

「南海トラフ巨大地震の津波シミュレーションの高精度化：潮流を考慮した場合」

神戸大学大学院海事科学研究科

中田 聡史

1 研究の背景と目的

M8~9クラスの南海トラフ巨大地震が60~70%の確率で30年以内には発生するだろうと内閣府は想定している。地震津波シミュレーションによると、太平洋沿岸域のみならず兵庫県の瀬戸内海沿岸域においても津波による被害は甚大となる可能性は極めて高い。被災後の復興を考えると、インフラとして必要な港湾や船舶の被害を最小限にする減災策が必須である。しかし、減災策の基礎資料となる津波シミュレーションには潮流が考慮されていない。瀬戸内海の潮流と津波流速を足し合わせると、操船困難となる2ノット(約1 m/s)以上となる港湾・水路も多いと予想される。さらに海洋密度成層を考慮すると、潮流は深さ方向にも変化する複雑な三次元的な構造を持つ。また、複雑な地形を持つ港湾や沿岸域では推定誤差が大きいと予想される。潮流等の現実的な気象海象条件を加味した津波シミュレーション手法やその計算結果に基づいた減災策の策定方法論は未だ確立されておらず、そのための基礎資料も整備されていないのが現状である。

本研究では、有限体積法を用いた瀬戸内海~港湾までのマルチスケール解像手法を採用し、沿岸近傍においては数10 mの高い空間分解能で海域を表現し、津波と潮流を同時に表現できる計算手法(以後、津波×潮流シミュレーションと便宜上呼称する)を構築した。スーパーコンピュータを用いて密度成層効果が反映された潮流を高分解能に再現した上で、三次元的な津波×潮流シミュレーションを実施した。兵庫県沿岸域における主要な港湾において、現実的な海洋構造を考慮し、潮流が加味された津波の流動場を推定した。従来の津波推定結果と潮流を加味したシミュレーション結果との差異を把握した。津波×潮流シミュレーション計算結果を元に、津波に対して強い港湾、弱いマリーナなどを事前に把握し、津波ハザードマップを作成するための方法論創出に向けた基礎資料を得た。

2 研究方法・研究内容

大阪湾・播磨灘・紀伊水道を計算対象海域として兵庫県の主要港湾のほぼ全てを解析対象可能にした。潮流は海水塩分などによる海洋成層構造の影響も受ける。潮流を高精度に再現するには、河川からの淡水流入も十分に推定し、海洋密度成層を再現しなければならない。陸域からの出水を反映できる津波×潮流シミュレーションを実施するため、陸域と海域における物理過程の数値モデル群を組織化した陸海統合モデル **HyOGO (Hydrological Ocean Geographical Orchestration)**を開発した(Fig. 1)。HyOGOとスーパーコンピュータを用いて高解像度の津波×潮流シミュレーションを実施した。

1) 陸域と海域を統合した高精度陸海統合モデルの構築

陸域シミュレーションには **HaRUM (Nakada et al., 2012)**を適用し、潮流に大きな影響を与える流量の多い河川出水を予測した。海洋シミュレーションには有限体積法数値モデル(**FVCOM; Chen et al., 2003**)を採用し、沿岸域における流動場を高解像度かつ三次元的に表現した。**FVCOM**は、高い解像度が必要ではない外洋域を低解像度で表現し、沿岸域の漁港などの比較的小規模の海岸形状を持つ海域を高解像度で表現するマルチスケールグリッドを採用している。そのため、計算効率を担保するとともに、大都市に隣接する神戸港、姫路港、東播磨港など複雑な水路を持つ港湾における海洋流動場が計算可能となった。

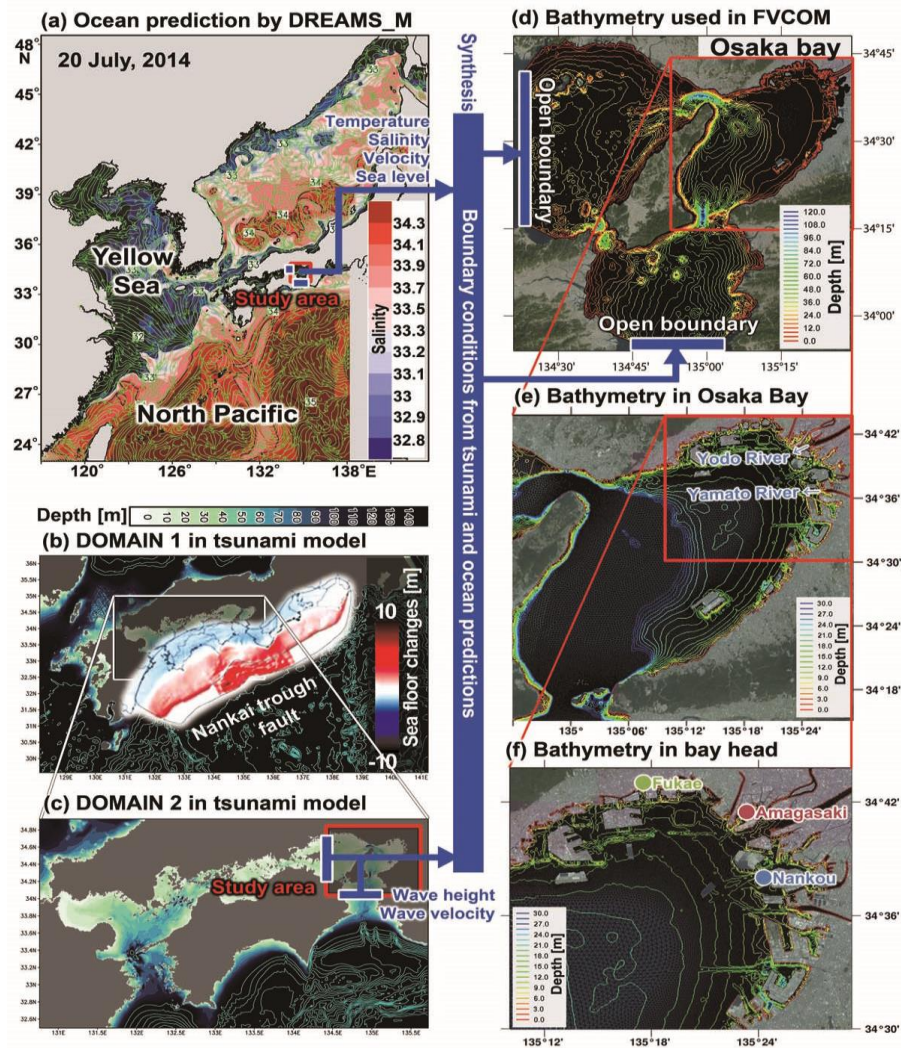


Fig. 1 陸海統合モデル HyOGO の概念図。(a)海洋予測システム DREAMS による塩分・流動場マップ、(b)津波“親”モデル(計算 DOMAIN1)における計算領域の海底地形と地殻変動分布(色)、(c)津波“子”モデル(計算 DOMAIN2)における海底地形図、(d)海洋モデル FVCOM の計算領域と海底地形図、(e)大阪湾を拡大した海底地形図、(f)大阪湾奥における海底地形図。(本システムを用いた具体的な研究成果は Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering に掲載予定である。)

2) FVCOM の境界条件

「海の“天気”予報」と呼ばれる海況予測システム DREAMS (Nakada et al., 2013) の計算結果(Fig. 1a)を、ネスティング法を用いて HyOGO への海洋側面境界条件として入力した。DREAMS は約 10km の解像度で外洋域(日本南岸沿岸域を含む太平洋)における 1 週間先までの海況予測を毎日実施しており、現在から過去 10 年間までの精度良い再現結果が蓄積されている。このように、外洋水の三次元的な密度成層や流動場等の情報を入力することで、現実的な海象条件を反映した津波シミュレーションが実施可能となった。また気象条件として気象庁が頒布している GPV/MSM データ(降水量、日射、気温等)を入力した。新想定された南海トラフ地震(内閣府)の断層モデルを利用して、津波モデルを駆動、日本南岸と外洋域(Fig.1b,c)における津波シミュレーションを実施した。得られた津波計算結果を、DREAMS から得られた海況再現計算結果と足し合わせて FVCOM の境界条件(Fig. 1d)として入力し、潮流と海洋密度が考慮された津波の三次元流動場が得られた。

3 研究成果

断層モデルや潮時、河川流量、気象条件を変えた様々なケースの数値実験を実施した。DREAMS の計算結果には潮汐変動も含まれているため、FVCOM の外洋域開境界において潮流エネルギーが DREAMS から受け渡される。また、潮流だけによる津波の内湾侵入に与える影響を評価するため、気象海象条件を考慮していない海洋の密度一様を仮定した潮流・津波シミュレーションも実施した。

1) 津波×潮流シミュレーション結果の妥当性検証と精度向上

シミュレーション結果の妥当性を検証するため、人工衛星、水質定点自動観測システム、HF レーダ、検潮所等によって得られた観測データ（水温、塩分、流速、水位等）を収集した。観測データと計算データと比較し、必要に応じて物理パラメータ（渦動粘性係数等）を改善した。例えば、人工衛星を利用した検証方法では、近年利用が開始された静止海色衛星「千里眼」の GOCI 標準プロダクトにある CDOM(有色溶存有機物) データを活用した。GOCI プロダクトは高い時空間分解能を有しているため、河川出水によるプルーム動態など沿岸海域における時空間変動の大きな塩分変動現象を捉えることが可能である。海水塩分と CDOM の高い相関関係を利用して、衛星観測から得られた CDOM マップを海表面塩分マップに変換し、HyOGO によるシミュレーションで再現された塩分水平分布の妥当性検証に利用した。このような検証プロセスを経て FVCOM の計算精度を向上させ、高分解能シミュレーションを達成した。一例として Fig. 2 に「津波×潮流シミュレーションによる地震発生 90 分後の計算結果を示す。沿岸域に津波が到達する前に深江周辺の港湾域では流速が、すでに 2 ノット(1m/s)近くに達している水域もあることがわかる。

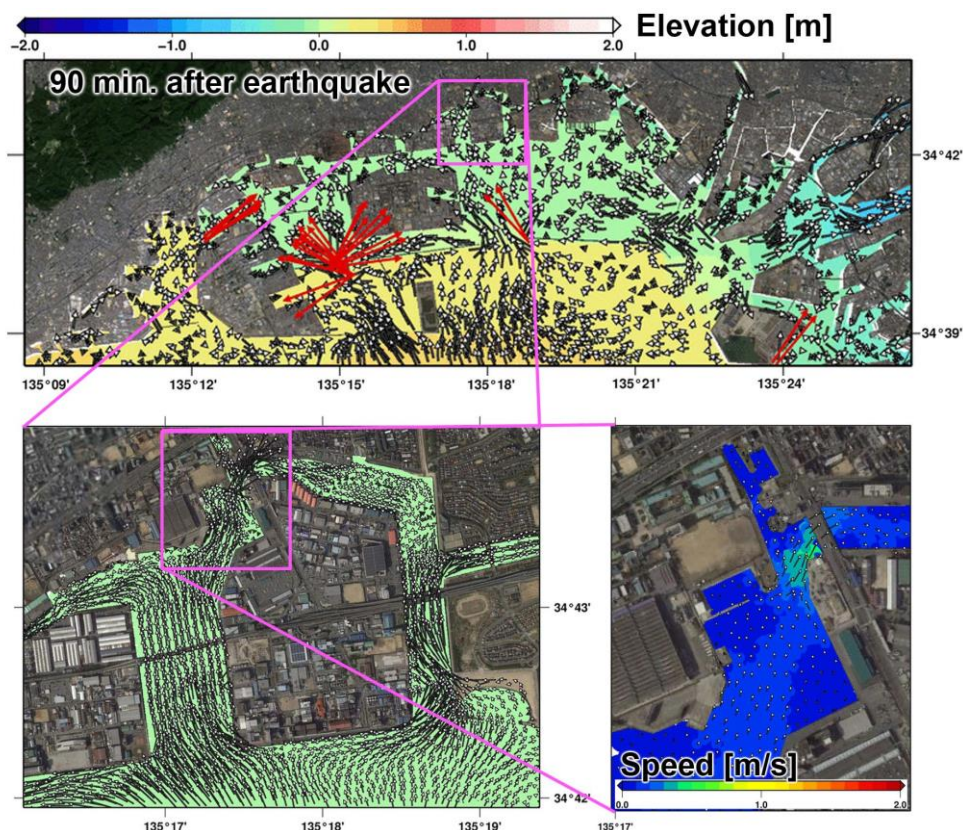


Fig. 2 津波×潮流シミュレーション結果の一例(2014年7月10日)。阪神港神戸区周辺水域(a)、および東灘区周辺水域(b)における地震発生から90分後の津波波高と流速分布。2ノット以上の流速を赤矢印で示した。(c)深江周辺水域における流速分布。

3) 津波に及ぼす潮流の影響

潮流がある場合、内湾域における津波の伝播速度は潮流の移流によって増減することがわかった。Fig. 3は下げ潮と上げ潮時(2014年8月11日午前4時と午前10時)における津波第一波の到達時間の変化を示したものである。到達時間が、下げ潮時で最大で4分程度遅れ、上げ潮時では最大で4分程度早くなる。すなわち従来の津波シミュレーションで推定された津波到達時間には数分程度の誤差があることを示唆している。潮流が強い水域においては、潮流によって津波の伝播速度が変化し、津波の推定到達時間に影響する。潮時による到達時間の差異は、港湾によっては船舶避難・避航に影響を及ぼす可能性がある。

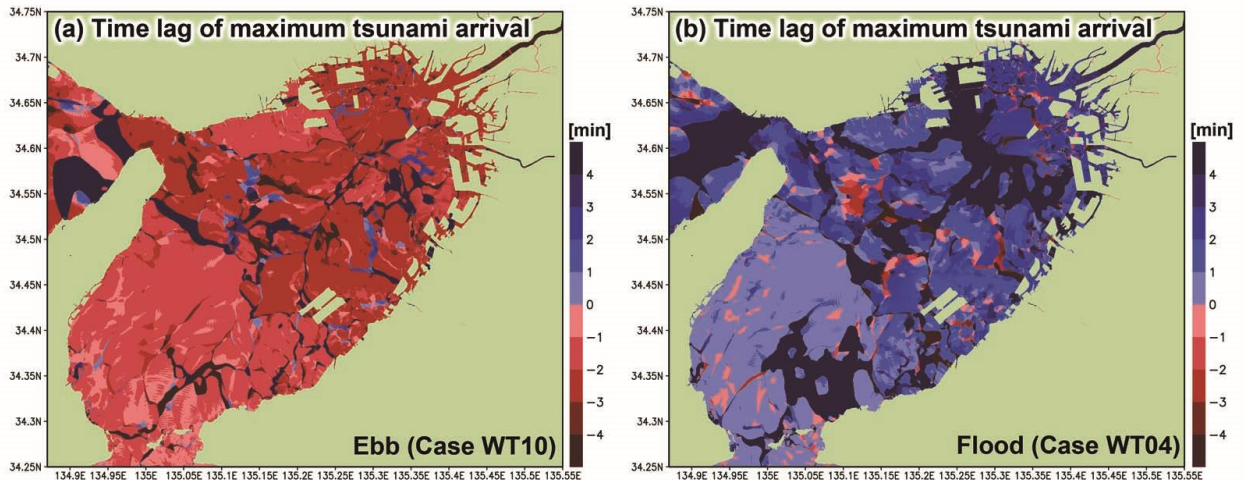


Fig. 3 下げ潮時(a)と上げ潮時(b)における津波第一波到達の推定時間の増減を示すマップ。青と赤系統色はそれぞれ津波の早達と遅延時間を示している。

4 社会貢献および波及効果

国土交通省は大阪湾の船舶運航事業者を対象にした「津波避難マニュアルの作成手引き書」を公開している。しかし、手引き書内では「潮流は加味されていない」と明記されており、今後のマニュアル改善にあたって、本研究結果は津波シミュレーションに潮流を考慮した基礎資料となりえると期待している。本研究で開発された津波×潮流シミュレーションを利用すれば、潮時に対応したきめ細かい避難策を講じることができるだけでなく、内陸への津波侵入域推定の精度向上も可能であると考えられる。また、本アプローチは、播磨灘や大阪湾のみならず瀬戸内海、太平洋沿岸域の内湾域においても適用可能であり、結果として、他の都市化した沿岸域において復興に不可欠な主要港湾設備や船舶の減災性向上に寄与できるだろう。

本アプローチは、潮流だけでなく気象海象条件も津波シミュレーションに加味した様々な数値計算を実行できるため、津波による海洋環境へのインパクトも評価できると考えている。海洋環境においては、底質の巻き上げによる重金属濃度の上昇や沿岸水域の塩水化等、海洋環境の甚大な被害が予想され、分野横断的な評価手法と減災策を見出すことが急務である。現在、HyOGOを用いて巨大津波により大阪湾の沿岸水域がどれくらい塩水化するのか、またはどれくらい底質の巻き上げあり重金属が海洋中に放出されるのかを調べている。今後、潮流や密度流(密度成層)等の現実的な海洋物理学的要素も考慮した本アプローチを用いて、様々な複合要因による被害を想定した兵庫県内の港湾ハザードマップの作成に向けての基礎資料を蓄積していき、被災可能性のある港湾における避難マニュアルなどの減災策策定の改善案を検討していく。