

地震波包絡波形インバージョンの可能性について

東北大学大学院理学研究科 吉本和生

はじめに

近地地震記象に見られるコーダ波は、地殻及び上部マントル構造の短波長の不均質性によって散乱されたインコヒーレントな実体波で構成されている。この特性に着目して、直達波とコーダ波部分の地震波包絡波形の振幅及び時間変化率を解析することで、地震波の伝播過程における内部減衰と散乱減衰の高精度の測定が可能であると考えられる。

理論地震波包絡波形の合成方法

上記の測定においては、より精緻な理論地震波包絡波形の合成手法が求められる。具体的には、震源での非等方輻射、多重非等方散乱、地震波速度構造の空間的な変化、自由表面の反射などが地震波包絡波形に及ぼす影響の定量的な評価手法が不可欠であるとも言える。本研究では、モンテカルロ法に基づいた Direct Simulation Monte-Carlo method (DSMC 法) を使用して理論地震波包絡波形の合成を行う。同手法の概要については、吉本 (1998) などを参照されたい。

地震波速度構造が地震波包絡波形に及ぼす影響

従来の内部減衰と散乱減衰の測定においては、地震波速度構造が地震波包絡波形に及ぼす影響についての検討が不十分であった。ここでは、この点について、図 1 に示す複数の地震波速度構造モデルを使用して調べる。現実的な速度構造モデルとして採用した Model 1 では、深さと伴に S 波速度が増加し、地表と最上部マントルでそれぞれ 3.15 km/s と 4.35 km/s の値をとる。同モデル中を伝播する S 波の波線経路を図 2 に模式的に示す。震源(深さ 15 km) から水平方向に輻射された地震波は、地表面で反射されながら、地殻中をもつぱら伝播する。Model 1 の散乱係数を深さに依らず 0.01 km^{-1} として合成した地震波包絡波形を図 3 に示す。簡単のために、球対称輻射と等方散乱を仮定した。直達波部分に対応する地震波包絡波形の形状は、震央距離の増加と共に徐々に崩れる。図 4 には、各速度構造モデルに対して得られた地震波包絡波形を比較して示す。散乱係数は同一とした。ある時刻で比較した振幅は Model 1 で一番大きく、地震波エネルギーが同モデルでは地殻浅部に停留する傾向にあることを示唆している。以上の結果より、内部減衰と散乱減衰の高精度の測定に際しては、現実的な地震波速度構造モデルの採用が不可欠であると考えられる。

地震波包絡波形のインバージョン

以下においては、数値実験により、内部減衰と散乱減衰の測定が地震波包絡波形のインバージョンから可能かどうか検証する。ここでは、散乱係数 $g(\text{km}^{-1})$ と内部減衰係数 $q(\text{s}^{-1})$ が(測定)モデルパラメータである。数値実験の一例として、震源と観測点を図 5 のように配置する。S 波速度構造は Model 1 と同じである。地殻と上部マントルに別々の散乱係数と内部減衰係数の値を設定して地震波包絡波形(データ)を合成する。次に、モデルパラメータに適切な初期値を与えて、インバージョンによって真の値の推定を試みる。ここでは、初動から 20 秒間(10 ポイント)の地震波包絡波形データを用いる。インバージョンにおいては、ノイズの影響は考慮せず、震源輻射エネルギーの大きさは既知であるとする。反復回数は 15 とした。反復の初回と最終回の地震波包絡波形を地震波包絡波形データと比較して図 6 に示す。インバージョンの終了時には地震波包絡波形データが完全に復元できている。図 7 が示すように、残差自乗和は 10 回程度の反復で十分に小さくなる。パラメータ推定値の相関行列を図 8 に示す。散乱係数と内部減衰係数の誤差には顕著な正の相関が認められる。

まとめ

上記の数値実験の結果は、近地地震記象の直達波からコーダ波部分にかけての地震波包絡波形をインバージョン解析することにより、地殻及び上部マントルの散乱係数と内部減衰係数の高精度の測定が可能であることを強く示すものである。

文献

吉本和生, 1998, 輸送方程式に基づく地震波エネルギーの時空間分布の評価, 地球惑星科学関連学会 1998 年合同大会予稿集, Sa-p002.

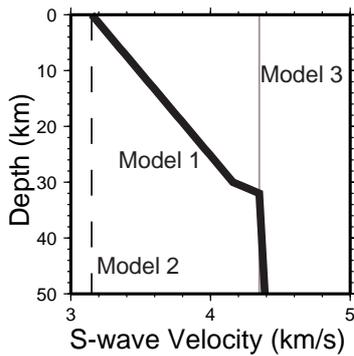


図1. S波速度構造モデル.

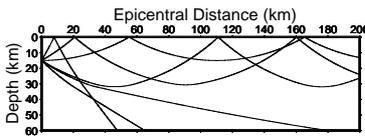


図2. S波の波線経路の模式図 (Model 1 を使用).

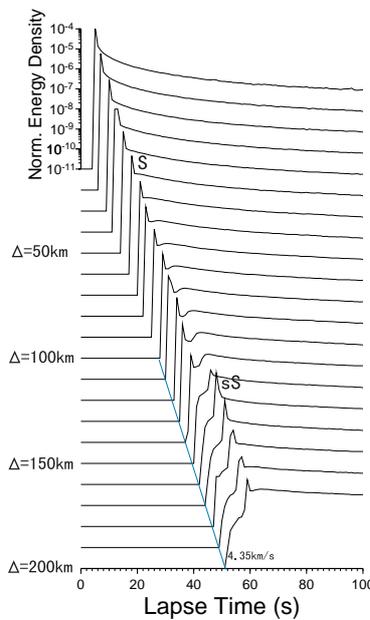


図3. 震央距離が10~200 kmの地表観測点における地震波包絡波形 (地震波エネルギー密度) の時間変化. Model 1 を使用. 内

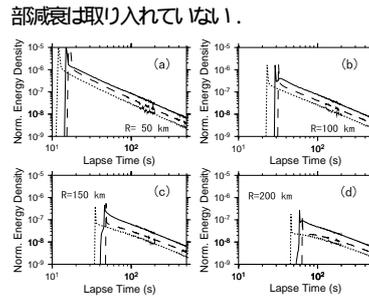


図4. 震央距離が50, 100, 150, 200 kmの地表観測点における地震波包絡波形 (地震波エネルギー密度) の時間変化. 実線, 破線, 点線がそれぞれ Model 1, 2, 3の結果.

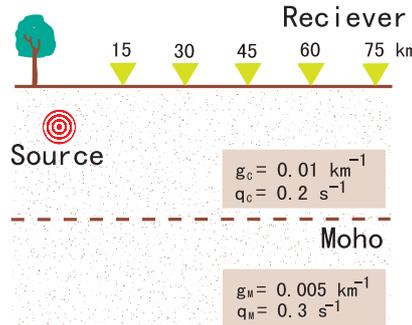


図5. 地震波包絡波形インバージョンのデータ合成に使用する構造モデル.

— DATA TRUE PARAMETERS
 — SYN. $g_c = 0.01$, $g_M = 0.005 \text{ km}^{-1}$
 — TIME WINDOW $q_c = 0.2$, $q_M = 0.3 \text{ s}^{-1}$

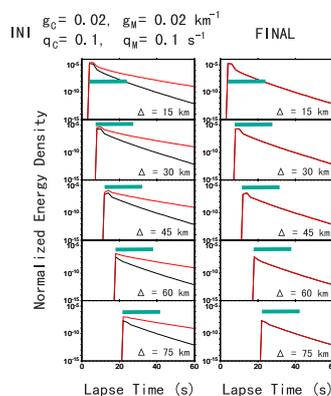


図6. 地震波包絡波形インバージョンにおけるデータの復元.

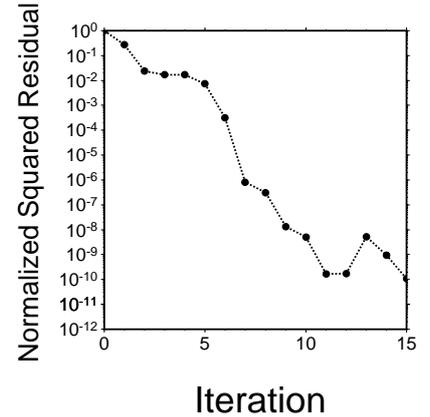


図7. インバージョンにおける残差自乗和の反復回数による変化.

g_c	1.0000			
g_M	-0.4906	1.0000		
q_c	0.5517	-0.0172	1.0000	
q_M	-0.3566	0.8013	-0.3689	1.0000

図8. パラメータ推定値の相関行列.