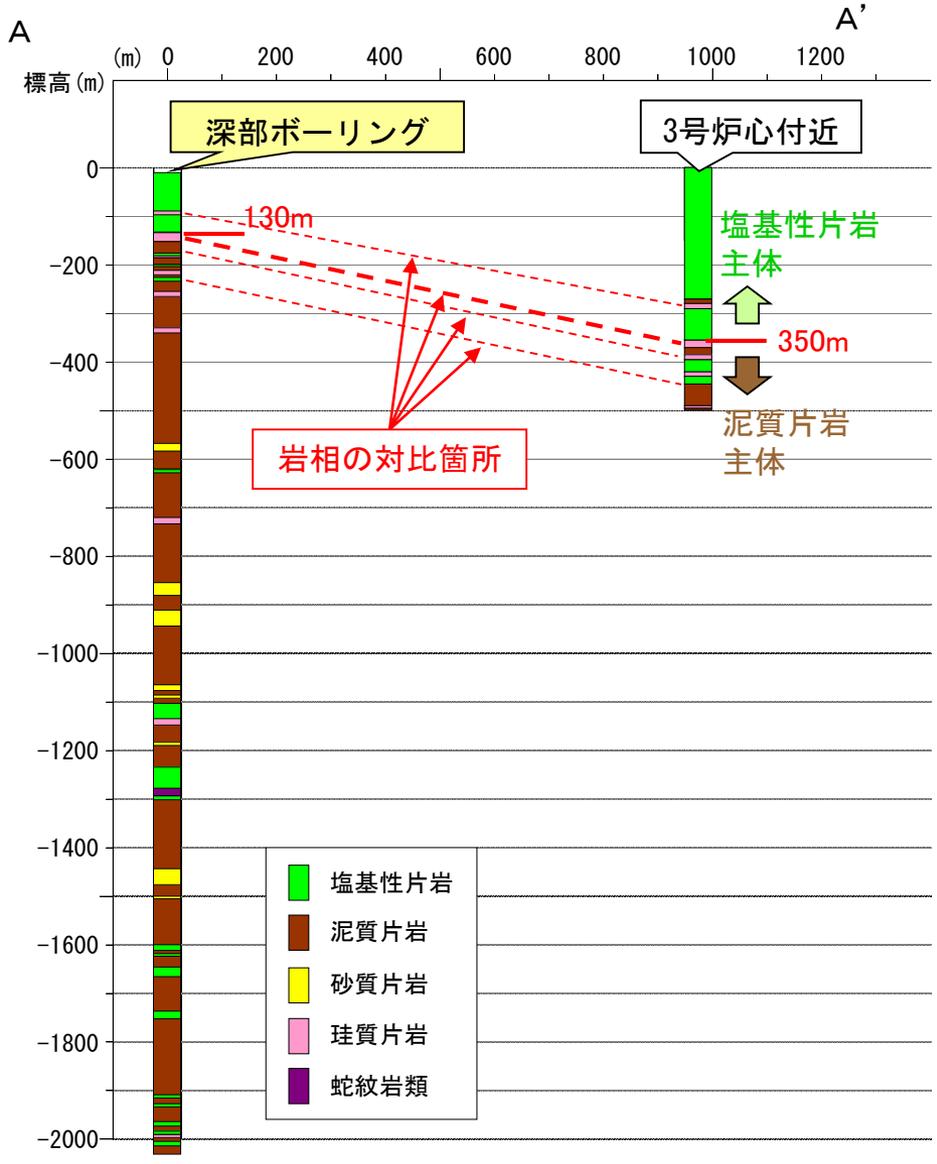
泥質片岩 (孔A)



敷地の地質構造

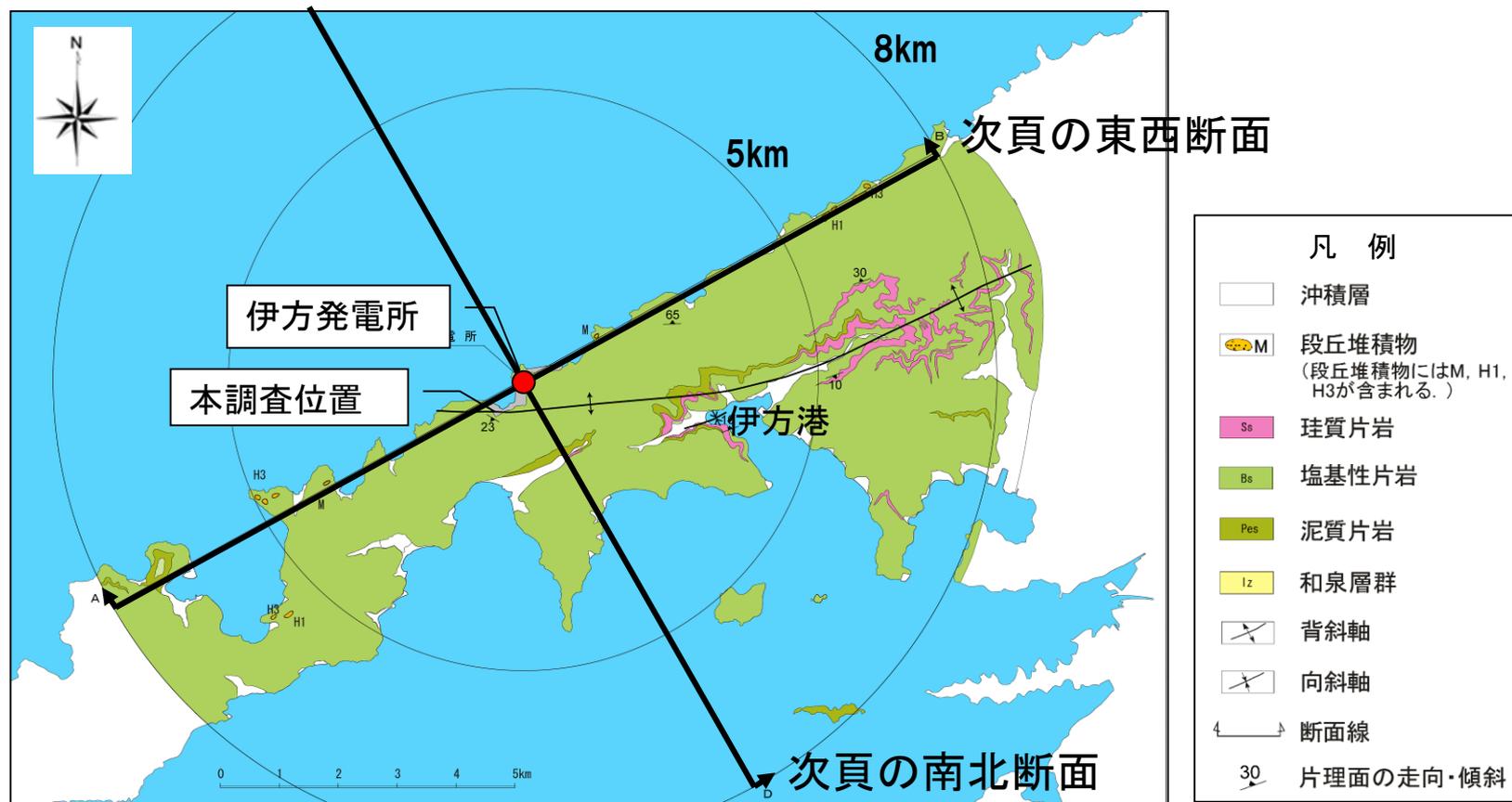
○敷地内のボーリングデータや地表踏査から、地下浅部に広く塩基性片岩が分布することを把握している。

○3号炉心付近の500mボーリングと岩相を対比した結果、本調査で確認した荷揚岸壁における泥質片岩主体層の上面（深度約130m）は、3号炉心付近における深度約350mに対比され、境界面は地下深部で北へ緩く傾斜しているものと評価される。



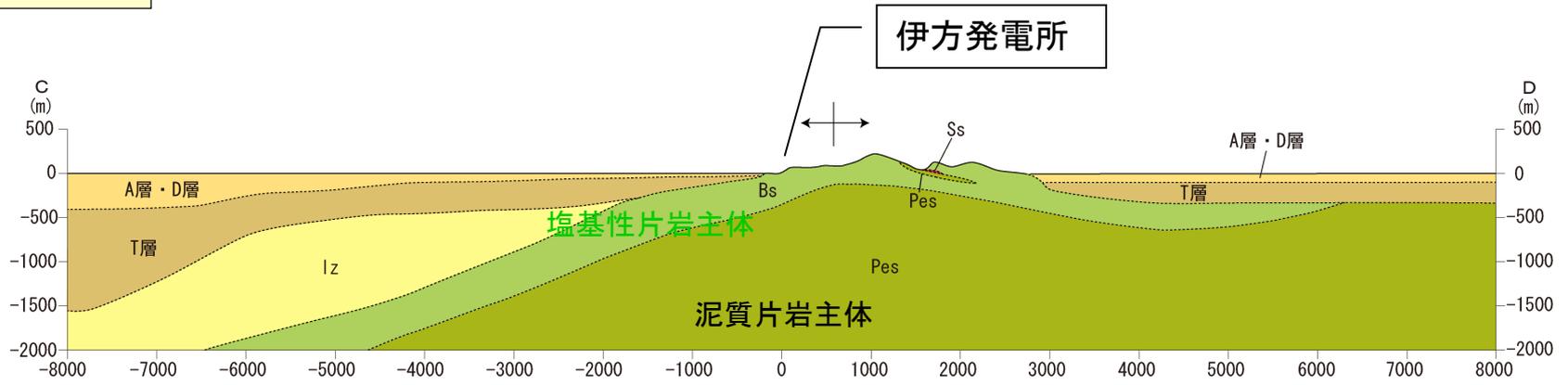
敷地近傍の地質構造(平面図)

- 敷地近傍には広く塩基性片岩露頭が分布し、地下浅部に厚さ数百m程度の塩基性片岩主体層が分布する。
- 敷地近傍における地表踏査結果と深部ボーリング調査結果を総合すると、地下深部には泥質片岩主体層が分布し、佐田岬半島に沿って開いた背斜（緩く凸状）を示すと評価される。

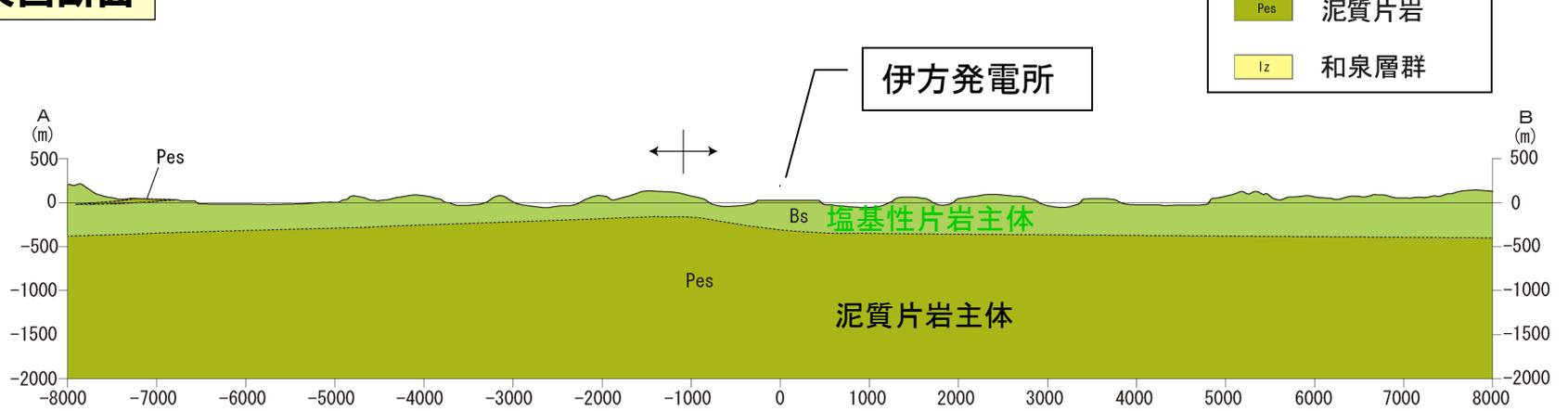


敷地近傍の地質構造(断面図)

南北断面



東西断面



- Ss 珪質片岩
- Bs 塩基性片岩
- Pes 泥質片岩
- Iz 和泉層群

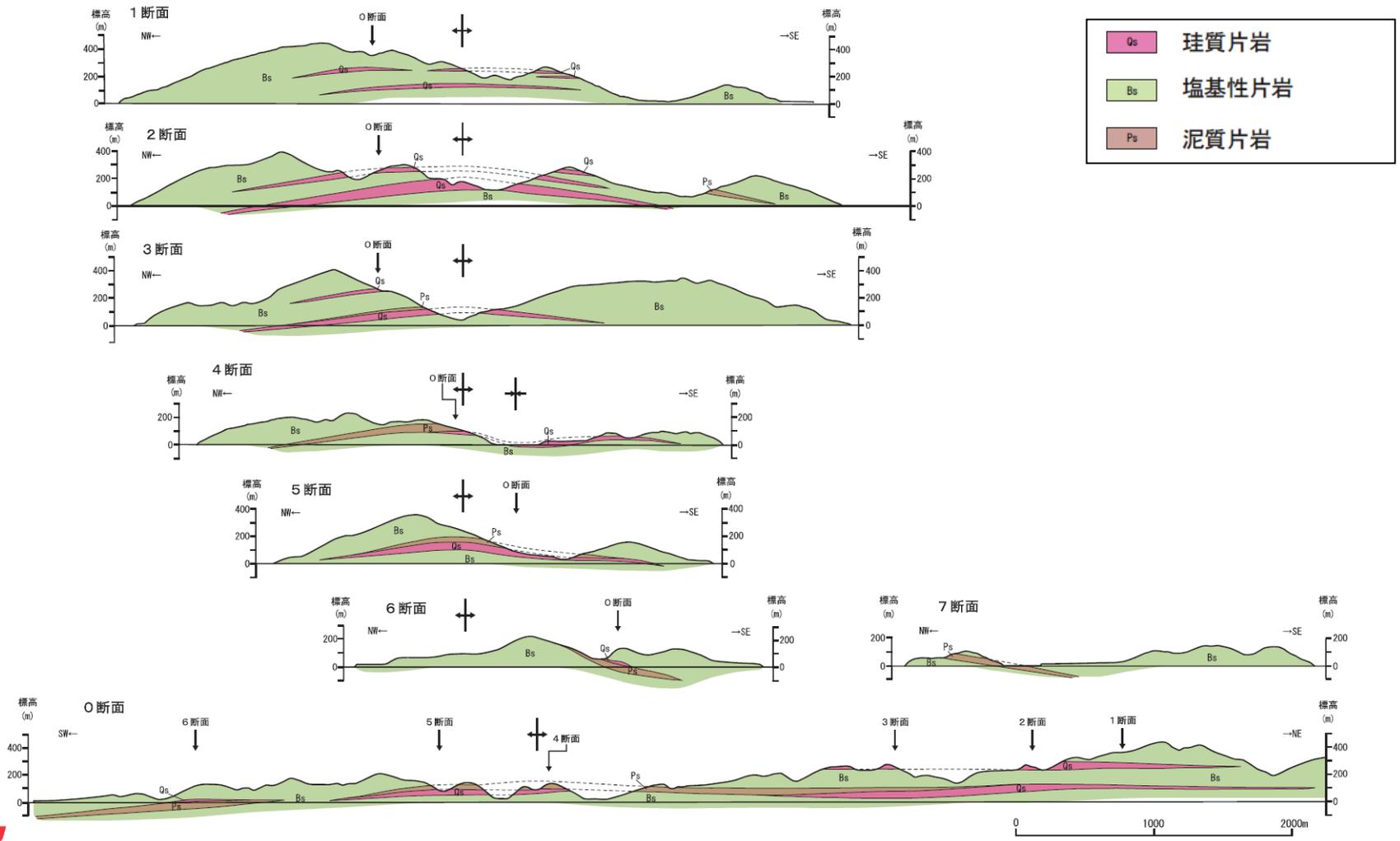
敷地近傍の詳細地質構造(断面位置図)

○次頁に示す地質断面図の位置を示す。



敷地近傍の詳細地質構造(断面図)

○地表で確認される珪質片岩、泥質片岩の薄層を鍵層として地質断面図を作成し、敷地近傍の三次元的な地質構造がほぼ水平であることを把握している。



-
- I. 地質調査の概要**
 - II. 伊方発電所立地地点の地域性**
 - III. 中央構造線断層帯の評価**
 - IV. 敷地近傍の地質・地質構造**
 - V. 地質調査の信頼性**

地質調査に関する信頼性

○調査手法に関する信頼性

地質調査にあたっては、1号炉、2号炉及び3号炉における調査データを含め、既存文献や既存の地質調査データを網羅・蓄積するとともに自主的な研究活動として継続的な調査を進めた。調査手法については、技術の進歩を踏まえつつ新しい手法の適用の妥当性を検討した上で、調査地域の特性や調査目的に応じて適用条件や精度等を考慮し、適切な調査手法を選定した。調査計画については、対象事案の技術的難易度に応じて社外の学識経験者等の第三者にも意見聴取し作成した。

○調査結果に関する信頼性

調査結果のとりまとめに際しては、調査目的に応じて十分な精度を有する調査資料を用いるとともに、既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等の各調査手法の特性を活かし、これらの調査結果を適切に組み合わせる総合的に評価した。また、評価の過程において学会発表等(1997年以降、計110件)を行うなど中立的な第三者の意見を広く聴取して調査結果のとりまとめに反映するとともに、これらの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(計23件)として公表し、社会的な信頼性向上と学術貢献に努めた。

地盤耐震関連研究成果の公表実績(査読論文一覧)①

公表年	タイトル	学会・雑誌
2001	Semi-empirical estimation of ground motion using observed records at a site in Shikoku, Japan	Journal of Seismology, 5, 63-72.
2003	震源分布からみた伊予灘周辺フィリピン海プレートの形状および地震特性	地震, 2, 267-279.
2003	四国北西部地域の中央構造線活断層系の地下構造とセグメンテーション	地震, 2, 141-155.
2005	四国北西部中央構造線活断層系, 米湊断層および本郡断層の地下構造と活動履歴	地震, 2, 419-439.
2006	Crustal structure, fault segmentation, and activity of the Median Tectonic Line in Shikoku, Japan	Tectonophysics, 412, 49-60.
2006	Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period	Bulletin of the Seismological Society of America, 96, 898-913.
2006	An Empirical Site-Classification Method for Strong-Motion Stations in Japan Using H/V Response Spectral Ratio	Bulletin of the Seismological Society of America, 96, 914-925.
2006	瀬戸内海東部, 番ノ州地域に分布する備讃瀬戸層群中の火山灰層のフィッシュョン・トラック年代	地質学雑誌, 112, 608-611.
2006	四国北西部伊予灘海域における中央構造線活断層系の変動地形と地下構造—断層模型実験による震源断層のイメージング—	電力土木, 322, 9-18.
2006	断層近傍まで適用可能な震度の距離減衰式の開発	日本建築学会構造系論文集, 604, 201-208.
2008	17世紀以降に芸予地域に発生した被害地震の地震規模	地震, 2, 193-217.
2008	豊後水道近傍で発生した歴史的被害地震の地震規模	地震, 2, 225-242.

地盤耐震関連研究成果の公表実績(査読論文一覧)②

公表年	タイトル	学会・雑誌
2009	Tectonic model and fault segmentation of the Median Tectonic Line active fault system on Shikoku, Japan	Tectonics, 28, TC5006, 1-22.
2011	A characteristic rupture model for the 2001 Geiyo, Japan Earthquake	Pure and Applied Geophysics, 168, 631-644
2012	Global optimisation by simulated annealing for common reflection surface stacking and its application to low-fold marine data in southwest Japan	Exploration Geophysics, 43, 59-69.
2012	四国北西部の中央構造線活断層系伊予断層の完新世活動履歴	地質学雑誌, 118, 220-235.
2012	ニュージーランド, Mw 7.1 ダーフィールド地震に伴った地表地震断層	活断層研究, 36, 31-44.
2013	Magnetotelluric imaging of the Median Tectonic Line in western Shikoku, southwest Japan: Implications of the fault-related low-resistivity zone	Tectonophysics, 601, 78-86.
2014	地震探査データから計算されたQ値から推定される中央構造線周辺の岩相分布	材料, 63, 250-257.
2014	四国西部の中央構造線断層帯川上断層の東部における完新世後期の活動履歴	活断層研究, 40, 1-18.
2014	宇和盆地の花粉分析からみたMIS 15以降の植生変遷史	植生史研究, 23, 3-19.
2014	『玄興日記』が記す「かみの関」地点の比定(1596年豊後地震)	歴史地震, 29, 183-193.
2014	U-Pb ages of detrital zircons from the Sanbagawa Belt in western Shikoku: Additional evidence for the prevalence of Late Cretaceous protoliths of the Sanbagawa Metamorphics	Journal of Asian Earth Sciences, 96, 148-161.

地盤耐震関連研究成果の公表実績(査読論文一覧)③

公表年	タイトル	学会・雑誌
2015	文禄五年豊後地震における早吸日女神社の津波痕跡高の推定	歴史地震, 30, 23-42.
2015	四国中央部の中央構造線断層帯川上断層東端部における群列ボーリング調査	地質学雑誌, 121, 403-419.
2015	Petrography and fission-track age of the middle Pleistocene Shoubu volcanic ash, western Shikoku, Japan	第四紀研究, 54, 359-366.
2016	文禄五年豊後地震における奈多宮の津波高	歴史地震, 31, 105-124.
2017	1596年豊後地震における沖ノ浜の津波高7ブラサの検証	歴史地震, 32, 57-76.
2017	Hydraulic Properties of Closely Spaced Dipping Open Fractures Intersecting a Fluid-Filled Borehole Derived From Tube Wave Generation and Scattering	Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 10.1002/2017JB014681, 1-18.
2017	四国西部の中央構造線断層帯の地形と地質	地質学雑誌, 123, 445-470.
2018	1596年豊後地震における府内・沖ノ浜への津波襲来時刻	歴史地震, 33, 121-138.
2018	High resolution record of quaternary explosive volcanism recorded in fluvio-lacustrine sediments of the Uwa basin, southwest Japan	Quaternary International, 471, 278-297.
2019	The 1596 Keicho earthquake, a 5-day, 300-km-long sequential rupture event in the Median Tectonic Line fault zone, southwestern Japan	Journal of Geophysical Research : Solid Earth, 10.1029/2018JB017264, 8376-8403.
2020	Influence of particle aggregation on the tephra dispersal and sedimentation from the October 8, 2016, eruption of Aso volcano	Earth, Planets and Space, 72, 1-19.
2020	伊予灘周辺で発生した地震に基づく震源特性・不均質伝播経路特性・サイト増幅特性の推定-フィリピン海プレートの形状を考慮したブロックインバージョン解析-	日本地震工学会論文集, 20, 120-132.

地盤耐震関連研究成果の公表実績(査読論文一覧)④

公表年	タイトル	学会・雑誌
2020	地震探査結果に基づく四国北西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.
2020	2019年カリフォルニア州リッジレスト地震の概要と最近の地震断層調査の動向	活断層研究, 53, 51-65.
2021	SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの震源特性モデルの構築	日本地震工学会論文集, 22, 2_37-2_60.
2022	SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築	日本地震工学会論文集, 22, 2_61-2_87.
2022	Stress conditions and seismicity around the rupture zone of the mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake sequence in Kyushu, southwest Japan	Tectonophysics, 838, 229463, 1-15.
2022	1596年豊後地震における臼杵の津波高の再検討	歴史地震, 37, 75-92.
2022	愛媛県肱川沿いの河岸段丘の編年と地形発達—地形的連続性、段丘礫の風化程度を基準として—	地学雑誌 131, 521-544.