

津波波源域決定支援ソフトウェア

中村浩二*

Computer Software for Estimation of Tsunami Source Area

Koji Nakamura

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

1. はじめに

海域で地震が起こり津波が発生した場合、その津波や地震の規模や特性を知るために、津波の波源域を決定することが重要になる。

津波の波源域は、通常は次のような手順で決定される。各検潮所の記録から津波第一波到着時刻を読み取り、津波波源から各検潮所までの伝播時間を求める。この伝播時間に対応する検潮所からの逆伝播波面を地図上に記入する。各検潮所についての逆伝播波面は津波の波源と接すると考えられるので、逆伝播波面の包絡線をひいて津波の波源とする(図1)。検潮記録の読

み取り精度の問題や検潮所の分布の偏りなどの問題のために、逆伝播波面だけで波源が決定しづらい場合には、余震分布も参考にして波源を推定する。

これらの津波波源域決定の作業は、電子計算機の利用が一般的になる以前は、余震のプロット、逆伝播波面の計算・作図、余震と逆伝播波面の図の合成、津波波源の決定という一連の作業を全て人間の手で行う必要があった。そのため、波源の決定には多くの時間と労力を必要とした。

しかし、近年の電子計算機技術の進歩とともに、これらの個々の作業は、各種の電子計算機を利用して容易かつ短時間に行えるようになった。

地図および震源の描画については、パーソナルコンピュータからミニコンに至る各レベルの電子計算機のそれぞれに多くの優れたソフトウェアが用意され、地震活動の解析などに利用されている。例えば、本報文中で紹介するソフトウェアの土台となったSEIS-PCは、パーソナルコンピュータで利用できる高機能の地震活動解析ソフトとして広く普及している(石川他, 1985)。津波の伝播計算についても、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が開発された(M.Okada,1988)。SEIJIは、各種の水深データベースを使って、任意の波源からの津波の伝播時間の計算を行い、格子点上の伝播時間を出力する。この出力結果を用いて津波の伝播図・逆伝播図の作成が容易にできるようになった。

これらの成果を元に、ここでは地図、震源、逆伝播波面およびその他の情報をパーソナルコンピュータ上で合成し、波源の決定作業をさらに簡単に行えるソフトウェアを開発したので、それについて報告する。

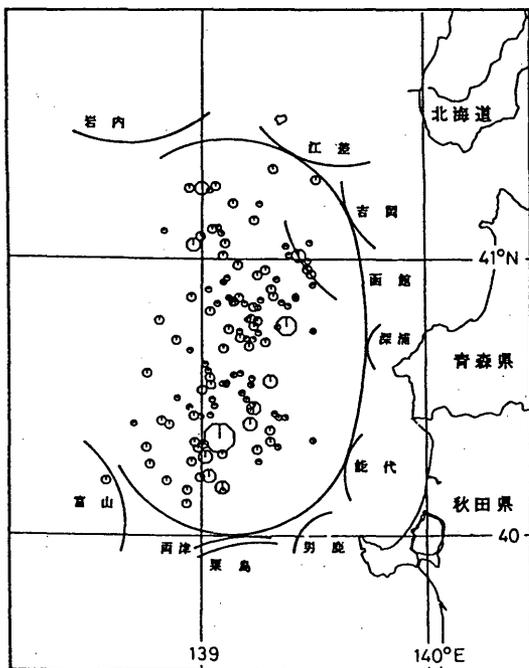


図1 1983年日本海中部地震津波の波源決定の例
(気象庁, 1990)

* 気象研究所

2. ソフトウェアの概要

このソフトウェアは、津波の波源域をコンピュータで決定するために、地図表示機能、震源表示機能、津波逆伝播面表示機能、楕円形波源決定機能、そして、過去の津波波源表示機能を有する。また、決定された波源と過去の津波の波源の大きさ（長軸長、面積）を統計グラフ上で比較する機能もある。

なお、このソフトウェアは、SEIS-PC for Windows95（石川・中村, 1997）（以下SEIS-PCとする）のソースコードを活用して作成したため、データおよびソフトのインターフェースはSEIS-PCと共通のものが多く、

2.1 データ

本ソフトウェアで利用するデータは地図データ、震源データ、津波逆伝播図データ、検潮所データ、過去の津波波源データである。

2.1.1 地図データ

地図データは、世界および日本周辺の海岸線と国境、都道府県境の他に、活断層、海溝、水深の等値線などが利用できる。これらのデータはSEIS-PCで利用されるものと同一のランダムアクセス形式の地図データファイルである。

2.1.2 震源データ

SEIS-PCと同じ3つの形式の震源データファイルが利用できる。一つは、SEIS-PC固有のバイナリー形式のVHYP型ファイルで、ランダムアクセスファイルであるため、非常に高速に震源データの処理ができる。他の二つはいずれもテキスト形式のシーケンシャルファイルで、それぞれ気象庁の震源データの書式（新旧の両形式に対応）とUSGSのPDEの書式に対応している。いずれもテキスト形式であるためファイルの内容は確認しやすいが、シーケンシャルファイルであるため読み込みには時間がかかる。

2.1.3 津波逆伝播図データ

津波逆伝播図のデータは、各検潮所についての逆伝播図の伝播時間1分毎の等値線を構成する点の位置データを収録したものである。

この津波逆伝播図のデータを作成するために、各検潮所について津波伝播計算プログラムSEIJIで津波逆伝

播時間の格子点値を作成した。この格子点値をもとに、伝播時間の等値線を作成し、その等値線位置のデータを伝播時間1分毎にデータベースに登録した。ただし、このソフトウェアでは主に近地津波を対象にして、データベースに登録する伝播時間は3時間までとした。これは、伝播時間をあまり長くとるとデータファイルが非常に大きくなる一方で、一般的に波源から遠く伝播時間の長い検潮所では、津波の波高は小さくなり第一波の読み取りの信頼性が落ちるためである。また、ファイルサイズを小さくし、等値線の位置データの検索を高速で行うため、データファイルはランダムアクセス形式のバイナリファイルとした。しかし、それでも1検潮所あたり平均1MB前後のデータ量となる。表1にデータベースに収録されている主な検潮所のリストを示す。

表1. 逆伝播図データベースに登録されている主な検潮所
検潮所名は全国験潮場一覧（階段昇降検知センター、1994）に準拠した。

管区	検潮所名					
札幌	稚内	網走	花咲	釧路	浦河	室蘭
	函館	江差	小樽港	留萌港	寿都	紋別
仙台	青森	八戸	宮古	大船渡	鮎川	小名浜
	相馬	酒田港	秋田港	深浦		
東京	大洗港	銚子漁港	布良	晴海	横須賀	内浦
	岡田	三宅島	八重根	父島	伊東	清水港
	御前崎	舞阪	名古屋	鳥羽	尾鷲	南伊豆
	福井港	金沢港	輪島	富山	柏崎	新潟港
	両津港					
大阪	串本	白浜	和歌山	淡輪	大阪	神戸
	洲本	節磨	宇野	広島	松山	高松
	小松島	室戸岬	柱浜	土佐清水	宇和島	津居山
	浜田	境	西郷	舞鶴		
福岡	下関	西之浦	大分	油津	鹿児島	枕崎
	名瀬	三角	大浦	口之津	長崎	福江
	博多	厳原	西之表	白浜		
沖縄	那覇	平良港	石垣	与那国島		

2.1.4 検潮所データ

コンピュータの画面上に検潮所の位置や名前や略号を表示するために、検潮所の緯度・経度、検潮所名、検潮所略号、対応する伝播図ファイル名などをテキスト形式のファイルに収録している。

2.1.5 過去の津波波源データ

羽鳥徳太郎（元東京大学地震研究所）は、多年にわたり歴史津波から近年の津波まで、大小の多くの津波

の調査を行いその波源域を推定してきた。そして現在、その資料が数値データ（ジオデータサプライ、1994）として利用できるようになった。この数値データは、波源を与えるいくつかの点の位置のほか、地震の震源位置、マグニチュード、地震の起こった月日時刻などで構成されており、これを用いれば津波の波源に関する諸量を容易に計算できる。

本ソフトウェアでは、これらのデータのうち、701年以降の148個の津波の波源域数値データを波源描画用データとして利用した。また、組織的な地震観測が開始された1926年以降の94個の津波に関しては波源域数値データもとに計算したそれぞれの津波の波源の長軸長と面積のデータも利用する。

2. 2 表示機能

2. 2. 1 地図表示

日本周辺および世界の任意の範囲の地図を三つの図法で表示できる。地図は海岸線だけでなく、経緯度線、都道府県境もしくは国境、活断層や海溝、水深の等値線も表示することができる。（図2）

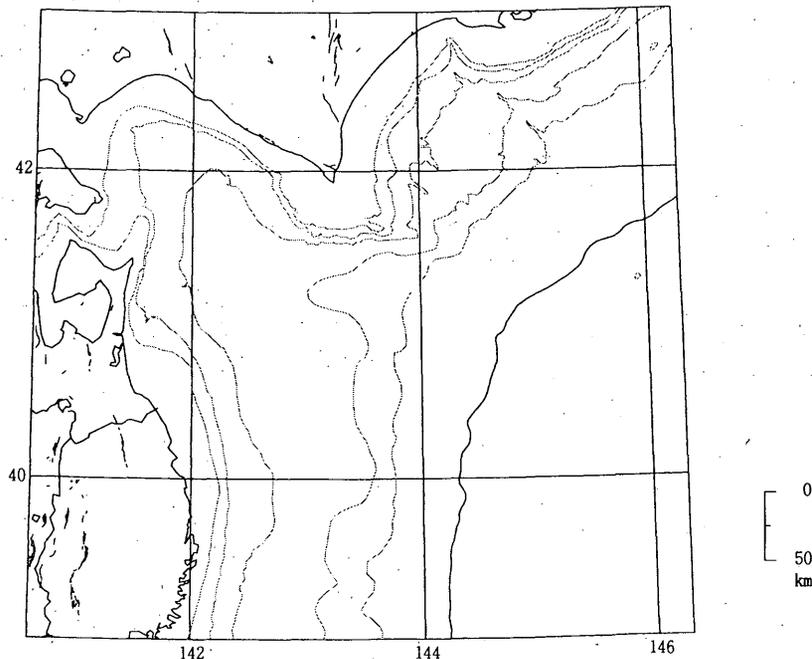


図2 地図表示の例
海岸線、県境の他に、活断層、等深線、海溝も表示

2. 2. 2 震源表示

震源は、マグニチュード別にマークの大きさ変えて表示される。また、震源の深さ別に表示するマークの形状と色を変えて表示することが可能である。（図3）

2. 2. 3 逆伝播波面表示

各検潮所で観測された津波の伝播時間に対応する津波逆伝播波面が表示される。押し波は実線、引き波は破線、押し引きが不明の場合は鎖線で区別され、波面の端点には検潮所の略号が表示される。（図4）

2. 2. 4 楕円形波源表示

津波の波源は通常楕円で近似されることが多いので、画面に表示された余震分布および逆伝播波面に対応する楕円形波源を画面に表示できるようにした。この楕円形波源はソフトウェアの使用者が画面上で楕円の中心、長軸、短軸を指定することによって設定される。（図5）

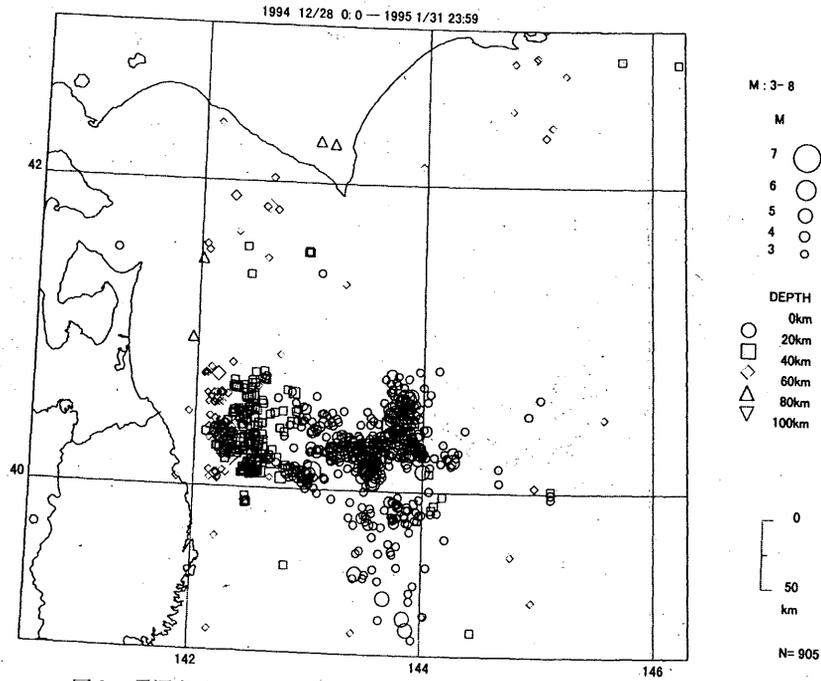


図3 震源表示の例
 図2に1994年三陸はるか沖地震の余震等を追加表示

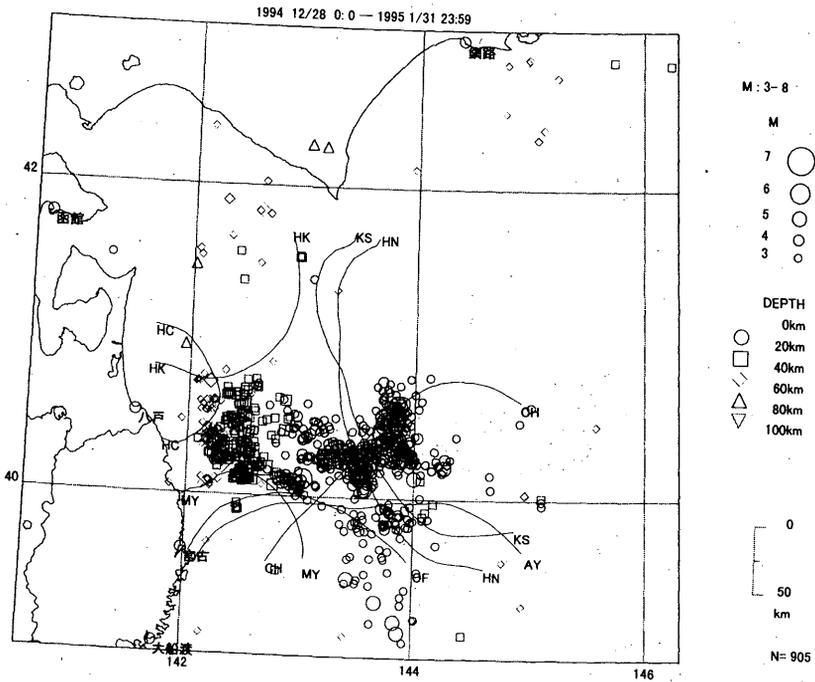


図4 逆伝播波面表示の例
 図3に1994年三陸はるか沖地震津波時の各検潮所の逆伝播波面を追加表示

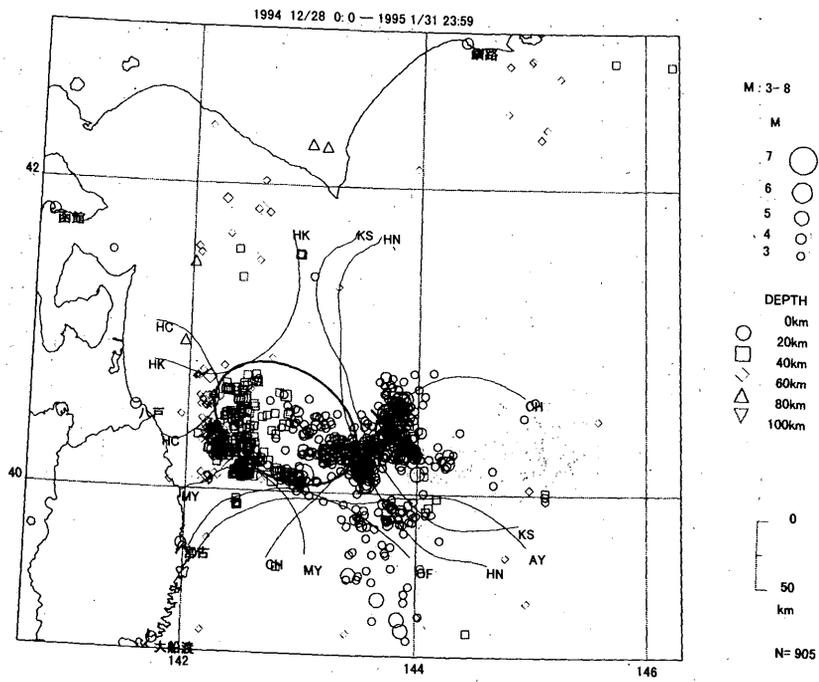


図5 波源決定の例
図4を参考に画面上でマウス操作によって描画

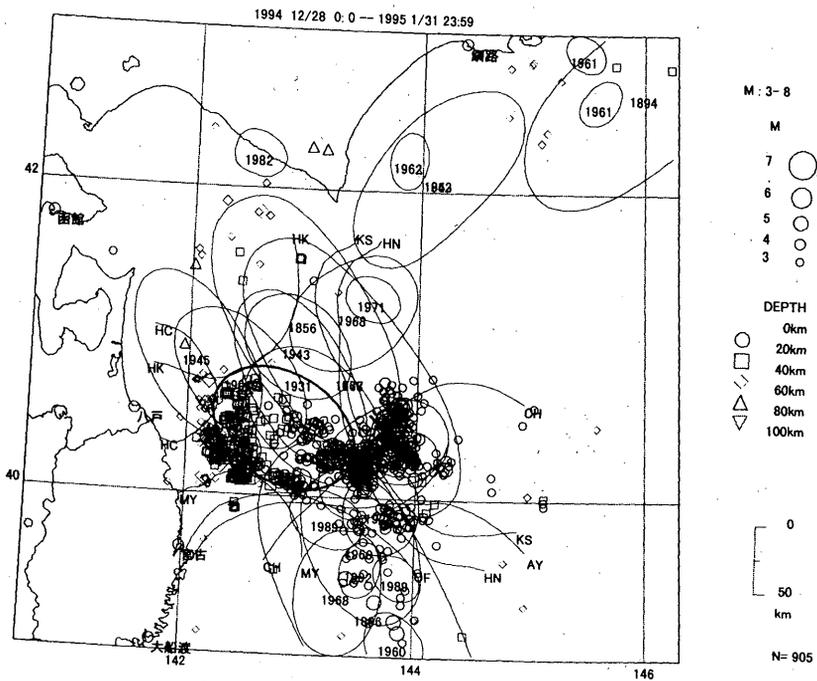


図6 過去の他の津波波源の表示
三陸沖の過去の津波波源を図5に合成して表示

2. 2. 5 過去の津波波源の表示

過去の津波波源のデータ (2.1.5) を用いて、画面上に過去の津波の波源を表示することができる。波源を決定する場合の参考にしたたり、過去の津波の発生状況を参考にして、決定された津波の波源の評価を行うことが可能である。(図6)

2. 2. 6 長軸長・面積の統計表示

過去の津波波源 (2.1.5) の長軸長とマグニチュード、面積とマグニチュードのグラフを表示する。グラフ上には、その時決定された波源の長軸長および面積もプロットされるので、過去の津波の大きさと決定された津波の大きさの比較ができる。

なお、この表示は上記の地図から過去の津波波源の

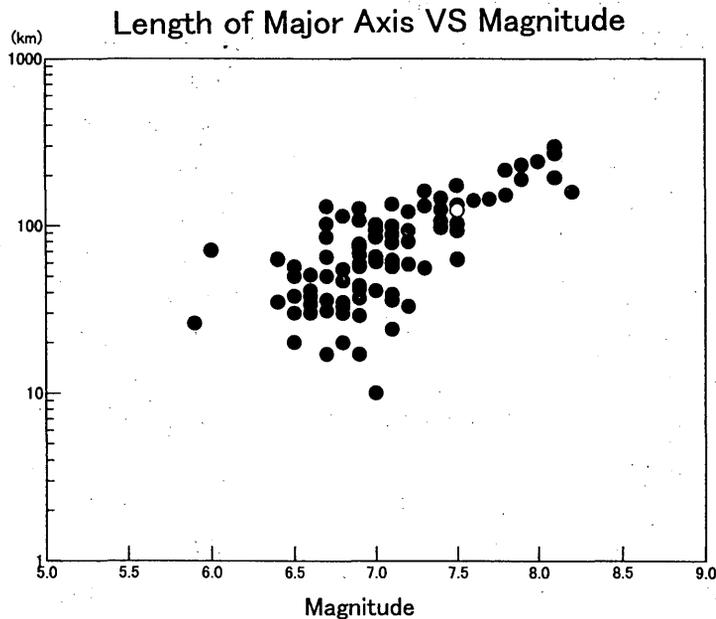


図7 津波の波源の長軸長と地震のマグニチュードの関係のグラフ表示
1927～1993年に日本近海で起こった津波93例について黒丸で表示。
白丸は本ソフトウェアで決めた波源をあらわす。

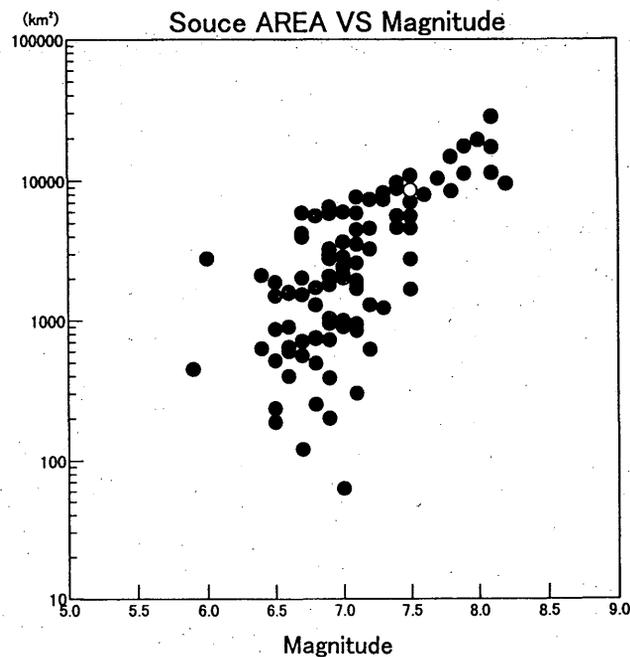


図8 津波の波源の面積と地震のマグニチュードの関係のグラフ表示
1927～1993年に日本近海で起こった津波93例について黒丸で表示。
白丸は本ソフトウェアで決めた那覇源をあらわす。

表示 (22.1～22.5) とは別の画面に表示される。(図7, 図8)

2. 3 出力機能

2. 3. 1 プリンターへの出力

画面に表示された地図, 震源, 逆伝播波面, 波源等は表示の各段階でプリンターに出力できる. カラープリンターを用いれば, カラーでの出力も可能で, 画質も従来のSEIS-PC (MS-DOS版以前) の出力 (ハードコピー) よりもかなり高画質である. 図2～図8はこの出力機能で出力したものである.

なお, 出力するプリンターは画面上のメニューで選択・変更ができる.

2. 3. 2 画像ファイルへの出力

画面に表示された地図, 震源, 逆伝播波面, 波源等はWindowsのbmp形式の画像ファイルに出力できる. この形式の画像ファイルはプリンターへ直接出力する場合 (2.3.1) に比べれば画質は低下しているが, グラフィックソフト (例えばWindows95付属のMspaint) で自由に加工が可能であり, また, bmp形式対応のワードプロセッサの文書内に直接取り込むことも可能であるので, 利用価値が高い.

2. 4 パラメータの内容及び操作法

2. 4. 1 地図パラメータ

地図に関する各種のパラメータは, 地図パラメータ設定画面で設定する.(図9)

設定するパラメータは以下の通り.

- ① 地図データの種類 (世界, 日本, シーケンシャル, 無しの別)
- ② 地図の投影図法 (メルカトル図法, ミラー図法, 円錐図法)
- ③ 都道府県境もしくは国境の表示の有無
- ④ 緯経線の間隔
- ⑤ 地図の線の粗さ
- ⑥ 表示する地図の範囲 (緯度・経度)
- ⑦ 活断層の表示スイッチ
- ⑧ 等水深線の表示スイッチ

なお, あらかじめ設定した地図範囲をプルダウンメニュー (⑨) で選択して, 表示する地図の範囲を設定することができる. また, プレビュー画面 (⑩) で選択した地図を仮表示して確認したり, この画面上でマウスであらためて表示範囲の再設定を行うこともできる. さらに, 活断層および等深線については任意に表示色の選択をすることもできる.

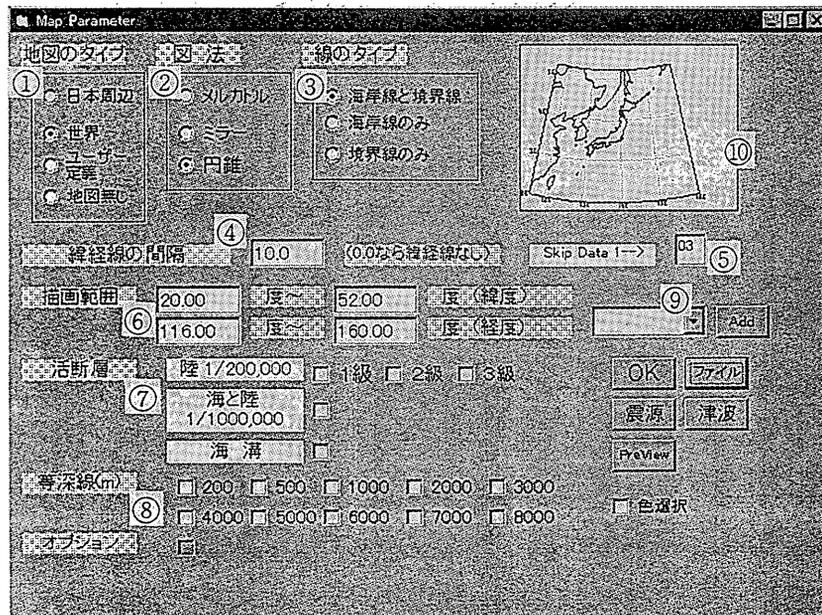


図9 地図パラメータ入力画面

2. 4. 2 震源パラメータ

震源に関する各種のパラメータは、震源パラメータ設定画面で設定する。(図10)

設定するパラメータは以下の通り。

- ① 期間
- ② 震源の深さの範囲とその範囲の区分数
- ③ マグニチュードの範囲
- ④ 各マグニチュードに対応する震源マークの大きさ
- ⑤ 震源のマークの種類

2. 4. 3 津波逆伝播図用パラメータ

津波の逆伝播波面に関する各種のパラメータは、津波逆伝播図用パラメータ設定画面で設定する。(図11)

パラメータは以下の通り。

- ① 本震の震源要素 (位置, 深さ, マグニチュード, 発震日時)
- ② 逆伝播波面の表示有効範囲
- ③ 各検潮所の津波第一波到着時刻と波の種類 (押し, 引き, 不明)

検潮所は、検潮所名リスト (④) から選択して、津波の第一波到着時刻を入力する。入力結果は、リスト

図10 震源パラメータ入力画面

図11 津波逆伝播図用パラメータ入力画面

表示 (⑤) で確認できる。また、プレビュー画面 (⑥) には現在設定されている地図画面の中で、逆伝播波面の表示有効範囲が破線で表示されている。この画面上で、表示有効範囲をマウスで再設定することもできる。

2. 4. 4 楕円形波源の設定

画面上で、波源の中心位置および長軸の端点および短軸の端点をマウスで指定することによって、楕円形波源を画面上に表示することができる。さらに、画面上のコントローラを操作して、中心の位置、長軸・短軸の長さ、長軸の方向をそれぞれ微調整することによって、画面上の余震分布および逆伝播波面に最も適する波源を画面で確認しながら決定することができる。

3. 動作環境

このソフトウェアは、Microsoft社のOS、Windows95上で動作する。ソフトウェアのインストールのためには、津波逆伝播図データをのぞいて、ハードディスクに約10MBの空き容量を必要とする。津波逆伝播図データは検潮所1個所につき平均1MB程度の大きさで、現在用意している日本全国の検潮所のデータを全てインストールすると100MB程度の容量を消費する。快適な動作条件を得るためには、CPUはPentium100MHz以上、RAMは16MB以上を推奨する。

また、著作権のあるデータ（活断層および過去の津波波源）については正規に配布元（有限会社ジオデータサプライ）からデータを入手する必要がある。

4. あとがき

本ソフトウェアを構成する主要要素は、津波逆伝播図のデータベースと、地震活動解析ソフトSEIS-PCで、それぞれ既に開発され、利用されてきた技術である。この二つの既存の技術を今回は一つのソフトウェアとして結合し、津波の波源域決定の作業の省力化・高速化を実現した。これによって、解析作業者はより短時間に精度よく波源域を推定することができるようになった。また、表現力の強化（高品位印刷出力、画像ファイル出力）や他の情報（海底地形、活断層、歴史津波等）との合成機能によって、ソフトウェアが生産する情報の質も向上させることができた。

5. 謝 辞

津波逆伝播図データベースのもとなる津波の伝播時間の計算は、気象研究所の岡田正実氏開発のプログラムSEIJIを利用させていただいた。本ソフトウェアの作成には、気象研究所の石川有三氏に提供していただいたSEIS-PCのソースコードを利用させていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

石川有三・中村浩二 (1997) : SEIS-PC for Windows95, 地球惑星科学関連学会1997年合同大会予稿集, 78

海岸昇降検知センター (1994) : 全国験潮場一覧

気象庁 (1990) : 地震観測指針 (調査編), 89

ジオデータサプライ (1994) : 津波波源域データ Version1.1

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