

論文の内容の要旨

論文題目 津波浸水値データおよび震度分布に基づいた過去の巨大地震の断層面上のすべり量分布の推定

氏名 行谷 佑一

【1. 本研究の目的】

日本列島西半分、すなわち中部地方以西近畿・四国・九州の南方海上には東西に南海トラフと呼ばれる海溝軸が走っている。その起点は駿河湾の最奥部であって、この海溝軸の南からはフィリピン海プレートが毎年 4~5cm の速度で北上しており、西日本を乗せるユーラシアプレートの下に潜り込んでいる。両プレートの境界面では沈み込む海側プレートが陸側プレートを引きずり込んでおり、蓄積された応力が臨界値を越えると地震が発生すると考えられている。

ところで、近年の地震学の発展から、アスペリティ領域というものが注目され始めてきた。このアスペリティ領域とは、普段は断層境界面において海・陸両プレートがすべり合わず固着した領域のことである。この領域では定常的な海側プレートの沈み込みにもかかわらず、普段は海・陸両プレートが固着しているため、大地震発生時にはすべり量がとくに大きくなる。すなわち、大きな地震波を生成する領域であると言える。

一般に、アスペリティ領域の位置やすべり量を把握するためには、観測機器により測定された地震波形や津波波形といった時系列データのインヴァージョン解析がもっとも基本的な推定方法となる。たとえば、永井他(2001)は三陸沖に注目し、そこで過去に発生した 2 回の地震、すなわち 1968 年十勝沖地震および 1994 年三陸はるか沖地震の観測地震波形をインヴァージョン解析した。その結果、両地震のアスペリティ領域の位置は同じ所にあることを報告した。このことは、将来起きる地震のさいにもやはり同じ所で大きくすべる可能性が高いことを意味しており、その後の地震学の発展に大きな貢献をしている。

しかしながら、将来の発生が予測されており社会的にも深く関心が持たれているプレート境界型の南海地震については、歴代の地震のアスペリティ領域が一致するかどうかはわかっていなかった。というのも、歴代の南海地震について、観測によって得られた地震記録や検潮儀による津波記録の完備した事例は、もっとも最近に起きた 1946 年昭和南海地震ただ一例だからである。すなわち、アスペリティ領域の位置が固有であるかどうかを知るためには、少なくとも 2 例の地震を解析する必要があるが、昭和南海地震以前の南海地震は時代を遡る順に 1854 年安政南海地震や 1707 年宝永地震などであり、地震計や検潮儀のない時代に発生し時系列データが記録されていないため、従来のインヴァージョン解析手法が適用できないのである。

いっぽう、1854 年安政南海地震に関しては、おもに古文書記録といった歴史史料から地

震の被害震度、津波の高さ、および地殻変動量の3種類のデータを推定することができる。津波の高さデータは、時系列データの最大値を意味する物理量であり、このデータは時系列データではないために従来のインバージョン手法が適用できなかった。

そこで、本研究では歴史記録から得られた津波の高さデータおよび地殻変動量を入力データとして、アスペリティ領域すなわち断層すべり量分布を推定する同時インバージョン手法を提案・確立し、それを安政南海地震に適用した。そしてその得られた断層すべり量分布が強震動をも発生させたと仮定し、経験的グリーン関数法により地震動および震度を計算し、歴史記録から推定された震度と一致するかを確認した。さらに、この同時インバージョン手法により推定されたアスペリティ分布の位置が、1946年昭和南海地震のそれと一致するかどうかを比較し、三陸の例と同様に南海地震においてもアスペリティ領域の位置が固有かどうかを検討した。

【2. 手法】

(I: 津波高さ・地殻変動量同時インバージョン)

まず、南海地震発生領域に $45\text{km} \times 45\text{km}$ の面積を持った小断層を 28 枚おき、各小断層 1 枚のみが単位量すべったさいの、沿岸における津波時系列水位をグリーン関数として計算した。計算した地点は、歴史記録により安政南海地震の津波高さが判明している 67 地点である。このグリーン関数を計算しておく、28 枚の小断層の各すべり量を 28 次元ベクトル \mathbf{x} とおき、グリーン関数を 67×28 の行列 \mathbf{G} とおいた場合、任意のすべり量 \mathbf{x} を与えたときの津波時系列水位は、行列とベクトルの積 $\mathbf{G}\mathbf{x}$ で表すことができる。

いっぽう、歴史記録から得られた津波高さ \mathbf{y} (67 次元ベクトル) は、時系列データではなく最大値データであることから、津波高さ分布から断層すべり量分布を求める問題は、 $\mathbf{S} = \sum \{y_i - \max(\mathbf{G}\mathbf{x})_i\}^2$ で定義される残差自乗和 \mathbf{S} を最小にする断層すべり量 \mathbf{x} を求める問題になる。すなわち、この残差自乗和 \mathbf{S} の \mathbf{x} ベクトル微分が 0 となるような断層すべり量 \mathbf{x} を推定する問題に帰着する。この問題は、 $\mathbf{G}\mathbf{x}$ の最大値をとるという作業が入っているために、非線形インバージョン問題である。すなわち、津波高さ分布 \mathbf{y} をもっとも説明する断層すべり量 \mathbf{x} を求めるには、非線形方程式を解く手法として基本的な Gauss-Newton 法や最急降下法といった手法を用いて反復計算により求めることになる。そこで、この反復計算については Gauss-Newton 法および最急降下法の折衷を採用した Powell(1970)による Hybrid 法を用いて計算した。

また、津波のグリーン関数 \mathbf{G} を計算するさいには、津波伝播を線形長波で近似し、差分法により数値計算を行った。そのさい、沿岸部周辺では差分メッシュ間隔を細かくしていく手法をとった。そして、海岸と陸域の間は鉛直壁・完全反射があるものとして境界条件を与えた。本研究では計算津波最大高さをこの鉛直壁計算により算出したものと、それを入力とした遡上計算により算出したものの 2 通りについて計算し、それぞれインバージョンの中に組み込んでいる。

なお、歴史記録の中には地殻変動量データも存在する。とくに安政南海地震の例では四国および和歌山沿岸で古文書記録により 40 地点の隆起沈降量が判明している。本研究では津波高さおよび地殻変動量の両方を最も説明しうる断層すべり量分布を推定することを目的としているため、本研究では上記の津波高さデータ y および計算最大高さ $\max(Gx)$ の中に地殻変動量のデータおよび計算値をそれぞれ含ませて、同時インバージョンを行った。すなわち、ベクトル y およびベクトル $\max(Gx)$ はともに $67+40=107$ 次元ベクトルとなっている。

(II：再現震度計算)

上記 I で提案した同時インバージョン手法により推定された断層すべりが、強震動を生成したとして地震波形を経験的グリーン関数法により計算した。そして得られた地震加速度時系列データから気象庁計測震度を計算した。さらにその計算された計測震度と、歴史記録から判定された被害震度を比較した。

(III：同時インバージョン手法の妥当性)

上記 I で提案した同時インバージョン手法が正しく機能するか確認するために、歴史記録から得られたデータ y のかわりに、フォワードモデリングによる数値計算データを入力データとして与えた。すなわち、仮想的に断層すべり量 x を与え、数値計算により得られた津波高さおよび地殻変動量を入力データ y とするのである。そしてこの入力データ y に同時インバージョン手法を適用すると、反復計算ののち、もとの断層すべり量 x を求めることができた。

また、実際に現象として起きた事例として、2003 年十勝沖地震の津波浸水高データおよび地殻変動量を入力データとして同時インバージョン手法を適用したところ、得られた断層すべり量分布が、津波時系列データや地震時系列データなどから推定した既往の研究結果とよい一致を示した。このことは、本研究で開発した同時インバージョン手法が実現象にも適用できることを示している。

なお、この 2003 年十勝沖地震の津波高さデータおよび地殻変動量データを同時インバージョンしたさいに得られた断層すべり量分布を用いて、上記 II の手法により震度を計算したところ、観測された計測震度とよい一致を示すことができた。

【3. 結果】

本研究で提案した同時インバージョン手法を安政南海地震(1854)の津波高さデータおよび地殻変動量データに適用したところ、つぎのことがわかった。

すなわち、安政南海地震のアスペリティ領域は、高知県足摺岬東方海域、室戸岬周辺、および紀伊半島南部周辺の 3 カ所にあり、それらの位置はおのおの昭和南海地震のそれらと重なり合うこと、しかもその各すべり量が大きかった範囲が昭和南海地震のそれらより

南方海域に延びていること、およびすべり量の絶対値が安政南海地震の方が大きかったことが示された。そして安政南海地震のモーメントマグニチュード M_w は 8.6 と推定され、エネルギーは昭和南海地震の約 2 倍であることが判明した。さらに、ここで得られた断層すべりが強震動を生成するとして地震波形を経験的グリーン関数法により計算し、その波形から震度を算出すると、古文書記録から得られる被害震度とおおむねよい一致を示すことがわかった。