

## 論文内容の要旨

論文題目 短周期地震動記録に基づく日本列島下の三次元減衰構造  $Q_s$ ・震源スペクトル・地盤増幅の同時インバージョンとその応用

3-D Attenuation structure beneath the Japanese islands, source parameters and site amplification by simultaneous inversion using short period strong motion records and predicting strong ground motion

氏 名 中 村 亮 一

### 1. 研究の目的

短周期地震動はサイト地盤の増幅特性の他に三次元減衰構造の影響を強く受ける。このため三次元減衰構造の解明が重要である。また、震源での短周期励起特性も不明な部分が多い。これらを解決していくためには、震源・伝播・サイト増幅の同時インバージョンが有効である。本論文では、日本列島の強震観測データを用い、震源とサイト増幅特性のトレードオフを避けるために、基盤サイトでの増幅を 2.0 に拘束をかけたスペクトル領域（1～10 Hz 程度）での三次元的減衰構造( $Q_s$ )、震源スペクトル及び地盤増幅特性の同時インバージョンを行った。さらに応用として、得られた構造を考慮した強震動予測を行った。

### 2. 方法

防災科学技術研究所 K-NET 及び KiK-net の観測開始以来 2007 年 12 月までの M4.0 以上の地震で、同研究所 F-NET のメカニズムが判明している 1,804 地震による 121,367 のデータを用いた。

地震  $j$  による観測点  $i$  での地動の加速度フーリエスペクトル  $a_{ij}^{Obs}(f)$  は、次のように表すことができる。

$$a_{ij}^{Cal}(f) = S a_j(f) \cdot G e g_l(f) \cdot \exp\left\{-\pi \cdot f \cdot \sum \left(T_{ij}^k / Q_{sk}(f)\right)\right\} \cdot \sqrt{\rho_1 V_s / \rho_2 V_s}$$

ここで、 $S a_j(f)$  は  $j$  番目の地震の震源での加速度フーリエスペクトル、 $G e$  は幾何減衰で伝播距離の逆数、 $g_l(f)$  は  $l$  番目の地盤分類グループでの増幅率、 $Q_{sk}(f)$  は  $k$  番目のブロックの  $Q_s$  値、 $T_{ij}^k$  は  $j$  番目の地震による  $i$  番目の観測点までに S 波が  $k$  ブロックを通過するのに要する時間で

ある。 $V_s$ は気象庁のJMA2001走時表を用い、密度 $\rho$ は $\rho = v_p/6 + 5/3$ を仮定した。平方根の添え字1及び2は、観測点と震源を表す。

インバージョンはARTB手法を用い、地表20mの平均S波速度(AVS20)が1000m/s以上の硬岩地点に対してはARTBグローバルイタレーション1回毎に増幅を2.0に置き換えることにより増幅率を拘束した。

### 3. 同時インバージョン解析結果

#### (1) 三次元減衰構造 $Q_s$

得られた減衰構造の10 Hzの例を図-1に示す。太平洋プレートやフィリピン海プレートでHigh $Q_s$ 、火山や火山フロントに対応したLow $Q_s$ が得られたほか、非火山性のLow $Q_s$ が北海道の深さ0-30 kmで、関東の深さ30-60 kmで得られた。前者はNishida et al.(2008)の求めた強いLow $V_s$ ゾーンと整合しており、また地理的に神居古潭変成帯に一致する。後者はKamiya and Kobayashi (2000)が蛇紋岩と推定した高ポアソン域に整合している。また、火山フロント付近においても、秋田駒ヶ岳と栗駒山の間はHigh $Q_s$ の傾向が見られることがわかった。

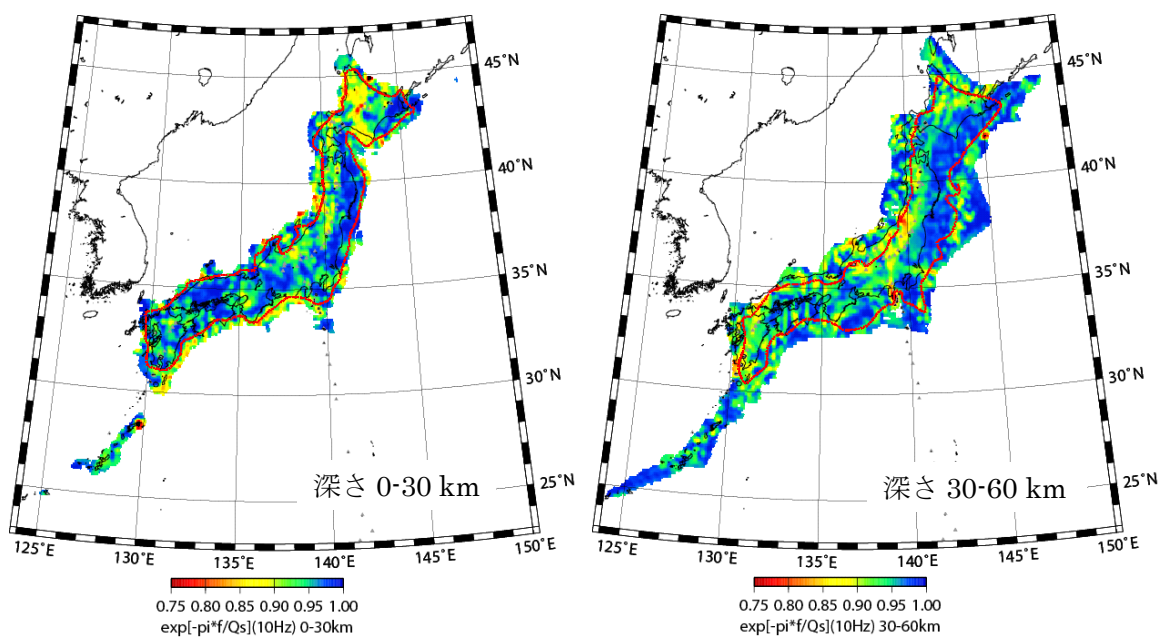


図-1 求められた三次元減衰構造の例 (10 Hz)  
(解像度の良い領域を赤い点線の閉曲線で示す。)

#### (2) 震源スペクトル

得られた震源での加速度スペクトルの短周期のフラットレベル(ここでは1 Hz~10 Hz)に適合する応力降下量 $\Delta\sigma$ を $\omega^{-2}$ モデルに基づくBoore (1983)に基づき算定した。ここで $M_0$ はF-NETによる値を用いた。応力降下量には、顕著な深さ依存性がみられた。これをさらに内陸地殻内地震と太平洋プレートのプレート境界地震、二重深発地震に分類した。応力降下量と震源深さの関係を図-2に示す。内陸地殻内地震と太平洋プレート境界の地震は、いずれも深さ依存性が顕著であるが同じ応力降下量となる太平洋プレート境界の地震の深さは内陸地殻内地震よ

り 40 km 程度深い。太平洋プレート境界の地震については Bilek and Lay (1998) が、本州沖のプレート境界の地震の震源深さが増大するとともに、実体波の破壊継続時間が短くなり、破壊伝播速度あるいは応力降下量が増加していることを指摘していることと整合している。内陸地殻内地震について、Rake 角との関係をみたものを図-3 に示す。これによると内陸地殻内地震についても、応力降下量は深さ依存性が見られるが、正断層 < 横ずれ断層 < 逆断層 となる傾向があることがわかった。

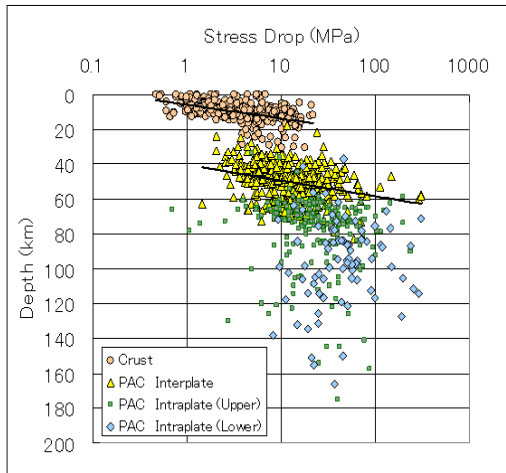


図-2 内陸地殻内地震と太平洋プレートに関連する地震の応力降下量と深さの関係

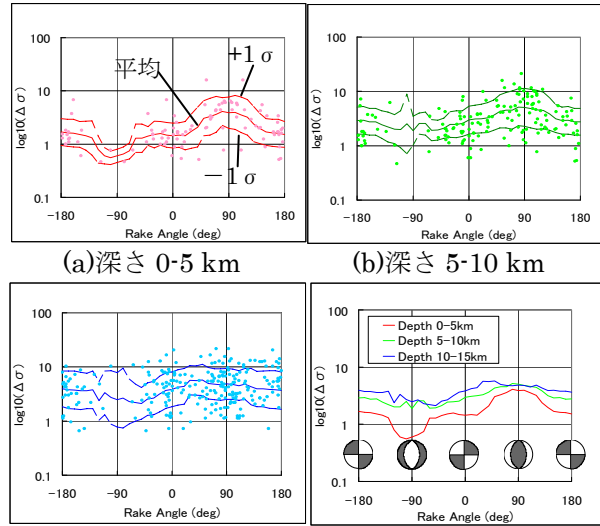


図-3 内陸地殻内地震の震源深さ毎の応力降下量と Rake 角の関係

(3) 地盤増幅

求められた地盤分類グループごとの増幅率を図-4 に示す。グループ化したそれぞれの卓越周期  $T_g$  の範囲に対応する増幅率が求められた。このことは、インバージョンによって増幅率が正しく分離されていることを意味していると考えられる。

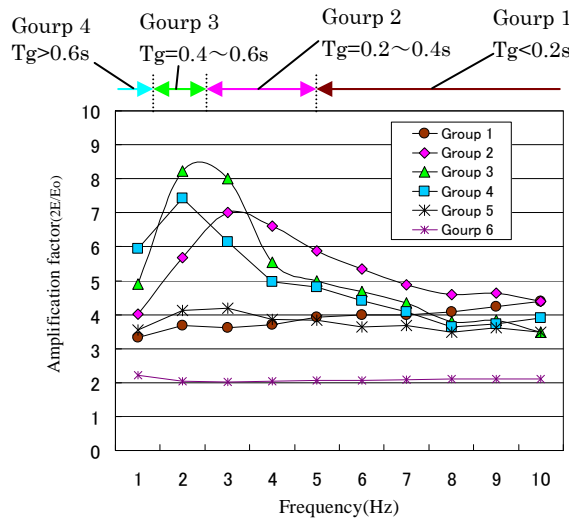


図-4 インバージョンによって得られた地盤分類毎の増幅率  
 $T_g$  は PS 検層に基づく S 波構造による卓越周期

#### 4. 地震動予測

同時インバージョンで求められた減衰構造・震源パラメータ・地盤増幅を用いて、地震動の再現解析を行った。計算手法は、前述のインバージョンと同じ式によるフォワード計算で加速度フーリエスペクトルを求め、それを最大加速度PGAに換算した。図-5に2001年12月02日岩手県内陸南部の地震の観測による震度分布と本手法による計算値を比較して示す。同図(c)には、参考として、司・翠川(1999)の距離減衰式による予測値も示す。最大加速度の絶対値を含め、観測による震度分布が火山フロントで急変している様子が良く再現されており、減衰の不均質構造を考慮していない距離減衰式に比べると大きく改善されることがわかる。この例は点震源仮定による予測であるが、その他、断層面の拡がりが無視出来ない大地震の場合にも応用できることを示した。

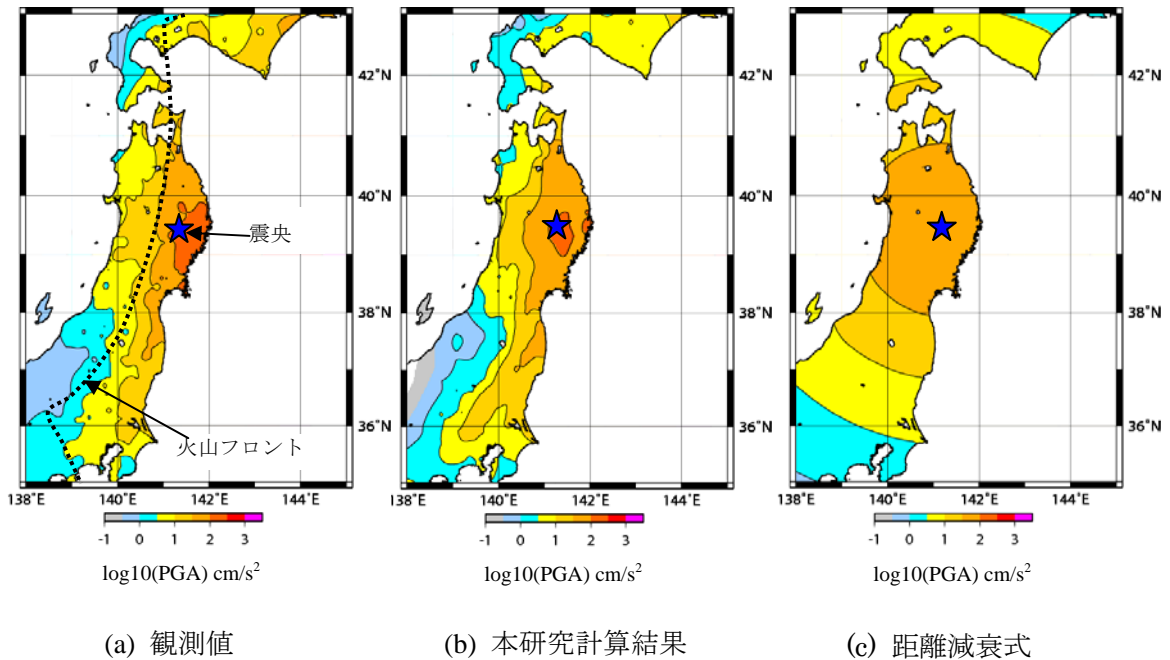


図-5 最大加速度 (PGA) 分布の再現解析結果例

2001年12月02日 岩手県内陸南部の地震 (h=121 km)