

地震波干渉法により減衰構造を求めるための理論的背景

Theoretical background for estimating attenuation structures with seismic interferometry

中原 恒^{1*}

Hisashi Nakahara^{1*}

¹ 中原 恒

¹ Hisashi Nakahara

はじめに

近年、地震波干渉法を用いたパッシブな速度構造の推定が世界各地で行われるようになってきている。地震波干渉法により計算した相互相関関数のフェイズの時刻の読み取りは、ノイズ源の分布に対して比較的口バストであることが知られている(たとえば Snieder, 2004)。一方で、相互相関関数の振幅を用いて減衰構造を推定する手法も提案されているが(例えば, Prieto et al., 2009)が、その安定性に関してはまだ理論的によくわかっておらず、理論的・数値的な研究が進められているのが現状である(例えば, Tsai, 2011)。本研究では、Prieto et al. (2009)が減衰を推定するために、物理的直観に基づき、Aki (1957)のSPAC法の式を減衰性媒質に拡張した予測式について、その理論的な背景を明らかにすることを目的とする。

定式化

本研究では、まず減衰性無限不均質媒質に対して、地震波干渉法の証明を行った。証明の流れは Snieder (2007)と同じであるが、彼が用いている減衰性波動方程式にさらに場に比例する項が付いた別の形の減衰性波動方程式を用いている点異なる。この減衰性波動方程式では、Q値が周波数に比例する形となり、波形は減衰がない場合と同じで振幅のみが減少し、解がとても単純な性質をもつ。速度と減衰が空間的に不均質な場合でも、それを補償するようなノイズ源が体積的に分布する場合には、地震波干渉法が成立することが示された。Snieder (2007)と異なる形の減衰性波動方程式に対しても、地震波干渉法が成立することを具体的に証明したのが本研究の成果である。

次に、この結果を用いて、地震波干渉法とSPAC法との理論的関係式の導出を試みた。SPAC法で重要な規格化されたクロススペクトルでは、分子に2観測点での波動場のクロススペクトル、分母にそれぞれの観測点での波動場のパワースペクトルが現れる。地震波干渉法に基づく、クロススペクトルは2点間のグリーン関数の虚部に比例し、パワースペクトルは震源と観測点と同じ場合のグリーン関数の虚部に比例することになる。すなわち、地震波干渉法とSPAC法との間には理論的関係があり、それを用いると、規格化されたクロススペクトルがグリーン関数を用いて記述できる。

さらに以下では、均質な無限減衰媒質を考えることにする。その場合、減衰性波動方程式に対するグリーン関数は、表面波の場合、周波数領域において、0次の第1種ハンケル関数で表現できる(例えば、今村, 1978)。その際、減衰の影響で波数が複素数になっていることに注意する。この厳密式に対して、(1)減衰が弱いこと、(2)観測点間距離が波長に比べて十分長いこと、の2つの条件を付加すると、Prieto et al. (2009)の予測式を導出できることが示された(Nakahara, 2012)。つまり、Prieto et al. (2009)の予測式は厳密解ではないが、無限均質媒質において、上の2つの条件を満たす場合の近似式であることが明らかになった。

まとめ

本研究では、減衰性無限媒質に地震波干渉法が成立することを証明し、地震波干渉法とSPAC法との理論的関係式を示した。その結果を用いて、Prieto et al. (2009)の式が、無限均質媒質における近似式であることを理解した。最近では、Prieto et al. (2009)の式が減衰トモグラフィーに使用されているが、この式は比較的均質な媒質に適用すべきである。不均質な領域でトモグラフィーを行うことの妥当性はいまだ明らかではなく、今後さらなる理論的な検討が必要である。

謝辞 本研究は、科学技術振興機構の国際緊急共同研究・調査支援プログラム(J-RAPID)による支援を受けました。

キーワード: 地震波干渉法, SPAC法, 減衰

Keywords: seismic interferometry, SPAC method, attenuation