

# 歴史地震津波の波源推定における断層分割数の影響に関する検討

東北大学大学院 学生会員 ○堀内 滋人  
東北大学災害科学国際研究所 正会員 今井健太郎  
東北大学災害科学国際研究所 正会員 今村 文彦

## 1. 序論

2011年東北地方太平洋沖地震津波が発生し、それ以前に実施されていた想定津波を上回る激甚な津波被害が確認された。津波被害対策を行う上で過去の津波発生履歴とその規模を正しく評価することが必要不可欠である。波源規模の推定に用いられる情報は地震津波観測機器の運用時期の前後で大きく異なる。地震津波観測体制が整備される以前の歴史津波<sup>1)</sup>の波源を推定する上では、津波痕跡高という限定的な情報に頼らざるを得ない。既報<sup>2)</sup>では津波痕跡高の取り扱いや、その分布が波源推定に与える影響を検討し、波源推定に適した津波痕跡高分布は広域に存在していることやその密度は波源長の5%以下であることが望ましいという知見を示している。ただし、津波痕跡高やその分布による波源推定における最適となる波源断層の不均質性評価、すなわち、断層分割に関する知見は皆無である。

歴史津波の波源推定に用いられている試行錯誤法<sup>3)</sup>では断層面上の不均質なすべり分布を表現するには多くの試行錯誤が必要となり現実的ではなく、一様な断層面によるモデルでは局所的な津波高の再現が困難であり、実波源の推定波源の適合度評価は困難である。

本研究では、津波痕跡高分布のみを用いて不均質な波源断層のすべり分布を推定するために、組み合わせ最適化手法<sup>4)</sup>を適用し、津波痕跡高の密度に応じた波源断層における不均質性を評価するための適切な断層分割数について検討を行う。

## 2. 組み合わせ最適化手法を用いた波源推定手法

### 2.1 組み合わせ最適化手法について

組み合わせ最適化手法は、厳密解を求めることが難しい問題に対して、その問題の解空間を効率よく探索して高精度な近似解を求める手法である。本研究では、組み合わせ最適化手法の一つである Sim E アルゴリズム<sup>4)</sup>を適用し、不均質な断層すべり分布を推定した。Sim E アルゴリズムでは一つの解に関する複数の要

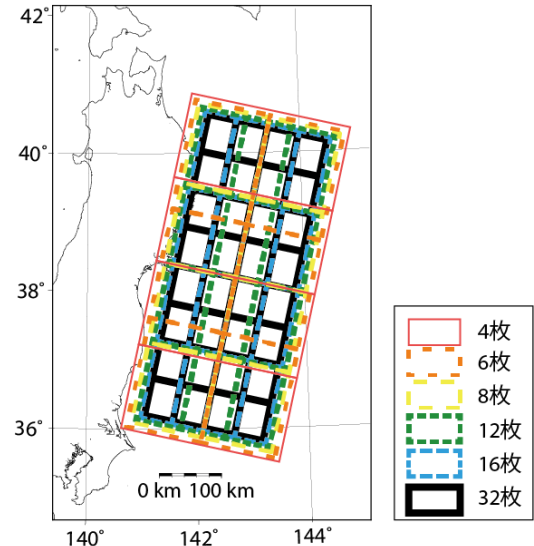


図-1 解析対象領域と断層分割パターン

素を評価値によってそれぞれ個別に変化させることで近似的ではあるが精度の高い解を得ることができる。

### 2.2 断層すべり量の決定手法

複数断層から構成される波源による津波高について、単位すべり量を与えた小断層からのグリーン関数を線形長波理論により求め、非線形の影響が弱い領域において重ねあわせで表現できるとして、合成波形の最大振幅を津波高とした。空間格子間隔は 270 m、打ち切り水深を 10 m とし、計算時間は地震発生から 3 時間とした。波源推定における最適化指標として、痕跡点における初期津波高と推定津波高の誤差ノルムとし、これが最少となるすべり量分布を最適解とした。

### 2.3 検討した解析条件

対象地震を東北地方太平洋沖地震として東北大学モデル.ver.1.2<sup>5)</sup>の波源位置を参考にして、断層分割は 32 枚の基本モデルを考え(図-1)、この分割を重ねあわせることで計 6 パターンの分割を検討した。津波痕跡点位置に関しては東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ<sup>6)</sup>の調査結果のうち信頼度 A の遡上高位置を抽出し、南北にサンプリング間隔を 3 km~100 km にとった 5 パターンを考え、計 30 通りの解析を行った。

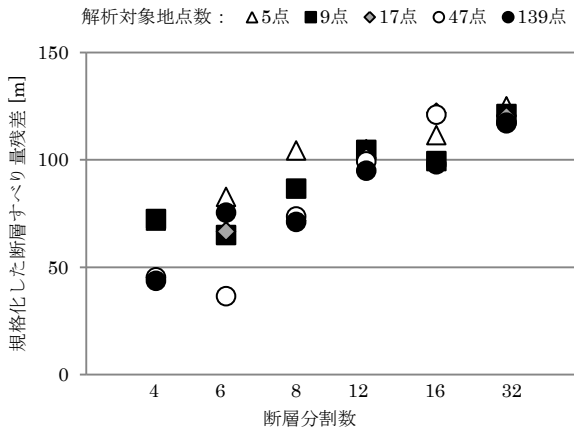


図-2 規格化した断層すべり量残差比較

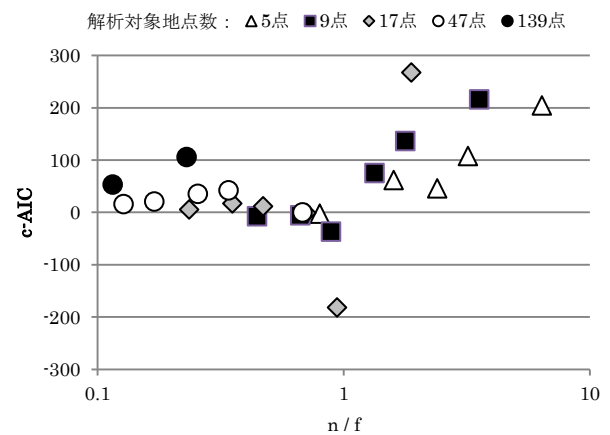


図-3 c-AICによる適切な断層分割数評価

### 3. 解析結果

適切な断層分割を検討するために、本研究では初期の波源断層のすべり量分布を一樣乱数で設定し、その波源による計算津波高に一定の誤差を与えたものを初期津波高として組み合わせ最適化手法によりすべり量分布を推定した。その指標としては、初期すべり量分布と推定すべり量分布の残差とした。初期波源と推定波源のすべり量分布に関する誤差評価を行う際に、断層分割数によって小断層面積が異なる。そこで、断層すべり量の誤差評価として、式(1)で表される断層面積で規格化した残差指標Cを取り入れた。

$$C = \frac{w'}{w} \sum |X_j - Y_j| \quad (1)$$

ここで $w$ は断層分割数、 $w'$ は基準とした断層分割数、 $X$ は初期すべり量 [m]、 $Y$ は推定すべり量 [m]、 $j$ は小断層位置を示す。 $w'$ は小断層の面積が最も小さい32枚のモデルを基準とした。規格化残差指標と断層枚数の関係を図-2に示す。断層枚数が増加するほど断層すべり量の残差が増加するという傾向にある。断層枚数が多い波源断層モデルは津波高を構成するグリーン関数が多くなることから津波高分布を説明するための情報量が増えるために、より不均質性を表現できるモデルが構築できるが、同時に自由度も増えることから、すべり量に誤差も多く含まれた解を導くことになる可能性があるといえる。

適切な断層枚数評価を行うために、津波高との整合性と断層分割数の影響を評価するために、式(2)に示すc-AIC<sup>7)</sup>を用いて、検討を行った。

$$c-AIC = -2 \ln L + \frac{2nf}{n-f-1} \quad (2)$$

ここで、 $L$ は尤度、 $n$ はサンプル数、 $f$ は自由度である。サンプル数 $n$ を断層分割数、自由度 $f$ を解析対象点数として評価した結果を図-3に示す。横軸を $n/f$ でまとめると各ケースにおいて $n/f=1$ で極小値となる挙動を示しており、断層すべり量分布の比較において適した条件を確認することができた。また $n/f=1$ の前後でのc-AICを比較すると1以上のときに急激な増加傾向がみられ、この条件は波源推定をする上で適切であるとはいえない。以上から解析に用いる断層分割数を津波痕跡点と同じ数もしくはそれ以下の数が望ましい。

### 4. 結論

東北地方太平洋沖地震を対象として断層分割数及び津波痕跡点数を変化させて解析を行い適切な断層分割数についての以下の条件を示した。断層分割数が増加するほど波源推定手法の中で断層すべり量分布の誤差が大きくなる。赤池情報量規準による評価で、断層分割数は津波痕跡点数と同程度かそれ以下の数が望ましいといえる。今後の課題としては、異なる波源規模及び津波痕跡高分布の広がり方に関しても本手法が適応できるかを検討する必要があるといえる。

#### 参考文献

- 1) 岩渕ら (2012): 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 68-2, pp. 1326-1330.
- 2) 今井ら (2013): 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 69-2, pp. 431-435.
- 3) 相田 (1977): 東京大学地震研究所彙報, 52, pp.71-101.
- 4) Kling, R.M. and Banerjee, P. (1990): Proceedings of 27th Design Automation Conference, pp.20-25.
- 5) 今村ら: オンライン, <http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/>
- 6) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ現地調査結果: オンライン, 20121229版, <http://www.coastal.jp/ttji/>
- 7) Sugiura, N.(1978): Communications in Statics - Theory and Methods, 7(1), pp.13-26.