

ガウス型自己相関関数を持つ3次元ランダム弾性媒質を伝播する平面波エンベロープの理論的導出

Theoretical derivation of plane-wave envelopes in 3-D random elastic media characterized by Gaussian autocorrelation function

佐藤 春夫 [1]

Haruo Sato[1]

[1] 東北大・理・地球物理

[1] Geophysics, Science, Tohoku University

www.zisin.geophys.tohoku.ac.jp/~sato

リソスフェアを伝わる高周波数地震波は、不均質構造による回折や散乱の効果を強く受ける。震源ではパルス的であっても、伝播距離の増加と共にその波形を崩し、主要動の継続時間は増大する。ランダム媒質におけるパルス波のエンベロープ拡大は前方散乱や回折の効果によるものと考えられ、これまで、スカラー波の放物型方程式に関するマルコフ近似という確率統計的方法に基づいて研究されてきた [たとえば Sato (1989); Saito et al. (2002)]、最近、我々は、マルコフ近似を2次元のベクトル弾性波動へと拡張し、さらに差分法によるシミュレーションとの定量的な一致を示すことができた [Korn and Sato (2005); Sato and Korn (2006)]。今回、これをさらに発展させ、3次元ランダム弾性媒質を伝播するベクトル波のエンベロープを理論的に導くことができたので、報告する。

ガウス型の自己相関関数で表されるランダム弾性媒質を考え、相関距離よりも短い波長の平面波パルスがこれに入射する場合を考察する。このときP波とS波の変換散乱は無視できるので、それぞれ独立に扱ってよい。ランダム弾性媒質のアンサンブルを考え、種々の物理量はこのアンサンブルに関する平均として求めることにする。波線の大局的進行方向に直行する平面上で、ポテンシャル場の2周波数相互相関関数を定義する。ベクトル波3成分それぞれの強度の時間変化、すなわち2乗平均エンベロープは、この2周波数相互相関関数のフーリエ変換を用いて与えられる。2周波数相互相関関数の進行方向に関する発展方程式は放物型であるが、これは解析的に解くことができる。さらにこのフーリエ変換も解析的に実行することができ、ベクトル波の各成分の2乗振幅エンベロープについて楕円関数を用いた表現が得られる。

P波入射の場合、不均質媒質中を長く伝播すると、進行方向成分の2乗振幅エンベロープは初動から遅れて到着する最大振幅と徐々に減少する尾部を持つ。2乗振幅エンベロープ拡大の時間幅は、速度ゆらぎの2乗と伝播距離の2乗に比例し、相関距離と平均速度に逆比例する。散乱の効果により、進行方向に直交する成分にも振幅が生じるが、その最大振幅の着信は進行方向成分の最大振幅の着信より遅れる。これら2乗振幅の最大値の比は、速度ゆらぎの2乗と伝播距離の積を相関距離で除したもので与えられる。さらに、進行方向に直交する成分の2乗振幅エンベロープを時間積分したものはゆらぎの2乗と伝播距離の積を相関距離で除したものに比例することが導かれる。S波についても同様の定式化を行うことができるが、同じ速度ゆらぎの場合、S波のエンベロープ幅は速度比の分だけP波のエンベロープ幅よりも長くなることを示される。

この解析解は、リソスフェアの不均質性の解明を目的とした遠地震のP波エンベロープの解析に役立つであろう。今後、より現実的なべき乗型スペクトルを持つランダム媒質におけるエンベロープ拡大について調べることが重要である。また近地地震の波形解析を目的とした場合、点震源から輻射される球面波のエンベロープ形成の理論的考察も急務である。いずれも、差分法によるシミュレーションを行い、マルコフ近似の精度の検証が必要とされている。