

F-B断層による地震の地震動評価  
に用いる震源断層の諸元

平成20年8月26日  
東京電力株式会社



東京電力

---

## 【本日のご説明内容】

---

### 1. 中越沖地震の諸元

気象庁マグニチュード

断層長さ

断層幅

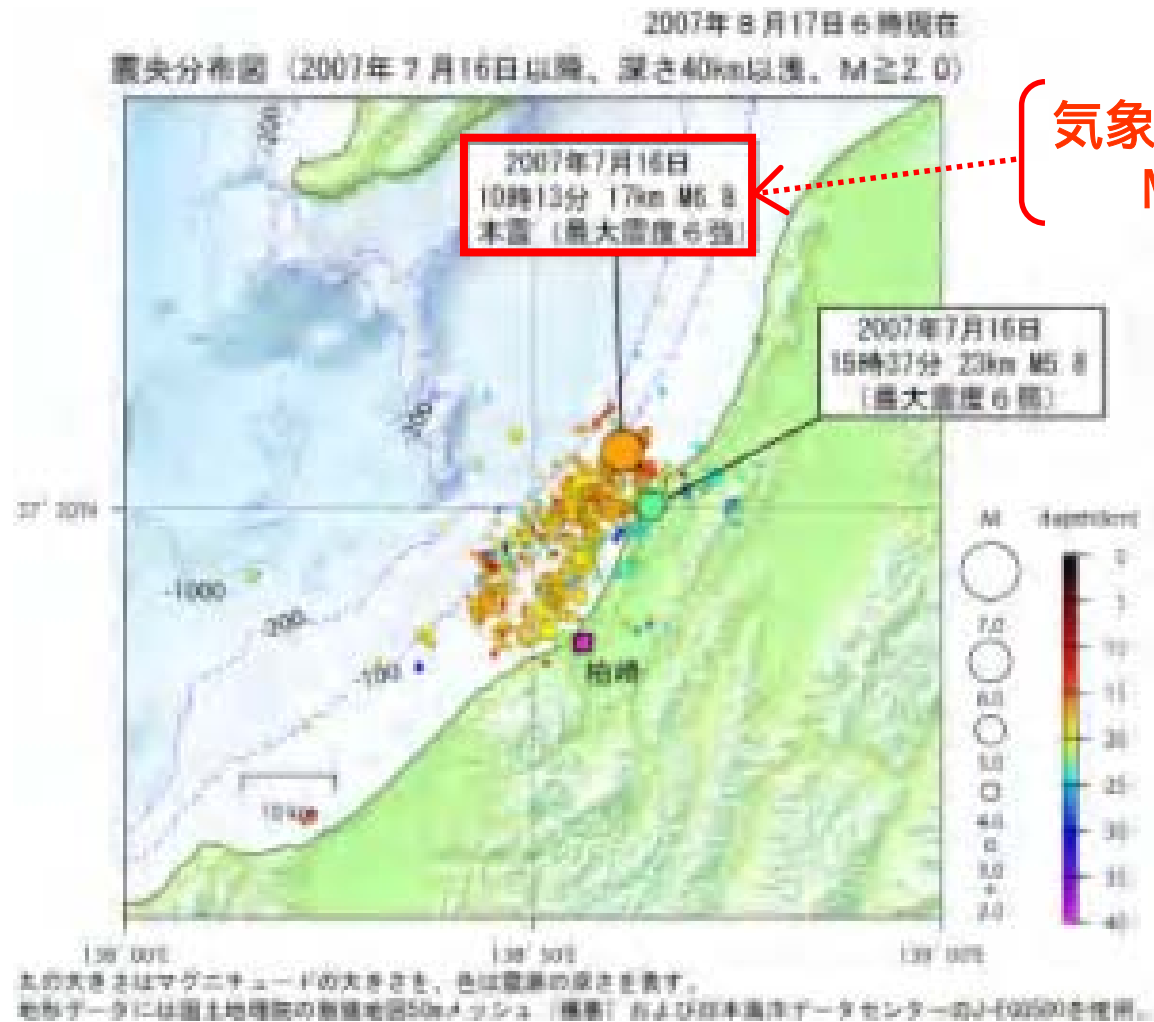
### 2. F - B断層（36km）の諸元

断層長さと断層幅

気象庁マグニチュードの評価

### 3. $M_j$ と断層傾斜角、断層長さの関係（参考）

# 1. 中越沖地震の諸元 ( 気象庁マグニチュード )

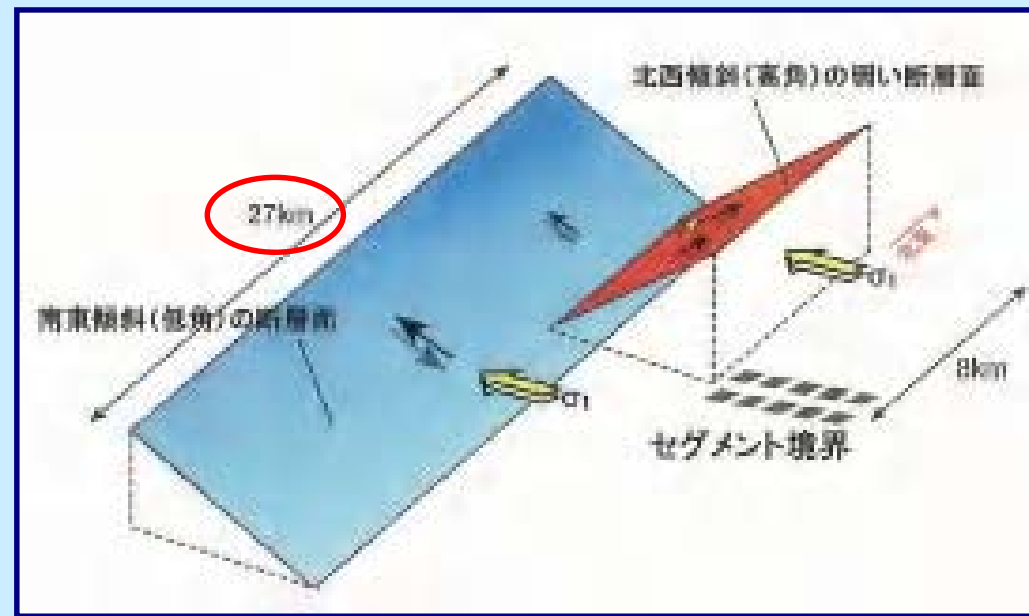


( 気象庁マグニチュード )  
M<sub>j</sub> = 6.8

(気象庁)

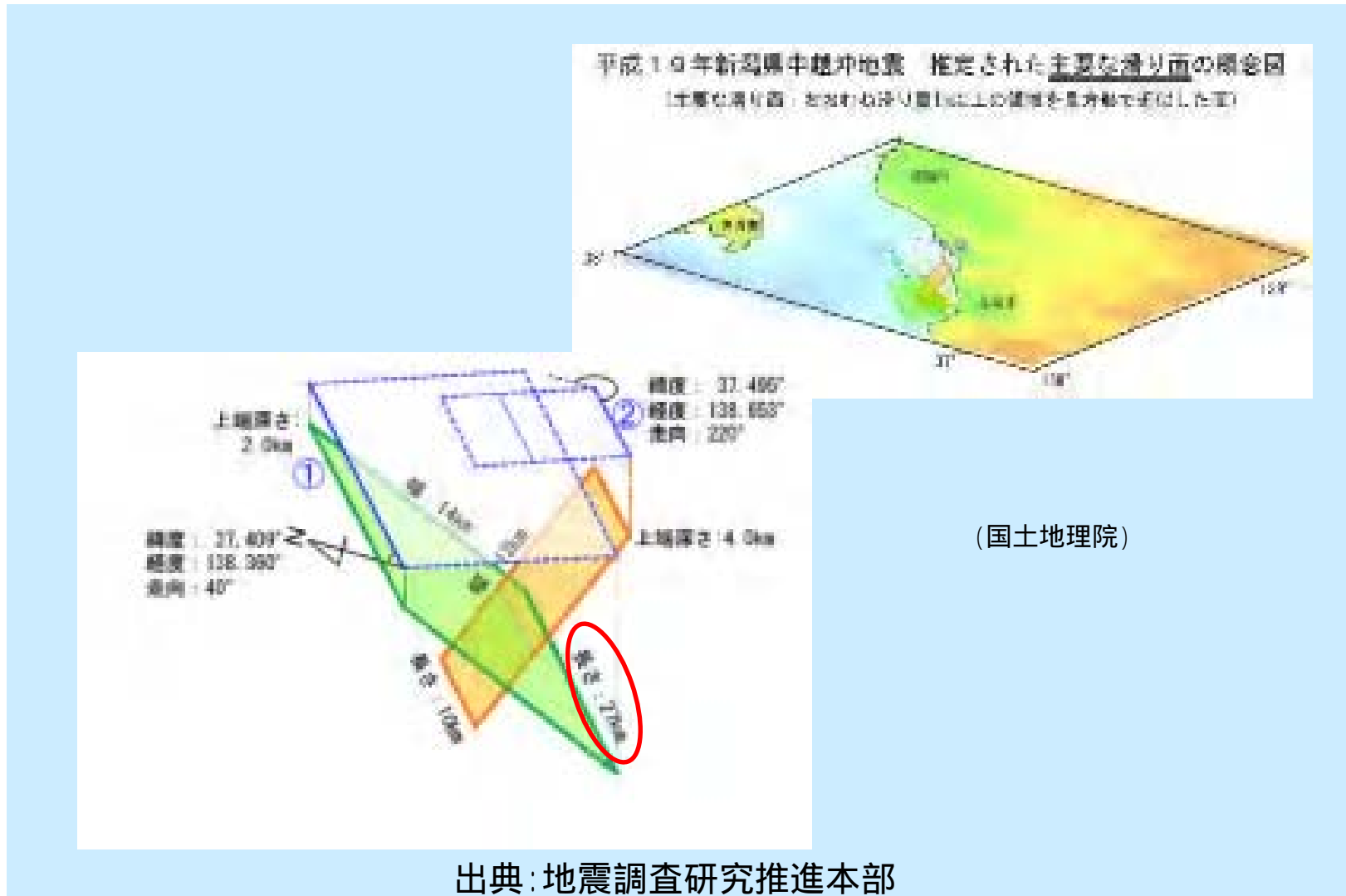
# 1. 中越沖地震の諸元 (断層長さ)

(東京大学地震研究所資料)



出典:地震調査研究推進本部

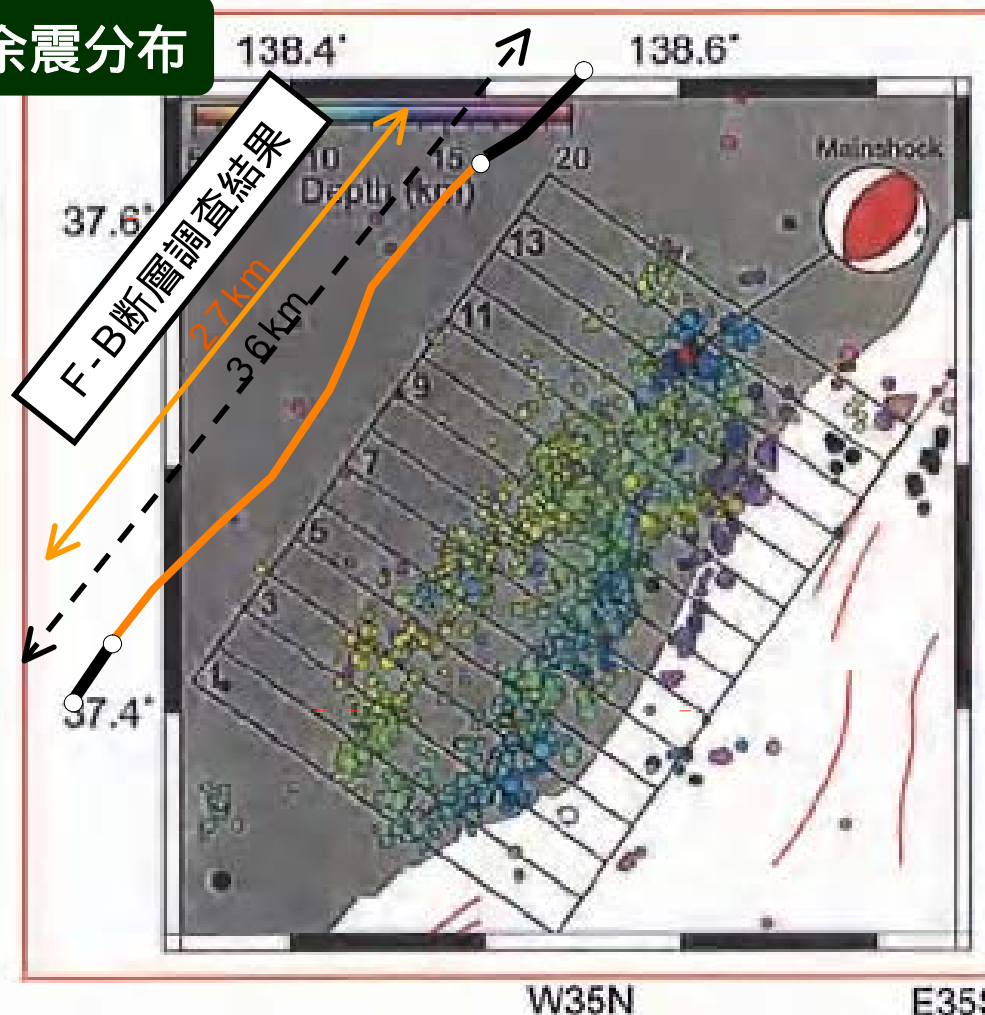
# 1. 中越沖地震の諸元 (断層長さ)



# 1 . 中越沖地震の諸元 ( 断層長さ )

海域・陸域臨時地震観測網に基づく精密余震分布 ( 7月16日10時13分 ~ 8月29日 ) と、F-B断層調査結果はよく対応している。

## 中越沖地震の余震分布

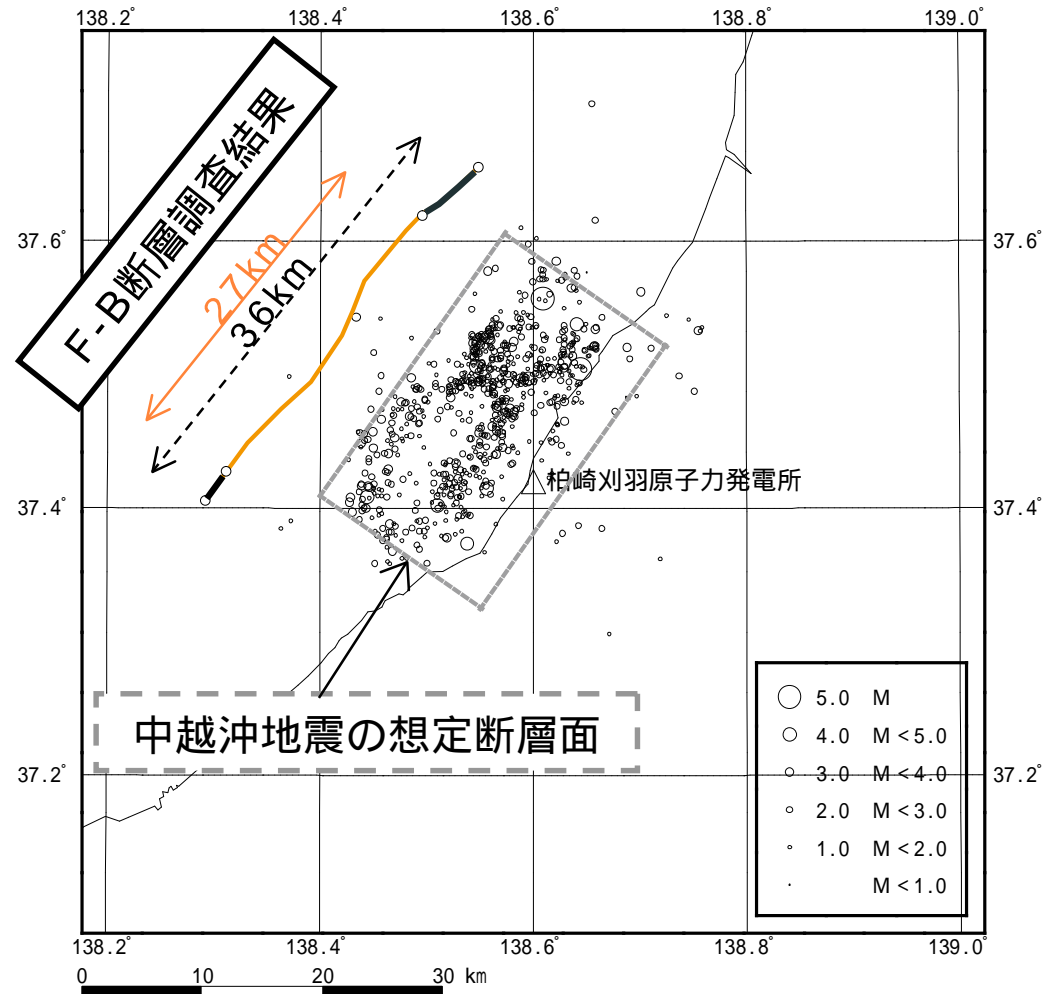


東京大学地震研究所資料 (平成20年1月11日地震調査委員会) に加筆

# 1 . 中越沖地震の諸元 ( 断層長さ )

中越沖地震の余震分布  
(本震発生後 2 4 時間)

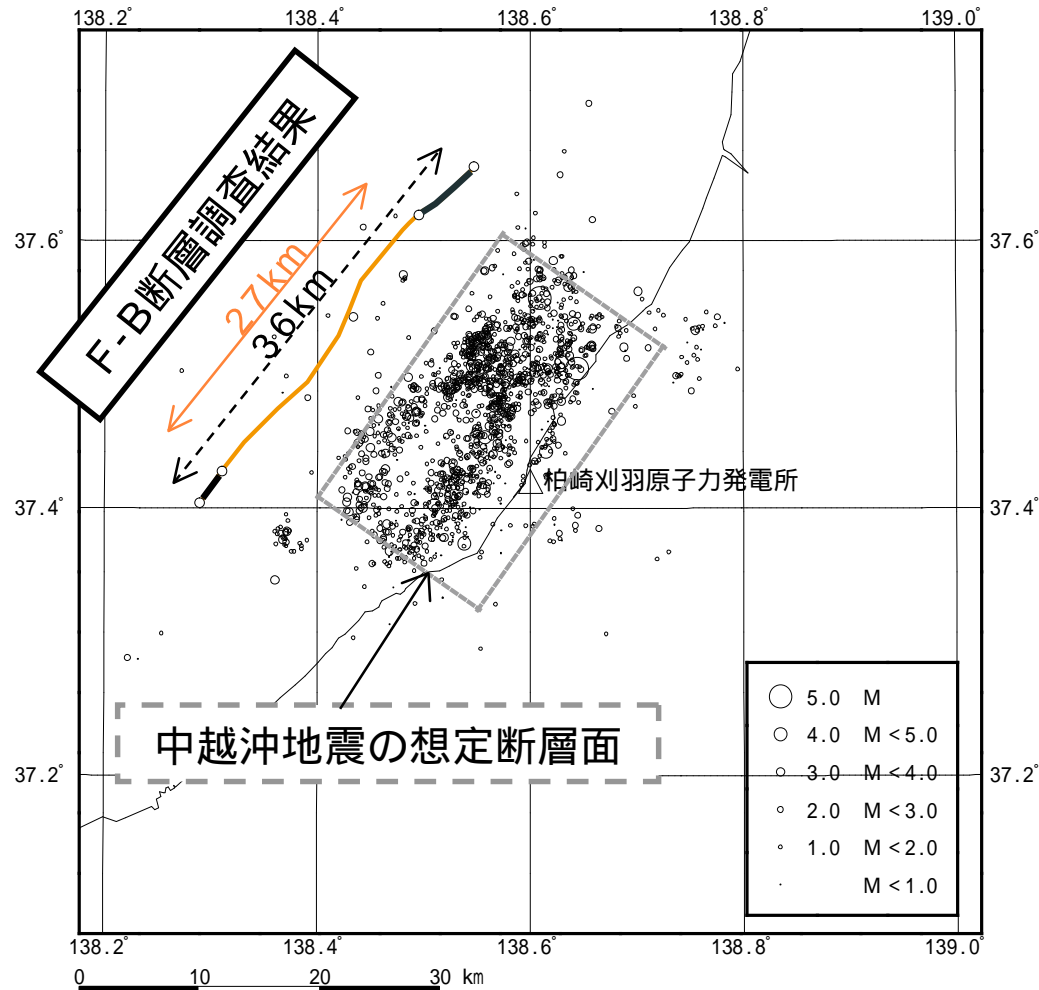
中越沖地震の断層面と余震分布  
(気象庁一元化震源)の比較



# 1 . 中越沖地震の諸元 ( 断層長さ )

中越沖地震の余震分布  
( 本震発生後 1 週間 )

中越沖地震の断層面と余震分布  
( 気象庁一元化震源 ) の比較

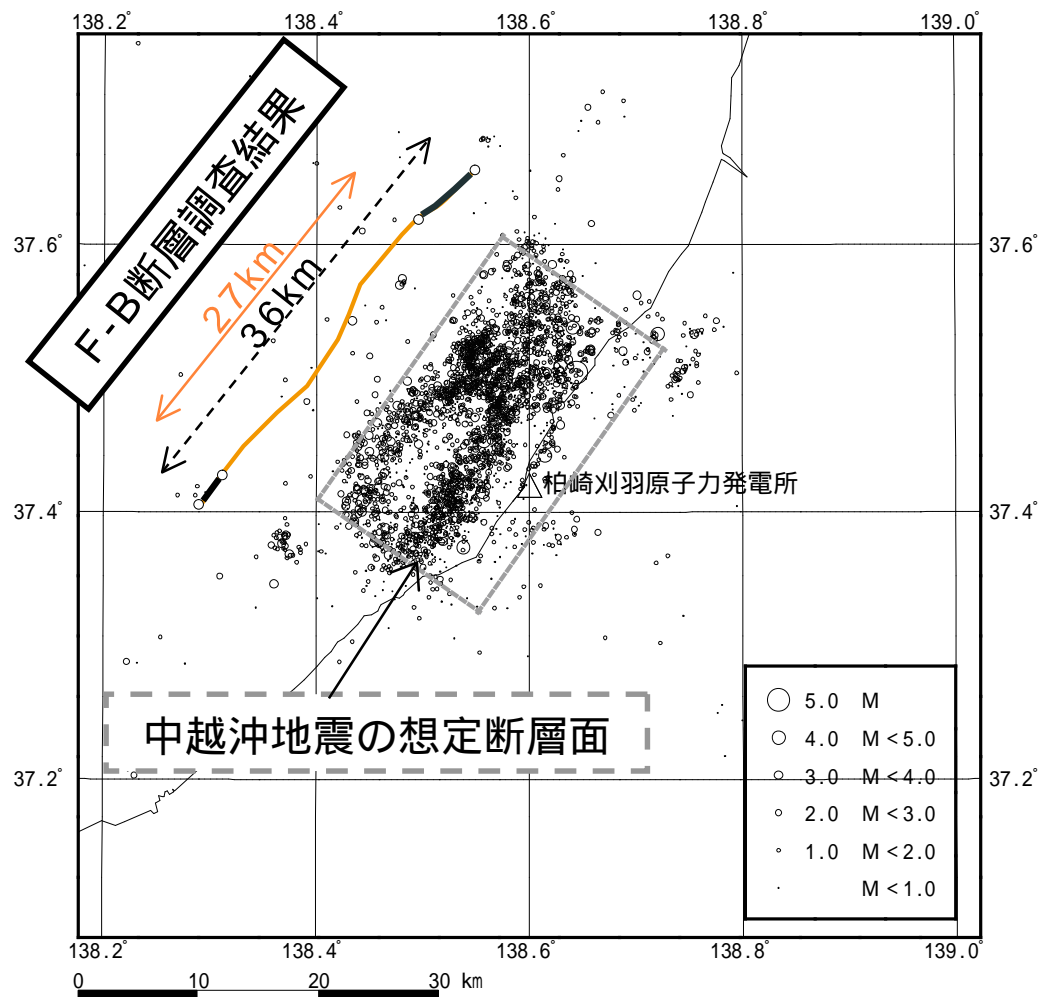




# 1. 中越沖地震の諸元 (断層長さ)

中越沖地震の余震分布  
(本震発生後1ヶ月)

中越沖地震の断層面と余震分布  
(気象庁一元化震源)の比較

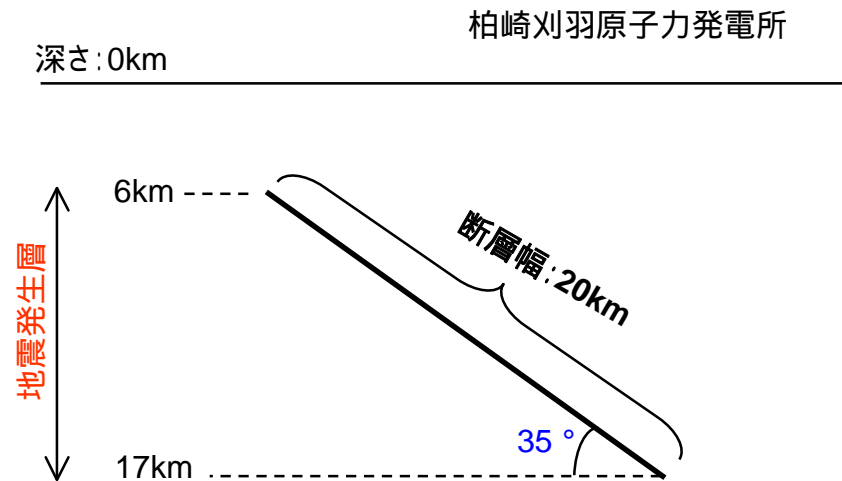


# 1 . 中越沖地震の諸元 ( 断層幅 )

断層幅は地震発生層厚さと傾斜角より評価し、20 kmとした。

## 地震発生層

微小地震の発生状況と、  
中越沖地震の余震分布等  
から設定

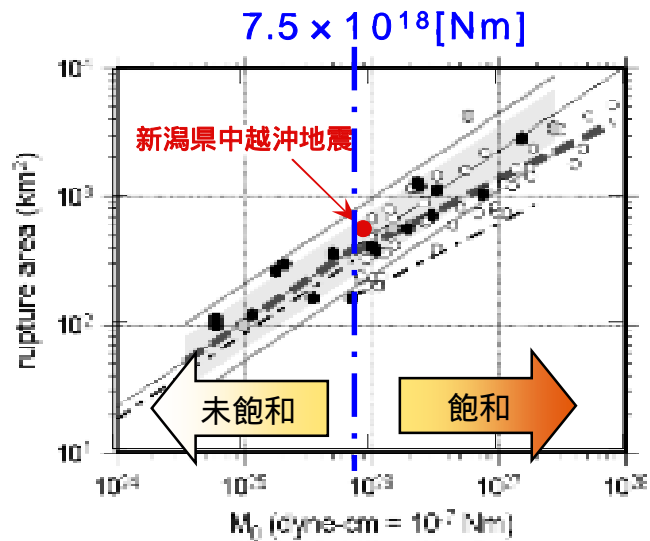


傾斜角: 35°

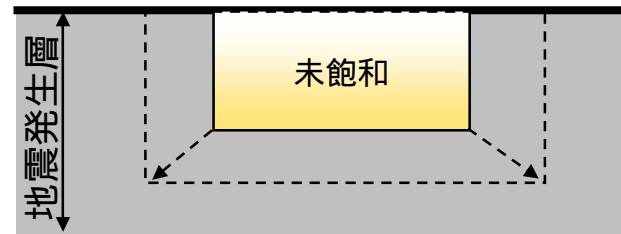
中越沖地震の余震分布から設定

# 1 . 中越沖地震の諸元 ( 断層幅 )

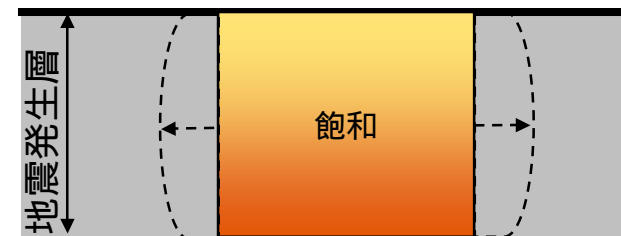
地震規模 (地震モーメント  $M_0$ ) と震源断層の面積  $S$  の関係 (スケーリング則) は断層幅が飽和することによって変化することが知られており、その目安は地震モーメント  $7.5 \times 10^{18}$  [Nm] であるとされている。中越沖地震の地震モーメントは  $9.3 \times 10^{18}$  [Nm] (F-net) であり、断層幅が飽和した地震であると考えられる。そこで、微小地震や余震分布を調査することにより地震発生層の厚さを推定し、断層幅設定の根拠とした。



地震モーメントと断層面積の関係  
【入倉・三宅 (2001) に加筆】



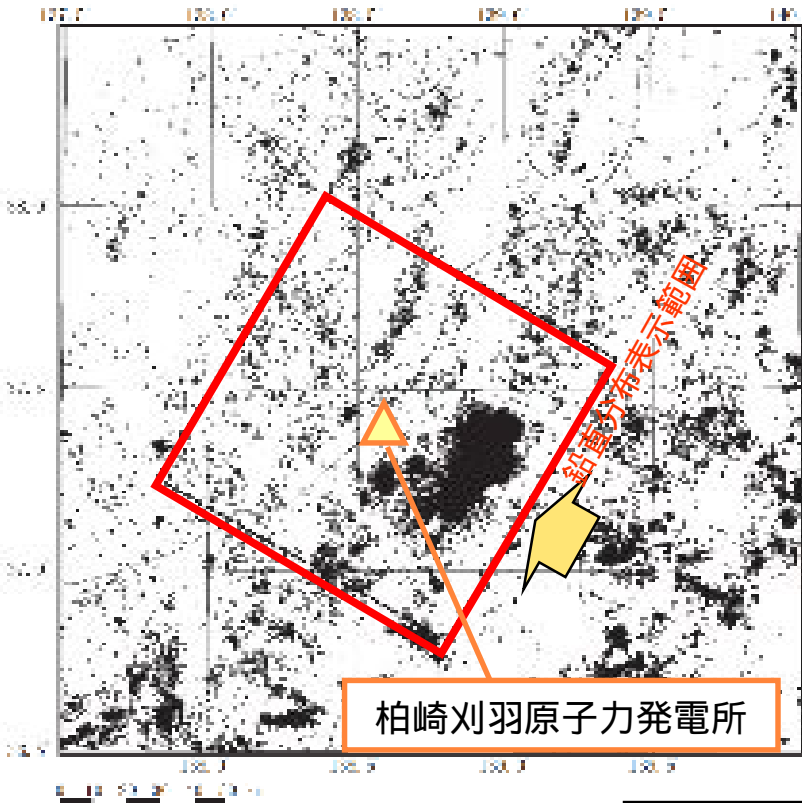
$$M_0 = (S / 2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7}$$



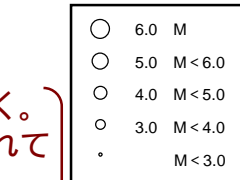
$$M_0 = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$$

# 1. 中越沖地震の諸元 (断層幅)

微小地震の震央分布

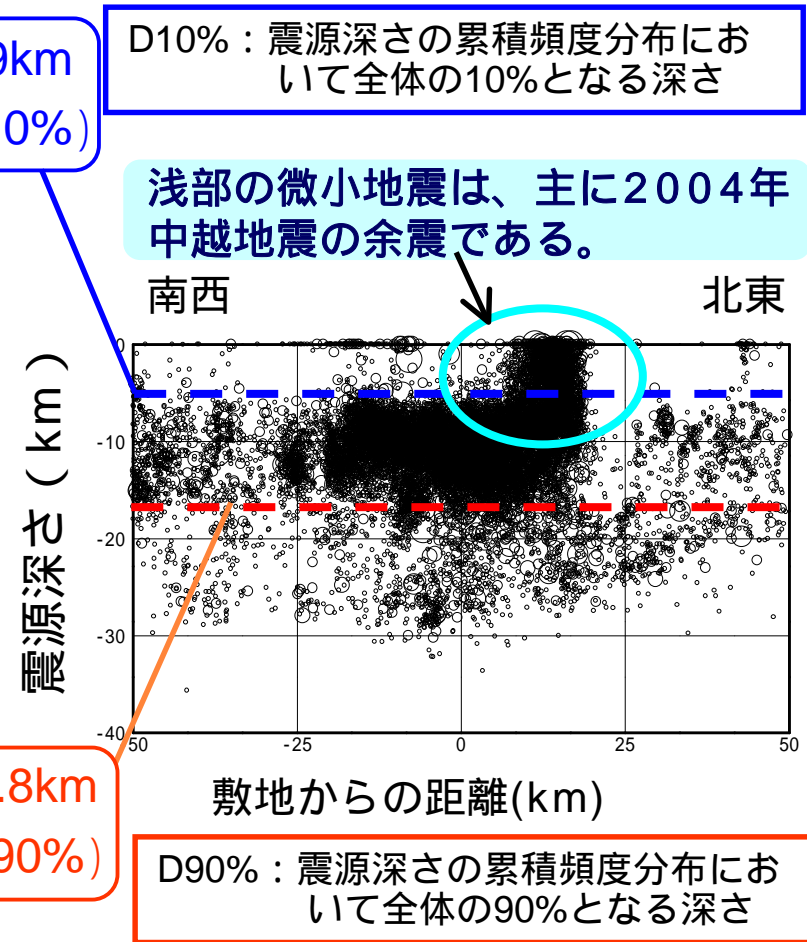


柏崎刈羽原子力発電所



〔気象庁地震年報及び地震・火山月報に基づく。対象期間は、震源決定の一元化処理が行われている1997年10月～2006年3月。〕

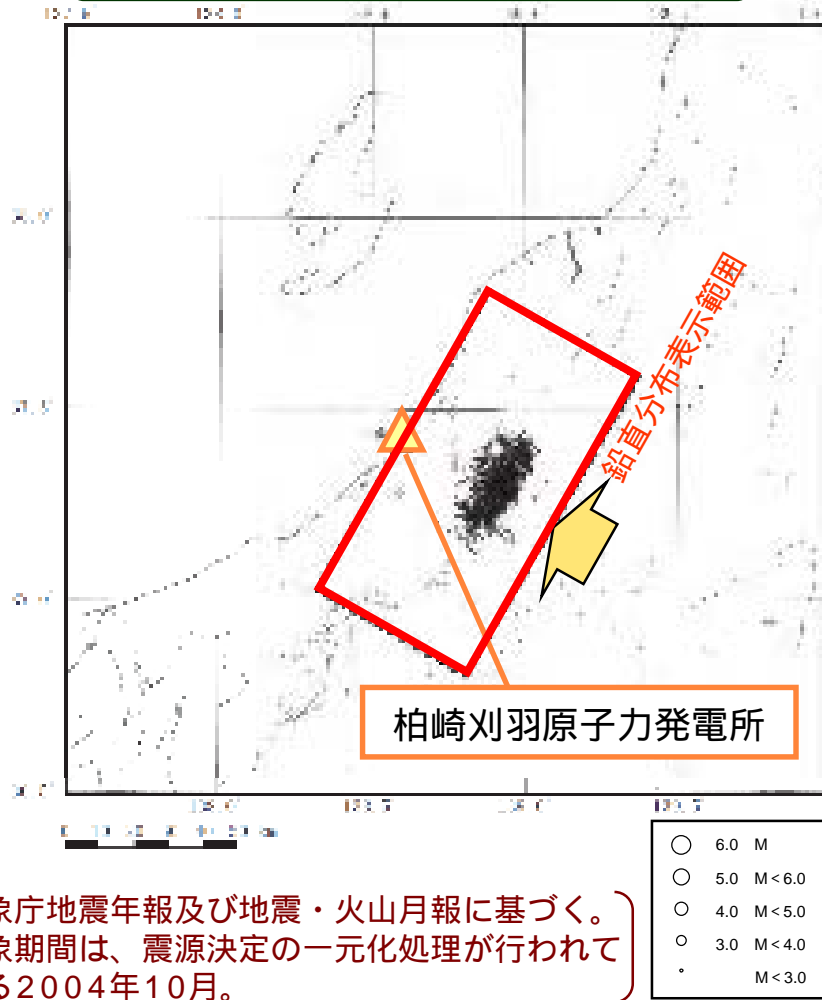
微小地震の震源鉛直分布



# 1. 中越沖地震の諸元 (断層幅)

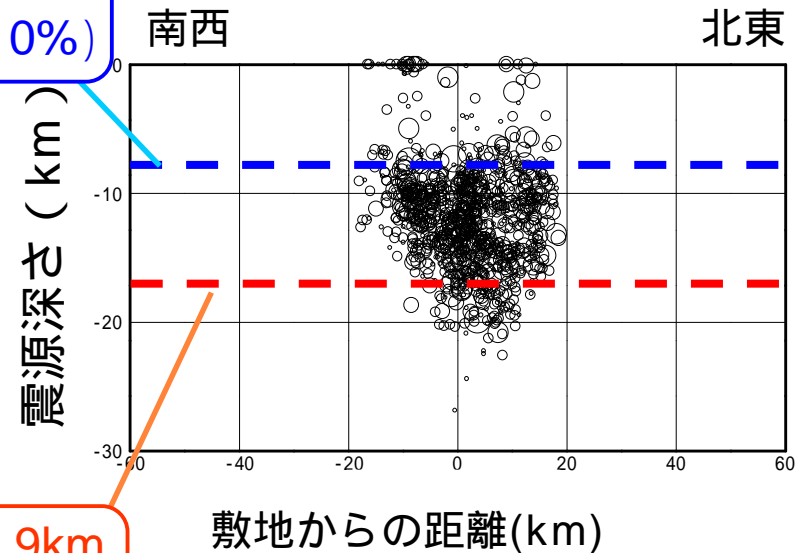
中越地震発生後 2 4 時間以内のデータ

微小地震の震央分布



微小地震の震源鉛直分布

D10% : 震源深さの累積頻度分布において全体の10%となる深さ

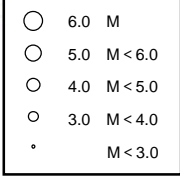
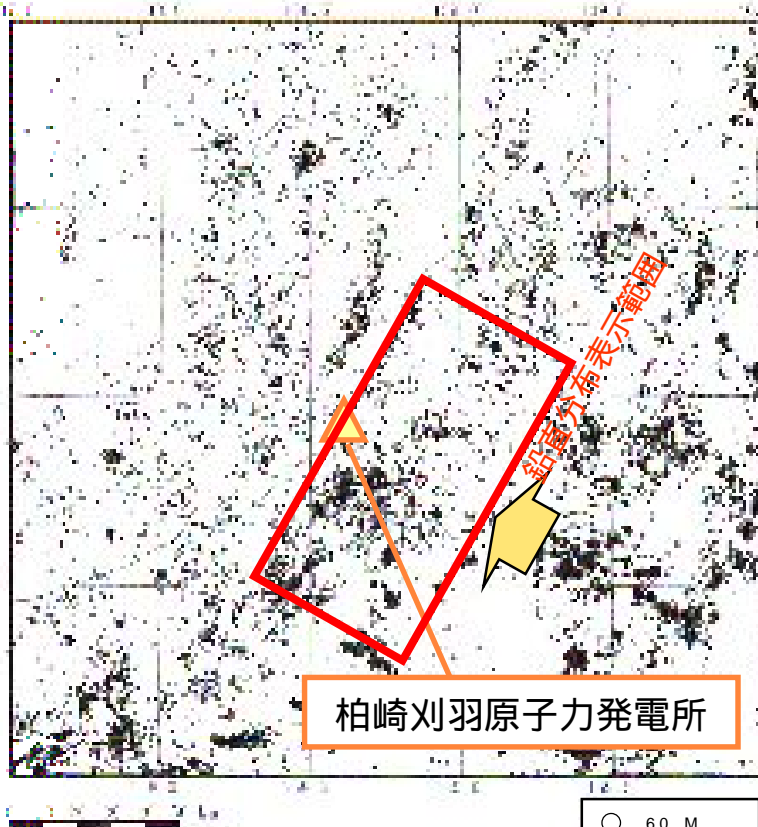


D90% : 震源深さの累積頻度分布において全体の90%となる深さ

# 1. 中越沖地震の諸元 (断層幅)

中越地震発生以前の微小地震分布

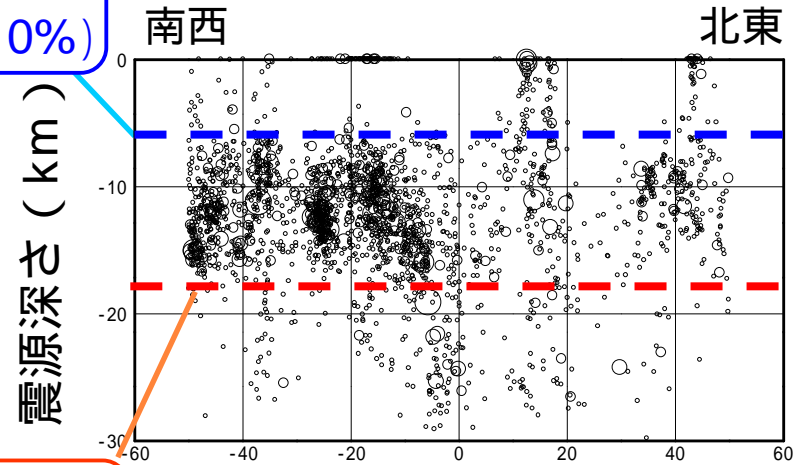
微小地震の震央分布



〔気象庁地震年報及び地震・火山月報に基づく。対象期間は、震源決定の一元化処理が行われている1997年10月～2004年9月。〕

微小地震の震源鉛直分布

D10% : 震源深さの累積頻度分布において全体の10%となる深さ



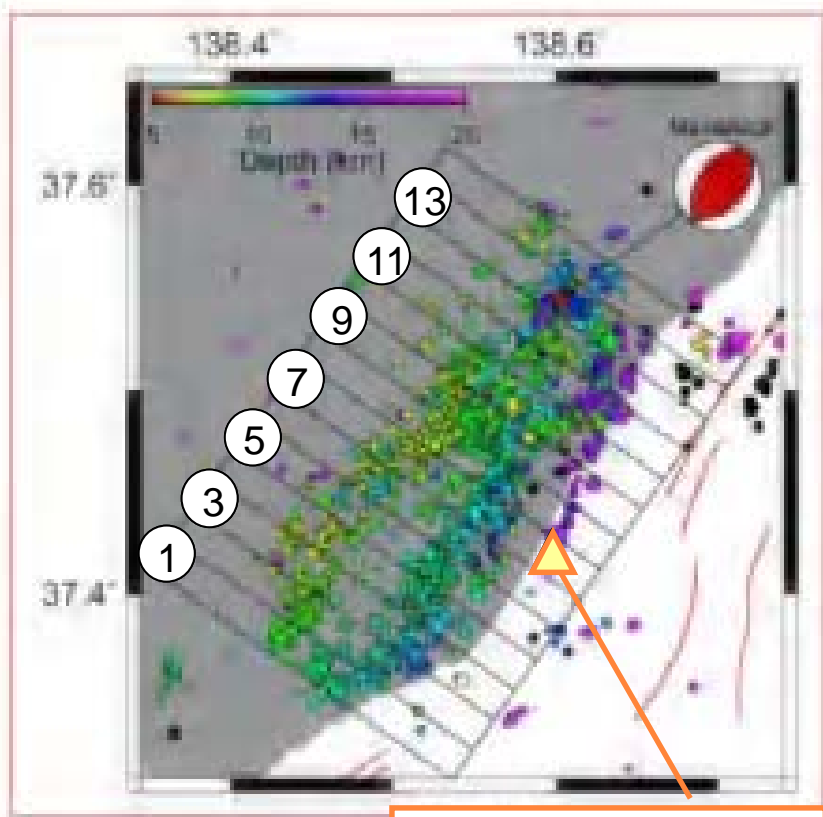
5.8km  
(D10%)

18.2km  
(D90%)

D90% : 震源深さの累積頻度分布において全体の90%となる深さ

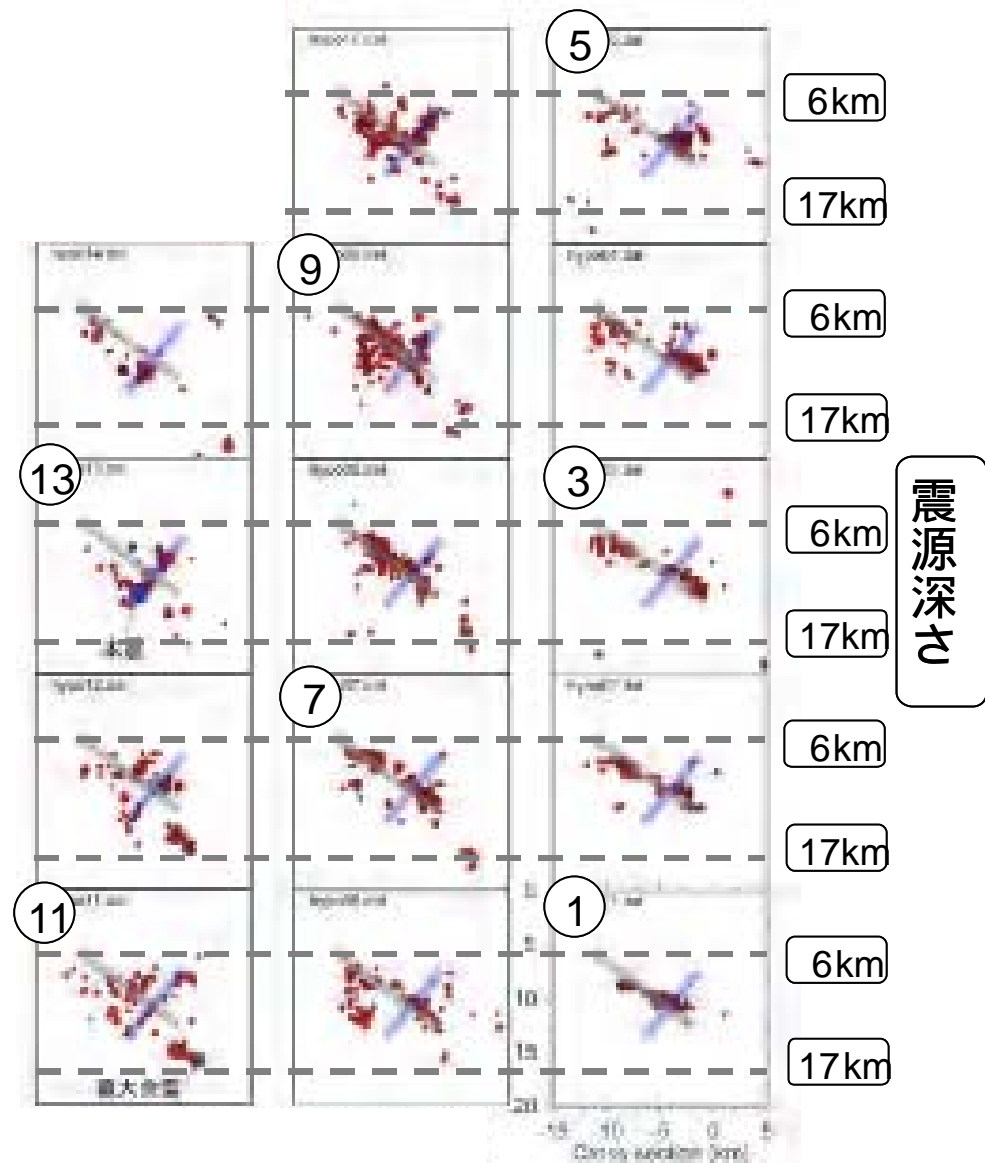
# 1. 中越沖地震の諸元 (断層幅)

## 中越沖地震の余震分布



柏崎刈羽原子力発電所

東京大学地震研究所資料  
(平成20年1月11日地震調査委員会) に加筆



# 1 . 中越沖地震の諸元 ( 断層幅 )

地震発生層の設定にあたっては，以下に示す既往の知見も考慮。

## 水平 / 上下スペクトル振幅比の逆解析による敷地地盤の速度構造モデル

荒浜側

層 No.	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)
	-284				
1	-300	16	2.11	1110	2280
2	-1360	1060	2.12	1160	2390
3	-2410	1050	2.25	1620	3220
4	-3700	1290	2.36	2050	4150
5	-5880	2180	2.51	2760	4820
6		∞	2.59	3170	5230

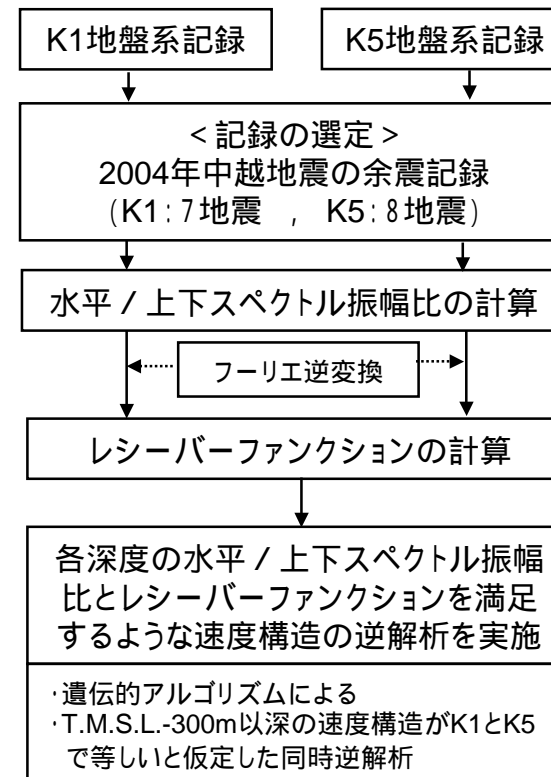
大湊側

層 No.	T.M.S.L. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	Vp (m/s)
	-134				
1	-149	15	2.03	730	1800
2	-180	31	2.03	890	1900
3	-231	51	2.03	890	1900
4	-266	35	2.03	960	1900
5	-300	34	2.03	1000	2100
6	-1360	1060	2.12	1160	2390
7	-2410	1050	2.25	1630	3220
8	-3700	1290	2.36	2050	4150
9	-5880	2180	2.51	2760	4820
10		∞	2.59	3170	5230



地震基盤面相当の深さは約6km  
(地震発生層上端深さに対応)

地盤系の地震観測記録を用いて，Kobayashi K. et al.(2000)の方法により，地下構造モデルを評価した。



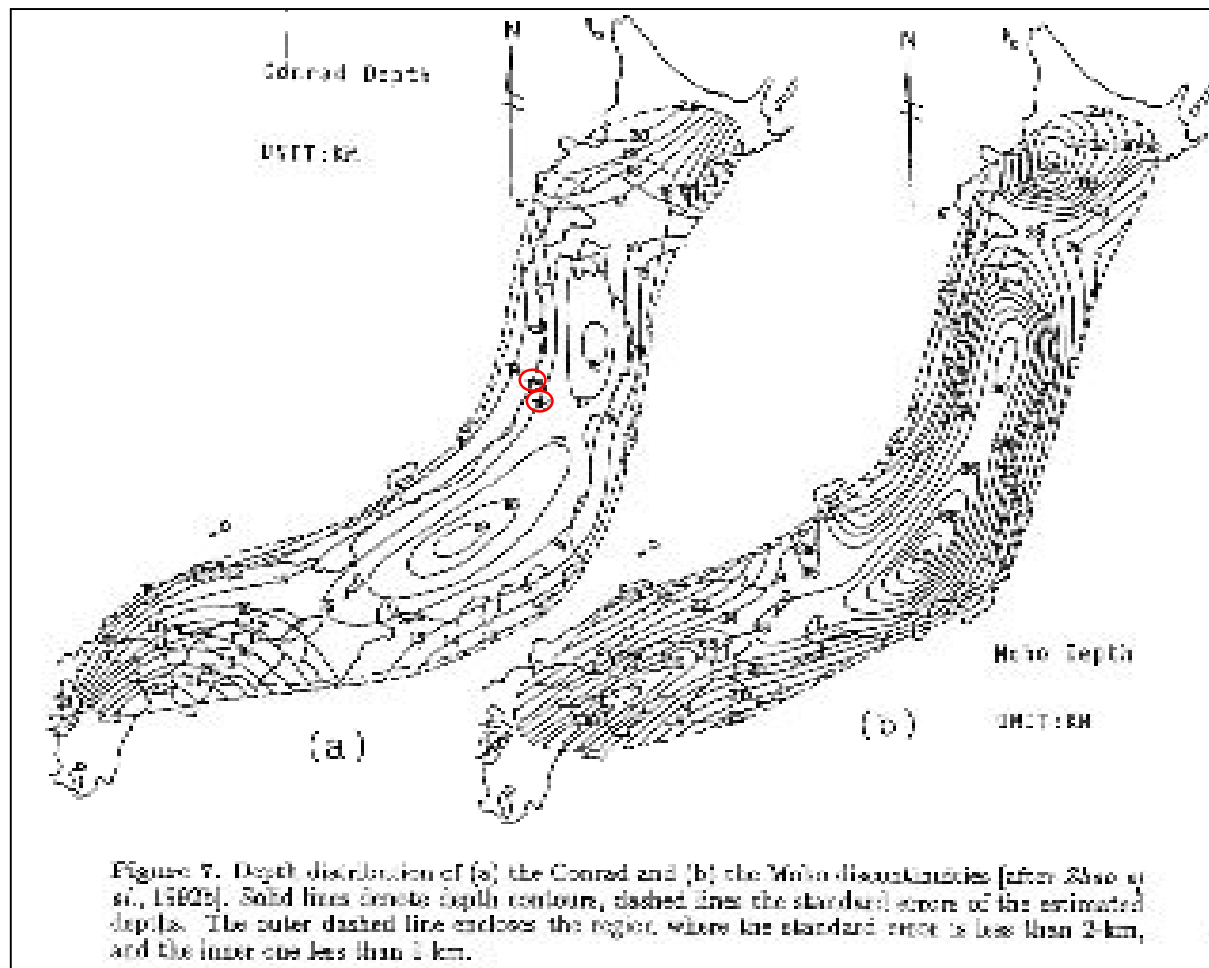
参考文献

Kobayashi K. et al.(2000):Estimation of deep underground velocity structures by inversion of spectral ratio of horizontal to vertical component in p-wave part of earthquake ground motion, 12th World Conf.Earthq.Eng. No.2658, 2000



# 1 . 中越沖地震の諸元 ( 断層幅 )

## コンラッド面深さに関する既往の知見



敷地周辺のコンラッド面深さは  
15～16km程度

コンラッド面の深さは、上部地殻の下限深さに概ね対応

[ Zhao et al.(1994)に加筆 ]

## 1 . 中越沖地震の諸元 ( 断層幅 )

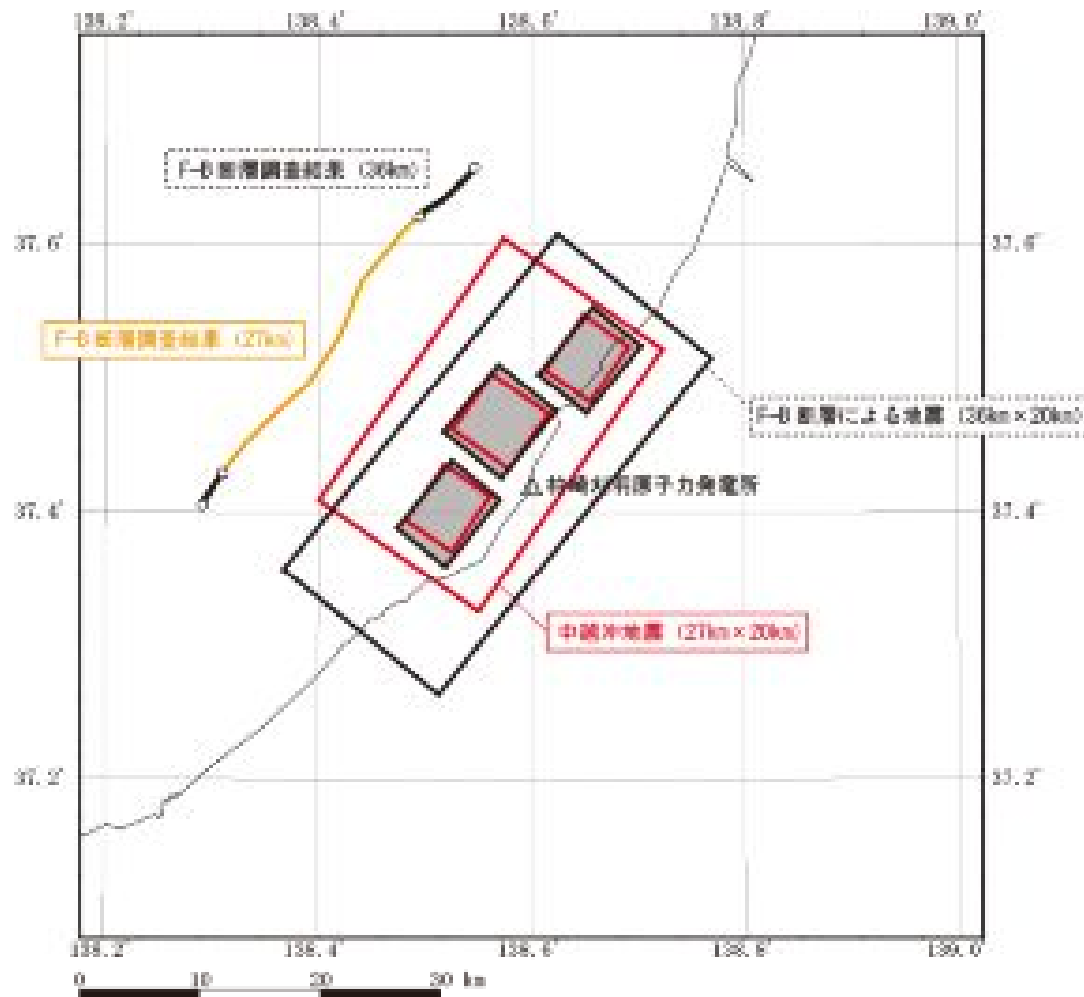
---

敷地周辺の微小地震分布、中越沖地震の余震分布、水平 / 上下スペクトルの逆解析結果、コンラッド面深さについて調査した結果より、地震発生層の上端下端を以下のように設定した。

- ・ 地震発生層上端深さ : 6 k m
- ・ 地震発生層下端深さ : 17 k m

中越沖地震の余震分布から設定した傾斜角 $35^{\circ}$ と、上記の地震発生層厚さ11kmから断層幅は20kmと評価した。

## 2 . F-B断層 ( 36 km ) の諸元 ( 断層長さと断層幅 )

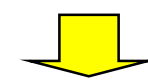


( 中越沖地震 )

$M_j = 6.8$

断層長さ = 27 km

断層幅 = 20 km



安全評価上断層長さを  
36kmと評価

( F-B断層 )

$M_j = 7.0$

断層長さ = 36 km

断層幅 = 20 km

## 2 . F-B断層 ( 36 km ) の諸元 ( 気象庁マグニチュードの評価 )

( 基本的考え方 )

中越沖地震が既に発生している地震であることを踏まえ、中越沖地震の物理量を保持するよう、スケーリング則に則ってF-B断層 ( 断層長さ36Km ) のマグニチュードを評価する。

具体的には、断層幅が飽和した場合の「地震モーメント ( $M_0$ ) と断層面積 (  $S$  ) に関するスケーリング則」( 式)、及び「地震モーメントと  $M_j$  の関係を与える武村 ( 1998 ) 式」( 式)に基づきF-B断層 ( 断層長さ36Km ) のマグニチュードを評価する。

$$M_0 \propto S^2 \quad \dots\dots\dots \text{式}$$

$$\log M_0 = 1.2 M_j + 10.7 \quad \dots\dots\dots \text{式}$$

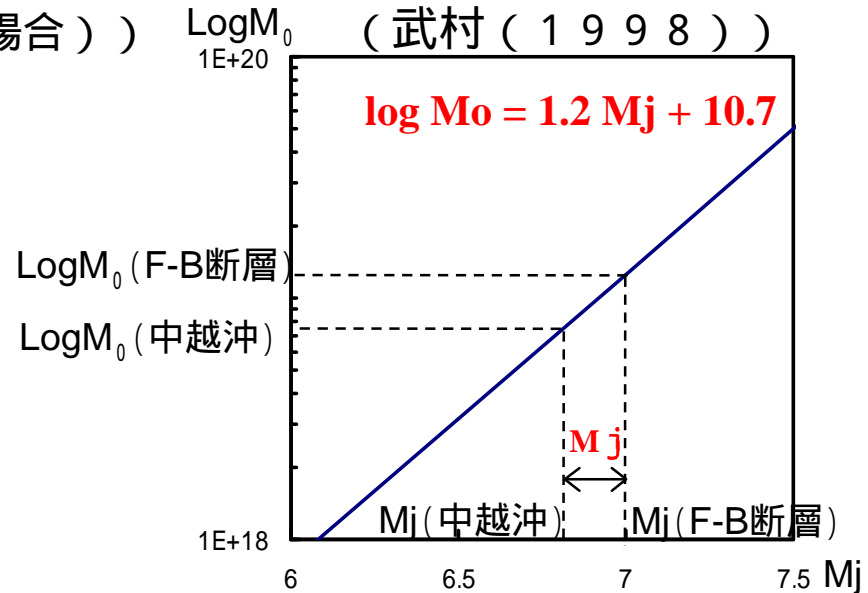
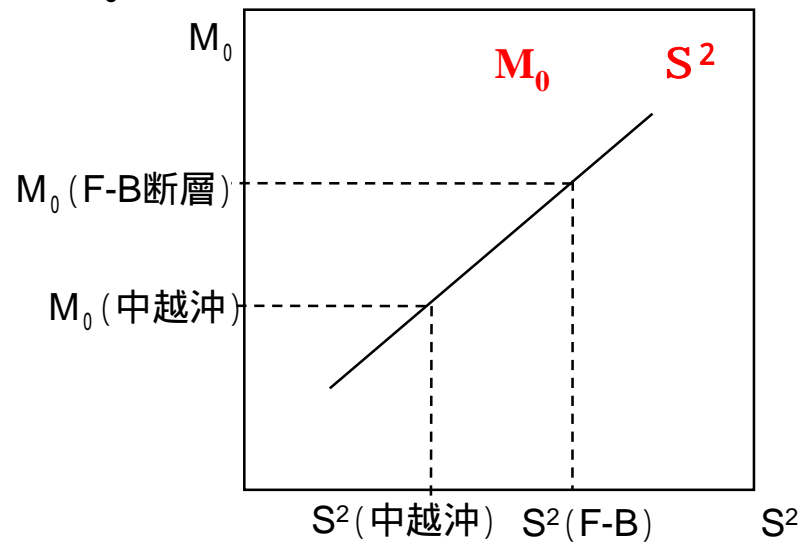
中越沖地震及びF-B断層の面積は以下とする。

$$\text{中越沖地震の断層面積} : 27\text{km} \times 20\text{km} = 540\text{km}^2$$

$$\text{F-B断層の断層面積} : 36\text{km} \times 20\text{km} = 720\text{km}^2$$

## 2 . F-B断層 ( 36 km ) の諸元 ( 気象庁マグニチュードの評価 )

(  $M_0$  と  $S$  のスケーリング ( 断層幅飽和の場合 ) )  $\text{Log}M_0$  ( 武村 ( 1998 ) )



$$\frac{M_0(\text{F-B断層})}{M_0(\text{中越沖})} = \left\{ \frac{S(\text{F-B断層})}{S(\text{中越沖})} \right\}^2$$

$$\Delta M_j = \left( \frac{1}{1.2} \right) \left\{ \text{Log} \left( \frac{M_0(\text{F-B断層})}{M_0(\text{中越沖})} \right) \right\}$$

$$\Delta M_j = \left( \frac{2}{1.2} \right) \left\{ \text{Log} \left( \frac{S(\text{F-B断層})}{S(\text{中越沖})} \right) \right\} = 0.2$$

36Km に対する  
 $M_j = 6.8 + 0.2 = 7.0$

### 3 . Mjと断層傾斜角、断層長さの関係（参考）

中越沖地震の気象庁マグニチュードMjと松田式（ ）から得られるMとの関係を検討するため、断層の傾斜角に着目し、気象庁マグニチュードと松田式によるMの差と傾斜角の関係について検討した。

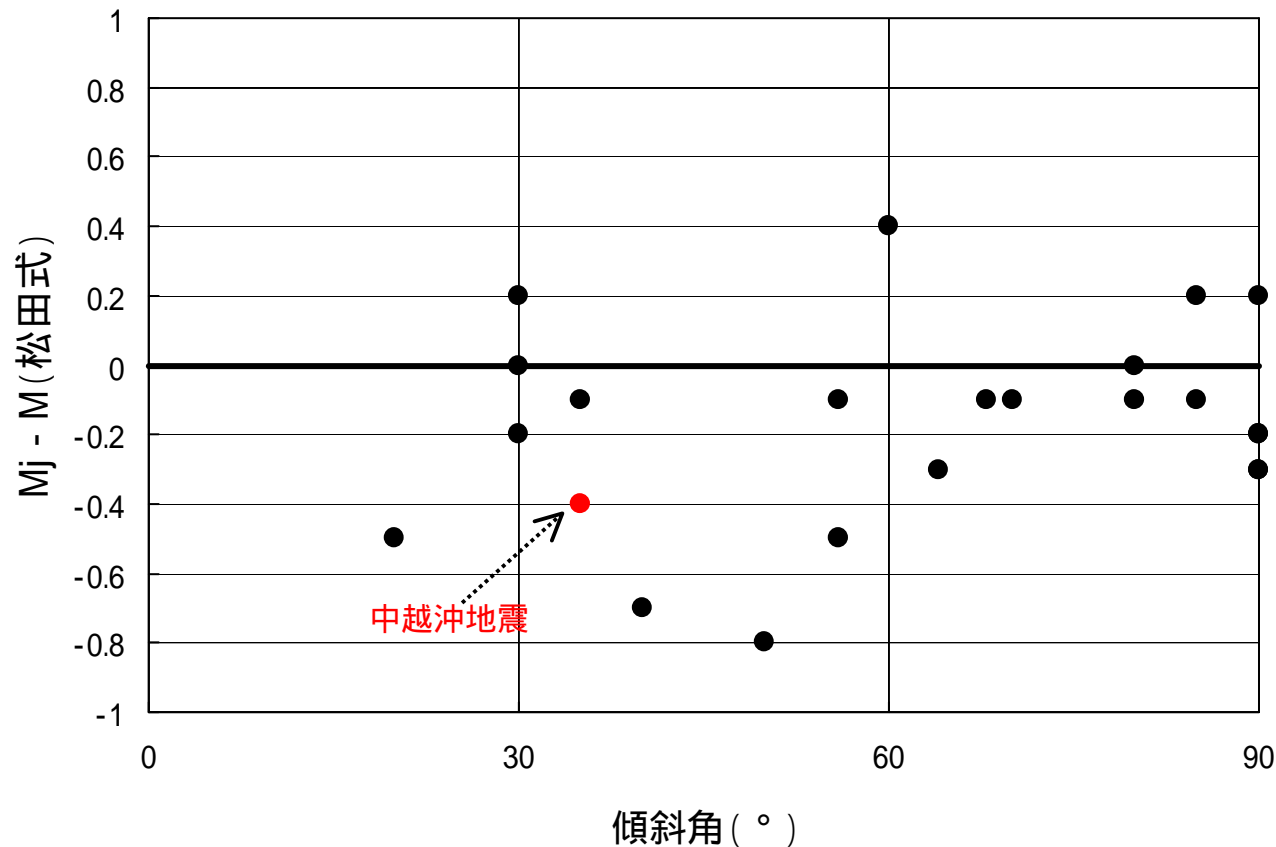
対象データは「日本の地震断層パラメータハンドブック」（佐藤1989）から、内陸地殻内地震と日本海東縁部の地震でMj=6.5以上の地震を選定した。

名前	Mj	長さ(km)	松田式のM	Mj - M	傾斜角(°)
1891年濃尾地震	8.0	119	8.3	-0.3	90
1927年丹後地震	7.3	48	7.6	-0.3	64
1930年北伊豆地震	7.3	22	7.1	0.2	90
1931年西埼玉地震	6.9	20	7.0	-0.1	80
1939年男鹿地震	6.8	16	6.8	0	30
1939年男鹿地震	6.7	16	6.8	-0.1	35
1940年積丹半島沖地震	7.5	100	8.2	-0.7	40
1943年鳥取地震	7.2	33	7.4	-0.2	90
1945年三河地震	6.8	12	6.6	0.2	30
1948年福井地震	7.1	30	7.3	-0.2	90
1961年北美濃地震	7.0	12	6.6	0.4	60
1962年宮城県北部地震	6.5	12	6.6	-0.1	56
1963年若狭湾地震	6.9	20	7.0	-0.1	68
1964年男鹿半島沖地震	6.9	50	7.7	-0.8	50
1964年新潟地震	7.5	80	8.0	-0.5	56
1969年岐阜県中部地震	6.6	18	6.9	-0.3	90
1974年伊豆半島沖地震	6.9	18	6.9	0	80
1978年伊豆大島近海地震	7.0	23	7.1	-0.1	85
1980年伊豆半島東方沖地震	6.7	15	6.8	-0.1	70
1983年日本海中部地震	7.7	105	8.2	-0.5	20
1983年日本海中部地震余震	7.1	30	7.3	-0.2	30
1984年長野県西部地震	6.8	12	6.6	0.2	85
2007年新潟県中越沖地震	6.8	27	7.2	-0.4	35

全国の断層を対象とした経験式 [ 松田1975 ] :  $\log L = 0.6M - 2.9$

### 3 . Mjと断層傾斜角、断層長さの関係（参考）

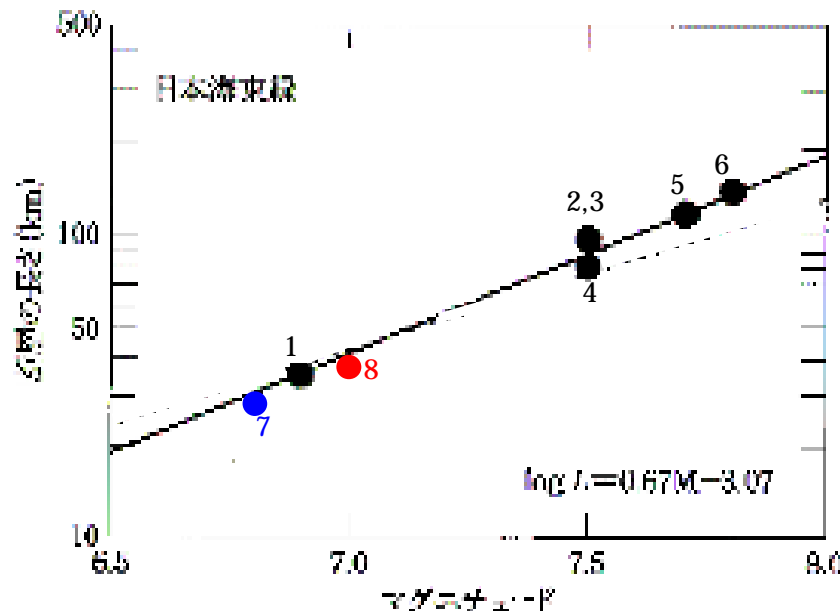
その結果、傾斜角 $60^\circ$ より高角の領域では、松田式による評価と気象庁のMjの対応は良いが、傾斜角が小さくなると一般的に松田式による評価が気象庁のMjに比べて大きめとなる傾向があることが認められた。また、中越沖地震のMjと傾斜角の関係は他の地震とも傾向が異ならないことが確認できた。



### 3 . Mjと断層傾斜角、断層長さの関係（参考）

「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」（大竹・他2002）に示される、Mjと断層長さの関係に着目した。

中越沖地震の周辺で発生した地震のマグニチュードMjと断層長さの関係には相関性が認められ、中越沖地震の「断層長さ27km：マグニチュードMj6.8」は、既往地震の傾向とよく整合している。



No	地震	M	L(km)	出典
1	1828年越後三条地震	6.9	約35	宇佐美(1996)
2	1833年庄内沖地震	7.5	100	相田(1989)
3	1940年積丹半島沖地震	7.5	100	Satake(1986)
4	1964年新潟地震	7.5	80	Abe(1975)
5	1983年日本海中部地震	7.7	120	Sato(1985)
6	1993年北海道南西沖地震	7.8	139	Tanioka et al. (1995)
7	2007年新潟県中越沖地震	6.8	27	各機関公表値
8	F-B断層による地震	7.0	36	今回の設定値

図 12.4 日本海東縁に発生した地震の規模 M と断層長さ L (km) の関係

「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス」p.182 図12.4に加筆・修正