

# 境界積分法を用いた3次元地震波散乱の波形合成

蓬田 清 (北海道大学大学院理学研究科) · R. Benites (IGNS, N.Z.)

Waveform synthesis of seismic scattered waves in 3-D problems

by the boundary integral method

Kiyoshi Yomogida<sup>1</sup> and Rafael Benites<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

Sapporo 060-0810, Japan: yomo@ep.sci.hokudai.ac.jp

<sup>2</sup>Institute of Geological & Nuclear Sciences, P.B.Box 30368, Lower Hutt, New Zealand

我々は、境界積分法を用いて、高周波地震波の散乱・減衰を波形そのものの合成によって決定論的に議論してきた (e.g., Yomogida et al., 1997)。2次元という制約はあるものの、多重散乱の効果や自由表面の影響、P波とS波の変換などの定量化を試みた。本研究では、これまでの円筒空隙等の2次元問題から、多数の球形空隙を散乱体とした3次元での弾性波散乱の波動場合成を試みる。境界面上のできるだけ等間隔の各点に3方向を向いた single force を想定して、その強度を未知数  $a_p, b_p, c_j$  とする。グリーン関数を用いて波動場を表現し、この未知数は空隙球面上の境界条件 (この場合は空隙なので、tractionがゼロ) を最小二乗的に満たすように求める。

ひとつの空隙については解析解があるので (e.g., Mow and Pao, 1971)、これと周波数領域で比較した。2次元問題と同様に、震源の間隔が波長の4分の1以下であれば、1%以下の精度で安定した結果が得られることがわかった。

このように精度を確認した上で、時間領域での波形合成を行う。Fig. 1は、中心の深さが1.5 ( $x_c = 5, y_c = 0$ )、半径が1の球形空隙がひとつある一様媒質 (P波速度1.73、S波速度1)でのP波 (左側) およびx方向に振動するS波平面波 (右側) が鉛直したより入射した場合の合成波形である。中心周波数が0.78のリカー波を震源関数とする。"Ps"はP-to-S散乱波を示し (他の記号も同様)、“C”は回折波であるクリープ波を示す。これは、2次元P-SV波で既に発表している結果 (Yomogida et al., 1997)と直接比較できるモデルである。

境界積分法の特徴である多重散乱の効果を観察するために、空隙の数を2、4個と増やして波形の変化を調べる。Fig. 2は、中心の深さが1、半径が0.5で中心の距離がx, y両方向に2の空隙が4つある一様媒質でのx方向プロファイルの中心周波数が0.4の合成波形である。この観測点配置からは、y軸方向の2つずつの空隙からの散乱波が重なっているので、振幅がひとつの場合に比べて約2倍であり、x軸方向に2対あるので、山がふたつの散乱波が明瞭に認められる。これらの散乱波は個々の空隙からの足し合わせである単一散乱モデルで説明できるが、その他の波は空隙間の多重散乱による。

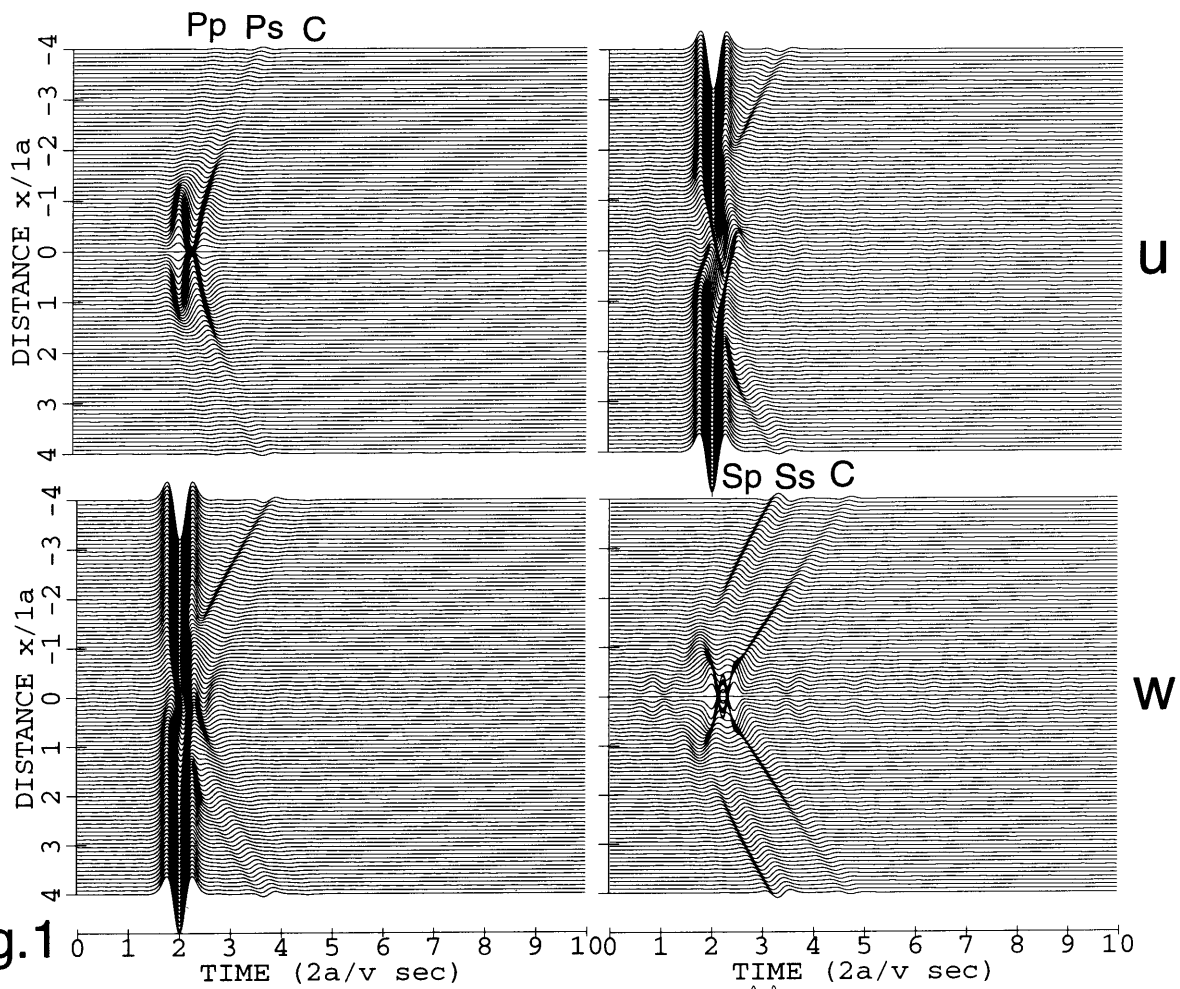
2次元モデルの結果との比較も含めて、明らかになった3次元モデルでの散乱の特徴は、以下のようになる。

- (1) 幾何学的広がりの影響のため、散乱体から少しでも離れた観測点では、散乱波は弱い。
- (2) P波入射の場合、P → SがP → P散乱より強い。
- (3) S波入射の場合、S → P散乱は極めて小さい。
- (4) 同じ空隙密度でも幾何学的影響のため、2次元の場合に比べて多重散乱の影響は弱い。

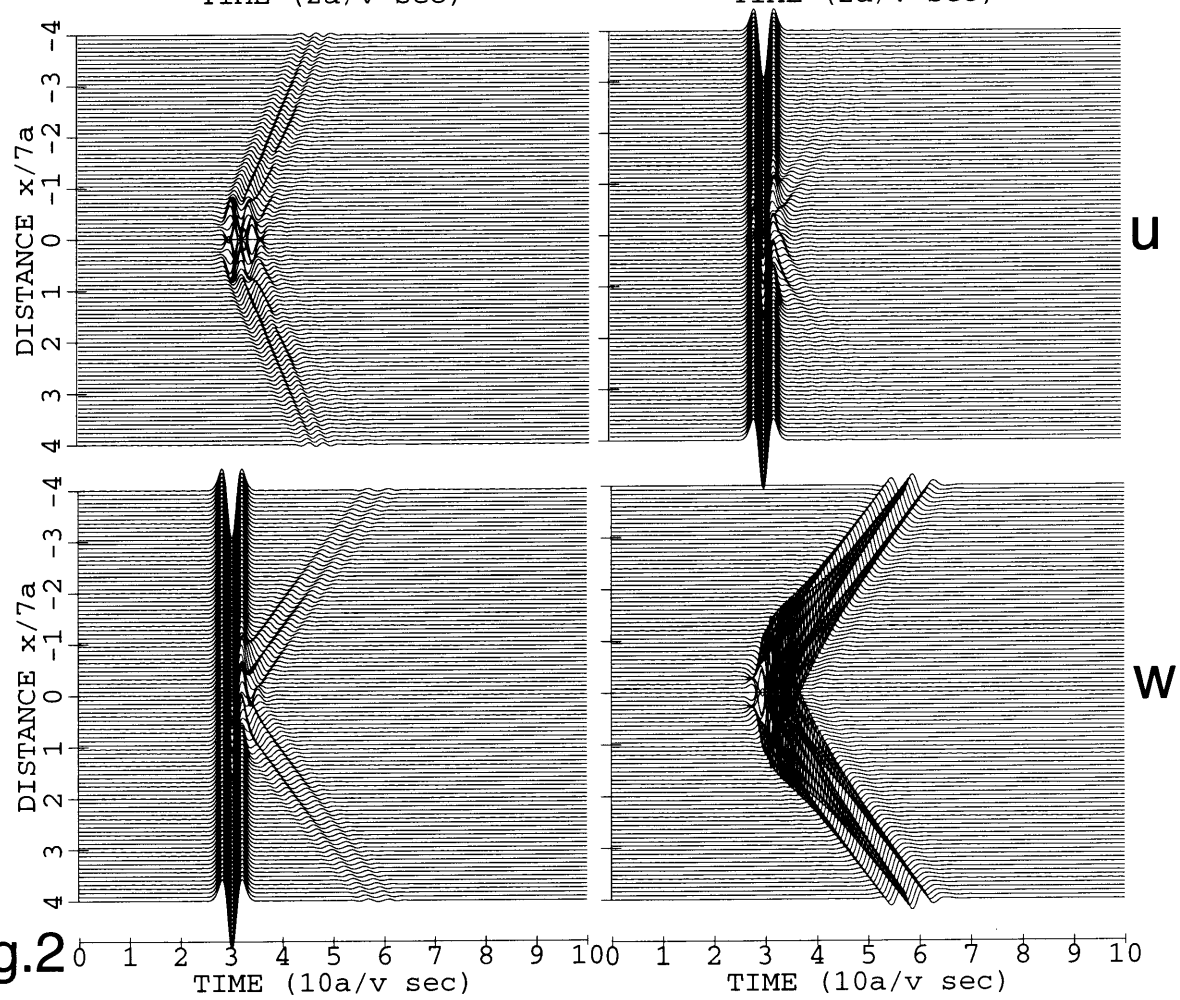
3次元特有の問題として、球面上でできるだけ少数のグリッド点で安定した結果が求まるように、各グリッドの間隔をできるだけ一様にする新しいアルゴリズム、例えば正20面体を基にした分割法を採用し、できるだけ離散化の誤差を減らす工夫が、今後の課題である。また、計算量を減らすために、工学の分野では既に広く応用されている (例: 小林, 2000) 高速多重極法等の導入による効率化の必要がある。

## 引用文献

- ・ 小林 (編著), *波動解析と境界要素法*, 京都大学学術出版会, 2000.
- ・ Mow and Pao, *The diffraction of elastic waves and dynamic stress concentration*, Rand Corp., 1971.
- ・ Yomogida, Benites, Roberts and Fehler, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 104, 175-192, 1997.



**Fig. 1**



**Fig. 2**