



令和 6 年度 技術講演会

日本列島の活断層とテクトニクスを考える



能登
未来
地図

つながる命、ひろがる産業、
我がふるさと能登

岡山大学 松多信尚



今日の話

1. 活断層とはなにか？ 基礎と意義 (おさらい)

1. 定義について
2. 原因について
3. 起震断層との関係
4. 長期評価・地域調査について
5. 断層の位置と強振動について
6. 活断層とは何か、私信を入れて

2. 活断層の見つけ方

1. アナグリフ観察
 1. スケールでの違い
 2. 年代での違い

3. 最近の問題点と進化

1. DEMによる新しい展開
 1. DEMの重要性
 2. 海域やへき地への応用
2. 一回り小さな地震と意義
 1. 神城断層地震
 2. 能登地震
 3. 台湾台東縦谷の地震
3. そもそも活断層とはなんなのかへの疑問

4. まとめ

活断層の定義

活断層の定義と理由

活断層は、そもそも第四紀に**繰り返し**活動した断層とされていた。
実用性を考慮して現在はだいたい30万年程度とされる。

- ⇒ 氷期一問氷期サイクルで地形の痕跡は消えていく。
- ⇒ 日本周辺のプレートテクトニクスに変化がない。

地すべりなどによる岩盤の食い違いは含めない

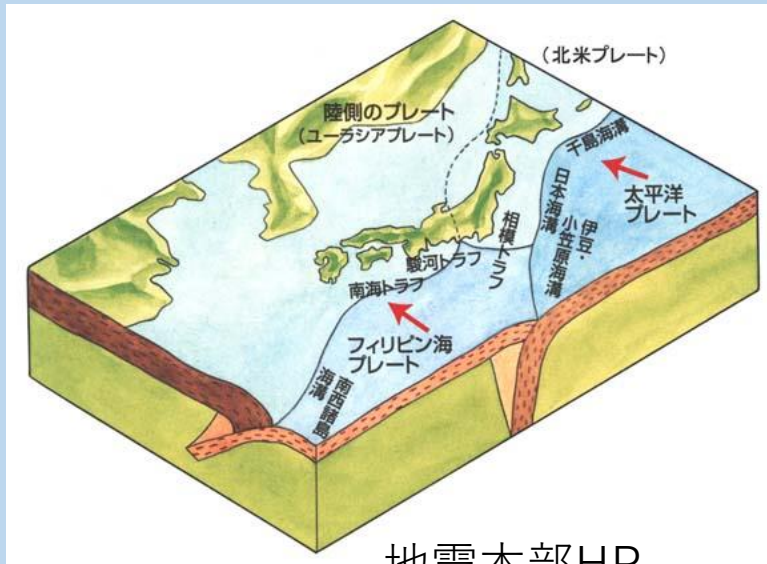
内陸の活断層

自然地理学（地形学）が活断層を見つけてきた。

過去に起きた地震の跡を探している。
何度も地震を起こしている断層はまた地震を起こす。

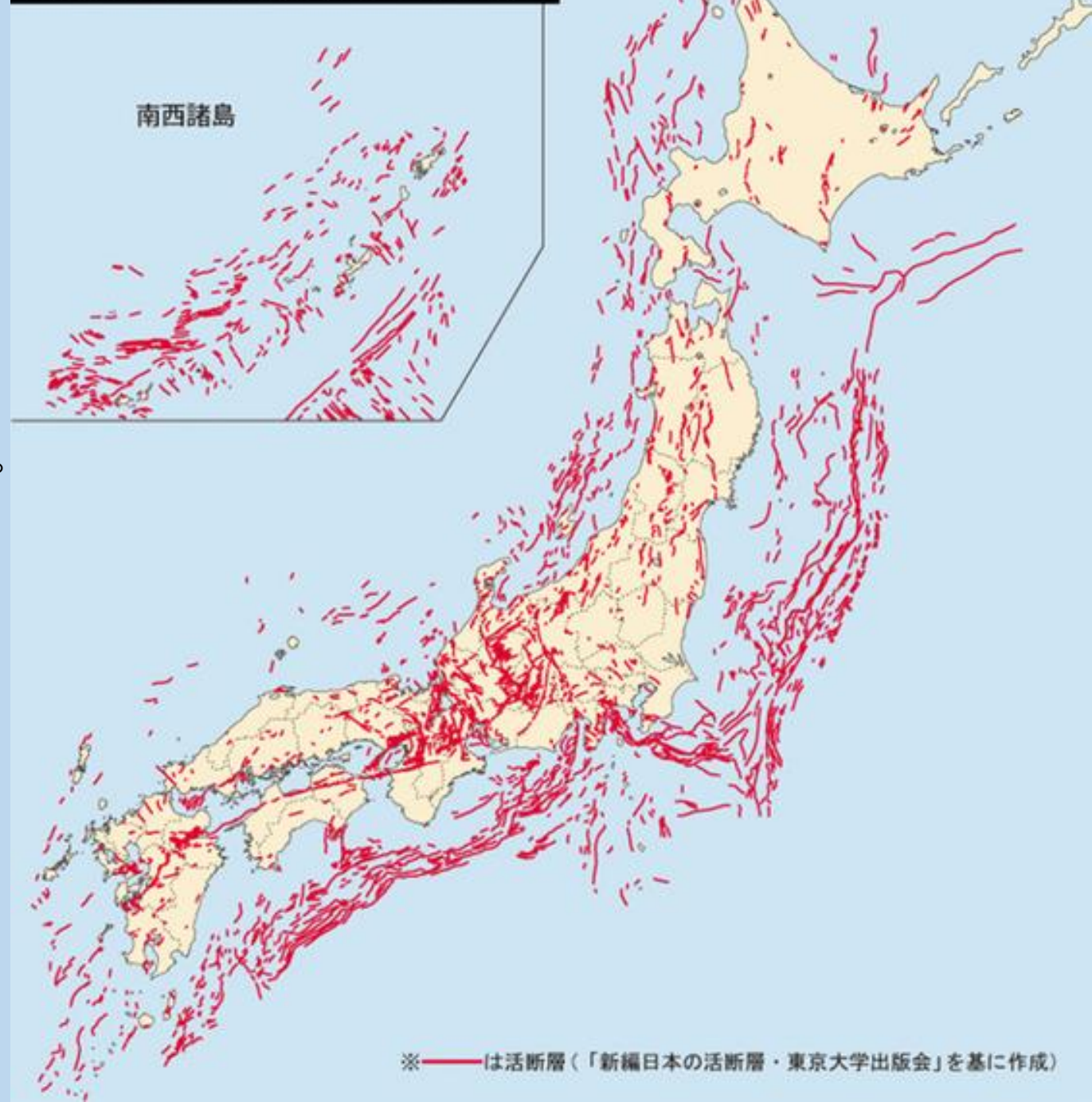
痕跡が残っていない場所は活断層は見つかりにくい。
残っていない理由は、削られたり、埋められたりする。

削られる→山地とか
埋められる→沖積平野とか火山とか



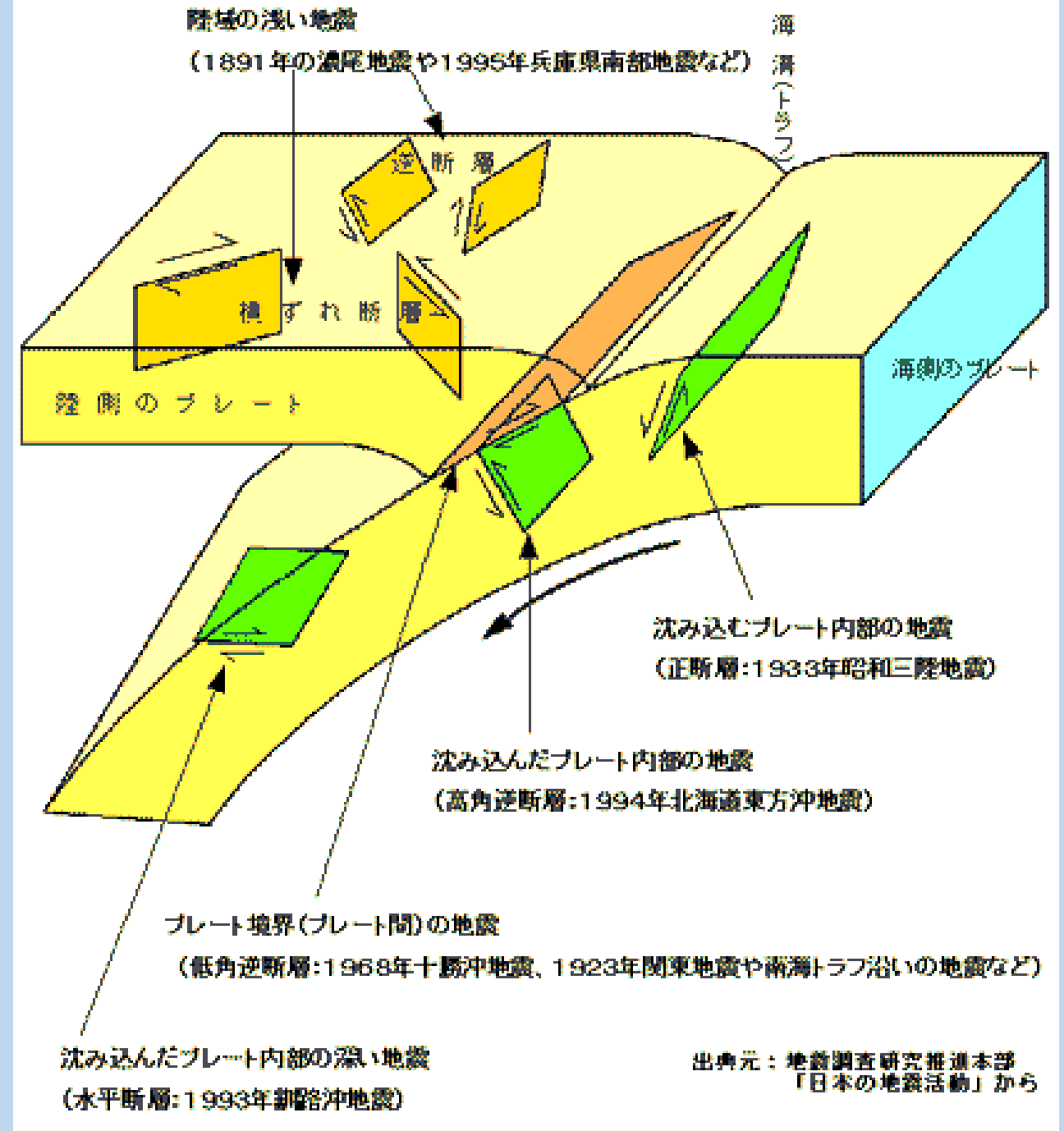
地震本部HP

日本列島および周辺海域の活断層



日本列島とその周辺で発生する地震のタイプ

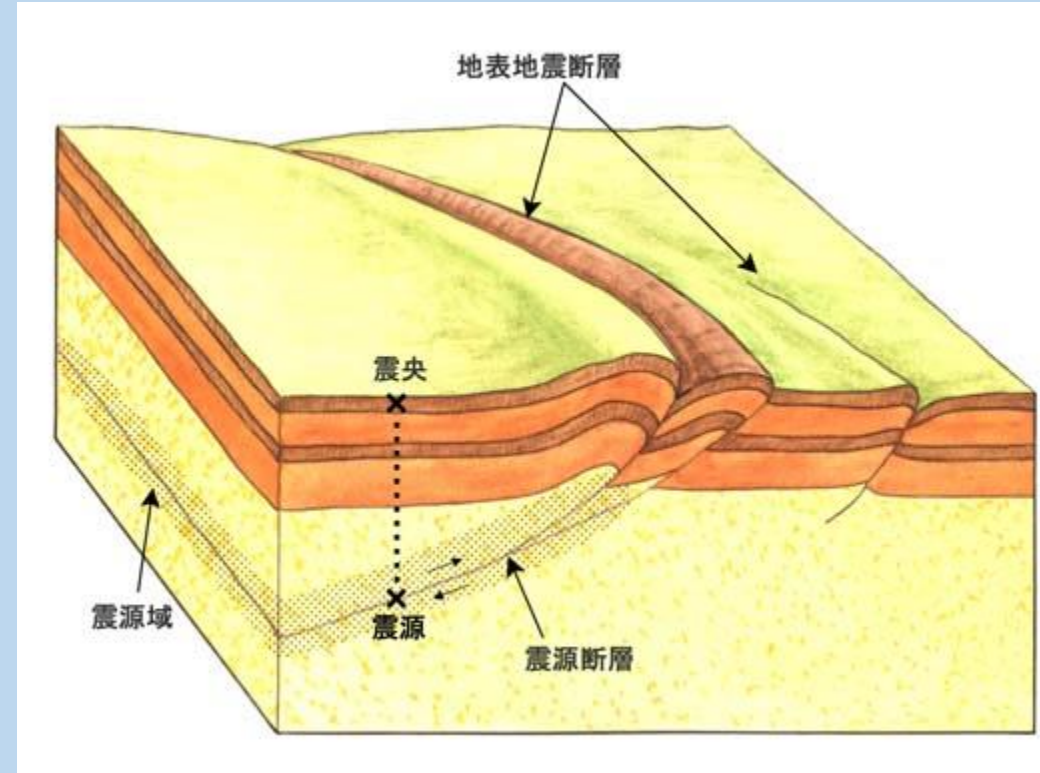
- 内陸活断層は陸側のプレートの内部変形



活断層は地表地震断層が残存しているもの

- 断層：岩盤の割れ跡、地層の境界
- 地表地震断層：大地震で出現した断層
- 地震断層：地震を起こした食違い

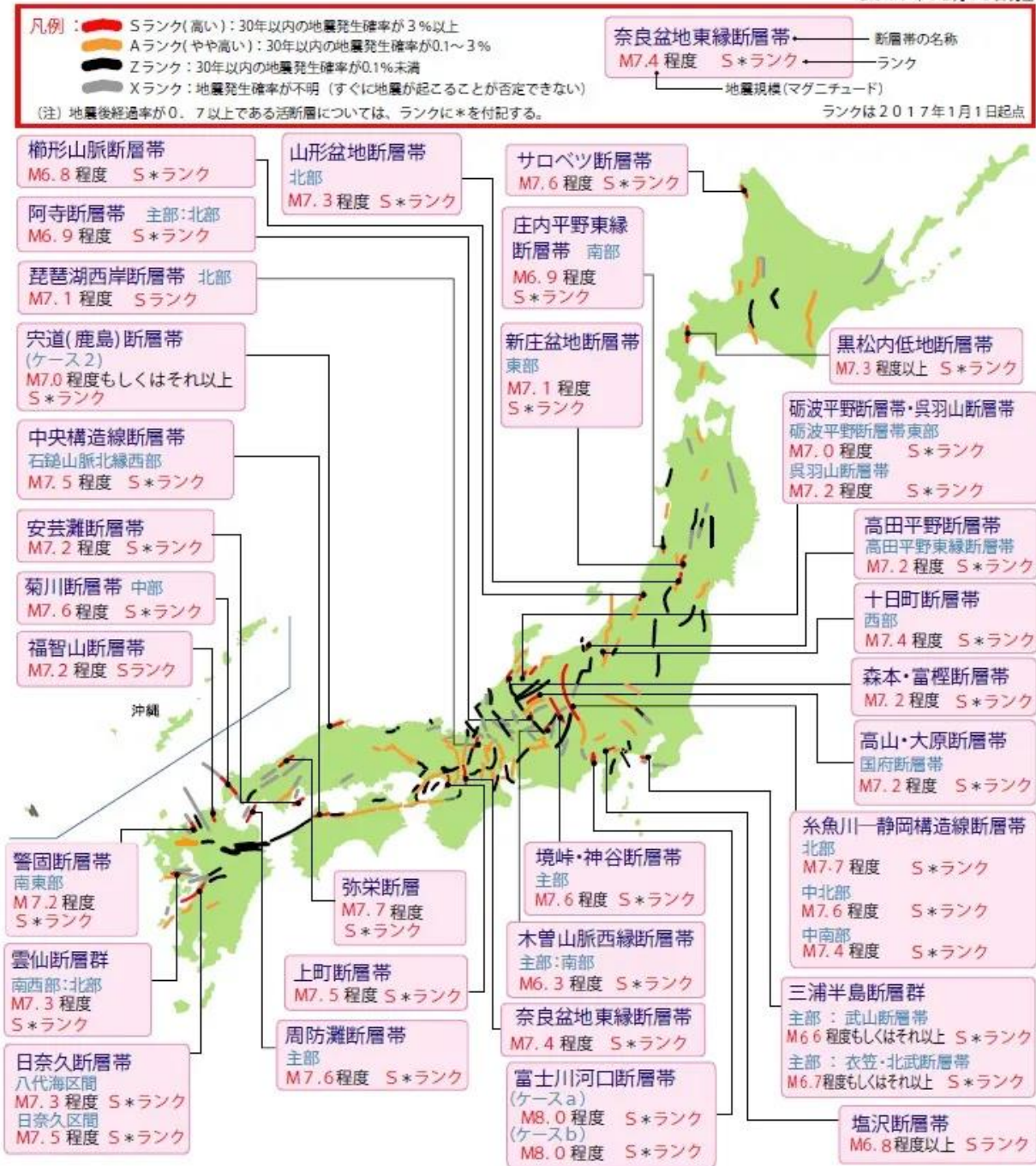
地表地震断層との違い



震源，震央，震源域，震源断層，地表地震断層の模式図

長期評価手法

- 地震の規模
 - 断層の長さ
 - 変位量
- 発生時期
 - 最新活動時期
 - 活動間隔
 - 変位速度・変位量
- 地震のタイプ
 - 断層のすべりベクトル
 - 断層の傾斜



活断層の地域評価の位置づけ



地震について
知りたいこと

南海トラフの地震の切迫性・影響は？

自分の町・地域に活断層があるの？

どの箇所から優先的に耐震化を進めるか？
最適な資源の分配は？

〇〇地震ではどの範囲にまで被害が及ぶ？
応急対策・復旧戦略は？

行政

あと30年間、この家に住んでも大丈夫？

〇〇地震が来ても、十分耐えられるようにしたい。

個人

情報提供

調査・観測

地震本部の成果

内陸の活断層で発生する地震

海溝型地震

主要活断層帯の長期評価

断層長 20km以上、規模 $\geq M7.0$
位置・規模・動き方・発生確率

短い活断層の長期評価

断層長 20km未満、規模 $\geq M6.8$
位置・規模・動き方・発生確率
陸域から延長する沿岸海域の活断層や、地下に伏在する部分も含み検討

海溝型地震の長期評価

位置・規模・動き方・発生確率



活断層の地域評価

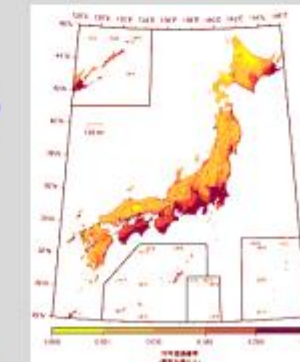
- 被害を起こす可能性のある活断層を細かく検討
- 地域ごとの発生確率値

どんな地震が将来想定されるか？

地震動予測地図

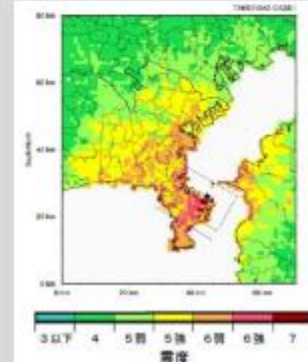
確率論的
地震動予測地図

今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率



震源断層を特定した
地震動予測地図

ある断層が動いたときの周囲の震度分布

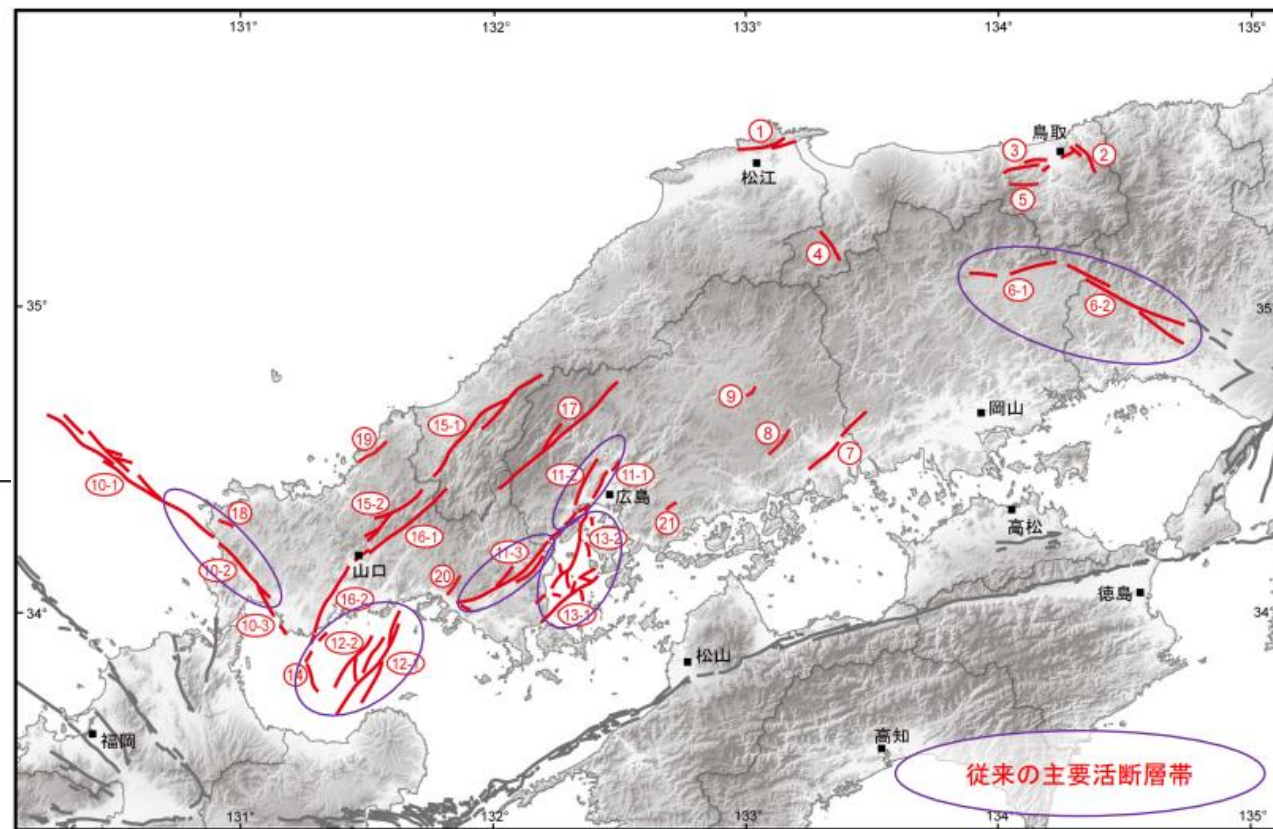


長期評価を基に作成

想定される地震によってどんな揺れに見舞われるか？

中国地域の評価

① 中国地域内の評価対象活断層



注意: 評価の対象を主要活断層帯(長さ20km以上)以外の活断層にも広げているが、全ての活断層を評価の対象にできたわけではない。

活動度が低く痕跡が残りにくい、伏在断層
海域内に分布、火山活動との関係

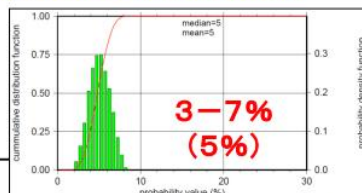
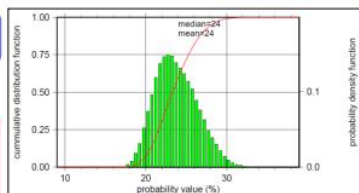
④ 中国地域の活断層で発生する地震の長期評価

手法1) 区域内の活断層の発生確率の集合から地域の発生確率を求める

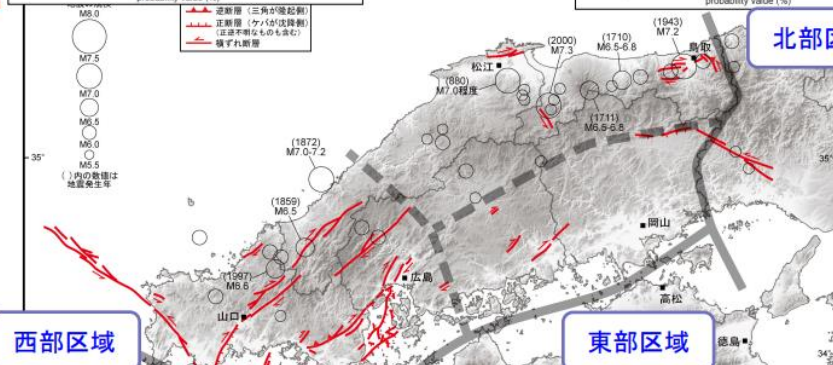
全域

95%信頼区間
(中央値)

19-30%
(24%)

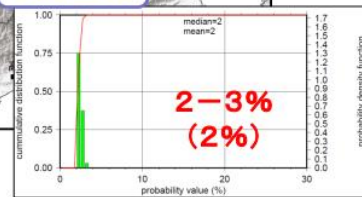
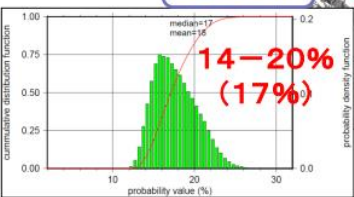


北部区域



西部区域

東部区域



中国地域の活断層の長期評価 (第一版

https://www.jishin.go.jp/main/chousa/16jul_chi_chugoku/chugoku_gaiyo.pdf) 概要 (jishin.go.jp)

「中国地域の活断層の長期評価」(第一版)のポイント

(概要 1)

地震調査研究推進本部 事務局

1. 活断層の長期評価

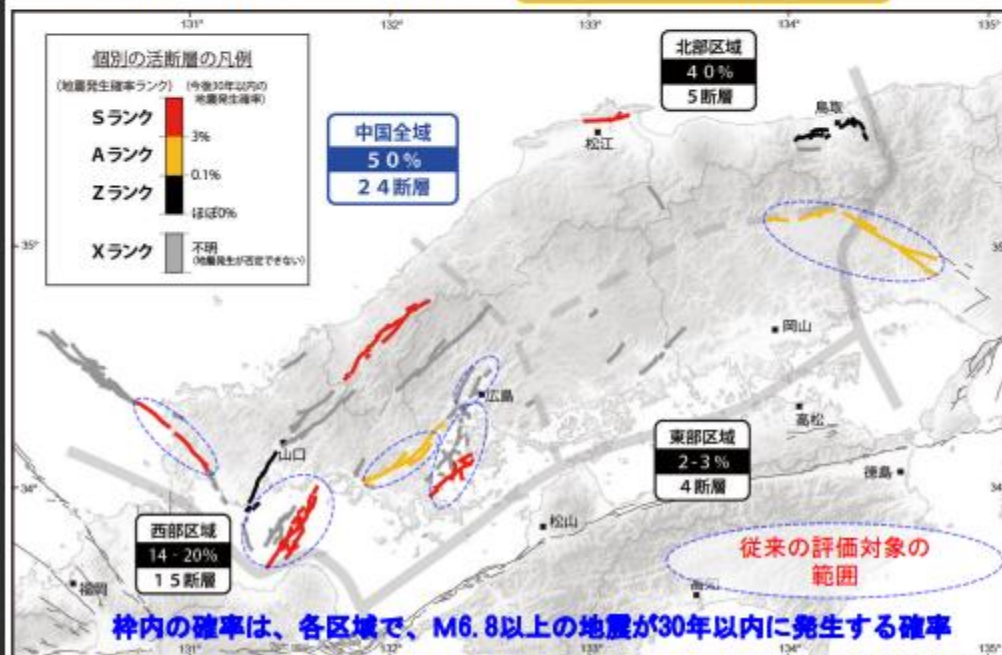
地震調査研究推進本部の下に設置されている地震調査委員会は、防災対策の基礎となる情報を提供するため、地震の規模、発生間隔等の長期予測(長期評価)を実施しています。

従来、陸域の主要な活断層帯(M7以上の地震を想定)を対象として個別に評価を行ってきましたが、M7未満の地震でも被害が生じること、地域によって活断層の特性に共通性があること等から、評価対象を広げ、地域単位で活断層を評価する「地域評価」を行うこととしています。

九州地域(平成25年)、関東地域(平成27年)の地域評価に引き続き、このたび、中国地域を対象として地域評価を実施しました。

3. 評価対象とした活断層

24活断層



2. これまでの活断層の評価と地域評価の主な違い

		従来の活断層評価	新たな地域評価
対象活断層	規模	M7.0以上	M6.8以上
	場所	陸域のみ	陸域・沿岸海域
	範囲	地表に現れている部分のみ	地下の延長部も推定して評価
評価方法		個別に活断層を評価	・個別に活断層を評価 ・地域単位で活断層を評価

個々の活断層の評価だけではなく、地域内で発生する活断層による地震の傾向が見えるようにする。

4. 活断層で発生する地震の規模・確率

区域	M6.8以上の地震が30年以内に発生する確率※		活断層	区域内の最大の地震の規模(マグニチュード)
	各区域	中国全域		
北部	40%	50%	鹿野-吉岡断層 ほか4断層	M7.2程度
東部	2-3%		山崎断層帯 ほか3断層	M7.7程度
西部	14-20%		菊川断層帯 ほか14断層	M7.8-8.2程度 もしくはそれ以上

※ これらの確率は、区域内の最大規模の地震が発生する確率を表すものではない

活断層と強振動

地震による死亡の原因

- 火災と津波で多くの人が亡くなる。
- 震動と分類されていても、活断層が出現した地震は多くの人が亡くなる。

→ 「地震動」で、ひとくくりでよいのか？ ※

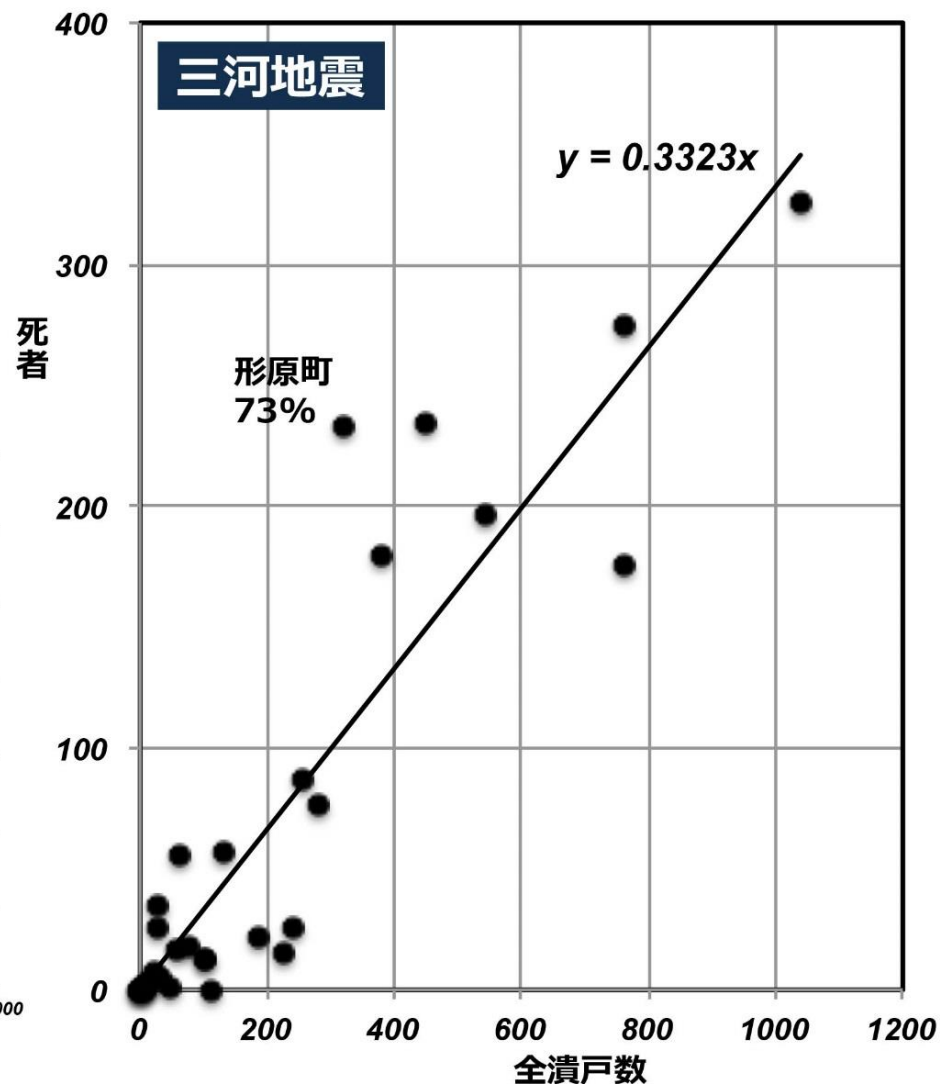
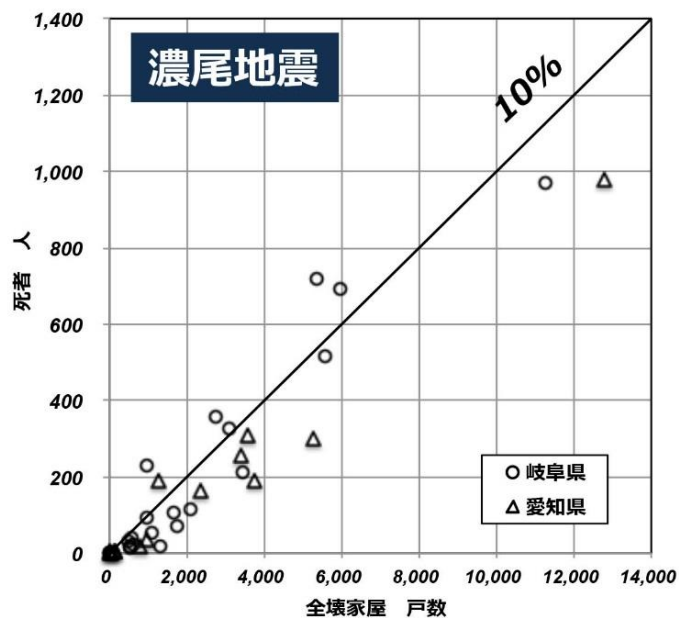
表2 明治以後の被害地震20（死者・行方不明者数順）
（山中浩明ほか〔平成18年〕に加筆） ＊家屋喪失数とは
全潰・全焼・流失・埋没などで完全に失われた家屋数。
関東地震の場合、表1における全潰の非焼失分と焼失、
流失埋没の和

No.	西暦年月日	地震名	M	死者数	家屋喪失数*	主な被害原因	家屋/死者
1	1923.9.1	関東地震	7.9	105,385	293,387	火災	2.8
2	1896.6.15	三陸地震	8.5	21,959	8,891	津波	0.4
3	1891.10.28	濃尾地震	8.0	7,273	93,421	震動	12.8
4	1995.1.17	兵庫県南部地震	7.3	5,502	100,282	震動	18.2
5	1948.6.28	福井地震	7.1	3,728	39,342	震動	10.6
6	1933.3.3	三陸地震	8.1	3,008	4,035	津波	1.3
7	1927.3.7	北丹後地震	7.3	2,925	11,608	震動	4.0
8	1945.1.13	三河地震	6.8	2,306	7,221	震動	3.1
9	1946.12.21	南海地震	8.0	1,432	15,640	津波	10.9
10	1944.12.7	東南海地震	7.9	1,223	20,476	津波	16.7
11	1943.9.10	鳥取地震	7.2	1,083	7,736	震動	7.1
12	1894.10.22	庄内地震	7.0	726	6,006	震動	8.3
13	1872.3.14	浜田地震	7.1	552	4,762	震動	8.6
14	1925.5.23	北但馬地震	6.8	428	3,475	震動	8.1
15	1930.11.26	北伊豆地震	7.3	272	2,165	震動	8.0
16	1993.7.12	北海道南西沖地震	7.8	230	601	津波	2.6
17	1896.8.31	陸羽地震	7.2	209	5,792	震動	27.7
18	1960.5.23	チリ津波	—	139	2,830	津波	20.4
19	1983.5.26	日本海中部地震	7.7	104	1,584	津波	15.2
20	1914.3.15	秋田仙北地震	7.1	94	640	震動	6.8

形原町の死者 全潰戸数の73%に

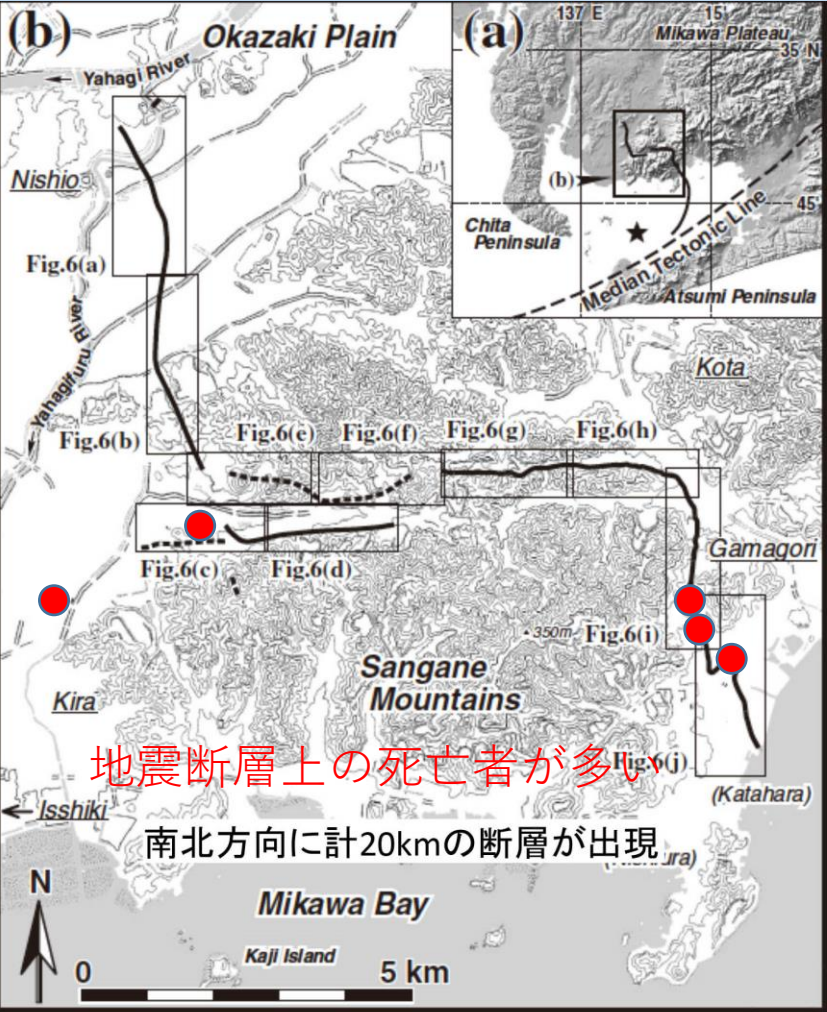
全潰戸数に対する死者数は、三河地震が33% と高い中なかで、形原町は73%と格段に高い

- 1) 早朝、断層直上で全く避難の時間がなかった
- 2) 一月前の東南海地震の影響



市町村スケールで形原町の値は突出する。

字レベルでの死亡者/全壊率



杉戸・岡田(2004)

地名	全壊数	死者数	全壊/死者数
明治村	1067	347	3.1
和泉	330	88	3.8
榎前	43	15	2.9
西端	145	26	5.6
東端	77	24	3.2
根崎	61	27	2.3
城ヶ入	182	66	2.8
南中根	41	22	1.9
米津	152	53	2.9
本郷	36	26	1.4
福地村			
市子	110	28	3.9
行用	34	15	2.3
下道目記	16	1	16.0
菱池	18	11	1.6
鎌谷	28	8	3.5
形原村			
前野	5	10	0.5
金平	19	35	0.5
一色	6	7	0.9
市場	38	6	6.3

松多・木股 2016

地名	全壊数	死者数	全壊/死者数
横須賀村	760	261	2.9
上横須賀	329	118	2.8
下横須賀	40	18	2.2
中野	5	2	2.5
小牧	15	4	3.8
木田	33	28	1.2
寺島	22	13	1.7
岡山	1	0	
瀬戸	0	1	0.0
駁馬	2	0	
宮迫	3	1	3.0
津平	23	24	1.0
友国	5	0	
酒井	1	2	0.5
欒庭	10	1	10.0
萩原	42	17	2.5
富田	31	19	1.6
八幡川田	10	8	1.3
刈谷町	42	1	42.0
依佐美村	234	11	21.3
野田	9	0	
半城土	4	0	
高須	7	1	7.0
小垣江	186	2	93.0
高棚	28	8	3.5
井杭山	0	0	

「ずれ」による被害の特徴

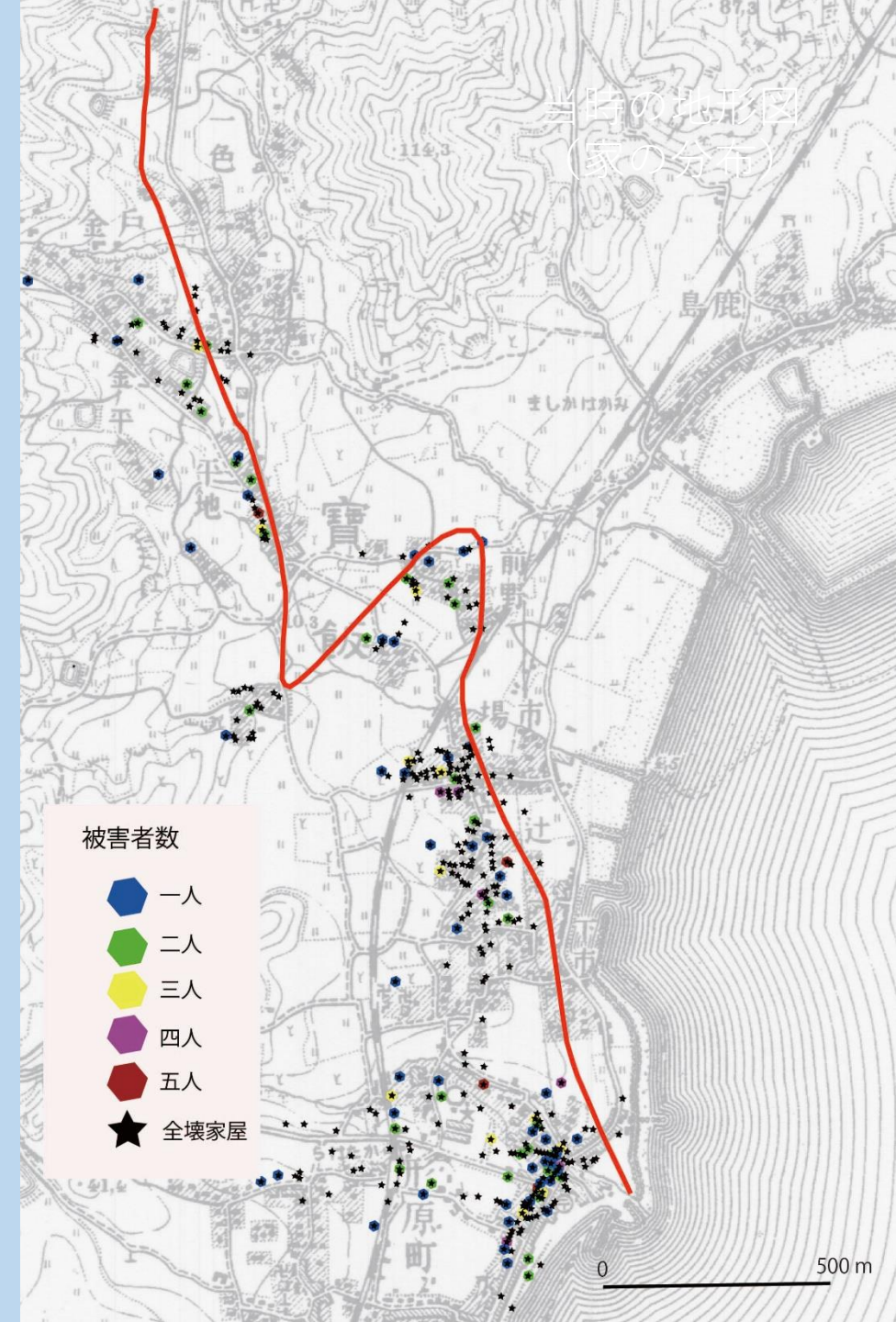
地震断層に近く上盤全壊家屋が多い。

段丘崖に近くても下盤で被害が小さい。

死亡者は断層の近傍で多い。
一瞬で倒壊し、逃げられなかった。

数は少ないが、段丘の上より
沖積平野の方が被害が小さい。
吸収されて、変位が小さい？

松多・木股 2016

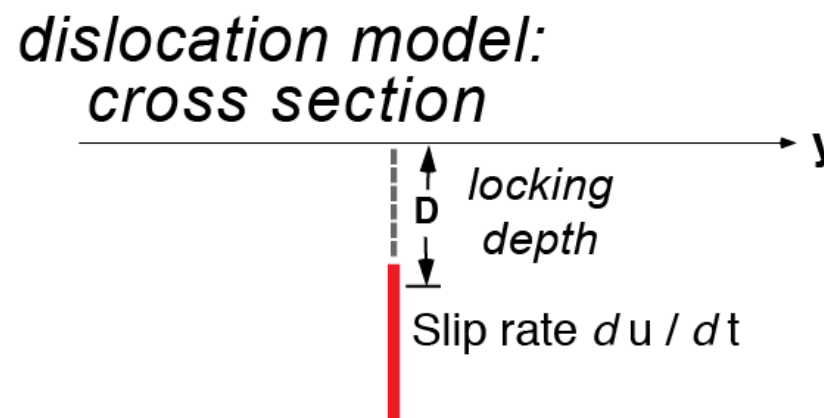
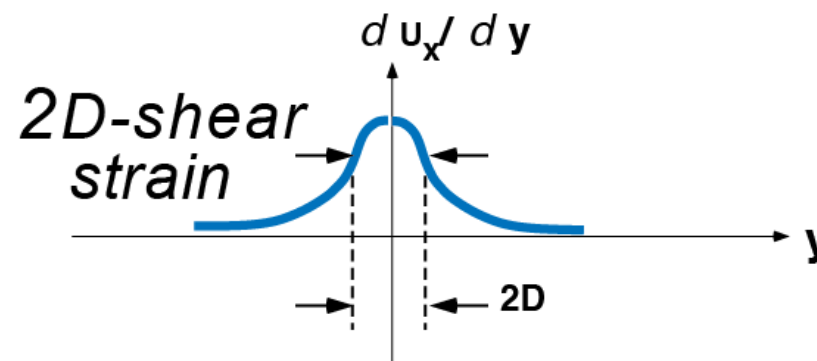
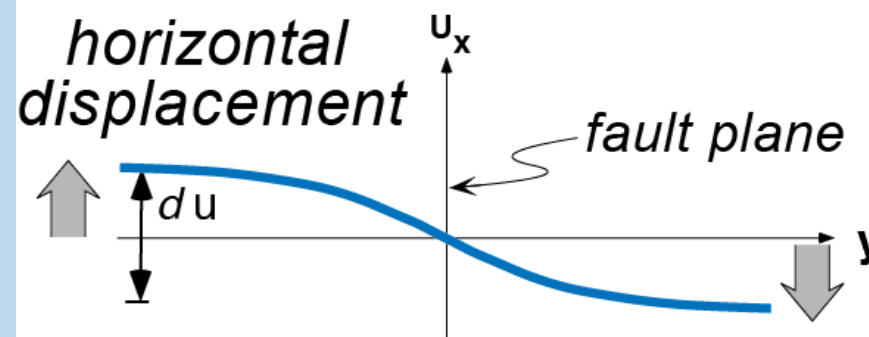


活断層の意味

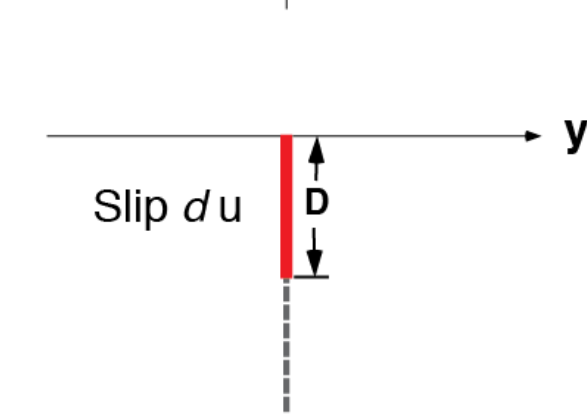
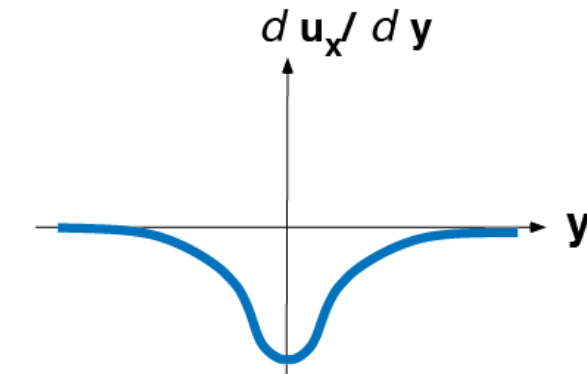
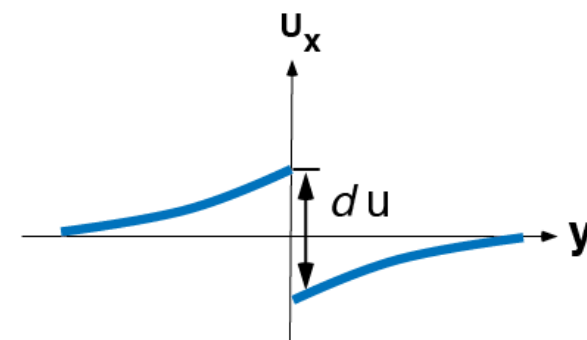
活断層と歪の関係

- 内陸活断層には末端がある
- 地下がすべっている

Interseismic Strain Accumulation



Coseismic Strain Release



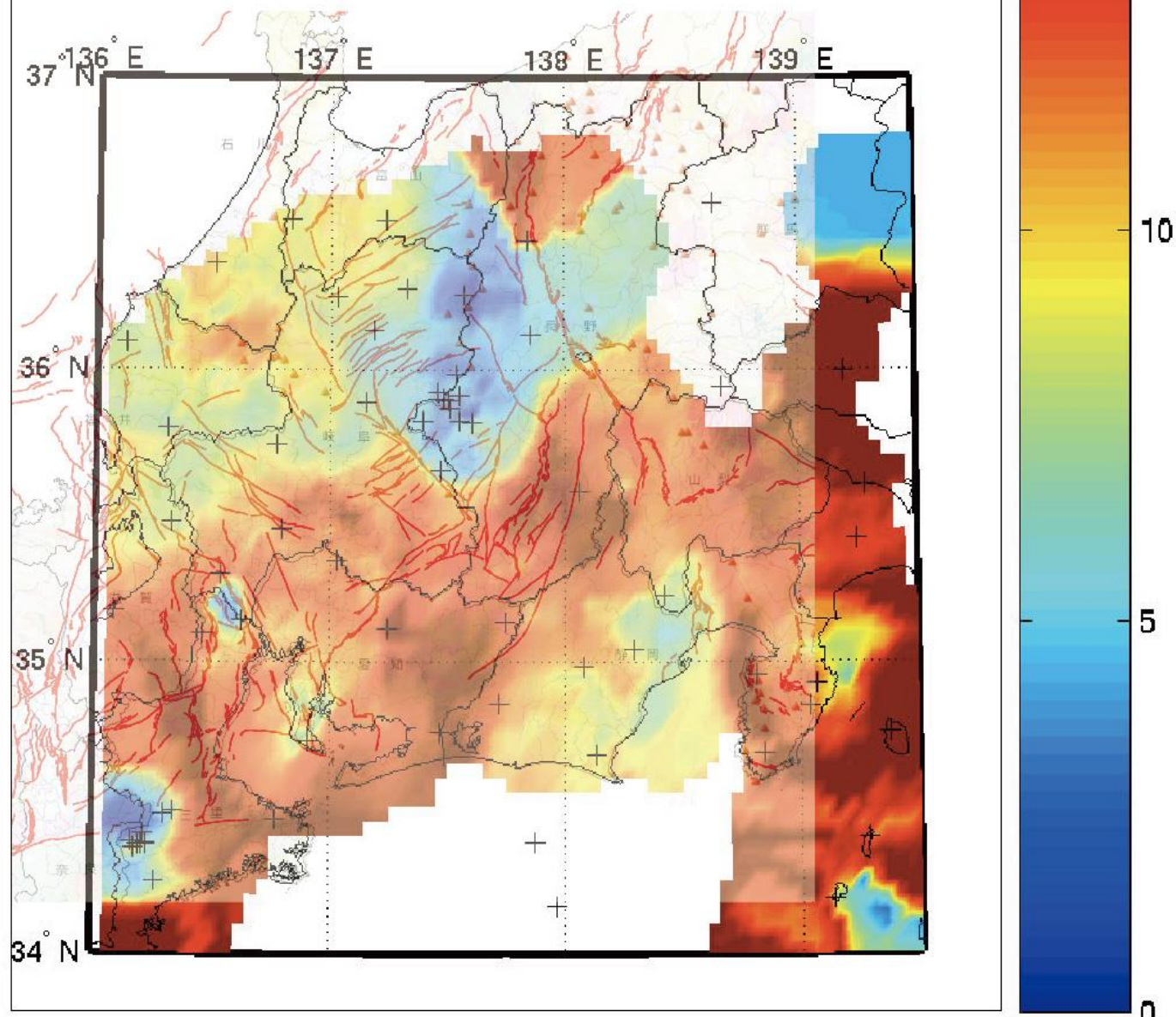
活断層を島弧地殻の変形の枠内で考える。

プレートによる 短縮運動	=	弾性歪	+	永久歪
		プレート間巨大地震 → により歪解放 <u>(弾性変形)</u>		巨大地震を発生させない → 日々の緩慢な変形 <u>(非弾性変形)</u>
		活断層による内陸地 → 震により歪解放 <u>(非弾性変形)</u>		→ クリープ運動による変 形 (狭域非弾性変形) → 断層末端で全体が隆起す るバルク状変形 (広域非弾性変形)

青字は活断層の変位として検出可能
赤字は長波長の変形

- 長期変形と短期変形の差について考えていく。
- 稠密度変位量分布が測量できることを活かして、活断層からどんな地震が起きたのかを明らかにすることが必要。
- そのためには、一回の地震でずれる範囲の末端部で起きている特徴を見つけることで、活断層で発生する地震の分離を試みる必要がある。

Thickness
内陸地震発生層の厚さ（上限と下限の差を示したもの）
1998 年 2 月～2002 年 9 月



地震発生層の厚さと活断層の分布

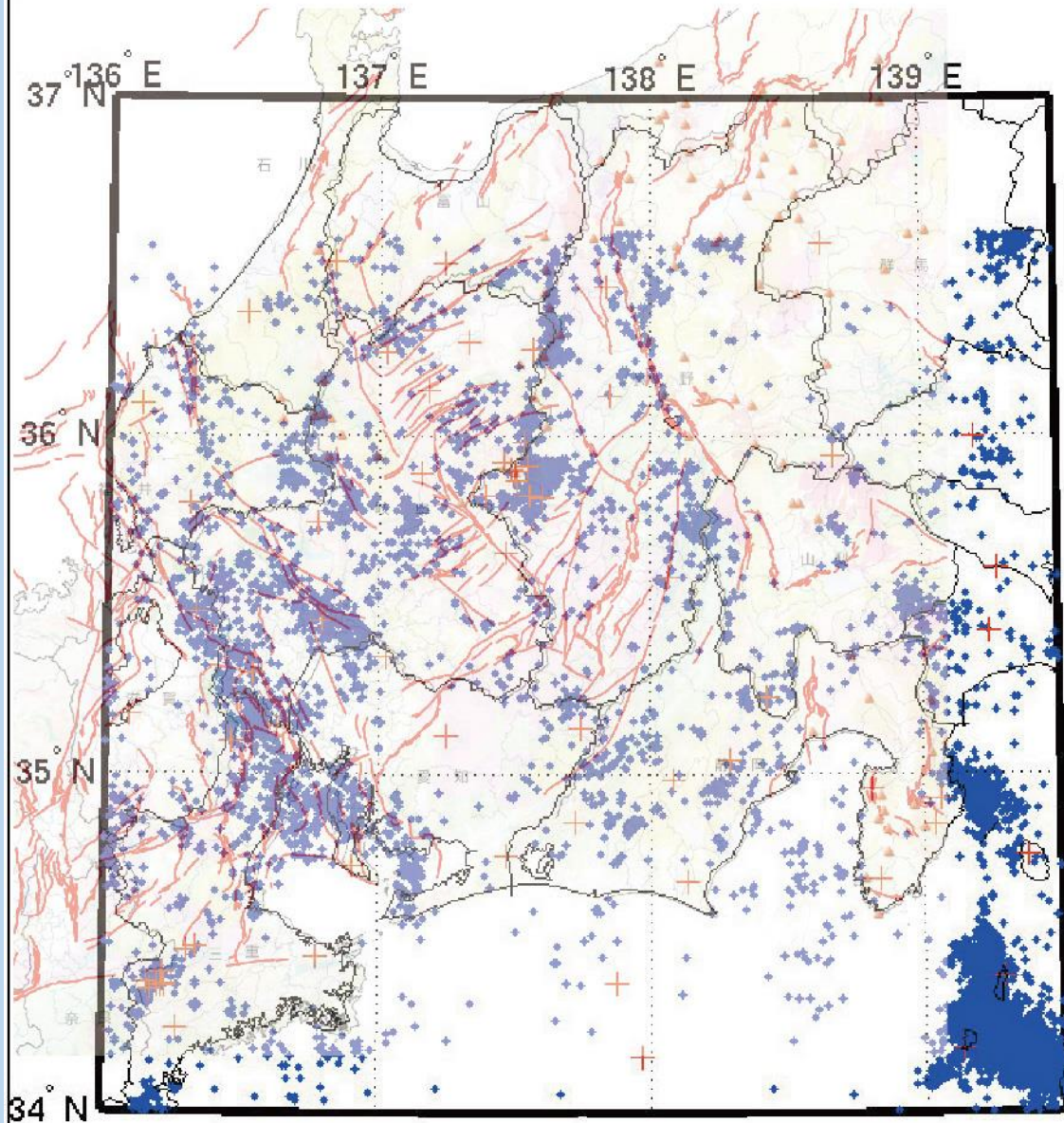
- 活断層は地震発生層が急変する場所・薄い場所に分布しがち。
- 活断層の末端部は火山などで地震発生層が極端に薄いことが多い。
- 地震発生層の厚い場所には活断層があまり分布しない。

山岡 2003

（名古屋大学地震カタログによる地殻内地震の上限下限）

地震の震源と活断層の分布

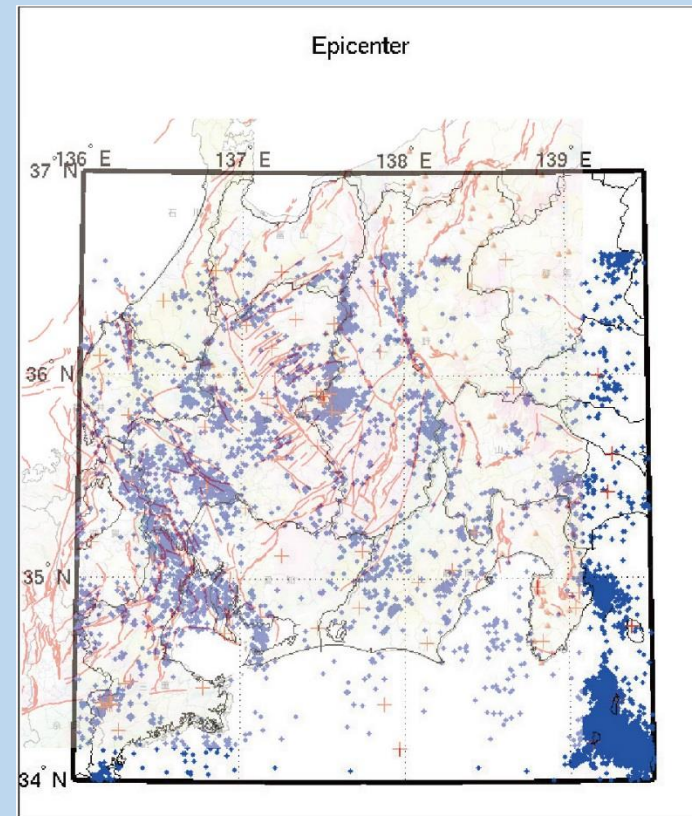
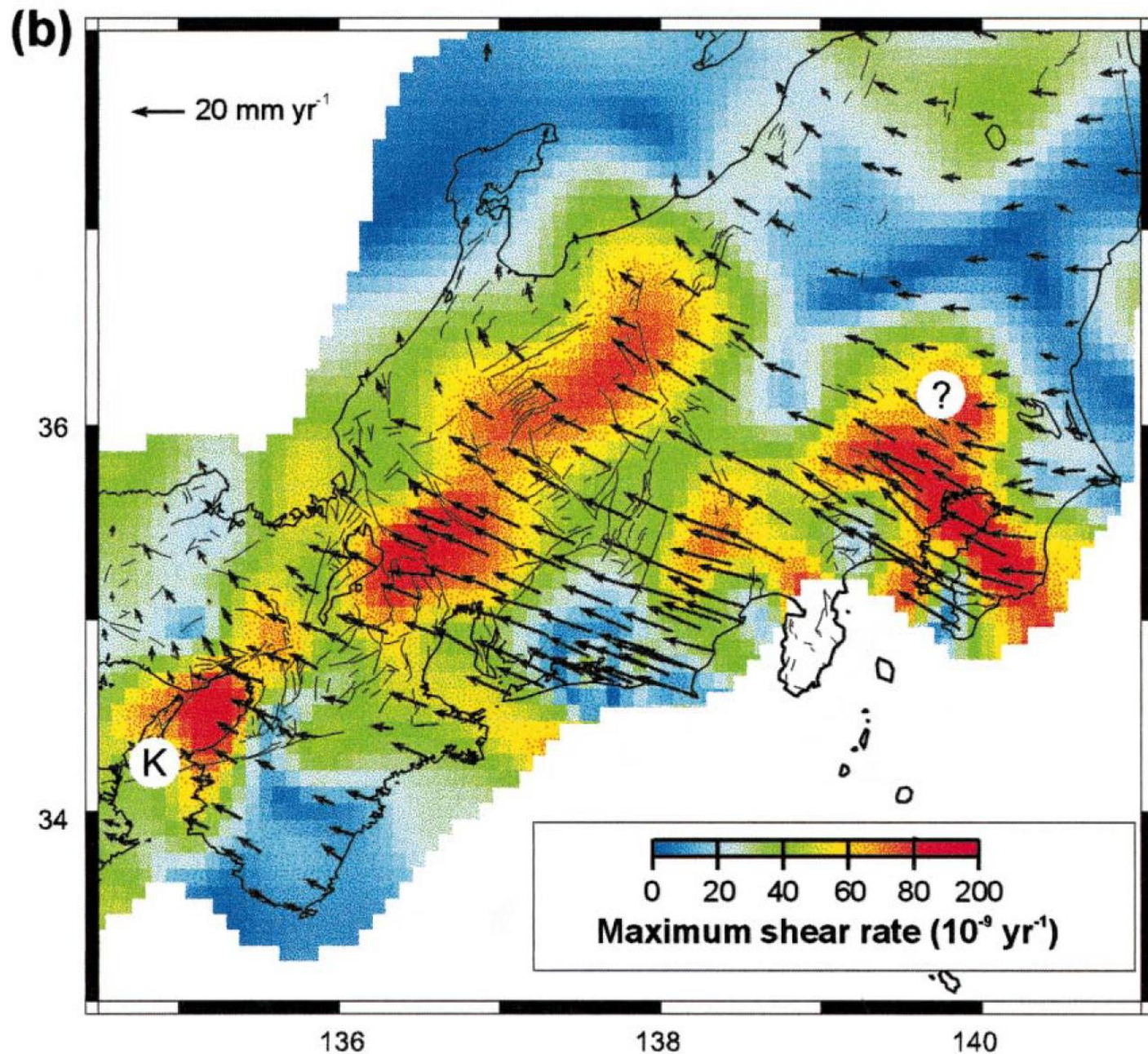
Epicenter



- 地震活動の活発な活断層と活発でない活断層がある。
- 余震活動だけでは説明できない。

山岡 2003

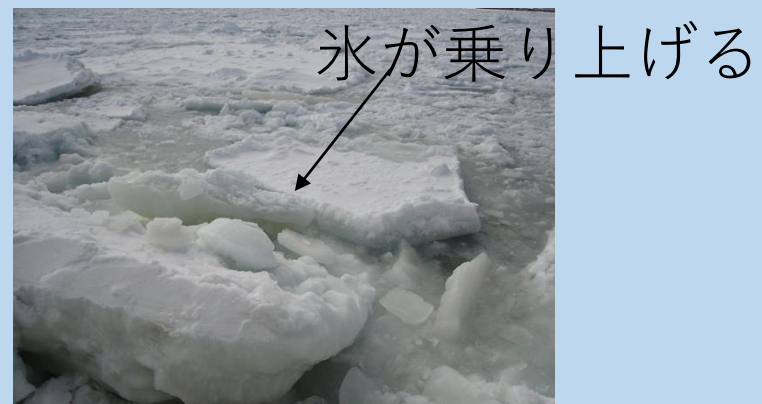
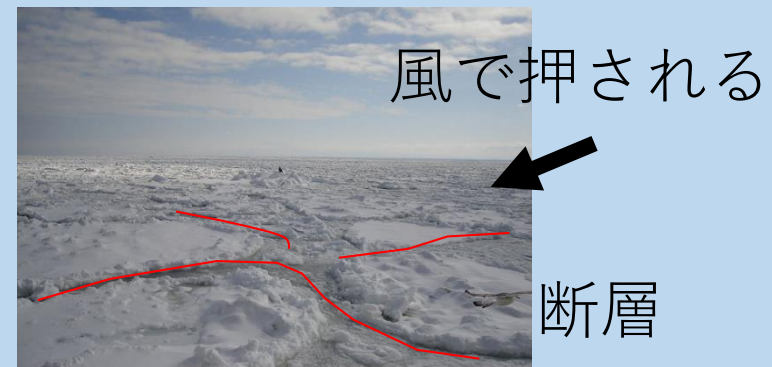
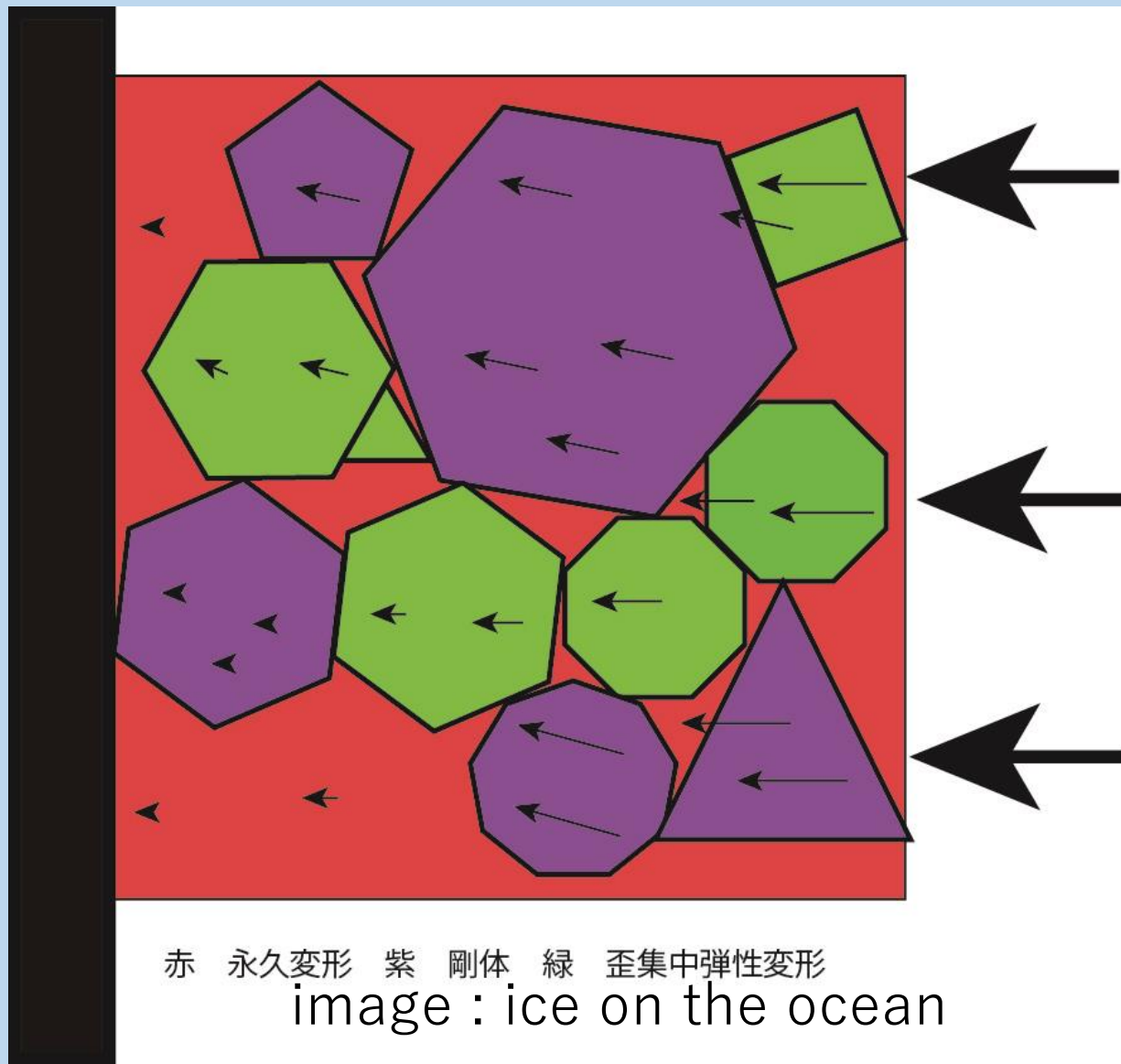
(名古屋大学地震カタログによる地殻内地震の上限下限)



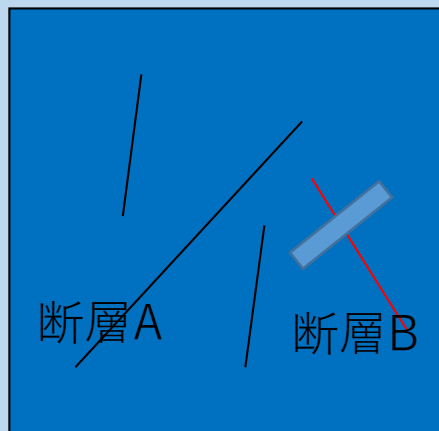
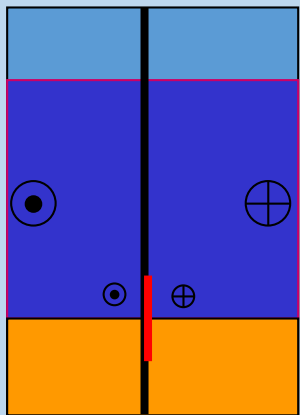
- 地震活動の活発な活断層で歪みが蓄積されている。
- 長期的な活動度とは一致するわけではない。

• Mazzotti et al., 2001

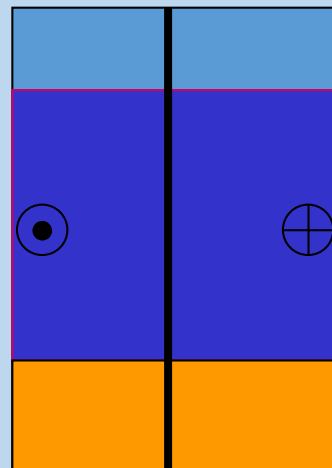
1996~1997 original GPS velocities and strain rates.
Corrected velocities in Amur reference frame and
maximum shear component of strain rate tensors.
Solid lines show active faults on land



断層A



断層B



圧縮によって、地下がクリープし、断層面下部で非弾性歪が蓄積し、いずれ内陸地震が起こる。

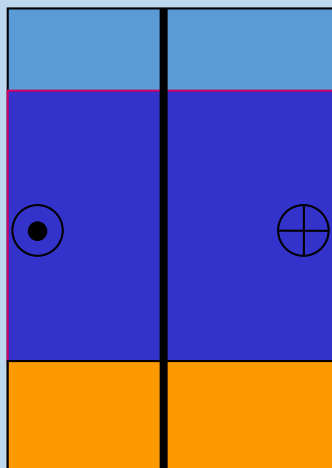
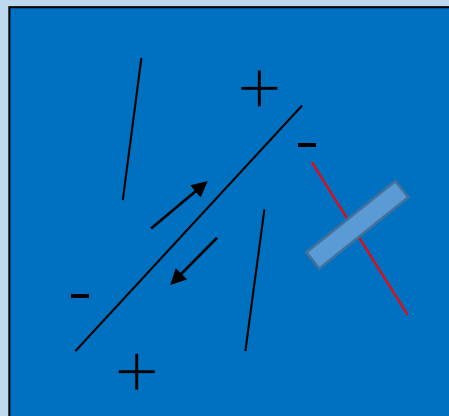
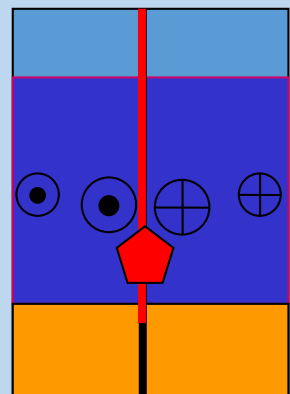
ただ弾性歪が解放されれば、危機が遠のく。

どこかに歪が集中すれば、他の場所は歪まなくても済む。

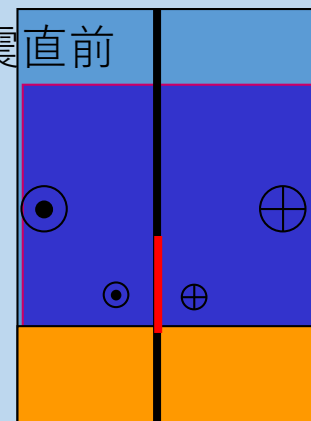
内陸活断層が活動すれば、歪の再分配が起き、局所的な歪がたまる。

次に圧縮を受けると、歪がたまりやすい場所が変わることがある。

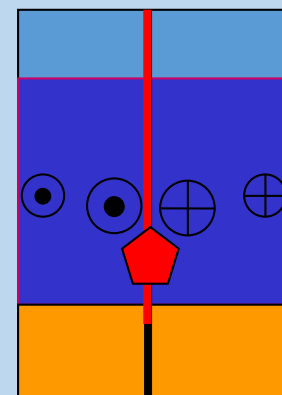
地震



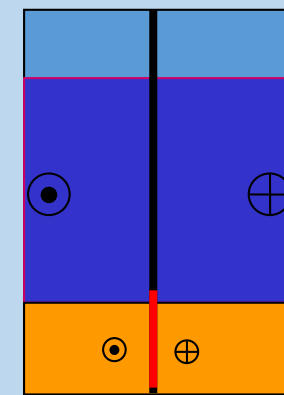
地震直前



地震



地震後

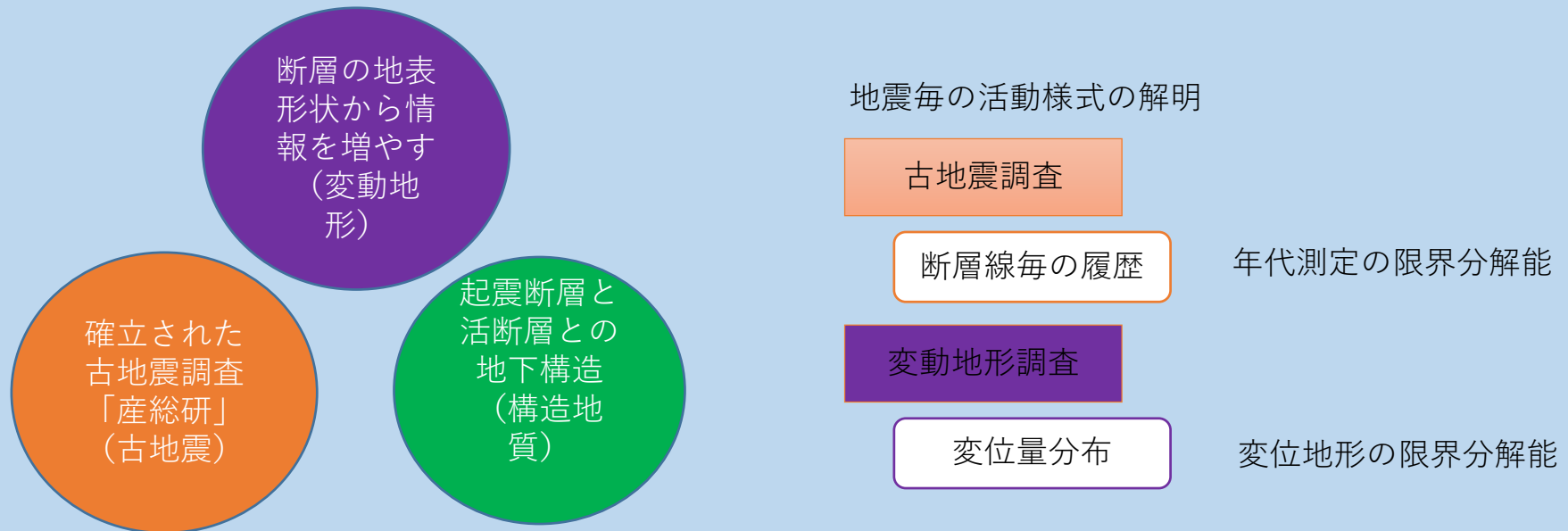


活断層を島弧地殻の変形の枠内で考える。

プレートによる 短縮運動	=	弾性歪	+	永久歪
		プレート間巨大地震 → により歪解放 <u>(弾性変形)</u>		→ 巨大地震を発生させない 日々の緩慢な変形 <u>(非弾性変形)</u>
		活断層による内陸地 → 震により歪解放 <u>(非弾性変形)</u>		→ クリープ運動による変 形 (狭域非弾性変形) → 断層末端で全体が隆起す るバルク状変形 (広域非弾性変形)

青字は活断層の変位として検出可能
赤字は長波長の変形

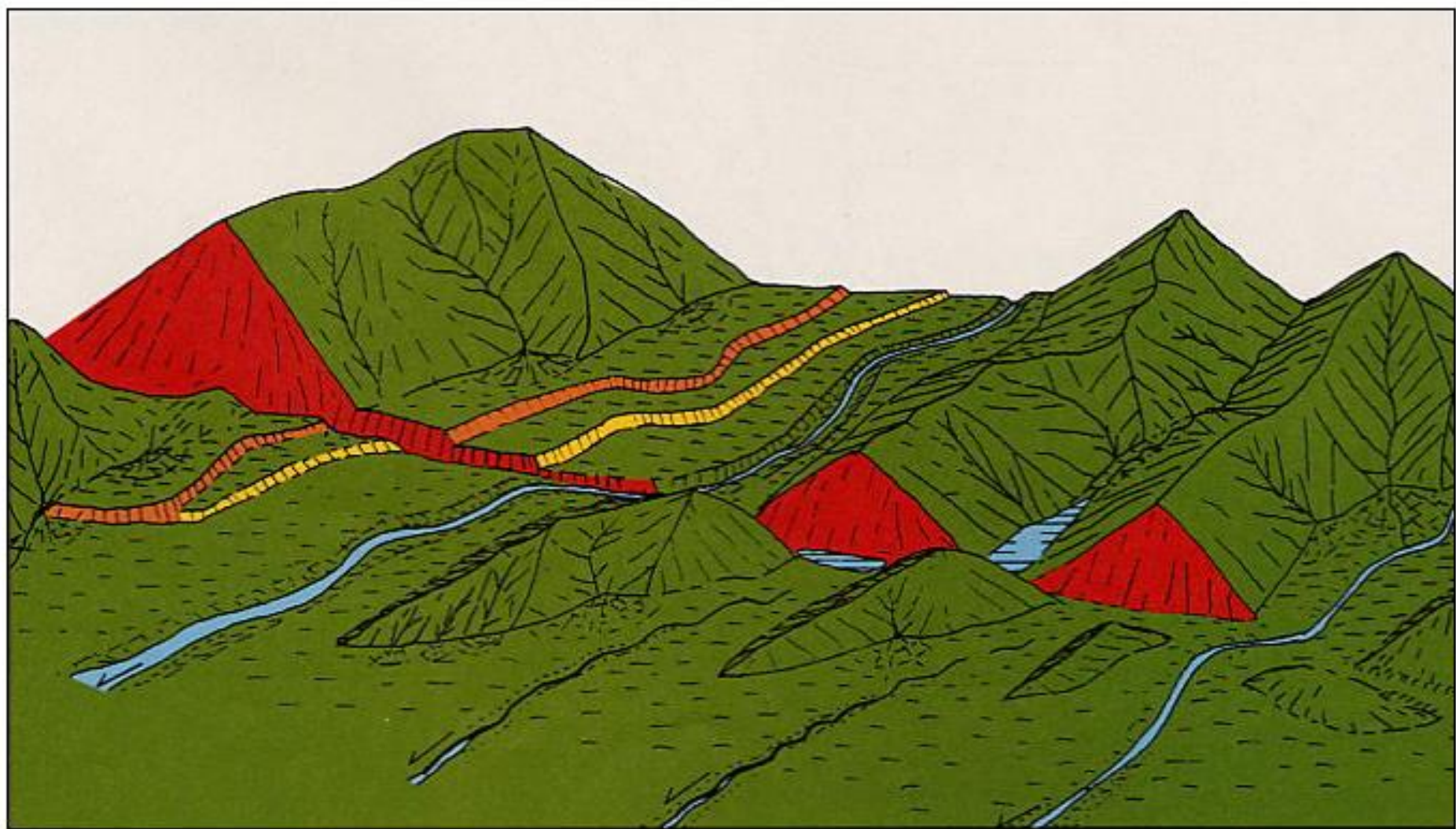
- 長期変形と短期変形の差について考えていく。
- 稠密度変位量分布が測量できることを活かして、活断層からどんな地震が起きたのかを明らかにすることが必要。
- そのためには、一回の地震でずれる範囲の末端部で起きている特徴を見つけることで、活断層で発生する地震の分離を試みる必要がある。



活断層の見つけ方

活断層とは

- 水が流れてできた地形をずらしている。



右ずれ活断層



活断層のずれによってできた地形

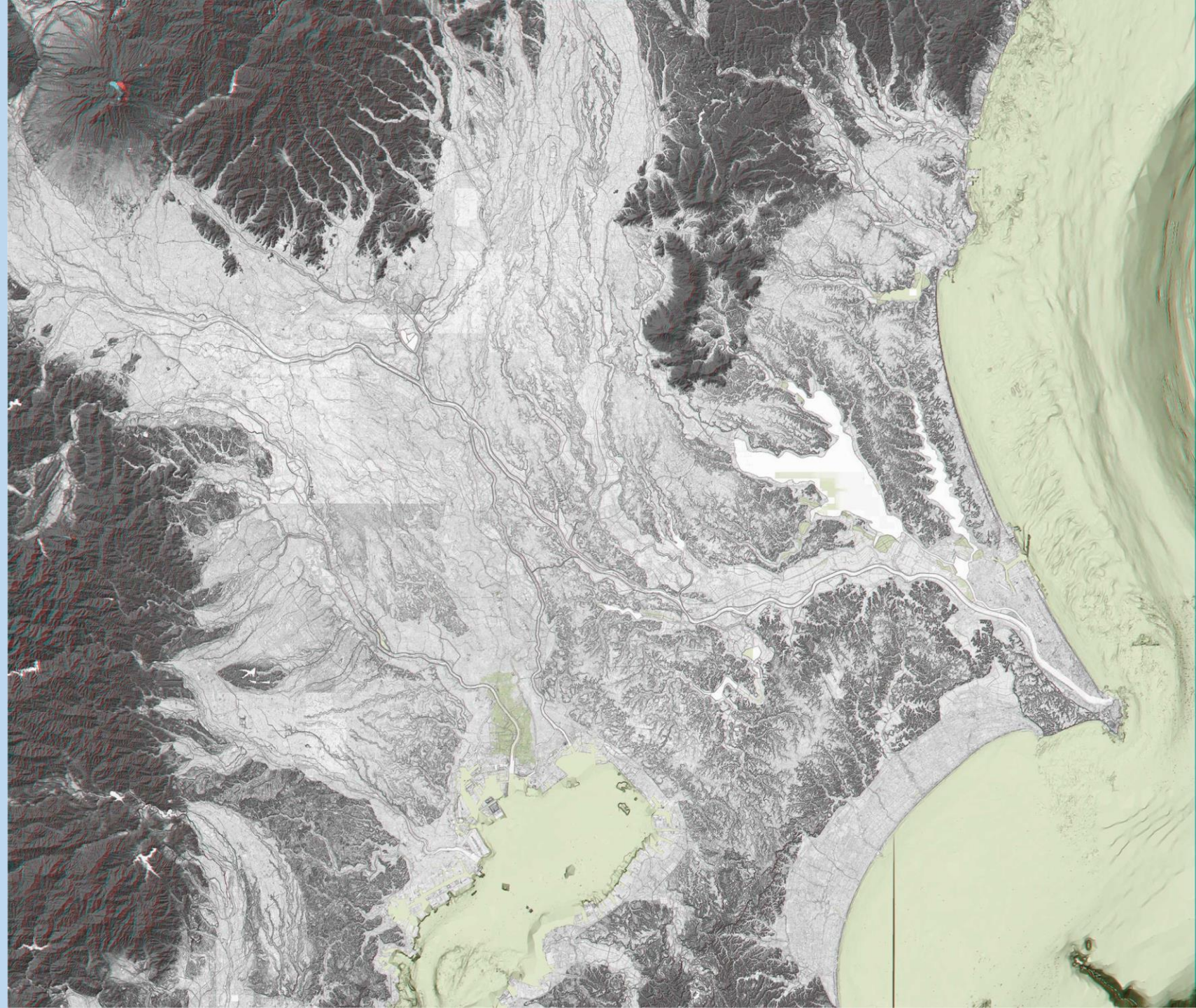
「新編日本の活断層」(活断層研究会編, 1991年)より

最近の動向

1. 手法の変化 空中写真⇒Dem加工図
2. 活断層とはなにかの再検討

高解像度DEM
は広域を観察
できる

後藤,2012



DEMは縦横比
を強調できる

高解像度DEM
を用いた広域
な変形抽出

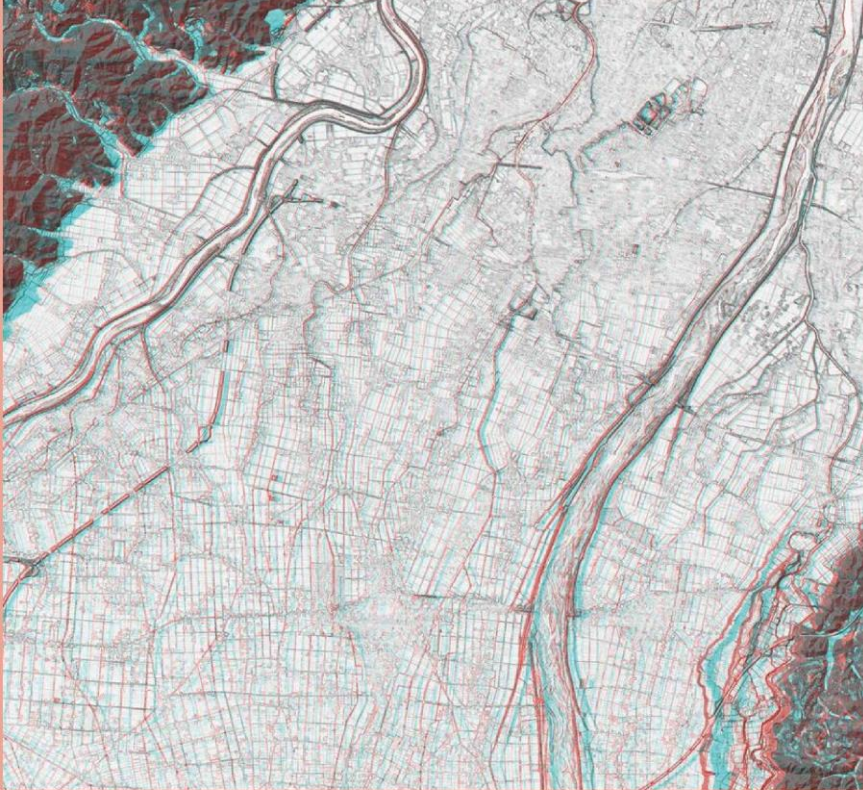
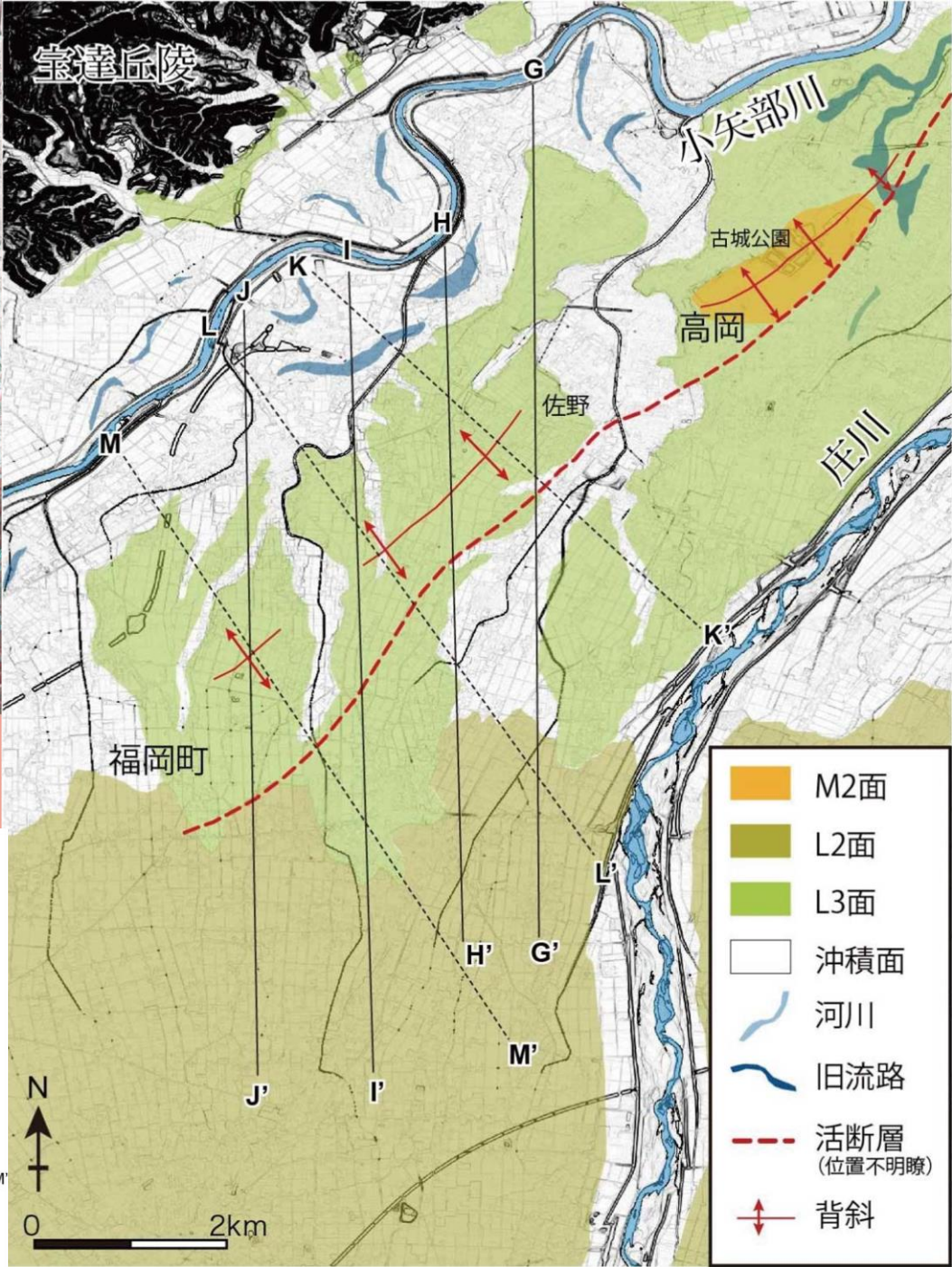
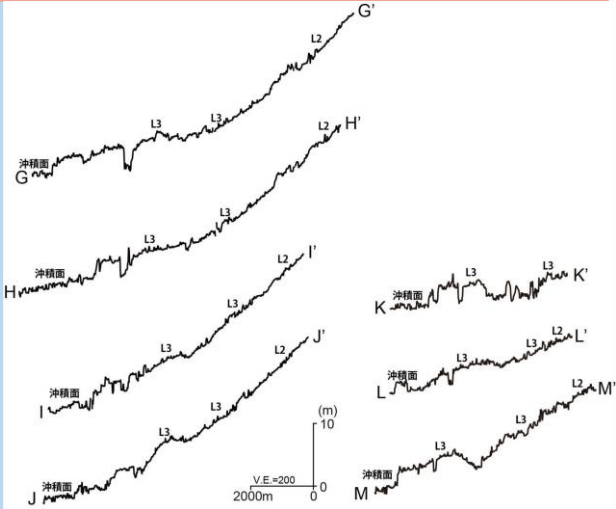


図8
砺波平野中央付近の地形アナグリフ
赤青メガネで立体的に観察可能。国土地理院基盤図情報の数値標高モデルより作成。



後藤ほか (2015)



DEMによって変化したこと

1. シームレスにスケールを変えたり強調することで、様々なスケールでの地形を基準として活断層が見つけられるようになった。
2. アクセスが難しい地域や、海底などで活断層が容易に見つけられるようになった。

今日の話

1. 活断層とはなにか？ 基礎と意義 (おさらい)

1. 定義について
2. 原因について
3. 起震断層との関係
4. 長期評価・地域調査について
5. 断層の位置と強振動について
6. 活断層とは何か、私信を入れて

2. 活断層の見つけ方

1. アナグリフ観察
 1. スケールでの違い
 2. 年代での違い

3. 最近の問題点と進化

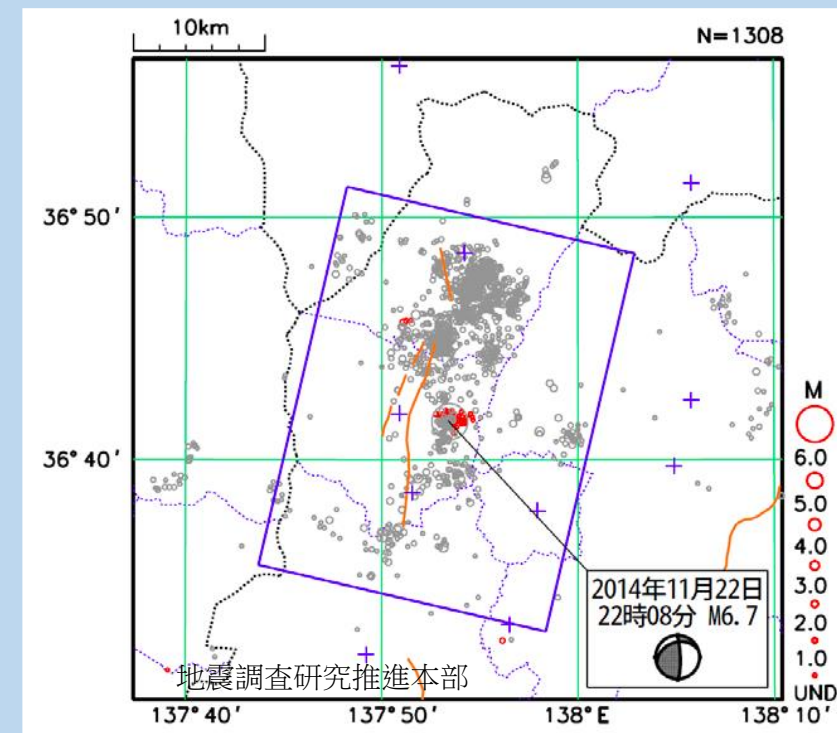
1. DEMによる新しい展開
 1. DEMの重要性
 2. 海域やへき地への応用
2. 一回り小さな地震と意義
 1. 神城断層地震
 2. 能登地震
 3. 台湾台東縦谷の地震

3. そもそも活断層とはなんなのかへの疑問

4. まとめ

長野県北部地震（神城断層地震）の概要

- 2014年11月22日 22時08分
- 震源 長野県白馬村
- M_j 6.7 M_w 6.3
- 約10kmに渡って地表地震断層が出現
- 主要97断層で初めての地震断層
- 全壊家屋 81 半壊家屋 172 死者 0人 重軽傷



After shock and surface rupture



写真2：堀之内地区の被害



神城断層で発生すると 予測されていた地震

構成する断層線 神城断層

断層線の位置 北緯 36° 32' 東経 137° 51' (南端)

断層面上端の深さ 0km

長さ 26km (10 km)

一般走向 N3° E

断層面の傾斜 東傾斜、40~70°

断層面の幅 16~23km

ずれの向き 東側隆起の逆断層、

逆断層成分が卓越 一回のずれ量 2 - 3 m程度 (上下) (1m 以下)

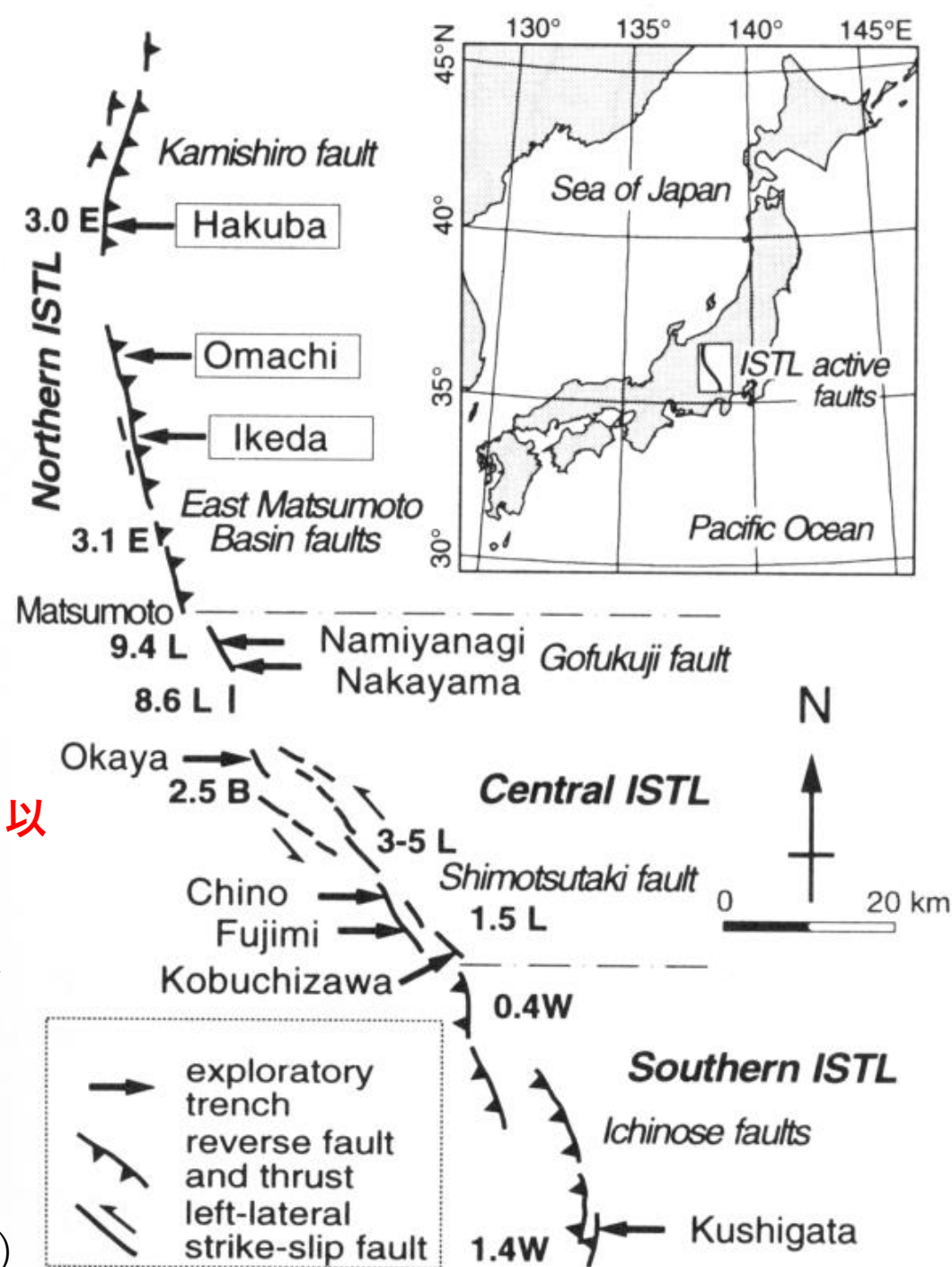
平均的な上下方向のずれの速度は 1 - 3 m / 千年程度

最新活動時期は、約 1 千 3 百年前以降、約 1 千年前以前 西暦

762 年の地震 (マグニチュード (M) 7.0 以上) の可能性

地震規模 M7.7 程度 (M6.7)

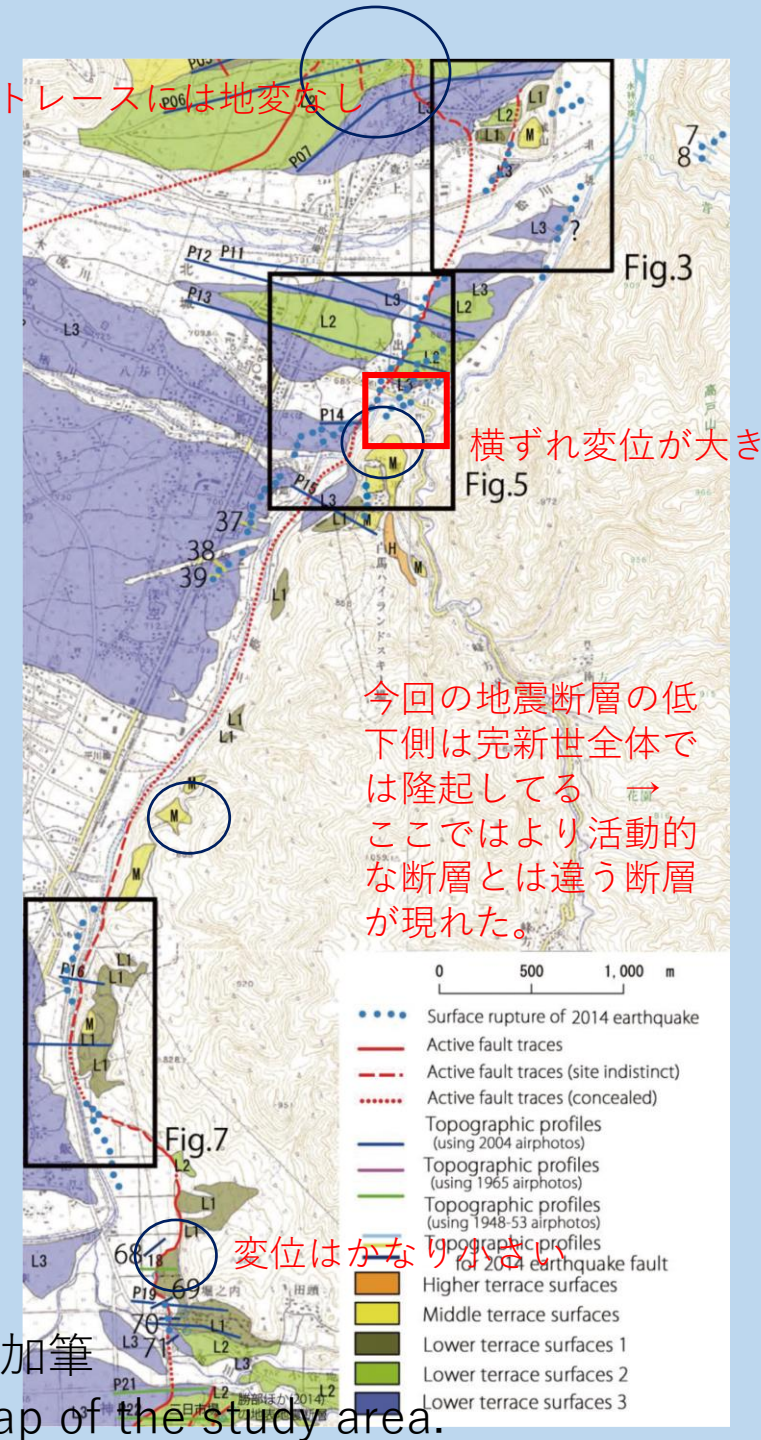
平均活動間隔 1 千年 - 2 千 4 百年程度



従来の活断層図と 地震断層の相違点

- 大局的には、地震断層は予想した範囲の場所に出現した。（もともと、破線で、位置精度には限界があった場所では地図の場所とずれている。）
- 判読ミス（白馬駅東方）もある。（人工改変と判断していた）
- 地震断層と活断層が一致しない場所があり、活動的と思われる活断層トレースに地変がないケースについても確認した。

逆断層の変形が明瞭なこっちのトレースには地変なし



廣内ほか 2016 に加筆

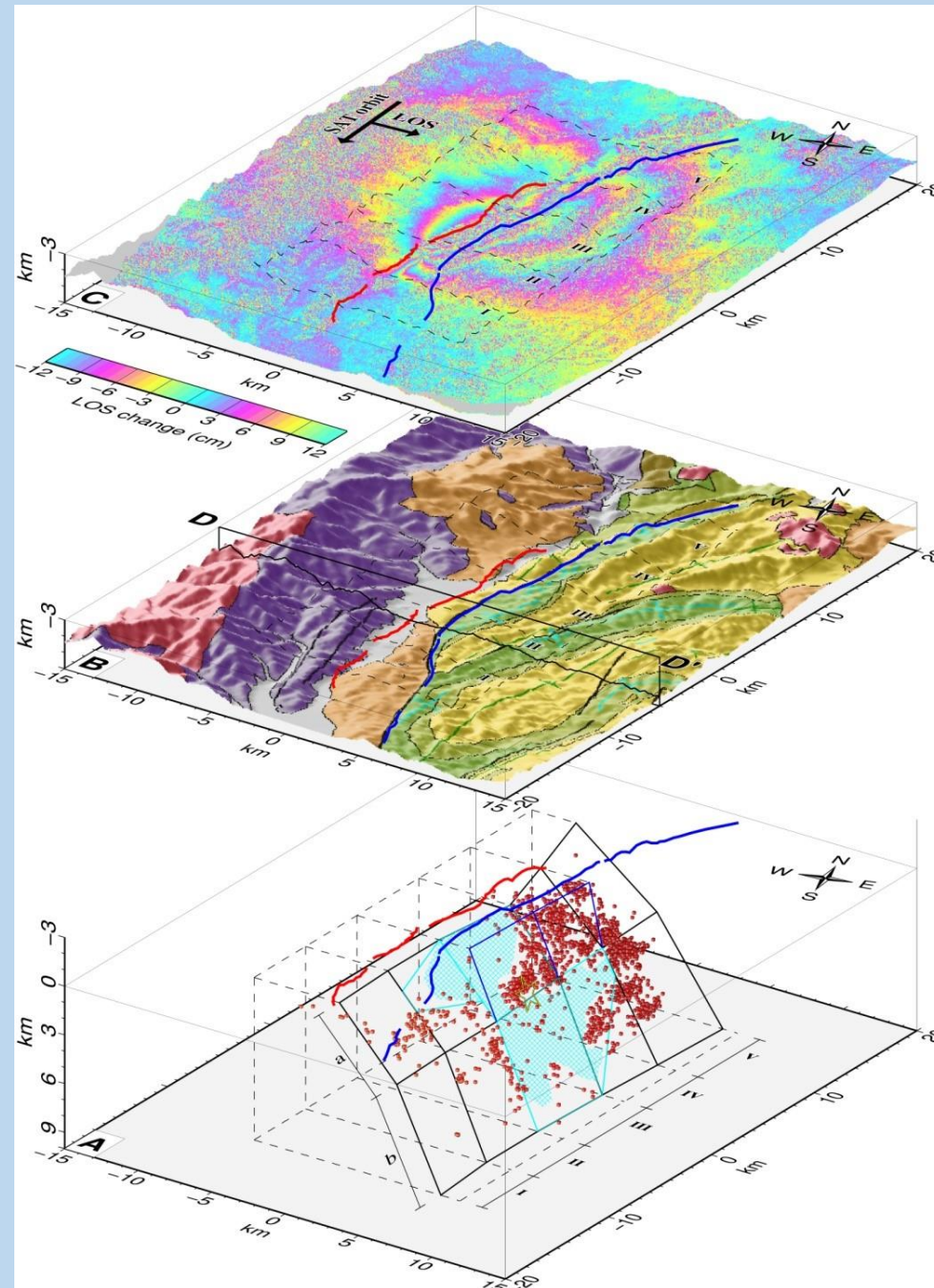
Fig. 2a Geomorphological land classification map of the study area.

2014年地震の地殻変動と断層形状

Derived fault geometry by the aftershock sequence of the 2014 Kamishiro earthquake

2014年地震断層は地下でより高角度になり、犀川丘陵の地質構造を作った断層とは異なる

Figure 1: Correlation of the fault model to the observed crustal deformation and surface geology-topography. Red line: surface trace of the Kamishiro fault. Blue line: surface trace of the Otari-Nakayama fault A) 3-D fault model derived by the clustering the DD relocated hypocenters (Red cubes). Yellow star: Main shock. Black polygons: source fault. Cyan polygons: major slip areas. The cyan cross-hatched area represents major seismicity gaps. Blue polygons: shallow parts of the Otari-Nakayama fault (0~4km) B) 3-D map of the surface geology and topography along Kamishiro fault. C) InSAR plot analyzed by GSI from ALOS raw data of JAXA, METI superimposed on a topographical relief map.



測地データとの比較

The relationship between the geodetic data and the 2014 Kamishiro earthquake

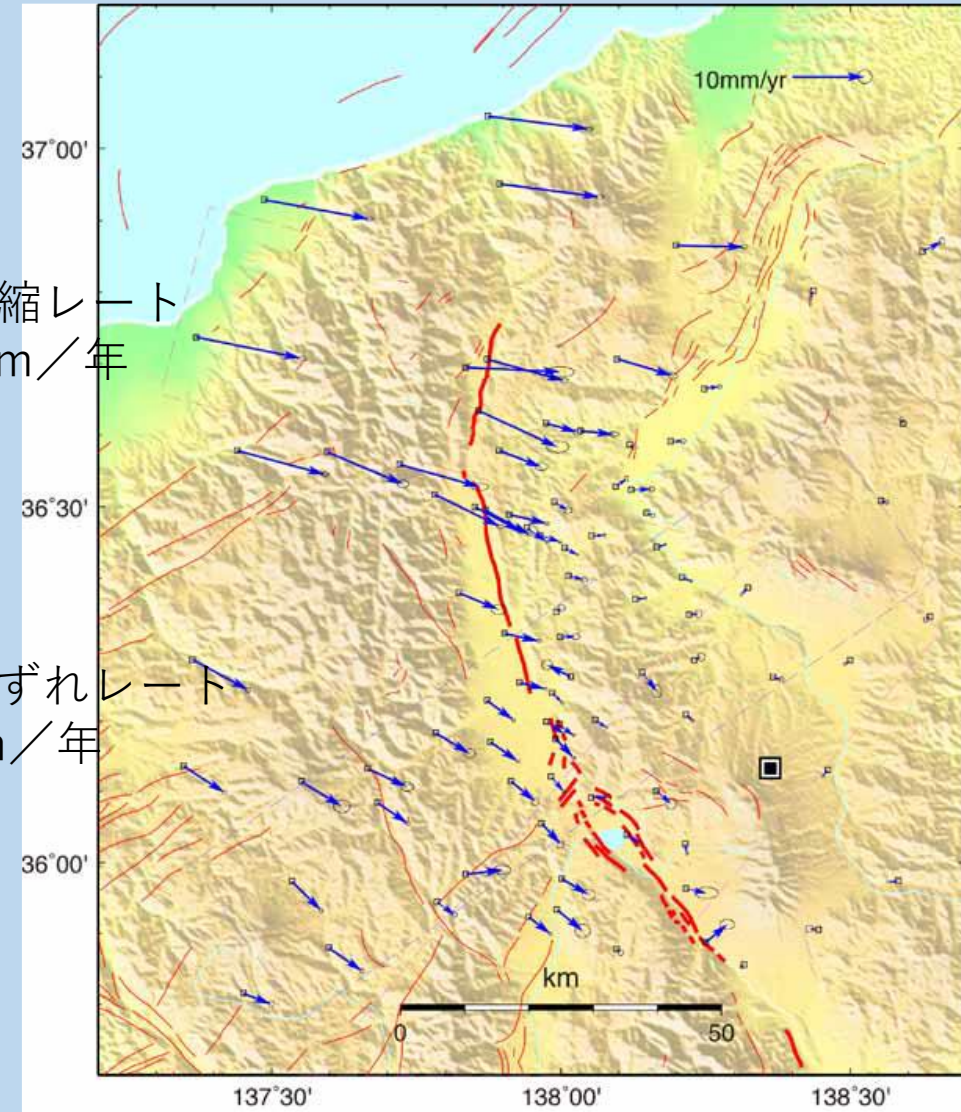
鷺谷さんによると、白馬周辺の変位速度は年間約10mmの短縮がみられる。これが弾性歪みとして蓄積されているならば、その歪み解放として、400年間隔の地震で4 mの短縮変位を要求される。今回の最大変位は上下で1 m程度で断層面は高角なので明らかに小さい。

- 歪がいまだに解消しきれていない。
 - または
 - 非弾性ひずみをしている。
 - または
- 観測期間中、たまたま歪速度が大きかった。

2011年以前のGPS変位速度

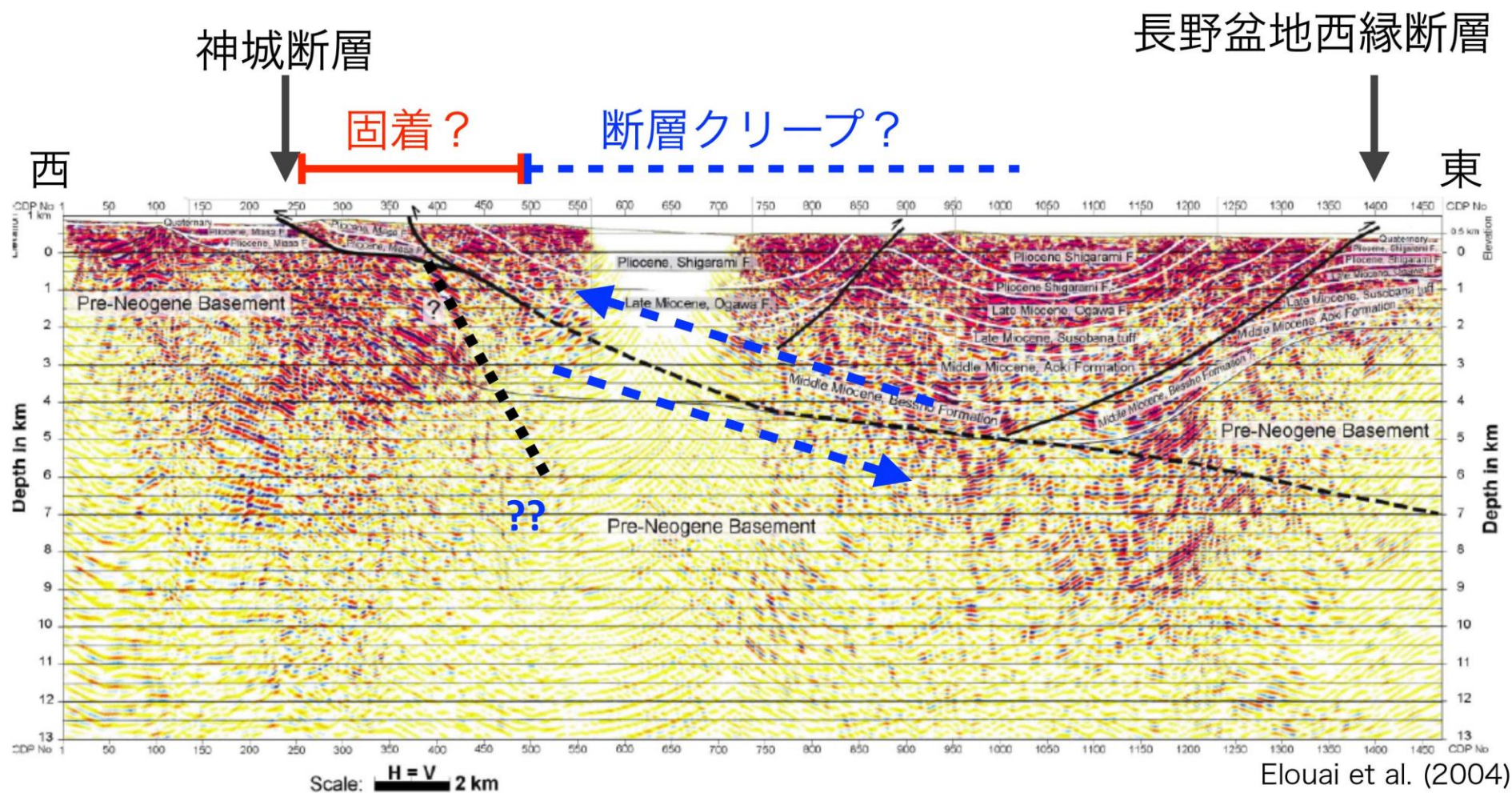
北部の短縮レート
10mm/年

中部の横ずれレート
6mm/年



GPS Surface Displacements around the Itoigawa-Shizuoka tectonic line during 2002 – 2008
西村ほか, 2011に加筆

結果の解釈



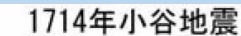
年間1cmの短縮。
 →断層が低角ならば、
 上下変位はより小さい。
 しかし、1 mの変位は
 数百年分にしかない。

中部の年間6mmの横
 ずれ変位は、1000年
 程度の活動間隔に対し
 て大きすぎる。

- ・ 低角の東傾斜逆断層（反射法）→浅部（深さ2-3kmまで）固着、あとはクリープ？
- ・ 浅部のみが低角で深部では高角になるという解釈：地震本部

1714年 信濃小谷地震

- 大町組（大町以北の北安曇郡）で潰家約200、**死者56** [86]。姫川筋で山崩が多く、姫川が満水し、潰家の多くは流失した。長野では善光寺の本堂が破損し、石垣が崩れ、石塔はほとんど転等した。[2]
- J R 大糸線沿いの谷に被害。姫川が満水し、潰家の多くは流失したという。長野善光寺でも石垣崩れ、石塔転等する。松代領で家潰48、半壊127、寺社潰3、田畑損420石余。…余目・江戸・上田・松本・駒ヶ根で有感。



正德4年3月15日亥刻 (1714-IV-28日、22h)

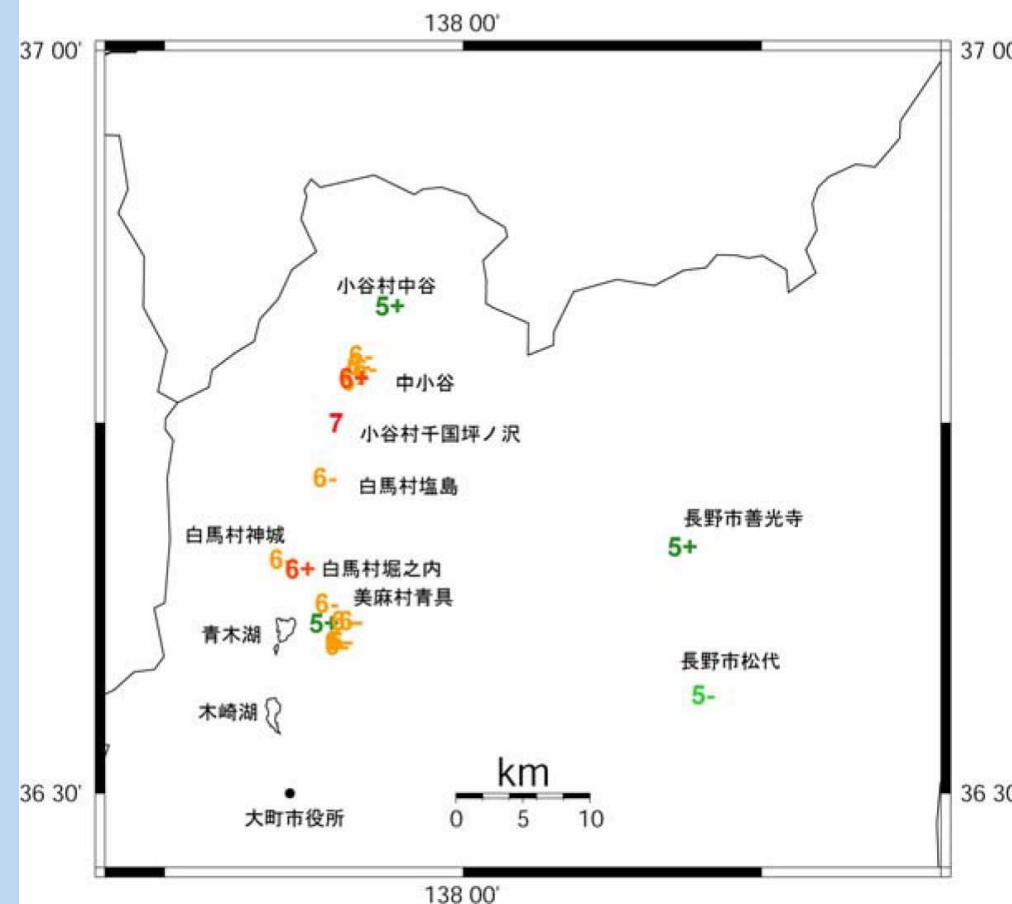


図 2.3.3-1 正徳4年(1714)小谷地震の震度分布

蕨平でみつかった変位の現地調査



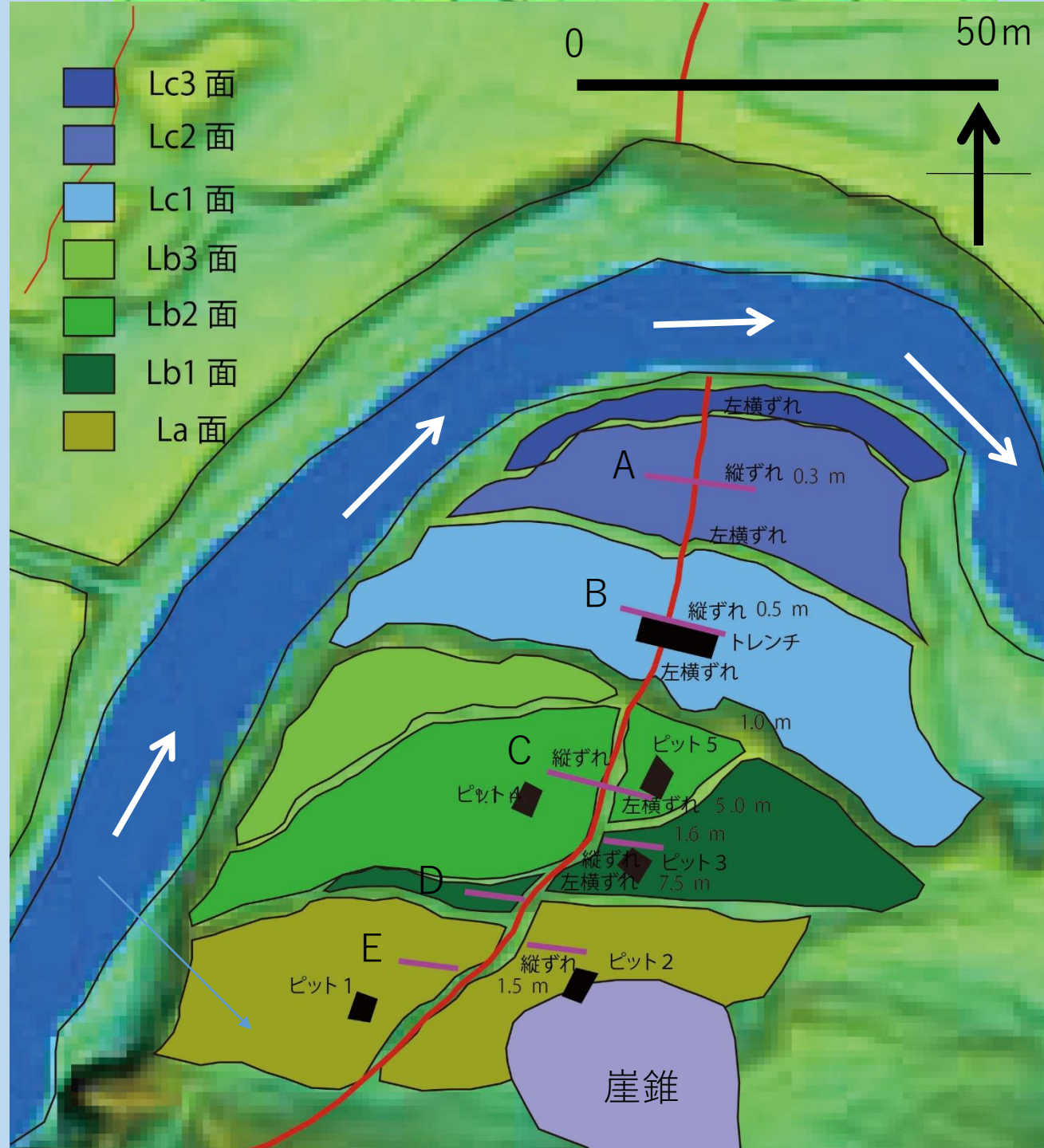
鈴木ほか 2015 で発見された



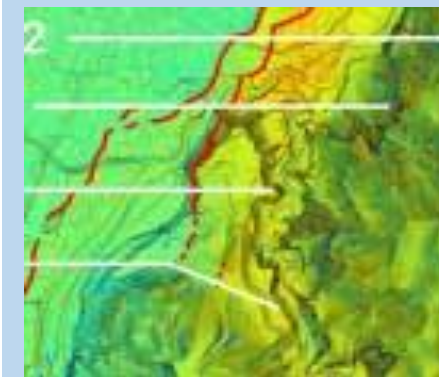
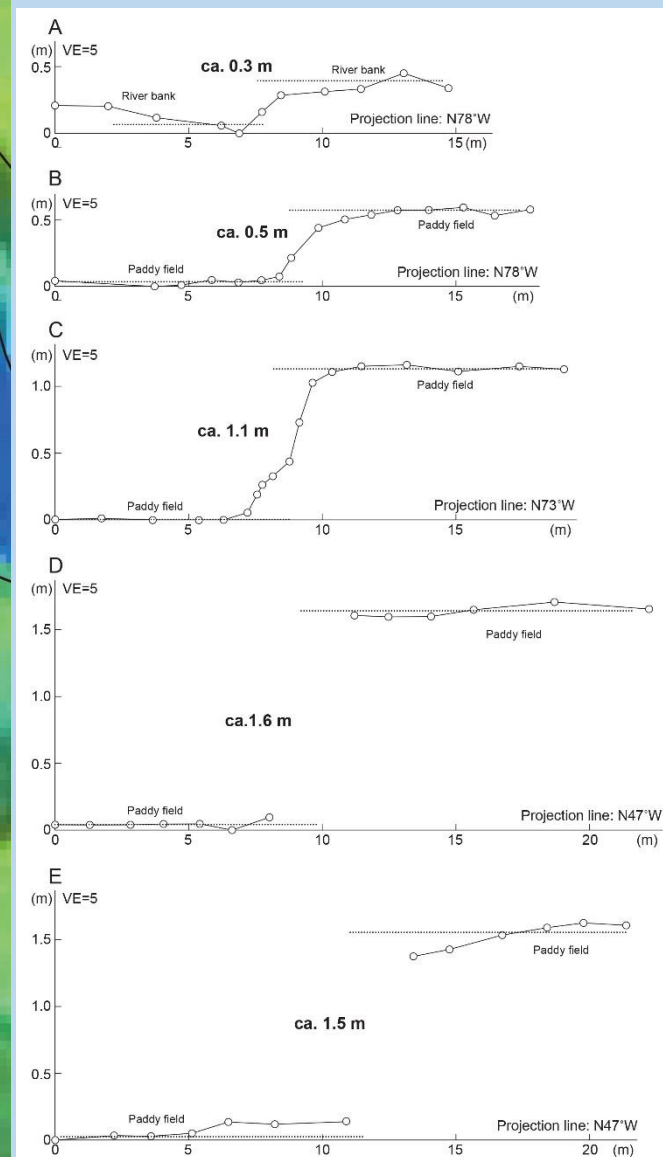
地震後の 1 mDEM で顕著に見られる崖



崖の直上の杉の木が傾いている



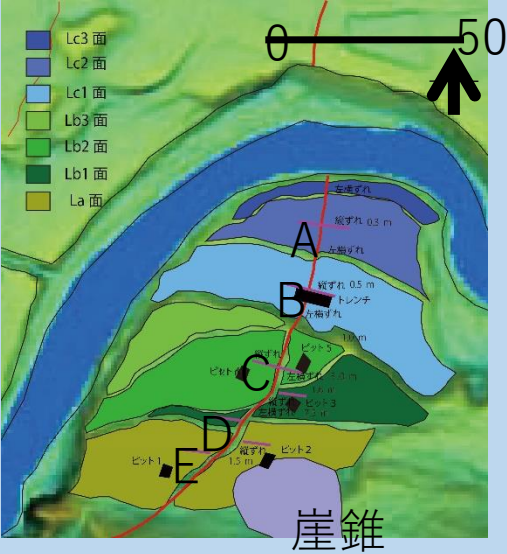
蕨平でみつかった変位



地形面	上下変位量	左横ずれ量
La面	1.5 m	
Lb1面	1.6 m	約 7.5 m
Lb2面	1.1 m	約 5.0 m
Lb2'面		
Lc1面	0.5 m	約 1.0 m
Lc2面	0.3-0.4 m	
Lc2'面	0.3-0.4 m	

地形分類とイベント

2014年の地震イベントとは異なる上下変位と左横ずれ変位の地震イベントが示唆される。



地形面	Cal AD	上下変位量	左横ずれ量
La面	Cal BC 105 to AD 30 and Cal AD 40 to 50	1.5 m	
Lb1面	Cal AD 255 to 295 and Cal AD 320 to 415	1.6 m	約 7.5 m
Lb2面	Cal AD 425 to 595 Cal AD 425 to 575	1.1 m	約 5.0 m
Lb2'面			
Lc1面	Cal AD 1660 to 1695 and Cal AD 1725 to 1815 and Cal AD 1835 to 1880 and Cal AD 1915 to Post 1950	0.5 m	約 1.0 m
Lc2面	戦後	0.3-0.4 m	
Lc2'面	戦後	0.3-0.4 m	

イベント	発生時期	変位量 (上下/水平) (m)
イベント 1	2014年	0.3-0.5/1.0
イベント 2	AD420年以降2回以上 1714年?	0.6/4.0
イベント 3	AD255年以降AD595 年以前までに1回以上	0.4-0.5/2.5

能登地震の話

鹿磯漁港東の小港の地震前（左）・地震後（右）の様子



高畠さん提供写真4 2016年9月4日13時02分撮影



立石さん撮影 2024年1月3日11時49分撮影

鹿磯漁港東の地震前（左）・地震後（右）の様子

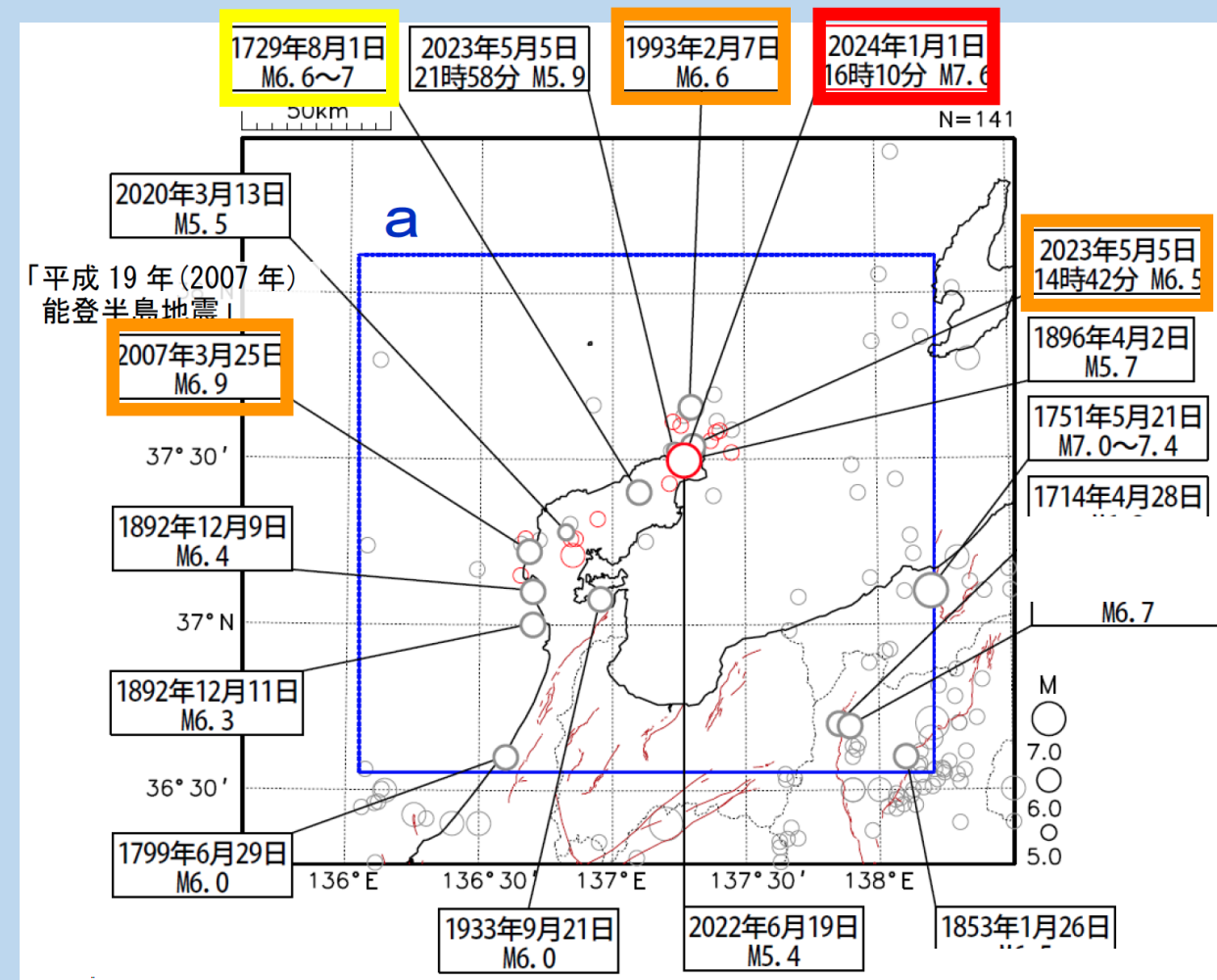
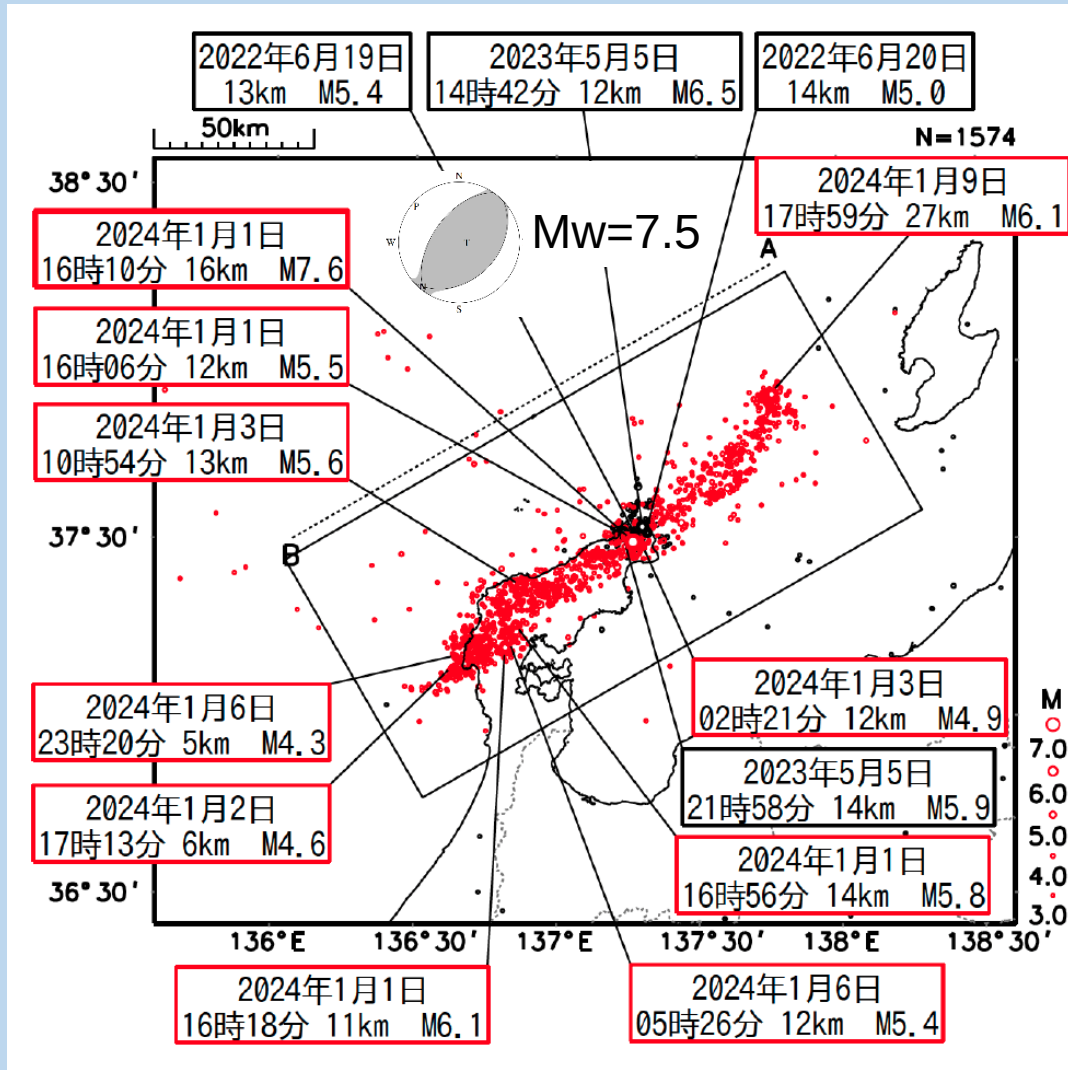


高畠さん提供写真2 2016年9月4日13時02分撮影



立石さん撮影 2024年1月3日11時48分撮影

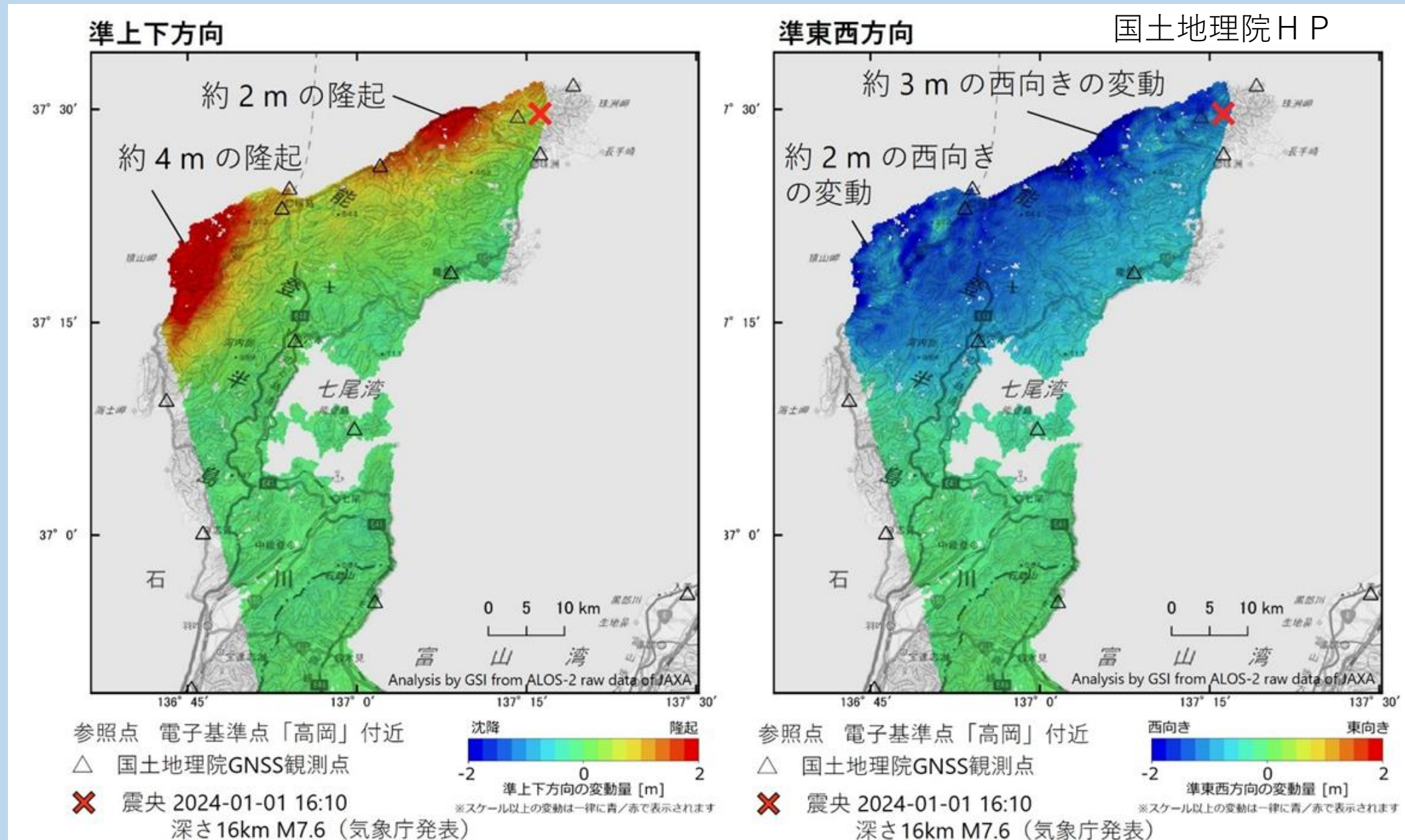
令和6年能登半島地震 (M7.6)



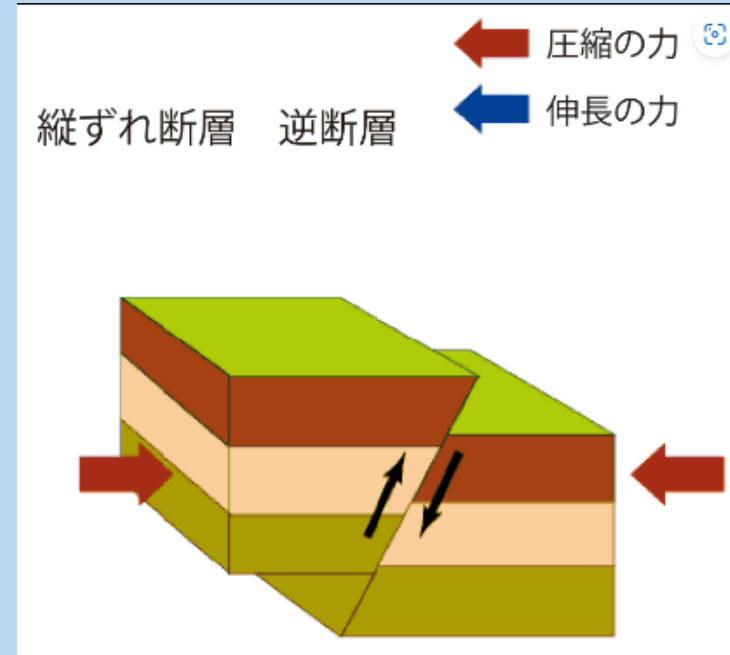
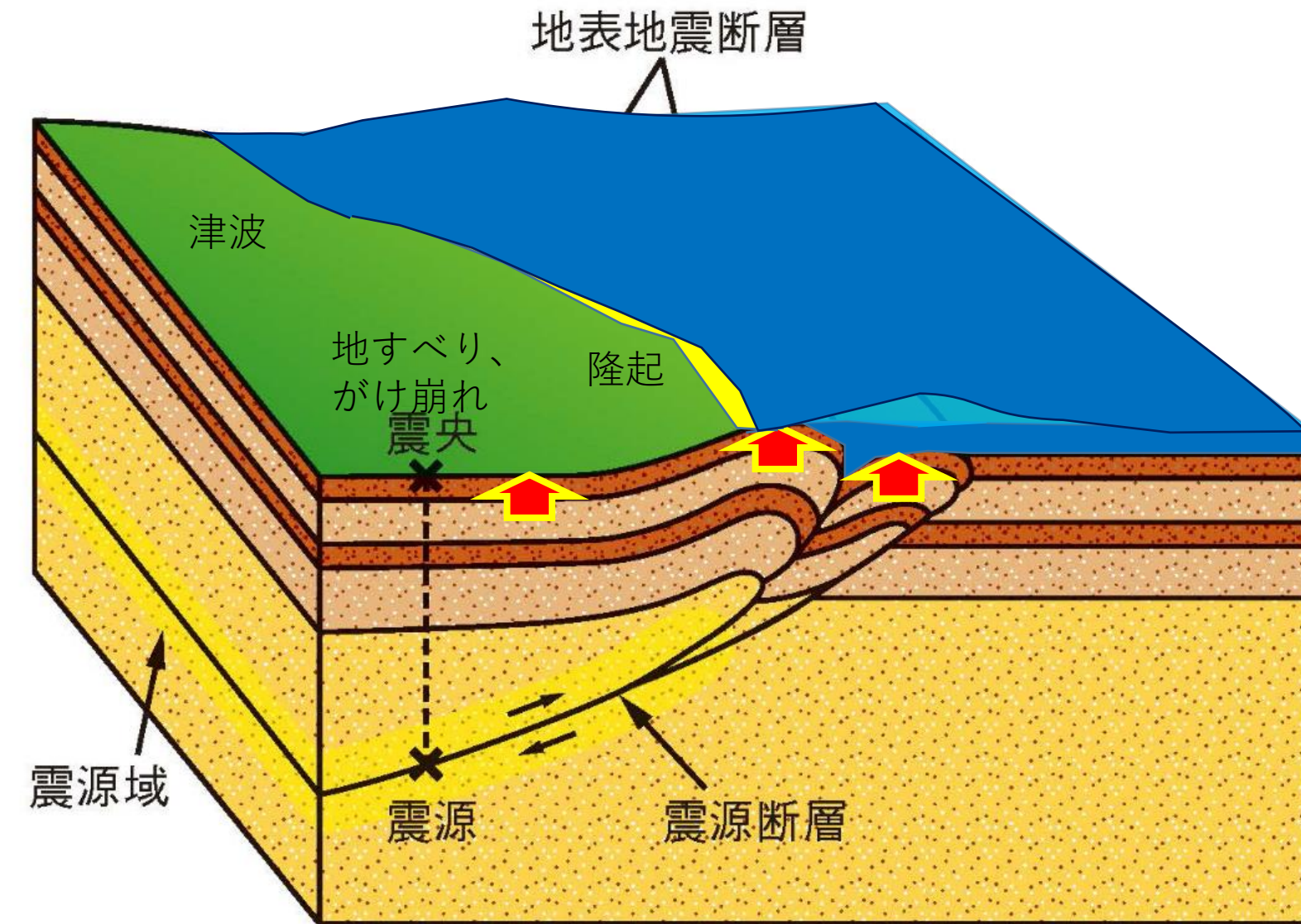
地震本部2024 (気象庁作成) に加筆

- 2024 年1月1日16時10分に、石川県能登地方の深さ約15 km でM7.6 (暫定値) の地震
- 地震の発震機構は北西 - 南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、上部地殻内で発生した地震 (地震本部, 2024)

人工衛星からの観測データで推定された地殻変動



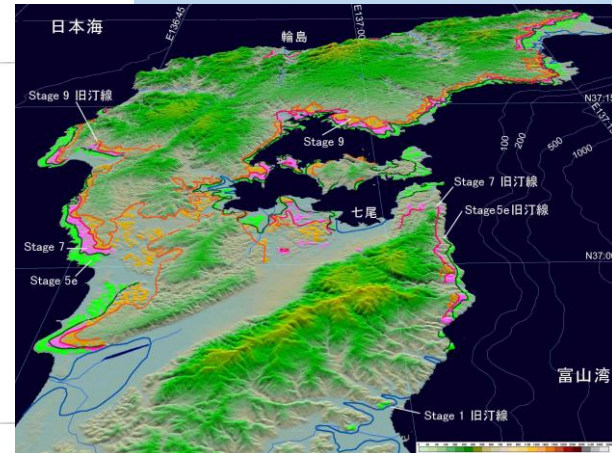
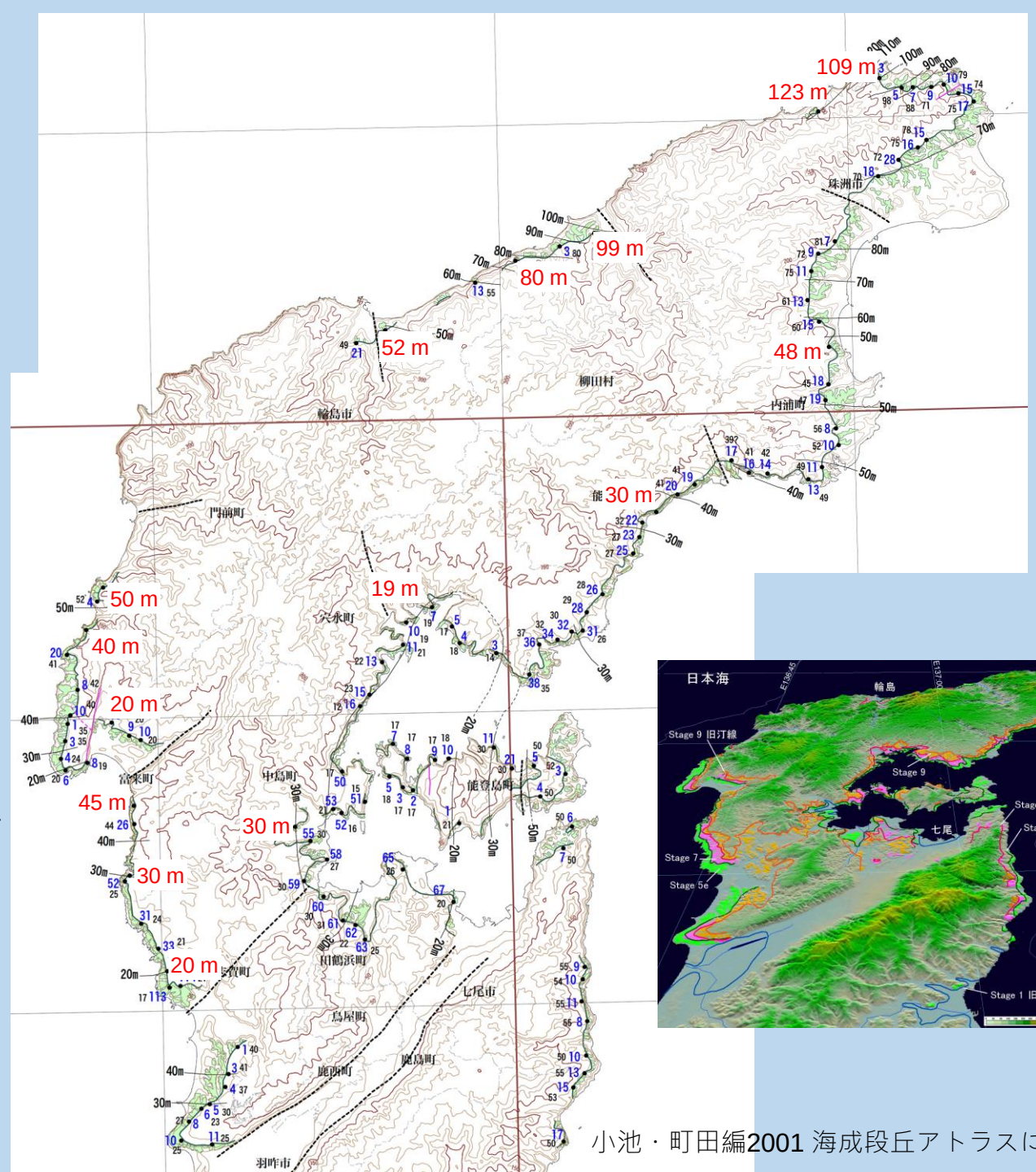
今回のような沿岸部の活断層が活動したとき



地震本部HP 素材集を加筆

能登半島の海成段丘

- 能登半島には前期更新世？～後期更新世の海成段丘面が広く分布
- 最終間氷期 (MIS5.5; 約12.5万年前)の旧汀線高度は半島北東部で100 m以上
- 奥尻島、男鹿半島、佐渡島などと共に日本海沿岸で最も隆起速度が速い地域のひとつ



能登半島の活断層・リニアメント、高度不連続

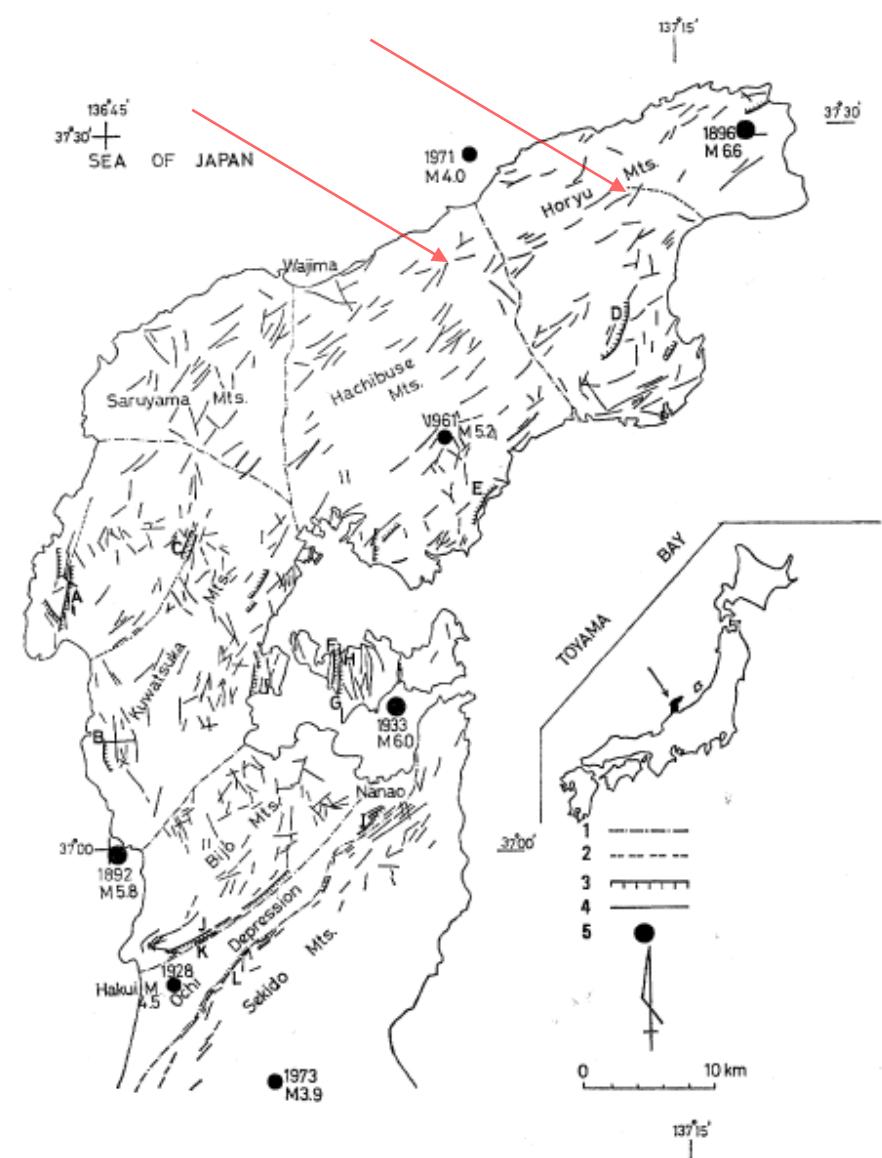


Fig. 1 Distribution of active faults, lineaments and location of shallow earthquakes in Noto Peninsula.
 A. Sakami 酒見 Fault, B. Fukuura 福浦 Fault, C. Togigawa 富来川 Fault, D. Takinobo 滝ノ坊 Fault, E. Furukimi 古碓 Fault, F. Hannoura West 半の浦西 Fault, G. Hannoura East 半の浦東 Fault, H. Museki 無関 Fault, I. Furuko 古府 Fault, J. Bijosan I 眉丈山第1 Fault, K. Bijosan II 眉丈山第2 Fault, L. Sekidosan 石動山 Fault
 1: Boundary of mountains (after Yoshikawa and Yazawa, 1955) 2: Subdivision of mountains on the basis of discontinuity of terrace height 3: Active fault 4: Lineament 5: Epicenter of shallow earthquake (after Usami, 1975 and Japan Meteorological Agency)

太田ほか、1979

能登半島北岸の完新世海成段丘・離水生物遺骸と 能登半島沖の海底活断層の活動

- 能登半島北岸に複数段の完新世段丘・離水生物遺骸群集が断続的に分布し、海底活断層の活動により隆起したと推定 (宍倉+2020)

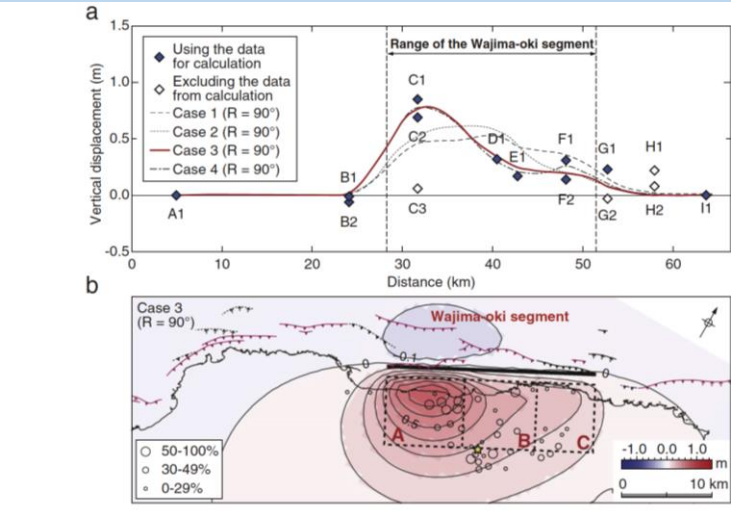
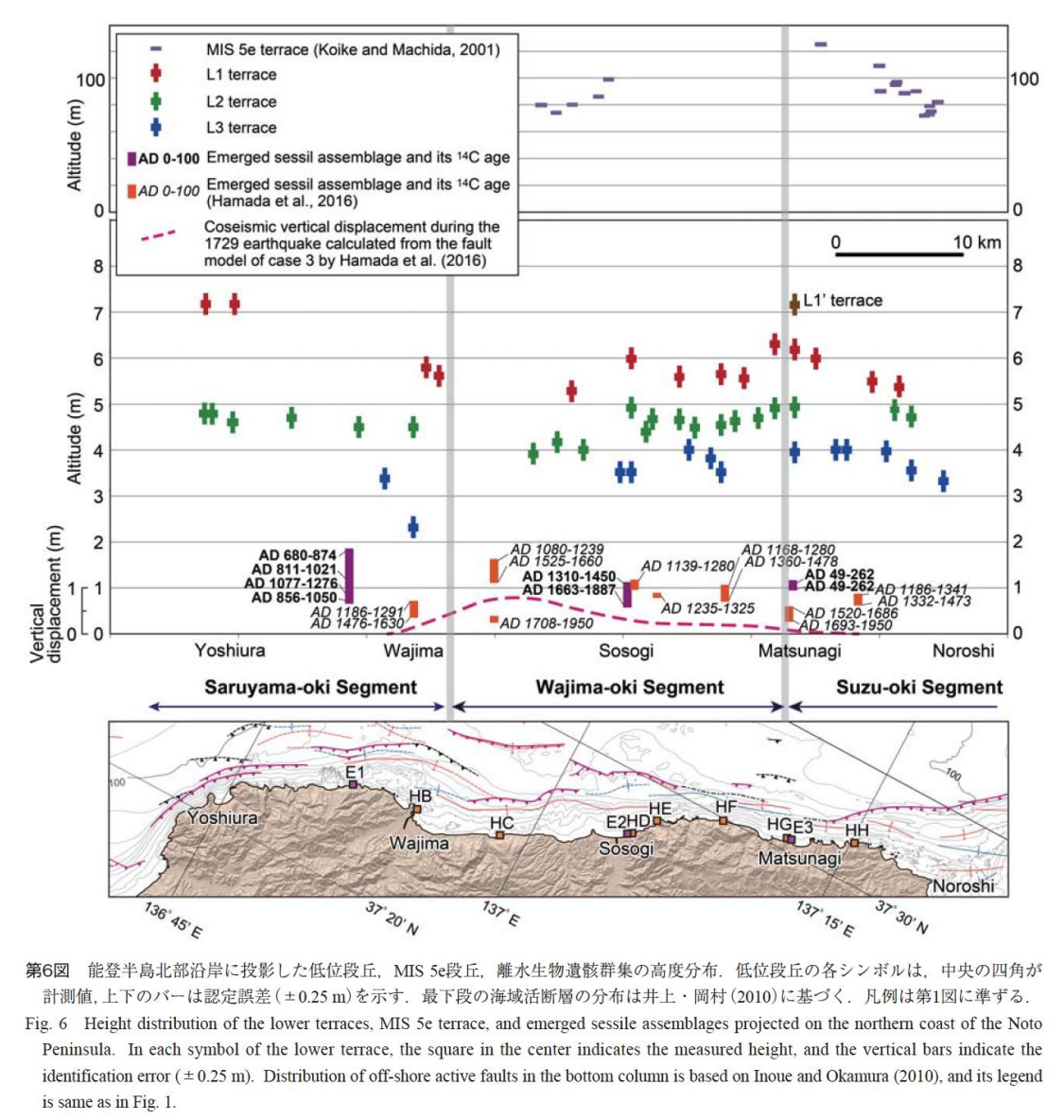


Table 2
Fault parameters estimated in this study.

Depth (km)	Length (km)			Width (km)	Strike (deg)	Dip (deg)
	Western	Center	Eastern			
2.0	8.7	8.0	6.4	15.0	62	60

Table 3
Results of the nonlinear inversion method.

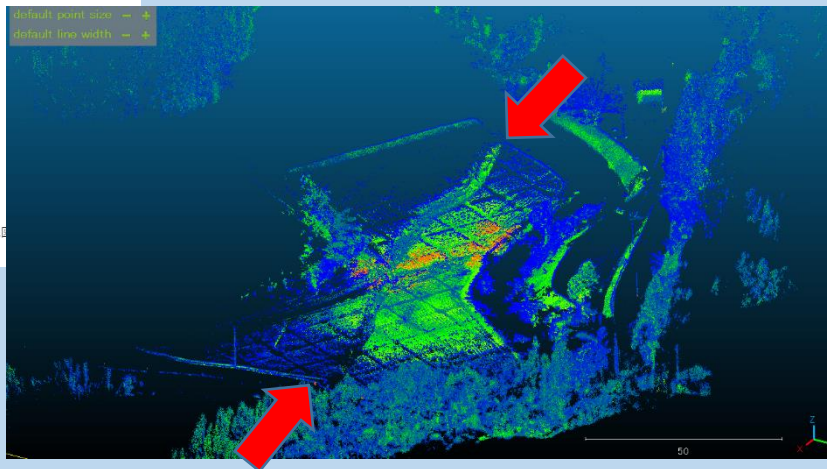
	Slip (m) (R = 90°)				AIC		
	Western	Center	Eastern	R = 90°	R = 105°	R = 120°	R = 135°
Case 1	1.0	1.0	1.0	92.7	91.9	91.2	90.6
Case 2	1.2	1.2	0.5	92.9	92.1	91.4	90.8
Case 3	1.8	0.6	0.6	77.0	78.3	79.8	82.0
Case 4	1.8	0.4	0.8	77.1	78.8	80.8	83.4

- 離水生物遺骸群集の年代・分布高度から、輪島沖セグメントが1729年の地震 (M6.6-7.0; 宇佐美2003) で活動したと推定 (Hamada+2016)

若山川沿いの地変



(b) 赤線は国土地理院公表の正射画像（国土地理院, 2024）から判読し、現地にて確認した地表地震断層。背景は地理院地図。



白濱ほか 2024

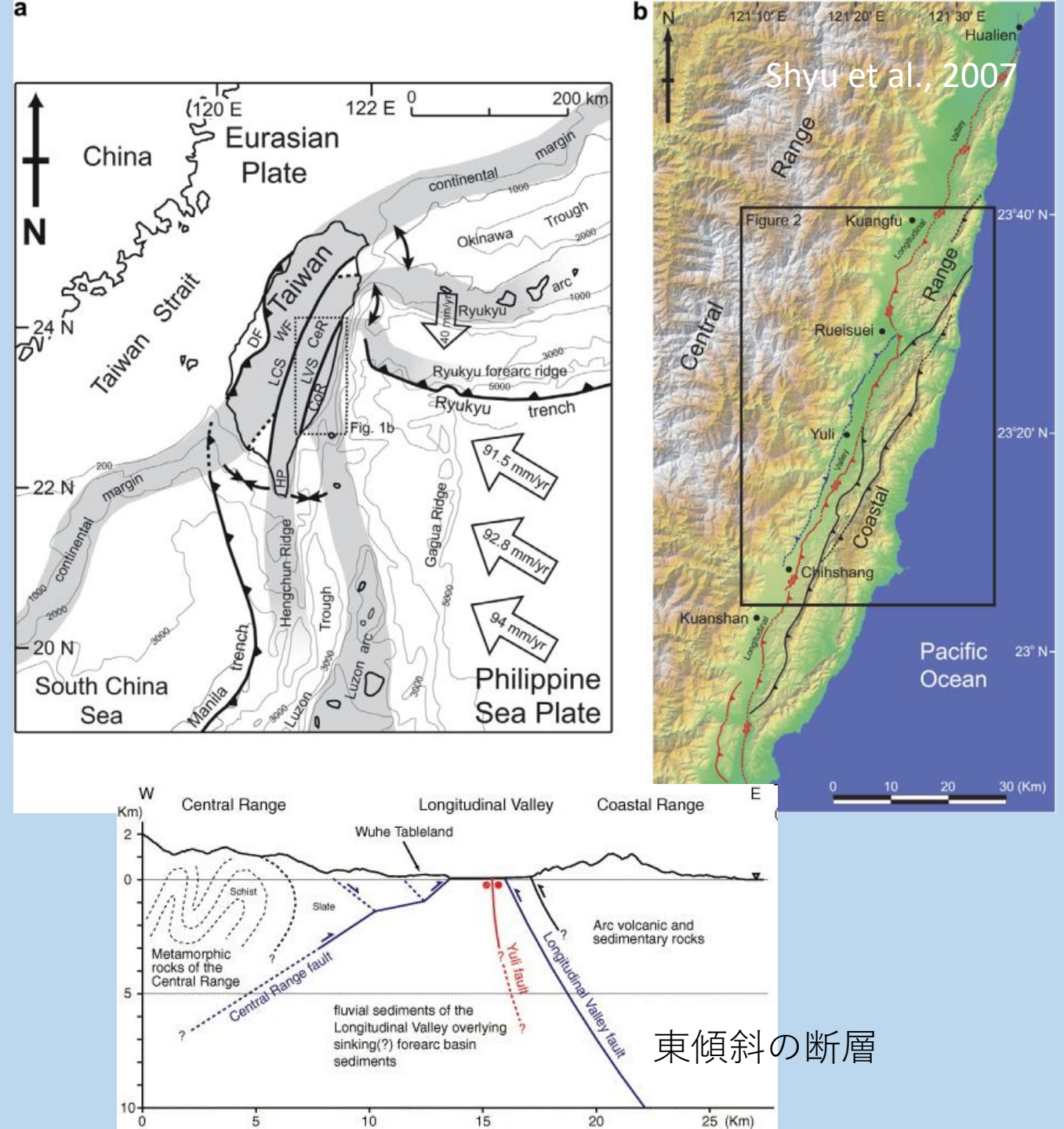


輪島市上里地区



台東縱谷断層

- 東に傾斜した逆断層
- 台湾は衝突帯であり、変形が単純である。
- 台東縦谷断層は定常的にずれている区間と定常的には固定されている区間がある。



台東縱谷斷層 歴史地震と古地震 historical and paleo seimology



台東縱谷斷層の大地震

➢ 1951 地震 計5 Mw 6.2 and 7.0

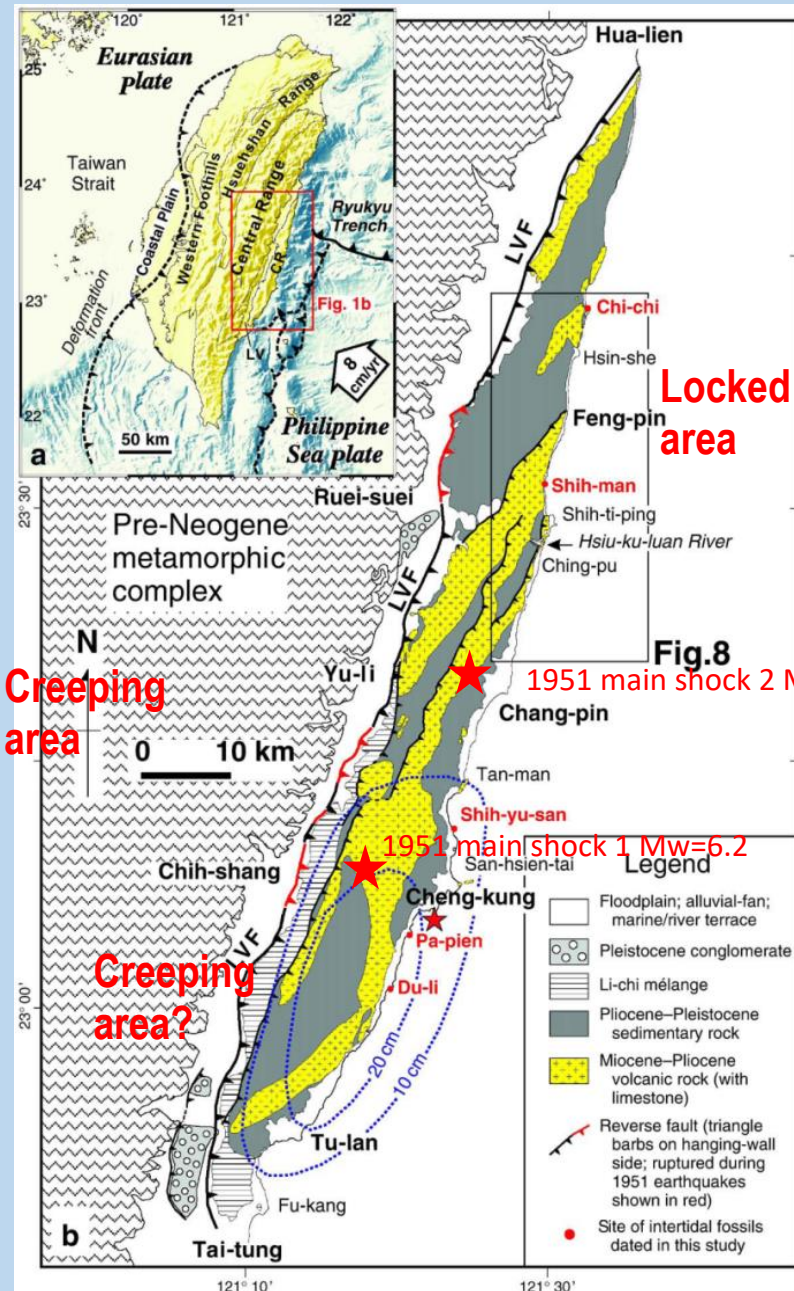
➢ 古地震調査によって分かっている
活動間隔

北部 (Ruei-suei)

170-210 yr

南部 (Chih shang)

50-100 yr



Creeping
area

Locked
area

Creeping
area?

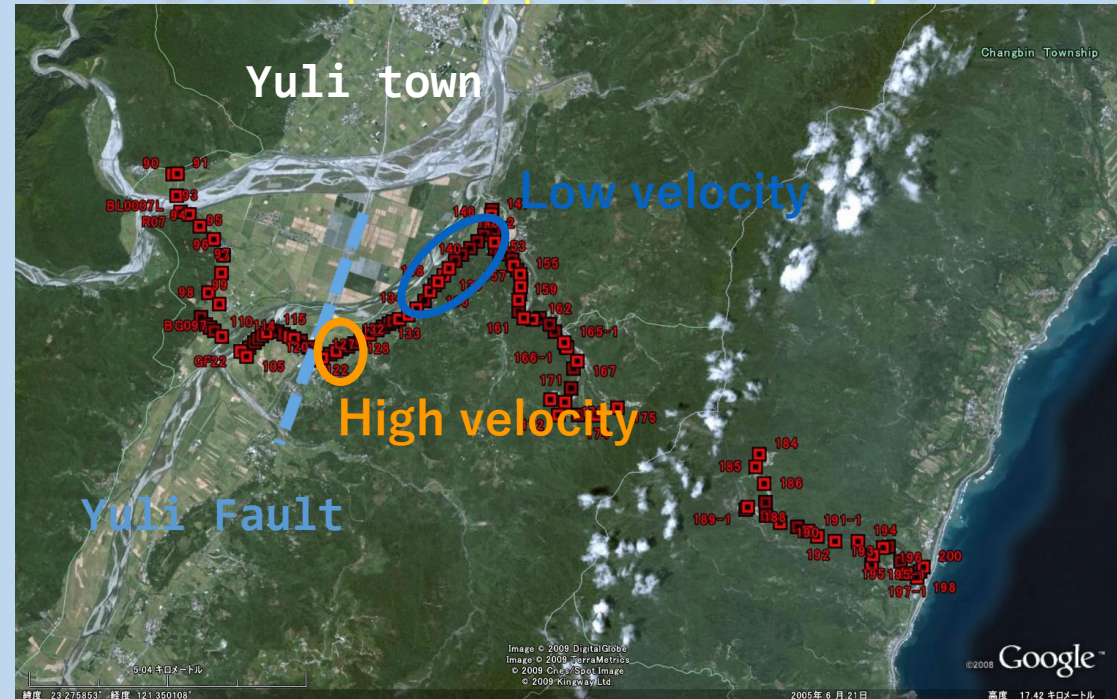
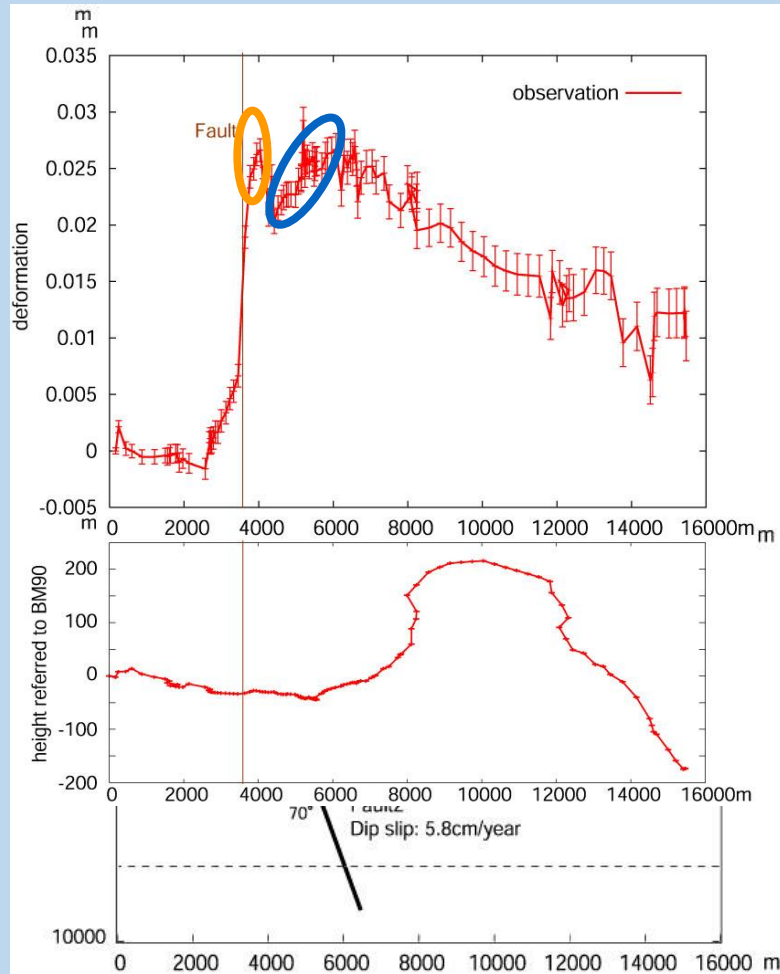


Creeping reverse fault



J. Angelier et al., 1997

lateral variation of creeping velocity.



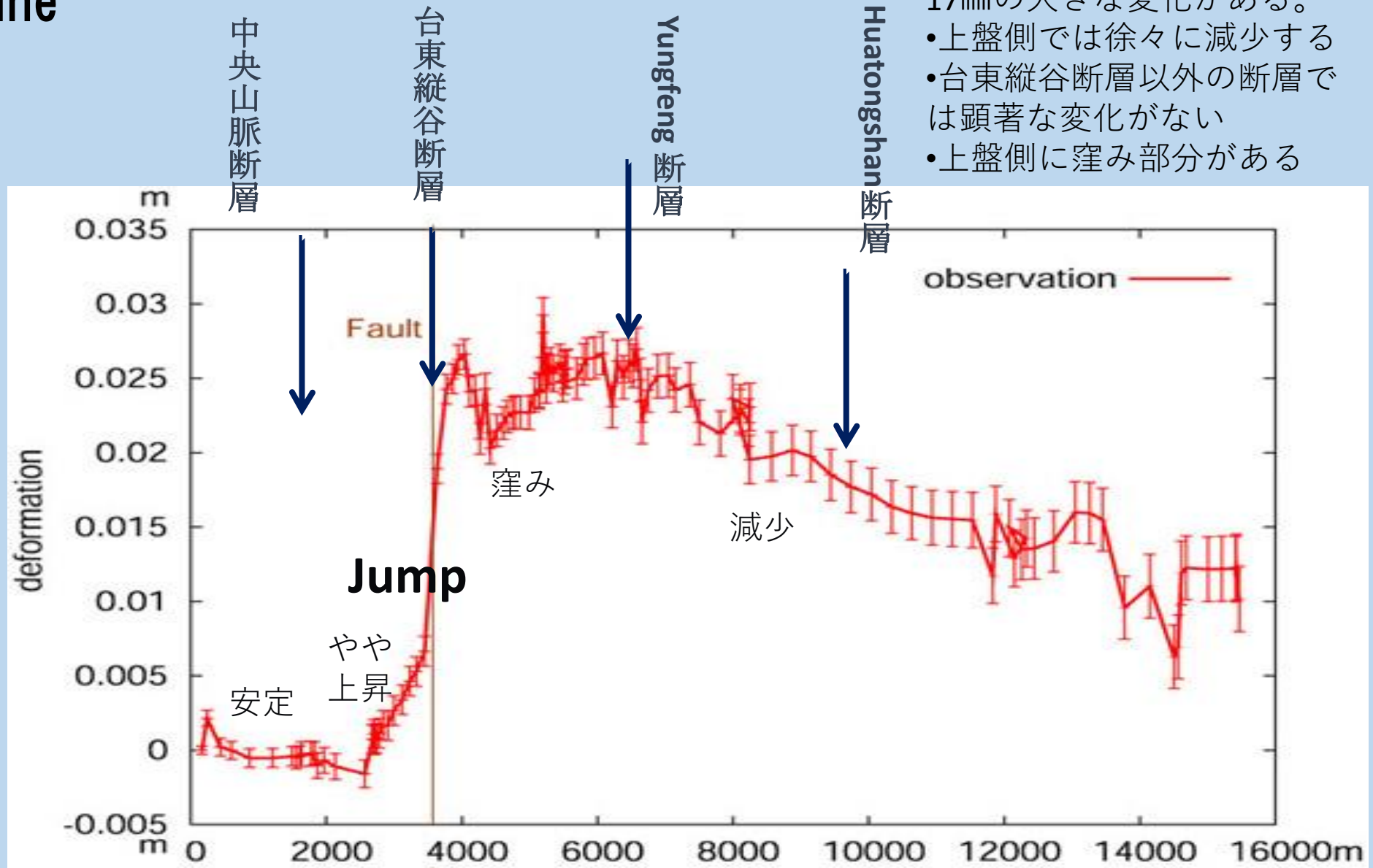
The deformation-velocity around 4km seem to be divided into two-types.

It may be caused by lateral variation of creeping velocity.

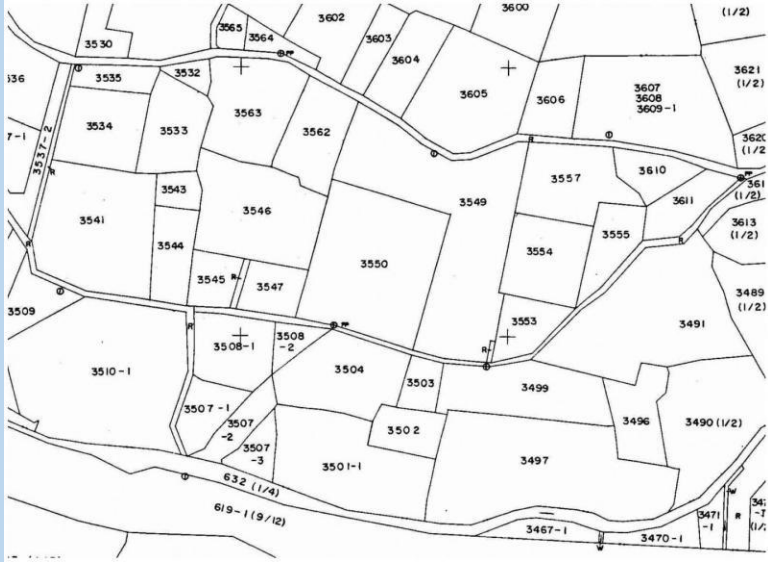
The subject for our further study is the lateral variation of creeping velocity.

投影された水準結果 projected line

- 台東縦谷断層付近で200mで17mmの大きな変化がある。
- 上盤側では徐々に減少する
- 台東縦谷断層以外の断層では顕著な変化がない
- 上盤側に窪み部分がある



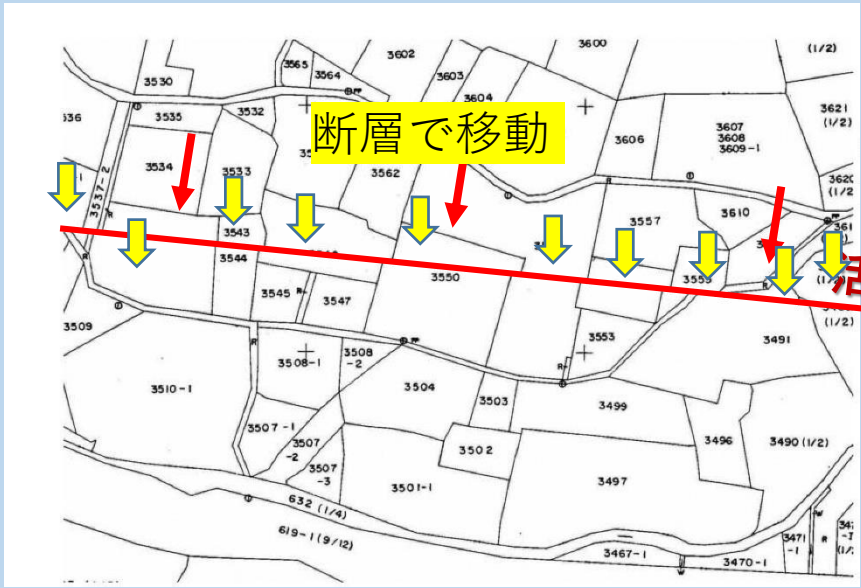
地籍図で地表地震断層をさぐる



イメージ



地表変形



イメージ

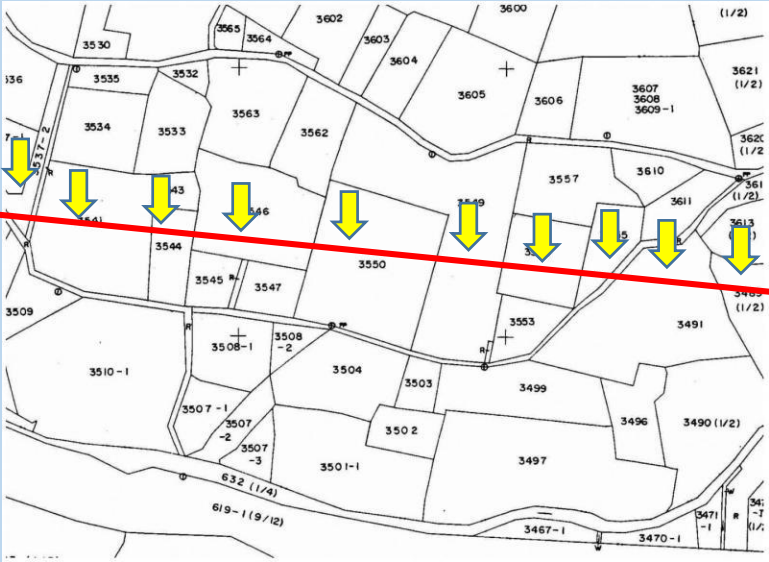
黄色の矢印の土地の地主は地変で圃場整備が必要
実際に土地の変化があったかを聞いてみる

地籍図は日據時代



空中写真判読で活断層を見つける

見つけた活断層



黄色の矢印の土地の地主は
1951年の地震で地変があった
可能性がある

実際に土地の変化があったか
を聞いてみる

2022年9月に地震が発生

赤線：2022年の地震で出現した断層

ピンク線：台湾で推定されている断層

- ⇒ 2022年度は赤実線を中心に調べる
- ⇒ 2023年、2024年は今回空中写真を判読した断層の周辺を調べる。



(a)



(b)



(c)



(d)

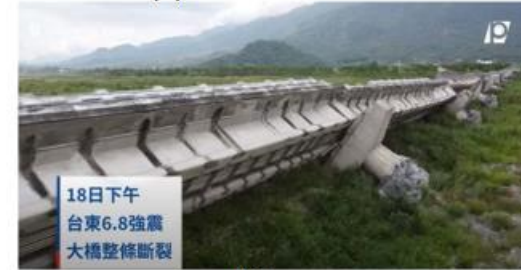
Figure 5.1. (a) Train derailment at Dongli station in Hualien. Photo taken by Taiwan Railways Administration; (b) - (d) Collapsed train platform canopy at Dongli Station in Hualien County (NowNews, 2022).



(a)



(b)



(c)



(d)

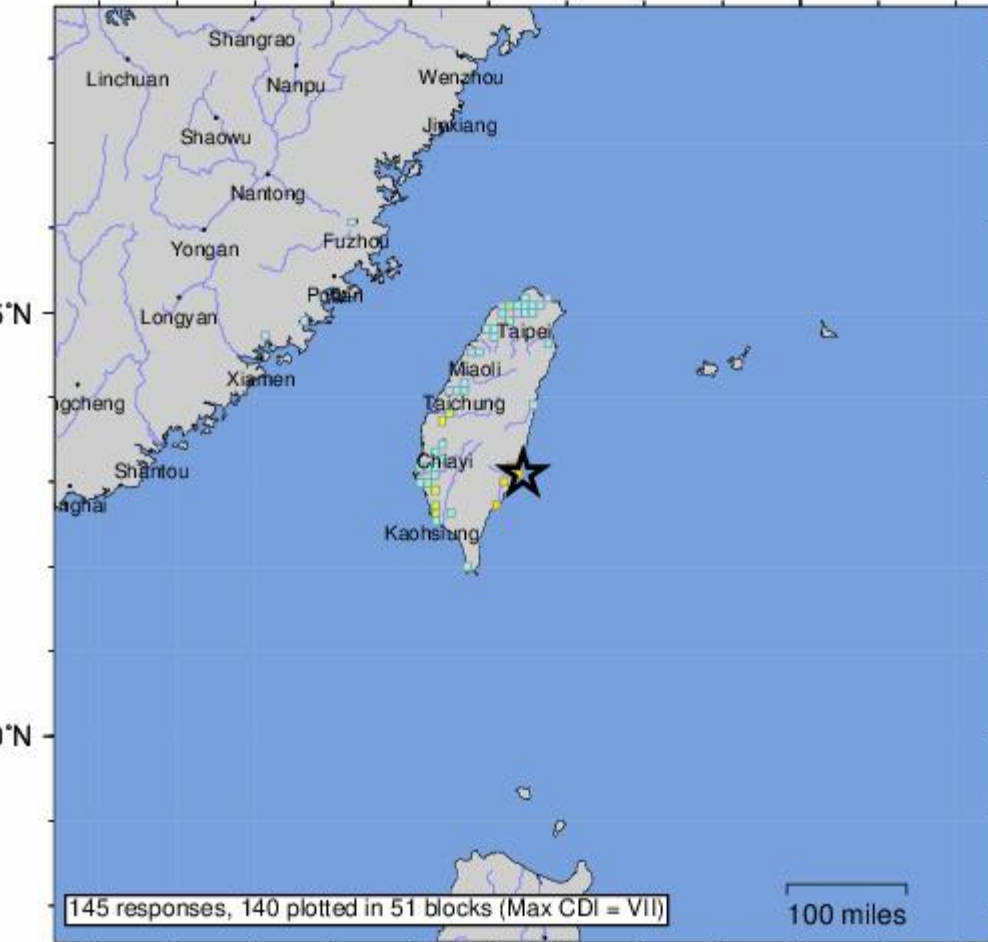


(e)

Figure 5.6. Gaoliao bridge (a) Before collapse (Photo by reporter Hua Mengjing); (b) - (e) Photos of the Gaoliao bridge after the earthquake (華夢靜, 2022; 華夢靜, 2022; Public Television News Network, 2022).

USGS Community Internet Intensity Map TAIWAN

2022-09-17 13:41:17 UTC 23.0946N 121.4368E M6.5 Depth: 10 km ID:us7000i8ui



120°E 125°E

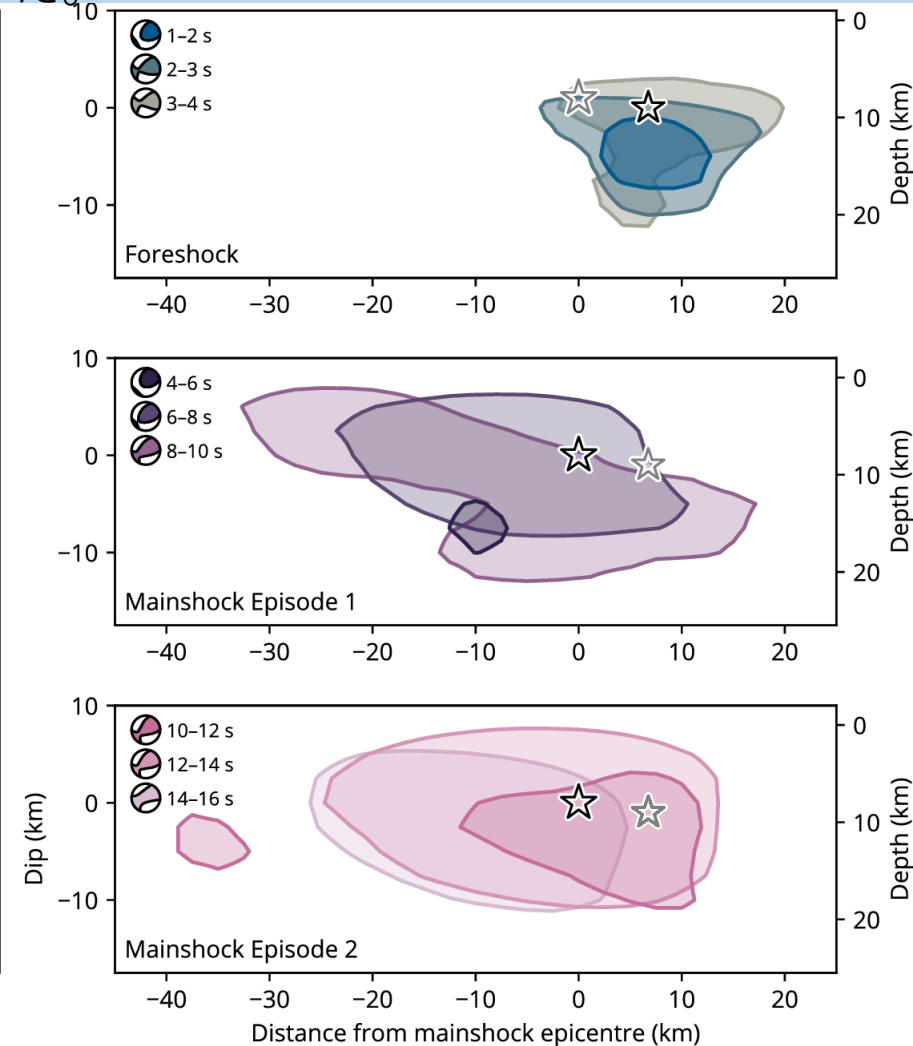
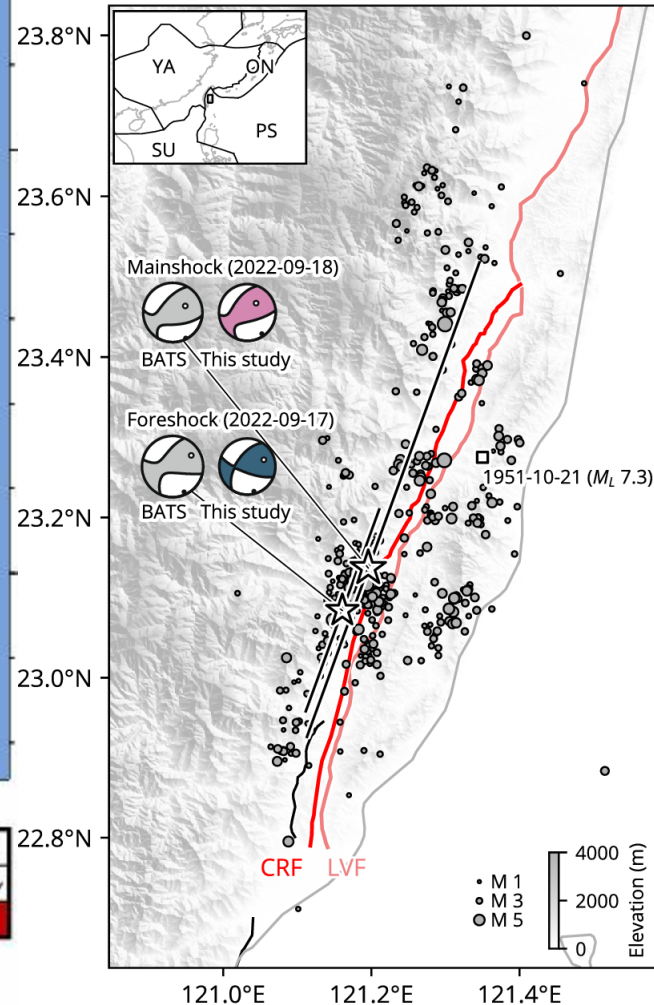
SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Processed: Mon Oct 17 05:18:10 2022 vmdyfi1

USGS HP

2023年9月17日に断層が地表に出現する大きな地震が発生。

しかし、地震は活断層から推定される海岸山脈を隆起させる東傾斜の断層による地震ではなく、西傾斜の中央山脈が隆起するような地震だった。



Yagi et al., 2023

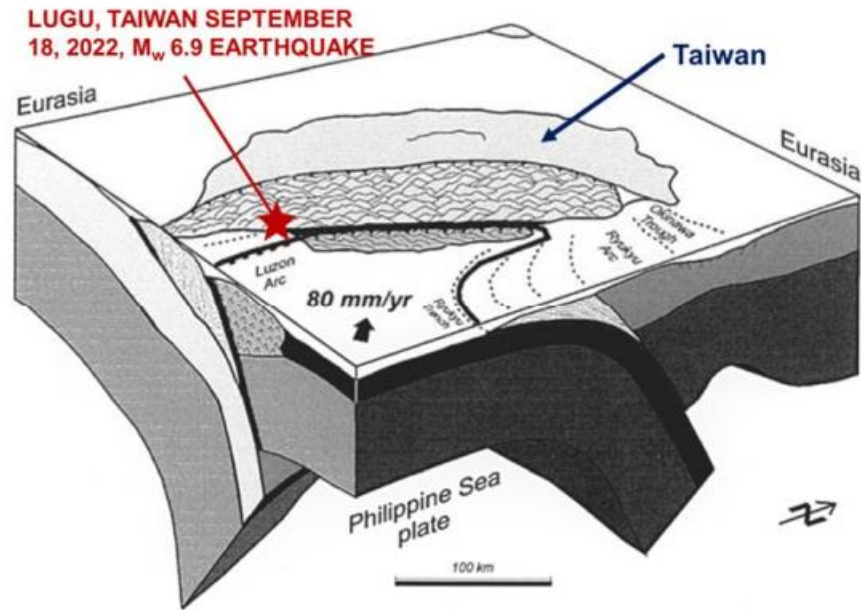


Figure 2.2. Three-dimensional schematic diagram of Taiwan's plate tectonics (adapted from & Teng, 2001).

[20220925 PVRR Taiwan Earthquake EERI FINAL-web.pdf \(learningfromearthquakes.org\)](https://learningfromearthquakes.org/web.pdf)

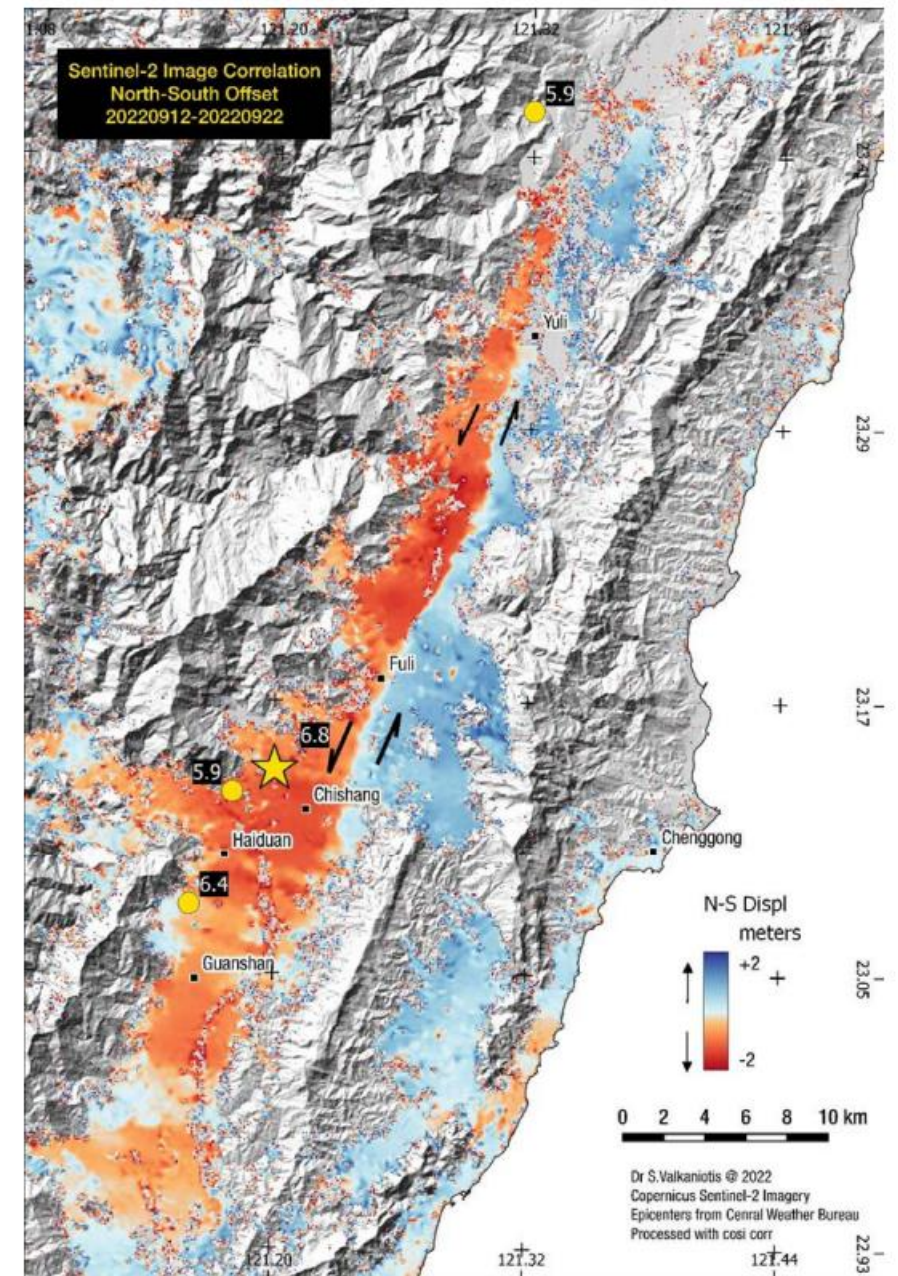
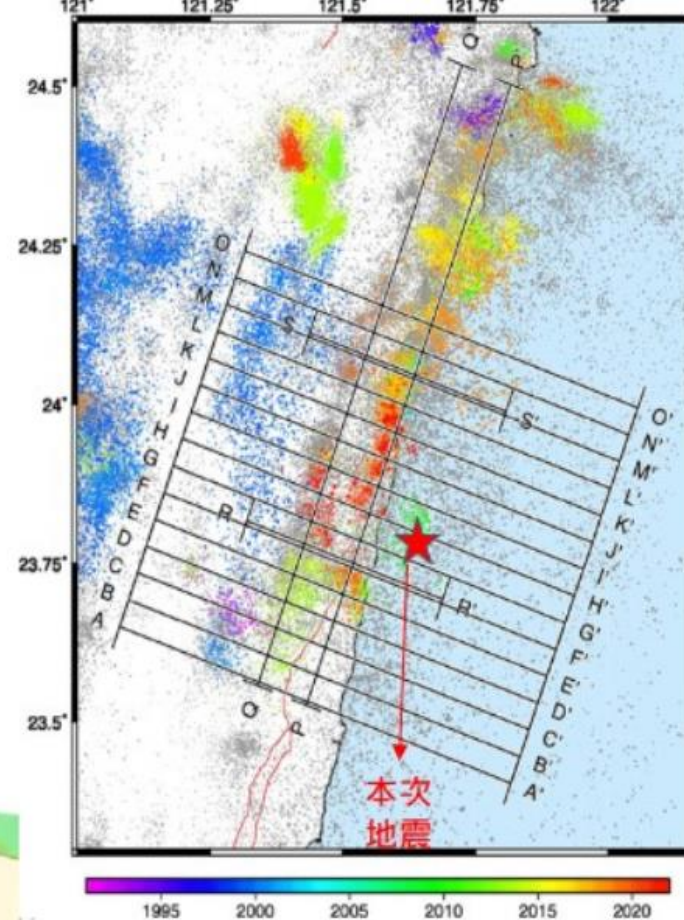
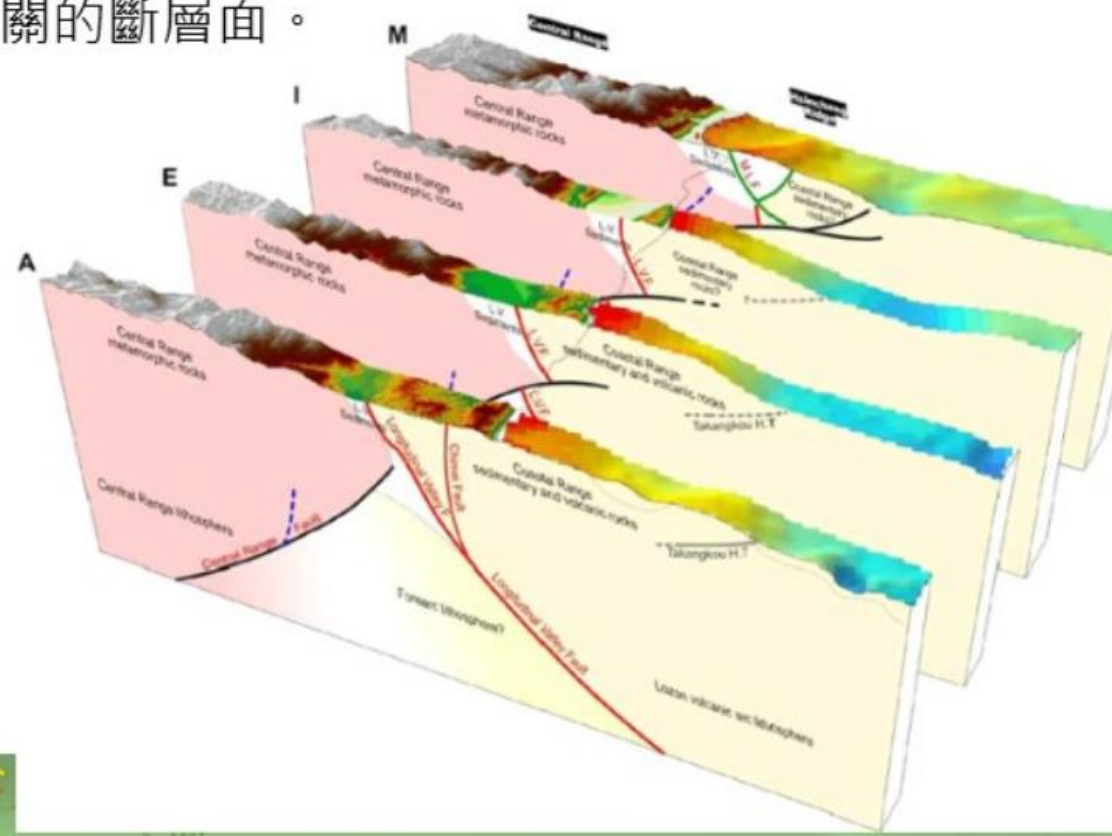


Figure 2.10. North-South co-seismic offset tracking using Sentinel-2 satellite imagery. The yellow star represents the epicenter of the mainshock earthquake, whereas the yellow circles represent the largest foreshocks and aftershocks (Valkaniotis, 2022).

地質背景與構造

本次地震發生的位置為花東縱谷縫合帶中構造較為複雜的地區，此地區主要有東側的縱谷斷層與西側的中央山脈斷層兩個平行的斷層系統。在海岸山脈北段，向西傾斜的中央山脈斷層系統朝東抬升並往東側靠攏，可能截切縱谷斷層，並將縱谷斷層分為淺部與深部兩個部分。本次的震央可能發生在中央山脈斷層向東延伸的斷層面上，或是與縱谷斷層系統相關的斷層面上。

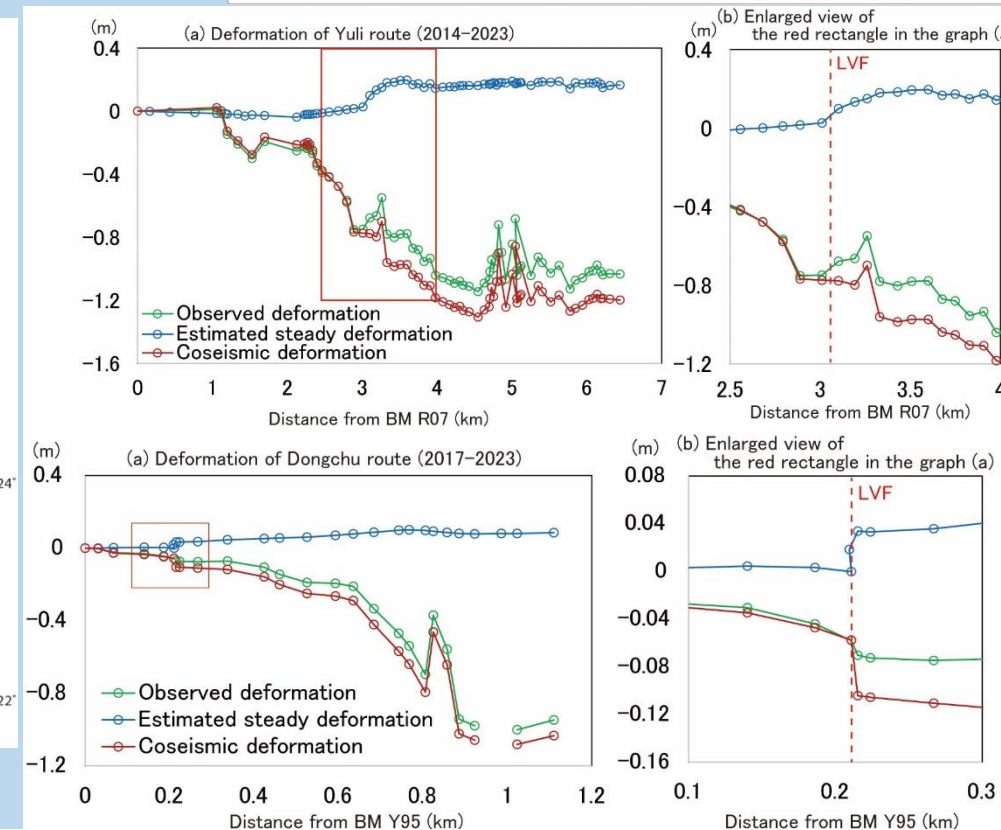
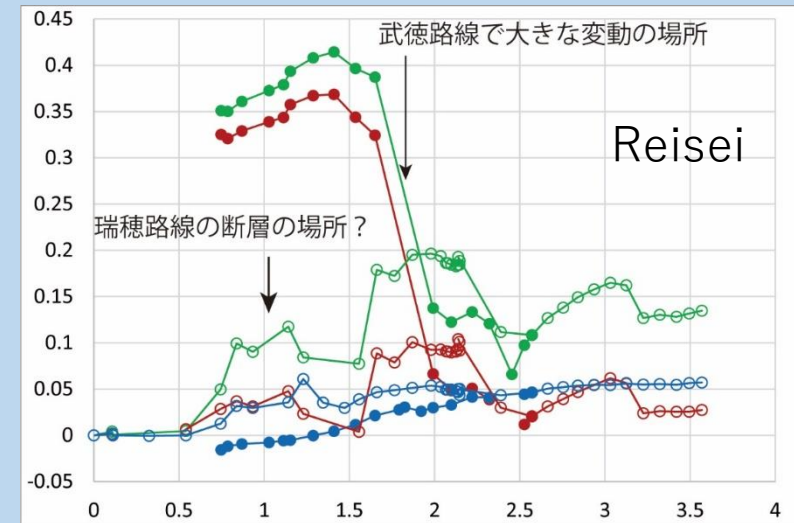
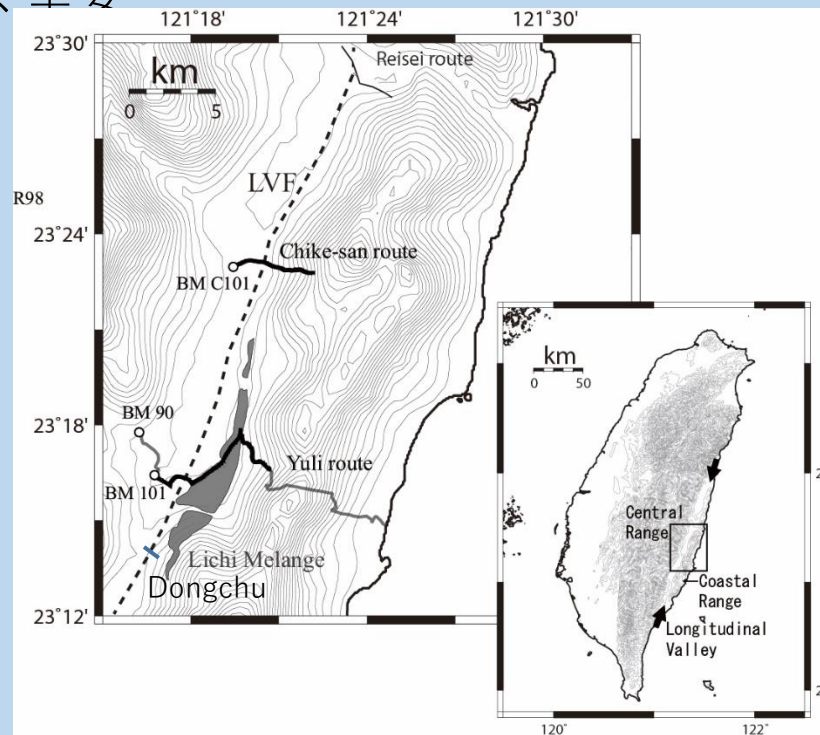


Huang and Wang (2022)



2023年調査の結果

- Dongchuでは断層が普段と逆に滑っている！
- 地震時が普段と異なる変形をしている。
- 定常的な動きと長期変形との関係性が不明！
- 2022年に出現した地表地震断層と2022年に活動しなかった活断層の関係性がおそらく重要



なお一層、1951年の地震で活動した活断層を特定する必要がある。

緑が2027～2023の観測値、青が2017～2023の定常変動の推定値、茶色が観測値から推定定常変動を引いた地震時変動です。縦軸は上下変動(m)、横軸は断層直交方向の距離(km)です

整理すると

- 定常状態でクリープしている、1951年の地震時の変位もある。
 - 定常状態のクリープでの変形と、地形の変形は似ているが一致はしていない。
 - 1951年の地表地震断層は明確にはわかっていない。
 - これらの変形は東傾斜の逆断層によると推定できる。
 - 2022年の地震は西傾斜の逆断層の地震だった。
 - 地表地震断層は一部は活断層と一致するが、まったく変形していない活断層も多い。
 - 地表地震断層とクリープ運動での変形は一致しない。一部は逆に滑っている。
-
- 1951年の地表地震断層の位置を明らかにする。
 - 地震後のクリープ運動は変化するのか
 - 活断層の位置を明らかにする
 - 活断層のトレースごとに活動履歴を明らかにする
 - 断層の地下構造を明らかにする

まとめ

活断層は変な地形として残る地震の痕跡から発見される。

活断層の履歴や様式から、そこで発生する地震（固有地震）を予測してリスク評価をしている。

活断層は、いま、発見の時代である

活断層は、起震断層（地下）による変状の地形表現である。

中国地方は活断層は、古い断層の再活動の横ずれ断層が多い