

沖合津波情報を用いたリアルタイム津波予測法

—逆解析法とニューラルネットワーク法—

Real-time Prediction of Tsunami by Using Offshore Observation Data

—Inverse Method and Artificial Neural Network Method—

安田 誠宏*・間瀬 肇*

Tomohiro YASUDA and Hajime MASE

要旨：沖合での津波観測波形を利用してリアルタイムで対象地点の来襲津波を予測する、逆解析予測法とニューラルネットワーク予測法を開発した。逆解析津波予測法では、小領域の格子サイズは 27km×27km 以下とし、範囲は東南海・南海地震の波源域を含む範囲とする。沖合観測点が室戸岬および潮岬の 2 地点ならば、観測時間は地震発生から 30 分間必要であるが、観測点が室戸岬沖、潮岬沖および紀伊水道の浅川沖の 3 地点であれば、予測開始時間を 10～15 分後にまで短縮できる。ニューラルネットワーク予測法では、ネットワークの中間層ユニット数を 10、中間層ユニットの応答関数を *tansig* 型、出力層ユニットの応答関数を *linear* 関数とすることが最適であった。これらの手法を用いた津波予測結果は、数値シミュレーションによる計算結果を精度よく再現できることがわかった。

キーワード：沖合津波観測, リアルタイム予測, 逆解析法, ニューラルネットワーク法

1. はじめに

東南海・南海地震は概ね 100～150 年間隔で発生しており、今世紀前半での発生が高い確率で予測されている¹⁾。このような巨大災害に対しては、ハード整備で 100%の防災を目指すことは膨大な費用が掛かるために極めて困難であり、ソフト対策による減災対策も考える必要がある。地震発生時の津波をリアルタイムに推定しようとする、現状では地震情報を用いて津波予測を行うこととなる。気象庁の津波予報は、日本近海の様々な場所に様々な規模の地震モデルを想定して津波シミュレーションを行い、それらの計算結果のデータベースを利用して、地震が起きた場合、推定された震源位置とマグニチュードに最も近い地震に対する計算結果を選び出して、予想される津波の高さを予報するものである。津波予報区は原則とし

て府県単位 (66 予報区) であり、沿岸地形の特性を考慮できるほど細分化されていない。

2009年4月に地震調査研究推進本部によって策定された「新たな地震調査研究の推進について—地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策—」によると、国内の研究機関等が当面 10 年間に重点的に推進すべき基本目標の一つとして、「海域で観測された津波データの即時利用や津波波源モデルの精緻化による津波予測技術の高度化」が記載されている。そのなかで、津波災害の軽減のために必要となる津波予測が、「現在は地震発生後数分程度で津波予報警報が気象庁から発表されるが、地震計で得られるデータに基づく推定のため、その精度は必ずしも良いとは言えない」という問題点と、「緊急地震速報と同様な仕組みで、発生直後に震源に近い

* 正会員 京都大学 防災研究所

海域で観測された津波データを即時に利用することが出来れば、津波即時予測の精度は格段に向上する」との期待が述べられている。

著者ら^{2)~5)}は、気象庁の津波予報を補完することを目的として、沖合で観測された津波情報を用いたリアルタイム津波予測方法の開発を試みてきた。これまでに開発した方法には、逆解析による津波のリアルタイム予測法、および、来襲津波の時間波形までの情報は無視し、水位の最大上昇量と低下量をすばやく予測するニューラルネットワークを用いたリアルタイム予測法がある。

これら2種類のリアルタイム予測の方法には、それぞれ利点と欠点がある。まず、予測計算速度に違いがあり、ニューラルネットワーク法では数秒、逆解析法では1, 2分である。このような予測計算時間の特徴を考慮して使い分けて、初期にはニューラルネットワーク法でその引き波・押し波の高さを即時に予測し、その後、ニューラルネットワーク法で推定できない時間波形を逆解析法で予測できる。最終目的は、NTTとの連携を図り、大規模地震発生後、この2つの手法により即座に予測計算を開始し、その情報を関係諸機関に流すことである。本論文は、こうした観点からこれまでに行った研究を取り纏めたものである。

2. 逆解析法によるリアルタイム津波予測

逆解析法によるリアルタイム津波予測は、GPS波浪計等による沖合における津波観測データを活用して、地震発生時の津波の初期水位変動量の大きさや波源域の範囲をいち早く予測するとともに、沿岸に来襲する津波の時系列変動をリアルタイムで予測するものである。

まず、図1に示すように波源域を156個の小領域に分割し、それぞれの小領域の水位変動に対する水位の応答関数を、沖合観測点および沿岸の対象地点について求めておく。沖合津波観測波形を

元に逆解析をし、求められた各小領域の水位変動量を応答関数に乗ずることで、到達津波波形を瞬時に予測できるようにしている。応答関数の重ね合わせの正しさについては、著者ら³⁾の論文ですでに検証し、その精度を確認済みである。

なお、津波シミュレーションには、後藤ら⁶⁾による線形長波モデルを用いた。計算格子間隔は外洋で1350m、大阪湾で450mであり、計算時間間隔は2秒とした。基本条件として、図1および表1に示すように、沖合観測点として室戸岬沖(運用期間:2004/4~2006/3, 2007/12~)と潮岬沖の2地点を想定し、沿岸の対象地点は和歌山下津港、関西空港、大阪港、神戸港の4地点とした。沖合観測点については、足摺岬沖(2007/11~)、土佐湾、紀伊水道(白浜沖:2007/12~)、尾鷲沖(2008/2~)等への追加設置も想定し、その効果を検討する。

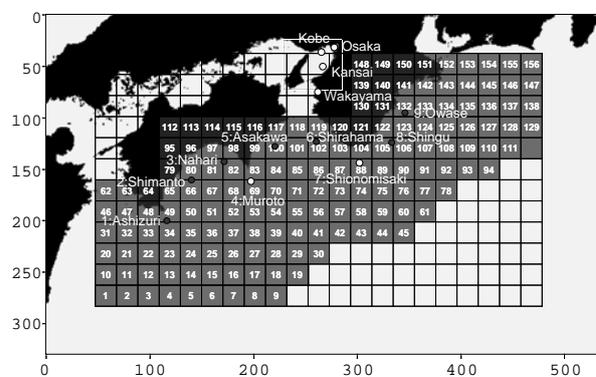


図1 分割小領域(格子サイズ:27km×27km)

表1 沖合観測点(1~9)と到達予測地点(a~d)

1. 足摺岬沖	6. 白浜沖	a. 和歌山下津港
2. 四万十沖	7. 潮岬沖	b. 関西空港
3. 奈半利沖	8. 新宮沖	c. 大阪港
4. 室戸岬沖	9. 尾鷲沖	d. 神戸港
5. 浅川沖		

2.1 沖合観測点の最適配置

本研究では、なるべく少ない沖合観測点を用いてリアルタイム津波予測を行うことを目指しているが、精度向上のために新たな観測点を設置することも有用な手段の一つである。その際、観測点をどこに配置すれば精度の良い予測結果が得られるのか、つまり観測点の最適配置について検討した。

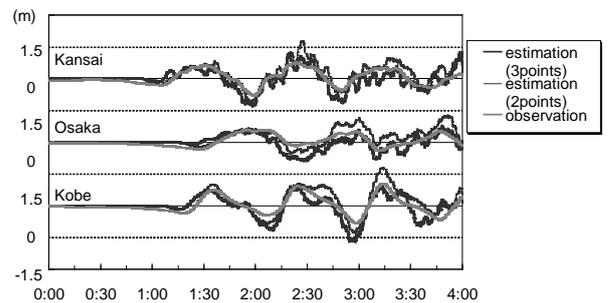
室戸岬沖、潮岬沖に加えて新たに観測点を1地点設置するとした。3地点での誤差が最小になるよう、逆解析を実施して、初期水位変動量を求めた。なお、相田⁷⁾による安政地震モデルを対象とし、30分間の観測データを用いて推定した。

足摺沖に追加設置した場合の大阪湾内での到達波形と予測結果の時系列を比較した結果を図2(a)に示す。3地点による予測値が太線、灰色が観測値である。室戸岬と潮岬の2地点での結果も、細線で併せて図示している。足摺沖に追加設置した場合、2地点では2時間30分以降に過大予測していたのがやや改善されており、誤差も小さくなっているが、精度はあまり向上しなかった。図示していないが、四万十沖、奈半利沖のように、土佐湾沖に新たに観測点を設置した場合には、位相に乖離がみられ、逆に精度が悪化する結果となった。初期水位平面分布の推定においても、紀伊水道内での水位変動がプラスになり、逆の結果になった。

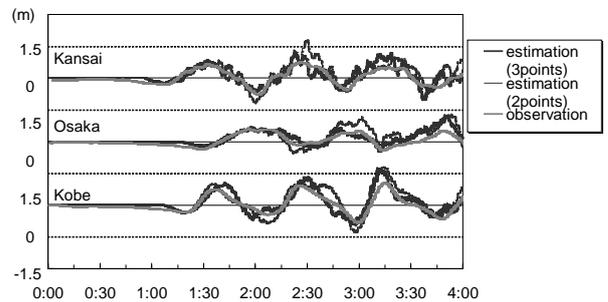
浅川沖に追加設置した場合の大阪湾内での到達波形と予測結果の時系列を比較した結果を図2(b)に示す。関西空港でみられた短周期変動が減少し、予測値とのずれも小さくなった。浅川沖や白浜沖のように、紀伊水道に新たに観測点を設置した場合、大阪湾内の津波予測だけでなく、初期水位平面分布の予測においても精度は向上し、紀伊水道内でのマイナスの水位変動を再現できた。浅川沖と白浜沖を比較すると、浅川沖の方が若干良い結果が得られた。

尾鷲沖に追加設置した場合の大阪湾内での到達波形と予測結果の時系列を比較した結果を図2(c)に示す。新宮沖や尾鷲沖のような紀伊半島東部沖に新たに観測点を設置した場合、四国の南沖に設置した場合と同様に、大阪湾内の津波予測精度はあまり向上しなかった。

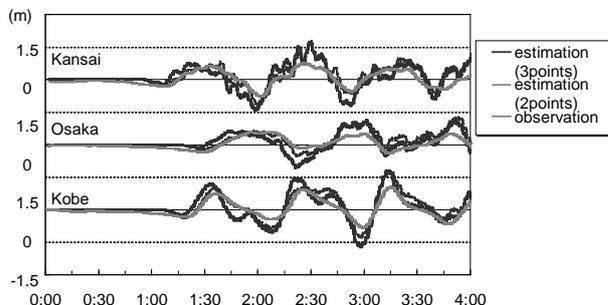
以上の検討より、室戸岬沖と潮岬沖に加えて新たに観測点を設置する場合、大阪湾内の津波予測精度向上のためには、紀伊水道内に新たに観測点



(a) 足摺岬+室戸岬+潮岬



(b) 浅川+室戸岬+潮岬



(c) 尾鷲+室戸岬+潮岬

図2 大阪湾内での到達波形と予測結果の比較 (観測時間30分), (太線:3地点, 細線:2地点, 灰色線:観測値)

を設置することがよいことがわかった。当初、南海地震のような広域な初期水位平面分布を予測するためには、観測点を分散させる方がよいのではないかと予測したが、紀伊水道内に設置する方が予測精度向上に繋がることが明らかになった。今回想定した7点の新たな観測点（図1および表1に示した1~9のうち4, 7以外）の中では、浅川沖を追加することが最も効果的であった。

2.2 想定東南海・南海地震津波への適用

本手法の実用化を考える場合には、中央防災会議¹⁾によって推定されている東南海・南海地震津波モデルについての検証が必要である。初期水位平面分布を図3に示す。沖合観測点は、室戸岬沖と潮岬沖、浅川沖の3地点とし、10, 15, 20, 30分および1時間の観測データを元に推定した。

15分間の観測データを用いて逆解析をした結果、図4のような初期水位平面分布の推定結果が得られた。この図をみると、室戸岬付近での正の水位変動や、足摺岬から土佐湾にかけての負の水位変動を再現しており、初期水位平面分布の傾向がよく推定できている。

次に、大阪湾に加えて、和歌山県海南市の下津港に到達する津波予測を行った。下津港は地震発生後、約40分後に津波が到達する地点であり、地震発生後、即座にリアルタイム津波予測を行って避難勧告を出すなど、早急に対策を行う必要性の高い港である。異なる観測時間データを用いることで、予測時間の短縮を図るとともに、観測データ長の更新による精度向上と長期継続予測の可能性についての検討を行った。

図5は室戸岬沖、潮岬沖、浅川沖の3地点における15分間の観測データを元に推定した津波波形の結果である。下津港における第2波目までが精度よく予測できている。大阪湾内の予測においても、3地点を用いたことで、15分間の観測デー

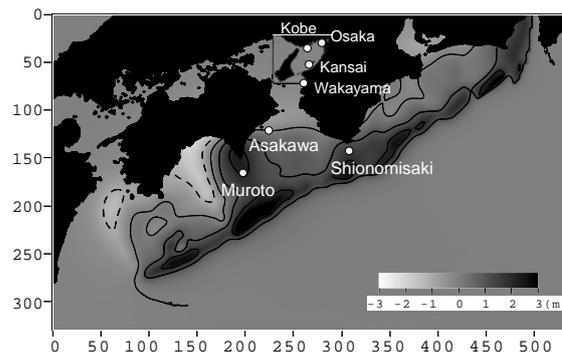


図3 中央防災会議モデルによる初期水位変動

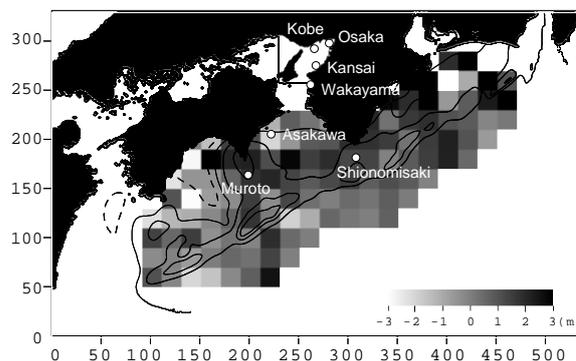


図4 初期水位分布の推定結果
(3地点: 室戸岬+潮岬+浅川, 観測時間15分)

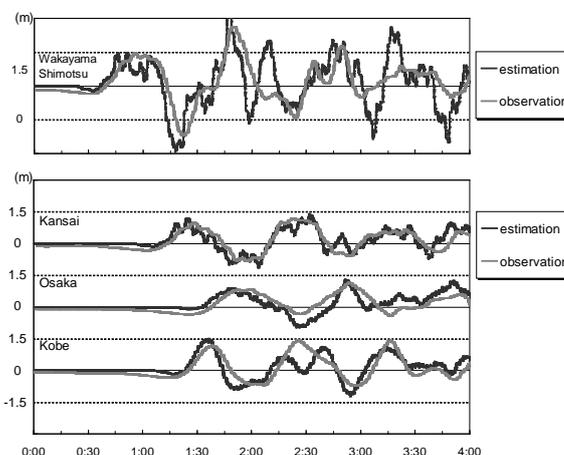


図5 下津港と大阪湾内での到達波形と予測結果の比較(3地点: 室戸岬+潮岬+浅川, 観測時間15分)

タによる予測精度が大幅に向上した。また、図示はしていないが、観測データ長が20分、30分と長くなるにつれて、予測精度が徐々に良くなることも確認している。

長期継続予測の検証として、1時間の観測データを用いて推定した対象地点の予測時系列と到達

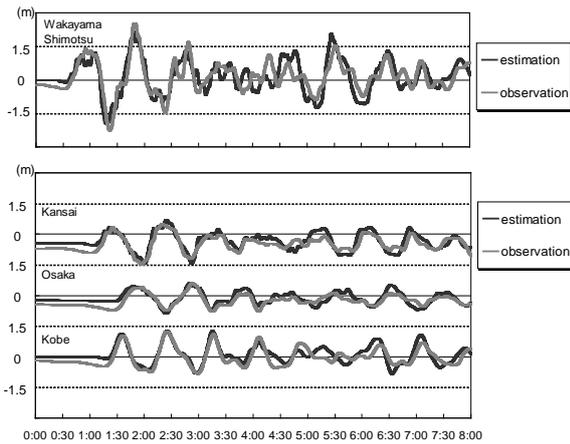


図6 下津港と大阪湾内での到達波形と予測結果の比較(3地点: 室戸岬+潮岬+浅川, 観測時間1時間)

波形とを比較した8時間後までの結果を図6に示す。約8時間後まで、下津港、大阪湾内ともに、到達津波の傾向を十分に予測することができた。1時間の観測データを用いれば、津波予警報にとって大切な予警報解除時期の判断材料として用いられることの可能性を示すことができた。

3. ニューラルネットワークを用いたリアルタイム津波予測

3.1 ニューラルネットワークの概要

あるデータ間の因果関係が不明確で、入出力関係のプログラム化は不可能である場合など、ニューラルネットワークではユニットをシプナスで結びつけ、繰り返し学習によりその結合度を変化させ、入出力関係を具現化することが可能である。したがって、ネットワークを形成する過程でプログラム化が内部的に行われ、因果関係の解析が困難なデータを処理する上で極めて有効である。

海岸工学の分野でニューラルネットワークを応用した研究には、混成防波堤における衝撃碎波力の発生判定⁸⁾、捨石防波堤の安定性評価⁹⁾、消波ブロック被覆工の変形量評価¹⁰⁾、越波流量の算定¹¹⁾、潮位予測¹⁰⁾や波浪予測¹¹⁾、高潮予測¹²⁾等がある。

ニューロで通常用いられるモデル(ユニット)は、多入力・1出力といった非常に簡略化されたモデルが用いられる。ユニット間は神経繊維に対応する線(シプナス)で結ばれ、信号は一方方向に伝わる。ユニットにつながっているシプナスからの入力信号は、ある重み(結合荷重)をかけられ加算され、さらに閾値が差し引かれた値がそのユニットに入力される。ユニットは応答関数に応じた値を出力する。

多層ネットワークにおけるユニットの応答関数として、しばしば用いられるのはシグモイド関数である。シグモイド関数には、出力が0~1のlog型と出力が-1~1のtangent型がある。多層ネットワークにおいて、最後の層がシグモイドニューロンの場合、ネットワークの出力値が制限される。そのため、線形関数が出力ニューロンに用いられることがある。これにより、ネットワークの出力が任意となる。実際の応用には、図7の階層型ネットワークがよく用いられる。

本研究では入力パターンとして、後に示す地震発生後に京都大学防災研究所白浜観測塔で観測される2分ごとの水位データを用いる。出力値としては、大阪湾内の1つの対象地点、あるいは、多地点における最大水位上昇量と低下量を用いる。

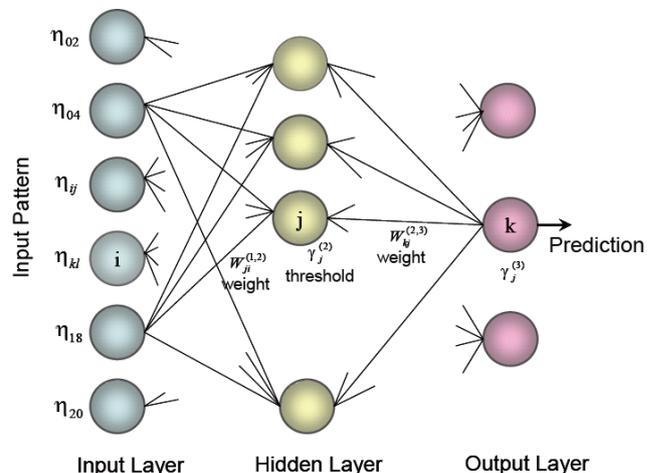


図7 階層型ネットワーク

バックプロパゲーションアルゴリズムとして、数値最適化手法に基づく高速訓練アルゴリズムである共役勾配法のうち、Levenberg-Marquardt 法 (LM 法) を用いて、学習の高速化を図った。

ニューラルネットワークの訓練中に起きる問題の一つに、過学習 (オーバーフィッティング) が挙げられる。これは訓練データセットに対する適合度が良くなり過ぎ、新規のデータセットに対しては誤差がかえって大きくなる現象である。

なお本研究では、用いるケース数が少ないことからサブセットに分けなくても良い Bayesian 正則化法を用いる。

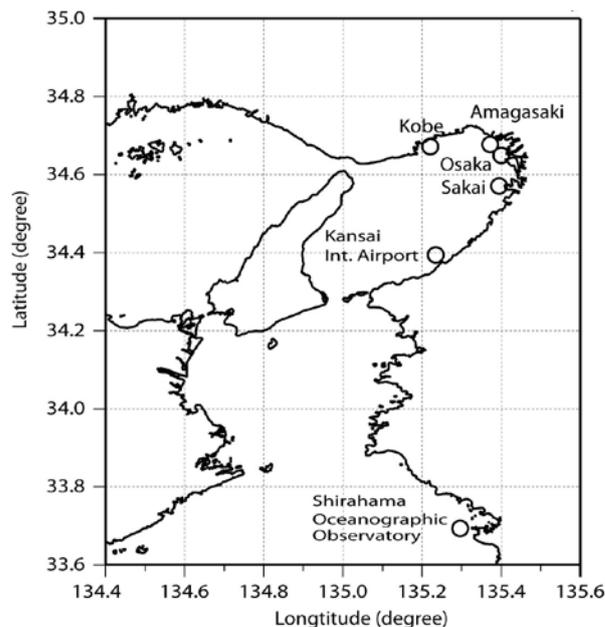


図 8 白浜観測塔の位置と津波予測対象地点

3.2 ニューラルネットワークに用いる津波計算結果

3.2.1 リアルタイム津波予測

本研究で検討するリアルタイム津波予測は、外洋あるいは大阪湾外における観測データを用いて、大阪湾内に来襲する津波を予測するものである。ここでは、地震発生後に京都大学防災研究所白浜海象観測塔で津波波形データが観測されたと仮定し、その時間波形を用い、ニューラルネットワークにより、1～1.5 時間後に湾内に到達する津波を予測する。図 8 に、白浜観測塔と津波予測対象地点の位置図を示す。

3.2.2 想定津波

奥村ら¹³⁾の研究による不均一性を導入した波源を用いた津波計算結果を、観測された津波波形として用いる。不均一性は、a) 地震規模、b) 地震規模とアスペリティ、および c) 地震規模とアスペリティと断層形状を考慮した地震断層モデルによって考慮される。また、地震規模のみを考慮した (地震モーメントを中央防災会議¹⁾の震源域モデルのそれと等しく補正した) Ando モデル¹⁴⁾ および相田モデル⁷⁾ のそれぞれに対する津波シ

ミュレーション結果を用いる。

図 9 は、規模を考慮した Ando モデルによる津波計算結果を示したものであり、こうした一連のシミュレーション結果から、白浜観測塔における地震発生後 20 分間の時間波形および大阪湾内の神戸港、尼崎港、大阪港、堺泉北港および関西空港の 5 地点における水位の最大上昇量と低下量を求めて、訓練データとした。

図 10 の上段は、異なる 5 ケースの白浜観測所における 20 分間の時間波形であり、縦軸は水位変動量、横軸は津波発生からの経過時間である。図 10 の下段は神戸港、尼崎港、大阪港、堺泉北港、関西空港における第 1 波水位低下量、第 1 波水位上昇量、第 2 波水位低下量、第 2 波水位上昇量を折れ線で示している。これらのケースは、奥村ら¹³⁾の B-W-1-20, B-W-1-25, B-W-2-20, B-W-2-25, C-E-1 に対応する。

テストケースは、Case A: 1707 年宝永東海・南海地震モデル⁷⁾、Case B: 1946 年昭和南海地震モデル⁷⁾、Case C: 東南海・南海地震モデル (中央防災会議¹⁾、図 3) による津波シミュレーション

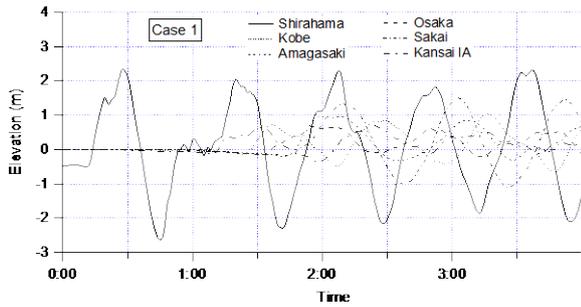


図9 規模を考慮した Ando モデルによる津波計算結果

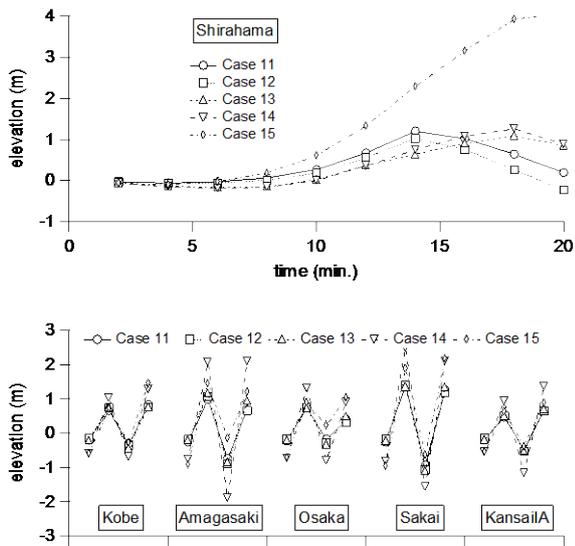


図10 白浜観測塔における時間波形と大阪湾内5地点における水位低下量と上昇量

結果である。中央防災会議による東南海・南海地震モデルは、テストケースとしてだけでなく、訓練データとしても用い、その相違を調べた。

4. ニューラルネットワークによるリアルタイム津波予測

4.1 ニューラルネットワークの設定

過学習を防ぐため、また、今回は用いるケース数が少ないため、バリデーションデータを用いなくてもよい最適 Bayesian 正則化法と高速訓練アルゴリズム LM 法の組み合わせを用いた。

中間層は 5, 10, 20 個の 3 ケース、中間層に用いる応答関数として、tangent 型シグモイド関数 (tansig 型) と log 型シグモイド関数 (logsig 型)

の 2 ケース、出力層の応答関数として、tangent 型、log 型、linear 関数の 3 ケースを考え、それぞれの組み合わせを用いた訓練を行った。

入力パターンとして、白浜観測塔での 0~20 分までの 2 分おきの波形データ 10 個を、出力値として、対象地点の第 1 波および第 2 波の最大水位上昇量とおよび水位低下量の 4 つを、地点毎あるいは 5 地点全部に対して出力する。地点毎に津波計算値とニューラルネットワークによる予測値の対応を調べ、予測に適したネットワークのパラメータを決定した。その結果は、以下のものであった。

- 1) 出力層ユニットには、線形関数を用いるのが良い。
- 2) 中間層ユニットには、tangent 型シグモイド関数 (tansig 型) を用いるのがよい。
- 3) 中間層ユニットを 5 とした場合は、10 および 20 を用いた結果と比べて良くない。しかし、10 と 20 を用いる結果にはほとんど差はみられないので、訓練回数の少ない 10 とする。

4.2 ニューラルネットワークによる予測精度の検討

まず、Case C の中央防災会議による東南海・南海地震モデルを除いてネットワークを訓練し、Case C に対して予測を行った結果は、シミュレーション結果との対応がそれほどよくなかった。このモデル地震は今後起こるであろう地震として推定され、各自治体での対策に用いられているので、少なくともこの断層モデルによる津波は予測できなければならないと考え、訓練データに含めることとした。

図 11 は、5 地点毎にニューラルネットワークによる予測値 (縦軸) と津波シミュレーション値 (横軸) を比較したものである。1 つの図面に第 1 波および第 2 波の最大水位上昇量と低下量をすべて

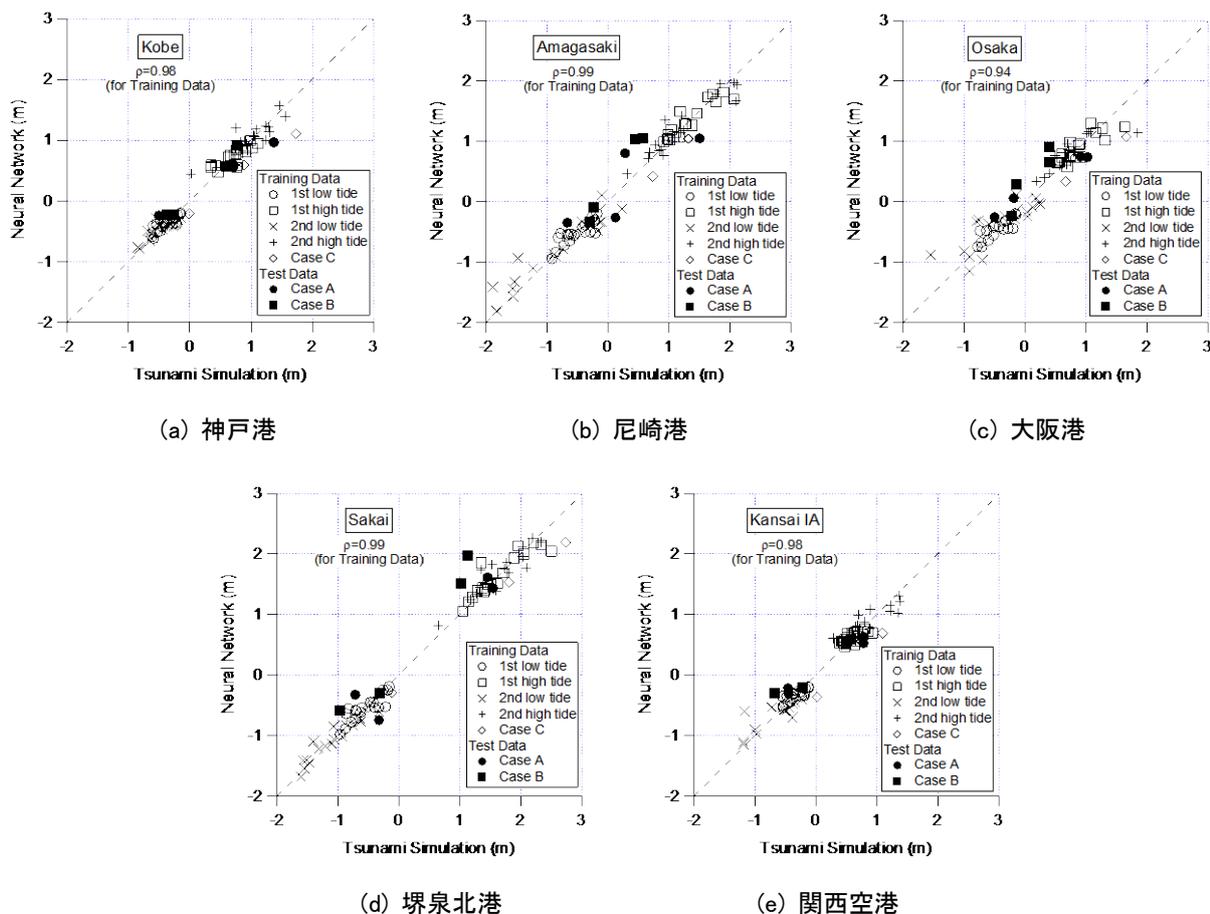


図 11 ニューラルネットワークによる予測値と津波シミュレーション値の比較

プロットしてある。

この図から、訓練データとして用いた津波の計算結果はうまく整理できること、テストデータとして用いた Case A と Case B のそれぞれ 1707 年宝永東海・南海地震および 1946 年昭和南海地震による津波を良く予測できることがわかる。

図 12 は、全 5 地点の水位上昇量および低下量に対して、Bayesian 正則化法にて自動的に訓練されたネットワークを用いて予測した結果と、津波シミュレーション結果を比較したものである。訓練データには Case C を加えた。訓練回数は 520 回となり、訓練データに対しては相関係数がほぼ 1.0 となるほど一致がよいが、テストデータに対しては、相関係数が 0.87 となって両者の対応が悪くなる。

図 13 は、訓練回数を強制的に 100 回としたも

ので、図 12 と比較して、訓練データに対する相関は少し小さくなり両者の分布幅が若干広がるが、テストデータに対する相関係数は 0.91 と大きく、図のように良い対応関係がみられる。

5. まとめ

66 予報区を対象に発表される気象庁の津波予報を補完する手法として、沖合での津波波形を利用してリアルタイムで対象地点の来襲津波を予測する、逆解析予測法とニューラルネットワーク予測法を開発した。本研究で得られた主要な結果を以下にまとめ、結論とする。

逆解析津波予測法では、小領域の格子サイズは 27km×27km 以下とし、範囲は東南海・南海地震の波源域を含む範囲とする。沖合観測点が室戸岬および潮岬の 2 地点ならば、観測時間は地震発生

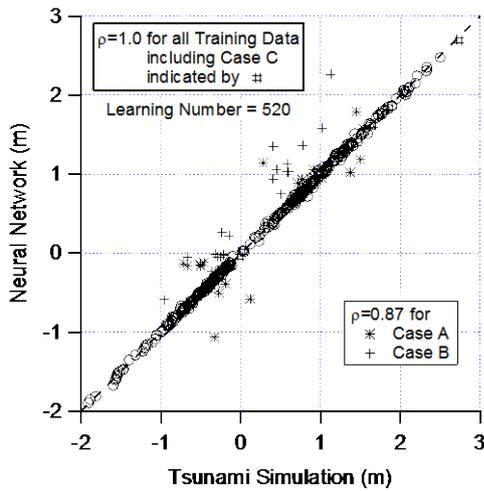


図 12 訓練回数を自動化したときの全 5 地点におけるニューラルネットワークによる予測値と津波シミュレーション値の比較

から 30 分間必要であるが、観測点が室戸岬沖、潮岬沖および紀伊水道の浅川沖の 3 地点であれば、予測開始時間を 10~15 分後にまで短縮できる。この手法を用いた津波予測波形は、数値シミュレーションによる到達波形を精度よく再現できることがわかった。

ニューラルネットワーク予測法では、ネットワークの中間層ユニット数を 10、中間層ユニットの応答関数を *tansig* 型、出力層ユニットの応答関数を *linear* 関数とすることが最適であった。この方法により、大阪湾沿岸の対象地点毎に、ニューラルネットワークによる引波および押波の予測値と津波シミュレーション結果を比較した結果、あるいは、大阪湾内の対象 5 地点全部に対して引波と押波を予測した結果は、数値シミュレーションによる到達波形を精度よく再現できた。

逆解析法の所要時間は約 1 分、ニューラルネットワーク法では数秒であり、気象庁の津波情報がでた後に、短時間で対象とする地点の詳細な津波予測情報を補完することができる。

本研究の最終目的は、NTT との連携を図り、大規模地震発生後、この 2 つの手法により即座に予測計算を開始し、その情報を関係諸機関に流すこ

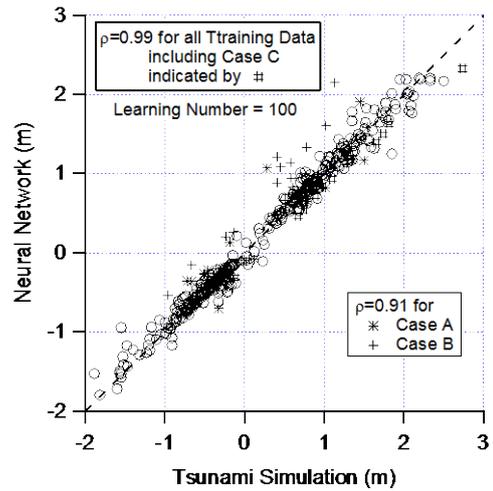


図 13 訓練回数を制限したときの全 5 地点におけるニューラルネットワークによる予測値と津波シミュレーション値の比較

とである。現在、京都大学防災研究所と NTT が「災害に強い社会 (Disaster Resilient Society) の創造」の連携研究を推進しており、本研究のリアルタイム予測の成果を取り入れたいと考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、高山知司先生 (京都大学名誉教授、(財)沿岸技術研究センター参与) からは貴重なご意見を賜りました。また、奥村与志弘氏 (人と防災未来センター) には、不均一性を考慮した地震断層モデルデータを快く提供していただきました。最後に、本研究は科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「津波リアルタイム予測とフラップゲートによる津波被害防止・軽減」(22651068) の研究の一部であることを記し、ここに謝意を表します。

引用・参考文献

- 1) 中央防災会議—東南海、南海地震等に関する専門調査会：東南海、南海地震に関する報告、平成 15 年 12 月、2002.
- 2) 安田誠宏・高山知司・川村健太・間瀬 肇：大阪湾内におけるリアルタイム津波予測手

- 法の検討，海洋開発論文集，第 21 巻，pp.145-150, 2005.
- 3) 安田誠宏・高山知司・川村健太：観測データを用いたグリーン関数重ね合わせ法によるリアルタイム津波波源域推定法，海岸工学論文集，第 53 巻，pp.311-315, 2006.
- 4) 安田誠宏・高山知司・川村健太・間瀬 肇：沖合観測情報を用いたインバージョン法によるリアルタイム津波予測，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.196-200, 2007.
- 5) 間瀬肇・安田誠宏・高山知司：ニューラルネットワークを用いた大阪湾内への来襲津波のリアルタイム予測に関する研究，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.201-205, 2007.
- 6) 後藤智明・佐藤一央：三陸沿岸を対象とした津波数値計算システムの開発，港湾技術研究所報告，Vol.32, No.2, pp.3-43, 1993.
- 7) 相田 勇：南海道沖の津波の数値実験，東京大学地震研究所彙報，Vol.56, pp.713-730, 1981.
- 8) 間瀬 肇：混成防波堤における衝撃砕波力の発生判定モデル，土木学会論文集，第 515 号，II-31, pp.95-102, 1995.
- 9) 間瀬 肇・坂本雅信・酒井哲郎・後藤仁志：ニューラルネットワークを用いた捨石防波堤の安定性評価，海岸工学論文集，第 41 巻，pp.761-765, 1994.
- 10) 間瀬 肇・酒井哲郎：ニューラルネットワークを用いた消波ブロック被覆工の変形量評価，海岸工学論文集，第 42 巻，pp.891-895, 1995.
- 11) 間瀬 肇・永橋俊二・Hedges, T.S.：緩傾斜護岸の越波流量算定におけるニューラルネットワークの適用性に関する研究，海洋開発論文集，第 21 巻，pp.593-598, 2005.
- 12) Deo, M.C. and G. Chaudhar: Tide prediction using neural networks, Computer Aided Civil and Infrastructure, Vol.13, pp.113- 120, 1998.
- 13) Deo, M.C. and N.C. Sridhar: Real time wave forecasting using neural networks, Ocean Eng., Vol.26, No.3, pp.191-203, 1999.
- 14) Lee, T-L: Predictions of typhoon storm surge in Taiwan using artificial neural networks, Advances in Eng. Software, Vol.40, Issue 11, pp.1200- 1206, 2009.
- 15) 奥村与志弘・高橋智幸・鈴木進吾・河田恵昭：アスペリティによる津波波源不均一性に関する一考察，津波工学研究報告，第 20 号，pp.23-46, 2003.
- 16) Ando, M.: Source mechanism and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai Trogh, Tectonophysics, Vol.27, pp.119-140, 1975.

著者紹介



安田 誠宏 (正会員)

京都大学防災研究所（京都府宇治市五ヶ庄），平成 9 年関西大学工学部土木工学科卒，平成 11 年関西大学大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程修了，平成 14 年京都大学大学院工学研究科土木工学専攻博士後期課程認定退学，同年 4 月港湾空港技術研究所特別研究員，平成 16 年京都大学防災研究所助手，現在同助教，博士（工学），日本土木学会会員。

E-mail:

yasuda.tomohiro.4x@kyoto-u.ac.jp

<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/~kaigan/>



間瀬 肇 (正会員)

京都大学防災研究所（京都府宇治市五ヶ庄），昭和 52 年京都大学工学部土木工学科卒，昭和 54 年京都大学大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程修了，同年 4 月京都大学助手，平成 5 年同助教，平成 8 年京都大学防災研究所助教，平成 19 年同教授，工学博士，アメリカ土木学会，日本土木学会会員。

E-mail: mase.hajime.5c@kyoto-u.ac.jp

<http://www.eonet.ne.jp/~luckywave/>

Real-time Prediction of Tsunami by Using Offshore Observation Data - Inverse Method and Artificial Neural Network Method -

Tomohiro YASUDA and Hajime MASE

ABSTRACT : Real-time tsunami prediction methods are developed in this study by an inverse method and an artificial neural network (ANN) method without using the seismic information but only using offshore observed water level variation. The inverse method first estimates tsunami sources and then predicts tsunami profiles with high accuracy for inshore points of interests. The predicted information is easily updated by using longer observation data. On the other hand, the ANN method predict only highest and lowest water level rises and falls; it has a merit that the computation time is several seconds after getting a tsunami profile at a fixed offshore location. The ANN parameters were determined for different tsunami profiles generated by different fault models considering non-uniformity of tsunami source. It was confirmed that ANN gives fast and reliable tsunami predictions once offshore tsunami elevation can be obtained. Both real-time tsunami prediction methods are able to complement the tsunami warning or tsunami advisory provided by the Japan Meteorological Agency for locations of interest taking into account of the detail coastal topography.

KEYWORDS : *Tsunami observation data, real-time prediction, inversion method, artificial neural network method*