

# 海底隆起による津波波源形成過程: 3次元数値シミュレーションと解析解に基づく解釈

## Three-Dimensional Tsunami Generation due to the Sea-Bottom Deformation

# 齊藤 竜彦 [1]; 古村 孝志 [2]

# Tatsuhiko Saito[1]; Takashi Furumura[2]

[1] 地震研; [2] 東大地震研

[1] ERI; [2] ERI, Univ. Tokyo

### 1. はじめに

地震による海底隆起の結果、海面が上昇し、津波の波源となる。一般的な津波計算では、海底隆起分布と津波初期波源は等しいと仮定される。この仮定は、プレート境界地震のように、地震発生域の水深が浅く、かつ地震による海底隆起の面積が広い場合に良く成立する。一方、海溝の外側で発生するプレート内地震の場合では、発生域の水深が深く、そして断層面の傾斜角度が大きいため海底変動域の幅は狭くなる。このとき、海底隆起と海面上昇は必ずしも一致しなくなる [Saito and Furumura 2007]。

これまで、海底隆起と海面上昇の関係、すなわち津波発生の物理が解析理論 [高橋 1942, Kajiura 1963, Hammack 1973 など]、あるいは数値シミュレーション [柿沼・秋山 2006 など] に基づき議論されてきた。本研究では、津波波源形成過程の仕組みを理解するために、海底隆起による海面上昇過程を非圧縮性流体式の3次元数値シミュレーションにより詳しく評価するとともに、高橋 [1943] の数式表現を基に、計算結果の解釈と津波発生の物理の理解を深める。

### 2. 3次元 Navier-Stokes 方程式による津波発生シミュレーション

3次元 Navier-Stokes 方程式の計算に基づき、津波波源形成過程を評価した。海底隆起の動的変化は、海底面における鉛直方向の流速の変化としてモデルに組み込み、海面の時間変動を差分法により計算した。本研究では、海底隆起の空間分布は等方的であると、ガウス型関数で表す。このとき、海底変動域のおおよその直径を  $2a$  と表し、隆起が始まってから終了するまでの継続時間を  $T$  とする。

海底変動による津波発生過程は、以下ようになる。海底隆起の最中、すなわち経過時間が  $T$  より小さい場合、海底からの鉛直方向の流れによって、海水面が上昇してゆく。このとき、鉛直流が水平流に対して卓越する。流速は海底面に近いほど大きい。次に、経過時間が  $T$  に達し、海底変動による鉛直流の供給が終了すると、持ち上げられていた海水面が支えをなくし、重力により落下し始める。これに伴い、鉛直下方への強い流れが発生する。さらに時間が経過し、海水面が完全に落下すると、海水面の変動が震源域から周囲に向かって津波として伝播していく。波源の広がりがある程度大きく、そして水深が波源の波長に比べてずっと浅い場合には、鉛直流速に対して水平流速が卓越し、水平流速が鉛直方向に一樣な水平流となる。これは、一般的な津波計算で良く用いられる、浅水・長波近似の条件に相当する。

### 3. 海底変動量と海面変動量の関係

海底変動量と海面変動量の定量的関係を得るために、変動域の広がり  $2a$ 、水深  $H$ 、そして、隆起の継続時間  $T$  を変化させながら、シミュレーションを多数試行した。津波初期波源の波高は、 $2a$  が小さいほど、 $H$  が大きいほど、 $T$  が大きいほど、小さくなる。さらに、海底変動が瞬間的に起こった場合には、初期波源の波高と、水深で規格化された波源のサイズ ( $2a/H$ ) には、一意的な関係を得ることができる。海底地殻変動域の広がり小さい場合 ( $2a$  が  $20H$  より小さい範囲)、初期津波波源は海底地殻変動と一致しなくなる。隆起継続時間  $T$  が大きいと、海面上昇量と  $2a/H$  の関係は、単純ではなくなり、水深ごとに両者の関係が得られる。

これら、シミュレーションから得られた結果は、流体式の線形近似によって得られている数式表現 [高橋 1942] に基づく予測とよく一致する。シミュレーション結果を、この数式表現を基に解釈すると、初期津波は海底変動に対して、2つの短波長除去フィルタがかかったものと考えることができる。一つは、水深  $H$  によってカットオフ波数が規定され、もう一つは、変動継続時間  $T$  と津波の伝播速度 (位相速度)  $c$  から得られる特徴的距離  $L$  によってカットオフ波数が規定される。2つの短波長除去フィルタの影響により、初期波高分布は、海底地殻変動の形状より鈍ったものになる。さらに、海底変動の継続時間が十分短い場合には、継続時間  $T$  に起因するフィルタ効果は無視でき、初期波源の最大値は、水深で規格化した変動サイズ ( $2a/H$ ) の関数として表現することができる。

従来使われてきた、海底変動と津波初期波高分布が等しいという仮定の妥当性は、海底変動のスペクトル成分と、水深と変動継続時間により規定されるフィルタ特性を考えることで、定量的に評価することができる。