

## 2次元異方性ランダム媒質中の波動伝播 - エンベロープ, 走時・振幅のバラツキ, 実効平均速度 -

Scalar wave propagation in 2-D anisotropic random media: Envelope, phase/amplitude variance, and velocity shift

# 齊藤 竜彦 [1]

# Tatsuhiko Saito[1]

[1] 産総研

[1] AIST

高周波数地震波形（およそ 1Hz 以上）は無数の散乱波群を含み、それらを完全に再現する地下構造を推定することは事実上不可能である。この場合、地下の短波長不均質構造を確率論的に表現する“ランダム媒質”の考え方を導入することで、波形の統計的特徴を再現することができる (Sato & Fehler, 1998)。従来、ランダム媒質は空間等方であると仮定される場合が多かった。一方で、実際の地震波の特徴は、異方性をもつランダム媒質で説明できるといった事例が、報告されている (Kamei et al. 2005; Furumura & Kennette, 2005 など)。本研究では、速度構造が水平方向にはゆるやかに変動し、鉛直方向には激しく変動する異方性をもつランダム媒質を考え、2次元異方性ランダム媒質にける波動場（スカラー波）のふるまいを理論的に調べる。特に、波動場の統計的特徴として、波形エンベロープ、走時のバラツキ（分散）、初動振幅のバラツキ、そして、実効的な伝播速度に注目する。

波形エンベロープは、前方散乱近似に基づく波動方程式の統計的な解法（マルコフ近似）によって、理論的に導出することができる (Ishimaru 1978; Sato 1989; Saito et al 2002 など)。Saito (2006) は、2次元異方性ランダム媒質の理論エンベロープを定式化した。エンベロープの最大振幅値や主要動継続時間は、異方性媒質への入射角度の関数として解析的に表現できる。水平方向に伝播するときほど、エンベロープの最大振幅は激しく減衰し、主要動継続時間は増大する。

初動のバラツキ、振幅のバラツキは前方散乱近似による波動方程式の統計的な解法によって、導出することができる (Aki 1973; Rytov et al. 1998 など)。波動場は Rytov 形式とよばれる方法で表現され、波動場ゆらぎの1次の微小変化が考慮されている。近年、異方性ランダム媒質中における初動および振幅のバラツキが理論的に調べられている (Iooss 1998 など)。一般に、水平方向へ伝播するほど、初動および振幅のバラツキは大きくなる。

実効平均速度とは、見かけ上の波の伝播速度を表す。波は高速度域を選択的に通過するので、実効平均速度は、速度分布を空間平均した値とは異なる。特に、波動場の散乱効果（有限波長効果）のために、実効平均速度は卓越周波数に依存する (Shapiro et al. 1998 など)。Saito (提出中) は、2次元異方性ランダム媒質における実効平均速度を理論的に導出した。ここでは、Rytov 形式で表された波動場の2次の微小ゆらぎまで考慮する必要がある。波は、水平方向に伝播するときほど速く伝播するといった異方性を示し、この速度異方性は周波数の増大に伴って強くなる。

地下の異方性構造を推定する際、P波速度の異方性がよく利用されてきた。このとき、異方性構造として、波長に比べて無視できるくらい小さい構造（クラック・鉱物）の選択配向性を考えることが多い。一方、本稿で示した結果は、波長程度の不均質構造の異方性もまた速度異方性を引き起こすことを示している。また、異方性不均質構造の推定には、速度だけでなく、エンベロープや振幅・走時のバラツキが、良い計測量となりえることを示している。