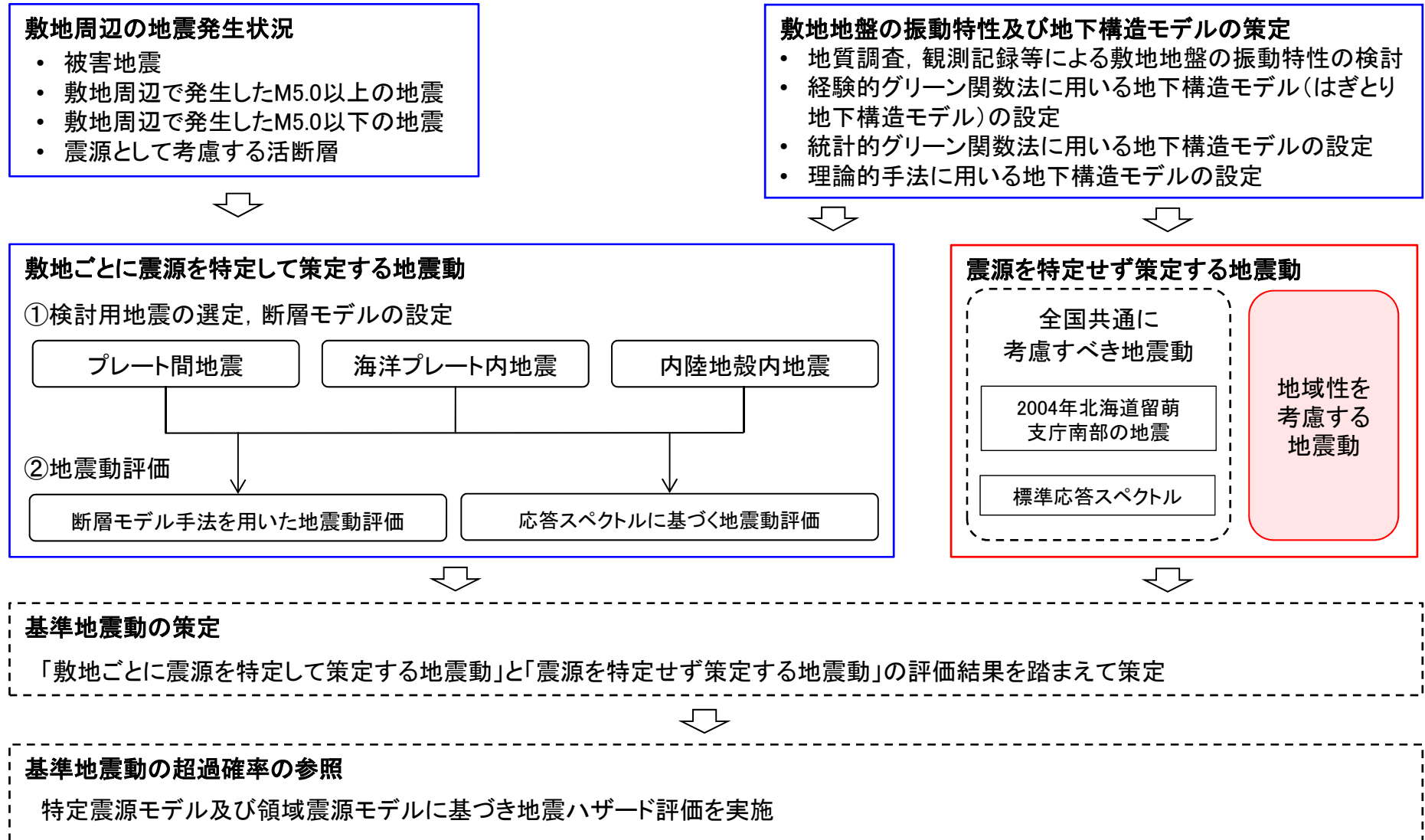


東通原子力発電所1号炉審査資料	
資料番号	A1-CA-0111
提出年月日	2022年9月12日

東通原子力発電所
震源を特定せず策定する地震動の評価について
(地域性を考慮する地震動)

2022年9月12日
東北電力株式会社

基準地震動の策定全体フローと本資料の説明範囲



凡例

: 本資料の説明箇所

: 説明済の箇所

: 今後の説明箇所

2014年6月申請以降の審議等を踏まえた反映事項

2014年6月申請内容	審議等を踏まえた反映事項
<ul style="list-style-type: none">加藤ほか(2004)による応答スペクトルにNoda et al.(2002)の方法により求めた地盤増幅特性を考慮して、震源を特定せず策定する地震動の応答スペクトルを設定した。	<ul style="list-style-type: none">➤ 「地域性を考慮する地震動」について検討を行った。<ul style="list-style-type: none">✓ 「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」について、2000年鳥取県西部地震及び2008年岩手・宮城内陸地震を対象に検討を行った。✓ 両地震とも観測記録収集対象の地震に該当しないと評価した。

目次

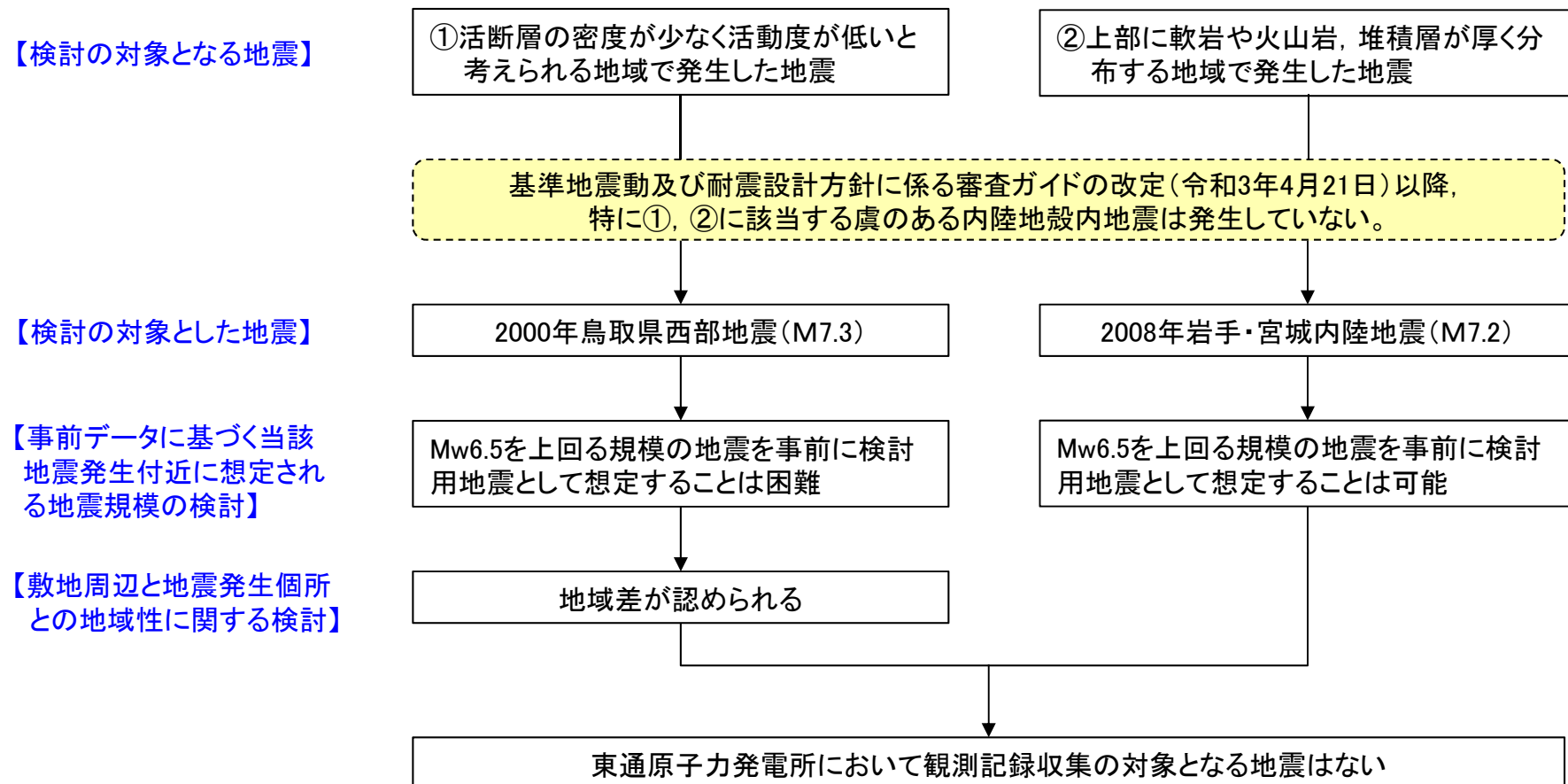
1. 検討概要	.....	4
2. 2000年鳥取県西部地震に関する検討	.....	7
2. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討	.....	8
2. 2 震源域と敷地周辺との地域性の比較・検討	.....	14
3. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する検討	.....	18
3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討	.....	19
4. 地域性を考慮する地震動の検討結果	.....	42
参考文献	.....	44

1 検討概要

1. 検討概要

(1) 全体フロー

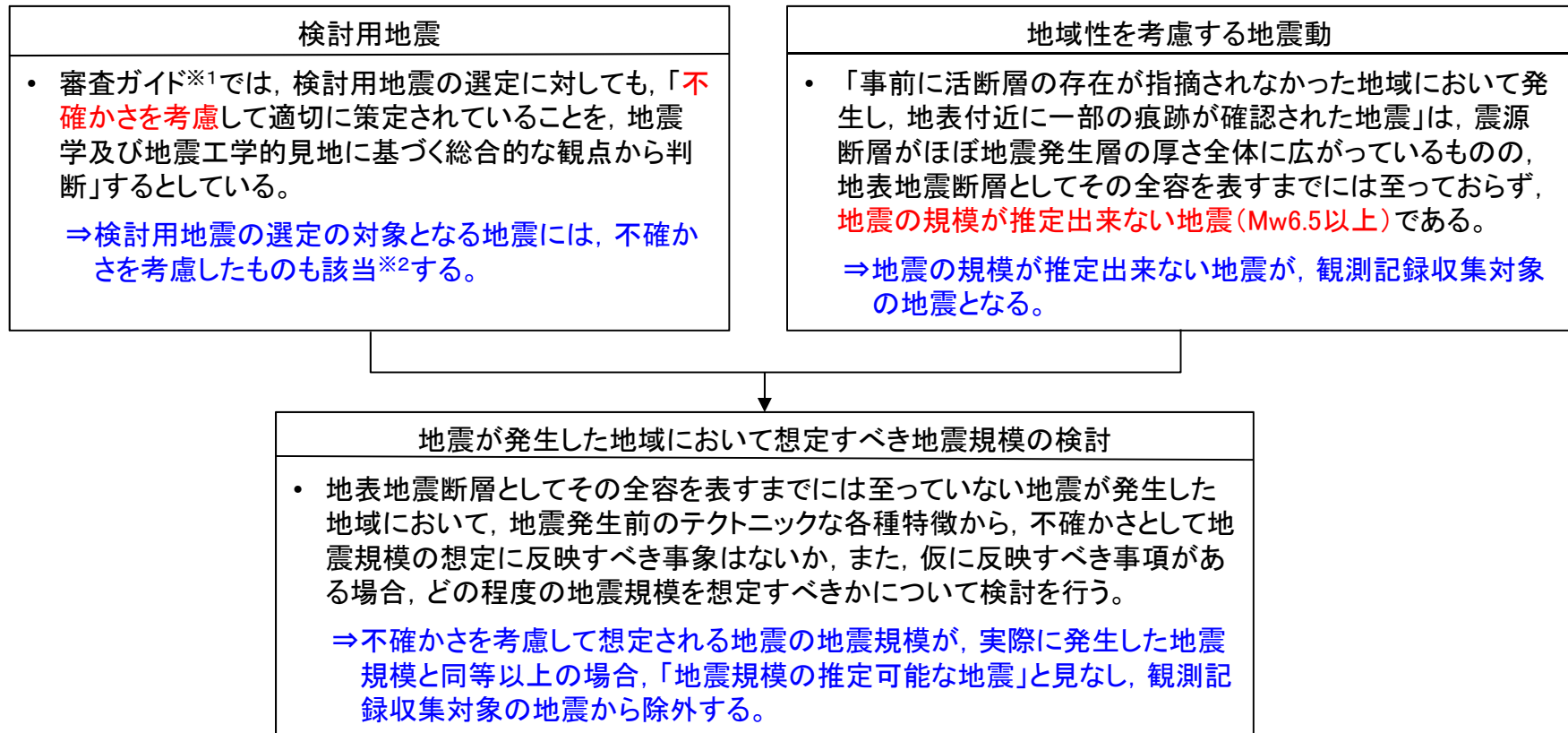
- 「事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部の痕跡が確認された地震」について、「①活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震」として2000年鳥取県西部地震を対象に、「②上部に軟岩や火山岩、堆積層が厚く分布する地域で発生した地震」として2008年岩手・宮城内陸地震を対象に検討を行い、東通原子力発電所においては、両地震とも観測記録の収集対象となる地震には該当しないと評価した。



1. 検討概要

(2) 事前データに基づく当該地震発生付近に想定すべき地震規模の検討

- 「地域性を考慮する地震動」は、「震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っておらず、地震の規模が推定出来ない地震(Mw6.5以上)」を対象としているため、地震が発生した地域において、事前データに基づき、どの程度の地震規模を検討用地震の対象となる地震として考慮すべきであったかについて検討を行う。
- 検討用地震の対象となる地震の地震規模の検討に際しては、不確かさも考慮する。



※1: 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド(令和4年6月8日改定)

※2: このような例として、東通原子力発電所の地震動の評価においては、プレート内地震では検討用地震の対象となる地震にあらかじめ不確かさを考慮した上で、敷地に与える影響の最も大きい地震を検討用地震として選定している。また、内陸地殻内地震では、「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」においても、あらかじめ不確かさを考慮した上で、検討用地震として選定している。

2. 2000年鳥取県西部地震に関する検討

- 2. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討
- 2. 2 震源域と敷地周辺との地域性の比較・検討

2.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

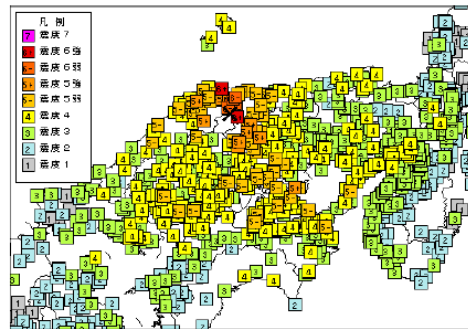
(1) 2000年鳥取県西部地震の概要

発生日時	2000/10/6 13:30
震央地名	鳥取県西部
緯度	35° 16.4' N
経度	133° 20.9' E
深さ	9km
規模	M7.3(Mw6.6)
震度	観測点名
6強	鳥取県 境港市, 日野町
6弱	鳥取県 泊町, 会見町, 岸本町, 日吉津村, 淀江町, 溝口町
5強	鳥取県 米子市, 岡山県 新見市, 香川県 土庄町他

(気象庁震度データベースによる)

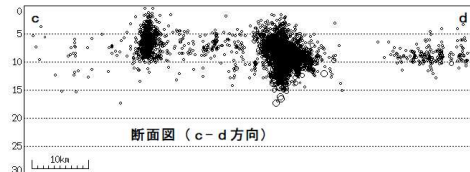
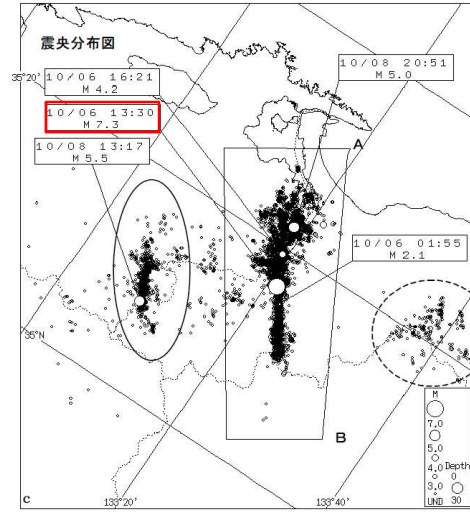
○ 地震概要

- ・負傷者 138名, 全壊家屋 371棟
- ・余震 北北西～南南東方向に約30km分布
- ・発震機構 東西方向圧縮軸 左横ずれ断層型
- ・1990年, 1997年に今回の余震域でM5クラスが発生
- ・1926年以降今回の震源近傍で3つ被害地震が発生



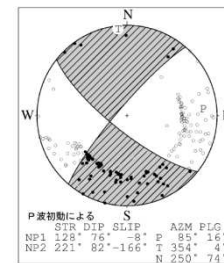
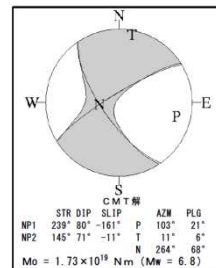
震度分布図

(「平成12年(2000年)鳥取県西部地震」
概要及び被害状況(鳥取地方気象台))



震央分布図

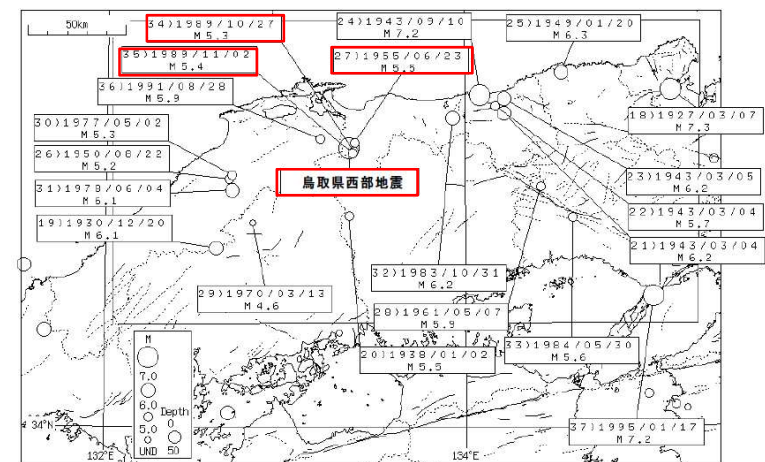
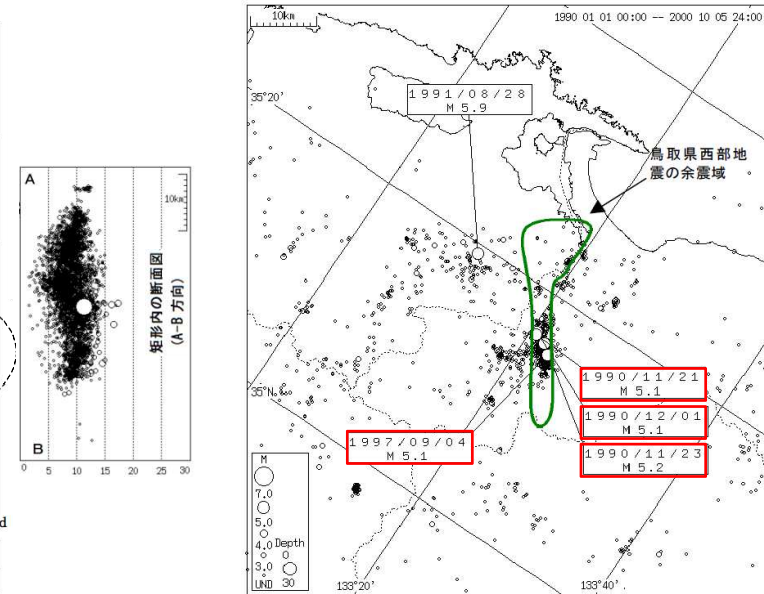
(2000年10月1日～10月31日)



発震機構

(CMT解及びP波初動による解)

(気象庁 平成12年10月 地震・火山月報(防災編)に一部加筆)

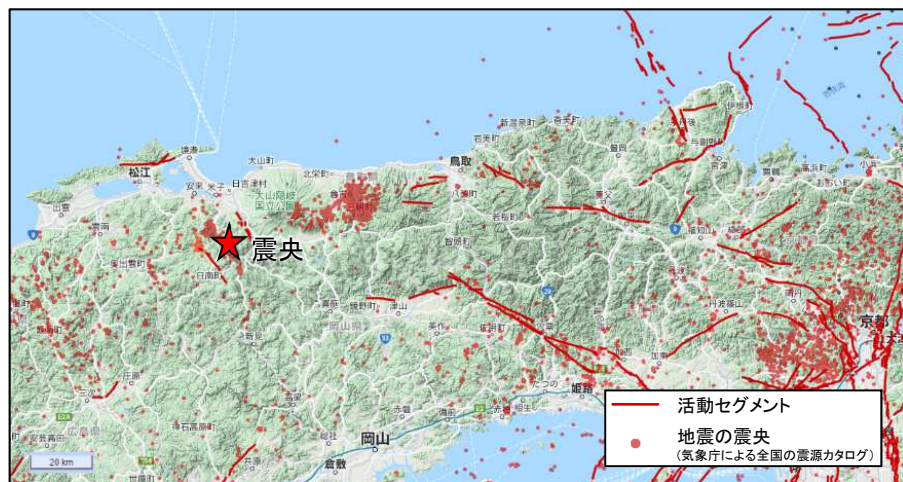


過去の被害地震(1926年～2000年)

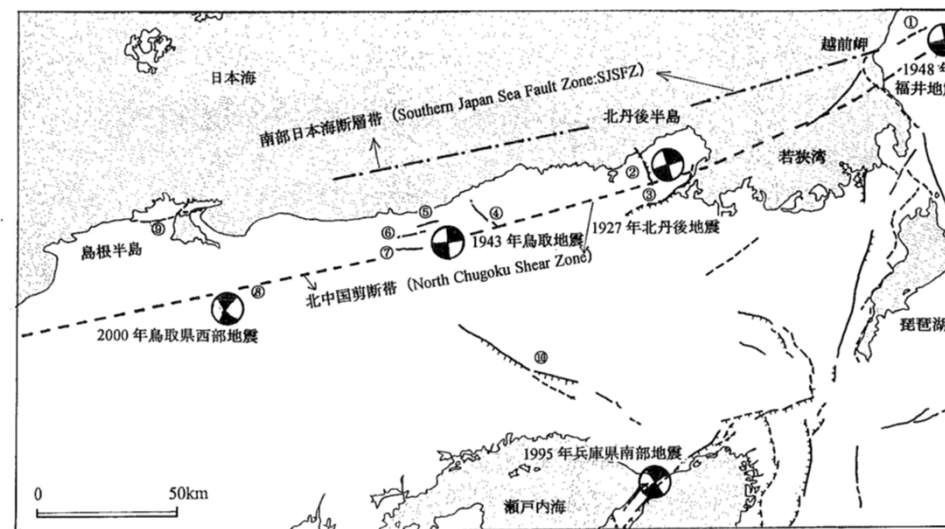
2. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (2) 震源域周辺の地質の特徴

【岡田(2002)要約】

- 文献では、震源域周辺に活断層は記載されていない。
- 震源域周辺を含む山陰地方は、WNW-ESE方向の圧縮場のもとでENE-WNWとNNW-SSEの方向の横ずれ断層が卓越するとされている。
- 活断層の発達過程でみると、初期の発達段階を示し、断層破碎帯幅も狭く、未成熟な状態とみなされる。



震源付近の活断層及び震央分布
(産業技術総合研究所,活断層データベースに加筆)



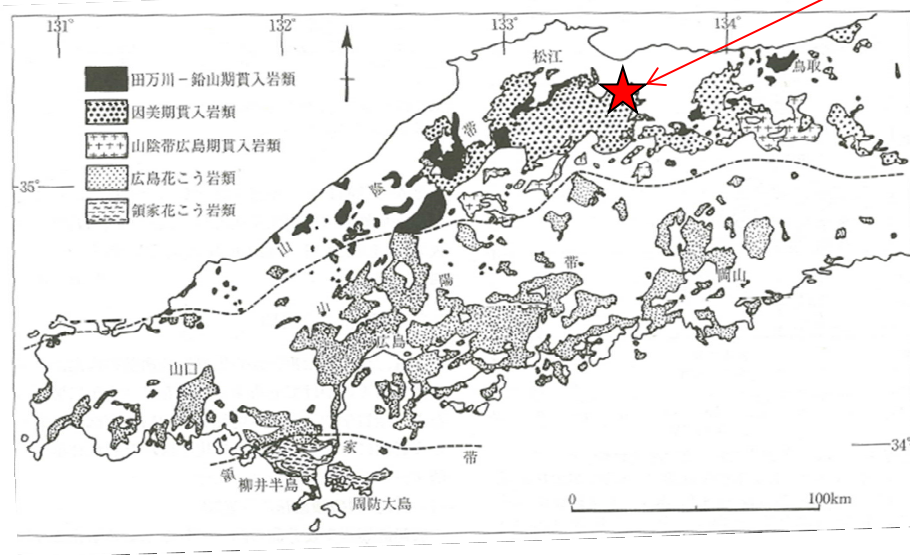
第1図 山陰地域の主な地震の発震機構解と活断層
主な活断層 ①更毛断層, ②郷村断層帯, ③山田断層帯, ④雨滝-釜戸断層帯, ⑤吉岡断層, ⑥鹿野断層, ⑦岩坪断層, ⑧鳥取県西部地震域の断層位置, ⑨鹿島断層, ⑩山崎断層帯, 内陸大地震 (M7.3以下) の発震機構解 (上半球投影) は地震断層を伴った1927年以降のみ示す. Gutscher and Lallemand (1999) の北中国剪断帯 (North Chugoku Shear Zone), Itoh *et al.*(2002) の南部日本海断層帯 (Southern Japan Sea Fault Zone:SJSFZ) の位置を図示.

[岡田(2002)]

2. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

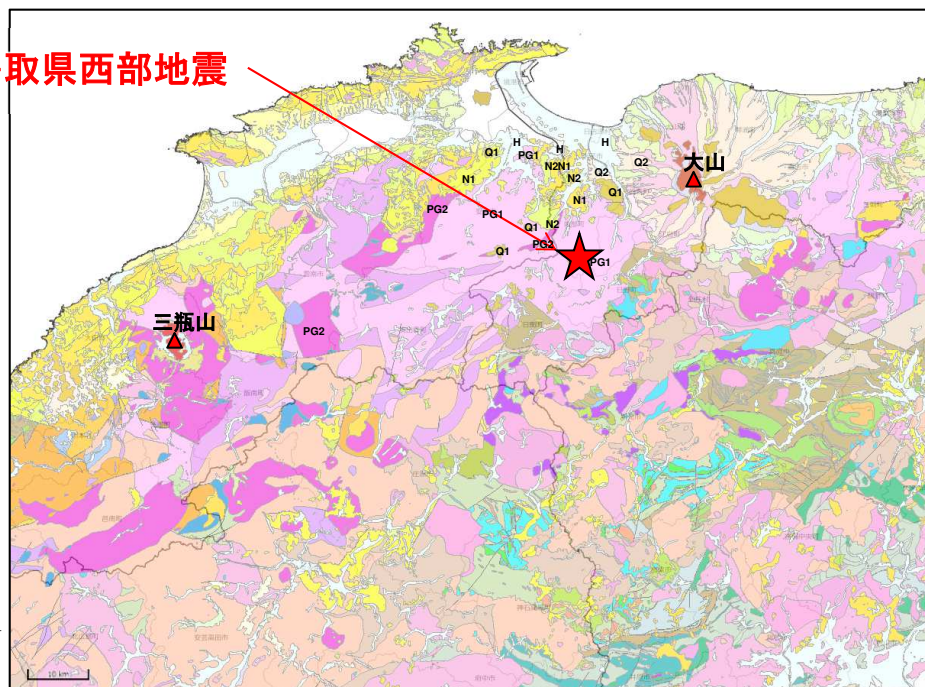
(3) 震源域周辺の地質の特徴

- 震源域周辺は、白亜紀から古第三系の花崗岩類が広く分布しており、新第三紀中新世に貫入した安山岩～玄武岩質の岩脈が頻りに分布しており、これらの岩脈の特徴として、貫入方向が今回の震源断層に平行である北西-南東方向であることが挙げられる。〔井上ほか(2002)〕。
- 震源域周辺は、明瞭な断層変位の少ない地域とされている。〔堤ほか(2000)〕



中国地方における白亜系～古第三系貫入岩類の分布
〔日本の地質増補版編集委員会編(2005)に一部加筆〕

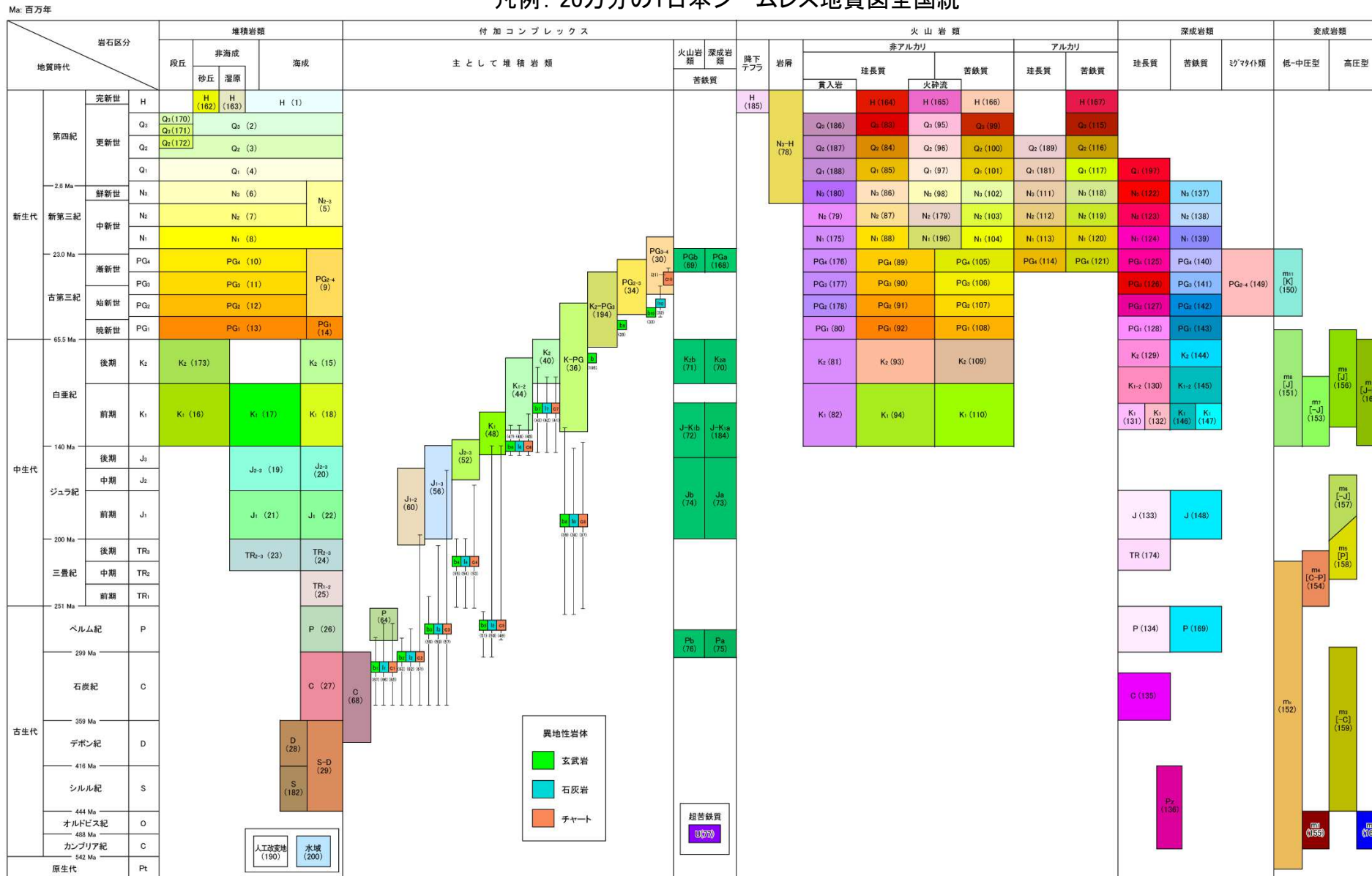
鳥取県西部地震



震源周辺のシームレス地質図
(産業技術総合研究所, 地質図Naviに一部加筆)

2. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (3) 震源域周辺の地質の特徴(シームレス地質図凡例)

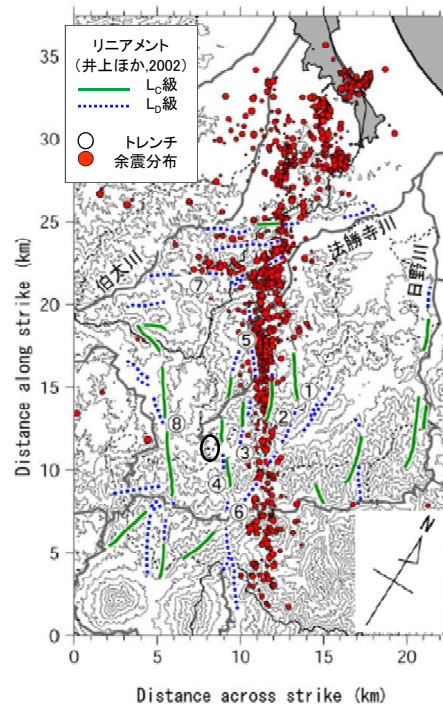
凡例：20万分の1日本シームレス地質図全国統一



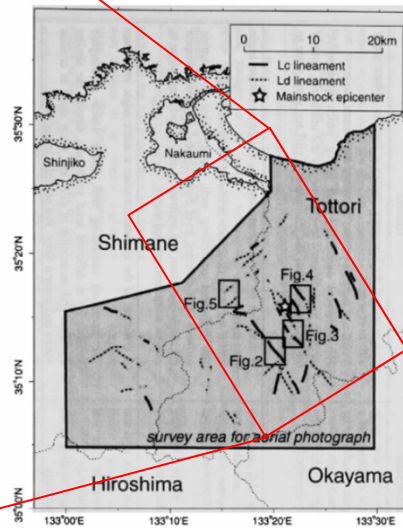
2. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(4) 震源域のリニアメントと余震分布

- 伏島ほか(2001)では、鳥取県西部地震により、長さ約6kmの地震断層が確認されたとしている。
- 堤ほか(2000)では、震源周辺で、地形に左ずれ屈曲を与えている2条の推定活断層と、最新の地質時代の断層変位地形が伴っていない長さ4km未満の北西-南東走向の複数のリニアメントを判読している。このうち、推定活断層に沿っては、花崗岩中に断層露頭を確認している。
- 井上ほか(2002)では、鳥取県西部地震の震源域周辺で、左横ずれを示唆する短く断続するリニアメント群が判読され、これらが震源断層の方向と一致するとされている。
- 堤(2009)では、鳥取県西部地震の震源域に、震源断層と同じ走向の推定活断層やリニアメントが高密度に分布することから、これらが地下の活断層の地表表現である可能性が高いとしている。
- 垣見(2010)では、堤ほか(2000)、井上ほか(2002)によるリニアメント分布の特徴から、鳥取県西部地震の震央域では若い未成熟な断層が並列的に現れ、その一部が地震断層として地表まで達したとされている。



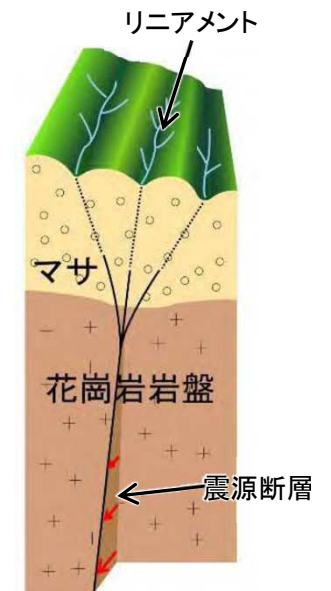
青柳ほか(2004)



井上ほか(2002)

〔井上ほか(2002)要約〕

- 鳥取県西部地震の震源周辺では、左横ずれを示唆する短く断続するリニアメント群が判読され、これらは想定されている震源断層の方向と一致している。
- リニアメント沿いで多くの断層露頭が確認され、これらの断層の一部は第四紀層を変位させている。
- これらの断層は、横ずれ断層に伴うフラワー構造を呈しており、地下では収斂し、震源断層になる。
- 若い未成熟な断層であり、地表近くまで破壊が進行したものの地表に明瞭な地震断層は出現しなかった。



2.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(5) まとめ

【2000年鳥取県西部地震の概要】

- 鳥取県西部地震は、北西－南東走向の横ずれ(左横ずれ)断層による地震とされている[(気象庁(2000))]
- 震源域周辺を含む山陰地方は、WNW-ESE方向の圧縮場のもとでENE-WNWとNNW-SSEの方向の横ずれ断層が卓越する[岡田(2002)]。
- 活断層の発達過程で見ると、初期の発達段階を示し、断層破碎帯幅も狭く、未成熟な状態とみなされるとされている[岡田(2002)]。
- 震源域周辺は、白亜紀から古第三紀の花崗岩を主体としており、新第三紀中新世に貫入した安山岩～玄武岩質の岩脈が頻繁に分布している[井上ほか(2002)]。また、明瞭な断層変位基準の少ない地域とされている[堤ほか(2000)]。
- 鳥取県西部地震後に実施された堤ほか(2000)、井上ほか(2002)の調査では、鳥取県西部地震の震源周辺において、左横ずれを示唆する短く断続する推定活断層及びリニアメントを判読し、リニアメント周辺で断層露頭を確認している。



震源域周辺は活断層の発達過程で見ると未成熟な状態であり、また、明瞭な断層変位基準の少ない地域とされていることから、活断層の認定が難しい地域と判断される。

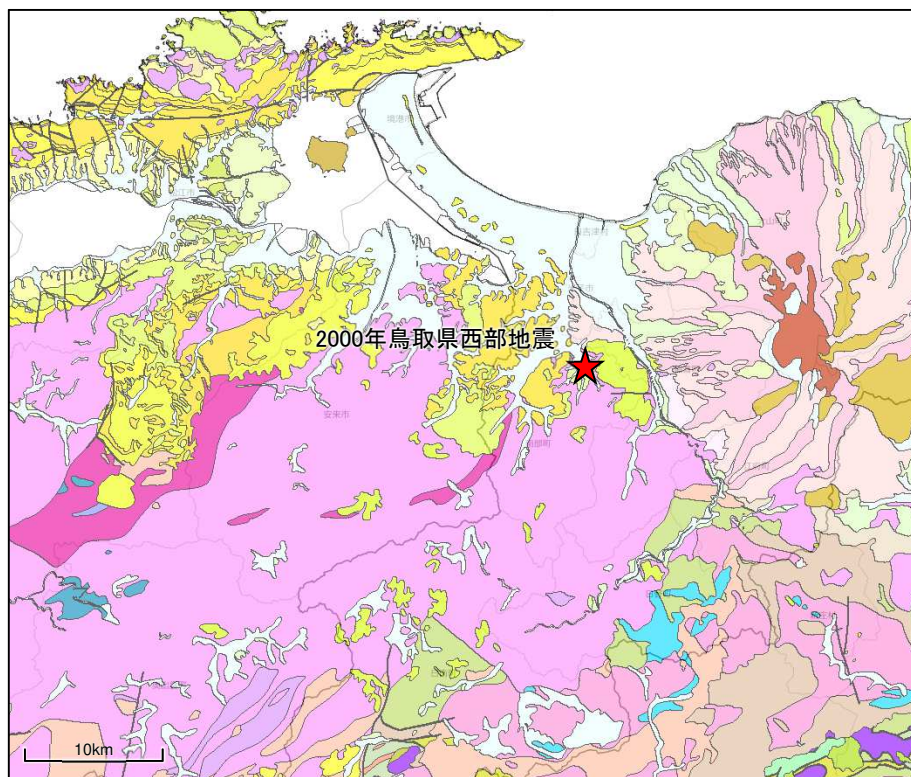


当該地域において、2000年鳥取県西部地震と同等以上の規模の地震をあらかじめ想定することは困難
⇒震源域と敷地周辺との地域性の比較・検討を行う(次節)

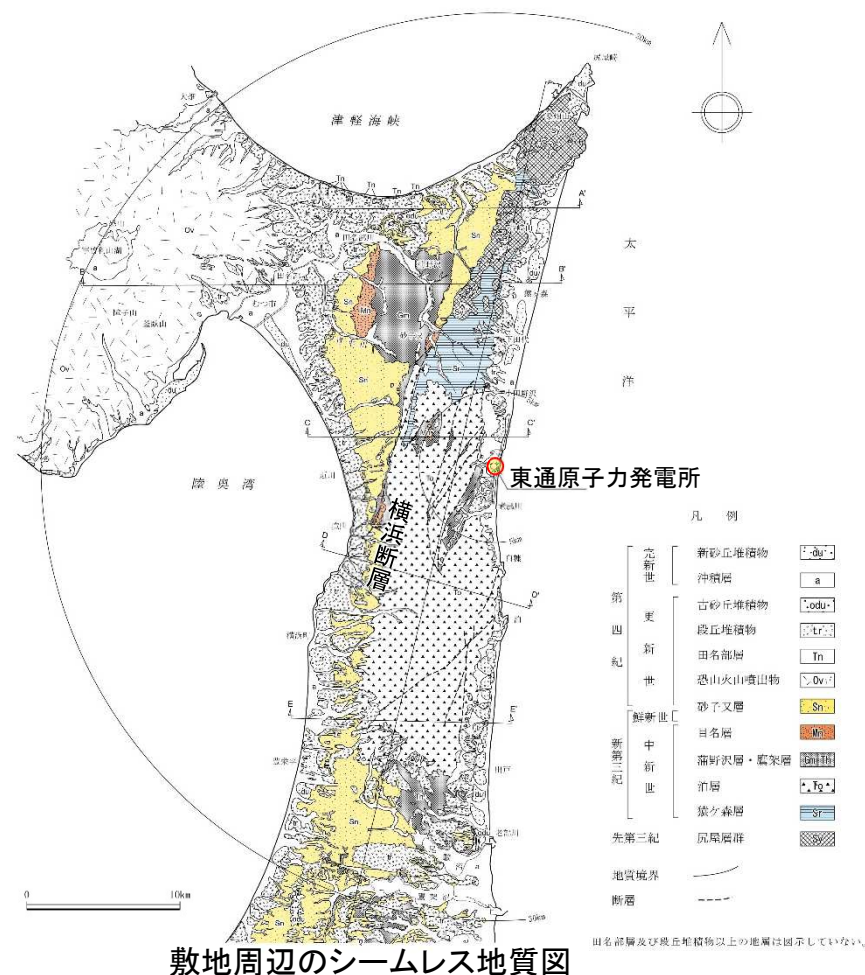
2.2 震源域と敷地周辺との地域性の比較・検討

(1) 地質・地質構造，第四系の分布・地形等による比較

- 震源域周辺は、白亜紀から古第三紀の花崗岩を主体としており，新第三紀中新世に貫入した安山岩～玄武岩質の岩脈が頻繁に分布している。山陰地域の活断層は「活断層の発達過程でみると，初期の発達段階を示し，断層破碎帯幅も狭く，未成熟な状態とみなされる。」とされている。また，明瞭な断層変位基準の少ない地域とされている。
- 敷地周辺は，主に新第三系中新統の火山岩類や堆積岩類，第四系中部～上部更新統の段丘堆積層等が分布し，大規模な岩脈の分布は認められない。敷地周辺には，主に中位段丘面および高位段丘面が分布している。敷地周辺には，横浜断層(逆断層)等が認められる。



震源周辺のシームレス地質図
(産業技術総合研究所，地質図Naviiに一部加筆)



敷地周辺のシームレス地質図

2.2 震源域と敷地周辺との地域性の比較・検討 (2) 地震地体構造区分による比較・検討

垣見ほか(2003)による地震地体構造区分

- 鳥取県西部地震の震源域は、(10C5)中国山地・瀬戸内海に区分される。北半部は安定隆起域で、活断層の密度は小さいが地震活動は比較的高く、東西圧縮の横ずれ断層型の卓越する地域とされている。
- 敷地周辺は、(8B)東北日本弧外帯に区分され、外弧隆起帯、安定域で活断層の密度が小さく、東西圧縮の逆断層型の地域とされている。

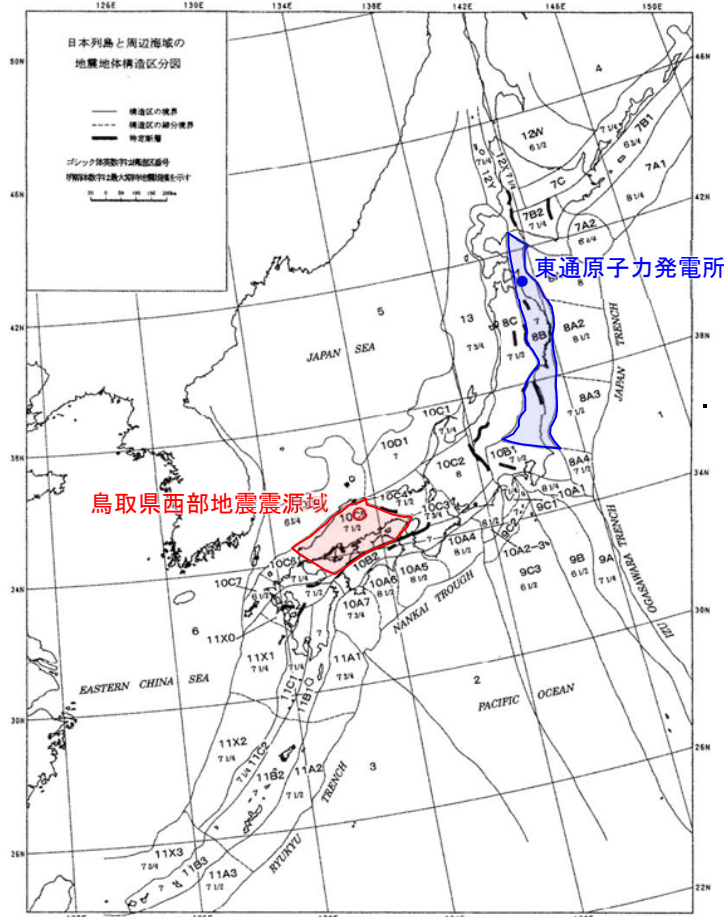


Fig. 1. Seismotectonic province map in and around the Japanese islands. Boldfaced sign is the symbol of province. Roman-type numeral represents the expected maximum earthquake magnitude (M_{max}) assigned to each province. Solid line: boundary between provinces. Broken line: boundary between subprovinces. Bar: the designated fault.

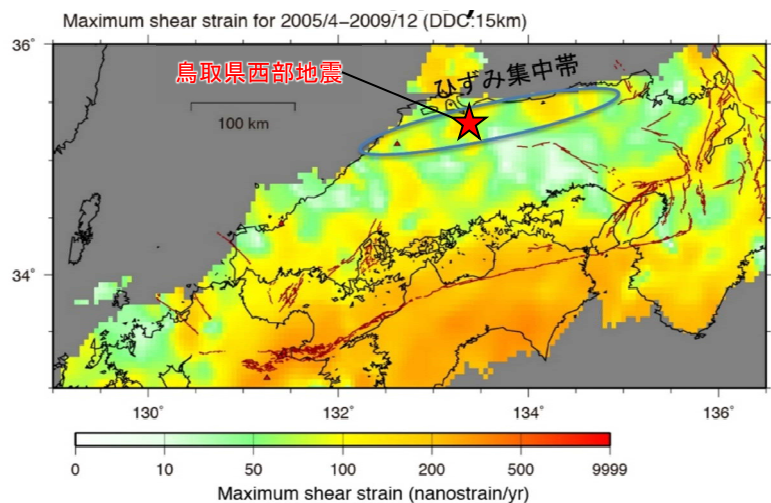
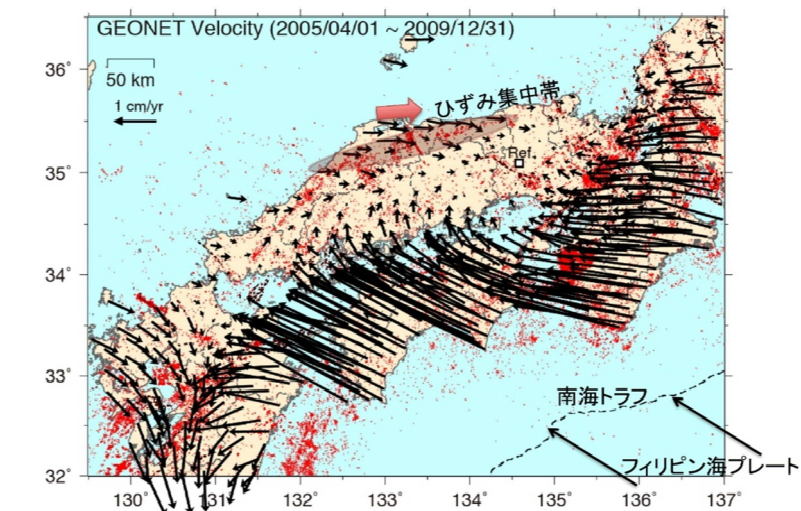
Table 1. Continued

(1) 構造区	(2) 地形・地質	(3) 活断層の密度・長さ・活動度・断層型ほか特徴と主な起震断層名 L (km) M.L.	(4) 逸発大・中地震活動と主な地震名 M.h.	(5) M_{max}	(6) 特定断層：備考
8A3 常盤沖大断層帯	深海平坦面と海溝陸側斜面	大、長、A、逆・正。 日本海溝に平行(逆)、大断層帯で正 ・海溝のための評価せず	高 プレート境界付近の大地震域 ・1938年福島県沖 ・1896年福島	7.5 7.3	7 1/2
8A4 房総沖大断層帯	階段状平坦面をもつ海溝陸側斜面、東西性海脚発達	中、長、A?、逆・正 日本海溝沿い(逆)および北東方向(正) ・海溝のための評価せず	中 プレート境界付近の大地震域 ・1963年房総沖地震 (h=60 km) ・1677年延宝 (M8) は不確実	7.4	7 1/2
8B 東北日本弧外帯	外弧隆起帯、安定域	極小、短(長)、C、逆・横 ・三郎断層帯	低 ・1931年岩手県東部 ・1895年霞ヶ浦 (M7.2) および ・1902年三戸 (M7) はやや深い (s)	6.5	7 折爪断層 (40 km) 双葉断層 (84 km) [福島県(1999)は北部の10 kmのみを評価]
8C 東北日本弧内帯	火山性内弧、隆起優勢、脊梁山地・出羽丘陵の火山帯(隆起帯)とその間の盆地列(沈降帯)、島弧方向の逆断層~褶曲発達	中、中、B、逆。 島弧と平行、隆起帯基部に発達 ・関谷断層帯 38 7.5 ・金峰盆地西縁断層帯 38 7.5 ・龍崎山地西縁断層帯 31 7.3 ・長町-利府断層帯 38 7.5 ・能代断層帯 32 7.3 ・北由利断層帯 29 7.3 ・函館平野西縁断層帯 22 7.1	高 東西圧縮逆断層型 ・1765年津軽 ・830年出羽 ・1896年津羽 ・1914年秋田仙北 ・1704年羽後・津軽 ・1804年会津 ・1694年能代 ・1683年日光 ・1900年宮城県北部 ・1791年松本	7 1/4 7 7.2 7.1 7 ± 1/4 7 ± 0.1 7.0 7.0 7.0 6 3/4	7 1/2 福島盆地西縁断層帯 (47 km) [福島県(1998)および宮城県(2001)は一括活動を想定] 横手盆地東縁断層帯 (58 km) [分割型] 北上低地西縁断層帯 (79 km) [岩手県(1998)は北部37 kmと南部24 kmを別々に評価、推本(2001a)は一括活動を想定、分割の可能性は今後の課題とした]
10C4 西近畿	若狭湾は沈降域、丹波高原は安定隆起域、北部に火山	中、中、B、横。 西北西方向(左)卓越 ・三峠-鳥山断層帯 52 7.7 ^a ・京都西山断層帯 17 6.9 ※三峠断層と鳥山断層帯を分割して評価	中 (1885年以降は北部で高) 西北西方向(左)卓越 ・1927年北丹後 ・1943年鳥取 ・868年播磨・山城(山崎断層か)	7.3 7.2 >7.0	7 1/2 山崎断層帯 (85 km) [兵庫県(2001)は中・西部と東部を分割して評価]
10C5 中国山地・瀬戸内海	北半部は安定隆起域、南半部は沈降域、北部に火山	小、中(長)、B (A)、横・逆。 北東(右)、北西(左)が卓越、東西(逆)はやや古い、南端は中央構造線 ・那岐山断層帯 31 7.3 ・長尾断層帯 23 7.1 ・江知断層帯 23 7.1 ・五日市断層帯 20 7.0	中 (1885年以降は北部で高) 瀬戸内海でやや深い、東西圧縮横ずれ断層型 ・1857年安芸・伊予 7 1/4 ± 0.5 ・1905年安芸灘 (s) 7 1/4 ・1872年高田 7.1 ± 0.2 ・1686年安芸・伊予 7 ~ 7.4 ・880年出雲 7.0 ・1649年安芸・伊予 7.0 ± 1/4 ・2000年鳥取県西部 7.3	7.0 7.0 7.0 7.0 7.0 7.3	7 1/2 中央構造線四国断層帯 (計200 km) [分割型] [本文参照] 岩国断層帯 (47 km) [分割型] [M2000は25 kmを图示]
10C6 北九州・岩崎	南部は隆起優勢、北部は沈降優勢の安定域	中、中、短、C?、横。 北北西(左)方向卓越 ・菊川断層帯 32 7.3 ・西山断層帯 30 7.3 ・小倉東断層帯 17 6.9 ・福知山断層帯 20 7.0 ・警因断層帯 19 7.0	低 ・1700年若狭対馬 ・1898年福岡県西部	7.0 6.0	7 1/4 論上にはなし

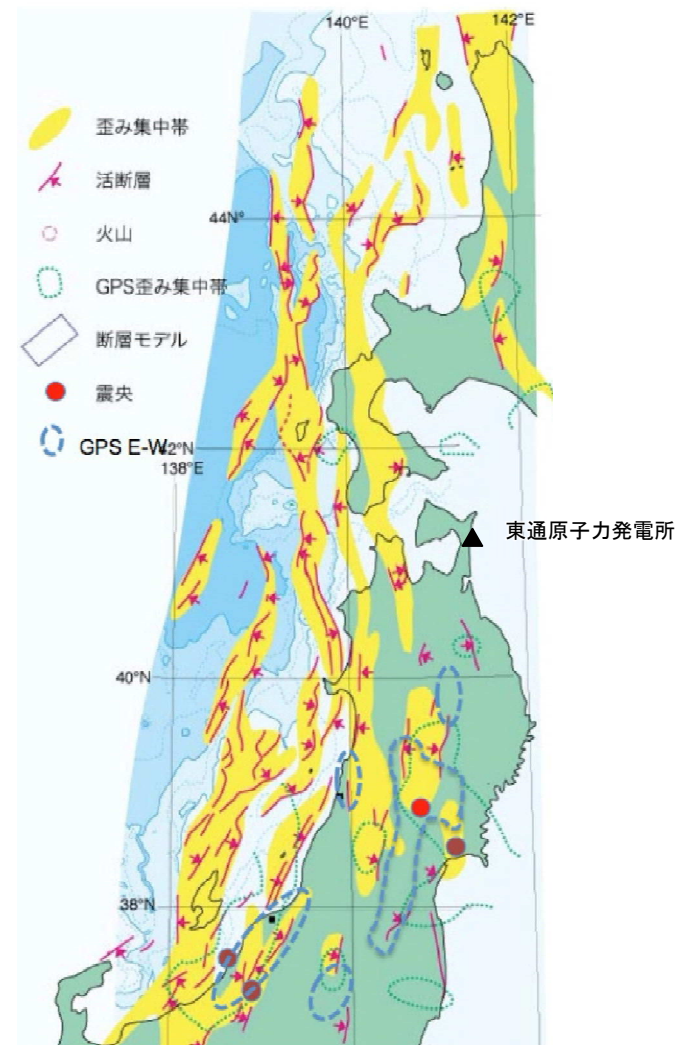
2. 2 震源域と敷地周辺との地域性の比較・検討

(3) ひずみ集中帯分布図による比較・検討

- 鳥取県西部地震の震源域は、西村(2014)においてひずみ集中帯と指摘されている。
- 敷地周辺は、地質学的ひずみ集中帯、測地学的ひずみ集中帯の領域外に位置し、地殻内微小地震の密集は認められない。



西村(2015)に一部加筆



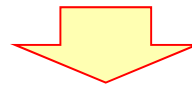
(産業技術総合研究所, 2009)に加筆

2.2 震源域と敷地周辺との地域性の比較・検討

(4) 2000年鳥取県西部地震震源域との地域性の比較・検討結果

[凡例] ○:類似性有り, △:類似性低い～一部有り, ×類似性なし

項目	類似性	鳥取県西部地震の震源域	東通原子力発電所敷地周辺※
地質・地質構造	×	<ul style="list-style-type: none"> 白亜紀から古第三系の花崗岩を主体としており, 新第三紀中新世に貫入した安山岩～玄武岩質の岩脈が頻繁に分布。 	<ul style="list-style-type: none"> 主に新第三系の火山岩類, 堆積岩類や第四系の段丘堆積物等が分布し, 大規模な岩脈の分布は認められない。
第四系の分布・地形等	×	<ul style="list-style-type: none"> 明瞭な断層変位基準の少ない地域である。 WNW-ESE方向の圧縮応力による横ずれ断層型。 文献[岡田(2002)]では, 震源域周辺に活断層は記載されていない。 第四紀中期以降に新たな断層面が形成され活断層が発達しつつある(活断層の成熟度が低い) 	<ul style="list-style-type: none"> 変位基準となる海成段丘面が広く認められる。 東西圧縮応力による逆断層型 敷地周辺には横浜断層等が認められ, 地形-地質調査等から活断層の認定が可能。
地震地体構造	×	<ul style="list-style-type: none"> [内帯] 中国山地・瀬戸内海(10C5):安定隆起域 	<ul style="list-style-type: none"> [外帯] 東北日本弧外帯(8B):外弧隆起帯の安定域
ひずみ集中帯	×	<ul style="list-style-type: none"> 地質学的歪み集中帯, 測地学的歪み集中帯の領域内に分布する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質学的歪み集中帯, 測地学的歪み集中帯の領域外に分布する。



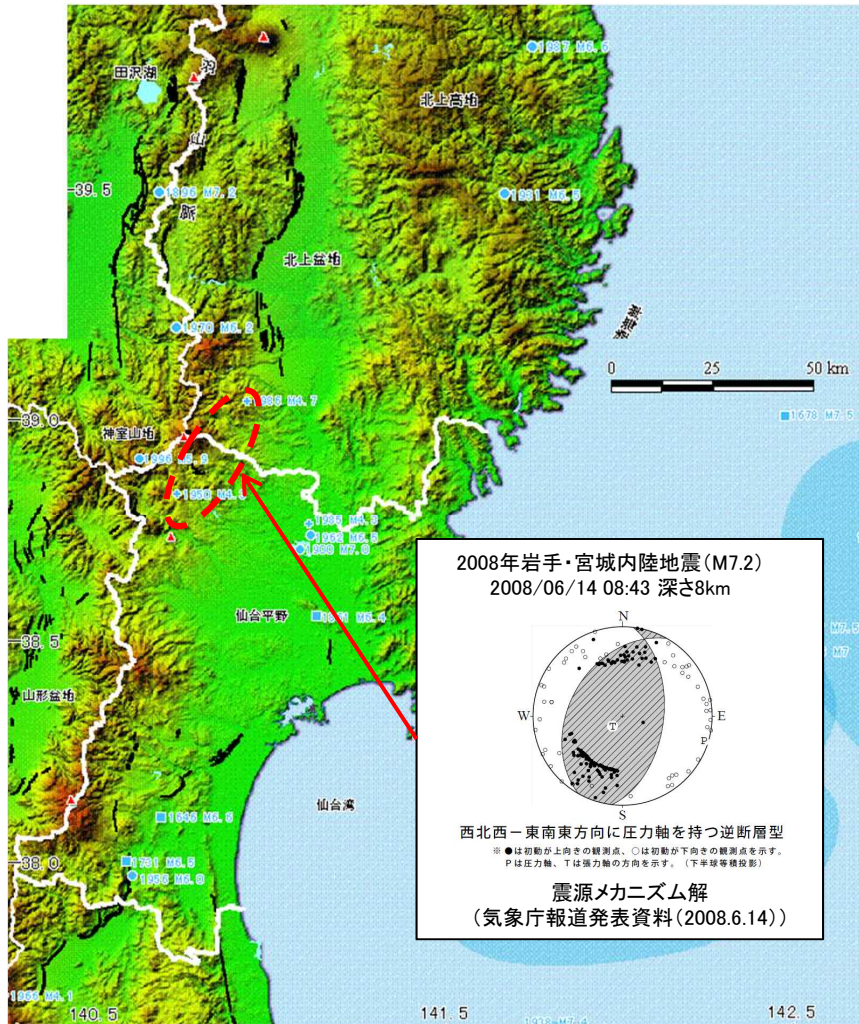
2000年鳥取県西部地震は, その震源域と敷地周辺について, 地域性の観点で整理を実施した結果, 横ずれ断層型と逆断層型の違いや活断層の成熟度の違い等, 地域差が認められると判断されることから, 観測記録収集対象外の地震とする。

3. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する検討

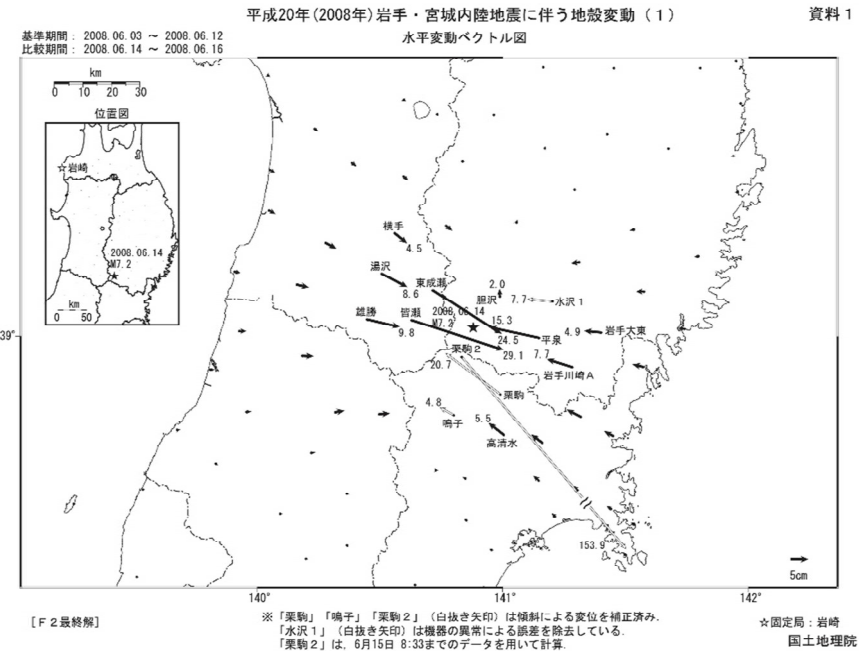
3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (1) 2008年岩手・宮城内陸地震の概要

- 岩手・宮城内陸地震は、2008年6月14日に奥羽山地東縁で発生した地震で、深さ8km、地震の規模は、M7.2とされている。
- この地震は、奥羽山地東縁から西側に傾斜する低角逆断層により発生したとされる。

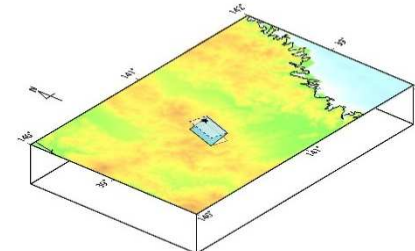


「日本の地震活動」[地震調査研究推進本部(1999)に加筆]



GPSで測定された水平変動[国土地理院(2008)]

平成20年(2008年) 岩手・宮城内陸地震の震源断層モデルの概念図

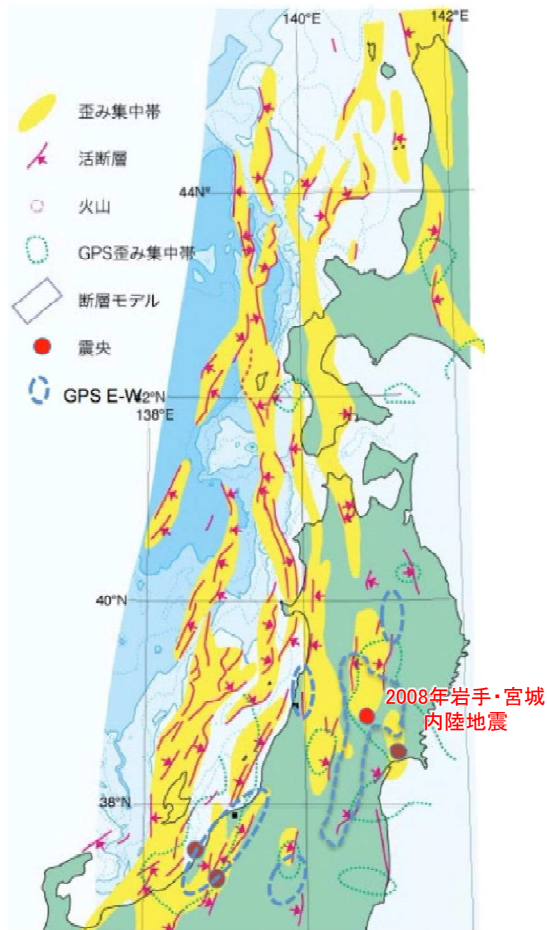


地殻変動から推定された断層モデル [国土地理院(2008)]

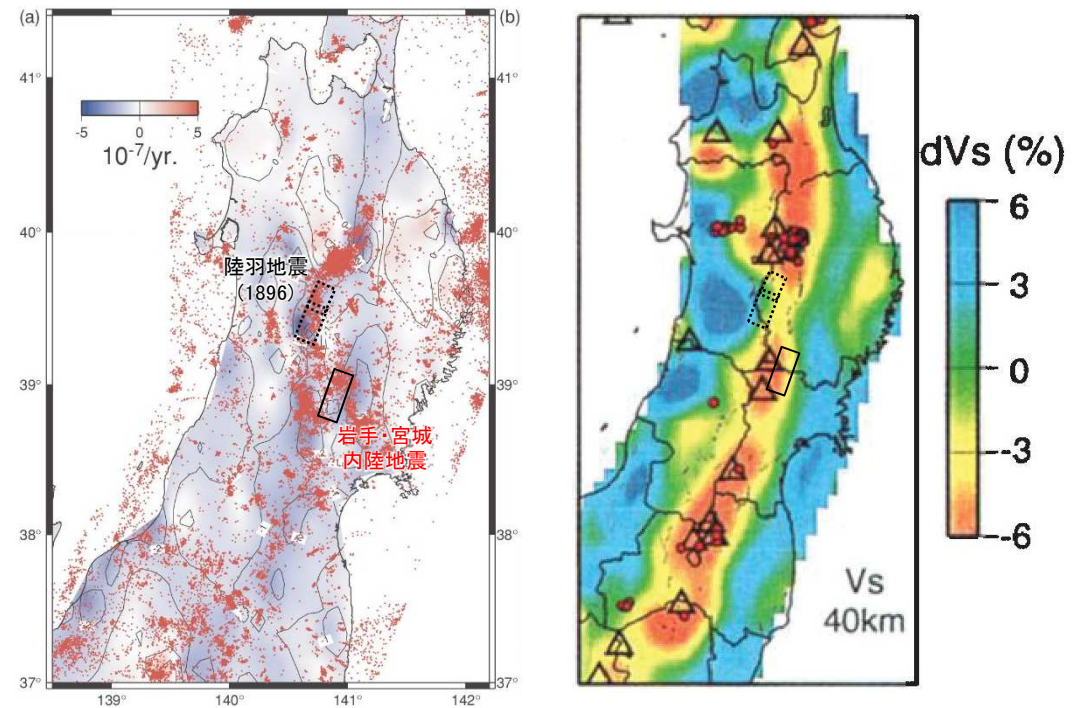
3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(2) ひずみ集中帯

- 東北日本弧の第四紀テクトニクスは、東西圧縮応力による逆断層の活動に特徴づけられる。
- 産業技術総合研究所(2009)では、岩手・宮城内陸地震は、地質学的ひずみ集中帯と、測地学的ひずみ集中帯の重なったところで発生するとしている。



地質学的ひずみ集中帯等分布図
〔産業技術総合研究所(2009)に加筆〕



(a)東西ひずみ速度分布図
〔Miura et al.(2004)に加筆〕

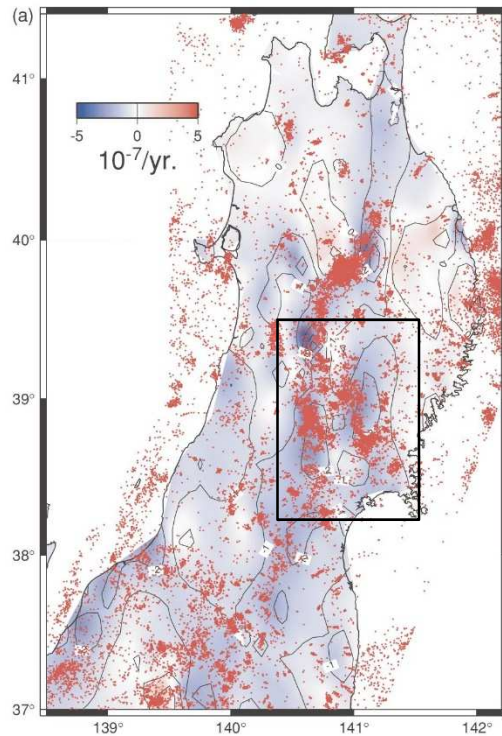
(b)S波速度構造
〔Nakajima et al.(2001)に加筆〕

- (a)GPSデータから求めた東西ひずみ速度分布。期間は1997年～2001年。実線の口は岩手・宮城内陸地震の余震域を示す。赤点は同じ期間に発生した長さ40kmより浅い微小地震の震源を示す。陸地の細線はひずみ速度の等値線。
(b)地震波トモグラフィーによる深さ40kmでのS波速度偏差分布。△は活火山。

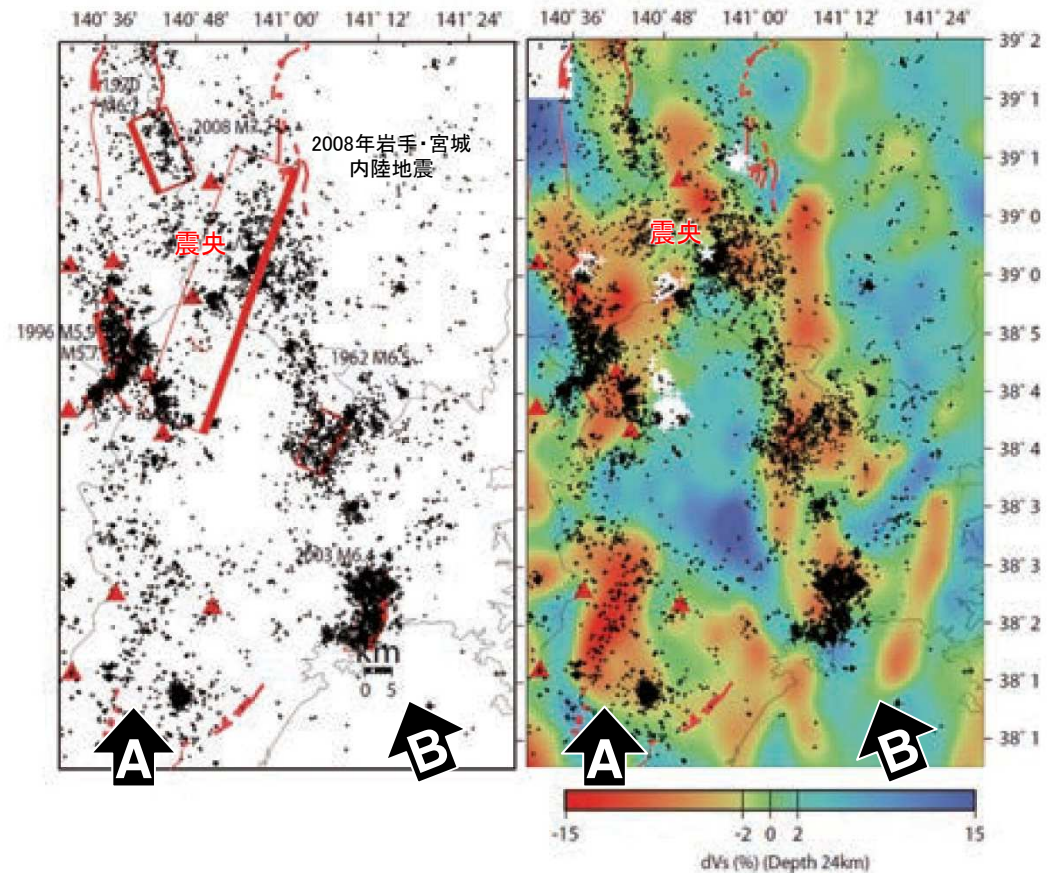
3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (3) 地震活動と地震波速度構造

【岡田ほか(2008)要約】

- これまでも活発な地震活動が見られた東北脊梁山地歪集中帯で発生した。
- 東北脊梁山地歪集中帯では、1896年陸羽地震(M7.2)、1970年秋田県南東部地震(M6.2)など規模の大きな地震、さらには微小地震も集中して発生している。
- 今回の地震の断層面上の本震震源付近では、1999年から2000年にかけて先駆的な地震活動がみられた。



東西ひずみ速度分布図及び
震源分布図(1997~2001年)
〔Miura et al.(2004) に加筆〕



震源分布図(1997~2008年)

深さ24kmのS波速度偏差分布図

〔岡田ほか(2008)に加筆〕

3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(4) 2008年岩手・宮城内陸地震の震源断層の概要

- 岩手・宮城内陸地震は、奥羽脊梁山地のうち栗駒山火山を中心とする火山帯で発生した大規模地震であり、それまで活断層が認定されていなかった地域で発生した内陸地殻内地震とされている。〔堤ほか(2010), 遠田ほか(2010)〕
- この地震は「山地境界断層」、「餅乾-細倉構造線」など活断層として認識されていなかった中新世のリフト期の複数の正断層が、東西圧縮応力場で逆断層として再活動したものとされている〔東京大・東北大・岩手大(2008), 佐藤ほか(2008)〕

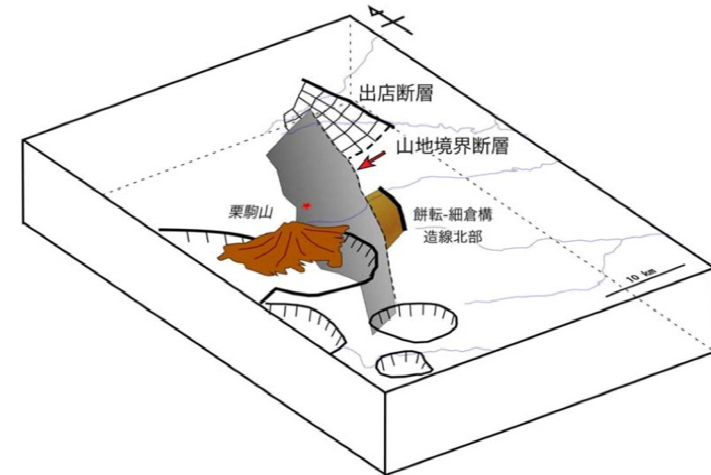
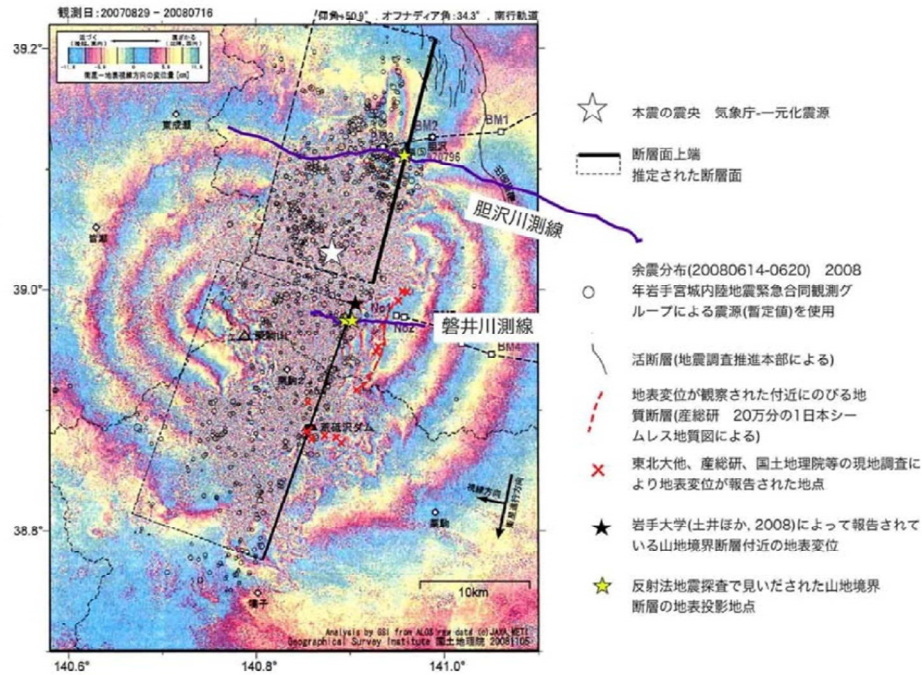


図5. 震源域の地殻構造概念図。

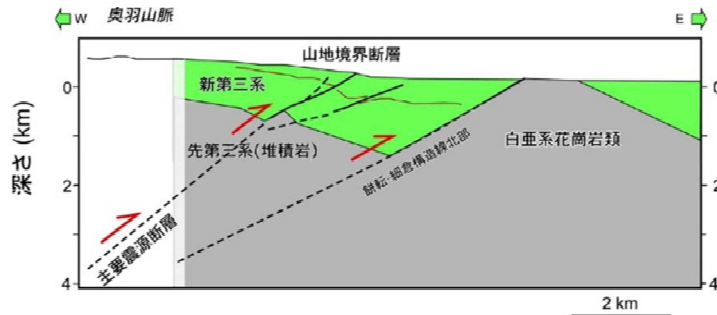
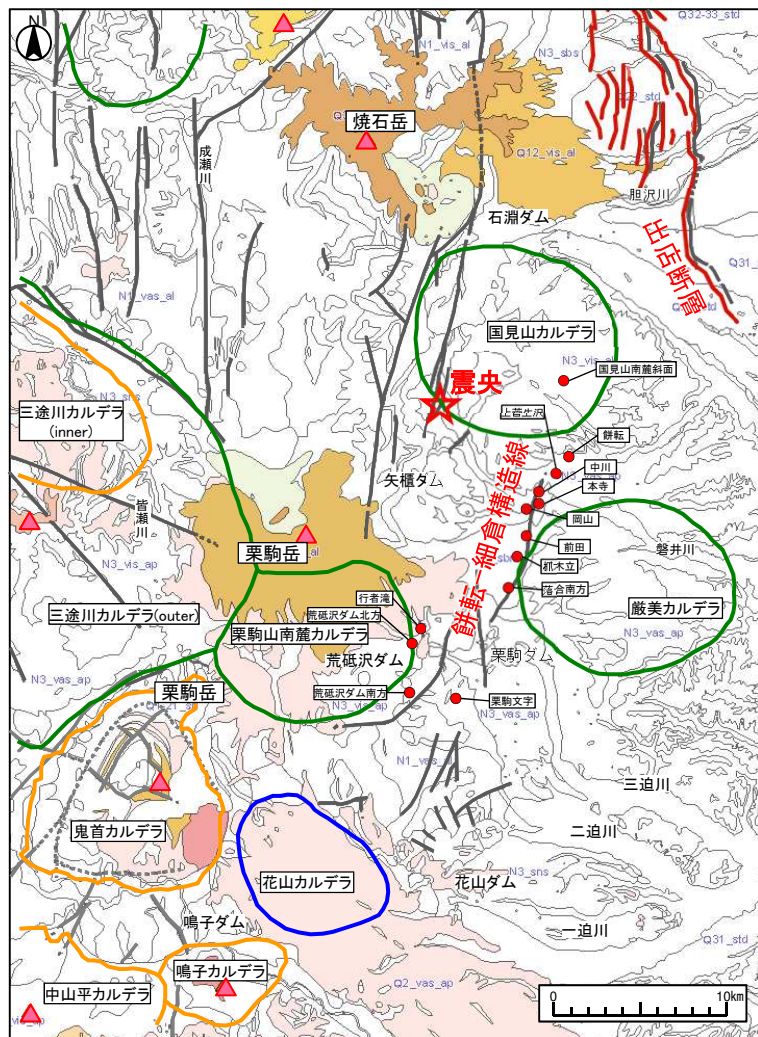


図3. 磐井川測線沿いの断層形状概念図。

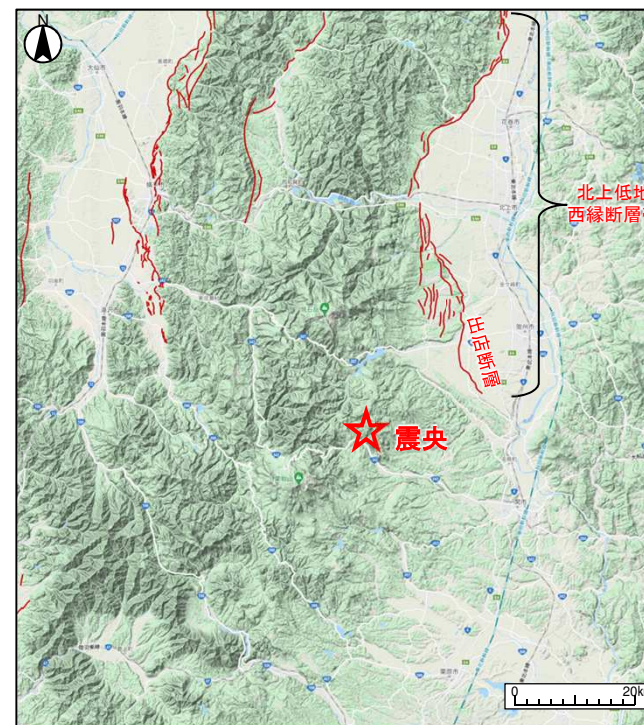
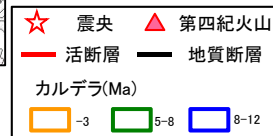
〔東京大・東北大・岩手大(2008)に加筆〕

3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (5)活断層の分布

- 余震域東縁の北方延長には、北上低地西縁断層帯が認められており、本地震は、主要(長大)活断層帯の延長部で発生している。
- また、震源周辺には餅転-細倉構造線のほか、多くの地質断層が認められている。



2008年岩手・宮城内陸地震震源周辺の地質構造図
 布原ほか(2008)のカルデラ分布, 遠田ほか(2010)の断層痕跡分布(●)を
 産業技術総合研究所「20万分1シームレス地質図」に加筆



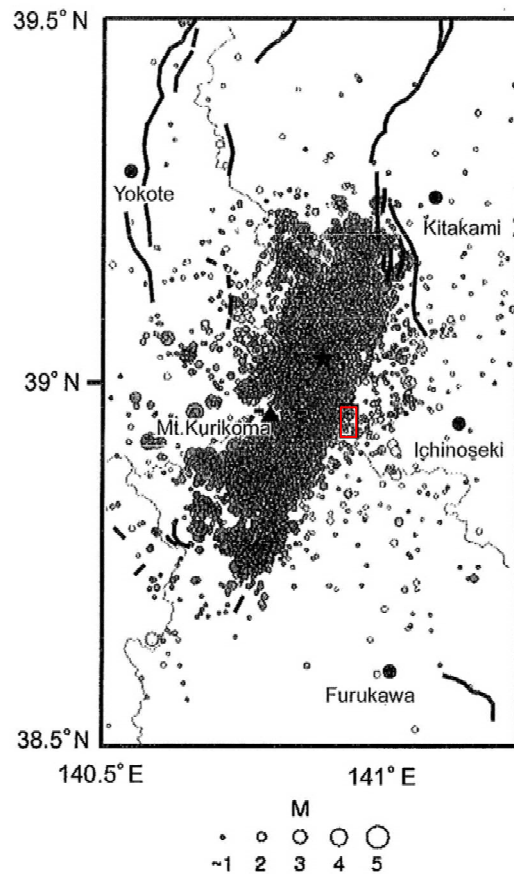
活断層分布図
 (産業技術総合研究所「活断層データベース」)に加筆

3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(6) 変位地形①

【鈴木ほか(2008)要約】

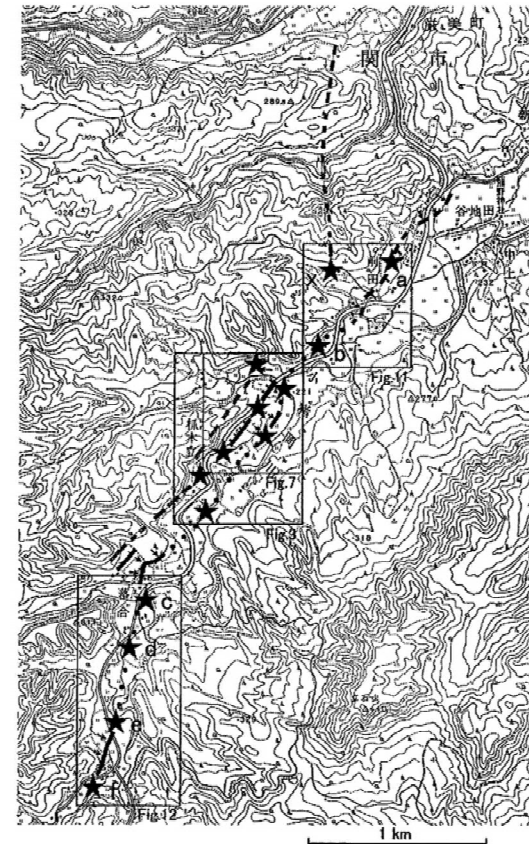
- 地震前に撮影された大縮尺の航空写真の判読により、地震断層にほぼ対応する3~4km程度の区間に活断層変位地形が見出されたとしている。
- また、柞木立地点におけるトレンチ調査の結果、約5千年前以降の複数回の活動が明らかになったとしている。



第1図 岩手・宮城内陸地震の本震・余震の震央と既知の活断層および本研究の調査地域

震央分布は防災科学技術研究所(2008a)による。観測期間は2008年6月14日~8月19日。★:本震、太線:既知の活断層、細線:県境、本研究の調査範囲は小さい四角の範囲。

鈴木ほか(2008)に加筆



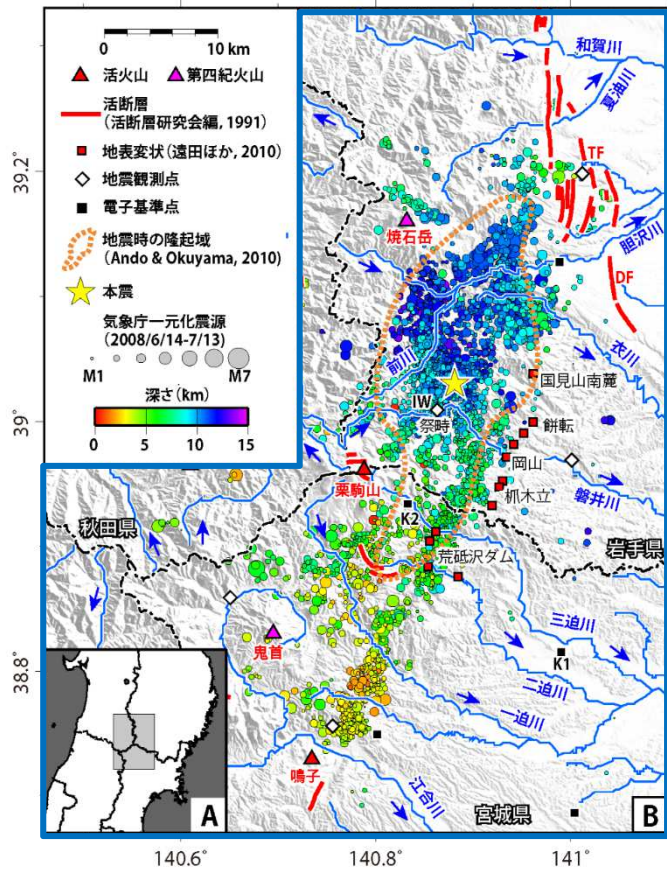
第2図 岩手・宮城内陸地震震源域付近の活断層と地表変位位置図

黒およびグレーの線は推定活断層。黒は確実度が高い。実線:位置明瞭、破線:位置不明瞭、点線:地震前には変位地形が残存していなかった伏在部。★:主な地表変位確認地点。基図として国土地理院2.5万分の1地形図「本寺」図幅の一部を使用。

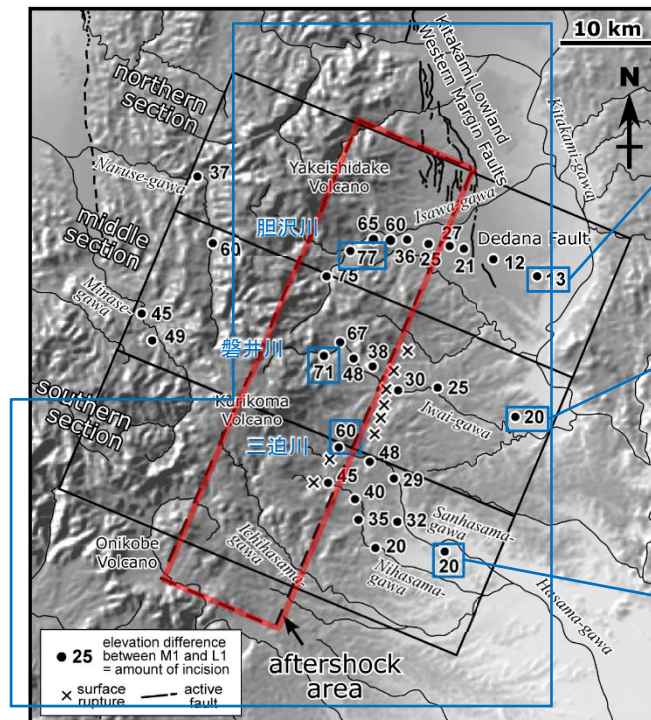
鈴木ほか(2008)

3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (7) 変位地形②

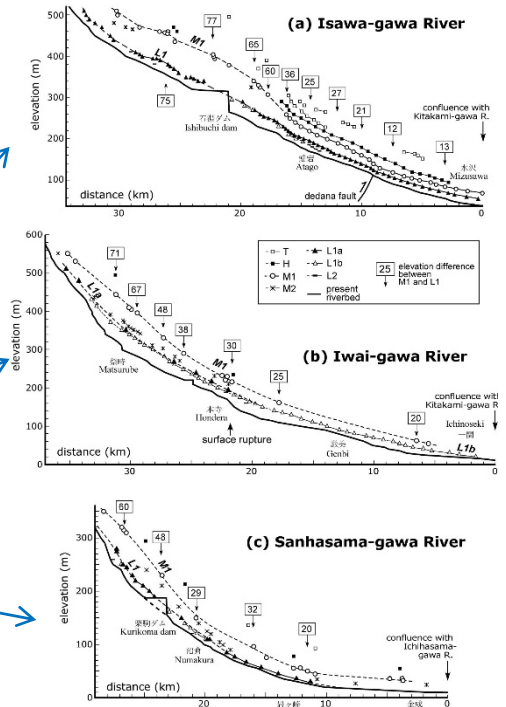
➤ 田力ほか(2009)によれば、震源域には、河成段丘の変化帯が存在し、この変化帯は岩手・宮城内陸地震の震源断層の活動に関連するとしている。また、震源断層付近で求められる垂直変位速度(0.5mm/yr)は、北方の北上低地西縁断層帯の垂直変位速度[池田ほか(2002)]にほぼ等しいとしている。



余震分布, 地表痕跡の分布 地震時の隆起域
[柳田ほか(2020)に加筆]



震源付近の河床および段丘縦断面と下刻量
[田力ほか(2009)に加筆]



3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(8) 余震分布と地表地震断層

【遠田ほか(2010)要約】

- 北北東－南南西トレンドの長さ約40kmの震源断層のうち、中央部の約20kmが地震断層として断続的に地表に現れた。それらは西傾斜の震源断層(逆断層)の地表延長部にあたる。

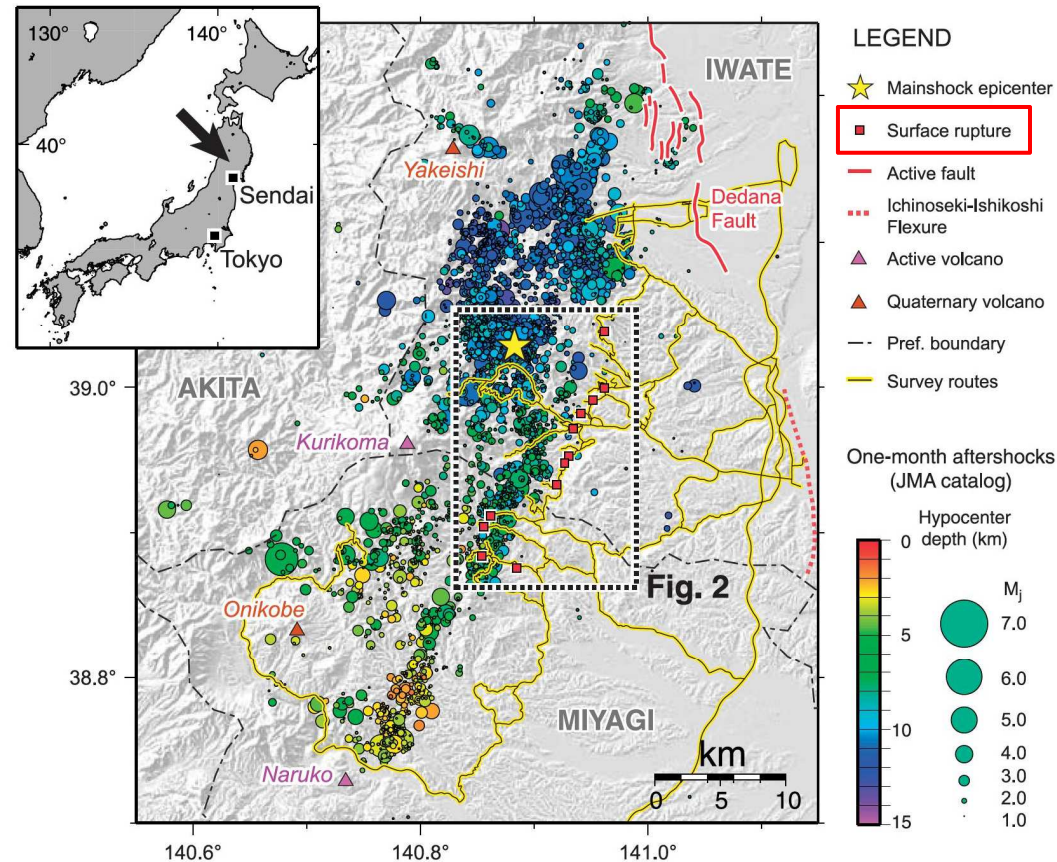


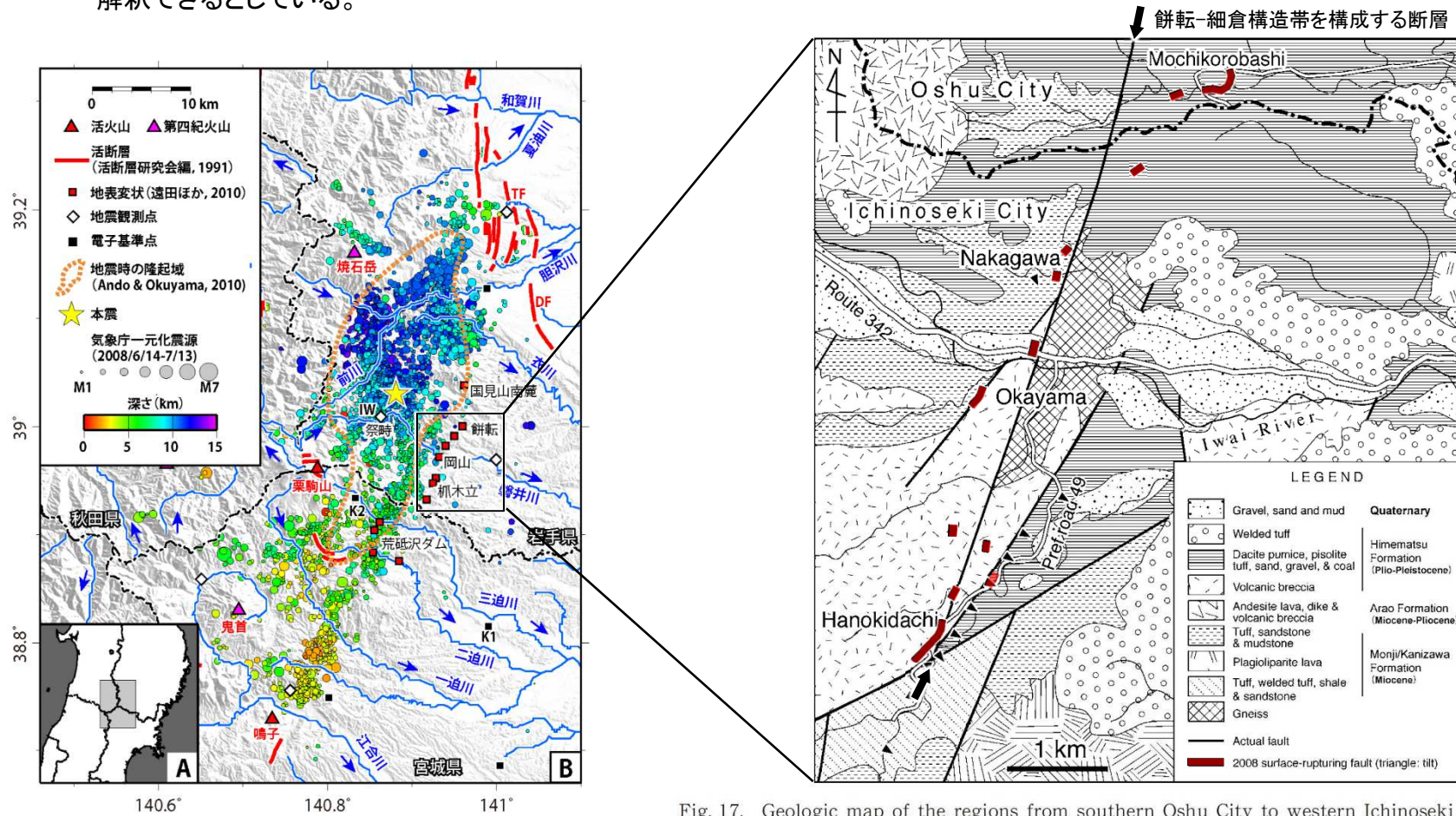
Fig. 1. Locations of the surface ruptures (red squares) associated with the 2008 $M_w=6.9$ Iwate–Miyagi Nairiku earthquake on the distribution of observed aftershocks. Detail distribution of the ruptures in the broken-line box is displayed in Fig. 2.

〔遠田ほか(2010)に加筆〕

3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (9) 地質断層と地表地震断層

【遠田ほか(2010)要約】

- 地震断層の一部は、餅転—細倉構造帯に沿うように分布している、したがって今回の地震は餅転—細倉構造帯上で発生したと解釈できるとしている。



余震分布, 地表痕跡の分布 地震時の隆起域
〔柳田ほか(2020)に加筆〕

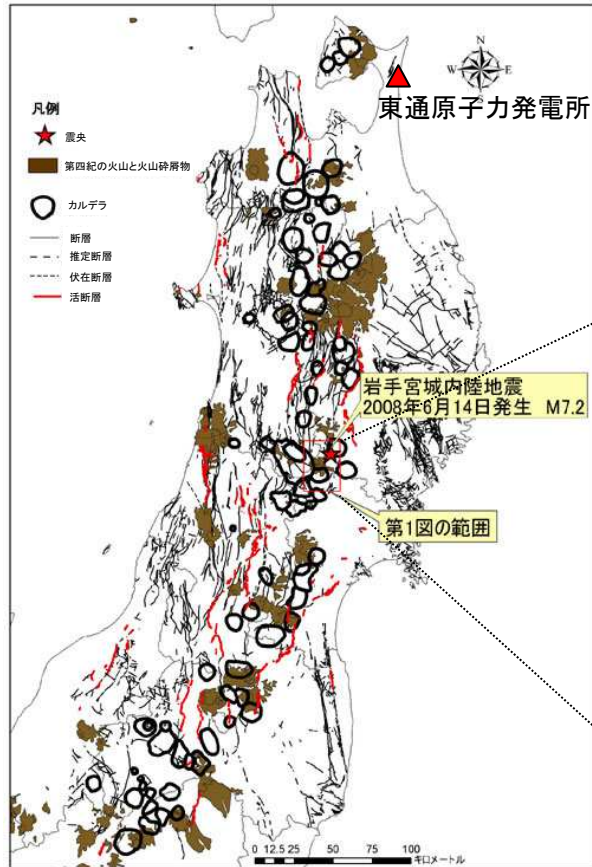
Fig. 17. Geologic map of the regions from southern Oshu City to western Ichinoseki City (Katayama and Umezawa, 1958) and locations of the surface ruptures associated with the 2008 Iwate–Miyagi Nairiku earthquake. Rivers and major roads are extracted from 1:25,000 topographical map “Hondera” published by Geographical Survey Institute.

〔遠田ほか(2010)に加筆〕

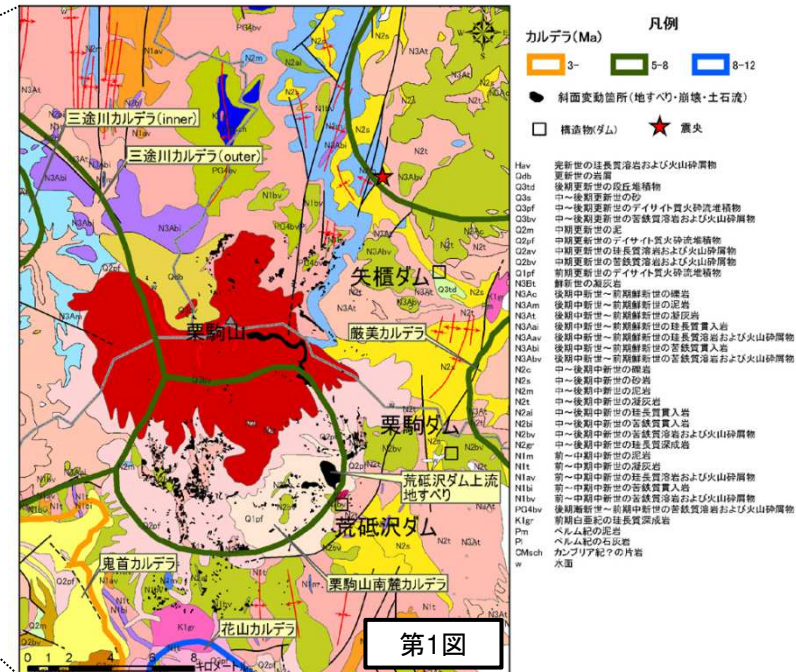
3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (10) 第四紀火山と後期新生代カルデラの分布

【布原ほか(2008)要約】

- 脊梁山地には12Ma以降に形成されたカルデラが南北に配列している。とりわけ、栗駒火山周辺にはカルデラが密集している。
- 今回の地震断層は、マントルから下部地殻にかけて低速度体が発達し、地震発生層が薄い脊梁火山列分布域の海溝側肩部(火山フロント)に沿っている。
- 主に後期中新世から鮮新世にかけて形成されたカルデラについては、栗駒地域同様、第四紀火山噴出物に広く覆われ詳細が不明な場合が多い。



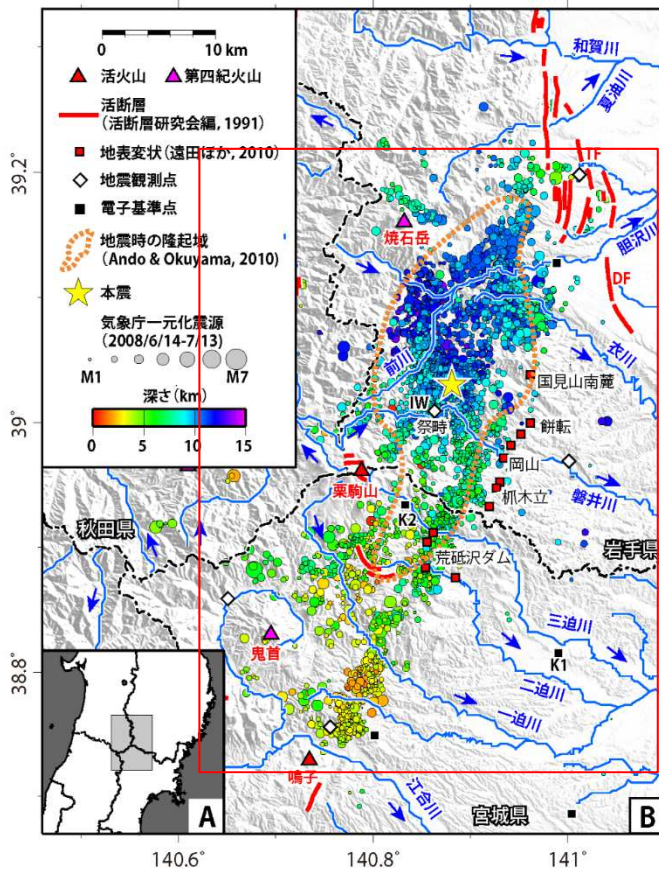
東北地方のカルデラと地質断層、第四紀火山の分布状況
〔布原ほか(2008)に一部加筆〕



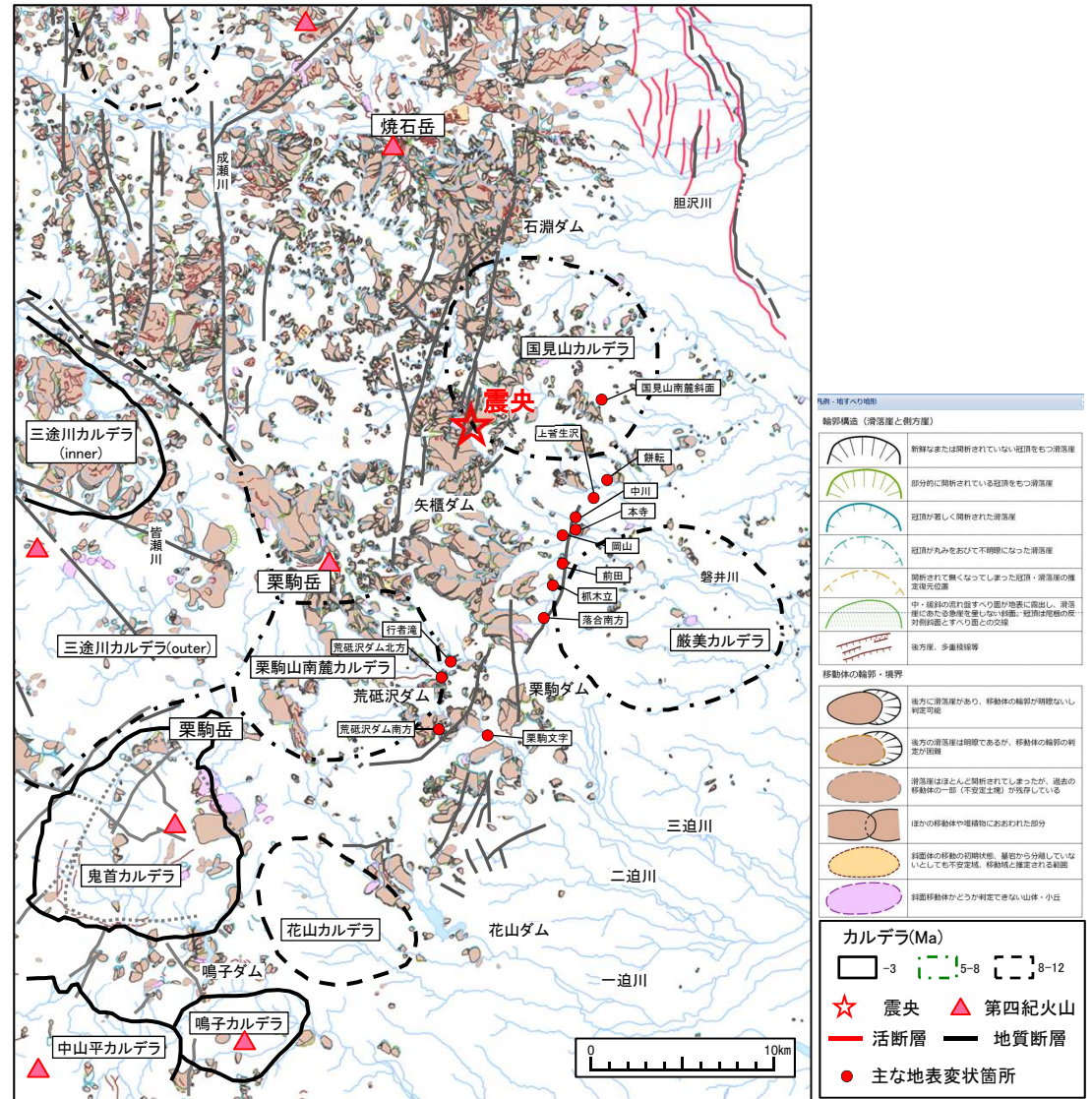
栗駒山周辺の地質図とカルデラ構造及び土砂災害発生位置
〔布原ほか(2008)に一部加筆〕

3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (11)地すべりの分布

➤ 震源域付近の焼石岳南麓～栗駒山東斜面の範囲では大規模地すべりが密集している。



余震分布, 地表痕跡の分布 地震時の隆起域
〔柳田ほか(2020)に加筆〕



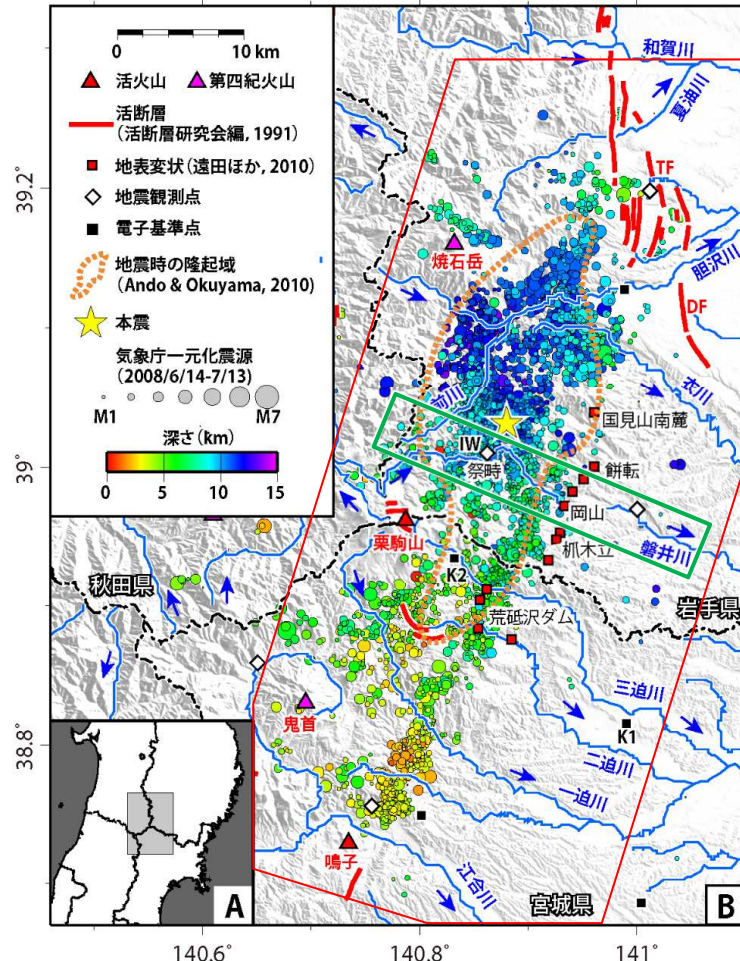
地すべり地形分布図

〔防災科学技術研究所 地すべり分布図〕に加筆, カルデラ分布は原厚ほか(2008), 断層痕跡分布(●)は遠田ほか(2010), 断層は「産業技術総合研究所 地質図navi」による。〕

3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(12) 2008年岩手・宮城内陸地震に関連する変動地形学・構造地質学による検討の概要

- 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域は、活断層の存在の可能性が示唆されていながら、活断層の認定が難しい地域であったことから、震源断層の広がり进行を明らかにし、断層長から推定される地震規模について評価するために、変動地形学・構造地質学による検討が行われた。〔後藤・佐々木(2019), 柳田ほか(2020)〕



余震分布, 地表痕跡の分布 地震時の隆起域
〔柳田ほか(2020)に加筆〕

後藤・佐々木(2019)

- 活断層の認定が難しい地域における、河成段丘面の比高分布(TT法)による断層活動の検討への適用可能性

TT法を用いて、明瞭な断層変位地形を生じない断層の最近10万年の活動性を議論できる可能性を示した。

柳田ほか(2020): 震源域全域

- 変動地形学的調査(TT値の分布)
- 構造地質学的調査(新第三系の地質構造, 活断層露頭)

2008年岩手・宮城内陸地震において想定される震源断層の広がり进行を明らかにし、断層長から推定される地震規模を評価した。

TT値: 最終氷期(MIS2)と1つ前の氷期(MIS6)の段丘面の比高
→ 12万年間での隆起量に相当。

氷期:

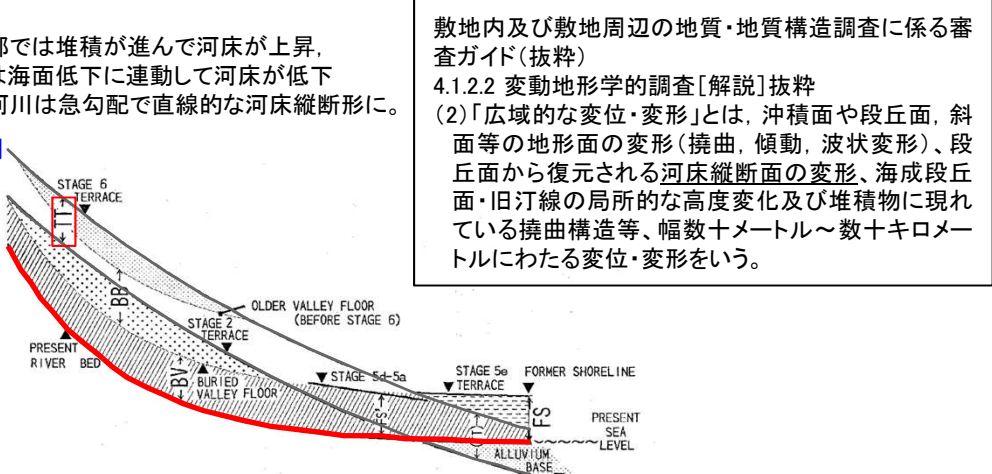
中～上流部では堆積が進んで河床が上昇,
下流部では海面低下に連動して河床が低下
→ 氷期の河川は急勾配で直線的な河床縦断形に。

1つ前の氷期

最終氷期

現在

(後氷期)



敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド(抜粋)

4.1.2.2 変動地形学的調査[解説]抜粋

(2)「広域的な変位・変形」とは、沖積面や段丘面、斜面等の地形面の変形(撓曲、傾動、波状変形)、段丘面から復元される河床縦断面の変形、海成段丘面・旧汀線の局所的な高度変化及び堆積物に現れている撓曲構造等、幅数十メートル～数十キロメートルにわたる変位・変形をいう。

気候・海面変動に影響を受ける河床縦断形〔吉山・柳田(1995)〕

3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(13) TT法による第四紀後期の隆起量に関する検討事例(幡谷(2006))

➤ TT値の妥当性については、幡谷(2006)が広瀬川沿いの愛子断層と那珂川沿いの関谷断層において、断層の平均変位速度から期待される後期更新世の約12万年間の累積変位量とTT値とが一致することを述べており、TT値による活構造の抽出や断層の影響帯の見積もり、隆起・沈降様式の把握に関わる議論が可能としている。

愛子断層における平均変位速度とTT値の比較

- MIS6以降の平均鉛直変位速度 : 0.16m/10³年
- TT値によるMIS6~MIS2の累積変位量 : 0.17m/10³年

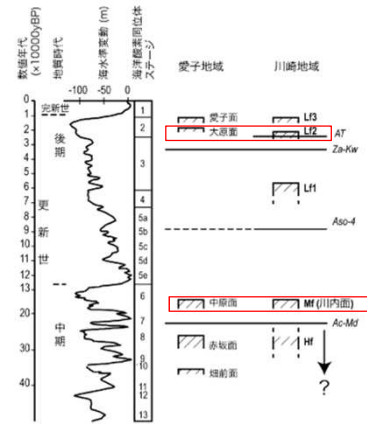


図4 仙台西部および陸前川崎盆地の河成段丘の対比・編年

年代尺度は小池・町田編(2001)による。テフラの略号は町田・新井(2003)に従った。Ac-Mdの層位が確定していないため、HF面より高位の段丘は、上図よりも古くなる可能性がある。

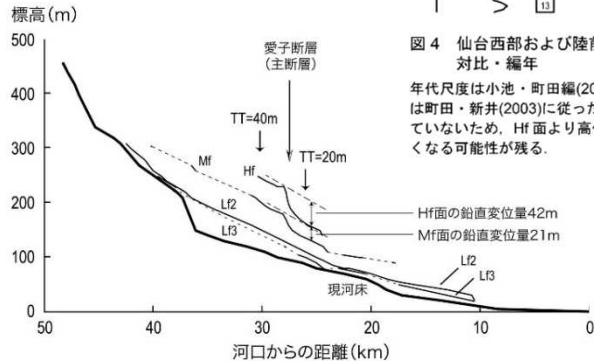


図5 広瀬川の河床縦断面図および愛子断層を挟む隆起量差と断層落差の比較

TT値は国土地理院1/25000地形図からの読み取りによる。被覆層の厚さは考慮していない。愛子断層におけるHF面とMF面の鉛直変位は、国土地理院1/25000地形図からの読み取りでは、それぞれ40mと20mであるが、ここでは、より詳細に計測された大内(1973)の計測値を採用した(大内のsurface IIがHF面に、surface IIIがMF面に相当)。縦断面の投影位置は図3に示した。主断層の600~800m西側(上流側)に分布する副断層については、MF面上での落差が認められていないので省略した。

関谷断層における平均変位速度とTT値の比較

- 過去10万年間程度の平均鉛直変位速度 : 0.3m/10³年程度
- TT値によるMIS6~MIS2の累積変位量 : 0.4m/10³年

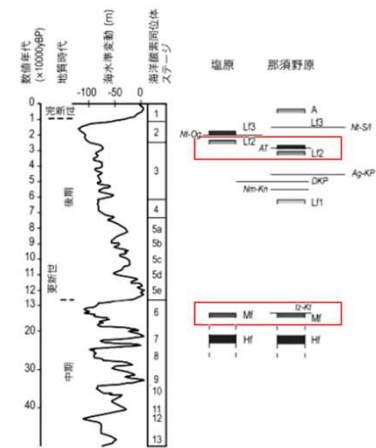


図7 関谷断層付近の段丘の対比・編年
図中左側の標準年代尺度は、小池・町田編(2001)による。テフラの略号は町田・新井(2003)に従った。

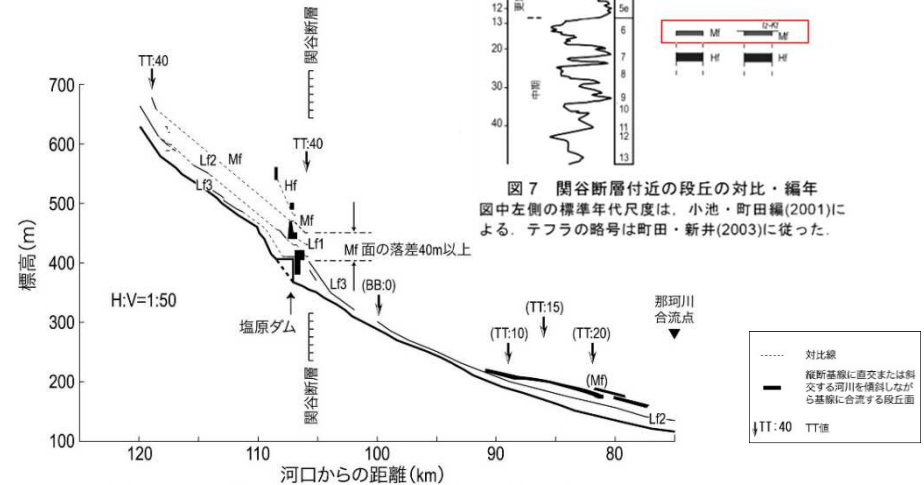


図8 関谷断層における断層を挟む隆起・沈降量差と断層落差の比較

縦断面の投影位置は那珂川沿い(図6)。90km付近より下流側のMF面は蛇尾川沿いのものを投影した。(BB)は、那珂川本流沿いのBB値を、(TT)は蛇尾川沿いのTT値を那須野原の一般傾斜方向約N45Wに対して直交方向に投影したもの。単位はm。河成段丘の比高の計測において、被覆層の厚さは考慮していない。

幡谷(2006)に一部加筆

3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (14)後藤, 佐々木(2019) 地形調査(磐井川の例)

- 余震域中央を横断する磐井川において、地震前後の上下変位と河成段丘の比高(TT値)はそれぞれ山地境界を境にして山側で増加する類似した変化を示す。そのため、比高(TT値)の変化パターンは、後期更新世以降の地震による地殻変動の累積の結果であるとしている。
- 伏在断層の存在が示唆される地質構造が認められる地域において、河成段丘面の比高(TT値)がその活動性の有効な指標であるとしている。

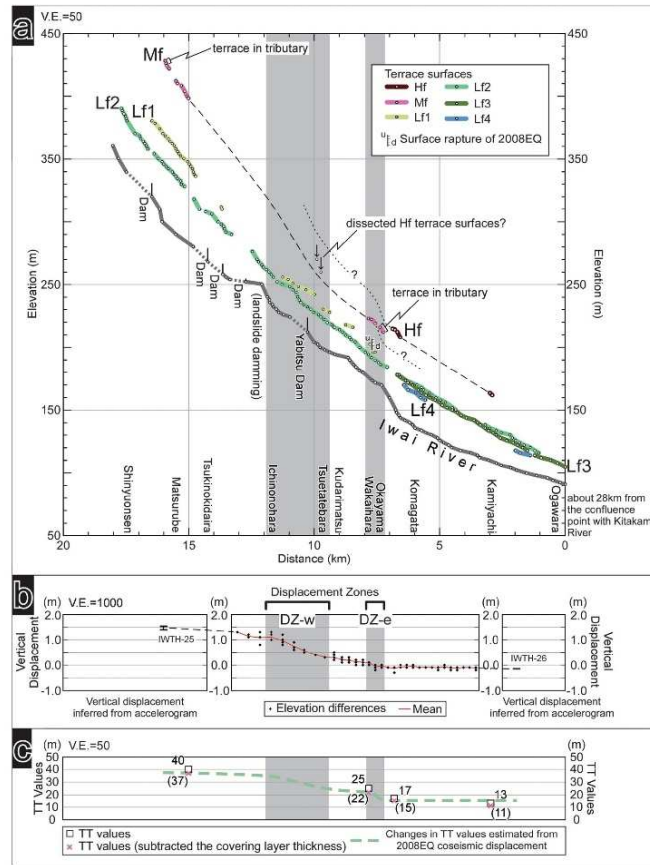


図2 段丘縦断面図と標高差分・TT値との比較

- a: 段丘縦断面図。
 b: 標高差分に基づく2008年地震による上下変位。DZ-w, DZ-eは上下変位の変化が相対的に大きい区間。これらの区間を段丘縦断面図(a)とTT値の変化図(c)にも灰色で着色して示した。IWTH-25, 26の値は青井ほか(2010)とMatsu'ura and Kase(2010)により地震観測記録から求められた上下変位。
 c: TT値の変化図。b図, c図はa図の距離程に対応するように値の位置をプロットした。

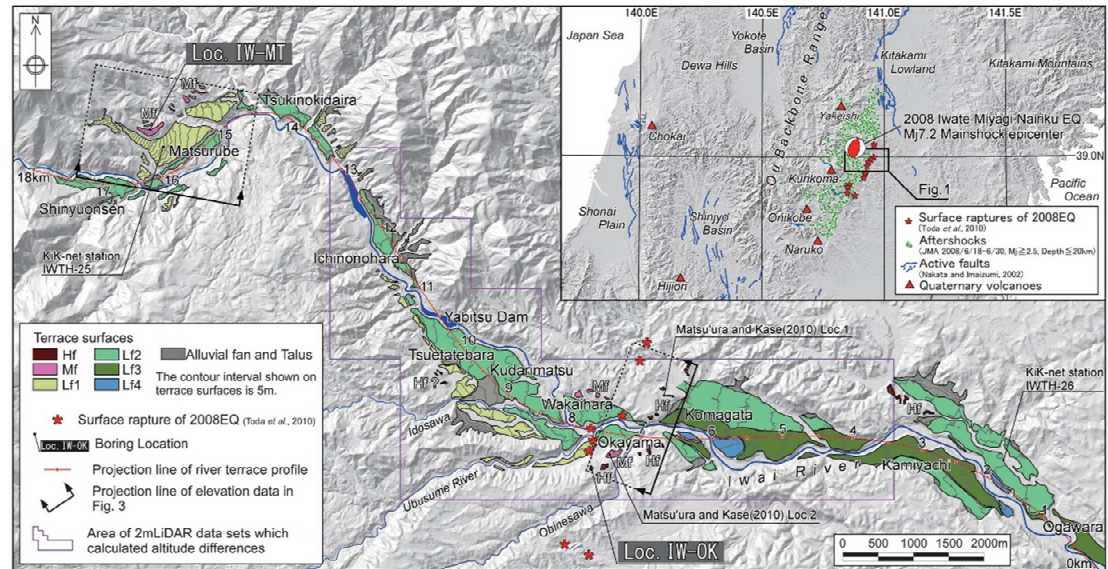
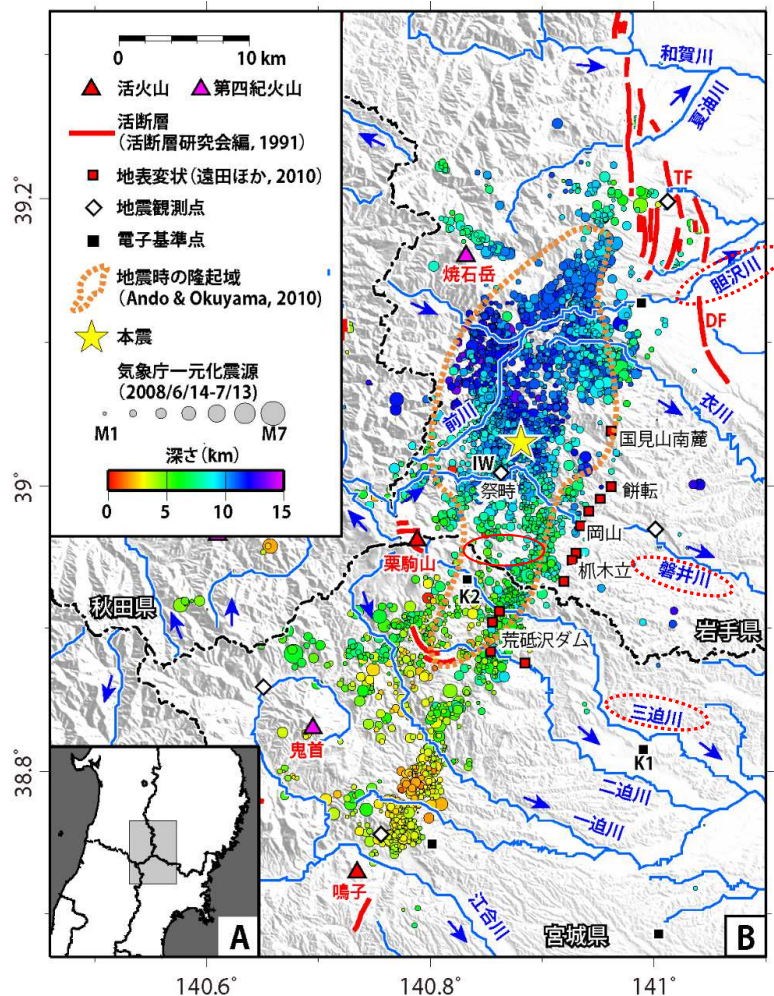


図1 段丘面区分図および調査位置図

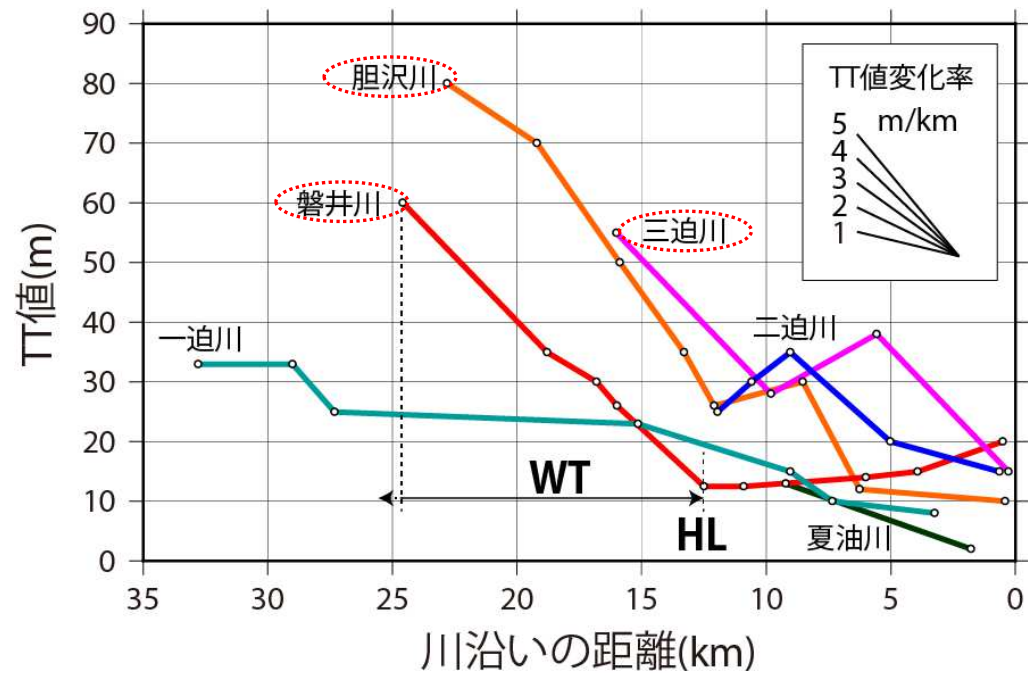
背景の陰影図は国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)及び基盤地図情報5mメッシュを使用して作成。余震分布は気象庁(2017)を使用して作成。メカニズム解は気象庁(2008)による。

3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (15) 柳田ほか(2020) 各河川沿いのTT値の分布

- ▶ 余震域の複数の河川に沿って、河成段丘面の比高(TT値)を整理し、胆沢川から三迫川にかけて、山側に幅広い変形帯(WT)があること、その山地東麓には隆起量急変部(HL)が分布することを明らかにした。



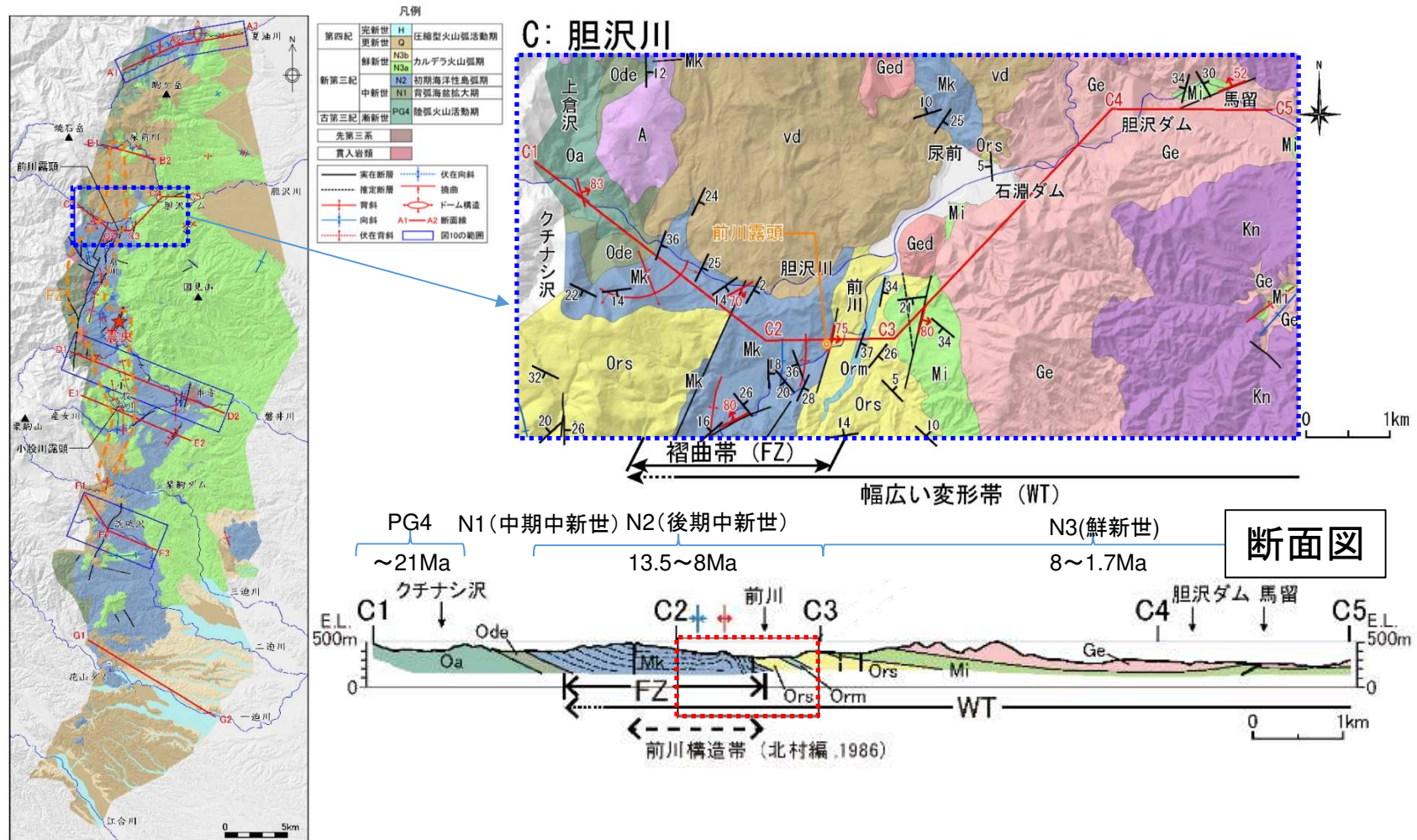
余震分布, 地表痕跡の分布 地震時の隆起域
[柳田ほか(2020)に加筆]



各河川沿いのTT値の分布[柳田ほか(2020)]
HL: 山麓の隆起量急変部, WT: 幅広い変形帯

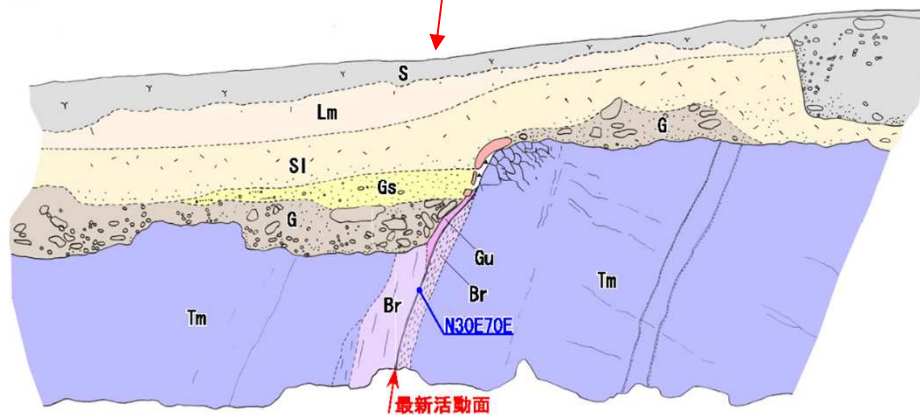
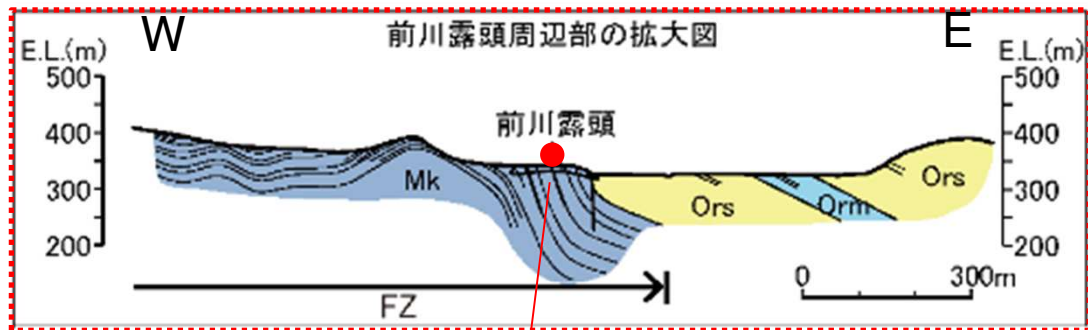
3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (16)柳田ほか(2020) 地質調査(胆沢川周辺の例)

- 新第三系の地質構造に着目して地質調査を行っている。
- 前川構造帯を含め、走向がN-Sに近く(一部NW-SE やNE-SW 方向も存在する)、東翼が急傾斜(約50°~逆転70°)する地質構造を褶曲帯(FZ)としている。
- FZ に位置する露頭では新第三系に層面すべり断層を伴うことが多く、断層変位地形の判読を困難にしている。



3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (15) 柳田ほか(2020) 後期更新世の段丘面を切る層面すべり断層

- 東急傾斜の前川層内に、多数の層面すべり断層を確認。
- 一部は上位のLf2段丘堆積物を逆断層により変位させている。



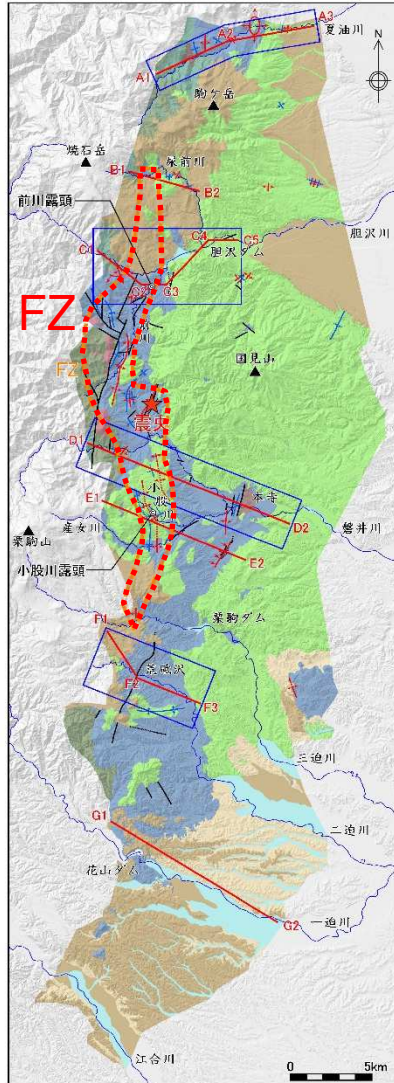
S	表土・盛土	Gu	断層ガウジ
Lm	ローム	Br	断層角礫
S1	砂混りローム	Tm	凝灰質泥岩～砂岩
Gs	礫混り砂		
G	砂礫		
	プリズム層 (断層活動に起因)		

Lf2 段丘堆積物



3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (17) 柳田ほか(2020) 地質断面と褶曲帯(FZ)の認められる範囲

▶ 構造地質学的調査から、この山側のWTには、東翼が急傾斜(約50°～逆転70°)する新第三系の褶曲帯(FZ)が、山麓の隆起量急変部(HL)に沿って、尿前川から三迫川付近まで分布することを明らかにしている。そのなかには、段丘堆積物に変位を与えるような層面すべり断層を複数の露頭で確認した。

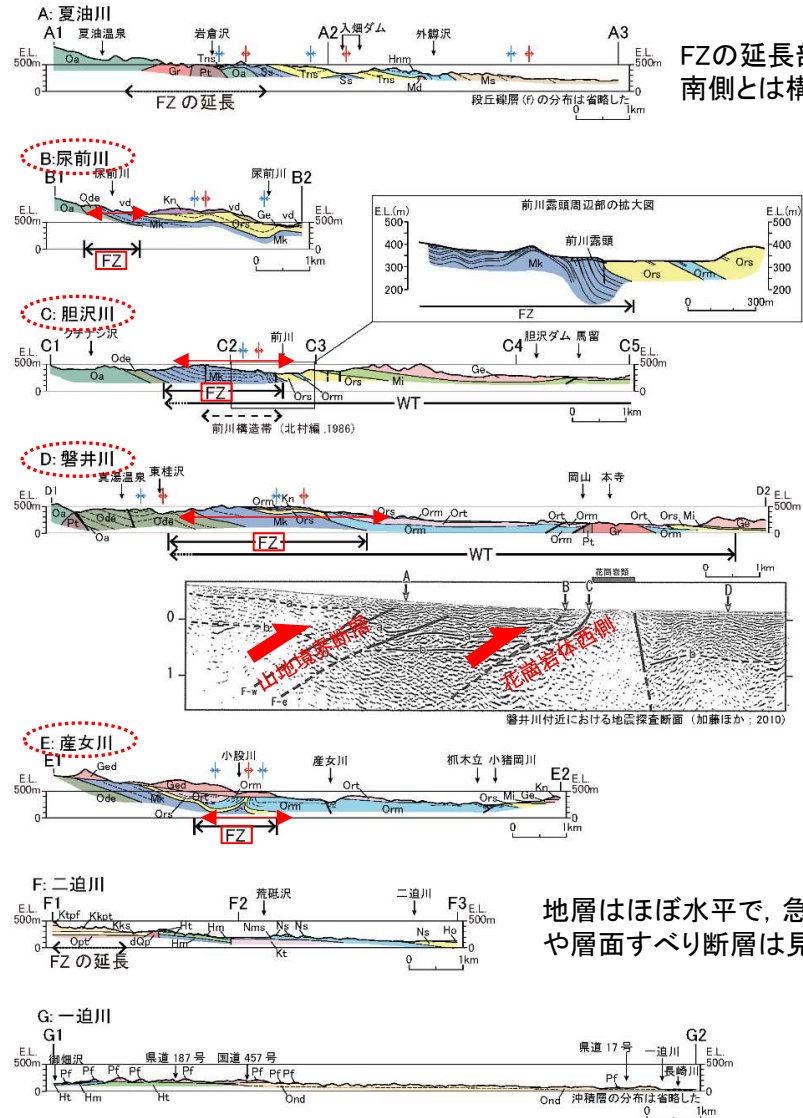


尿前川～三迫川
・褶曲帯FZ

凡例

第四紀	完新世 H	圧縮型火山弧活動期
	更新世 Q	
鮮新世	N3b	カルデラ火山期
	N3a	
新第三紀	N2	初期海洋性島弧期
中新世	N1	背弧海盆拡大期
古第三紀	PG4	陸弧火山活動期
	先第三系	
	貫入岩類	

—	実在断層	+	伏在向斜
- - -	推定断層	○	褶曲
↘ ↙	彎斜	◇	ドーム構造
↗ ↘	向斜	+	A1 A2 断面線
+	伏在背斜	○	図10の範囲



FZの延長部は背斜構造
南側とは構造が不連続

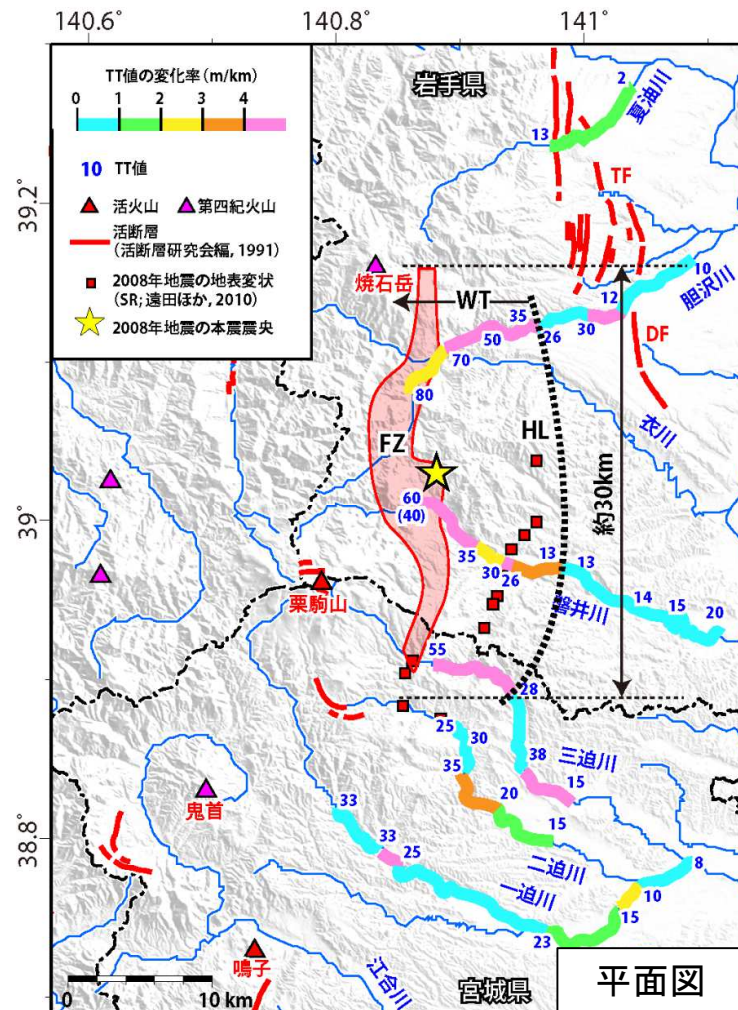
2つの断層が地震
に伴って活動した

地層はほぼ水平で、急傾斜構造
や層面すべり断層は見られない

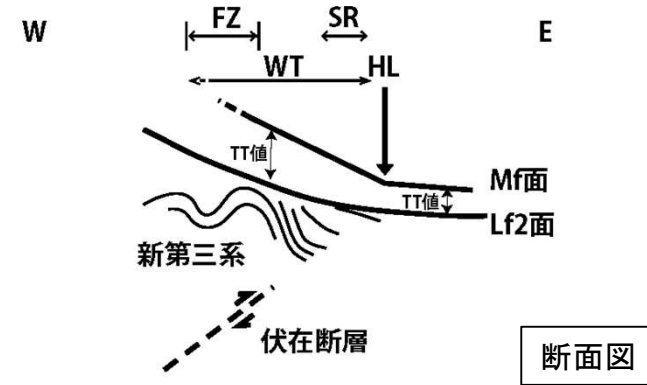
3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(18) 変動地形学・構造地質学による検討を踏まえた岩手・宮城内陸地震の評価

- ▶ 2008年岩手・宮城内陸地震によって発生した活断層は、地震発生後に河成段丘面の比高(TT値)に着目した変動地形学的調査、構造地質学的調査[後藤・佐々木(2019), 柳田ほか(2020)など]から、伏在する活断層の位置及び規模の推定を事前に得られるデータで評価可能であることが示された。



[柳田ほか(2020)に加筆]



[柳田ほか(2020)に加筆]

■ 岩手・宮城内陸地震の震源断層の地表表現

- | | |
|----|---|
| 地形 | <ul style="list-style-type: none"> ・隆起量急変部(HL) ・山側の幅広い変形帯(WT) |
| 地質 | |



- ・ 尿前川～三迫川(長さ約30km)
→ 松田(1975)の経験式に適用して得られる地震規模はM7.3。
- ・ 南北走向で西傾斜の逆断層の伏在

3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (19) 考察: 断層変位地形を見出しにくくする要因

1. 火山の分布

- 震源域周辺には, 活火山, 第四紀火山と12Ma以降のカルデラが多数分布
→ 地殻の軟化[断層運動を伴わない短縮変形が卓越:Hasegawa et al.(2005)]
→ 火山噴出物に覆われるため, 断層変位地形が見出しにくい。

2. 大規模地すべりの密集

- 焼石岳南麓から栗駒山東斜面には, 大規模な地すべり地形が密集
その特徴は以下の通りで, 原因として地震動が最有力候補[井口ほか(2010)]。
 - ①巨大地すべりの分布域で繰り返し発生
 - ②豪雨によって生じたものよりも圧倒的に大きい→広範囲・瞬時に地盤の不安定化。
 - ③層すべり型のものが多発(すべり面はカルデラの湖底堆積物, 降下火山灰など)
→ 地震のたびに発生する大規模地すべりが, 断層変位地形の判読を困難にする。

3. 震源断層の伏在による地表変形の広範囲化

- 大半の上下変位が, 広域的な地殻変動として生じた。
→ このような幅広い変形が累積した場合, 断層変位地形としては認定しにくい。

3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(20) 2008年岩手・宮城内陸地震の特徴等に関するまとめ①

震源域の概要

- 活発な地震活動が見られた東北脊梁山地歪集中帯で発生した。〔岡田ほか(2010)〕
- 今回の地震の断層面上の本震震源付近では、1999年から2000年にかけて先駆的な地震活動がみられた。〔岡田ほか(2010)〕
- 地震前に撮影された大縮尺の航空写真の判読により、地震断層にほぼ対応する3~4km程度の区間に活断層変位地形が見出されたとしている。〔鈴木ほか(2008)〕
- 地表地震断層のトレースは、概ね片山・梅沢(1958)が記載している「餅転-細倉構造帯」と一致する。〔遠田ほか(2010)〕
- 脊梁山地には12Ma以降に形成されたカルデラが南北に配列している。とりわけ、栗駒火山周辺には、カルデラが密集している。〔布原ほか(2008)〕
- 今回の地震断層は、マントルから下部地殻にかけて、低速度帯が発達し、地震発生層が薄い脊梁火山列分布域の海溝側肩部(火山フロント)に沿っている。〔布原ほか(2008)〕
- 主に後期中新世から鮮新世にかけて形成されたカルデラについては、栗駒地域同様、第四紀火山噴出物に広く覆われ詳細が不明な場合が多い。〔布原ほか(2008)〕
- 震源域付近には大規模地すべりが密集している。〔井口ほか(2010)〕

震源域の特徴

- ひずみ集中帯であること、先駆的な地震活動がみられること、長大活断層の延長部にあること、大縮尺の航空写真判読により部分的にリニアメント・変動地形が判読されること等から、活断層の存在の可能性が示唆される地域である。
- 一方で、震源域周辺はカルデラが密集し、第四紀火山噴出物に広く覆われること、大規模地すべりが密集することなどから、活断層の認定が難しい地域である。

3. 1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討

(21) 2008年岩手・宮城内陸地震の特徴等に関するまとめ②

変動地形学・構造地質学による検討に基づく2008年岩手・宮城内陸地震の評価

➤ 岩手・宮城内陸地震の震源域の特徴としては、震源域が火山地域であり火山に近い(栗駒山, 鳴子, 焼石岳)。

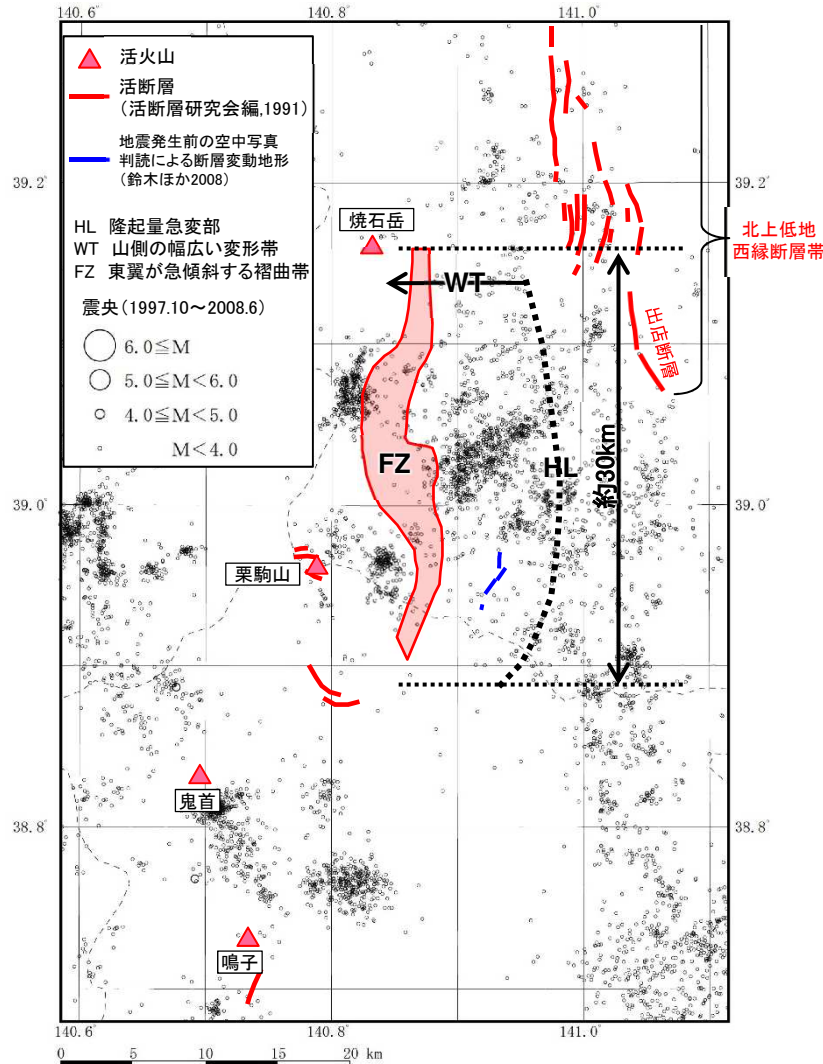
➤ 岩手・宮城内陸地震については、震源域が火山地域であることに起因あるいは関連して、以下の要因により、活断層が分かりにくくなっていると整理。

- ✓ 火山地域では地殻が軟化し、断層運動を伴わない短縮変形が起こりやすく、ブロードな幅広い変形帯となっている。
- ✓ 第四紀まで継続する火山噴出物に覆われている。
- ✓ 1,200万年前以降のカルデラが密集している。
- ✓ 震源域の大半が、火山地域内の地すべりが発達する地域に位置する。

➤ 火山地域のために活断層が分かりにくくなっている地域において、ブロードな幅広い地表変形を検討する観点から、地質調査と合わせてTT法による隆起量の変化傾向の調査を実施した結果、伏在する活断層の位置及び規模の推定が事前に得られるデータで評価可能。

- ✓ 隆起量急変部(HL)と山側の幅広い変形帯(WT)をとらえるとともに、これらに沿って、段丘を変位させる層面すべり断層を伴う東側急傾斜の褶曲帯(FZ)が認められた。
- ✓ これらの隆起量急変部(HL), 変形帯(WT), 褶曲帯(FZ)は、長さ約30km区間に認められた。[松田(1975)の経験式に適用して得られる地震規模はM7.3。]

3.1 地震が発生した地域において想定すべき地震規模の検討 (22) 想定される地震規模

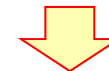


活断層の分布と震央分布
気象庁(1997年10月～2008年6月)※, 震源深さ30km

※: 期間は, 岡田ほか(2008)との対比を考慮し,
2008年岩手宮城内陸地震の発生前までとした

➤ 鈴木ほか(2008)によれば, 岩手・宮城が発生した場所は, 少なくとも「短い活断層」の存在が事前データで確認可能な箇所とされている。一方, この地域は微小地震の集中が認められ, 特に南方にもその延長部が認められること, また, 北方に北上低地西縁断層帯が存在するという条件も踏まえると, この短い活断層から想定される地震については, あらかじめ不確かさとしてMw6.5以上の規模の地震の拡がりについて検討が必要な地震となる。

➤ 更に, 柳田ほか(2020)によれば, 隆起量急変部(HL), 変形帯(WT), 褶曲帯(FZ)が認められる長さは約30km区間に及ぶ。この知見も想定する地震の不確かさとして考慮すれば, 少なくともMw6.5以上の規模の地震の想定が必要になる。(参考)約30kmを活断層と見なした場合, 松田式による評価ではM7.3に相当する。



2008年岩手・宮城内陸地震が発生した地域において, 検討用地震の対象となる地震として, 不確かさも考慮した場合にはMw6.5以上の規模の地震が想定されるため, 2008年岩手・宮城内陸地震は観測記録収集対象の地震から除外する。

4. 地域性を考慮する地震動の検討結果

4. 地域性を考慮する地震動の検討結果

①活断層の密度が少なく活動度が低いと考えられる地域で発生した地震

- 検討の対象とした地震:2000年鳥取県西部地震(M7.3)
- 震源域周辺は活断層の発達過程でみると未成熟な状態であり, また, 明瞭な断層変位基準の少ない地域とされていることから, 活断層の認定が難しい地域と判断される。
- 当該地域において, 2000年鳥取県西部地震と同等以上の規模の地震をあらかじめ想定することは困難であることから, 震源域と敷地周辺との地域性の比較・検討を行った。
- 2000年鳥取県西部地震は, その震源域と敷地周辺について, 地域性の観点で整理を実施した結果, 横ずれ断層型と逆断層型の違いや活断層の成熟度の違い等, 地域差が認められると判断されることから, 観測記録収集対象外の地震とする。

②上部に軟岩や火山岩, 堆積層が厚く分布する地域で発生した地震

- 検討の対象とした地震:2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)
- ひずみ集中帯であること, 先駆的地震活動がみられること, 長大活断層の延長部にあること, 大縮尺の航空写真判読により部分的にリニアメント・変動地形が判読されること等から, 活断層の存在の可能性が示唆される地域である。一方で, 震源域周辺はカルデラが密集し, 第四紀火山噴出物に広く覆われること, 大規模地すべりが密集することなどから, 活断層の認定が難しい地域である。
- 火山地域のために活断層が分かりにくくなっている地域において, ブロードな幅広い地表変形を検討する観点から, 地質調査と合わせてTT法による隆起量の変化傾向の調査を実施した結果, 伏在する活断層の位置及び規模の推定が事前に得られるデータで評価可能。
- 2008年岩手・宮城内陸地震が発生した地域において, 検討用地震の対象となる地震として, 不確かさも考慮した場合にはMw6.5以上の規模の地震が想定されるため, 2008年岩手・宮城内陸地震は観測記録収集対象の地震から除外する。

参考文献(1)

2. 2000年鳥取県西部地震に関する検討

1. 気象庁:震度データベース, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/>
2. 「平成12年(2000年)鳥取県西部地震」の被害状況, 鳥取地方気象台
3. 気象庁:平成12年10月 地震・火山月報(防災編), 特集2「平成12年(2000年)鳥取県西部地震」
4. 産業技術総合研究所活断層データベース:https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html
5. 岡田篤正(2002):山陰地方の活断層の諸特徴,活断層研究, No.22,17-32.
6. 井上大栄・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹(2002):2000年鳥取県西部地震震源域の活断層調査, 地震2, 54, 557-573.
7. 堤浩之・隈元崇・奥村晃史・中田高(2000):鳥取県西部地震震源域の活断層, 月間地球/号外, 31, 81-86.
8. 日本の地質増補版編集委員会編(2005):日本の地質増補版, 共立出版, 241.
9. 産業技術総合研究所地質図Navi:<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>
10. 伏島祐一郎・吉岡敏和・水野清秀・宍倉正展・井村隆介・小笠原琢・佐々木俊法(2001):2000年鳥取県西部地震の地震断層調査, 活断層・古地震研究報告, No.1,1-26, 産業技術総合研究所地質調査総合センター
11. 堤浩之(2009):2000年鳥取県西部地震,科学, 79, 210-212.
12. 垣見俊弘(2010):活断層の成熟度について, 活断層研究, No.32,73-77.
13. 青柳恭平・阿部信太郎・宮腰勝義・井上大栄・津村紀子(2004):2000年鳥取県西部地震の余震分布と地形・地質との関係 - 内陸地震のアスペリティ予測に向けて
14. 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博(2003):日本列島と周辺海域の地震地体構造区分, 地震第2輯, 第55巻, 389-406.
15. 西村卓也(2014):山陰地方のGNSSデータに認められるひずみ集中帯, 地球惑星科学関連連合2014年連合大会, SSS31-06
16. 西村卓也(2015):山陰地方のひずみ集中帯, 鳥取県地震防災調査研究委員会第1回被害想定部会, 資料1
17. 産業技術総合研究所(2009):地質学的歪みと測地学的歪みの集中域と地震との関係, 地震予知連絡会会報, 第81巻, 98.

3. 2008年岩手・宮城内陸地震に関する検討

1. 地震調査研究推進本部 地震調査委員会(1999):日本の地震活動-被害地震から見た地域別の特徴<追補版>
2. 気象庁報道発表資料(2008.6.14):2008年6月14日08時43分ごろの岩手県内陸南部の地震について, <https://www.jma.go.jp/jma/press/0806/14a/200806141030.html>
3. 国土地理院(2008):平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動(第2報), <http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem60032.html>
4. 産業技術総合研究所(2009):地質学的歪みと測地学的歪みの集中域と地震との関係, 地震予知連絡会会報, 第81巻, 98.
5. Satoshi Miura, Toshiya Sato, Akira Hasegawa, Yoko Suwa, Kenji Tachibana and Satoshi Yui(2004):Strain concentration zone along the volcanic front derived by GPS observations in NE Japan arc, Earth Planets Space,56,1347-1355.
6. Nakajima Junichi, Matsuzawa Toru, Hasegawa Akira, Zhao Dapeng(2001):Three-dimensional structure of and beneath northeastern Japan' Implications for arc magmatism and fluids
7. 岡田知己・海野徳仁・長谷川昭(2008):震源域の地下構造からみたマグマ・地殻流体との関係, 科学, 78, 978-984.

参考文献(2)

8. 堤 浩之・杉戸 信彦・越谷 信・石山 達也・今泉 俊文・丸島 直史・廣内 大助(2010):岩手県奥州市・一関市に出現した2008年岩手・宮城内陸地震の地震断層, 地学雑誌, 119,826-840
9. 遠田晋次・丸山正・吉見雅行・金田平太郎・粟田泰夫・吉岡敏和・安藤亮輔(2010):2008年岩手・宮城内陸地震に伴う地表地震断層—震源過程および活断層評価への示唆—, 地震第2輯, 第62巻, 153-178.
10. 東京大学地震研究所・東北大学大学院理学研究科・岩手大学工学部(2008):2008年岩手宮城内陸地震震源域磐井川粗衣の反射法地震探査結果, 地震調査委員会, 191回
11. 佐藤比呂志・加藤直子・阿部進(2008):2008年岩手宮城内陸地震の地質学的背景, 地震研究所ホームページ,
<http://www.geosociety.jp/hazard/content0031.html>
12. 布原啓史・吉田武義・山田亮一(2008):地理情報システムを用いた地震災害とカルデラ構造との関連の検討, 地質学会webサイト
<http://www.geosociety.jp/hazard/content0035.html>
13. 産業技術総合研究所:20万分の1日本シームレス地質図V2, <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html>
14. 鈴木康弘・渡辺満久・中田高・小岩直人・杉戸信彦・熊原康博・廣内大助・澤祥・中村優太・丸島直史・島崎邦彦(2008):2008年岩手・宮城内陸地震に関わる活断層とその意義—関市巖美町付近の調査速報. 活断層研究, 29, 25-34.
15. 田力正好・池田安隆・野原壯(2009):河成段丘の高度分布から推定された岩手・宮城内陸地震の震源断層, 地震第2輯, 第62巻, 1-11.
16. 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志(2002):第四紀逆断層アトラス, p254, 東京大学出版会.
17. 柳田誠・青柳恭平・下釜耕太・岡崎和彦・佐々木俊法(2020):2008年岩手・宮城内陸地震の震源域における活構造評価, 地学雑誌, 129(1), 89-122.
18. 産業技術総合研究所地質図Navi:<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>
19. 後藤憲央・佐々木俊法(2019):河成段丘面の比高分布から推定される伏在断層の活動性—2008年岩手・宮城内陸地震震源域直上の磐井川を例に—第四紀研究, 58, 315-331
20. 吉山昭・柳田誠(1995):河成地形面の比高分布からみた地殻変動. 地学雑誌, 104, 809-826.
21. 幡谷(2006):河成段丘を用いた第四紀後期の隆起量評価手法の検討(3)—過去10万年間の隆起量分布により明らかにされる内陸部の地殻変動—. 電力中央研究所報告, N05017.
22. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第2輯, 第28巻
23. 井口隆・大八木規夫・内山庄一郎・清水文健(2010):2008年岩手・宮城内陸地震で起きた地すべり災害の地形地質的背景, 防災科学技術研究所主要災害調査, 第43号
24. Hasegawa, A., J. Nakajima, N. Umino and S. Miura(2005):Deep structure of the northern Japan arc and its implications for crustal deformation and shallow seismic activity, Tectonophysics., 403, 59-75.
25. 活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層 分布図と資料, 東京大学出版会
26. 気象庁:地震月報(カタログ編), <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/index.html>