

# T-phaseスペクトルによる震源断層面の深さの推定：津波速報への可能性

蓬田 清 (北大・理)

Estimation of the fault depth from the observed T-phase spectra:  
 A possible tool for early tsunami warning  
 Kiyoshi Yomogida (Graduate School of Science, Hokkaido Univ.)

T-phaseは、海洋での海水の温度・塩分の鉛直分布から形成される低速度層に沿って遠方まで効率よく伝搬する音波群である。海洋下や海岸に近い浅い地震において、ごく一般的に観測される。海水の温度分布や海山による散乱といった伝搬現象は、海洋学や地震学でこれまでも数多くの研究がなされてきた (e.g., Obara and Maeda, 2009)。

これに対して励起については定量的な研究は少ない(e.g., Walker et al., 1992)。数Hz以上の高周波T-phaseは海洋中の伝搬では非弾性減衰の影響は無視できるので、そのスペクトル特性は励起現象、すなわち震源過程に依存する。海底の浅い部分では10Hz以上の地震波は著しく減衰し、断層の上端が深ければ、高周波成分は低下するはずである。つまり、T-phaseのスペクトル特性は、震源の深さに依存することが予想される(e.g., Salzburg et al., 2011)。海溝型の超巨大地震では地震モーメントの早期推定には数多くの研究があるが、用いられる長周期地震波の観測では震源の深さ、とりわけ津波の励起に関係する浅い部分の分解能はない。よって、浅い震源の深さの指標としてのT-phaseのスペクトル特性に注目する。

図1左のような海底面下のQの深さ分布（ここではT-phaseを考えるので、P波の値と速度  $c(z)$  を仮定）から、深さ  $z_0$  から  $z_1$  まで広がる有限断層運動による海底面での振幅スペクトルを求める：

$$P(\omega) = A_0 \int_{z_0}^{z_1} \exp(-\omega z / 2c(z)Q(z)) dz$$

長さ100 kmで傾斜30度の一様な断層面のすべりを仮定し、断層の上端の深さを変化させた場合の、低周波数領域で規格化したスペクトル形状を、図1右に示す。上端が海底面から少しでも離れると高周波数成分が著しく減衰し、スペクトルの傾きが大きくなる。2011年東北沖地震でのT-phaseスペクトルは傾きが他の地震より小さく（図2）、断層が浅い海底面付近まで達していた推定と調和的である。

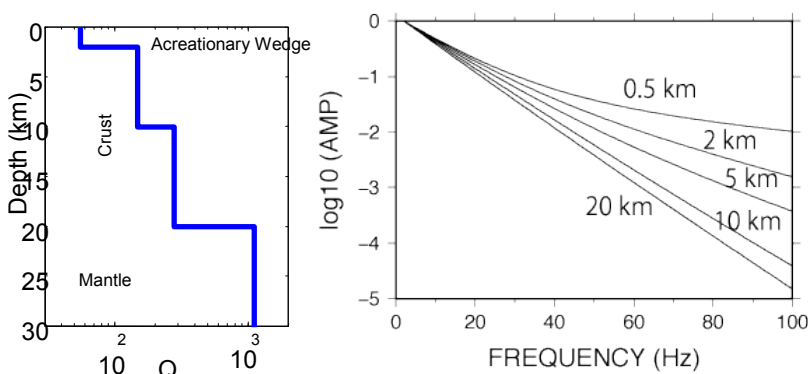


図1：Qの深さ分布モデルと、深さが異なる断層運動からの海底面でのスペクトル(長さ50kmの上端部の深さを右図に示す)。

断層震源は励起される周波数特性は複雑であるが、概ね  $\omega^2$ モデルという、コーナー周波数  $f_c$  より高周波数領域で周波数の二乗に反比例した形となる。図3には図1と同じような断層上端がが深さ1kmの長さ100km・低角30度の断層について、いくつかのコーナー周波数での海底面でのスペクトルを示す。断層面が大きく津波が顕著な巨大地震

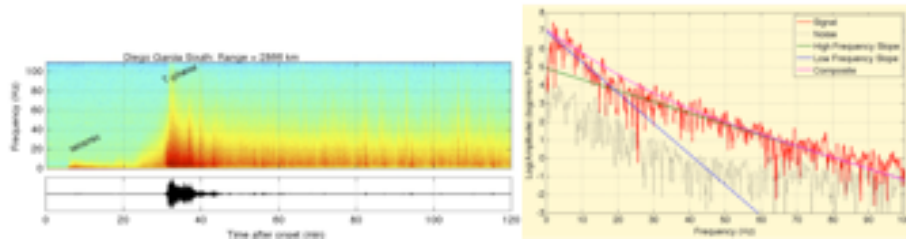


図2 2012年東北地震の太平洋Wake島のハイドロフォンの波形・スペクトログラム、およびlogスケールでの振幅スペクトル。

はコーナー周波数は0.1Hzより低いので、数Hz以上のT-phaseの周波数領域を考えるならば、その影響は無視できる。つまり、通常地震よりコーナー周波数が異常に小さい、いわゆる「津波地震」でもそれほど変わらず、やはり震源の深さでスペクトル形状が決まる点は重要である。

最後に、東北沖地震では断層面上端が海溝近くの堆積物層においては一つの面ではなく、より高角に枝分かれした複数の小断層が運動し、大きな津波の励起に重要な役割を果たしたと指摘されている(Tsuji et al., 2011)。図4右では一例として、上の例より少し深い断層(上端が10km)に加えて、傾斜30度で長さ20kmのもう1本の浅い断層が存在した場合を比較する。わずかでも浅い部分での断層運動が加われば、T-phaseの高周波成分が顕著に大きくなる。副断層の長さを半分にしても上端の深さが同じならスペクトル形状は変わらない。図4左ではその半分10kmの副断層の上端の深さを変化させた結果を示す。津波励起に直接関係ある10kmより浅い断層運動の有無が、高周波スペクトル形状を決定している。

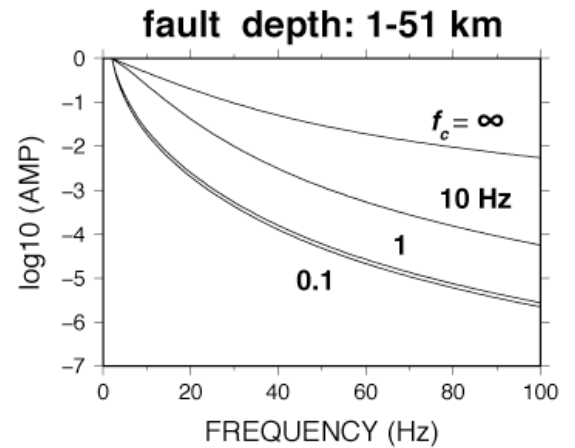


図3 コーナー周波数の影響

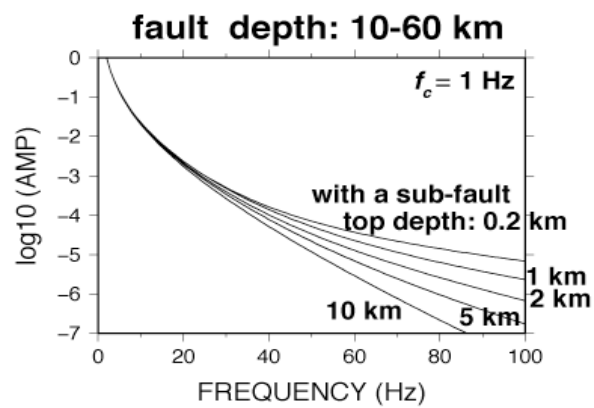
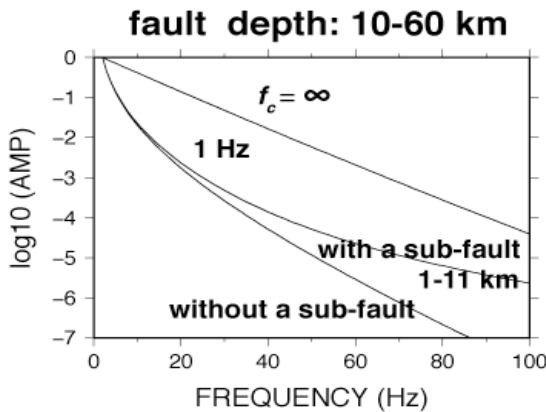


図4 浅い副断層の影響

実際には、10Hz以上の周波数依存性、S波によるT-phaseを励起、海底地すべりなどの事例の影響、浅い断層分岐の複雑さ、すべり量の偏りなど複雑な要素がある。にもかかわらず、T-phaseのスペクトル形状は、海溝での大地震の断層上端の推定、すなわち津波の早期予報において、従来の手法とは独立で重要な観測データとなる可能性を強く示唆している。

引用文献 ・ Obara and Maeda, *Geophys. Res. Lett.*, 10.1029/2009GL037454, 2009.

- ・ Salzburg et al., *AGU fall meeting abs.*, U51B-0047, 2011.
- ・ Tsuji et al., *Earth Planets Space*, **63**, 831-834, 2011.
- ・ Walker et al., *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **82**, 1275-1305, 1992.