アレイ観測に基づく散乱係数推定の試み（４）-散乱体密度推定を目指すー

Estimation of scattering strength distribution based on seismic array observation (4)

／ 松本 聡[1]
Satoshi Matsumoto[1]

[1] 九大・地震火山センター
[1] SEVO, Kyushu Univ.

はじめに．　　従来までにアレイ観測データを用いた散乱係数推定について述べてきた．アレイが十分な口径を持ち，その応答関数がほとんどデルタ関数的であると仮定して，コーダ部分のエネルギー流速密度の直達波のエネルギー密度に対する比，R に震源距離，アレイへの方位・入射角（slant-stack 方向），経過時間の関数である１次散乱モデルによる補正を施すことによって散乱係数の空間的分布が得られる。しかしながら，実際のアレイ観測においてはいくつかの問題点が挙げられる．それは，アレイ応答がデルタ関数的にならない（口径が小さい），地表にアレイを展開した場合の増幅特性，震源からの輻射特性などの問題である．これらは散乱係数の推定に直接影響を及ぼす．一方，散乱体分布も平均的には同じ散乱係数であっても，その分布特性によってアレイの重合振幅に影響が出る。本研究ではこのような要因の，アレイ観測から求める散乱係数に対する影響を調べるため，アレイ波形を合成し，推定法について検討を行う。

アレイ応答の除去　バンドパスフィルターをかけた狭帯域信号から slant-stack によって得られる 2 乗エンベロープはアレイの重み関数（＝アレイ応答関数）と一次散乱のエネルギー式の convolution としてあらわすことができる。

一般に slant-stack をすると重合したスローネスだけではなく，ほかのスローネスの成分にエネルギーが染み出してしまう．人工地震や自然地震観測の場合得られる波形は非定常過程なのでフーリエ変換等を用いると結果として分解能が低下してしまう恐れがある．いままで，本研究ではコーダエンベロープを Ripple 部と Smooth 部に分けて考え，それぞれについて散乱係数を推定してきた。

Ripple 部は，semblance 法などによって特定された方位からの散乱波を仮定し，与えられた震源波形を元に波形合成，slant-stack,エンベロープ計算する．その結果と観測エンベロープから最適な大きさ，オフセット値を最小 2 乗法によって求め，観測波形から差し引く．これを顕著な phase について繰り返すことでエンベロープ中の Ripple を除き，その際求められた係数から散乱係数を評価する．

Smooth 部は特定の方位からの強い散乱波はなくほぼ一様（アレイ応答の広がりの中で）にアレイに到達していると考える．その場合，アレイ応答がデルタ関数的だと仮定した場合のエネルギーは方位にほぼよらないことになり，アレイ応答関数の角度に関する積分を評価して，それを観測されたエンベロープに補正係数として除することで見積もることができる．　しかしながら，smooth 部と ripple 部の区別には任意性があり，どちらと考えるかによって得られる散乱係数に違いが出てくる。これらを評価するために，以下では簡単なシミュレーションを行って，smooth 部の振る舞いを検討する。

アレイ波形合成によるシミュレーション：

ここでは離散的に分布する散乱体を考える．個々の散乱体で散乱されたエネルギーは観測点に到達する。これらは散乱係数，散乱体密度，散乱微分断面積によってその振る舞いが特徴付けられる。これを元にアレイ観測波形合成を行う．

1. 空間にランダムに散乱体を分布させる．（ここでは 60x60x30km）
2. g0,n を与える．(n= N/(60x60x30)),N は散乱体の数．
3. 震源から散乱体を経てアレイ観測点に至る走時を計算．
4. アレイ観測点ごとに散乱振幅を(計算する．
5. N回繰り返す
6. 震源波形をあたえ，convolve する．

ここではいずれも散乱係数は一定として与え計算する。すなわち N にかかわらず散乱エネルギーは同じである。slant stack 波形から求められた散乱係数の時系列を求めた結果，与えた係数がほぼ得られた。一方，センブランス係数は N によってその様相が変わる。すなわち N が大きいと係数のばらつきが少なく，N が小さくなるほどばらつきが多くなる。これは強い散乱体からの波が離散的に到達することを反映している。散乱係数の推定だけではなく分布形態，すなわち散乱微分断面積が得られる可能性を示唆し，興味深い。また，平均的なセンブランス係数値は 1/（観測点数=M）より大きくなる。これはアレイに到達する散乱波が互いに無相関の場合，アレイで得られる波形の相関行列が対角要素のみになり，1/M となる。しかし，人工・自然地震の場合は震源波形が同じであるため，相関のある信号がアレイにランダムに到達することになる。こういった場合，相関行列からその方向を推定することは困難になる。方向推定，振幅推定は相関波の干渉を考慮に入れて評価しなければならないこともシミュレーション結果は示唆している。