

短周期地震波の解析から推定された地球のランダム不均質構造 Random Heterogeneity of the Earth Revealed from the Analysis of Short-Period Seismograms

佐藤 春夫^{1*}
Haruo Sato^{1*}

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹Geophysics, Science, Tohoku University

地震の短周期成分の記録は複雑で、単純な震源過程から想像されるものとは大きく異なる。S波相のみかけ振動継続時間は、地震のマグニチュードから推定される震源継続時間よりも長く、伝播距離の増加に伴って拡大することが知られている。また、S波相の後には、コーダ波と呼ばれる波群が長い時間にわたって観測される。遠地地震のP波記録の継続時間も震源継続時間よりも長く、水平動 transverse 成分には波の励起が観測される。これらの短周期地震波形の特徴は、リソスフェアにおけるランダムな不均質構造による散乱に起因すると考えられ、統計的散乱理論に基づいた解析によってランダムな不均質の定量的な推定が試みられてきた。不均質構造の統計的な記述は、トモグラフィーやレシーバー関数法などによる決定的な方法と相補的に、固体地球の構造に関する知識を豊かにするものである。以下、最近の観測成果を簡潔に報告する。

短周期地震波のエネルギー伝播過程は、輻射伝達理論によって記述することができる。これは、因果律とエネルギー保存則に基づく枠組みであり、単位体積当りの散乱の強さを表す散乱係数（平均自由行程の逆数）が重要なパラメータである。これまで等方散乱を仮定したモデルが多く用いられてきたが、多重散乱領域では輸送散乱係数が等価的な等方散乱係数を表すと考えられる。世界各地での散乱係数の測定値は、1-30Hz 帯では0.001/km から0.05/km に分布し、平均で0.01/km である。活火山ではそれより2桁近く大きく、マントルでは2桁ほど小さいこともわかってきた。

速度ゆらぎのパワースペクトル密度が与えられれば、ボルン近似によって散乱係数を求めることができ、これを輻射伝達理論に用いて波形エンベロープを計算することができる。特に地震波の波長がランダム構造の相関距離よりも短い場合には、地震波のエンベロープ拡大はランダムな速度ゆらぎによる前方散乱や回折によるものと考えられ、Phase screen 法を統計的に拡張したマルコフ近似法によって波形エンベロープを直接導出することも可能である。速度ゆらぎのパワースペクトル密度が強いほど、散乱は強く、コーダ波の励起は大きく、直達波形の崩れは激しくなるので、逆に、観測された遠地P波波形エンベロープや近地小地震のS波エンベロープの解析から速度ゆらぎのパワースペクトル密度を推定することが可能である。遠地P波の解析からは、マントルにおけるパワースペクトル密度がリソスフェアのそれよりも小さいことが明らかになった。微小地震S波のエンベロープ拡大の解析からは、火山フロントおよびその背弧側では火山フロントの前弧側に比べて速度ゆらぎのパワースペクトル密度が大きいことがわかってきた。東北地方における詳細な解析から、第四紀火山の下では特に大きく、それらの間では小さいこともわかってきた。

散乱係数については、今後も測定例が増えていくと思われる。特に火山地帯における測定は重要であるが、この場合、PS変換散乱の考慮が必要であろう。しかし、多くの手法は等方散乱を仮定した理論に基づいていることに注意しておく必要がある。速度ゆらぎのパワースペクトル密度に地域的な差異や深度による違いなどが見えてきているが、測定例も少なく、それぞれの推定精度もあまり高くはない。今後、特に波動論な視点から、速度ゆらぎのパワースペクトル密度の測定の高精度化が必要であろう。理論的には、非等方散乱を取り入れた輻射伝達理論の精緻化、背景速度が変化するようなランダム構造における波動およびエネルギー伝播、地表面の凹凸による散乱、実体波と表面波の変換散乱、ランダム構造の異方性などを取り入れた研究を進めていくことが重要であろう。

キーワード: コーダ, 不均質, リソスフェア, ランダム媒質, 散乱, エンベロープ

Keywords: coda waves, heterogeneity, lithosphere, random media, scattering, envelope