

東海第二発電所

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち 海洋プレート内地震について

平成27年9月18日

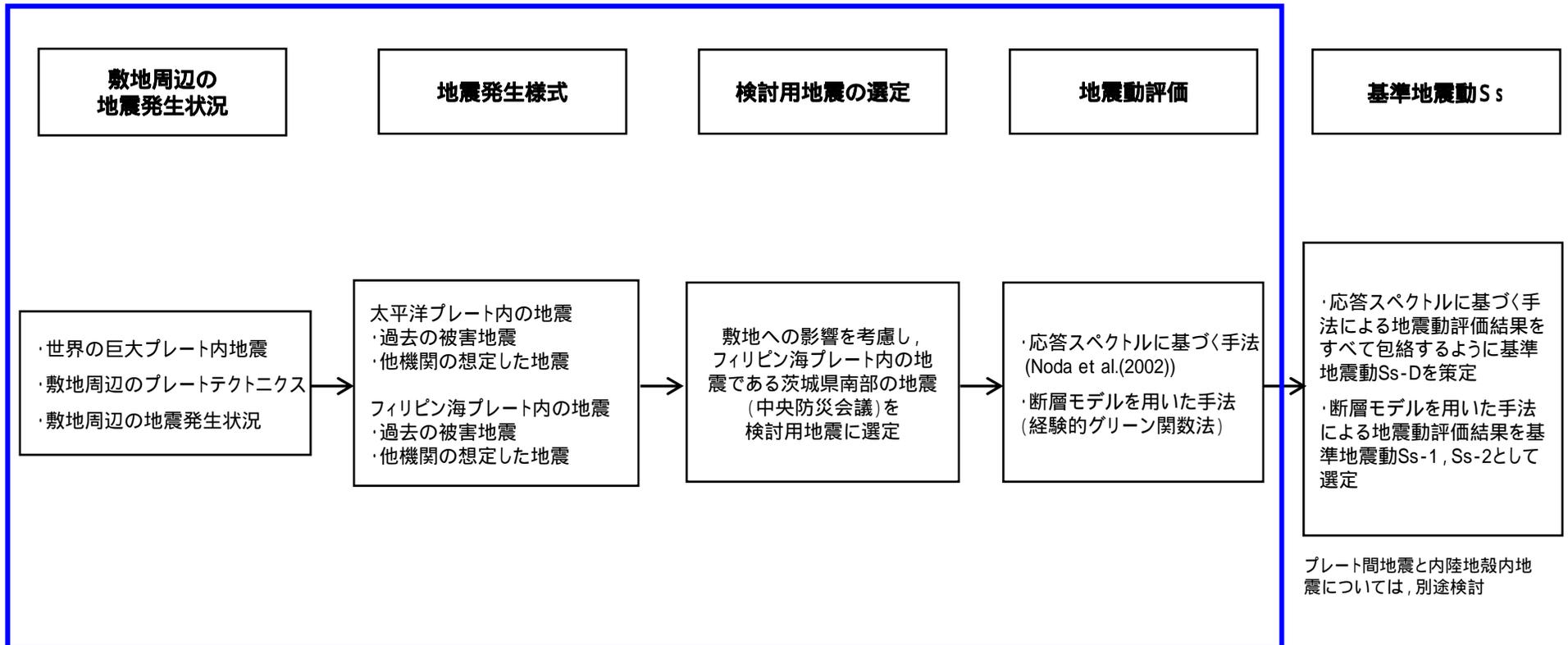
日本原子力発電株式会社

目次

1. 評価フロー	3
2. 海洋プレート内地震に関する各種知見	4
3. 敷地周辺の地震発生状況	16
4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定	29
5. 海洋プレート内地震の地震動評価	47
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	66
7. 参考文献	72
参考資料	
検討用地震の規模, 位置の妥当性について	73

1. 評価フロー

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち海洋プレート内地震について」の説明範囲



1. 評価フロー	3
2. 海洋プレート内地震に関する各種知見	4
3. 敷地周辺の地震発生状況	16
4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定	29
5. 海洋プレート内地震の地震動評価	47
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	66
7. 参考文献	72
参考資料	
検討用地震の規模, 位置の妥当性について	73

2. 海洋プレート内地震に関する各種知見

世界の巨大プレート内地震

敷地周辺のプレートテクトニクス

太平洋プレート

フィリピン海プレート

世界の巨大プレート内地震

Seno and Yoshida(2004)について(1 / 3)

1977 ~ 2001年の地震について、ハーバードCMTカタログなどから、Mw7.0以上、深さ20km ~ 60kmのプレート内地震を12地震抽出し、どのような場所で規模の大きなプレート内地震が発生するか検討している。

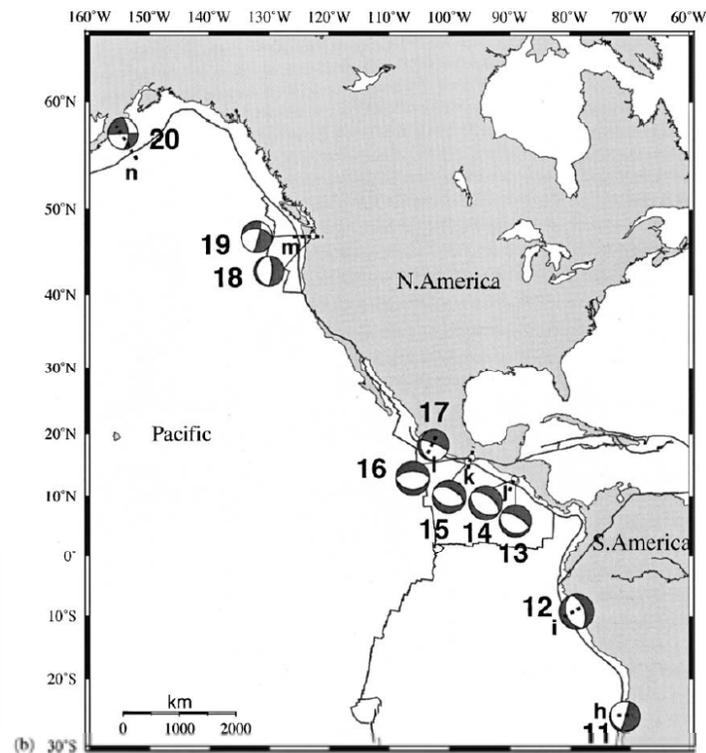
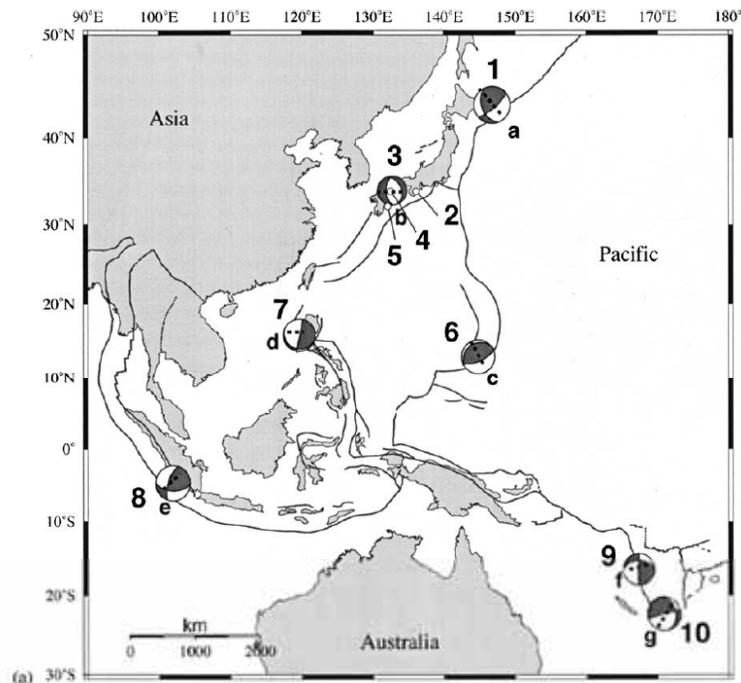


Fig. 1. Focal mechanisms of large shallow intraslab earthquakes listed in Table 1 are plotted with event numbers (lower hemispheres in an equal area projection). For Events 2, 4, and 5, only the epicenters are shown because no reliable mechanism solutions are available for these events. The dotted lines labeled with letters show sections along which P- and T-axes of nearby smaller events from the Harvard centroid moment tensor catalogue are plotted in Fig. 3. (a) Western and South Pacific regions (b) North and South American regions.

Fig. 1. (Continued).

Seno and Yoshida (2004) より抜粋

Tetsuzo Seno , Masaki Yoshida (2004): Where and why do large shallow intraslab earthquakes occur? ,Physics of the Earth and Planetary Interiors 141 (2004) 183 206

世界の巨大プレート内地震

Seno and Yoshida(2004)について(2 / 3)

抽出した地震の中では, 1994年北海道東方沖地震が最大規模の地震とされている。

Table 1
List of large shallow intraslab earthquakes

Region event	Date	Epicenter		M_w	Depth (km)	Strike/dip/rake			Age (Ma)	Upper plate stress
		$^{\circ}$ N	$^{\circ}$ E			$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$		
E. Hokkaido									123	
1 Hokkaido-toho-oki	4 October 1994	43.42	146.81	8.3	33	158	41	24		
Kyushu-SW. Japan									15-30	G
2 Kii-Yamato ^a	7 March 1899	34.1	136.1	7.0	45					
3 Geiyo	24 March 2001	34.13	132.71	6.8	47	181	57	-67		
4 Geiyo ^a	2 June 1905	34.1	132.5	7.2	50					
5 Hyuganda ^a	2 November 1931	32.2	132.1	7.1	40					
S. Mariana									164	G
6 Guam	8 August 1993	12.98	144.80	7.7	45	238	24	82		
Manila									22	
7 Manila	11 December 1999	15.87	119.64	7.2	35	112	13	-169		
Sumatra									66	
8 Sumatra	4 June 2000	-4.73	101.94	7.8	44	92	55	152		
Vanuatu									35-52	G
9 Vanuatu	13 July 1994	-16.50	167.35	7.1	25	272	42	2		
10 Vanuatu	6 July 1981	-22.31	170.90	7.5	58	345	30	-179		
N. Chile									48	G
11 Taltal	23 February 1965	-25.67	-70.79	7.0	60	16	86	-78		
C. Peru									44	G
12 Peru	31 May 1970	-9.18	-78.82	7.9	43	160	37	-90		
El Salvador									>37	G
13 El Salvador	19 June 1982	12.65	-88.97	7.3	52	102	25	-106		
14 El Salvador	13 January 2001	12.97	-89.13	7.7	56	121	35	-95		
Mexico									10-17	G
15 Oaxaca	30 September 1999	15.70	-96.96	7.4	47	102	42	-103		
16 Oaxaca	15 January 1931	16.4	-96.3	7.7	40	90	34	-90		
17 Michoacan	11 January 1997	18.34	-102.58	7.1	40	175	18	-28		
N. Cascadia									10	G
18 Nisqually	28 February 2001	47.14	-122.53	6.8	47	176	17	-96		
19 Olympia ^b	13 April 1949	47.17	-122.62	7.1	54	14	82	-135		
Alaska									55	G
20 Kodiak Island	6 December 1999	57.35	-154.35	7.0	36	357	63	-180		

^a Hypocenters and magnitudes are from Utsu (1982), except for the depths of the 1899 and 1905 events which are estimated in this study. Magnitudes are referring to the Japan Meteorological Agency (JMA) magnitude.

^b Hypocenters and magnitudes are from Baker and Langston (1987).

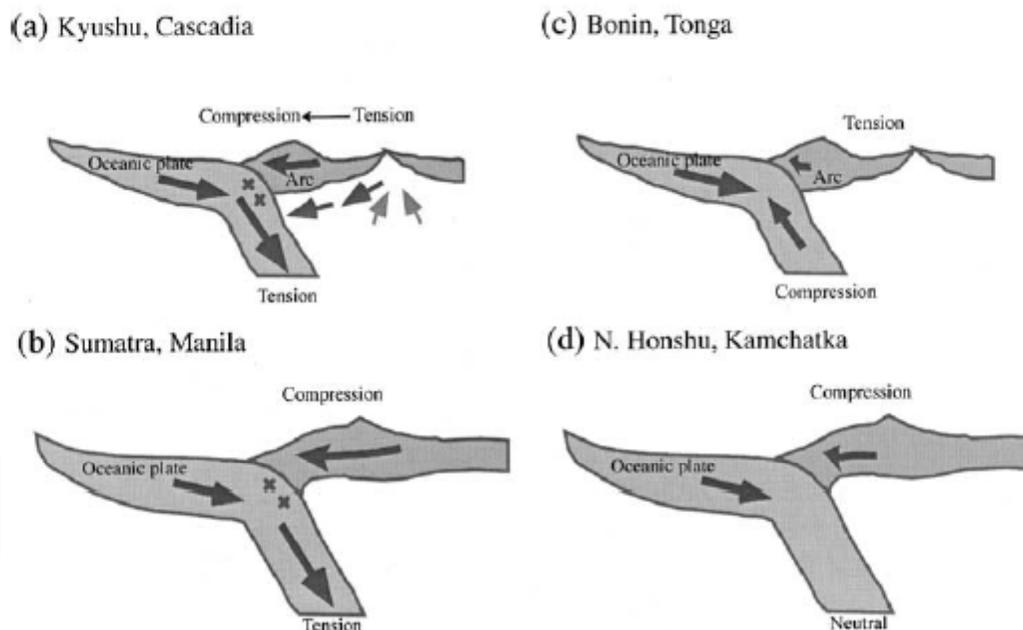
Hypocenters for other events are from the Harvard University centroid moment tensor catalogue (HCMT), except for the depths by individual studies mentioned in the text. Strike, dip and rake are from HCMT except for the 1993 Guam event: Tanioka et al. (1995), 1965 Taltal event: Malgrange and Madariaga (1983), 1970 Peru event: Abe (1972), 1931 Oaxaca event: Singh et al. (1985), and 1949 Olympia event: Baker and Langston (1987). G abbreviates gradient in the upper plate stresses.

Seno and Yoshida (2004) に一部加筆

世界の巨大プレート内地震

Seno and Yoshida(2004)について(3 / 3)

海洋プレートと島弧に働く応力の関係について下図のとおり4種類に分類し、このうち、規模の大きなプレート内地震が発生するのはプレート内に down-dip tensional stresses が生じる領域(下図の(a), (b))としている。

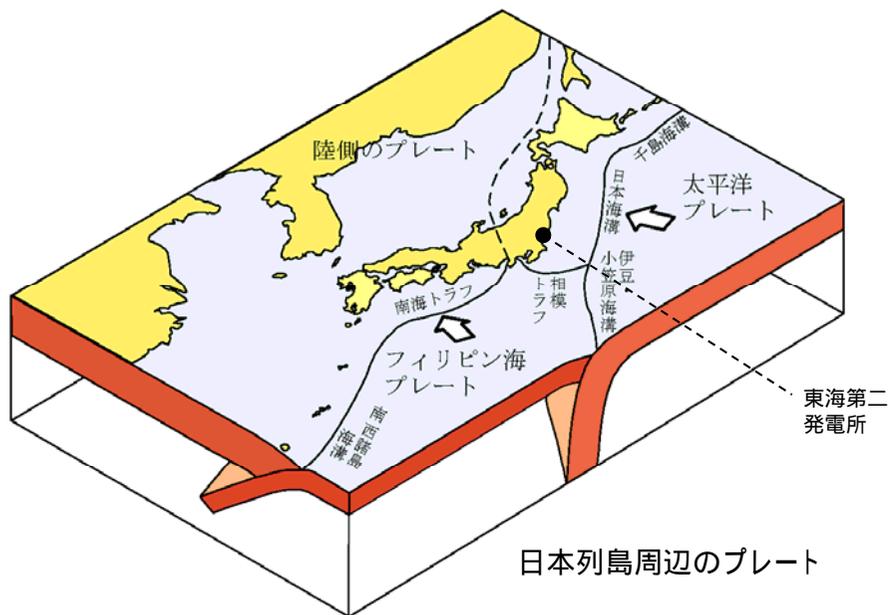


北海道東方領域は(b)に分類されるとしている。

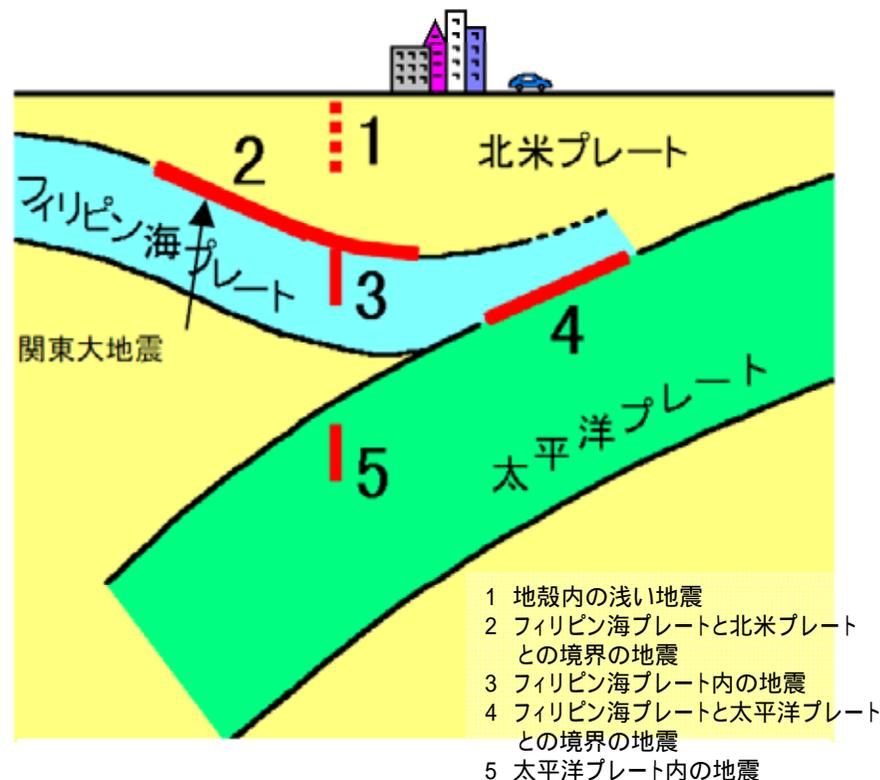
Fig. 12. Relationships between the slab and arc stresses. The ridge push, slab pull and the fore-arc collision force are balanced (Seno and Yamanaka, 1998). (a) The slab is down-dip tensional and the arc is tensional in the back-arc and compressional in the fore-arc. (b) The slab is down-dip tensional and the arc is compressional. (c) The slab is down-dip compressional and the arc is tensional. (d) The slab is neutral in the stress state and the arc is compressional. In regimes (a) and (b), large shallow intraslab earthquakes tend to occur.

Seno and Yoshida(2004)に一部加筆

敷地周辺のプレートテクトニクス



日本のプレートテクトニクスモデル概念図
(防災科学技術研究所)



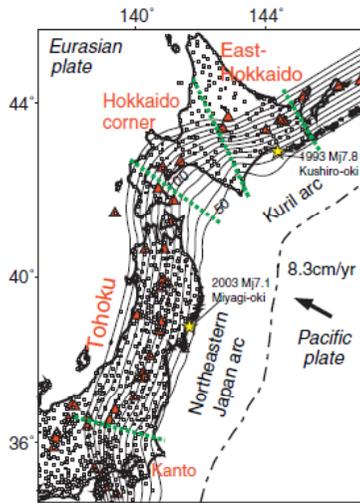
南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- 敷地東方においては、陸側のプレートの下に太平洋プレートが沈み込んでいる。
- 敷地南方においては、陸側のプレートの下に相模トラフから北西方向にフィリピン海プレートが沈み込んでいる。
- さらにその下には、日本海溝から西向きに太平洋プレートが沈み込んでいる。

太平洋プレート

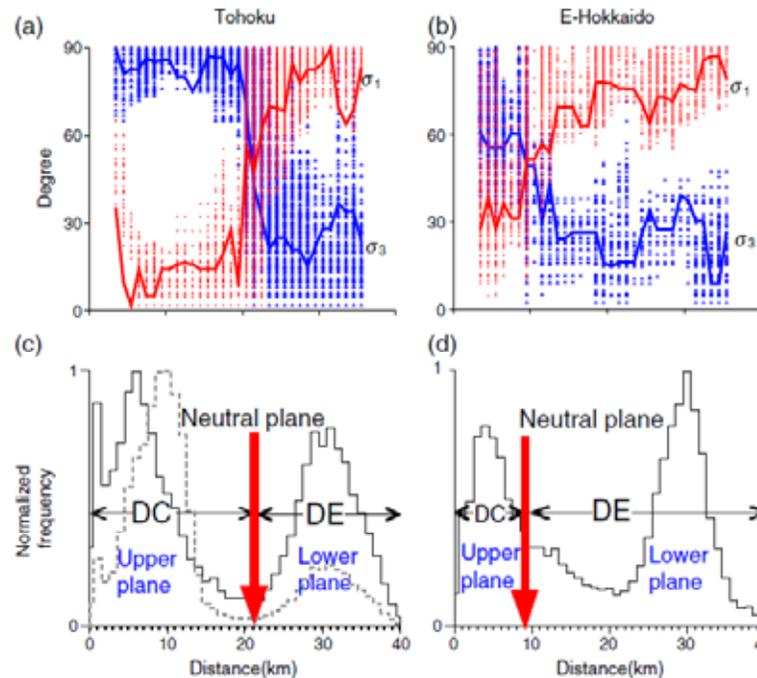
Kita et al.(2010)について(1 / 2)

北海道から東北地方に至る領域の太平洋プレート内地震で発生した地震を分析し、北海道東方と東北地方とでは中立面位置が異なること、余震は中立面内に留まっていることを示している。また、このことは規模の大きな地震が発生しても断層面は中立面を超えないことを示唆しているとしている。なお、中立面位置は、北海道東方、東北地方それぞれの領域内においては大きな差は生じていないとしている。

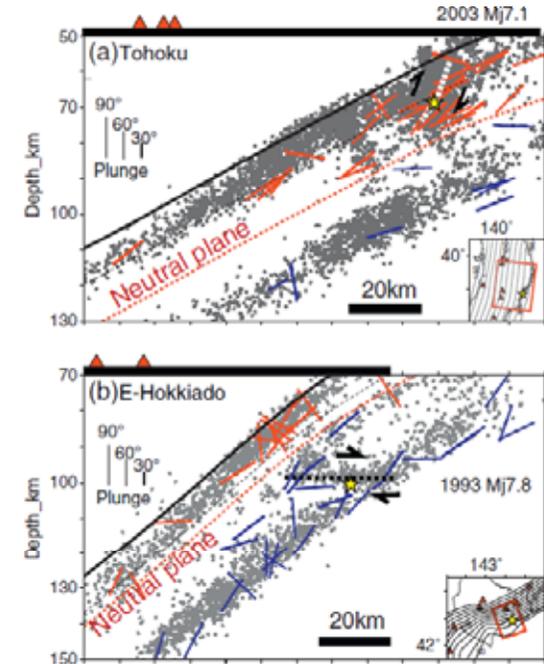


検討対象領域

Kita et al. (2010) より抜粋



上図: 主応力軸 (赤: 最大圧縮軸, 青: 最少圧縮軸) と海洋プレートとの傾斜角
 下図: 海洋プレート内地震の発生頻度分布と中立面



上図: 2003年宮城沖地震M7.1の本震, 余震位置
 下図: 1993年釧路沖地震M7.5の本震, 余震位置

Saeko Kita, Tomomi Okada, Akira Hasegawa, Junichi Nakajima, Toru Matsuzawa (2010): Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, Tectonophysics 496 (2010) 68-82

太平洋プレート

Kita et al.(2010)について(2 / 2)

中立面の位置の違いは、より密度の小さい準安定オリビンの及ぶ範囲(下図の赤枠)が異なることによる浮力の違いによるとしている。

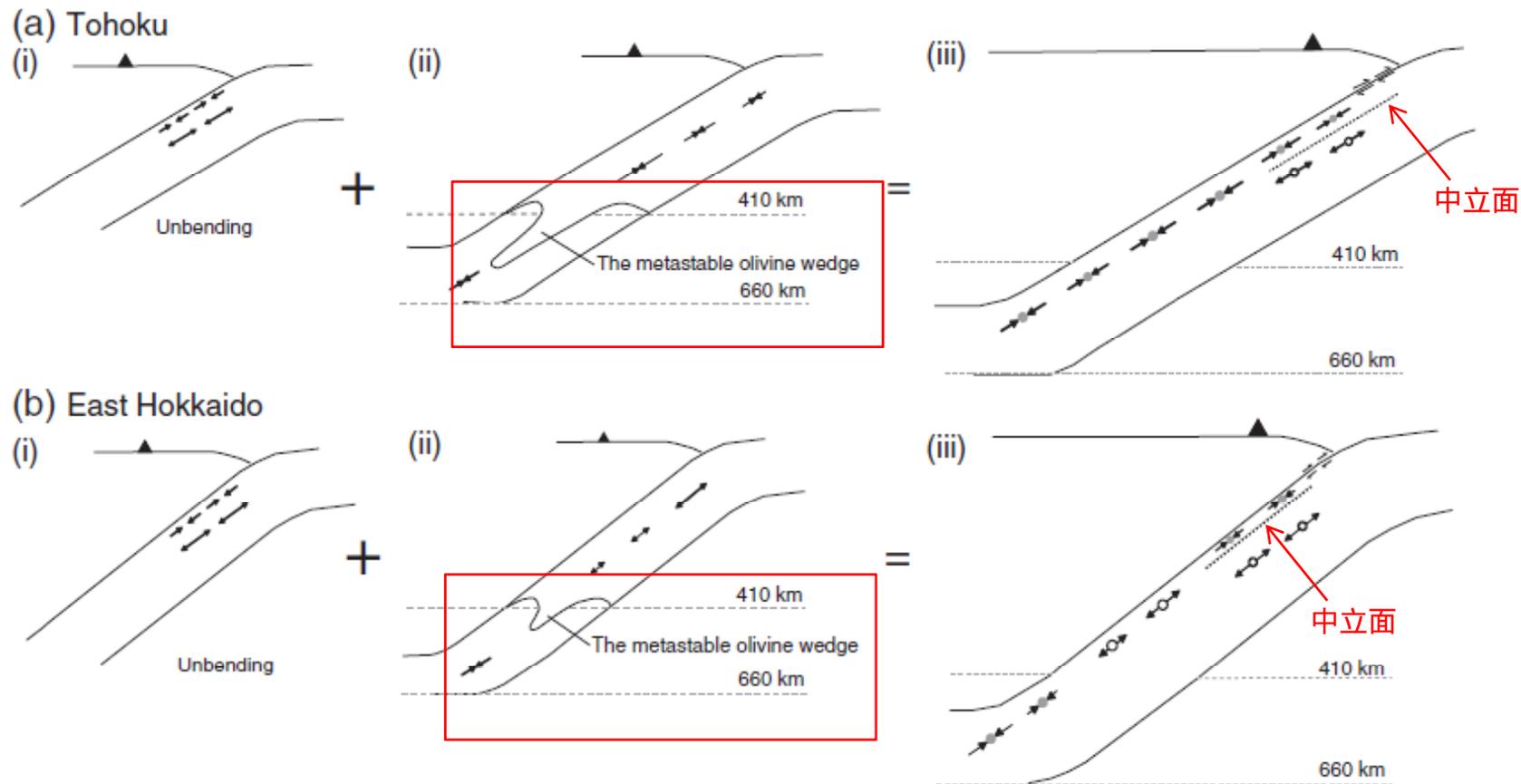


Fig. 13. Schematic illustrations of the stress regime within the descending slab beneath (a) Tohoku and (b) eastern Hokkaido. Arrows show the stress regime. Gray and open dots show DC type and DE type events, respectively. See text for details.

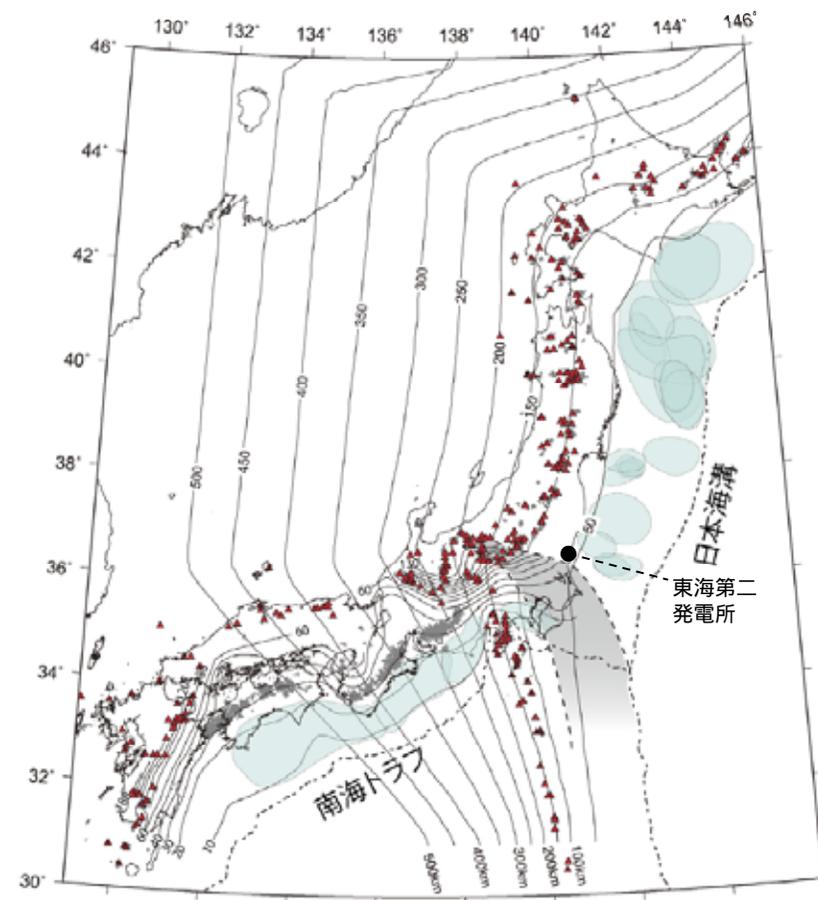
Kita et al.(2010)に一部加筆

フィリピン海プレート

長谷川ほか(2010)について

太平洋プレートの沈み込み形状が滑らかである一方、フィリピン海プレートは関東から九州にかけて連続して分布しているが、その形状は波板のように大きく変形していることが示されている。

また、フィリピン海プレートの東端(関東地方)は、直下の太平洋プレートと接触していることにより西に曲げられている。



長谷川ほか(2010)に一部加筆

日本列島下に沈み込む太平洋プレートおよびフィリピン海プレートの形状

長谷川昭・中島淳一・内田直希・弘瀬冬樹・北佐枝子・松澤暢(2010):日本列島下のスラブの三次元構造と地震活動,地学雑誌119(2), 190-204 2010

フィリピン海プレート

Uchida et al.(2010)について(1 / 2)

関東地方においては, 南方からフィリピン海プレートが沈み込み, その下に東方から太平洋プレートが沈み込んでいる。
茨城県南部付近においては, フィリピン海プレートは北西方向に沈み込んでいる。

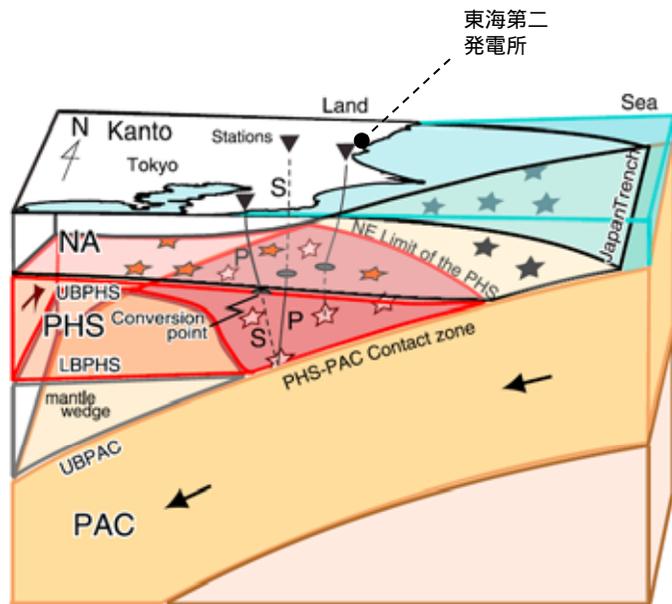


Figure 2. Schematic showing the configuration of three plates in Kanto. Not to scale. The Pacific plate (PAC) is subducting from the east beneath the North American (NA) plate. Between these two plates, the Philippine Sea plate (PHS) subducts from the southeast. Interplate earthquakes including small repeating earthquakes occur on the plate boundaries between the three plates. Gray, white (pink), and red stars indicate the earthquakes on the PAC-NA, PHS-PAC, and NA-PHS boundaries, respectively. The shaded area on the UBPHS shows the PHS-PAC contact zone. Black lines from white stars (contact zone earthquakes) to reverse triangles (stations) show the raypaths of converted waves at the UBPHS.

Uchida et al.(2010)に一部加筆

関東地方におけるプレートテクトニクスモデル
(南からの概観)

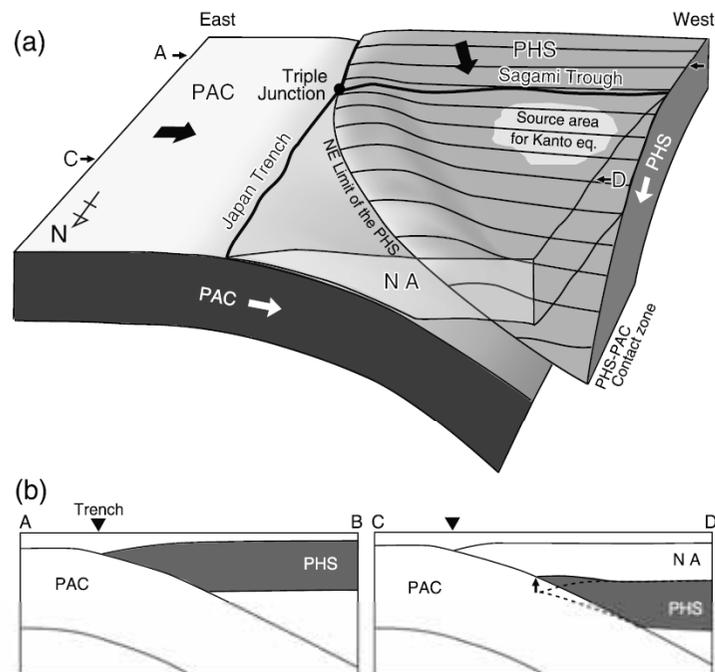


Figure 9. (a) Schematic figure showing the shape of the PHS subducting beneath Kanto. (b) East-west cross sections along A-B and C-D in Figure 9a. The PHS near the NE limit of the PHS is deformed because of the interaction with the PAC and the slab dip near the NE limit of the PHS is relatively gentle.

Uchida et al.(2010)より抜粋

フィリピン海プレートの沈み込み形状
(北からの概観)

Naoki Uchida, Toru Matsuzawa, Junichi Nakajima, and Akira Hasegawa (2010) : Subduction of a wedge shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115, B07309, doi:10.1029/2009JB006962, 2010

フィリピン海プレート

Uchida et al.(2010)について(2 / 2)

フィリピン海プレートと太平洋プレートが接触する関東地方の直下においては、フィリピン海プレートは南西から北東にかけて徐々に薄くなる傾向が見られる。東京付近の直下では、フィリピン海プレートの厚さは約60kmであるが、フィリピン海プレートの北東限付近での厚さは約20kmとなっている。

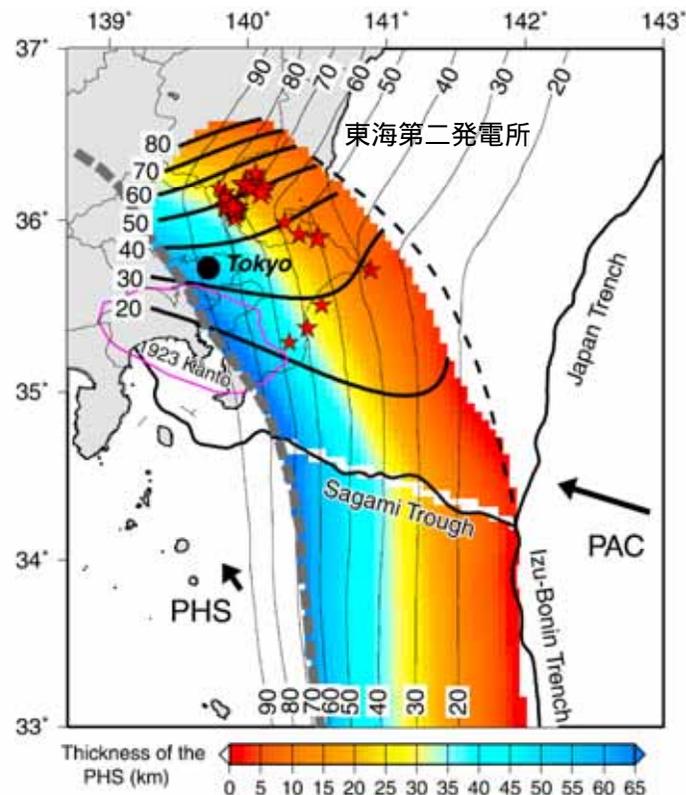


Figure 8. Thickness distribution of the PHS. Black and shaded dashed lines denote the NE and SW limits of the PHS-PAC contact zone, respectively [Nakajima et al., 2009b; Uchida et al., 2009]. For the SW limits beneath Boso peninsula and further south, which is not well constrained in Nakajima et al. [2009b], we adjusted it to the position of ~60 km thickness according to the thickness in the land area. The source area of the 1923 Kanto earthquake estimated by Wald and Somerville [1995] is delineated by a pink line. Red stars are small repeating earthquakes on the PHS. Bold and thin contours are the same as those in Figures 7 and 4a, respectively.

Uchida et al.(2010)に一部加筆

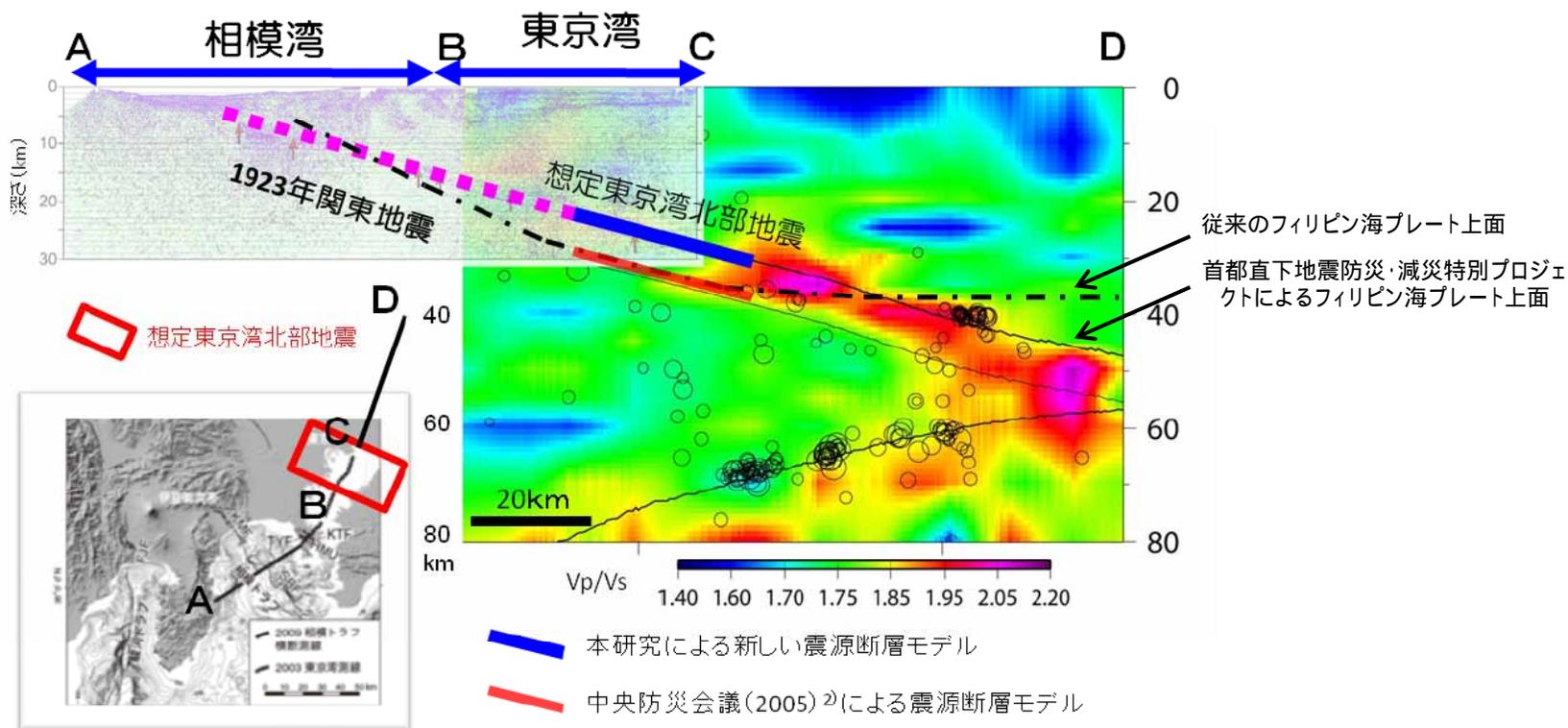
フィリピン海プレートの厚さの分布

Naoki Uchida, Toru Matsuzawa, Junichi Nakajima, and Akira Hasegawa (2010) : Subduction of a wedge shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115, B07309, doi:10.1029/2009JB006962, 2010

フィリピン海プレート

首都直下地震防災・減災特別プロジェクトについて

首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおいては、最新の調査結果などをもとに、フィリピン海プレートの形状が求められている。検討されたフィリピン海プレート上面の深さは、想定東京湾北部地震の震源付近(図のBからCにかけて)では従来よりも10km程度浅くなっている。一方、茨城県南部(図のCからDにかけて)におけるフィリピン海プレートの上面は従来よりも深くなっている。



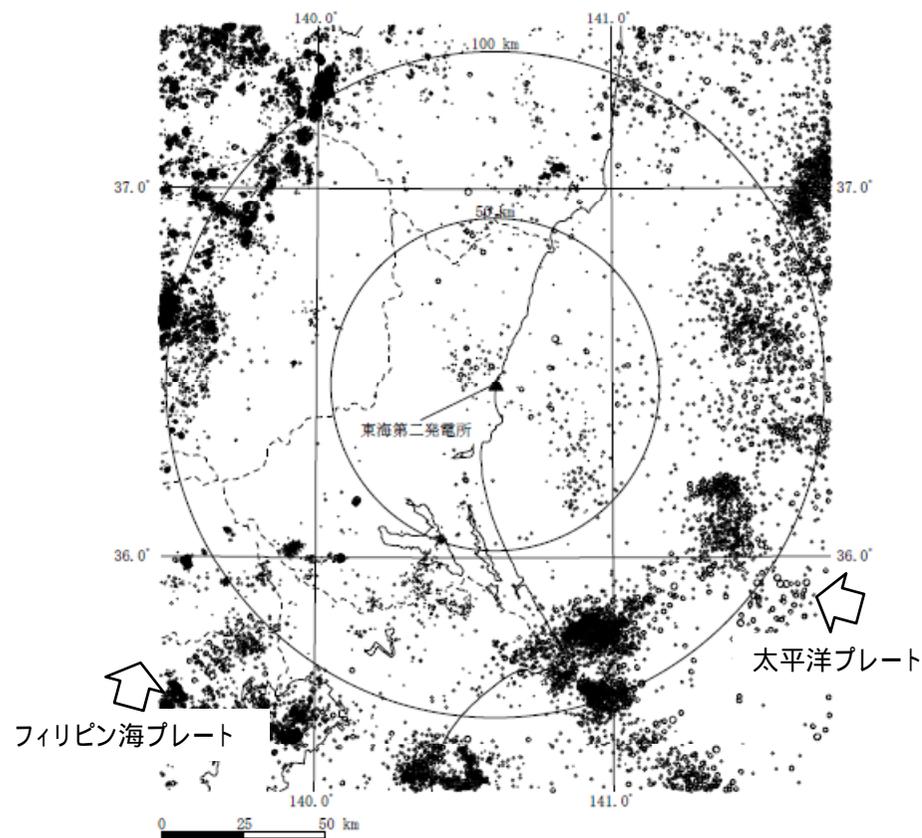
東京大学ほか(2012)に一部加筆

東京大学地震研究所, (独)防災科学技術研究所, 京都大学防災研究所(2012): 文部科学省委託研究 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 総括成果報告書, 平成24年3月

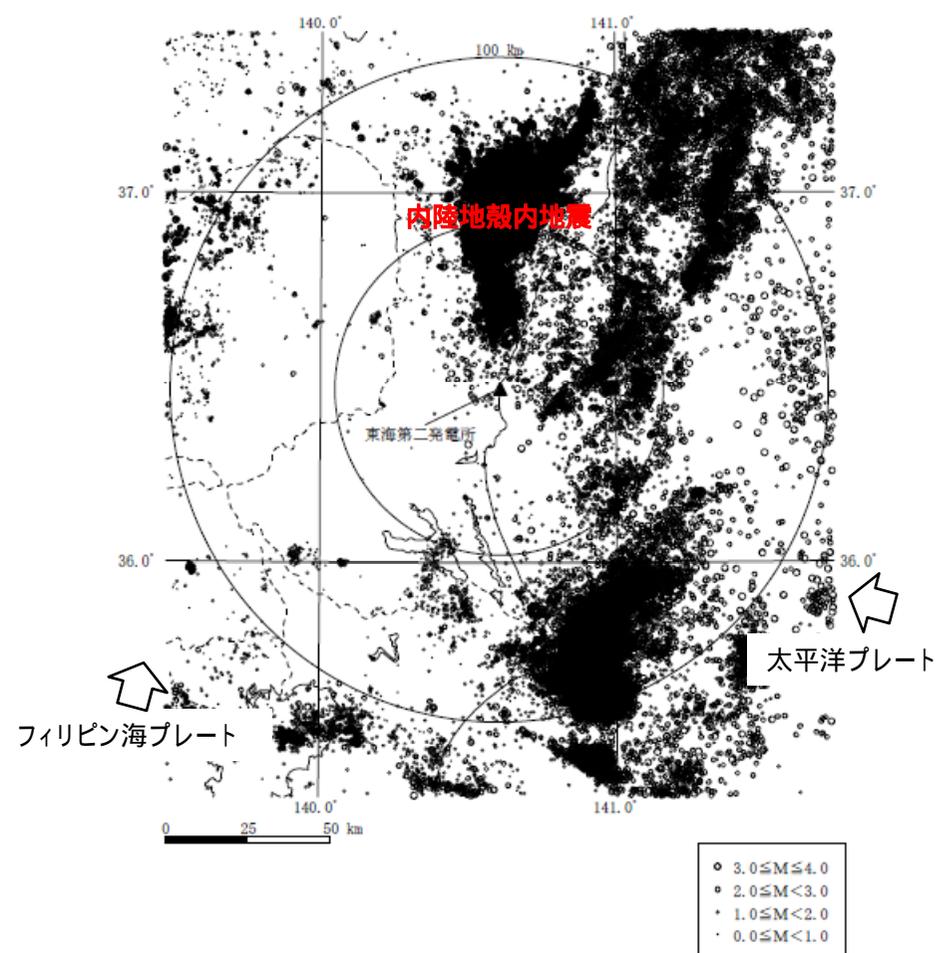
1. 評価フロー	3
2. 海洋プレート内地震に関する各種知見	4
3. 敷地周辺の地震発生状況	16
4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定	29
5. 海洋プレート内地震の地震動評価	47
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	66
7. 参考文献	72
参考資料	
検討用地震の規模, 位置の妥当性について	73

3. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 深さ30km以浅, 震央分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

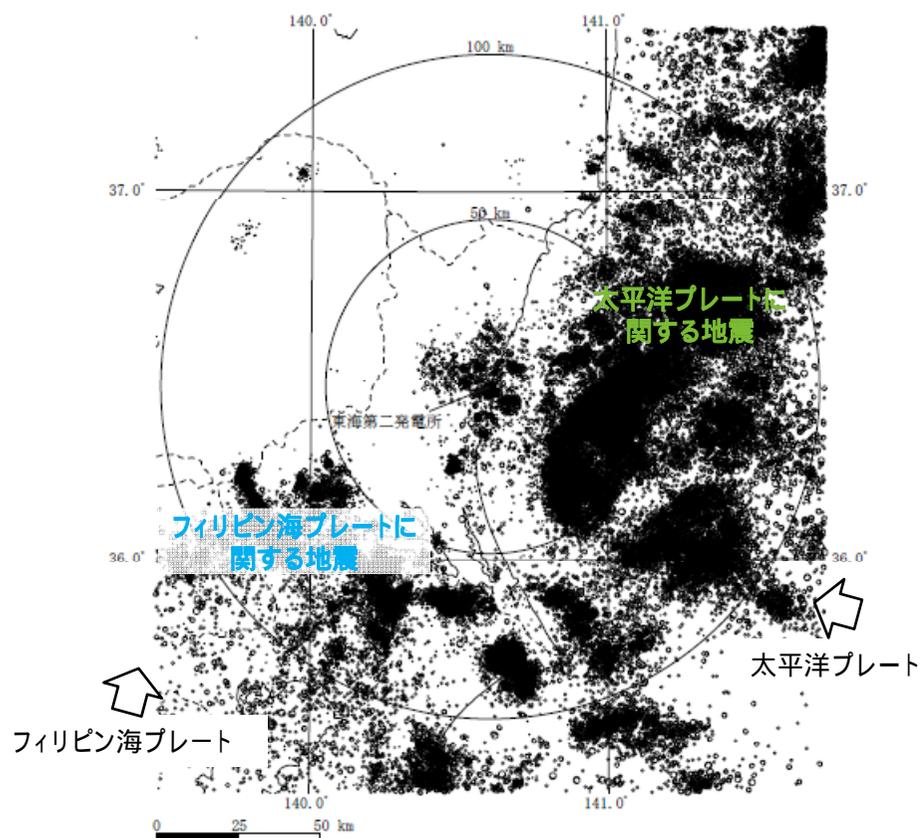


(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

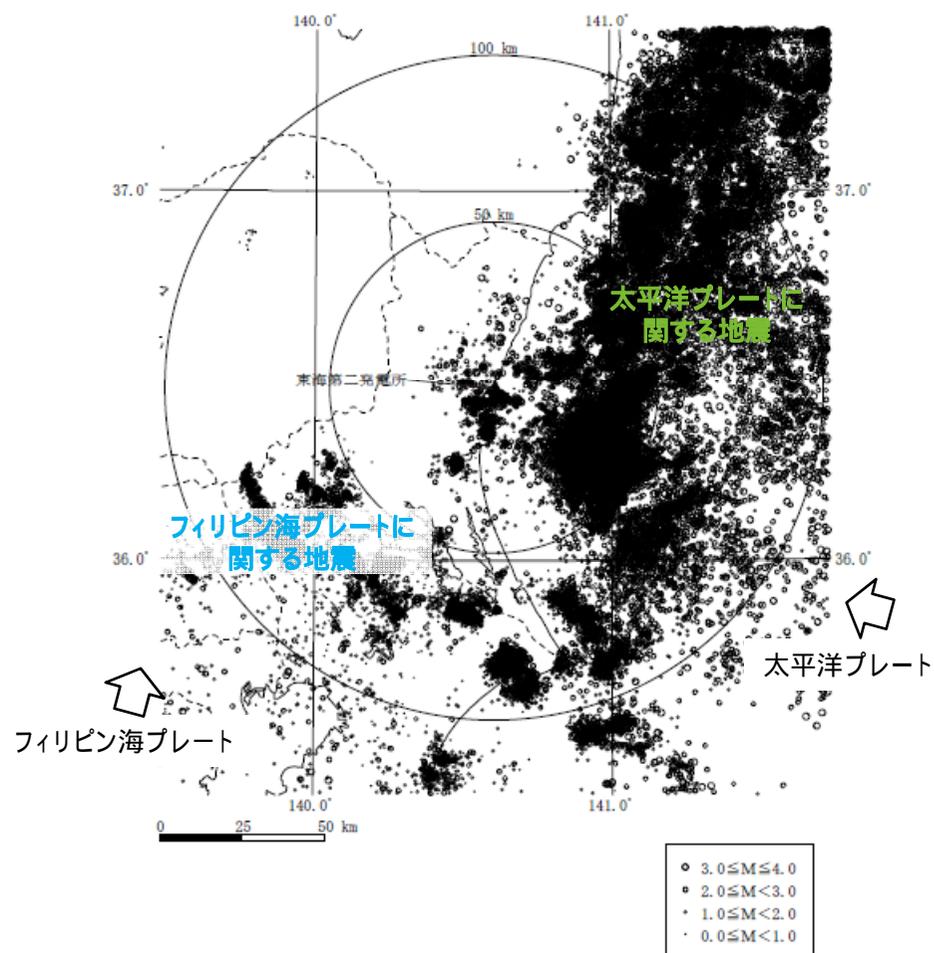
2011年3月以降は、福島県と茨城県の県境付近で内陸地殻内地震が集中して発生している。

3. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動 (M4.0以下, 深さ30km ~ 60km, 震央分布)



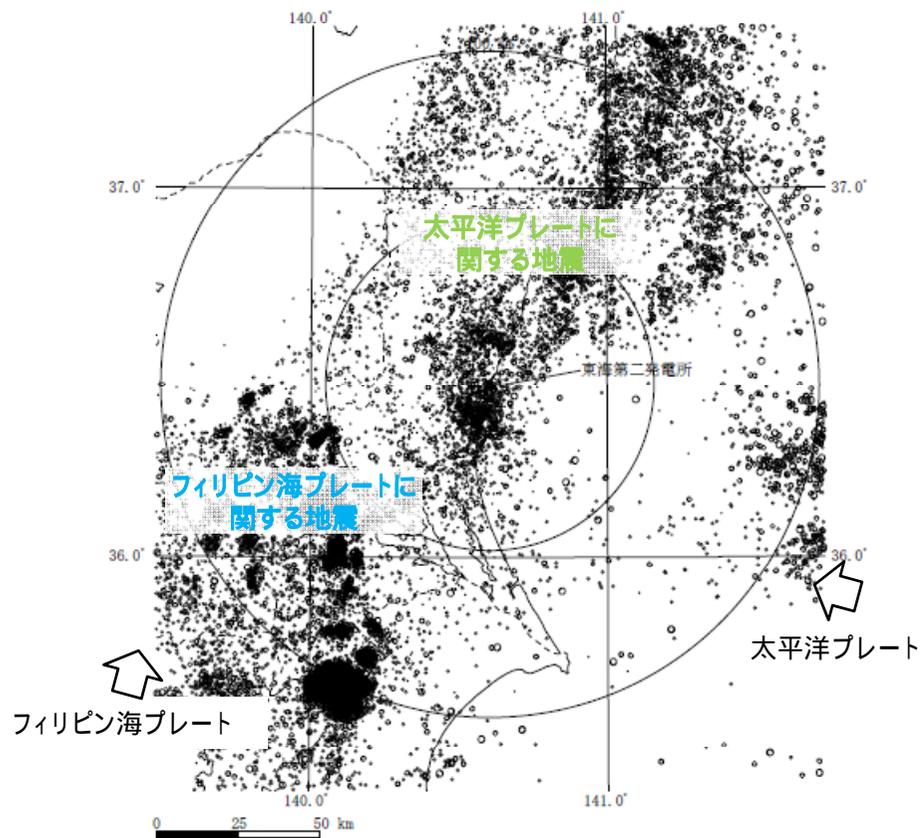
(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)



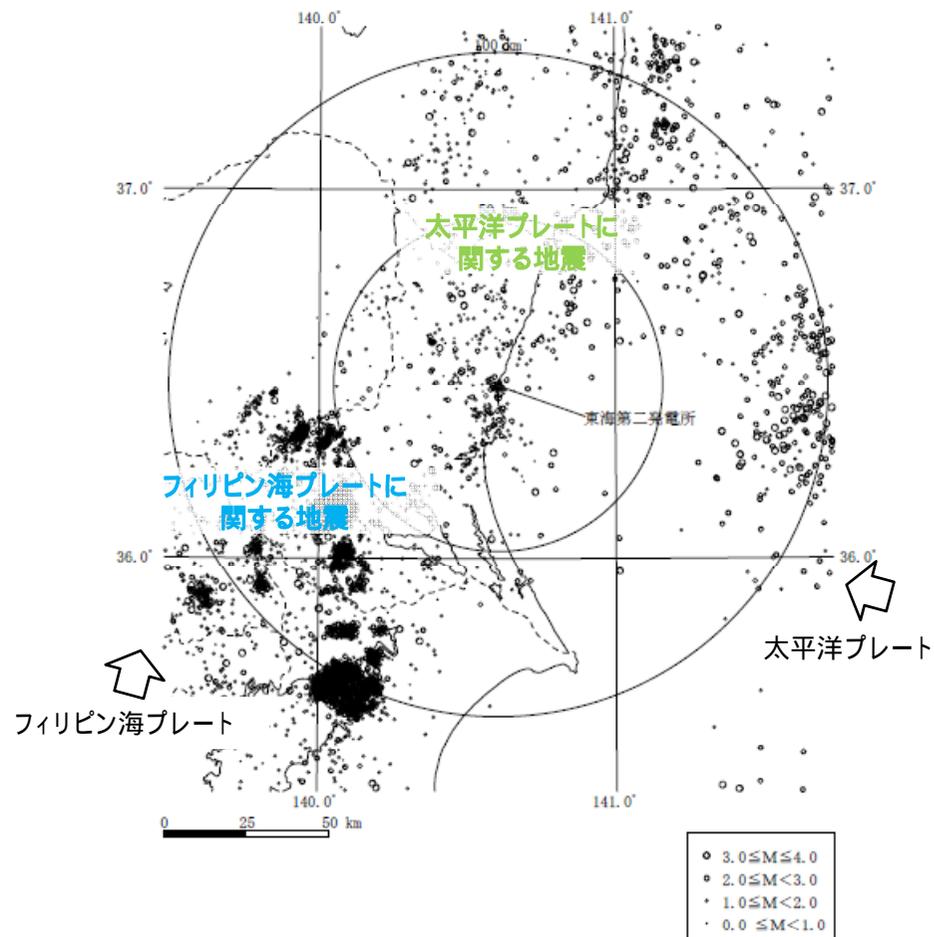
(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 敷地周辺では太平洋プレートに関する地震が発生している。また、茨城県南西部ではフィリピン海プレートに関する地震が発生している。
- 2011年3月以降、地震発生頻度は増加したものの、地震の発生する位置に大きな変化はない。

敷地周辺の地震活動 (M4.0以下, 深さ60km ~ 90km, 震央分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

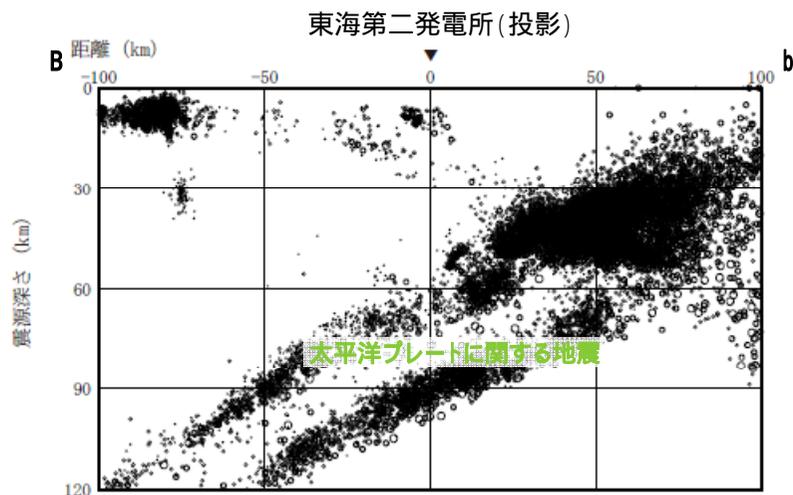


(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

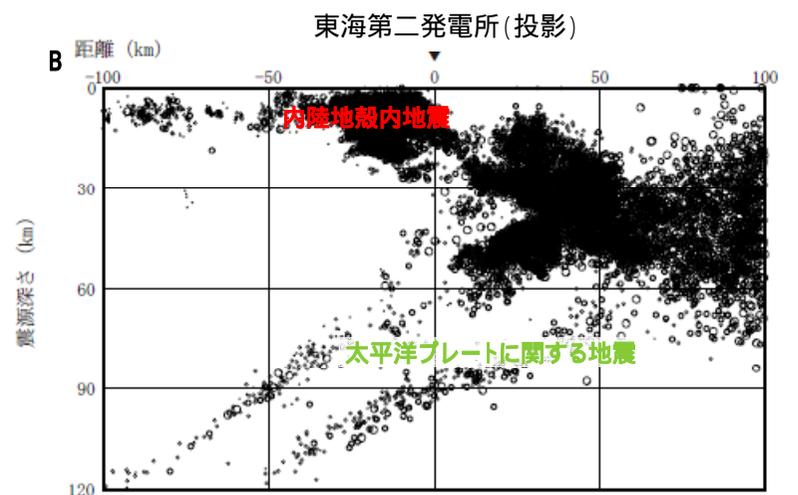
- 敷地周辺では太平洋プレートに関する地震が発生している。また、茨城県南西部ではフィリピン海プレートに関する地震が発生している。
- 2011年3月以降、地震発生頻度は増加したものの、地震の発生する位置に大きな変化はない。

3. 敷地周辺の地震発生状況

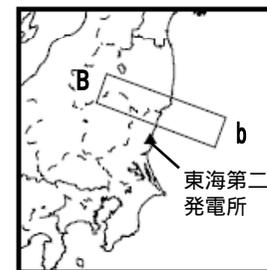
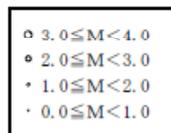
敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地北方, 震源鉛直分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)



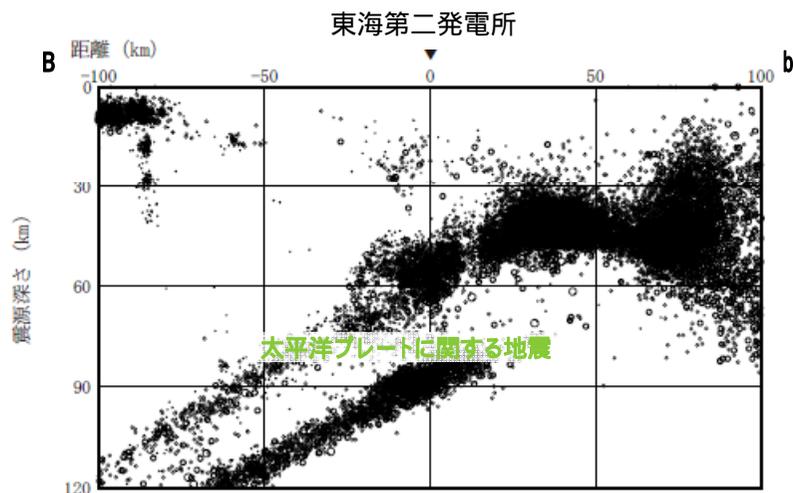
(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)



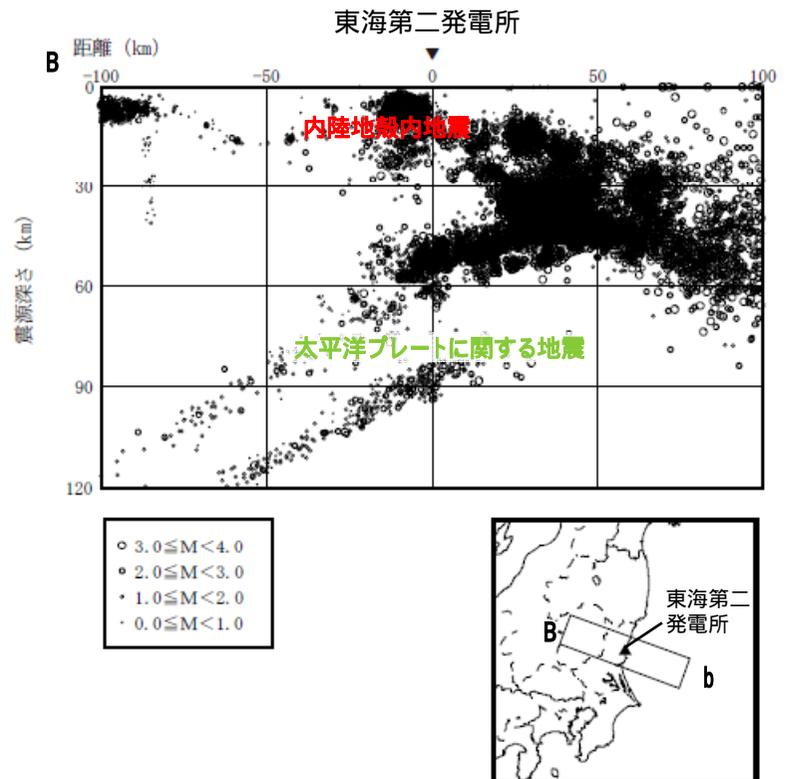
- 2011年3月以降は、福島県と茨城県の県境付近の深さ10km程度において内陸地殻内地震が発生している。
- 深さ80km程度以深では、太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。

3. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地周辺, 震源鉛直分布)



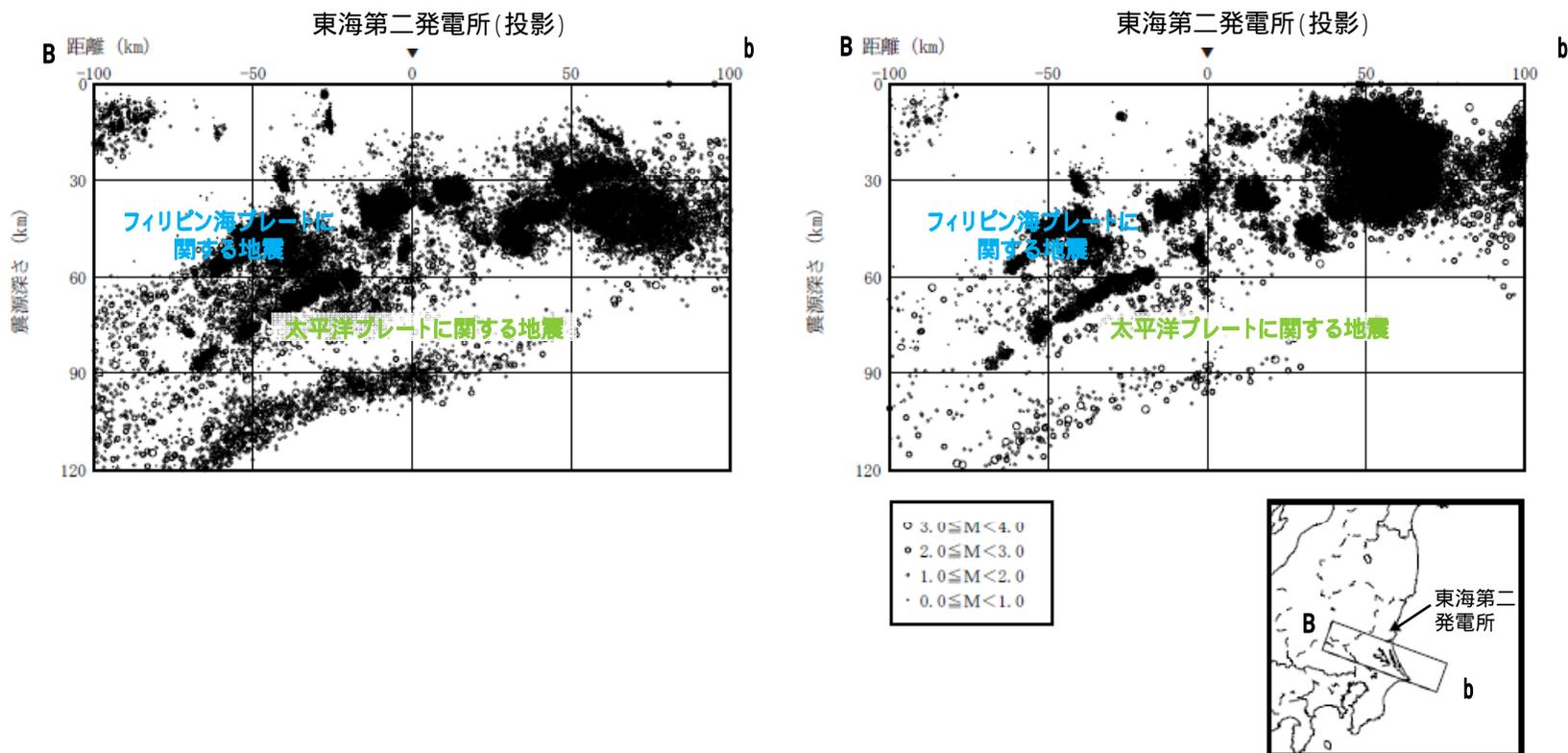
(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)



(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 2011年3月以降は, 深さ10km程度において内陸地殻内地震が発生している。
- 深さ80km程度以深では, 太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地南方, 震源鉛直分布)

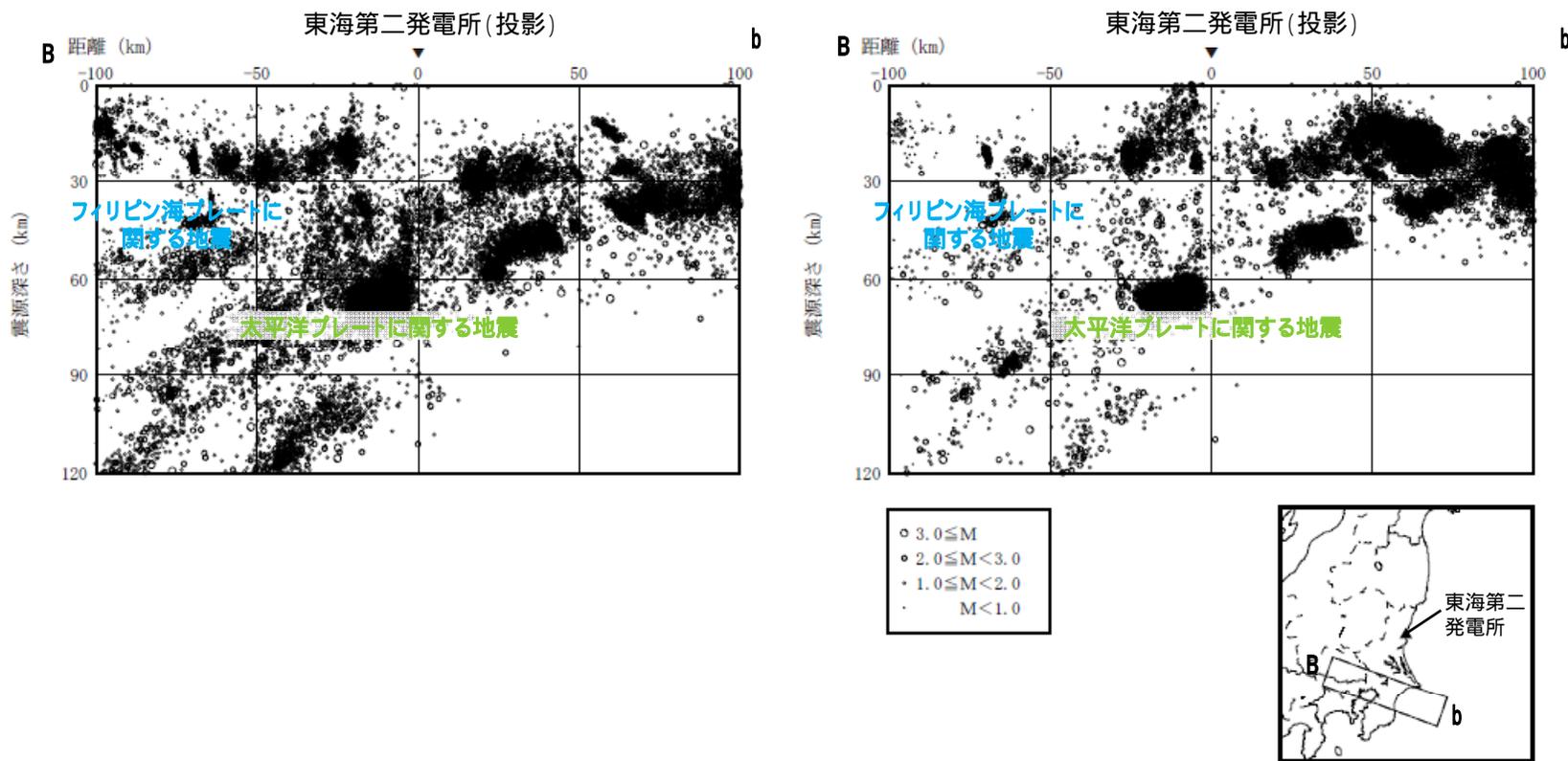


(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 深さ40km程度以深では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ80km程度以深では, 太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。
- 2011年3月以降, 地震発生頻度は増加したものの, 地震の発生する位置に大きな変化はない。

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地南方, 震源鉛直分布)



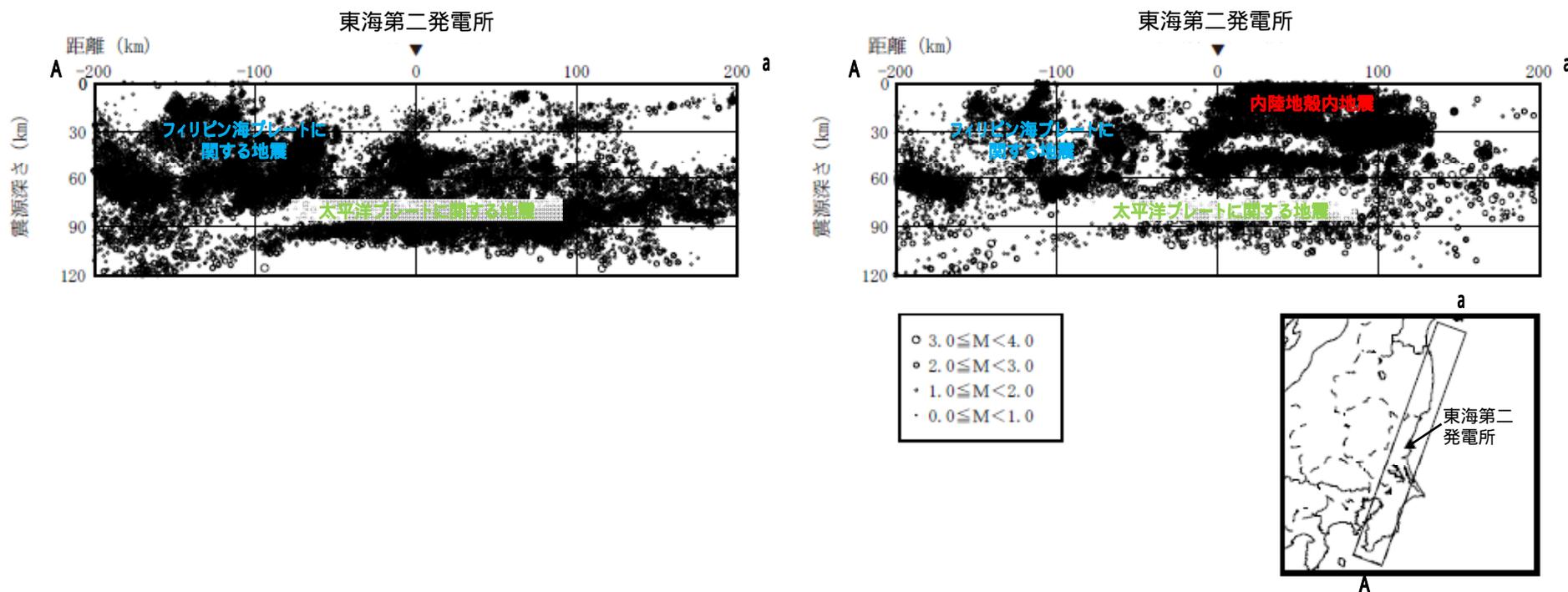
(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 深さ30km程度では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ80km程度以深では, 太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。
- 2011年3月以降, 地震発生頻度は増加したものの, 地震の発生する位置に大きな変化はない。

3. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地周辺(広域), 震源鉛直分布)

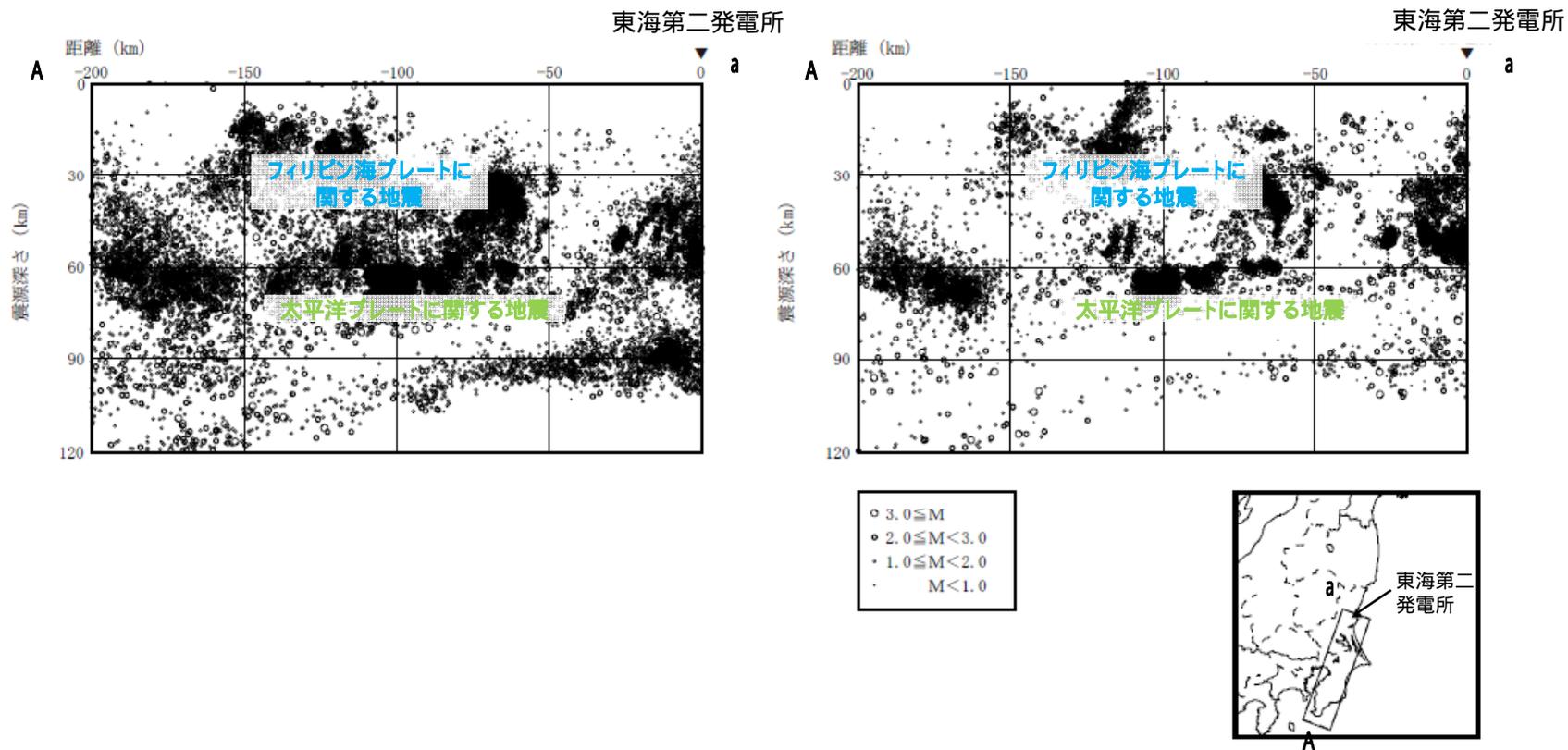


(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 2011年3月以降は, 深さ10km程度において内陸地殻内地震が発生している。
- 深さ30km程度では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ60km程度以深では, 太平洋プレートに関する地震が見られる。

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地南方, 震源鉛直分布)

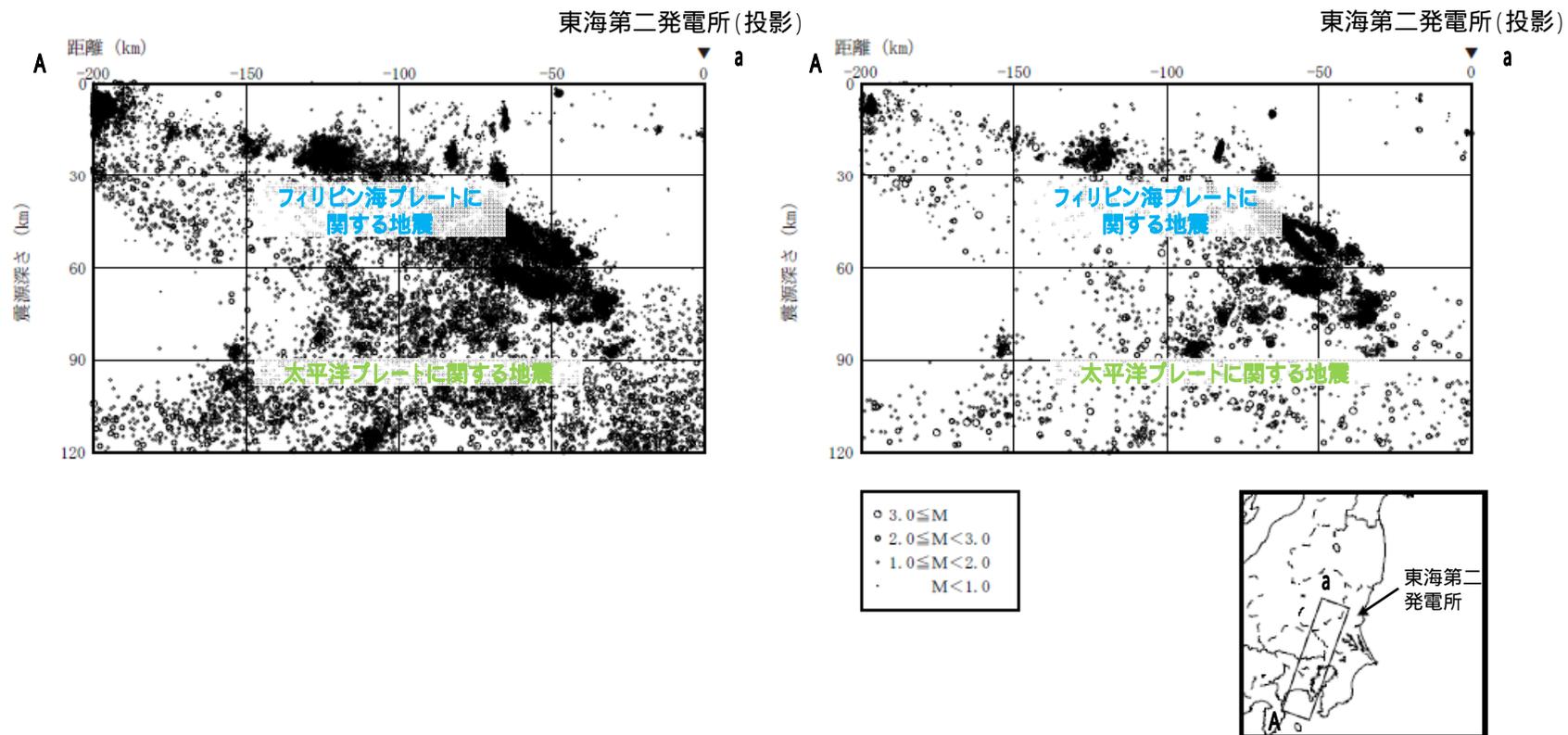


(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 深さ30km程度では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ60km程度以深では, 太平洋プレートに関する地震が見られる。
- 2011年3月以降, 地震発生頻度は増加したものの, 地震の発生する位置に大きな変化はない。

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地南西, 震源鉛直分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 深さ30km程度以深では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ70km程度以深では, 太平洋プレートに関する地震が見られる。
- 2011年3月以降, 地震発生頻度は増加したものの, 地震の発生する位置に大きな変化はない。

近年発生した海洋プレート内地震

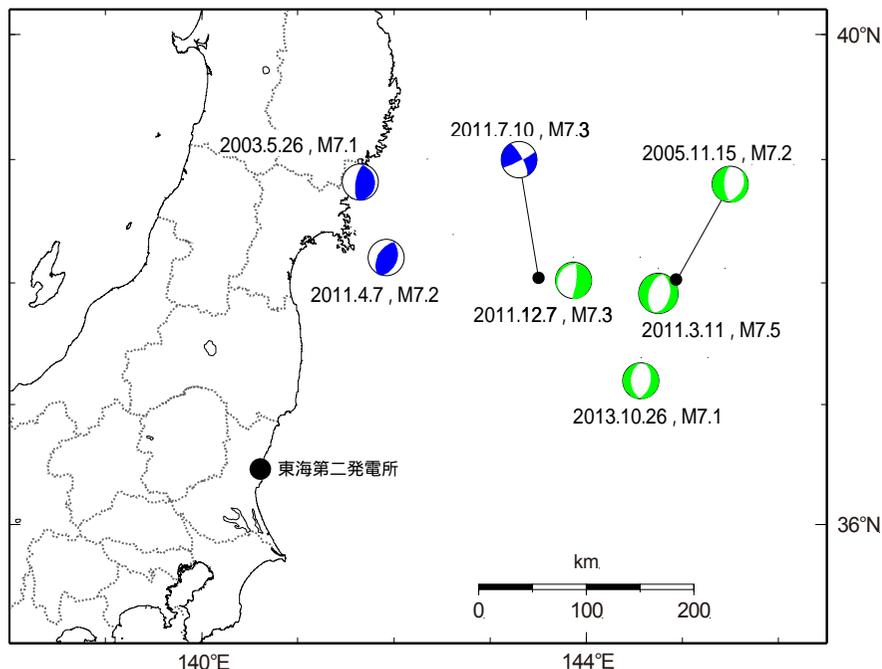
2002年以降に関東地方及び東北地方で発生した海洋プレート内地震について

Seno and Yoshida(2004)に記載されている地震以降に発生した国内の地震について検討した。気象庁地震カタログを用い、2002年1月から2014年3月までの期間に関東地方及び東北地方で発生したM7.0以上の海洋プレート内地震と推定される地震を抽出した。青色は沈み込んだプレート内の上面の地震、緑色は沈み込むプレート内の地震に分類できる。

M7.0以上の海洋プレート内地震の諸元

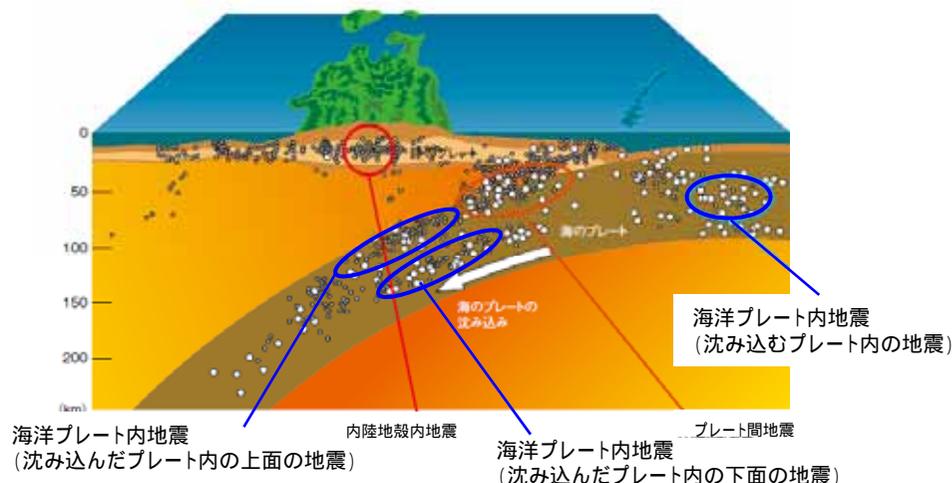
発生日	時刻	M	緯度(度)	経度(度)	深さ(km)	分類
2003.5.26	18:24	7.1	38.821	141.6507	72	沈み込んだプレート内の上面
2005.11.15	06:38	7.2	38.0272	144.9447	45	沈み込むプレート内
2011.3.11	15:25	7.5	37.9143	144.751	11	沈み込むプレート内
2011.4.7	23:32	7.2	38.2042	141.9202	66	沈み込んだプレート内の上面
2011.7.10	09:57	7.3	38.0318	143.5067	34	沈み込んだプレート内の上面
2012.12.7	17:18	7.3	38.0198	143.867	49	沈み込むプレート内
2013.10.26	02:10	7.1	37.1963	144.5687	56	沈み込むプレート内

気象庁地震カタログや震源メカニズムなどを参考に海洋プレート内地震を抽出した。



震央位置は気象庁、発震機構はF-netによる。

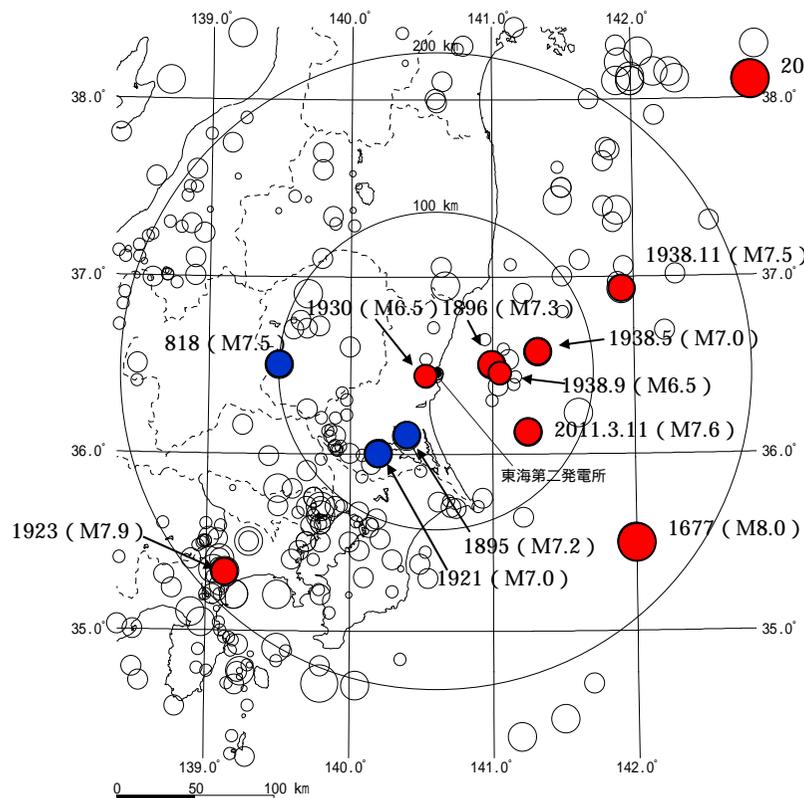
M7.0以上の海洋プレート内地震の震央及び震源メカニズム



地震の発生様式の模式図(地震調査研究推進本部に一部加筆)

過去の被害地震

「日本被害地震総覧」及び「気象庁地震カタログ」に記載されている被害地震のうち、敷地周辺で震度5弱程度以上であったと推定される被害地震を抽出し、その震央分布を下図に示す。

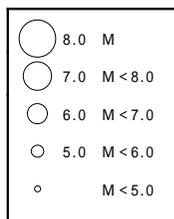


敷地周辺で震度5弱程度以上の被害地震

年月日	地震	地震規模 M	震央距離 (km)	深さ (km)	地震発生様式
818. - -	関東諸国の地震	7.5	99	-	海洋プレート内地震
1677.11.4	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	165	-	プレート間地震
1895.1.18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	45	-	海洋プレート内地震
1896.1.9	鹿島灘の地震	7.3	35	-	プレート間地震
1921.12.8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	64	-	海洋プレート内地震
1923.9.1	関東大地震	7.9	183	23	プレート間地震
1930.6.1	那珂川下流域の地震	6.5	8	54	プレート間地震
1938.5.23	塩屋崎沖の地震	7.0	65	35	プレート間地震
1938.9.22	鹿島灘の地震	6.5	40	48	プレート間地震
1938.11.5	福島県東方沖地震	7.5	128	43	プレート間地震
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震	Mw9.0	270	23.7	プレート間地震
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震	7.6	69	42.7	プレート間地震

敷地周辺で震度5弱程度以上と推定される地震

- プレート間地震
- 海洋プレート内地震



- 敷地での震度が5弱程度以上となる被害地震について、気象庁カタログや文献から震源位置を求め地震発生様式ごとに分類した。
- 敷地での震度が5弱程度以上となる被害地震は、いずれもプレート間地震または海洋プレート内地震である。

敷地周辺の被害地震の震央分布図
(日本被害地震総覧及び気象庁カタログ)

1. 評価フロー	3
2. 海洋プレート内地震に関する各種知見	4
3. 敷地周辺の地震発生状況	16
4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定	29
5. 海洋プレート内地震の地震動評価	47
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	66
7. 参考文献	72
参考資料	
検討用地震の規模, 位置の妥当性について	73

4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

太平洋プレートの地震

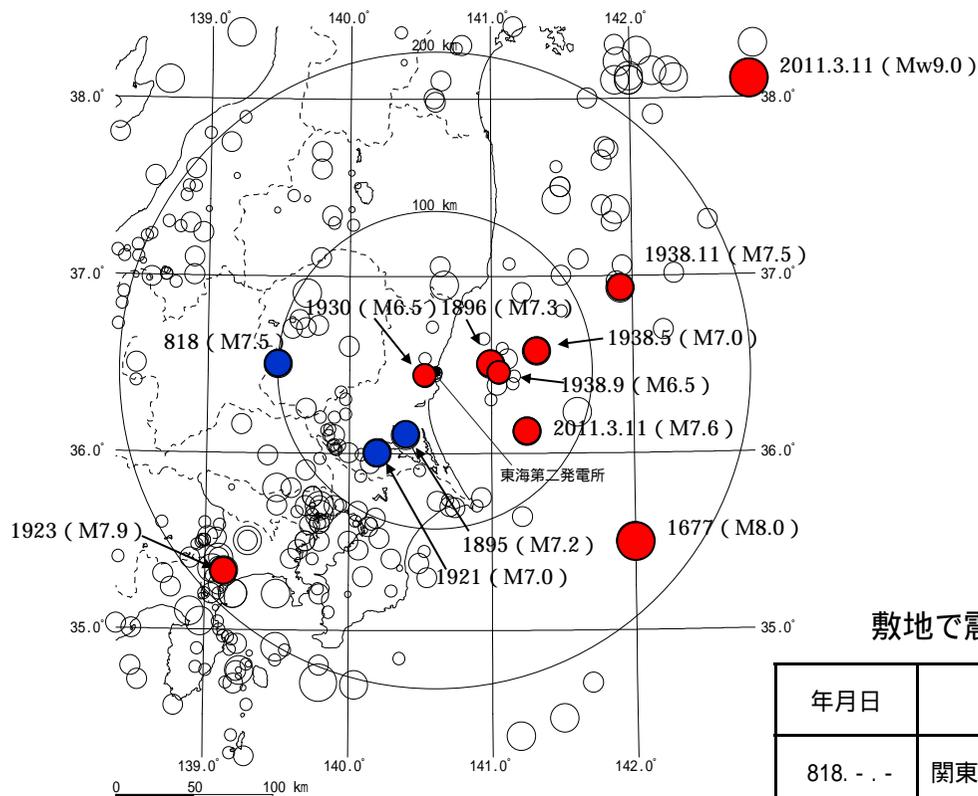
フィリピン海プレートの地震

補正係数

検討用地震の選定

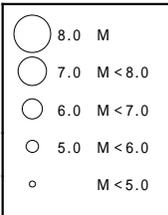
過去の被害地震の分類(太平洋プレート)

敷地で震度5弱程度以上となる過去の被害地震を抽出する。



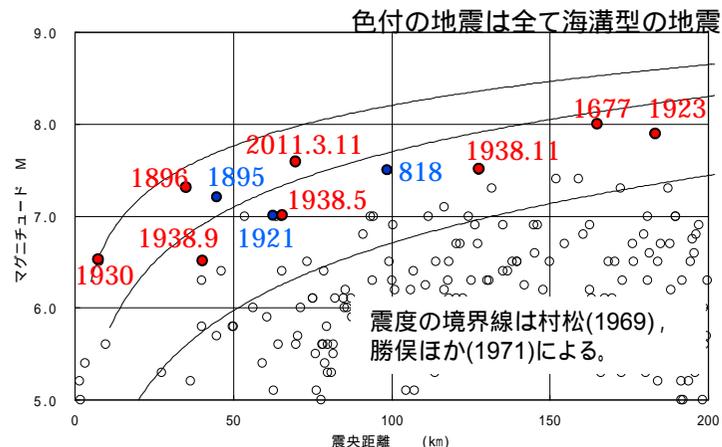
敷地周辺で震度5弱程度以上と推定される地震

- プレート間地震
- 海洋プレート内地震



敷地周辺の被害地震の震央分布図

(日本被害地震総覧及び気象庁カタログ)



敷地周辺の被害地震から想定されるMとΔの関係

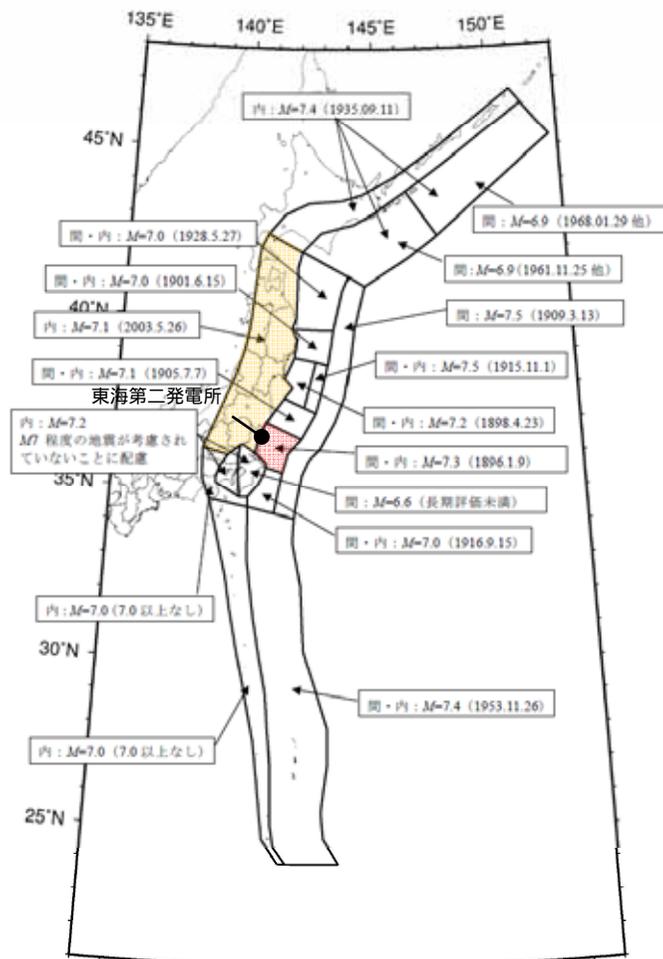
敷地で震度5弱程度以上となる被害地震リスト(海洋プレート内地震)

年月日	地震	地震規模 M	震央距離 (km)	深さ (km)	地震発生様式
818. - . -	関東諸国の地震	7.5	99	-	海洋プレート内地震 (フィリピン海プレート)
1895. 1. 18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	45	-	海洋プレート内地震 (フィリピン海プレート)
1921. 12. 8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	64	-	海洋プレート内地震 (フィリピン海プレート)

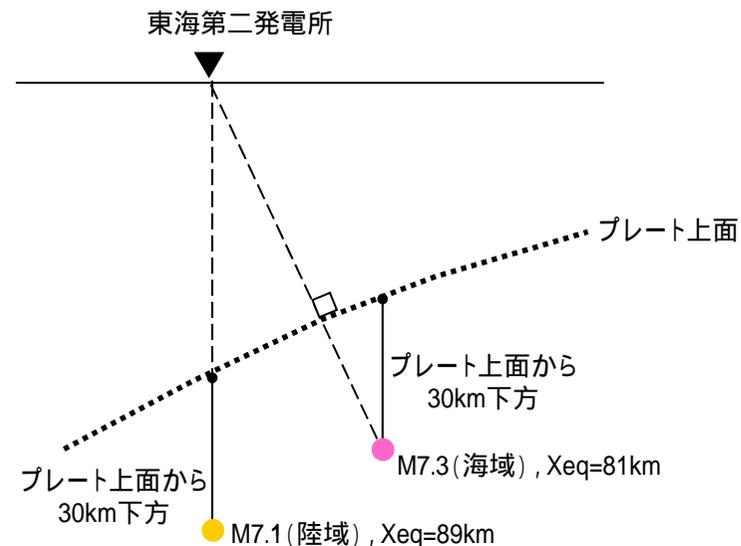
- 敷地での震度が5弱程度以上となる被害地震について、気象庁カタログや文献から震源位置を求め地震発生様式ごとに分類した。
- 敷地での震度が5弱程度以上となる被害地震はいずれもプレート間地震または海洋プレート内地震である。
- 海洋プレート内地震の被害地震は、いずれもフィリピン海プレートの地震である。

各機関の想定した震源による地震(太平洋プレート)

各機関の想定した海洋プレート内地震のうち、敷地への影響が大きいと考えられる太平洋プレート内の地震を選定する。



地震調査研究推進本部(2009)による震源断層を予め特定しにくい地震の領域(一部加筆)



震源断層を予め特定しにくい地震の設定位置(模式図)

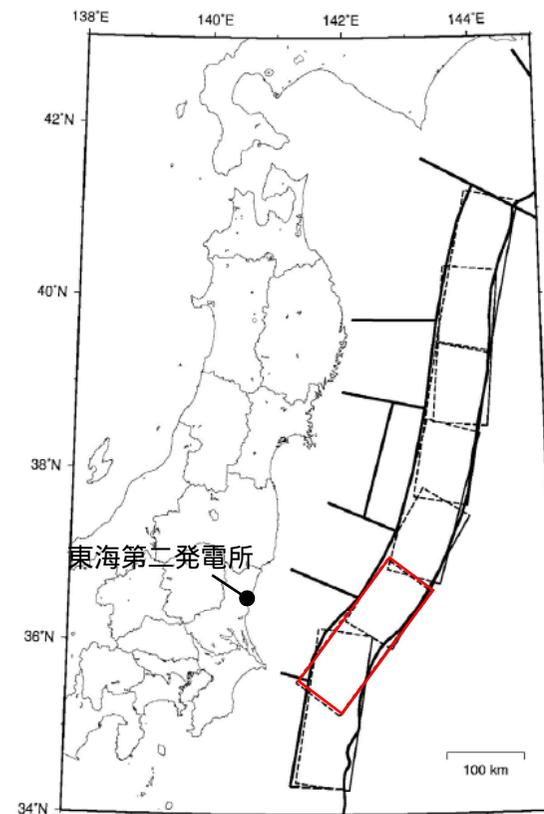
- 地震調査研究推進本部(2009)では、「震源断層を予め特定しにくい地震」として考慮する地震の最大規模が設定され、敷地が位置する陸域の領域においては、海洋プレート内地震の最大規模をプレート内地震である2003年5月26日の宮城県沖の地震に基づきM7.1と設定されている。
- また、敷地前面の海域の領域における海洋プレート内地震の最大規模については、プレート間地震の想定と同様、1896年1月9日の鹿島灘の地震に基づきM7.3と設定されている。
- これらの知見を地震動評価に反映する。設定位置についても地震調査研究推進本部に基づき、プレート上面から30km下方に設定する。

各機関の想定した震源による地震(太平洋プレート)

海溝寄りのプレート内地震の検討

地震調査研究推進本部(2009)の確率論的評価では、正断層型の地震(M8.2)として三陸沖北部から房総沖の海溝寄りに震源が想定されている。

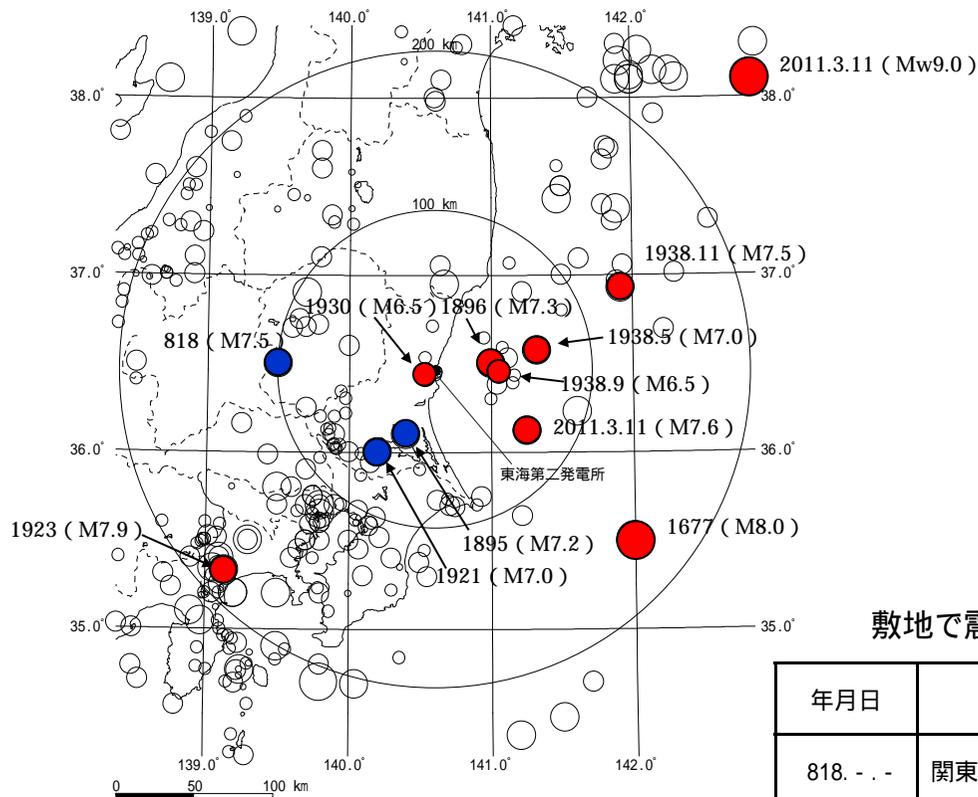
地震調査研究推進本部に基づき、海溝寄りのプレート内地震を茨城県沖の海溝寄りに想定する。



海溝寄りのプレート内地震の断層面
(地震調査研究推進本部(2009)に一部加筆)

過去の被害地震の分類(フィリピン海プレート)

敷地で震度5弱程度以上となる過去の被害地震を抽出する。

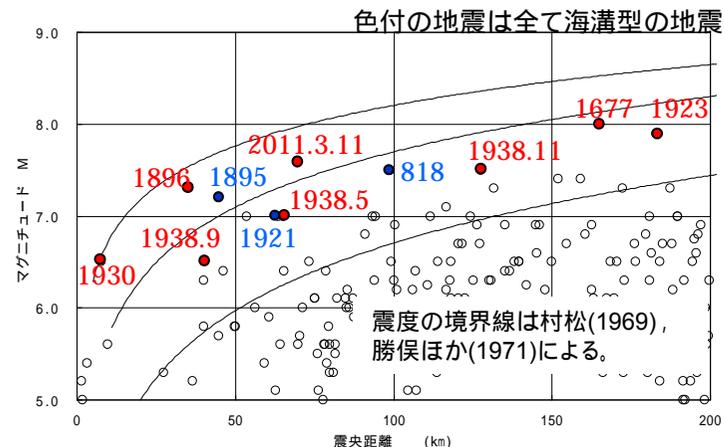
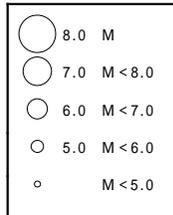


敷地周辺で震度5弱程度以上と推定される地震

- プレート間地震
- 海洋プレート内地震

敷地周辺の被害地震の震央分布図

(日本被害地震総覧及び気象庁カタログ)



敷地周辺の被害地震から想定されるMとΔの関係

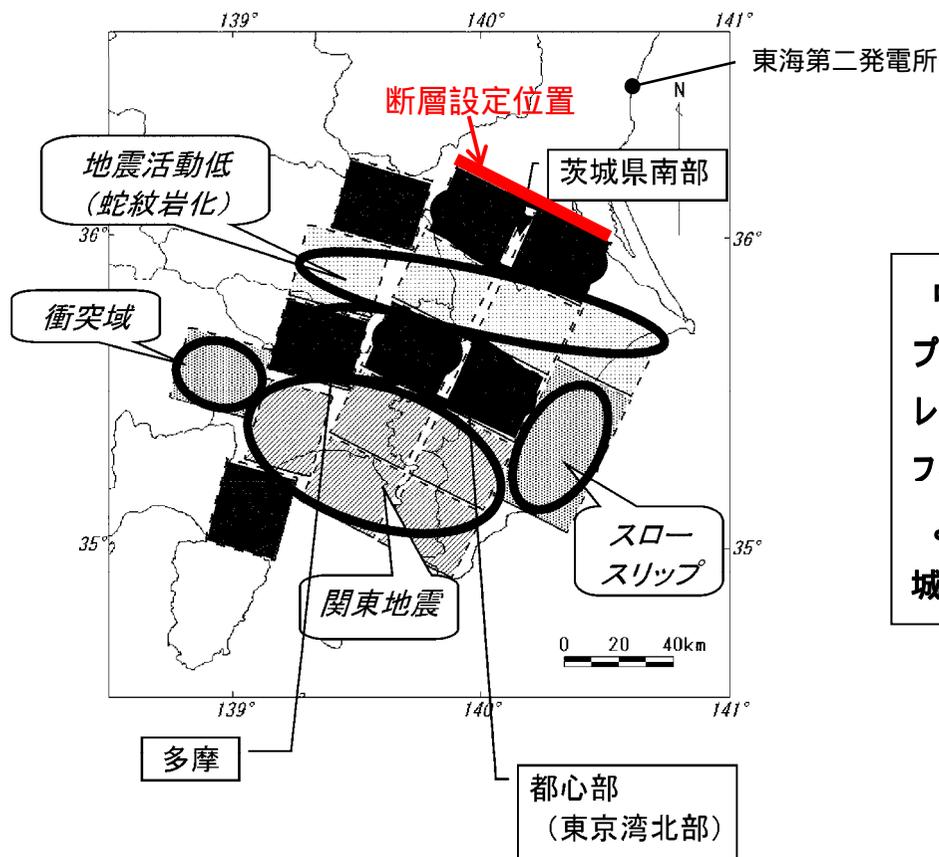
敷地で震度5弱程度以上となる被害地震リスト(海洋プレート内地震)

年月日	地震	地震規模 M	震央距離 (km)	深さ (km)	地震発生様式
818. - . -	関東諸国の地震	7.5	99	-	海洋プレート内地震 (フィリピン海プレート)
1895. 1. 18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	45	-	海洋プレート内地震 (フィリピン海プレート)
1921. 12. 8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	64	-	海洋プレート内地震 (フィリピン海プレート)

- 敷地での震度が5弱程度以上となる被害地震について、気象庁カタログや文献から震源位置を求め地震発生様式ごとに分類した。
- 敷地での震度が5弱程度以上となる被害地震はいずれもプレート間地震または海洋プレート内地震である。

各機関の想定した震源による地震(フィリピン海プレート)

各機関の想定した海洋プレート内地震のうち、敷地への影響が大きいと考えられるフィリピン海プレート内の地震を選定する。



中央防災会議(2004)では、茨城県南部においてフィリピン海プレート内の地震としてM7.3が想定されている。フィリピン海プレートの形状を考慮すると、当該断層面の敷地からの距離は、フィリピン海プレート上面のほかの断層面と比較し近くなる。よって、フィリピン海プレート内の地震としてM7.3の地震を茨城県南部に設定する。

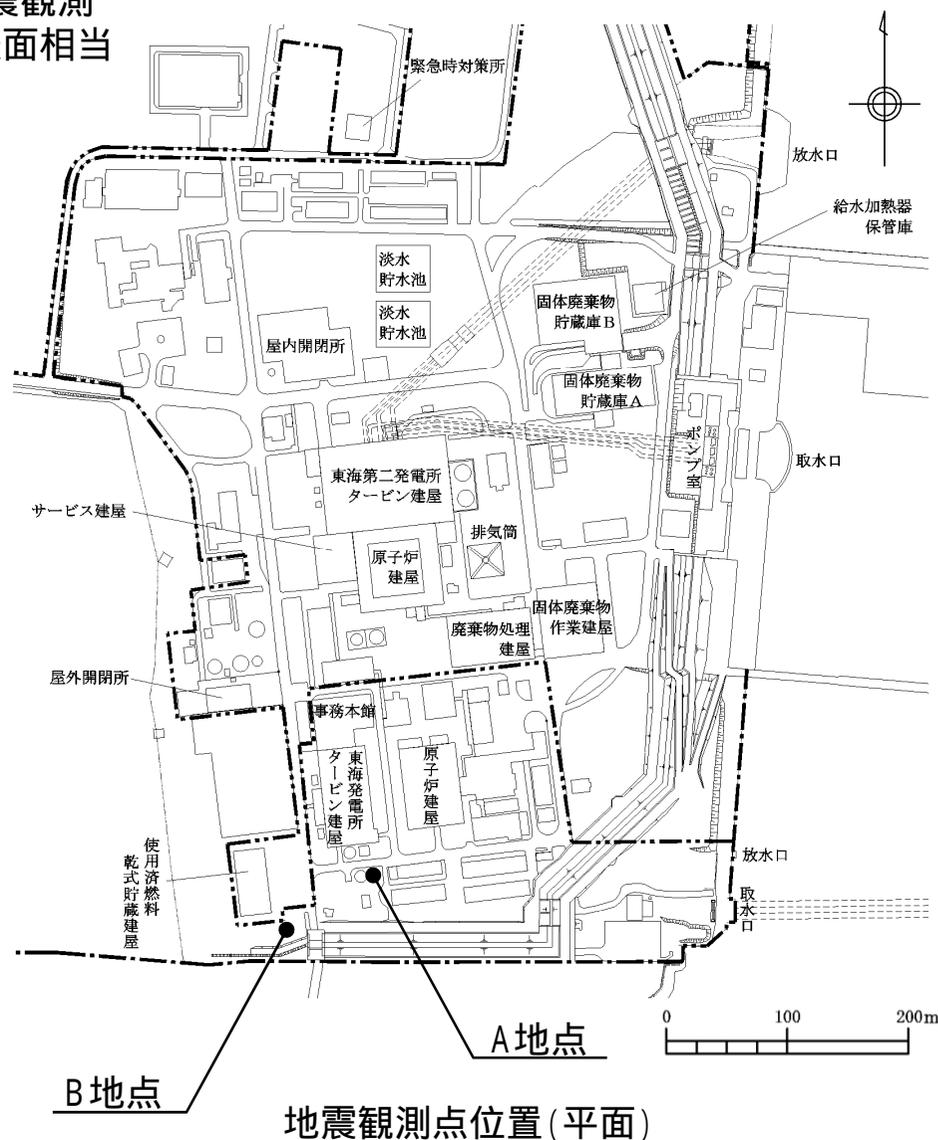
中央防災会議(2004)によるフィリピン海プレート上面付近の19枚の断層(一部加筆)

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価に用いる補正係数

東海第二発電所では、敷地地盤において以下のとおり地震観測を実施している。補正係数の算出に際しては、解放基盤表面相当であるE.L.-372mの地震観測記録を用いた。

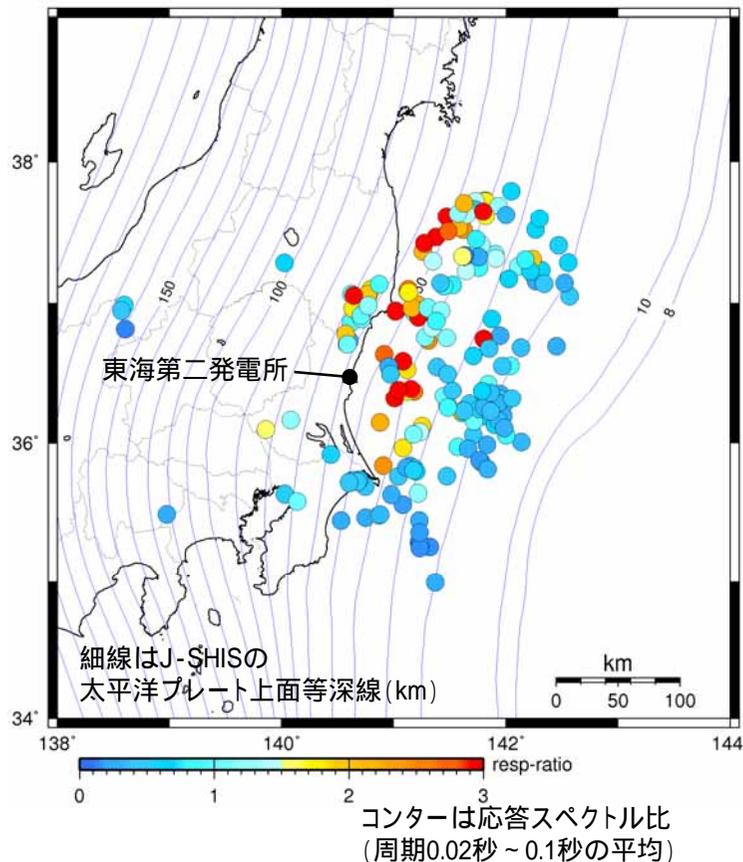
地震観測点位置(深さ方向)

:地震計 設置位置	標高	地震観測点位置		地層
	E.L.	A地点	B地点	
地表	+8m (G.L.)			第四系
	-15m			新第三系
原子炉建屋 人工岩盤下端相当	-17m			
	-192m			
解放基盤表面相当 (解放基盤表面E.L.-370m)	-372m			先新第三系
	地震基盤相当	約-700m		
	-992m			
	観測開始	1996年3月	2012年8月	



応答スペクトルに基づく手法による地震動評価に用いる補正係数

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価は、Noda et al.(2002)による手法(耐専スペクトル)で行う。評価に際しては、地震発生様式ごとに分類した地震観測記録の分析に基づく補正係数を考慮する。

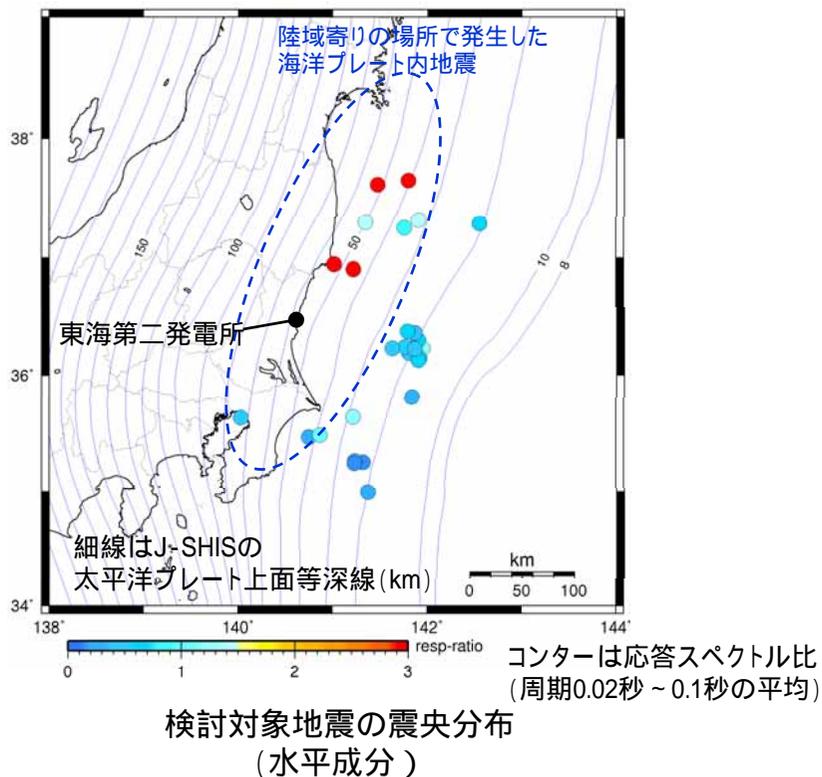


応答スペクトル比の算出に用いた
M5.3以上の地震の震央分布
(水平成分)

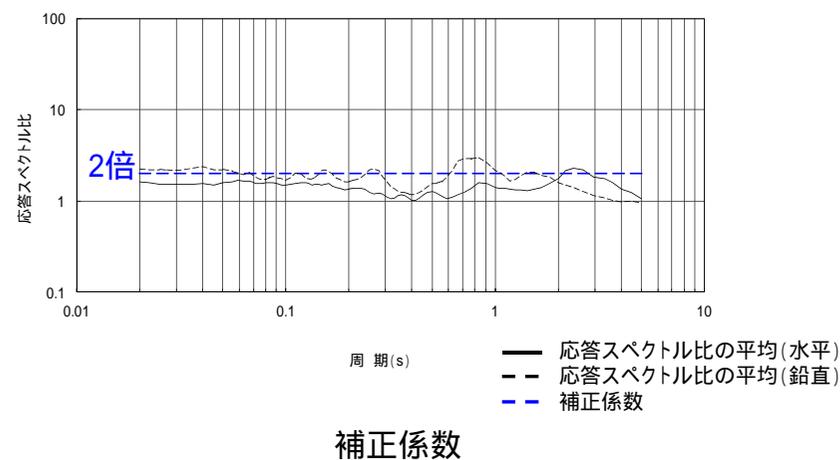
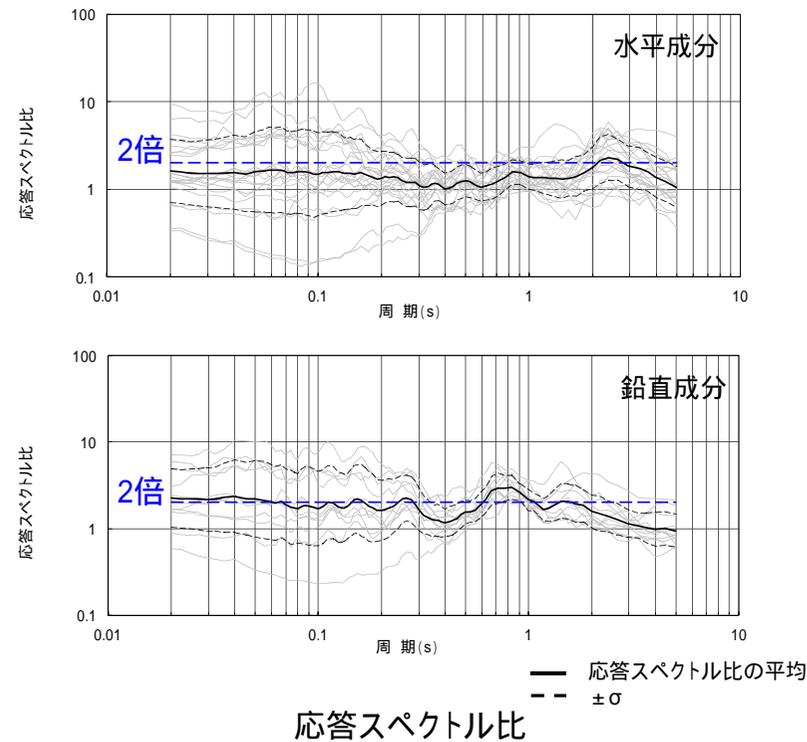
- ・東海第二発電所の地震観測記録のうちM5.3以上で震央距離200km以内の地震を対象に、解放基盤波の応答スペクトルを耐専スペクトルで除した「応答スペクトル比」を算出する。
- ・プレート間地震、海洋プレート内地震、内陸地殻内地震の地震発生様式ごとに各地震の「応答スペクトル比」を算出し、地域性の観点からグルーピングを行う。

$$\text{応答スペクトル比} = \frac{\text{敷地の観測記録 (解放基盤表面)}}{\text{Noda et al.(2002)による値}}$$

海洋プレート内地震の地震動評価に用いる補正係数(陸域寄りの場所で発生した地震)

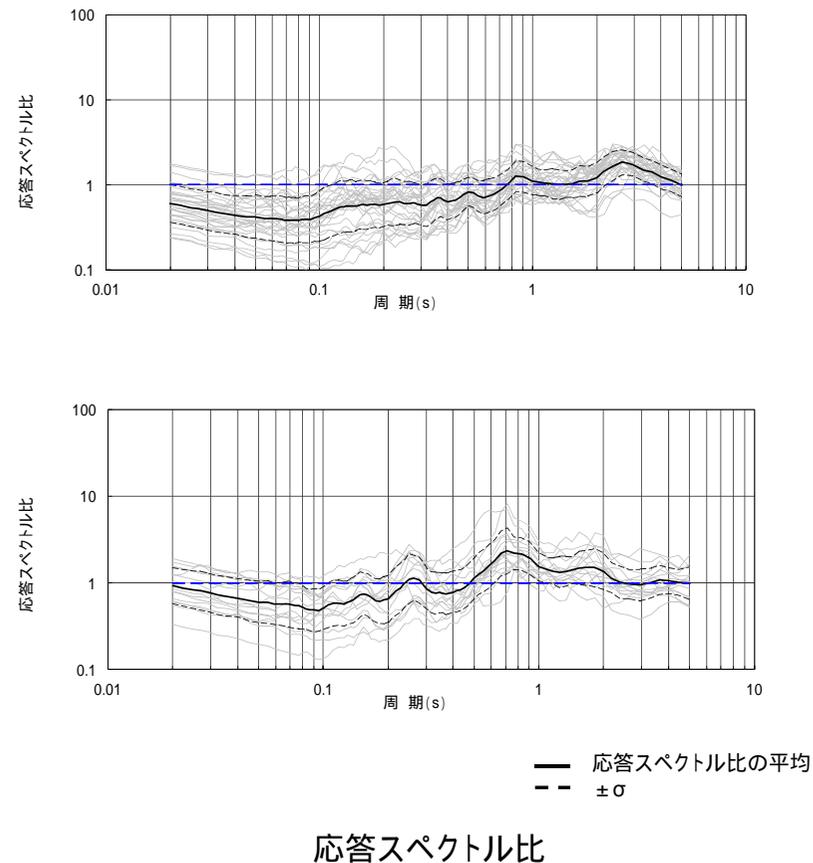
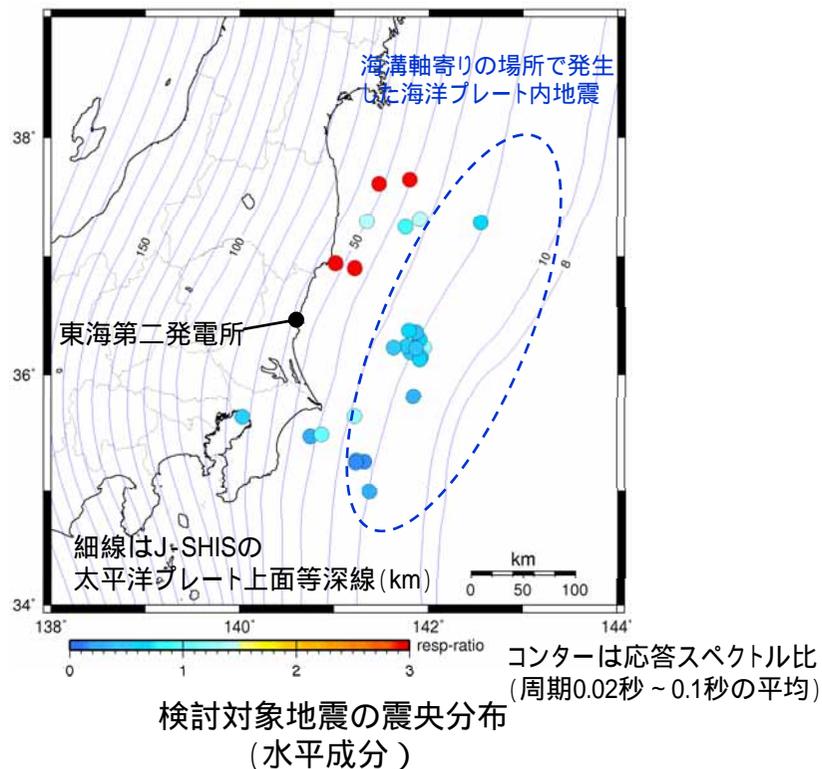


陸域寄りの場所で発生した地震の応答スペクトル比は、全周期帯域で2倍程度となるため、全周期帯で2倍の補正係数を考慮する。



4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

海洋プレート内地震の地震動評価に用いる補正係数(海溝軸寄りの場所で発生した地震)



海溝軸寄りの場所で発生した地震については、応答スペクトル比がほぼ1倍であるため補正は行わない。

4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (1 / 5)

検討対象期間: 1996年9月～2012年12月 検討対象地震数: 187地震

発震日時	震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式	
	緯度(度)	経度(度)							
1996/09/11	11:37:14.33	35.639	141.217	51.99	6.4	148.9	107.0	64.1	海洋プレート内地震(陸域寄り)
1996/12/21	10:28:47.71	36.096	139.861	53.11	5.6	238.7	78.6	55.9	プレート間地震
1998/03/23	18:37:09.22	36.369	141.182	48.60	5.4	101.6	52.7	47.3	プレート間地震
1998/04/09	17:45:39.14	36.945	141.017	94.87	5.4	34.5	64.6	34.3	海洋プレート内地震(陸域寄り)
1998/06/14	22:17:06.19	35.465	140.749	46.43	5.7	173.4	111.8	67.5	海洋プレート内地震(陸域寄り)
1998/08/16	23:05:19.50	37.251	141.759	42.06	5.3	49.4	134.7	72.7	海洋プレート内地震(陸域寄り)
1998/08/29	08:46:42.35	35.633	140.029	64.60	5.3	209.5	106.0	58.7	海洋プレート内地震(陸域寄り)
1999/02/01	01:51:50.91	37.128	141.526	44.96	5.3	47.9	110.1	67.8	プレート間地震
2000/06/03	17:54:47.70	35.690	140.747	48.06	6.1	171.6	87.0	61.1	プレート間地震
2000/07/21	03:39:18.60	36.529	141.119	49.37	6.4	81.1	46.4	43.2	プレート間地震
2000/07/21	14:16:33.91	35.253	141.322	37.14	5.7	154.2	149.3	76.0	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2000/08/19	21:41:28.33	36.274	141.480	45.66	5.5	104.9	81.2	60.7	プレート間地震
2000/12/05	01:47:34.57	35.835	141.143	34.86	5.5	145.3	85.0	67.7	プレート間地震
2001/02/25	06:53:50.83	37.190	142.255	15.83	5.9	60.9	167.6	84.6	プレート間地震
2001/02/26	15:08:30.87	37.155	142.269	27.00	5.5	62.2	166.9	80.8	プレート間地震
2001/09/04	23:54:39.41	36.757	141.473	41.92	5.3	67.1	83.9	63.5	プレート間地震
2001/10/02	17:19:50.24	37.729	141.814	40.76	5.5	37.1	176.5	77.0	プレート間地震
2002/02/12	22:44:37.93	36.590	141.083	47.79	5.7	72.0	44.8	43.1	プレート間地震
2002/06/19	18:16:26.65	36.192	141.804	58.00	5.4	105.4	111.7	62.6	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2002/07/24	05:05:30.35	37.232	142.316	30.00	5.9	60.3	174.6	80.2	プレート間地震
2002/10/21	01:06:01.13	36.369	141.124	49.66	5.4	102.9	47.6	43.8	プレート間地震
2004/03/11	11:34:57.57	36.322	141.008	47.52	5.3	113.8	39.4	39.7	プレート間地震
2004/04/04	08:02:00.69	36.390	141.154	48.99	5.8	99.5	49.8	45.5	プレート間地震
2005/04/04	02:57:10.20	37.373	141.754	43.97	5.3	45.1	143.5	73.0	プレート間地震
2005/04/11	07:22:15.63	35.727	140.621	51.51	6.1	179.1	82.0	57.9	プレート間地震
2005/05/19	10:14:26.28	35.559	141.082	33.35	5.4	156.8	109.3	73.0	プレート間地震
2005/06/20	01:15:14.20	35.734	140.695	50.65	5.6	174.4	81.6	58.2	プレート間地震
2005/07/23	16:34:56.32	35.582	140.139	73.08	6.0	203.4	106.8	55.6	プレート間地震
2005/08/08	00:06:43.81	36.340	141.446	46.03	5.6	100.3	76.6	59.0	プレート間地震
2005/10/19	20:44:42.68	36.382	141.043	48.32	6.3	103.3	40.2	39.8	プレート間地震
2005/10/22	22:12:46.78	37.080	141.121	51.96	5.6	33.8	82.1	57.7	プレート間地震
2006/02/03	13:37:35.35	36.215	141.611	62.08	5.9	106.9	94.4	56.7	プレート間地震
2006/02/03	15:10:03.64	36.229	141.612	63.29	5.3	105.9	94.0	56.0	プレート間地震
2007/08/16	04:15:06.64	35.444	140.531	30.77	5.3	183.5	113.6	74.8	プレート間地震
2008/03/24	12:40:11.07	37.120	141.447	47.81	5.3	45.7	104.4	65.4	プレート間地震
2008/05/08	01:02:00.30	36.231	141.949	60.00	6.4	101.8	123.2	64.0	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2008/05/08	01:03:37.48	36.295	141.916	22.00	5.8	98.8	119.0	79.5	プレート間地震
2008/05/08	01:16:34.09	36.275	141.979	18.00	6.3	99.4	125.0	81.8	プレート間地震

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度, 水平が90度となる。

見かけの入射角 = \tan^{-1} (震央距離 / 震源深さ)

4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (2 / 5)

発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式
		緯度(度)	経度(度)						
2008/05/08	01:45:18.77	36.228	141.608	50.57	7.0	106.1	93.6	61.6	プレート間地震
2008/05/08	02:31:16.32	36.288	141.811	58.16	5.4	100.0	109.9	62.1	プレート間地震
2008/05/09	08:21:06.47	36.193	141.976	68.58	5.8	103.4	126.6	61.6	プレート間地震
2008/07/19	11:39:28.69	37.521	142.265	31.55	6.9	51.1	188.4	80.5	プレート間地震
2008/07/21	20:30:26.66	37.137	142.341	27.38	6.1	63.8	171.8	80.9	プレート間地震
2010/03/13	21:46:26.75	37.614	141.472	77.70	5.5	30.9	148.9	62.4	海洋プレート内地震(陸域寄り)
2010/03/14	17:08:04.18	37.724	141.818	39.75	6.7	37.3	176.3	77.3	プレート間地震
2010/09/29	16:59:55.98	37.285	140.026	7.62	5.7	330.5	104.6	85.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	14:51:20.56	37.311	142.238	33.00	6.8	56.7	173.0	79.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	14:54:42.13	36.713	140.582	9.53	5.7	355.3	27.6	70.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	14:58:05.58	37.689	141.934	35.20	6.6	40.6	179.9	78.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	15:05:06.38	37.519	141.622	22.48	5.9	37.4	147.8	81.4	内陸地殻内地震
2011/03/11	15:11:19.00	36.865	140.619	6.41	5.5	1.4	44.3	81.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	15:12:58.66	37.228	141.645	38.90	6.7	47.3	125.4	72.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	15:15:34.25	36.121	141.253	42.70	7.6	123.2	69.5	58.4	プレート間地震
2011/03/11	15:17:16.69	35.964	141.082	34.29	5.9	142.4	70.2	64.0	プレート間地震
2011/03/11	15:44:57.62	36.640	140.915	49.57	5.3	54.9	33.7	34.2	プレート間地震
2011/03/11	15:57:13.25	35.819	141.182	27.53	6.2	144.1	88.5	72.7	内陸地殻内地震
2011/03/11	16:14:57.04	36.557	142.041	25.00	6.8	85.1	128.9	79.0	プレート間地震
2011/03/11	16:16:55.68	37.141	141.417	47.71	5.3	43.8	104.1	65.4	プレート間地震
2011/03/11	16:28:11.39	36.891	141.874	44.02	6.2	67.0	122.7	70.3	プレート間地震
2011/03/11	16:30:15.63	37.365	141.260	26.96	5.9	30.1	115.5	76.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	16:42:55.54	36.079	141.233	37.46	5.4	127.2	70.8	62.1	プレート間地震
2011/03/11	16:44:29.04	36.301	141.901	60.00	5.6	98.6	117.6	63.0	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/03/11	16:49:45.51	36.555	141.967	34.43	5.5	85.0	122.3	74.3	プレート間地震
2011/03/11	16:54:43.35	37.669	141.684	35.43	5.5	35.4	164.3	77.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	16:56:09.24	37.049	142.569	11.24	6.2	69.1	186.8	86.6	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:01:57.09	36.354	141.951	16.66	5.5	95.5	121.2	82.2	プレート間地震
2011/03/11	17:04:53.53	37.260	142.110	19.17	5.9	56.2	160.4	83.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:10:28.59	36.057	141.709	18.45	5.4	114.3	108.9	80.4	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:12:06.40	36.549	141.386	32.46	6.6	82.3	70.4	65.3	プレート間地震
2011/03/11	17:19:17.24	36.157	141.716	35.54	6.8	108.7	105.3	71.4	プレート間地震
2011/03/11	17:31:07.88	37.468	141.377	30.71	5.9	31.5	130.6	76.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:40:54.53	37.424	141.273	29.91	6.0	29.0	121.8	76.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:52:20.63	36.772	141.948	0.11	5.6	73.8	124.7	89.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	18:04:13.52	36.551	140.956	16.53	5.3	73.2	32.7	63.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	18:55:21.24	36.750	141.802	0.00	5.4	73.2	111.5	90.0	内陸地殻内地震
2011/03/11	19:21:07.63	37.346	141.906	21.98	5.5	49.5	151.4	81.7	プレート間地震

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度、水平が90度となる。

見かけの入射角 = \tan^{-1} (震央距離 / 震源深さ)

4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (3 / 5)

発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式
		緯度(度)	経度(度)						
2011/03/11	20:00:53.09	37.723	141.730	46.06	5.5	35.3	171.5	75.0	プレート間地震
2011/03/11	20:13:10.79	36.321	141.947	37.00	5.6	97.2	121.3	73.0	プレート間地震
2011/03/11	20:16:49.73	36.628	141.709	42.54	5.5	79.4	100.3	67.0	プレート間地震
2011/03/11	20:20:59.95	35.795	141.200	38.55	5.6	144.2	91.6	67.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	20:44:23.03	36.697	142.451	13.00	5.7	80.6	167.0	85.5	内陸地殻内地震
2011/03/11	20:46:43.31	36.062	141.175	41.18	5.4	131.1	68.0	58.8	プレート間地震
2011/03/11	20:56:13.12	36.281	141.675	40.34	5.3	101.8	98.0	67.6	プレート間地震
2011/03/11	21:13:03.09	37.225	142.218	26.00	6.2	59.1	166.6	81.1	プレート間地震
2011/03/11	21:49:00.16	36.243	141.762	35.45	5.3	103.1	106.6	71.6	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/03/11	21:56:03.61	37.794	142.048	28.99	5.3	40.6	195.2	81.6	内陸地殻内地震
2011/03/11	21:59:18.90	36.148	141.914	35.00	5.3	106.3	122.6	74.1	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/03/11	22:16:48.63	36.427	141.843	28.00	5.7	91.9	111.0	75.8	プレート間地震
2011/03/11	22:34:32.93	36.285	141.930	23.00	5.6	99.2	120.4	79.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	22:56:05.68	37.666	141.722	46.36	5.3	36.4	166.1	74.4	プレート間地震
2011/03/11	23:00:37.29	36.148	140.879	43.42	5.4	145.2	42.9	44.7	プレート間地震
2011/03/11	23:53:58.22	36.006	142.138	13.00	5.4	109.9	146.8	84.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	23:56:13.86	35.972	141.570	31.21	5.8	122.1	102.5	73.1	内陸地殻内地震
2011/03/12	00:07:41.53	36.378	141.525	40.58	5.4	96.5	83.0	63.9	プレート間地震
2011/03/12	00:13:12.44	36.054	142.002	22.82	6.7	109.6	133.4	80.3	プレート間地震
2011/03/12	00:19:34.73	36.322	142.055	18.00	5.7	96.6	130.9	82.2	プレート間地震
2011/03/12	00:32:31.66	37.307	142.173	13.56	5.3	55.8	168.0	85.4	内陸地殻内地震
2011/03/12	00:42:02.82	36.130	141.902	16.37	5.5	107.4	122.2	82.4	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/03/12	03:11:25.63	37.171	142.026	25.55	6.0	57.9	148.8	80.3	プレート間地震
2011/03/12	03:17:03.04	36.258	141.804	16.00	5.7	101.8	109.9	81.7	プレート間地震
2011/03/12	03:59:15.62	36.986	138.598	8.38	6.7	288.4	188.5	87.5	内陸地殻内地震
2011/03/12	04:24:28.13	35.759	141.041	35.13	5.7	153.4	87.6	68.2	プレート間地震
2011/03/12	04:31:55.60	36.949	138.573	0.78	5.9	287.0	189.5	89.8	内陸地殻内地震
2011/03/12	05:23:43.19	35.958	141.663	9.66	5.4	120.4	110.4	85.0	プレート間地震
2011/03/12	08:59:21.37	36.498	141.480	28.43	5.5	87.1	78.3	70.1	プレート間地震
2011/03/12	09:45:07.42	36.162	141.932	20.00	5.6	105.4	123.7	80.8	プレート間地震
2011/03/15	22:27:53.62	37.599	142.299	10.03	6.2	49.6	196.2	87.1	内陸地殻内地震
2011/03/15	22:37:54.91	37.624	142.001	29.51	5.3	43.6	178.6	80.6	内陸地殻内地震
2011/03/16	05:30:00.29	35.285	141.224	24.16	5.8	156.8	142.4	80.4	プレート間地震
2011/03/16	12:52:02.77	35.837	140.907	9.97	6.1	158.8	74.8	82.4	内陸地殻内地震
2011/03/16	13:14:29.65	37.535	141.581	25.33	5.6	35.9	146.9	80.2	内陸地殻内地震
2011/03/16	22:39:02.59	35.917	140.440	53.41	5.4	193.9	62.8	49.6	プレート間地震
2011/03/17	17:25:22.76	36.681	141.851	17.21	5.4	77.5	113.9	81.4	内陸地殻内地震
2011/03/17	21:32:02.49	35.630	140.979	27.87	5.7	160.0	98.6	74.2	プレート間地震

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度、水平が90度となる。

見かけの入射角 = $\tan^{-1}(\text{震央距離} / \text{震源深さ})$

4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (4 / 5)

発震日時	震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式	
	緯度(度)	経度(度)							
2011/03/17	21:54:53.66	36.738	141.309	47.01	5.7	64.2	69.7	56.0	プレート間地震
2011/03/18	03:55:31.97	37.142	142.523	9.00	5.7	65.7	186.8	87.2	内陸地殻内地震
2011/03/18	09:41:16.26	35.986	141.831	28.00	5.4	115.5	122.3	77.1	内陸地殻内地震
2011/03/18	17:01:34.43	35.822	141.112	34.58	5.4	147.4	84.7	67.8	プレート間地震
2011/03/19	08:49:31.45	36.737	140.605	4.95	5.3	359.6	30.1	80.7	内陸地殻内地震
2011/03/19	18:56:48.06	36.784	140.572	5.37	6.1	354.9	35.4	81.4	内陸地殻内地震
2011/03/20	10:30:45.53	36.939	141.177	29.31	5.5	44.0	73.2	68.2	内陸地殻内地震
2011/03/20	14:55:28.36	37.663	141.650	42.17	5.4	34.6	162.0	75.4	プレート間地震
2011/03/22	12:38:34.78	35.264	141.237	36.97	5.9	156.7	145.0	75.7	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/03/22	18:19:05.28	37.316	141.910	43.00	6.4	50.5	149.7	74.0	海洋プレート内地震(陸域寄り)
2011/03/22	21:04:05.04	36.231	141.627	48.42	5.9	105.6	95.2	63.0	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/03/22	22:50:49.81	35.861	141.781	21.61	6.0	122.1	125.2	80.2	プレート間地震
2011/03/23	00:03:46.28	35.875	141.764	22.68	5.8	121.9	123.0	79.6	プレート間地震
2011/03/23	01:12:07.28	35.811	141.837	34.74	5.4	122.9	132.4	75.3	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/03/23	07:12:28.78	37.085	140.788	7.60	6.0	13.2	70.6	83.9	内陸地殻内地震
2011/03/23	07:13:52.77	37.035	140.769	0.93	5.8	12.9	64.8	89.2	内陸地殻内地震
2011/03/23	07:34:56.09	37.098	140.796	6.69	5.5	13.5	72.2	84.7	内陸地殻内地震
2011/03/23	07:36:31.31	37.063	140.771	7.30	5.8	12.4	67.9	83.9	内陸地殻内地震
2011/03/28	14:44:54.78	36.362	141.865	72.90	5.3	95.4	113.4	57.3	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/03/29	19:54:30.44	37.409	142.470	13.37	6.6	57.2	196.2	86.1	内陸地殻内地震
2011/03/30	21:51:37.17	35.444	141.228	30.12	5.3	153.5	126.4	76.6	内陸地殻内地震
2011/04/03	16:38:45.14	37.626	141.650	46.80	5.4	35.5	158.7	73.6	プレート間地震
2011/04/06	22:54:51.13	37.634	141.572	45.90	5.3	33.2	155.5	73.6	プレート間地震
2011/04/11	17:16:12.02	36.946	140.673	6.42	7.0	6.3	53.6	83.2	内陸地殻内地震
2011/04/11	17:17:47.50	36.891	140.715	9.18	5.7	11.6	48.2	79.2	内陸地殻内地震
2011/04/11	17:26:29.04	37.063	140.623	5.25	5.4	1.3	66.2	85.5	内陸地殻内地震
2011/04/11	20:42:35.16	36.966	140.635	10.58	5.9	2.6	55.5	79.2	内陸地殻内地震
2011/04/12	07:26:16.87	36.819	138.606	0.00	5.6	282.9	183.2	90.0	内陸地殻内地震
2011/04/12	08:08:15.89	35.482	140.868	26.27	6.4	167.7	111.7	76.8	海洋プレート内地震(陸域寄り)
2011/04/12	14:07:42.28	37.053	140.644	15.08	6.4	2.9	65.2	77.0	内陸地殻内地震
2011/04/13	08:36:20.20	35.487	140.879	26.90	5.3	167.2	111.4	76.4	内陸地殻内地震
2011/04/13	10:07:58.05	36.915	140.707	4.52	5.7	10.1	50.7	84.9	内陸地殻内地震
2011/04/14	12:08:58.35	36.984	140.773	10.75	5.4	14.4	59.4	79.7	内陸地殻内地震
2011/04/28	18:27:46.79	37.413	141.782	43.53	5.7	44.5	148.4	73.6	プレート間地震
2011/04/30	14:06:31.10	36.760	141.281	36.94	5.3	61.4	68.6	61.7	プレート間地震
2011/05/10	19:14:38.85	36.226	141.863	58.00	5.4	102.9	115.8	63.4	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/05/14	08:35:50.99	37.328	141.628	40.92	5.9	43.3	132.1	72.8	プレート間地震
2011/05/15	21:14:20.77	37.287	142.556	68.00	5.3	61.7	196.2	70.9	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度、水平が90度となる。

見かけの入射角 = \tan^{-1} (震央距離 / 震源深さ)

4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (5 / 5)

発震日時	震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式	
	緯度(度)	経度(度)							
2011/05/20	09:46:15.48	35.802	141.176	35.86	5.8	145.0	89.8	68.2	プレート間地震
2011/05/22	07:06:27.44	35.730	140.644	48.33	5.5	177.6	81.8	59.4	プレート間地震
2011/06/04	01:00:14.16	36.990	141.211	29.61	5.5	42.7	79.4	69.5	内陸地殻内地震
2011/06/09	19:38:32.94	36.497	140.971	12.59	5.7	83.8	32.8	69.0	内陸地殻内地震
2011/06/18	20:31:04.61	37.618	141.821	27.65	6.0	39.8	167.4	80.6	内陸地殻内地震
2011/06/21	17:49:39.90	35.760	141.474	21.10	5.5	134.8	110.6	79.2	内陸地殻内地震
2011/07/07	00:15:00.04	36.375	141.788	76.38	5.9	95.1	106.4	54.3	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/07/08	03:35:41.84	37.097	141.130	55.48	5.6	33.5	84.2	56.6	プレート間地震
2011/07/15	21:01:10.80	36.164	140.083	66.36	5.4	234.6	57.7	41.0	プレート間地震
2011/07/19	10:38:48.40	37.326	141.758	30.80	5.4	46.7	140.1	77.6	内陸地殻内地震
2011/07/25	03:51:25.30	37.709	141.627	45.81	6.3	33.0	165.1	74.5	プレート間地震
2011/07/25	20:54:48.95	35.245	141.232	36.96	5.7	157.2	146.8	75.9	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2011/07/29	23:53:17.45	36.688	142.134	29.00	5.6	79.3	138.9	78.2	プレート間地震
2011/07/31	03:53:50.64	36.903	141.221	57.31	6.5	48.4	73.3	52.0	海洋プレート内地震(陸域寄り)
2011/08/12	03:22:04.71	36.969	141.161	52.26	6.1	41.4	74.6	55.0	プレート間地震
2011/08/19	14:36:31.61	37.649	141.797	51.15	6.5	38.5	168.7	73.1	海洋プレート内地震(陸域寄り)
2011/08/22	20:23:35.34	36.107	141.984	34.00	6.1	107.4	130.0	75.3	プレート間地震
2011/09/15	17:00:08.62	36.255	141.483	50.88	6.3	106.3	82.1	58.2	プレート間地震
2011/09/29	19:05:05.66	37.133	140.870	8.84	5.4	17.5	77.6	83.5	内陸地殻内地震
2011/10/03	01:49:00.69	37.338	141.636	17.58	5.3	43.2	133.3	82.5	内陸地殻内地震
2011/10/10	11:45:57.02	37.508	141.486	46.99	5.6	33.8	139.6	71.4	プレート間地震
2011/11/20	10:23:40.78	36.711	140.588	8.99	5.3	356.5	27.2	71.7	内陸地殻内地震
2011/11/24	04:24:30.45	37.330	141.613	45.41	6.1	42.8	131.3	70.9	プレート間地震
2012/01/12	12:20:49.03	36.968	141.304	33.35	5.9	48.0	83.6	68.2	内陸地殻内地震
2012/01/28	07:43:14.09	35.489	138.977	18.16	5.4	234.1	182.6	84.3	内陸地殻内地震
2012/04/01	23:04:24.95	37.077	141.133	53.04	5.9	34.6	82.5	57.3	プレート間地震
2012/04/12	20:19:57.23	36.829	141.343	28.81	5.6	58.3	77.2	69.5	内陸地殻内地震
2012/04/12	23:50:50.42	37.452	141.734	26.80	5.9	42.2	148.5	79.8	内陸地殻内地震
2012/04/13	19:10:00.37	36.947	141.422	31.54	6.0	53.5	90.4	70.8	内陸地殻内地震
2012/04/25	05:22:09.42	35.723	140.679	43.12	5.5	175.5	82.7	62.5	プレート間地震
2012/04/29	19:28:51.59	35.716	140.601	48.26	5.8	180.4	83.2	59.9	プレート間地震
2012/06/06	04:31:33.33	34.993	141.371	37.02	6.3	156.9	177.5	78.2	海洋プレート内地震(海溝軸寄り)
2012/11/09	12:51:53.47	36.878	141.380	32.50	5.5	56.3	82.8	68.6	内陸地殻内地震
2012/11/16	17:25:53.87	35.357	141.230	30.24	5.5	155.3	135.3	77.4	内陸地殻内地震
2012/12/15	13:27:01.67	37.297	141.349	59.02	5.3	35.4	113.6	62.5	海洋プレート内地震(陸域寄り)

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度, 水平が90度となる。

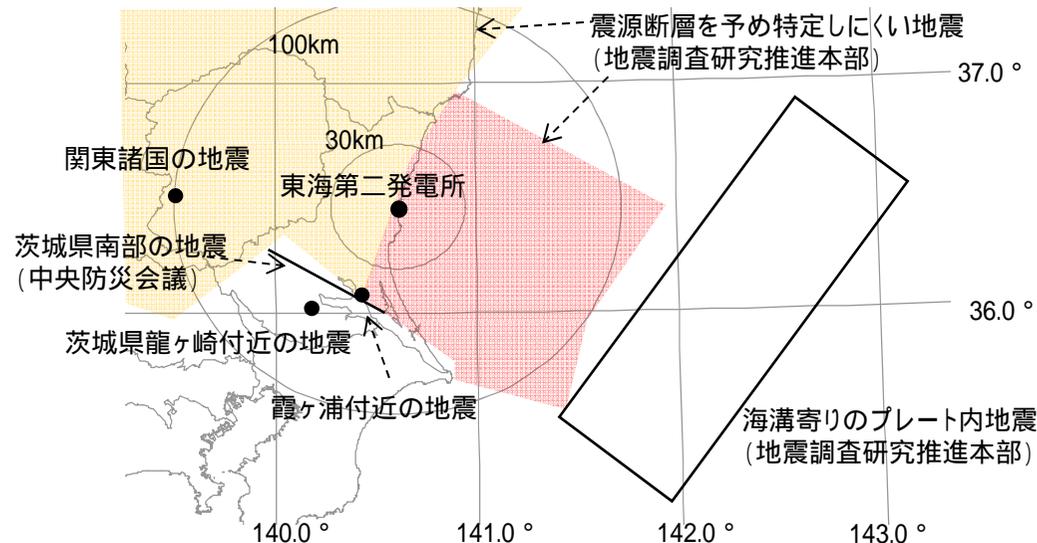
見かけの入射角 = \tan^{-1} (震央距離 / 震源深さ)

4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

検討用地震の選定 (1 / 2)

年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km) ¹	プレート	補正係数 ⁴
818. - . -	関東諸国の地震	7.5	123	フィリピン海	考慮
1895. 1.18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	69	フィリピン海	考慮
1921.12. 8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	74	フィリピン海	考慮
-	茨城県南部の地震(中央防災会議)	7.3	69	フィリピン海	考慮
-	震源断層を予め特定しにくい地震(陸域) (地震調査研究推進本部)	7.1	89 ²	太平洋	考慮
-	震源断層を予め特定しにくい地震(海域) (地震調査研究推進本部)	7.3	81 ³	太平洋	考慮
-	海溝寄りのプレート内地震 (地震調査研究推進本部)	8.2	164	太平洋	

- 1 地震カタログによる位置情報やプレート境界等深線等に基づいて算出
- 2 敷地直下のプレート境界から30km下方に震源を想定して算出
- 3 敷地からプレート境界最短となる線上でプレート境界から30km下方に震源を想定して算出
- 4 陸域寄りの場所で発生した海洋プレート内地震による補正係数

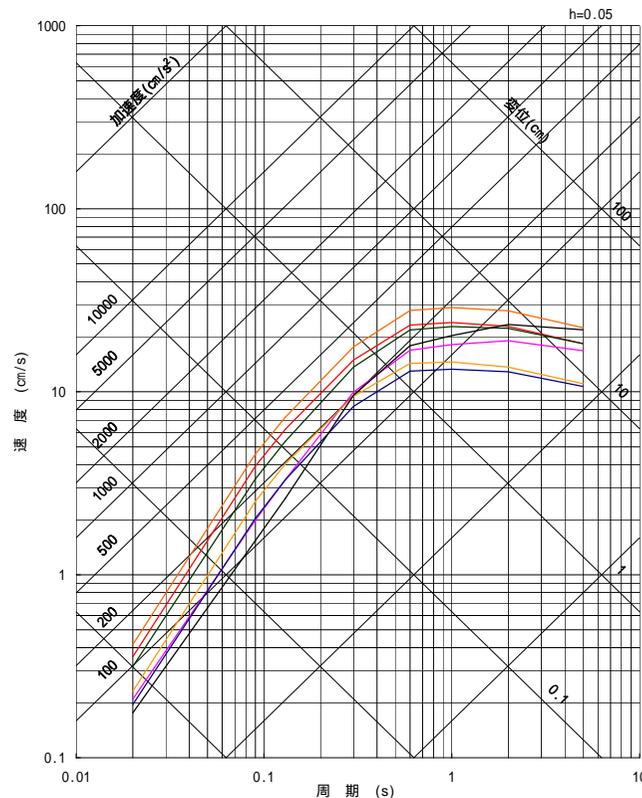


海洋プレート内地震の検討用地震の選定にあたり考慮した震源について、諸元及び位置を示す。

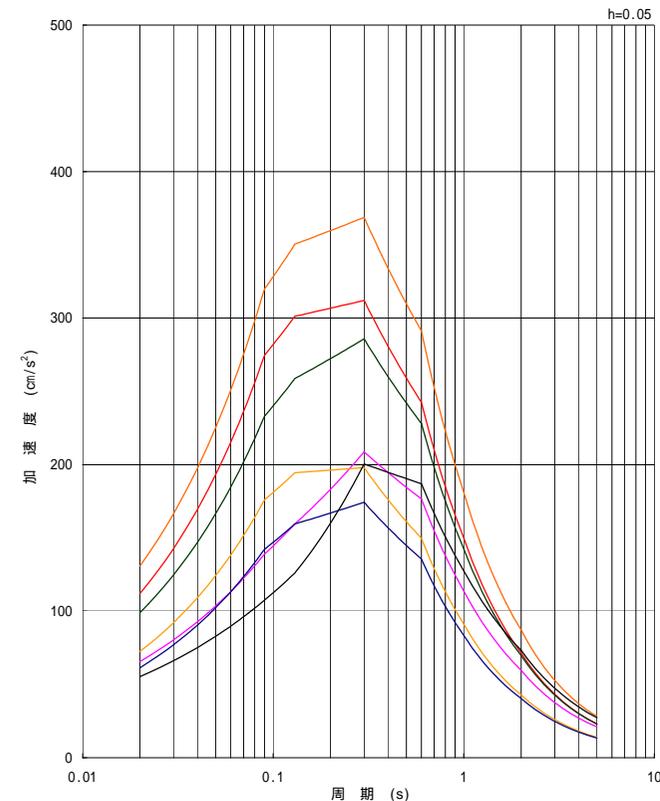
対象震源位置図

4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定

検討用地震の選定 (2 / 2)



(擬似速度応答スペクトル)



(加速度応答スペクトル)

- 関東諸国の地震, M7.5, Xeq=123km
- 霞ヶ浦付近の地震, M7.2, Xeq=69km
- 茨城県龍ヶ崎付近の地震, M7.0, Xeq=74km
- 茨城県南部の地震 (中央防災会議), M7.3, Xeq=69km
- 震源断層を予め特定しにくい地震 (地震調査研究推進本部, 陸域), M7.1, Xeq=89km
- 震源断層を予め特定しにくい地震 (地震調査研究推進本部, 海域), M7.3, Xeq=81km
- 海溝寄りのプレート内地震 (地震調査研究推進本部), M8.2, Xeq=164km

海洋プレート内地震の地震動の応答スペクトル(Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

- フィリピン海プレート内地震, 太平洋プレート内地震とも想定する地震の最大規模は, 敷地100km圏内ではM7.3である。敷地への影響は, より敷地に近い位置で想定しているフィリピン海プレート内地震の影響が大きい。
- 以上のことから, 検討用地震はフィリピン海プレート内地震である茨城県南部の地震(M7.3, 中央防災会議)で代表させる。

1. 評価フロー	3
2. 海洋プレート内地震に関する各種知見	4
3. 敷地周辺の地震発生状況	16
4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定	29
5. 海洋プレート内地震の地震動評価	47
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	66
7. 参考文献	72
 参考資料	
検討用地震の規模, 位置の妥当性について	73

5. 海洋プレート内地震の地震動評価(茨城県南部の地震)

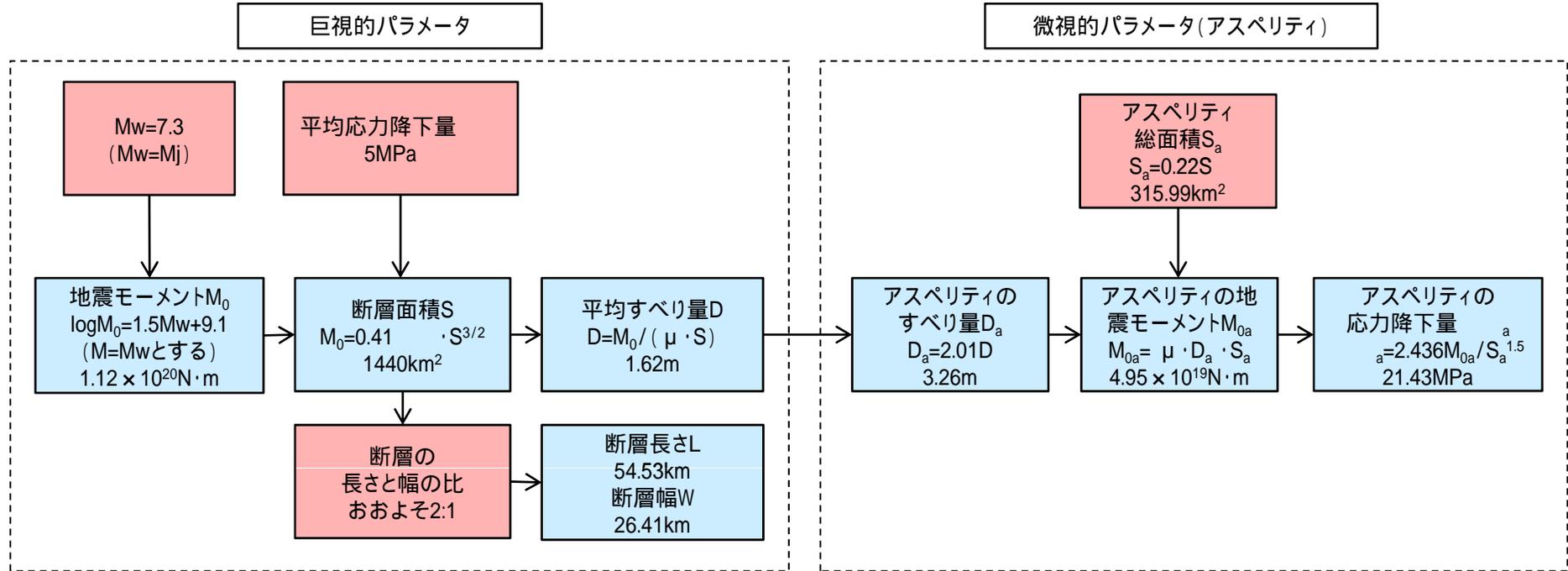
震源モデルの設定

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法による地震動評価

基本震源モデルの設定

中央防災会議(2004)に基づき,基本震源モデルの断層パラメータを設定する。断層パラメータの設定フローを下記に示す。



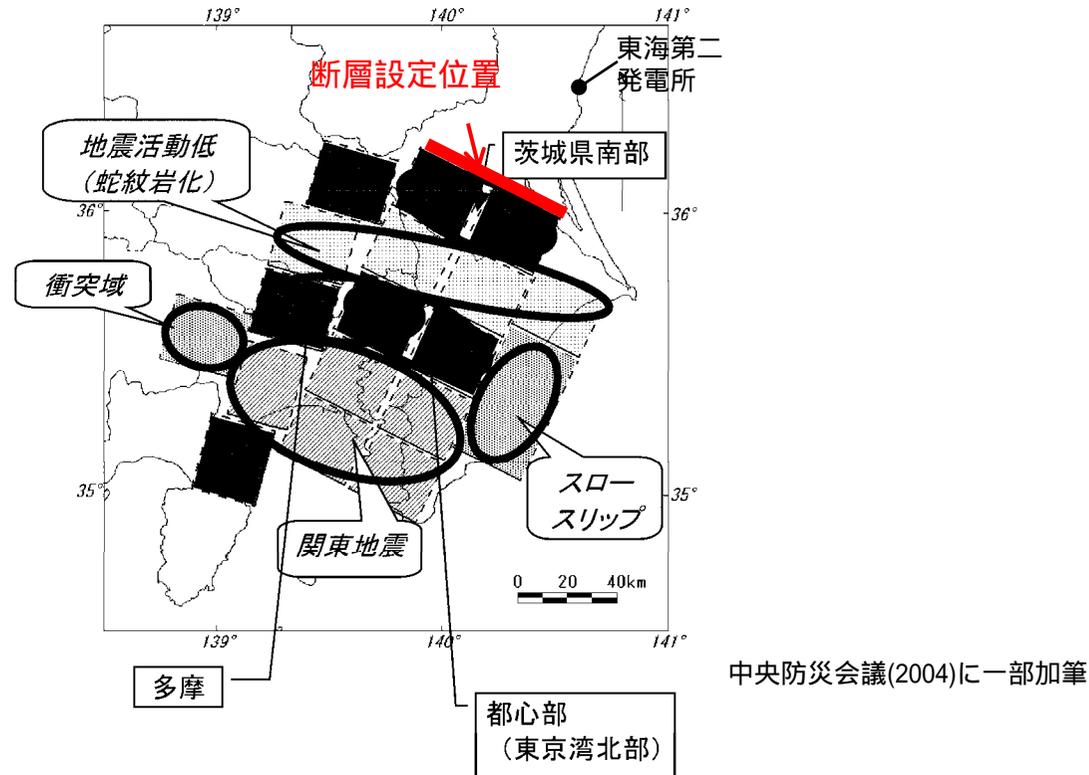
Somerville et al.(1999)より

- 中央防災会議(2004)に基づき,与条件とした項目
- 中央防災会議(2004)に基づき,与条件から設定

基本震源モデルの設定

断層面の位置・形状(中央防災会議の断層面との位置関係)

中央防災会議(2004)では、茨城県南部の海洋プレート内地震は下図の「茨城県南部」の領域で発生することとされている。断層位置は、敷地への影響が大きくなるように茨城県南部の領域の北端(フィリピン海プレートの敷地に最も近い位置)とした。断層傾斜角は中央防災会議(2004)に基づき90度とした。



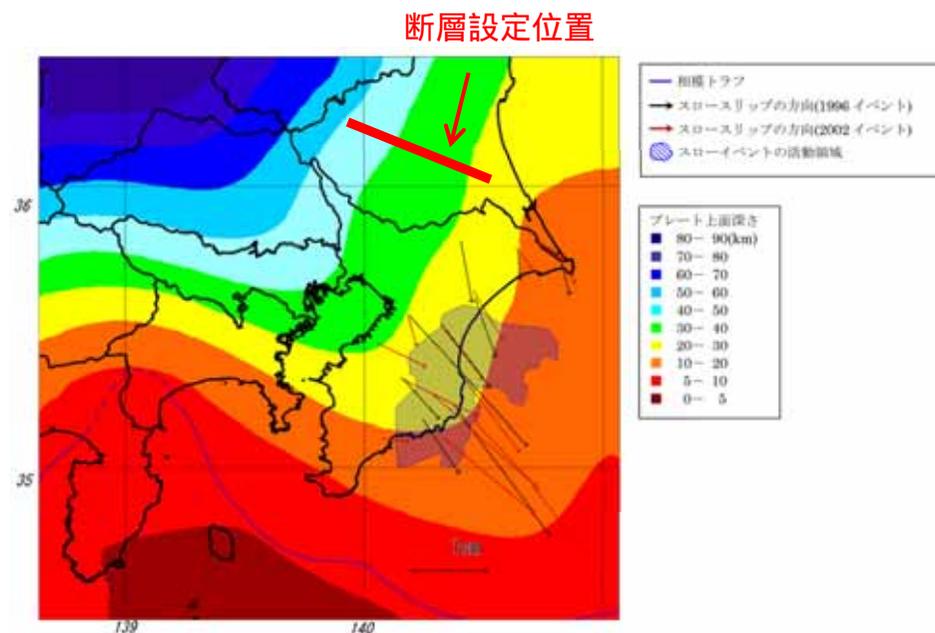
中央防災会議(2004)によるフィリピン海プレート
上面付近の19枚の断層(一部加筆)

基本震源モデルの断層設定位置は、フィリピン海プレートが北西方向に沈み込んでいることを考慮し、敷地に最も近い位置となっている。

基本震源モデルの設定

断層面の位置・形状(フィリピン海プレートの沈み込みとの対応)

中央防災会議(2004)によるフィリピン海プレート上面と断層設定位置の関係を踏まえ、断層上端深さを30kmに設定する。



中央防災会議(2004)によるフィリピン海プレート上面の深さ分布(一部加筆)

基本震源モデルの断層上端については、この範囲のフィリピン海プレート上面の最も浅い部分である深さ30kmに設定する。

基本震源モデルの設定

基本震源モデルの設定

中央防災会議(2004)「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書で想定されている茨城県南部のフィリピン海プレート内地震を参考に設定する。

地震規模

同報告書に基づき, Mj7.3とする。

断層面の位置・形状

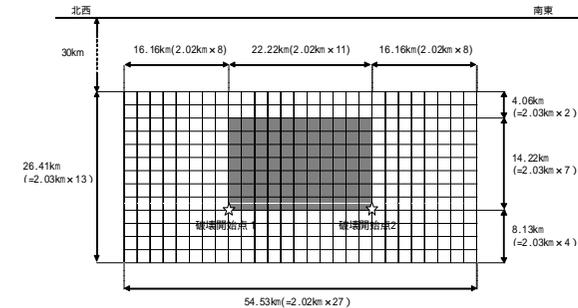
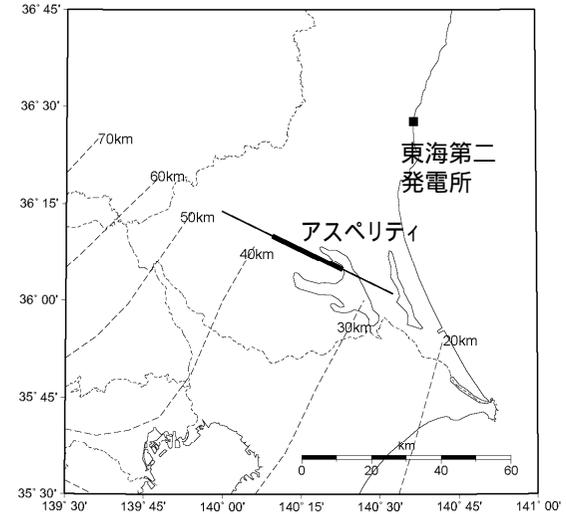
- ・断層位置は, 同報告書の茨城県南部のプレート境界地震の断層面の北端(フィリピン海プレートの敷地に最も近い位置)とした。
- ・断層傾斜角は同報告書を基に90度とした。

断層面の深さ

同報告書(図表集)によるフィリピン海プレートの上面位置となる深さ30kmに設定する。

アスペリティの位置

同報告書(図表集)による東京湾北部直下のプレート内地震のモデルを参考に, 断層の中央に設定する。



基本震源モデル

中央防災会議(2004): 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書, 平成16年11月
中央防災会議(2004): 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書(図表集), 平成16年11月

基本震源モデルの設定

主要なパラメータの設定

中央防災会議(2004)「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書では、フィリピン海プレート内地震のパラメータについて、下記3個の断層パラメータを与条件として与え、断層面積 S 、アスペリティの応力降下量 a については、パラメータ間の関係式を用いて算定している。

地震モーメント M_0 (N·m)

同報告書より
 $M_w = M_j$ として $\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$ より算出する。

平均応力降下量 (MPa)

同報告書のプレート内の値として5MPaと設定する。

アスペリティ面積比 S_a/S

$S_a/S = 0.22$ (Somerville et al.(1999)より)

ここで、 S_a : アスペリティ面積

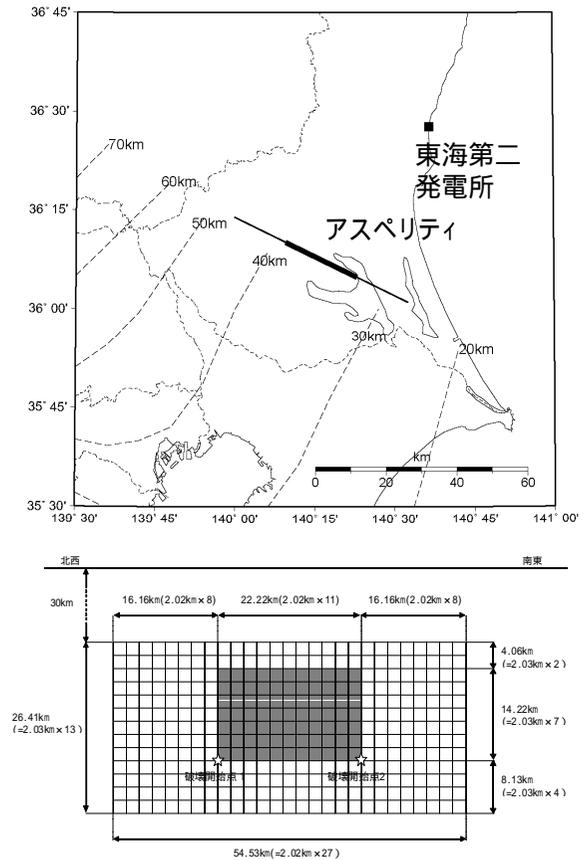
S : 断層面積

パラメータ間の関係式

- 断層面積 S は同報告書より

$$= 7^{1.5/16} \times M_0 / S^{1.5}$$
 を用いて、1440km²と算出する。
- アスペリティの応力降下量 a は同報告書より

$$a = 2.436 \times M_{0a} / S_a^{1.5}$$
 を用いて、21.43MPaと算出する。



基本震源モデル

基本震源モデルの設定

断層パラメータ設定根拠の整理

項目	設定根拠	備考
M, 断層位置	Mは中央防災会議(2004)に基づき設定。断層面付近で発生した過去の地震の規模よりも大きい規模となっている。断層位置は、茨城県南部においてフィリピン海プレートの地震が想定される範囲で敷地に最も近い位置とした。	参考資料で説明
断層面積 断層長さ, 幅	断層面積は, 平均応力降下量, 地震モーメントより円形クラック式を用いて算出した。断層長さ, 幅は, 中央防災会議(2004)に基づき設定。断層幅は, この地域のフィリピン海プレートの厚さ(20~25km程度)と同等の大きさとなっている。	
断層上端深さ	断層面が位置する範囲でのフィリピン海プレート上面の最も浅い部分の深さである30kmに設定した。	参考資料で説明
断層傾斜角	中央防災会議(2004)に基づき, 90度と設定した。	
断層の走向, すべり角, 破壊開始点	断層の走向とすべり角は中央防災会議(2004)を参考に設定した。破壊開始点は, アスペリティの下端2か所に設定した。	
平均応力降下量	中央防災会議(2004)に基づき, プレート内地震の値として $\sigma = 5\text{MPa}$ と設定した。	
密度	中央防災会議(2004)での設定値 2.8g/cm^3 に対し, 佐藤(2003)に基づき 3.0g/cm^3 とした。	
S波速度	中央防災会議(2004)での設定値 3.5km/s に対し, 佐藤(2003)に基づき 4.0km/s とした。	
剛性率	佐藤(2003)に基づく密度とS波速度から算出した。	
破壊伝播速度	中央防災会議(2004)が採用しているGeller(1976)による $V_r = 0.72V_s$ とした。	

不確かさを考慮するパラメータの選定

不確かさの考慮

検討用地震として選定した茨城県南部の地震に関する各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮した。

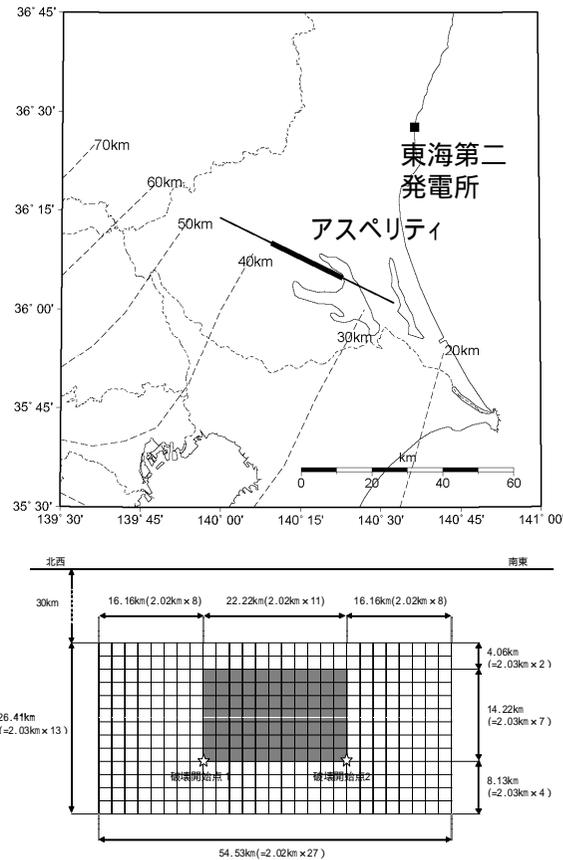
評価ケース	震源位置	地震規模	アスペリティ位置	断層傾斜角	破壊開始点
基本震源モデル	断層面位置をフィリピン海プレートの敷地から最も近い位置	茨城県南部で想定される最大規模であるM7.3	震源断層の中央に配置	90度に設定	アスペリティ下端に複数設定
アスペリティ位置の不確かさ	断層面位置をフィリピン海プレートの敷地から最も近い位置	茨城県南部で想定される最大規模であるM7.3	基本震源モデルに対し、アスペリティ位置を敷地へ最も近い位置に配置	90度に設定	アスペリティ下端に複数設定
断層傾斜角の不確かさ	断層面位置をフィリピン海プレートの敷地から最も近い位置	茨城県南部で想定される最大規模であるM7.3	震源断層の中央に配置	基本震源モデルに対し、ディレクティビティ効果を考慮するため70度に設定	アスペリティ下端に複数設定

「日本原子力発電(株)東海第二発電所の申請内容に係る主要な論点」(2014年7月4日)のうち、「No.8 プレート内地震について、ディレクティビティ効果を考慮した不確かさに関する検討内容を示すこと」を踏まえた検討

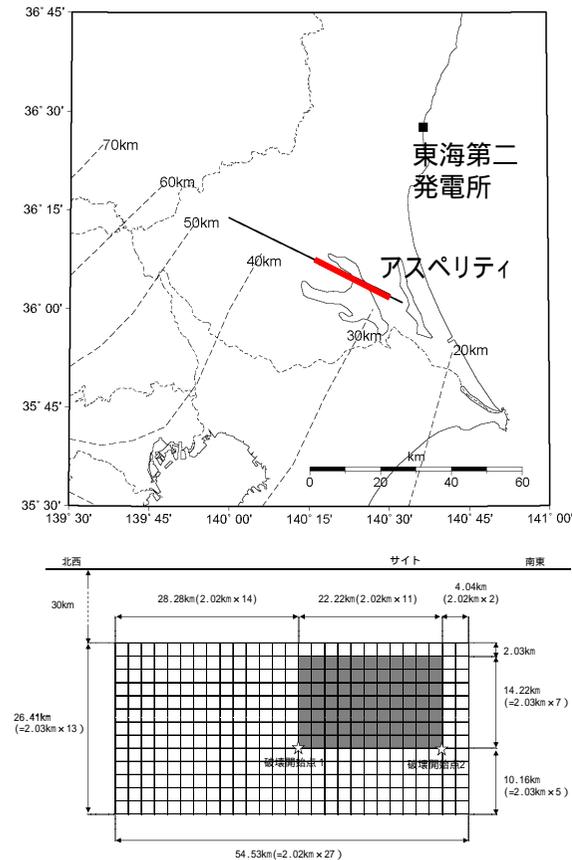
 不確かさを考慮して設定するパラメータ

不確かさを考慮するパラメータの選定

アスペリティ位置の不確かさを検討



基本震源モデル



アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル

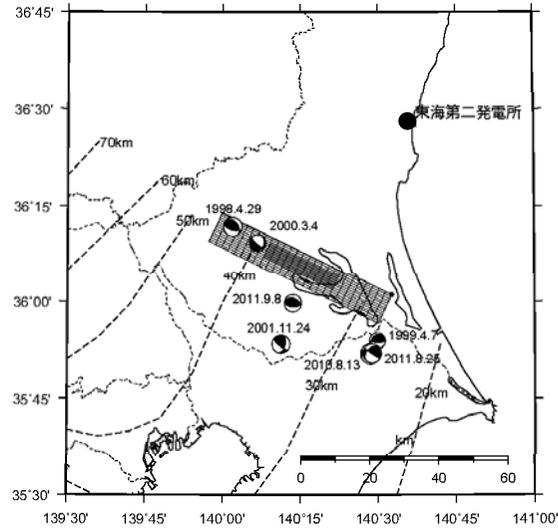
中央防災会議(2004)に基づき,断層面位置をフィリピン海プレートの敷地から最も近い位置に設定する。

基本震源モデルに対し,アスペリティを敷地へ最も近い位置に配置する。

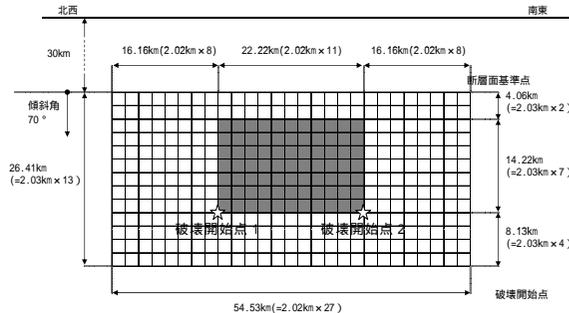
不確かさを考慮するパラメータの選定

断層傾斜角の不確かさの検討

震源断層面付近のフィリピン海プレート内で発生したと推定される地震の断層傾斜角を分析し、その結果を不確かさで考慮する傾斜角とした。



抽出した地震の震央位置



断層傾斜角の不確かさを考慮したモデル

検討対象地震の抽出

- ・フィリピン海プレート内地震に対応する震源深さである深さ20km ~ 60kmの地震とする。
- ・太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生する地震を除くため、想定断層と同様の走向を示す地震とする。
- ・メカニズム解より、正断層(すべり角: -120度 ~ -60度)と逆断層(すべり角: 30度 ~ 150度)の地震を以下のとおり抽出した。

抽出した地震の諸元

発生年月日	地震規模 M	深さ (km) ¹	メカニズム解 ²			断層タイプ
			走向(度)	傾斜(度)	すべり(度)	
1998.4.29	3.9	52.9	106	58	66	逆断層
1999.4.7	3.4	33.3	93	73	113	逆断層
2000.3.4	3.5	53.4	132	81	-115	正断層
2001.11.24	3.8	49.3	126	70	43	逆断層
2010.8.13	4.2	33.9	119	79	117	逆断層
2011.8.25	3.9	34.0	125	88	129	逆断層
2011.9.8	3.6	40.9	93	52	80	逆断層

- 1 震源深さは気象庁による。
- 2 メカニズム解はF-netによる。

- 抽出した7地震のメカニズム解について、傾斜角の平均値は約72度であった。
- 基本震源モデルに対し、ディレクティブティ効果を考慮するため断層傾斜角を70度に設定する。

断層パラメータ

断層パラメータ(基本震源モデル, アスペリティ位置の不確かさモデル及び断層傾斜角の不確かさモデル)

項目		設定値	設定方法
基準点 (断層南東端)	N	36° 1' 2"	茨城県南部のプレート境界地震 の北東端
	E	140° 32' 33"	
上端深さ	h(km)	30.0	陸のプレートとフィリピン海プレート の境界の等深線を参考
気象庁マグニチュード	Mj	7.3	中央防災会議(2004)
モーメントマグニチュード	M _w	7.3	M _w =Mj
地震モーメント	M ₀ (N・m)	1.12E+20	logM ₀ =1.5M _w +9.1
走向	(度)	296	中央防災会議(2004)
傾斜角	(度)	90(70)	中央防災会議(2004)
すべり角	(度)	-90	中央防災会議(2004)
平均応力降下量	(MPa)	5.00	中央防災会議(2004)
断層面積	S(km ²)	1440	$=7^{1.5}/16 \times M_0/S^{1.5}$
長さ	L(km)	54.53	中央防災会議(2004)
幅	W(km)	26.41	中央防災会議(2004)
密度	(g/cm ³)	3.0	佐藤(2003)
せん断波速度	V _s (km/s)	4.0	佐藤(2003)
剛性率	μ(N/m ²)	4.8E+10	μ = V _s ²
平均すべり量	D(m)	1.62	D=M ₀ /(μ S)
破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.88	V _r =0.72V _s

項目		設定値	設定方法
ア ス ペ リ テ ィ	面積	S _a (km ²)	315.99 S _a =0.22S
	すべり量	D _a (m)	3.26 D _a -2.01 × D
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	4.95E+19 M _{0a} = μ D _a S _a
	応力降下量	σ _a (MPa)	21.43 σ _a =2.436M _{0a} /S _a ^{1.5}
背 景 領 域	面積	S _b (km ²)	1124.43 S _b =S-S _a
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	6.26E+19 M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	すべり量	D _b (m)	1.16 D _b =M _{0b} /(μ S _b)
	実効応力	σ _b (MPa)	4.05 σ _b =2.436M _{0b} /S _b ^{1.5}
短周期レベル	A(N・m/s ²)	4.59E+19 A=(A _a ² +A _b ²) ^{0.5} , A _i =4 r _i V _s ² (i=a, b)	
Q値	Q	154f ^{0.91}	佐藤(2003)

()内は断層傾斜角の不確かさモデルで考慮

地震動評価手法

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

- ・ 解放基盤表面における地震動として評価できること, 震源の広がりを考慮できること, 敷地における地震観測記録等を用いて諸特性が考慮できること, 更に水平方向及び鉛直方向の地震動を評価できることから, Noda et al.(2002)を採用する。
- ・ 陸域寄りの場所で発生した海洋プレート内地震による補正係数を考慮する。
- ・ 地震規模は中央防災会議における茨城県南部の想定に基づきM7.3, 等価震源距離(X_{eq})は65km(基本震源モデル)となる。

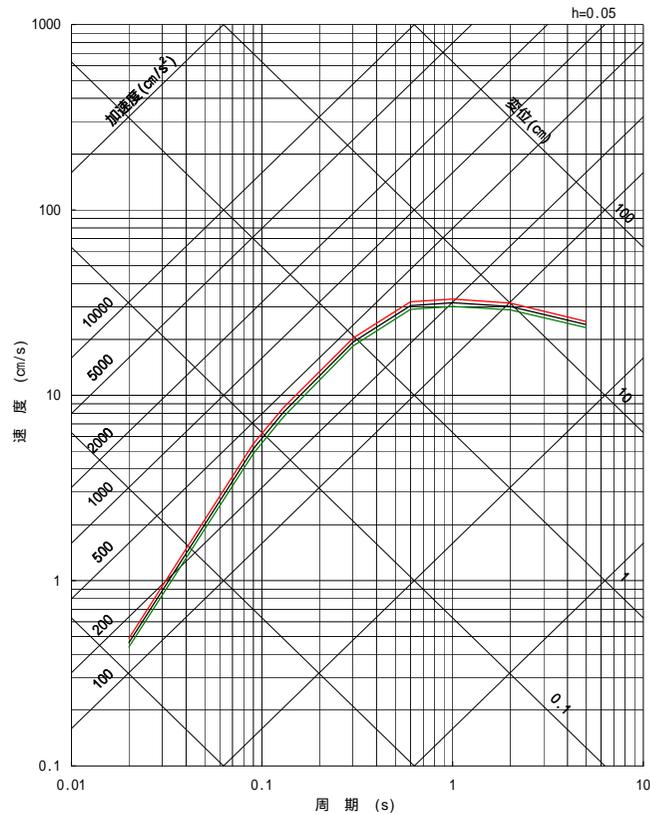
断層モデルを用いた手法による地震動評価

震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が敷地で得られているため, 経験的グリーン関数法により評価する。

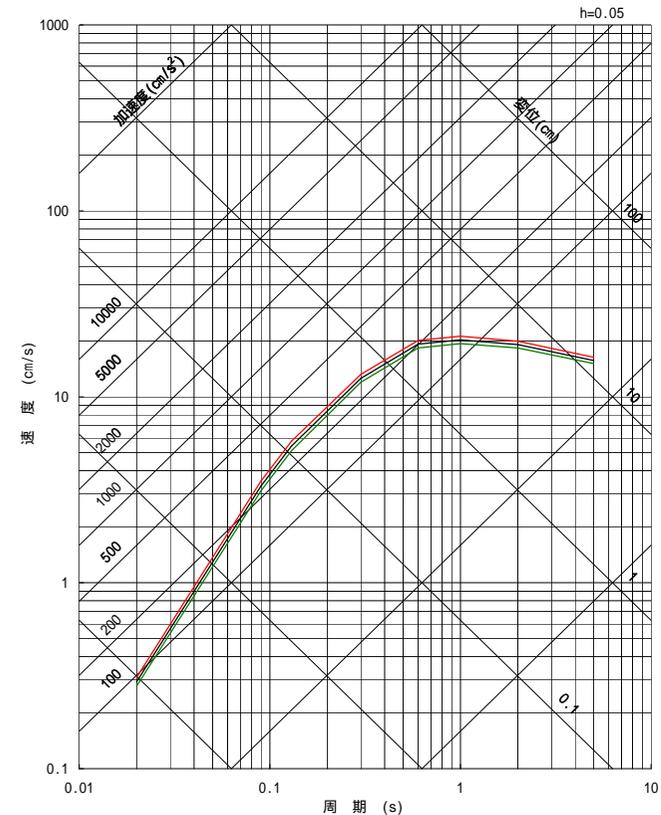
評価結果

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果

- 基本震源モデル(M7.3, Xeq=65km)
- アスぺリティ位置の不確かさを考慮したケース(M7.3, Xeq=63km)
- 断層傾斜角の不確かさを考慮したケース(M7.3, Xeq=67km)



水平成分



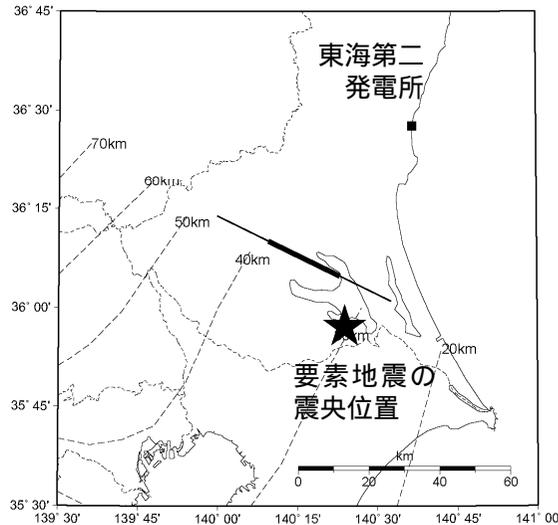
鉛直成分

茨城県南部の地震の応答スペクトルに基づく手法による地震動評価は, Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮し算定した。

要素地震の選定

要素地震の選定方法

想定する断層面と地震波の到来方向がほぼ等しく，伝播特性とサイト特性が共通であると考えられる1999年7月15日の地震(M5.0)を要素地震として選定した。なお，この要素地震は想定する断層面と震源メカニズムが異なるため，合成に際しては放射特性係数の補正を行い，要素地震として用いた。



要素地震の震央位置



要素地震のメカニズム解(下半球)

- 1 気象庁による。
- 2 F-netによる。

震源メカニズムの比較

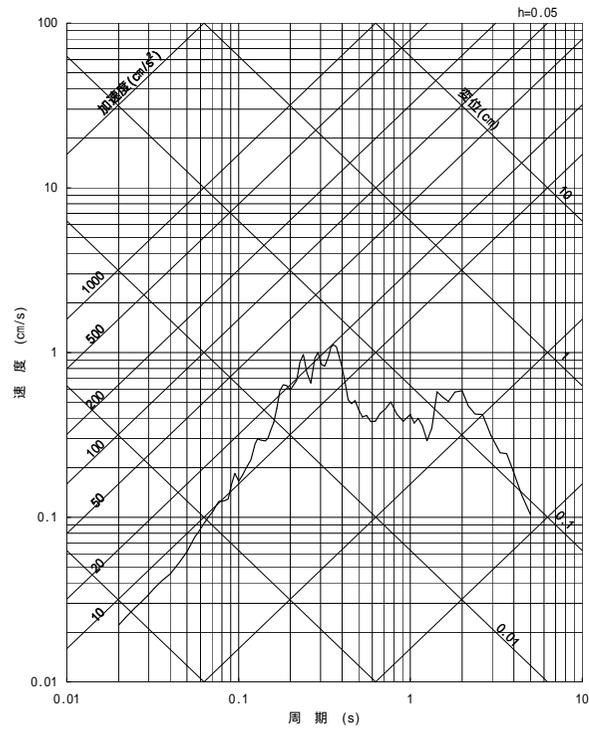
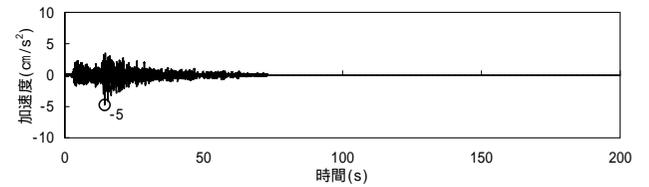
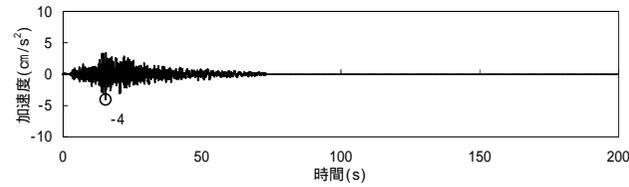
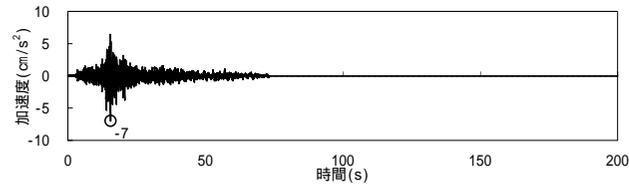
地震	メカニズム解			放射特性係数	
	走向(度)	傾斜(度)	すべり(度)	F_{SV}	F_{SH}
要素地震(1999.7.15, M5.0)	8	72	97	0.31 ³	0.37 ³
茨城県南部の地震(M7.3)	296	90	-90	メッシュごとの方位角， 射出角を用いて算定 (参考)-0.19 ³ (参考)-0.13 ³	

3 方位角14.6度，射出角129.4度で算定した場合

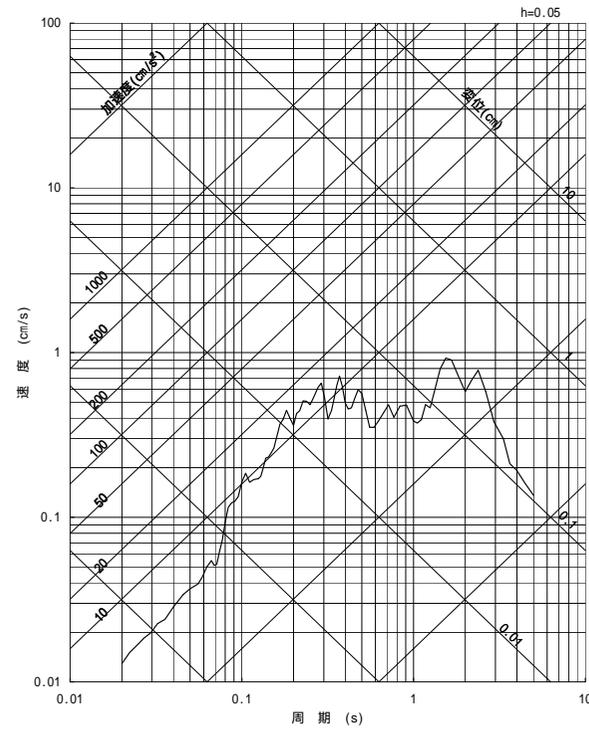
要素地震の選定

要素地震の解放基盤波

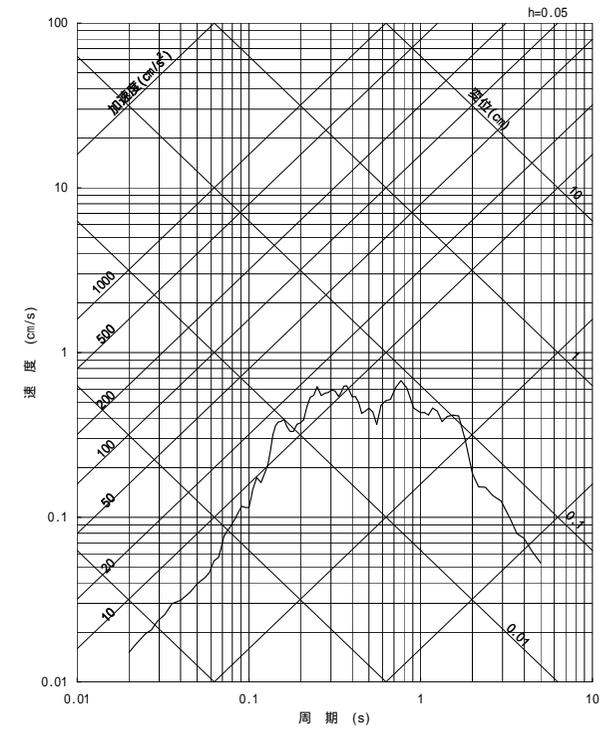
E.L.-372mの地震観測記録の解放基盤波を示す。



NS成分



EW成分



UD成分

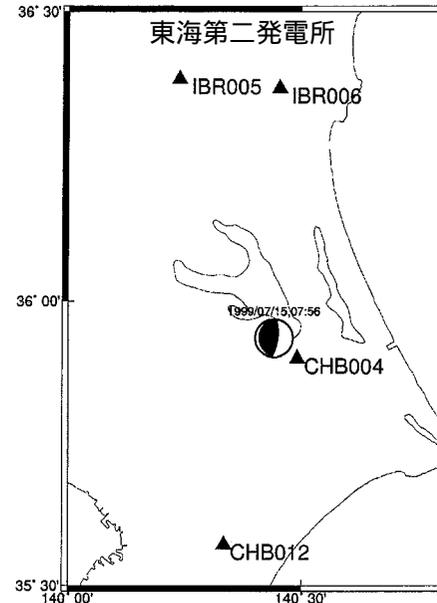
要素地震の解放基盤波

要素地震の選定

要素地震の応力降下量の見積もり

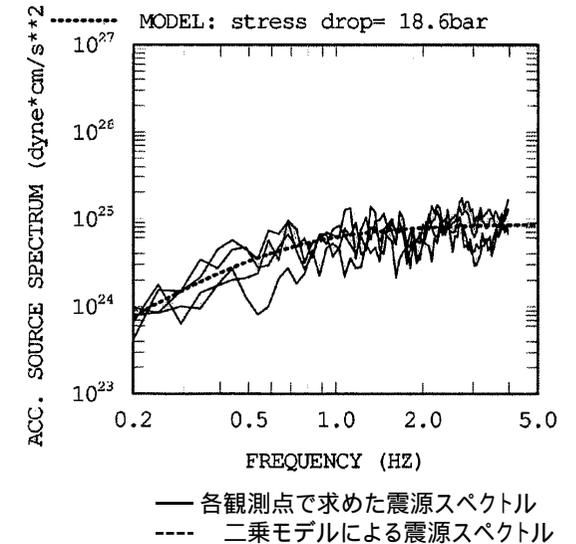
敷地周辺のK-NET地震計を用いて下記のとおり行う。

- ・佐藤(2003)のスペクトルインバージョン解析で推定している経験的地盤増幅率とQ値を用いて, Boore(1983)の統計的モデルを参考に震源スペクトルを求める。
- ・震源のせん断波速度, 密度及び地震基盤のせん断波速度, 密度については佐藤(2003)より下記のとおりとする。
震源: せん断波速度4.0km/s, 密度3.0g/cm³
地震基盤: せん断波速度2.83km/s, 密度2.67g/cm³
- ・ラディエーションパターン係数は0.6(Boore and Boatwright(1984))とする。
- ・地表面の増幅率は2.0とする。
- ・観測点の各観測記録から求めた震源スペクトルと 二乗モデルによる震源スペクトルが0.2~4Hzでフィッティングするよう短周期レベル等を推定する。
- ・F-netによる地震モーメントと上記で求めた短周期レベルから, 応力降下量を求める。



検討に用いたK-NET観測点

要素地震の震央位置と
K-NET観測点



要素地震の震源スペクトルの推定結果

要素地震の諸元

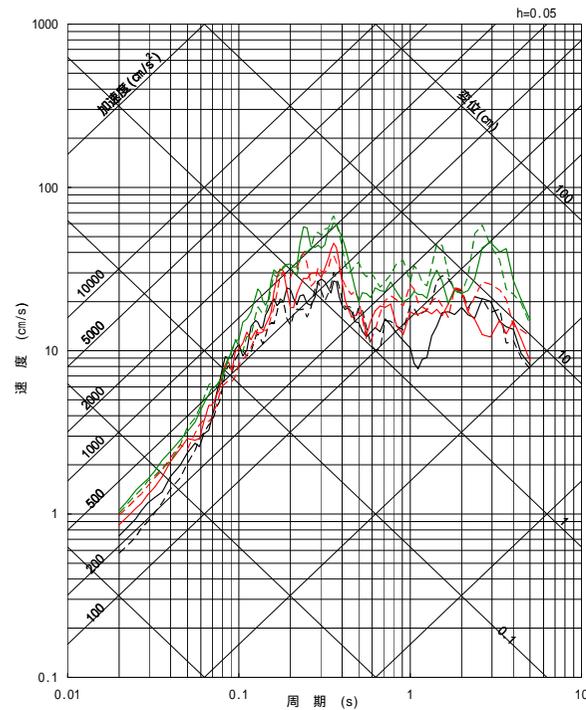
発生年月日	震央位置		M	震源深さ (km)	地震 モーメント M ₀ (N·m)	応力降下量 (MPa)
	緯度	経度				
1999年7月15日	35° 56 8 N	140° 26 28 E	5.0	49.6	5.33 × 10 ¹⁶	1.86

評価結果(応答スペクトル)

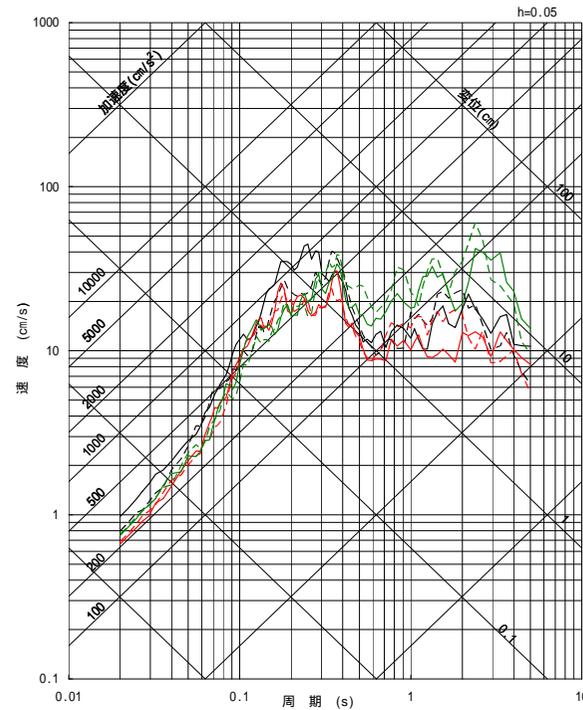
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(経験的グリーン関数法)

- 基本震源モデル
- アスぺリティ位置の不確かさを考慮したケース
- 断層傾斜角の不確かさを考慮したケース

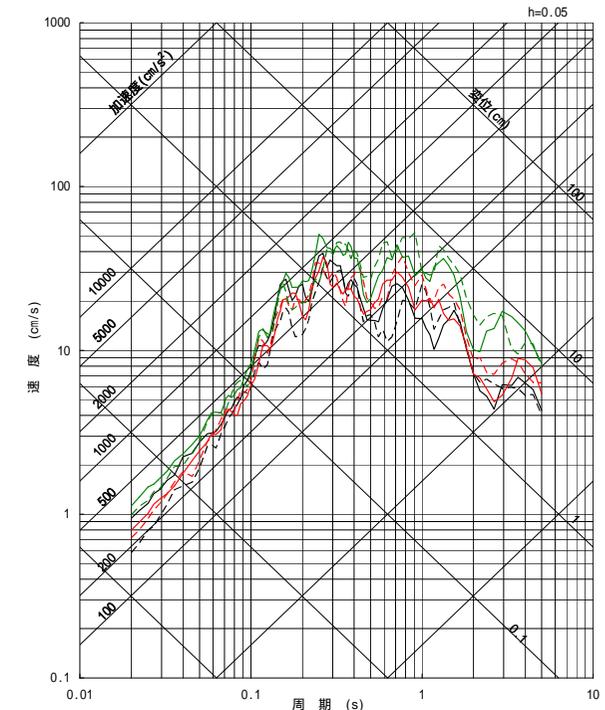
実線: 破壊開始点1
破線: 破壊開始点2



NS成分



EW成分



UD成分

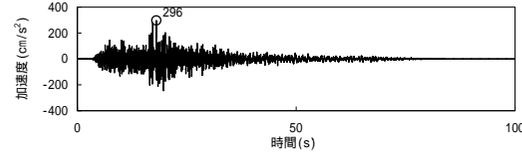
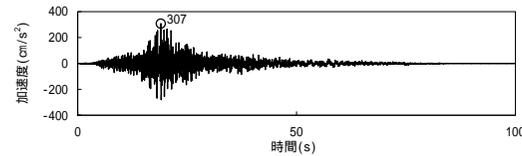
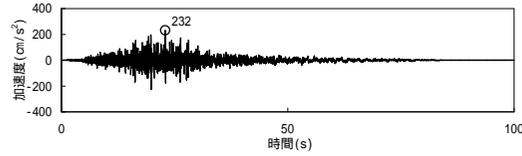
茨城県南部の地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、経験的グリーン関数法により実施した。

評価結果(時刻歴波形)

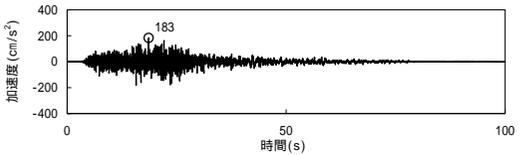
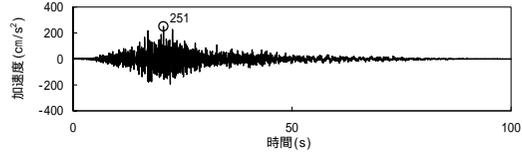
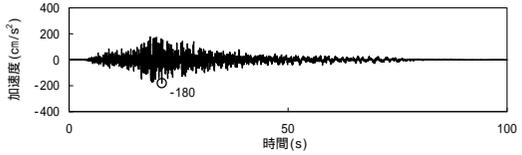
断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(経験的グリーン関数法)

基本震源モデル

破壊開始点1

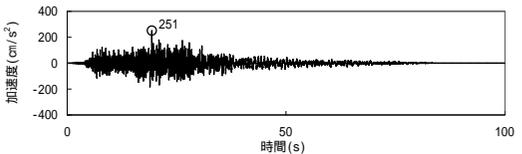
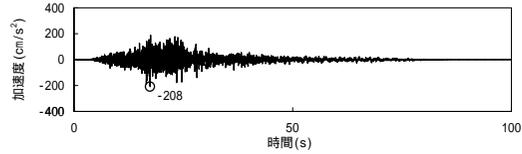
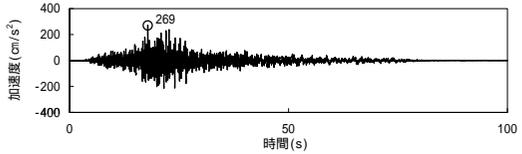


破壊開始点2

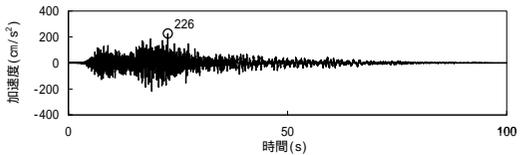
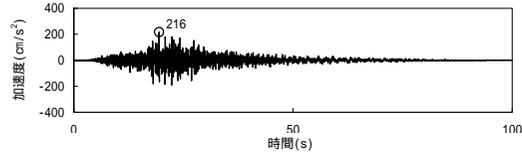
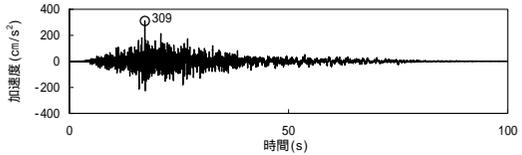


アスペリティ位置の不確かさを考慮

破壊開始点1

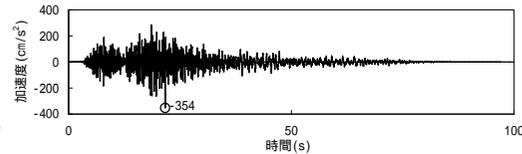
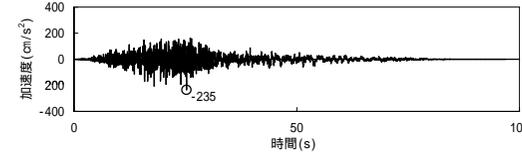
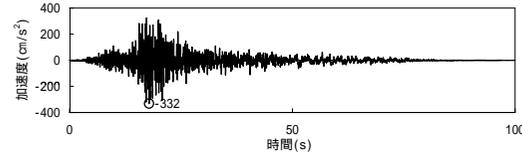


破壊開始点2

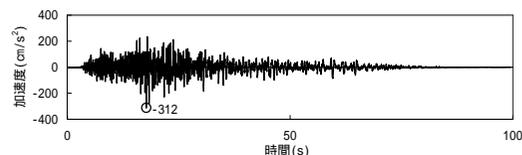
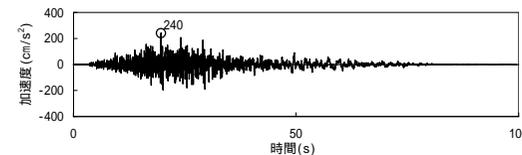
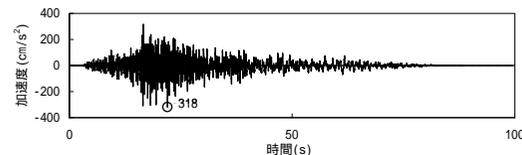


断層傾斜角の不確かさを考慮

破壊開始点1



破壊開始点2



NS成分

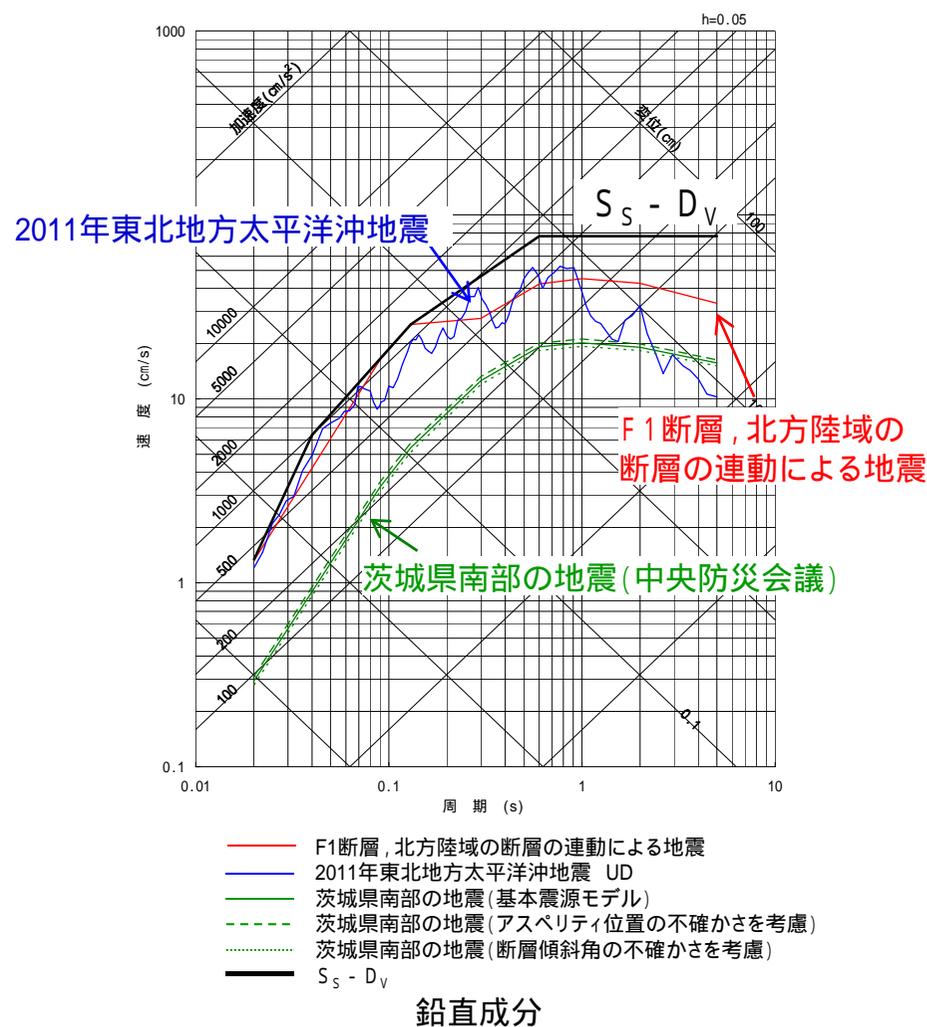
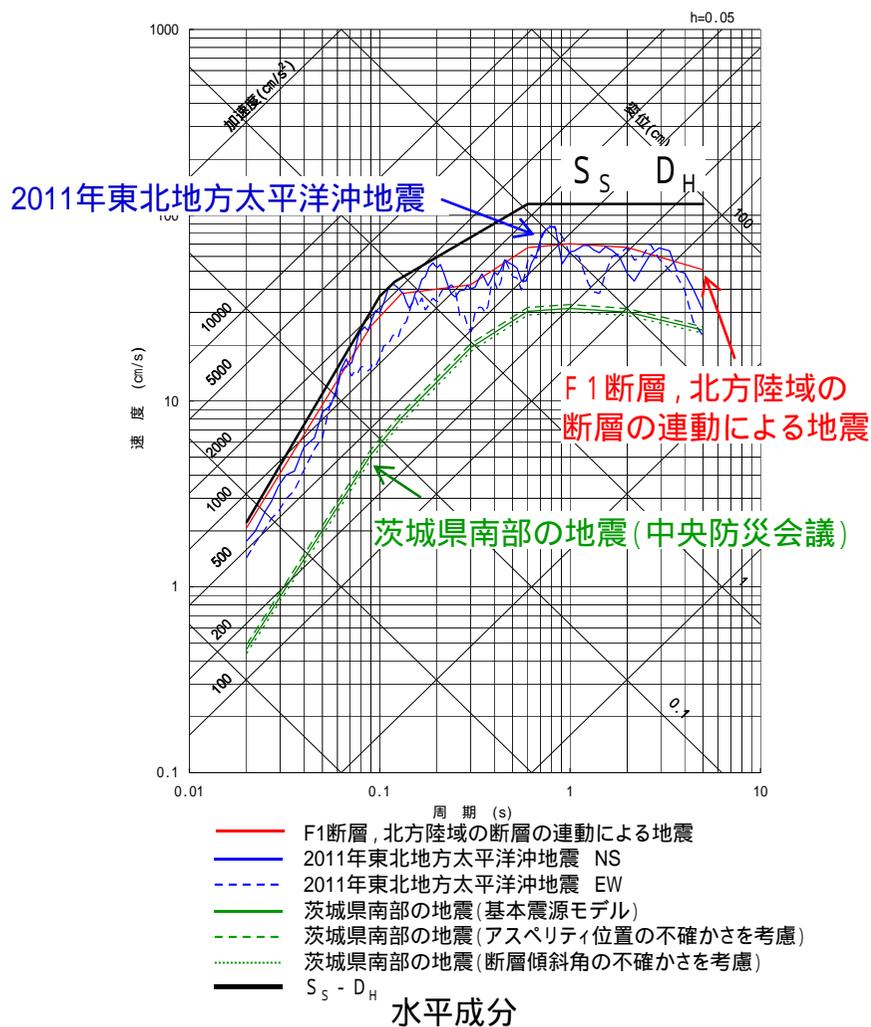
EW成分

UD成分

1. 評価フロー	.....	3
2. 海洋プレート内地震に関する各種知見	.....	4
3. 敷地周辺の地震発生状況	.....	16
4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定	.....	29
5. 海洋プレート内地震の地震動評価	.....	47
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	.....	66
	プレート間地震と内陸地殻内地震については、別途説明	
7. 参考文献	.....	72
参考資料		
検討用地震の規模、位置の妥当性について	.....	73

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_S
応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_S (1 / 2)

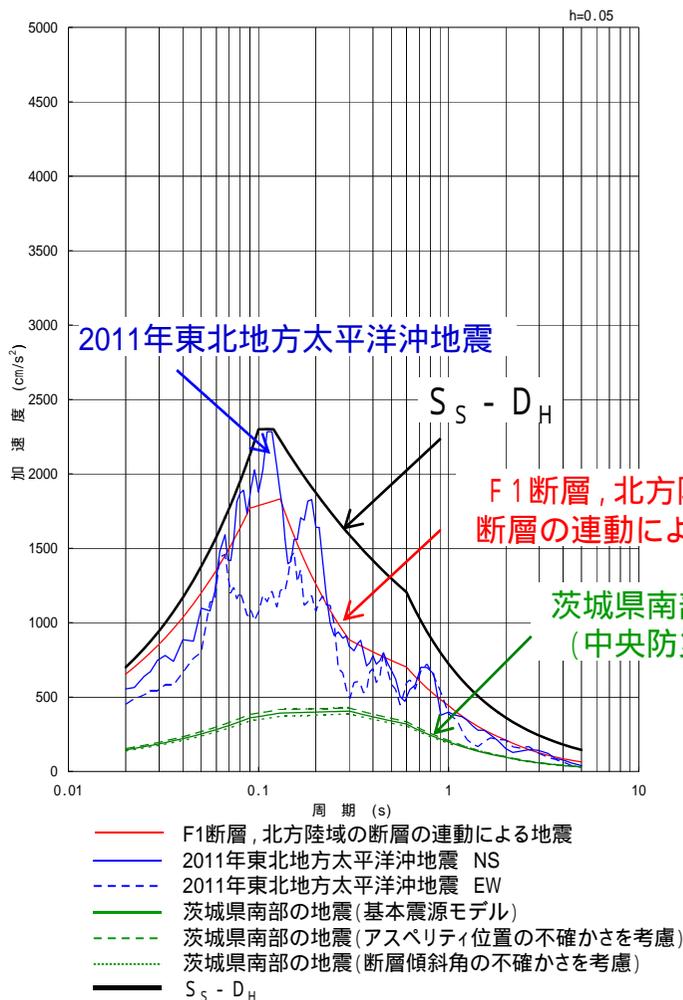
基準地震動 $S_S - D$ (設計用応答スペクトル)



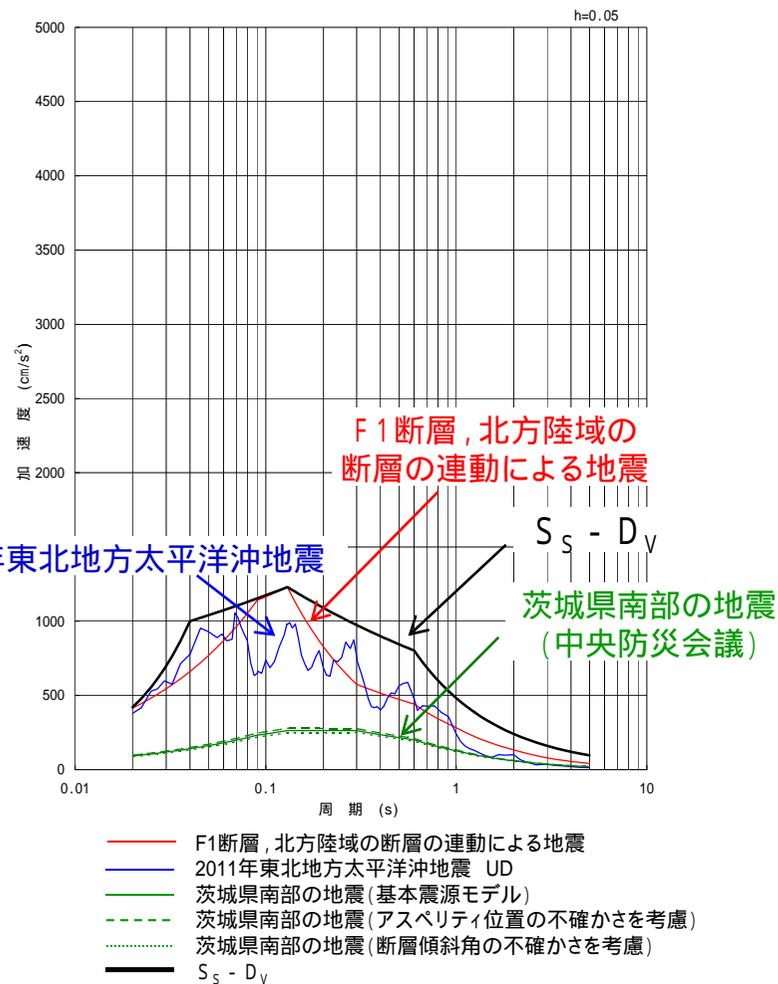
F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震 (応答スペクトルに基づく手法), 2011年東北地方太平洋沖地震 (敷地での解放基盤波), 茨城県南部の地震 (応答スペクトルに基づく手法) をすべて包絡する応答スペクトルとして $S_S - D$ を設定した。

応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_S (2 / 2)

基準地震動 $S_S - D$ (設計用応答スペクトル)



水平成分



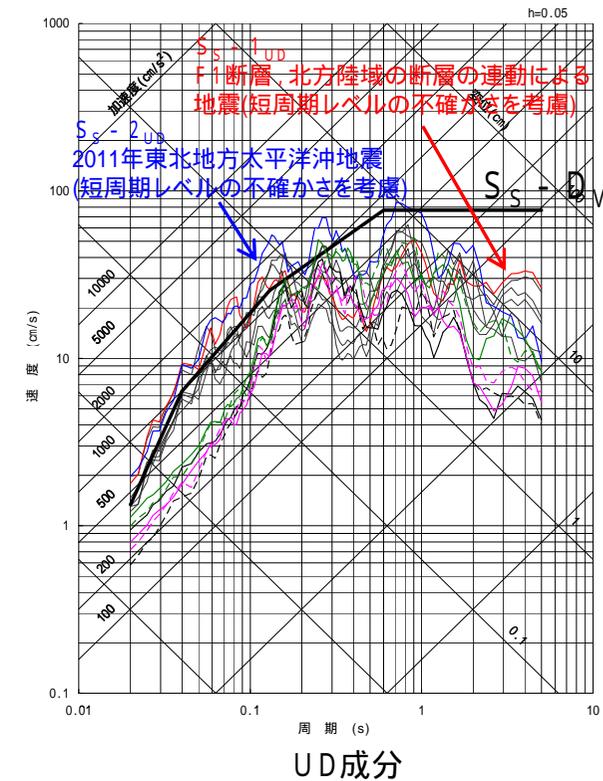
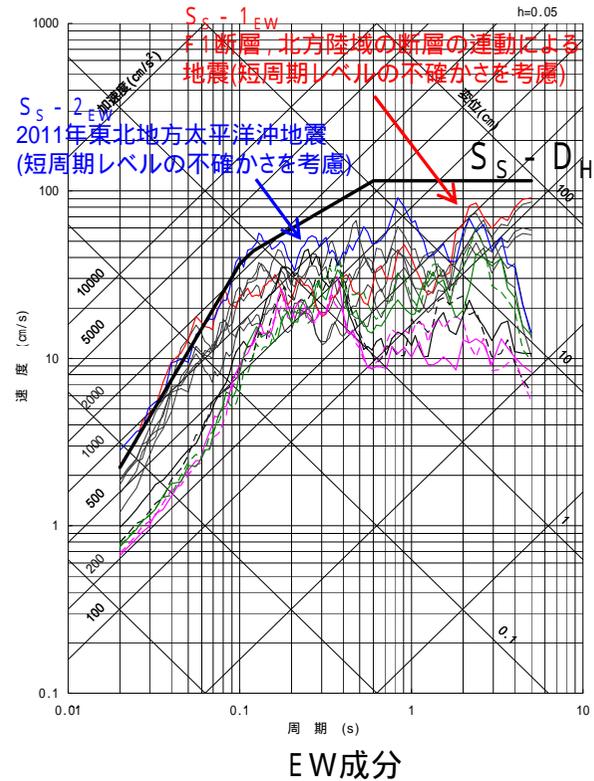
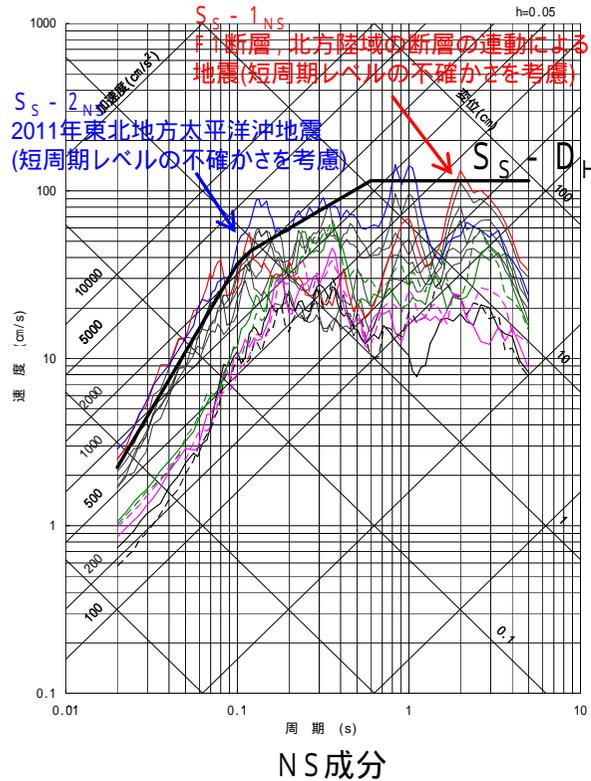
鉛直成分

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_S

断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_S (1 / 2)

基準地震動 $S_S - 1, S_S - 2$ (断層モデルを用いた手法)

- $S_S - 1$ F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさを考慮)
- $S_S - 2$ 2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさを考慮)
- 茨城県南部の地震 (基本震源モデル, 破壊開始点1)
- - 茨城県南部の地震 (基本震源モデル, 破壊開始点2)
- 茨城県南部の地震 (アスペリティ位置の不確かさを考慮, 破壊開始点1)
- - 茨城県南部の地震 (アスペリティ位置の不確かさを考慮, 破壊開始点2)
- 茨城県南部の地震 (断層傾斜角の不確かさを考慮, 破壊開始点1)
- - 茨城県南部の地震 (断層傾斜角の不確かさを考慮, 破壊開始点2)



基準地震動 $S_S - D$ との包絡関係より以下の地震動評価結果を断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_S として選定した。

- ・F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさを考慮) … $S_S - 1$
- ・2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさを考慮) … $S_S - 2$

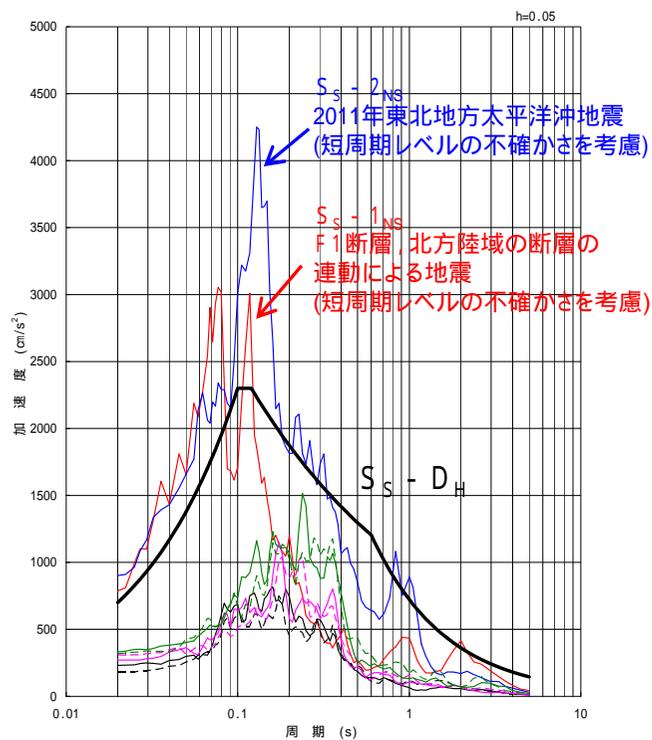
海洋プレート内地震の地震動評価結果は基準地震動 S_S に包絡されている。

6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_S

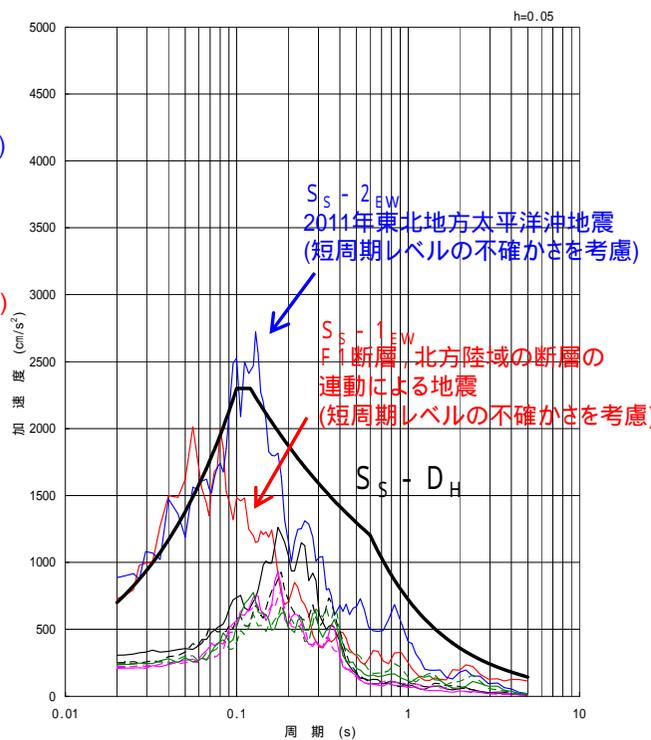
断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_S (2 / 2)

基準地震動 $S_S - 1, S_S - 2$ (断層モデルを用いた手法)

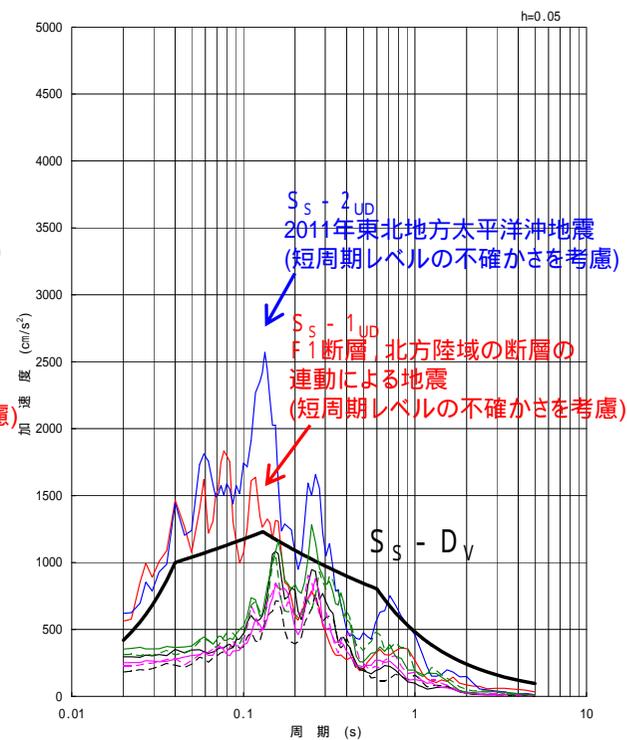
- $S_S - 1$ F1断層, 北方陸域の断層の運動による地震 (短期レベルの不確かさを考慮)
- $S_S - 2$ 2011年東北地方太平洋沖地震 (短期レベルの不確かさを考慮)
- 茨城県南部の地震 (基本震源モデル, 破壊開始点1)
- - 茨城県南部の地震 (基本震源モデル, 破壊開始点2)
- 茨城県南部の地震 (アスペリティ位置の不確かさを考慮, 破壊開始点1)
- - 茨城県南部の地震 (アスペリティ位置の不確かさを考慮, 破壊開始点2)
- 茨城県南部の地震 (断層傾斜角の不確かさを考慮, 破壊開始点1)
- - 茨城県南部の地震 (断層傾斜角の不確かさを考慮, 破壊開始点2)



NS成分



EW成分

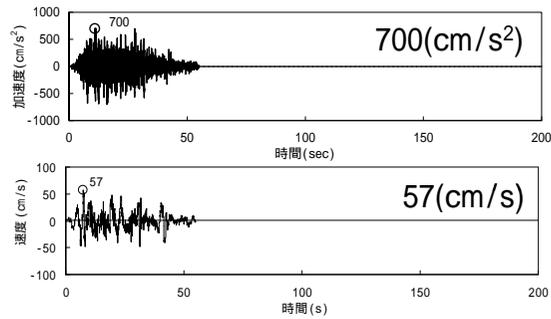


UD成分

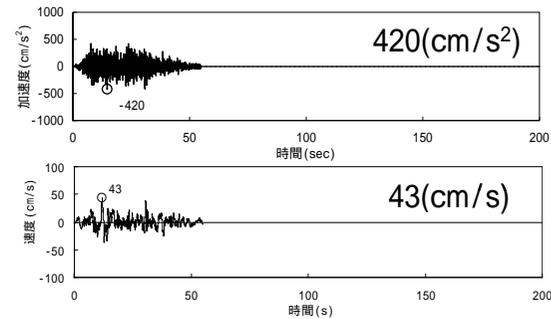
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_S

基準地震動 S_S の時刻歴波形

応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_S

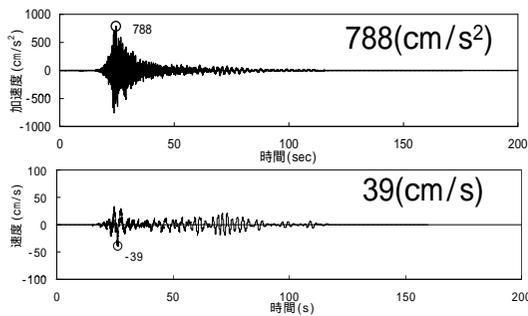


$S_S - D_H$

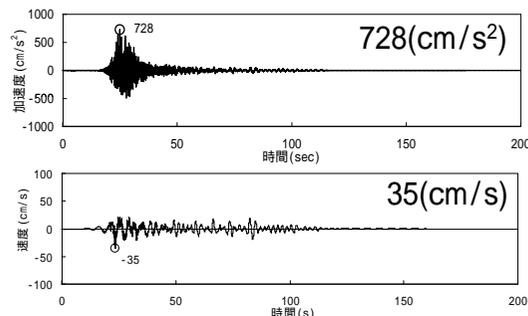


$S_S - D_V$

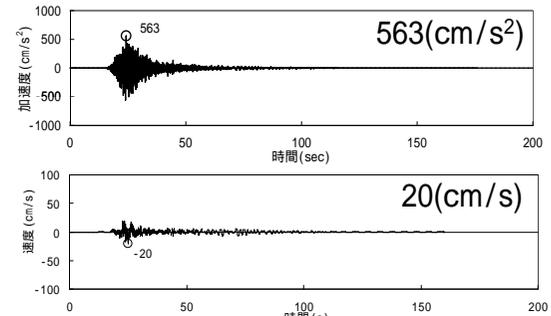
断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_S



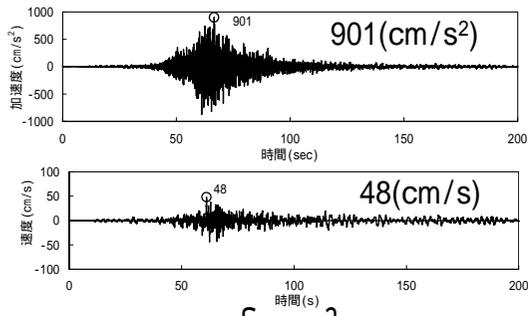
$S_S - 1_{NS}$



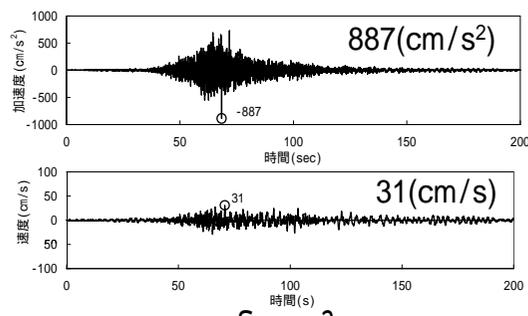
$S_S - 1_{EW}$



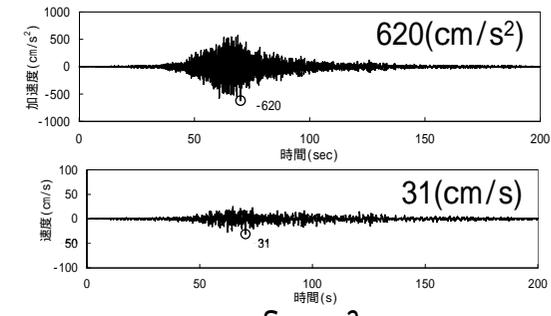
$S_S - 1_{UD}$



$S_S - 2_{NS}$



$S_S - 2_{EW}$



$S_S - 2_{UD}$

7. 参考文献

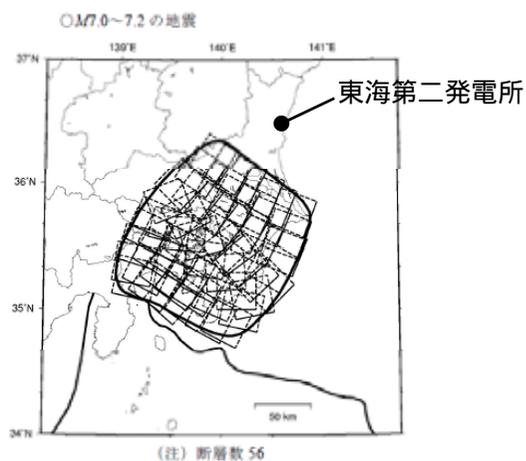
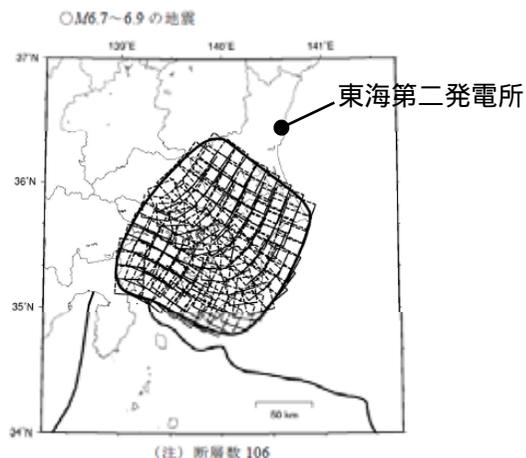
- (1) 気象庁:地震年報2012年版他
- (2) 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013):日本被害地震総覧599 - 2012,東京大学出版会
- (3) 宇津徳治(1982):日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表:1885年~1980年,東京大学地震研究所彙報,Vol.57
- (4) 気象庁・消防庁(2009):震度に関する検討会報告書,平成21年3月
- (5) 村松郁栄(1969):震度分布と地震のマグニチュードとの関係,岐阜大学教育学部研究報告,自然科学,第4巻,第3号,168 - 176
- (6) 勝又譲・徳永規一(1971):震度 の範囲と地震の規模および震度と加速度の対応,験震時報,第36巻,第3,4号,1 - 8
- (7) 中央防災会議(2004):首都直下地震対策専門調査会(第12回)「地震ワーキンググループ報告書」,平成16年11月17日
- (8) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009):「全国地震動予測地図」
- (9) Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide Watanabe(2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES,OECD.NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis,Oct.16-18,Istanbul
- (10) 佐藤智美(2000):観測記録に基づく地震波放射特性の周波数依存性の分析とモデル化に関する検討,日本建築学会大会 学術講演梗概集, 157 - 158
- (11) Toshimi Satoh(2002):Empirical Frequency-Dependent Radiation Pattern of the 1998 Miyagiken-Nanbu Earthquake in Japan, Bull.Seismol.Soc.Am, Vol.92, No.3, p.1032-1039
- (12) 佐藤智美(2003):中小地震の応力降下量の断層タイプ・震源深さ依存性及び地域性に関する研究,土木学会地震工学論文集, 2003年12月

1. 評価フロー	3
2. 海洋プレート内地震に関する各種知見	4
3. 敷地周辺の地震発生状況	16
4. 海洋プレート内地震の検討用地震の選定	29
5. 海洋プレート内地震の地震動評価	47
6. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	66
7. 参考文献	72
参考資料	
検討用地震の規模, 位置の妥当性について	73

検討用地震の規模の設定について

検討用地震の規模について

地震調査研究推進本部(2009)によるその他南関東で発生するM7程度のフィリピン海プレート内の地震を示す。



	長期評価	設定モデル
30年発生確率	70%程度	72%
50年発生確率	90%程度	88%
マグニチュード	M6.7~7.2程度	M _w 6.7~7.2
震源域	評価対象領域の位置を図示	a) フィリピン海プレート上面(深さ30km以深), b) フィリピン海プレート内, c) 太平洋プレート上面(深さ80km以浅), の3つのタイプの地震の断層面を配置し, それぞれ等確率で地震が発生すると仮定した. 断層面の長さとは幅は, M _w が6.7~6.9の地震は長さ25km×幅25km, M _w が7.0~7.2の地震は長さ35km×幅35kmと仮定した.

(注) 設定モデルの確率計算では, 平均発生間隔=23.8年(119年間に5回)のポアソン過程を仮定した. また $M_w = M_j$ と仮定した. 配置した断層の数は図3.3.2-31に示す.

地震調査研究推進本部(2009)に一部加筆

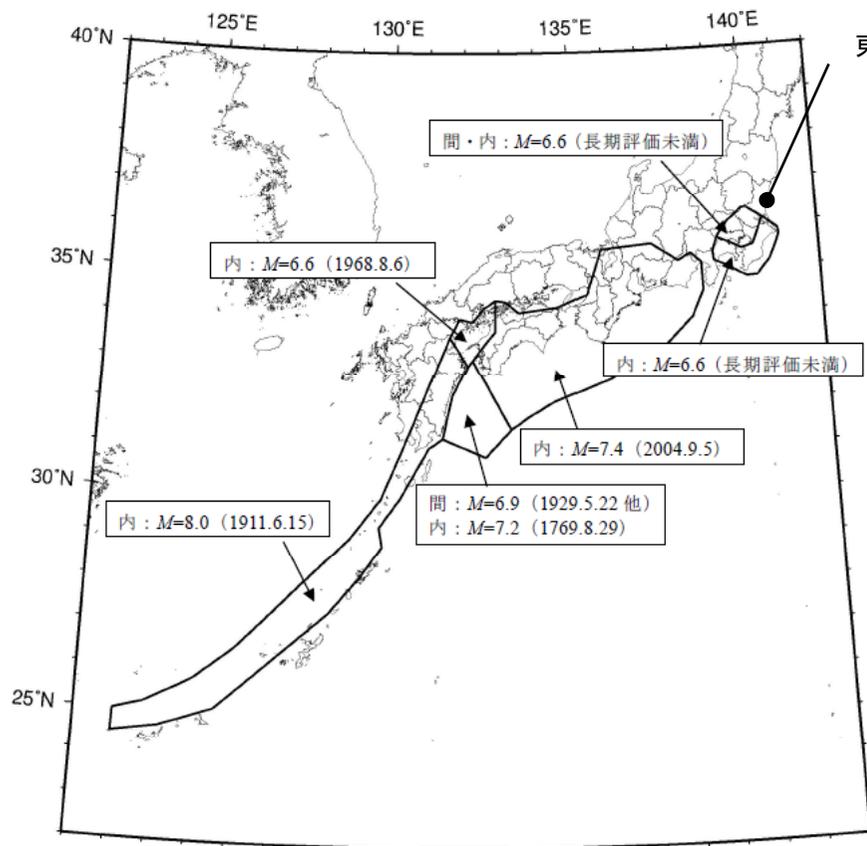
地震調査研究推進本部(2009)によるその他南関東で発生するフィリピン海プレート内の地震として, 茨城県南部を含む地域にマグニチュード6.7~7.2程度の震源が想定されている。

その他南関東で発生するフィリピン海プレート内地震の断層面

検討用地震の規模の設定について

検討用地震の規模について

地震調査研究推進本部(2009)によるフィリピン海プレートの震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュードを示す。



東海第二発電所

番号	最大 M	根拠	備考
1	プレート内 7.4	2004.09.05 紀伊半島南東沖	
2	プレート間 6.9	1929.05.22 日向灘	海溝型地震として M7.0 以上の地震が別途考慮されている。 長期評価の記載に基づき設定。
	プレート内 7.2	1769.08.29	
3	プレート内 6.6	1968.08.06 愛媛県西方沖	海溝型地震として M6.7 以上の地震が別途考慮されている。
4	プレート内 8.0	1911.06.15 奄美大島近海	震央位置は, 当該領域の長期評価の記載から Gutenberg and Richter のカタログの位置を採用。
5	プレート間 6.6	(長期評価未満)	海溝型地震として M6.7 以上の地震が別途考慮されている。
	プレート内 6.6	(長期評価未満)	海溝型地震として M6.7 以上の地震が別途考慮されている。
6	プレート内 6.6	(長期評価未満)	海溝型地震として M6.7 以上の地震が別途考慮されている。

地震調査研究推進本部(2009)に一部加筆

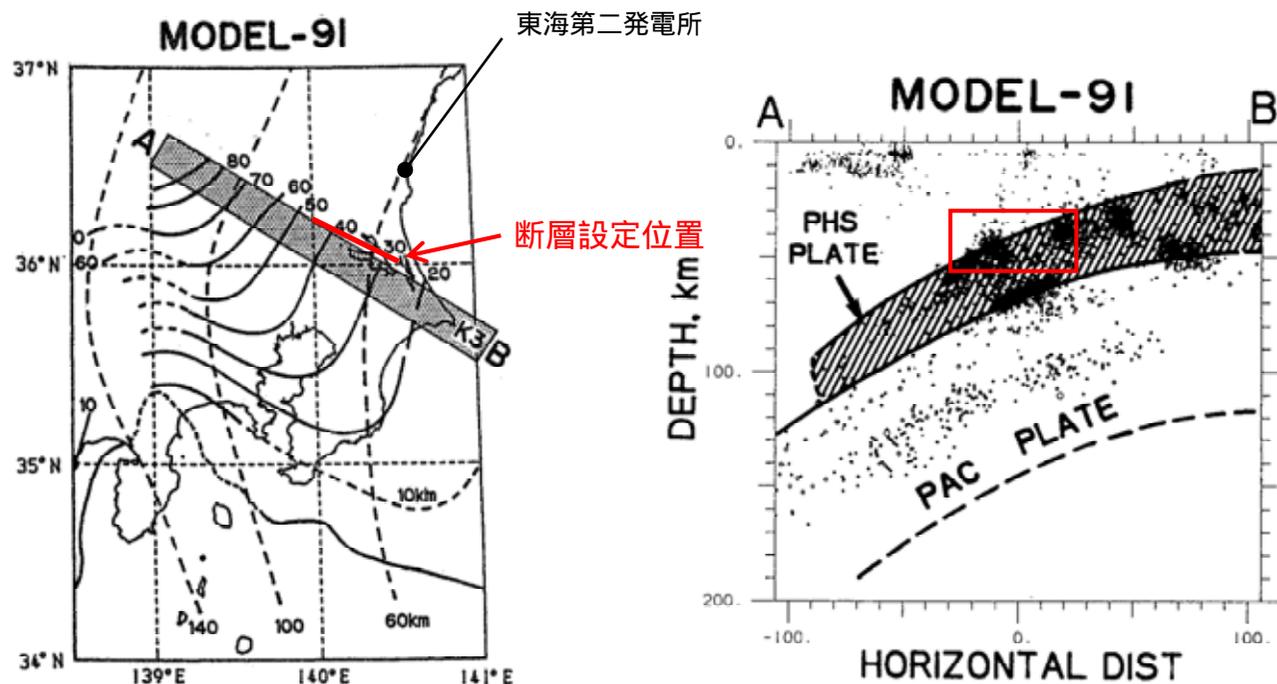
地震調査研究推進本部(2009)の震源断層を予め特定しにくい地震のうち, 茨城県南部ではフィリピン海プレートのプレート間地震及び海洋プレート内地震の最大マグニチュードは6.6と設定されている。

フィリピン海プレートの震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード

検討用地震の位置の設定について

断層面の位置について

フィリピン海プレートの沈み込みとの対応について, Ishida (1992) によるフィリピン海プレートと検討用地震である茨城県南部の地震の断層設定位置を比較する。



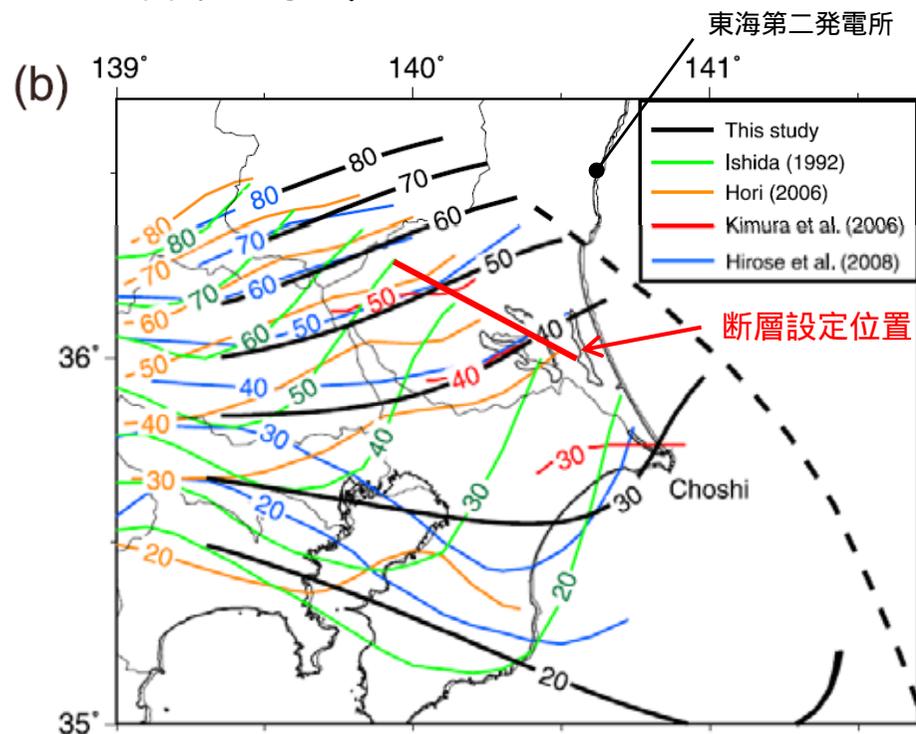
茨城県南部の地震の断層面位置とフィリピン海プレート (Ishida (1992)) との対応

- 基本震源モデルの断層設定位置は, フィリピン海プレートが北西方向に沈み込んでいる範囲のうち敷地に最も近い位置である。
- 基本震源モデルの断層上端については, 敷地に近くなるよう, この範囲のフィリピン海プレートの上面の最も浅い部分である深さ 30km に設定する。

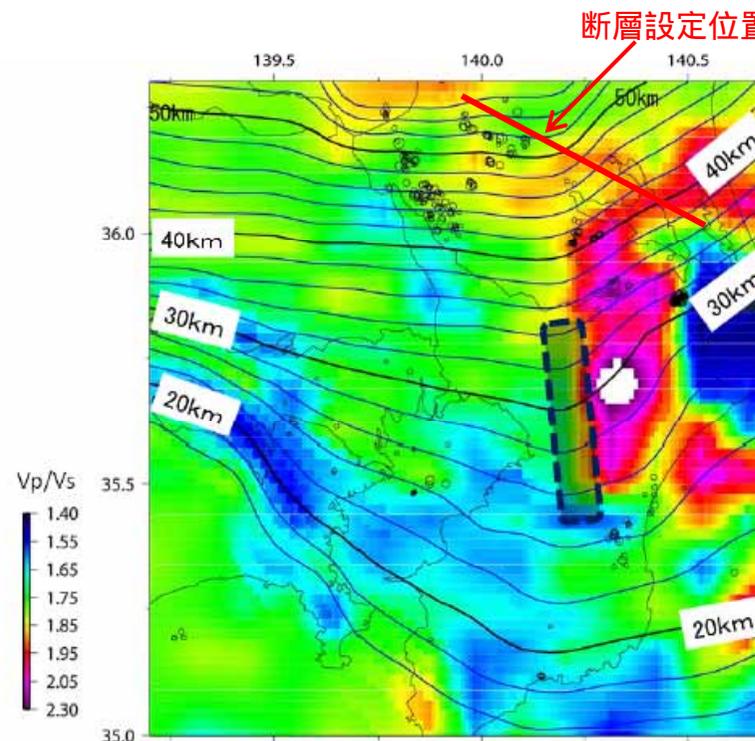
検討用地震の位置の設定について

断層面の位置について

中央防災会議(2004)が参照しているIshida(1992)のフィリピン海プレート上面深さとの比較として, Uchida et al.(2010)に示されている複数のプレート上面深さや首都直下地震防災・減災特別プロジェクト(東京大学ほか(2012))におけるプレート上面深さを示す。



Uchida et al.(2010)に一部加筆



東京大学ほか(2012)に一部加筆

フィリピン海プレート上面の深さ分布

Uchida et al.(2010)に示されている複数のフィリピン海プレート上面の深さ分布及び首都直下地震防災・減災特別プロジェクトで検討されたフィリピン海プレート上面の深さ分布は, 従来の文献(Ishida(1992))と比較し, 東京湾付近では浅く想定されている。一方, 霞ヶ浦付近ではIshida(1992)と比較しより深い位置に想定されている。