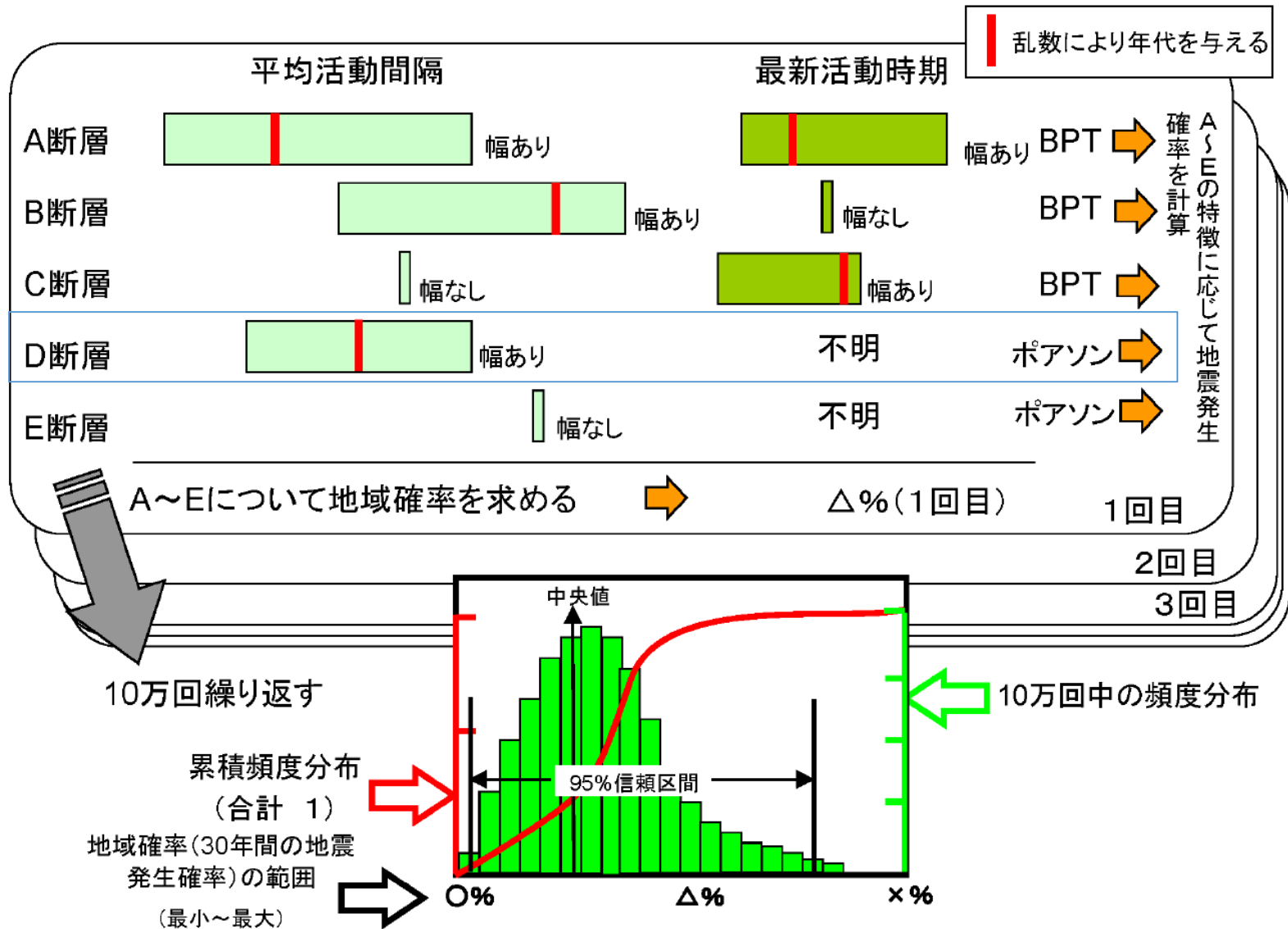


活断層に基づく地震発生確率に 関する資料

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



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などがある。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）。

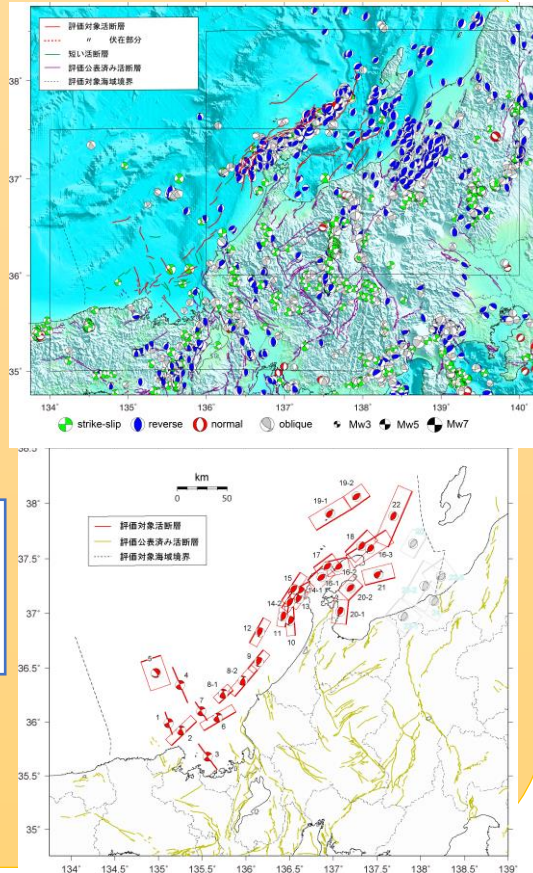
- (1) ある区域に分布する活断層に対し、付図4のA-Eの断層の特徴に応じ、平均活動間隔または最新活動時期に対し乱数を発生させる。
- (2) 付図4のA-Eの断層の特徴に応じ、活動間隔のばらつきのパラメータ $\alpha=0.24$ としBPT（Brownian Passage Time）分布を適用する、もしくは平均活動間隔をもとにポアソン過程により、個々の活断層における地震の発生確率を計算する。
- (3) 区域全体での確率を、(2)で求めた区域に分布する全ての活断層の地震発生確率に基づき、式（A-2）により求める。以上の(1)－(3)の操作を一回の試行とする。
- (4) (1)－(3)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

ポアソン過程を用いた地震発生確率の算出方針

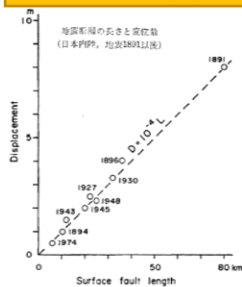
横ずれ/縦ずれ比



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)

断層長から推定される1回のずれの量

平均活動間隔 $R =$

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

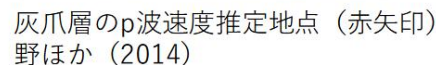
- ① 富山トラフ横断断層の平均変位速度
- ② 能登半島北岸断層帯の過去の活動履歴に関する記述
- ③ 短い活断層に対して仮定する平均変位速度

変位速度の推定に用いたパラメーター

- ・ Hz面（灰爪層基底）：2.0Ma（古川・高野，2020）
- ・ Hz面以上の地震波速度：1.7 km/s（野ほか，2014）
- ・ Ta面以上の地震波速度：1.5km/s（仮定値）
- ・ Ta面の累積高度差は $175-79+4=100$ m（4mは水深差）

地点 U
隆起側 : $T_a = 0.24 \text{ Ma}$
変位量 = 100 m
変位速度 = 0.42 m/ky

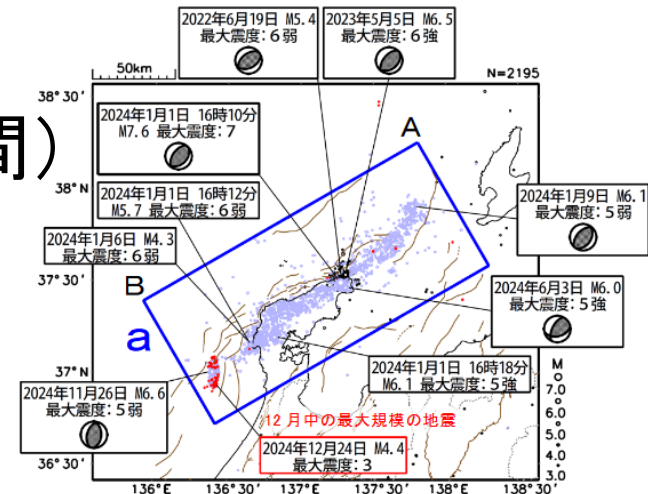
地点 D
沈降側： $T_a=0.38Ma$
変位量=100m
変位速度=0.26m/ky



能登半島北岸断層帯

(猿山沖区間、輪島沖区間、珠洲沖区間)

- ◆ 低位段丘の一番高い面(約6000年前)が形成されて以降、猿山沖区間では2回(2024年の地震を含む:平均再来間隔3000年程度)、輪島沖区間と珠洲沖区間では3回(2024年の地震を含む:平均再来間隔2000年程度)の活動が認められる。2024年1月1日に石川県能登地方で発生したM7.6の地震を最新活動として、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)

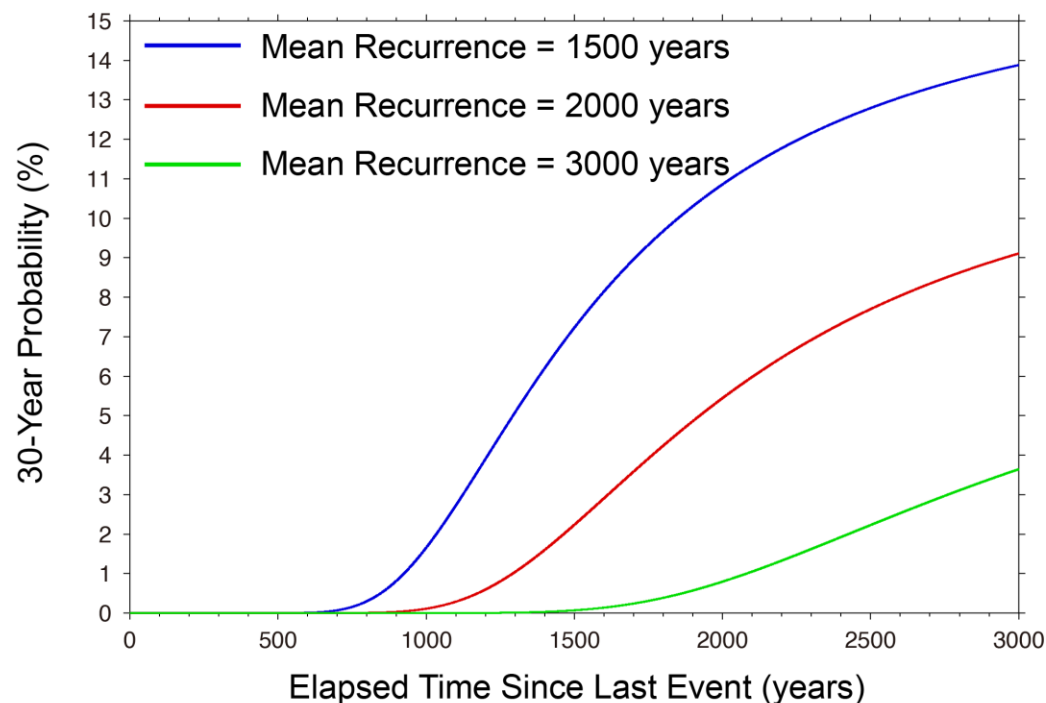


図中の茶色の線は、地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

- 猿山沖区間
- 輪島沖区間
- 珠洲沖区間

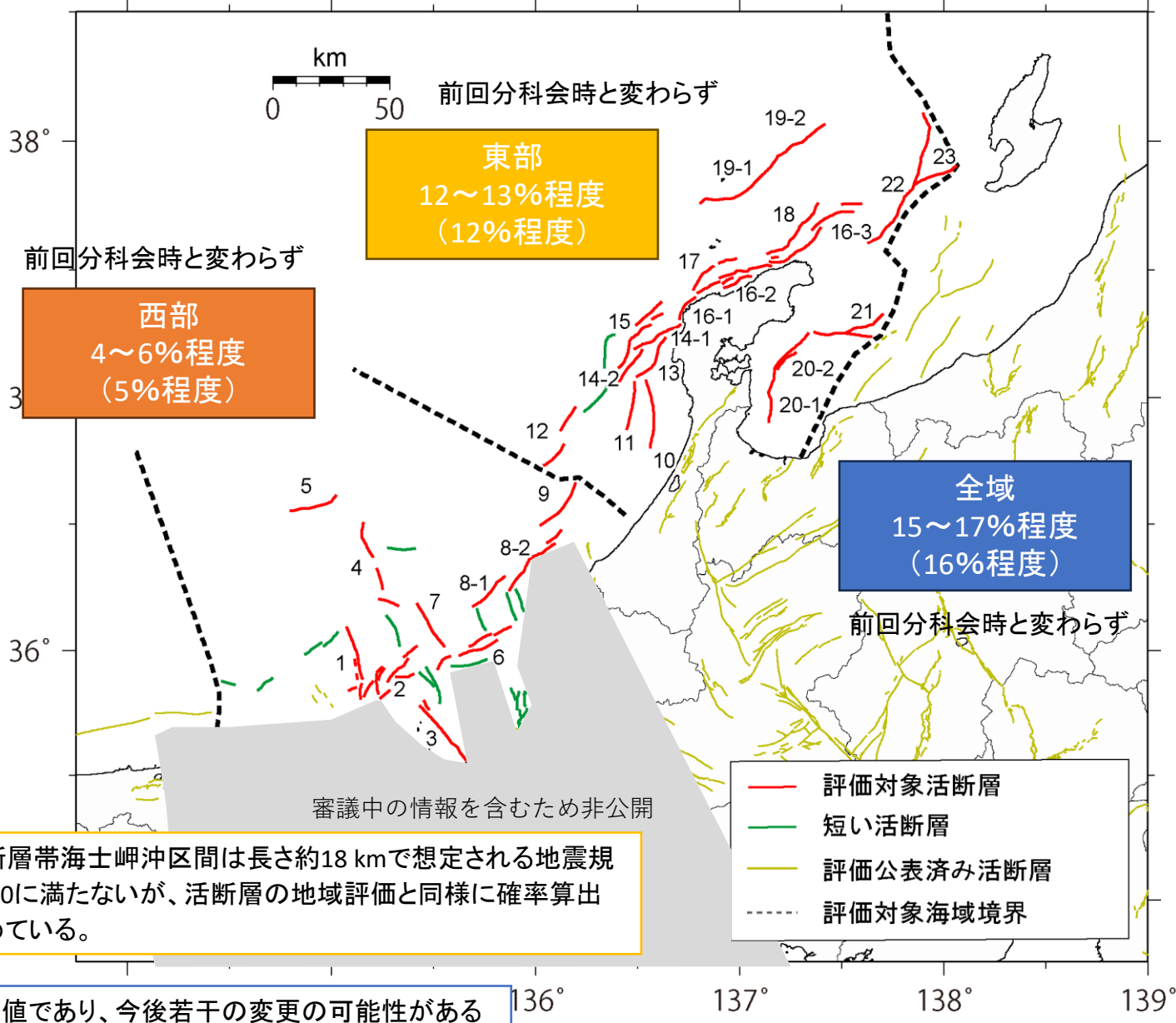
0.000000000000%
(ほぼ0%)

※ 最新活動(2024年1月1日に石川県能登地方で発生したM7.6の地震)からの経過年数が1年のため、平均再来間隔に依らず、30年確率はほぼ0%

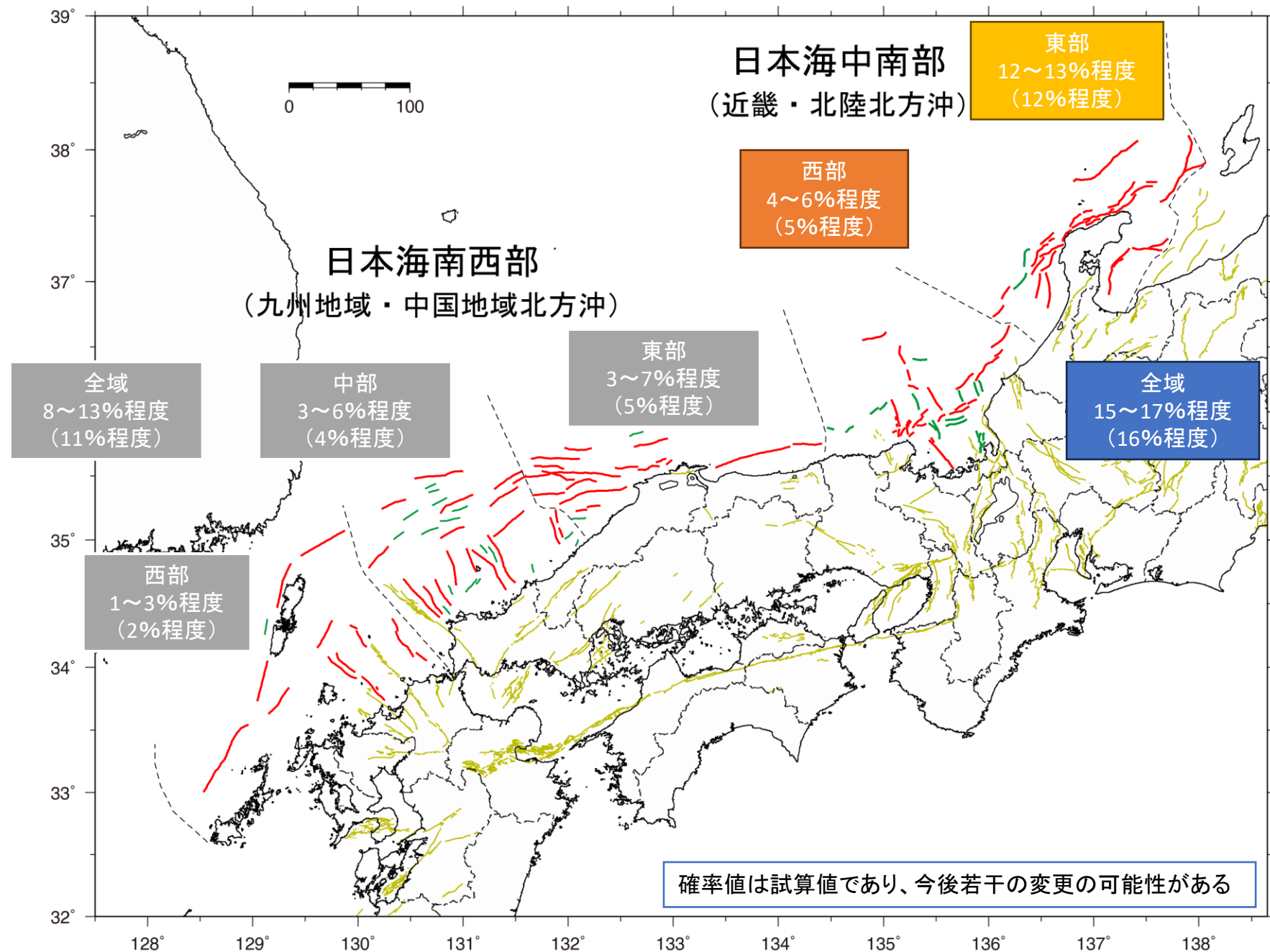


活断層に基づく地震発生確率

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 伊笹岬冲断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30
	かすみ 香住冲断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30
	まんじゅう 万十北断層	6.9程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	40
	うらしまぐり 浦島礁南方断層	6.9程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	30
	うらしまぐり 浦島礁北方南断層	6.8程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	30
	うらしまぐり 浦島礁北方東断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30
	美浜湾断層	7.0程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	40
	越前岬西方冲南断層	7.0程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	40
	越前岬西方冲中断層	6.9程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	30
	ゲンタツ瀬南方断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30
	ゲンタツ瀬南東断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30
東部	前ノ瀬南方断層	6.9程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	30
	沖ノ瀬断層	6.8程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	30

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

- 日本海南西部に比べ、活動性が高いと考えられる活断層に対してすべて日本海南西部と同様にC級下位を仮定することはどうか。
- 中国地方よりもこちらの方がデータがあり、また主要な海域活断層に近いと、それに合わせたという説明もしやすい。そのような意図付けをした方が良いのではないか。

⇒ 短い活断層の平均活動間隔に関しては、検討して可能あれば次回の分科会で示したい。

表 8 短い活断層に対する仮定値

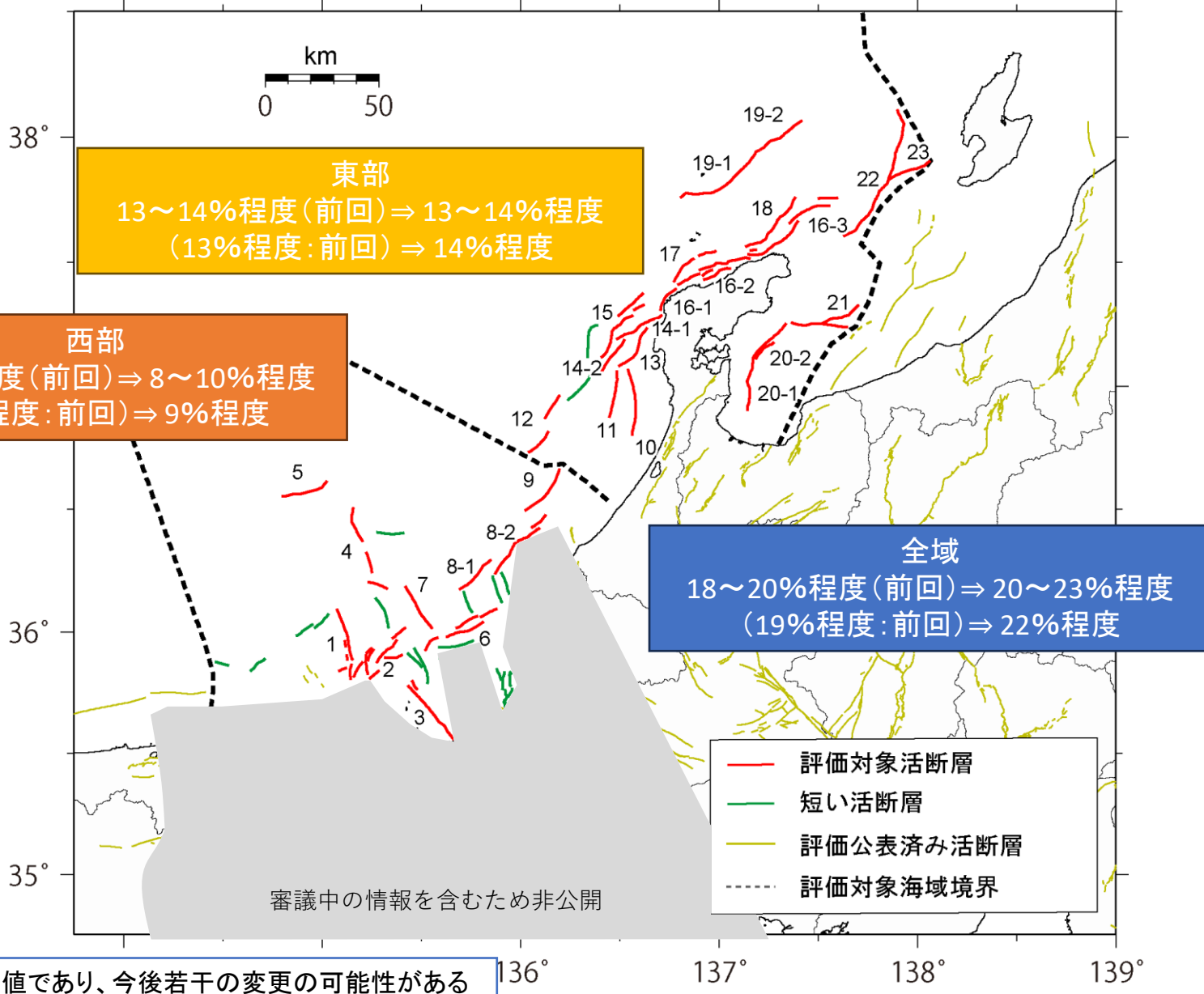
長さ20 km未満の活断層		想定する地震の規模注16)	1回のずれ量(最大)注9)	平均変位速度の仮定値 (m/千年) (表 2)		平均活動間隔(年)	平均活動間隔(最小値)(年)	平均活動間隔(最大値)(年)
西部	いざみさき伊笹岬沖断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30000	(C級を仮定)	30000
	かすみ香住沖断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30000	経ヶ岬沖断層	4863
	まんじゅう万十北断層	6.9程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	36000	経ヶ岬沖断層	4863
	うらしまぐり浦島礁南方断層	6.9程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	34000	小浜沖断層	2645
	うらしまぐり浦島礁北方南断層	6.8程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	30000	浦島礁北方北断層	6411
	うらしまぐり浦島礁北方東断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30000	浦島礁北方北断層	6411
	美浜湾断層	7.0程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	38000	小浜沖断層	2645
	越前岬西方沖南断層	7.0程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	38000	(C級を仮定)	38000
	越前岬西方沖中断層	6.9程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	34000	(C級を仮定)	34000
	ゲンタツ瀬南方断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30000	ゲンタツ瀬・大グリ南東縁断層帯(ゲンタツ瀬区間)	3190
	ゲンタツ瀬南東断層	6.8程度	約 1 m	0.05	(C級を仮定)	30000	ゲンタツ瀬・大グリ南東縁断層帯(ゲンタツ瀬区間)	3190
東部	前ノ瀬南方断層	6.9程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	34000	内灘沖断層	3701
	沖ノ瀬断層	6.8程度	約 2 m	0.05	(C級を仮定)	32000	沖ノ瀬東方断層	14236

第32回分科会時の提案

本提案

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



確率値は試算値であり、今後若干の変更の可能性がある

活断層で発生するM6.8以上の地震発生確率(今後30年)

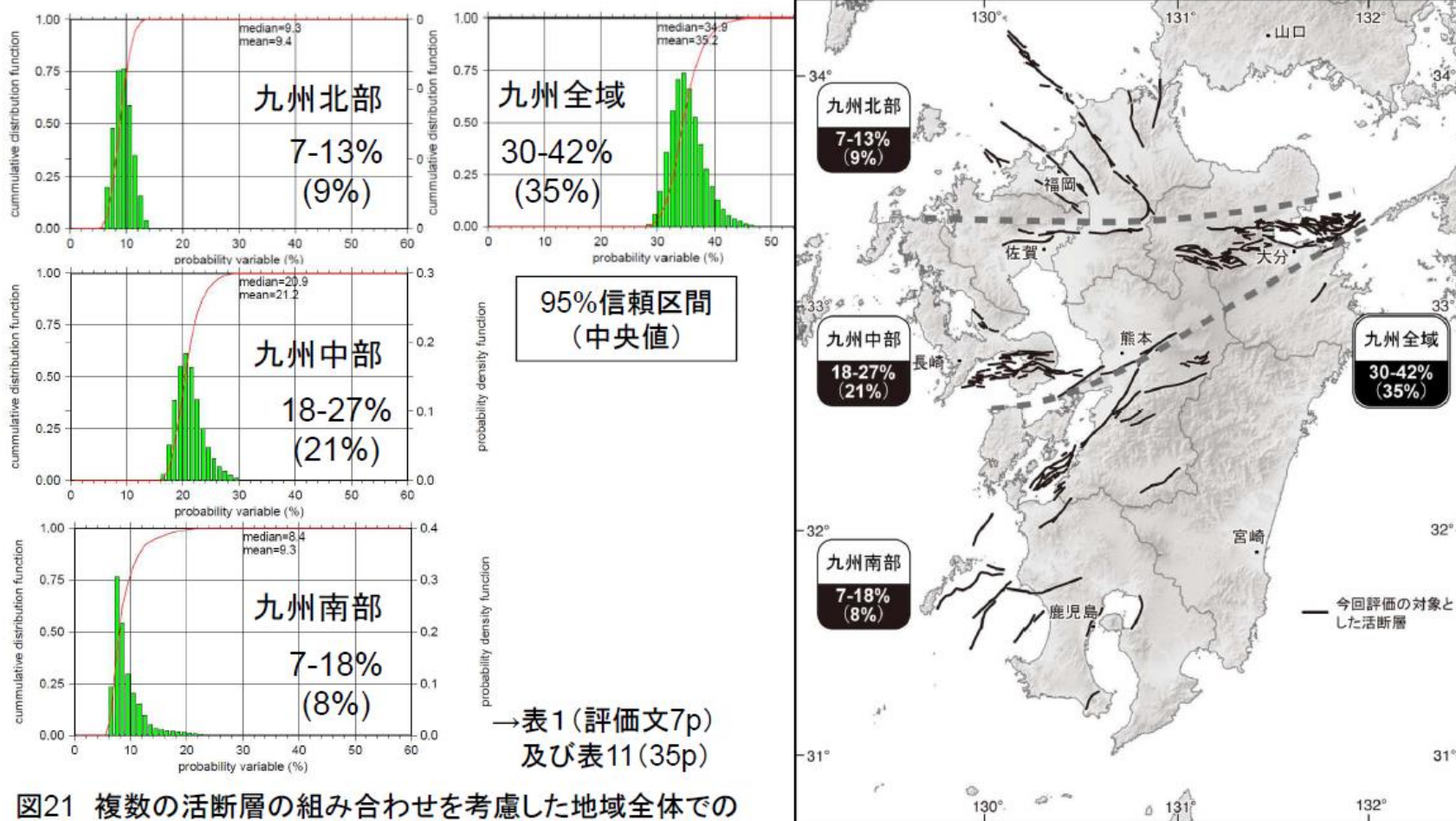


図21 複数の活断層の組み合わせを考慮した地域全体でのM6.8以上の地震が30年以内に発生する確率評価

九州中部は活動性の高い活断層が密に分布することを反映し、確率値が最も高い。ただし、北部や南部も決して低い値ではないことに注意が必要。

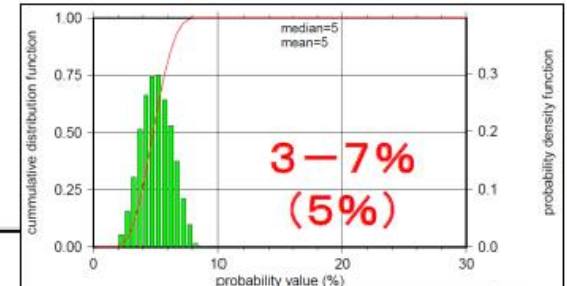
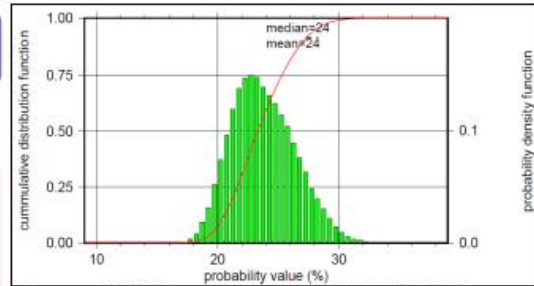
④中国地域の活断層で発生する地震の長期評価

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)

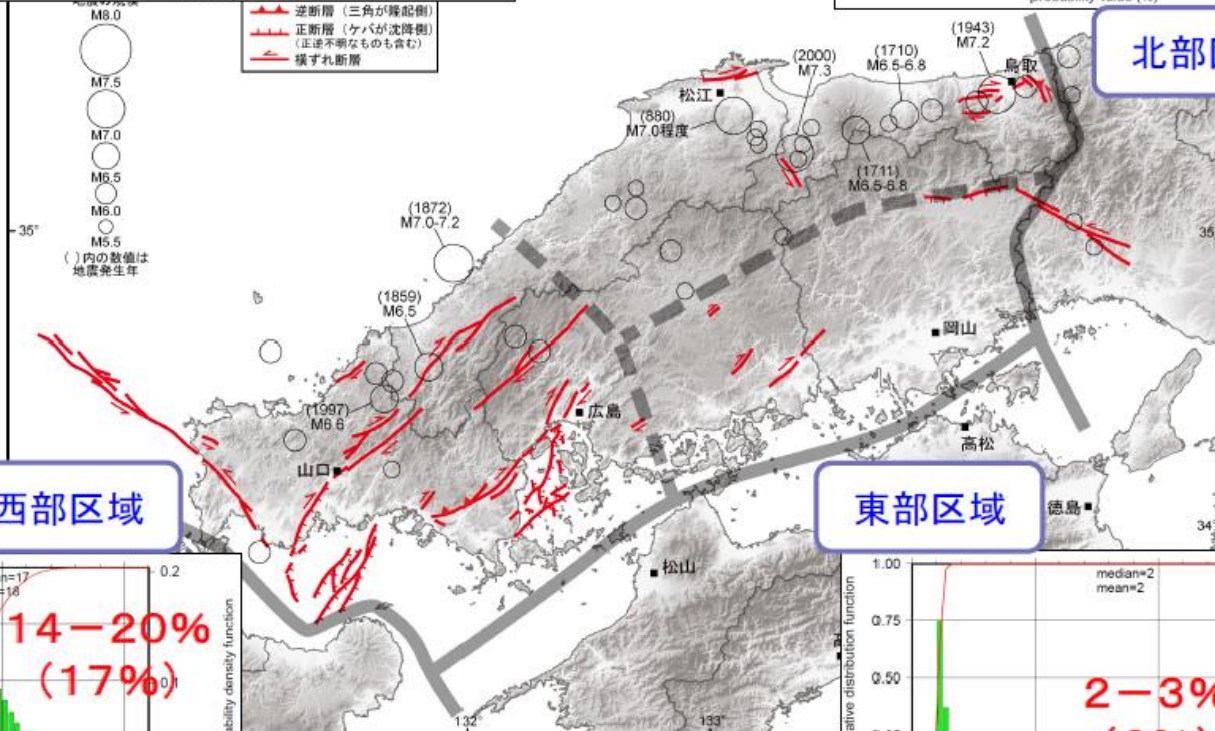
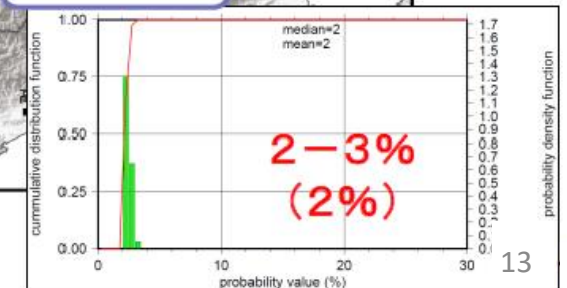
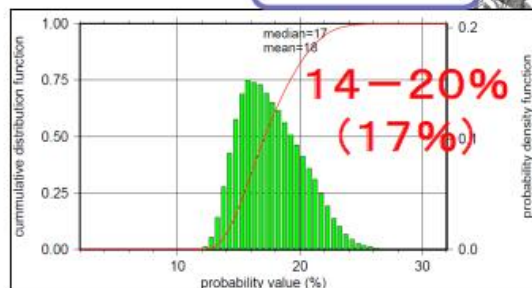
**19-30%
(24%)**



北部区域

西部区域

東部区域



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。

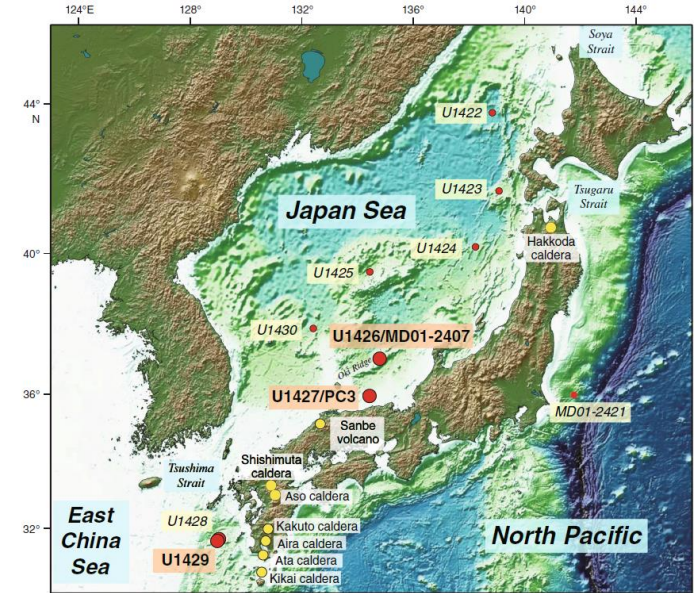


Fig. 1 Locations of sites drilled during IODP Expedition 346 in the Japan Sea and East China Sea. The source volcanoes of some of the regional tephra layers are shown

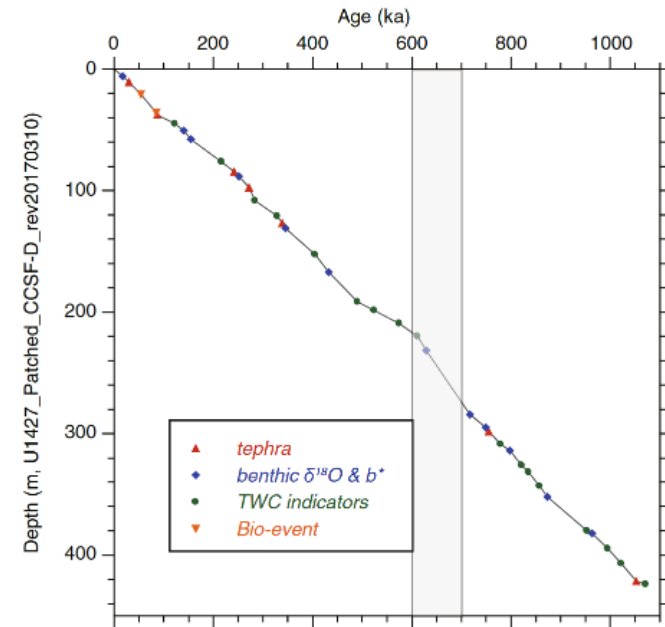


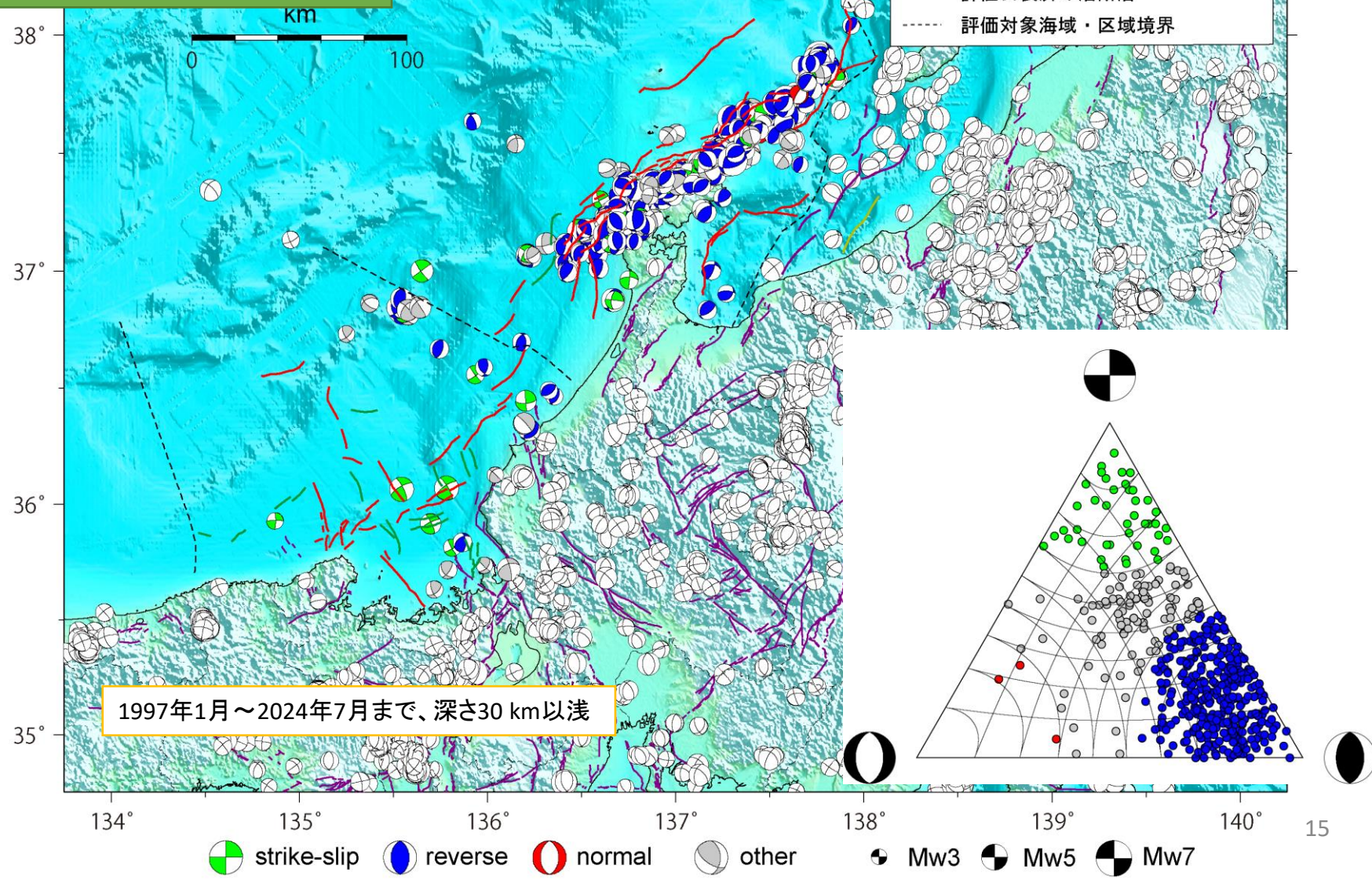
図 22 IODP Expedition 346 航海の Site U1427 における深さと年代の関係 (Sagawa et al. (2018) に加筆)

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。

評価対象海域内における発震機構解の分布(F-net)

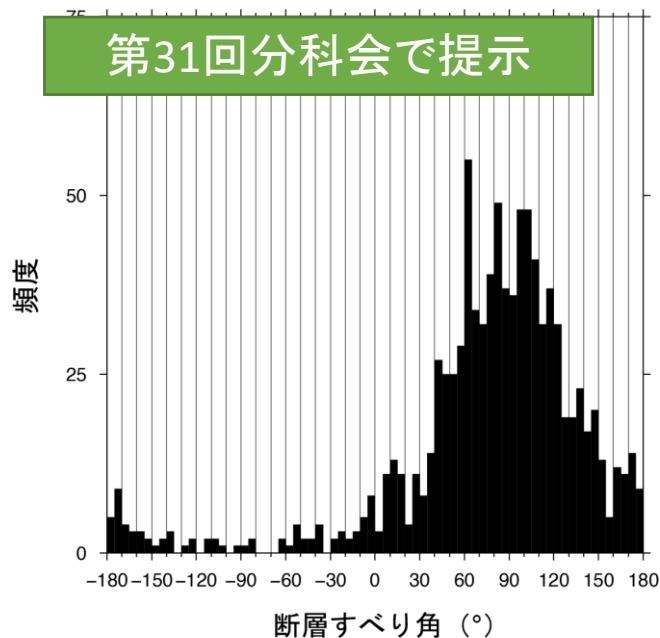
① メカニズム解の断層すべり角から算出される横ずれ/縦ずれ比の分布に基づく方法

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

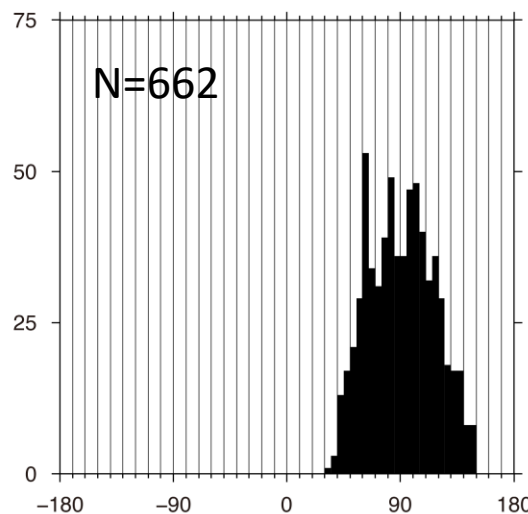


※ 第一節面ならびに第二節面のいずれの値も使用

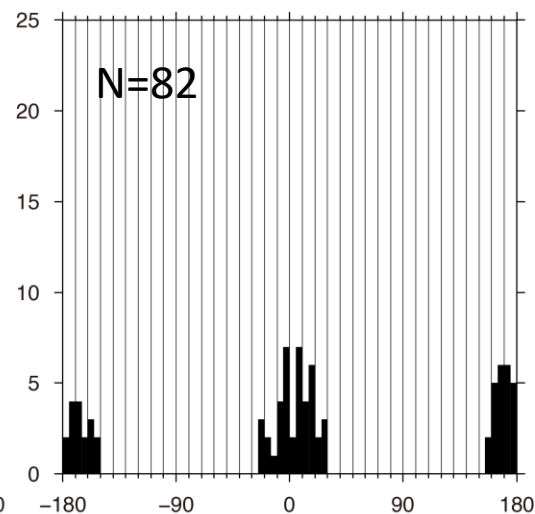
横ずれが主

縦ずれが主

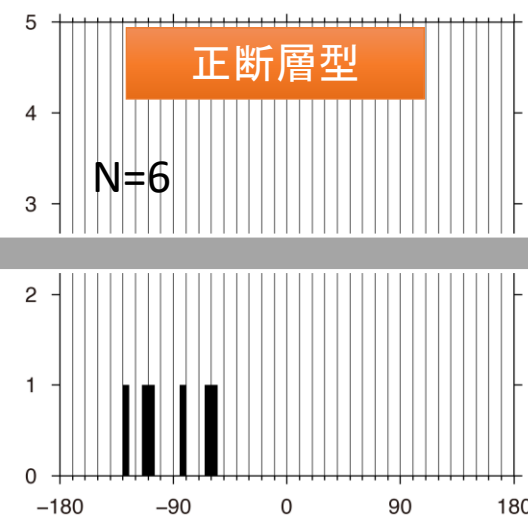
逆断層型



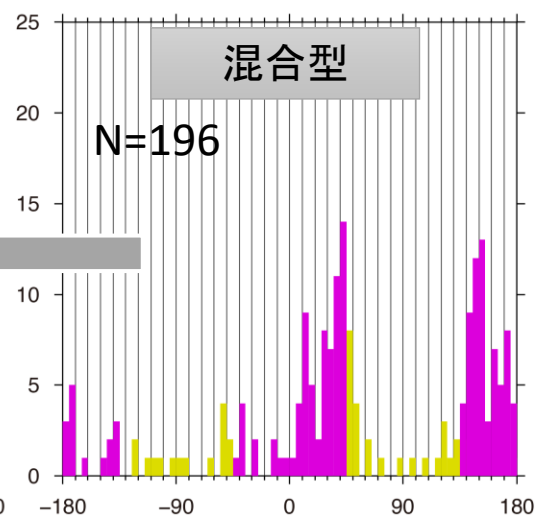
横ずれ断層型



正断層型



混合型

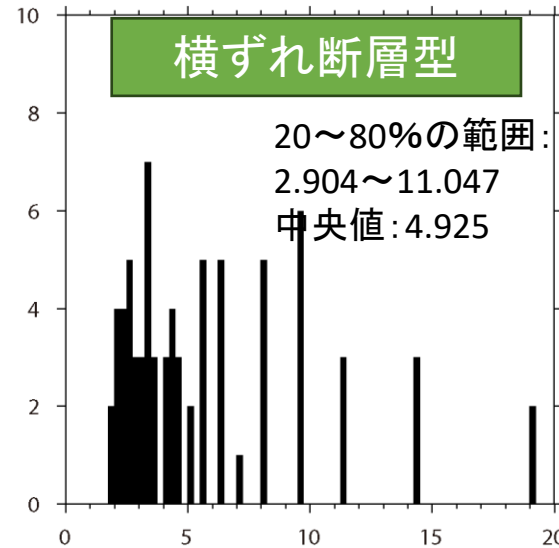
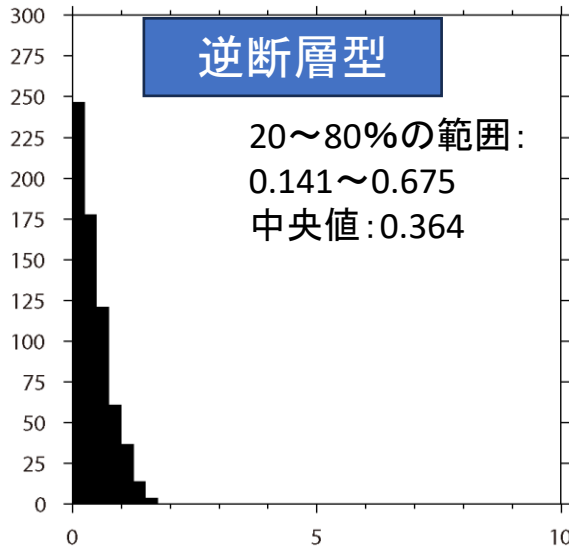


断層すべり角 (°)

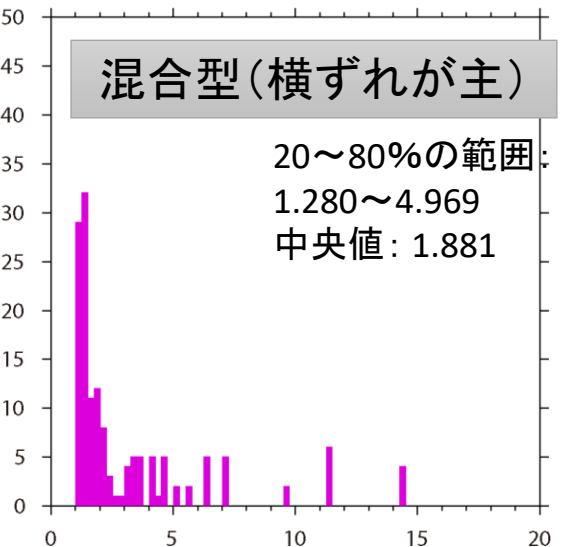
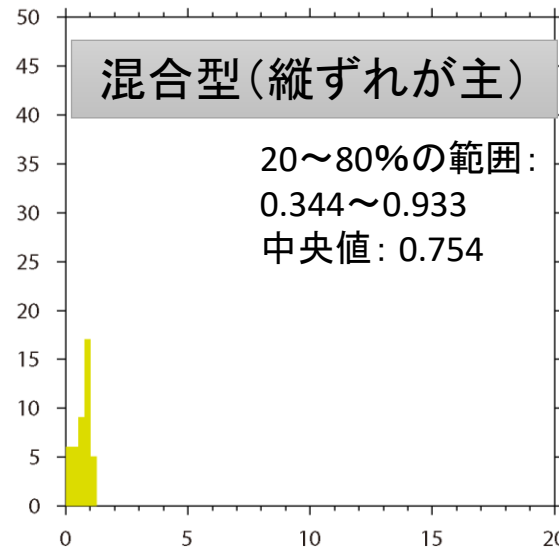
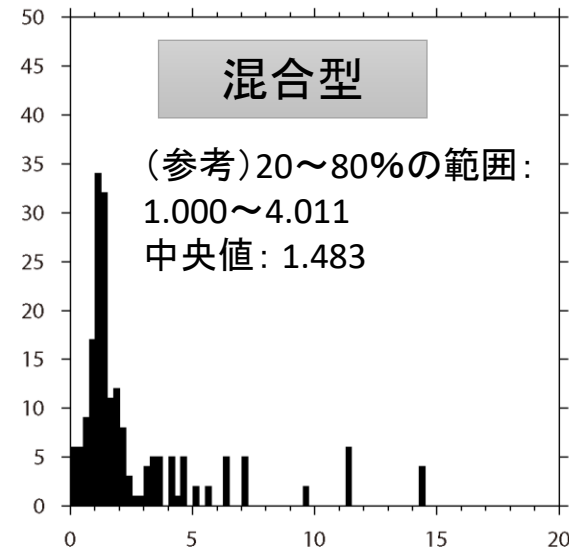
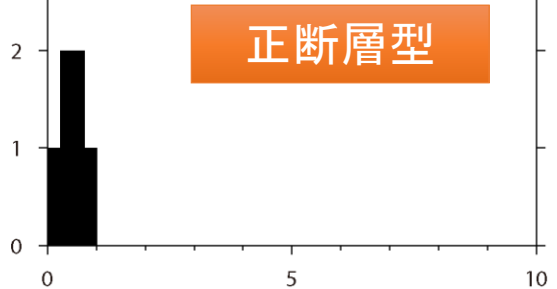
評価対象海域内における発震機構解の断層すべり角から 算出される横ずれ/縦ずれ比

参考

頻度



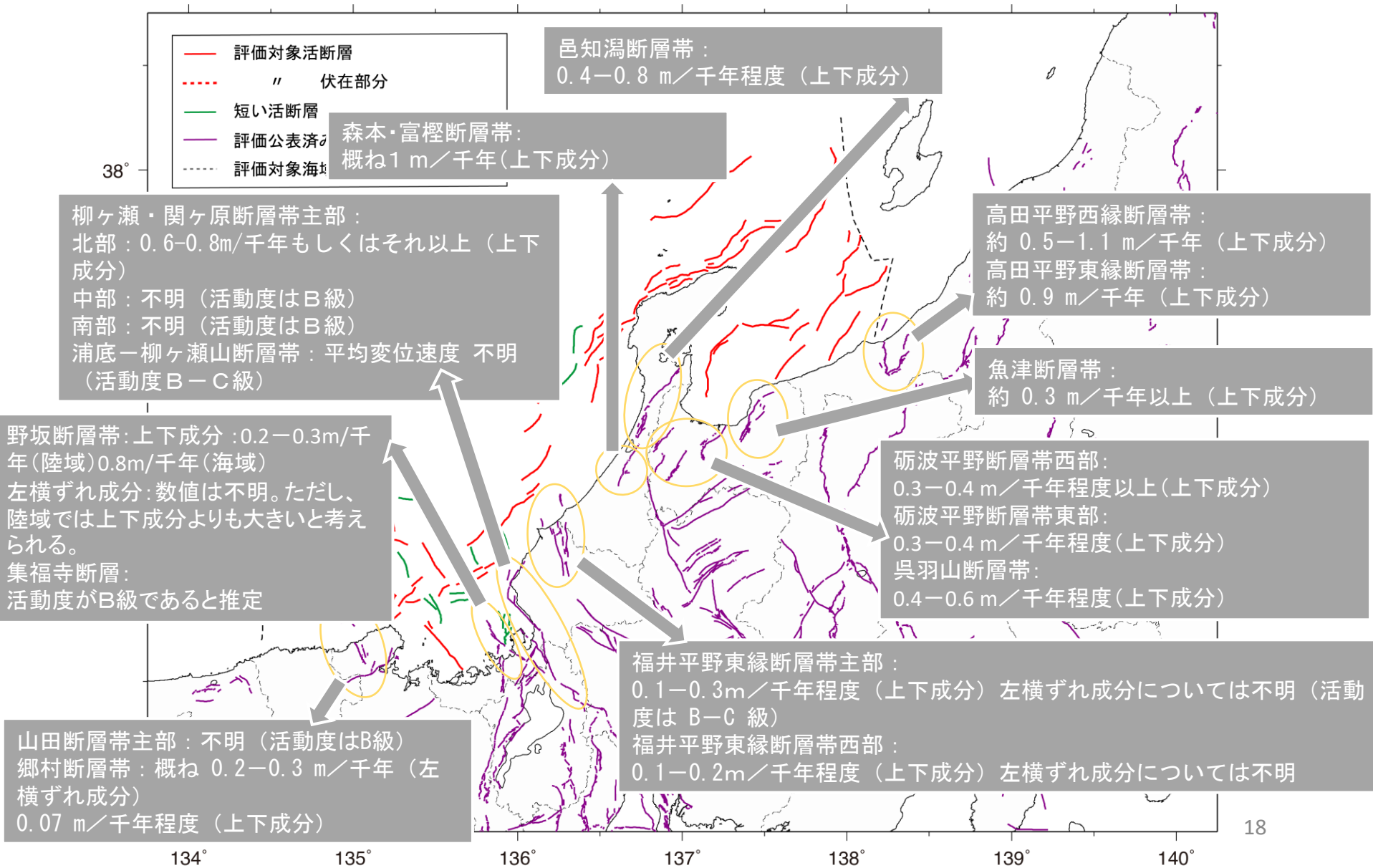
(参考) 日本海西南部では横ずれ/縦ずれ比の中央値(4.7)ならびに小さい方から数えて20%～80%の範囲となる幅(2.1～11.4)を用いて平均変位速度ならびに確率を算出



横ずれ／縦ずれ比

これらの横ずれ/縦ずれ比を用いて平均変位速度を算出

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

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 $\pm 180^\circ$ に近く、ほぼ純粋な横ずれ断層に対する扱い

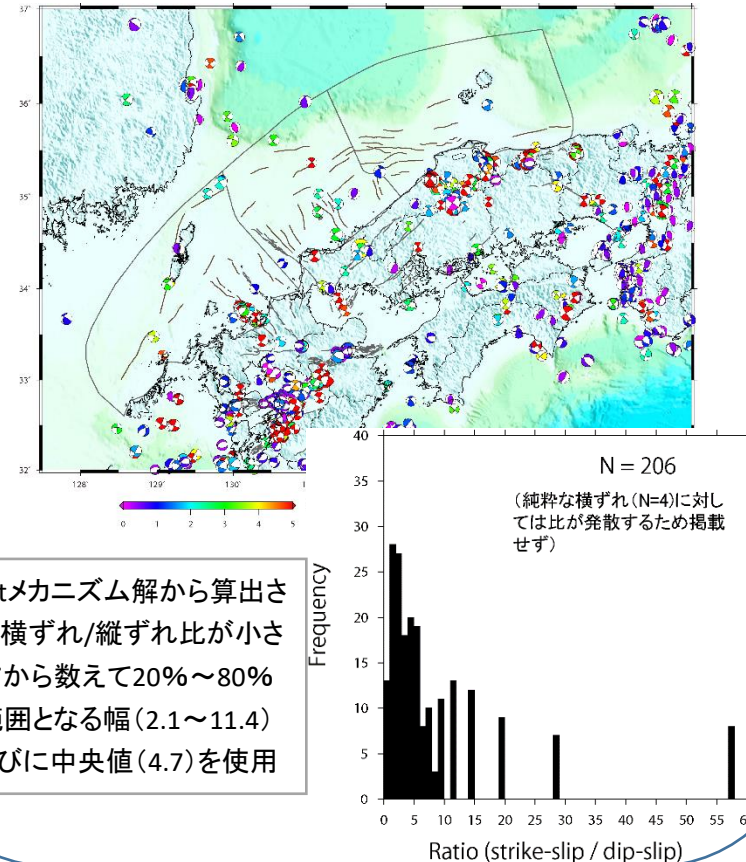
平均変位速度(ネットスリップ)

断層長から推定される1回のずれの量

平均活動間隔 $R =$

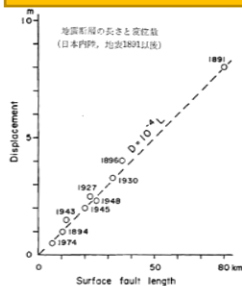
平均変位速度(ネットスリップ)

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



$D = 10^{-4} L$ (松田ほか, 1980)

出典: 松田・他(1980)
地震研究所彙報 (Fig. 10)

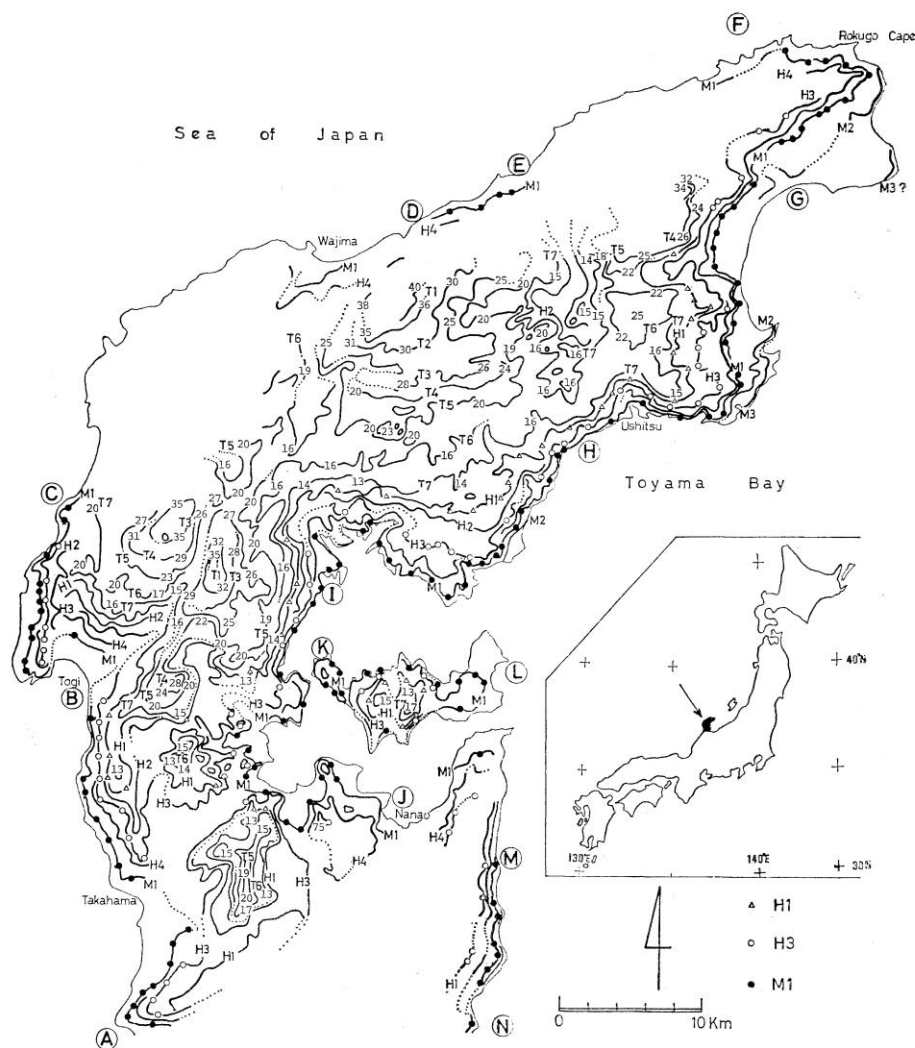
ポアソン過程を用いた個々の活断層における地震発生確率の算出

個別断層: $P(30) = 1 - \exp(-30/R)$

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

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



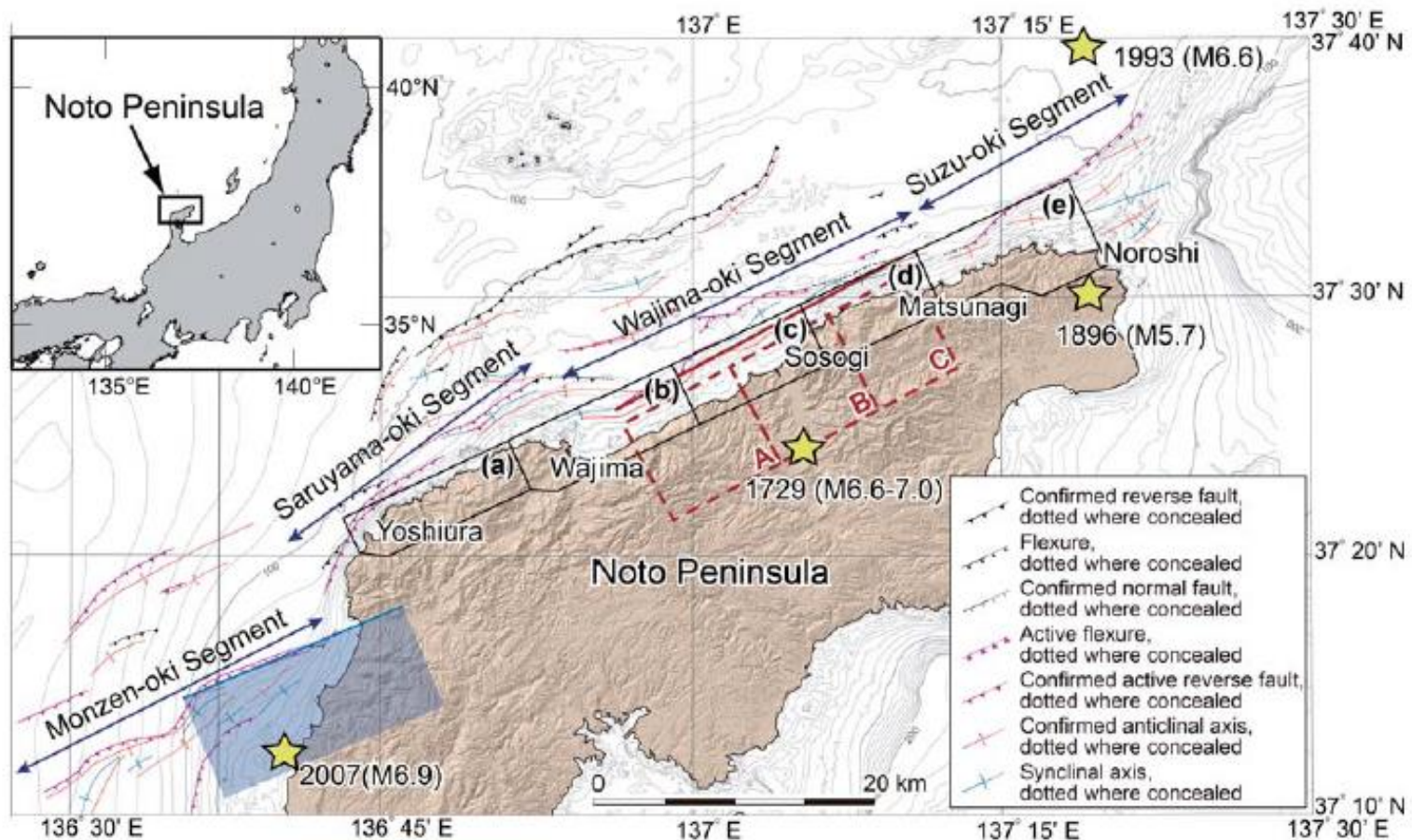
単位はm

- ◆ 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

輪島沖セグメント
東半部(曾々木周辺)輪島沖セグメントと珠洲
沖セグメント境界付近
(馬縹周辺)

平均隆起速度

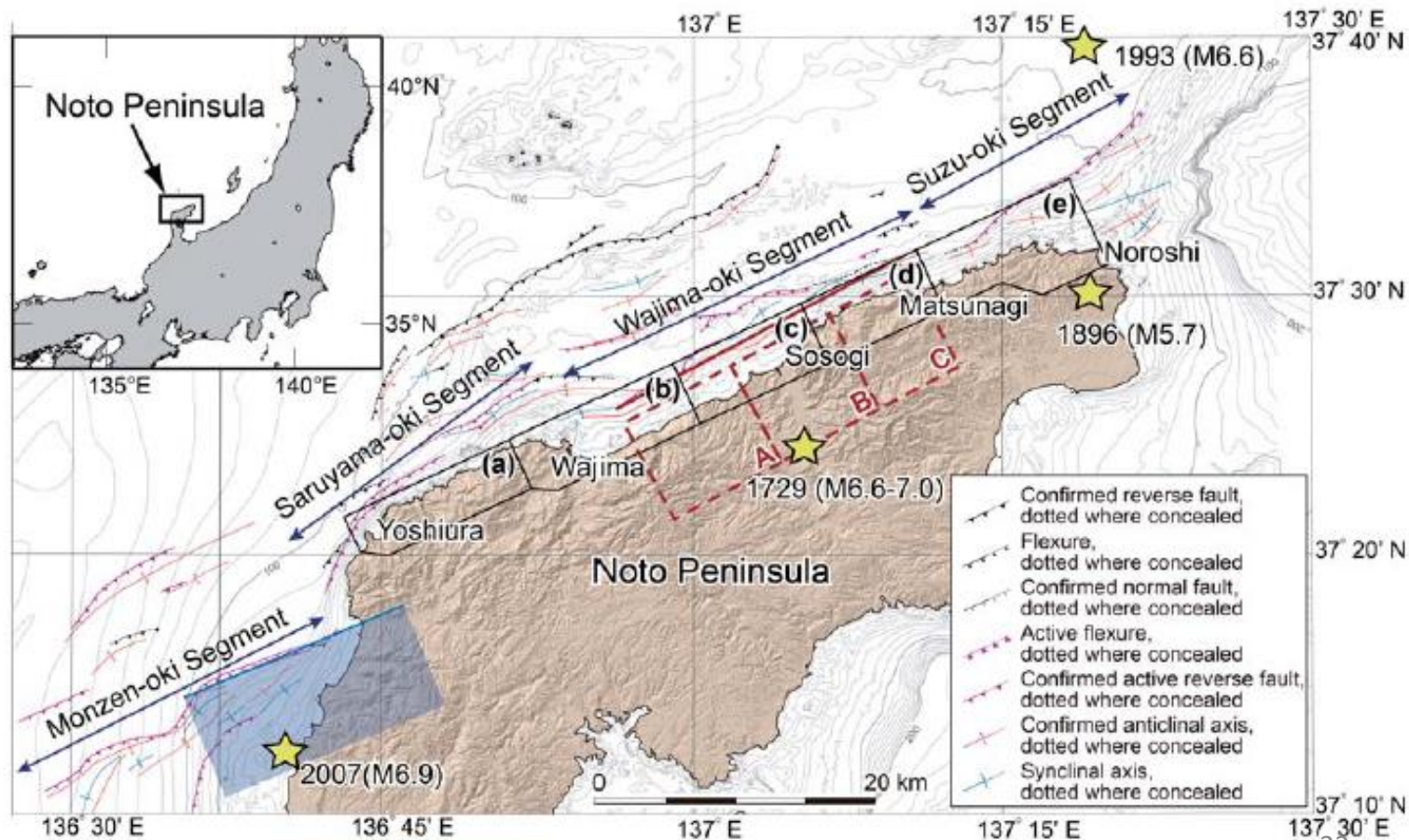
0.87 m/ky or 1.49 m/ky

0.67 m/ky or 1.14 m/ky

0.72 m/ky or 1.23 m/ky

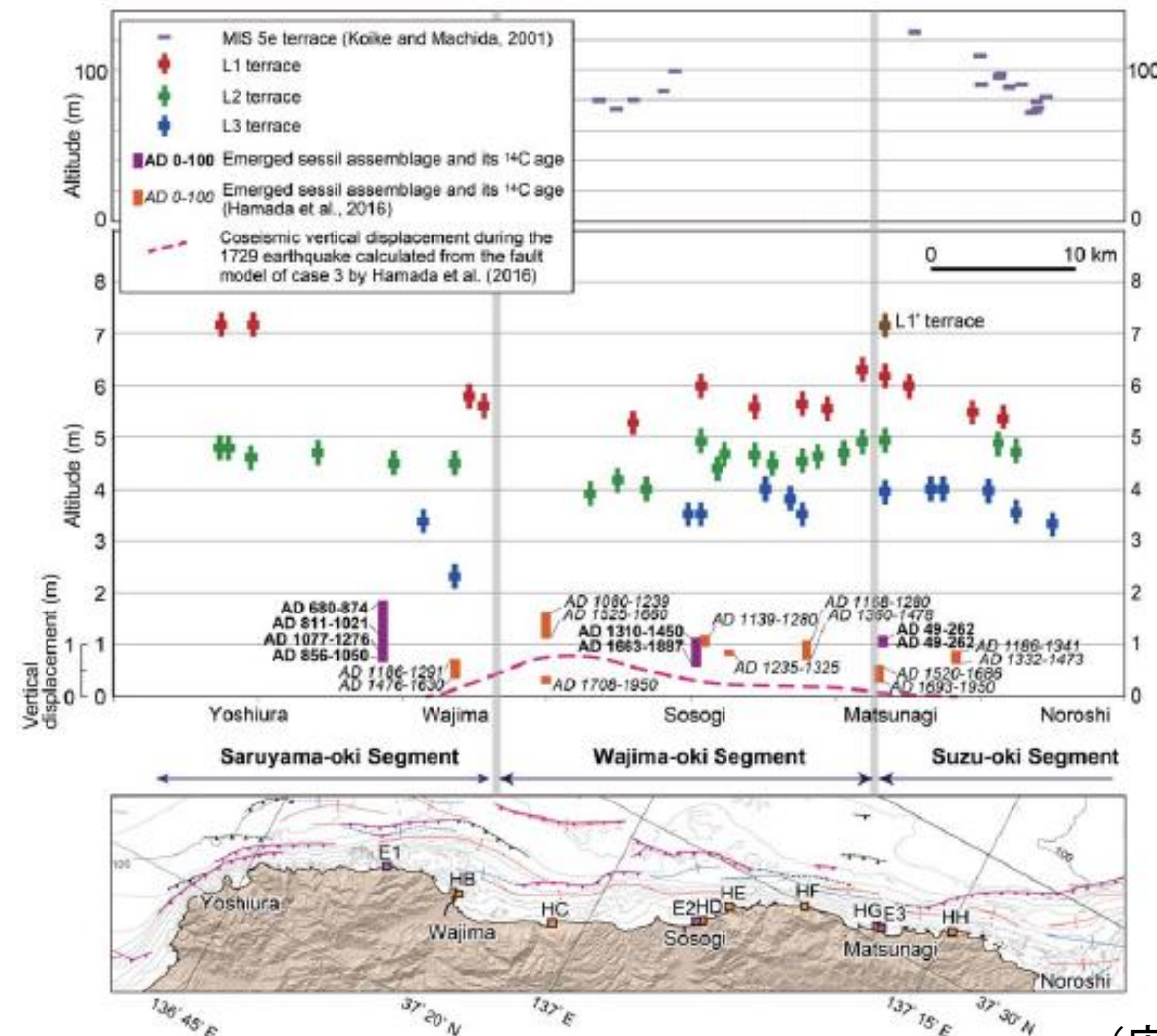
再来間隔
(参考値)

約2,000年 or 約1,200年

約1,100~1,400年 or
約700~800年約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