

Nonlinear Inversion of Tsunami waveforms, Estimation of Slip Distribution by Grid Search Part 1

*Masaaki MINAMI¹

1. Meteorological Research Institute Japan Meteorological Agency

津波波形を用いたインバージョン計算においては、計算量の制約などから、多くの既往研究では線形の逆問題としてこれを解いている。しかしながら、津波数値計算においてはその非線形の効果は大きく、それが、津波波形を用いたインバージョン計算の精度を大きく削ぐ原因となっている。そこで、本研究では、津波の非線形性も評価することのできる手法として、同一のイベントに対し、様々なすべり量分布で非線形長波方程式での津波数値計算（順計算）を行い、その数値計算結果と観測値との比較から、最も観測値を説明する地震のすべり量分布を求め方法について検討した。つまり、グリッドサーチによる非線形津波インバージョンである。具体的には、今回は2010年チリ中部の地震(Mw8.8)について、Fujii et al.(2013)などの既往研究で用いられている小断層の配置、大きさを用い、そのすべり量だけを変え1万例以上のすべり量分布を作成、その鉛直変位を津波の初期値とし、JAGURS(Baba et al. 2015)を用い、非線形長波方程式で計算した。計算領域は太平洋全域を90秒メッシュとし Δt は3secとした。比較のための観測値としてはNOAAのDART((Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis)の波形を、津波到達時刻から2~5時間程度用いた。比較の方法として観測値(15秒値)と計算値(15秒値)の、V.R.を計算し、V.R.が高いほど波形の一致率が高く良い解とした。これらの計算は1事例の計算に2時間/node程度かかった。計算に使用した気象研究所スーパーコンピュータは880node構成で、そのうち200nodeを使用した場合、1万事例を計算するためには、概ね100時間程度で計算が終了する。以上のような条件で1万事例の計算を行ったが、その事例の取り方が本研究の最も重要なポイントとなる。まず総当たりに計算することが考えられるが、今回の事例ですべり量のパターンを8通りとしても、その全パターンは 10^8 であり、計算量が全く足りていない。つまりもっと早く解を収束させるためには何らかの統計学的、機械学習的処理が必要になる。ここでは様々な手法が考えられるが、本稿ではその第一段階として、まず人間の目で波形を確認し、波形の合致が高いと思われるすべり量分布を作成し計算する、試行錯誤的な手法で計算し、その結果600回程度で概ねある値に収束した。次に、試行錯誤的に求められた値、既往研究(Fujii et al.2013とYoshimoto et al. 2016)の津波インバージョン結果を初期値とし、それらに摂動を与え新たなすべり量分布を作成、それらの計算結果でV.R.を求め、初期値より良い解があれば、その解を次の初期値とし新たに計算する方法を用いた。加えて全くランダムにすべり量を与える方法でも1000事例計算を行った。以上の方法で1万事例以上を計算した結果、V.R.は既往研究等の初期値からある一定程度は上がるが、それほど顕著には上昇せず、頭打ちをした。さらに全ての計算結果のV.R.を検討したところ、すべり量の空間分布がより滑らかなものが、V.R.が高かった。また、梶浦フィルタ(Kajiura 1963)を用い、海面変動をより滑らかにした場合もV.R.が上がるのが分かった。地震波による震源過程解析においても、すべりの時空間分布がなめらかであるという拘束条件がかかっている(例えばFukahata et al. 2003)が、本計算結果からも、すべりの空間分布がよりなめらかであるほど津波波形のV.R.が高いことが示唆された。これまでは計算量の制約からこのような非線形の津波インバージョンは試みられていなかったが、今回の結果から、最新のスーパーコンピュータを用いることによって、計算量の観点からは非線形の津波インバージョンも可能であることを示すことが出来た。しかしながら、今回の結果が真のすべり量分布を示すものであるとは言えず、さらなる手法の改善や、レゾリューションの向上などが必要である。