

# 明星大学周辺で観測される周期 1.6 秒の強震動の発生要因

年 縄 巧<sup>1</sup>

## Source and Ground Conditions of 1.6-s Strong Motion Generation around Meisei University

Takumi TOSHINAWA<sup>1</sup>

Conditions to generate 1.6-s strong motion around Meisei University area are examined from the viewpoints of source and underground structure. It is found that eight events, including the 2011 Tohoku-Pacific Ocean Earthquake, generated the strong motions in the area. Seven out of the eight events have the focal epicenters in the off Pacific coast of Tohoku region. Source parameters and focal mechanisms show that large-magnitude events with low-angle and shallow-thrust fault occurred in the northeast to Kanto Plain is the necessary source conditions. Distribution of natural period of deep underground structure in Hachioji area is estimated by making use of microtremor observation. The distribution suggests that the 1.6-s strong motion is generated in the western edge of Kanto Plain and propagates to Hachioji area.

キーワード：やや短周期地震動<sup>1</sup>，震源メカニズム<sup>2</sup>，深部地盤構造<sup>3</sup>，固有周期<sup>4</sup>，常時微動<sup>5</sup>

Keywords：Rather short-period ground motion<sup>1</sup>, focal mechanism<sup>2</sup>, deep underground structure<sup>3</sup>, natural period<sup>4</sup>, microtremor<sup>5</sup>

### 1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では震源域だけでなく震源から離れた首都圏でも大きな地震動が到来し、高層建築物を大きく振動させた。震源から約 400km 離れた明星大学日野キャンパスの理工学部高層棟(層数:17、軒高さ: 74.17m、主構造: SRC)も最上階で X(N50° E)方向に 300cm/s<sup>2</sup>を超える加速度応答を示した<sup>(1)</sup>。この強い地震応答はこの建物の固有周期が 2 秒弱 (X 方向の設計固有周期: 1.8 秒<sup>(2)</sup>)であったこと、この地域に 1.6 秒程度の強震動が到来し、その主軸

が北東-南西方向に向いていたことが原因であることがわかった<sup>(3)</sup>。周期 1~2 秒の地震動はやや短周期地震動と呼ばれるが、その後 K-NET<sup>(4)</sup>八王子(堀之内)観測点の地震記録を用いて調べてみるとこのやや短周期地震動は 1996 年から 2011 年 9 月までに規模が大きい地震においてのみ発生しており、その発生地域は堀之内周辺の数 km の範囲に限定されていること、2007 年能登半島沖地震を除き、宮城県沖またはその周辺の規模の大きな地震に限られていることがわかった<sup>(5)</sup>。このやや短周期地震動の発生には震源特性と地盤構造特性が大きく影響していると考えられる。本稿では、このやや短周期地震動を発生させる震源の特徴と地盤構造による影響を調べるため八王子周辺で常時微動測定を行い、周期 1 秒以上の地盤固有周期の空間分布図を作成し、やや短周期地震動の発生地域を探索した結果を報告する。

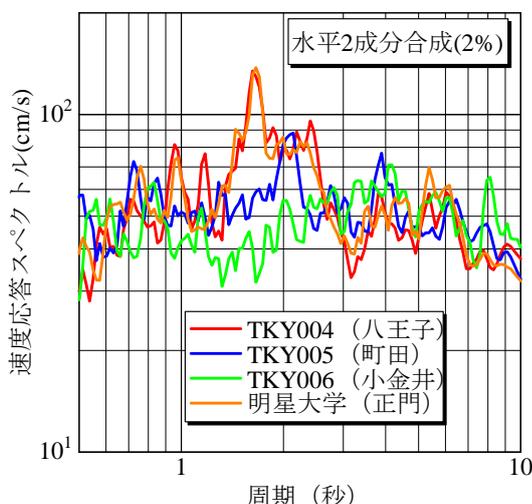


図 1 東北地方太平洋沖地震における TKY004,5,6 と明星大学の水平成分合成 2%速度応答スペクトル

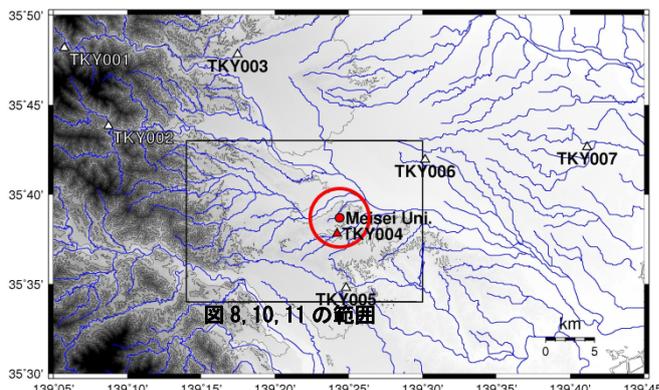


図 2 東京都西部の K-NET 観測点と明星大学の位置

<sup>1</sup> 明星大学理工学部総合理工学科建築学系 教授 工学地震学

表 1 TKY004(八王子)で周期 1.6 秒の地震動が観測された地震の諸元

No.	Origin time(JST)	Latitude	Longitude	Depth (km)	M <sub>j</sub>	Strike	Dip	Rake	M <sub>0</sub> (Nm)	M <sub>w</sub>
1	2002/11/03 12:37	38.8935°	142.1422°	45.8	6.1	184°	15°	74°	3.87×10 <sup>18</sup>	6.4
2	2003/10/31 10:06	37.8292°	142.6995°	33.4	6.8	196°	26°	80°	1.42×10 <sup>19</sup>	6.7
3	2005/08/16 11:46	38.1507°	142.2795°	41.6	7.2	194°	22°	76°	5.43×10 <sup>19</sup>	7.1
4	2005/12/02 22:13	38.0727°	142.3535°	40.3	6.6	205°	19°	93°	5.39×10 <sup>18</sup>	6.5
5	2007/03/25 09:41	37.2207°	136.6860°	10.7	6.9	173°	48°	34°	1.36×10 <sup>19</sup>	6.7
6	2008/07/19 11:39	37.5208°	142.2645°	31.6	6.9	234°	20°	119°	2.39×10 <sup>19</sup>	6.9
7	2010/03/14 17:08	37.7242°	141.8180°	39.8	6.7	199°	21°	89°	6.83×10 <sup>18</sup>	6.5
8	2011/03/11 14:46	38.1035°	142.8610°	23.7	9.0	200°	27°	88°	1.07×10 <sup>22</sup>	8.7

## 2. 八王子で観測されるやや短周期地震動

図 1 は東京西部の K-NET 観測点および明星大学正門の自由地盤観測点での 2011 年東北地方太平洋沖地震の記録の 2 成分合成速度応答スペクトル、図 2 は観測点の位置である。TKY004 (八王子市堀之内) と明星大学では明瞭な 1.6 秒の地震動が卓越しており、この地震動は他の観測点では見られない。このような 1.6 秒の地震動は TKY004 において 1996 年～2016 年に 8 回観測されており、その地震の諸元<sup>6)</sup>を表 1 に、震央を図 3 に示す。図 3 中、○は TKY004 で 1.6 秒の地

震動が観測された地震、×は 1.6 秒の地震動が観測されなかった地震である。2007 年の能登半島沖地震を除き、図中口で囲んだ宮城・福島沖(北緯 37°～39°、東経 141°～143°)に震央を持つ規模の大きい地震でこのやや短周期地震動が発生していることがわかる。

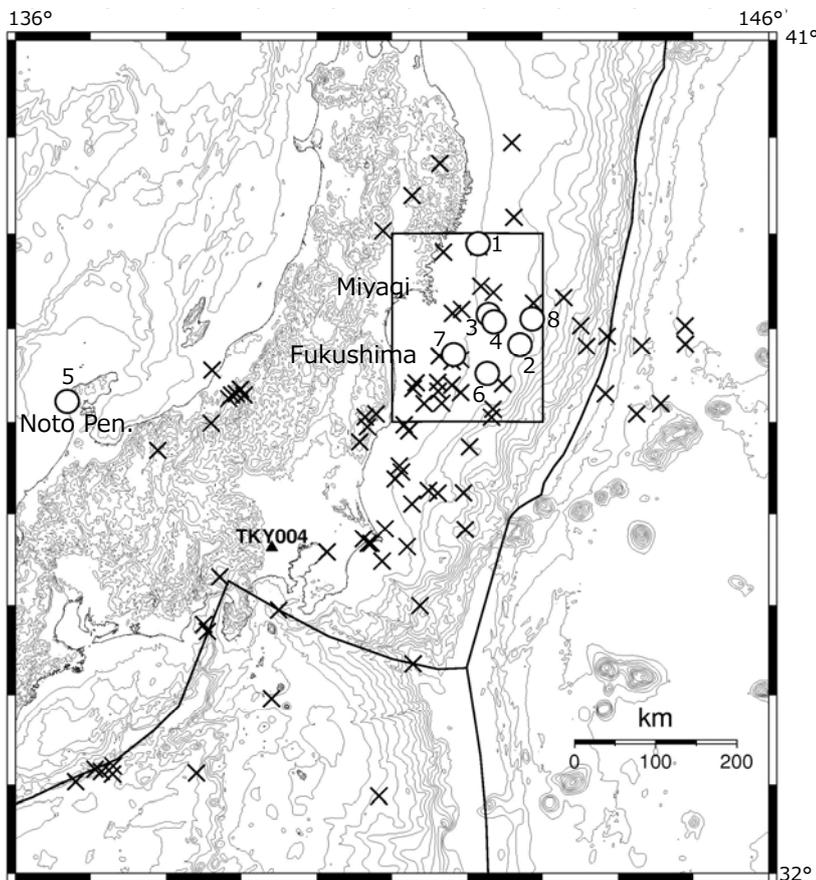


図 3 1996 年～2016 年 3 月に TKY004 で観測された地震の震央

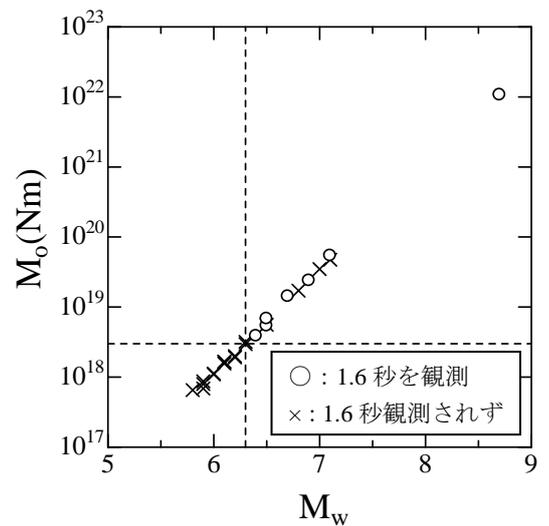


図 4 北緯 37°～39°、東経 141°～143°に震央を持つ地震の規模

### 3. 震源特性

#### 3-1 地震の規模

2.で八王子地域にやや短周期地震動を発生させる地震の震央は宮城・福島沖に集中していることを示した。そこでこの地域(北緯 37° ~ 39°、東経 141° ~ 143°)に震央を持つ地震の規模を調べた。図 4 の縦軸は地震モーメント  $M_0$ (Nm)、横軸はモーメントマグニチュード  $M_w$  である。○は TKY004 で 1.6 秒の地震動が観測された地震、×は観測されなかったものである。この図から八王子で 1.6 秒の地震動を発生させる震源規模の必要条件は地震モーメントで  $3.0 \times 10^{18}$ Nm 以上、モーメントマグニチュードで 6.3 以上であることがわかる。

#### 3-2 震源メカニズム

図 5 は北緯 37° ~ 39°、東経 141° ~ 143° に震央を持ちかつ地震モーメントが  $3.0 \times 10^{18}$ Nm 以上の震源球を示したものである。引張象限が黒のものは TKY004 で 1.6 秒の地震動が観測された地震、グレーは観測されなかったものである。この震源域は太平洋プレートが北米プレートに沈み込んでいる領域のためどれも逆断層タイプとなるが、1.6 秒の

地震動が得られた 7 つの地震の震源球は引張軸の方向が揃っていることがわかる。

図 6、7 は北緯 37° ~ 39°、東経 141° ~ 143° に震央を持ちかつ地震モーメント  $M_0$  が  $3.0 \times 10^{18}$ Nm 以上の地震の震源深さ(Focal depth)に対する走向(Strike angle)のプロット(図 6)、傾斜角(Dip angle)に対するすべり角(Rake angle)のプロット(図 7)であり、○は TKY004 で 1.6 秒の地震動が観測された地震、×は観測されなかったものである。八王子地区でやや短周期地震動が観測された地震は震源深さ 50km 以下、すべり角 70° ~ 120°、傾斜角 30° 以下の浅発低角逆断層型であることがわかる。

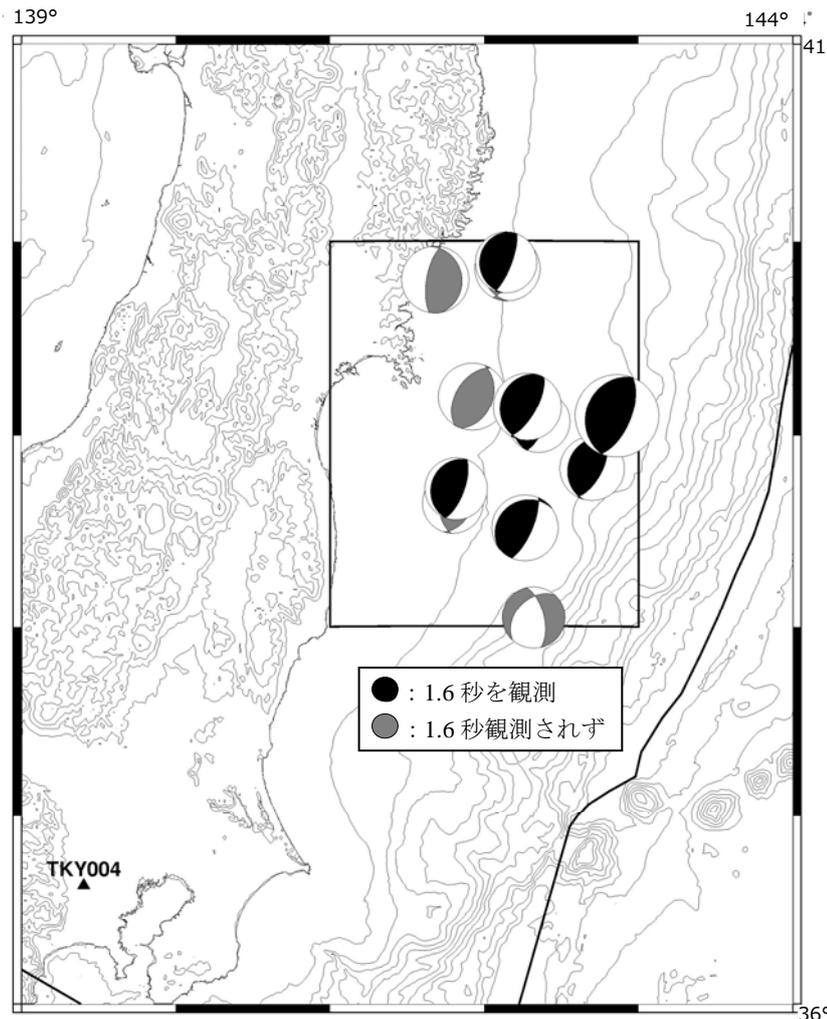


図 5 37° ~ 39°N、141° ~ 143°E の範囲で  $M_0 \geq 3.0 \times 10^{18}$ Nm の震源球

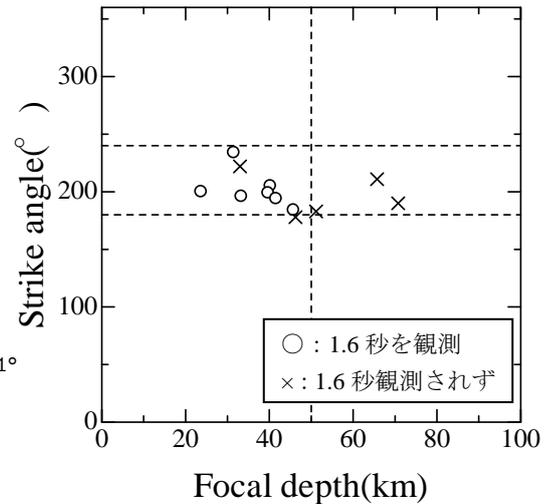


図 6 震源深さに対する走向のプロット (37°~39°N、141°~143°E &  $M_0 \geq 3.0 \times 10^{18}$ Nm)

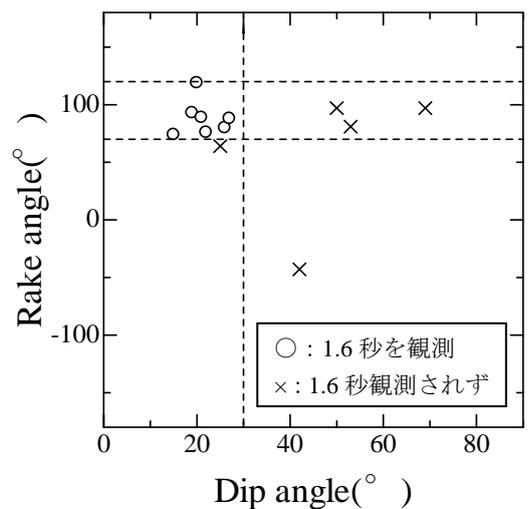


図 7 傾斜角に対するすべり角のプロット (37°~39°N、141°~143°E &  $M_0 \geq 3.0 \times 10^{18}$ Nm)

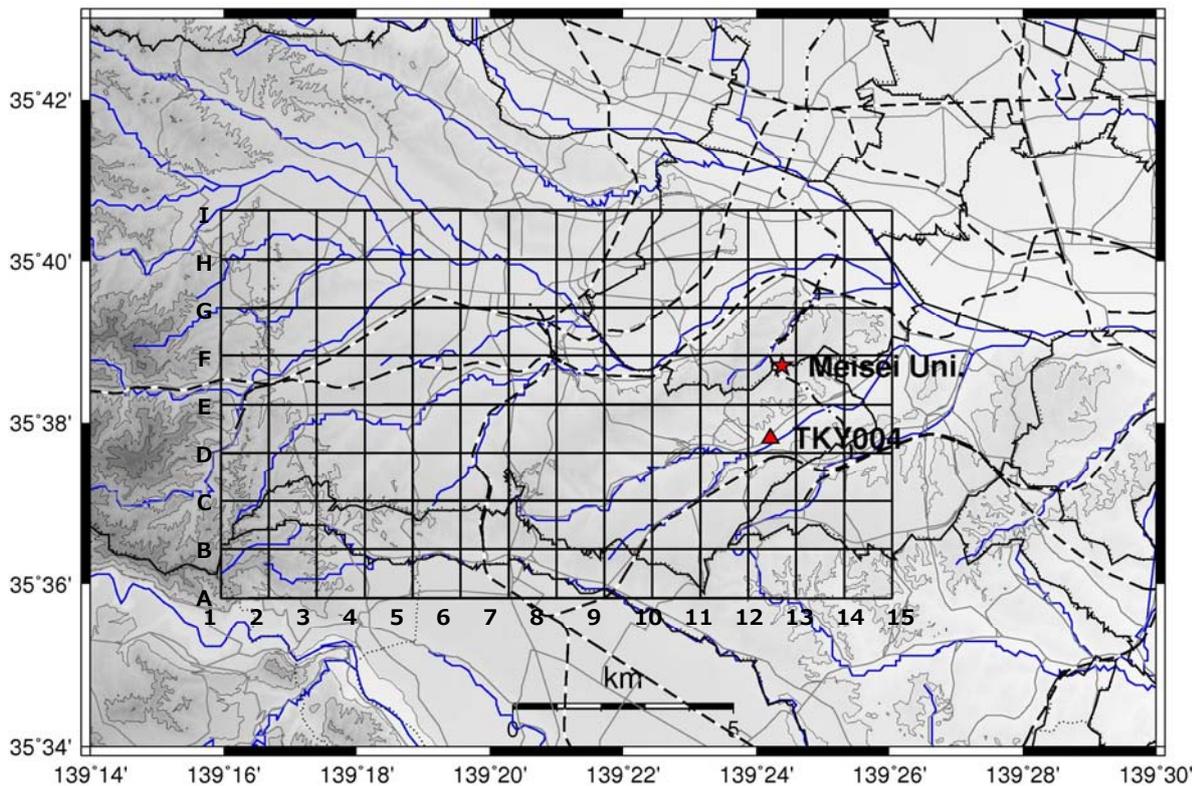


図 8 常時微動測定点

#### 4. 地盤特性

##### 4-1 常時微動測定

やや短周期地震動の発生・伝搬・増幅には対象地域周辺の地盤構造が大きく影響するものと考えられる。そこで対象地域周辺を図 8 に示すように 1km 間隔の格子状に切り、この格子上の点近傍で常時微動測定を行った。格子点は南北方向 A~I、東西方向 1~15 に座標化し、この座標の組み合わせにより観測点名を系統的に表すことにした。例えば、明星大学に最も近い観測点は F-13 となる。

常時微動測定はポータブル型高感度加速度計(GPL-6A3P)

を用いて、ローパスフィルター50Hz、アンプ倍率 100 の設定で行い、一観測点毎に NS、EW、UD の 3 成分の常時微動をサンプリング周波数 100Hz、観測時間 180 秒で 3~6 回行った。

観測された加速度時刻歴波形からノイズの混入の少ない 163.84 秒間をフーリエ変換し、バンド幅 0.1Hz の Parzen Window を用いて平滑化し、水平成分を上下成分で除して NS/UD、EW/UD の H/V スペクトル比を求め、これらを算術平均した平均 H/V スペクトル比を求めそのピーク周期を読み取った。

図 9 に求められた平均 H/V スペクトル比の一例を示す。

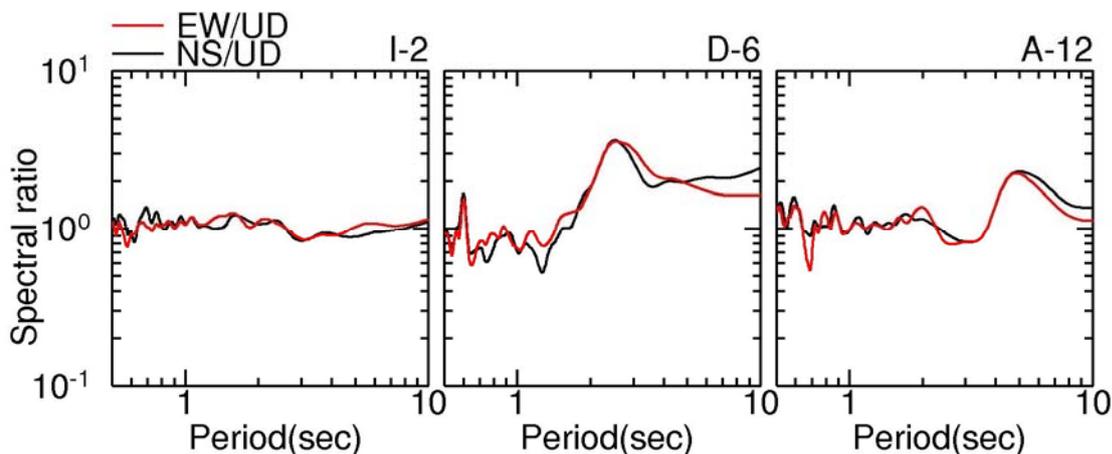


図 9 平均 H/V スペクトル比の一例

平均 H/V スペクトル比の方向性は見られず安定した結果が得られている。また、D-6、A-12 のスペクトル比には明瞭なピークが見られそのピーク周期はそれぞれ 2.5 秒程度、5 秒程度となる。このことから D-6 より A-12 の方が堆積層が厚いことが推察されるが、西部に山地を控える地形的な傾向を見るとこの結果は妥当と思われる。また、観測点 I-2 は明瞭なピーク周期を持たずすべての周期帯域でスペクトル比はほぼ 1 の値を示す。これは堆積層が極めて薄いか岩盤が露頭している地域に見られる特徴であり、この地域が西部の山地に近いことから妥当な結果と思われる。

4・2 平均 H/V スペクトル比のピーク周期の空間分布

図 9 で例を示した平均 H/V スペクトル比のピーク周期を読み取り、平均 H/V スペクトル比のピーク周期の空間分布図を作成した。図 10 に 1 秒以上のピーク周期をプロットしたものを示す。ピーク周期の長さは凡例に示すように円の径で表し、ピーク周期が明瞭に読み取れる点は●、I-2 のように明瞭なピーク周期が見られない点は○でプロットした。ピーク周期は北西から南東に向かい長くなる傾向があり、南東の地域では 6 秒を超えるピーク周期を持つ点がある。また、西部の山地に近い地域では明瞭なピーク周期が得られない点が多い。

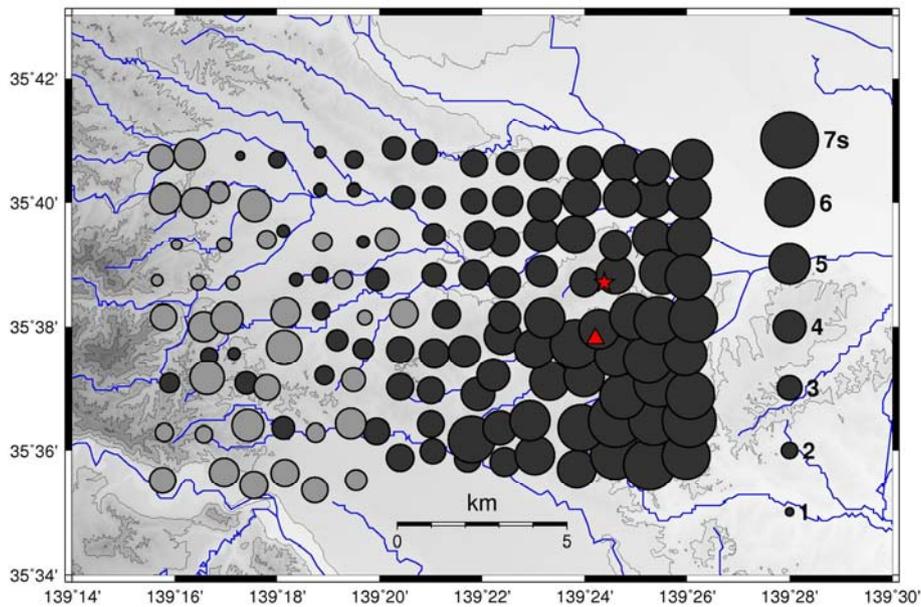


図 10 平均 H/V スペクトル比のピーク周期の分布

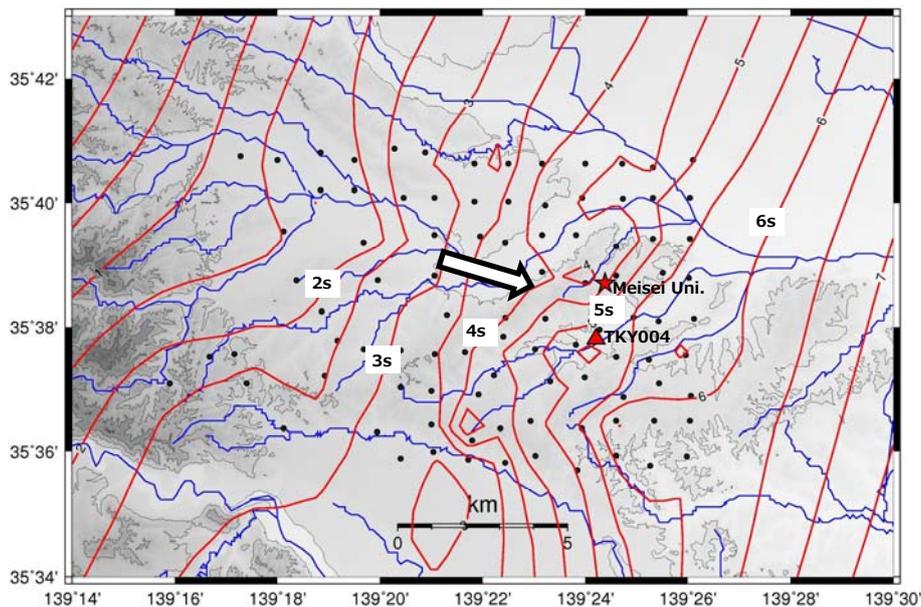


図 11 ピーク周期から推定された等周期線

### 4・3 1.6 秒の強震動の発生地域の推定

平均 H/V スペクトル比のピーク周期をその地点の地盤固有周期と見なし、ピークが明瞭な観測点のみを選び、これを評価点として等周期線を描いたものを図 11 に示す(図 11 中「・」は評価点)。北西から北東に向かうにつれ地盤固有周期が長くなる傾向は、この地域の標高が西に向かって高くなる傾向や既往の関東平野の地下構造評価のと調和的であり、また中央防災会議によって推定されたこの地域の深部地盤構造<sup>(8)</sup>の固有周期とも同様の傾向を示している。図 11 の等周期線図を見ると TKY004 周辺の地盤固有周期は 5 秒程度であり、周期 2 秒弱の地盤固有周期を持つ地域はここより 5~10km 北西の地域である。したがって 3. で示した震源特性の条件を満たす地震が発生し、この地域の地震基盤に入射した際、TKY004 周辺より 5~10km 北西の地域で周期 2 秒弱の地震動が生成し対象地域へ伝搬してきたものと推定される。この地震動が Love 波であると仮定すれば、その主軸方向は北東-南西を向き、2011 年東北地方太平洋沖地震の際明星大学理工学部棟が大きく揺れた長軸 (X) 方向とも一致するのでこの仮説は無理なものではない。

## 5. 結論

本稿では明星大学周辺で 1996 年から 2016 年の間に 8 回発生した周期 1.6 秒の地震動の震源の特徴、周辺地域の地盤振動特性を調べた結果を報告した。明星大学周辺でやや短周期地震動を発生する震源の条件は 2007 年能登半島沖地震を除き震央は北緯 37° ~39°、東経 141° ~143° の範囲にあり、地震モーメントは  $3.0 \times 10^{18}$  Nm 以上 (モーメントマグニチュードは 6.3 以上)、震源深さは 50km 以浅、すべり角は 70° ~120°、傾斜角は 30° 以下である。すなわち、明星大学周辺でやや短周期地震動を発生させる地震は、規模が大きく震源が浅い低角逆断層型であることがわかった。また、震央の位置が限定されていることは震源と観測点の位置関係がこの地震動の発生の有無を左右することを示唆している。

この震源特性を持つ地震が発生した際、地震波が対象地域周辺の地震基盤に入射し、やや短周期地震動が発生する。この発生地域を調べるために対象地域を面的に 1km 間隔で常時微動測定を行い、平均 H/V スペクトル比のピーク周期の空間分布図を求め、等周期線図を描くと推定された地盤固有周期は北西から南東に向かい長くなる傾向があり、周期 2 秒程度の地盤固有周期を持つ地域は明星大学の北西の 5~10km の地域であることがわかった。この結果、明星大学周辺で観測されるやや短周期地震動はここより北西の地域で発生し、伝搬してきたものと推定される。

この仮説を確かめるために、今後は対象地域の深部地盤を数値モデル化し、この地域に発生するやや短周期地震動の発生・伝播・増幅の発生メカニズムを解明していく予定である。

## 謝辞

本研究は明星大学平成 28 年度重点支援研究の助成を受けている。解析に用いた地震記録は K-NET によるものである。常時微動測定は 2015 年度・2016 年度理工学部卒業研究生小林竜輔・石田英太郎君によるものである。図化の一部には GMT を使用した。関係各位に謝意を表する。

## 引用文献

- (1) 年縄巧, 加藤研一, 額額一起: 「明星大学理工学部高層棟の強震応答特性」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.329-330, (2011)
- (2) 鹿島デザイン: 「明星大学理工学部 A 棟 (仮称) 構造計算書」, (2004)
- (3) 年縄巧: 「2011 年東北地方太平洋沖地震の際 29 号館の長軸方向を共振させた地震動」, 明星大学理工学部研究紀要, 第 48 号, pp.5-10, (2012)
- (4) 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/> (2017 年 11 月 26 日アクセス)
- (5) 年縄巧: 「東京都八王子周辺で現れる周期 2 秒弱の強震動」, 日本地震工学会大会 2011 梗概集, pp.432-433, (2011)
- (6) NIED: Earthquake mechanism information. <http://www.fnet.bosai.go.jp/fnet/event/joho.php> (2017 年 11 月 26 日アクセス)
- (7) 山中浩明, 山田伸之: 「強震動評価のための関東平野の 3 次元 S 波速度構造モデルの構築」, 物理探査, Vol.59, No.6 pp.549-560 (2006)
- (8) 中央防災会議 「長周期地震動の卓越周期と深部地盤の固有周期」 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 (2009)