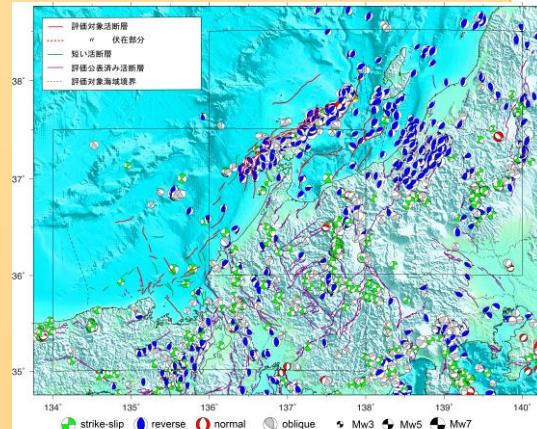


活断層に基づく地震発生確率に 関する資料

ポアソン過程を用いた地震発生確率の算出方針(案)



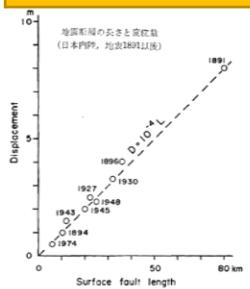
横ずれ/縦ずれ比



① メカニズム解の断層すべり角から算出される横ずれ/縦ずれ比の分布に基づく方法

② 広域応力場を用いWallace-Bott仮説から算出される断層すべり角に基づく方法

断層長から推定される1回のずれの量



$D = 10^{-4}L$ (松田ほか, 1980)

出典: 松田・他(1980)
地震研究所彙報 (Fig. 10)

反射断面記録から読み取った垂直変位量

水中音速(1500m/sを仮定)
変位基準面の堆積年代

平均変位速度(縦ずれ成分)

平均変位速度(ネットスリップ)

平均活動間隔 $R =$

$$\frac{\text{断層長から推定される1回のずれの量}}{\text{平均変位速度(ネットスリップ)}}$$

ポアソン過程を用いた個々の活断層における地震発生確率の算出

個別断層: $P(30) = 1 - \exp(-30/R)$

評価地域: $P(Y > y; t) = 1 - \prod \{1 - P_k(Y > y; t)\}$

活断層の組み合わせを考慮した地震発生確率値の最適値・幅の評価方法

4-3. 評価地域の地震の発生確率の幅の統計的扱い

活断層調査で得られる最新活動時期や平均活動間隔には幅を伴うことが多く、結果として地震発生確率は幅を持つ（表4、表6、表8）。この原因として、活断層の活動時期が活動層準の直上と直下の地層の堆積年代で挟まれる期間として求められ、活動層準の年代を一意に決めることができないことがある。このため、式（A-2）によって求められた地震の発生確率は大きな幅を持つ。このとき、確率値が最小の場合は、すべての活断層において平均活動間隔が幅の最大値を取り、最新活動時期が求まっているすべての活断層において、求まっている幅の値の最新値を取る場合であり、確率値が最大の場合はその逆である。

確率値に幅のある複数の活断層の組み合わせを考慮すると、各活断層の最新活動時期や平均活動間隔の組み合わせは、地震の発生確率を確率変数とする確率分布に従う。この確率分布がわかれば、区域全体の地震の発生確率の最適値と幅を求めることができる。

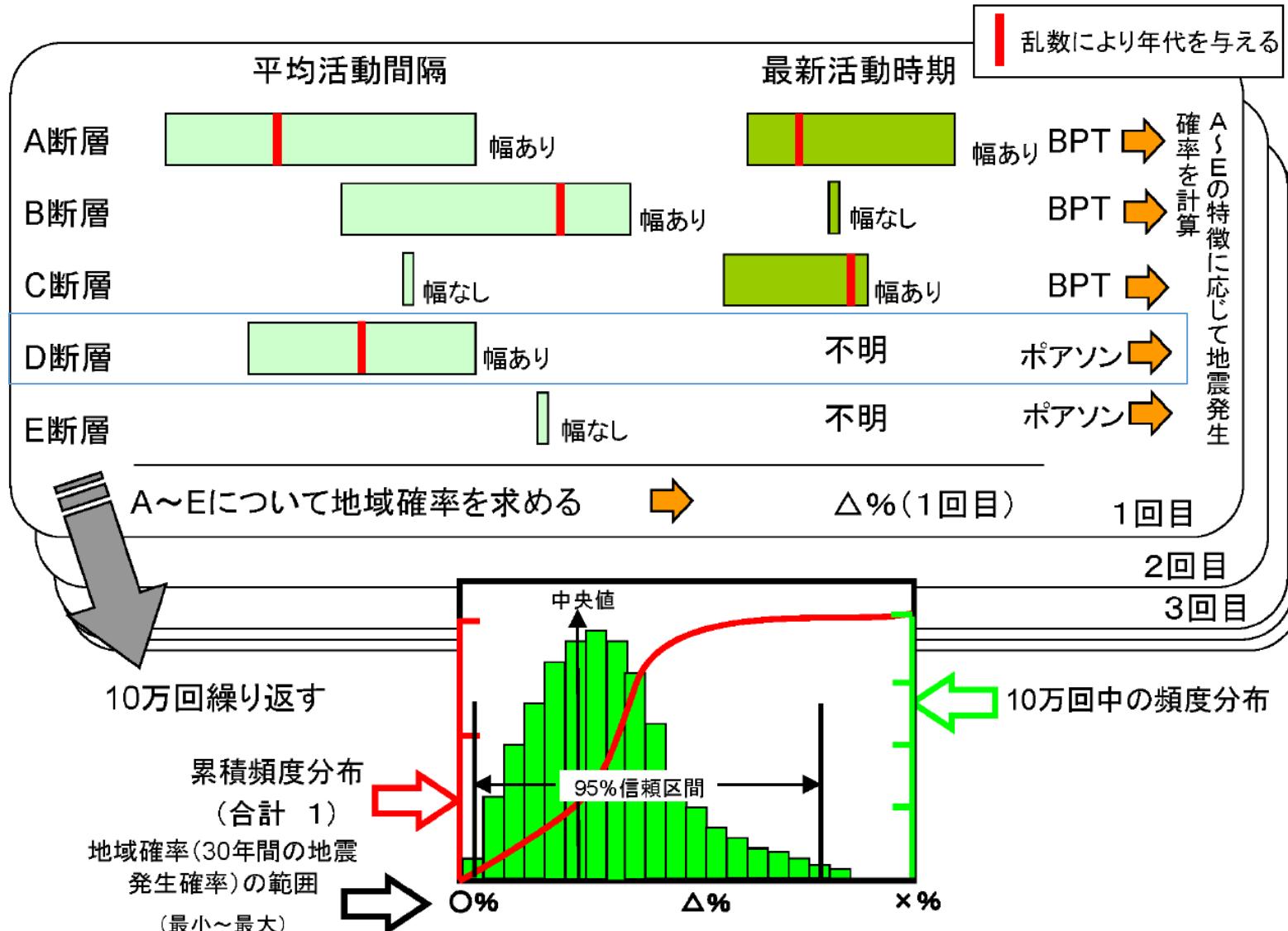
そこで、この確率分布を、乱数を発生させることにより評価し（モンテカルロ法）、それに基づき区域全体の地震の発生確率の最適値と幅を評価した。考え方方は次のとおりである（付図4）。

- (1) ある区域に分布する活断層に対し、付図4のA-Eの断層の特徴に応じ、平均活動間隔または最新活動時期に対し乱数を発生させる。
- (2) 付図4のA-Eの断層の特徴に応じ、活動間隔のばらつきのパラメータ $\alpha=0.24$ としBPT（Brownian Passage Time）分布を適用する、もしくは平均活動間隔をもとにポアソン過程により、個々の活断層における地震の発生確率を計算する。
- (3) 区域全体での確率を、(2)で求めた区域に分布する全ての活断層の地震発生確率に基づき、式（A-2）により求める。以上の(1)-(3)の操作を一回の試行とする。
- (4) (1)-(3)の操作を10万回繰り返す。

以上の操作により、地震の発生確率のある値が10万回の試行の中で何回計算されたかの頻度を求める。これにより、各活断層の最新活動時期や平均活動間隔の組み合わせの確率分布を評価することができる。ここで、10万回の試行の中で、ある長期発生確率が計算される頻度の割合を「評価パラメータ」と呼ぶことにする。

ここで区域全体の地震の発生確率については、上記で求めた確率分布の95%信頼区間及び中央値を示した。

活断層の組み合わせを考慮した地震発生確率値の最適値・幅の評価方法



変位基準面の堆積年代について

日本海南西部の海域活断層の長期評価(第一版)

基準面の年代は鳥取県沖で実施されたIODP

Exp346 航海の Site U1427 の年代を用いた

(Sagawa et al., 2018)。そこでは厚さ約 440 m の堆積物が得られ、約 100 万年間の年代が詳しく求められている。同地点周辺の反射断面で確認できる Q1 層基底は海底下約 225–250m に位置することから、その年代は 60–70 万年前に対比される(図 22)。一方で、評価対象海域の海域活断層が分布する水深 100 m 前後の海底では、Q1 層基底は海底下 50 m 以下であり、Site U1427 地点における堆積速度に比べて 1/5 程度になっていると考えられる。堆積速度の低下によって反射断面の年代分解能は低下していると推定されるため、基準面の年代推定誤差は 5 倍程度大きくなると考え、Q1 層基底の年代は 40–90 万年とした。この年代幅には地層の対比誤差は含まれていないため、実際の誤差はさらに大きい可能性もある。本評価では、各断層の傾斜と垂直変位量から求めた断層面上の累積変位量(縦ずれ)と基準面の年代から平均変位速度(縦ずれ)を推定した。

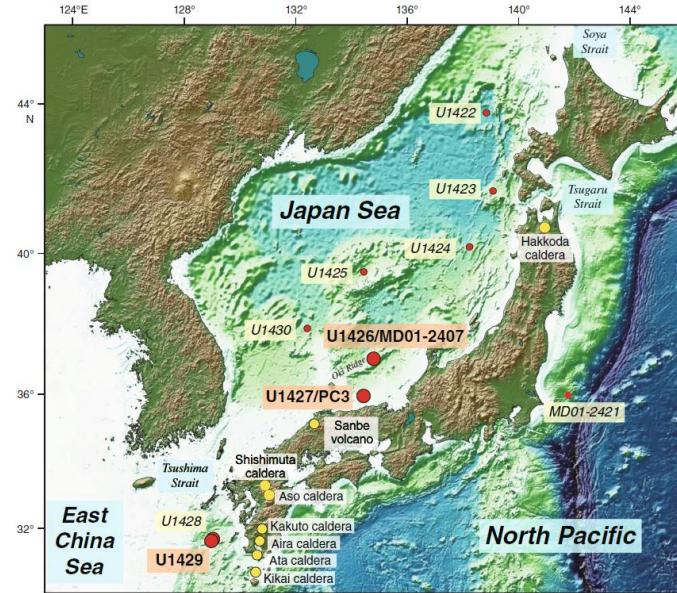


Fig. 1 Locations of sites drilled during IODP Expedition 346 in the Japan Sea and East China Sea. The source volcanoes of some of the regional tephra layers are shown.

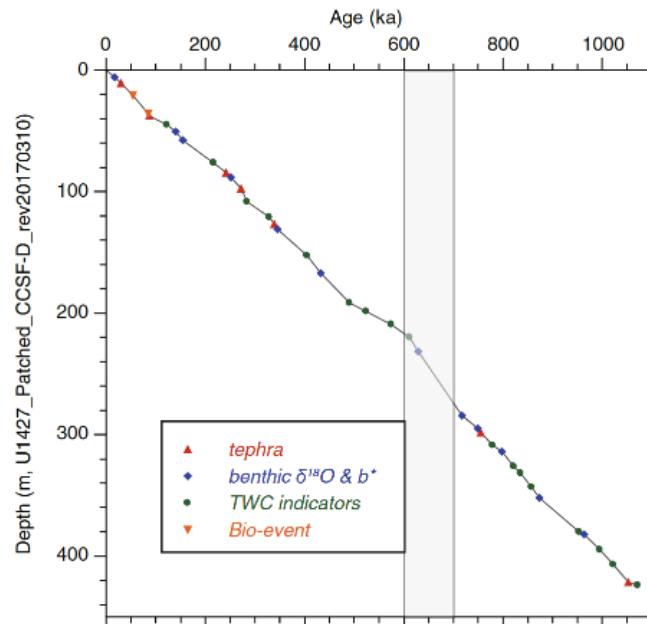


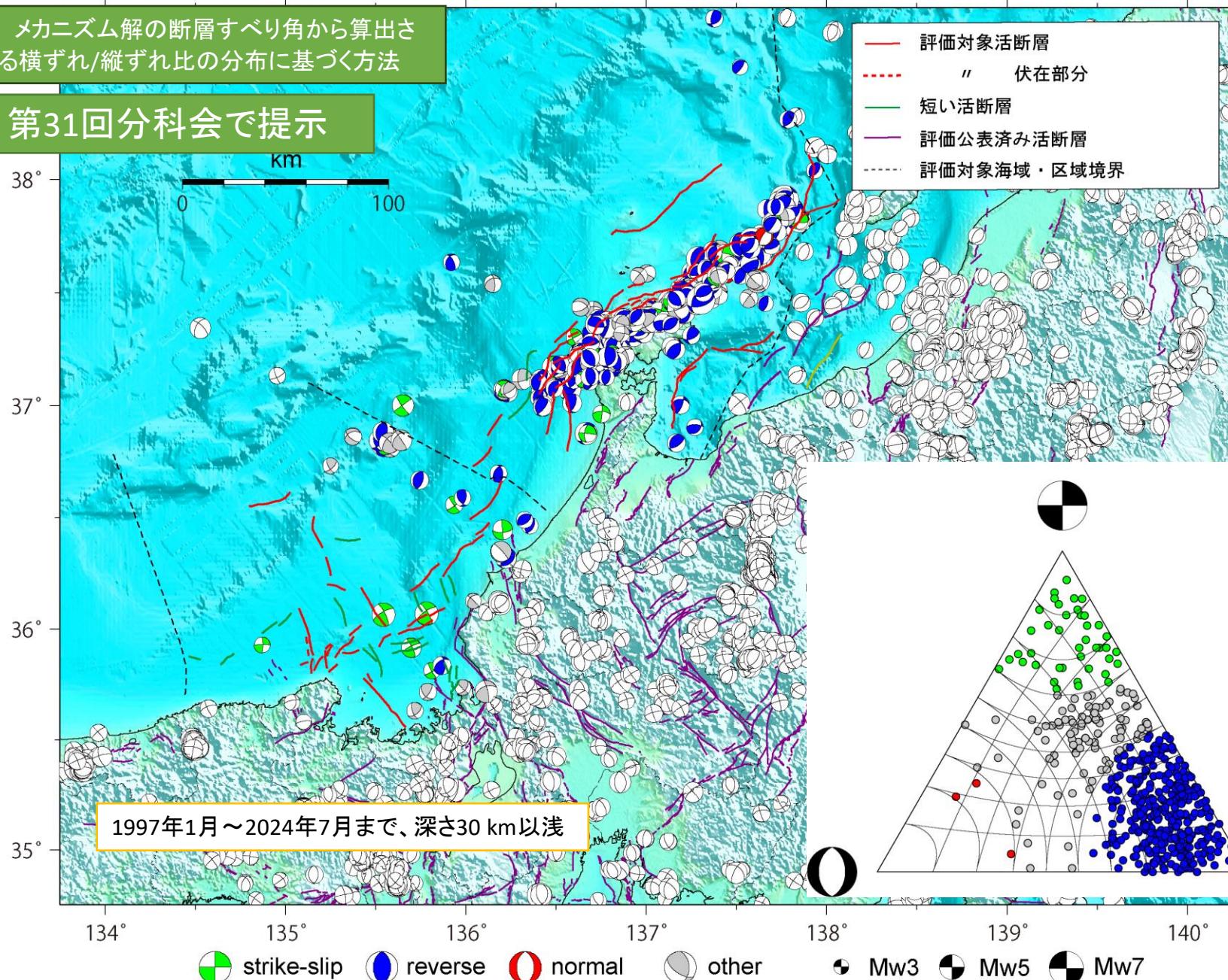
図 22 IODP Expedition 346 航海の Site U1427 における深さと年代の関係 (Sagawa et al. (2018) に加筆)

ハッチ区間は、Site U1427 周辺の反射断面で確認できる Q1 層基底深度から推定される Q1 層の堆積年代幅を示している。⁵

評価対象海域内における発震機構解の分布(F-net)

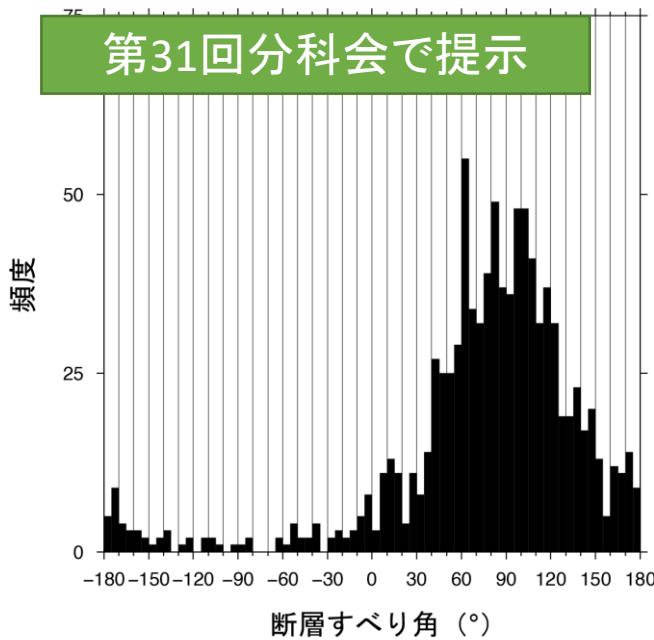
① メカニズム解の断層すべり角から算出される横ずれ/縦ずれ比の分布に基づく方法

第31回分科会で提示



評価対象海域内における発震機構解の断層すべり角

第31回分科会で提示

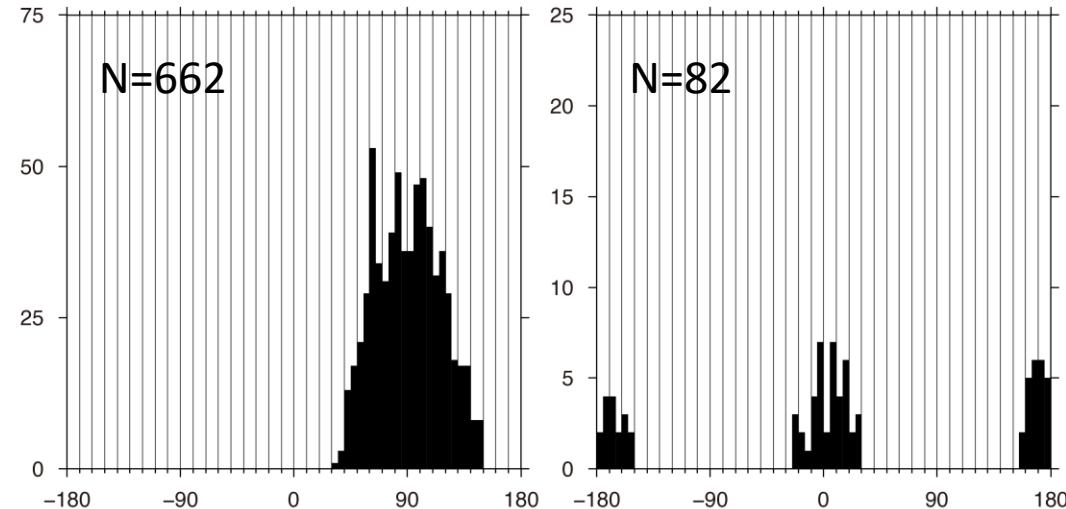


※ 第一節面ならびに第二節面のいずれの値も使用

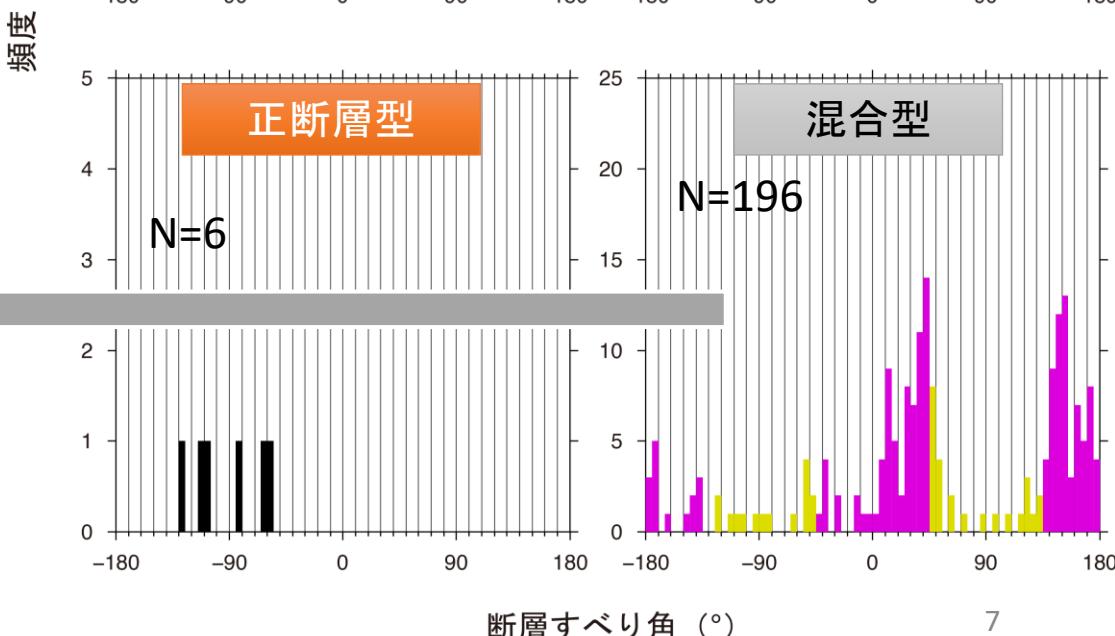
横ずれが主

縦ずれが主

逆断層型

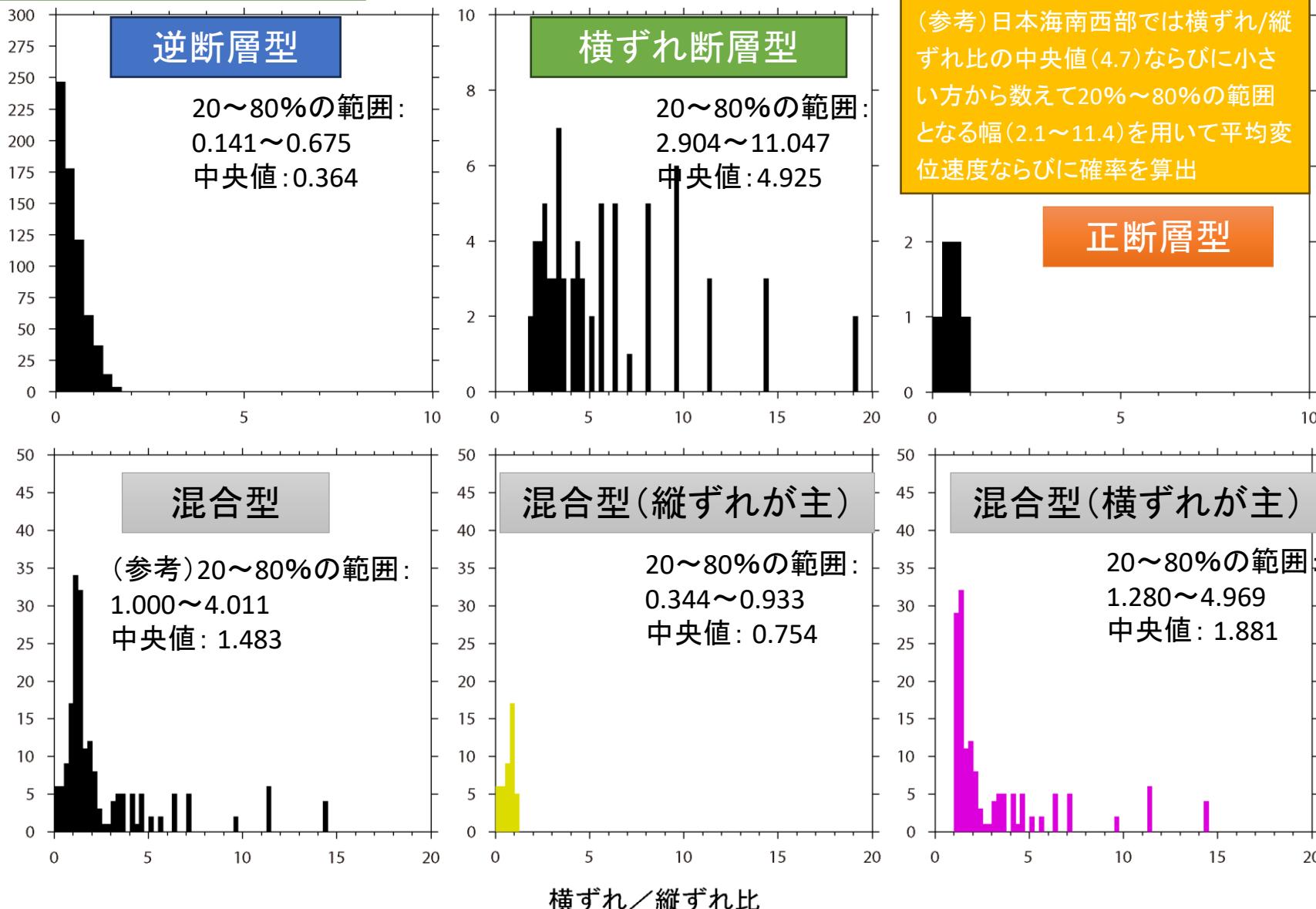


横ずれ断層型



評価対象海域内における発震機構解の断層すべり角から 算出される横ずれ/縦ずれ比

第31回分科会で提示



平均変位速度ならびに平均再来間隔の算出(手法①)

第31回分科会で提示

	断層番号	活断層のくくり	評価単位区間	種類	信頼度	垂 直 变 位 量 (最大値) (m/sec)	斜補正	基準層準	基準層準年代 値(ky) 括弧内は平均 値	手法①										
										手法①による比 括弧内は中央値	平均変位速 度 (最小 値) (m/ky)	平均変位速 度 (中央 値) (m/ky)	平均変位速 度 (最大 値) (m/ky)	活動度 最小値	活動度 中央値	活動度 最大値	平均再来間 隔 (最小 値)	平均再来間 隔 (中央 値)	平均再来間 隔 (最大 値)	
西部	1	沖ノ礁北方断層		左横ずれ	○	0.020	N	Q1	400~900 (650)	2.904~11.047 (4.925)	0.05	0.12	0.42	C	B	B	6010	21557	48838	
	2	経ヶ岬沖断層		北西側隆起の逆断層 (右横ずれ成分を伴う)	○		N			0.344~0.933 (0.754)	0.25	0.42	0.74	B	B	B	4863	8630	14151	
	3	小浜沖断層		左横ずれ	○	0.060	N	Q1	400~900 (650)	2.904~11.047 (4.925)	0.15	0.35	1.25	B	B	A	2645	9485	21489	
	4	浦島礁北方断層		左横ずれ	○	0.030	N	Q1	400~900 (650)	2.904~11.047 (4.925)	0.08	0.17	0.62	C	B	B	6411	22994	52094	
	5	若狭海丘列北縁断層		南側隆起の逆断層	△	0.150	N	Q1	400~900 (650)	0.141~0.675 (0.364)	0.25	0.37	0.68	B	B	B	3094	5701	8318	
	6	越前岬西方沖断層		北西側隆起の逆断層 (右横ずれ成分を伴う)	○	0.250	N	Q1	400~900 (650)	0.344~0.933 (0.754)	0.25	0.42	0.74	B	B	B	5133	9109	14937	
	7	浦島礁北東断層		左横ずれ	○	0.020	N	Q1	400~900 (650)	2.904~11.047 (4.925)	0.05	0.12	0.42	C	B	B	5529	19832	44931	
	8-1	ゲンタツ瀬・ 大グリ南東縁断層帯	ゲンタツ瀬区間	北西側隆起の逆断層 (右横ずれ成分を伴う)	○		N			0.344~0.933 (0.754)	0.23	0.34	0.63	B	B	B	3190	5877	8575	
	8-2		大グリ区間	北西側隆起の逆断層 (右横ずれ成分を伴う)	○		N			0.344~0.933 (0.754)	0.23	0.34	0.63	B	B	B	5583	10285	15007	
	9	加佐ノ岬沖断層		南東側隆起の逆断層	○	0.240	N	Q1	400~900 (650)	0.141~0.675 (0.364)	0.23	0.34	0.63	B	B	B	3988	7347	10719	
東部	10	羽咋沖東断層		西側隆起の逆断層	○	0.110	Y (1.1)	Q1	400~900 (650)	0.141~0.675 (0.364)	0.12	0.17	0.32	B	B	B	9492	17486	25514	
	11	羽咋沖西断層		西側隆起の逆断層	○	0.180	N	Q1	400~900 (650)	0.141~0.675 (0.364)	0.17	0.26	0.47	B	B	B	4466	8228	12006	
	12	内灘沖断層		南東側隆起の逆断層	○	0.300	N	Q1	400~900 (650)	0.141~0.675 (0.364)	0.29	0.43	0.78	B	B	B	3701	6818	9947	
	13	海士岬沖東断層		南東側隆起の逆断層	○	0.018	N		最終氷期	17~21 (19)	0.141~0.675 (0.364)	0.75	0.87	1.11	B	B	A	1898	2405	2801
	14-1	門前沖区間	南東側隆起の逆断層 (右横ずれ成分を伴う)	○	0.022	N		最終氷期	17~21 (19)	0.344~0.933 (0.754)	0.96	1.26	1.53	B	A	A	1501	1831	2397	
	14-2		海士岬沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.075	N	Q1	400~900 (650)	0.141~0.675 (0.364)	0.07	0.11	0.20	C	B	B	9188	16927	24697	
	15	沖ノ瀬東方断層		南東側隆起の逆断層	○	0.004	N		最終氷期	17~21 (19)	0.141~0.675 (0.364)	0.17	0.19	0.25	B	B	B	14236	18039	21010
	16-1	能登半島北岸断層帯	猿山沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.046	N		最終氷期	17~21 (19)	0.141~0.675 (0.364)	2.35	2.73	3.46	A	A	A	693	878	1023
	16-2		輪島沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.060	N		最終氷期	17~21 (19)	0.141~0.675 (0.364)	3.06	3.56	4.52	A	A	A	509	645	752
	16-3		珠洲沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.061	N		最終氷期	17~21 (19)	0.141~0.675 (0.364)	3.11	3.62	4.59	A	A	A	1024	1297	1511
	17	輪島はるか沖断層		南東側隆起の逆断層	○		N			0.141~0.675 (0.364)	0.17	0.19	0.25	B	B	B	9762	12370	14407	
	18	能登半島北方沖		南東側隆起の逆断層	○		N			0.141~0.675 (0.364)	0.17	0.19	0.25	B	B	B	12609	15977	18609	
	19-1	舳倉島近海断層帯	南西区間	北西側隆起の逆断層	○		N		海成段丘高度		0.141~0.675 (0.364)	0.15	0.16	0.18	B	B	B	22577	25007	27141
	19-2		北東区間	北西側隆起の逆断層	○		N		海成段丘高度		0.141~0.675 (0.364)	0.15	0.16	0.18	B	B	B	12665	14029	15225
	20-1	七尾湾東方断層帯	大泊鼻沖区間	西側隆起の逆断層	○		N		海成段丘高度		0.141~0.675 (0.364)	0.56	0.61	0.67	B	B	B	3721	4121	4473
	20-2		城ヶ崎沖区間	北西側隆起の逆断層	○		N		海成段丘高度		0.141~0.675 (0.364)	0.44	0.48	0.53	B	B	B	3987	4417	4794
21	飯田海脚南縁断層		北側隆起の逆断層	○		N				0.141~0.675 (0.364)	0.10	0.10	0.10	B	B	B	31000	31000	31000	
22	富山トラフ西縁断層		西側隆起の逆断層	○		N				0.141~0.675 (0.364)										
23	富山トラフ横断断層		北側隆起の逆断層	○						0.141~0.675 (0.364)										

※ 仮算出値であり、今後変更の可能性がある

門前断層帯海士岬沖区間の扱いについて

門前断層帯海士岬沖区間は長さ約18 kmで、主な海域活断層の評価対象(長さ20 km程度以上、M7.0以上)には満たない。

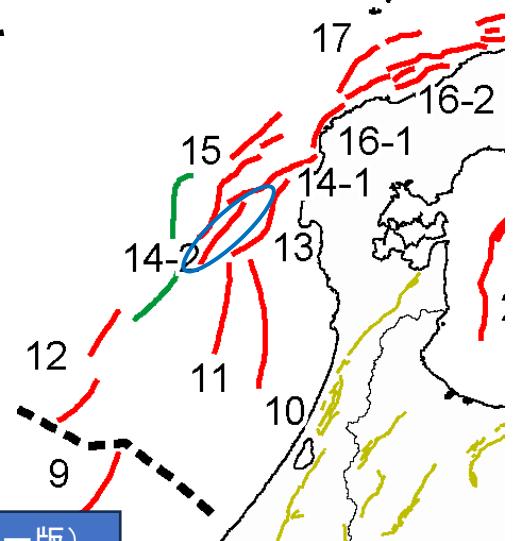
⇒ (案)陸域活断層の地域評価と同様に、M7.0程度とみなして確率に考慮

表1 九州地域で評価した活断層で発生する地震の長期評価

地盤細分 主要活断層帯	九州地域の長期評価で考慮した活断層			地域の長期評価(M6.8以上、30年確率(%))(注2、4)
	活断層のくくり (付録2-1)	評価単位区間 (付録2-1)	各区間が單独で活動する場合の地震の規模(M)	
九州北部	小倉東断層	小倉東断層	7.1程度	7-13 (9)
	福智山断層帯	福智山断層帯	7.2程度	
	大島沖区間		7.5程度	
	西山断層帯	西山区間	7.6程度	
		嘉麻津区間	7.3程度	
	宇美断層	宇美断層	7.1程度	
○ 警固断層帯	北西部		7.0程度	7-13 (9)
	南東部		7.2程度	
	日向岬一小笠木断層帯	日向岬一小笠木断層帯	7.2程度	
簡便な評価の対象とする活断層(余島半島沖断層群)				
九州中部	水繩断層帯	水繩断層帯	7.2程度	18-27 (21)
	佐賀平野北縁断層帯	佐賀平野北縁断層帯	7.5程度	
	別府溝一日出生断層帯(東部)		7.6程度	
	別府溝一日出生断層帯(西部)		7.3程度	
	大分平野一由布院断層帯(東部)	大分平野一由布院断層帯(東部)	7.2程度	
	大分平野一由布院断層帯(西部)	大分平野一由布院断層帯(西部)	6.7程度(※)	
○ 壱仙断層群	野鶴岳一万年山断層帯	野鶴岳一万年山断層帯	7.3程度	30-42 (35)
	崩平山一龜石山断層帯	崩平山一龜石山断層帯	7.4程度	
	壹仙断層群北部		7.3程度以上	
	壹仙断層群南東部		7.1程度	
○ 布田川断層帯	壹仙断層群西北部	壹仙断層群西北部	7.3程度	30-42 (35)
	壹仙断層群南西部	壹仙断層群南西部	7.1程度	
	布田川区間		7.0程度	
簡便な評価の対象とする活断層(佐賀平野断層、多良岳南西麓断層)				
九州南部	日奈久断層帯	高野一白崎区間	6.8程度	7-18 (8)
		日奈久区間	7.5程度	
		八代港区間	7.3程度	
	綠川断層帯	綠川新断層帯	7.4程度	
	人吉盆地南縁断層	人吉盆地南縁断層	7.1程度	
	出水断層帯	出水断層帯	7.0程度	
	鰐断層帯	上鰐島東沖区間	6.9程度	
		鰐区間	7.5程度	
	市来区間		7.2程度	
	市来断層帯	鰐海峡中央区間	7.5程度	
簡便な評価の対象とする活断層(福良木断層、阿蘇外輪山南麓断層群、鶴木場断層帯、国見岳断層帯、水俣断層帯、鹿兒島湾東縁断層帯、鹿兒島湾西縁断層帯、泡田湖西断層帯)				

*地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)では、大分一由布院断層帯(西部)から発生する地震の規模をM6.7程度としているが、ここではM6.8程度とみなして評価している。

九州地域の活断層の長期評価(第一版)



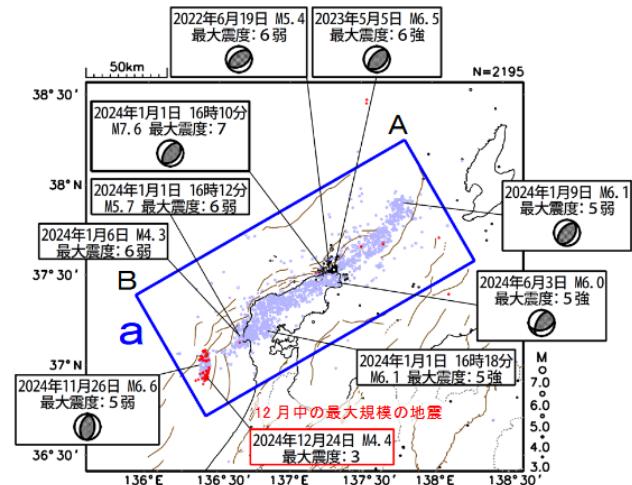
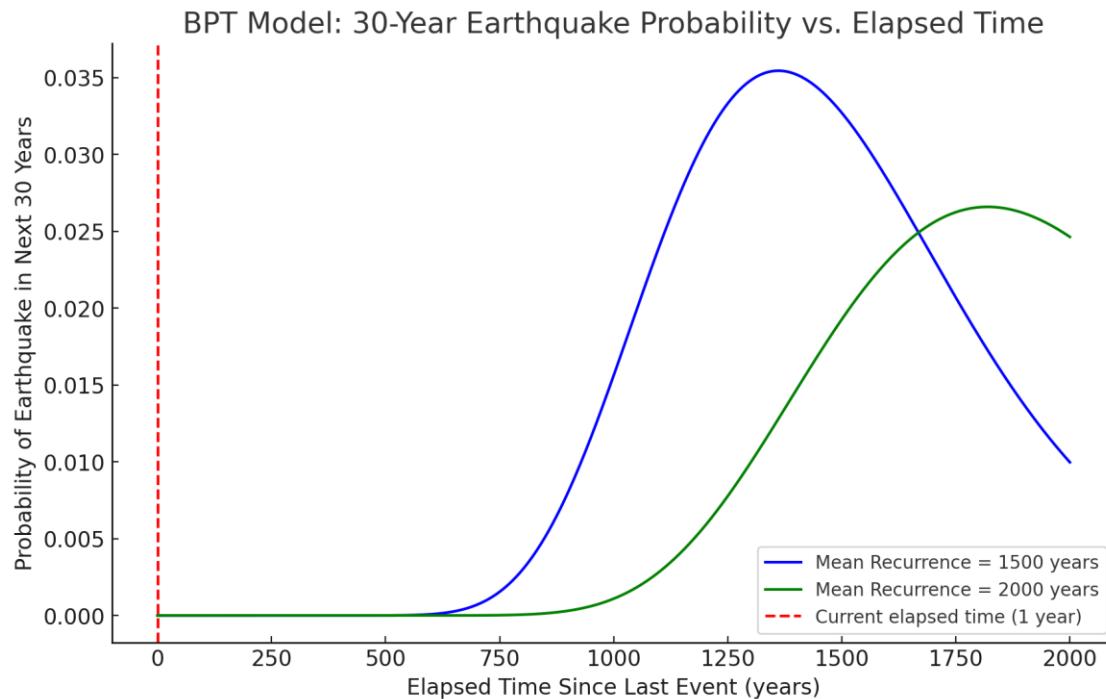
「なお、別府一万年山断層帯の大分平野一由布院断層帯西部の地震規模は、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)ではM6.7程度と評価されているが、ここではM6.8程度とみなして、九州中部及び九州全域における地震発生確率の評価において考慮する断層(評価単位区間)に含めている。」

能登半島北岸断層帯 (猿山沖区間、輪島沖区間、 珠洲沖区間)

- ◆ 令和6年(2024年)能登半島地震が最新活動時期
- ◆ 低位段丘の一番高い面の年代を約6000年前として、猿山沖区間は過去6000年間に3回(2024年の地震を含む:平均再来間隔2000年)、輪島沖区間と珠洲沖区間は過去6000年間に4回(2024年の地震を含む:平均再来間隔1500年)としてBPT分布により確率を算出(変動係数 α は内陸活断層と同様に0.24を仮定)



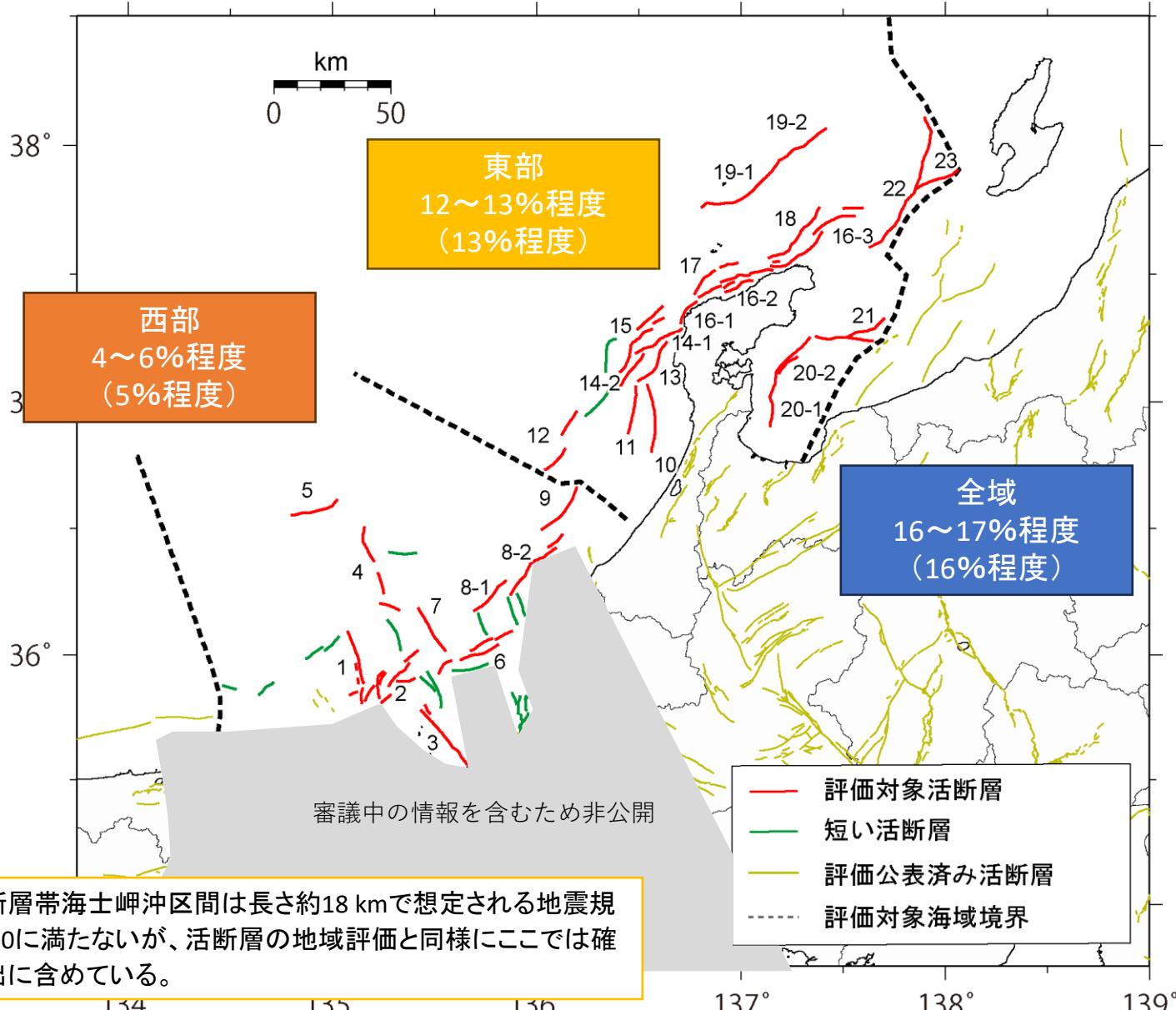
0.0000000000%
(ほぼ0%)



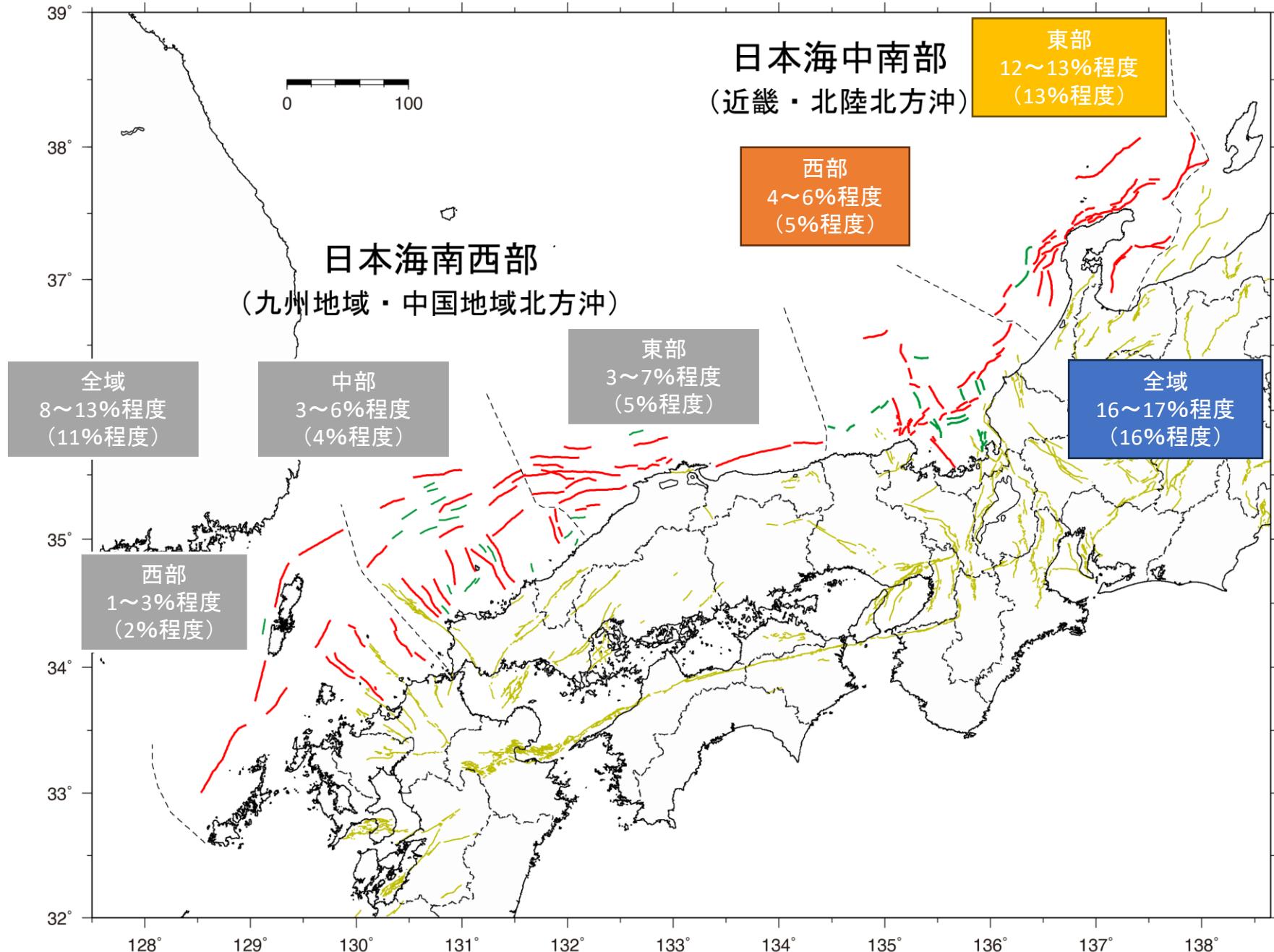
図中の茶色の線は、地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

活断層に基づく地震発生確率

評価対象の海域活断層帯で発生する地震の発生確率(M7.0以上)



日本海南西部の海域活断層の長期評価(第一版)との比較



多様な地震発生確率の試算

評価対象海域の海域活断層のいずれかを震源としてM6.8以上の地震が発生する確率

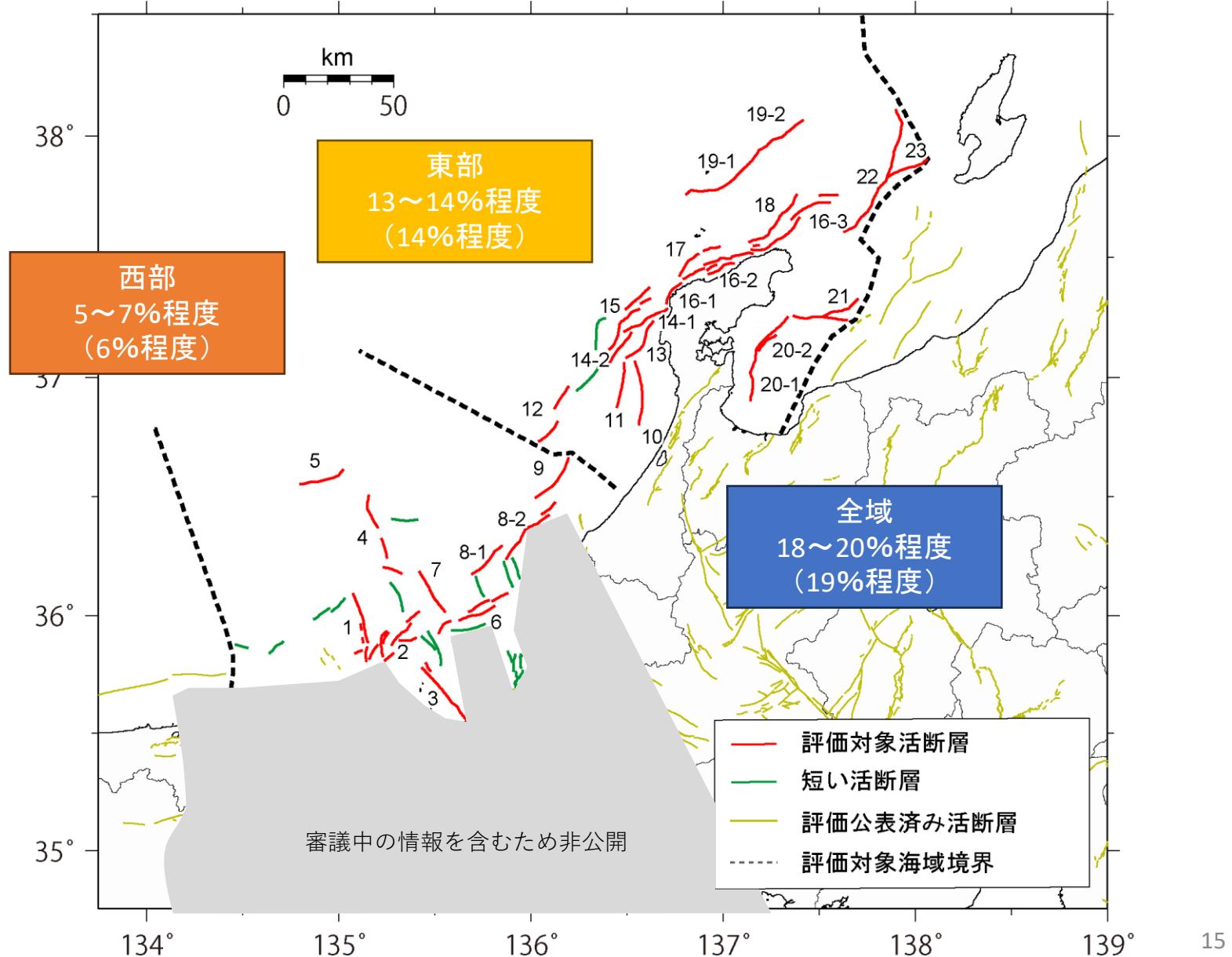
本評価では、津波や地震動の被害が広範囲に及ぶ可能性を考慮して、評価対象海域において断層長さ20 km程度以上の海域活断層を主な評価対象とし長期評価を行い、区域内の海域活断層のいずれかを震源として今後30年以内にM7.0以上の地震が発生する確率を評価した。一方、陸域の地域評価ではM6.8以上の地震が発生する確率を評価しているため、ここでは本評価対象海域内の海域活断層のいずれかを震源として今後30年以内にM6.8以上の地震が発生する確率を算出した。なお、評価対象海域には、長さ20 km未満の海域の短い活断層が存在しているため試算の対象に含めることとし、松田(1975)による式(1)を用いるとM6.8未満となる長さ15 km未満の短い活断層についても、陸域の地域評価と同様に最低限考慮すべき地震の規模としてM6.8を設定して評価することとした。

表 8 短い活断層に対する仮定値

長さ20 km未満の活断層	想定する地震の規模注16)	1回のずれ量(最大) 注9)	平均変位速度の 仮定値(m/千年) (表2)	平均活動間隔 (千年)※
西部	いざみさき 伊笠岬沖断層	6.8程度	約1m	0.05 (C級を仮定)
	かすみ 香住沖断層	6.8程度	約1m	0.05 (C級を仮定)
	まんじゅう 万十北断層	6.9程度	約2m	0.05 (C級を仮定)
	うらしまぐり 浦島礁南方断層	6.9程度	約2m	0.05 (C級を仮定)
	うらしまぐり 浦島礁北方南断層	6.8程度	約2m	0.05 (C級を仮定)
	うらしまぐり 浦島礁北方東断層	6.8程度	約1m	0.05 (C級を仮定)
	美浜湾断層	7.0程度	約2m	0.05 (C級を仮定)
	越前岬西方沖南断層	7.0程度	約2m	0.05 (C級を仮定)
	越前岬西方沖中断層	6.9程度	約2m	0.05 (C級を仮定)
	ゲンタツ瀬南方断層	6.8程度	約1m	0.05 (C級を仮定)
東部	ゲンタツ瀬南東断層	6.8程度	約1m	0.05 (C級を仮定)
	前ノ瀬南方断層	6.9程度	約2m	0.05 (C級を仮定)
	沖ノ瀬断層	6.8程度	約2m	0.05 (C級を仮定)

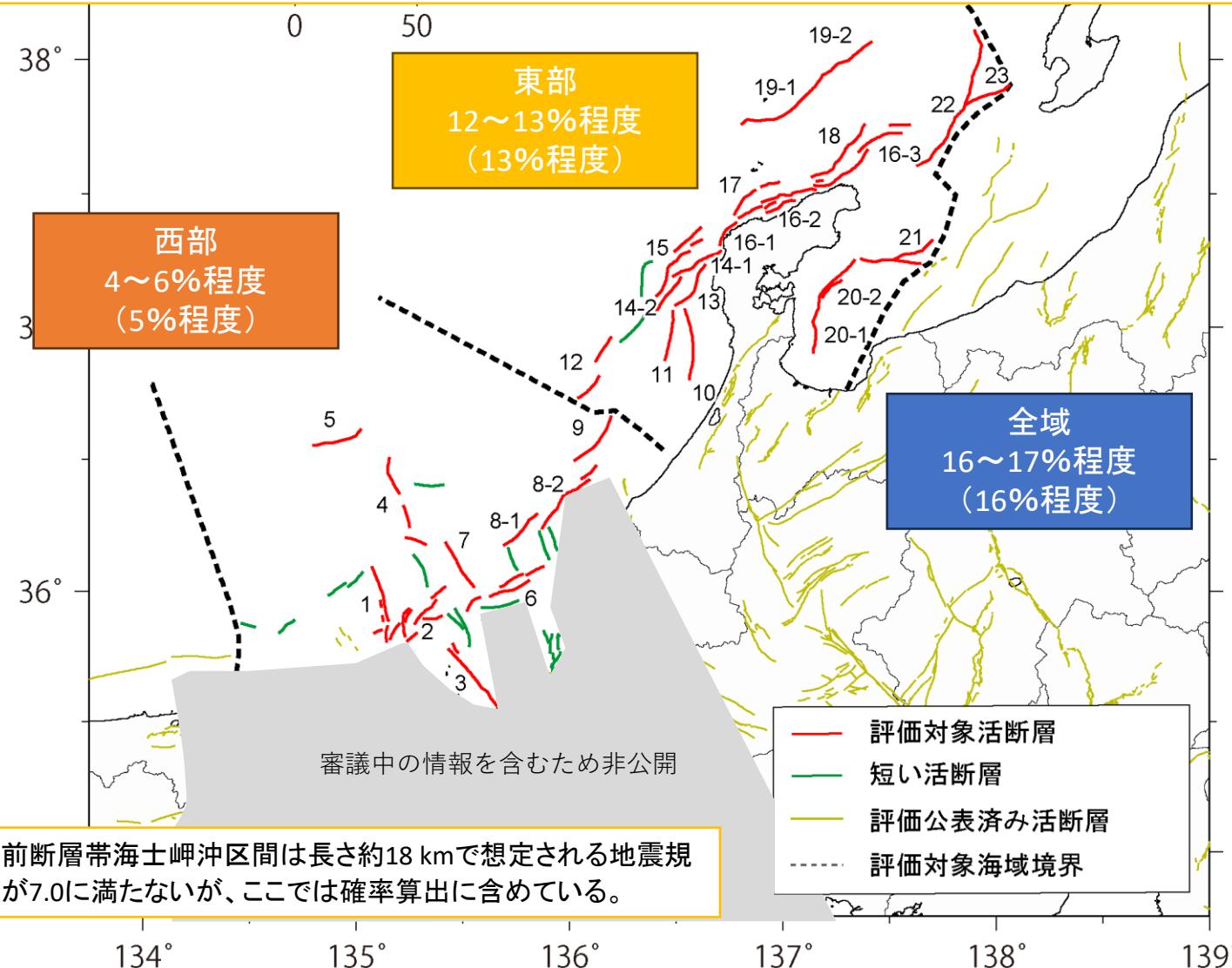
活断層に基づく地震発生確率

評価対象海域の海域活断層のいずれかを震源としてM6.8以上の地震が発生する確率

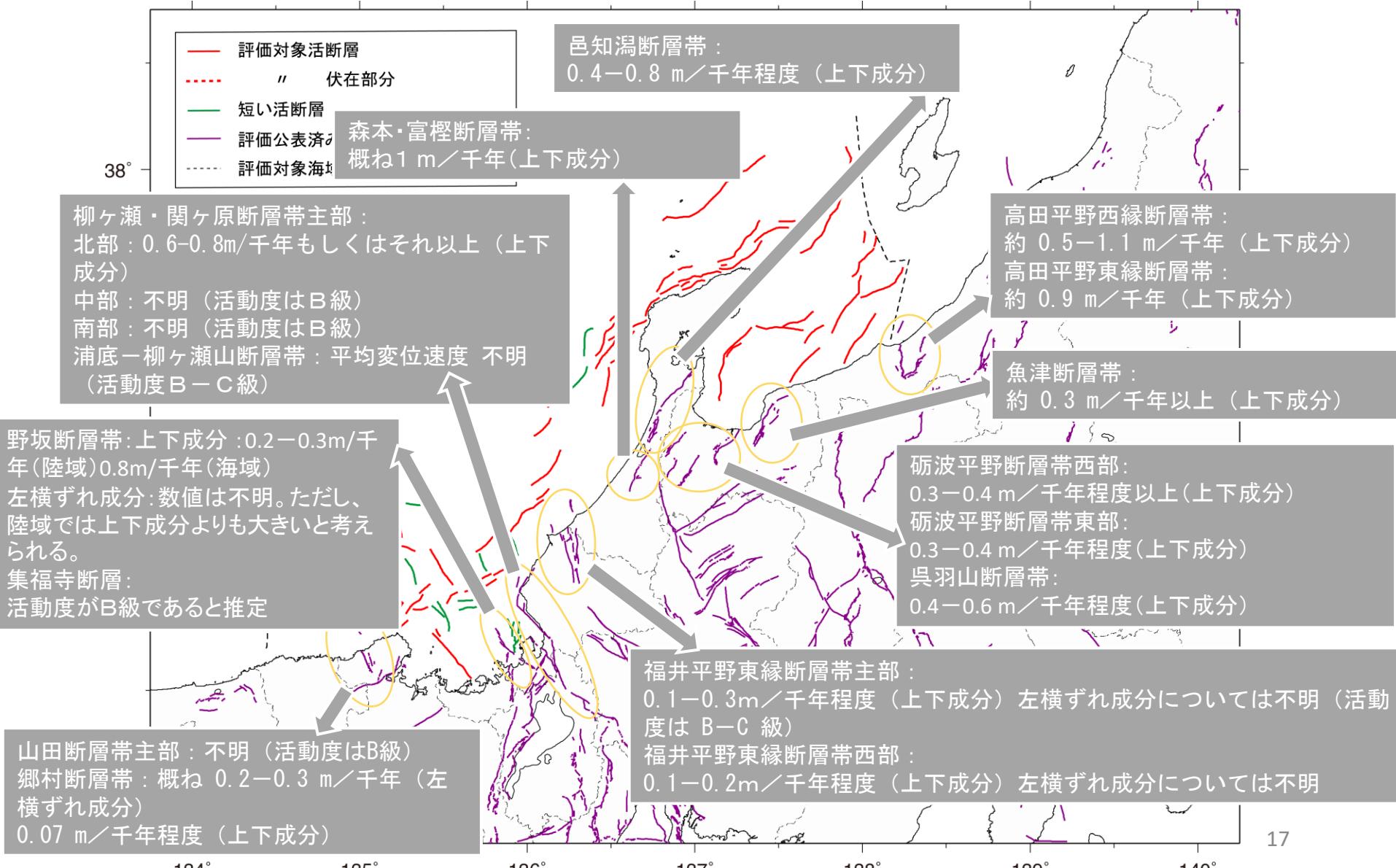


まとめ

- ◆ 反射断面から読み取られた垂直変位量や段丘面高度に基づき、メカニズム解の断層すべり角から算出される横ずれ/縦ずれ比の分布に基づく方法から算出された平均変位速度ならびに平均再来間隔に基づき、今後30年間のM7以上地震発生確率等を算出した。

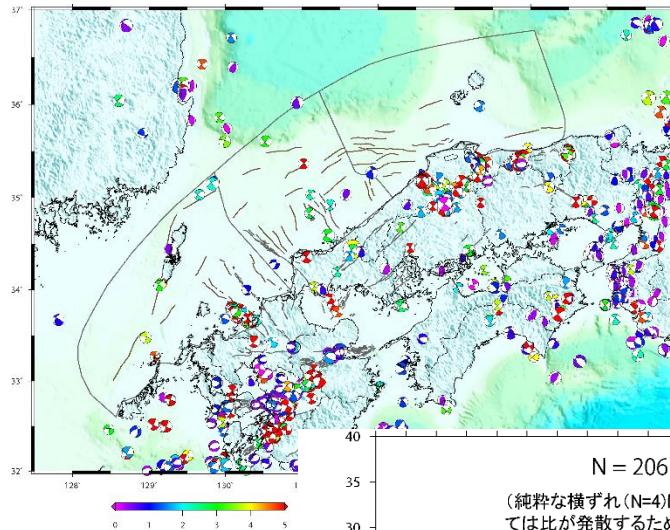


周辺に分布する主要活断層帯における平均変位速度

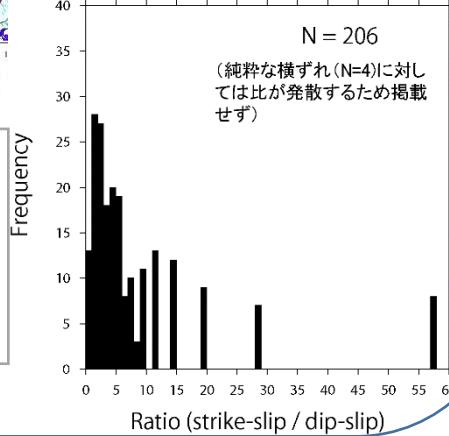


ポアソン過程を用いた地震発生確率の算出方針

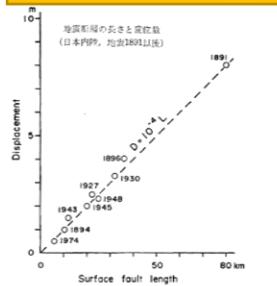
F-netメカニズム解から算出される横ずれ/縦ずれ比



F-netメカニズム解から算出される横ずれ/縦ずれ比が小さい方から数えて20%～80%の範囲となる幅(2.1～11.4)ならびに中央値(4.7)を使用



断層長から推定される1回のずれの量



$$D = 10^{-4}L \text{ (松田ほか, 1980)}$$

出典: 松田・他(1980)
地震研究所彙報 (Fig. 10)

日本海南西部の海域活断層の長期評価(第一版)

反射断面記録から読み取った垂直変位量

水中音速(1500m/sを仮定)
変位基準面の堆積年代

平均変位速度(縦ずれ成分)

※ 断層すべり角が0° 或い
は±180° に近く、ほぼ純粹
な横ずれ断層に対する扱い

平均変位速度(ネットスリップ)

$$\text{平均活動間隔 } R = \frac{\text{断層長から推定される1回のずれの量}}{\text{平均変位速度(ネットスリップ)}}$$

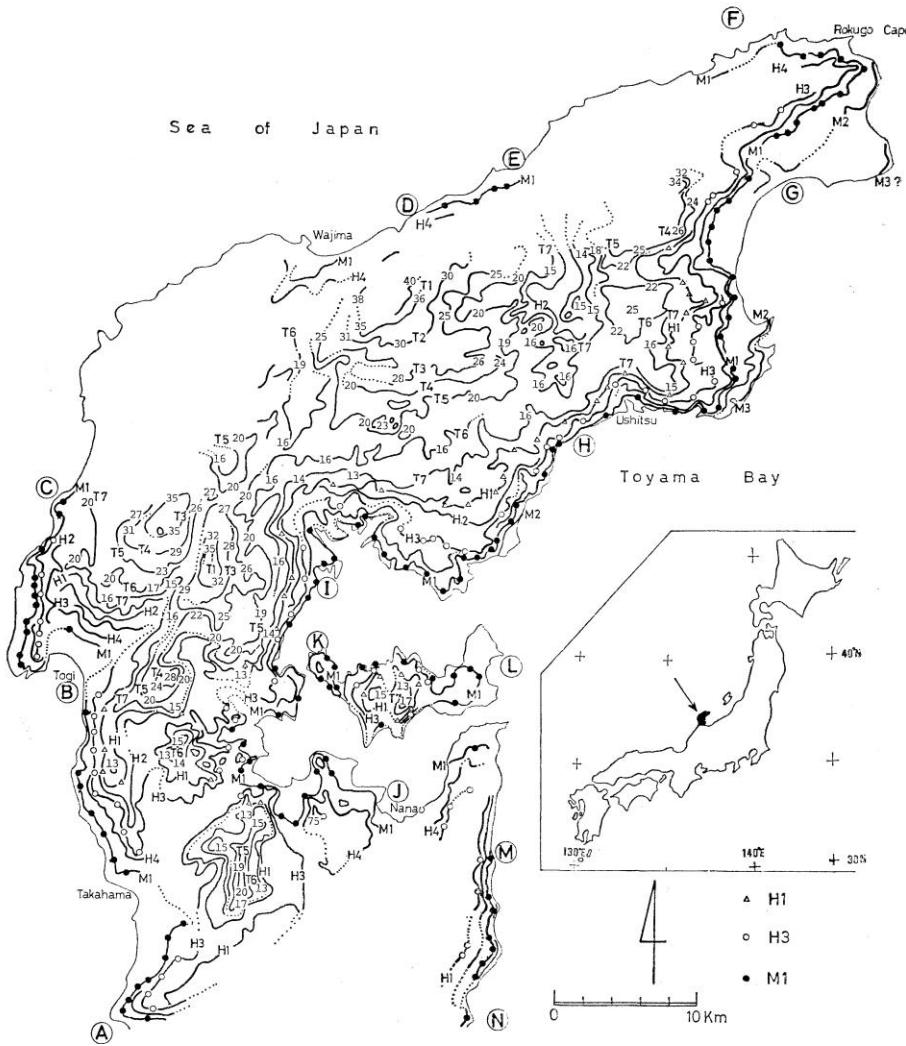
ポアソン過程を用いた個々の活断層における地震
発生確率の算出

$$\text{個別断層: } P(30) = 1 - \exp(-30/R)$$

$$\text{評価地域: } P(Y > y; t) = 1 - \prod \{1 - P_k(Y > y; t)\}$$

能登半島の海成段丘とその変形 (太田・平川、1979; 地理学評論)

能登半島の旧汀線位置と高度の分布



単位はm

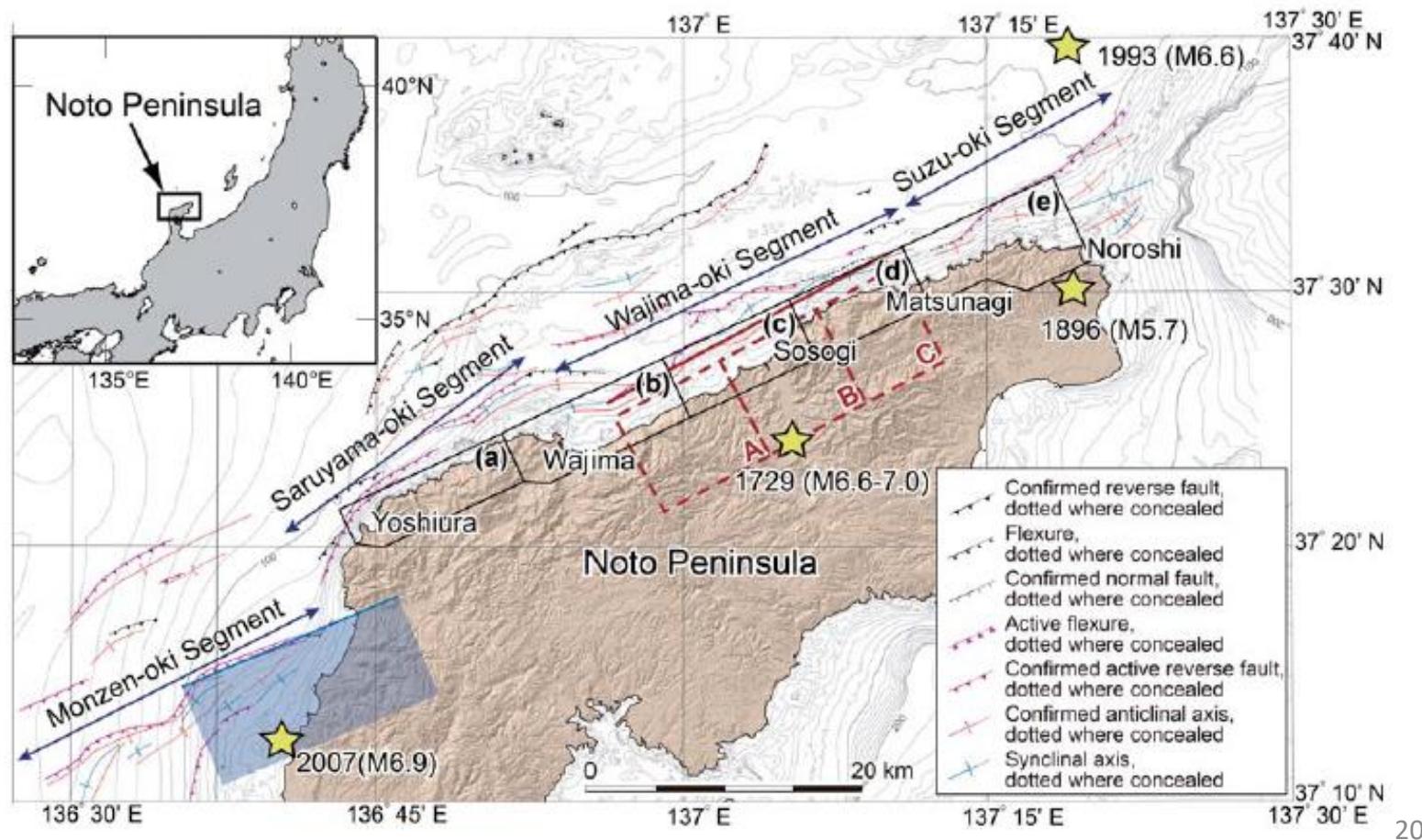
- ◆ 能登半島の海成段丘を調査し、第四紀中・後期における古地理の推移と地殻変動について考察。
- ◆ 能登半島の海成段丘は、高位からT, H, M, Lの4群に大別され、Tは7段、Hは4段、Mは3段に細分される。M1面は最も連続的に分布し、貝化石と海進を示す厚い堆積物とを伴う広い面で、最終間氷期の海進(下末吉海進)に形成されたと考えられる。
- ◆ M1面の旧汀線高度は北端の110mから南部の20mまで全体として南下りとなっており、富山湾側への緩い低下を伴う傾動が推定される。
- ◆ 北端部での平均隆起速度は1m/1,000年程度と推定される。

能登半島北部沿岸の低位段丘および離水生物遺骸群集の高度分布からみた海域活断層の活動性

(宍倉・他、2020; 活断層研究)

- ◆ 能登半島北部沿岸の海域活断層の活動性評価を目的として、沿岸に分布する低位の海成段丘について、北西部、北中部、北東部に分けて段丘面の区分を行い、現地調査により地形断面測量ならびに旧汀線の高度を測定
- ◆ 岩礁に固着した離水生物遺骸群集の高度ならびに放射性炭素年代測定を実施

能登半島北部における調査範囲・海域活断層の分布(井上・岡村、2010)ならびに主な地震の震源と断層モデル



離水生物遺骸群集の高度分布からみた海域活断層の活動性

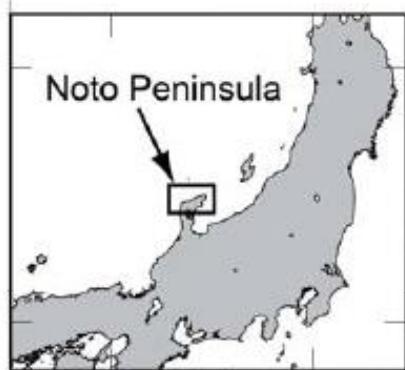
猿山沖セグメント

平均隆起速度

0.87 m/ky or 1.49 m/ky

再来間隔
(参考値)

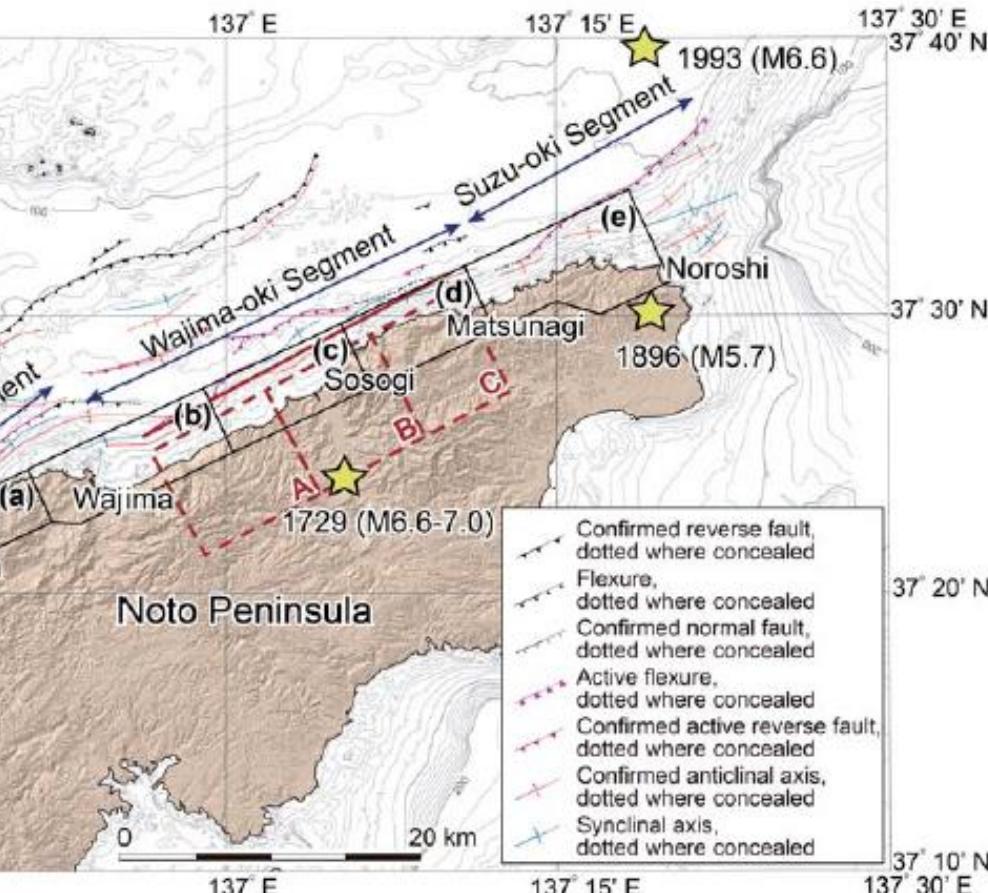
約2,000年 or 約1,200年



輪島沖セグメント 東半部(曾々木周辺)

0.67 m/ky or 1.14 m/ky

約1,100~1,400年 or
約700~800年



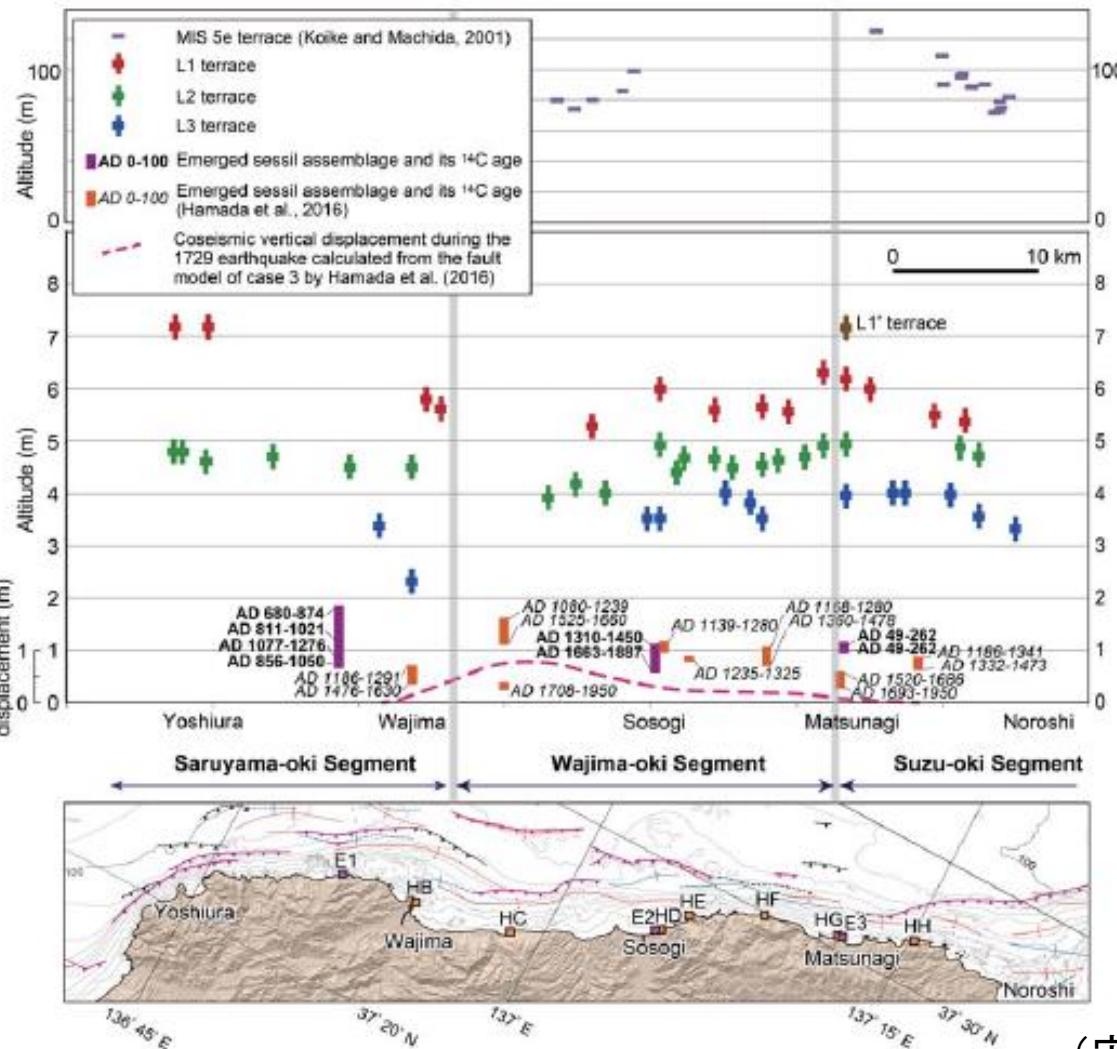
輪島沖セグメントと珠洲 沖セグメント境界付近 (馬縄周辺)

0.72 m/ky or 1.23 m/ky

約900~1,300年 or
約500~800年

能登半島北部沿岸の低位段丘および離水生物遺骸群集の高度分布からみた海域活断層の活動性

能登半島北部沿岸に投影した低位段丘、MIS 5e段丘、離水生物遺骸群集の高度分布



- ✓ 本地域の低位の段丘面はL1～L3面の3面に区分される
- ✓ L1面の離水年代を6000年前と3500年前の2つのケースに分け、平均隆起速度(平均上下変位速度)ならびに再来間隔を議論

低位段丘の各シンボルは、中央の四角が計測値、上下のバーは認定誤差(± 0.25 m)を示す。最下段の海域活断層の分布は井上・岡村(2010)に基づく