

1. はじめに

地震発生後、津波の波源域を早期に把握することは、津波による被害の軽減や被害規模の推定に役立つのみならず、地震断層の位置の特定とその後の余震について重要な情報を提供すると考えられる。従来津波波源域の決定には、検潮所を出発点とする津波の逆伝播図を利用した方法が用いられている。

本研究では、津波波源域推定の自動化を念頭におき、波源域の同定問題を、任意点への津波初動到達時間および周辺の海底地形を既知とする最適化問題に置き換え、これに数理計画法を適用した手法を提案する。

2. 津波波源域の同定手法

津波の波源は普通楕円形状とされている [1]。本研究では、津波の波源を点、直線あるいは楕円として、つぎの仮定のもとで同定手法を展開した。

1) 地殻変動は瞬間的に起こる。

2) 波の進行線は直線である。

以下では、点波源の場合の津波伝播時間の計算方法と波源の同定手法について述べる。

津波伝播時間の計算方法 海底地形のデータとして、経度・緯度それぞれ $1/60$ 度間隔で引いた格子線の交点で水深がわかっているものとする。図-1 において、点 A を波源、点 B を津波到達点とし、津波伝播時間を次式で求める。

$$t_{AB} = \frac{D'}{\sqrt{g}} H' \quad \dots (1)$$

ここに、 D' および H' は次式で表される。

$$D' = D_{AB}/N \quad \dots (2)$$

$$H' = \sum_{i=1}^N 1/\sqrt{H_i} \quad \dots (3)$$

上式において、 g は重力加速度、 D_{AB} は AB 間の距離を表し、 D_{AB} は式 (4) で近似する。 H_i は直線 AB と $1/60$ 度間隔の経線または緯線との交点 i の水深を表し、上下または左右の格子点の水深から内挿によって求める。

$$\left. \begin{aligned} D_{AB} &= \sqrt{X^2 + Y^2} \\ X &= R \cdot \cos(N_B) \cdot (E_B - E_A) \cdot \pi/180 \\ Y &= R \cdot (N_B - N_A) \cdot \pi/180 \end{aligned} \right\} \quad \dots (4)$$

上式の R は地球の半径 6356.07 km で、 (E_A, N_A) および (E_B, N_B) はそれぞれ点 A、B の経度と緯度を表す。

点波源の同定問題の定式化 n 点で津波の初動到達時間 $(\bar{t}_1, \bar{t}_2, \dots, \bar{t}_j, \dots, \bar{t}_n)$ が利用可能とすると、点波源の同定問題は次式を最小化する最適化問題として扱うことができる。

$$S(\alpha) = \sum_{j=1}^n w_j \{t_j(\alpha) - \bar{t}_j\}^2 \quad \dots (5)$$

ここに、 $t_j(\alpha)$ は波源から j 点までの津波伝播時間の計算値である。また、 α は未知変数を表し、点波源の場合は

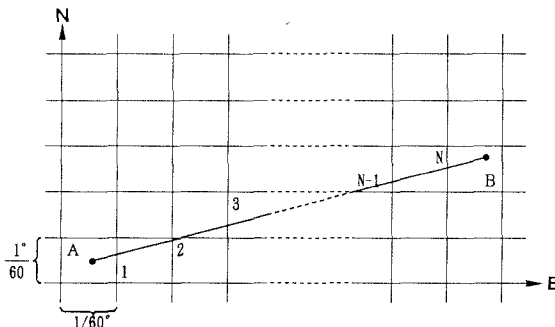


図-1 点波源 (A)、津波初動到達点 (B) および一分間隔の経緯線

波源の経度および緯度すなわち E_A と N_A である。 w_j は重み係数を表す。

式 (5) の最小化問題を解くために、本研究では非線形最適化手法として改良 SLP 法 [2] を適用した。

3. 数値計算結果

ここで使用した紀伊半島・四国沖の海底地形の鳥瞰図を図-2 に示す。以下では、点波源同定のシミュレーションについて述べる。

波源の真値は東経 136.62 度、北緯 33.03 度で、潮岬、蒲生田岬、室戸岬および足摺岬の 4 地点を観測点とした。観測点までの津波初動到達時間はあらかじめ計算しておき、これを観測値として用いる。図-3 には、観測点を黒丸で表し初動到達時間 (単位: 分) を括弧内に示す。また、波源の真値および初期値も示す。図-4 は反復過程における波源の収束状況であり、70 回の繰り返しの後ほぼ真値に収束している。表-1 に波源の真値、初期値と収束値を示す。また、図-5 は反復過程における津波到達時間の誤差 (絶対値) の総和を表したものである。50 回程度の繰り返しの後誤差が 0 に近づいていることがわかる。解析にはパソコン (Pentium プロセッサ、クロック 90MHz) を使用しており、70 回の反復計算に要した時間は 16 秒であった。

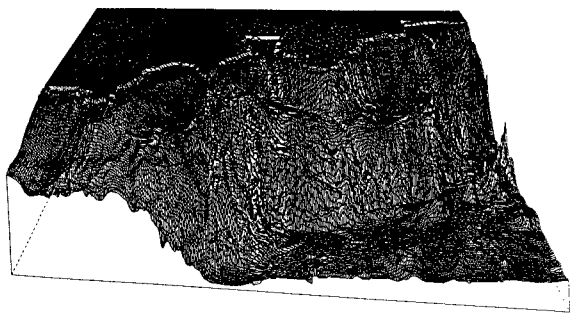


図-2 紀伊半島・四国沖の海底地形

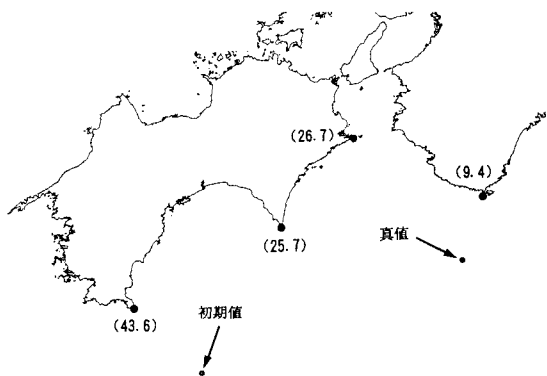


図-3 津波到達点および点波源の真値と初期値

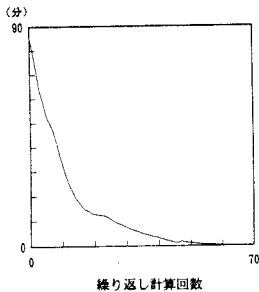


図-5 津波到達時間の誤差 (絶対値) の総和

表-1 点波源の真値、初期値および収束値

	東 経 (度)	北 緯 (度)
真 値	135.6200	33.0300
初 期 値	133.5579	32.2913
収 束 値	135.6132	33.0287



図-4 点波源の収束状況

4. おわりに

提案した手法は津波が直線的に伝播することを仮定しているため、波源と観測点の間に陸がある場合など不都合が生じる。波の屈折や回折などの影響を考慮することにより、より信頼できる結果が得られると考える。

参考文献

[1] 宇津徳治総編集, 地震の辞典, 朝倉書店, 1995 年
[2] 沢田, 辻原他: 地盤の S 波速度および Q 値の同定問題における SLP 法の改良とその適用, 土木学会論文集, No.446/I-19, pp.205-213, 1992 年