

リアルタイム津波モニタリング法としての津波データ同化の適用可能性

前田拓人・小原一成・篠原雅尚（東大地震研）

金沢敏彦・植平賢司（防災科研）

A feasibility study on using data assimilation technique for real time tsunami monitoring

Takuto Maeda, Kazushige Obara, Masanao Shinohara (ERI, Univ. Tokyo)

Toshihiko Kanazawa, and Kenji Uehira (NIED)

1. はじめに

2004年スマトラ沖地震や2011年東北地方太平洋沖地震を受けて、地震・津波の海底観測網の整備が急速に進んでいる。日本周辺では、紀伊半島沖においてすでにDONETおよびDONET2が整備されて一部で観測が開始されているほか、北海道から南関東にかけての太平洋沖合に、日本海溝海底地震津波観測網の整備が防災科学技術研究所によって進められている。

このような稠密かつリアルタイムにデータ伝送される記録を最大限に生かし、沖合の観測記録だけから、近地・遠地地震にかかわらず津波の全体像を一刻も早く推定する手法が求められている。そこで本研究ではその一手法として、地震による初期波源を推定することなしに、面的な津波波動場の状態を直接推定するデータ同化手法の適用可能性を検討した。

2. データ同化

津波波動場の状態を記述する物理量（状態変数）として波高と積分流速を採用し、その時間発展を数値計算と同様の形式で離散的に記述する。ある時刻の状態（波高・積分流速）から次の離散時間における状態は、離散化された時間発展方程式から、状態変数の線形写像として記述できる。データ同化では、まず1離散時間ステップ後の状態を時間発展方程式から予測し、その後モデル空間内に疎に分布する観測点における観測波高と予測値の残差に基づいて補正（同化）を行う。

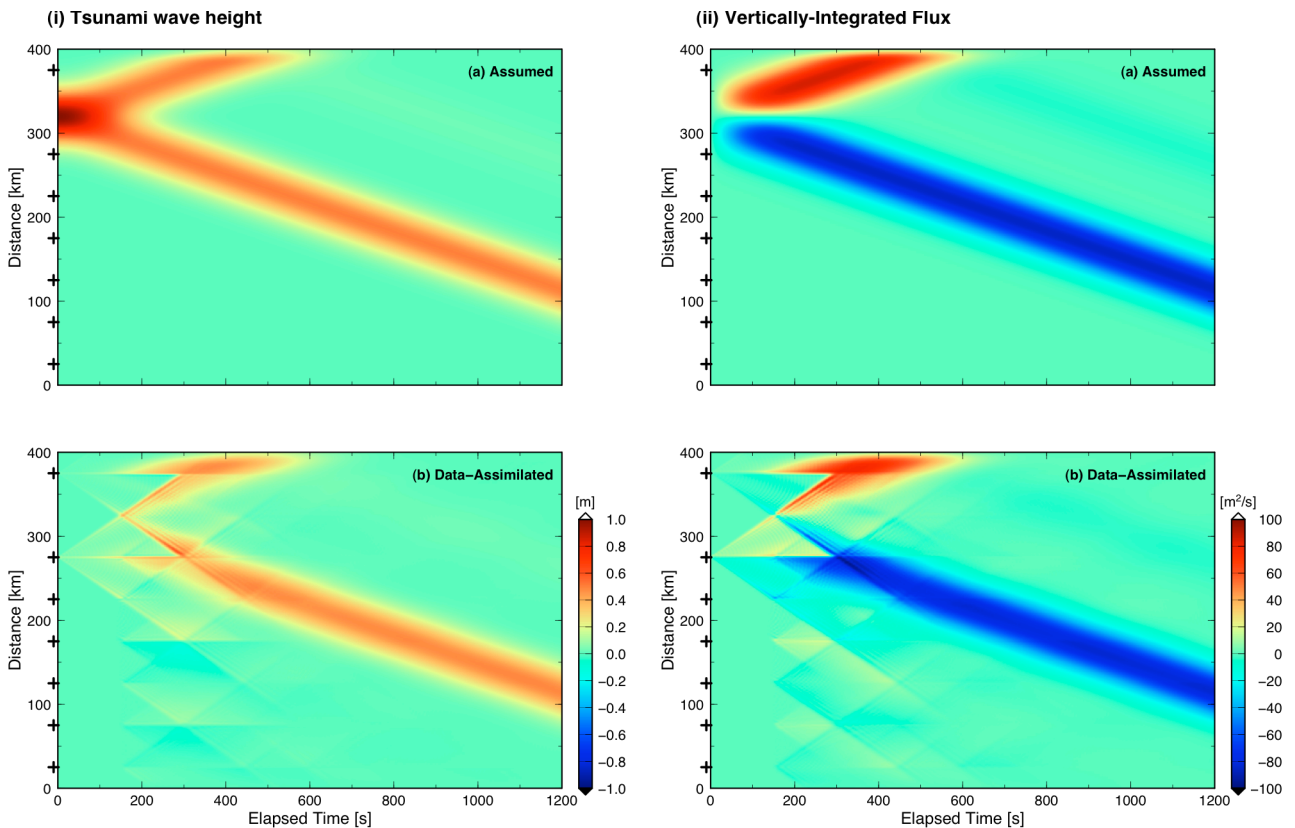
このプロセスは、モデル予測値と残差との加重平均として状態空間方程式の形式で記述することができる。観測値から状態変数への同化に用いる重み関数は、同化後の状態変数の真値からの分散が最小になるという拘束条件から推定される。具体的には、静的な問題として観測点の分布のみから推定する最小分散法のほか、モデル予測残差も時間発展方程式にしたがうカルマンフィルタのアルゴリズムなどが用いられている（e.g., 樋口・他, 2011; 淡路・他, 2009）。データ同化では、状態変数の補正を常に行いながら連続的な波動場のシミュレーションを実行することで観測値に近づけていくことが可能であり、観測記録に基づく津波波動場全体をリアルタイムにモニタリングすることが可能になると期待される。

3. 津波波動場の1次元データ同化実験

本手法の適用可能性を調べるため、1次元の一樣水深（3000m）の下で線形長波津波シミュレーションを行い、データ同化実験を行った。波源域を除き50km間隔の7点で数値計算

により疑似津波観測記録を作成し、1秒間隔の各時間ステップにおいて観測点での波高を入力データとしてカルマンフィルタのアルゴリズムに基づくデータ同化により津波波動場を再現した(図)。その結果、初期状態でほぼゼロであった振幅が、観測点に津波が到来するとともに徐々にその状態が反映されていき、最終的に約10分の経過時間で仮定した津波波動場をほぼ完全に再現することができた。また、本手法は波高のみならず積分流速もモデルパラメータとして同化する。そのため、任意の時点の同化結果を初期条件として、沿岸に到達する津波の予測シミュレーションに切り替えることができる。その点からも、本手法は津波のリアルタイムモニタリングと警報システムに適しているといえよう。また、この手法は津波発生イベントの有無に関わらず連続記録に対し常時リアルタイム解析を実行できるという点にその特徴がある。そのため、通常の地震に伴う津波だけでなく、地震動の大きさからの想定よりも津波が大きくなる津波地震や、遠地地震津波の走時異常(綿田・他, 2011; 楠本・他, 2011)などにも自然に対応できると期待される。

一方、本手法を実世界の2次元津波波動場にそのまま適用すると、カルマンフィルタ推定に必要な計算資源がきわめて大きなものになり、現世代最高速のスパコンを用いても実用化は困難であることがわかった。そのため、実観測記録への適用に向けては、統計分布の小数実現値のアンサンブルを用いたアンサンブルカルマンフィルタや半経験的に最適重み行列を推定する最小分散法の利用などのさらなる工夫が必要であろう。



図：1次元データ同化実験の結果。波高(i)・積分流速(ii)のそれぞれについて、データ同化実験で仮定した津波波動場を上、1次元データ同化結果を下に示す。カラスケールは(i)・(ii)それぞれ右下に示す。同化実験のために仮定した観測点位置を左軸上に+で示す。