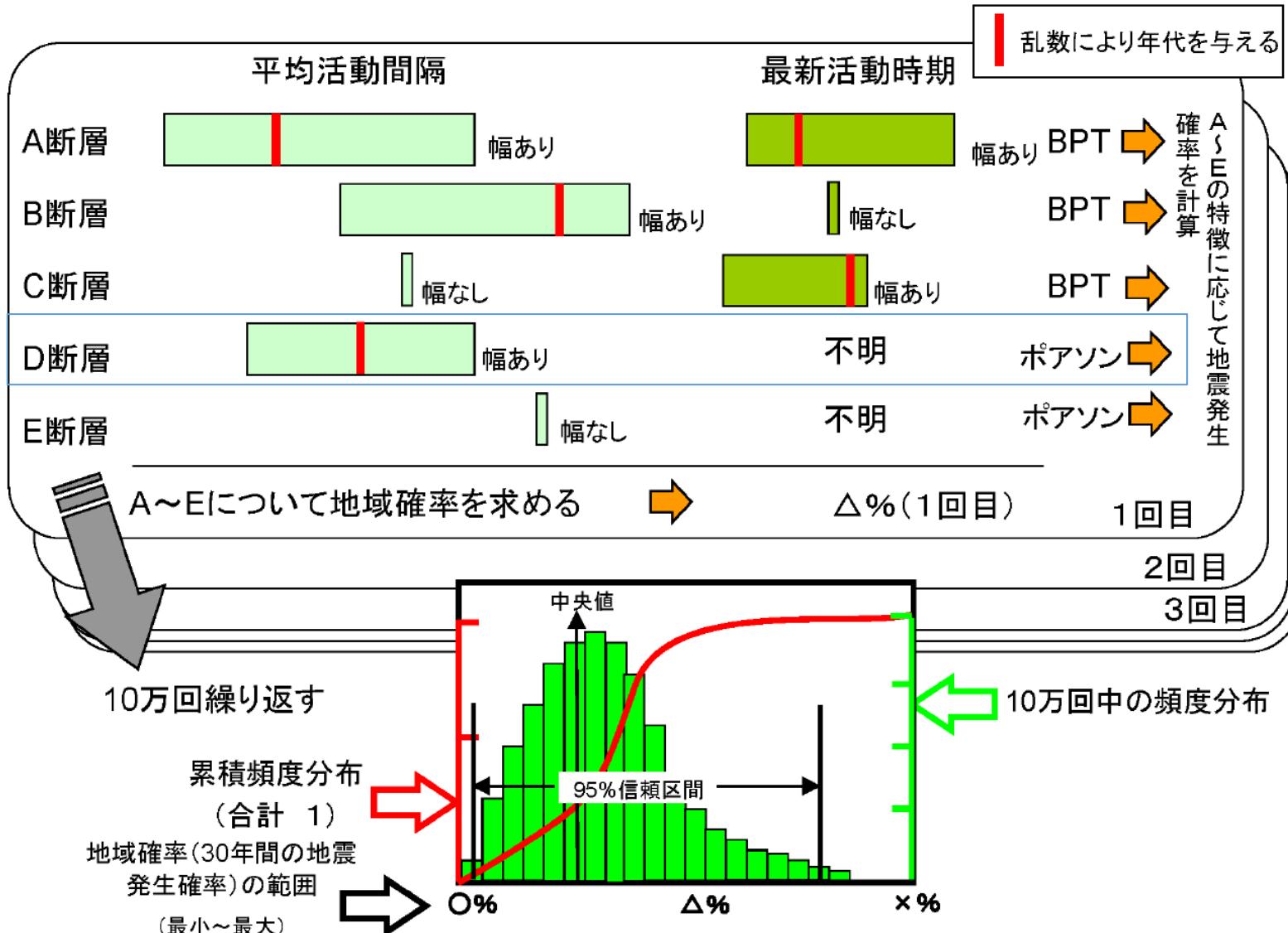


確率計算に必要なパラメータについて

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）。

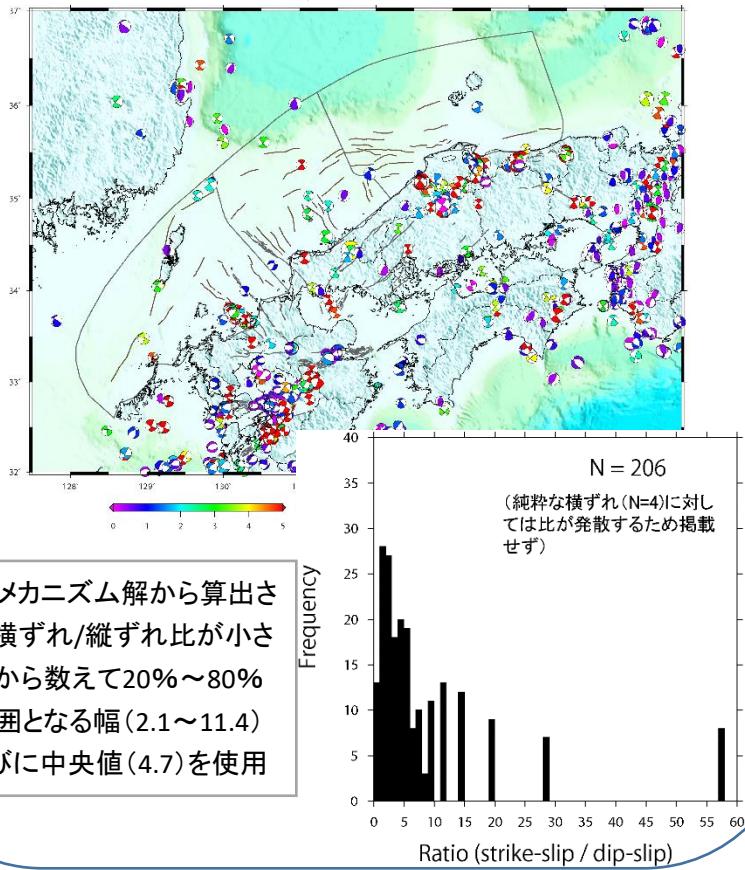
- (1) ある区域に分布する活断層に対し、付図4のA-Eの断層の特徴に応じ、平均活動間隔または最新活動時期に対し乱数を発生させる。
- (2) 付図4のA-Eの断層の特徴に応じ、活動間隔のばらつきのパラメータ $\alpha=0.24$ としBPT (Brownian Passage Time) 分布を適用する、もしくは平均活動間隔をもとにポアソン過程により、個々の活断層における地震の発生確率を計算する。
- (3) 区域全体での確率を、(2)で求めた区域に分布する全ての活断層の地震発生確率に基づき、式(A-2)により求める。以上の(1)-(3)の操作を一回の試行とする。
- (4) (1)-(3)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

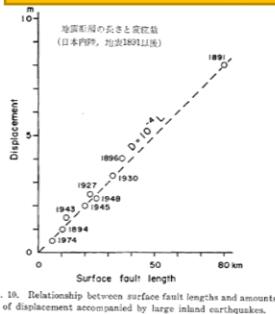
ポアソン過程を用いた地震発生確率の算出方針

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



$D = 10^{-4}L$ (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 $\pm 180^\circ$ 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)

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

個別斷層: $P(30) = 1 - \exp(-30/R)$

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

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。

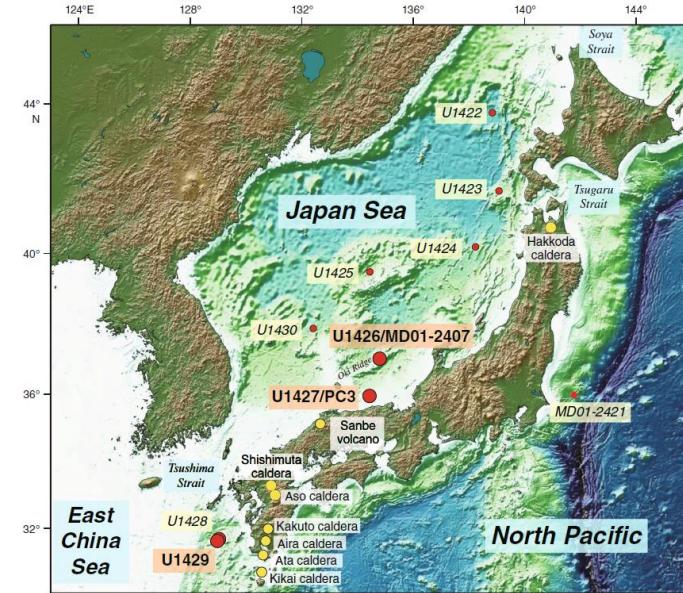


Fig. 1 Locations of sites drilled during IODP Expedition 346 in the Japan Sea and East China Sea. The source volcanoes of some of the regional tephra layers are shown.

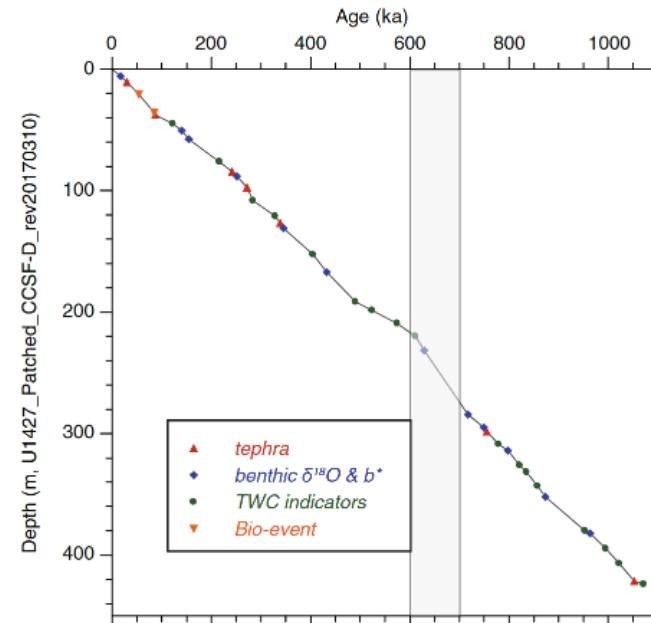


図 22 IODP Expedition 346 航海の Site U1427 における深さと年代の関係 (Sagawa et al. (2018) に加筆)

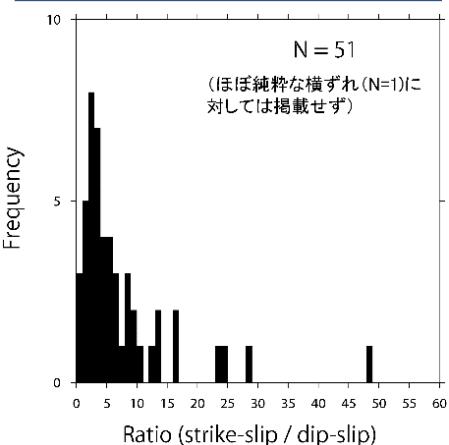
ハッチ区間は、Site U1427 周辺の反射断面で確認できる Q1 層基底深度から推定される Q1 層の堆積年代幅を示している。⁵

地震発生確率のばらつきの評価について

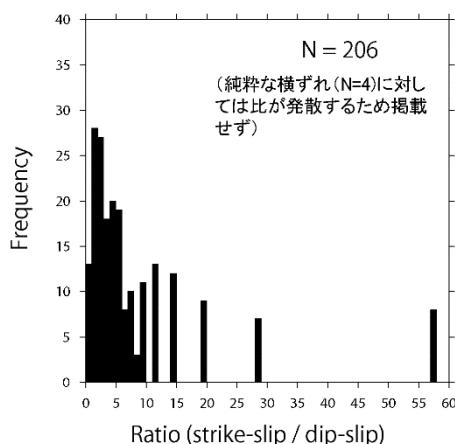
- 垂直変位量を読み取った基準面の堆積年代の幅、ならびに横ずれ／縦ずれ比のばらつきを考慮

ネットスリップに換算する際に用いる横ずれ／縦ずれ比

日本海南西部の海域活断層に
Wallace-Bott仮説を適用し、算出
した断層すべり角による横ずれ/
縦ずれ比のヒストグラム



F-netメカニズム解のすべり角から算出
した横ずれ／縦ずれ比のヒストグラム



- Wallace-Bott仮説に基づくすべり角から算出された横ずれ／縦ずれ比の代わりに、日本海南西部海域で発生した地震のメカニズム解のすべり角から算出された横ずれ／縦ずれ比を使用

- F-netメカニズム解から算出される横ずれ／縦ずれ比の頻度分布において(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)を用いて平均変位速度ならびに確率を算出。

垂直変位量を読み取った基準層の堆積年代

- 垂直変位量を読み取った基準層(Q1層)の堆積年代(65万年前程度)の幅(40万年前～90万年前)を考慮した
- Q2層あるいはP層で読み取られた垂直変位量は、それぞれ100万年間、250万年間活動を継続し、その累積変位量を記録しているとは限らない。(第四紀になってから活動を開始し、その累積変位に相当する可能性も否めない)そこで、Q2層やP層で読み取った垂直変位量に対してもQ1層の堆積年代を仮定して平均変位速度を算出した。

垂直変位量が不明な断層に対する取り扱い
(海活16 参考資料5)

- 確率計算に含めるためには、仮定値を設定する必要があるが、本評価では周辺に分布する断層の平均変位速度を仮定した。

島根半島北方沖断層帯・出雲沖断層：
十六島鼻西方沖断層帯東部の平均変位速度を仮定

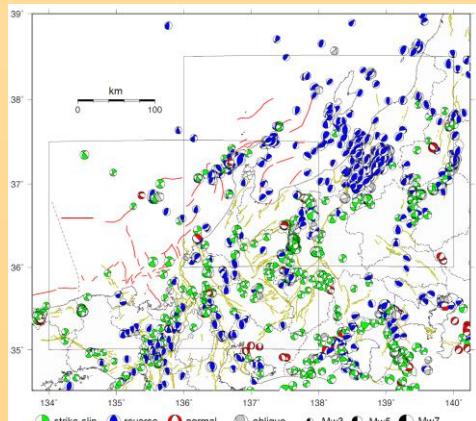
対馬上県西方沖断層・対馬南方沖断層・
七里ヶ曾根断層・第1五島堆断層帯：
対馬北方沖の平均変位速度を仮定

※平均ならびに標準偏差は、 8.6 ± 14.0 となり、大きいために上記の方針を採用

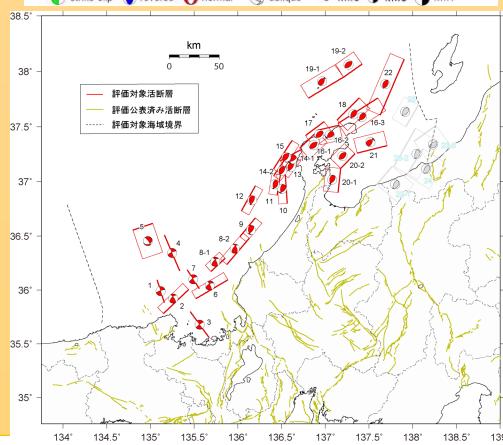
ポアソン過程を用いた地震発生確率の算出方針(案)

横ずれ/縦ずれ比

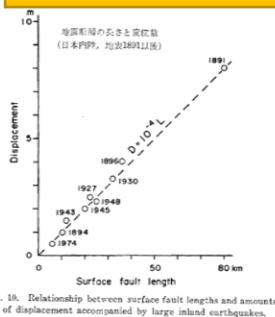
① メカニズム解の断層すべり角から算出される横ずれ/縦ずれ比の分布に基づく方法



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

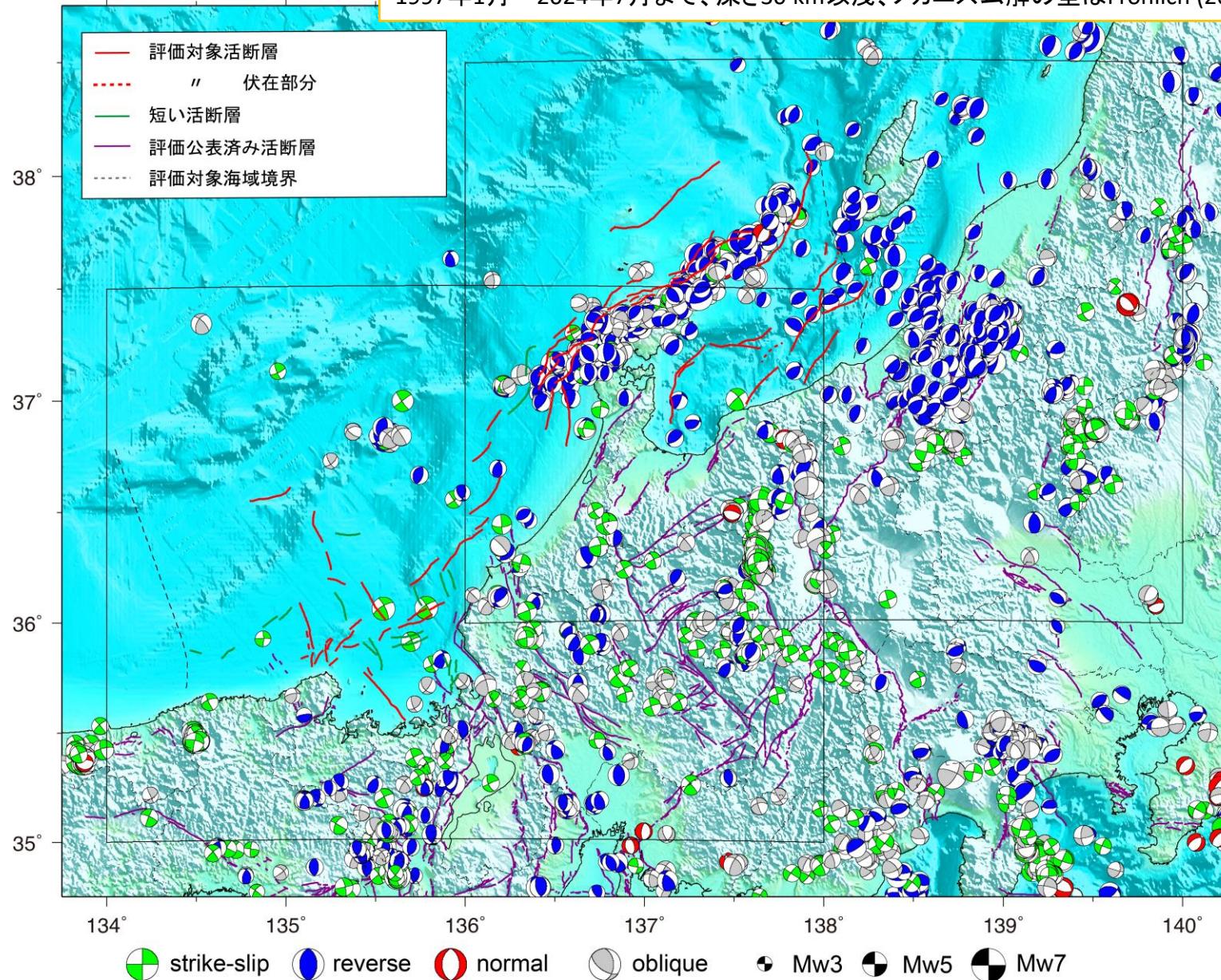
個別断層: $P(30) = 1 - \exp(-30/R)$

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

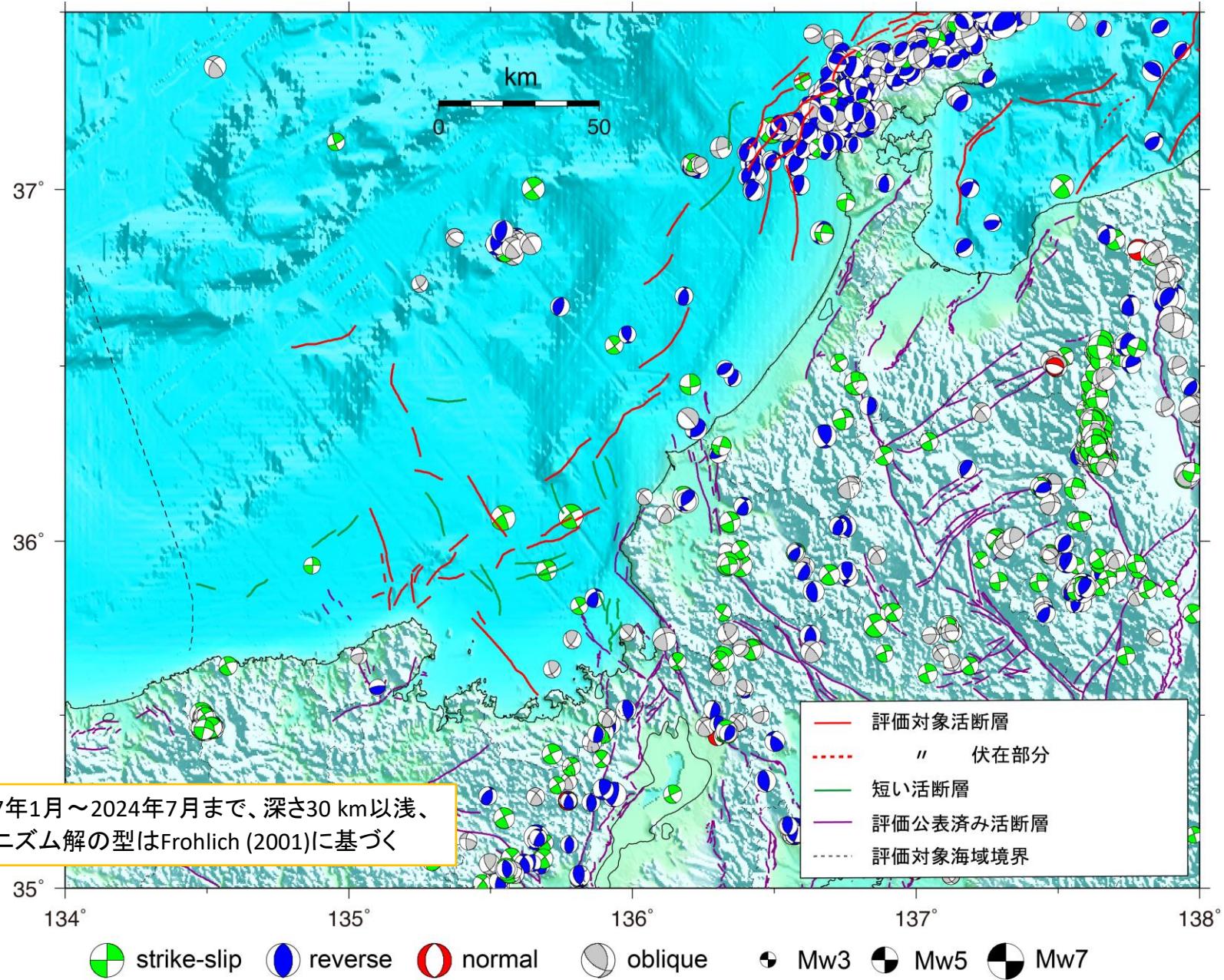
① メカニズム解の断層すべり角から算出される横ずれ/縦ずれ比の分布に基づく方法

発震機構解の分布(F-net: 全域)

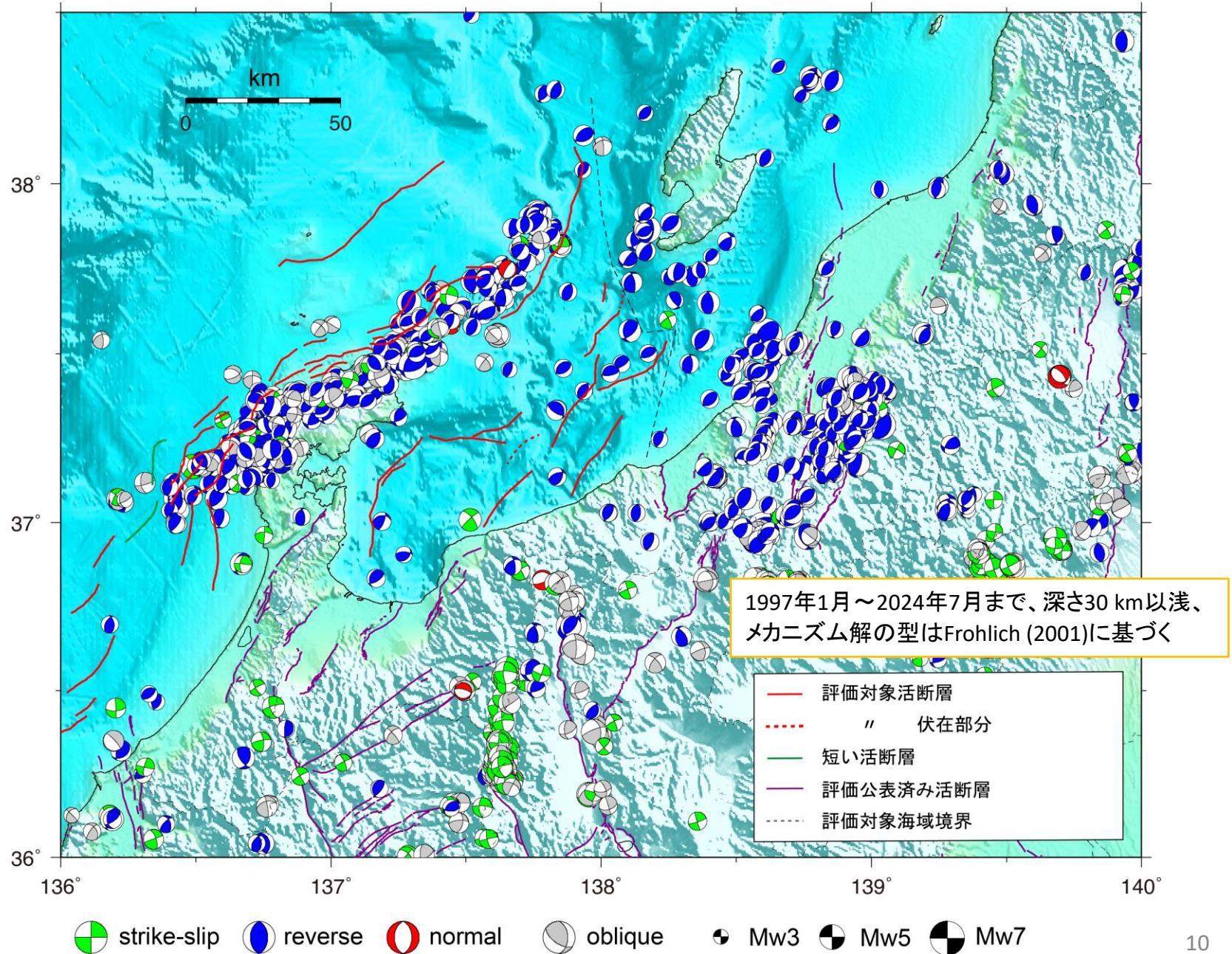
1997年1月～2024年7月まで、深さ30 km以浅、メカニズム解の型はFrohlich (2001)に基づく



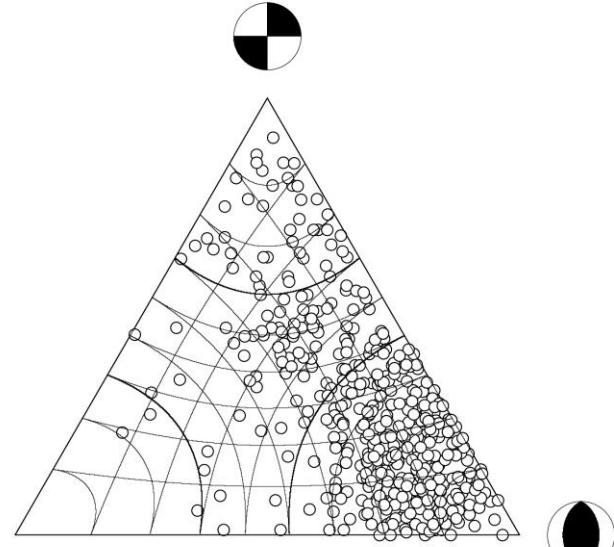
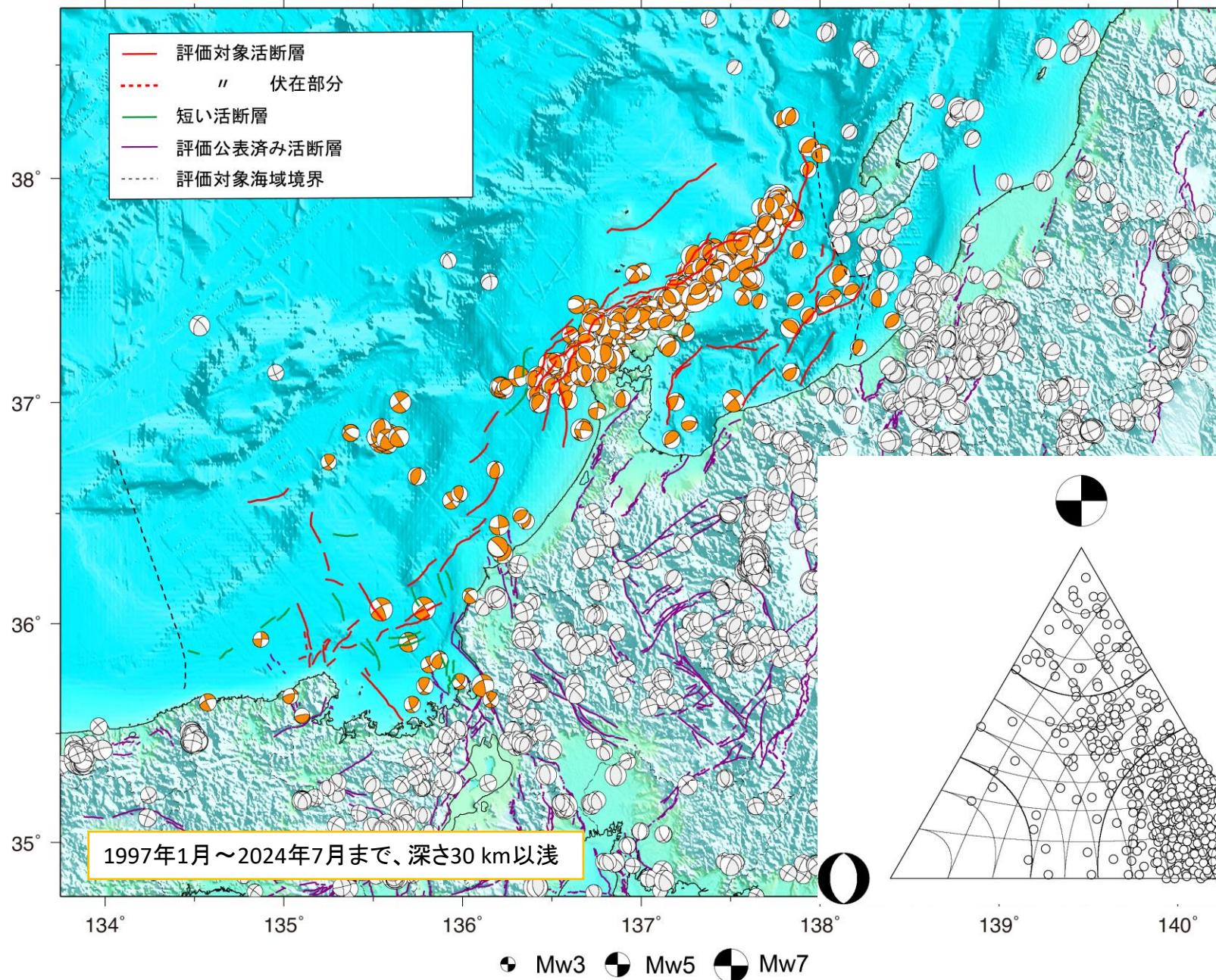
発震機構解の分布(F-net: 西半部)



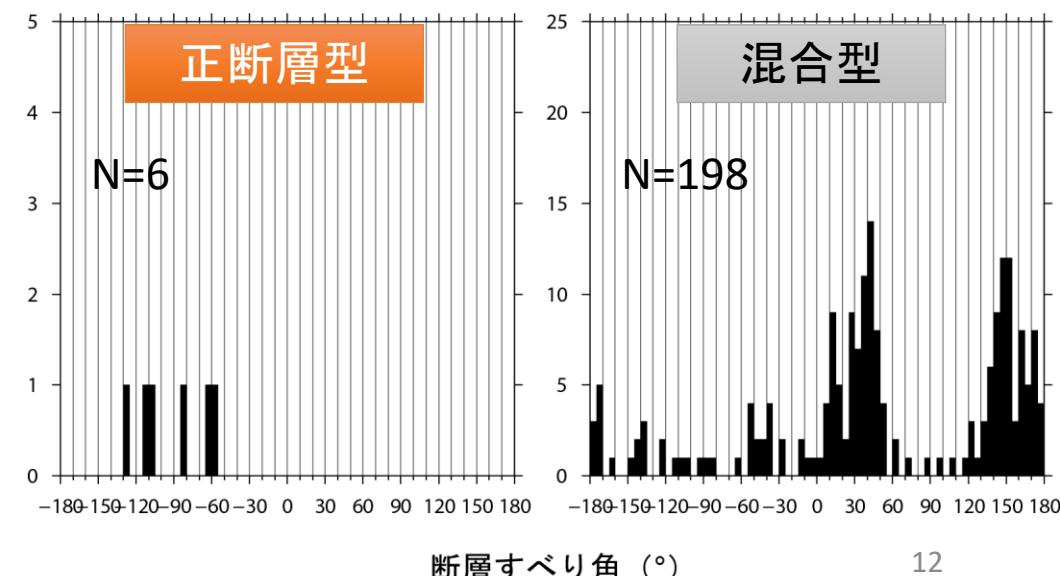
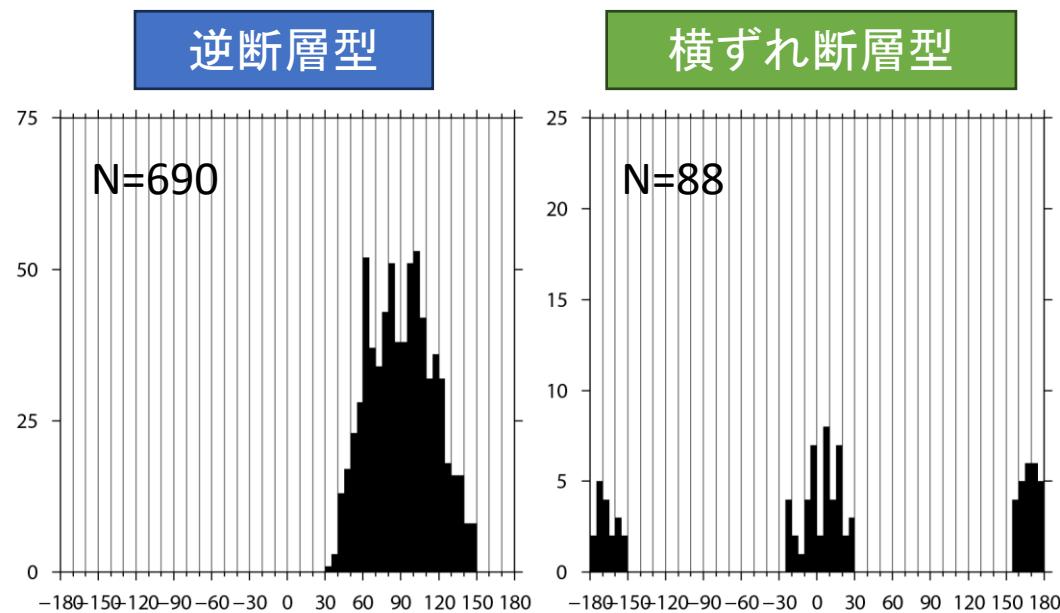
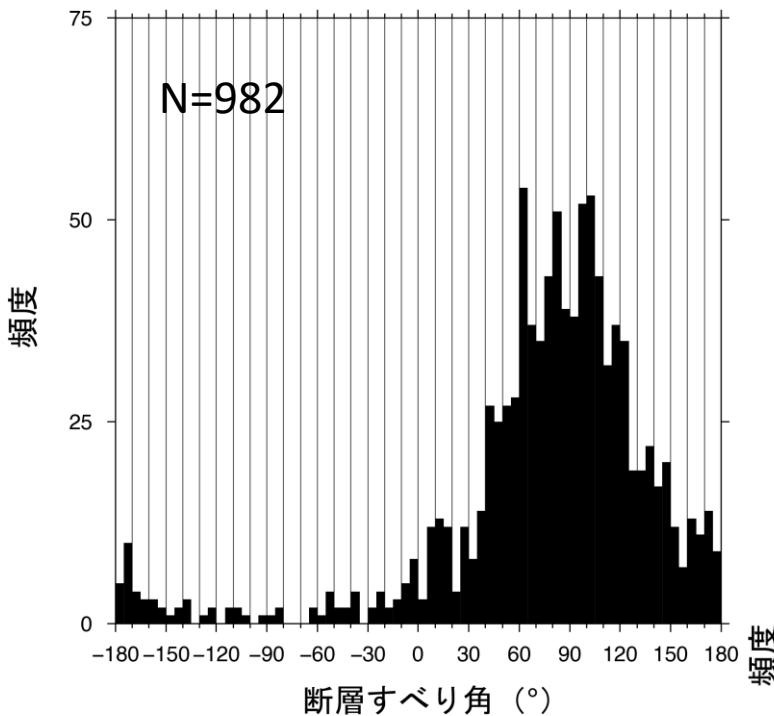
発震機構解の分布(F-net: 東半部)



評価対象海域内における発震機構解の分布(F-net)

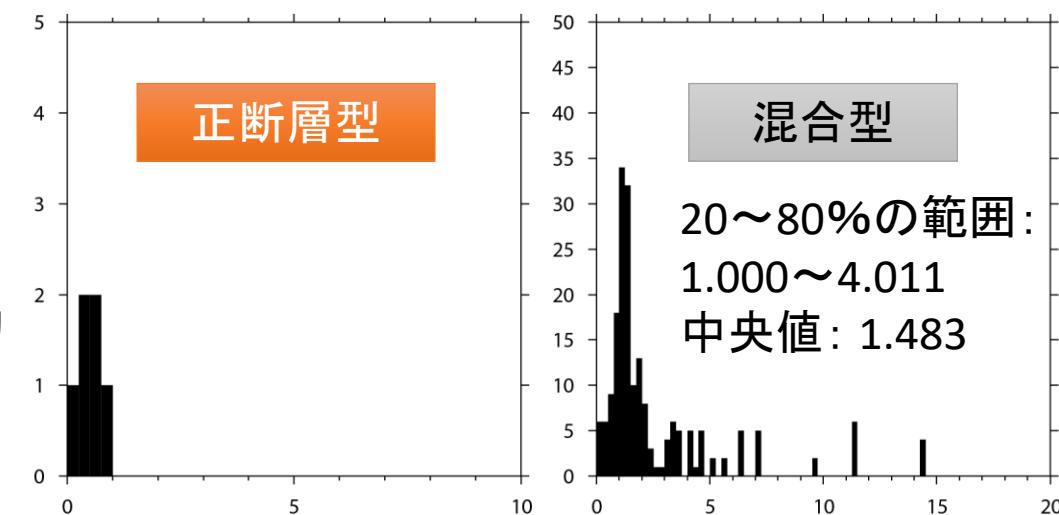
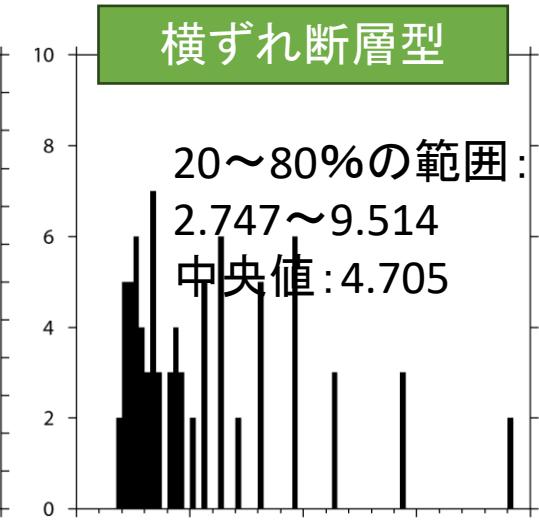
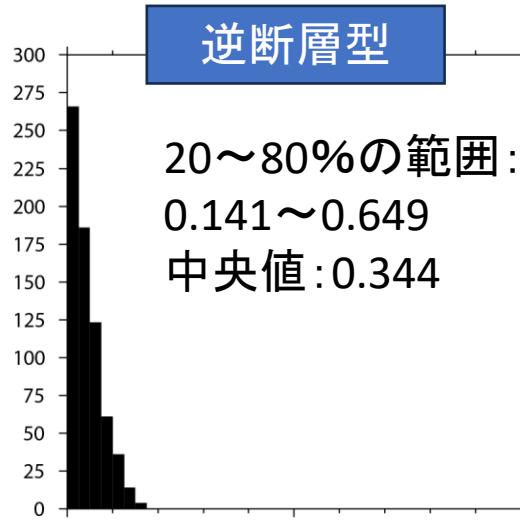
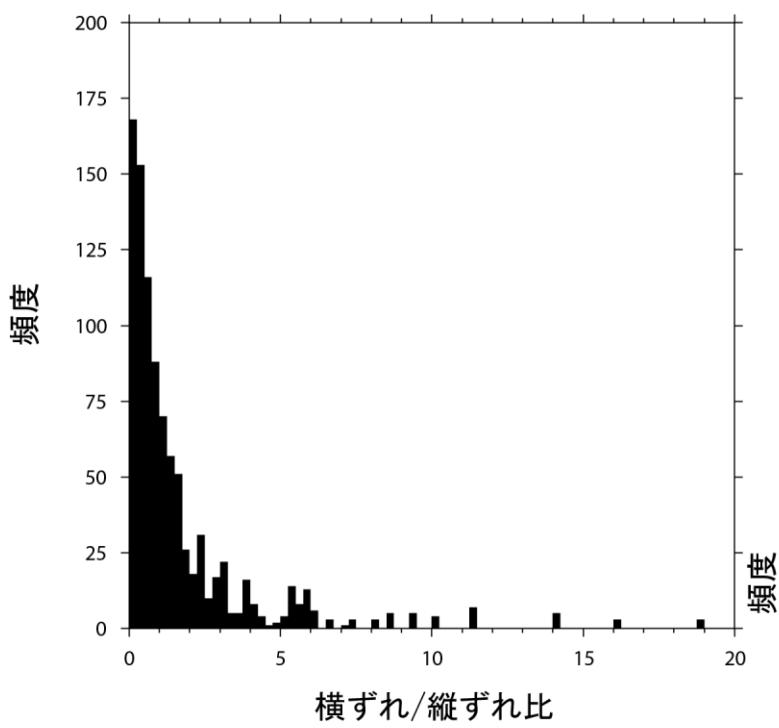


評価対象海域内における発震機構解の断層すべり角



※ 第一節面ならびに第二節面
のいずれの値も使用

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



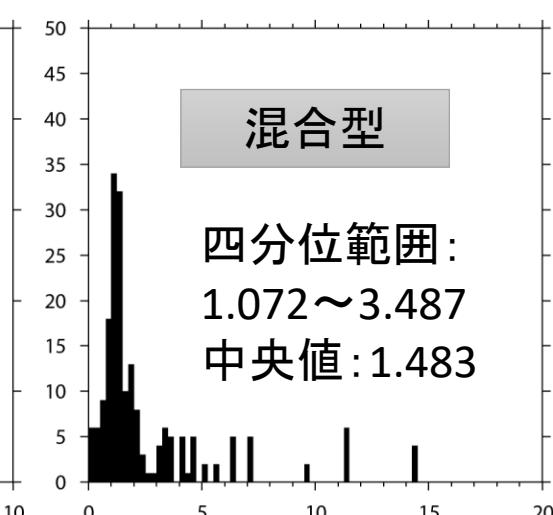
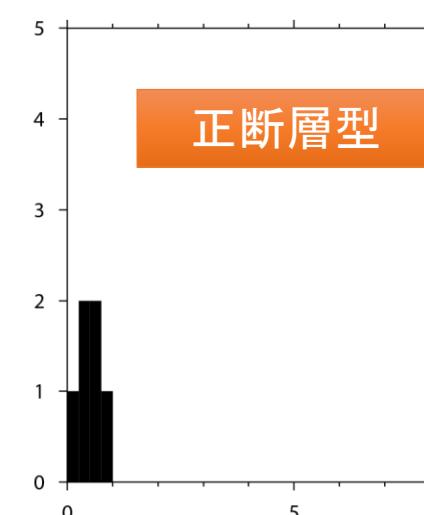
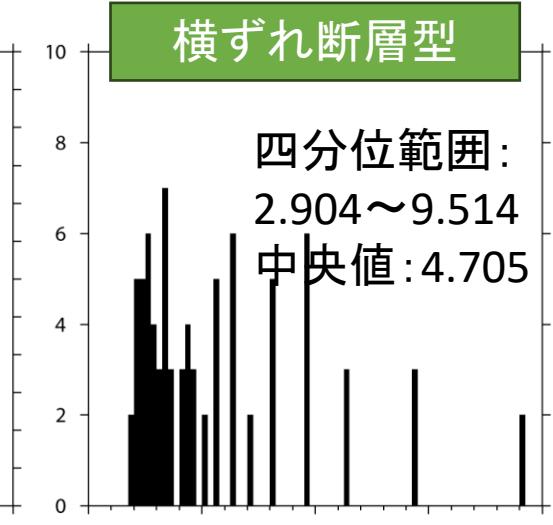
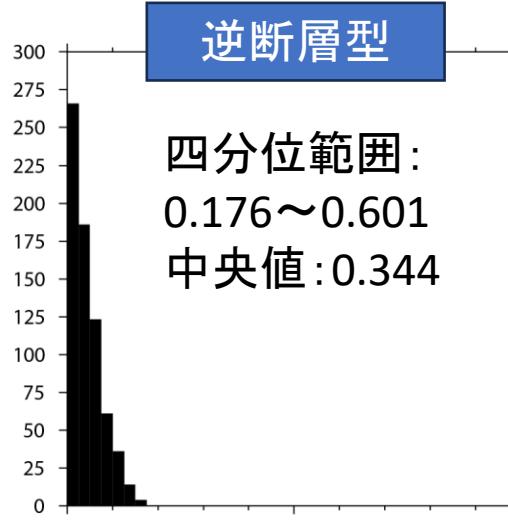
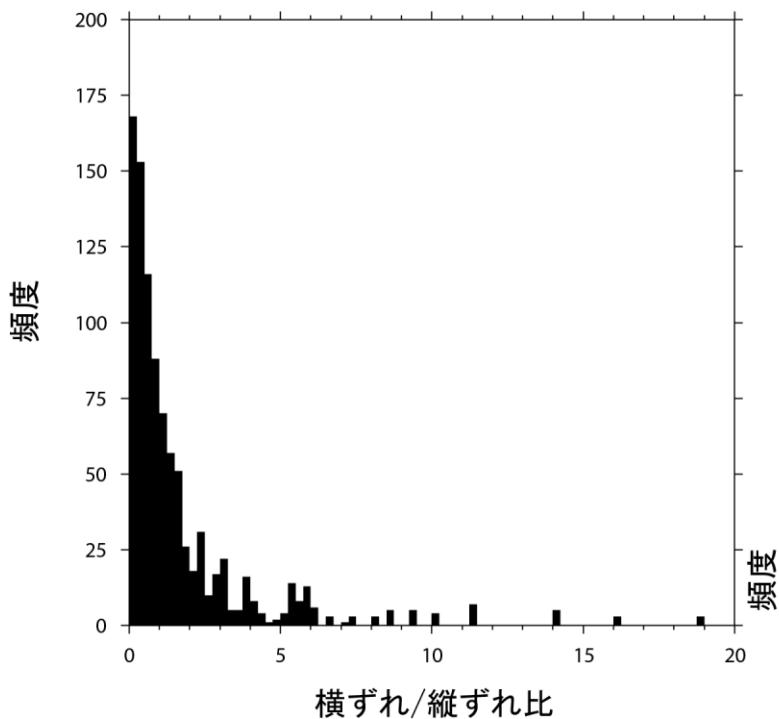
(参考)日本海南西部における横ずれ/縦ずれ比
の中央値(4.7)ならびに小さい方から数えて20%
~80%の範囲となる幅(2.1~11.4)を用いて平均
変位速度ならびに確率を算出

これらの横ずれ/縦ずれ比を用いて平均変位速度を算出する

横ずれ/縦ずれ比

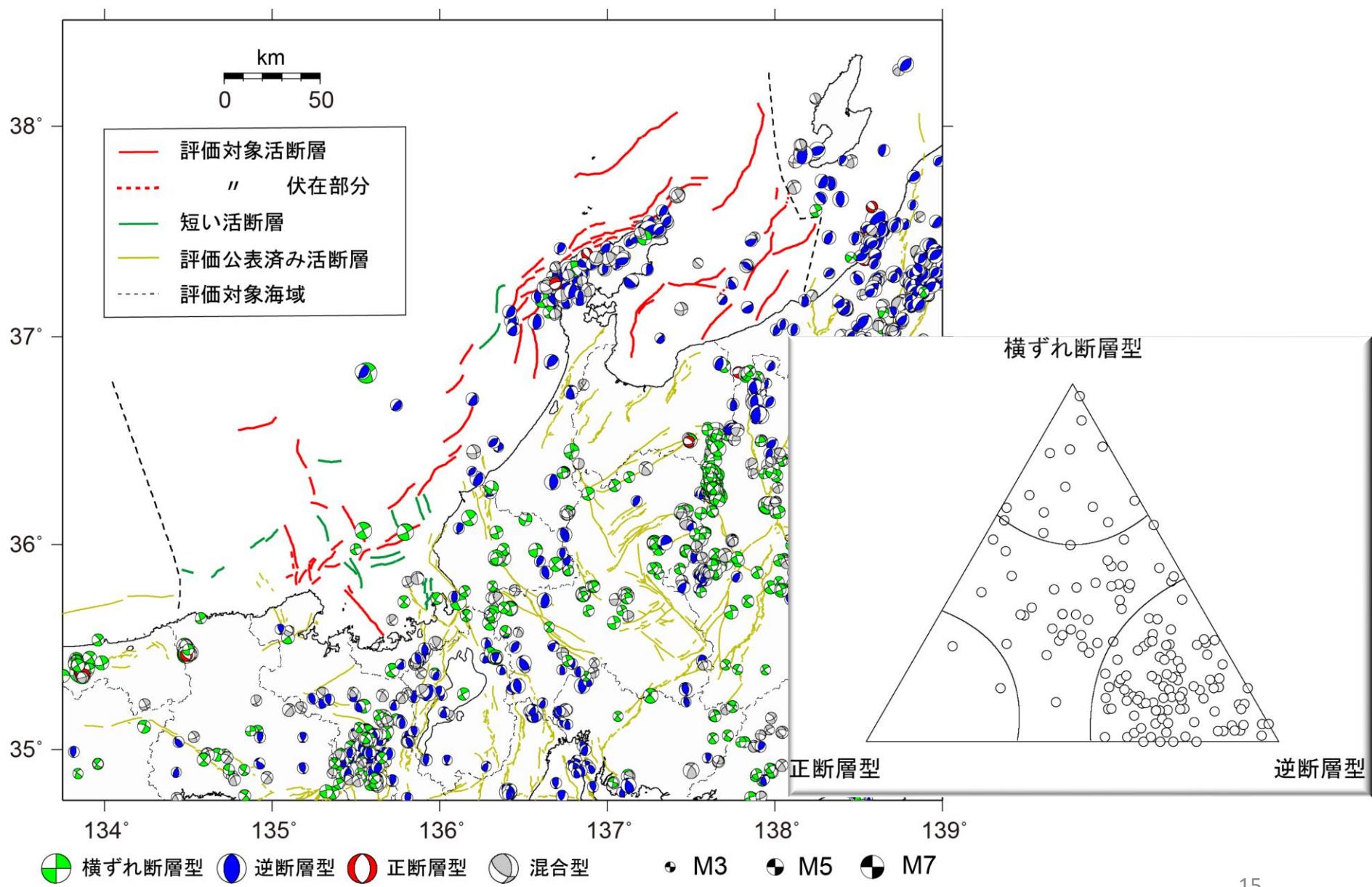
評価対象海域内における発震機構解の断層すべり角から 算出される横ずれ/縦ずれ比

参考



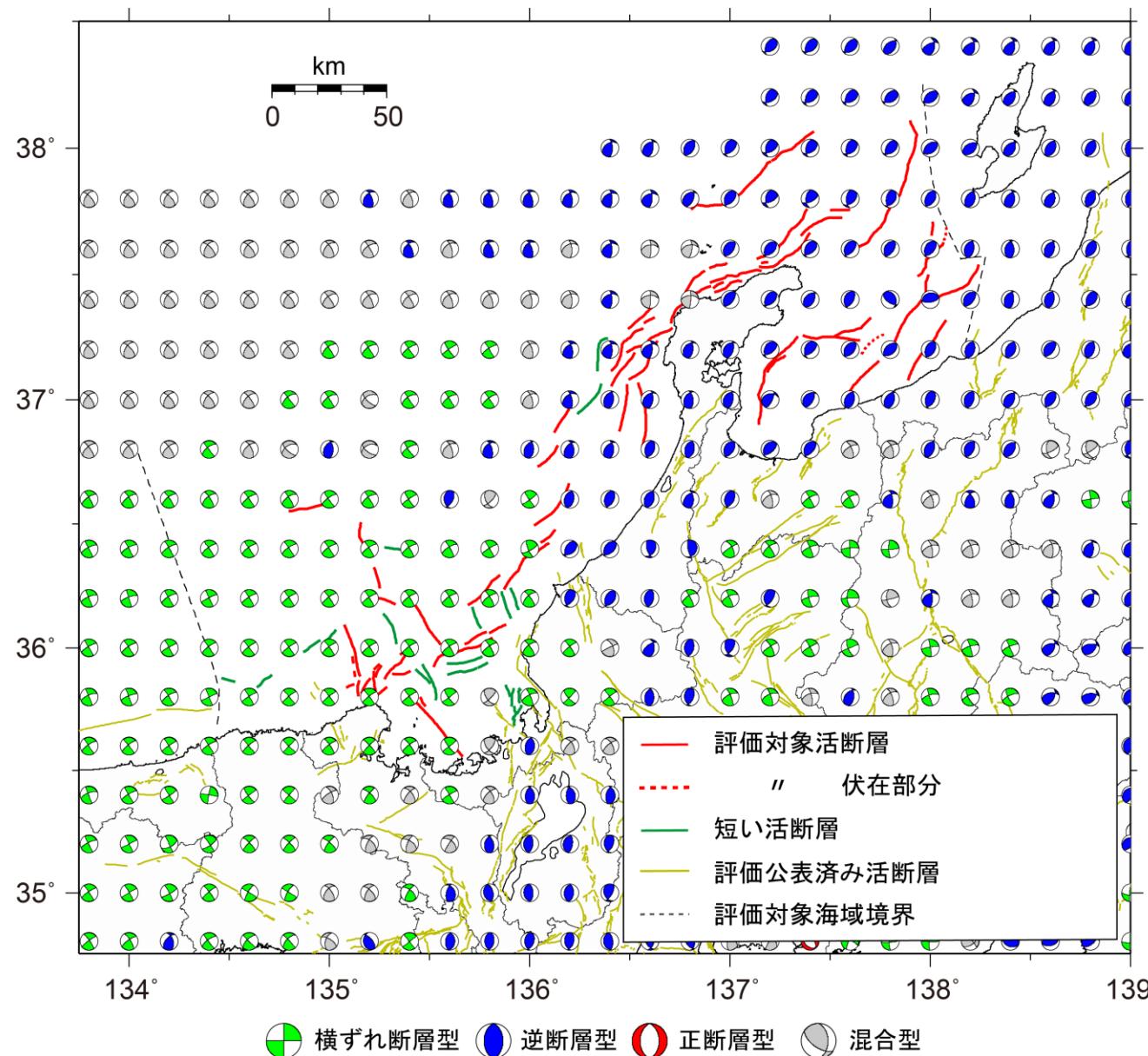
横ずれ/縦ずれ比

発震機構解の分布(気象庁初動解)

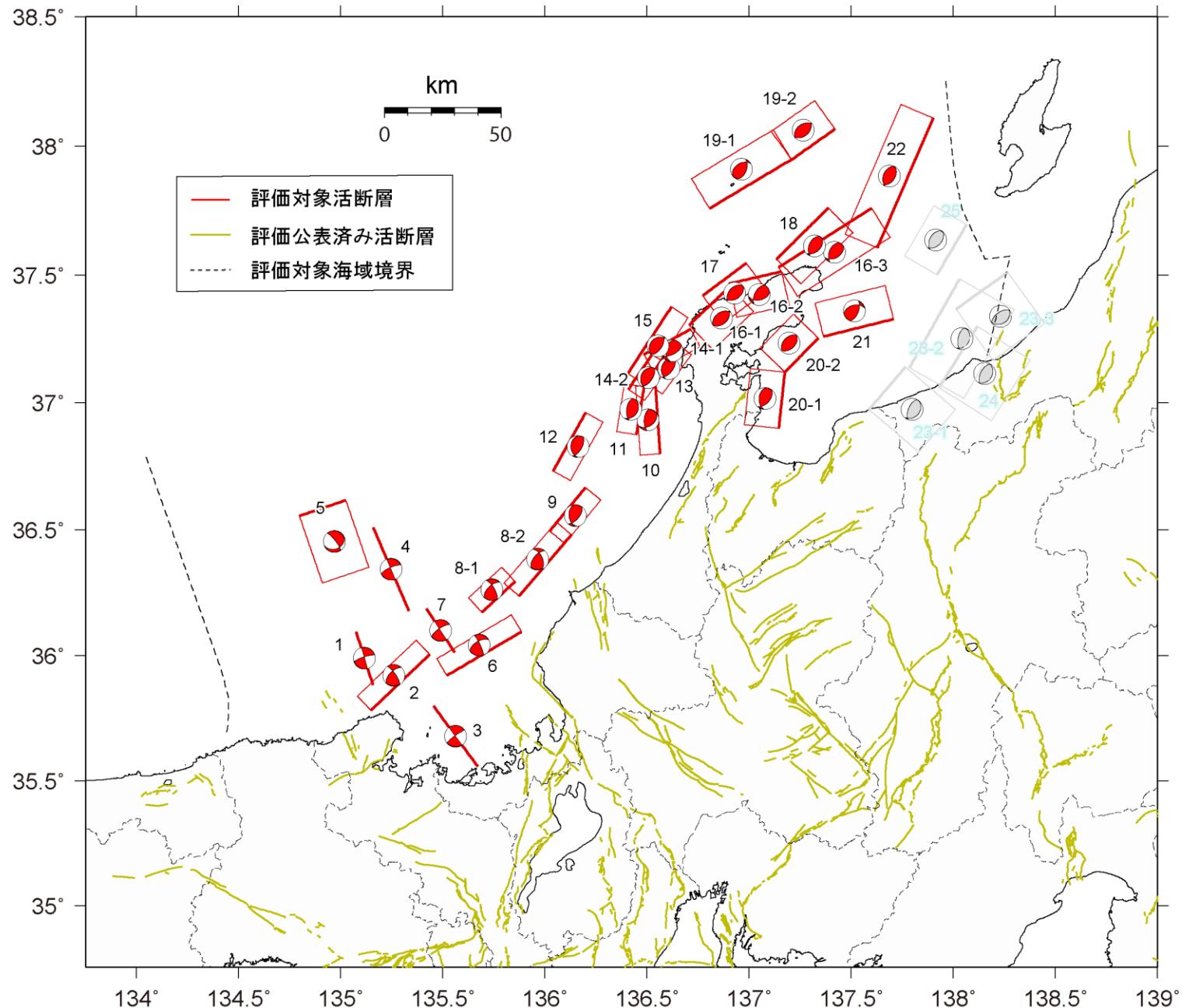


② 広域応力場を用いWallace-Bott仮説から算出される断層すべり角に基づく方法

広域応力場(深さ10 km)



広域応力場から算出された断層すべり角



横ずれ/縦ずれ比の比較(西半部)

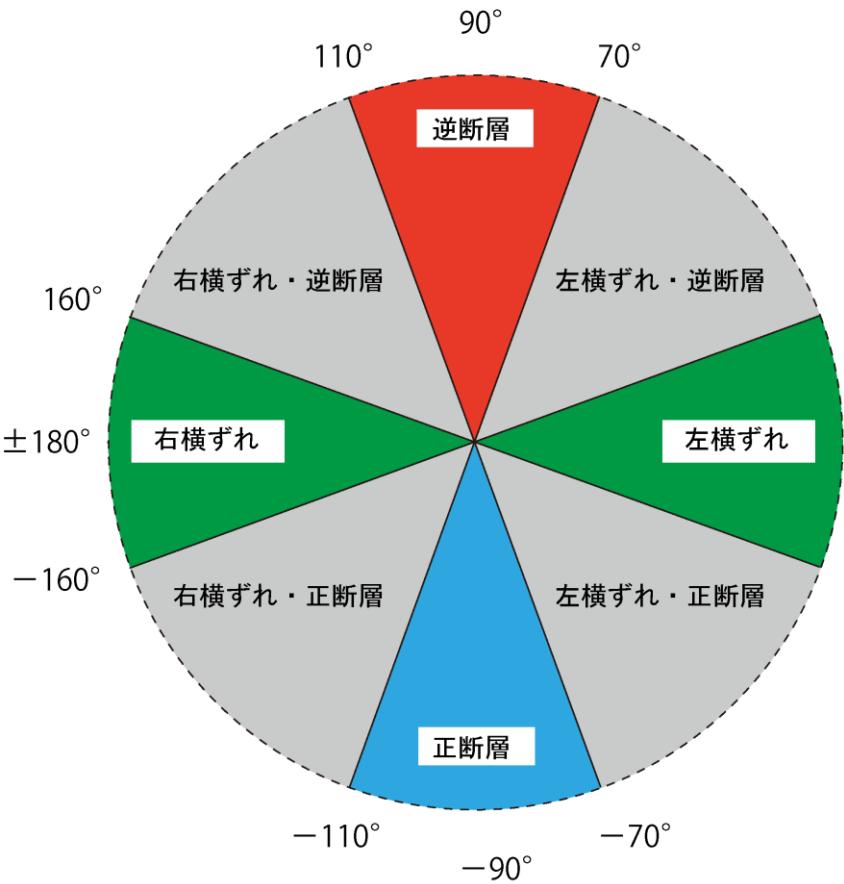
断層番号	活断層のくくり	評価単位区間	種類	信頼度	手法①による比 括弧内は中央値	断層すべり角	手法②による比
1	沖ノ礁北方断層		左横ずれ	○	2.747～9.514(4.705)	-10.74	5.2705
2	経ヶ岬沖断層		北西側隆起の逆断層 (右横ずれ成分を伴う)	○	1.000～4.011(1.483)	162.57	3.1856
3	小浜沖断層		左横ずれ	○	2.747～9.514(4.705)	-4.78	11.9561
4	浦島礁北方北断層		左横ずれ	○	2.747～9.514(4.705)	-15.14	3.6958
5	若狭海丘列北縁断層		南側隆起の逆断層	△	0.141～0.649(0.344)	-158.38	2.5235
6	越前岬西方沖北断層		北西側隆起の逆断層 (右横ずれ成分を伴う)	○	1.000～4.011(1.483)	170.79	6.1645
7	浦島礁北東断層		左横ずれ	○	2.747～9.514(4.705)	-16.96	3.2793
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	○	0.141～0.649(0.344)	156.74	2.3265
8-2		大グリ区間	北西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	138.11	1.1150
9	加佐ノ岬沖断層		南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	117.83	0.5278
10	羽咋沖東断層		西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	59.34	0.5927
11	羽咋沖西断層		西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	77.87	0.2149
12	内灘沖断層		南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	105.18	0.2714
13	海士岬沖東断層		南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	98.61	0.1514
14-1	門前断層帯	門前沖区間	南東側隆起の逆断層(右横ずれ成分を伴う)	○	1.000～4.011(1.483)	121.56	0.6142
14-2		海士岬沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	94.01	0.0700
15	沖ノ瀬東方断層		南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	82.54	0.1309

横ずれ/縦ずれ比の比較(東半部)

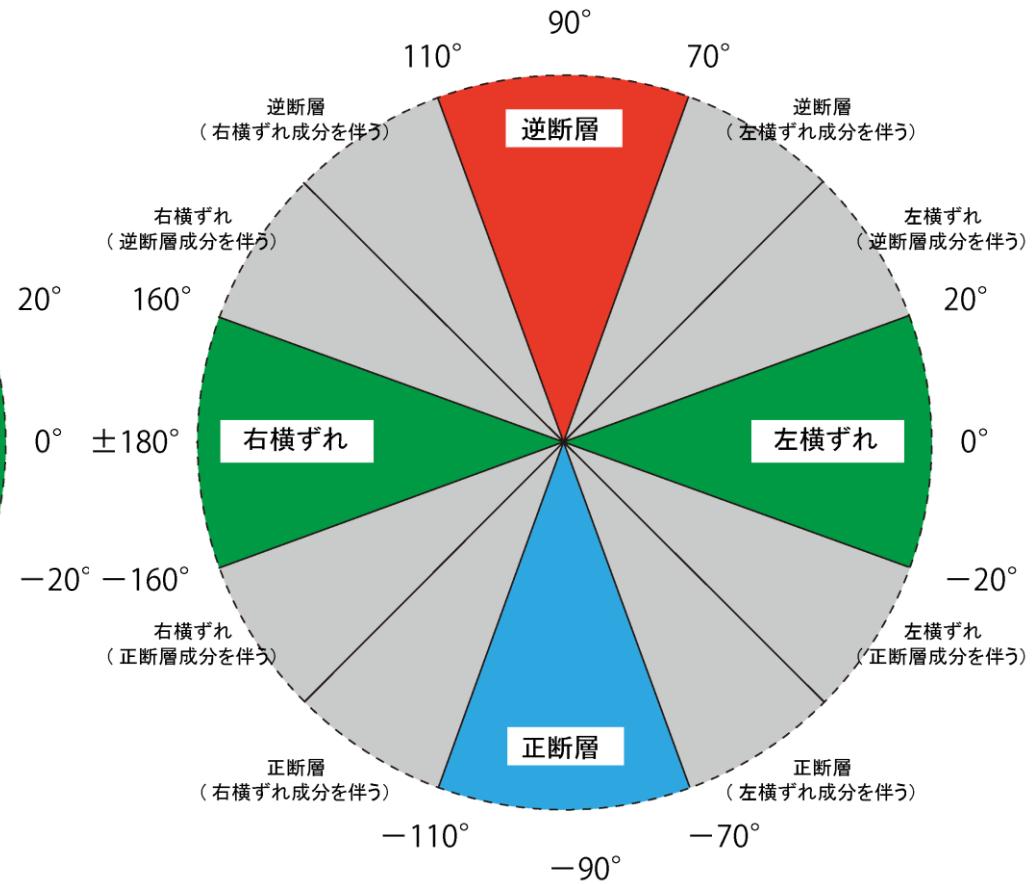
断層番号	活断層のくくり	評価単位区間	種類	信頼度	手法①による比 括弧内は中央値	断層すべり角	手法②による比
16-1	能登半島北岸断層帯	猿山沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	84.07	0.1039
16-2		輪島沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	128.44	0.7936
16-3		珠洲沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	114.70	0.4600
17	輪島はるか沖断層		南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	96.83	0.1198
18	能登半島北方沖		南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	103.80	0.2456
19-1	舳倉島近海断層帯	南西区間	北西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	117.95	0.5307
19-2		北東区間	北西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	95.85	0.1024
20-1	七尾湾東方断層帯	大泊鼻沖区間	西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	63.73	0.4936
20-2		城ヶ崎沖区間	北西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	89.05	0.0166
21	飯田海脚南縁断層		北側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	133.98	0.9650
22	富山トラフ西縁断層		西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	81.21	0.1547
23-1	上越沖断層帯	親不知沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	104.88	0.2657
23-2		鳥ヶ首沖区間	南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	106.36	0.2935
23-3		上越海盆南縁区間	南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	90.22	0.0038
24	名立沖断層		南東側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	94.66	0.0814
25	上越海丘東縁断層		北西側隆起の逆断層	○	0.141～0.649(0.344)	79.37	0.1877

ずれの向きと種類の表記方法について

Obliqueなすべりについて、どちらが主成分であるかは記述しないパターン(8分類)

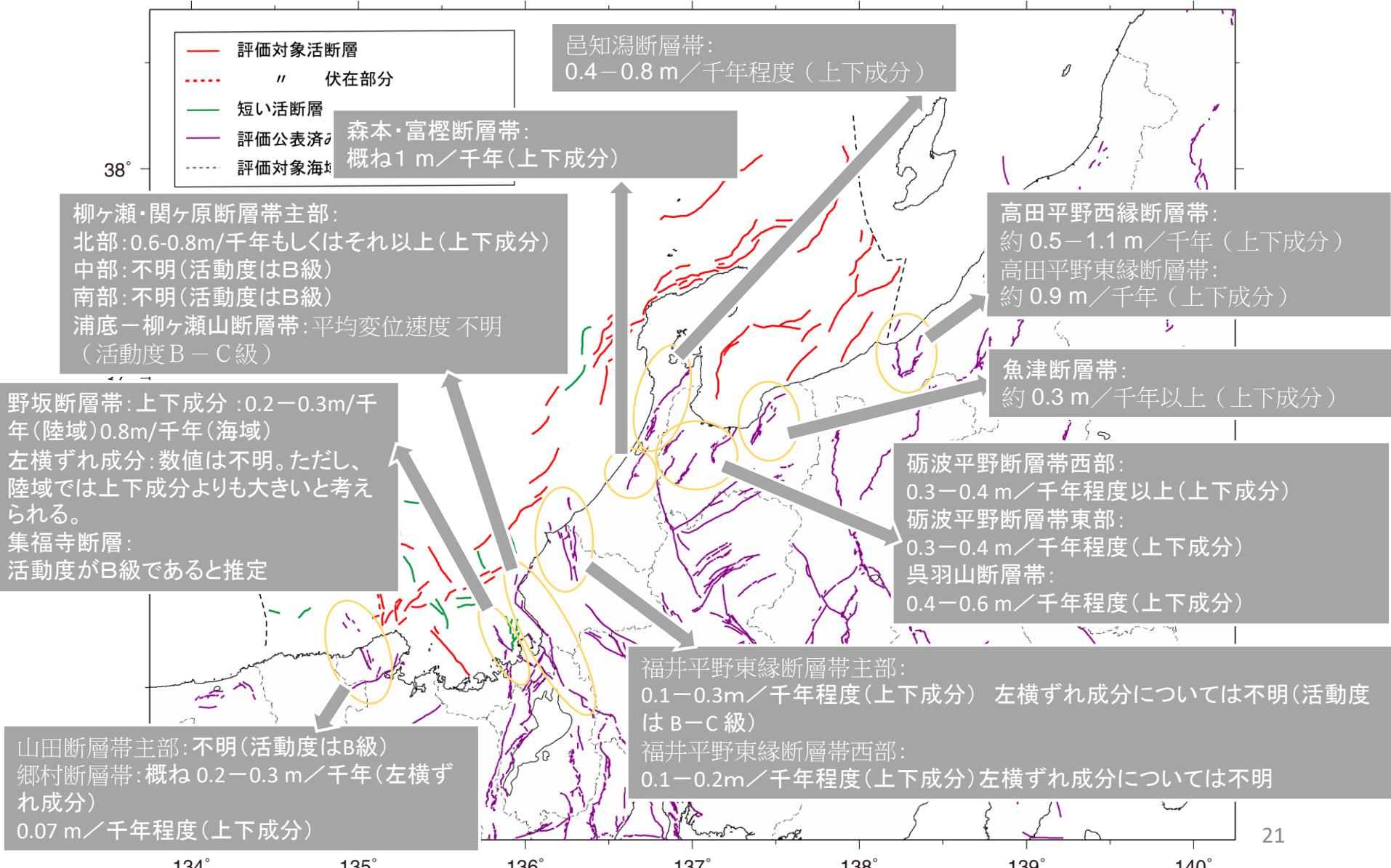


Obliqueなすべりについて、どちらが主成分であるか記述するパターン(12分類)



- これらの分類基準に基づき、算出される横ずれ/縦ずれ比を使用する方法も考えられる

周辺に分布する主要活断層帯における 平均変位速度



議論のポイント

◆ 反射断面図から読み取られる垂直変位量から、平均変位速度(ネットスリップ)を算出するにあたり必要な、断層の横ずれ/縦ずれ比の設定方法について、

- 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

を提案したが、どちらを採用した方が良いか。

◆ 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を採用する場合、横ずれ型、混合型、逆断層型の分類方法やそれぞれの断層型に対して仮定する横ずれ/縦ずれ比の設定は妥当か。