

震源過程推定のための波形インバージョンに経験的グリーン関数を用いることのメリットとデメリット

#野津 厚(港空研)

Advantages and Potential Disadvantages of Using Empirical Green's Functions for Waveform Inversion to Estimate Rupture Process of Earthquakes

#Atsushi Nozu (PARI)

震源過程を推定するための強震記録の波形インバージョンでは、理論的グリーン関数、なかでも水平成層構造を仮定した理論的グリーン関数を用いられることが多い(例えば1)2)。一方、本稿の著者はこれまで同様の解析に経験的グリーン関数を多く用いてきた(例えば3)4)。しかし、各々のグリーン関数を用いることのメリットとデメリットについては、これまで十分に整理されていないように思われる。そこで、本稿ではこの点について著者の考えを述べる。一般に波形インバージョンではグリーン関数が正確であるほど正確な震源過程が求まるはずである。この点について異論は無いと思われるので、以下においては各々のグリーン関数の誤差要因を論じる。

いま、完全な地下構造情報が得られているという理想的な条件を仮定すれば、それに基づいて計算された3Dの理論的グリーン関数が最も正確なグリーン関数であり、それを利用した波形インバージョンが最も正確な結果を与えることは論を待たない。しかし、実際には地下構造の情報は常に完全ではなく、地下構造情報に基づいて計算されたグリーン関数は常に誤差を含むことになる。特に、強震動による被害を論じる上でも重要となる0.3-1Hz程度の帯域で、地下構造モデルの誤差に起因するグリーン関数の誤差は相当に大きいという印象を、最近実施されたベンチマークテストの結果⁵⁾⁶⁾⁷⁾などから、著者は持っている。また、波形インバージョンにおいて実際に利用されるのは、多くの場合、水平成層構造の理論的グリーン関数である。この場合には、地下構造の不整形性の影響がグリーン関数に反映されないことになる。特に対象とする地震が逆断層の地震や海溝型地震の場合、地下構造を水平成層で近似できない場合が多いのではないだろうか。また、規模の大きい地震になるほど破壊の継続時間が長くなるため、観測波形のうち解析に用いる区間を長くとりざるを得ない。すなわち、先に破壊した部分からの後続位相と遅れて破壊した部分からの直達S波が重畳している波形を扱うことになる。こうした

状況に対して対応しやすいのは経験的グリーン関数法である。経験的グリーン関数には、3D効果も含めた地下構造の情報が反映されているためである。ただし、経験的グリーン関数を用いることに何も問題が無いかと言えば、必ずしもそうではない。一般に経験的グリーン関数法では、中小地震を各小断層に割り当てる際に、各小断層から観測点までの距離の違いに起因する振幅の補正と、到来時刻の遅れに関する補正を行う。この補正によって補正し切れていない要因が残れば、それが経験的グリーン関数法の誤差要因となる。例えば、小断層と観測点の位置関係が変わることで、たとえ小断層のメカニズムが一樣であったとしても、ラディエーション係数は少しずつ変わるはずである。この誤差要因に対して文献3)4)でとられている緩和策は、断層面を複数の領域に分割し複数の中小地震を割り当てるというものである。一方、地下構造情報が完全ではないという理論的グリーン関数の誤差要因に対して一般的にとられている緩和策は、中小地震観測記録を用いた地下構造モデルのチューニング(例えば1)2)である。

このように、各々のグリーン関数には各々の誤差要因があり、各々の緩和策がとられているが、緩和策適用後にいずれのグリーン関数の誤差が小さいかは現時点では明確でない(個人的には地下構造情報の不足が最大の誤差要因と考えているが)。このように、いずれの手法も完全とは言えないという状況を踏まえると、当面は、解析に用いる手法の多様性が、結果の信頼性を確保する上での一つの鍵であると考えられる。

参考文献 1) Hikima and Koketsu (2005), *Geophys. Res. Lett.*, **32**, doi:10.1029/2005GL023588. 2) Asano and Iwata (2011), *Bull. Seism. Soc. Am.*, **101**, 2467-2480. 3) 野津厚(2007), 地震2, **59**, 253-270. 4) Nozu and Irikura (2008), *Bull. Seism. Soc. Am.*, **98**, 180-197. 5) 松本他(2013), 日本建築学会技術報告集, **41**, 71-76. 6) 吉村他(2013), 日本建築学会技術報告集, **41**, 65-70. 7) 加藤他(2013), 日本建築学会技術報告集, **41**, 37-42.

表1 各々のグリーン関数の誤差要因と緩和策

| グリーン関数 | 誤差要因 | とりうる緩和策 |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|
| 理論的グリーン関数 | 地下構造情報が完全ではないこと | 中小地震観測記録を用いた地下構造モデルのチューニング(例えば1)2) |
| 経験的グリーン関数 | 中小地震を各小断層に割り当てる際の補正が完全ではないこと | 断層面を複数の領域に分割し複数の中小地震を割り当てる(例えば3)4) |