

別府一万年山断層帯 (大分平野一由布院断層帯東部) における重点的な調査観測における成果概要

2018年4月19日 大分県有識者会議

産業技術総合研究所 吉見雅行

1

別府一万年山断層帯(大分平野一由布院断層帯東部) における重点的な調査観測

- 2014～2016年度 代表 竹村恵二(京大理)

- サブ1:断層調査

- 活動履歴, 位置, 形状
 - 平均変位速度

- サブ2:地殻構造調査等

- 自然地震, 地殻構造
 - 水理構造, 応力変遷

- サブ3:地震動予測の高度化

- 地下構造モデルの作成
 - 震源のモデル化
 - 強震動計算

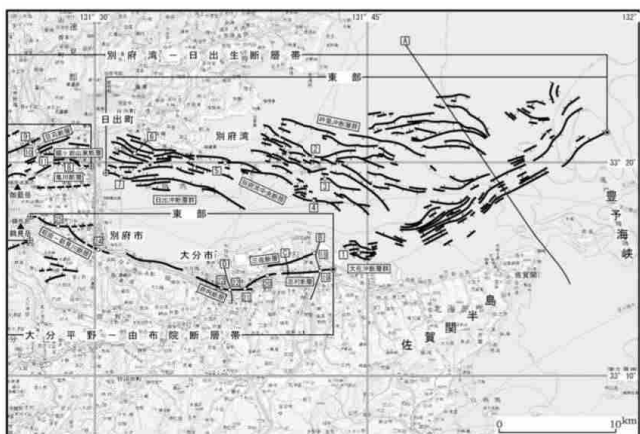


図 2-1 別府一万年山断層帯の位置と主な調査地点
 1: 大在沖地点 2: 梓葉沖北地点 3: 梓葉沖南地点 4: 別府湾中央東地点 5: 別府湾中央西地点 6: 豊岡沖地点
 7: 亀川沖西地点 8: 亀川地点 9: 十字字跡地点 10: 目切地点 11: 猫ヶ岩山東地点 12: 大野川河口右岸地点
 13: 大野川左岸地点 14: 日蘭地点 15: 茶臼倉跡地点 16: 大分川左岸地点 17: 府内城址地点 18: 観見地点 19: 稲田
 (調査地点12-17及び26-35は図2-2参照)
 A-D: 反射法弾性波探査測線 A: 文献20 B: 文献4 C, D: 文献12
 ※: 新層帯の東端と西端 ※: 活動区間の両端
 断層の位置は文献6, 7, 9, 13, 14, 17に基づく。
 基図は国土地理院発行数値地図200000「中津」「大分」を使用。

2

別府一万年山重点における主な成果(活動履歴, 位置形状)

1. 1. 断層位置(空中写真判読)

- ・大分平野部: 府内断層, 志村断層, 三佐断層は**右雁行配置(右ずれ)**する断層系
- ・別府北部(豊岡地区): 伽藍岳北断層, 唐木山断層に谷の**右ずれ変位**
- ・崩平山, 万年山付近: 既往調査結果とほぼ変更なし

1. 2. 慶長豊後地震(1596年)の歴史資料調査

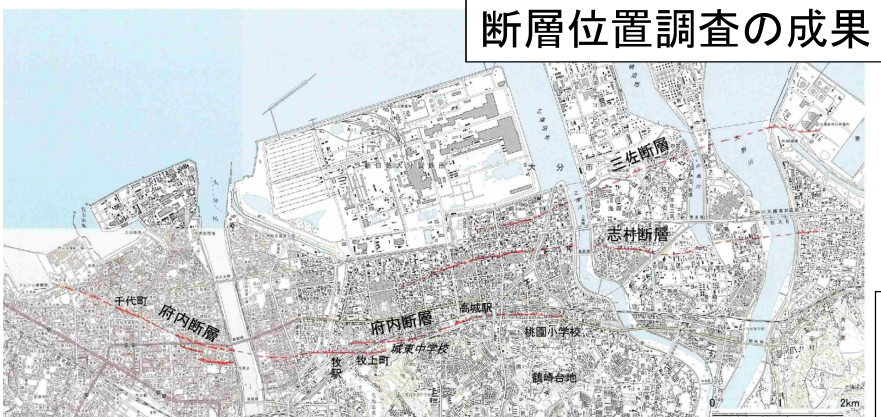
- ・地震は閏七月九日と十二日の**2回**発生した可能性あり.
- ・慶長豊後地震では**別府南部**の田畑が「永荒」となった「速見郡御検知帳(1611年)」.
- ・豊後国で3179石分の土地が地震で「滅地」(海中に没した)
- ・大友館跡遺跡(大分駅近く)にて砂脈(液状化痕)を確認(大分市教育委員会発掘).

1. 3. 別府湾の海底地形調査

- ・**大分川河口沖に流山**地形を確認
- ・別府扇状地前面海域に地すべり地形を確認(一部は慶長豊後で発生)
- ・大在沖に比高4m程度北側低下の直線的な崖地形を確認
- ・海底堆積物にみられるタービダイト(混濁流)は, 2016年熊本地震の揺れでは生じず

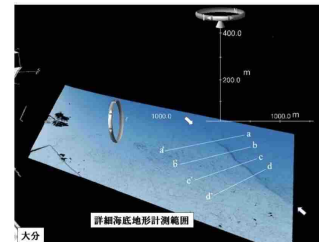
1. 4. 朝見川断層, 府内断層の活動履歴調査(群列ボーリング)

- ・別府浜脇地点: 650年前(600 cal BP)以前の陸生層が海面下3~4mに存在
→650年前以降に地殻変動をもたらす地震→慶長豊後
- ・府内城跡地点: 800~400cal BPの間に地表変位が発生した可能性を見いだした.
- ・上記2調査により, **朝見川断層, 府内断層も慶長豊後地震時に活動**した可能性あり.



別府一万年山重点報告書 図3.1.3

断層位置調査の成果



大在沖海底の北東落ち崖地形

- ・大分平野部: 府内断層, 志村断層, 三佐断層は**右雁行配置(右ずれ)**する断層系

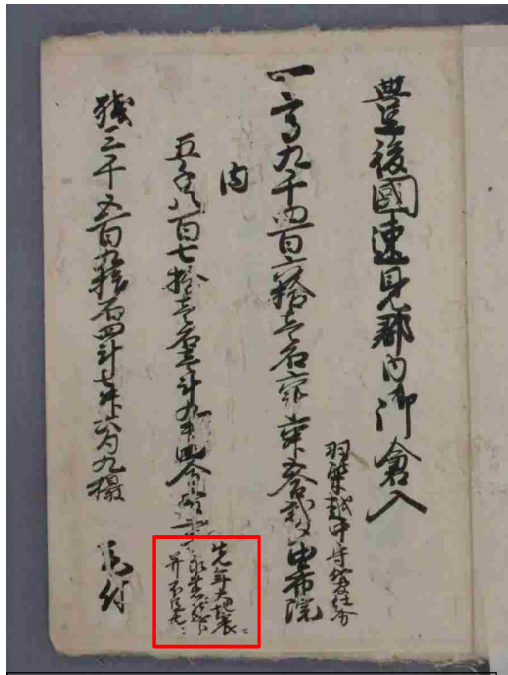


- ・別府北部(豊岡地区): 伽藍岳北断層, 唐木山断層に谷の**右ずれ変位**が存在

別府一万年山重点報告書 図3.1.4

1. 2. 慶長豊後地震(1596年)の歴史資料調査

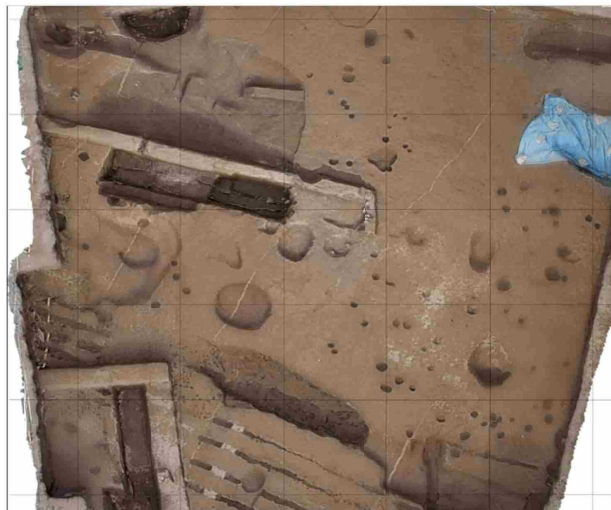
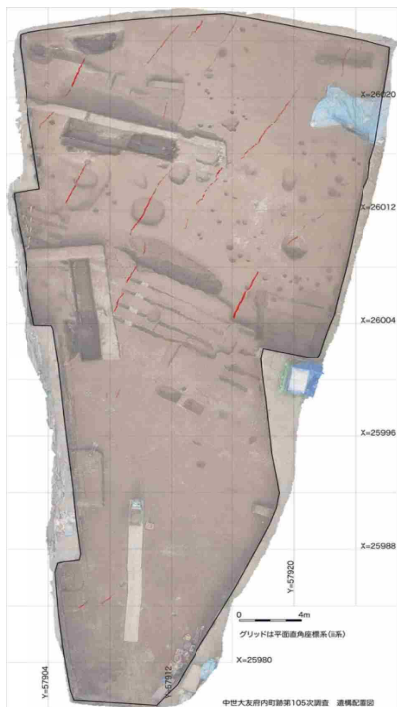
- ・地震は閏七月九日と十二日の2回発生した可能性あり。
- ・慶長豊後地震では別府南部の田畑が「永荒」となった「速見郡御検知帳(1611年)」。
- ・豊後国で3179石分の土地が地震で「滅地」(海中に没した)
- ・大友館跡遺跡(大分駅近く)にて砂脈(液状化痕)を確認(大分市教育委員会発掘)。



国東郡速見郡御検地帳(熊本大学附属図書館蔵)

「豊後国速見郡御検地帳」 (熊本大学附属図書館)

- ◆細川氏の知行地と管理下の御倉分についての検地帳。慶長16年(1611)の記載がある。
- ◆速見郡のうち、由布院(由布市湯布院町)・浜脇・南石垣・別府・立石(別府市)の5つの村では、「先年大地震ニ永荒罷成候」の耕地などがあった。
- ◆上の5つの村の石高14920石余のうち、8290石余りが地震で「永荒」になった。



大分市教育委員会発掘の大友館跡遺跡で液状化による可能性が高い砂脈が多数発見された。砂脈は室町時代後期から江戸時代初期に形成。

→大分平野における強震動の証拠(ただし、慶長豊後地震の他、南海トラフの地震である可能性もある)

別府湾における海底地形測量とコア採取

- ・大分川河口沖に流れ山地形を確認
- ・別府扇状地前面海域に地すべり地形を確認(一部は慶長豊後で発生)
- ・海底堆積物にみられるタービダイト(混濁流)は、2016年熊本地震の揺れでは生じず

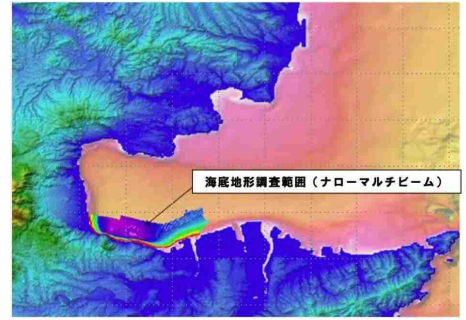
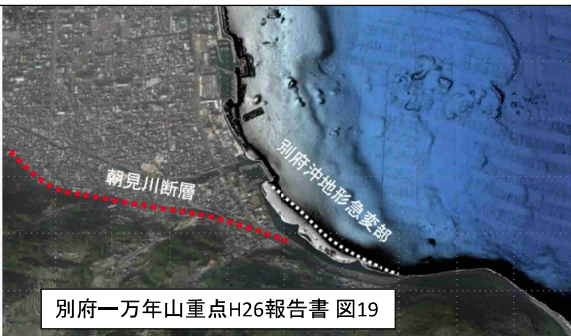


図9 調査位置

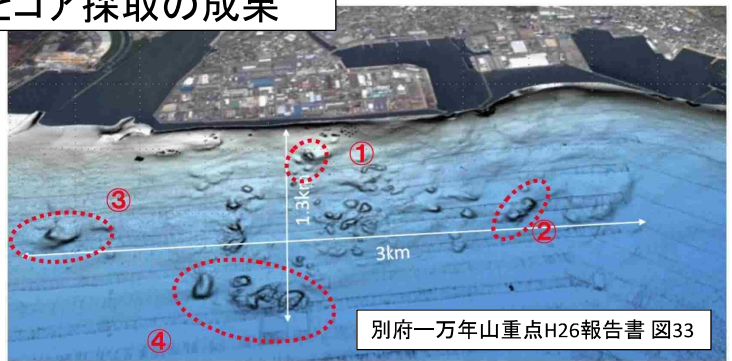


図16 別府湾南岸沿いの海底地形の3Dイメージング

別府湾における海底地形測量とコア採取の成果



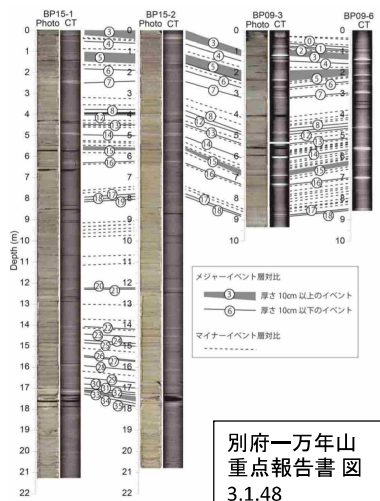
別府一万年山重点報告書 図19



別府一万年山重点報告書 図33

別府扇状地前面海域の地すべり地形と流山

大分川河口沖の流山地形



別府一万年山重点報告書 図3.1.48

←別府湾内で採取されたピストンコア写真とイベント層

(③or⑤): 慶長豊後地震に対応,
(⑮): 約2000年前のイベント)

#2016年熊本地震後にもコア採取したが新たなイベント層は確認されず。

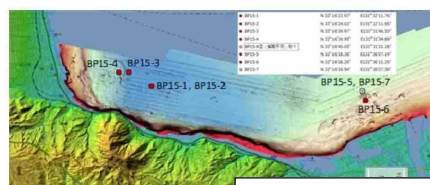


図3.1.44 2015年度コア試料採取地点

別府一万年山重点報告書 図3.1.44

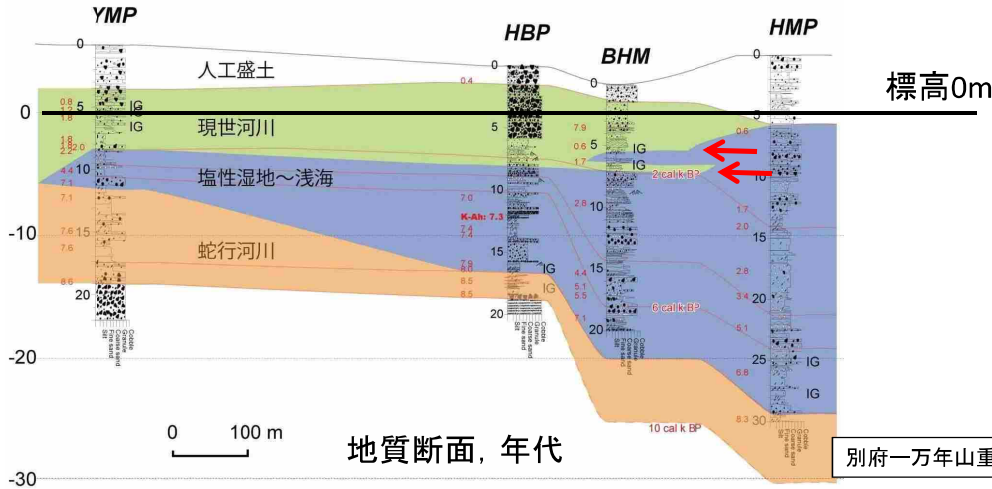
図3.1.48 各イベント層のコア間対比 (実線はメジャーイベント、破線はマイナーイベント)

朝見川断層低下側でのボーリング調査

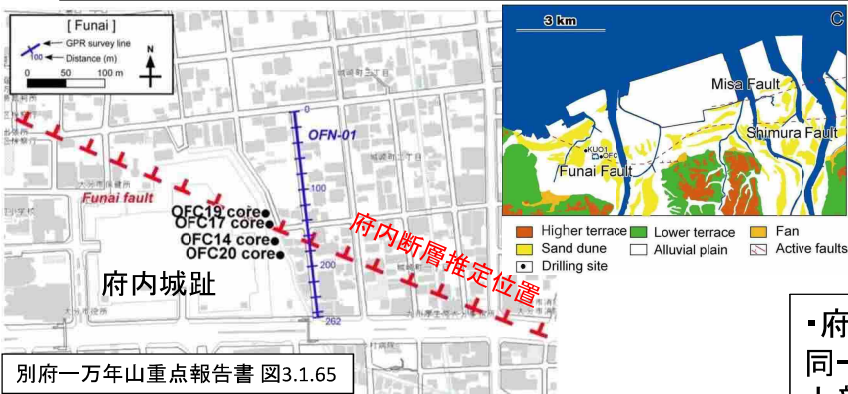


- ・約650年前 (600 cal BP) の陸成層 (氾濫原洪水堆積物) が現海面下3~4mに埋没し、海の影響の強い地層に覆われる。
- 標高の急変
- 朝見川断層における地震 (650年前以降)

標高 (m) 西 別府市浜脇における群列ボーリング位置 東 海側

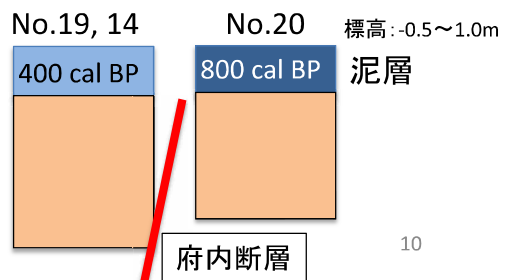
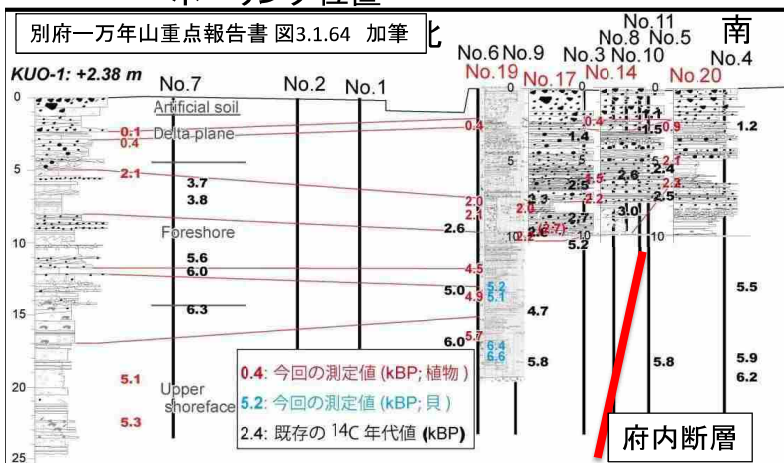


府内城周辺での群列ボーリング調査



ボーリング位置

- ・府内断層を挟む群列ボーリング: 同一標高・同層準とされていた最上部泥層の年代が低下側で400年前、上り側で800年前
- 400年前~800年前のイベントを推定



最新活動時期のまとめ

- 朝見川断層: 600 cal BP以降に沈降イベントがあったと推定
 - 浜脇地区ボーリング結果と年代測定から600 cal BP以前に形成された氾濫原堆積物が海面下3~4 mに埋没していることを認定。
- 府内断層: 400年前~800年前の間のイベントを推定
 - 群列ボーリング: 同一標高・同層準とされていた最上部泥層の年代が低下側で400年前、上り側で800年前。
- 慶長地震: 大分平野、別府南部の揺れが顕著
 - 大友関連遺跡の砂脈、検地帳の記述
 - 別府湾堆積物のタービダイト
 - 別府湾前面域、大分平野沖の流山

大分平野一由布院断層帯東部は
慶長豊後地震時に活動した可能性が高い。

11

別府一万年山断層帯のイベントダイヤグラム

慶長豊後地震時に全ての断層が変位したとしても矛盾がない

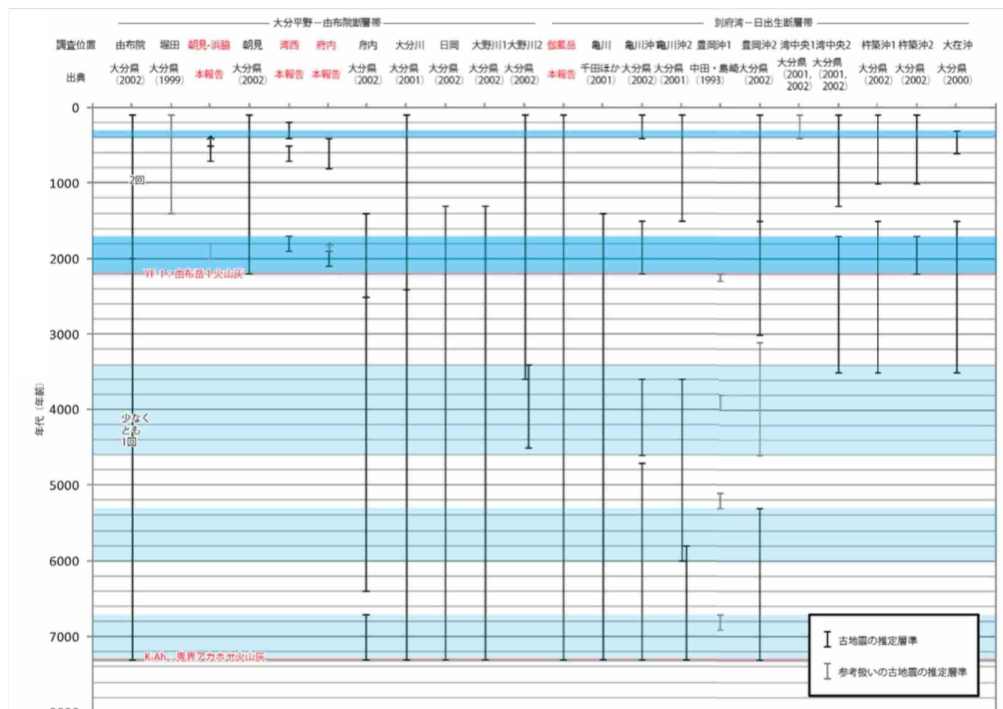


図 3.1.78 別府一万年山断層帯の断層活動の時空間分布 (赤字で「本報告」と書かれた年代値が今回の調査結果に基づくもの)

12

断層モデル・地下構造モデル・地震動予測

■断層モデル

MTLの延長から別府湾南岸を通る断層を震源断層として考慮

豊予海峡セグメント: 北落ちで伸張成分を伴う右横ずれ断層

三佐断層セグメント: 北落ちの正断層

府内・朝見川・堀田セグメント: 北落ちの正断層

豊予海峡セグメントの傾斜は70度

正断層部分の断層傾斜は45度または60度の2種類を想定.

■大分県域の3次元地下速度構造モデル

別府湾周辺域を中心に微動アレイ, 地震観測, 干渉法解析を実施.

大分県震度計データ, 単点微動観測結果も加味し, 既存構造モデルを改良

■震源モデル

断層形状モデルおよび広域応力場を設定し, 動力学的シミュレーションによって破壊シナリオを評価→断層すべり角を設定.

滑り角以外の断層パラメタ: 地震本部の強震動予測レシピ(イ)に従って設定.

破壊開始位置: 断層東端深部および西端深部とした計算を実施.

■地震動計算

速度構造モデルと震源モデルを用いて, 広帯域地震動計算を実施.

地表面の地震動は浅部速度構造モデルを用い等価線形解析により計算.

別府湾周辺域に対しては, 破壊が近づく東破壊の方が全般的に強い地震動. 大分平野および別府南部の別府湾岸域では最大速度100m/s以上で震度7相当となる地震動

別府一万年山断層帯(大分平野一由布院断層帯)の 震源モデル化の課題

- 起震断層はどれか
- 断層幾何形状
- 地震発生層深さ(上面, 下面)
- 応力場
- 滑り角
- etc

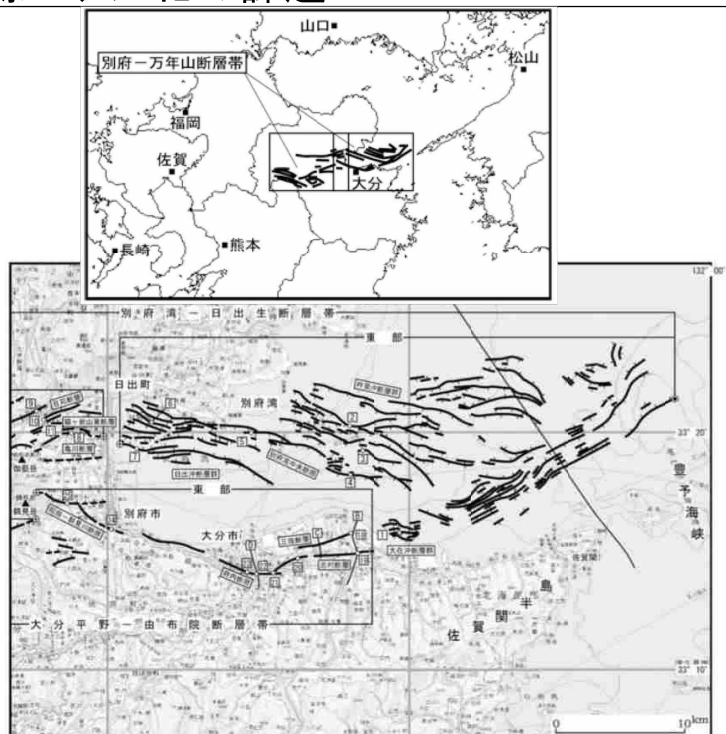
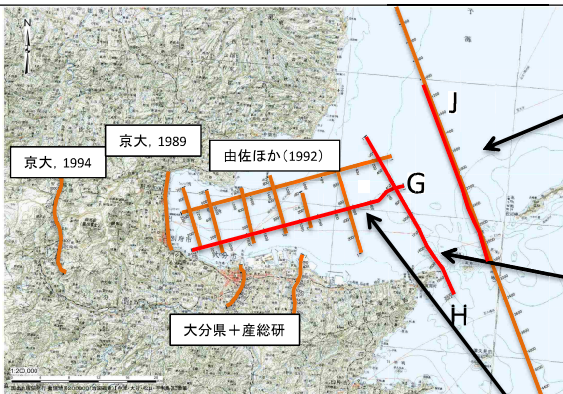


図2-1 別府一万年山断層帯の位置と主な調査地点

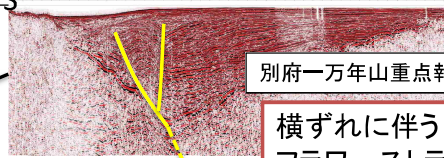
1: 大在沖地点 2: 梓葉沖北地点 3: 梓葉沖南地点 4: 別府湾中央東地点 5: 別府湾中央西地点 6: 豊岡沖地点
 7: 亀川沖西地点 8: 亀川地点 9: 十文字原地点 10: 目苅地点 11: 備ヶ岩山東地点 12: 大野川右岸地点
 13: 大野川左岸地点 14: 日岡地点 15: 芸術会館地点 16: 大分川左岸地点 17: 府内城址地点 18: 朝見地点 19: 堀田地点
 20: 大分市東部 21: 大分市西部 22: 大分市北部 23: 大分市南部 24: 大分市東部 25: 大分市西部
 (調査地点12-17及び28-38は図2-2参照)
 A-D: 反対走弾性波調査測線 A: 文獻20 B: 文獻4 C, D: 文獻12
 * 断層帯の東端と西端 ⊕: 活動区間の図様
 断層の位置は文獻6, 7, 9, 13, 14, 17に基づく.
 基図は国土地理院発行数値地図200000「中津」, 「大分」を使用.

別府湾周辺の起震断層の設定

別府湾周辺: 反射法地震探査測線が密に存在



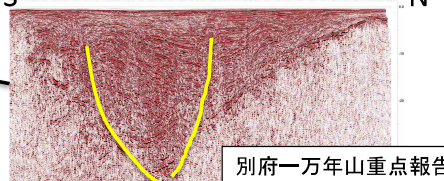
J測線



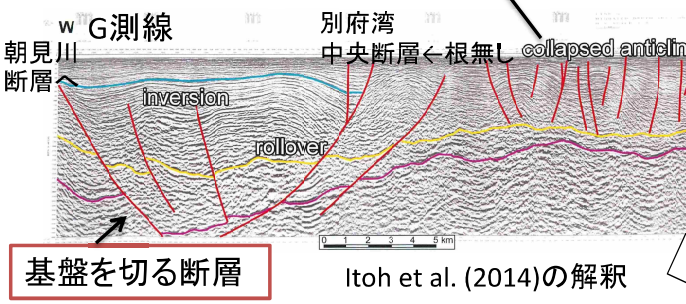
別府一万年山重点報告書 図3.3.9-7加筆

横ずれに伴う
フラワーストラクチャー

H測線



別府一万年山重点報告書 図3.3.9-9加筆



Itoh et al. (2014)の解釈



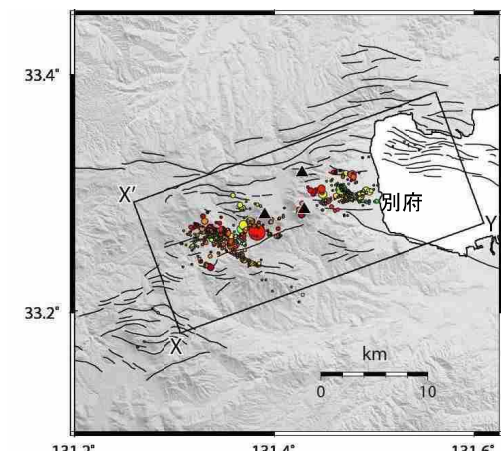
MTLの延長から別府湾南岸を通る断層を震源断層として考慮

別府一万年山断層帯付近の地震発生層深さ

別府湾域(東部)は地震発生層が求まっていなかったが、重点調査の観測記録を基に推定

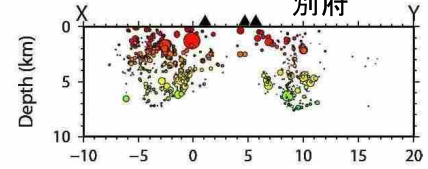
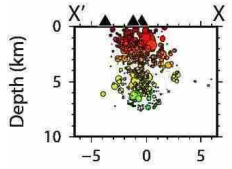
別府付近: 震源浅い(10km未満)

2016年4月: 由布院付近の地震



震源再決定結果

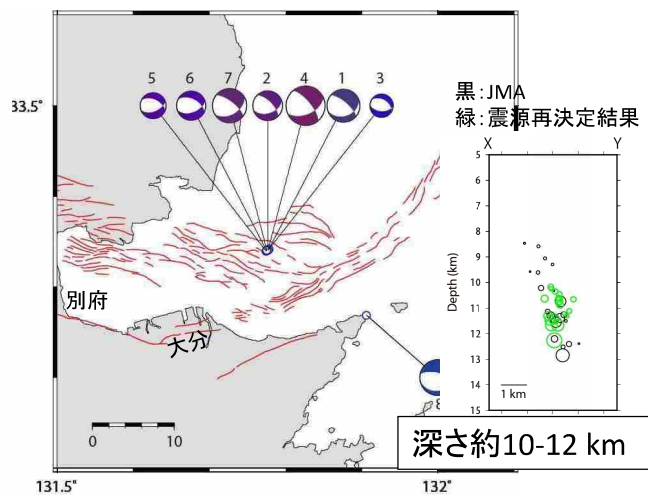
- M2
- M3
- M4



別府一万年山重点報告書 図3.3.5-7 今西・他(2016)

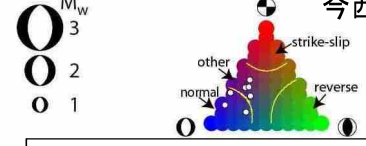
別府湾: 深さ15km程度にも地震活動

2015年5月: 別府湾内の地震活動



深さ約10-12 km

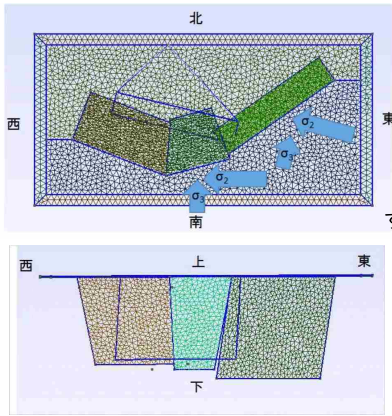
発震機構解の推定



今西・他(2015)

別府一万年山重点報告書 図3.3.5-4

震源モデルの設定



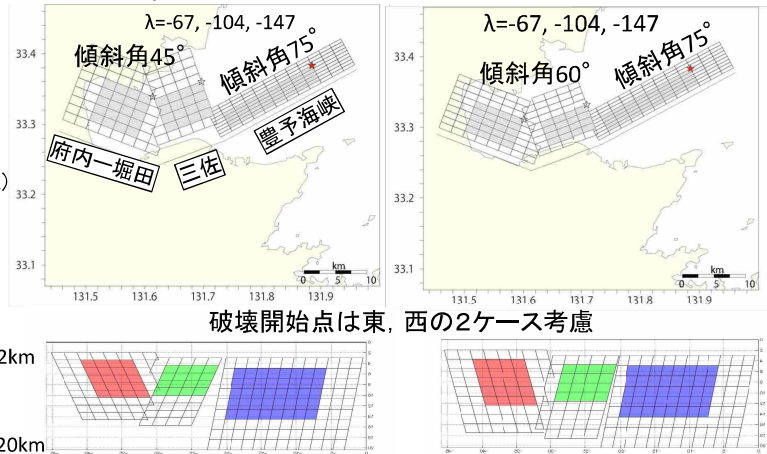
モデル化した断層面と地表面の形状および応力場

別府一万年山重点報告書 図3.3.10-1

動力学断層破壊シミュレーション

$L=50\text{km} \rightarrow M_j=7.7$

別府一万年山重点報告書 図3.3.10-6, 10-7



強震動レシピに基づくパラメータ設定

■ 震源モデル

断層形状モデルおよび広域応力場を設定し、動力的シミュレーションによって破壊シナリオを評価→断層すべり角を設定.

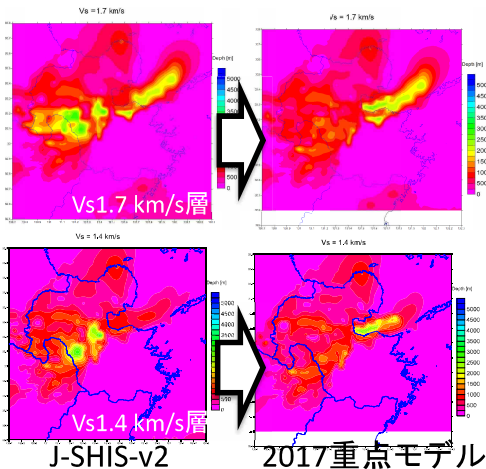
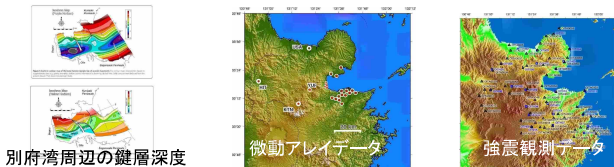
滑り角以外の断層パラメタ: 地震本部の強震動予測レシピ(イ)に従って設定.

破壊開始位置: 断層東端深部および西端深部とした計算を実施.

17

地下構造モデルの作成

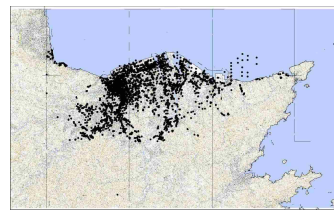
■ 深部速度構造モデル:



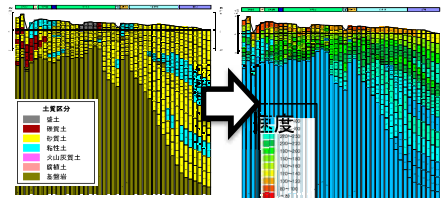
反射法地震探査の解釈結果, 各種観測記録(微動アレイ探査, 地震動R/V, 微動H/V)で検証・修正

■ 浅部速度構造モデル(工学基盤以浅)

大分平野域の250mメッシュモデルを作成



ボーリングデータ分布



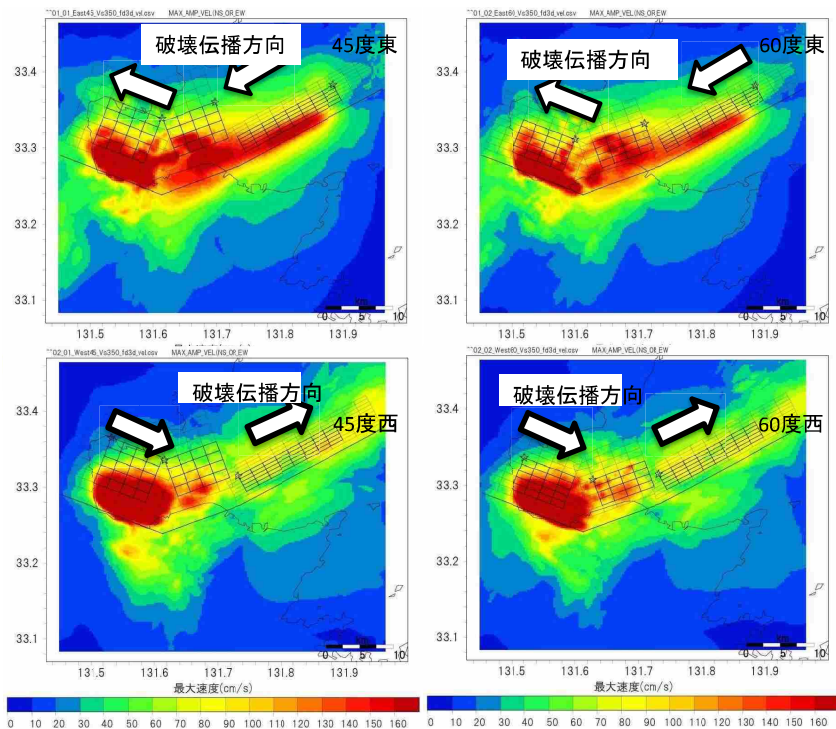
土質・N値をS波速度に変換
小半径微動アレイの位相速度で検証

別府一万年山重点報告書の図を使用

別府湾周辺域を中心に微動アレイ, 地震観測, 干渉法解析を実施.
大分県震度計データ, 単点微動観測結果も加味し, 既存構造モデルを改良

18

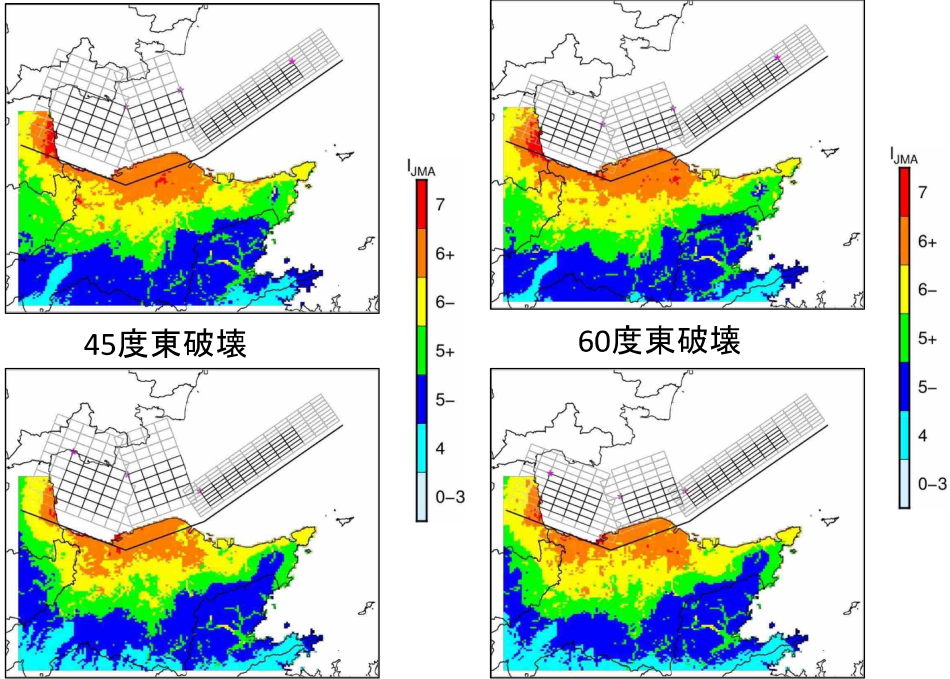
地震動計算結果:工学的基盤最大速度分布(別府湾周辺域)



- ・全体的に東破壊シナリオの方が強い地震動をもたらす
- ・大分平野および別府の低地では100cm/sを超える地震動となる。

別府一万年山重点報告書 図3.3.11-12~11-15

地震動計算結果:地表における震度分布(浅部速度構造モデル作成領域)



別府一万年山重点報告書 図3.3.11-38~11-41

大分平野, 別府の断層近傍は震度7~震度6強

#全面的に震度7にならないのは地盤の非線形性の影響

まとめ

別府一万年山断層帯重点調査の主な成果は以下の通り

観測事実および解釈

- ・大分平野域および別府北部域の断層は右ずれの影響下にある断層.
- ・慶長豊後地震(1596年)時に, 別府湾南岸の断層も活動した可能性が高い.
- ・別府扇状地前面海域および大分川河口沖海域に, 流山地形が存在.
- ・別府湾東部において深さ10-12kmで正断層型の地震が発生.

地震動予測のためのモデル化

- ・各種探査・観測記録を基に, 大分県域の3次元速度構造モデルを作成.
- ・豊予海峡~別府湾南岸を震源断層に設定. 別府湾域の変位場を説明可能.
- ・動力学的シミュレーションを取り入れた震源モデルを設定し強震動計算を実施

地震動予測結果

- ・大分平野および別府の低地では100cm/sを超える地震動が想定される.