

遠地津波伝播図作成ソフトウェア

中村浩二*

Computer Program for Producing Travel Time
Chart for Distant-Origin Tsunamis
Koji Nakamura

(Received May 27,1997 : Accepted Nov.10,1997)

1. はじめに

津波の伝播図は、津波の第一波が波源域からどのように伝わっていくかを表す図で、波源域の決定や津波のエネルギーの伝播の簡便な評価などに利用されている(気象庁, 1990)。

従来、この伝播図は水深資料をもとに手作業で作図されてきたが、1988年に気象研究所で大型計算機を使って津波の伝播時間を計算するプログラムSEIJIが開発され、計算および作図が容易にできるようになった(M.Okada,1988)。そして現在、このプログラムを使って作成した各検潮所からの津波逆伝播時間の格子点値が、本庁のEPOSおよび各管区気象台と沖縄気象台のETOSにデータベースとして登録されている。近地の津波予報の際の各検潮所への第一波到着時刻の予想には、このデータベースが活用されている。

ここでは、遠地津波発生時の気象庁の業務支援資料作成のために、プログラムSEIJIの成果を元に、ワークステーションを使って遠地津波の伝播計算を行い、順伝播図を容易に作成するソフトウェアを開発したので、それについて解説する。

2. ソフトウェアの概要

津波伝播計算プログラムSEIJIは、極めて多数の格子点上の伝播時間を計算するため、大量の計算を高速で行える大型計算機上のFORTRAN言語でコーディングされている。また、このプログラムで計算を行うためには、個々の計算対象にあわせて水深ファイルの設定、計算範囲、格子点間隔等の多くの計算条件のパラメータを設定する必要がある。これらのことがこれまでSEIJIの使用を制限してきた。

しかしながら、近年電子計算機の高性能化と小型化が進み、比較的安価なワークステーションでも大型計

算機並みの性能を有するようになった。そのため、プログラムのソースコードを移植すれば、ワークステーションでもこのプログラムを十分実用的に利用できるようになってきた。

遠地地震による津波の場合は、要求される計算領域が太平洋全域できわめて広い。また、地震直後に得られる震源精度などの問題から、伝播計算の精度も自ずから制限される。このために、遠地地震による津波に対しては、計算領域(太平洋全域)や格子点間隔の細かな調整は、計算結果の精度等に特に効果を持たないため、かえってそれらを固定することによって条件設定の簡素化が可能になる。

ここで紹介する遠地津波の伝播図作成ソフトウェアは、これらのことを前提に作成された。このソフトウェアは伝播計算の条件設定などに必要なパラメータを設定するパラメータ入力部、伝播計算を行う計算部、

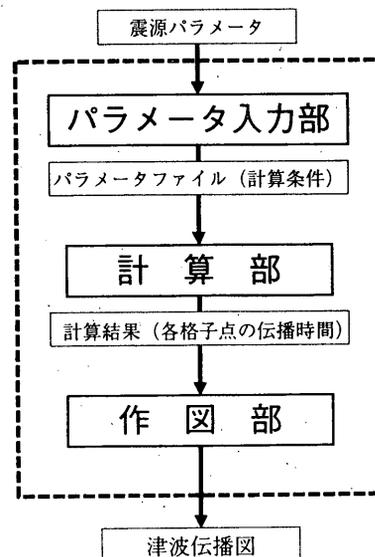


図1. ソフトウェアのブロック図

* 気象研究所

PARAMETERS for refraction diagram

Epicenter Longitude : 137 Deg: 0.0 Min: 0.0 Sec: E W
 Epicenter Latitude : 1.0 Deg: 0.0 Min: 0.0 Sec: N S
 Magnitude : 6.5
 Aspect ratio and direction: 0.5 (minor/major) 330 deg. from N

Mercator projection (All Pacific)
 Meccator projection (Around Japan)
 Orthographic Projection (for Indonesia etc)
 Orthographic Projection (for Hawaii)
 Orthographic Projection (for South America)
 Orthographic Projection (for Alaska)
 Around souce area

Map type

Map title (<=60)

図2. パラメータ入力用のウィンドウ

そして、計算結果を元に伝播図を作成する作図部の3つの要素プログラムから構成される(図1)、それぞれの要素プログラムは異なるプログラム言語で作成されており、それらをUNIXのCシェルが統合管理して一つのソフトウェアとなっている。

2.1 パラメータ入力部

パラメータ入力部は震源に関する情報から計算部(22)で行う伝播計算の計算条件のパラメータファイルを作成し、その結果を計算部へファイルとして引き渡す(図2)。

伝播計算には、計算開始点、計算範囲や計算格子の大きさなどに関わる多くの条件設定が必要である。しかし、このソフトウェアでは計算対象を太平洋における遠地津波のみに限定することによって、計算に使用する水深データファイル、計算領域、格子間隔等の多くの計算条件を固定した。そのため、パラメータ入力部では計算開始点の位置、地震のマグニチュードなどの最低限必要な項目のみ入力するよう設計されている。

また、この部分はパラメータ入力をより分かりやすくするように、図2のような簡単なGUI(グラフィカルユーザーインターフェース)を用いたウィンドウ画面による入力環境を提供している。

2.2 計算部

計算部は、大型計算機上のFORTRANでコーディングされたSEIJIを、ワークステーション上のFORTRANに移植したものである。したがって、OSに依存する一部の部分を除いてプログラムそのものの構造は元のSEIJIとほとんど変わらない。

SEIJIによる津波の伝播時間計算の原理は以下の通りである。津波は海の水深に比べて波長が十分長いので、その伝播速度 v (m/s) は水深 h (m) で決まり、

$$v = \sqrt{gh}$$

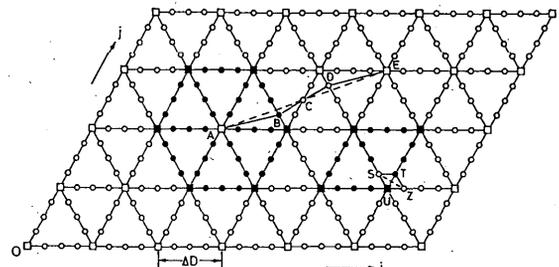


図3. 伝播計算に使用される計算格子配列
四角印のところで水深を与え、全点で津波の伝播時間を求める。A点から出た場合は隣接する黒印の42点までの伝播時間を計算する。(気象庁, 1990)

で与えられる。ここで g は重力加速度である。SEIJIは、計算領域を図3のような計算格子網で覆い、波源から周囲の隣接格子点までの伝播時間を上の式で求められる伝播速度から計算する。新たな伝播時間が求めた地点からその隣接地点へと計算を順次進めて行く。こ

の操作を繰り返すことにより、計算領域全域の伝播時間が計算できる。

ここでは、2.1で作成されたパラメータファイルをもとに太平洋全域（範囲固定）にわたる津波の伝播計算を行う。計算結果は各格子点での伝播時間の形でファイルに出力され、次の作図部への入力となる。

計算に要する時間は、ソフトウェア開発に使用したワークステーション（Sun SPARCStation20）による計算では約10分である。これは、従来の大型計算機（日立S3800）のTSS処理を含めた実質的な計算時間とほとんど変わらない。

なお、伝播時間計算の基礎となる水深データはNOAAの5分メッシュ水深データ（ETOPO5）を使用している。

2.3 作図部

作図部は、2.1の入力部であらかじめ選択したいいくつかの描画範囲について、地図と伝播時間の等値線を描く。この部分は地図および等値線の描画の容易さから、地球科学の分野でよく用いられているフリーソフトウェアGMT（Wessel,P,and W.H.F.Smith,1995）を使用して作られている。

3. 入力パラメータの内容

パラメータ入力画面は図2で、入力するべきパラメータは次の7項目である。

- (1) 震央の経度
- (2) 震央の緯度
- (3) 地震のマグニチュード
- (4) 津波の波源の短軸と長軸の長さの比（k）
- (5) 津波の波源の長軸の方位（北から時計周り）
- (6) 出力する図の種類
- (7) 図に付ける表題

これらのパラメータのうち、地震に関する要素（(1)～(3)）と津波波源の形状に関する要素（(4), (5)）から、次のように経験式を使って津波伝播計算の開始点を決定して、パラメータファイルの中に組み込む。

波源の面積をS（km²）、地震のマグニチュードをMとすると、渡辺（1985）より、

$$\log S = 0.72M - 1.59$$

また、波源を楕円形と仮定して、その長軸長をa（km）、短軸と長軸の長さの比をkとすると

$$S = \pi ka^2$$

となる。これらの関係から、波源を形成する楕円の長軸の長さは、

$$a = \sqrt{(10^{0.72M - 1.59} / \pi k)}$$

となる。

本ソフトウェアでは、震央（(1), (2)）を中心として、地震のマグニチュード（3）および短軸と長軸の比（4）から決定された楕円が、入力した方位（5）に長軸がくるように設定され、その楕円の縁が津波の出発点として計算が行われる。

4. 出力図

出力できる図は以下の7通りで、(1)～(6)は描画範囲は固定されており、(7)のみ震源の位置によって任意の描画範囲が自動的に決定される。その出力例を図4に示す。

- (1) 太平洋全域用（メルカトル図法）
- (2) 日本周辺海域用（メルカトル図法）
- (3) インドネシア周辺用（正射影図法）
- (4) ハワイ周辺用（正射影図法）
- (5) 南米周辺用（正射影図法）
- (6) アラスカ周辺用（正射影図法）
- (7) 震源周辺用（メルカトル図法）

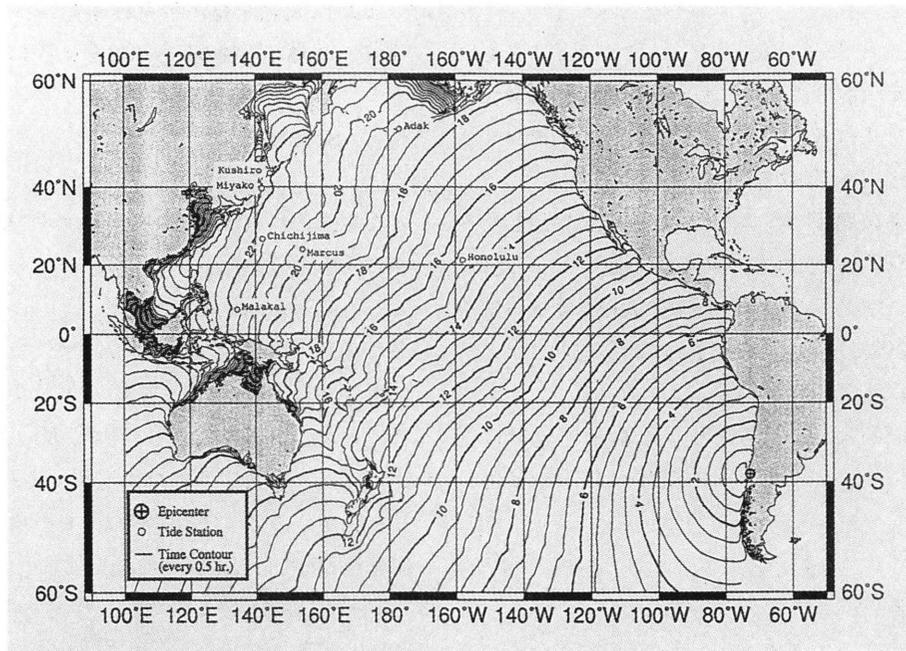
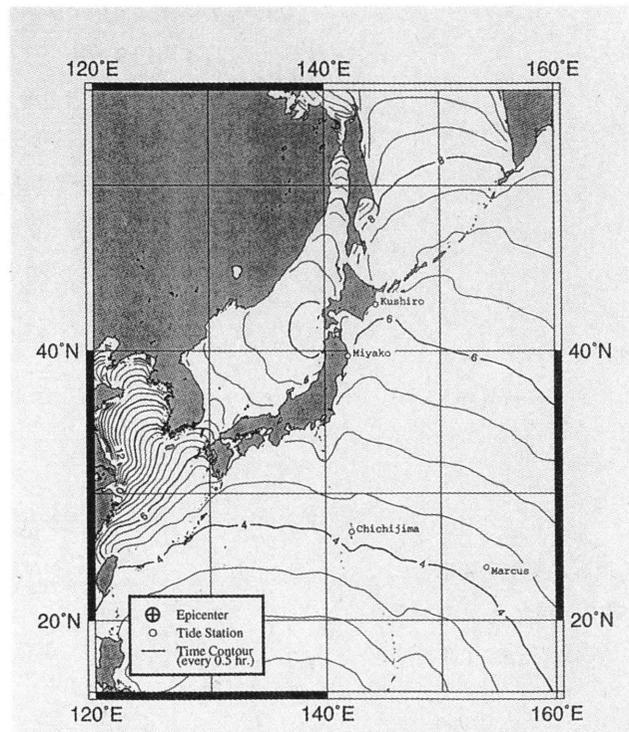


図4. 順伝播図の出力例

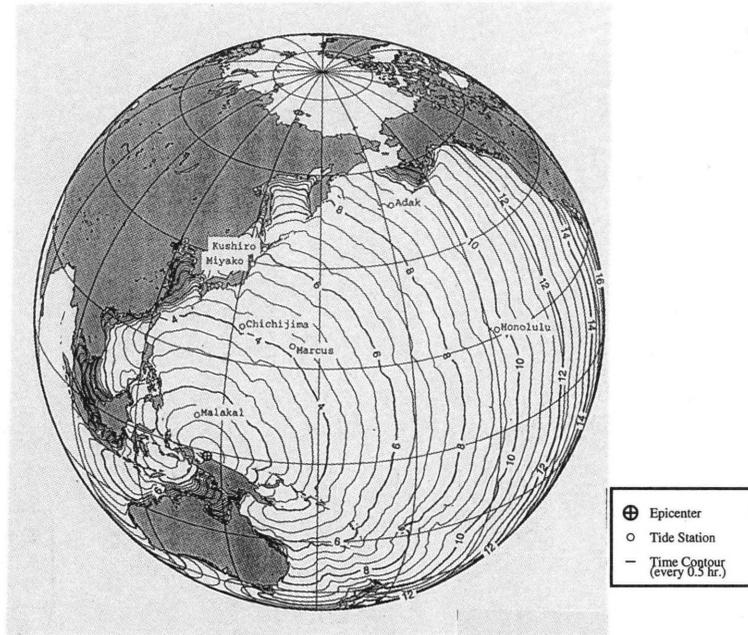
(1) 太平洋全域用 (メルカトル図法)

1960年5月22日チリ地震津波の例

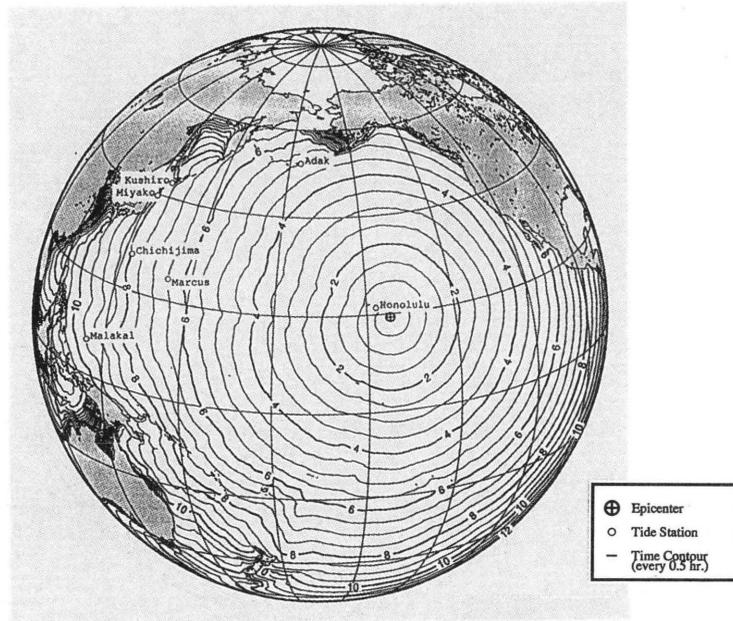


(2) 日本周辺海域用 (メルカトル図法)

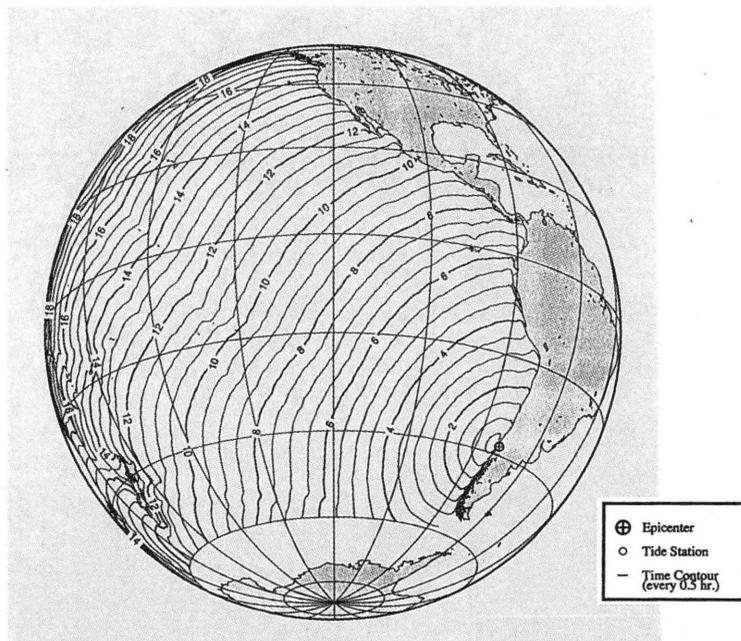
1996年2月17日イリアンジャヤ地震津波の例



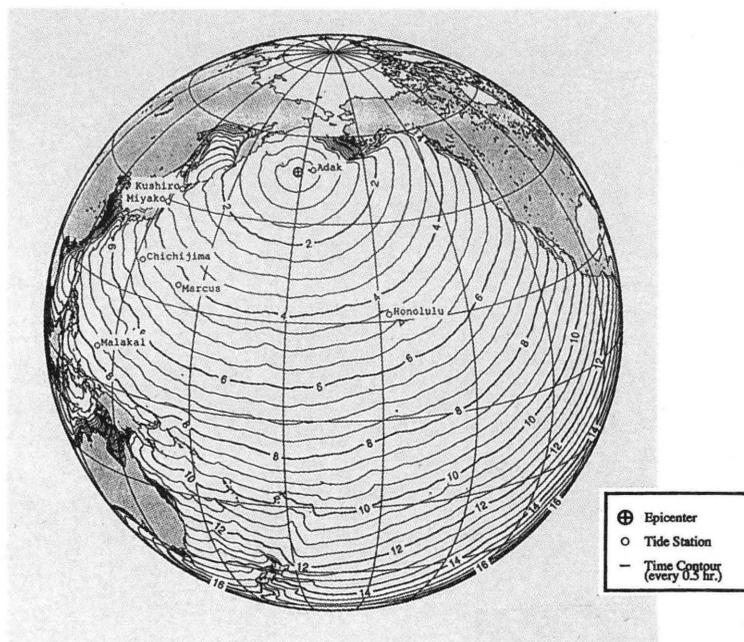
(3)インドネシア周辺用 (正射影図法)
1996年2月17日イリアンジャヤ地震津波の例



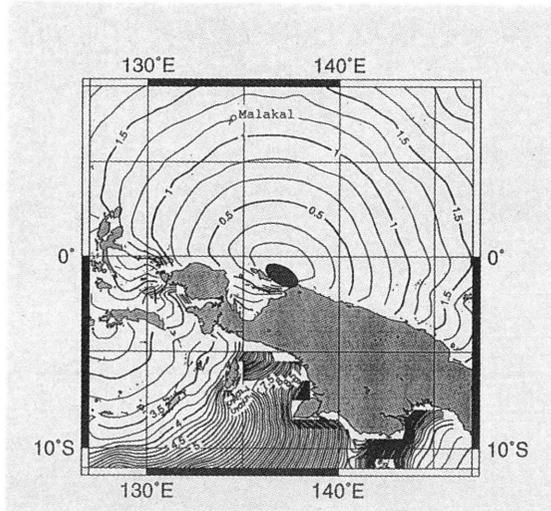
(4)ハワイ周辺用 (正射影図法)
1975年11月29日ハワイ地震津波の例



(5)南米周辺用 (正射影図法)
1960年5月22日チリ地震津波の例



(6)アラスカ周辺用 (正射影図法)
1965年2月4日アリューシャン地震津波の例



(7)震源周辺用(メルカトル図法)
1996年2月17日イリアンジャヤ地震津波の例

5. 伝播図を利用する上での注意点

このソフトウェアによって、作成した遠地津波の伝播図を利用する上で次のことに注意しなければならない。

このソフトウェアでは、太平洋全域を計算領域に設定しているため、計算機資源の制約から計算領域に設定された格子間隔は、緯度にして30分(約55km)となっている。したがって、この格子間隔よりもスケールの小さい沿岸部の複雑な海底地形は、計算の考慮には入っていない。一方で、津波は沿岸部の浅くて複雑な地形の部分を通るのに時間がかかる。このため、例えば図から沿岸のある地点での津波の伝播時間を読み取っても、その値には沿岸の海底地形に起因する10～30分程度の誤差が含まれていることを常に考慮しなければならない。さらに震源位置が正しい位置から大きくずれた場合には全体として伝播時間の誤差が60分以上になることもある。

なお、より精度のよい伝播時間が必要な場合は、現在、各津波予報中核で近地地震の津波の第一波到着時刻の予想で使っている、各検潮所からの逆伝播時間データベースを遠地震に拡張したものを利用する必要がある。

これらのデータベースの計算の際には、検潮所周辺の細かい海底地形が考慮に入れられている。この方式にもとづく遠地津波の第一波到着時刻の予想のシステムは、本庁のEPOSに組み込まれる予定である。

6. おわりに

この遠地津波伝播図作成ソフトウェアは、Sun Microsystems社製のワークステーションSPARCStation20上で、以下のようなソフトウェア環境で作成された。

OSおよびWindow環境：Solaris 2.4

パラメータ入力部：Tcl Ver 7.3 / Tk Ver 3.6

計 算 部：SPARCCompiler FORTRAN 3.0.1

作 図 部：GMT Ver 3.0

ソフトウェアを構成する各プログラムのソースコードは、特に大きく機種に依存する部分はないので、若干の変更を加えるだけで、容易に他のUNIX環境に移植することができる。

謝 辞

本報文中で紹介したソフトウェアは、開発に使用したワークステーションとともに気象庁本庁に移設されて運用されている。移設に関わる手続き等でご助力いただいた気象庁地震火山部および気象研究所の関係各位に対して感謝の意を表す。

参考文献

気象庁(1990)：地震観測指針(調査編)，82-90

渡辺偉夫(1985)：日本被害津波総覧，東京大学出版会，

Masami OKADA (1988): A COMPUTER PROGRAM FOR PRODUCING TSUNAMI TRAVEL TIME CHART IN JAPAN, PROCEEDINGS, PACON 88, 34-41

Wessel, P., and W.H.F. Smith (1995) :

New version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., vol. 76, 329