

地域ごとのリアルタイム津波予測における初期条件の影響評価と設定

Influence of Initial Conditions on Local Real-time Tsunami Forecast and its Setting up

阿部郁男¹・今村文彦²

Ikuo ABE and Fumihiko IMAMURA

The quantitative tsunami forecasting system by JMA is in operation on the data base, in which the initial condition of tsunamis are assumed with less consideration of the earthquakes property in the region and with uncertainty. Since the initial condition for a tsunami simulation each local area is the most important to ensure the accuracy, the present study evaluates its effects on the tsunami heights in the data base. As a result, it is concluded that we should carefully select a strike, a dip angle, width and length by considering the characteristic of the focal mechanism, and especially that the influence of the dip angle affecting on the tsunami height is large.

1. はじめに

現在、地震断層モデルを予め設定したデータベースにより、地震発生直後に津波高さや到達時間を推定する津波量的予報システムが1999年より運用されている。リアルタイムで詳細な津波高さの情報を予測出来る画期的なシステムであるが、初期条件の設置方法に改善の余地があり精度（信頼性）において課題がある。また、最終的に津波高さや浸水域に初期条件がどの程度の影響を及ぼすかが評価されていないために、その改善手法も十分検討されていない。

津波予報は、迅速で適切な避難行動を促す重要な情報であるが、最近、津波に対する避難意識の低下や同じ津波注意報であっても隣接する市町村での対応が異なるなどの課題が明らかとなっている（地域環境防災研究所, 2003; 牛山・今村, 2004; 三重県ら, 2005）。

これらの課題を解決する一つの手段として津波予報の改善が重要である。そこで、本研究では、津波予報の改善に向けた一つの取り組みとして、特定の地域を対象に、地震・津波発生直後に得られる初期情報から推定される地震断層パラメータの条件設定が津波高さ予測に与える影響を評価し、地域ごとの具体的なリアルタイム津波予測を実現するために必要な初期条件（地震断層パラメータ）の設定内容を明らかにする。

2. 量的予報における初期パラメータ設定方法と実際

気象庁の津波予報システムでは、津波伝播計算に必要な初期条件として、日本近海に4,000箇所の震源を仮定した地震断層を予め配置し、それらの地震断層パラメータ（走向・傾斜角・すべり角）については、発生地域

の特徴を考慮した固定値を、その他はマグニチュードと地震断層の大きさの関係に基づく相似則によって初期条件を与えている。例えば、大きな津波を発生させる可能性がある日本海溝沿いの地震断層においては、走向として南北に長軸を持つ180度が、傾斜角とすべり角には津波を最も励起しやすいと考えられる傾斜角45度、すべり角90度が設定されている。また、相似則とは、既往地震のデータから統計的に求められた経験則であり、マグニチュードを M 、断層の長さを L 、断層の幅を W 、断層の平均すべり量を D とすると式(1)から(3)のように定義されている（防災科学技術研究所, 2000）。

$$\log_{10} L = 0.5 \times M - 1.9 \dots\dots\dots (1)$$

$$W / L = 0.5 \dots\dots\dots (2)$$

$$\log_{10} D = 0.5 \times M - 3.2 \dots\dots\dots (3)$$

この相似則によって、地震発生直後に得られる震源情報（マグニチュード）から地震断層の幅と長さ、すべり量が表-1のように求められる。

これらの推定手法によって、津波伝播計算を行うための津波の初期値（波源）が与えられる。そして、津波伝播計算が予め行われ、計算結果がデータベースに蓄積されている。

実際に地震が発生した場合には、地震発生直後に得られる震源情報（震源位置、マグニチュード、深さ）を与えれば、予め蓄積されていたデータベースを検索するこ

表-1 相似則による地震断層のサイズとすべり量の関係

M (Magnitude)	L (km)	W (km)	D (m)
7.6	79.6	39.8	3.98
7.8	100.0	50.0	5.01
8.0	125.9	62.9	6.31
8.2	158.8	79.4	7.94
8.4	199.4	99.7	10.0

1 正会員 博(工) 東北大学大学院工学研究科 研究員
2 正会員 工博 東北大学大学院工学研究科 教授

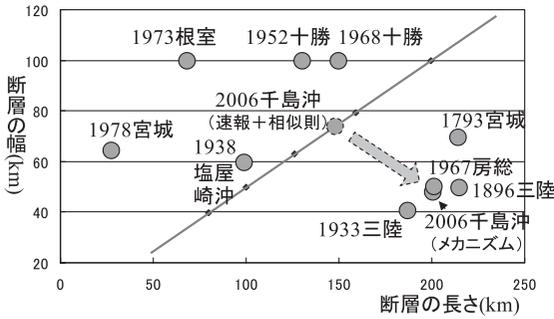


図-1 既往地震における地震断層の幅と長さ、相似則との関係

とにより最も適切なモデルが選択され、各地での津波予報が発表されることになる。

相似則によって求められる地震断層の幅と長さについて、既往地震津波の解析（土木学会，2002）によって得られている地震断層の幅と長さとの比較を行った結果を図-1に示す。相似則では、地震断層の幅と長さの比は1対2と定義されているが（図中の実線）、津波の発生を伴う大規模な地震では、地震断層の幅と長さの比が1対4になるケースも存在する。例えば、図-1の中央付近にある2006千島沖（速報+相似則）の点は、地震発生後に得られた気象庁の震源情報（速報値）と相似則から推定された地震断層の幅と長さの関係を示している。しかし、その後の地震波および津波の数値解析からは2006千島沖（メカニズム）の点で示すような関係が得られている。

このようにデータベースにおける設定値は有限のケースに限定され、かつ、実際のパラメータと異なる場合もかなり生じる。改めて、データベースに初期条件の影響を評価し、より妥当な設定方法を提案する必要があると考える。

3. 地震断層パラメータの不確定性とその影響

(1) 対象地域および数値実験の条件

相似則は過去の経験から統計的に求めたものであるため、実際に発生した地震断層パラメータとの差異が考えられる。そこで、これらの初期条件推定における不確定性が地域ごとの津波予測に与える影響を数値実験により明らかにする。

本検討では、岩手県釜石市を対象として、地震断層パラメータを変化させた場合の津波予測への影響を評価する数値実験を行った。図-2に示すように、岩手県釜石市には、形状の異なる4つの湾があり、湾奥あるいは湾口付近にも集落が点在している。このため、湾の形状や海底および陸上の地形の状況によって津波の挙動が影響を受け、さらに湾の中での集落の位置関係により、津波の高さや浸水範囲が異なることが考えられる。また、30年以内の発生確率が70%程度とされる三陸南部の海溝寄りで

発生した津波により大きな被害の発生が懸念されている場所でもあり、湾口防波堤やGPS波浪計などの津波防災対策が進んでいる地域でもある。

このような対象地域において、三陸南部海溝寄りに $M=8.0$ の地震断層を想定し、地震断層パラメータを変化させ、津波予測への影響評価を実施した。数値解析における領域設定条件を図-3と表-2に示す。



図-2 検討対象地域（図-3のD領域に該当）

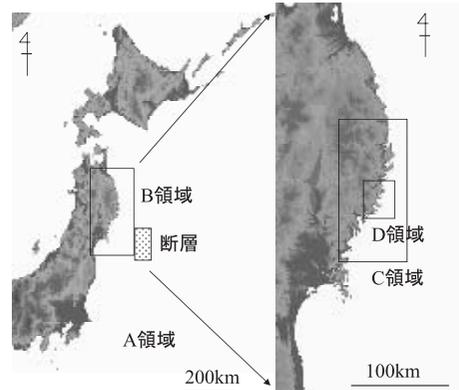


図-3 数値解析における領域設定条件と断層位置

表-2 領域設定の条件

領域名	メッシュサイズ	メッシュ数	方程式
A	1350m	1000×1350	線形長波／陸側完全反射／領域外自由透過
B	450m	420×840	
C	150m	540×960	
D	50m	660×840	非線形・浅水理論／陸側遡上／土地利用に合わせた粗度（小谷ら，1998）

(2) 地震断層の幅と長さの影響

相似則による初期条件設定に基づいた気象庁の量的津波予報においては、地震断層の幅と長さの比は1対2で与えられている。しかし、図-1に示したように、既往津波での解析例では、幅と長さの比が1対4になることもある。そこで、地震断層パラメータのうち、幅と長さのみを変化させた条件での数値解析を行い、地震断層サイズ設定の内容が地域ごとの津波予測に与える影響を評価する。設定した条件を表-3に示す。

(3) 走向の影響

今村・首藤(1989)により、津波は波源の短軸方向に強いエネルギーの指向性を持つことが検証されており、その方向(走向)は沿岸での津波高さの分布に大きな影響を及ぼすと考えられている。しかし、気象庁の量的津波予報では、三陸に到達する大規模な津波の発生源となる日本海溝付近における地震断層の走向は、南北に長軸を持つ180度、陸に近い部分では195度に設定されている。一方、宮城県沖地震の被害想定(宮城県防災会議地震対策等専門部会, 2004)で想定された地震断層の走向は205度である。そこで、走向の変化が地域ごとの津波予測に与える影響を評価する。設定した条件を表-4に示す。

(4) 断層上端深さの影響

津波数値解析に必要な地震断層パラメータの中で、断層の上端深さについての検討を実施する。地震断層の上端の深さの違いにより、海底面の変位量(初期水位分布)が大きく変わることが考えられるため、断層の上端深さの違いが地域ごとの津波予測に与える影響を評価する。設定した条件を表-5に示す。

表-3 地震断層の幅と長さを変化させた条件設定

	断層の幅と長さの比		
	1対2	1対3	1対4
断層の幅(km)	62.9	51.4	44.5
断層の長さ(km)	125.9	154.1	178.0
断層上端の深さ(km)	1.0		
走向(°)	180.0		
傾斜角(°)	20.0		
すべり角(°)	90.0		
すべり量(m)	6.31		

表-4 地震断層の走向を変化させた条件設定

走向(°)	180	185	190	195	200	205
断層の幅(km)	125.9					
断層の長さ(km)	62.9					
断層上端の深さ(km)	10.0					
傾斜角(°)	20.0					
すべり角(°)	90.0					
すべり量(m)	6.31					

(5) 傾斜角の影響

気象庁の量的津波予報では、地震断層の傾斜角は津波を最も励起しやすいと考えられる45度が設定されている。しかし、実際の地震断層の傾斜角は、プレートの沈み込みの角度、地震発生の場所(深さ)や形態で変化し、1896年の明治三陸地震による津波など三陸に大きな被害をもたらす津波の発生源は低角逆断層地震であることが知られている。そこで、傾斜角の違いが地域ごとの津波予測に与える影響を評価する。設定した条件を表-6に示す。

4. 初期条件の不確定性とその影響

(1) 影響評価の事例

初期条件(地震断層パラメータ)の不確定性による津波予測に与える影響を評価するために、それぞれの条件を変化させたケースごとに津波高が最大となるケースと最小となるケースの比較を行った。最大となるケースと最小となるケースの比について、地域ごとの違いを図-4に示す。

傾斜角を変化させた場合、比の最大は箱崎白浜の2.08、最小は両石の1.14、その差は0.94となり、地域間で大きな違いが生じることが確認できた。また、走向を変化させた場合、比の地域全体での平均値が1.52となり、条件を変化させた4つの項目の中で最大となった。しかし、走向を変化させた場合の地域間での差は0.69であり、走向の変化は釜石市全体への影響は大きい、地域間の違いに与える影響は、傾斜角の変化と比べて小さいことが確認できた。

この中で最大となるケースと最小となるケースの地域間の違いが特に大きかった地震断層の傾斜角に着目する。傾斜角を変化させた条件(表-6)での地域ごとの津波高と

表-5 地震断層の上端の深さを変化させた条件設定

断層上端の深さ(km)	1.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
断層の幅(km)	125.9					
断層の長さ(km)	62.9					
走向(°)	180.0					
傾斜角(°)	20.0					
すべり角(°)	90.0					
すべり量(m)	6.31					

表-6 地震断層の傾斜角を変化させた条件設定

傾斜角(°)	10	20	30	40	50	60	70	80
断層の幅(km)	125.9							
断層の長さ(km)	62.9							
断層上端の深さ(km)	10.0							
走向(°)	180.0							
すべり角(°)	90.0							
すべり量(m)	6.31							

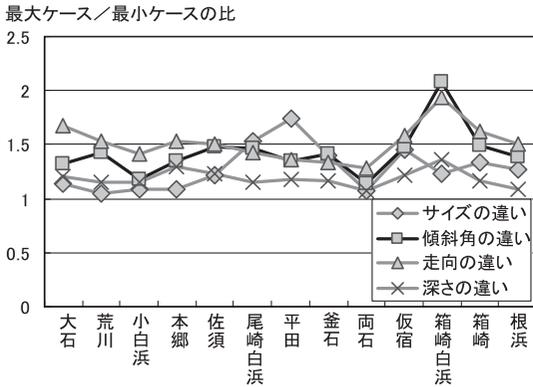


図-4 変化した条件での津波高における最大と最小の比較

波源での津波高の関係について整理したものが図-5である。図-5に示すように、沿岸での津波高は、気象庁の量的津波予報の初期条件として設定されている45度の地震断層が最大になるとは限らず、低角または高角の地震断層が最大となる地域がある。例えば、箱崎白浜は低角のほうが津波高が小さく、折れ線の中央部（傾斜角45度付近）が最も津波高が大きくなる。これは、同じ大槌湾内の根浜とは明らかに傾向が異なっている。また、唐丹湾に着目すると、佐須では、低角が最も津波高が小さく、高角に向かって津波高が大きくなる根浜と同様の特徴がみられる。しかし、同じ湾内の荒川では、箱崎白浜と同様

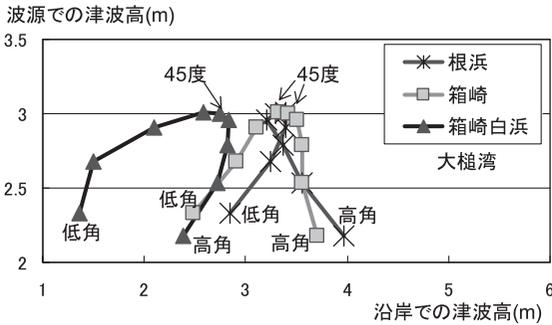


図-5 (a) 傾斜角を変化させた条件での波源と沿岸での津波高の関係（低角は10度から高角は80度まで10度ごと）

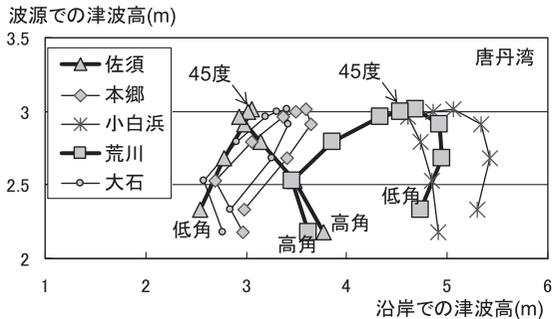


図-5 (b) 傾斜角を変化させた条件での波源と沿岸での津波高の関係（低角は10度から高角は80度まで10度ごと）

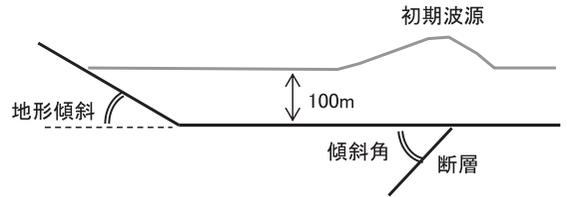


図-6 数値解析における領域設定条件と断層位置

表-7 数値実験での地形傾斜条件

	地形傾斜（斜面の角度）
Case 1	10m / 1000m（0.57度）
Case 2	12m / 1000m（0.69度）
Case 3	15m / 1000m（0.86度）
Case 4	20m / 1000m（1.15度）
Case 5	30m / 1000m（1.72度）
Case 6	40m / 1000m（2.29度）

に折れ線の中央部が右上方向に向かって膨らんでいる特徴となっているものの、傾斜角45度より低角のほうが津波高が大きくなることが分かる。このように同じ湾内であっても、地震断層の傾斜角の違いによって、大きな地域差が現れた。

(2) 津波予測への傾斜角考慮の必要性

次に、傾斜角の違いによる地域ごとの差が対象地域に特有の現象なのか、他の地域にも見られるものかを検証する。もし、一般的な現象であれば、地域ごとの津波予測における初期条件設定に不可欠だからである。一般的な現象か否かを検証するためには、三陸のような複雑な海岸地形の影響を排除し、できるだけ単純化したモデルで行うことが必要である。そこで、図-6に示すように、一様斜面の仮想的な地形を作成し、陸側は遡上、沖側は領域外への自由透過とする数値実験を行った。地形の傾斜は表-7のように6通りを設定した。

図-7は、単純化した地形モデルにおける汀線付近の津波高である。緩斜面（地形傾斜0.57）の場合、地震断層の傾斜角による津波高の違いは僅かであり、気象庁の量的津波予報で採用されている傾斜角45度の条件が最大となる。しかし、斜面が急になるに従い、低角逆断層により励起された津波のほうが汀線での津波は高くなること分かった。

5. 初期設定条件の改善に向けて

今までの検討結果を考慮して、今回の検討対象領域（三陸沿岸）では、表-8のように初期条件を設定することが望ましい。

走向については、対象地域前面部の海溝軸の方向を考慮して195度を設定し、傾斜角についても対象地域で典型的な低角逆断層地震を考慮して20度を設定する。なお、

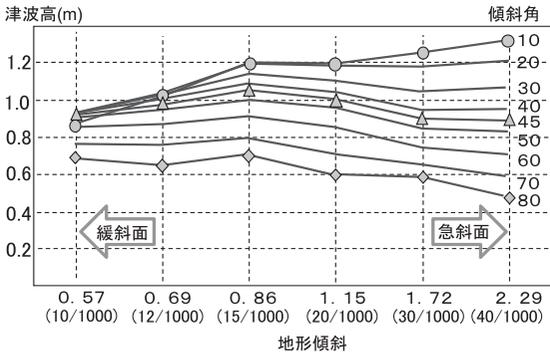


図-7 数値解析における領域設定条件と断層位置

表-8 津波量的予報データベースの設定条件

項目	設定内容
断層原点	波源域に緯度経度0.5度間隔で設定
マグニチュード	震源情報の不確実性を考慮し、想定される地震に対して0.4の幅を持たせる。
断層サイズ	相似則により決定、幅と長さの比を、1対2、1対3および1対4とする。
走向	180度 (気象庁同条件)、195度 (当該地域の海溝軸の方向を考慮)
傾斜角	45度 (気象庁同条件)、20度 (当該地域のプレートの沈み込み角度を考慮)
すべり角	90度 (気象庁同条件)
断層上端深さ	1kmおよび10km

傾斜角20度は、当該地域でのプレートの沈み込みの角度を考慮した条件設定である。断層の幅と長さは、図-1での検討結果から相似則の1対2から1対4までを設定する。マグニチュードは、震源情報の不確実性を想定して0.4を持たせるように設定する。断層上端の深さは、気象庁の震源情報が10km単位であることと、2005年11月15日の三陸沖地震のように「ごく浅い」というケースを想定して1kmおよび10kmを設定する。

6. 結論

地域ごとの津波予測において、地震断層の傾斜角、走向および幅と長さの比を、地域で起こりうる地震を考慮

して適切に設定することが重要である。特に、傾斜角が地域ごとの津波高の違いに与える影響は大きく、波源域で津波を励起しやすいとされる傾斜角45度の条件だけではなく、地域で発生する地震のメカニズムを考慮して低角または高角を設定する必要がある。地震断層の幅と長さの比は、相似則で定義された1対2だけではなく、1対4までの比を設定する必要がある。走向は、地域全体での津波高に対する影響が大きいため、地域ごとの津波予測だけではなく、より広域的な津波予測を行う際にも考慮すべき要素である。

現在の量的津波予報において、これらの条件は十分に考慮されていないために、地域によっては津波警報等の予測値が過小評価になる危険性があることを十分に周知しておくべきであろう。

謝辞：今回の検討は、東北大学と気象庁との共同研究の一環として実施しました。検討に当たり、気象庁の津波予報に携わる多くの方々から、様々な情報やアドバイスを提供頂きました。ここに記して深く感謝申し上げます。

参考文献

今村文彦・首藤伸夫 (1989) : 津波高さに及ぼす断層パラメータ推定誤差の影響, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 178-182.
 牛山素行・今村文彦 (2004) : 2003年5月26日「三陸南地震」時の住民と防災情報, 東北大学, 津波工学研究報告, 第21巻, pp. 57-82.
 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫 (1998) : GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 356-360.
 土木学会原子力土木委員会津波評価部会 (2002) : 原子力発電所の津波評価技術, pp.1-59.
 地域環境防災研究所 (2003) : 津波警報発令時における住民の避難行動に関するアンケート調査, 財団法人亜熱帯総合研究所, 委託調査, 127p.
 防災科学技術研究所 (2000) : 強震動の基礎, ウェブテキスト版, <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/gk/publication/>, 参照2008-11-18.
 三重県・三重大学・東北大学 (2005) : 2004年9月5日「紀伊半島南東沖の地震」県民避難行動調査結果報告, 東北大学, 津波工学研究報告, 第22巻, pp.59-72.
 宮城県防災会議地震対策等専門部会 (2004) : 宮城県地震被害想定調査に関する報告書, 211p.