

## 2011年東北地方太平洋沖地震の はじめの30秒のスペクトルと $\tau_c$ ; 高周波の生成

岩切 一宏・干場充之 (気象研究所 地震火山研究部)

### 1. はじめに

緊急地震速報において、Mの迅速かつ正確な推定は重要な要素である。気象庁では、地震波の振幅からMを求め、時間の経過と共に続報を出す、という運用を行っている。一方、地震波の周期情報からMを求める考え（例えば、 $\tau_c$ や $\tau_p^{\max}$ ）で、それを最初の3~4秒で行う、という方法があり（Wu and Kanamori, 2007など）、振幅を用いる場合よりもM推定に有利との主張がある。そこでは、大きな地震になるほど、卓越周期が長周期になる性質に基づいている。この方法は、震源位置が不要であるため、島嶼部など震源位置の決定精度が悪い地域にも使える。ただし、この「最初の3~4秒でMが推定可能」との考えには、「M6以上では難しい」との反論もある（例えば、Rydelek and Horiuchi, 2006）。そこで、ここでは、東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）のはじめの30秒において、振幅（加速度、速度、変位）の時間的成長とともに、 $\tau_c$ を求め、その振舞を調べる。また、この $\tau_c$ の振舞に影響したと考えられる、東北地方太平洋沖地震での高周波地震動の特徴とその生成について考察する。

### 2. データと方法

図1に示す Mw9.0の本震と3つの前震の4つの観測点（K-NET及びKiK-net地表）での上下動加速度記録から、変位と速度記録を求めた。P波の到着時から  $t_N$  秒間における変位、速度、加速度（それぞれ、 $u_d(t)$ ,  $u_v(t)$ ,  $u_a(t)$ ）の最大変位振幅（それぞれ、 $P_d$ ,  $P_v$ ,  $P_a$ ）を求める。また、 $\tau_c$ は、

$$\tau_c = 1/\sqrt{\langle f^2 \rangle} = \sqrt{\int_0^\infty |U_d(f)|^2 df / \int_0^\infty f^2 |U_d(f)|^2 df} = 2\pi \sqrt{\int_{t_p}^{t_p+t_N} u_d^2(t) dt / \int_{t_p}^{t_p+t_N} u_v^2(t) dt} \quad (1)$$

から求める。(1)式から推察される通り、 $\tau_c$ は、変位スペクトルの「中心周期」に対応する。"大きな地震になるほどこの「中心周期」が大きくなる"ことを利用してMを求めるという考え方に相当する。

本震の高周波地震動についての考察では、東北から関東地方の加速度記録を用いて、スペクトル比（本震 Mw9.0/前震 Mw7.3）を求める。また、図5左に示す3つの観測点での加速度記録を用いて、過去のプレート間地震（Mw6.0~7.3）のスペクトル比（A1~A3の地震/B1~B3の地震）を求める。

### 3. 結果

結果を図2に示す。最初の3秒間では、Mw9.0の本震は、 $P_d$ ,  $P_v$ ,  $P_a$ ともに Mw6程度地震よりもむしろ小さい。これは、Mw9.0の本震の最初の破壊は、きわめて小さいものから始まったことを示唆する。一方、 $\tau_c$ は観測点間のばらつきが大きく、M依存性がはっきりしない。 $P_a$ では  $t_N=20$ 秒で、また、 $P_d$ と $P_v$ では30秒で、Mw9.0はMw7.3よりも大きいことを示し始めるが、 $\tau_c$ にはその傾向はみられない。

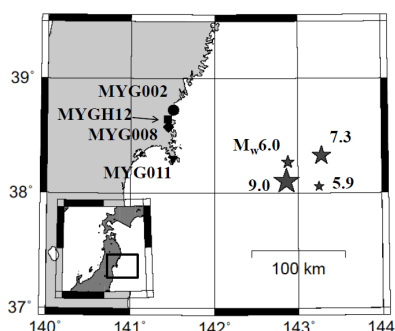


図1. 解析に用いた本震（Mw9.0, 3/11 14:46）と3つの前震（Mw5.9, 3/9 13:37; Mw6.0, 3/10 03:16; Mw7.3, 3/9 11:45）, 及び、4つの観測点の分布。

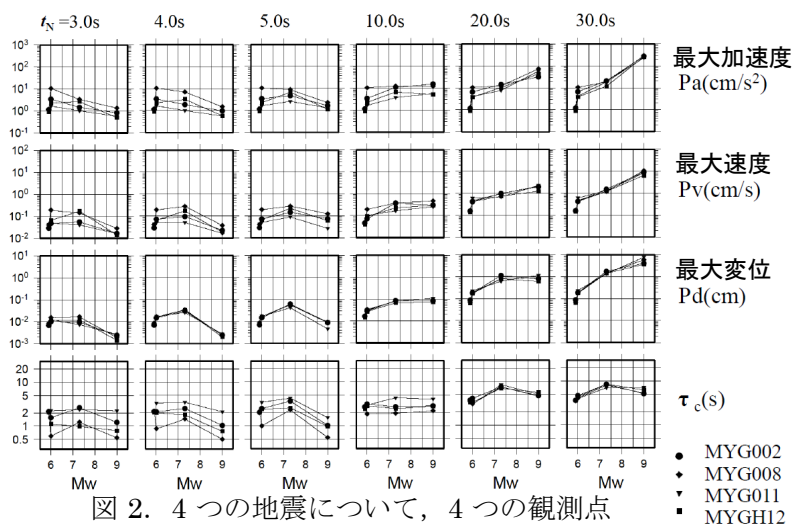


図2. 4つの地震について、4つの観測点における最大振幅( $P_d$ ,  $P_v$ ,  $P_a$ )と  $\tau_c$ .

### 4. 考察

図3に、MYG011での本震 Mw9.0と前震 Mw7.3のスペクトルとスペクトル比を示す。 $t_N=10$ 秒では、両者はほぼ同じ振幅特性であるが、 $t_N=20, 30$ 秒では、Mw9.0の10Hz以上のスペクトルは、Mw7.3より

も大きい。Mw9.0では、10秒経過したのちに10Hz以上の高周波が励起されたことを示している。これは、大きい地震ほど「中心周期が大きい」という考えに反している。このMw9.0での高周波の励起が、 $\tau_c$ の小さい理由である。

15Hz~20Hzでのスペクトル比の分布(図4)をみると、 $t_N=10$ 秒では2倍程度以下が一様に分布しているが、 $t_N=20, 30$ 秒では5倍以上が震源から西北西方向に分布している。これは、本震時に、破壊が震源から西方へ進行した効果(ディレクティブティ効果)や、震源の西方域における高周波の輻射を示していると考えられる。図5のプレート間地震(Mw6.0~7.3)のスペクトル比(A1/B1, A2/B2, A3/B3)をみると、本震時の大きな滑り域の西縁の地震(A1~A3)では、大きな滑り域内の地震(B1~B3)よりも、1Hz~20Hzの高周波が卓越している。一方、大きな滑り域内の地震では1Hz以下の低周波が卓越している。つまり、プレート間地震(Mw6.0~7.3)の震源特性の地域性とMw9.0の本震の破壊域の特性が対応している。これは、本震の震源の西方のプレート境界(A1~A3付近)において、10Hz以上の高周波地震動の生成域が存在することを示唆するものである。

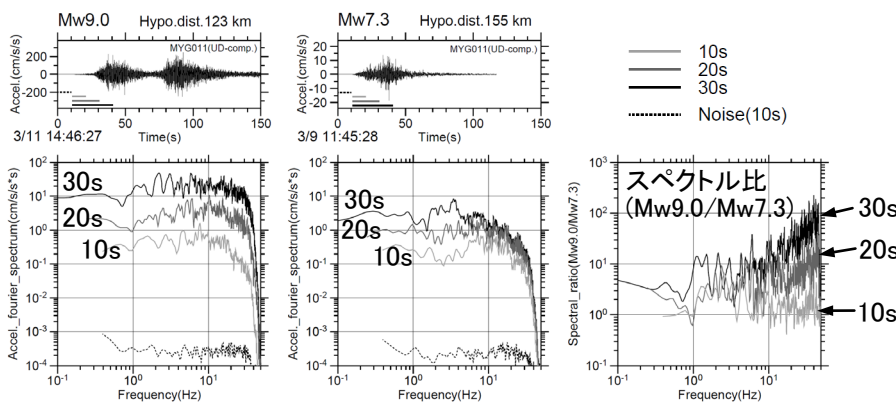


図3. Mw9.0(本震, 3/11;左)とMw7.3(前震, 3/9;中央)のMYG011での上下動加速度の波形と $t_N=10s, 20s, 30s$ におけるフーリエスペクトル, 両者のスペクトル比(右)。

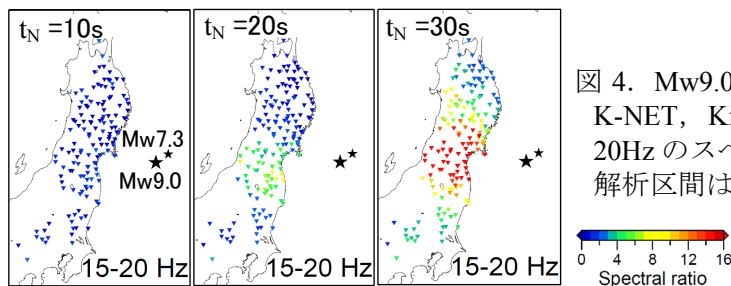


図4. Mw9.0(本震, 3/11)とMw7.3(前震, 3/9)のK-NET, KiK-net 地表での上下動加速度の15Hz~20Hzのスペクトル比(Mw9.0/Mw7.3)の幾何平均。解析区間は $t_N=10s$ (左), 20s(中央), 30s(右)。

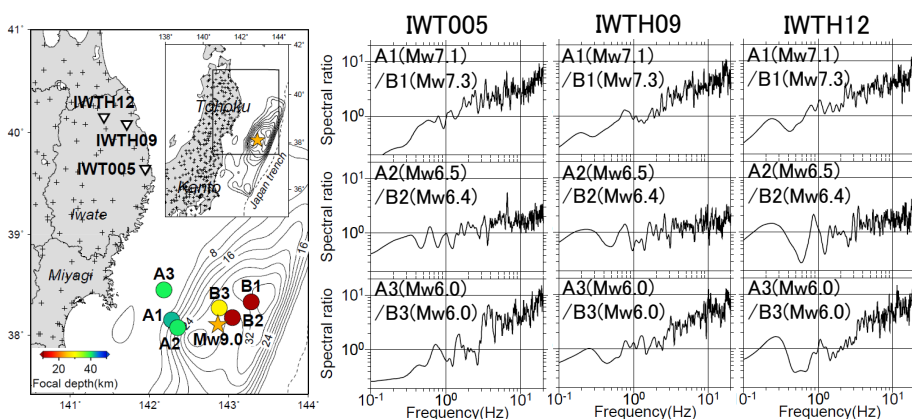


図5. A1~A3(2005/8宮城県沖の地震とその余震)とB1~B3(3/9, 3/10の前震)のIWT005, IWTH09, IWTH12での上下動加速度のスペクトル比。解析区間は $t_N=60s$ 。コンター(間隔4m)は本震時のすべり分布(Yoshida et al., 2011)。

## 5. まとめ

今回のMw9.0の地震では、最初は振幅も $\tau_c$ も小さい。また、10Hz以上の高周波地震動が卓越したため、 $\tau_c$ を用いたとしてもMの推定は困難であった。よって、「時間の経過と共に続報を出す」という考え方に立つべきであろう。また、今回の地震では「振幅よりも周波数特性を用いた方が有利」という主張も当てはまらない。今回の地震の高周波地震動の成因は、破壊が震源から西方へ進行した効果(ディレクティブティ効果)や、震源西方のプレート境界における高周波地震動の生成域の存在によるものと考えられる。 <謝辞> 防災科研K-NET, KiK-netのデータを用いた。