

# 一地点での地震観測に基づいた 早期津波情報検出システム

消防研究所第3研究部地震防災研究室  
研究員 座間信作

## 1. はじめに

津波のため100人の犠牲者を出した日本海中部地震で、気象庁の出した津波警報が東北地方日本海沿岸の市町村に伝わったのは地震発生から約20分後、津波の第1波が海岸に達した後のことであった。津波予報を担当する気象台（津波予報中枢と呼ばれる）は、全国に6ヶ所あり、これらの津波予報中枢では、地震が起きた場合、少なくとも10ヶ所以上の地震観測官署からの地震データ（地震波の到達時刻、最大振幅）を収集し、津波発生の有無を判断する。この結果に基づき各予報中枢の担当する地域に対する予報文が決定され発表に至るには、平均して地震発生後10～15分の時間がかかる。更にこうして発表された予報が幾通りもの伝達経路を通過して市町村、住民に伝えられるには、場合によって地震発生後30分近くかかることもあり、津波に対する迅速な防災活動ができない恐れがある。

そこで消防研究所では、地震発生後市町村レベルで早期に津波の危険度を評価するための新しいシステムの開発を進めてきた。ここではこのシステムの概要と稼働試験結果について述べる。

## 2. システムの概要

このシステムの基本的な考え方は、津波を直接監視するのではなく、津波より早く到達

する地震波を津波危険度の高い地域（市町村レベル）のある1地点で観測し、そのデータをその場で即時的に処理し、津波に関する情報を早期に求めようというものである。

システムは地震動を検出する地震計と地震波データを解析するパソコンとからなるため比較的安価であり、かつ地震検知から津波危険度の判定結果が出力されるまでの過程は全て自動化されているので、本システムの実用化が進めば市町村単位で採用することが可能なものとなっている。

本システムには2種類のプログラムが用意されている。1つは地図作成用、他は地震動データ処理用である。地図作成用プログラムは、日本を含む広範囲領域の地図データから任意領域を取り出して、CRT上に表示できるようにするためのものである。地震動データ処理用プログラムは、地震計からのデータの取り込み、地震の識別、震源決定、地震規模の推定を行い、その結果に基づき津波発生有無の判断、津波の波高、津波到達予想時刻の推定を行い、検出情報を出力するためのものである。

## 3. 一地点の地震観測データに基づく早期津波予測方法

一般に津波は海域で生じた大きな地震に伴う海底の隆起・沈降のために起きると考えら

れている。津波の規模はこの海底の変動量に依存する。即ち、津波規模は地震マグニチュードによってほぼ表される。従って地震動データから津波を予測するためには、震源決定、地震マグニチュードの推定を行うことが必要となる。通常、震源決定は多数地点の地震波到達時刻を用いて行われるが、本システムでは一地点のデータしか使えないので、特別な方法を考える必要がある。それには先ず地震波の性質を知らねばならない。

地震波には大別して実体波と表面波がある。実体波は更にP波とS波とに分けられる。P波の振動方向は伝播方向と同一であり、S波のそれは伝播方向と直交する面内にある。P波の伝播速度はS波のそれより平均して1.7倍程度大きい。また実体波は地表面には垂直に近い角度で入射するため、P波到達時の地面の動きは上下動が卓越し、S波到達時には水平動が卓越する(図1)。一方、表面波は地表面に沿って進む波でやや長周期側で卓越する。そしてその振幅は同規模の地震が同じ起こり方をした場合には、震源が浅いほど大きい。

このような地震波の性質を用いることによって1地点のデータだけでもおよその震源の

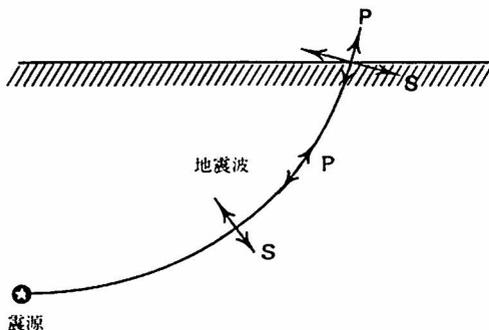


図1. 地震波(実体波)の性質

位置(①震源距離、②方位角、③深さ)を知ることができる。

①震源距離は大森公式として良く知られているように、P、S波の到達時刻の差に観測場所毎に定まる定数をかけることによって近似的に求めることができる。ここでP、S波の到達時刻は地震計から常時送られてくるデータの振幅を監視することによって求められる。

②本システムで用いている地震計は3台で、各々東西、南北、上下方向の揺れを検出する。これら3方向の観測データを合成すると地面の3次元的な動きを知ることができる。P波到達時の地面の動きは、人為的、気象的要因等によるノイズの影響を受けるため、直線的ではなく近似的に図2の様な回転楕円体になると考えられる。このとき震央方位はこの楕円体の長軸の下向き方向と一致する筈である。従って問題はP波到達時の3成分地震動データを用いてこの長軸の方向を決定することに帰着する。そしてこの解は統計でよく用いられる主成分分析という手法を

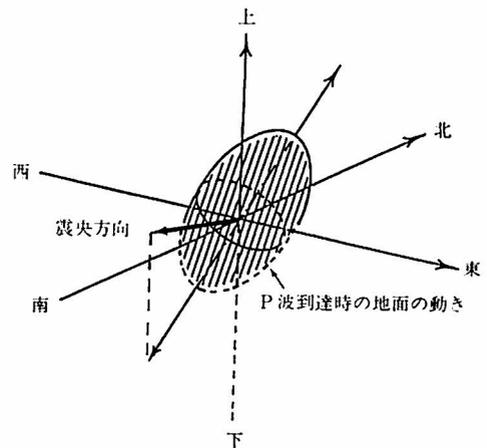


図2. 震央方位角推定の概念図

用いることによって容易に得ることができる。

③震源深さは先に述べた表面波の生成の度合に関する性質に基づいて推定される。即ち過去のデータを用いて、深さを地震マグニチュード(M)と短周期を遮断するフィルターを通した上下動の最大振幅の関数として表現する訳である。但し、これによって得られる値は過去のデータに依存することになるので、あくまで平均的なものとして捉えておくことが肝要である。

以上の方法によって震源が決定されるが、深さの評価及び津波規模の推定に用いられる地震マグニチュードは、気象庁で使われているものと同様の式(最大振幅と震源距離の関数)を予め作成しておくことによって求められる。

こうして求めた震源の位置、Mを用いて津波情報(①津波発生の有無、②津波規模(m)、③波高、④観測点付近沿岸への津波到達予想時刻)を以上のように求める。

①予めパソコンのメモリー内に用意された水深データから震央での値を探し出し、それが零(陸)でない時、震央は海域にあるので津波発生の可能性有りと判断する。

②については、Mとmとを結ぶ経験式が既に得られているのでこれを用いる。

③波高については2mで近似できるのでこれを用いる。但し②、③は過去の経験に基づいた平均値であることに注意する必要がある。特に波高は海岸及び海底地形等によって著しく増幅されることがあるので、得られた結果の解釈は慎重にすべきであろう。

④については、津波の伝播速度が水深の平方根に比例することから、震央と観測点を

結ぶ最短コースの水深データを用いて求めることができる。

#### 4. 稼働試験結果

本システムの稼働試験は昨年9月より消防研究所構内で、また本年9月より千葉県鴨川市、静岡県伊東市で行われている。ここでは観測期間が長く、データが多いことから消防研究所構内での試験結果について述べることにする。

前述したように津波の予測には震源の位置とMの決定が重要である。図3は観測された地震動(速度)の最大振幅が0.08cm/sec以上の地震をMと震央距離について表したものである。その内黒丸は首システムで捉えられ、かつ以下に示す範囲内で震源、Mが決定された地震である。

①推定された震源距離、深さ(または震央距離)が気象庁発表値(JMA値)と比較して、 $\pm 25\text{km}$ 以内または $\pm 20\%$ 以内、②震央方位角がJMA値に対して $\pm 20^\circ$ 以内、③MがJMA値に対して $\pm 0.3$ 以内。

この図から、我々が対象とする震央距離約200km以下、M約6.5以上の近地大地震の震源及びMは、精度よく推定されるものと考えら

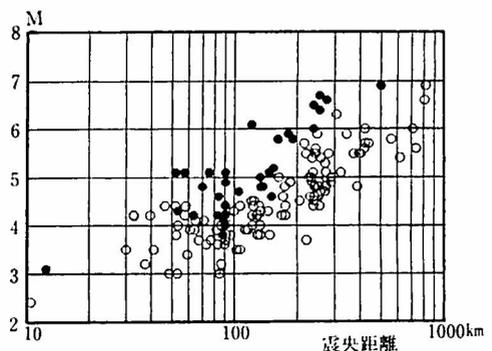


図3. 本システムによって精度良く推定された地震の分布(黒丸)

れる。

次に津波情報検出精度について気象庁が発表した津波予報と比較することによってみてみよう。本システムが稼働試験を開始してからの1年間に、“高いところで波高は数十cm”という意味の「ツナミチュウイ」以上の予報が5回発表されている。そのうち台湾付近、日向灘の地震は遠方で発生したため本システムはこれらを検知していないが、福島県沖の地震(2回)、新潟県沖の地震に対しては、震央距離がいずれも250km以上だったにも拘らず20—40cmの波高を予測しており津波予測の精度も良いことが分かった。しかも気象庁ではこれらの地震に対する津波予報の発表に平均10分かかったのに対し、本システムでは

これらの結果を得るのに僅か2分しかかかっていない。

以上、1地点だけの試験結果ではあるが本システムが有効に働くことが示された。

## 5. おわりに

波源域が沿岸近くまで及ぶ津波の場合、警報が沿岸住民等に伝わる前に津波が襲来することは今後も有り得るとされている。今後システムの実用化が進み、このような津波危険度の高い沿岸を抱える自治体にこのシステムが設置されれば、津波情報が早く得られるため、津波に対する迅速かつ合理的な防災活動が可能となり、津波被害の軽減が図れるものと期待される。