

近畿の大都市圏直下に潜む活断層と 強震動予測

2015年10月1日

近畿の活断層
京都盆地の地下構造と活断層
上町断層帯における重点的な調査観測の成果

- ・断層帯に関する新たな知見
- ・震源断層モデル
- ・大阪平野の地下構造モデル
- ・強震動予測
まとめ

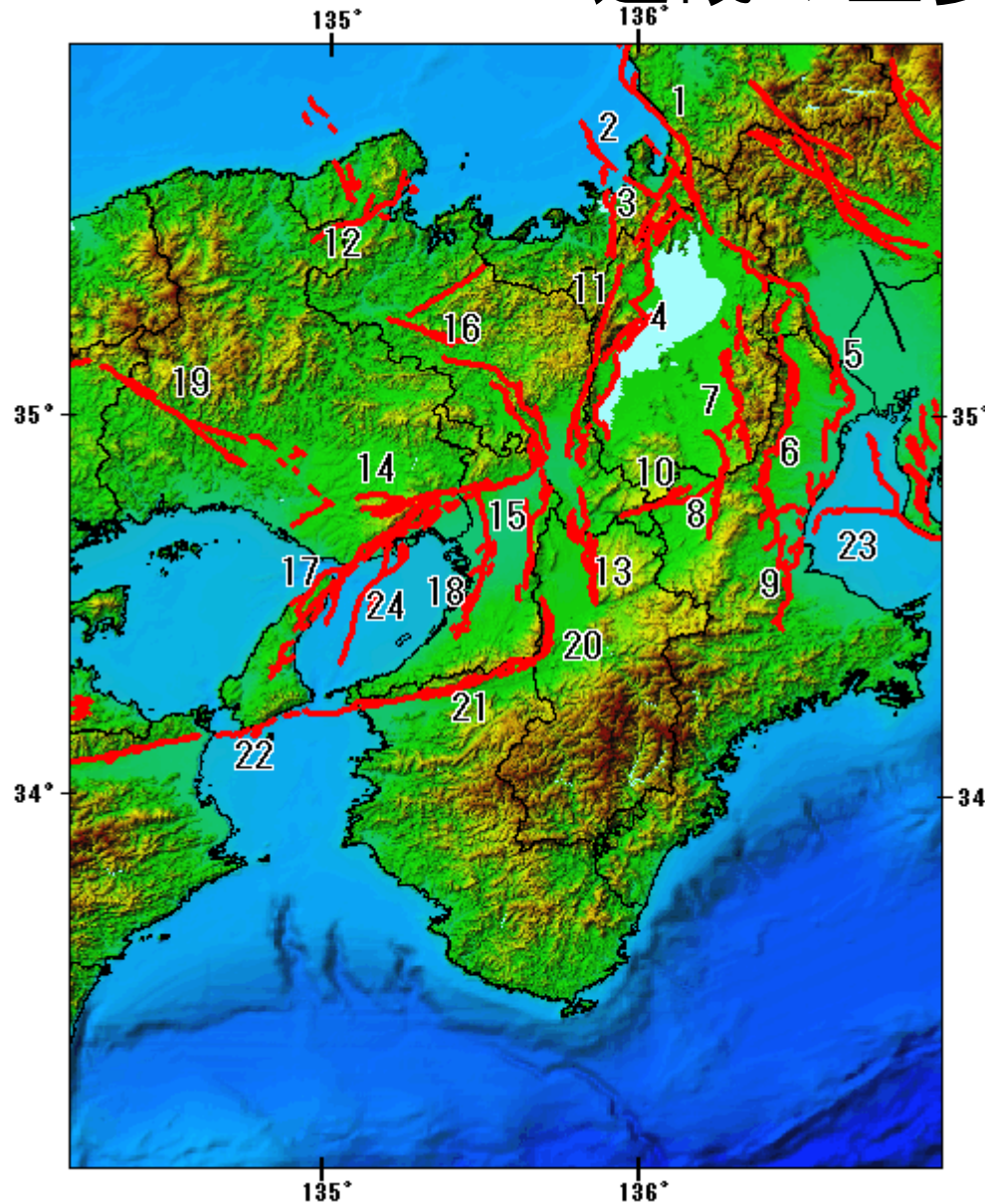
岩田知孝

iwata@egmdpri01.dpri.kyoto-u.ac.jp

<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

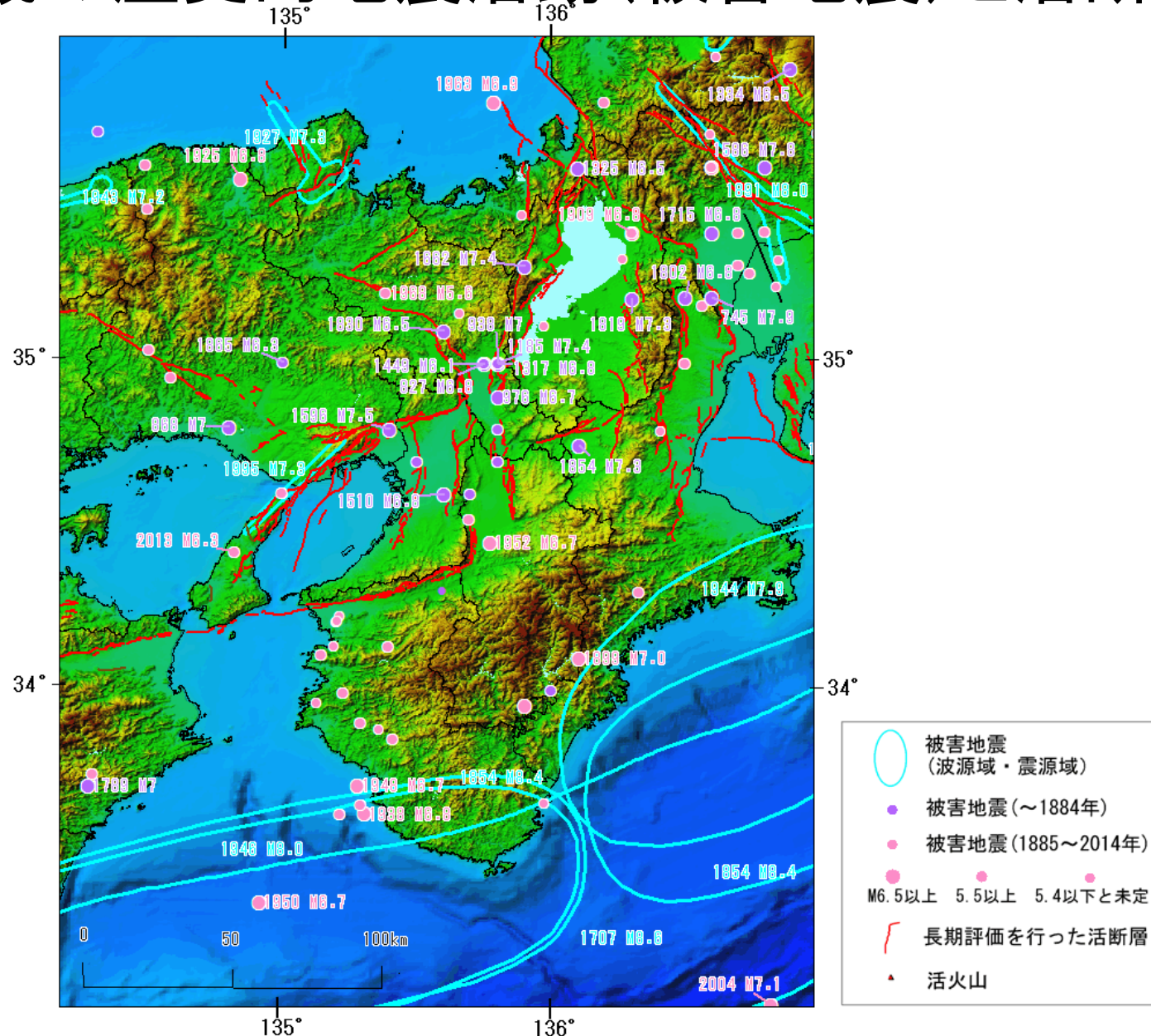
<http://www.jishin.go.jp/>

近畿の主要活断層



1: 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯	12: 山田断層帯
2: 野坂・集福寺断層帯	13: 京都盆地-奈良盆地断層帯南部(奈良盆地東縁断層帯)
3: 湖北山地断層帯	14: 有馬-高槻断層帯
4: 琵琶湖西岸断層帯	15: 生駒断層帯
5: 養老-桑名-四日市断層帯	16: 三峠・京都西山断層帯
6: 鈴鹿東縁断層帯	17: 六甲・淡路島断層帯
7: 鈴鹿西縁断層帯	18: 上町断層帯
8: 頓宮断層	19: 山崎断層帯
9: 布引山地東縁断層帯	20, 21, 22: 中央構造線断層帯
10: 木津川断層帯	23: 伊勢湾断層帯
11: 三方・花折断層帯	24: 大阪湾断層帯

近畿の歴史的地震活動(被害地震)と活断層

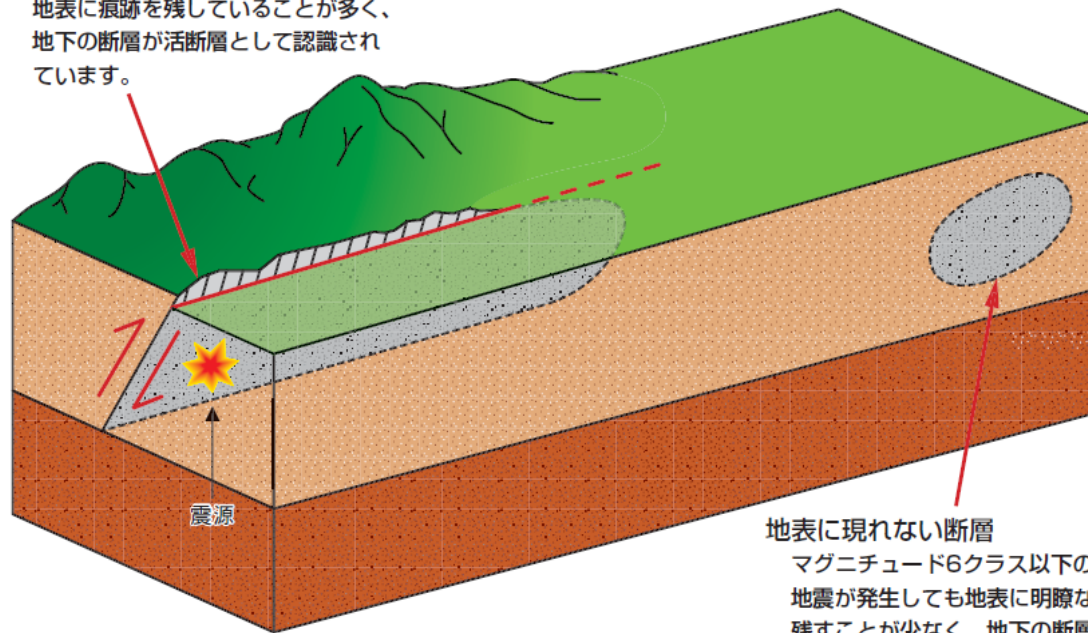


http://www.static.jishin.go.jp/resource/regional_seismicity/kinki/kinki-higaijishin.gif

活断層・地表地震断層

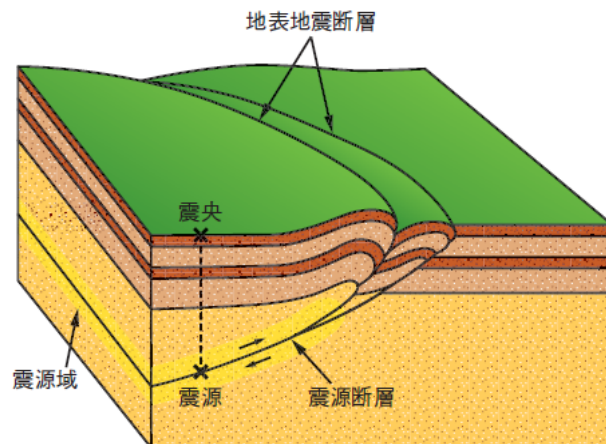
地表に現れた断層

マグニチュード7クラス以上の規模の大きな地震は、過去の活動により地表に痕跡を残していることが多く、地下の断層が活断層として認識されています。



地表に現れない断層

マグニチュード6クラス以下の地震は、地震が発生しても地表に明瞭な痕跡を残すことが少なく、地下の断層を活断層として認識することが困難です。



地震を起こした地下の断層を「震源断層」、そのときの断層運動に伴って地表に達した食い違いを「地表地震断層（地震断層）」と呼んで区別します。

- ・地殻内部に蓄えられたひずみは、地震によって解放される。
- ・地震は、岩盤の中でのずれ破壊現象。
- ・ずれ破壊が起きた場所は、「弱面」となって、次のひずみ解放もそこで起きる（作業仮説）。

✓ 地層のズレを「断層」という
✓ 最近（約10万年以降）の地層がズレている場合、「活断層」と呼ぶ

✓ 地震の時に地表でズレが確認されると「地表地震断層」と呼ぶ

「地表地震断層」は揺れを引き起こした「震源断層」が地表に現れたもの、と考えることができる。



**1995年兵庫県南部
地震の地表地震断層
（野島断層）**



**1999年台湾・集集地震
地表地震断層（逆断層）に
よって淹ができた**

地震によって引き起こされた地表地震断層の例



2014年長野県北部の地震 (神城断層トレースにほぼ一致)

地震によって引き起こされた地表地震断層の例 (2)

http://irides.tohoku.ac.jp/topics_disaster/20141122-eq.html

活断層調査による地震発生の長期評価



野島断層保存館に保存されている兵庫県南部地震の地震断層
写真提供 北淡震災記念公園

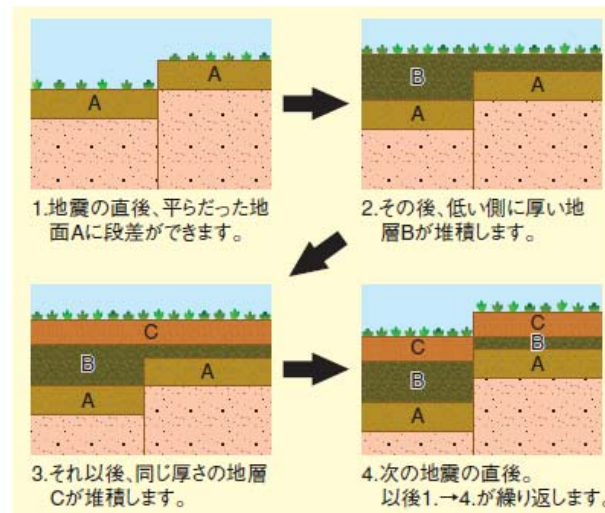


明治24年(1891年)の濃尾地震の際に
じた断層運動による崖地形(矢印)。
濃尾地震では、濃尾断層帯の全長80km
区間で地表地震断層が確認されました。泥
層は、このような直線的な地形をつくる地
が過去に繰り返し発生したことを物語って
ます。



濃尾地震で生じた地層のすれ(根尾谷断層
上下方向で約6mの地層のすれが見られ
ず。このような地層のすれを観察すること
により、過去の活動を明らかにします。

(写真提供: 本巣市教育委員会)



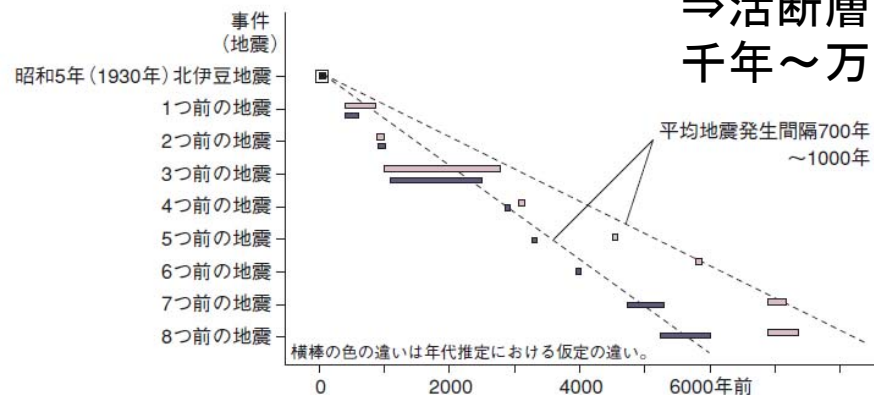
活断層を掘削して調査を行うと、過去に繰り返し断層が活動していたことが、このような地層の状態から読み取ることができます。

・活断層を調べると、過去に何度かズレた痕跡があることがわかってきた。

⇒「地震」が繰り返し同じ「弱面」で起きている可能性がある(仮説の検証)

✓活断層を調べることで、将来の地震への備えができる可能性がある(長期評価)

⇒活断層の発生間隔は千年～万年！

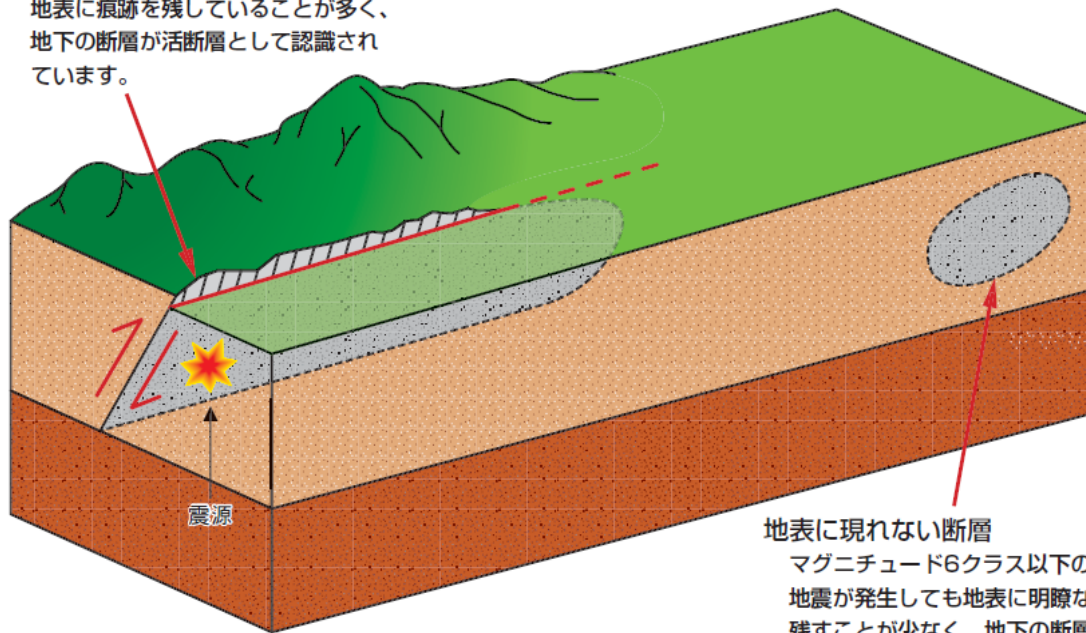


また、丹那断層では、トレンチ調査により9回の過去の活動が読み取り、その発生間隔は平均して700年～1000年と推定されました。(地震の年代は丹那断層発掘調査研究グループ、1983年)

活断層・地表地震断層

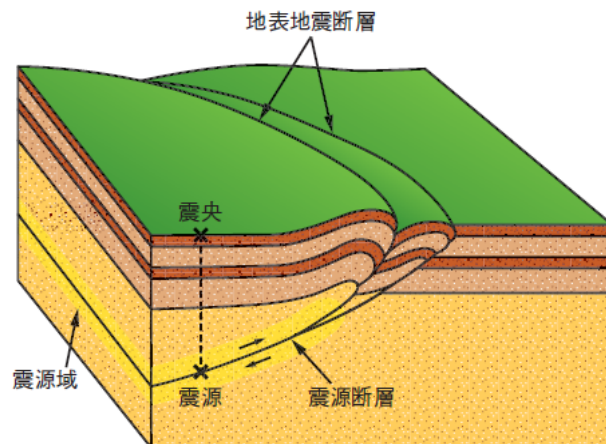
地表に現れた断層

マグニチュード7クラス以上の規模の大きな地震は、過去の活動により地表に痕跡を残していることが多く、地下の断層が活断層として認識されています。



地表に現れない断層

マグニチュード6クラス以下の地震は、地震が発生しても地表に明瞭な痕跡を残すことが少なく、地下の断層を活断層として認識することが困難です。



地震を起こした地下の断層を「震源断層」、そのときの断層運動に伴って地表に達した食い違いを「地表地震断層（地震断層）」と呼んで区別します。

- ・地殻内部に蓄えられたひずみは、地震によって解放される。
- ・地震は、岩盤の中でのずれ破壊現象。
- ・ずれ破壊が起きた場所は、「弱面」となって、次のひずみ解放もそこで起きる（作業仮説）

✓ 地表で、「繰り返し」活動した証拠はあるか？

⇒ 地形（山と平野）

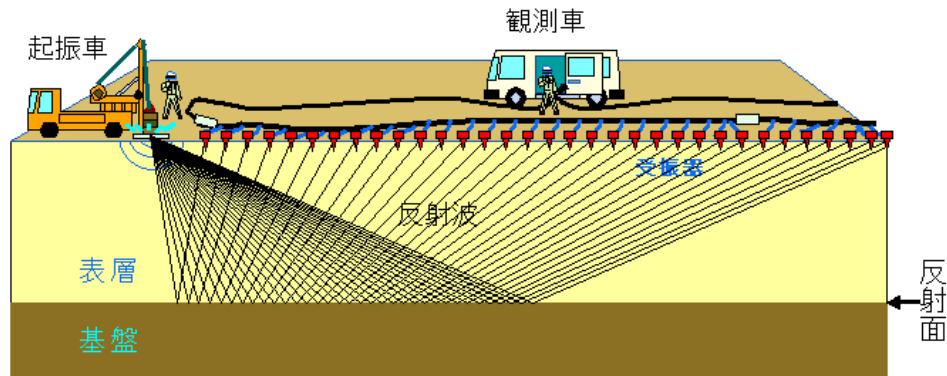
✓ 地下に「繰り返し」活動した根拠はあるか？

⇒ トレンチ調査

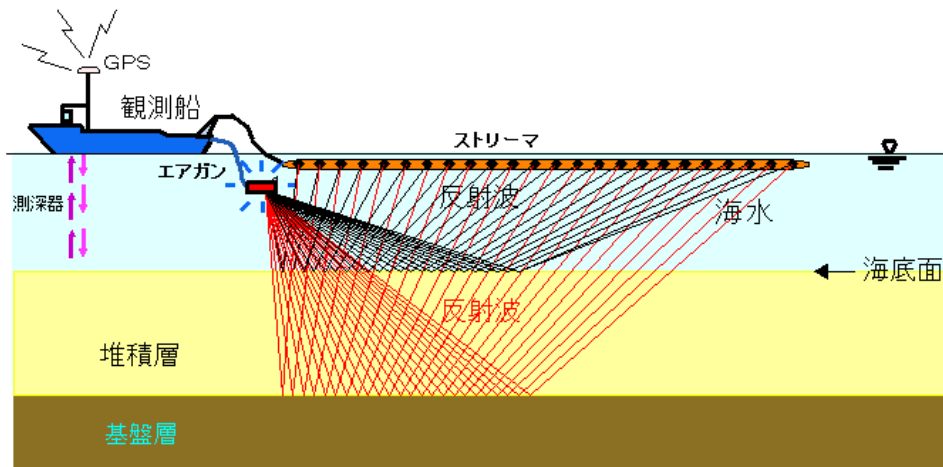
⇒ ボーリング調査

⇒ 人工地震探査

反射法地震探査の模式図と震源車(バイブロサイス)



陸上反射法地震探査の模式図



海上マルチチャンネル音波探査の模式図

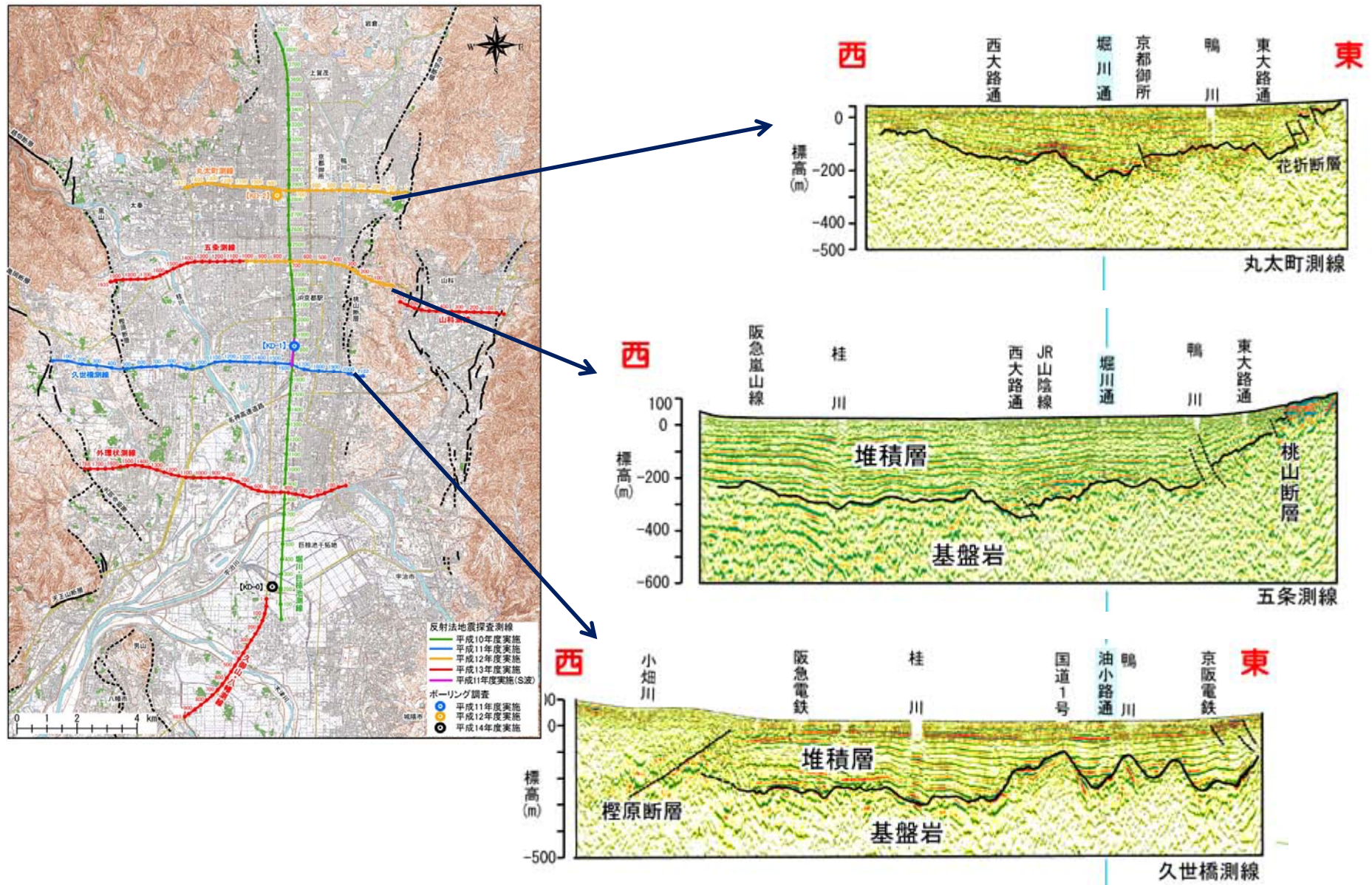


(株)地球科学研究所

地下の様子を調べる: 京都盆地を例として

<http://www.n-buturi.co.jp/technology/geophy/seismic/reflection/index.html>

京都盆地を横断する東西測線位置と断面図(縦に4倍拡大)



堀川—巨椋池測線(南北測線:平成10年度実施)の断面図 縦に8倍拡大

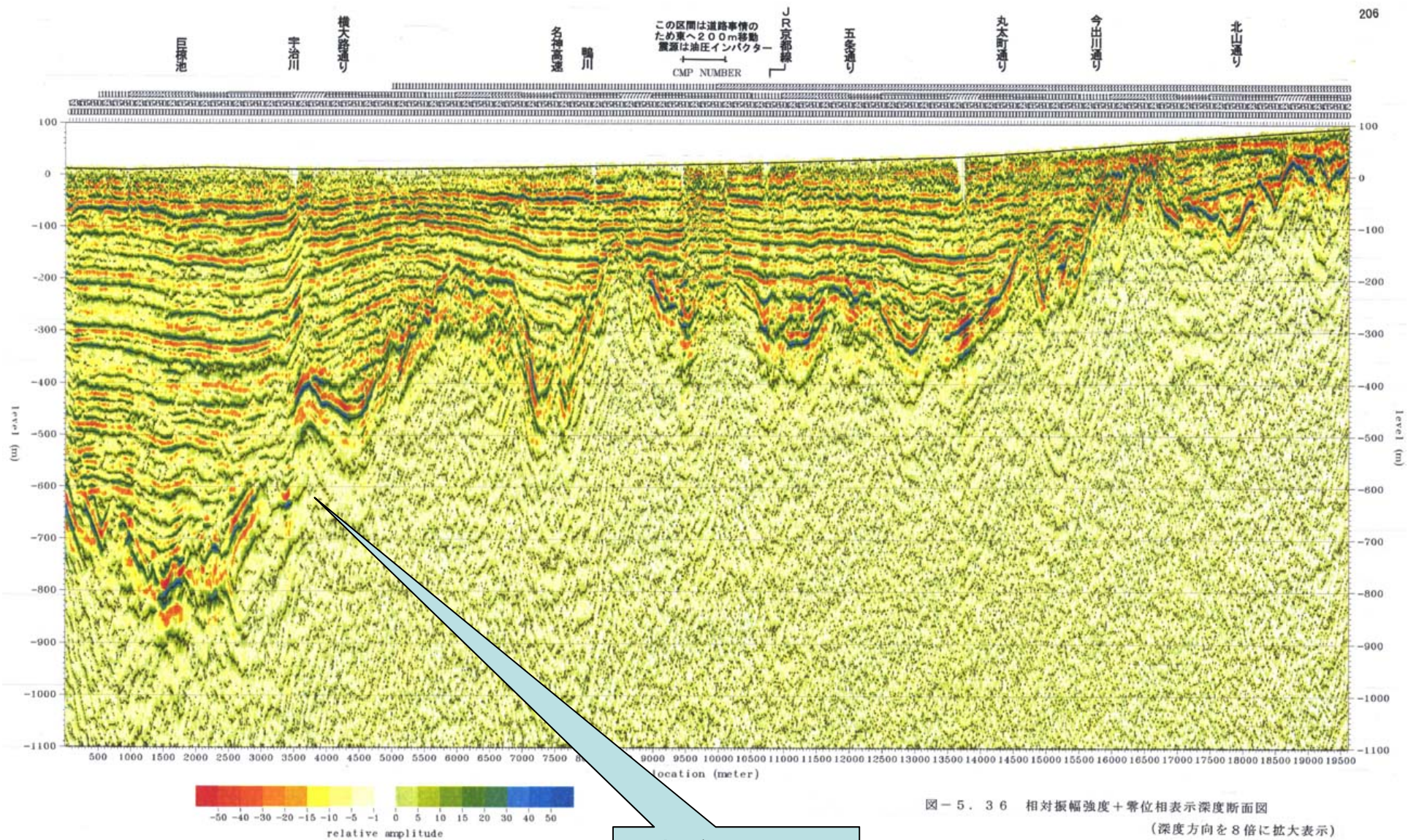
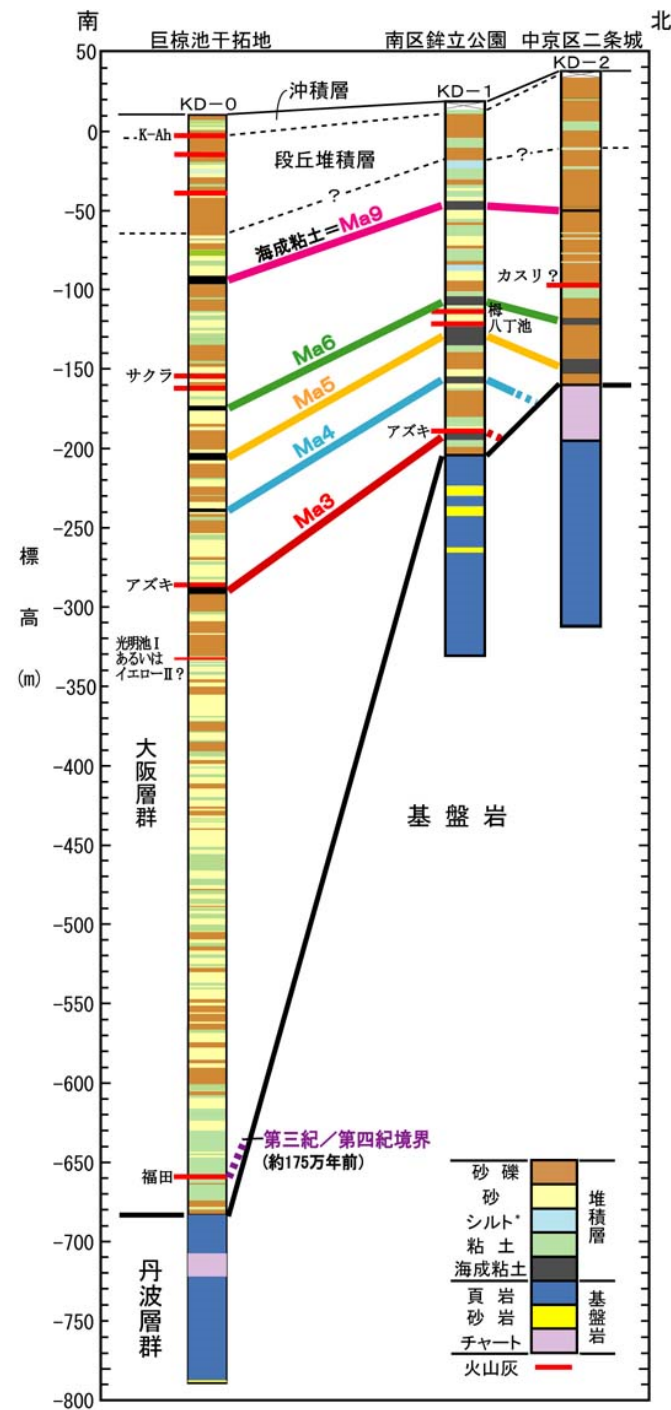
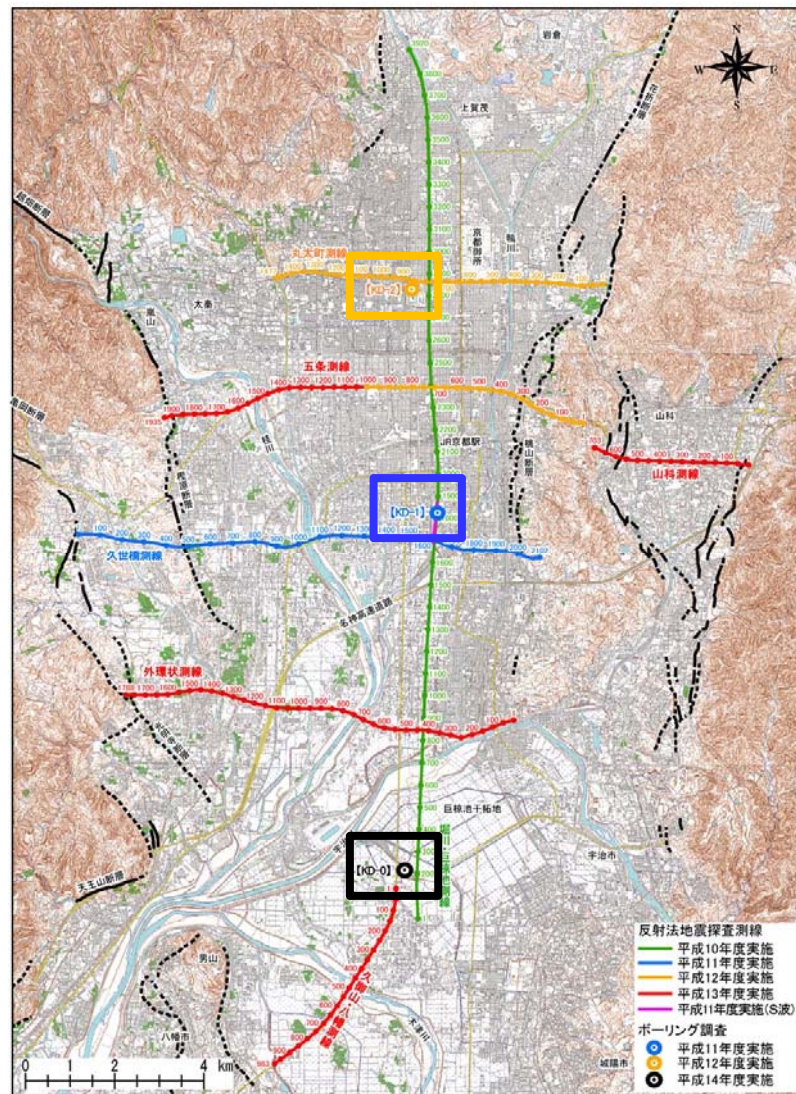
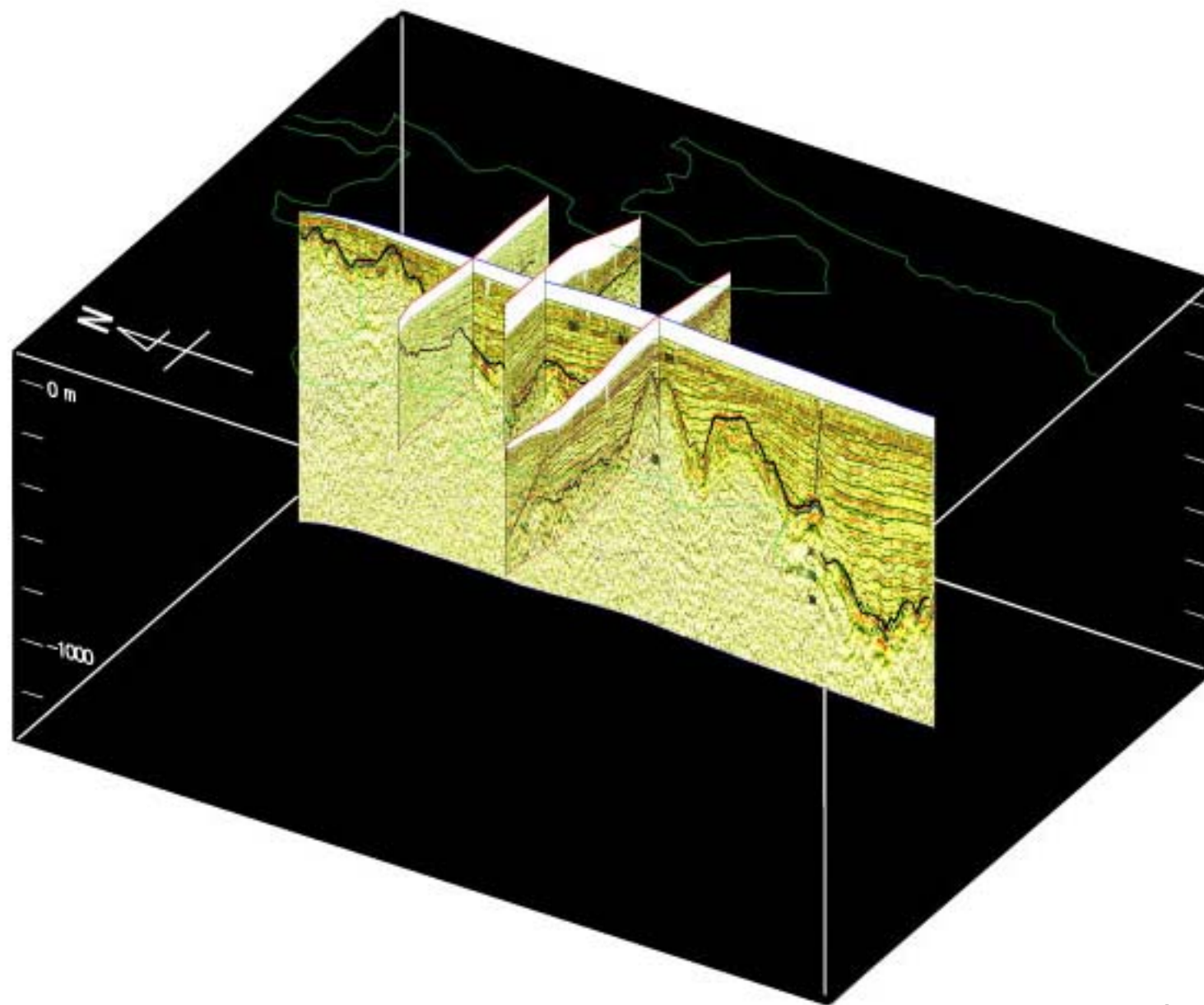


図-5.36 相対振幅強度+零位相表示深度断面図
(深度方向を8倍に拡大表示)

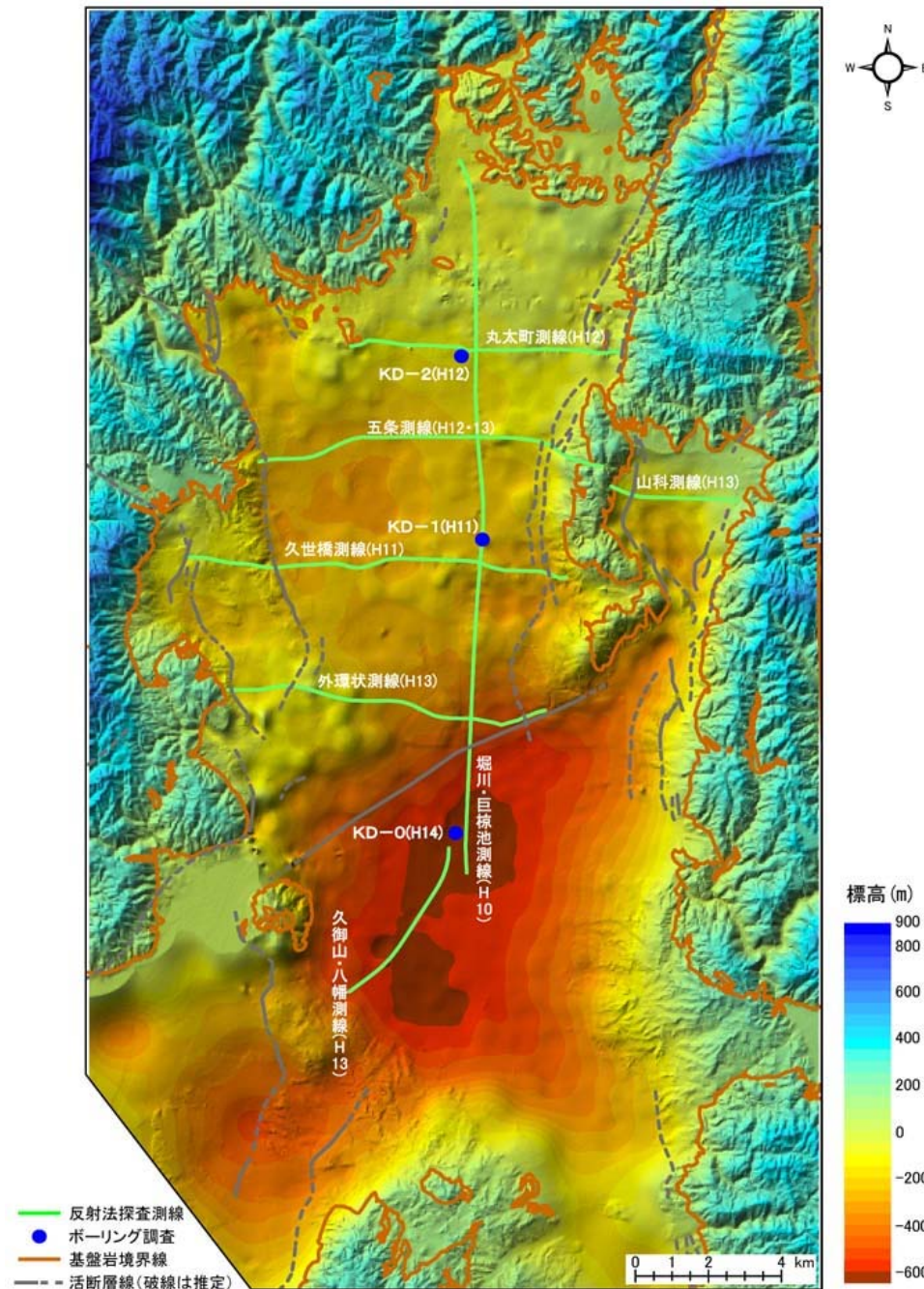
深いボーリング調査





京都市(2003)

図－8．1 京都盆地地下構造調査における反射法探査結果の俯瞰図

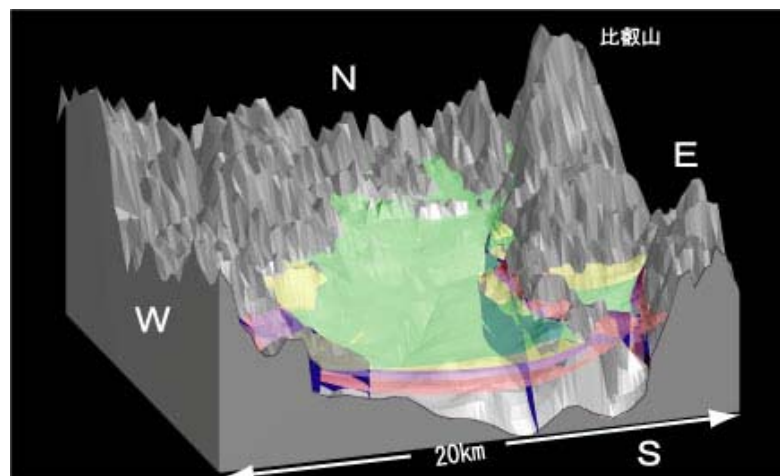


地下構造調査で推定された京都盆地の基盤深度分布

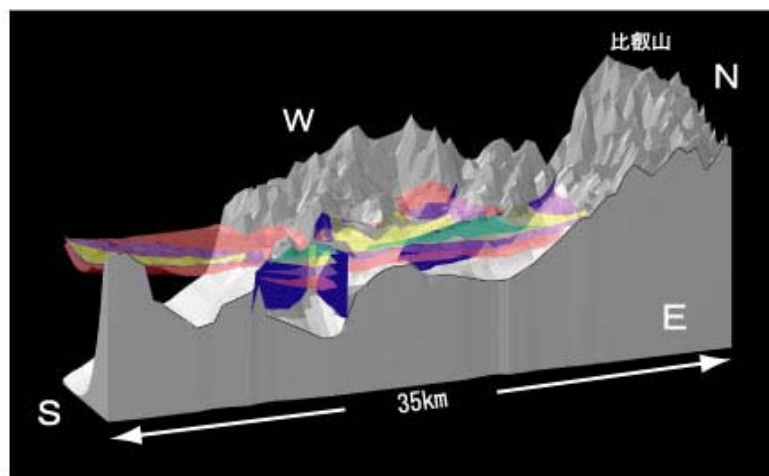
地球物理学的手法による地下構造推定を集約して作成される

- ✓人工地震探査(線)
- ✓ボーリング調査(点)
- ✓重力探査(面的)
- ✓微動アレイ観測(点～面的)

京都市(2003)



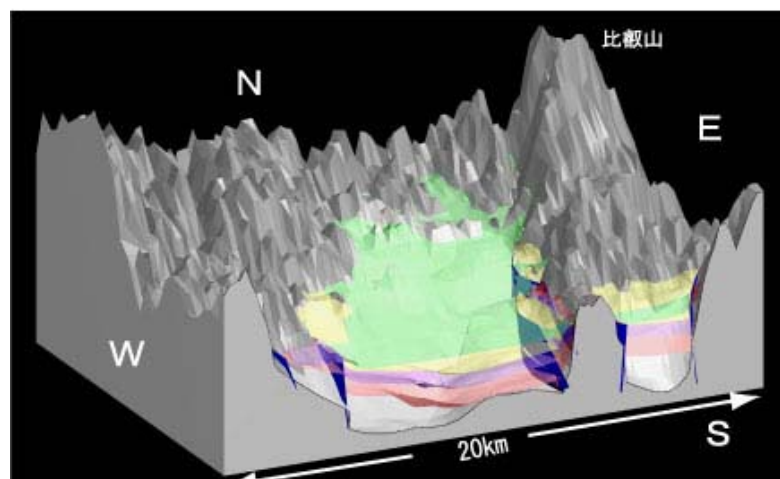
盆地南部の東西断面における透視図(南から北を見た図)



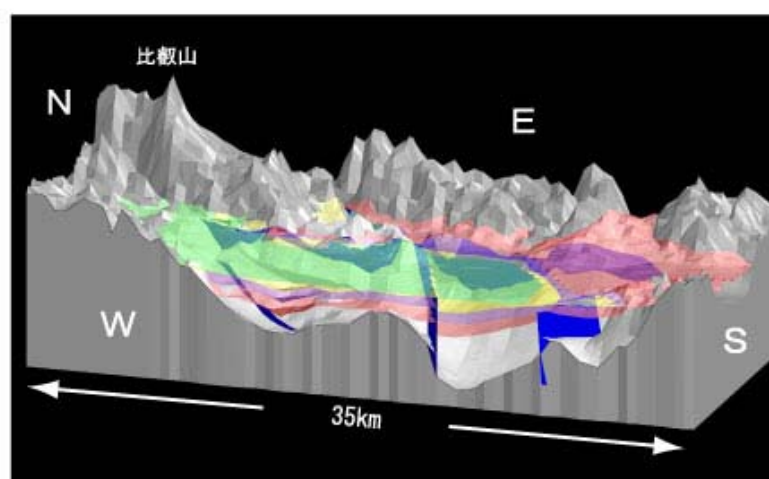
南北断面における透視図(東から西を見た図)

凡 例

- Ma 9 ~ 沖積層
- Ma 6 ~ Ma 9
- Ma 3 ~ Ma 6
- ~ Ma 3
- 断 層 面



盆地中部の東西断面における透視図(南から北を見た図)



南北断面における透視図(西から東を見た図)

図-9.6
京都盆地の
3次元地盤モデル透視図
(縦を8倍に拡大)

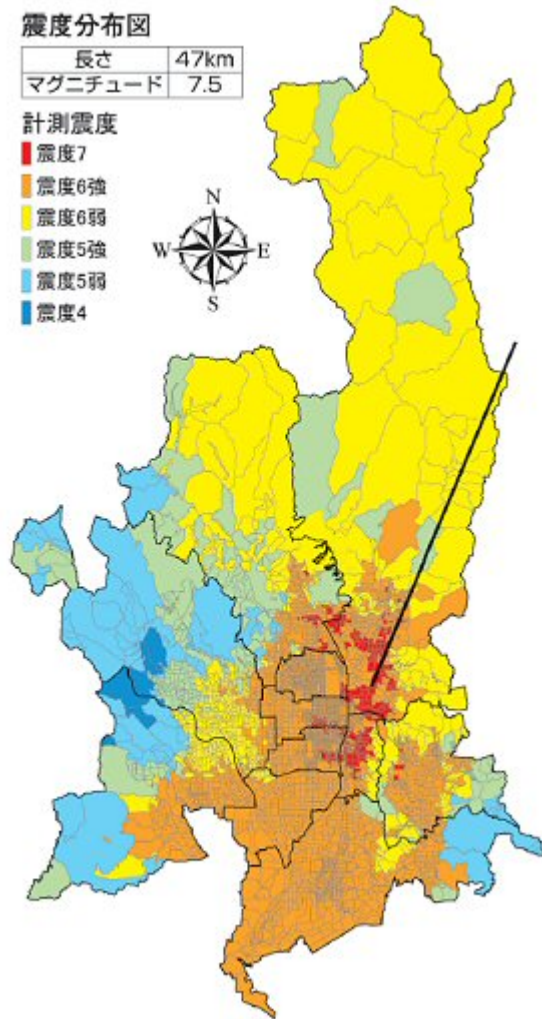
京都市(2003)

震度分布図

長さ	47km
マグニチュード	7.5

計測震度

- 震度7
- 震度6強
- 震度6弱
- 震度5強
- 震度5弱
- 震度4

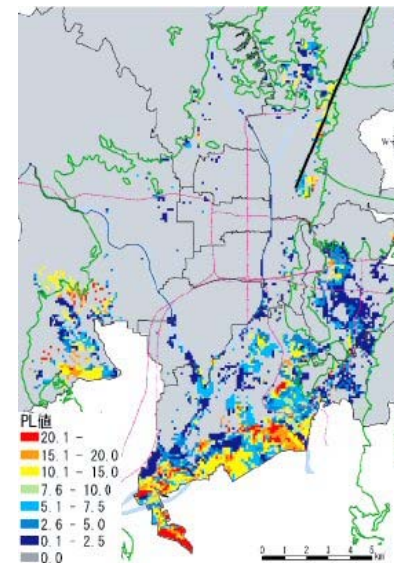


震度予測図

地下構造モデルの活用例

⇒

花折断層を震源とした場合の震度予測、液状化予測(京都市、2003)



液状化予測図(暖色ほど
液状化の可能性が高い)

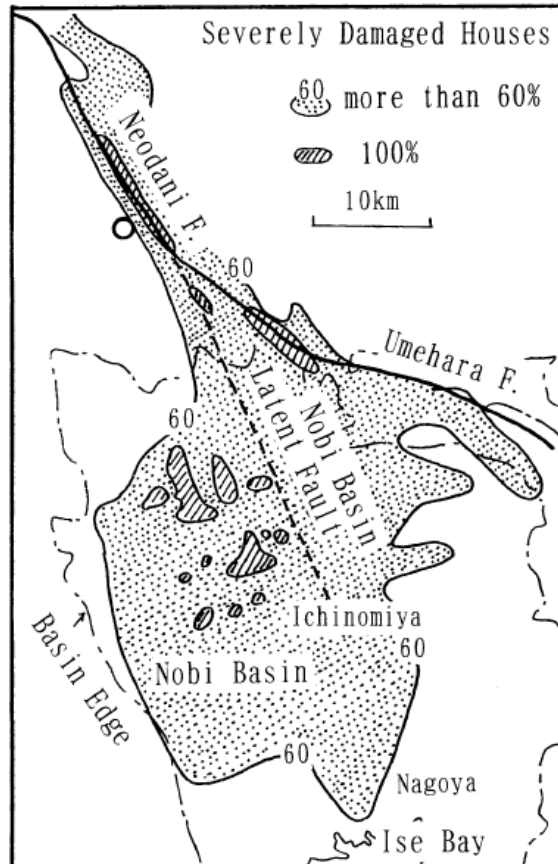


京都市防災危機管理情報館

京都市の安心・安全を目指して 防災情報、災害情報、危機管理情報をお届けします。

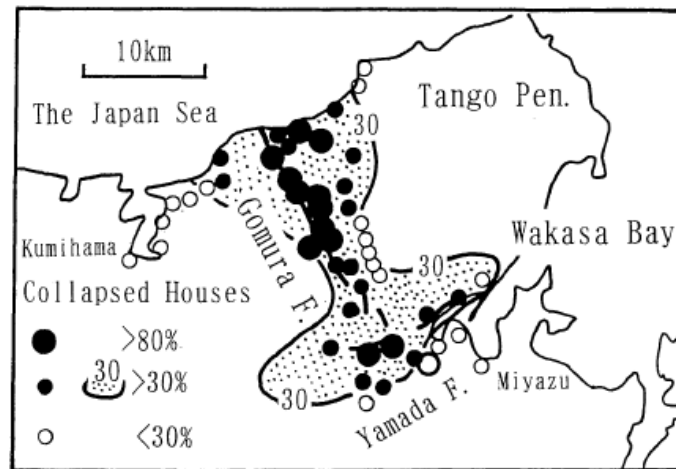
<http://www.bousai-kyoto-city.jp/bousai/index.html>

活断層による地震の被害分布

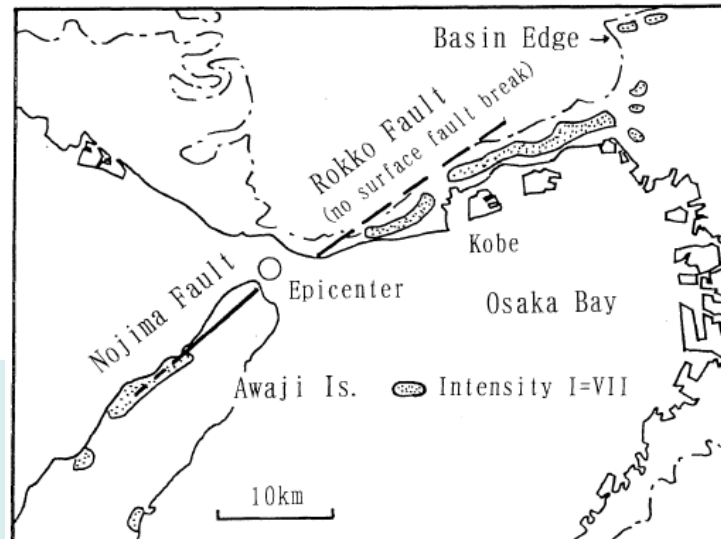


1891濃尾地震M8.0

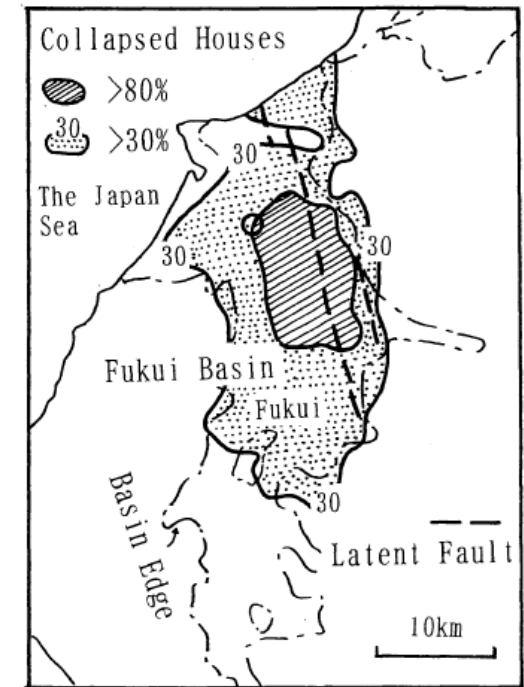
活断層による地震は、震源断層が生活圏に近い、局所的に強い揺れに見舞われる



1927北丹後地震M7.3



1995兵庫県南部地震M7.3



1948福井地震M7.2

M7クラスの地震
+ 堆積平野(盆地)
⇒ 震源近傍域での
強烈な揺れ

武村・他(1998)

上町断層帯における重点的な調査観測(2010-2012)

京都大学防災研究所・理学研究科・産業技術総合研究所

①

上町断層帯
に関する新たな知見

③

大阪平野南部の地下構造
に関する新たな知見

②

上町断層帯地震
シナリオ

④

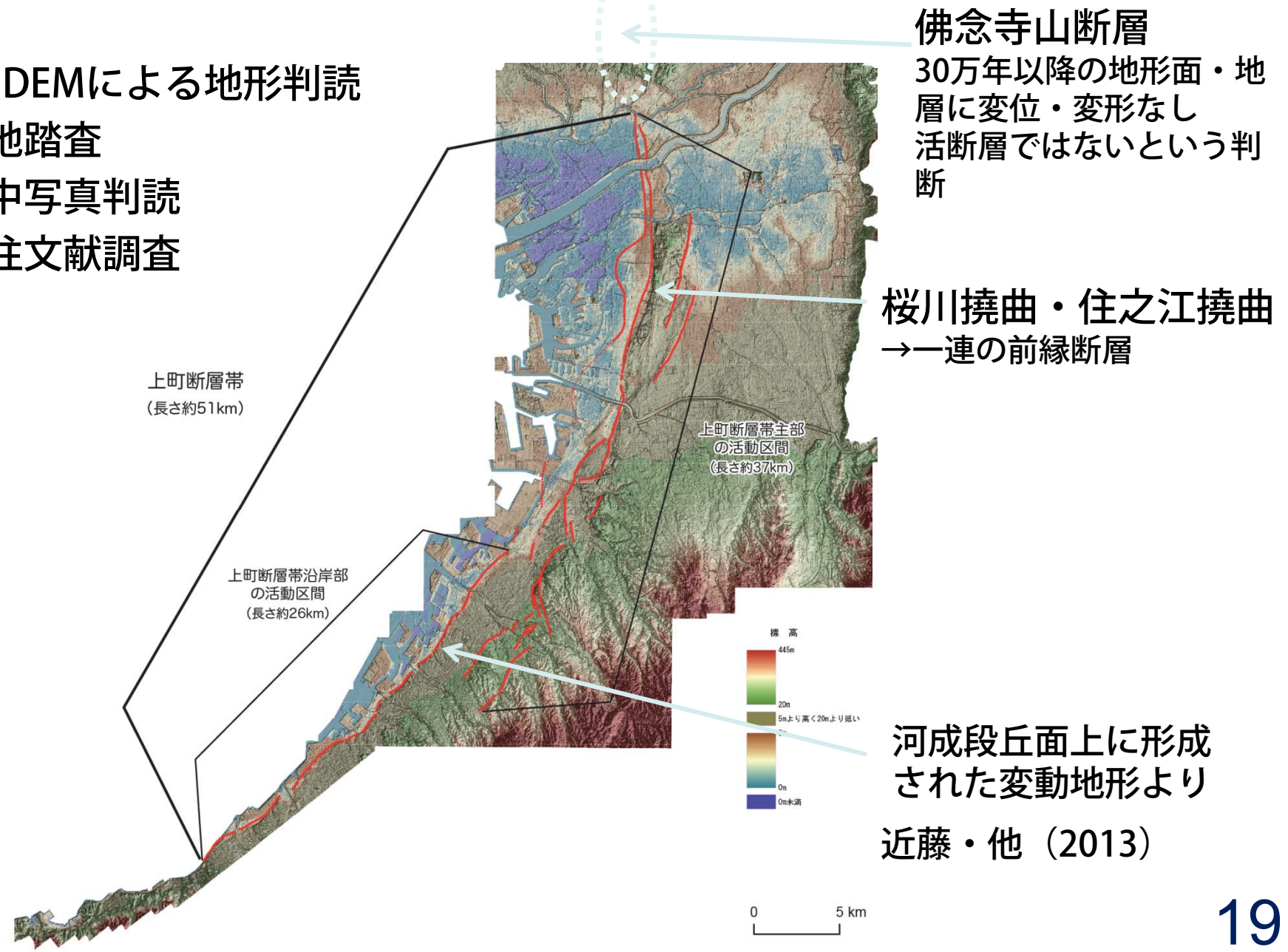
大阪堆積盆地地下構造
モデルの改良

⑤

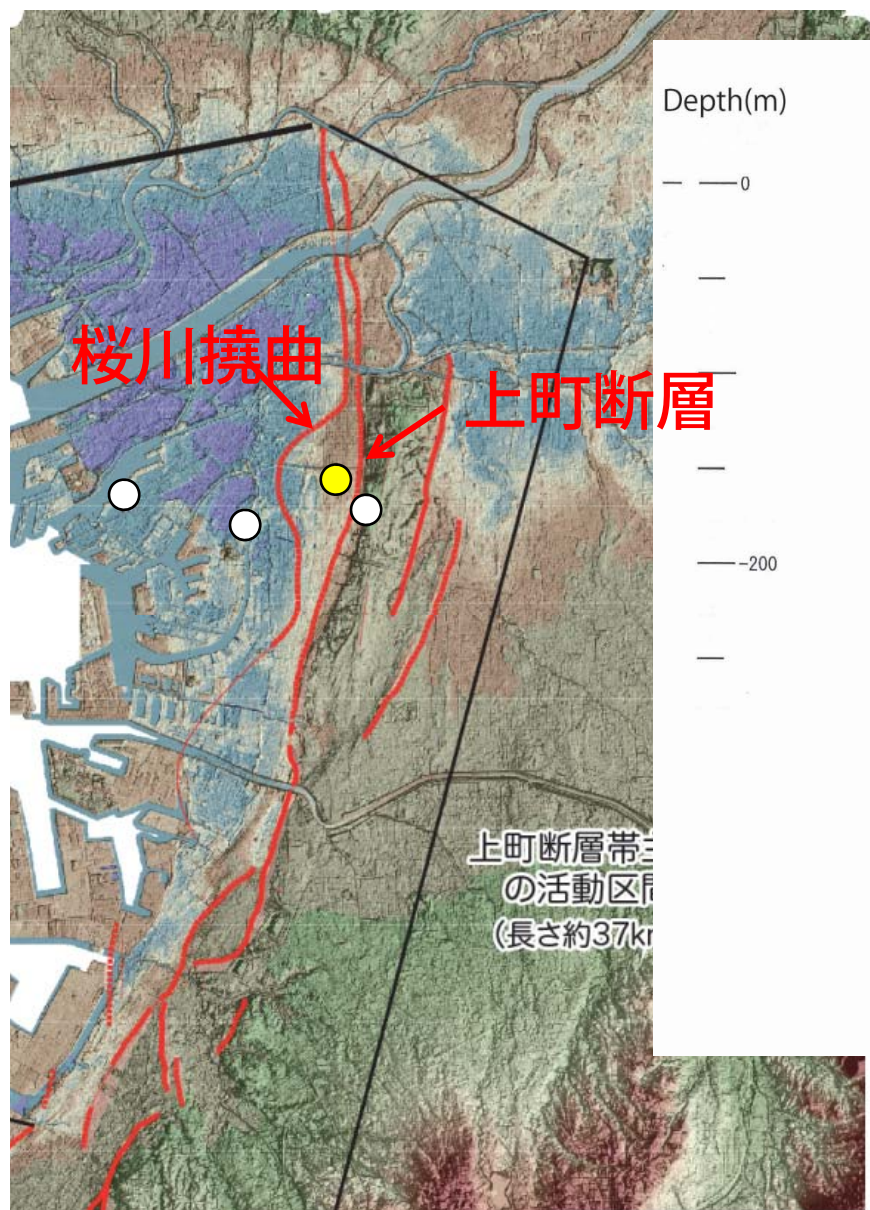
地震動予測

①地表トレース位置，活動区間

- 2mDEMによる地形判読
- 現地踏査
- 空中写真判読
- 既往文献調査



①桜川撓曲と上町断層の関係



平均上下変位速度

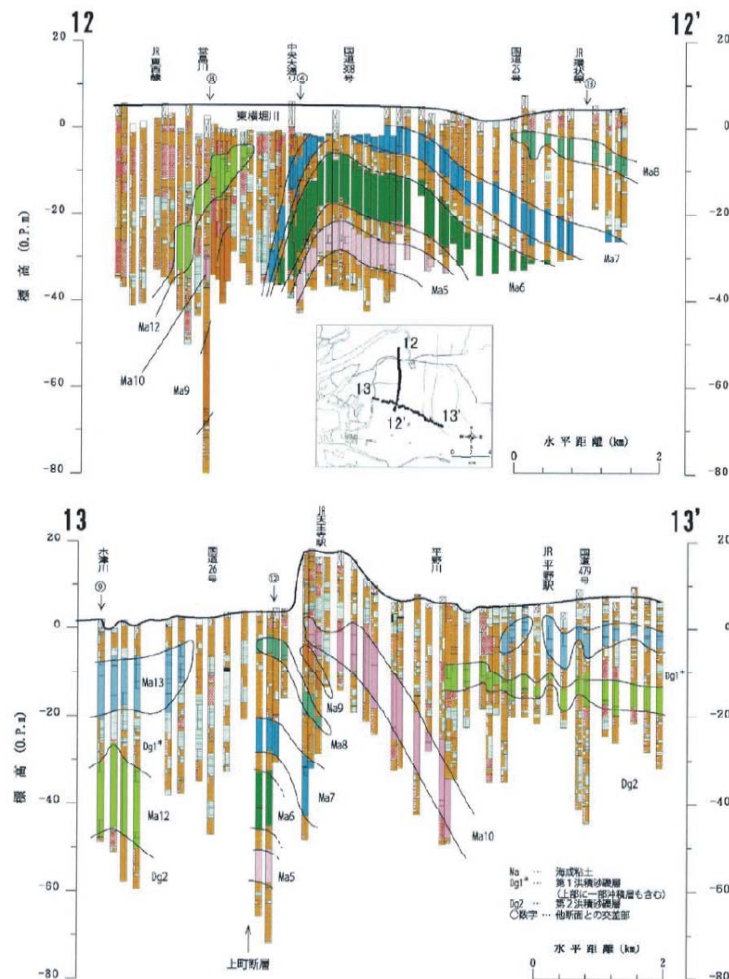
桜川撓曲			上町断層	
Ma8	0.26m/ka	>	Ma5	0.11m/ka
Ma9	0.19m/ka		Ma6	0.14m/ka
Ma12	0.18m/ka			

>

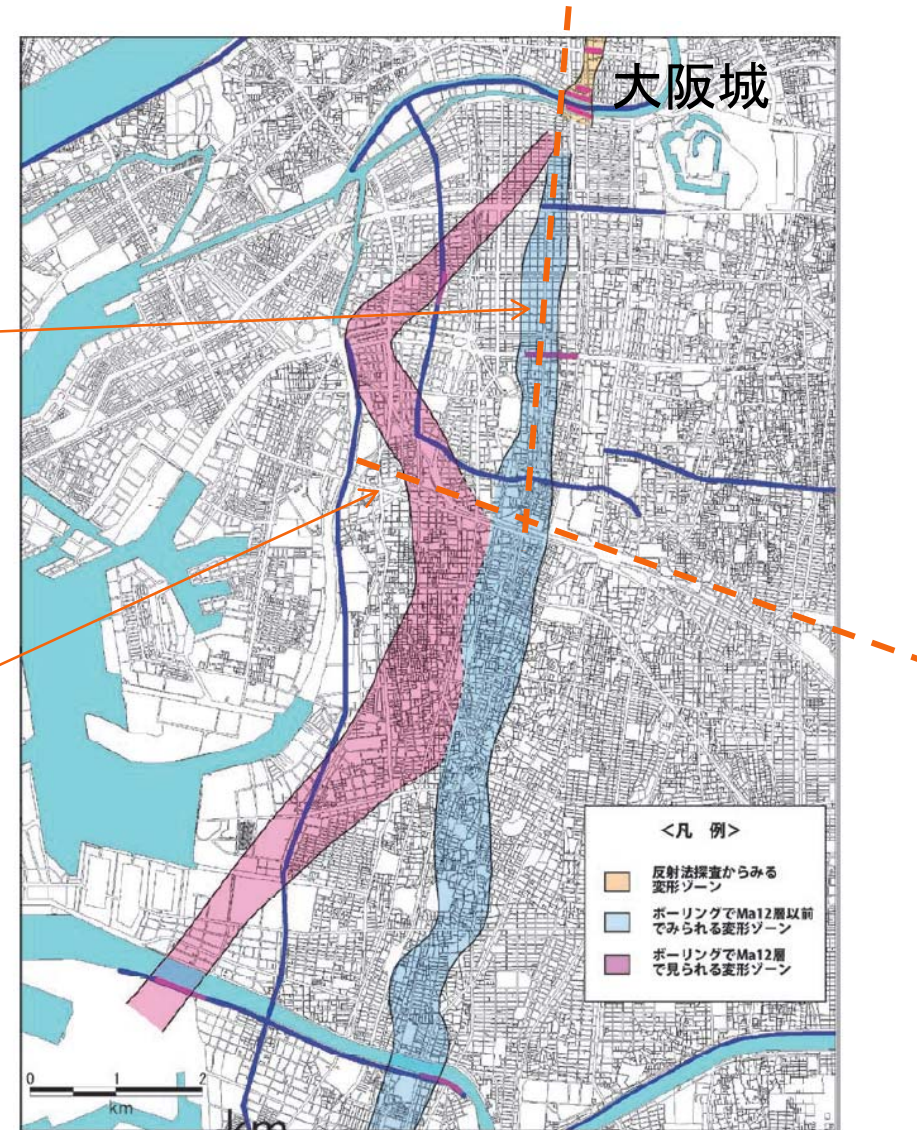
竹村・他(2013)

①地表トレース位置(変形ゾーン)

浅層ボーリング・反射法探査より
(探査データの密な人口密集域で)



関西圏地盤情報ネットワークのボーリングデータベースより

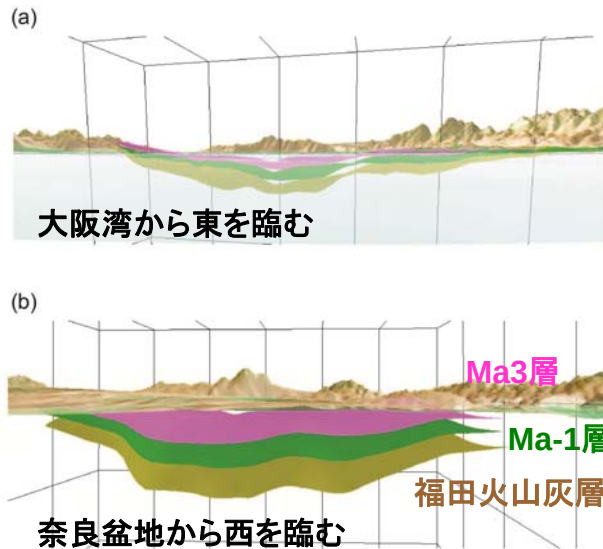


竹村・他(2013)

②地下の(震源)断層面形状

上盤の大阪層群のMa-1層, Ma3層, および, 福田火山灰層の位置形状データを収集

3次元褶曲形態モデル



3次元バランス解析

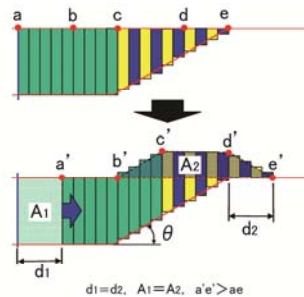
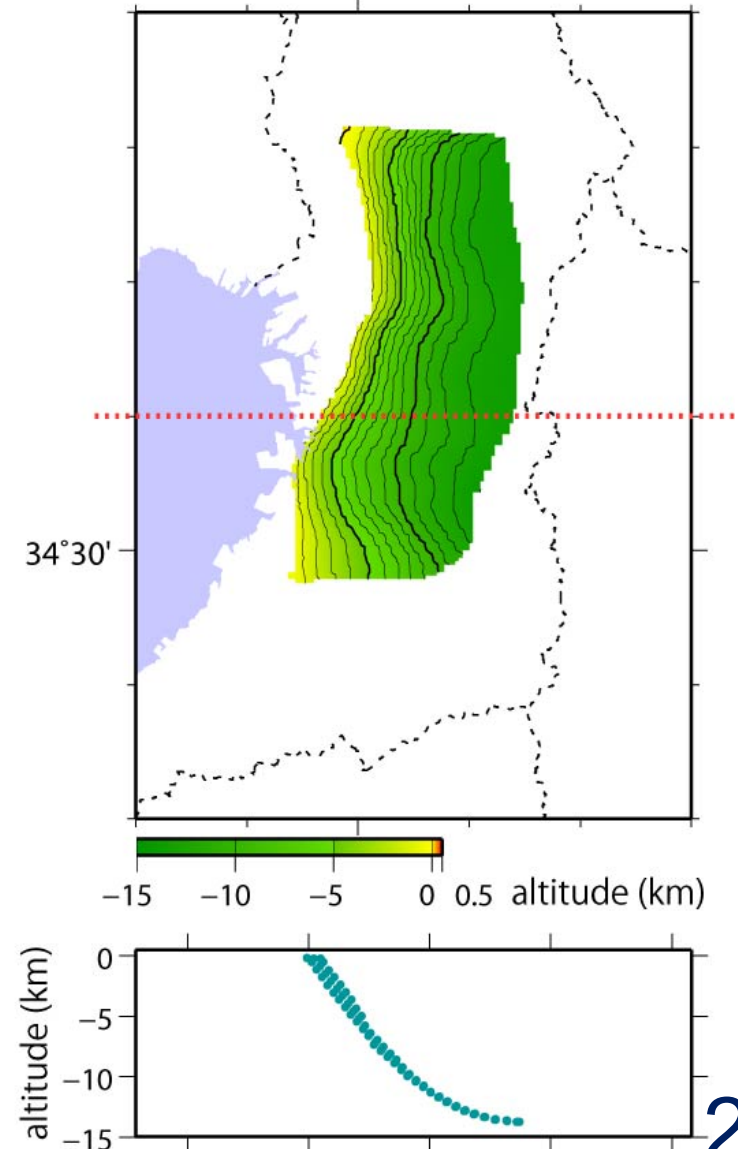


図-5 inclined shearによる変形 (鉛直滑り面の場合)

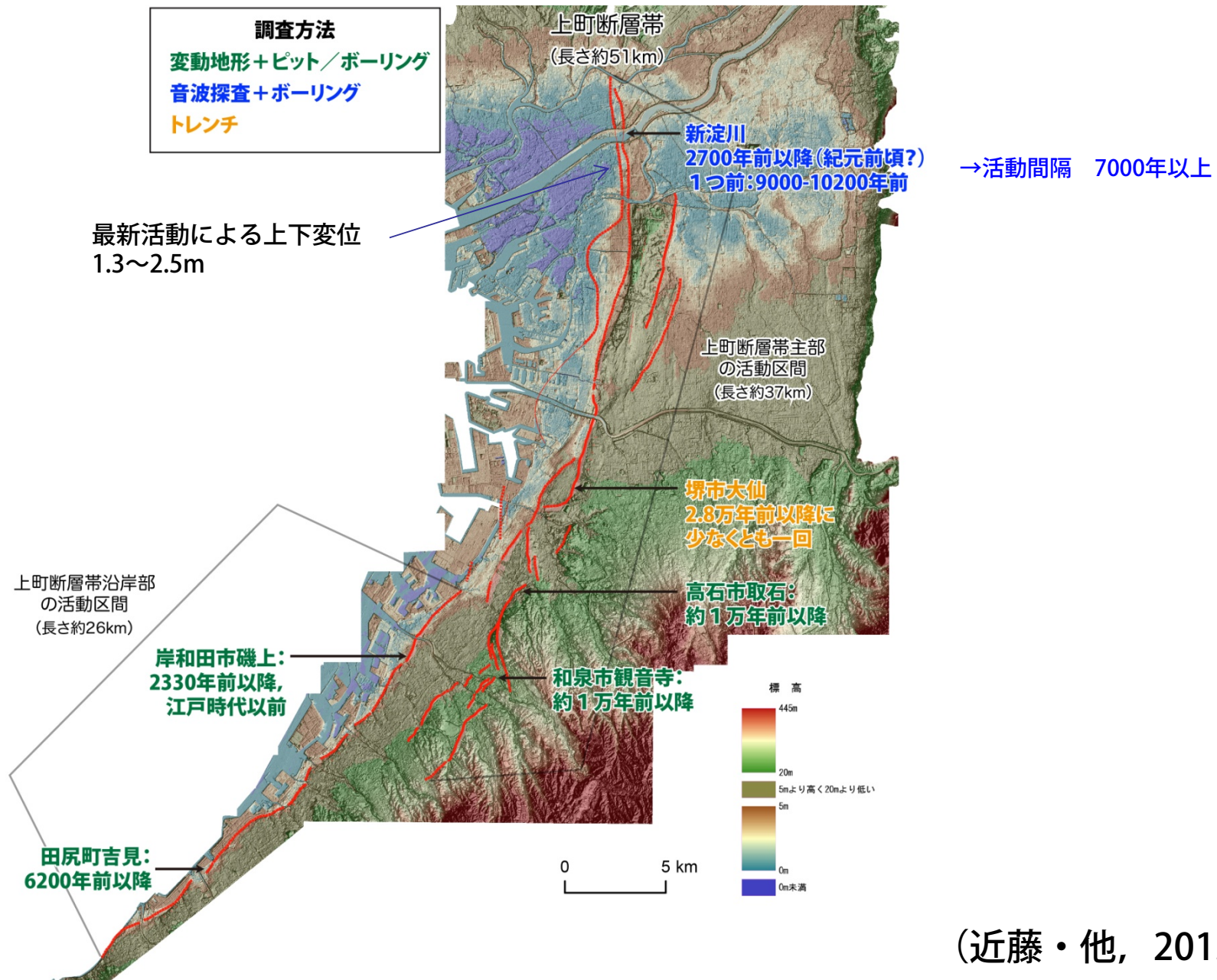
仮定された変形様式:
Inclined simple shear
model
(参考: 塩崎・他)

(木村, 2013)

3次元断層面形状モデル



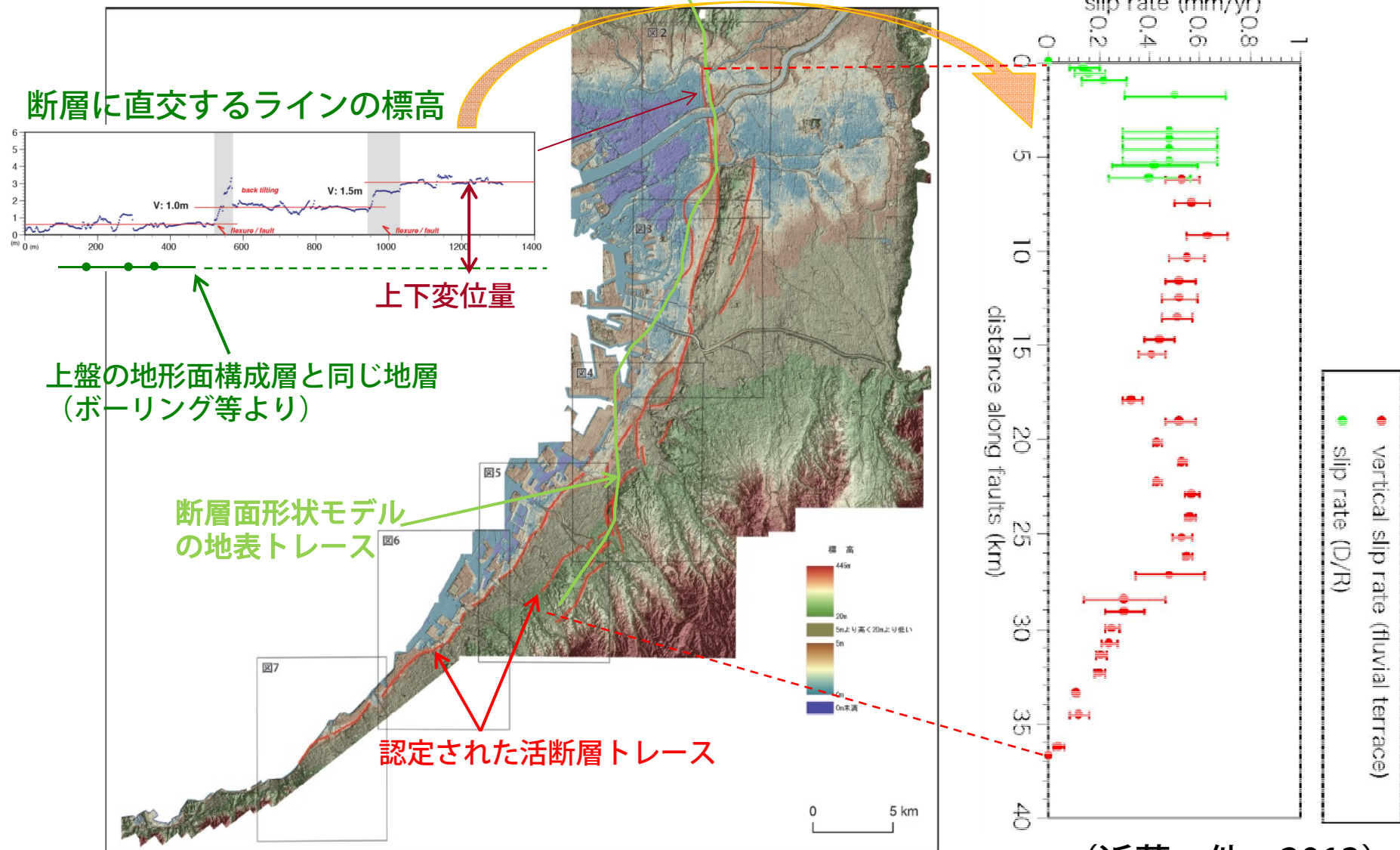
①最新活動時期・変位、活動間隔



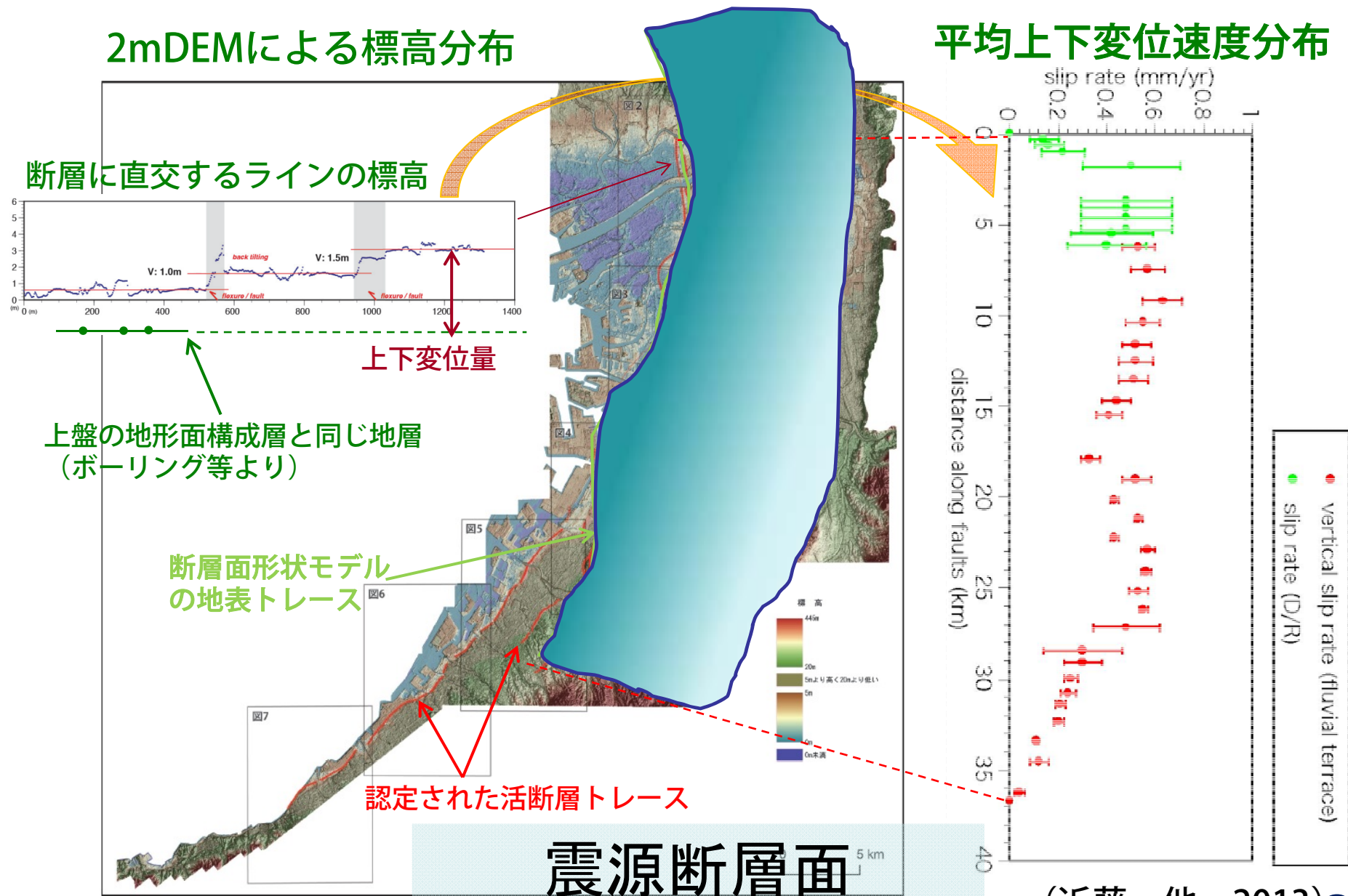
① 平均変位速度の空間分布

2mDEMによる標高分布

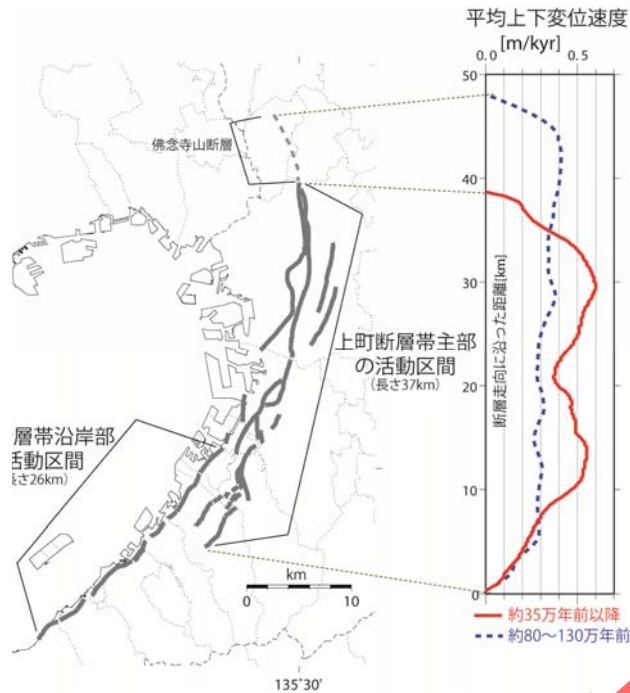
平均上下変位速度分布



②平均変位速度の空間分布に基づく不均質すべり分布モデルの提案

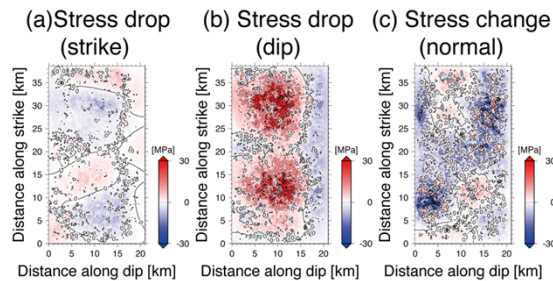


②様々な地震シナリオ

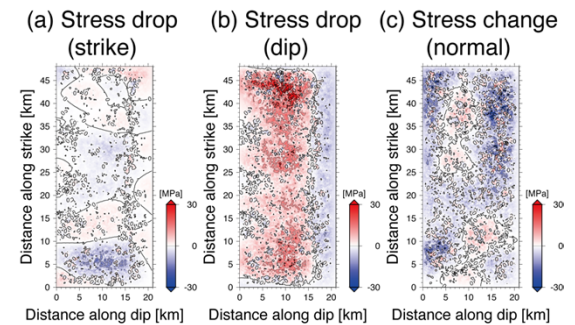


佛念寺山なし

応力降下量分布



佛念寺山あり



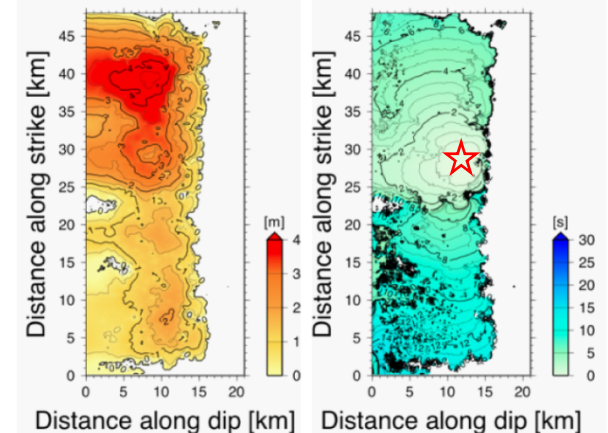
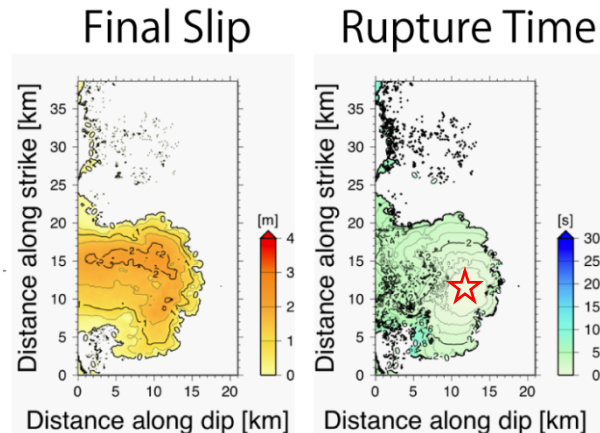
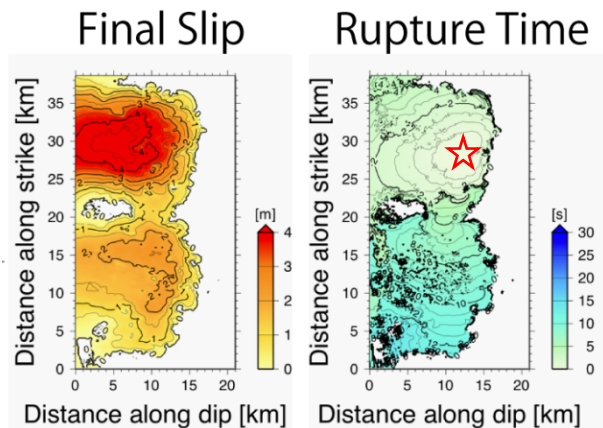
Mw6.9のシナリオ

Mw6.5のシナリオ

Mw7.0のシナリオ

Final Slip

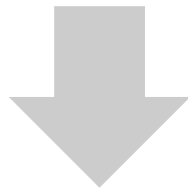
Rupture Time



上町断層帯における重点的な調査観測(2010-2012)

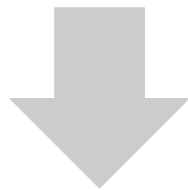
①

上町断層帯
に関する新たな知見



②

上町断層帯地震
シナリオ

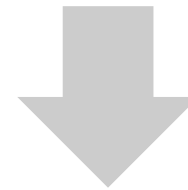


⑤

地震動予測

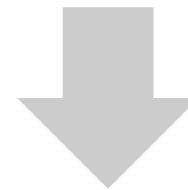
③

大阪平野南部の地下構造
に関する新たな知見



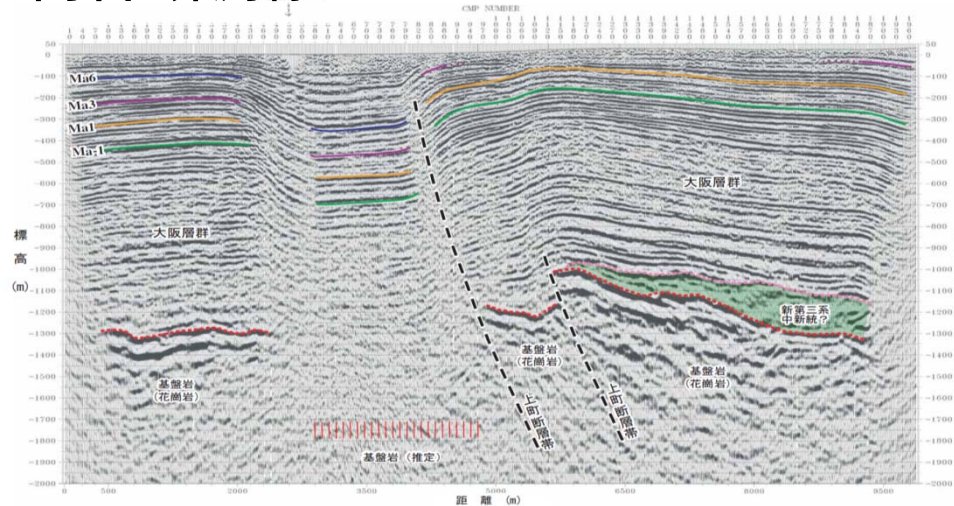
④

大阪堆積盆地地下構造
モデルの改良

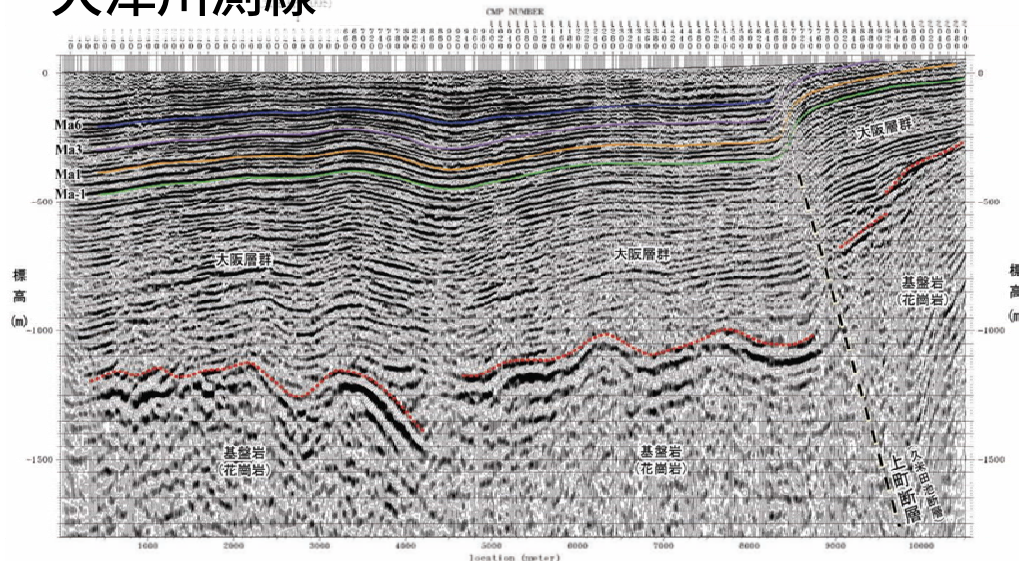


③ 反射法地震探査

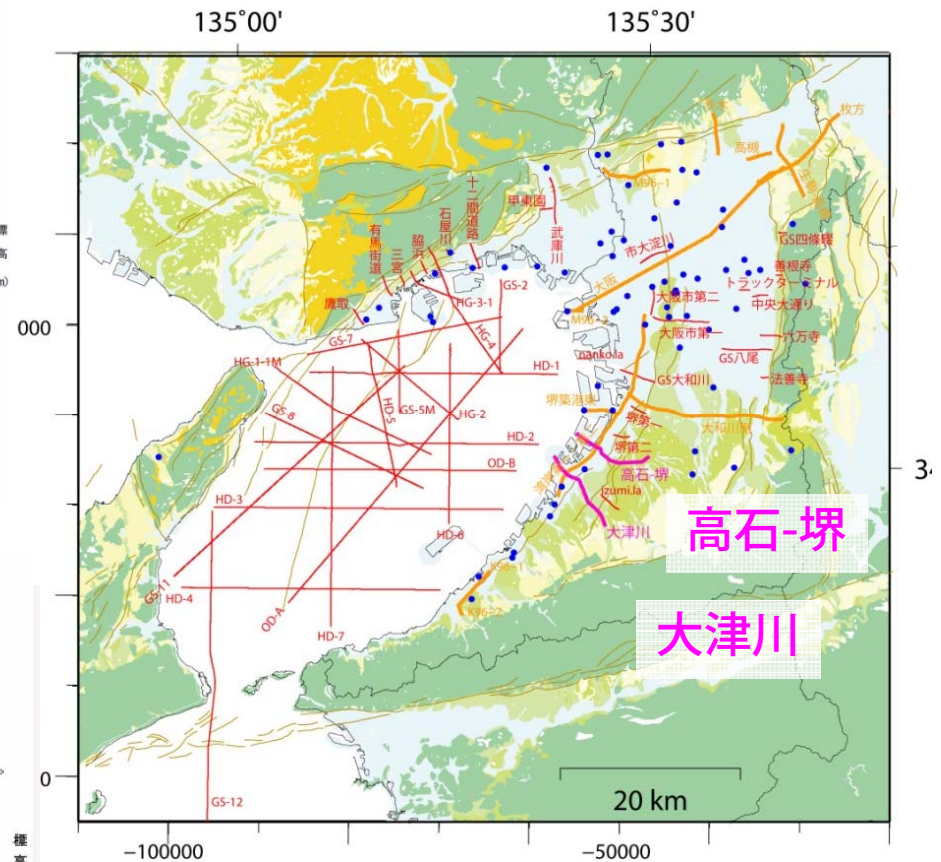
高石-堺測線



大津川測線



岩田・他 (2012,2013)

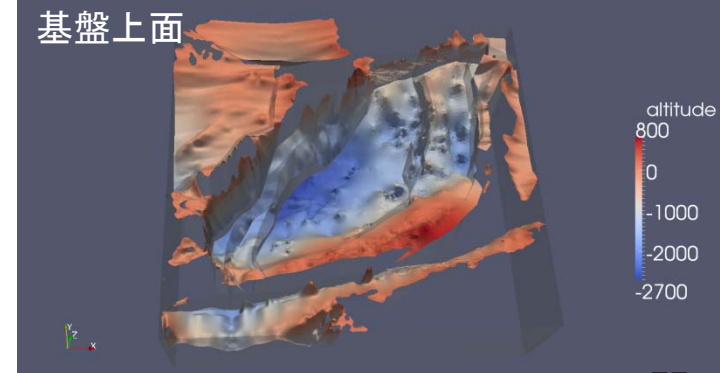
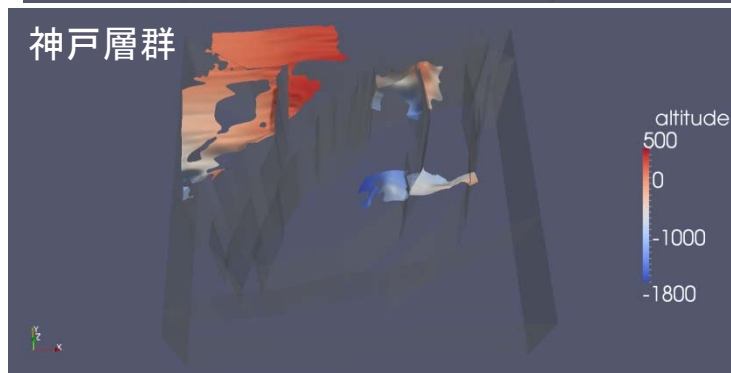
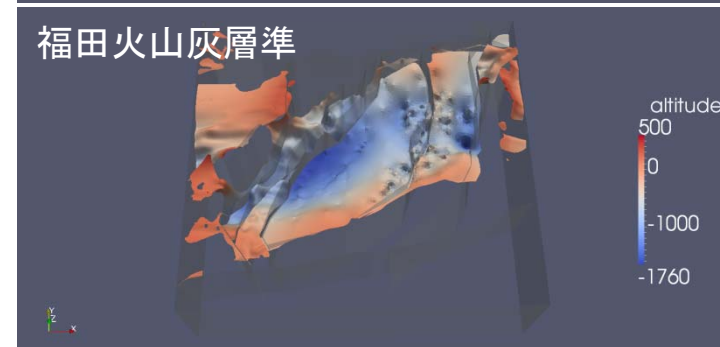
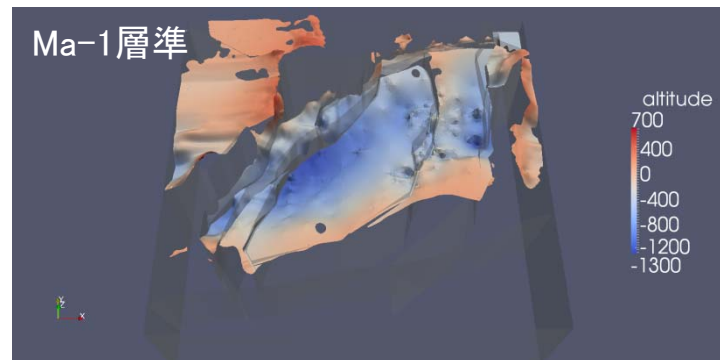
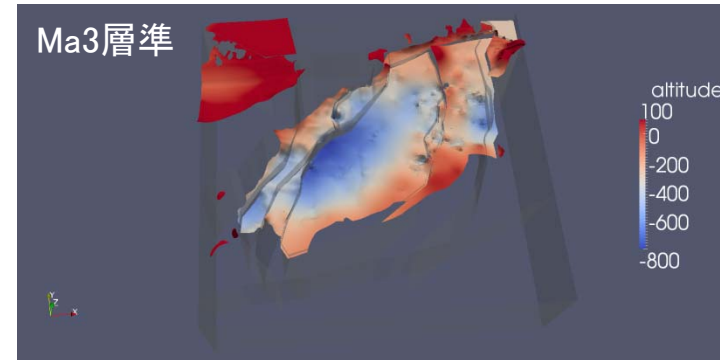
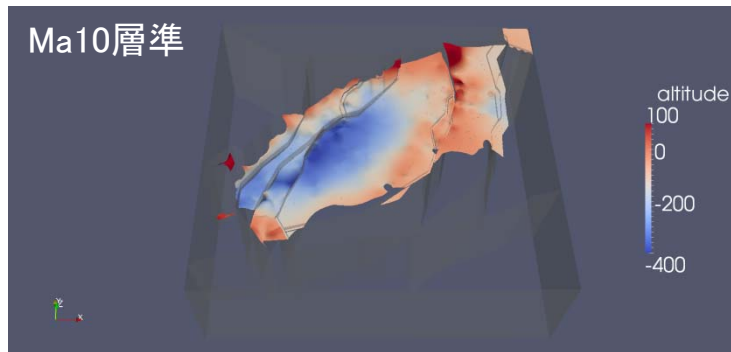


— 上町重点調査で実施された探査
— 既往探査

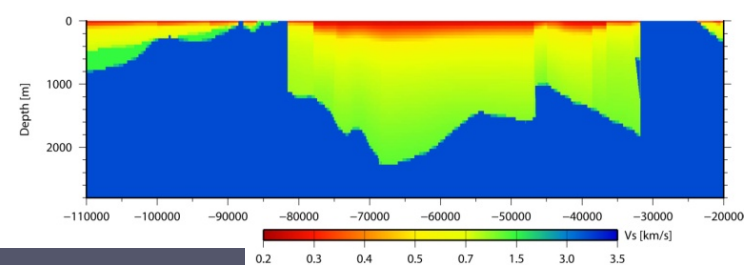
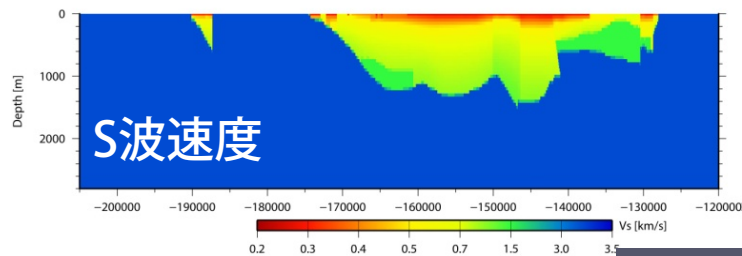
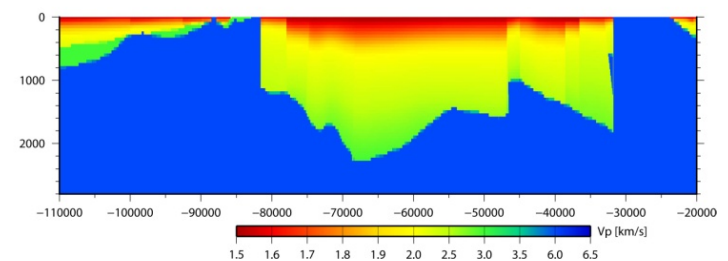
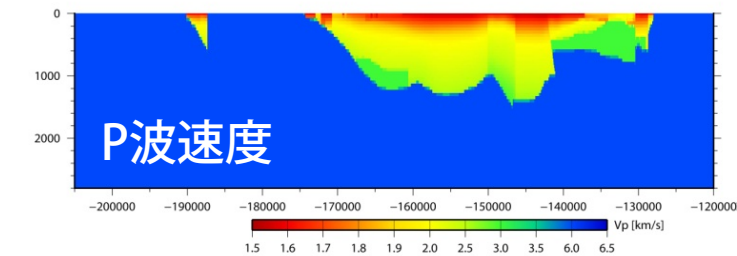
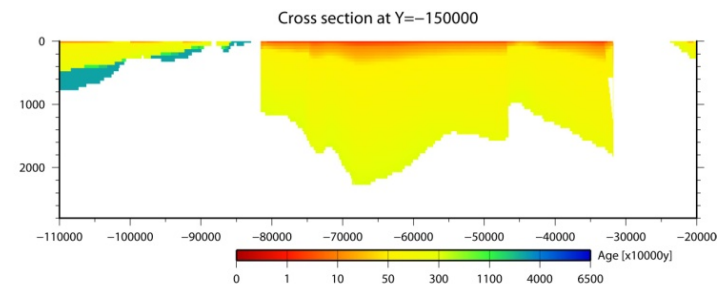
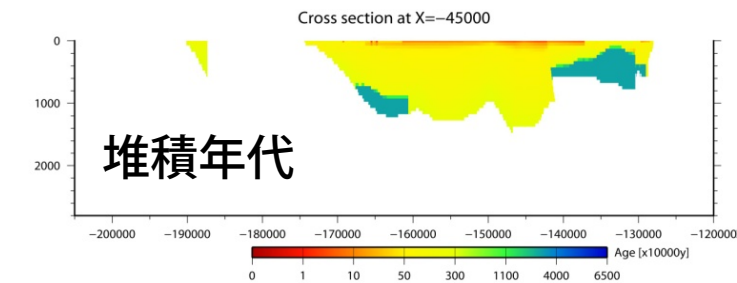
- ・微動アレイ探査
- ・地震記録を用いたレシーバ関数解析
⇒ 堆積層内地震波速度構造情報

④改良3次元速度構造モデルの鍵層標高

- 探査・観測地点について修正された鍵層標高データを追加し、Radial Basic Function法で補間して作成

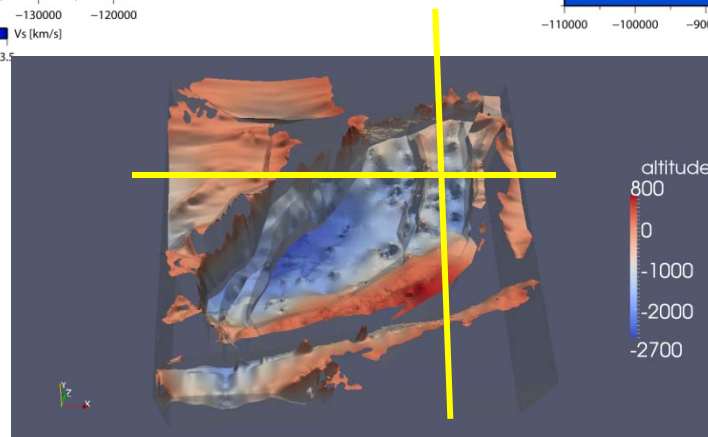


④改良3次元速度構造モデルの断面



南北断面図
(X=-45000)

東西断面図
(Y=-150000)

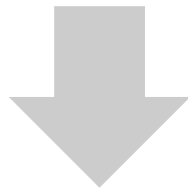


関口・他 (2013)

上町断層帯における重点的な調査観測(2010-2012)

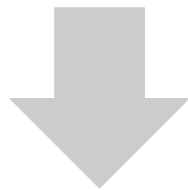
①

上町断層帯
に関する新たな知見



②

上町断層帯地震
シナリオ

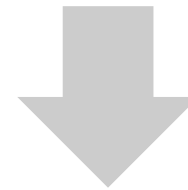


⑤

地震動予測

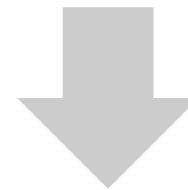
③

大阪平野南部の地下構造
に関する新たな知見



④

大阪堆積盆地地下構造
モデルの改良



⑤広帯域の地震動計算

4. 工学基盤以浅の地盤応答

- 浅層地盤構造モデル(吉田ほか, 2006)
- 等価線型法で計算
(DYNEQ; 吉田・末廣, 1996)

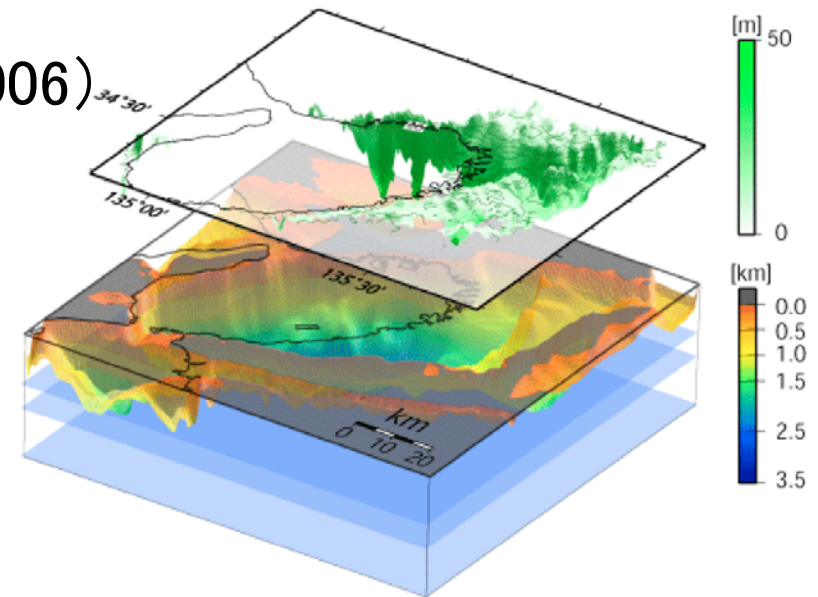
3. 足し合わせ

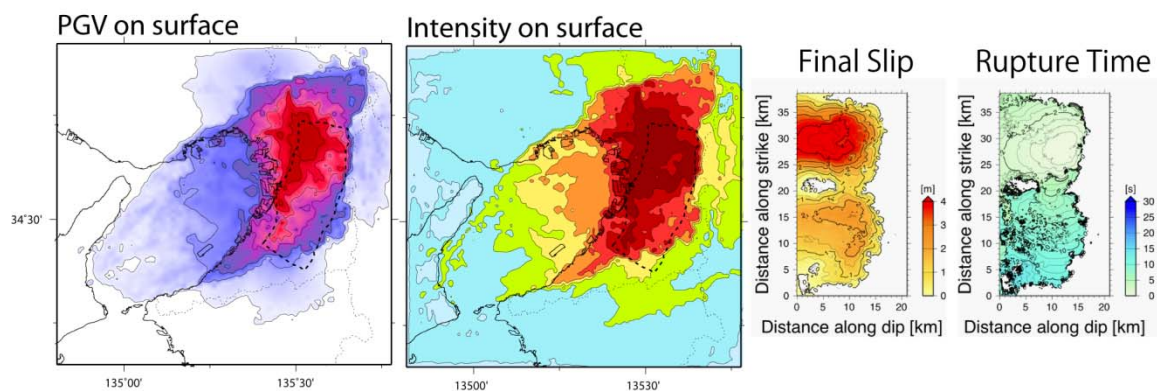
2. 工学基盤($V_{Smin} = 550$ m/s)までの 高周波数域(> 1 Hz)

- 統計的グリーン関数法で計算
(大西・堀家, 2000を変更)

1. 工学基盤($V_{Smin} = 550$ m/s)までの低周波数域(< 1 Hz)

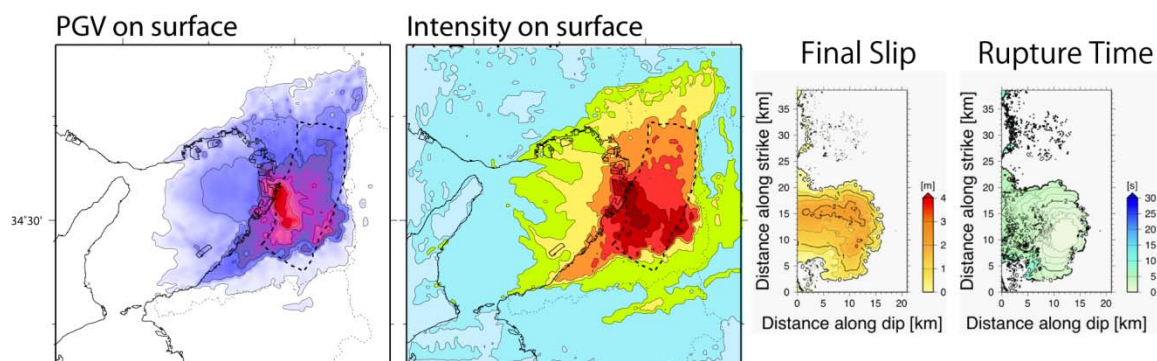
- 3次元大阪堆積盆地構造モデル(上町重点研究)
- 1次元地殻構造モデル(前田・渡辺, 1984)
- 差分法(Pitarka, 1999)で計算



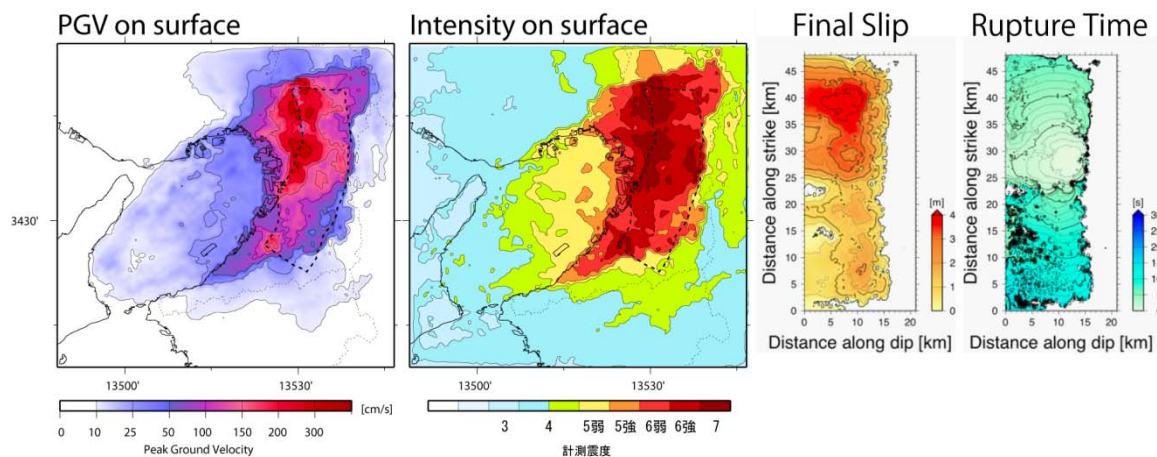


破壊開始点
は北部

佛念寺山断
層なし



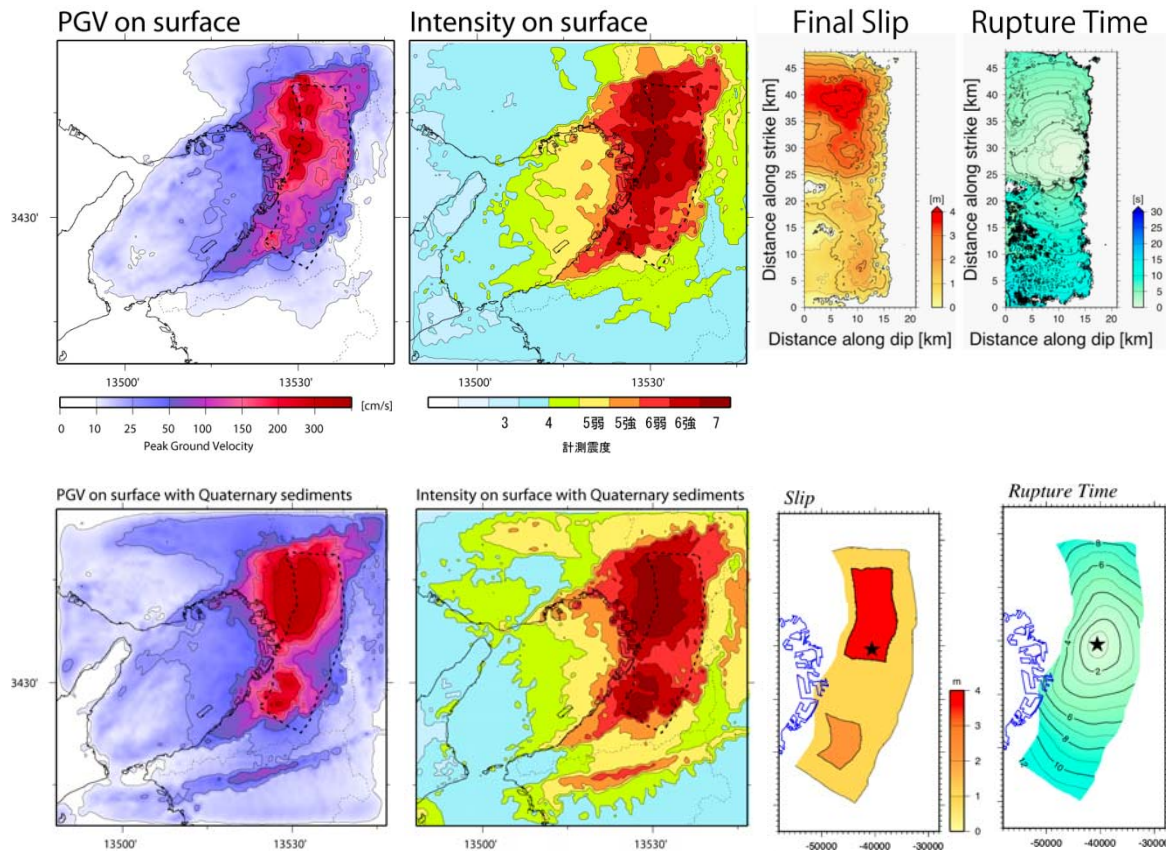
破壊開始点
は南部



破壊開始点
は北部

佛念寺山断
層あり

破壊開始点 佛念寺山断
は北部 層あり



動力的地震
シナリオ

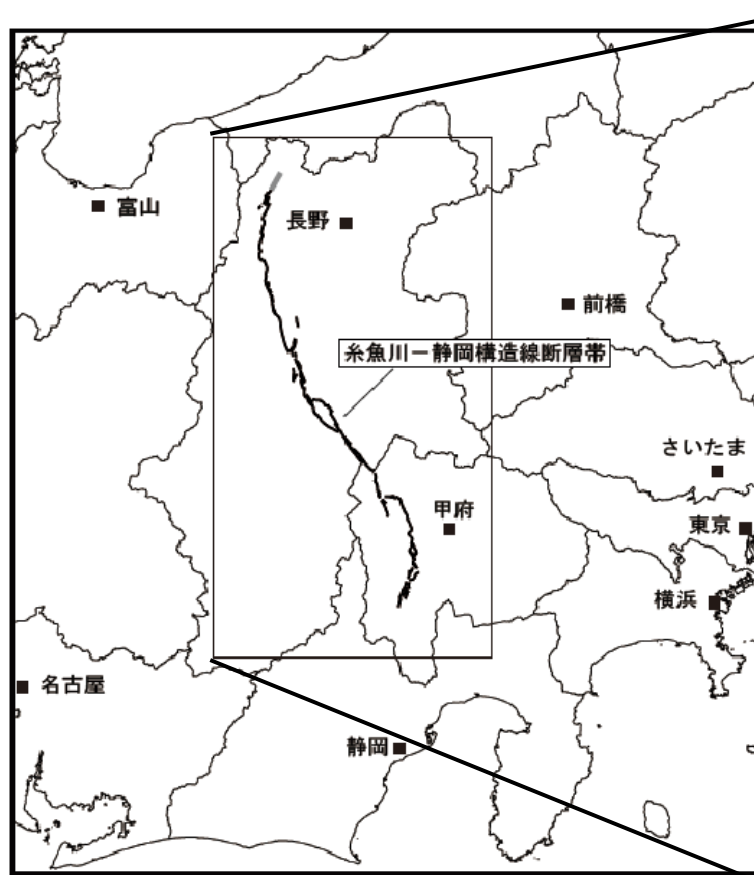
特性化震源モデル
によるシナリオ

近畿の大都市圏直下に潜む活断層と強震動予測

まとめ（１）

- ✓ 近畿では、堆積盆地（平野）の縁に活断層が潜んでいる。活断層によって、地形が形成されてきた。
- ✓ 活断層は繰り返しずれて歪みを解放してきた。地表・地中の構造を調べることによって、活断層と震源断層の関係が明らかになる。活断層調査は将来発生する地震の震源位置（震源断層）を知ることにつながる。
- ✓ 京都盆地の形成と花折断層帯が活動した場合の強震動予測、大阪平野においては上町断層帯における重点的な調査観測による成果と強震動予測について説明をした。
- ✓ M7クラスの地震が堆積平野・盆地直下で起きると、震度7クラスの揺れが予想される。

2014年11月22日長野県北部の地震(M6.7)



糸魚川-静岡構造線
の一部(神城断層)が
活動した
⇒断層近くでは建物
倒壊

(2) 糸魚川-静岡構造線の北部近辺の活断層のトレース (本震及び余震の震源を追加)

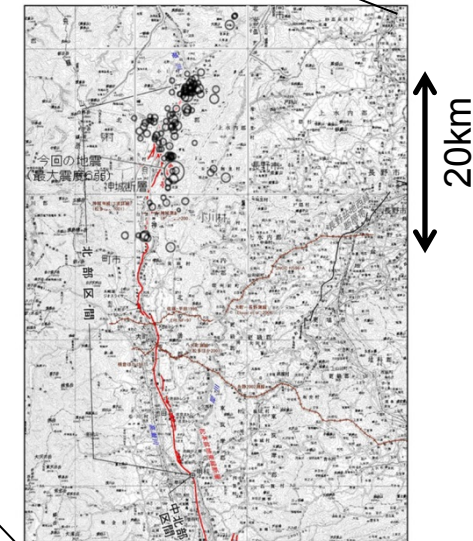


図6: 糸魚川-静岡構造線断層帯北部(小谷-明科区間)(審議中のトレース: 区間名は暫定)。神城断層北方のピンク線は文部科学省研究開発局(2010)により明らかにされた変動地形的特徴と重力異常帯の位置から延長を検討中の部分を示す。気象庁による平成20年11月23日11時55分の報道発表資料による本震及び余震の震央分布を追加した。



地震調査委員会

http://jishin.go.jp/main/chousa/14nov_nagano/index.htm

に加筆

堀之内地区での被害 <http://toyokeizai.net/articles/-/55075>

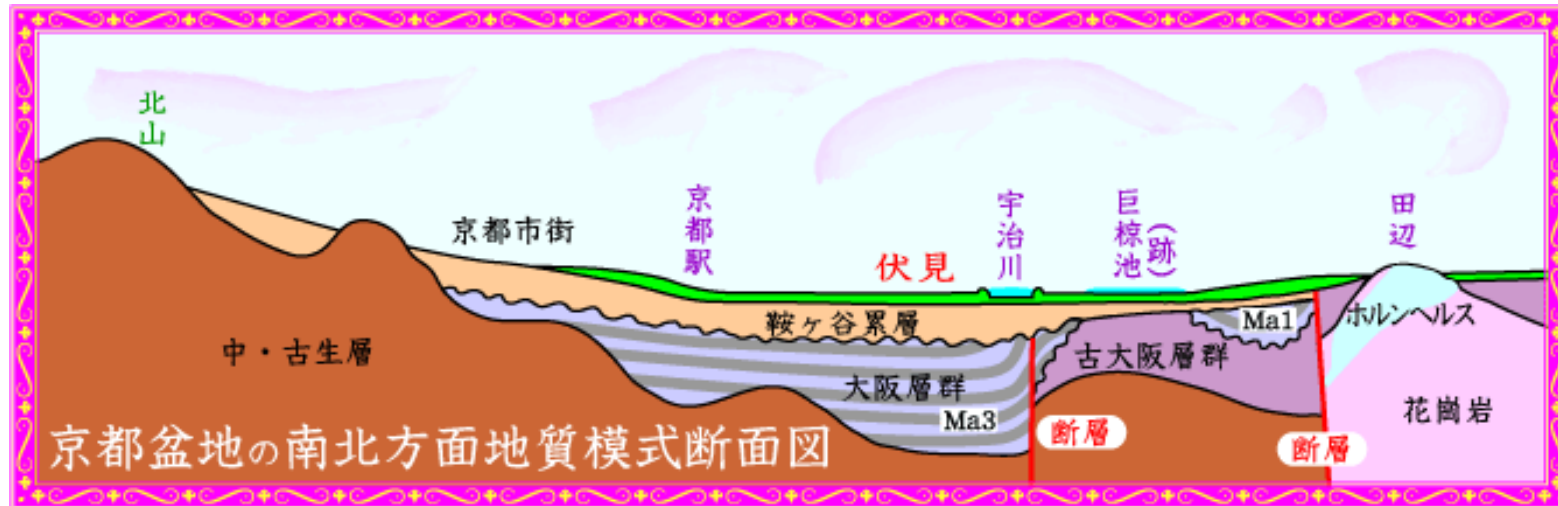
近畿の大都市圏直下に潜む活断層と強震動予測

まとめ（２）

✓（活断層評価やそれに基づく被害想定は断層帯最大規模の地震を想定する場合がほとんどであるが）活断層の一部が活動する場合もあり、その場合も断層直近では地表ずれや強い揺れに見舞われる可能性がある。

✓ 断層帯の「ひとまわり小さい地震」についての知見は十分ではない。小さい地震の発生回数はフルサイズのそれより多いかな？（地震発生頻度と地震規模の統計的な関係をひとつの断層帯に当てはめてよいとして）

✓ 活断層に囲まれている我々は常にそういうことが起きることを意識しておく必要がある。



<http://www.comox.co.jp/~ushisan/index.html>

活断層と地形，地下水

⇒京都伏見（・枚方・神戸灘）は高品質の地下水（湧き水）が入手できる。