

伊予灘中央構造線と伊方原発

広島大学大学院理学研究科

地球惑星システム学専攻

准教授 早坂康隆

1) 伊予灘における第四紀のハーフグラーベンの形成と
中央構造線の運動像

2) 佐田岬半島北岸の中央構造線ダメージゾーンの実体

1

自己紹介

専門 : 構造岩石学・地質年代学

講義題目 : 「地球テクトニクス」, 「岩石学演習」, 「岩石変形学」

「構造地質学」「地球史」「東アジアのテクトニクス」

所属学会 : 日本地質学会, 日本鉱物科学会, 日本地球惑星科学連合

学界での主な役職 : 日本地質学会理事, 同西日本支部支部長

最近の研究成果

「日本最古の石の発見」
を、広島大学よりプレス
リリース

 **日本の研究.com**
research-er.jp

統計データ ニュース・記事

記事一覧 プレスリリース

島根県津和野町から日本最古の岩体を発見～原日本列島の形成史を
ひもとく力に～

広島大学 プレスリリース 掲載日:2019.03.26

ツイート B! 0 シェア 550

関連データ・研究者

推定分野	関連度TOP5
	● 理学 / 地球惑星科学 ● 理学 / 物理学 ● 医歯薬学 / 薬学 ● 工学 / 機械工学 ● 工学 / 建築・土木工学

関連研究者

早坂康隆 JSPS
広島大学 大学院理学研究科 准教授 - 2015
年度
推定分野 ● 地球惑星科学 ● 物理学
◆ 碎屑性ジルコン・モナサイト
◆ Tectonic line ◆ 鬼首-湯沢マイロナイト帯

2

本日の発表内容

双方の主張、対立点については既に理解されているとの前提で・・・

- 1) 活断層の岩石変形学的基礎付け（本日の発表を理解してもらうために必要なこと）：**5分**
- 2) 四電が否定する「伊予灘ハーフグランベ」の存在理由：**10分**
- 3) 伊方原発直近を通る中央構造線を活断層と考える理由：**10分**
- 4) 敷地周辺の海上音波探査が不十分と考える理由：**3分**
- 5) 沖合の「中央構造線系活断層帯」が北傾斜である可能性も考慮しているとの主張について：**2分**
- 6) 敷地岩盤は堅硬であることが確認されているとの主張について（伊方原発が中央構造線のダメージゾーンに位置する証拠）：**10分**

3

地殻の脆性破壊 (brittle fracture)

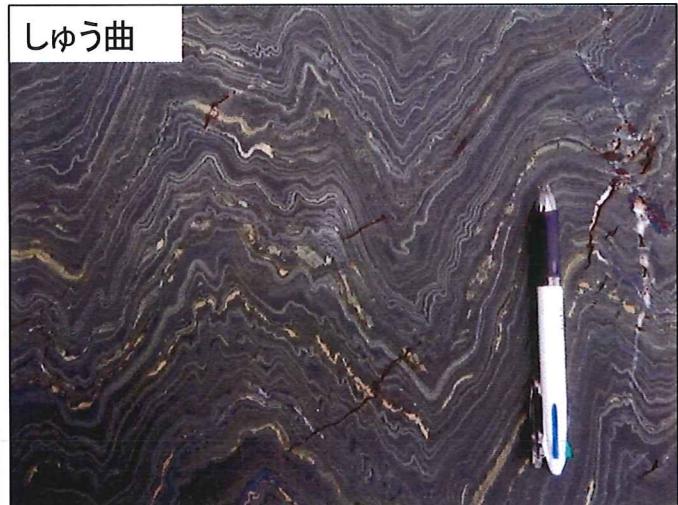
地震は断層運動によって引き起こされる。
断層運動は岩石の脆性破壊現象である。
岩石の脆性破壊は地殻の比較的浅いところで起こる。
岩石の脆性破壊は摩擦則に従う



4

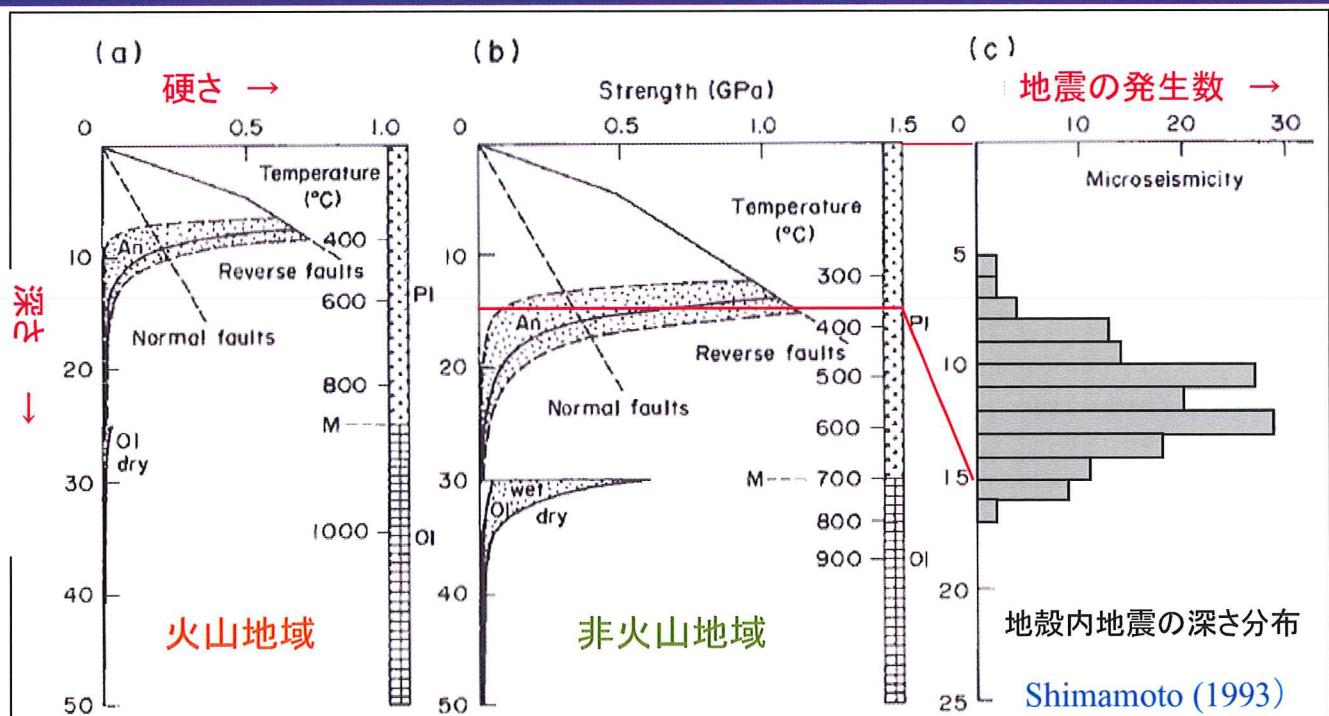
地殻の延性的流動 (ductile flow)

地殻の深い（高温の）ところでは、岩石は破壊せず
に流動し、地震は起こらない。



5

深さと岩盤の硬さ、地震発生帯の関係



- 地殻は深くなるほど硬くなるが、400°Cを超えると急に軟らかくなる。
- つまり、地殻は温度が350~400°Cになる深さで一番硬くなっている。
- この部分が地殻を支えており、ここが破壊されて初めて大きな地震が発生する。
- 大きな地殻内地震は常にこの深さで発生し、例外はほぼない。

6

本物の活断層と偽物の活断層

- ・本物の活断層は、震源位置の深さで形成された断層(震源断層)が繰り返し活動し、次第に上に伸びて地表へ到達したものである。
- ・M6より大きな地震の震源の深さは、日本列島ではほぼ例外なく8 kmより深い。

- ・深さ5km以深へ続いているなければ偽物の活断層と考えて良い。



7

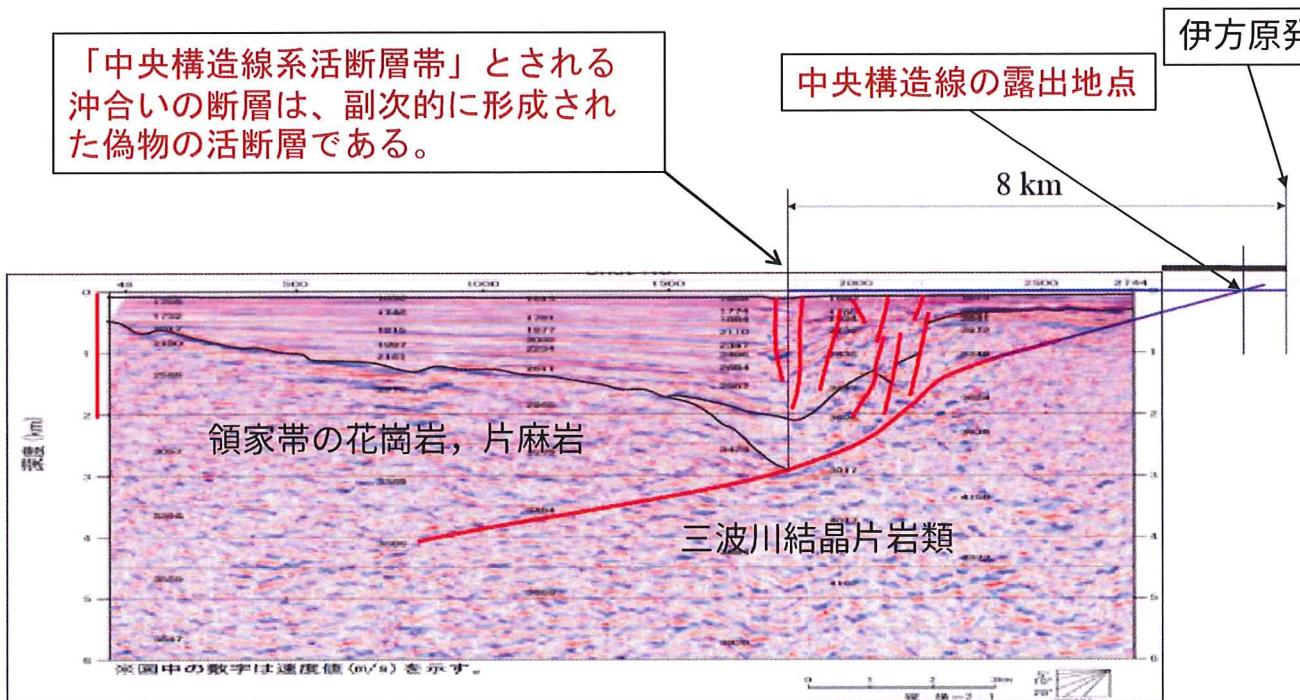
中央構造線を主断層とする伊予灘ハーフグランベ

「中央構造線系活断層帯」とされる沖合いの断層は、副次的に形成された偽物の活断層である。

中央構造線の露出地点

伊方原発

8 km



伊方沖測線 C の音波探査断面
四国電力 (2014) に加筆

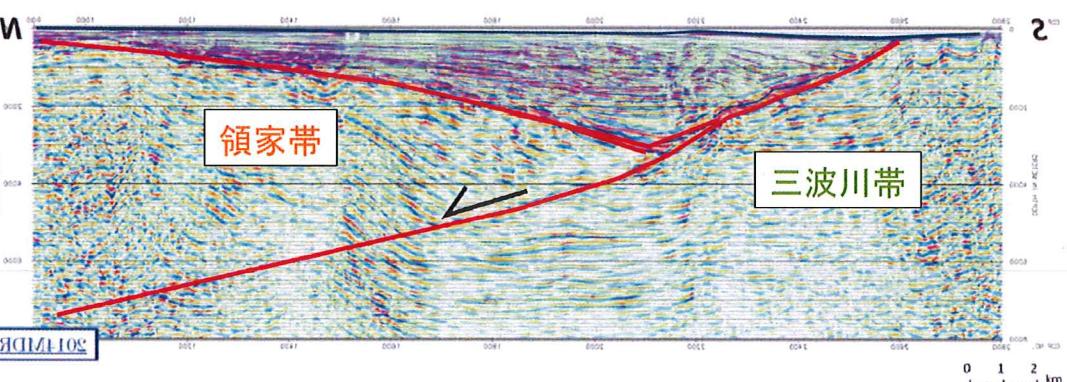
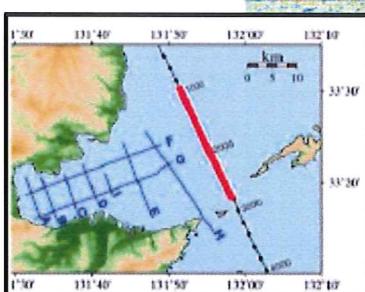
2 km
2 km

8

豊予海峡を通る断面 J (縦横比 1 : 1)

北

南



地震本部(2015)の図の左
右を反転し、加筆

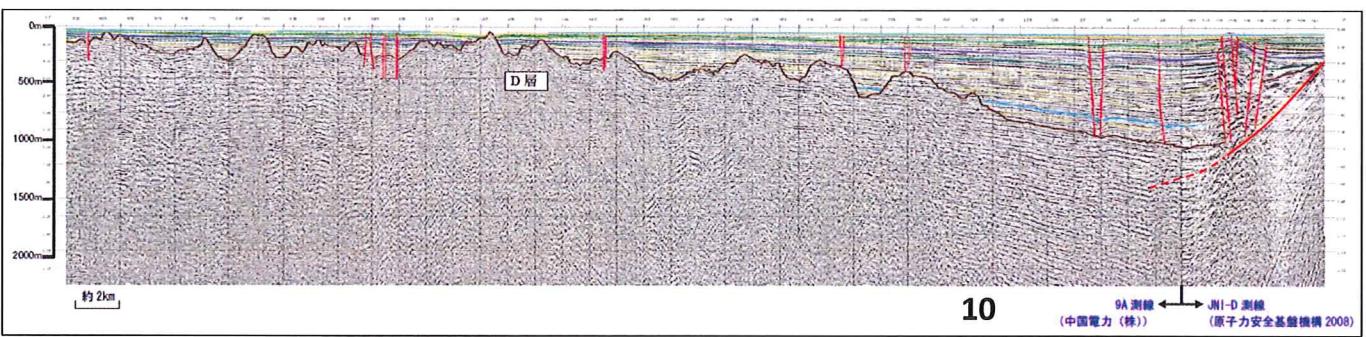
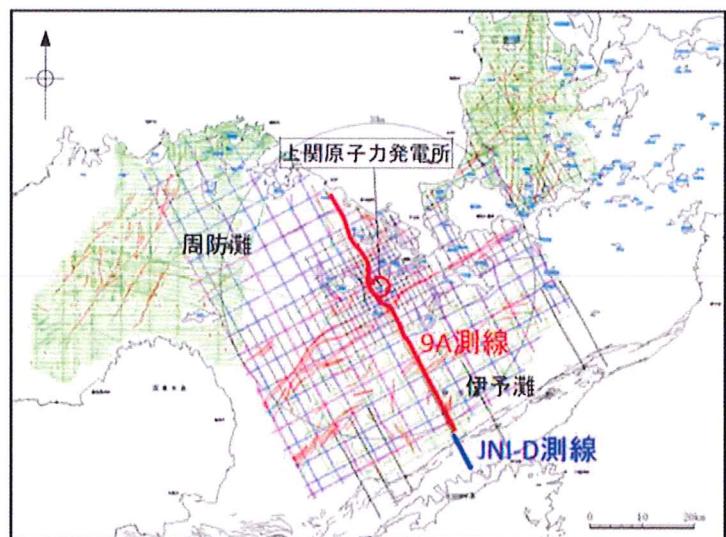
図 17 再解析結果(Line-J)
(上)標準処理深度断面図 (下)MDRS 処理深度断面図

9

伊予灘の地下構造(中国電力の報告書から)

旧原子力安全・保安院「原子力発電安全審査課平成22年7月地盤耐震意見聴取会(第72回)配付資料(09—上関設C—08)—敷地周辺海域の地質・地質構造

伊予灘海域では基盤の上面深度は中央構造線断層帯に向かって深くなるハーフグラーベン状の構造を示すとしている。



10

四電：「ハーフグランベンなら扇形の地層が形成」

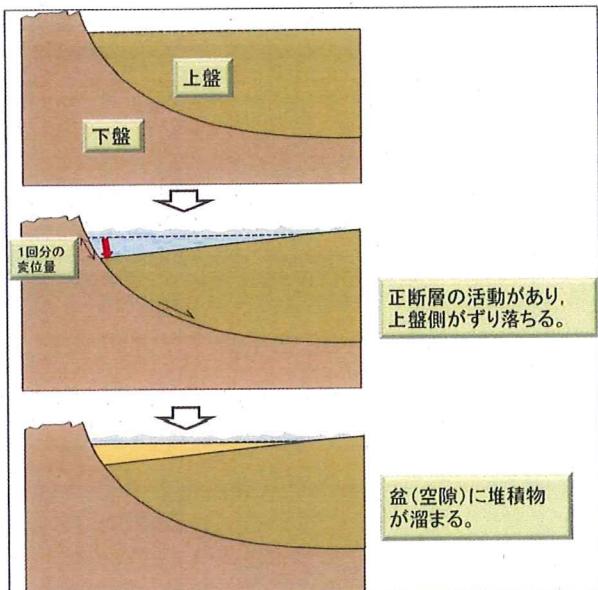


図3 正断層による変位（概念図）

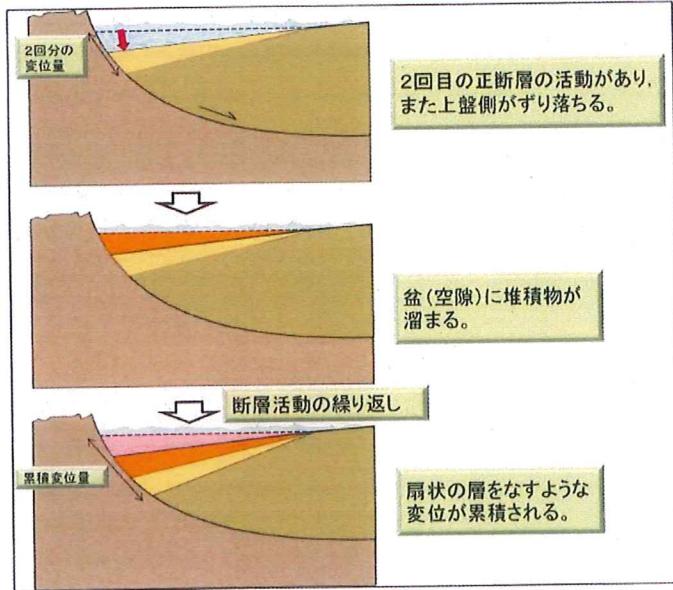


図4 正断層による変位の累積（概念図）

四電による「即時抗告準備書面(3)」より引用

11

四電：「沖合い断層帯の南側では地層は水平」

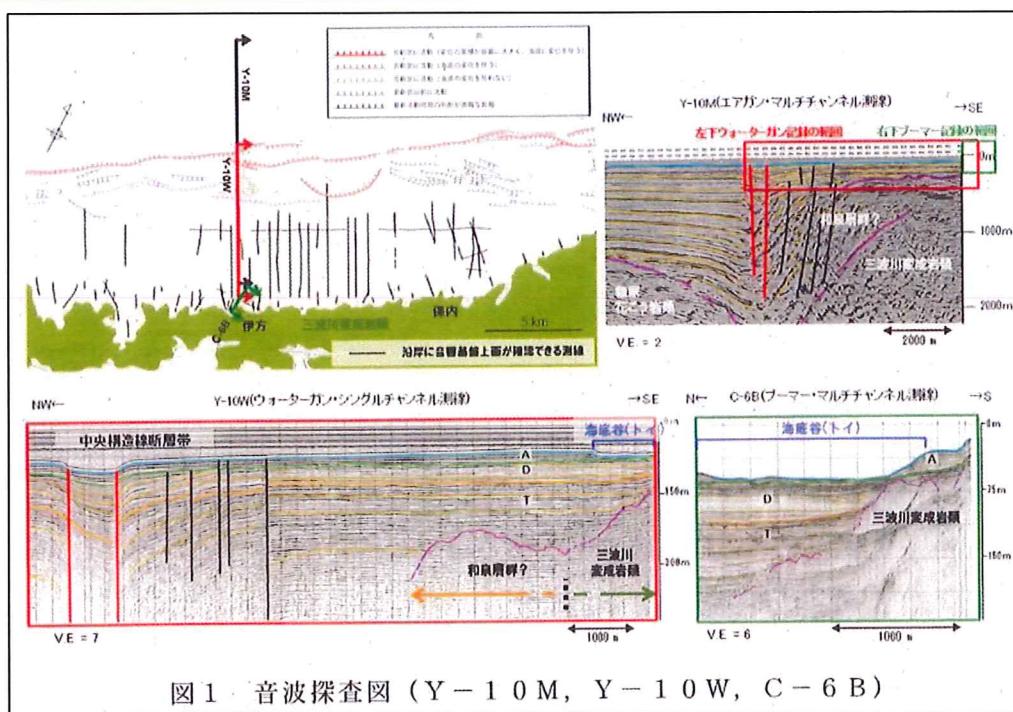


図1 音波探査図 (Y-10M, Y-10W, C-6B)

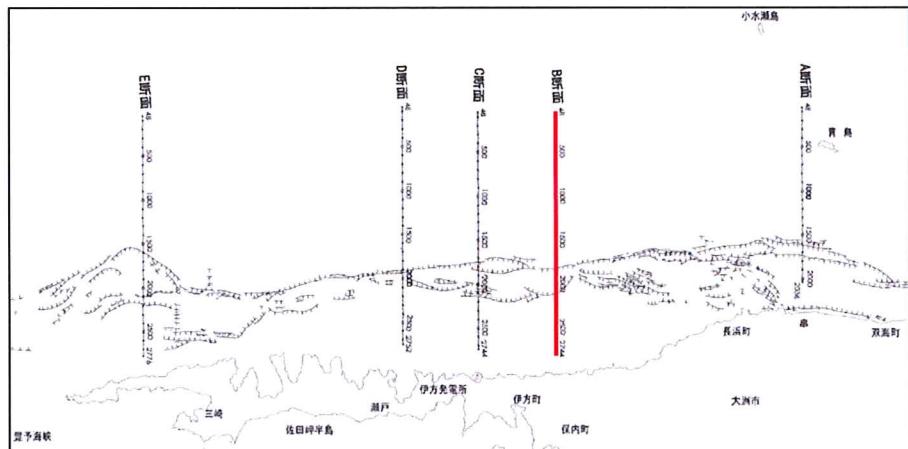
四電による「即時抗告準備書面(3)」より引用

では、伊予灘の異常とも言えるほど厚い新期堆積層はどのように形成されたのか？

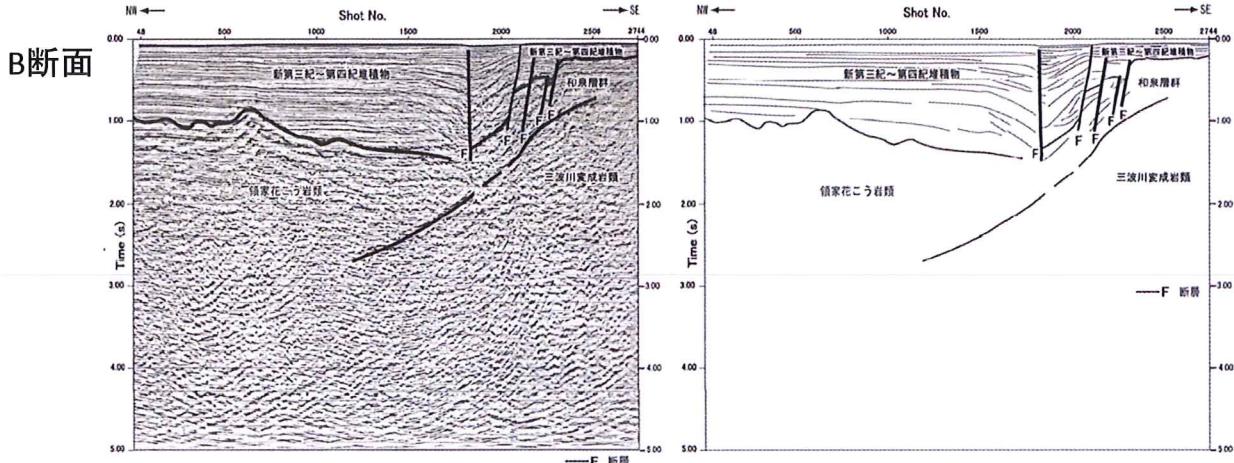
伊予灘の地震テクトニクスを考察する上で最も注目されるべきこの問へ、四電はかつて一度も答えたことがないし、保安院も規制庁も問題にしてこなかった。

12

保内沖

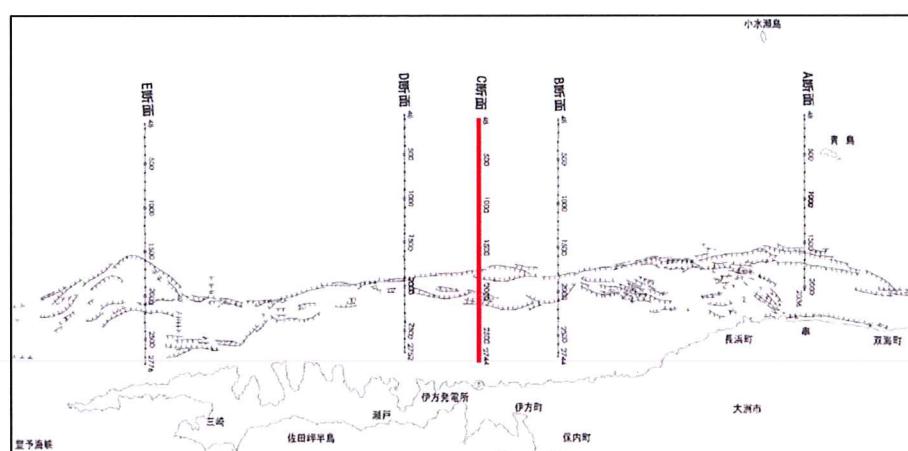


[保内町]

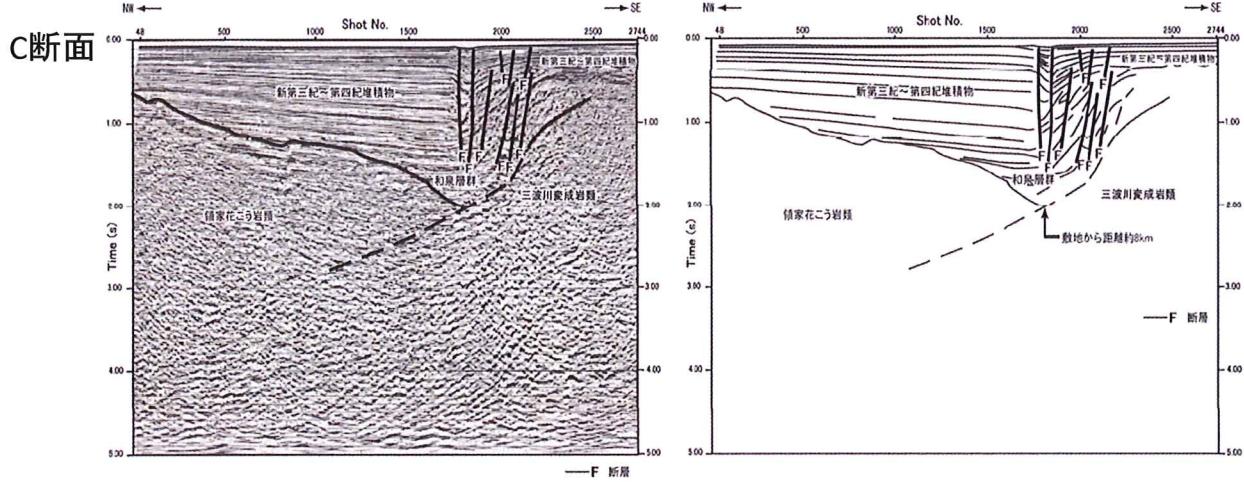


13

伊方沖

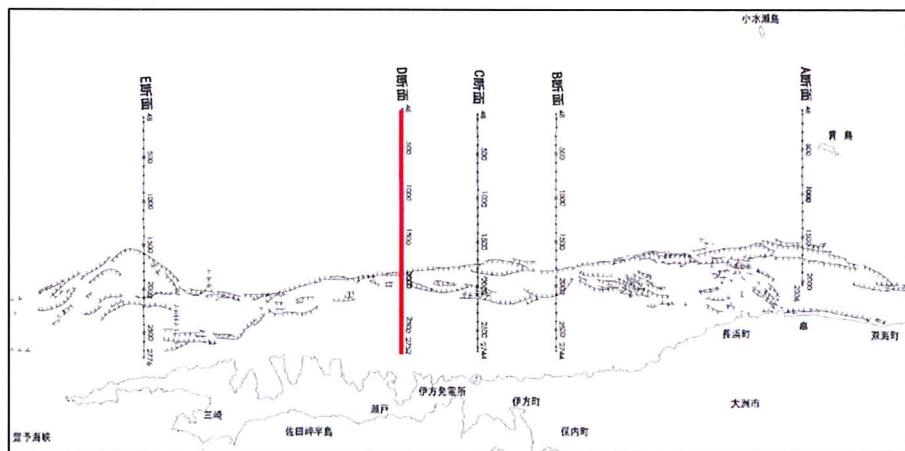


[伊方発電所]

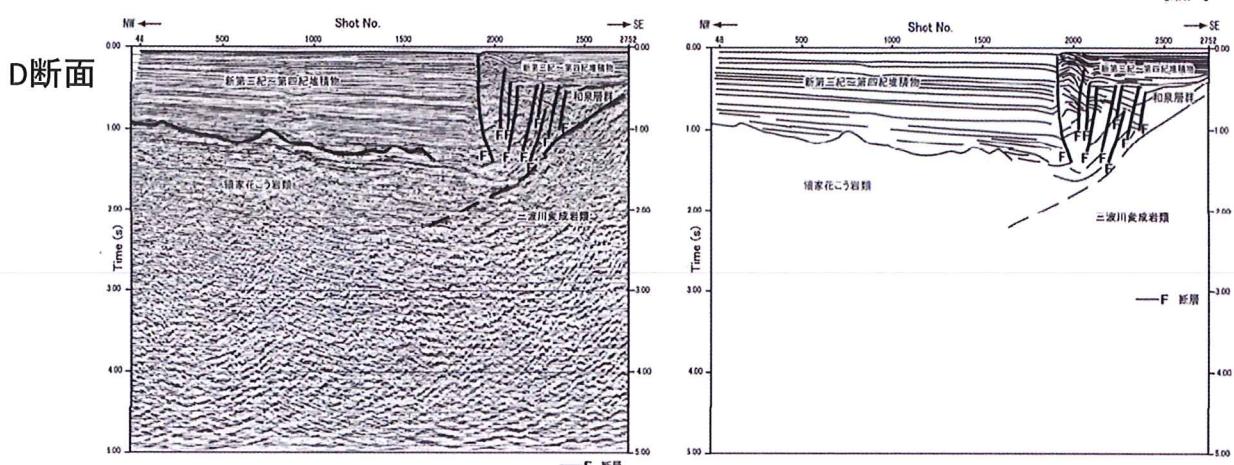


14

瀬戸沖

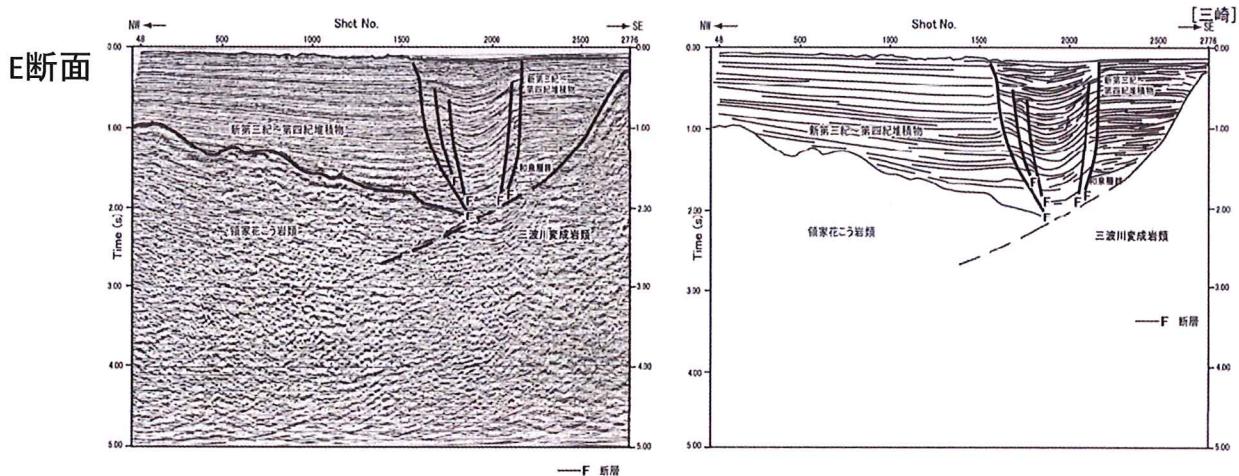
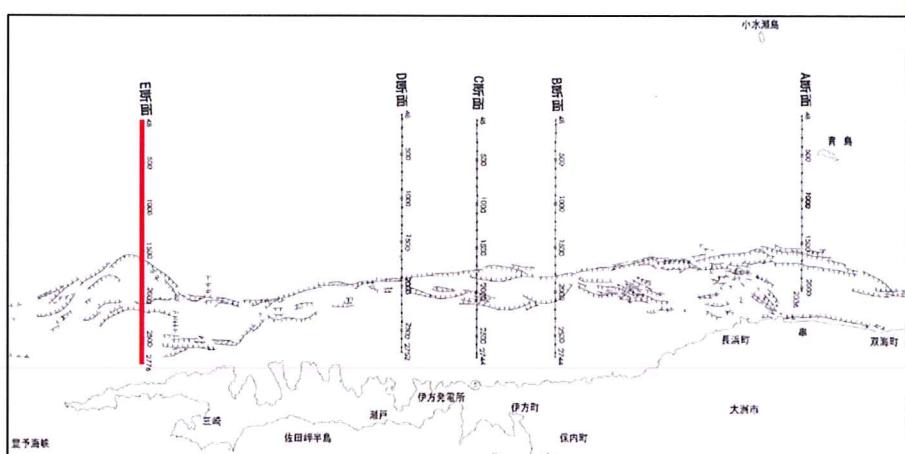


[瀬戸]



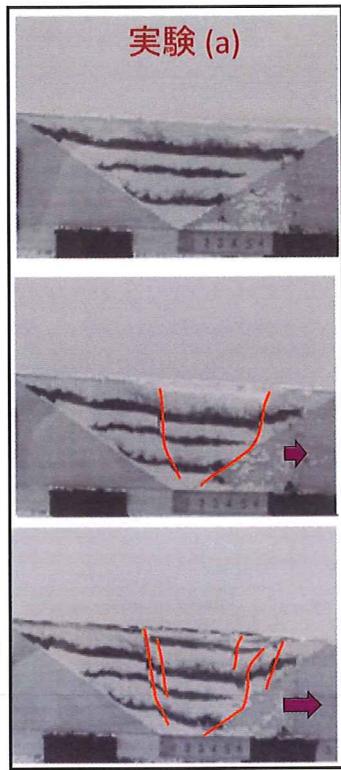
15

三崎沖

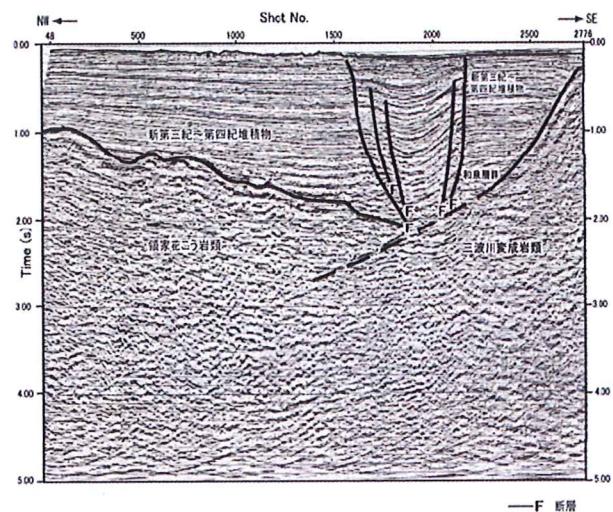


16

ハーフグランベンに伴う副次的断層の効果



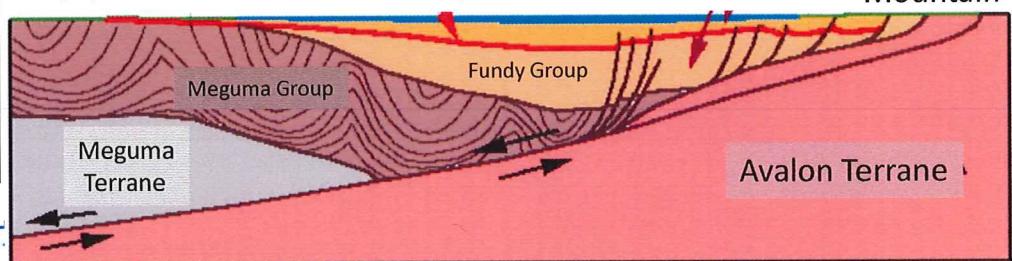
!断面



四電 (2015)

North
Mountain

カナダ・ノバスコシア州のFundy ハーフグランベン



山下ほか(2016)によるパ
ーダーボックスの変形実験

"Structural Geology" by R. J. Twiss and E. M. Moores. W., 1992

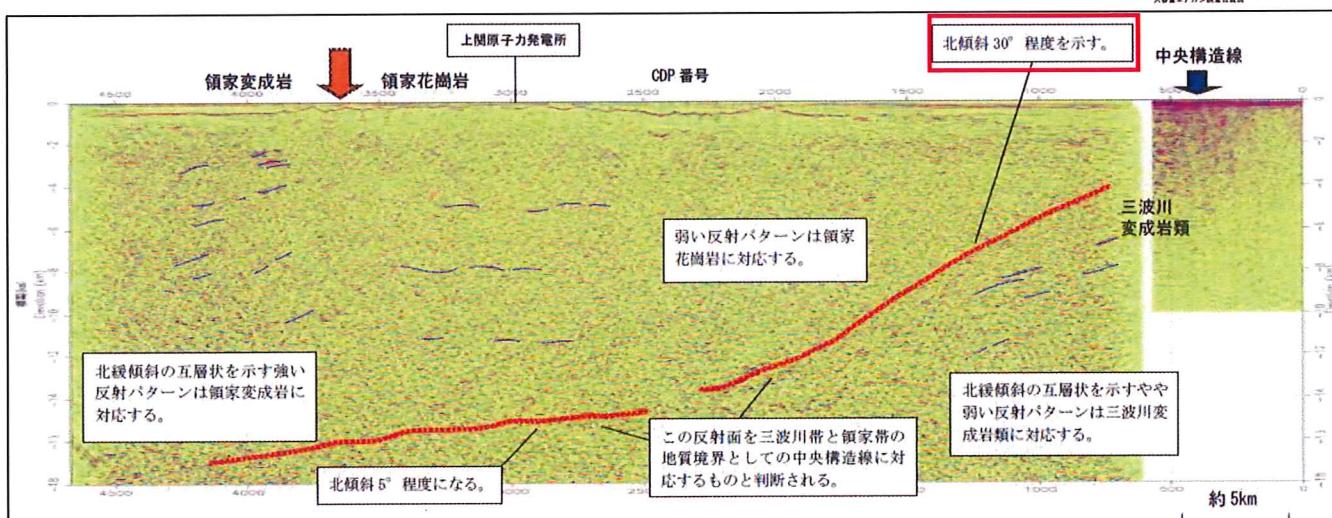
17

伊予灘中央構造線の深部延長

旧原子力安全・保安院「原子力発電安全審査課
平成22年9月上関原発設置審関係、地盤耐震意見聴取会(第73回)
配付資料(09ー上関設C-12)
一敷地周辺海域の地質・地質構造(その2)ー (P. 47-49)



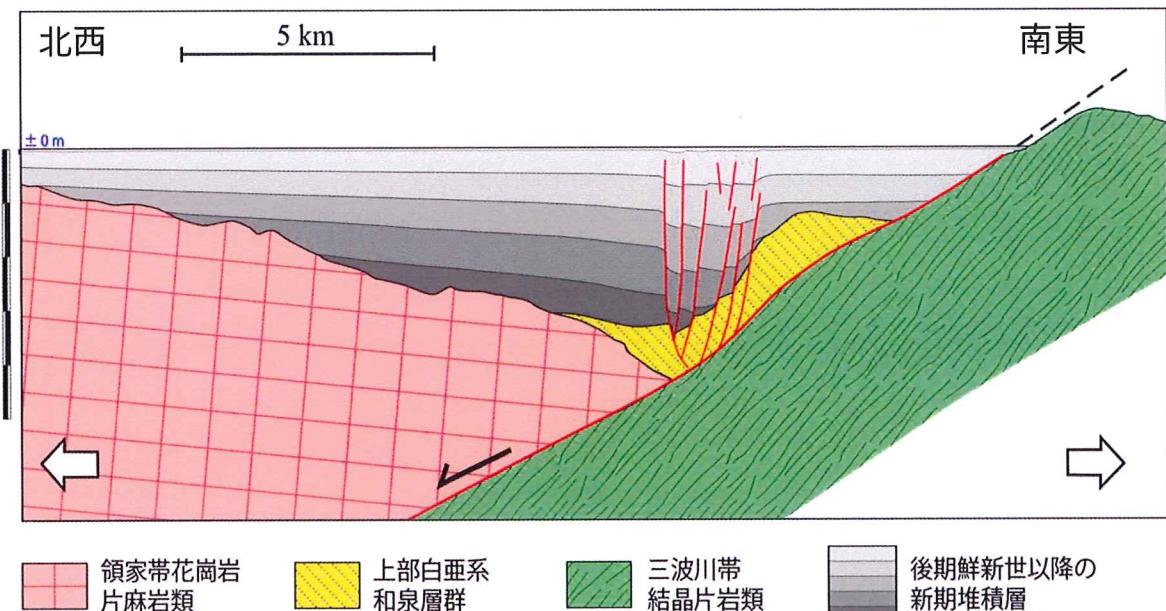
中央構造線は北傾斜 30° 程度を示すことが
明らかにされている。



反射法探査結果（深部構造の解明に焦点を当てた解析を行った深度断面図、相対振幅強度表示）

18

伊予灘ハーフグラーベンの構造

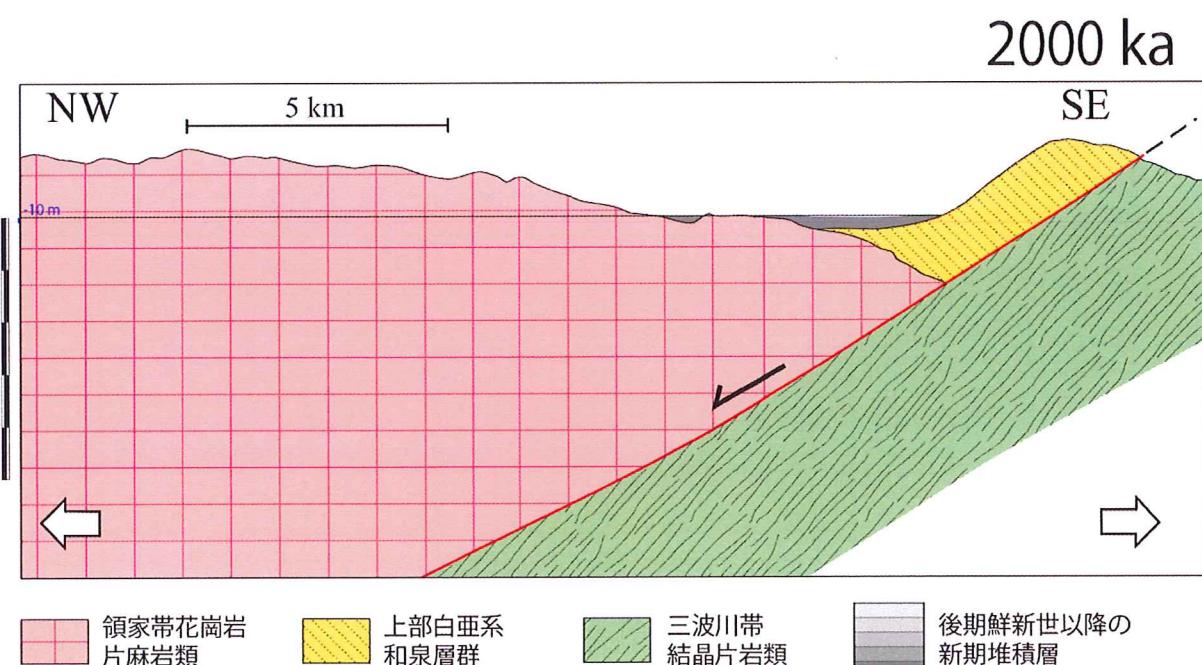


1) 新期堆積層の深部は南東へ 6° 傾斜。200万年前に堆積したと仮定すると
10万年あたり 0.3° の傾動。

2) 中央構造線の傾斜を 30° とすると、新期堆積層の底の深さは3000 mを超え、
10万年あたり150 m以上の沈降。

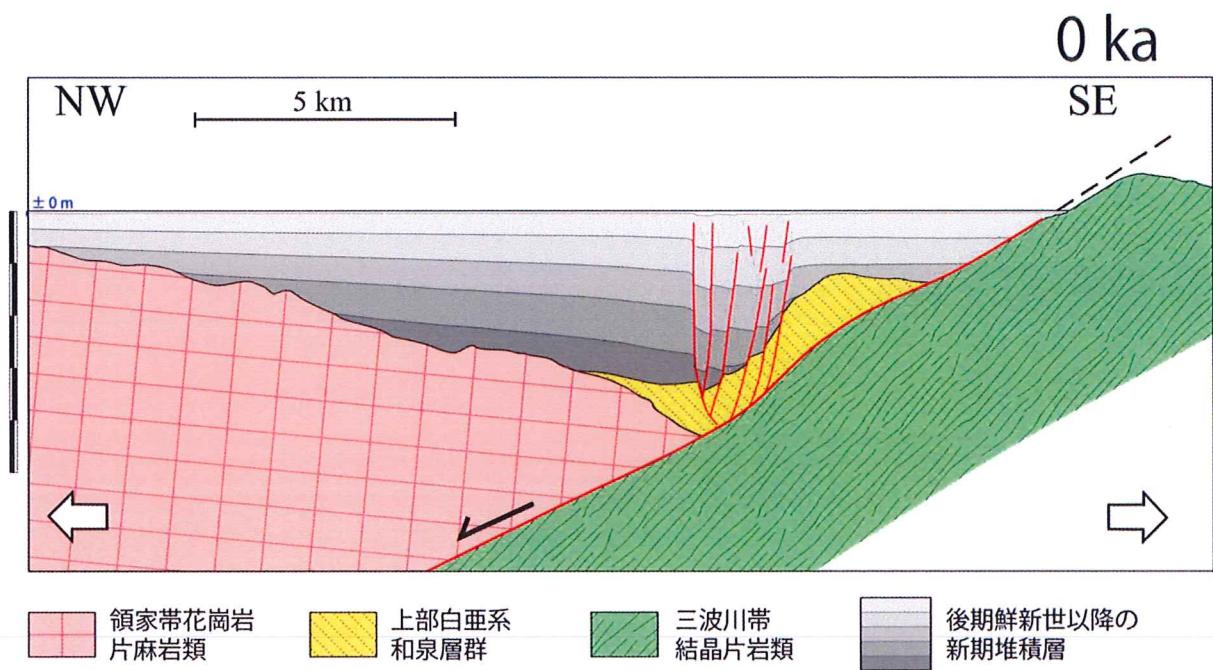
19

伊予灘ハーフグラーベンの発達過程の「巻き戻し」



20

伊予灘ハーフグラーベンの構造発達史（自動再生）

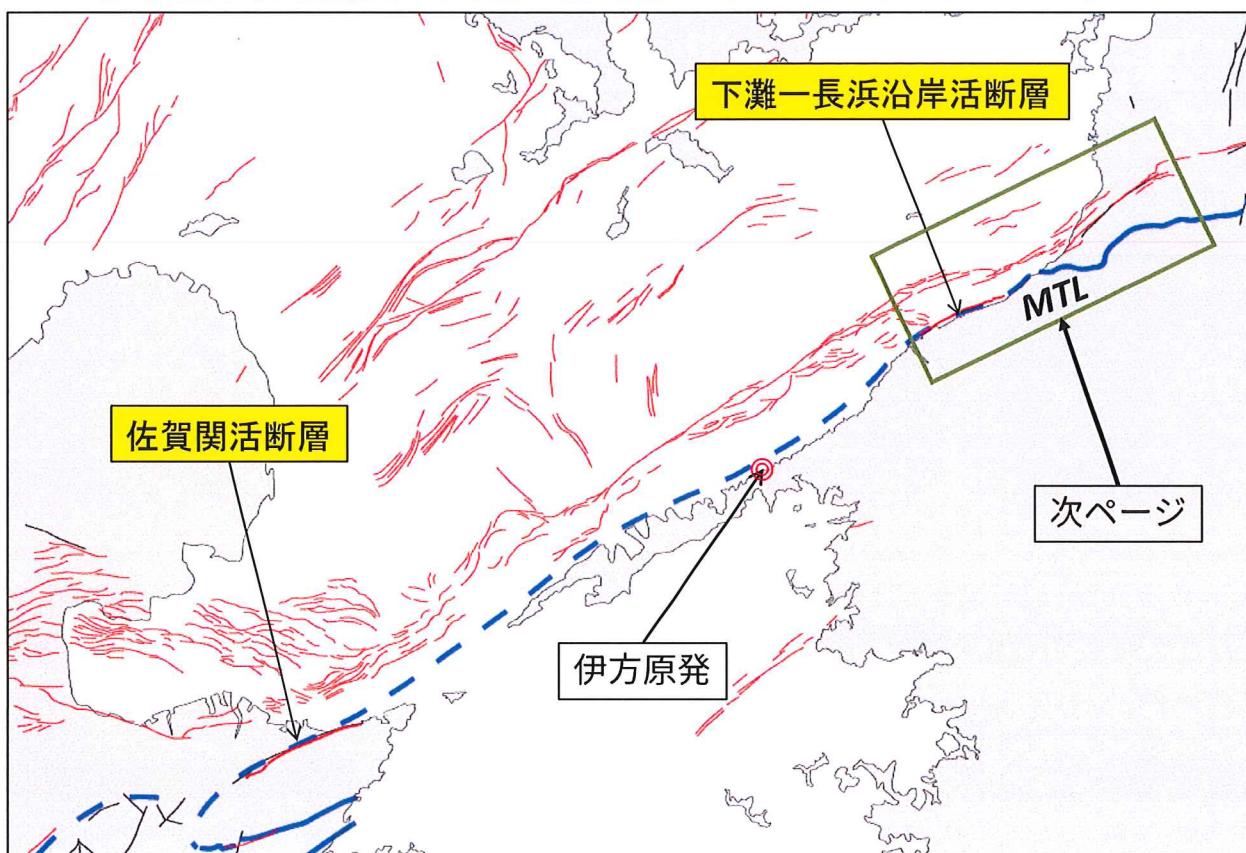


このモデルによってのみ、伊予灘の厚い新期堆積層の形成が説明可能。

21

伊予灘中央構造線を活断層と考える理由1

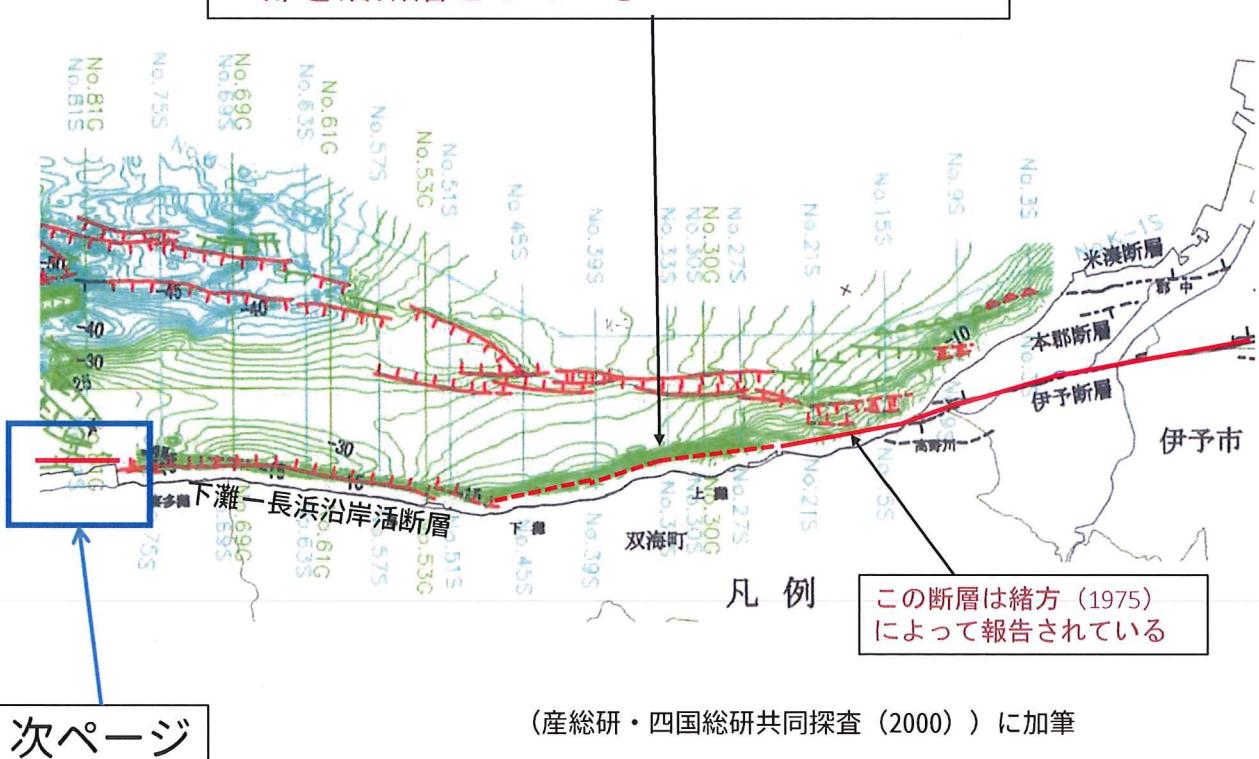
伊予灘中央構造線の両端は活断層であることがわかっている。



22

伊予断層は下灘一長浜沿岸活断層へ繋がる

緒方（1975）は下灘一上灘沿岸の急傾斜部の一部を活断層としている



次ページ

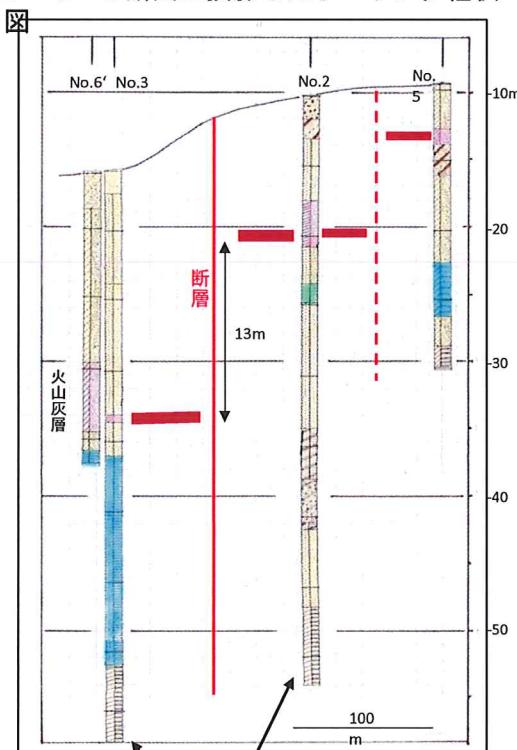
(産総研・四国総研共同探査（2000）に加筆)

産総研・四国総研調査報告書（2001）

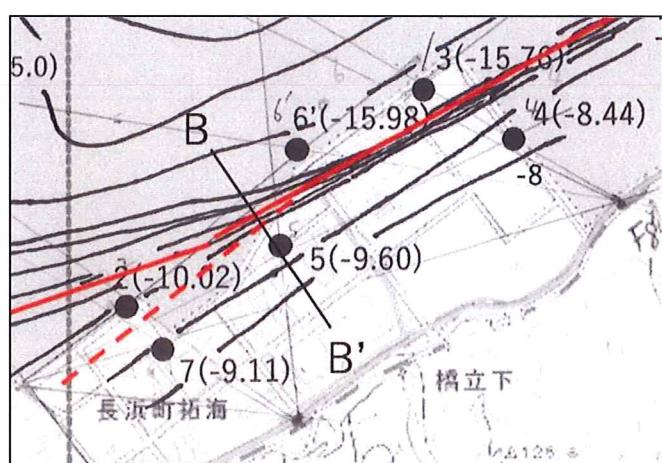
23

下灘一長浜沿岸活断層は長浜埋立地を通過する

B - B' の断面に投影したボーリング柱状



赤線の位置で火山灰層の現れる深さに食い違いが認められる

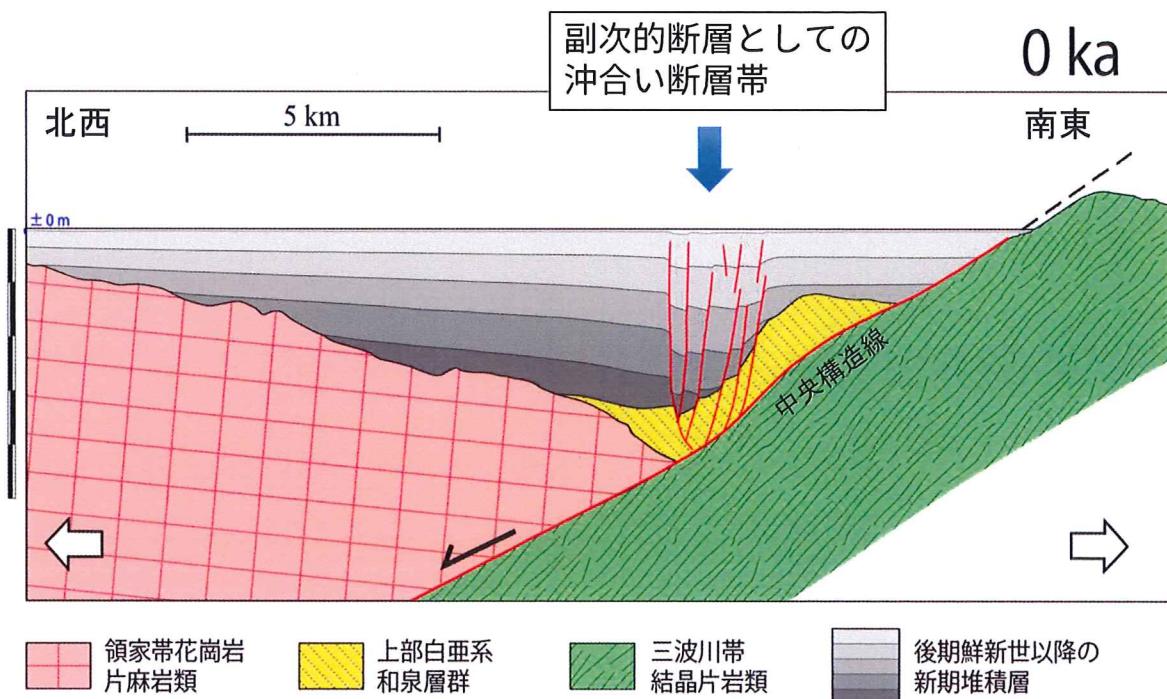


基底礫層

旧長浜町資料（1983）

24

伊予灘中央構造線を活断層と考える理由2



副次的断層である「沖合い断層帯」が活動的であるなら、主断層である中央構造線は活断層ということになる。

25

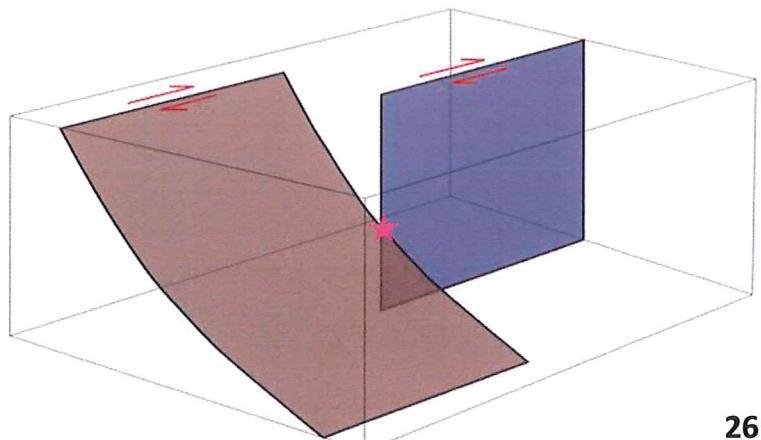
伊予灘中央構造線を活断層と考える理由3

「中央構造線系活断層帯」はなぜ中央構造線と並走しているのか？

良く調べられている四国東部では北へ35°で傾斜する中央構造線そのものが活断層として活動していると考えられており (Tabei et al., 2002 ; 地震本部, 2018ほか) 、中央構造線と「中央構造線系活断層帯」の並走関係に疑問が持たれることはなかった。

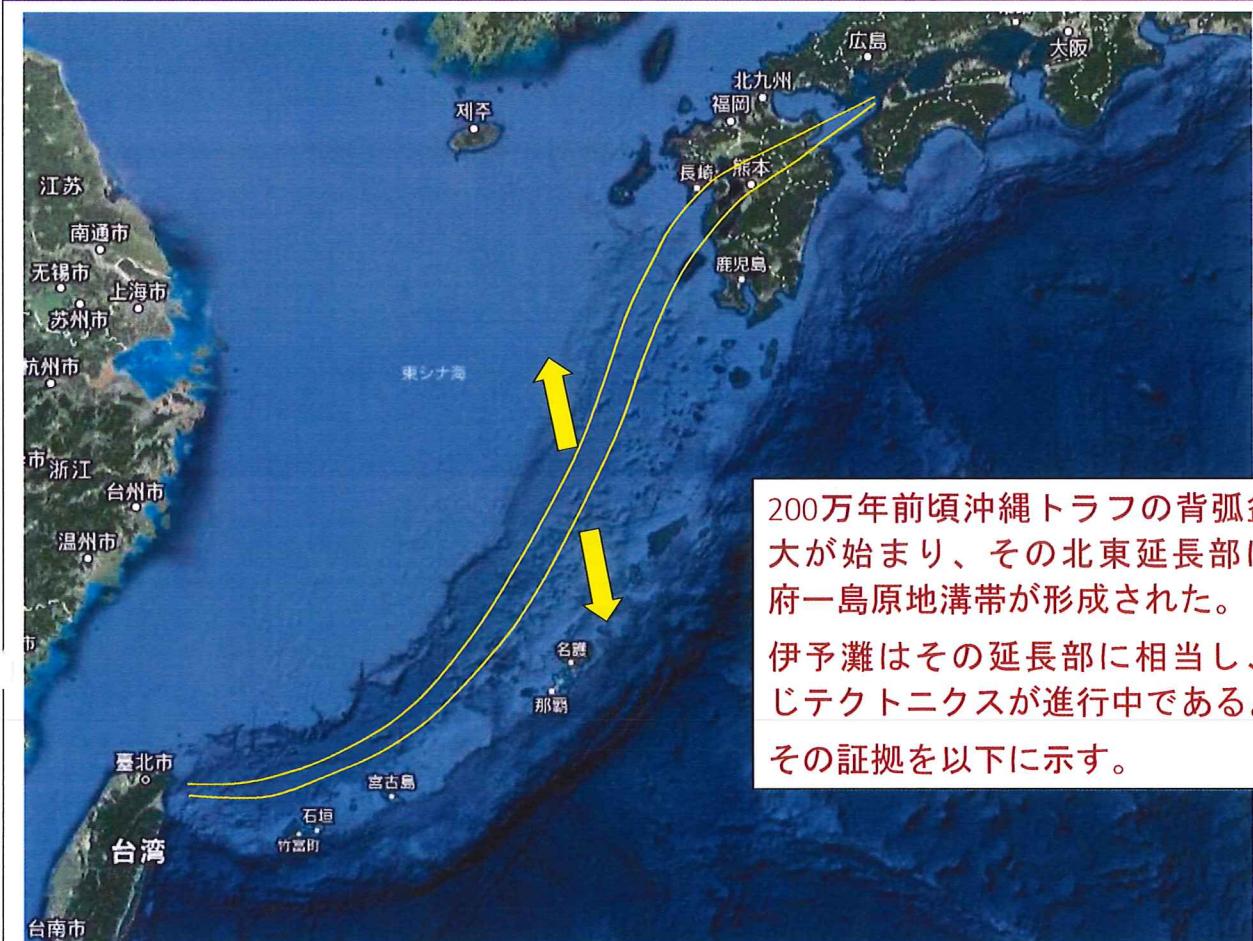
中角度で傾斜する横ずれ断層と鉛直な横ずれ断層は運動することができないので、四国東部の「中央構造線系活断層」の西方延長は同じように北へ中角度で傾斜するものでなければならない。

すなわち、伊予灘に「中央構造線系活断層」があるとしたら、それは中央構造線そのものでなければならない。



26

伊予灘中央構造線を活断層と考える理由4



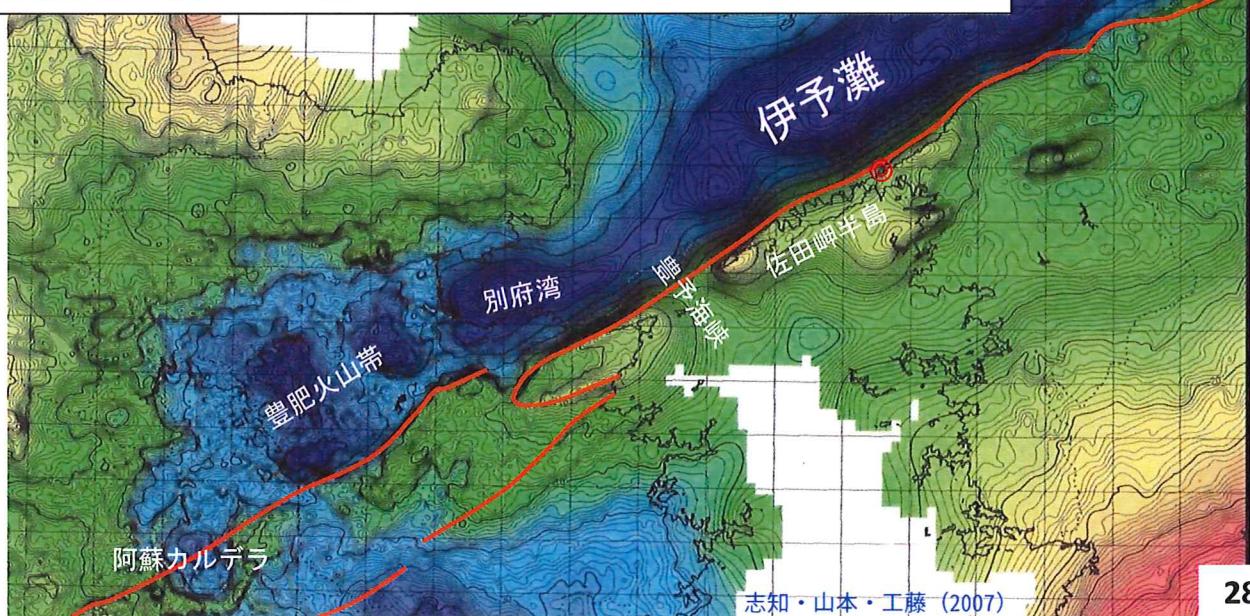
27

重力異常(ブーゲ異常)図

陥没がおこったところで重力異常(ブーゲ異常)が大きな負の値を示している。

中央構造線は、その南縁の重力異常がプラスからマイナスへ急変する位置を通っている。

重力異常の急変帯は大分一熊本線を通って熊本地震を起こした布田川断層へ続いている。

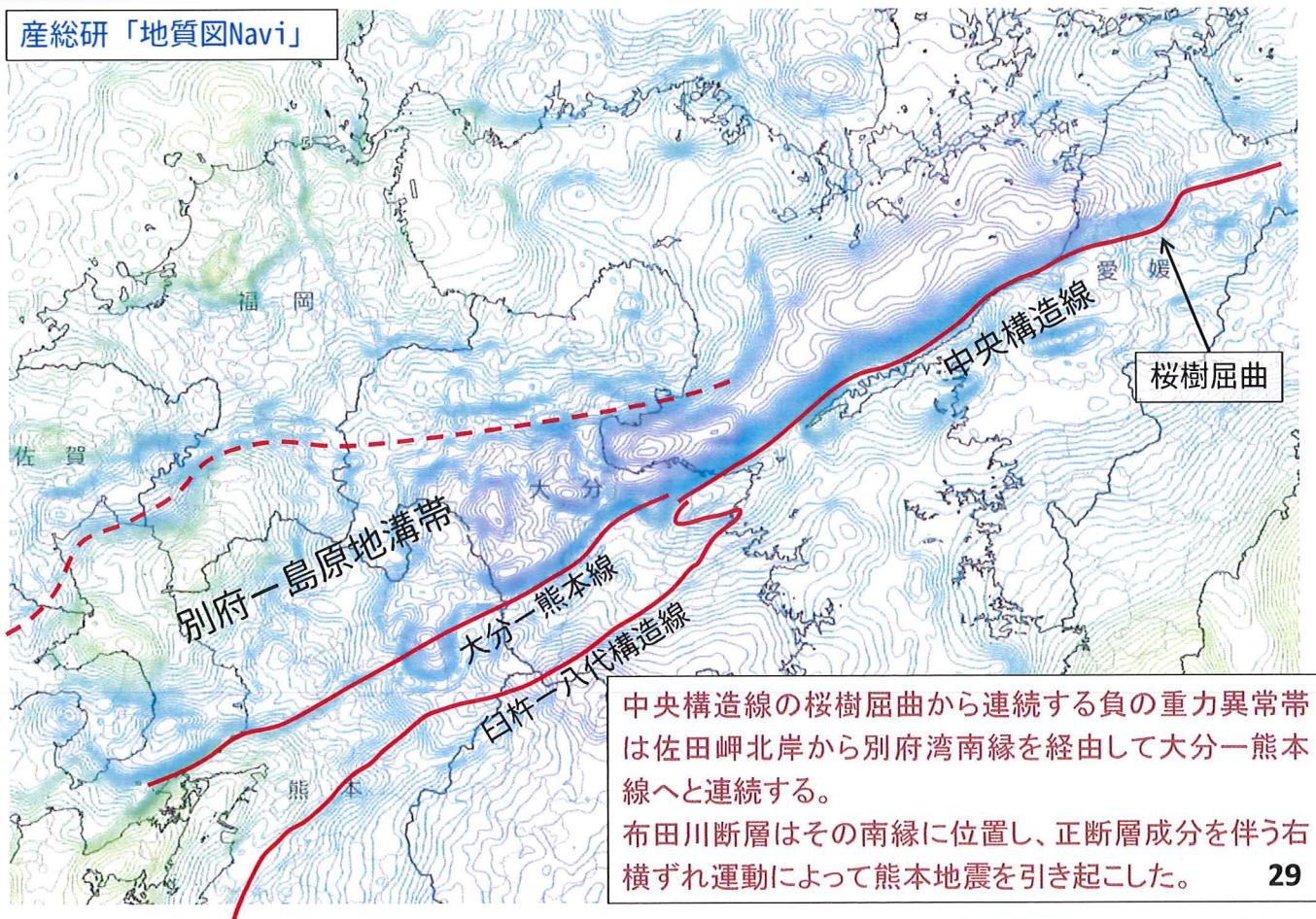


志知・山本・工藤 (2007)

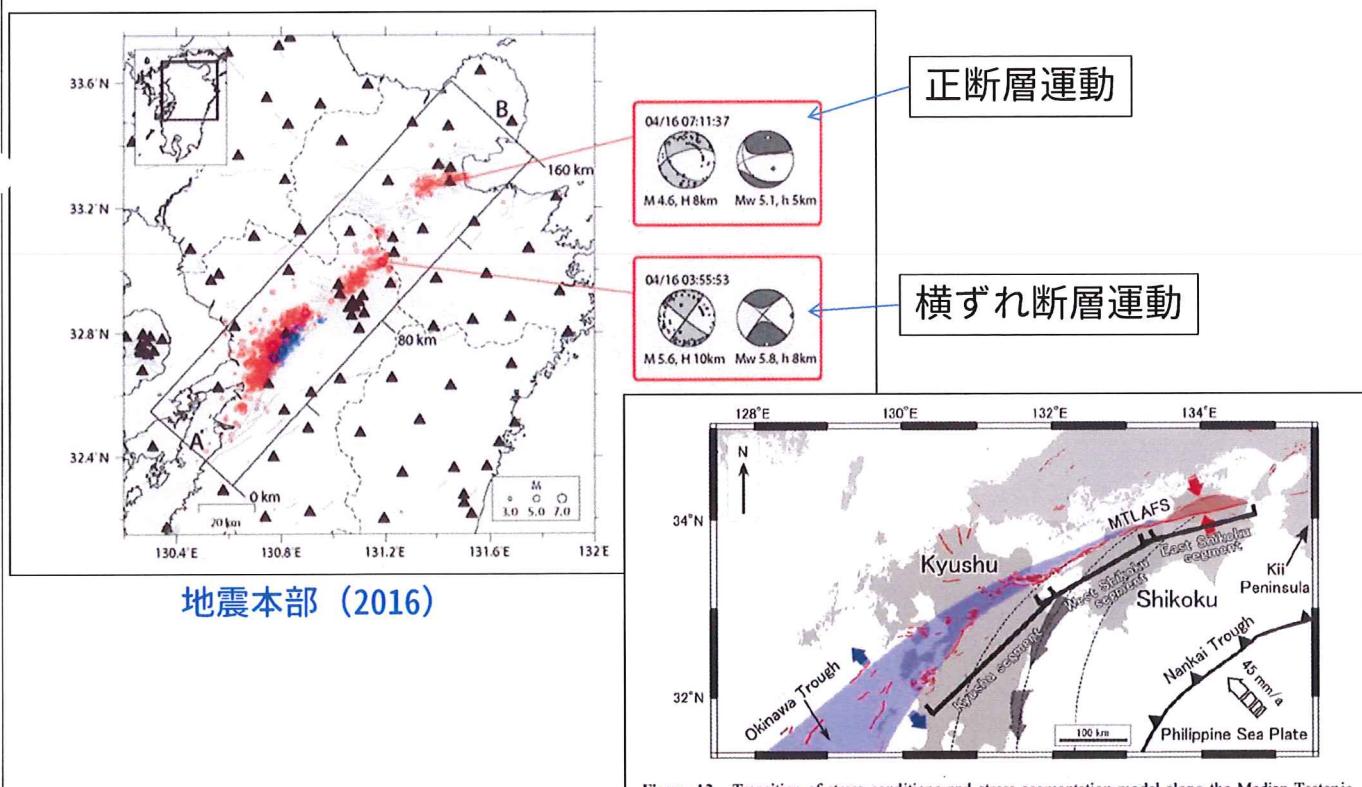
28

別府湾一伊予灘の重力異常帯は熊本地震域へ続く

産総研「地質図Navi」



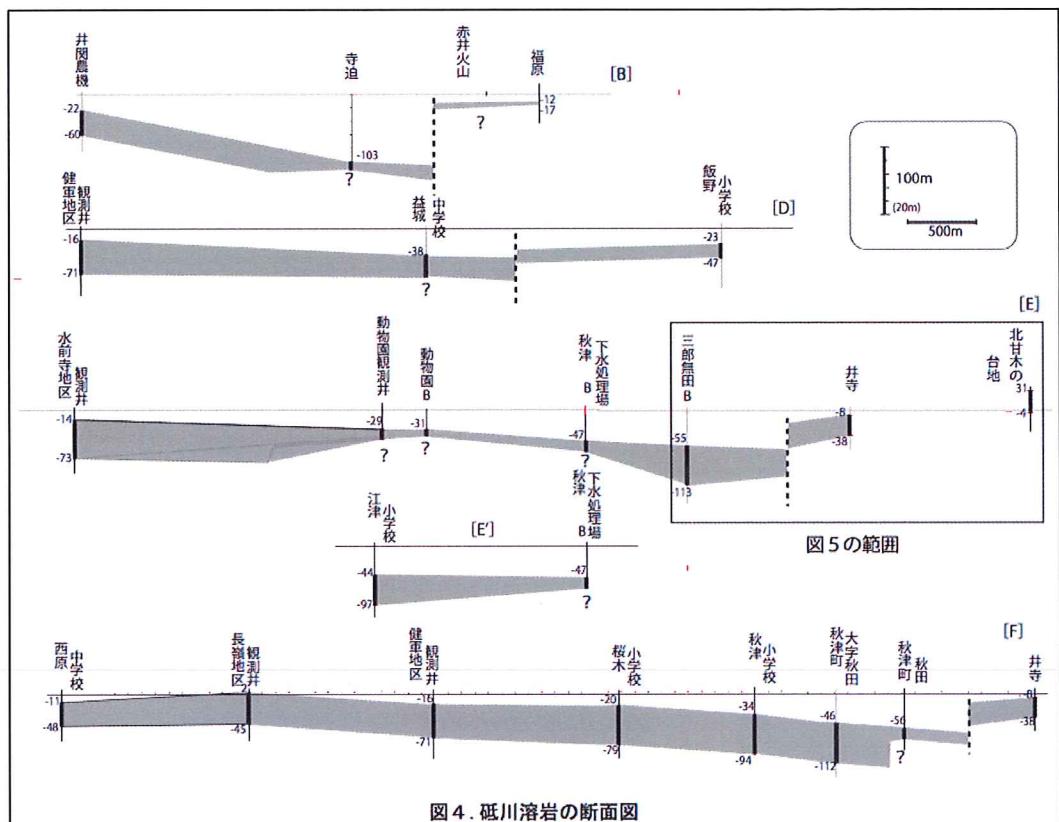
熊本地震に見られる正断層運動と横ずれ運動の共存



熊本平野ではハーフグラベンの形成が進行中

北西

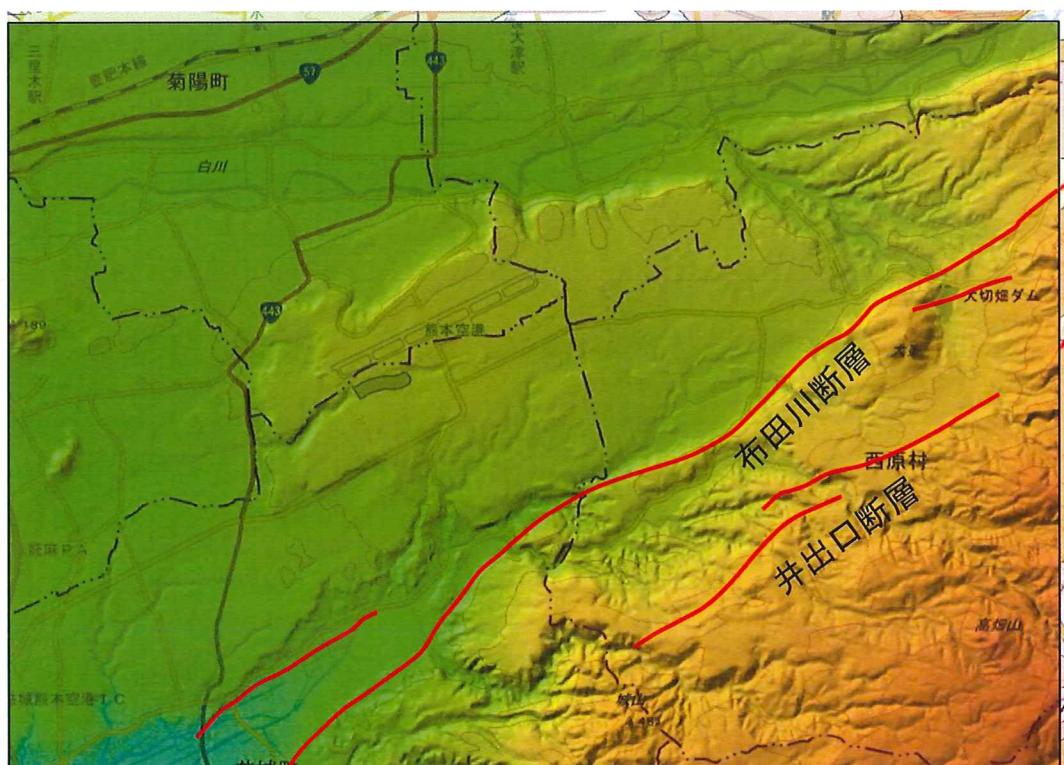
南東



長谷ほか（2016年3月）

31

熊本平野ではハーフグラベンの形成が進行中

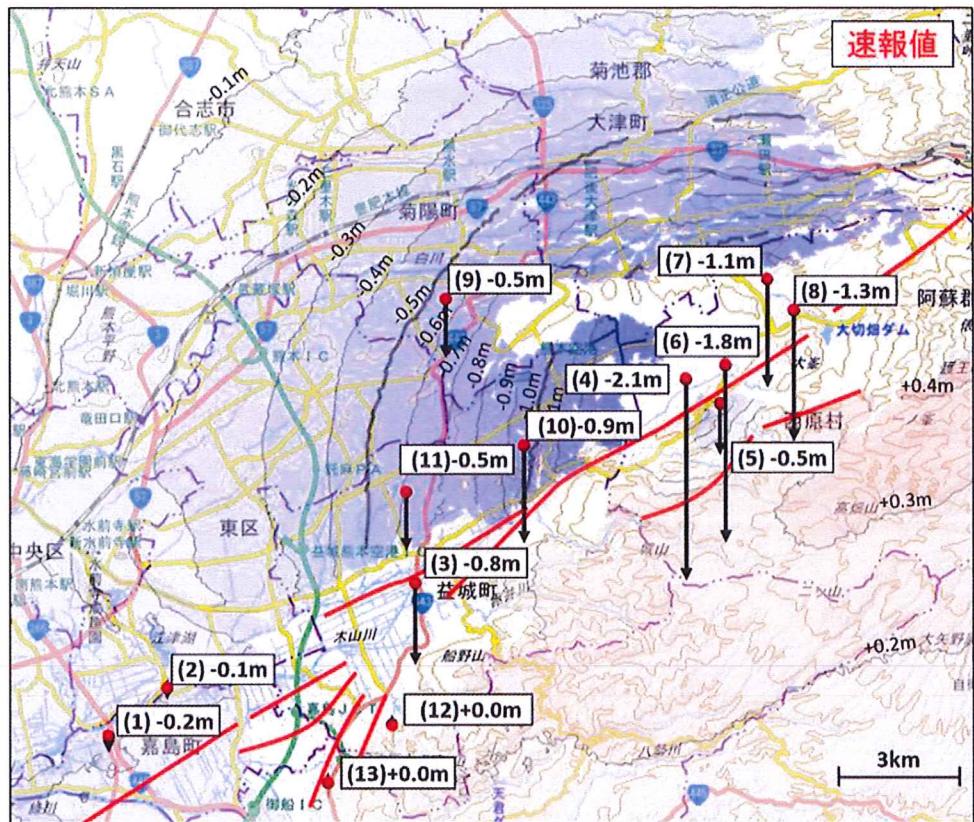


9万年前に噴出した高遊原(たかゆばる)溶岩からなる台地は布田川断層を境に北側が50~100mほど不均等に落ちて傾いている。

32

熊本地震に伴うハーフグラベンの形成運動

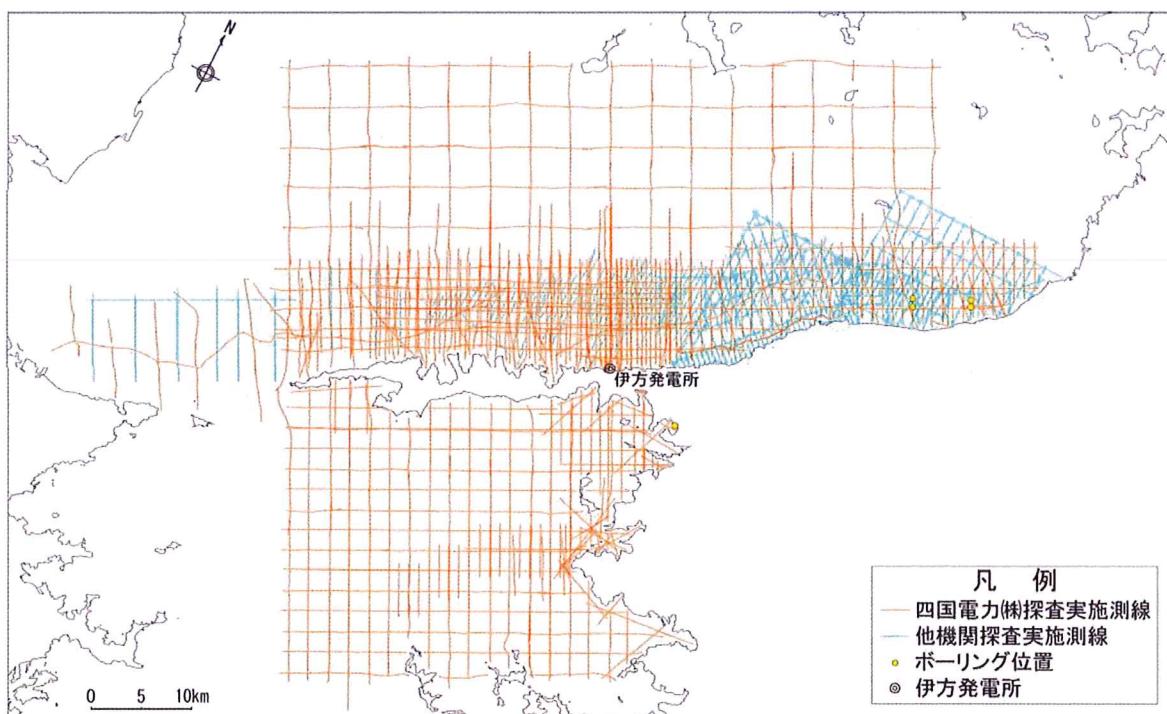
熊本地震がおこって布田川断層の北側が最大 2 m ほど不均等に沈降した



測地衛星「だいち」による熊本地震の地殻変動 (国土地理院, 2016)

33

四電による伊予灘南岸付近の活断層調査は十分か

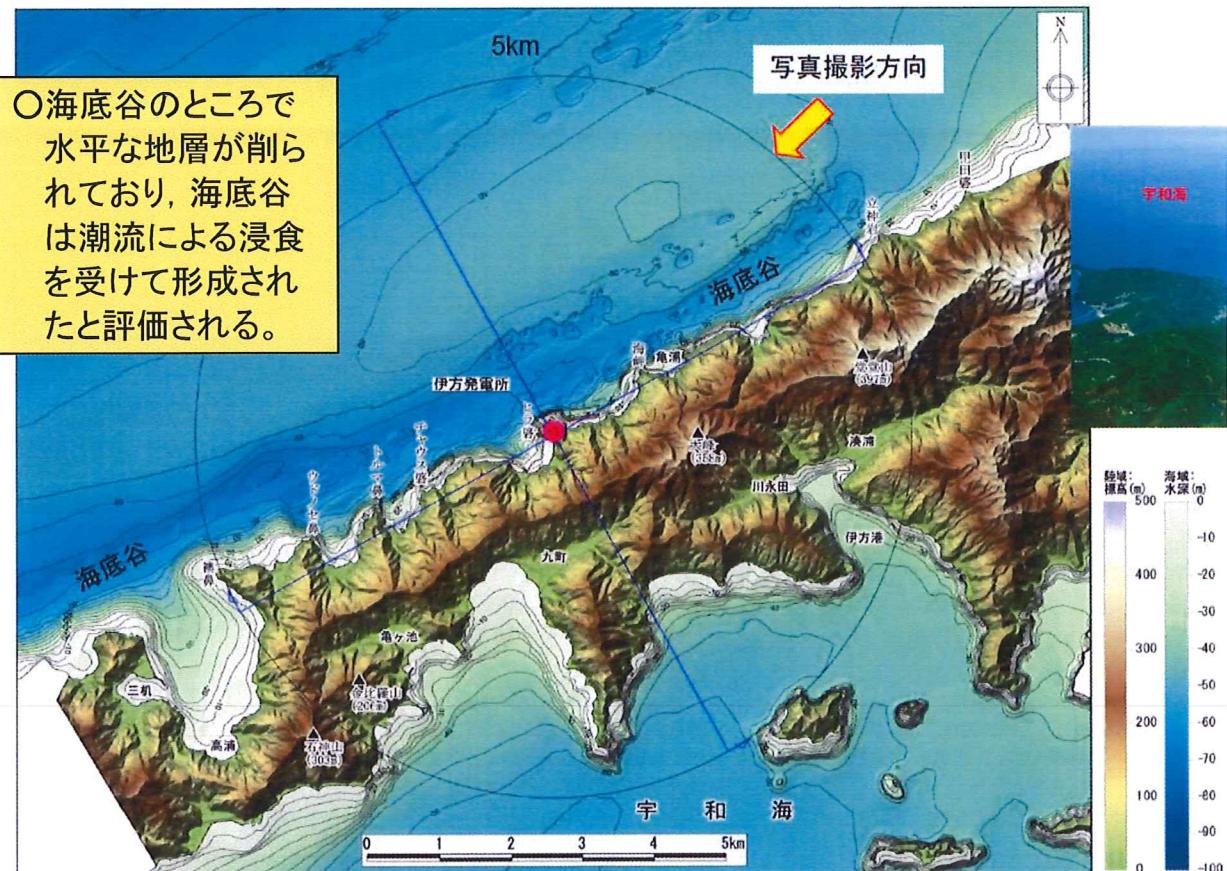


第 3.2.35 図 敷地周辺の海上音波探査測線図

補正資料

34

海底谷についての四国電力の解釈

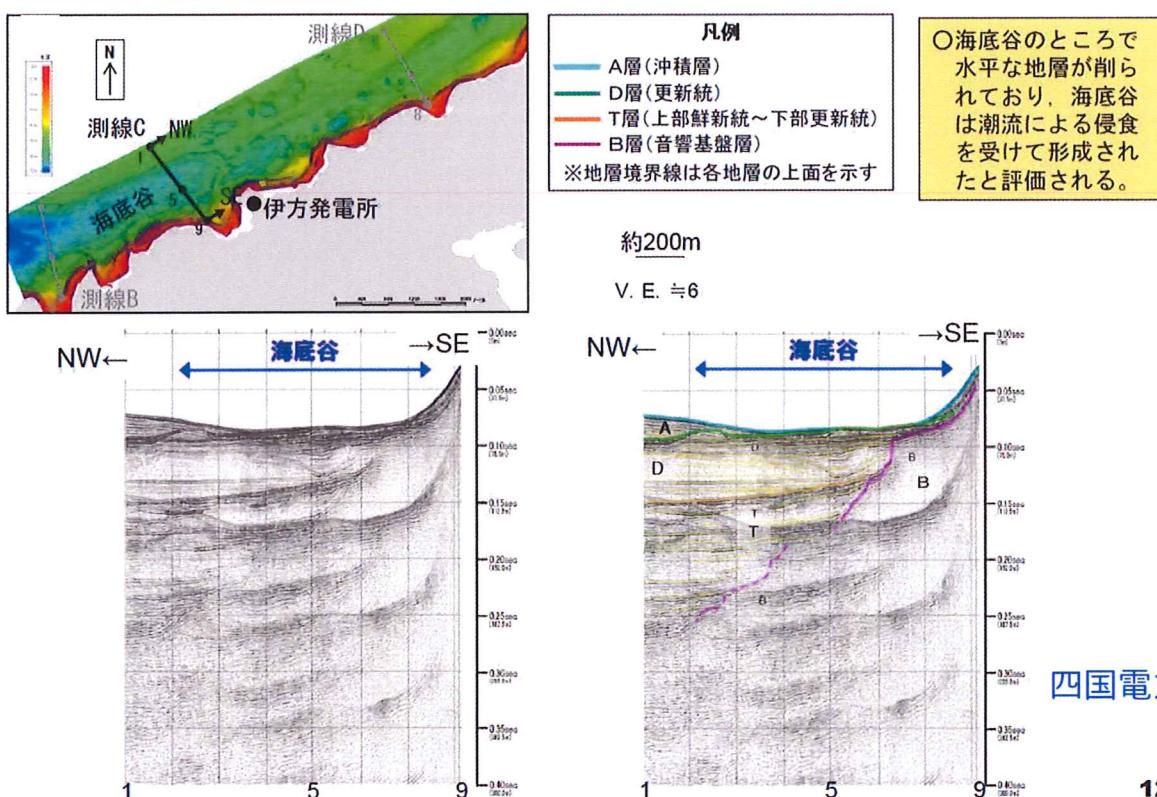


四国電力(2014)

35

海底谷は沿岸流に侵食されて形成された

音波探査記録による検討⑥<測線C(ブーマー)>



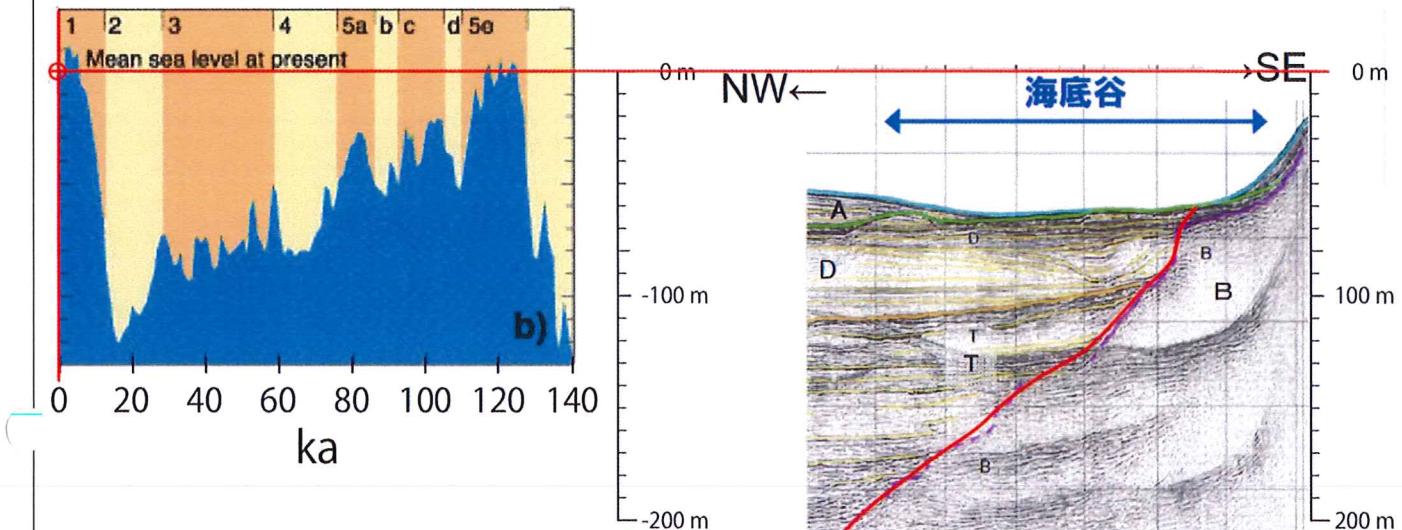
12

36

海水準の低下による浸食で上部更新統も失われた

現在

14万年以降の海水準変動

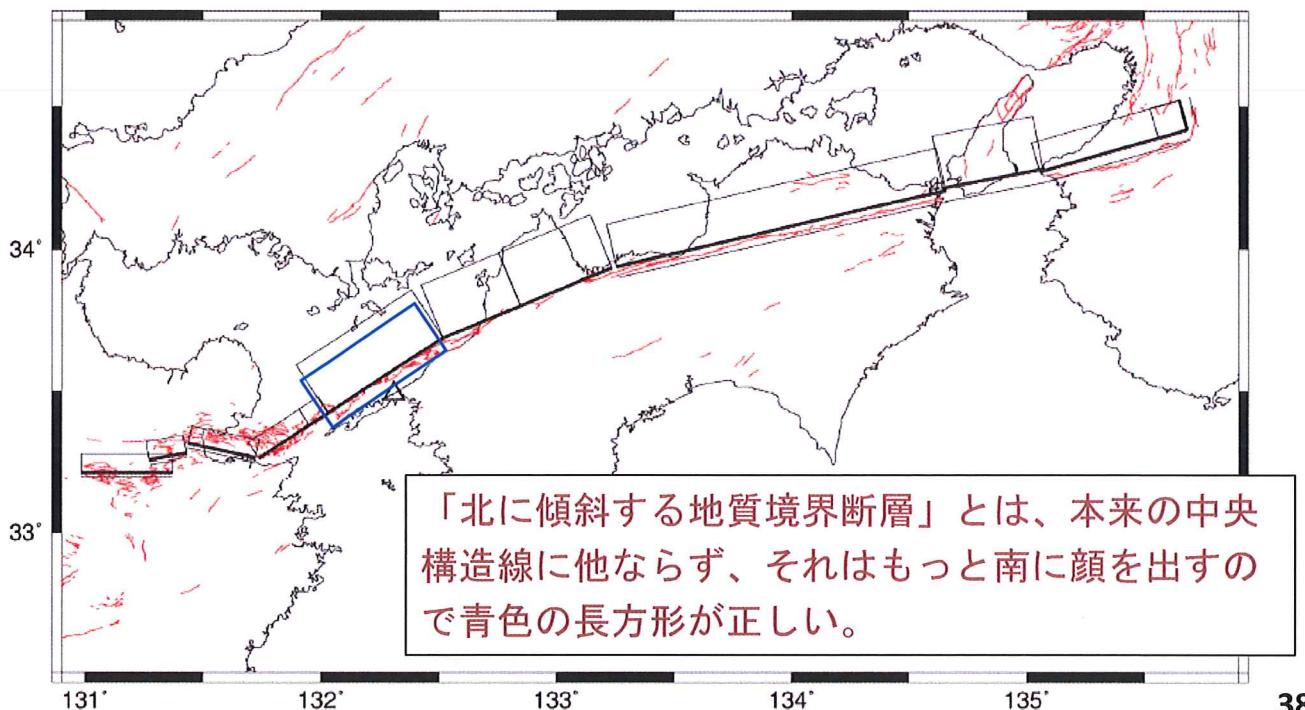


37

四国電力による北傾斜断層モデル

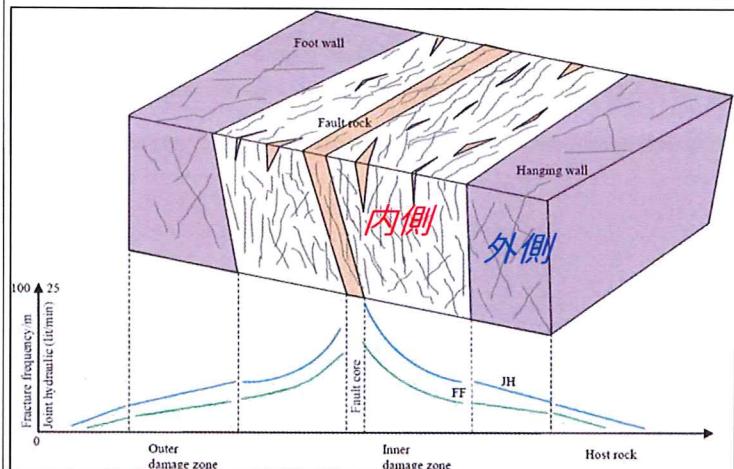
北傾斜モデル

基本震源モデルでは、横ずれ断層を鉛直断層としてモデル化したが、北傾斜する地質境界断層と震源断層が一致する可能性を考慮して、北傾斜モデルも想定する。



38

佐田岬北岸は中央構造線のダメージゾーンである



断層付近には断層運動によって岩盤が破壊されたダメージゾーンができる。ダメージゾーンはカタクレーサイトや小断層が発達した内側と、それらの密度が少ない外側に分けられる。

Brani et al. (2014)

佐田岬北岸は中央構造線の内側ダメージゾーンが崩落して切り取られたもの。

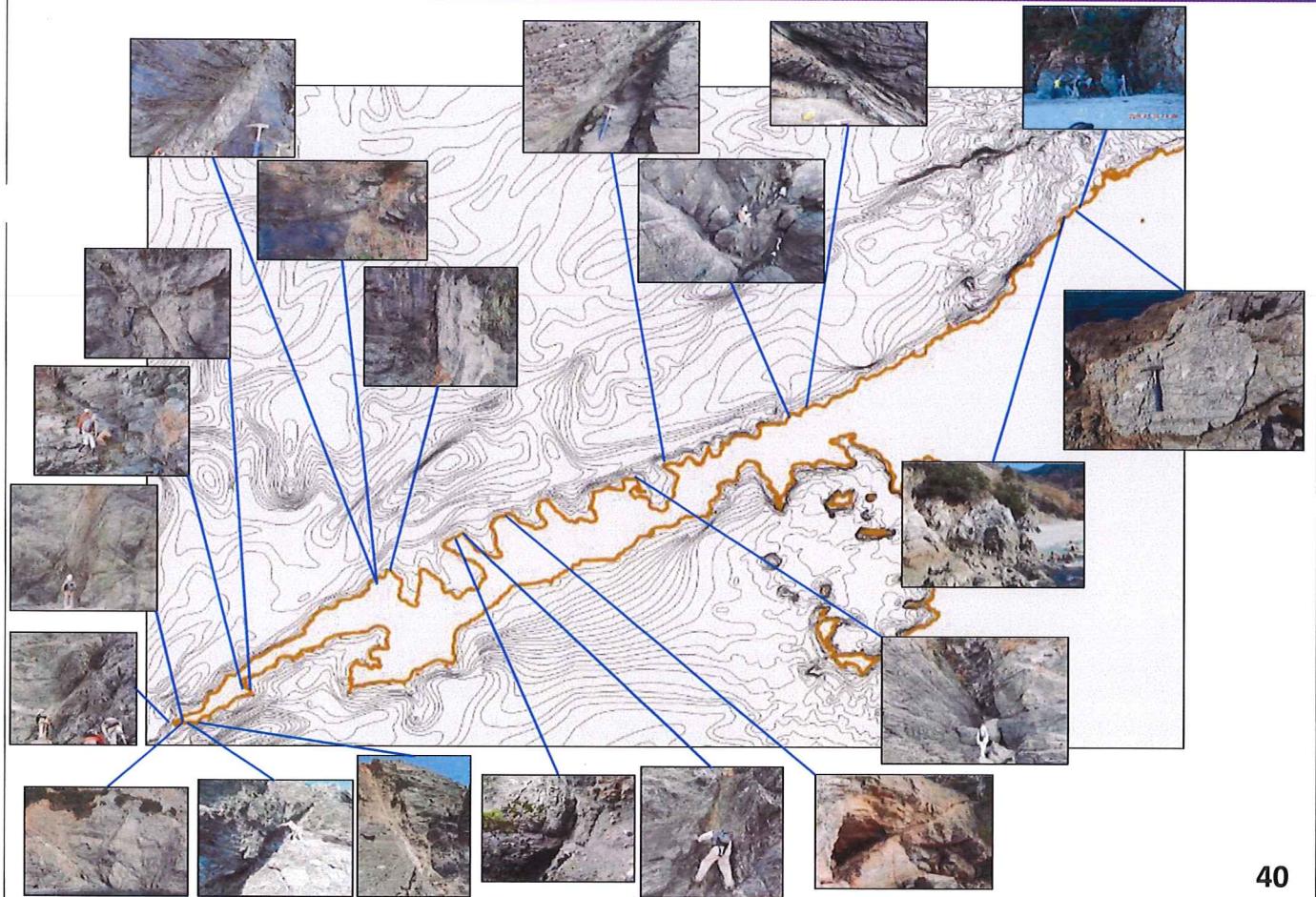
そのため、北岸の地形は三次元的にも中央構造線に平行になっている。



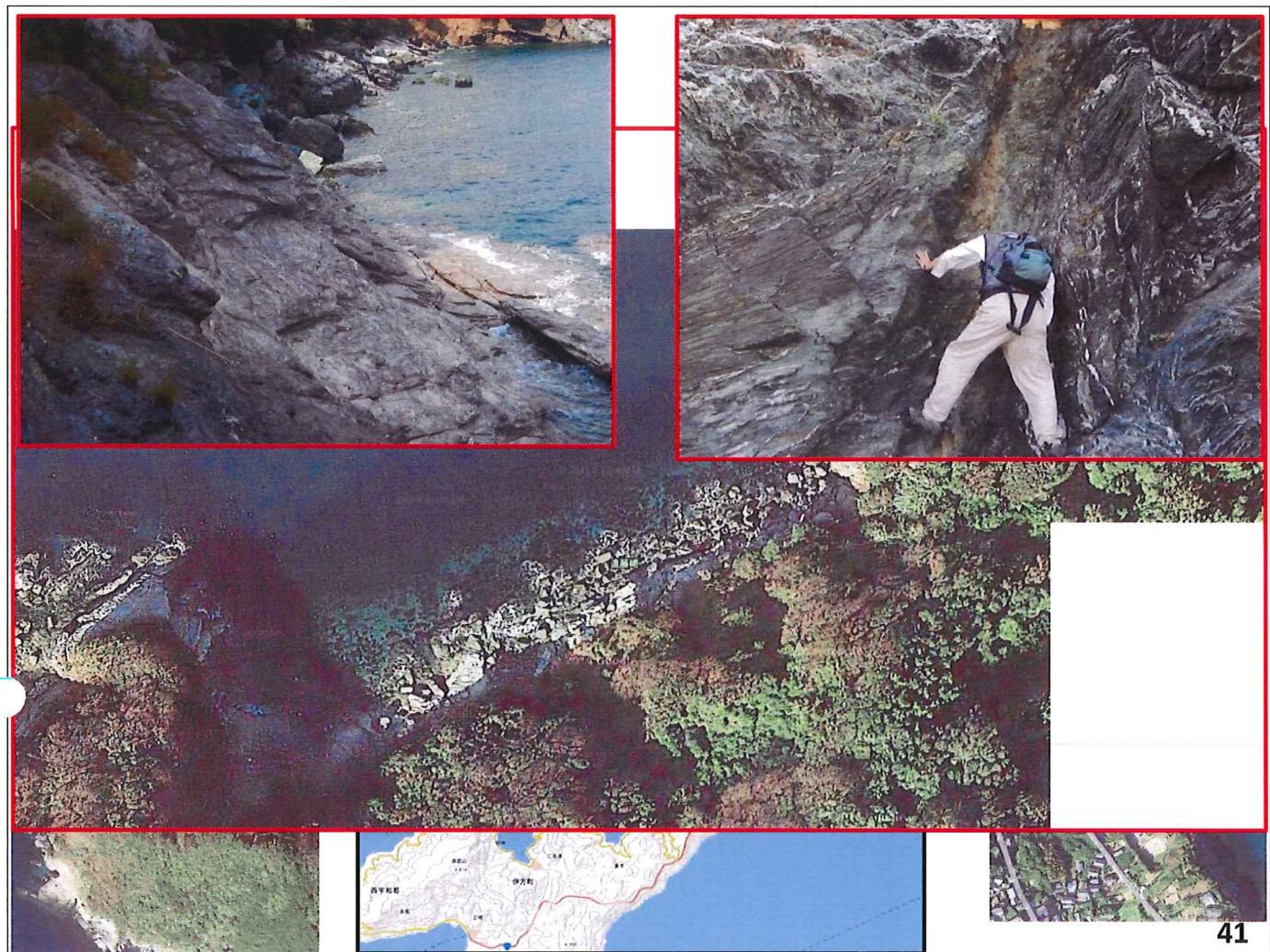
見舞崎から望む番匠鼻

39

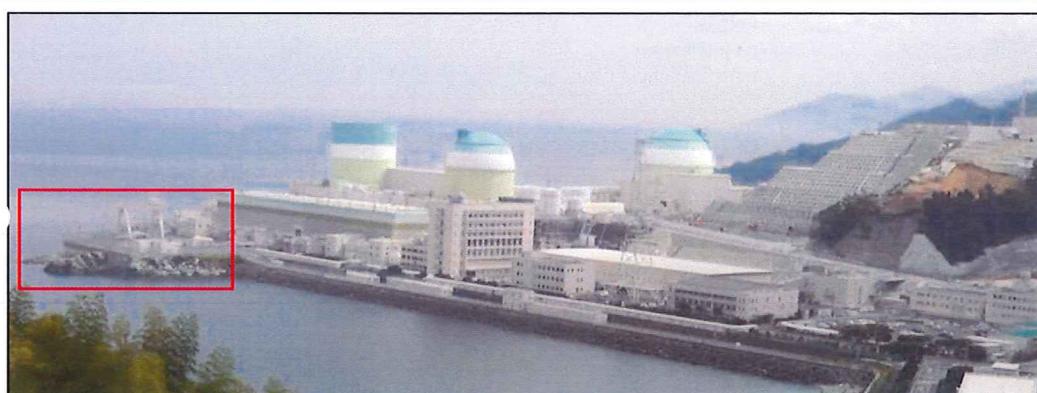
佐田岬北岸には小断層や破碎された岩石が多い



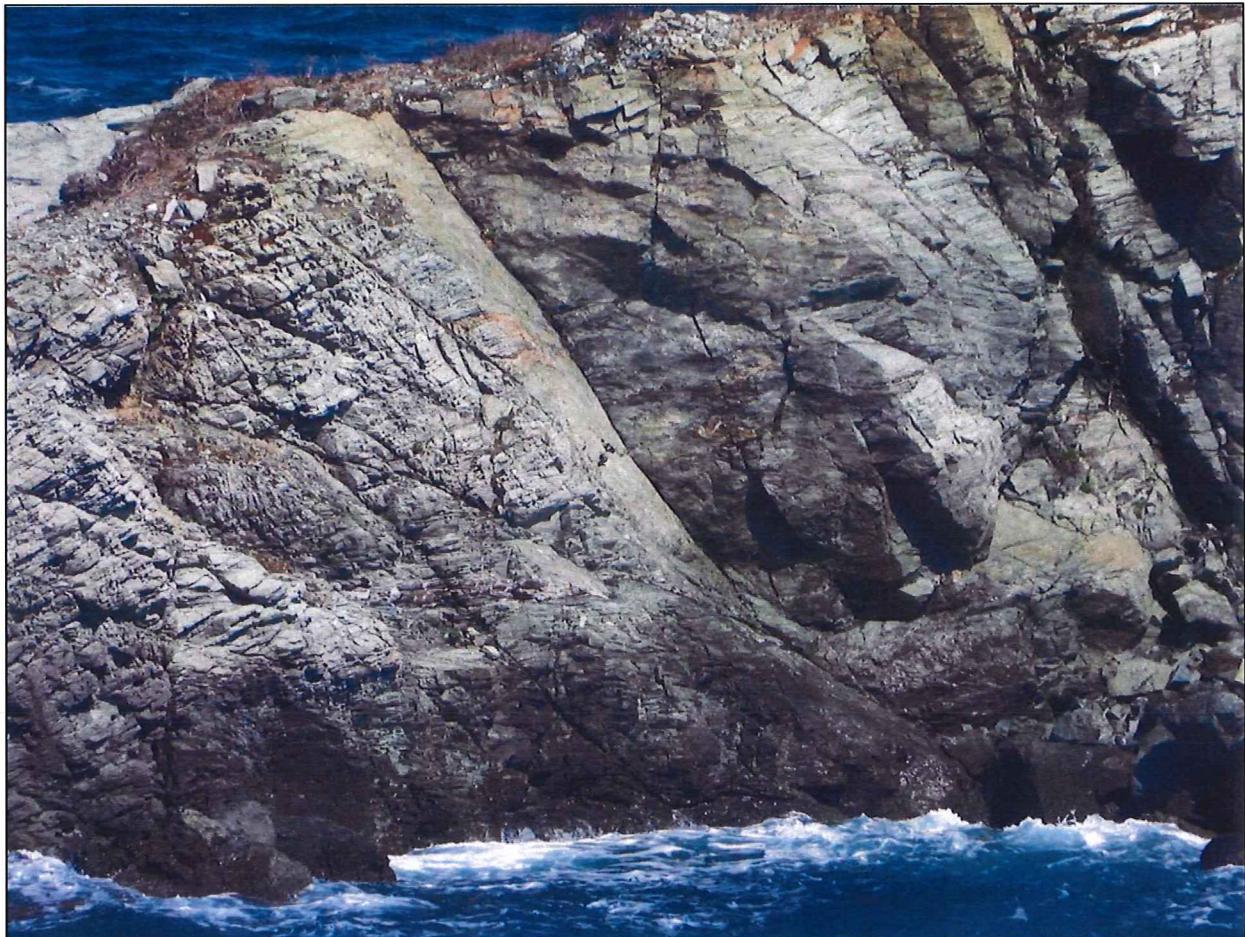
40



伊方原発は 中央構造線のダメージゾーンに位置する



伊方原発敷地海岸に見られる岩盤の性状

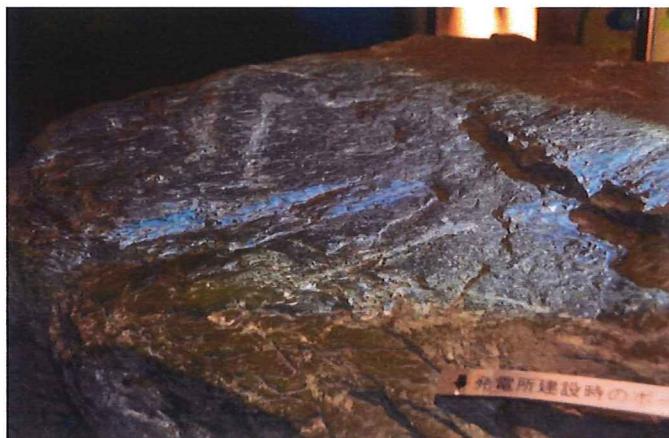


伊方原発原子炉設置基盤から採取された緑色片岩



伊方ビズターズハウスに展示中の緑色片岩に見られる断層

原子炉設置岩盤にあった緑色片岩に見られる鏡肌



「鏡肌」は、断層運動の変形が断層面近傍に局所集中し、構成鉱物が破碎されてできた扁平なナノ粒子からなる厚さ50 nm～100 nmのトライボフィルム類似の断層岩である（安東ほか、2013）。



表面に見られる「スジ」には断層運動に平行および直行する2種類のものがある。

鏡肌が形成されている岩盤は、この面で容易に剥離する。

45

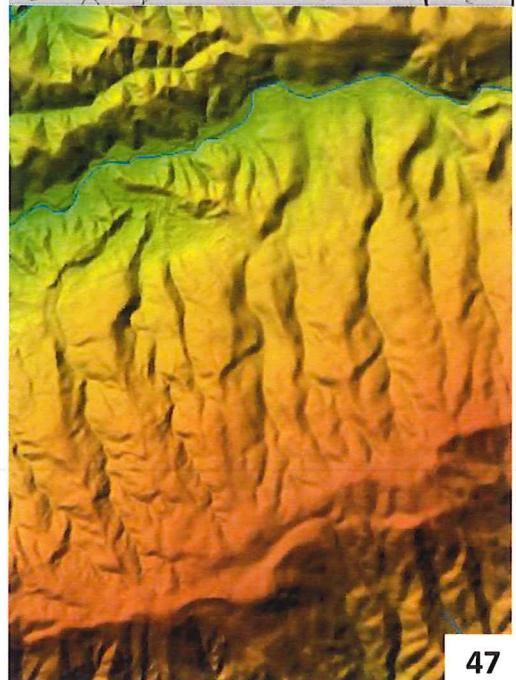
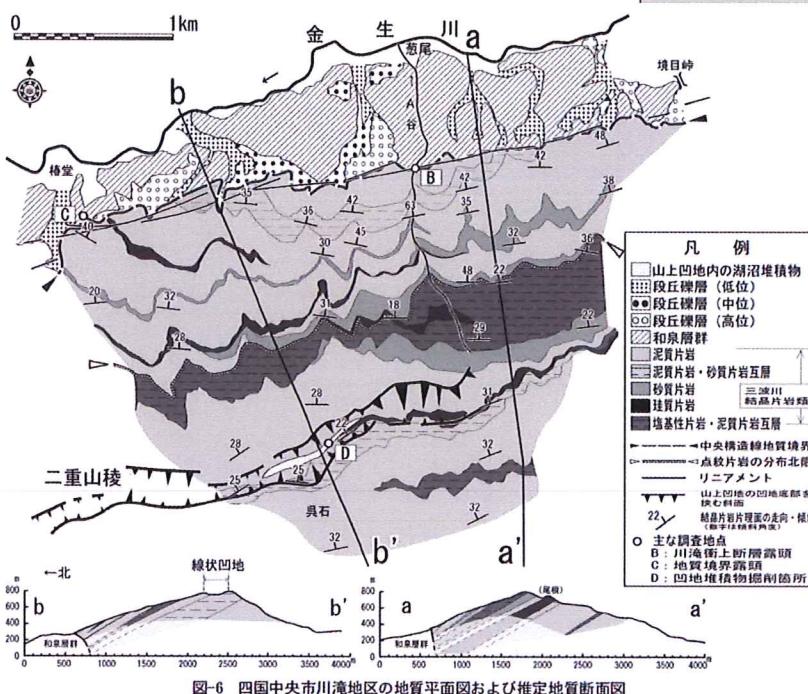
伊方原発敷地の山側斜面に現れた「岩盤？」



46

中央構造線に沿う深層崩壊

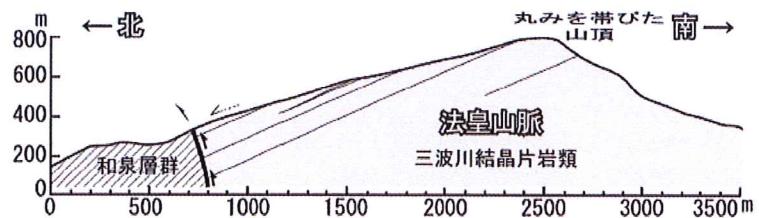
加藤, 千木良 (2009)



47

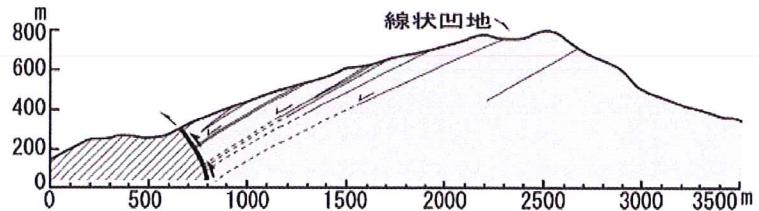
厚さ数百mの岩盤が滑り落ちている

I 中央構造線断層運動に伴う法皇山脈の隆起

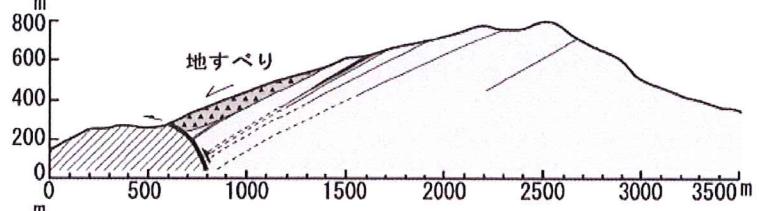


II 法皇山脈の隆起の継続

- ・深部高角断層の地表での低角度化
- ・北側山腹の変形と線状凹地の発達



III 法皇山脈北側斜面下部での地すべり発達



IV 新規高角度断層の運動

- ・低角度境界断層の背後に高角度断層が出現

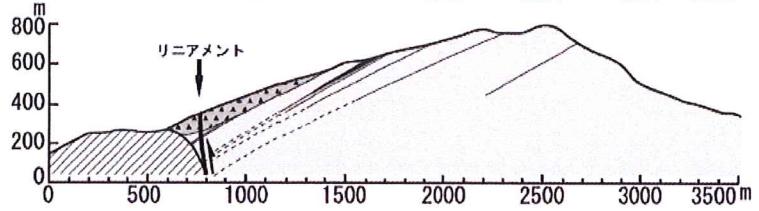


図-10 法皇山脈の山体重力変形モデル 図-6の b-b' 測線断面図にもとづく。

48